

# 海浜事故防止のための波浪推算および調査に関する基礎的研究

## ANALYSIS OF WAVE CHARACTERISTIC FOR PREVENTION OF SEASHORE ACCIDENTS IN NIIGATA COASTAL ZONE.

犬飼直之<sup>1</sup>・木下茂生<sup>2</sup>・橋本融<sup>3</sup>・山田文則<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 正会員 工博 長岡技術科学大学大学助教 工学部環境・建設系 (〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1)

<sup>2</sup> 非会員 法務省 (〒100-8977 東京都千代田区霞が関 1-1-1)

<sup>3</sup> 非会員 株式会社植木組 (〒945-8540 新潟県柏崎市新橋 2-8)

<sup>4</sup> 正会員 工博 株式会社アイ・エヌ・エー 海岸部 (〒112-8668 東京都文京区関口 1-44-10)

Sea bathing is an interesting activity for many people in Japan. However, a lot of swimming accidents occur every year. So many seashore accidents also occur in Niigata shore. The seashore accidents can be caused by various factors. One of them is rip current. Rip current is a strong flow with the direction from shore into offshore. During the last few years, seashore accidents caused by rip current around artificial structure such as jetty of offshore breakwater are pointed out.

In this study, simulation of rip current is performed using two-dimensional finite difference model based on the Boussinesq equations. Simulation was carried out on virtual topography in which jetty is existed. Wave is generated from the offshore with the different directions and then characteristics of wave and rip currents around jetty are examined. Characteristics of incident wave are estimated using SWAN model. The simulation results show that rip current occurred at the tip of jetty if the wave direction angle is more than 40 degrees. As the angle of wave direction grows bigger, shore currents were developed. The jetty obstructed the shore current and directed the flow toward the offshore.

**Key Words :** NIIGATA coastal zone, accident, rip current, NAWPHAS, SWAN

### 1. はじめに

近年, 夏季に多数の海浜事故が発生している. 新潟県沿岸でも近年海浜事故が多発しており, 第九管区海上保安本部管内では, 平成 16 年にはマリレジャーに伴う海浜での事故が 59 件あり, そのうち 13 件が死亡・行方不明事故であった(表-1). この様に, 北陸でも海浜事故は毎年発生しており, 今後同様に事故が発生することが予想される. 浅海域で発生する海浜事故には様々な要因が考えられるが, その原因の多くは人が沖に流される離岸流によるものと考えられる. 離岸流は地形と波浪条件により低波高時でも発生する. 離岸流は以前より大規模な砂浜海岸等で発生する事が知られていたが, 近年では, 突堤や離岸堤などの海岸構造物の増加に伴い, 付近の流れが複雑化することによっていわゆる離岸流が発生し, それが重大事故の原因となる場合も多いのではないかと考えられる.

以上のことより, 本研究では新潟県の新潟県沿岸域での海浜事故の主要な発生原因の 1 つと考えられる突堤などの人工構造物付近での離岸流の発生条件など物理的特性を把握する事を目的とした.

### 2. 研究内容

本研究ではまず, 既往の新潟県沿岸の海浜事故を調査し, 離岸流の発生時の気象・海象を把握した. 次に, 県内全域の夏季の波浪特性を把握するために, 主要観測地における気象・海象データを比較・検討した. 更に沿岸全域の波浪特性を把握するために波浪推算を実施し, 沿岸全域の波浪特性の把握を試みた. これらの情報を総合して県内全域における離岸流の発生条件について検討をおこなった. 最後に, 以上より得られた知見を基に離岸流の発生の可能性

表-1 第九管区内の海浜事故 (平成 12-16 年度)

平成	海浜事故		
	マリレジャーに伴う海浜事故	その他の海浜事故	小計
12 年	55 (34)	55 (41)	110 (75)
13 年	58 (17)	35 (23)	92 (40)
14 年	114 (41)	64 (44)	178 (85)
15 年	41 (16)	54 (41)	95 (57)
16 年	59 (13)	43 (22)	102 (35)

