はじめに

平成 16 年 10 月 23 日(土)に小千谷市、川口町付近を震源とする新潟県中越地震が発生しました。震度 7 を記録した川口町や全村避難となった旧山古志村(長岡市と合併)をはじめ、甚大な被害を被りました。長岡技術科学大学では、実験設備等に被害が生じ、ライフラインもストップしたため、一週間授業の出来ない状態となりましたが、施設に甚大な被害はありませんでした。また、教職員、学生には、一部負傷者(軽傷)がおりましたが、人命には影響ありませんでした。

長岡技術科学大学では、地元の大学として色々な調査活動にご協力させていただきました。(社)土木学会の第二次調査団（家田仁団長）は、長岡技術科学大学環境・建設系を拠点として調査活動を行い、緊急提言を発表しました。この活動の一環として、年が明けた平成 17 年 1 月 17 日（月）には、長岡市内において「長岡技術科学大学中越地震調査報告会―地域再生への提言―」を開催し、地域再生に向けて提言を行いました。また、(社)地盤工学会、(社)日本都市計画学会、日本雪工学会などの調査活動に参加しました。

環境・建設系独自としても、中越地震調査団（団長：松本昌二、副団長：大塚悟）を発足させ、調査研究活動を続けてきました。この報告書は、中越地震から約 1 年半が経過した段階で、いままでの調査研究を取り纏めたものです。編纂するにあたり、環境・建設系だけではなく、機械系、生物系、経営情報系の教員にも参加してもらい、長岡技術科学大学の報告書といえる内容にしたつもりです。

この報告書は、２部構成としました。第 1 部は「地震被害の検証」で、道路、鉄道施設、土構造物、自然斜面、鉄構造物、下水道施設、河川、農業、雪崩、といった地震被害について述べています。すべて環境・建設系の教員が担当しており、災害の特徴、復旧対策、災害の教訓や今後の課題などを指摘しています。中越地震の被害のすごさをあらためて感じ入ると共に、復旧のめざましさ、防災対策の必要性を理解していただきたい。

第２部は「地震とコミュニティ」と題して、住民避難、救援物資、避難生活、雪害、経済被害、復興計画、といった社会経済面を扱っており、環境・建設系、機械系、生物系、経営情報系の教員が担当しています。被災後のソフト対策、創造的復興に向けた示唆を感じとっていただきたいと思います。

もとより、この報告書をもって中越地震の調査研究が終わるわけではありません。平成 18 年 4 月に発足する「中越防災安全推進機構」の活動の一環として、中越地震の影響や復興について今後も調査研究を続けてまいります。この報告書が、今後の復興活動や災害対策の資料として、多方面で活用されることを期待しております。

平成 18 年４月

長岡技術科学大学　理事・副学長

丸　山　久　一

長岡技術科学大学中越地震災害調査団

団　長	松本昌二	環境・建設系　教授
副団長	大塚　悟	環境・建設系　教授
幹　事	佐野可寸志	環境・建設系　助教授
団　員	海野隆哉	環境・建設系　教授（平成 18 年 3 月退職）
	藤田昌一	環境・建設系　教授（平成 18 年 3 月退職）
	丸山暉彦	環境・建設系　教授
	中村和男	経営情報系　教授
	福嶋祐介	環境・建設系　教授
	中出文平	環境・建設系　教授
	力丸　厚	環境・建設系　助教授
	陸　旻皎	環境・建設系　助教授
	渡辺研司	経営情報系　助教授
	岩崎英治	環境・建設系　助教授
	細山田得三	環境・建設系　助教授
	小松俊哉	環境・建設系　助教授
	下村　匠	環境・建設系　助教授
	木村悟隆	生物系　助教授
	樋口　秀	環境・建設系　助教授
	豊田浩史	環境・建設系　助教授
	上村靖司	機械系　講師
	犬飼直之	環境・建設系　助手
	高橋一義	環境・建設系　助手
	土屋　哲	環境・建設系　助手
	坂田健太	環境・建設系　教務職員
	佐藤啓介	産学官連携研究員

第１部　地震被害の検証

道路の被害　丸山 暉彦---------- 3

鉄道施設の被害　海野 隆哉---------- 8

土構造物の被害　大塚 悟----------15

自然斜面崩壊の特徴　豊田 浩史----------33

コンクリート構造物の被害　下村 匠----------45

道路橋の損傷状況　岩崎 英治----------51

下水道施設の被害　藤田 昌一・小松 俊哉----------62

河川堤防の被害および土砂崩壊による河道閉塞
福島 祐介・細山田 得三・犬飼 直之---------67

なだれ被害と煙型なだれハザードマップ作成
福島 祐介・陸 旻皎----------81

農地復興プロセスのモニタリング　力丸 厚・高橋 一義・坂田 健太----------100

第２部　地震とコミュニティ

面的被害と住民避難　樋口 秀----------109

救援物資の流動実態と課題　松本 昌二・佐野 可寸志----------128

避難生活支援実態の行動科学的検討　中村 和男----------140

仮設住宅の居住性　木村 悟隆----------154

地震－豪雪連続災害の経験　上村 靖司----------164

経済被害の推計　土屋 哲----------177

ビジネス・コミュニティ型事業継続体制の重要性
渡辺 研司・富田 秋教----------190

復興計画の特徴とその課題　中出 文平----------207

道路の被害

丸山 暉彦
長岡技術科学大学　環境・建設系

１．はじめに

平成 16 年 10 月 23 日の中越地震において震源地付近の道路網は甚大な被害を受けたが、すばやい応急復旧により、一部の地域を除いては最低限の交通確保ばかりでなく、一般の日常生活に支障のない水準にまで機能が回復されていた。12 月の降雪までに効率的な除雪作業を可能とするべく、献身的な努力が成された結果である。16 年度冬、17 年度冬ともに降雪量は比較的多く、除雪作業は厳しいものであったが、雪による大きな交通障害がほとんどなかったことは特筆される。

災害時には大量の廃棄物が発生する。道路構造物においてもコンクリート塊、アスファルト塊、残土が大量に発生するが、これらの捨て場所はほとんどないに等しい。これら建設廃棄物の再利用の状況についても調査した。

２．高速道路

震源付近の関越自動車道は橋梁構造物の損傷、盛土部の崩壊による路面の段差、ひび割れ、および斜面崩壊による土砂の路上堆積、標識柱などの倒壊によって交通不能となった。しかしながら、上信越自動車道、磐越自動車道がバイパス的役割を果たし、関東と新潟市を結ぶ迂回路が確保できたばかりか、被災地への物資輸送も比較的スムーズに実施された。高速道路ネットワークが整備されていたことによるメリットが明白に現れた例である。

また、関越自動車道は、路面が激しく損傷したにもかかわらず、地震後 19 時間後には車両がなんとか通れるように処置し，100 時間後には緊急車両が通行可能な状態にした．さらに 11 月 5 日に片側 1 車線を開放して一般車両の通行も可能とした。阪神・淡路大震災の教訓が活き，点検補修システムがある程度確立していた。2 車線を使い応急処置をしながら，耐震補強を行って 11 月 26 日 4 車線復旧を完了した．このような早期の機能回復



図１　11 月 5 日、片側 1 車線で一般開放された関越自動車道

は着目すべきであり，4 車線であることが車両を通行させながらの応急修復作業を可能とした．上越新幹線の不通を補うため、越後湯沢－長岡間の高速バスの通行を認めたことによって、新潟県を首都圏と結ぶ命綱が確保された。その迅速な復旧作業は地域経済活動の維持に大きく貢献した。このような復旧作業が順調に行われたのは、関越自動車道が 4 車線道路であって、1 車線を規制しながらの工事が可能であったからである。これが上信越道や磐越道のような暫定 2 車線道路であったならば、このような迅速な復旧作業は不可能であった。高速道路網はただ採算性のみを考えて建設するのではなく、災害等の緊急事態のことも考慮して計画しなければならない。

開放当初は、平坦性が図－1 に示すように十分でなく、制限速度は 50km/h とされていた。このままでは効率的な除雪作業に支障をきたすことが懸念され、凹凸を少しずつ改善し、降雪前には 100km/h の走行を可能とするまでに平坦性を回復させたことも特筆される。

翌年の雪解け後に本復旧工事が昼夜を徹して実施された。震災前にはポーラス舗装の面積率が 40%程度であったのが、復旧後は

表 1 東日本高速道路(株) 長岡および湯沢管理事務所におけるアスファルト塊再生利用状況

道 路 名	発生量 (t)	再利用量 (t)	利用率 (%)
長岡管理　関越道	21,860	9,795	44.8
長岡管理　北陸道	11,750	6,100	51.9
長岡管理 計	33,610	15,895	47.3
湯沢管理　六日町～下倉山 Tn	27,000	385	1.4
湯沢管理　下倉山 Tn～越後川口 Tn	12,384	11,478	92.7
湯沢管理　越後川口 Tn～小千谷	18,523	16,890	91.2
湯沢管理 計	57,907	28,753	49.7

東日本高速道路(株)提供

表 2 東日本高速道路(株) 長岡および湯沢管理事務所におけるコンクリート塊再生利用状況

道 路 名	発生量 (t)	再利用量 (t)	利用率 (%)
長岡管理　関越道	6,300	9,000	142.9
長岡管理　北陸道	145	200	137.9
長岡管理 計	6,445	9,200	142.7
湯沢管理　魚沼地区	9,000	13,000	144.4
湯沢管理　川口地区	1,000	4,000	400
湯沢管理 計	10,000	17,000	170.0

東日本高速道路(株)提供

100%ポーラスな舗装となった。震災以前よりも交通安全性、騒音低減性が向上した。

高速道路は大量高速交通に供されることから、その品質および耐久性が高水準に設定されている。そのために、高速道路での実績がまだ少ない再生アスファルト混合物が使用されていない。被災地域から大量の舗装廃材が発生していること、他の道路管理者はほとんどが再生混合物を使用していることを考えると、高速道路においても、積極的にアスファルト舗装のリサイクルを検討すべきときに来ている。新潟県のアスファルト混合物再生プラントはほとんどが常温再生プラントである。この方式では、アスファルト混合物中に再生材を 20%までしか混入できない。加熱再生プラントであれば、これを 40%以上混入可能である。今後、高機能舗装など改質アスファルトのリサイクルが重要な課題となることも考慮すると、常温再生プラントを少しずつでも加熱再生プラントに変えていく必要があろう。湯沢管理事務所管内では加熱再生プラントを新たに建設して、再生混合物の積極的な利用を図った。その結果、**表 1** に示すように、部分的には 90%以上の再生材利用率を達成することができた。

コンクリート塊は盛土材や橋台、ボックスカルバートの裏込め材として積極的に利用された。高速道路から発生するものだけでなく、他の被災箇所から発生するものも購入して使用した。その利用状況を**表 2** に示す。すべての地域で 100%以上の利用率を示している。

３．国道 17 号

国道 17 号は**図 2** に示すように、川口町天納地区と和南津トンネルの被災が大きく交通止めとなり、川口町中心部が孤立した。天納地区においては**図 3** 左に示すとおり私有地を借り上げ緊急のバイパス道路を建設した。和



図 2　国道 17 号被災箇所



R17川口町天納（てんのう）　迂回路設置

復旧に長期間を要すると判断されたことから、緊急に迂回路を設置し10月31日22時30分に2車線で交通確保。



R17号川口町和南津（おなづ）　トンネル応急復旧

新たな支保工（H鋼）設置とコンクリート吹付を行い、11月2日16時20分に片側交互通行で交通を確保。

図 3　国道 17 号 天納地区（左）および和南津トンネル（右）の仮復旧状況
（国土交通省北陸地方整備局提供）

南津トンネルでは巻き立てコンクリートの一部が崩落したが、詳細な調査により大規模な補修は必要なく、交通を通しながらの復旧が可能と判断し、同図右のように支保工の設置とコンクリート吹きつけを行った。

国道 17 号は関越自動車道を補完する重要な道路である．道路関係者による地上・上空から点検が早期の被害状態の把握につながった．和南津トンネルや天納地区の臨時迂回路など，多くの応急修復工事が早期に着工され，11 月 2 日には全線で通行可能となった．非常事態に現場の意思決定を最優先させた結果である．

また、関越自動車道と同様、管理地区の隅々まで知り尽くした OB の意見が有用であった。緊急時の危機管理体制を計画する場合、この





図 4 マンホールの浮き上がりおよび埋設管埋戻材液状化による陥没箇所
（長岡市提供）

ような人的資源の活用も考慮する必要があろう。

４．埋設物

市町村道は管理延長が長く、道路構造が多種にわたっていて、埋設物が多いという点で高速道路や直轄国道と異なっている。高速道路や直轄国道では、一度の応急復旧で翌春の本復旧まで持ちこたえられた。市道では被害が小規模であっても、補修したところが数週間でまた破壊するという箇所が多かった。これらのほとんどは下水管が埋設されている箇所であった（**図 4**）。

しかしながら、雪国では除雪時の堆雪余裕を考慮して、道路幅員を 6m以上確保することを原則としているため、このような路面の損壊があっても 1 車線は走行できる余裕幅が十分にあった。地震直後の夜間でも徐行しながらの交通は確保できたのである。また、一部の地域を除いて、家屋の倒壊や火災がなかったことも、交通確保にとって幸いであった。気温が低く、路面が常に濡れている状態では、応急修理に用いられるアスファルト舗装用パッチング材は堅固な締固めと付着力を得るのが難しく、すぐこわれてしまう。このような時期の路面維持修繕技術の開発が必要だと感じた。

長岡市では管路施設復旧委員会(委員長 藤田昌一 長岡技術科学大学教授)を設置し、管路の埋戻しには**図 5** に示すように液状化を発生させない材料を使用すること、および建設発生土の積極的な使用を推奨する「管路施設震災復旧マニュアル」を平成 17 年 3 月に策定した。阪神淡路大震災以来、大型土木構造物の地震対策が真剣に検討されてきたが、このような地中埋設物に対する耐震設計もこれに劣らず重要である。

５．建設発生材

前節で建設発生土が埋設管埋戻し材料として積極的に活用されることを述べたが、第２節で触れたように、災害復旧事業では膨大な建設残土、コンクリート廃材、アスファルト舗装廃材が発生する。

地震発生直後に応急復旧されたアスファルト舗装材料は品質規格などが十分にチェックされておらず、どんな材料が使用されたのかよくわからない。本復旧に際して、これらが除去されアスファルト廃材として大量に発生する。高速道路、国道、県道、市町村道あわせて、その量は 70 万トンといわれている。アスファルト舗装はリサイクルの優等生といわれており、舗装発生材の 99%は再利用されている。しかし、この 70 万トンすべてを本復旧のアスファルト舗装に再生するのは不可能である。表層に利用できないものは、再生路盤材として下層に使用することも可能であるが、その場合、舗装工事が本格的になり、地震発生以前の舗装よりもずっと良質なものができてしまう。復旧工事全般にいわれているのは、地震以前の状態にもどすことはできるが、それ以上のものをつくることは予算的

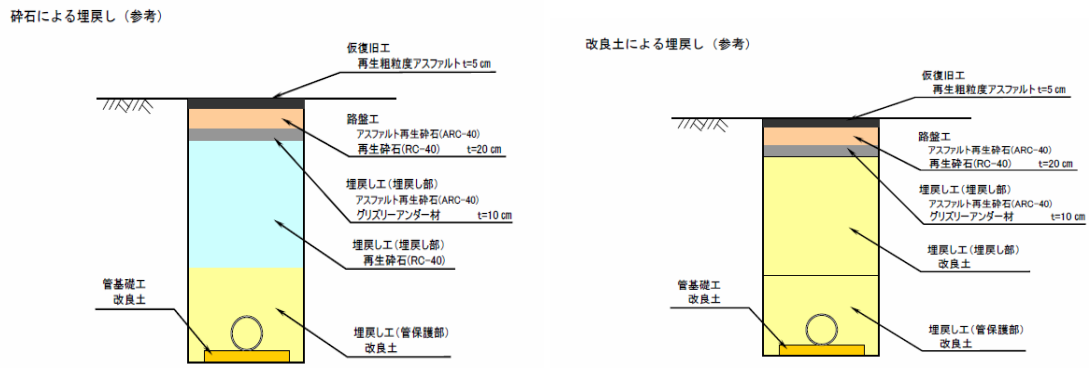


図 5 管路復旧方法の一例（長岡市 「管路施設震災復旧マニュアル」 から）

に認められていないことである。それは確かに筋が通っているようではあるが、ものによっては、以前の状態以上にしなければならないものもある。地震を千載一遇のチャンスととらえ、50 年後 100 年後を視野に入れた復旧計画を練るべきであろう。

建設残土は旧山古志村だけで 130 万m3 発生するといわれている。地すべり部分の堆積土も含まれている。国道 291 号は国の直轄事業となり、新たに山古志トンネルが掘削されている。国の事業から発生する残土は約 30 万m3 である。これらは地形をよく調査したうえで谷あいを埋立て、新たに平らな土地を造成するのに使用される。

地すべり堆積土は締固められていないために、構造物を建設するのに適さないといわれているが､種々の地盤改良工法が開発されている。これら新技術を駆使して土地を有効に利用することも視野に入れたい。

谷あいの埋立てにより、もとの地形と異なる景観になってしまうが、現在、山古志村のほとんどの斜面が地すべりまたは崩壊におおわれており、景観は完全に破壊されている。何年かたって再び緑の木々が斜面をおおう頃には、新しい景観が形成されていることであろう。新しく造成された土地に集団移転のための住宅を建てたり、メモリアルパークや道の駅をつくったりすることができる。これらの土地の利用も 100 年後、200 年後の地域のありようを意識して計画的かつ有効に進めてほしい。

山古志村の復興は中山間地域復興のモデルケースといわれている。将来、日本のどこかで同じような地域が災害を受けたときに、山古志村の復興が手本とされるようでありたい。

６．電線の地中化

現在、旧山古志村には電信柱は残されているけれども、電線類が切断されたままになっており、空の見通しがすこぶるよい。開放的な景観を楽しむことができる。この良質な景観を維持するために電線の地中化を実現していただきたい。現在工事中の道路が舗装される前に管路を設置すれば実現されると思うが、電線管理者の負担が大きく容易でないという。個々の住宅への引込み工事費も空中架線より高価になる。電線や電話線だけでなく情報通信用ケーブルも必需品となっている時代であり、単にコストが高いというだけで実施がためらわれているのは理解できない。行政の支援を含めた検討が必要である。

鉄道施設の被害

海野 隆哉
長岡技術科学大学　環境・建設系

1. トンネルの被害

1.1 鉄道トンネル

ＪＲ東日本によれば上越新幹線のトンネルは，浦佐－長岡間にある堀の内トンネル(l=3.3km)，魚沼トンネル(l=8.624km)，妙見トンネル(l=1.459km)，滝谷トンネル(l=2.673km)の４トンネル全てで多少の被害を受けている。この内，堀の内トンネルと滝谷トンネルは一部のコンクリート落下のみであり，妙見トンネルはコンクリート落下の他中央通路に亀裂が入るなどの被害を受けた。魚沼トンネルはアーチ・側壁コンクリートの崩落，路盤コンクリート・軌道スラブの浮き上がり，中央通路の損傷ともっとも大きな被害を受けた。

この内，魚沼トンネル東京方坑口から 2.4km 付近の被害について報告する。最大の損傷は，上り線側覆工コンクリートの剥落（**写真 1**）で，一辺 1m 前後の大きなブロックも見られる。アーチ部の大きな剥落はトロリー線付近までかかっており，支保工のＨ型鋼や繋ぎボルトの間をすり抜けてコンクリート片が脱落しており，背面地山とおぼしきものも見られる。この箇所より 6-7m東京寄りで上り線の路盤コンクリート・軌道スラブの浮き上がり(**写真 2**)が見られた。下り線の浮き上がり箇所はさらに 4-5m 東京寄りである。一方，上述の崩落箇所から 20-30m 新潟寄りのところでは，中央通路底面にトンネル直角軸に対して 50-60°のひび割れ(**写真 3**)が入り，その延長線上で路盤コンクリートにも変状が生じている。そこから東京方を見通すと，中央通路の側壁が 2-3cm 程度右側にずれている。つまり，この辺りでトンネルが「ハ」の字状に僅かながら西側に押し出されたと考えられる。



写真１　剥落した覆工コンクリート片



写真２　路盤コンクリート・軌道スラブの浮き上がり

上越新幹線工事誌（日本鉄道建設公団，昭和 59 年３月）によれば，トンネルの中央部付近に背斜軸があり，起点方・終点方に向かって 40°～20°の範囲で地層の傾斜が緩くなっているとあり，上記の地点では第３紀鮮新世西山層（泥岩優勢の砂岩互層およびシルト岩）が出現している。ほぼトンネル直下に震源があり，震源断層（逆断層）が横切っていることから，覆工コンクリートの大規



写真３　中央通路底面のひび割れ



写真４　坑口を塞がれた榎木トンネル

模な崩落や路盤コンクリートの浮き上がりはトンネル軸方向の圧縮による圧座が原因と考えられる。（気象庁によれば，中越地震により旧大和町で 10cm・柏崎市で 5cm 震源断層の方向に移動しているので，魚沼トンネルでの震源断層を挟んでの圧縮ひずみはさらに大きくなったものと考えられる）

上越線では，榎峠トンネル・和南津トンネルを初めとして，堀の内－越後滝谷間のトンネルが被害を受けた。榎峠トンネルは，長岡市の南部にあり下り線専用の単線トンネルである。妙見の大規模斜面崩壊の南端にあり，崩壊岩塊の一部が東京方坑口をほぼ塞いでいる（**写真 4**）。岩塊は坑口から



写真５　同崩落岩塊



写真６　天王トンネル脇の斜面崩壊



写真７　斜面崩壊により露出した天王トンネル

ら数m先まで積もっている（**写真 5**）。天王トンネルは，川口町の北部天納地区にあり上り線専用の単線馬蹄形トンネルである。

下り線は上野方には雪覆いが在るが，長岡方は斜面上に盛土をして，線路を通したものと思われる。信濃川の攻撃地形になっており，下部は岩の



写真 8　天王トンネルの被害



写真 10　牛ヶ島トンネルの被害



写真 9　天王トンネルの被害



写真 11　牛ヶ島トンネルの被害

崖になっている。地震により斜面崩壊が発生し，上り線トンネルを支えている地盤の一部も崩落した(**写真 6～7**)。その結果，坑門や覆工コンクリートにクラックが入りコンクリートが剥落した(**写真 8～9**)。　牛ヶ島トンネルは，川口町の川口と牛ヶ島の境界にある。上野方坑口は小さな斜面から少し突き出しており、その上を県道 421 号線が通っている。地震により坑門の袖壁が前にせり出す(**写真 10**)とともに、トンネル本体の坑口ブロックも前方に傾斜または移動し奥のブロックとの間に隙間(**写真 11**)ができ、トンネル上部の土砂が落下し県道は中央部から半分が陥没すると共に穴が開いた。

北越急行のトンネルでは，十日町市美雪町でトンネル上部の地盤が中越地震により最大 30cm 程度沈下した。このトンネルは開削工法で施工されたものでる。交差している国道 253 号線の土留めにもクラック(ただし，これは地震以前に入ったと思われる)が入っており，埋戻し材料や方法に工夫が必要と思われる。

2. 鉄道関連被害

2.1 ＪＲ信濃川発電所

ＪＲ信濃川発電所は上流の中里村宮中で信濃川から取水し，左岸段丘地帯に設置された水路トンネル等を通って，小千谷市の山本調整池，新山本調整池に給水している。途中，十日町市の浅河原調整池で分水している。

山本調整池，新山本調整池は，ともに山本山の麓の信濃川河岸段丘上に位置し，どちらも外側に向かって凸な平面形状を持つ堤体と自然斜面に囲まれている。堤体は段丘堆積物の上に載っており，心壁は第４紀更新世魚沼層群に属する堆積岩類に着岩している。

山本調整池の堤体は，ゾーン型アースダムで，原地盤面からの堤高さは 10～16m，堤頂標高は98mである。湛水側ののり面勾配は３：１，下流側は２．５：１である。昭和 29 年から運転開始をしている。地震により，取水設備左岸側コンクリート壁背後の盛土では，クラックや最大 30cm の沈下を生じた(**写真 12**)。この盛土にコンクリート擁壁を介して続く堤体の始点部では堤頂にクラックが見られた。堤体のその他の部分では，湛水側斜面のリップラップ材の滑動や局部的沈下が見られた。堤体そのものの沈下はごく僅かである。上流側自然斜面では数カ所で小規模な段差を生じていたが，調整池にはほとんど影響がない。コンクリート構造物では，左岸側擁壁の打継ぎ目が開き止水アスファルトが飛び出していたり，右岸寄りの導流壁にクラックが生じたり水平打継ぎ目に沿ってコンクリート片が剥離し，鉄筋が露出していた。また，水圧鉄管からの漏水が生じた。

新山本調整池の堤体は，中央遮水型フィルダムで，堤高は最大 42mで，堤長の 60%は堤高が 30mを越えている。段丘砂礫層が下位に厚く堆積しているため，10～30m掘削してから堤体を築造した。堤頂標高は 159.5mである。湛水側ののり面勾配は３．４：１，下流側は２．１：１である。平成２年から運転開始している。地震により，堤高30m以上の区間を中心に，堤体頂部のアスファル



写真 12　山本調整池取水設備の被害



写真 13　新山本調整池切り土斜面の被害

土留め壁の前傾等が見られた(**写真 13**)。

浅河原調整池は，同名の川の谷筋を堰き止めて造られたもので，信濃川の河岸段丘上にある。基盤岩は，山本調整池同様第４紀更新世堆積岩類である。堤体は，ゾーン型アースダムで，堤高は最大 37mである。堤頂標高は 165.5mである。湛水側ののり面勾配は(２．８～３．０)：１，下流側は(２．０～２．５)：１である。昭和１４年から運転開始している。地震により，堤頂に湛水側が合計 60cm 程度下がる段差が生じた(**写真 14**)。その他の被害はごく軽微である。

2.2 駅・線路

越後滝谷駅には，ホームが２面ある。１面は，改札口と通じており，１面は島式ホームである。２面とも盛土式になっており，地震でホームの舗装が波打ったり，盛土が沈下して土留めと段差が



写真 14　淺河原調整池堰提頂部にできた段差



写真 15　竹田橋りょう取付け部の被害

できた。舗装が波打ったのは，屋根や階段の支柱部分で支えられ残りが沈下したためである。土留めは傾斜したものもあったが，その上に載っている笠石がホーム中間部では纏まってほとんど落下していた。横方向への強い揺れによって一気に落ちたものと考えられる。

一方，激震地域内にある越後川口駅は，同様に盛土式ホーム２面からなっているが，ホームの沈下は僅かしか無く，笠石の落下もごく一部であった。ただ，上り線側ホーム土留めの一部（待合室～階段間）が盛土の沈下が見られないのに外側に張出し，張出し部の東京方では線路が屈曲していた。また，ホームから 100～200m 上野寄りのところ(素地)では，３本(４本)並んだ線路が，線路に対して時計回りに 20°程度の角度を以て次々位置を変えて屈曲していた。駅と線路は切り土地盤上にあると思われ，震動の影響よりも地盤のひずみの影響が大きかったと考えられる。また，線路下を横断する川口駅連絡地下道や竹田橋りょう(歩行者専用地下道)取付け部では，両側の簡易土留めが押され，舗装コンクリートが折れて「ハ」の字型になるなど地盤から浮き上がった(**写真 15**)。

上越線越後滝谷から小千谷市浦柄地区，川口町天納から牛ヶ島・川口地区にかけて，斜面崩壊や地盤の沈下変位に伴う線路の変状が見られた(**写真 16**)。



写真 16　地盤の沈下変位に伴う線路の変状

2.3 脱線

走行中の新幹線列車が開業以来初めて脱線した。1995 年の兵庫県南部地震以後の研究で，研究者の間では地震による新幹線列車の脱線の可能性が指摘されていたが，実際に起きてみると大変な衝撃であったと思う。脱線したとき 325 号は停電と同時に非常ブレーキが作動したと考えられるが，それにもかかわらず脱線をし，さらに 1.4km 走って停止した。

国交省航空・鉄道事故調査委員会によれば，浄土川橋梁(滝谷トンネル出口から 335m 長岡寄り。東京起点 206km035.65m)から 155m 長岡寄りの辺りの右レール頭頂面に線状の痕跡(車輪の乗り上がり)があり，さらに 15～16m 行ったところから軌道を外れ完全に脱線したと見られる痕跡があった。それとともに，浄土川橋梁より 76m 東京寄りの辺りから 170m 長岡寄りの辺り(明白に



写真 17　車輪の擦過痕



写真 18　高欄の衝突跡



写真 19　脱線が始まったとされる地点から長岡駅方の高架橋



写真 20　脱線が始まったとされる地点から滝谷トンネル方の高架橋

脱線したところ)まで延長 246m にわたって最大 11mm の軌間拡大等が認められたとのことである。この軌間拡大があったということは，脱線直前にとき 325 号とレールの間できわめて強い水平力のやりとりがあったということを推測させ，それが脱線に繋がったと見られる。強い水平力を生じた原因は，①地震動に車両が共振した　②きわめて強い水平地震動を受けた の二つが考えられる。

軌間拡大区間の地質は沖積層が 15m 以上と比較的厚く堆積しており，その下の洪積層も厚く，しかも岩盤表面は 1/6 程度の傾斜で長岡方に向かって深くなっている。堆積層が厚いことは地震動が増幅されやすいとともに周期が延び新幹線車両と共振しやすくなることに繋がる。一方，岩盤表面が傾斜ししかも徐々に緩くなっていく場合には，フォーカッシング効果が生じて地震波が集中し局所的に地震動がきわめて大きくなる可能性がある。ちなみに 当箇所から 4km ほど南にある国交省妙見堰管理支所では E-W 成分で 1,529gal(U-D 成分 798gal，3 成分合成 1,715gal，計測震度 6 強相当)を記録している。地形的には山

地から平地へ移ったところで類似している。また，当箇所に最も近い地震動記録であり，本震による川口町の加速度記録に匹敵するものである。

構造物は，浄土川橋梁を含めて東京方は壁式橋脚であり，長岡方は主としてラーメン高架橋である。基礎は直接基礎と杭基礎であるが，いずれも沖積層中で止まっている。軌間拡幅区間のラーメン高架橋は全部で３ブロックあるが，高さは比較的低く一層ラーメンであり，このうち東京方の２ブロックは鋼板巻き耐震補強がなされており，残りの１ブロックは土被りが３ｍ程度と大きく，地表に出ている柱の長さは５～６ｍである。このように見てくると線路直角方向に強い地震動を受けても比較的壊れにくい構造である。したがって，この区間に関しては，構造物の被害が軽微であったから地震動はそれ程強くなかったということにはならない。

以上から，きわめて強い地震動と共振現象が，脱線に至った原因とあらためて推察される。

土構造物の被害

大塚　悟
長岡技術科学大学　環境・建設系

中越地震では盛土などの人工地盤が多大なる被害を受けた。地震 3 日前の台風 23 号による降水によって地盤は強度低下を起こしており，降水と地震の複合災害の様相を呈している。阪神大震災以降初めてのレベルⅡに相当する直下型地震動といえる今回の地震では，既存の土構造物の耐震性が大きな問題となった。

1. はじめに

中越地震では多数の土構造物が被害を受けた。原因に震度 7 または 6 を超える地震が繰り返し発生したことが挙げられる。**図 1** は本震以降の余震数を表すが，近年に発生した他の地震に比べて余震数が非常に多いことが分かる。実際に本震以降に多くの構造物が進行的に破壊したことが目撃されており，今回の地震被害の特徴となっている。

また，土構造物の強度が他の構造物に比べて小さいことも被害を大きくした原因である。中越地域が中山間地のために傾斜地盤上の盛土構造物の多いことや，地震の直前に台風 23 号による降水（**図 2**）のために盛土の強度低下が生じたことも，盛土構造物の被害を大きくした。阪神大震災以降，構造物の耐震性の向上は確実に進められているのに対して，土構造物については十分な対策が行われていなかった。今回の地震では既存の土構造物の耐震対策が大きな課題としてクローズアップされた。その一方で，土構造物の特徴は被災時の復旧の速さにある。国道や高速道路などの社会基盤施設は極めて短時間で機能が復旧されたことは特筆すべきである。土構造物の復旧性能の高さは危機管理に応用できることから，構造物の機能に応じて土構造物を適切に活用することが期待される。しかし，土構造物の変形により住民の安全を脅かすこともあり，地震時挙動の詳細な把握が必要である。高速道路では大惨事が起る可能性もあったが，人命が損なわれる被害は発生しなかった。地震後には甚大な変形を起こしてい

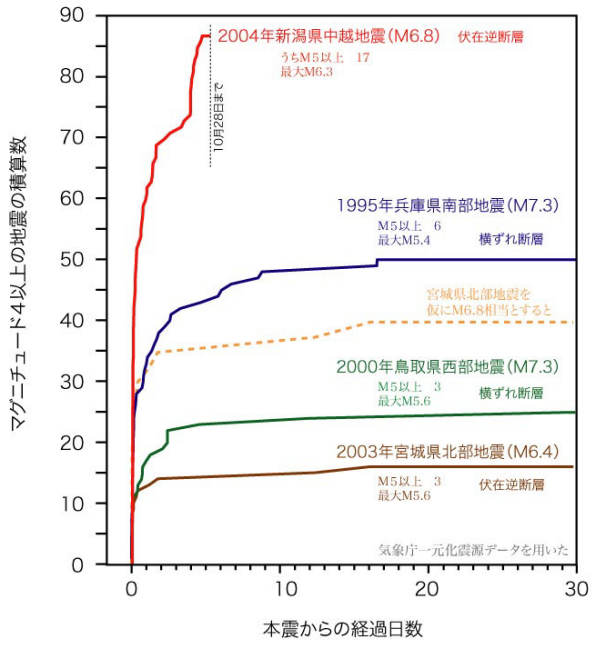


図 1　本震以降の経過日数と余震数

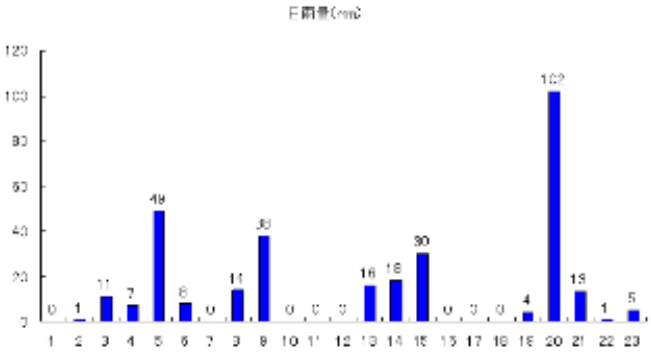


図 2　長岡市の日降水量

る高速道路で何故重大な事故が地震時に発生しなかったのか，検討することも重要である。フェール・セーフの技術が活かされる必要がある。

他方，宅地などの私有地における土構造物は復旧に多大の時間を要している。地震後ずい分時間が経過しているが宅地再建の目処が建たない事例も散見される。災害地の復旧は住民の安心・安全な生活環境の確保によりはじめて達成されることを考えると，災害復旧の方法や戦略はより弾力的に運用される必要がある。

2. 道路盛土の被害

中越地震における国道および県道の通行止めは 241 箇所であり，その内道路土工や斜面崩壊に係わる通行止め箇所は 209 箇所であった[1)]。道路や斜面の崩壊以外に，路面の沈下や変形のために通行が妨げられる事例も数多く発生した。とりわけ，橋脚やボックス・カルバート（道路と直交方向の交通を図るためのボックス形状のコンクリート構造物）などの構造物と道路盛土のつなぎ目では盛土の沈下による段差が広範囲に発生した（**写真 1**）。これらは段差をオーバー･レイする簡易舗装により短時間で修復されたが，地震直後は大きな交通障害を起こした。

写真 2 は関越自動車道の復旧工事の様子である。道路の白線が盛土の不等沈下によって乱れている。中央の車線は緊急車両の通行確保のために，変形した道路の上に簡易舗装によるオバーレイを施した。オバーレイした舗装部分と未舗装部分との境界は大きな段差が生じていることが分かる。また，ボックス・カルバートと盛土の境界では各地で段差が発生した。ボックス・カルバートは基礎で支えられているのに対して，盛土は振動による揺すり込み沈下を起こした。同様の段差は橋脚の取り付け道路にも見られ，河川や立体交差道路において交通障害を起こした（**写真 3**）。構造物周辺の盛土や埋め戻し土は一般に締固め施工が難しいことや，構造物と盛土の剛性の差違により盛土や埋め戻し土の圧縮変形が大きくなる傾向があり，盛土や埋め戻し土の沈下が見られた。



写真 1　盛土変形による段差（関越自動車道）[2)]



写真 2　関越自動車道の盛土変形 [2)]



写真 3　盛土変形による段差（関越自動車道）[2)]

写真 4 は埋設管に沿う道路の不等沈下である。道路中央には融雪のための散水施設である消雪パイプが敷設されている。道路の沈下は埋設管に沿って発生しており，埋戻し土が圧縮変形を起こしたと考えられる。埋設管の施工では掘削後に埋設管を設置して土で埋戻しを行うが，埋設管のために十分に締固められないことから，地震動によって圧縮変形を起こしやすい。**写真 5** はマンホールが著しく浮き上がった事例である。マンホールの地震時における浮き上がりは液状化の事例として良く知られているが，マンホールが写真のように著しく浮き上がるためには液状化が激しく，また継続時間も長い必要がある。写真ではマンホールが激しく浮き上がったものの，周辺地盤に変状は見られない。したがって，マンホールの浮き上がりは埋め戻し土の液状化が原因と考えられる。周辺地盤が粘性土地盤で比較的地下水位の高い場合に埋め戻し土は液状化しやすく，また一度液状化すると排水し難いために液状化継続時間が長くなることが指摘されている[4)]。



写真 4　埋設管埋め戻し土の沈下 [3)]



写真 5　液状化によるマンホールの浮き上がり [3)]

写真 6 は道路側面に敷設してあった埋設管が完全に地表面に浮き上がっており，当該地点にて激しい液状化の生じたことを示している。埋設管に沿う道路の不等沈下は広範囲で観察されている。地震直後に生じたものが大部分であるが，中には地震後にそれほど変状を受けていない道路が，その後の交通荷重の影響を受けて不等沈下を大きくする事例が数多く散見された。道路の沈下には埋め戻し土の圧縮以外にも様々な理由が考えられるが，地震経過後半年を過ぎてもなお埋設管の被害が収まらない現象が生じた。

これらは埋め戻し土の液状化に伴う被害であるが，局所的な土構造物であるにもかかわらず大きな被害を及ぼした。特に道路に沿う埋設物は交通を維持した上で復旧する必要があるために，通常の施工の何倍もの時間と経費が必要になる。埋め戻しでは砂質系の土砂の利用に大きな課題を残した。砂質土にセメント材を添加する土質改良が提案されているが，効果と適用性について多面的な検討が必要である。



写真 6　埋設管の浮き上がり [6)]

3. 水平地盤における道路盛土の被害

水平地盤における道路盛土の被害は地震慣性力が盛土の横断方向に作用する地点にて被害が多く報告されている。盛土部の沈下やのり面の側方変位が生じたが，崩壊に至る事例は比較的少ない。その理由に原地盤が水平であることから盛土が安定であること，傾斜地に比べて盛土の施行管理が容易であること，基本的に地下水位は高だか地表面付近までであり降水による盛土部材のせん断強度低下はそれ程大きくないことがある。しかし，基盤となる地盤が軟弱な場合には比較的大きな変形を生じる事例が見られた。

関越自動車道では小千谷市桜町にて盛土が側方に変形することにより，盛土中央付近にて盛土の沈下・陥没が生じた。被害の生じた盛土の断面を**図 3** に示す。盛土内に交差道路のためにボックス・カルバートが設置されているが，地震による盛土の側方変位に伴ってボックス・カルバートが水平方向へ移動し，盛土中央にて最大 70-80cm ほどの隙間が生じた。**写真 7** は道路盛土の中央にて盛土材を排除した際の様子である。高速道路施行時の調査によると当該地盤は上部 8.5m ほどまで概ね粘性土であり，4m 付近に一部砂層が介在している。4.5m から 6.5m 間は腐植土層であり，砂質土と粘土層の互層地盤が堆積している。また，盛土材は小国層の泥質または砂質泥岩が用いられており，施行時に土砂化して取り扱い難いことが報告されている[2)]。**写真 8** はボックス・カルバート内から撮影した開口状況であるが，全体的にやや沈下しているが，上下でほぼ開口幅は等しくほぼ水平に変位したことが分かる。**写真 9** に盛土の変形に伴う周辺道路および側溝の損傷状況を示す。道路の交差部は圧縮のために舗装および埋設管が著しく損傷を受けていた。

盛土部は**写真 10** のように側道の擁壁パネルを



写真 7　盛土の側方変形によるボックス・カルバートの開口[2)]（関越自動車道）



写真 8　ボックス・カルバートの開口

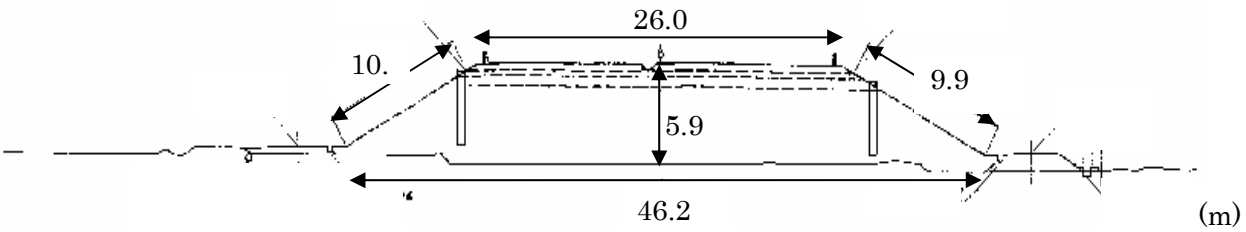


図 3　小千谷市桜町における関越自動車道の盛土断面[2)]



写真 9　盛土の変形に伴う周辺地盤の損傷



写真 10　盛土のはらみ出しによるパネル崩壊

押し出すように変形している。写真ではパネル上部が転倒するように変形しており，下部に変位は見られない。応急対応には大型の土嚢が広範囲に使用されていた。盛土の上部がはらみ出す転倒破壊はランキンの主働土圧理論に示される破壊形態であり，**写真 11** に示す駐車場の盛土においても明確に観察された。写真では擁壁パネルの上部が転倒するように変位しており，裏込め盛土が壁面背後で沈下している。擁壁パネルから奥へ入った辺りに引っ張りき裂が擁壁に平行に入っているのが観察される。

盛土構造物である河川堤防も地震による被害を受けた。被害は全般に軽微であるが，旧河道との交差点では被害の大きい傾向が顕著である。



写真 11　盛土の主働せん断破壊

旧河道との交差点は砂質系の土砂が堆積していることが多く，液状化が発生することにより堤体の被害が拡大した可能性が高い。**写真 12** は信濃川の支川である刈谷田川の堤防被害事例である。堤防の縦断方向に大きなき裂が発生した。堤体のき裂は振動時に作用する引張応力によって生じるが，き裂が発生すると堤体の抵抗力が小さくなるために，地震動の繰り返しによって堤体の破壊は進展する特徴がある。**写真 13** は刈谷田川の他地点の崩壊状況であるが，堤体が縦断方向に発生したき裂を基に堤体が左右の横断方向にすべり破壊を生じた。写真では盛土天端形状が失われており，段差が 50-70cm ほどの滑落崖を形成してい



写真 12　堤防の縦断方向に発生したき裂[5]（刈谷田川）



写真 13　堤防の横断方向へのすべり破壊（刈谷田川）

る。周囲に墳砂などの液状化の痕跡は確認できなかったが，河道部にまで盛土の変形が及ぶすべり破壊を生じていた。

水平地盤上の盛土では概して大きな破壊を起こす事例は少なかった。一部，地盤の強度が低いまたは地盤が液状化した場合に盛土が変形する事例はあるが，それ以外に大きな被害は少ない。その理由として，地盤に作用するせん断力が小さいことは第 1 として，盛土内の地下水位が通常地盤面であることから盛土の強度も降水の影響を受け難いこと，集水地形などのように水が集まることによる間隙水圧の上昇などが発生しないことが原因に挙げられる。地震後に残留変形が発生するのは止むを得ないが，健全に施工管理された盛土では激震地にあっても軽微な被害にとどまっている土構造物も多い。適切な排水処理と締固め管理が防災上重要である。

4. 傾斜地盤における道路盛土被害

傾斜地盤上の道路盛土被害は至るところで発生した。傾斜地の道路は原地盤の切土と発生土による盛土が混在する。地震被害は明確に盛土部に集中しており，道路の谷側路肩の沈下や，のり面の側方変位が多数発生した。基盤が傾斜しているために盛土が不安定化すると完全崩壊へ発展する事例が多い。特に集水地形である沢や谷での盛土は被災する事例が多かった。このような箇所では降水による地下水も豊富であり，盛土は多量の水分を含んで強度低下を生じていた。

4.1　斜面の傾斜と崩壊形態

写真 14 は写真右側が比較的急傾斜の斜面であり，道路盛土は沢筋に当たる部位が大きく崩壊している。写真ではセンターラインを境界に谷側の盛土が崩壊している。道路上には山側からの湧水が流下している様子が写されている。崩壊地点では原地盤をすべり台にして盛土部分が流出するように崩壊する事例が数多く見られた。地震直前



写真 14　急傾斜地盤上の盛土崩壊（旧山古志村）



写真 15　緩傾斜地盤上の盛土崩壊（旧山古志村）

の降水により盛土部分が特に沢などの集水地形において多量の水分を含んでいたことが大きな素因と考えられる。**写真 15** は緩斜面における道路盛土の被災事例である。盛土高さは高々1-2m ほどであるが，谷側の田圃に向かって変形している。道路に沿って電柱が谷側に傾斜しており，道路盛土が地表面付近の原地盤と一緒に斜面の傾斜に沿って全体的に変形しているように見える。地形的には沢などの集水地形でないことから，原地盤の強度不足によるせん断破壊と考えられる。

4.2　集水地形での崩壊

道路盛土の崩壊は谷筋，沢筋に当たる箇所での崩壊事例が圧倒的に多い。**写真 16** は国道 291 号



写真 16　沢筋における道路盛土の崩壊



写真 17　谷埋め道路盛土の崩壊（旧山古志村）

東栄での盛土の崩壊事例である。傾斜地に盛土が構築されていたが，沢筋に当たる地点にて大きく崩壊した。崩壊地では多量の水が湧出しており，集水地形を形成していた。**写真 17** は旧山古志村における羽黒トンネル坑口近くの谷筋に構築された道路盛土の崩壊事例である。谷埋め盛土が谷側方向に大規模に崩壊している。傾斜地盤の沢筋や谷筋に当たる道路盛土の崩壊形態と原因についてまとめると以下のようである。

(1) 道路盛土の施工管理の問題から一般に傾斜地では盛土の締め固め施工が難しい。被災事例では原地盤との強度差から原地盤との境界を滑り台のようにして崩壊する事例が大変多かった。盛土の締め固め管理や段切り施工などによる原地盤との接合について更に注意を図る必要がある。

(2) 沢筋や谷筋は集水地形のために盛土内の水分量が多く，強度低下が生じたと考えられる。原地盤は盛土に対して透水係数が小さいために盛土内に浸入した地下水をダムアップする役割を果たして，盛土内の水分量増加や間隙水圧の発生によって盛土材の強度を低下させたと考えられる。盛土の適切な排水処理は降水対策として不可欠である。また，盛土材の地震時における液状化についてもその可能性が懸念されている。

(3) 道路盛土の破壊形態に，地震による振動によって盛土に引張亀裂が発生し，進行性破壊を起こして破壊するものがある。地盤材料は引張力に対してせん断強度が著しく小さいことから，引張力に対する耐力の増加が盛土の耐震安定性には有効と思われる。今回の地震ではマグニチュード 4 以上の余震が繰り返し発生したために，引張き裂の発達に伴う盛土の安定性の喪失によって変形が拡大した事例が多かったと考えられる。

写真 18 は国道 117 号線の塩殿における道路盛土の崩壊事例である。傾斜地に道路盛土が構築されているが，特に地形的には沢筋に当たる訳でも

なく，集水地形のようにも見られない。何故盛土部が大規模な崩壊を起こしたのか，その原因は現地に行った限りにおいてよく分からなかった。



写真 18　国道 117 号線塩殿の盛土崩壊

写真 19 は旧小国町大字法松における一般県道の空中写真である。写真の左上部に県道が斜面沿いに設置されている。傾斜地のために道路が曲線を描いて走行性の悪いことから，直線化するために道路の付替え工事が行われていた。**写真 20** は地震後の付替え道路の被災状況を示すが，新しく付け替えられた道路盛土は旧地形に沿う形で崩壊している。付替え道路は谷筋に当たり，高盛土であること，および集水地形のために盛土部のせん断強度が低下していたことより，崩壊を起こしたと考えられる。写真では旧道が比較的健全であることから，集水地形における盛土構造物の耐震性の低さを際立たせている。

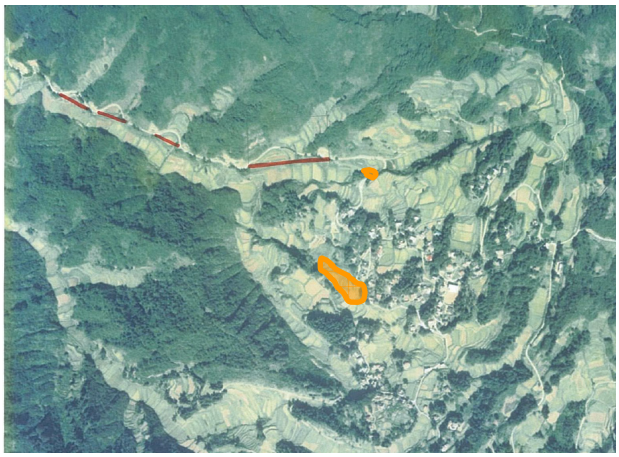


写真 19　県道大沢小国小千谷線旧小国町法末 [5)]



写真 20　付替え道路の崩壊 [5)]（旧小国町）

4.3　関越自動車道の被害事例

関越自動車道では地震により盛土が大きな被害を受けた。路面の亀裂やのり肩の沈下は長岡 IC から堀ノ内 IC 付近にかけて広い範囲で散見されるが，激震ゾーンといわれている竜光付近では盛土が大きく崩壊した。この地点は震源地に近いことから震度も大きかったが，関越自動車道の横断面方向に大きな地震力が作用したとも言われている。

堀之内町竜光付近における斜面崩壊事例を**写真 21** に示す。写真では延長約 200m にわたって崩壊しており，崩壊上部は上下各 2 車線の山側にま



写真 21　関越自動車道の盛土崩壊 [2)]（堀之内町）

で達している。**図 4** は崩壊地点にける盛土断面である。原地盤は緩勾配の傾斜を有している。断面図から判断すると，ほぼ盛土全体が崩壊したと言っても過言ではない。施行時の調査によると地盤は河岸段丘層と下位の固結度の低い魚沼層群からなる。上部 7m ほどは一部砂質土を混在するがレキが優勢である。7m から 19m にかけては粘性土と一部腐植土が介在する砂質土の互層地盤である。19m 以深は魚沼層であるが，スレーキングを起こしやすく，水を含むと土砂化してせん断強度が低下する傾向を示す。自然地盤が断面図に示すように緩やかな傾斜を有することを反映して，盛土は谷側に向かって大規模に崩壊した。当該地点はほぼ直線区間のために，この箇所で崩壊した個別の原因があると思われる。東日本高速道路(株)によると，緩やかな傾斜に伴う斜面の伏流水が高速道路盛土あたりで浸出しており，盛土内の地下水位が高かったことが原因と考えられる。

写真 22 に**写真 21** から 600m ほど離れた地点での崩壊地点を示す。写真に示すように道路盛土は谷側の片側 2 車線が延長約 100m にわたって崩壊した。**図 5** に盛土の断面図を示すが，**図 4** と異なり盛土直下の原地盤の傾斜は緩くほぼ水平と言える。センターラインより山側は斜面になっており，水平になる辺りに窪地がある。写真の崩壊形態はこの地形を反映していると考えられる。2 つ



写真 22　関越自動車道の盛土崩壊 [2)] **（堀之内町）**

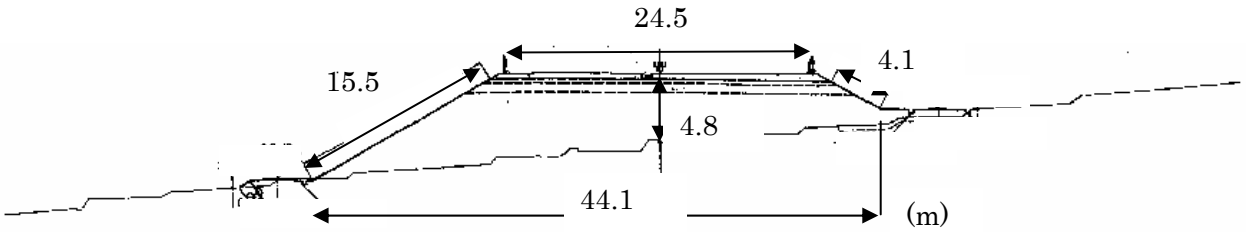


図 4　関越自動車道盛土断面・竜光

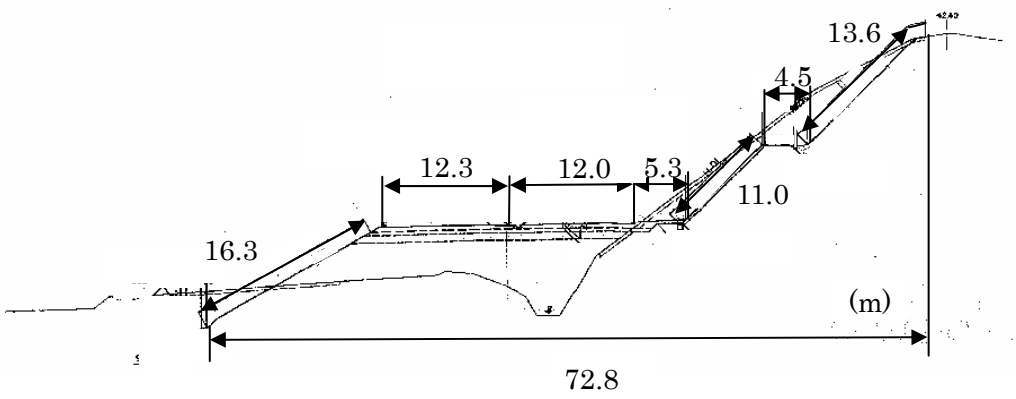


図 5　関越自動車道盛土断面・竜光

の崩壊地は比較的距離が近いことから，地質条件および盛土材の地盤特性はほぼ類似と想定される。

5. 切土砂面の被害

新潟県中越地震では自然斜面のほか，多くの土構造物が被害を受けた。切土斜面も地震による被害を受けたが，盛土の被害に較べると軽微であった。落石や表土の崩落は随所で発生したが，大規模な崩壊は少ないと言える。しかし，地すべりや自然斜面の大規模崩壊に巻き込まれる事例があり，切土斜面が大きく被災する事例も発生している。特に，地山が基盤の傾斜（流れ盤）に沿って崩壊する場合に，大きな被害が生じた。一方で，切土斜面にのり面対策工が施行されている場合に，被害は限定的であった。モルタルの吹付け工やのり枠工が施工された斜面において一部土砂が崩落する事例が生じたが，崩壊規模の抑制に働いた。アンカーなどの対策工が施行されている場合に斜面の変状はほとんど見られなかった。低切土斜面がブロック積よう壁などで対策されている場合に，比較的被害を受ける事例が多かった。

5.1　切土斜面（無対策）の崩壊形態

写真 23 は種苧原地区における切土斜面の表層崩壊と，崩壊に伴う落石の散乱状況である。小規模の崩壊は道路の至る箇所で発生していた。写真は崩積土と思われる切土斜面が崩壊して，土砂が道路に押し出している。道路は斜面崩壊による土砂の作用を受けて損傷し，谷側に変位を起こしている。**写真 24** はやや規模の大きい切土斜面の崩壊である。斜面の尾根からのり面中央付近の小段にかけて大きく崩壊した。崩壊土砂は小段下部を巻き込むように崩壊した。斜面にあった雪崩防止柵は斜面の崩壊により，のり尻まで崩落している。雪崩防止柵は雪崩荷重に耐えるように基礎が構築されているが，斜面崩壊に巻き込まれて損傷する事例が多数発生した。**写真 25** は山古志村池谷地区で発生した地すべりによって，切土斜面が大きく崩壊した事例である。写真の手前側が地すべりを起こして下方に滑動したために，地すべり側面にて道路に大きな段差が生じた。写真奥の切土斜面は健全であることから，切土斜面に本来安定性上の問題はなく，自然斜面全体の地すべりによって道路および切土斜面が被災した。

5.2　対策工のある切土斜面の崩壊事例

切土斜面に対策工が施行されている場合に被害が限定的であったが，いくつか被災している事例がある。ここでは典型的な被災事例について報告する。**写真 26** は切土斜面にモルタルの吹付け工が施行された事例である。地震により斜面上部の数箇所にて，土砂がモルタル吹付けとともに崩



写真 23　切土斜面における落石・表土の崩壊



写真 24 切土斜面の崩壊による雪崩防止柵の破壊



写真 25　地すべりによる切土斜面の被害



写真 26　表層崩壊による吹付けモルタルの剥落

落している。崩落部位は尾根に近いことから，地震時の振動変位が最も大きい箇所に該当する。その他の箇所は比較的健全であり，目立つ被害は観察されない。モルタル吹付け工は斜面と一定化して振動するために，土砂の流出や落石防止に関して有効であった。**写真 27** は小千谷市小栗山における切土斜面対策工の損傷事例である。井桁による対策工が行われているが，高さの異なる井桁間の接合部が外れて落下した。軽微であるが，背後の裏込め土が流出している。

写真 28 は小千谷市妙見の大規模岩盤崩壊現場から近い，信濃川沿いの斜面における切土のり枠工の破壊事例である。写真右側ののり枠工は健全



写真 27　井桁対策工の損傷事例



写真 28 岩盤層すべりによる切土斜面の崩壊(横渡)

であるのに対して，左側で岩盤の層すべりが発生して切土斜面が被災した。斜面にはのり枠工が施工されていたが，滑動する斜面の土塊重量を支えられなかった。現地は白岩層から成る岩盤斜面であり，写真手前方向に流れ盤斜面を形成している。**写真 29** は岩盤層すべり面の状況である。尾根に至る大きな岩盤ブロックが基盤に沿って滑り落ちた。岩盤ブロックの崩壊により，切土斜面ののり枠は引き千切られるようにせん断されて，土砂が国道 291 号線に大量に押し出した。当該地点には同一の基盤に沿う岩盤層すべりが複数の箇所で発生している。地すべり側面の露頭部から，す

べり面に薄い火山灰層の存在が確認されており，岩盤層すべりの素因と推定されている。**写真 29** に示すように，地すべり側面には切り立った岩盤ブロックが残されており，未だに不安定な状況にある。



写真 29　岩盤層すべりのすべり面状況

写真 30 は川口町牛ヶ島における国道 17 号線の切土斜面の変状である。地質は砂岩と泥岩の互層地盤である。変状箇所は集水地形に当たり，斜面上部に滑落崖が観察される。現場は地震前から対策工の施工中であり，のり枠工を完了してアンカー工を施工する段階であった。地震により切土斜面がのり肩より地すべりを起こしており，地すべり端部にてのり枠工が一部損壊した。地すべりの側面にはブロック積よう壁があり，斜面の滑動によってよう壁が崩壊している。道路には地すべりによるき裂が観察されるが，斜面の変位は比較的小さい。

写真 31 は旧山古志村における切土斜面の崩壊事例である。対策工にはブロック積よう壁が施行されている。よう壁は斜面中央やや下にて水平方向にき裂を生じており，中折れするように破壊した。上部のブロック積よう壁は下部が前面に孕み出すように変形している。写真の右側にあるブロック積よう壁は転倒し，土砂が流出している。**写真 32** はもたれ式よう壁の変形事例である。よう壁の下部にて土砂が押し出すことにより，転倒するように崩壊した。よう壁下部の水平抵抗力やよう壁の剛性によって，**写真 31** と **32** ではすべり面の位置が異なるが，両者ともによう壁の下部が押し出して転倒する破壊形態であった。**写真 33** は長岡市濁沢におけるブロック積よう壁の損傷事例を示すが，よう壁背面の土砂の孕み出しによって，ブロックが土塊の動きに合わせて開口している。斜面高さの低い場合に，よう壁は剛性の小さい柔構造のために土砂の変位に合わせて変状しており，**写真 31**，**32** の事例とは異なる破壊形態であった。



写真 30　国道 17 号線牛ヶ島の切土崩壊事例



写真 31　ブロック積よう壁の崩壊事例（旧山古志村）

斜面対策工はのり面の耐震安定性を目的としているものではないが，結果として耐震安定性の向上に寄与することが多かった。**写真 34** はモル



写真 32　もたれ式よう壁の崩壊事例



写真 34　モルタル吹付け工の崩落防止効果



写真 33　ブッロク積よう壁の孕み出し（長岡市濁沢）



写真 35　アンカー工による斜面対策

タル吹付け工が施行された切土斜面の損傷状況である。モルタル吹付け部は被害が見られないのに対して，隣接する未施行部分にて斜面が表層崩壊を起こした。斜面の崩壊規模に依存するが，モルタルの吹付け工やのり枠工は斜面の崩壊規模の抑制に効果を発揮していた。**写真 35** は旧山古志村の国道 291 号線における切土斜面である。切土斜面はほとんど変位を起こしておらず，アンカー工が耐震安定効果に有効であった。当該地点は道路がやや傾斜していることから，道路の歩道は舗装が下方に滑動するように変形していることが観察できる。

5.3　その他の崩壊事例

写真 36 は川口町大道平における JR 上越線の切土斜面の崩壊事例である。しかし，写真に示すように基盤の傾斜方向は切土側から見て受け盤であり，斜面は地震により流れ盤方向に大きく崩壊した。そのために，切土斜面による実質的な被害は上部のモルタル吹付け工の破損以外にはなかった。地質は砂岩・泥岩の互層地盤であり，上位に河岸段丘層がある。岩盤は楔形の岩盤ブロックを形成し，基盤の走行傾斜に沿って崩壊した。



写真 36　切土と反対方向への岩盤層すべり（川口町大道平）

6. 宅地造成地盛土の被害

中越地震では宅地地盤の被害が数多く発生した。被害の特徴として，家屋などの建築物が地震に対して比較的健全であるにもかかわらず，宅地地盤の変状に起因して建築物が損傷する事例が数多く発生した。宅地造成地は中山間地に大規模な切盛りの土工を行うために，傾斜地盤上の盛土や谷埋め盛土が数多く含まれる。傾斜地盤上の盛土に建造されている建築物は地盤の変形に伴って建築物被害が生じた。

被害の大きかったのが長岡市の高町（高町団地）であるが，長岡市の乙吉町（鶴ヶ丘団地）や青葉台（ニュータウン）にも地盤災害が発生した。長岡市高町では地震によって造成地の周縁部が被災した。一部盛土が大規模に崩壊したが，周縁部は道路として利用されていたことから宅地が直接斜面崩壊に巻き込まれる被害はなかった。しかし，広範囲に造成地地盤にき裂が発生したり，沈下・側方変位を起こしたことから宅地が大きな被害を受けた。 高町は長岡市の南東方向に位置しており，東山丘陵（魚沼丘陵）の西縁にあたる。1970 年代後半に住宅団地建設を目的に魚沼丘陵の縁辺台地の尾根部を削り，切土・盛土によって宅地を造成した。地層は西山層の泥岩を基盤として下位から魚沼層の砂・粘土・砂礫層・安山岩火砕岩が堆積しており，上位に砂・粘土・砂礫からなる未固結の御山層がある。団地は標高 70m を基準に切土・盛土が施工され，御山層が土工の中心となった。**図 6** に高町団地の平面図を示す。団地は瓢箪型の高台を形成している。原地盤も同様の形状を成しており，標高の高い地盤の切土により谷筋および周縁部の盛土を実施した。団地の総戸数は 522 であり，このうち約 70 戸が宅地診断によって危険家屋と判定された。団地はほぼ全周にて地盤のき裂や側方変位に伴う沈下が観察された。盛土のよう壁は地盤の変状に伴って，沈下や側方への押し出しを生じた。

図 6 には計画標高から推定される切盛り境界を示したが，線内にある切土区間は地盤の変状がほ

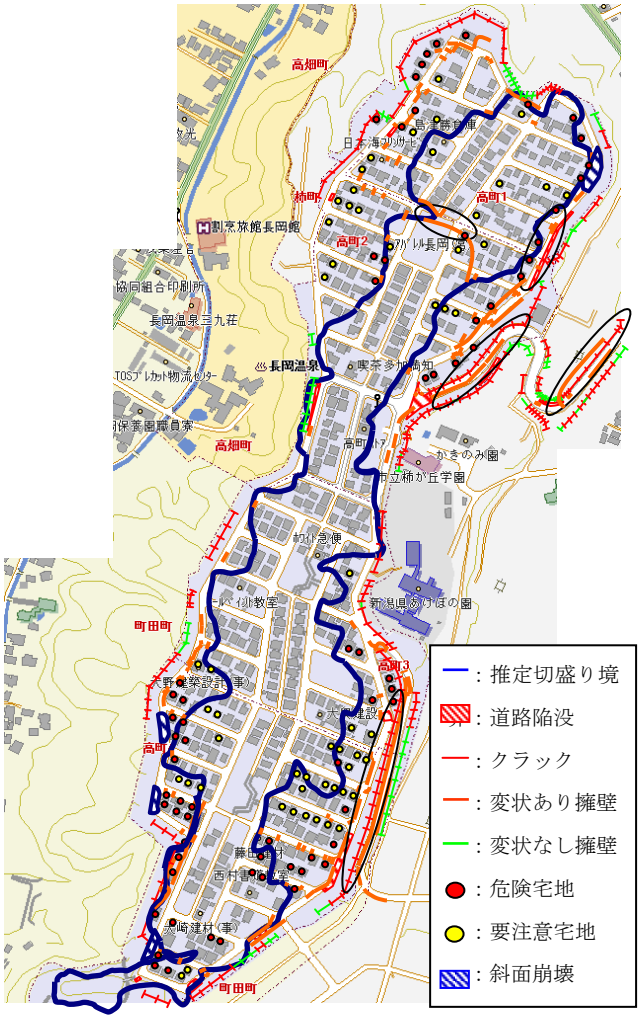


図 6　高町団地の平面図と被害状況

とんど見られず，被害は周辺の盛土区間に集中している。盛土区間には斜面方向への移動のために引張き裂が数多く観察される。**写真 37** は宅地の基礎に沿って地盤の鉛直・水平方向の変位に伴う開口き裂を示している。地盤の水平変位に伴うき裂が一部は宅地の合間を縫うように，一部は宅地を横断するようにいたるところで発生していた。宅地周辺の不等変位は家屋に大きな被害を引き起こしていた。**写真 38** は団地の周回道路の様子である。道路には縦断方向にき裂が走り，谷側への変位が大きいところではき裂が大きく開口している様子が分かる。**写真 39** は盛土が大きく崩壊した地点における滑落崖近傍の宅地の変状である。地盤の水平変位により宅地の敷地囲いが約 1.7m ほど開口した。



写真 37　地盤の変位による造成地内のき裂



写真 38　周回道路の縦断き裂



写真 39　崩壊地の滑落崖上部における水平き裂

造成地の周辺には盛土の重力式よう壁が構築されている。**写真 40** は盛土の変形に伴ってよう壁がはらみ出している様子である。よう壁のはらみ出しは団地のほぼ全周で確認される。高盛土の位置ほどはらみ出し量は大きいように見られた。

盛土の大規模崩壊が高町団地の 4 地点にて発生したが，それらは谷筋や沢地の盛土地点や団地の角部に位置している。**写真 41** は高町団地の南西にて生じた盛土の大規模崩壊の事例である。宅地の基礎地盤まで上部の滑落崖が達している。崩壊地点の地形は**図 6** に示すように沢部の盛土に一致している。現場は台地にもかかわらず地下水が高く，被災時には台風による降水の影響もあって盛土は多量の水分を含んでいたと考えられる。**写真 42** に団地南西部中央よりにて発生した盛土の崩



写真 40　団地周辺の重力式よう壁の変位



写真 41　高町団地における大規模盛土崩壊



写真 42　盛土の崩壊による周回道路の消失

壊事例を示す。緩やかな谷に当たり集水地形を形成している。写真では周回道路が約 50m ほど消失している。**写真 43** に崩壊地上部から下部の様子を撮影したものである。盛土は重力式よう壁で支持されていたが，盛土の崩壊に伴ってよう壁は斜面下方まで転倒せずに押し流された。**写真 44** は被災よう壁の様子である。多量の水分を含んだ土砂が地震時に崩壊してよう壁と一緒に流化したことが分かる。**写真 43** には崩壊地に大きな水溜まりが出来ている。配水管の破壊によって生じた可能性もあるが，地震発生後長期間にわたって水溜りは消失しなかった。**写真 45** は南西部における盛土の大規模崩壊地点（**写真 41**）での仮復旧の状況である。上部滑落崖が進展的に崩壊するこ



写真 43　盛土崩壊に伴う重力式よう壁の変位 [6)]



写真 44　被災した重力式よう壁の状況



写真 45　仮復旧による土嚢の設置



写真 46　本復旧による盛土の施工状況

とを防止する目的で土嚢が積み上げられている。**写真 46** は本格復旧作業中の様子である。盛土下部から整地して盛り建てしている。盛土小段の上にて盛土表面が少し乱れているのは，地下水の流出によって盛土表面が軟弱化したことによる。崩壊現場が集水地形のためにもともと地下水の影響が大きいことが分かる。高町団地の本復旧では団地全周にある重力式よう壁のアンカーによる補強のほか，耐震性の向上のために盛土では一部ジオテキスタイルの敷設などの耐震対策が行われる予定である。

図 6 に家屋などの建物被害に関する状況を示したが，要注意宅地及び危険宅地は盛土区間に集中していることが分かる。建物被害は地震荷重によって建物が損傷した事例は少なく，多くの被害が宅地を支える地盤の変状によるものである。切土区間においても一部宅地被害が生じているが，元々微地形では谷を形成していて盛土が行われた地点のあることや，盛土との境界近くでは盛土の変状に巻き込まれる形で切土区間に変状が生じたことによる。**図 7** に宅地被害について危険宅地と要注意宅地の戸数を切盛り境界からの距離で整理したものを示す。図中に切土と盛土の関係を示しているが，危険宅地と要注意宅地のともに盛り土部での崩壊が多く，特に切盛り境界当たりに被害の大きいことが分かる。一般に盛土ではの

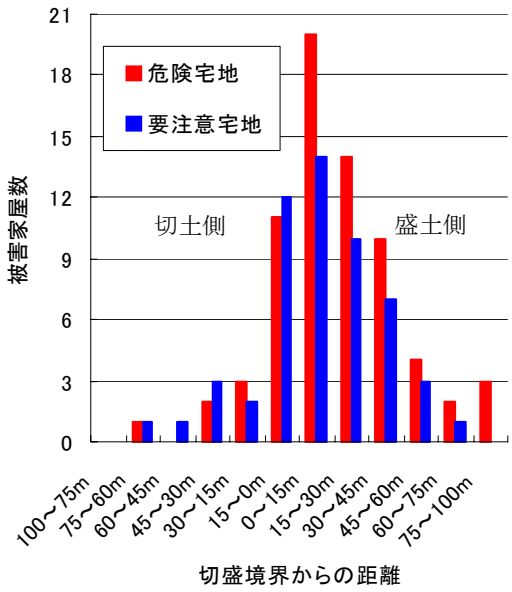


図 7　高町団地の宅地被害と切盛り境界からの距離との関係

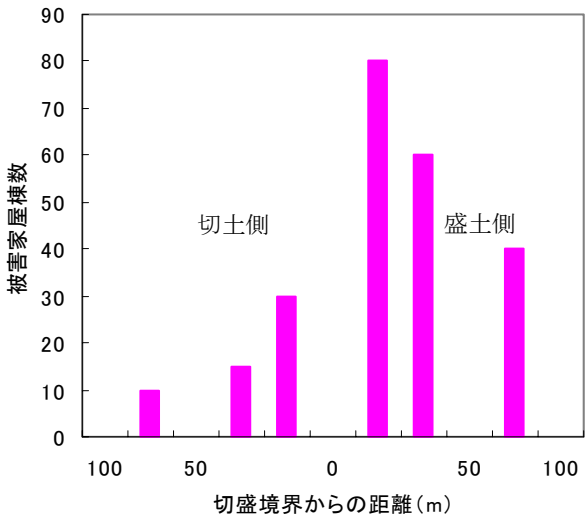


図 8　1878 年宮城県沖地震における緑ヶ丘団地の宅地被害と切盛り境界からの距離との関係

り肩の変位が大きくなることから切盛り境界からの距離の大きい箇所でも相当数宅地被害があると思われたが，統計上は境界付近で被害が大きい結果となった。**図 8** に 1878 年の宮城県沖地震における緑ヶ丘団地の宅地被害の事例を示すが同様の結果が得られている。

7. おわりに

中越地震の特徴は地盤災害の多さにあると言われる。旧山古志村を中心とした中山間地の大崩壊に目を奪われるが，その一方で道路盛土などの人工斜面の被害も際立っている。内陸直下型地震は福岡県西方沖地震の例を挙げるまでもなく，日本中どこでも起きる可能性があることから，とりわけ人工斜面の耐震安定性は地盤防災の観点から地盤工学における喫緊の課題となっている。

阪神大震災以降，土構造物の耐震安定対策も補強土工法を中心にずい分と発達するとともに，実務にも積極的に活用されている。土構造物の選択強化の視点から地震時にも守る必要のある構造物については積極的に耐震安定化を図っていく必要がある。今回の地震のように常に降水の影響があるとは限らないが，盛土の締固め管理や排水処理など基本事項を抑えて施工することが，盛土の耐震性を高める上で改めて重要であると思われる。

災害復旧事業は 3 年度内の事業である。地震が発生したのが 10 月末であり，冬季は雪のために作業できないことを考えると時間は限られている。新潟県中越地震の復旧作業は各種の災害復旧事業の中でも最も困難な日程の基に復旧作業が進められたと言えるのではなかろうか。既に今年度は復旧作業の最終年度に当たる。数多くの復旧作業は終了し，旧山古志村のような広域的災害を受けた場所以外は順調に復興しつつある。未だ本丸とも言うべき旧山古志村の復旧・復興事業が残っているが，これまでの事業の評価を行うと有意義である。数多くの知見が見出されている現在に，将来に活かす知見がまとめられればその防災上の意義は極めて大きい。

新潟県中越地震の復興は道半ばである。被災者の皆様の生活が 1 日も早く復旧・復興することを末筆ながら心よりお祈り申し上げます。

謝　辞

本報告にあたり，国土交通省，新潟県，長岡市および東日本高速道路(株), 応用地質(株)にデータの提供などのご協力を頂いた。また，各機関における精力的な調査と HP を中心とした報告について一部引用した。末筆ながら，謝意を表します。

参考・引用文献

(1)国土交通省国土技術政策総合研究所・独立行政法人土木研究所・独立行政法人建築研究所. 2005. 平成 16 年新潟県中越地震被害に係わる現地調査概要.

(2)日本道路公団．2004．平成 16 年新潟県中越地震に伴う高速道路の被災状況及び復旧概要.

(3)豊田浩史．2005．長岡技術科学大学中越地震調査報告会-地域再生への提言-.

(4)規矩大義．2005．液状化．新潟県中越地震災害調査報告会資料集，pp.36-42.

(5)新潟県長岡振興局. 2004. 中越地震被害調査.

(6)國生剛治．2005．2004 年新潟県中越地震被害調査報告．http://www.civil.chuo-u.ac.jp/lab/doshitu/index_ja.html

(7)大塚悟．2005．地盤災害―盛土崩壊―．平成 16 年新潟中越地震被害調査報告会梗概集. 日本地震工学会ほか．pp.47-52.

(8)大塚悟．2005．盛土の被害．新潟県中越地震災害調査報告会講演資料集．地盤工学会関東支部. pp.29-35.

(9)大塚悟. 2005. 地震時道路盛土の被害と課題. 日本地すべり学会関西支部シンポジウム. pp.61-75.

(10)大塚悟. 2005. 切土斜面の地震被害. 基礎工. Vol.33. No.10. pp.70-73.

(11)國生剛治・大塚悟．2005.「新潟県中越地震の地盤災害に関わる提言」の取りまとめ報告．土と基礎．Vol.53. No.11. pp.3-11.

(12)大塚悟．2005．盛土構造物の被害．地球号外 No.53. pp.132-138.

