

三番瀬自然環境総合解析中間報告

(地形・流況・水質)

平成 22 年 10 月

いであ株式会社

目 次

1. 地形	1
1.1 既往調査データによる現況把握（波浪）	1
1.1.1 平成 18 年～平成 20 年	1
1.1.2 平成 11 年度	7
1.1.3 観測結果	9
1.2 波浪シミュレーション	10
1.2.1 計算方法	10
1.2.2 SMB 法+エネルギー平衡方程式	12
1.2.3 SWAN	17
1.2.4 計算結果	20
1.2.5 SMB 法+エネルギー平衡方程式	20
1.2.6 SWAN	25
1.2.7 ノリ養殖施設のモデル化	30
1.2.8 まとめと今後の検討	32
1.3 地形・底質変化解析（中間報告）	33
1.3.1 既往の深浅測量結果	33
1.3.2 外力状況の整理	34
1.3.3 水深変化の平面分布	34
1.3.4 領域別水深変化量	39
1.3.5 鉛直断面地形の変化	45
1.3.6 今後の検討	46

2. 流況	47
2.1 既往調査データによる現況把握（流況）	47
2.1.1 三番瀬の流速の季節変化	47
2.1.2 三番瀬の流況の経年変化	48
2.1.3 現地観測結果に基づく三番瀬の流況概況（まとめ）	50
2.2 潮流シミュレーション	51
2.2.1 実施方針およびモデル概要	51
2.2.2 進捗状況の概要	52
2.2.3 計算条件	52
2.2.4 モデルの再現性の検証	56
2.2.5 今後の検討方針（流況）	62
3. 水質	63
3.1 とりまとめに用いた調査の概要	63
3.1.1 水質	63
3.1.2 青潮	67
3.1.3 物質循環	67
3.2 解析結果	68
3.2.1 水質	68
3.2.2 青潮	84
3.3 まとめ	95

