

平成20年2月の日本海高波浪に関する 委員会とりまとめ

平成20年9月

平成20年2月の日本海高波浪に関する技術検討委員会

TABLE OF CONTENTS

はじめに	1
I 委員会とりまとめ骨子.....	3
II 漁業地域における被害状況について.....	5
1 全国の水産関係被害状況(水産庁調べ)	5
2 富山県及び新潟県の水産関係被害状況	7
(1) 富山県	7
(2) 新潟県	8
3 富山及び新潟の漁港施設等の被災状況	9
(1) 被害の大きかった漁港及び海岸	9
(2) 入善漁港海岸の被災状況(写真は富山県・入善町提供)	9
(3) 新潟県の鷺崎漁港等の被災状況(写真は新潟県提供)	13
III 今回の気象及び高波浪の特性について.....	18
1 災害をもたらした気象擾乱(風域場等)の状況	18
(1) 気象観測データの整理	18
(2) 風域場の推算結果	22
2 潮位等の状況	25
(1) 潮位と潮位偏差	25
(2) 潮位変動	29
(3) 富山湾内の流れ	34
3 富山及び新潟での高波浪の形成状況	35
(1) 波浪観測データの整理	35
(2) 波浪推算による波浪再現	37
(3) 過去の寄り回り波の特徴	41
(4) 漁港別の被災沖波の推算結果	44
(5) 被災波の再現性について	47
(6) 富山湾全域の寄り回り波の来襲特性について	52

IV 漁港施設等の被災要因について……………	59
1 入善漁港	59
(1) 浅海域での波浪変形特性	59
(2) 緩傾斜護岸の打上高の推定	62
(3) 被災発生のメカニズム	67
2 鷺崎漁港、水津漁港等	70
(1) 浅海域での波浪変形特性	70
(2) 被災防波堤の滑動特性	78
(3) 被災発生のメカニズム	79
V 漁港施設等の復旧や今後の整備に向けて……………	81
1 漁港施設等の復旧に向けて	81
(1) 富山県入善漁港海岸	83
(2) 新潟県鷺崎漁港、水津漁港及び北小浦漁港	87
2 今後の漁港施設等の設計上の主な課題	95
(1) 漁港施設の設計潮位について	95
(2) 波浪推算について	96
(3) 防波堤に作用する波圧について	97
(4) 衝撃碎波について	97
(5) 長周期波浪とブロックの安定について	98
(6) フェール・セーフの考え方を取り入れた漁港施設等の設計について	99
I 技術検討委員会の設置目的	100
II 技術検討委員会の委員	100
III これまでの主な被害状況調査及び技術検討委員会開催状況	101

はじめに

平成20年2月23日から24日にかけて、強い冬型の低気圧により北日本から西日本にかけての日本海側に激しい高波浪が発生し、特に、新潟県及び富山県で漁港施設・漁港海岸保全施設の被災や越波等による漁船や背後の家屋の被災、死者・負傷者が生じる惨事となった。

今回の災害は、北海道西方沖で低気圧が停滞し、長時間にわたって強い風が吹き続けたことなどの特殊な気象条件により、富山などでは「寄り回り波」ともいわれるうねり性の波浪が卓越し通常とは違った複雑な高波浪が発生したことに起因すると考えられている。

今回の高波浪の特性や漁港施設等の被災原因を明らかにすることにより、今後の適切な災害復旧及び漁港施設等の整備に反映させることを目的に、水産庁、新潟県及び富山県が合同で、「平成20年2月の日本海高波浪に関する技術検討委員会」を設置した。

これまで4カ月の間で、3回にわたり「平成20年2月の日本海高波浪に関する技術検討委員会」(以下「技術検討委員会」という。)を都内で開催し、主に漁業地域における被害状況、今回の気象及び高波浪の特性、高波浪発生及び漁港施設等の被災要因について検討を行ってきた。

これら技術検討委員会での検討を通じて、被災状況の分析を始め、気象・海象データの分析や数値シミュレーション等により、今回のうねり性高波浪の特徴や漁港施設等の被災要因についてかなり詳細にわかってきたところである。また、今回の高波浪の特徴や漁港施設等の被災要因を踏まえた今後の災害復旧等への提言などが委員会の中で議論されてきた。

このため技術検討委員会では、これまでの検討結果について委員会取りまとめとしてその概要をまとめることとした。

甚大な被害が生じた漁港施設等の復旧には多くの時間を要し大変なことから承知しているが、可能な限り一日も早くこれらの漁業地域に住んでいる方々が安心して暮らせるように、漁港施設等の迅速な復旧に努めていただけるように願っている。

なお、本技術検討委員会での検討と平行して、河川局、港湾局、気象庁及び水産庁の関係部局が今回の高波浪に関するそれぞれの技術情報を共有し意見交換を行う「高波発生メカニズム共有に関するWG」が開催されている。

その中で共有された観測データや気象・海象に関する有意義な分析結果も検討等の際して貴重な材料となっていることをここに記す。

平成20年8月

技術検討委員会委員長
佐藤 慎 司

I 委員会とりまとめ骨子

冬季の日本海側の沿岸では、主に北西風による高波浪が卓越するが、このような高波浪の際には、富山湾や佐渡の本土側の漁港等では、能登半島や佐渡島の遮蔽効果によって一般に静穏状態が保たれている。一方、昔から富山などの沿岸では「寄り回り波」と呼ばれているうねり性波浪が来襲し、漁船被害や浸水被害等をもたらすことが知られている。

今回発生した高波浪は、これまでも頻繁に来襲してきた一般的なうねり性波浪ではあまり見られない特異な高波浪により特に新潟の佐渡沿岸及び富山の入善漁港海岸等において甚大な被害をもたらしたことから、技術検討委員会においては、これらの地域を中心に高波浪発生のメカニズムや被災要因に関する検討を進めてきたところである。

これまで3回の技術検討委員会を開催し、被災状況の分析を始め、様々な気象・海象データの分析や数値シミュレーションを用いた解析等により、今回のうねり性高波浪の特徴や漁港施設等の被災要因について詳細にわたり明らかになってきたところである。

具体的に、波浪に関しては、北海道西方海上の低気圧による強風によって発生した波浪が日本海を長軸方向に伝播する際に、日本の東海上に抜けた複数の低気圧が停滞し冬型気圧配置が強まったことにより、日本海北部では北から北東よりの強風が23日から24日にかけて長時間継続し、長い吹送距離と吹送時間により、長い周期のうねりとなってさらに発達したこと、また日本海を発達しながら移動した低気圧による北西からの風波とうねりの相互作用も重なって高波浪が形成されたことが、佐渡や富山湾等に周期が長いうねり性高波浪をもたらした要因であったことがほぼ解明されつつある。

さらに、高潮や水位の長周期変動が認められ、新潟の佐渡を始め富山湾でもそれらが合わさって潮位が高かったことや、富山湾内や佐渡の複雑な地形特性や前浜の急な海底勾配等による波の収斂や波高の増大さらには水位の上昇等が起こり、これらも被害を増幅させた要因であることもわかってきたところである。

被害の大きかった入善漁港海岸の前浜は、隣接する下新川海岸の中でも特に急勾配な海岸(1:4)地形となっており、屈折による波の収斂や前浜での水位の上昇(Wave Setup 等)のみならず急勾配による打上高さが増幅されることにより、甚大な越流被害をもたらしたものと推定される。

また、同様に被害の大きかった佐渡の鷲崎漁港、水津漁港等でも、高潮等による

水位の上昇とともに北東寄りになった波向きの変化も被災に大きな影響を及ぼしており、漁港の防波堤前面まで高い波高を維持して来襲するとともに、衝撃砕波によるケーソンの被災等が確認されている。

今回の高波浪は、沖合の波候から見ると必ずしも過去数十年の間に来襲した最大波高を上回るものではないが、吹送距離及び吹送時間が長かったことから、既往の最大周期を超えるレベルの長い周期のものであったこと、またより北から北東よりの波向であったことが特徴である。また、このような周期の長い高波浪が、能登半島や佐渡の遮蔽の影響の少ない波向から来襲したことにより、先に掲げた入善漁港海岸や佐渡の鷺崎漁港等における波高の増大や被害の増大を助長するメカニズムについても今回の検討を通じて分かってきたところである。

また、いわゆる「寄り回り波」をもたらす今回と似た気圧配置のパターンはこれまでも毎年数度発生している。それによる漁港施設や漁船等の被害は、規模の大小はあるが数年に一度程度起こっている。しかしながら、これだけ日本海広域にわたって周期の長い高波浪が長時間継続して来襲し、かつ大きな被害があったケースは数少ない。

今後進められる復旧に際しては、本技術検討委員会の中で議論されてきたように、入善漁港海岸においては、うねり性の高波浪による被害を考慮した対策が必要であり、具体的には越波対策等として二次災害を最小限にとどめるフェールセーフの視点の重要性、ブロックの安定重量の確保等の留意点も踏まえ、適切な復旧に努めていくことが重要である。

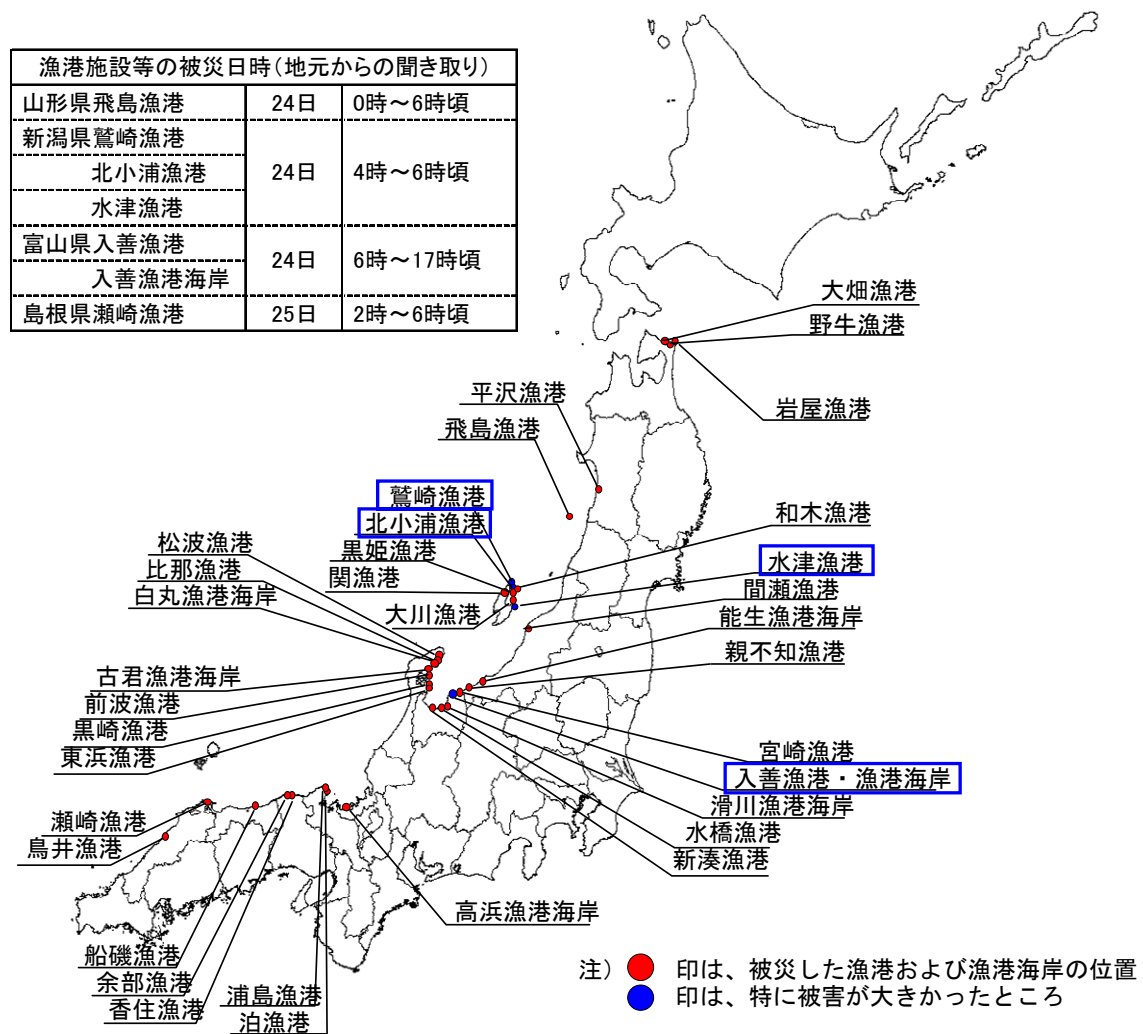
また佐渡の鷺崎漁港等においては、北西風による風波と南下してきたうねりが重なったこと、さらに従来想定していなかった遮蔽の影響を受けない波向から高波浪が来襲したため防波堤に高波が到達し、地形の影響等で衝撃砕波が発生した。復旧に際しては、衝撃的な波圧を軽減するための消波工の設置や既設消波工の安定重量の確保等の留意点を踏まえ、適切な復旧に努めていくことが重要である。

また、このような周期の長い波浪の発達・伝播メカニズムの解明を通じて得られた知見をもとに、今後の漁港施設の設計等にどのように活かしていくことができるか、引き続き検討を進めていくことも重要である。

Ⅱ 漁業地域における被害状況について

1 全国の水産関係被害状況（水産庁取りまとめ）

2月23日から24日にかけて発達した低気圧の影響で高波が発生し、新潟県と富山県を中心に日本海沿海14県において人的被害や家屋被害の他、30漁港、6漁港海岸、漁業用施設、共同利用施設、漁業集落環境施設、並びに漁船・漁具等が被災し、水産関係で267億円の被害報告があった。



図Ⅱ－1－1 被災した漁港及び漁港海岸の位置図

今回の高波浪による被害のほとんどは新潟県と富山県に集中しており、新潟県では9漁港、1漁港海岸、漁船266隻などの被害が発生し、水産関係の被害額は197億円であった。特に佐渡島の本土側に位置する鷲崎漁港、北小浦漁港及び水津漁港では、防波堤は相当延長にわたり被災し、県下の被害のほとんどを占めることとなった。また、富山県では4漁港、2漁港海岸、漁船66隻などに被害が発生し、水産関係の被害報告額は48億円であり、そのほとんどは、入善漁港海岸の離岸堤、潜堤及び階段式護岸の損壊であった。

表Ⅱ－１－１ 主な被災施設と地域

主な被害	被害地域
漁港等の防波堤・護岸線の損壊	北海道、青森県、 岩手県、秋田県、 山形県、新潟県、 富山県、石川県、 福井県、京都府、 兵庫県、和歌山県、 鳥取県、島根県
36漁港・漁港	
81箇所	
1施設	
漁業用施設	
36施設	
共同利用施設	
3施設	
漁業集落環境施設	
451隻	
漁船の転覆・破損	
43ヶ統	
等	
51経営体	
漁具（定置網）	
水産物	
その他	

表Ⅱ－１－２ 主な被災施設等と被害額

主な被害の内訳

(金額単位:百万円)

県別	漁港	漁港海岸	漁業用施設	共同利用施設	集落環境施設	漁船	漁具(定置網)	水産物	被害額
北海道				3		3		1	26
青森県	3					7			451
岩手県				1					9
秋田県	1								52
山形県	1			3		13			379
新潟県	9	1		21		266	16	50	19,680
富山県	4	2		1	3	66	15		4,751
石川県	5	2	1	1		51	4		241
福井県		1				3			70
静岡県						1			0
京都府	2			4		8	5		73
兵庫県	2								393
和歌山県				2					4
鳥取県	1								150
島根県	2					29			413
山口県						4	3		1
計	30漁港	6海岸	1施設	36施設	3施設	451隻	43ヶ統	51経営体	26,692

注) 漁港及び漁港海岸の被害は災害復旧事業として復旧するもののみを計上

2 富山県及び新潟県の水産関係被害状況

(1) 富山県

表Ⅱ-2-1 富山県の水産関係被害(富山県水産漁港課調べ)

内 容					応急対策	
漁 港	県 営	宮崎	漁港内道路	道路損壊 L=200m	堆積土除去し、通行確保（応急本工事）	
			滑川	離岸堤		消波ブロック沈下 L=500m
				緩傾斜護岸		陸側歩道舗装面隆起 L=20m
		新湊	防波堤A	堤防損壊 L=50m		
			防波堤A	消波ブロック沈下 L=70m		
			防波堤	消波ブロック沈下 L=400m		
		市町営	入善	緩傾斜護岸	護岸損壊 L=660m	護岸開口部に土のうとコンクリートブロックを設置
				離岸堤・潜堤	消波ブロック沈下 L=770m	ブロック製作ヤード造成
				防波堤	消波ブロック沈下 L=50m	
	集落排水施設			排水管損壊 L=70m 排水管閉塞 L=2000m	応急本工事	
	集落環境施設			公園、防火水槽等 破損		
	臨港道路			舗装はく離 L=20m	応急本工事	
	泊地、航路			土砂堆積	応急本工事	
		水橋	護岸	護岸ブロック沈下等 L=80m		
水産施設	朝日町	個人用船小屋 全壊 3件 一部損壊 11件（船揚げ機等破損 3件）				
	入善町	個人用漁具倉庫 全壊 3件				
	黒部市	民間水産会社漁具倉庫壁損壊・海水土砂流入 1件				
	富山市	焼却施設(使用停止中)シャッター破損 1件				
	高岡市	個人用漁具倉庫 全壊 5件 半壊 5件				
	射水市	養殖施設取水管取水障害 1件				
漁船	破損60隻、転覆6隻 計66隻					
漁網	定置網	全損4件、一部損壊11件 計15件				
	刺網等	流失 計45件				

(2) 新潟県

表Ⅱ-2-2 新潟県の水産関係被害(新潟県漁港課・水産課調べ)

内 容				応急対策	
漁 港	県 営	鷺崎	東防波堤	防波堤損壊 L=280m	東防波堤前面に消波堤を設置 仮消波堤及び仮堤防設置
			船揚場	船揚場損壊 L=100m	
			-3.0m岸壁	エプロン損壊 L=9m	
		水津	北防波堤	防波堤損壊 L=285m	北防波堤前面に消波堤を設置 仮防波堤及び仮堤防設置
			第2沖防波堤	防波堤損壊 L=85m	
			船揚場	ブロック移動 L=90m	L=30mを応急本工事
			-3.0m岸壁	エプロン沈下 L=45m	応急本工事
			-2.0m物揚場	エプロン沈下 L=95m	
			-3.0m泊地	漁網等による泊地埋塞	応急本工事
			間瀬	西防波堤	消波ブロック沈下 L=15m
		能生	突堤	捨石飛散 L=20m	
	市町村営	北小浦	北防波堤	防波堤損壊 L=220m	北防波堤前面に消波堤を設置 仮消波堤設置
			臨港道路	舗装、側溝損壊 L=23m	応急本工事
			臨港道路	側溝損壊 L=26m	
			-3.0m岸壁	エプロン損壊 L=50m	
			-3.0m泊地	漁網等による泊地埋塞	応急本工事
			標識灯	簡易標識飛散 N=1基	
		関	-2.5m物揚場	エプロン沈下 L=30m	
			臨港道路	路肩欠壊 L=50m	
		黒姫	標識灯	簡易標識飛散 N=1基	
		釜谷	標識灯	簡易標識飛散 N=1基	
水産施設等	漁船破損、流失 266隻以上				
	漁協施設等 40件以上				
	漁具等 60経営体以上				
	養殖施設 50経営体以上				

3 富山及び新潟の漁港施設等の被災状況

(1) 被害の大きかった漁港及び海岸



図Ⅱ－２－１ 被害の大きかった漁港及び海岸の位置図

(2) 入善漁港海岸の被災状況(写真は富山県・入善町提供)



(読売新聞社提供)

写真Ⅱ－２－１ 護岸を超えて背後集落へ押し寄せる高波



写真Ⅱ－2－2 海岸への高波の来襲状況



写真Ⅱ－2－3 海岸背後への高波の来襲状況



凡 例	
被災箇所	■
集落被害	全壊 ■
	半壊 ■
	一部損壊 ■
	床下浸水 ■
	浸水エリア ■

図Ⅱ-2-2 被災マップ

写真Ⅱ-2-4 海岸保全施設の整備状況



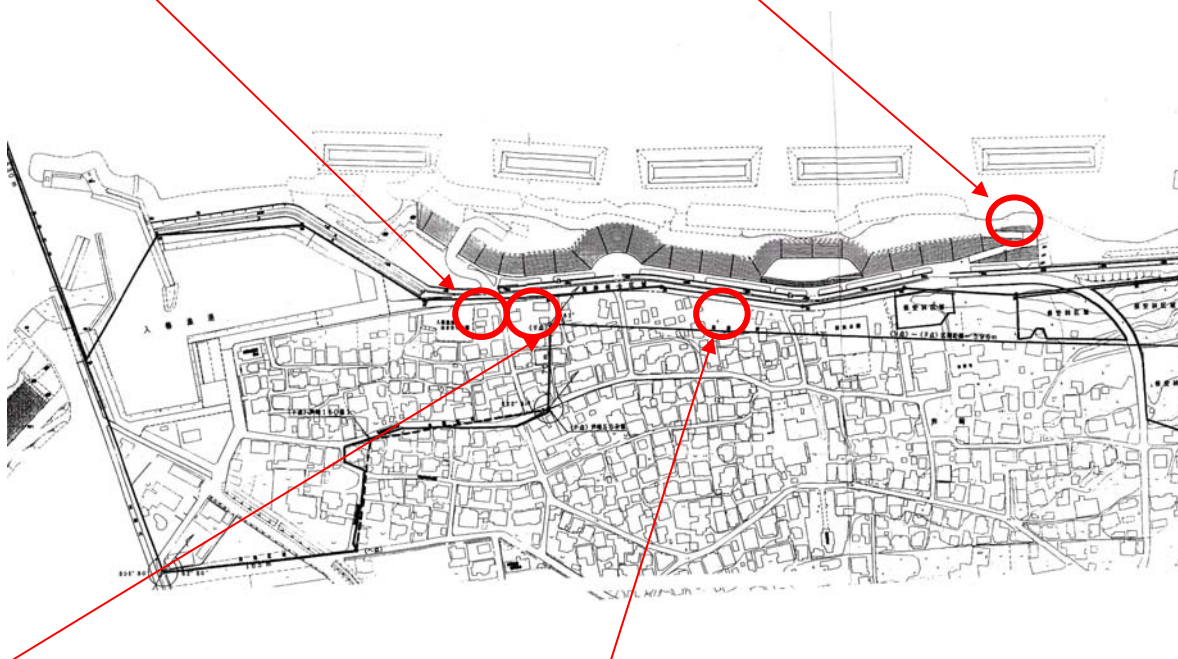
写真Ⅱ-2-5 海岸保全施設の被災状況



陸閘(りっこう)の飛散



緩傾斜護岸のブロックの散壊



建物・家屋の損壊



建物・家屋の損壊

図Ⅱ-2-3 海岸保全施設及び背後の建物・家屋の被災状況

(3) 新潟県の鷺崎漁港等の被災状況(写真は新潟県提供)