自然斜面崩壊の特徴

豊田　浩史
長岡技術科学大学　環境・建設系

1. はじめに

2004 年 10 月 23 日 17:56，マグニチュード 6.8 の地震が新潟県中越地方を襲い，川口町，小千谷市，長岡市などの中山間地に大きな被害を与えた（**図 1**）．この地震は，震源深さが約 10km の逆断層型の直下地震であり，たび重なる余震が被害を増大させた．

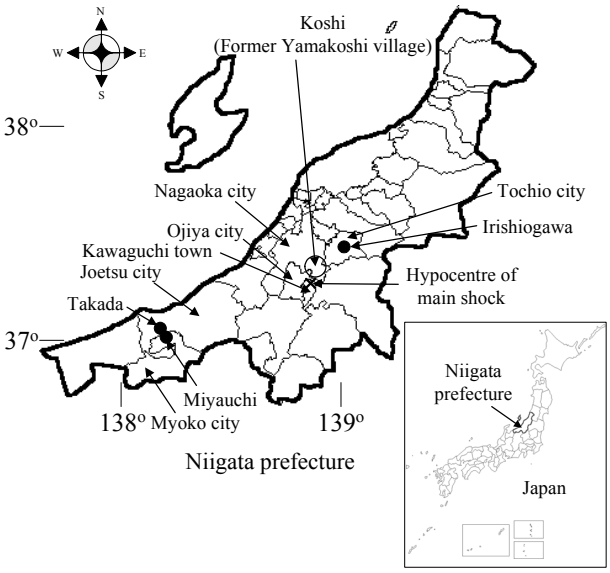


図 1 新潟県の地図

中越地域の平野部には，厚い沖積層が広がり，丘陵部は主に第三紀と四紀の軟らかい泥岩からなっている．第四紀層は 200 万年前に堆積し，第三紀層は 2400 万年から 200 万年前に堆積したものである．褶曲によって形作られた地形は，有数の地すべり地となっている．さらに，台風 23 号の影響により，地震の 2 日前に 100mm 以上の降雨があった．気象庁のデータに基づいた長岡市での 2004 年 10 月 21 日の雨量は 115mm に達している．このような状況下で，中越地震では，震源地付近の丘陵地帯において，大小合わせると 3000 以上の土砂崩壊が発生した．

本報告では，地震による斜面崩壊の地形的，地質的特徴を取り上げ，過去の地すべりとの関連性について述べる．また，崩壊地で採取した土の物理試験や力学試験の結果についても考察を加える．さらに，融雪後に，斜面崩壊地がどのような変化をしたか，踏査した結果を報告する．

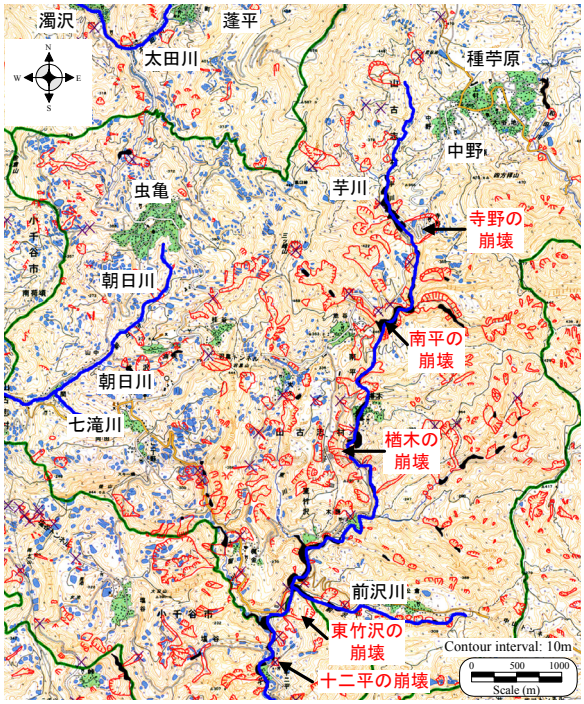


図 2 古志周辺の災害地図（国土地理院）

2. 古志地域における過去の地すべり

古志の種苧原，虫亀，朝日川などは，代表的な地すべり地として知られている．**図 2** は国土地理院によって提供された，中越地震時におけるこれらの地域の地すべり地図である．芋川沿いに，上

流より，寺野，南平，楢木，東竹沢，十二平で河道閉塞地すべりが発生した．これらの中でも，寺野と東竹沢は，緊急対策工を必要とした大規模な河道閉塞地すべりであった．

表 1 古志で起こった地すべり数（1949～2002 年）

(a) 流域別

朝日川	29
太田川	19
七滝川	19
芋川	17

(b) 地域別

朝日川	32
種苧原	15
虫亀	7

表 2 古志で起こった地すべり

	年号	場所	被害状況
1	1824	中野	4月の雪解け時期，長さ1.4km 幅700m 被害は村全体に及ぶ被害を受ける． 田の50%が耕作不能．川の堰き止め湛水あり．長さ約一丁深さ約三丈なる池を2箇所．
2	1926	中野	5月，長さ600間幅100間にわたり地盤が破壊．200町歩以上にわたる田畑，山林に被害を生じた．川を堰き止め湛水あり．
3	1929	寺野	4月，県道栃尾小千谷線の寺野地内で30間が決壊，橋梁が落ちる．湛水不明
4	1932	中野，寺野	対策工事中に大きな地すべりあり．詳細不明

表 1 は 1949 年から 2002 年に古志で起こった地すべり数を示している．虫亀から流れ出ている朝日川流域で多くの地すべりが発生している．蓬平や濁沢の地すべり地を有する太田川でも地すべりが多数発生している．芋川においても，17 の地すべりが起こっているが，そのほとんどが上流の種苧原や中野周辺で起こっており，河道閉塞地すべりを発生させた南平，東竹沢，十二平では，地すべりはほとんど報告されていない．地域別でみると，朝日川，種苧原，虫亀の順になる（**表 1**(b)）．

地すべり学会新潟支部編集による「新潟の地すべり'98」によると，1751 年上越市高田で起こった地震時に，古志の北部に位置する栃尾市で大きな地すべりが発生した．以後，この地域は東中野俣地すべり指定地と呼ばれている．震央から 80km も離れたところで，このような大きな地すべりが起こったことは興味深いが，その詳細については不明である．地質図によると，この地域は第 4 紀の砂岩泥岩互層となっている．

旧山古志村の歴史が 1700 年から村史に記されている．ほとんどの土砂災害の場所は種苧原となっている．**表 2** に種苧原における地すべりの記録を示す．種苧原の様に大きい集落がなかったためか，それ以外の地域についての記録は少ない．有史以前の地すべりは不明であるが，1842 年にはじめの地すべりが記録されている．地すべりの誘因は，春先の雪解け水と考えられる．このとき，芋川に 2 つの大きなせき止め湛水ができた．約 100 年後，同様の場所で融雪時期に，地すべりによる河道閉塞が記されている．その約 80 年後の中越地震では，このあたりの寺野において河道閉塞地すべりが発生した．違いは地すべりの誘因が融雪でなく，地震ということである．上述のとおり，種苧原周辺においては，100 年毎に河道閉塞地すべりが起こっており，特異な現象とはいえない．

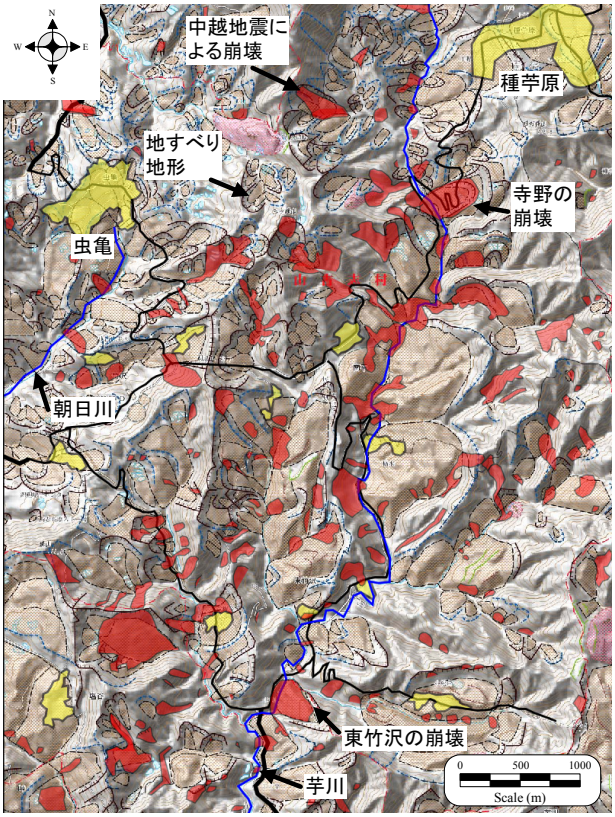


図 3 古志における地すべり地図

有史以前の地すべりについては，航空写真から造られた地形図を用いて考察する．**図 3** は，古志地域について，（独）防災科学研究所と（独）科学技術振興機構による地すべり地図に国土地理院から提供されている中越地震災害状況図による地すべり位置を重ねたものを示す．その年代はわからないものの，多くの地すべり地形が寺野と中野の芋川沿いに残っている．地すべりが起こりやすい地質的要因があると考えられる．山古志村村史によると，地すべりの原因は雨や地震でなく，融雪時期である．種苧原や虫亀は地すべりの後に平になった場所に造られたように見える．これらの村は肥沃な土砂で覆われ，現在安定しているが，周辺では地すべりが続いている．寺野や東竹沢の大規模地すべりは，地すべり地形と一致しているため，再すべり型と考えられる（**図 3**）．これらは尾根地形で，両側に谷を持っている（**図 2**）．地震動はこの様な尾根で増幅する傾向にある．

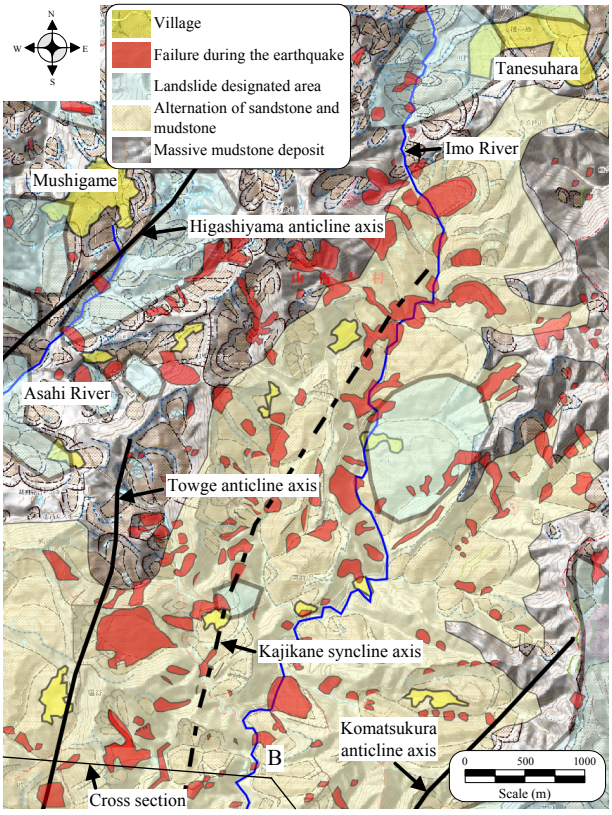


図 4 地質と地すべり分布

3. 自然斜面崩壊の特徴

中越地震時に芋川沿いで多くの河道閉塞地すべりが起こった．**図 4** に竹内ら(2004)による地質図を簡略化したものに，中越地震時の地すべり位置をプロットしたものを示す．さらに，新潟県保全図から得られた地すべり指定地も記してある．

虫亀を含んだ地図の西側は朝日川流域に分類され，黒灰色の塊状泥岩の荒谷層である．地図の東側に移動すると，芋川流域に分類され，川口層，和南津層と呼ばれる砂岩泥岩互層となる．上流を除き，芋川沿いは，砂岩泥岩互層である．地震時に起こった地すべりの多くは，塊状泥岩に比べ，砂岩泥岩互層で発生している．このことは，地震時には砂質地盤の方が粘性地盤より脆いことを示唆している．一方，地すべり指定地は主に塊状泥岩層に分布している．これより，融雪などの水の作用によって引き起こされる地すべりと，地震による地すべりはメカニズムを異にしていることがわかる．

さらに，この地域の特筆すべき地質的特徴は，向斜，背斜構造である．向斜，背斜軸が短い間隔で起こる複雑な地形を構成し，特徴的なケスタ地形が形成されている．この様な背景では脆く弱い斜面が形成され，さらに，川が地表を削り取ることにより，斜面先が不安定になっている．

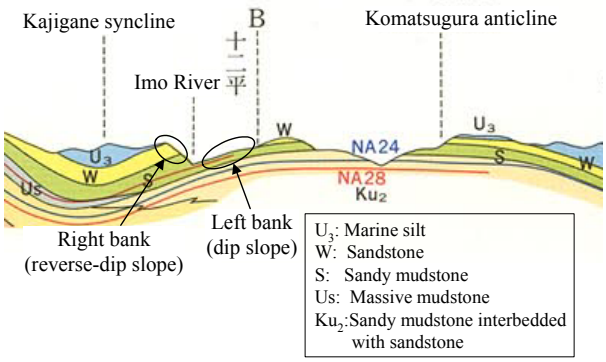
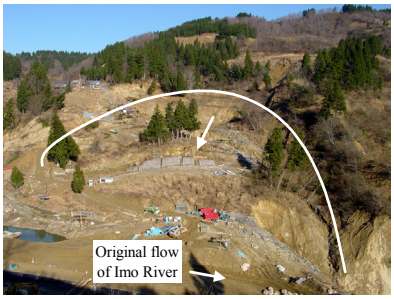


図 5 芋川周辺の地質断面図（（独）産総研）



(a) Terano (Left bank)



(b) Upper part of the slope



(c) Terano (Right bank)



(d) Nampai



(e) Naranoki



(f) Higashitakezawa



(g) Smooth siltstone



(h) Temporary watercourse



(i) Junidaira

写真 1 芋川沿いの斜面崩壊

図 5 は，（独）産業技術総合研究所提供の旧山古志村の北，十二平での地質断面図を示している．地質断面図の位置は**図 4 に示してある**．芋川の左岸では流れ盤構造で，右岸は受け盤構造であることがわかる．

写真 1 は芋川の閉塞を引き起こした地すべりを示している．寺野は種苧原の南に位置し，芋川の左岸が動いた（**写真 1**(a)）．その規模は，幅上部で約 200m，下部で 290m，長さ約 360m であった．崩壊前の傾きは約 17 度で，深さは明確でないものの，深いところでは 20m 程度ありそうである．滑落崖においては，物理試験のために採取した低固結の砂質地盤が分布している．天然ダムの崩壊を防ぐため，河道閉塞に対する緊急排水対策が即座に取られた．動いた土塊は，古い地すべり地形とほぼ一致しており（**図 4**），地すべり土塊の両側は谷地形になっているようである．この斜面の上には池があることより，常時地下水が集まってくる地形であることがわかる（**写真 1**(b)）．この地すべりは，本震でなく余震で起こったという証言もある．地盤が本震で乱され弱くなったことも考えられる．一方，右岸においてはいくつかの表層崩壊が見られる（**写真 1**(c)）．しかしながら，受け盤の表層崩壊であるため，川に流れ込んだ土砂量は少ない．

南平は寺野の約 1km 下流である．芋川の両岸において，約 35 度の急崖が数百メートルにわたって崩落した（**写真 1**(d)）．深さ数メートルの表層崩壊であったため，河道閉塞の緊急対策は必要としなかった．

楢木においては，芋川の右岸，約 30 度の斜面が，幅 420m，長さ 200m にわたり崩壊した．崩壊深さは南平よりは深そうであるが，表層崩壊に分類されるであろう．崩壊地の基盤岩の上に現れた土は低固結の砂質土であった．物理試験とせん断試験のために，この土を採取した．

芋川と前沢川の合流点に当たる東竹沢において，地震により，幅上部で 220m，下部で 340m，長さ 340m の土塊が約 70m 滑動した．**写真 1(f)** はこの地すべりの滑落崖である．滑落崖の堆積物は貧配合の砂であり，物理試験のために採取した．河道対策工のための整地がすでに行われている．斜面は芋川の左岸で，斜度は尾根部で 15 度，側部で 21 度と緩やかである．くすんだ青い滑らかな泥岩が，滑落崖の下部に現れている（**写真 1(g)**）．この傾きは約 18 度であった．物理試験のためこの泥岩も採取された．この地すべりは古い地すべり地形に一致しており（図 4），寺野と同じく両側が谷地形となっている．天然ダムの崩壊を防ぐために，排水ポンプとともに仮排水路が建設されている（**写真 1(h)**）．

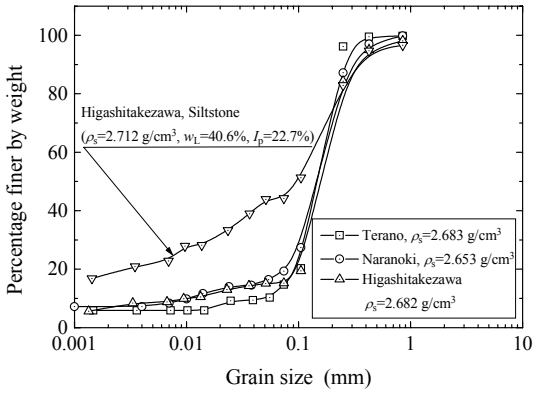
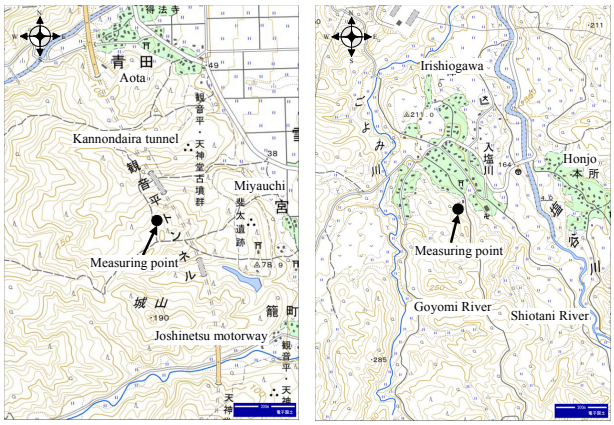


図 6 崩壊土砂の粒度

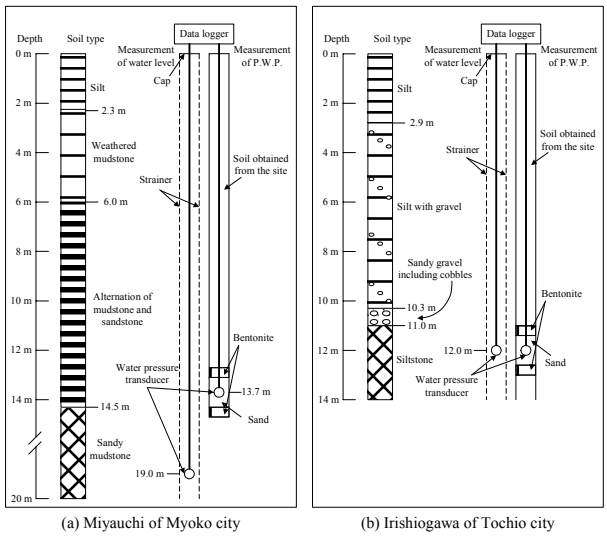
規模はそれほど大きくないものの，十二平の芋川両岸において斜面崩壊が発生した．**写真 1(i)**は流れ盤の左岸での地すべりを示している．斜度は 20 度以下と緩やかである．雪崩防止柵や木がそのまま動いていることから，表層崩壊よりは深いことがわかる．この斜面は東竹沢から連続しており，東竹沢同様の大きな地すべりを起こす可能性もある．芋川右岸，左岸それぞれで特徴的な地すべりが起こった．つまり，受け盤の右岸では表層崩壊が多く起こり，緩やかな流れ盤の左岸においては，しばしば大問題となる大きな地すべりが発生した．

図 6 に芋川沿いの崩壊地から得られた試料の粒径加積曲線を示す．滑落崖からの試料すべて，細粒分 10%以下の砂である．これらは，地質図からの情報である，砂岩泥岩互層とも一致している．楢木の土粒子密度は他と比べて若干小さい．露頭した東竹沢の泥岩はシルト岩であることがわかる．



(a) Miyauchi of Myoko city　(b) Irishiogawa of Tochio city

図 7 水圧測定地点の地形図（国土地理院）



(a) Miyauchi of Myoko city　(b) Irishiogawa of Tochio city

図 8 水圧計設置位置と土質柱状図

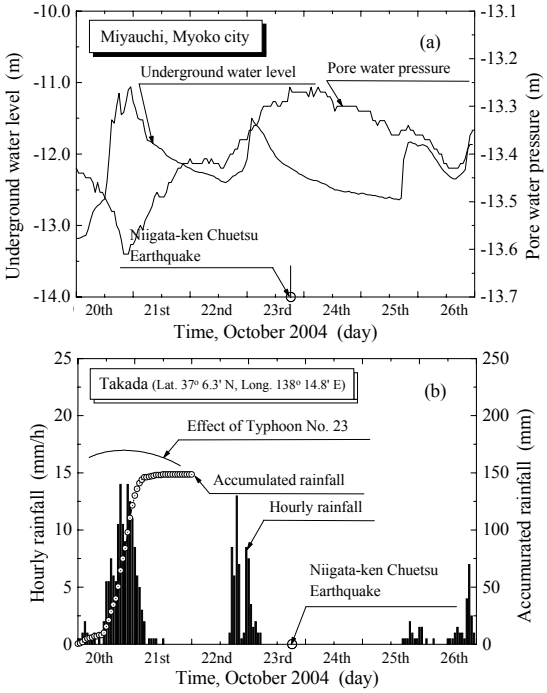


図 9 地震時の地下水圧測定結果（宮内）

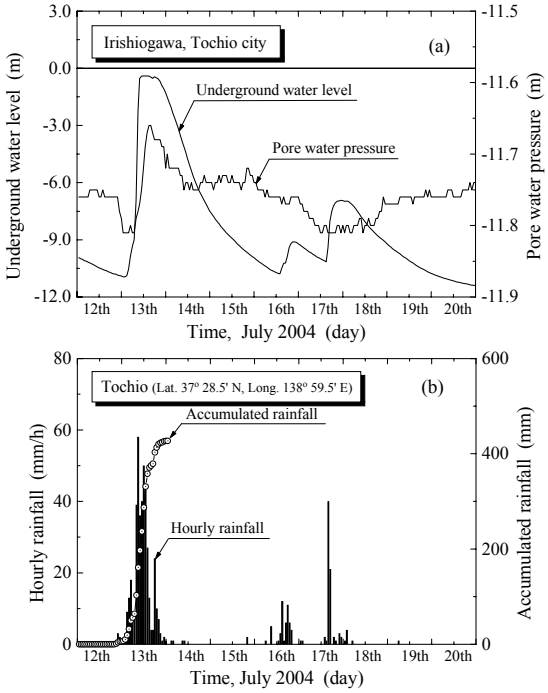


図 11 豪雨時の地下水圧測定結果（入塩川）

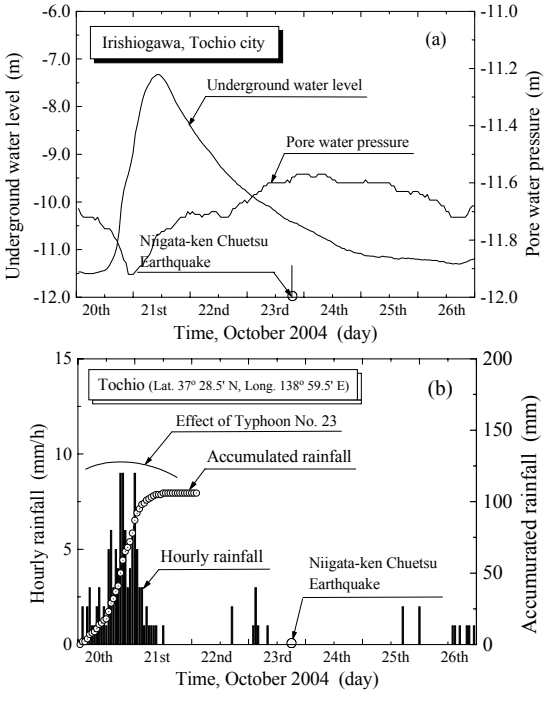


図 10 地震時の地下水圧測定結果（入塩川）

4. 地すべり地での水圧測定

水位と水圧が地すべり地において測定されている．**図 7**(a)，(b)にそれぞれ，妙高市宮内と栃尾市入塩川の地形図を示す．**図 1** には，新潟県での位置関係が示されている．観測点は，地すべり地の上部と推定されるところである．宮内の測定点は上信越自動車道の隣である．変位については測定されていないため，地震時の移動は明白ではないが，目視では移動は観測できなかった．

図 8(a)，(b)に宮内と入塩川それぞれの，水圧計設置深さと地質柱状図を示す．ストレーナー付きのボーリング孔が水位測定に使われ，水圧測定には，水圧計を砂で埋め，その上下をベントナイトで蓋をした．水圧測定のボーリング孔は，原位置土で完全に埋め戻された．

図 9，**10** にはそれぞれ宮内と入塩川の測定結果と気象庁より提供された時間雨量が示されている．雨量のデータは，気象庁から提供されているものの中で最も測定点に近い地域のものが選ばれた．



写真 2 崩壊地の地震直後と融雪後の変化（その 1）

2004 年 10 月 20 日の台風 23 号でまとまった雨量があり，累積雨量は 100mm に達していることがわかる. 地下水位は, 降雨で即座に, 宮内で 2m, 入塩川で 4m 上昇している．宮内と入塩川の水位上昇の差は，地質や地形の違いにあると考えられる．一方上昇した地下水位は，集水地形であるためか，数日かけてゆっくりと下降している．間隙水圧に関して，両地点において同様の結果が得られた．すなわち，間隙水圧は 10 月 20 日に低気圧により下降し，その後ゆっくりと上昇している．間隙水圧は中越地震時にピークを取っているが，その上昇は水頭に直して約 20cm ほどで，斜面崩壊に影響したとは考えにくい．宮内においては，地震前夜にもまとまった雨が降っている．


2004年11月


2005年5月

(a) 池谷


2004年11月


2005年5月

(b) 雪崩防護柵（池谷）


2004年10月

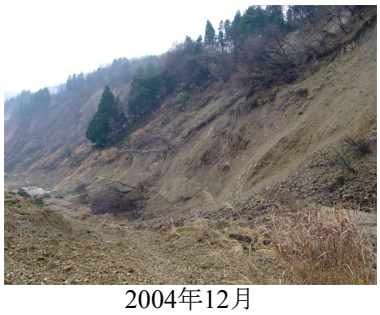

2005年11月

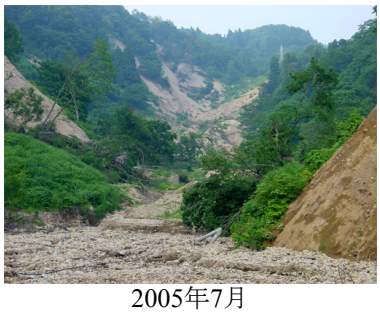
(c) 濁沢


2004年10月


2005年5月

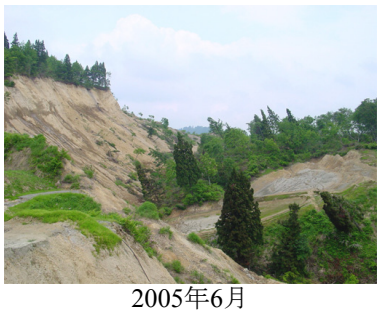
(d) 妙見


2004年12月


2005年7月

(e) 小栗山


2004年12月


2005年6月

(f) 塩谷

写真 2 崩壊地の地震直後と融雪後の変化（その 2）

追加情報として，**図 11** に 2004 年 7 月 13 日新潟豪雨時の入塩川の観測結果も示しておく（Toyota et al., 2006）．不幸にも，宮内ではデータが得られなかった．総雨量は 400mm に達し，地下水位は 10m 以上も上昇した．しかしながら，間隙水圧は水頭で数十センチの上昇である．これらの結果より，間隙水圧は，それほど変化しない層で測られている可能性がある．

5. 斜面崩壊地の融雪後の変化

2004 年の冬は，新潟県中越地方は 20 年ぶりの大雪となった．崩壊した斜面は水が浸透しやすくなっているため，水の影響で容易に再度崩壊する危険性も高い．また，地すべり地帯では，融雪時

期に最も土塊が移動し，地すべりを起こしやすいといわれている．そこで，主な崩壊地点について，崩壊直後と，融雪後に調査を行った．**写真 2，3** にはそれらの比較を示す．

寺野（**写真 2**(a)）においては，崩壊後早い時期より，河道閉塞対策工が取られた．これにより，融雪時にもそれほど水位が上昇することなく，のりきることができた．写真からわかるように，融雪後に大きな変形跡は確認できない．

南平 No.1（**写真 2**(b)），No.2（**写真 2**(c)）は，表層崩壊である．ここでも融雪後に新たな土砂崩れは認められない．すべり落ちた木も，根が生きているためか，ほとんどが枯れずに残っている点は興味深い．崩壊斜面は急斜面であるが，新たな植生が芽生えはじめている．

楢木（**写真 2**(d)）においては，河道閉塞対策工事が進んでいる様子がわかる．場所によっては，10m 近くの厚みで崩壊しているようであるが，表層崩壊に分類されるであろう．しみ出してくる水の影響か，若干表層土砂が削られているようにも見受けられるが，大きな崩壊は起こしていない．

東竹沢（**写真 2**(e)）は，滑落崖は低固結の砂である．写真でははっきりしないが，融雪時に滑落崖が少し後退したということである．大きな被害には至っていないが，今後も滑落崖が後退していく可能性があるため，対策が必要であることがわかる．

油夫（旧山古志村役場の裏の斜面）（**写真 2**(f)）であるが，ここにおいても融雪後に大きな変化は見られない．

旧山古志村の民俗資料館を越え，池谷の集落に向かう道（**写真 3**(a)）であるが，地震により土石流的な崩壊が起こっている．少し表層土砂が減っているようであるが，雨の影響か，融雪の影響か明確ではない．

池谷の集落を越え，寺野方面に向かう途中にある雪崩防護柵（**写真 3**(b)）である．基礎の形態が違うのか，赤い雪崩防護柵は崩れ落ちているのに対し，周辺地盤は崩れているものの，銀色の防護柵は，崩れ落ちていないように見える．このような状態で，雪崩防護柵が雪に耐えられるか疑問であったが，雪崩防護柵はほとんど移動していないようである．

濁沢（**写真 3**(c)）は，中越地震において，家屋ごと土塊が移動し，人的被害のあった数少ない地すべりの一つである．整地されて，その変化がわかり難いが，融雪により大きなすべりが誘発された様子はない．

妙見（**写真 3**(d)）は，岩盤崩落に分類され，道路を走行中の車が巻き込まれた．上越線の安全性のため，落石を防ぐ工事が行われている．こちらも大きな変状は見られない．

小栗山（**写真 3**(e)）では，中越地震により，土石流が発生した．表層土，細粒土が流されたような跡はあるが，大きな変状は見られない．



写真 4 崩壊地からの試料採取と成形の様子

塩谷（大日山）（**写真 3**(f)）では，中越地震による最大級の地すべりが発生した．滑落崖は東竹沢と同じく，低固結の砂である．大きな変状は見られないが，滑落崖が少し削られた様子がある．

このように，調査した範囲内では，融雪により大きな崩壊は誘発されていない．水が浸透しやすい状態であったものの，地震により不安定斜面が崩れ，安定化した状態になっていたため，大きな崩壊が起こらなかったのであろう．20 年ぶりの大雪ということもあったが，崩壊斜面には雪が着きにくいのか，雪崩は頻繁に発生した．雪崩には十分注意する必要がある．今回の崩壊に限らず，行われていることであるが，滑落崖をそのままにしておくとさらに後退していく可能性があるので，対策を施す必要があることがよくわかる．

6. 採取試料の力学試験

楢木の崩壊現場（**写真 1**(e)）で採取した試料を詳細に調べることとする．**写真 4**(a)のような崩壊面側方から，ブロックサンプルを採取し，実験室で三軸と一面せん断試験を行うために成形した（**写真 4**(b)）．固結度は低く，注意して扱わないと，簡単に手で割れる程度であった．粒径加積曲線は**図 6** に示してある．供試体サイズは，三軸試験で，直径 5cm，高さ 10cm，一面せん断試験で，直径 6cm，高さ 2cm である．供試体は，二重負圧法で飽和させた．有効平均主応力 p' 一定の排水三軸圧縮試験（軸ひずみ速度 0.02 %/min）と定圧一面せん断試験（せん断変位速度 0.02 mm/min）を行った． 近接した同様な層に，2 種類の密度があり，1 つは非常に密(e=0.69)，もう 1 つは中密(e=0.85)である．JIS A 1224 による最大，最小間隙比はそれぞれ，1.207，0.676 であった．

図 11 と **12** にそれぞれ不攪乱試料の三軸と一面せん断試験のせん断挙動を示す．一面せん断試験は，中密砂のみで行われた．密な砂では，明確なピークが応力ひずみ関係に表れ，堆積膨張挙動を取っている．

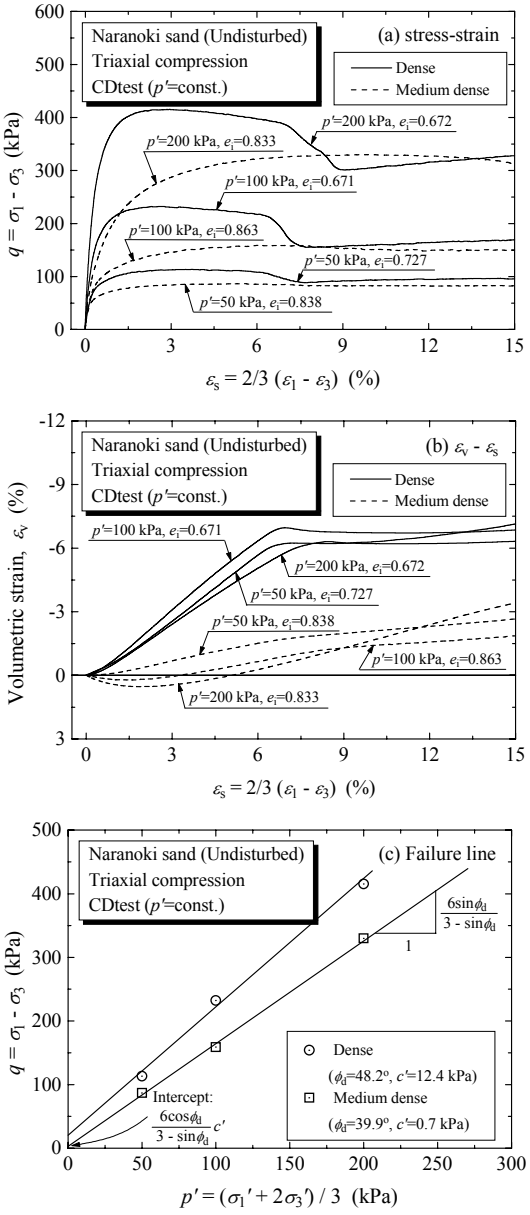


図 11 楢木より採取した試料の三軸圧縮試験

対照的に，中密砂ではピークが不明確で，拘束圧が大きいケースにおいては，ひずみの小さい領域で，圧縮的な挙動を取っている．間隙比とせん断挙動から，密な楢木砂は，相当密であることが読みとれる．ピーク後の終局状態において，密な砂の終局強度は中密砂の終局強度とほぼ一致する．これは，密な砂と中密砂が同じ物理的性質を持っているからである．一面せん断試験においても，三軸試験と同様のせん断挙動が得られた．

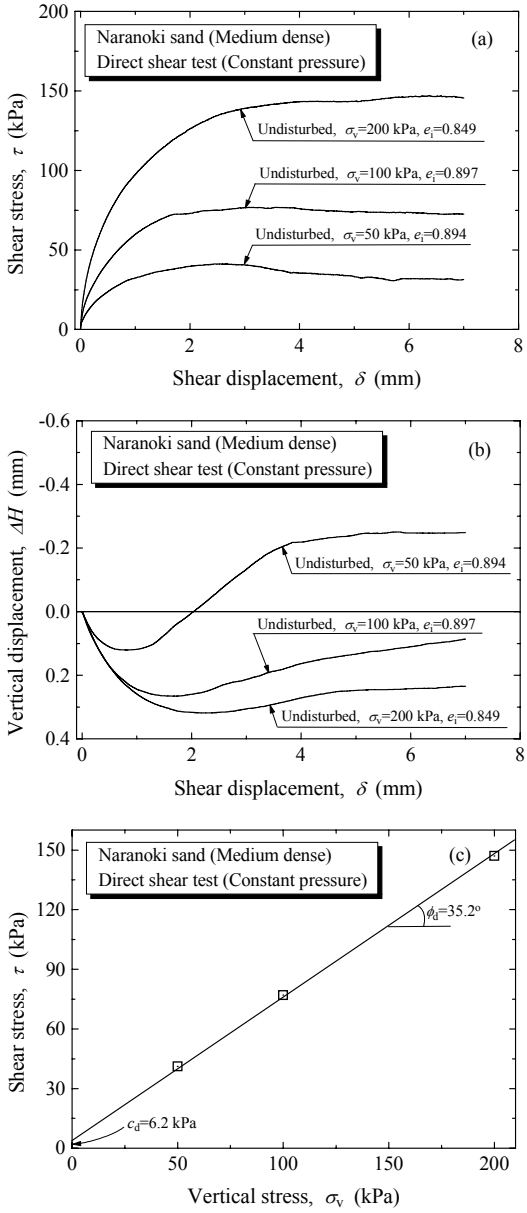


図 12 楢木より採取した試料の一面せん断試験

図 11(c)と **12**(c)にそれぞれそれぞれ三軸試験と一面せん断試験から得られた破壊線を示す．密な砂は中密砂よりずっと大きな内部摩擦角と粘着力を持っている．中密砂において，三軸試験から得られた内部摩擦角は，一面せん断試験から得られてものより大きいが，三軸試験から得られた粘着力は一面せん断試験から得られたものより小さい．この理由は，データのばらつきが小さくても，強度定数 c'，ϕ_d は敏感に変動してしまうからである．いずれにせよ，中密砂の粘着力は非常に小さい．つまり，中密楢木砂層のセメンテーションや年代効果は小さいといえる．

破壊は中密層で引き起こされたと考えられるため，再構成供試体を湿潤締固め法で中密(e=0.85)に作成し，水分特性曲線を求めた．湿潤締固め法においては，10%の土を直径 5cm のモールドに入れ，密度を調整するために，1cm の層ごとに，直径 2cm の締固め棒で注意深く突き固めた．

図 13 に加圧板法による脱水過程で求めた水分特性曲線を示す．実験は三軸試験装置を用い，p_{net}=100 kPa のもとで行われた．この中密砂の空気侵入値は 5 kPa から 10 kPa の間にある．砂であるので，飽和度は空気侵入値において，劇的に低下している．つまり，この土が定常状態にあるならば，飽和しているか，またはかなり低い飽和度にあるかのどちらかであると考えられる．

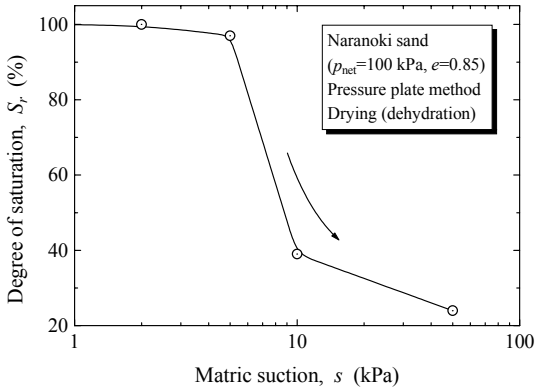


図 13 楢木より採取した試料の水分特性曲線

7. 結論

新潟県中越地震は中山間地に多大な被害をもたらした．地すべりが河道を塞ぎ，天然ダムを形成した．このような地すべりには，活褶曲地帯という，地形的，地質的特徴があることがわかった．天然ダムの問題は，集落を水没させ，全村民が避難を強いられるなど，社会問題となった．さらに，下流の集落も天然ダム崩壊による土石流の危険性にさらされた．これらの斜面崩壊のメカニズムを解明するために，詳細な調査が行われた．主な

知見は次の通りである．

1. 新潟県中越地震で起こった大地すべりは，地すべり地形と一致しており，再滑動型と考えられる．
2. 融雪時にゆっくりと土塊が移動する地すべりは，第三紀または第四紀の泥岩層で多く起こるが，地震時の斜面崩壊は，主に軟らかい砂岩の地質で起こっている．
3. 表層崩壊は受け盤の急崖で多発し，大地すべりは，しばしば，流れ盤のゆるやかな斜面で起こる．
4. 台風 23 号の影響により，宮内や入塩川の地すべり地帯では地下水位が数メートル上がった．しかし，中越地震時には，その上昇した地下水位の 8 割程度は低下していた．
5. 楢木崩壊地には，密と中密砂層が存在した．三軸圧縮試験の結果，中密砂層で破壊が起こったと推測できる．

謝辞

多くの研究者と一緒に現地調査を行う機会があり，様々な情報を得ることができた．土質試験は，長岡技術科学大学環境・建設系地盤研究室の学生の協力により実施された．ここに謝意を表する．

参考文献

1) 山古志村史編集委員会，山古志村史史料二，1981．
2) （社）日本地すべり学会新潟支部編集，新潟県地すべり災害の記録（2003 年度版），CD-Rom 版，2003．
3) 新潟県，土地保全図（防災・保全等規制図），1982．
4) 国土地理院，平成 16 年新潟県中越地震災害状況図 (http://zgate.gsi.go.jp/niigatajishin/index.htm)
5) （独）防災科学技術研究所，山古志村周辺地すべり分布図 (http://lsweb1.ess.bosai.go.jp/jisuberi/jisuberi_mini/jisuberi_top.html)
6) 竹内圭史，柳沢幸夫，宮崎純一，尾崎正紀，中越魚沼地域の 5 万分の 1 数値地質図（Ver.1），地質調査総合センター (http://www.gsj.jp/GDB/openfile/files/no0412/index.html)
7) 柳沢幸夫，小林巖雄，竹内圭史，立石雅昭，茅原一也，加藤碵一，5 万分の 1 地質図幅「小千谷」．地質調査所，1986．
8) Toyota, H., Nakamura, K. and Sakai, N. (2006): Evaluation of dike and natural slope failure induced by heavy rainfall in Niigata on 13 July 2004, Soils and Foundations, Vol. 46, No. 1, pp. 83-98, 2006.

コンクリート構造物の被害

下村　匠
長岡技術科学大学　環境・建設系

1. はじめに

2004 年 10 月 23 日に新潟県中越地方で発生した地震は，1995 年兵庫県南部地震（阪神淡路大震災）以降，わが国がはじめて経験する内陸直下型の震度 7 クラスの地震である．それゆえ，この地震における被害状況により，阪神以降続けられてきた各種震災対策の有効性が検証されることとなった．

筆者は，在住する新潟県長岡市においてこの地震を経験した．また，土木学会により組織された第 1 次，第 2 次の調査団のメンバーに加わり，構造物の被害調査を行う機会を得た．

本稿では，土木学会の調査団の調査結果 [1)2)3)]，各種事業者や公共団体の公表資料 [4)5)]，筆者の調査結果に基づき，今回の地震における構造物，とくにコンクリート構造物の被害について述べる．

2. 平成 16 年新潟県中越地震の概要

今回の地震は正式には「平成 16 年新潟県中越地震」と命名された．本震は，2004 年 10 月 23 日土曜日 17 時 56 分に新潟県の中越地方の川口町を震源として発生した（**図 1**）．地震の規模はマグニチュード 6.8，最大震度は川口町において震度 7 が観測された．隣接する小千谷市では震度 6 強，周辺の長岡市，十日町市などでは震度 6 弱であった．最大震度が 5 以上の強い余震が，本震直後に頻繁に起こり，その後も長期間にわたって生じている（**図 1**，**図 2**）．

3. コンクリート構造物の被害

3.1　調査時期と調査箇所

震災直後から，行政機関，鉄道，道路の事業者はもとより，全国の研究所，大学による現地調査が行われた．土木学会においては，第 1 次，第 2 次の調査団を組織し，現地調査を行い，調査結果を公表した．これらの調査は，多方面にわたって行われ，そのひとつとして，コンクリート構造物・鋼構造物の被害調査を担当する班が設けられた．

コンクリート構造物関係の調査班は，第 1 次調査団では埼玉大学睦好宏史教授を班長とした 5 名が 10 月 26 日～28 日に現地調査を行い，第 2 次調

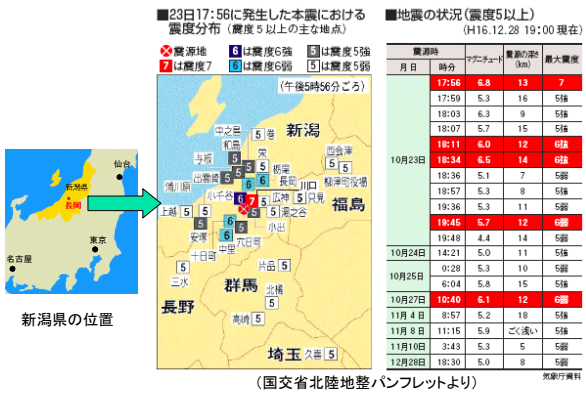


図 1　平成 16 年新潟県中越地震の概要



図2　本震と震度5以上の余震の震源分布

査団では東京大学前川宏一教授を班長とした 6 名が 11 月 6 日～8 日に現地調査を行った．筆者はいずれの調査にも参加した．

2 回にわたる調査団が調査した主なコンクリート構造物の位置を**図 3** に示す．なお，これらの構造物が今回の地震で被害を受けた構造物のすべてというわけではない．

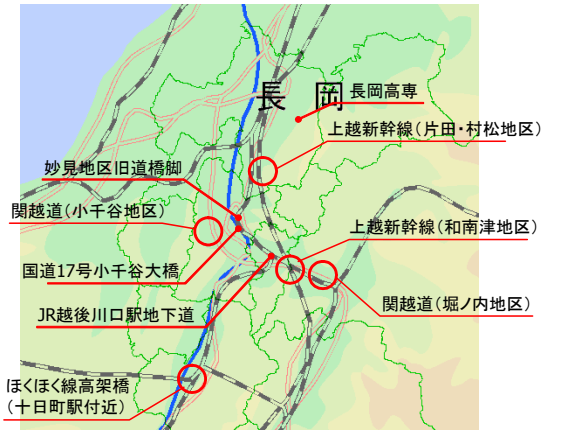
3.2　上越新幹線和南津地区の橋梁構造物

今回の地震の本震の震源に近い川口町和南津地区は，信濃川と魚野川の合流点であり，山，川，谷，人里が複雑に入り組んでいる．この近辺を上越新幹線，JR 上越線（在来線），関越自動車道，国道 17 号線が通っているため，橋梁，トンネルなどの構造物が集まっている．

図 4 は和南津地区の上越新幹線の構造物を示している．東京方の堀之内トンネル口から新潟方の魚沼トンネル口に至る 1km 程度の区間が，RC ラーメン高架橋の第 1 第 2 第 3 和南津高架橋，魚野川を跨ぐ PC 箱桁橋の魚野川橋梁により結ばれている．これらの構造物のいくつかに被害がみられた．

3 径間連続 PC 箱桁橋の魚野川橋梁では，RC 橋脚に曲げ損傷が発生した（**図 5**）．本橋脚は，直径約 6.5m の円形断面であり，損傷箇所は内側軸方向鉄筋の段落し部にあたる．損傷形態は，軸方向鉄筋のはらみだし，かぶりコンクリートの剥落などが見られた．しかし，柱としての軸力保持機能は損なわれていない．

ラーメン高架橋の第 1 和南津高架橋では，橋脚のせん断破壊が発生した（**図 6**）．本橋脚は，事前に行われていた耐震診断の結果，じん性に乏しいせん断破壊先行型と判定されており，耐震補強が順次施される予定であった [4]．今回の地震により生じた破壊性状は，予想されたとおりのせん断破壊であったことから，現在行われている既存構造物の耐震診断が妥当であることが確認されると同時に，補強が必要と判定された構造物に耐震補強を早急に施すことの重要性があらためて認識される結果となった．



（国土地理院の図に加筆）

図3　コンクリート構造物の被害調査箇所

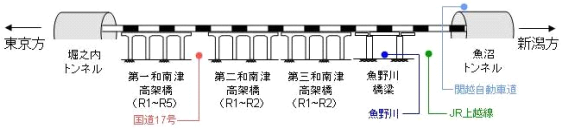


図4　上越新幹線和南津地区の構造物



図5　上越新幹線魚野川橋梁



図6　上越新幹線第 1 和南津高架橋

同じくラーメン高架橋の第3和南津高架橋においても橋脚のせん断破壊が発生し，軌道面の沈下が見られた（**図7**）．本橋脚は，耐震診断の結果，せん断破壊先行型ではないと判定されていたものであるので，この破壊は例外的である．このような破壊が生じた理由として，高架橋完成後に地表付近に施工された別の構造物が影響し，主構造物の状況が設計時に想定していた構造系と異なったためであると考えられている[4]．すなわち，橋脚郡中に併設された融雪のための付帯設備が，高架橋柱の水平変位を地表面近傍で拘束したために，柱のせん断スパンが短くなり，破壊モードがせん断破壊に移行したと考えられる．この仮説をわかりやすく示したのが，**図8**の数値シミュレーションの結果である[3]．拘束効果の大きい支持床があると，橋脚の水平変位が拘束され，地上部分においてせん断破壊が生じやすくなる可能性のあることが示唆される．このことから，構造物付近の付帯設備や地盤との相互作用を適切に考慮できる耐震性能照査技術の高度化に向けての産学挙げての一層の努力の必要性が，土木学会第二次調査団による緊急提言のひとつとして掲げられている．

3.3　上越新幹線村松・片田地区の橋梁構造物

上越新幹線は小千谷市から長岡市に入り，滝谷トンネルを出たところから高架橋が連続する（**図9**）．ここからは山岳部を抜け，信濃川にそって開けた平野部を新潟市に向けて走ることとなる．この滝谷トンネルをでた地点で，上越新幹線「とき325号」は中越地震の本震にみまわれ，約1.6km脱線しながら走行し停止した．

この区間は平成7年の運輸省通達における緊急耐震補強対策の対象線区となっており，一部の高架橋にはすでに耐震補強が施されていた（**図10**）．鋼板巻立て補強が施されていた十日町高架橋には被害が見られておらず，耐震補強の効果が確認された．また，耐震補強が不要と判定された構造物では，無損傷の柱と柱端部に曲げ塑性変形による損傷が生じた柱が混在しており，想定どおりの軽微な被害に収まっている．

耐震診断の指標と限界値の設定の妥当性，および耐震補強の有効性が確認される結果となった．



図7　上越新幹線第３和南津高架橋

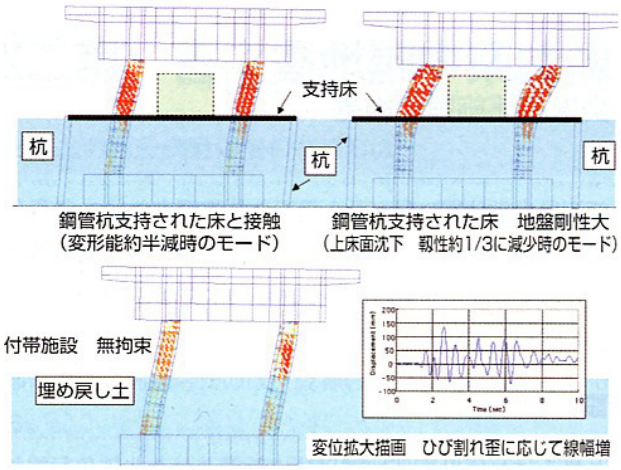


図8　付帯設備による主構造物の拘束効果に関する数値解析による検討例（類似の構造物を対象に検討）[2]

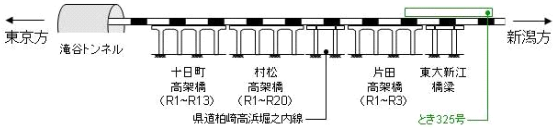


図9　上越新幹線村松・片田地区の構造物



図10　上越新幹線村松高架橋と十日町高架橋

3.4　北越急行十日町駅付近高架橋

上越線六日町から十日町を通り日本海側へと抜ける北越急行線は，第3セクターとして1997年3月に開業した．阪神淡路大震災以降に新設された構造物であるが，設計は旧規準による．そこで，当時改訂準備中であった現行設計標準を用いて耐震性のチェックが行われていた．

図11は，北越急行線の十日町駅付近の高架橋である．

柱端部に曲げ塑性ヒンジが形成される損傷であった．本構造物は，現行設計標準による耐震性能照査の結果，曲げ破壊先行型と確認され，補強の必要がないと判定されていたものである．はたして，今回の地震による損傷は軽微な曲げ損傷に収まっており，被災後44時間で列車を運行させながら，修復工事を行っていた．シナリオ通りの損傷制御が実現したといえる．本構造物は，阪神淡路大震災以降初めて震度6クラスの直下型地震を受けた新設構造物である．

3.5　関越自動車道の構造物

関越自動車道は，上越新幹線と平行に首都圏と新潟を結ぶ高速道であるが，新幹線と比較して，盛土など土工区間が多く，トンネル，橋梁などの構造物が少ない．震災直後は，盛土の崩壊，路面の陥没，段差の発生などの土工の被害により通行不能となったが，きわめて迅速な復旧作業により，





図11　北越急行十日町駅付近高架橋



桁の衝突による損傷　　支承部の損傷

図12　関越自動車道芋川橋梁

本震後19時間で緊急車両の通行を可能とし，被災地の復旧に大きく貢献した[5]．

関越自動車道の橋梁構造物は，支承部等に損傷が見られたものもあったが，橋梁としての機能を失うほどの損傷ではなかったので，車両を通行させながら修復工事を行うことができた（**図12**）．

3.6　一般道の構造物

国道，主要地方道，県道などの一般道も広い範囲で被害を受け，通行止め箇所が多数発生した．その多くは盛土の崩壊，路面の陥没，段差の発生などの土工の被害によるものである．しかし，橋

梁構造物の被害もいくつか発生した．**図13**は，国道17号線小千谷大橋の橋脚の被害状況である．本橋梁は上部構造が連続鋼箱桁，下部構造がRC単柱からなる．固定支承橋脚に被害が集中した．かぶりコンクリートの剥落，鉄筋のはらみだし，斜めひび割れなどが見られた．車両を通行させながら修復工事が行われた．



図13　国道17号線小千谷大橋

3.7　その他

その他のコンクリート構造物の被害で，特徴的なものをいくつか紹介する．

図14は，土砂に埋もれた車中から男児が救出された長岡市妙見町の土砂崩れ現場直近の旧道の橋脚である．現行道路橋が隣接するので，この橋はすでに役目を終了していた．典型的な橋脚のせん断破壊が観察された．

図15は，JR越後川口駅の地下道の被災状況である．この近辺は倒壊家屋が多く，激震地区であった．

図16は，長岡工業高等専門学校の建築物である．長岡高専付近は長岡市内でも地震動の大きかった地域であったうえに，高専の立地している造成地の地盤の変状の影響により，校内の建物は著しい被害を受けた．



図14　長岡市妙見町旧浦柄橋

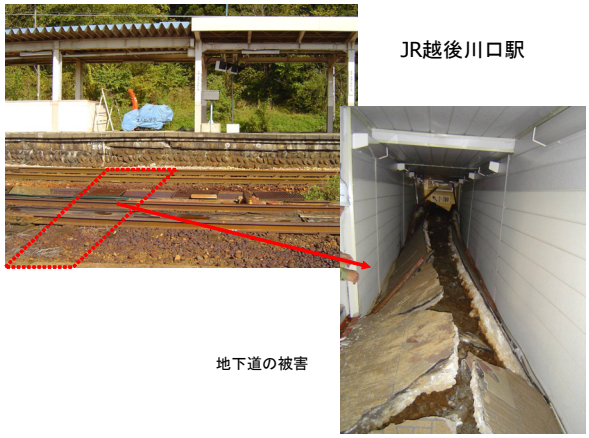


図15　JR越後川口駅地下道



図16　長岡高専

4. おわりに

1) 今回の中越地震は，1995 年の阪神淡路大震災以降行われてきた，構造物の耐震に対する取り組み，すなわち耐震設計規準類の整備，耐震診断の評価指標と限界値の設定，耐震補強技術の開発研究が有効かどうかの検証の機会となった．その結果，それらは適切であったと考えてよいことが明らかとなった．
2) しかし，設計上想定していない破壊が生じた構造物も見られた．構造物の耐震性能照査の高度化を図り，付帯設備や地盤との相互作用の影響などを考慮できるようにする必要があることが明らかとなった．
3) 補強が必要と判定され，耐震補強が計画中であったものの，まだ施されていなかった構造物の中には，予想されていた通り損傷を受けたものがみられた．社会基盤構造物への耐震補強の実施は，社会全体の安全のために不可欠であるとの認識から，これを推進する社会システムの構築が求められる．

参考文献

1) 土木学会：平成 16 年新潟県中越地震　社会基盤システムの被害等に関する総合調査「調査結果と緊急提言」，Ⅰ報告・提言編，土木学会第二次調査団，2004.12.
2) 土木学会：土木学会（第 1 次）・地盤工学会合同調査団　調査速報（Ver. 1.0，2005 年 1 月 11 日），5. 橋梁構造物の被害，2005.1（WEB 資料）
3) 前川宏一：新潟県中越地震災害　第二次調査団速報，交通基盤施設の被害，土木学会誌，Vol.90，No.1，pp.9-10，2005.1
4) 石橋忠良：新潟県中越地震における土木構造物の被害（鉄道施設），平成 16 年新潟県中越地震被害調査報告会配布資料，地震工学会，pp.67-71，2004. 12
5) 日本道路公団北陸支社：平成 16 年（2004 年）新潟県中越地震に伴う高速道路の被災状況および復旧概要≪被災～4 車線一般開放までの取り組み≫，2005.1

道路橋の損傷状況

岩崎英治
長岡技術科学大学　環境・建設系

1. はじめに

2004 年 10 月 23 日 17 時 56 分頃，新潟県中越地方を震源とした，兵庫県南部地震以来の震度 7 を記録する地震が発生した．また，本震以降も 2 時間の間に，震度 5 弱以上の余震が 11 回，震度 6 弱以上余震が 3 回発生している．**表 1** に震度 5 弱以上の地震の発生状況を，**図 1** に震源地の分布を示す．震源地は，旧山古志村から旧川口町周辺に集中している．

旧川口町内では，信濃川と魚沼川が合流しており，地形の関係から，関東へ通じる国道 17 号，長野県へ通じる 117 号, 関越道, JR 上越線, JR 飯山線，上越新幹線が集中する交通の要衝になっており，そのような場所で，最大震度 7 の直下型の地震が発生したため，地震発生直後は，新潟県中越地方，下越地方と関東を結ぶ主要な交通路がすべて遮断された．

この地震は，規模の大きな余震が続いたことが特徴的であり，一連の余震により，本震により発生した斜面崩壊などの土砂災害をさらに拡大することとなった．また，この地震は，迂回路が十分に整備されていない中山間地の直下で発生したため，他の集落との交通路の遮断や家屋被害により，集落内全世帯の避難や，旧山古志村に至っては全村民が避難することとなった．

このような状況のため，被災状況の調査も制限されることとなり，すべての被災状況の把握には多くの時間を要しているようである．

本報告では，そのようななかで，震源域を網羅するような地域を中心に，道路橋の損傷状況の概要を報告する．なお，特に土砂災害の大きな旧山古志村やその周辺地域は，立入が制限されているため，これらの地域内の道路橋の損傷状況は確認できなかった．

表 1 震度 5 弱以上の地震発生状況 [1)]

記号	発生日時		マグニチュード	深さ (km)	最大震度
E1	10/23	17:56	6.8	13	7
E2		17:59	5.3	16	5 強
E3		18:03	6.3	9	5 強
E4		18:07	5.7	15	5 強
E5		18:11	6.0	12	6 強
E6		18:34	6.5	14	6 強
E7		18:36	5.1	7	5 弱
E8		18:57	5.3	8	5 強
E9		19:36	5.3	11	5 弱
E10		19:45	5.7	12	6 弱
E11		19:48	4.4	14	5 弱
E12	10/24	14:21	5.0	11	5 強
E13	10/25	0:28	5.3	10	5 弱
E14		6:04	5.8	15	5 強
E15	10/27	10:40	6.1	12	6 弱
E16	11/04	8:57	5.2	18	5 強
E17	11/08	11:15	5.9	ごく浅い	5 強
E18	11/10	3:43	5.3	5	5 弱
E19	12/28	18:30	5.0	8	5 弱

2 損傷の概要

本報告では，鋼橋を中心に，一部，コンクリート橋の損傷事例も報告する．調査を行い，損傷の認められた橋梁を**図 1** に示す. 図中の S は鋼橋を，C はコンクリート橋を表し，S1，C1 などの記号は**表 2** に示しているとおりである．

今回の地震は，兵庫県南部地震以来の直下型の最大震度 7 の大きな揺れを伴う地震であったが，調査した範囲では，長時間にわたり交通を遮断するような大きな被害を受けた橋梁はなく，支承部周辺，伸縮継手，橋台背面や取り付け盛土の陥没等の損傷が大半であり，応急復旧により速やかに供用可能な状態に復旧している．このようななかで，特徴的な損傷事例について，その概要を以下に報告する．

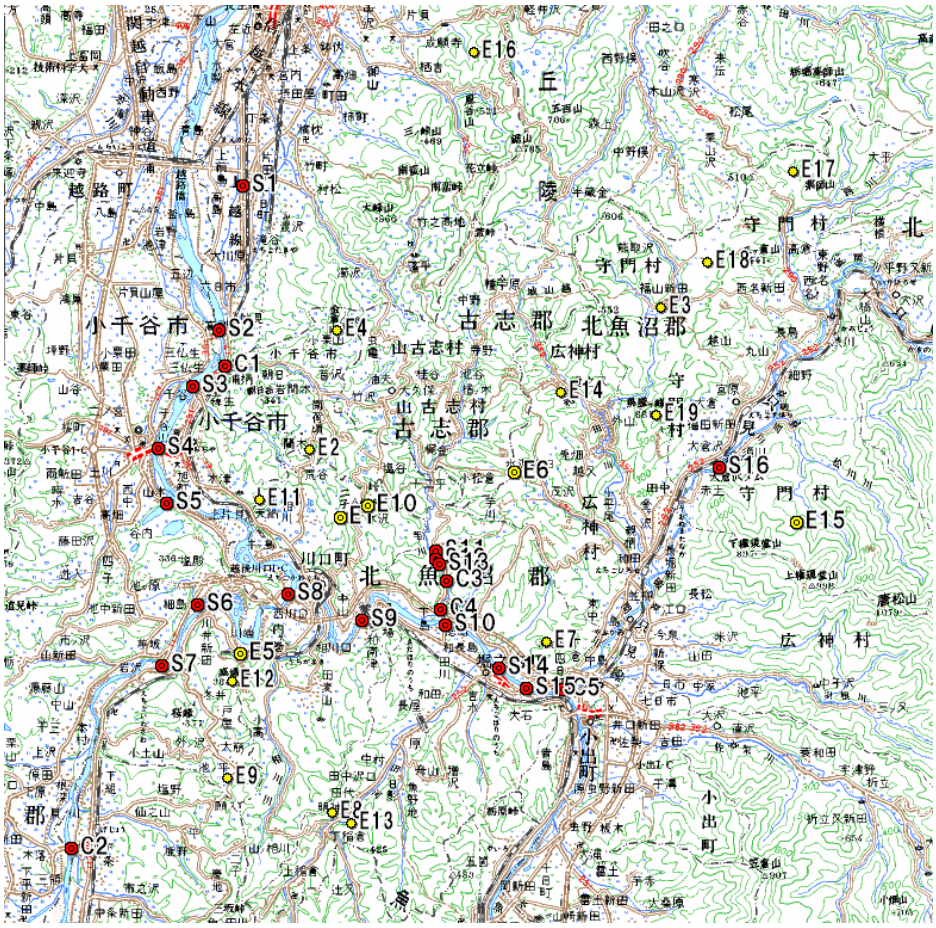


図 1 調査を行った橋梁(S, C)と震源(E)の分布(30km×30km)

3 損傷事例

3.1 竜光 1 号橋(S12)

竜光 1 号橋は，魚野川の支流である芋川を跨ぐ，旧堀之内町竜光地区内の県道 23 号の道路橋で，1972 年に建設された単純 I 桁橋である．この地域は本震の震源地(**図 1** 中の E1 地点) に近く，大きな揺れが発生していると思われる地域である．

写真 1,2,3 は左岸上流側の支承の破損状況を示している．**写真 2** より，支承のサイドブロックが飛び，上沓ストッパーも破断し，桁が沓座から大きくずれていることがわかる．右岸側は地形の関係で，桁や支承の被災状況は確認できなかったが，左岸側はすべての支承がこの写真のように大きな損傷を受けている．**写真 3** はガセットプレートの損傷状況を示している．水平と鉛直プレートが折れ曲がっている．桁が橋台に衝突し，コンクリートが欠けている状況を**写真 1** に，また，伸縮継手の損傷を**写真 4** に示す．**写真 5** は，右岸側の橋台背面と伸縮継手周辺を示している．**写真 4** のように左岸側の桁が橋台に衝突し，伸縮継手が破損しているにもかかわらず，右岸側の伸縮継手に大きな隙間は見られないこと，また橋台背面の路面が陥没していることなどから，大きな揺れによる橋台のせり出しにより，伸縮継手，支承部に損傷を受けたものと思われる．

3.2 山辺橋(S5)

山辺橋は，小千谷市山本地区内の国道 117 号の道路橋で，JR 東日本小千谷発電所の導水管を跨ぐように，斜面に平行に架けられた橋梁である．1985 年完成のローゼ橋であり，前後に単純 I 桁橋が接続している．

写真 6 は，北側 I 桁橋の橋脚部を撮影したものである．このように，この橋梁は，急峻な斜面に

表 2 橋梁の損傷状況

記号	橋　梁	橋梁形式	確認できた損傷
S1	十日町高架橋	I 桁橋	下横構の変形
S2	越の大橋	I 桁橋+箱桁橋	桁端垂直補剛材の変形、損傷、支承の破損、斜材の変形
S3	小千谷大橋	箱桁橋	支承の破損
S4	旭橋側道橋	I 桁橋	ウェブ連結部ボルトの破断
S5	山辺橋	I 桁橋+ローゼ橋	支承の損傷、コンクリート製橋脚のひび割れ、桁の移動、橋台背面の陥没
S6	川井大橋	箱桁橋	ウェブの変形
S7	魚沼橋	I 桁橋+ランガー橋	支承の破損、橋台背面の陥没
S8	西倉橋	I 桁橋	桁端支承のずれ
S9	和南津橋	I 桁橋	桁端ウェブの破損、支承の破損、橋台背面の陥没
S10	宇賀地橋	I 桁橋	支承のずれ、橋台のひび割れ
S11	小芋川橋	I 桁橋	支承の破損 (上沓ストッパの破断)、橋台背面の陥没
S12	竜光 1 号橋	I 桁橋	支承の破損、伸縮継手のずれ、端対傾構の破損、橋台背面の陥没
S13	竜光 2 号橋	I 桁橋	橋台背面の陥没
S14	根小屋橋	I 桁橋	支承のずれ
S15	堀之内橋	箱桁橋	支承のずれ
S16	大倉沢大橋	ローゼ橋	橋台背面の陥没
C1	旧浦柄橋	I 桁橋	橋脚のせん断破壊
C2	栄橋	I 桁橋	支承の破損
C3	竜光橋	I 桁橋	橋梁のずれ
C4	宮前橋	I 桁橋	桁と橋台の衝突
C5	旧四日町橋	I 桁橋	支承の損傷

建設されている．右側橋脚は，斜面土砂の移動により，基礎部が露出していることが確認できる．間近でこれらの橋脚を調べると，複数の橋脚の谷側表面に曲げひび割れが生じていた．**写真 7** は，北側の橋台背面の路面陥没状況を示している．**写真 8** は，南側のローゼ橋と I 桁橋の継手部を示している．手前側のジョイント部には隙間が開き，反対側のジョイント部の隙間は狭まっていることが分かる．また，**写真 9** は，前述のローゼ橋と I 桁橋を橋軸方向に撮影したものであり，センターラインがジョイント部を境にして折れ曲がっていることがわかる．**写真 10** は，南側 I 桁橋の桁端部を示しているが，桁と橋台の衝突，支承サイドブロックと上沓の橋軸方向のずれは見られるが，橋軸直角方向のずれやサイドブロックの破損は見られないことから，センターラインがジョイント部で折れ曲がって見えるのは，橋台の移動によるものと思われる．

これらのほかに，支承部の上沓ストッパーの破断や変形なども確認できるが，支承部の損傷はすべて，桁の橋軸方向移動に伴うもので，橋軸直角方向への移動により損傷を受けると考えられる支承サイドブロックの変形やサイドブロックを固定するボルトの破断などは確認できなかったことから，地震動による直接的な損傷よりも，斜面の土砂移動にともない，橋脚や橋台が移動したために，桁のずれなどの損傷を受けたものと思われる．

3.3 越の大橋(妙見堰橋) (S2)

越の大橋は，長岡市妙見地域内の信濃川を跨ぐ国道 17 号の橋梁であり，1989 年に建設されている．この橋梁は，信濃川河川部分では，**写真 11** のように上流側の堰と橋脚が一体になり，左岸側の河川敷部分では橋梁単体の構造になっており，それぞれ，I 桁橋と箱桁橋で構成されている．堰は，ゲートを上げ下げするための機械室が上部に載った構造になっている．

写真 12 に，左岸側終端の堰の損傷状況を示す．このように，堰の上部に機械室があり，上部の機

械室が振り子のように揺れたため，断面の細い部分に損傷が生じたものと思われる．**写真 13，14** は，**写真 12** の右側のⅠ桁端部の垂直補剛材の損傷状況を示している．この端部では，**写真 13** のようにガセットプレートの取り付けられた垂直補剛材のボルト取り付け断面に亀裂が生じ，ガセットプレートのない垂直補剛材は，**写真 14** のように座屈変形が生じている．**写真 15** は，同じ橋脚上に併設されている箱桁ダイヤフラム垂直補剛材の変形を示している．この橋脚上では，この他に，支承のサイドブロックを固定するボルトの破断が生じている．Ⅰ桁橋部においては，前述のように，橋脚と堰が一体構造になっており，堰の上部には機械室が載っているために，橋脚単体の場合に比べて，地震時に複雑な揺れ，あるいは，揺れが増幅されてこのような損傷が生じたと推察される．

3.4 和南津橋(S9)

和南津橋は，旧川口町和南津地域内の魚野川を跨ぐ国道 17 号の道路橋で，1954 年に建設されたⅠ桁ゲルバー橋である．付近には，橋脚に曲げひび割れが生じた上越新幹線魚野川橋梁，せん断破壊の生じた上越新幹線和南津高架橋があり，揺れの非常に大きな地域と思われる．**写真 16** は，右岸側橋台背面の歩道部路面の陥没状況を示している．写真左側の車道部はすでに応急復旧を終えているため，詳細な状況は不明であるが，歩道部と同様の状況にあったものと思われる．**写真 17** は，左岸側床版張り出し部の桁と橋台の衝突による損傷状況を示している．この桁端の路面では，伸縮装置が破損し，橋梁側のフインガージョイントが飛び上がるように破損しているが，橋台背面の路面の陥没は，僅かであることから，桁側が相対的に移動して，このような損傷を生じたものと思われる．

写真 18，19 は，**写真 17** と同様の左岸側桁端部の桁の損傷状況を示している．**写真 18** より，支承取り付け部の下フランジから下フランジとウェブの接合部を通り，垂直補剛材とウェブの接合部に沿って断面が破断していることが分かる．また，破断部分周辺は，腐食が進行し，下フランジの板厚が減少していることが確認できる．隣の桁端下部の状況を**写真 19** に示す．ウェブ下部と下フランジが腐食しており，下フランジ上部のウェブには，腐食によるものと思われる断面欠損が見られる．この桁には，地震によると思われる大きな損傷は見られないが，腐食による板厚の減少が抑えられていれば，**写真 18** のような損傷は，防げた可能性もあり，耐震性を考える上で，腐食に関する維持管理の重要性を示している事例と考えられる．

3.5 旧浦柄橋(C1)

旧浦柄橋は，小千谷市浦柄地区内の朝日川を跨ぐ旧国道 17 号のコンクリートⅠ桁形式の道路橋であったが，平行して新浦柄橋が建設された後は，使用されていない橋梁である．この橋梁に平行してJR 上越線の上下 2 橋と旧山古志村へ通じる国道 291 号の浦柄橋が近接して建設されている．

写真 20 に右岸側橋脚の斜めひび割れによる損傷状況を示す．この橋梁は 3 主桁からなり，それぞれの桁が独立した橋脚に取り付けられている．右岸側の橋脚のうち下流側の 2 本にこのような斜めひび割れが発生している．

前述のように，ここには近接して 5 個の橋梁が建設されているが，すでに使われていない旧浦柄橋だけがこのような損傷を受けている．他の橋梁は鋼桁であり，そのうちの 2 橋は鉄道橋であるので，単純な比較は出来ないが，古い設計基準で作られ，その後の補修・補強が行われなかった旧浦柄橋に大きな損傷を受けているにもかかわらず，供用中の橋梁には，大きな損傷は見られないことから，その後の設計基準および補修・補強の効果を示している事例と思われる．

3.6 旧四日町橋(C5)

旧四日町橋は，旧小出町四日町地区内の破間川

を跨ぐ道路橋であり，平行して四日町橋が 1985 年に建設された後は，使用されていない橋梁である．この橋梁は，**写真 21** のように金属支承が使われている．平行して建設された四日町橋には，**写真 22** のようなゴム支承が使われ，目立った損傷は認められなかったのに対して，この旧橋は，左岸側桁端のすべての支承が，**写真 21** のように下沓ストッパーに損傷を受けており，中間支点上の支承も，確認できた範囲ではすべて破断していた．これらのことから，ゴム支承は金属支承にくらべて耐震性に優れているように思われるが，新旧の橋梁は設計基準が異なることや，旧橋の支承は経年変化による影響も受けていると考えられることから，単純な比較は行えないことに留意する必要がある．

3.7 その他の橋梁

写真 23 は，1994 年に建設された，信濃川を跨ぎ小千谷市内の塩殿地区と川井地区を結ぶ川井大橋(S6)の左岸側桁端部の損傷状況を示している．この橋梁は箱桁橋であり，ウェブに写真のような落橋防止工が取り付けられている．写真では確認しがたいが，落橋防止工が面外方向に曲がり，ウェブも変形している．

写真 24，**25** は，先ほどの川井大橋の 2km 上流の国道 117 号に 1965 年に建設された，魚沼橋(S7)の損傷状況を示している．**写真 24** は左岸側の取り付け盛土流出を示している．**写真 25** は側道橋の沓座コンクリートの損傷状況を示している．道路橋本体の支承部にも多少の損傷が見られるが，側道橋の方が損傷は大きく，伸縮継手部のジョイントの跳ね上がりも確認できる．また，道路橋と側道橋は同じ橋台上に載り，上部工は分離された構造になっているものの，**写真 25** のように非常に接近して建設されているため，**写真 26** のように側道橋の床版と道路橋のアーチハンガーが接触した形跡が見られる．

写真 27 は，長岡市十日町地区内の JR 上越線を跨ぐ国道 17 号の十日町高架橋(S1)の損傷状況を示している．写真のような下横構の座屈変形が数箇所に見られた．

写真 28 は，小千谷市三仏生地区の信濃川を跨ぐ国道 17 号の小千谷大橋(S3)の左岸側支承部の損傷状況を示している．写真のように，ローラーが外れ，上沓を固定するサイドブロックの破損と，サイドブロックを止めるボルトの破断が確認できる．この橋梁は，右岸側コンクリート橋脚の断面変化部にコンクリートの剥落が生じていた．

写真 29，**30** は，小千谷市元町地区内の信濃川を跨ぐ国道 291 号の旭橋側道橋の損傷状況を示している．**写真 29** のように桁連結板のボルトが欠落し，上部の高欄継手部は，**写真 30** のように重なっていた部分が完全に外れた後，他方に食い込むように重なっている．この写真から，地震により少なくとも 6cm 橋軸方向のずれが生じていたことがわかる．

写真 31，**32** は，旧堀之内町下島地区と竜光地区を結ぶ魚野川を跨ぐ県道 333 号の宇賀地橋の損傷状況を示している．これらの写真は左岸側桁端部を示している．橋軸方向の移動により，上沓ストッパーが変形し，橋台にひび割れが生じている．サイドブロックには変形は見られないことから，この橋梁は，橋軸方向の揺れが大きかったものと思われる．

4 あとがき

今回の地震では，走行中の新幹線が脱線，トンネルの被災や高架橋のせん断破壊を生じた．また，斜面崩壊による大規模な河道閉塞，全村民の避難など，これまでにない甚大な被害が発生した．しかし，道路橋は，幸いにも修復不能になるような甚大が被害は確認されず，迅速な応急復旧により，長時間の通行制限を伴うような被害は皆無であった．そのような中で，特徴的な損傷状況を紹介した．

本報告は，土木学会調査団の一員として，また，土木学会関東支部調査団，土木学会鋼構造委員会調査団に随行する形で調査したものを纏めたも

のである．本調査を実施するに当たり，復旧作業を行われていた諸機関の方々には，便宜を図って頂きました．ここに謝意を表します．

参考文献

1) 気象庁: 平成 16 年新潟県中越地震に関する各種資料等 http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/2004_10_23_niigata/index.html (2004)

2) 日本道路協会: 道路震災対策便覧(震災復旧編) (2002.4)



写真 3　端対傾構，下横構の破損(S12)



写真 1 支承の破壊(S12)



写真 4 橋台と上部工の衝突による伸縮継手の跳ね上がり(S12)



写真 2 支承の破壊(S12)



写真 5 橋台背面の陥没(S12)



写真 6 斜面の陥没(S5)



写真 9 橋梁のずれ(S5)



写真 7 橋台背面の陥没(S5)



写真 10 桁と橋台の衝突(S5)



写真 8 伸縮継手の空き(S5)



写真 11 橋台と堰の一体構造(S2)



写真 12 堰の損傷状況(S2)



写真 15 箱桁ダイヤフラム垂直補剛材の変形(S2)



写真 13 Ⅰ桁垂直補剛材の破断(S2)



写真 16 橋台背面の陥没(S9)



写真 14 Ⅰ桁垂直補剛材の座屈変形(S2)



写真 17 桁衝突による橋台の破損(S9)



写真 18 桁端下部の破損(S9)



写真 21 下沓ストッパーの破断(C5)



写真 19 腐食によるフェブ断面欠損(S9)



写真 22 新四日町橋の支承部



写真 20 橋脚の斜めひび割れ(C1)



写真 23 落橋防止工とフェブの変形(S6)



写真 24 取り付け盛土の流出(S7)



写真 27 下横構の変形(S1)



写真 25 沓座コンクリートの亀裂(S7)

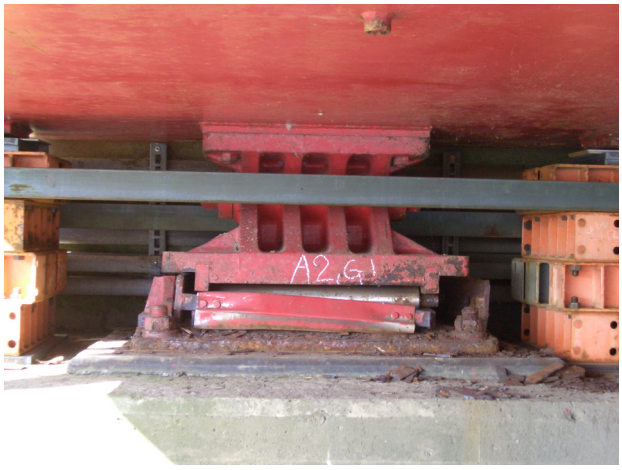


写真 28 支承部の破損(S3)

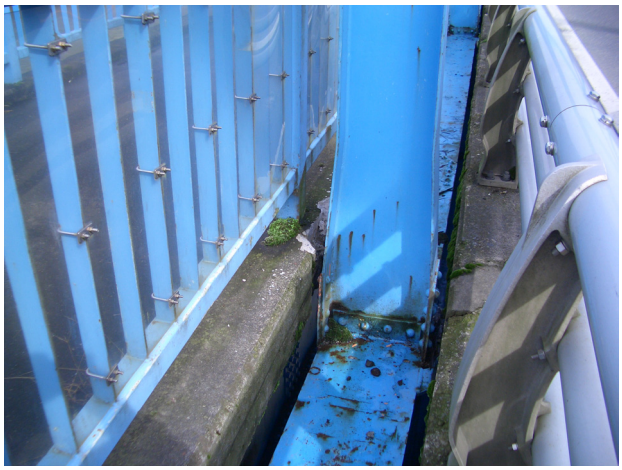


写真 26 側道橋床版とハンガーの衝突(S7)



写真 29 桁連結版ボルトの破断(S4)



写真 30 高欄継手部のずれ(S4)



写真 31 上沓ストッパーの変形(S10)



写真 32 橋台のひび割れ(S10)

下水道施設の被害

藤田 昌一・小松 俊哉
長岡技術科学大学　環境・建設系

1. はじめに

新潟県中越大震災では下水道管路の被害が目立った。しかしその実態把握と原因究明と耐震対策についてはまだ結論が出ていない。現地で大震災を体験し，様々な被害を身近に見た立場からいくつか推論を試みてみたい。定量的かつ系統的なデータをもとにした議論ではないが，いずれ真相究明に向けて証拠を固めていくつもりである。また本稿の中での，現象や効果についてのネーミングは筆者らが勝手に付けたものであり，まだ世間に認知されているものではない。

2. 今回の地震の特徴

①何回も攻撃された

表１と**図１**に見られるように，震度５以上の地震が短い期間内に何度も起きている。「本震よりも大きな余震はない」と言う定説は今回も間違いはなかった。しかし，**図２**のように，余震の場所があっちこっちに分散していたので，長岡からみれば「本震なみの余震が何回も来た」ことになった。

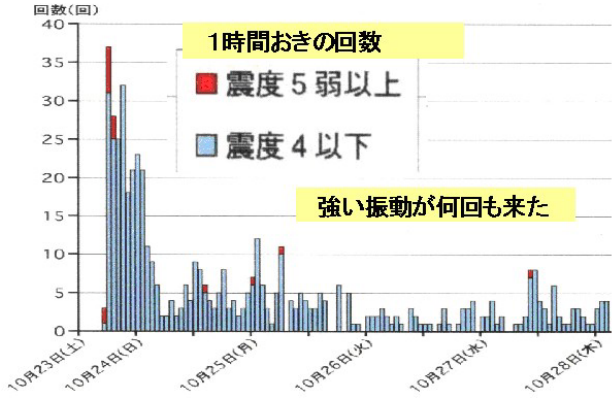


図１　強い地震が何度もきた（気象庁資料）

表１　震度５以上が２時間で 11 回もきた（気象庁資料）

震度５弱以上を観測した地震

（10 月 23 日 17 時 56 分～11 月 10 日 05 時、暫定値）

震源時		マグニチュード	最大震度
（年月日）	（時分）		
2004/10/23	17時56分	6.8	7
2004/10/23	17時59分	5.3	5強
2004/10/23	18時03分	6.3	5強
2004/10/23	18時07分	5.7	5強
2004/10/23	18時11分	6.0	6強
2004/10/23	18時34分	6.5	6強
2004/10/23	18時36分	5.1	5弱
2004/10/23	18時57分	5.3	5強
2004/10/23	19時36分	5.3	5弱
2004/10/23	19時45分	5.7	6弱
2004/10/23	19時48分	4.4	5弱
2004/10/24	14時21分	5.0	5強
2004/10/25	0時28分	5.3	5弱
2004/10/25	6時04分	5.8	5強
2004/10/27	10時40分	6.1	6弱
2004/11/4	8時57分	5.2	5強
2004/11/8	11時15分	5.9	5強
2004/11/10	3時43分	5.3	5弱

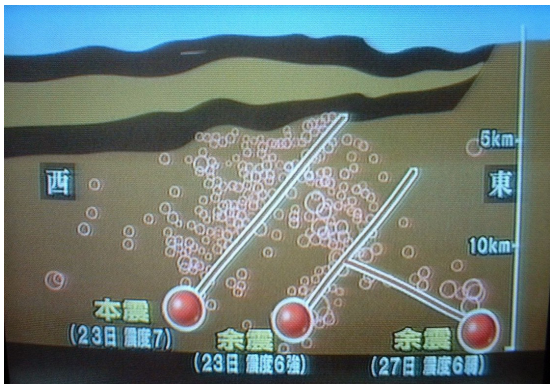


図２　震源があちこちに（ＮＨＫテレビより）

②パワーが大きい

地震の強さ，つまり地震加速度も阪神淡路が最大で 818 ガルだったが，中越では 1700 ガルという値だった。つまりパワフルな地震であったといえる。

以上２点の特徴は，構造物にとっては「強い力で何回も揺すられた」ということにある。これが

下水道管路に大きな被害を与えた要因のように思う。

3. 下水道管路の被害

被害についての地域的な分布や数量的なデータは数多く公表されているので，ここではやや定性的な特徴を見てみよう。

①飛び出すマンホール

写真１のようにマンホールが地表面より高くなっている箇所が多かった。場所によっては１メートル以上にもなった所もある。



写真１　地震で飛び出したマンホール

②へこんだ地面

写真２はマンホールの周辺の地盤が沈下した所であるが，その結果，見かけ上はマンホールが隆起しているように見える。



写真２　マンホール周辺の地盤沈下

③地山にぶつかるマンホール

写真３のように，マンホールと周囲の地盤が異なる動き方をしたために構造物の境目にひびわれが生じた。地盤の中でマンホールが暴れたのか，地盤が動いたのでマンホールがガタついたのか，きっとその両方であろう。



写真３　地盤とマンホールが別々に動いた

④下水道管のせいで道路が傷んだ

下水道が敷設されている部分で道路の沈下がみられる。道路管理者からすれば「下水のせいで道路が傷んだ」と言いたいところである。下水道としては大家さんに迷惑を掛けないように入居していなければならない。

⑤管渠の浮上

図３は長岡市が調査した地震後の下水道管渠の状況を示した縦断面図である。管渠の浮き上がりが起きている。しかし管路中央部に浮上が少ないのは，取付け管が「押さえ」になっているからであろう。

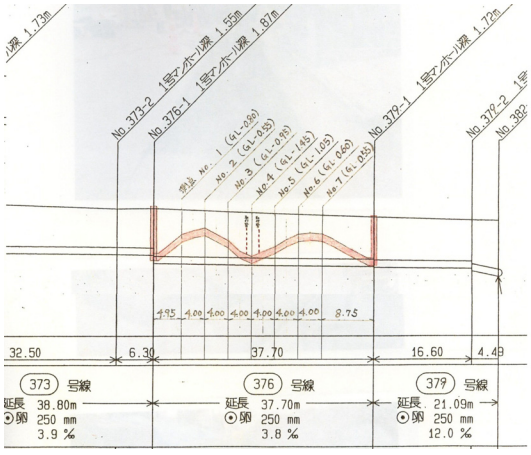


図３　被害管路縦断図

管渠はマンホールと取付け管に拘束されているために「への字」形の浮上になっている。

4. 被害の原因

マンホールの隆起や地盤の沈下をソク「液状化のため」と断定してよいのか少々疑問が残る。液状化現象とは，地盤の中でかみあって重なりあっている土の粒子のすきまの中に地下水があると，そこが地震によって揺すられて，土粒子のかみ合わせがだんだんはずれてきて，地下水の中に浮いたような状態になることである。今回の地震でも液状化が起きたとみられるが，以下に述べるような別の要因も働いているのではないかと思われる。これらは定量的データや実験に基づくものではなく，あくまで「推察」なのであるが，今後の地震対策を考える上で少しは考慮に入れてもよい要因ではないかと思う。

①叩き上げ現象

下水道のマンホールは**写真４**に示すように，ほぼ円筒形の工場製のコンクリート構造物である。つまり「組立マンホール」である。標準的なサイズの，内径 90 センチメートル，深さ２メートルの組立マンホールは，重さ 1,500 キログラム，体積 1.8 立法メートルで，比重は約 0.8 である。



写真４　組立マンホール

地中に埋められたこのような構造物が地盤の中で振動を受けて揺すられると，まず最初の揺れで構造物とその周辺の土との間の摩擦が切れた状態になる。つまり周囲の地盤とフリーになる。そこにまた本震と同程度のゆれが来ると上下左右に動くことになるが，横方向には地山があるので変位しにくい。結果として上下方向に揺すられた時に構造物が上に動く。一度上に動くと構造物の下方は崩れた周囲の地山で埋められてしまうので，構造物は元の位置には戻れない。結果として少し隆起した状態になる。普通の地震ならここで止まるところであるが，今回の地震は本震クラスの地震が２時間に６回も起きているので，このような縦方向の連続振動によってマンホールの隆起が累加して次第に高くなっていったのではなかろうか。つまり，あたかも下から叩き上げられたかのような力を受けたことになる。すなわち「叩き上げ現象」による「マンホールの成長」が起きたのではなかろうか。

②お茶筒とんとん現象

下水道管渠の周りには埋め戻しの砂がぎっしり詰まっている。しかし，実際の下水道管渠工事で砂を埋め戻す作業は必ずしも十分に行われていないこともある。特に開削工法では，山留めのために切張（きりばり）が 1.5 メートルおき（または３メートルおき）に掘削した溝を横断している。この間をぬって手押しの締固め機を巡らしてゆく作業は多くの時間と人手と入念な技術が必要である。また可撓性（かとうせい）の管渠は（管の側面の締め固めが不十分な時には）管の上部の埋め戻し砂を「あまり締め固めると管渠が水平方向に扁平に撓む」とされ，簡単な埋め戻しと，不十分な締め固めのまま，交通開放を急ぐために仮舗装をすぐにかけてしまうことになる。

そういう，ゆるい埋め戻しの砂が地震で振動を受けると，「お茶筒とんとん現象」で砂が締め固まってくる。つまりお茶筒にお茶を入れる時に，お茶筒をとんとんと叩くと，カッサリとゆるく入れられたお茶が締まってくる現象である。管渠のまわりに十分な締め固めをしていない土があると，お茶筒と同じように埋め戻しの砂が地震で叩

かれて沈下して，その結果，管渠を埋設した部分での地表面が沈下してしまうことになる。

③大玉せり上がり現象

下水管のまわりの埋め戻しの砂が叩かれると，相対的に管渠が持ち上がることにもなる。コップの中に大小の玉を入れて揺すると，大きな玉がだんだんと上のほうに集まってくる。これを「大玉せり上がり現象」という（誰も言っていないけれど)。可撓性の管渠は軽いので浮き上がりも容易のように思われる。もしそうだとすると耐震対策上は重い管渠の方ががっちり締め固められるし，浮上もしにくいので有利なことになる。

④自己液状化現象

震災にあった下水道施設はほとんどが分流式の汚水管である。つまり地震が起きた午後６時頃には一日のうちでも下水の流れが多い時間帯である。そういう下水管が地震にあうと破壊に至らなくとも亀裂が入る。すると下水が漏れて管渠の周りの地山を濡らすことになる。何回も本格的な振動に見舞われると下水の漏水も進行するし，埋め戻しの砂の中にも水が行き渡ってゆく。かくして地下水位の高くない場所でも，管のまわりの砂が水を含んで「液状化」の条件が揃うことにならないだろうか。つまり，下水管自身が液状化の状態を作り出してしまった可能性がある。これを「自己液状化現象」と我々は勝手に呼んでいる。

⑤直前の大雨が液状化促進

この大地震の３日前，10 月 20 日は，台風の影響でかなりの大雨があった。長岡市内を流れる信濃川は水位が高水敷を埋めるほどの高さとなり，警戒水位を突破していた。長岡市内で雨は 10 月 19 日午後３時ごろから降り始め，10 月 21 日朝９時ごろまで降り続いた。台風の雨だから広い範囲に及んだと思われる。ということはこのあたり一帯つまり中越大震災の地域では，山も丘も田も畑もそこら中の地盤がたっぷりと雨の水を含んで「あたり一面水浸し地盤」となっていたのである。地下水位の高さは降雨に影響されやすい。普段は地下水位が低い所でも，この時は地下水位が高くなっていた可能性がある。そこへ大地震である。降り続いた雨が十分地下に行き渡っていたために「液状化」がそこら中で促進されたのではなかろうか。

5. 耐震対策

以上，強い地震が連続して何回も襲ってきた新潟県中越大震災では，地震被害の原因として主たるものとされる「液状化」と共に「叩き上げ」「お茶筒現象」「大玉浮き上がり」「自己液状化」「水浸し地盤」の５つを上げてみた。これらの推理を基に対策を考えてみると次のようなことがらが現実的ではなかろうか。

①転圧を期待しない埋め戻し材料

施工管理において埋め戻し土を十分に転圧することの必要性についてはすべての関係者が意を用いているところであるが，現実には十分に行われていない場合があるように思う。転圧が不十分でも大丈夫なような，一種のフールプルーフと言うかフェイルセーフの原理を導入して，転圧に期待しないでも大丈夫なようにしておく方が現実的ではなかろうか。もちろん十分な転圧は必要であって，これを不要と言っているわけではない。

②砕石と改良土

国土交通省の下水道地震対策技術検討委員会の提言では，砕石や改良土での埋め戻しが示されている。長岡市では，被災した管渠の入れ替えに当って，掘削した土を「残土」とするのは忍びないということで，これにセメントを若干混ぜて改良土として埋め戻しに用いることとを検討している。もともとが「砂埋め」であったのだから，掘削して出てくる土も良質な砂質土である。残土の発生も抑制され，砕石などの新たな材料の購入もしないで済ませられる予定である。むろん砕石

の入手が容易な地域では砕石による埋め戻しも可である。

③マンホールのフーチング

円筒形のマンホールの底に，マンホールの外径よりも大きなコンクリートの板（これをマンホールフーチング，略してMFと呼ぶ）を取り付けておくのも浮き上がり防止に効果的ではなかろうか。マンホールが浮上しようとしてもMFが押さえになる。浮上するにはMFの上部の土も持ち上げなくてはならない。このMFはマンホール築造時の掘削幅目いっぱいに打った現場打ちコンクリートで十分であろう。

④さかさ卵形管

前記のMFと同じ原理で，卵形管も上が太くて下が細いと浮かびやすいので，これをさかさにして水滴の形のように敷設したらどうだろうか。卵形管の特徴がひとつ失われるが「浮上しにくい」という別の特徴が出てくる。

⑤推進工法のすすめ

開削工法では埋戻しの土が液状化するおそれがあるが，推進工法ならが砂地盤でない限りその恐れが少ない。近年は開削工法よりもコストの低い推進工法が多種類出回っているので，この際，この方面への目配りもしておくとよいように思う。