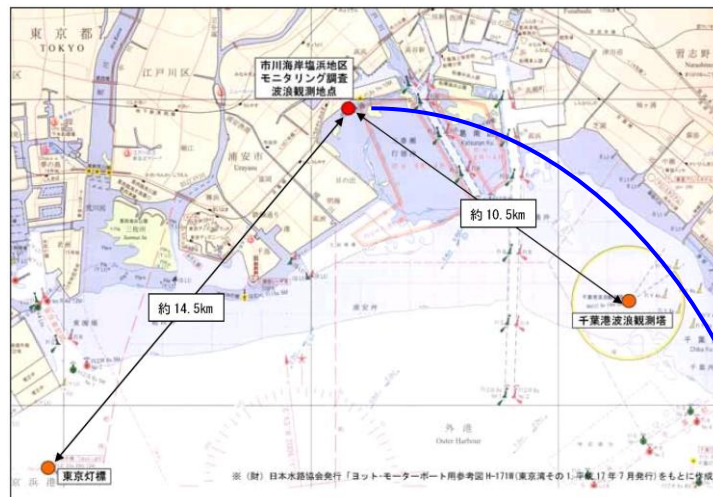
1. 地形

1.1 既往調査データによる現況把握（波浪）

1.1.1 平成 18 年～平成 20 年

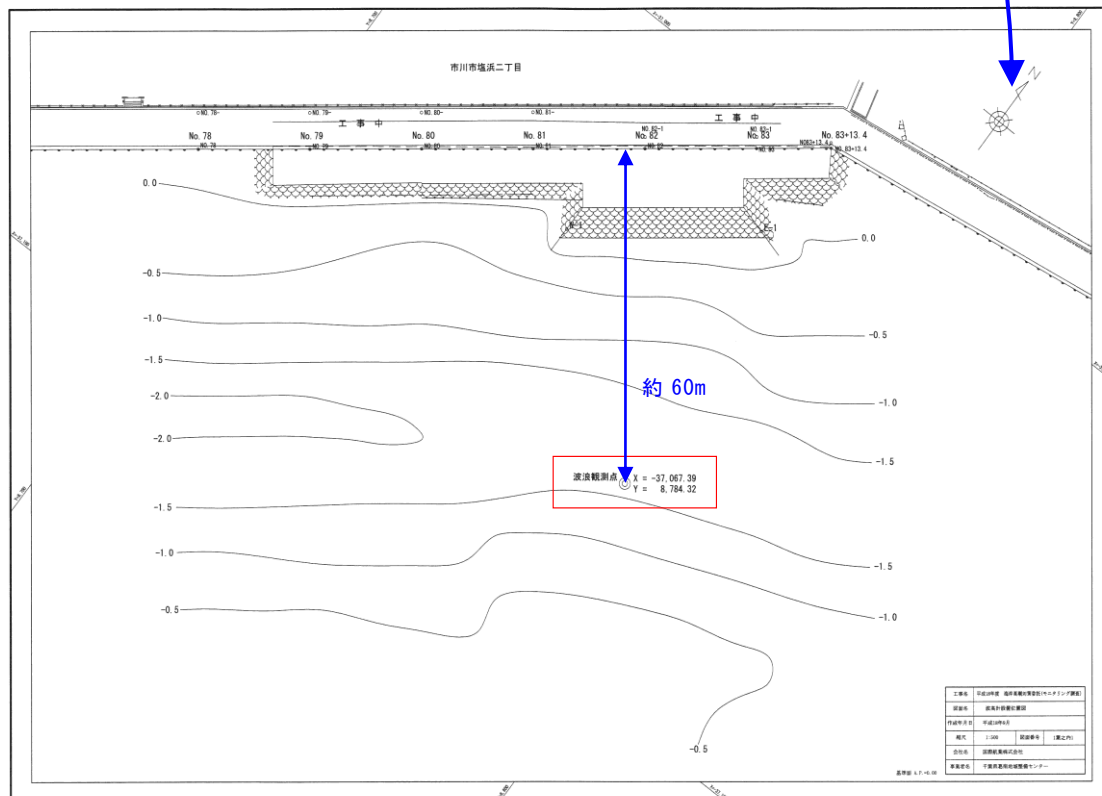
(1) 観測地点

塩浜地区の既設護岸から約 60m の地点において波浪観測が行われた。



出典) 第 10 回「三番瀬評価委員会」：参考資料

図 1.1(1) 波浪観測位置（平成 18 年～平成 20 年）



注) 等値線は水深 (A. P. -)

出典) 千葉県葛南地域整備センター・国際航業株式会社 (2006) : 平成 18 年度 海岸高潮対策委託 (モニタリング調査) 報告書

図 1.1(2) 波浪観測位置（平成 18 年～平成 20 年）

(2) 観測期間

観測期間は以下の6期間であり、3カ年の概ね同時期（初春及び初秋：ノリ養殖期の終期及び初期）において観測が行われた。

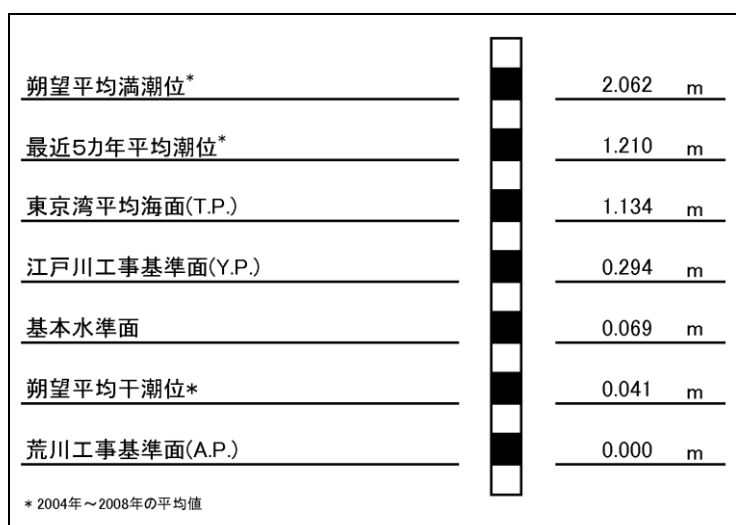
- ①平成18年3月2日～4月3日（約1か月）
- ②平成18年8月21日～9月21日（約1か月）
- ③平成19年3月1日～5月1日（約2か月）
- ④平成19年9月3日～10月3日（約1か月）
- ⑤平成20年3月3日～5月2日（約2か月）
- ⑥平成20年9月1日～10月31日（約2か月）

(3) 観測結果

計6期間において観測された有義波高と同時刻の東京灯標での有義波高の散布図を図1.3(1)に示す。低波高時にはバラつきは大きいですが、東京灯標で南系風向（SE～S～SW）の場合は、図1.3(2)に示すように比較的相関性が高い。同図によれば、塩浜地区の有義波高は、東京灯標での有義波高に対して、概ね30～40%となっている。

図1.3(3)は月別の波高相関図である。ノリ養殖施設が存在する場合には、それによる波高減衰効果が見られると考えられるが、ノリ養殖期の初期及び終期における施設の設置・撤収に伴う波高減衰率の変化傾向は見られなかった。

