

今回の高波災害の特徴と課題

平成20年5月30日

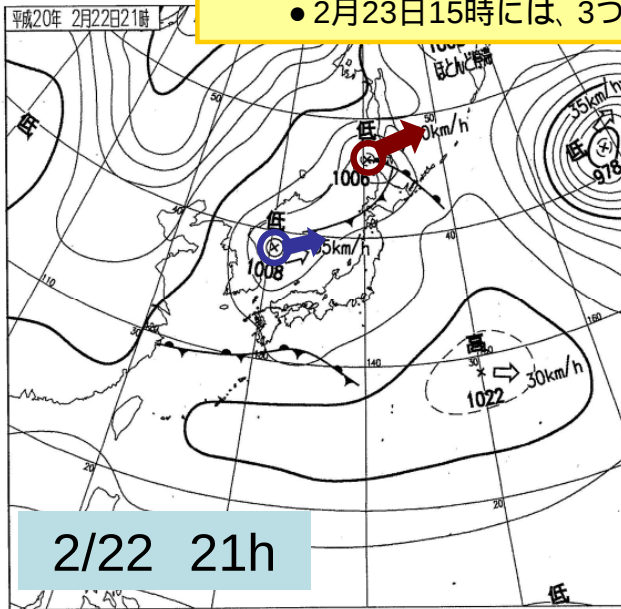
国土交通省

(1) 高波の発生メカニズム

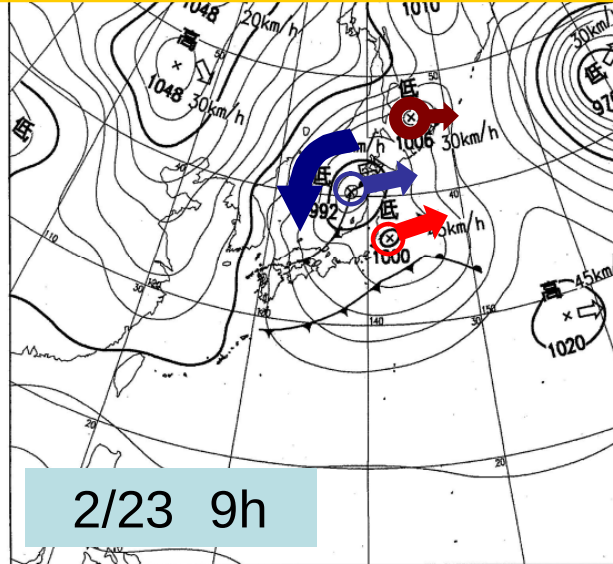
低気圧の特徴と風波・うねりの発生と発達 (1/2)

低気圧の特徴

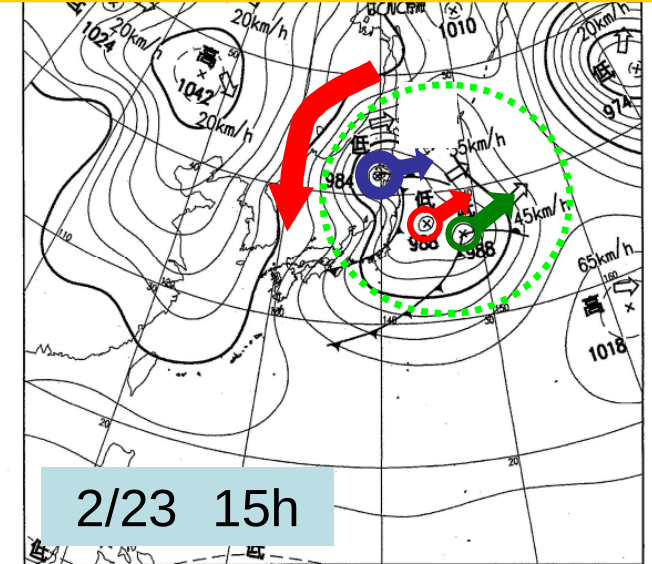
- 2月23日9時には、日本海中部にあった低気圧は東へ移動し、中心気圧は低下し勢力が強まってきたことから、留萌、酒田及び田中で風波・うねりが発生
- 2月23日15時には、3つの低気圧が停滞し、さらに勢力が強まり、留萌、酒田及び田中で風波・うねりがさらに発達



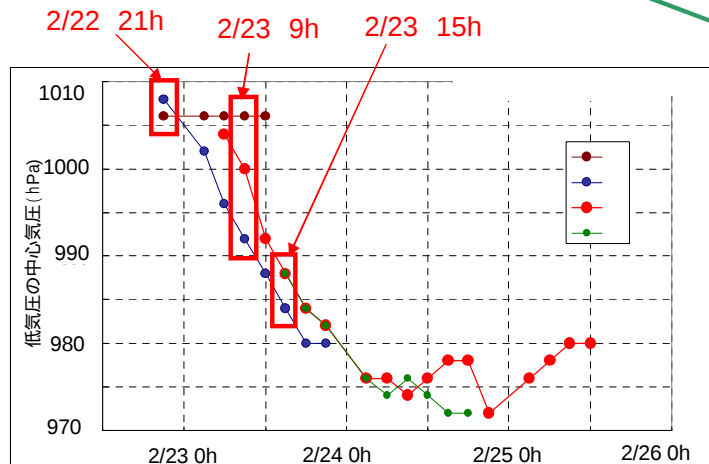
- 日本海北部の と朝鮮半島東沖の の2つの低気圧が東に移動
- の低気圧は、この段階では中心気圧が1000hPa程度



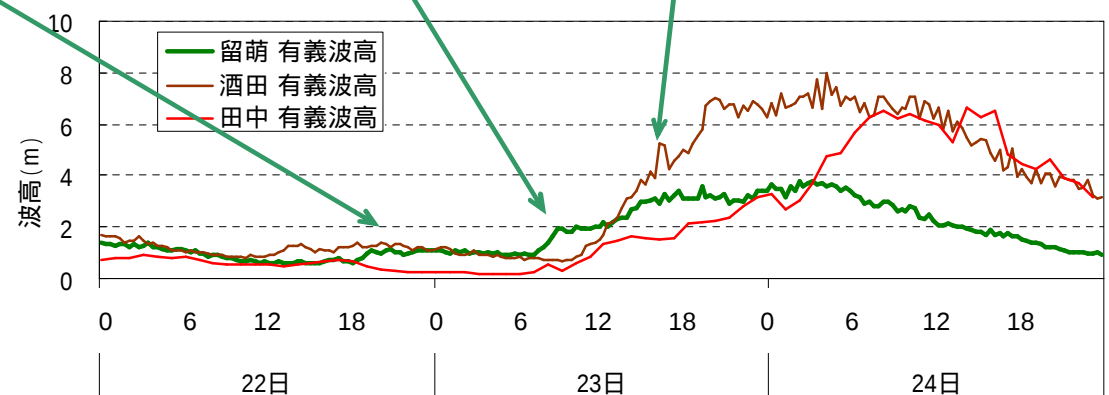
- の低気圧が発達
- 日本海北部で風波・うねりが発生



- の低気圧が発生し、津軽海峡の 、三陸沖の とともに停滞
- 日本海沿岸で風波・うねりが発達



低気圧の中心気圧の変化



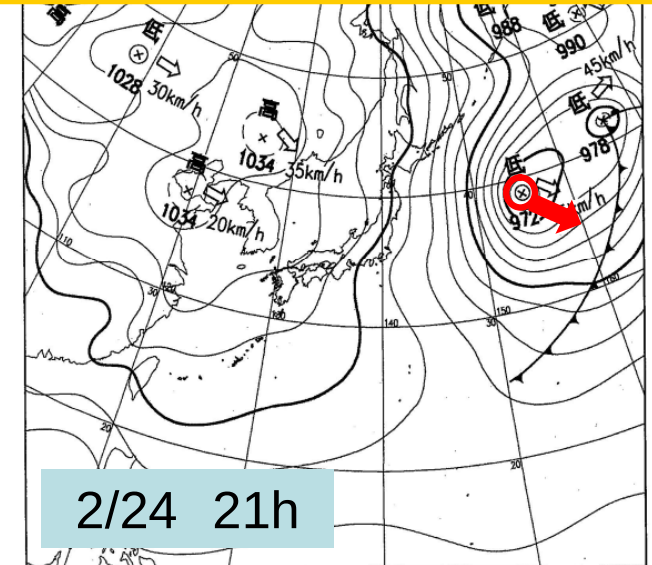
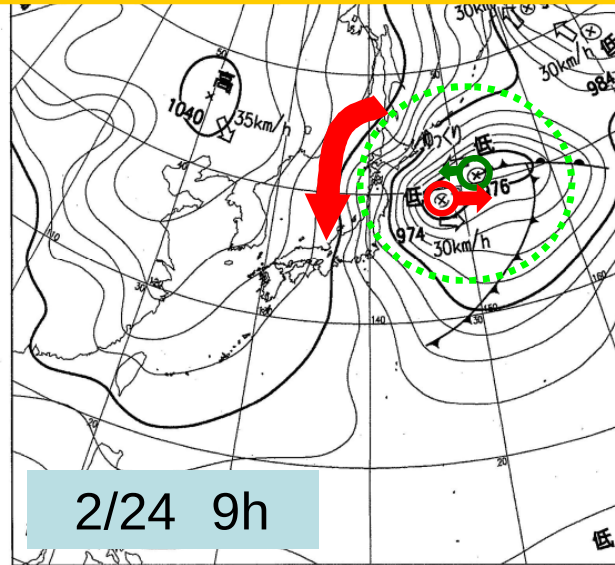
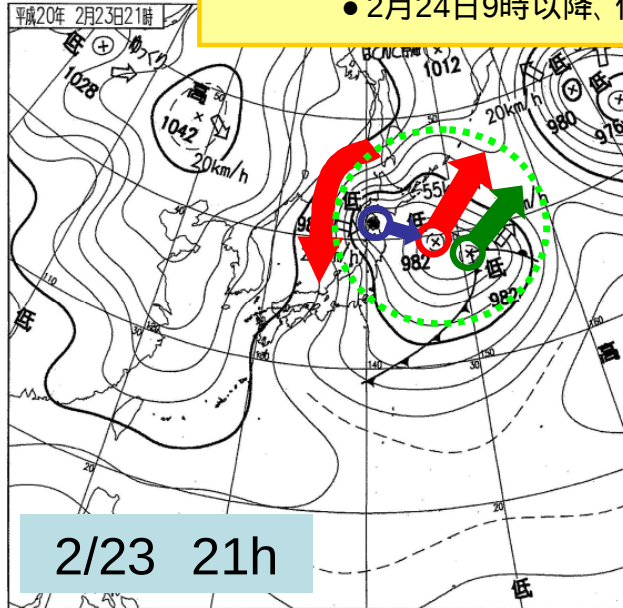
日本海沿岸の有義波高