⑥重たい管渠材料

軽い管渠材料には，それなりの大きなメリットがあり，それゆえに今日の隆盛が築かれている。しかしここにきて，軽いから浮上すると言われている。そこで改めて，陶管，ヒューム管，レジン管，ポリエチレン管，鋳鉄管などなど，原点に立ち返って考えてみるのもよいことではなかろうか。

⑦マンホールのかぎ

マンホールの蓋を開けるには特殊なフック（マンカギとも呼ばれている）が必要である。管渠の維持管理の必需品である。ところが，マンホールを開ける穴の形状は各都市で微妙に異なっている。災害支援に行った都市の人が自分達が持っていったフックでは蓋が開かなくて困ったそうである。小さなことであるが，地震対策の点からも統一化に向けてすぐに動こうではありませんか。

6. 危機管理のISO

大きな地震はめったに来ない。だから毎日の多忙な仕事のルーチーンの中に入ってきにくい。緊急時の体勢についての備えが出来ていないことがある。地震が来て初めて「災害時の相互支援協定」を紐解いたりした都市もあるという。そこで「普段から災害に備える体制を十分にとっている」ということを証明する仕組みがほしい。品質管理や環境管理のISOのような「緊急時の対応」が十分に行われることを保証する認証システムである。管路協会あたりが音頭をとってみたらいかがであろうか。ともかく何か新しい仕組みを考えてみませんか。

河川堤防の被害および土砂崩壊による河道閉塞

福嶋　祐介・細山田　得三・犬飼　直之
長岡技術科学大学　環境・建設系

1. 河川の被害状況の総括

平成 16 年 10 月 23 日に新潟県の中越地方で発生した地震により，**図１**に示すように中越地区の信濃川（魚野川含む）および中小支川のほぼ全川の河川堤防・堰・水門に被災が生じた．その総数は国の直轄河川（信濃川・魚野川）で 185 箇所，信濃川の支川で 425 箇所である．地震の 2 日前には台風 23 号による大量の出水（戦後 5 番目）を記録しており，堤防の内部に多くの浸透水を含有した状態であったことが河川堤防の被災の一因と考えられる．もし，出水と地震が逆の順序で発生していたら，更に大規模な被災が生じたことが想像される．また，旧山古志村（長岡市山古志）から小千谷市，魚沼市（旧堀之内町）にかけて流れる芋川の周辺の斜面から土塊が崩落し，河道の閉塞が生じた．さらに閉塞した土砂からの土石流の発生が懸念され，広く報道された．ダムに関しては，国および県が管理している 22 のダムについて調査が行われ，安全が確認された．本稿では，本学地震調査団による現地踏査や数値実験結果および関係機関によって入手された資料をもとに河川の災害状況について報告する．

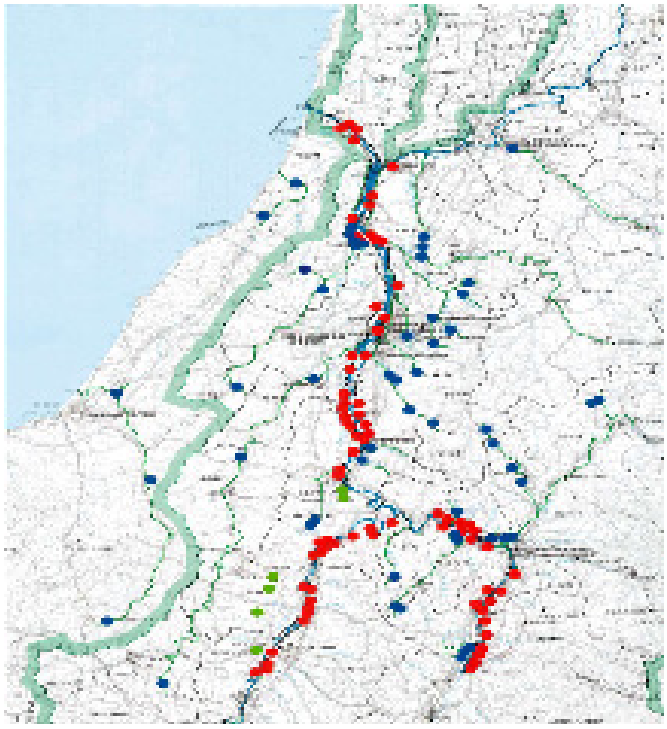


図１　河川被災状況[1）より抜粋]
（赤：国直轄，青：県，黄緑：利水者管理ダム）

2. 河川堤防の被災

河川堤防の被害は，堤防の縦断方向の亀裂，はらみだし（堤防のすべり破壊），液状化等による沈下が挙げられる．国土交通省によれば，今回の地震では縦断亀裂による被災が顕著であったとのことである．この縦断亀裂により，天端上のアスファルトにも縦方向の亀裂が数多く発生した（**写真１**）．写真１の右は長岡市三俵野町の信濃川右岸の被災の状況であり，天端幅 7m のうちの



写真１　河川堤防上の縦断方向の亀裂[1）より抜粋]
越路町釜ヶ島（左），長岡市三俵野町（右）

4m の崩壊が縦断方向 150m に渡って生じた．また裏のり面の陥没や低水護岸においても被災を受けた．この地点が今回の地震で最も大規模な河川堤防の被害となっている．








写真２　刈谷田川五百刈地先の堤防被害　【GPS】: N 37° 31’ 35” E 138° 52’ 43” 2004.10.28

左上：下流方向　　右上：上下の亀裂の長さは 50cm 上流方向

左中：複雑な亀裂　　右中：亀裂面に石灰粉散布し白くなっている

左下：上流方向２列の亀裂　　右下：作業用ブルーシート　亀裂が長く続く

また，同年の７月 13 日に大水害が発生した刈谷田川（新潟県管理）においても堤防に大きな被害が生じた．**写真２**には刈谷田川の五百刈地先（国道８号線見附大橋上流）の左岸堤防上の大きな亀裂を示している．ここにおいても主として、堤防の縦断方向に亀裂が発生していた。このように







写真３　刈谷田川山吉町地先の右岸堤防

【GPS】: N 37° 31’ 35” E 138° 52’ 43”

2004. 10. 28

左上：左岸の低水護岸が小規模に破壊

右上：復旧するための工事用道路

右下：堤防上の重機

県が管理する補助河川では堤防上がアスファルト舗装されていない場合多く，草地の堤防天端上に亀裂が見られる。写真のところどころに見える白い袋は土のうである．堤防の亀裂部には石灰がまかれており、白くなっている。亀裂は水平方向だけでなく鉛直方向の段差を生じており，その長さは約 50cm であった．

写真３には刈谷田川の五百刈地先の対岸の山吉町地先の被災の様子と復旧活動の一例を示す．左岸堤防と同様の亀裂が発生していた。この場所においても堤防上はアスファルト舗装されていなかった。また、亀裂内には石灰がまかれていた。亀裂は左右に開いているもの、上下に段差があるものなどであった。この写真は，地震の発生後 5 日目に撮影されたものであり，復旧用の工事道路などの築造も完了している．地震直後に 24 号台風が 23 号台風とほぼ同じ経路で日本に接近しつつあり，そのため，迅速な工事が行われたためと思われる．

写真４には写真３と同一地点の堤防上の亀裂を示している．上段の 3 枚は他の地点の堤防被害と同様に縦断方向に亀裂が生じている．ただし，上段中に示すように亀裂の形状が複雑になっているものもある．また，上段左は天端の端部から川側ののり肩に亀裂が見られる．

写真５には地震発生の約 3 ヶ月前の 7 月 13 日に発生した水害の破堤点の堤防の様子を示す．右に示すように堤防の天端が堤内地側に拡幅されており，裏のりにはビニールシートがかけられ，地震時にも安定が保たれた．表のり上には波消ブロックによる護岸が施されており，これにも地震被害は発生しなかった．

写真６には長岡市中心部付近の信濃川の両岸の天端上のアスファルトの亀裂を示している．国か管理する一級河川信濃川の天端であり，かつ長岡市中心付近を防護し，交通手段としても活用されているため，アスファルト舗装が施されている．左上の写真が示すように，工事用に人工的に与え



写真４　刈谷田川山吉町地先の右岸堤防

上段３枚：　堤防上の亀裂　上段中：やや複雑な亀裂の形状

下段左：堤防上を斜めの亀裂が入っている。このような堤防に斜めの亀裂は珍しい

下段右：上下に開いた亀裂が生じている。その上にかぶっているのはススキとブルーシート

た切込みから地震による外力によって亀裂が延伸しているようである．

ここまで述べてきた堤防の被災を発生させる原因の１つに液状化が挙げられる．前述したが，地震が発生する２日前に台風 23 号が日本に上陸し，信濃川の上流部となる長野県を通過した．このときの出水は最高水位が小千谷（信濃川の基準点）において警戒水位(46.5m)を超えて 48.02m を記録し，戦後第５位となっている．高島[7]によると，信濃川の流域において大きな出水となるのは，雨域が上流から下流に移動してくる場合であり，前線性よりも台風性の気象擾乱による出水である．今回の台風は信濃川で大出水となるパターンであった．このため，河川堤防は地下水位が高い状態となっている．また，中越地区は山間地を流れた信濃川が平地に流れ出る扇状地にあたり，土粒子分布が均一な部分が多く，このため，越路橋付近と長岡からその下流の中之島町にかけて液状化が発生した．部分的に砂礫や玉石を含んでいる堤防（例えば渋海川合流部付近）もあるが，そのような部分では液状化がみとめられず，地震動による飛散などが見られた．魚野川や十日町付近





写真５　7.13 水害の破堤点付近　旧中之島町刈谷田川左岸

右は左の背後部である．地震被害は発生しなかった











写真６　信濃川長生橋付近の堤防天端上のアスファルトの亀裂

左上：上流左岸　人工的な亀裂から地震による亀裂が延伸

上中：左岸上流方向

上左：右岸下流方向

下左：左岸上流方向

下中：左岸上流方向　石灰が見える

の信濃川では堤防の地盤材料や地形によって地下水位が低いことなどにより，液状化はみとめられなかった．

3. 河川堤防以外の構造物の被災

河川堤防以外の被災としては，堰，水門などの

河川構造物の被災が挙げられる．今回の地震では，復旧を要する水門等の被害件数は 7 件であった．その中でも妙見堰の被災が顕著である．妙見堰は，その上流の JR 東日本の水力発電に用いた水の調節や河床の安定，長岡市への浄水の安定取水のために設けられた施設である．妙見堰の被災は，○管理事務所の亀裂　○ゲートの被災　○通信鉄塔の撤去　などである．被災を受けた No.1 ゲートは遠隔操作が不能となった(写真 7)．このとき，台風接近による出水が予想されたことから，ゲートを全開とした．このため，浄水のための取水が十分できなくなり，排水ポンプ車や水中ポンプを設置し，直接浄水場へのくみ上げを行った．

水門以外では，例えば堤防に埋設してある光ケーブルの崩壊が長岡市三俵野で発生した（**写真 1**）．ケーブルは切断されていなかったため，堤防の整形後，再度埋設して復旧した．

4．復旧に向けての取り組み

河川災害の復旧については，地震直後 24 号台風の接近が予想されていたため，迅速な河川の巡視と緊急復旧工事が実施された．このとき，雨の浸透を防ぐためにブルーシートが張られた．今回の地震は本震後の余震の継続が特徴として挙げられる．**図 2** には地震発生から約 3 日間の余震の発生分布を示している．震度 4 以上の余震が 3 日後も継続しており，緊急復旧工事の進捗を阻んだものと思われる．24 号台風は温帯低気圧となり，上陸することもなかった．

その後の復旧は，応急復旧と本復旧工事に分か



写真 7　妙見堰 No.1 ゲートの被災[1]より抜粋
コンクリートの剥落と鉄筋の露出

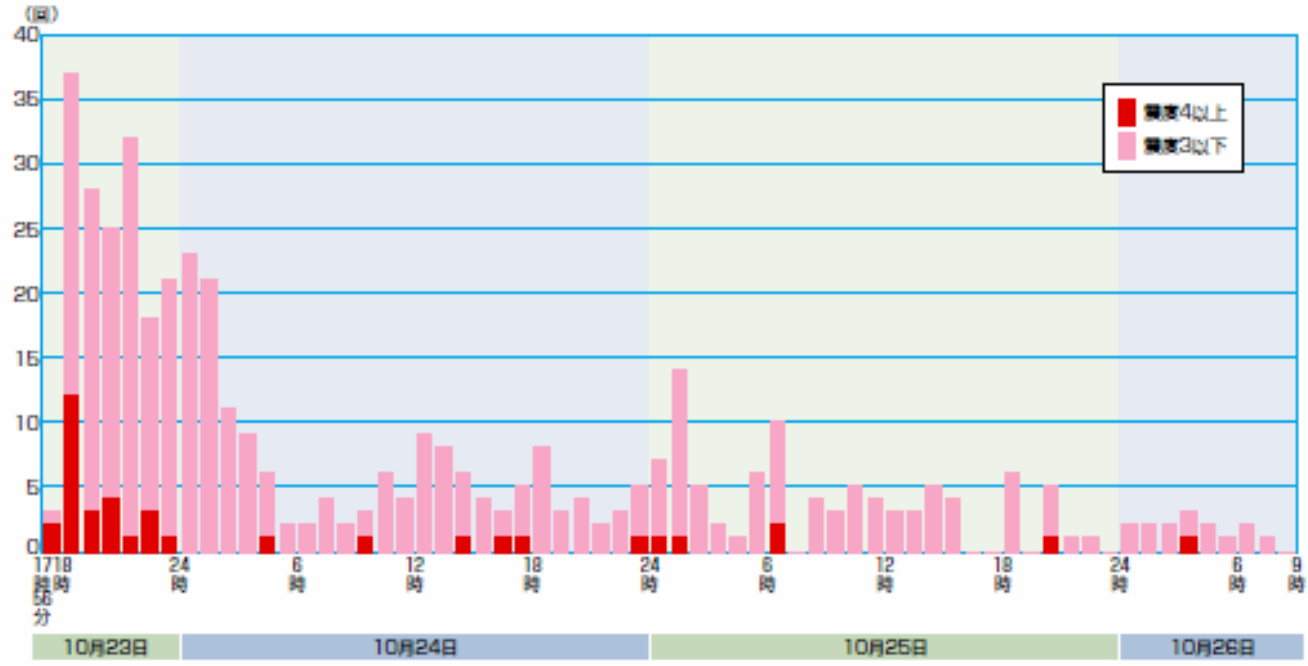


図 2　地震発生後 3 日間の余震の継続状況[1]より抜粋

れる．応急復旧は，ブルーシート張りなどを中心に行われた．本復旧では，低水護岸のすべりやはらみ出しには仮締切を行い，連結ブロック張や裏込材充填などが行われた．堤防の縦断亀裂には切り返しや張芝などで対応された．液状化に対しては，堤防前面を二重締切などして地盤改良や大型連結ブロックの設置などにおいて対応した．

５．土砂崩壊による河道閉塞

5.1 芋川流域の被災について

中越地震では，本震および余震を含め３回の大規模な地震が発生したが，それらは長岡市山古志（旧山古志村）から小千谷市，魚沼市（旧堀之内町）にかけて流れる芋川（魚野川支流）流域付近で発生した．国土地理院によると，これにより芋川流域では 32 箇所で土砂崩壊による河道閉塞が発生し，5 箇所で大規模な震生湖が生成した [9]．その中でも，寺野地区および東竹沢地区では大規模な河道閉塞による巨大な震生湖が生成した．その貯水量は寺野地区で約 43 万立方メートル，東竹沢地区で約 330 万立方メートルと推定され，特に，もし東竹沢地区の堆積土砂が崩壊し土石流となり流下した場合，下流地域へ甚大な被害を及ぼす可能性があり，早急な対策が必要とされた．

そこで本節では，大規模な河道閉塞により土石流発生の可能性が懸念された芋川流域の状況を把握する為に現地調査を実施した．また，もし土石流が発生した場合の被害を最小に防ぐ為にも下流域での氾濫水域を早急に特定し，防災対策を施す必要性もあると考え，竜光地区へ到達する土石流の規模・流下速度などを予測する為に数値シミュレーションを実施した．調査では，被災地への進入経路の制約もあり，南平（図５参照）を中心とした上流域及び，大規模な河道閉塞が生じた東竹沢地区（図４参照），そして竜光地区（図４参照）を中心とした下流域の３流域について調査を実施した．特に，大規模な土石流発生が懸念された東竹沢地区については，複数回調査を実施し，その結果を基に震生湖の排水能力を推算した．

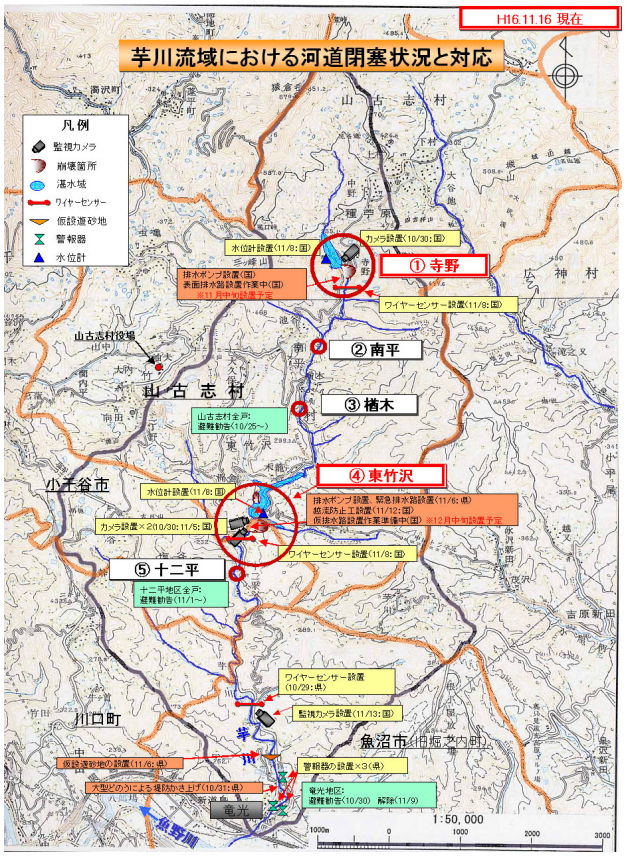


図３　芋川流域図及び主要な河道閉塞発生箇所 [1]
（○が河道閉塞発生現場）

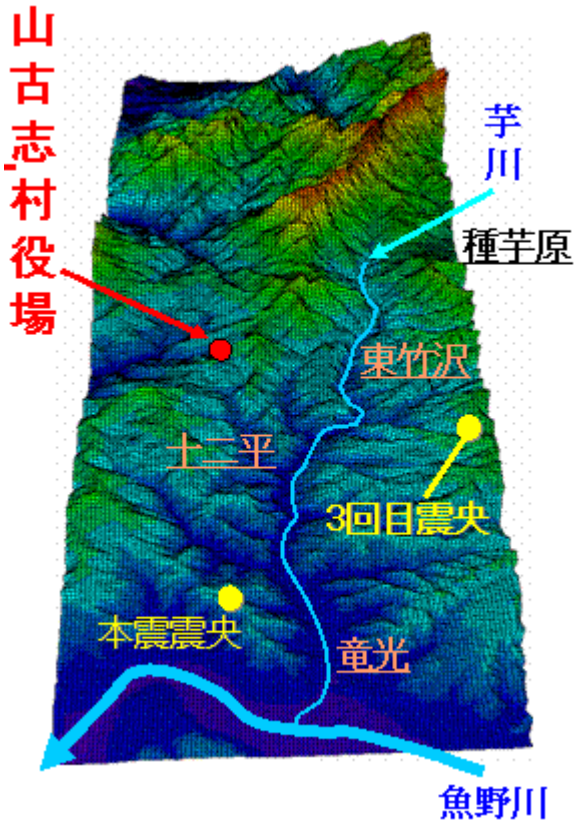


図４　芋川流域地形鳥瞰 [8] より作成

5.2 芋川上・中流域の被災状況

寺野から楢木の流域では，土砂崩壊による河道閉塞が複数箇所で発生した．本節では，そのうちの南平周辺（図５）および東竹沢地区（図７）について報告する．調査時は，南平地区へは旧山古志村役場（図５）まで車で進入し，それから先は徒歩で羽黒トンネルを経由し現地へ向かった．また，東竹沢地区へは小松倉集落（図１０）まで車で進入し，それから先は徒歩で現地へ向かった．

(1) 寺野～楢木地区（平成 16 年 11 月 20 日）

ここの流域では無数の土砂崩壊により複数の河道閉塞が発生した．そのうち，南平地区周辺の河道閉塞の状況を示す（写真８，９）．



図５　芋川上流域（寺野～楢木）

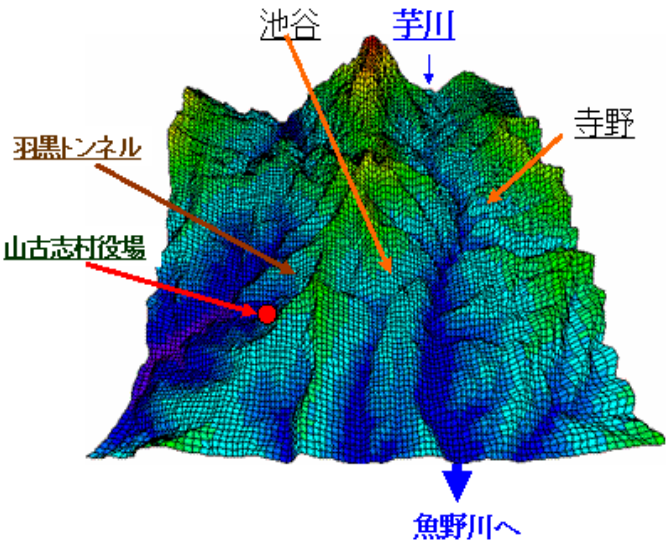


図６　芋川上流域鳥瞰（図５と同じ）[8] より作成



写真８　河道閉塞箇所（南平，閉塞河道）



写真９　河道閉塞箇所（写真８の右側状況）

(2) 東竹沢地区（平成 16 年 11 月 13，20 日）

東竹沢地区は，魚野川の合流点より約 8km 上流の地点（図７）であり，芋川流域の中で最大規模の河道閉塞が発生し，それにより巨大な震生湖が生成した場所である．

この地区は，芋川と前沢川の２つの谷が合流するＹ字谷地形（図８）であるが，そのＹ字谷の合流点（標高約 130 メートル）付近で大規模な地すべりが発生し，２河川を閉塞させた（図１０）．それによりせき止められた水は芋川と前沢川の２つの谷に貯水され大規模な震生湖が生成した（図１０）．図９および図１０に震災前後（平成 16 年 11 月 20 日当時の水位，標高約 153 メートル，標高差約 23 メートル）の地形図を示す．

平成 16 年 11 月 13 日当時，国土交通省によると，閉塞箇所の土塊高さは約 28 メートル，閉塞長は約 350 メートル，閉塞幅は約 300 メートルであった．この湖の総貯水量は東京ドーム 2.5 杯分の約 330 万立方メートル，表面積は約 27 万平方メートルであり，越流水位までなお約 200 万立方メートルの余裕があると考えられていた．

また，東竹沢地区より約４キロメートル上流の寺野地区の震生湖では，越流水位ぎりぎりの約 43 万立方メートルの貯水量であった．しかし，例え寺野地区の水が流出しても，220 万立方メートル余裕のある東竹沢の震生湖へは悪影響は及ぼさないと考えられていた．

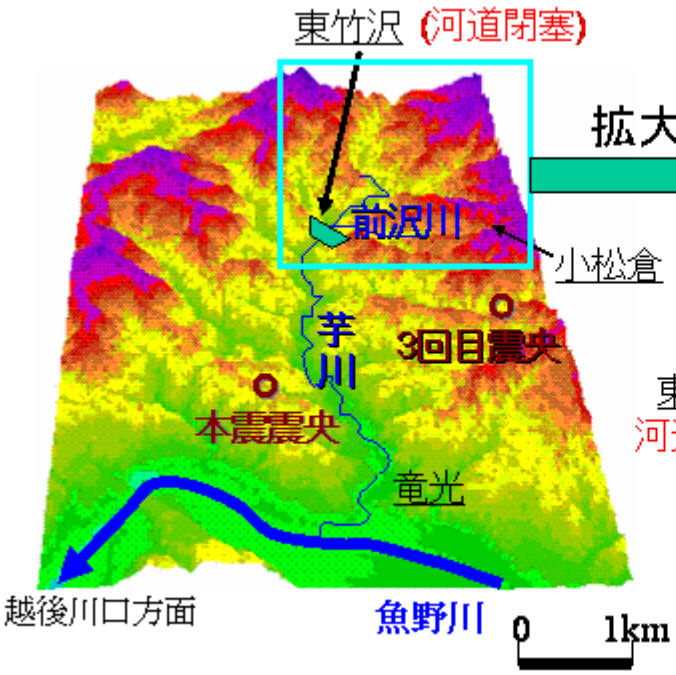


図７　芋川流域鳥瞰（□は図８の領域）[8] より作成

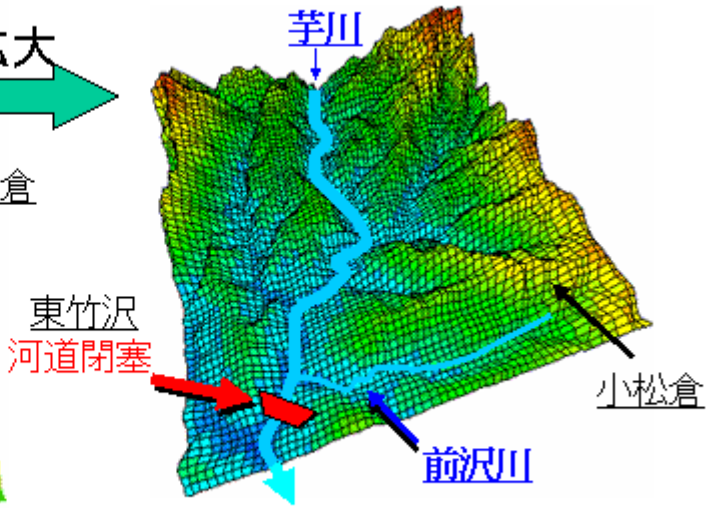


図８　東竹沢地区付近地形鳥瞰 [8] より作成



図９　東竹沢地区（震災前の地形，図８と同領域）



図１０　東竹沢地区（震災後の地形）

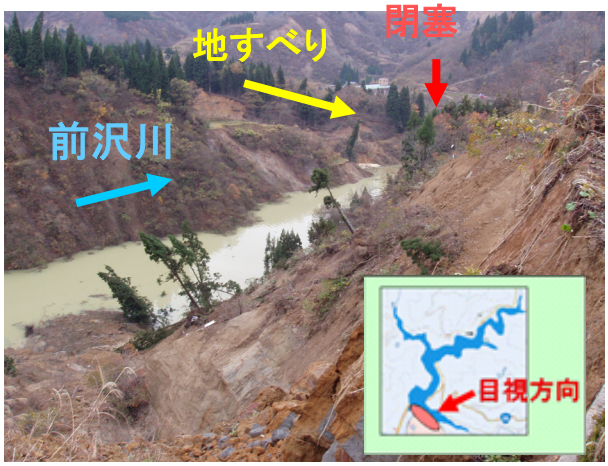


写真１０　前沢川（小松倉～東竹沢）
（平成 16 年 11 月 13 日）



写真１１　震生湖上流方向（平成 16 年 11 月 13 日）



写真１２　閉塞箇所および震生湖（平成 16 年 11 月 13 日）

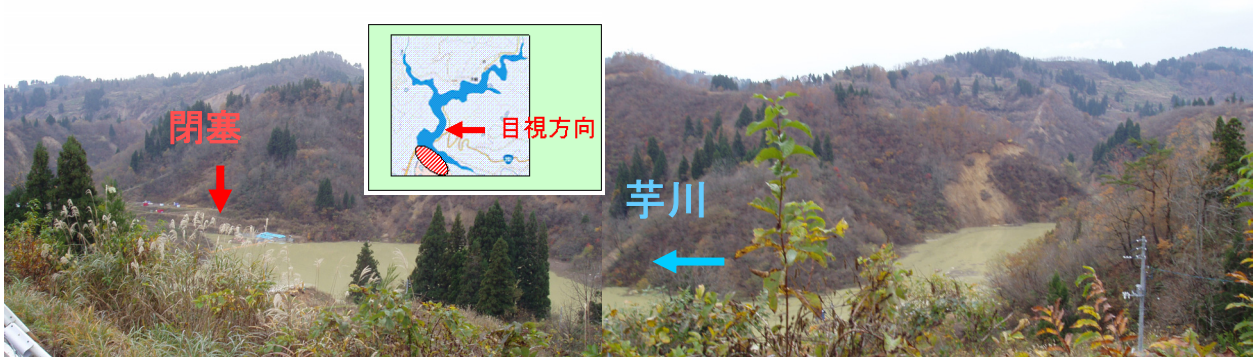


写真１３　芋川側震生湖遠景（平成 16 年 11 月 13 日）

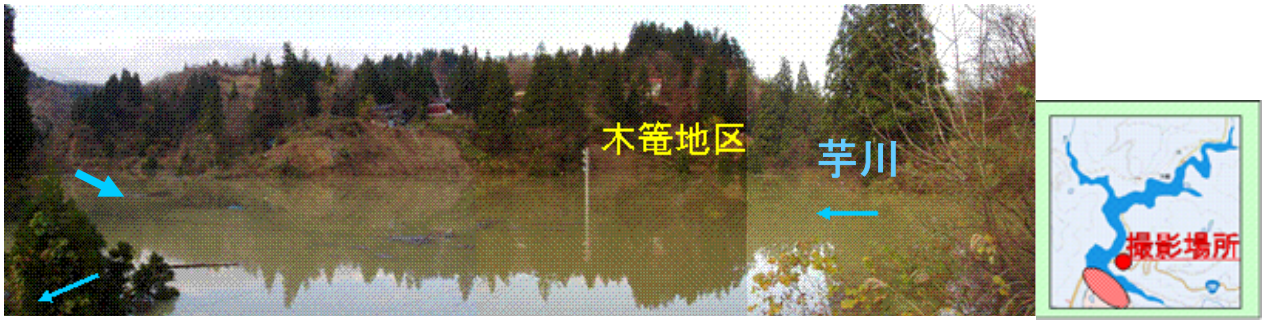


写真１４　孤立した木篭地区（震生湖上流，平成 16 年 11 月 13 日）

5.3 芋川下流域の被災状況

芋川下流域の調査は，魚沼市（旧堀の内町）側より芋川に沿って車道を走行しながら移動した．しかし，竜光地区より約２キロメートル上流の地点で道路が崩壊しており，それ以上の進行は不可能となり，それより上流側の調査を断念した．

(1) 竜光地区上流域（平成 16 年 11 月 20 日）

竜光地区の集落の上流では，土石流緩和対策のために芋川本川内にブロック，側面での土嚢の設置など（写真１５）で土石流が竜光地区への到達をできるだけ軽減させるための対策が施されていた．芋川の下流域では，大規模な土砂崩壊による河道閉塞は発生しなかったが，小規模な土砂崩壊は至るところで発生しており（写真１９など），こういう崩壊土砂が河道内に流入することにより，流下能力に少なからずとも影響を及ぼしていたと考えられる．

(2) 竜光地区（平成 16 年 11 月 20 日）

震災により竜光地区でも家屋倒壊などの被害が発生した．平成 16 年 11 月 9 日に避難勧告が解除されたが，その後も上流の東竹沢地区の震生湖の水位は上昇を続けた．もし閉塞土砂が崩壊した場合，土石流は竜光地区へ数分で到達する危険性があったので，上流で土石流センサーを設置したり，竜光地区の河川堤防上に土嚢を設置するなどの土石流緩和対策工を実施した．また，竜光地区では避難経路や警報伝達手法などの体制を整備し，土石流に備えた．



写真１５　土嚢設置状況（右岸拡大）



写真１６　家屋被災状況（竜光地区）



写真１７　土嚢設置状況（竜光地区）



写真１８　土石流対策工
（魚野川合流点より約 2km 上流）



写真１９　河道状況（竜光地区上流）
（魚野川合流点より 2.5km 上流，○：土砂崩壊）

5.4 土石流予測シミュレーション

(1) 予測シミュレーションの必要性について

震災による河道閉塞が生じた東竹沢地区では巨大な震生湖が生成した．その後も湖面は上昇を続け，平成 16 年 11 月 20 日には，水面は標高 153 メートル（閉塞前標高約 130 メートル）標高差（約 23 メートル）にまでに達した（図１１）．もし，この状態で土砂が崩壊した場合，土石流は約 6.4 キロメートル下流の竜光地区へ到達し，甚大な被害を与える可能性があり，今後も水位が上昇を続けるようであれば，被害予想を早急に行う必要性があった．また，現在は大丈夫でも春季の融雪期には大量の融雪水により河川水が増加する事が予想され，もし排水能力が不足し再び水位が上昇した場合，越流＝決壊の可能性が生じるのではないかという懸念が生じた．もし土石流が発生した場合には，下流の竜光地区の住民は速やかに安全な場所へ非難する必要性があり，被害を最小に防止するためにも，土石流が竜光地区へ到達する時間や規模を事前に予測しておくことは極めて重要な問題であった．

そこで，ここでは，11 月下旬の段階での排水能力を推算し，それがその当時十分な能力であるのか，その後の融雪期でも十分な能力であるのかを確認すると共に，もし土石流が発生した場合，竜光地区へ到達する土石流の規模・到達時間を数値シミュレーションで予測する事とした．

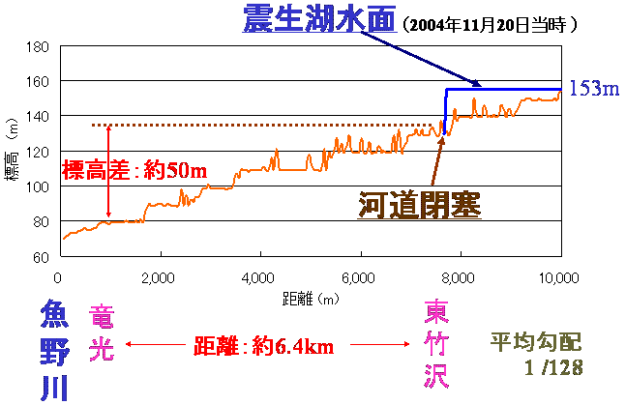


図１１　芋川の流下断面と震生湖水位 [8] より作成
（平成 16 年 11 月 20 日当時）

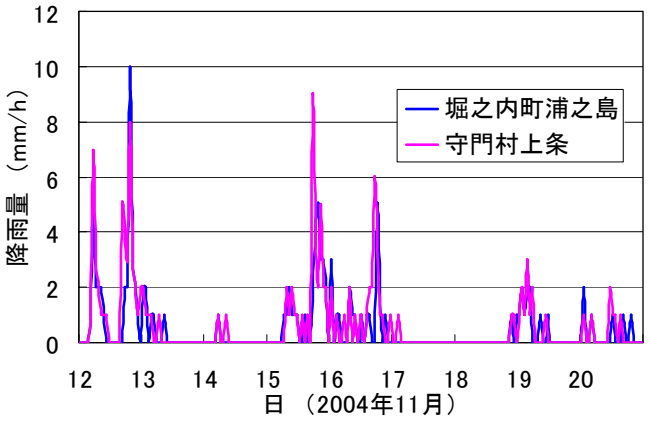


図１２　降雨量の経時変化（時間当たり降雨量）
（平成 16 年 11 月 12 日 1 時～21 日 0 時）

(2) 排水能力の把握について

① 東竹沢地区上流域の面積について

東竹沢地区で発生した河道閉塞箇所よりも上流の流域面積を国土数値情報 [8] を利用して換算すると，同地区より上流の流域面積は約 651 万平方メートルであった．これにより，流域内の降雨は 1 日以内に東竹沢地区に到達すると仮定した．

② 流域の降雨量について

現地調査を実施した平成 16 年 11 月 13 日及び 20 日の期間内の芋川流域の降雨量を，流域に一番近い国土交通省の堀の内と守門の 2 地点の雨量デ

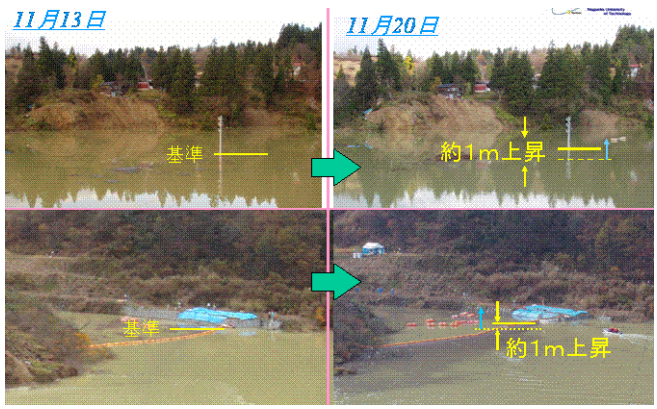


写真２０　水位変化
（平成 16 年 11 月 13 日および 11 月 20 日）
（1 週間で約 1 mの水位上昇）
（上：木篭地区，下：閉塞箇所付近）

ータを用い検討をした．データによると，この期間には堀之内，守門でそれぞれ 106mm 及び 133mm の降雨があった．これは平均すると 1 日当たり 12mm の降雨量に相当する．流域面積は①で換算した値であるので，この流域には 1 日当たり平均で約 8 万立方メートル相当の降雨量があった事になる．

② 同期間の水位変動量について

平成 16 年 11 月 13 日と 20 日の調査を実施し，河道閉塞箇所の構造物の水没量および木篭地区の電柱の水没量を比較した．写真 20 に木篭地区の 1 週間の水位変動差を示す．図より 1 週間で約 1 メートル水位上昇をした事が分かった．

③ 融雪期の流出量について

平成 16 年 11 月 24 日の朝日新聞によると，芋川流域では，融雪期に最大で 1 日１０ミリメートルの降雨量に相当する融雪水が出水することが予想された．これを，東竹沢地区から上流の流域で考えると，この流域では 1 日あたりの流出量は約 6.5 万平方キロメートルということになる．

③ 排水能力の推算

調査期間中 1 日平均１２ミリメートルの降雨量があり，1 週間で水位が 1 メートル上昇した事から考察すると，この当時の 1 日あたりの排水能力は約 4 万平方キロメートルであったと推測される．よって，この当時の段階では，春の融雪期の流出量には十分対応できなかった可能性が考えられる（注意）．

（注意）その後，閉塞箇所の補修工事が進み，現在では十分な土砂の補強および流出経路が確保されている．

(3) 基礎方程式

１１月２０日の段階では排水能力の問題や閉塞箇所の崩壊の危険性があった為に，もし土石流が発生した場合，どれくらいの時間及び規模で下流の竜光地区に土石流が到達するのかを推算しておく必要性があった．そこで，ここでは土石流の数値シミュレーションを実施し，竜光地区への流下状況の把握を試みた．

ここで実施した数値計算には，氾濫流、河道内の流れともに平面２次元で冠水域と没水域の区別を表現できる浅水流方程式を用いた。数値計算に用いた基礎方程式は、式(1)、式(2)に示されている。

$$\frac{\partial h}{\partial t}+\frac{\partial M_i}{\partial x_i}=0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial M_i}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\frac{M_i M_j}{h}\right)$$

$$=-gh\frac{\partial\left(z^*+h\right)}{\partial x_i}+A\left(\frac{\partial^2 M_i}{\partial x_m \partial x_m}\right)-\frac{gn^2}{h^{7/3}}M_i\sqrt{M_m M_m} \tag{2}$$

ここで式(1)は連続式、式(2)は平面 2 次元の i 方向の非線形長波方程式である。式(4.2)中のサフィックス i=1、i=2 はそれぞれ、東西方向と南北方向に対応する。式中の記号、x_i、M_i、g、t、z*、h、A、nはそれぞれi方向水平座標、x_i 方向の線流量、重力加速度、時間、DEM[8]による地盤高、水深、水平粘性係数、マニングの粗度係数である。未知量 M_i、h はスタガート格子を用いて平面格子内のそれぞれ、右辺上および中心点で定義されている。マニングの粗度係数及び水平動粘性係数は底面の状況や土砂の混入量などによって変化させるべきであるが、ここでは一定値とした。

(4) 結果

結果を図 13 に示す．結果より，もし土石流が東竹沢地区で発生した場合，土石流は，約 6.4 キロメートルの距離を平均 1/128 の勾配の斜面を流下し，竜光地区へは約 12 分で到達する事がわかった．また，竜光地区の川幅を国土数値情報最小格子間隔である５０メートルであると仮定すると，水位は約４メートルになることが分かった．このように本計算では土石流発生後竜光地区へ到達する時間及び規模を把握する事ができ，土石流の予測シミュレーションの可能性を示すことができた．

しかし，本計算では，山間の複雑な地形形状の領域であるにもかかわらず５０メートル格子の地形情報を利用した事や，土砂が混入した際の流体の性質が不明であったことから粗度係数および水平動粘性係数を一定値として取り扱った事よりまだ改善の余地が多々あると考えられる．今後は，この変数および地形精度を向上させることにより，より実現象に近い予測シミュレーションが可能になると考えられる．

謝辞

本稿を執筆するにあたり，信濃川河川事務所の調査第一課西修（前）課長には資料の提供にご協力を頂いた．河川災害の復旧のため多忙中，迅速に対応頂き，ここに謝意を表する．

参考文献

1) 国土交通省北陸地方整備局河川部，平成 16 年(2004 年)新潟県中越地震による河川被害状況［速報版］ <<信濃川他>>，平成 16 年 10 月．
2) 国土交通省北陸地方整備局信濃川河川事務所，平成 16 年 10・23 新潟県中越地震　地震発生から復旧まで　−信濃川河川事務所の対応−，平成 17 年 10 月．
3) 北陸地方整備局中越地震復旧対策室湯沢砂防事務所，平成 16 年(2004 年)新潟県中越地震芋川河道閉塞における対応状況，平成 16 年 12 月．
4) 北陸地方整備局河川部・新潟県土木部，平成 16 年(2004)新潟県中越地震土砂災害速報，平成 16 年 10 月．
5) 国土交通省北陸地方整備局，「平成 16 年新潟県中越地震」による被害と復旧状況，平成 16 年 11 月．
6) 新潟日報社，新潟県中越地震特別報道写真集，平成 16 年 11 月．
7) 高島和夫，信濃川における「横田切れ」の洪水規模の推定とその位置づけに関する研究，博士（工学）学位論文，平成 17 年 6 月．
8) 国土地理院，数値地図 50m メッシュ（標高），平成 12 年 6 月．
9) 新潟日報

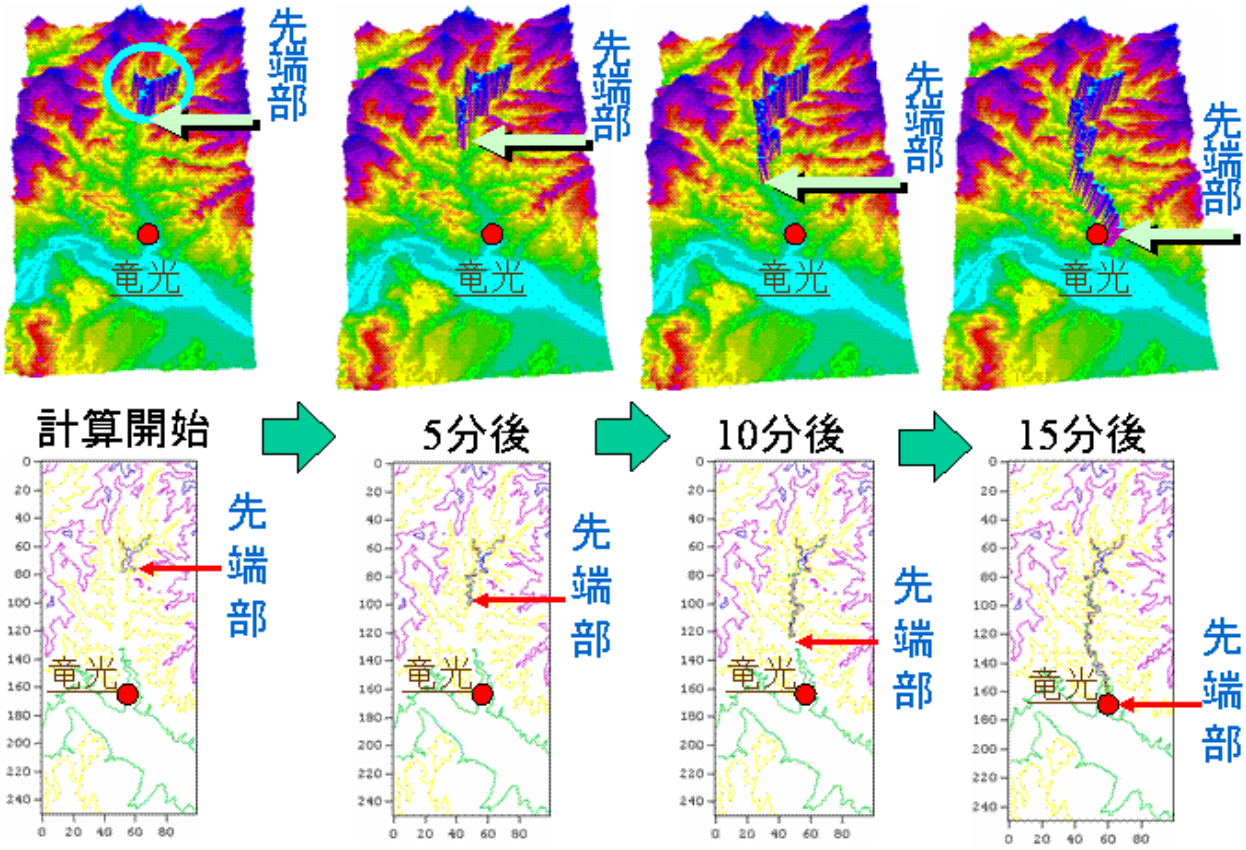


図１３　計算結果（土石流先端部の流下状況）

なだれ被害と煙型なだれハザードマップ作成

福嶋祐介・陸　旻皎
長岡技術科学大学　環境・建設系

１．はじめに

本報告は2部構成となっており、前半は地震後の大雪によるなだれ災害に関する調査報告で、後半が被害を未然に防ぐ方法として開発したなだれハザードマップの作成法と結果である。

２．平成16 年新潟中越地震と雪崩災害

2004 年10 月23 日午後5 時56 分に新潟県中越地方を震源とするマグニチュード6.8 の非常に大きな内陸直下型地震が発生した。被害は、死者51人、重軽傷者4、795人、住宅被害は120、410棟、129、061 世帯、さらに空中写真からは計3、791箇所の地すべり、斜面崩壊が確認されており、そのうち362 箇所が崩壊幅50ｍ以上の規模であった。

図１に示すように降雪期に入ると大量の雪、図２に示すように被災地を中心として被害をもたらし、雪崩発生やその危険性に伴って昭和60年度以来の大雪に見回られ、雪崩発生による通行止め27箇所、雪崩の危険による事前通行規制箇所28箇所、合計55箇所において雪崩の被害をうけ通行止めを余儀なくされた。さらに、2005 年2月17日に高柳町田代地内において、雪崩により車両ごと河川に押し流されて1名が死亡した。また、翌18 日においても高柳町山中塩沢地内の工事現場で雪崩が発生し2名が巻き込まれ1 名が死亡した。

新潟県としては、2 月1 日に豪雪警戒本部を、2月18日には豪雪対策本部を設置した。雪崩災害防止のために、以下の対策強化を図った。

① 雪崩パトロールの一層の強化と雪崩等が懸念される道路区間の通行止め等の規制強化
② 市町村、警察、消防などの関係機関や、トラック協会等関係団体と連携した雪崩情報収集の一層の強化
③ 市町村を通じた、標識・看板・広報紙等による住民への注意喚起
④ 工事発注者に対する、工事現場での安全管理徹底の指示

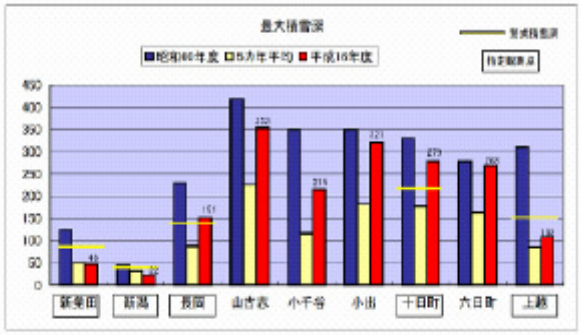


図　１　新潟県による最大積雪深の観測結果

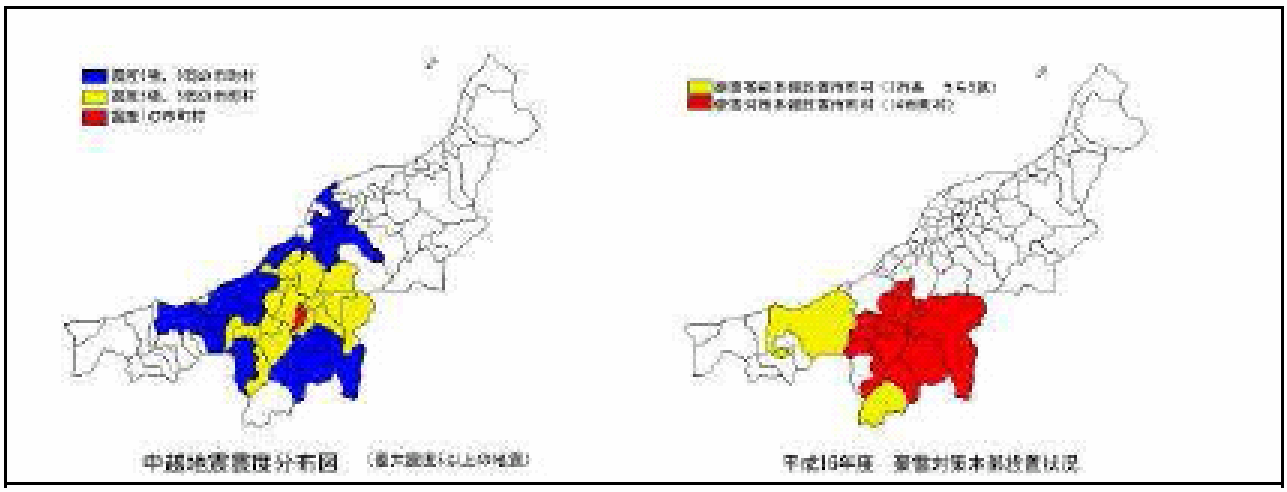


図　２　中越地震による震度分布と豪雪対策本部設置状況

２．１　地震による防雪施設の被災の特徴

中越地震直後の被害調査において防雪施設の被害が多く確認された。被害の特徴としては、**図３、図４**に示すように土砂崩壊によって斜面に設置してある予防工や防護工が損壊あるいは崩落土砂により埋没した箇所が多くみられた。特に土砂が埋没している箇所は多く、予防工や防護工に土砂が堆積し機能不全を起こし、さらに雪崩発生区において土砂崩落のため植生がない裸地である。よって、全層雪崩の発生する危険度が増大して、さらに防護機能の低下のために本来雪崩から保護する対象物が雪崩による被害を受ける危険性が高くなっている。

被災地域における防雪施設の特徴として、大型の固定柵が主流であり、基礎部分も大量のコンクリートで施工されているのが一般的である。また、設置箇所も雪崩発生区であるため斜面勾配が急峻であり、そのために機械力が使えず人力作業が中心である。こうした事情により、早急な復旧が困難となっていた。

基礎についての被災の特徴として、単独基礎と連続基礎では、単独基礎の損壊が目立っており、今後の検討課題と考えられる。また、**図５**のように基礎部分から滑り落ちるように崩落した雪崩予防柵や防護柵の鋼材等は、再利用可能であることが分かった。

２．２　被災地での雪崩災害

本研究室において、今後の研究データとして用いるため、地震による防雪施設の被害調査や被災地域における気象観測ならびに週1回の積雪断面観測、雪崩観測を2004年12月21日より行った。また、2005年度冬季において、今後の研究データとなるため継続して観測を行っている。

気象観測地点は**図６**の丸枠内の新潟県十日町市魚ノ田飛渡第一小学校内（標高202m）において、



図 3　土砂崩落により損壊した雪崩予防柵



図 4　崩落土砂に埋没した雪崩予防柵



図 5　上部材が再利用可能な雪崩防護柵

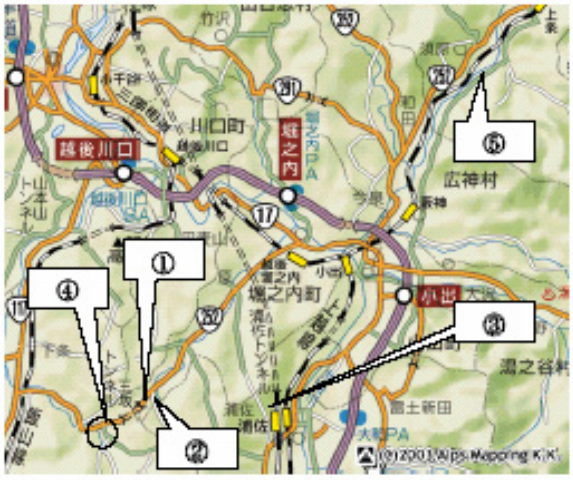


図 6　雪崩発生地点図

気象観測機器を2004年12月21日から2005年5月11日まで設置し常時観測を行なった。さらに、定期観測として積雪層構造を観測するため近傍の休耕田にて週1回積雪断面観測を行なった。

雪崩観測によって観測地点近傍ならびに他の被災地において雪崩が発生した。これらの発生状況について以下に示す。

2004－2005年冬季における、中越地震被災地で被害を受けた箇所での雪崩災害について**図６**の

①～⑤の地点での事例を示す。各地点での雪崩の特徴としては、①道路崩落箇所での雪崩、②土砂崩落地での雪崩、③雪崩による避難勧告、④土砂と雪崩の混合崩落、⑤融雪に伴う全層雪崩、である。

① 道路崩落箇所での雪崩

2005 年2 月2 日18 時30 分頃、国道252 号線魚沼市上稲倉（**図６①**）にて**図７**に示すように幅＝20m、高さ＝15m、積雪深＝3m にわたり湿雪面発生全層雪崩が発生し、道路延長＝40m、幅＝6.2m、高さ＝3m、デブリ量＝700m^3 にわたり道路を埋没させた（**図８**）。

図９に1月26日と2月3日に発生区近傍で定期観測として行った積雪断面観測の結果を示す。発生前の積雪底部の層構造と発生後を比較すると、明確にざらめ化が進行しており、さらに発生後の観測から新雪が多量に積もり、積雪深が195cmから315cmと120cmも急増した。それに伴い積雪の単位

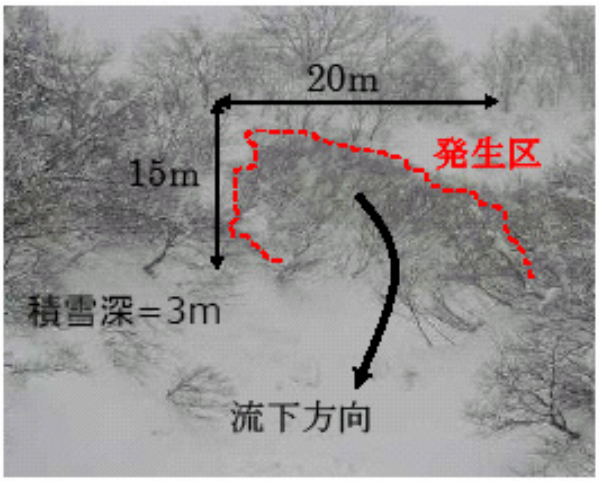
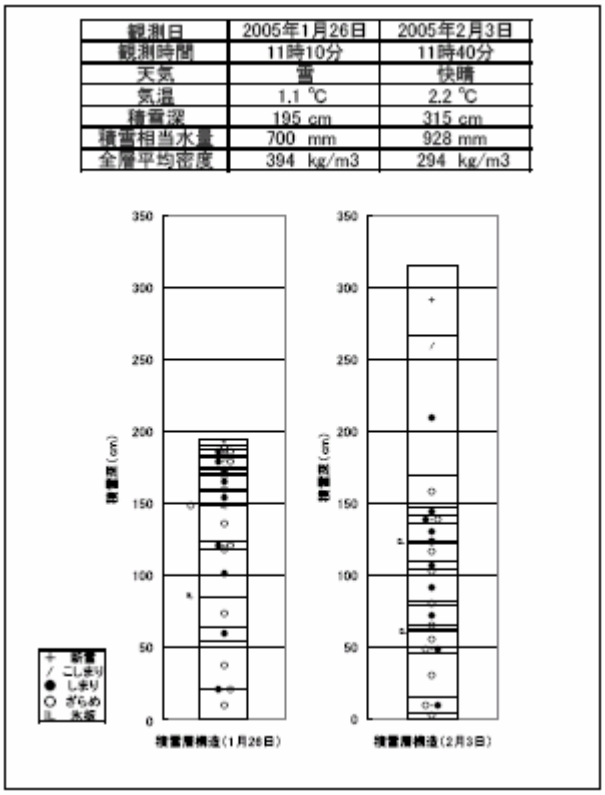


図 7　発生区の状況



図 8　道路埋没状況



観測日	2005年1月26日	2005年2月3日
観測時間	11時10分	11時40分
天気	雪	快晴
気温	1.1 ℃	2.2 ℃
積雪深	195 cm	315 cm
積雪相当水量	700 mm	928 mm
全層平均密度	394 kg/m3	294 kg/m3

図 9　積雪断面観測結果

面積当たりの積雪重量も700kg/㎡から928kg/㎡と228kg/㎡増加し、上載荷重を急増させた。このことにより、斜面積雪が不安定化し、なだれ発生要因になったと考えられる。また、走路上の乾いた新雪を誘発して流下したため流下距離が伸び、さらに除雪による雪堤が高くなっていたことにより、道路上に多量のデブリが堆積したと考えられた。

この雪崩発生区斜面は地震による大規模な土砂崩れなどは確認されていないものの、道路は地震により大規模に崩壊し復旧作業が行われた箇所であった。また、近傍斜面においても雪崩発生の痕跡は確認できず、地震によって特異的に雪崩危険度が高くなっていたと考えられる。

②土砂崩落地での雪崩

国道252 号線魚沼市上稲倉（**図６②**）にて、中越地震によって崩落した土砂が**図１０**に示すように擁壁後背部を没し、雪崩防護機能が低下し、さらに発生区においては土砂崩落により地表面の植生がない裸地であったため雪崩危険度が増大していた箇所であった。

その後、大量の積雪により擁壁部分は積雪中に



図　１０　地震直後の斜面状況



図　１１　雪堤による雪崩阻止状況



図　１２　地震により損壊した雪崩予防柵



図　１３　避難勧告住居と雪崩発生状況

埋没し、さらに土砂崩落斜面からも雪崩が発生する危険性が高まり、道路上に到達し雪崩災害を生じさせる危険性が高まった。よって、雪崩が道路へ流下するのを防ぐため応急対策として、道路脇に高さ＝3m、延長＝40mの雪堤を構築し、雪崩発生に備えた。その後、**図１１**に示すように2月17日午前に湿雪面発生全層雪崩が発生し雪堤で停止しているのを確認することができた。

③雪崩による避難勧告

本件は数多くの雪崩被災例のうち、2004－2005年冬季において避難勧告が出された唯一の例である。南魚沼市浦佐新町（**図６**④）において、中越地震によって斜面崩壊ならびに雪崩予防柵の損壊（**図１２**）が発生し、さらに崩落土砂で斜面下に設置してある擁壁の堆積スペースが埋没していた。

同斜面において2 月4 日夕方、集中豪雪ならびに防雪施設の機能不全から雪崩が発生し、住居に到達する危険性があるとして南魚沼市が道路を挟んだ向かい側の3 世帯１棟のアパートに対し、避難勧告を出した。その後 2月7日午前９時頃に縦＝10m、横＝5m、積雪深＝2m、デブリ量＝120m^{3}の湿雪面発生全層雪崩が発生し、防護擁壁後背部で停止した（**図１３**）。

さらに、2次崩落の危険性があるため応急対策として擁壁背面の堆積容量拡大と雪堤を構築することにより、雪崩が道路上に達する危険性を回避したうえで避難勧告を解除した。

④土砂と積雪の混合崩落

国道252 号線十日町市魚ノ田（**図６**④）において、中越地震により土砂崩壊が発生した斜面の一部に崩壊の発生を免れた箇所があった（**図１４**○内）。この地点においては、崩落が著しく、さらに防雪施設の倒壊が発生した箇所であったため、当研究室では2004 年12 月21 日より近傍の十日町市立飛渡第一小学校内にて気象観測機器を設置した。さらに降雪期においては、週一回の積雪断面観測と斜面監視パトロールを独自に行い、その変化を観測してきた。

降雪期に入ると、この斜面の崩落部分では、小規模な雪崩が1 降雪ごとに発生し、斜面上には雪が積もらない状態であった（**図１５**破線○内）。



図　１４　地震直後の発生区斜面状況



図　１５　崩落前の斜面状況



図　１６　土砂雪崩発生状況



図　１７　土砂雪崩のデブリ

しかし、崩壊せずにいた箇所（**図１５**○内）においては植生があり、降雪ごとの雪崩は発生せずに斜面の積雪は増加をしていた。

同斜面において**図１６**に示すように、2005年2月17日21 時頃、土砂と積雪の混合したものが崩落し、道路延長＝60ｍに渡り埋没させ通行止めとなった。このような土砂と積雪の混合崩落を“土砂雪崩”という呼称を用いられた。**図１７**に示すように土砂雪崩のデブリは、樹木や岩石が混合しており、排雪作業に時間がかかり早急な復旧が行えない。この土砂雪崩は、被災地において例年より格段に多く見られた。これは、地震により斜面が崩落しやすく、さらに大雪が重なったことが原因と言える。

図１８の発生前後に行った積雪断面観測の結果から、積雪深が324㎝から285㎝に減少し、平均密度も364kg/㎥から419kg/㎥と増加した。さらに、**図２０**に示す雪崩発生地点近傍の県の気象観測点のデータより、雪崩発生前に気温上昇しており積雪深も減少していることが分かった。さらに、積雪層構造からは約50ｃｍはざらめ雪であり、**図１９**から硬度が脆弱であったことがいえる。しか

観測地点名	R252 十日町市新水	R252 十日町市新水
観測日	2005年2月15日	2005年2月18日
観測時間(開始)	11時50分	13時45分
観測時間(終了)	12時45分	14時30分
天気	くもり	晴れ
気温	2.7℃	5.7℃
積雪深	324cm	285cm
積雪相当水量	1190mm	1218mm
全層平均密度	364kg/m3	419kg/m3

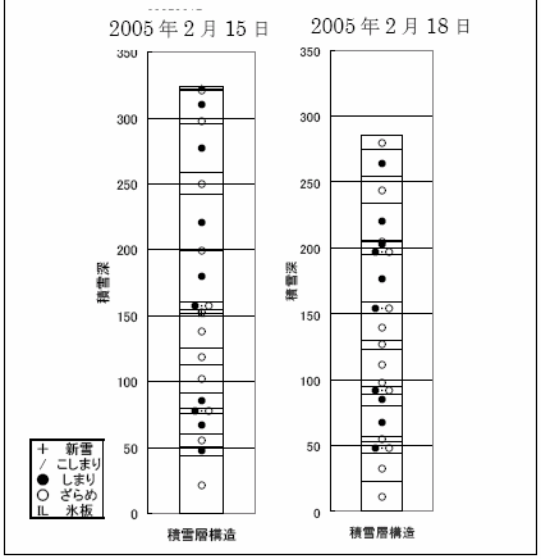


図　１８　積雪断面観測結果

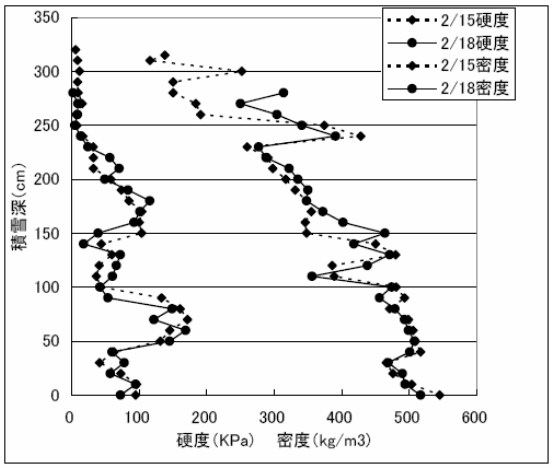


図　１９　硬度と密度の変化

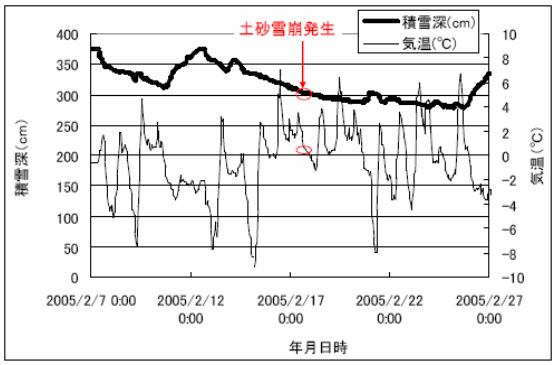


図　２０　上稲倉での積雪深と気温の変化

し、雪崩発生時の気温が低いのは、融雪水が地表面に到達または、地表面から地中への到達に時間遅れが発生したためと考えられた。よって、この土砂雪崩の原因としては、気温上昇による融雪水が主たる発生要因として考えられる。また、発生時の近傍斜面では、被害は無いものの全層雪崩が多発しており、発生時期は全層雪崩発生時期と同一であると言える。また、積雪のグライドやクリープによる樹木への圧力が定常的に加わっていることも土砂雪崩が発生しやすい一因と考えられた。

いずれにせよ、土砂雪崩は今後数年も継続して発生する危険性は高く、さらに継続的に斜面観測を行っていた結果から前兆現象が明確に現れずに、発生の予知予測が困難である。今後については、無雪期における危険箇所の推定などを計り災害防止を行わなければならない今後の最重要課題といえる。

⑤融雪に伴う全層雪崩

2005年2月17日午前6時半頃と9 時頃に、魚沼市須原（旧守門村）（**図２１⑤**）の県道70 号小出



図　２１　発生区斜面状況



図　２２　道路上に堆積したデブリの状況

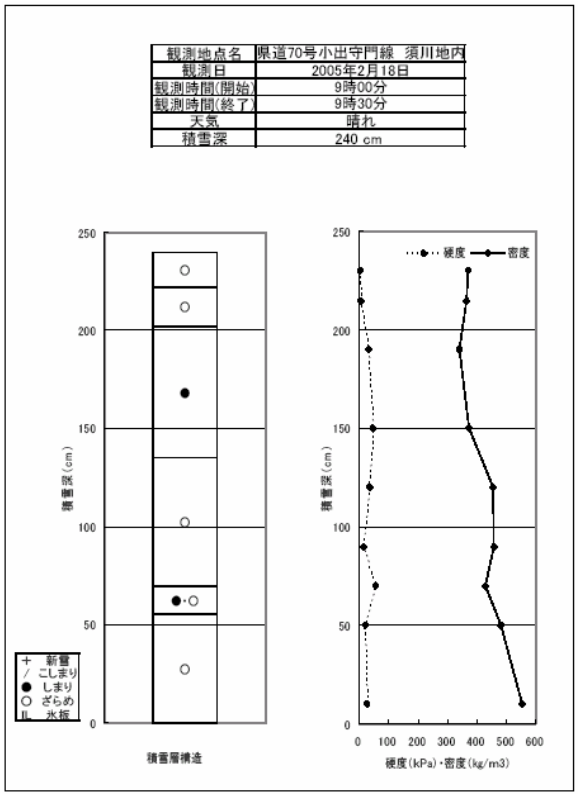


図　２３　積雪断面観測結果

守門線須川地内において湿雪面発生全層雪崩が発生した（**図２２**）。発生区は、縦＝20m、横＝10m、深さ＝2.0m、発生区量＝400m^3 で、**図２２**の道路上の堆積量は、延長＝20m、幅＝7m、高さ＝1～2m、堆積量＝210m^{3}であった。雪崩発生後の積雪断面観測結果を**図２３**に示す。積雪構造は、低層部に密度の非常に高いざらめ層があり、融雪が進行して脆弱化しており、全層雪崩発生の危険性が高い構造をしていた。さらに、周辺斜面からの雪崩の発生があり、道路脇斜面に雪堤を2段構築し、雪崩の危険性が低下するまで通行止めを継続し、斜面状況の監視を行なう対策が採られた。

この斜面は、中越地震が発生したことにより、発注されていた雪崩予防柵の施工が余震の発生により中断された箇所であり、さらに予防柵においても損壊が融雪後に確認できた。

２．３　被災地雪崩災害調査のまとめ

新潟県中越地震によって発生した地形変化や土砂崩壊による雪崩防止施設の損壊・埋没が被災地を中心に多く見られ、しかもこの状況下で19年ぶりの大雪となったため、この地域に雪崩災害が多発した。この雪崩災害は、防雪施設の設計施工法、新しい雪崩現象など、多くの検討課題を残したといえる。本報告ではそういった今後の課題となるような問題を抽出して述べたものである。

最初に被災地域における雪崩予防柵について、大型の固定柵が主流であり、基礎部は大量のコンクリートによって施工されているため修復が困難である点、さらに、雪崩発生区の急峻な斜面での作業のため人力作業が主となり早急な復旧作業が困難である点、を指摘した。今後は、大型の固定柵の見直しを行い、基礎についてはアンカー工法など新たな工法を積極的に考慮すべきと考えられる。また復旧作業にあたり雪崩防止柵については、上部材の再利用可能な鋼材等は利用すべきと言える。

次に、被災地を襲った19年ぶりの大雪のために発生した雪崩災害のうち、将来に課題を残すような事例を解析、紹介した。それらは以下のようにまとめることができる。

① きわめて多量の降雪が、2月2日という厳寒期に全層雪崩を起こした例（国道252号線魚沼市上稲倉の雪崩）
② 地震による土砂崩落により機能を低下させた防雪施設に起きた雪崩の例（国道252号線上稲倉で発生した雪崩）
③ 地震によって斜面崩壊ならびに雪崩予防策の損壊があった箇所に雪崩が生じたために避難勧告の出た例（南魚沼市浦佐新町の例）
④ 地震により崩落した斜面で、雪と土砂が混合して崩落した“土砂雪崩”。その発生には積雪層の断面観測から、底面付近の滑りやすいざらめ雪層の存在と、その上の硬度の高いしまり雪層の存在が示唆され、将来の大きな課題と指摘された。（国道252 号線十日町市魚ノ田の雪崩）
⑤ 融雪により形成されたと見られる高密度のざらめ層の存在により発生した全層雪崩（魚沼市須原県道70 号線で発生した雪崩）

このような土砂崩壊による地形変化や防雪施設の損壊・埋没は、1 年を経過しても充分復旧したとは言えず、今後も新たに発生することも予想されることから、地震後数年以上は2004－2005年同様に雪崩の危険性は十分高くなっていることがいえる。

よって、今後も継続して、気象観測ならびに定期的な積雪断面観測を行なう必要性が高いことから、2005 年冬季においても同様な観測を継続して、今後の雪崩予知予防の研究データとする。

３．表層なだれハザードマップ作成

３．１　シミュレーションモデルの定義

本研究において形跡を行うにあたり、煙型雪崩の形状を半楕円体と定義して、シミュレーションモデルとした。その模式図を**図２４**に示す。ここで、U_{abs} は煙型雪崩の移動速度、C は体積濃度、h は高さ、S_i は空気と境界面の面積、S_b は底面と境界部の面積、ρ および ρ_a はそれぞれ、現象、空気の密度、θ は斜面の傾斜角である。これは、福嶋らによって提案されたモデルである。

煙型雪崩の横方向の広がり、流下経路、速度や乱れエネルギーなどの諸条件を未知数とし解析する方法を本研究では用いている。流下方向に対して水平に切断した任意の断面は、図のように半楕円体となり、ここでｈは現象の中心部分での値となる。

３．２　基礎方程式

福嶋・大澤（２００３）は、３次元の傾斜サーマルの理論を基に、雪崩と外部との雪粒子の収支を加えた煙型雪崩のモデルを提案した。この理論では未知数を雪崩の最大高さ、平均濃度、フロントの流下速度、最大広がり幅、雪粒子の総量などとした基礎方程式が提案されている。本研究ではこの理論を用いて解析を行なう。以下に使用した基礎方程式を示す。

雪崩内では雪粒子や空気が激しく運動しており、外部からの空気の巻き込みが発生すると考えるため、この煙型雪崩モデル内の空気の質量保存式を式（１）とする。

このとき t は時間、V_o は現象の体積、ρ_0 は現象中の空気の平均密度、E_a は現象による周囲空気の連行係数である。左辺はモデル内の空気量の時間変化を、右辺は空気の巻き込み量を表してい

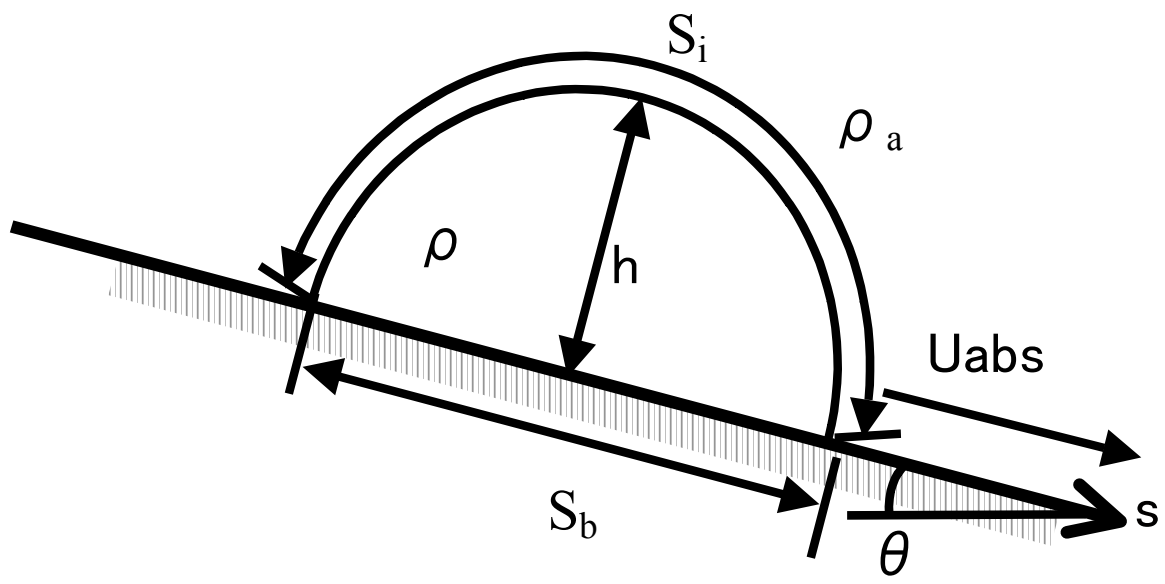


図　２４　煙型雪崩シミュレーションモデルの模式図

$$\frac{d}{dt}\rho_0 V_o = \rho_a E_a U_{abs} S_i \qquad (1)$$

$$\frac{d}{dt} C V_o = v_s \left(E_s - c_b \cos\theta\right) S_b \qquad (2)$$

$$\frac{d}{dt}\left(\rho + k_v \rho_a\right) U V_o = \left(\rho - \rho_a\right) g V_o \sin\theta_x - \left(\tau_i S_i + \tau_b S_b\right)\frac{U}{U_{abs}} \qquad (3)$$

$$\frac{d}{dt}\left(\rho + k_v \rho_a\right) V V_o = \left(\rho - \rho_a\right) g V_o \sin\theta_y - \left(\tau_i S_i + \tau_b S_b\right)\frac{V}{U_{abs}} \qquad (4)$$

$$\frac{d}{dt}(\rho + k_v\rho_a)KV_o = (\tau_i S_i + \tau_b S_b)U_{abs} + \frac{1}{2}\rho_a\{(1+k_v)E_a U_{abs} S_i + Rv_s(E_s - c_b\cos\theta)S_b\}U_{abs}^{\ 2} - \rho_a Rgv_s V_o - \beta\rho K^{3/2}V_o / h - \xi_p\rho_a Rg\cos\theta h \times\left\{\frac{1}{2}CE_a U_{abs} S_i + v_s(E_s - c_b\cos\theta)Sb\right\} \quad (5)$$

$$\frac{dX}{dt} = U\cos\theta_x \quad (6)$$

$$\frac{dY}{dt} = V\cos\theta_y \quad (7)$$

$$\psi = \tan^{-1}\left(\frac{U\cos\theta_x}{V\cos\theta_y}\right) \quad (8)$$

$$U_{abs} = \sqrt{\{(U + V\cos\gamma)^2 + (V\sin\gamma)^2\}} \quad (9)$$

$$\frac{db_{\max}}{dt} = \alpha_{BB}(\tan\theta)^{-0.264}U_{abs} \quad (10)$$

$$V_o = \left(\frac{\pi}{6}\right)P_b b_{\max} h \quad (11)$$

$$S_b = \left(\frac{\pi}{4}\right)P_b b_{\max} \quad (12)$$

$$S_i = \alpha_1 S_b \quad (13)$$

$$R = (\rho_s - \rho_0)/\rho_0 \quad (14)$$

$$C_D\pi\frac{D_s^{\ 2}}{8}\rho_0 v_s^{\ 2} = \pi\frac{D_s^{\ 3}}{6}(\rho_s - \rho_0)g \quad (15)$$

$$C_D = \frac{24}{\mathrm{Re}}(1 + 0.150\,\mathrm{Re}^{0.687}) \quad (16)$$

$$\mathrm{Re} = \frac{D_s v_s}{\nu} \quad (17)$$

$$\tau_i = \rho_a\alpha K \quad (18)$$

$$\tau_b = \rho_b\alpha K \quad (19)$$

$$\rho = \rho_0(1 + RC) \quad (20)$$

$$\rho_b = \rho_0(1 + Rc_b) \quad (21)$$

$$E_a = \frac{0.1\theta}{90^\circ} \quad (22)$$

$$E_s = \frac{A_1 Z^5}{\left(1 + \frac{A_1}{0.3}Z^5\right)} \quad (23)$$

$$Z = \frac{R_p^{\ 0.6}u_*}{v_s} \quad (24)$$

$$R_p = \frac{\sqrt{gRD_s}D_s}{\nu}, \qquad u_* = \left(\sqrt{\tau_b/\rho_a}\right) \quad (25)$$

$$r_0 = c_b / C = 1 + 31.5\mu^{-1.46} \quad (26)$$

$$\mu = \sqrt{\alpha K}\,/\,v_s \quad (27)$$

$$A = \xi_A h^2 \quad (28)$$

$$P_b = \xi_b h \quad (29)$$

$$P_i = \xi_i h \quad (30)$$

$$\xi_A = \frac{\pi}{4}\xi_b \quad (31)$$

$$\xi_i = \frac{\pi}{2\sqrt{2}}\sqrt{(4\xi_b^{-2} + 1)}\xi_b \quad (32)$$

$$k_v = \frac{2}{\xi_b} \quad (33)$$

$$\xi_p = \frac{4}{3\pi} \quad (34)$$

$$\xi_b = 8.47\theta^{-1/3} \quad (35)$$

$$\tau_i = \tau_b = c_D U^2 \quad (36)$$

$$\beta = \frac{1}{\xi_A}\left(\frac{\alpha}{c_D}\right)^{3/2}\left\{(\xi_i + \xi_b)c_D + \left(1 - \frac{c_D}{\alpha}\right)\frac{1}{2}(1 + k_v)\xi_i E_a + \xi_P\cot\theta\frac{\xi_i E_a}{2\xi_A}\left[\frac{3}{4}(1 + k_v)\xi_i E_a + (\xi_i + \xi_b)c_D\right]\right\} \quad (37)$$

る。

同様に斜面より雪粒子を巻き上げ、雪崩の中に取り込むため、雪粒子の質量保存式を式（２）のようにおく。Ｃは雪粒子の体積濃度、v_sは粒子の沈降速度、E_sは底面を通じて生じる粒子の連行係数、c_bは底面近傍の粒子の体積濃度である。式（２）において左辺は粒子の総量の時間変化を表している。また右辺は、底面からの粒子の巻上げ率から、底面への沈降率を引いたものである。

次に、実際の雪崩の運動について記す。本モデルでは雪崩の流速および流下・停止の判定を、ｘ方向とｙ方向のそれぞれについて計算を行い、判定している。

ｘ方向の運動方程式は式（３）のようになる。k_vは付加質量係数、ｇ はτ_i、τ_bはそれぞれ空気との界面に作用するせん断応力および底面に作用するせん断応力、またＵはｘ方向の速度を表す。同様にｙ方向の運動量保存式は式（４）となる。Ｖはｙ方向の速度である。

固体粒子を含む流れでは乱流構造が変化するため、相対的に運動エネルギーは減少し、抵抗係数が小さくなっていくことが知られている。この現象は、固体粒子を浮遊させるために乱れエネルギーを消費するためと考えられている。

乱れエネルギーの保存式として、式（５）を示す。ここで、Ｋ が雪崩内の乱れエネルギーの平均である。またE_aは現象による周囲空気の連行係数、Ｒ は密度ρ_0の空気中での粒子の比重、βは分子粘性逸散率に関する係数、ζ_pはポテンシャルエネルギーに関する形状係数である。式（５）において左辺は乱れエネルギーの時間変化を表している。右辺は、第一項が平均流のせん断応力による乱れエネルギーの生成項、第二項が境界面での混合に伴う乱れエネルギーの生成項、第三項は火砕物を浮遊させるために消費する乱れエネルギーの割合、いわゆるBagnoldの項であり、第四項は分子粘性逸散率を、第五項はポテンシャルエネルギーを増加させるために費やされる乱れエネルギーの割合をそれぞれ示している。

これらの式により、時間ｔにおけるｘ方向およびｙ方向の、時間ｔにおける位置が得られる。ｘ方向の現位置は式（６）で表される。このとき、Ｘはｘ方向の変異の水平距離を表す。ｘ方向と同様に、ｙ方向についても式（７）で表される。Ｙはｙ方向の変異の水平距離である。

これらの式より、雪崩の進行方向は式（８）となる。ϕは雪崩の進行方向である。また、速度ベクトルの絶対値は式（９）の通りである。

γは斜面がＺ軸と交わる角を表す。雪崩の横方向の広がり幅は、式（１０）の通りである。
ここでb_{max}は最大横広がり幅、α_{BB}は最大広がり幅に関する無次元係数である。

以上が２次元解析モデルの基礎方程式である。

３．３　構成関係式

基礎方程式内で用いられた変数等、構成関係式について説明する。

煙型雪崩の形状を半楕円体と仮定している。そのため、体積は式（１１）の通りである。また現象底面の面積 S_b、現象と空気との界面の面積 S_iは式（１２―１３）のように表される。

S_bは角度θで滑らかに傾斜した斜面と現象の底面との界面の面積である。この解析において、２次元解析モデルにおいて斜面の傾斜角θは現象の中心部より前方の範囲の斜面特性を平均してθを導出する。しかし、実地形の斜面の幾何学的形状は複雑であり、式（１２）より導出した面積S_bと実地形の底面積とでは、誤差が生じやすい。そこで２次元解析モデルでは、斜面の形状によっては現象底面の面積S_bに地形条件を考慮した補正を加えた。この補正に関しては改めて述べる。

空気の密度がρ_0であるとき、粒子の比重 Ｒ は式（１４）のように表される。

雪粒子の沈降速度v_sは、静止空気中では粒子に働く重力と空気からの効力のつりあい式より求める。そのつりあい式は、式（１５）のように表される。

このとき式（１２）の左辺は粒子に作用する効力を、右辺は粒子に作用する重力と浮力の差を表している。ここでC_Dは効力係数であり、Schillerの式より求める。Schillerの式は式（１６）の通りである。ここで、Ｒｅは粒子レイノルズ数である。νは空気の動粘性係数である。

せん断応力τ_iおよびτ_bは式（１８）（１９）のとおりである。

このときρ_0は底面付近の現象の密度、αは底面と境界面に働くせん断力に関する無次元係数である。

現象内の粒子の平均密度ρ、底面の密度ρ_bは式（２０）（２１）のように表される。c_bは底面付近の濃度である。

周囲空気の連行係数E_aは式（２２）のように表される。

粒子の連行係数E_sは流れの特性量である空気の密度、底面でのせん断応力、および粒子の特性

量である粒径、粒子レイノルズ数、粒子の沈降速度などの関数であると考えられる。Garcia（１９９０）は開水路の浮遊砂流のデータに基づいた実験式を提案した。本研究では、式（２３）に示すGarciaの式より粒子の連行係数E_sを導出して用いている。ここで無次元係数Zは式（２４）のように与えられる。R_pは粒径を用いた粒子レイノルズ数であり、またu_*は摩擦速度で、それぞれ式（２５）のように与えられる。係数A_1は、$A_1=1.3\times10^{-7}$で表される。

煙型雪崩中の底面濃度と平均濃度の比は式（２６）のとおりである。ここでμは式（２７）で表される。

Beghin et al。（１９８１）は単純なサーマルに対して実験を行い、サーマルの形状が斜面の角度によって一義的に決まり、半楕円体の相似な形状で近似できることを明らかにしている。ここではでは火砕流や雪崩の形状が局所的な傾斜角θによって決まり、斜面の角度の変化に対応して、流下方向に変化すると仮定し、Beghin et al。（１９８１）の解析と同様に式（２８－３０）で与えた。ξ_A、ξ_b、ξ_iは無次元の形状係数である。これらの形状係数とポテンシャルエネルギーに関係する形状係数ξ_P、付加重量係数k_vは斜面の角度θの関数であると考え式（３１－３５）のように与える。このとき傾斜角の単位は度（°）で表している。

