

# 陸奥湾ホタテガイ養殖漁場における波浪予測システムの開発

森 恭子・吉田 達・伊藤欣吾・伊藤良博・小谷健二・川村 要

## 目 的

陸奥湾のホタテガイ養殖における安全操業や作業効率の向上を目的として、漁業者へ精度の高い波浪予測情報を提供するため、平成 25 年度から 30 年度にかけて、陸奥湾内 10ヶ所で小型ブイ式波浪計による波浪観測データを収集し、気象庁データと実測値を比較解析して補正式を作成する。さらに、補正後の波浪予測情報を水産総合研究所のホームページや携帯電話で表示させるシステムを構築する。

なお、本報告は久栗坂沖及び蟹田沖における結果をとりまとめた。

## 材料と方法

### 1. 予測に必要な波浪データの収集

2013 年 4 月 1 日から 2014 年 5 月 12 日まで久栗坂沖に、2014 年 5 月 28 日から 10 月 8 日まで蟹田沖（図 1）に、太陽電池式の小型ブイ式波浪計（図 2、ゼニライトブイ GS-3210207-1 R1、以下「波浪計」という）を設置し、波浪観測データを収集した。

波浪計は、設置方法を検討するために試験船「なつどまり」及び実習船「二十一海洋」を用いて、久栗坂沖においては 2013 年 4 月から 2013 年 12 月までは波浪計 1 点を係留（図 3）、2014 年 1 月から 2014 年 5 月までは 2 点を係留（図 4）、蟹田沖においては 4 点を係留（図 5）した。測定間隔は、太陽電池の性能を考慮して、久栗坂沖においては 2013 年 4 月 1 日～4 日、2014 年 1 月 17 日～21 日、2014 年 1 月 31 日～4 月 21 日までは 3 時間間隔、2014 年 1 月 21 日～31 日までは 2 時間間隔、2013 年 4 月 4 日～12 月 9 日、2014 年 4 月 21 日～5 月 12 日までは 1 時間間隔とし、蟹田沖においては全期間を通じて 1 時間間隔とした。

なお、波浪計には、JAXA 開発による波浪計測ソフト（特許 No. 3658595）を内蔵した単独測位方式の GPS 受信機及び FOMA 携帯電話通信網を利用できる通信システムが搭載されており、GPS を利用し計算式により求められた波浪データを、1 時間間隔で研究所のパソコンに自動で送受信した。

