

港湾空港技術研究所 資料

TECHNICAL NOTE
OF
THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

No.1249 March 2012

GPS 波浪計で捉えた東北～四国地方太平洋沿岸の沖合波浪特性

河合 弘泰
佐藤 真
川口 浩二
関 克己

独立行政法人 港湾空港技術研究所

Independent Administrative Institution,
Port and Airport Research Institute, Japan

目 次

要 旨	3
1. はじめに	4
2. 解析の方法と対象地点	4
2.1 GPS波浪計の特徴と基本的なデータ処理	4
2.2 本資料でとりあげる月別波浪統計量	6
2.3 本資料で対象とする地点と期間	6
3. 月別波浪統計量	9
3.1 沖合における波高・周期・波向の出現特性	9
3.2 沖合と沿岸における波高・周期・波向の比較	16
3.3 沿岸と沖合における波パワー・風・静穏率の比較	26
4. 気象擾乱時の波浪諸元	35
4.1 2009年の代表的な気象擾乱	35
4.2 2009年1月末からの三陸沖低気圧による高波	38
4.3 台風0918号による高波	41
5. まとめ	49
6. おわりに	49
謝辞	49
参考文献	50

Offshore Wave Characteristics Observed by GPS Buoys on the Tohoku to Shikoku District Coast of the Pacific Ocean, Japan

Hiroyasu KAWAI*
Makoto SATOH**
Koji KAWAGUCHI***
Katsumi SEKI****

Synopsis

A GPS buoy is moored at a spot of 100-400m in water depth and within 10-20km from coastal line and measures the vertical motion of the buoy owing to waves and tides by the RTK-GPS technology. Twelve GPS bouys are operated on the Tohoku to Shikoku District coast of the Pacific Ocean as the newest equipments on the Nationwide Ocean Wave Information Network for Ports and Harbours (NOWPHAS). This study made a comparison between the deepwater and relatively shallow water wave characteristics, which were obtained by the GPS buoys and coastal wave gauges respectively, from the year 2008 to 2010. The major results are as follows:

- (1) The difference among the GPS buoys on Tohoku District coast in the monthly-mean significant wave is small. A high and long monthly-mean significant wave was observed at these buoys in winter.
- (2) The correlation of the significant wave height at a GPS buoy and its nearby coastal wave gauge is determined by the deepwater wave direction. The correlation does not significantly change by considering the wave propagation time between these two locations.
- (3) The deepwater wave characteristics at the GPS buoy off Fukushima are similar to those at the step-type wave gauge at Iwaki-oki.
- (4) The monthly-mean wave energy flux is larger and the wave calmness rate is lower, at GPS buoy sites than at their nearby coastal wave gauge sites.
- (5) There is a correlation between the maximal significant wave height during high wave events at the GPS buoys and their nearby coastal wave gauges except for some cases.

Key Words: NOWPHAS (Nationwide Ocean Wave Information Network for Ports and Harbours), GPS buoy, coastal wave gauge, wave climate

* Research Director, Marine Information Field

** Technical Official, Port and Airport Department, Tohoku Regional Development Bureau, Ministry Land Infrastructure, Transport and Tourism (Former Researcher, Marine Information Group, Marine Information Field)

*** Head, Marine Information Group, Marine Information Field

**** Researcher, Marine Information Group, Marine Information Field

3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan

Phone : +81-46-844-5048 Fax : +81-46-842-5246 e-mail: kawai@pari.go.jp

GPS 波浪計で捉えた東北～四国地方太平洋沿岸の沖合波浪特性

河合 弘泰*・佐藤 真**・川口 浩二***・関 克己****

要 旨

GPS 波浪計は、海岸線から 10～20km、水深 100～400m に係留されたブイの波浪・潮位による上下動を RTK-GPS で計測するものである。全国港湾海洋波浪情報網 NOWPHAS の新しい観測機器として東北～四国地方の太平洋沿岸には 12 基が運用されている。本研究では、2008～2010 年に GPS 波浪計とその岸側（水深 20～60m）の沿岸波浪計で観測されたデータを用いて、月別統計量と高波擾乱という 2 つの視点から、沖合波浪と沿岸波浪を比較した。主要な成果は以下の通りである。

- ①東北地方沿岸の GPS 波浪計では、月平均有義波の空間的な変化が小さく、冬季に波高・周期が大きい共通の季節変化が見られた。
- ②GPS 波浪計と沿岸波浪計の有義波高の比率は GPS 波浪計地点の波向によって異なる。群速度の伝播時間に応じて時間をずらした有義波高でも、その相関性はあまり変わらない。
- ③いわき沖のステップ式波高計と小名浜港の沿岸波浪計、福島県沖の GPS 波浪計と小名浜港の沿岸波浪計の組み合わせによる有義波の相関解析によると、福島県沖ではいわき沖とよく似た沖合波浪特性が得られている。
- ④GPS 波浪計の地点は沿岸波浪計の地点に比べて、波パワーは大きく、波浪静穏率は低い。
- ⑤気象擾乱時の GPS 波浪計と沿岸波浪計の最大有義波高にも相関性はあるが、一部の気象擾乱ではその相関式から大きくはずれることがある。

キーワード：全国港湾海洋波浪情報網 NOWPHAS, GPS 波浪計, 沿岸波浪計, 波候

* 海洋情報研究領域上席研究官（高潮防災研究担当）・領域長心得兼務

** 国土交通省東北地方整備局港湾空港部（前 海洋情報研究領域海象情報研究チーム研究官）

*** 海洋情報研究領域海象情報研究チームリーダー

**** 海洋情報研究領域海象情報研究チーム研究官

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 港湾空港技術研究所

電話：046-844-5048 Fax：046-842-5246 e-mail: kawai@pari.go.jp

1. はじめに

国土交通省港湾局，東北から九州までの各地方整備局，北海道開発局，沖縄総合事務局，国土技術政策総合研究所，港湾空港技術研究所は，1970年から全国港湾海洋波浪情報網 NOWPHAS (Nationwide Ocean Wave information network for Ports and Harbours) を構築し，日本各地の波浪の観測・集中処理・解析を実施してきた(河合ら，2010a)．その成果として，波浪観測年報(最近では，河合ら，2010b，2011a；川口ら，2012)には当該年の月毎・季節毎・通年の有義波の平均値・最大値や有義波高・周期・波向の頻度分布，当該年の主要な高波擾乱の特徴を掲載してきた．また，観測開始から10年，15年，20年，30年目など節目の年には，長期統計報(例えば，高橋ら，1981；菅原ら，1986；永井ら，1993a；永井，2002)も刊行してきた．これらの波浪統計が港湾計画や施設設計などに幅広く活用されてきたことは言うまでもない．さらに，波浪エネルギーのポテンシャルを把握するために，波パワーも試算した(田端ら，1980；高橋ら，1989；永井ら，1998)．

さて，これまでの波浪観測は，主として沿岸波浪計(海岸から概ね3km以内の水深10～60mの海底に設置した水圧センサまたは超音波送受信機)によって行われてきた．沿岸波浪計の捉える波浪は，必ずしも港湾・海岸保全施設の設計で基本条件となる沖波(深海波)ではない．波向によっては島や岬に遮蔽され，周期や波高によっては屈折，浅水変形，地形性砕波をしたものである．例えば，太平洋沿岸の設計沖波(50年確率波)でよく使われる周期12～16sの波浪を深海波として捉えるためには，水深が112～200mより深く，さらに島や岬による遮蔽のない沖合で観測する必要がある．このような事情もあって1980～1997年には，表-1.1に示す水深が100m以上の沖合4地点で波浪観測が行われた．ここに，ディスク・ブイとは，円盤型をしたブイに加速度と傾斜計を搭載したものである．ブイに作用する加速度の鉛直成分を計測することで水面波形を求めるものであり，周期の長い(加速度の小さい)成分を捉えることは難しい．

水深が100mを超える地点での波浪観測は，その後しばらく途絶えていたが，2007年のGPS波浪計の導入によって再開された．GPS波浪計は，水深100～400m，海

岸線から10～20kmの地点にコマ型のブイを係留し，ブイの上下動をRTK-GPS技術で計測するものである．加速度計に頼る必要はなく，長周期の波浪や潮汐も捉えることができる．まずは宮城中部沖(金華山沖)と岩手南部沖(釜石沖)に導入された．2007年4月～9月におけるこれら2基のGPS波浪計と釜石港，石巻港の沿岸波浪計の観測値を比較することによって，

①気象擾乱時にGPS波浪計の波高は沿岸波浪計より高い，

②GPS波浪計で有義波高が1m未満の低波高となる割合は沿岸波浪計より少ない，

など沖合と沿岸の波浪特性の違いが明らかになった(永井ら，2008a，2008b)．そして，2010年には，東北～四国地方の太平洋沿岸に12基のGPS波浪計の設置が完了した．初期に設置されたものは既に3年以上のデータを蓄積し，沖合波浪の季節変化や年変動を解析できる状況にある(河合ら，2011b)．その波浪特性は，港湾計画や施設設計にはもちろんのこと，海洋の開発や地球環境の監視のための基礎データとしても期待される．

そこで本研究では，東北～四国地方の太平洋沿岸の12基のGPS波浪計とその近傍の沿岸波浪計における2008～2010年の観測値に基づいて，各月の最高有義波高，平均有義波高，最低有義波高，平均有義波周期，最多波向を算出し，その季節特性や年変動について整理した．また，2009年の観測値を中心に，沖合と沿岸で同時に観測された有義波高・周期の相関性を波向別に整理するとともに，各月の波浪や風に対する静穏率や平均波パワーを算出して，沖合と沿岸の波浪特性の違いを明らかにした．さらに，2009年の代表的な気象擾乱における沖合の波浪特性についても考察した．

2. 解析の方法と対象地点

2.1 GPS波浪計の特徴と基本的なデータ処理

GPS波浪計は，図-2.1に示すように，海岸から概ね10～20km，水深100～400mの海面に，GPS受信機を搭載したブイを海底から鎖で一点係留したものである．GPS受信機の三次元座標は，RTK-GPS方式，すなわち数基のGPS衛星からの信号と陸上局からの補正信号とに

表-1.1 大水深域での観測 (GPS波浪計を除く)

地点	機種	水深	期間
秋田	ディスク・ブイ	700.0m	1981年10月～1986年11月
いわき沖	ステップ式波高計4台，超音波式水平2成分流速計，水圧式波高計	154.5m	1986年10月～1996年03月
御坊沖	ディスク・ブイ	170.0m	1983年12月～1997年10月
高知沖	ディスク・ブイ	120.0m	1980年9月～1989年10月

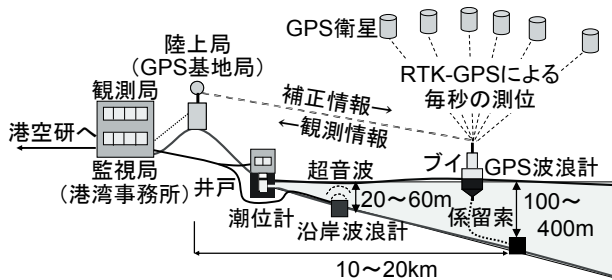


図-2.1 NOWPHASの観測システム

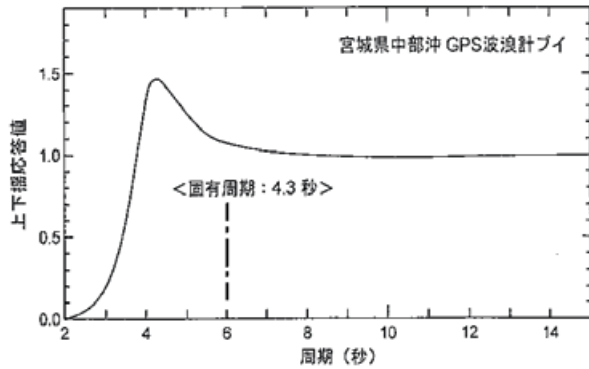
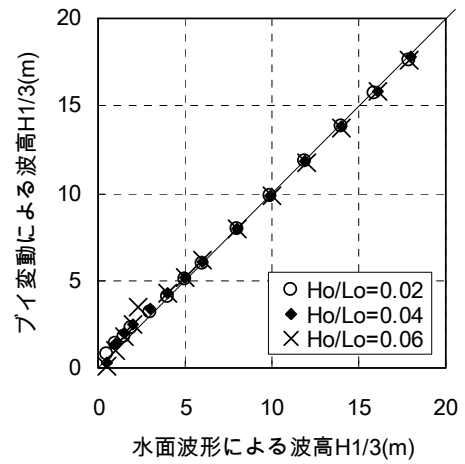


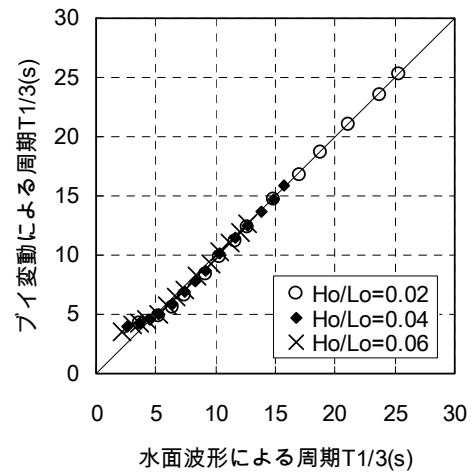
図-2.2 ブイの応答特性 (清水ら, 2006)

よって、1s 間隔で計測している (清水ら, 2006; 永井ら, 2008a, 2008b)。ディスク・ブイなど従来のブイ式波浪計が鉛直方向の加速度を計測し、それを時間積分することで海面の高さを求めていたのに対して、GPS 波浪計はブイの高度を直接 GPS で計測するため、長周期の波浪や潮汐などゆっくりとした上下動も捉えることができる。

GPS 波浪計による波浪観測の精度は以下に述べる 2 つの要素に依存している。1 つは GPS 測位自体の精度である。電波環境が良く FIX 解が得られた条件下では、離岸距離が 20km でも RTK-GPS による測位の誤差は標準偏差で数 cm と小さい。もう 1 つは、「ブイの上部に設置した GPS 受信機の捉える高度の変化が海面の上下動と見なせる」という前提の確からしさ、すなわち、波浪に対する追従性である。まず、ブイには慣性があるため、周期のあまり短い波浪の成分には応答できない。全国各地に配置されたブイの重量や形状には地点による違いが若干はあるが、図-2.2 に例示するように、その固有周期は 4s 前後であり、6s 以上の成分に対する増幅率はほぼ 1 である。図-2.3 は、二次元の数値計算によって不規則波によるブイと係留索の挙動を調べた結果の一部である。図の (b) に示すように、水面波形の有義波周期が 5s 以上であれば、ブイの鉛直変位を水位と見なして求めた有義波周期の精度は良い。なお、図の (a) において、波形勾配 H_0/L_0 が 0.06、水面波形の有義波高が約 2m のケースで、ブイ



(a) 有義波高



(b) 有義波周期

図-2.3 GPS 波浪計の水位変動とブイ鉛直変位による波高の比較

の鉛直変位から求めた有義波高が過大な値になっているが、これはこの有義波高と組み合わせた有義波周期が固有周期に近いためであると考えられる。さらに、波浪や風、係留索の張力によってブイが傾斜すると、海面から GPS 受信機までの高さも変化する。ジャイロで計測したブイの傾斜角を用いて、この影響は補正している (清水ら, 2006)。

ところで、海流や強風によってブイが大きく流され係留索が緊張すると、ブイが沈降することもある。このような沈降量は、波毎に急変するものではないため、ゼロ・アップ・クロス法による個々波の定義に大きな支障はないと考えられる。ブイの緯度、経度、風速・風向も観測しており、これらのデータからブイの振れ周りの状況を後で確認することもできる。

沿岸波浪計が 0.5s 間隔で水圧や超音波の伝播時間をも

とに海底から海面までの高さを計測するのに対し、GPS 波浪計は 1s 間隔で RTK-GPS により地球楕円体 WGS84 からブイ頂部まで高さを計測している。沿岸波浪計と GPS 波浪計にはサンプリング間隔や海面の高さの基準にこのような違いがあるが、水位の時系列データから有義波や最高波を算出する方法（水位のスキューネスやクルトシスによるデータ異常の検出、ゼロ・アップ・クロスによる個々波の定義など）は基本的に同じである。波向の算出方法には違いがあり、沿岸波浪計のうち海象計では水位と水平方向の水粒子速度から EMLM 法（橋本ら、1995；高山ら、1992）、二成分流速計では共分散法（合田、1981）によって求め、GPS 波浪計はブイの水平動の時系列から共分散法で求めている（清水ら、2007）。

2.2 本資料でとりあげる月別波浪統計量

本資料では、2008～2010 年の確定処理された 20 分間隔の有義波高 $H_{1/3}$ 、有義波周期 $T_{1/3}$ 、波向 D （河合ら、2010b, 2011a；川口ら、2012）をもとに、各月で測得率が 80% 以上の場合に限り、以下の月別波浪統計量を算出した。

- ① 月平均有義波高・周期 (H_m, T_m)
- ② 月最多波向 D_m
- ③ 月最高有義波高 H_x
- ④ 月最低有義波高 H_n
- ⑤ 月平均波パワー P_w
- ⑥ 波浪静穏率 R_H
- ⑦ 風静穏率 R_W

ここに、波向は 16 方位とし、時計周りに N を 1, E を 5, S を 9, W を 13 と定義する。

波パワーとは単位幅あたりの海面から海底までの全水深を通過する運動エネルギーであり、次元のある係数を用いて $0.5H_{1/3}^2T_{1/3}$ (kW/m) と近似できる（田端ら、1980）。これまでは沿岸波浪計の観測値に基づく統計がなされてきた（高橋ら、1989；永井ら、1998）。

波浪静穏率 R_H は有義波高がしきい値未満となる割合であり、そのしきい値として 0.5, 1m, 3m を仮定した。海上工事や船舶航行の安全管理の実務でも有義波高にしきい値を設定している。

風静穏率 R_W は 10 分間平均平均風速がしきい値未満となる割合であり、気象庁の暴風・強風の定義や典型的な発電用風車のパワーカーブを参考に、5, 10, 15, 25m/s をしきい値と仮定とした。

2.3 本資料で対象とする地点と期間

月別波浪統計または気象擾乱時の解析で対象とする波浪の観測地点は、図-2.4 に示す GPS 波浪計 12 地点と沿

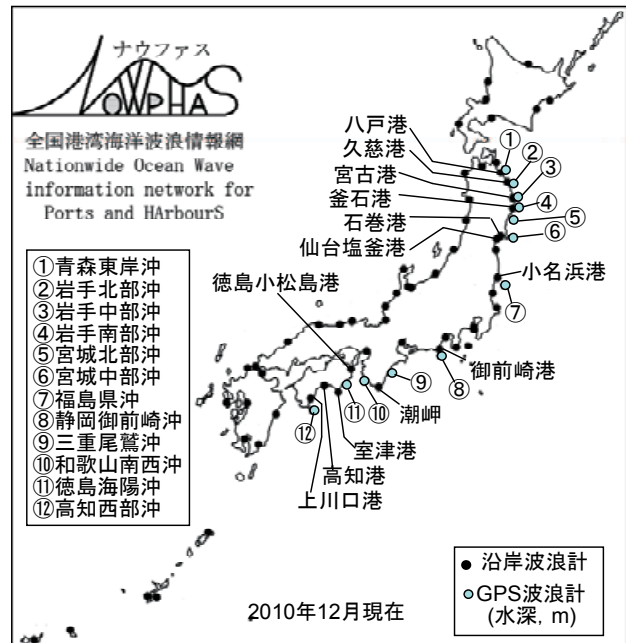


図-2.4 対象とする波浪地点とその水深

岸波浪計 13 地点に加え、いわき沖（現在の福島県沖 GPS 波浪計の地点のそば）の、合計 26 地点である。

表-2.1 は、これらの地点について、波浪計の機種、水深、設置高、緯度・経度を示す。

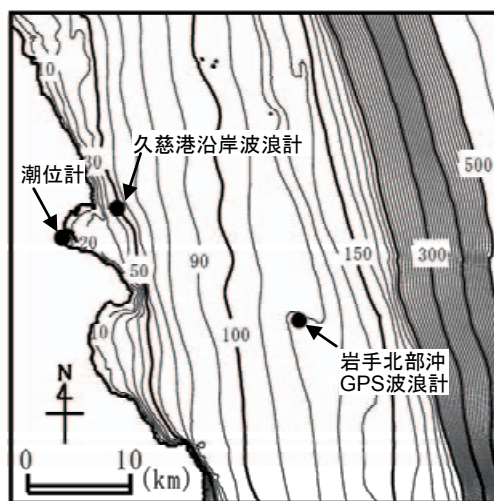
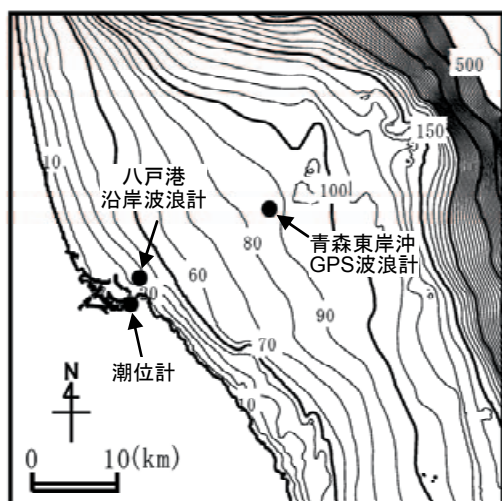
図-2.5 は八戸港、久慈港、釜石港、石巻港を例に、GPS 波浪計と沿岸波浪計の位置を周辺の海底地形とともに示したものである。東北地方沿岸の GPS 波浪計は、リアス地形の外側で等深線が概ね直線で平行な海岸にある。沿岸波浪計がリアス地形の内側にあるかどうかは港湾による。八戸港と久慈港ではリアス地形の外縁にあり、釜石港ではリアス地形の内部にある。塩釜港は牡鹿半島より西側の仙台湾の中にある。

表-2.2～2.3 は、図-2.4 と表-2.1 に示した地点のうち、2008～2010 年または 1991～1995 年の月別波浪統計量で季節変化あるいは年変動を議論する地点について、各月の測得率（単に 0.5s または 1s 間隔の水位データが得られた割合ではなく、20 分単位で正常に有義波が求められた割合）を示したものである。表-2.1～2.3 の No. は地点毎に共通の数値を用いている。これらの表から、各地点ともに測得率は安定していることが分かる。

月別波浪統計の一環として、岩手南部沖、宮城中部沖、三重尾鷲沖、和歌山南西沖、高知西部沖の GPS 波浪計、石巻港、仙台塩釜港の陸上観測地点、石巻と江ノ島のアメダス地点について月別の風統計を行った。また、主要擾乱時の風として静岡御前崎沖、むつ小川原港、八戸港、久慈港、清水港、潮岬、小松島港、室津港、高知港、上川口港などの観測値も用いた。

表-2.1 解析の対象地点

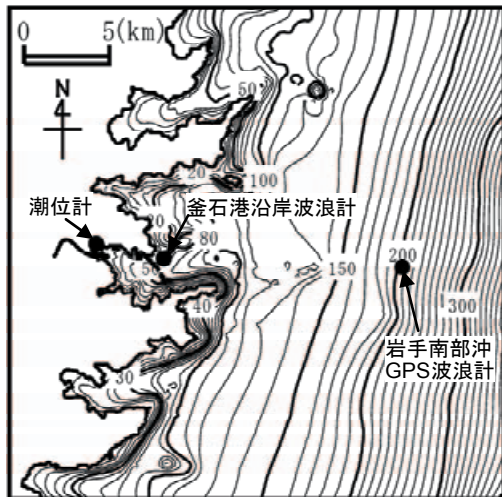
No.	地点名 (通称名)	地点 code	機種	水深 (m)	設置高(m)	緯度	経度
1	青森東岸沖 (八戸沖)	805	GPS 波浪計	87	—	40° 38' 00"	141° 45' 00"
2	八戸港	203	沿岸波浪計 (USW)	27.7	1.9	40° 33' 39"	141° 34' 06"
3	岩手北部沖 (久慈沖)	807	GPS 波浪計	125	—	40° 07' 00"	142° 04' 00"
4	久慈港	219	沿岸波浪計 (海象計)	49.5	1.1	40° 13' 04"	141° 51' 36"
5	岩手中部沖 (宮古沖)	804	GPS 波浪計	200	—	39° 37' 38"	142° 11' 12"
6	宮古港	213	沿岸波浪計 (USW)	24.2	1.3	39° 38' 22"	141° 59' 09"
7	岩手南部沖 (釜石沖)	802	GPS 波浪計	204	—	39° 15' 31"	142° 05' 49"
8	釜石港	204	沿岸波浪計 (USW)	49.8	0.9	39° 15' 54"	141° 56' 06"
9	宮城北部沖 (広田湾沖)	803	GPS 波浪計	160	—	38° 51' 28"	141° 53' 40"
10	宮城中部沖 (金華山沖)	801	GPS 波浪計	144	—	38° 13' 57"	141° 41' 01"
11	石巻港	218	沿岸波浪計 (海象計)	20.8	0.5	38° 20' 49"	141° 15' 16"
12	仙台塩釜港	205	沿岸波浪計 (USW)	21.3	3.2	38° 15' 00"	141° 03' 58"
13	福島県沖 (小名浜沖)	806	GPS 波浪計	137	—	36° 58' 17"	141° 11' 08"
14	いわき沖	216	ステップ式	154.5	—	37° 17' 49"	141° 27' 47"
15	小名浜港	206	沿岸波浪計 (海象計)	23.8	1.6	36° 55' 04"	140° 55' 18"
16	静岡御前崎沖	812	GPS 波浪計	120	—	34° 24' 12"	138° 16' 30"
17	御前崎港	501	沿岸波浪計 (海象計)	22.8	0.6	34° 37' 17"	138° 15' 33"
18	三重尾鷲沖	811	GPS 波浪計	210	—	33° 54' 08"	136° 15' 34"
19	潮岬	301	沿岸波浪計 (海象計)	54.7	0.6	33° 25' 59"	135° 44' 50"
20	和歌山南西沖 (白浜沖)	813	GPS 波浪計	201	—	33° 38' 32"	135° 09' 24"
21	徳島海陽沖	815	GPS 波浪計	430	—	33° 27' 38"	134° 29' 48"
22	徳島小松島港	320	沿岸波浪計 (海象計)	20.8	1.5	34° 02' 24"	134° 38' 37"
23	室津港	307	沿岸波浪計 (海象計)	27.7	0.2	33° 16' 11"	134° 08' 42"
24	高知港	309	沿岸波浪計 (海象計)	24.1	0.5	33° 28' 48"	133° 35' 12"
25	上川口港	308	沿岸波浪計 (USW)	27.9	0.6	33° 01' 54"	133° 03' 29"
26	高知西部沖 (足摺沖)	814	GPS 波浪計	309	—	32° 37' 52"	133° 09' 21"



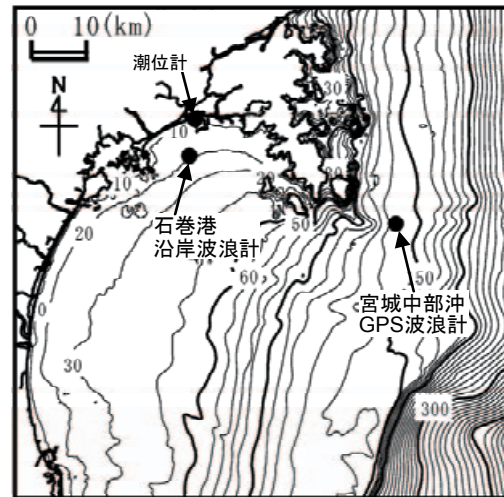
(a) 八戸港周辺

(b) 久慈港周辺

図-2.5 観測地点周辺の海底地形(1/2)



(c) 釜石港周辺



(d) 石巻港周辺

図-2.5 観測地点周辺の海底地形(2/2)

表-2.2 各地点の各月の測得率 (2008~2010年)

No.	地点名 (通称名)	2008年												2009年												2010年											
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
1	青森東岸沖 (八戸沖)	—	—	△	○	○	○	△	○	△	△	○	○	○	○	△	○	△	△	△	△	△	○	○	○	○	△	○	○	△	△	○	○	○	×		
2	八戸港	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	○	×	—	△	△	○	○	○	○		
3	岩手北部沖 (久慈沖)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	×	○	○	○	△	○	△	△	△	○	△	○	△	○	○	○	○	△	○	○	○	△		
4	久慈港	○	○	△	○	△	△	×	○	○	×	△	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	○	○	○	△		
5	岩手中部沖 (宮古沖)	—	×	○	△	○	○	△	△	△	△	○	○	○	△	△	△	○	△	△	△	△	△	○	△	○	○	△	○	○	△	○	○	△	△		
6	宮古港	△	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
7	岩手南部沖 (釜石沖)	○	○	△	△	○	○	○	△	△	△	○	○	○	○	△	△	△	△	△	△	△	△	○	○	○	△	△	△	△	○	△	○	○	○		
8	釜石港	○	○	○	△	△	△	×	○	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	—	—	×	○	○	○	○		
9	宮城北部沖 (広田湾沖)	—	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	△	○	○	○	○	△	△	○	○	○	△	△	×	×	○	○	○	○	○	○		
10	宮城中部沖 (金華山沖)	△	○	△	○	△	△	○	△	○	○	○	○	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	○	○	○	△		
11	石巻港	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
13	福島県沖 (小名浜沖)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	×	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△		
15	小名浜港	○	○	△	○	○	○	○	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
16	静岡御前崎沖	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	×	○	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	○	○	○	○		
17	御前崎港	○	○	△	△	×	×	○	○	△	○	○	○	△	○	○	○	○	○	×	—	×	—	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
18	三重尾鷲沖	—	△	○	○	○	○	○	○	△	△	○	○	○	△	○	△	△	△	△	△	△	△	△	○	△	△	○	△	△	△	△	△	△	○		
19	潮岬	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
20	和歌山南西沖 (白浜沖)	×	×	○	○	○	△	○	○	△	○	○	○	○	△	○	△	○	×	—	×	○	○	○	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	△		
21	徳島海陽沖	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	×	○	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○		
25	上川口港	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
26	高知西部沖 (足摺沖)	△	△	△	△	△	△	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	

○印：99%以上，△印：80%以上99%未満，×印：80%未満，—印：0%

表-2.3 各地点の各月の測得率 (1991~1995年)

年	14 いわき沖												15 小名浜港											
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
1991	×	×	○	○	○	○	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	○
1992	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	○	×	○	○	○	○	×	○	×
1993	○	○	○	○	○	△	○	△	○	○	○	○	△	×	×	—	—	—	×	○	○	○	○	
1994	○	○	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	○	○	○
1995	○	○	○	○	○	△	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

○印：99%以上，△印：80%以上99%未満，×印：80%未満，—印：0%

3. 月別波浪統計量

3.1 沖合における波高・周期・波向の出現特性

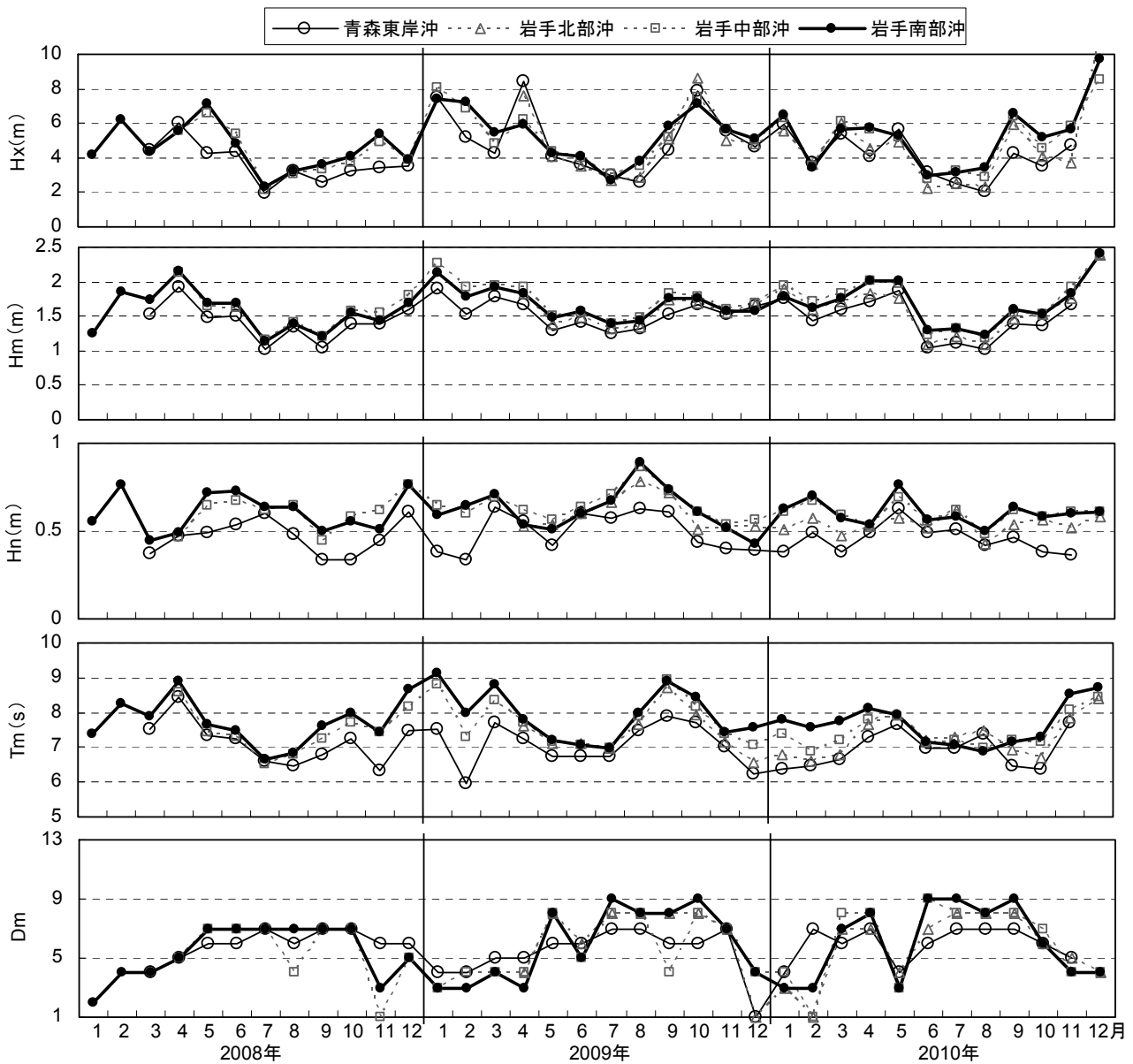
(1) 各地点の季節・年変動

図-3.1 は、(a)東北地方北部、(b)東北地方南部、(c)中部～四国地方の3つの地域に分けて、各GPS波浪計で得られた2008～2010年の各月の最高有義波高 H_x 、平均有義波高 H_m 、最低有義波高 H_n 、平均有義波周期 T_m 、最多波向 D_m を示す。東北地方全体での比較を容易にするために、岩手南部沖の値を(a)と(b)の両方に太線で掲載した。