( ) 内は死亡・行方不明者数, 単位: 人, 新潟県沿岸

がある場所を選定し、実際に現地観測を実施して離岸流の規模などを把握し、新潟県沿岸域での海浜事故防止のための知見をまとめた。

### 3. 新潟県沿岸域における海浜事故事例の調査

#### (1) データベースからの事故事例抽出

新潟県の沿岸域で離岸流による事故が毎年どれくらい発生しているかを把握する為に、朝日新聞オンライン記事データベースを用いて過去の事故事例を調査した。検索が可能であった期間は1987年～2006年の期間であった。検索の結果、合計51件の海浜事故が抽出された。これらの事故状況より、海水浴客などが沖に流された状況などでの事故を離岸流による事故と定義し、それが原因と考えられる事故を選別したところ32件の記録が抽出された。このうち、佐渡島での事故を除くと28件であった。図-1に離岸流が原因と考えられる事故発生海域および件数を示す。図中( )内数字は構造物付近での事故と考えられる数である。図より、新潟県沿岸域の全域で事故が発生している。また、これらの事故が発生した状況を記事本文や地図、写真などで確認をしたところ、新潟県沿岸域では離岸流による事故は砂浜海岸よりも突堤などの構造物が付近にある海岸での事故数が多い事が分かる。

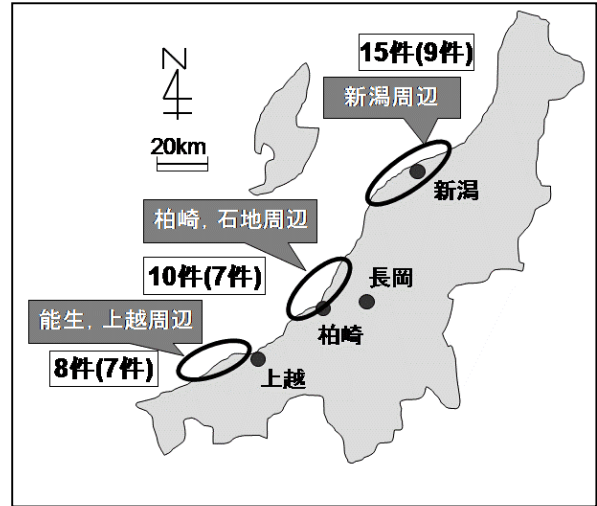


図-1 新潟県の離岸流事故の発生海域および件数  
朝日新聞オンライン記事データベース, 1987-2006年  
( )内は構造物付近で発生したと考えられる事故数

#### (2) 事故当時の主要地点での気象・海象状況

オンライン記事データベースより抽出できた事例より事故発生の年月日時間などが判明したので、可能な限りその時の気象・海象情報を収集して事故発生時の状況を把握した。これらの情報のうち、風情報にはECMWFの客観解析情報を用い、波浪情報にはNAWPHASによる観測情報を用いた。ECMWFでは、2004年7月～8月の2ヶ月間の新潟及び直江津付近の風情報を、NAWPHASでは2000年～2004年の7～8月2ヶ月間の新潟及び直江津の波浪情報を利用した。これらの情報を用いて事故発生時の気象・海象状況について考察を行った。

まず、図-2に2004年8月の直江津付近の風速と波高、周期の経時変化を示す。この時期には直江津付近で3件の事故が発生している。図より、事故はいずれも波高0.5m以下の低波浪時に発生している事が分かる。また、低気圧の通過の前後の波浪状況が大きく変化する時期に発生している事も分かる。次に、図-3に2002年～2004年8月の事故発生時における直江津の波向頻度を示す。2004年8月には図-3より事故発生時の卓越波向は北北西である事が分かる。

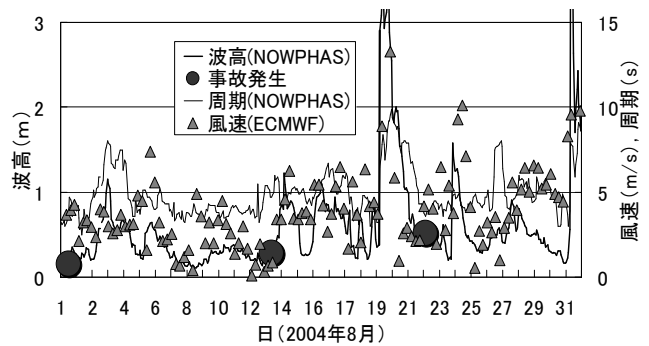


図-2 波浪および風速の経時変化 (直江津)  
(2004年8月1日～31日)