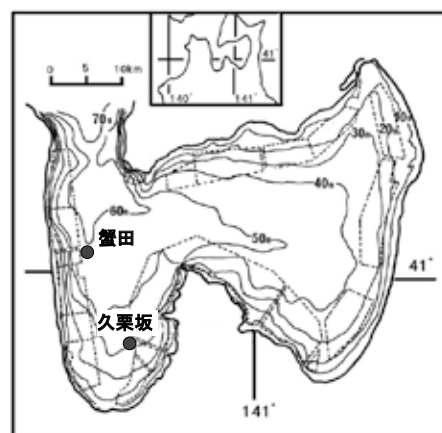


図 1. 波浪計の設置位置



図 2. 波浪計

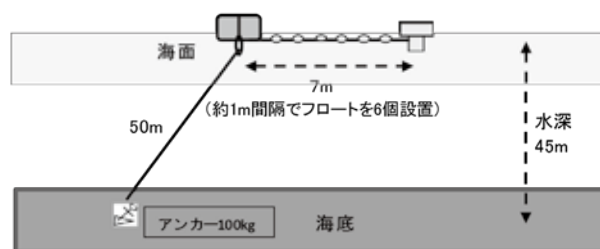


図 3. 久栗坂沖における設置方法（1点係留）

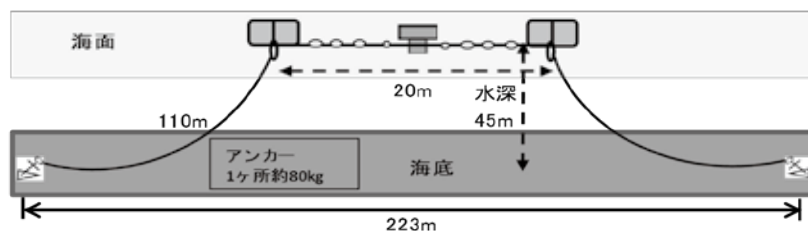


図 4. 久栗坂沖における設置方法（2点係留）

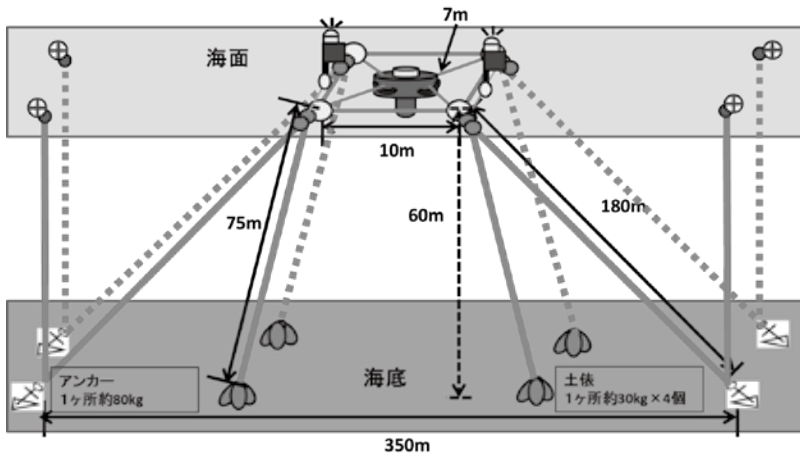


図 5. 蟹田沖における設置方法（4点係留）

## 2. 気象庁データの補正

委託先の株式会社吉田産業において、研究所で受信した久栗坂沖及び蟹田沖の波浪観測データと気象庁沿岸波浪数値予報モデル GPV（以下、「沿岸波浪 GPV」という）の予測値を用いて、沿岸波浪 GPV から各観測点の波浪予測値へ変換する補正式を作成するための解析を行った。

さらに東湾ブイの風向風速観測データ<sup>1)~2)</sup>と沿岸波浪 GPV による風向風速データの比較を行い、併せて風速予測値への変換補正式についても解析を行った。

解析に用いた波浪観測データと、沿岸波浪 GPV データの比較期間、比較時刻及び要素などを表 1 に示す。また、東湾ブイの観測データと、沿岸波浪 GPV データの比較期間、比較時刻及び要素などを表 2 に示す。

沿岸波浪 GPV は、日本沿岸の波浪と風の予測を約 5km の格子間隔で 72 時間先まで 3 時間ごとに予測したデータであり、初期値 3 時、9 時、15 時、21 時について 1 日 4 回計算される。今回は、この中から初期値 3 時、9 時、21 時のデータを使用した。なお、沿岸波浪 GPV データは、表 3 に示すとおり、各観測点に最も近い格子点の値を使用した。

表 1. 解析に用いた久栗坂沖及び蟹田沖の波浪観測データ及び沿岸波浪 GPV データ

	久栗坂沖	蟹田沖
比較期間	2013 年 4 月 1 日～2014 年 5 月 12 日	2014 年 5 月 28 日～2014 年 10 月 8 日
比較時刻	3 時、6 時、9 時、12 時、15 時、18 時、21 時、24 時	
要素	波高・周期・波向・風向風速（但し風向風速は沿岸波浪 GPV のみ）	
使用データ数 （欠測や異常値を除く）	波高・波向・周期：2929 個	波高・波向：1062 個、周期：1061 個

表 2. 解析に用いた東湾ブイの観測データ及び沿岸波浪 GPV データ

比較期間	2013 年 3 月 1 日～2014 年 10 月 20 日
比較時刻	3 時、6 時、9 時、12 時、15 時、18 時、21 時、24 時
要素	風向風速
使用データ数 （欠測や異常値を除く）	4775 個

表 3. 各観測点と対応する沿岸波浪 GPV 格子点の位置

観測点	観測点の緯度経度	対応する沿岸波浪 GPV 格子点の緯度経度
久栗坂沖	北緯 40° 55' 06"	北緯 40° 54' 00"
	東経 140° 47' 17"	東経 140° 48' 00"
蟹田沖	北緯 41° 02' 57"	北緯 41° 03' 00"
	東経 140° 41' 54"	東経 140° 42' 00"
東湾ブイ	北緯 41° 06' 15"	北緯 41° 06' 00"
	東経 140° 57' 46.2"	東経 140° 57' 00"

表 1 に示した比較時刻において、沿岸波浪 GPV と各観測点の比較は表 4 に示すように比較対象を設定し、波浪観測データと沿岸波浪 GPV データの比較解析は(1)～(8)に示す手順で行った。