GPS波浪計の中で最も早く観測が始まった岩手南部沖や宮城中部沖では2008年1月から、最も遅い徳島海陽沖では2010年2月から、それぞれ測得率が80%以上の月のみを示している。

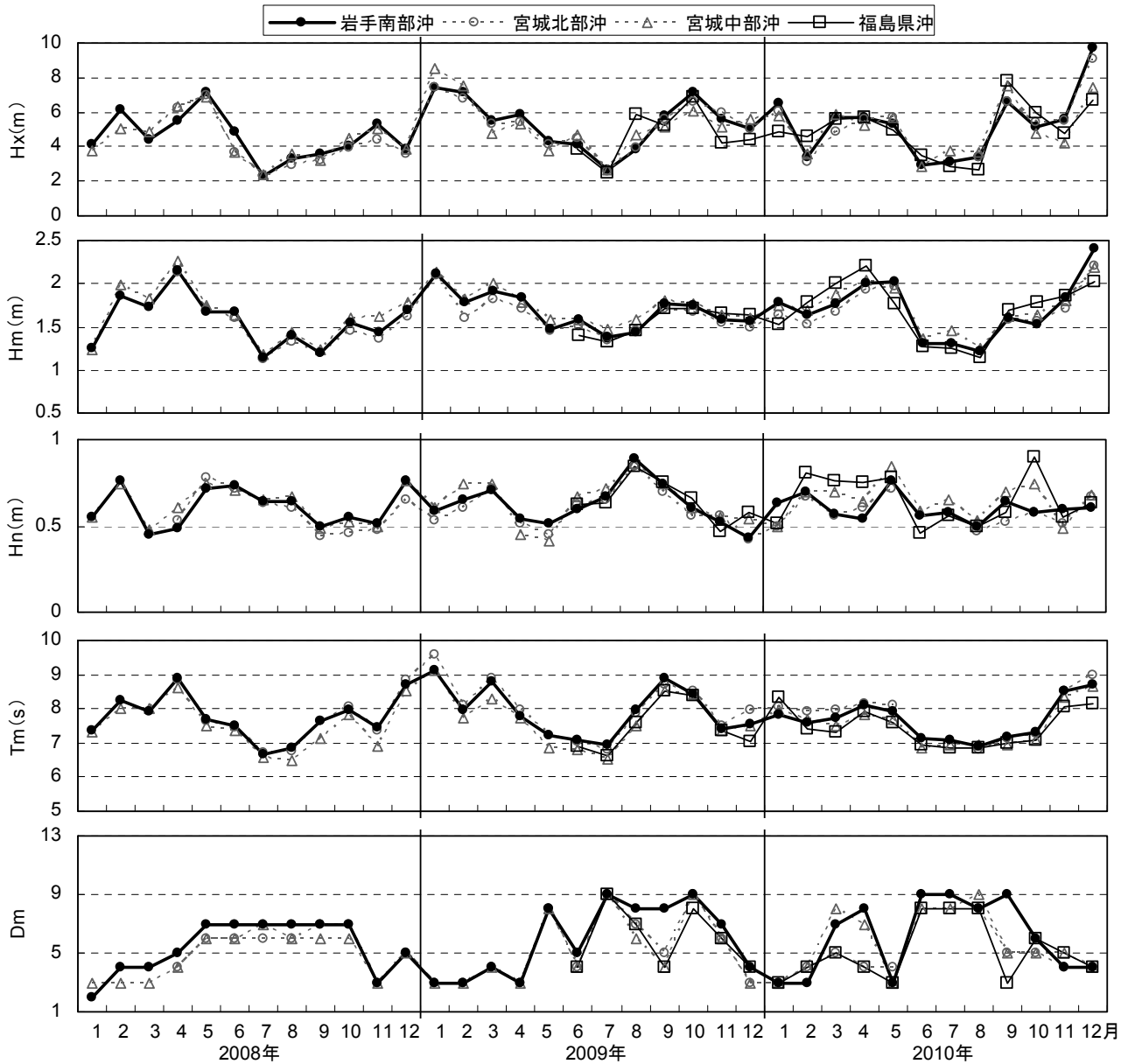
①東北地方の基本的な特徴

図-3.1に示す5つの波浪統計量で最も統計的安定性の高い平均有義波高 H_m と平均有義波周期 T_m の経月変化を見ると、(a)と(b)に示した東北地方の7地点の季節や年による変化はよく似ている。強いて言えば、岩手北部沖～宮城中部沖の5地点に比べて、北海道に近く設置水深の浅い青森東岸沖では平均有義波高 H_m 、平均有義波周期



(a) 東北地方北部

図-3.1 GPS波浪計の月別波高・周期・波向の季節変化(1/3)



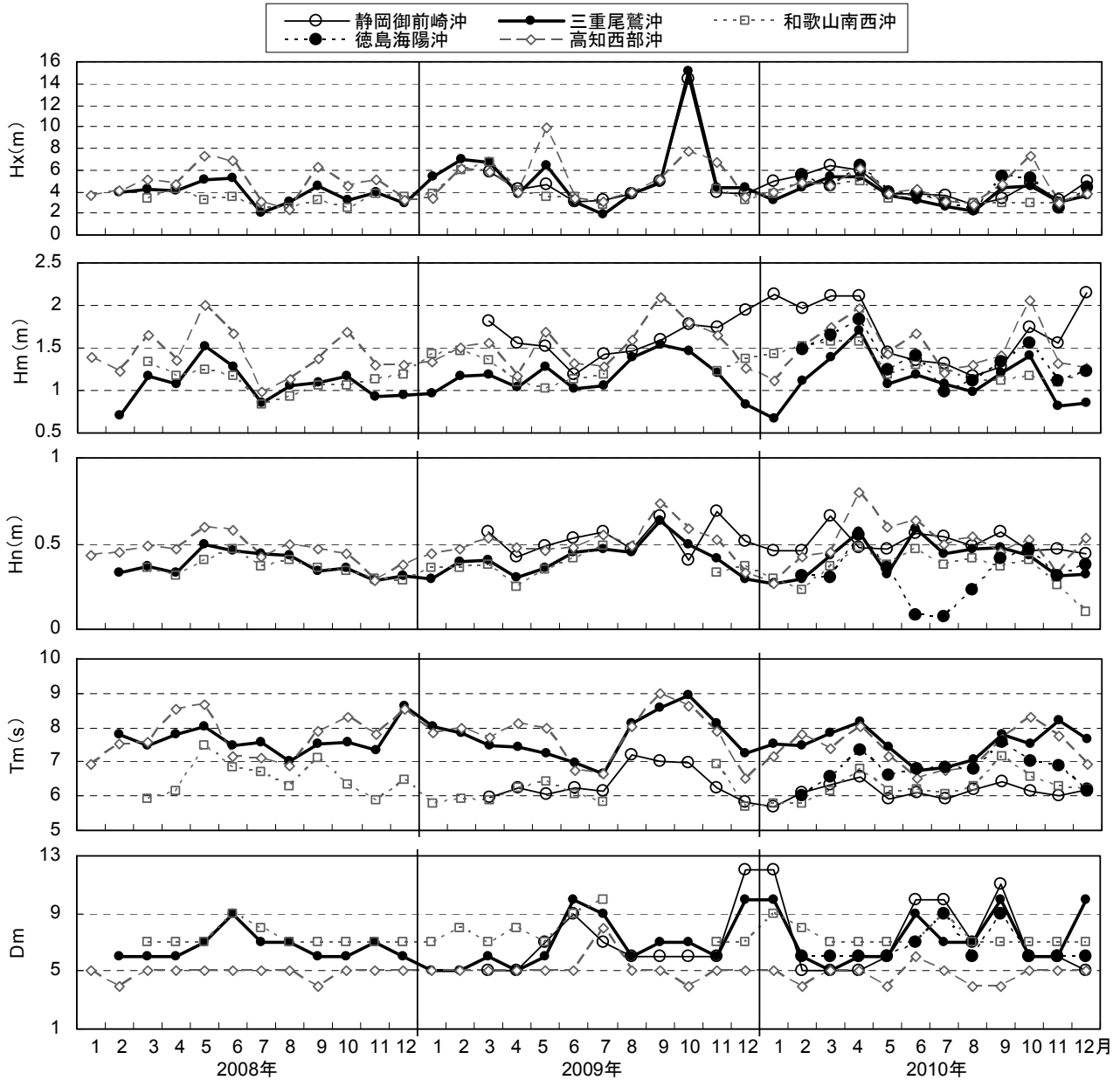
(b) 東北地方南部

図-3.1 GPS 波浪計の月別波高・周期・波向の季節変化(2/3)

T_m ともやや小さい。福島県沖では2010年の観測値を見る限り、平均有義波高 H_m は月によって大きく、平均有義波周期 T_m は概ね年間を通じて小さい。平均有義波高 H_m と平均有義波周期 T_m にほとんど差のない岩手北部沖～宮城中部沖は、直線で190kmほどの距離に並んでいる。設置基数の少ない2008年を避け、2009年1月～2010年12月の各月でこれらの5地点の平均有義波高 H_m と平均有義波周期 T_m の標準偏差を求めて、この24ヶ月の平均をとると、それぞれ0.08m、0.26sと非常に小さい。青森東岸沖～福島県沖の7地点でも0.26m、0.36sである。

東北地方の7地点で平均有義波高 H_m が高い月は、2008

年4月、2009年1月、2010年12月など、冬季ないし春季の低気圧が来襲するシーズンである。逆に低い月は、2008年7～9月、2009年5～8月、2010年6～8月など、夏季である。平均有義波周期 T_m の季節変化も平均有義波高 H_m とよく似ている。最高有義波高 H_x や最低有義波高 H_n も、平均有義波高 H_m に似た経月変化をしているが、地点間のばらつきは大きい。これらの統計量 H_x 、 H_n は、たった1回の20分間の観測データで決まるため、データの測得状況や、低気圧とGPS波浪計の僅かな位置関係の違いにも左右されやすい。1～4月と11～12月の最多波向は北寄りの方位2～5 (NNE～E)、5～10月は南寄りの



(c) 中部～四国地方

図-3.1 GPS 波浪計の月別波高・周期・波向の季節変化(3/3)

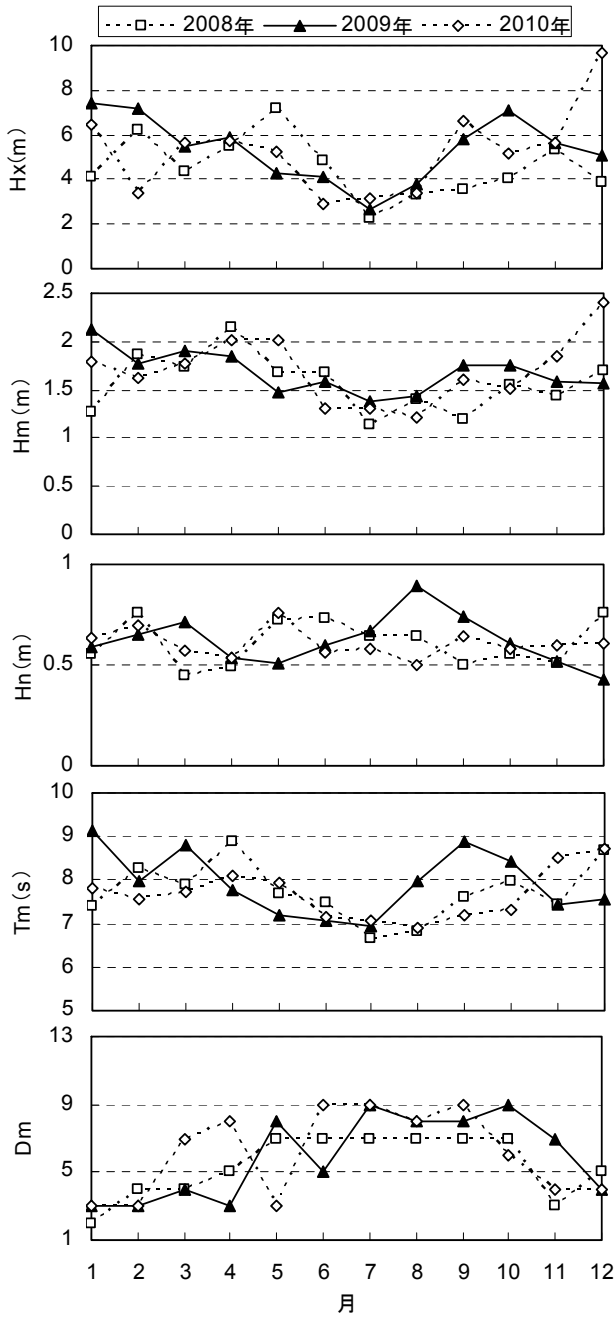
方位 6～9 (ESE～S) になることが多い。

②中部～四国地方の基本的な特徴

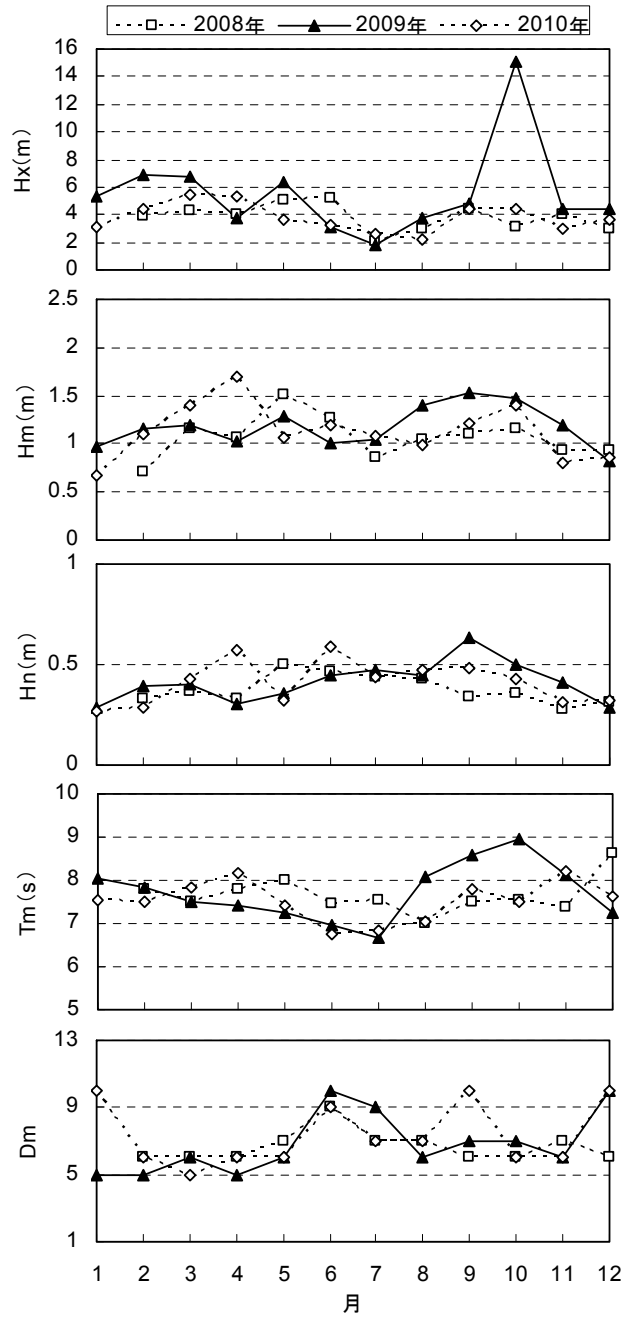
中部～四国地方沿岸の 5 地点は、最も東の静岡御前崎沖から最も西の高知西部沖まで直線で 330km の距離に設置されている。三重尾鷲沖の西側には紀伊半島の先端があり、和歌山南西沖と徳島海陽沖は東西を紀伊半島と室戸岬に挟まれ、高知西部沖は東側に九州があるため、それぞれ波向によって本州・四国・九州による遮蔽に違いがある。そのため、図-3.1(c)に示すように、統計的安定性の高い平均有義波高 H_m や平均有義波周期 T_m でも、地点間による差は顕著である。2009 年 1 月～2010 年 12

月の各月で 5 地点の平均有義波高 H_m と平均有義波周期 T_m の標準偏差を求め、この 24 ヶ月の平均値を求めると、0.25m, 0.76s である。青森東岸沖～福島県沖の値 (0.26m, 0.36s) に比べ、平均有義波高 H_m については同程度、平均有義波周期 T_m については 2 倍程度の値である。

中部～四国地方沿岸の 5 地点には、平均有義波高 H_m が 2008 年 7～8 月、2009 年 6 月、2010 年 7～8 月など夏季に低く、2008 年 5 月、2010 年 4 月など春季の低気圧のシーズンに高く、さらに 2009 年 9 月、2010 年 10 月など秋季の台風のシーズンに高くなる、という特徴がある。さらに静岡御前崎沖に限っては、2009 年 12 月～2010 年



(a) 岩手南部沖



(b) 三重尾鷲沖

図-3.2 GPS 波浪計の月別波浪統計量の年変動

3月に見られるように冬季に高いこともある。

中部～四国地方沿岸の5地点の平均有義波周期 T_m の経月変化は平均有義波高 H_m と概ね対応している。最高有義波高 H_x や最低有義波高 H_n の経月変化も似ているが、2009年10月の三重尾鷲沖と和歌山南西沖の最高有義波高 H_x は台風0918号の高波を反映して突出した。2010年に観測を開始した徳島海陽沖では、その年の6～7月に最低有義波高 H_n が0.1m以下と、他地点で見られないほど低かった。最多波向 D_m には顕著な地点差がある。高知

西部沖では年間を通じて方位5(E)が多く、和歌山南西沖では方位7～9(SE～S)、三重尾鷲沖では6～10(ESE～SSE)、静岡御前崎沖では5～12(E～WSW)に分布している。東北地方沿岸ほど明確な季節的な特徴は見いだせない。

③季節変化と年変動の大きさの比較

図-3.2は、図-3.1に示した岩手南部沖と三重尾鷲沖のグラフを1年毎に区切って重ね描きし、季節変化と年変動の大きさを比較しやすいようにしたものである。この

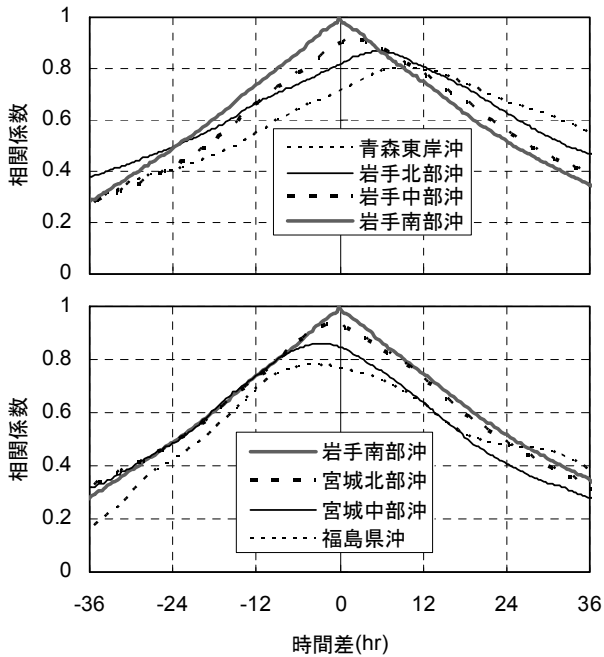


図-3.3 岩手南部沖と東北地方各地点の有義波高の時系列の自己・相互相関係数 (2010年8月)

図から、何れの地点でも、ある年の値が年間を通じて他の年より大きいあるいは小さい、ということではなく、月毎に大きくかたり小さくかたりしている。

岩手南部沖について、平均有義波高 H_m 、平均有義波周期 T_m の年変動の標準偏差を各月で求めて12ヶ月で平均すると、それぞれ0.21m、0.55s、である。これらの値は、岩手北部沖～宮城中部沖の空間的な変化(0.08m、0.26s)の2倍程度、青森東岸沖～福島県沖の空間的な変化(0.26m、0.36s)とは同程度である。それに対し、三重尾鷲沖の年変動の標準偏差は0.19m、0.46sである。これらの値は、岩手南部沖の年変動と同程度であり、中部～四国地方の空間的な変化(0.25m、0.76s)より小さい。

(2) 地点間の相関性

①東北地方の特徴

図-3.3は、2010年8月の20分毎の有義波高の時系列を用いて、岩手南部沖と東北地方各地点の組み合わせについて、様々な時間差に対する相関係数を示したものである。岩手南部沖自身の相関係数、すなわち自己相関係数については、他の地点との相互相関係数の特徴を分かりやすく示すために、図の上段と下段の両方に太線で描いている。この自己相関係数は、時間差が0のときに最大値1をとり、時間差が大きくなるにつれて小さくなるが、12時間でも0.7以上ある。

図の上段に示す青森東岸沖、岩手北部沖、岩手中部沖は、岩手南部沖より北に位置する地点であり、時間差が

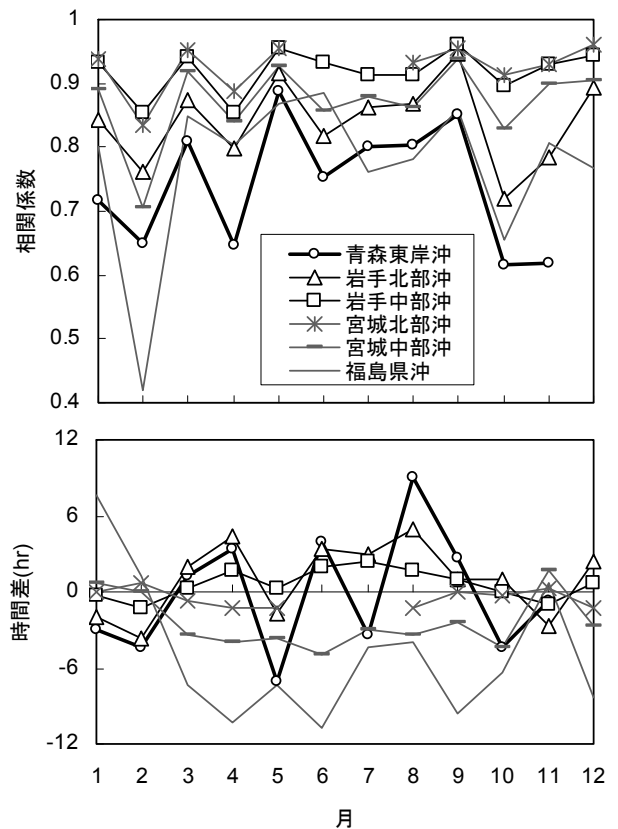


図-3.4 岩手南部沖と他地点の最大相互相関係数とその時間差 (2010年)

正、すなわち岩手南部沖より遅い時刻の有義波高との相関係数が最も高い。逆に、図の下段に示す宮城北部沖、宮城中部沖、福島県沖は、岩手南部沖より南に位置する地点であり、時間差が負、すなわち岩手南部沖より早い時刻の有義波高との相関係数が最も高い。例えば、岩手南部沖と9時間後の青森東岸沖の有義波高の相関係数は0.80、岩手南部沖と4時間前の福島県沖の有義波高の相関係数は0.78である。時間差が大きくなるにつれて相互相関係数が小さくなる割合は、岩手南部沖の自己相関係数とほぼ同じである。

福島県沖から青森東岸沖までの距離は直線で約370kmあり、その間を平均約28km/hの速度で有義波高の空間分布が伝播した計算になる。この月の岩手南部沖の有義波周期6.90sに対応する深海波の群速度は約22km/hと、これよりやや速い。このことは、気象擾乱から波浪が自由伝播するだけではなく、気象場が移動することでも波浪の発達域が移動することを示している。

図-3.4は、図-3.3で示した2010年の8月以外の月についても、岩手南部沖と東北地方各地点との相互相関係数の最大値(以下では最大相関係数)とその時間差をまとめたものである。最大相関係数を地点間で比較すると、

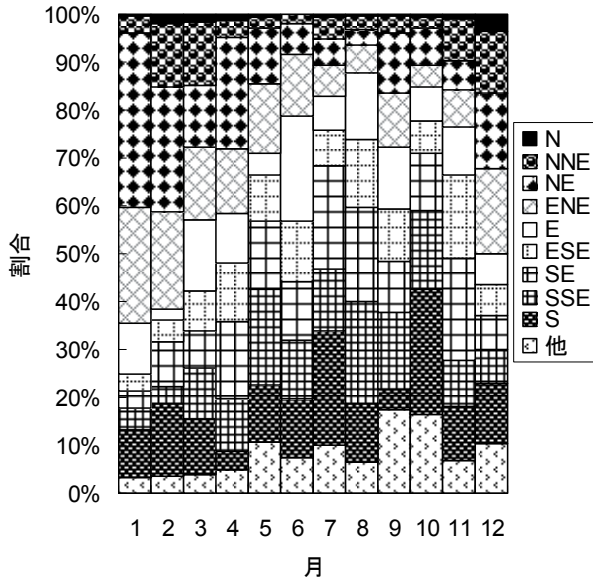


図-3.5 岩手南部沖における各月の波向の頻度 (2010年)

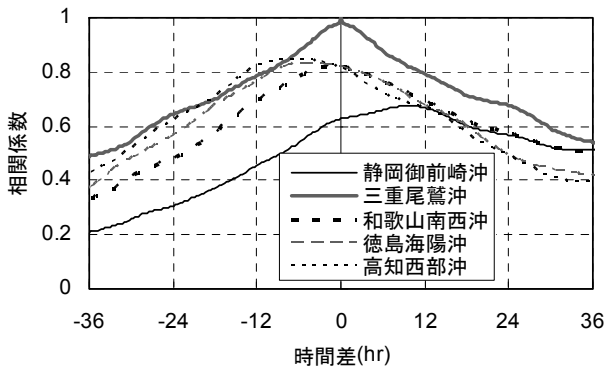


図-3.6 三重尾鷲沖と中部～四国地方各地点の有義波高の時系列の自己・相互相関係数 (2010年8月)

年間を通じて、岩手南部沖の北隣りの岩手中部沖や南隣りの宮城北部沖との最大相関係数が最も高く、0.8以上の値となっている。その他の地点との最大相関係数も、2月の福島県沖との値を除けば、0.6以上と比較的高い。最大相関係数に対応する時間差には季節特性も見られる。例えば、3月、4月、6月、8月、9月には、青森東岸沖など北部の地点で正值、福島県沖など南部で負値をとり、有義波高の空間分布が大局的には南から北へ伝播したことを示している。1月と2月は、これらの月とは正負が逆転しており、北から南へ伝播したことを示している。このような相互相関解析の結果は、図-3.1に示した最多波向ともよく一致している。

図-3.5は、図-3.4と同じ2010年の各月の岩手南部沖における波向の内訳を示したものである。データの欠測、

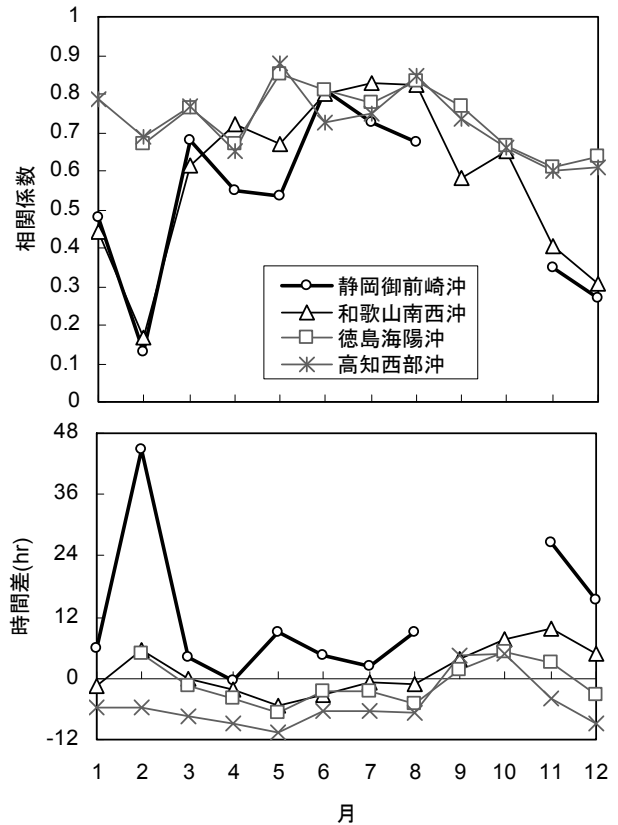


図-3.7 三重尾鷲沖と他地点との最大相互相関係数とその時間差 (2010年)

低波浪で波向の解析が困難、N～S以外の波向、の何れかに該当するものは「他」に分類した。この図によると、図-3.4で有義波高の空間分布が北から南に伝播とした1月、2月は、他の月に比べて北寄りの波向の頻度が高い。また、南から北に伝播するとした3月、4月、6月、8月のうち、少なくとも6月と8月については南寄りの波向の頻度が高い。

②中部～四国地方の特徴

図-3.6は、図-3.3と同じ要領で、2010年8月の三重尾鷲沖と中部～四国地方各地点との相関係数を示す。まず、三重尾鷲沖の自己相関係数は、岩手南部沖と同様、時間差が大きくなるにつれて小さくなるが、12時間でも0.8程度ある。三重尾鷲沖より東に位置する静岡御前崎沖では、時間差が正、すなわち三重尾鷲沖より遅い時刻との相関係数が最も高い。逆に西に位置する和歌山南西沖、徳島海陽沖、高知西部沖では、時間差が負、すなわち早い時刻との相関係数が最も高い。例えば、三重尾鷲沖と9時間後の静岡御前崎沖の相関係数は0.68、三重尾鷲沖と6時間40分前の高知西部沖の相関係数は0.85である。静岡御前崎沖から高知西部沖までの距離は直線で約330kmあり、この間を有義波高の空間分布が平均で約21

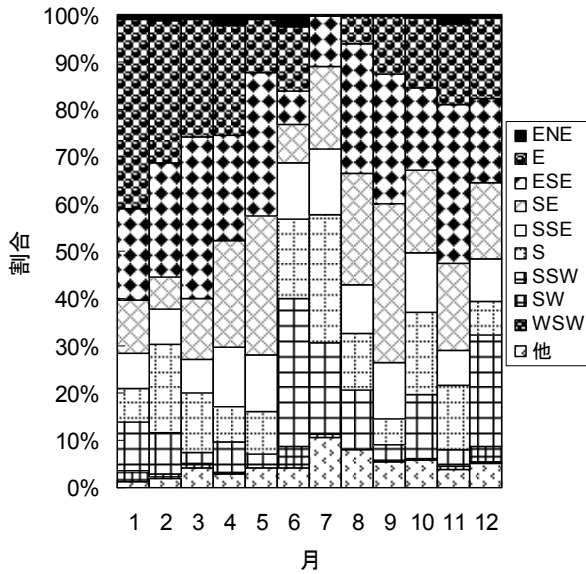


図-3.8 三重尾鷲沖における各月の波向の頻度（2010年）

km/h で伝播した計算になる。その一方で、この月の最多波向は、図-3.1(c)で示したように、高知西部沖では方位4(ENE)、それ以外の地点は方位6~7(ESE~SE)である。すなわち、波浪そのものは概ね南東から来襲するが、有義波高の空間分布は西から東へ動いている。

