

独立行政法人港湾空港技術研究所

港湾空港技術研究所 報告

REPORT OF
THE PORT AND AIRPORT RESEARCH
INSTITUTE

VOL.47 NO.2 June 2008

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN

INDEPENDENT ADMINISTRATIVE INSTITUTION,
PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

港湾空港技術研究所報告 (REPORT OF PARI)

第 47 卷 第 2 号 (Vol. 47, No. 2), 2008 年 6 月 (June 2008)

目 次 (CONTENTS)

- 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
.....永井 紀彦・清水 勝義・佐々木 誠..... 1
(Characteristics of the Observed Offshore Data by the Northern Pacific GPS Buoys
..... Toshihiko NAGAI, Katsuyoshi Shimizu, Makoto Sasaki)
- T型あるいは浮き型SCP工法によって改良された粘性土地盤の支持力特性
.....高橋 英紀・市川 栄徳・北詰 昌樹..... 53
(Bearing Capacity of T-shaped or Floating-type Sand Compaction Pile Improved Ground
..... Hidenori TAKAHASHI, Eitoku ICHIKAWA, Masaki KITAZUME)
- 混成堤における根固方塊および被覆ブロックの合理的な形状とその設計法
.....下迫健一郎・久保田真一・浜口正志・松本 朗・半沢 稔・中野史丈.....89
(A Rational Design of Foot-Protection Block and Armor Block Covering Rubble Mound
of Composite Breakwaters
..... Ken-ichiro SHIMOSAKO, Shin-ichi KUBOTA, Masashi HAMAGUCHI,
Akira MATSUMOTO, Minoru HANZAWA, Fumitake NAKANO)
- 産業副産物(製鋼スラブ・フライアッシュ・高炉スラブ)を有効利用したコンクリートの品質
および耐久性に関する研究
.....審良 善和・山路 徹・濱田 秀則.....111
(Research on Quality and Durability of the By-Products Concrete Using Steel Making Slag,
Fly ash and Blast Furnace Slag
..... Yoshikazu AKIRA, Toru YAMAJI, Hidenori HAMADA)

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

永井 紀彦*
清水 勝義**
佐々木 誠***

要 旨

本稿は、東北沿岸に新たに設置された 2 基の GPS 波浪計によって観測された大水深沖合における海象特性を、浅海域に設置されている既設のナウファス海底設置式波浪計（釜石・石巻）や港内検潮記録との比較の上で検討したものである。国土交通省港湾局では、平成 16-17 年度に、RTK-GPS 技術を応用した GPS 波浪計の全国沿岸への展開に関する基本的な検討を実施し、平成 18 年度から GPS 波浪計の全国配置に着手した。東北地方整備局は、この GPS 波浪計の全国沿岸への配置のさきがけとして、設置水深 144m の宮城県中部沖観測点には 2007 年 3 月 22 日に、設置水深 204m の岩手県南部沖には 2007 年 4 月 6 日に、それぞれ GPS 波浪計を設置し、現在に至るまで大水深波浪観測が継続されており、観測データの蓄積が進められている。本稿の検討対象期間としては、0709 号に伴う高波が観測された 9 月 7 日を含む 2007 年 4 月から 9 月までの半年間である。

本稿の主要な成果は以下の通りである。

- ・半年間の検討対象期間を通じて、各観測点では欠測がほとんど見られず、台風 0709 号通過に伴う高波浪時を含めてデータの測得状況は良好であった。
- ・有義波高と周期の結合出現頻度表から、有義波高の出現状況は大水深域と浅海域とできわめて異なった分布となった。有義波高 1.0m 以下となる低波浪状態の出現率は、宮城県中部沖および岩手県南部沖の GPS 波浪計と、石巻港沖および釜石港沖の海底設置式波浪計とで、大きく異なった。
- ・GPS 波浪計や海底設置式波浪計は、適切なデータ処理を行うことによって、津波よりもさらに周期の長い沖における天文潮汐を妥当に検出できることが、調和分解解析の結果として示された。
- ・GPS 波浪計は沖合における高潮偏差も示す。ただし、プイの水平運動の影響が無視できないため、海底設置式波浪計が観測する高潮偏差よりも若干高めの値を得ることは注意が必要である。
- ・GPS 波浪計は、洋上風の観測にも活用できることが改めて示された。洋上風は、陸上風とは異なり、地形の遮蔽効果がないため、より広い範囲から来襲することが改めて確認された。

キーワード：GPS 波浪計，ナウファス，大水深，波浪，潮位，洋上風

* 海洋・水工部長
** 海洋・水工部海象情報研究室長
*** 海洋・水工部海象情報研究室
〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 独立行政法人港湾空港技術研究所
電話：046-844-5036 Fax：046-844-1274 e-mail：nagai@pari.go.jp
<http://www.pari.go.jp/bsh/ky-skb/kaisho/>
<http://www.mlit.go.jp/kowan/nowphas/>

Characteristics of the Observed Offshore Data by the Northern Pacific GPS Buoys

Toshihiko NAGAI*
Katsuyoshi Shimizu**
Makoto Sasaki***

Synopsis

This paper introduces characteristics of the observed offshore waves observed by the two sets of the GPS buoy system at the Northern Pacific Coast of Japan installed by the Tohoku Regional Development Bureau of the Ministry of Land, Infrastructure and Transport Japan.

Following results were obtained from the half year observation from April to September in 2007.

1. There were very few data miss events during the half year observation term, even in the very rough sea conditions caused by typhoon attacks.
2. Obvious difference can be seen in significant wave heights between the deep-sea GPS buoys and the shallower seabed wave gauges, while very little difference can be seen in significant wave periods. Offshore GPS buoys observed much bigger significant wave heights in both normal and abnormal sea states than the shallower seabed wave gauges, due to the topographical sheltering effects by peninsulas, meaning that deep-sea wave observation is necessary in order to obtain offshore wave conditions.
3. Low frequency sea surface fluctuation such as astronomical tides were proved to be well obtained at both deep-sea GPS buoys and the shallower seabed wave gauges, by comparing the harmonic analysis results with coastal tide stations.
4. GPS buoy is able to detect offshore storm surge deviation during the typhoon attack. Observed deviation may include effects due to the buoy horizontal motion.
5. GPS buoy is also able to detect offshore winds. Buoy motion effect is small to obtain average wind speeds, but should be considered for instantaneous maximum wind speed.

Key Words: GPS Buoys, NOWPHAS, Deep Sea, Wave, Tide, Offshore Wind

* Director, Marine Environment and Engineering Department

** Head, Marine Information Division, Marine Environment and Engineering Department

*** Member, Marine Information Division, Marine Environment and Engineering Department

Port and Airport Research Institute, Independent Administrative Institution 3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan

Phone : +81-46-844-5036 Fax : +81-46-844-1274 e-mail: nagai@pari.go.jp

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

<http://www.mlit.go.jp/kowan/nowphas/>

目 次

要 旨	1
1. はじめに	5
2. GPS波浪計の設置と観測データの概要	5
3. 波候統計の比較	7
4. 異常時波浪の比較	10
5. 潮位観測	17
6. 洋上風の観測	19
7. まとめ	22
8. おわりに	23
参考文献	24
付録	

1. はじめに

波浪観測機器は、ブイ式と海底設置式に大別される。前者は、設置やメンテナンスにあたって海底での作業が必要ないため、設置水深に制約がなく大水深海域における沖波の観測が可能である長所を有しているものの、これまでは加速度計測によって得られた観測情報をもとに海面変動を推定する方式であったため、周期 20 秒以上の長周期成分の観測ができず、津波や長周期波およびきわめて周期の長いうねりなどを十分な信頼性をもって観測することができなかった(合田,2001)。

このため、全国港湾海洋波浪情報網(ナウファス)では、もっぱら、後者の海底設置式の波浪計が採用されてきた。1950 年代に開発された運研式波高計などの水圧式波高計(PW)、1960 年代に開発された超音波式波高計(USW)、1970 年代に開発された超音波式流速計型波高計(CWD)、1990 年代に開発された海象計(DWDM)(高山ら,1992:橋本ら,1995)などは、ナウファスによる波浪観測機器開発の成果である。これらの海底設置式波浪観測機器は、国土交通省港湾局の指導の下、全国沿岸に展開され、我が国沿岸における波浪観測が実施されている。そして、港湾空港技術研究所は、全国の波浪観測情報を集中的に処理・解析・管理している(清水ら,2007a)。

海象計を主体としたナウファス波浪観測網は、我が国沿岸の波浪観測統計の確立に大きな役割を果たすとともに、台風等による高波や津波などの異常海象の観測もリアルタイムで行われ、その観測情報は気象庁や一般に広く活用されている。しかし、これらの海底設置式波浪計は、設置やメンテナンスにあたって海底作業が不可欠となるため、実用的な作業限界とみなされている水深 50m 以下の、比較的浅い海域に設置しなければならなかった。

波浪工学では、通常、沖波とは水深波長比が 1/2 以上の波として定義され、それより浅い海域の波浪は、局所的な海底地形による浅水変形や屈折の影響を受けている浅海波として位置づけられる。言うまでもなく、港湾設計においては、海域を代表する沖波の設定が不可欠であり、沖波を直接観測する必要は、以前から指摘されていた。

他方、近年、台風によって非常に大きな発達を遂げた、周期の長い波(15s 以上)が、我が国沿岸で多く観測されるようになってきている。こうした事象が、地球温暖化による台風の強大化と直接つながるかどうかは、まだ十分に解明されていないが、今後の波浪モニタリングの重要性が強く認識されている(清水ら,2006a:清水ら,2007b)。

水深 50m では、周期 8s 以下の比較的波長の短い波でな

ければ沖波とは言えない。周期が 2 倍になると波長は 4 倍となるため、沖波の観測には 4 倍の水深が必要になる。このため、水深 100m 以上、可能であれば 200m 程度の、沖合波浪観測網の構築が、長年望まれていた。

大水深海域における沖波観測としては、水深 154m のいわき沖天然ガス採掘用プラットフォームを活用したステップ式波高計アレーによる観測事例(1986-1995)があるものの、当時は、データ伝送・処理システムの制約から、切れ目のない連続観測は行われていなかった(永井ら,1993:清水ら,1996)。しかし、プラットフォームを活用する大水深海象観測は、プラットフォームのある場所にしか設置できないため、大水深波浪観測網を全国展開することは、現実的なものではなかった。

こうした大水深観測への必要性を背景として、近年に開発・改良された RTK-GPS 技術を応用し、海面の上下変動を広い周波数領域で観測することができる、GPS 波浪計が開発された(永井ら,2003)。

国土交通省港湾局では、平成 16-17 年度に、基本的な検討を実施し、平成 18 年度から GPS 波浪計の全国配置に着手した(永井ら,2004:永井ら,2005:永井,2006)。本稿では、東北沿岸に新たに設置された 2 基の GPS 波浪計によって観測された大水深沖合における海象特性を、浅海域に設置されている既設のナウファス海底設置式波浪計(釜石・石巻)との比較の上で検討する。検討対象期間としては、0709 号に伴う高波が観測された 9 月 7 日を含む 2007 年 4 月から 9 月までの半年間とした。

2. GPS 波浪計の設置と観測データの概要

図-1 は、GPS 波浪計のシステムを示したものである。洋上ブイの鉛直および水平 2 成分の瞬時の位置を cm オーダの精度で正確に把握するため、近傍の陸上固定点で同時並行観測を行い、鉛直座標 GPS 計測の誤差の最小化をはかっている。観測データは陸上基地局を経て、港湾

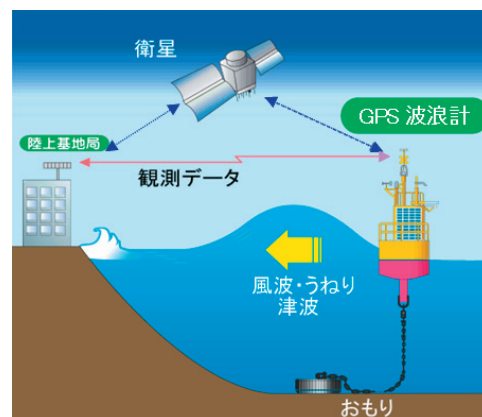


図-1 GPS 波浪計のシステム

空港技術研究所にリアルタイムで伝送され、処理解析が行われている。

国土交通省港湾局による GPS 波浪計の全国配置は、東北地方整備局管内の太平洋沿岸から始められた。設置水深 144m の宮城県中部沖観測点には 2007 年 3 月 22 日に、設置水深 204m の岩手県南部沖には 2007 年 4 月 6 日に、それぞれブイが設置され、現在に至るまで大水深波浪観測が継続されており、観測データの蓄積が進められている。

図-2 および図-3 に、2 基の GPS 波浪計の設置位置を示す。本稿では、近傍のナウファス海底設置式波浪計（石巻港沖海象計および釜石港沖超音波式波高計）、および検潮所（石巻港内および釜石港内）の観測記録とともに、2007 年 4 月から 9 月までの半年間のデータ解析を通じて、大水深海域の海象出現特性を考察した。

図-4 は、宮城県中部沖 GPS 波浪計（水深 144m）、石巻港沖海象計（水深 20m）、岩手県南部沖 GPS 波浪計（水深 204m）および釜石港沖超音波式波高計（水深 50m）の各観測点で得られた半年間の有義波高（ $H1/3$ ）と有義波周期（ $T1/3$ ）の経時変化を示したものである。GPS 波浪計では 1.0s 間隔で、海底設置式波浪計では 0.5s 間隔で、それぞれ観測された海面上下変動記録を 20 分間に区切って、ゼロアップクロス解析（合田,2001）を行い、20 分毎の有義波の算定を行った。

図からわかるように、各観測点では欠測がほとんど見られず、台風 0704 号や 0709 号通過に伴う高波浪時を含めてデータの測得状況は良好であった。半年間（183 日間）の観測数は欠測がなければ 13176 観測であるが、測得された有義波観測数は、宮城県中部沖 GPS 波浪計で 12874 観測（測得率 97.7%）、石巻港沖海象計で 12964 観

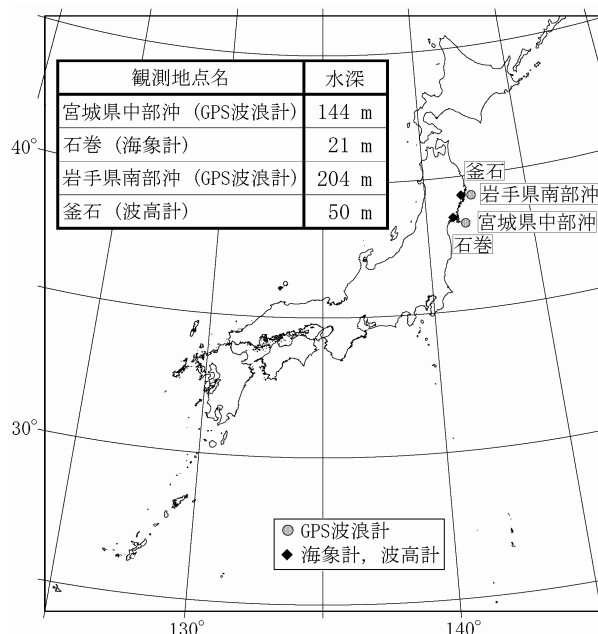
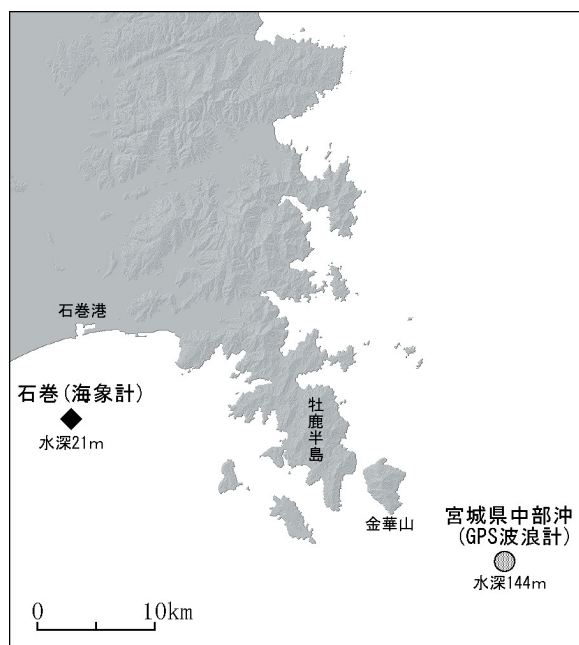


図-2 2 基の GPS 波浪計と海底設置式波浪計の設置位置



(1)宮城県中部沖



(2)岩手県南部沖

図-3 宮城県中部沖および岩手県南部沖におけるブイ設置位置

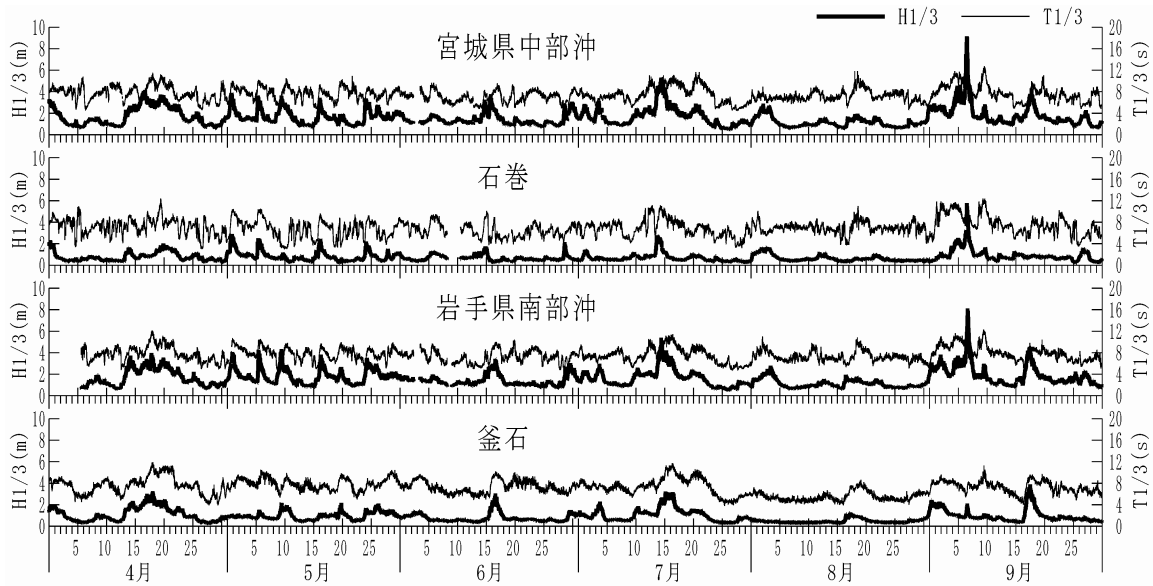


図-4 有義波の経時変化

測（測得率 98.4%）、岩手県南部沖 GPS 波浪計で 12513 観測（測得率 97.9%）および釜石港沖超音波式波高計で 13174 観測（測得率 100.0%）であった。ただし、岩手県南部沖 GPS 波浪計の観測開始は 4 月 6 日 14:00 の観測からであるため、観測開始前の期間を除外した実質的な測得率を、ここでは示した。わずかに見られた欠測の原因は、海底設置式波浪計では海面付近気泡の混入や電気的ノイズの混入によるものであり、GPS 波浪計では電波状況の悪化によって FIX 解が得られなかったケースであったが、ここで述べた 95%以上の測得率は、これまでの波浪観測年報（清水ら, 2007a）でとりまとめられている他の波浪観測点と比較すれば、きわめて高い良好な測得率であると評価することができる。

3. 波候統計の比較

巻末の付表-1 から付表-3 に、4 観測点それぞれの月別波候統計解析結果を、毎年の波浪観測年報に倣って示す（清水ら, 2007a）。

図-5 は、4 観測点の月平均有義波高と有義波周期を示したものであり、付表-1 を図化したものである。2 観測点の大水深 GPS 波浪計の月平均有義波はきわめてよく一致している。有義波高についてみると、GPS 波浪計は、もっとも平均有義波が小さい 8 月においても 1.0m 程度であり他の月は 1.5-2.0m 程度の値を示している。この値は、浅海の 2 観測点の 1.5-2.0 倍であり、大水深海域の波高は、統計的に見て、浅海域よりもはるかに高いことがわかる。これに対して、有義波周期は、各観測点で波高

ほど顕著な相違は見られず、いずれの月でもいずれの観測点でも 6.0-8.0s の範囲に収まっている。すなわち、大水深域の波浪は、統計的に浅海域の波浪と比較して、波高は高いものの周期は比較的近い値となっていることが示された。ここで見られた GPS 波浪計と海底設置式波浪計との顕著な有義波高の相違は、岬や半島等による平面的な地形による遮蔽効果の相違によるものと、水深の相違によるものと、両要因が考えられる。両要因それぞれの寄与の大きさの定量的評価は、今後の波浪推算や波浪変形計算などの数値シミュレーションを用いたさらなる検討が望まれる課題である。

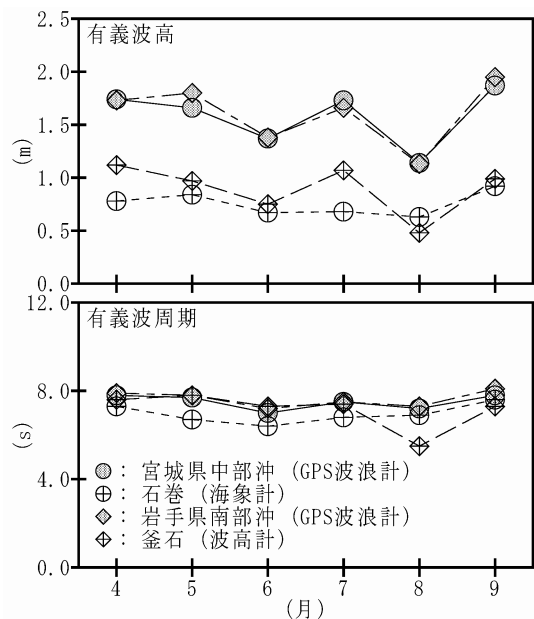


図-5 月平均有義波高と周期の比較

表-1 有義波高と周期の結合出現頻度表

地点：宮城県中部沖							地点：岩手県南部沖								
単位：%							単位：%								
波高	周期	~		10s~		合計	未超過	波高	周期	~		10s~		合計	未超過
		8s	10s	15s	15s					8s	10s	15s			
5m ~			0.0	0.3	0.3	100.0		5m ~		0.0	0.3	0.3	100.0		
4m ~ 5m		0.0	0.6	0.2	0.9	99.7		4m ~ 5m	0.1	0.3	0.3	0.6	99.7		
3m ~ 4m		1.1	2.2	1.2	4.4	98.8		3m ~ 4m	0.4	2.6	2.1	5.0	99.1		
2m ~ 3m		7.5	8.5	2.1	18.0	94.4		2m ~ 3m	6.4	9.5	1.8	17.8	94.0		
1m ~ 2m		39.0	12.5	0.7	52.2	76.4		1m ~ 2m	38.8	15.3	0.5	54.6	76.3		
~ 1m		18.3	5.7	0.1	24.1	24.1		~ 1m	17.8	3.9		21.7	21.7		
合計		65.9	29.5	4.6	100.0			合計	63.4	31.6	5.0	100.0			
未超過		65.9	95.4	100.0				未超過	63.4	95.0	100.0				

地点：石巻							地点：釜石								
単位：%							単位：%								
波高	周期	~		10s~		合計	未超過	波高	周期	~		10s~		合計	未超過
		8s	10s	15s	15s					8s	10s	15s			
5m ~			0.0	0.0	0.0	100.0		5m ~					100.0		
4m ~ 5m			0.1	0.0	0.1	100.0		4m ~ 5m					100.0		
3m ~ 4m			0.1		0.1	99.9		3m ~ 4m		0.3	0.1	0.4	100.0		
2m ~ 3m		0.2	0.9	0.9	2.1	99.8		2m ~ 3m	0.5	2.5	1.9	4.9	99.6		
1m ~ 2m		7.1	6.3	1.8	15.2	97.7		1m ~ 2m	10.0	13.6	1.3	24.9	94.7		
~ 1m		68.9	12.3	1.4	82.5	82.5		~ 1m	59.9	9.8	0.1	69.7	69.7		
合計		76.2	19.7	4.1	100.0			合計	70.3	26.2	3.5	100.0			
未超過		76.2	95.9	100.0				未超過	70.3	96.5	100.0				

表-1 は、付表-2 をより読みやすくしたものであり、有義波高と周期の結合出現頻度表を示したものである。図-5 で示された大水深域と浅海域との統計的な波浪の相違が、より顕著に示されている。すなわち、有義波周期の出現分布は4観測点でそれほど顕著な相違は見られないのに対して、有義波高の出現状況は、大水深域と浅海域とできわめて異なった分布となっている。すなわち、有義波高 1.0m 以下となる低波浪状態の出現率は、宮城県中部沖および岩手県南部沖の GPS 波浪計でそれぞれ 24.1%と 21.7%であるのに対して、石巻港沖および釜石港沖の海底設置式波浪計ではそれぞれ 82.5%と 69.7%となっており、有義波高が 3.0m 以上となる高波浪状態について見ても、宮城県中部沖および岩手県南部沖の GPS 波浪計でそれぞれ 5.6%と 6.0%であるのに対して、石巻港沖および釜石港沖の海底設置式波浪計ではそれぞれ 0.2%と 0.4%となっている。このように、大水深域と浅海域との間には、きわめて顕著な波高の出現状況の相違が確認された。

図-6 は、4観測点のスペクトル解析に基づく周期帯別の月平均有義波高を示したものである。ここに、周期帯の区分は、ナウファスによるデータ処理に倣って、①15s 以上(ナウファスの f1 および f2 の合成値)、②10-15s(ナウファスの f3)、③8-10s(ナウファスの f4)、④8s 以下(ナウファスの f5 および f6 の合成値)とした(清水ら,2006b)。

各周期帯に共通して、2観測点の大水深 GPS 波浪計の

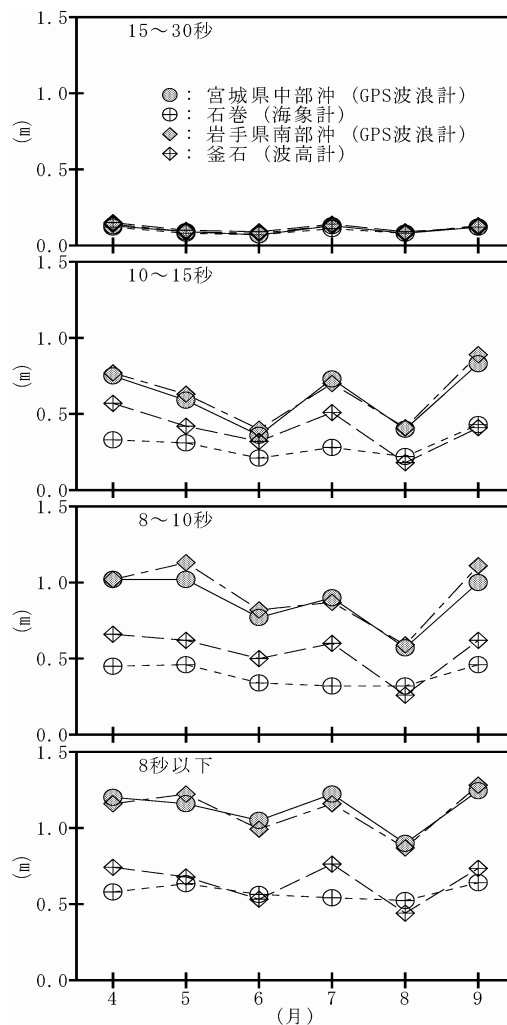


図-6 周期帯別の月平均有義波高の比較

月平均周期帯波高はきわめてよく一致している。浅海域観測点と比較すると、すべての周期帯で大水深域の方が浅海域より換算波高が大きいものの、この相違は短周期の周期帯で顕著であるように見える。ただし、周期 15s から 30s の間の比較的周期の長いうねりに対応する周期帯では、常時のエネルギーレベルは低いため、月平均値での比較は困難であった。