表 4. 沿岸波浪 GPV と各観測点の比較対象データ

沿岸波浪 GPV の初期時刻	沿岸波浪 GPV のデータ (T=初期時刻からの経過時間)	各観測点のデータ
3 時	3 時 (T=0)	3 時
	6 時 (T=3)	6 時
9 時	9 時 (T=0)	9 時
	12 時 (T=3)	12 時
	15 時 (T=6)	15 時
	18 時 (T=9)	18 時
21 時	21 時 (T=0)	21 時
	24 時 (T=3)	24 時

- (1) 波浪観測データと沿岸波浪 GPV の全波高の散布図を作成し、相関係数と回帰式を求める。
- (2) 波浪観測データと沿岸波浪 GPV の全周期の散布図を作成し、相関係数と回帰式を求める。
- (3) 沿岸波浪 GPV の波向別に波浪観測データと沿岸波浪 GPV の波高の散布図を作成し、相関係数と回帰式を求める。
- (4) 沿岸波浪 GPV の波向別に波浪観測データと沿岸波浪 GPV の周期の散布図を作成し、相関係数と回帰式を求める。
- (5) 沿岸波浪 GPV の風向別に波浪観測データの周期と沿岸波浪 GPV の風速の散布図を作成し、相関係数と回帰式を求める。
- (6) 沿岸波浪 GPV の波高が最低値(20cm)の場合、波浪観測データの波高と沿岸波浪 GPV の風速の散布図を作成し、相関係数と回帰式を求める。
- (7) 沿岸波浪 GPV の波高が最低値(20cm)の場合、波浪観測データの波高と沿岸波浪 GPV の風速の散布図を、沿岸波浪 GPV の風向別に作成し、相関係数と回帰式を求める。
- (8) 東湾ブイの観測データと沿岸波浪 GPV の全データを用いて風速の散布図を作成し、相関係数と回帰式を求める。

## 結果と考察

### 1. 予測に必要な波浪データの収集

久栗坂沖及び蟹田沖における有義波高及び有義周期を図 6～9 に示す。

久栗坂沖において、3m を超える有義波高が観測されたのは 2013 年 7 月 29 日 9 時の 3.16m 及び 8 月 30 日 7 時の 3.03m の 2 回、2m 以上 3m 未満は 2013 年 5 月 3 日 15 時の 2.52m、6 月 1 日 13 時の 2.21m 及び 2014 年 1 月 26 日 21 時の 2.25m の 3 回であった。

久栗坂沖の有義波高と有義周期において、久栗坂沖の 2013 年 4 月から 2013 年 12 月までと、2014 年 1 月から 2014 年 5 月までの観測値の傾向に違いが見られる。2014 年 1 月以降の観測値はそれ以前に比べ振幅の変化が小さい傾向があり、周期においてはその傾向が顕著であった。これは、波浪計の係留方法の違いによるものであり、2013 年 4 月から 2013 年 12 月の 1 点係留よりも、2014 年 1 月から 2014 年 5 月までの方が安定した精度の高いデータが得られたと推察された。