図-3.7は、図-3.4と同じ要領で、2010年の各月の三重尾鷲沖と他地点の相互相関係数の最大相関係数とその時間差を示す。年間を通じて、三重尾鷲沖から物理的に距離の近い和歌山南西沖よりはむしろ、少し離れて西に位置する徳島海陽沖や高知西部沖との相関係数が高い。その一因として、和歌山南西沖が紀伊半島を挟んで三重尾鷲沖の反対側に位置することが考えられる。最大相関係数に対応する時間差は概して西に位置する地点ほど負側であり、有義波高の空間分布が大局的には西から東へ伝播した。しかし、2月と9~12月については、和歌山南西沖など西の地点との時間差でも正值、すなわち三重尾鷲沖の有義波高の経時変化が西の地点よりも早い。

図-3.8は2010年の各月の三重尾鷲沖における波向の頻度であり、冬季には東寄りの波向の頻度が高まる。この波向に対して、和歌山南西沖は紀伊半島の先端部による遮蔽の影響を受ける。

(4) いわき沖と福島県沖の比較

図-3.9に示す「いわき沖」では、1988~1999年に水深154 m地点のプラットフォームの4本の脚に1台ずつのステップ式波高計、1本の脚に水平二成分流速計と水圧式波高計を設置し、2時間間隔の波浪観測が行われた(永井ら、1993b、清水ら、1996)。このときに得られた波浪

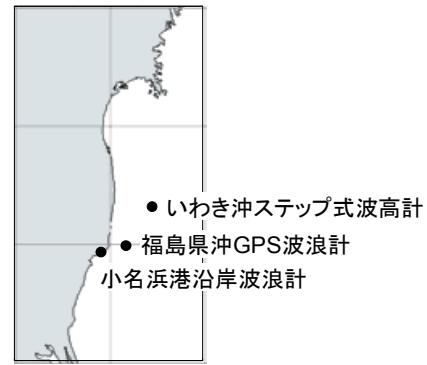


図-3.9 小名浜港の沿岸波高計、いわき沖のステップ式波高計、福島県沖GPS波浪計の位置

特性と福島県沖GPS波浪計による波浪特性と比較してみたい。波浪特性には図-3.2で示した岩手南部沖の例のように年変動があるため、同じ年代の小名浜港の観測記録を介して、いわき沖と福島県沖とを比較することにする。

図-3.10は、いわき沖と小名浜港における1991~1995年(以下では、A期間)を平均した各月の波浪統計量と、福島県沖GPS波浪計と小名浜港における2010年(B期間)の各月の波浪統計量を示す。いわき沖または小名浜港で測得率の低い月が続く年をなるべく避ける意図で、A期間はいわき沖での観測期間の半分程度に絞った。この図から、B期間の6月の最低有義波高 H_n を除けば、いわき沖や福島県沖の全ての月の最高有義波高 H_x 、平均有義波高 H_m 、最低有義波高 H_n は、小名浜港より大きく、平均有義波周期 T_m は短い。このような大小関係は、いわき沖や福島県沖が小名浜港の沖合にあることと合致する。

もう少し定量的に沖側と岸側の波浪諸元の関係を示すために、図-3.11は、岸側と沖側の平均有義波高 H_m 、平均有義波周期 T_m の比をそれぞれ波高比、周期比として、月別に示したものである。両期間の値は概ね一致している。1月、2月、12月は他の月に比べて波高比が小さく、周期比が大きい。これは両期間の波向や周期の頻度分布の違いを反映したものであるかも知れない。

そこで、月に関係なく、沖合の波向別で波高比と周期比を整理した結果が図-3.12である。両期間の差は小さく、小名浜港に対して直入射に近い方位6~8(ESE~SSE)では波高比が大きく、周期比は北寄りの方位1と2(NとNNE)を除けば概ね1.1で一定となっている。このことから、いわき沖と福島県沖は同等な沖合の波浪を捉えている。

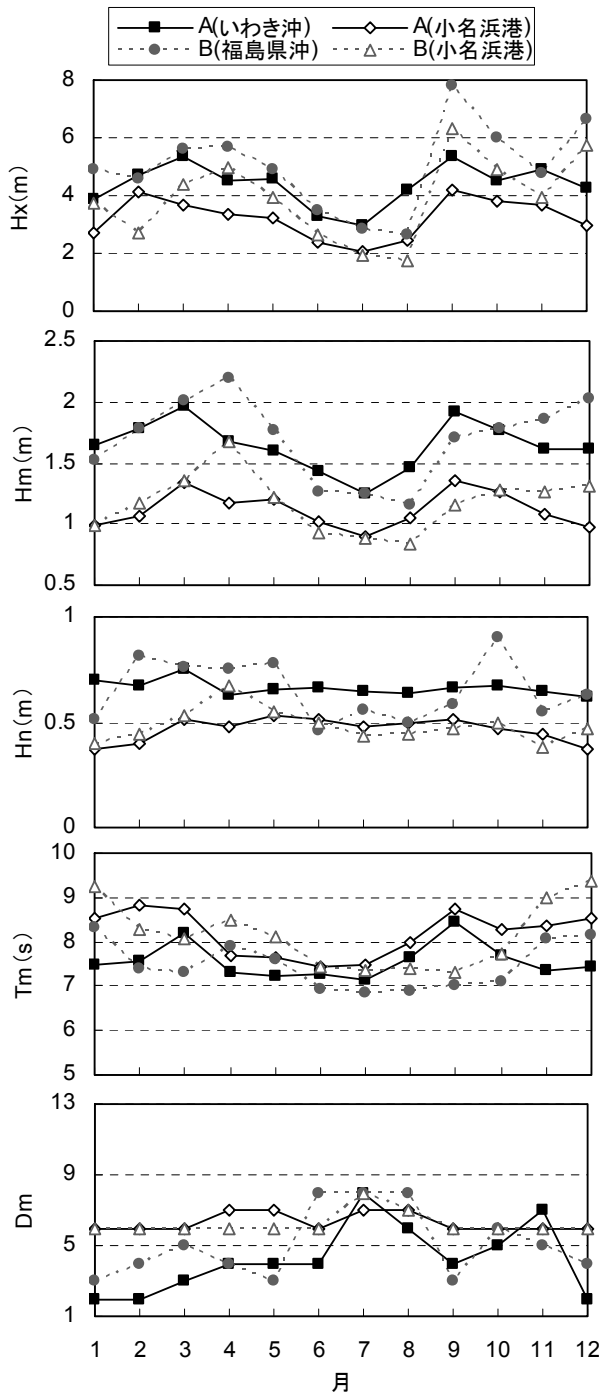


図-3.10 いわき沖・福島県沖・小名浜港の波浪統計量

3.2 沖合と沿岸における波高・周期・波向の比較

(1) 各地点の月別統計量の季節・年変動

① 岩手南部沖・石巻港，宮城中部沖・石巻

図-3.13 は，岩手南部沖の GPS 波浪計と釜石港の沿岸波浪計，宮城中部沖の GPS 波浪計と石巻港の沿岸波浪計，という組み合わせについて，2008～2010 年の各月の最高有義波高 H_x ，平均有義波高 H_m ，最低有義波高 H_n ，平均有義波周期 T_m ，最多波向 D_m を示す。なお，釜石港の沿

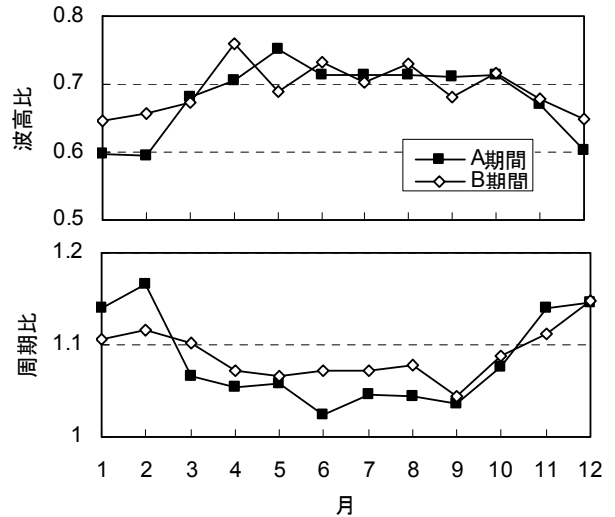


図-3.11 各月の波高比と周期比

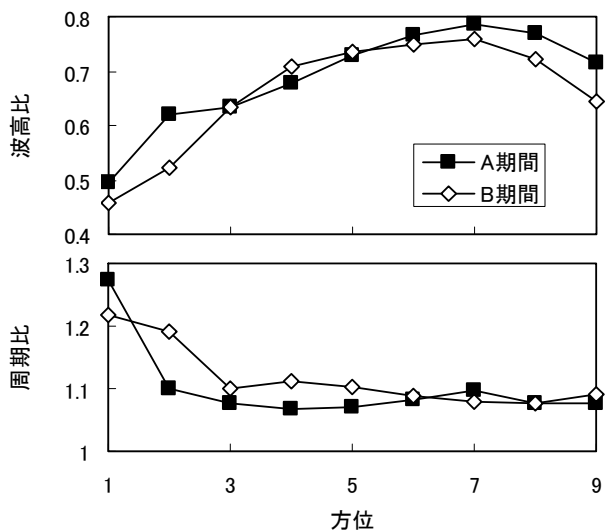


図-3.12 沖側の波向別の波高比と周期比

岸波浪計には波向計がついていない。

この図において，釜石港の最高有義波高 H_x ，平均有義波高 H_m ，最低有義波高 H_n ，平均有義波周期 T_m の経月変化は，3 カ年を通じて岩手南部沖と概ね相似形になっている。平均有義波高 H_m は岩手南部沖の 0.46～0.68 倍と小さく，平均有義波周期 T_m は 0.92～1.23 倍とやや長い。

石巻港の経月変化も宮城中部沖と概ね相似形である。詳しく見ると，2008 年 2～4 月，2009 年 1 月のように，宮城中部沖の平均有義波高 H_m が前後の月と比べて高いのにもかかわらず，石巻沖ではむしろ低い，という状況も見られる。図-3.14 に示すように，宮城中部沖を含む三陸沖では冬季に北寄りの波向が卓越するが，石巻港ではこの波浪が周辺地形に遮蔽されて弱まる。また，水深が浅いために波向が海岸線に対して直角に近づき，最多

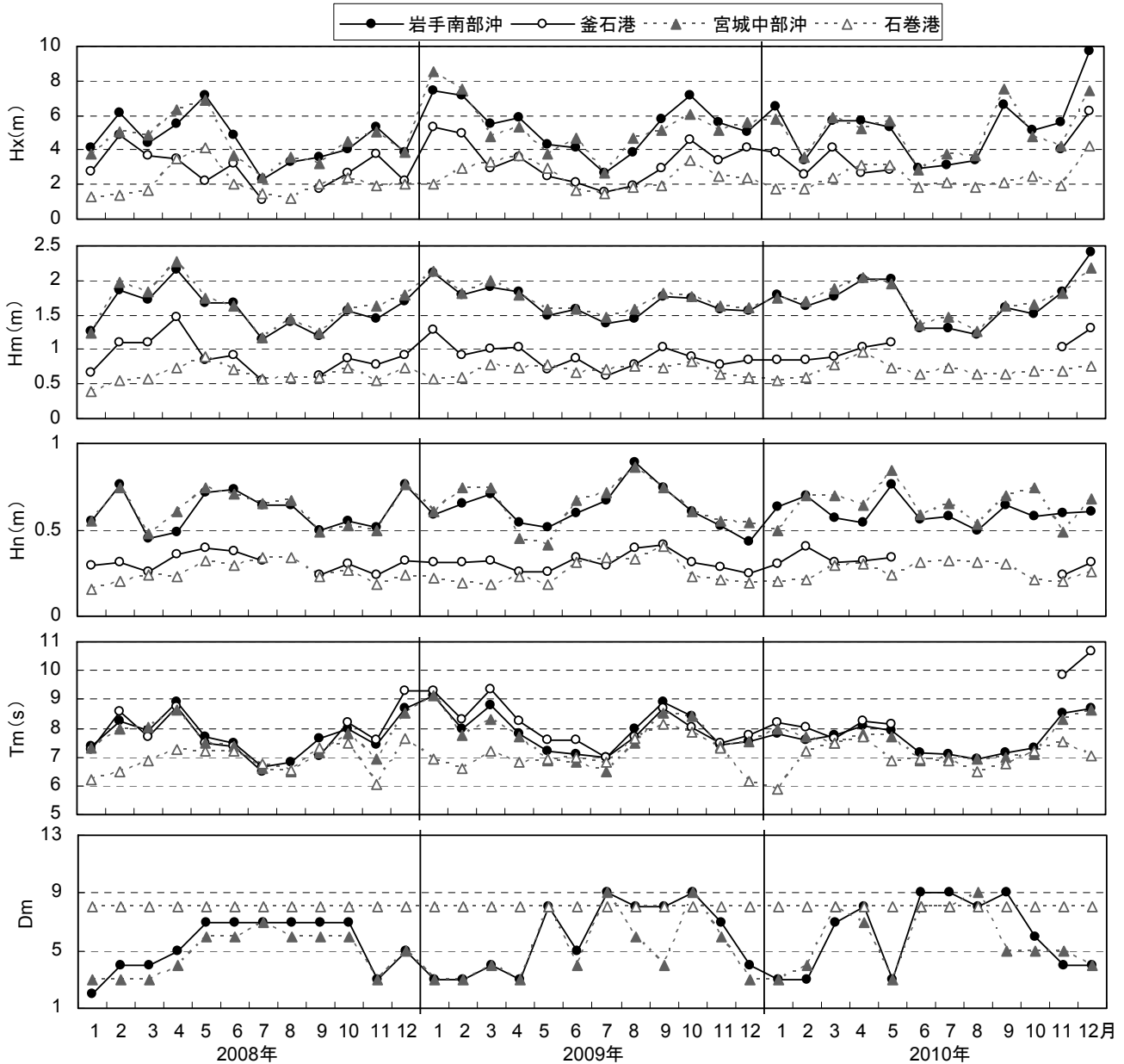


図-3.13 GPS 波浪計と沿岸波浪計による月別波浪統計量の比較（岩手南部沖と釜石港，宮城中部沖と石巻港）

波向 D_m は図-3.13 に示したように、どの月も方位 8 (SSE) である。図-3.15 は宮城中部沖と石巻港の 2009 年 1 月～6 月の 20 分毎の波向の相関性を示したものであり、石巻港の波向は方位 7～10 (SE～SSW) に分布し、宮城中部沖との相関性は低い。

図-3.16 は、図-3.13 に示した石巻港のグラフを年単位に区切って重ね描きし、季節変化と年変動の大きさを比較しやすくしたものである。2008 年～2010 年の 3 カ年において、ある年の平均有義波高 H_m や平均有義波周期 T_m が他の年に比べて年間を通じて大きいあるいは小さい、ということはなく、毎月にも大小関係は入れ替わっている。各月の平均有義波高 H_m と平均有義波高 T_m の年変動の標

準偏差を求め、これを 12 ヶ月で平均すると、それぞれ 0.06m, 0.36s である。これらの値は宮城中部沖の値 (0.16m, 0.43s) より小さい。

②三重尾鷲沖・和歌山南西沖・潮岬

図-3.17 は、三重尾鷲沖、和歌山南西沖、潮岬における、2008～2010 年の各月の波浪統計量を示す。潮岬の沿岸波浪計は、紀伊半島の先端付近に設置され、設置水深も 54.7m と沿岸波浪計としては深い。そのため、沖合波浪推算の検証地点としてしばしば活用されてきた。

潮岬の平均有義波高 H_m は、三重尾鷲沖の値とほとんどの月でよく一致しており、和歌山南西沖の値とも 4 月～10 月にかけてよく一致している。最低有義波高 H_n は、

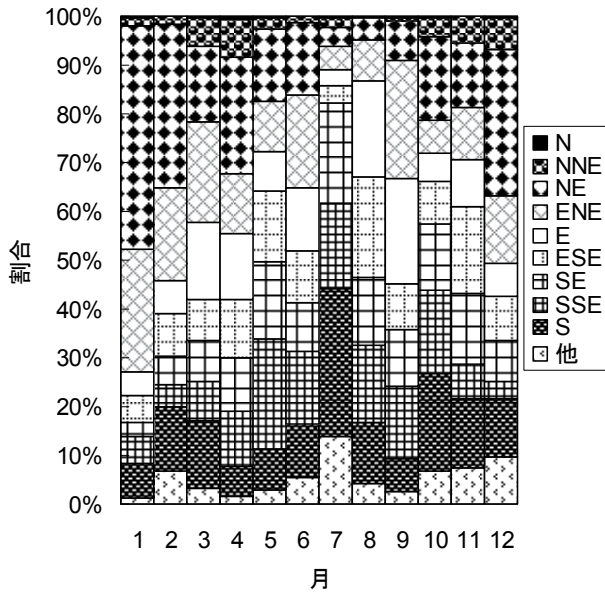


図-3.14 宮城中部沖における波向の頻度分布 (2009年)

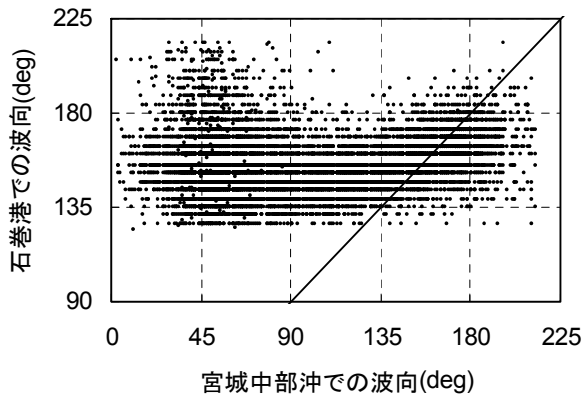


図-3.15 宮城中部沖と石巻港の波向の相関性 (2009年1～6月)

ほとんどの月で三重尾鷲沖，和歌山南西沖ともよく一致している。平均有義波周期 T_m は，三重尾鷲沖と4月～10月によく一致するが，和歌山南西沖より年間を通じて長い。最多波向 D_m は，三重尾鷲沖や和歌山南西沖よりも南寄りとなる月が多い。

三重尾鷲沖，和歌山南西沖，潮岬の3地点における相関性が，このように波浪統計量の種類や月によって変化するの，紀伊半島の先端による遮蔽の影響と考えられる。三重尾鷲沖は紀伊半島の東側にあるため，西寄りの波浪が遮蔽されやすい。和歌山南西沖は紀伊半島の西側にあるため，東寄りの波浪が遮蔽されやすい。潮岬は先端にあるとは言え，水深がGPS波浪計よりは浅いところに設置されているので屈折の影響がある。例えば，2009年の9月の最多波向は，潮岬では方位11(SW)と西寄りであるのに対し，三重尾鷲沖では方位7(SE)と東寄り

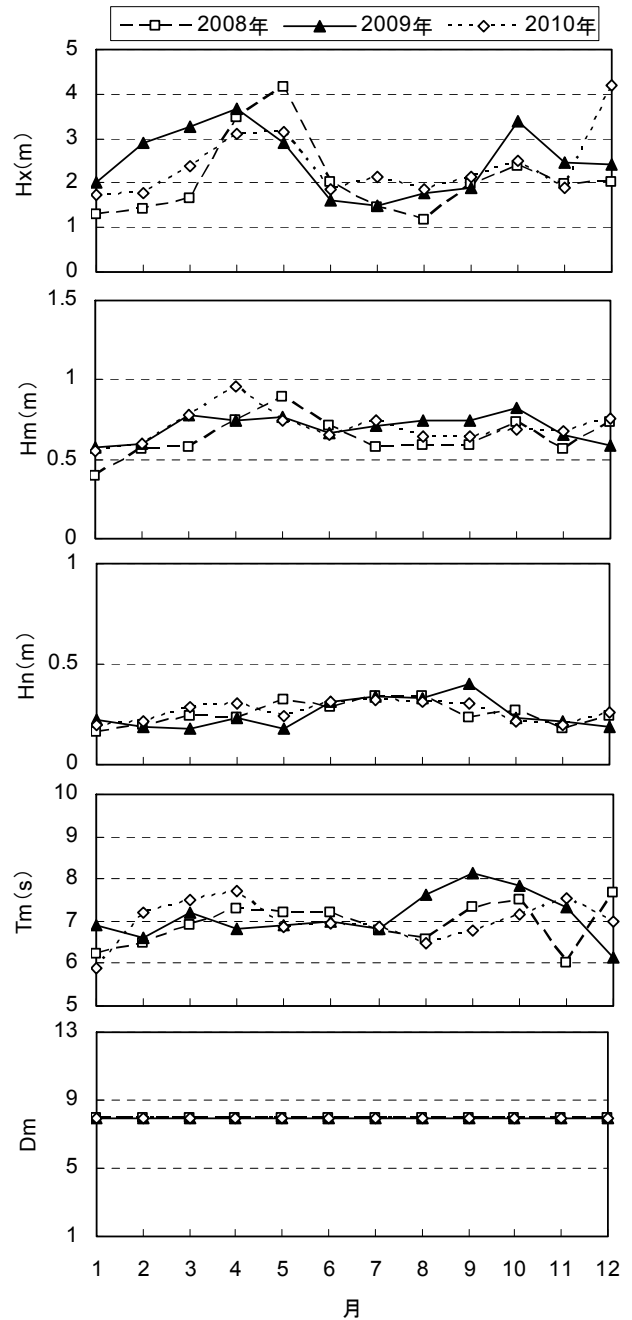


図-3.16 石巻港における月別波浪統計量の年変動

になっている。図-3.18は三重尾鷲沖と潮岬の2009年1月～6月の20分毎の波向の相関を示すが，非常に複雑である。

③高知西部沖・上川口

図-3.19は，高知西部沖と上川口港について，2008～2010年の各月の波浪統計量を示す。なお，上川口港では波向観測は行われていない。

上川口港の最高有義波高 H_s ，平均有義波高 H_m ，最低平均波高 H_n の経月変化は，何れも高知西部沖と概ね相似形になっており，平均有義波高 H_m は高知西部沖の0.32

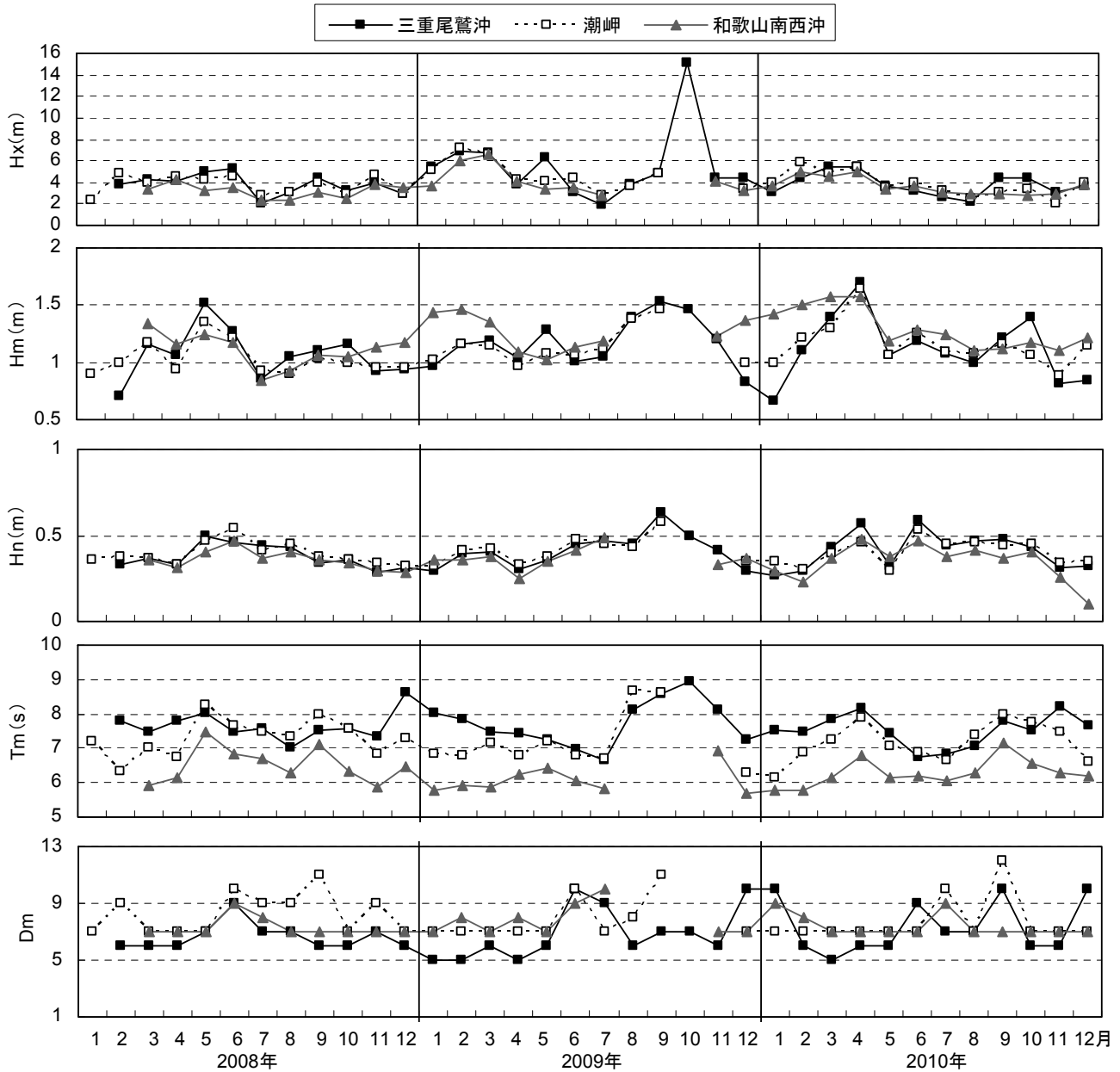


図-3.17 GPS 波浪計と沿岸波浪計による月別波浪統計量の比較（三重尾鷲沖，和歌山南西沖と潮岬）

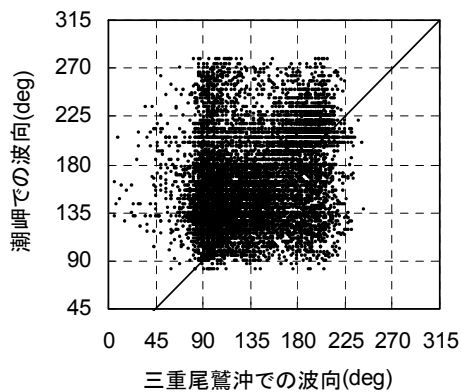


図-3.18 三重尾鷲沖と潮岬の波向の相関性（2009年1～6月）

～0.60倍である。平均有義波周期 T_m は、2008年1月，2009年10月～2010年1月，2010年11～12月など，冬季を中心に高知西部沖よりやや長い，その他の季節は高知西部沖とほぼ同じ値である。

高知西部沖の最多波向は年間を通じて方位5(E)であることが多い。これは，西側に九州があり，北に足摺岬をはじめ四国があるためであると考えられる。上川口港もこの方向に開けた地形に位置する。これが高知西部沖と上川口港の波浪統計量の相関性が高い理由である。

(2) 波向別の相関性

図-3.20は，2009年1～6月を例に，岩手南部沖のGPS波浪計と釜石港の沿岸波浪計の組み合わせについて，20

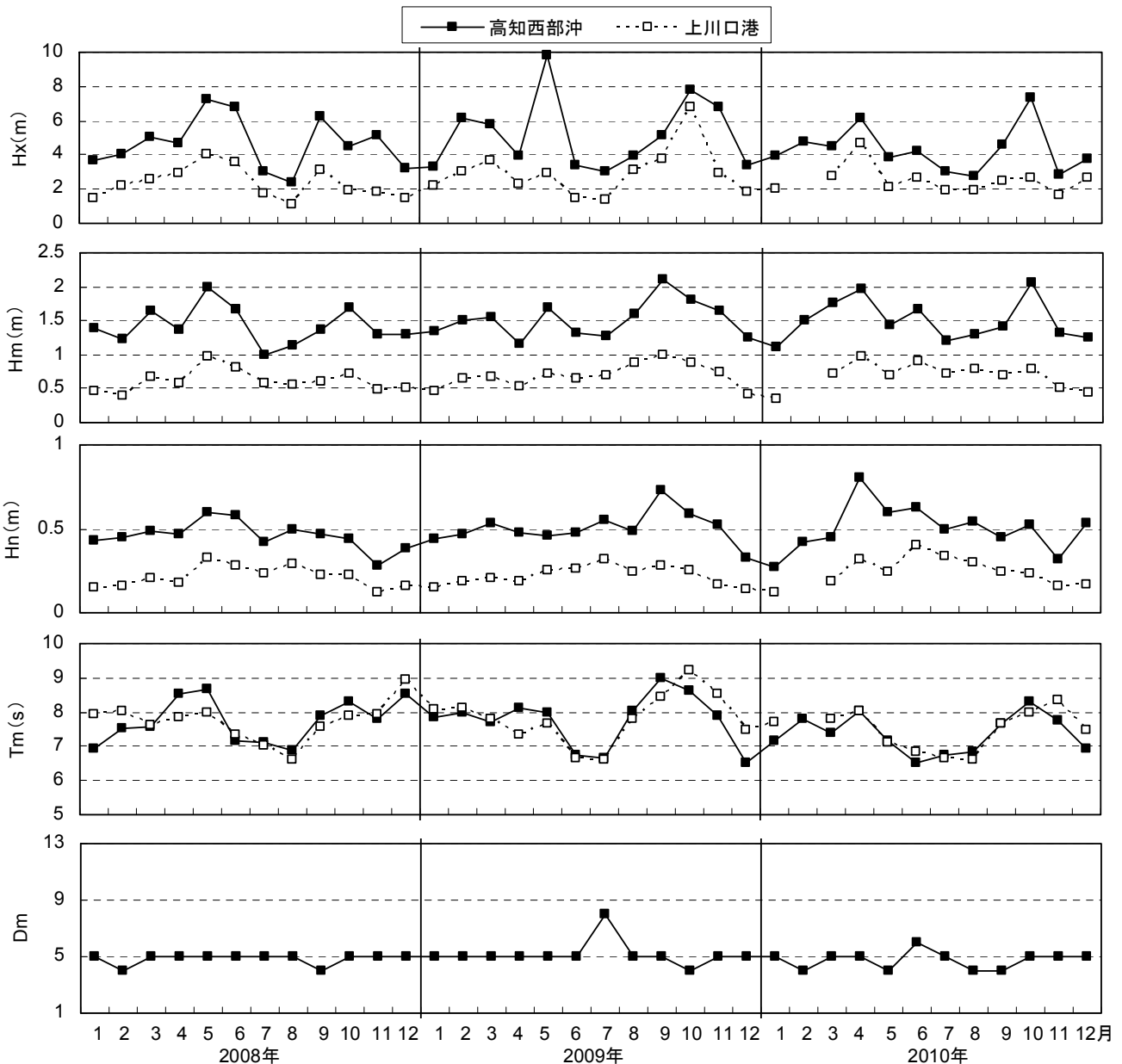
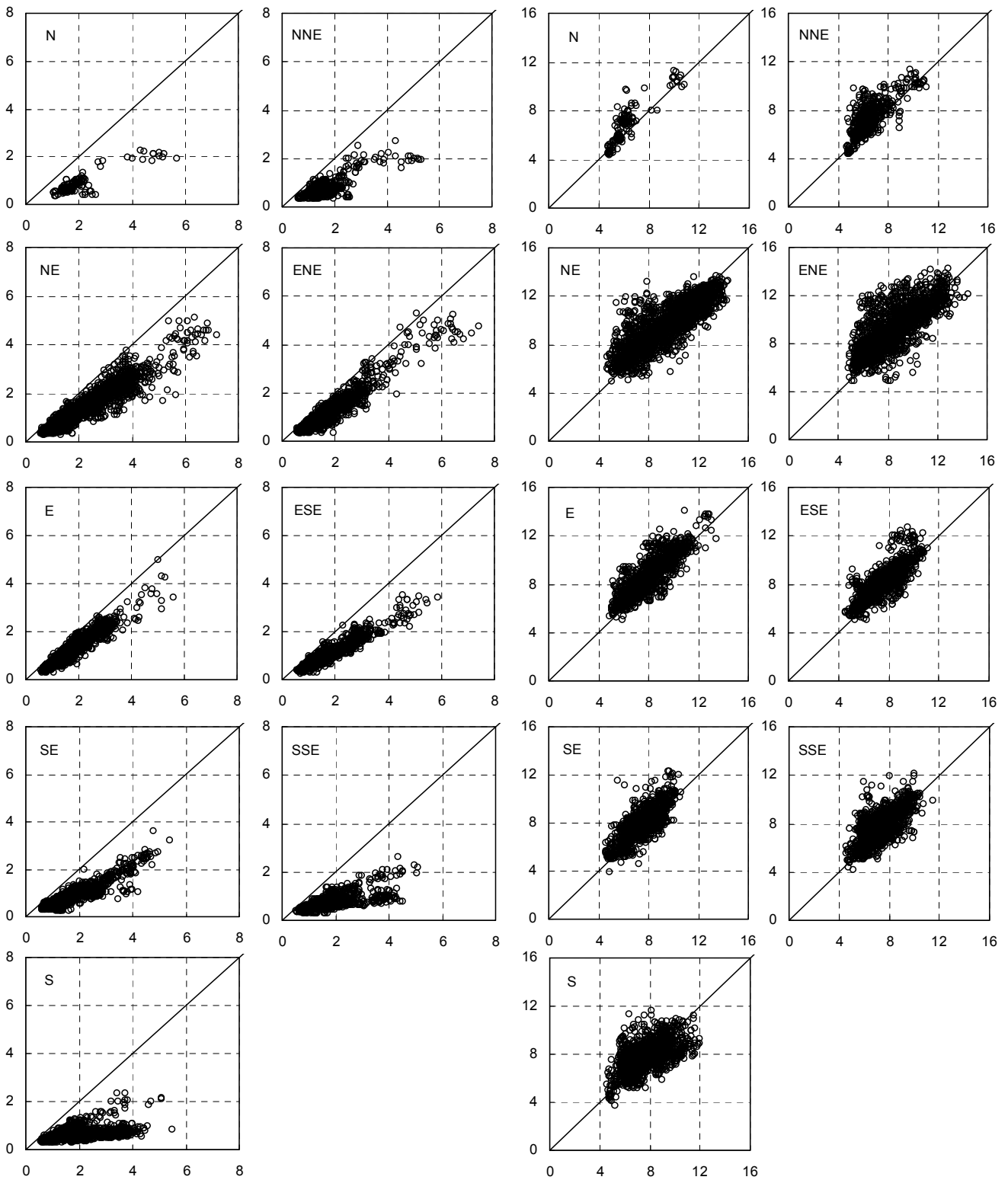