写真Ⅱ－2－6 鷺崎漁港の高波の状況



写真Ⅱ－2－7 北小浦漁港の高波の状況



写真Ⅱ－2－8 水津漁港の漁協脇に打ち上げられた漁船



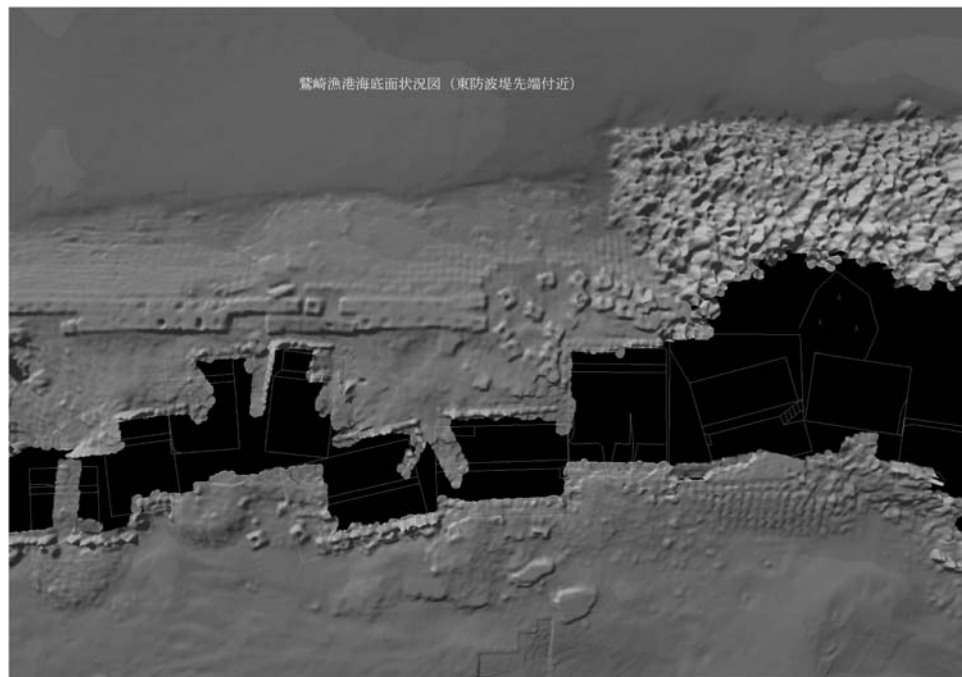
写真Ⅱ－2－9 鷺崎漁港の防波堤の被災状況



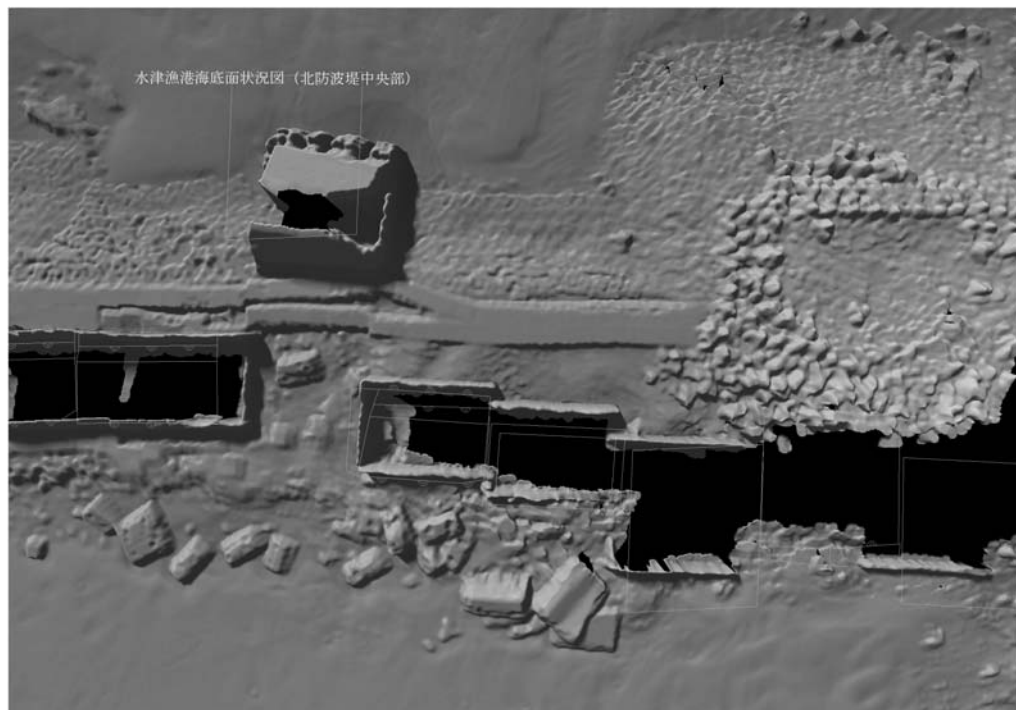
写真Ⅱ－2－10 北小浦漁港の防波堤の被災状況



写真Ⅱ－2－11 水津漁港の防波堤の被災状況

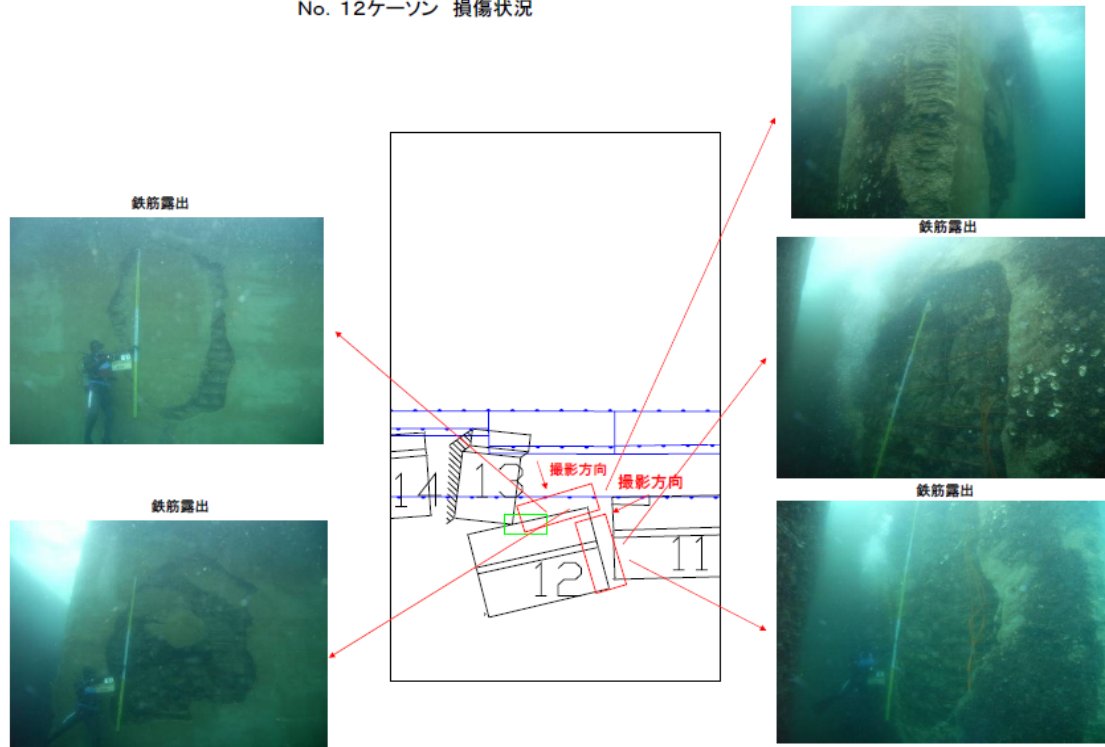


図Ⅱ－2－4 鷺崎漁港防波堤周辺の測量結果(ケーソンの滑動等)

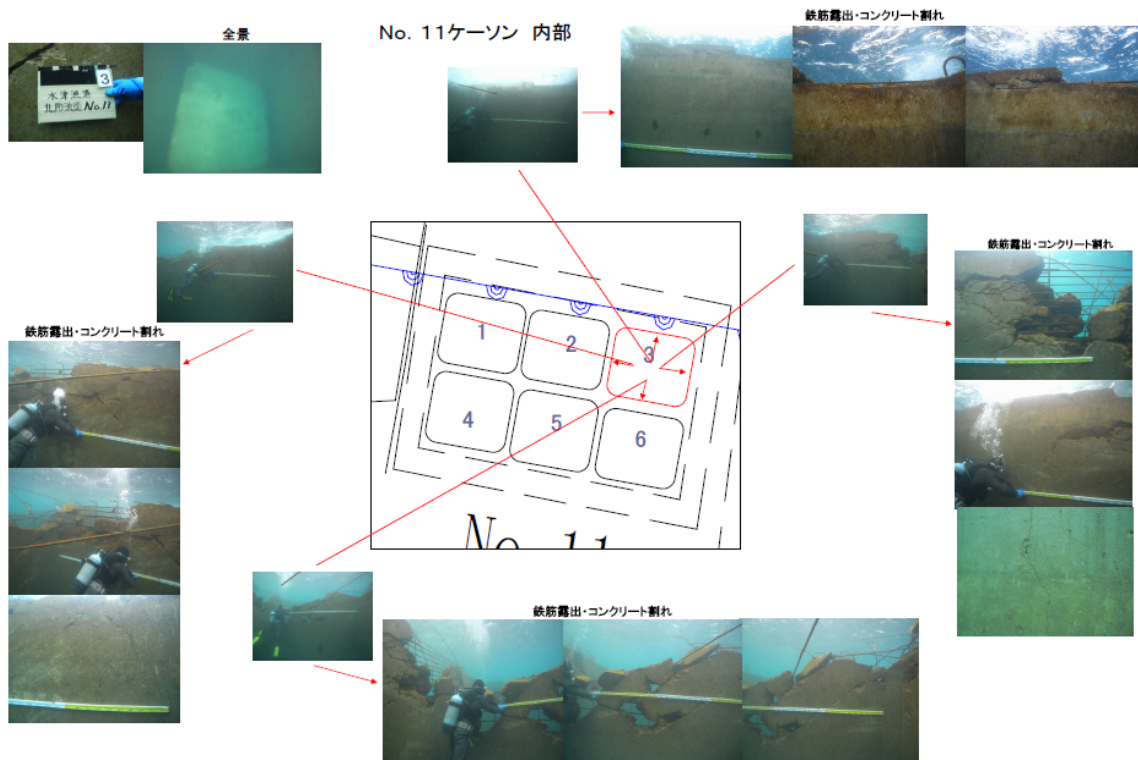


図Ⅱ－2－5 水津漁港防波堤周辺の測量結果(ケーソンの滑動等)

No. 12ケーソン 損傷状況



図Ⅱ-2-6 鷺崎漁港のケーソンの破損状況



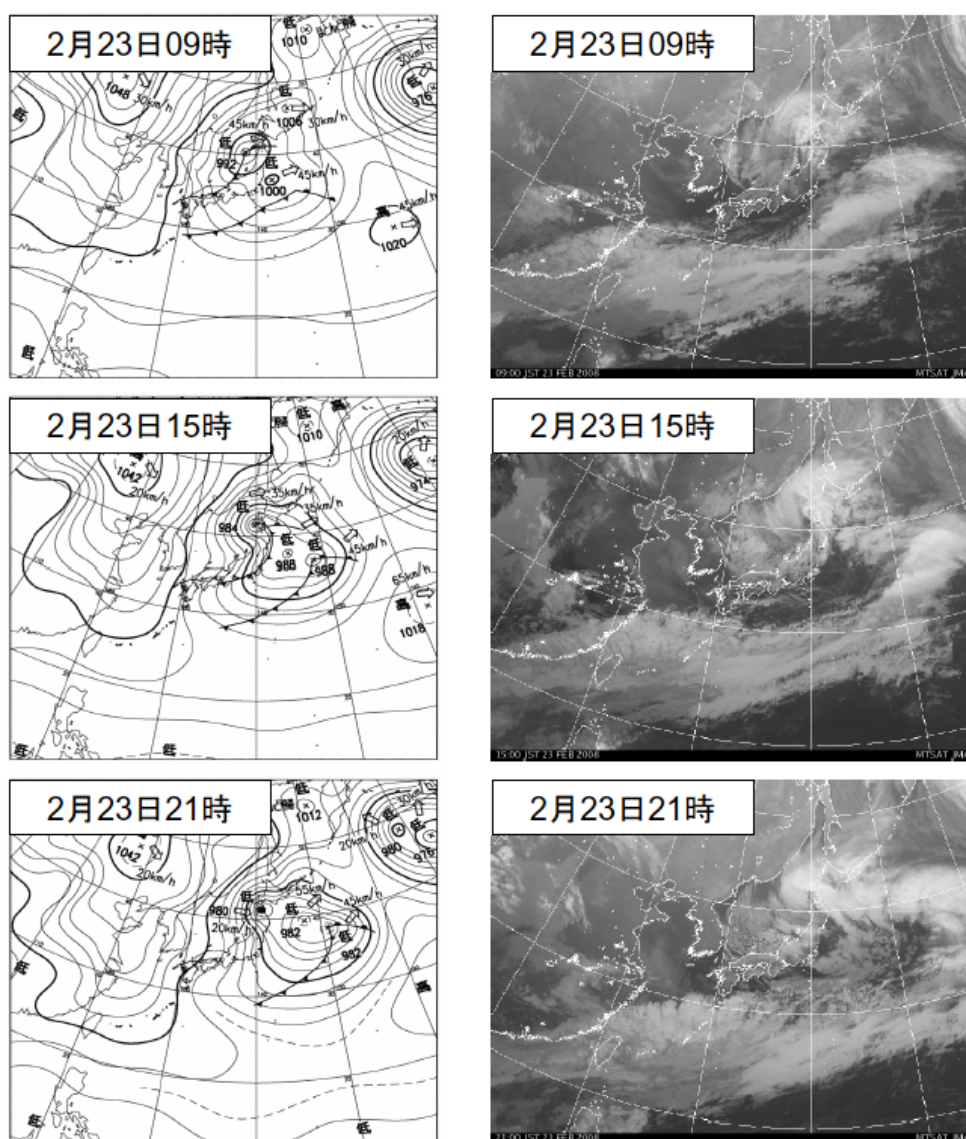
図Ⅱ-2-7 水津漁港のケーソンの破損状況

Ⅲ 今回の気象及び高波浪の特性について

1 災害をもたらした気象擾乱(風域場等)の状況

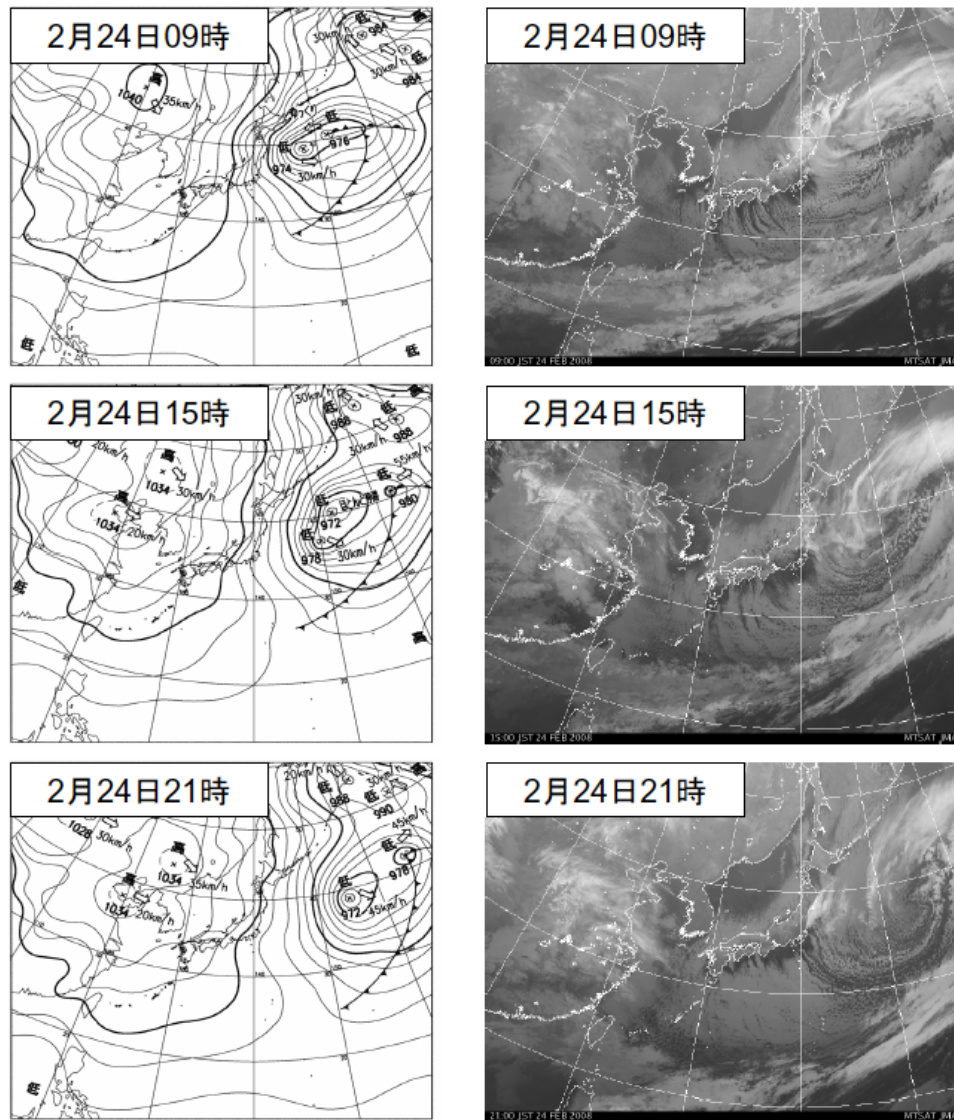
(1) 気象観測データの整理

2月23日～24日にかけて、日本近海を複数の低気圧が発達しながら東進し、日本の東海上で停滞したため冬型気圧配置が強まり、強い寒気の流入により一部で大雪となるなど大荒れの天気となった。津軽海峡付近に停滞した低気圧の影響により、日本海北部で北寄りの強風が継続した。また、23日に関東では春一番が観測されたほか、北日本や西日本では陸上で 20～25m/s、海上で 25～28m/s の暴風となり、一部では最大瞬間風速が 30m/s を超えたところもあった。



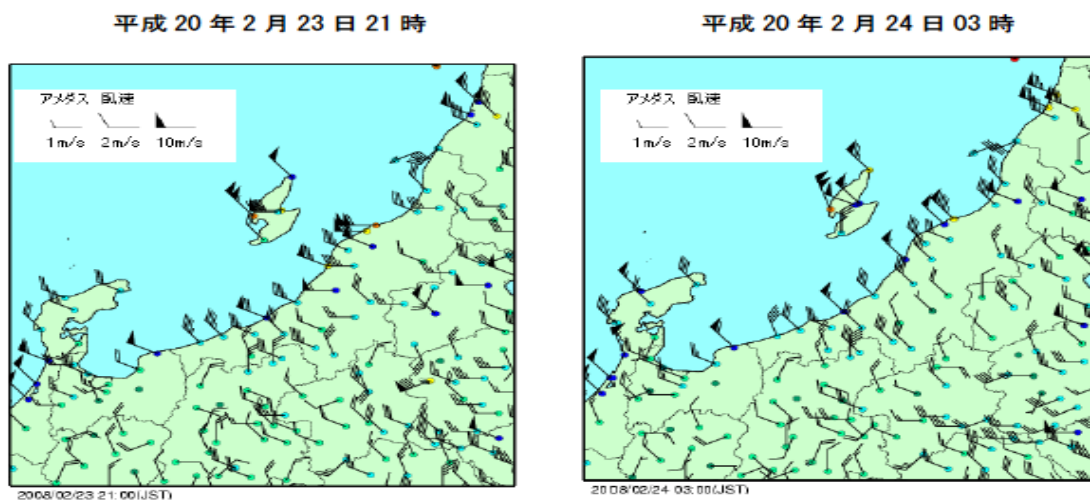
(1)23日の天気図と雲画像

図Ⅲ－1－1 地上天気図と気象衛星(ひまわり6号)による雲画像(気象庁)



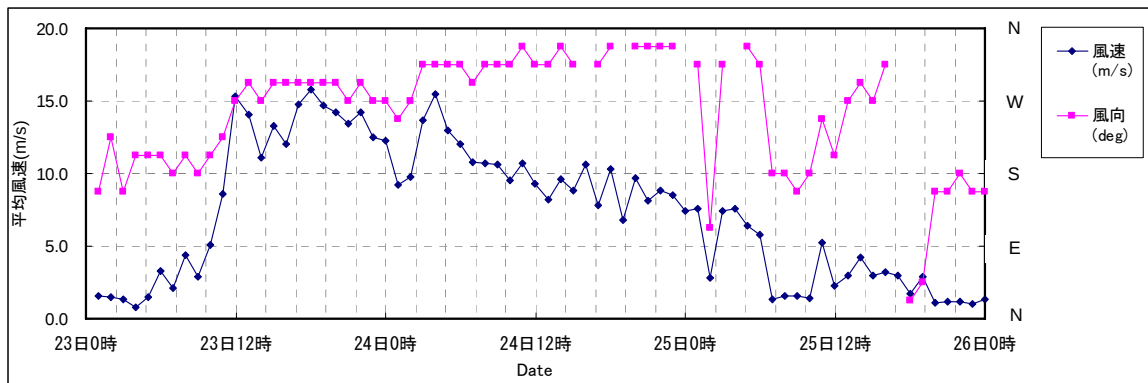
(2) 24日の天気図と雲画像

図Ⅲ－1－1 地上天気図と気象衛星(ひまわり6号)による雲画像(気象庁)

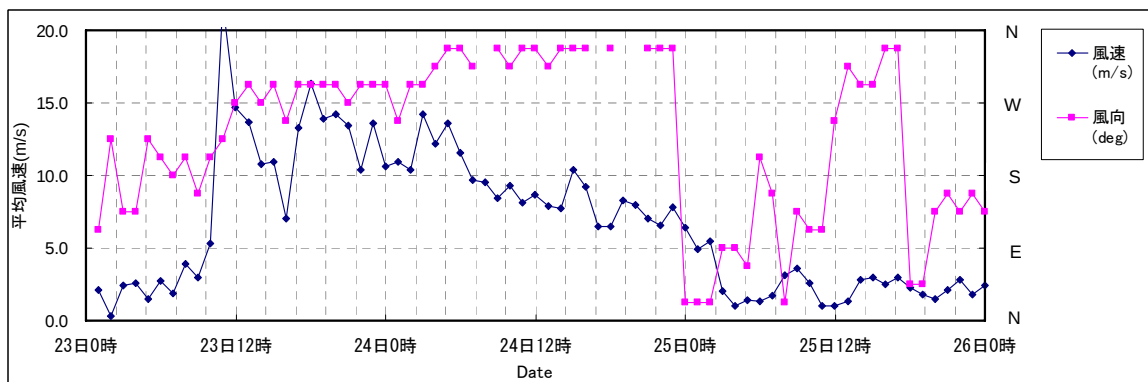


図Ⅲ－1－2 2月23日及び24日の風速・風向分布(気象庁)