蟹田沖においては、2m を超える有義波高は観測されなかった。

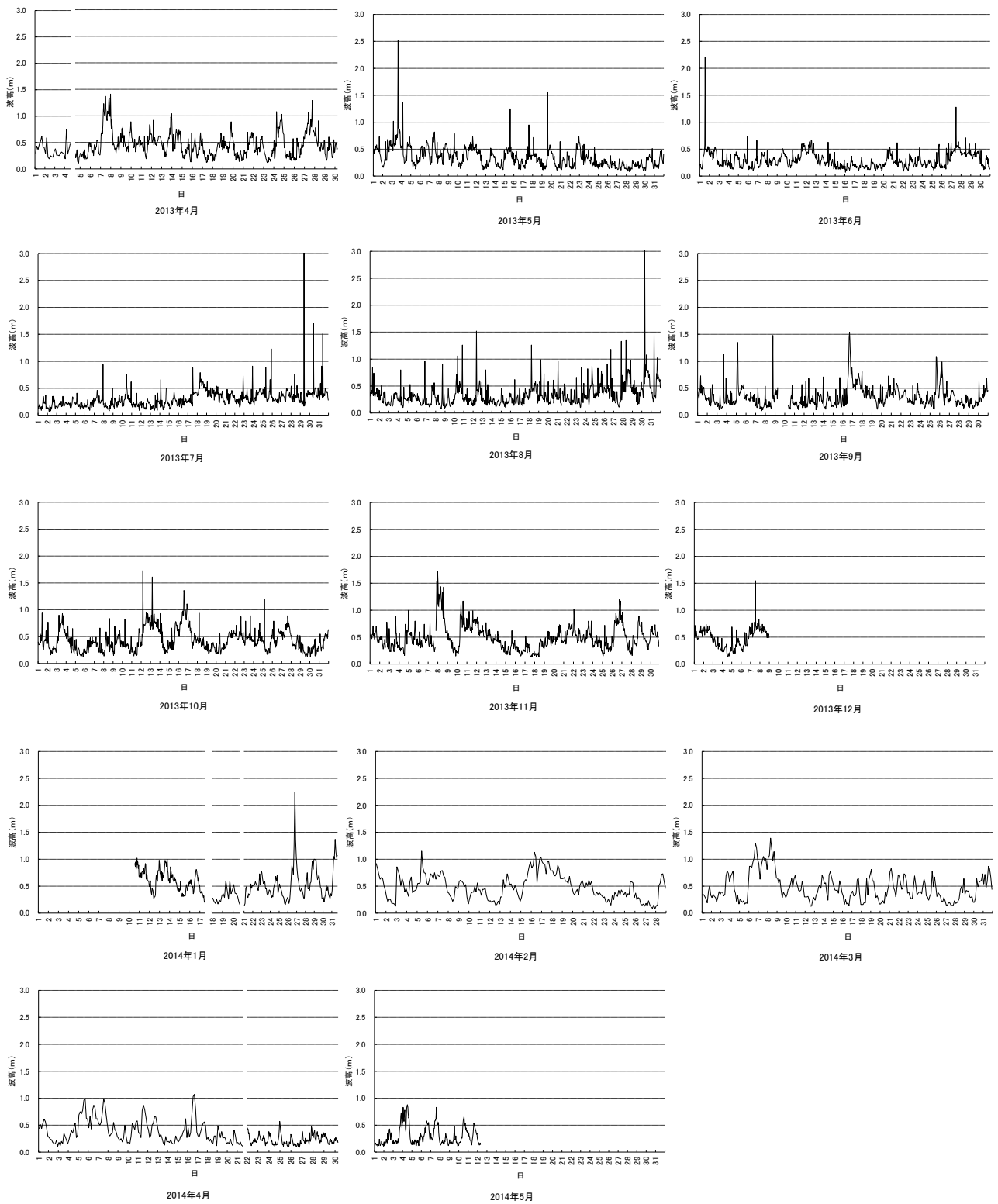


図 6. 久栗坂沖における有義波高

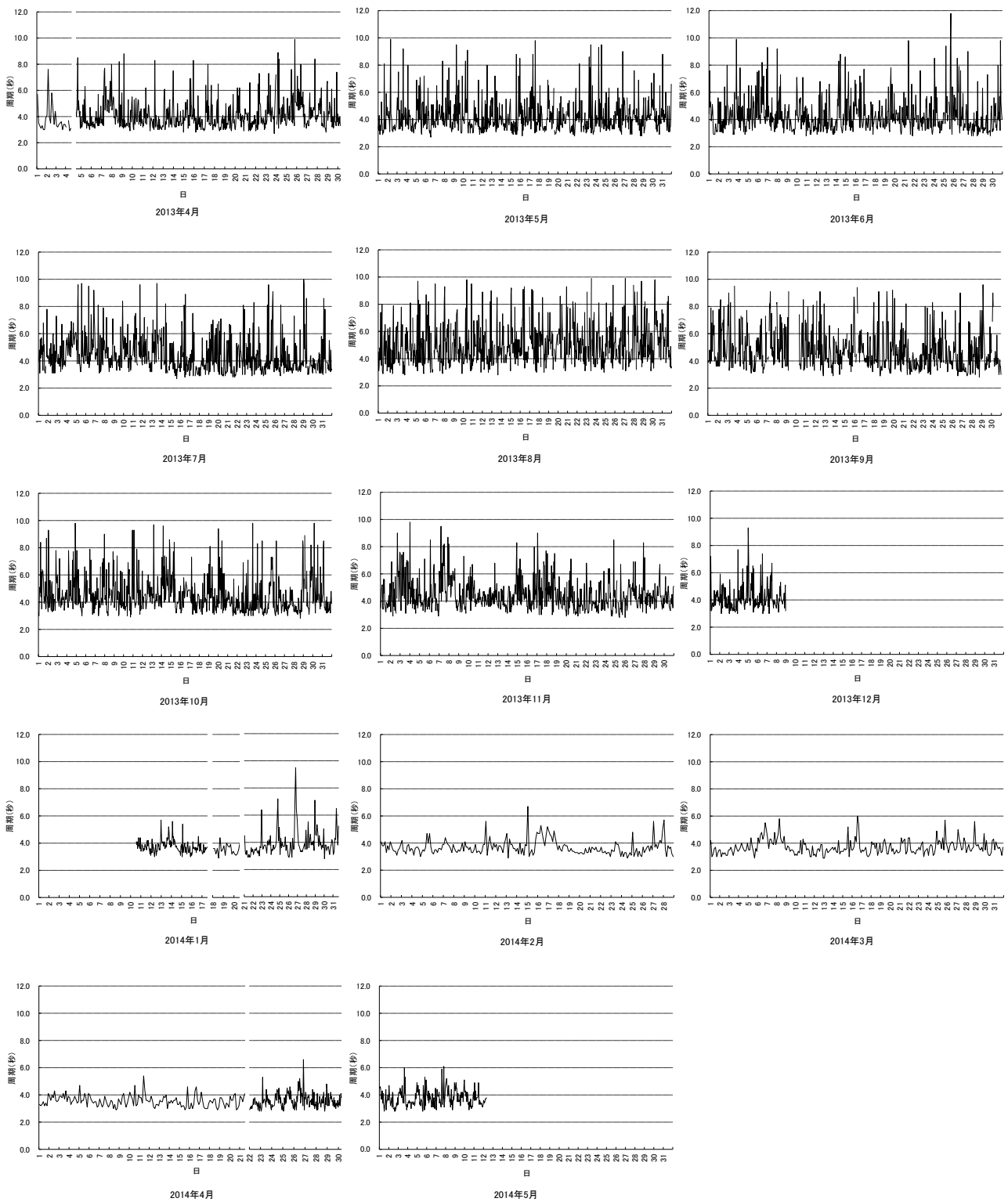


図 7. 久栗坂沖における有義周期

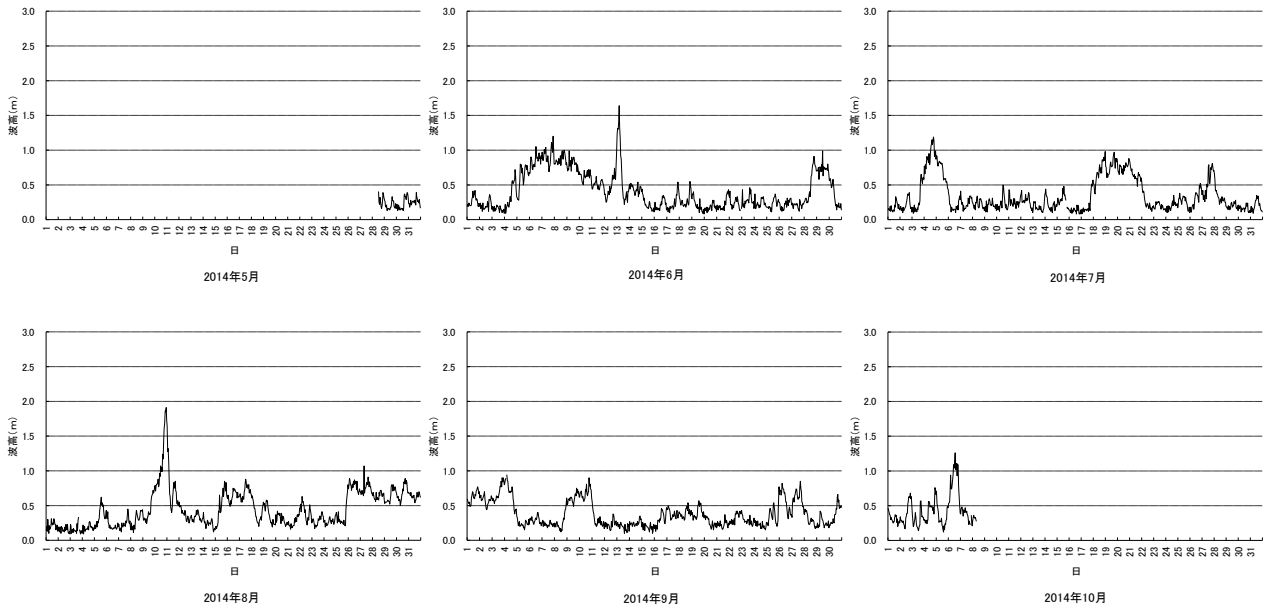


図 8. 蟹田沖における有義波高

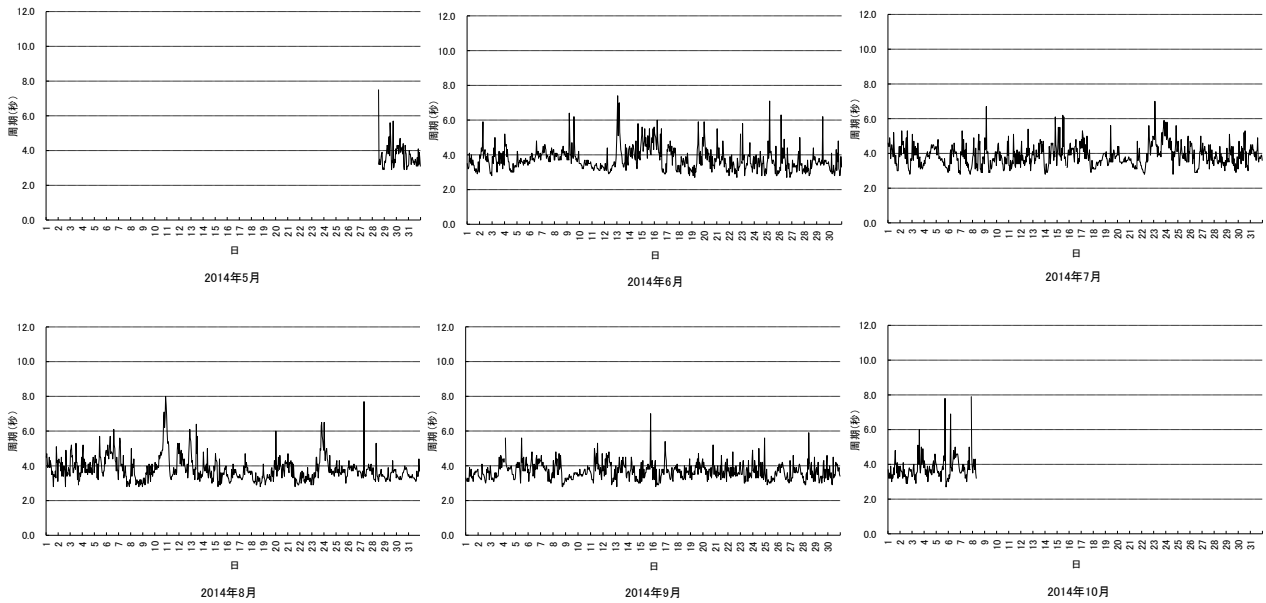


図 9. 蟹田沖における有義周期

## 2. 気象庁データの補正

久栗坂沖及び蟹田沖の波浪観測データと沿岸波浪 GPV データ及び東湾ブイの観測データと沿岸波浪 GPV データを基に作成した散布図より求めた相関係数を表 5 に、結果概要を表 6 に示す。

なお、気象庁の沿岸波浪 GPV データは、委託先が有料で入手しているものであること、散布図及び回帰式は、波浪予測システム構築の際の知的財産権に関する事項となることから掲載を省略する。