乱れエネルギーの式内の粘性逸散率に関係する係数βは次のように求めた（福嶋、１９８６）。まず界面でのせん断応力を式（３６）で表す。ここでc_Dは抵抗係数である。浮力体積CAが保存される単純なサーマルにおいて、連続式と運動量方程式による式系の解と、さらにこれに乱れエネルギーを含む式系とが$t\rightarrow\infty$でおなじ漸近解となるように係数βを定めると式（３７）を得る。式（３７）をみると、係数βは、傾斜角で変化する形状係数、空気の連行係数などの関数として与えられることに注意を要する。

以上が本研究において用いた構成関係式である。

３．４　計算条件

煙型雪崩の解析シミュレーションを行うにあたり、初期条件を以下のように設定した。

まず雪崩の初期高さは$h_0=10$m、雪崩の初期最大広がり幅は$b_{max0}=20$mとした。空気中雪粒子の相対比重はR＝７１０、抵抗係数c_D、せん断力に関係する無次元係数αはそれぞれ$c_D=0.02$、$\alpha=0.1$とした。初期濃度は$C_0=1.0\%$、初期速度は$U_{abs0}=0$m/ｓ（$U_0=0$m/ｓ、$V_0=0$m/ｓ）とした。なお$U_{abs0}=0$m/ｓとしているために発生直後に粒子を浮遊させるために乱れエネルギーが消費される。このとき乱れエネルギーが負になり解析が終了するのを防ぐために、雪崩が発生位置からの最急勾配線の方向に加速しうるよう初期条件として乱れエネルギーKに大きな値を与えた。

現在、この理論ではまだ正確な値の求められていない係数が多く存在する。しかしながら既往の研究では大澤（２００３）がこの理論により開発したシミュレータを用いて、２０００年３月２７日、岐阜県吉城郡上宝村神通川水系蒲田川支流左俣谷穴毛谷の上流で発生した大規模な煙型雪崩の再現が可能であることを示している。よって今回用いる定数は、この解析の際に用いられたものに準じる。それにより、今回使用するパラメーターは、雪粒子の粒径D_sと、雪崩の広がり幅に関する無次元係数α_{BB}の２つとした。

雪粒子の性質は時間と共に変化し、雪崩の規模等に影響を与えることがわかっている。今回は広がり係数は大澤が用いた$\alpha_{BB}=0.060$に対して、雪粒子の粒径に$D_s=0.05$、0.10、0.15、0.20、0.30の５つの条件を与え、それぞれに対して解析を行ない、各パターンでのハザードマップを作成した。

雪崩の広がり幅に関する無次元係数α_{BB}は雪崩の広がり幅に対し、支配的な影響を与える。雪粒子$D_s=0.15$の結果に関して、$\alpha_{BB}=0.040$および$\alpha_{BB}=0.080$について解析を行い、α_{BB}について検討を行った。

解析の際に使用した地形データは、国土地理院数値地図50mメッシュ（標高）の、旧山古志村周辺の地形データである。雪崩の発生領域は旧山古志村全域およびその周辺を含む南北約8600m、東西約12000mの範囲とした。なお、この地形データは日本全国のデータがそろっており、容易に入手することが可能であるため、この理論を用いて他地域に関しても容易にハザードマップを作成することができると考える。

前述したとおり煙型雪崩などを含む表層雪崩は、現在でも発生条件などのメカニズムがわかっておらず、予測や対策が難しい。そこで、本研究では、前述の雪崩の発生領域内、およそ40000箇所の全メッシュより、**図２５**にあるように１メッシュずつ実際に雪崩を発生させて流下を解析することによって雪崩の到達頻度を調べるという手法をとった。現在、表層雪崩の発生しやすい地

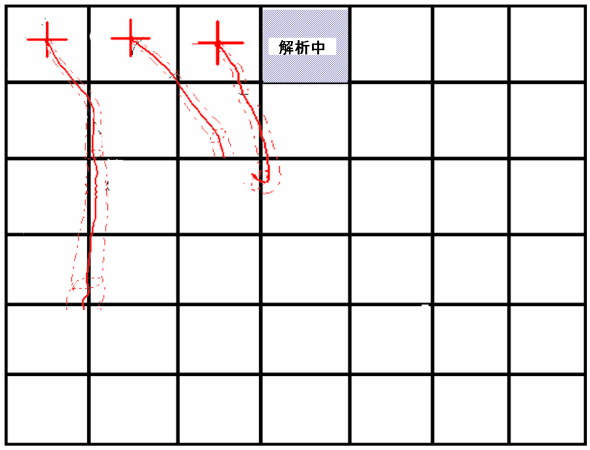


図２５　メッシュと雪崩の発生の概念図

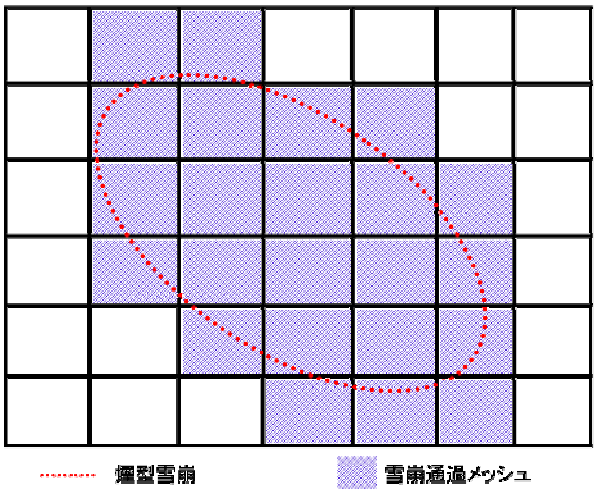


図２６　雪崩通過箇所判断の模式図

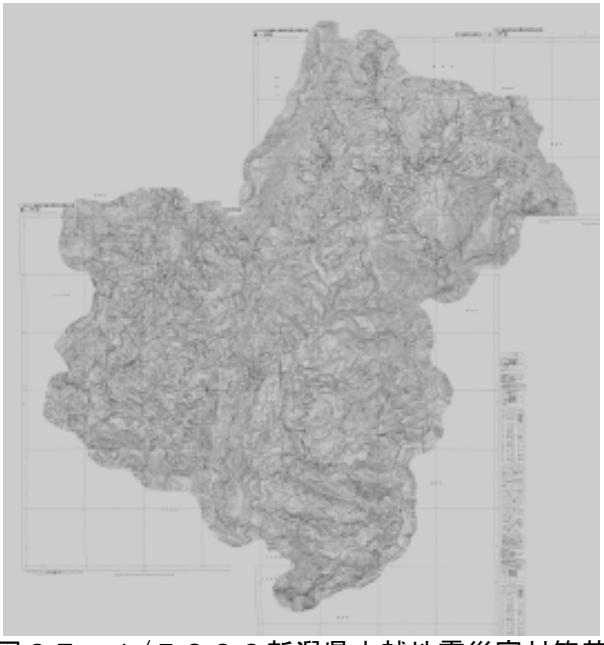


図２７　１/５０００新潟県中越地震災害対策基本図

形の目安として植生分布や斜面の角度等が経験則により求められているが、本研究で使用しているモデルでは雪崩が発生しにくいといわれる地形ではほぼ雪崩の流下が無いまま停止するという結果が得られている。そこで、雪崩の流下距離が５ｍ未満の場合はその雪崩が発生しなかったものとして、除外して処理を行っている。

その流下運動を調べ、計算範囲内の各メッシュにおいて、雪崩がいくつ通過したかを集計し、その通過回数を危険度の指標として用いた。なお、通過の判断は**図２６**のように行う。そして危険度ごとに、コンターで図示した。ただしそれだけでは実際のハザードマップとして用いるのは不便であるため、出力結果を 1/5000 新潟県中越地震災害対策基本図および航空写真上に重ね合わせることにより、結果としている。なお、使用した災害対策基本図を、**図２７**に示す。

雪崩の挙動に関しては前述のように、雪崩の最大広がり幅に関する無次元係数α_{BB}の正確な値がわかっていない。そのため、雪崩の端の部分に関しては不正確な結果が出ることが予想される。そのため、全メッシュのうち雪崩の通過回数が 5 回未満であるものは描画を行わない。

３．５　山古志村ハザードマップ

上記のシミュレーションモデルには多くのパラメーターがあり、種種の検討を行っているが、本報告書では、計算結果の一部のみを掲載する。

図２８はα_{BB}＝0.060、D_s＝0.15 という条件により作成した結果である。また、長岡市役所山古志支所、山古志小学校、山古志中学校、長岡農業高校山古志分校などについて、図中に位置を記した。さらにこの領域について、何箇所かを拡大して細かく見ていく。

拡大箇所の一覧を**図２９**に、実際に拡大したものは**図３０**から**図４１**までに示す。
点のうち特に代表的と思われるもの、また集落のうち雪崩が達する危険性が高い箇所などを拡大して抜き出した。

今回は通過回数が 5 回以下のところを描画していないために、雪崩の吹き溜まりといえる箇所が多く残った。地形的な特徴を見ると、**図３６**や**図３９**のように河川などの谷型地形になっているところに多く集まる。これは谷型地形の箇所の標高が低いために雪崩が到達しやすいこと、また両横から流れ込むために他の箇所よりも雪崩が向かってくる可能性が高いこと、さらに両横は斜度

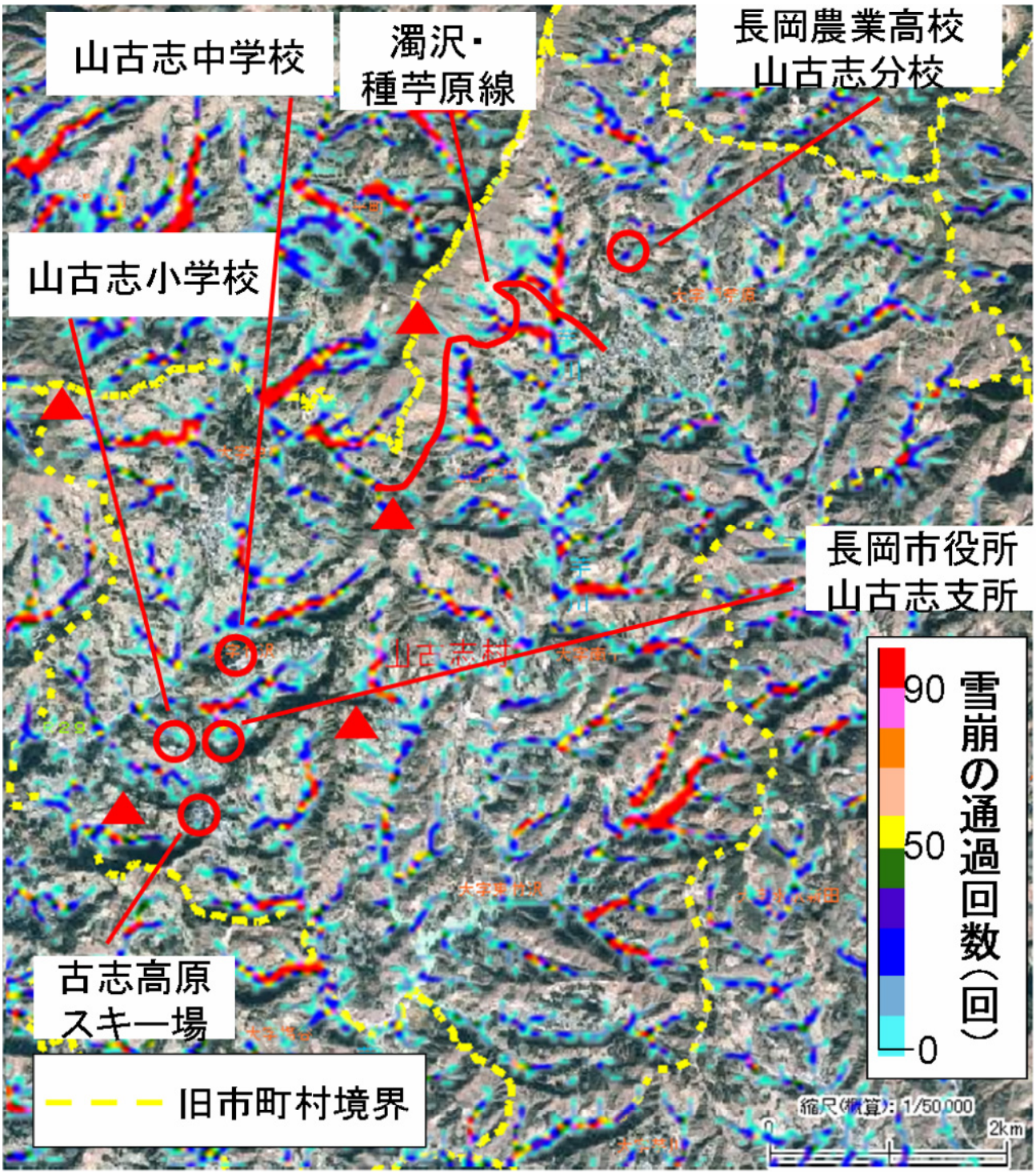


図２８　山古志村雪崩ハザードマップ

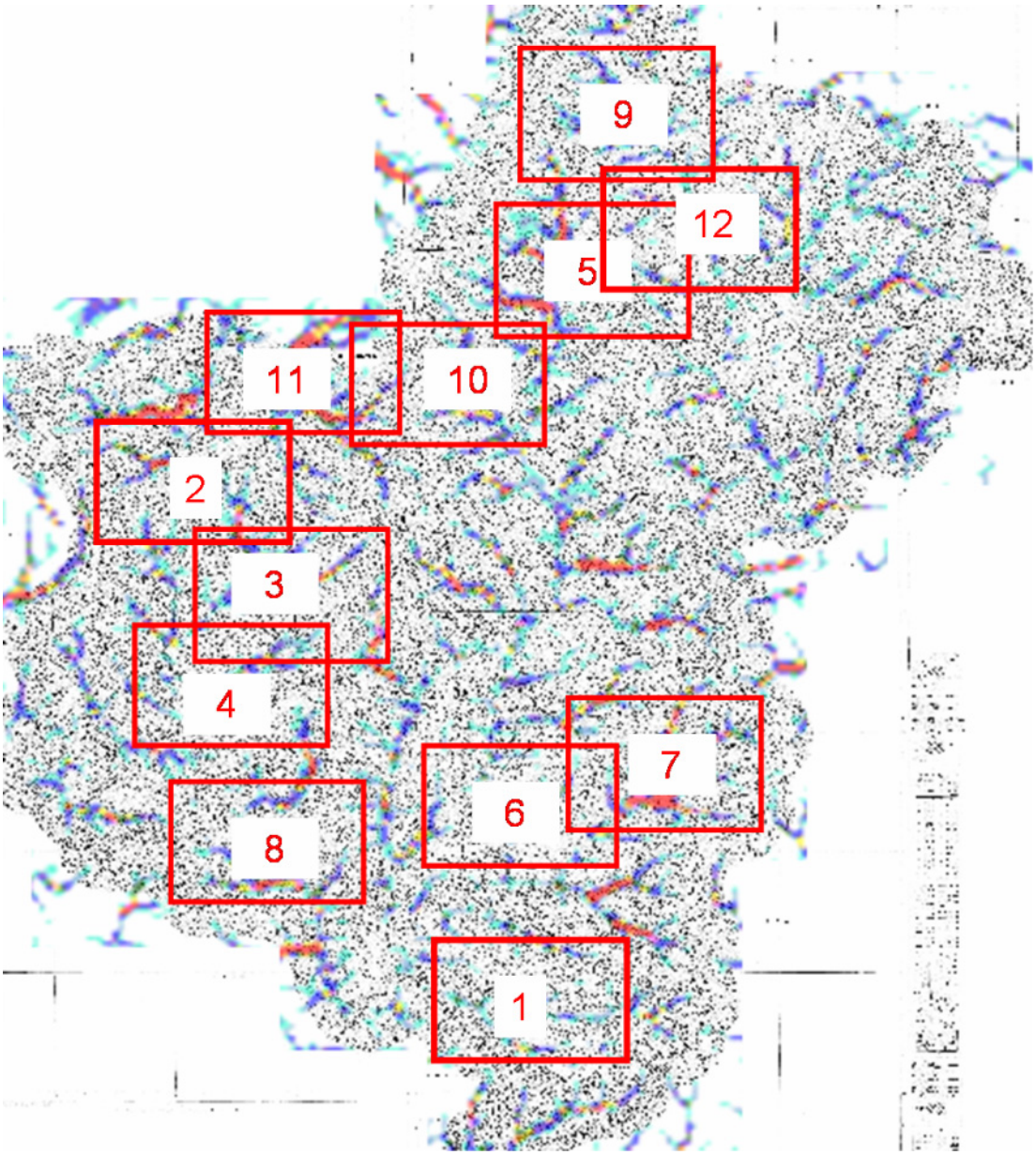


図２９　山古志村ハザードマップ拡大箇所一覧

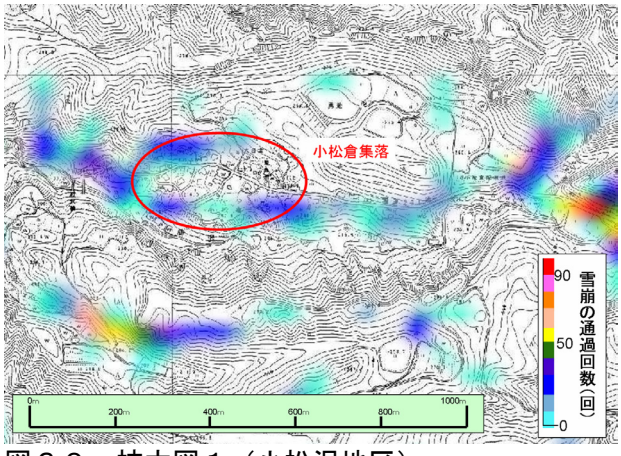


図３０　拡大図１（小松沢地区）

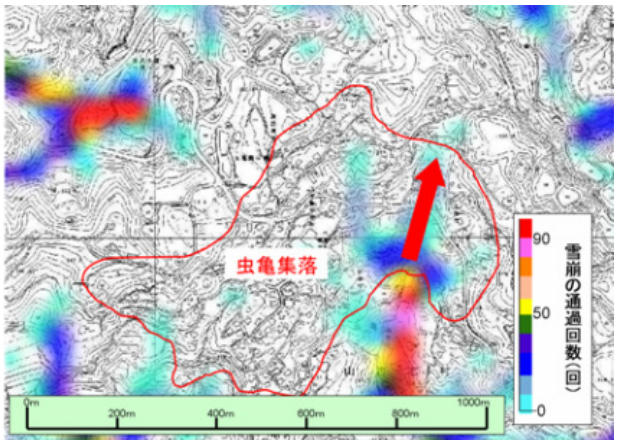


図３１　拡大図２（虫亀地区）

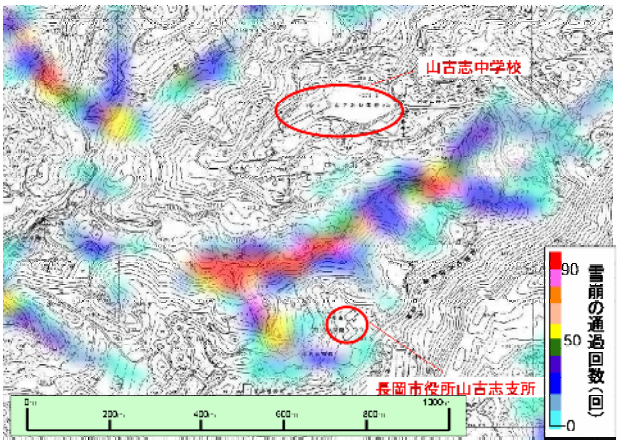


図３２　拡大図３（山古志支所周辺）

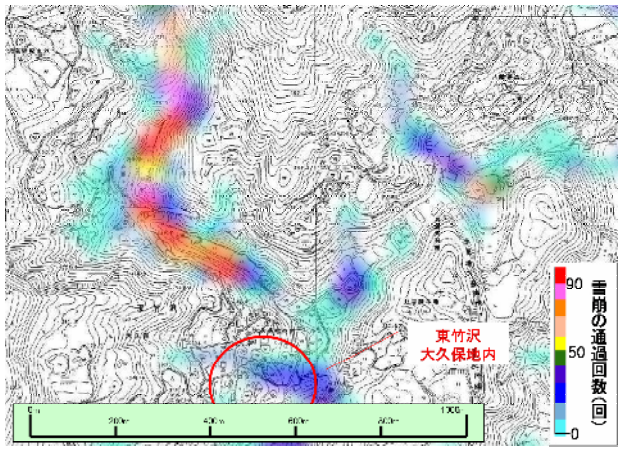


図３３　拡大図６（大久保地区）

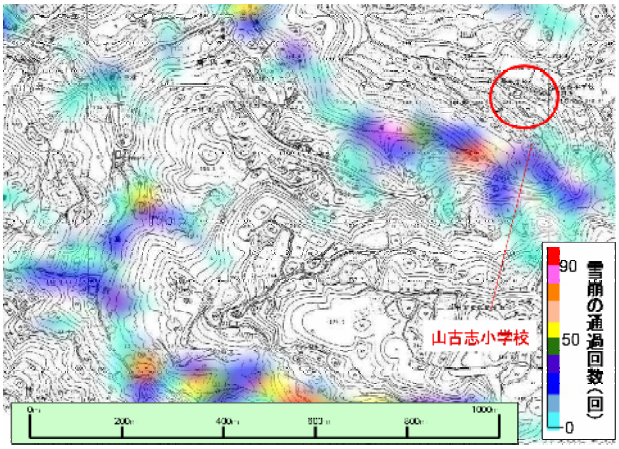


図３４　拡大図４（山古志小学校周辺）

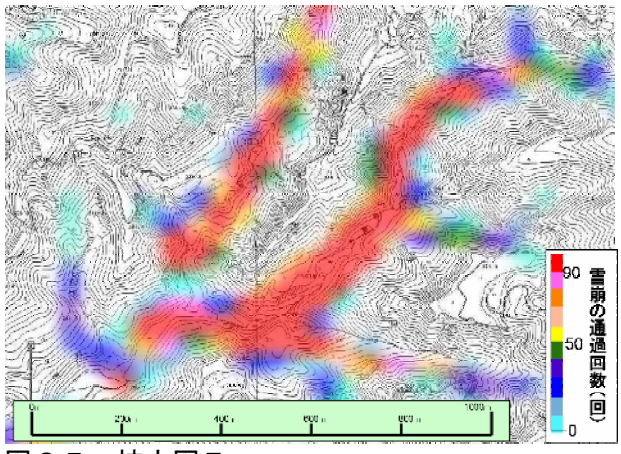


図３５　拡大図７

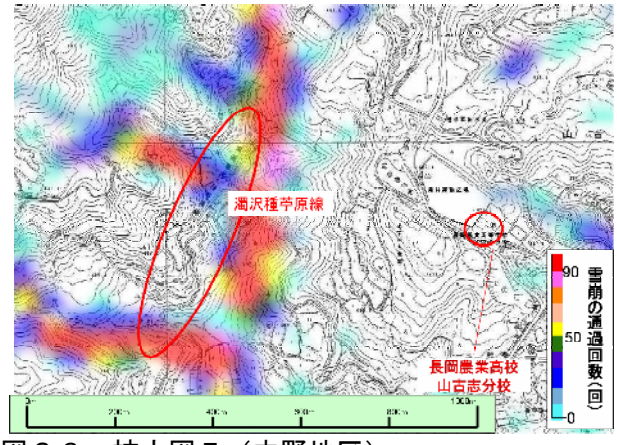


図３６　拡大図５（中野地区）

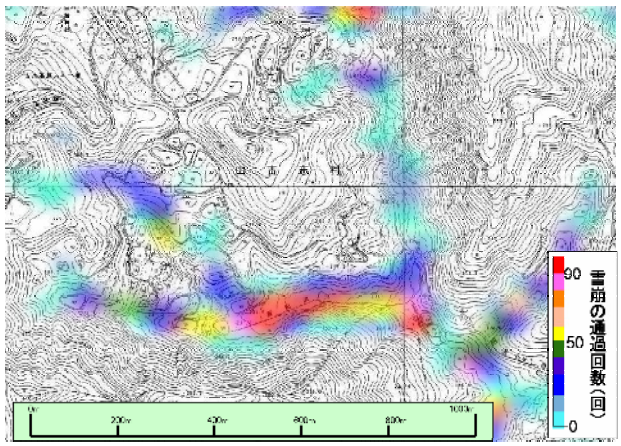


図３７　拡大図８

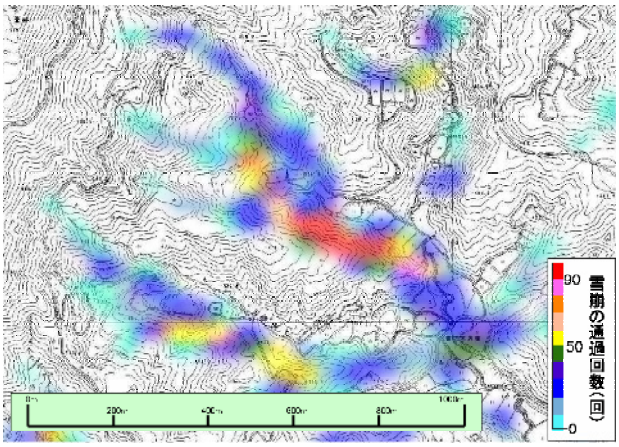


図３８　拡大図９

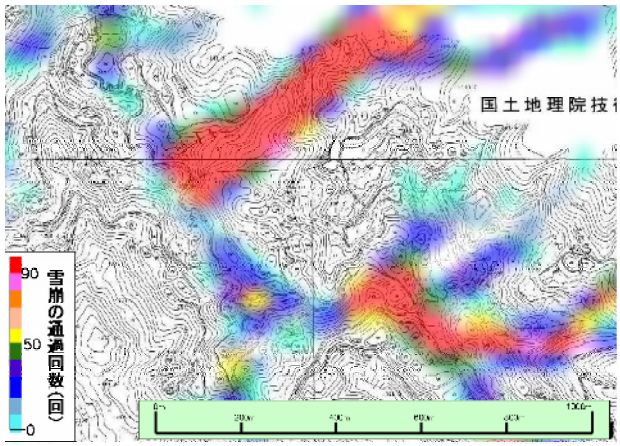


図４０　拡大図１１

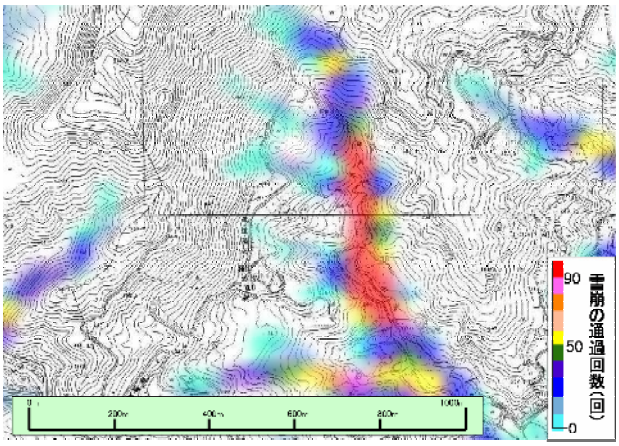


図３９　拡大図１０

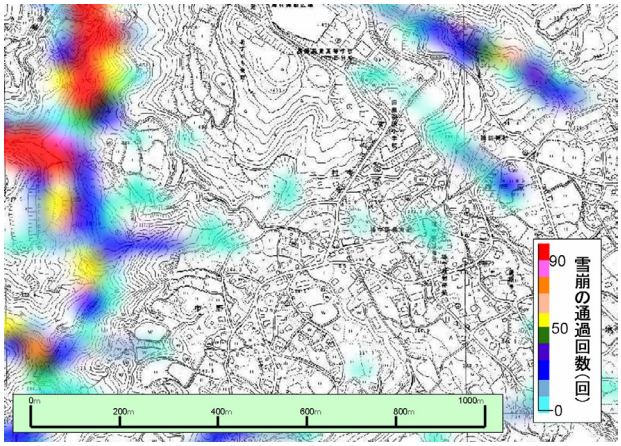


図４１　拡大図１２（中野地区）

が急であるために雪崩の発生自体が多いということが考えられる。

３．６　結果と考察

図３０から図４１までに、雪崩の多い地点のうち特に代表的と思われるもの、また集落のうち雪崩が達する危険性が高い箇所などを拡大して抜き出した。

一方で集落に比較的近い場所で発生した場合、図３７や図４０、図４１などからわかるとおり、貯水池や田畑などを多く通過する傾向にある。これらの箇所は人の手で切り開かれることにより、結果的に周辺より標高が低く、またなだらかで雪崩の流下を妨害するものが少ない地形になってしまっていることが原因と考えられる。

山古志村には、過去集落に直撃したものだけでも数件の表層雪崩と思われる雪崩の被害の記録が残っている。そこで、特に雪崩の通過が目立った箇所を表した。

図３０より、小松倉地区集落では数件の民家が雪崩の通過回数 20 回以上の領域に入っていることがわかる。地図を見ると小松倉地区は周囲を斜面に囲まれた盆地状の地形で、直感的にも雪崩が到達しやすいことがわかる。さらに斜面のすぐ近くに存在する民家も多く、被害が発生しやすいと考えられる。

図３１より、虫亀地区では北西と中央付近に、雪崩の発生する可能性が高い箇所があることがわかる。特に中央付近のものは民家に非常に近く、通過数 20 箇所以上の領域に、やはり数件の民家が含まれている。この箇所では実際に、昭和 59 年 2 月に表装雪崩によるものと思われる被害が発生している。

図３２および図３３はそれぞれ山古志支所、山古志中学校、山古志小学校の周辺であり、山古志地区の中心地といえる箇所である。この箇所でも住宅地の周辺で雪崩が発生する可能性が高いことがわかる。特に山古志支所は、付属施設まで雪崩が到達する可能性があることがわかる。

図３４は中野地区の西側を拡大している。この

区域には非常に大きな雪崩の吹き溜まりが存在していることがわかる。この図より、山古志地区の主要道路の1つである濁沢種苧原線を、雪崩が通過していく可能性が非常に高いことがわかる。これは、西側に東西方向に長い谷型地形が複数存在し、西側で発生した雪崩のほとんどがこの道路上を通って東側へ抜けていくためと考えられる。現在この路線はトンネルの改修が行われ、種苧原地区へと抜けるための重要交通路となることが期待されているが、そのためには十分な雪崩対策が必要といえるだろう。

図３５は東竹沢地区大久保集落周辺の拡大図である。記録に残っている雪崩のうちの多くは竹沢地区であり、解析結果を見ても実際に竹沢地区に属する集落では雪崩が通過する確率がある地域が目立った。一方、その他の地区では、**図４１**に記した中野地区のように周辺は雪崩の通過数が多いが、集落内の通過数は少ないというような地区も複数確認できた。

４．結論

４．１　現地調査について

新潟県中越地震によって発生した地形変化や土砂崩壊による雪崩防止施設の損壊・埋没が被災地を中心に多く見られ、しかもこの状況下で19年ぶりの大雪となったため、この地域に雪崩災害が多発した。この雪崩災害は、防雪施設の設計施工法、新しい雪崩現象など、多くの検討課題を残したといえる。

最初に被災地域における雪崩予防柵について、大型の固定柵が主流であり、基礎部は大量のコンクリートによって施工されているため修復が困難である点、さらに、雪崩発生区の急峻な斜面での作業のため人力作業が主となり早急な復旧作業が困難である点、を指摘した。今後は、大型の固定柵の見直しを行い、基礎についてはアンカー工法など新たな工法を積極的に考慮すべきと考えられる。また復旧作業にあたり雪崩防止柵については、上部材の再利用可能な鋼材等は利用すべきと言える。

このような土砂崩壊による地形変化や防雪施設の損壊・埋没は、1 年を経過しても充分復旧したとは言えず、今後も新たに発生することも予想されることから、地震後数年以上は2004－2005年同様に雪崩の危険性は十分高くなっていることがいえる。

４．２　煙型なだれハザードマップについて

本研究では煙型雪崩の理論を用いることにより、3 次元地形データを利用して、雪崩の通過回数を危険度の指標として求めた数値シミュレータの開発を行った。このシミュレーションモデルにより旧山古志村の煙型雪崩による被害が発生する可能性のある箇所を求めることができた。また、その結果を解析することにより、煙型雪崩の特徴を明確にすることができた。本報告書では、モデル計算の 1 ケースしか紹介できなかったが、他のケースの結果を総合し、結論を以下に記す。

・旧山古志村の、過去に実際に表層雪崩の被害が発生したという記録が残っている集落は、実際に流下回数の多い箇所がある、もしくは流下回数がそれほど多くない箇所でも広範囲にわたって存在しているという結果が得られた。煙型雪崩を想定した場合、旧山古志村では非常に広範囲で雪崩発生の危険性があることがわかった。過去に雪崩被害実績が無い地点でも、流下頻度が高い地点が多々存在する。これらの地点については、雪崩が発生した場合の流速などを調べ、被害発生の危険性について評価していくことが重要である。

・粒子の粒径D_sを変化させることにより、D_sが雪崩の挙動に大きな影響を及ぼしていることがわかった。雪粒子の粒径Dsが大きくなると、雪崩内の雪の沈降が顕著になるため、相対的に流下速度や流下距離が小さくなり、危険範囲は狭くなる。粒径の違いによって、粒子の沈降速度などが異なるため、濃度や速度の挙動に影響を与える。また、速度の大きさに影響を与えることにより、最終的に流下経路も変化するということがわかった。

・最大広がり幅に関する無次元係数 αBB は雪崩の形状に関して非常に支配的な係数であり、雪崩の運動にも大きな影響を及ぼす。このためハザードマップについても αBB の設定により少なからず差異が生じる。α_{BB}は雪崩の広がり幅に影響を与えているが、それにより雪崩が影響を受ける地形の範囲が広がる。その結果として、流速や流下距離に影響を与える。また、地形次第ではα_{BB}によって、流下方向が変化するということも考えられる。

・速度ごとに通過頻度を求めることにより、集落周辺では比較的流下速度が小さくなることがわかった。これは流下速度が経路の勾配による影響を非常に強く受けるためである。また、流下速度の大きい雪崩は谷型地形において発生しやすく、これらの雪崩は大きな規模に発達する可能性があるということが考えられる。

以上のように、旧山古志村における煙型雪崩の知見が得られた。しかしながら、解析に用いられるパラメータの多くは実際の現象に依存し、いまだ良くわかっていない。そのため、その部分の緻密化が必要になる。また雪粒子の粒径などの実際の数値も現在観測が難しい。これらの実際のデータや、より精密な地形データを用いることができれば、より正確な結果が得られるだろう。

この解析モデルは、Windows 上で利用可能なアプリケーションである煙型雪崩ハザードマップ作成シミュレータとして開発した。この数値シミュレータを使用すれば、他の地域の地形データを用いることにより、他の地域に関しても比較的容易に今回作成したハザードマップと同様のものが作成できる。

４．３　まとめ

以上のように、地震後に北陸地域は非常に雪崩災害が起きやすくなっており、今後も引き続き、注意が必要である。また、平時でも、研究開発を重ね、総合的な雪崩ハザードマップ作成技術を開発・向上し、対策を講じていく事が肝要である。

中越被災地区の衛星画像解析等による農地復興プロセスのモニタリング

力丸厚　高橋一義　坂田健太
長岡技術科学大学　環境・建設系

1. はじめに

農業は中越地域の基盤産業であり，中越地域の復興には，農業の本格復興が重要課題となる。中越地域の農地は，2004 年の水害，震災，2005 年の雪害，そして 2006 年の豪雪害など，連続した複合災害に遭遇した。この複合災害の経緯のなかで，果敢に復興の試みがなされている。しかしながら，復興のプロセスは，中越地域において，均質に進行しているわけではない。順調に進行している地域と，進行が停滞している地域の差異が発生しつつある。

行政側の情報収集のみでは，中越地域全般の復興の進捗を把握することは容易ではなく，復興進捗の偏在性を迅速に把握することは，復興プロセスの管理･推進に重要な指針となる。本調査は，時系列の衛星画像，および航空写真画像，圃場区画情報を組み合わせて，2005 年時点での中越地域の農地の復興状況分布情報を図面として作成した。

2. 農地復興プロセス･モニタリングの考え方

復興プロセスの状況をモニタリングするには，被災前の状況，被災状況，被災後の復興状況を時系列で比較照合することが基本となる。

2.1 復興プロセスの指標

復興プロセスをモニタリングする指標として，2005 年において稲の作付けが実施されたか否を判定して分布図を作成することとした。今後，経年が進行すれば，稲の品質など，より高次の判定要素を加えることとなる。

2.2 被災前の情報把握

地震は，米の収穫後にあたる 2004 年秋に発生した。このため，震災前の農地状態といえば，2004 年の状態が候補となる。しかし 2004 年は，7 月に大規模な水害が発生したため，平年の作付状況を示しておらず，被災前の基準情報としては，2003 年の作付分布情報が妥当であると考えた。そこで，2003 年の田植時期と生育時期の２時期の衛星画像を入手し，被災前の作付状態を把握した。この際，2003 年に休耕田であった地区に関しては，判定誤差が生じるが，個々の水田というよりも，地域分布としての復興状況を把握するうえにおいては，さほど影響は低いと判断した。

2.2 被災直後の情報把握

地震の被災直後の状態は，2004 年 10 月 28 日に撮影された航空写真(㈱ナカノアイ撮影)を地形図上に偏歪修正してモザイクし，圃場区画情報をオーバーレイした。モザイク画像を目視判読することで圃場区画ごとに液状化等の被災程度を分析し，被害状況の分析図を作成した。

2.3 被災後の情報把握

被災後の作付状況の把握は，2005 年の田植時期と生育時期の２時期の衛星画像を入手し，被災後の作付状態を把握した。

3. 衛星画像･航空写真の解析内容

3.1 ソースデータの仕様

･被災前の情報把握
2003 年 5 月 23 日観測 ASTER データ　田植時期
2003 年 9 月 5 日観測 SPOT-5 データ　生育時期
･被災直後の情報把握
2004 年 10 月 28 日撮影　航空写真　液状化等
･被災後の情報把握
2005 年 5 月 28 日観測 ASTER データ　田植時期
2005 年 8 月 1 日観測 SPOT-5 データ 生育時期

3.2 農地液状化状態の把握

震災直後の航空写真を地形図に合わせてモザイク処理し，圃場区画情報をオーバーレイし，目視で圃場の状態を判読した。液状化した圃場の区画を赤枠とし，液状化の可能性のある圃場を黄色枠とした。また液状化の確認できない圃場を青枠として，農地液状化分析図を作成した。図１参照。この分析図は，2004 年に長岡市農林部，長岡市越路支所産業課, JA 越後さんとう越路中央支店などに情報提供した。

3.3 水稲の作付領域抽出

水稲の作付領域を，田植時期と生育時期の２時期の衛星画像を解析することで抽出した。田植時期は，水田は水に覆われているため，衛星画像においては，近赤外線を吸収する特性を有している。また生育時期は，稲の葉面のクロロフィル色素の影響で，近赤外線を強く反射し，赤色を強く吸収する特性を有している。この２時期に対応する衛星画像データから上記の特性領域を判別すると，作付された水田を安定した精度で抽出することができる。この手法を用いて，2003 年の水稲作付領域を示したのが，図２であり，2005 年の水稲作付領域を示したのが，図３である。

3.4 農地復興プロセスのモニタリング解析

2005 年に稲の作付があった圃場を復興した水田と判別し，2003 年に作付の実績があり，2005 年に作付のなかった水田を未復興の水田として判別した。2003 年に休耕していた水田は，判定外となっている。また，2003 年に作付があり，2005 年に休耕した水田は，未復興田と同じ色で表示している。図４内の復興プロセス分布図参照。この分布状況を，圃場区画データにリンクさせて，区画ごとの分布情報を表示したのが，図４内の圃場区画単位復興プロセス分布図となる。越路地区を拡大して，表示している。分布図の情報は，各圃場番号に対応した表データとして集計表示を作成した。圃場区画単位の復興プロセス表には，仮の圃場番号をふった状態で，局所の情報を示している。

4. 液状化地区と復興プロセスの比較

復興プロセスの分布を考察するため，図５に復興プロセス分布図と農地液状化分析図を同縮尺にして併載した。マクロに比べると，液状化の程度の大きい地区の復興が遅れているようであるが，細部を比べると，そうばかではない。渋味川河畔地区では，液状化が多くみられた地区でも復興している地区がある。また，液状化の程度が写真からではさほどでもなかった地区で, 2005 年にほとんど作付されていない圃場がみうけられる。現地のより詳しい情報収集が必要であるが，復興が，均等に進行しているわけではないようである。今後も，衛星等によるモニタリングの実施が必要であると考えられる。

5. 農地復興プロセス･モニタリングの今後の方向性

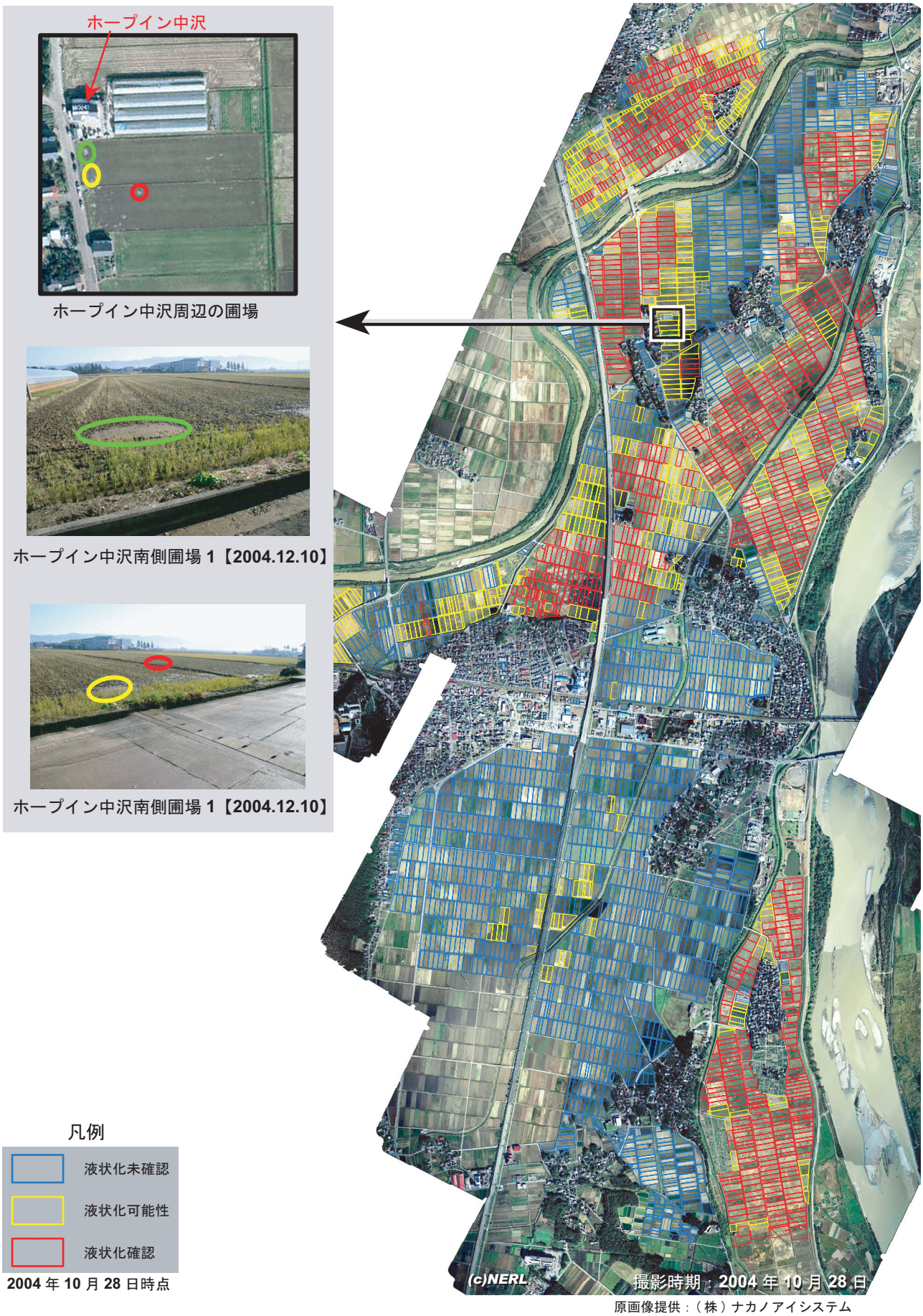
液状化現象などのように土壌条件に変化が発生した圃場は，表土整備の対策が実施されている。しかしながら，より深い地中の土壌状態が不均一となっているため，圃場内の地力むらが，今後発生する可能性が予想される。

これらの状態を面的に的確に把握し，施肥の対応などに連携した調査を今後継続的に実施していくことが望まれる。また，地域として復興の遅れている領域を的確に把握し，対策を実施するための基本情報とされることを期待する。

長岡技術科学大学環境リモートセンシング研究室では，今後も農地のモニタリング情報に関して，引き続き調査をおこなっていく方針である。

その成果は農地のプライバシー情報に配慮した上で，関係機関に対して，農地モニタリングに関する GIS 用コンテンス情報の提供を準備･計画している。また関係機関から研究室への情報提供も，強く期待している。

本研究調査に用いた SPOT-5 衛星画像データは，(独)農業工学研究所および(社)全国農林統計協会連合会との共同研究用データを使用した。航空写真画像は㈱ナカノアイシステム撮影のデータを使用した。



原画像提供：（株）ナカノアイシステム

図 1　農地液状化分析図（越路地区）

NERL 長岡技術科学大学環境リモートセンシング研究室

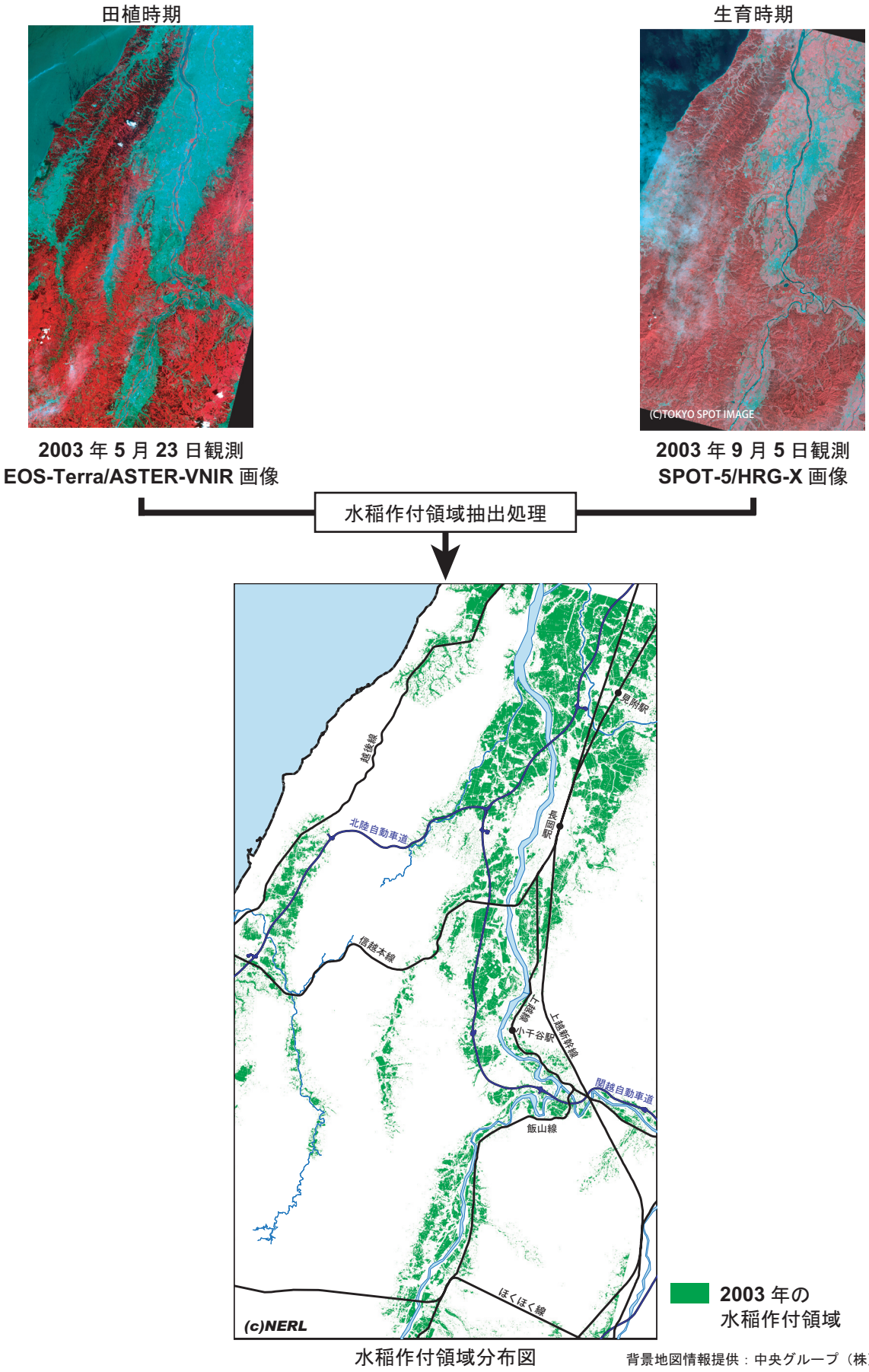


図２　水稲の作付領域抽出（2003 年）

NERL 長岡技術科学大学環境リモートセンシング研究室

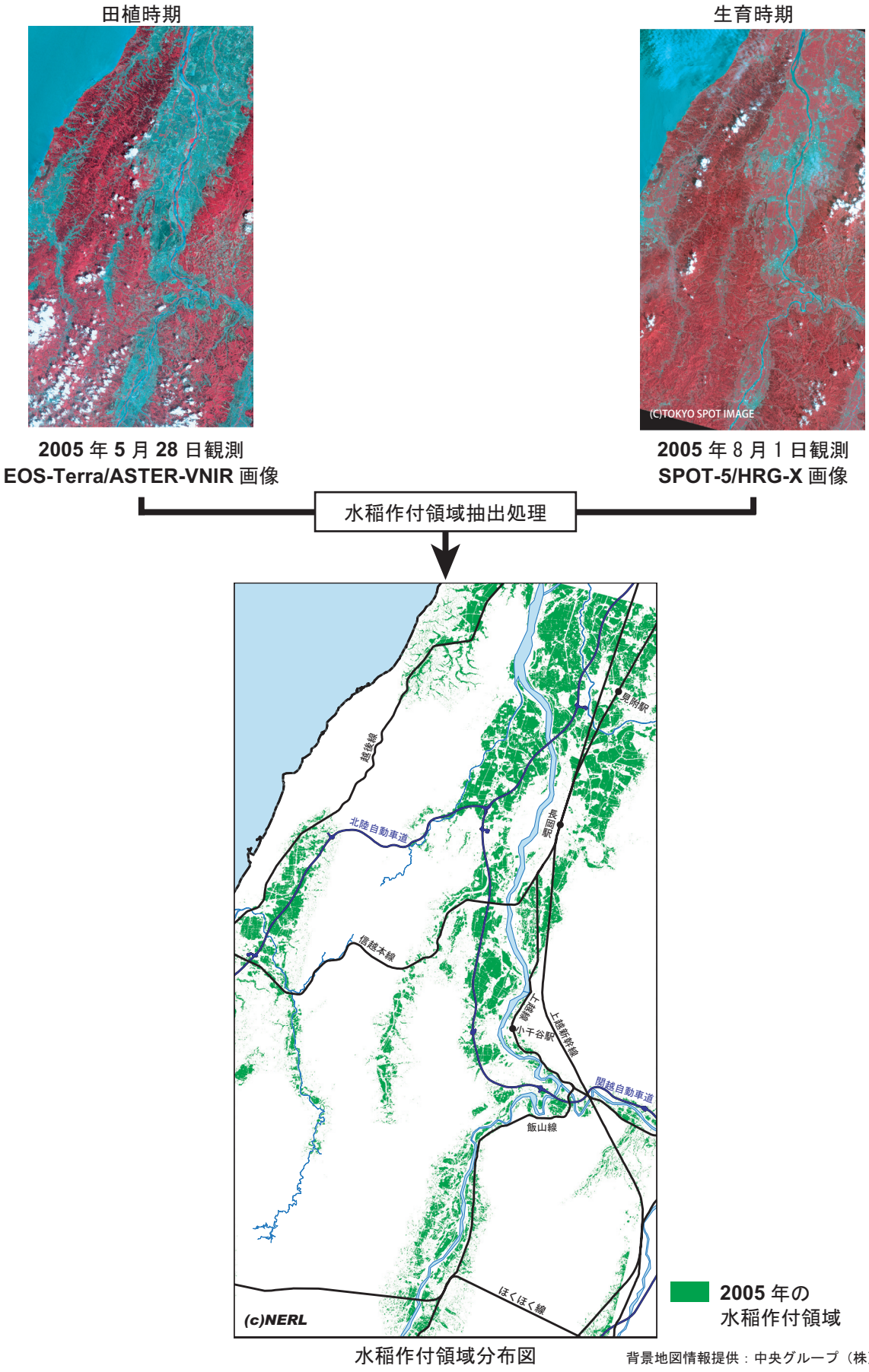


図３　水稲の作付領域抽出（2005 年）

NERL 長岡技術科学大学環境リモートセンシング研究室

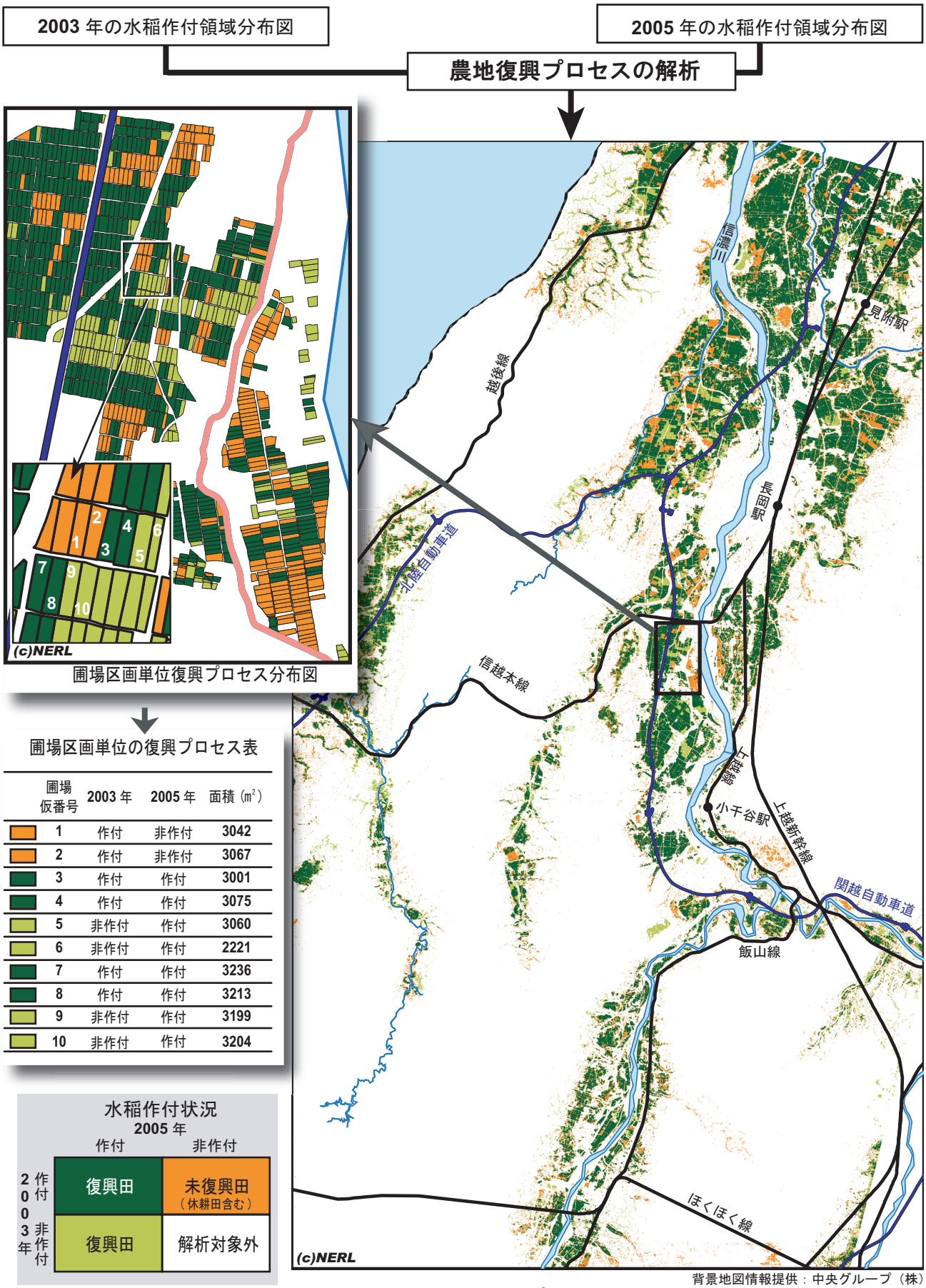
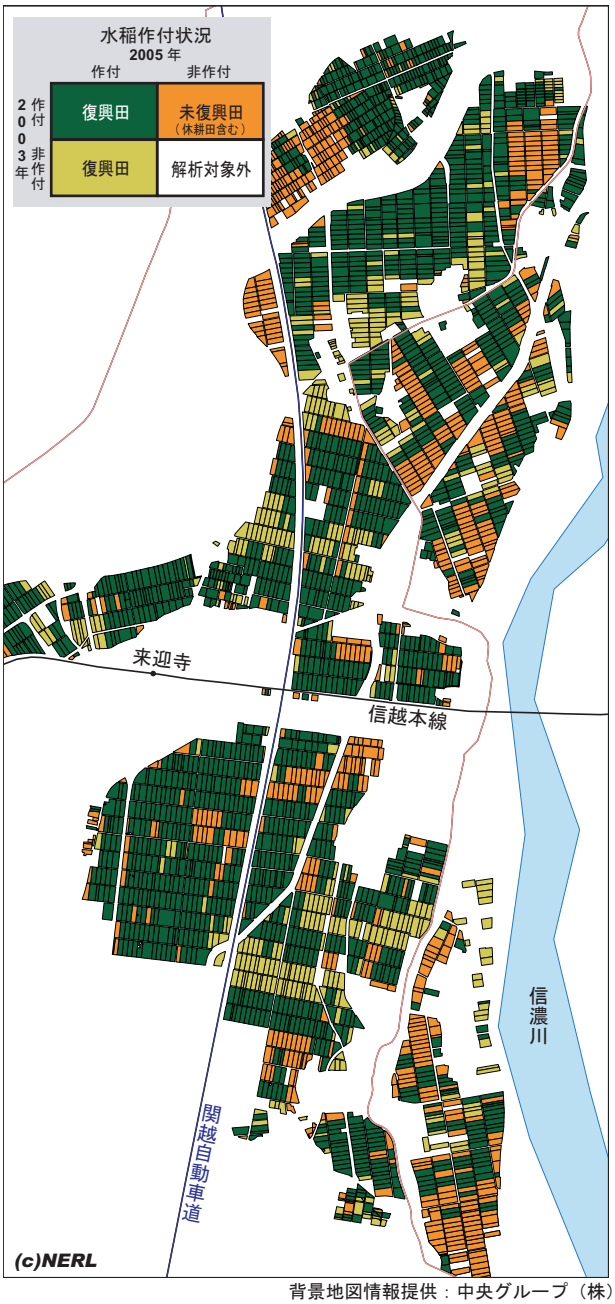


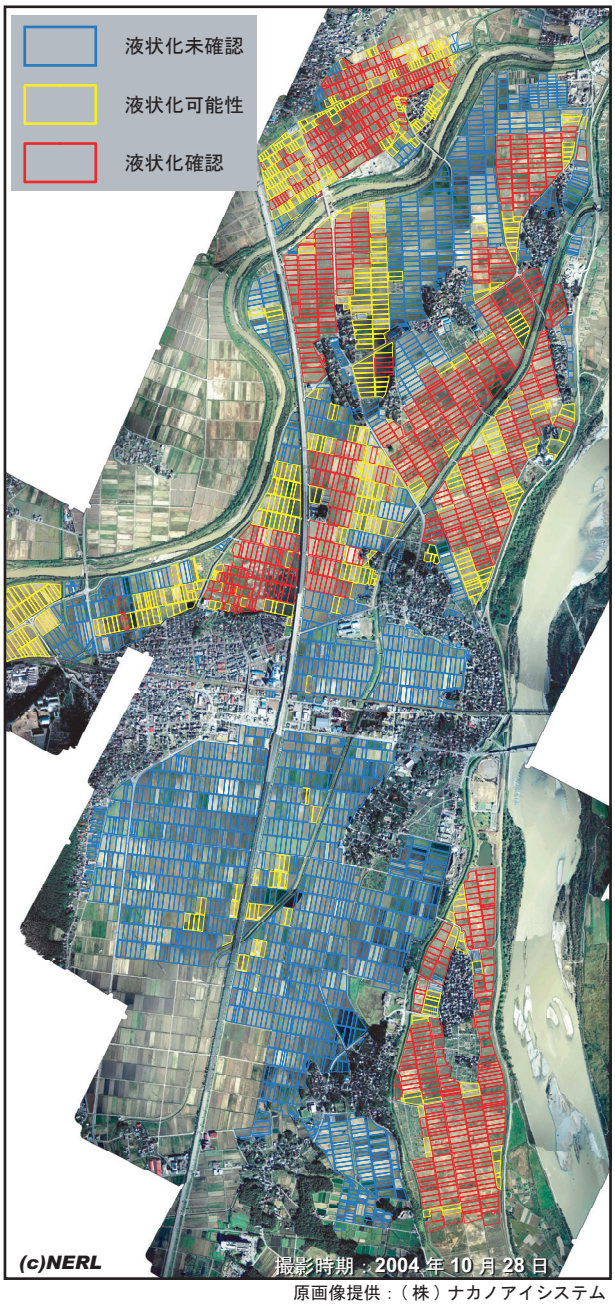
図４　農地復興プロセスのモニタリング解析

NERL 長岡技術科学大学環境リモートセンシング研究室



背景地図情報提供：中央グループ（株）

復興プロセス分布図



原画像提供：（株）ナカノアイシステム

農地液状化分析図（越路地区）

図５　液状化地区と復興プロセスの比較

NERL 長岡技術科学大学環境リモートセンシング研究室

面的被害と住民避難

樋口　秀
長岡技術科学大学　環境・建設系

1. はじめに

秋深まる土曜日の夕刻に発生した中越地震は、極めて大きな本震に続き、直後からほぼ同規模の余震が幾度も重なって地域の人々を襲った。中山間地では山が崩れ、道路が消えた。当日の夜は広範囲で停電し、月明かりの下で住民は肩を寄せ合った。ここでは、中越地震による被害状況をまとめるとともに、避難の特徴を整理する。

2. 面的被害

2.1 火災の発生状況

地震発生後に大きな問題となるのは火災である。阪神大震災では、285件の火災が発生し、約70haの市街地が焼失している。中越地震では新潟県が発表した報道資料によれば当日23日に８件、翌24日に１件の計９件（旧長岡市５、旧十日町市、小千谷市、川口町、旧越路町各１）の火災が発生した。

焼損棟数は15棟（うち住宅が７棟）、焼損程度は全焼３棟、半焼１棟、部分焼１棟、ぼや４棟、程度不明６棟であり、火災による死者は０、負傷者は４名（長岡市の共同住宅火災）である。

長岡市濁沢町の火災では６棟を焼損したが、出火後地滑りが発生したため詳細は不明となっている。結果として類焼による市街地の面的な焼失はみられなかった。

阪神大震災では通電火災が問題となっていたため、全壊の建物に通電する際には居住者の立会いを求めて二次災害を防止していた。また、ガスについても、阪神大震災の教訓からマイコンメーターが設置されており、ボタンを解除しなければガスが供給されない仕組みとなっており、被害の軽減につながっていた。

2.2 住家被害

中越地震により住家および非住家について建物被害が見られたのは、地震発生時の市町村数で54にのぼる。余震の継続や道路の被害と避難指示等による立ち入りの制限により、地震による被害状況の調査は大幅に遅れていた。加えて積雪の影響もあり地震後５ヶ月がたった時点でも被害認定に変化がみられた。特に住民が全村避難し立ち入りが制限されていた山古志村では被害認定の調査が翌春に持ち越されるなど各地で流動的な状況が続いていた。

地震の約１年半後、ほぼ最終結果として新潟県中越大震災災害対策本部から発表されている平成18年2月1日現在の被害状況によれば、住家被害は全体で全壊3,175棟、大規模半壊2,163棟、半壊11,609棟、一部損壊103,603棟である。震度７を記録した川口町での全壊率の高さが目立つものの全壊棟数は旧長岡市が上回る（図１）。

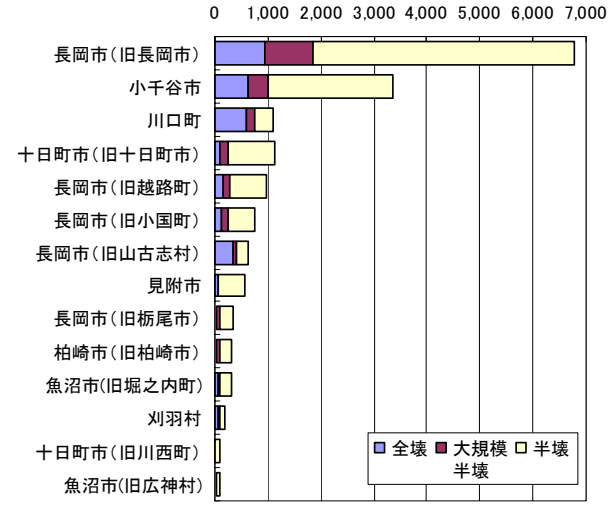


図１　住家被害状況（半壊以上）

ここでは、被害の大きかった長岡市、小千谷市、川口町、山古志村の状況を地震直後に行った現地調査の結果から言及する。

(1)長岡市

長岡市では、信濃川の右岸で国道17号バイパスより東側にある震源地に近い東山連峰沿いの集落で被害が大きい。住宅本体の倒壊も見られるが、建物の倒壊は免れても土砂崩れや宅地の崩落により居住できない住宅が目立っている。

水害で被害を受けた浦瀬地区の近くの丘陵部に位置する水穴町では、幹線道路へのアクセス道が崩落し孤立した集落が見られた。地区内の住宅では屋上を庭として使用していたブロック造の駐車場が倒壊し、住宅本体へも影響を与えていた（**写真.1**）。

表１　中越地震の被害状況

2006.2.1 10:00現在 数字は人または棟数	人的被害	住家被害（棟数）				非住家被害
	死者	全壊	大規模半壊	半壊	一部損壊	公共施設＋その他
長岡市（旧長岡市）	11	927	918	4,947	42,546	11,202
小千谷市	17	622	370	2,379	7,521	5,127
川口町	6	606	146	344	297	1,460
十日町市（旧十日町市）	8	100	150	869	11,075	154
長岡市（旧越路町）	1	152	127	697	2,624	2,894
長岡市（旧小国町）	1	125	124	518	1,175	1,596
長岡市（旧山古志村）	4	339	73	223	112	828
見附市	2	52	18	505	9,342	10,427
長岡市（旧栃尾市）	1	45	60	240	5,687	922
柏崎市（旧柏崎市）		27	58	235	4,586	1,063
魚沼市（旧堀之内町）	1	56	39	220	1,387	650
刈羽村		67	25	99	786	784
十日町市（旧川西町）	1	5	6	81	1,559	533
魚沼市（旧広神村）	1	12	12	64	1,080	229
柏崎市（旧西山町）		11	11	23	658	174
魚沼市（旧守門村）		6	5	28	575	14
分水町		8	9	15	87	72
長岡市（旧三島町）		3		25	1,664	130
長岡市（旧中之島町）			2	24	2,573	980
魚沼市（旧小出町）	1	1	1	18	874	21
長岡市（旧寺泊町）			2	12	586	119
三条市（旧栄町）			1	7	517	252
出雲崎町				7	100	48
南魚沼市（旧大和町）	1	4		3	817	40
長岡市（旧与板町）			1	5	986	41
十日町市（旧中里村）				9	659	15
魚沼市（旧入広瀬村）			1	4	119	25
南魚沼市（旧六日町）		3		1	846	89
加茂市			2	2	127	5
十日町市（旧松代町）				3	350	21
柏崎市（旧高柳町）			2	1	268	29
十日町市（旧松之山町）		2			90	2
燕市		2			54	33
その他（22市町村）	3			1	1,876	406
合計	59	3,175	2,163	11,609	103,603	40,385

長岡市から山古志村へ通じる県道23号線に沿った濁沢町では、大規模な土砂崩落に巻き込まれて住宅が地盤もろとも流出していた（**写真.2**）。地震後火災も発生していたが、土砂崩落により消防隊が現場に到達できず消火活動が十分に行えなかったことが報告されている。



写真.1　倒壊するブロック造の駐車場（長岡市水穴）



写真.2　土砂崩れにより崩落した住宅（長岡市濁沢）



写真.3　倒壊するブロック塀と亀裂の入ったコンクリート地盤（長岡市中沢）

悠久山公園にほど近い中沢地区は、平坦な地区でありながら被害が大きく、ブロック塀の倒壊、コンクリート舗装材の亀裂、建物の倒壊が集中してみられた（**写真.3**）。また農業試験場に隣接する悠久町では、小河川沿いの宅地が河川側に沈下することにより多数の住宅が傾斜し被害を受けていた（**写真.4**）。



写真.4　傾斜する電柱と倒壊した木造住宅（長岡市悠久）

造成地の崩壊が被害を拡大した高町団地では、団地内の約500棟に対して約70棟が応急危険度判定で「危険」と認定されている。また、宅地造成された際に盛り土が行われた宅地や道路で被害が大きい。盛り土部分に建造された外周道路が崩落して住宅の敷地が引きずられたものや（**写真.5**）、敷地内の土砂が流出して住宅が傾斜する事例が見られた（**写真.6**）。

(2)小千谷市

小千谷市では、震源に近い信濃川右岸だけではなく、左岸の本町商店街や関越高速道路よりも西側の農村集落にも大きな被害が見られた。

まず、ＪＲ上越線の小千谷駅がある信濃川右岸地区では、駅舎と駅構内で大きな被害が見られた。商店街では面的な被害は見られなかったが、被害の大きい建物が点在した。東栄では平屋建ての老朽住宅が完全に倒壊すると共に、小河川沿いの宅地で地盤が流されていた（**写真.7**）。また建築されたばかりの住宅では、地盤の沈下に伴い建物全体が移動していた（**写真.8**）。



写真.5　盛り土の崩落により崩壊する外周道路（長岡市高町）



写真.6　流出した土砂により傾斜する比較的新しい住宅（長岡市高町）



写真.7　宅地の流出（小千谷市東栄）

信濃川左岸の本町商店街も、大きな被害を受けた建物と被害の小さな建物とが混在していた。木造の雁木を有する老朽住宅でも、外観上からはほとんど被害が見られないものもあった（**写真.9**）。しかし、道路に面して開口部を大きくとった併用住宅では１階部分が押しつぶされた倒壊がみられた（**写真.10**）。



写真.8　基礎部分の沈下と移動（小千谷市東栄）



写真.9　被害が軽微な老朽住宅と雁木（小千谷市平成）



写真.10　木造住宅の倒壊（小千谷市平成）

高速道路の西側に広がる吉谷地区や桜町の農村集落では、地盤の影響からか倒壊した住宅が多数見られた（**写真.11**）。住宅は点在しているが、個々の被害が大きく壊滅的な状況が窺えた。

長岡市との境界にある浦柄地区では、震災後に土砂崩れと川の増水により土石流が発生した。この影響で川を堰き止めていた住宅の内部を濁流がながれた（**写真.12**）。地域全体が大きな二次災害を受けている。

川口町との境界に位置する木津では、国道17号線に面した食堂の建物で、敷地内の土砂が流出したため住宅本体が引き裂かれていた（**写真.13**）。国道の横の崖下にはＪＲ上越線があり、国道と共に土砂崩落など大きな被害がみられた。



写真.11　木造住宅の倒壊（小千谷市吉谷）



写真.12　河道を堰き止めた住宅（小千谷市浦柄）



写真.13　地盤の流出により切断された住宅（小千谷市木津）

(3)川口町

川口町では1 393棟の住家のうち、平成17年1月20日時点で597棟（43%）が全壊と認定され、被害の無かった建物は８棟（0.6%）にとどまる。地区別の被害状況を見ると、全壊の割合が田麦山91%、木沢77%、峠75%、和南津67%で高い（**図２**）。

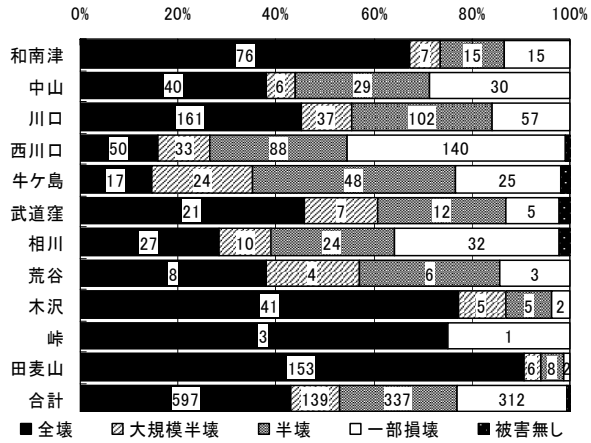


図２　川口町の地区別住家被害

概して古い木造住宅で被害が大きく、１階が潰れる形での倒壊が目立つ。役場やＪＲ越後川口駅がある川口地区では、約半数の建物が大きな被害を受けていた。特に木造の老朽住宅や店舗では１階部分が大きく傾いたり、つぶされたりする事例が多数見られた（**写真.14,15**）。全壊率が高い中で、近年に建築された高床式の住宅では被害が小さかった。



写真.14　１階部が潰れた木造老朽住宅
（川口町川口）

他の地域で被害が少なかった高床式住宅であるが、田麦山地区では倒壊するものも見られた。これらの倒壊原因としては、壁量バランスが悪いことと、接合部の緊結が十分に図られていないことが指摘できる（**写真.16,17**）。



写真.15　倒壊した木造店舗（川口町川口）



写真.16　倒壊した高床式住宅
（川口町田麦山）



写真.17　倒壊した高床式住宅
（川口町田麦山）

(4)山古志村

旧広神村と中山トンネルで繋がる東竹沢地区の小松倉集落では、古い木造住宅で土台が礎石からずれる被害が複数みられた（**写真.18**）。この集落では内部の被害は別として倒壊した住宅は少なかったが、東竹沢地区から他の集落へ繋がる道路は土砂崩れ等により壊滅していた。同地区内の梶金集落では、集落全体の住宅が倒壊しており、一部の住宅では２階部分が数メートルも飛ばされていた（**写真.19**）。



写真.18　基礎部分が移動した住宅（山古志小松倉）



写真.19　１階部が倒壊した木造住宅（山古志梶金）

旧山古志村役場から谷の反対側に位置する油夫の集落は原型を留めないほどに、道路や宅地の崩壊が見られた（**写真.20**）。

しかし、村内の北西部に位置する虫亀地区では、道路等の土木構造物を除き全体に建物被害が小さく、老朽住宅でも外観上の被害は小さい（**写真.21**）。ただし、構造が簡易な養鯉場では、上屋やコンクリート製の池に被害が見られた。また、北東部の種苧原地区でも、老朽住宅を含めて建物被害は小さかった。調査時には全村民が避難しているため人気はなく、住宅には雪囲いが施されていた。地震時に交代した県知事であったが、知事選の看板が雪囲いに用いられていた（**写真.22**）。



写真.20　大規模な土砂崩れと住宅の倒壊（山古志竹沢）



写真.21　被害の小さい木造住宅（山古志虫亀）



写真.22 雪囲いされた木造住宅（山古志種苧原）

2.3 非住家被害

住家以外を示す非住家については、公共施設とその他の建物に分けられるが、被災地全体についての被害状況は棟数のみが報告されるにとどまる。非住家の被害状況は、構造別にみることも重要であるが、ここでは用途別の被害状況について構造を考慮しながら言及する。

(1)庁舎施設

市役所や役場は、災害対策本部としての機能が求められる。長岡市役所は、地震後停電すると共に冷暖房用空調機からの漏水により一部の空間が使用できず、災害対策本部は１階フロアに設置された。市役所の３階に移動できたのは地震から約４時間後であった。

川口町では応急危険度判定で要注意と判定されている（**写真.23,24**）。住民への対応は主として役場の外で行うことが強いられた。



写真.23　被災した川口町役場



写真.24　要注意と判定された役場のステッカー（川口町）

一方、山古志村では役場周辺に様々な公共施設が集積しているが、駐車場に大きな被害がみられた。建物本体の被害は大きくはないが、地盤が沈下又は隆起しており、建物へのアクセスが安全に行えない状況であった。

災害対策本部となるべき庁舎施設が被災すると、災害復旧に遅れが生ずることが予想される。最低限の耐震化を含めた災害対策を図っておく必要があろう。

(2)教育施設

教育施設は災害時の避難所として指定される場合が多く、特に小学校は地域の拠り所にもなっている。今回の地震では多くの教育施設が被災し、避難所として機能しないばかりか学校の再開も遅延した。

新潟県教育委員会財務課によれば、平成17年３月現在で、市町村立学校等の被害は172施設でみられ、建物本体の補修に要する費用は査定額ベースで20億５千万円に上る。補修工事費が５千万円を超える被害が見られた学校は、長岡市四郎丸小学校、小千谷市東小千谷小学校、魚沼市広神中学校、同堀之内中学校、越路町越路中学校、山古志村山古志中学校、小国町小国中学校である。建物本体の補修に加えて、工作物、土地、設備の復旧を含めた事業費では、46億４千万円であった。特に被害が大きく建て替えを要する学校施設は、小千谷市川井小学校、同東山小学校、越路町越路中学校、山古志村山古志小学校、同山古志中学校、同共同調理場、小国町小国中学校の７つである。県立学校（高校・特殊学校）の被害は57校で見られ、うち３千万円以上の被害校は７校である。特に長岡商業高校は１億円以上の被害額であった。

長岡市西片貝町にある長岡工業高等専門学校では、構内の至る所で被害が発生した。グランドには大きな亀裂が入り、校舎をつなぐ渡り廊下では接合部が破損している。また、2002年に建築された６号館でも外壁のタイルが剥離し、柱にはせん断亀裂が入っていた。福利厚生施設

の食堂と校舎との間には１ｍの地割れが発生し、食堂は大きく傾いていた。

長岡市が公表した学校施設の被災状況に関する資料によれば、市内の全学校54校（小学校37校、中学校16校、養護学校１校）で被害が発生し、上組小、四郎丸小、太田小・中の３校では柱のせん断、ひび割れ等、構造体に大きな影響がでている。これら３校は全て1981年の新耐震基準以前の建物である。山本中、太田小・中では、地盤の崩落等地盤災害の被害が大きい。しかし、ＲＣ造（鉄筋コンクリート造）の校舎で崩壊した建物は見られず、天井からの落下物による危険性が見られたため使用を中止した体育館等も、倒壊の危険があるものはなかった。

長岡市では、防災計画上145の公共施設が指定避難所となっており、学校54校は全て含まれている。内訳は、地区防災センターが30箇所（小学校28校、中学校２校）、避難所が24箇所（小学校９校、中学校14校、養護学校１校）である。市内の小中学校は地震後12日目の11月4日に48校、16日目の11月8日に残る６校が再開している。被害が大きかった学校については被害の少ない近隣の学校で再開し、補修工事等のため仮設校舎を建設している。避難所となった体育館は、停電の対応、情報の入手・発信、物資の備蓄といった付帯設備の問題や、長期化する避難生活を想定した設備を有していなかったためトイレや段差など弱者対策が不十分であるなど多くの課題が明らかとなっている。

(3)医療施設

信濃川左岸の河岸段丘上で商店街の中程に位置する小千谷総合病院は、1970年頃に建築されたＲＣ造の建物であり、柱や壁に大きな被害が見られた。隣接するＲＣ造の薬局でも、外壁面の柱脚部の全てが破損していた。

十日町病院の被害も大きかった。これらの医療施設では、被災した怪我人等の治療にも当たる必要があるにもかかわらず、震災により患者を避難させなければならないなど、その機能が十分に果たされなかった。

日常の安全、安心という必要な状況を作り上げるには、最低限地域の中核を担う病院について災害時の安全性を確保する必要がある。

(4)民間施設

民間施設には様々な用途、構造がみられ、震災被害の程度も異なっている。まず、鉄骨造のガソリンスタンドでは、天井材が崩落していた（**写真.25**）。他の施設でも大空間を有する建物の天井材が崩落する事例は多数見られた。天井材の崩落による直接的な被災状況は不明であるが、大規模な地震時の特徴として再考する必要がある。



写真.25　天井材が崩落したガソリンスタンド（小千谷片貝）

十日町市では、商工会議所の建物と向かいのＲＣ造のビルが被災して使用不能となっていた。隣接する商店街の被害は小さかったため、特異的な被害にうつった。

長岡市蓬平では、温泉旅館が大きな被害を受けている。太田川の上流で、地区内を流れる小河川沿いで、建物被害が見られた（**写真.26**）。鉄骨の梁とコンクリートスラブ、外壁の接合部分が離れ、被害が大きくなっている（**写真.27**）。

小千谷市ではＲＣ造またはＳ造の大規模な小売店舗で大きな被害が見られた。特に郊外部の大規模店は外装材が剥離して内部が露出していた（**写真.28**）。また、別の入り口では天井の構造材が崩落して入り口を塞いでいた。怪我人の存在は把握できていないが、死者等の被害がな

かったのは不幸中の幸いである。同市中心部のＲＣ造小売店も外壁材や柱に大きな被害が見られた（**写真.29**）。被災した建物の解体工事後に再建が進まない場合、中心市街地の衰退を加速させる懸念がある。



写真.26　倒壊する旅館の付属建物
（長岡蓬平）



写真.27　緊結が不足した接合部（長岡蓬平）



写真.28　外壁が崩落したＲＣ造大型店舗
（小千谷市平沢新田）



写真.29　外壁が崩落したＲＣ造大型店舗
（小千谷市東栄）

また、民間施設の中で歴史的に貴重な施設でも大きな被害が見られた。長岡市では、都市景観賞を受賞した酒造業者の倉が被害を受けた（**写真.30**）。所有者にとっては補修するメリットが小さいため、その存続が危ぶまれている。民間の貴重な歴史的建造物が被災した場合、被災後の修理等がスムーズに進められるようなシステムを構築しておくことが重要だと考える。



写真.30　被災した歴史ある倉
（長岡市摂田屋）

2.4 大雪による被害

被災後、被災地で最も心配されたのは、降雪であった。毎年師走には雪囲いをする地域であるため、被災した住宅が耐えうるのか、消雪パイプが機能するのか、被災した道路の除雪ができるのかが心配された。復旧工事が進められる中で、幸いにも降雪は例年よりも約20日遅く、

12月22日からの雪となった。しかし、降り続いた雪は近年の小雪とは異なり、19年ぶりの大雪となって被災地を襲った。

仮設住宅で見積もられた積雪深は２ｍであったが、これをはるかに超える雪が積もった（**図３，写真.31**））。１月26日には半壊の認定を受けた小千谷市の旅館で、雪の重みにより屋根が崩落し２名の方が亡くなった。震災に続き、１月７～18、27～30、２月３日に山古志村、２月５～７日に小千谷市、川口町の仮設住宅の除雪・排雪作業が陸上自衛隊に依頼され、実施された。

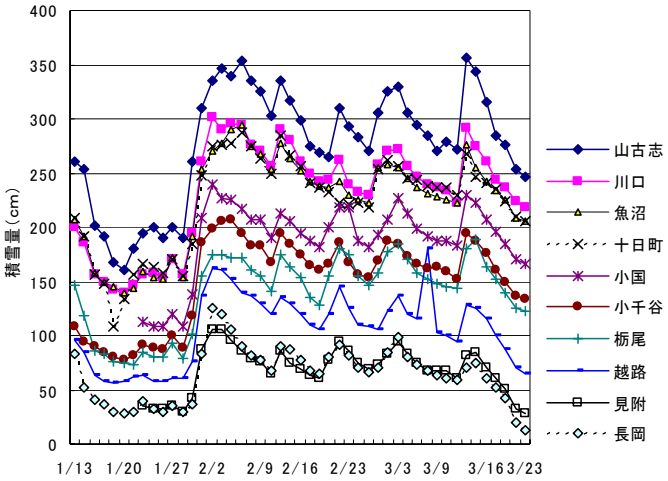


図３　被災地の積雪状況推移



写真.31　雪に埋もれた被災地（小千谷市）

新潟県災害対策本部が２月15日に発表した資料によれば、雪による家屋等の被害は、住家39棟、非住家61棟の計100棟に上った。また山古志村では、仮設住宅から通いながらの雪下ろしとなったが、６月の調査では、降雪前に比べて、倒壊した住宅数が急増していた。応急修理や避難指示・避難勧告のあり方が問われていると考える。また、積雪の問題は、降雪期のみにとどまらず、雪解けによる融雪水、土砂を伴う雪崩による被害（道路閉鎖等）、梅雨時期の雨による被害も増幅した。

3. 住民避難

3.1 初動期の避難

中越地震における避難活動で注目されたのが、避難者数の多さと避難行動の多様性である。阪神・淡路大震災における全壊家屋数が約112,500棟であったのに比べて、今回の地震では3,175棟（平成18年2月1日現在）と1/40程度であるのに対し、10月26日にピークを迎えた避難者数 103,178人は阪神･淡路大震災での最大避難者数約 316,700人の 1/3程度の規模となった。また避難形態も、指定避難所の被災や空間的制約に加え、余震への恐怖やライフラインの支障状況によって多様化し、発生直後は車中に避難する被災者も多く存在した。