(1) 高波の発生メカニズム

低気圧の特徴と風波・うねりの発生と発達(2/2)

低気圧の特徴

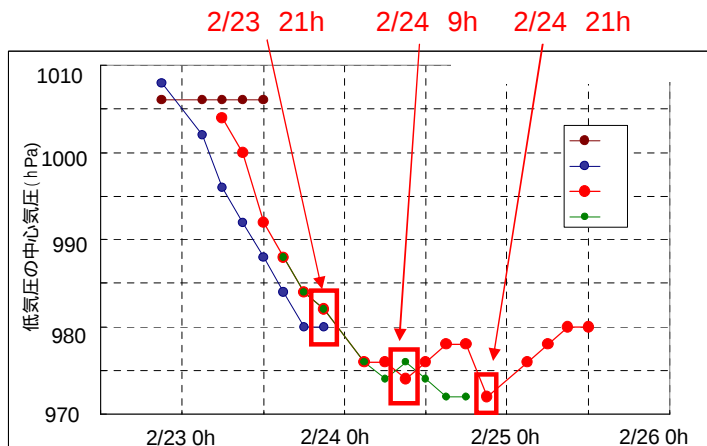
- 2月24日9時まで、低気圧が停滞し、中心気圧はさらに低下し勢力は強いまま持続したことから、酒田及び田中で風波・うねりが発達し続けた
- 2月24日9時以降、低気圧は消滅または東へ移動したことから、留萌、酒田及び田中で風波・うねりは減衰



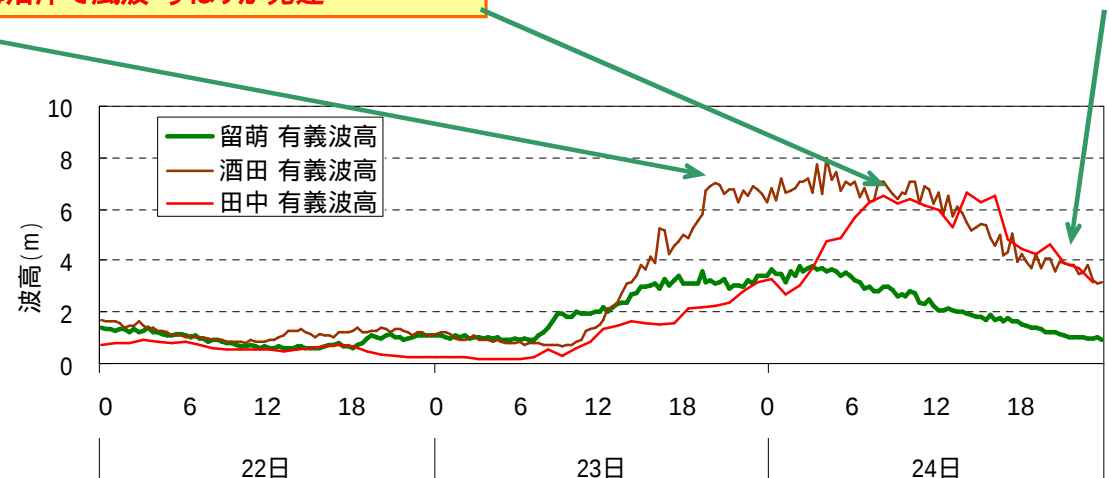
- 3つの低気圧とも980hPa程度まで気圧低下し、ほぼ同じ位置に停滞
- 日本海沿岸で風波・うねりが発達

