

全国港湾海洋波浪観測情報網(ナウファス)が捉えた 平成20年2月24日の日本海沿岸の高波について

独立行政法人 港湾空港技術研究所
海洋・水工部長 永井紀彦

1. 全国海洋波浪観測情報網(ナウファス)の概要

- ①国土交通省港湾局、全国8つの地方整備局港湾空港部、北海道開発局、沖縄総合事務局、国土技術政策総合研究所、独立行政法人港湾空港技術研究所が、相互連携を図りつつ構築・運営を行っている、我が国沿岸の波浪観測および情報ネットワーク。
- ②平成20年2月末現在、全国約60地点において、365日24時間連続リアルタイムで波高、周期、波向などの波浪観測を実施。
- ③北海道～東北～北陸～山陰・北部九州の日本海沿岸においては、留萌・石狩湾新・瀬棚（北海道）深浦（青森県）、酒田（山形県）、秋田（秋田県）、新潟沖・直江津（新潟県）、富山・伏木富山（富山県）、輪島・金沢（石川県）、福井（福井県）、柴山・柴山港内（兵庫県）、鳥取（鳥取県）、浜田（島根県）、藍島・玄界灘（福岡県）の19の観測点に「海象計（超音波式波高計）」を設置・観測中（秋田：今回欠測）。

2. 平成20年2月22日～25日の波浪観測結果（参考資料①②③参照）

①期間中、富山観測点において日本海沿岸で最大波浪を観測

かつ、同地点で観測開始以来、最大波浪を観測

- ・日本海全域で高波を観測。特に、富山湾内の富山観測点（水深20.0m）において、24日16:00（15:50-16:10）に有義波高9.22m、周期16.2秒の波浪を観測（速報値）。
- ・これは、今回の観測＜日本海全体（観測点：18点）＞において、最大の波浪。かつ同観測点においても、平成14年の観測開始以来、最大の波浪。
- ・富山観測点のほか、2カ所（輪島観測点、柴山観測点）で既往最大観測記録を更新。

②日本海沿岸を南下（北海道～東北～北陸）するにつれ、波高・周期が増大

- ・富山湾以北の観測点では、有義波高が最大となる、ほぼ同時刻に有義波周期も極大。
- ・比較的地形等による遮蔽の少ない観測点での最大有義波の波高・周期は、次表の通り。
- ・富山湾以北の観測点では、南下するほど波浪がより大きく発達し、波高や周期が大きくなっていることを確認。

観測点	最大観測有義波（速報値）			備 考
	有義波高	周 期	観測時刻	
留 萌	3.83 m	9.0 秒	24日03:00	
瀬 棚	4.83 m	10.3 秒	24日05:00	
深 浦	6.96 m	11.1 秒	24日00:20	
酒 田	7.99 m	12.3 秒	24日04:00	
輪 島	7.73 m	13.2 秒	24日12:20	
富 山	9.92 m	16.2 秒	24日16:00	観測点水深：20.0 m
伏木富山	4.22 m	14.2 秒	24日14:00	

③富山湾内の2つの観測点（富山、伏木富山）では、波高に差（参考資料④参照）

- ・富山観測点、伏木富山観測点での最大観測有義波は、周期はそれほど差がないが、波高は2倍ほどの差。
- ・これは、2つの観測点の水深に差があるため、波浪が沖合から沿岸に近づくにつれて波高が増大し、富山観測点の波高が高くなった影響が大きい。
- ・また、周期の長い波浪は複雑な海底地形の影響を受けやすいと考えられることから、局所的に波エネルギーの集中が発生した可能性あり。（今後検証）

④金沢以西の観測データ

- ・金沢以西の日本海沿岸の観測点では、有義波高の極大を過ぎてから、さらに有義波周期が長くなっている。
例えば、福岡県沖の玄界灘（水深39.5m）では、24日05:40に、最大観測有義波高4.24m，周期9.6秒を観測。その後、波高はゆっくりと減衰するものの周期はさらに長くなり、25日午前中には周期12秒程度のうねり状態が継続。
- ・富山湾以西の日本海沿岸では、近傍で発達した風波と、北から伝わってきた「うねり」との来襲時刻が大きくずれたため、結果的に富山湾で見られたような顕著な高波にはならなかったものと推定。

3. 過去の観測結果との対比

- ・「寄り廻り波」に関する既往の観測事例については参考資料⑤を参照（当論文では、過去に観測された「寄り廻り波」について取りまとめ）。
2002年2月20日、日本海を東進、発達した二つ玉低気圧の影響により、留萌（北海道）で観測された高波のうち、周期10秒以上の長周期成分が、12-24時間後に富山湾に「うねり」として伝播。
- ・今回も、富山観測点では、留萌観測点から13時間遅れで最大有義波浪を観測。
留萌と富山とのピーク時間差だけを見れば、2002年2月20日に観測された「寄り廻

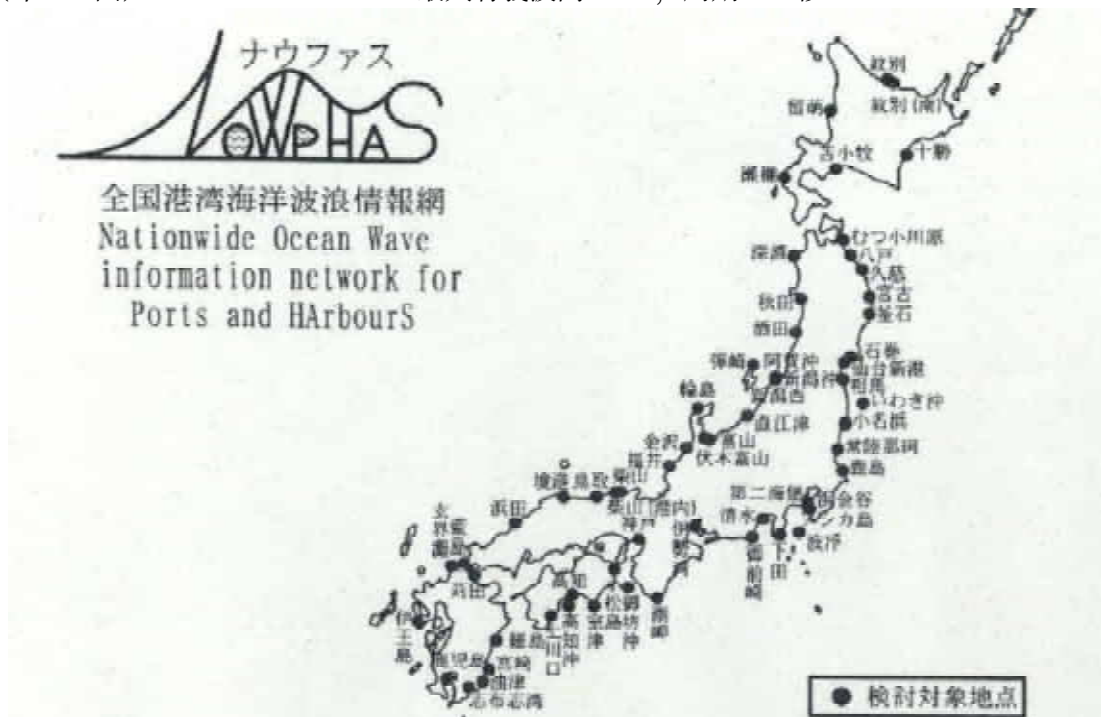
り波」と同程度。

- ・富山観測点で観測された波浪は、これまでの既往最大有義波（台風0423号、平成16年10月）と比較して、周期が非常に長く2倍程度。

台風0423号による高波は、台風の近接に伴う近傍の強風によって発達したもの。これに対し、今回は、発達した二つ玉低気圧による強風と、北海道沿岸から富山湾に至る約1000kmにもおよぶ吹送距離の影響により、周期の長い高波浪（いわゆる「寄り廻り波」）に発達、と思慮。

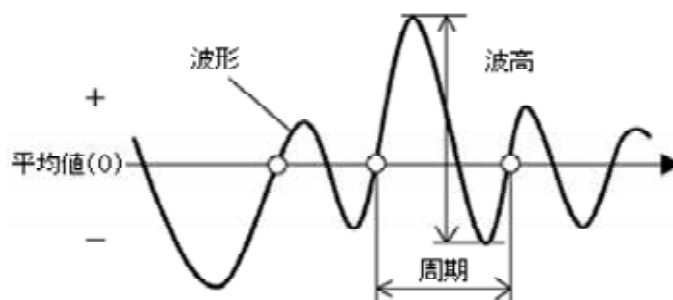
（これまで） 2004.10.20.22:00 最大有義波高6.75m, 周期 8.3秒（台風0423号による）

（今回） 2008. 2.24.16:00 最大有義波高9.22m, 周期16.2秒



（参 考）

- 有 義 波：ある期間で得られた波形を個々の波高に分解し、大きい順に並びかえ、上位1/3について平均した値を有義波高という。また、目視の波浪観測結果と良く一致することと知られている。