(1)調査概要

震災時の詳細な避難状況を把握し、地域間の差異等を比較するために、中心市街地や郊外住宅団地、市街地周縁部ならびに農業集落といった地区特性に加え、震災によるライフライン被害や、道路寸断による孤立集落化といった要因を考慮して、局地激甚災害の指定地域となった小千谷市の５地区（本町1.2丁目、旭町、土川2丁目、川井新田、吉谷）ならびに指定はされていないものの災害救助法の適用対象となっている長岡市から２地区（川崎6丁目、高町1.2丁目）の計７地区を選定し、アンケート調査（自治会長や区長を通じた票の配布回収による悉皆調査）を行った（図４）。質問項目は、①自宅や店舗，農地等の被害状況、②ライフラインの復旧状況、③避難状況とその理由、④避難生活（物資等の確保、トイレの利用など）、⑤災害時に必要な情報、に関するものである。なお、

調査は平成17年１月27日から３月26日にかけて実施し、全配布数 1,535票に対して1,232票の回答を得た。回収率は80.3%である（**表２**）。

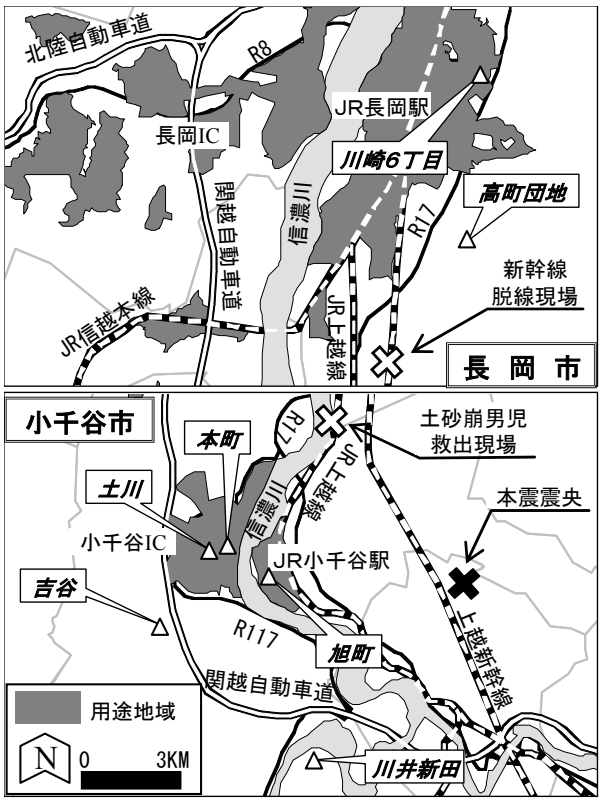


図４　調査対象地区の位置

市名	地区名	地区の特徴	世帯数	人口	配布数	回収数	回収率
長岡	高町	郊外住宅団地・建物被害中	226	763	189	157	83.1%
	川崎	市街地周縁部・建物被害小	387	1113	387	314	81.1%
小千谷	本町	中心商店街・建物被害中	252	731	250	197	78.8%
	旭町	駅前商店街周辺・建物被害中	284	862	284	220	77.5%
	土川	中心市街地・住宅団地・建物被害大	247	848	135	101	74.8%
	川井新田	農村集落・孤立化・建物被害中	103	366	100	76	76.0%
	吉谷	農村集落・建物被害大	357	1431	190	167	87.9%
全　体					1535	1232	80.3%

長岡市住民基本台帳:2005.2.1現在
小千谷市統計年鑑H15年度版:2003.3.31現在

表２　調査概要

(2)対象地区の被害状況

まず、アンケート結果による調査対象地区の被害状況をみる（**表３**）。高町1.2丁目（以下「高町」）は建物被害に加え、宅地の被害も生じていることがわかる。川崎6丁目（以下「川崎」）は調査地区のうち最も被害が軽微であり、震災直後から８割以上で自宅内に居住スペースを確保することが可能な状況であったことがわかる。本町1.2丁目（以下「本町」）は中心商店街のある地区であり、３割以上で店舗に大きな被害が生じているほか、自宅に全く居場所がない世帯が４割を超えている。旭町は信濃川右岸の小千谷駅近傍の地区であるが、対象地区の平均的な被害が生じていることがわかる。土川2丁目（以下「土川」）は昭和40年代に分譲された住宅団地であるが、半壊認定が３割を超え、室内スペースが全くない世帯も５割を超えている。川井新田は震災直後周辺道路の寸断によって一次孤立状態に陥った地区である。大規模半壊が14.5%となっているとともに農地の被害が大きいと回答した世帯も２割を超えている。吉谷地区はいわゆる農村集落であるが、建物被害、農地被害ともに最も深刻な被害を受けていることがわかる。アンケート対象地区の選定に当たっては、地域性を考慮するとともに、発生直後から継続的に行ってきた現地調査の結果を勘案したが、さまざまな地域特性ならびに被害状況が結果としても現れたことで、その妥当性が検証されたといえる。

表３　対象地区の被害状況

		長岡市		小千谷市					全体
		高町	川崎	本町	旭町	土川	川井新田	吉谷	
罹災証明	全壊	2.0%	0.3%	3.4%	1.9%	3.1%	3.2%	**30.2%**	5.8%
	大規模半壊	1.3%	－	2.2%	1.9%	6.2%	14.5%	12.6%	3.9%
	半壊	12.5%	3.1%	**22.9%**	16.5%	**30.9%**	－	**35.8%**	16.6%
	一部損壊	**81.6%**	**84.5%**	**71.5%**	**78.2%**	**54.6%**	**82.3%**	21.4%	**69.5%**
	無被害	2.6%	**12.0%**	－	1.5%	5.2%	－	－	4.1%
宅地	危険宅地	4.2%	0.4%	**14.5%**	3.0%	5.6%	－	2.3%	4.1%
	要注意宅地	**15.4%**	0.4%	**14.5%**	8.3%	2.8%	1.6%	3.1%	6.6%
	検査済み	28.7%	0.4%	14.5%	12.4%	11.1%	1.6%	－	9.5%
	検査なし	**51.7%**	**98.9%**	**56.6%**	**76.3%**	**80.6%**	**96.8%**	**94.6%**	**79.8%**
農地	所有せず	**98.3%**	**84.9%**	**90.6%**	**87.9%**	**88.4%**	9.8%	9.2%	**71.3%**
	被害甚大	1.7%	－	1.6%	4.0%	7.2%	8.2%	**22.3%**	5.8%
	被害大	－	－	2.4%	0.7%	2.9%	**21.3%**	**31.5%**	7.1%
	被害小	－	6.3%	3.9%	6.0%	1.4%	**54.1%**	**34.6%**	**12.5%**
	被害なし	－	8.9%	1.6%	1.3%	－	6.6%	2.3%	3.3%
店舗	所有せず	**93.1%**	**88.4%**	**38.5%**	**78.8%**	**97.1%**	**90.2%**	**89.4%**	**78.6%**
	被害甚大	－	－	5.6%	2.0%	－	－	1.1%	1.6%
	被害大	0.9%	1.0%	**34.2%**	11.3%	1.4%	4.9%	7.4%	10.2%
	被害小	6.0%	9.5%	21.7%	7.3%	1.4%	4.9%	2.1%	9.3%
	被害なし	－	1.0%	－	0.7%	－	－	－	0.4%
内部状況	居場所なし	22.4%	3.7%	**41.1%**	**38.9%**	**52.1%**	17.9%	**48.7%**	**30.3%**
	寝る場所のみ	17.0%	11.8%	20.6%	14.6%	10.6%	14.3%	16.7%	15.2%
	確保可能	**60.5%**	**84.5%**	**38.3%**	**46.5%**	**37.2%**	**67.9%**	**34.7%**	**54.5%**

次に、各地区におけるアンケート回答結果から、ライフラインの被害とその復旧状況をみる（**図５**）。川崎では電気や水道も早期に復旧しているが、他の地区では震災当初は電気・水道・ガスともに機能しない期間が続いていたことがわかる。電力に関しては２日目以降急速に復旧するものの、川井新田と吉谷ではその時期が遅

くなっている。水道に関しては、10月中はほぼ利用不可能な状態が続いていたことがわかる。特に高町では取り付け道路が大きな被害を受けたことで、水道管も大きな被害を受け、なかなか復旧が進んでいない状況が明らかとなった。

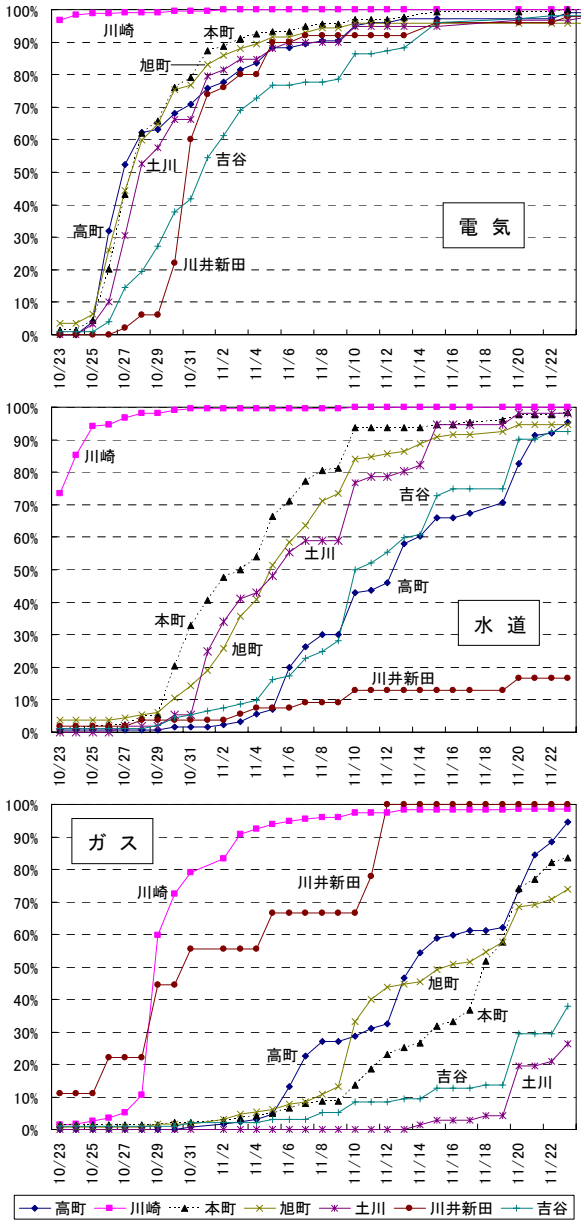


図５　ライフライン復旧状況

さらに同じ地区内でも、復旧時期には差があり、避難生活を解消する条件が異なる状況が発生することが窺える。ガスに関しては、復旧は総じて遅れている。特に吉谷、土川の復旧の遅れは長岡市では民間企業による都市ガス供給が行われている一方、小千谷市では小千谷市ガス上下水道局として供給が行われているという供給主体の違いも影響を及ぼしていると考えられる。さらに川崎では発生後３日経過した後、急速に復旧しているのは、供給管の被害は少なかったものの、本人立会いのもとで安全確認をしながら復旧を行ったことが反映しているとみられる。加えて川崎に関しては全ての被害が軽微である点で建物被害とライフライン被害の関係を見ることができるが、高町のように建物被害は比較的少なくてもライフラインの被害が大きく、その復旧にも時間を要する場合もあるという被害の特徴も明らかとなった。

(3)避難の状況

震災発生直後から多様な避難形態がとられたという今回の震災の特徴の一つを明らかにするために、調査結果をもとに、各地区における一日ごとの避難場所の選択に関して分析した。各地区で震災発生以降選択された避難場所の推移を整理すると（**表４**）、発生直後から避難所での避難を選択している割合が最も高くなっているのは川崎、本町、川井新田の３地区であり、車内が最も高い割合を占めているのが旭町、土川、吉谷の３地区、そして高町では自宅前の車内が最も高い割合を占めた。ただし、車内ならびに自宅前の車内での避難を選択した世帯の割合を考慮すると、全ての地区で発生当日は車内での避難生活が最も高い割合で選択されていることが明らかとなった。

地区によって車中と自宅前の車中での避難選択に差が生じているのは、日頃から利用している商業施設の駐車場や農地といった建物倒壊の心配の少ない場所が近傍に存在し、さらには余震により自宅の被害が拡大する恐れのあった小千谷市内の地区と、地区内の建物被害は宅地の崩落によるもの以外にはあまり見られなかった地域という状況の違いによると推察できる。また発生当日（23日）について、地区毎の回答世帯数から何らかの避難をしたと回答した世帯数を減じたのち、回答世帯で除して求めた「自宅残存率」を見ると、建物被害も比較的少なく、

大部分の世帯で停電の発生していない川崎でも３割しか自宅に留まっておらず、必ずしも自宅内の状況によって避難行動が選択されていないことがわかる。加えて地震の発生時刻は夕方であり、すぐに周囲が暗闇となったことと、避難所もまた被災し、停電で照明等を確保することができず十分な避難所としての環境が確保できなかったこともこのような避難行動を選択する要因となったといえる。翌日以降になると、どの地区でも避難所が選択される割合が高くなってくる。特に、土川は避難所となった小千谷小学校に近接しており、発電機の導入や投光機の設置など避難所としての環境も整備されたことで一気に避難所へと移行している。しかし、本町と旭町では継続して様々な避難形態が選択されている。本町では周辺に大きな避難場所がないことに加えて、商店が被災していることで盗難等への警戒も含めて自宅周辺での避難が継続したことがわかる。また、吉谷では車庫での避難が選択される割合が高く、その後も継続して選択されている点が特徴的である。全体的なもう一つの傾向として25日以降は避難所だけでなくその他の避難行動が選択される割合も増加しているが、この中には親戚や家族のもとに避難したとの回答も多く含まれており、これらの要素も避難行動選択に影響を与えていると考えられる。

避難を行った理由についての回答を地区別にまとめると（**図６**）、高町以外の６地区では余震の不安が最も高い割合で回答されており、発生直後から断続的に発生した余震が被災者の避難行動に大きな影響を与えたことがわかる。ただし、高町に関してはライフラインの寸断が避難を決定する要因として挙げられている。建物被害が比較的少なかった地域であるため、当初は自宅前の車内での避難が行われていたが、ライフラインがすべて寸断されていた上、いわゆる市街化調整区域内に孤立して立地する住宅団地であることで地区周辺には指定避難所がなく、自宅周辺での避難継続が困難な状況となったことが窺える。また、吉谷に関しては被害状況を反映して、自宅が壊れたことによりやむを得ず避難をした世帯が多いことがわかる。

表４　避難場所の選択割合

地区名	避難場所	23日	24日	25日	26日	27日	28日
高町	避難所	6.7%	**36.8%**	**45.8%**	**43.8%**	**50.0%**	**46.2%**
	車内	19.3%	8.8%	8.3%	12.5%	－	7.7%
	自宅前車内	**45.3%**	19.3%	－	6.3%	6.3%	3.8%
自宅残存率	車庫	1.3%	5.3%	4.2%	6.3%	6.3%	3.8%
8.9%	空き地	17.3%	－	4.2%	－	－	－
	テント	2.0%	3.5%	－	－	－	3.8%
	その他	8.0%	26.3%	37.5%	31.3%	37.5%	34.6%
川崎	避難所	**32.5%**	**51.9%**	**33.3%**	**42.9%**	37.5%	－
	車内	26.9%	11.1%	**33.3%**	14.3%	12.5%	－
	自宅前車内	20.1%	3.7%	－	－	－	－
自宅残存率	車庫	0.9%	－	－	－	－	－
31.2%	空き地	10.3%	3.7%	－	14.3%	－	－
	テント	－	－	－	－	－	－
	その他	9.0%	29.6%	**33.3%**	28.6%	**50.0%**	－
本町	避難所	**33.7%**	20.3%	25.7%	15.0%	16.7%	16.7%
	車内	20.8%	**32.2%**	11.4%	5.0%	－	16.7%
	自宅前車内	19.7%	11.9%	5.7%	5.0%	－	－
自宅残存率	車庫	3.9%	15.3%	20.0%	**40.0%**	16.7%	**33.3%**
12.7%	空き地	17.4%	5.1%	－	－	－	－
	テント	－	1.7%	－	－	－	－
	その他	4.5%	13.6%	**37.1%**	35.0%	**66.7%**	**33.3%**
旭町	避難所	26.8%	22.6%	28.6%	**35.7%**	30.0%	**40.0%**
	車内	**39.4%**	**26.4%**	9.5%	7.1%	－	－
	自宅前車内	12.1%	9.4%	9.5%	－	20.0%	－
自宅残存率	車庫	2.0%	1.9%	－	**35.7%**	10.0%	**40.0%**
12.7%	空き地	14.1%	15.1%	4.8%	－	－	－
	テント	1.0%	3.8%	－	－	－	－
	その他	4.5%	20.8%	**47.6%**	21.4%	**40.0%**	20.0%
土川	避難所	18.3%	**74.2%**	**63.2%**	28.6%	**40.0%**	**33.3%**
	車内	**40.9%**	16.1%	10.5%	14.3%	－	－
	自宅前車内	7.5%	－	－	14.3%	20.0%	－
自宅残存率	車庫	4.3%	－	5.3%	－	20.0%	－
9.9%	空き地	24.7%	－	5.3%	－	－	－
	テント	－	－	－	－	－	－
	その他	4.3%	9.7%	15.8%	**42.9%**	20.0%	**33.3%**
川井新田	避難所	**31.5%**	**50.0%**	**36.4%**	**50.0%**	－	14.3%
	車内	26.0%	16.7%	18.2%	－	**33.3%**	－
	自宅前車内	21.9%	16.7%	－	－	－	14.3%
自宅残存率	車庫	6.8%	11.1%	27.3%	33.3%	**33.3%**	**28.6%**
7.9%	空き地	4.1%	5.6%	－	－	－	－
	テント	5.5%	－	－	－	－	14.3%
	その他	4.1%	－	18.2%	16.7%	**33.3%**	**28.6%**
吉谷	避難所	25.2%	24.4%	**33.3%**	29.4%	**60.0%**	18.2%
	車内	**28.2%**	19.5%	8.3%	－	－	9.1%
	自宅前車内	21.5%	7.3%	16.7%	－	10.0%	9.1%
自宅残存率	車庫	6.7%	**36.6%**	20.8%	23.5%	20.0%	**54.5%**
2.4%	空き地	11.7%	－	－	5.9%	－	－
	テント	－	4.9%	－	－	－	－
	その他	6.1%	7.3%	20.8%	**41.2%**	10.0%	9.1%

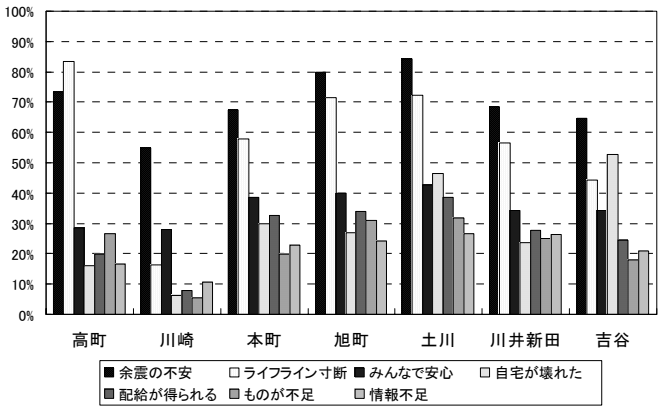


図６　避難した理由

次に避難場所と避難期間の関係について、23日に選択された割合が比較的高い、避難所と車内、自宅前の車内の３つについて整理した（**図７**）。縦軸に避難の開始日、横軸に避難の終了日、そして垂直軸に回答数を示すことで、避難の形態とその期間を整理したものである。表４でも明らかになったように、震災当日は避難所よりも車中もしくは自宅前の車中での避難が選択されていることがわかる。自宅前の車中での避難生活は、発生当日は多く選択されているものの、約10日でそのほとんどが終了していることがわかる。それと比較すると、車中での避難も当日に避難を開始し翌日には終了したとの回答も多い(58票)ものの、翌日以降に終了したとの回答(24日で46票など)も多く、自宅前の車中よりは終了までの期間が長期化する場合があることがわかる。これは、建物内部で夜を過ごすことに強い不安を感じる被災者が、避難場所等へ移動するものの車中での避難を継続していた、とみることができる。加えて、発生翌日以降は新たに自宅前の車中を含め車中での避難を選択する割合は少なく、震災に見舞われた結果、建物内部に入ることに対して恐怖感を抱いた被災者は、直後から車中での避難を開始し、その状態が継続する可能性を示唆する結果となった。今回の震災で、いわゆる「関連死」による犠牲者には、車中での避難を継続することによる「エコノミークラス症候群」が原因だった方も含まれており、制約の多い車中での避難は早急に解消されることが望まれる。一方、避難所への避難は発生当日こそ車中よりも少ないものの、翌日以降も断続的に避難が開始されており、車中と比べ長期間の避難が行われていることがわかる。ただし並行して避難を終了するケースも見られることから、自宅建物に大きな被害が見られなかった場合、余震への不安が少なくなるとともに、室内の片づけが終わり自宅内での生活が再開できる状況になった段階で避難生活が解消しているとみることができる。

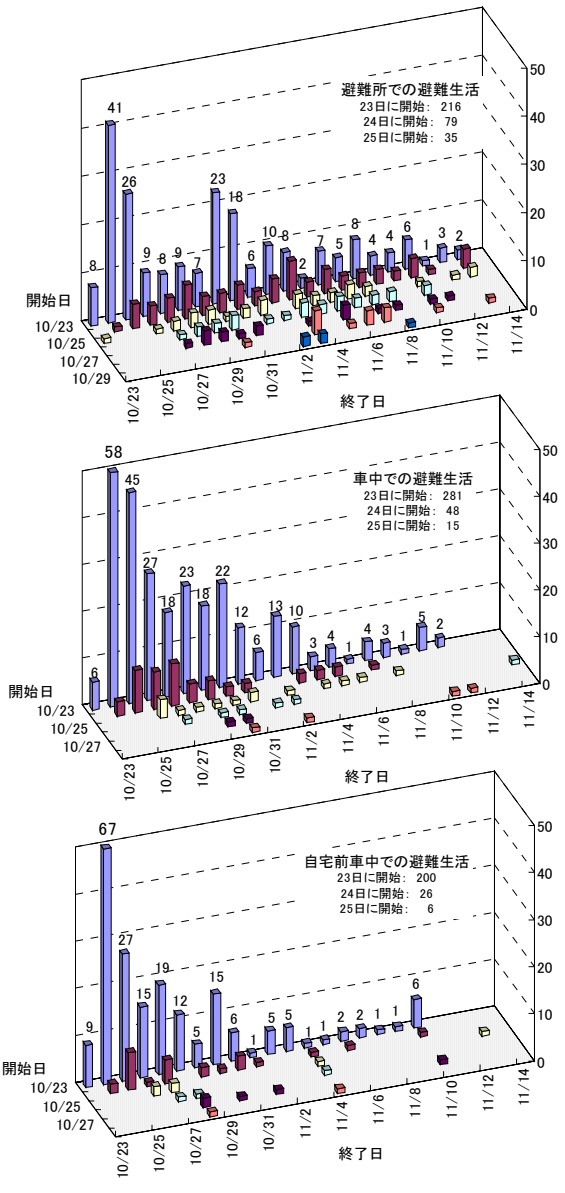


図７　避難場所と避難期間の関係

3.2 避難所の開設と長期化する避難

被災地の多くでは停電し、災害の情報が得られず、避難所に向かった人も多い。一方、指定された避難所が遠かったり、道路の状況が悪かったりした場合や、余震のたびに自宅の様子を見たいという欲求があるなどの理由で、自宅近くの指定外の避難所や、空地、自家用車で避難した住民も多い。

長岡市は、23日19:20に地区防災センターの開設を報道し、市民に利用を呼びかけている。地区防災センターは、市内32箇所の小・中学校が指定されており、医療・救護資材、災害備蓄用

品を備え、災害時には救護所を兼ねることとされている。指定避難所は、地区防災センターの他、市内 144施設が指定されていたが、実際には避難者が最大だった10月25日、使用されたのは指定避難所が73箇所（41,502人）、その他の避難所52箇所（8,598人）となっている。約20万人の人口に対して、４人に１人が避難所に避難したことになる。また、度重なる余震や、次第に明らかとなる被害状況により、避難勧告が次々と出され、避難所の確保に追われた。

川口町では、23日19:30に、全戸に避難勧告が出されている（1,595世帯、5,692人）。小千谷市では、ピーク時の10月27日には135箇所に29,243人が避難した。この人数は避難所内の数値であり、テント、車中泊、自宅前等は含んでいない（**写真.32，33**）。



写真.32　臨時避難所（小千谷市本町）



写真.33　郊外大型店の駐車場に設置されたNGOによる仮設ドームテント（小千谷市）

中越大震災の避難では、車中泊によるエコノミークラス症候群で死亡者がでた。避難所に入りきれなかったことが要因でもあるが、寒い避難所と比べて、暖房、情報、プライバシーが得やすいことも選択につながった。家族に病気がある場合や、ペットのいる世帯も避難所に入らなかった。自家用車の所有が世帯あたり２台に近づく中で、自家用車を用いた大量の避難者が発生した場合の避難方法について、再検討が必要である。また、避難時と避難所の問題として断水・下水道被害によるトイレ使用の制約、プライベート（更衣等）の空間が無いことも課題となっていた（**写真.34**）。



写真.34　避難所内部（川口町田麦山小）
（2004.12.2：41日目）

また、小千谷市ではピーク時（10月28日）、救援食料として42,680食を配食している。この数字は、ほぼ全市人口に匹敵している。避難所へ避難しない（できない）住民への情報伝達を含めた、配食方法も課題となった。

長岡市では、水・食料の備蓄を持っていなかったが、24日の朝に２万食、夕刻に約５万食、25日の朝は約10万食の食料が確保された。寒さ等のこともあり柔らかく、暖かい食事が好まれた。長期保存が求められる備蓄食料も重要ではあるが、被災地外から迅速に運び込む手法の検討が求められよう。

情報収集、避難所の支援や物資の輸送には航空自衛隊（10/23～12/9）、陸上自衛隊（10/23～12/21）の活躍があった。暖かい食事やテント、

風呂の提供は被災者の心を和らげていた（**写真.35**）。



写真.35　陸上自衛隊による炊き出し

一方、災害直後から発生した大量の被災ゴミは、道路をふさぎ交通や復旧工事の支障となるだけでなく、処理するための場所が無くなるなど大きな問題となった。災害時のゴミについては、仮置き場を設定しておくなどの対策も必要である。

今回の災害で避難所に使用されたのは、小中学校等教育施設が中心となったが、自治体の財政難により、公立の小中学校で耐震性が確認されているのは全国で51.8%、新潟県では43.4%にとどまり、耐震化は進んでいない。

年末も近づく12月20日夜、小千谷市の４箇所と山古志村（長岡市内）の１箇所の避難所が閉鎖され、避難者は０となった（**図８**）。

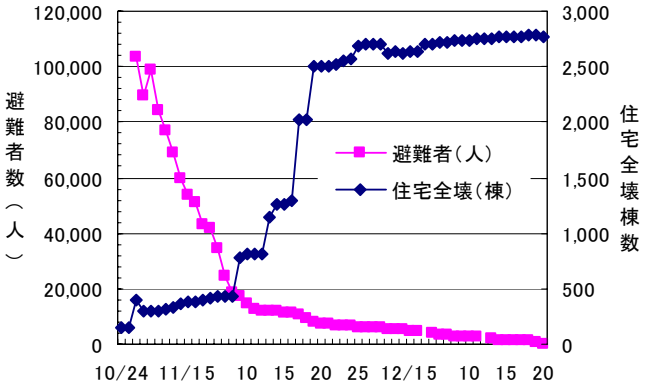


図８　避難者数の推移

4. 仮設住宅の建設

災害救助法により、災害発生から20日以内に着工することとされる応急仮設住宅は、長岡市で４日後の27日に400戸、小千谷市で５日後の28日に100戸、それぞれ建設が始まった。全壊または半壊の認定を受け、その住宅に住めなくなった世帯、被害を受けた住宅を取り壊す世帯、二次災害の恐れから引き続き居住できない世帯を対象として、抽選等は行わず、全ての申し込みに対応することを前提として建設が進められた。豪雪地域での仮設住宅であることから、屋根は積雪２ｍ対応、天井・壁・床にはそれぞれ100mmの断熱材が施された。

仮設住宅への入居は約１ヵ月後の11月24日に長岡市と小国町で始まり、最後は12月17･18日の小千谷市で、全3,460戸への入居が完了した（**図９**）。

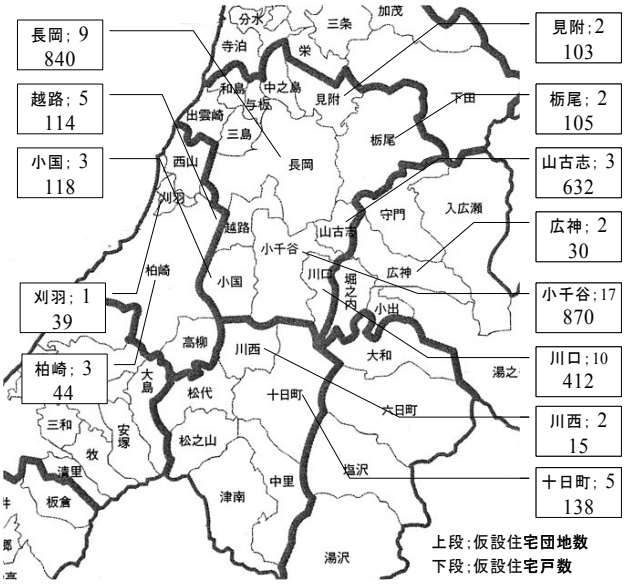


図９　仮設住宅の建設状況

入居に当たっては、阪神大震災の教訓を生かして、高齢者や障害者等が集中しないこと、従前地区のコミュニティを維持することが考慮された（**表５**）。川口町では民有地を含めた10箇所が仮設住宅地として用意され、それぞれ集落の住戸数を考慮して入居している。また、山古志村の仮設住宅では従前の自営業（美容院）の営業が行われたり、長岡市千歳では介護センターが併設されたりするなど、コミュニティの維

持に配慮した柔軟な対応が見られた。一方で住宅本体の問題点として、当初は結露や漏水、積雪時は屋根のたわみと除排雪の問題が生活者を苦しめたことは今後の課題となった。

表５　仮設住宅建設時の考慮事項（長岡市）

仮設住宅の建設に当たっての配慮事項（長岡市）
・仮設団地の建設位置は、通学･通園等に配慮して被災地内または、隣接地域に建設する
・被災前地区のコミュニティを維持することに配慮し、計画的に地区単位の入居誘導を図る
・入居決定に当たっては、高齢者・障害者等を優先することはやむをえないが、仮設住宅での生活が長期化することを想定して、高齢者・障害者等が集中しないように配慮する
・仮設住宅におけるペット（犬、猫）飼育について、動物愛護協会等のアドバイスを受け、全世帯に飼育場の注意チラシを配布したり、団地内にペット専用排泄場所を設置する
・夜間における団地内の防犯に配慮して、防犯灯を設置する
・駐車場は、冬季間の除雪対策に配慮し、舗装工事および区画線を施工する
・仮設団地のコミュニティ活動を早期に立ち上げるため、サポートセンターとして「仮設住宅入居支援対策チーム」と専用事務所を現地に設置する

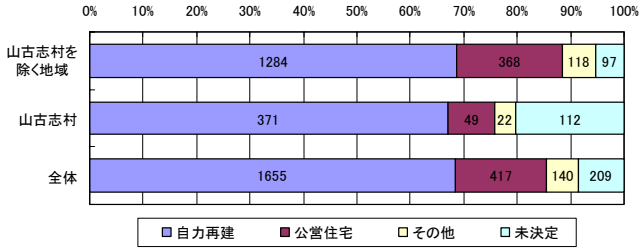


図10　仮設住宅居住者の生活再建予定(2006.1)

仮設住宅に入居する世帯（８（旧13）市町村）は地震後約５ヶ月平成17年３月末の2,935世帯から平成18年１月15日現在で2,421世帯に減少してはいるが、いまだに多くの被災者が居住している。県の調査によれば2,421世帯のうち、全体で2,212世帯（91.4%）は生活再建の方法を決定しているが、残る209世帯（8.6%）は未決定である（図10）。特に被害の大きい旧山古志村の世帯では、入居554世帯中、112世帯（20.2%）は未決定である。生活再建方法が未決定の世帯の主な理由は、①再建資金のめどが立たない、②集落再生計画を策定中であり、再建方法や用地選定を迷っている、③高齢者等で再建方法を決めかねている、である。災害救助法の規定による仮設住宅の入居期限（完成の日から２年）が近づく中で、被災者の生活再建のための住宅再建と従前コミュニティの維持のあり方が問われている。

5. まとめと今後の課題

5.1　面的被害

住家の被害は、古い木造住宅に集中していた。特に小千谷市や川口町では、道路に面して間口全体を開放部とする町屋形式の店舗や住宅で被害が大きかった。しかし老朽木造住宅の全てで均一な被害が出ているわけではない。被害の軽減化には平面計画を考慮した耐震補強が必要と言えよう。また、長岡市や小千谷市の事例からは、構造自体ではなく地盤の悪さに起因した宅地崩壊により、居住継続が困難な住宅が散見された。小規模な河川沿い、盛り土による宅地造成地区、崖地の宅地、中山間地で発生する震災では、宅地崩壊によって被害が拡大するため、適切な予防策や被災後の対応策を検討する必要がある。

公共施設については、避難行動の拠点として機能する必要があるが、1981年の新耐震基準以前に建築されたものが多い。特に今回の地震は土曜日の夕方に発生したものであり、不幸中にも地震の大きさに比して人的被害は小さかった。児童や生徒が学校内にいる状況の中で、阪神並みの周期を有する地震が発生していたならば、さらに被害が拡大していたと予想される。財政問題を抱える自治体が多い中ではあるが、人命を守るための耐震補強は不可避といえる。

民間施設については、特に郊外に立地する大型店舗で外壁材や天井材が崩落する事例がみられ、構造体以外の耐震性に問題があったといえる。多くの買い物客が店内にいた状況から判断すると、人的被害が小さかったことは奇跡的である。利益を優先し、法規制ぎりぎりの建築ではなく、大災害時の「資材庫・食料庫」としての機能を果たすように計画される必要がある。

5.2 住民避難

度重なる余震による恐怖と電気・ガス・水道

といったライフラインの途絶により多数の避難者が発生した。また住宅が倒壊したり、応急修理ができない世帯、加えて道路被害や土砂崩落の危険性から避難指示や避難勧告が継続した世帯では避難生活が長期化した（**図11**）。指定された避難所が被害を受けた地域も多数存在した。

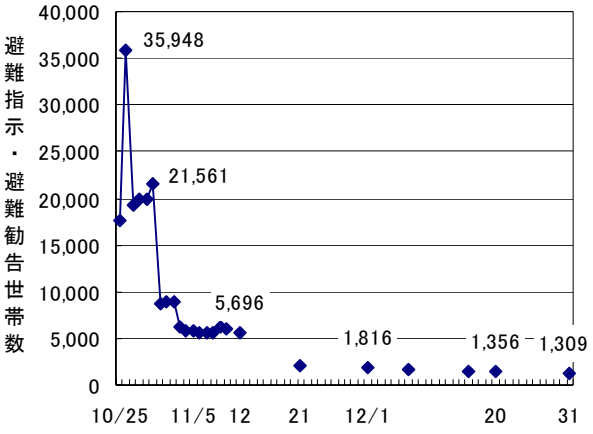


図11　避難指示・避難勧告世帯数の推移

地方都市、中山間地での地震では、自家用車による避難が課題となった。また、自家用車による長期の避難により死者が出るなど、個別避難に対する配慮、それらへの連絡方法や、支援物資の供給に考慮が必要である。さらに多数の道路が同時に崩落して孤立した地域が発生した。救助活動に支障が出るだけでなく、支援物資の供給にも多くの課題を残した。このような事態は想定しうるものも多いため、中越地区のみならず、他の地域でも対策を講じておく必要がある。

5.3 今後の課題

２年続けての大雪に見舞われた被災地も、２度目の春が訪れようとしている。道路などの復旧作業はある程度進んだが、被災者の生活再建やを含めた本格的な復興は途上である。住宅については、仮設住宅居住者を中心として、高齢者のみの世帯などで費用面から再建が危ぶまれている。地域コミュニティの維持には住宅の再建が不可欠である。真の支援のあり方が問われている。

また、生活再建には生業としての農業・農地の再生が不可欠である。収穫が無いまたは減少した２年目の生活が鍵となろう。地域全体の「創造的復旧」を目指し、「最素朴と最新鋭が絶妙に組み合わさり、都市・川・棚田・山が一体となって光り輝く中越」となるように、さらなる地域一体の取り組みを行う必要がある。

参考文献

1) 新潟県県民生活・環境部防災局消防課，「新潟県中越地震による火災の発生状況について」，報道資料，平成16年11月18日
2) 国土交通省北陸地方整備局：「平成16年新潟県中越地震」による被害と復旧状況<第２報>～復旧から復興へ～，2005年１月
3) 川口町：新潟県中越大震災による被害状況，2004年１月20日現在
4) 大成建設㈱：平成16年新潟県中越地震被害調査報告書，2004年11月
5) 長岡工業高等専門学校：被災記録写真集，2005年３月
6) 保倉俊一：川口町の被害状況，住宅保証だより，第261号，pp.6-11，（財）住宅保証機構，2005年１月
7) 長谷川順一：中越大震災が民家に問うものー伝統工法の強さを検証するー，民家，第40号，pp.16-18，2005年１月
8) 澤田雅浩：中越ホープダイアリー（中越地震後の活動記録：一部写真提供），http://sawada-lab.cocolog-nifty.com/hopediary，（2006年3月現在）
9) 樋口秀，澤田雅浩，中出文平，新潟県中越大震災の初動期におけるライフラインの復旧と住民の避難及び公園利用に関する研究，都市計画論文集，40-3 号，pp.709-714，2005
10) 澤田雅浩，樋口秀，中出文平，新潟県中越大震災における避難形態の多様性に関する研究，都市計画論文集，40-3 号，pp.715-720，2005
11) 樋口秀，新潟県中越大震災による学校施設の

避難所活用と学校教育への影響，日本計量行動学会第 33 回大会発表論文抄録集，pp. 24-25，2005
12)澤田雅浩，樋口秀，中出文平，「中越大震災復興計画に見るサステナビリティの模索」，2005 年度日本建築学会大会（近畿）地球環境委員会ＰＤ資料，「サステナブルシティ・リージョンの提言に向けて」，日本建築学会地球環境委員会，2005，pp. 94-97
13)樋口秀，「被災直後からの緊急・応急対応を中心とした復興シークエンス」，2005 年度日本建築学会大会（近畿），学術推進委員会総合研究協議会資料，「中越地震－中山間地域の大規模災害が示す新たな課題」，日本建築学会学術推進委員会，2005，pp. 17-22
14)樋口秀，「平成 16 年新潟県中越地震被害調査報告書 11.1 住宅および建物」，(社)土木学会新潟県中越地震被害調査特別委員会，2006，pp. 571-589
15)中出文平，樋口秀，宮腰和弘，坂田晃秀，「新潟中越地震緊急報告」，都市計画，Vol. 252，pp. 77-80，2004
16)新潟県中越大震災復興ビジョン，2005. 3. 1
17) 陸上自衛隊 HP，http://www.jda.go.jp/jgsdf/japanese/saigai_haken/tyuuetujisin/index.html
18)長岡市災害対策本部，http://www.e-net.city.nagaoka.niigata.jp/jisin.html
19)長岡市災害対策本部(2005)，「中越大震災－自治体の危機管理は機能したか」，ぎょうせい

救援物資の流動実態と課題

松本昌二・佐野可寸志

長岡技術科学大学　環境・建設系

１．はじめに

2004 年 10 月 23 日(土)17 時 56 分頃に新潟県中越地方でマグニチュード 6．8 の地震が発生し、川口町では最大震度７を記録した。その後は夥しい数の余震が続いた。地震発生直後には必死の人命救助、山古志村の全村避難が注目されたが、地方自治体にとっては、避難所の立ち上げや、最大で 10 万人を超えた避難者への食料等の提供も緊急の要する問題であった。

本研究では、被災市町村の避難所への救援物資の流動について、市町村、新潟県、自衛隊、その他機関等の対応を調査し、特に市町における食料の需給バランスを分析し、地方自治体の対応の問題点を検討することを目的とする。なお、本研究では被害の大きかった中越地域の市町村を対象とする。ヒアリング調査を、新潟県、長岡市、小千谷市、十日町市、越路町、川口町、食料製造業等で行った。新潟県、十日町市、越路町では日毎の受付物資量についての記録データを頂いた。

２．救援物資の流動経路

被災市町村の避難所に届けられた救援物資の流動経路を整理すると、被災市町村に直接届いた物資のルートと、県災害対策本部を経由して届いた物資のルートの２つに大別できる。物資調達を費用面からみると、災害救助の一環として県や市町村が調達したもの、県や市町村に寄せられた救援物資を提供したものという２分類も存在するが、ここでは問題としないことにする。物資の保存可能性によっても違いが存在するので、**図１**に保存可能な食料（アルファ米・カップラーメン等）と雑貨の経路を、**図２**に保存不可能な食料（パン・おにぎり・弁当・牛乳等）の経路を示す。前者の保存可能な物資について、県は物資の受付・受取・保管・配送、及び物資提供者から市町村への直送マッチングを実施した。後者の保存不可能な食料については、各市町村がその日の必要量を県に連絡し、県が代表して企業や団体等に配送を含めて依頼するという「一括要請」を採用した。

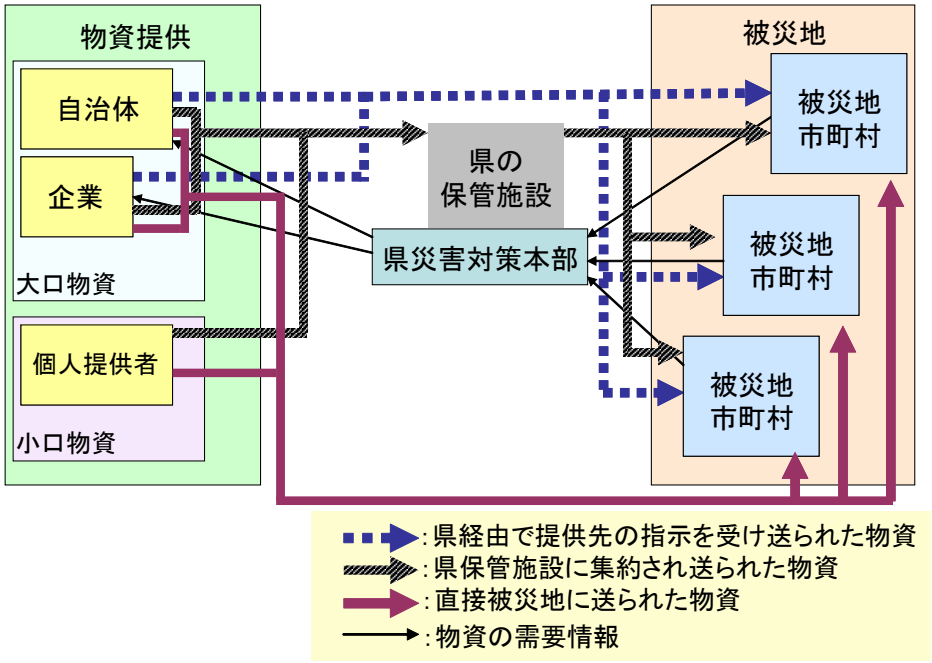


図１　保存可能な食料・雑貨の救援物資の経路

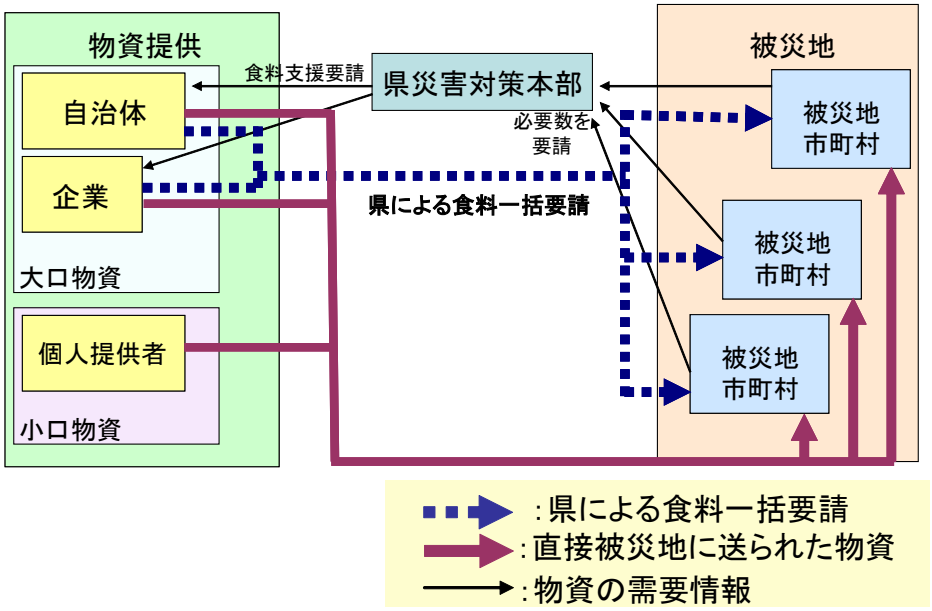


図２　保存不可能な食料の救援物資の経路

図に示した以外では、自衛隊が救援物資や給食の支援を行い、トラック協会が被災地への物資輸送に協力した。以下では、これら救援物資の物流に携わった市役所・町役場、県、自衛隊、トラック協会の対応を概観する。

３．市役所・町役場の対応

（１）長岡市の対応

長岡市災害対策本部の報告によると、救援物資の対応は次のとおりであった。[1)]

「24日の午後には、避難している市民は約５万人であることがわかったが、この頃から全国からの応援物資が届き始め、量の確保としては何とかなる見通しがついてきた。・・・むしろ、深刻な問題となったのは、第１に物資の保管場所の確保，第２に各避難所への配布のための分別作業、第３に各避難所への輸送手段の確保であった。・・・到着した物資の分類整理作業は、市職員、他の自治体職員、ボランティアで行ったが、一時、約200名を超える人員で作業に当たった。特に困ったのは、輸送の都合で夜中に到着する物資のさばきであった。夜中なので市職員中心で対応するしかなかった。トラックが到着するたびに、市役所内の職員を緊急招集したり、他の応援自治体の職員の眼を覚まして、大量の水等の荷降ろしを行ったりした。また、125箇所もある避難所への分配作業も人手がいる作業であった。一時は５万人の市民が避難所に避難していたのである。１日３食、合計１５万食の食料を届けるのは大変な作業である。必要な数の分配作業が追いつかず、当初食料の配布は１日２回にならざるをえなかった。」

長岡市は、被災直後から食料品、生活必需品等の救援物資が多量に搬入されたので、市役所庁舎で職員が 24 時間体制で受け入れ、市役所車庫、市立劇場、幸町分室等に貯蔵した。例えば、おにぎり、水、乾パン、お米などの食料品、トレットペーパー、ブルーシート、カセットボンベ、タオル、おむつ、ごみ袋等の生活必需品、それと郵パック・宅配便による雑貨である。一方、庁舎、店舗から避難所へ食料品を配送するために、災害支援の協定を結んでいた赤帽が 10 月 24 日からトラック 11 台を提供し、ピーク時には長岡市内約 120 箇所、5 万人に及んだ避難所へ水、おにぎり、パン、弁当などを配送した。赤帽は 11 月 8 日まで担当し、その後の弁当は仕出し屋が輸送した。

一方、避難所においても、救援物資を配送するトラック、避難者の車両などが集中するので、屋内の貯蔵場所、駐車場、アクセス道路等の容量が不足し、物資の滞りや交通渋滞を招いた。避難所の選定には、単に避難スペースがあるというだけでなく、駐車場、アクセス道路の条件も考慮する必要がある。

被災後１週間後には、救援物資の受け入れは他自治体の職員、ボランティアの応援も加わって実施された。貯蔵するスペースが不足し、市内に分散配置

された体育館、民間の倉庫など８箇所に貯蔵された。特に郵パック・宅配便による小口雑貨が約４万件にのぼり、その取り扱いには手間がかかり、多忙を極めた。個人からの援助物資は、断ることができない上、中身の分別が必要であり、中には使用不可能な品物もあり、送る側の良識が求められる。

（２）小千谷市の対応

小千谷市も長岡市同様、震災直後から物資が届いた。保管場所は車両センター、片貝総合体育館、市民体育館，勤労青年ホーム、小千谷市総合体育館、小千谷中学体育館を用いた。10月28日には体育館がほぼ満杯になった旨を毎日新聞に掲載した。11月10日には市のＨＰで一般の物資の受け入れ辞退を掲載した。その後は必要と思われる物資のみ受けつけた。大規模避難所は物資保管庫を兼ねていた。10月27日にすべての避難所に必要な物資を取りに来るように通知を行った。11月に入る頃には日用品も避難者にいきわたり、また11月の中旬からは炊き出し等が食料の主流になり救援物資の需要は大量に減少した。

表１は、物資の需要がほとんど無くなった11月23日現在、小千谷市の保管施設に保管されている救援物資を示している。最終的にこれらの約体育館３個分の物資の大半が使用されずに余った。余った物資はバザーにより格安で市民に提供され、古着を除くほぼすべての救援物資を処分した。

表１　小千谷市の保管物資（11月23日現在）

食料	アルファ米・おかゆ・ラーメン等	155,281	食
飲料	ペットボトル	106,743	本
毛布	毛布	24,570	枚
その他	カイロ	544,824	個
	衣類	440	箱
	靴	627	足
	トイレットペーパー	17,253	個
	ガスボンベ	1,104	本
	紙コップ	100,000	個
	電化製品等	少量ずつ	

（３）川口町の対応

川口町は震災直後には町役場に物資を保管していたが、役場の駐車場スペースが小さいことと大型トラックが入りにくい立地だったために、学校体育館や企業（建設業等）のスペースを借りた。11月20日からは、基本的にすべての物資の受け取りを断った。11月30日から、物資であふれた役場を機能させるため、物資を日本財団の関連の施設（室内ゲートボール場）に保管し、同時に物資の搬入・管理も財団に任せた。保管施設の様子を**図３**に示す。

自衛隊は震災直後の10月24日から川口町に入った。川口町は被害が大きく、また国道17号の通行止めまたは開通後も片側通行であったため、物資の輸送に関して被災地市町村のなかで条件が悪い場所だった。そのため国道17号が復旧するまでは、食料等の救援物資の輸送はヘリコプターで行われた。



図３　川口町の保管施設の様子

（４）十日町市の対応

十日町市では、800 件の物資を受け入れ、長野県のヤマト運輸（株）からトラックと運転手の無償提供を受け（トラックには道案内のため市職員を１名同乗させた）、在庫管理の専門家（ボランティア１名）を専属配置し、救援物資のデータベースを作成したことにより、効率的に対応できた。また、10 月 24 日早朝から給水車が 33 台稼動して各避難所へ給水を開始した。十日町市の記録より、日付ごとに搬入された主な救援物資の集計を行った。主に主食となる食料の集計結果を **図４**に、また雑貨の集計結果を**図５**に示す。食料、雑貨のピークは震災から３日目の 26 日となり、約８日後の 10 月 31 日には救援物資の搬入はほぼ終了した。避難所・避難者数は地震当日の 10 月 23 日は市内 64 箇所で 10、085 人、ピークの 10 月 27 日には 91 箇所で 13、824 人だった。

（５）越路町の対応

越路町は県への依存が高く、食料の８割が県経由で入った。倉庫は町役場の駐車場と車庫でまかなった。食料と雑貨の推移を**図６**、**図７**に示す。越路町は食料の配給が他の市町村とは異なり、他の被災市町村では避難者数を基準に食料を集めるのに対して、越路町ではすべての町民に食料を配給するとして食料を集めた。そのため、避難者数で比較すると他の被災地市町村に比べると遥かに多い食料が提供され

た。

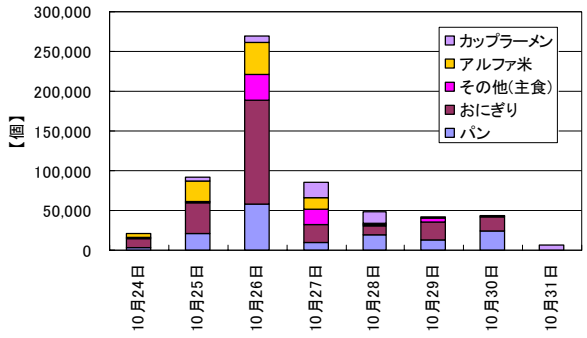


図４　十日町市の主な食料の推移

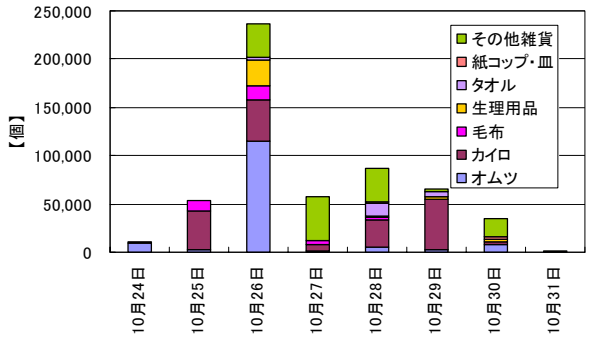


図５　十日町市の主な雑貨の推移

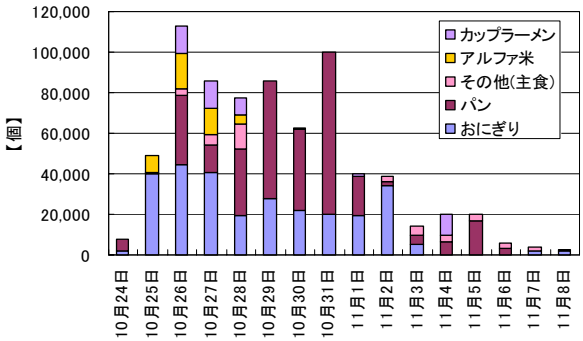


図６　越路町の主な食料の推移

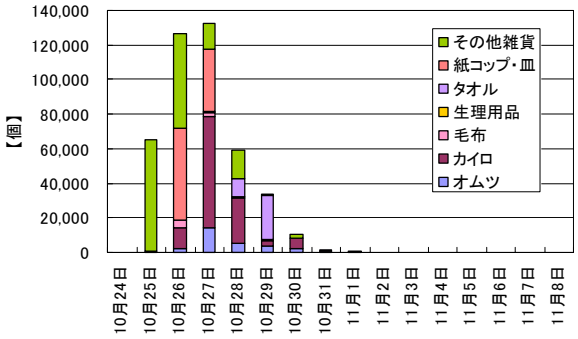


図７　越路町の主な雑貨の推移

11月上旬には状況も安定し、物資の供給が停止した。ストックされた物資は12月13日に町民に一般開放された。

（６）対応の問題点

長岡市、小千谷市など被災地域の市町村は、救援物資の受付業務を震災翌日から立ち上げた。情報通信やメディアの進んだ現状では、救援物資の調達は困難なことではなく、むしろ昼夜を問わず大型トラックで多量に搬入される救援物資を荷役、仕分けし、避難所へトラック配送する等の物流業務は、多量の労力と車両が必要とされ、時間との戦いとなる大問題である。避難所への物資の配送、特に１日３回の食糧配送は、配食計画、調達、配送と大変な業務であるだけではなく、ローカルな地理に詳しい自治体職員が欠かせない業務である。さらに、物資の一時的及び長期的な貯蔵、仕分や車両駐車のために、屋内、屋外のスペースが必要である。

震災後２週間以上が経過すると、送られてきた救援物資ストックが増加し、そのために必要となる倉庫容量の増大が著しくなった。長岡市、小千谷市等では体育館、各種のセンター・会館等の施設を倉庫として使用してきたが、満杯のため民間施設を借りた。大きな被害を被った住民（市町によっては全ての住民）を対象にして、ストックされた支援物資を順次配給した。

４．新潟県･自衛隊･トラック協会･食品企業の対応

（１）新潟県（県災害対策本部）の対応

県災害対策本部の救援物資に関する対応は、以下に示す(a) 物資の受付・受取・保管・配送、(b) 直送マッチング、(c) 食料品の一括要請の３つに分けることができる。[2)]

(a) 物資の受付・受取・保管・配送

県は10月23日から物資提供者（全国の自治体・団体・企業・個人）から救援物資(大口、小口)の受付を開始したが、予想を超える物資の提供申し込みが殺到し、保管施設（職員会館）はすぐに満杯となると見込まれた。そのため、10月26日から提供申出者を登録し、後日配送先を連絡する「登録制」をとった。県対策本部には登録されただけの架空の在庫（バーチャル在庫）が積み上がっていった。それでも、連絡もなく、昼夜を問わず大量の物資が到着し、28日には職員会館が満杯になった。一方、26日から被災地市町村に配送を開始したが、市町村も直接届いた物資を保管できない状態であり、配送の要請は少な

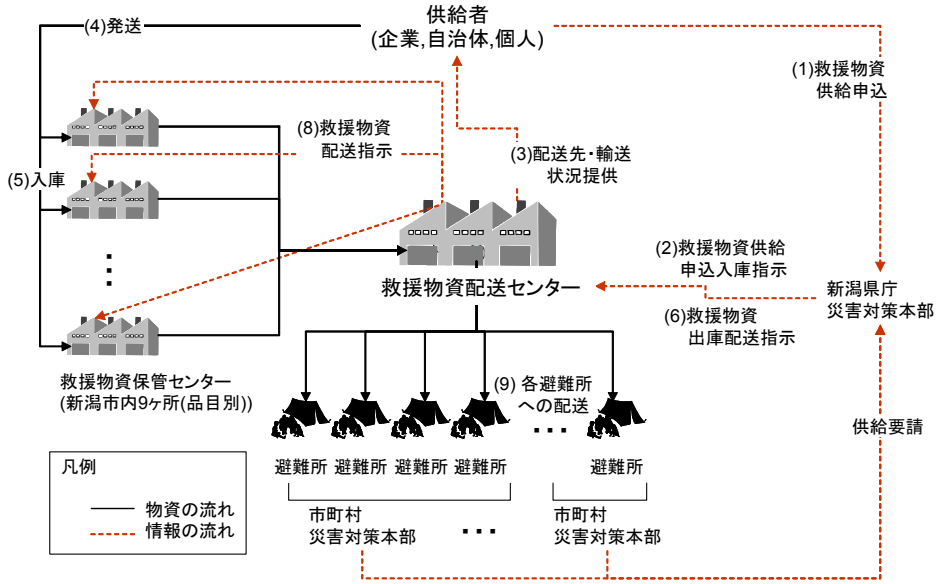


図８　新潟県庁における救済物資・情報の流れ（11 月２日以降）

かった。

そこで 11 月 2 日、県は国土交通省北陸信越運輸局、県トラック協会の協力を得て「新潟県救援物資配送センター」を立ち上げ、大口物資の受入れ、配送体制を拡大した（**図８**）。その後、大口の物資は配送システムの保管センターで受入れたものの、用意した９棟の倉庫は 11 月 10 日にはほぼ満杯になった。

個人から宅配便で直送された小口の物資は、混載されているため、被災地へ配布しやすいように仕分保管するための場所が必要となり、小学校体育館等を確保した。11 月 8 日から 23 日まで、小口の物資を分類整理し、保管センターに移送した。

(b) 物資提供者と被災地市町村との直送マッチング

直送マッチングとは、受付をおこなった物資提供者に物資を必要としている被災市町村を照会し、直接配送してもらう形態である。震災直後から大口・小口物資に対して直送マッチングを行った。10 月 26 日頃には、被災市町村の倉庫も満杯状態になりマッチングによる直接輸送はほとんど無くなった。

上述の（a）(b)をあわせた物資量、すなわち県を経由した 2005 年 2 月 10 日現在の主な物資量を示す。**表２**は、県を経由した主な保存可能食料の物資量と県の保管施設に残った量（残存率）を示し、その被災地市町村への提供量を**表３**に示す。同様に、**表４**は主な雑貨の物資量と残存率を示し、その市町村への提供量を**表５**に示す。

表２　県を経由した保存可能食料の物資量

保存可能な主食	全体量	市町村提供済み	県施設保管中	残存率
α米	312,480	254,310	58,170	19%
レトルト・缶詰ご飯	271,550	206,401	65,149	24%
カップラーメン	312,683	214,959	97,724	31%
インスタントラーメン	110,037	91,393	18,644	17%
合計	1,006,750	702,443	239,687	24%

単位:食

表３　保存可能食料の市町村への提供量

	被災地提供量	割合
長岡市	168,587	24%
小千谷市	154,538	22%
越路町	70,245	10%
川口町	77,269	11%
十日町市	98,343	14%
その他	133,465	19%
被災地全体	702,447	100%

単位:食

表４　県を経由した雑貨の物資量

雑貨	全体量	市町村提供済み	県施設保管中	残存率
毛布(枚)	215,436	80,911	134,525	62%
オムツ(枚)	400,543	122,276	278,267	69%
衣類(枚)	653,053	76,226	576,824	88%
ブルーシート(枚)	80,819	52,729	28,090	35%

表５　雑貨の市町村への提供量

被災地市町村	毛布		オムツ		衣類		ブルーシート	
	提供量(枚)	割合	提供量(枚)	割合	提供量(枚)	割合	提供量(枚)	割合
長岡市	42,074	52%	7,337	6%	16,008	21%	2,946	7%
小千谷市	23,464	29%	22,010	18%	4,574	6%	6,734	16%
越路町	1,618	2%	2,446	2%	0	0%	842	2%
川口町	1,618	2%	36,683	30%	41,926	55%	24,833	59%
十日町市	3,236	4%	35,460	29%	762	1%	0	0%
その他	8,900	11%	17,119	14%	13,721	18%	6,734	16%
被災地全体	80,911	100%	122,276	100%	76,229	100%	42,089	100%

表６　一括要請による食料の提供量と提供期間

提供市町村名	提供食料(万食)	提供期間
長岡市	69	10月24日～11月5日
小千谷市	43	10月25日～11月9日
越路町	37	10月25日～11月14日
川口町	17	10月25日～11月2日
十日町市	11	10月25日～11月1日
堀之内町	7	10月25日～11月3日
川西町	6	10月25日～11月2日
小国町	6	10月25日～12月6日
見附市	5	10月24日～10月30日
山古志村	1	10月25日
合計	202	10月24日～12月6日

（c）食料品の一括要請

食料品の一括要請とは、各被災市町村がその日の必要量を県に連絡し、県が代表して企業や団体等に配送を含めて依頼する形態であり、おにぎり、パン、弁当、牛乳などが一括要請された。一括要請された食料品は地震翌日の 10 月 24 日から 12 月 6 日までで 202 万食にのぼった。初日の 24 日は 4 万食を提供、翌日の 25 日は 41 万食を被災市町村に提供した。提供市町村毎に提供食料の量と期間を**表６**に示す。また提供食料の種類内訳は、おにぎり・パン 125 万個、弁当 31 万個、牛乳 46 万本だった。

県データ（**表６**）では、一括要請された食料の市町村別総量しかわからないので、日別の食数を推定してみる。**図９**に示す市町村別避難者数の推移をもとに、一括要請された食数（おにぎり・パン、弁当、牛乳）を日別に推定した結果を**図１０**に示す。また、１回の食事量を 1 食とした仮定（弁当は１つで 1 食、パン・おにぎりは 2 個で 1 食、牛乳は削除）のもとで、被災市町村毎の日別提供食数を推定した結果を**図１１**に示す。

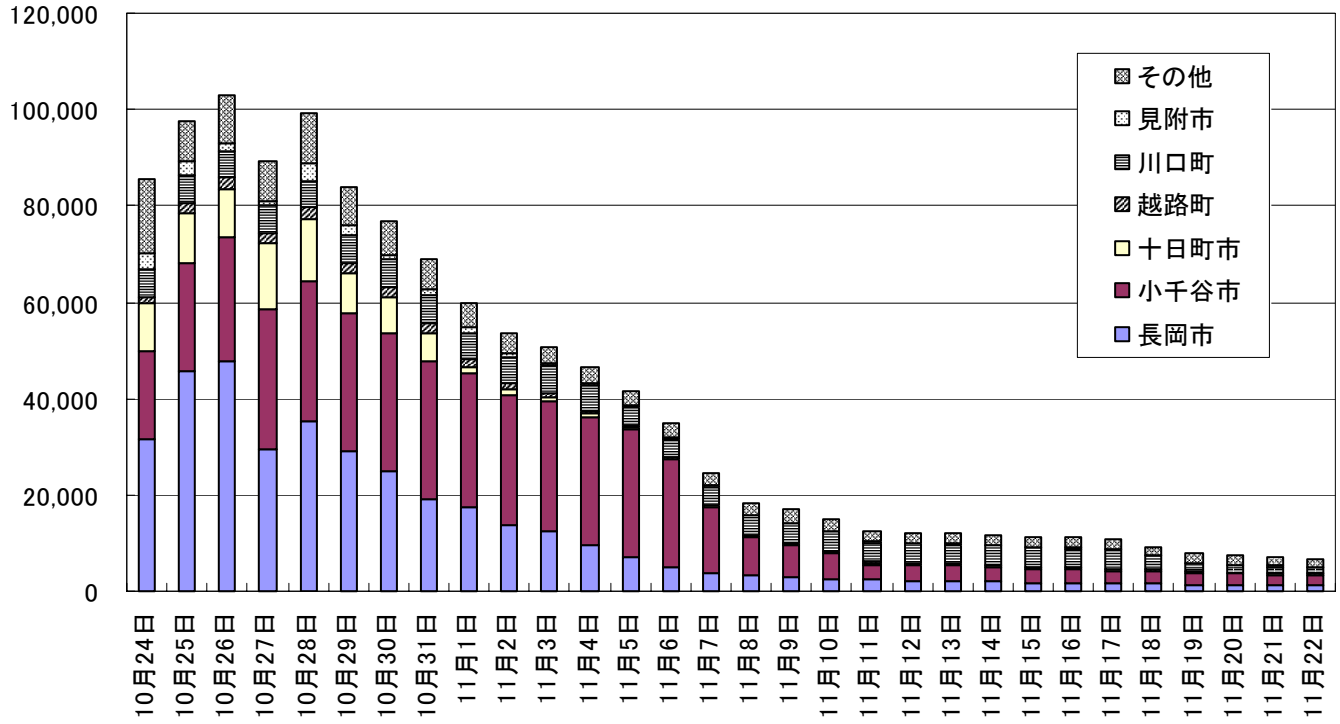


図９　避難者数の推移（新潟県）

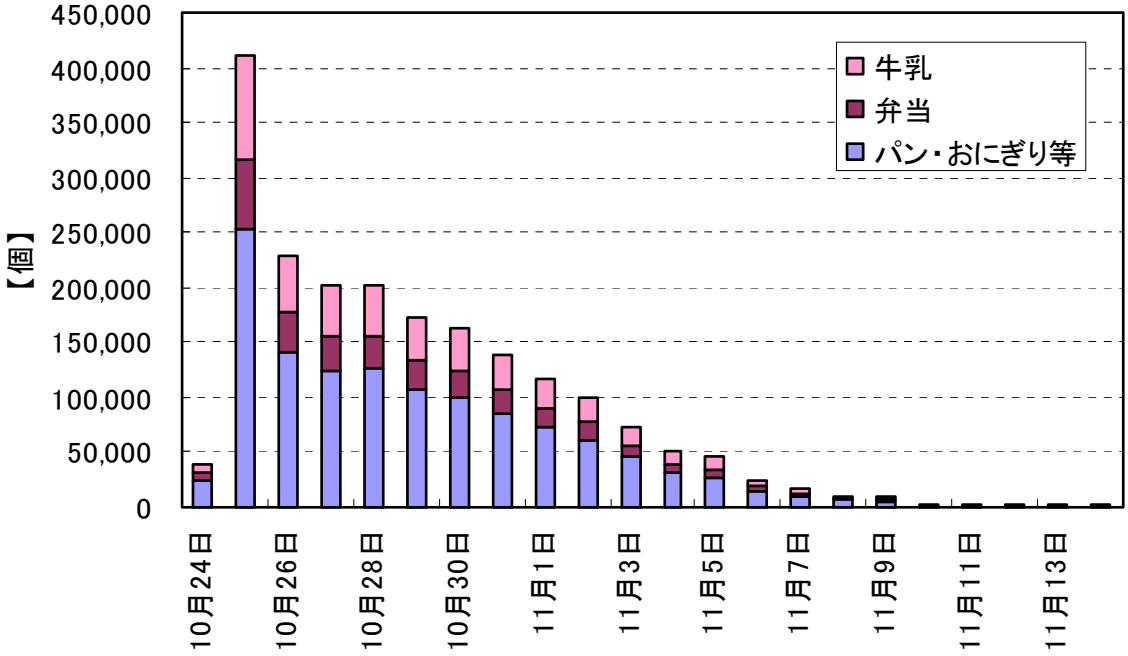


図１０　一括要請された食料の日別推定

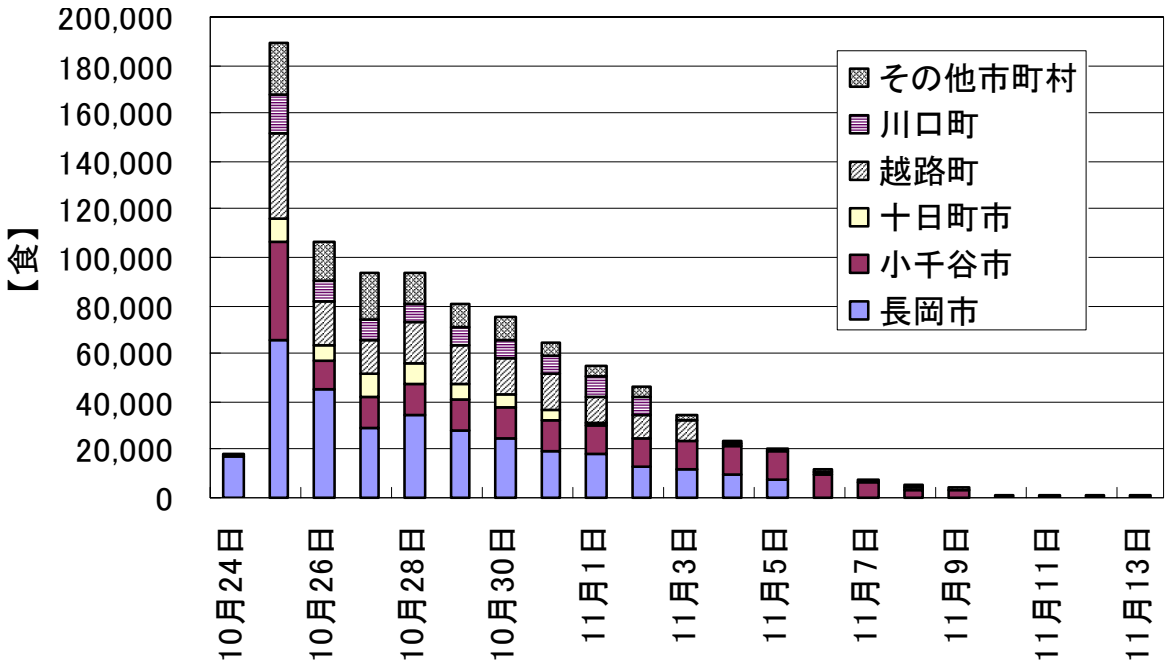


図１１　一括要請された食料の市町村別推定

（２）自衛隊の対応 [3)]

自衛隊の活動期間は震災当日の 10 月 23 日～12 月 21 まで(60 日間)で、派遣規模は人員延べ 12、500 人、車両延べ 46、800 台、航空機延べ 1、790 機にのぼった。主な活動内容は、松戸、舞鶴、浜松、美保から毛布約７万枚を輸送、給食支援は 10 月 25 日から 11 月９日まで新潟スタジアムで大量に炊き出しを行い、そこから被災市町村へトラック等で輸送した。新潟スタジアムの炊き出しと平行して、10 月 27 日から被災地入りしての炊き出しも始まり、徐々に現地での炊き出しが主流になっていった。

防衛庁自衛隊の資料をもとに、日毎の市町村別給食支援量の推定を**図１２**に示す。新潟スタジアムでの炊き出し輸送と被災地での炊き出しを併せて、長岡市、小千谷市、越路町、川口町等へ延べ約115万食を配給した。最大給食支援数は10月25日で41、000食だった。避難者数がピークの25%になった11月8日においても、自衛隊による給食支援は約３万食程度を維持している。これは避難所の全食数に対する自衛隊の給食支援の割合が、日を追う毎に高くなっていることを意味する。ヒアリングによると、避難者数が減少しても自衛隊の炊き出し人員はさほど減少させずに、避難者がたくさんいる避難所へ人員を移動させるとのことだった。そのため避難者へ給食される食事の内容は、地震当初はおにぎりやパンが多かったが、時間の経過と共にご飯・おかず・味噌汁等の炊き出しへと質が向上していった。

（３）トラック協会の対応 [4)]

各都道府県トラック協会は、緊急輸送車両に対応し、被災地への物資輸送に協力した。全国トラック協会に要請された車両台数は、震災当日の10月23日から12月1日まで957台に及んだ。そのうち437台は新潟県内の救援物資の移動に用いられ、520台は県外からの救援物資の移動に用いられた。県外からのトラック協会要請520台の着地を**表７**に示す。これより被災地の中でも規模の大きい長岡市、小千谷市に物資が集まったことがわかる。また被災地直送ではなく新潟県災害対策本部（新潟市）にも物資が集まっている。物資の内訳と発注先を**表８**に示す。物資の内訳は食料が約30%、飲料が約18%、雑貨が約38%、設備用品が約14%であり、発注先は自治体がほとんどで全体の８割以上を占めた。

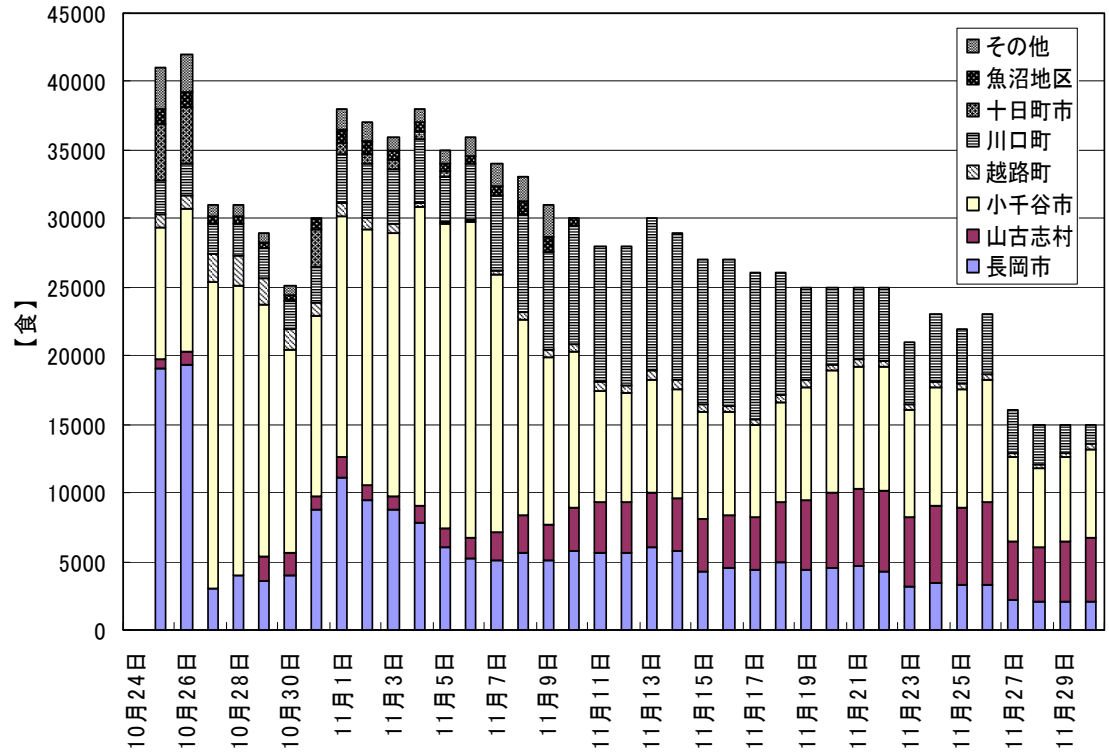


図１２　自衛隊による市町村別の給食支援量の推定

表７　県外トラック協会輸送の着地

着地	台数
長岡市	111
小千谷市	101
十日町市	42
越路町	5
川口町	33
新潟県災害対策本部	81
その他被災地	148
合計	520

表８　県外トラック協会輸送の物資と発注先

	自治体	組合･団体･協会等	企業	個人	合計
食料	136	12	11	0	159
飲料	80	6	9	0	95
雑貨	168	6	23	0	197
設備用品	42	2	23	1	68
合計	426	25	66	1	518

表９　新潟県から山崎製パンへの依頼分

10月度(10月24日～31日まで)	
納品先	個数
長岡市役所	81,200
小千谷市役所	129,000
十日町役場	36,000
越路町役場	154,000
堀の内町役場	30,000
三島町役場	5,000
見附市役所	60,000
川西町役場	16,000
小国町役場	19,000
合計(個数)	530,200

11月度(11月1日～20日まで)	
納品先	個数
小千谷市役所	113,500
越路町役場	52,500
川西町役場	1,600
小国町役場	5,700
合計(個数)	173,300

（４）食品企業（山崎製パン株式会社）の対応

10月23日地震発生後、工場内に直ちに地震対策本部を立ち上げ、被害状況の調査、従業員の安否確認、今後の対応策検討、及び本社各部への緊急連絡等を実施した。その後、県の災害対策本部や量販店からの救援物資の要請に対応した。

震災直後、新潟工場では地震計の作用でオーブンが停止し、洋菓子エレベーターが停止する状況になった。オーブンは即時復旧し、エレベーターも当日の19時には復旧した。長岡営業所、末広長岡工場共に、電気、ガス、水道のストップにより1週間活動が不能となった。長岡営業所、末広長岡工場の担当地域への商品の生産と配送は、新潟工場やその他の工場で対応した。

新潟県災害対策本部の依頼により10月23日～31日までに、パン約53万個を救援物資として納品した。それ以降も11月1日～20日まで、約17万個を新潟県災害対策本部に納品した。その納品先と個数を、10月23日～31日までと11月1日～20日までに分けて**表９**に示す。10月31日まで提供された約53万個分の料金（約４千万円分）は、社長の判断で無償提供にされた。この約53万個のうち、新潟工場が24万個を生産した。この他にも、量販店・自衛隊からの依頼で10月１日～31日まで約40万個、11月1日～20日まで約19万個の納品を通常の作業と並行して行った。

被災地への配送は、災害対策本部から依頼を受け、被災地の市役所や町役場に朝・昼・晩と１日３回配送した。新潟工場では、他工場より９台のトラックとドライバーを借り受け被災地に配送した。震災着後は、被災地の市役所や町役場からのオーダーと、新潟県災害対策本部からのオーダーとが分かれていたため、ダブついていないか確認するのが困難だった。その後、注文のラインを新潟県災害対策本部１本にすることで解決した。

５．市町における食料の需給分析

（１）　十日町市・越路町における需給分析

十日町市と越路町では、避難所への食料供給量が記録されていたので、主食の需給分析を行い、その結果を利用して長岡市と小千谷市の供給量を推定する。十日町市に実際に届いた主食数から、大量に余ったとされるアルファ米、カップラーメン缶詰（ご飯）等を削除し、パン・おにぎり・弁当等と炊き出し、自衛隊による食料支援量を供給量とする。避難所の避難者に対して１日３食配給すると仮定し、それを需要量とする。**図１３**の上段は供給量と需要量の比較を示し、下段では供給量の内訳(%)を示す。体制の整っていなかった10月24日、及び大量に食料

が届き供給量が需要量を大きく超えている10月26日を除くと、それ以外の日では需要量と供給量がほぼ釣り合っている。

越路町においても同様に需給分析を行った（**図１４**）。しかし、避難者数をもとに推定した需要量では供給量と釣り合わなかった。ヒアリングによると、越路町は全町民に対して食料を提供出来るように食料を受け付けていた。そのため全町民に対して１日３食の需要量として比較を行ったのが、図の上段であり、需要量と供給量がほぼ釣り合っている。このように全町民を対象に食料提供を行ったのは越路町のみで、その他の市町は十日町市のように避難者を対象に物資を調達した。

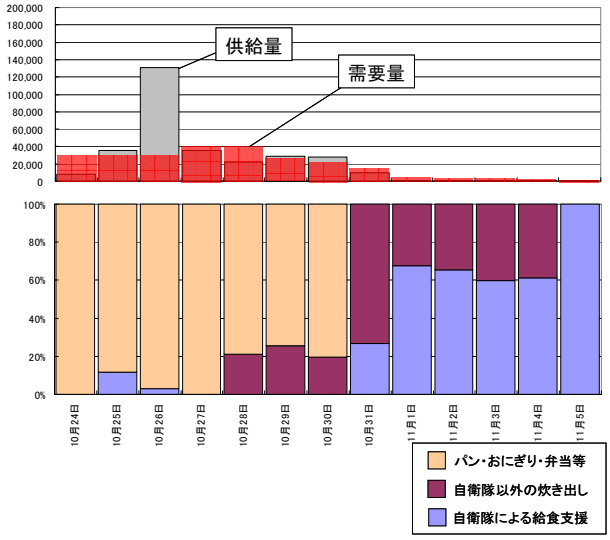


図１３　十日町市の食料需給分析

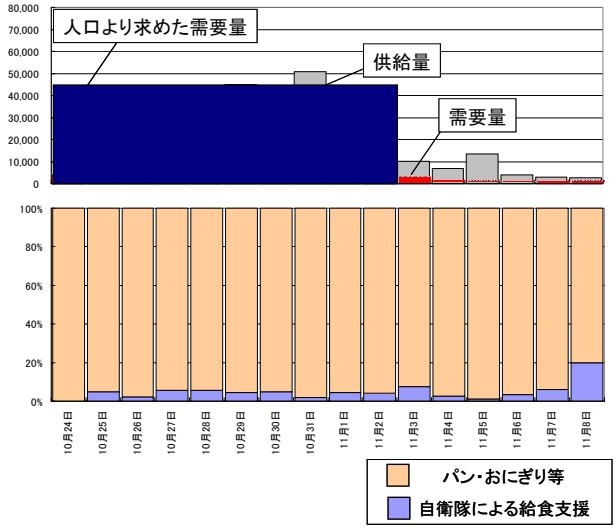


図１４　越路町の食料需給分析

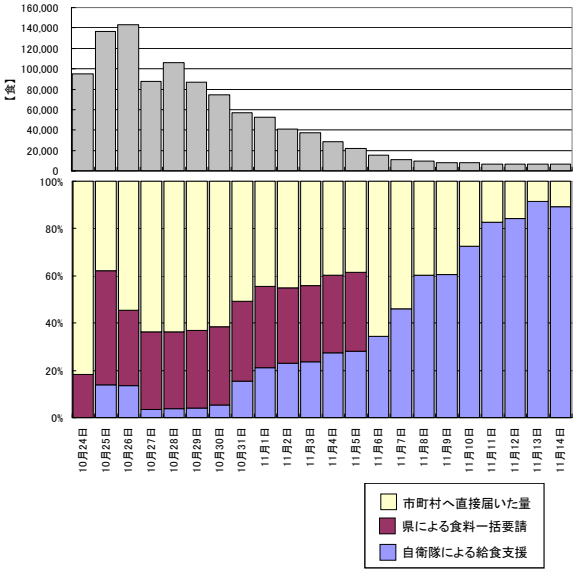


図１５　長岡市の食料供給量の推定

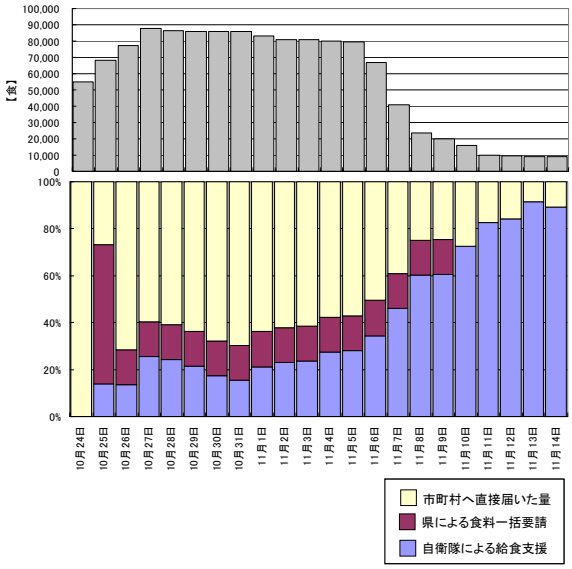


図１６　小千谷市の食料供給量の推定

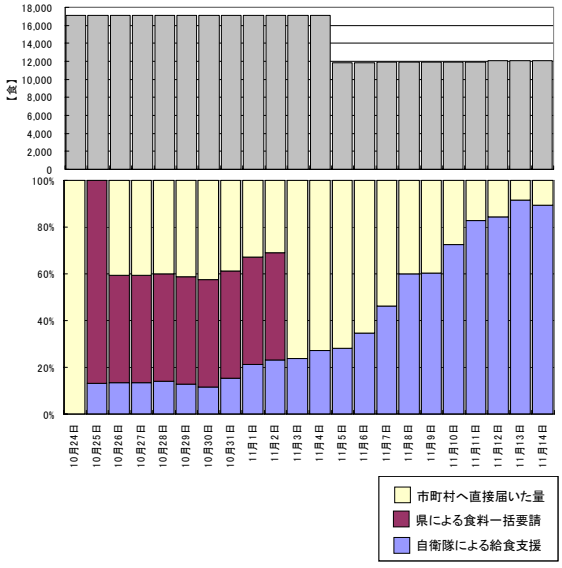


図１７　川口町の食料供給量の推定

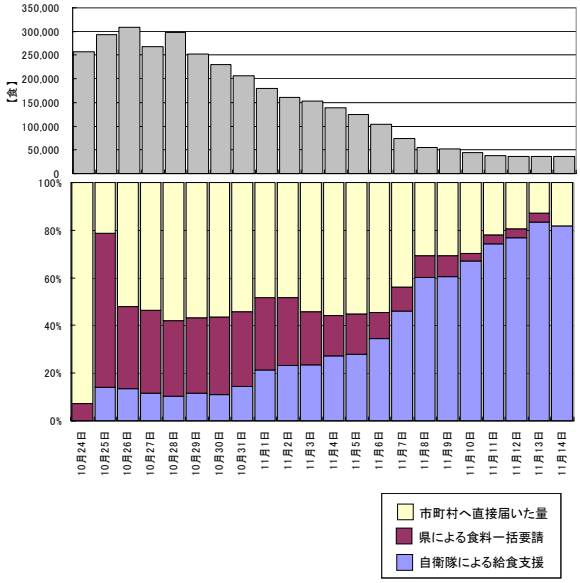


図１８　被災地全体の食料供給量の推定

（２）被災地市町の食料供給量の推定

十日町市の需給分析結果をもとにして、避難者１人に対して１日３食を供給すると仮定し、長岡市、小千谷市、川口町、被災地全体における食料供給量とその内訳を推定する。

長岡市の避難者数より求めた供給量を**図１５**の上段、その内訳(%)を下段に示す。同様に小千谷市、川口町、被災地全体の避難者数より求めた供給量をそれぞれ**図１６、図１７、図１８**に示す。

長岡市では、10月26日をピークに供給量が減少し、小千谷市では11月5日まで供給量があまり変化せず、それ以降急激に減少していった。長岡市では、震災直後から電気・ガス・水道が徐々に復旧していった。一方、小千谷市では電気は復旧していたものの、水道とガスの復旧が遅れ、11月5日を境に水道・ガスの復旧が進んだ。これからもわかるように、食料供給量の減少はライフラインの復旧時期とほぼ一致する。また、長岡市に比べると、小千谷市の方が自衛隊による給食支援に依存していることがわかる。

その他の市町村では、長岡市と同様のパターンが越路町、十日町市、見附市でみられ、小千谷市と同様のパターンは川口町にみられる。

６．地方自治体にかかわる問題点と課題

中越地震における救援物資の物流実態について調査し、新潟県、市町村の対応を検討し、特に食料の需供バランスを分析・推定してきた。

食料を保存可能と不可能に分けて、地方自治体の役割を全体的にまとめると以下のように言える。

（１）保存可能な食料については、県を経由した100万食のうち被災地に届けられた量が70万食である（表２）。実際のデータがある十日町市、越路町では、県からの依存がそれぞれ34%、32%であった。これより、被災地に届けられた量が約210万食で、県からの提供がその３分の１の700,000食で、残りは市町村に直接届いたものと推定できる。

（２）保存不可能な食料については、27日以降は需要量（避難者数×３）にそって食料を調達したと考え、10月24日は需要量の0.3倍、25日は1.0倍、26日は3.0倍と仮定すると、合計で429万食となる。自衛隊による提供量が115.9万食（12月20日現在）なので合計の27%、県による一括要請量が93.4万食なので合計の22%、その他（ボランティアによる給食支援、企業等の支援）が51%となる。

最後に、調査研究を通じて明らかになった地方自治体の対応に関する問題点を指摘し、今後の震災時防災計画策定のための課題を述べる。

（１）市町村の課題

被災地市町村は、まず大量の物資の受け入れに人員を割かなければならなかった。さらに、小口・混載の物資（郵パック・宅配便）が被災地に大量に送られ、避難所へ配布できる状態ではなかった。初期の混乱期には避難所・避難者数の把握が困難であった。その結果、十日町市、越路町の事例からわかるように、10月26日には市町村倉庫に食料・雑貨等の物資があったにもかかわらず、その後も数日間、避難所からは食糧・雑貨共に不足の声があった。

改善策としては、予め、物資の提供企業と災害協定を結び、必要な物資を可能な限り必要量まとめて調達できるようにすることや、小口救援物資（宅配便、郵パック等）に複数の品目を梱包することを避け、１品目だけに梱包するよう周知徹底することは最低限必要である。また、小口救援物資は、被災地に直接届けるのではなく、いくつかの物流拠点を被災地外に設け、そこでボランティア等の協力を得て同一品目の集約化を図ることも必要である。被災地市町村倉庫の情報を開示して、避難所の代表者が物資を取りに行けるようにすることもあげられる。

災害時に個人から送られてくる小口救援物資（宅

配便、郵パック等）の中には使用不能な物資が入っていることもあるのが実態である。マスコミ等の手段を利用して、このような非常識な義援行動を慎むような機運をつくることも必要である。郵パックは自治体対策本部宛であれば無料サービスを実施したが、無料にするのは内容物が単品の場合に限定するなど、制度の変更が必要である.