表1.1は、塩浜地区において有義波高が0.3m以上であった気象擾乱時の極大波高を東京灯標観測値と比較したものである（計19ケース）。この場合は、図1.4に示すように、両地点の波高の相関性は非常に高い。なお、表1.1に示した潮位はA.P.+であり、潮位関係図は下図のとおりである。



出典) 東京都港湾局(2009) : 平成22年東京港24時間潮位表

図 1.2 東京検潮所の潮位実況図

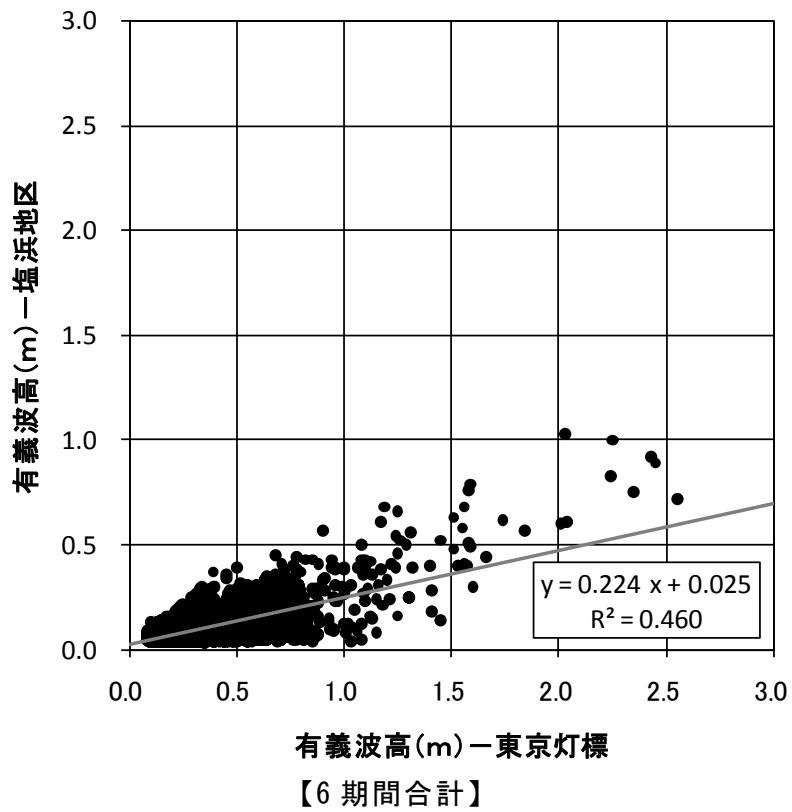


図 1.3(1) 東京灯標と塩浜地区の有義波高の相関図

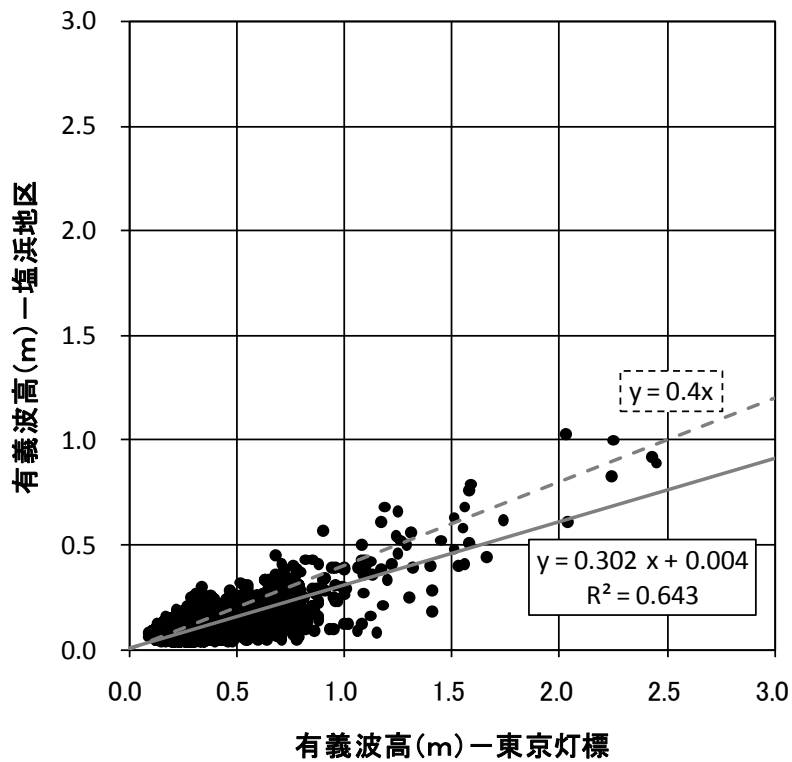
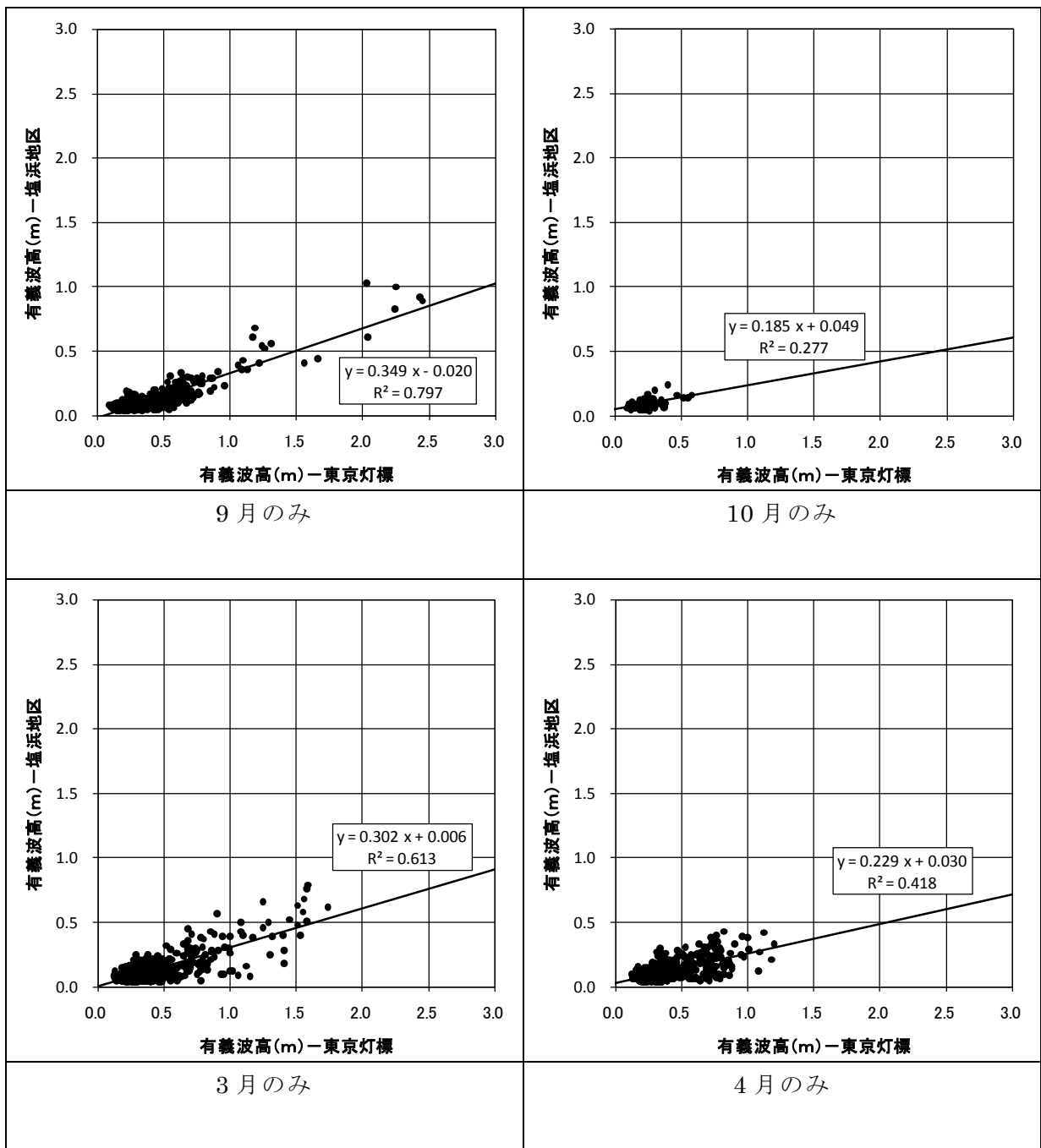