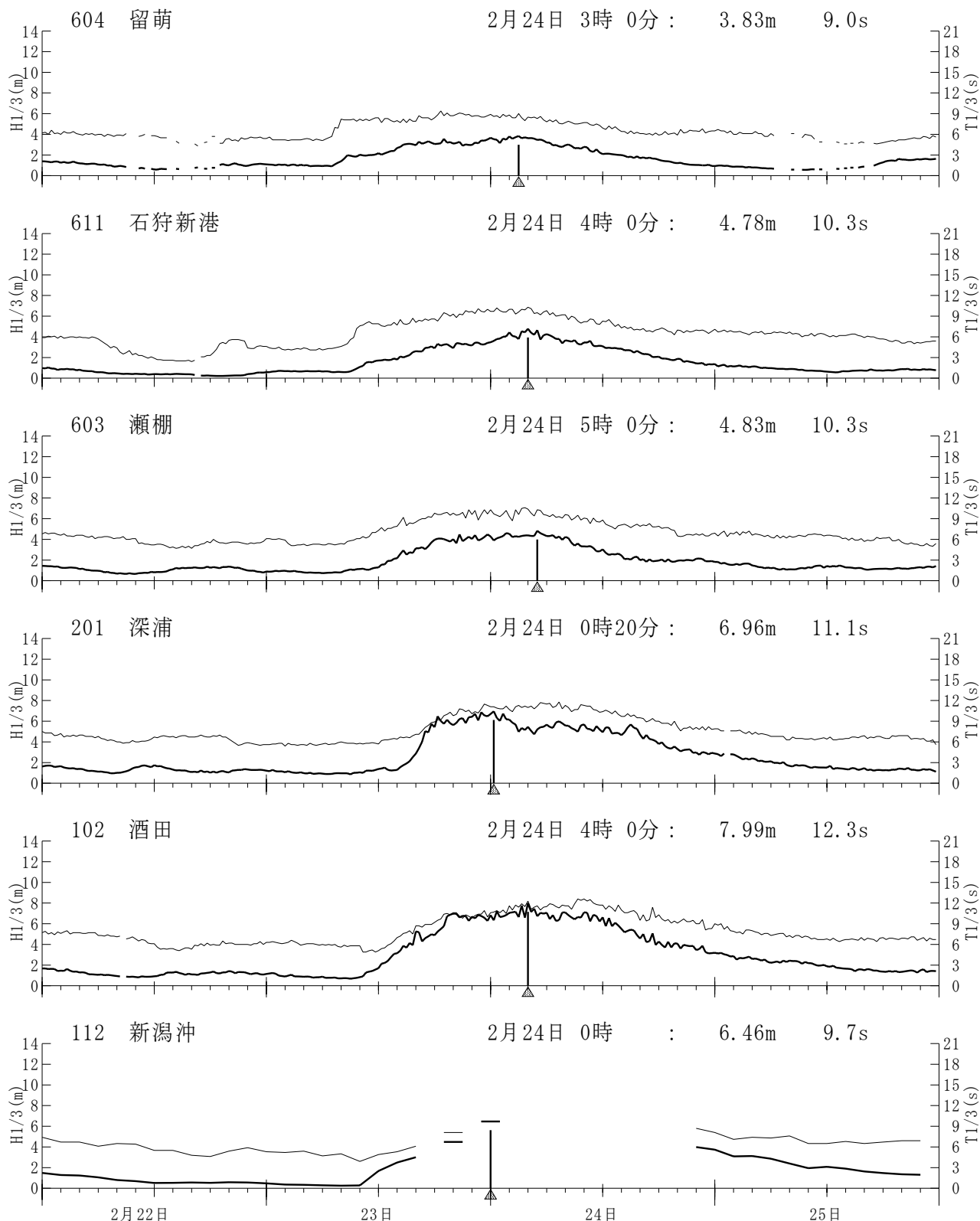


- 吹送距離：波は風の作用を受けて発達しながら伝播する。波が風を受けて発達しながら進行する距離を吹送距離という。

※ 2008年 2月22～25日の速報値 (2008/03/05時点)