表 5. 相関係数

比較項目	相関係数	
	久栗坂沖	蟹田沖
(1)波浪観測データと沿岸波浪GPVの波高	0.73	0.76
(2)波浪観測データと沿岸波浪GPVの周期	-0.10	0.02
(3)波浪観測データと沿岸波浪GPVの波高 【沿岸波浪GPVの波向別】		
	北北東	0.85
	北東	0.84
	東北東	0.77
	東	0.57
	東南東	0.51
	南東	0.25
	南南東	—
	南	0.22
	南南西	0.69
	南西	0.68
	西南西	0.54
	西	0.74
	西北西	0.83
	北西	0.81
	北北西	0.52
	北	0.68
(4)波浪観測データと沿岸波浪GPVの周期 【沿岸波浪GPVの波向別】		
	北北東	-0.12
	北東	0.05
	東北東	-0.12
	東	-0.24
	東南東	-0.23
	南東	-0.14
	南南東	—
	南	-0.12
	南南西	0.08
	南西	0.22
	西南西	0.00
	西	0.00
	西北西	-0.08
	北西	-0.11
	北北西	0.00
	北	0.29
(5)波浪観測データの周期と沿岸波浪GPVの風速 【沿岸波浪GPVの風向別】		
	北北東	0.12
	北東	-0.04
	東北東	-0.15
	東	-0.23
	東南東	-0.09
	南東	-0.07
	南南東	0.00
	南	-0.03
	南南西	0.05
	南西	-0.20
	西南西	-0.05
	西	-0.04
	西北西	-0.17
	北西	-0.10
	北北西	0.23
	北	-0.05
(6)波浪観測データの波高と沿岸波浪GPVの風速 【沿岸波浪GPVの波高が最低値(20cm)の場合】		
		0.47
(7)波浪観測データの波高と沿岸波浪GPVの風速 【沿岸波浪GPVの波高が最低値(20cm)の場合】 【沿岸波浪GPVの風向別】		
	北北東	0.28
	北東	0.05
	東北東	0.47
	東	0.44
	東南東	0.34
	南東	0.21
	南南東	0.17
	南	0.21
	南南西	0.37
	南西	0.47
	西南西	0.52
	西	0.55
	西北西	0.39
	北西	0.45
	北北西	0.69
	北	0.40
(8)東湾ブイと沿岸波浪GPVの風速		
		0.84