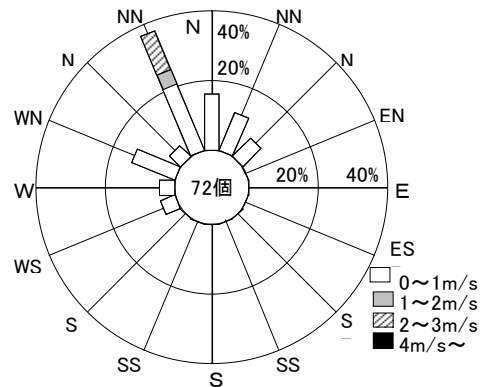


図-3 事故時の波向頻度表 (直江津)  
(2002-2004年8月1日～31日のうち事故日のみ)

#### 4. 新潟県沿岸域の波浪特性の把握

##### (1) 主要観測地における気象・海象情報

3章で事故発生時の海象は把握することができたが、夏季全体における波浪特性を把握するために、再度観測データを用いて解析を行った。用いたデータは3(2)節同様ECMWF及びNOWPHASである。NOWPHASの情報は新潟県沿岸域では新潟および直江津、輪島の3地点の情報を入手することが可能である。まず、2002年～2004年8月におけるNOWPHASにおける直江津の波浪条件を調べた。図-4に波向頻度を、図-5に波向と波高の関係を示す。図-4より直江津付近では夏季には北北西からの波向きが卓越しており波高も1m以下のものが全体の9割近くを占めている。また、図-5より卓越波向は高波浪の最多出現頻度と同様であることが分かる。

次に、風と波浪の関係を調べるために、図-6に風向と波高の関係を、図-7に風向と波向の偏角の関係を示す。図-6より北西の風向時に波高が大きくなることが分かる。また、図-7より、風向と波向との偏角には相関があることが分かる。例えば、北西～北の風向時には波向もほぼ同方向からの入射角となるが、風向が北東に変化しても波向は北のままである。これは、佐渡島による回折効果によるものと考えられる。

これらの結果より、新潟県沿岸域では、波浪は夏季において風向に関係なく主に北北西～北から入射すると考えられる。また、上村(2006)によると、新潟県沿岸域では冬季でも、波浪の状態にかかわらず北北西の波向が卓越していることより、新潟県沿岸域では波向は通年で北北西が卓越していることが分かる。

##### (2) 波浪推算による新潟県沿岸域の波浪特性の把握

新潟や直江津などのNOWPHASの観測地点以外での沿岸域の波浪特性を把握するために、波浪推算を行った。今回は夏季における新潟県沿岸域全域の波浪特性を把握する事を試みた。用いた波浪推算モデルにはSWAN Cycle III version 40.41(2005)を用いた。入力条件には、地形情報はNGDC(2005)が提供する2分格子間隔の地形情報Etopo2を用い、日本海全域(東経128～143°、北緯33～52°)を計算領域とした。風情報にはECMWF(2004)から入手した日本海全域の2004年7月から8月の2ヵ月間の6時間毎の30分格子間隔データを用いた。計算時の格子は405格子×513格子(約3500m/格子)とした。表-2に計算条件を示す。

計算結果の確からしさは同期間の新潟、直江津、輪島におけるNOWPHAS波浪観測データと比較して確認をした。ここでは、2004年8月の直江津における観測データと推算結果について、図-8に波浪

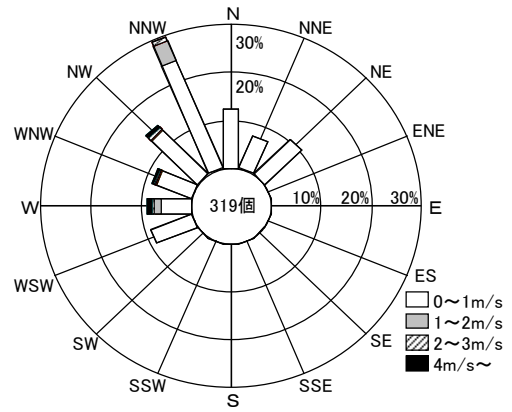


図-4 全般の波向頻度表(直江津, 2002-2004年7-8月)