GPS 波浪計では、波向は周期帯毎に示されるが、代表的な波向をもっとも周期帯波高の高い周期帯の波向と定義し、波高と波向との結合出現頻度表にとりまとめた結果を、巻末の付表-3 に示す。

図-7 は、波向観測が行われていない釜石港沖超音波式波高計を除く 3 観測点の周期帯別の波向出現分布を示したものであり、各観測点について、10-15s (ナウファスの f3) および 8-10s (ナウファスの f4) の 2 周期帯について表示を行ったものである。ここで、GPS 波浪計では波向の範囲を片側±90 度からの来襲を仮定したデータ

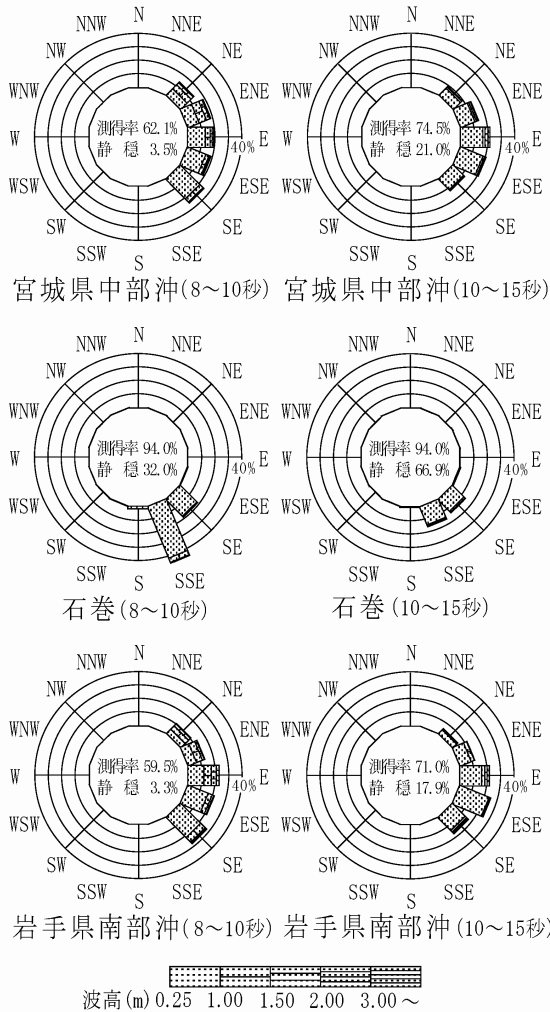


図-7 周期帯別の波向出現分布

処理システムが構築されていることには注意を要する。

これは、GPS 波浪計によって求められる周期帯毎の波向は、各周期帯毎に整理されたブイの水平運動軌跡から算出されるためである。このため、ここでは、反対方向からの波の来襲の可能性のある方向からの波浪成分は図から除外することとし、来襲波向きが、NE から SE にかけての波浪についてだけ図示することとした(清水ら,2006b)。全方位からの波浪の来襲に対応する周期帯波

表-2 長周期波の出現統計

宮城中部沖		期間: '07/ 4~'07/ 9					
波高階級 (cm)	観測数	4√ m0L30-60		4√ m0L60-300		4√ m0L30-	
		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	0.0
1 - 5	1796	81.8	1684	76.7	394	17.9	
5 - 10	83	3.8	181	8.2	1357	61.8	
10 - 20	0	0.0	14	0.6	124	5.6	
20 - 50	0	0.0	0	0.0	3	0.1	
50 -	0	0.0	0	0.0	1	0.0	
欠 測					317	14.4	
全観測					2196		
平均値		2.6		3.2		6.7	

石巻		期間: '07/ 4~'07/ 9					
波高階級 (cm)	観測数	4√ m0L30-60		4√ m0L60-300		4√ m0L30-	
		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	1924	87.6	1592	72.5	430	19.6	
5 - 10	174	7.9	395	18.0	1459	66.4	
10 - 20	4	0.2	113	5.1	203	9.2	
20 - 50	0	0.0	2	0.1	10	0.5	
50 -	0	0.0	0	0.0	0	0.0	
欠 測					94	4.3	
全観測					2196		
平均値		3.3		4.6		6.9	

岩手南部沖		期間: '07/ 4~'07/ 9					
波高階級 (cm)	観測数	4√ m0L30-60		4√ m0L60-300		4√ m0L30-	
		観測数	出現率	観測数	出現率	観測数	出現率
- 1	1	0.0	0	0.0	0	0.0	
1 - 5	1795	81.7	1686	76.8	294	13.4	
5 - 10	69	3.1	175	8.0	1416	64.5	
10 - 20	0	0.0	4	0.2	154	7.0	
20 - 50	0	0.0	0	0.0	1	0.0	
50 -	0	0.0	0	0.0	0	0.0	
欠 測					331	15.1	
全観測					2196		
平均値		2.6		3.3		6.9	

釜石		期間: '07/ 4~'07/ 9					
波高階級 (cm)	観測数	4√ m0L30-60		4√ m0L60-300		4√ m0L30-	
		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	1967	89.6	283	12.9	0	0.0	
5 - 10	225	10.2	1907	86.8	2014	91.7	
10 - 20	0	0.0	2	0.1	178	8.1	
20 - 50	0	0.0	0	0.0	0	0.0	
50 -	0	0.0	0	0.0	0	0.0	
欠 測					4	0.2	
全観測					2196		
平均値		4.1		5.7		8.1	

向解析方式への改良(清水ら,2007c)が、今後のGPS波浪計データ処理解析システムの課題となっている。

両周期帯に共通して、2観測点の大水深GPS波浪計の波向出現特性はきわめてよく一致しており、ともに、NEからSEにかけて、まんべんなく波浪のエネルギーが来襲していることがわかる。

これに対して、浅海域観測点である石巻港沖では、地形による遮蔽条件によって、SEからSの範囲に限定されるばかりでなく、両周期帯で、SSEとSEの波向出現割合が異なっており、周期10s以上ではSEとSSEが同程度であるのに対して、周期10s以下ではSEよりSSEの方が出現頻度が大きくなっている。これは、周期の長い周期帯ほど屈折の影響を強く受けるため、石巻港沖付近の等深線直角方向であるSE波向の出現が多くなるものと考えられる。浅海域波浪観測点では、地形による遮蔽や波浪の屈折の影響を強く受けた局所的な波浪の波向が観測されていることが、大水深波浪観測との比較から、改めて確認されたことになる。

表-2は、周期帯波浪解析に基づく周期30s以上の長周期成分波高の出現状況を、ナウファス波浪観測年報(清水ら,2007a)と同様の様式で4観測点についてとりまとめたものである。2時間単位でスペクトル計算を行っているため、2時間中に16データ(16sに相当)以上の海面変位データの欠測がある場合は欠測扱いとしたため、1/3程度までのデータ欠落は許容しゼロアップクロス解析が可能であると判断された観測についてすべて集計した表-1に比べると、長周期成分波の測得率は低くなっている。

表-2では、大水深GPS波浪計2基の長周期成分波の出現特性は、浅海域の2観測点に比べ大きく異なることが示されている。すなわち、GPS波浪計は、浅海域に比べて、換算波高10cm以上の階級の出現頻度がともに小さい。これは、高波浪時において顕著になると考えられる自由進行長周期波は、理論的に浅海域ほど高さを増大させること(永井ら,1999)によるものであると考えられる。

4. 異常時波浪の比較

4.1 台風0704号

図-8に台風0704号の経路とナウファス各観測点の最大有義波を、図-9に台風0704号による太平洋沿岸の特徴的な観測点における有義波の経時変化を示す。台風0704号は、沖縄を通り過ぎた7月13日早朝に中心気圧930hPaとなる最盛期をむかえた後に進路をNNWからNに変更し、7月14日昼過ぎに中心気圧950hPaの勢力を

保ったまま九州南岸をかすめ、その後さらに進路をENEに変更し、勢力を弱めながら太平洋南岸に沿って進行し、太平洋上に抜けた台風であった。このため、図-9からわかるように、主として我が国の太平洋南西岸で顕著な高波を観測した。水深40mの中城湾における7月13日5:40の観測(5:30-5:50の20分間の観測を意味する)で得られた有義波高13.61m、有義波周期14.9sの高波は、これまでのナウファス海底設置式波浪計で観測された最大有義波である台風0423号に伴う室津(水深27m)で観測された2004年10月20日14:00の観測における有義波高13.55m、有義波周期15.8sを超える記録的な高波であった。潮岬(水深55m)でも7月15日2:00の観測で有義波高11.20m、有義波周期15.1sを観測したが、これも、1970年以来波浪観測を継続している潮岬におけるこれまでの既往最大有義波(台風0423号に伴う2004年10月20日18:00の観測における有義波高10.22m、有義波周期15.7s)を超える高波であった。太平洋北東岸では、南西岸ほどには波浪は発達しなかったものの、小名浜(水深20m)で7月15日22:00の観測で有義波高5.28m、有義波周期9.9sを観測するなど、やはり例年の年間最大規模となる高波を観測している。

図-10は、台風0704号によって東北地方太平洋沿岸で高波浪が観測された7月15日から16日までの2日間の、4観測点(宮城県中部沖GPS波浪計、石巻港沖海象計、岩手県南部沖GPS波浪計および釜石港沖超音波式波高計)の有義波高と有義波周期の経時変化を示したものである。2基の大水深GPS波浪計は、宮城県中部沖で7月16日9:00の観測で最大有義波高5.29m、有義波周期10.1sを、岩手県南部沖で7月16日8:40の観測で最大有義波高5.39m、有義波周期10.6sを観測している。これに対して、石巻港沖海象計と釜石港沖超音波式波高計は、最大でも3m程度の有義波高となっており、大水深GPS波浪計に比べて、最大有義波高は半分程度と低かった。

台風0704号は東北太平洋沿岸を直撃したものではなく、これに伴う高波はS-SEからのうねりとして東北太平洋沿岸に来襲した。このため、図-10に示すように、これらの4波浪観測点に共通して、高波浪状態は24時間以上にわたって長時間継続したことが特徴であった。この間、図-8に示す台風の経路から見て、うねりの来襲方向は少しずつSからSEにむけて変化していったと思われるが、浅海域波浪観測点では、うねりに対しても地形による遮蔽の影響を強く受けていることが、大水深波浪観測との比較から、改めて確認されたと考えられる。

図-11は、高波浪時である7月15日20:00、16日2:00および8:00における4観測点の波浪の周波数スペクトル

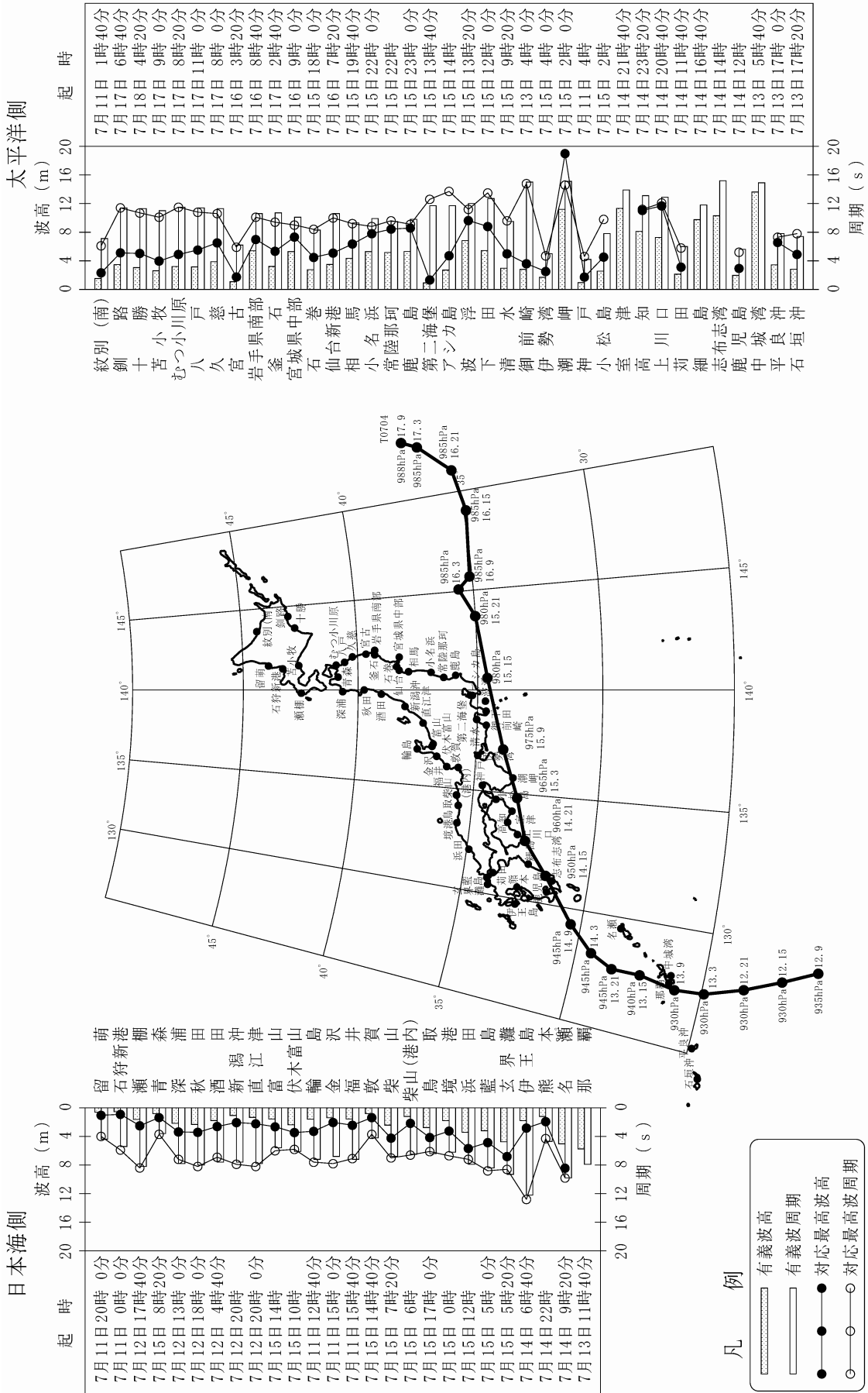


図-8 台風 0704 号の経路とナウファース各観測点の最大有義波

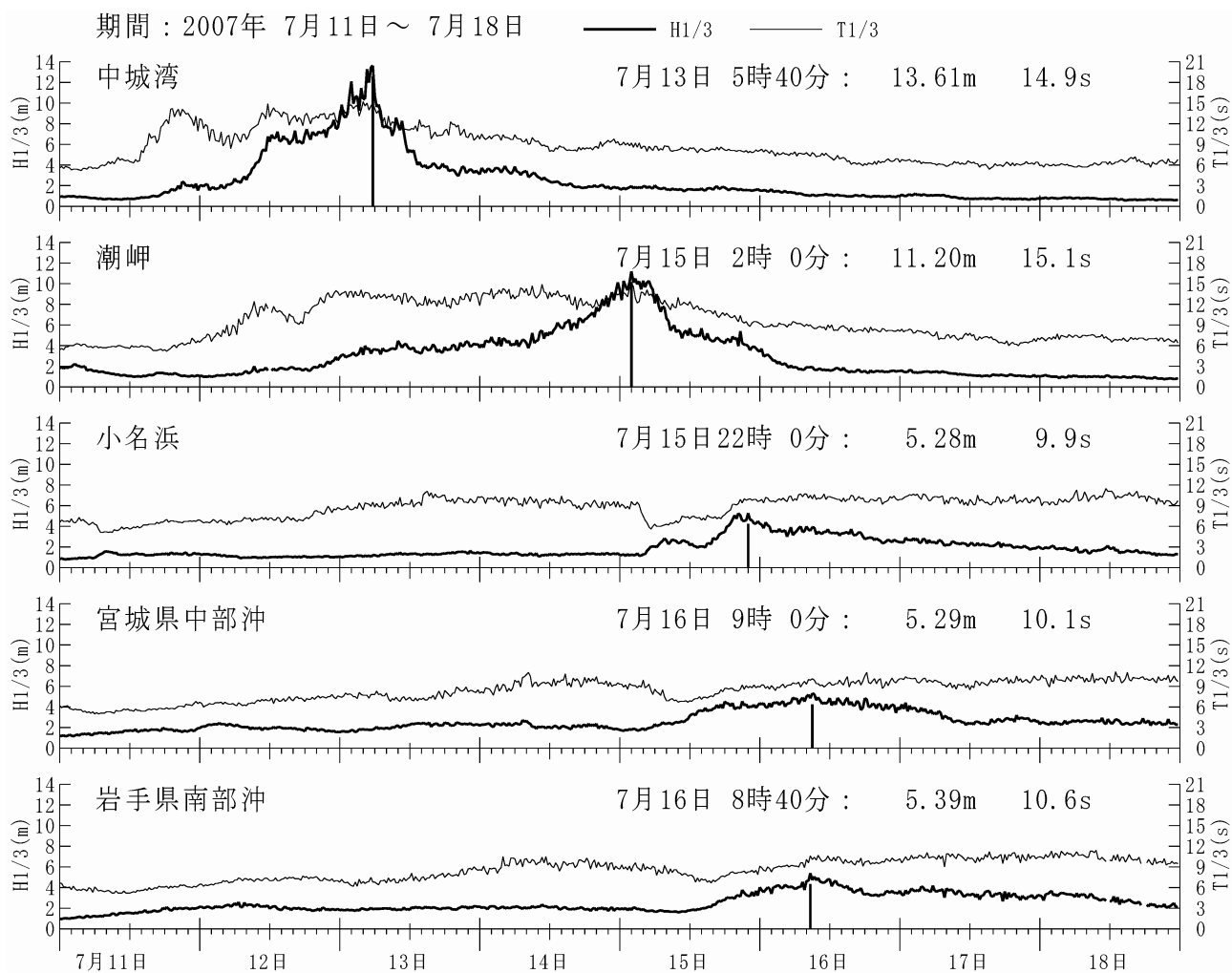


図-9 主要観測点の有義波の経時変化図 (台風 0704 号)

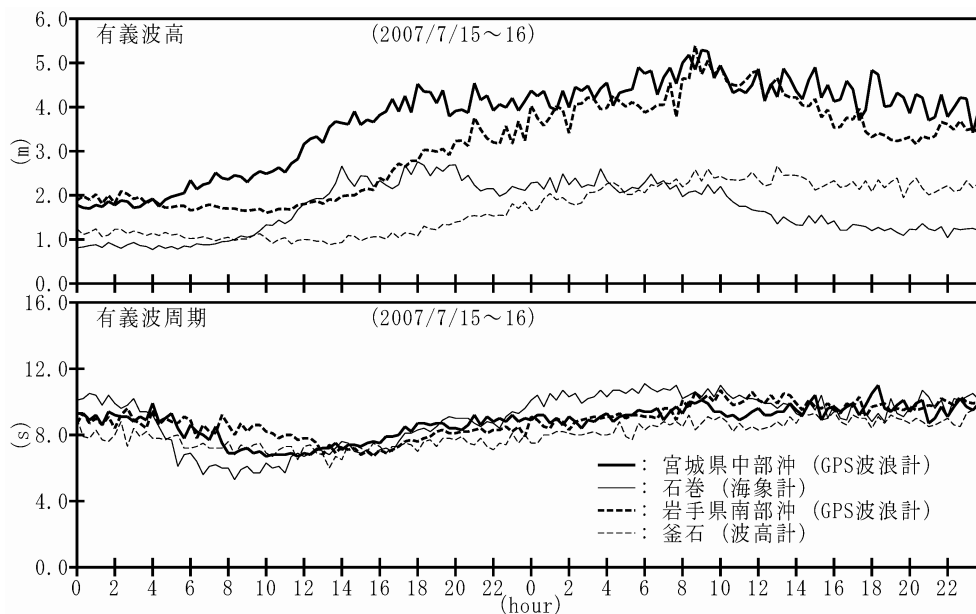


図-10 4観測点における有義波の比較 (台風 0704 号)

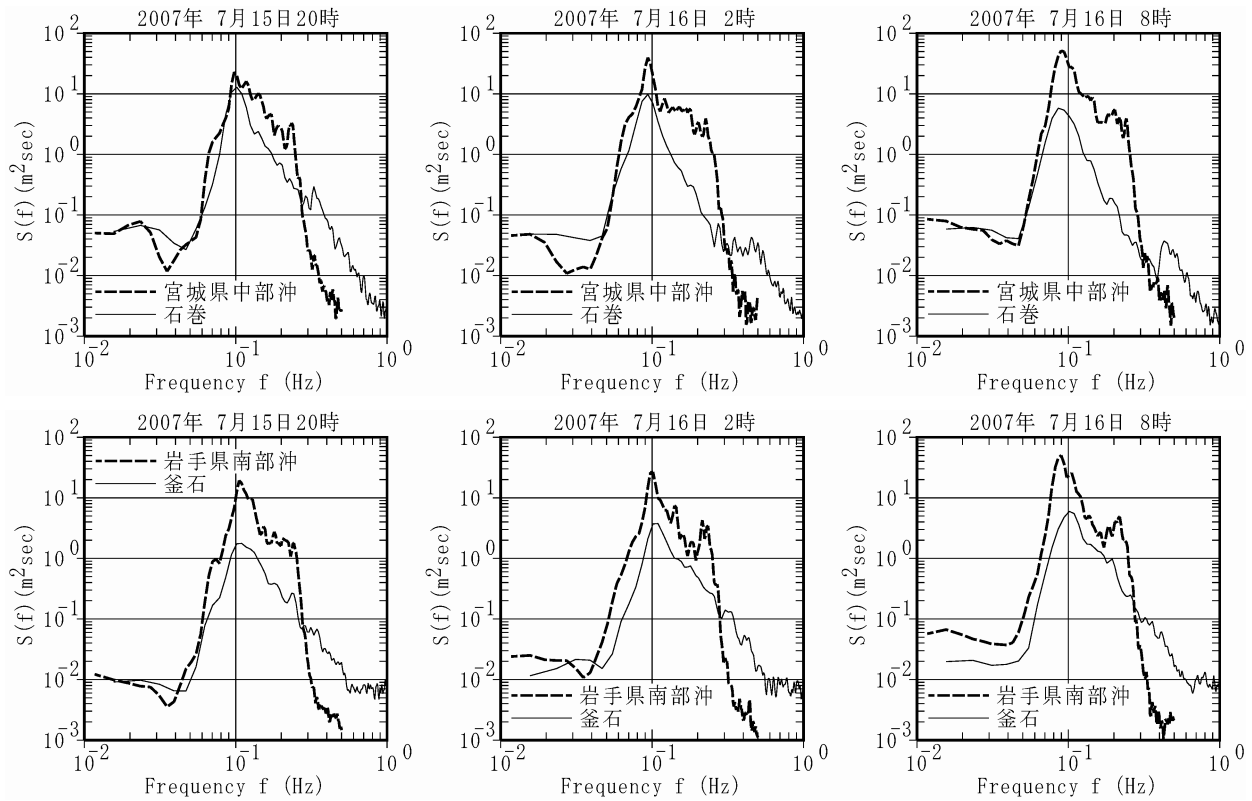


図-11 周波数スペクトルの比較 (台風 0704 号)

を示したものである。波高の相違に伴って、大水深 GPS 波浪計と浅海の海底設置式波浪計では、波浪エネルギーの絶対値が異なり、いずれの観測点のいずれの時刻においても、波浪エネルギーの主要部分となる 0.07Hz (対応周期約 14s) から 0.2Hz (対応周期約 5s) の範囲の概ねすべての周波数で、大水深 GPS 波浪計位置での波浪エネルギーは、浅海域海底設置式波浪計位置での波浪エネルギーよりも大きい値を示している。図-11 に示す 12 時間の間は、スペクトルのピーク周波数は、各観測点に共通して 0.09Hz (対応周期約 11s) -0.1Hz (対応周期約 10s) の間のほぼ一定値となっている。このことは、当該周期を有するうねりが、比較的長時間継続したことを意味している。

4.2 台風 0709 号

図-12 に台風 0709 号の経路とナウファス各観測点の最大有義波を、図-13 に台風 0709 号による太平洋沿岸の特徴的な観測点における有義波の経時変化を示す。台風 0709 号は、9 月 6 日深夜に中心気圧 9650hPa となる最盛期のままの状態を進路を N 方向に保ったまま関東に上陸し、その後勢力を衰えながらも関東から北海道にかけて日本列島東北部を S から N に通過した台風であった。こ

のため、図-13 からわかるように、主として我が国の関東から太平洋北東岸にかけての沿岸で顕著な高波を観測した。太平洋南西岸の中城湾や潮岬では前述した台風 0704 号よりはるかに低い波浪であった半面、小名浜 (9 月 7 日 6:40 の観測で有義波高 6.54m, 有義波周期 9.6s) や 2 基の GPS 波浪計では台風 0704 号より高い波浪を観測した。

図-14 は、2007 年 9 月 7 日に東北太平洋沿岸を通過した台風 0709 号による高波期間中の、4 観測点における有義波高と有義波周期の経時変化を示したものである。極大有義波を見ると、宮城県中部沖 GPS 波浪計では 9 月 7 日 11:20 の観測で有義波高 9.15m, 有義波周期 11.5s, 石巻港沖海象計では 9 月 7 日 12:00 の観測で有義波高 5.77m, 有義波周期 8.9s, 岩手県南部沖 GPS 波浪計では 9 月 7 日 14:20 の観測で有義波高 8.11m 有義波周期 11.6s, 釜石港沖超音波式波高計では 9 月 7 日 13:20 の観測で有義波高 2.11m, 有義波周期 6.7s であった。このような高波浪条件において、2 基の GPS 波浪計が、2 基の海底設置式波浪計とともに欠測なく高波の観測に成功したことは、観測システムの信頼性の高さを示している。