今回の地震では多数の地方自治体から物資・人員等の提供を頂いたが、中でも災害協定を結んでいる自治体からの援助が、時間的な迅速さや量的な観点から一日の長があった。被災地での活動の経験は、人員を提供している自治体にとっても、今後の防災計画を立てる上でも、万一当該自治体が被災を受けた時でも、非常に有用になるはずである。近隣の市町村との災害協定だけでなく、想定される地震被害地域の外にある市町村との災害協定も積極的に結ぶ必要性は高い.

（２）新潟県の課題

新潟県の問題点としては、被災地市町村が独自のルートで物資を確保したため、新潟県災害対策本部は市町村からの依頼が予想より少なかったことと、さらに被災地の物資需要の減少を考慮せず、混乱期の後も配送センター整備等を行い、物資の受け入れを進めたという２点が挙げられる。その結果、倉庫の確保や仕分け作業、受取り業務等に人員を割いたため、他の業務に支障が出る等の事態に陥ったと考えられ、また県災害対策本部の保管施設に大量の物資が余った。

改善点としては、あらかじめ県と市町村間で物資調達の役割を分担すること、県・被災市町村間で物資情報をタイムリーに共有できるような情報システムを前もって確保することがあげられる。

（３）震災時ロジスティクス・システムの構築

救援物資の搬入から避難所への配送、物資の貯蔵という救援物資物流システムの計画、及びそのマニュアル化は、極めて重要な地震対策の一つであり、「災害時ロジスティクス計画」を早急に策定することが必要である。

自治体が保有する施設、大型店の施設や駐車場の利用も含めて、地域ゾーン別あるいは品種別に緊急時物流センターやストックヤードを配置する等、施設の計画がある。県と市町村、市町村と避難所、さらには救援物資の提供を要望する民間企業をネットワークする情報通信システムを装備したロジスティクス・システムを前もって構築する。震災時には、地方自治体職員は救援物資の調達、データベース作成、在庫管理、食糧配給計画等を担当し、その他の物流業務はできる限り民間業者に委託をして、自治体職員が本来の被災住民救援の業務を担当できる体制を作ることが望ましい。このような震災時ロジスティクス計画策定のために、物流専門家の助言を求めるのは有効な方法である。さらに、市町村合併により行政区域が広域になっているため、合併前の市町村庁舎をサブセンターやデポとすることも検討する必要である。

謝辞

本調査研究を取り纏めるに当たっては、新潟県をはじめとする地方自治体のヒアリング調査・データ収集において、及び山崎製パン株式会社等の企業ヒアリング調査において、御協力を得た。また、本報告のデータ収集分析では長岡技術科学大学大学院学生、田村大輔氏の協力を得た。ここに記して感謝を申し上げる。

参考文献

１）長岡市災害対策本部編集：中越大震災－自治体の危機意識は機能したか、ぎょうせい、2005.7.

２）新潟県県民生活・環境部防災局編集：中越大震災記録誌（案）、2006.12.

３）社団法人全日本トラック協会：新潟県中越地震に係る緊急輸送対応の取りまとめ報告書、2005.3.

４）防衛庁・自衛隊：「平成 16 年新潟県中越地震に係る災害派遣について」、http://www.jda.go.jp/j/news/jishin.html、2005.12.21.

避難生活支援実態の行動科学的検討

中村　和男
長岡技術科学大学　経営情報系

1. はじめに

新潟県中越大震災においては、平成 16 年 10 月 23 日夕刻の本震発生直後から 500 ヶ所以上の避難所が開設され、最も長い場合ではほぼ２ヶ月間にわたり多くの被災者の生活の場となった [1)]。避難所の規模や設備はもちろん、そこで生活する避難者、管理・運営者、ボランティアの人数や特質も様々であり、避難者に提供される居住空間や環境、各種サービスの量や質も異なっていたのが実態である。

ここでは、中越大震災で開設された長岡市、小千谷市などの避難所における避難生活の支援実態と生活者の心身状態等についていくつかの調査を実施し、行動科学的視点からその特徴ならびに問題点を考察したので、報告を行うものである。

本調査は大別すると、その時期及びねらいの観点から２つに分けられる。１つは、本震後から比較的間近の時期（10 日後程度まで）における緊急避難的状況における避難所生活者の心身状態や負担に関する意識の把握を目指したものであり、限られた人数であったが避難者への聞き取りにより行われた。これを「初期における避難所生活者への調査」と呼ぶことにする。もう１つは、本震後１ヶ月余りを経た時期の恒常的避難生活状況における、避難所の各種サービスの実態と避難生活者の状態についての避難所の管理・運営者への聞き取りによる調査であり、これを「長期開設の避難所管理・運営者への調査」と呼ぶ。

以下では、この２つの調査について、個別に収集情報の集計結果を報告するとともに、避難所の管理・運営面からの問題点を探った。特に長期開設の避難所管理・運営者への調査については、さらに、食事の配給サービスを対象に、配給方式と避難所内の諸条件の組合せと、サービス提供状態との関連性を行動科学的に分析し、避難者、ボランティア、行政による管理・運営者の連携の在り方について、論点を考察した。

2. 避難所生活における避難者欲求の時間経過にともなう変化：阪神・淡路大震災による知見

阪神・淡路大震災の事例 [2)3)4)] を見ると、避難所として利用された施設は公共の施設だけでなく、民間商業施設や公園・広場など、多岐にわたっていた。避難所の場所の特性(屋外／屋内)、及び大規模空間の保有の有無によって分類を**表１**に示した。ここに、大規模空間とは体育館あるいはそれに近い規模の独立空間のことである。

表１　屋内／外及び空間規模による避難所の分類

避難所	大規模空間有り	大規模空間無し
屋内	学校、体育館等	公民館、集会所、病院、宿泊施設等
屋外	公園、広場、屋外野球場等	――――

屋内の大規模空間は、避難者を多数収容できることから一時的な避難場所としてしばしば利用されるが、本来、居住空間としての利用を目的としていない。そのため、物理的あるいは住宅設備面での住環境としての質は低く、また多数の人間が共同生活を送らざるをえないことから、人的な相互干渉も問題となることがある。

後述の本調査では、屋内で、大規模空間を有する学校や体育館等を活用した比較的収容人数の

多い避難所を中心に観察、インタビューを行っている。

こうした避難所の設置目的は、生活する場所の無い被災者に対し、一時的な生活場所を提供することである。従って、避難所に求められる機能としては生活に関わるものが中心となる。ゆえに、最低限求められる機能は、住居機能すなわち，自然環境からの心身の保護、睡眠・休息・排泄場所の提供などであるが、学校施設を活用した避難所は、防災拠点となることが多いため、情報収集／伝達機能、物資配給・炊出し機能、遺体安置の機能も求められることが通常である。

阪神・淡路大震災においては、多数の避難所が長期間にわたって設置され、避難所における生活上の問題が、様々な調査研究を通して明らかにされてきた。ここでは，既存研究（宮野ら [5)6)]，城 [7)8)]，伊村 [9)]，坂田ら [10)]）により明らかにされてきた、生活環境等の実態としての問題点および生活者の意識としての不満やストレスに関する事項の要点を整理し、これを踏まえて，避難所での生活に関する問題点をまとめておく。**表 2** は阪神・淡路大震災時の避難所生活者への生活についてのこれら調査研究の要点を、まとめたものである。

これらの既存研究を踏まえると避難所における基本的な生活機能として、以下の項目について問題点をとらえることが重要である。

(1)食事　(2)排泄　(3)睡眠・休息
(4)身体衛生　(5)照明　(6)情報伝達
(7)人間関係(生活モラル含む)
(8)プライバシー (9)ボランティア (10)遺体安置

(1)～(4)は生理的な生活欲求に関わり、(5)は物理環境についての生理心理的な生活欲求、(6)～(9)は人間関係が関わる社会的な生活欲求である。(10)は社会的欲求に関わるが、衛生環境としても難しい問題である。

以上の阪神・淡路大震災における諸調査の知見をまとめ、時間経過にともない顕在化する諸欲求を人間の欲求レベルとの関係でとらえると**図 1** のようである。

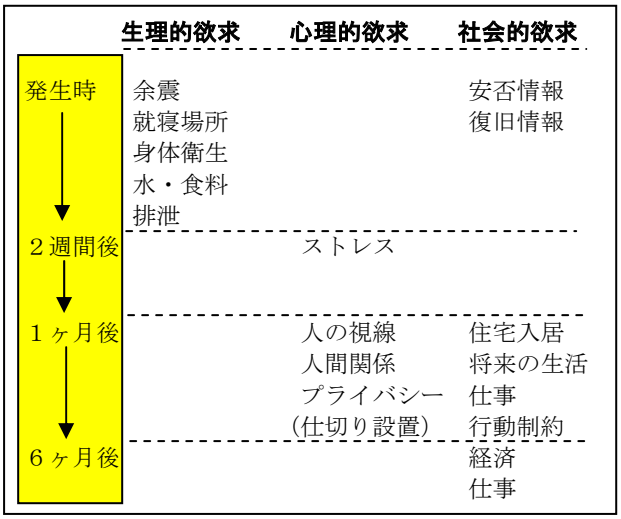


図 1 避難所生活における諸欲求の時間経過にともなう顕在化

3. 初期における避難所生活者への調査

平成 16 年 10 月 23 日（土）17 時 56 分、新潟県中越地方、魚沼市（旧川口町）付近の深さ 13km を震源とした M(マグニチュード)6.8 の地震が発生し、川口町で震度 7 を記録した。その直後から 40 分程の間に M6 以上の余震が 3 回、10 月 27 日にも M6 以上の余震が 1 回発生し、12 月 28 日の余震まで M5.0 以上の余震も頻発した [11)]

本調査は、こうした新潟中越地震の本震発生後の大きな余震が頻発していた 10 日間ほどにおける避難所生活者の意識調査を聞き取りにより行い、避難所における心身負担等に関する意識の実態把握をねらいとした。

具体的には、

①疲労やストレスがもたらす体の変調
②震災がもたらす、生命の危険、生活要件の欠落、再度の災害発生の危惧などの心配や不安の意識
③避難所生活の中で顕在化するといわれる、人的相互干渉、テリトリーやプライバシーの侵害など対人関係がもたらす心的負担意識

について調査するための項目、それらがもたらす意味等について避難所内での聞き取り調査を通して検討した。

表 2 阪神・淡路大震災時の避難所生活についての既存調査研究の要点

文献番号	内容	調査手法	結果	研究者
(5)	震災発生当日から1ヶ月間に現れたストレス症状、心配事や悩み事の調査	調査用紙（簡易ストレス度チェックリスト、代表的な精神的症状）調査対象者の自己記入および聞き取り調査。2月初旬から中旬	ストレス調査－避難所生活者と避難所以外での生活者では、前者の方が発生率、強度とも高くなっている。男女別－女性の方が高い。世代別－所内生活者では世代が上がるとストレスも上がる。但し,70台では急激に減少。避難所外生活者では十代未満で高く、20代で減少し後は世代の上昇と共に増大する。 心配事－避難所生活者：余震を最も心配しているが、1ヶ月後では仮設住宅に変わっている。2番目と3番目では眠る場所の確保から身体衛生、将来の生活に関することへと変化した。避難所外生活者：1番は余震であり、2番目と3番目では一週間を境に安否確認、水・食糧確保から身体衛生・復旧状況へ変化した。	城 小花和
(6)	被災後1ヶ月間のストレス症状調査と母親と幼児（就学前）のストレス症状分析	調査1－同上 調査2－質問用紙へ母親自身が記入。4月下旬から5月中旬、幼稚園を通じて配布・回収	調査1－同上 調査2－家屋被害が大きいことと避難所生活時に頻繁に症状が出る。また、幼児のストレス表現法に年齢・性別により一定のタイプが有り、それによって母親が受けるストレスに差がある。互いの行動が相手へのストレッサーとなる。	城
(7)	被災者のコメントを中心とした震災後に生活に利用された空間の性能について調査・分析。最終的な目的は日常における通常の住宅のあるべき姿を捉えること。	1995.1.20から1996.7.6までの8回の現地調査と公表された各種資料からのコメントを中心に調査。	（避難生活についてのみ。避難所中心にまとめる）：生活空間として、避難所や仮設住宅以外に、ホテル・フェリー・自動車・テントなどを含めた17の空間に分類（集約）し、それを居住水準構成要因に関する性能で評価を行った。結果として、避難所は総合得点としては、下から6番目である。また、コメントが多く出された問題視されている要因、プライバシー・建築物の保健性能・建築空間、はいずれも最低評価であった。	伊村
(9)	待機所機関を含めた上での時系列的に見た避難生活の実態調査およびその問題点の考察。	1ヶ月後、6ヶ月後、8ヶ月後（待機所）の3回分の聞き取り調査。	避難生活にかかわる内容としては、1回目において、避難直後と比較した場合の生活上の不安としては仕事や住宅・将来の生活の比率が急激に増加している。また、2回目の調査でも仕事や住宅などの確保と経済的な不安が大きくなっている。同時に、他の避難所生活者が徐々に減っていくことによるあせり・無力感を感じるケースが多く、避難所の統廃合や行政に対する不満が発生している。さらに、避難所生活において健康障害の発生要因として考えられる、困っていること、として人間関係と人の視線が多く、プライバシー問題の悪化を示した.	宮野 他2名

(8)	時系列的な環境変化の中で生じた避難所内生活における諸問題の検討	被災直後から数日、2週間後、1ヶ月後の各時期における不足・不安調査 （聞き取り調査2月9日,10日、アンケート調査3月6日～13日。避難所運営・管理者への聞き取り 1 月下旬および3月の前半）	不足については、水・食料・情報・身体衛生については時間経過と共に顕著に減少、生活空間についてはやや減少するが、プライバシーはやや増加する。不安については余震・安否情報は減少し、仕事・将来設計といったこれからのことに対するものは増加する。	宮野
(10)	公共施設を中心とした地域施設の避難所への転用実態と、そこでの建築にかかわる問題点の整理	現地観察・文献調査・ヒアリング調査。施設ごとに調査期間、回数が異なる。全体としては 1995.1.30 ～ 1996.2.13 の間。	実態調査から、避難所の機能を住居としての機能とそれ以外に分け、転用空間をまとめた結果、大規模施設では生活のための機能に加え、被災者支援のための機能（救護やボランティアの就寝場所など）が受け入れられており、小規模施設では他との機能共用をしている。学校施設では本来の施設機能の回復が急がれるため、避難所機能の移動、集約が早い。屋内空間は優先的に就寝スペースへ、屋外空間は多機能へ転用される。といった傾向が見られる。また、設備の設置・撤去時期においてをまとめると、被災1ヵ月後くらいからプライバシー問題により仕切りの設置が始まっていることなどがみられる。 実態調査および文献調査から、避難所生活を生命の確保期、避難所立ち上げ期、避難所安定期、避難所縮小期、避難所解消期、の 5 ステージに分類し、各ステージでの問題点をまとめた。その結果、時系列的な変化として、生活に必要不可欠な物資の不足や排泄困難から始り（第 1 ステージ)、それに風邪の問題が加わった後に（第 2 ステージ)、それらの解決に伴う生活水準の向上に関する問題と本来の機能回復による問題（第 3)、本来機能と避難所機能の並存・所内自治組織の運営困難（第 4)、避難所機能の解消に伴う問題（第 5)、といったように変化する。さらに、第3ステージ以降の問題を施設特性別にまとめると、学校施設ではプライバシー、行動の制約、建築の環境・設備面でのもの、本来機能と避難所機能の並存、などが、集会施設では機能の不足、本来機能の回復に伴うもの、などが、公園では公園の設備によるもの、気温・湿気、雨漏りなどが、挙げられる。	坂田 他3名

3.1 調査の概要

２回にわたり調査を行ったので、その概要を以下に示す。

(a) 第１回調査

日時：　2004 年 10 月 31 日（日曜）15:30-17:00

場所：　長岡市大手高校体育館避難所（**図 2**）

対象者：　山古志村からの避難住民 25 名

（女 15 名　　男 10 名）

（20 歳以下 6 名；　21-40 歳 3 名；

41-60 歳 8 名；　61 歳以上 7 名）

調査方法：　調査用紙を用いたインタビューによるアンケート

調査の事項：　回答者の基本的事項（性別、年齢、居住地域、避難同居グループ）

1）体調・病状（3 項目）

2）食・睡眠、知人への安否情報伝達への不満（3 項目）

3）心配ごと、不安事項（3 項目）

4）避難所内での周囲の人との関係で気になること（8 項目）

5）生活関連の要望事項（当面、将来；自由記述）

(b) 第２回調査

日時：　2004 年 11 月 3 日（水曜）13:50-15:00

場所：　越路町西小学校避難所（**図 3**）

（11 月 3 日朝までは写真よりかなり混んでいた）

対象者：　越路町からの避難住民 15 名

（女 9 名　　男 6 名）

（20 歳以下 3 名；　21-40 歳 0 名；

41-60 歳 2 名；　61 歳以上 10）

調査方法：　調査用紙を用いたインタビューによるアンケート

調査の事項：　回答者の基本的事項（性別、年齢、居住地域、避難同居グループ）

1）体調・ストレスに関する事項（20 項目）

2）心配ごと、不安事項（6 項目）

3）避難所内での周囲の人との関係で気になること（8 項目）

4）避難所に関する要望事項（自由記述）

3.2 心配ごとや不安に関する意識

避難所生活では、さまざまな心配や不安が、状況に応じて起こってくることから、生命、基本的な生活要件（食、眠、住）、地震発生可能性、家族の安否や健康の状況などに関して、意識を調査した。**図 4** にその集計結果を示した。

①身の危険感は、最も基本的な不安である。特に今回の地震では、初期の本震群に加えて継続的に余震が続き、余震発生確率も公表されていることから、そのおかれた環境の状況と相俟って、身の危険感が持続し変容している。「少しでも気になる」者は、山古志の避難民では、震源から離れた安心感から 40%とさほど高くないが、越路では震源地に近いせいか、50%以上とかなり高い。

②生活要件としての食、眠、住の充足感では、災害 1 週間以上経ち、自衛隊の支援もあり、「食」について不満は低い、「睡眠」については大手高



図 2 長岡市大手高校避難所(H16.10.31)



図 3 越路町西小学校避難所(H16.11.3)

校では「少しでも気になる」者は 70%にのぼる。越路では、別項目の「寝付不良」「夜中目覚め」「起床不良」を総合すると、50%前後で、睡眠環境、身の安心感がある程度のレベルにあったことを示唆している。「住宅」については、自宅の被害・損壊に関する不安が、両避難所でともに高い。

③余震に関する不安では、「今後の余震」に関しては、「大いにある」者は、両避難所で 30%を超え、「少しでも気になる」者は避難所の震源地からの近さのせいか、大手高校の 70%に対し、越路では 100%となっている。また、越路では「余震に過敏」もかなりのレベルである。

④家族や知人の健康・安全については、越路でのみの調査だが、「かなり」の不安を感じている者が 50%となっている。大手高校での「知人への安否未連絡」ではほぼ問題は解消している。

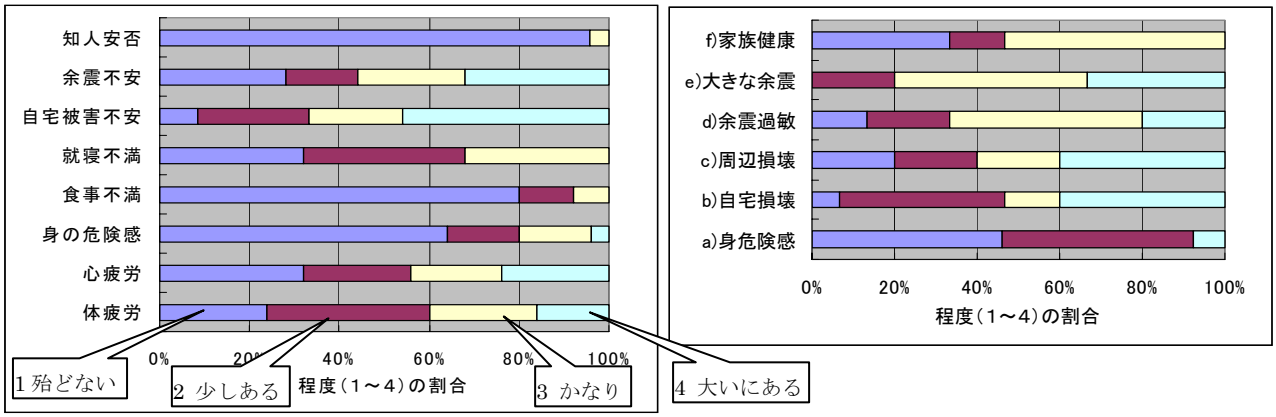
3.3 共同生活における対人関係に関する意識

空間を共有する避難所での共同生活がもたらすストレッサーとして他者との物理的、心理的、行動的関係があるとみられる。ここではそれらストレッサー要因として８項目を想定し、それぞれの要因が気になる程度を回答してもらった。その結果を**図 5** に示した。

①身体同士の物理的接触については就寝時に「少しでも気になる」者が大手高校で 60%で、西小での 30%程度よりかなり高い。寝返りが他人に迷惑をかけない程度の就寝スペースが欲しい。

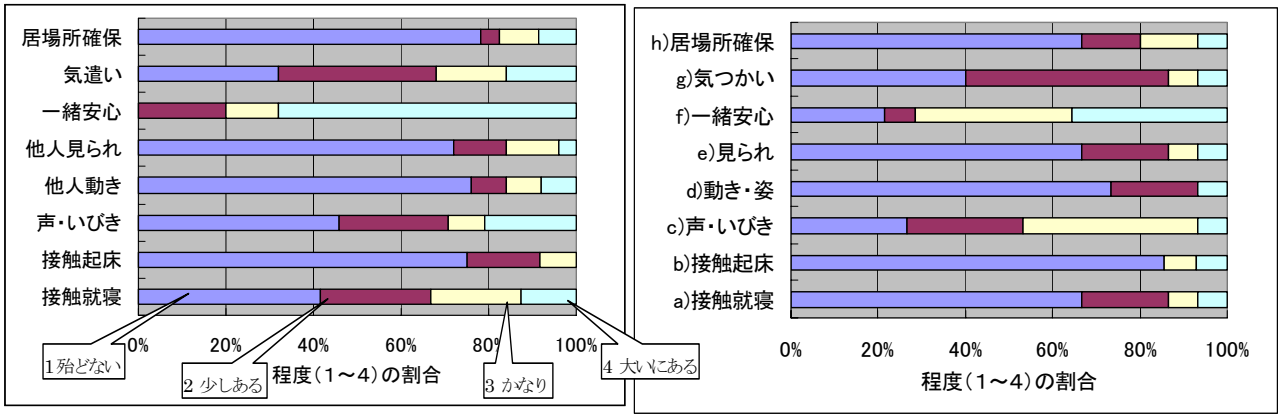
②聴覚的に他者の声やいびきが「大いに気になる」者が大手高校で高く 20%、「少しでも気になる」者は両者で高く 60～70%。人の声やいびきは、空間にゆとりがあっても気になるものである。

③視覚的に他者の行動や姿が見えてしまうことが「少しでも気になる」者は 20～30%で調査時



(a) 長岡市大手高校避難所(H16.10.31)　(b) 越路町西小学校避難所(H16.11.3)

図 4　心配ごとや不安に関する意識



(a) 長岡市大手高校避難所(H16.10.31)　(b) 越路町西小学校避難所(H16.11.3)

図 5　共同生活における人間関係に関する意識

点では低いが、就寝中に歩く人が気になるというコメントがあった。

④周囲の他者に見られているということが「少しでも気になる」者は30%程度で調査時点では低いが、11月5日の県調査では、女性の被災者の授乳、着替などの場所が欲しいとの要望が出てきた。

⑤一緒にいることの安心感は、共に高いが、特に大手高校で顕著である。共同生活者のコミュニティ意識の高さの違いであろう。

⑥気遣いについては、「少しでも気になる」者は60～70%で高く、他者に声や物音、スペースの境界のことなどで気にかけている。

⑦居場所の確保については、最初の段階で困難なことがあったが、20～30%で調査時点では比較的低い。配置換えや新規参入者が会ったときには、調整の仕方に留意する必要がある。

3.4 体調について

本項目は、第2回調査（越路町西小学校避難所）のみで行われた。集計結果を**図6**に示した。

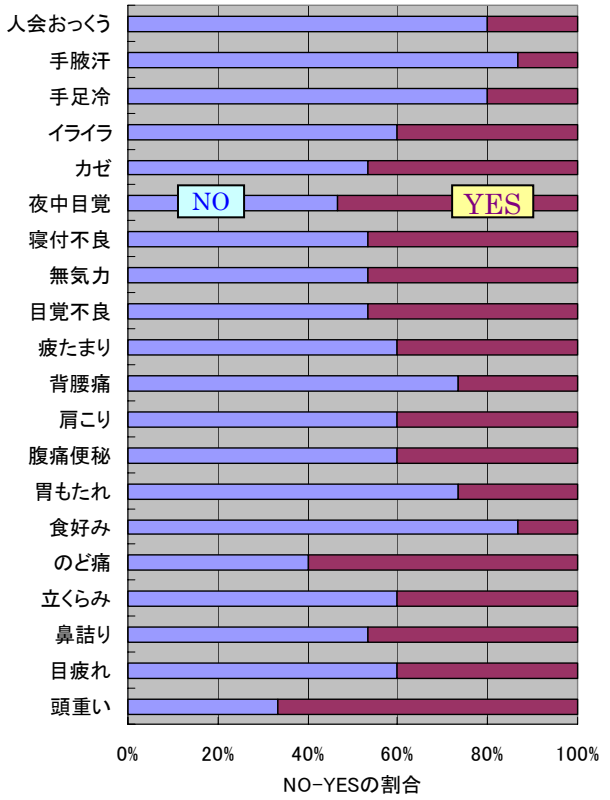


図6　体調・ストレスに関する諸変調の生起状況（越路西小学校 H16.11.3）

a)身体の部位別｛頭重い／目疲れ／鼻詰り／立ちくらみ／ノド痛／腹痛･下痢・便秘／肩こり｝の変調について、頭重い、ノド痛が60%、次いで鼻詰りが50%、目疲れ、立ちくらみ、腹痛・下痢・便秘、肩こりが40%であった。頭が重く、喉や鼻に症状を持つものが多く、次項のカゼが50%と高いことと符合している。

b)全身的な変調として、｛食の好み変化／疲れがたまる／カゼ｝について質問したところ、疲れがたまる、カゼが40～50%と高かった。

c)睡眠の変調として、｛寝付不良／夜中に目覚める／朝の目覚不良｝について質問したところ、夜中に何度も目覚めるが50%となっており、余震やトイレ、他者のいびきやトイレへの移動などで目覚めるものと考えられる。

d)生理的変調｛カゼ／手足冷たい／手のひら・腋の下汗｝について質問し、回答は、カゼのみが50%で、他の事項は低かった。

e)精神的変調｛イライラ／人に会うのおっくう｝について質問し、回答ではイライラが40%を占めた。

全体に大きな体調やストレスの問題は深刻ではないが、かなり良好な環境にある越路西小学校であっても、頭が重く、喉や鼻に症状があり、カゼが問題になる可能性がある。これに対し、大手高校避難所では、詳細な調査はないが、**図4**(a)に示した心身の疲れが「かなり」で40%を超えている。

3.5 まとめ

地震発生から10日余りを経過した調査時点では、心理的欲求としてストレスが顕在化し始めた可能性があり、その後は、さらに人の視線、人間関係、プライバシーなどに関する欲求が、大きな問題として顕われて来ることも考えられた。特に、大手高校の避難所のような共同生活状況においては注意を要する必要があると考えられた。

避難生活が中・長期化する場合には、避難生活者の社会的欲求のみならず、これらの心理的欲求

の問題点が生起する可能性に留意し、その実態を経常的に把握することが必要であり、先行して対策を講じることが重要であろう。

4. 長期開設の避難所管理・運営者への調査

中越大震災で震災発生後、ほぼ１ヶ月を経て、長期間にわたって開設されていた長岡市、小千谷市の規模の比較的大きな避難所において、その管理・運営関係者に聞き取り調査を行い、避難所生活に関する各種サービスの実態と避難生活者の状態、そして管理・運営者の意識を把握し、避難所における運営上の論点を考察した。さらに、食事の配給サービスを対象に、配給方式と避難所内の諸条件の組合せと、サービス提供状態との関連性を行動科学的視点から分析した。

4.1 調査の概要

本調査では、長期にわたり継続している避難所において、避難者の状態、提供される支援やサービスの実態を知り、管理・運営上の問題点を探るとともに、今後の大規模避難所の管理・運営について、それぞれの避難所の固有要件に則して、避難者、ボランティア、そして行政担当者が効果的に連携してゆくための方策設定指針を得ることを目的として行ったものである。

以下に、調査の概要を記す。

調査時期：　本震発生１ヶ月余。11 月下旬～12 月初旬

対象避難所：　長岡市および小千谷市の避難者人数が 100 人以上の全避難所 12 箇所（長岡市８箇所、小千谷市４箇所）（**表 3** 参照のこと）

聞取り対象者：　役所の職員／ボランティア／保健医／避難民の代表者に多面的に行う

調査項目：

① 基本的事項

1）記入日　　2）記入時刻　3）避難場所

4）避難者の地域名　　5）避難者の人数

6）回答者の所属・役職等

7）回答者の性別　　8）回答者の年齢

9）回答者の避難所に来てからの期間

10）回答者の勤務形態

表 3　聞取り調査を行った避難所及び日時

	実施日	時刻	避難場所
長岡市	H16/11/19	9:55	新産体育館
	H16/11/25	11:00	長岡明徳高校
	H16/11/25	14:20	長岡農業高校
	H16/11/25	15:40	長岡工業高校
	H16/11/23	15:00	大手高校
	H16/11/29	11:00	栖吉小学校
	H16/11/30	11:00	長岡栖風セミナー（長岡高
	H16/11/30	14:00	高齢者センターけさじろ
小千谷市	H16/12/2	10:00	総合体育館メインアリーナ
	H16/12/2	11:00	サンラックおぢや
	H16/12/2	13:30	小千谷高校
	H16/12/2	15:00	東小千谷小学校

②避難者の状態

1) 地震が起きてから初期の段階で起こった、体調やストレスの変化の内容

2) 現在の体調の変化や、ストレスの内容

3) 人的トラブル

4) 世代間（子供、青年、中年、高齢者）での、避難生活の問題

③避難所生活関連の各種支援・サービス

a) 食糧提供・配給　b) 衣類や寝具

c) 健康維持や管理　d) 住環境（暖房器具など）

e) 娯楽、余暇　f) 人間関係（コミュニティー）

g) ストレス解消について

h) 情報（テレビ、掲示板、新聞、電話など）

上記の各サービスについて

1) 種類　2) 問題点　3) 優先順位

4) 世代間の区別　5) 提供者の人数

6) 受益者の人数　7) 要望

④管理・運営者側の意識や考え

1) 足りない支援・サービス

2) 過剰なサービス

3) 公的機関に避難生活者が自立していくため

にやってもらいたいもの

4) 避難所に関しての問題点

5) 避難所に関しての要望

調査方法：　各地の避難所を廻り、設定した項目群について聞取り調査を実施するとともに、併せて実態観察を実施

4.2 避難所の管理・運営実態の観察結果

(1) 避難所内に設置された本部・受付について

長岡市内の避難所では、公的機関と避難者の代表が連絡を取り合う本部が設置されている。小千谷市では本部や受付がない避難所があった。本部や受付は、避難所にとって内部と外部の掛け橋的な存在である。また、避難所をまとめる機関としても、なくてはならないものだと感じた。さらに、避難者は要望や疑問があった場合、すぐに相談できる窓口となる。したがって、本部や受付があると安心感が生まれて、避難所自体にも良い影響を及ぼしていると考えられる。

逆に、本部や受付がない避難所では、物資が上手く避難者に行き届かずにばらつきが出てしまう。そして、物資を子供が無駄に使ってしまうという問題も出たという。しかし、本部や受付があればいいからといって、何でも押し付けてしまうことにも問題がある。本部や受付をしている人の中にも、避難者自体が含まれていることがあるとともに、避難者の役員を含めて、公的機関の職員も自身が被災者でありながら、ほとんど休みを取れないといった状況になってしまっている所も少なくない。避難者だけではなく、それを助ける側が倒れてしまうことも考えられるのである。避難者は小さいことからでも自立的に判断、行動するようにすべきである。

図 7 は、(a)が長岡市の新産体育館の本部、(b)が小千谷市の総合体育館メインアリーナの受付である。総合体育館メインアリーナは、今回調査した避難所の中で、最も避難者が多く、設備や相談窓口が充実していた。



(a) 長岡市新産体育館の本部



(b) 小千谷市総合体育館メインアリーナ受付

図 7　避難所内に設置された本部・受付

(2) 自衛隊による支援

大きな避難所の近くには常に自衛隊が駐留し、物資運搬、調理、風呂等の支援を行った。また、避難所と避難所の距離が近いところは、一つの自衛隊の隊が掛け持ちして見ていた。**図 8** は長岡工業高校の避難所に隣接した自衛隊の施設である。



図 8　避難所に隣接する自衛隊

自衛隊が炊き出しを行って、避難所に渡している。避難所の入り口までは炊き出しを運んでくれるが、それからは食後、片付けが終わるまでほとんど避難所とは関係をもたない。避難者にとって、炊き出しは温かくて美味しい食事という意見が多く、感謝の声も多く聞かれた。

(3) 救援物資の処置

衣類、寝具、食料、日用品などの救援物資が全国から送られ、各避難所へも豊富な物資の搬送が行われた。強制持込み的な場合もあり、体育館や行動の壇上や脇に積まれるが、まとめる人がいないとさばききれない事態もみられた。**図 9** は 11 月 23 日の長岡大手高校における救援物資のストック状況であり、整理がうまく行われている状況であり、避難者への供給も自律的かつ効率的に行えるような工夫がみられた。

(4) 間仕切りの活用

阪神淡路大震災などでは、プライバシー保護を目的とした、避難者の生活空間を守るための仕切りとして段ボール製のパーティションが活用された。今回の調査では、パーティションを使っていた避難所は非常に少なく、12 箇所中 2 箇所しかなかった。使っていた避難所は、どれも避難者のもともとの居住地域が多くの異なる地域からに分かれている避難所だった。**図 10** は、小千谷市総合体育館メインアリーナで導入されたパーティションの活用状況である。すなわち、避難者のコミュニティー意識が強いと不使用であったといえよう。他の使い方として、更衣室や子供の遊び空間としてパーティションを用いた避難所が多かった。若者の場合にはプライバシーを気にするということも考えられる。

4.3 聞取り結果と管理・運営関連の論点

12 箇所の避難所において、その管理・運営担当者に聞取り調査を行った結果について、その避難所、聞取り対象者の特徴と避難者の心身・行動状態、住環境状態に関する要点を**表 4** に示した。

(1) 健康管理・保健について

医師や看護士が常駐の所と巡回の所があるが、毎日受診・相談は可能である。毎日体操指導が行われるところもある。入浴は時間制限有るものの隣接の自衛隊の仮設風呂を利用できた。

(2) 弱者にとっての現実

避難所環境・支援が向上したとはいえ、高齢者、持病保有者、寝たきり療養者、幼児を抱えた母親などの弱者には厳しい現実がある。

(3) 現場における管理の要の重要性

避難所の管理・運営体制として、本部、受付等の設置、あるいは役所の職員の存在が現場の臨機応変な統括には重要である。

(4) 管理・運営担当者の短期交代の問題

役所の職員や保健医、ボランティアの人も短い期間で交代してしまうため、細かいところや深い部分に携わる前に、期間が終わってしまう。

(5) 避難民と管理・運営者との関係の時間変化



図 9　救援物資の整理状況（長岡市大手高校）



図 10　後期に導入されたパーティション（小千谷総合体育館メインアリーナ）

表 4　調査の避難所、聞取り対象者の特徴と避難者の心身・行動状態、住環境状態に関する要点

	避難場所	避難者地域	避難者数	回答者役職	回答者勤務形態	現在の体調やストレス	人的トラブル	住環境:暖房や間仕切
長岡市	新産体育館	大田地区	156	市役所,地区代表,保健医	5人で日交代	風邪・不眠減少、帰宅願望、余震怖い、失った物	ほとんどない	ストーブ＆エアコン、間仕切風除け
	長岡明徳高校	山古志村	281	村役場職員、保健医	交代制(人数はその時によって)	風邪、胃腸障害、子供恐怖後遺、仮設転居不安	行政と現場本部との食い違いもどかしい	暖房器具、換気留意、間仕切なし
	長岡農業高校	長岡市宮内、大田地区	215	市職員	日替わり、交代制	風邪、環境変化による体調悪化、自宅生活願望	地域コミュニティ強く他人が入りにくい	ストーブ、洗濯・乾燥機不足,布団カビ、洗濯干場無
	長岡工業高校	山古志村	131	ボランティア、区長	交代制(市の人や役場の人はいない)	風邪、心のケア、仮設転居不安、将来不安	特になし	一通りの暖房器具
	大手高校	山古志村	360	村役場職員、保健医	交代制(8:00～20:00)	暖房器具で喉痛、周りのうるささ	些細なことで口喧嘩	ストーブ、パーティションを風除け
	栖吉小学校	栖吉	120	市役所	交代制(8:00～20:00)、常時2名	(分からない)	(分からない)	大型電気ストーブ(騒音)間仕切は保健医使用
	長岡栖風セミナー(長岡高校)	山古志村	164	村役場職員	交代制(人数はその時によって)	風邪、疲労、無余裕、仮設転居不安、若者流出	特に無い(避難者の我慢)	ストーブのみ(かなり寒い、今後風邪が心配)
	高齢者センターけさじろ	山古志村	154	ボランティア	4人で交代制、他に施設の管理者と役人	(分からない)	(分からない)	エアコン＆ストーブ、間仕切で地域区分も、2ホール＆と寝たきり用室
小千谷市	総合体育館メインアリーナ	小千谷市(桜町、他)	450	市社会体育課	3交代制(24時間)、他に北海道連合8名	少し落ちついてきた、家に帰れない不安	誰が入るか分からない、支援物資の盗難	大ホールと9室、ストーブ＆全室エアコン、間仕切り自主使用、玄関で靴脱ぐ
	サンラックおぢや	小千谷市	214	ボランティアセンター	交代制(人数は朝のボランティアの募集による)	風邪(嘔吐・下痢)、体調不良、疲労	ボランティア間での上下関係	部屋分散(主2階)、エアコン＆ストーブ、換気留意
	小千谷高校	小千谷市(塩谷、旭)	271	ボランティア(看護士免許)	交代制(人数は朝のボランティアの募集による)	風邪(子供も)、仮設への不安	ボランティア行為がありがた迷惑のことも	ストーブ(寒い)、埃、体育館内テントの下を洗濯物干場、地区間多少間仕切
	東小千谷小学校	小千谷市	171	ボランティア	交代制(人数は朝のボランティアの募集による)	風邪、不眠、疲労、無気力、仮設転居不安	特になし	ストーブ(寒い)、埃、体育館内テントの下を洗濯物干場、地区間多少間仕切

避難民とボランティア、役所の職員の関係について、当初は蜜であったが、落ち着いてからは、あまり深く関わらずにサービスがなされたようである。なるべく避難者に自律化してもらいたいことと、後から着任するボランティアや役所の職員が入りにくいことが原因と考えられる。

(6) ボランティアの活用状況

ボランティアは、主にボランティアセンターから送込まれるが、適材適所の効率的配置が行えず、現場での振り分けも状況変化への対応が難しい場合があった。

(7) ボランティアのブランド志向

ボランティアの人の間で、避難所のブランド化が見られた。テレビなどで取り上げられる避難所に、人気が偏る傾向がみられた。

4.4　食事の配給サービス行動の分析

食事の配給サービスを対象に、その配給方式と避難所内の諸条件の組合せと、食事の量の過多／過少、食事の温度や食事時間の制約などのサービス結果の諸状態との関連性を分析した。

具体的には、分析のための要因を**表 5** に示した質的な項目への該当の当否でとらえることとし、12 箇所の避難所について各項目への{0,1}の反応行列を形成し、配給結果を外的基準とする数量化理論２類による分析を行った。

表 5　食事の配給方式と結果の関連分析の要因

項目分類	設 定 項 目
「配給パターン」	避難者が取りに行く
	高齢者にだけ運んで配る
	避難者が盛り付ける
	量の選択が可能
「避難所内の条件」	避難者が配給者を務める
	ボランティアの配給者がいる
	避難者の人数（200 名以上）
	高齢者が多い
	コミュニティーができている
	室温が暖かい
	配給の種類（０：炊出し，１：弁当）
「配給結果」	量が多い
	量が少ない
	食事の温度が適切
	食事時間の制約

①「食事温度が温かいかどうか」の判別

カテゴリスコア（正は「温かい」に寄与）を**図 11** に示した。ボランティアによるのでなく、避難者自身が盛り付け、高齢者は多くなく、高齢者に

だけは運んで配り、量の選択ができると、「食事が温かい」と分析された。避難者が盛付けると温かさに配慮して行え、動作の遅い高齢者には運んで配るとよい。もちろん弁当ではなく炊出しは、食事の温かさに寄与する。

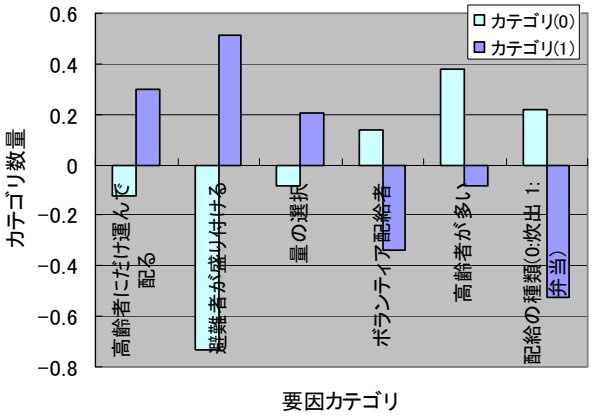


図 11 食事温度の判別に関わるカテゴリスコア

②「食事の量が少ないかどうか」の判別

避難者でなく管理・運営者が節約のため「盛付け」、ボランティアでなく、避難者自身が高齢者、女性などへ配慮した「配給」することが寄与する。もちろん避難所人数が多いと量が少なくなる。

③「食事時間の制約をもたらすかどうか」の判別

避難者以外による「盛付け」と避難者による「配給」であるが、さらにコミュニティができていないことも寄与する。すなわち効率の悪い作業と、避難者自身の時間消費が原因であろう。

4.5 まとめ

中越大震災における長期化した避難所の管理・運営の実態を観察、聞取りにより調べ、論点を探るとともに、避難生活を支える基本的なサービスの１つである食事の配給について、詳細な分析を行った。

その結果、食料配給サービスについては、盛付、運搬などのサービスを誰が行うのかが、サービス結果を大きく左右することなどがわかった。このような分析を積み上げることによって、ある避難所について、その空間規模・構造、装備された施設・設備、入居している避難者の人数、年齢、性別、心身状態、人間関係などに、天候や気候の条件を加味して、適正な配給提供システム・方式を検討することも可能となろう。

長期的に安定化した避難所の管理・運営における全般的な論点としては、評価できる点として、以下の２点を指摘したい。

①　物的、エネルギー的、情報的には一定の生活レベルを維持できる状態にあったといえる。すなわち衣・食については、全国からの救援物資と自衛隊の万全でしかも黒子のような支援体制が基盤となっている。特に食と入浴については、温かい食事と心と体を癒す“近くの浴場”は評価が高かった。また、高度化した情報社会における情報取得・通信手段についても、新聞や携帯電話、そしてインターネット利用環境など、最低限のレベルが確保されていた。

②　人的な面でも管理・運営上様々な難しさがあったのであるが、なんとかそれらを乗り切ってこられたといえよう。この地方での大規模災害が集中的に水害、大震災と続く中で、管理・運営者は次々と未体験の問題に遭遇し、自身も被災者でありながら私を抑制して公的な活動に当たらなければならなかった。これを支えたのが、１つには、阪神地域からはもちろん全国各地からの行政、医療等の専門家集団、ボランティアの迅速で継続的な支援体制であった。また、１つには、被災者自身がそのコミュニティ意識の高さゆえに自律的に“共助”機能を発揮したことにあったといえよう。

一方、今回の経験から学ぶべき避難所の管理・運営上の問題点として以下の点を挙げておきたい。

③　物資については過剰な供給とその仕分け・分配のための対応作業負担は人的資源の活用上の大きな課題を残した。また情報環境としても、テレビの視聴について、多人数による共同生活のゆえに、持ち込み受像機の数、番組選択の制約などで、抜本的な解決ができない状況にあった。さ

らに子供達にとっては、“大人のためのしくみ”に拘束され、“ゲーム”に興じることも出来なかった。

④　居住空間・環境の観点での生活レベルについては、“ゆとりあるスペース”の確保が、根本的に難しいといわざるを得ない。現状では、避難所空間は、学校や体育館、公民館などの転用に頼らざるをえず、避難所対応の設備・機能を本源的に埋め込んでおくことが望まれるが、そうたやすいことではない。ただし、今回注目されたのが自家用車を短期的にはある程度のプライバシーが確保できる避難のための住空間とすることである。車は一定のエネルギー源を貯蔵しており、発電が可能であり、情報取得・通信を可能とする機器を搭載している。ただし、今回の経験として、“エコノミー症候群”の発生の危険を含んでいることを銘記し、対策を講じることである。このように地方都市や田園、中山間地であれば、避難所としての車の有効活用はより深く探求されてよいであろう。

さらに、公共機関そして民間企業を含めて、小規模であっても安全性が確保できる施設があれば、“共助”の一貫として緊急時には柔軟な活用を図ることである。こうした分散型の避難態勢のための自律的管理・運営方法の確立、物資・エネルギー・情報・人材に関するバックアップシステムを構築することも研究されてもよいであろう。

5. おわりに

社会は阪神淡路大震災に多くのことを学び [2)-10)]、救援物資の迅速な供給、自衛隊の素早い対応、ボランティアの動員、安否情報の確認性向上などで、確実に進歩した [12)]。しかし、活発な余震活動、山村を含む地方都市、被災者の高年齢傾向、強いコミュニティ意識などで異なる要件を示し、阪神での経験がそのまま活かせない部分もあった。

しかしながら、この新たなタイプの大震災の社会的経験は、着実に社会の“経験知”を蓄積し、高めることをもたらすことになろう。より進化させるべき方策もあり、この体験の一層の検討と教訓の導出が必要であり、それらを多くの地域に発信し、後世に確実に引き継いでいくことが重要であろう。

なお、本報告には、平成 15 年度の修士論文 [13)] による知見、及び課題研究平成 16 年度の課題研究 [14)] として実施され、平成 17 年度 8 月に第 33 回行動計量学会 [15)] で発表された内容を含んでいることをお断りしておきたい。

［参考文献］

1) 地震被害関連の情報，新潟県ホーム,新潟県中越大震災に関する情報，http://saigai.pref.niigata.jp/content/jishin/higai.html.

2) 神戸大学〈震災研究会〉編：阪神大震災研究２－苦闘の被災生活、神戸新聞総合出版センター、1997.

3) 柏原、上野、森田：阪神・淡路大震災における避難所の研究、大阪大学出版会、1998.

4) 産経新聞大阪本社編集局＆大阪市立大学宮野研究室、阪神大震災－はや５年まだ５年－被災者たちの復旧・復興、2000.

5) 城仁士，小花和尚子：阪神大震災による災害ストレスの諸相，実験心理学研究，第 35 巻第 2 号，pp232～241.

6) 城仁士：阪神大震災における災害ストレス，MERA 第 4 号，pp29～35，1996.6

7) 伊村則子：阪神・淡路大震災における住空間の現状と要求性能，日本女子大学大学院紀要，家政学研究科・人間生活研究科第 3 号,pp127～136，1997.

8) 宮野道雄：避難所の生活と運営，自然災害科学，J. JSNDS 特集号，pp24～30，1995.

9) 宮野道雄ほか 2 名：阪神・淡路大震災による避難生活における諸問題その１避難所および待機所，日本生理人類学会会誌，Vol.2・No.1，pp15～26，1997.

10) 阪田弘一，柏原士郎，他２名：阪神・淡路大震災における地域施設の避難所への転用実態に

関する研究－神戸市灘区・東灘区の避難所を対象として－，日本建築学会計画系論文集第 498 号，pp123～130，1997.
11）気象庁：平成 16 年新潟県中越地震に関する各種資料，2005.
12）長岡市災害対策本部(編)：中越大震災－自治体の危機管理は機能したか，ぎょうせい，2005.
13）久保幸恵：避難所における心的負担軽減のための空間環境構築に向けて，長岡技術科学大学大学院工学研究科修士課程修士論文，2003.
14）関口善之：避難所の管理・運営における配給方式の基礎的分析：中越大震災の場合，長岡技術科学大学工学部課題研究論文，2005.
15）中村和男，関口善之：避難所の運営とサービス：食事の配給活動の場合，行動計量学会第 33 回大会，2005.

仮設住宅の居住性

木村　悟隆
長岡技術科学大学　生物系

1. はじめに

中越地震の本震から間も無く，被災地の各所で仮設住宅の建設が始まった。一ヶ月から一ヶ月半で完成し，体育館に避難していた被災者が移り住むことが出来た。しかし，間も無く，深刻な天井からの滴り水や結露に悩まされることとなった。本章では，これを始めとする現在の仮設住宅の居住性，とりわけ，雪国における問題点を指摘したい。[1)]

2. 災害救助法と仮設住宅

仮設住宅（正式な名称は，応急仮設住宅）は，昭和２２年に制定された災害救助法で，その設置が定められている。

災害救助法
第２章　救　助

第 23 条　救助の種類は、次のとおりとする。

1. 収容施設（応急仮設住宅を含む。）の供与
．．．（以下略）

災害対策関係の法律については内閣府の当該ホームページを参照されたい。
http://www.bousai.go.jp/jishin/law/index.html

仕様については，県は要望を出せるが，予算を管轄する厚生労働省がその決定を行った。平時より，プレハブメーカーで構成されたプレハブ建築協会と各県が協定を結んでおり，災害が起きると直ちにプレハブ住宅の部材の生産，設置が出来る体制が出来ている。[2)]

設置された仮設住宅の管理は新潟県が行っている。市町村は県から委託されて管理の窓口となり，住民からの苦情の受付等を行っている。住民からの苦情は，市町村から県に連絡され，新潟市内に設けられたプレハブ建築協会の管理センターが受け，更に各メーカーに連絡される。

３．建設戸数と現在までの推移

仮設住宅の建設は，震災直後から始まった。約一ヶ月後の 2004 年１１月下旬には一部の仮設住宅で入居が始まり，１２月半ばまでに，全ての被災者が避難所から仮設住宅に移った。

設置戸数の各市町村別の内訳と，震災直後から 2006 年２月までの居住世帯数の推移をそれぞれ**表１，図１**に示す。[3)]

表１　仮設住宅の設置戸数

市町村名	戸数
長岡市	８４０
山古志村	６３２
見附市	１０３
栃尾市	１０５
小千谷市	８７０
越路町	１１４
川口町	４１２
旧広神村	３０
十日町市	１３８
川西町	１５
柏崎市	４４
小国町	１１８
刈羽村	３９
計	３４６０

（市町村名は建設当時のもの）

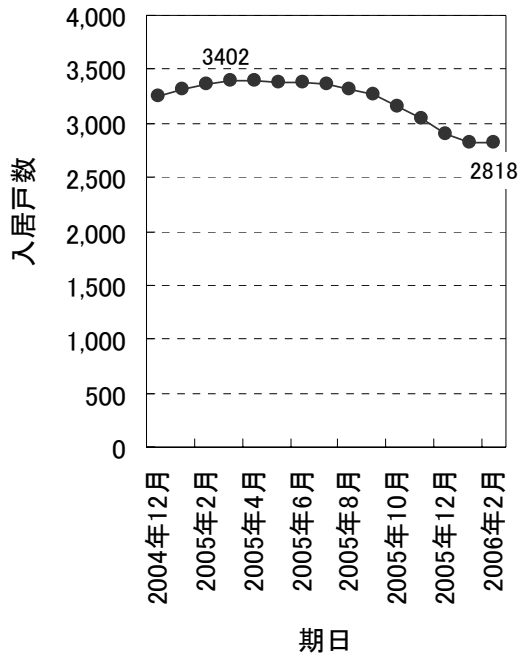


図1　仮設住宅の入居戸数の推移

震災１年４ヶ月で，退去戸数は，全戸数の２割程度に過ぎない。家の建て替えに伴う一時的な入居を認めていることや，子供や親戚を頼って県外に避難した被災者が戻ってきて仮設に入るという事例もあり，震災直後に入居した被災者が今もこの数，そのまま入居しているとは一概に言えない。しかしながら，自力での住宅復旧がなかなか進まないことを示していることは確かである。

４．折板型とユニット型　ー二種類の仮設住宅

中越地震の仮設住宅では，組み立て型（**写真１**）とユニット型（**写真２**）の大きく分けて２種類の仮設住宅が建てられている。前者が１５社（3076戸），後者が２社（小千谷 313 戸，越路町 71 戸の計 384 戸。これ以外の小千谷，越路町の仮設住宅は組み立て型）の計１７社の住宅が使われた。それぞれのタイプでもメーカーや，また同じメーカーでも幾つか細かい仕様が異なる。後述する滴り水については，殆どのメーカーで見られたが，全く起きていないものもあった。



写真１　組み立て型の仮設住宅



写真２　ユニット型の仮設住宅

５．寒冷地仕様―阪神淡路大震災の仮設住宅との違い

中越地震の仮設住宅は，「寒冷地仕様」と言われているが，仮設住宅の概略図に書かれているのは以下の通りである。

１）耐雪２．０ｍという表示をする

２）天井裏の断熱材を１００ｍｍにする

北海道の奥尻島大津波や有珠山噴火の仮設住宅では，外壁が２重壁になっていたが，中越地震の仮設住宅の外壁は通常の１枚壁である。また，ガラス窓はペアガラスでは無い。

エアコンは阪神淡路大震災の仮設住宅では当初設置されず，住民は暑さに苦しんだ。中越地震の仮設では，標準仕様となっている。ただし，一世帯につき１つだけであり，住民が独自に増設する場合も見られた（住民による増設は認められている）。また，阪神淡路大震災の仮設と異なり，洗濯機の設置スペースも今回は室内に設置されている。

６．天井からの滴り水

6-1.　１年目の冬の状況

避難所から仮設住宅に移って間も無く１年目の冬。漸く仮住まいながら，家に入れたと思ったのも束の間，天井からの滴り水で住民は悩まされた。「布団が一晩でびしょ濡れになる」，「電気がショートした」，「煙が出た。火を噴いた」という話を多数聞いた。滴り水を受けようとする住民の涙ぐましい工夫の一例を**写真３，４**に示す。



写真３　天井からの滴り水を袋で受ける



写真４　雨樋で滴り水を受ける
（水害の仮設。地震の仮設と同様の不具合があった）

また，**写真５～７**から，電気配線の穴等から水が落ちてきて，漏電寸前の状況になっていたのが分かる。



写真５　蛍光灯の天井ソケットから落ちる水をペットボトルで受ける



写真６　天井の繋ぎ目から滴る水。蛍光灯のソケットも濡らしている



写真７　配電盤を伝わる水

こうしたお宅では，天井板をずらして，断熱材を触るとびしょ濡れであった。また，**写真８**の様に，折板の裏側に水がびっしり付いていた。

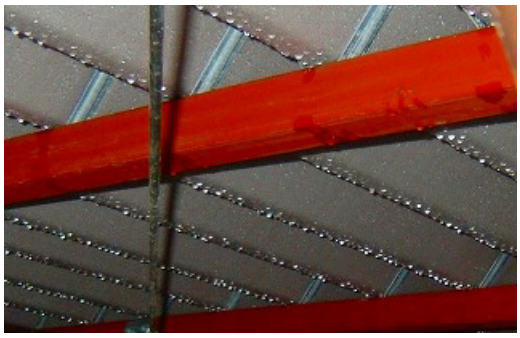






写真８．屋根裏の様子。折板に水がびっしり付いている（上）。その水が断熱材や天井板を濡らす（中，下）

断熱材が濡れることにより，断熱効果が無くなるばかりか天井を冷やし，天井板に結露を発生させていた場合もあった。

このような滴り水が発生した理由としては次の３つが考えられる。

１） 室内の暖気が屋根裏で結露

２） 軒からの漏水

３） 折板の重ね目からの漏水

である。

室内の暖気が屋根裏で結露　室内の暖かい空気は，天井板の合わせ目等の隙間を通って，屋根裏に入り込む。含まれている水蒸気が飽和して，折板で結露する（**図２**）。折板が雪で冷やされて，結露し易くなったと思われる。

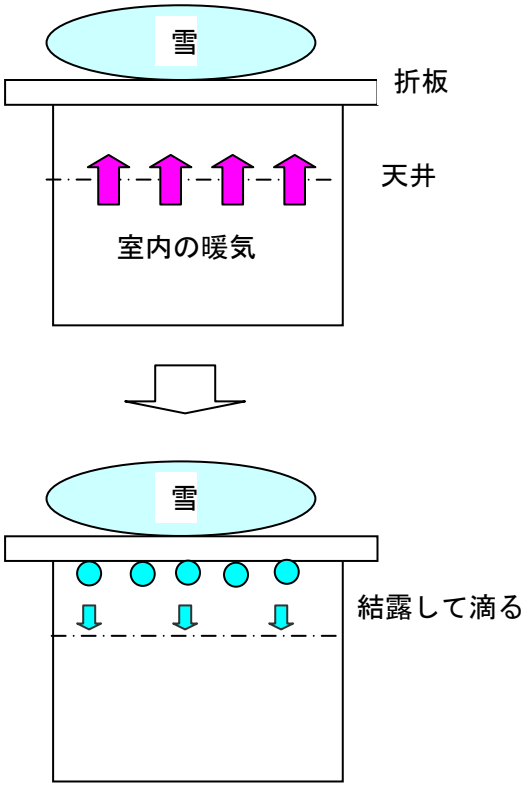


図２．天井裏での結露のメカニズム

軒からの漏水　折板にはごく僅か傾斜がついていて，軒先から雨水，雪解け水が落ちる様になっている。しかし，雪が積もるとその重みで折板が変形し，軒先から水が回り込んで屋根裏に入り込む。また，屋根に積もった雪により，水の流れが堰き止められて溜まり，勾配の上の方から回りこむ（**図３**）。

折板の合わせ目からの漏水　折板を谷間で重ねていないため，雪で堰き止められた雪解け水が折板の合わせ目の高さに達すると，そこから屋根裏に漏水する（**写真９**）。

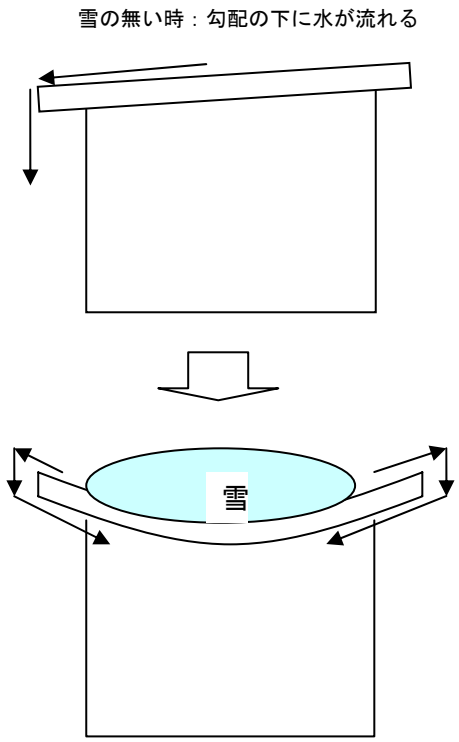


図３　軒からの水の回り込み

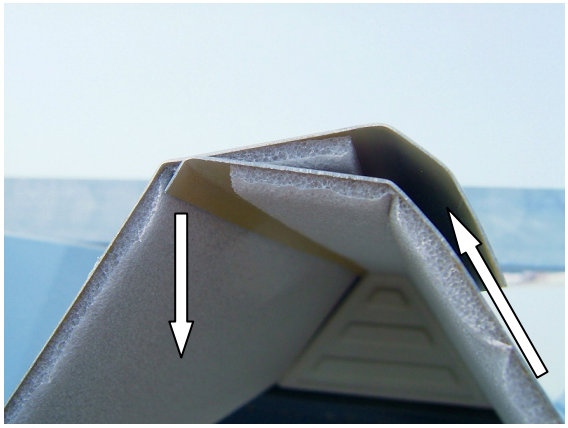


写真９　折板の合わせ目からの漏水

6-2. 滴り水対策の工事

これらの問題に対して，新潟県とプレハブ建築協会により，翌年 2005 年１月末から２月に掛けて，天井裏に換気口が取り付けられた（**写真 10**）。しかし，滴り水は減少しなかった。また，室内が寒くなったと聞いている。

雪解け後の５月～７月にかけて，更に天井裏の換気を行うため，電動の換気扇が屋根裏に取り付けられた（**写真 11**）。また，室内の暖気が屋根裏に入るのを防ぐために，テープで目張りがされた（**写真 12**）。更に，軒からの漏水を防ぐために，軒にコーキングや水切りが追加された（**写真 13**）。２年目の冬（2005 年末～2006 年）では，滴り水は殆ど見られなかったことから，こうした対策が効果を上げたと思われる。ただし，換気扇は２４時間回っているため，夜，音がうるさいという苦情が出た。また，室内が寒い，天井が結露するといった新たな問題が見られた。

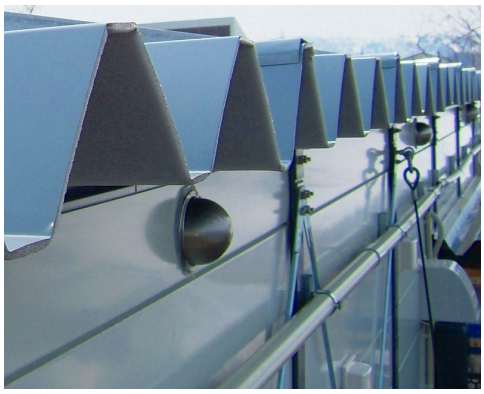


写真 10　2005 年１月末～２月に設置された換気口



写真 11　2005 年６月頃に設置された屋根裏換気扇

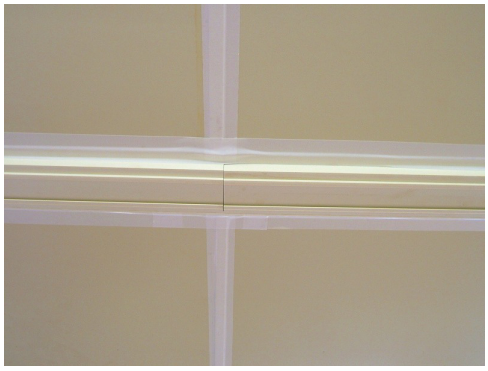


写真 12　天井の合わせ目にテープ



写真 13 コーキングされた軒

7．結露や夏の暑さ

仮設住宅の柱は鉄で出来ており，柱の一面は戸外に晒され，反対の一面は室外に露出し，熱橋となっている。そのため，冬は激しく結露し，夏は逆に４０℃を越える高温になった（**写真 14**）。



写真 14 むき出しの鉄柱

１メーカーだけは，柱にプラスチックカバーがされており，結露や熱さを軽減していた（**写真 15**）。梱包用のプチプチシートや発泡スチロールを貼ることによっても同様な断熱効果を得ることは出来るが，住民自ら行ったのは非常に少なかった。



写真 15　プラスチックカバーされた柱

また，壁の結露も酷かった。特に壁パネルは断熱材の周りを鉄板で巻いた構造であり，それを積み重ねるため，そのかさね合わせの部分が熱橋となり結露した。あるメーカーでは，そのかさね合わせの部分の厚みが薄くなり，かつ凹んでいるため，激しい結露になった。結露水が押入れや床を濡らし，カビを発生させたり，物が置けなくなっていた（**写真 16**）。



写真 16　組み立て型の壁の結露

夏の暑さ対策のため，筆者ら被災地仮設住宅居住改善ネットワークは，へちま等のつるものの苗の配布を試験的に行った。室内の温度低下を測定はしていないが，少なくとも無機質な仮設住宅を緑化することで，精神的な安らぎが得られたものと考えている（**写真 17**）。



写真 17　つるものによる緑化

長岡ニュータウンの陽光台の仮設では，砂利を剥がして畑を作ったり，つるものを這わせていた（**写真 18**）。今までの災害の仮設住宅では見られなかった光景である。住民の顔も明るくなっていた。中山間地の災害にあっては，仮設住宅の周りに農

作業できる環境を提供することが，住民の心身の健康を維持し，希望を抱かせる上でも重要であろう。



写真 18　夏の陽光台仮設住宅（旧山古志村民）

８．ユニット型仮設住宅の結露

ユニット型仮設住宅は２社が供給している。そのうち一社のものでは，激しい結露が見られた。天井の部材の一部に水玉状の結露が発生した（**写真 19 上**）。また，窓枠を固定する鉄のフレームが結露して，ここかた落ちた水が畳を濡らし，カビを発生させた（**写真 19 下**）。これらの部材は，熱橋になっていると思われる。



写真 19　ユニット型仮設住宅の結露。天井（上），窓枠（下）

また，壁や，特に柱状に室内にせり出した部分で結露した。角部屋で壁が雪で覆われた時の結露は特に酷かった。畳におにぎり大の白カビを発生させたお宅もある。健康被害が心配された。



写真 20 ユニット型仮設で発生したカビ

この様に，冬は激しく結露したが，夏は非常に暑くなり，体調を崩す人が多かったという。また，余りの暑さにエアコンを増設した方も居たが，エアコンを取り付けようと業者が壁に穴をあけたところ，壁から水がどっと流れ出したという。冬の結露水が壁の断熱材の中に溜まっていたと思われる。断熱性の低下が懸念される。

一方，もう一社のユニット型仮設住宅では，結露は殆ど報告されていない。室内は木で覆われており，内装も一般住宅に近い感じで落ち着きがある。同じユニット型といいながら，二社で居住性に著しい差があった。（**写真 21・22**）



写真 21 もう一社のユニット型仮設住宅



写真 22 もう一社のユニット型仮設住宅（続き）

９．雪の重みの影響

被災地は豪雪地帯である。耐雪２ｍとされていたが，中越の雪は重いため，１ｍ程度で戸が開きにくくなった。２ｍ近くまで放置したところ，建物全体がくの字に歪んだり，ひし形に傾いたところがあった。耐雪設計が不十分であったといえる。また，２年目からすき間風が入るようになったという声も聞く。これも，積雪の重みで生じた可能性がある。建物の不同沈下も生じており，２年目の今年 2006 年４月に沈下量の測量が全ての仮設で行われている。



写真 23 雪下ろし直前の仮設住宅

１０．排水不良

１年目の春，雪解けの時期になると，雪解け水が敷地に溜まり，中には池の様になったところがあった（**写真 24**）。

仮設住宅の敷地には，メッシュ状に針金を織り上げ，側面から水を吸い込むタイプの排水管が敷設されていた（**写真 25**）。しかし，仮設住宅の多くが，粘土質の軟らかい土の上に建てられていたため，そのメッシュが目詰まりしていた。また，建物を建ててから，その周りに砂利を敷き，その砂利の中に排水管を敷設したため，排水管の高さは敷地より高くなり，排水の役に立たなかった。住民は，「水上住宅の様だ」と不安がった。

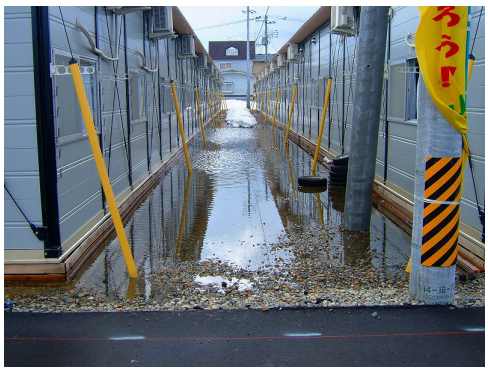


写真 24　排水されずに溜まった水



写真 25 埋設されていた排水管

これらの排水不良は，１年目の３～５月にかけてＵ字溝の埋設や排水管を深く埋めなおすことで解決された。しかし，その後のメインテナンスが不十分なため，土砂で埋まったり，ゴミが詰まったりして排水能が低下しているところも見られた。



写真 26 追加されたＵ字溝

１１．木質系仮設住宅

プレハブ建築協会加盟のメーカー以外に，中越地震の仮設住宅では，地元の一社が木質系仮設住宅を建てている。柏崎の北条と東条に合わせて 17 戸である。柱は木で出来ており，内装も木や石膏ボード等が使われていて結露しない。滴り水もなかったという。屋根も傾斜がついており，室内の暖気が天井裏に漏れても，外に排気される。住民の方は，「地震前まで住んでいた住宅よりも暖かい」と言っていた。断熱性に優れていることが分かる。







写真 27 柏崎市東条，北条の木質系仮設住宅

今後は，こうした木質系仮設が仮設住宅の中心になるべきである。中山間地で作りストックする様にすれば，中山間地の林業，産業の振興に繋がる。また，何度も使った後，最後に海外の被災地に輸出すれば，住宅として活用し，最後はその部材を住宅再健や燃料として無駄なく利用されるであろう。

１２．仮設からの退去と復興公営住宅

地震から２年目，2006 年３月には，長岡市上除町（３階建て１棟（42 戸））と小千谷市木津（４階建て１棟（32 戸）），長岡市小国（長屋式平屋建て３棟（６戸））が先行して完成した。前２者はエレベーターも備えている。秋までには更に，長岡市は長倉と千歳に，小千谷市は千谷と千谷川に，川口町は各地区に，また，旧栃尾市でも建設されると聞いている。



写真 28　長岡市上除町の罹災者公営住宅



写真 29　小千谷市木津（ひ生）の罹災者公営住宅

木津の場合は，バス停が近くに無く，歩ける距離に商店が無いのが問題であり，高齢者の居住が困難である。希望者が３月末で１０世帯と聞いている。小千谷市の場合，交通の便の良いところは

殆ど仮設住宅に使ってしまっており，やむを得ないところもあるが，立地にもう少し配慮を望みたい。上除町では，当初は被災者の元の住所と離れた川西地区のため，遠い等の理由で入居者数が伸びなかったが，３月末では３５世帯の希望がある。交通の便は問題ないが，旧越路，小国，数は少ないが山古志からの移住もあり，新しいコミュニティーの形成が急務である。

小千谷，旧長岡市の仮設住宅は建設予定も含めてマンション型であり，畑は無い。長らく農業を営んできた高齢者が土と切り離されることで，体が弱ったり，痴呆になるなどの健康面の心配がある。

また，一連の復興公営住宅では，何れもペット不可である。地震前，ペット可の古いアパートに住んでいた住民が行き場を失ってしまった。民間アパートも新しいものでペット可は無い。震災後ともに助け合ってきたペットを，やむなく安楽死させて復興公営住宅に入るという話も聞いた。ペットと一緒に新しい住宅に入居したいとアンケートに直接答えたのは，中越全体で１０世帯程度と聞く。県の復興基金で対応がなされるという話も聞いたが確定では無い。行政の早急な対応が望まれる。

１３．おわりに

中越地震の仮設住宅の問題点を，主として居住性の観点から述べた。被災者は仮設住宅をその品質で選ぶことは出来ない。中越で提供された仮設住宅の建設コストは，一戸あたり４００～５００万円と言われているが，居住性が悪い。結露や滴り水を起こすのは，欠陥住宅である。

滴り水は鳥取県西部地震の仮設住宅でも見られたが，戸数が少ないために全国的な話題とはならなかった。福井豪雨の美山町の仮設住宅でも同様の滴り水があった。ただし，全てのメーカーで起きている訳ではないことに注意すべきである。豪雪地帯で仮設住宅が建てられた時にこの様なことが起きない様，メーカー間で情報を交換しつつ，仕様が改善されることを望みたい。

結露，暑さに関しては，熱橋になっている部材が多すぎる。木質系仮設住宅が最良である。従来の鉄骨系メーカーには猛省を促したい。

また，メーカーによる居住性の違いが余りに大きいのも，住宅の種類を選べない被災者には困ることである。この面での改善も望みたい。

日本海側でこれだけ大規模な仮設住宅が建てられたのは初めてであろう。今回露になった居住性の問題が解決され，次の被災地では住宅の名に値する仮設住宅が建てられることを希望する。

最後に，中越には，中越地震以前に，７・１３水害の仮設住宅も多数あることを指摘しておく。本文中で述べた改善工事は，水害の仮設には，少なくとも昨年秋までは一切行われていなかった。県の担当部署が違うとのことだが，同じメーカーであり，プレハブ建築協会の傘下である。結露，滴り水，排水不良は同じ様に起きている。入居期限は近づいているが，それだけに早急な改善を望まれる。

文献等

１）　更に詳細な調査の状況と行政の対応に関しては，下記を参照。五十嵐純一，“過酷な住環境を改善しない行政とプレハブ協会”, 建築ジャーナル，1098，64（2006）。木村　悟隆，“中越地震被災者の住宅支援に取り組んで”，福祉のひろば，433，37（2005）。
被災地居住改善ネットワーク
http://blog.livedoor.jp/kasetsu123/

２）“災害への取り組み”，プレハブ建築協会ホームページから
http://www.purekyo.or.jp/measures/index.html。
田坂　勝芳, ライフサポート６・７月号, 20-22 (2005). (下記に公開されている。
http://www.normanet.ne.jp/~ww100006/backnumber.2005.221.life2.pdf)

３）新潟県建築住宅課のまとめによる。

地震－豪雪連続災害の経験

上村　靖司
長岡技術科学大学　機械系

１．はじめに

2004 年 10 月 23 日午後 5 時 56 分の本震とそれ以降に発生した地震群，すなわち「新潟県中越地震」は，「山村豪雪地域における積雪期直前の大規模地震」という側面を持つ．発災からちょうど 2 ヵ月後に降り始めた雪は，震度 7 を記録した地震被災地を狙い撃ちするように 19 年ぶりの豪雪をもたらし，発災直後から懸念されていた「地震と豪雪の複合災害」が現実のものとなった．

本報ではまず未曾有の規模の地震の直後から懸念されていた雪害を軽減するために雪氷研究者が何を考え，社会に向けて何を発信したのかを振り返る．次に，震災に引き続いて記録的豪雪に連続して見舞われた被災地において何が起こっていたかを整理し，最後にこの経験を通じて学んだこと，顕在化した課題を整理する．

２．中越地震後の雪害の懸念

2.1　懸念

災害の力としては，他の災害に比して小さい「雪害」は，昭和 30 年代以降の急速な防雪対策の発展・整備により，相当水準まで克服されていた．そのためか，「雪害は災害ではない」とか，「雪害では人は死なない」などと，軽く扱われることも少なくなかった．

2004 年 10 月 23 日午後 5 時 56 分，中越地震発生．震度 7 はあらゆる社会基盤を破壊した．当然冬に対する備えも同様に大きな被害を受けた．甚大な被害を受けた小千谷市，旧山古志村，川口町を中心とする地域は，平年値でも積雪が 2m を越える日本有数の豪雪地である．著者らは，地震被災地の惨状を目の当たりにし，早ければ 1 ヶ月後に降り始める雪への恐怖と残された時間への焦燥感を強く感じていた．

「揺さぶられて傾いた住宅に 1m を超える積雪が積もったらどうなるのか」，「陥没やマンホールの隆起で凸凹になった道路に除雪車は入れない」，「消雪パイプが壊れていれば，車の通行はおろか人が歩くことも容易ではない」，「避難困難者の住む家が冬に倒壊したらまず雪を掘らないと救助できないし，救急車も消防車も近づくことすらできない」，「中山間地を縫うように走る過疎集落を結ぶ道は復旧が後回し．加えて植生が剥ぎ取られた斜面では雪崩がおきやすく，道がふさがれれば集落は孤立する」．いくらでも悪いシナリオが浮かぶ．冬だけではない．「雪解けの季節には，山に雪として貯えられている水が，崩れた斜面を流れれば，新たな地滑り，土石流，河川の氾濫さえ起きかねない」．



写真１　地震で倒壊した農舎（上段）と冬の様子（下段）



写真 2　地震で段差のできた道路．生活道路であり復旧の優先順位は低い．仮復旧しても凸凹があれば除雪は困難になる．



写真 3　地震によって傾いた家屋．平年積雪が 2m の地域．積雪荷重によって倒壊する危険性が高い．万一倒れれば隣家へ寄りかかり二次災害を引き起こす．



写真 4　陥没道路と壊滅的ダメージを受けた消雪パイプ．仮にポンプ施設，散水部が健全でも，道路に亀裂があったり勾配が狂っていれば消雪パイプは機能しない．



写真 5　集落をつなぐ県道の部分崩落．代替道路のない地域は除雪車が入れなければ孤立する．



写真 6　植生の落ちた斜面で雪崩の発生危険度が増大

とにかく，近代技術が封じ込めていたはずの雪害が全て顔を出す．雪害自体が多種多様であるのに，間もなく迎える冬の被害想定をしようにも，地震のせいで初期条件が全て狂っている．地震後の冬にいったい何が起きるのか．

2.2　警鐘

11 月 2 日，日本雪氷学会と日本雪工学会の有志が集まり「新潟県中越地震・雪氷災害調査検討委員会」が発足した[1)2)3)]．委員会の目的は，来るべき冬に間違いなく起きるであろう「地震と豪雪の複合災害」の軽減である．雪害の多様性から，道

路，建築，雪崩，融雪災害，生活関連の 5 つのワーキンググループ(WG)に分かれ，被災地を実際に見て，そこに冬の雪の風景を重ね合わせ，起こりうる雪害のシナリオを思い描いた．

11 月 14 日，12 項目の警鐘に，冬までに間に合う具体的対策を添えた，「中越地震後の雪氷災害の軽減のために（速報）」を社会に向けて公表した（**表 1**）．各項目の具体的な内容については，別稿 [4]に譲ることにする．

表 1　「中越地震後の雪氷災害の軽減のために（速報）」抜粋

- **今冬は通行不能になったり、除雪が行き届かなくなる可能性があります。**
- **除雪力の絶対的な不足が懸念されます。**
- **冬期道路交通を確保するための空間が大幅に不足する可能性があります。**
- **冬期には新たな道路の災害・障害・事故が発生する可能性があります**
- **屋根雪の重さによる倒壊の危険があります**
- **地震前に比べて雪崩の発生危険度は増大しています**
- **融雪は大雨と同じです。最大で1日 100mmにも達します。**
- **地域コミュニティによる自主防災（助け合い・励ましあい）が重要です。**
- **日常の移動、緊急時の移動が不便になります。**
- **資機材や自動車の置き場がありません。**
- **除雪作業を行う場合は例年以上に安全確保に留意してください。**
- **雪国の冬だからこそ必要となる災害ボランティア**

2.3　変化

当初我々が抱いていた豪雪災害に対する恐怖感と残された時間に対する焦燥感は，震災から 1 ヶ月余を経て緩和されつつあった．その最大の理由は復旧の速度である．多くの主要幹線道路は，”通れる応急復旧”から”除雪できる本格復旧”に入っていた．山古志村の土砂崩れダムでは，春先の雪解け水でもあふれない排水路が年末に完成した．住宅は個人資産であり，当初遅々として進まなかったが，撤去を決めるとその作業は予想以上に早く，二次災害の危険性は軽減されつつあった．

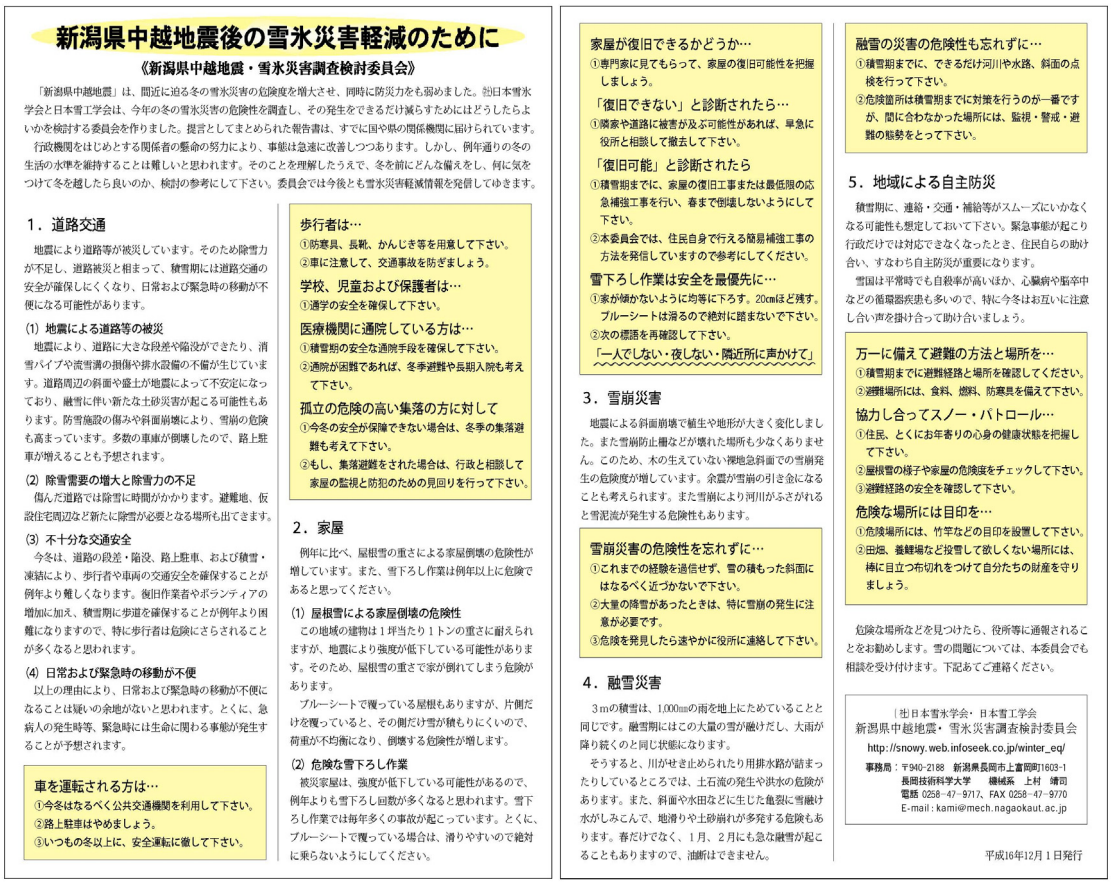
国の住宅再建や応急修理の支援制度が住民には難しすぎること，行政職員にとっても統一的対応が難しかったこと，手続きに手間がかかりすぎること，被災者の数が多いこと，制度の適用が決まっても大工の人手が不足していること，などの理由が重なり，冬前に応急復旧や補強が間に合った家は限られていた．仮設住宅が間に合ったことが，壊滅的被害をうけた住民に対して最低限の安心は与えたが，冬を損傷した住宅で過ごす決意をした住民に対して，不安を解消できる応急補強はほとんど間に合わなかった．