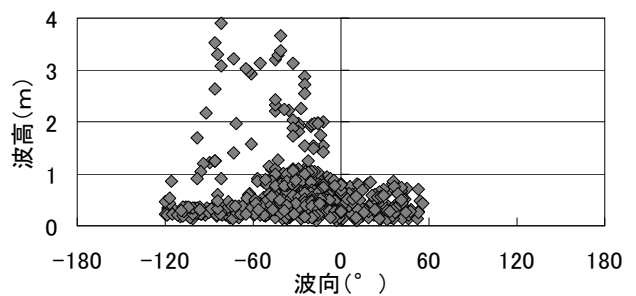


図-5 波向と波高の関係(2004年8月, 直江津)

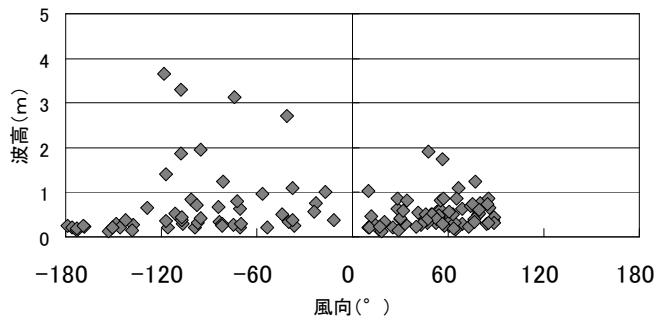


図-6 風向と波高の関係(2004年8月, 直江津)

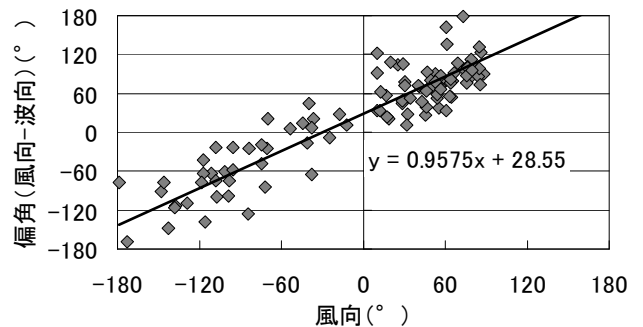


図-7 風向(ECMWF)と波向(NOWPHAS)との偏角(2004年7月1日～8月31日, 直江津)  
(風向0°が北→南向, 時計回りを正)

の経時変化を、**図-9**に波向の経時変化を示す。

**図-8**では波高の経時変動の傾向はほぼ再現できているが、最大値は再現できていない。これは、NOWPHASの波浪観測データが1時間毎の値であるのに対し、推算で用いたECMWFの風データは6時間毎の値であるので実際のピーク波高を再現できなかったと考えられる。

また、**図-9**で、観測値の波向ばらつきが多いが計算結果ではそれが再現できていない。これは観測時の波浪が50cm程度の低波高時であったので強風時と異なり卓越した波向が出現しなかった事、計算では風情報は約20km四方の領域ですべて同じ風情報を用いている事から陸地の影響を受けた陸地付近での風況変動が考慮されていないからではないかと考えられる。よって、本計算では観測された低波浪時の1時間毎の波向の大きな変動は再現できていないが、6時間毎の長時間間隔における低波浪時の波高変動や波向の変動の傾向は再現できていると考えられる。

次に、波浪推算による新潟県沿岸域の波浪分布を示す。**図-10**、**11**に波高分布を、**図-12**に波向分布を示す。

これらの図より、佐渡の陰影部では波高が低くなるが、新潟県全域でほぼ様な波高および波向で入射している事が分かる。これらの結果と**図-7**の風向と波向の関係より、新潟県沿岸域では波向は風向との相関性は低く、ほぼ一様に北西方向から入射する事が分かる。

## 5. 離岸流の観測

### (1) 観測場所および観測時期

新潟県沿岸域の離岸流の動態を把握するために現地観測を行った。事故事例の調査によると新潟県内では突堤付近での事故が多かったので、突堤付近の離岸流の観測を実施する事とした。