ここで石巻港沖波浪観測点が観測した有義波高 5.77m は、1995 年以降の石巻港沖の観測記録の中で 2002 年 10

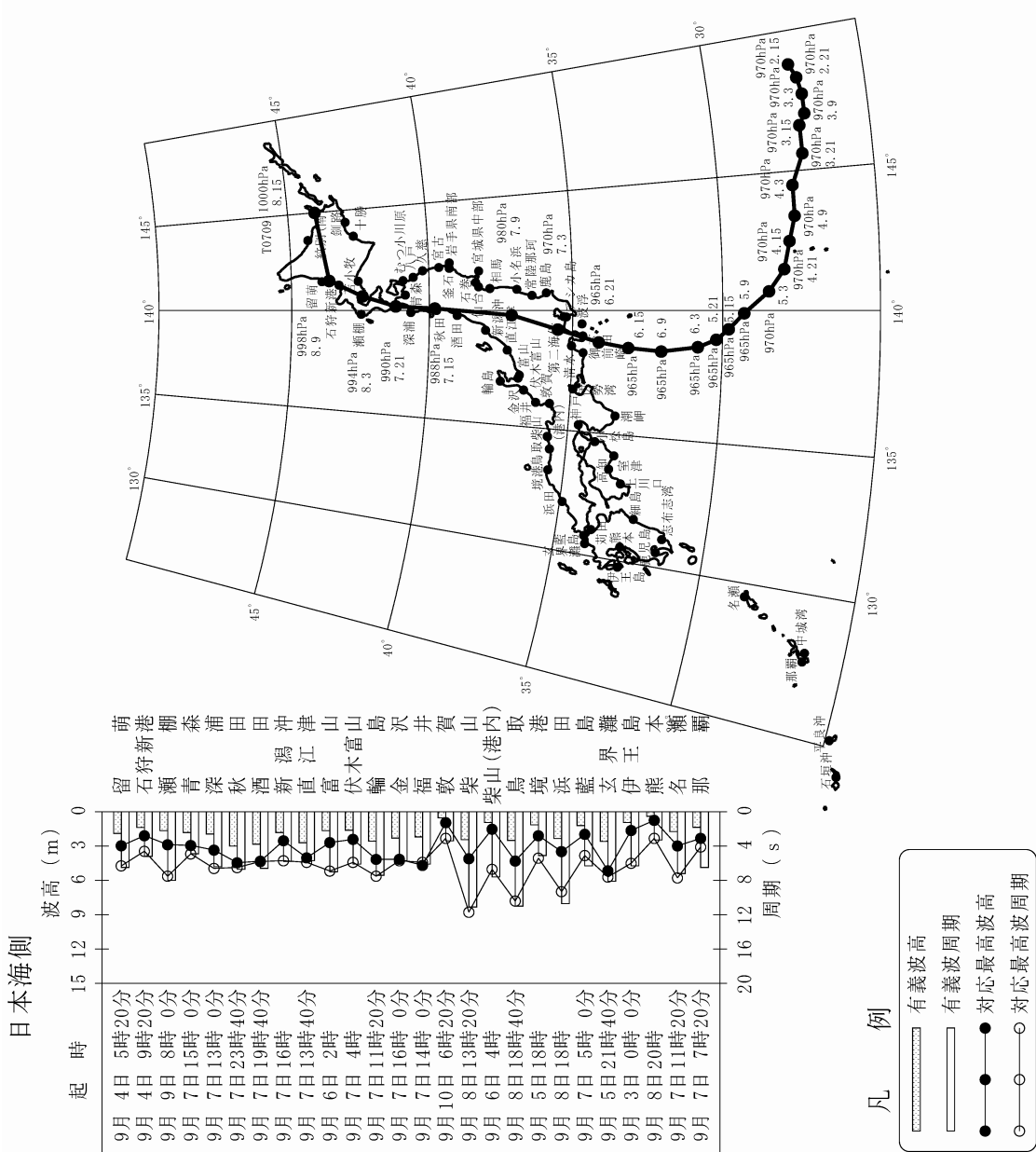
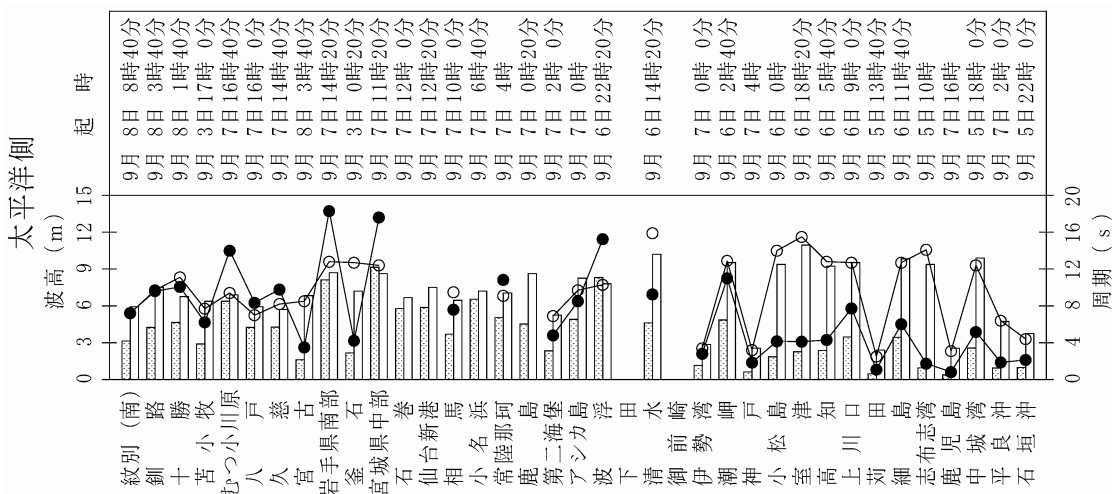


図-12 台風0709号の経路とナウファス各観測点の最大有義波

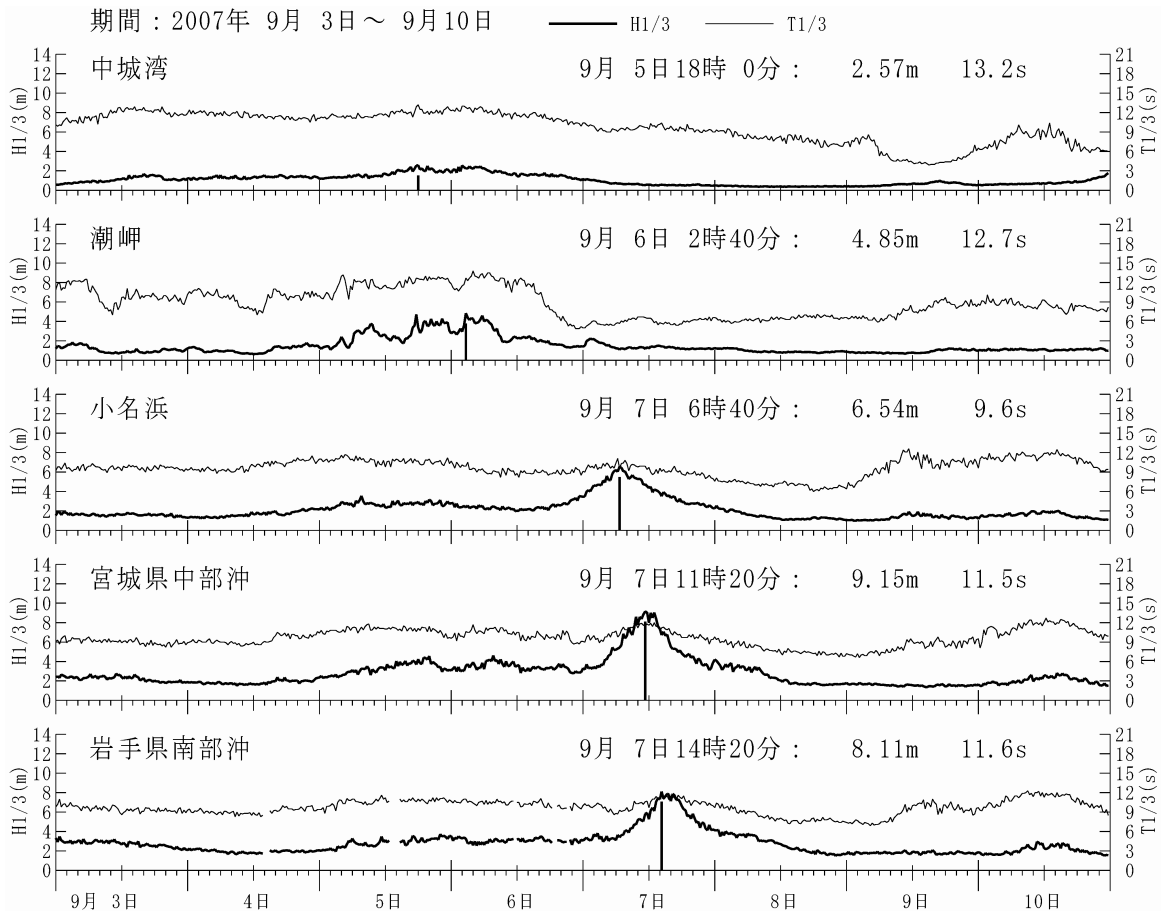


図-13 主要観測点の有義波高の経時変化図 (台風 0709 号)

月 2 日 2:00 の 5.66m (台風 0221 号) を凌ぐ既往最大観測波であったため、台風 0709 号による東北地方沿岸の波浪は、検討対象海域近傍では、非常にきびしい波浪条件であったものと位置づけられる。しかしながら、GPS 波浪計は、過去の室戸沖における実証試験において、台風 0423 号に伴う極大有義波高 14.21m を観測した実績もあるため (永井ら,2005)、宮城県中部沖 GPS 波浪計が観測した有義波高 9.15m は、GPS 波浪計による極大波浪観測限界には、まだ十分に余裕がある外力条件であったと想像される。

釜石港沖超音波式波高計の観測波が他の観測点に比較して極端に低いのは、釜石港沖観測点は周辺地形による遮蔽の影響が強く、E 方向から来襲する波浪エネルギーだけを捉えているためであると推定される。これに対して、石巻港沖海象計では、有義波の時間変動傾向と極大時刻は、沖合の宮城県中部沖 GPS 波浪計とほぼ一致している。これは、図-12 に示す台風経路から想像されるように、極大波を発生させた時点の波向が SE あるいは SSE 方向であり、石巻港の外洋への開口方向と来襲波の

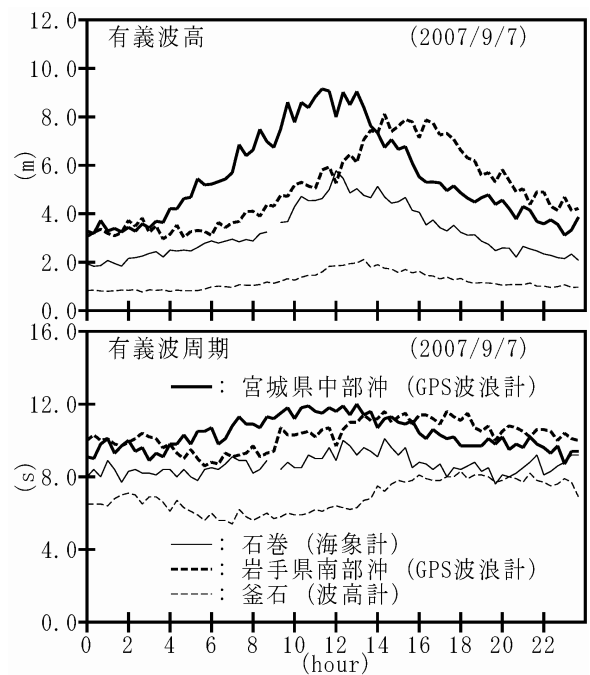


図-14 4 観測点における有義波の比較 (台風 0709 号)

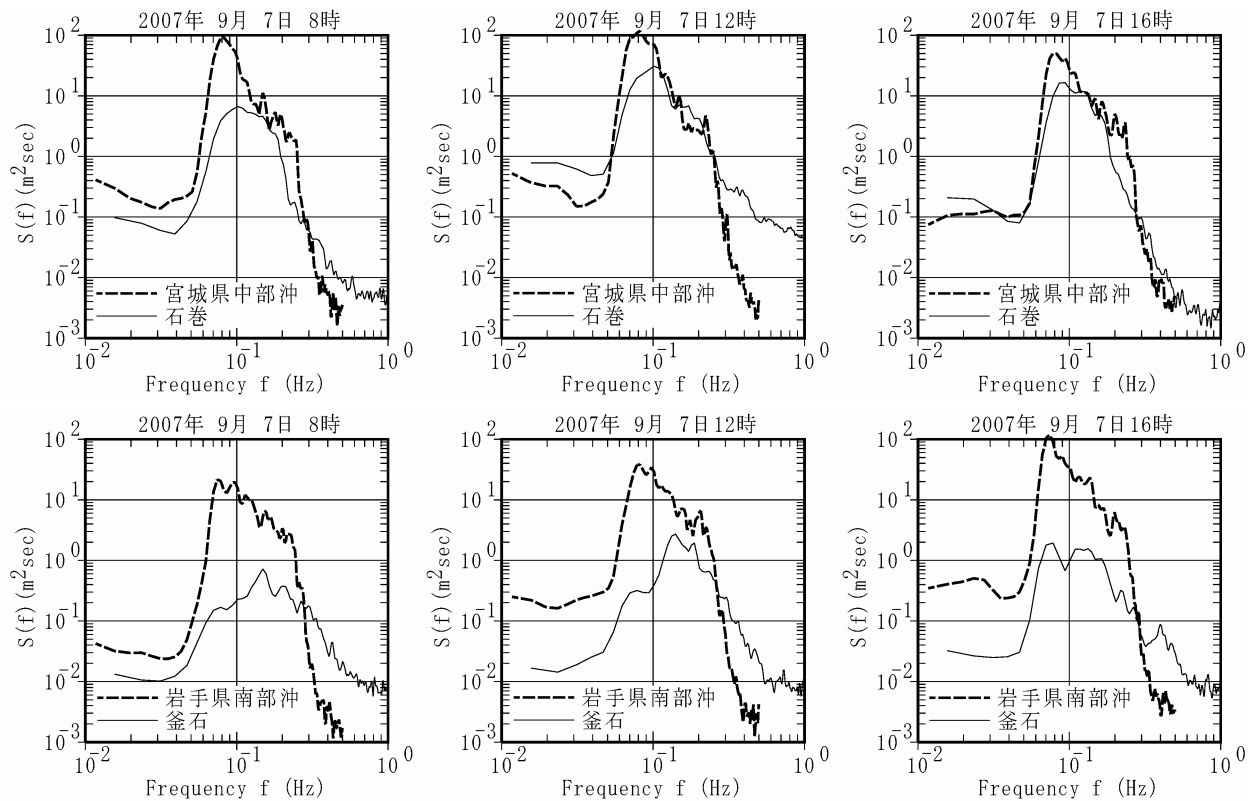


図-15 周波数スペクトルの比較 (台風 0709 号)

波向が、ほぼ一致していたためであると考えられる。

図-14 から、異常波浪時においても、大水深 GPS 波浪計が観測する波浪は、浅海域波浪計による観測結果よりも大きく、外洋における波浪は、地形による遮蔽の影響を受ける浅海観測点とは大きく異なっていることが、改めて示された。こうした結果は、過去に実施された台風通過時におけるいわき沖大水深観測結果 (清水ら,1996) の解析結果とも一致し、台風通過時における外洋波の方向分散性は大きく、台風通過前後における風況変動が大きい際には、外洋ではさまざまな方向から波浪エネルギーの来襲があることを意味している。前章で示した波候統計上は、直線距離で 100km 強の間隔を持つ 2 基の大水深 GPS 波浪計の観測結果には顕著な相違は見られなかったが、図-14 で示されるように個別の気象擾乱中の観測波浪は、その時系列変化においても最大波に関しても、2 基の GPS 波浪計は、異なる観測結果を示していることには注意を要する。これは台風経路や進行速度によるものであるが、図-14 は、今後の大水深波浪観測網の構築にあたって、観測点の合理的配置を検討するための一つのめやすになるものである。

図-15 は、高波浪時である 9 月 7 日 8:00、12:00 および 16:00 における 4 観測点の波浪の周波数スペクトルを示

したものである。波高の相違に伴って、大水深 GPS 波浪計と浅海の海底設置式波浪計では、波浪エネルギーの絶対値が異なる。宮城県中部沖 GPS 波浪計と石巻港沖海象計の周波数スペクトルを比較すると、GPS 波浪計では各時刻に共通して 0.08Hz (周期 12.5s) 付近にピークが見られるのに対して、海象計では 8:00 および 12:00 のピークは 0.1Hz (周期 10s) 付近にピークが見られ、若干、ピーク周期が短くなっている。しかし、有義波高のピークを終えた 16:00 では、石巻港沖海象計の周波数スペクトルピークも 0.9Hz (周期 11s) と若干低周波側に変化している。これに対し、岩手県南部沖 GPS 波浪計と釜石港沖超音波式波高計の周波数スペクトルを比較すると、より顕著な波浪エネルギーの絶対値の相違が見られるとともに、超音波式波高計の周波数スペクトルピークは、より高周波側の 1.4Hz (周期 7s) 付近に見られる。ただし、有義波高が極大値を過ぎた 16:00 以降は、0.8Hz (周期 12.5s) 付近にももう一つのピークが見られ、ようやくうねりの来襲が確認されている。浅海域の観測点では、地形条件により来襲波の方向が限られ、遮蔽される方向からの波浪エネルギーが届きにくいため、こうしたスペクトル形状の違いが現れているのであろう。

4.2 ペルー沖地震津波の観測

図-16 は、8月17日に我が国太平洋沿岸に來襲した、ペルー沖地震津波の來襲時における長周期水面變動記録を、岩手県南部沖 GPS 波浪計、釜石港沖超音波式波高計および海上保安庁の釜石港内検潮所について、比較表示したものである。周期の短い波浪による水面變動や周期のより長い天文潮汐による水面變動は、清水ら (2006c) による数値フィルターによって取り除いた。

気象庁によると、数値計算によって推定された津波來襲時刻は日本時間 8月17日午前 4:00 頃と發表された。

釜石港沖超音波式波高計と港内検潮所では、遅くとも 6:00 以降の波形記録は 4:00 以前の波形記録とは大きく異なっており、最大両振幅が、それぞれ 15cm および 20cm 程度の弱い津波を明確に観測している。

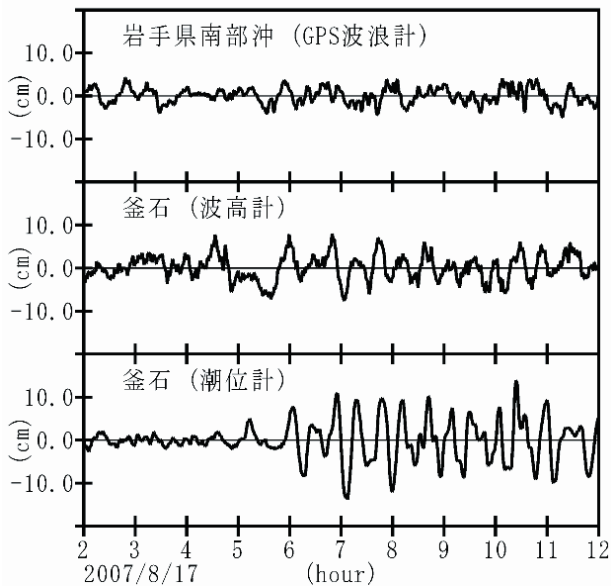


図-16 ペルー沖地震津波來襲時の長周期海面變動記録

しかし、岩手県南部沖 GPS 波浪計の長周期海面變動は、4:00 以前と以後とで明確な波形の相違は確認できず、津波を識別することが困難であった。これは、GPS 波浪計の測位誤差は、電離層の变化等の気象變動による電波環境のゆらぎによって生ずるものと考えられているため、測位誤差は数分から数十分程度の時間スケールでゆっくりと現れるためである。このことは、前述した表-2 にも現れているように、数 cm 程度の見かけ上の長周期波が、GPS 測位誤差の影響で GPS 波浪計観測記録中に常に混入していると考えられ、大水深海域では片振幅が 5cm に満たない小さな津波波形を捉えることが困難であったものと考えられる。

なお、こうした傾向は、宮城県中部海域でも同様であったが、たまたまこの時は、石巻検潮所の観測記録が欠測であったため、本稿では岩手県南部沖で観測された津波波形記録だけを紹介した。

5. 潮位観測

5.1 調和分解計算結果

表-3 は、永井ら (2003) の手法に従って、半年間の水面變動記録の長周期成分を 28 分潮で調和解析し、主要 4 分潮の振幅と位相を比較したものである。検討対象観測点としては、宮城県中部海域では GPS 波浪計・石巻港沖海象計および東北地方整備局石巻港検潮所の 3 観測点であり、岩手県南部海域では GPS 波浪計・釜石港沖超音波式波高計および海上保安庁釜石港検潮所の 3 観測点である。

いずれの観測点においても主要 4 分潮の振幅の和として示される Z0 の値は 85cm 程度の一定値となっており、

表-3 主要 4 分潮の振幅と位相

地点	定数	振幅				遅角					
		GPS 波浪計 (cm)	検潮所との比	超音波波高計 (cm)	検潮所との比	検潮所 (cm)	GPS 波浪計 (°)	検潮所との差 (分)	超音波波高計 (°)	検潮所との差 (分)	検潮所 (°)
宮城県中部沖 および 石巻	M2	30.8	0.93	33.2	1.00	33.1	101.2	-3.0	102.6	-0.1	102.6
	S2	14.1	0.91	15.6	1.01	15.5	137.7	-0.9	137.9	-0.6	138.2
	K1	23.3	0.96	24.3	1.00	24.3	163.4	-2.7	163.4	-2.4	164.0
	O1	18.6	0.95	19.6	1.00	19.6	146.6	-1.4	147.2	1.2	146.9
	Z0	86.8	0.94	92.6	1.00	92.5		(-2.2)		(-0.5)	
岩手県南部沖 および 釜石	M2	29.8	0.98	30.1	0.99	30.3	96.0	-2.8	95.6	-3.5	97.3
	S2	14.0	1.00	13.7	0.98	13.9	134.5	0.5	134.3	0.0	134.3
	K1	23.2	1.01	23.1	1.01	23.0	160.0	-5.3	162.9	6.3	161.3
	O1	18.5	0.98	18.7	1.00	18.8	144.0	-5.8	144.0	-5.7	145.3
	Z0	85.4	0.99	85.6	1.00	86.0		(-3.6)		(-0.8)	

天文潮汐の変動の大きさは、ほぼ一定であることがわかる。細かく見れば、表の右側に示す港内検潮所の Z0 を基準とした比に示されるように、水深の深い沖合観測点ほどわずかに天文潮汐の振幅が小さくなっているようであるが、GPS 波浪計や海底設置式波浪計と港内検潮所との間の各分潮毎の振幅比はほぼ一定の値となっている。

港内検潮所を基準とした位相遅角（あるいは時間差）についての両海域の比較は、表の右側で比較を示した。ここで、検潮所との差とは、位相遅角の差を分潮ごとの周期を考慮して時間差に変換した分単位の値である。時間差は、分潮毎に異なった値であるが、総じた観測点ごとの比較を行うため、各分潮の振幅で重みつき平均を行った時間差を表の下段に括弧書きで表示した。両海域に共通して、大水深 GPS 波浪計・浅海域波浪計・港内検潮所の順に時間差が現れており、各海域内の潮汐変動は沖側ほど位相が進んでいる（満潮や干潮の時刻がわずかに早い）ようであり、天文潮汐が地球全体の海水の流動であることを考えると、妥当な観測結果であるものと考えられる。

すなわち、GPS 波浪計や海底設置式波浪計は、適切なデータ処理を行うことによって、周期の長い沖における天文潮汐も、妥当に検出できることが示されたものと考えられる。

5.2 偏差の検出

巻末の付図-1 は、表-3 に示す調和分解計算結果よって推算される長周期水面変動と、実際の観測波形の長周期水面変動とあわせて示し、その相違（偏差）の経時変化を示したものである。

図-17 および図-18 は、それぞれ、台風 0704 号と 0709 号による高波が観測された期間中の 4 観測点の偏差を、港内検潮記録とともに示したものである。台風 0704 号は、図-8 に示したとおり、4 観測点のはるか南を通過したため、4 観測点では顕著な高潮偏差は観測されていない。石巻港沖海象計と石巻港内検潮所では、偏差の値および経時変化はきわめてよく一致しているが、最大偏差は、ともに 7 月 15 日 15:00 頃 20cm 程度であった。これに対して宮城県中部沖 GPS 波浪計の偏差の経時変化は若干異なっていたが、最大偏差は 7 月 15 日 21:00 頃の 12cm 程度であった。岩手県南部沖 GPS 波浪計でも、最大偏差は 7 月 16 日 3:00 頃に 12cm 程度の偏差が得られているが、釜石港沖超音波式波高計と釜石港内検潮所で得られた偏差は、石巻港沖海象計や石巻港内検潮所とは大きく異なっている。すなわち、釜石港内検潮所では台風 0704 号による高波期間中ほとんど偏差が現れていないのに対して、

釜石港沖超音波式波高計では 2 日間以上にわたって継続的に 10-20cm の正の偏差が現れている。付図-1 を見ると、さらに前後数日間にわたって釜石港沖超音波式波高計では正の偏差が継続している模様なので、この偏差は台風に伴う高潮とは別要因のものである可能性が高そうである。そもそも、台風 0704 号の中心経路は東北地方沿岸に近接しなかったため、高潮そのものが発生しにくい状況であったことに、注意しなければならない。

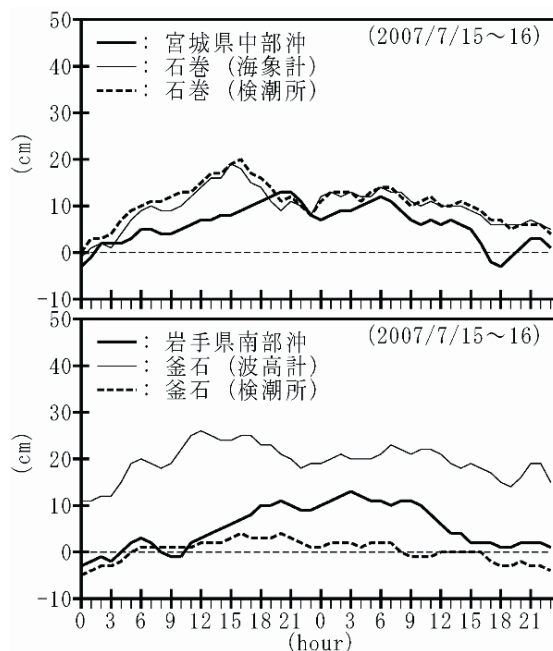


図-17 台風 0704 号通過前後の潮位偏差

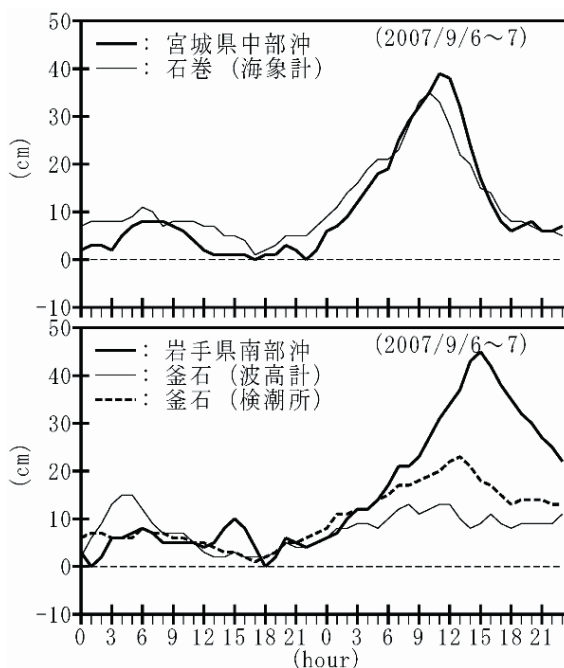


図-18 台風 0709 号通過前後の潮位偏差

これに対して、図-18 では、台風 0709 号が東北地方を通過した時間帯に対応する 9 月 7 日の日中の数時間顕著な高潮によると推定される偏差が現れている。ただし、台風 0709 号が近接した期間中は、石巻港内検潮所は欠測であった。宮城県中部沖 GPS 波浪計および石巻港沖海象計は 7 日 11:00 頃に、岩手県南部沖 GPS 波浪計は 7 日 15:00 頃に、それぞれ 35-45cm の最大偏差を得ており、これらは台風による高潮と推定される。これに対して釜石港沖超音波式波高計と港内検潮所では、台風 0704 号よりははっきりとした偏差の経時変化を示すものの、最大値は 15-25cm と小さかった。

GPS 波浪計は、その高潮偏差の時系列変動を見ると、図-9 および図-14 で見られた有義波高の極大時刻と、図-17 および図-18 で見られた高潮偏差の極大時刻はほぼ一致しているため、概ね的確に沖合いでの高潮偏差を捉えることができると考えられる。しかし、大水深外洋における高潮偏差は、風による吹き寄せ効果は小さいと考えられるので、一般的には浅海域や沿岸水際部よりも小さくなると考えられており、図-17 や図-18 で見られるように外洋で相対的に大きな高潮偏差が検出されることには疑問が残される。こうした疑問点は、今後のより多くの事例における観測結果をもとに詳細に検討されるべきであるが、考えられる要因の一つとしてブイの水平運動に伴う観測波形のひずみが挙げられる。清水ら (2006b) によると、6-20s の周期帯範囲では GPS ブイは水面変動に完全に追随するため、深海波条件では GPS ブイは円運動の軌跡を描くことになる。すなわち、波高と同じ両振幅だけ波進行方向と進行逆方向に 1 周期の間に往復運動する。この際、ゼロアップクロス点からゼロダウンクロス点までの間は、水位が平均水面高よりも高い。ゼロアップクロス点からゼロダウンクロス点までの間に、ブイは波進行方向に波長分の距離だけ水平移動しているため、ブイがゼロダウンクロスを検出する時刻は、ブイがゼロアップクロスする水平座標位置でのゼロダウンクロス時刻よりも、波が水平移動する距離分だけ波が進行する時間分だけ遅れることになる。

これを台風 0709 来襲時の宮城県中部沖 GPS 波浪計による最大観測有義波である有義波高 9.15m、有義波周期 11.5s について、この有義波と同じ波高と周期を有する規則波を仮定して試算する。ゼロアップクロス点からゼロダウンクロス点までの間の水平距離は、深海波条件を仮定すれば海面上下変動の両振幅に等しいので 9.15m である。他方、周期 11.5s の波の沖波波長は 206m となる。すなわち、1 周期の間にブイが平均水面よりも高い水位を検出するゼロアップクロス時刻からゼロダウンクロス時刻