図 1.3(2) 東京灯標と塩浜地区の有義波高の相関図



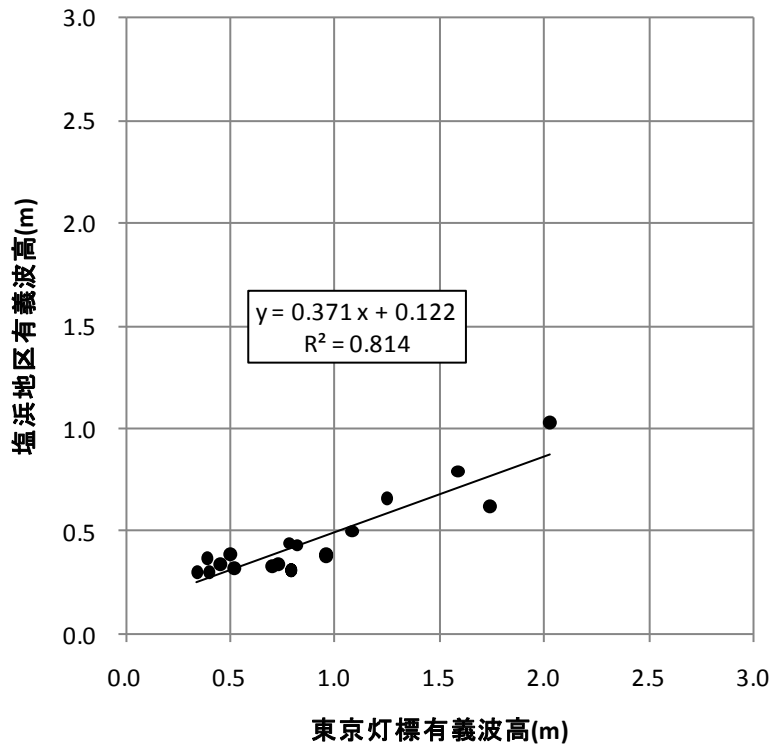
【6 期間合計，東京灯標南系風向 (SE-S-SW)】

図 1.3 (3) 東京灯標と塩浜地区の有義波高の相関図 (月別)