図-3.19 GPS 波浪計と沿岸波浪計による月別波浪統計量の比較（高知西部沖と上川口）

分間隔の有義波高と有義波周期の関係を、GPS 波浪計における波向別にプロットしたものである。それぞれ横軸に岩手南部沖、縦軸に釜石港の値をとっている。図-2.5(c)で示したように、釜石湾は沿岸波浪計から見て概ね NE~E 方向に開けている。沿岸波浪計と GPS 波浪計の波高比は、ENE と E に対しては 1 よりやや小さく、その他の波向では 1 よりかなり小さい。有義波周期だけでなく有義波高も大きくばらついている。

そこで、GPS 波浪計と沿岸波浪計の有義波高や有義波周期の関係がばらつく理由について、少し考察してみた。まず、20 分間のデータを用いた有義波の統計では、波浪スペクトルが定常であっても、波数が限られること

によるばらつきが生じる。図-3.21 は、有義波高や有義波周期の時系列において連続する 3 回の値を平均したものでプロットした結果を、代表的な波向について示したものであるが、図-3.20 の 2 行目に示した平均前のもので大差は見られない。次は波浪エネルギーが伝播するのにかかる時間の影響である。この GPS 波浪計から沿岸波浪計までの距離は約 14km あり、周期 8s の深海波の群速度 6.3m/s では 37 分かかる。NOWPHAS の波浪統計は 20 分を単位としているので、ほぼ 2 回分の 40 分に近い。図-3.22 は、GPS 波浪計と 40 分後の沿岸波浪計の値を組み合わせプロットしたものであるが、図-3.20 の 2 行目に示した同時刻のもので大差は見られない。図-3.23 は、



(a) 有義波高 (単位 : m)

(b) 有義波周期 (単位 : s)

図-3.20 岩手南部沖と釜石港の有義波の相関性 (横軸は岩手南部沖の値, 縦軸は釜石港の値)

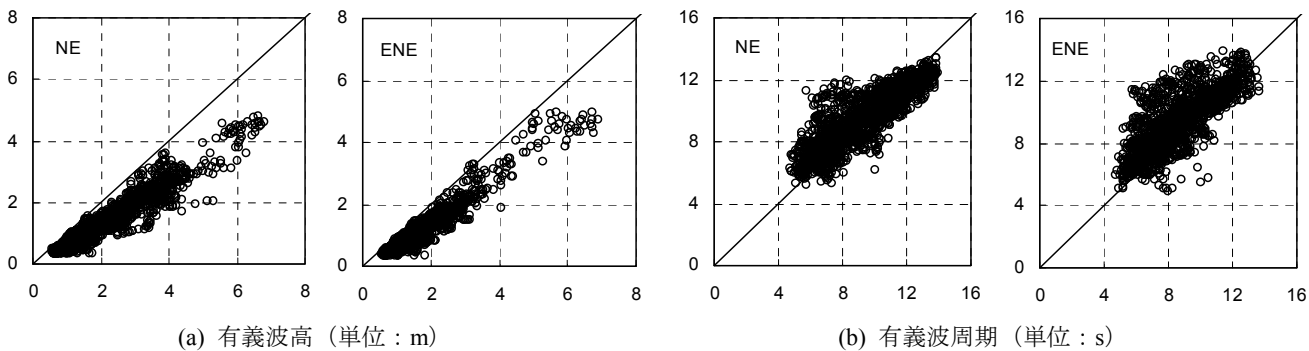


図-3.21 岩手南部沖と釜石港の時間平均した有義波の相関性 (横軸：岩手南部沖の値, 縦軸：釜石港の値)

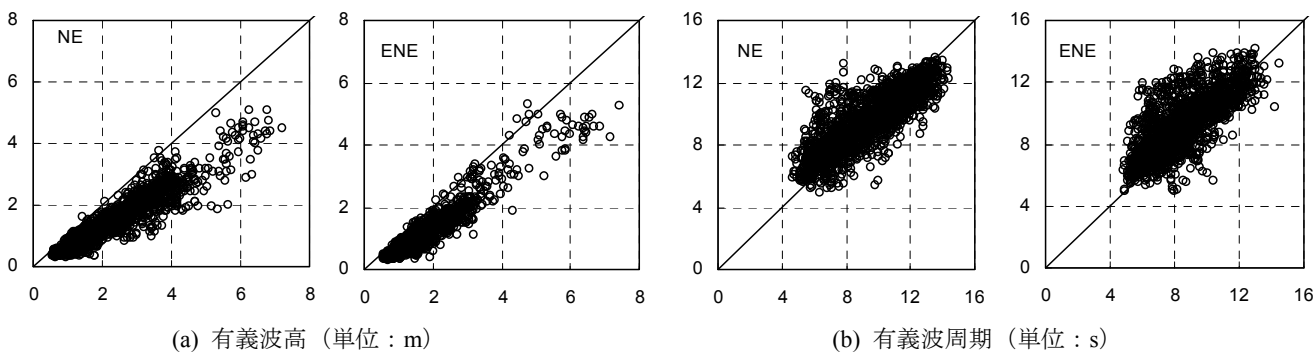


図-3.22 岩手南部沖と40分後の釜石港の有義波の相関性 (横軸：岩手南部沖の値, 縦軸：釜石港の値)

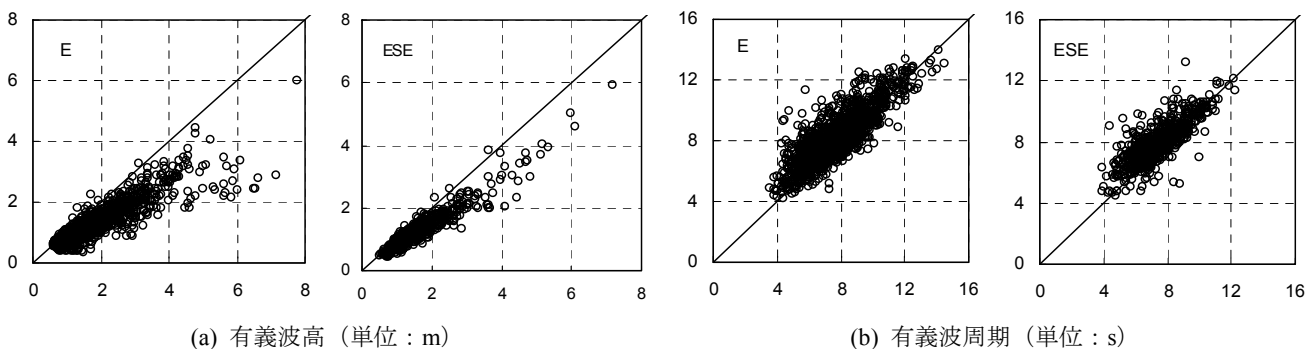


図-3.23 いわき沖と小名浜港の有義波の相関性 (横軸：いわき沖の値, 縦軸：小名浜港の値)

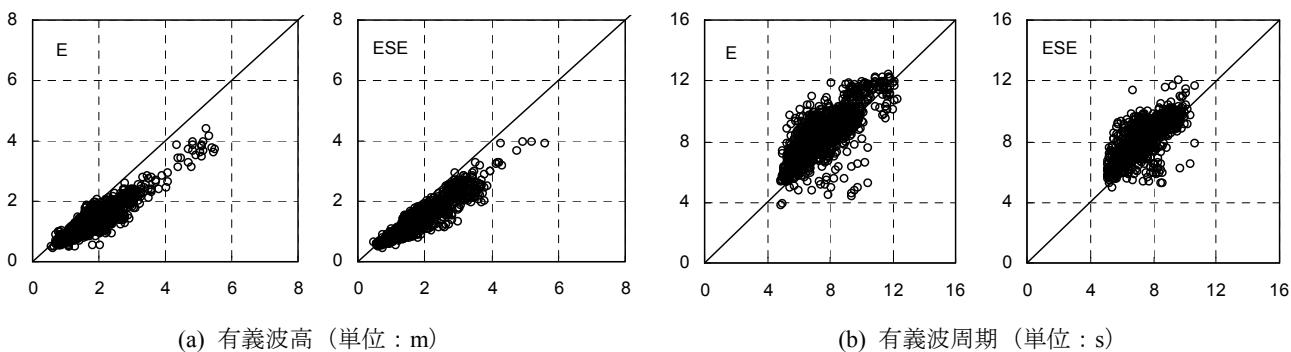
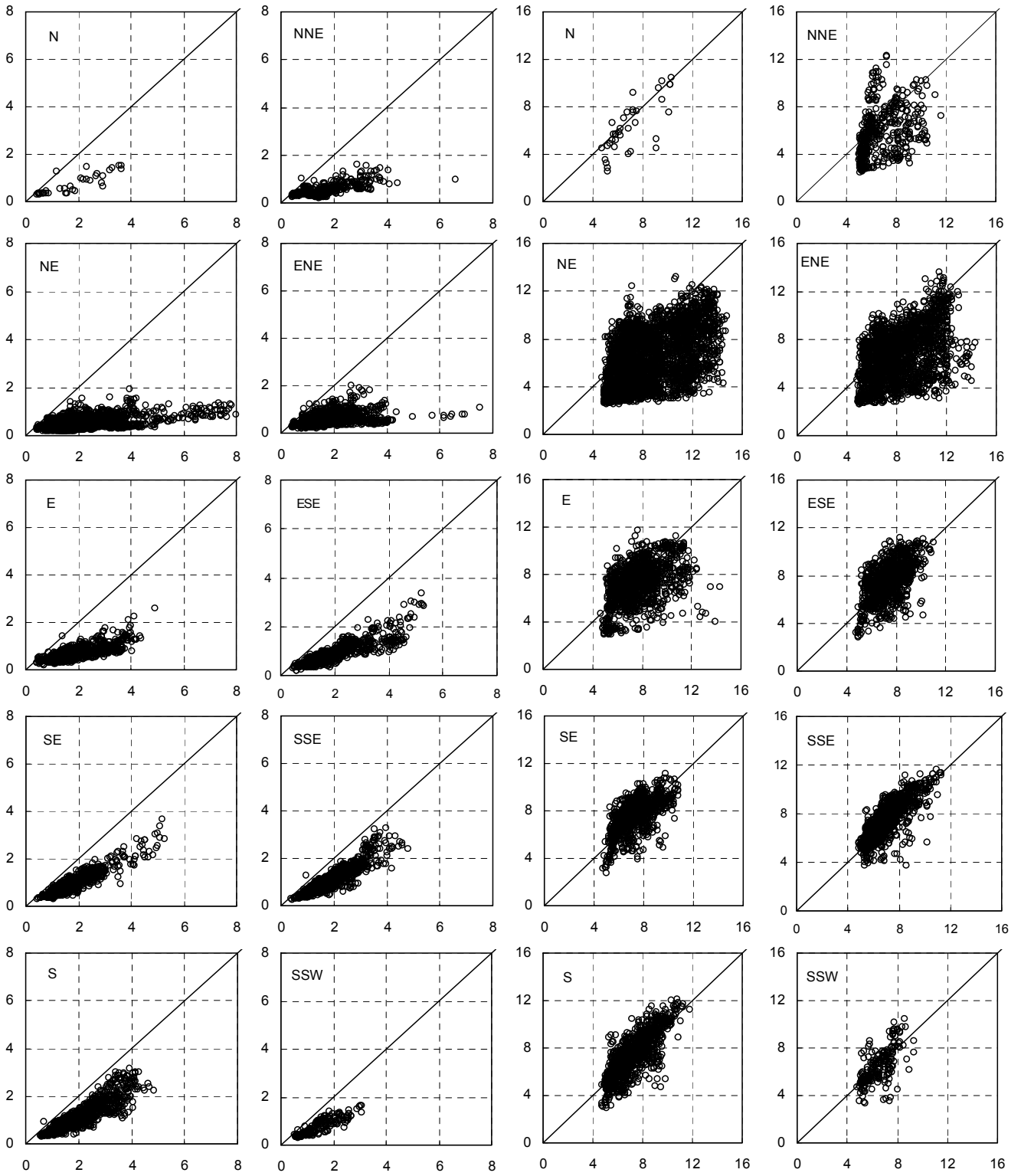
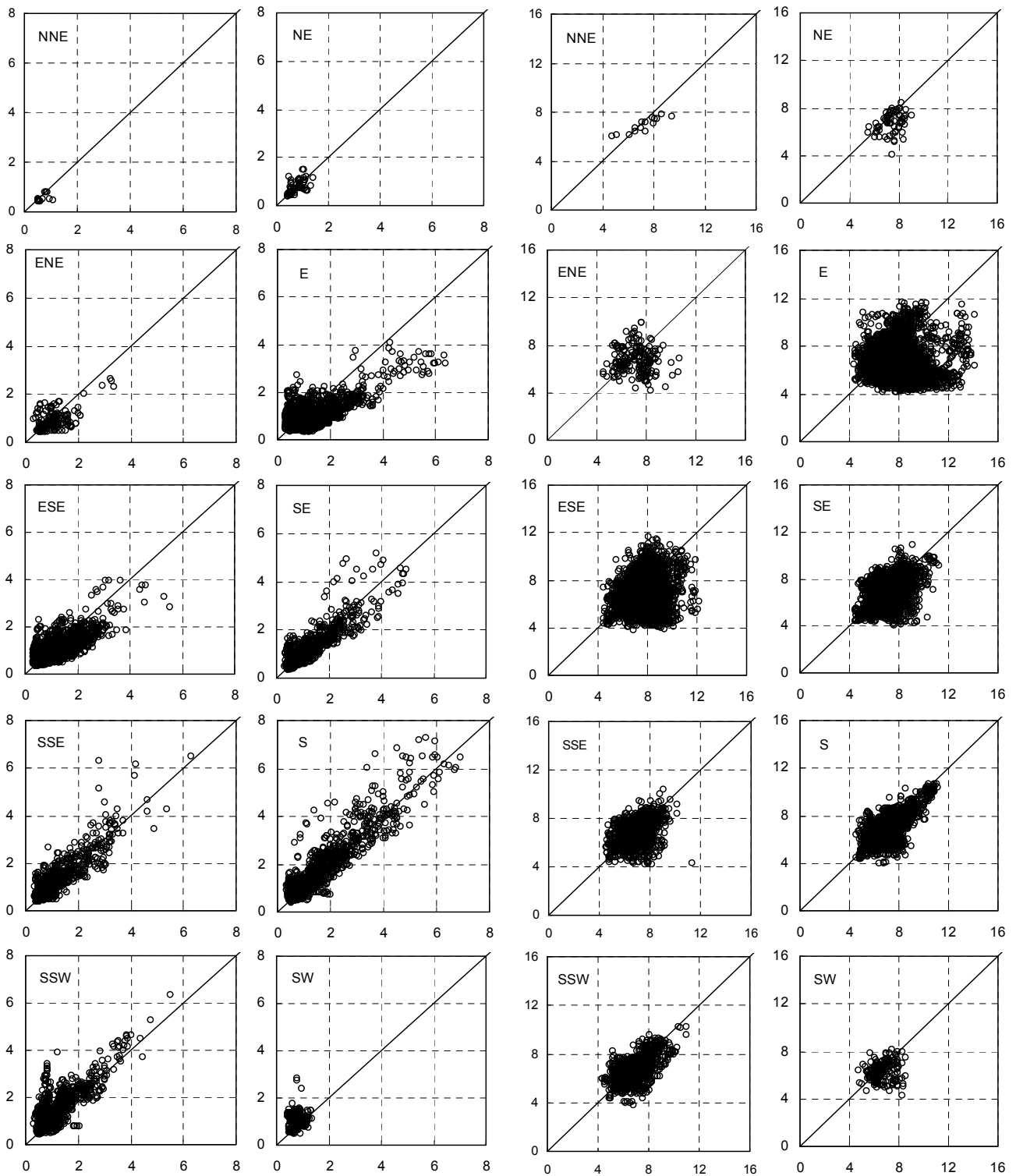


図-3.24 福島県沖と小名浜港の有義波の相関性 (横軸：福島県沖の値, 縦軸：小名浜港の値)



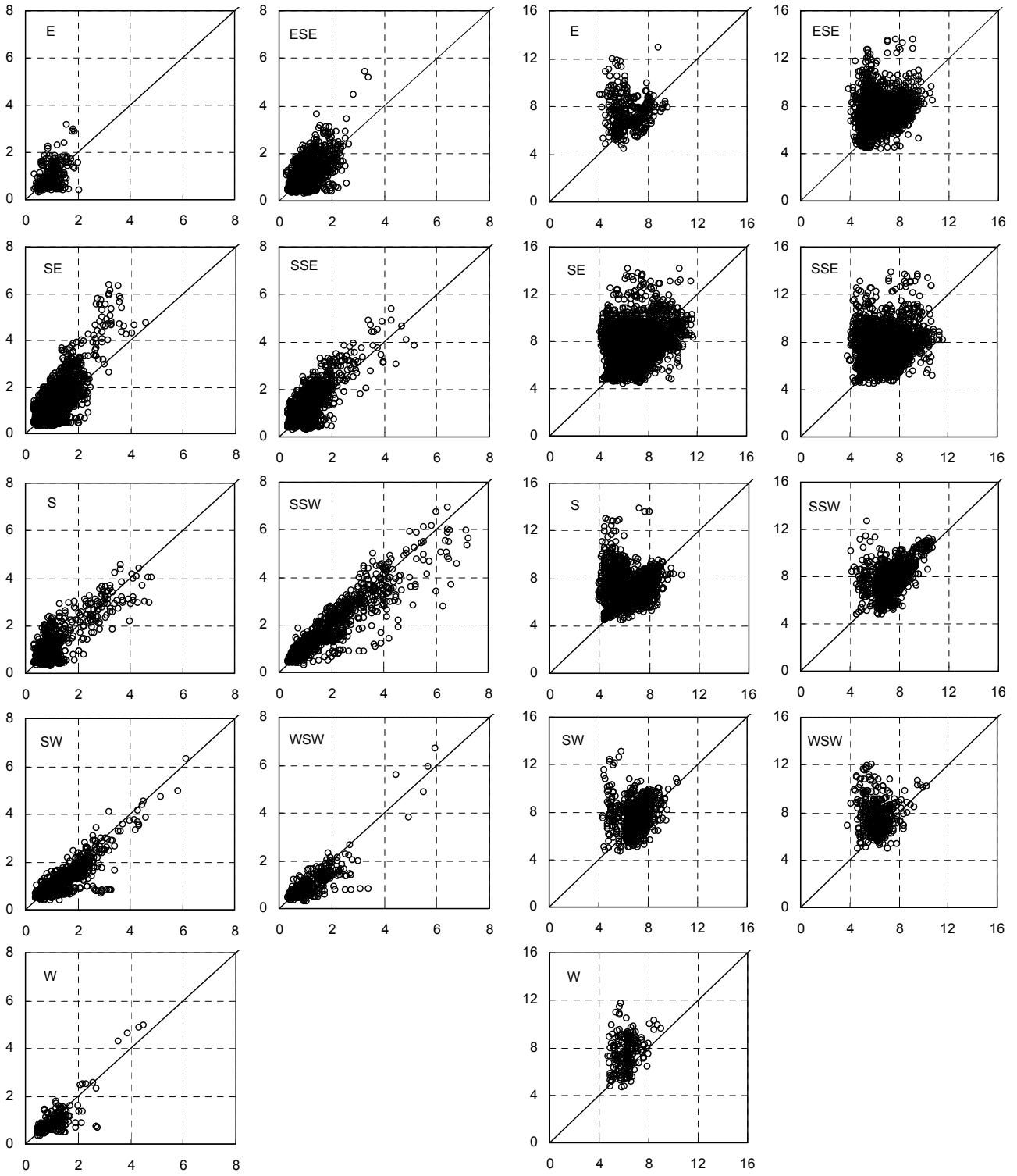
(a) 有義波高 (単位 : m) (b) 有義波周期 (単位 : s)
 図-3.25 宮城中部沖と石巻港の有義波の相関性 (横軸 : 宮城中部沖の値, 縦軸 : 石巻港の値)



(a) 有義波高 (単位: m)

(b) 有義波周期 (単位: s)

図-3.26 三重尾鷲沖と潮岬の有義波の相関性 (横軸: 三重尾鷲沖の値, 縦軸: 潮岬の値)



(a) 有義波高 (単位 : m) (b) 有義波周期 (単位 : s)
 図-3.27 潮岬と三重尾鷲沖の有義波の相関性 (横軸 : 潮岬の値, 縦軸 : 三重尾鷲沖の値)

主要な波向に対して、いわき沖（ステップ式波高計）と小名浜港（海底に設置した超音波波高計）の相関性を示したものであり、図-3.24は福島県沖（GPS 波浪計、ブイ式）と小名浜港の相関性を示したものである。この図から、沖合と沿岸での相関のばらつきが、少なくとも GPS 波浪計特有のものではないことは明らかである。

これら以外の原因としては、方向スペクトルが必ずしも標準形に近い形状の単峰とは限らないのに1つの波向で代表させていること、波浪が GPS 波浪計から沿岸波浪計まで伝播する間に風や流れが作用すること、などが考えられる。その特定には、沖合波浪推算や浅海波浪変形計算を併用した検討（川口ら，2011）が不可欠である。

図-3.25は、宮城中部沖と石巻港の組合せについて、有義波高と有義波周期の相関性を、宮城中部沖での波向別に示す。何れも横軸に宮城中部沖、縦軸に石巻港の値をとっている。ここに示す何れの波向に対してもある程度の相関性はあるが、石巻港と宮城中部沖の波高比は SSE と S を除いて小さい。有義波周期の相関は、NE から E の波向に対してばらつきが非常に大きい。

図-3.26は、三重尾鷲沖と潮岬の組み合わせについて、有義波高と有義波周期の相関性を三重尾鷲沖の波向別に示す。何れも横軸に三重尾鷲沖、縦軸に潮岬の値をとっている。SE～SSW に対しては波高の相関性も高く、波高比も 1 に近い。周期のばらつきは大きい。

図-3.27は、図-3.26とは逆に、潮岬と三重尾鷲沖の相関性を示したものである。SSE～W の方位に対して、有義波高の相関性は高い。有義波周期の相関性は低い。

(3) 時間差の解析

表-3.1 に示す GPS 波浪計と沿岸波浪計の組み合わせに対して、2010年の各月の20分毎の有義波高を用いて、相互相関係数を求めた。

図-3.28は2010年6月を例に、それぞれの組み合わせにおける時間差と相関係数の関係を示したものである。何れの組み合わせでも、時間差が3時間以内に相関係数のピークがある。波浪は沖合から岸に向かって伝播するので、ピークとなる時間差はわずかに正となるのが自然であるが、やや負となった地点もある。どの地点でも時間差が大きくなるほど相関係数が小さくなり、その下がり方には地点による差がある。

図-3.29は、2010年の各月について最大相関係数をまとめたものである。これらの組み合わせでは、久慈、小名浜、上川口の最大相関係数が年間を通じて高い。

図-3.30は、最大相関係数に対応する時間差をまとめたものである。ここにある組み合わせの多くでは年間を通じて正の値となることが多いが、三重と小松島では負

表-3.1 GPS 波浪計と沿岸波浪計の組合せ

図-3.28～3.30における略称	GPS 波浪計	沿岸波浪計
八戸	青森東岸沖	八戸港
久慈	岩手北部沖	久慈港
宮古	岩手中部沖	宮古港
石巻	宮城中部沖	石巻港
塩釜	宮城中部沖	仙台塩釜港
小名浜	福島県沖	小名浜港
御前崎	静岡御前崎沖	御前崎港
三重	三重尾鷲沖	潮岬
和歌山	和歌山南西沖	潮岬
小松島	徳島海陽沖	徳島小松島港
上川口	高知西部沖	上川口港

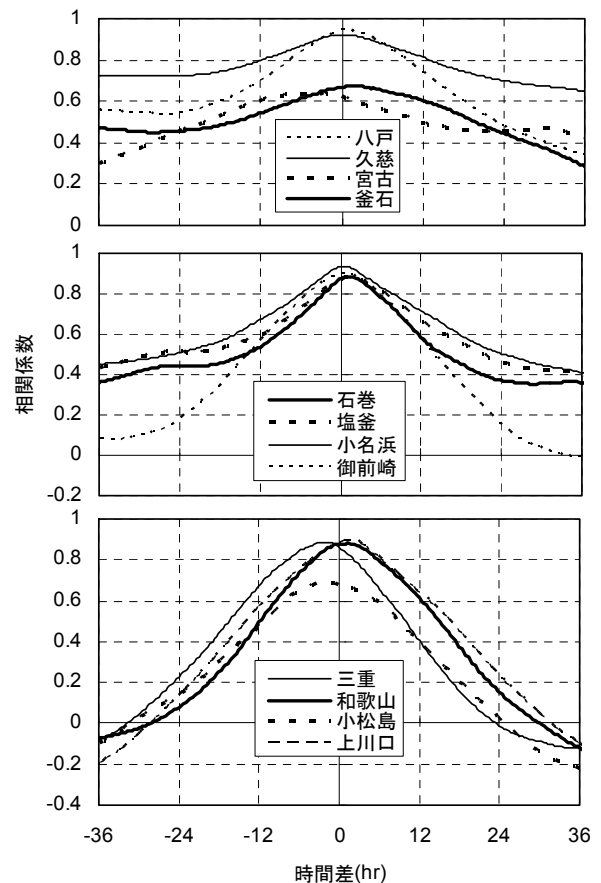


図-3.28 GPS 波浪計と沿岸波浪計の相互相関係数(2010年6月)

の値をとることが多い。

3.3 沿岸と沖合における波パワー・風・静穏率の比較

(1) 平均波パワー

図-3.31は2008～2010年の各月の月平均波パワー P_w を示す。GPS 波浪計の地点には全体的に沿岸波浪計より

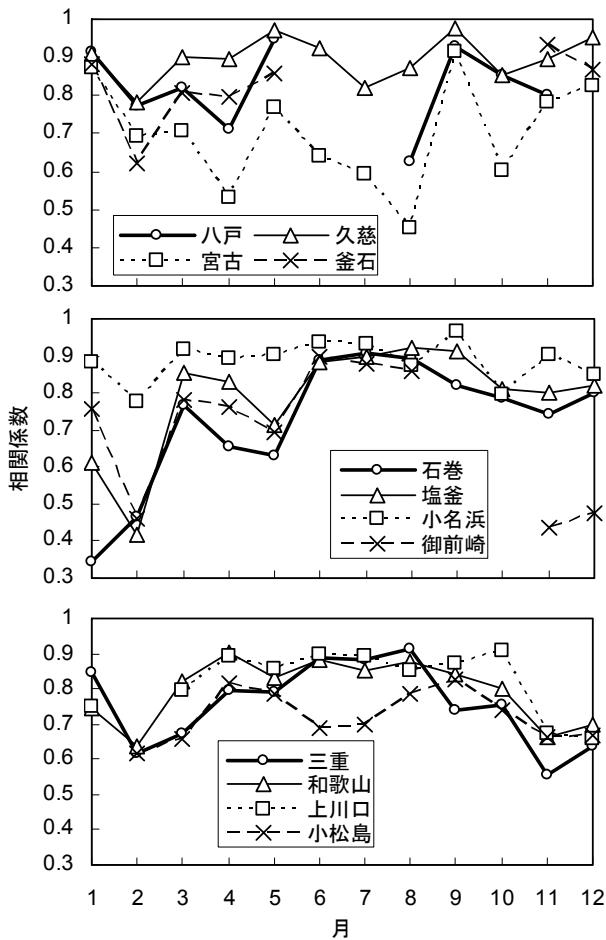


図-3.29 GPS 波浪計と沿岸波浪計の最大相関係数(2010年)

大きな波パワーがある。何れの地点も図-3.1, 3.13, 3.17, 3.19 で示したような月平均有義波高 H_m , 月平均有義波周期 T_m と似た季節変化や年変動をしている。個々の時刻における波パワーは波高の2乗と周期に比例するので、月平均した波パワーは台風や低気圧の通過で生じる高波の影響を単純な平均波高より敏感に受ける。例えば、岩手南部沖では、2010年12月に最大値として約 39kW/m 、2008年7月に最小値として約 5kW/m を記録した。この最小値でさえ沿岸波浪計の最大値に近いレベルである。また、高知西部沖では2009年の5月、9月、10月と2010年10月に約 $24\sim 26\text{kW/h}$ と突出して大きい。

なお、沖合では沿岸とは異なり、岬や島による遮蔽や海底地形による屈折が生じないため、まず主波向として幅広い出現頻度分布を持ち、一つの主波向に対しても強い多方向性を有している。また、水深も深いため、波エネルギーが鉛直方向に幅広く分布している。波力発電の適地を検討する際には、波パワーの単純な大小だけでなく、これらの点にもご留意いただきたい。

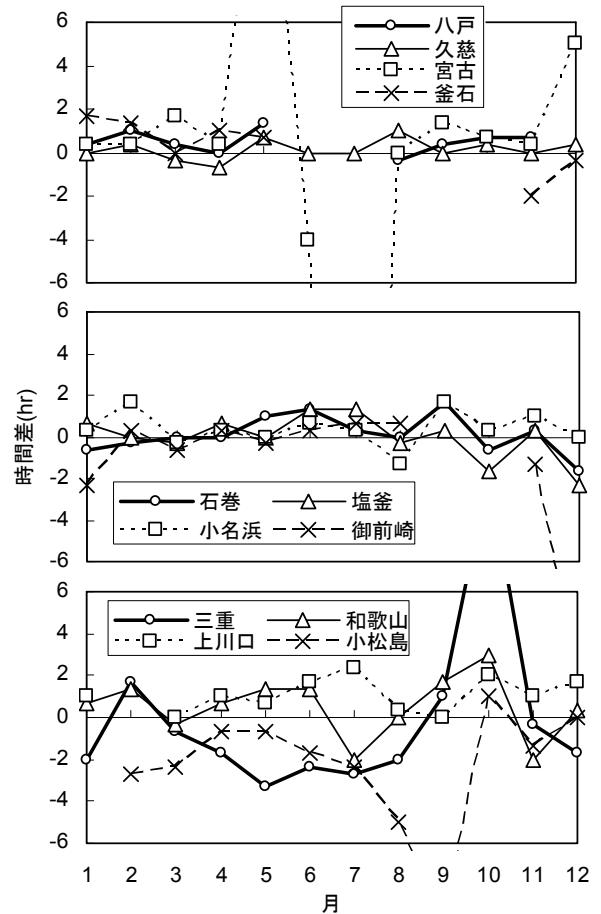


図-3.30 GPS 波浪計と沿岸波浪計の時間差(2010年)

(2) 波浪静穏率

図-3.32 は、観測期間の比較的長い岩手南部沖、宮城中部沖、三重尾鷲沖、和歌山南西沖、高知西部沖のGPS波浪計と、これらに近接する沿岸波浪計を選んで、2008～2010年の各月の波浪静穏率 R_H を示したものである。波浪静穏率 R_H とはその月で有義波高がしきい値以下となる割合であり、そのしきい値としては 0.5m 、 1m 、 3m の3種類を仮定した。以下では「○港の波浪静穏率」という表現をしばしば用いるが、この値は沿岸波浪計の設置された港外の一地点に対するものである。港内の泊地の荷役稼働率とは別物であることにご留意いただきたい。

さて、図において、海上工事の安全管理でしばしば目安とする 1m をしきい値とした場合の波浪静穏率 R_H をみると、石巻港の沿岸波浪計の地点では年間を通じて概ね 0.8 以上あり、釜石港では冬季に北寄りの波浪が入りやすいために 0.5 程度に低下する月もある。上川口港では冬季は 0.8 以上あり、夏季には 0.6 程度に低下する。これらに対し、沿岸地形の遮蔽を受けないGPS波浪計の地点では何れも低く、特に岩手南部沖と宮城中部沖では 0.4 を超える月がほとんどない。三重尾鷲沖、和歌山南西沖、