また、甚大な被害があった漁港等の近隣の風の観測データとして、以下に富山県の田中及び石田の観測データ(河川局)、新潟県佐渡の弾崎の観測データ(気象庁)から風速及び風向の時系列データを示す。いずれの地点もピーク時には 15～20m/s 程度の風が吹いていたことがわかる。

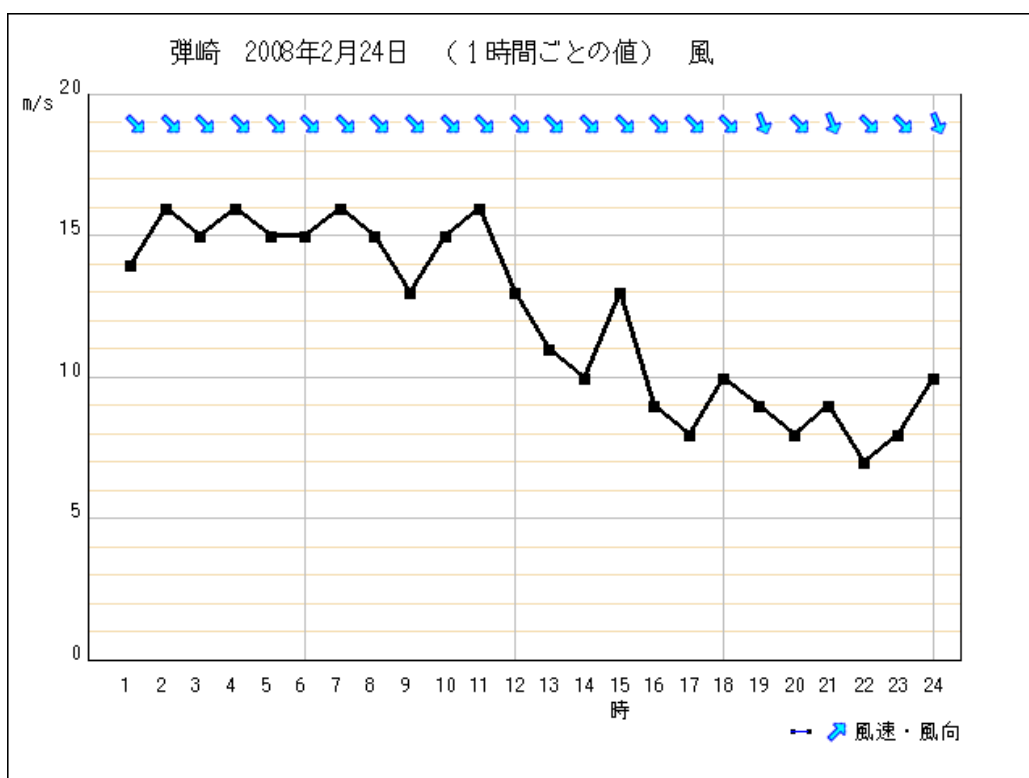
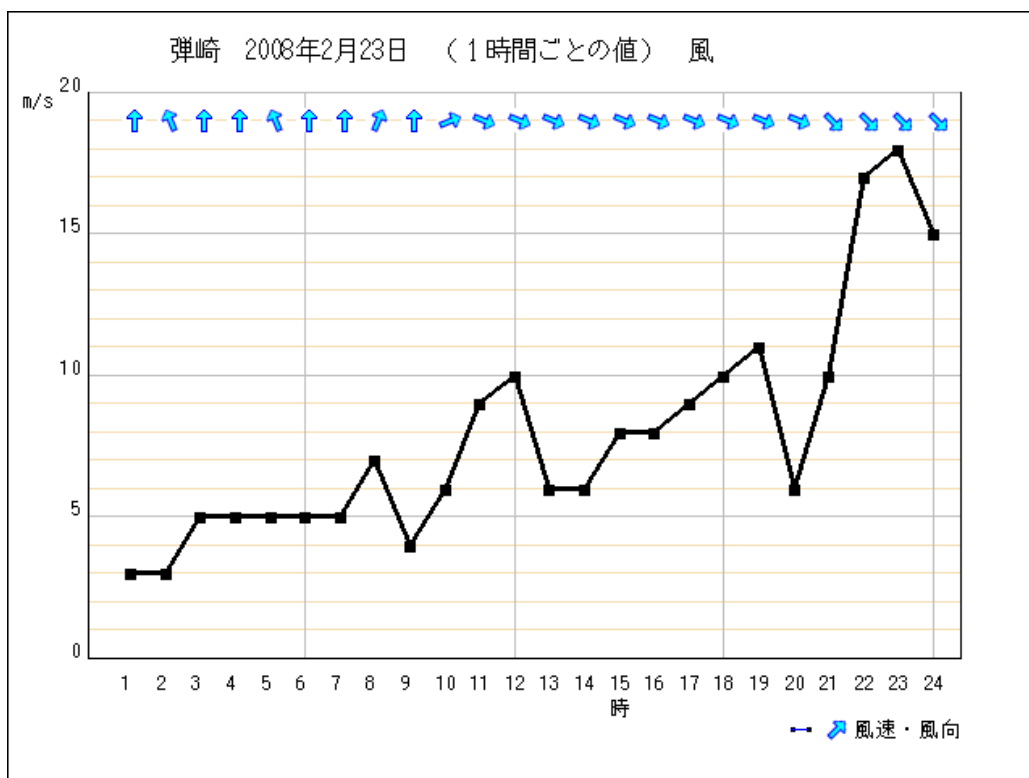


(1) 田中観測データ



(2) 石田観測データ

図Ⅲ－１－３ 富山県の田中及び石田における風速・風向変化図(河川局)

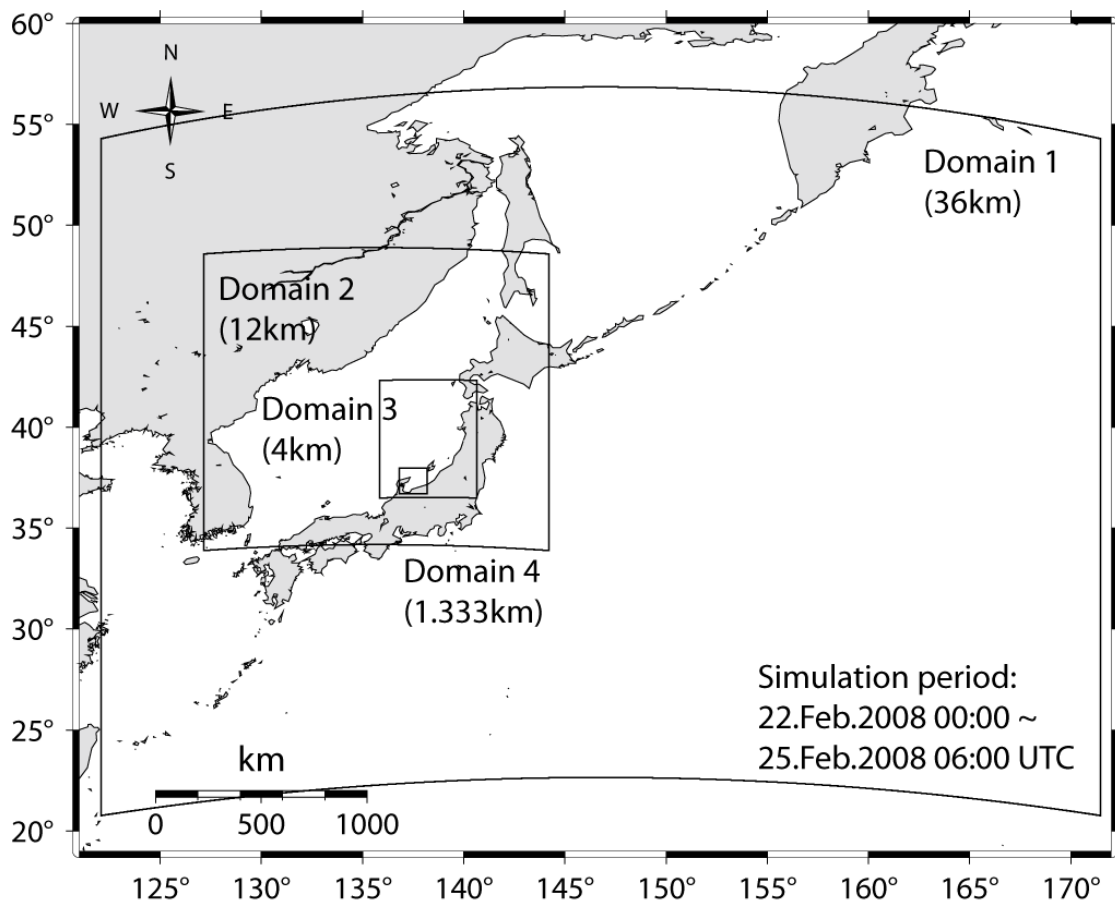


図Ⅲ－１－４ 新潟県佐渡の弾崎における風速・風向変化図(気象庁)

(2) 風域場の推算結果

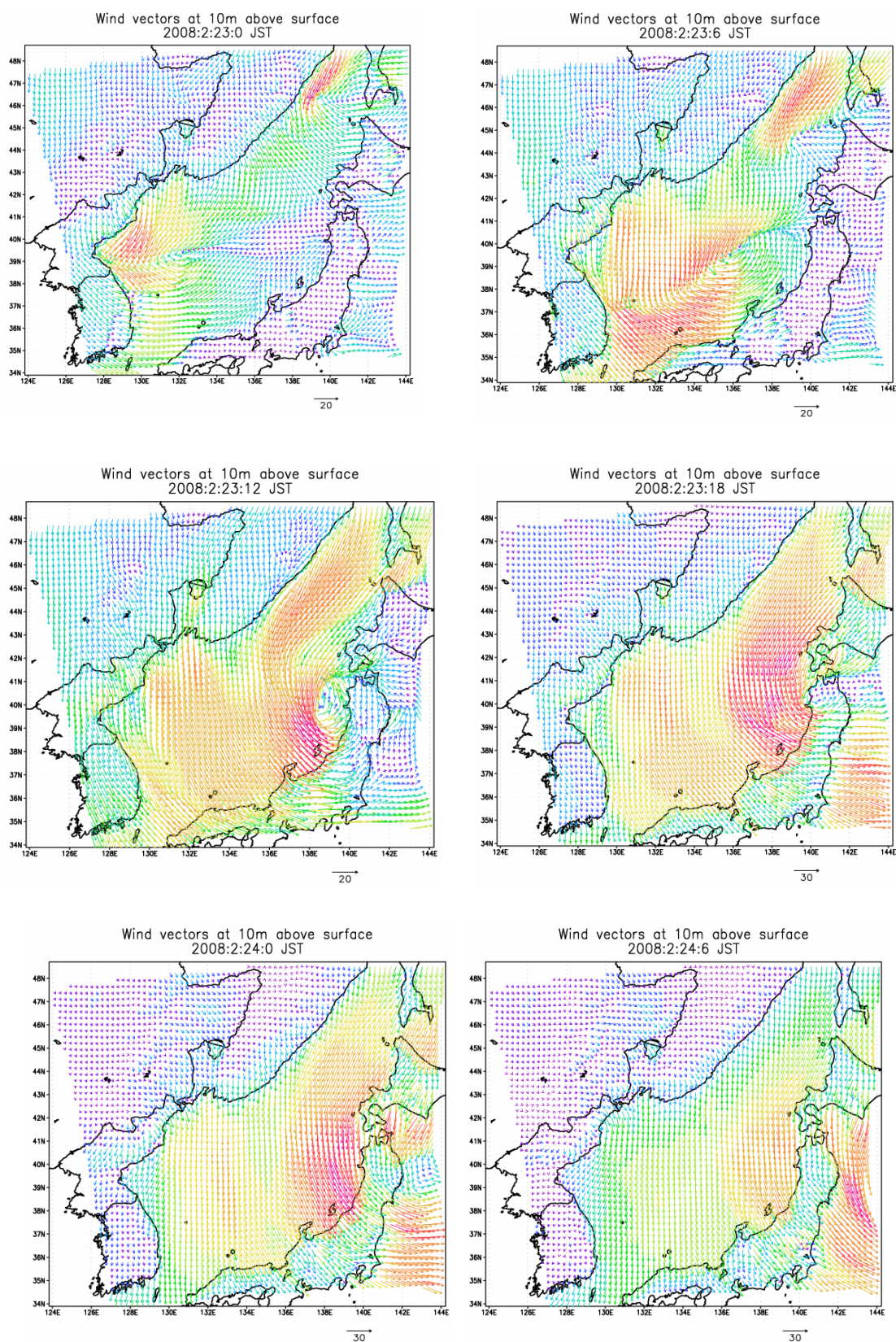
今回、気象擾乱の特徴や寄り回り波の特徴の把握のために、日本海を中心とした風域場の推算を行った。今回のよう広範囲にわたる気象や風の様子を精度よく再現し、また能登半島や佐渡島の遮蔽効果等海域や陸域の地形の影響をできるだけ考慮するために、メソ気象モデルであるMM5 (NCAR/PSU Fifth-Generation Mesoscale Model) モデル(境界用の客観解析データを低気圧ボーガスで修正する手法を適用)を用いた。

今回MM5による気象シミュレーションでは、Domain1 (空間刻み 36km)、Domain2 (12km)、Domain3 (4km) 及び Domain4 (1.3km) のネスティング計算を行った。気象場のバックグラウンドデータ、境界条件、4次元データ同化には米国環境予測センター(NCEP)の全球解析値を用いた。



図Ⅲ-1-5 今回の風域場等の推算の対象領域

以下に23日0時から24日6時にかけて6時間ごとの風域場の推算結果を示す。なお、ベクトルの色は風の強弱を示す(赤は強く、黄、緑、青等の順に弱くなる)。



図Ⅲ－１－６ 風域場の推算結果(風向、風速)

(参考)新潟県内の代表的な地点での最大風速及び最大瞬間風速(気象庁)

・気象官署等における日最大風速、日最大瞬間風速

	23日				24日			
	最大風速		最大瞬間風速		最大風速		最大瞬間風速	
	風速(m/s)	風向	風速(m/s)	風向	風速(m/s)	風向	風速(m/s)	風向
新潟	15.0	西	25.2	西	13.2	北西	24.1	北西
高田	9.0	西北西	23.5	西	7.9	西北西	20.4	西
相川	22.9	西北西	29.9	北西	22.2	北北西	29.0	北北西

発生時刻 新潟 23日 最大風速 21:00 最大瞬間 20:46 24日 最大風速 1:10 最大瞬間 0:10

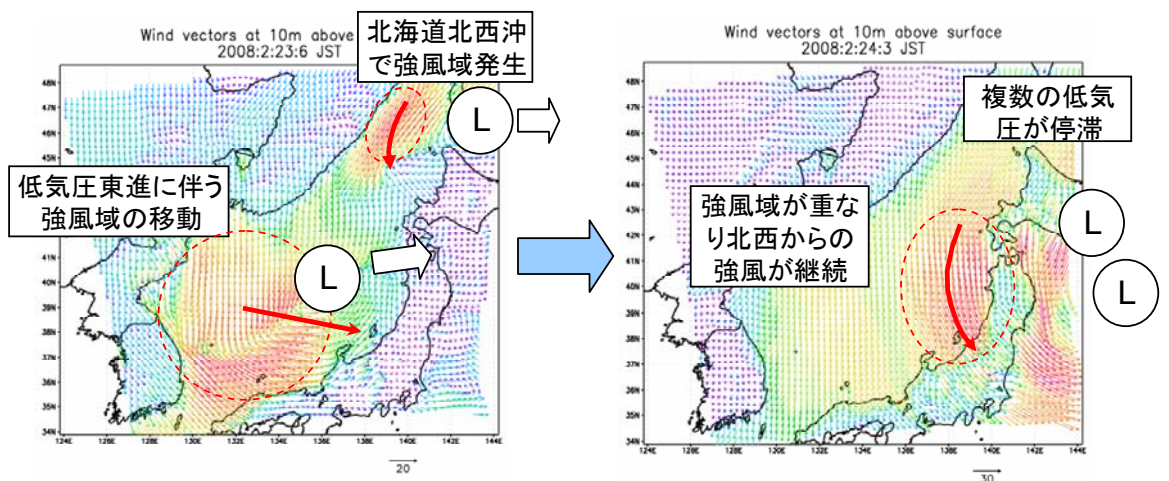
高田 23日 最大風速 21:10 最大瞬間 18:57 24日 最大風速 2:00 最大瞬間 2:01

相川 23日 最大風速 19:40 最大瞬間 20:37 24日 最大風速 5:50 最大瞬間 5:14

【気象・海象特性1(気象)】

気象観測値や本推算結果から、23日に大陸から低気圧が東進するにともなって、日本海西部海域から日本海の中部沿岸へ移動した強風域と、北海道の西側海域から南西方向へ発達し継続した強風域が、ともに合わさるように新潟・佐渡地方へ移動したことがわかる。

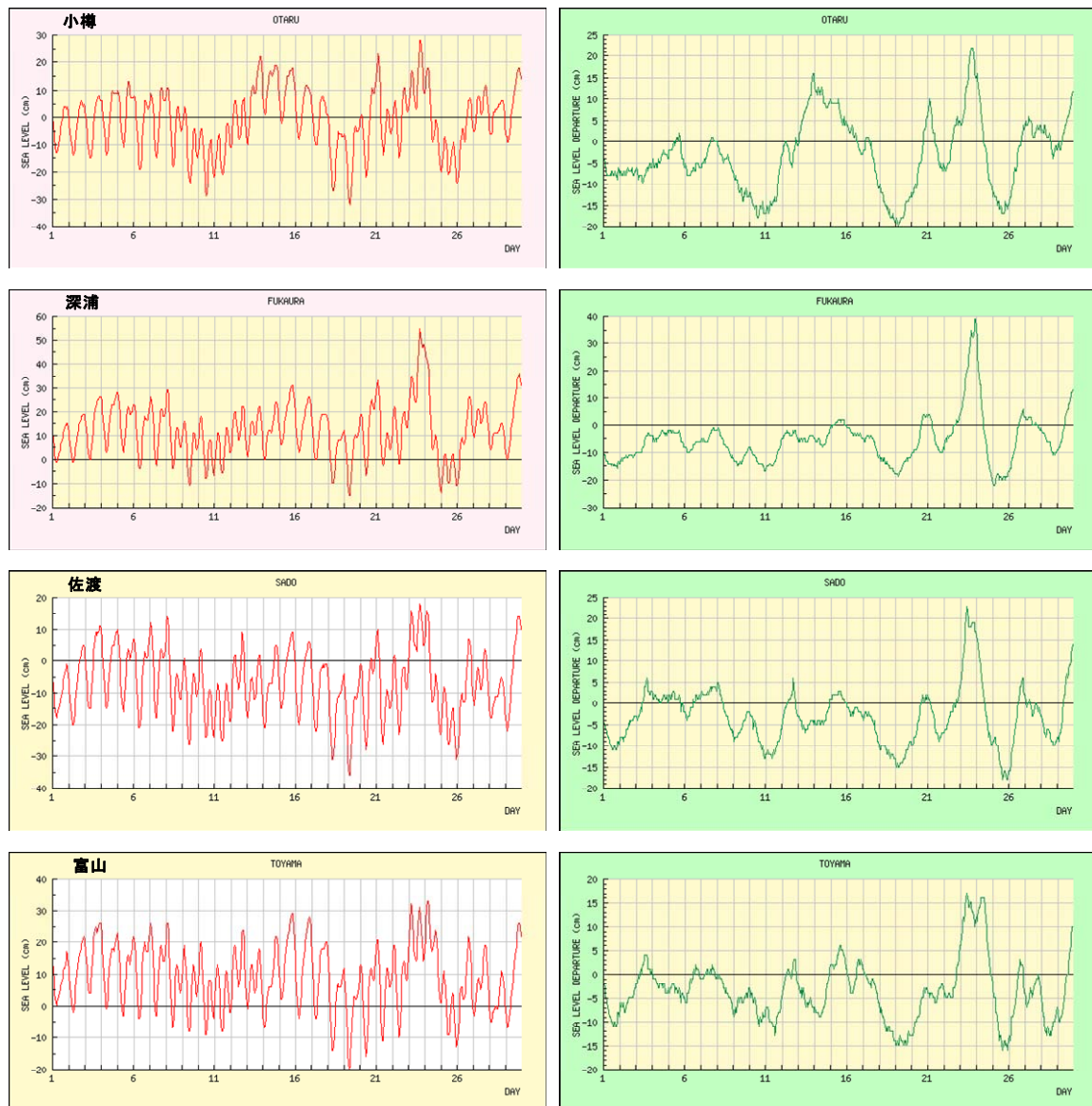
さらに、24日には北海道の東方海上で停滞した低気圧の影響によって、新潟・富山沿岸の海域では北～北西方向からの強風域が継続している特徴も推算結果で確認できた。



2 潮位等の状況

(1) 潮位と潮位偏差

以下に、日本海沿岸の小樽、深浦、佐渡、富山の4地点の2月の観測潮位と潮位偏差を整理した。2月24日未明は、大潮で特に新潟では満潮時により近い時間帯で潮位が高かった状況の中、さらに日本海の広範囲にわたり潮位偏差が 20cm ～30cm 程度あり、特に秋田から佐渡周辺にかけて高潮による影響と推定される高い潮位偏差が観測された。