表 1.1 塩浜地区において気象擾乱時の極大有義波高 0.3m 以上を観測した場合の東京灯標観測結果との比較

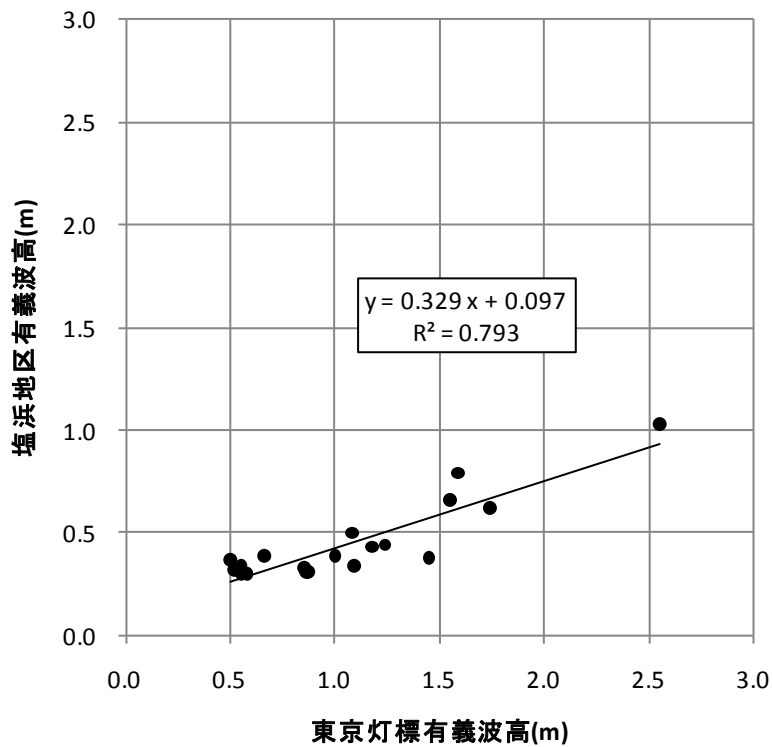
No.	塩浜地区モニタリング観測				東京灯標(同時刻)							東京灯標(前後最大)							
	起時	有義波高 (m)	有義波 周期(s)	波向	有義波高 (m)	有義波 周期(s)	波向	風向	風速 (m/s)	潮位 (cm)	潮位偏差 (cm)	起時	有義波高 (m)	有義波 周期(s)	波向	風向	風速 (m/s)	潮位 (cm)	潮位偏差 (cm)
1	2006/03/12 13:00	0.50	2.6	NE	1.08	3.8	SSW	SSW	17.5	149	23	03/12 13:00	1.08	3.8	SSW	SSW	17.5	149	23
2	2006/03/17 02:00	0.66	2.5	SW	1.25	4.2	S	SSW	24.5	101	29	03/17 03:00	1.55	5.2	S	SW	24.4	135	26
3	2006/03/27 15:00	0.39	2.6	SSE	0.50	2.7	S	ESE	9.4	171	-7	03/27 17:00	0.66	3.0	E	ESE	9.9	148	-12
4	2006/04/02 20:00	0.44	5.1	E	0.78	4.5	S	N	1.3	206	38	04/02 19:00	1.24	4.6	S	WNW	10.2	202	40
5	2007/03/05 21:00	0.62	2.8	SSW	1.74	5.2	S	SSW	18.1	151	48	03/05 21:00	1.74	5.2	S	SSW	18.1	151	48
6	2007/03/25 08:00	0.79	3.7	ENE	1.59	5.0	S	S	20.3	206	37	03/25 08:00	1.59	5.0	S	S	20.3	206	37
7	2007/03/29 13:00	0.31	2.7	ENE	0.79	3.8	SSW	SSW	15.4	153	14	03/29 14:00	0.86	3.9	S	SSW	14.6	161	15
8	2007/04/01 03:00	0.43	4.6	ENE	0.82	4.2	S	SSW	12.6	191	34	04/01 00:00	1.18	3.7	S	S	20.6	99	32
9	2007/04/14 01:00	0.39	3.2	E	0.96	3.6	S	S	18.6	155	16	04/14 02:00	1.00	4.0	SSW	SW	16.2	175	16
10	2007/04/15 16:00	0.30	2.6	SSE	0.40	2.5	-	ESE	7.2	183	4	04/15 18:00	0.55	2.7	S	ESE	9.0	137	1
11	2007/04/21 20:00	0.34	3.6	ENE	0.73	3.3	S	SSW	14.5	166	1	04/22 10:00	1.09	4.1	SSW	SSW	19.7	122	8
12	2007/09/07 04:00	1.03	3.4	SSE	2.03	5.3	S	S	27.3	213	100	09/07 00:00	2.55	4.7	ESE	ESE	23.7	198	42
13	2007/09/17 19:00	0.31	3.6	E	0.79	3.5	S	SSW	15.4	189	-1	09/17 20:00	0.87	3.7	S	SSW	15.2	183	0
14	2007/09/26 16:00	0.34	2.6	SE	0.45	2.7	-	ESE	8.5	193	-4	09/26 19:00	0.55	2.8	ENE	ENE	7.9	163	-3
15	2008/03/25 18:00	0.32	2.5	ESE	0.52	2.8	ESE	SE	9.4	171		03/25 18:00	0.52	2.8	ESE	SE	9.4	171	
16	2008/04/06 17:00	0.37	2.6	SE	0.39	2.4	-	ESE	7.8	192		04/06 19:00	0.50	2.7	ENE	SE	7.5	161	
17	2008/04/08 05:00	0.38	2.5	E	0.96	3.4	ENE	NE	19.3	202		04/08 09:00	1.45	4.0	E	NNE	20.6	94	
18	2008/04/24 07:00	0.30	2.5	ESE	0.34	2.9	-	SSE	8.1	180		04/24 13:00	0.58	3.1	S	SW	16.7	30	
19	2008/09/26 02:00	0.33	3.8	E	0.70	3.5	S	欠測	欠測	184		09/26 10:00	0.85	3.5	SSE	SSW	16.7	72	

注) 潮位は A.P.+



(塩浜地区で気象擾乱時の極大有義波高 0.3m 以上のケース：東京灯標は同時刻)

図 1.4(1) 東京灯標と塩浜地区の有義波高の相関図



(塩浜地区で気象擾乱時の極大有義波高 0.3m 以上のケース：東京灯標は前後の極大値)