- の低気圧は消滅、はさらに気圧を下げて、三陸沖に停滞
- 日本海沿岸で風波・うねりが発達

- の低気圧が東へ移動
- 日本海沿岸の風波・うねりは減衰



低気圧の中心気圧の変化



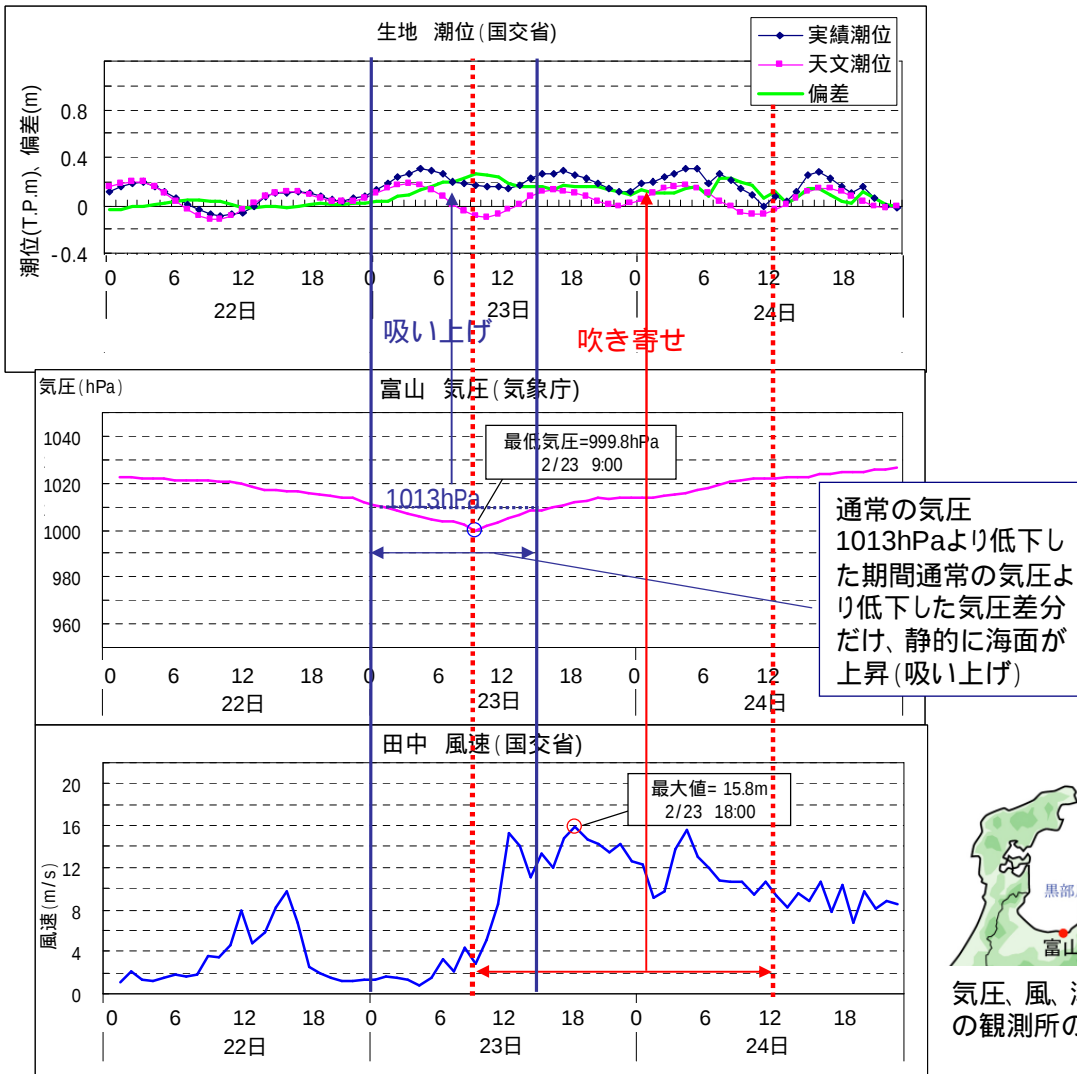
日本海沿岸の有義波高

(1) 高波の発生メカニズム

潮位及び波浪と海面気圧、風向・風速の関係

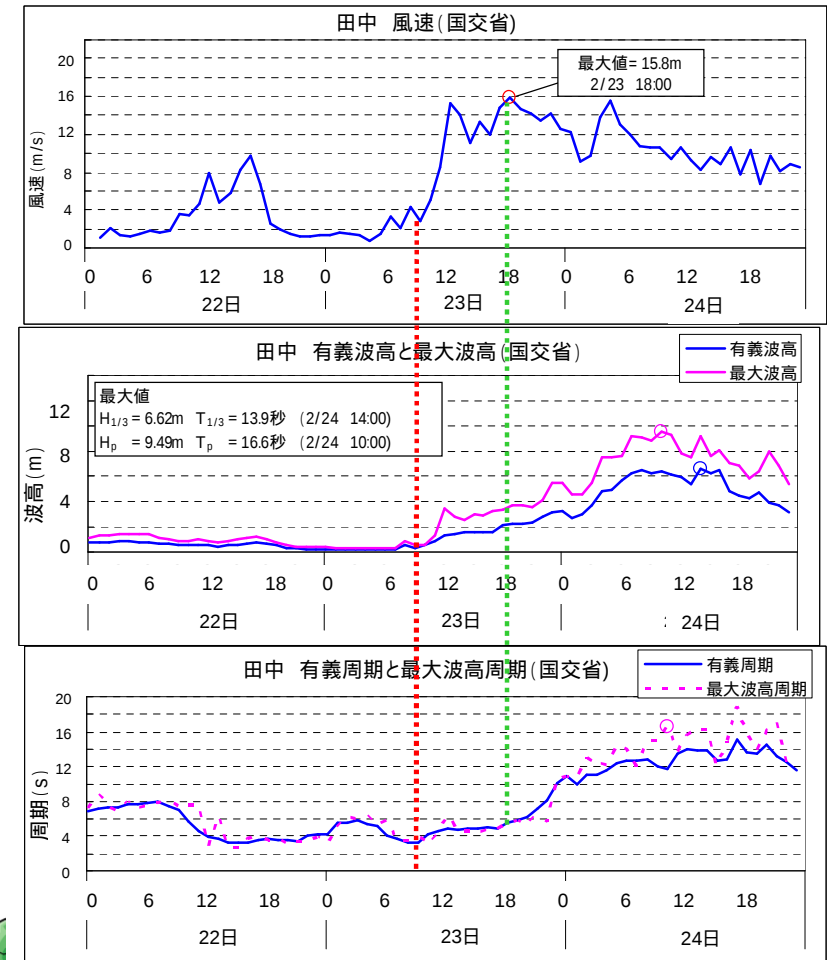
生地及び富山の潮位と富山観測所の海面気圧、田中観測所の風との関係

- 2月23日0時～18時、富山観測所の海面気圧が通常の気圧1013hPaより低下
- 気圧の低下にともなう「吸い上げ」による潮位偏差の発生
- その後、海面気圧は通常の気圧1013hPa以上になるが、強風による海水の「吹き寄せ」の影響で20cm程度の潮位偏差が2月24日12時頃まで継続



田中観測所の波浪と風との関係

- 2月23日9時から北よりの風が急速に発達し、風波が発生
- 2月23日18時以降は最大風速を観測し、その後、風は減衰傾向にあるが、波高は大きくなり、周期は長くなる
- うねりが発達しながら富山湾に来襲したと考えられる

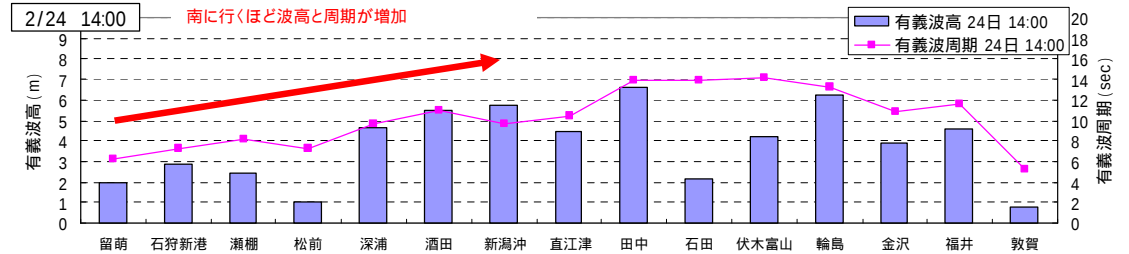


(1) 高波の発生メカニズム

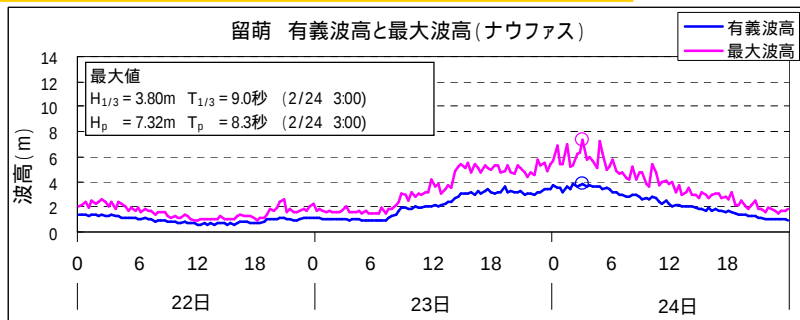
波浪の沿岸分布の特徴

田中観測所の最大有義波高発生時刻(2/24 14時)の有義波高・有義波周期の沿岸分布

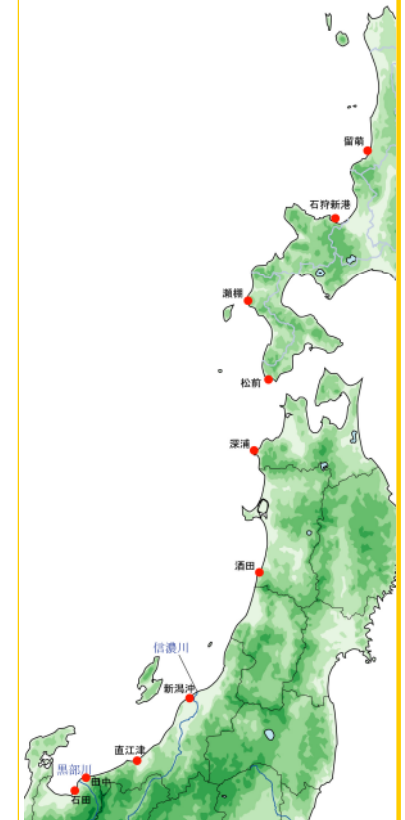
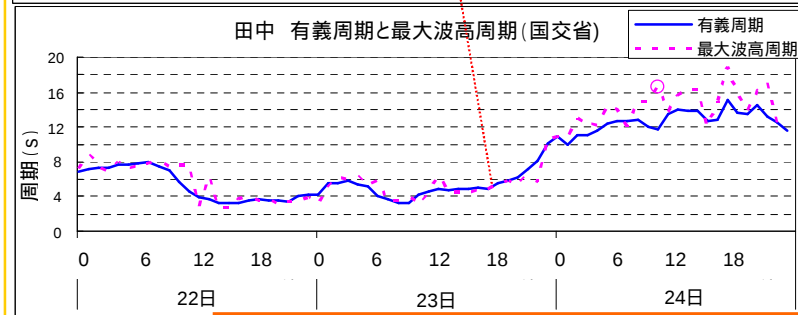
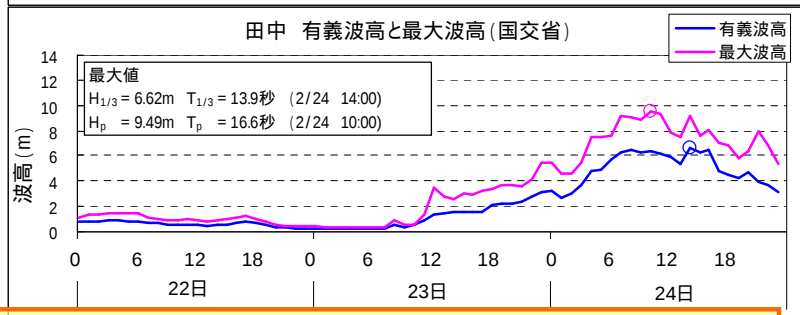
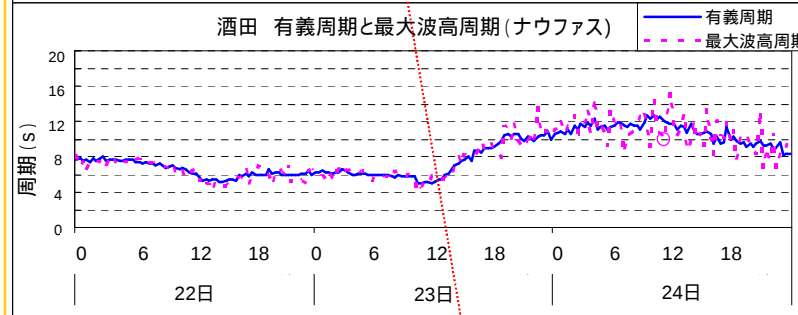
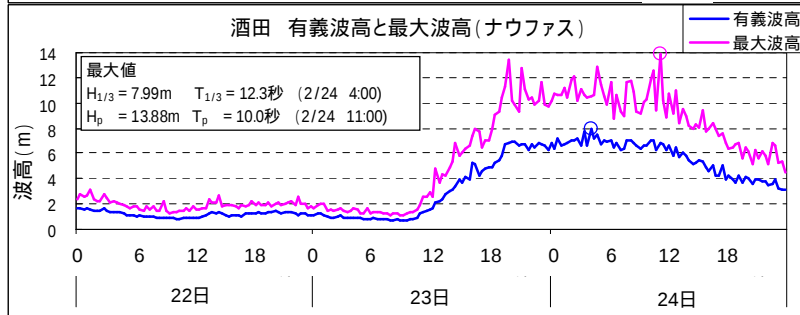
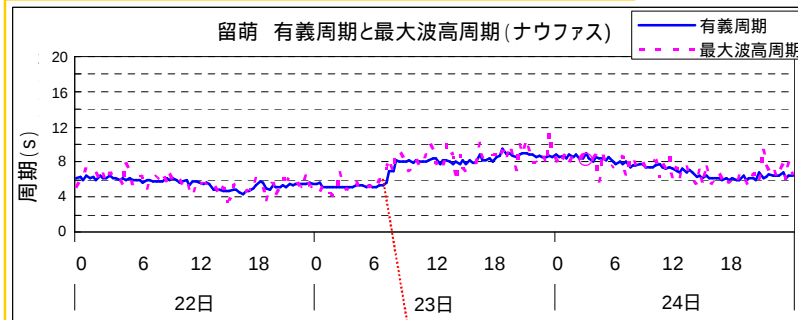
- 日本海沿岸の波高、周期は南へ向かって徐々に増大する
- うねりは、伝播する吹送距離、その間の風により発達すると考えられる