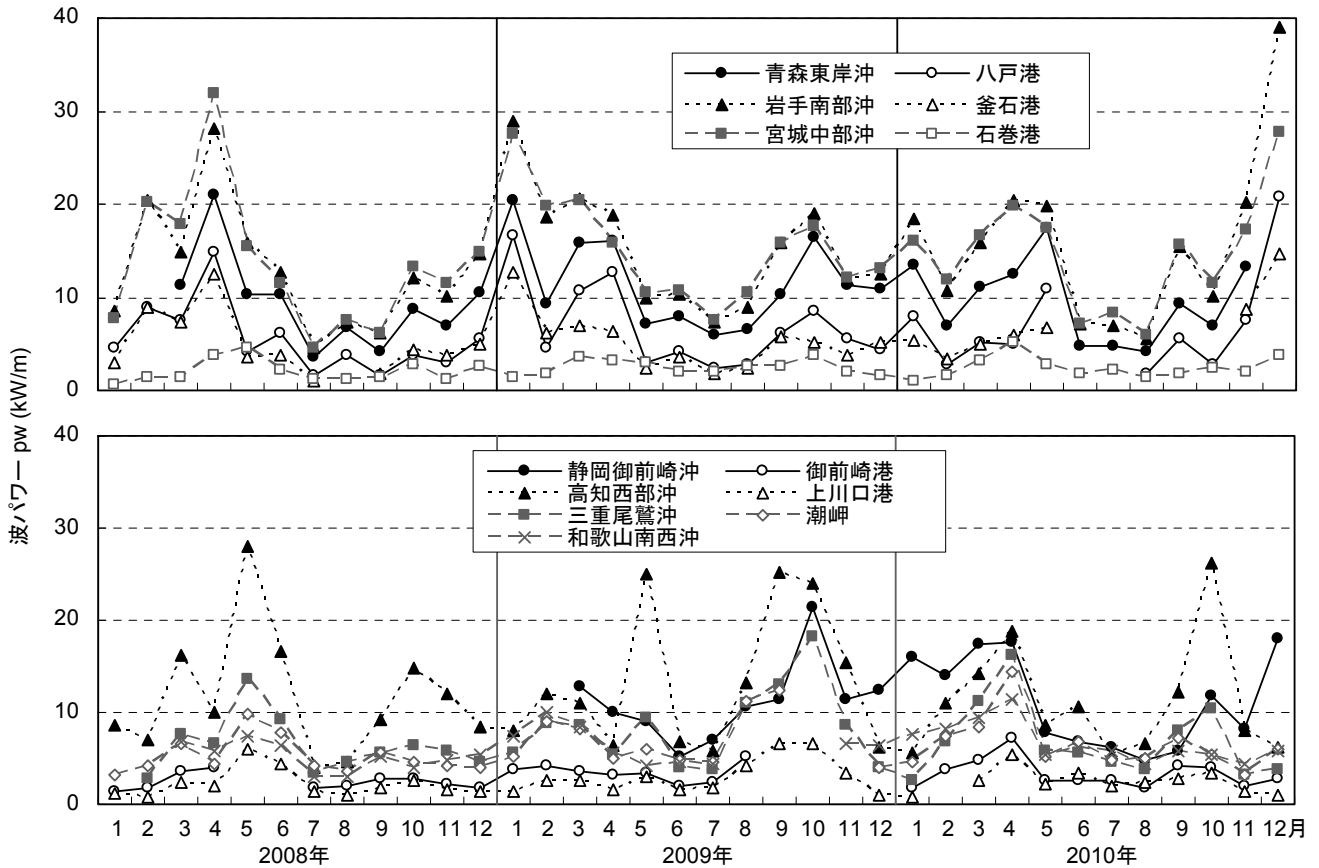


図-3.31 GPS 波浪計と沿岸波浪計における各月の平均波パワー

高知西部沖でも 0.4~0.6 の値をとる月が多い。

しきい値を 0.5m とした場合の波浪静穏率 R_H についてみると、岩手南部沖と宮城中部沖では年間を通じて数パーセント以下である。GPS 波浪計の近傍に低気圧や台風がないときにも、太平洋のどこかで発生した波浪がうねりとして到達するためである。三重尾鷲沖、和歌山南西沖、高知西部沖でも、冬季には 0.1 を超える月もあるが、夏季には数パーセント以下になることが多い。

(3) 風速・風向の出現特性

図-3.33 は、比較的観測期間の長い岩手南部沖、宮城中部沖、三重尾鷲沖、和歌山南西沖、高知西部沖の GPS 波浪計で観測した 20 分毎の 10 分間平均風速をもとに、2008~2010 年の各月の平均値（以下では単に、平均風速 W_m ）と最大値（最大風速 W_s 、瞬間最大風速ではない）、最多風向 D_w を示したものである。方位 17~21 は、方位 1~5 と同じ意味であり、経月変化を描いたときに方位 16 (NNE) と方位 1 (N) を挟んだ変化で折れ線グラフが途切れるのを避けるために用いたものである。各月において、20 分毎の風の統計量の測得率が 0.8 未満の場合はプロットしていない。この風の測得率は表-2.2 に示した波浪の測得率とは必ずしも一致しない。

この図から、三重尾鷲沖を除く 4 地点に共通して、平均風速 W_m には冬季に大きく夏季に小さいという季節変化が見られる。最大風速は、2008 年 9 月と 2009 年 10 月に、三重尾鷲沖と高知西部沖の値が他の地点に比べて突出しているが、これらは台風によるものである。最多風向 D_w は、何れの地点でも 5~8 月に東ないし南寄りの方位 5~10 (E~SSW) になることがある他は、安定して北寄りの方位 13~17 (NW~NNE) である。

図-3.34 は、宮城中部沖を例に GPS 波浪計と陸上で、風統計量の経月変化を比較したものである。宮城中部沖 GPS 波浪計は、図-2.5(d) に示したように、牡鹿半島の南東沖にある。石巻と江ノ島は気象庁の観測施設であり、石巻は仙台湾の海岸沿い、江ノ島は牡鹿半島の東方に位置する。石巻港と仙台塩釜港も仙台湾の海岸沿いに設置されている。

この図から、宮城中部沖、石巻、江ノ島の何れの地点でも、平均風速 W_m が冬季に大きく夏季に小さい、という季節変化を示していることが分かる。細かく比較すると、冬季には石巻と江ノ島の平均風速はほぼ同じで、夏季には江ノ島の方がやや小さい。最多風向 D_w も、冬季は北寄り、夏季は南寄りが多い。ただし、2008 年の 5 月

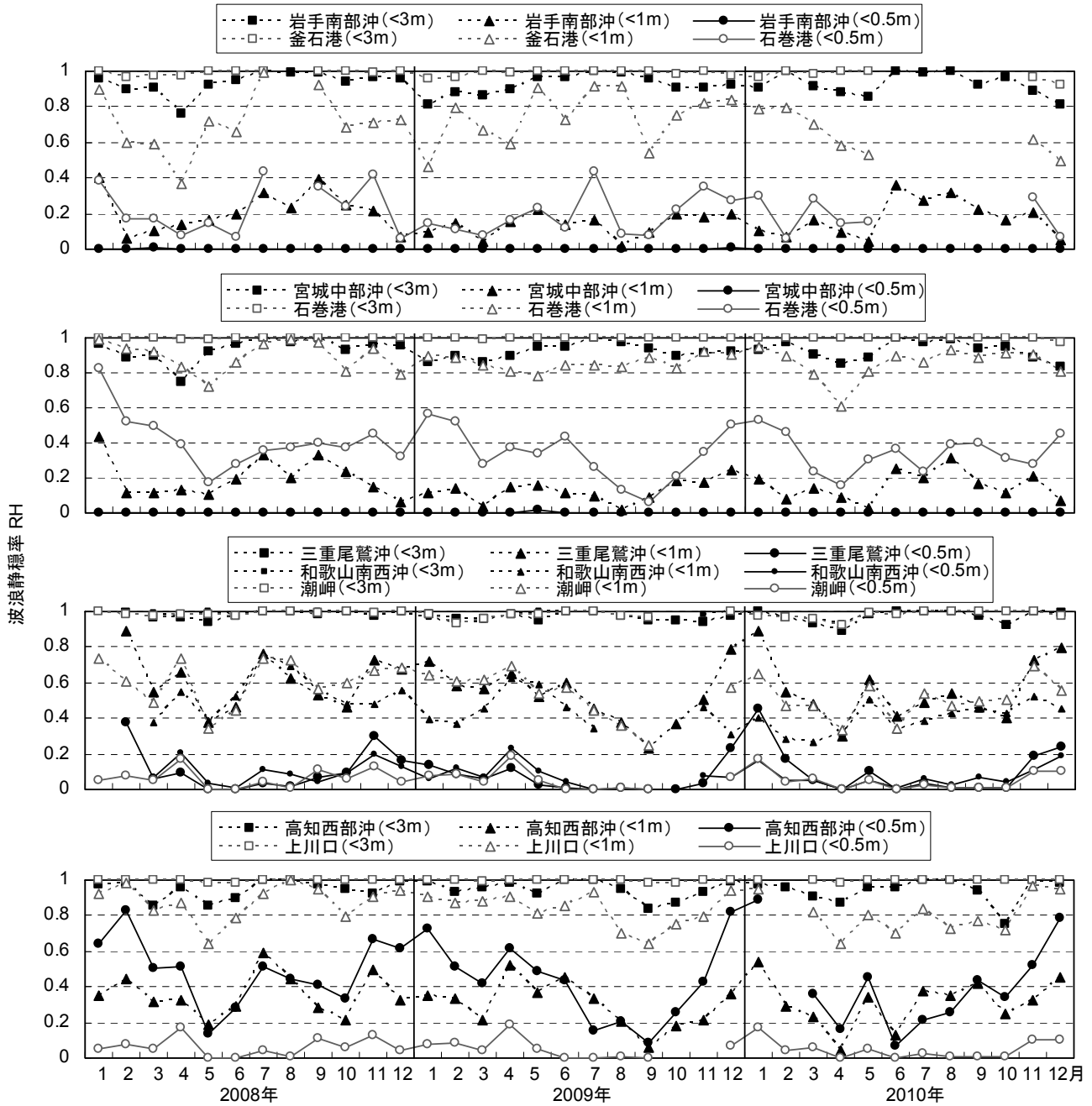


図-3.32 GPS 波浪計と沿岸波浪計による波浪静穏率の比較

と8月、2009年の6月と8月に見られるように、宮城中部沖や石巻で最多風向が南寄りとなっても江ノ島では北寄りのままとなることもある。これは江ノ島の風観測地点の周りの地形を反映したものである。

図-3.35は、2009年1月のデータを例に、20分間隔の宮城中部沖の風速を石巻や江ノ島と比較したものである。宮城中部沖での風向がN, E, S, Wの場合に限ったものと、全ての風向について示した図とがある。石巻については、宮城中部沖での風向がNの場合に、宮城中部沖よりも風速がかなり小さくなっている。Sに対しては宮城

中部沖の風速に近い。江ノ島については、石巻とは逆に、宮城中部沖での風向がNの場合に宮城中部沖とほぼ同じ風速が得られ、Sの場合には弱まっている。

(4) 風静穏率

図-3.36は、岩手南部沖、宮城中部沖、三重尾鷲沖、和歌山南西沖、高知西部沖について、2008~2010年の各月の風静穏率 R_W を示したものである。ここでいう風静穏率 R_W とは10分間平均風速がしきい値以下となる割合であり、そのしきい値としては5, 10, 15, 25m/sの4種類を仮定した。この図から、岩手南部沖、宮城中部沖、

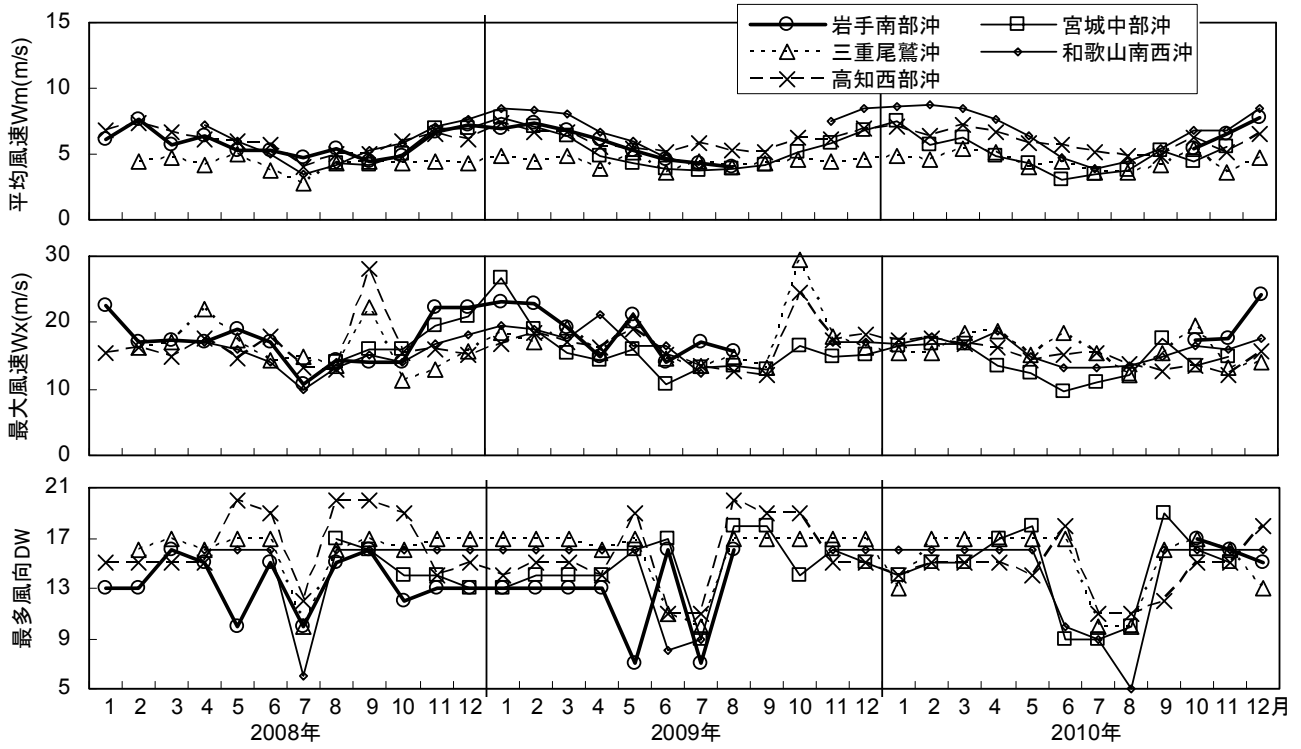


図-3.33 GPS 波浪計による月別の風速・風向

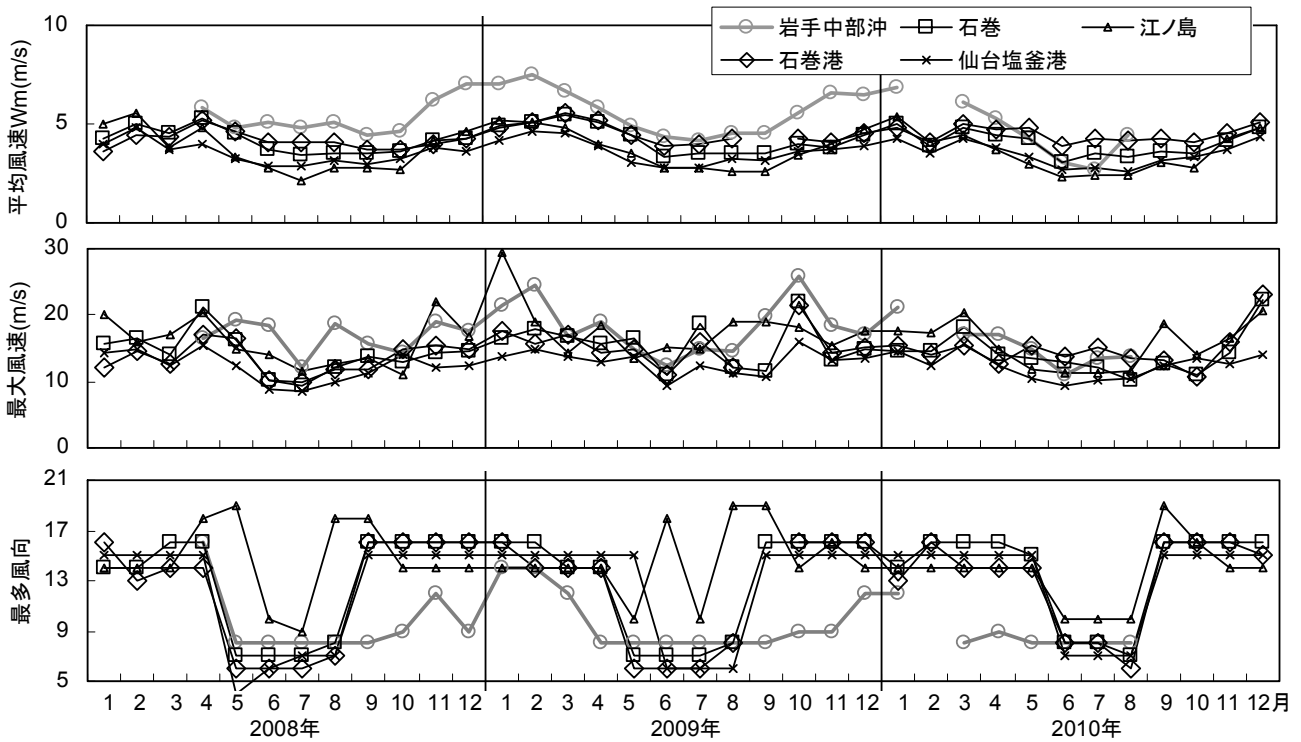
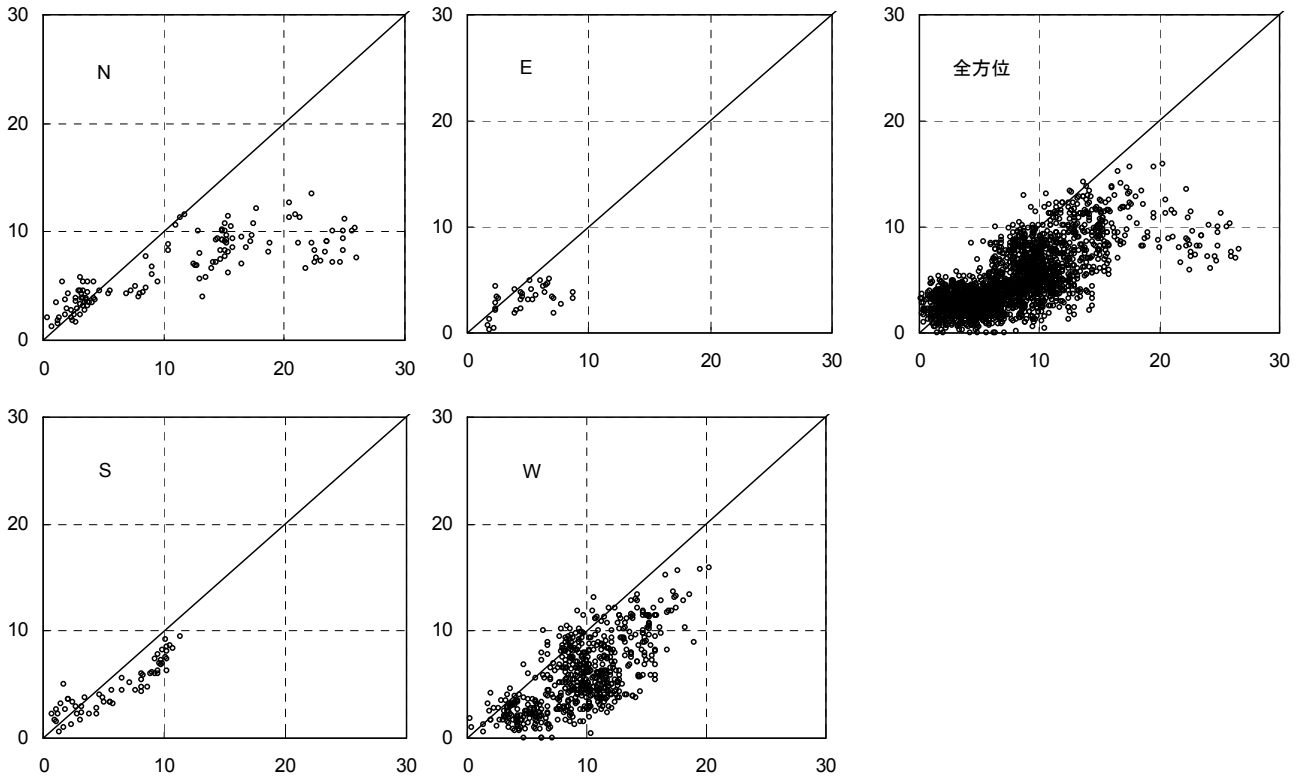
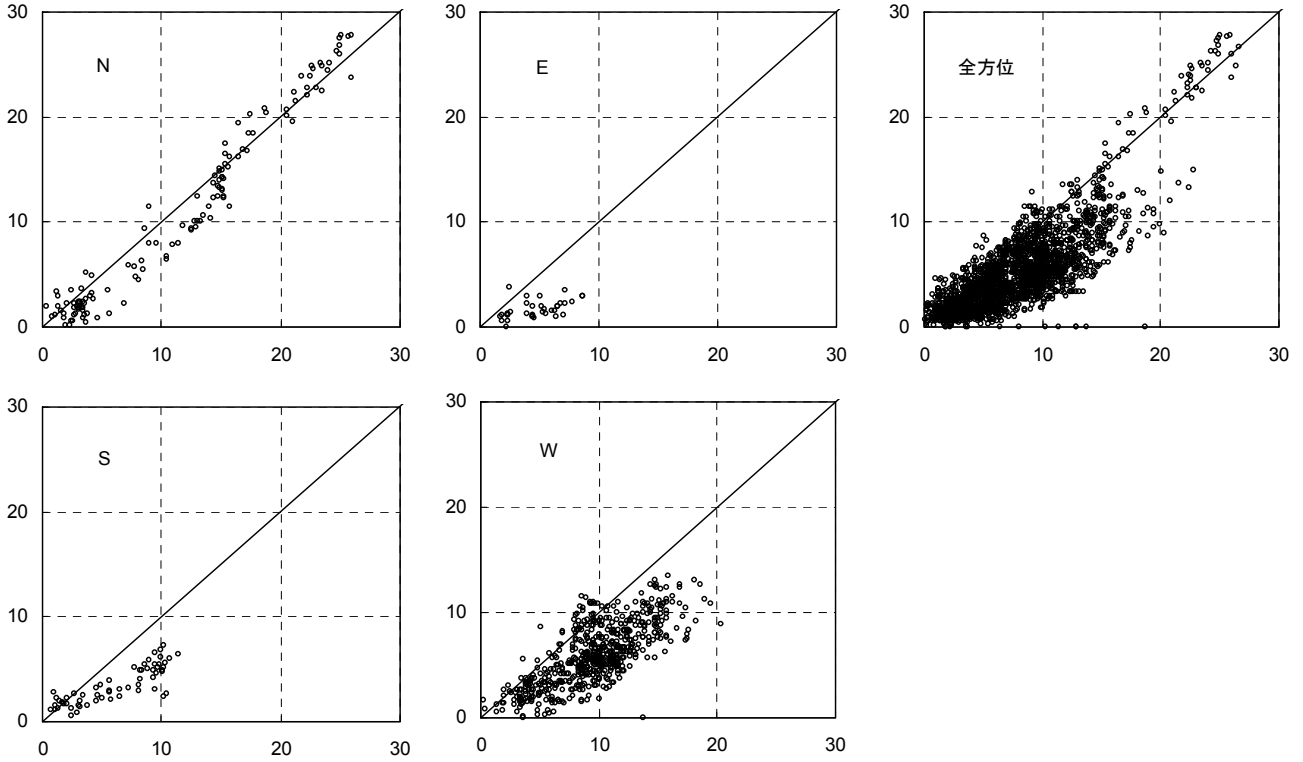


図-3.34 GPS 波浪計と陸上観測点による月別の風速・風向の比較

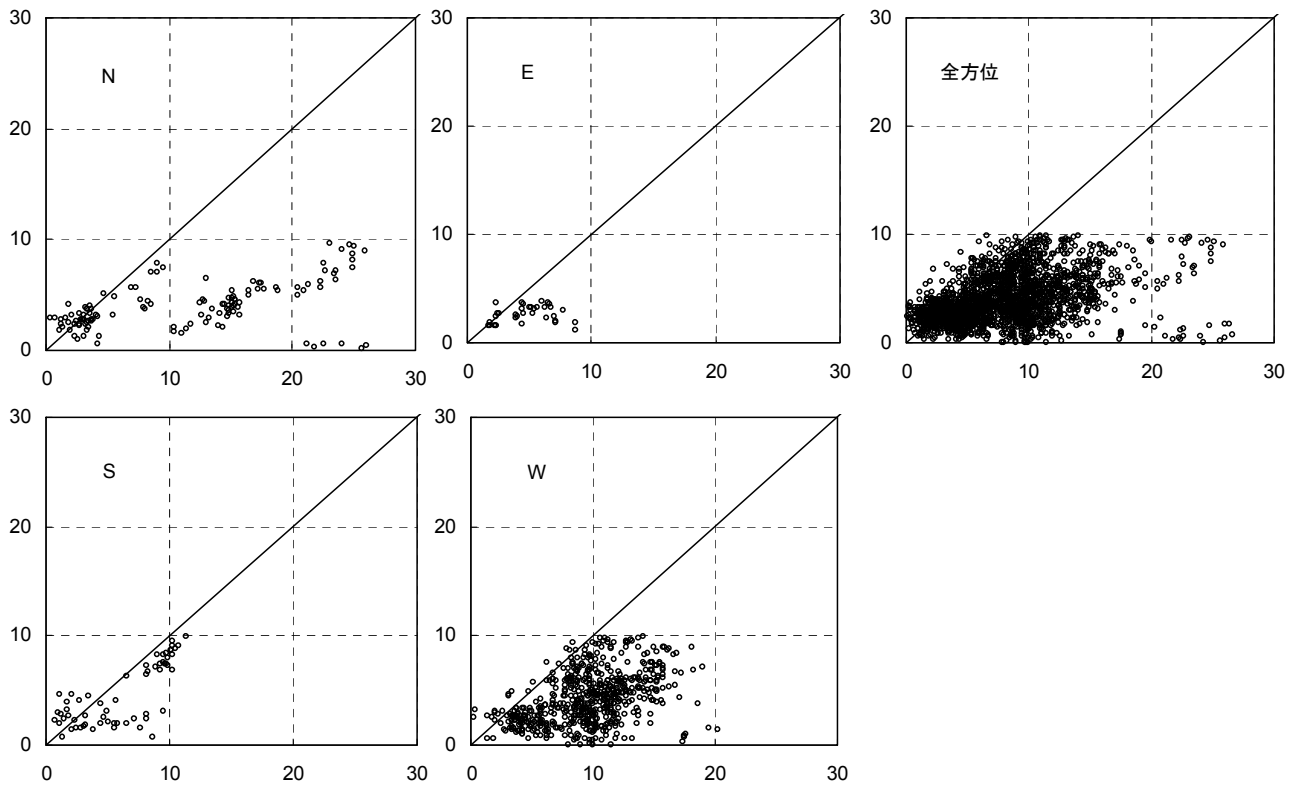


(a) 宮城中部沖と石巻（横軸：宮城中部沖の値，縦軸：石巻の値）

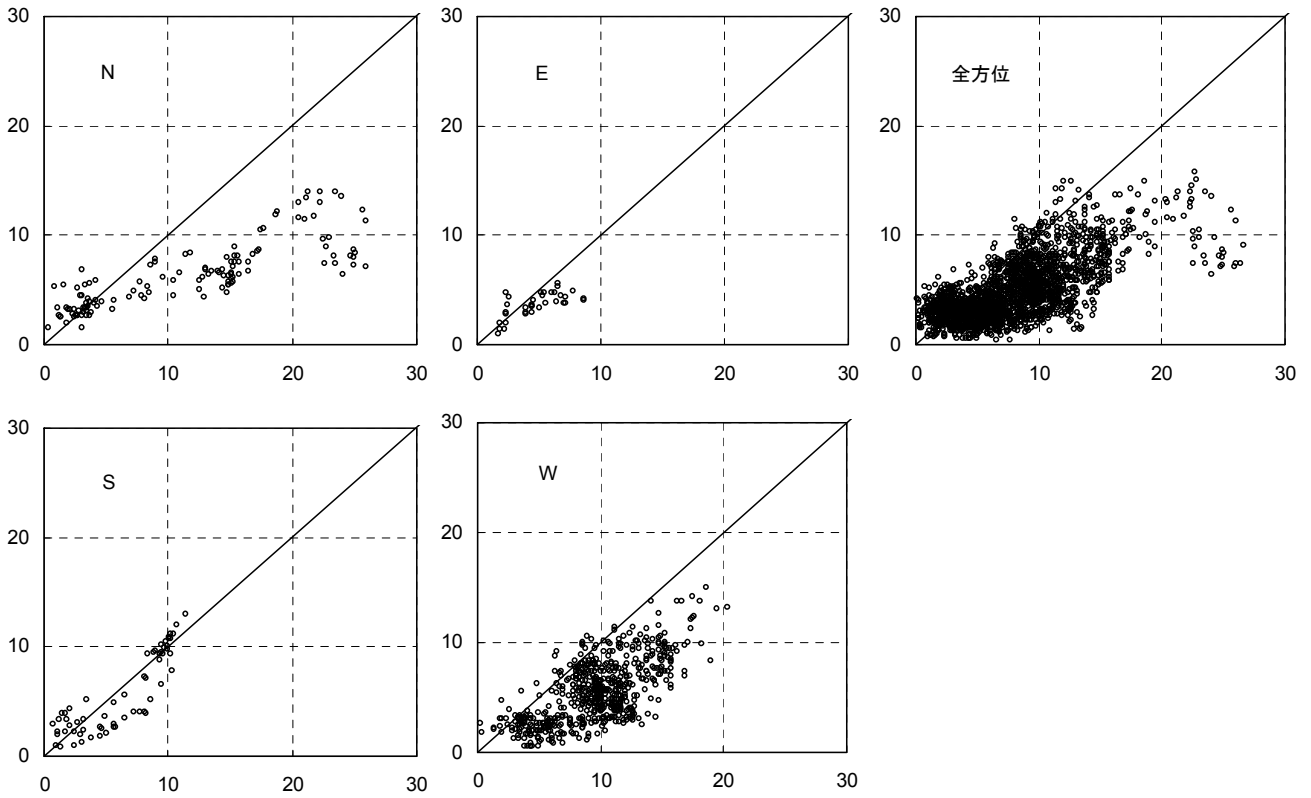


(b) 宮城中部沖と江ノ島（横軸：宮城中部沖の値，縦軸：江ノ島の値）

図-3.35 GPS 波浪計と陸上観測地点の風速の相関性（単位：m/s）(1/2)



(c) 宮城中部沖と石巻港（横軸：宮城中部沖の値，縦軸：石巻港の値）



(d) 宮城中部沖と仙台塩釜港（横軸：宮城中部沖の値，縦軸：仙台塩釜港の値）

図-3.35 GPS 波浪計と陸上観測地点の風速の相関性（単位：m/s）(2/2)