図 1.4(2) 東京灯標と塩浜地区の有義波高の相関図

1.1.2 平成 11 年度

(1) 観測地点

夏季は図 1.5(1)に示す計 8 点、冬季は図 1.5(1)に示す計 3 点で波浪観測が行われた。

(2) 観測期間

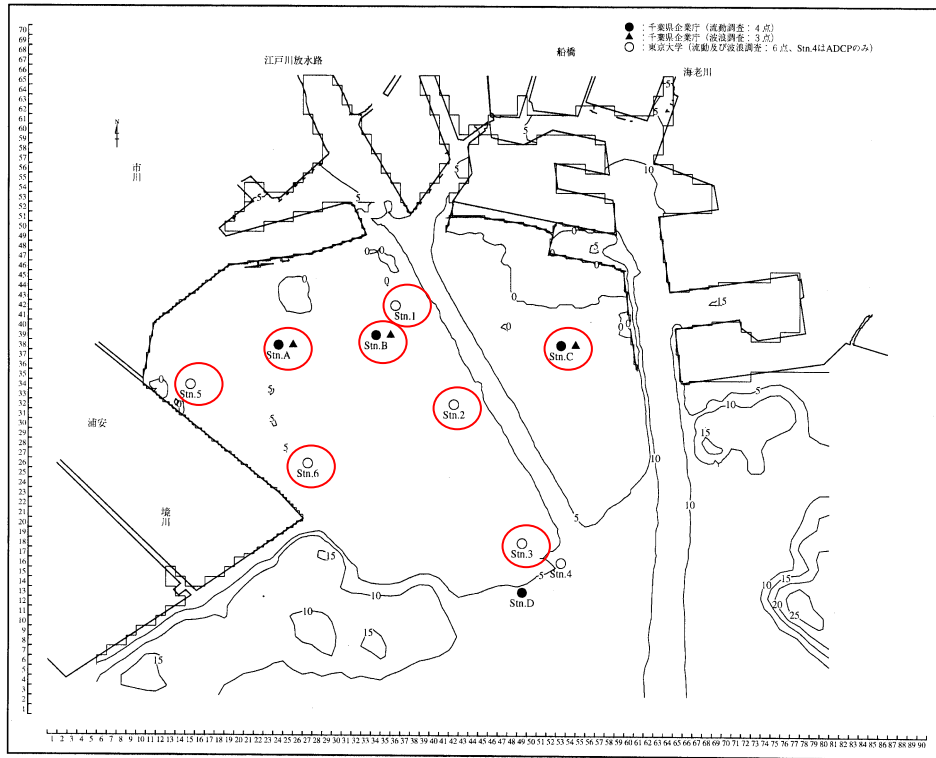
1) 平成 11 年度夏季

平成 11 年 8 月 31 日～10 月 2 日 (Stn. 1, 2, 3, 5, 6)

平成 11 年 9 月 21 日～10 月 22 日 (Stn. A, B, C)

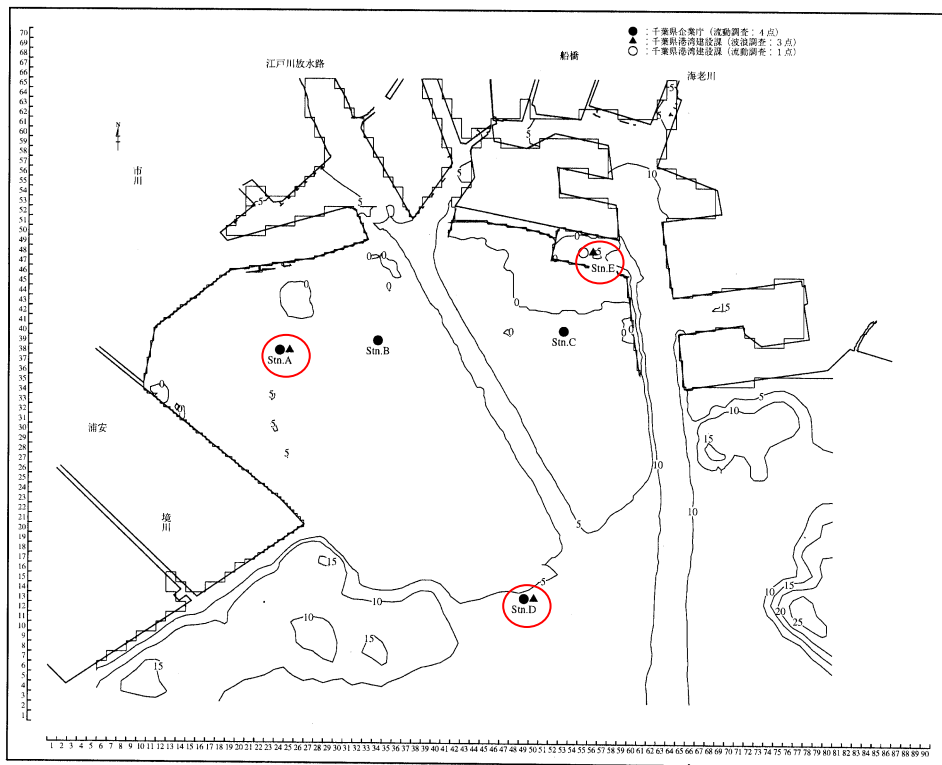
2) 平成 11 年度冬季

平成 12 年 2 月 14 日～3 月 14 日 (Stn. A, D, E)



出典) 千葉県葛南港湾事務所 (2000) : 平成 11 年度 県単港湾調査委託 流動・波浪解析 報告書

図 1.5(1) 波浪観測位置 (平成 11 年度 : 夏季)