日本海沿岸の波浪観測所の波高の時間変化



日本海沿岸の波浪観測所の周期の時間変化



波浪観測所の位置

・田中観所の最大有義波高の発生時刻が遅いことから、うねりが遅れて到達したと考えられる。

・北から南に向かって、周期が長くなり始める時刻が徐々に遅くなることから、北からのうねりが到達する状況が推定される。

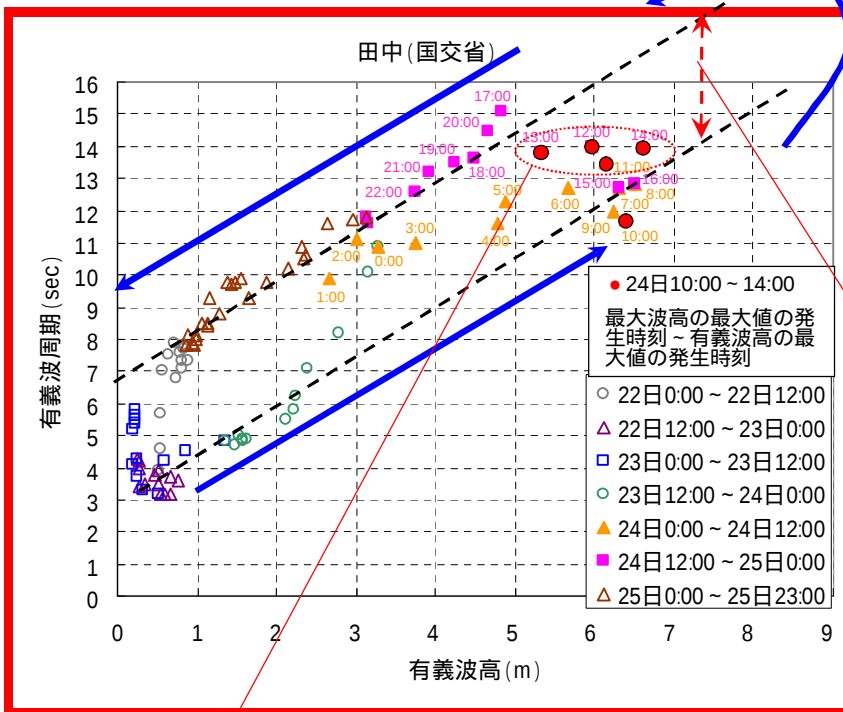
(1) 高波の発生メカニズム

波高と周期の関係

波高と周期相関

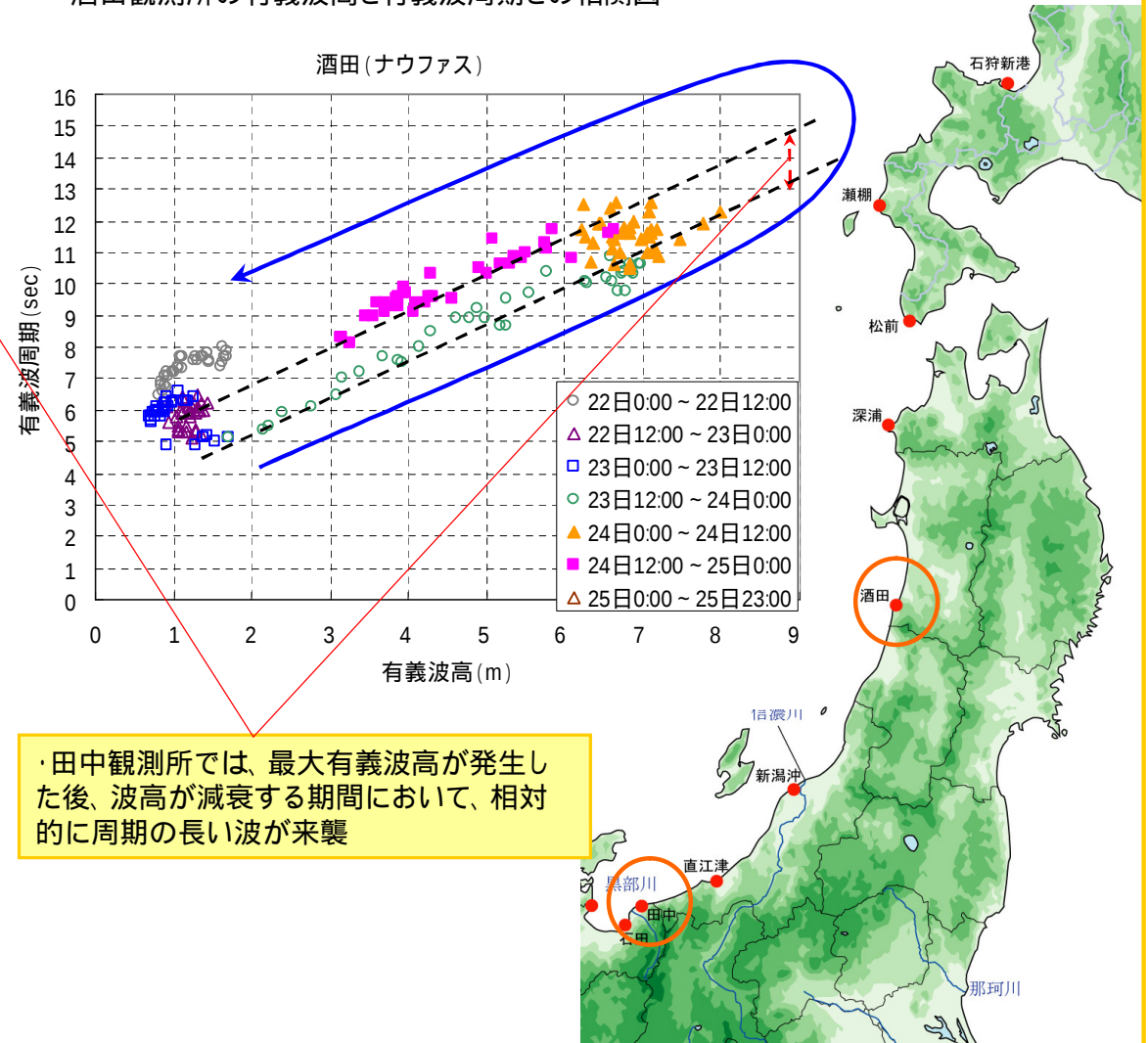
- 有義波高と有義波周期の相関関係より、波浪の発達時と被災時以降を比較すると、同じ波高の場合に前者より後者の周期が長い
- その差は、酒田よりも田中の方が大きく、富山湾に周期の長いうねりが来襲したと推定

田中観測所の有義波高と有義波周期との相関図



- 2月24日11時から14時において、波高に対して周期が長い
- 2月24日14時に最大有義波高を観測

酒田観測所の有義波高と有義波周期との相関図



- 田中観測所では、最大有義波高が発生した後、波高が減衰する期間において、相対的に周期の長い波が来襲

(1)高波の発生メカニズム

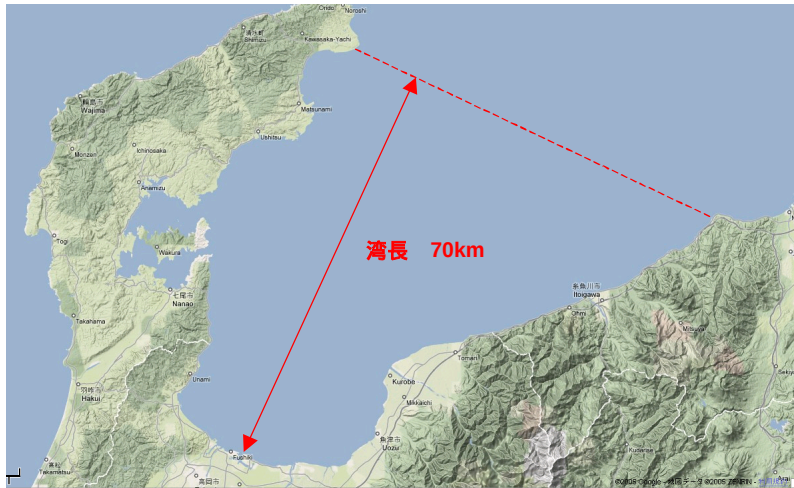
地形の影響(共振)