3．減災支援

3.1　リーフレット配布と減災支援文書の発信

短時間に激烈な災害力に見舞われ，瞬時（高々数日程度の期間）に甚大な被害をもたらす「微分型」の自然災害と比較し，雪に関わる災害（雪害）は「積分型」と呼ばれる．長期間に亘って小規模な災害が断続的に発生し，冬季を通じて合計すると，決して小さくない数の被害を生む．その内容は，除雪作業中の事故に代表されるように，「日常生活」の中で起こるものが大半である．これに「大震災後」という条件が重なった時に何が起こるか，というのは雪氷災害の研究者にとって全く未知の問題であった．そして，「冬前に」それを社会に周知することも重要な役割であった．

日常生活の中での雪害に対し，減災のために何をすべきかであるかは，長年に亘ってこの地域に住み雪と格闘してきた住民自身が一番よくわかっている．しかし，18 冬季連続で続いた暖冬傾向は住民の雪害に対する意識を低下させており，これに震災の物理的影響そして精神的影響が重なることから，昔から言われている「当たり前のこと」をメッセージとして繰り返し伝えていかなければならないと考えた．最初に，住民向けリーフレット（**図 1**）を 45,000 部作成し，12 月初めに被災市町村に配布した．小千谷市，川口町，越路町，魚沼市では全戸配布，長岡市，栃尾市，十日町市，川西町では部分配布した．



新潟県中越地震後の雪氷災害軽減のために

《新潟県中越地震・雪氷災害調査検討委員会》

「新潟県中越地震」は、間近に迫る冬の雪氷災害の危険度を増大させ、同時に防災力をも弱めました。(社)日本雪氷学会と日本雪工学会は、今年の冬の雪氷災害の危険性を調査し、その発生をできるだけ減らすためには どうしたらよいかを検討する委員会を作りました。提言としてまとめられた報告書は、すでに国や県の関係機関に届けられています。

行政機関をはじめとする関係者の懸命の努力により、事態は急速に改善しつつあります。しかし、例年通りの冬の生活の水準を維持することは難しいと思われます。そのことを理解したうえで、冬を前にどんな備えをし、何に気をつけて冬を越したら良いのか、検討の参考にして下さい。委員会では今後とも雪氷災害軽減情報を発信してゆきます。

1．道路交通

地震により道路等が被災しています。そのため除雪力が不足し、道路被災と相まって、積雪期には道路交通の安全が確保しにくくなり、日常および緊急時の移動が不便になる可能性があります。

(1) 地震による道路等の被災

地震により、道路に大きな段差や陥没ができたり、消雪パイプや流雪溝の損傷や排水設備の不備が生じています。道路周辺の斜面や盛土が地震によって不安定になっており、融雪に伴い新たな土砂災害が起こる可能性もあります。防雪施設の傷みや斜面崩壊により、雪崩の危険も高まっています。多数の車庫が倒壊したので、路上駐車が増えることも予想されます。

(2) 除雪需要の増大と除雪力の不足

傷んだ道路では除雪に時間がかかります。避難地、仮設住宅周辺など新たに除雪が必要となる場所も出てきます。

(3) 不十分な交通安全

今冬は、道路の段差・陥没、路上駐車、および積雪・凍結により、歩行者や車両の交通安全を確保することが例年より難しくなります。復旧作業者やボランティアの増加に加え、積雪期に歩道を確保することが例年より困難になりますので、特に歩行者は危険にさらされることが多くなると思われます。

(4) 日常および緊急時の移動が不便

以上の理由により、日常および緊急時の移動が不便になることは疑いの余地がないと思われます。とくに、急病人の発生時等、緊急時には生命に関わる事態が発生することが予想されます。

車を運転される方は…
①今冬はなるべく公共交通機関を利用して下さい。
②路上駐車はやめましょう。
③いつもの冬以上に、安全運転に徹して下さい。

歩行者は…
①防寒具、長靴、かんじき等を用意して下さい。
②車に注意して、交通事故を防ぎましょう。

学校、児童および保護者は…
①通学の安全を確保して下さい。

医療機関に通院している方は…
①積雪期の安全な通院手段を確保して下さい。
②通院が困難であれば、冬季避難や長期入院も考えて下さい。

孤立の危険の高い集落の方に対して
①今冬の安全が保障できない場合は、冬季の集落避難も考えて下さい。
②もし、集落避難をされた場合は、行政と相談して家屋の監視と防犯のための見回りを行って下さい。

2．家屋

例年に比べ、屋根雪の重さによる家屋倒壊の危険性が増しています。また、雪下ろし作業は例年以上に危険であると思ってください。

(1) 屋根雪による家屋倒壊の危険性

この地域の建物は１坪当たり１トンの重さに耐えられますが、地震により強度が低下している可能性があります。そのため、屋根雪の重さで家が倒れてしまう危険があります。

ブルーシートで覆っている屋根もありますが、片側だけを覆っていると、その側だけ雪が積もりにくいので、荷重が不均衡になり、倒壊する危険性が増します。

(2) 危険な雪下ろし作業

被災家屋は、強度が低下している可能性があるので、例年よりも雪下ろし回数が多くなると思われます。雪下ろし作業では毎年多くの事故が起こっています。とくに、ブルーシートで覆っている場合は、滑りやすいので絶対に乗らないようにしてください。

家屋が復旧できるかどうか…
①専門家に見てもらって、家屋の復旧可能性を把握しましょう。

「復旧できない」と診断されたら…
①隣家や道路に被害が及ぶ可能性があれば、早急に役所と相談して撤去して下さい。

「復旧可能」と診断されたら
①積雪期までに、家屋の復旧工事または最低限の応急補強工事を行い、春まで倒壊しないようにして下さい。
②本委員会では、住民自身で行える簡易補強工事の方法を発信していますので参考にしてください。

雪下ろし作業は安全を最優先に…
①家が傾かないように均等に下ろす。20cmほど残す。ブルーシートは滑るので絶対に踏まないで下さい。
②次の標語を再確認して下さい。
「一人でしない・夜しない・隣近所に声かけて」

3．雪崩災害

地震による斜面崩壊で植生や地形が大きく変化しました。また雪崩防止柵などが壊れた場所も少なくありません。このため、木の生えていない裸地急斜面での雪崩発生の危険度が増しています。余震が雪崩の引き金になることも考えられます。また雪崩により河川がふさがれると雪泥流が発生する危険性もあります。

雪崩災害の危険性を忘れずに…
①これまでの経験を過信せず、雪の積もった斜面にはなるべく近づかないで下さい。
②大量の降雪があったときは、特に雪崩の発生に注意が必要です。
③危険を発見したら速やかに役所に連絡して下さい。

4．融雪災害

３mの積雪は、1,000mmの雨を地上にためていることと同じです。融雪期にはこの大量の雪が融けだし、大雨が降り続くのと同じ状態になります。

そうすると、川がせき止められたり用排水路が詰まったりしているところでは、土石流の発生や洪水の危険があります。また、斜面や水田などに生じた亀裂に雪融け水がしみこんで、地滑りや土砂崩れが多発する危険もあります。春だけでなく、１月、２月にも急な融雪が起こることもありますので、油断はできません。

融雪の災害の危険性も忘れずに…
①積雪期までに、できるだけ河川や水路、斜面の点検を行って下さい。
②危険箇所は積雪期までに対策を行うのが一番ですが、間に合わなかった場所には、監視・警戒・避難の態勢をとって下さい。

5．地域による自主防災

積雪期に、連絡・交通・補給等がスムーズにいかなくなる可能性も想定しておいて下さい。緊急事態が起こり行政だけでは対応できなくなったとき、住民自らの助け合い、すなわち自主防災が重要になります。

雪国は平常時でも自殺率が高いほか、心臓病や脳卒中などの循環器疾患も多いので、特に今冬はお互いに注意し合い声を掛け合って助け合いましょう。

万一に備えて避難の方法と場所を…
①積雪期までに避難経路と場所を確認してください。
②避難場所には、食料、燃料、防寒具を備えて下さい。

協力し合ってスノー・パトロール…
①住民、とくにお年寄りの心身の健康状態を把握して下さい。
②屋根雪の様子や家屋の危険度をチェックして下さい。
③避難経路の安全を確認して下さい。

危険な場所には目印を…
①危険場所には、竹竿などの目印を設置して下さい。
②田畑、養鰻場など投雪して欲しくない場所には、棒に目立つ布切れをつけて自分たちの財産を守りましょう。

危険な場所などを見つけたら、役所等に通報されることをお勧めします。雪の問題については、本委員会でも相談を受け付けます。下記あてご連絡ください。

(社)日本雪氷学会・日本雪工学会
新潟県中越地震・雪氷災害調査検討委員会
http://snowy.web.infoseek.co.jp/winter_eq/
事務局：〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町1603-1
長岡技術科学大学 機械系 上村 靖司
電話 0258-47-9717、FAX 0258-47-9770
E-mail：kami@mech.nagaokaut.ac.jp

平成16年12月１日発行

図１　住民向け注意喚起のリーフレット「中越地震後の雪氷災害軽減のために」

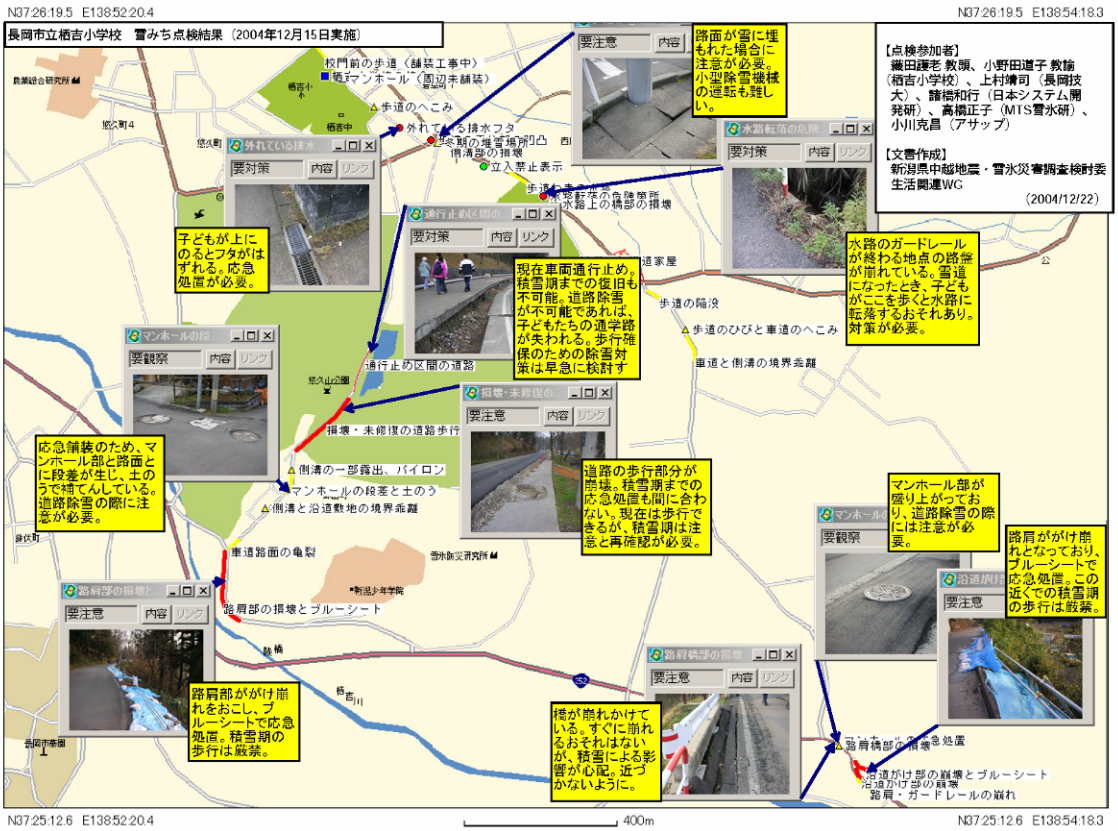


図２　雪みち点検報告書

表 2 ホームページで発信した文書(一部)

発信/改訂日	文書名
2004/11/23	除雪作業の危険性と対策
2004/11/29	冬季ボランティアのみなさまへ
2004/12/3	雪が降る前に
2004/12/6	子供たちを守るために
2004/12/25	雪みち点検報告書
2005/1/30	軒下の危険について
2005/2/5	雪の事故を防ぐために

続いて，**表 2** に示すような減災支援文書を作成し，ホームページ上で発信した（後述）．また，幼児・児童向けの冬季安全の注意喚起のポスターを作り，幼稚園・保育園・小学校等に配布した．

3.2 雪みち点検

備えが万全でない状態で冬を迎えなければならない以上，住民自身も例年以上に安全を意識しなければならない．そして，それは立場の弱い人の視点が不可欠である．歩行者の安全を考える上では，毎日徒歩で通学しなければならない子供たちを想定した．長岡市立栖吉小学校の協力を得て，12 月 15 日に 4 名の WG メンバーが参加して，通学路の安全点検（雪みち点検）を行った．

雪に覆われると隠されるとつまずいてしまうかもしれない段差，ちょうど子供の足が挟まってしまうような道路脇の割れ目，除雪車が引っかけてしまいそうなマンホールの周囲の段差等，危険箇所の点検を行い，結果を GIS（電子地図）上に写真付きで書き込み（**図 2**），それを印刷して保護者の方に配布していただいた．悠久山周回道路が陥没し通学路を失った児童がいるという点検結果に対応し，長岡市は陥没せずに残った 1 車線を歩道として除雪することを決めた．点検の様子は，新聞・テレビ各社に報道して頂き，他の被災地への啓蒙をはかった．

3.3 スノー・パトロール

2.2 で述べた警告文書の中で書いているように，被災地の冬季の自主／地域防災を担う「スノー・パトロール」の必要性を認識していた．当初は地域が自主的に実施することを前提としていたが，被災地の現状を見ると，多くの住民が仮設住宅に入居した地域は，地域そのものが”虫食い”状態となり，通常の共助態勢が維持できないことが明らかであった．川口町の和南津や田麦山地区ではボランティア組織が腰を据えて継続して支援活動を行っていたが，小千谷市の桜町や吉谷など，震災被害が大きくかつ復旧が遅れているわりには，支援も手薄であった地域があることから，長岡技術科学大学の大学院生を中心に組織化して，継続的な監視・調査活動を行うこととした．

表 3 スノー・パトロールの出動記録

	小千谷								川口		長岡		
	桜町	時水	東吉谷	西吉谷	池ヶ原	浦柄	若栃	芹久保	田麦山	小高	蓬平	栖吉	村松
1/5	●	●		●									
12							●						
13	●	●		●									
15					●	●	●	●			●	●	
18							●	●					
19					●	●			●	●	●	●	
20				●									
24					●	●							
25	●	●							●	●			
26					●	●					●	●	●
2/3			●	●									
4					●	●							
5									●	●			
6			●	●									
8	●	●											
9									●	●			
12	●	●											
13									●	●			
16					●	●					●	●	●
17			●	●					●	●			
19	●	●											
20											●	●	●
23									●	●	●	●	●
24			●	●	●	●							
26	●	●									●	●	●
28									●	●			
計	7	7	4	7	7	7	3	2	8	8	7	7	5

定常的監視は**表 3** に示す地区とし，その他随時，小千谷市小栗山，南荷頃，蘭木，塩谷，川口町和南津，木沢，峠，武道窪，荒屋などを回った．調査項目は，”人・道・家”とし，特に住民へのヒアリングに重点をおいた．1 月 5 日から 2 月末まで各班が 7～8 回の調査を行った．斜面上の亀裂，倒れそうな木・鉄塔などの地域住民の不安箇所の点検，損傷建物の傾き測定等を行った．雪下ろし

されていない建物が，次の調査の時に雪に押しつぶされているという状況も相当数目の当たりにした．



写真 7　農業資機材・家財道具を保管するために応急の補強で冬を越した住宅



写真 8　建替えを決めたが家財道具の置き場として部分的に残した住宅

農家の多い地域であり農業機械等の資機材の保管場所の不足は深刻であった．復旧をあきらめた建物でも，資機材の保管場所として応急の補強と雪下ろしによって冬を越したり（**写真 7**），建替え時に住宅の一部を残したり（**写真 8**）と，苦慮しながら対応している様子がパトロール中に見られた．

2005 年 3 月 19 日に小千谷市西吉谷で雪崩が発生し，作業場 1 棟全壊，住家 1 棟一部損壊，そして隣接する茶郷川のせき止めによって 2 棟が床上浸水した．この斜面の危険性については，住民のヒアリングから，2 月 17 日の時点でスノーパトロールメンバーが把握していた．このことは，減災のための市民情報活用の可能性を示す事例と考えている．



写真 9　融雪期に発生した雪崩（2005/3/9，小千谷市西吉谷）

3.4　ボランティア団体等との連携

除雪作業の安全確保のためには，たとえ経験者であったとしても物理的・精神的な備えが必要である．除雪経験の無いボランティアが，被災地の冬季ボランティアとして活動することを想定し，事故に遭うことのないよう注意事項を整理した「冬季ボランティアのみなさまへ」(11 月 29 日公開）を作成し，ホームページを通じ発信した．各地のボランティア団体によって参照され，内閣府主催のボランティア関係の集会の配布資料となったり，新潟県災害救援ボランティア本部発行の「がんばろう！新潟かわらばん 91 号(2 月 11 日)」に取り上げられるなど，問合せ，引合いが相次いだ．

12 月半ば過ぎに各地の災害ボランティアセンターがその役目を終えて解散するなか，地元社会福祉協議会が主体となってその後を引き継いだことから，小千谷市，十日町市のボランティア関係者との連携をはかった．兵庫，愛知，奈良など各地のボランティアグループとの交流も生まれ，部数が不足したリーフレット（前述）を兵庫ボランタリープラザが無償で 5 千部増刷してくださるなど直接的支援も受けた．

４．地震－豪雪複合災害

地震からちょうど２ヵ月後，12 月 22 日に降り始めた雪は，気象庁の長期予報，かまきりの予想[5]，被災地域住民の期待を裏切り，19 年ぶりの豪雪を被災地にもたらした．1 月 10 日前後と 1 月 31 日前後の二度，被災地を狙い打ちするように 24 時間で 1m 近い雪が降るという異常豪雪に見舞われ，最大積雪深は長岡で 153cm，魚沼市小出で 317cm を記録した（平年値の約 2 倍）[6]．

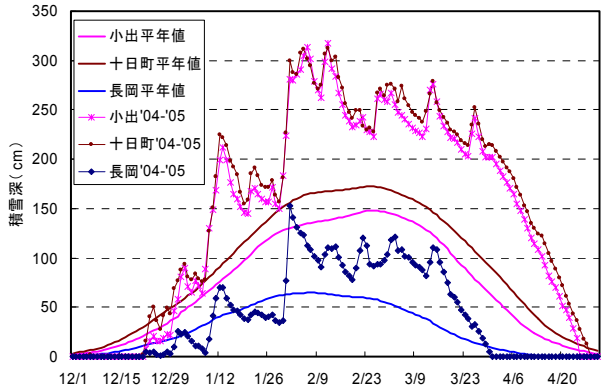


図 3　各地の積雪深さ（平年値と 2004 年度）

表 4　近年の新潟県における豪雪被害
（新潟県危機管理防災課資料に加筆）

災害の名称	人的被害			全壊住家数
	死亡	重軽傷	死亡率	
昭和52年豪雪	26	349	0.07	13
昭和56年豪雪	42	179	0.19	27
昭和59年豪雪	34	454	0.07	14
昭和60年豪雪	48	373	0.11	4
昭和61年豪雪	41	195	0.17	8
平成17年豪雪	**26**	**147**	**0.15**	**98**

表 4 に近年の新潟県における豪雪被害を示す。重軽傷者数は必ずしも記録的豪雪年と比較して著しく多いとは言い難いが、死者数は豪雪年に匹敵している。特に注目すべきは全壊住家数である。居住している建物が 100 棟近く倒壊したというのは、これまでに記録のないことであり、震災後という特異状況の影響がこの数字に現われている。

4.1　道路の除雪，消雪施設等

11 月 22 日には県道の除雪計画が発表され，消雪施設の復旧作業が本格化した．県道消雪パイプは，12 月末までに応急復旧が完了したが，市町村道では雪が降ってから復旧工事が始まったという場所も少なくない．小千谷市時水の事例のように，応急的な復旧工事は行われたものの，消雪パイプとアスファルト舗装の間の割れ目に散水が流れ込み，消雪パイプとして機能しなかった場所もある（**写真 10**）．プレキャスト式の散水ユニットに置き換える応急復旧が行われた場所で，埋め戻しのアスファルト被覆が不十分で機能不全となった場所もあった．



写真 10　消雪施設の障害：　散水が割れ目に流れ込み消雪が不十分で 1 車線しか確保されていない（2005/1/15，小千谷市時水）．

流雪溝について見ると，小千谷市の本町通で河川からの揚水が供給されず，屋根から下ろした雪の処理がおいつかなくなり，もともと狭い商店街の道路の幅員がさらに狭まり激しい渋滞を引き起こしたり，住民が雪処理に苦慮したり，ということが繰り返し報道された．小千谷市西吉谷地区や同上片貝地区など，自然河川の流水を使った流雪溝において，流路や流末が破壊され，閉塞による溢水の懸念から，行政が使用自粛を要請するケースもあった(**写真 11**)．例年よりも水量が少ない，という住民の声も何箇所かで聞かれた．小千谷市の船岡町でも同様の不便が生じていたようであり，損傷住宅の倒壊への不安から雪下ろしが頻繁に行われて例年以上に道路に雪が排出され，その雪を輸送する流雪溝が十分に機能せず，結果，次

の雪下ろしができないという悪循環を生んだ．

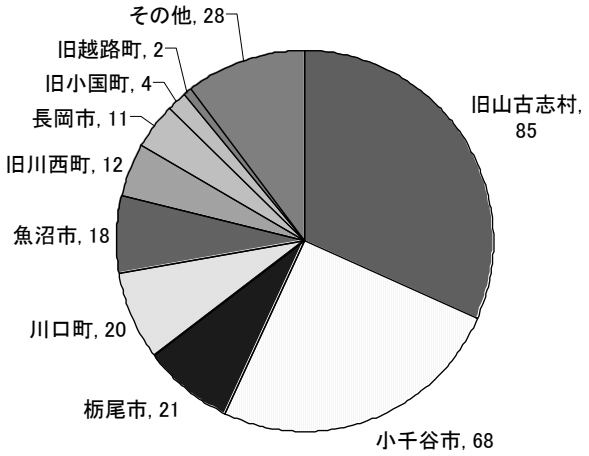


写真 11　流雪溝流末部の損傷により使用自粛の行政指導がなされた路線．両脇に屋根からおろした雪が積みあがり 1 車線しか通れなくなった（2005/2/3，小千谷市西吉谷）．

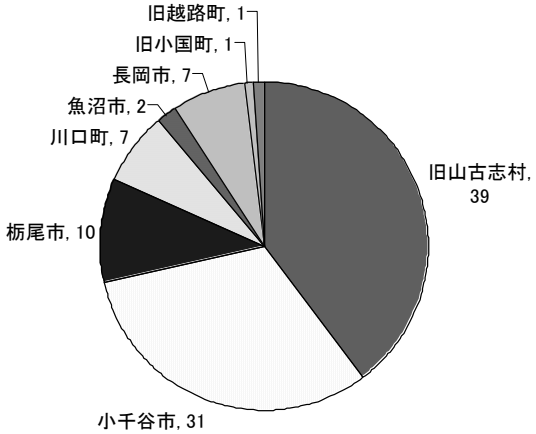
4.2　建物の被害

行政の所管する道路網の復旧に比して，遅々として進まなかったのが，住宅の復旧である．12 月初旬には，ほとんどの地域で仮設住宅が完成し，住民を，避難所，車庫，テントなどでの暮らしから解放したが，復旧不可能と判断された家屋の解体撤去，復旧可能ではあるが修理には大規模な工事が必要で，到底雪が降るまでの短い期間では間に合わなかった．家屋，屋根の補修や応急の補強など最低限の冬備えすら大工の不足で間に合わないという家屋が相当数残された．

2004 年度冬期（2004 年 12 月～2005 年 3 月）に新潟県内で発生した雪による倒壊家屋数を**図 4** に示す．図から，旧山古志村小千谷市といった，地震被災地に集中していることがわかる．また，倒壊発生日が把握できているものと不明のものに分けて集計した結果を**表 5** に示す．全村避難の続いた旧山古志村では，倒壊した 85 棟の建物全てが 6 月の調査で確認されたことから倒壊発生日については記録がない．小千谷市でも倒壊日不明建物が 36 棟あり，そのうち 33 棟が避難勧告の解除されていなかった東山地区であった．



(a) 非住家および住家（計 269 棟）



(b) 住家のみ（計 98 棟）

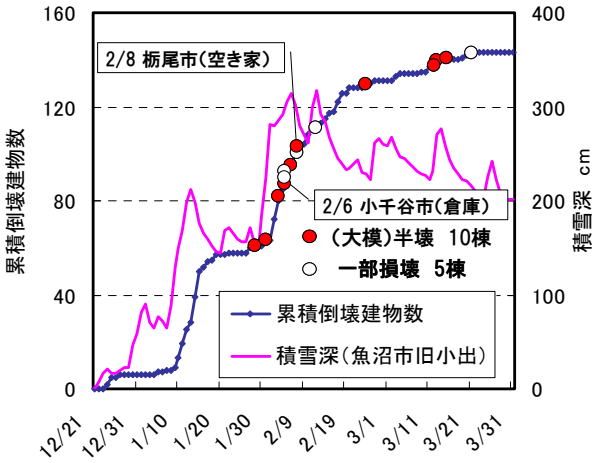
図 4　市町村別の倒壊建物発生状況

表 5　建物倒壊数（非住家含む）

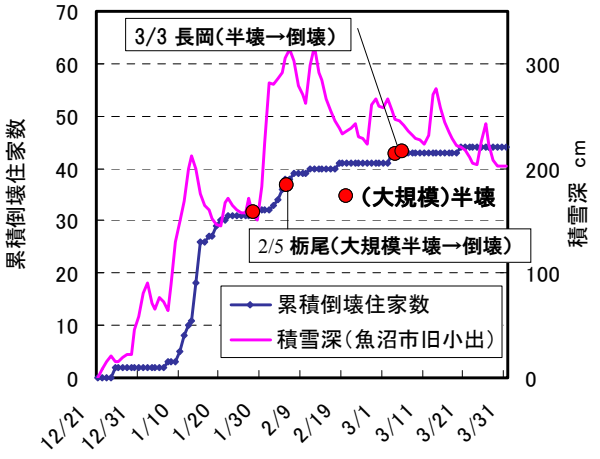
	倒壊数		計	不明率%
	発生日			
	把握	不明		
旧山古志村	0	85	85	100
小千谷市	32	36	68	54
魚沼市	15	3	18	17
川口町	18	2	20	10
その他	78	0	78	0
計	143	126	269	48

倒壊日が分かっている 143 棟について，横軸を日付，縦軸を累計としてプロットした結果を**図 5** に示す．地震で全壊した建物が雪荷重によって倒壊したケースが大半であり，集中的な豪雪に呼応するように増加していることがわかる．また，一

部損壊から倒壊に至った建物 5 棟，大規模半壊または半壊から倒壊に至った建物 10 棟も含まれ，これらは，積雪深が 1.5m を超えた 1 月下旬以降に発生している．すなわち，損傷を受けていたとはいえ，建物の許容積雪荷重（1m，300kg/m²）までは耐えていたと見ることもできる．除雪の状況等把握できないが，平年並みの積雪量であったなら，これほどの被害の拡大はなかったと考えられる．



(a) 非住家および住家（計 143 棟）



(b) 住家のみ（計 44 棟）

図 5　新潟県における雪荷重による住宅の倒壊数（2004 年度，新潟県危機管理防災課のデータをグラフ化，倒壊時期が把握されているもののみ）

写真 12 は全村避難が続いていた旧山古志村竹沢地区の民家である．屋根の除雪が行われなかったため，2 月 12 日時点で 3m を越える積雪が屋根上にあり，その後に倒壊に至っており，許容荷重の 3 倍ほどの負荷にまで耐えたと見ることもできる．



写真 12　屋根雪除雪がなされず倒壊した家

倒壊には至らずとも，雪の重みで軒先が折られるなどの部分損壊は，各地で相当数見られた．また，春に解体撤去を決めている家で，解体後の廃棄物収集の際に，分別されているかいないかで，処理費用が大きく変わることから，高齢者が懸命の除雪作業をする様子も各地で見られた．数十万円の処理費と除雪業者委託費を浮かせるために，ぐらつく家の屋根に上がっていた．こういった人命に関わる問題こそ，最優先で公的支援がなされるべきであり，経済再建に対して先行きが不透明な中で，少しでも将来の不安を軽減できるような血の通った公的支援ができないものだろうか．

4.3　除雪作業中の事故等による人的被害

雪による人的被害は，死者 26 名，重軽傷者 147 名であった．2 月下旬に入り，県のまとめる資料の名称が「雪下ろし等による死者・負傷者一覧表」から「雪による被害（人的）状況」へと変わったことは，雪下ろし作業に限らず，人身雪害が多様化していることを暗に示している．

図 6 に，被害者数の累積値を，今冬事故件数の多かった魚沼市における積雪深と比較して示す．前述の，1 月 10 日前後，1 月末の 2 回の集中豪雪に呼応するように，数日遅れで被害者数が急増している．

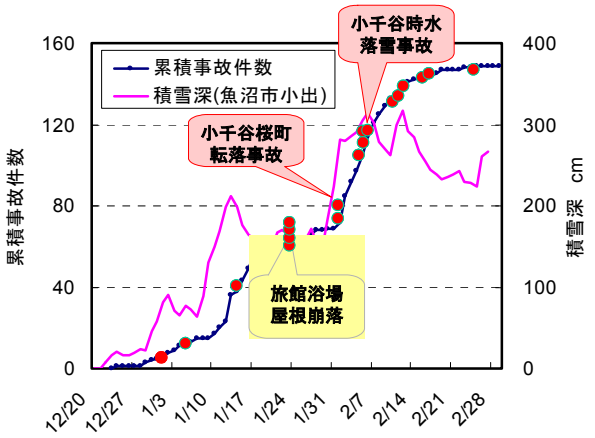


図 6　新潟県における雪に関わる人身事故の件数（2004 年度，新潟県危機管理防災課のデータをグラフ化，●は死亡者）

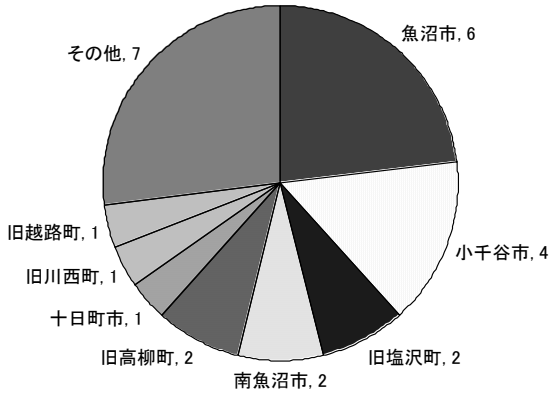


図 7　市町村別の死亡者数

表 6 は原因別の死傷者数である．屋根や梯子といった高所からの転落が最も多く，6 割を占める．その他の内訳の比率や致死率などは，これ以前の長期に亘る統計値と大きな差はない [8]．しかし，後述する建物倒壊で 2 名が亡くなったというのは，新潟県においては極めて珍しい事象である．

表 6　原因別の死傷者数

原因	人数						致死率
	死亡		重軽傷		計		
高所からの転落	6	(23)	99	(67)	105	(61)	8
除雪機	3	(12)	24	(16)	27	(14)	11
落雪	4	(15)	8	(5)	12	(7)	33
発病	3	(12)	5	(3)	8	(5)	38
水路への転落	4	(15)	3	(2)	7	(4)	57
除雪中の転倒	0	(0)	5	(3)	5	(3)	0
雪崩	2	(8)	1	(0)	3	(2)	67
建物倒壊	2	(8)	0	(0)	2	(1)	100
その他	2	(8)	2	(1)	4	(2)	50
計	26	100	147	100	173	100	15

カッコ内および致死率の単位は%

市町村別の死亡者数を**図 7** に示す．死傷者数では魚沼市がもっとも多く 25 名，次いで長岡市が 24 名であり，死者数では，魚沼市が 6 名，小千谷市が 4 名と，地震被災地での件数が際立っていた．

死傷者数を年齢別にわけて集計した結果を**図 8** に示す．60 代未満が 83 名，60 代以上が 90 名であった．1980 年代から 1990 年代にかけて被害者のピークが 50 代，60 代と推移してきており，高齢化の問題が指摘されていたが，この冬に限って見れば働き盛りである 50 代の被害者が多いことから，震災復旧に伴う過労などに起因するという可能性も考えられる．

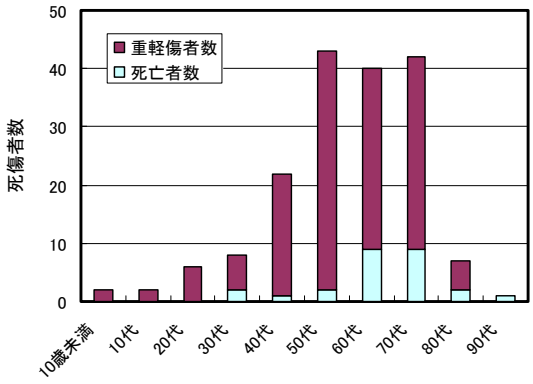


図 8　年齢別の死傷者数

2005 年 1 月 26 日夕方に，小千谷市の旅館浴場の屋根が崩落し，入浴中の男性が 2 名犠牲になった．屋根上に 80cm ほどの積雪があったこと，半壊認定を受けた母屋の屋根に施工したブルーシートの上に雪が滑落したらしいという証言があること，浴場の構造自体に（震災の影響も含めて）強度的問題があったのではないか，などの指摘が

されているが，構造自体の強度不足を指摘する声が強い．なお，事故の翌日に近隣で測定した結果，自然積雪深が 1.5m で，全層平均密度が 400kg/m^3 を越えていたことから，80cm の積雪であっても，設計荷重の 300kg/m^2 を越えていたと推測される．



写真 13　2005 年 1 月 26 日に小千谷市で発生した旅館浴場屋根崩落事故現場（2005/12/9 撮影）

これらの人身雪害の発生の主因子が豪雪であるということは疑う余地がないが，上記旅館浴場屋根崩落事故や，2 月 1 日に小千谷市桜町で 54 歳大工が自宅屋根から転落した事故，2 月 6 日に同市時水で 64 歳男性が落下した玄関上の雪庇（せっぴ）に埋没した事故，など震災が影響していると思われる事故も散見される．豪雪地で生まれ育ったベテランの事故に，地震との直接的因果関係があったとことを客観的に認めることは難しいが，時水の落雪事故の犠牲者は仮設住宅を嫌い全壊認定の自宅に戻って過ごしていたとのことであり，震災から 3 ヶ月後という緊張感の途切れる時期に，様々なストレスが精神的余裕を奪っていたと見ることが不合理とは思わない．

また，2004 年度冬の豪雪は地震被災地新潟だけでなく東北，北海道にかけての広域的に被害をもたらした．さらに言えば，北米や中東などを含む，北半球全域にかけての問題であるという指摘もあった [7]．須田らの調査によれば，今冬全国で 103 名が雪に関わる事故で亡くなったそうである．もはや単なる「事故」では済まされない水準にあり，あらためて豪雪が「災害」であることを訴えてゆかなければならないと痛感している．

５．考察

5.1　豪雪地の地域防災力

連続災害の経験を通じての最大の教訓は，「イメージできる」ということが最大の防災力になるということである．震災直後，阪神大震災を経験したボランティアや行政の応援職員が中越入りして目覚しい活躍をした．彼らには「経験」がある．したがって「何が起きているか」，「次に何がおきるのか」をイメージすることができる．水・食料，テントなど，被災地で自立できる装備を持たない支援者（マスコミを含めて）は，無用の渋滞や混乱を引き起こす．非常時に自立／自律して被災地で行動できること，これが被災地入りする者の最低限の備えである．阪神の経験は明らかに，社会のイメージ力を高めていた．それが中越で実証された．しかし，さらに高いレベルの組織的イメージ力が必要である．

一方で豪雪が育んだ高いレベルの地域防災力も再認識することができた．震度 7 の激震であったが，社会基盤の損傷の度合いに比べて，人的被害が少なかったこと，災害後の混乱が少なかったことの背景に，豪雪に培われた地域防災力の高さがある．昭和 30 年代終わりごろまで，ほとんどの道路は除雪されていなかった．雪が降れば道は閉ざされ，人が足で雪踏みをして道をつくらない限り，冬季に孤立する可能性がある．昭和初期世代にとっては，薪も食料も冬の前に備蓄すること，協力して雪踏みをして道を確保すること，すべて当然のことであった．これはまさに共助であり地域防災力である．従って震災でライフラインが止まっても，彼らにとって生き延びるということは難しくない．

そして村には技能をもった職人がおり，行政の支援をまたずして仮設のトイレやお風呂の用意をした地区もあるし，崩れ落ちた道路の迂回路を

自ら重機を持ち出して切り開いた集落も１つや２つではない．倒壊して生き埋めになった人を地域住民だけで救出した地区もある．「自分より困っている人を優先して」という住民の声が，救助をやりやすくしたとの自衛隊員のコメントも聞いた．

5.2　真冬の地震－何が起きるか？

中越地震とそれに続いてきた 2005 豪雪の経験が残した最大の課題は，「真冬に地震が起きたらどうなるのか？」ということである[9]．積雪期の地震，特に厳冬期の地震が起きたら，雪荷重との複合作用で家屋倒壊数は激増するであろう．倒壊数が増えれば要救助者も増える．しかし雪のなかどうやって救助するのか．慌てて外に飛び出して，防寒具や長靴を持ち出せなければ凍えてしまうし，救援がくるまでの時間，過ごす場所も難しい．車の中では一酸化炭素中毒の恐れがあるし，ビニールハウスは雪の重さで押しつぶされる．道路が雪に埋もれた状態では危険箇所が特定できないため，救援部隊が辿り着くことも困難を極める．おそらく仮設住宅を準備するまでの期間を雪の中では避難生活はできないであろう．そうなれば，速やかに避難させなくてはならない．今回の避難者数は，最大で約 10 万人．旧山古志村の住民 2200 人をヘリコプタで救出したような大規模な避難作戦が，少なくとも万人規模で起こると考えるべきであろう．しかし，ヘリコプタは雪中で視界確保できなければ基本的に使えない．仮に 3 日間でなんとか避難が完了できるような仕組みが整備されたとして，氷点下で 3 日間生存し続ける場所や備蓄があるか．全てにおいて，背筋が寒くなるような，そして打つ手なしとも思える難しい課題だらけである．しかし，この最悪状況に目を背けていてはならない．この最悪のシナリオが防災計画で想定されなければならないのである．その時，この中越の経験が活きることは間違いない．

６．まとめ

雪氷災害は生活関連災害である．大きなニュースにはなりにくいが，毎年，信じがたい人数が犠牲になっている．それに震災が重なった．震度７の災害後と考えれば，むしろ，道路，建物など被害を小さく押さえることができたと見てよいかもしれない．しかし人的被害の数は，被災地住民の命懸けの雪との闘いを反映している．

表７　積雪期地震の検討項目

項目	内容
被害想定	【一次被害：発生直後】積雪荷重と地震荷重との複合－倒壊率増／死傷者数増－要救助者増／救急車両は入れるか？ 【二次被害：　～3 日目】避難場所は？路上，ビニールハウス，自動車は不可／備蓄（毛布，燃料，ストーブ）は？／救援物資の供給は？／本格避難の経路は確保できるか？／除雪困難，ヘリコプタ使用困難
避難計画	【避難経路】除雪は困難 【避難手段】山古志 2，200 人をヘリコプタで一昼夜／数万人規模をどうやって移動させる？／寸断された雪道を徒歩で帰宅できるか？ 【避難場所】10 万人規模をどこに収容する？
復旧計画	【冬季工事の難しさ】中越地震後の共通標語は「雪が降る前に」／何から手を付ける？／どこから手をつける？／いつまでに完了する？

参考文献

１）　上村靖司：中越地震後の雪氷災害の軽減のために－「新潟県中越地震・雪氷災害調査検討委員会」の発足と活動状況（中間報告）－，日本雪工学会誌，21(1)，3-7，2005.

２）　上村靖司：中越地震後の雪氷災害の軽減のた

めにー「新潟県中越地震・雪氷災害調査検討委員会」の発足と活動状況（中間報告）ー，雪氷，67(1)，33-38，2005.（1 と同稿）
3） 上村靖司 : 地震後，今冬の課題　ー雪解けまで被災地ー，ほっとほくりく，2004 年 12 月号，9-10，2004.
4） 中越地震・雪氷災害調査検討委員会 : 地震後の豪雪を乗り越えてー中越地震と 2005 豪雪が残した課題，活動報告会／公開討論会　要旨集，2005.
5） 新潟県建設技術センター : 冬を占う　平成 16 年度予想版，2004.
6） 上村靖司 : 中越地震と 17 豪雪の複合災害（速報），日本雪工学会誌，21(2)，97-101，2005.
7） 須田正則，上村靖司 : 2005 豪雪による人身雪害の発生状況調査，日本雪工学会誌，21（3），3-8，2005.
8） 上村靖司 : 新潟県における人身雪害のリスク分析，雪氷，65(2)，135-144，2005.
9） 連続災害の経験に学ぶ，上村靖司，ゆき，No.61，24-29，2005.

経済被害の推計

土屋　哲
長岡技術科学大学　環境・建設系

1. はじめに

平成 16 年 10 月 23 日 17 時 56 分頃に発生した中越地震は，マグニチュード 6.8（暫定）で最大震度 6 強を観測した。また，同日 18 時 12 分頃に M6.0（暫定），18 時 34 分頃に M6.5（暫定）の地震が発生し，いずれも最大震度 6 強を観測した。本震発生直後 1 時間以内に M6.0 以上の余震が 3 回発生するなど，余震活動は活発であった（**表 1**）。

新潟県中越地震は 2 つの大きな特徴を見せた。一つは，非常に大きな加速度を生じさせたことである。小千谷市や十日町市では重力加速度（980gal）を超える最大加速度を観測した。もう一つは，比較的大きな余震が長期間にわたり発生したことである。また，本震の 2 ヶ月後にも M5.0 クラスの余震が発生しており，長期にわたり余震が発生した。

表 1　中越地震の本震・余震（震度 5 以上）

日時	最大震度	ﾏｸﾞﾆﾁｭｰﾄﾞ
10月23日，17時56分	7	6.8
10月23日，17時59分	5強	5.3
10月23日，18時03分	5強	6.3
10月23日，18時07分	5強	5.7
10月23日，18時11分	6強	6.0
10月23日，18時34分	6強	6.5
10月23日，18時36分	5弱	5.1
10月23日，18時57分	5強	5.3
10月23日，19時36分	5弱	5.3
10月23日，19時45分	6弱	5.7
10月23日，19時48分	5弱	4.4
10月24日，14時21分	5強	5.0
10月25日，00時28分	5弱	5.3
10月25日，06時04分	5強	5.8
10月27日，10時40分	6弱	6.1
11月04日，08時57分	5強	5.2
11月08日，11時15分	5強	5.9
11月10日，03時43分	5弱	5.3
11月28日，18時30分	5弱	5.0

この地震は死者 59 名，重傷者 635 名，軽傷者 4,160 名という人的な被害*と，全壊 3,175 棟，大規模半壊 2,163 棟，半壊 11,609 棟，一部損壊 103,603 棟という住宅被害*をはじめとして，中越地域の社会経済に大きな被害をもたらした。社会基盤や企業の甚大な被害，仮設住宅での暮らしを余儀なく強いられている人々，また越冬後に事態の深刻さが改めて浮き彫りになった農地への影響など，中・長期にわたってその影響が及んでおり，中越地域の持つ地理的特徴が地域特有の被害形態を生み出し，その影響が地域経済にも表れている。

中越地震は，同じ直下型地震である阪神・淡路大震災と比較されることが多いが，阪神・淡路大震災が都市直下型の地震災害であったのに対し，新潟県中越地震は相対的には人口密度の低い中山間地域の交通結節点を襲った直下型地震であったといえる。そのため，地盤災害やそれに伴う道路の寸断により多くの集落の孤立を招いた。

本章では，まず中越地震が地域経済に与えた社会経済的な影響の概略をとりまとめることとする。次いで，震災が地域経済に及ぼした影響のうち間接被害を試算するためのモデルを紹介し，現時点で行った推計結果を示す。なお，著者自身が調査に関与していたわけではないため，本文では被害の試算に関する記述のウエイトが大きくなっているが，あらかじめ御了承いただきたい。

*県報道資料：平成 16 年新潟県中越大震災による被害状況について（第 168 報）

2. 中越地域と地震被害の概要

2.1 中越地域の概要

新潟県のほぼ中央部に位置する中越地域は，10 市 16 町 5 村（地震発生当時）からなり，総面積およそ 4,700km^2，人口約 82 万人と，それぞれ新潟県全体のほぼ 3 分の 1 に相当する。本地域の中心都市である長岡市は，冬期に降水量が多い日本海側特有の気候にあり，山間部に位置する十日町市は，平均積雪深が 200cm を超える積雪を記録している日本有数の豪雪地帯である。

同地域は，「魚沼産コシヒカリ」として全国的にブランド力を持つ全国有数の米の産地でもあり，県全体の米の産出額 1,787 億円（全国 1 位，平成 16 年）や，米菓出荷額 1,285 億円（全国 1 位，平成 15 年），切り餅・包装餅の出荷額 291 億円（全国 1 位，平成 15 年），清酒出荷額 580 億円（全国 3 位，平成 15 年）に見られるように，加工食品製造業・醸造業も盛んである。また，小千谷絣・縮，錦鯉など，全国的に知名度の高い地場産業も存在し，自動車部品や電気機械部品等の大規模工場も立地している。

新潟県の県内総生産はおよそ 9.2 兆円であり，中越地域のそれは約 3.1 兆円となっている（平成 13 年度）。産業別の生産額を**表 2** に示す。

表 2　中越地域の社会経済状況（H13 度）

	地域総生産	割合*
農業	60,534	33.1%
林業	12,733	46.7%
水産業	880	11.1%
鉱業	33,984	53.1%
製造業	618,179	36.7%
建設業	222,676	27.6%
電気･ガス･水道	368,288	57.5%
卸売･小売業	304,339	29.2%
金融･保険業	128,700	30.0%
不動産業	422,403	34.1%
運輸･通信業	149,883	28.5%
サービス業	865,853	30.3%

（単位:百万円）

***当該産業の地域総生産が県全体に占める割合**

（出所：新潟県市町村民経済計算）

2.2 被害状況

（1）人的被害・住宅被害

中越地震による人的被害と家屋被害の状況を**表 3**，**表 4** に示す。中越地域全体で，一部損壊以上の何らかの被害をこうむった住宅の数は半数近くに及んでいる。

また，前述のように余震活動が活発だったこともあり，避難者数が多かったこともこの地震の特徴である。**図 1** に示すように，ピーク時の避難人口は約 10 万人にも上り，避難所数は 603 箇所を数えた。

山間部の地域では土砂災害が原因で多数の交通寸断箇所が発生したために，最大で 61 箇所の孤立集落が発生した。

表 3　人的被害

	人的被害(人)		
	死者	重傷	軽傷
新潟県全域	59	635	4,160
中越地域計	59	623	4,143
長岡市	18	292	2,074
見附市	2	49	465
小千谷市	17	120	665
川口町	6	38	24
魚沼市	5	22	294
南魚沼市	1	10	16
十日町市	9	70	522

表 4　住宅被害

	住宅被害(棟)			
	全壊	大規模半壊	半壊	一部損壊
新潟県全域	3,175	2,163	11,609	103,603
中越地域計	3,165	2,152	11,585	103,207
長岡市	1,591	1,307	6,691	58,253
見附市	52	18	505	9,342
小千谷市	622	370	2,379	7,521
川口町	606	146	344	297
魚沼市	75	58	334	4,324
南魚沼市	7	0	4	2,370
十日町市	107	156	962	13,733

（**表 3**，**4** 出所：県報道資料　平成 16 年新潟県中越大震災による被害状況について（第 168 報））

注:地震発生後にいくつかの市町村で合併が行われている。**表 3**，**表 4** 中の市は合併後のものである。

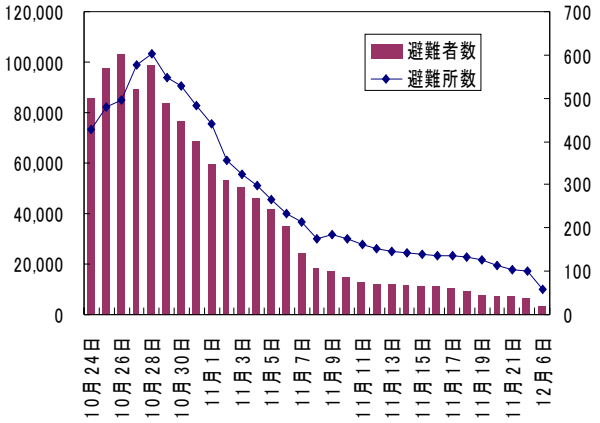


図１　避難者数・避難所数の推移



図２　首都圏－新潟間の高速道路網

（２）広域交通インフラの被害

上越新幹線が不通となり，道路ネットワークが寸断されたことで，その影響が通勤・通学，買い物などの日常生活から物流や観光にまで広範囲に及び，交通インフラの役割を再認識させられることとなった。鉄道では，上越新幹線の被災により新潟県内の一部区間が不通となり，全線の運転再開までに約２ヶ月を要した。この間，首都圏と新潟を結ぶ輸送力の確保のために，この間，首都圏と新潟の輸送力を確保するための代替路線・代替手段として，鉄道運休区間の代行バス輸送，航空便の設置（羽田－新潟間），高速バスの運行（例：池袋－新潟），他の鉄道線を活用した迂回措置（例：東京－郡山：東北新幹線，郡山－新潟：高速バス）が実施された。

また，道路では，関越自動車道や国道 17 号線の被災により物流や旅客輸送に影響が出た。しかしながら，磐越自動車道や上信越自動車道の整備により広域的な道路ネットワークが形成されていたため，これらの路線が迂回ルートとして機能した（**図 2**）。被災した関越自動車道の復旧も早く，地震発生から 13 日後の 11 月 5 日には全線通行止めが解除となり片側１車線通行が可能な状態にまで復旧され，12 月 26 日には震災復旧工事に伴う車線規制が全て解除された。

（３）ライフラインの被害

ライフラインの被害およびその復旧状況を**図 3**～**図 5** に示す。

電力供給では，水力設備，送電設備，変電設備，配電設備の被害により，約 28 万戸に停電が発生したが，旧山古志村などの一部の地域を除き，11 月 3 日までに停電は解消した。

ガス供給システムでは，主要な施設に大きな被害は発生しなかったが，震災直後には約 57,000 戸への供給が停止した。地域により復旧の速度が異なった。

水道供給では，約 13 万戸にわたって断水が発生した。大規模浄水場および配水池は，軽微な被害を受けたが，長期にわたり通水機能が停止するような深刻な被害はまぬがれた。

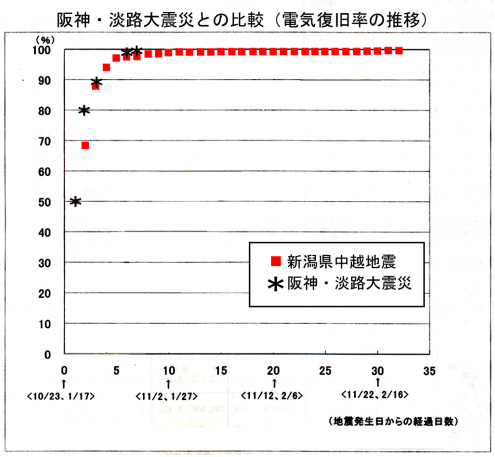


図３　ライフラインの復旧状況：電気

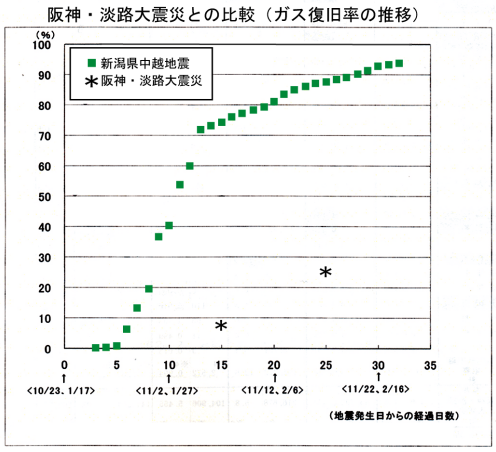


図 4　ライフラインの復旧状況：ガス

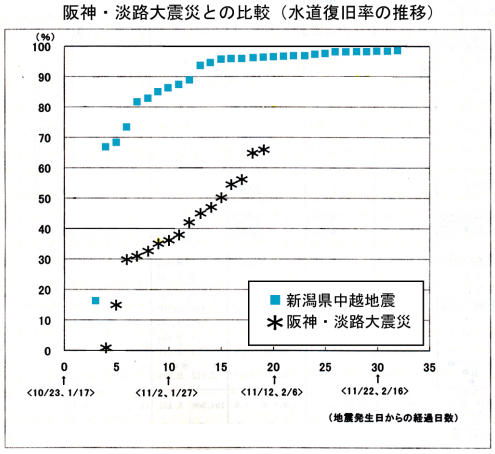


図 5　ライフラインの復旧状況：水道

（**図 3～図 5** 出所：日本政策投資銀行（2004））

（4）産業別の被害

今回の地震では各産業に広範囲な被害が発生している。

・農業では，秋の収穫後だったことが不幸中の幸いだったが，地盤被害など，被害の全容が明らかになる前に積雪期を迎えたため，本格的な復興は雪解けを待たねばならなかった。越冬後，水稲作付けが不可能である水田もあった。今回の地震を契機に，農家の離農が危惧されている。

・農業以外の第 1 次産業では，畜産や養鯉など，地域の特色がそのまま被害にも表れている。

・製造業全般では，工場の操作停止や製品の破損などにより被害が発生した。また，被災地付近だけではなく，新潟県全域の企業や被災企業と取引を密にする県外の工場・企業において，道路被害の影響による出荷や原材料等の調達に混乱が生じた。

・米菓製造業では，工場の被災により 1～2 週間操業が停止し，餅や米菓がだめになって相当の損害額が発生したが，操業再開後は，被災者を優先的に臨時雇用し，一部の工場が 24 時間態勢で稼働するなどして，需要がピークとなる年末年始へ備えた。

・織物産業では，染色材料や型紙が倒壊し，生産に影響が出た。

・輸送機械業では，自動車部品工場の被災により県外の二輪車生産に影響を与えた。

・電気機械・精密機械業において，上場企業の多くは 1～2 週間で回復したが，半導体工場においてクリーンルームなどが被害を受け，断続的に続いた余震の影響で復旧に時間がかかった。

・建設業では，災害復旧工事による復興需要がもたらされ，他産業の解雇者の受け皿にもなった。

・第 3 次産業では，特に観光が甚大な被害を受けた。自粛ムードや風評被害の影響も追い討ちをかけ，2004 年 11 月に新潟県旅館組合が行った調査によれば，直接的な被害をこうむっていない下越地域や佐渡にもキャンセルが続出した。地震発生から 11 月 10 日までに，宿泊や宴会のキャンセルは約 31 万人にも達した。この数字はその後も増え続けた。

・商店街では，建物被害や商品の破損などの被害が発生し，復旧に 1 ヶ月を要したところもある。復旧までの時間には，避難者の存在・避難率との関係も重要で，この要因が建物被害以外に影響しているものと考えられる。

（5）被害総額

新潟県は，中越地震による被害総額を約 3 兆円と推計している。これは，中越地域の地域総生産に匹敵する額である。推計被害額は地震発生後 25 日目の発表のものであり，その後の調査により増額している可能性がある。**表 5** に示すように，インフラ関連の被害額が約 1 兆 2 千億円であり，住

宅被害の約 7 千億円を上回る。

また，中小企業の被害に関しては，全体で 3 千億円となっているが，商工会議所などが中心となって市町村単位でも被害推計が行われており，例えば長岡市で約 390 億円，十日町市で約 290 億円となっている（いずれも直接被害額として推計された額）。

表 5　中越地震の被害総額（県推計）

項目	金額(億円)
住宅	7,000
インフラ (道路，鉄道，河川，橋梁ほか)	12,000
農林水産関係	4,000
中小企業の損失など	3,000
電気，ガス，水道	1,000
その他(学校，病院施設など)	3,000
合計	30,000

（出所：新潟県）

（６）産業の復旧・復興状況

新潟県が，地震発生後の 3 時点における主要地場産業（製造業）の操業再開状況を 217 事業所に関して訪問調査した結果によると，地震発生から 12 日後の 11 月 4 日時点では，217 社中 24 社の企業が操業を再開できていなかった。この時点で操業率 100%に達していた企業も 105 社あったが，約半数の企業は平常時に比べて操業率を低下させざるを得なかった。その 2 週間後の 11 月 15 日時点では，2 社を除き何らかの形で操業を再開している。操業率 100%，すなわち平常どおり操業している企業の割合も 23%増加し，約 7 割に達している。さらに，そこから半月たった 12 月 1 日時点では，全ての企業が操業を再開しており，およそ 9 割の事業所で操業率 100%が達成されていた。このことは，先に示した避難者数の推移とも少なからず関連づけられよう。

表 6　被害産業の市場規模（事例）

分野		被害を受けたエリア	備考	
1次産業	農作物・畜産物等	中越地域中心	・農業産出額 （平成13年）	:3,119億円(新潟県) :1,024億円(中越地域)
	うち，米	中越地域中心	・農業産出額 （平成13年） ・水陸稲収穫量 （平成14年）	:2,000億円(新潟県) :732億円(中越地域) :652千トン(新潟県) :224千トン(中越地域)
	錦鯉	小千谷市， 山古志村ほか	・出荷額	:約30億円(新潟県) :約8億円(小千谷市) :約2～3億円(山古志村)
2次産業	日本酒	中越地域ほか	・新潟県酒造組合員 うち中越地域 ・日本酒　製造品出荷額等 （平成14年，従業者4人以上）	:98蔵元 :36蔵元 :593億円(新潟県)
	米菓	中越地域ほか （物流関連等）	・米菓　製造品出荷額等 （平成14年，従業者4人以上）	:1,253億円(新潟県)
	繊維	十日町市ほか	・繊維業　製造品出荷額等 （平成14年，従業者4人以上） ・呉服・服地・寝具小売業　年間商品販売額 （平成13年度） ・繊維品卸売業　年間商品販売額 （平成13年度）	:652億円(新潟県) :160億円(十日町市) :324億円(新潟県) :25億円(十日町市) :587億円(新潟県) :118億円(十日町市)
	自動車部品	長岡市ほか	・精密機械器具製造業　製造品出荷額等 （平成14年，従業者4人以上）	:1,144億円(新潟県) :810億円(長岡市)
	電気機械部品	小千谷市ほか	・電子部品・デバイス製造業　製造品出荷額等 （平成14年，従業者4人以上）	:5,328億円(新潟県) :515億円(小千谷市)
3次産業	小売	十日町市， 小千谷市， 川口町ほか	・小売業　年間販売額 （平成13年度）	:8,360～8,399億円(中越地域) :571億円(十日町市) :398億円(小千谷市) :30億円(川口町)
	観光・イベント	新潟県全域	・他県からの年間観光客数(平成14年) ・ホテル・旅館(平成15年) ・観光関連消費額(宿泊，飲食，物品販売ほか)	:5,701千人／年(新潟県) :3,229施設，52,321客室(新潟県) :数千億円(新潟県)

(注)中越地方の小売業年間販売額は秘匿データの関係で幅を持たせて表示．

（出所：日本政策投資銀行（2004））

3. 間接被害推計モデル

3.1　空間的応用一般均衡モデル

本節では，震災が地域経済に及ぼした影響を試算するためのモデルについて紹介する。

一般に，地震災害による被害は，地震によってもたらされる直接的な人的・物的損害を直接被害として，直接被害を起因として生じる社会・経済的影響を間接被害として区別される。特に都市域の人口・資産の集積した地域における大規模な災害は，直接人的・物的な損害を被った地域に加えて，被災をまぬがれた地域にも社会経済的な損失を発生させ，間接被害が直接被害に比べて無視できないほど大きくなりうると言われている。

近年，我が国各地で頻発する自然災害に対して，災害がもたらす経済被害の実情に迫るためには，間接被害の影響を分析することが重要になってきている。現実的には，災害による生産・需要両面の変化やそれらの地域・産業間における様々な作用の結果として間接被害が生じるため，その発生メカニズムは複雑であり，必ずしもモデルの試算結果と間接被害の実態が一致するとは限らない。この点については，ヒアリングやアンケート含めた事後調査を実施して，その結果をモデルと比較しながら，推計被害額の誤差の程度や，誤差が生じた原因などについて，総合的に判断していかねばならないことである。しかしながら，モデルによる被害推計は，分析の整合性にその強みを持つ。また，計画情報の観点からは，大規模災害の発生直後に当該地域の被害の状況を予測することに適用可能なばかりでなく，取りうる事前対策・事後復旧策の効果を定量的に検討することを可能とするものでもある。近年，このような災害の経済的影響に関する研究が蓄積されつつある。

モデルを紹介するに先立ち，日本政策投資銀行では，産業連関分析により中越地域における製造業の稼働率が10%低下した場合の産出額の減少が約2,000億円に上るという間接被害の推計を行っている。

本節では，このような間接被害の推計に関して，企業の生産施設の被災や交通インフラの損傷，また，ライフラインの寸断といった地域社会の経済活動に大きな影響を及ぼす要因をモデルに取り込んで震災の経済的影響を評価するために，空間的応用一般均衡モデル（Spatial Computable General Equilibrium model，以下SCGEモデルと記述）を用いて経済被害の評価を行う枠組みを紹介する。そして，次節で，新潟県中越地震の状況をできるだけ反映させて被害の試算を行うことで，高速道路や高速鉄道といった地域間の基幹交通網への損傷，被災地企業の生産資本の損傷が地域経済に及ぼす影響を分析する。

3.2　SCGEモデルの構築

（１）主な前提条件

・国土はN地域に分割されている。

・各地域に経済主体として1つの家計とM種の企業の存在を想定する。

・家計の財消費活動は自地域内に限られる。

・地域間を結ぶ交通ネットワークには，旅客を扱う高速鉄道と，貨物を扱う高速道路を想定する。いずれも，最短経路を利用して移動・輸送が行われるものとする。

・平常時，社会は長期的な均衡状態にある。一方，災害時には，後述するような短期均衡に達するものとする。

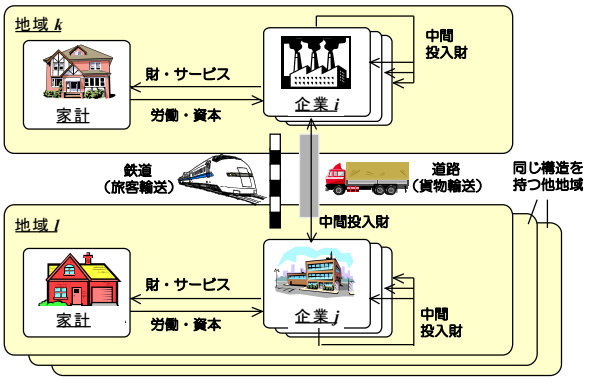


図6　地域経済モデルの概略

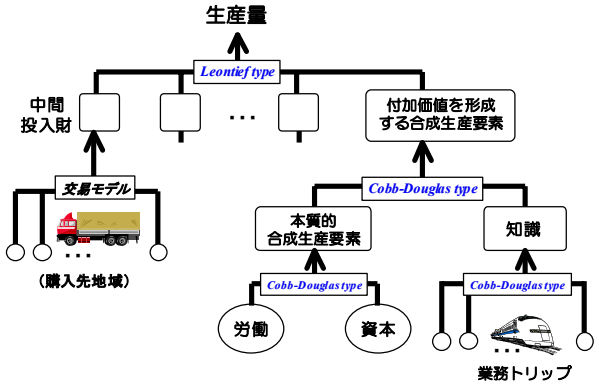


図7　企業の生産技術の構造

（２）企業の生産行動

地域kには，産業ごとに1つの企業が立地し，操業している。企業i_kは，地域lで生産され自地域に輸送されてきた財jを中間財として，また労働，資本と，業務トリップを経て獲得する知識を生産要素として投入し，規模に関して収穫一定となる一次同次の技術を用いてただ1種類の財iを生産している。

企業の利潤最大化行動を図7に示すように階層的に考え，以下のように定式化する。

[Stage 1]

$$\pi_i^k = \max_{Q_i^k, X_{ji}^k, V_i^k} p_i^k Q_i^k - \sum_{j=1}^{M} q_j^k X_{ji}^k - cv_i^k(w^k, r, \tau^{kl}) V_i^k \tag{1}$$

$$\text{subject to} \quad Q_i^k = \min\left\{ \frac{X_{1i}^k}{a_{1i}^k}, \mathrm{L}, \frac{X_{Mi}^k}{a_{Mi}^k}, \frac{V_i^k}{a_{Vi}^k} \right\} \tag{2}$$

[Stage 2]

$$cv_i^k V_i^k = \min_{L_i^k, K_i^k, \kappa_i^k} w^k L_i^k + r K_i^k + ct_i^k(\tau^{kg}) \kappa_i^k \tag{3}$$

$$\text{subject to} \quad V_i^k = \left\{ (L_i^k)^{\delta_i^k} (K_i^k)^{1-\delta_i^k} \right\}^{1-\beta_i^k} (\kappa_i^k)^{\beta_i^k} \tag{4}$$

[Stage 3]

$$ct_i^k \kappa_i^k = \min_{n_i^{kl}} \sum_{l=1}^{N} \tau^{kl} n_i^{kl} \tag{5}$$

$$\text{subject to} \quad \kappa_i^k = \prod_{l=1}^{N} (n_i^{kl})^{\delta_n^{kl}} \tag{6}$$

ただし，

π_i^k：企業i_kの利潤，

p_i^k：企業i_kの財生産価格，

Q_i^k：企業i_kの生産量，

X_{ji}^k：企業i_kが中間財として投入するjの量，

V_i^k：付加価値を構成する合成生産要素，

cv_i^k：V_i^k の単位費用関数，

a_{ji}^k：Q_i^k に対する中間財jの投入比率，

a_{Vi}^k：Q_i^k に対する合成生産要素の投入比率，

δ_i^k：企業i_kの労働に関するシェアパラメータ，

β_i^k：本質的合成生産要素と知識の代替パラメータ，

κ_i^k：フェイス・トゥ・フェイス・コミュニケーションにより獲得する知識，

c_{Ti}^k：κ_i^k の単位費用関数，

τ^{kl}：地域kからlへの業務トリップの旅客交通費用，

n_i^{kl}：企業i_kの，地域kからlへの業務トリップ数，

δ_n^{kl}：業務トリップの目的地選択に関するパラメータ，

である。

式(1)～(6)からなる最適化問題を解き，以下の需要関数を得る。

・1 単位の合成生産要素に対する業務トリップ，労働，資本の需要関数

$$n_i^{kl} = \delta_n^{kl} \frac{\beta_i^k}{\tau^{kl}} cv_i^k \tag{7}$$

$$L_i^k = \delta_i^k \frac{(1-\beta_i^k)}{w^k} cv_i^k \tag{8}$$

$$K_i^k = (1-\delta_i^k) \frac{(1-\beta_i^k)}{r} cv_i^k \tag{9}$$

・中間財と合成生産要素に関する需要関数

$$X_{ji}^k = a_{ji}^k Q_i^k \tag{10}$$

$$V_i^k = a_{vi}^k Q_i^k \tag{11}$$

ただし，

$$c_{Vj}^{l}=\left\{\frac{1}{\beta_j^l}\prod_{l'}\left(\frac{\tau^{ll'}}{\delta_T^{ll'}}\right)^{\delta_T^{ll'}}\right\}^{\beta_j^l}\left\{\frac{1}{1-\beta_j^l}\left(\frac{w^l}{\delta_j^l}\right)^{\delta_j^l}\left(\frac{r}{1-\delta_j^l}\right)^{1-\delta_j^l}\right\}^{1-\beta_j^l} \tag{12}$$

である。

（３）地域間交易

地域間交易については，交易係数 s_i^{kl} を，地域lの企業が生産地kを財iの購入先に選ぶ確率と考え，

$$s_i^{kl}=\frac{(Q_i^k)^{\alpha}\exp\left\{-\lambda_i p_i^k(1+\phi_i^{kl})\right\}}{\sum_m (Q_i^m)^{\alpha}\exp\left\{-\lambda_i p_i^m(1+\phi_i^{ml})\right\}} \tag{13}$$

で与える。ここに，$\phi_i^{kl}=\lambda_i D^{kl}$ を仮定し，

α_i，λ_i：パラメータ，

D^{kl}：地域間輸送所要時間，

とする。したがって，ϕ_i^{kl} は地域間輸送に係る費用率の役割を果たしている。このような定式化により，同一財について双方向の交易が同時に行われる状況を表現できる。

（４）家計の消費行動

地域kに居住する家計は，自地域に立地する企業に労働・資本の供給を行い，その対価としての所得で財消費することで効用を得る。家計の効用最大化問題を以下の式で表現する。

$$U^k(\mathbf{d}^k)=\max_{d_i^k}\left\{\sum_{i=1}^{M}(\gamma_i^k)^{\frac{1}{\sigma}}(d_i^k)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}}\right\}^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} \tag{14}$$

$$\text{subject to}\quad \sum_{i=1}^{M}q_i^k d_i^k \le y^k=\sum_{i=1}^{M}\left(w^k L_i^k+rK_i^k\right) \tag{15}$$

ただし，

U^k：地域kに居住する家計の効用，

γ_i^k：財消費に関する効率パラメータ，

σ：財消費に関する代替パラメータ，

d_i^k：家計の財消費量，

q_i^k：地域kにおける財iの消費者価格，

y^k：地域kに居住する家計の所得，

w^k：地域kの労働賃金率，

L_i^k：家計から企業i_kへの労働供給量，

r：資本レント，

K_i^k：家計から企業i_kへの資本供給量，

である。

式(14)，(15)より，財消費について次の需要関数を得る。

$$d_i^k(\mathbf{q}^k,y^k)=\frac{\gamma_i^k(q_i^k)^{1-\sigma}}{\sum_{i=1}^{M}\gamma_i^k(q_i^k)^{1-\sigma}}\frac{y^k}{q_i^k} \tag{16}$$

（５）均衡条件（平常時）

平常時の均衡は，通常の(S)CGEモデルに見られるように，全ての内生変数が特別な制約無く可変であるとして達する均衡を想定する。本モデルでは，均衡条件として（a)財市場，(b)労働・資本市場，がそれぞれ以下のように示される。

(a)財市場

$$Q_i^k=\sum_{l=1}^{N}s_i^{kl}\left\{d_i^l+\sum_{j=1}^{M}X_{ij}^l\right\}\left(1+\phi_i^{kl}\right) \tag{17}$$

この式には，輸出入を表す項は含まれていない。ここでは，輸出・輸入は外生的に与えており，後の分析の過程で変化することはないものとしている。式（17）は，産業i_kに関して左辺が供給側から，右辺が需要側から財の流動を表現したものに他ならない。

(b)労働・資本市場

$$\sum_i L_i^k=L^k \tag{18}$$

$$\sum_k\sum_i K_i^k=K \tag{19}$$

式(18)，(19)より，平常時に労働市場は地域で，資本市場は国土全体で，それぞれ閉じている。

次に，空間的な価格形成を

$$q_i^l=\sum_{k=1}^{N}p_i^k(1+\phi_i^{kl})s_i^{kl} \tag{20}$$

の式により与えることとする。

一方，企業のゼロ利潤条件より，式(1)，(10)，(11）から次式を得る。

$$p_i^k=\sum_j q_j^k a_{ji}^k+cv_i^k a_{Vi}^k \tag{21}$$

平常時の均衡状態は，式（4）～（13），（16）～（21）を方程式として，**図8**の内生変数につい

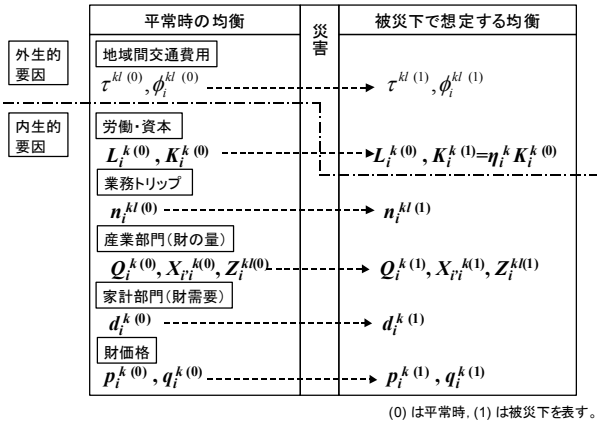


図8　平常時・災害時均衡と外生・内生変数

て解くことにより決定する。

（６）災害時の均衡に関する仮定

災害時の均衡は，地域間の交通費用が変化し，被災地の一部の企業で生産資本が損傷し，労働・資本の移動が無いとする条件の下で経済社会が達すると想定する短期均衡であるとする。

まず，災害時に生産資本の損傷が企業の行動に与える影響について，次のような仮定をおく。

仮定

①生産資本が損傷しても，家計所得は平常時と変わらない。

②短期的視野にもとづく生産行動の結果，災害時においては一時的に企業の利潤が負になるかもしれないが，それを原因として市場から撤退することはない。

仮定①は，災害時において企業が労働・資本から産み出す合成生産要素の量と，その対価として家計が得る所得の間にギャップが生じうることを意味する。また，現実的には，被災地域に立地する同一の産業業種であっても，被災する企業もあればそうでない企業もあり，**仮定**②の下で，企業は市場価格を受け入れて操業を行っている。したがって，被災企業に負の利潤という形で帰着する被害がある。

以上の仮定から，被災時の企業の利潤関数を記述する。記号 $^{(0)}$，$^{(1)}$ をそれぞれ平常時，災害時の変数であることを強調するために用いると，企業i_kの利潤は

$$\pi_i^{k(1)} = \max_{Q,\mathbf{X}} p_i^{k(1)} Q_i^{k(1)} - \sum_j q_j^{k(1)} X_{ji}^{k(1)} - w^{k(0)} L_i^{k(0)} - r^{(0)} K_i^{k(0)} - c_{Ti}^{k(1)} \kappa_i^{k(1)} \tag{22}$$

で表される。

このギャップが解消される場合，すなわち，労働・資本から成る合成生産要素の産出量に見合った額が家計の所得となる場合，短期であっても企業の利潤はゼロになる。このときの企業i_kの利潤関数 $\pi_i^{k(1)'}$ は，

$$\pi_i^{k(1)'} = \max_{Q,\mathbf{X}} p_i^{k(1)} Q_i^{k(1)} - \sum_j q_j^{k(1)} X_{ji}^{k(1)} - w^{k(0)} L_i^{k(0)} - r^{(0)} K_i^{k(1)} - c_{Ti}^{k(1)} \kappa_i^{k(1)} \tag{23}$$

と表される。結局，式(22)と(23)の差；

$$\pi_i^{k(1)'} - \pi_i^{k(1)}$$

の大きさが，当該企業に帰着する被害となる。

次に，災害時の均衡を解くことを考える。労働・資本の移動の無い本モデルでは，財の価格について，式(20)，(21)でそれぞれ災害時の道路所要時間を反映させた $\phi_i^{kl(1)}$，旅客交通費用を反映させた合成生産要素の単位費用$cv_i^{k(1)}$ を災害時のものと置き換えた式

$$q_i^{l(1)} = \sum_k s_i^{kl(1)} p_i^{k(1)} \left(1 + \phi_i^{kl(1)}\right) \tag{24}$$

$$p_i^{k(1)} = \sum_j q_j^{k(1)} a_{ji}^{k(0)} + cv_i^{k(1)} a_{Vi}^{k(0)} \tag{25}$$

とし，$p_i^{k(1)}$ と $q_i^{k(1)}$ について解けばよい。このとき，ϕ_i^{kl} の変化と被災企業の供給能力の低下により式(13)も更新されているので，s_i^{kl}，すなわち地域間の交易パターンも変化している。以下，この結果に合わせて，**図8**中の内生変数を決めてや

ればよい。

（7）経済被害

本研究の枠組みでは，経済被害は次の二つの部分に分かれる。一つは，市場システムを介して外部に波及し，最終的に家計に帰着する被害である。これを，等価変分（Equivalent Variation：EV）を用いて次式で評価する。

$$EV^k = \frac{u^k(q_i^{k(1)}) - u^k(q_i^{k(0)})}{u^k(q_i^{k(0)})} y^{k(0)} \tag{26}$$

ただし，

$$u^k(q_i^k) = \left\{ \sum_i \gamma_i^k (q_i^k)^{1-\sigma} \right\}^{\frac{1}{1-\sigma}} \tag{27}$$

である。

二つ目は，企業i_kにとどまる被害である。これは，式(22)と(23)の差

$$\pi_i^{k(1)'} - \pi_i^{k(1)} \tag{28}$$

の大きさで表される。これを地域産業ごとに求めたものと式（26）により，最終的に経済被害が表される。

4. SCGEモデルによる間接被害の試算

4.1　産業・社会基盤への被害の反映

3.で構築したSCGEモデルを用いて，中越地震による経済被害を試算してみよう。もちろん，把握可能なすべての要因を考慮したモデルを構築することが望ましいが，ここでは，地震発生後の地域間交通の変化や生産資本の変化を考慮しうる一般均衡モデルを利用して試算を行うこととする。**図9**に示すように，新潟県を含めて全国を9地域に分割する。

地震による被災のシナリオを設定するにあたり，本モデルでシナリオとして操作する変数・パラメータは，地域間道路ネットワークの寸断，地域間高速鉄道の寸断，被災地企業の生産資本の損傷，の3種類であるとする。それぞれ，モデル中の D^{kl}，τ^{kl}，η_i^k を外生的に操作する。ここに，η_i^k は災害時の企業i_kの資本稼働率を表すパラメータである（すなわち，$(1-\eta_i^k)$ が地震による資本損傷率を表す）。

道路については，寸断の影響を地域間輸送時間の変化として捉え，ネットワーク（**図10**参照）被災後に利用可能な経路のうち最短経路の所要時間を用いる。鉄道についても同様で，この場合には(一般化)旅客交通費用を与える。

資本損傷については，**4.4**で詳述するように，災害時の資本稼働率（あるいは資本損傷度）に係る指標として，新潟県による建築物被災度調査の結果等を参考にし，η_i^k を決定する。

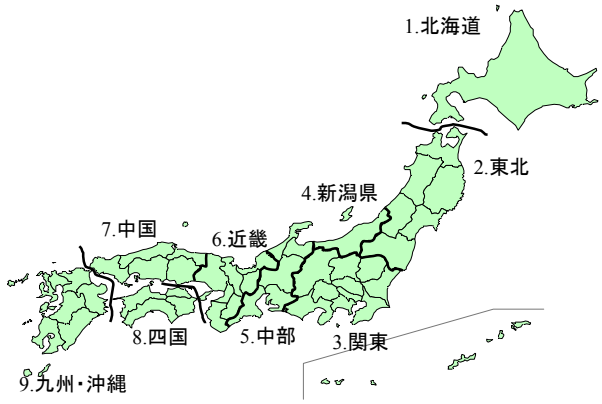


図9　地域区分

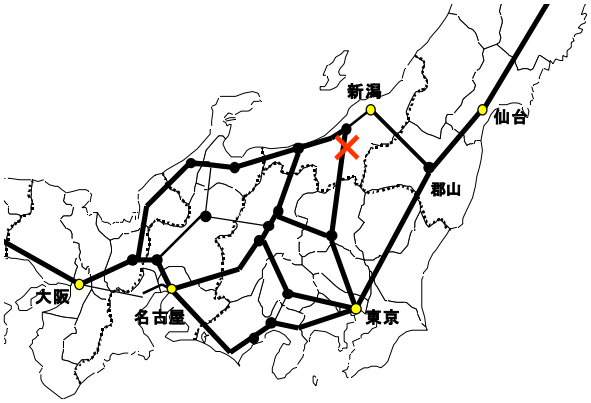


図10　地域間道路ネットワーク

4.2　資本稼働率の推計に関する考え方

阪神・淡路大震災の後に，メッシュデータを用いて神戸市における産業別資本ストック損傷程度の推計を行った陳の研究(1996)を参考に，被災地域内の住家被害率に対応させて資本ストックの損傷が発生すると考え，稼働率η_i^kを以下のようにして推定した。

①市町村別の住家被害率の計算

まず，災害時の被災地企業の生産資本損傷について建物損傷率との相関を仮定し，新潟県ホームページにまとめられている住屋被害調査より，市町村ごとの住家被害率を計算する（被災程度によるウエイトは陳を参考）。

②製造業の資本ストック損傷度および稼働率の推定

工業統計における産業の出荷額に住家被害率を乗じて，県全体の出荷額減少分を推定する。これを平常時の出荷額で割った値を，災害時における企業の生産量減少率とする。生産減少率と整合的な資本損傷率は，式（4）より求めることができる。

③製造業以外の産業の災害時稼働率

・農業：地震によって相応規模の土地が被害を受け，翌春の作付けが困難になった水田などがあるが，県内で代替生産を行い，例年並みの収穫が確保できたようである。供給量が減少しなかったと考えられることから，農業における損傷度はゼロ，すなわち稼働率は1.00とした。

・建築・土木：少し遅れてやってくる復旧・復興需要のことを考慮に入れ，稼働率は平常時と同じ1.00とした。

・上記以外の産業：①で求めた市町村別住家被害率を全県ベースの値に変換（2.33%）し，それを直接，災害時の企業の生産量減少率と考えた。そして，製造業と同様の方法で稼働率を推定した。

こうして設定した災害時の資本稼働率を**表7**に示す。

表7　産業分類と災害時の被災企業の資本稼働率

	産業部門名	稼働率
1	農林水産業	1.000
2	鉱業	0.976
3	食料品･たばこ	0.940
4	繊維製品	0.761
5	パルプ･紙	0.951
6	化学製品	0.996
7	石油･石炭製品	0.995
8	窯業･土石	0.957
9	鉄鋼	0.957
10	非鉄金属	0.988
11	金属製品	0.953
12	一般機械	0.887
13	電気機械	0.920
14	輸送機械	0.956
15	精密機械	0.785
16	その他製造業	0.937
17	建築･建設補修	1.000
18	土木事業	1.000
19	公益事業	0.970
20	商業	0.932
21	金融･保険･不動産	0.971
22	運輸･通信	0.939
23	サービス	0.906
24	その他	0.975

4.3　基準データとパラメータ

分析に際し，パラメータの設定などに用いるデータを以下に述べる。

・産業連関表：平成7年の全国9地域間産業連関表，および同年の新潟県産業連関表を用いて，パラメータ a_{ji}^k，a_{Vi}^k，δ_i^k，β_i^k，γ_i^k を設定する。なお，**図7**の構造もふまえつつ，業務トリップの基準量としては「家計外消費支出(行)」を参照した。

・旅客純流動調査：平成7年の調査結果より，業務トリップの目的地選択パラメータ δ_n^{kl} をつくる。都道府県間OD表より，業務目的の鉄道トリップ数を参考データとした。

・鉄道時刻表：地域間旅客交通費用 τ^{kl} の設定に利用する。

・道路時刻表：高速道路網を使って地域間輸送を行う場合の所要時間を D^{kl} の参考値とする。

式（13）中のパラメータ α_i，λ_i は，モデルの再現性を高める過程で調整する。この結果，ほぼすべての財について交易係数の再現性に関する決

定係数が0.9程度あるいはそれ以上となり，本モデルを受け入れられるものと判断した。

4.4　分析結果

（1）全体の被害

以上の設定に基づき，本SCGEモデルを用いて，中越地震が地域経済に及ぼした影響の試算結果を**図11**に示す。なお，被害は地震発生直後1ヶ月の計測期間を想定している（入力シナリオの状況が1ヶ月間継続すると仮定して間接被害がどのくらいになるかを計算している）が，これは年単位で出力される結果を単純に一月当たりの数字に変換したものである。

全体の被害としては約900億円となり，このうち被災地である新潟県の被害額が約510億円，関東地方に帰着する被害額が約180億円と目立っており，近畿地方（約76億円）が続いている。また，その他の地域にも被害が波及している。

次に，**図11**中の縞模様の部分で示される，新潟県内の企業への被害の推計を，産業部門ごとに**図12**に示す。相対的に経済規模の大きい第3次産業を中心に被害が計上され，地震発生後1ヶ月間の被害は，サービス部門において約47億円，商業部門，金融・保険・不動産部門でそれぞれ25億円強となった。また，製造業の中では，繊維（6.5億円），電気機械（9.4億円），精密機械（3.3億円）の各部門における被害が相対的に顕著であるといえる。

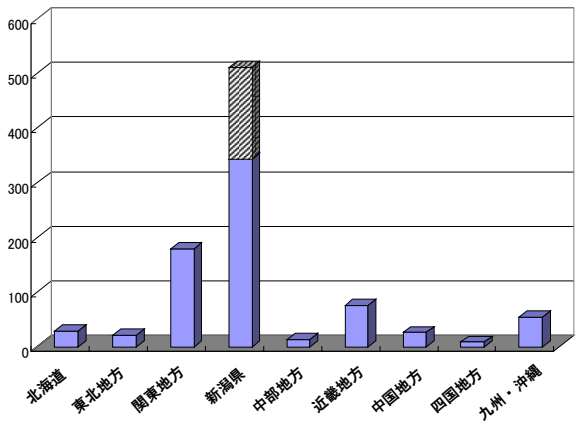


図11　地域別経済被害（地震発生後1ヶ月）

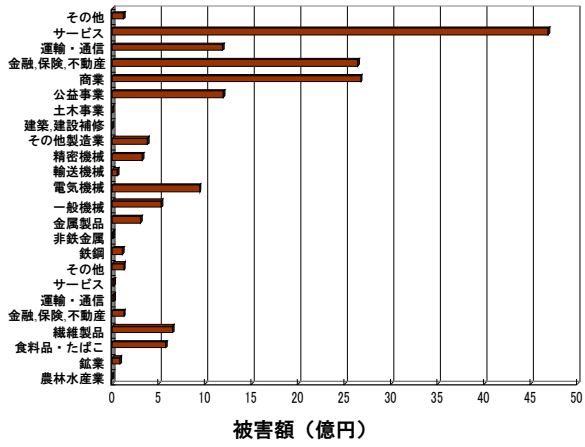


図12　産業部門への被害（地震発生後1ヶ月）

4.5　被害推計モデルに係る課題

本節では，大規模地震による経済的影響を推計するために構築したSCGEモデルを用いて，平成16年新潟県中越地震における経済被害の試算を行った。くだけた表現ではあるが，本モデルで考えていることは次のようである。地域・産業間の経済的連関性を考慮したモデルにおいて，災害状況を入力した場合に，各家計がどれだけの財を消費できるのか，財の消費による満足度は平常時と比べてどのように変化したのか。この“変化”分を金銭タームで表すことによって間接被害と考えているわけである。

モデルの技術的側面としては，災害による企業の生産資本損傷に対して企業が調整を行えず，その結果として，被災企業にも被害が帰着するという状況を前提として被害の試算を行った点に本モデル分析の大きな特徴がある。

ただし，ここで紹介した結果は，中越地震による被害のすべての要因を考慮したものではないことに注意されたい。詳細な記述は学術論文等にゆだねたいが，モデルで用いるパラメータの中には，産業連関表のような一時点の統計データからは決定できないものも含まれている。また，被害の試算に当たっては，被災施設の復旧過程に関するシナリオなど，考慮すべき課題がまだまだ残されているため，災害に係る各種要因をとりこめる

ようなグランドモデルへの拡張が必要である。このようなモデルの拡張により，アウトプットもある程度変化しうる。

例えば，災害時，特に災害直後の企業の操業は，電力・ガス・水道といったユーティリティの供給状況に大きく依存するといっても過言ではない。この点を詳細に見るには，本研究で提示した分析の枠組みではまだ十分とは言えない。ライフラインの途絶が経済活動に及ぼす影響をモデルに組み込み，災害時の機能損傷をより良く反映させることが必要である。また，地震リスクマネジメント施策の評価や地震リスクのアセスメントという点からは，途絶のインパクトだけではなく，途絶による負の影響を緩和させる仕組みやその評価も必要である。同様のことは，同じくネットワーク性を有する交通基盤についても当てはまる。

5. おわりに

本章では，新潟県中越地震による社会経済的影響について取り上げ，後半では空間的応用一般均衡モデルを用いて間接被害の分析を行うプロセスを紹介した。

本章において，モデル分析に住屋被害調査データを参考にしたように，災害発生直後，あるいは早期の段階で行われる被害実態に係る調査は言うまでも無く重要である。それと同時に，地域の被害の実情に迫るためには間接被害影響の分析が欠かせない。復旧が完了する時点まで間接被害は発生しうるからである。今後は，地域経済の復興状況に係る調査が継続的に実施され，さまざまな検討を重ねながら，地域経済への影響を明らかにしていく必要があるだろう。

参考文献

日本政策投資銀行新潟支店：緊急レポート「新潟県中越地震が及ぼした県内経済等への影響について」，2004.