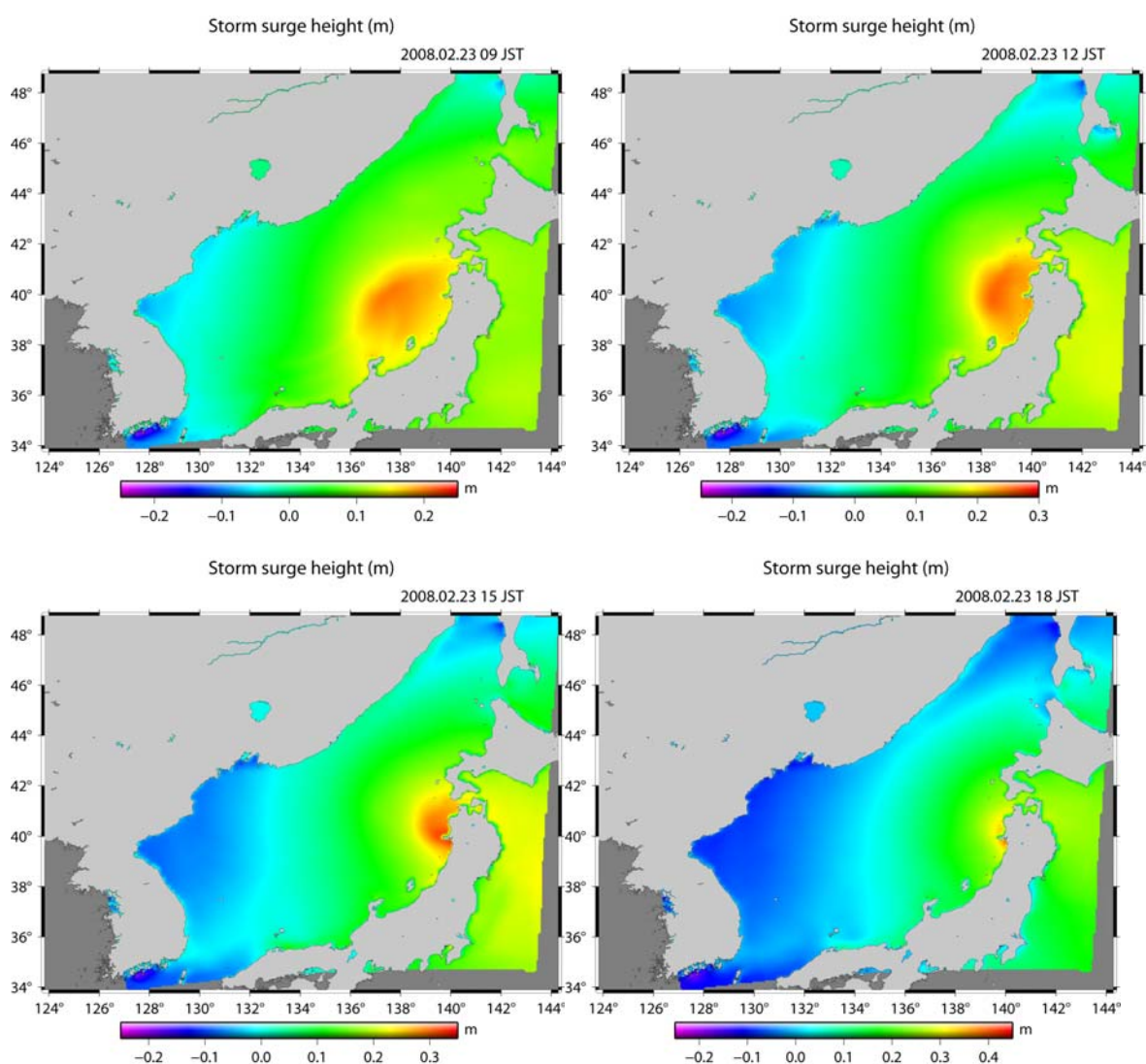
(1) 2月の観測潮位

(2) 2月の潮位偏差

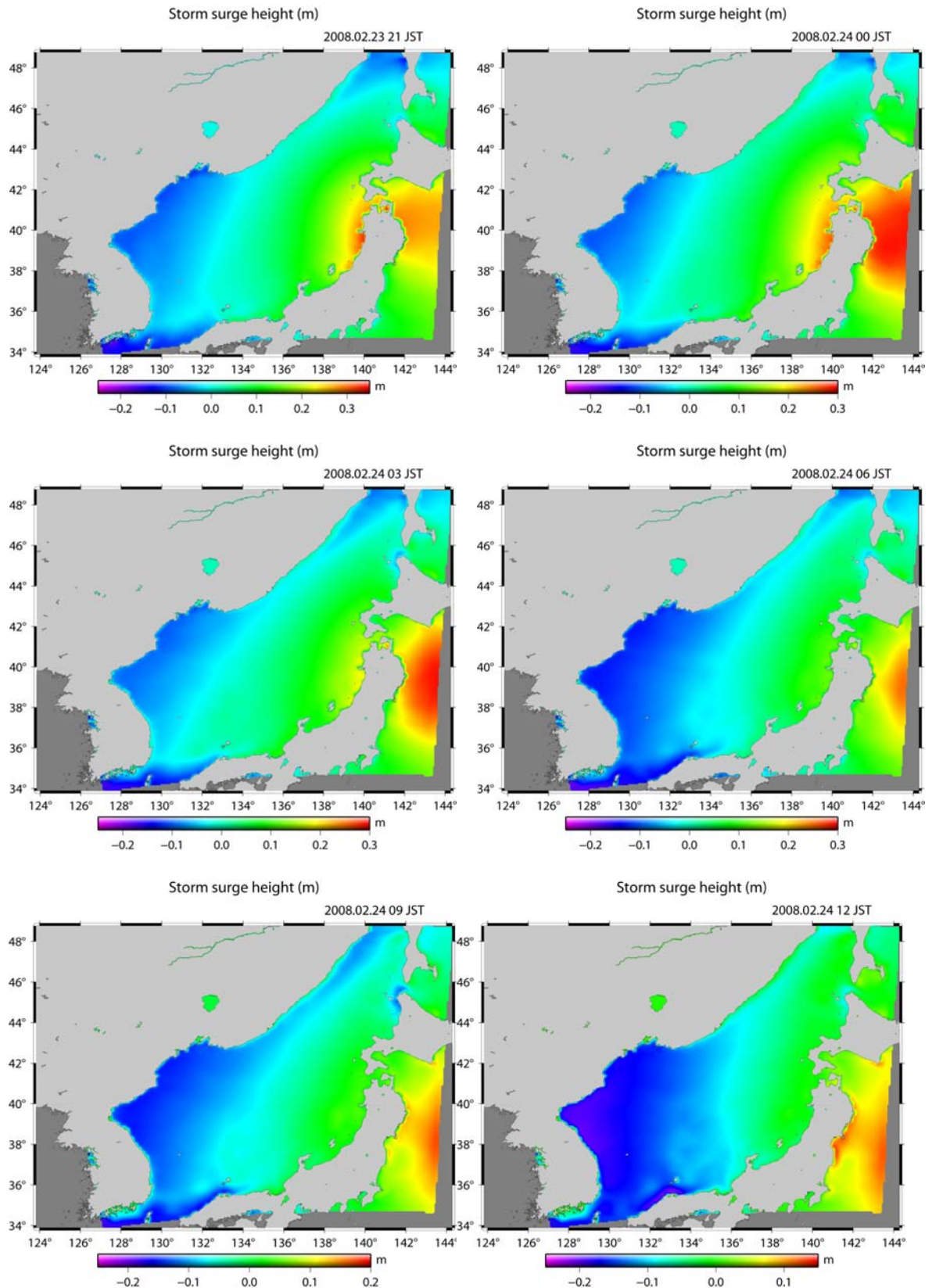
図Ⅲ－2－1 日本海沿岸の観測潮位及び潮位偏差(気象庁)

また観測された潮位偏差の発生要因を把握するため、大気・海洋・波浪結合モデルによる高潮推算を行った。海上風の推算モデルとしてMM5モデルを、波浪の推算モデルとしてはSWANを、水面変動の推算にはPOM(プリンストン大学の Princeton Ocean Model)を用いて高潮推算を行った。計算は4領域(格子間隔 36km、12km、4km、1.3km)で行い、Domain4(1.3km メッシュ)ではSWANの碎波せん断応力を介して、極浅海域での Wave-Setup の効果が再現できるようにした。

以下に平成20年(2008年)2月23日12時から24日3時までの3時間ごとの高潮の推算結果を示す。低気圧が日本海の中央をゆっくりと横切ったために富山湾のほぼ全域で風による吹き寄せ効果による高潮が発生・継続しており、秋田から佐渡にかけて最大 30~40cm の高潮が発生している様子がわかる。



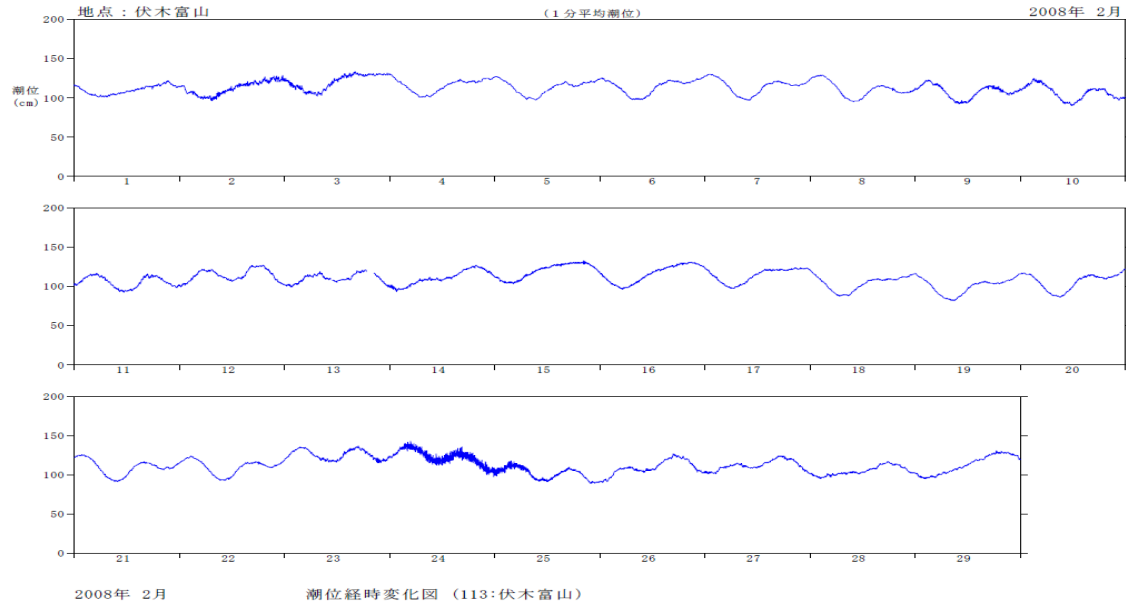
図Ⅲ-2-2(a) 高潮偏差の推算結果(平成20年2月23日~24日)



図Ⅲ－２－２(ｂ) 高潮偏差の推算結果(平成20年2月23日～24日)

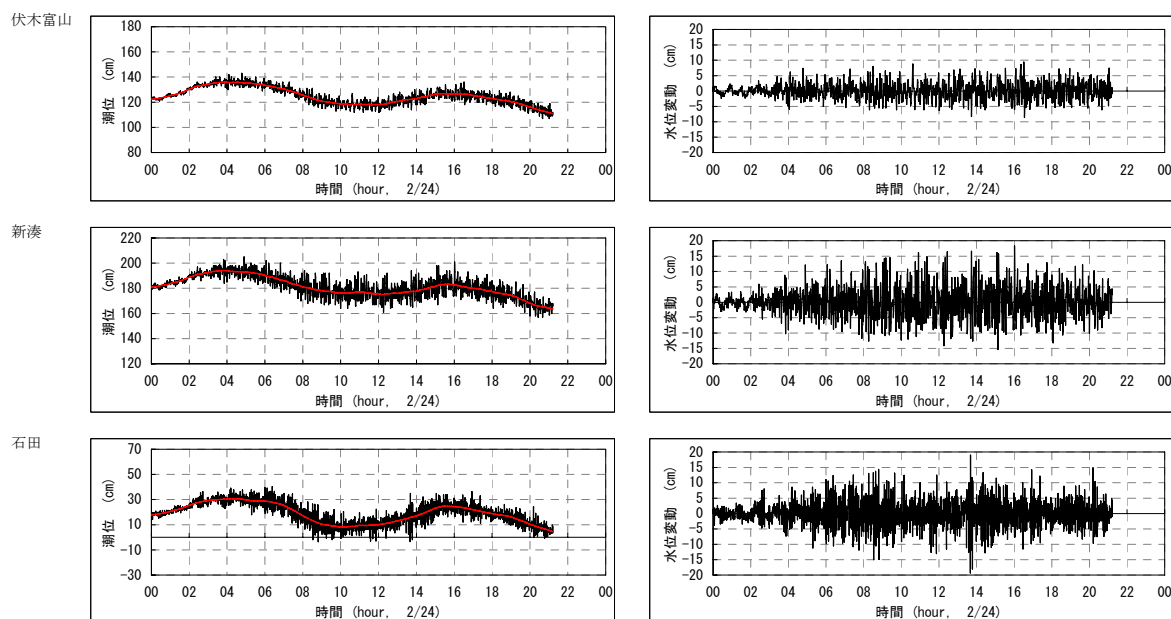
(2) 潮位変動

潮位観測の記録から、高潮位に加え、23日から24日にかけて特に長周期の水
位変動成分の卓越が観測されている。



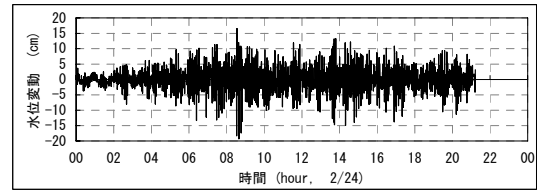
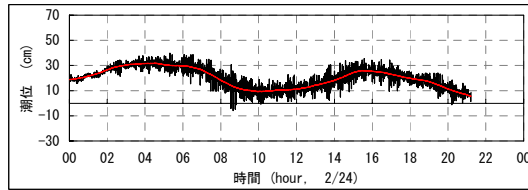
図Ⅲ－2－3 伏木富山における2月観測潮位の時系列データ(港湾局)

以下にNOWPHAS(全国港湾海洋波浪情報網)の伏木富山、新湊、新潟西、
酒田(港湾局提供)の4地点および石田、生地(河川局より提供)の観測潮位の時
系列データと1日移動平均潮位を除いた偏差時系列データを示す。内湾に比較し
て、外洋に面する新潟西、酒田では周期の長い様子が現れている

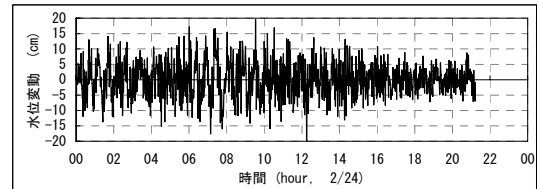
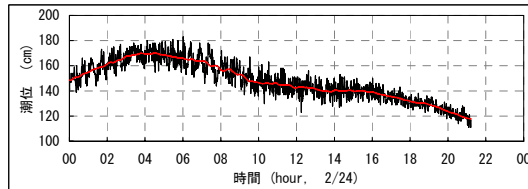


図Ⅲ－2－4(a) 24日の6地点の観測潮位及び偏差の時系列データ

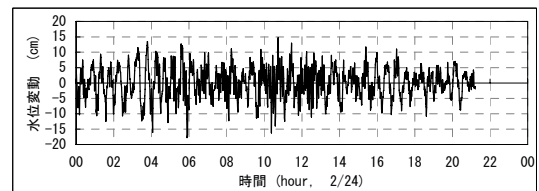
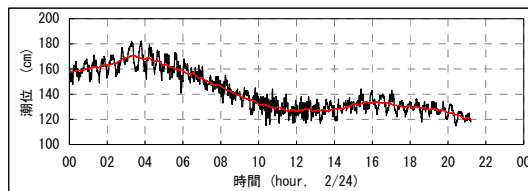
生地



新潟西

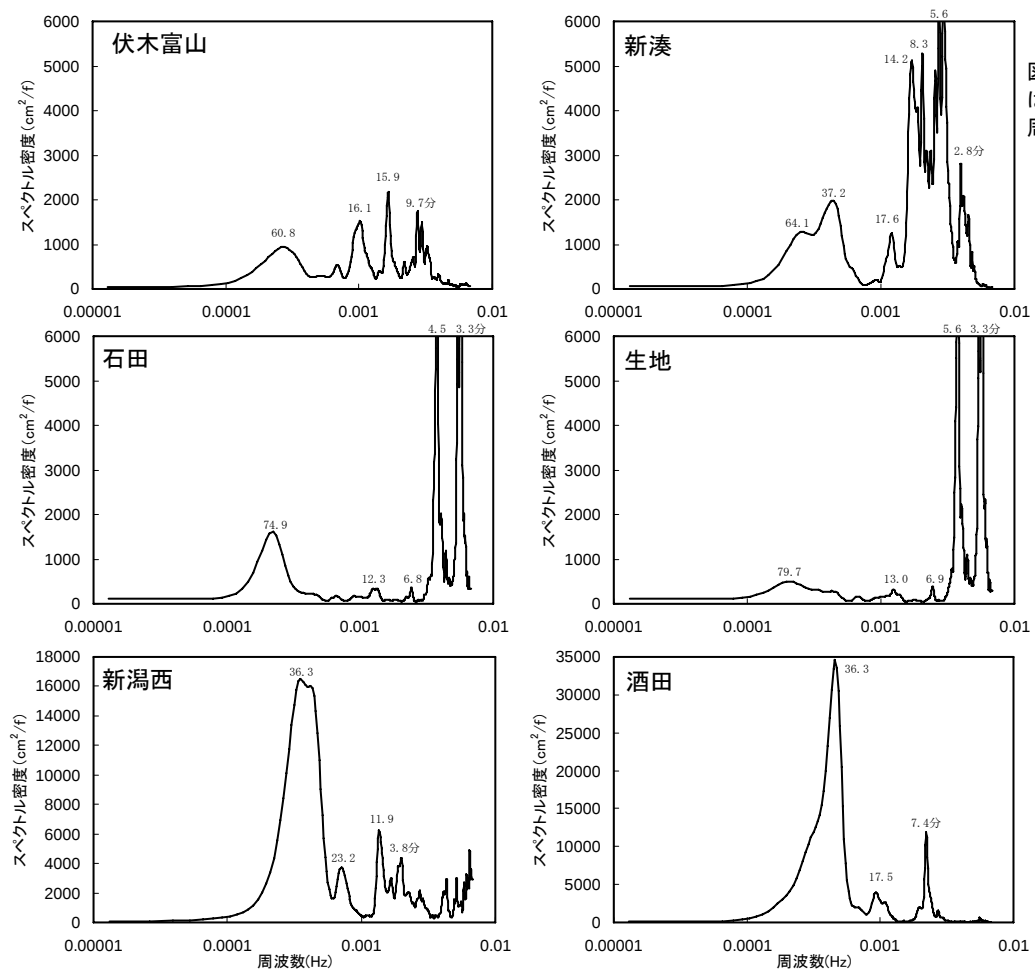


酒田



図Ⅲ-2-4(b) 24日の6地点の観測潮位及び偏差の時系列データ

これら6地点の観測潮位偏差時系列データを用いて、潮位変動成分の解析を行った。以下にスペクトル解析の結果(パワースペクトル)を示す。



図Ⅲ-2-5 24日の6地点のパワースペクトル

スペクトル解析結果をみると、数分から数十分の長周期波が発現していたことがわかる。有義波高換算した値は、富山湾内（伏木富山、新湊）では 30cm 程度、新潟西、酒田は 40cm 程度と、外洋に面した地点の方が大きかった。

周波数に着目すると、酒田、新潟西で約 36 分の周期のエネルギー密度が最も大きくなっている。新湊では同じ周期のエネルギー密度にピークをもつが、湾奥の伏木富山では周期約 60 分のエネルギー密度が高いため、36 分は外洋で発現する長周期波、60 分は湾水振動等湾内で発現する長周期波と推定される。なお、石田、生地では長周期側のピークが 70～80 分と外洋地点よりやや長く、また短周期成分でエネルギーが大きくなっているのが特長であるが、これは他の4地点に比べ検潮位置の水深が浅いため、汀線際の影響を受けているためと思われる。

長周期成分エネルギーの有義波高換算値 ($H_{1/3} = 4.01\sqrt{m_o}$)

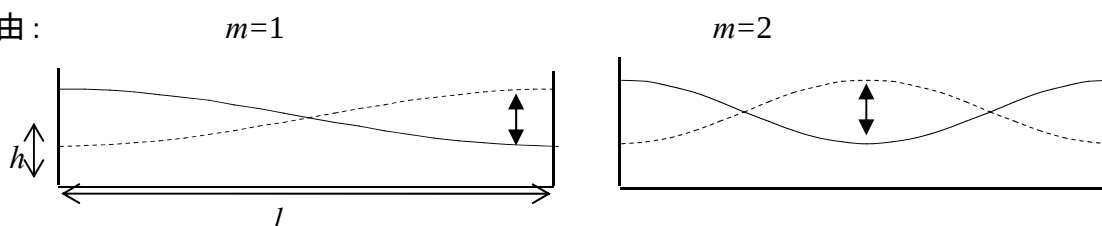
	伏木富山	新湊	新潟西	酒田
有義波高換算値 (cm)	29.0	31.1	37.3	42.3

潮位データに含まれていた長周期成分には、富山湾の湾水振動も含まれている可能性が高い。地形の影響により励起される副振動の周期は、一様水深を仮定すると、Merian の式により概算することができる。

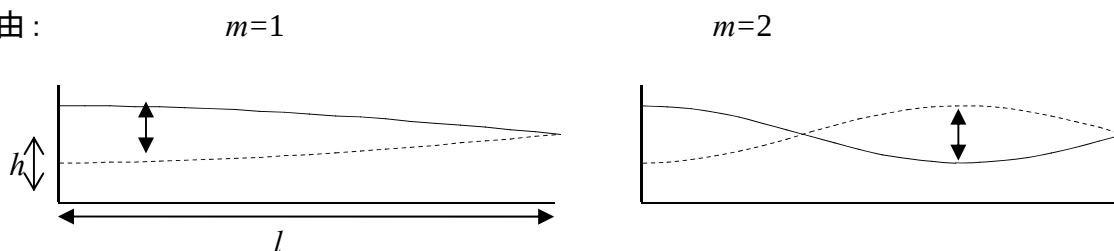
$$T_m = \begin{cases} \frac{2l}{m\sqrt{gh}} & : \text{両端自由} \\ \frac{4l}{(2m-1)\sqrt{gh}} & : \text{片側自由} \end{cases}$$

ここに、 T_m : 副振動の周期、 l : 長さ、 h : 水深、 g : 重力加速度、 m : モード(-1, 2, 3...)である。また各モードは次のようになる。

両端自由:



片端自由:



図Ⅲ-2-6 副振動のモード

また、同様に佐渡島沿岸の陸棚を一樣勾配と仮定すると、次式で表される陸棚エッジ波として表すことができる。

$$\sigma_n^2 = (2\pi f_n)^2 = gk(2n+1)S \quad (n = 0, 1, 2, \dots)$$

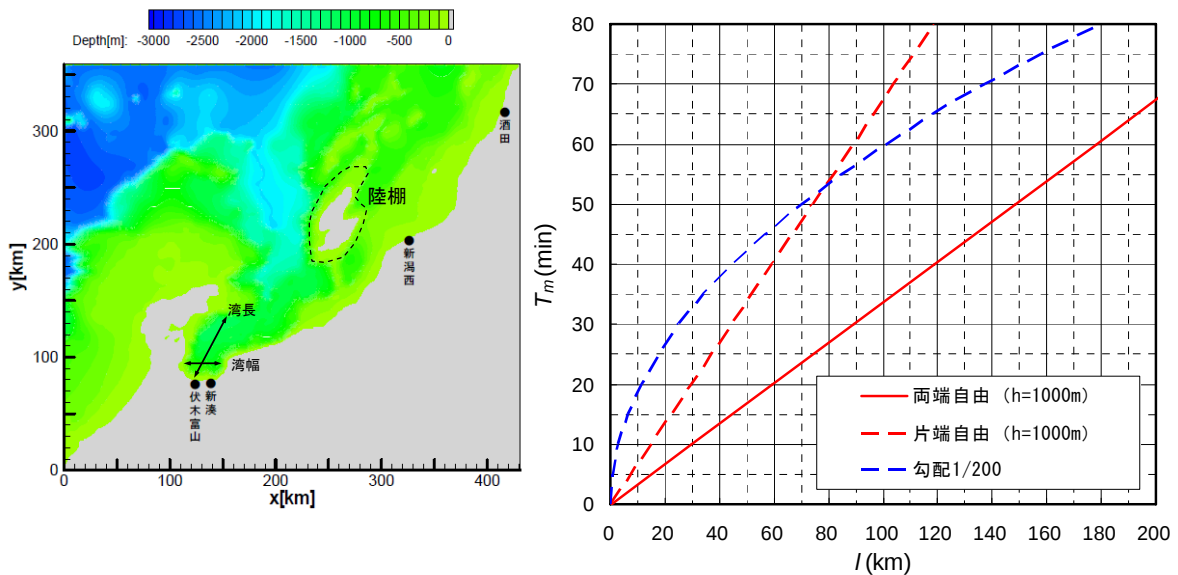
ここで、 $\sigma_n = 2\pi/T_m$ ：各周波数、 f_n ：陸棚エッジ波の周波数、 g ：重力加速度、 $k = 2\pi/L$ ：波数、 n ：モード数、 S ：海底勾配、である。

$m=1$ に対する水深 1000m(一樣水深とする)のときの長さとの関係、および $n=1$ に対して佐渡北側の陸棚の概略の海底勾配を $1/200$ とした場合の周期と長さの関係を示す。

富山湾の水深は 1000m 程度あり、湾幅に対する振動は両端自由であることから、10～20 分の周期に対応する湾幅は 30～60km となる。周期 5 分に対応する湾幅は 15km 程度であるが、 $m=2$ に対してはその倍の 30km 程度になる。これらは富山湾の湾奥から湾口にかけての湾幅にほぼ対応する。また、湾長に対する振動は片端自由であり、60 分の周期に対する湾長は 90km となる。これは富山湾の湾長にほぼ対応する。

新潟沿岸には水深 100～200m 程度の陸棚がある。陸棚での振動を一樣海底勾配上のエッジ波とすると、このときの 36～37 分の周期に対応する陸棚の幅は 35km 程度となる。これは酒田付近での陸棚幅にほぼ対応している。

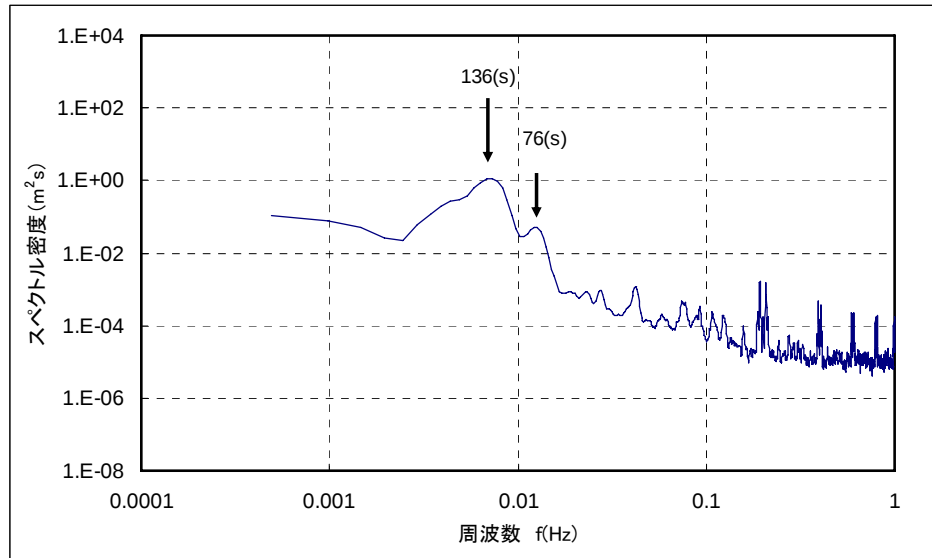
これらより、被災時の海域は、富山湾内の地形の影響や新潟沿岸の陸棚によって励起される長周期振動が発生していた可能性が高いことがわかった。



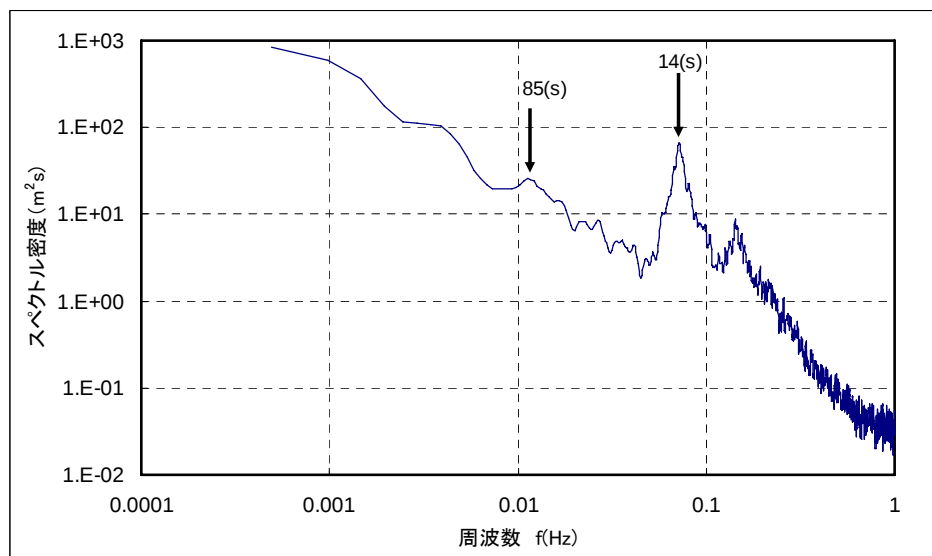
図Ⅲ－２－７ 副振動の長さとの関係

さらに、より短い周期の変動成分の寄与を把握するため、田中観測所の観測データのうち、生地（観測潮位データ）と田中（観測水位データ）の観測データ（河川局提供）について、高波浪が来襲していた2月24日5:10～6:10の1時間の観測データ（0.5s 毎の観測データ）を用いて解析を行った。

生地、田中のデータを解析したところ、80s 程度と 140s 程度という、通常の波浪より長く、先の潮位変動より短い変動が生じていることがわかった。これらを区間統計で有義波高さに換算すると、約十数cm程度に相当する。



(1) 生地潮位のパワースペクトル

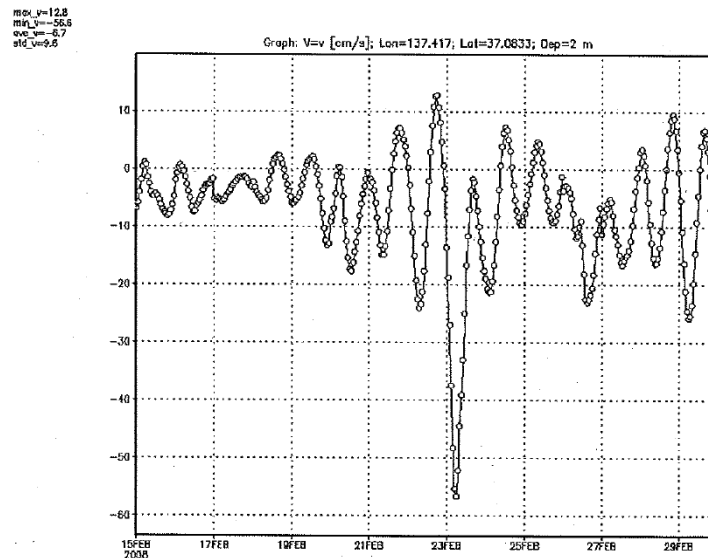


(2) 田中水位のパワースペクトル

図Ⅲ－2－8 生地と田中のパワースペクトル

(3) 富山湾内の流れ

富山湾内では、台風や発達した低気圧により度々強い海流が発生することが報告されている。2月23日から24日にかけても、九州大学応用力学研究所が開発した海洋循環モデルRIAMOM(日本海海況予報実験：<http://jes.riam.kyushu-u.ac.jp/vwp/>)による同研究所の計算によると、富山湾中央部で 60cm/s にも達する南向きの流れが発生していたと考えられる。



図Ⅲ-2-9 富山湾中央部における海洋表面の海流の南北成分
(九州大学応用力学研究所による日本海海況予報実験より)

【気象・海象特性2(潮位及び潮位変動)】

今回潮位は、気圧低下、吹き寄せに伴う高潮の発生により日本海全域で高い状況にあった。特に佐渡の北側海域では漁港が被災した時刻が大潮の満潮時に近かったこともあり、潮位の影響を大きく受けたことも考えられる。

また、23日から24日にかけて通常にはない激しい潮位の変動が起こっていることが観測データからわかるが、分析したところ数十分から数分単位の長周期の変動が加わっており、これら長周期変動は有義波高換算では数十cmに相当しており、高い潮位にこれらの潮位変動が周期的に加わり、高い水位が形成されたことが推測される。

3 富山及び新潟での高波浪の形成状況

(1) 波浪観測データの整理

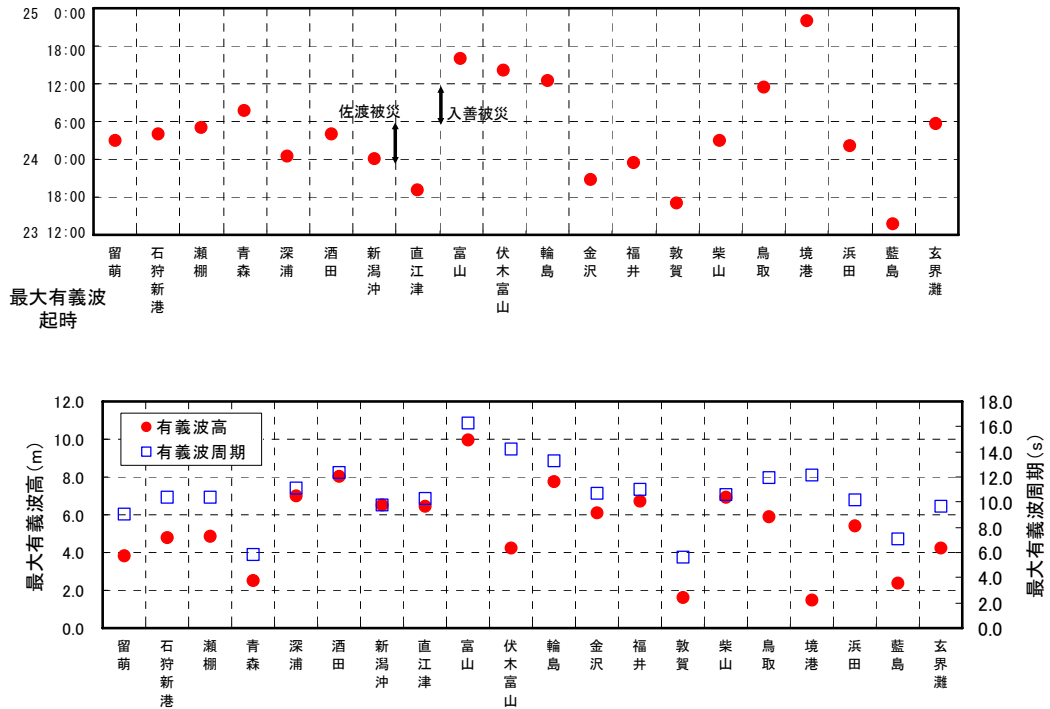
NOWPHASの波浪観測では、富山、輪島等で観測以来の既往最大有義波高を超えた波浪が観測された。特に周期については、新潟沖、富山、伏木富山、輪島等多くの観測地点で、既往最大有義波周期を超えた長周期の波浪が来襲したのが特徴として見る事ができる(港湾局提供)。

解析期間:平成20年(2008年)2月20日～26日 ※ 波高暫定確定値(平成20年3月10日時点)

	CODE	地点名	最大有義波および対応最高波						既往最大有義波および対応最高波(平成18年(2006年)まで)						起 時	発生要因
			起 時	H1/3(m)	T1/3(s)	Hmax(m)	Tmax(s)	波向(°)	H1/3(m)	T1/3(s)	Hmax(m)	Tmax(s)				
1	604	留萌	24日 3時 0分	3.80	9.0	7.32	8.3	335	7.83	10.6	—	—	04年 9月 8日 14時	台風0418号		
2	611	石狩新港	24日 4時 0分	4.78	10.3	6.89	8.8	335	6.00	10.8	7.82	11.7	04年12月17日 4時20	冬型気圧配置		
3	603	瀬棚	24日 5時 0分	4.83	10.3	7.39	9.9	316	9.43	12.9	15.46	13.2	95年11月 9日 8時	冬型気圧配置		
4	220	青森	24日 7時40分	2.45	5.8	5.35	5.8	—	2.64	5.8	4.31	5.3	06年10月 7日16時40	南岸低気圧		
5	201	深浦	24日 0時20分	6.96	11.1	9.49	9.4	—	10.36	14.5	14.53	13.5	04年11月27日 6時	冬型気圧配置		
6	102	酒田	24日 4時 0分	7.99	12.3	10.57	14.7	欠測	10.65	13.8	13.92	13.2	04年11月27日 6時	冬型気圧配置		
7	112	新潟沖	24日 0時	6.46	9.7	10.20	10.4	欠測	8.48	7.9	—	—	05年12月22日12時	冬型気圧配置		
8	114	直江津	23日19時 0分	6.40	10.2	8.23	10.9	欠測	9.24	12.6	12.93	11.5	03年12月20日16時	冬型気圧配置		
9	115	富山	24日16時	9.92	16.2	—	—	欠測	6.75	8.3	—	—	04年10月20日22時	台風0423号		
10	113	伏木富山	24日14時	4.22	14.2	6.49	14.8	欠測	6.53	8.4	—	—	04年10月20日22時	台風0423号		
11	105	輪島	24日12時20分	7.73	13.2	—	—	欠測	7.62	12.0	12.49	11.9	03年12月20日18時	冬型気圧配置		
12	106	金沢	23日20時40分	6.10	10.7	9.23	11.0	323	8.14	10.3	—	—	01年12月15日 6時	冬型気圧配置		
13	117	福井	23日23時20分	6.70	11.0	10.92	11.3	0	7.79	13.2	10.10	11.8	81年12月 2日 6時	冬型気圧配置		
14	116	敦賀	23日17時 0分	1.61	5.6	2.60	7.7	—	1.62	5.8	2.26	4.2	06年12月29日 5時20	冬型気圧配置		
15	310	柴山	24日 3時 0分	6.88	10.6	12.16	10.8	344	6.77	11.5	10.34	12.7	05年12月 6日12時	冬型気圧配置		
16	313	柴山(港内)	24日14時	2.15	12.1	3.51	15.2	—	2.60	9.4	—	—	04年10月20日18時	台風0423号		
17	304	鳥取	24日11時20分	5.89	11.9	11.15	13.4	348	7.54	11.3	10.18	12.3	90年12月11日22時	日本海低気圧及び冬型気圧配置		
18	312	境港	24日22時	1.48	12.1	2.00	12.1	—	3.22	10.8	4.06	10.1	04年10月21日 0時	台風0423号		
19	305	浜田	24日 2時	5.39	10.1	7.79	10.0	4	7.93	11.2	12.31	12.5	90年12月11日18時	日本海低気圧及び冬型気圧配置		
20	406	藍島	23日13時40分	2.37	7.0	3.83	8.2	323	5.61	12.1	9.39	14.4	87年 2月 3日18時	二つ玉低気圧及び冬型気圧配置		
21	405	玄界灘	24日 5時40分	4.24	9.6	6.21	8.8	12	8.03	9.7	—	—	04年 8月30日18時	台風0416号		

注1)秋田は、全欠測。

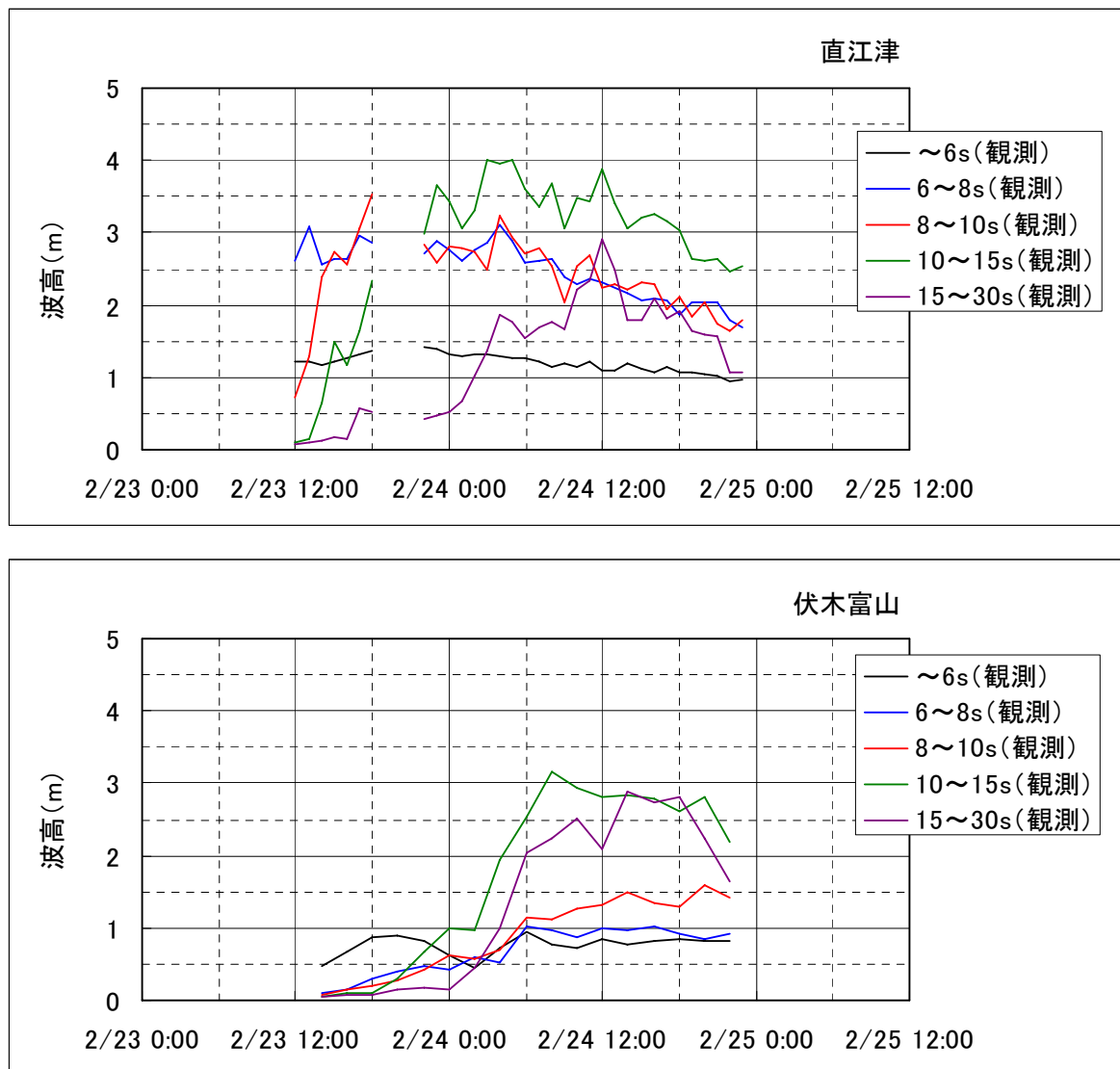
注2)色付け部分は、今回、波高、周期の最大値を更新した地点。



図Ⅲ－3－1 日本海各地点におけるピーク高波浪の位相と波浪・周期の分布

日本海の各観測地点におけるピーク高波浪の発生時間をみると、うねり性の周期の長い波浪が北から伝わってくる様子が一部見られるが、新潟沖や直江津では酒田より早い時間にピーク波高が発生しており、これらの地点では主に北西からの風波の影響が早い時間帯に卓越していたと考えられる。

直江津と伏木富山のNOWPHASで観測された周期帯毎の波高の経時変化（速報値）からもうねり性波浪の影響が推測される。直江津では、初期は短周期成分の波高が支配的だが、2月24日0時過ぎから長周期成分波高が卓越してきており、風波とうねり性波浪の来襲に位相差があることがわかる。また伏木富山ではうねり性波浪が強く影響していることがわかる。



図Ⅲ－3－2 直江津及び伏木富山の周波数帯別波高の変化図

(2) 波浪推算による波浪再現

このようなうねり性波浪と風波の影響等を把握するため、波浪推算を行った。波浪推算に当たっての海上風の推算モデルは先のMM5を用いた。また、波浪推算にはWW3(Wave Watch Ⅲ)を用いた。