期間：2008年 2月22日～ 2月25日

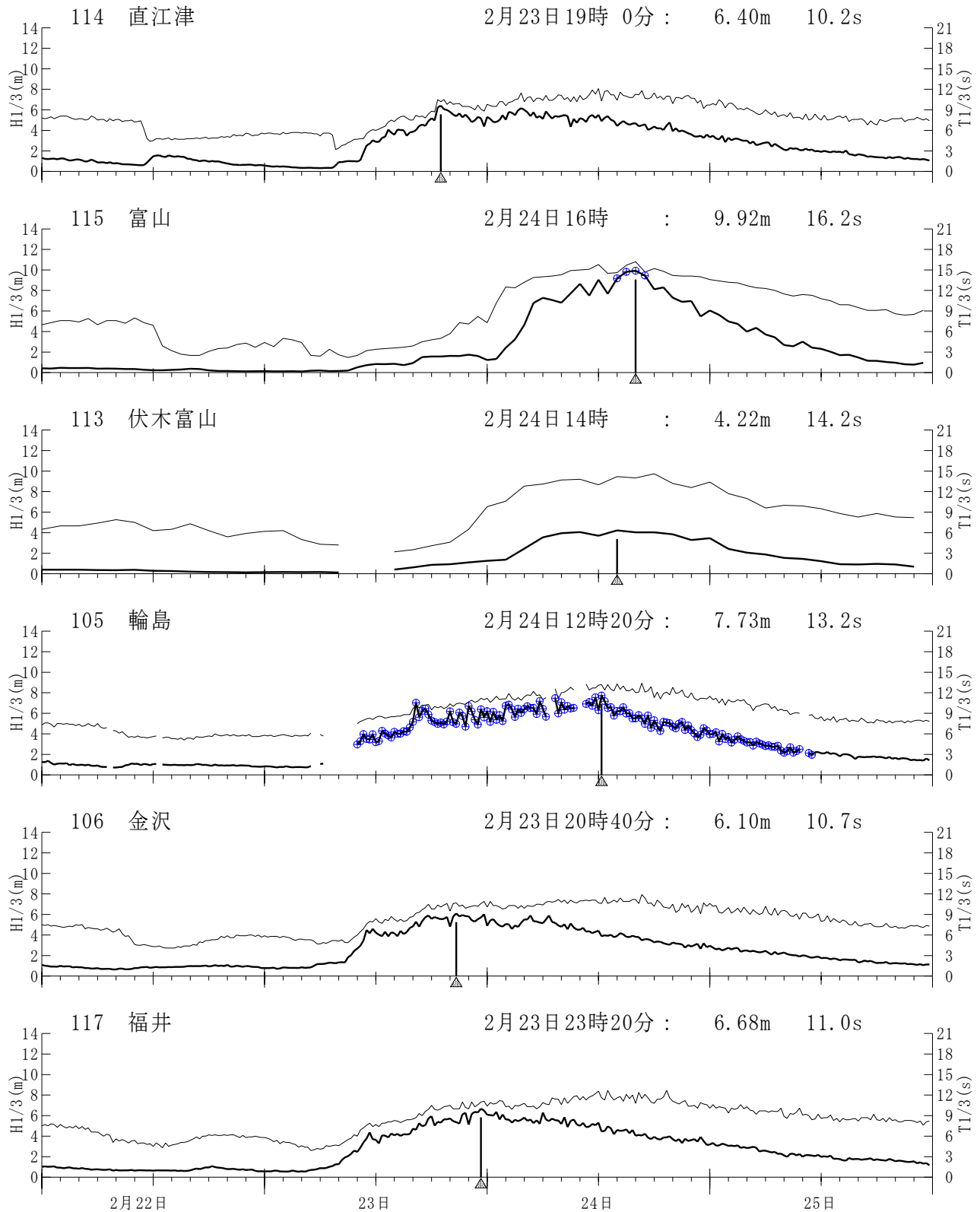
— H1/3 ⊕ 水圧補足
— T1/3



※ 2008年 2月22～25日の速報値（2008/03/05時点）

期間：2008年 2月22日～ 2月25日

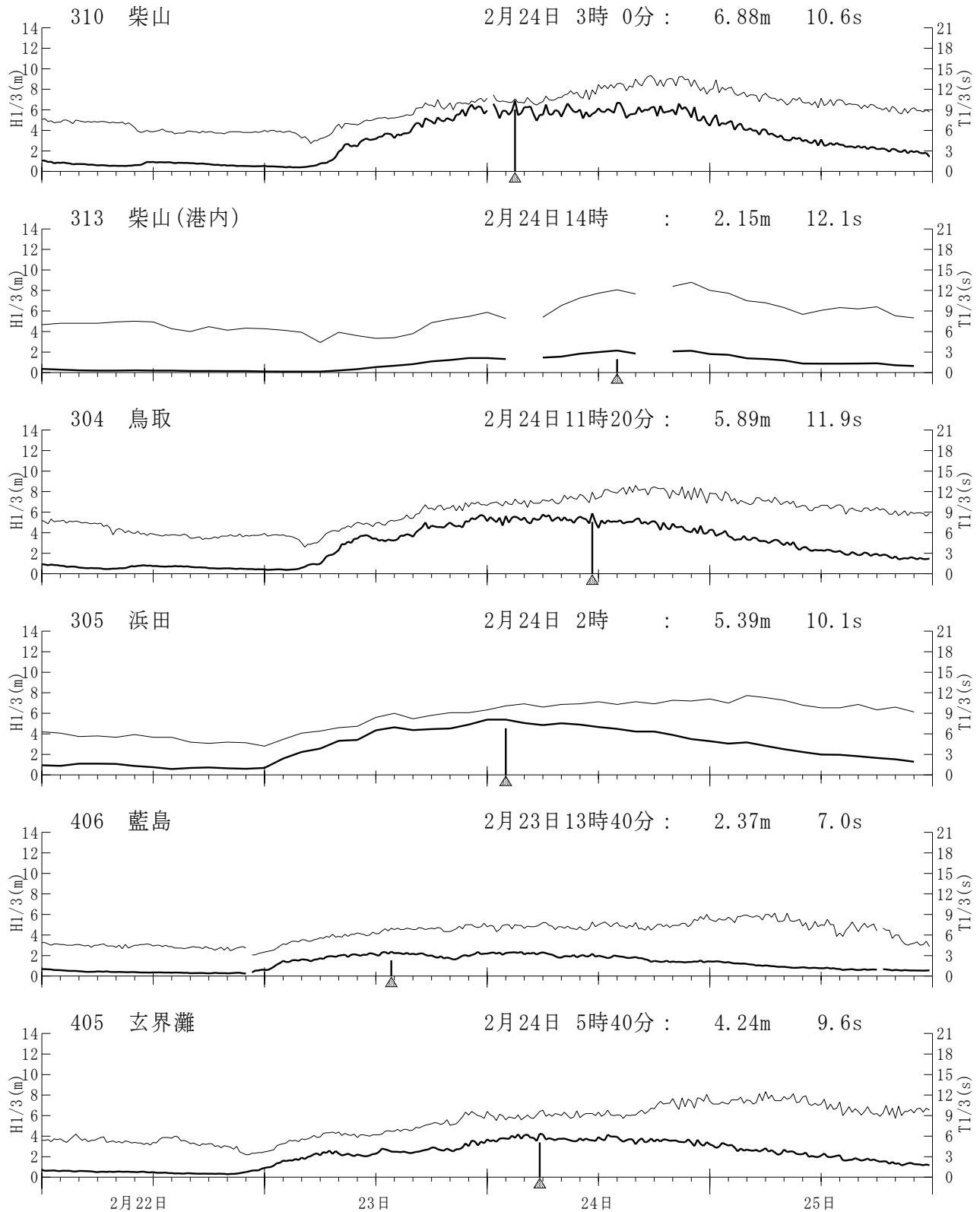
— H1/3 ⊕ 水圧補足
— T1/3



※ 2008年 2月22～25日の速報値（2008/03/05時点）

期間：2008年 2月22日～ 2月25日

— H1/3 ⊕ 水圧補足
— T1/3



参考資料②

解析期間：2008年2月22日～25日 ※ 2008/03/05時点の速報値

	CODE	地点名	最大有義波および対応最高波						備 考	H1/3の差 今回－既往	既往最大有義波および対応最高波（2006年まで）					
			起 時	H1/3(m)	T1/3(s)	Hmax(m)	Tmax(s)	波向(°)			H1/3(m)	T1/3(s)	Hmax(m)	Tmax(s)	起 時	発生要因
1	604	留萌	24日 3時 0分	3.83	9.0	7.32	8.3	335		-4.00	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		-1.22	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		-4.60	9.43	12.9	15.46	13.2	95年11月 9日 8時	冬型気圧配置
4	201	深浦	24日 0時20分	6.96	11.1	9.49	9.4	—		-3.40	10.36	14.5	14.53	13.5	04年11月27日 6時	冬型気圧配置
5	102	酒田	24日 4時 0分	7.99	12.3	10.57	14.7	欠測		-2.66	10.65	13.8	13.92	13.2	04年11月27日 6時	冬型気圧配置
6	112	新潟沖	24日 0時	6.46	9.7	10.20	10.4	欠測	ピーク付近欠測	-2.02	8.48	7.9	—	—	05年12月22日12時	冬型気圧配置
7	114	直江津	23日19時 0分	6.40	10.2	8.23	10.9	欠測		-2.84	9.24	12.6	12.93	11.5	03年12月20日16時	冬型気圧配置
8	115	富山	24日16時	9.92	16.2	—	—	欠測	水圧補足値	3.17	6.75	8.3	—	—	04年10月20日22時	台風0423号
9	113	伏木富山	24日14時	4.22	14.2	6.49	14.8	欠測		-2.31	6.53	8.4	—	—	04年10月20日22時	台風0423号
10	105	輪島	24日12時20分	7.73	13.2	—	—	欠測	水圧補足値	0.11	7.62	12.0	12.49	11.9	03年12月20日18時	冬型気圧配置
11	106	金沢	23日20時40分	6.10	10.7	9.23	11.0	323		-2.04	8.14	10.3	—	—	01年12月15日 6時	冬型気圧配置
12	117	福井	23日23時20分	6.68	11.0	10.92	11.3	0		-1.11	7.79	13.2	10.10	11.8	81年12月 2日 6時	冬型気圧配置
13	310	柴山	24日 3時 0分	6.88	10.6	12.16	10.8	344	ピーク付近欠測	0.11	6.77	11.5	10.34	12.7	05年12月 6日12時	冬型気圧配置
14	313	柴山(港内)	24日14時	2.15	12.1	3.51	15.2	—	ピーク付近欠測	-0.45	2.60	9.4	—	—	04年10月20日18時	台風0423号
15	304	鳥取	24日11時20分	5.89	11.9	11.15	13.4	348		-1.65	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
16	305	浜田	24日 2時	5.39	10.1	7.79	10.0	4		-2.54	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
17	406	藍島	23日13時40分	2.37	7.0	3.83	8.2	323		-3.24	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
18	405	玄界灘	24日 5時40分	4.24	9.6	6.21	8.8	12		-3.79	8.03	9.7	—	—	04年 8月30日18時	台風0416号

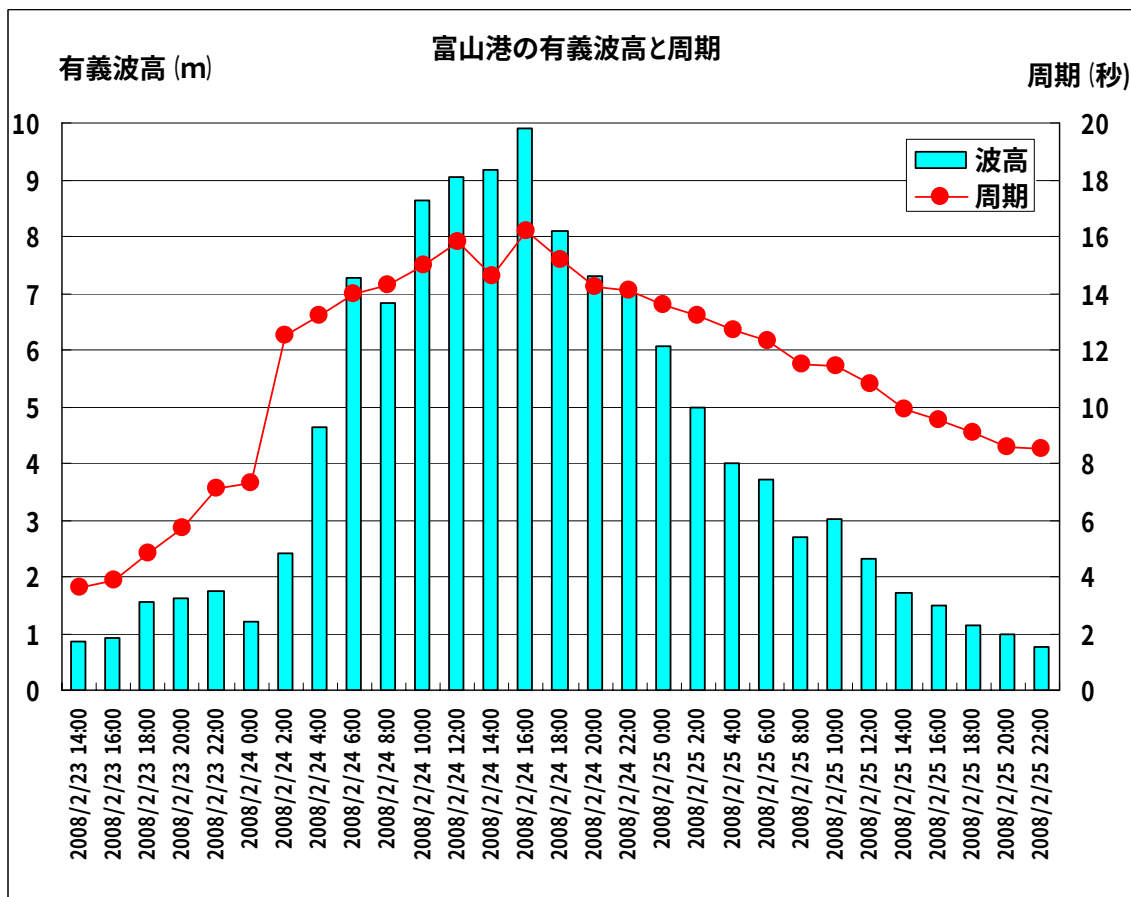
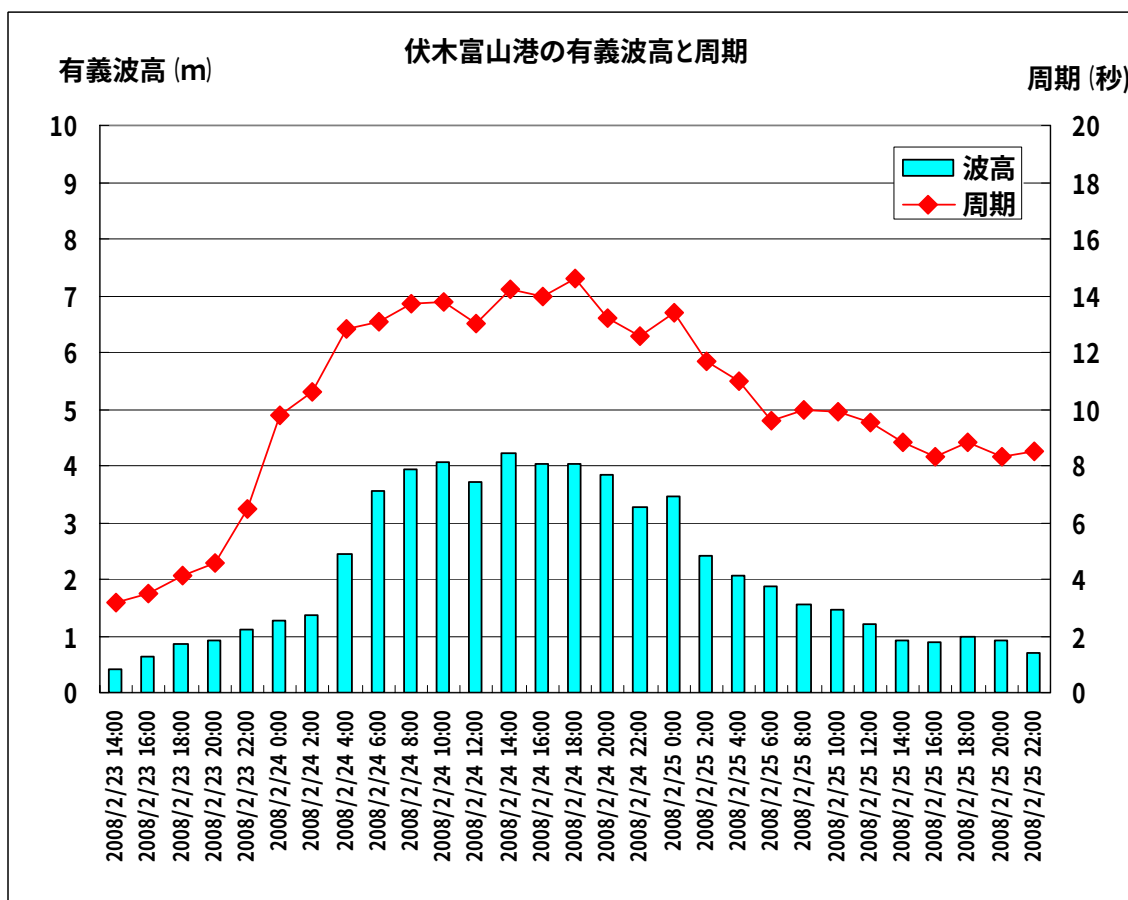
参考資料③