今回は離岸流の観測技術向上の目的も含めて、著者らの住居地から最も容易に行く事が可能な場所をとり、柏崎市稚谷漁港の突堤横(**図-13**、**写真-1**)を選定した。

観測は、2005年11月18日~2006年12月14日の期間に13回の流れの観測を行った。観測実施時期は夏季ではなく冬季であるが、これは夏前から準備をしていたにもかかわらず、離岸流の有無の判別を含め高精度の観測が可能となるまでに試行錯誤の繰り返しで時間がかかった事による。事故は夏季において低波高時で且つ卓越波向きである北北西の波向時に多発しているが、冬季においても波浪は北北西からの波向き卓越しており、夏季と同波浪条件となる場合が多く、観測時も事故発生時と同様な波向・波高の波浪条件の日を選定して観測を実施した。**図-14**に観測時の波向頻度表を示す。

表-2 計算条件

諸元	条件
座標形式	直交座標系
対象領域	日本海全域
東西方向(経度)	128-143°
南北方向(緯度)	33-52°
格子間隔(地形・風)	2分(約3000m)
格子間隔(計算)	約3300m
格子数(地形・風)	450×570
格子数(計算)	405×513
タイムステップ	6時間

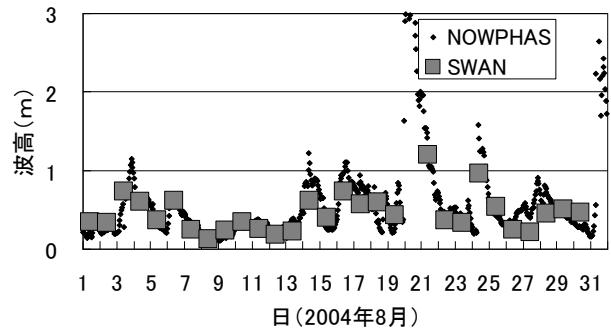


図-8 計算結果比較(波高, 2004年8月, 直江津)

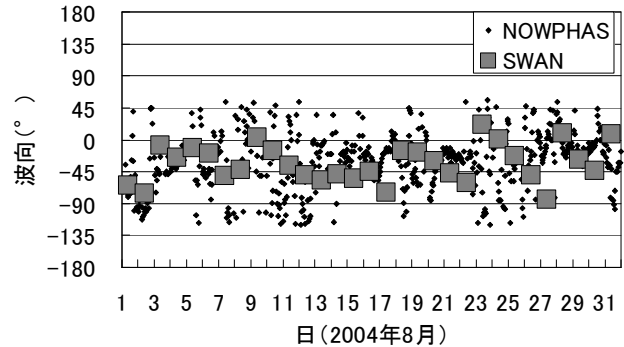


図-9 計算結果比較(波向, 2004年8月, 直江津)

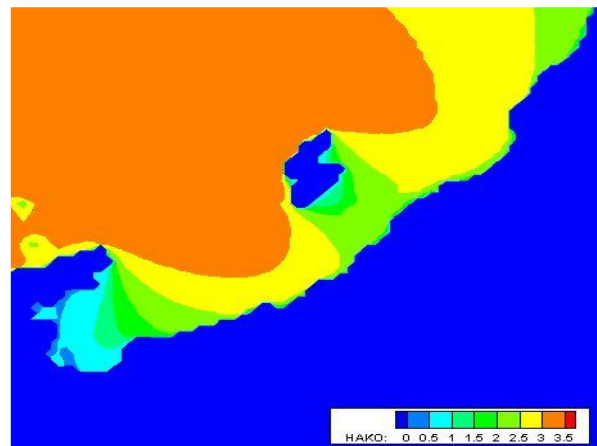


図-10 新潟県沿岸域の波高分布(直江津卓越波向時)