波浪推算はMM5による海上風の計算領域と同じ以下の条件で実施した。

計算格子：

Domain1: 36km 格子

Domain2: 12km 格子

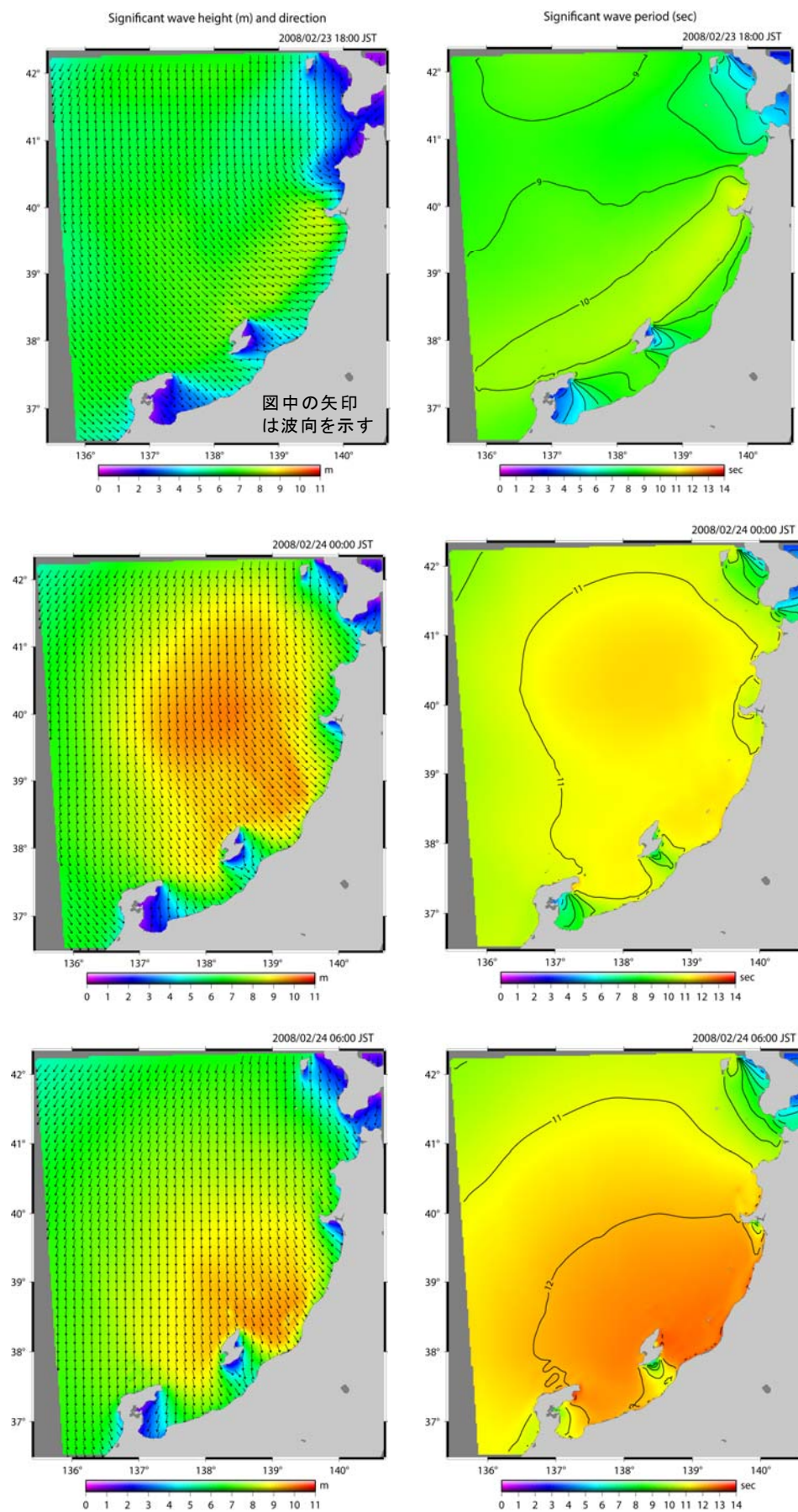
Domain3: 4km 格子

Domain4: 1.3km 格子

今回の計算においては、風域場では、日本海沿岸のアメダスの観測地点から近隣の4地点(秋田、酒田、新潟、金沢)を選定し推算精度の検証を行うとともに、波浪推算の検証は、近隣のNOWPHAS波浪観測である4地点(酒田、直江津、伏木富山、輪島)で行ったが、いずれも良好な結果が得られている。

以下に波浪推算結果の一例を示す。次の図は、波浪推算で得られた23日18時、24日0時、24日6時の波高及び周期の平面分布を示す。

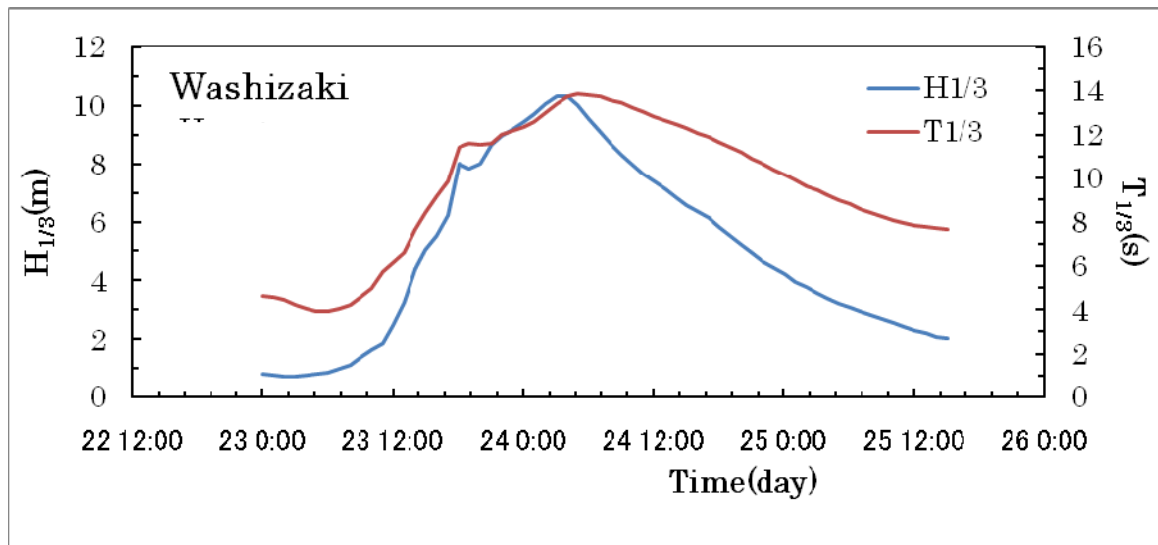
再現結果では、23日北西からの風波の影響が顕著であったが、24日0時頃には、南下したうねり性波浪と風波が重なる等の影響で佐渡の北沖では波高及び周期が増大し、時間の経過とともに富山湾に向けて周期の長い波浪がさらに南下した状況がわかる。



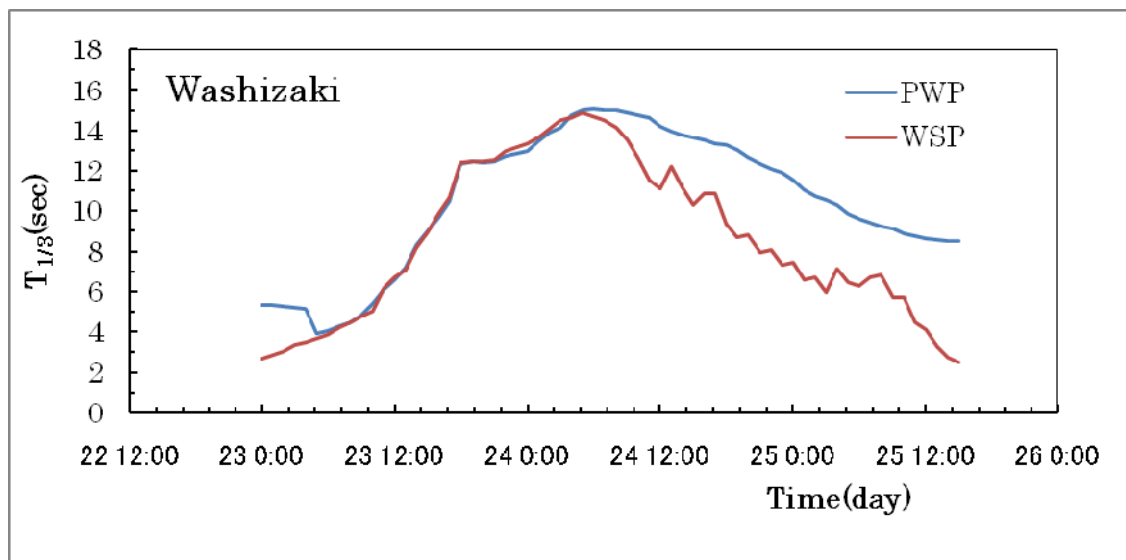
図Ⅲ－３－３ 波浪推算で得られた波高及び周期の平面分布

今回の波浪推算に用いたWW3は、推算された波浪に対して、風から波が受ける影響の大きさを考慮して、風波とうねりの2つの状態に分離し、それぞれの状態のエネルギーピークに対応する周波数を推定することが可能である。

そこで、鷺崎漁港及び入善漁港の近傍での、1) 波浪の有義波高と有義波周期と、2) 風波のエネルギー成分のピーク(WSP)及びうねりのエネルギー成分のピーク(PWP)に対応した周期成分の、それぞれ時系列分布を示す。

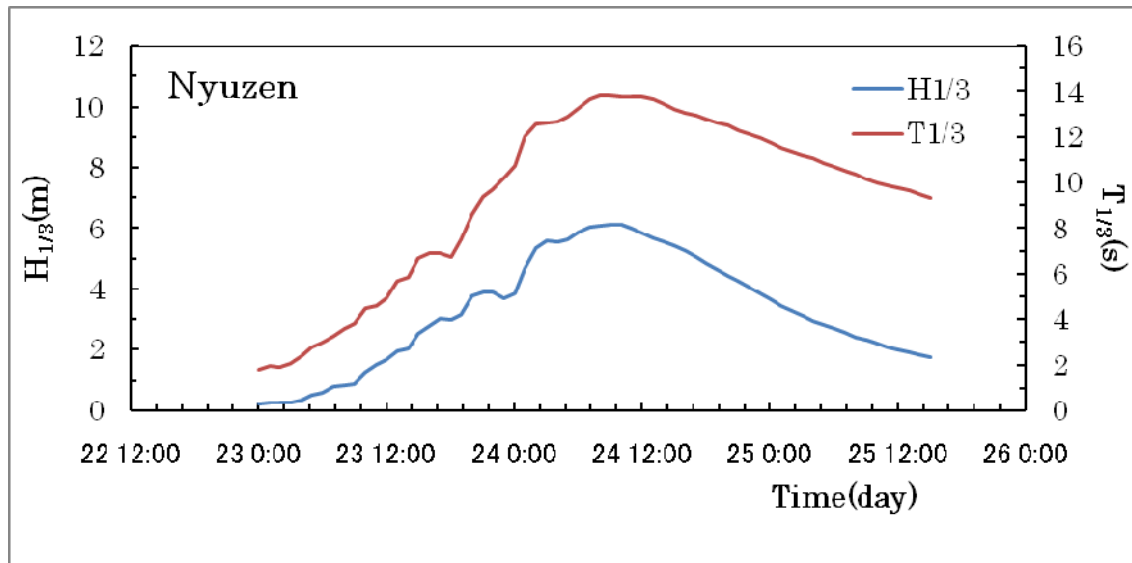


(1) 波浪の有義波高($H_{1/3}$)と有義周期($T_{1/3}$)の時系列分布

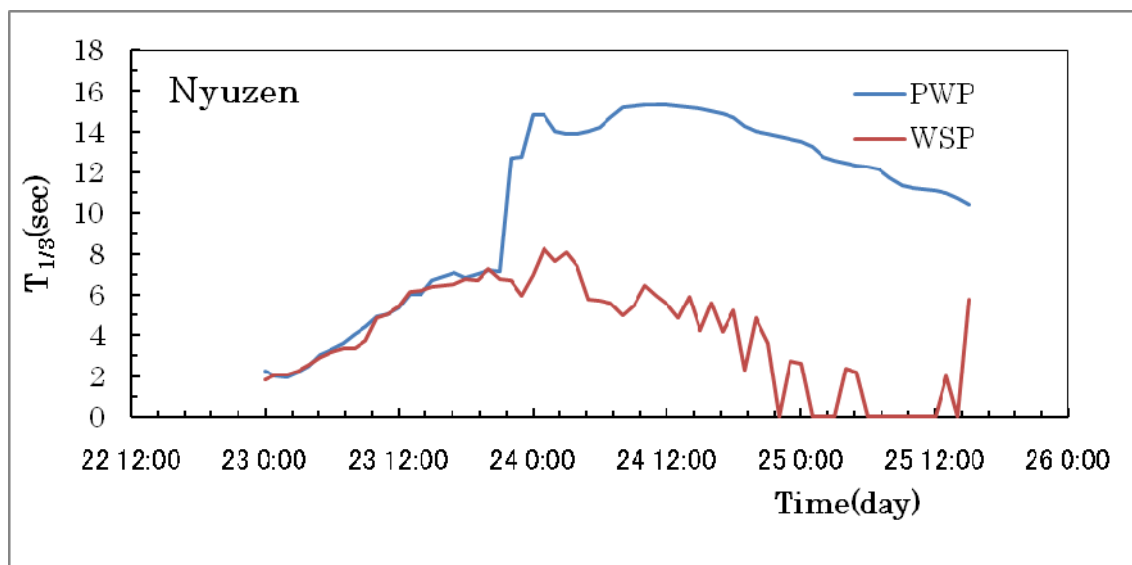


(2) 風波(WSP)とうねり(PWP)の波浪特性の時系列分布

図Ⅲ-3-4 鷺崎漁港の波浪特性の時系列分布



(1) 波浪の有義波高($H_{1/3}$)と有義周期($T_{1/3}$)の時系列分布



(2) 風波(WSP)とうねり(PWP)の波浪特性の時系列分布

図Ⅲ－3－5 入善漁港の波浪特性の時系列分布

これらの図から、鷺崎漁港では、波浪の発達に対して風波とうねりのピークが一致しており、北西の風による風波と南下してきたうねりが重なって波浪エネルギーは高くなっている一方、入善漁港では、24日頃からうねり成分が支配的になっており、うねりが卓越していたことがわかる。

(3) 過去の寄り回り波の特徴

① 一般的な特徴

下表は、既往の文献や報告書等から寄り回り波等の特性（発生機構及び性質）についてまとめているものである。

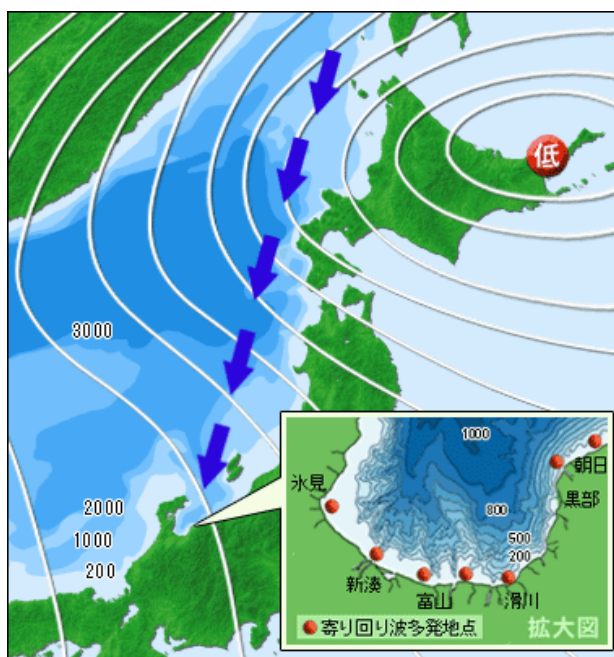
表Ⅲ－３－１ 寄り回り波等の特性

寄り回り波：富山湾他で発生する波（時間遅れの異常波）					
発生時期		9月～4月			
発生回数		年に約3回程度			
発生頻度		12～3月に多く発生			
発生源	海域		間宮海峡から北海道西方海上		
	気象	気圧配置	西高東低（冬型気圧配置）		
		風	北ないし北東の強風		
	海象	発生波	風波	北海道西方海上の強風域で発生	
		伝播波	うねり	日本海を南下 → 富山湾他 1日程度	
湾内特性	発生時	気象	穏やか	低気圧通過後、半日から1日遅れ 風速小さい	
		海象	静か	波浪小さい	
	海象	進入波	日本海を南下してきた伝播波	富山湾湾口等より入射（波向：N～NE）	
		地形の影響		湾内の水深が深い	深海波の性質 エネルギー損失少の伝播に格好の条件
				複雑な地形による局所的な高波	深海域から浅海域への侵入 → 波高の増加 複雑な等深線による屈折 → 波エネルギー収束、発散
		発生波	うねり性の大波	波高：3～5m程度 周期：10～12s程度	
	主な発生場所		氷見、新湊、入善、滑川 庄川、神通川、常願寺川河口近くの沿岸		

- (1) 財団法人日本気象協会（1989）：気象海象要覧 日本海 主として北陸海域
- (2) 磯崎一郎（発行年不明）：波浪学入門，財団法人日本船舶職員養成協会
- (3) 磯崎一郎・齋藤勝也（1991）：日本海の波浪特性，財団法人日本気象協会
- (4) 内藤信二・歌川紀之・西村仁嗣・武若聡（1999）：日本海沿岸における寄り回り波の性状に関する研究，土木学会題54 回年次学術講演会論文集
- (5) 国土交通省北陸地方整備局（1997）：けんせつほくりく，No336，1997 年 12 月号
- (6) 富山地方気象台の資料

取りまとめ結果によると、一般的な寄り回り波の周期は 10～12 秒程度であるが、今回来襲した寄り回り波の周期は富山で 16.2 秒と非常に長い。このことから、今回の寄り回り波が、従来の寄り回り波と比較しても特に周期が長い寄り回り波による現象であった。

富山湾の入善漁港海岸等で寄り回り波による甚大な被害をもたらした例として、昭和45年（1970 年）1 月末の寄り回りによる被害事例がある。



（出典：富山地方気象台より）

② 既往災害との比較

特に富山湾に浸水被害等をもたらす寄り回り波は、低気圧による強風が収まった頃に、突然にうねりとして来襲するために、不意をつかれた格好での被害も多く、今回の気象擾乱はそういう観点からも特異な面もある。

そこで、日本海中部地域(新潟・富山)沿岸で災害をともなう高波をもたらした既往の災害事例(過去の寄り回り波の場合、通常の冬季風浪の場合)について波浪推算を行い、既往災害に対する波浪推算結果と今回の高波(平成20年2月23～24日)と波浪推算結果について比較を行うことにより、この今回のうねり性の高波浪の気象・波浪特性を把握することとした。

(比較気象擾乱の概要)

○ケース1:うねり性が発達した波浪が来襲したケース

(推算期間:平成3年(1991年)2月14日～16日)の概要

2月14日頃に東シナ海で発生した低気圧は、14日～16日に急速に発達しながら本州の南岸沿いを北東進し、同時期に日本海に発生した低気圧を併合して17日には千島の東海上で中心示度が 960hPa になるまで猛烈に発達した。この後、この低気圧は17日～20日にかけて北海道東方海上で停滞し、強い冬型気圧配置となった。日本海および本州南岸を移動・停滞した2つの低気圧による強風が継続したため、日本海中部および太平洋東北部の沿岸部を中心に高波浪が来襲した。

→波浪推算結果の概要:当初東シナ海で発生した低気圧の影響で日本海を西からの波浪が卓越したが、強い冬型気圧配置になることに伴い、日本海北部では北から北東よりの強風が継続し、秋田沖から高波浪領域がうねり性波浪となって南下した状況等を再現・確認した。

○ケース2:北西風による風波が発達して来襲したケース

(推算期間:平成15年(2003年)12月18日～22日)の概要

日本付近は大きな気圧の谷の中に入り、17日～20日にかけてゆっくりと日本海を通過した低気圧が日本の東海上で20日に急速に発達したために冬型が強まり、日本海沿岸を中心に海上は強風が継続し荒れ模様となった。この低気圧による強風によって新潟県の沿岸を中心に発達した高波浪が来襲した。

→波浪推算結果の概要:急速に発達した冬型低気圧により北西からの強風が継続したため、北西からの高波浪が日本海に来襲したが、

能登半島や佐渡の遮蔽効果により、今回被災した鷺崎漁港、入善漁港等では、大きな波浪の来襲はなかった状況等を再現・確認した。

今回のうねり性高波浪の観測データや数値シミュレーションによる分析や過去の寄り回り波や通常の冬季波浪等との比較から、今回のうねり性高波浪の特徴を整理すると以下のように考えられる。

【気象・海象特性3(高波浪特性)】

- ・ 日本海をゆっくりと低気圧が発達しながら通過し、北方からのうねり性の長周期の波浪が来襲しない場合には、日本海沿岸海域で高波が来襲するが、富山湾や佐渡の本土側は半島や佐渡の遮蔽効果で波浪はあまり発達しない。
- ・ 今回の波浪に関しては、北海道西方海上の低気圧によって形成された強風によって発生した波浪が日本海を長軸方向に伝播する際に、日本海や太平洋を東進した複数の低気圧が周辺の高気圧に囲まれ太平洋側北部で停滞し冬型気圧配置が強まったことにより、日本海北部では北から北東よりの強風が23日から24日にかけて長時間継続し、長い吹送距離と吹送時間により、長い周期のうねりとなってさらに発達するとともに、うねりと風波の相互作用も重なって高波浪が形成されたことが、佐渡や富山湾に周期が長いうねり性高波浪をもたらした要因であったことが推定される。



(4) 漁港別の被災沖波の推算結果

今回の波浪推算により推算した新潟県及び富山県内での被災した主な漁港の沖波の推算結果は以下のとおりである。

表Ⅲ－3－2 新潟県における被災沖波の推算結果

漁港名	出力地点	波向	N	NNE	最大値の発生時刻
鷺崎	20	H(m)	6.85	9.92	2月24日 3:00
		T(s)	12.62	13.23	
北小浦	20	H(m)	6.85	9.92	2月24日 3:00
		T(s)	12.62	13.23	
水津	M	H(m)	6.14	8.5	2月24日 4:00
		T(s)	12.66	13.64	

表Ⅲ－3－3 富山県における被災沖波の推算結果

漁港名	出力地点	波向	NNW	N	最大値の発生時刻
入善	7	H(m)		6.20	2月24日 10:00
		T(s)		13.78	
滑川	6	H(m)	5.50		2月24日 10:00
		T(s)	13.89		
宮崎	9	H(m)		7.36	2月24日 7:00
		T(s)		13.71	

また、最大有義波高発生時刻が、推算結果では、佐渡では午前3時頃、富山では午前10時頃となっている。次頁からの表は入善漁港海岸及び水津漁港における来襲した高波浪や被災状況等について聞き取りした結果である。被災時刻を推定するまでにはいらないが、おおむね最大有義波高が発生した時刻近くで大きな波浪が来襲し、被災を受けたものと思われる。

【推定される被災のメカニズム1(長周期の波浪の影響)】

新潟県佐渡の鷺崎漁港、北小浦漁港、水津漁港では、南下したうねり性高波浪の最大有義波高の波向きが北北東となっている。今回の高波浪は、沖波として過去の北方向等から来襲した最大波を越えるものではないが、北北東方向としては大きく、特に周期が長いのが特徴となっている。北北東等の方向成分により佐渡の遮蔽の影響が少なかったこと、今回波浪の周期が長かったこと等によりそれぞれの漁港まで波高が大きく減衰せずに漁港施設等に被害をもたらした大きな要因のひとつと考えられる。

また、富山湾の波浪は方向集中度の高い、うねり成分が卓越したものとなっており、入善漁港等でも波高としても、現行の設計沖波と同程度ぐらいであるが、周期については設計沖波を越えており、周期の長い波浪の影響により波高の減衰は小さく、被害を助長した要因のひとつと想定される。