No.	地 点 名	波高計 機 種	水 深 (m)	最大有義波および対応最高波				起 時 (2006年12月時点)	発 生 要 因	更新	No.	CODE
				H1/3(m)	T1/3(s)	Hmax(m)	Tmax(s)					
1	留萌	U SW	-49.8	7.83	10.6	—	—	04年 9月 8日14時	台風0418号		1	604
2	★ 石狩新港	U SW	-22.4	6.00	10.8	7.82	11.7	04年12月17日 4時20分	冬型気圧配置		2	611
3	瀬棚	U SW	-52.9	9.43	12.9	15.46	13.2	95年11月 9日 8時	冬型気圧配置		3	603
4	★ 青森	U SW	-24.9	2.64	5.8	4.31	5.3	06年10月 7日16時40分	南岸低気圧	新規	4	220
5	深浦	U SW	-51.0	10.36	14.5	14.53	13.5	04年11月27日 6時	冬型気圧配置		5	201
6	秋田	U SW	-29.4	8.53	13.0	11.46	12.8	90年12月 2日16時	台風9028号崩れ及び冬型気圧配置		6	101
7	酒田	U SW	-45.9	10.65	13.8	13.92	13.2	04年11月27日 6時	冬型気圧配置		7	102
8	新潟沖	U SW	-34.5	8.48	7.9	—	—	05年12月22日12時	冬型気圧配置		8	112
9	直江津	U SW	-32.7	9.24	12.6	12.93	11.5	03年12月20日16時	冬型気圧配置		9	114
10	富山	U SW	-20.0	6.75	8.3	—	—	04年10月20日22時	台風0423号		10	115
11	伏木富山	U SW	-46.4	6.53	8.4	—	—	04年10月20日22時	台風0423号		11	113
12	輪島	U SW	-52.0	7.62	12.0	12.49	11.9	03年12月20日18時	冬型気圧配置		12	105
13	金沢	U SW	-20.2	8.14	10.3	—	—	01年12月15日 6時	冬型気圧配置		13	106
14	福井	U SW	-21.3	7.79	13.2	10.10	11.8	81年12月 2日 6時	冬型気圧配置		14	117
15	★ 敦賀	U SW	-18.8	1.62	5.8	2.26	4.2	06年12月29日 5時20分	冬型気圧配置	更新	15	116
16	柴山	U SW	-41.1	6.77	11.5	10.34	12.7	05年12月 6日12時	冬型気圧配置		16	310
17	柴山(港内)	U SW	-11.1	2.60	9.4	—	—	04年10月20日18時	台風0423号		17	313
18	鳥取	U SW	-30.0	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	304
19	境港	U SW	-12.0	3.22	10.8	4.06	10.1	04年10月21日 0時	台風0423号		19	312
20	浜田	U SW	-50.1	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	305
21	藍島	U SW	-21.1	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	406
22	玄界灘	U SW	-39.5	8.03	9.7	—	—	04年 8月30日18時	台風0416号		22	405
23	伊王島	U SW	-50.0	10.37	13.6	15.03	16.2	91年 9月27日16時	台風9119号		23	404
24	熊本	空中発射	-4.2	1.19	4.6	2.34	4.8	06年 8月19日 2時	台風0610号	新規	24	420
25	名瀬	U SW	-54.6	8.46	11.4	14.17	14.7	05年 9月 5日22時	台風0514号		25	402
26	那覇	U SW	-52.9	9.24	14.1	13.77	14.9	90年10月 6日20時	台風9021号		26	702
27	★ 紋別(南)	U SW	-52.6	7.51	12.1	12.72	11.5	06年10月 8日 9時 0分	南岸低気圧	更新	27	609
28	★ 釧路	U SW	-50.1	5.47	8.2	7.69	8.6	06年 2月27日 0時20分	冬型気圧配置	更新	28	613
29	★ 十勝	U SW	-23.0	7.82	14.9	10.65	15.2	06年10月 8日 1時40分	南岸低気圧	更新	29	607
30	苫小牧	SRW-V	-13.3	6.10	15.5	8.10	15.0	72年 2月28日10時	二つ玉低気圧		30	602
31	むつ小川原	U SW	-43.8	9.56	12.5	14.65	13.9	91年 2月17日 0時	二つ玉低気圧及び冬型気圧配置		31	202
32	★ 八戸	U SW	-27.7	7.64	12.4	10.74	13.7	06年10月 7日17時 0分	南岸低気圧	更新	32	203
33	久慈	U SW	-49.5	8.09	10.7	11.41	11.8	02年 1月27日20時	南岸低気圧		33	219
34	★ 釜石	U SW	-49.8	7.22	13.3	12.36	13.2	06年10月 7日15時 0分	南岸低気圧	更新	34	204
35	石巻	U SW	-20.8	5.66	11.7	9.48	11.1	02年10月 2日 2時	台風0221号		35	218
36	仙台新港	U SW	-21.3	5.63	11.4	8.00	11.0	02年10月 2日 2時	台風0221号		36	205
37	相馬	U SW	-17.1	6.77	11.6	9.49	15.2	06年10月 7日 2時	南岸低気圧	更新	37	214
38	★ 小名浜	U SW	-20.0	7.73	16.7	9.74	17.0	06年 9月 5日 3時20分	台風0612号	更新	38	206
39	常陸那珂	U SW	-30.3	7.59	10.4	—	—	06年10月 6日22時	南岸低気圧	更新	39	209
40	鹿島	U SW	-24.0	7.50	10.5	—	—	05年 1月16日12時	二つ玉低気圧		40	207
41	第二海堡	U SW	-28.8	2.18	5.9	3.16	6.7	04年12月 5日 6時	南岸低気圧		41	217
42	アシカ島	U SW	-21.7	6.12	8.0	—	—	98年 9月16日 8時	台風9805号		42	901
43	★ 波浮	U SW	-48.3	8.49	9.0	—	—	05年 8月25日23時20分	台風0511号		43	212
44	下田	U SW	-51.1	6.71	11.9	9.24	14.3	98年 9月16日 6時	台風9805号		44	504
45	清水	U SW	-51.8	4.79	16.4	8.41	14.8	02年10月 1日20時	台風0221号		45	505
46	★ 御前崎	U SW	-22.8	8.91	10.6	—	—	05年 8月25日20時40分	台風0511号		46	501
47	伊勢湾	U SW	-26.9	3.13	6.8	4.68	6.4	04年 8月31日 0時	台風0416号		47	506
48	潮岬	U SW	-54.7	10.22	15.7	14.27	13.8	04年10月20日18時	台風0423号		48	301
49	神戸	U SW	-17.0	3.77	7.3	7.03	6.4	93年 9月 4日 6時	台風9313号		49	306
50	小松島	U SW	-20.8	4.22	7.4	—	—	04年 6月21日10時	台風0406号		50	311
51	★ 室戸GPS	GPS7°イ	-100.0	14.21	16.3	17.83	17.3	04年10月20日14時20分	台風0423号		51	314
52	室津	U SW	-26.8	13.55	15.8	—	—	04年10月20日14時	台風0423号		52	307
53	高知	U SW	-24.1	12.49	16.4	—	—	04年10月20日14時	台風0423号		53	309
54	上川口	U SW	-27.9	8.47	13.7	12.56	12.8	05年 9月 6日18時	台風0514号		54	308
55	★ 荊田	U SW	-9.6	3.76	6.9	—	—	06年 9月17日20時 0分	台風0613号	更新	55	409
56	細島	U SW	-48.3	11.05	12.3	—	—	04年 8月30日12時	台風0416号		56	411
57	志布志湾	U SW	-36.2	9.03	12.8	12.22	12.3	04年 8月30日 8時	台風0416号		57	407
58	鹿児島	U SW	-24.1	4.09	7.0	—	—	04年 9月 7日 6時	台風0418号		58	408
59	中城湾	U SW	-39.6	11.93	13.6	—	—	04年10月19日12時	台風0423号		59	701
60	★ 平良沖	U SW	-44.1	6.68	10.5	13.85	11.1	06年 9月16日17時20分	台風0613号	更新	60	706
61	石垣	U SW	-16.7	4.11	6.8	—	—	97年 8月18日 0時	台風9713号		61	704
62	★ 石垣沖	U SW	-34.8	6.22	9.9	—	—	06年 9月16日 9時 0分	台風0613号	更新	62	705
63	神威脇	U SW	-50.0	6.64	10.6	10.40	10.4	06年11月22日20時	冬型気圧配置	検討	63	608

注1) 網掛けの地点は、2006年に最大有義波高が更新されたことを示す。ただし、青森および熊本は、2006年からの新規検討対象地点。

注2) ★は連続観測データより抽出。

波高・周期 (ナウファスデータ)