刻までの時間差は、半周期 (5.75s) よりも 9.75m だけ波が進行するのに要する時間 ($11.5s \times 9.15m / 206m = 0.51s$) だけ長く、逆に、1 周期の間にブイが平均水面よりも低い水位を検出するゼロダウンクロス時刻からゼロアップクロス時刻までの時間差は、半周期 (5.75s) よりも 9.75m だけ波が進行するのに要する時間 ($11.5s \times 9.15m / 206m = 0.51s$) だけ短くなる。すなわち、1 周期 (11.5s) の間にブイが平均水面よりも高い水位を検出する時間は 6.26s、低い水位を検出する時間は 5.24s となるので、1 周期を通じて観測される平均水面高は、波高の数パーセントのオーダー、すなわち 10cm を超えるオーダーで、実際の平均水面高よりも大きめに算出されることが想定される。

すなわち、GPS 波浪計は、ブイの水平運動の影響によって、周期 16s 程度以下の沖波条件における高波による波浪の非線形的な効果が無視できず、結果的に、高波浪時に限っては、高潮に伴う数時間オーダーの時間スケールの平均水面高を、高めに観測する可能性がある。このことには注意が必要であり、今後のブイ水平運動を考慮した波形修正法の開発が望まれるところである。しかし、反面、沖合での高潮偏差抽出という観測に絞って考えれば、GPS ブイによる観測は、高潮偏差を若干大きく評価する安全側の結果を与えると考えてよさそうである。

6. 洋上風の観測

沿岸域洋上は大規模風力エネルギー開発が可能なフロンティアであるが、洋上風は観測が困難であるためデータの蓄積が不十分であり、統計的出現特性も十分に解明されていない。GPS 波浪・津波計測システムの全国沿岸への具体的な展開が始まった中で、洋上ブイ観測網が、津波・波浪監視に加え、洋上風の観測にも活用できれば、海運・漁業等の洋上における経済活動の支援に一層貢献するばかりでなく、沿岸の洋上風力発電の推進に大きな貢献を果たす情報社会資本となることが期待される (永井ら, 2001; 永井, 2002)。ここでは、宮城県中部沖および岩手県南部沖 GPS 波浪計頂部海面上 7m の高さに取り付けられた風向風速計による半年間の洋上風観測結果について、ブイ動揺補正の有無による観測結果の相違を検討するとともに (永井ら, 2007)、東北地方整備局の石巻港風観測所 (港内水際部標高 14.5m) と釜石港測風塔 (標高 145m、地盤高 20m) における同じ期間中の風観測値との比較を試みる。

巻末の付図-2 に、ブイ動揺補正前の 4 観測点における半年間の 10 分間平均風向風速の経時変化を示す。ナウファス新システム (永井ら, 2004) においては、風向風速観

測データについても、GPS 波浪計では 1.0s 間隔で、その他の観測施設では 0.5s 間隔で連続的に切れ目なく観測データのサンプリングが行われているため、半年間（183 日間）の 10 分間単位の観測数は欠測がなければ 26352 観測であるが、測得された 10 分間平均風観測数は、宮城県中部沖 GPS 波浪計で 25165 観測（測得率 95.5%）、石巻港測風記録で 25960 観測（測得率 98.5%）、岩手県南部沖 GPS 波浪計で 24022 観測（測得率 91.2%）および釜石港風向風速計で 26350 観測（測得率 100.0%）であった。ただし、岩手県南部沖 GPS 波浪計の観測開始は 4 月 6 日 14:00 の観測からであるため、観測開始前の期間を除外した実質的な測得率は 93.9%である。ここで、測得率は小数点以下 1 位までの四捨五入としている。

表-4 は、ブイ動揺補正前の 4 観測点の風速階級別の観

測風の出現統計を示したものである。

表-4 風速階級別の観測風の出現統計

階級	宮城県中部		岩手県南部	
	GPS ブイ	石巻	GPS ブイ	釜石
25m/s 以上	0.0	0.0	0.0	0.0
20-25m/s	0.0	0.1	0.0	0.0
15-20m/s	0.3	0.2	0.4	0.1
10-15m/s	5.8	1.8	4.6	2.0
5-10m/s	33.2	26.6	39.6	12.1
5m/s 以下	60.7	71.4	55.3	85.7
平均 (m/s)	4.8	4.1	4.9	3.2

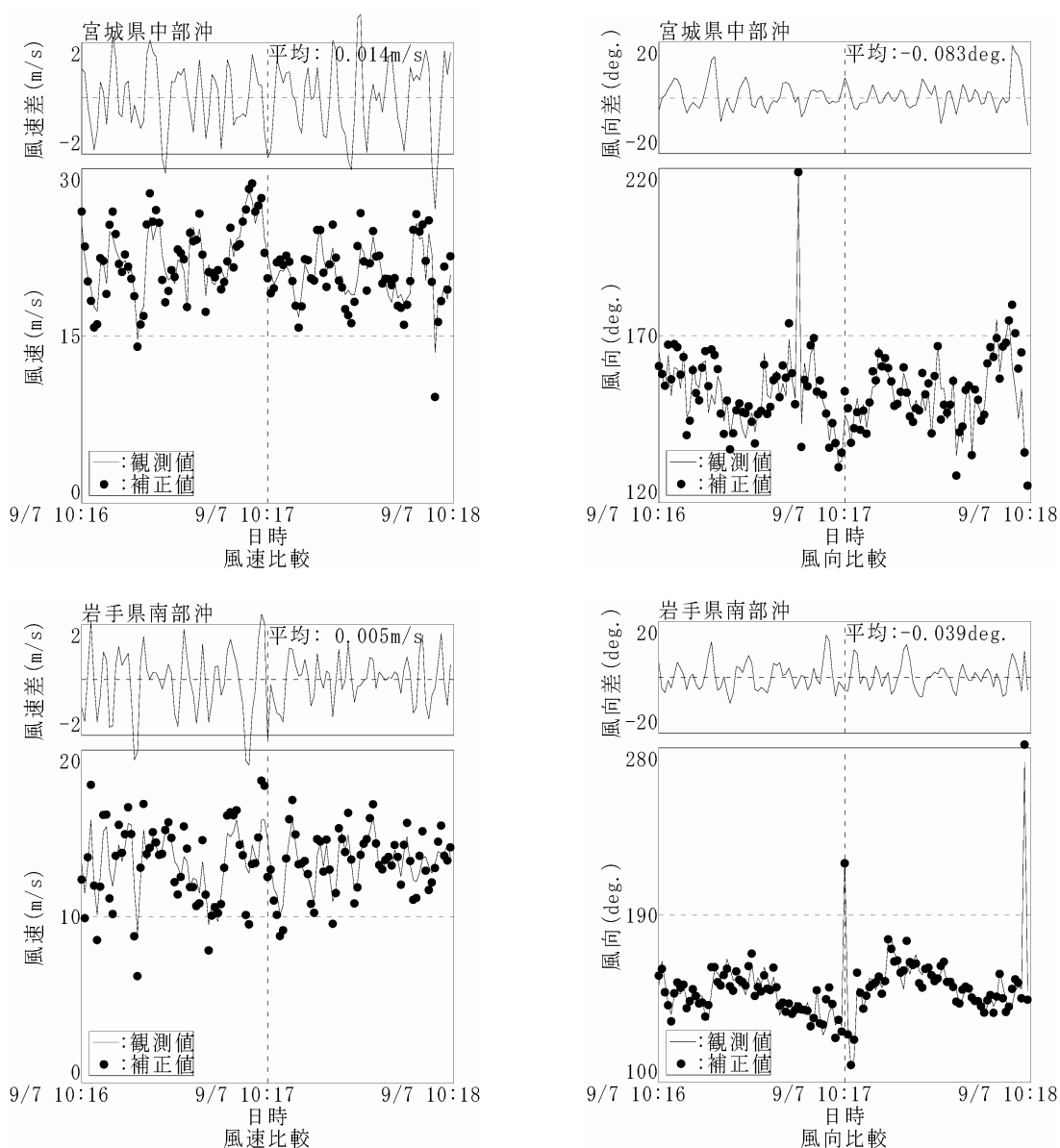


図-19 ブイ動揺補正による観測風時系列の相違

2基のGPS波浪計の半年間平均風速は、宮城県中部沖で4.8m、岩手県南部沖で4.9mであり、検討対象期間中の岩手県沖の平均風速と宮城県沖の平均風速は、ほぼ等しかった。

陸上風は、局所的な地形によって大きく変動することが知られているが(永井,2002)、もっとも標高の高い釜石港測風塔における平均風速が3.2m/sともっとも低くなっており、高度の低い石巻港内の平均風速4.1mに比べて極端に小さい値となっているのは、地形条件の相違によるものである可能性が高い。

ここでは、ブイ動揺補正について、下記の2ケースについて比較検討することとした。すなわち、①ブイ動揺補正をせずに求まる毎秒の風向風速、②毎秒のGPS水平測位による水平2成分座標の差分として求まるブイの水平運動速度を毎秒補正して得られる風向風速、の両者を比較した。図-19は検討結果の一例であり、台風0709号来襲時の比較的強風状態でのブイ動揺補正の有無による相違を検討した結果である。宮城県中部沖ブイでは瞬間

風速は15-30m/sの範囲で、岩手県南部沖ブイでは10-20m/sの範囲で、それぞれ瞬間風速は変動している。ブイ動揺補正前の実線と補正後のプロットの相違は、5s弱程度の一定の周期性を持って両振幅4-5m/s程度の範囲で変動している。しかし、分オーダーの時間スケールにおける平均風速としての両者の差は小さい。この周期5s弱程度の周期は、GPSブイの回転運動(ローリングおよびピッチング)固有周期に対応するものである(清水ら,2006b)。

図-20は、ブイ動揺補正の有無によるガスト係数(瞬間最大風速と平均風速の比)の相違を検討したものである。横軸には10分間平均風速を、縦軸には対応する10分間内の瞬間最大風速を示し、ブイ動揺補正の有無による相違を2枚の図で比較した。図中には原点を通過する回帰直線を引き、パラメータとして、データ数N、回帰直線の傾きA、および相関係数Rのそれぞれの値を表示している。回帰直線の傾きAは、代表的なガスト係数を意味することになる。

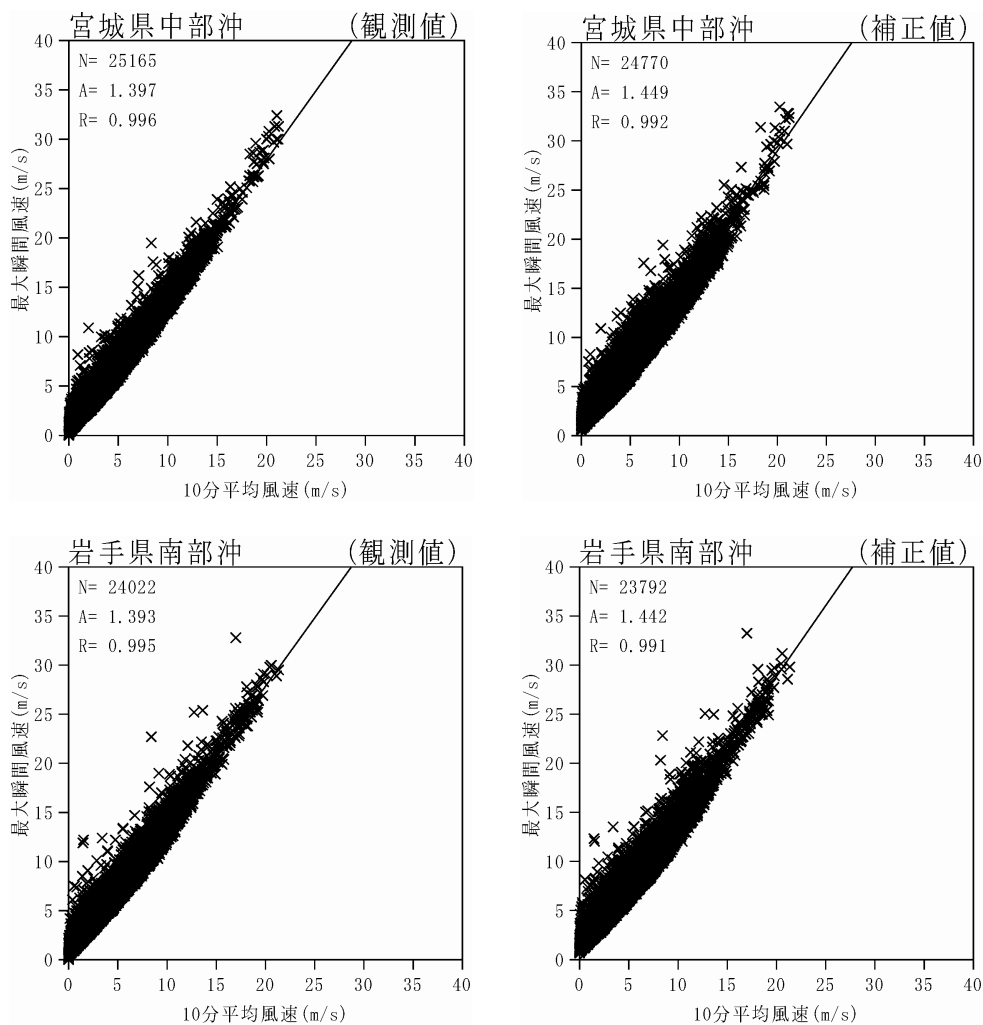


図-20 10分間平均風速と瞬間最大風速

ブイ動揺補正を行わない場合の回帰直線の傾きは、宮城県中部沖ブイでは 1.397、岩手県南部沖ブイでは 1.393 であるが、補正後の傾きは、宮城県中部沖ブイでは 1.449、岩手県南部沖ブイでは 1.442 であり、ブイ動揺補正を行った場合の方が、行わない場合よりもいずれのブイでもガスト係数が 0.05 程度大きい。すなわち、ブイ動揺補正を行わなければ、瞬間最大風速を過小に評価することが多いことを意味している。これは、瞬間最大風速時には、ブイに大きな水平風力がかかるため、ブイが風上から風下に動くことによって、動揺補正しない風速は、実際よりも低く計測されることが多いためであろう。

図-21 は、風速 2m/s 以上（細線）および 10m/s 以上（太線）の条件で、10 分平均風向風速をとりまとめた風配図であり、上段は、左から順に、a)ブイ動揺補正前の宮城県中部沖 GPS ブイ、b)動揺補正後の宮城県中部沖 GPS ブイ、および、c)石巻港内測風結果を、それぞれ示し、下段は、左から順に、a)ブイ動揺補正前の岩手県南部沖 GPS ブイ、b)動揺補正後の岩手県南部沖 GPS ブイ、および、c)釜石港内測風結果を、それぞれ示す。各図には、観測データ数、データ測得率および風速 2m/s 以下（静穏風況）の出現率を表記した。

図-21 から、以下のことがわかる。すなわち、ブイ動

揺補正法の相違としては、図-21 の上段と下段に共通して、a)と b)の図はきわめて良好な一致を示しており、平均的な風速には補正の有無の相違はほとんど見られない。これは、ブイの動揺補正の有無による風速算出結果の相違は、瞬間風速には影響が見られるものの、分オーダの時間スケールにおける平均風速としては小さいことによるものである。

陸上風と洋上風の風向の相違としては、陸上観測風は、陸上地形の影響を受けるため、洋上とは異なる方向特性を示していることが理解できる。すなわち、洋上風は、陸上風とは異なり、その平均風速が大きく、地形の遮蔽効果がないため、より広い範囲から来襲することが改めて確認された。

7. まとめ

本稿では、東北沿岸に新たに設置された 2 基の GPS 波浪計による海象観測結果を、浅海域に設置されている既設のナウファス海底設置式波浪計（釜石・石巻）等との比較検討し、大水深海域における海象特性を考察したものである。以下に、本稿の主要な結論を示す。

・半年間の検討対象期間を通じて、各観測点では欠測が

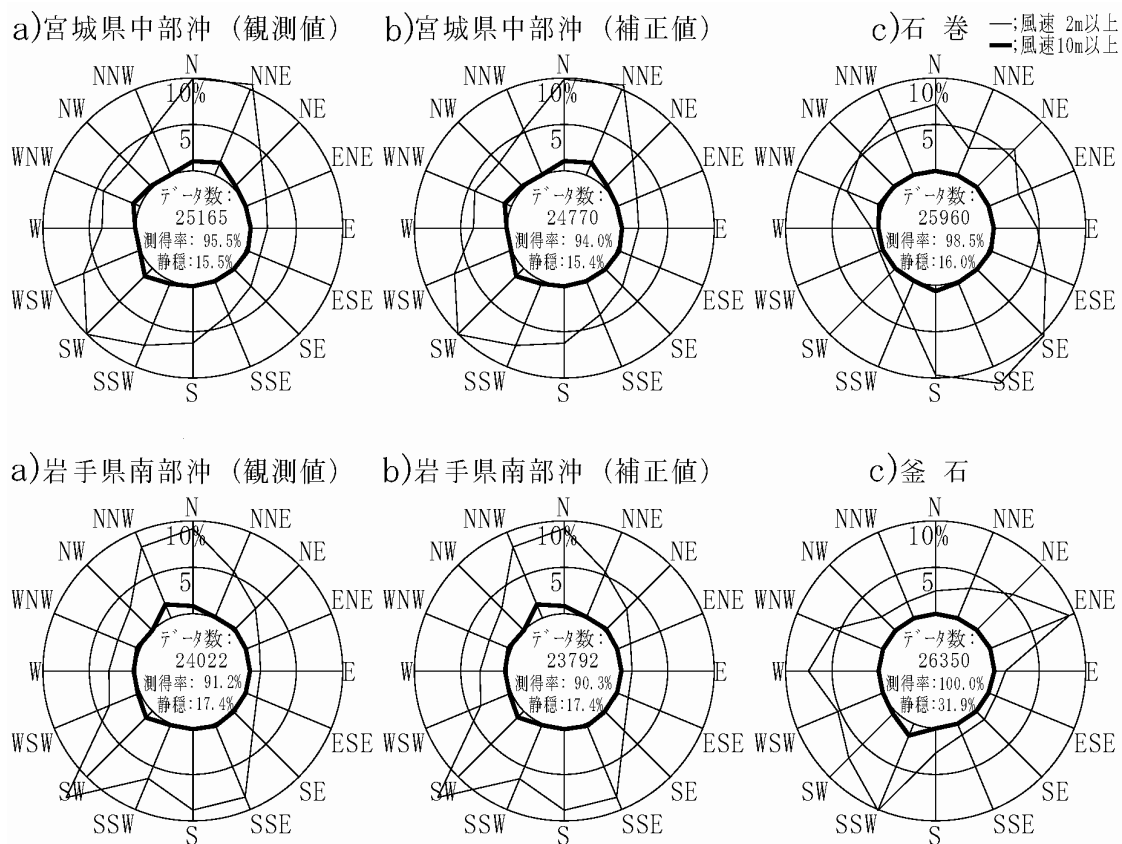


図-21 風配図の比較

ほとんど見られず、台風 0709 号通過に伴う高波浪時を含めてデータの測得状況は良好であった。

- ・2 観測点の大水深 GPS 波浪計の月平均有義波はきわめてよく一致した。2 観測点の GPS 波浪計の月平均有義波高は浅海 2 観測点の 1.5-2.0 倍であったが、有義波周期の相違は顕著ではなかった。

- ・有義波高と周期の結合出現頻度表から、有義波高の出現状況は大水深域と浅海域とできわめて異なった分布となり、有義波高 1.0m 以下となる低波浪状態の出現率は、宮城県中部沖および岩手県南部沖の GPS 波浪計でそれぞれ 24.1%と 21.7%であるのに対して、石巻港沖および釜石港沖の海底設置式波浪計ではそれぞれ 82.5%と 69.7%であった。

- ・スペクトル解析に基づく周期帯別の月平均有義波高と有義波周期を求めた結果、各周期帯に共通して 2 観測点の大水深 GPS 波浪計の月平均周期帯波高はきわめてよく一致した。また、すべての周期帯で大水深域の方が浅海域より換算波高が大きいものの、この相違は短周期の周期帯で顕著であり、周期の長い周期帯ほど相違は小さかった。特に周期 15s 以上の長周期成分については大水深域の波浪エネルギーが減衰せず浅海域に伝わっていることが示唆された。

- ・周期帯別の波向出現分布を検討した結果、2 観測点の大水深 GPS 波浪計の波向出現特性は各周期帯できわめてよく一致し、NE から SE にかけて、まんべんなく波浪のエネルギーが来襲していることが示された。反面、浅海域波浪観測点では、地形による遮蔽や波浪の屈折の影響を強く受けた局所的な波浪の波向が観測されていることが、改めて確認された。

- ・大水深 GPS 波浪計 2 基の長周期成分波の出現特性は、浅海域に比べて、換算波高 5cm 以下の階級および換算波高 20cm 以上の階級の出現頻度がともに小さく、5-20cm の範囲に長周期波高の出現がより顕著に集中する。これは、GPS 波浪計による鉛直測位誤差の出現は、周期数分程度のゆっくりした変動として現れやすいことと、高波浪時において顕著になると考えられる自由進行長周期波は浅海域ほど高さを増大させること、によるものであると考えられる。

- ・台風 0709 号による高波期間中の、4 観測点における有義波高と有義波周期の経時変化を比較した。異常波浪時においても、大水深 GPS 波浪計が観測する波浪は、浅海域波浪計による観測結果よりも大きく、外洋における波浪は、地形による遮蔽の影響を受ける浅海観測点とは大きく異なっていることが、改めて示された。2 基の GPS 波浪計は、台風の経路や進行速度の影響の結果、最大有

義波高やその起時が異なる観測結果を示した。

- ・2007 年 8 月 17 日に我が国太平洋沿岸に来襲した、前日のペルー沖地震津波来襲時における長周期水面変動記録から、釜石港沖超音波式波高計と港内検潮所では、最大両振幅がそれぞれ 15cm および 20cm 程度の弱い津波を明確に観測した。しかし、岩手県南部沖 GPS 波浪計の長周期海面変動は、常時の測位誤差のため、両振幅数 cm 程度の微小な津波を識別することは困難であった。

- ・GPS 波浪計や海底設置式波浪計は、適切なデータ処理を行うことによって、津波よりもさらに周期の長い沖における天文潮汐も妥当に検出できることが、調和分解解析の結果として示された。

- ・GPS 波浪計は沖合における高潮偏差も示すことができた。ただし、ブイの水平運動の影響が無視できないため、海底設置式波浪計が観測する高潮偏差よりも若干高めの値を得ることは注意が必要である。

- ・GPS 波浪計は、洋上風の観測にも活用できることが改めて示された。洋上風は、陸上風とは異なり、地形の遮蔽効果がないため、より広い範囲から来襲することが改めて確認された。

8. おわりに

本稿で紹介した GPS 波浪計による大水深海象観測結果およびその浅海域観測結果との比較は、これまではもっぱら波浪推算や波浪変形計算などの数値シミュレーションによって検討されてきた、港湾・海洋構造物の計画や設計に欠かすことのできない沖波条件の設定を、実証的に検証することができるデータとなりうるものである。このため、本稿の成果をふまえ、既存のさまざまな数値シミュレーションモデルの妥当性と適用限界の検証に関する研究に取り組んでいくことが重要である。

同時に、海洋基本法が制定・施行され、海洋や沿岸域の総合的なモニタリングの重要性が、広く一般国民に認識されつつある背景の中で、既存の全国港湾海洋波浪情報網（ナウファス）に、大水深海域の GPS 波浪計による観測情報が新たに加わったことをふまえ、より一層合理的な沿岸海象観測網のあるべき観測点配置に関しても、さらなる検討が望まれる。すなわち、データ同化によって海象観測情報と数値シミュレーションとを組み合わせた面的に連続した海象実況情報および海象予測情報の発信システムの開発・改良を念頭に入れた、望ましい沿岸域の海象観測網の配置に関する提言が求められている。

今後、関係者との連携をさらに発展させて、こうした課題に取り組んでいきたい。

(2008 年 3 月 10 日 受付)

謝辞

ナウファス海底設置式波浪計や港内検潮所における観測維持に日常から努力を払われるとともに、GPS 波浪計の全国沿岸へのネットワーク整備に最初に着手され、本稿で紹介したような貴重な大水深波浪観測データの取得に成功された、東北地方整備局のご担当の数多くの方々に、改めて謝意を表す。

参考文献

合田良實監修・海象観測データの解析・活用に関する研究会編集(2001):波を測る(沿岸波浪観測の手引き),(財)沿岸技術研究センター,212p.

社団法人日本港湾協会(2007):港湾の施設の技術上の基準・同解説(上,下),1485p.

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)ーいわき沖における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・富田雄一郎・久高将信・額田恭史(2006a):長期波浪観測値と気象データに基づく波候の変動解析,土木学会,海岸工学論文集第53巻,pp.131-135,2006.

清水勝義・永井紀彦・里見茂・李在炯・久高将信・藤田孝(2006b):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,土木学会,海岸工学論文集第53巻,pp.1406-1410,2006.

清水勝義・永井紀彦・李在炯・泉裕明・岩崎峯夫・藤田孝(2006c):沖合水面変動記録を用いた津波成分即時抽出法に関する研究,土木学会,海洋開発論文集第22巻,pp.523-528.

清水勝義・佐々木誠・永井紀彦(2007a):全国港湾海洋波浪観測年報(NOWPHAS 2005),港空研資料No.1161,92p.(波浪観測年報は,1970年版以降毎年刊行)

清水勝義・佐々木誠・永井紀彦(2007b):2006年の台風等による高波の観測結果(NOWPHAS 2006 特別号),港湾空港技術研究所資料 No.1160,42p.

清水勝義・永井紀彦・橋本典明・岩崎峯夫・安立重昭・奥勇一郎(2007c):GPSブイ式波浪計を対象とした複合的な波向計算手法の提案,土木学会,海洋開発論文集第23巻,pp.231-236.

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,土木学会,pp.176-180.

永井紀彦(2002):風力エネルギー活用の観点から見た沿

岸域洋上風力の特性,港湾空港技術研究所資料 No.1034,34p.

永井紀彦(2006):波浪観測網の強化による海の安全の確保ーGPS波浪計 2006年度より配備開始!ー,土木学会,土木学会誌第91巻第9号(2006.9号),pp.78-79.

永井紀彦・橋本典明・浅井正(1993):沖波の方向スペクトルの出現特性(第1報)ーいわき沖の観測結果ー,港研報告第32巻第2号,pp.45-113.

永井紀彦・橋本典明・川口浩二・佐藤和敏・菅原一晃(1999):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,港湾空港技術研究所報告第38巻第1号,pp.29-69.

永井紀彦・菅原一晃・佐藤和敏・川口浩二(2001):我が国沿岸の風観測結果に基づく風力エネルギーの試算,港湾空港技術研究所資料 No.999,59p.

永井紀彦・小川英明・寺田幸博・加藤照之・久高将信(2003):GPSブイによる沖合の波浪・津波・潮位観測,土木学会,海岸工学論文集第50巻,pp.1411-1415.

永井紀彦・小川英明・額田恭史・久高将信(2004):波浪計ネットワークによる沖合津波観測システムの構築と運用,土木学会,海洋開発論文集第20巻,pp.173-178.

永井紀彦・加藤照之・額田恭史・泉裕明・寺田幸博・三井正雄(2005):沖合・沿岸・オンサイト観測を組み合わせた津波観測網に関する提言,土木学会,海洋開発論文集第21巻,pp.61-66.