表Ⅲ－3－4 富山県入善漁港海岸における被災状況履歴

(1) 入善海岸越波状況

平成 20 年 2 月 23 日(土)		
17:00	海岸での風速が次第に強さを増す。	入善町風力発電施設 20.3m/s 国土交通省田中観測所 風速 WNW14.8m/s
平成 20 年 2 月 24 日(日)		
2:00 頃	海岸からの波が強くなり、海水が集落内に進入し始める。	国土交通省田中観測所 最大波高 4.6m 風速 W9.8m/s
4:00	大波が押し寄せるようになる。	国土交通省田中観測所 最大波高 7.5m 風速 NW15.5m/s
6:30	海岸管理用道路を走行中の海岸パトロール中の車両が、堤防を越波した高波により浸水し走行が不能となる	
	海岸管理用道路を通行止めとして、一般車両の通行を規制する。	
8:00～	大波(目視 10m)が頻繁に押し寄せて、堤防を乗り越える。	国土交通省田中観測所 最高波高 9.5m 風速 NW10.7m/s
9:50	災害対策本部に「防波扉が破損した」との通報が入る。	「防波扉」:鋼製護岸ゲート
	大波が押し寄せ堤防を越えて、海水が集落内に進入する。	
17:00		国土交通省田中観測所 最高波高 7.1m 風速 NW7.8m/s
平成 20 年 2 月 25 日(月)		
6:00	目視 1.5mの波となり、海岸に打ち寄せる。	国土交通省田中観測所 最高波高 3.9m 風速 NW5.8m/s

(入善町より提供)

表Ⅲ－3－5 新潟県水津漁港における被災状況履歴

(2) 水津漁港高波災害経過

平成 20 年 2 月 23 日(土)		
20:00 頃	停電(長い)	
23:30 頃	最停電、一晩中地鳴り(波の打ち寄せ、風は無し、雷あり)	港湾局新潟沖 24:00 最大波高 10.2m
平成 20 年 2 月 24 日(日)		
1:30 頃	組合員が天候の急変に気付き見回り	
3:00 頃	船主数名が荒天準備に取り掛かる	
3:30 頃	北防波堤一部決壊か?	
4:00 頃	波がさらに高さを増してくる	海上保安庁弾崎 4:25 風速 30m/s
4:30 頃	南側船揚場の小型船・近隣車両に被害	
5:00 頃	警戒態勢(組合員、区民)	
6:00 頃	片野尾ー水津函で岩石等障害物と高波で移動困難。北港内では、漁船同士の接触、ロープ切断などの被害	海上保安庁弾崎 5:55 風速 29m/s
7:14 頃	高波最大、漁協1階事務所に大波が打ち込む(負傷者あり)、南側船揚場でも全小型船が流出、波と流出物によりウィンチ小屋5ヶ所のうち、4ヶ所が流出	
10:30 頃	第 18 広俊丸の錨が高波により切断に北港内で動き出す	
17:00 頃	ピーク時に比べれば波は収まるが、時折大波が来襲	海上保安庁弾崎 16:55 風速 17m/s

注)新潟沖は、2/24 は 2 時～22 時まで欠測

(新潟県より提供)

(5) 被災波の再現性について

漁港施設の復旧や今後の整備の検討に先立ち、今回の被災波浪がどの程度の頻度で来襲するものなのか、観測値や波浪推算値から評価を試みた。

① 観測値を用いた評価

観測値を用いた評価については、伏木富山、直江津、新潟沖のNOWPHASデータ(港湾局より提供)を用いて解析を行った。データの間隔は2時間である。

上記のデータからNOWPHASの基準に従って高波期間を抽出し、最大有義波高出現時の波高、周期、波向を抽出した。NOWPHASの基準とは、波高の極大値が基準波高である上限値を超える場合をひとつの擾乱と見なし、下限値を上回っている期間を擾乱期間とするという考え方である。各観測地点における資料の期間および上限値、下限値は以下の通りである。

表Ⅲ－３－６ 対象データ期間と高波抽出の基準値

地点	対象期間	高波抽出基準	
		上限値(m)	下限値(m)
伏木富山	平成11年～平成20年2月 (1999年～2008年2月)	1.5m	1.0m
直江津		3.0m	2.0m
新潟沖	平成2年～平成20年2月 (1990年～2008年2月)	3.0m	2.0m

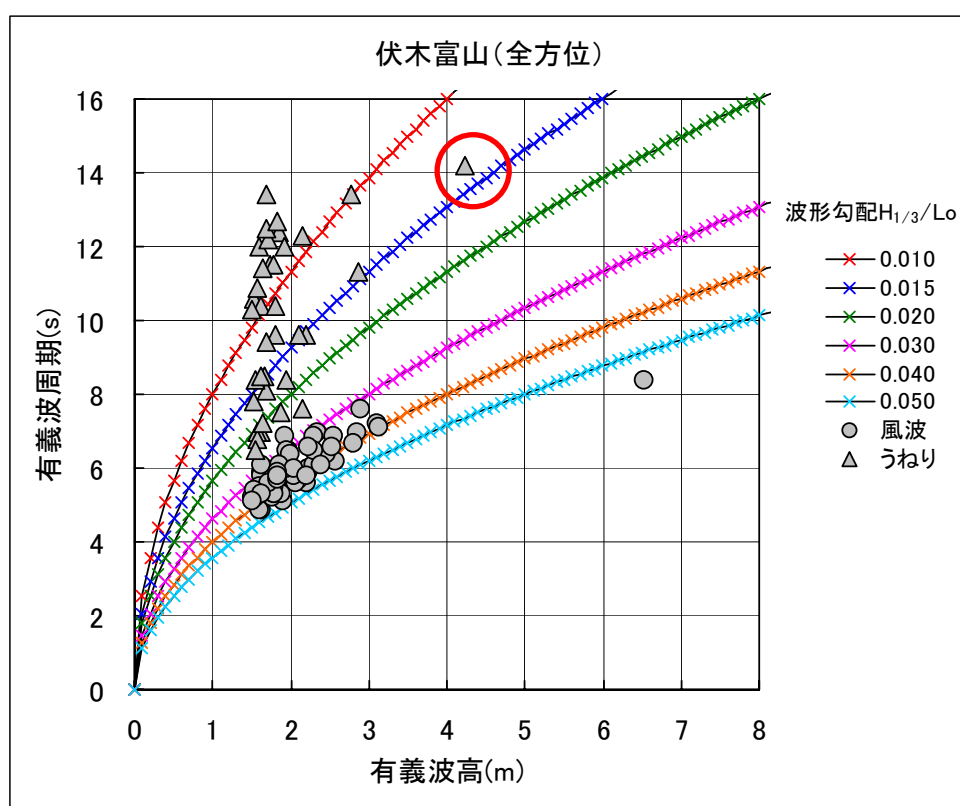
風波とうねりの出現状況を把握するため、ここでは波形勾配が0.025以上のものを風波、0.025未満のものをうねりとし、波高と周期の散布図を作成した。なお、欠測が存在する場合、前後の資料から可能な限りスプライン補間により2時間毎のデータを作成し極大波高を推定している。

伏木富山の波高と周期の関係図では、過去10年程度の観測期間ではあるが、高波浪の中でうねりと見なされる擾乱もかなり多いという特徴を有することが分かる。今回の被災波(波高4.22m、周期14.2s)もうねりに分類され、観測期間中最大のものであった。

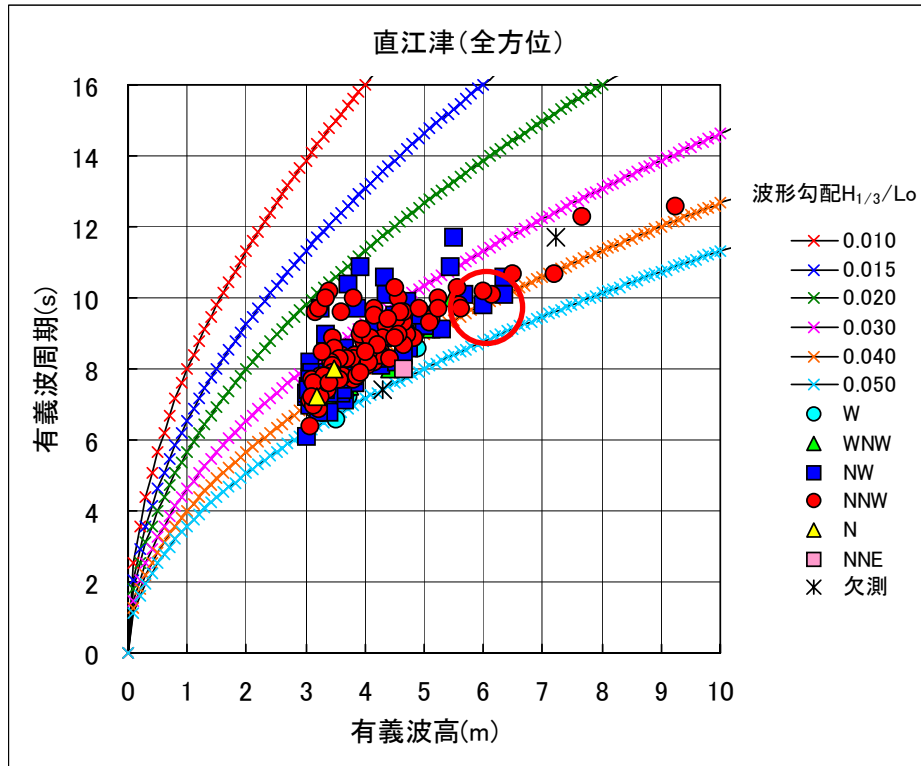
直江津及び新潟沖の波高と周期の関係図については、波形勾配が0.025未満のものをうねりと考えた場合、全体の中でうねりの占める割合はかなり小さくなる。直江津、新潟沖で観測された今回の波浪も風波の領域に属している。新潟県の本土側は主にNW、NNW等からの風波が卓越しており、先の伏木富山港における波高と周期の関係図は、直江津、新潟沖等のそれと異なった状況を呈していることがわかる。

このようなことから、伏木富山における最大有義波高出現時の波高の中から、今回の高波浪と同様なうねり性（波形勾配が 0.025 未満）のものだけを抽出し、参考までに今回の被災波浪を含めた極値統計解析を行ったところ、おおむね25年強の再現期間となった。しかしながら、観測期間が10年足らずであるとともにサンプル数が少ないことなどから、推定精度が十分とはいえない面がある。

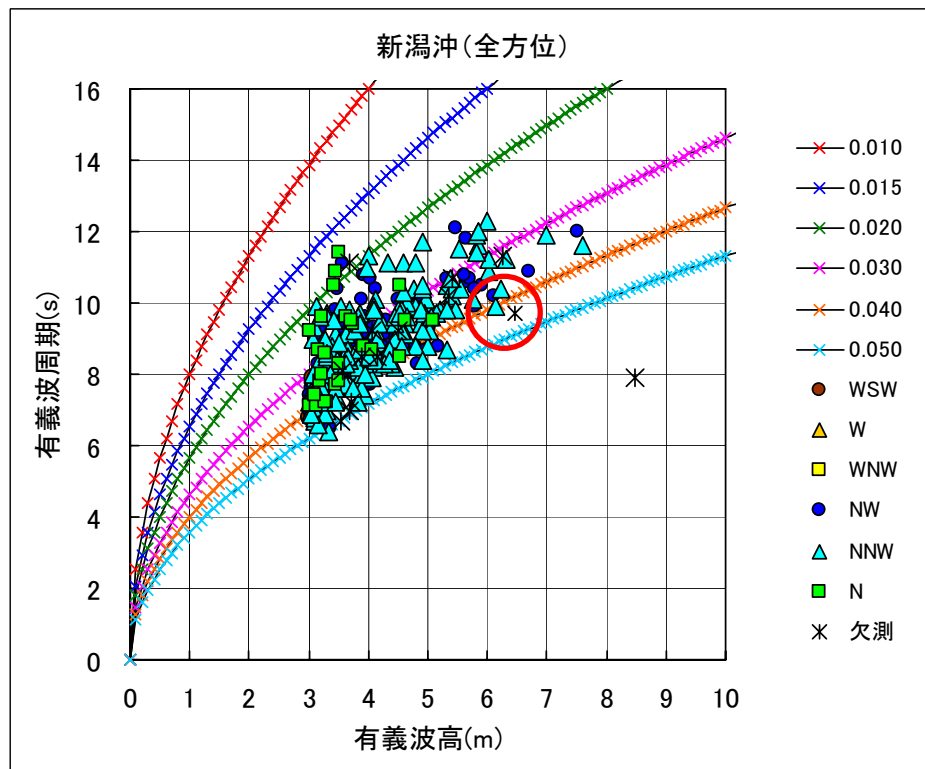
このため、入善漁港海岸および佐渡の鷺崎漁港等に来襲した被災波の再現性について、過去50年を越える期間に来襲した異常気象を対象とした波浪推算データによる検討を行った。



図Ⅲ－3－6 伏木富山における観測波高と周期の関係
(○は今回の波浪；波高 4.22m、周期 14.2s)



図Ⅲ-3-7 直江津における観測波高と周期の関係
(○は今回の波浪; 波高 6.00m、周期 10.2s)



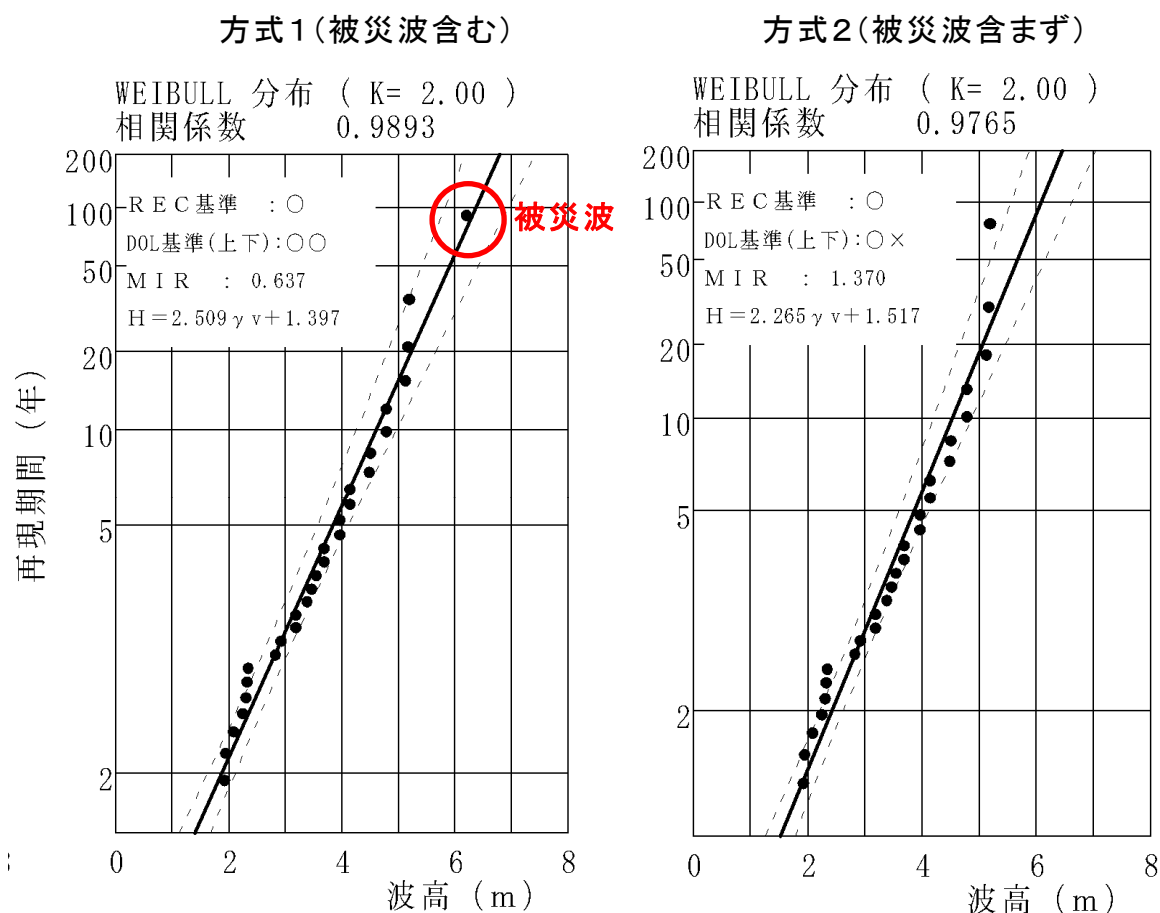
図Ⅲ-3-8 新潟沖における観測波高と周期の関係
(○は今回の波浪; 波高 6.46m、周期 9.7s)

② 波浪推算値を用いた評価

i) 入善漁港海岸

富山県においては、今回の被災を踏まえ、平成20年度に入善漁港海岸をはじめとして、県内の各漁港において、設計沖波の見直し作業に着手したところである。波浪推算としてはWAMを用い、昭和30年(1955年)から平成20年(2008年)までを対象期間として波浪推算(全擾乱数:158擾乱)を行っている。波浪推算の結果として、入善漁港海岸も、伏木富山の観測値と同様、うねり(波形勾配 0.025 未満のもの)と風波が混在している。

推算結果のうち、うねり(波形勾配 0.025 未満)のものだけを抽出して、今回の高波浪がどのような位置づけになるかを把握するため極値統計解析を行った結果を示す。被災波(波高 6.2m、周期 13.8s、波向N)を含む場合の今回の再現期間は約75年程度相当となっている。なお、今回の被災波を含まない場合は100年強相当となるが、これはうねり波浪だけを取り出した場合、主に被災波の波高が推算対象期間の中で既往最大であることに起因する。



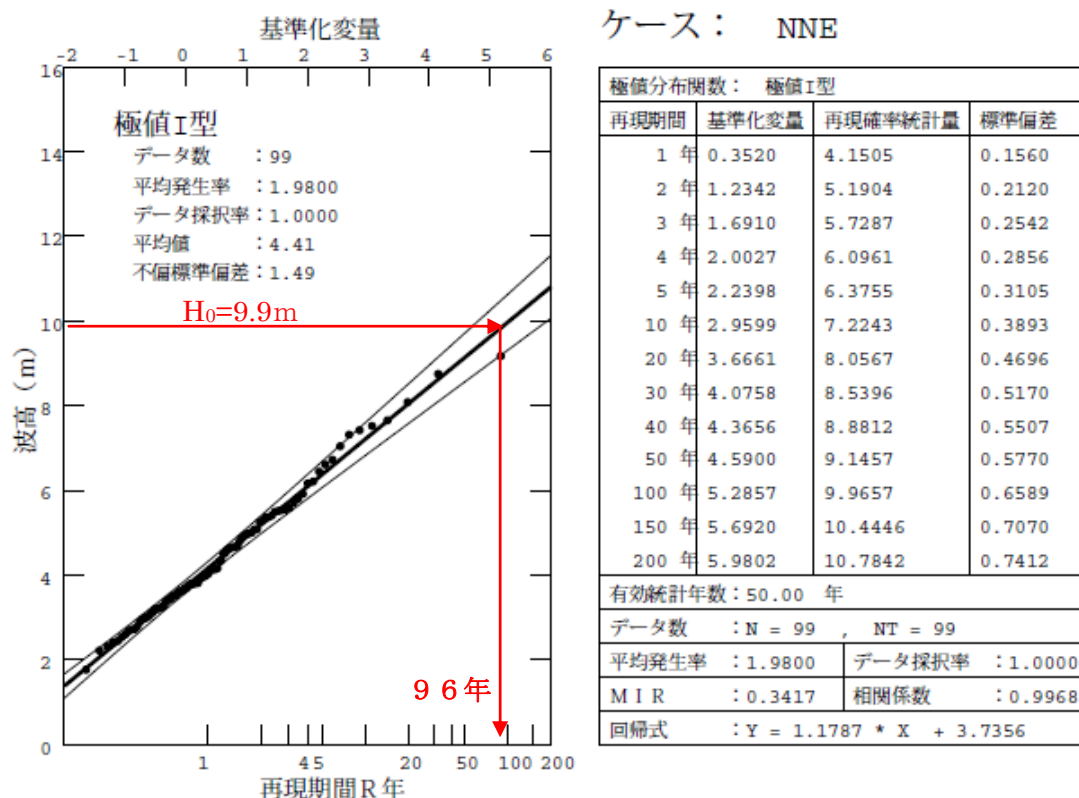
図Ⅲ-3-9 うねりの確率波高算定結果
(入善漁港海岸、波向:N、波形勾配 0.025 未満)

ii) 鷺崎漁港

今回の鷺崎漁港の被害では、一つには波向きが被害に大きく影響を及ぼしていることがわかった。新潟県においては、平成18年度に県内の漁港について設計沖波の見直しを行っており、波浪推算としてはWAMを用い、1955年から2004年までの50年間を対象期間として波浪推算を行っている。今回の鷺崎漁港の被災波浪(波高 9.9m、周期 13.2s、波向 NNE)は、波向NNEとしては、最も高い波浪であった。今回の被災波を極値分布にあてはめると、96年程度の再現期間に相当する。なお、新潟沖の波浪データの特性から、ここではうねりと風波は分離していない。

また今回来襲した高波浪の特徴としては、波向きとともに、周期が長いのが特徴であったが、周期についても、波向NNEとしては、現行の設計沖波の周期 12.2s に比べ、被災波浪の沖波周期は 13.2s と大きくなっており、既往最大の周期となっている。

このように、新潟県佐渡の本土側の漁港では、北～北東よりの波向きに対して比較的低頻度の発生確率であるが、うねり性の強い波浪が来襲する可能性がある。



図Ⅲ-3-10 確率波高算定結果
(鷺崎漁港、波向:NNE、風波とうねりを対象)

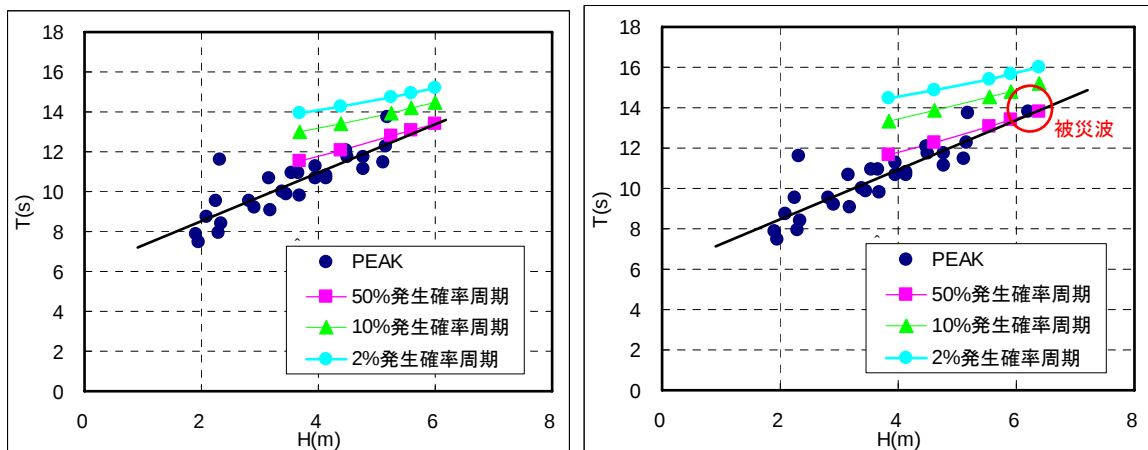
(参考)波高と周期の相関を考慮した確率周期の試算

今回の入善漁港海岸の被災波(波高 6.2m、周期 13.8s、波向N)は周期が長いことが特長であったが、富山湾では、寄り回り波に代表されるうねり性の波浪と風波では波高と周期の相関が異なる。従来は、設計に用いる周期は波高と周期の相関から決めることが多いが、今回の周期の特長を把握するために、2次元ワイブル分布を用いた確率周期の試算を行った。