(2) 観測方法

観測は、フロート観測及びGPSフロート観測の2つを実施した。ここでは、それぞれの観測について説明をする。

a) フロート観測

GPSフロート観測を実施した場合、有益な情報が得られるかどうかを判断する為の流況把握の目的及びGPSフロート観測の事前練習を目的としてフロート浮標観測を実施した。ここでは、漁具などに使用される球体のフロートに回収用の紐を付け、突堤の先端や海岸などから投入して漂流させ、その状況を目視観測及びビデオ撮影をする事により現場海域の流況を把握した。得られた情報は、次に行うGPS観測の基礎情報とした。

b) GPSフロート観測

筒状フロートの中に小型のGPSを内蔵させ、漂流させることにより軌跡データを取得した。写真-2にフロートおよび用いたGPSを示す。観測では電源を入れたGPSをフロートに内蔵させて、突堤や海岸などから投入し、一定時間漂流させた後に回収をする。その後、得られた軌跡データを解析することにより離岸流の規模を推算した。本研究ではGPS装置にEMPEX製ポケナビMAP21EXを使用した。フロートの漂流時間は2時間程度とし、位置情報の取得時間間隔は10秒とした。

(3) 観測結果

GPSフロート観測は2005年12月から2006年12月の期間に合計13回実施した。この場所では13回の観測実施のうち10回離岸流が発生しているのを確認することができた。そのうち2005年12月8日と2006年1月14日、2006年12月14日の合計3回で良好なデータを収集する事ができた。2005年12月8日は波高約0.8m、風向は北西であり、2006年1月14日は波高約0.5m、風向は西北西、2006年12月14日は波高約0.5m、風向は西北西であった。波向は全日で北北西であった。図-15に3回の観測の漂流の軌跡を示す。右方向の循環流が生成しており、平均流速は0.35m/sで循環流の直径は約60mであった。この規模を10分程度で周回する離岸流が発生していた。