富山湾の固有周期

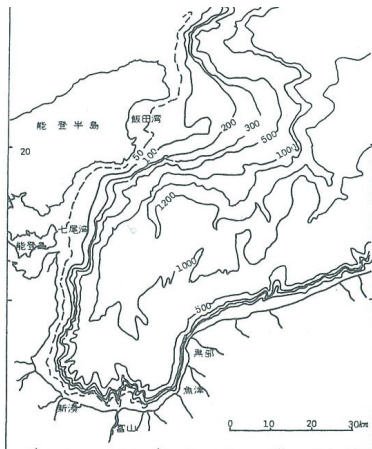
〔湾の固有周期の算定〕

算定式
$$\text{周期 (sec)} = 4 \times \frac{\text{湾長(m)}}{(\text{節の数}) \times \sqrt{9.8 \times \text{水深(m)}}}$$

湾長の設定 . . . 70km (参考 海の百科事典 永田 豊ら編集 丸善株式会社)



富山湾の海底地形と水深
出典：日本全国沿岸海洋誌 日本海洋学会沿岸海洋研究会編 東海大学出版

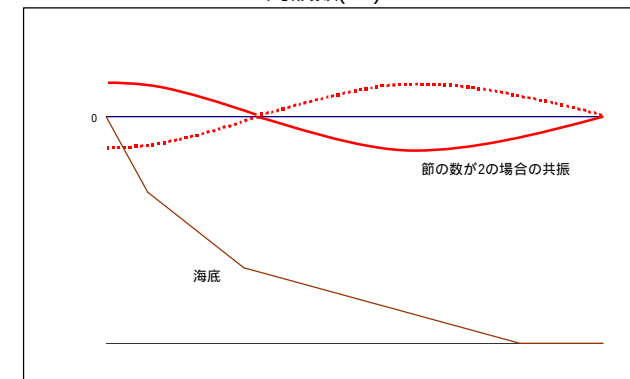
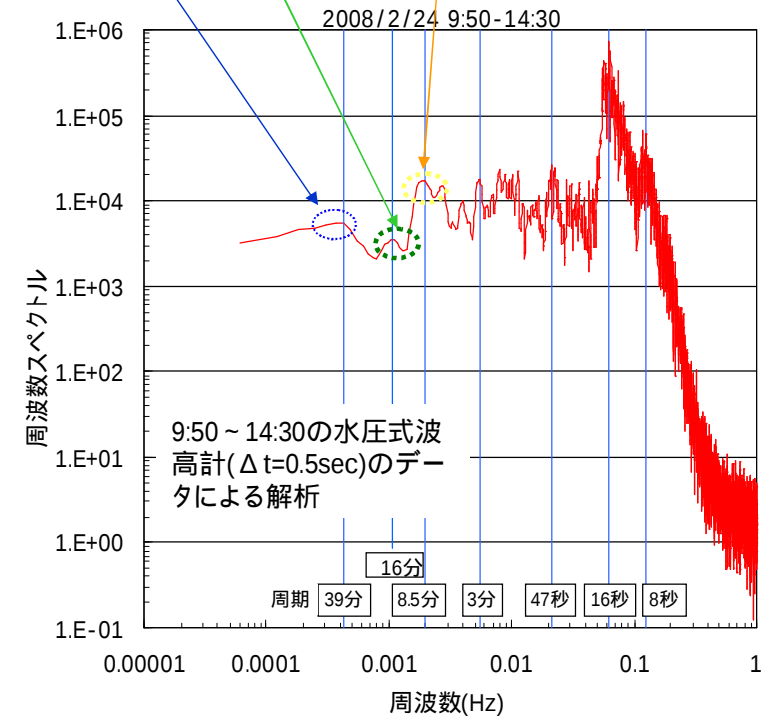


- エネルギースペクトル解析で得られた周期8.5～39分の波は、上記の算定結果より固有周期と同じオーダーの周期
- 北東に向いた湾形による共振によるものと推定

〔計算結果〕 水深 - 節の数の組み合わせによる固有周期の算定結果

水深500m以深の水深条件で固有周期を算定した結果、周波数スペクトル解析より得られた8.5分、39分程度の周期が得れた。

水深(m)	節の数									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
500	66.7分	33.3分	22.2分	16.7分	13.3分	11.1分	9.5分	8.3分	7.4分	6.7分
1,000	47.1分	23.6分	15.7分	11.8分	9.4分	7.9分	6.7分	5.9分	5.2分	4.7分



富山湾における共振のイメージ図

(1) 高波の発生メカニズム

高波の発生メカニズム

高波発生メカニズムのまとめ

【うねりの発生、発達と風波の発達】

23日15時には日本海を東進した低気圧が津軽海峡で停滞し発達することにより、日本海では南向きの風が続いたため、うねりがさらに発達した。同じころ、太平洋では、2つの低気圧が発生。日本海に南向きの風波を発達させた。

【うねりと風波、低気圧による海面の上昇の重合】

津軽海峡で発達した低気圧は、23日の夜半から24日の午前にかけて、日本海側の低気圧は東進し、北から南下するうねりをさらに強めた。

また、太平洋の2つの低気圧とともに停滞したことにより、南向きの風波をさらに強めた。

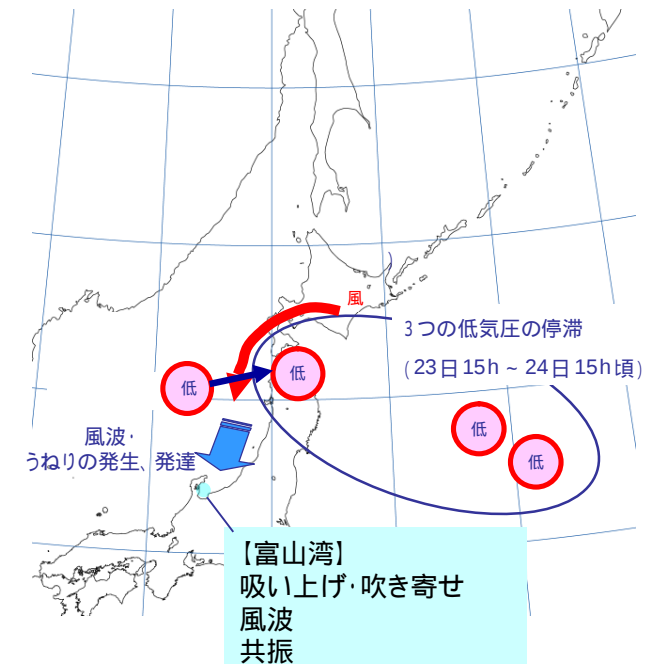
加えて、日本海に24時間以上低気圧が停滞し、気圧低下により海面が上昇した状態にあった。

【地形の影響】

また、富山湾の海底谷の存在による波の収斂や、北東に向いた湾形による共振も認められる。

【まとめ】

複数の低気圧が停滞する中、発生したうねりが発達しながら南下し、富山湾近海で発生した風波がさらに重なり、地形の影響も受けて、周期の長い高波が富山湾に來襲したと考えられる。



日	時	天気図からわかること	観測データからわかること			
		低気圧	富山の海面気圧	田中の風	生地及び富山の潮	波浪
2月23日	0:00	日本海を低気圧が東進(中心気圧992hPa) 津軽海峡から三陸沖に最大3つの低気圧が丸1日程度停滞し、発達(中心気圧 990~970hPa)	富山999.8hPa 1013hPa以下	9時以降風速が急激に大きくなる 最大風速15.8m/s 10m/s以上のやや強い強い風が継続	生地及び富山で20cm程度の偏差が24日12:00頃まで継続	日本海北部で風波・うねりが発生し発達 田中観測所で9時以降波高、周期が増大、風波とともにうねりが発達しながら到達
	6:00					
	9:00					
	15:00頃~					
	16:00					
	17:00					
2月24日	4:00				生地最大潮位 T.P.+0.31m 富山最大潮位 T.P.+0.33m	田中観測所最大波高最大値観測 H=9.49m,T1/3=16.6秒 田中観測所において47秒~39分の長周期の波に、16秒程度のうねり、8秒程度の風波が重複 田中観測所有義波高最大値観測 H1/3=6.62m,T1/3=13.9秒
	8:00~					
	10:00					
	12:00					
	14:00					
	18:00頃					