土木学会第二次調査団：平成 16 年新潟県中越地震・社会基盤システムの被害等に関する総合調査「調査結果と緊急提言」I 報告・提言編，2004.

多々納裕一，梶谷義雄，土屋　哲：新潟中越地震の社会経済的影響，京都大学防災研究所年報第 48 号 A，2005.

新潟県ホームページ
http://www.pref.niigata.jp/

社団法人 北陸建設弘済会：ほっとほくりく No.49，2005.

陳　光輝：阪神大震災による神戸市の事業所被害：メッシュデータによる推計，国民経済雑誌 第174巻 第4号，pp.89-96，1996.

土屋　哲，多々納裕一，岡田憲夫：空間応用一般均衡アプローチによる東海地震の警戒宣言時の交通規制に伴う経済損失の評価，地域安全学会論文集 No.5，pp.319-325，2003.

ビジネス・コミュニティ型事業継続体制の重要性

渡辺研司・富田秋教

長岡技術科学大学 経営情報系

1. はじめに

２００４年１０月に発生した新潟県中越地震から１年余経過し、被災から復興までの経緯が様々な形でとりまとめられ、今後の地震対策に反映されつつあるが、本稿では実際の被災企業からのヒアリングなどを通じて得た教訓を、事業継続マネジメントの観点から、企業間サプライ・チェーンにおける被害予測シミュレーションモデルの試作も含めてとりまとめた。

現代ビジネスがサプライ・チェーンやｅコマースによりネットワーク型に移行しつつある状況下において、企業がかかわるビジネス・コミュニティの範囲は急拡大し、その中で行われる商取引も量、スピード共に急増している。この背景には、最近の情報・ネットワーク技術の急速な進歩によって、企業のみならず政府機関についても容易にビジネスの拡張が可能となったことがあると言える。しかしながら、一方で、単独企業の事業中断ではなく、サプライ・チェーンやｅコマース・ネットワークで繋がれた企業群が連鎖的に事業継続を脅かされるような事故が散見されるようになった。このことは事業中断を引き起こす障害要因の伝播範囲が拡大、かつ伝播スピードも増加しつつあることを示している。新潟県中越地震の際も、長岡市の自動二輪車のメーターを製造する企業の製造工程が中断したことで、サプラー・チェーンの先にある大手自動二輪車メーカーは製造ラインを数日間停止せざるを得なかったケースや、半導体工場の長期閉鎖に伴い、納入先の事業に機会損失を与えたり、地域の雇用機会を長期に亘り奪ってしまったケースなども確認された。

2. 新潟県中越地震における企業の被災と教訓

（１）半導体製造工場の被災ケース

新潟県中越地震は上下方向の加速度が 1995 年の兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）の約 2.5 倍もあり、精密な製造工程を持つ半導体製造工場にとっては過去に例のない規模の被災事例となった。被災した半導体製造工場を所有する企業は、資産被害 230 億円、復旧コスト 270 億円、売上損失360億円という多額な経済的損失を計上するだけでなく、取引上の信用、ブランド価値、従業員のモチベーションといった無形資産（インタンジブル・アセット）をも減少させることになり、その結果が株価の下落、取引の減少などに繋がり、現時点でも経営上極めて危機的な状況が続いている。

その企業が業績復旧に骨身を削っている最中に、自ら苦労して得た教訓が先日公表された。厳しい状況下での公表、しかも詳細な報告であったため今後の株主訴訟などの懸念の声も上がるほどのレベルであったが、むしろ半導体製造業界のみならず、他の多くの製造業の地震対策・事業継続マネジメントに活用できるような形で、勇気を持って公表されたという点を大いに評価すべきと考える。

さて、その貴重な経験から得られた教訓をベースに今後の課題をおおくくりで取りまとめると

以下の通りとなる。

［建物内被害の事前軽減策］
工場の建屋自体は耐震性をほぼ維持できたものの、内部に設置された装置類のズレや転倒により被害が発生、また、天井配管についても地震によって破管、精密機器類が水をかぶってしまったという「2 次災害」的な被害も発生した。（他企業でも同様のケースが散見され、「水害」であると評する企業もある。）今後は社屋・工場内の装置・器機・部品・書類などの固定、免震床や可動ジョイントの導入などを前向きに導入しなければならない。但し、それでも装置は倒れ、配管は破管することを想定したシナリオを持つことも極めて重要である。

［社屋・工場に入れない事態の想定］
クリーンルームの化学薬品の落下・漏洩による有毒ガスの発生によって入室できなくなり、復旧作業が思いがけず遅延した。これは工場全体や周辺地域にまで及ぶ可能性もあることから、最低限の復旧用機器・用具・通信ツール類や金融対応用品などを備えた代替オフィス・代替生産設備の確保が必要と言える。

［生産キャパシティーの地域分散・最適化］
本ケースでは被災地区への生産依存性が高かった。これは従来の在庫の最適化やコスト削減といったＳＣＭに代表されるような経営アプローチのひとつのビジネス判断であったと理解できるが、今後は生産拠点の配置を判断する際の効率性やコスト削減効果には、既に金融分野で導入されている、リスクを織り込んだ形（risk-adjusted：リスク調整後）で議論される必要がある。

［業界内協業の重要性］
今回のケースでは、競合他社が生産の代行を行ったり、重要部材を提供したり、また、装置メーカーからも技術者の派遣と長期に亘る復旧支援を得るなど、業界内やサプライ・チェーン内での相互支援体制が垣間見られ、その効果も確認された。今後はその場限りではなく、事前の相互支援協定や事業継続計画の共有なども含めた体系的な仕組みの構築を、業界やサプライ・チェーンを挙げて取り組む必要がある。

（２）その他企業（銀行・一般製造業・小売/流通業など）のケース

上記に加え、被災後から継続している企業からのヒアリング調査や、被災時の生産稼働率予測シミュレーター開発に関する議論、政府委員会・学会活動などを通じて得られた教訓を以下に追加的にとりまとめる。

［ライフラインの断続的復旧への対応］
今回の地震は余震というには余りある群発性の地震であったとも言えることから、電気・ガス・水道・道路といった重要社会インフラ復旧も長期に亘り、かつ断続的（復旧後に再度遮断されるなど）であったため、それらのインフラに依存性の高い製造ラインや業務プロセスも復旧後に再び停止を強いられるケースも散見された。その一方で、季節性の高い製造業企業がピーク時の電力需要を賄うために自家発電装置を備えていたために生産ラインを早期復旧させることができたり、また、雪深い地域特有の真冬の落雷（「雪おこし」）対策のために全支店に自家発電装置を備えていた銀行もＡＴＭの停止を免れた。更に都市ガスが届いていなかった地域の製造業は、プロパンガスであったためガスの供給自体は問題なかった。

これらのケースは地域限定ではあるものの、他地域においても事業継続性の確保のための選択肢のひとつとして捉えるべきである。

［ピーク時被災シナリオの必要性］
被災企業が口をそろえて「不幸中の幸い」と言うのは、地震発生のタイミングが土曜日の夕方で、かつ命を落とした社員がいなかったことである。

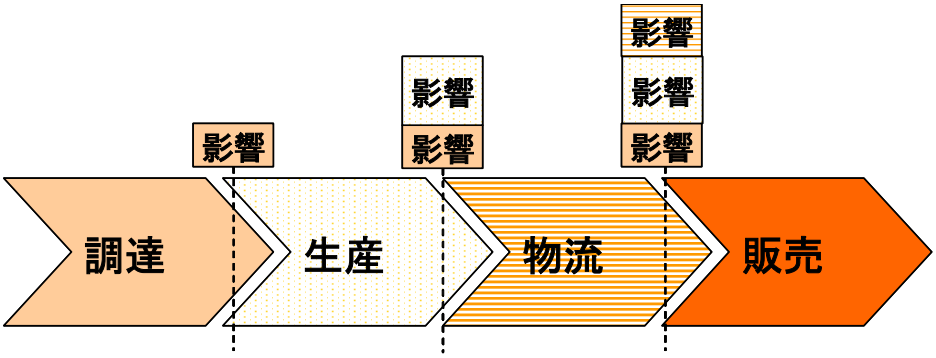


図１　サプライチェーンにおける影響の累積化

リスクマネジメントの世界では自然災害のことを Act of God（神業・天災）と称することがあるが、今回のケースを警告と捉えるとすれば、製造業では稼働率が最も高く気象環境が劣悪のタイミングであったり、金融業であれば年度末で支店への来客数もピークのタイミングで被災した場合の想定も十分に行わなければならないと言うことであろう。

3. サプライ・チェーンを介した被災地域外企業への影響

（１）現行 SCM（サプライ・チェーン・マネジメント）の脆弱性

サプライチェーンの観点から、被災地域外企業の事業中断要因を見てみると、ジャスト・イン・タイム方式による最小限化された在庫に問題があると言えるであろう。在庫を極限まで抑制するジャスト・イン・タイム方式においては企業が部品を最小限しか保有しておらず、中越地震の事例のように、予め代替調達先を確保していなかった企業や、調達先を代替できない特殊部品を採用していた企業は、結果として部品等を生産していた被災地の企業が被災したことによって直接、地震の被害に遭わなかったにも係わらず生産調整や停止を余儀なくされた。また、中越地震の事例からは、現在の在庫を極力保持しないジャスト・イン・タイム方式によって構成されるサプライチェーンでは、その上流で発生した影響が下流に影響する際、その影響は累積しながら波及していくことが認識された。そして、在庫を保持していないことが、下流に対する影響をより高速化させていることも確認された。

中越地震の場合、結果的に多くの企業が残業対応や休日振り替え等によって、年間の生産計画に影響を及ぼす規模に及んだ企業は多くはなかったが、ジャスト・イン・タイム方式を今後も継続するのか否か、再考する必要があると考えられる。これに付随して、平常時に在庫を保有するコストより震災時に緊急的にその都度対応するコストの方が安価だと考えている企業が多いようである。しかしながら、このコストの明確化は事前対策の決定に大きな影響を与えることから、今後、企業は予め事業継続対策として在庫を保持しておく経費と、被災時にその都度必要となる経費について、シミュレーションなどにより予め把握しておく必要がある。

（２）事業中断要因に関する考察

一連の企業ヒアリング調査から、各企業は建物を中心に過去の震災経験は活かされていることを実感していた。これは、阪神大震災では多数の企業の施設が、全壊するなどの大きな被害を受けたことから、建物を中心とした対策がなされてきたからではないであろうか。その甲斐あってか、中越地震では多くの企業において、建物自体の大きな損傷は見られなかったものの、配管の損傷に

よる漏水、設備の転倒など、建物内部の被害が顕在化したと考えられる。中越地震の教訓は、阪神大震災における建物を中心とした対策から、建物内部への対策への大きなステップとなると考えられる。その中でも特に中越地震に多く見受けられた漏水による水害に対しては早急に対処する必要がある。これは、中越地震の被災地域に半導体等の水を利用する製造企業が存在していたことが大きな理由として挙げられるが、今まで特に注目されていなかったためか、多くの企業で対策がなされていなかった。水害により化学薬品や漏電による火災等の二次災害が発生する恐れがあったことは、迅速な復旧への大きな障害となった。

今後、生産工程において水を利用する企業は、漏水防止システム等の二次災害を防ぐ対策を講ずる必要があると考える。また水害と同様に、以前から注目されていなかった被害と一つして内装が挙げられる。多くの企業は固定するなどの対策を講じていたが、固定する位置、強度が適正ではなかったことが被害拡大の要因と言えよう。

オペレーションにおいては、多くの企業は安否確認に固定電話や携帯電話を用いるとして、対策マニュアルを作成していたが、実際には地震発生後には携帯電話が繋がらなかったことから、実用に耐えられないとの声も見受けられた。これは多くの企業が、携帯電話が普及していなかったと同時に、公衆電話が多く設置されていた当時に発生した阪神大震災を機に対策マニュアルが作成したためと考えられる。今後は、インフラの変化を注視して、対策マニュアルの作成や更新する必要がある。これに関して、携帯電話メールは震災直後でも利用できたことから、安否確認と手段としても有用であると考えられる。

また、備蓄品については、その有用性が被災後の経過時間、被害の種類や気象条件等によって大きく異なることに留意しなければならない。日本では一年を通して自然災害が発生しているため、全国規模で事業を展開しているホームセンターは、災害時にどのような時期にどのような品が必要とされているか、そのノウハウを蓄積している。そのため、備蓄品対策として、予めホームセンターと契約しておくことで、災害時における想定外の事象に対応できるのではないかと考える。

復旧プロセスにはおいては、平常時よりも生産稼働率が低下するため、雇用の問題が発生する。一時的に操業を停止した企業ではアウトソーシングにより、雇用や生産計画策定に有利であった。また、復旧までに時間が掛かった企業では、公休日を設け、復旧を担当する従業員は休日出勤扱いとすることで、年間稼働日が減ることが防げたと同時に、コストの面でも有効であった。そして、復旧計画を策定する際には、下請けや孫請け企業の被害状況を把握する必要がある。今後は事業を継続するために部品の流れ、仕入先とその多段階に亘る発注先を把握するなど、サプライチェーンの透明化が必要である。

そして、今回の地震の大きな特徴である余震は安否確認、点検の中断、生産設備の自動停止など、事業再開に大きな影響を及ぼした。特に、自動停止した生産設備の中には再起動時間が数時間と長いものあり、今後の生産設備開発の新たな課題として挙げられよう。これに限らず、従来のような大きな地震は一度のみという常識にとらわれない地震対策が急がれる。

サプライチェーンの観点では、ジャスト・イン・タイム方式の極限的な在庫の最小限化が、被災地域外への影響の波及を高速化させ、弱点として露呈することとなった。震災後に緊急時に都度対応するコストと、調達難を想定した在庫を普段から保持するコストについて、改めて再考する必要があると言えよう。また、サプライチェーンを構成する全ての企業が事業継続に関する対策を講じていなければ、災害時において、サプライチェーン全体の事業継続はできないことに留意しなければならない。これを実現するためには、サプライチェーン内におけるリーダー企業や業界がイニシアチブを発揮し、事業継続に必要な対策の相互補完が必要であると考える。

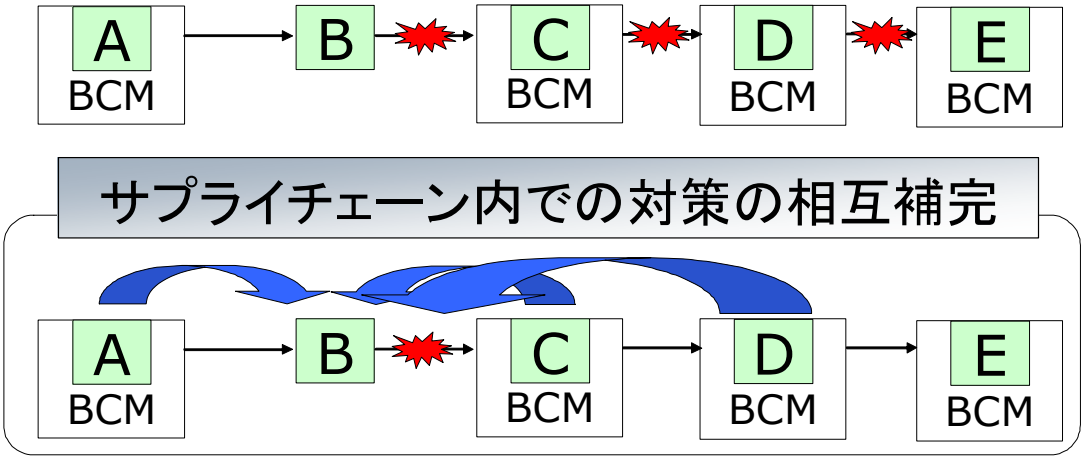


図２　サプライチェーンにおける対策の相互補完

4. ビジネス・コミュニティ型事業継続体制の重要性

以上の考察を受けて、ここではビジネス・コミュニティ型事業継続体制構築の重要性について概説する。

（１）事業継続マネジメント（BCM）体制構築のアプローチ

事業継続マネジメント（BCM）の対象は、従来の IT・ネットワーク分野を中心に構築されてきた災害復旧（DR）体制よりも広範囲で、業務オペレーションや従業員そのものも含まれる。IT・ネットワークだけが継続しても、業務オペレーションや従業員が欠如すると業務は継続しないのである。事業継続マネジメント体制の構築は、もちろん社内体制が基盤となるが、新潟県中越地震のケースでも見られた通り、社外とも連携することで事業継続計画（BCP）を共有化、ビジネス・コミュニティ全体のレジリ エンシーの確保を図る必要がある。

（２）ＢＣＭの運用

この BCM の運用主体となるビジネス・コミュニティの概念は、企業グループ、サプライ・チェーン、業界、地域コミュニティであったりするが、これまで余り意識されてこなかった地域コミュニティ内での BCM 体制の構築は、企業の社会的責任（CSR）やコーポレート・シチズンシップ[1]の観点からも、極めて重要な考え方である。特に広域で自然災害が多発し、地域コミュニティと同時に被災する可能性の高い日本の企業においては、対応の優先度は高くすべきと考える。

5. 企業間サプライチェーンの被害予測シミュレーション・モデルの試作

（１）シミュレーション・ツール構築の背景

ヒアリング調査では、災害の発生、被害が明確に把握できないため、事前にコストを掛けることに抵抗感を感じると答えた企業もあり、災害対策に対する企業の本音も垣間見られた。震災未経験の企業が震災対策を講ずる際には、過去の震災事例を参考にすることが最も有効な手段と考えられる。

しかしながら、地震災害はそのインパクトこそ大きいものの発生頻度が低いことや、被災経験のある企業においては、被害に関する情報は、株価に影響を与えるなど、その性質上公開することは難しい。このようなことから、震災未経験企業が災害対策を講ずるにあたり、参考となる過去の事例の取得は困難であり、どのような方法・手段で、

[1] 企業が営利活動とは別に、社会の一員として「良き市民」たるべく社会的活動を行い、社会貢献するという意味に理解されている。

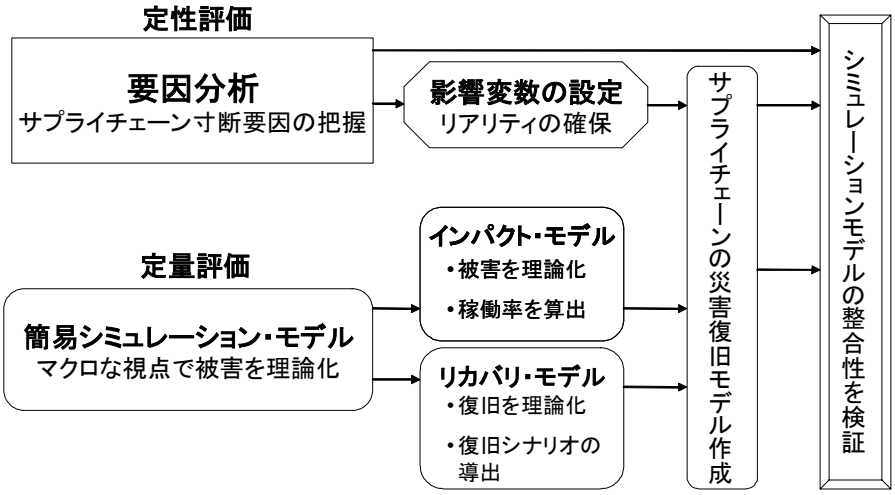


図３　シミュレーション・ツール構築へのアプローチ

どの程度コストを掛けるべきなのかが、漠然としていることが、効果的な震災対策の障害となっていると考えられる。そこで、ヒアリング調査から明らかとなった事実や教訓を基に、定量的な予測を経営判断の材料の一つとして活用するためのシミュレーション・ツールが必要とされている。また、震災被害についてシミュレートすることは、潜在的にあるリスクをより深く理解できると同時に、事業継続管理の実施・運用する際の指標として用いることで、事前に効果的な震災対策に助力するものと考える。

構築の目的

サプライチェーンにおける下請け会社はコスト等の制約条件がある中小企業であることが多いことから、本研究では中小企業においても円滑に導入できる簡易的なシステムで動作が可能で安価なシミュレーション・ツールを目指し、事業継続に必要な対策の選定・度合、コストなどの意思決定の補助を目的としたシミュレーション・ツールを構築した。

構築へのアプローチ

コンピュータでシミュレーション・ツールを構築するにあたり、地震や経営に関する全ての定性的な事象を定量的な数値に置き換える必要がある。しかし、このプロセスにおいてはただ単に置き換えただけでは、シミュレートのリアリティが損なわれる恐れがある。そこで、本研究では、定性的な事象を定量的な数値に置き換える際、シミュレーション・ツールの出力と現実との乖離が生まれないように、ヒアリング調査から得られた定性評価を数値への置き換えプロセスに反映させ、サプライチェーンや被害に関する理論化のリアリティを確保した。



図４　確率分布の例

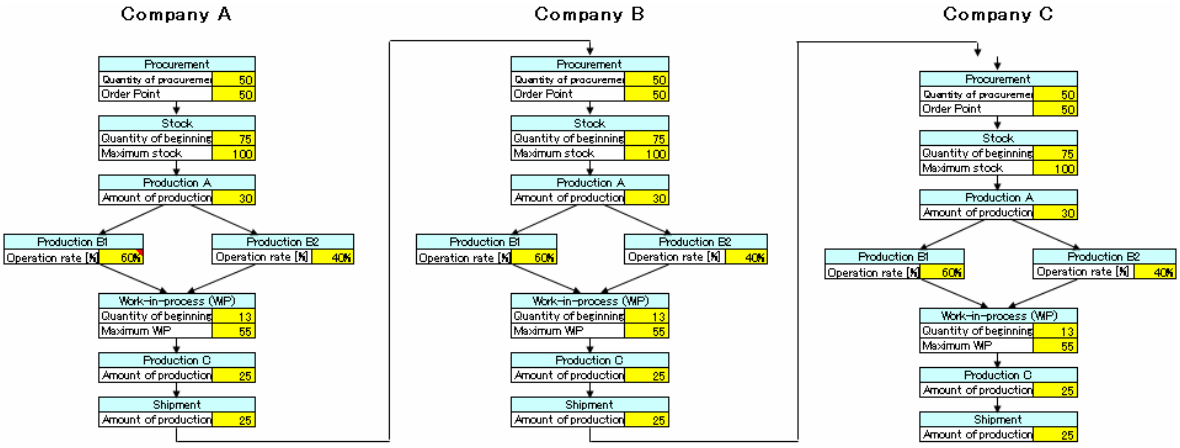


図５　仮想サプライチェーン

（２）シミュレーション・ツールの概要

本ツールのシミュレーション手法にはモンテカルロ・シミュレーションを用いている。この手法は不確実な値に乱数を発生させて何度もシミュレーションを行うものである。震災被害のようなランダムな事象が発生するのは、モンテカルロ・シミュレーションが変数をランダムに選んでモデルをシミュレートする事と酷似していることから、この手法を採用した。尚、モンテカルロ・シミュレーションを実現するにあたり、コスト等の制約が多い中小企業であっても円滑に導入できるよう、世界で数多く利用されているリスク分析/意思決定支援ソフトウェア Crystal Ball を用いることで、Microsoft Excel 上でシミュレートを可能とした。

本ツールでは震災時にサプライチェーンに影響を与える変数（影響変数）が予め用意されている。この影響変数は、新潟県地域防災計画により算出された確率から成り、発生確率として数値化されているが、不確実性を含んでいる。そこで、これら不確実性を含む影響変数を取り扱うために、それぞれの変数に確実性に確率分布をあてはめることによって不確実性を定義した。確率分布型のタイプはその影響変数の特性によって決定する。確率分布は、正規分布やポアソン分布など用意された 16 種類の確率分布の中から選択することが可能であり、オリジナルの確率分布を定義することもできる。

このように本ツールは、不確実な影響変数に対して確率分布から拾い出した値を割り当て、それをセルに埋め込み、スプレッドシートを再計算するという操作を何度も反復するというもので、数秒の間に何百～何千のシナリオを計算することが可能となっている。本ツールは、このシミュレーション手法を用いて、仮想サプライチェーンを構築し、影響変数やヒアリング調査で明らかとなった事業中断要因を適用することで、震災後の時間経過と共に変化するサプライチェーン全体、及び属する各企業の稼働率を算出する。

これらの情報を利用すれば、事前対策が容易となり、結果として被災時の損害の最小化が期待できるものである。現在はシミュレーションのアル

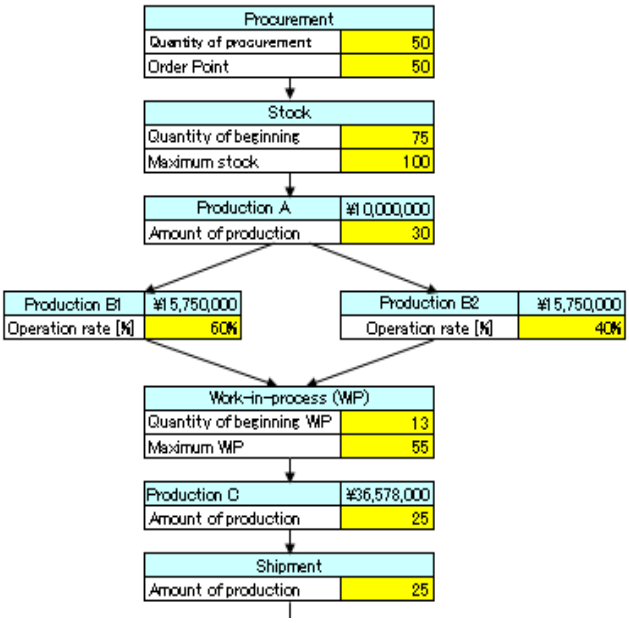


図６　生産工程入力画面

ゴリズムや実行結果の検証のため、基本的な生産工程やサプライチェーンを想定している。しかしながら、業種や個別企業に適したモデルへ変更が可能となっている。

生産工程における前提条件

企業は各生産工程や一連の生産の流れについて、条件を設けて生産を行っており、その条件は企業によって異なる。本シミュレーション・ツールで扱う仮想サプライチェーンを構成する各社の生産工程では、企業の種類によらない一般的な前提条件を設定した。以下がその前提条件である。

- 最終在庫量が在庫発注ポイントを下回れば調達が行われる。
- 在庫量が生産 A 取扱い数を上回っている間は、生産Aはフル稼働。ただし、下回っている場合は、既存在庫で稼動する。
- 仕掛在庫量が生産 C 取扱い数を上回っている間は、生産 C はフル稼働。ただし、下回っている場合は、既存在庫で稼動する。
- 最終仕掛在庫量が最大仕掛在庫量を超えている間は、調達を行なわない。
- 在庫量が、最大在庫量を超えている間は、調達を行なわない。

入力情報

生産工程情報

仮想サプライチェーンにおける各企業の工程数は 7 となっており、サプライヤー毎に生産工程別に稼動量情報を入力する。現段階では、想定される基本的な生産工程を想定しているが、各企業に応じた特殊的な工程変更も可能である。入力が必要な情報は以下の通りである。

- 調達
- 調達量、在庫発注ポイント
- 在庫
- 初期在庫量、最大在庫量
- 生産 A
- 平常時の生産数
- 生産 B1,B2
- 平常時の稼働率[%]
- ただし、B1 + B2 = 100[%]
- 仕掛在庫
- 初期仕掛在庫量、最大仕掛在庫量
- 生産 C
- 平常時の生産数
- 出荷
- 平常時の出荷数量

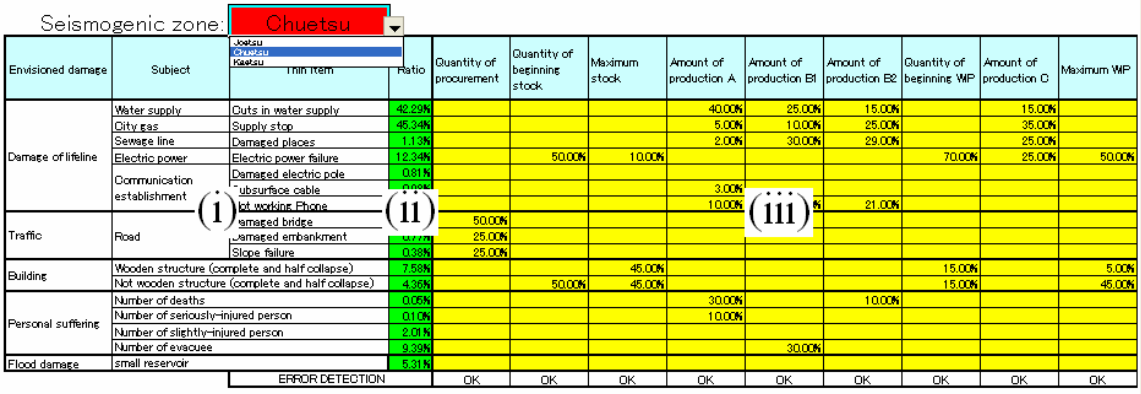


図７　影響変数及び依存率の設定画面

表１　主要な事業中断要因の被害率

被害想定項目	対象	細項目	被害率		
			上越地域	中越地域	下越地域
ライフライン被害	上水道	断水世帯	7.48%	17.21%	42.29%
	都市ガス	供給停止	8.37%	16.51%	45.34%
	下水道	被害箇所	0.21%	0.54%	1.13%
	電力	停電世帯	2.48%	4.67%	12.34%
	通信施設	電柱被害	0.19%	0.32%	0.81%
		被害地中ケーブル延長	0.11%	0.17%	0.98%
		支障電話回線	3.15%	3.15%	17.13%
交通施設被害	道路	被害橋梁箇所数	1.81%	3.84%	6.41%
		被害盛土箇所	1.70%	2.25%	0.77%
		被害斜面箇所数	1.81%	1.59%	0.38%
建築物被害		木造建物（半壊・全壊）	2.07%	2.84%	7.58%
		非木造建物（半壊・全壊	2.07%	3.01%	4.36%
人的被害		死者数	0.02%	0.01%	0.05%
		重傷者数	0.02%	0.04%	0.10%
		軽傷者数	0.37%	0.78%	2.01%
		避難者数	1.78%	3.59%	9.39%
地震水害		ため池	7.95%	13.26%	5.31%

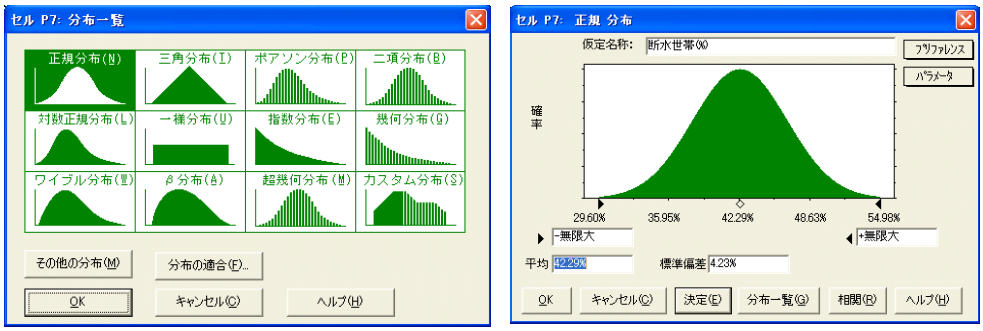


図８　確率分布の選択と設定

影響変数および依存率の設定

前項で設定した生産工程が経営資源にどの程度依存しているかの割合を入力する。**図７**における（i）で示されている 17 個の影響変数は、新潟県地域防災計画[2]で算出された 60 に及ぶ想定被害のうち、中越地震後のヒアリング調査によって明らかになった事業継続に影響を及ぼしたものうち、企業の種類にとらわれない主要な要因の被害率を抽出及び変更を加えたものである。

これらの影響変数の値は被害率（**図７**中 ii）として定義されており、想定する地震発生地域、上越、中越、下越地域のいずれかを選択することにより、自動的に割り当てられる。さらに、これらの既存の影響変数に加え、新たに各社に応じた影響変数を追加することで、より現実的で高精度なシミュレートが可能となる。

これら影響変数は被害率（**図７**中 ii）として不確実性を含む数値として表されている。そこで、この不確実性を含む影響変数を取り扱うために、それぞれの変数の特性を基に確実性に確率分布をあてはめる。**図８**の左図は分布の選択の一覧の例であり、右図は正規分布を選択した場合の詳細設定画面である。

次に各生産工程がどの程度これらの影響変数に依存しているかを設定する。（**図７**中 iii）

入力値は各工程が依存する影響変数の割合であり、その合計が 100[%]となるように百分率で入力する。

影響変数の追加

本ツールに用意されている既存の影響変数は、企業の形式に囚われない基本的な変数である。さらに、これらの既存の影響変数に加え、新たに各社に応じた影響変数を追加することで、より現実的で高精度なシミュレートが可能となる。しかしながら、シミュレーション・ツールを作成するにあたり、被災経験のない企業等にとっては、影響変数を作成する際に参考となる被害情報を把握していないことが予想される。そのため、影響変数の追加が困難であることや、追加できたとしても、シミュレート結果の実効性に疑問が残る。

そこで、本研究ではシミュレーションから得られる情報の実行性を向上させることを目的として、ヒアリング調査結果から得られたサプライチェーン寸断について要因分析を行ない、中越地震における事業中断要因表を作成した。この表では、ヒアリング企業の業種を問わず、事業中断要因を深度 6 まで掘り下げたものである。そのため、震度が深まると同時に各業種特有の要因が浮き彫りとなったことに留意する必要がある。但し、深度 3 程度であれば、業種に問われない要因であるため、これらを基準として業種や個別企業に適した要因分析の深堀を進めることで、実効性のある影響変数を作成できると考える。その際、深度 4 から 6 までの情報は参考となるであろう。

[2]新潟県地域防災計画

表２　事業中断要因の要因分析

深度1	深度2	深度3	深度4	深度5	震度6
人	通勤	通勤路が通行止め			
		通勤手段	自動車の喪失		
			地理的要因	遠隔地	
				橋	
		家族の被害	怪我の手当て		
			精神的ショック		
		家屋の被害	修繕		
			精神的ショック		
	避難・誘導	定期的な訓練			
	安否確認	携帯電話	連絡網に含まれている		
			メール機能を利用		
		専用回線の利用			
		出勤システムの利用			
		連絡方法の常時携帯	社員証		
			ポケット・マニュアル		
			携帯電話のメモリー登録		
方法	マニュアル無	迅速に行動できない			
	マニュアルの有	想定外事項の発生	想定時の環境と異なる	インフラ	
				企業内環境	物理的資源
					人的資源
				企業外環境	取引先の環境
		記載項目の不備	項目の詳細が不明		
	法定対策の実施	建築基準法			
	迅速な災対本部設置	被災地域内			
		被災地域外			
	過去の教訓を活用	対策実施	情報共有		
環境	外注先の被災	応援を要請できない			
	インフラの寸断	ガス	配給停止	ガス漏れ	
				安全装置作動	
			ガス器具の損傷		
		水道	配水停止	配管損傷	
				配水元が被災	
				安全上の停止	有毒ガス発生の危険
			水道器具が損傷		
		電気	断線		
			配電停止	安全上の停止	火災の危険
					感電の危険
				配電元が被災	
		運輸	物流経路が少数		
			物流手段が固定		
		通信	接続停止	断線	
				輻輳	
			通信機器の損傷		
	大規模災害地域	地理的要因	病院がない		
			地域的特性		
		人的要因	居住者人口		
			居住者年齢		
	余震	複数回避難			
		被害の拡大	地域的		
			人的		
			物理的		
	水害	鉄砲水の発生			
設備	生産設備の損傷	上階層に設置	建物の重心		
		転倒			
		移動	要精密度		
		埋没	対外力		
		内装の損傷	ダクト	耐震	
			壁	強度	
				耐震金具	強度
					位置
				方法	強度
					位置
			ドア	耐変形	
			窓	強化ガラス	
		漏水	配管の損傷	耐震	
				漏水検知	
				流水停止弁	
				待機状態	
			配管の位置	天井・床下	
		物品の損傷	不完全な固定		
	建物の損傷	耐震構造			
		免震構造			
		経年劣化			
		法律	旧建築基準法対応		

Setting of countermeasure effects

Item of measures	Thin item	Object of an effect	The damage rate of an effect object	Input of an effect rate	The damage rate after measures
Operation	Effect of a manual	Not wooden structure	4.36%	0.00%	4.36%
	Enforcement of legal measures	Wooden structure	7.58%	0.00%	7.58%
	Security of recovery worker	Damaged electric pole	0.81%	0.00%	0.81%
	Security of critical material	Wooden structure	6.41%	0.00%	6.41%
	Effect of anti-aftershock measure	Supply stop	1.13%	0.00%	1.13%
	Effect of past information	Damaged places	0.38%	0.00%	0.38%
confirmation of the safety	The use of cellular phone	Electric power failure	0.98%	0.00%	0.98%
	The use of private line	Damaged electric pole	1.13%	0.00%	1.13%
	The use of attendance confirmation system	Subsurface cable	0.38%	0.00%	0.38%
	bring with emergency manual	Not working Phone	17.13%	0.00%	17.13%
Building	Effect of antiearthquake design	Damaged bridge	0.81%	0.00%	0.81%
	Effect of quake-absorbing structure	Damaged embankment	0.98%	0.00%	0.98%
	Effect of measures of aged deterioration	Damaged bridge	0.38%	0.00%	0.38%
	Measures of now-defunct Building Standard Law	Electric power failure	0.10%	0.00%	0.10%
Plant for production	install in lower floor	Electric power failure	12.34%	0.00%	12.34%
	Effect of fall-prevention strategy	Cuts in water supply	42.29%	0.00%	42.29%
	Effect of movement-prevention strategy	Damaged bridge	6.41%	0.00%	6.41%
	Effect of flasking-prevention strategy	Damaged bridge	6.41%	0.00%	6.41%
	Effect of an anti-damage measure of interior decoration	Electric power failure	12.34%	0.00%	12.34%

図９　事前対策効果の設定画面

事前対策効果の設定

中越地震後のヒアリング調査では、事業中断に大きく影響した定性的な要因も多く見られた。これらの定性的な要因は影響変数のように、その影響度合いを算出することが難しく、シミュレーションへの反映が難しいものである。そこで、前項の影響変数の追加と同様に早期復旧ができた事例について要因分析を行った。

本研究の要因分析で明らかとなった、これらの定性的な事業中断要因を事前対策が効果を発揮する影響変数を選択し、その被害率をどの程度減少することができるのかを効果率として入力することで、定性的な事業中断要因をシミュレーションに反映させている。

表３　早期復旧要因の要因分析

深度1	深度2	深度3	深度4	深度5	震度6
人	人的被害	怪我なし			
		人命喪失なし			
	出社	被災者社員は要請不可能			
	子供	臨時託児所の開設			
方法	物資調達	企業内	事業用物資	ゴム長靴、ゴム手袋、モップ・ウエス	
			人道用物資	ガスコンロ、ガスボンベ、毛布、ビニールシート、電池	
		企業外	事業用物資	ゴム長靴、ゴム手袋、モップ・ウエス	
			人道用物資	ガスコンロ、ガスボンベ、毛布、ビニールシート、電池	
	広報	企業内説明	社員説明		
		企業外説明	取引先		
			顧客		
			行政	自治体	
				消防・警察	
				大学等の研究機関	
			報道機関	新聞社	
				専門誌	
				アナリスト	
		営業活動	時期		
			季節		
	生産再開	説明	企業内		
			企業外	本社対応	
	過去の教訓を活用	対策実施	情報共有		
	応援	企業内	宿泊地の確保		
		企業外	宿泊地の確保		
	建物安全評価	建設会社	要請なし応援		
			予め契約		
	災害対策本部	迅速な設置	企業内	携帯電話の利用	電話機能
					メール機能
			企業外	本社対応	
		運用	実行部隊と常席部隊を分離		
	通勤経路の確保	情報収集			
		開拓			
		斥候			
	外部情報収集	多チャネル			
	備品	量			
		種類			
	通信チャネル確保	専用線			
		臨時的処置	トラック等		
	雇用	公休日扱い			
		アウトソーシング利用			
	保険制度の利用	指摘対応項目対応			
	事前対策	出勤情報の把握			
		マニュアル	緊急要員の指定	地理的要因を配慮	
			更新	以前の被災経験	
		業界のガイドライン			
	納入元被災対策	代替可能	応援派遣		
			代替先の選定・決定		
		代替不可能	応援派遣		
	日常時の生産融通	自社内			
		自社外（同企業）			
	資源の臨時的削減	水	トイレ		
環境	企業規模	援助	資金		
			物資		
			人		
	生産利用材料	水	漏水対策		
			配水対策		
		化学薬品	中和対策		
			安全対策		
			換気対策		
	インフラの復旧	水	給水車を手配		
			臨時的給水契約		
			貯水槽	法律	防火用水
				雑用水	空調用
					生活水
		電気	自家発電	臨時的契約	
				通常時から利用	燃料の貯蓄
		ガス	プロパンガスの利用		
		通信	衛星回線の利用		
			専用回線の利用		
			優先電話の利用	公衆電話の設置	
		運輸	高速道路の利用	緊急車両として申請	
			船便から航空路へ		
	国内外拠点	代替生産			
	在庫	JIT			
		安全在庫保持	対通常		
			対災害		
	田舎	企業の周囲に居住			
		インフラ復旧が遅い			
	震災発生時期	土曜日			
		夕方			
	生産ライン移設	スペースの確保	生産の合理化		
設備	余震	自動停止	再稼働時間		
	情報システム	バックアップ	UPS		
		企業内同一システム			
		オンラインシステム	ネットワーク	リアルタイム	
	生産方法	セル生産方式			
		非コンピュータ制御	単機生産		

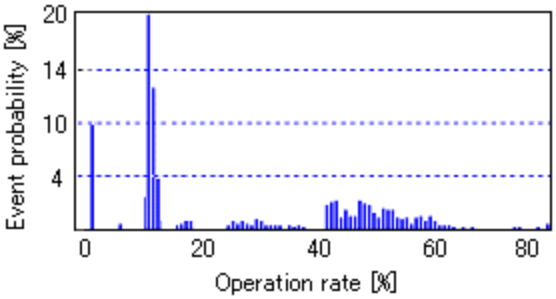


図１０　出力画面の例

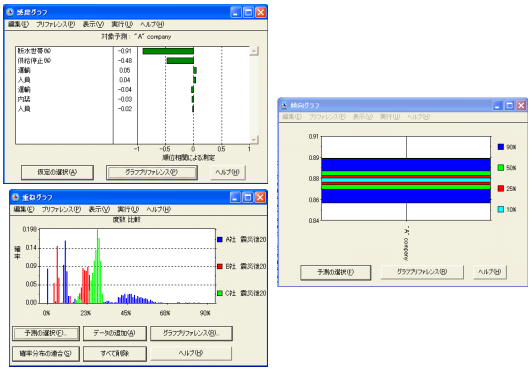


図１１　出力結果の分析

B社　計算シート

影響後の経営資源配分	
調達量	48.25
初期在庫	68.74
最大在庫量	93.39
生産A取扱数	28.02
生産B1	0.49
生産B2	0.31
初期仕掛在庫	11.64
生産C取扱数	18.61
最大仕掛在庫量	50.32
在庫発注ポイント	50.00

被害想定項目	対象	細項目	調達量	初期在庫	最大在庫量	生産A取扱数	生産B1	生産B2	初期仕掛在庫	生産C取扱数	最大仕掛在庫量
ライフライン被害	上水道	断水世帯	0.00%	0.00%	0.00%	23.08%	14.43%	8.66%	0.00%	8.66%	0.00%
	都市ガス	供給停止	0.00%	0.00%	0.00%	2.73%	5.47%	13.67%	0.00%	19.13%	0.00%
	下水道	被害箇所	0.00%	0.00%	0.00%	1.98%	29.66%	28.67%	0.00%	24.72%	0.00%
	電力	停電世帯	0.00%	43.83%	8.77%	0.00%	0.00%	0.00%	61.36%	21.92%	43.83%
	通信施設	電柱被害	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
		被害地中ケーブル	0.00%	0.00%	0.00%	2.97%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
		支障電話回線	0.00%	0.00%	0.00%	8.29%	4.14%	17.40%	0.00%	0.00%	0.00%
交通施設被害	道路	被害橋梁箇所数	46.80%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
		被害盛土箇所	24.81%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
		被害斜面箇所数	24.91%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
建築物被害	木造建物（半壊・全壊）		0.00%	0.00%	41.59%	0.00%	0.00%	0.00%	13.86%	0.00%	4.62%
	非木造建物（半壊・全壊）		0.00%	47.82%	43.04%	0.00%	0.00%	0.00%	14.35%	0.00%	43.04%
人的被害	死者数		0.00%	0.00%	0.00%	29.99%	0.00%	10.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	重傷者数		0.00%	0.00%	0.00%	9.99%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	軽傷者数		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	避難者数		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	27.18%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
地震水害	ため池		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

A社　震災後20日間の平均生産目標稼働率											
日	調達	在庫	生産A	生産B1	生産B2	生産B（総合）	仕掛在庫	生産C	最終在庫	最終仕掛在庫	稼働率
1日	23.60	92.34	28.02	13.60	8.79	22.38	34.03	18.61	73.73	15.42	0.74
2日	0.00	73.73	28.02	13.60	8.79	22.38	37.80	15.42	58.31	22.38	0.62
3日	0.00	58.31	28.02	13.60	8.79	22.38	44.76	22.38	35.93	22.38	0.90
4日	48.25	84.18	28.02	13.60	8.79	22.38	44.76	22.38	61.80	22.38	0.90
5日	0.00	61.80	28.02	13.60	8.79	22.38	44.76	22.38	39.42	22.38	0.90
6日	48.25	87.67	28.02	13.60	8.79	22.38	44.76	22.38	65.29	22.38	0.90
7日	0.00	65.29	28.02	13.60	8.79	22.38	44.76	22.38	42.91	22.38	0.90
8日	48.25	91.16	28.02	13.60	8.79	22.38	44.76	22.38	68.78	22.38	0.90
9日	0.00	68.78	28.02	13.60	8.79	22.38	44.76	22.38	46.40	22.38	0.90
10日	47.00	93.39	28.02	13.60	8.79	22.38	44.76	22.38	71.01	22.38	0.90
11日	0.00	71.01	28.02	13.60	8.79	22.38	44.76	22.38	48.63	22.38	0.90
12日	44.76	93.39	28.02	13.60	8.79	22.38	44.76	22.38	71.01	22.38	0.90
13日	0.00	71.01	28.02	13.60	8.79	22.38	44.76	22.38	48.63	22.38	0.90
14日	44.76	93.39	28.02	13.60	8.79	22.38	44.76	22.38	71.01	22.38	0.90
15日	0.00	71.01	28.02	13.60	8.79	22.38	44.76	22.38	48.63	22.38	0.90
16日	44.76	93.39	28.02	13.60	8.79	22.38	44.76	22.38	71.01	22.38	0.90
17日	0.00	71.01	28.02	13.60	8.79	22.38	44.76	22.38	48.63	22.38	0.90
18日	44.76	93.39	28.02	13.60	8.79	22.38	44.76	22.38	71.01	22.38	0.90
19日	0.00	71.01	28.02	13.60	8.79	22.38	44.76	22.38	48.63	22.38	0.90
20日	44.76	93.39	28.02	13.60	8.79	22.38	44.76	22.38	71.01	22.38	0.90

表４　計算過程記録シート

アルゴリズム

本ツールは、前項までに設定した情報を基にサプライチェーンを構成する企業ごとに生産稼働率を出力する。この生産稼働率は事前対策後の被害率、地震発生後の生産工程毎の稼働率より算出される。ここで、ある事前対策後の被害率(RODa)は、先述の地震発生想定地域を選択することにより自動的に読み込まれる被害率（RODb）と、前項で述べた、その被害率を低減させる効果率（ROE)からなり、以下の式で表すことができる。

$$RODa = RODb - ROE \qquad (1)$$
$$(\text{ただし } RODb \geq ROE)$$

この事前対策後の効果を加味した被害率RODa と、入力された平常時の生産工程別の稼動量情報（IOP）を用いることにより、地震発生後の生産工程毎の稼動率（ROPP）は次式のように求めることができる。

$$ROPP = (1 - RODa)IOP \qquad (2)$$

さらに、この生産工程毎の稼働率（ROPP）を全工程において求める。これら算出された稼働率（ROPP）を基に、先に示した稼動制約条件をセルに与え、仮想サプライチェーンを構築する。ただし、この条件は構築以前にすでに明らかなものであると同時に、各企業によって異なることから、その数式については省略する。

ここで、仮想サプライチェーンにおける各社の最終工程は出荷であることに注目すると、地震発生時の各社毎の生産目標に対する稼働率（ROP）は出荷工程における、先に入力された平常時の稼動量（ROCb）と、(2）式により求められた地震発生時の稼動量（ROCa）から次式で表すことができる。

$$ROP = \frac{ROCa}{ROCb} \qquad (3)$$

また、被害額を算出するにあたり、入力した各生産工程に用いられている生産設備の単価をUCとすれば、各工程での被害額をDAは、各工程の事前対策後の被害率（RODa）を用いて次式より導出することができる。

$$DA = UC * RODa \qquad (4)$$

これを各社ごとの全7工程において算出し、総和を取ることで各企業の被害額 CDA を算出する。

$$CDA = \sum_{i=1}^{7} UC_i * RODa_i \qquad (5)$$

また、仮想サプライチェーンを構成するA,B,Cの 3 つ企業の被害額の総和は(5)式で導出された各企業の被害額の総和で求めることができ、これを仮想サプライチェーンの被害額SDAとした。

$$SDA = \sum_{i=A}^{C} CDAi \qquad (6)$$

以上、構築した仮想サプライチェーンにおいて、このアルゴリズムの基礎であり不確実な値である被害率（RODb）に確率分布を当てはめ、モンテカルロ・シミュレーションを実行する。

出力情報

シミュレーションの出力情報は以下の通りである。

- 各工程の被害額
- 各社の被害額
- 各社の稼働率
- 仮想サプライチェーンの稼働率

シミュレーションの実行中は、仮想サプライチェーン全体、及び構成する各社の稼動状況の度数分布を逐次グラフ表示する。シミュレートの結果からは、サプライチェーン全体及び、それを構成する各社の統計量や信頼度を確認することがで

きる。例えば、下記の実行結果からは、A 社が震災後 20 日間の平均稼働率が約 10%になる確率が約 20%と最も高く、稼働率が 0%になる確率が約 10%であることが読み取れる。

さらにツールの機能を使用することによって、モデルを異なる面から検証することができる。感度グラフ機能では、サプライチェーンを構成する各社の稼働率に対する各影響変数の影響力をすばやく簡単に判断することができ、重ねグラフ機能では、複数の企業の稼働率同士の類似点や相違点なども視覚的に把握することが可能である。そして、傾向グラフ機能では、企業別に見ていたときには気づかなかった稼働率同士の傾向を把握することができる。

シミュレーションの実行経過は計算シートに記録される。このシートからは被災後の稼動状況を時系列に知ることができると同時に、復旧開始日の設定や甚大な被害を受けた要素の特定、理想的な生産工程の設計など、想定するシナリオについて、任意処理を行なう際に必要となるデータを提供している。

6. 最後に：BCM の今後の課題

事業継続マネジメント(BCM:Business Continuity Management)の重要性は、ビジネス・コミュニティ全体のレジリエンシー(Resiliency: 弾力性のある回復力)を確保するためには不可欠な要素となり、更に、積極的に取り組むべき戦略的経営課題とも位置づけられるようになった。その際、一企業単独の BCM だけでは、ビジネス・コミュニティ全体のレジリエンシーを確保するには不十分であり、BCM 体制構築にかかわる方法論、プロフェッショナル人材育成の仕組み、広く社会に普及させるための標準化などのメカニズムの導入が強く望まれる。この点においては、日本の政府機関や業界団体においても BCM 関連の委員会が立ち上がり、既にいくつかのガイドラインが公表されている。また、事業継続(BC:Business Continuity)という概念は、従来の災害復旧(DR:Disaster Recovery)よりも、より能動的、かつ企業活動全般を対象とするなど取り組む範囲が広範なことから、機械・設備・在庫などといった有形資産のみならず、顧客・取引信用・ブランド・組織力・従業員のモチベーションなどといった、いったん失うと再構築には多大な時間とコストがかかる無形資産をもマネジメントの対象としなければならない。

最後に事業継続マネジメント全体に係る今後の課題における重要性としてとりまとめを行う。

（１）BCM の方法論確立と標準化（ISO など）対応

ビジネス・コミィニティにおける BCM 体制の共有化には、共通の方法論導入や標準化が多大な貢献をすることは間違いなし、共通言語として社外とコミュニケーションできるプロフェッショナル人材とその人的ネットワーク[3]が必要となる。

（２）事業中断リスクの計量化（含む再構築コスト）

実際の事業継続マネジメント体制の構築に、どれほどの経営資源を投入すべきか、といった経営判断は極めて難しいとされるが、その経営判断をできるだけ客観的にできるよう支援する事業中断リスクを科学的に分析・計量化がシミュレーションできるような方法論やツールの開発もスキル開発と併せて必要である。

（３）インシデント及びニアミスのデータ収集と分析

事業中断リスクの計量化の精度向上やトップダウン・アプローチにおけるシナリオの現実性向上のためにも、実際に発生した事故や発生に至らなかったニアミス事例の収集と分析を行えるような仕組みの導入とスキル開発が望まれる。

---

[3] 弁護士、医師、研究者といったプロフェッショナルは所属する組織（事務所、病院、大学など）を超えた形態のネットワーク（例えば弁護士会、医師会、学会などに加え個人的な繋がり）を持っている。

（４）業界内の知識・ノウハウ共有

マーケットでは競合するものの、同業がゆえに共通する業務プロセスや発生可能性の高い障害や事故パターンについては、原因分析や対応策に関する知識・経験の共有をプロフェッショナル人材を通じて積極的に行うことで、業界全体のレジリエンシーを向上させる、というスタンスを特に日本の主要業界は持つべきである。

（５）経営判断プロセスへの反映

プロフェッショナル人材のみならず、経営者自らも業務継続マネジメントの方法論や手順を理解し先導することで、実際の経営判断に活かすことが可能となる。事業継続マネジメントと経営判断プロセスの間に乖離がある場合は、大きな戦略的欠落となり、本稿で取り上げた地震とは限らない「想定外」[4]の要因で事業中断を回避できなくなる可能性も高くなる。

（６）レジエンシー文化の定着

事業継続マネジメント体制の実効性は、末端の一従業員のマインド・セットにまで浸透していなければ全社的なプログラムとしてのレジリエンシーは保証されない。これはごく少数の従業員による不祥事や誤判断が全社に影響を及ぼし、マスコミ経由の社会的な制裁のみならず、経済的なダメージを受けることで中には事業を諦めざるを得なくなった事例がこのところ散見されることからも、企業文化としてしっかりと定着させることがいかに重要かがわかる。

いずれにしても、今回の新潟県中越地震における事例に見られた通り、企業はゴーイング・コンサーン[5]として「事業継続」という当たり前のことが難しくなってきた経営環境において、事業継続を戦略的経営課題として積極的に取り組む企業は、顧客やビジネス・コミュニティからの信頼を更に向上させることになり、その結果として業績向上、市場競争力の強化を達成できることになるのである。

［主な参考文献］
「地震からの復活～三洋に学ぶ半導体工場のリスク管理」、日経マイクロデバイス 11 月号
「企業の地震対策と危機管理」、小林誠・大石裕之、シュプリンガー・フェアラーク東京、2004 年
「事業継続マネジメント入門～自然災害や自己に備える、製造業のためのリスクマネジメント」、ＳＥＭＩ日本地区編、共立出版、2005 年
「新潟県中越地震からシステムの災害復旧（DR）事例」、システム開発室長　下山和俊、岩塚製菓株式会社、2005 年

[4] 戦略的に事業継続マネジメント体制を構築・運用していれば想定されていた。

[5] 企業は永続的なものであり、継続してその営業活動を行うものであることを意味する概念（経済辞典、有斐閣より引用）で、企業は『継続事業体』として存続・発展する必要があり、取引先、消費者や投資家はそれを大前提としている。

復興計画の特徴とその課題

中出文平
長岡技術科学大学環境・建設系

１．地域復興への先駆け－復旧の動き

平成16年10月23日の地震発生後、一月余りの期間、国、新潟県そして各自治体は、応急復旧に追われる日々が続いた。例えば、大動脈である関越自動車道は19時間後には緊急車両の通路を確保した後、４日目には通行車線を確保し、そしてわずか34日目にして長岡ＩＣと小出ＩＣの間の片側２車線通行が可能となる全面復旧を果たしている。同じく、関東方面と中越地域を結ぶ一般国道17号線は、10日目には通行不能であった和南津トンネルで片側交互通行を可能とし、64日目の12月26日には全面復旧を果たしている。被災直後に全面通行止めであった場所は、直轄国道で17カ所、補助国道で61カ所、県道で163カ所あったとされているが、年内に直轄国道は全て、補助国道は50カ所、県道は117カ所が、通行規制が解除されるまでに復旧されている。

ライフラインについても同様であり、電気はピーク時には約27万８千戸が停電していたが、年内には山古志村及び小千谷市の一部を除いて全て復旧し、都市ガスもピーク時の供給停止戸数約５万６千戸が、年末にはほぼ全戸復旧に至っている。上水道はピーク時の断水戸数約11万戸のうち、年内のうちに復旧に至らなかったのは約1100戸に減少している。

こうした復旧に際しては、国、県、市町村の不眠不休の努力と共に、電気、ガス、水道などの復旧のために全国から応援に駆けつけた技術者の存在も欠かせなかった。おかげで、人々の生活に直結する電気、ガス、水道といったライフラインは、上述のようにかなり早期に復旧が達成された。それにもまして、道路の復旧が進められたわけである。

また、復旧への取り組みに当たっては、阪神大震災の教訓が生かされている。例えば、電気については通電火災の恐ろしさが伝えられ、復旧が終わった後も慎重に通電を進めている。また、被災者に対する配慮についても、仮設住宅の建設に際して、申請ベースで建設を進めるとともに、集落単位での入居を進めた自治体や、応急住宅の利用方法やレイアウトを柔軟にするなどの工夫がされている。

２．復興に向けての初動

既に11月の段階で、これからの復興に向けていくつかの論点が示されていた。最も大きく、かつ喫緊の課題とされたのが、冬に向けての考え方であった。復旧・復興が降雪期にかかるため、被害が拡大することが予想され、じわじわと被害が拡大することが予想された。すなわち、地盤災害といわれる所以となった各所で生じた土砂崩壊や道路陥没等が、積雪加重や融雪過程で、さらに発生・拡大することが懸念されたことがまず挙げられる。また、全壊には至らなかったものの被害を受けた建物が、積雪によって倒壊することも心配された。特に、山古志村のように全村避難した所はいうに及ばず、市街地内や集落で屋根雪や道路除雪などの雪処理をしてきた構成員が避難・転居しているという事態は各所で散見され、建物自体だけでなく地域コミュニティ全体に対して、降雪期に維持・管理が行き届かないであろうことが、確実に想定された。このように、雪によって拡大

するであろう被害に対して、どのように対処するかが課題とされた。実際に、例年と較べて降雪が始まったのは若干遅かったものの、19年ぶりの大雪のシーズンとなり、懸念された事態が生じた。

一方で、復興計画の策定に当たり、積雪期間にじっくり議論を深め、雪解けとともに取り組むことが肝要であり、約４ヶ月の積雪期間にしっかりした計画を策定することが、その後の復興を実のあるものとするためには不可欠である、という議論もあった。こうした中で、新潟県及び被災した各自治体はそれぞれ、復興計画の立案を年末もしくは正月明けから開始した。

３．新潟県の復興ビジョン

県は震災復興ビジョン策定懇話会を立ち上げ、12月27日に最初の会合を持った。総合アドバイザとして阪神・淡路大震災記念人と防災未来センター長の河田教授を迎え、学識経験者、専門家、商工会議所、報道機関、行政というまさに産官学を集めた組織で議論を始めた。翌年１月23日、２月23日と足早に３回の議論を踏まえて、県の復興ビジョンを策定した。県が大枠を示した上で、市町村がそれぞれの状況を踏まえて個々の計画を立案するために、早期のビジョン策定が必要であったためである。これと並行して、１月から２月上旬の間に、震災復興ビジョンに対する意見をホームページ、電子メール、郵送、ファクシミリといった多様な方法で県民に求めた。実際に多様な意見が寄せられている。

３月１日に発表された「新潟県中越大震災復興ビジョン」は、震災復興計画を策定する被災地の市民と自治体に対して、個々の自治体が地域、地区ごとにバラバラの夢を抱き、計画を策定するのではなく、被災地域全体として共有したい夢の像を示すものであると冒頭で謳う。すなわち、このビジョンをベースとして、市町村の復興基本計画が策定され、各種の復興事業が実施に移されることを想定したものである。復旧と復興に関する考え方として「旧を踏まえつつその上に新たなものを生み出していくこと、これを『創造的復旧』と呼び、新潟県中越大震災からの復興ではこの『創造的復旧』を大きな柱とする」としている。

ビジョンは、大きく３つの部分からなる。第一に基本コンセプトである。ここでは、次世代への発展的継承ビジョン、持続可能性と防災・安全とがキーワード、新潟の有する資源の最大活用、の３つが基本コンセプトとして示された。第二が10年後を想定した二つの未来の記録である。一つ目の記録は従来型の復興を目指すシナリオで、しっかりしたビジョンをもつことなく公共投資重点型で進めた結果、惨憺たる将来を予見させるものである。二つ目の記録は新しい地域イメージを提示し、それを実現するための復興方針に基づいて復興を進め、「日本の中山間地を再生・新生させた地震」として記録されることになるというシナリオであり、ビジョンの３番目にあたる復興の基本方針に至る序章をなす。第三が復興ビジョンの骨格をなす復興の基本方向である。冒頭に理念として、新潟県の持続的発展を促し、日本全国への情報発信として「新潟県防災・安全立県宣言」を提案している。地域イメージとして「最素朴と最新鋭が絶妙に組み合わさり、都市・川・棚田・山が一体となって光り輝く中越」を提示し、第二の記録をとどめるべく、以下の６つの基本方針を示している。

復興ビジョンの基本方針は、①情報公開によるwin-win（お互いにいい）復興、②中山間地の段階的復興と魅力を活かした新産業の計画的生み出し、③産業の持続的発展のための条件整備、④安全・安心な市民自治の確立、⑤市民安全にかかわる新しい学問・研究の開拓、⑥他地域・全国・他国への貢献の６点である。この基本方針のもとで、

復興に関しては、民間活力を積極的に導入し自立的発展を促進するとしている。

具体的な復興施策の指針は、大きく６つの分野に関して、合計26の内容が示されている。

［１］土地利用と社会資本

①自然への畏れをこめた土地利用

②生活、生業再建と一体となった社会資本の復旧と再構築

③耐震性と災害時の自立電源・情報通信の確保に万全を期した公共建築物の再整備

［２］農業・林業

①中山間地全体の復興計画の作成

②農業生産法人化、組合化、グループ化等の農林業の経営再編

③農地再編方式と復旧事業費の配分の決定

④女性・若者の力の十分な活用

［３］住宅・まち・むらづくり

①コミュニティ確保と自力再編を基本とした住宅再建

②既存の空家・空地の活用

③耐震診断、耐震補強の強力推進

④専門家チームの編成と派遣

［４］産業、商業、興業（民間活力重視）

①新たな産業構造の構築

②地域循環・還元型取引の推進

③自然の恵みを活かした観光事業への特化・集中

④震災メモリアルパークと関連施設の整備やイベントの開催

⑤震災アーカイブスやミュージアムの整備と被災地へのサテライト整備

⑥新潟発防災・安全産業と首都圏も視野に入れたバックアップ産業の創出

⑦県内広域防災拠点の整備と相互連携システムの構築

⑧災害時事業継続のための官民連携新組織の立ち上げ

［５］防災、保健・医療・福祉、コミュニティ

①地域防災計画の検証と住民自治防災安全計画の作成

②災害医療対策の確立と心身の健康づくりの整備

③地域内相互ケア体制の整備

④コア・コミュニティとサテライト・コミュニティの構築

⑤次世代育成支援策の再構築

［６］防災・安全に関する学問・研究（官民連携）

①市民安全大学の開設

②地方災害総合研究センターの設置

４．新潟県中越大震災復興基金の設立

一方、これに先立つ11月中旬時点で、新潟県は長期的な復興対策を行うため数千億円規模の基金設立の意向を示した。基金があれば、予算をいちいち組まなくても、様々な復興対策に柔軟・迅速に資金を投入できるためである。阪神淡路大震災や雲仙普賢岳噴火の際にも基金が設立された。元手の資金は県債を発行して調達し、支払う利子の大部分を国が地方交付税で負担するという仕組みで、財政的にも県としての利点が大きい制度である。これに対して、国や他の都道府県の同意が必要であるが、12月中旬の段階で麻生総務相が復興基金の規模は三千億円になると明らかにし、原資となる地方債の発行の許可及び利子の支払いに対して地方交付税で財政支援する方向を示した。

これを受けて翌年３月１日に(財)新潟県中越大震災復興基金が設立された。大震災からの早期復興のための様々な取り組みを補完し、被災者の救済、自立支援そして被災地域の総合的な復興対策を長期・安定的、機動的に進め、災害により疲弊した被災地域を魅力ある地域に再生させることを目的としている。復興基金は、被災地の復興支援のために、県が借金にあたる県債を三千億円分発

行して設け、十年間分の利息にあたる約六百億を事業に充てることになる。

基金をもとにした事業は、４月８日までの期間で、県民から意見を募集して決めるとされ、震災からの復興に向けて、「生活・産業基盤の再建」「地域コミュニティの再生」「全県的な観光ＰＲ」等について募集した。復興基金事業（メニュー）の考え方としては、被災者の生活再建や被災地域の再生を直接の目的として、公的サービスが必要なもののうち、復旧・復興対策として本来行政が行うもの以外で、行政サービスの補完となるものとする、とされた。結果として、22日間で 1,781に上る提案が寄せられた。５月10日には、寄せられた提案のうち、住宅復興、生業の維持再生等被災者の生活設計に直接結びつくもの等、緊急に実施が必要なものとして６事業30メニューが決定され、実施済の４メニューを含めると７事業34メニューが出揃った。５月10日開催の第４回理事会において実施事業の一部が決定された。公募により、広く県内外から寄せられた提案のうち、住宅復興、生業の維持再生など被災者の生活設計に直接結びつくものなど、緊急に実施が必要なものについて６事業（30メニュー）が決定され、既に実施の４メニューを含めると、７事業34メニューが出揃った。ここで採択され事業化が決定された内容は346件であり、継続整理としたものとして1,430件が残っていた。その後、6月10日にも８メニューが追加されている。事業名は、被災者支援対策事業、雇用対策事業、被災者住宅支援対策事業、産業対策事業、農林水産業対策事業、観光対策事業、教育・文化対策事業である。各事業（メニュー）について、順次、申請受付が開始されている。

５．長岡市の復興計画

長岡市は、蓬平及び濁沢地区で、地区住民全員の避難が行われる等、東部地区で大きな被害を受けた。そうした中で、平成17年４月１日に周辺５町村と合併し、越路町、小国町、山古志村といった甚大な被害を受けた町村を拡大した市域に抱えることになるが、合併に先立って長岡市復興委員会を設置し、３月16日には第１回会合を開催して、震災や水害からの復興のための具体的な事業を盛り込んだ復興計画の策定に着手した。６月上旬までに４回の委員会を開催し、復興計画（素案）を発表している。

委員会の構成委員は、長岡にある３大学の学長及び商工会議所、農協、医師会のトップに加えて大学教授２名という構成である。計画対象範囲は合併による新市（合併前の１市４町１村）で、２章で述べた被災地再生への指針として県がまとめた「中越大震災復興ビジョン」の内容を踏まえたものにするほか、昨年12月に発足し復興に向けての課題や具体的な活動・支援等を幅広く検討している「大地復興推進会議」（代表世話人・平井邦彦長岡造形大学教授）の議論を生かしたものとするとしている。

復興計画（素案）では、1.安全な暮らしを確保する、2.災害をバネに社会の活力を高める、3.中山間地の持続性を確保する、を地域社会に求められる復興の姿としている。復興にあたっては、暮らしの基盤となる道路、上下水道、農地等のインフラや公共施設等の復旧と併せて、住宅や働き場、地域コミュニティ、伝統文化等を一体的に再生していくことが必要になるという認識のもとで、「生活の再建」「まちの活性化」「教育・文化・コミュニティの再建」「中山間地域の再生」を計画の４つの柱に据え、暮らしや産業等の一体的な復興に取り組むことを基本目標とし、現在、これにインフラ復旧を含めた５つの目標毎に施策の方向性を検討している。

さらに、特定地区の復興プランとして、今回の水害又は震災によって「長期避難を余儀なくされ

ている地区」または「防災集団移転が想定される地区」である６地区を「特定地区」に位置づけ、今後の復興方針を示している。

また、重点プロジェクトとして、１．生活再建のための住宅支援、２．新たな観光・交流産業の創出、３．震災メモリアル拠点の整備、４．市民安全大学の開設、５．中山間地域の農林業の再生、が挙げられている。

６．長岡市と合併する前の町村の復興計画

５節で示したように、小国町、山古志村など周辺５町村が平成17年４月１日に長岡市と合併した。被害の大きかった町村のうち越路町は独自の復興計画を合併前に策定しなかったが、小国町と山古志村では合併前に、それぞれの意向を明確に示すために独自の復興計画を策定している。

まず、全村避難した山古志村については、村民全員が同じ場所で避難生活をしていたことから、年が明けた１月から地区別の住民懇談会を設けている。その後、２月に住民代表、議会代表、行政職員など21名の委員による復興計画策定委員会を設置した。３月15日を目指して計画を策定に着手し、「帰ろう山古志へ」とのタイトルがある「山古志復興プラン」を策定した。３月３日には、復興の指針となる「山古志復興プラン骨子」をまとめ、４月に合併する長岡市の森民夫市長に提示している。この骨子では、全村民の帰村を平成18年９月と定め、それまでにライフラインや役場、学校などの公共施設の復旧を完了させる「復旧・復興の方針」を提案している。

復興スケジュールを３期に分け、平成18年９月までの「復旧期」、平成21年４月までを「復興再生期」、それ以後を「地域の価値を高める時期」と３段階に分けている。これに伴う帰村の条件として、道路、ライフライン、住宅、農地・養鯉池など12項目を挙げ、道路については、平成18年９月までに集落間の通行を確保するとした。ライフラインの中でも壊滅的な打撃を受けている簡易水道は「復旧には多大な時間と費用がかかるが、帰村スケジュールに合わせた復旧を目指す」としている。一方、住宅については、「自力で住宅再建が不可能な世帯は、公共住宅の整備供給を図る」などとし、Ｕターン、Ｉターン者などの転入者も視野に入れるとした。また、農地・養鯉池の復旧では、被害が軽微な場所は「５月末の田植えなど今春からの作付けや養殖に間に合うよう雪消え直後から工事に取りかかる」と早期復旧を目指す方針を示すとともに、公共機能の復旧では、全小中学生が平成18年の２学期から通学できるよう校舎などを整備することを掲げている。このほか、棚田や棚池の景観を維持し、ニシキゴイや闘牛など固有の文化遺産を大切に継承することも強調しており、Ｕターンなどの転入者や観光客なども受け入れることを掲げている。

このように、「人のきずなを重視したムラ社会としての自治モデルを提供する役割」と帰村の意義を強調した上で、復旧する住宅は周辺の自然環境と調和したデザインとする等、山古志らしさのある美しい景観を重視した復興モデルを提示している。

これと並行して、北陸建設弘済会が音頭を取った産学のメンバーで構成された山古志復興新ビジョン研究会も平成16年12月から活動を開始し、翌年５月には山古志復興新ビジョンを公表している。３回の全体会議で、委員長と３分科会座長を中心に、研究会の方針や大きな枠組みを調整・決定し、それに基づいて地域基盤再生、生活再生、産業・経済再生の３分科会で具体的なメニューやプログラム（提言）を検討している。５月に出された計画では、⑴山古志地域の農産物のブランド化や、自然体験ツアーなどを事業展開する「株式会社山古志村（仮称）」の設立、⑵防災研究や震災メモ

リアル事業を行う特定非営利活動法人（ＮＰＯ法人）、(3)「山古志防災フロンティア（仮称）」の発足の３つを柱としている。今後、この計画の遂行によって、山古志復興を支援する体制をとっている。

一方、小国町では、合併までの期間が短く町民全体から個別に意見を聴き集約する時間がないという理由で、集落総代や合併協議会委員、まちづくりビジョン検討委員会委員等の町内各層から意見聴取を行った上で、議会と有識者との協議を経て、庁議を経て合併直前の３月30日に策定を終えている。合併前の時点で考えられる小国地域の復興についての考え方をまとめて、新長岡市に引き継ぐことを目的とする。対象期間を５年間とし、合併後に新市で個別の具体的な事業が検討されることから、総合計画のような事業の検証や具体的な施策を列挙しないものとしている。

基本理念に「人と人、人と自然、地域と地域の調和を図りながら、目指す自立と共生のまちづくり」～いつまでも住み続けたい小国の里～、と謳い挙げ、具体的な指針は1. 元気で支えあう気持ちを育み全ての人にやさしい里づくり、2. 安全で味にこだわる食の里づくり、3. へんなかツーリズムによるもてなしの里づくり、4. 伝統技術の継承と独自技術を活かしたこだわりの里づくり、の４項目を挙げる。

７．小千谷市の復興計画

小千谷市は、復興を市民主体で進めている。まず、震災復興計画策定に向けて、平成17年２月20日と４月10日に「復興計画策定市民ワークショップ」を開催した。第１回目には市民 108名が参加し、震災を乗り越えて新しいまちづくりを進めるために、①直すもの・もとに戻すもの、②避けるもの・やめるもの・改めるもの、③守るもの・続けるもの、④伸ばすもの・新たにはじめるもの、について議論した。第２回では参加者は減ったものの、それまで出された1500余の意見を組織化して予め作成した６つの復興計画課題・復興目標・復興施策を確認した後、優先して実施すべき重要施策を市民の視点で検討した。

これを受けて、震災から復興し、より良いまちづくりを目指すための「復興計画」の策定を目的とする小千谷市復興計画策定委員会の第１回目が４月18日に開催され、5月16日に第２回が開催されている。復興計画策定委員会は丸山久一長岡技術科学大学副学長を委員長とする、各地区、各界の代表者24名で構成されている。第２回委員会で、ワークショップなどでの市民、市職員からの意見を基に、復興計画の骨子をまとめている。①市民生活の復興、②産業・経済の復興、③安全・安心な社会基盤、都市基盤の復旧・復興、④コミュニティの強化、⑤災害につよいまちづくり、⑥復興の進め方、という６つの復興課題とそれぞれに対応した目標を定め、その目標達成のために必要な方針と施策を掲げ、市民、企業などと行政の協働体制を確認している。計画期間は10年間で、平成19年までを短期としてインフラ復旧や住宅・都市基盤の再建整備を目指す期間とし、 緊急度の高い事業を進め、平成22年までを中期の新しい小千谷市を創り上げる期間、平成26年度までを長期の以前にも増して小千谷市が発展し本格的な復興を遂げることを目指すとしており、具体的には、34の方針をたて、 101項目の施策を提案している。

その後、５月25日から６月７日までの期間に市民からの意見をパブリック・コメントとして求めており、これを踏まえて、公募した市民34人と市職員で構成するワーキンググループ（作業部会）で、施策を実現するための具体的な事業の検討を進め、７月下旬までには計画を策定することとなっている。なお、この計画は平成18年度から始まる次期総合計画の一部としての位置づけである。

８．川口町の復興計画

震源地を含み、被害の大きい川口町では、平成17年２月に震災復興対策本部を設置し、震災復興計画自体を審議・決定する本部会議とその下部組織として計画素案を策定する策定部会、そして地区別復興計画に関する意見や提案をまとめる地区震災復興委員会という組織構成で、平成17年９月を目途に復興計画を策定し、同10月下旬（10月23日まで）に公表し、総合計画に反映する予定である。計画策定期間は10年間で、震災直後の「復旧」だけでなく、まちの再生に向けた「復興」に取り組むための内容を定めるとしている。復興計画の主な項目に、復興の基本方針、復興重点プロジェクト、地区別復興計画を挙げている。復興重点プロジェクトは、復興への「きっかけ」づくりであり、復興に向けた具体的な取り組みをリードしていく施策・事業を示すものであり、地区別復興計画は、町内を11地区に分け、地域ごとの復興への取り組みの方向や内容を示すものである。

復興のテーマに「中山間地域の再生といつまでも住み続けたいまち（仮）」を掲げて、中越大震災からの一日も早い復興に向けて、様々な復旧・復興事業を推進していくとともに、震災を契機に町の現状を見つめ直し、地域が主体となって中山間地である町の特色を最大限に生かしながら、さらなる発展を目指すとする。復興に向けた基本方針として、①生活の再建、②町の活力の再生、③都市基盤の整備、④コミュニティの再生・強化、⑤災害に強い安全・安心なまちづくりの５区分を設定し、それぞれ具体的な施策や取り組みの方向を体系的に示し、おおむね10年間に見込まれる具体的な事業を検討していくことになる。

町の復興に向けた取り組みをリードし、今後10年間を見据えたまちづくりに向けて特に重点的に取り組む事項として、①町の「顔」の再生、②「農業」の再生、③新たな「交流」の創造の３つの方向で検討している。町の「顔」の再生とは、川口町の顔となる中心市街地（東・西川口地区）における定住人口の回復や定着のための、都市基盤の再生やにぎわいの創出など、町の復興のシンボルとなる取り組みであり、「農業」の再生とは、多くの町民に関わりの深い「農業」の早期復興を図り、今後も町の発展に重要な基幹産業としての農業を再生し、農業経営構造改革の推進による農業の活性化をめざす取り組みである。また、新たな「交流」の創造とは、町の観光・交流拠点としての「蒼丘の杜公園」の再生や「震災」を契機に生まれた新たな交流の創出などへの取り組みである。これにあわせて、 地区別復興計画の策定を、現在地区ごとに震災復興委員会を開催しながら、検討している。

９．新潟県の復興計画

各市町村の復興計画がほぼ出揃った平成17年８月に新潟県は新潟県中越大震災復興計画を発表している。この計画は３節で紹介した「新潟県中越大震災震災復興ビジョン」を具体化する計画であり、県として取り組む行政計画としての位置づけである。また、震災復興ビジョンを受けて、被災者の声を踏まえて各自治体が検討した市町村計画の骨子等を受けて、市町村支援・広域的観点から県が計画を策定したものである。

計画の基本的考え方の部分は、復興の柱が「創造的復旧」であり、基本理念に「被災者の思いを基本とした復興」とし、復興の目標時期を「概ね10年後」とするなど、震災復興ビジョンを踏まえたものである。

施策展開の考え方としては、復興の「新潟モデル」の実現を目指して、以下の５つを挙げている。

①被災者の実情に応じた施策展開

　－被災者の確実なサポート

②民間活動と連携した施策展開

－民間の知恵と行動力の動員
③県内経済の持続性に資する施策展開
－県内優先調達への配慮
④復興事業を先導とした全県への施策展開
－新潟県全体のリニューアル
⑤全国への発信・貢献を目指した施策展開
－復興の「新潟モデル」の実現

また、目標時期は概ね10年であると示したが、すべての被災者が生活再建の見通しを立てられる目標時期として、平成18年10月を挙げている。これは震災から３回目の降雪期を迎える前に、住宅と生業の再建支援及びそのために必要な社会資本の復旧、さらに応急仮設住宅の入居者をはじめとする被災者の生活支援に取り組むことを掲げたものである。このように今回策定する計画は復興に向けた「第一次計画」であるとし、また、被災地・被災者のニーズを把握して的確にフォローアップしていくこととして、19年度までは毎年度、点検と見直しを行うとしている。

具体の計画の体系は、前述のように平成18年10月までに取り組むⅠ－生活再建支援策と段階的かつ着実に取組を推進するⅡ－復興政策に分けられ、前者は生活再建と生活基盤の復旧に、後者は①中山間地域の復興、②産業・観光の復興、③まちの再生、④災害に強い県づくり、⑤震災の経験と教訓の継承・発信の５つに分けられ、それぞれ、施策の方向、基本事業、関連する国への提案・要望という内容になっている。

10. 復興に向けての今後－まとめ

ここで取り上げた市町村以外でも、魚沼市（６町村の合併で新設）、十日町市（川西町等と合併）、栃尾市、柏崎市（高柳町等と合併）、見附市等が被災後の復興に向けて、大なり小なりの計画を考えているが、その多くが合併後に策定する総合計画の一部として、加筆修正する方向である。

復興に向けて様々な努力が行われる一方で、被災市町村の多くが市町村合併の波にさらされた。平成16年11月１日に堀之内町、小出町、広神村、湯之谷村を含む６町村が合併し魚沼市となった。震災直後の合併ということで、新市での対応を避け、旧町村単位での被災対応を行った。５章で示した様に、長岡市も自身が大きく被災したのに加えて、被災した町村と合併しており、復興計画は旧町村を含めた計画となっている。いずれの自治体も、先述のように合併後に総合計画の策定が必要であり、復興計画はその一部に組み込まれることとなろう。

今後の復興スケジュールは、県を初めとしてほとんどの自治体が３・３・４年の３期で進めようとしている。その中で旧山古志村が帰村後の生活確保のために、復旧を２年後の秋としており、この半年の相違をどう考えるかも、これからの課題となる。