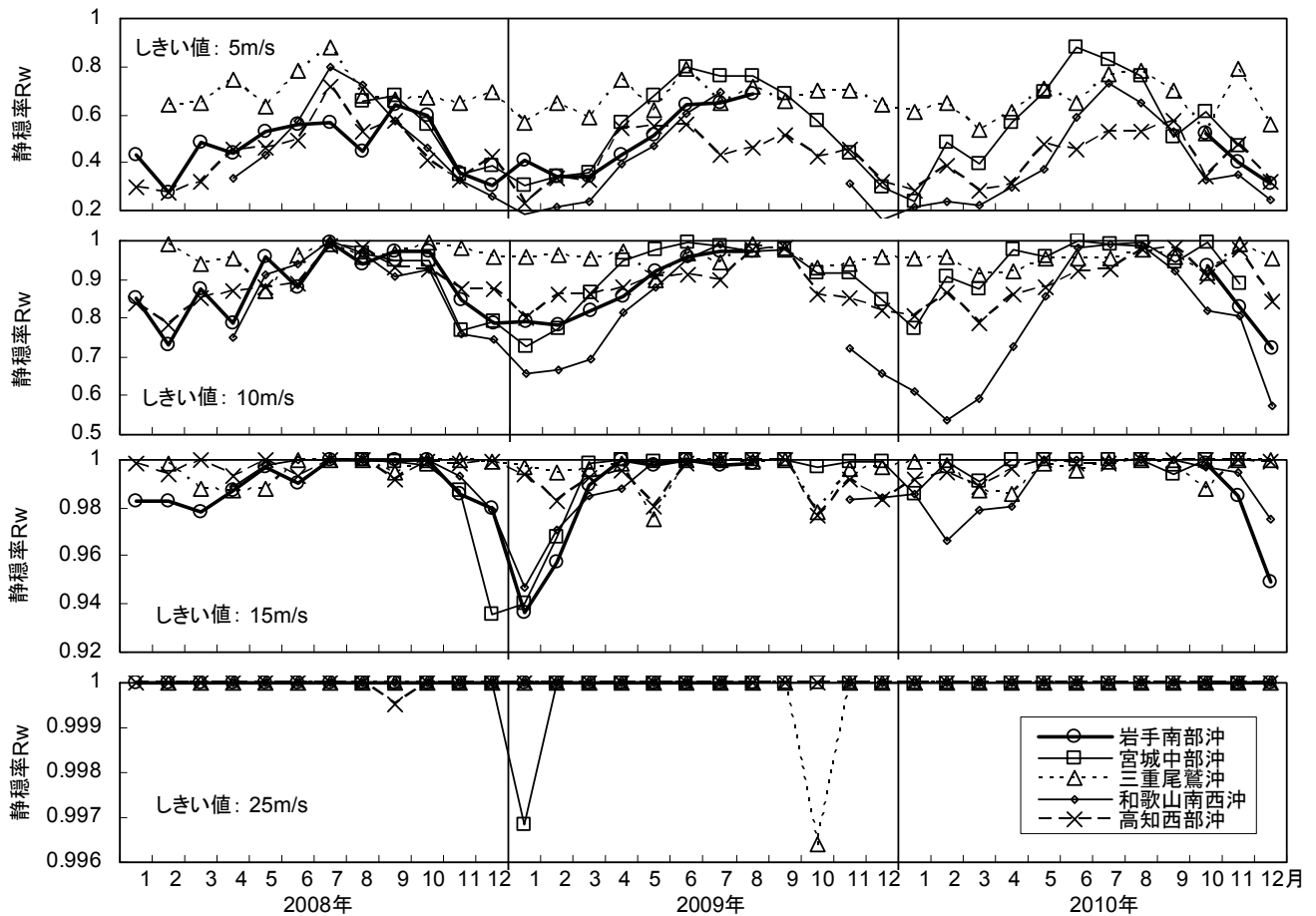


図-3.36 GPS 波浪計による風静穏率

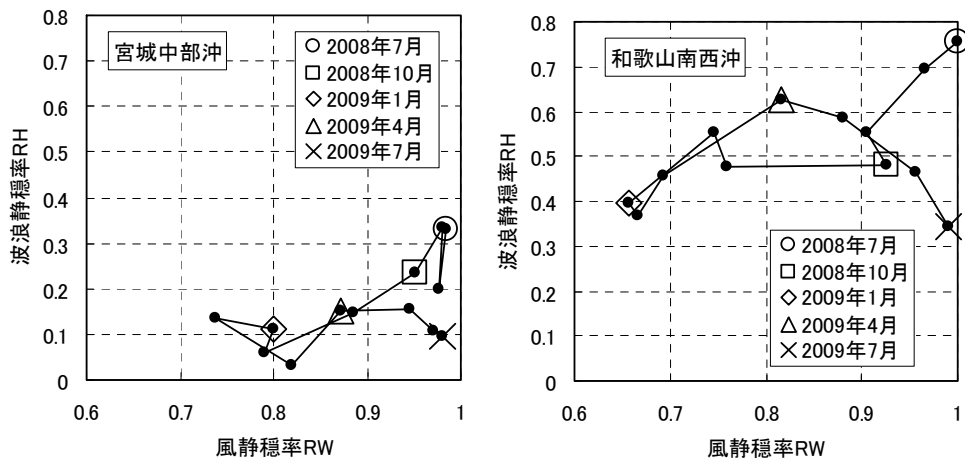


図-3.37 波浪静穏率と風静穏率の関係

和歌山南西沖，高知西部沖では，冬季に静穏率が低く，夏季に高いことが分かる．これらの地点に比べて三重尾鷲沖では，冬季にあまり静穏率は低下しない．

(5) 波浪静穏率と風静穏率

図-3.37 は，岩手南部沖と和歌山南西沖を例に，2008年7月～2009年7月の波浪静穏率 R_H (しきい値 1m) と

風静穏率 R_W (しきい値 10m/s) の関係を示したものである．これら2地点で波浪静穏率 R_H と風静穏率 R_W の両方が途切れることなく得られた期間を選んだ結果，年をまぐことになった．何れの地点でも，7月など夏季に波浪静穏率 R_H と風静穏率 R_W の両方が高く，1月など冬季に両方が低い傾向がある．内湾では，局所的な風によって

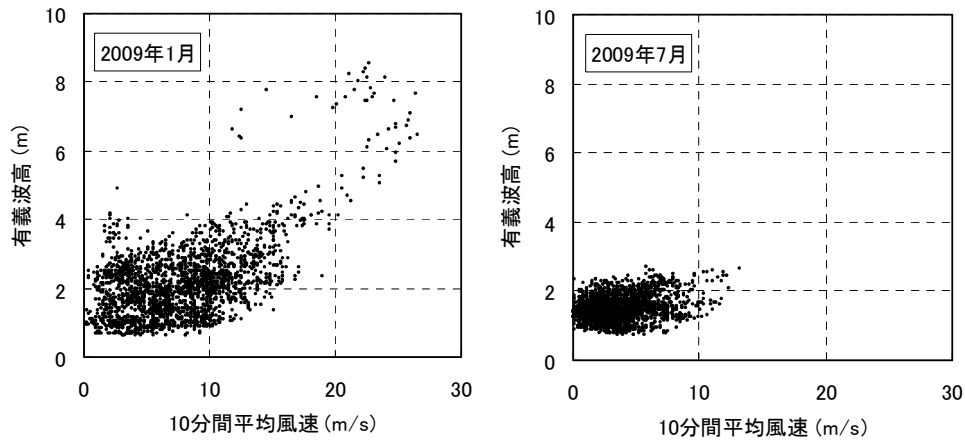


図-3.38 宮城中部沖の風速と波高の関係

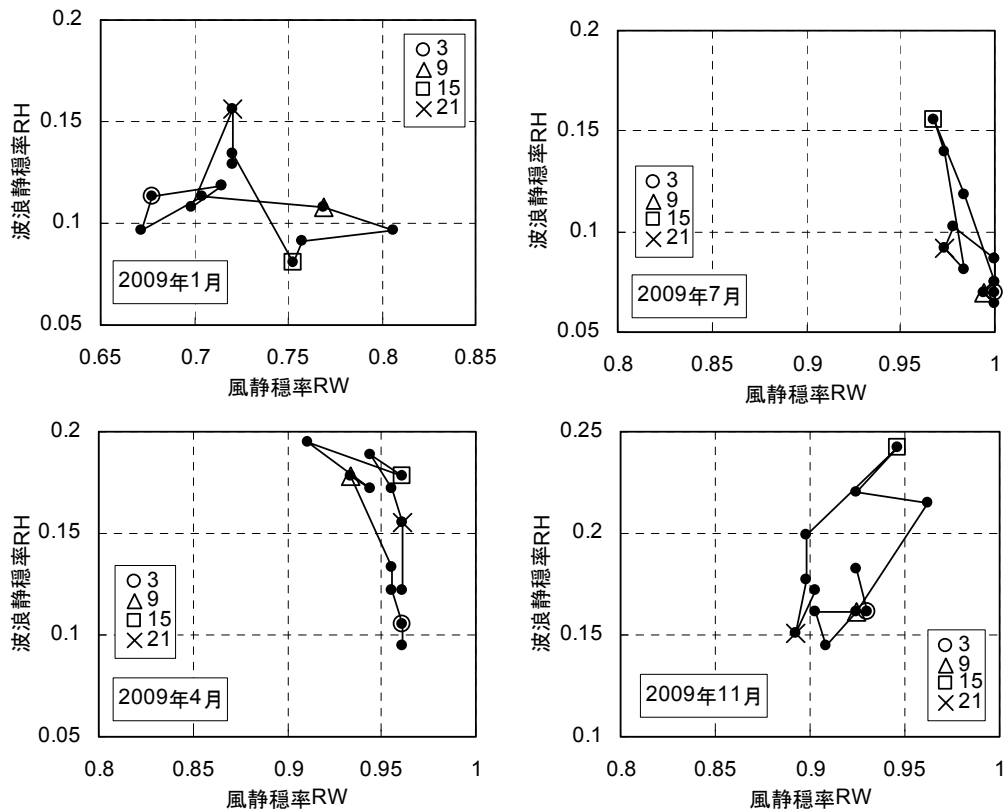


図-3.39 宮城中部沖の時間帯別の静穏率

波浪が発達するため、風速と波高とに強い相関があり、波浪静穏率 R_H と風静穏率 R_W とにも強い相関が得られるものと考えられるが、GPS 波浪計のある沖合では、遠方からのうねりによって 1m 程度の波浪がしばしば生じるため、無風に近い状態でも高波浪の場合がある。図-3.38 は宮城中部沖の 2009 年の 1 月と 7 月を例に風速と波高の相関を示したものであり、風速と波高には概して相関性はあるものの、10m/s 以下の低風速であっても波高が 4m を超えることがある。

(6) 時間帯による静穏率の変化

図-3.39 は、宮城中部沖を例に、時間帯別の静穏度を算出した結果である。1ヶ月間の有義波高や 10 分間平均風速の統計量を 2 時間毎のブロックに分けて、それぞれのブロックの風静穏率 R_W (しきい値 10m/s) と波浪静穏率 R_H (しきい値 1m) を算出した。例えば、0 時 0 分、0 時 20 分、0 時 40 分、1 時 0 分、1 時 20 分、1 時 40 分の観測値を「1 時のブロック」、2 時 0 分、2 時 20 分、2 時 40 分、3 時 0 分、3 時 20 分、3 時 40 分の観測値を「3 時

表-4.1 2009年の主要な気象擾乱

No.	擾乱期間	高波出現海域	気象要因
1	(2008年)12/30~01/04	東海から九州の太平洋側をのぞく全域	冬型気圧配置
2	01/09~01/13	四国及び九州の太平洋側を除く全域	二つ玉低気圧, 二つ玉低気圧
3	01/23~01/25	東海から九州の太平洋側を除く全域	二つ玉低気圧→冬型気圧配置
4	01/29~02/02	日本列島ほぼ全域	南岸低気圧→三陸沖低気圧
5	02/13~02/14	南西諸島を除く日本列島ほぼ全域	日本海低気圧
6	02/15~02/18	四国及び九州の太平洋側を除く全域	冬型気圧配置
7	02/20~02/21	日本列島全域	二つ玉低気圧→冬型気圧配置
8	03/06~03/08	四国と九州の太平洋側及び南西諸島を除く全域	二つ玉低気圧→冬型気圧配置
9	03/12~03/16	日本列島ほぼ全域	日本海低気圧→冬型気圧配置
10	03/22~03/23	南西諸島を除く日本列島ほぼ全域	二つ玉低気圧
11	04/25~04/28	日本列島ほぼ全域	二つ玉低気圧→三陸沖低気圧
12	08/05~08/11	関東以南の太平洋側及び東シナ海側	台風 0908 号, 台風 0909 号
13	09/17~09/21	北海道を除く太平洋側全域	台風 0914 号
14	10/06~10/10	日本列島ほぼ全域	台風 0918 号
15	10/24~10/29	本州・九州の日本海側を除く全域	台風 0920 号
16	11/01~11/03	日本海側全域と関東及び九州以南	南岸低気圧→冬型気圧配置
17	11/10~11/12	北海道を除く日本列島ほぼ全域	南岸低気圧
18	11/13~11/18	日本列島ほぼ全域	南岸低気圧, 南岸低気圧
19	12/05~12/08	近畿以南の太平洋側を除く全域	日本海低気圧→冬型気圧配置
20	12/17~12/22	四国以南の太平洋側を除くほぼ全域	冬型気圧配置, 日本海低気圧

のブロック」として整理している。

この図によると、時間帯によって風静穏率 R_W や波浪静穏率 R_H に変動が見られる。風静穏率 R_W は、1月には9~15時のブロックすなわち昼間に風静穏率 R_W が高く、夜間は低くなっている。7月もわずかに昼間の方が高いが、もともと静穏な月であるため昼夜問わず風静穏率 R_W は1に近い。波浪静穏率 R_H については、1月は21時のブロックすなわち深夜、7月には15時のブロックすなわち午後が高い。

4. 気象擾乱時の波浪諸元

4.1 2009年の代表的な気象擾乱

2009年に顕著な高波をもたらした気象擾乱（河合ら、2011a）を表-4.1に示す。その多くは、冬季に北日本に影響を及ぼした低気圧、または秋季に西日本に影響を及ぼした台風である。

(1) 東北地方沿岸における最大有義波

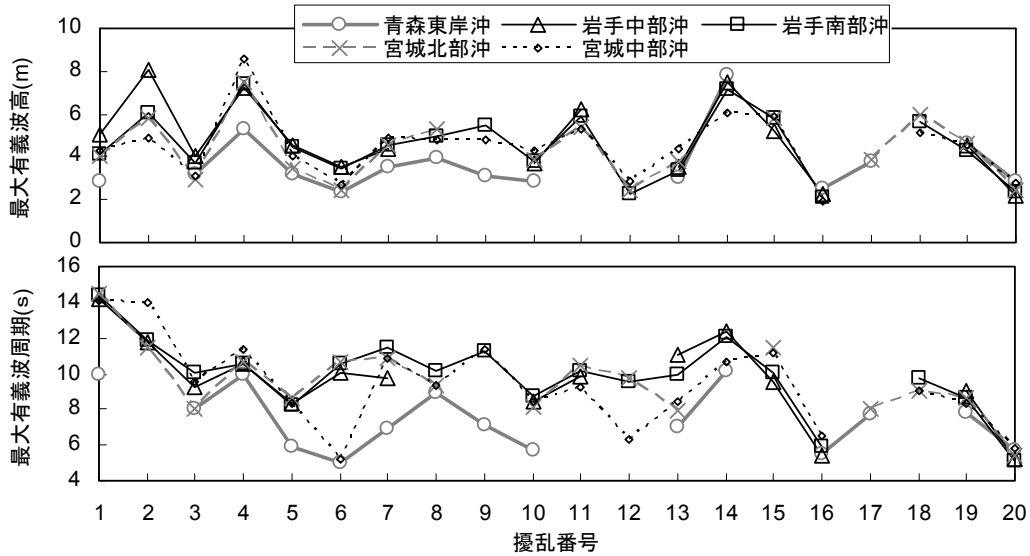
図-4.1は、東北地方沿岸のGPS波浪計とそれに近接する沿岸波浪計について、表-4.1の各擾乱期間中の最大有義波高・周期を示す。ただし、有義波高が最大となる頃に欠測があって、本来の最大値を捉えていない可能性のあるものは、プロットしていない。

まず、図の(a)に示すGPS波浪計の値において、擾乱4の宮城中部沖における8.53m, 11.4sという値は、この図に示す20擾乱、5地点を通じて最大の最大有義波である。

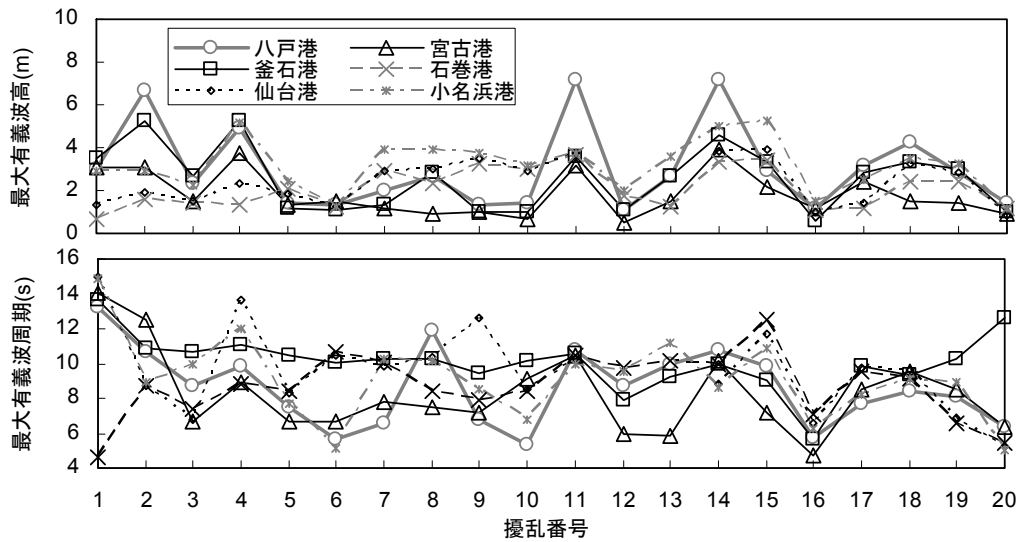
擾乱毎に5地点の最大有義波高を比較していくと、岩手中部沖、岩手南部沖、宮城北部沖、宮城中部沖の4地点の値は、擾乱2を除き非常によく一致している。青森東岸沖の値は、多くの擾乱でこれら4地点より小さい。最大有義波周期については、岩手中部沖、岩手南部沖、宮城北部沖の3地点でよく一致し、宮城中部沖の値は擾乱6, 12でこれら3地点より小さく、青森東岸沖の値は多くの擾乱でさらに小さい。3章において「青森東岸沖を除く東北地方沿岸のGPS波浪計では、月平均有義波がほぼ同じである」ことを述べたが、主要な気象擾乱の最大有義波にも同じ傾向がある。

次に、図の(b)に示す沿岸波浪計の最大有義波高を見ると、図の(a)に示したGPS波浪計に比べて地点間のばらつきが著しい。これは、沖合では概ね一様であった波浪が、島や岬によって遮蔽され、水深が浅くなることで屈折し、特に波高が高く水深が浅い場合には砕波もして、ようやく沿岸波浪計の地点に到達するためである。八戸港では擾乱2, 4, 11, 14の最大有義波高が他の擾乱から突出して大きく、これら4擾乱で最大の最大有義波は擾乱11のときの7.19m, 10.8sであった。図の(a)に示したように、青森東岸沖または岩手北部沖でも、これら4擾乱は他の擾乱から突出している。沿岸波浪計で得られた最大有義波周期も地点間のばらつきが非常に大きい。

なお、近接するGPS波浪計と沿岸波浪計の組み合わせによる最大有義波の詳しい相関性については後述する。



(a) GPS 波浪計



(b) 沿岸波浪計

図-4.1 東北地方沿岸における各擾乱の最大有義波

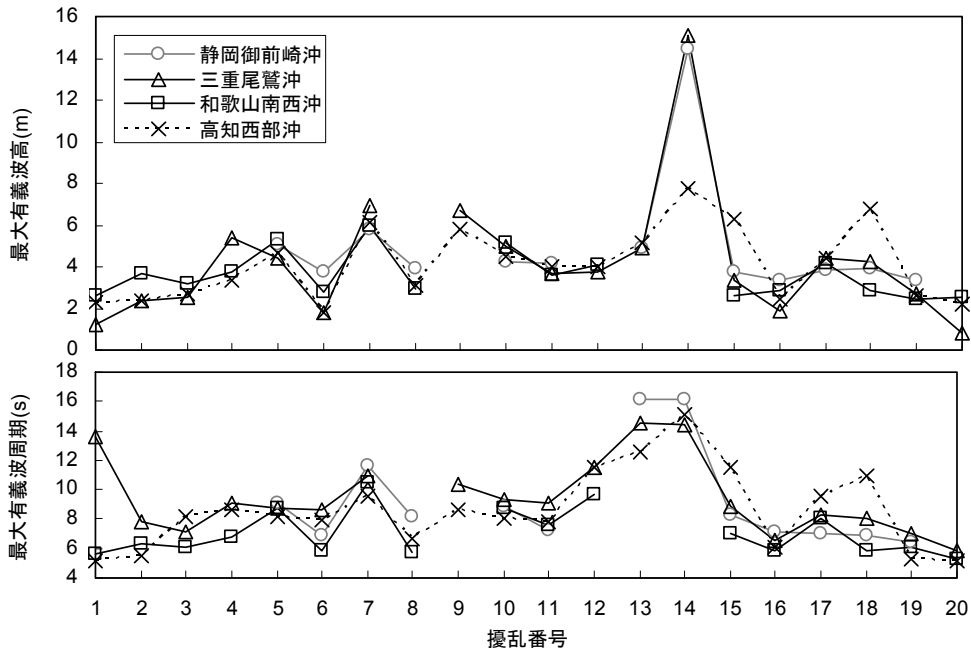
(2) 中部～四国地方沿岸における最大有義波

図-4.2 は、図-4.1 と同様に、中部～四国地方沿岸の GPS 波浪計とそれに近接する沿岸波浪計について、表-4.1 の各擾乱期間中の最大有義波高・周期を示したものである。

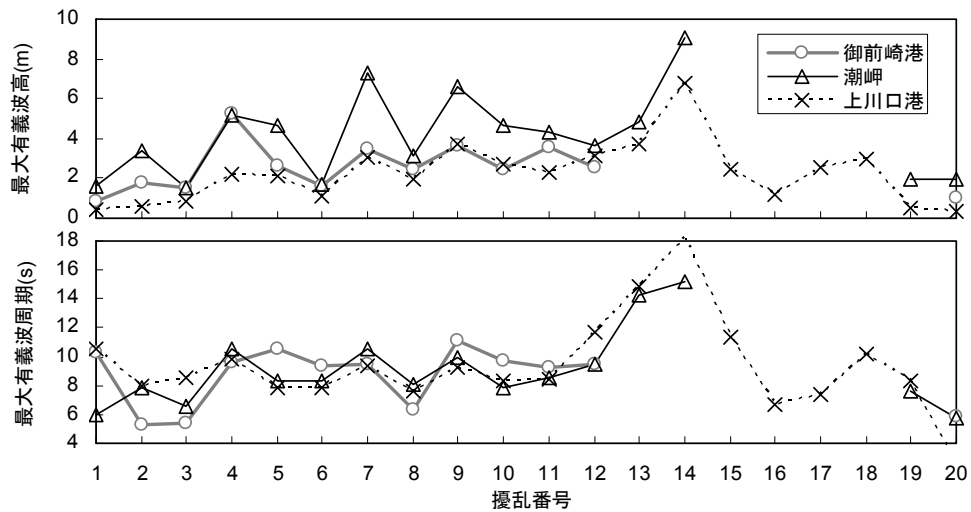
まず、図の(a)において 4 地点の GPS 波浪計の最大有義波高を比較すると、擾乱毎にそろって値が大きくなったり小さくなったりする程度の相関性は見られるが、図-4.1(a)で示した岩手中部沖、岩手南部沖、宮城北部沖、宮城中部沖の組み合わせほどは値がそろっていない。最大有義波高が突出した擾乱 14 は台風 0918 号であり、このとき静岡御前崎沖では 14.44m、16.1s、三重尾鷲沖では

15.14m、14.5s を記録し、和歌山南西沖は機器調整中のために欠測した。この静岡御前崎沖と三重尾鷲沖の最大有義波高は、NOWPHAS の 1970 年以來の全地点の沿岸波浪計を通じた既往最大有義波(台風 0704 号による中城湾の 13.61m、14.9s)を超える記録である。最大有義波周期についても、4 地点には擾乱毎にそろって値が大きくなったり小さくなったりする程度の相関性はみられるが、図-4.1(b)で示した岩手中部沖、岩手南部沖、宮城北部沖の組み合わせほどは値がそろっていない。擾乱 14 (台風 0918 号)だけでなく、擾乱 13 (台風 0914 号)のときにも長かった。

次に、図の(b)において、3 地点の沿岸波浪計の最大有



(a) GPS 波浪計



(b) 沿岸波浪計

図-4.2 中部～四国地方沿岸における各擾乱の最大有義波

義波高を比較すると、御前崎港と上川口港の値は潮岬を大きく下回っている。その差は概して、図の(a)に示したGPS波浪計の地点差より大きい。このことは、御前崎港や上川口港の波浪が周辺の地形の影響を大きく受けていることを示している。図の(a)に示した三重尾鷲沖では擾乱14の最大有義波高が他の擾乱に比べて突出して大きかったが、潮岬ではそれほど突出してはない。

(3) GPS波浪計と沿岸波浪計の相関性

図-4.3は、表-4.1の気象擾乱について、主要なGPS波浪計と近接する沿岸波浪計の最大有義波高 $H_{1/3}(m)$ と

最大有義波周期 $T_{1/3}(s)$ の相関性を示したものである。9枚あるグラフの何れも、横軸にGPS波浪計の値、縦軸に沿岸波浪計の値をとっている。

まず、最大有義波高の相関についてみると、三重尾鷲沖と潮岬、和歌山南西沖と潮岬の組み合わせでは、プロットが傾き1:1の線のそばに分布しており、潮岬の沿岸波浪計がGPS波浪計の捉える深海波に近い波浪を捉えていることを示している。その他の組み合わせでは、プロットが線より下に分布しており、沿岸波浪計による最大有義波高はGPS波浪計より小さい。なお、三重尾鷲沖

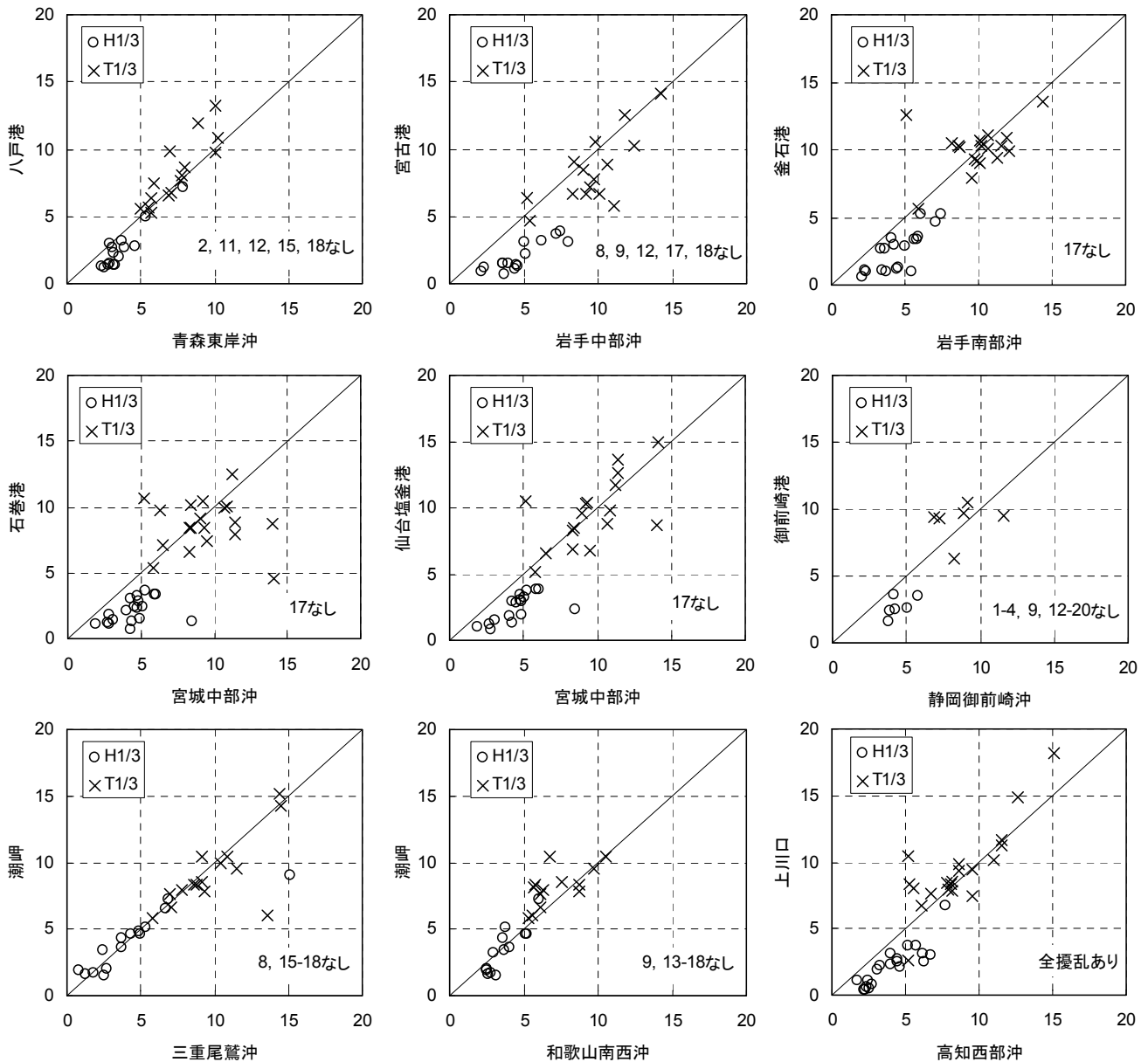


図-4.3 GPS 波浪計と沿岸波浪計との最大有義波の相関性

と潮岬の組み合わせでは、擾乱 14 (台風 0918 号) が傾き 1:1 の線から大きく離れている。この擾乱では和歌山南西沖と御前崎港が欠測したため、和歌山南西沖と潮岬、静岡御前崎沖と御前崎港の相関図にはプロットがない。このように大きく離れた一因として、気象擾乱の中心が波浪観測地点に接近したことが考えられる。気象擾乱の中心が紀伊半島から遠く離れて通過すれば、沖合に到達する波浪は空間的に概ね一様であり、GPS 波浪計と沿岸波浪計が捉える有義波高の関係の多くの部分を浅海波浪変形によって説明できる。しかし、台風 0918 号のように気象擾乱の中心が接近すると、沖合でも中心からの方位や距離によって波浪の状態が大きく異なる。三重尾鷲沖

と潮岬の距離は、青森東岸沖と八戸港など他の GPS 波浪計と沿岸波浪計の組み合わせと比べて遠い。

次に、最大有義波周期の相関性について見ると、三重尾鷲沖と潮岬の組み合わせでは、擾乱 1 を除いて相関性は良い。青森東岸沖と八戸港の相関性はそれに続いて良く、八戸港の方が全体的に長い。その他の組み合わせでは、傾き 1:1 の線をはさんでプロットが大きくばらついている。

4.2 2009 年 1 月末からの三陸沖低気圧による高波

(1) 気圧配置と風の特性

図-4.4 は、2009 年 1 月 29 日～2 月 2 日の各日の 9 時

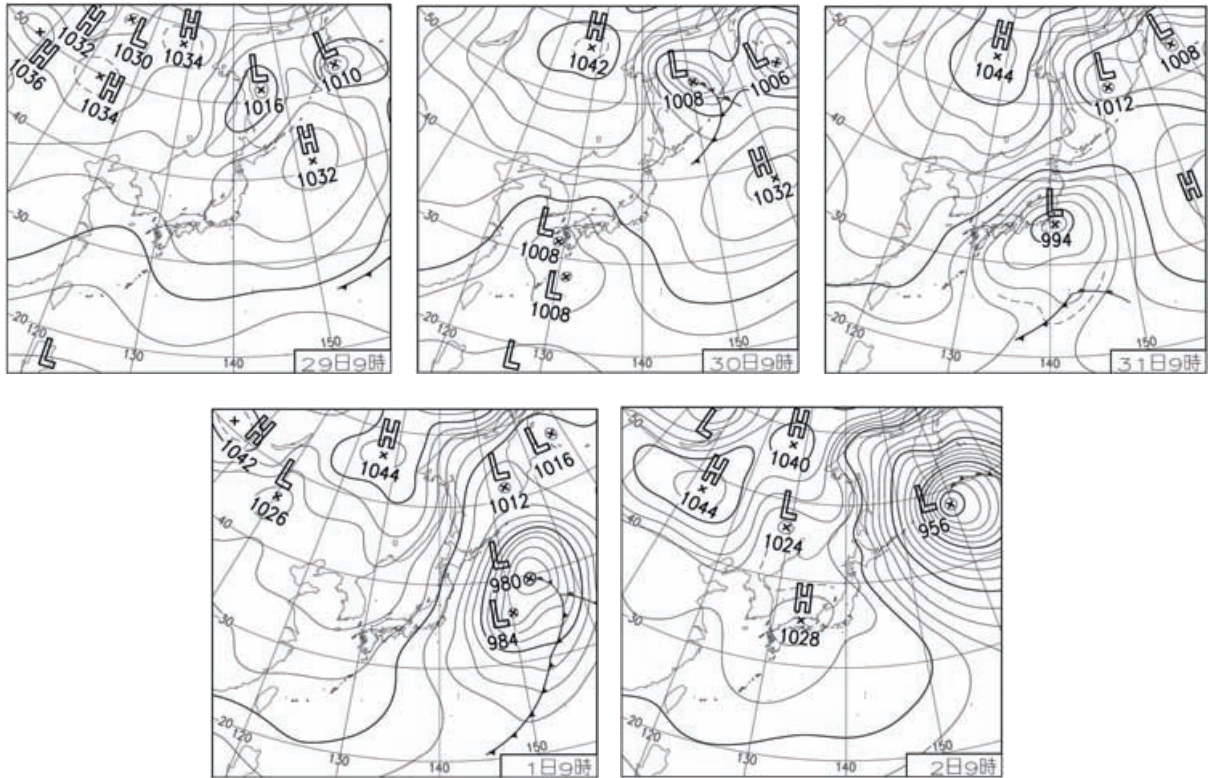


図-4.4 代表天気図 (2009年1月29日～2月2日)

における天気図を示す。1月30日から31日にかけて、低気圧が発達しながら日本列島の南岸を東進して三陸沖に達した。この低気圧はさらに発達しながら2月1日夜には千島列島東方へ進み、日本列島周辺では冬型の気圧配置が強まった。その後も低気圧は発達したままゆっくりカムチャッカ半島沖へと向かい、北日本では冬型が続き、西日本では大陸から移動してきた高気圧に覆われた。気象庁による陸上の観測では、札幌で13.6m/s (NNW)、仙台で13.2m/s (NNW)、東京で10.6 m/s (NW)の最大風速を記録した。