切れ目のない連続観測とスペクトル周期帯表示 による全国沿岸の長周期波観測情報システム

NATIONWIDE COASTAL INFRA-GRAVITY WAVE OBSERVATION
NETWORK BASED ON CONTINUOUS
DATA SAMPLING AND FREQUENCY BANDED SPECTRUM EXPRESSION

永井紀彦¹・額田恭史²・岩崎峯夫³・久高将信⁴

Toshihiko NAGAI, Kyouji NUKATA, Mineo IWASAKI, and Masanobu KUDAKA

¹ 正会員 工博 (独) 港湾空港技術研究所 海象情報研究室長 (〒 239-0826 横須賀市長瀬 3-1-1)

² 正会員 工修 (財) 沿岸開発技術研究センター主任研究員 (〒 102-0092 千代田区隼町 3-16 6F)

³ 工修 (株) カイジョー 研究開発本部長 (〒 205-8607 羽村市栄町 3-1-5)

⁴ 正会員 (株) エコー 波浪情報室長 (〒 110-0014 台東区北上野 2-6-4)

This paper introduces Japanese Nationwide Ocean Wave information network for Ports and HARbourS (NOWPHAS) system, which recently improved for the directional and infra-gravity wave observation with continuous data acquisition. New concept of frequency banded expression has been introduced in the data analysis of directional and infra-gravity waves. Examples are demonstrated as the time series and annual statistics forms observed by the Japanese NOWPHAS system.

The NOWPHAS new wave data acquisition and analysis system clarified the characteristics of the long period swells originated from typhoons and low pressures, and the 2001 Peru Earthquake Tsunami.

Key Words: wave observation, wave information, NOWPHAS, directional spectrum, infra-gravity wave, tsunami, frequency banded power

1. はじめに

長周期波の解明および適切な対策の策定にあたっては、その実態観測が第一段階となる。本研究は、切れ目のない連続観測による沖合長周期波のネットワーク定常観測システムを構築するとともに、これによる観測結果を、スペクトル解析に基づく周期帯換算波高表示で示したものであり、我が国沿岸域に來襲する長周期波の出現特性の解明をめざすものである^{1), 2)}。

2. 切れ目のない連続観測システムの構築

全国港湾海洋波浪情報網（以下ナウファスと呼ぶ）における波浪観測では、2時間毎に0.5秒間隔で20分間の海面上下変動や水平流速のデータ取得を行い、波高・周期・波向などの有義波諸元を求めている。しかし、1993年北海道南西沖地震津波を契機として、切れ目なく連続的にデータ収集する観測がめざされた。長周期波観測情報は、津波來襲時ばかりではなく常時においても有用であることが期待されている。

長周期波成分の観測データの整理・解析手法の検討を目的として、運輸省第二港湾建設局（当時：現在は国土交通省東北地方整備局）の御協力をいた

き、仙台新港沖合いの水深17m地点で現地観測を実施した。観測期間は1994年9月の1か月間であり、係留船舶が動揺した事例を含む台風9424号の海象擾乱を観測した。

この結果、周期が30sを越える長周期波浪成分を捉えるためには、それまで沿岸波浪観測で標準的に採用されていた2時間毎に20分間にわたって

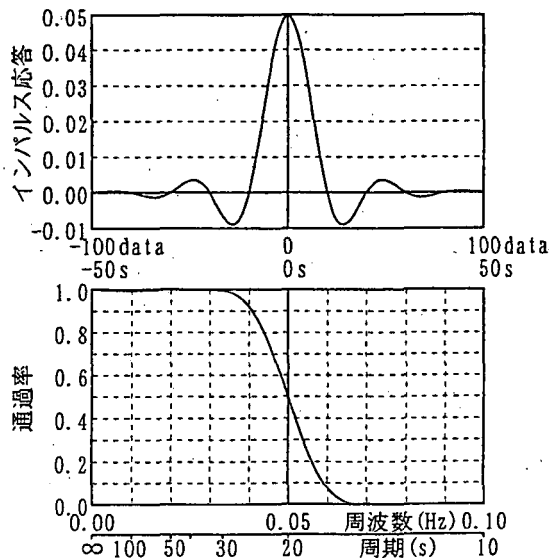


図-1 数値フィルターの形状と周波数応答

表-1 新旧のデータ収集システム

項 目	新システム	旧システム
データ転送 ファイル	波浪ファイル (現行と同じ) 長周期ファイル(遅延) ±50s デジタルフィルター 5s 間隔データ 港内潮位ファイル 5s 間隔検潮データ	波浪ファイル 2時間毎20分間 0.5s 間隔データ
データ転送 装置	新規開発データ演算転送装置 (WD700)	波浪データ演算転送装置 (WD800)
使用回線	INS 電話回線	一般電話回線

注1) 海象計にも対応可能なシステム。注2) 港内検潮データのシステム化も考慮。

0.5s 間隔で海面変動データをサンプリングする方式では不十分であり、より長時間の連続した波形観測記録をもとに周波数スペクトル解析を行うことが必要であることが、明らかにされた。また、「時化が去っても長周期波は残る」という事実を示すとともに、連続観測によって得られる周波数スペクトルの長周期パワーによって、合理的に現象を説明できることを明らかにした³⁾。

表1に長周期波連続観測システムの概要を示す。新システムでは、ローパス数値フィルターをかけた波形記録を、波浪ファイルとは別の長周期波ファイルとして収録する。数値フィルターとしては、図1に示すデジタルフィルターを用いた⁴⁾。図1の上段は、フィルター形状を示すインパルス応答であり、下段は、周波数応答特性である。この前後 50 秒間の数値フィルターによって、周期 30 秒以上の長周期波成分はそのまま通過させ、周期 15 秒以下の風浪成分はほぼ完全に通過させない周波数応答を得ることができる。

波浪観測は2時間毎に行われていることを考えあわせて、長周期波データファイルは、以下のように作成することとした。

- ①データ間隔：5 s 間隔(連続)
- ②データファイルの単位：2 時間
- ③長周期パワー m_{Lo} の演算

1994 年から 1996 年にかけて、ナウファスによる観測データの収集・解析・管理のシステム改良が実行された^{5), 6), 7)}。

3. 周期帯表示による観測データのとりまとめ

長周期波の問題と一般に考えられている現象は、実は、さまざまな周期の現象から成ることが知られている。十分に発達した周期の長い風浪や、遠方から伝わってくるうねりなどの、周期 10 秒程度以上の波浪を長周期波として捉えることもあれば、港内に係留された大型船舶のサージング運動の固有周期に対応すると考えられる 1 分以上の周期を持つ波動を、長周期波として捉えることもある。また、希に発生する周期数分から数十分の津波も、長周期波に含めて考えられることもある。

こうした幅の広い周期の現象の特性を、正しく捉えるためには、従来から波浪を表現するために用い

表-2 周波数帯の区分

区分	スペクトル順位	対応周期
f1	1 - 4	32.0s 以上
f2	5 - 8	25.6s - 16.0s
f3	9 - 12	14.0s - 10.7s
f4	13 - 16	9.8s - 8.0s
f5	17 - 30	7.5s - 4.3s
f6	31 - 128	4.1s 以下

表-3 f_5 領域の周波数帯と対応周期

水深(m)	スペクトル順位	対応周期(s)
55以上	17 - 20	6.4s - 7.5s
50	17 - 21	6.1s - 7.5s
45	17 - 23	5.7s - 7.5s
40	17 - 25	5.1s - 7.5s
35	17 - 27	4.7s - 7.5s
30以下	17 - 30	4.3s - 7.5s

られてきた有義波高や有義波周期といったパラメータだけでは不十分である。ここでは、風浪・うねり・長周期波の特性を、時系列変化および統計量として簡易に表示することができるよう、観測情報の表示には、周期帯毎のスペクトルのパワーに対応する換算成分波高を用いることとした。周期帯の区分としては、区切りのよい周期を選定することとし、長周期波データファイルに関しては、30 s, 60 s, 300 s, および 600 s で区分し、波浪データファイルに関しては、8 s, 10 s, 15 s および 30 s で区分した。

風波における有義波高は、 $4(m_o)^{1/2}$ とほぼ一致することから類推して、 $4(m_{oL})^{1/2}$ を算出して換算長周期波高とする。スペクトルの積分周波数帯は、上記の周期帯を組み合わせ、任意に選定できるようにする。

表2は、波浪データファイルに関しての周波数帯の区分を示したものである。ここに、スペクトル順位とは、FFT法で計算され、平滑化された周波数スペクトルの値を低周波側から並べた順位を意味する。すなわち、0.5s 間隔でサンプリングされた 2048 データを解析すると、1024 の周波数に関してスペクトルパワーが出力され、対応周波数は、

$$n/1024(\text{Hz}) \quad n=1,2,3,\dots,1024$$

として示される。スペクトルの平滑化にあたって、8 周波数毎の平均値を取るようにすると、周波数の数は 128 に減少し、対応周波数は、

$$m/128(\text{Hz}) \quad m=1,2,3,\dots,128$$

となる。表2のスペクトル順位は、 m の値である。区切りのよい周期で周期帯を区分し、 f_1 から f_6 までの6区分を考えた。ただし、 f_1 は、周期 30 s 以上の長周期領域であり、20 分間を単位とした波