表 6. 結果概要

比較項目	久栗坂沖	蟹田沖
(1) 波浪観測データと沿岸波浪 GPV の波高	0.73 とやや強い正の相関があるものの、沿岸波浪 GPV の波高は 20cm という値が多く、対応する波浪観測データは 10cm 程度から 150cm 程度までの幅があるほか、稀に 200cm を超える値がある。	0.76 とやや強い正の相関があるものの、沿岸波浪 GPV の波高は 20cm という値が多く、対応する波浪観測データは 10cm 程度から 90cm 程度までの幅がある。
(2) 波浪観測データと沿岸波浪 GPV の周期	ほとんど相関がなく、沿岸波浪 GPV の周期は 2 秒、及び 4~5 秒付近に値が集中している。対応する波浪観測データは 3 秒程度から 10 秒程度までと幅がある。	ほとんど相関がなく、沿岸波浪 GPV の周期は 2 秒付近に値が集中している。対応する波浪観測データは 3 秒程度から 8 秒程度までと幅がある。
(3) 波浪観測データと沿岸波浪 GPV の波高【沿岸波浪 GPV の波向別】	波向が時計回りに「北」~「東北東」、「南南西」~「南西」及び「西」~「北西」の間で 0.68~0.85 とやや強い正の相関がある。	波向が時計回りに「北東」~「南南東」の間で 0.77~0.97 とやや強い正の相関があるが、「南」~「西」の間は相関がない。
(4) 波浪観測データと沿岸波浪 GPV の周期【沿岸波浪 GPV の波向別】	波向が「北」のときの相関係数が 0.29 で最も大きい、相関は全般的に弱い。また、沿岸波浪 GPV の周期は 2 秒という値が多いが、対応する波浪観測データは、3 秒程度から 10 秒程度までと幅がある。	波向が「東北東」のときの相関係数が 0.62 で最も大きい、相関は全般的に弱く、時計回りに「南」~「西」の間は相関がない。また、沿岸波浪 GPV の周期は 2 秒という値が多いが、対応する波浪観測データは、3 秒程度から 8 秒程度までと幅がある。
(5) 波浪観測データの周期と沿岸波浪 GPV の風速【沿岸波浪 GPV の風向別】	風向が「東」と「北北西」のときの相関係数が最も大きく、それぞれ -0.23 と 0.23 だが、相関は全般的に弱い。	風向が「南東」のときの相関係数が 0.71 と最も大きい、相関は全般的に弱い。
(6) 波浪観測データの波高と沿岸波浪 GPV の風速【沿岸波浪 GPV の波高が最低値 (20cm) の場合】	相関係数 0.47 の正の相関があるが、波浪観測データでは 100cm 以上の波高もある。	相関係数 0.51 の正の相関があるが、波浪観測データでは 90cm 程度の波高もあるなどばらつきがある。
(7) 波浪観測データの波高と沿岸波浪 GPV の風速【沿岸波浪 GPV の波高が最低値 (20cm) の場合】【沿岸波浪 GPV の風向別】	風向が「西南西」、「西」及び「北北西」のときに相関係数が 0.50 以上となるが、風向が「北東」のときなど相関の弱い向きもある。	風向が「東南東」、「南東」、「南南西」、「南西」及び「西北西」のときに相関係数が 0.70 以上とやや強い正の相関があるが、風向が「北東」及び「東北東」のときは、相関係数が 0.50 未満と相関の弱い向きもある。
(8) 東湾ブイと沿岸波浪 GPV の風速	相関係数 0.84 とやや強い正の相関があるが、沿岸波浪 GPV の風速が 7m/s 程度以下のときに東湾ブイの風速が 0m/s という値が多くある。	相関係数 0.83 とやや強い正の相関があるが、沿岸波浪 GPV の風速が 7m/s 程度以下のときに東湾ブイの風速が 0m/s という値が多くある。