高波発生のメカニズム

【日本海】

風波・うねりの発生
発達しながら南下

【富山湾】

気圧の低下に伴う
吸い上げ

↓

強風による
吹き寄せ

↓

風波

↓

共振

↓

地形の影響
周期の長い高波が来襲

(2) 災害の発生メカニズムと課題

計画波高、周期を上回る波浪の発生

- 来襲した高波の有義波高、周期は、いずれも計画を超過。



田中観測所

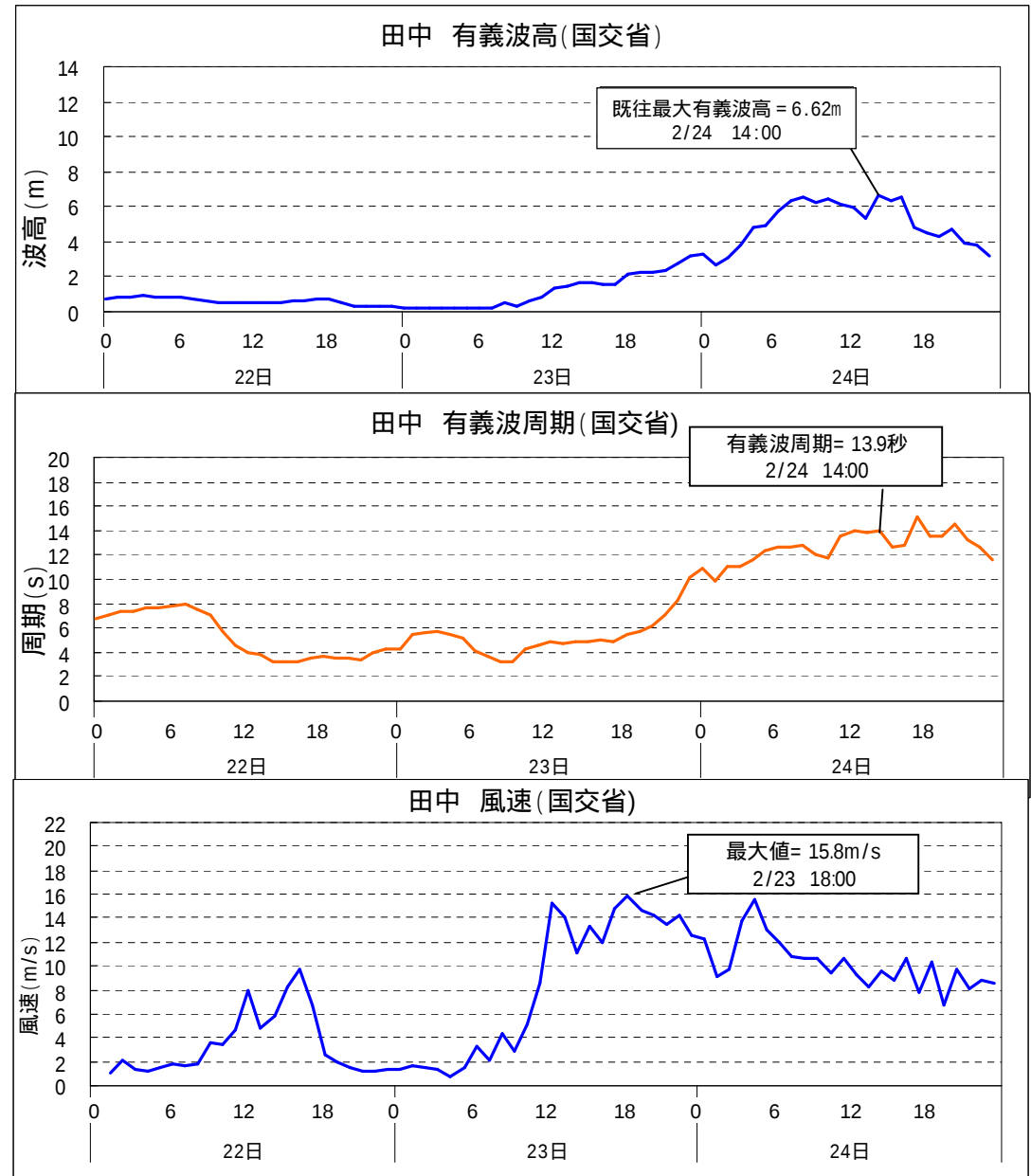
北緯:36度57分21秒、東経:137度29分41秒
水深12.77m

2月24日14時に有義波高の最大値を観測

有義波高 ($H_{1/3}$) = 6.62m、有義波周期 (T) = 13.9秒

生地以东の計画波浪 (確率規模50年)

有義波高 ($H_{1/3}$) : 6.4m 有義波周期 (T) 12.2秒



(2) 災害の発生メカニズムと課題

海岸堤防の倒壊

- 海岸侵食が進行し砂浜が欠けた状況下で、高い波が来襲。
- 堤体土砂の流出により空洞化が発生。その状態が長時間継続し、海岸堤防が倒壊。

砂浜の消失(写真)

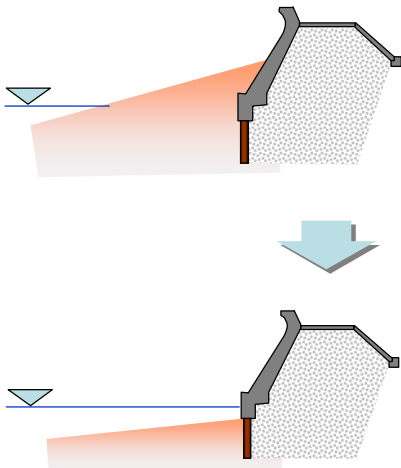
昭和36年(1961) 下新川海岸(八幡～横山地先)



平成20年(2008)5月



砂浜の消失(イメージ図)



基礎矢板の損傷

波浪の来襲状況

CCTVによる高波の状況
(H20.2.24 14時頃)



神子沢

海岸堤防の被災状況(堤体の空洞化、堤体の倒壊:神子沢地区)



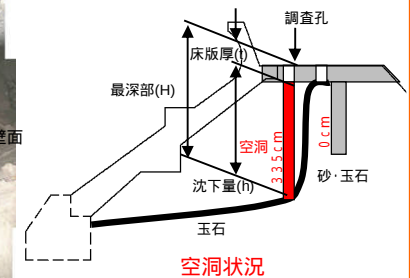
直立堤の倒壊

調査孔からの写真



直立堤内部の空洞化

海方向～新潟方向(水路壁面)



空洞状況



堤体目地部の損傷

緩傾斜堤の被災状況

下新川海岸(園家山、入善町)



緩傾斜ブロックの破損

下新川海岸(赤川、朝日町)



緩傾斜ブロックの移動

(2) 災害の発生メカニズムと課題

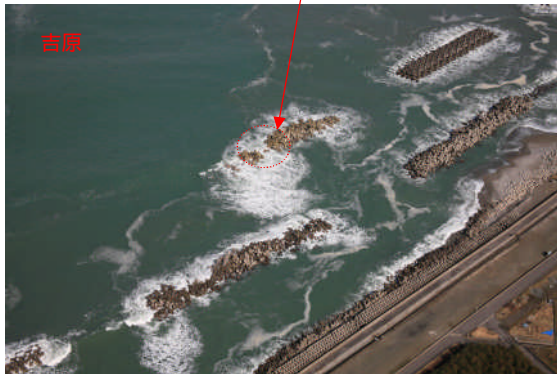
沖合施設の被災

離岸堤・副離岸堤の施設の被災状況(ブロックの散乱)

下新川海岸(吉原、入善町)



下新川海岸(吉原、入善町)

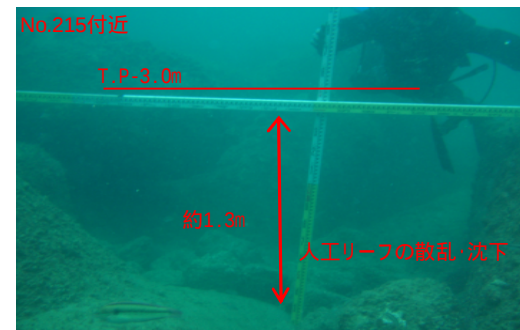


下新川海岸(柳原、入善町)



人工リーフの被災状況(ブロックの散乱)

下新川海岸(東草野、朝日町)



境海岸(朝日町)



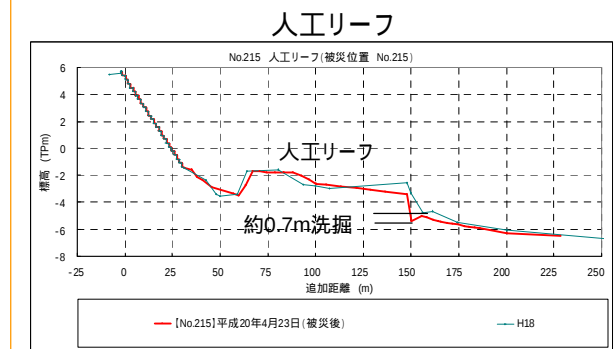
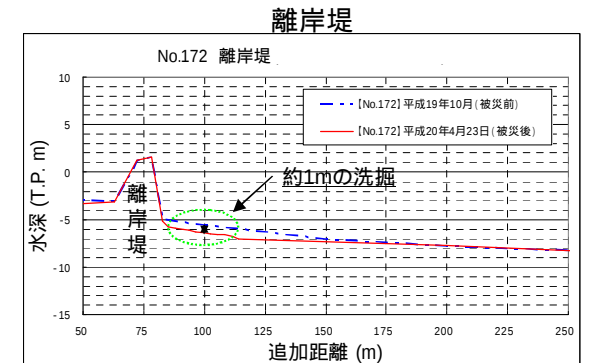
有脚式突堤や離岸堤等における砕波状況