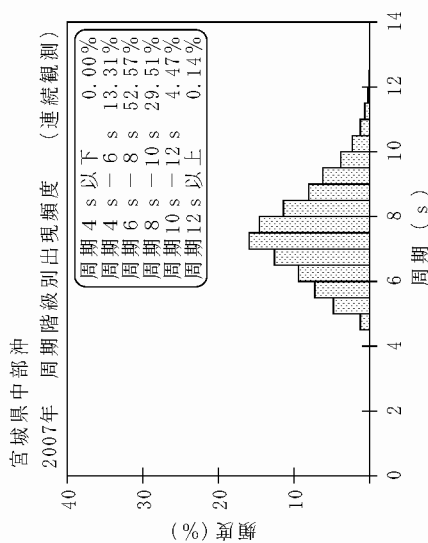
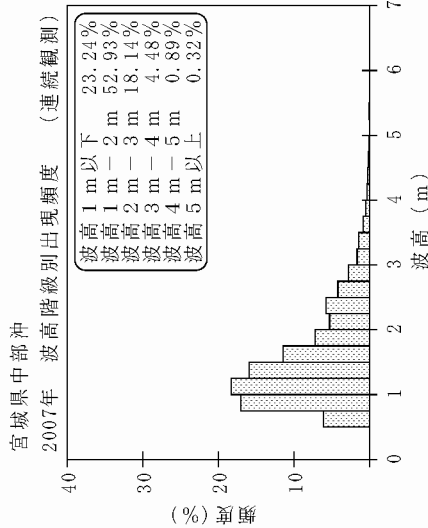
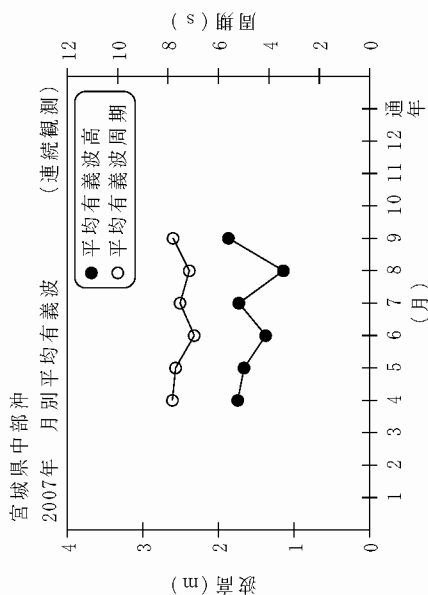
永井紀彦・清水勝義・李在炯・藤田孝・久高将信・額田恭史(2007):ブイの動揺を考慮したGPS波浪計による洋上風観測,土木学会,海洋開発論文集第23巻,pp.1003-1008.

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,土木学会,海岸工学論文集第42巻,pp.1081-1085.

付表-1.1 宮城県中部沖 月別平均および最大有義波 (連続観測)

宮城県中部沖		2007年												
項目		月												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年間
最大有義波	H1/3 (m)				4.14	3.87	3.74	5.29	2.88	9.15				9.15
	T1/3 (s)				8.1	9.2	7.2	10.1	8.0	11.5				11.5
対応最高波	起時 (日-時:分)	-	-	-	17-16:40	2-16:20	16-18:20	16-9:0	3-2:40	7-11:20	-	-	-	9/7 11:20
	HMAX (m)				6.18	6.78	5.39	7.32	4.87	13.20				13.20
平均有義波	TMAX (s)				6.8	9.8	7.1	9.0	11.6	12.4				12.4
	平均値				1.74	1.66	1.38	1.73	1.14	1.87				1.59
標準偏差	標準偏差 (m)				0.88	0.64	0.50	0.86	0.44	1.07				0.80
	平均値 (s)				7.8	7.7	7.0	7.5	7.2	7.8				7.5
測得率 (%)					96.67	98.97	92.68	99.69	99.96	97.92				97.68

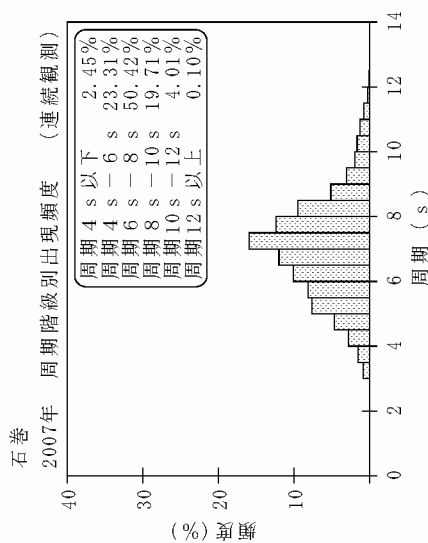
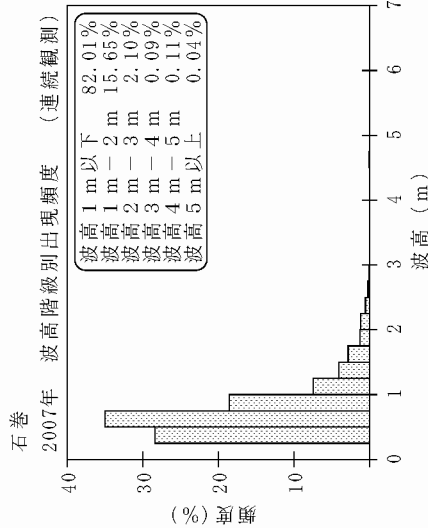
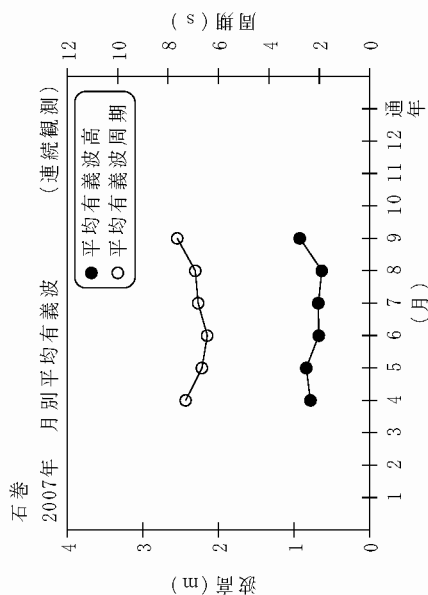
(連続観測)



宮城県中部沖 波候特性図 (連続観測)

付表-1.2 石巻 月別平均および最大有義波 (連続観測)

項目		2007年												
		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年間
最大有義波	有義波	H1/3 (m)			2.33	2.90	2.13	2.76	1.69	5.77				5.77
	T1/3 (s)				8.4	9.7	5.8	8.3	5.7	8.9				8.9
対応最高波	起時 (日-時:分)		-	-	1-5:20	2-18:40	29-14:40	15-18:0	3-19:0	7-12:0	-	-	-	9/7 12:0
	最高波	HMAX (m)			3.77	4.74	3.37	4.48	2.43	-				-
平均有義波	平均値	H1/3			0.78	0.84	0.67	0.68	0.63	0.92				0.76
	標準偏差	(m)			0.40	0.47	0.27	0.37	0.29	0.61				0.43
標準偏差	平均値	T1/3			7.3	6.7	6.4	6.8	6.9	7.6				7.0
	標準偏差	(s)			1.49	1.69	1.27	1.54	0.99	1.88				1.56
測得率 (%)					100.00	99.33	90.93	100.00	100.00	99.95				98.39

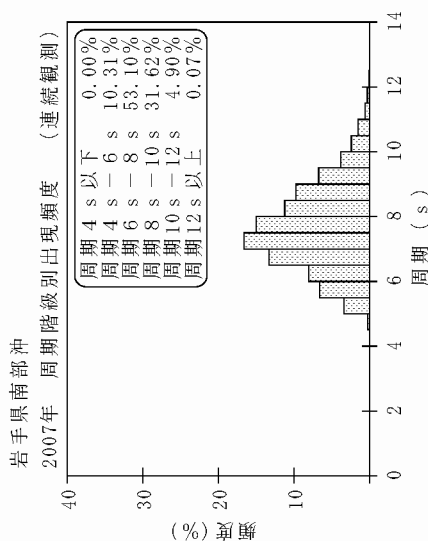
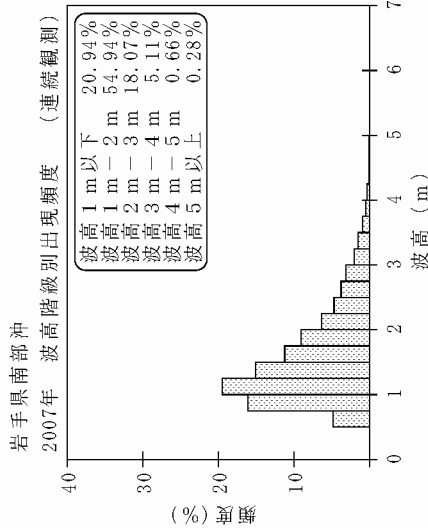
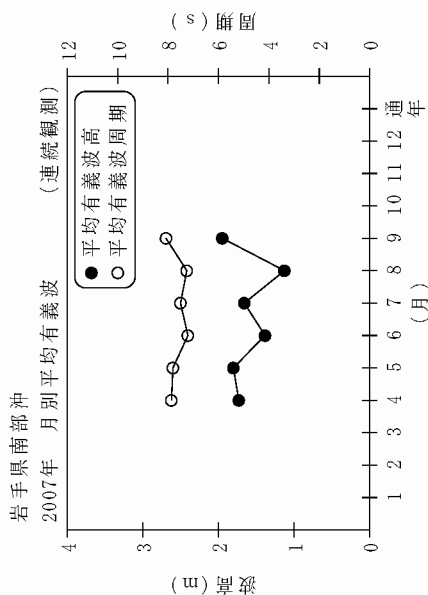


石巻 波候特性図 (連続観測)

付表-1.3 岩手県南部沖 月別平均および最大有義波 (連続観測)

岩手県南部沖		2007年												
項目		月												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年間
最大有義波	有義波													
	H1/3 (m)				3.95	4.32	3.41	5.39	2.77	8.11				8.11
	T1/3 (s)				11.9	8.4	9.9	10.6	8.5	11.6				11.6
対応最高波	起時 (日-時:分)	-	-	-	18-18:40	11-10:0	17-12:20	16-8:40	4-9:40	7-14:20	-	-	-	9/7 14:20
	HMAX (m)				5.53	6.63	4.88	6.98	4.11	13.73				13.73
	TMAX (s)				11.7	8.9	9.3	10.1	9.6	12.8				12.8
平均有義波	H1/3 平均値				1.73	1.80	1.38	1.66	1.13	1.95				1.60
	標準偏差 (m)				0.80	0.70	0.49	0.80	0.39	0.99				0.77
標準偏差	T1/3 平均値				7.9	7.8	7.2	7.5	7.3	8.1				7.6
	標準偏差 (s)				1.41	1.16	1.17	1.45	0.92	1.41				1.30
測得率 (%)					96.17	99.06	93.57	99.82	99.01	97.64				97.61

(連続観測)

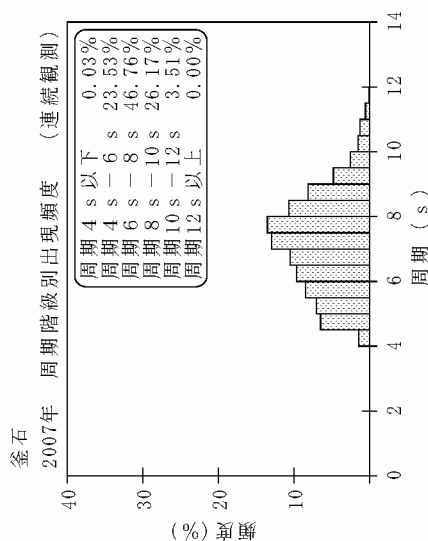
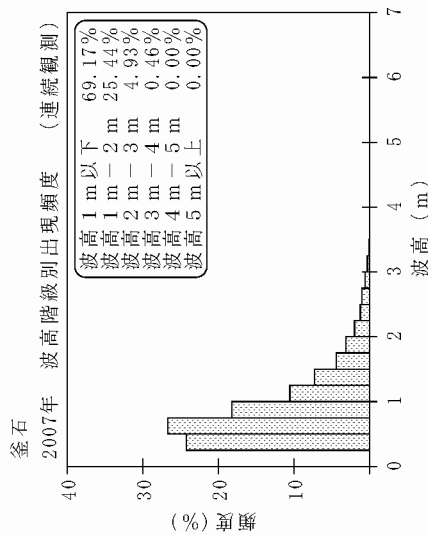
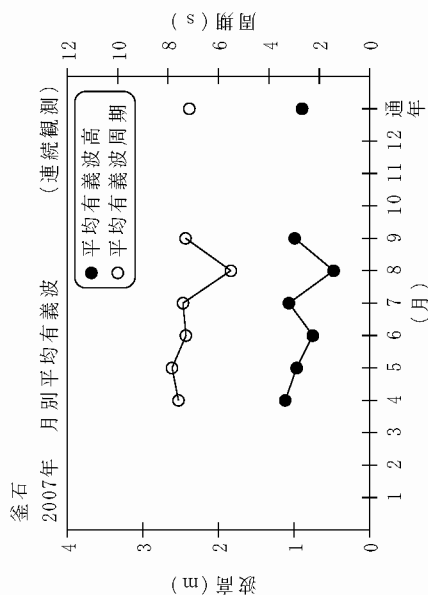


岩手県南部沖 波候特性図 (連続観測)

附表-1.4 釜石 月別平均および最大有義波 (連続観測)

項目		2007年													
		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年間	
最大有義波	有義波														
	H1/3 (m)				3.25	2.17	3.03	3.21	1.48	3.88					3.88
	T1/3 (s)				11.5	9.8	9.9	10.7	6.0	9.3					9.3
対応最高波	起時 (日-時:分)	-	-	-	19-0:20	21-19:0	17-13:40	17-2:40	31-23:0	18-11:20	-	-	-	-	9/18 11:20
	HMAX (m)				5.59	3.48	4.23	5.34	3.00	5.85					5.85
	TMAX (s)				11.2	9.9	10.3	9.4	5.1	8.9					8.9
平均有義波	H1/3 平均値				1.12	0.96	0.75	1.07	0.48	0.99					0.89
	標準偏差 (m)				0.67	0.35	0.40	0.60	0.19	0.60					0.54
標準偏差	T1/3 平均値				7.6	7.8	7.3	7.4	5.5	7.3					7.1
	標準偏差 (s)				1.67	1.06	1.14	1.60	0.85	1.09					1.48
測得率 (%)					100.00	100.00	99.91	100.00	100.00	100.00					99.98

(連続観測)



釜石 波候特性図 (連続観測)

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

付表-2.1 宮城県中部沖 波高・周期別出現頻度統計 (連続観測)

2007年4月～9月

波高・周期別度数分布表 (有義波)

観測地点: 宮城県中部沖

波高	周期	～3	3～4	4～5	5～6	6～7	7～8	8～9	9～10	10～11	11～12	12～13	13～14	14～15	15～16	16～17	17～18	18～19	19～	合計	未超過 (0.1%)	補足1		補足2			
		(0)	(0)	(161)	(1552)	(2832)	(3932)	(2506)	(1292)	(461)	(115)	(19)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)			(0)	(12870)	(12870)	(12870)	(12870)	
1201～		(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)		
1101～1200		(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)		
1001～1100		(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)		
901～1000		(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(3)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(4)	(12870)	(4)	(12870)	(4)	(12870)	
801～900		(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(6)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(6)	(12866)	(6)	(12866)	(6)	(12866)	
701～800		(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(2)	(5)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(7)	(12860)	(7)	(12860)	(7)	(12860)	
651～700		(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(2)	(5)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(7)	(12853)	(7)	(12853)	(7)	(12853)	
601～650		(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(2)	(12846)	(0)	(12846)	(2)	(12846)
551～600		(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(2)	(12844)	(0)	(12844)	(2)	(12844)
501～550		(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(12)	(12842)	(12)	(12842)	(12)	(12842)
451～500		(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(2)	(22)	(6)	(3)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(33)	(12830)	(33)	(12830)	(33)	(12830)	
401～450		(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(3)	(17)	(37)	(12)	(10)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(79)	(12797)	(79)	(12797)	(79)	(12797)	
351～400		(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(47)	(33)	(46)	(33)	(14)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(174)	(12718)	(174)	(12718)	(174)	(12718)	
301～350		(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(26)	(62)	(62)	(138)	(91)	(19)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(398)	(12544)	(398)	(12544)	(398)	(12544)	
251～300		(0)	(0)	(0)	(15)	(130)	(171)	(236)	(210)	(105)	(16)	(9)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(892)	(12146)	(892)	(12146)	(892)	(12146)	
201～250		(0)	(0)	(0)	(86)	(241)	(317)	(400)	(242)	(115)	(17)	(9)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(1427)	(11254)	(1427)	(11254)	(1427)	(11254)	
176～200		(0)	(2)	(154)	(112)	(222)	(213)	(153)	(31)	(15)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(902)	(9827)	(902)	(9827)	(902)	(9827)	
151～175		(0)	(16)	(247)	(253)	(472)	(294)	(144)	(34)	(1)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(1461)	(8925)	(1461)	(8925)	(1461)	(8925)	
126～150		(0)	(40)	(336)	(564)	(642)	(331)	(115)	(6)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(2034)	(7464)	(2034)	(7464)	(2034)	(7464)	
101～125		(0)	(49)	(423)	(726)	(761)	(310)	(52)	(1)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(2322)	(5430)	(2322)	(5430)	(2322)	(5430)	
76～100		(0)	(52)	(200)	(563)	(862)	(456)	(100)	(3)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(2236)	(3108)	(2236)	(3108)	(2236)	(3108)	
51～75		(0)	(2)	(91)	(210)	(372)	(152)	(31)	(7)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(865)	(872)	(865)	(872)	(865)	(872)	
26～50		(0)	(0)	(0)	(0)	(6)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(7)	(1)	(7)	(1)	(7)	(1)	
～25		(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	
合計 (0.1%)		(0)	(0)	(161)	(1552)	(2832)	(3932)	(2506)	(1292)	(461)	(115)	(19)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(12870)	(12870)	(12870)	(12870)	(12870)	(12870)	
未超過 (0.1%)		(0)	(0)	(161)	(1713)	(4545)	(8477)	(10983)	(12275)	(12736)	(12851)	(12870)	(12870)	(12870)	(12870)	(12870)	(12870)	(12870)	(12870)	(12870)	(12870)	(12870)	(12870)	(12870)	(12870)	(12870)	

付表-2.2 石巻 波高・周期別出現頻度統計 (連続観測)

2007年4月～9月

波高・周期別度数分布表 (有義波)

観測地点: 石巻

波高	周期	～3	3～4	4～5	5～6	6～7	7～8	8～9	9～10	10～11	11～12	12～13	13～14	14～15	15～16	16～17	17～18	18～19	19～	合計	未超過 (0.1%)	補足1		補足2		
		(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)			(0)	(12964)	(12964)	(12964)	(12964)
1201～		(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	
1101～1200		(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	
1001～1100		(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	
901～1000		(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	
801～900		(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	
701～800		(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	
651～700		(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	
601～650		(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	
551～600		(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(1)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(1)	(12964)	(1)	(12964)	(1)	(12964)
501～550		(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(2)	(0)	(1)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(3)	(12963)	(3)	(12963)	(3)	(12963)
451～500		(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(1)	(8)	(1)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(10)	(12960)	(10)	(12960)	(10)	(12960)
401～450		(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(3)	(2)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(5)	(12950)	(5)	(12950)	(5)	(12950)
351～400		(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(5)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(5)	(12945)	(5)	(12945)	(5)	(12945)
301～350		(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(7)	(1)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(7)	(12940)	(7)	(12940)	(7)	(12940)
251～300		(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(2)	(21)	(11)	(8)	(1)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(42)	(12933)	(42)	(12933)	(42)	(12933)
201～250		(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(1)	(42)	(48)	(92)	(21)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(225)	(12891)	(225)	(12891)	(225)	(12891)
176～200		(0)	(0)	(0)	(6)	(8)	(20)	(42)	(39)	(30)	(9)	(1)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(155)	(12666)	(155)	(12666)	(155)	(12666)
151～175		(0)	(0)	(0)	(1)	(33)	(37)	(57)	(120)	(67)	(20)	(26)	(3)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(364)	(12511)	(364)	(12511)	(364)	(12511)
126～150		(0)	(0)	(0)	(19)	(62)	(80)	(61)	(135)	(92)	(36)	(23)	(8)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(516)	(12147)	(516)	(12147)	(516)	(12147)
101～125		(0)	(0)	(0)	(3)	(76)	(140)	(140)	(181)	(223)	(98)	(39)	(36)	(2)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(938)	(11631)	(938)	(11631)	(938)	(11631)
76～100		(0)	(0)	(0)	(59)	(150)	(265)	(538)	(747)	(332)	(108)	(104)	(18)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(2321)	(10693)	(2321)	(10693)	(2321)	(10693)
51～75		(0)	(0)	(0)	(149)	(326)	(814)	(1015)	(1434)	(538)	(141)	(27)	(3)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(4447)	(8372)	(4447)	(8372)	(4447)	(8372)
26～50		(0)	(0)	(0)	(107)	(397)	(732)	(1040)	(1150)	(425)	(43)	(26)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(3920)	(3925)	(3920)	(3925)	(3920)	(3925)
～25		(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(1)	(2)	(2)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(5)	(5)	(5)	(5)	(5)	
合計 (0.1%)		(0)	(318)	(969)	(2053)	(2863)	(3671)	(1897)	(659)	(384)	(136)	(14)	(0)	(0)												

付表-2.3 岩手県南部沖 波高・周期別出現頻度統計 (連続観測)

2007年4月～9月

波高・周期別度数分布表 (有義波)

観測地点: 岩手県南部沖

波高	周期	～3	3～4	4～5	5～6	6～7	7～8	8～9	9～10	10～11	11～12	12～13	13～14	14～15	15～16	16～17	17～18	18～19	19～	合計	未超過 (0.1%)	補足1		補足2		
		(0)	(0)	(3)	(103)	(317)	(634)	(844)	(1328)	(495)	(118)	(9)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)			(0)	(12510)	(1000)	合計	未超過
1201～																				0	12510		12510		12510	
1101～1200																				0	12510		12510		12510	
1001～1100																				0	12510		12510		12510	
901～1000																				0	12510		12510		12510	
801～900											1									1	12510		12510	1	12510	
701～800										2	11									13	12509		13	12509	13	12509
651～700											1									1	12496		1	12496	1	12496
601～650											2	3								5	12495		5	12495	5	12495
551～600											5									10	12485		10	12485	10	12485
501～550										1	9									1	12475		1	12475	1	12475
451～500									1	4	14									6	12456		6	12456	6	12456
401～450							7	8	28	18										21	12395		21	12395	21	12395
351～400						2	14	38	54	58	13	2								181	12395		181	12395	181	12395
301～350					1	3	29	98	130	146	43									450	12214		450	12214	450	12214
251～300					9	54	159	228	261	130	21	5								867	11764		867	11764	867	11764
201～250				2	49	158	369	369	332	54	19	2								1354	10897		1354	10897	1354	10897
176～200				3	61	197	330	309	200	25	6									1131	9543		1131	9543	1131	9543
151～175				4	96	231	535	411	105	24										1406	8412		1406	8412	1406	8412
126～150				5	281	503	675	334	58	3										1859	7006		1859	7006	1859	7006
101～125				7	410	686	827	442	54	5										2431	5147		2431	5147	2431	5147
76～100				12	224	637	781	325	62											2041	2716		2041	2716	2041	2716
51～75				3	123	207	234	65	39											671	675		671	675	671	675
26～50						2	2													4	4		4	4	4	4
～25																				0	0		0	0	0	0
合計 (0.1%)		0	0	36	1254	2680	3962	2628	1328	495	118	9	0	0	0	0	0	0	0	0	12510		12510		12510	
未超過 (0.1%)		0	0	36	1290	3970	7932	10560	11888	12383	12501	12510	12510	12510	12510	12510	12510	12510	12510	12510						

付表-2.4 釜石 波高・周期別出現頻度統計 (連続観測)

2007年4月～9月

波高・周期別度数分布表 (有義波)

観測地点: 釜石

波高	周期	～3	3～4	4～5	5～6	6～7	7～8	8～9	9～10	10～11	11～12	12～13	13～14	14～15	15～16	16～17	17～18	18～19	19～	合計	未超過 (0.1%)	補足1		補足2		
		(0)	(0)	(3)	(100)	(214)	(317)	(210)	(13)	(2)	(1)	(1)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)	(0)			(0)	(13174)	(1000)	合計	未超過
1201～																				0	13174		13174		13174	
1101～1200																				0	13174		13174		13174	
1001～1100																				0	13174		13174		13174	
901～1000																				0	13174		13174		13174	
801～900																				0	13174		13174		13174	
701～800																				0	13174		13174		13174	
651～700																				0	13174		13174		13174	
601～650																				0	13174		13174		13174	
551～600																				0	13174		13174		13174	
501～550																				0	13174		13174		13174	
451～500																				0	13174		13174		13174	
401～450																				0	13174		13174		13174	
351～400									5											5	13174		5	13174	5	13174
301～350								13	20	7	12									52	13169		52	13169	52	13169
251～300							2	32	50	84	49									217	13117		217	13117	217	13117
201～250						1	60	147	102	107	12									429	12900		429	12900	429	12900
176～200						17	102	172	72	34	4									401	12471		401	12471	401	12471
151～175						33	221	186	93	32	3									568	12070		568	12070	568	12070
126～150					18	81	257	281	233	66	5									941	11502		941	11502	941	11502
101～125					33	100	451	570	186	31	2									1373	10561		1373	10561	1373	10561
76～100				2	151	343	1035	672	159	15										2377	9188		2377	9188	2377	9188
51～75				1	41	386	1264	1302	407	48										3449	6811		3449	6811	3449	6811
26～50				4	1003	1467	823	65												3362	3362		3362	3362	3362	3362
～25																				0	0		0	0	0	0
合計 (0.1%)		0	5	1046	2055	2662	3495	2480	968	376	87	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13174		13174		13174	
未超過 (0.1%)		0	5	1051	3106	5768	9263	11743	12711	13087	13174	13174	13174	13174	13174	13174	13174	13174	13174	13174						

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

付表-3.1(a) 宮城県中部沖 f2周期帯領域における波高・波向階級別出現頻度統計(連続観測)
2007年4月～9月 波向・波高階級別出現頻度表 (f2: 16.0～25.6秒) 観測地点: 宮城県中部沖

波高	波向	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	合計	
801～																		0 (0.0)	
751～800																		0 (0.0)	
701～750																		0 (0.0)	
651～700																		0 (0.0)	
601～650																		0 (0.0)	
551～600																		0 (0.0)	
501～550																		0 (0.0)	
451～500																		0 (0.0)	
401～450																		0 (0.0)	
351～400																		0 (0.0)	
301～350																		0 (0.0)	
251～300																		0 (0.0)	
201～250																		0 (0.0)	
176～200																		0 (0.0)	
151～175																		0 (0.0)	
126～150																		0 (0.0)	
101～125																		0 (0.0)	
76～100																		0 (0.0)	
51～75							2 (0.0)											2 (0.0)	
26～50		70 (0.9)	66 (0.9)	59 (0.8)	36 (0.5)	21 (0.3)												252 (3.3)	
合計		0 (0.0)	70 (0.9)	66 (0.9)	59 (0.8)	36 (0.5)	23 (0.3)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	7385 (96.7)	
(連続観測)																		波高が25cm以下の回数	7385 (96.7)
																		合計	7639 (100.0)

付表-3.1(b) 宮城県中部沖 f3周期帯領域における波高・波向階級別出現頻度統計(連続観測)
2007年4月～9月 波向・波高階級別出現頻度表 (f3: 10.7～14.0秒) 観測地点: 宮城県中部沖