図-4.5は、GPS波浪計ブイの先端や沿岸の陸上にある風速計で得られた10分間平均風速の経時変化である。この図における風向は16方位であり、時計回りに、1はN、2はNNE、3はNE、...、16はNNWと定義している。

図の(a)に示すGPS波浪計の5地点では、1月31日13時40分～17時0分に最大平均風速16.7～26.6m/sを記録した。この時間帯は、青森東岸沖では方位3 (NE)、岩手中部沖、岩手南部沖、宮城北部沖、宮城中部沖では方位1ないし16 (NないしNNW)が多かった。これら5地点の中で南側に位置する宮城北部沖と宮城中部沖の経時変化は非常によく似ている。これら2地点の風速は、1月30日12時には10m/s程度であったが、時間に対してほぼ一定の割合で増加し、1月31日12時には25m/s程

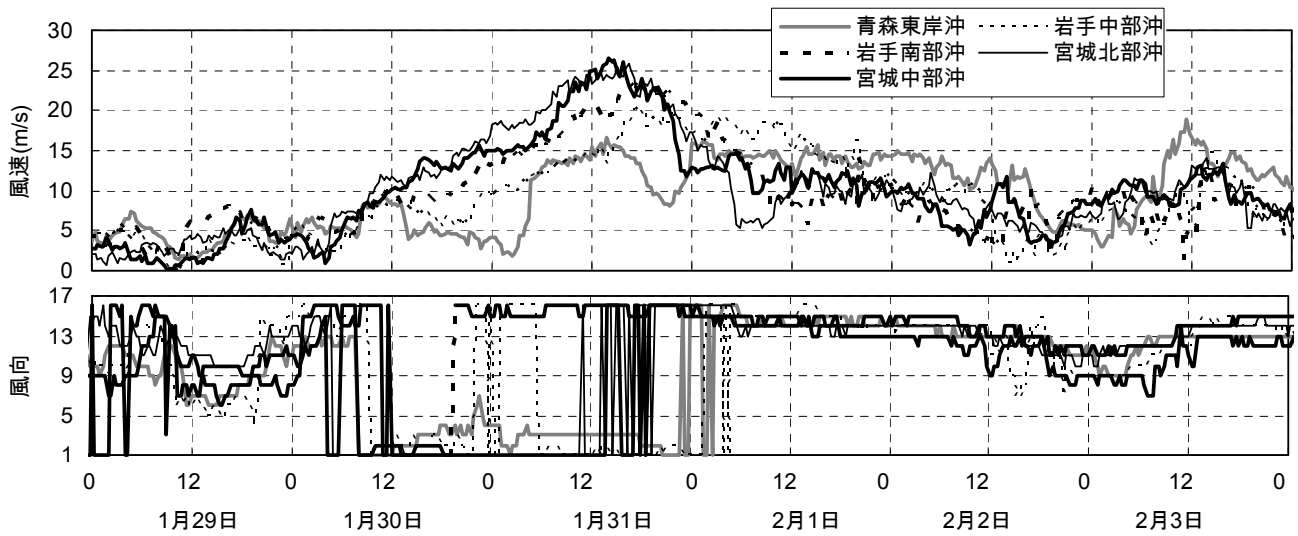
度に達した。岩手中部沖と岩手南部沖の風速の経時変化もこれら2地点と似ているが、風速のピークはやや低く、その起時もやや遅かった。これら4地点に対し、青森東岸沖では、1月30日14時～1月31日4時に、風速が他の地点に比べて著しく小さい5m/s程度となり、風向が方位4～7 (ENE～SE)に振れることもあった。東北地方沿岸のGPS波浪計の間隔は、図-4.4で示したように、三陸沖低気圧の規模に比べれば微小なものであり、青森東岸沖の風況には北海道と本州に挟まれた地形が影響したものと推察される。

この低気圧による三陸沖の風を地衡風で近似すると、その風速 U (m/s)は、

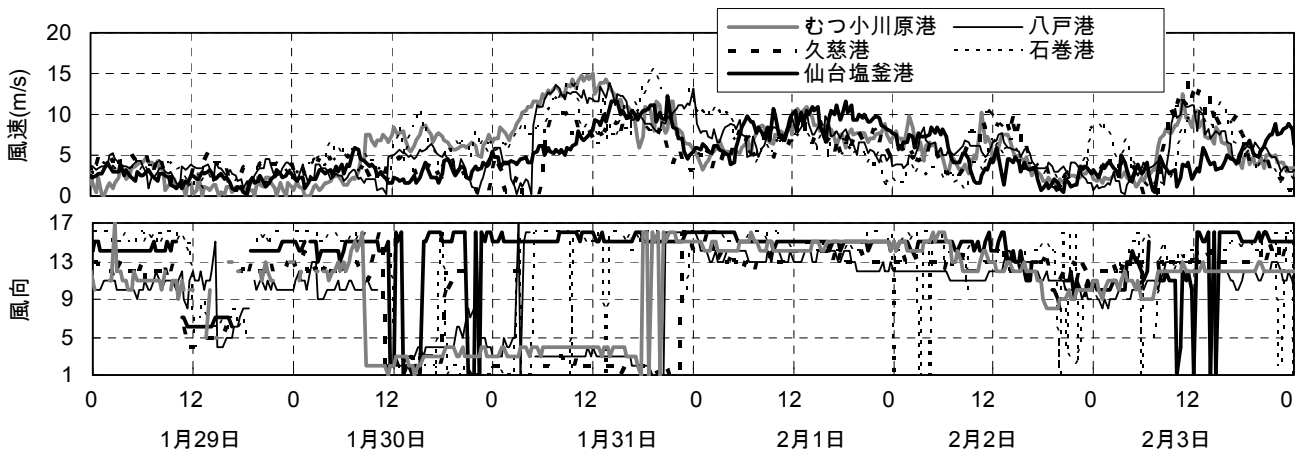
$$U = C \frac{1}{\rho_a f} \frac{\Delta p}{\Delta r} \quad (1)$$

で与えられる。ここに、 C は風速低減係数、 ρ_a は大気密度、 f はコリオリ係数、 Δp は気圧差、 Δr は距離である。図-4.4の1月31日9時の天気図で三陸沿岸の等圧線の間隔を読み取ると、4hPa毎に引かれた等圧線の間隔は約120kmあり、この式に $\Delta p=400\text{N/m}^2$ 、 $\Delta r=120,000\text{m}$ 、 $f=1.45 \times 10^{-4} \sin 36^\circ = 8.5 \times 10^{-5}$ 、 $\rho_a=1.22\text{kg/m}^3$ 、 $C=0.7$ を代入すると、 $U=22.5\text{m/s}$ が得られる。この値はGPS波浪計で得られた最大平均風速と概ね一致している。

図の(b)に示す陸上の5地点の風速は、(a)に示したGPS



(a) GPS 波浪計



(b) 陸上

図-4.5 2009年1月末の三陸沖低気圧のときの風の経時変化

波浪計の5地点に比べて全体的に小さい。宮城北部沖や宮城中部沖では1月30日12時から1月31日12時にかけて風速が時間に比例して増加したが、石巻港や仙台塩釜港ではそれほど増加していない。八戸港やむつ小川原港では青森東岸沖と似た経時変化をしている。この風速が低下した時間帯には、方位4~8 (ENE~SSE) の風向も現れた。

(2) 波浪の特性

図-4.6は、東北地方沿岸のGPS波浪計で観測した有義波の経時変化を示す。波向はNを0°とし、時計回りにEを90°、Sを180°と定義している。

まず有義波高・周期に着目すると、これら5地点の中で南側に位置する宮城中部沖や宮城北部沖では1月30日午後には既に有義波高・周期の増加が始まり、北側に位置する青森東岸沖や岩手中部沖では1月31日になって

から増加が始まった。これら5地点の最大有義波の起時は1月31日17時40分~22時40分、最大有義波高5.33~8.53mであり、概ね南側ほど起時は遅く、波高は高く、周期は長かった(起時は早い順に青森東岸沖、岩手中部沖、宮城中部沖、岩手南部沖、宮城北部沖、波高は低い順に青森東岸沖、岩手北部沖、宮城北部沖、岩手南部沖、宮城中部沖)。最大有義波高に達した後の有義波周期は、青森東岸沖では徐々に減少して2月2日正午頃には6s程度まで短くなったが、その他の4地点では2月3日0時頃までほぼ一定であった。

次に波向に着目すると、1月30日15時頃までは5地点ともに波向は、概ね120~180°の範囲、北か南かで分けるなら南寄りであった。この波浪は先に太平洋上を通過した低気圧によるものと考えられる。その後、宮城中部沖では1月30日14時頃を境に短時間で、宮城北部沖

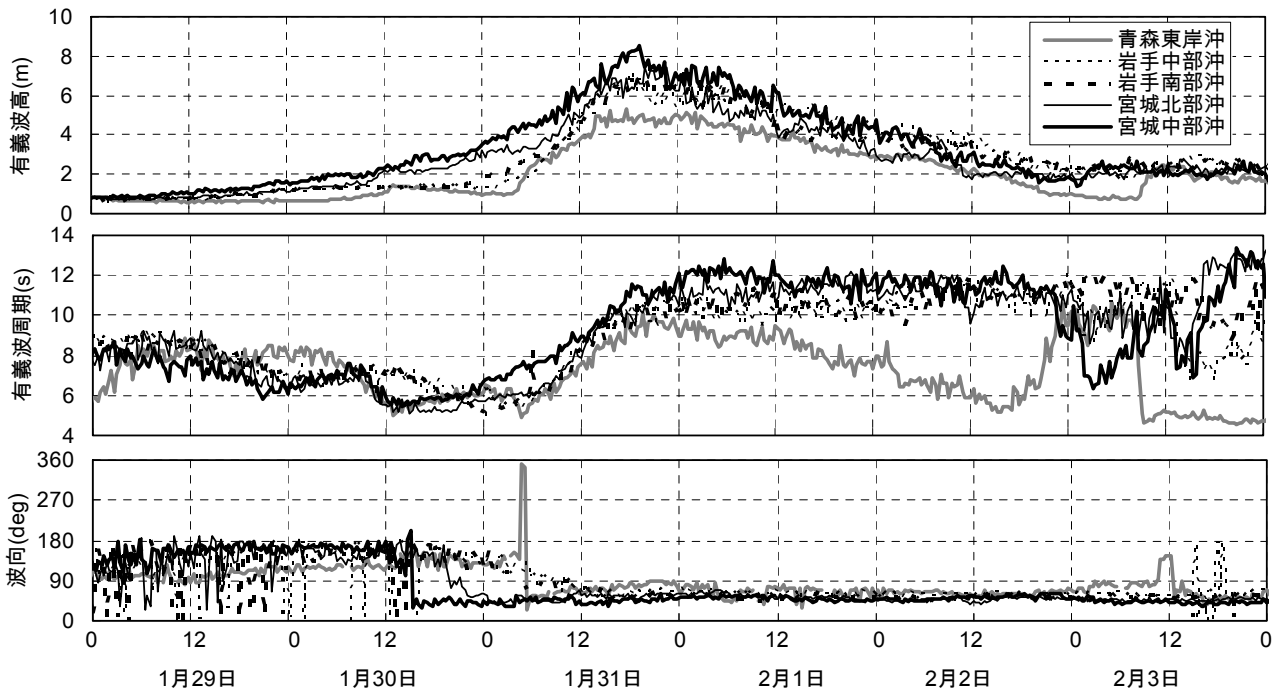


図-4.6 2009年1月末の三陸沖低気圧のときにGPS波浪計で観測した波浪

では1月31日0時前後までかけて緩やかに、岩手南部沖と岩手中部沖でも1月31日正午までかけて緩やかに、そして青森東岸沖では1月31日5時頃を境に短時間で、それぞれ波向は概ね $40\sim 90^\circ$ の範囲、北か南かで分けるなら北寄りに変わった。特に1月31日正午過ぎから2月3日0時までの2日半は、青森東岸沖を除く4地点の波向が 50° 程度で安定しており、青森東岸沖でもこれに近い $50\sim 80^\circ$ 程度で推移した。青森東岸沖の波向にやや違いがあるのは、青森東岸沖が他の地点に比べてやや西に位置し、北海道にも近いためであると考えられる。

図-4.7は、青森東岸沖、岩手南部沖、宮城中部沖のGPS波浪計とそれぞれに近接する沿岸波浪計で観測した有義波高・周期・波向を経時的に比較したものである。

八戸港の有義波高は、ここに示した期間を通じて青森東岸沖よりやや小さい。有義波周期は、三陸沖低気圧の影響のない1月29日から、三陸沖低気圧で波浪が発達して安定している2月1日午前まで、青森東岸沖とほぼ同じである。その後、青森東岸沖と八戸港の両方で有義波周期が減少し、青森東岸沖では2月2日正午前後に6s程度になったが、八戸港では8s程度にとどまった。八戸港の波向は、1月31日6時前後を境にやや北寄りになり、青森東岸沖と一致する波向になった。八戸港で波向が変化する時刻は青森東岸沖よりやや後であった。

釜石港の有義波高は、ここに示した期間を通じて、岩手南部沖より低かった。有義波周期はほぼ同じである。

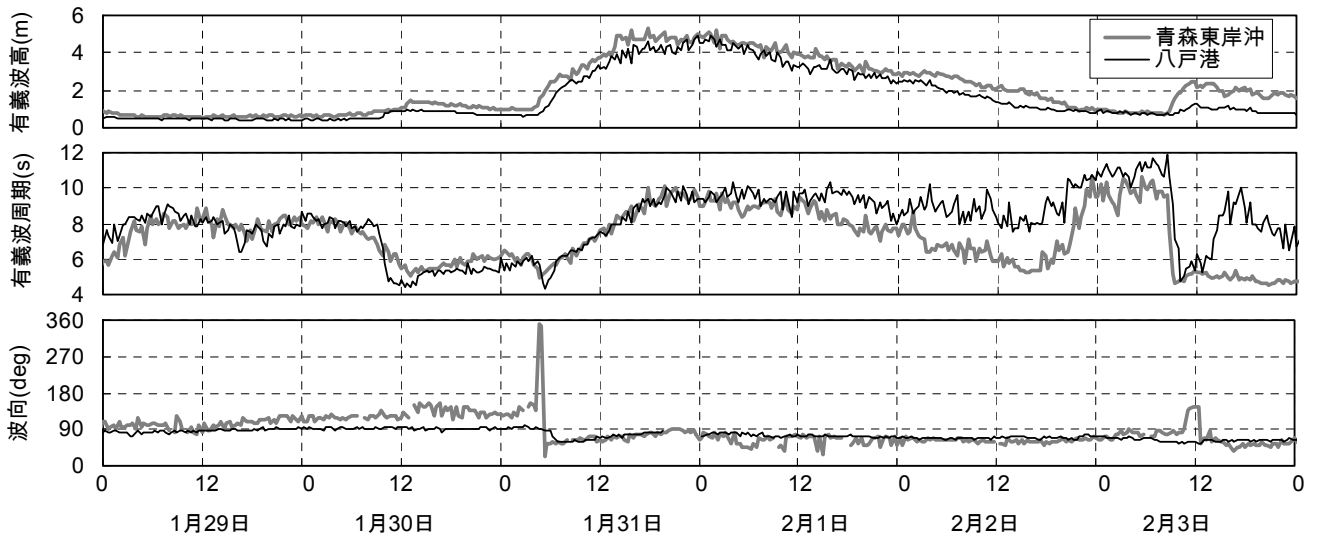
なお、釜石港では波向の観測を行っていない。

石巻港と仙台塩釜港は、その北側に陸地があるため、三陸沖低気圧による北寄りの風は陸風になる。そのため、宮城中部沖では有義波高が最大で約8mに達したが、石巻港では1m程度、仙台塩釜港でも2m程度であった。有義波周期については、仙台塩釜港では宮城中部沖と同様、2月1日と2月2日の2日間は12s前後で安定しており、石巻港では半日程度の周期で12s程度と5s程度の間を行き来している。波向について見ると、宮城中部沖では1月30日14時頃を境に南寄りから北寄りに急変したが、石巻港と仙台塩釜港では水深が浅いために屈折の影響を大きく受け、波向の変化はほとんどない。

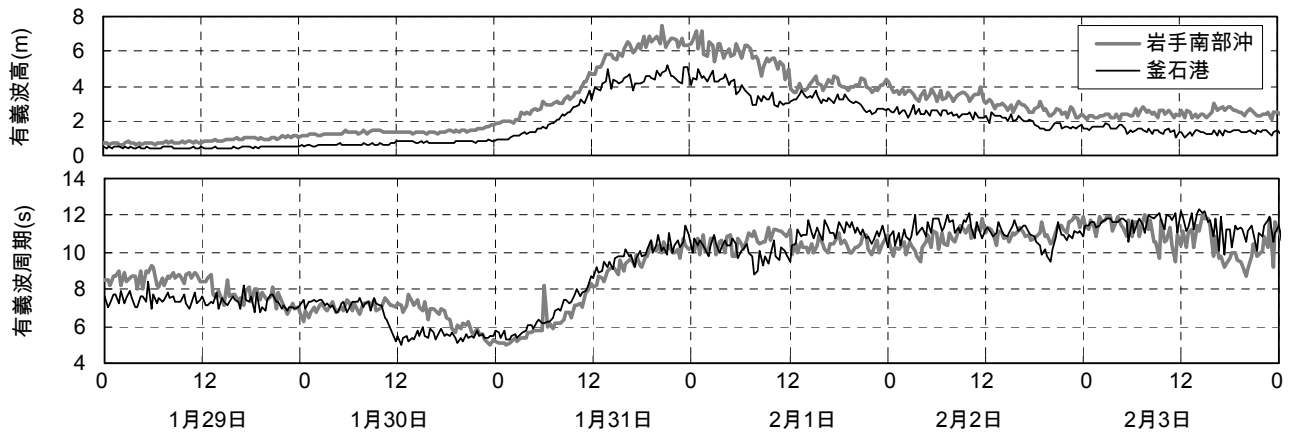
4.3 台風0918号による高波

(1) 気象条件

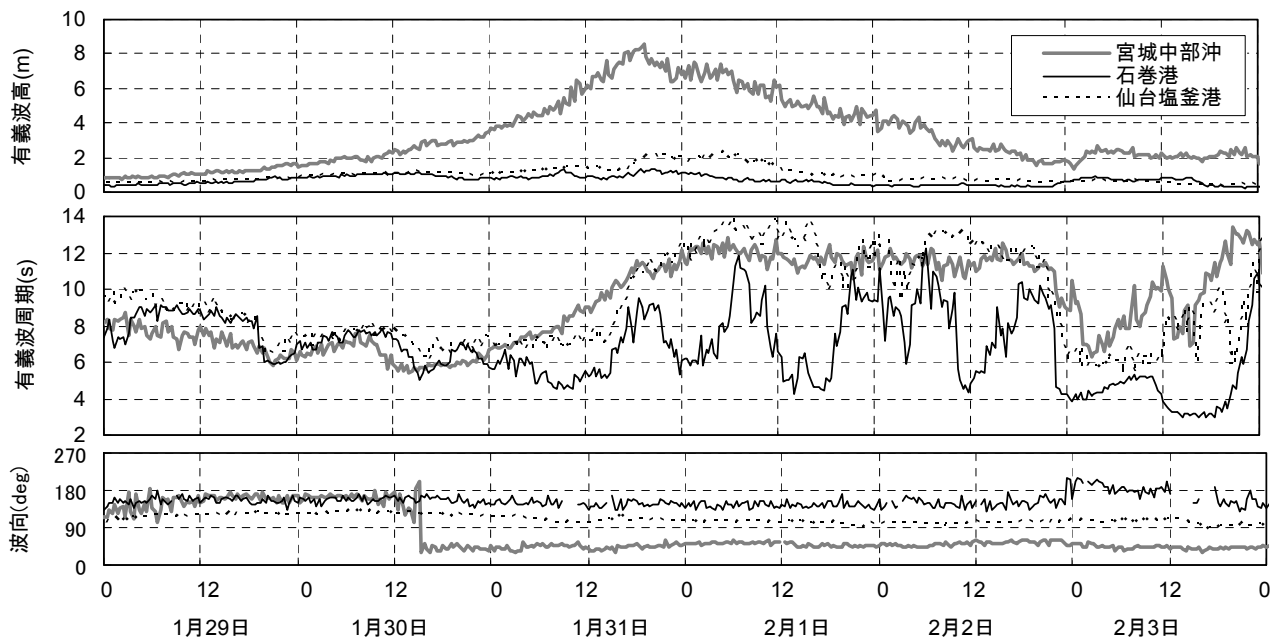
図-4.8は台風0918号の通過前後の天気図を示す。この台風は、9月29日にマーシャル諸島で発生し、徐々に発達しながら西へ進み、10月4日夜には910hPaと最も発達した。その後北寄りに進路を変え、7日9時には940hPaで種子島の南270kmに進んだ。さらに、強い勢力を保ったまま北東へ進み、紀伊半島をかすめ8日6時には愛知県に上陸した。8日9時には高崎市付近を通過し、16時頃石巻付近を通過し太平洋へ抜けた。9日9時には根室市の東南東200kmに進んで、15時には千島近海で温帯低気圧に変わり、その後も東進して千島列島のはる



(a) 青森東岸沖と八戸港



(b) 岩手南部沖と釜石港



(c) 宮城中部沖と石巻港, 仙台塩釜港

図-4.7 2009年1月末の三陸沖低気圧のときにGPS波浪計と沿岸波浪計で観測した波浪の比較

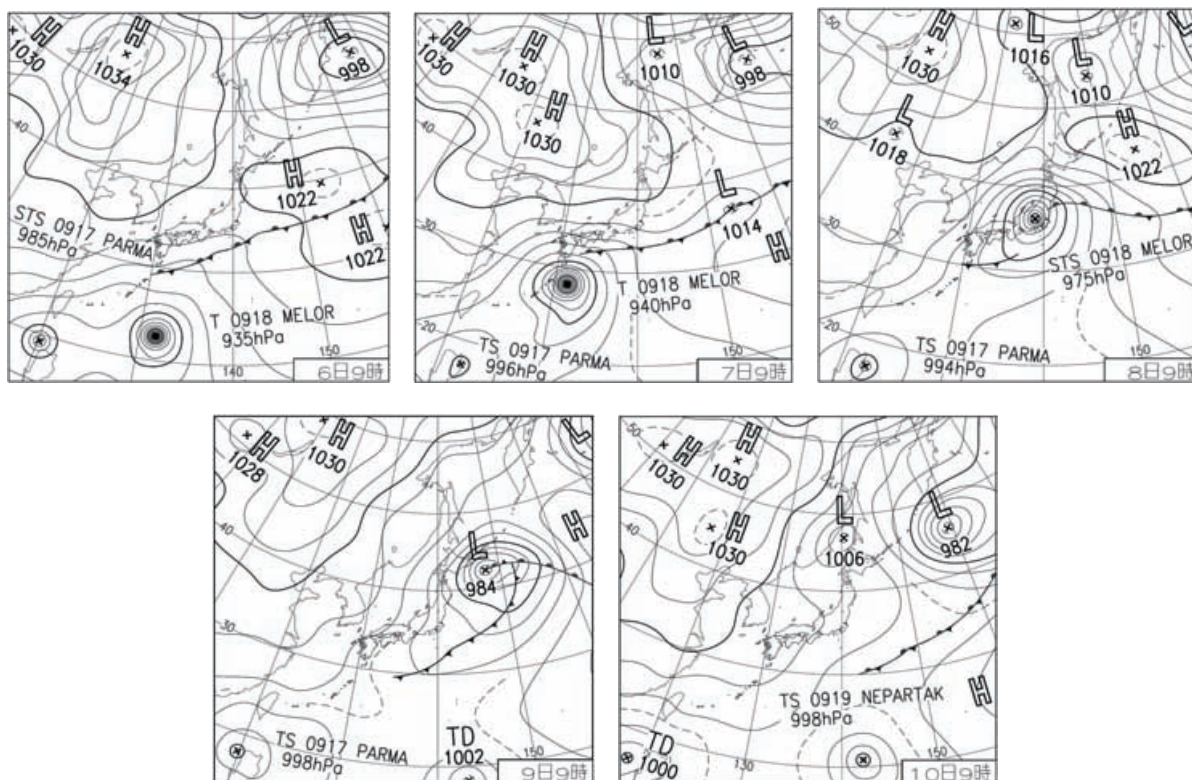


図-4.8 代表天気図 (2009年10月6日～10日)

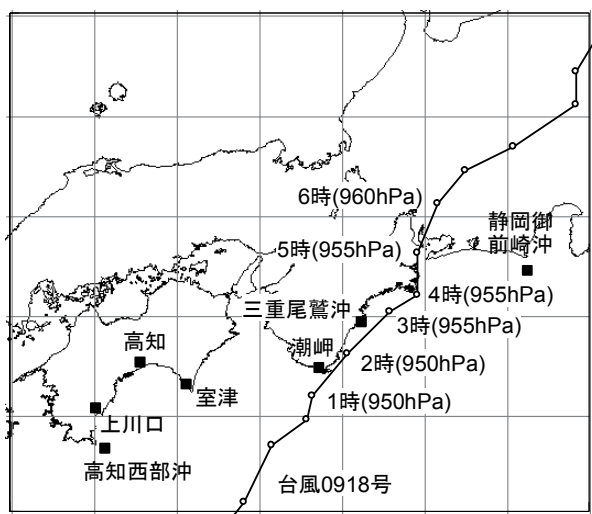


図-4.9 台風の経路・中心気圧と波浪観測地点

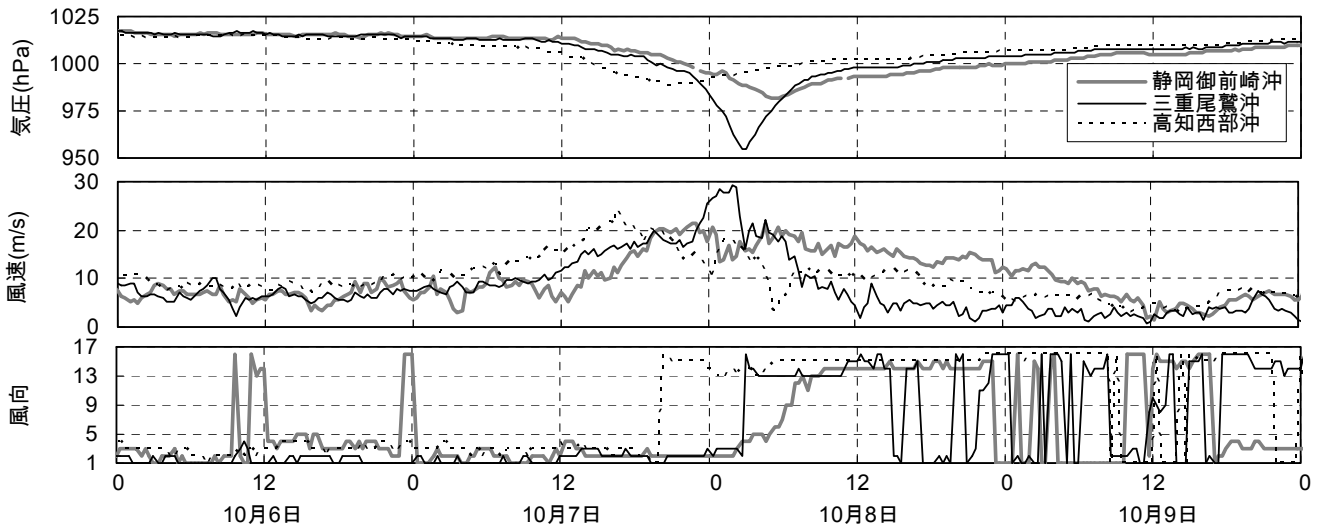
か東方へ進んだ。

図-4.9 は、中部・近畿地方の太平洋沿岸における、台風 0918 号のコース・中心気圧 (気象庁の速報による) と NOWPHAS の波浪観測地点を示したものである。台風 0918 号は、潮岬や三重尾鷲沖のすぐそばを中心気圧 950～955hPa で通過した。

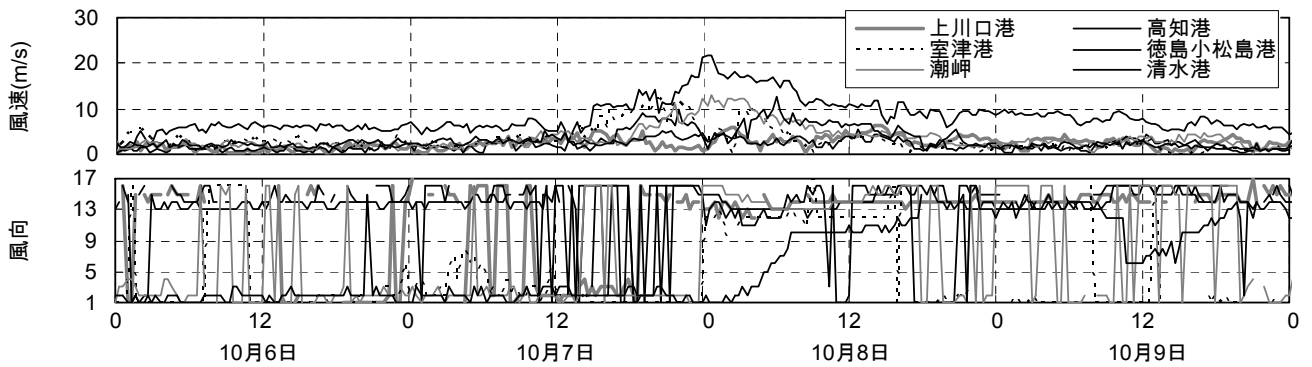
図-4.10 は、GPS 波浪計や沿岸の陸上で観測された 10 分間平均風速の経時変化を示す。GPS 波浪計については

気圧の観測値も示した。まず、図の(a)において GPS 波浪計における観測値を見ると、高知西部沖では、7日 16時 40分に最大平均風速 24.5m/s (風向は方位 3, NE) を記録した後に、同日 20 時前後に風向が方位 3 (NE) から 15 (NW) に変わり、7日 20 時 40分に最低気圧 988.5hPa を記録した。三重尾鷲沖では、台風の接近とともに方位 1 ないし 2 (N ないし NNE) の風が強まり、8日 2 時 0分に最大平均風速 29.4m/s (風向は方位 3, NE)、3 時 0分に最低気圧 954.5hPa を記録し、さらに 4 時頃にかけて風向が方位 3 から 13 (NE から W) に変わった。台風の経路から少し離れた静岡御前崎沖では、台風の接近とともに方位 2 (NNE) の風が強まり、平均風速は 7日 23 時 0分の 21.4m/s (風向は方位 2, NNE) と 8日 4 時 40分の 21.3m/s (風向は方位 4, ENE) の 2 回のピークがあった。最低気圧は風速の 2 回目のピークに近い 8日 5 時 20分に 981.5hPa を記録し、風向は 2 時頃から 9 時頃の長時間をかけてゆっくりと方位 14 (WNW) に変化した。

次に、図の(b)において沿岸の陸上で風の経時変化を見ると、徳島小松島港では 20m/s を超えたが、それ以外の地点ではせいぜい 10m/s と小さかった。陸上の風は、周辺の陸上地形によって弱まる。室津港と潮岬で風向が大きく変わった時刻は、高知西部沖と三重尾鷲沖で大きく変わった時刻の間にある。清水港で風向がゆっくりと



(a) GPS 波浪計



(b) 沿岸の陸上

図-4.10 台風 0918 号時に観測した気圧・風の経時変化

変化した時間帯は、静岡御前崎沖と同じ頃である。

(2) 経験的な気圧分布モデルの再現性

台風による波浪・高潮の推算ではこれまでしばしば、中心気圧と最大風速半径をパラメタとする経験的な気圧分布や風分布のモデルが使われてきた。このモデルは過去の観測値に基づいたものであるが、海上の観測地点は陸上に比べて少なく、海上で台風の中心付近を捉えた事例は限られている。図-4.9 に示したように台風 0918 号の中心は三重尾鷲沖の GPS 波浪計のすぐそばを通過しており、その貴重な観測データを用いて経験的な気圧分布の一つである Myers の式 (Myers and Malkin, 1961),

$$p = p_c + \Delta p \exp\left(-\frac{r_0}{r}\right) \quad (2)$$

の精度を検証してみたい。ここに、 p は台風の中心から r 離れた場所の気圧、 p_c は中心気圧、 Δp は標準大気圧 (本資料では 1013hPa, 実務ではこの数値を丸めた 1010hPa もよく使われる)、 r_0 は最大風速半径である。台風の毎時

の緯度・経度、中心気圧は気象庁の速報値を用い、最大風速半径は本研究において推定する。局地気象モデルの再現性の検討については別の機会としたい。

図-4.11 は、10月8日の1時から6時までの毎時における、三重尾鷲沖、静岡御前崎沖、高知西部沖で観測された気圧、関東～四国地方の太平洋沿岸の気象官署で観測された海面補正気圧をプロットし、最大風速半径 $r_0=50, 100, 150\text{km}$ に対する気圧分布の曲線を描いたものである。海上の GPS 波浪計と陸上の気象官署による観測値が1つの曲線を描くように分布しており、海上と陸上の特性に顕著な違いがないことを確認できる。