波高の周辺分布には極値統計解析手法(合田の方法)に基づいて選定された確率密度関数を用い、周期については最尤法を用いて3母数ワイブル分布にあてはめ、周辺分布を決定した。また、これらの結果と波高と周期の相関係数に関するパラメタから2次元ワイブル分布により極大波高発生時の確率周期を算定した。ここで、ある波高が生起したときの条件付き確率として周期の出現特性が表される。すなわち、ある波高に対して周期がワイブル分布を持ってばらつくと考える。この時の周期の発生確率 $n\%$ を用い、 $n\%$ 発生確率周期とする。

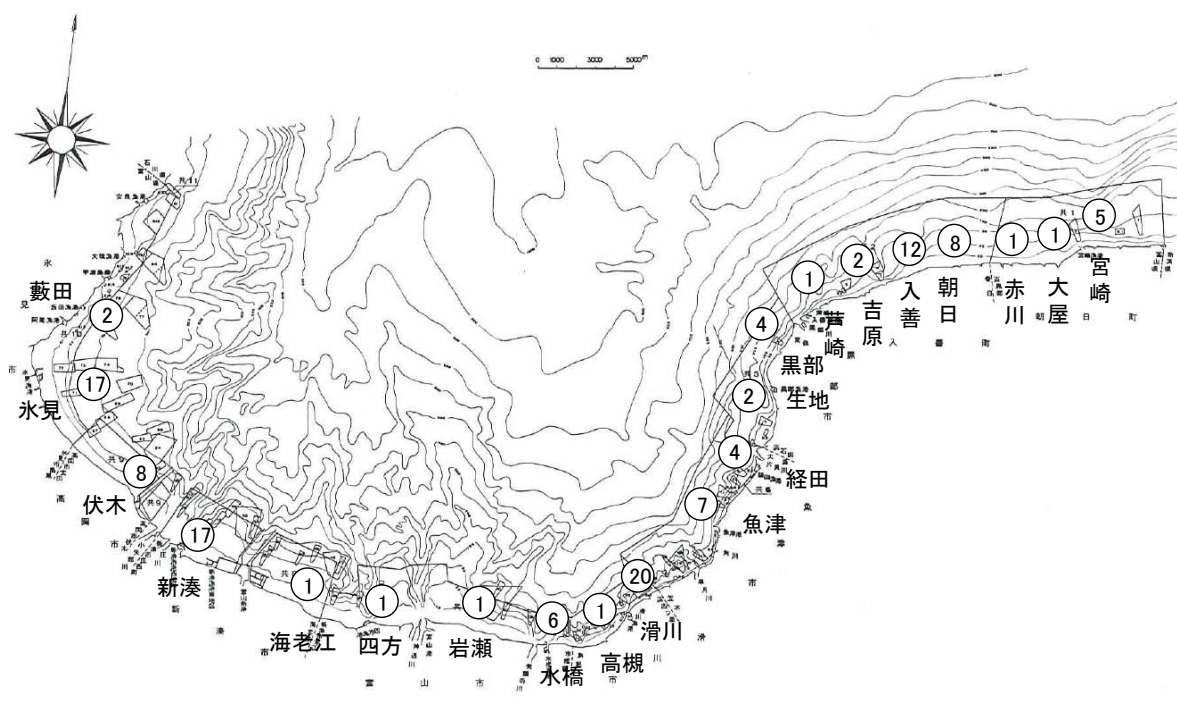
検討に用いたデータは、先の入善漁港海岸に対する沖波波浪推算値(1955年～2008年)のうち、波形勾配で判定($H/L_0 < 0.025$)したうねり性の推算値とした。

結果をみると、被災波を含めない場合及び被災波を含める場合とも、周期についてはいずれも発生確率は50%(50%発生確率周期)内に入る結果となった。すなわち、うねり性の波浪のみを抽出して波高と周期の相関を見ると、今回の被災波浪の周期については、波高の再現期間とほぼ同程度の再現期間となる。

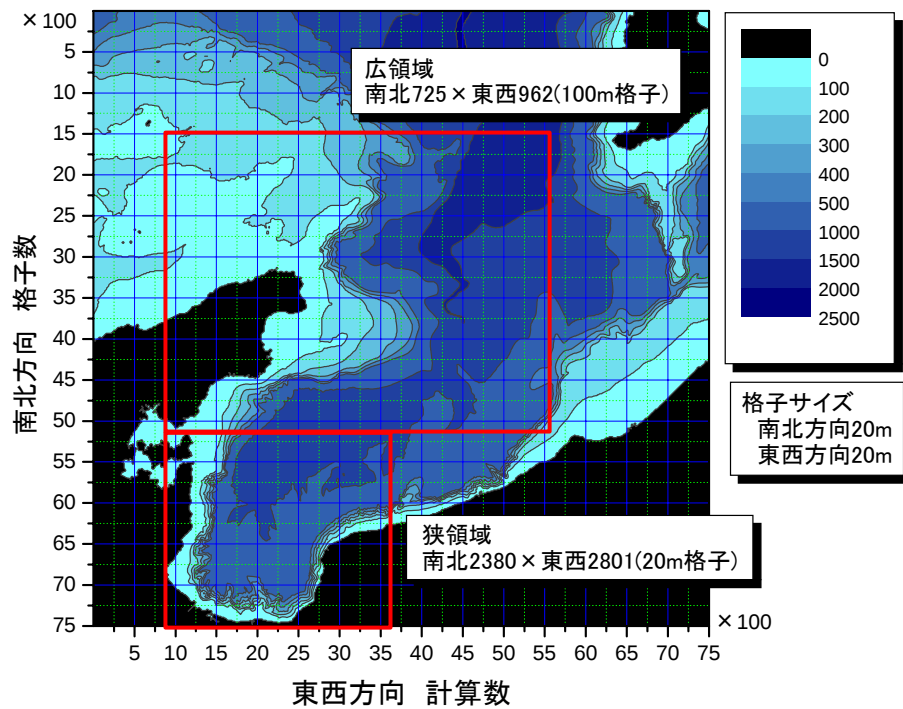


参考図 波高と周期の相関を考慮した確率周期分布
(左:被災波を含めない場合、右:被災波を含めた場合)

入射波浪条件は、寄り回り波の特性である周期の長い影響を見るため、被災時の周期相当の 15s とし、沖波向は富山湾内の代表的波向であるN、波高は単位波高として、計算結果は波高比として評価した。潮位は、富山湾周辺の被災時の観測潮位(約 30cm)と高潮推算結果(約 20~30cm)を考慮し、DL+0.6m と設定した。



図Ⅲ-3-11 富山湾の漁港と過去の寄り回り波による被害回数
(被害回数は畑田・山口(1998)より)



図Ⅲ－3－12 富山湾全域の波浪変形計算領域

表Ⅲ－3－7 富山湾全域の波浪変形計算の計算条件

(1) 広領域

項 目	諸 元
格子間隔	南北方向:100m, 東西方向:100m
格子数	南北方向 725×東西方向 962
計算範囲	沿岸方向 72.4km×岸沖方向 96.1km
入射波諸元	波高 1m、周期 15s、N
潮位	D.L.+0.6m

(2) 狭領域

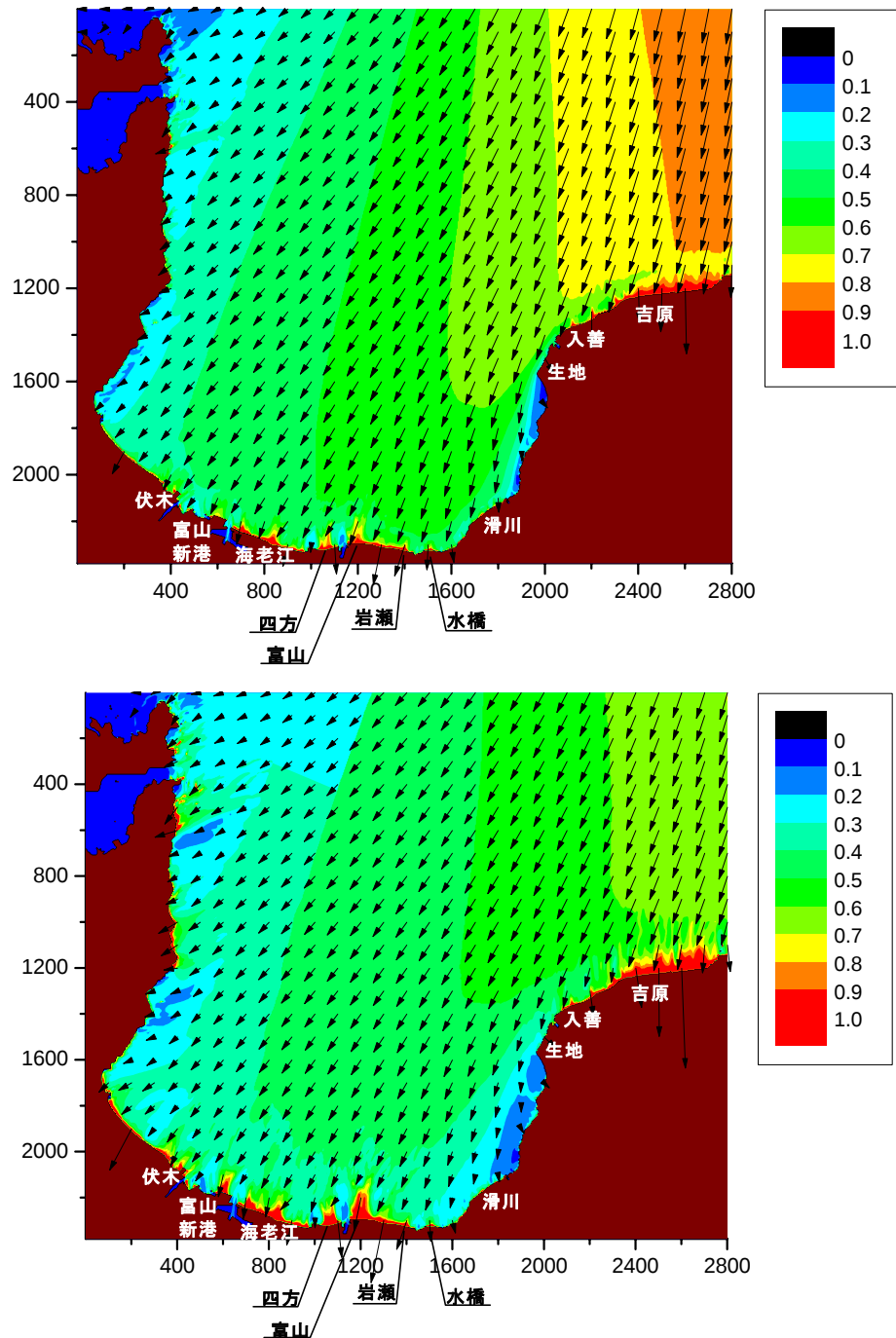
項 目	諸 元
格子間隔	南北方向:20m, 東西方向:20m
格子数	南北方向 2380×東西方向 2801
計算範囲	南北方向 47.58km×東西方向 56.0km
入射波諸元	広領域接続部にてスペクトル接続
潮位	D.L.+0.6m

波高分布の計算結果について、狭領域の全領域について 40m メッシュデータでコンター図を作成したものと、20m メッシュで沿岸域のみ作成したものを示した。

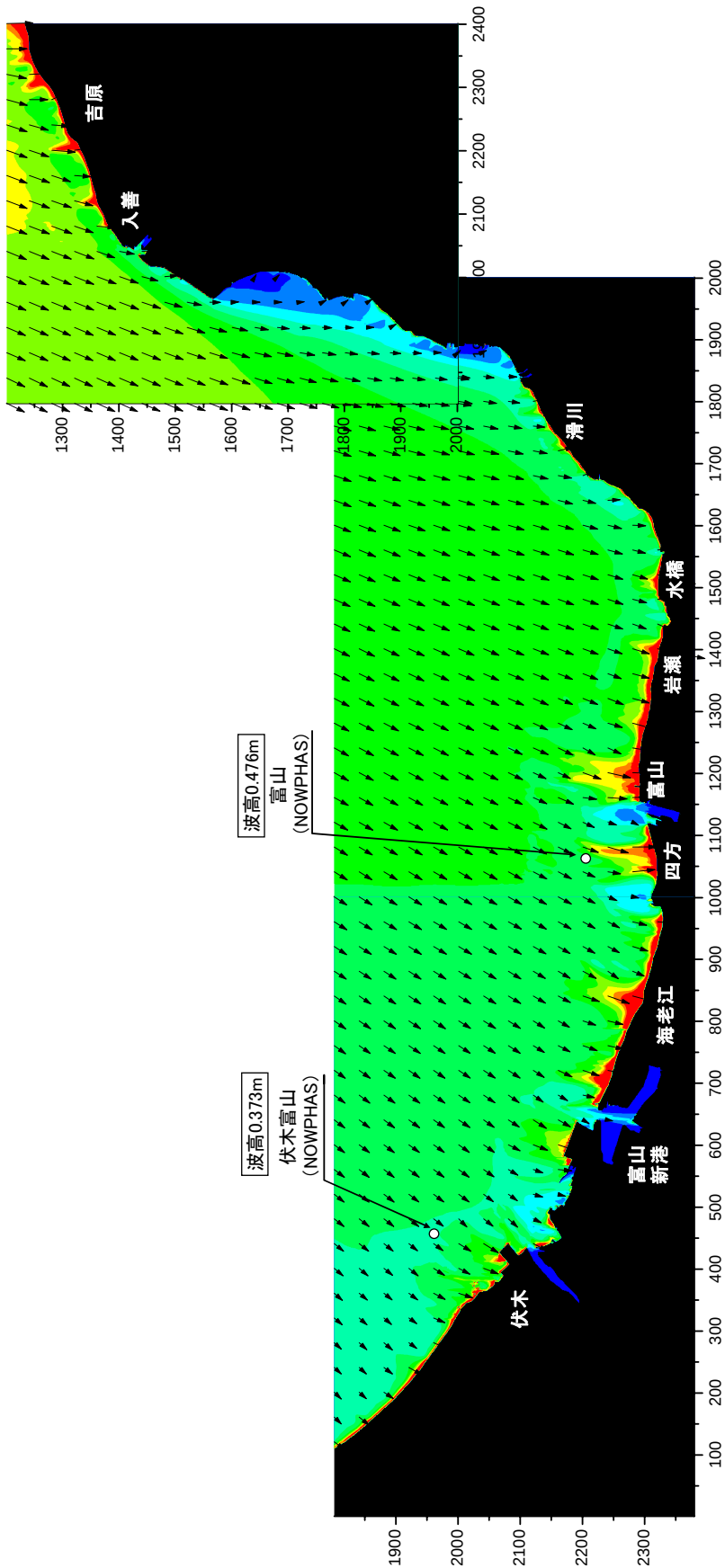
海底谷の影響で波高が大きくなると見られるのは下新川海岸の吉原地区や水橋、岩瀬、富山港、四方、海老江、富山新港などで顕著である(図中の赤～黄色の部分)。また、これらの地点ほどは顕著ではないが、汀線際で急激に波が大きくなる傾向が黒部から滑川以北の領域を除いた全域で見られる(図中の陸地際の赤色部分)。また、周期が長いほど、波高増大の程度が大きくなっていることがわかる。

入善、滑川では過去に寄り回り波の被害が頻繁に生じているが、これらの結果からは海底谷による波の収斂による影響は少なく、直前の地形による波高増大のメカニズムが支配的であると推定される。入善、滑川の漁港周辺の海底地形図をみると、直前の急勾配と入り組んだ複雑な地形をしており、今回実施した 20m メッシュの地形データでは完全には再現出来ない地形の影響が存在する。この直前の地形の影響と、さらに寄り回り波のような周期の長い波が来襲すると、より来襲波が大きくなると推定される。

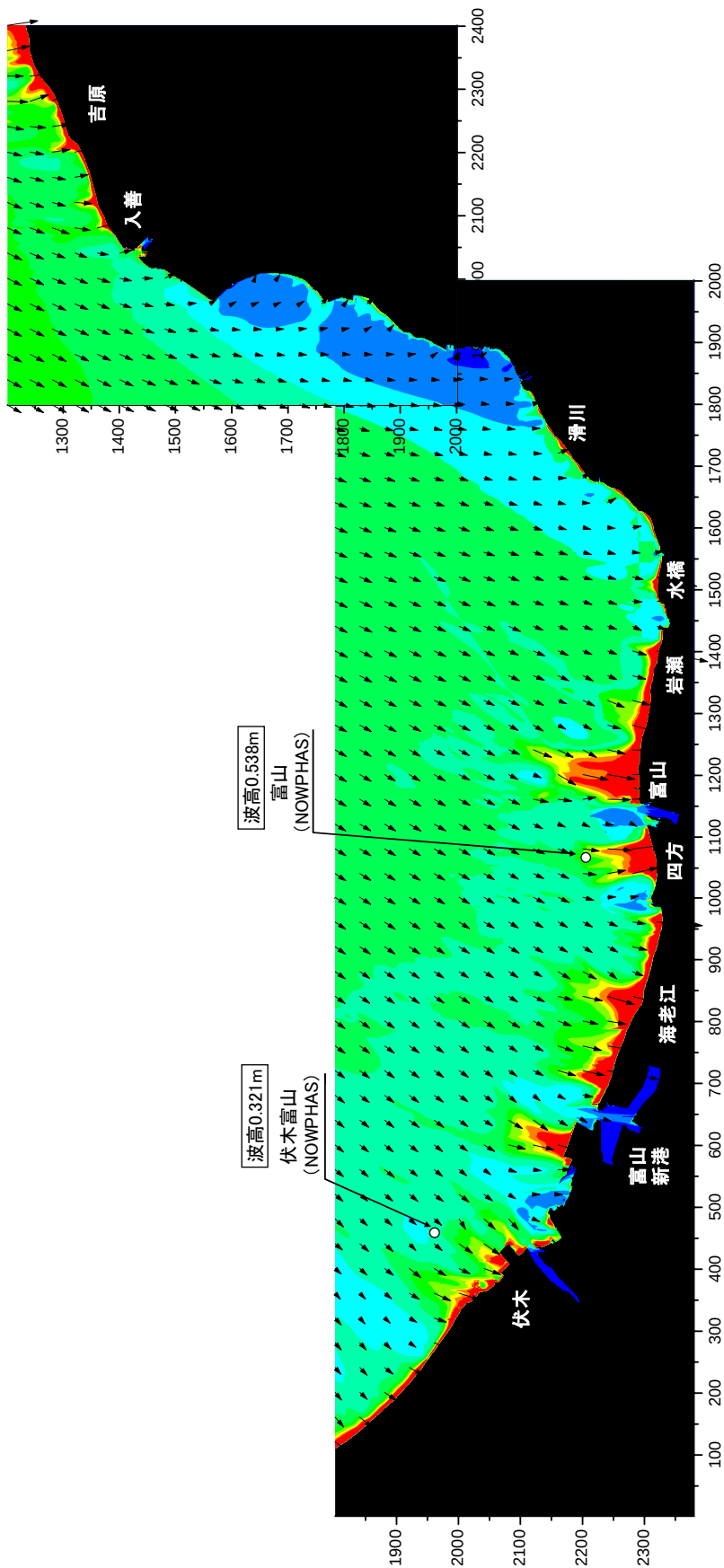
また、図中には富山湾内のNOWPHAS観測地点である伏木富山(水深 46m)と富山(水深 20m)の観測位置およびそれぞれの位置の計算波高を示した。水深が 20m より深いため汀線際や海底谷の部分程は顕著な波高の増大は見られないが、計算結果の波高を比べると周期 15s では $0.476(\text{富山})/0.373(\text{伏木})=1.3$ 倍、周期 30s では $0.538(\text{富山})/0.321(\text{伏木})=1.7$ 倍と、富山の方が大きくなることがわかった。



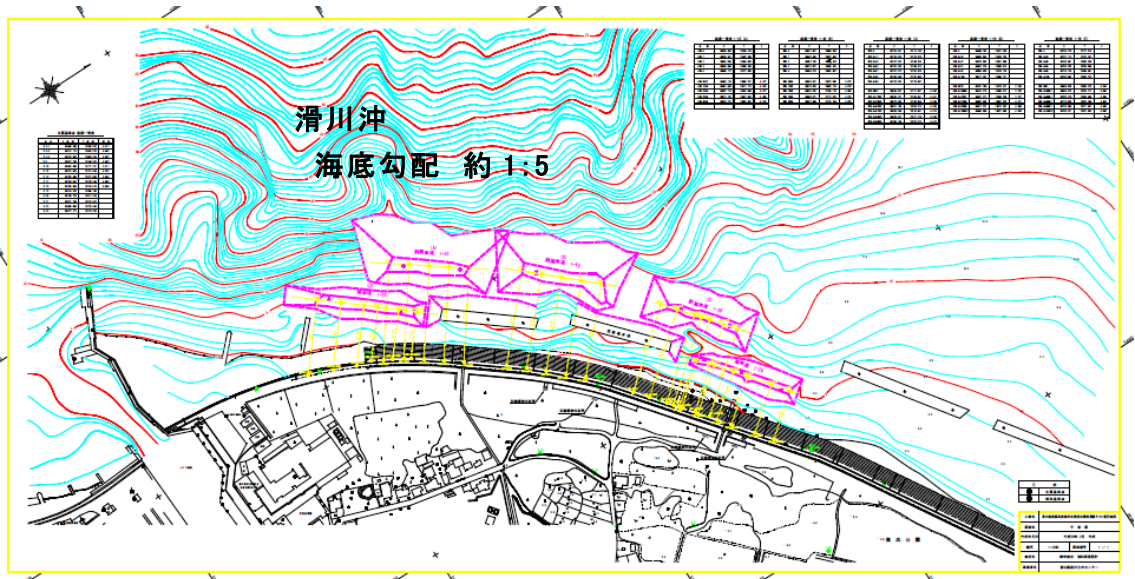
図Ⅲ－3－13 波高平面分布(狭領域、40m メッシュデータから図化)
(上段:周期 15s、下段:周期 30s)



図Ⅲ-3-14 波高平面分布(周期 15s、狭領域、20m メッシュデータから図化)



図Ⅲ-3-15 波高平面分布(周期 30s、狭領域、20m メッシュデータから図化)



図Ⅲ-3-16 入善漁港海岸、滑川漁港海岸の海底地形
(上段:入善漁港海岸、下段:滑川漁港海岸)