波高	波向	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	合計	
801～																		0 (0.0)	
751～800																		0 (0.0)	
701～750																		0 (0.0)	
651～700																		0 (0.0)	
601～650																		0 (0.0)	
551～600																		0 (0.0)	
501～550																		0 (0.0)	
451～500																		0 (0.0)	
401～450																		0 (0.0)	
351～400																		0 (0.0)	
301～350					4 (0.0)	11 (0.1)	1 (0.0)											3 (0.0)	
251～300			3 (0.0)	38 (0.4)	20 (0.2)	4 (0.0)												65 (0.7)	
201～250		3 (0.0)	46 (0.5)	96 (1.0)	30 (0.3)	15 (0.2)												190 (2.0)	
176～200		14 (0.1)	58 (0.6)	93 (1.0)	19 (0.2)	21 (0.2)												205 (2.2)	
151～175		24 (0.3)	60 (0.6)	128 (1.4)	34 (0.4)	10 (0.1)												256 (2.7)	
126～150		44 (0.5)	42 (0.4)	94 (1.0)	65 (0.7)	30 (0.3)												275 (2.9)	
101～125		84 (0.9)	73 (0.8)	62 (0.7)	57 (0.6)	37 (0.4)												313 (3.3)	
76～100		120 (1.3)	143 (1.5)	94 (1.0)	85 (0.9)	74 (0.8)												516 (5.5)	
51～75		222 (2.3)	304 (3.2)	345 (3.6)	166 (1.8)	156 (1.6)												1193 (12.6)	
26～50		390 (4.1)	694 (7.3)	1214 (12.8)	1553 (16.4)	874 (9.2)												4725 (50.0)	
合計		0 (0.0)	901 (9.5)	1423 (15.0)	2168 (22.9)	2043 (21.6)	1222 (12.9)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	7757 (82.0)	
(連続観測)																		波高が25cm以下の回数	1699 (18.0)
																		合計	9456 (100.0)

付表-3.1(c) 宮城県中部沖 f4周期帯領域における波高・波向階級別出現頻度統計(連続観測)
 2007年4月～9月 波向・波高階級別出現頻度表 (f4: 8.0~9.8秒) 観測地点: 宮城県中部沖

波高	波向	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	合計
801~																		0 (0.0)
751~800																		0 (0.0)
701~750																		0 (0.0)
651~700																		0 (0.0)
601~650																		0 (0.0)
551~600																		0 (0.0)
501~550																		0 (0.0)
451~500																		0 (0.0)
401~450																		0 (0.0)
351~400						2 (0.0)												2 (0.0)
301~350			1 (0.0)	1 (0.0)	12 (0.1)	3 (0.0)												17 (0.2)
251~300		1 (0.0)	8 (0.1)	23 (0.3)	22 (0.3)	10 (0.1)												64 (0.8)
201~250		50 (0.6)	52 (0.6)	75 (0.9)	16 (0.2)	7 (0.1)												200 (2.4)
176~200		63 (0.8)	70 (0.9)	56 (0.7)	15 (0.2)	14 (0.2)												218 (2.7)
151~175		118 (1.4)	147 (1.8)	75 (0.9)	49 (0.6)	44 (0.5)												433 (5.3)
126~150		125 (1.5)	174 (2.1)	95 (1.2)	64 (0.8)	117 (1.4)												575 (7.0)
101~125		219 (2.7)	290 (3.6)	188 (2.3)	138 (1.7)	149 (1.8)												984 (12.0)
76~100		197 (2.4)	245 (3.0)	265 (3.2)	330 (4.0)	330 (4.0)												1367 (16.7)
51~75		253 (3.1)	355 (4.3)	525 (6.4)	531 (6.5)	723 (8.9)												2387 (29.2)
26~50		123 (1.5)	181 (2.2)	308 (3.8)	374 (4.6)	669 (8.2)												1655 (20.3)
合計		0 (0.0)	1149 (14.1)	1523 (18.7)	1611 (19.7)	1553 (19.0)	2066 (25.3)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	7902 (96.8)
(連続観測)																		波高が25cm以下の回数 264 (3.2)
																		合計 8166 (100.0)

付表-3.1(d) 宮城県中部沖 f5周期帯領域における波高・波向階級別出現頻度統計(連続観測)
 2007年4月～9月 波向・波高階級別出現頻度表 (f5: 6.1~7.5秒) 観測地点: 宮城県中部沖

波高	波向	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	合計
801~																		0 (0.0)
751~800																		0 (0.0)
701~750																		0 (0.0)
651~700																		0 (0.0)
601~650																		0 (0.0)
551~600																		0 (0.0)
501~550																		0 (0.0)
451~500																		0 (0.0)
401~450																		0 (0.0)
351~400																		0 (0.0)
301~350																		0 (0.0)
251~300		3 (0.0)	1 (0.0)			1 (0.0)	3 (0.0)											8 (0.1)
201~250		53 (0.8)	26 (0.4)	5 (0.1)	13 (0.2)	15 (0.2)												112 (1.8)
176~200		52 (0.8)	21 (0.3)	8 (0.1)	12 (0.2)	20 (0.3)												113 (1.8)
151~175		77 (1.2)	43 (0.7)	10 (0.2)	12 (0.2)	23 (0.4)												165 (2.6)
126~150		122 (1.9)	73 (1.1)	67 (1.0)	31 (0.5)	54 (0.8)												347 (5.4)
101~125		268 (4.2)	222 (3.5)	128 (2.0)	75 (1.2)	108 (1.7)												801 (12.5)
76~100		250 (3.9)	273 (4.3)	340 (5.3)	261 (4.1)	303 (4.7)												1427 (22.3)
51~75		249 (3.9)	329 (5.1)	414 (6.5)	442 (6.9)	469 (7.3)												1903 (29.8)
26~50		271 (4.2)	222 (3.5)	197 (3.1)	301 (4.7)	474 (7.4)												1465 (22.9)
合計		0 (0.0)	1345 (21.1)	1210 (18.9)	1169 (18.3)	1148 (18.0)	1469 (23.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	6341 (99.2)
(連続観測)																		波高が25cm以下の回数 48 (0.8)
																		合計 6389 (100.0)

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

付表-3.2(a) 石巻 f2周期帯領域における波高・波向階級別出現頻度統計 (連続観測)

2007年4月~9月

波向・波高階級別出現頻度表 (f2: 16.0~25.6秒)

観測地点: 石巻

波高	波向	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	合計	
801~																		0 (0.0)	
751~800																		0 (0.0)	
701~750																		0 (0.0)	
651~700																		0 (0.0)	
601~650																		0 (0.0)	
551~600																		0 (0.0)	
501~550																		0 (0.0)	
451~500																		0 (0.0)	
401~450																		0 (0.0)	
351~400																		0 (0.0)	
301~350																		0 (0.0)	
251~300																		0 (0.0)	
201~250																		0 (0.0)	
176~200																		0 (0.0)	
151~175																		0 (0.0)	
126~150																		0 (0.0)	
101~125																		0 (0.0)	
76~100								1 (0.0)										1 (0.0)	
51~75			1 (0.0)		1 (0.0)	10 (0.1)	5 (0.0)	2 (0.0)										19 (0.2)	
26~50	5 (0.0)	6 (0.0)	9 (0.1)	17 (0.1)	30 (0.2)	183 (1.5)	163 (1.3)	29 (0.2)	4 (0.0)	3 (0.0)	2 (0.0)	1 (0.0)		3 (0.0)	4 (0.0)	2 (0.0)		461 (3.7)	
合計	5 (0.0)	6 (0.0)	10 (0.1)	17 (0.1)	31 (0.3)	193 (1.6)	169 (1.4)	31 (0.3)	4 (0.0)	3 (0.0)	2 (0.0)	1 (0.0)	0 (0.0)	3 (0.0)	4 (0.0)	2 (0.0)		481 (3.9)	
(連続観測)																		波高が25cm以下の回数	11902 (96.1)
																		合計	12383 (100.0)

付表-3.2(b) 石巻 f3周期帯領域における波高・波向階級別出現頻度統計 (連続観測)

2007年4月~9月

波向・波高階級別出現頻度表 (f3: 10.7~14.0秒)

観測地点: 石巻

波高	波向	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	合計	
801~																		0 (0.0)	
751~800																		0 (0.0)	
701~750																		0 (0.0)	
651~700																		0 (0.0)	
601~650																		0 (0.0)	
551~600																		0 (0.0)	
501~550																		0 (0.0)	
451~500																		0 (0.0)	
401~450																		0 (0.0)	
351~400																		0 (0.0)	
301~350																		0 (0.0)	
251~300								2 (0.0)										2 (0.0)	
201~250							1 (0.0)	4 (0.0)										5 (0.0)	
176~200						3 (0.0)	17 (0.1)	19 (0.2)	1 (0.0)									40 (0.3)	
151~175					2 (0.0)	5 (0.0)	41 (0.3)	43 (0.3)										92 (0.7)	
126~150					2 (0.0)	7 (0.1)	52 (0.4)	65 (0.5)	1 (0.0)			1 (0.0)						128 (1.0)	
101~125		2 (0.0)	1 (0.0)		4 (0.0)	8 (0.1)	89 (0.7)	60 (0.5)	4 (0.0)							1 (0.0)		169 (1.4)	
76~100		1 (0.0)	2 (0.0)		8 (0.1)	22 (0.2)	179 (1.4)	106 (0.9)	1 (0.0)	1 (0.0)							1 (0.0)	321 (2.6)	
51~75	1 (0.0)	1 (0.0)	2 (0.0)	9 (0.1)	15 (0.1)	286 (2.3)	351 (2.8)	12 (0.1)	1 (0.0)	2 (0.0)				1 (0.0)		1 (0.0)		682 (5.5)	
26~50	13 (0.1)	7 (0.1)	8 (0.1)	15 (0.1)	48 (0.4)	1074 (8.7)	1365 (11.0)	82 (0.7)	15 (0.1)	3 (0.0)	3 (0.0)	5 (0.0)	8 (0.1)	5 (0.0)	4 (0.0)	10 (0.1)		2665 (21.5)	
合計	14 (0.1)	11 (0.1)	13 (0.1)	40 (0.3)	108 (0.9)	1739 (14.0)	2015 (16.3)	102 (0.8)	17 (0.1)	5 (0.0)	4 (0.0)	5 (0.0)	9 (0.1)	5 (0.0)	6 (0.0)	11 (0.1)		4104 (33.1)	
(連続観測)																		波高が25cm以下の回数	8279 (66.9)
																		合計	12383 (100.0)

付表-3.2(c) 石巻 f4周期帯領域における波高・波向階級別出現頻度統計 (連続観測)
 2007年4月～9月 波向・波高階級別出現頻度表 (f4: 8.0～9.8秒) 観測地点: 石巻

波高	波向	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	合計	
801～																		0 (0.0)	
751～800																		0 (0.0)	
701～750																		0 (0.0)	
651～700																		0 (0.0)	
601～650																		0 (0.0)	
551～600																		0 (0.0)	
501～550																		0 (0.0)	
451～500																		0 (0.0)	
401～450																		0 (0.0)	
351～400																		0 (0.0)	
301～350																		0 (0.0)	
251～300								3 (0.0)										3 (0.0)	
201～250						3 (0.0)	5 (0.0)											8 (0.1)	
176～200						7 (0.1)	15 (0.1)	1 (0.0)										23 (0.2)	
151～175						7 (0.1)	53 (0.4)											60 (0.5)	
126～150					1 (0.0)	33 (0.3)	118 (1.0)	2 (0.0)										154 (1.2)	
101～125				1 (0.0)	4 (0.0)	45 (0.4)	284 (2.3)	7 (0.1)										341 (2.8)	
76～100	1 (0.0)				5 (0.0)	136 (1.1)	358 (2.9)	3 (0.0)	1 (0.0)									504 (4.1)	
51～75				1 (0.0)	7 (0.1)	474 (3.8)	872 (7.0)	13 (0.1)	2 (0.0)	2 (0.0)			1 (0.0)			2 (0.0)		1374 (11.1)	
26～50	7 (0.1)	3 (0.0)	6 (0.0)	5 (0.0)	36 (0.3)	1617 (13.1)	3971 (32.1)	207 (1.7)	29 (0.2)	20 (0.2)	3 (0.0)	11 (0.1)	11 (0.1)	5 (0.0)	7 (0.1)	12 (0.1)		5950 (48.0)	
合計	8 (0.1)	3 (0.0)	6 (0.0)	7 (0.1)	53 (0.4)	2322 (18.8)	5679 (45.9)	233 (1.9)	32 (0.3)	22 (0.2)	3 (0.0)	12 (0.1)	11 (0.1)	5 (0.0)	9 (0.1)	12 (0.1)		8417 (68.0)	
(連続観測)																		波高が25cm以下の回数	3966 (32.0)
																		合計	12383 (100.0)

付表-3.2(d) 石巻 f5周期帯領域における波高・波向階級別出現頻度統計 (連続観測)
 2007年4月～9月 波向・波高階級別出現頻度表 (f5: 4.3～7.5秒) 観測地点: 石巻

波高	波向	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	合計	
801～																		0 (0.0)	
751～800																		0 (0.0)	
701～750																		0 (0.0)	
651～700																		0 (0.0)	
601～650																		0 (0.0)	
551～600																		0 (0.0)	
501～550																		0 (0.0)	
451～500																		0 (0.0)	
401～450																		0 (0.0)	
351～400																		0 (0.0)	
301～350																		0 (0.0)	
251～300									1 (0.0)									1 (0.0)	
201～250								2 (0.0)	7 (0.1)									9 (0.1)	
176～200						1 (0.0)	10 (0.1)	5 (0.0)	1 (0.0)									17 (0.1)	
151～175						9 (0.1)	33 (0.3)	3 (0.0)										45 (0.4)	
126～150						10 (0.1)	94 (0.8)	18 (0.1)										122 (1.0)	
101～125						17 (0.1)	292 (2.4)	56 (0.5)										365 (2.9)	
76～100						55 (0.4)	810 (6.5)	91 (0.7)										956 (7.7)	
51～75				1 (0.0)	1 (0.0)	317 (2.6)	2111 (17.0)	201 (1.6)	2 (0.0)	1 (0.0)								2634 (21.3)	
26～50	1 (0.0)		3 (0.0)	7 (0.1)	31 (0.3)	803 (6.5)	4352 (35.1)	905 (7.3)	63 (0.5)	15 (0.1)	12 (0.1)	8 (0.1)	8 (0.1)				2 (0.0)	6210 (50.1)	
合計	1 (0.0)	0 (0.0)	3 (0.0)	8 (0.1)	32 (0.3)	1212 (9.8)	7704 (62.2)	1287 (10.4)	66 (0.5)	16 (0.1)	12 (0.1)	8 (0.1)	8 (0.1)	0 (0.0)	0 (0.0)	2 (0.0)		10359 (83.7)	
(連続観測)																		波高が25cm以下の回数	2024 (16.3)
																		合計	12383 (100.0)

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

付表-3.3(a) 岩手県南部沖 f2周期帯領域における波高・波向階級別出現頻度統計(連続観測)
2007年4月~9月 波向・波高階級別出現頻度表(f2:16.0~25.6秒) 観測地点:岩手県南部沖

波高	波向	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	合計
801~																		0 (0.0)
751~800																		0 (0.0)
701~750																		0 (0.0)
651~700																		0 (0.0)
601~650																		0 (0.0)
551~600																		0 (0.0)
501~550																		0 (0.0)
451~500																		0 (0.0)
401~450																		0 (0.0)
351~400																		0 (0.0)
301~350																		0 (0.0)
251~300																		0 (0.0)
201~250																		0 (0.0)
176~200																		0 (0.0)
151~175																		0 (0.0)
126~150																		0 (0.0)
101~125																		0 (0.0)
76~100																		0 (0.0)
51~75																		0 (0.0)
26~50			21 (0.3)	39 (0.5)	112 (1.4)	76 (1.0)	25 (0.3)											273 (3.5)
合計		0 (0.0)	21 (0.3)	39 (0.5)	112 (1.4)	76 (1.0)	25 (0.3)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	273 (3.5)
(連続観測)																		
波高が25cm以下の回数																		
7513 (96.5)																		
合計																		
7786 (100.0)																		

付表-3.3(b) 岩手県南部沖 f3周期帯領域における波高・波向階級別出現頻度統計(連続観測)
2007年4月~9月 波向・波高階級別出現頻度表(f3:10.7~14.0秒) 観測地点:岩手県南部沖

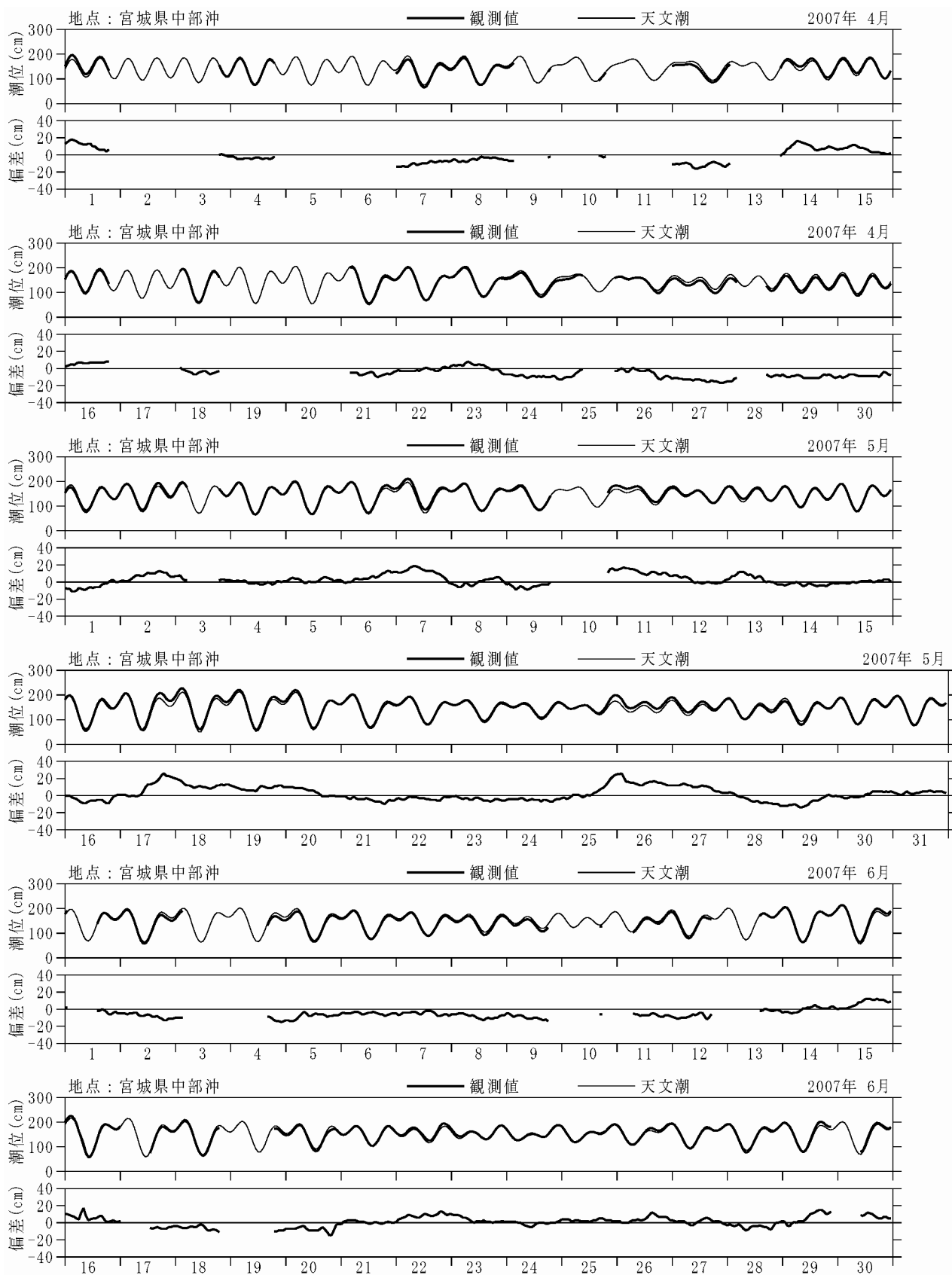
波高	波向	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	合計
801~																		0 (0.0)
751~800																		0 (0.0)
701~750																		0 (0.0)
651~700																		0 (0.0)
601~650																		0 (0.0)
551~600																		0 (0.0)
501~550																		0 (0.0)
451~500																		0 (0.0)
401~450							1 (0.0)											1 (0.0)
351~400					1 (0.0)		4 (0.0)											5 (0.1)
301~350					12 (0.1)		11 (0.1)											24 (0.3)
251~300			1 (0.0)	67 (0.7)	17 (0.2)	20 (0.2)												105 (1.1)
201~250			3 (0.0)	98 (1.1)	32 (0.3)	45 (0.5)												178 (1.9)
176~200		1 (0.0)	4 (0.0)	63 (0.7)	9 (0.1)	47 (0.5)												124 (1.4)
151~175		7 (0.1)	23 (0.3)	102 (1.1)	17 (0.2)	49 (0.5)												198 (2.2)
126~150		31 (0.3)	84 (0.9)	100 (1.1)	27 (0.3)	69 (0.8)												311 (3.4)
101~125		70 (0.8)	145 (1.6)	123 (1.3)	27 (0.3)	67 (0.7)												432 (4.7)
76~100		76 (0.8)	150 (1.6)	116 (1.3)	89 (1.0)	73 (0.8)												504 (5.5)
51~75		91 (1.0)	197 (2.1)	337 (3.7)	196 (2.1)	206 (2.2)												1027 (11.2)
26~50		227 (2.5)	514 (5.6)	1078 (11.7)	1945 (21.2)	1008 (11.0)												4772 (52.0)
合計		0 (0.0)	503 (5.5)	1121 (12.2)	2097 (22.8)	2360 (25.7)	1600 (17.4)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	7681 (83.6)
(連続観測)																		
波高が25cm以下の回数																		
1503 (16.4)																		
合計																		
9184 (100.0)																		

付表-3.3(c) 岩手県南部沖 f4周期帯領域における波高・波向階級別出現頻度統計(連続観測)
 2007年4月~9月 波向・波高階級別出現頻度表(f4:8.0~9.8秒) 観測地点:岩手県南部沖

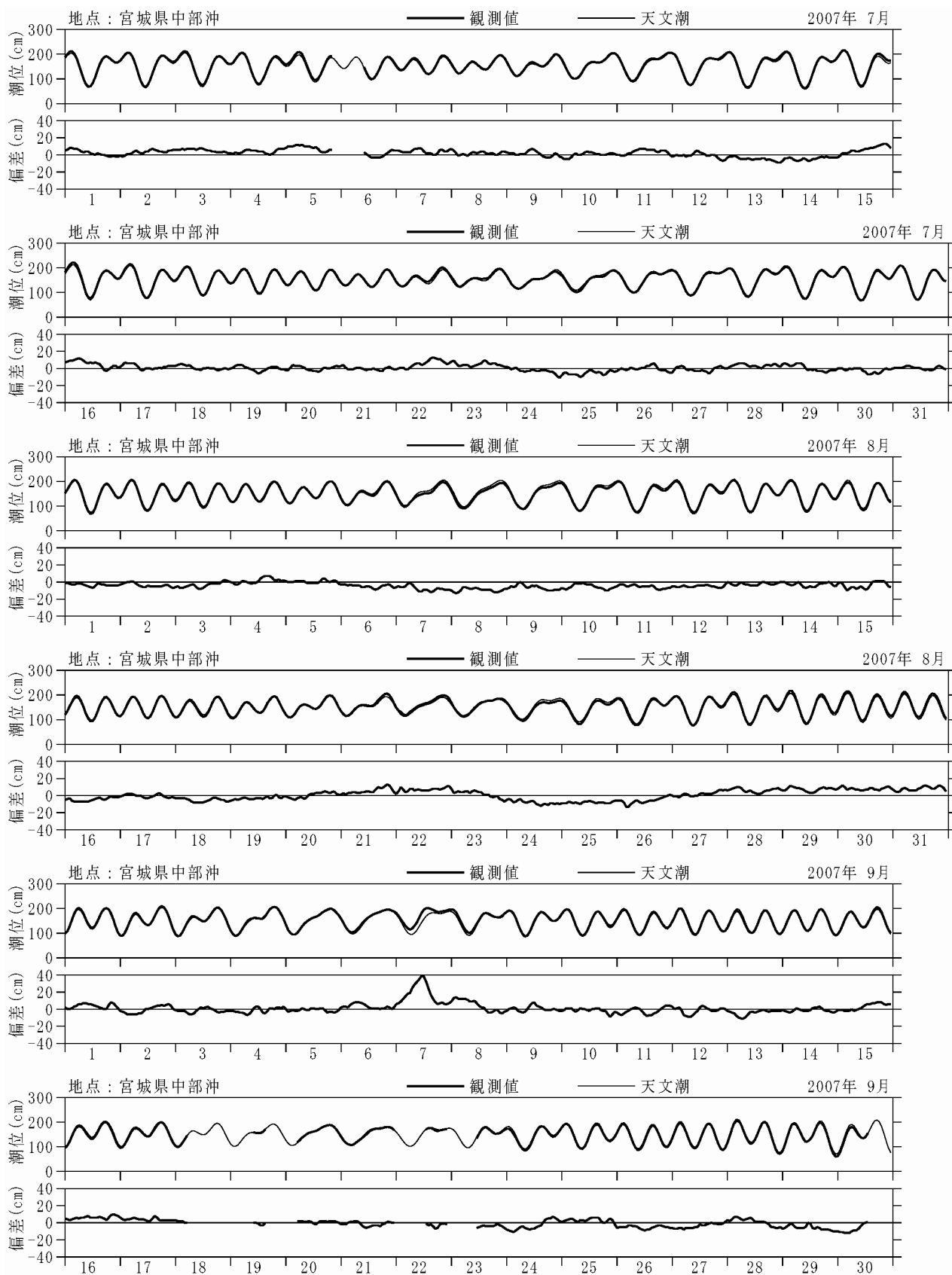
波高	波向	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	合計	
801~																		0 (0.0)	
751~800																		0 (0.0)	
701~750																		0 (0.0)	
651~700																		0 (0.0)	
601~650																		0 (0.0)	
551~600																		0 (0.0)	
501~550																		0 (0.0)	
451~500																		0 (0.0)	
401~450																		0 (0.0)	
351~400					3 (0.0)													3 (0.0)	
301~350					15 (0.2)	1 (0.0)	11 (0.1)											27 (0.3)	
251~300		3 (0.0)	4 (0.1)	39 (0.5)	7 (0.1)	22 (0.3)												75 (1.0)	
201~250		24 (0.3)	22 (0.3)	112 (1.4)	34 (0.4)	22 (0.3)												214 (2.7)	
176~200		61 (0.8)	42 (0.5)	94 (1.2)	45 (0.6)	17 (0.2)												259 (3.3)	
151~175		102 (1.3)	79 (1.0)	194 (2.5)	56 (0.7)	45 (0.6)												476 (6.1)	
126~150		113 (1.4)	123 (1.6)	185 (2.4)	85 (1.1)	112 (1.4)												618 (7.9)	
101~125		163 (2.1)	233 (3.0)	246 (3.2)	155 (2.0)	266 (3.4)												1063 (13.6)	
76~100		132 (1.7)	273 (3.5)	342 (4.4)	348 (4.5)	448 (5.7)												1543 (19.8)	
51~75		165 (2.1)	221 (2.8)	421 (5.4)	478 (6.1)	597 (7.6)												1882 (24.1)	
26~50		59 (0.8)	61 (0.8)	193 (2.5)	477 (6.1)	637 (8.2)												1427 (18.3)	
合計		0 (0.0)	822 (10.5)	1058 (13.6)	1844 (23.6)	1686 (21.6)	2177 (27.9)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	7587 (97.2)	
(連続観測)																		波高が25cm以下の回数	217 (2.8)
																		合計	7804 (100.0)

付表-3.3(d) 岩手県南部沖 f5周期帯領域における波高・波向階級別出現頻度統計(連続観測)
 2007年4月~9月 波向・波高階級別出現頻度表(f5:6.1~7.5秒) 観測地点:岩手県南部沖