表-4 長周期波解析対象地点

地点名	機種	水深(m)	北緯	東経
留萌	海象計	-50.0	43° 51' 50"	141° 28' 20"
酒田	U S W	-45.1	39° 00' 21"	139° 46' 55"
直江津	海象計	-32.0	37° 13' 58"	138° 16' 36"
輪島	"	-50.0	37° 25' 40"	136° 54' 19"
柴山	"	-42.0	35° 40' 05"	134° 40' 46"
鳥取	"	-30.0	35° 33' 05"	134° 09' 51"
玄界灘	"	-41.0	33° 55' 50"	130° 28' 13"
紋別(南)	"	-52.0	44° 18' 55"	143° 36' 39"
苫小牧	"	-50.7	42° 32' 30"	141° 26' 59"
久慈	"	-50.0	40° 12' 55"	141° 50' 22"
釜石	U S W	-49.0	39° 15' 44"	141° 56' 19"
小名浜	"	-20.0	36° 54' 53"	140° 55' 30"
常陸那珂	"	-32.0	36° 23' 24"	140° 39' 36"
港研構内USW(空中)	"	-2.0	35° 13' 28"	139° 43' 27"
波浮	U S W	-49.0	34° 40' 23"	139° 27' 18"
清水海象計	"	-50.6	35° 01' 04"	138° 32' 16"
御前崎	"	-22.6	34° 37' 05"	138° 15' 44"
潮岬	"	-50.5	33° 25' 47"	135° 45' 00"
高知	"	-25.0	33° 28' 48"	133° 35' 12"

浪ファイルではなく、2時間を単位とした長周期波ファイルの中で表記が行われるためダミー周期帯として処理される。また、 f_6 は、周期が短く(対応する波長が短く)、海象計⁸⁾によって方向スペクト

表-5 長周期波の出現統計解析事例

地点:御前崎	期間:2000年1月~12月(通年)					
波高階級(cm)	4/ mOL30-60		4/ mOL60-300		4/ mOL30-	
	観測数	出現率	観測数	出現率	観測数	出現率
— 1	0	0.0	0	0.0	0	0.0
1 — 5	4144	94.6	3251	74.2	1192	27.2
5 — 10	168	3.8	931	21.3	2842	64.9
10 — 20	19	0.4	133	3.0	272	6.2
20 — 50	23	0.5	41	0.9	39	0.9
50 —	3	0.1	1	0.0	12	0.3
欠測					23	0.5
全観測					4380	

ルの算定が困難とされる周期帯である。 f_5 と f_6 との区分周期は水深によって異なり、表3に示すように区分周期が設定される⁹⁾。

4. 我国沿岸の長周期波の出現統計

表4は、ここで紹介する長周期波出現統計解析の対象波浪観測地点を示したものである。ここでは2000年1月から12月までの、1年間の観測結果をとりまとめた¹⁰⁾。

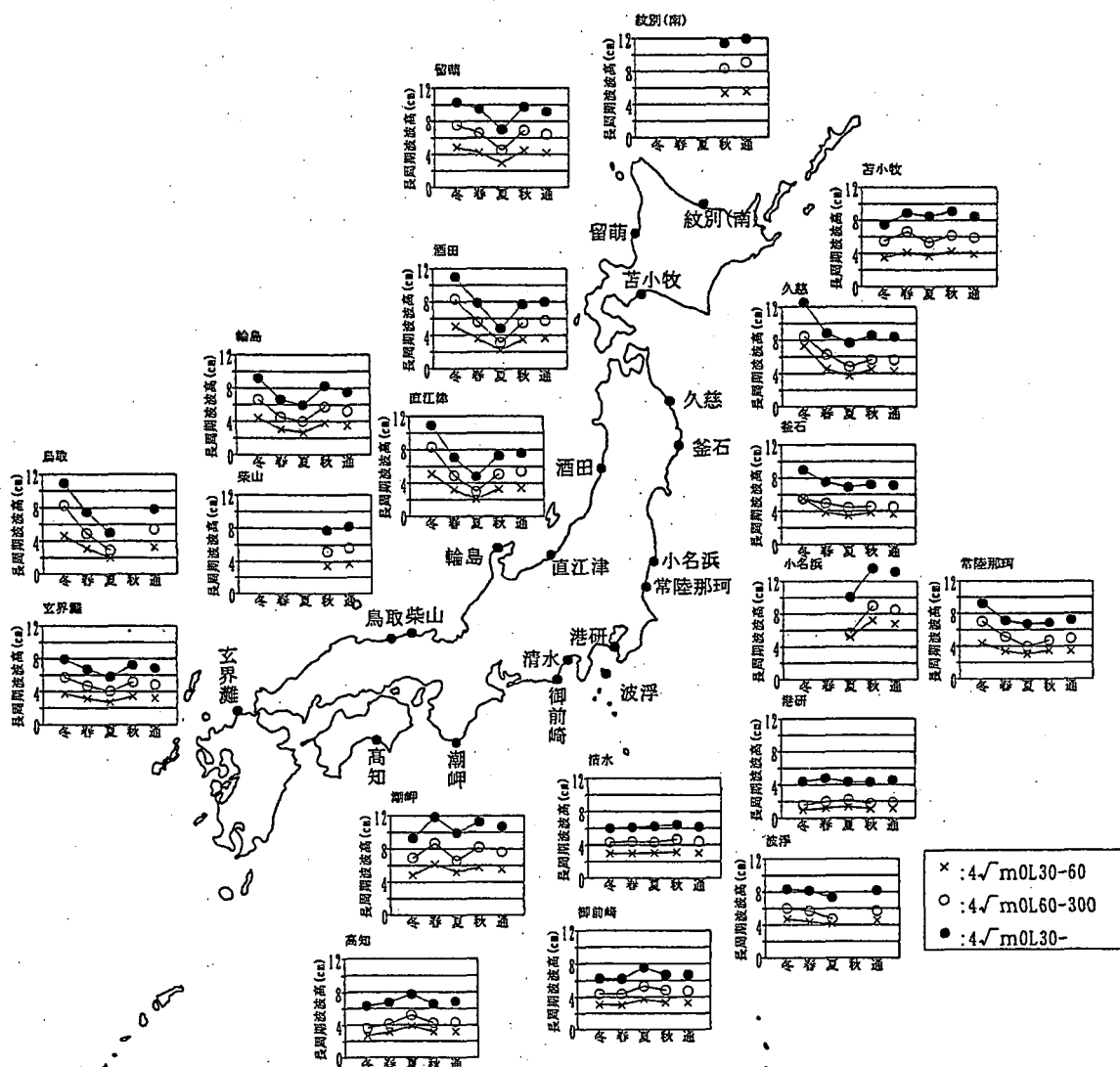


図-2 季別年別の平均長周期波高

御前崎 (h=23m)

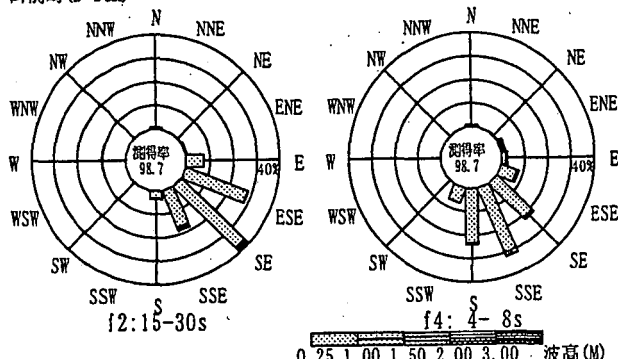


図-3 周期帯別の波向分布

表5は、1年間の観測結果を周期帯毎にとりまとめた例として、静岡県御前崎沖の海象計による観測記録（水深22m）について示したものである。周期30s以上の全長周期波の周期帯で定義される表の右側の波高階級別出現頻度を見ると、波高1cm以下となったケースは皆無で、50cmを越える事例も12ケース存在しており、5cmから10cmの範囲の出現頻度が最も高くなっている。

従来、長周期波は、波群による非線形干渉から発生するものと考えられてきた。しかし、表5で得られた長周期波高の出現分布は、2次非線形干渉から推定される長周期波高より1オーダー程度大きな値となっていることは注目に値する。すなわち、Bowersによる簡易式¹¹⁾では、長周期波高 H_s は、次式で算定される。

$$H_s = 0.074 H_{1/3}^2 T_p^2 / h^2$$

ここに、

$H_{1/3}$ 有義波高 (m)

T_p ピーク周期 (s) ($\approx 1.05 T_{1/3}$)

h 水深 (m)

である。例えば、年間平均有義波高を1.0m、有義波周期を8s、水深を22mとすれば、年平均長周期波高は約1cmと推定されるが、この値は表5で実際に観測されたものよりも1オーダー小さい。

このことは、常時の長周期波高は、拘束長周期波としての算定値よりも大きく、自由波進行長波の存在が大きいことを意味している。

図2は、各周波数帯で定義される長周期波高の季節・通年平均値をとりまとめたものである。長周期波の季節変動や海域別平均波高の変動は、通常の有義波高の変動と定性的にはよく対応しており、日本海沿岸では冬高く夏低い顕著な季節差が見られ、太平洋沿岸では日本海沿岸に比べて季節変動は複雑であり変動幅は小さいところが多かった。しかし、量的に見ると、通年平均値では、地形条件や水深が異なっているにもかかわらず、各観測地点に共通して、30秒以上の全周波数で定義すれば4から12cm、30-60秒あるいは60-300秒で定義すれば2から6cmとなっており、御前崎沖と同様、他の観測地点でも長周期波高は、2次非線形干渉から推定される値より1オーダー程度大きな値となっている。

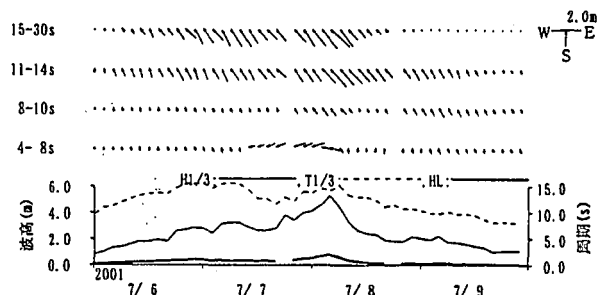


図-4 遠方の台風から伝わるうねり（台風0104号）

5. 周期帯毎の波向の出現統計

図3は、周期帯別の波向分布の出現特性の一例であり、やはり、2000年1月から12月までの1年間の御前崎沖の観測結果をとりまとめたものである。ここに、 f_s と f_{ss} は、それぞれ、波浪ファイルの中で、比較的長周期側の周期帯（10-15s）と、短周期側の周期帯（6-8s）を意味している。