4. 結論

本研究では、新聞記事データベースを検索して過去の海浜事故事例を調査した他、離岸流が生成している個所で観測を実施しその規模を把握する事ができた。以下に結論を記す。

新潟県沿岸では毎年海浜事故が発生しており、そのうち、特に突堤などの構造物付近での事故が多く、

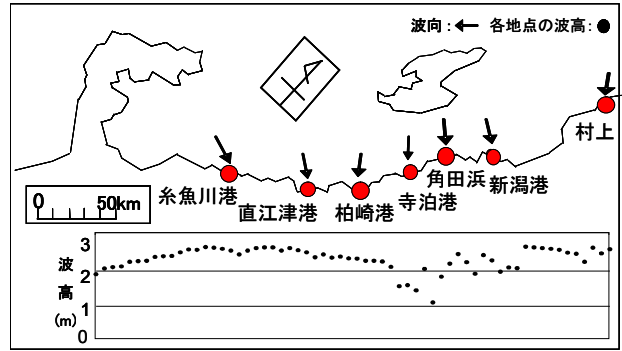


図-11 新潟県沿岸域の波高分布（直江津卓越波向時）

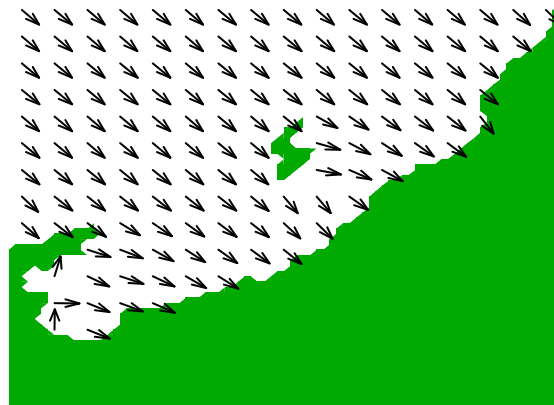


図-12 新潟県沿岸域の波向分布（直江津卓越波向時）

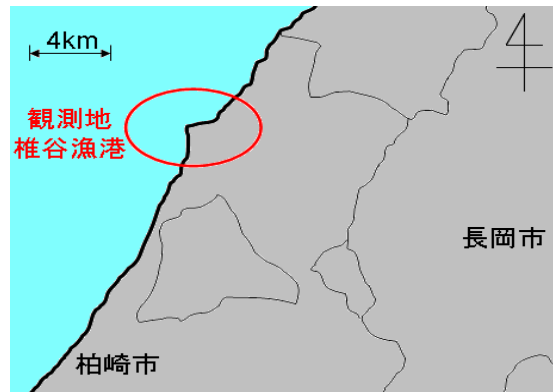


図-13 観測位置（新潟県柏崎市椎谷漁港横）



写真-1 観測位置（新潟県柏崎市椎谷漁港横）

波高 0.5m 以下の低波浪時に発生している事がわかった。新潟県沿岸域の夏季の波向は、佐渡による遮蔽効果も含めて風向によらずほぼ一様である。よって新潟県での離岸流の発生条件は波向よりも波高や周期の条件の違いで生成する可能性が高い。よって今後の課題として波高や周期の違いによる離岸流生成の有無、その規模の変動量などを把握する必要性もあると考えられる。これらの観測を実施することにより新潟県沿岸域でも離岸流が発生している事が確認できた。また比較的廉価な手法でも離岸流の観測が可能である事が確認できた。この手法・装置を用いれば今後も離岸流が観測可能であり、情報を蓄積することにより今後の新潟県沿岸域の海浜事故防止に役立てられる可能性を示すことができた。

参 考 文 献

ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Fore-casts), <http://weather.unisys.com/ecmwf/index.html>, 2004.  
 National Geophysical Data Center ETOPO2, <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/fliers/01mgg04.html>  
 朝日新聞社, 聞蔵, 朝日新聞オンライン記事データベース, 2005年版(オンライン), <http://lib.nagaokaut.ac.jp/gakunai/DNA.html>.  
 国土交通省港湾局, 全国港湾海洋波浪情報網 (NOWPHAS: Nationwide Ocean Wave information network for Ports and HARbours), <http://www.mlit.go.jp/kowan/nowphas/>.  
 上村雄一・犬飼直之, 波浪推算モデルを用いた新潟県沿岸域の冬季波浪特性の解析, 年次学術講演会要旨, 第61巻, 2006.  
 西隆一郎・山口博, 宮崎県青島海岸での離岸流観測—水難事故予防のために—, 海岸工学論文集, 第51巻, pp.151-155, 2004.  
 小林智尚・飯野智彦, 波浪推算モデルSWANによる伊勢湾台風時波浪の再現, 海岸工学論文集, 第50巻, pp.181-185, 2003.  
 西隆一郎・萩尾和央, 水難事故予防のための離岸流調査に関する基礎的研究, 海岸工学論文集, 第50巻, pp.156-160, 2003.  
 川口浩二・橋本典明: 波浪推算値に基づく日本沿岸波浪の出現特性について, 海岸工学論文集, 第49巻, pp.216-220, 2002.

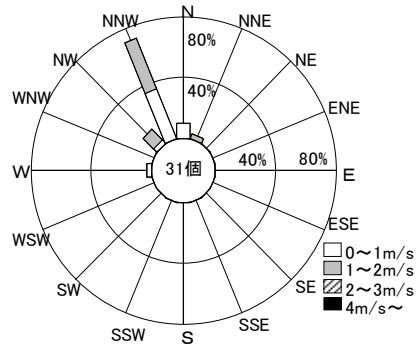


図-14 観測時の波浪状況 (NOWPHAS, 直江津)



写真-2 観測機材 (係留紐, 浮標, GPS)

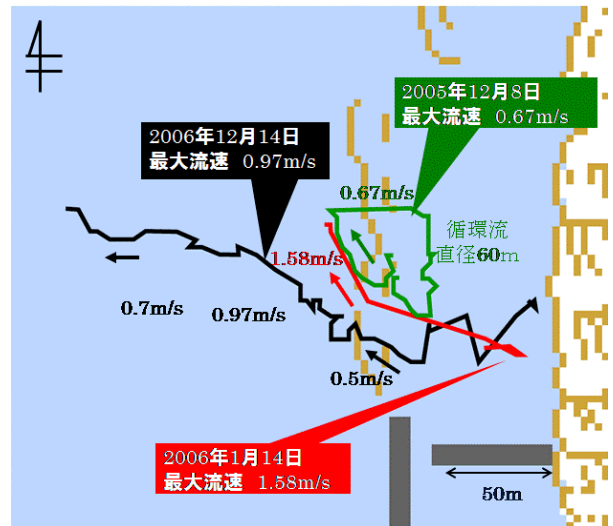


図-15 GPS 内蔵浮標の軌跡