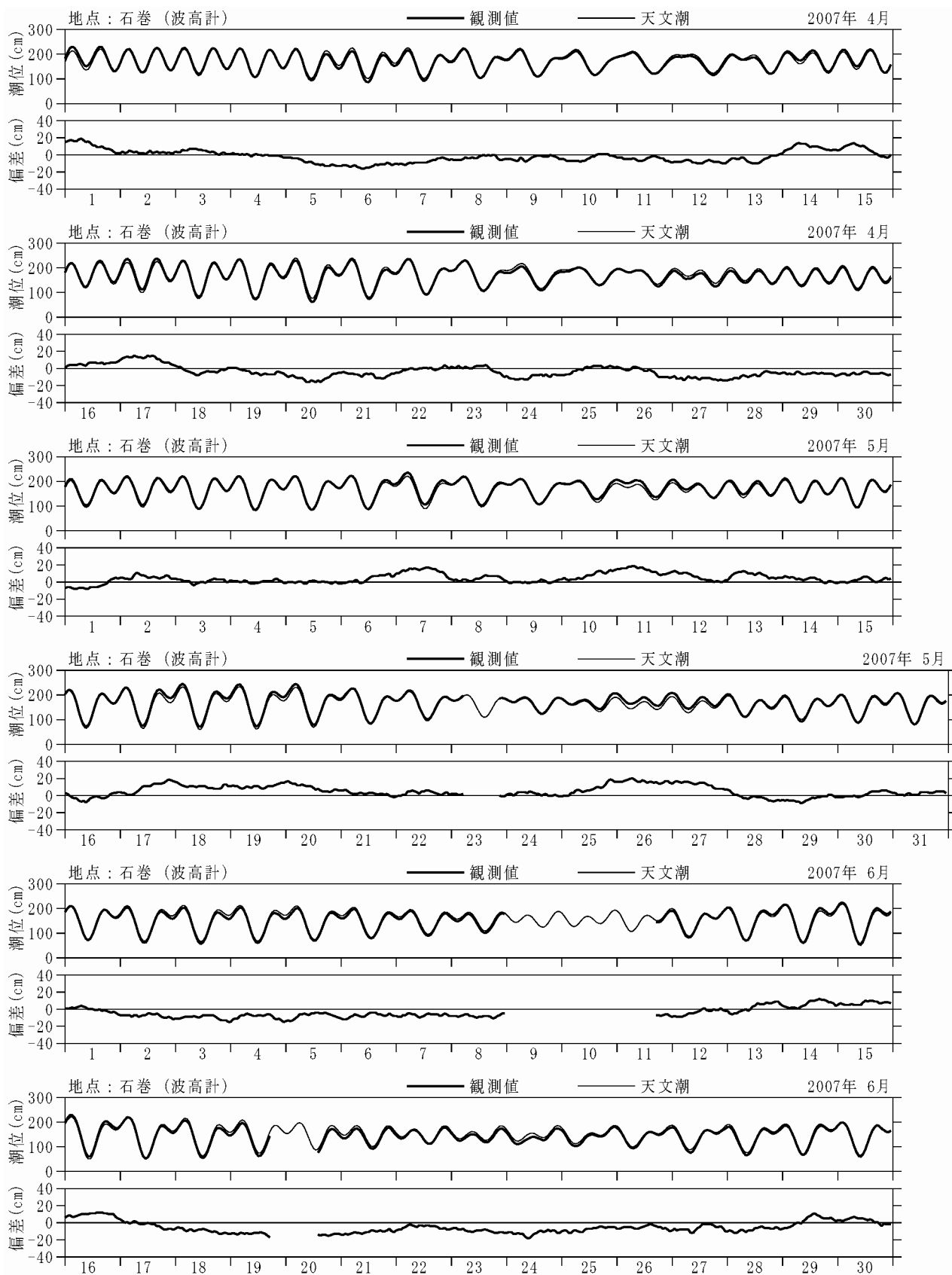
波高	波向	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	合計	
801~																		0 (0.0)	
751~800																		0 (0.0)	
701~750																		0 (0.0)	
651~700																		0 (0.0)	
601~650																		0 (0.0)	
551~600																		0 (0.0)	
501~550																		0 (0.0)	
451~500																		0 (0.0)	
401~450																		0 (0.0)	
351~400																		0 (0.0)	
301~350																		0 (0.0)	
251~300				1 (0.0)			1 (0.0)											2 (0.0)	
201~250				4 (0.1)	2 (0.0)		1 (0.0)											7 (0.1)	
176~200		5 (0.1)	32 (0.6)	23 (0.4)	4 (0.1)	11 (0.2)												75 (1.4)	
151~175		30 (0.6)	67 (1.3)	76 (1.4)	21 (0.4)	17 (0.3)												211 (3.9)	
126~150		88 (1.6)	139 (2.6)	148 (2.8)	26 (0.5)	27 (0.5)												428 (8.0)	
101~125		188 (3.5)	211 (3.9)	296 (5.5)	106 (2.0)	137 (2.6)												938 (17.5)	
76~100		227 (4.2)	232 (4.3)	386 (7.2)	269 (5.0)	243 (4.5)												1357 (25.4)	
51~75		319 (6.0)	233 (4.4)	322 (6.0)	261 (4.9)	312 (5.8)												1447 (27.1)	
26~50		203 (3.8)	113 (2.1)	60 (1.1)	157 (2.9)	327 (6.1)												860 (16.1)	
合計		0 (0.0)	1060 (19.8)	1032 (19.3)	1313 (24.5)	844 (15.8)	1076 (20.1)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	5325 (99.6)	
(連続観測)																		波高が25cm以下の回数	24 (0.4)
																		合計	5349 (100.0)



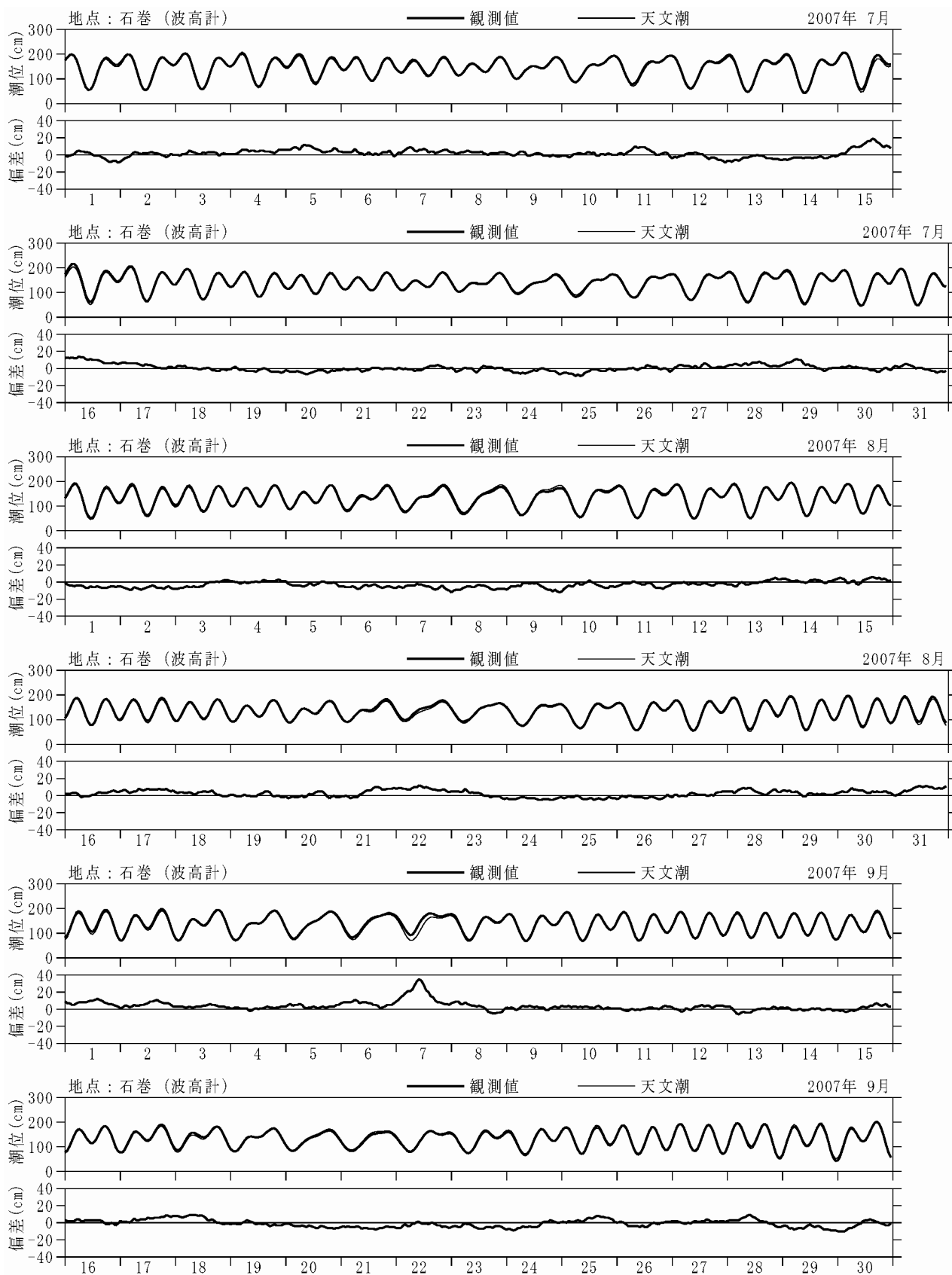
付図-1.1(a) 観測潮位, 推算潮位および潮位偏差の経時変化 (宮城県中部沖)



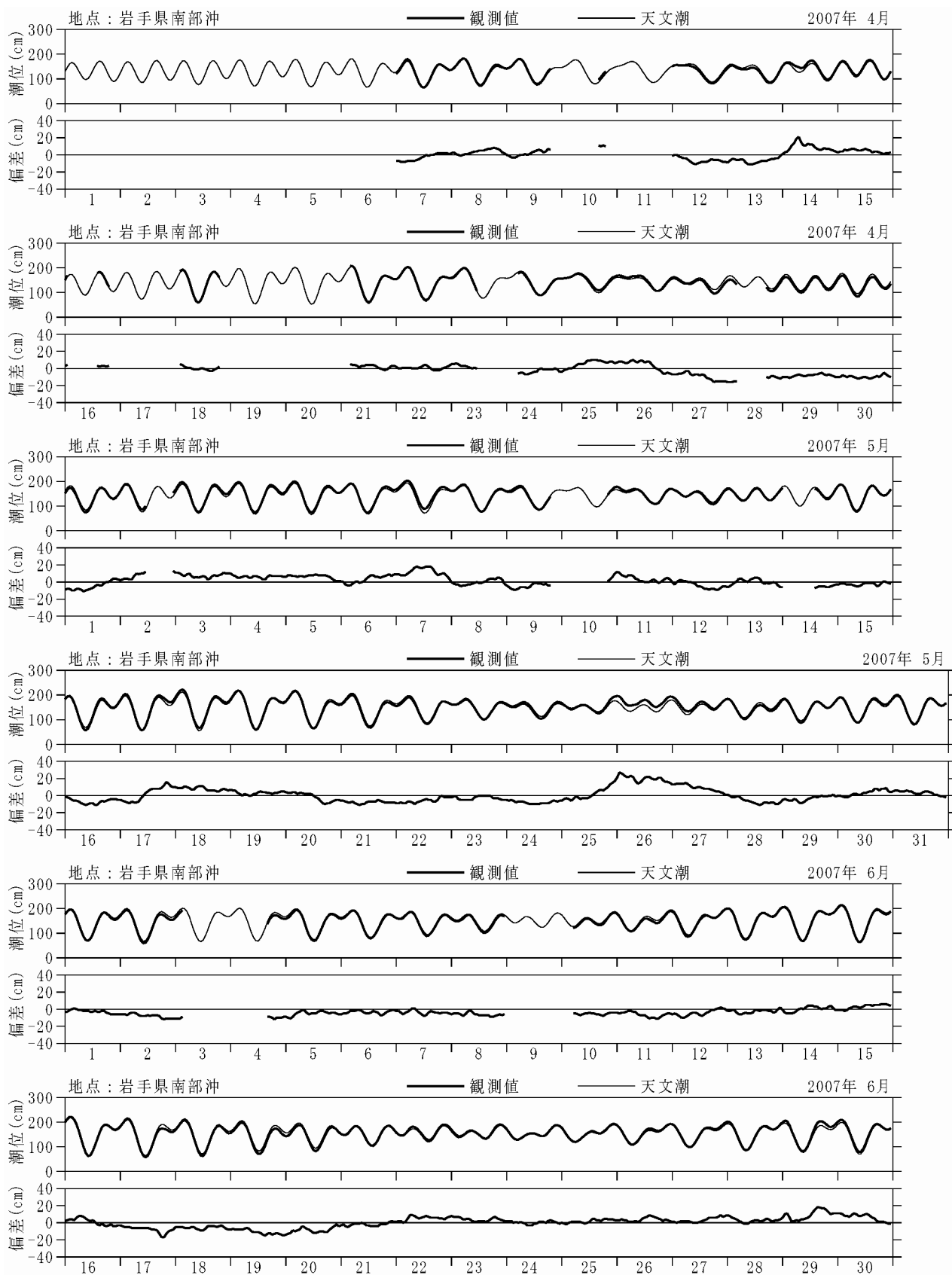
付図-1.1(b) 観測潮位，推算潮位および潮位偏差の経時変化（宮城県中部沖）



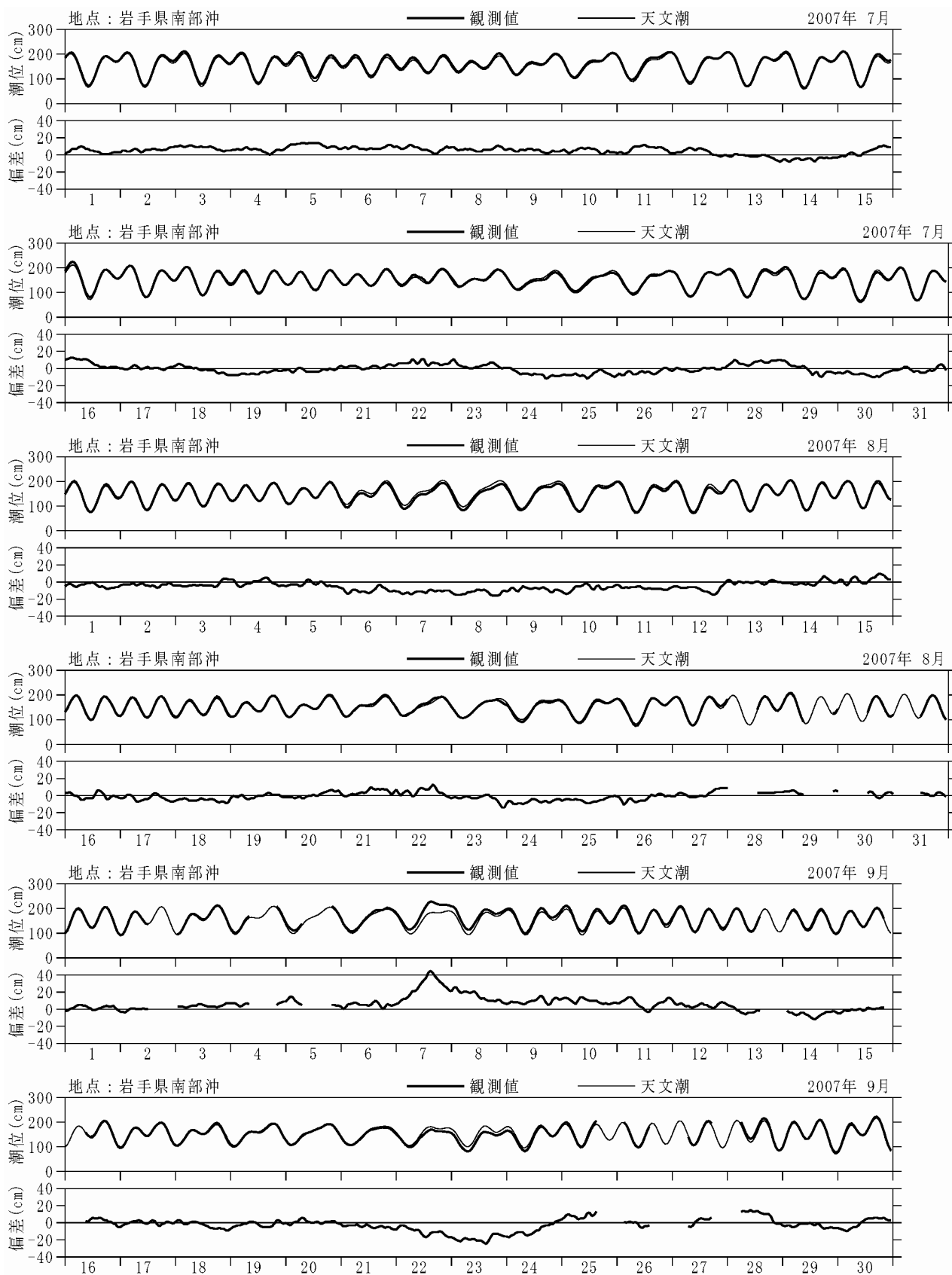
付図-1.2(a) 観測潮位, 推算潮位および潮位偏差の経時変化 (石巻:波高計)



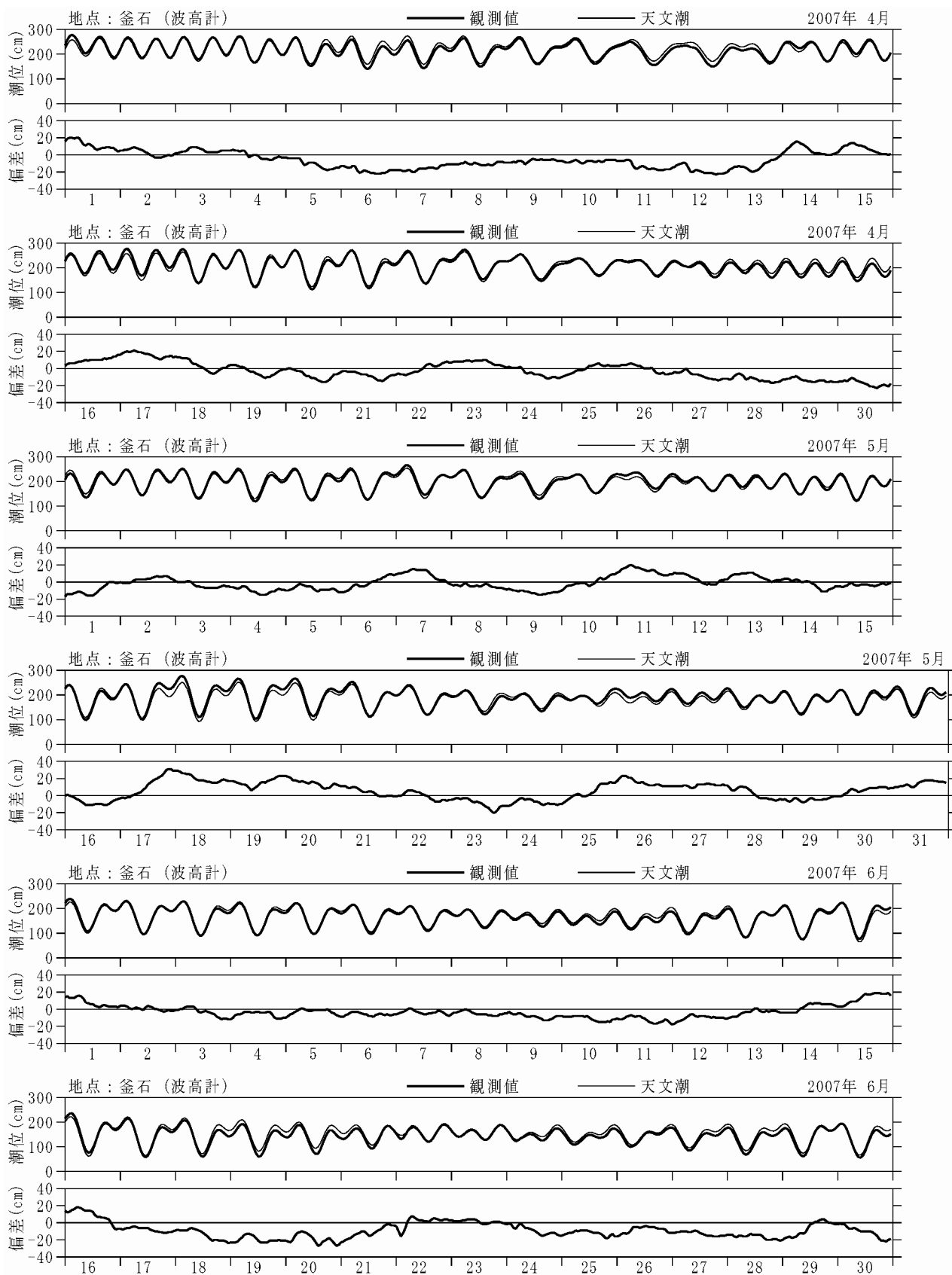
付図-1.2(b) 観測潮位，推算潮位および潮位偏差の経時変化（石巻：波高計）



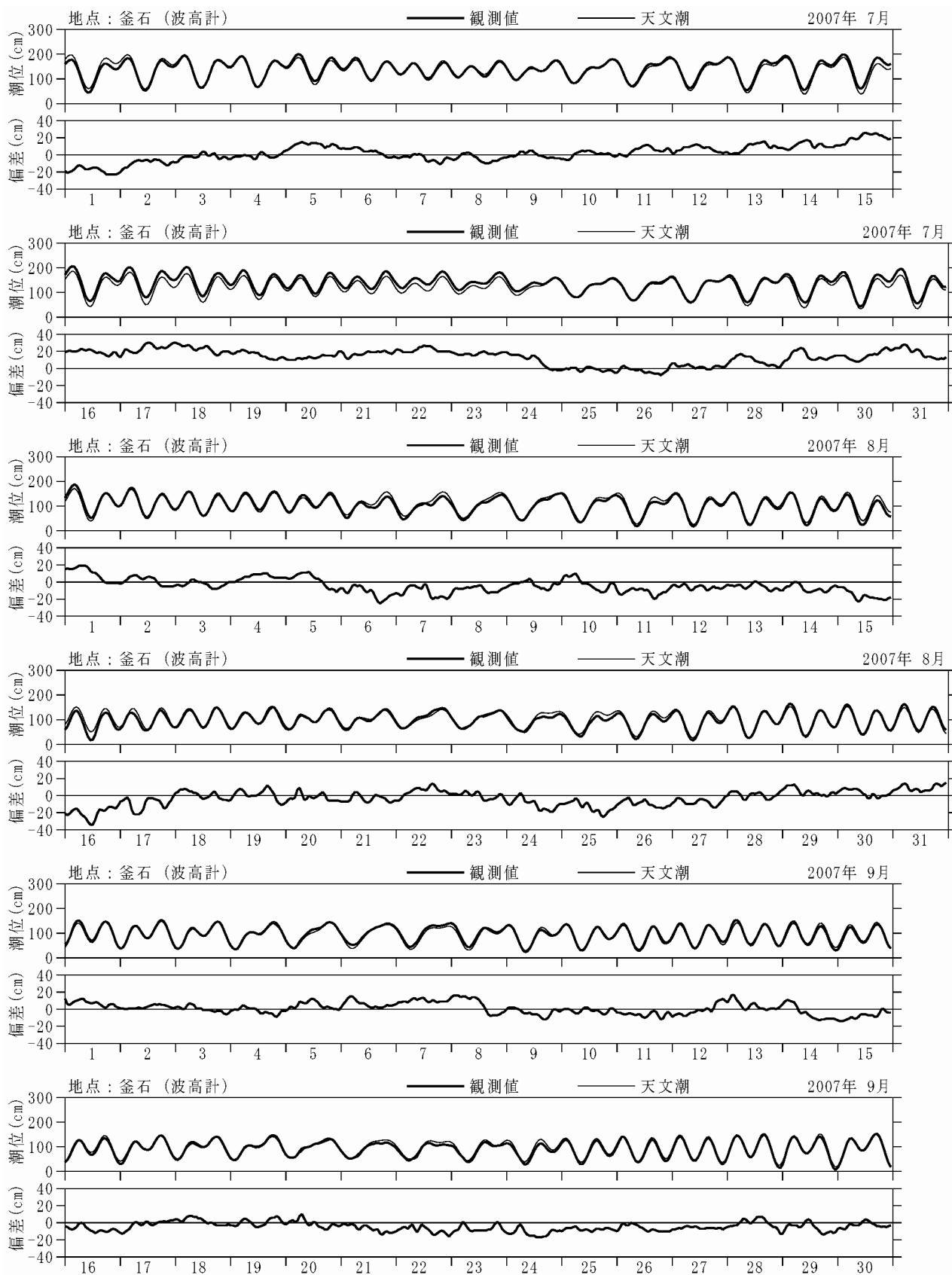
付図-1.3(a) 観測潮位，推算潮位および潮位偏差の経時変化（岩手県南部沖）



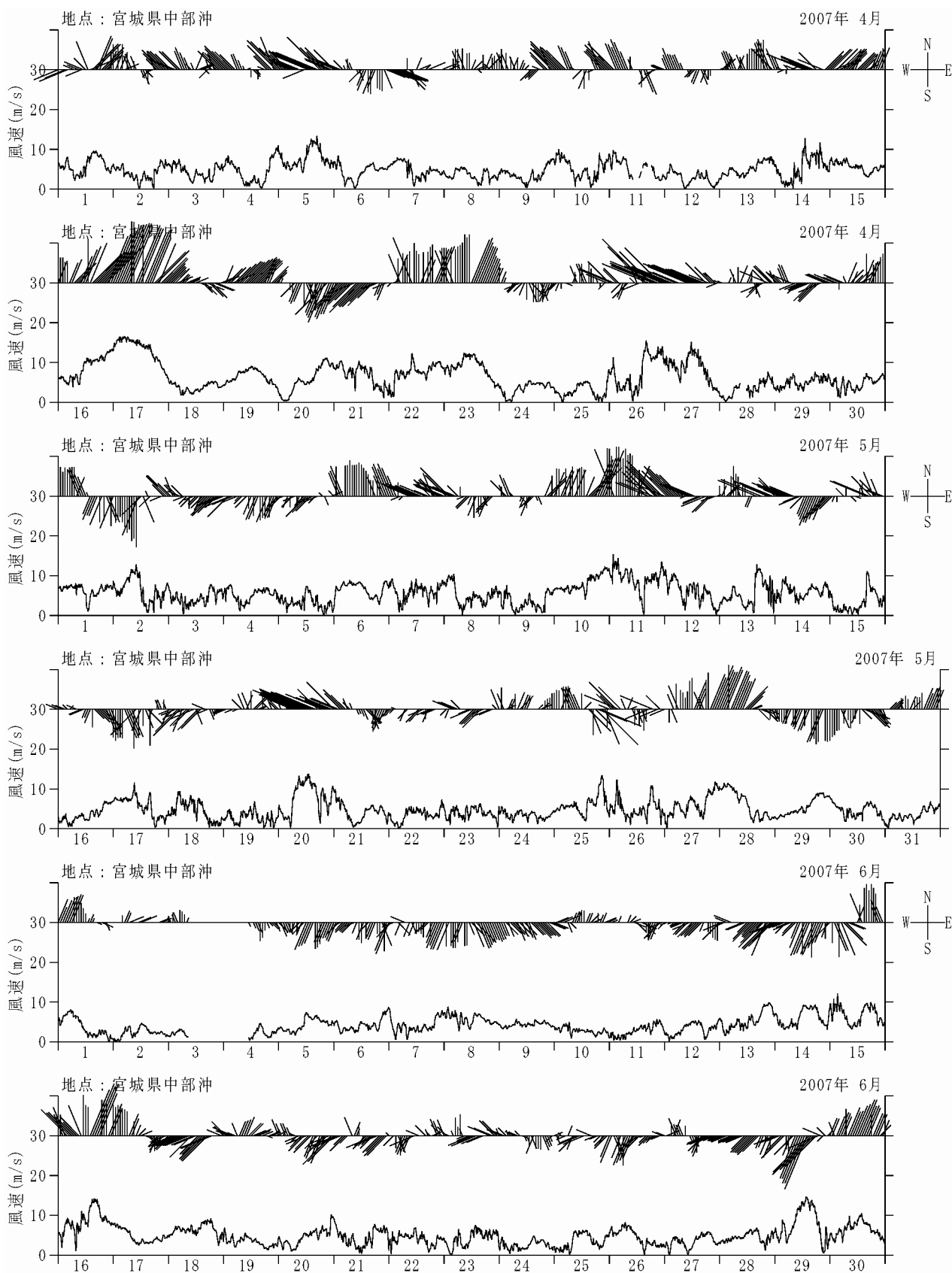
付図-1.3(b) 観測潮位，推算潮位および潮位偏差の経時変化（岩手県南部沖）



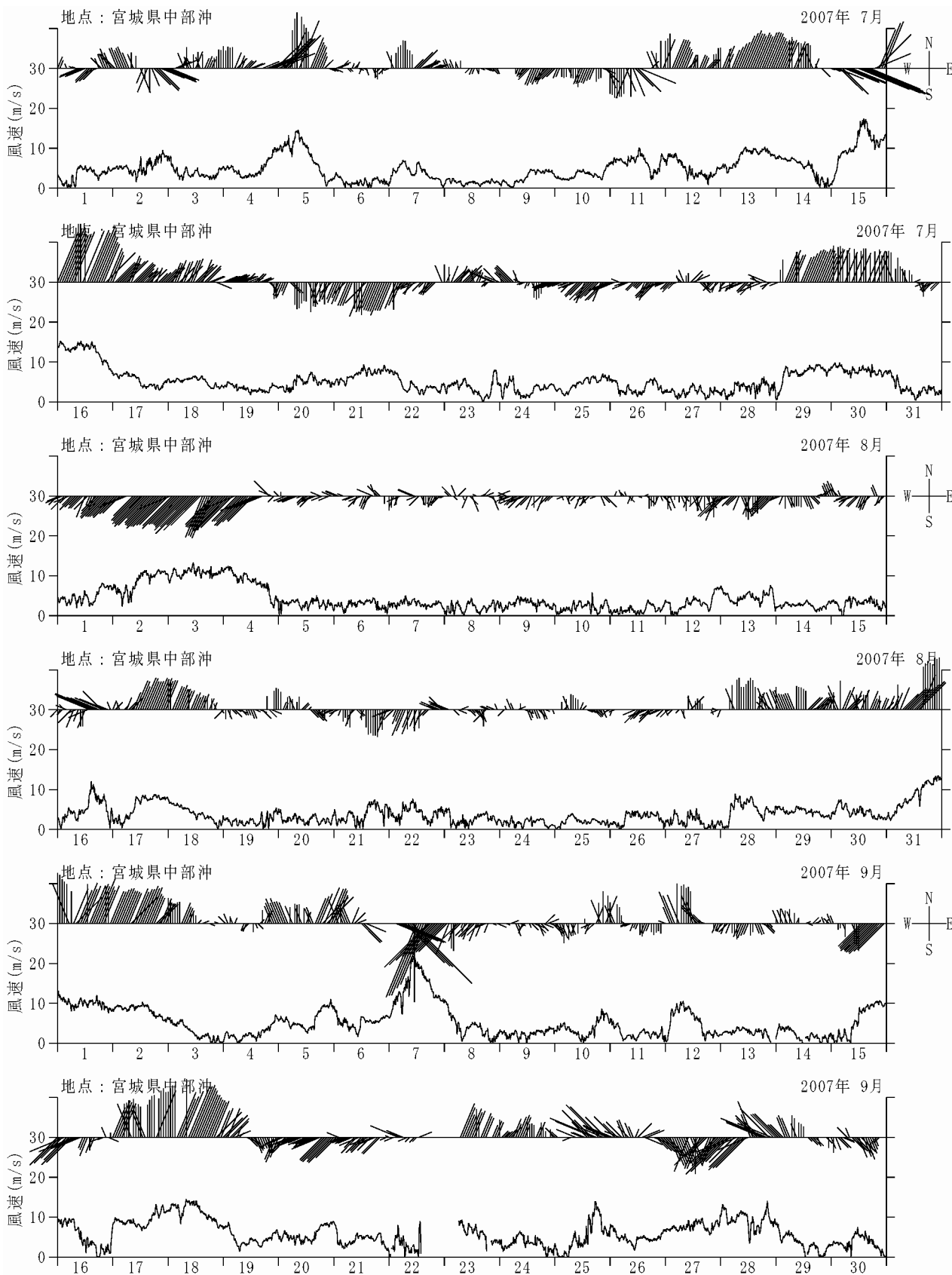
付図-1.4(a) 観測潮位, 推算潮位および潮位偏差の経時変化 (釜石: 波高計)