両者の波向の出現特性を比較すると、 f_s ではSE方向が最も出現頻度の大きい波向でありその両隣の方向であるESEとSSEが次に出現頻度が大きくなっているが、 f_{ss} ではSSE方向が最も出現頻度の大きい波向でありその両隣の方向であるSEとSが次に出現頻度が大きく、ちょうど1方位だけ波向がずれていることがわかる。この相違は、長周期成分ほど、浅海域では屈折の影響を受けやすく海岸線直角方向に波向が近づくためであると、考えられる。

このように、波向が周期帯毎に変化することは、港湾計画などの海域利用計画の策定にあたっては、十分に考慮されるべきものである。係留船舶の動揺は、周期応答特性が非常に鋭敏であるため、固有周期に近い周期帯の波向を適切に評価しなければならない。今後は、波向を周期帯毎に評価し、より精緻な海域利用計画が策定されることが望まれる。

6. 観測事例

6.1 台風からのうねり（台風0104号）

図4は、波浪観測データの周期帯表示の一例であり、2001年7月6日から8日にかけての、御前崎沖（水深22m）における観測結果である。図中の矢印の長さは、周期帯毎の換算波高を、向きは周期帯毎の平均波向を示している。

この当時、台風0104号が南方の沖縄近海に位置していた。7月6日には周期8s以下の短周期成分波高は低く、いわゆる風波はほとんど見られない海況であったことが推定される。しかし、同日の午後から、周期10-15sおよび15-30sの周期帯波高は増加を始めていることが注目される。これが、南方の台風からのうねりによるものと考えられる。その後、7日から8日にかけて、周期8s以下の風浪が東北東から来襲したが、10s以上のうねりはやはり南東から来襲している。

この図から、15sを越える周期帯のエネルギー

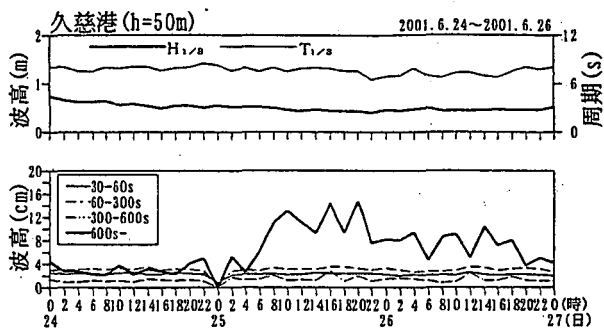


図-5 2001年ペルー地震津波の観測事例

が相対的に大きいことが読みとられ、有義波周期より長い周期帯のエネルギーが無視できないものとなっていることがわかる。また、下の折れ線図に示す周期 30 s 以上の全周期帯に対応する長周期波高である $H_{1/2}$ は、有義波高が最大値 (5.36 m) となる 7 月 8 日 4 時に、78cm の極大値となっており、いわゆる長周期波と呼ばれる周期帯における成分エネルギーも高かったことがわかる。

6. 2 津波の捕捉 (2001年ペルー地震津波)

図 5 は、岩手県に位置する久慈港沖合の海象計 (水深 50 m) が捉えた、2001 年ペルー地震津波を示したものである。2001 年 6 月 24 日から 26 日にかけて、上段に示す有義波高と有義波周期は、目立った変化が見られず、有義波高 50cm 程度の低波浪状況が継続している。しかし、下段の長周期波成分波高に注目すると、周期 600s 以上の周期帯に限って、25 日 6 時頃から急増し、半日間程度にわたって換算波高 10cm 程度の状況が継続した後、徐々に換算波高がもとの水準に戻っていることがわかる。

2001 年ペルー地震は、マグニチュードが 8 を越える大地震であり、震源域も広がったとされている。我国沿岸への津波の来襲時刻は、6 月 25 日の未明と予測されていた。2001 年ペルー地震に伴う津波は、我国沿岸では振幅は小さかったものの周期は 20 - 30 分程度であったことが、沿岸の検潮記録からも読み取られているので、ここで現れた周期 10 分以上の周期帯換算波高の急増は、この津波によるものと考えられる¹²⁾。

このように、切れ目のない連続観測データをもとにスペクトル解析を行って、周期帯換算波高を表示するナウファスの新しいシステムは、沿岸に来襲する津波の沖合の姿を、的確に捉えることができるものとなっている。

6. 3 寄りわり波 (2002年2月20日)

もう一つの事例として、2002 年 2 月 20 日に富山湾で発生した寄りわり波の観測事例を紹介する。

図 6 は、寄りわり波発生時の速報天気図を示したものである ((財) 日本気象協会提供)。左側の天気図は、2 月 19 日 15 時のものであり、日本海北部 (北海道沿岸) と太平洋北東岸 (十勝沖) に両極

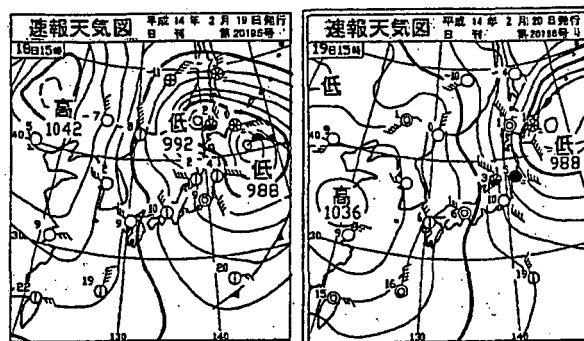


図-6 寄りわり波発生時の天気図

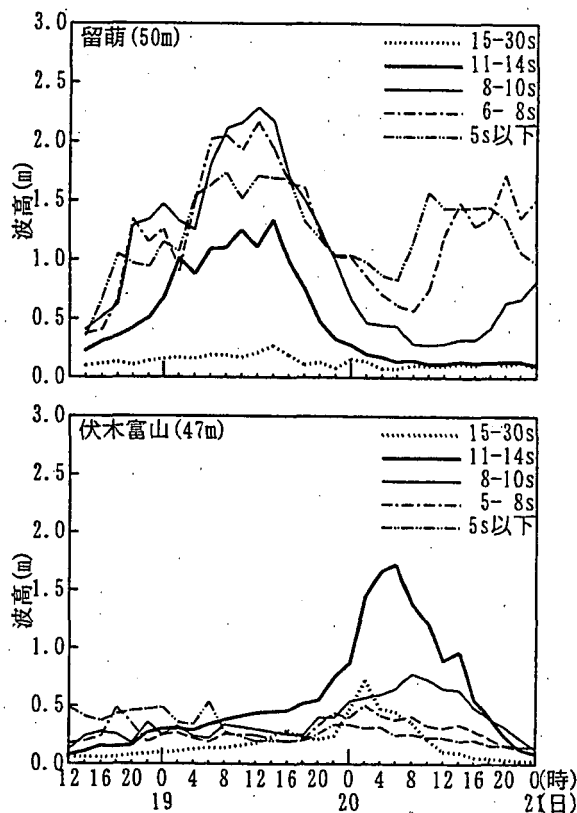


図-7 留萌・伏木富山における波浪の経時変化

を持つ二つ玉低気圧の影響で、日本海北部で強風が吹いていたと想定される。右側の天気図は、その 24 時間後の 20 日 15 時のものであり、低気圧が日本海を通り過ぎた後のものである。

図 7 は、この時期の北海道日本海沿岸に位置する留萌港沖の海象計 (水深 50 m) と、富山湾内に位置する伏木富山港沖の海象計 (水深 50 m) とが捉えた、観測波浪の経時変化を、やはり周期帯毎の表記で示したものである。

留萌港における観測記録を見ると、18 日 14 時頃から、周期 6 s 以下の比較的周期の短い周期帯の換算波高が上昇を始めている。その後、6 - 8 s および 8 - 10 s といった次第に周期の長い成分の発達が見られ、さらに 10 - 15 s の周期帯の換算波高も 19 日 0 時過ぎ頃から増加を始めている。有義波高の極大値は 19 日の 12 時に見られたが、この時は、各周期帯とも高い換算波高となっており、周期 10 - 15 s の周期帯で換算波高が

2 m強となっている。しかし、15 sを越える長周期成分の発達ほとんど見られることなく、その後は20日の8時頃まで、次第に各周期帯とも換算波高は減衰していった。

他方、伏木富山港沖では、19日は1日中、各周期帯とも低波高状態が継続した。その後、20日の0時から6時にかけて、10—15 sの周期帯で最高換算波高1.7m、および15—30 sの周期帯で最高換算波高0.8mといった長周期成分の換算波高の増加が見られた。しかし、周期10 s以下のいわゆる風浪成分の発達は顕著ではないので、ここで見られた波高増加は、富山湾内で発達した風浪ではなく、日本海の北部で前日に発達した波が伝わってきた、いわゆる寄り回り波であったと考えられる。

7. 結論

本研究で得られた結論を以下に示す。

- ① 2001年末時点で、ナウファスにおける50波浪観測地点中、18観測地点で切れ目のない連続観測による長周期波の定常的な観測を実現した。
- ② 周期帯毎の長周期波高の年間出現頻度統計例を検討し、常時の沖合における自由波進行長波成分の存在を定量的に推定した。
- ③ 切れ目のない連続観測とスペクトル周期帯表示によって、有義波諸元だけでは表現できなかった沿岸波浪の特性が、定量的かつ定常的に観測されるようになった。
- ④ 遠方の台風から伝わるうねりの特性の把握、遠地津波の検知、寄り回り波の観測など、有義波諸元だけでは表記が困難な長周期波浪成分の特性を、スペクトル周期帯表示によつて的確に捉えた事例を紹介した。