以上の結果から、沿岸波浪 GPV の予測値から久栗坂沖及び蟹田沖の波浪予測値等への変換について、下記のとおり検討した。

- (1) 波高予測値は、沿岸波浪 GPV の波高予測値を用いて回帰式により求める。

なお、沿岸波浪 GPV の波向別の結果は、無相関の場合があるため波向別の補正は行わない。

ただし、沿岸波浪 GPV の波高予測値が 20cm の場合、波高予測値は、沿岸波浪 GPV の風速の予測値を用いて回帰式により求める。この際、風向により波の発達に差が出ると予想される（西寄りの風では海岸からの距離が短いため波は高くなりやすい）ため、風向ごとのサンプル数に偏りはあるものの相関が強かった蟹田沖についてのみ沿岸波浪 GPV の風向別の回帰式を使用する。

- (2) 周期予測値は、比較対象全データを調べても、沿岸波浪 GPV の波向別に調べても相関が弱い場合が多いため、沿岸波浪 GPV の予測値をそのまま使う。

- (3) 風速の予測値は、東湾ブイと沿岸波浪 GPV との相関がやや強かったため、久栗坂沖や蟹田沖でも同様の関係があると仮定し、沿岸波浪 GPV の風速の予測値を用いて回帰式により求める。

なお、風向については、地形的な影響もあるため、沿岸波浪 GPV の予測値をそのまま使う。

最後に、久栗坂沖については、前述のとおり係留方法の違いにより、観測値の傾向が異なっていたため、係留方法が 1 点係留から 2 点係留に変更された後の 2014 年 1 月 10 日から 2014 年 5 月 12 日までの期間に限定して、沿岸波浪 GPV との比較解析を再度行ったところ、2 点係留後の久栗坂沖の波浪観測データと沿



岸波浪 GPV の波高の比較では相関係数が 0.83 と全期間を通しての相関係数 0.73 に比べ 0.10 大きかった。また、沿岸波浪 GPV の波高予測値が 20cm の場合、2 点係留後の久栗坂沖の波浪観測データの波高と沿岸波浪 GPV の風速の比較では相関係数が 0.55 と強くはないが正の相関があり、全期間を通しての相関係数 0.47 に比べ 0.08 大きかった (表 7)。このことから、久栗坂沖の波高予測には、2 点係留後の回帰式を使用することが妥当と考えられた。なお、沿岸波浪 GPV の波高予測値が 20cm の場合の風向別の相関は全期間のデータと比較した場合と同様に弱かったことから、沿岸波浪 GPV の風向別の回帰式は使用しない。

表 7. 2 点係留後の久栗坂沖の波浪観測データと沿岸波浪 GPV を比較した場合の相関係数

比較項目	相関係数
(1)波浪観測データと沿岸波浪GPVの波高	0.83
(2)波浪観測データと沿岸波浪GPVの周期	0.14
(3)波浪観測データの波高と沿岸波浪GPVの風速 【沿岸波浪GPVの波高が最低値(20cm)の場合】	0.55
(4)波浪観測データの波高と沿岸波浪GPVの風速 【沿岸波浪GPVの波高が最低値(20cm)の場合】 【沿岸波浪GPVの風向別】	
北北東	0.01
北東	0.13
東北東	0.57
東	0.45
東南東	0.28
南東	-0.21
南南東	0.30
南	0.26
南南西	0.48
南西	0.52
西南西	0.66
西	0.59
西北西	0.54
北西	0.46
北北西	0.60
北	-0.07

## 謝 辞

波浪計の設置にあたりご協力いただいた青森海上保安部交通課の職員並びに外ヶ浜漁業協同組合の職員、漁業者の皆様及び波浪観測データの解析にご尽力いただいた株式会社吉田産業海洋気象事業部の田嶋所長にお礼申し上げます。

## 文 献

- 1) 扇田いずみ・高坂 祐樹 (2015) 陸奥湾海況自動観測事業. 平成 25 年度青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告, 147-159.
- 2) 扇田いずみ・高坂 祐樹 (201) 陸奥湾海況自動観測事業. 平成 26 年度青森県産業技術センター水産総合研究所事業報告, 178-201.