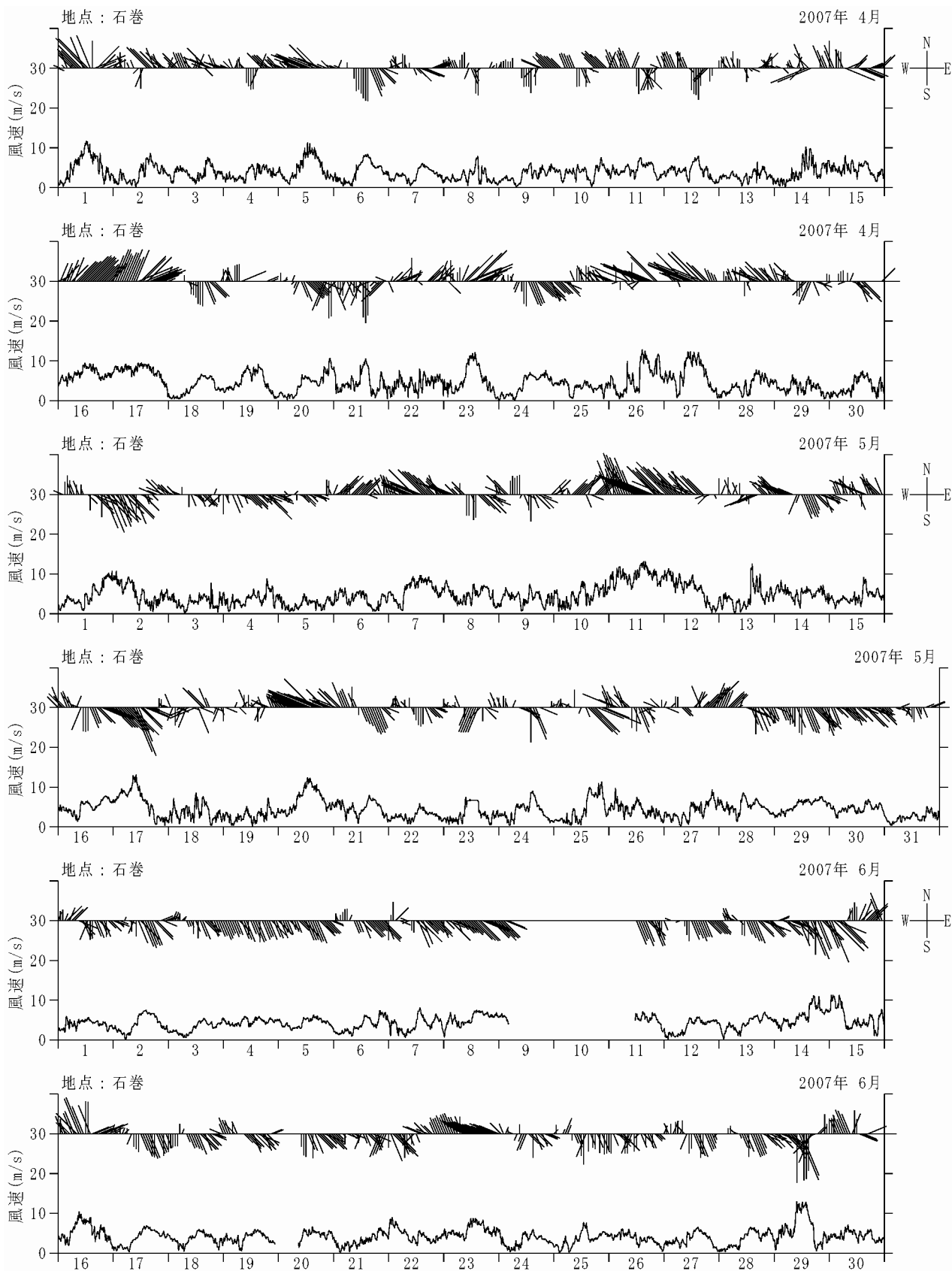
付図-1.4(b) 観測潮位，推算潮位および潮位偏差の経時変化（釜石：波高計）



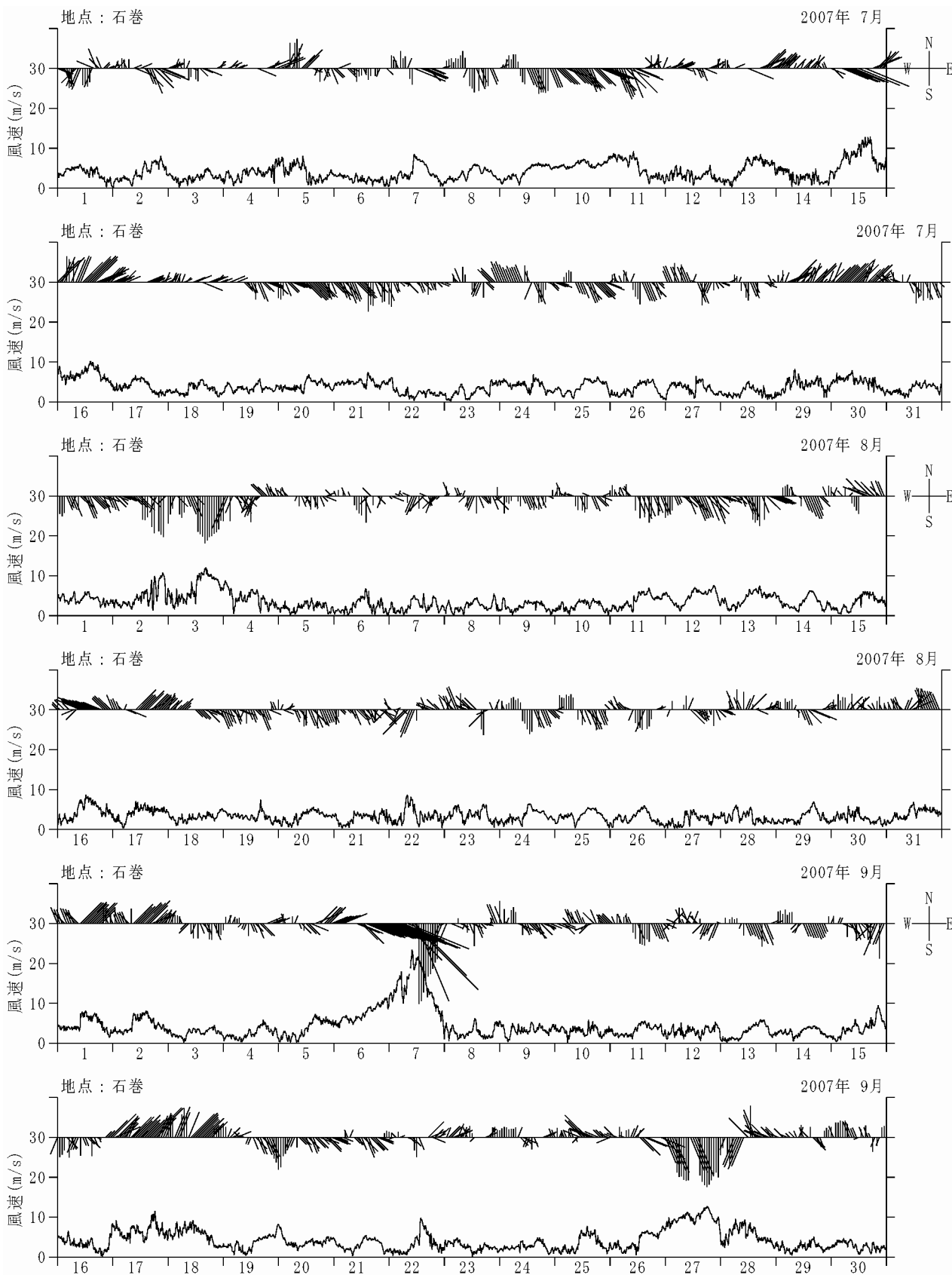
付図-2.1(a) 風向・風速の経時変化 (宮城県中部沖)



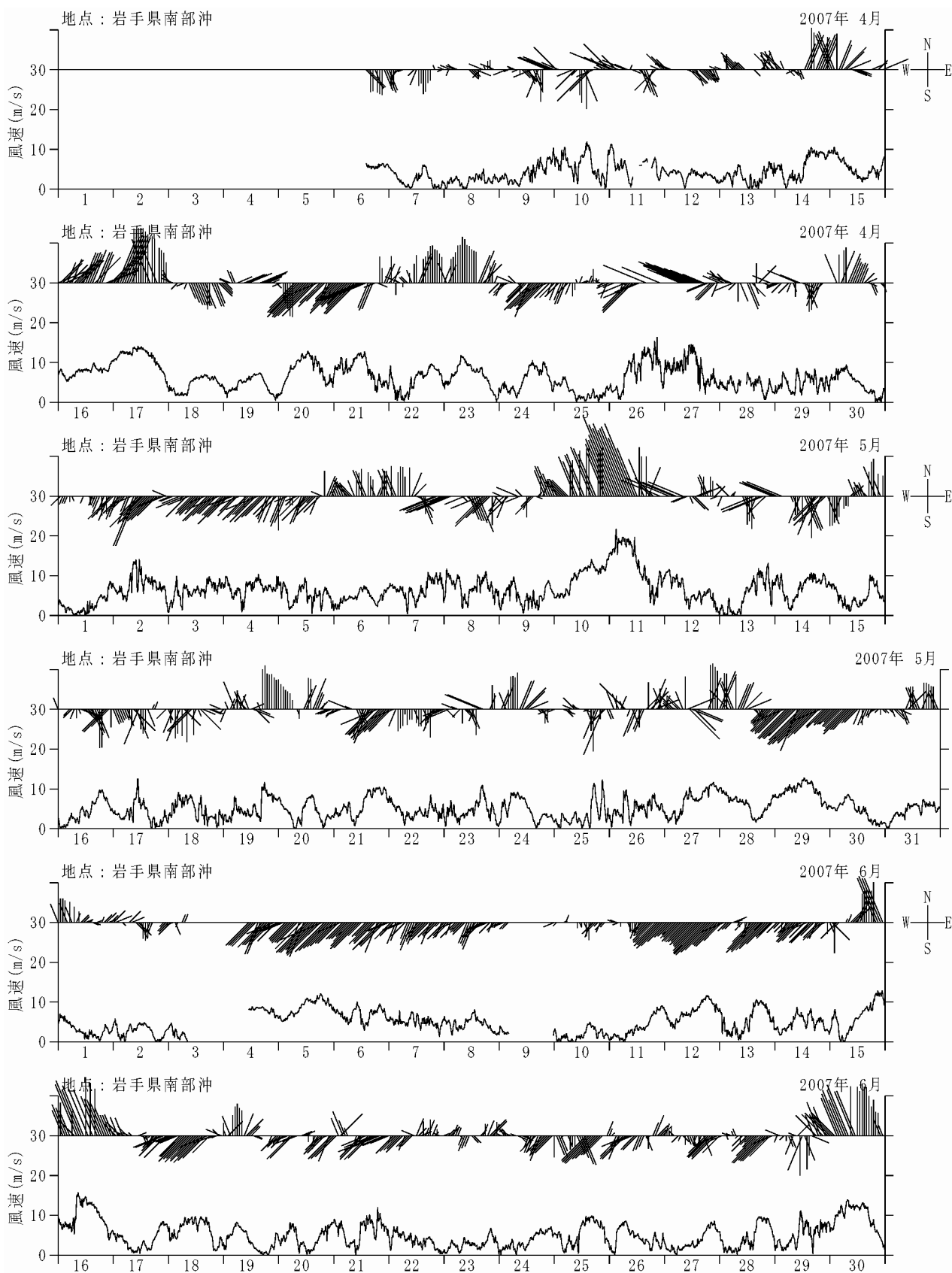
付図-2.1(b) 風向・風速の経時変化 (宮城県中部沖)



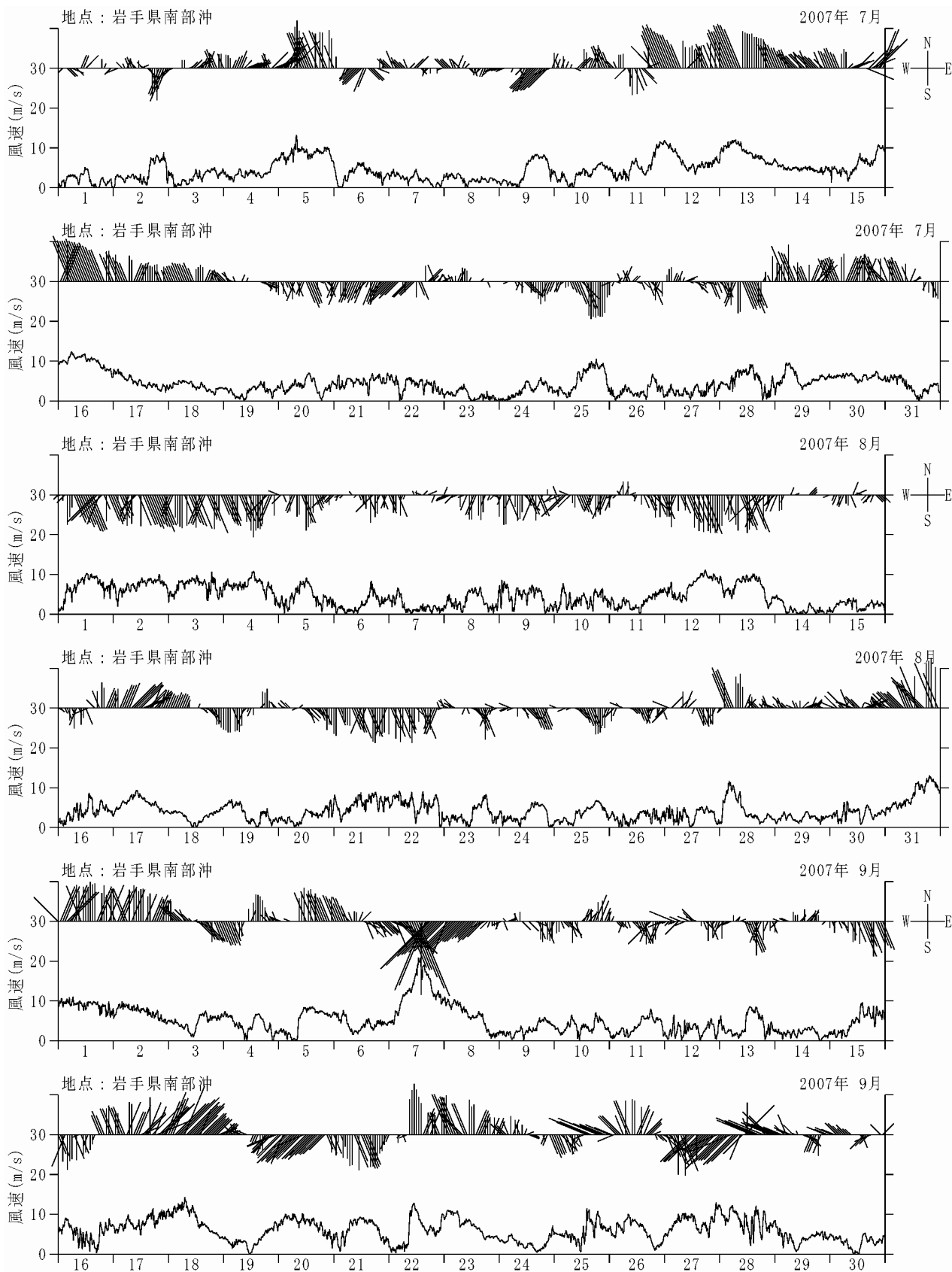
付図-2.2(a) 風向・風速の経時変化 (石巻)



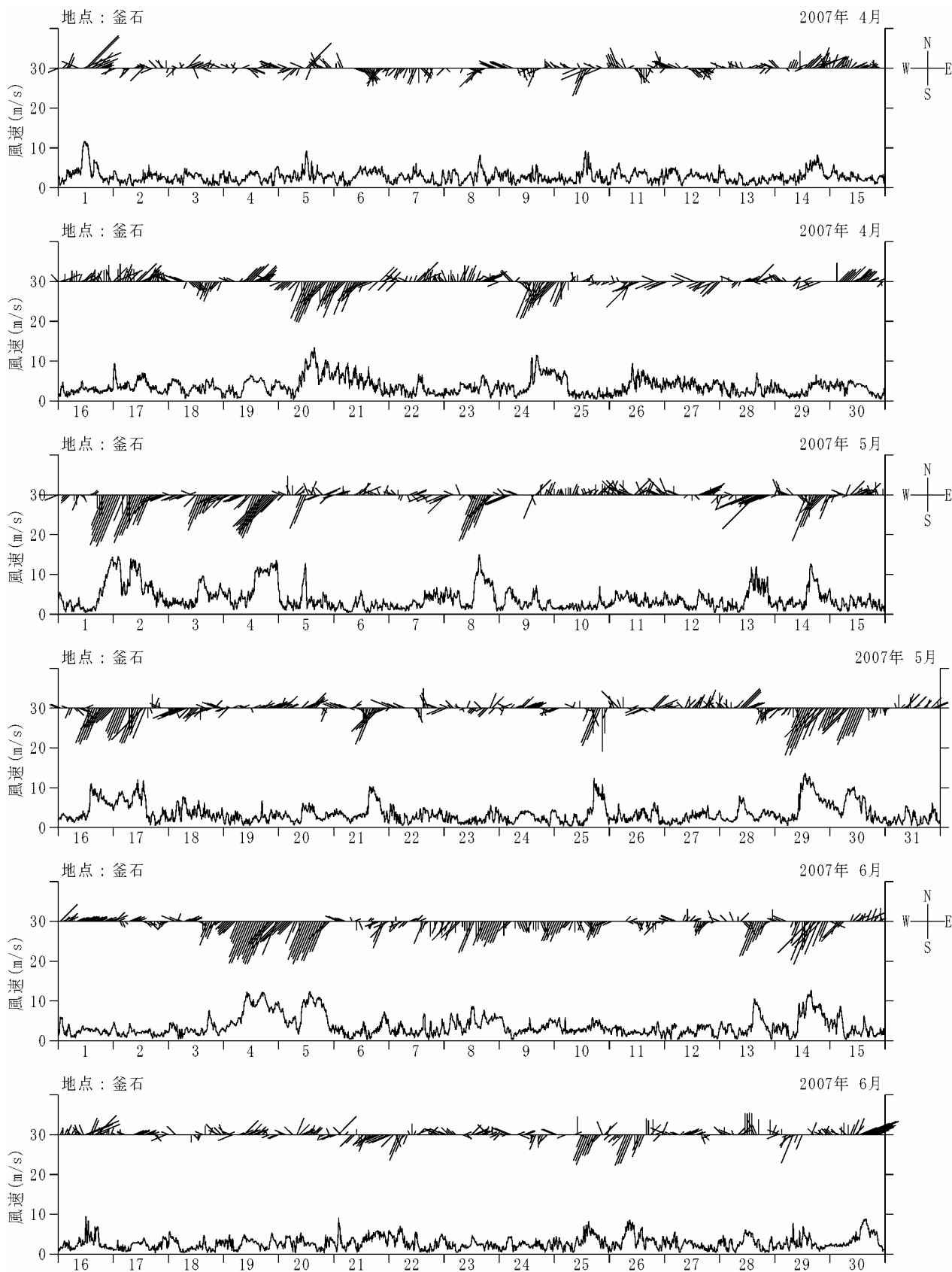
付図-2.2(b) 風向・風速の経時変化 (石巻)



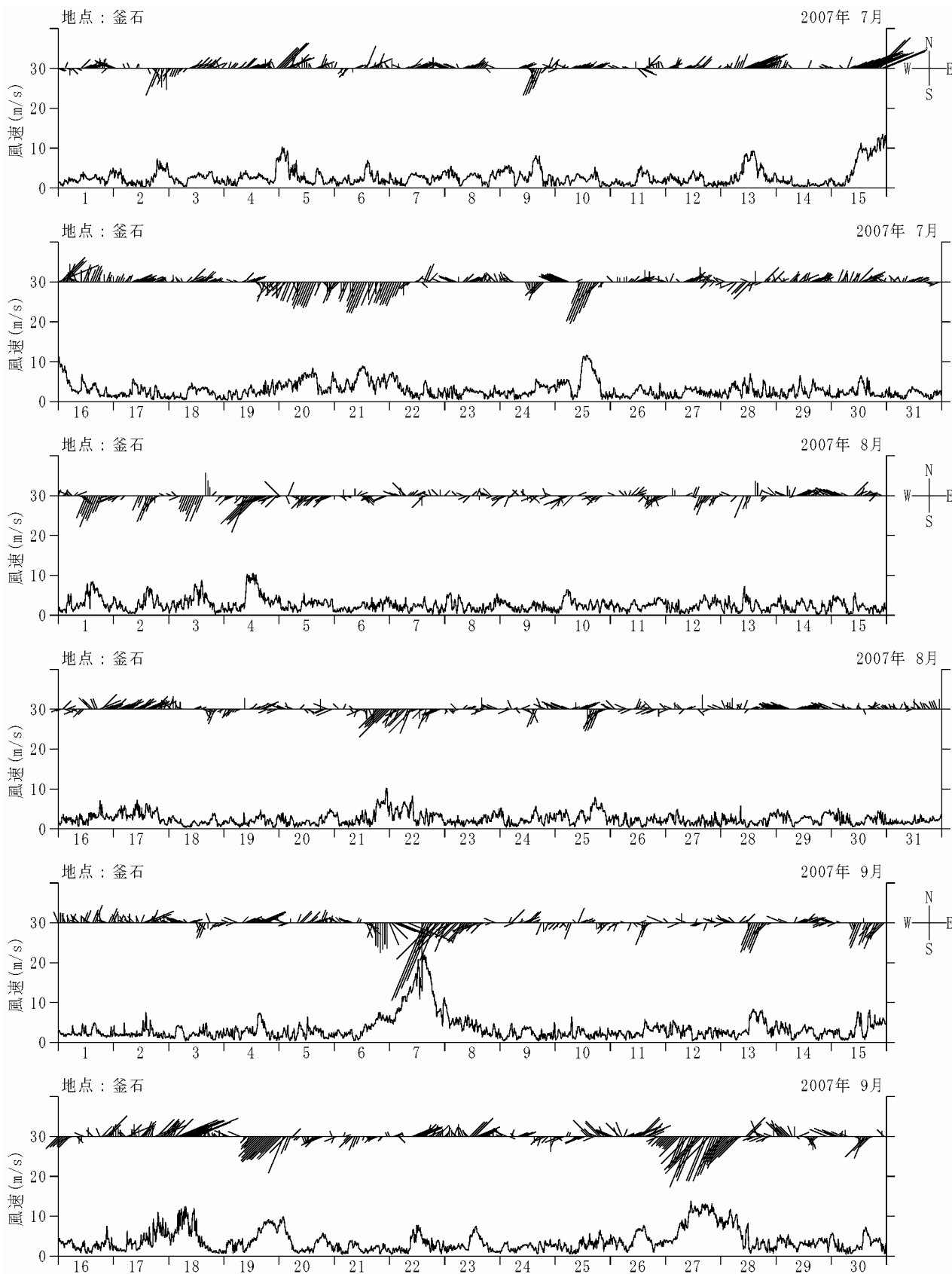
付図-2.3(a) 風向・風速の経時変化 (岩手県南部沖)



付図-2.3(b) 風向・風速の経時変化 (岩手県南部沖)



付図-2.4(a) 風向・風速の経時変化 (釜石)



付図-2.4(b) 風向・風速の経時変化（釜石）

港湾空港技術研究所報告 第47巻第2号

2008. 6

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 大成社

Copyright © (2008) 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。

CONTENTS

Characteristics of the Observed Offshore Data by the Northern Pacific GPS Buoys Toshihiko NAGAI, Katsuyoshi Shimizu, Makoto Sasaki	1
Bearing Capacity of T-shpaed or Floating-type Sand Compaction Pile Improved Ground Hidenori TAKAHASHI, Eitoku ICHIKAWA, Masaki KITAZUME	53
A Rational Design of Foot-Protection Block and Armor Block Covering Rubble Mound of Composite Breakwaters Ken-ichiro SHIMOSAKO , Shin-ichi KUBOTA, Masashi HAMAGUCHI, Akira MATSUMOTO, Minoru HANZAWA, Fumitake NAKANO	89
Research on Quality and Durability of the By-Products Concrete Using Steel Making Slag, Fly ash and Blast Furnace Slag Yoshikazu AKIRA, Toru YAMAJI, Hidenori HAMADA	111