謝辞： 切れ目のない連続観測とスペクトル周期帯表示を実現するにあたっては、多くの関係者のご支援をいただいた。国土交通省港湾局、各地方整備局の港湾関係部局、北海道開発局および沖縄総合事務局の港湾関係部局からは、新システムの開発と普及にあたって建設的なご指導をいただくのと共に、ナウファスシステムの運営に、常にご尽力いただいている。

また、(財)沿岸開発技術研究センターおよび(財)日本気象協会のご担当の方々には、多様化した波浪情報をディスプレイ上にわかりやすく表示する表示システムを開発していただくとともに、新システムへの移行段階で生じるさまざまな問題点を乗り越え、システムの定常的な運用を順調に行うために、お骨折りいただいた。

これらの方々に、改めて感謝申し上げる。

参考文献

- 1) 合田良実監修、海象観測データの解析・活用に関する研究会編集：波を測る（沿岸波浪観測の手引き）、(財)沿岸開発技術研究センター、212p., 2001.
- 2) 永井紀彦：スペクトル解析に基づく波向と長周期波の観測情報の高度化、平成12年度港湾技術研究所講演会講演集、pp.103-118, 2000.
- 3) 永井紀彦・白石 悟・橋本典明・川口浩二・清水勝義・上野成三・小林昭男・東江隆夫・柴田孝雄：現地連続観測による沖合長周期波の発達・減衰過程と港内係留船舶の動揺、海岸工学論文集、第44巻、pp.226-230, 1997.
- 4) 岩崎峯夫：デジタルフィルターを用いた津波計、カイジョー技報、Vol.2, No.4, (株)カイジョー、pp.51-58, 1996.
- 5) 永井紀彦・橋本典明・川口浩二・佐藤和敏・菅原一晃：ナウファスの連続観測化による我国沿岸の長周期波の観測、港研報告、第38巻、第1号、pp.29-69, 1999.
- 6) 永井紀彦・橋本典明・川口浩二・大山洋志・岩崎峯夫：連続観測システムの構築によるネットワーク沖合長周期波観測、海岸工学論文集第46巻、土木学会、pp.1311-1315, 1999.
- 7) Toshihiko NAGAI, Noriaki HASHIMOTO, Koji KAWAGUCHI, Hiroshi YOKOI, Mineo IWASAKI, and Masanobu KUDAKA: Infragravity Wave Observation around Japan by the Nationwide Ocean Wave information network for Ports and HARbourS (NOWPHAS), Proceedings of the Forth International Conference on Hydrodynamics (ICHD'2000), pp.509-514, 2000.
- 8) 橋本典明・永井紀彦・高山知司・高橋智晴・三井正雄・磯部憲雄・鈴木敏夫：水中超音波のドップラー効果を応用した海象計の開発、海岸工学論文集、第42巻、pp.1081-1085, 1995.
- 9) (財)沿岸開発技術研究センター：沿岸波浪・海象観測データの解析・活用に関する解説書、181p., 2000.
- 10) 永井紀彦・佐藤和敏・菅原一晃：全国港湾海洋波浪観測年報(NOWPHAS 2000)、港湾空港技研資料No.1017, 426p., 2002.
- 11) Bowers, E.C.: Loe Frequency Waves in Intermediate Water Depths, Proc. 23th ICCE, Vol.1, pp.832-845, 1992.
- 12) 永井紀彦・富田孝史・佐藤和敏・額田恭史：我が国沿岸の沖合波高計と港内潮位計が捉えた2001年ペルー地震津波、第13回研究成果発表会講演要旨集、海洋調査技術学会、pp.16-17, 2001.



全国港湾海洋波浪情報網

(2005～2007)



**Nationwide Ocean Wave information
network for Ports and HARbourS**

<http://www.mlit.go.jp/kowan/nowphas/>
<http://www.pari.go.jp/bsh/ky-skb/kaisho/>



全国港湾海洋波浪情報網
Nationwide Ocean Wave
Information network for
Ports and HarbourS
2005年8月現在



ナウファスとは

ナウファス（全国港湾海洋波浪情報網：NOWPHAS：Nationwide Ocean Wave information network for Ports and HarbourS）は、国土交通省港湾局、各地方整備局、北海道開発局、沖縄総合事務局、国土技術政策総合研究所および独立行政法人港湾空港技術研究所の相互協力のもとに構築・運営されている我が国沿岸の波浪情報網です。

港湾空港技術研究所は、1970年以降継続して、ナウファス波浪観測データの集中処理・解析を担務しています。

2005年には左図の59観測地点で観測された全国沿岸の波浪情報は、リアルタイムで港湾空港技術研究所に収集されます。

ナウファス波浪観測情報は、気象庁による波浪予報に活用され海の安全に貢献するとともに、蓄積された長期間のデータの統計解析を通じて、港湾・海岸・空港事業の計画・調査・設計・施工をはじめとした、沿岸域の開発・利用・防災に、幅広く活用されています。

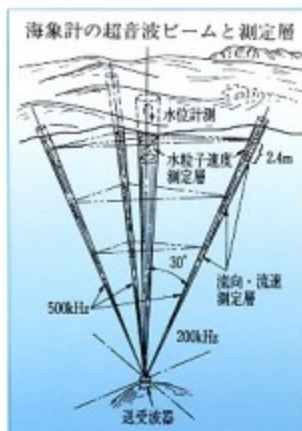
海象計（新型波浪計）

運輸技術審議会答申第10号（1981年）が示した、「波向観測の標準化と長周期波の観測を実用化させる」技術開発目標は、海象計の開発によって実現されました。海象計は、波高と周期を測る超音波式波高計に、海中超音波のドップラー原理を応用して3次元的な水粒子運動を測る機能を付加したものです。

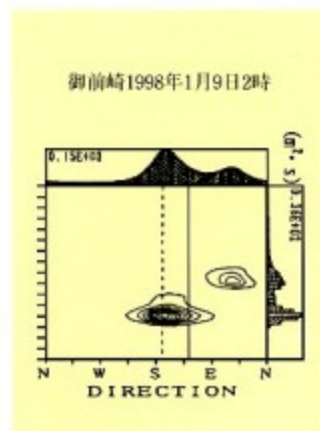
海象計には、水粒子の運動をもとに、波浪の方向スペクトル（波エネルギーの方向分布）を算出する、港湾空港技術研究所が開発したソフトが内蔵されています。海象計は、ナウファスにおける標準的な観測装置として、全国沿岸に展開が進められています。



海象計の海底設置センサー部



海象計の海底設置センサー部



方向スペクトルの観測例

ナウファスのあゆみ

- 1950年代 波浪観測機器の開発に関する研究開始
水圧式波高計の開発・改良
- 1960年代 港湾技術研究所設立(1962.4)
超音波式波高計(USW)の開発・改良
- 1970年代 波浪に関する観測がはじまる
(波浪観測データの集中解析)
- 1970年代 流速計型波向計(CWD)の開発・改良
- 1980年代 観測年報を沿岸波浪観測年報に改名。
集中処理解析を充実
運輸大臣特殊功績表彰
(波浪観測機器開発と標準化)
- 1981年 運輸技術審議会答申第10号
1980年代における海洋調査の推進方策
目標・波浪観測網の充実
・波向観測の標準化
・津波等の長周期波観測
・港湾局気象庁間の情報利用体制整備
- 1990年頃 リアルタイムデータ収集システムの開発
- 1991年 ナウファスと改名
- 1993年 北海道南西沖地震津波:
連続観測システムの開発に着手
(社)海洋調査協会
波浪観測機器の統一メンテナンス開始
- 1994年 土木学会第1回技術功労賞受賞
(設立80周年記念式典)
- 1995年 海象計の開発・実用化完成
波浪情報センター設立(4月)
- 1996年 水路技術奨励賞受賞
(海象計の開発:(財)日本水路協会)
気象庁へのリアルタイム波浪情報配信開始
- 1997年 カムインズの運用開始(波浪情報センター)
日本港湾協会技術賞
運輸大臣感謝状(ナホトカ号事故対応)
優秀情報処理システム賞
第48回全国統計大会:大内賞
(波浪観測が統計として正式認知)
- 1998年 土木学会技術開発賞
(ナウファスの開発改良)
- 1999年 運輸大臣特殊功績表彰
(ナウファスによる波浪・津波の研究)
前田工学賞受賞
(ナウファス:土木部門年間最優秀学位論文)
- 2001年 国土交通省および港湾空港技術研究所の発足
- 2002年 「波を測る」・「潮位を測る」刊行
(社)日本港湾協会論文賞
土木学会国際活動奨励賞
- 2003年 ホームページ運用開始
<http://www.pari.go.jp/bsh/ky-skb/kaisho/>
十勝沖地震津波:初のネットワーク沖合津波観測
- 2004年 室戸沖GPSブイ稼働開始
リアルタイム波浪情報サービス開始
<http://www.mlit.go.jp/kowar/nawaphas/>
国土技術開発賞最優秀賞(GPS津波計測システム)
日本産業大賞特別賞(GPS津波計測システム)
- 2005年 リアルタイム連続海象情報サービス開始(波浪・潮位)



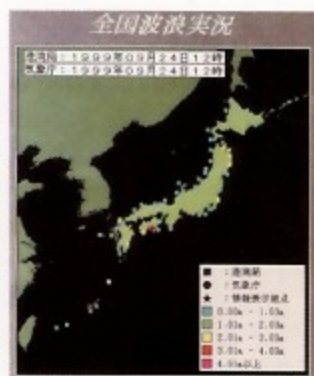
港湾工学国際研修



テレビレポーター訪問



沿岸風力照明支柱



全国波浪実況(台風9918号来襲)

北海道南西沖地震津波波形(輪島、1993.7.12 23:50~0:10)

独立行政法人 港湾空港技術研究所

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1

企画管理部 企画課

電話 046-844-5040 FAX 046-841-8307

または

海洋・水工部 海象情報研究室

電話 046-844-5048 FAX 046-842-5246