高波を砕いてエネルギーを弱めている

高波を砕いてエネルギーを弱めている



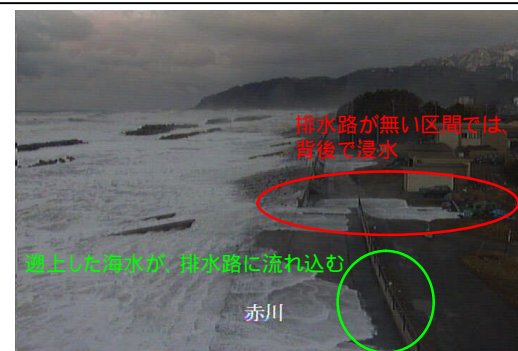
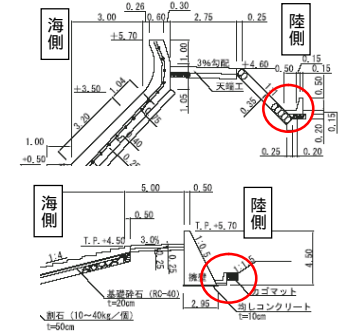
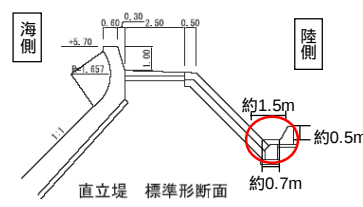
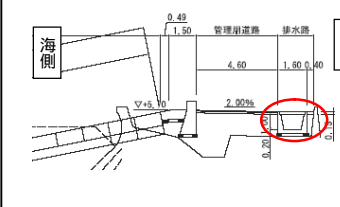
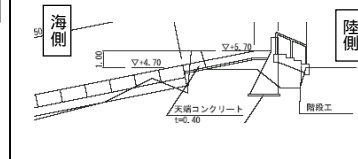
被災前後の海浜断面の重ね合わせによるのり先の洗掘状況



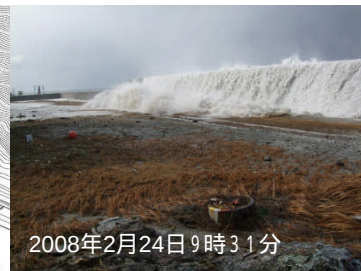
- 離岸堤、副離岸堤及び人工リーフの中には、沖側ののり先が洗掘され、ブロックが流出・散乱したものがあつた。
- 一方、有脚式突堤や離岸堤は効果を発揮したものもあり、被害の軽減に寄与。

(2) 災害の発生メカニズムと課題

越波の排水と堤内地の浸水状況

項目		生地	神子沢	赤川	
CCTVによる越波の把握	映像				
	状況	・2/24の12時～15時には1時間に数回の頻度の高波浪により、大規模な越波が発生		・数波に一度越波が発生	
	程度	大量		中量	なし
排水路断面					
排水路断面積		0.25m ²	1.1m ²	1.2m ²	排水路無し
浸水被害		2/24の12時～15時には1時間に数回の頻度の高波浪により、排水路の能力を遙かに超えた越波量が発生し、浸水被害が発生	2/24では目立った浸水被害なし	排水路が有る区間では浸水なし	排水路が無い区間では背後で浸水

生地地区の浸水状況



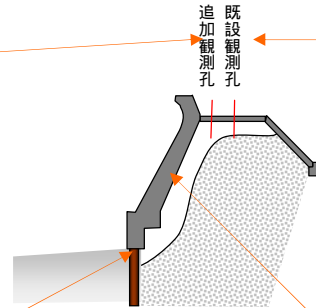
- 越波により、家屋等が浸水。
- 堤防背後の水路が効果を発揮したと考えられるところもあるが、十分に排水できず浸水被害が発生したところがあった。

緊急調査の実施

被災後の早期復旧を図るため、海岸堤防の緊急調査(堤体の空洞化・堤防基礎の破損等)を実施。

空洞化の調査

【追加観測孔における調査】
スケールによる空洞深さ観測: 21箇所
カメラによる空洞内部調査: 21箇所



【既設観測孔における調査】
スケールによる空洞深さ観測: 420箇所
カメラによる空洞内部調査: 21箇所

【堤防前面の潜水調査】
潜水土による基礎の損傷状況調査: 2箇所

【堤防外観調査】
堤防外観の概略調査: 約10km
クラック、目地開き等を詳細調査: 約4km

外観調査

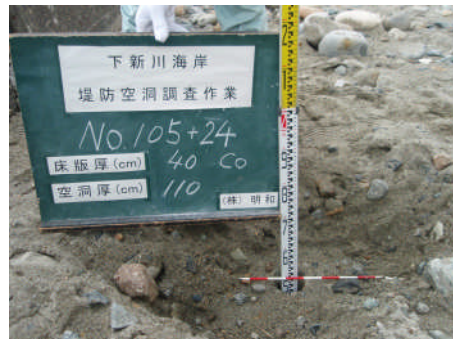
クラックの詳細調査



観測孔調査

海岸堤防の空洞化状況

スケールによる空洞深さ観測



(空洞化量: 110cm)

直立堤天端や背面の空洞化が進行した。

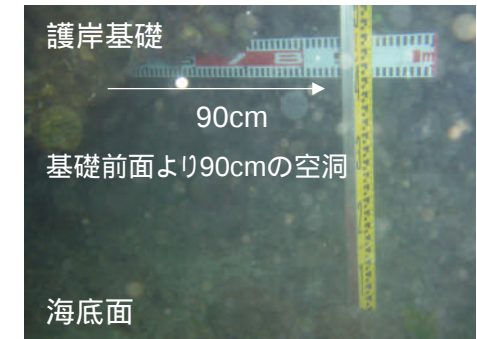
カメラによる空洞内部調査



(空洞化量: 33cm)

潜水調査

海岸堤防の基礎状況



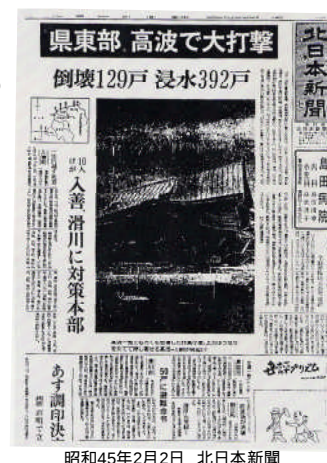
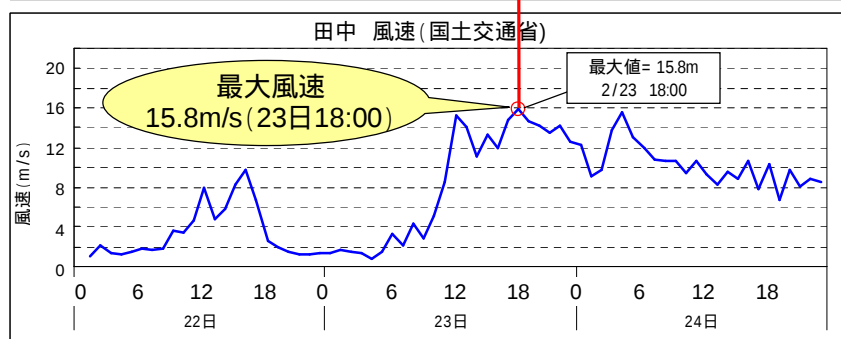
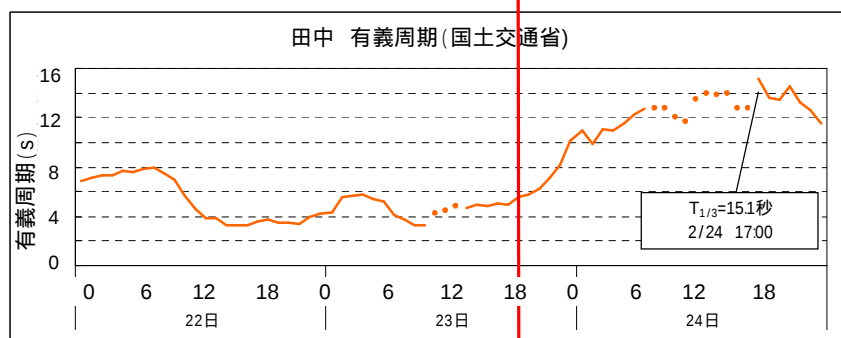
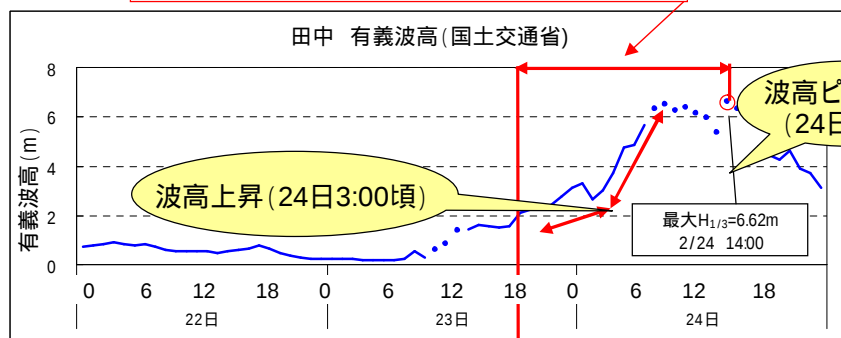
直立堤基礎前面の支持地盤が洗掘や基礎矢板の損傷が確認された。

約17kmのうち約4kmで対策が必要な空洞を確認

(3) 避難・水防活動等の現状と課題

下新川海岸における市町村等の警戒避難に関する対応について

風と波浪の来襲には約20時間の時間差



年号	主な災害の歴史
昭和45年	台風級に発生した「台湾坊主」が日本列島を縦断。朝日、入善、黒部で合わせて560mの堤防欠壊。

38年ぶりに寄り回り波による大規模な高波災害発生。

●災害対策本部による避難勧告

・風が弱まる中で避難判断を決断する材料がない。
・寄り回り波に対する理解不足。



入善町災害対策本部対応状況

<「寄り回り波」による過去の被災経験等の風化>

- 「昔の高波は知っていたが、二度と来ないと思っていた。」(入善町芦崎地区 82歳男性)
- 「波しぶきは2階の屋根を越え、午前7時ごろには海水が膝の上まで来た。ここまでひどい波は初めて。」(黒部市生地芦崎地区住民)
- 「朝、玄関を開けたら、いきなり海水が入ってきて驚いた。こんな大波は始めて。」(黒部市77歳男性)
- 「一瞬の出来事で怖かった。長い間すんでいるが、家が高波に直撃したのは初めて。」(朝日町住民63歳男性)
- 入善漁港付近で数人が波とともに路上を2メートル流されるのを目撃