これら6つの時刻のうち1時と2時については、観測値が最大風速半径 $r_0=100\text{km}$ の曲線の上に偏って分布しており、最大風速半径 r_0 の値に 100km より少し小さな値を選べば、台風の中心付近から離れたところまでを一本の曲線によって近似できる。3時と4時については、観測値が最大風速半径 $r_0=100\text{km}$ の曲線をはさんで分布し

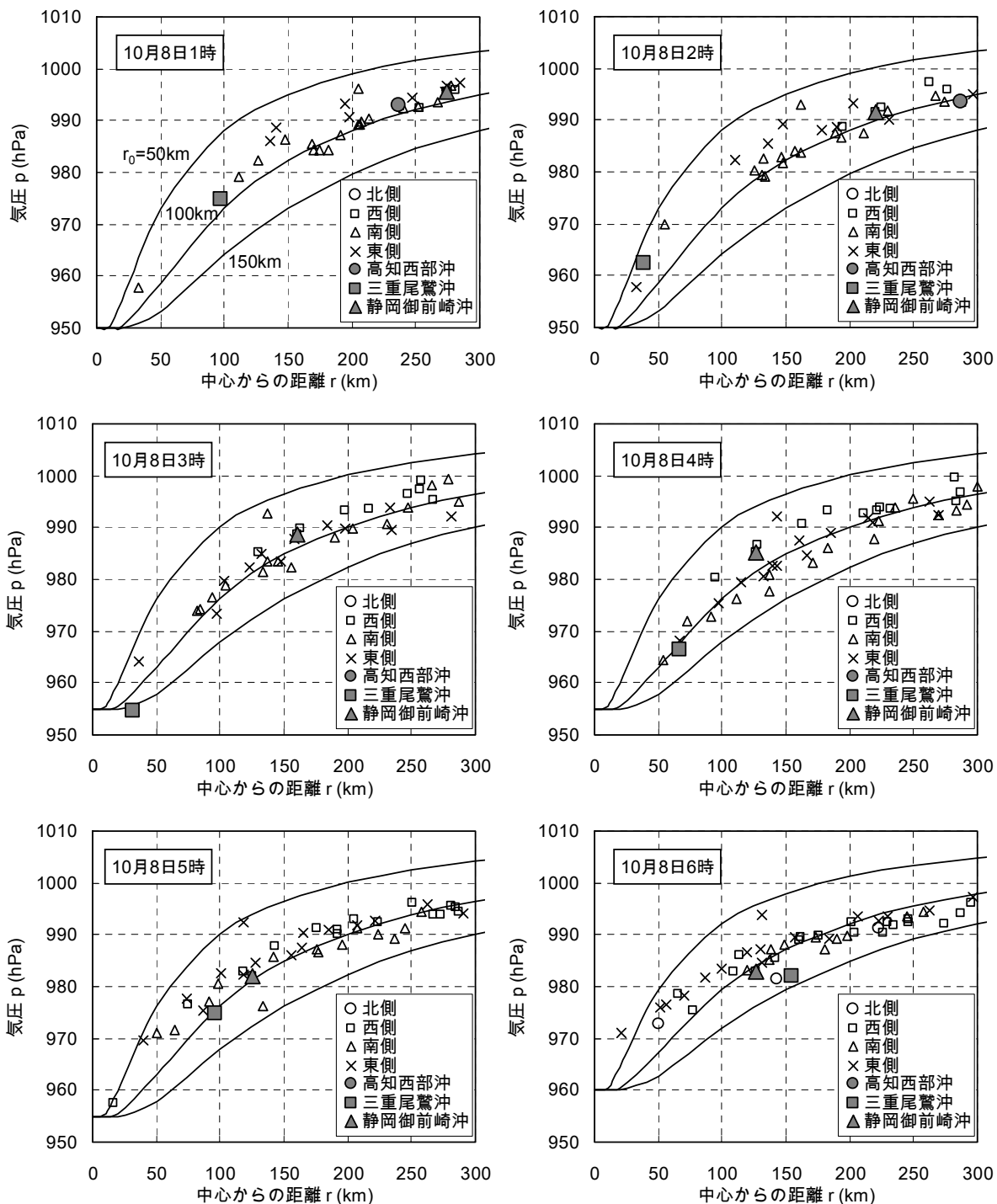


図-4.11 経験的台風モデルによる気圧の再現性

ており、100km程度の値を選べば良い。

ところが、5時と6時については、気圧の観測値が台風の中心からの距離に近い領域では、最大風速半径 $r_0=50$ km の曲線より上に分布しており、台風の中心付近から離れたところまでを一つの最大風速半径で与えると誤差が大きくなる。そこで、5時と6時の中心気圧の値を、気象庁の速報値より高い960hPa、972hPaと仮定し、図を

描きなおしたものが、図-4.12 である。それぞれ最大風速半径 $r_0=100$ km、150kmの曲線をはさんで分布している。すなわち、これらの時刻において、少なくともGPS波浪計や気象官署の周辺で経験的モデルによる気圧分布の再現性を高めるためには、気象庁の速報値より高い中心気圧を用いた方が良い。その一方で、GPS波浪計といえども台風の全体の規模から見れば海岸のそばにあり、修正

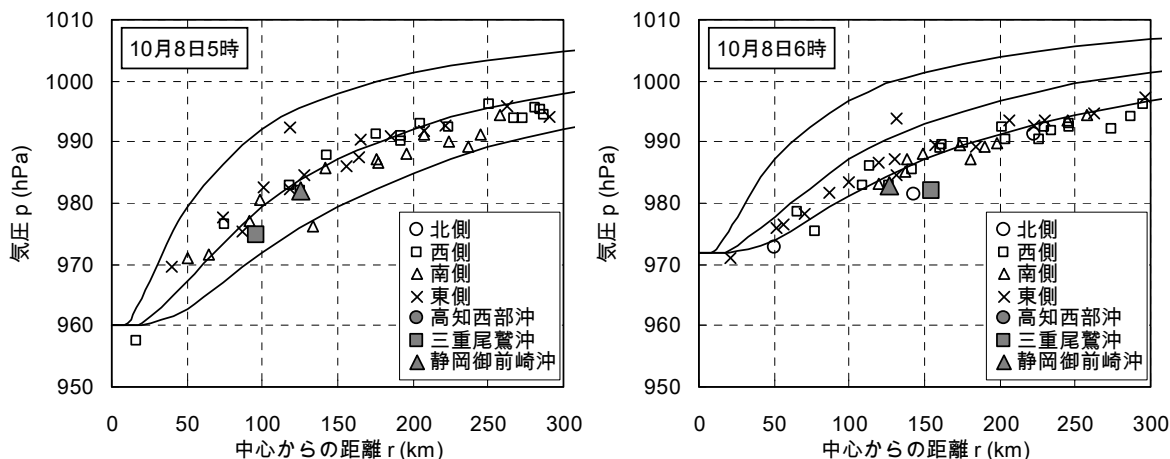


図-4.12 経験的台風モデルによる気圧分布の再現性（中心気圧の補正後）

表-4.2 台風0918号のパラメタ

年	日	時	気象庁の速報値				本資料による値	
			緯度 (度)	経度 (度)	中心 気圧 (hPa)	進行 速度 (km/h)	中心気圧 の補正值 (hPa)	最大風 速半径 (km)
2009	09	18	133.167	30.817	945	40	補正なし	70
2009	09	19	133.500	31.000	945	40		70
2009	09	20	133.667	31.333	945	40		70
2009	09	21	134.333	31.583	945	40		70
2009	09	22	134.833	32.083	945	45		75
2009	09	23	135.167	32.667	945	45		75
2009	10	00	135.583	32.917	950	50		80
2009	10	01	135.667	33.167	950	50		85
2009	10	02	136.083	33.583	950	50		90
2009	10	03	136.583	34.000	955	55		100
2009	10	04	136.917	34.167	955	50	100	
2009	10	05	136.917	34.583	955	45	960	100
2009	10	06	137.167	35.083	960	50	972	150
2009	10	07	137.500	35.417	960	50	978	180
2009	10	08	138.083	35.667	960	50	981	210
2009	10	09	138.833	36.083	975	50	982	240
2009	10	10	138.833	36.417	975	50	983	250
2009	10	11	139.167	36.833	975	50	984	300
2009	10	12	139.667	37.083	975	50	985	400

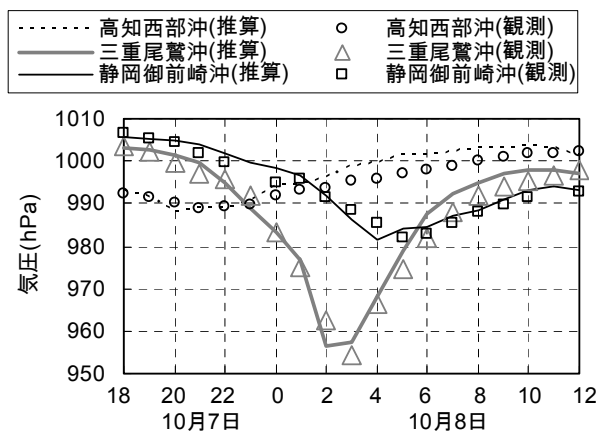


図-4.13 経験的モデルによる気圧の経時変化の再現性

した中心気圧を外洋波浪の推算に用いて良いかについては、GPS 波浪計よりさらに沖合で観測されたデータも加えた解析をしたり、局地気象モデルで台風の再現実験をして比較するなど、議論の余地はある。本資料では図の掲載を省略するが、7 時以降も同様に、中心気圧を補正すると経験的モデルの再現性が高まった。表-4.2 に、10 月 7 日 18 時から 10 月 8 日 12 時までの毎時の諸元を示す。

図-4.13 は、表-4.2 の諸元に基づいて推算した GPS 波浪計地点の気圧と実際の観測値を比較したものである。非常によく再現できていることが分かる。

(3) 経験的な風分布モデルの再現性

波浪・高潮推算の実務ではこれまで様々な経験的な風

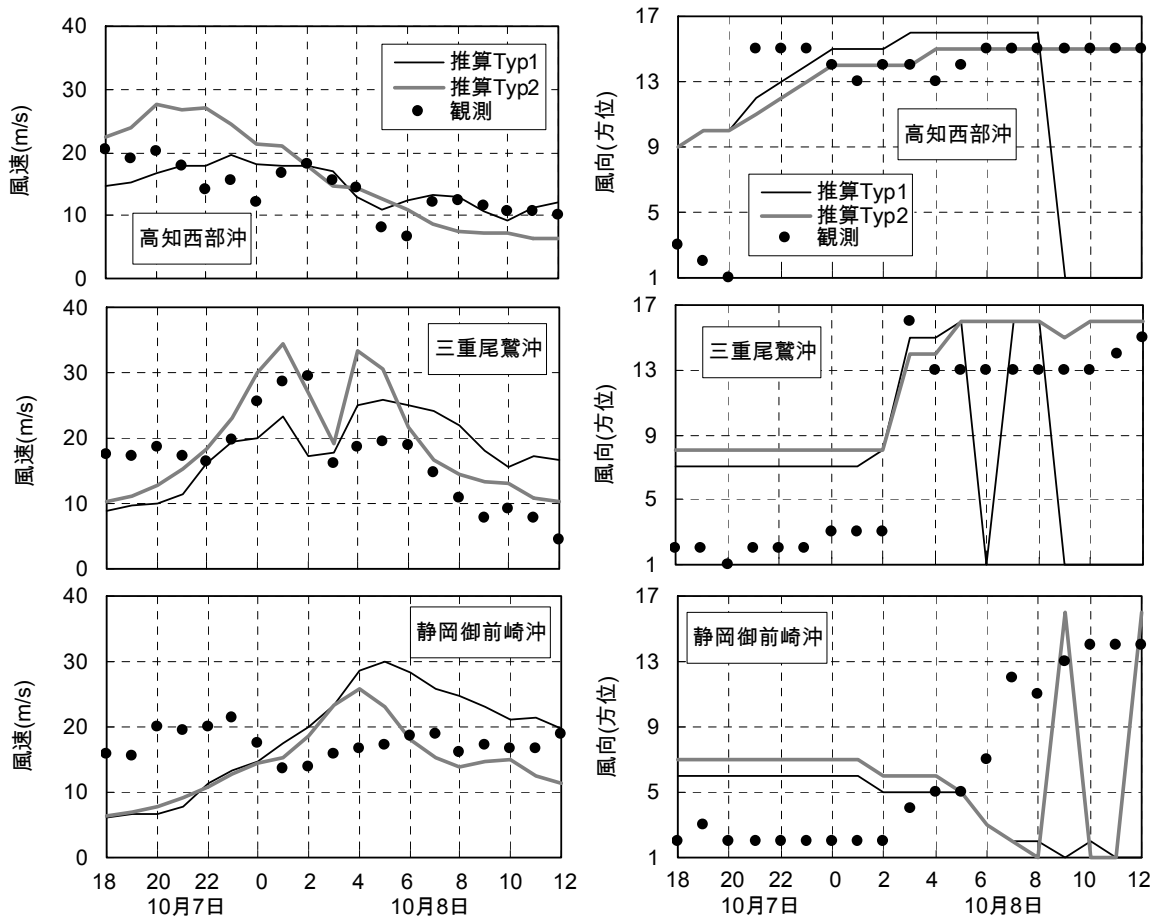


図-4.14 経験的モデルによる風の経時変化の再現性

分布モデルが使われてきたが、ここでは以下に記す2つの再現性を調べてみる。局地気象モデルの再現性の検討については別の機会としたい。

まず1つ目の経験的なモデル（以下では「Typ1」と記す）は、気圧傾度風と場の風をそれぞれ求めてからベクトル合成するもので、海上における傾度風の成分 U_1 は、

$$U_1 = C_1 U_{gr} \quad (3)$$

$$U_{gr} = -\frac{rf}{2} + \sqrt{\left(\frac{rf}{2}\right)^2 + \frac{\Delta p}{\rho_a} \frac{r_0}{r} \exp\left(-\frac{r_0}{r}\right)} \quad (4)$$

によって与える。ここに、 C_1 は経験的な低減係数（一般に 0.6~0.7、本資料では 0.66）、 U_{gr} は自由気象における風速である。この成分の風向は、等圧線の接線方向に比べて台風を中心側に 30deg 偏向しているものとする。一方、場の風成分 U_2 は、

$$U_2 = C_2 \frac{U_1(r)}{U_1(r_0)} V_T \quad (5)$$

によって与える。ここに、 C_2 は経験的な低減係数（一般には 0.6~0.7、本資料では 0.66）、 V_T は台風の進行速度で

ある。この成分の向きは台風の進行方向と同じとする。

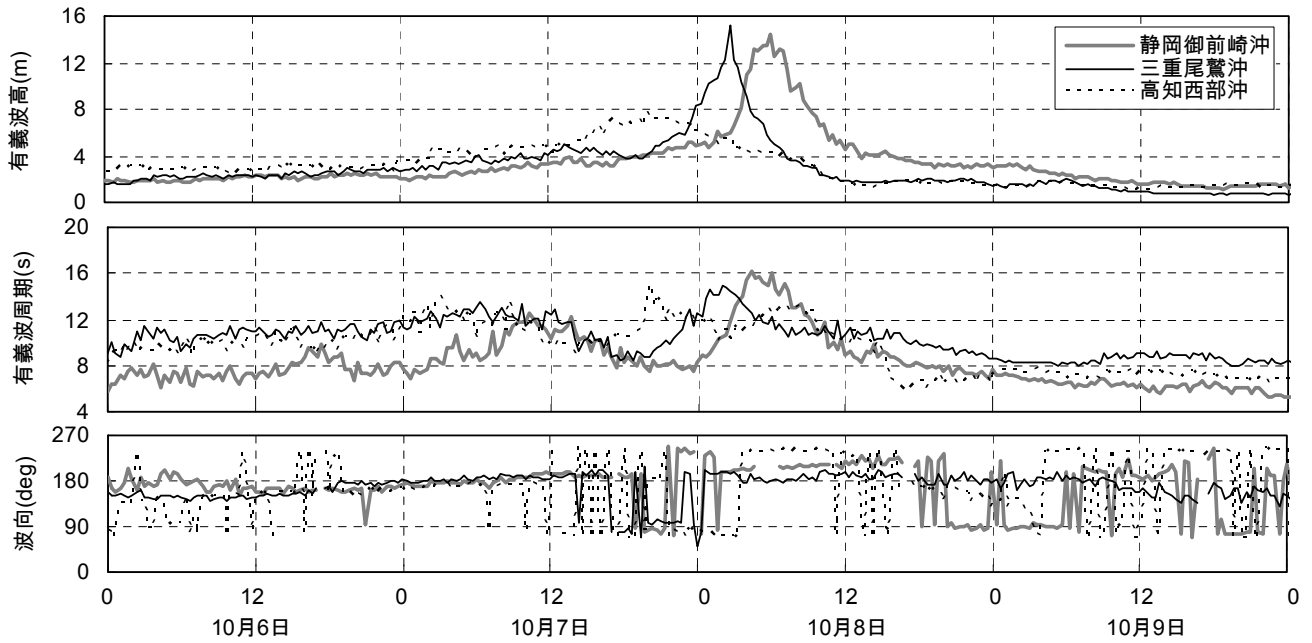
もう1つの経験的モデル（以下では「Typ2」と記す）は、傾度風のつり合い式に台風の移動の効果を取り込むとともに、風速低減係数を台風の中心からの距離の関数で与えて超傾度風を考慮するもの（Mitsuta・Fujii, 1987）であり、その風速 W は、

$$W = C \left\{ -\frac{rf - V_T \sin \beta}{2} + \sqrt{\left(\frac{rf - V_T \sin \beta}{2}\right)^2 + \frac{\Delta p}{\rho_a} \frac{r_0}{r} \exp\left(-\frac{r_0}{r}\right)} \right\} \quad (6)$$

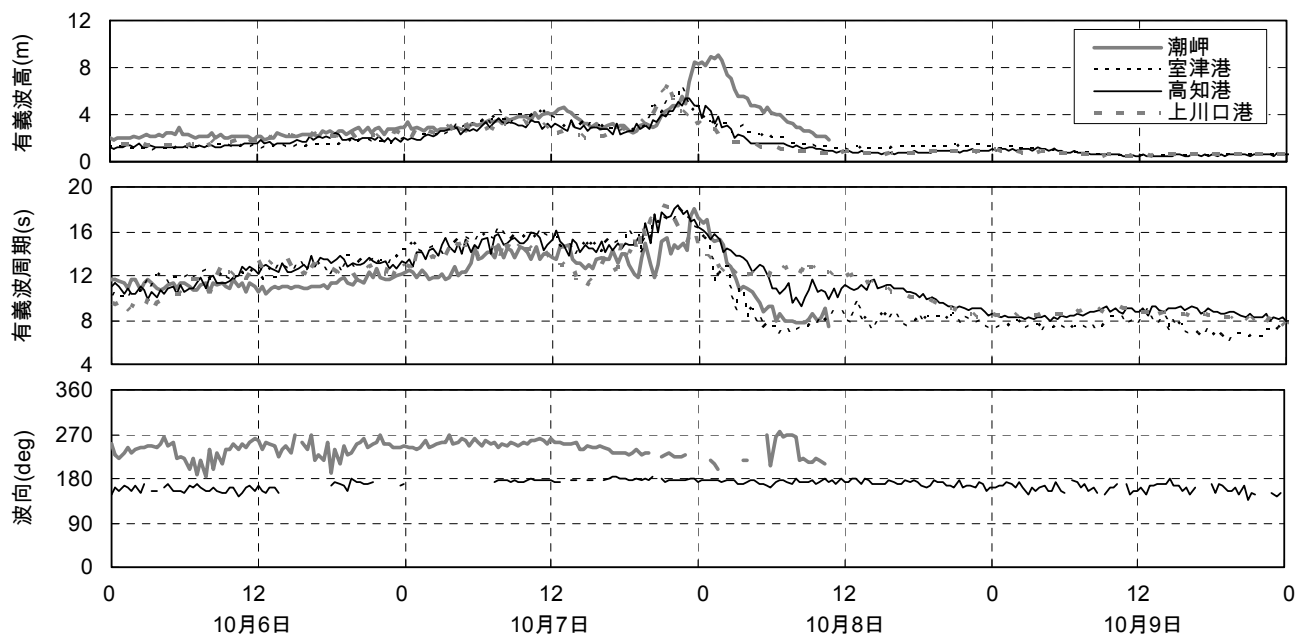
$$C = C_\infty + (C_p - C_\infty) \left(\frac{X}{X_p}\right)^{k-1} \exp\left\{\left(1 - \frac{1}{k}\right) \left[1 - \left(\frac{X}{X_p}\right)^k\right]\right\} \quad (7)$$

$$C_p = \min\left\{\frac{2}{3} [1 + 10^{(0.0231 \Delta p - 1.95)}], 1\right\} \quad (8)$$

によって与える。ここに、 β は台風を中心から見た方向、 C は風速低減係数、 $C_\infty = 2/3$ 、 $k = 2.5$ 、 $X = r/r_0$ 、 $X_p = 1/2$ である。風向は、等圧線の接線方向に対して 15~30° 偏向さ



(a) GPS 波浪計



(b) 沿岸波浪計

図-4.15 台風 0918 号時の高波

せる。その偏向角度は、中心からの距離が $r_0/2$ 以下では 15° ， r_0 以上では 30° とし、その間は直線的に変化させる。内湾の風場や高潮の推算に関する近年の研究によって、Typ2 の方が Typ1 より幾分再現性が良いことが確認されている（河合ら，2007a，2007b）。

図-4.14 は経験的な風分布モデル Typ1，Typ2 で推算した風速・風向を観測値と比較したものである。GPS 波浪計の風速計は海面から約 7m の高さにあり、経験的モデ

ルでは海面上 10m の風を推算するため、風速の鉛直分布が 1/7 乗則に従うとすれば経験的モデルの風速は観測値より約 5%大きくなる。まず、高知西部沖において経験的モデルによる推算値を観測値と比較すると、両モデルの風速・風向は観測値と概ね一致しており、強いて言えば風速は Typ1，風向は Typ2 の方の再現性が良い。三重尾鷲沖では、風速の経時変化に台風の眼が通過する前と後の 2 回のピークがあり、1 回目のピークは Typ2，2 回

目のピークは Typ1 の方の再現性が良い。風向は両モデルともに観測値から 3~5 方位の差がある。静岡御前崎沖の風の再現性は、高知西部沖や三重尾鷲沖ほど良くない。

(5) 波浪特性

図-4.15 は台風 0918 号の来襲時に観測した有義波の経時変化を示す。まず、図の(a)において、GPS 波浪計による観測値を見ると、高知西部沖ではなだらかに有義波高がピークとなり、10 月 7 日 20 時 0 分に有義波高 7.77m、有義波周期 15.1s、波向 S を記録した。三重尾鷲沖の有義波高の経時変化は非常に鋭いピークを描き、10 月 8 日 2 時 40 分に有義波高 15.14 m、有義波周期 14.4s、波向 SSW を記録した。この最大有義波高は、台風 0423 号による室津港の 13.55m や台風 0704 号による中城湾の 13.61m を超えて、NOWPHAS 史上最高の記録である。ブイの測位、傾斜角、加速度、水位分布の歪度や尖鋭度にも、特に異常は見られなかった。非常に限られた範囲で猛烈な高波が生じていた可能性がある。静岡尾鷲沖でも、10 月 8 日 6 時 0 分に有義波高 14.44m、有義波周期 16.1s、波向 SW を記録した。

次に、図の(b)において沿岸波浪計の有義波の経時変化を見ると、上川口港、高知港、室津港の 3 地点の変化はよく似ており、10 月 7 日 21 時 40 分から 23 時 20 分にかけて最大有義波高 5.40~6.78m を記録した。潮岬ではこれらより少し後の 10 月 8 日 1 時 40 分に有義波高 9.07m、有義波高 15.2s、波向 SW の年最大有義波高を観測した。なお、この台風は、境港で 3.28m、久慈で 8.85m、下田で 8.49m の既往最大有義波高を更新するものであった。

5. まとめ

本研究では、2008~2010 年に東北~四国地方の太平洋沿岸に設置された 12 基の GPS 波浪計とその岸側にある沿岸波浪計で得られた有義波諸元から、月別統計量と気象擾乱時の最大有義波を算出し、沖合と沿岸の波浪特性を比較した。主要な成果は以下の通りである。

- ①東北地方沿岸の 7 基の GPS 波浪計では、冬季に波高・周期が大きく夏季に小さい共通の季節変化が見られた。岩手北部沖~宮城中部沖の 5 基に限れば、月平均有義波の空間的な変化は年変動より小さい。7 基の各月の有義波高の時系列を用いた相互相関解析によると、冬季には北側の地点と遅い時刻の南側の地点の有義波高の相関係数が高く、夏季にはその逆となる傾向がある。
- ②中部~四国地方沿岸の 5 基の GPS 波浪計では、月平均有義波の空間的な変化が東北地方沿岸より大きく、

台風期に月平均有義波高が大きくなることもある。

- ③沿岸波浪計と GPS 波浪計の同時刻の有義波高には、GPS 波浪計の波向毎に相関性がある。岩手南部沖の GPS 波浪計と釜石港の沿岸波浪計を例とした検討によると、同時刻の組み合わせでも、波浪の群速度の伝播を踏まえて 40 分ずらした組み合わせでも、その相関性に大きな違いはない。
- ④小名浜港の沿岸波浪計と福島県沖 GPS 波浪計(水深 137m)による有義波高・周期の比率は、小名浜港と「いわき沖」(水深 155m)のステップ式波高計による比率とほぼ一致した。すなわち、福島県沖ではいわき沖とよく似た沖合波浪特性が得られている。
- ⑤GPS 波浪計の地点はその近傍にある沿岸波浪計の地点に比べて、波パワーは大きく、波浪による静穏率は低い。
- ⑥気象擾乱時の GPS 波浪計と沿岸波浪計の最大有義波高にも相関性はあるが、一部の気象擾乱ではその相関式から大きくはずれることがある。

6. おわりに

本研究を通じて、東北~四国地方太平洋沿岸の沿岸波浪計と GPS 波浪計の地点の波浪に様々な違いのあることが分かった。東北地方の日本海沿岸でも GPS 波浪計による観測が開始されており、ある程度のデータが蓄積された段階で、本資料と同様な解析を行いたい。GPS 波浪計には、島や岬による遮蔽や海底地形による屈折・砕波の影響のない深海波をブイの上下動として捉え、ブイに搭載した機器で気圧や海上風も観測できる、特長がある。逆に、沿岸波浪計の主力機種である海象計にも、港湾施設から比較的身近な地点において、超音波により水位・流速を高感度に計測し、波浪の方向スペクトルを推定できる、特長がある。これらと、局地気象モデルによる気圧・風の推算、波浪推算モデルや浅海波浪変形モデルによる波浪の計算を比較しながら、有義波諸元だけでなく周波数・方向スペクトルのレベルでも、波浪の発達・伝播・浅海域での変形の物理過程や、沖合と沿岸のそれぞれにおける統計的性質に対する理解を一層深めていきたい。

(2011 年 11 月 12 日受付)

謝辞

本論文で用いた波浪、気圧、風の観測データのほとんどは、国土交通省港湾局等が運営する NOWPHAS で取得されたものである。気象庁が石巻と江ノ島で観測した風

のデータも使用させていただいた。関係各位に謝意を表したい。

参考文献

- 河合弘泰・川口浩二・大釜達夫・友田伸明・萩元幸将・中野俊夫 (2007a) : 経験的台風モデルと局地気象モデルの風を用いた瀬戸内海の高潮推算精度, 海岸工学論文集, 第54巻, pp.286-290.
- 河合弘泰・川口浩二 (2007b) : 内湾の高潮推算への台風ボーガスと局地気象モデルの適用性, 港湾空港技術研究所報告, 第46巻, 第3号, pp.43-86.
- 河合弘泰 (2010a) : ナウファスにおける波浪・潮位等の観測の現状と今後の課題, 2010年度(第46回) 水工学に関する夏期研修会講義集Bコース, 土木学会, B-8, 20p.
- 河合弘泰・佐藤 真・川口浩二 (2010b) : 全国港湾海洋波浪観測年報(NOWPHAS 2008), 港湾空港技術研究所資料, No.1209, 93p.
- 河合弘泰・佐藤 真・川口浩二・関 克己 (2011a) : 全国港湾海洋波浪観測年報(NOWPHAS 2009), 港湾空港技術研究所資料, No.1226, 120p.
- 河合弘泰・佐藤 真・川口浩二・関 克己 (2011b) : GPS 波浪計で捉えた東北～四国地方太平洋沿岸の沖合波浪特性, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.67, No.2, I_136-I_140.
- 川口浩二・河合弘泰・佐藤正勝・地本敏雄・山谷早苗 (2011) : 東北太平洋岸における GPS 波浪計と沿岸波浪計による波浪観測データの相関性, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.67, No.2, I_436-I_400.
- 川口浩二・佐藤 真・関 克己・河合弘泰 (2012) : 全国港湾海洋波浪観測年報(NOWPHAS 2010), 港空研資料, 印刷中.
- 合田良実 (1981) : 共分散法を用いた波向推定方式の数値的検討, 港湾技術研究所報告, 第20巻, 第3号, pp.53-92.
- 清水勝義・永井紀彦・橋本典明 (1996) : 沖波の方向スペクトルの出現特性(第2報) - いわき沖における7か年方向スペクトル統計, 港研報告, 第35巻, 第1号, pp.65-89.
- 清水勝義・永井紀彦・里見 茂・李 在炯・久高将信・藤田 孝 (2006) : ブイ動揺特性を考慮した大水深波浪観測データ処理システムの構築, 海岸工学論文集, 第53巻, pp.1406-1410.
- 清水勝義・永井紀彦・橋本典明・岩崎峯夫・安立重昭・奥勇一郎 (2007) : GPS ブイ式波浪計を対象とした複合的な波向き計算手法の提案, 海洋開発論文集, Vol.23, pp.231-236.
- 菅原一晃・小舟浩治・佐々木 弘・橋本典明・亀山 豊・成田 明 (1986) : 沿岸波浪観測 15 か年統計 (昭和45年～昭和59年), 港湾技研資料, No.554, 872p.
- 高橋智晴・広瀬宗一・菅原一晃・橋本典明 (1981) : 波浪に関する拠点観測 10 か年統計 (昭和45年～昭和54年), 港湾技研資料, No.401, 711p.
- 高橋重雄・安達 崇 (1989) : 日本周辺における波パワーの特性と波力発電, 港湾技研資料, No.654, 18p.
- 高山知司・橋本典明・永井紀彦・高橋智晴・佐々木 弘 (1992) : 水中ドップラー式波向計(海底設置式波浪計)の開発について, 海岸工学論文集, 第39巻, pp.176-180.
- 田端竹千穂・柳生忠彦・福田 功 (1980) : 日本沿岸における波のエネルギー, 港湾技研資料, No.364, 20p.
- 永井紀彦・菅原一晃・橋本典明・浅井 正 (1993a) : 全国港湾海洋波浪観測 20 か年統計(NOWPHAS 1970～1989), 港湾技研資料, No.744, 247p.
- 永井紀彦・橋本典明・浅井 正 (1993b) : 沖波の方向スペクトルの出現特性(第1報) - いわき沖の観測結果一, 港湾技術研究所報告, 第32巻, 第2号, pp.45-113.
- 永井紀彦・渡邊 弘・川口浩二 (1998) : 長期観測結果に基づく我国沿岸の波パワーの出現特性に関する検討, 港湾技研資料, No.895, 26p.
- 永井紀彦 (2002) : 全国港湾海洋波浪観測 30 か年統計(NOWPHAS 1970-1999), 港湾空港技術研究所資料, No.1035, 388p.
- 永井紀彦・清水勝義・佐々木誠・村上明宏 (2008a) : GPS 波浪計が捉えた大水深海域の波浪特性, 海洋開発論文集, 第24巻, pp.375-380.
- 永井紀彦・清水勝義・佐々木誠 (2008b) : 太平洋北東岸 GPS 波浪計観測網が捉えた大水深域における海象特性, 港湾空港技術研究所報告, Vol.47, No.2, pp.1-52.
- 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 (1995) : 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.
- Myers, V. A. and Malkin, W. (1961): Some Properties of Hurricane Wind Fields as Deduced from Trajectories, U. S. Weather Bureau, National Hurricane Research Project, Report 49.
- Mitsuta, Y. and T. Fujii (1987): Analysis and synthesis of typhoon wind pattern over Japan, Bulletin Disaster

Prevention Research Institute, Kyoto University, Vol.37,
Part 4, No.329, pp.169-185.

港湾空港技術研究所資料 No.1249

2012.3

編集兼発行人 独立行政法人港湾空港技術研究所

発行所 独立行政法人港湾空港技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号
TEL. 046(844)5040 URL. <http://www.pari.go.jp/>

印刷所 株式会社シーケン

Copyright © (2012) by PARI

All rights reserved. No part of this book must be reproduced by any means without the written permission of the President of PARI

この資料は、港湾空港技術研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部または一部の転載、複写は港湾空港技術研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。



古紙配合率70%再生紙を使用しています