- 避難指示・勧告を出すための明確な基準がなく、判断材料が不十分。
- 昭和45年の高波災害の経験が風化。
- 「寄り回り波」について理解が不足。

(3) 避難・水防活動等の現状と課題

水防活動について (1/2)

今回の高波に対して予見が困難であったことから、越波現象を確認した後に災害対策本部の設置に至る。

被害の発生状況

日	時刻	予警報の発令	被害の発生		
			黒部市	入善町	朝日町
23日	12:00 ~	波浪注意報(12:09)			
24日	4:00 ~	浪警報(4:10)		大規模な越波発生(4:00) 床下浸水(4:30)	高波が海岸に押寄せるようになる(漁業関係者より聞き取り)(4:00)
	6:00 ~			第1回目高波 堤防越波により海水が住宅地に流れ込む最大値(膝を越すぐらいの水位)(6:30 ~ 6:40)	
	7:00 ~				宮崎漁港内に越波した海水が入り始める(漁業関係者より聞き取り)(7:00) 宮崎地区自治会長より役場に連絡(漁港道路が冠水通行不能)(7:30)
	10:00 ~	第2回目高波堤防越波(10:00)		家屋倒壊(10:30)	
	11:00 ~				宮崎漁港内道路舗装に被害発生(宮崎漁港への高波が最大 聞き取り)(11:00) 境内内の船小屋に被害発生(3棟全壊、11棟浸水)(11:00)
	12:00 ~				境塩田地内において住宅に高波被害(床上浸水2棟、床下浸水1棟、作業小屋全壊1棟)(12:30)
	14:30 ~	第3回目高波 堤防越波(14:30)			
	15:00 ~	第4回目高波 堤防越波(15:15)			

対応状況

日	時刻	予警報の発令	対応状況				
			黒部市	入善町	朝日町	富山県	北陸地整・黒部河川
23日	12:00 ~	波浪注意報(12:09)					海岸巡視開始(15:00)
24日	4:00 ~	波浪警報(4:10)					
	5:00 ~			入善町消防団自主的パトロール(5:00) 町消防より被災第1報(5:20) 現地調査(5:40)			
	6:00 ~			避難勧告発令(6:28) 災害対策本部設立(漁業研修センター)(6:30)			
	7:00 ~			災害対策本部移動(農村環境改善センター)(7:43)	宮崎地区消防分団員巡回パトロール開始(7:00) 境地区消防分団員巡回パトロール開始(7:00)		
	8:00 ~			現地对策本部設置(健康センター「登台」)(8:10) 排水ポンプ機にて海水の吐出作業を実施(8:30)	朝日町職員、海岸域の警戒パトロール開始(2班体制)(8:00)	巡視開始(パトロール)(8:30)	海岸災害警戒体制発令(黒部河川)(8:10)
	9:00 ~			消防飯野分団(芦崎地区)復旧作業開始(9:11)			注意体制発令(北陸地整)(9:00)
	10:00 ~			簡易土のう2500袋を作成し、対応(10:00)	国へブロック提供を要請(10:02)	朝日町消防署員、警戒パトロール開始(10:30)	黒部市生地地区大型土のう積開始(10:00)
	11:00 ~			150世帯に避難指示(11:26)			
	12:00 ~						海岸災害非常体制発令(北陸地整・黒部河川)(12:20) 入善町異形ブロック提供(12:20)
	13:00 ~			第1回災害対策会議(13:00)	被害住宅の応急措置実施(境町内会、消防分団員等、町職員、町消防署員)(13:30) 床上浸水の2世帯には、地元消防分団と協議し避難依頼(13:30)		入善町土のう袋(500個)提供(13:00)
	14:00 ~			自主避難するよう連絡(14:40)			
	15:00 ~			町職員被害状況の調査(15:30)			照明車1台黒部市出動(富山)(15:55)
	16:00 ~			自主避難(16:00)	避難所移動(芦崎研修センターから農村環境改善センターへ)(16:00)	満潮時に合わせ巡回パトロール(町消防員)(16:20) 満潮時に合わせ巡回パトロール(町職員)(16:50)	照明車1台黒部市出動(富山C)(16:00) 照明車2台入善町出動(上越C、高田)(16:35)
	17:00 ~					大屋海岸管理用通路へのバリケード設置(17:10 ~ 17:30) 元屋敷県道バリケード設置(17:30 ~ 18:00)	Ku-SAT(衛星小型画像伝送装置)1台入善町出動(17:35)
	18:00 ~			自主避難解除(18:30)		境地区巡回パトロール解除(18:00)	
	19:00 ~			非常体制→警戒体制(19:45)			黒部市生地地区大型土のう積完了(242個)(19:45) 非常体制→警戒体制(黒部河川)(19:45)
	21:00 ~				宮崎地区巡回パトロール解除(21:30)		
	23:00 ~				町職員パトロール員待機解除(23:00)		
	0:00 ~				床上浸水の2世帯は、近隣の温泉施設で宿泊(0:00)		
25日		波浪注意報(波浪警報解除)(7:00)		避難指示→避難勧告(150世帯)(11:07)		巡視開始(5:45)	海岸巡視開始(7:50) 防災ヘリ「はりく号」出動(9:30)
26日				芦崎地区陸間部(5箇所)で国から貸与をされたブロックを設置			
27日				現地对策本部の解散し、市庁舎へ移行	避難勧告解除(9:05)		
3月1日							海岸災害警戒体制解除(黒部河川)(15:35)
3月3日						境海岸の被災箇所へのブロック投入	

(3) 避難・水防活動等の現状と課題

水防活動について (2/2)

水防活動状況(県・自治体)

● 巡視パトロール



- ・住宅地の被災状況
- ・海岸施設の被災状況

自治体(黒部市・入善町・朝日町)



2月24日

被災箇所パトロール(入善町芦崎)



2月24日

パトロールの様子(朝日町宮崎)

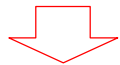
富山県(入善土木事務所)



2月24日

パトロールの様子(朝日町境海岸)

● 被害の拡大防止



- ・積み土のう工
- ・排水ポンプでの海水吐出作業
- ・災害箇所へのブロック投入



2月24日

積み土のう工の実施(黒部市生地)



2月24日

排水ポンプ機での海水の吐出作業(黒部市生地)



2月28日

被災箇所へのブロック投入(入善町芦崎)

- 水防警報海岸に未指定。
- 水防警報の明確な基準がなく、判断材料が不十分。
- 河川災害に対する水防訓練は毎年実施していたが、高波災害については未実施。
- 一方、土のう積み等の水防活動を実施し、越波による浸水被害の拡大を抑制。

(3) 避難・水防活動等の現状と課題

住民の避難に関して

災害時要援護者マップの有効活用

- 災害時要援護者マップと災害時要援護者台帳を平成19年8月に作成しており、浸水区域に近い入善町芦崎地区において活用され、災害時に支援が必要な一人暮らしの高齢者などの「要援護者」の迅速な避難に役立った。
- 同町では24日正午過ぎから町職員がマップにより芦崎地区の28人の要援護者の自宅を訪問し、避難を呼びかけている。

避難場所を移動

芦崎漁業研修センター



飯野農村環境改善センター



H.16

黒部川浸水想定区域図(国)

H.17

黒部市、入善町ハザードマップ

災害時要援護者支援技術検討(国総研)

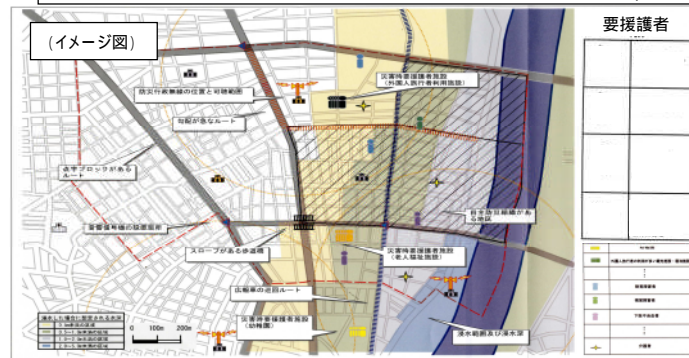
防災ワークショップ(モデル地区住民、入善町、富山県等)

H.18

図上シミュレーション訓練(入善町)

H.19

災害時要援護者マップ、災害時要援護者台帳(入善町)



(24日13:50マイクロバスにて移動)

ロールプレイング方式の図上シミュレーション訓練



- 初動期における災害対策本部員及び各部員等が行うべき役割の認識
- 情報収集・整理・分析・伝達方法の確認等による災害対応の意思決定能力の向上
- 防災課題の抽出・把握

- 災害時要援護者マップにより高齢者等の安否をスムーズに確認。
- 高波災害を想定した避難に関する判断材料が不十分。
- 河川災害については過去に訓練を実施していたが、高波災害に対する訓練は未実施。

平成18年9月29日:入善町役場