出典) 千葉県葛南港湾事務所 (2000) : 平成 11 年度 県単港湾調査委託 流動・波浪解析 報告書

図 1.5(2) 波浪観測位置 (平成 11 年度 : 冬季)

1. 1. 3 観測結果

沖側の Stn. 3 及び Stn.D において、有義波高が 0.5m 以上であった気象擾乱は表 1.2 に示す 7 例であった。

沖側の Stn. 3 において観測された有義波高と同時刻の東京灯標での有義波高の散布図を図 1.6 に示す。両者の相関性は非常に高い。なお、Stn. 3 と他の地点との相関図は、次章で示す。

表 1.2 三番瀬沖において有義波高 0.5m 以上を観測した事例 (H11 年度調査)

No.	三番瀬沖				東京灯標(同時刻)						
	起時	有義波高 (m)	有義波周期 (s)	波向	有義波高 (m)	有義波周期 (s)	波向	風向	風速 (m/s)	潮位 (cm)	潮位偏差 (cm)
1	1999/08/31 22:00	0.92	4.3	S	欠測	欠測	欠測	SSW	12.8	168	5
2	1999/09/11 16:00	0.85	3.8	S	0.73	3.3	SSW	SSW	14.8	177	-2
3	1999/09/15 18:00	1.12	4.8	S	1.17	4.4	S	S	16.7	186	4
4	1999/09/20 20:00	0.55	3.5	S	0.53	3.2	SSW	SSW	10.6	142	1
5	1999/09/24 22:00	1.11	4.9	S	1.37	4.6	SSW	SSW	17.7	128	42
6	2000/02/28 15:00	1.34	4.6	SW	0.93	4.0	SSW	SW	16.4	116	26
7	2000/03/19 20:00	0.83	4.1	SW	0.60	3.6	SSW	SSW	11.1	105	14

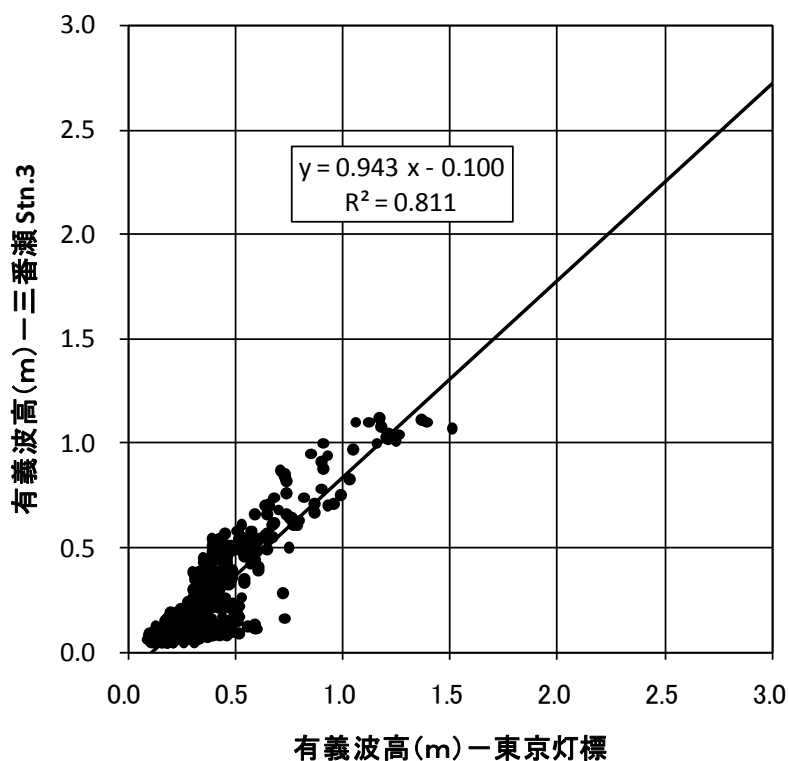


図 1.6 東京灯標と三番瀬沖 Stn. 3 (H11 年度夏季観測結果) の有義波高の相関図

1.2 波浪シミュレーション

1.2.1 計算方法

以下の2通りの方法を検討した。

①SMB法+エネルギー平衡方程式

第1段階として、SMB法により三番瀬沖の波浪を風データから推算する。第2段階として、推算結果を境界条件としてエネルギー平衡方程式により波浪変形計算（計算格子間隔：10m）を行う。

②SWAN

三番瀬を含む東京湾全体について、風による波の発達と地形による波浪変形を同時に扱う。計算領域は、東京湾全体の大領域と三番瀬全体の小領域（計算格子間隔：10m）の2領域に分ける。

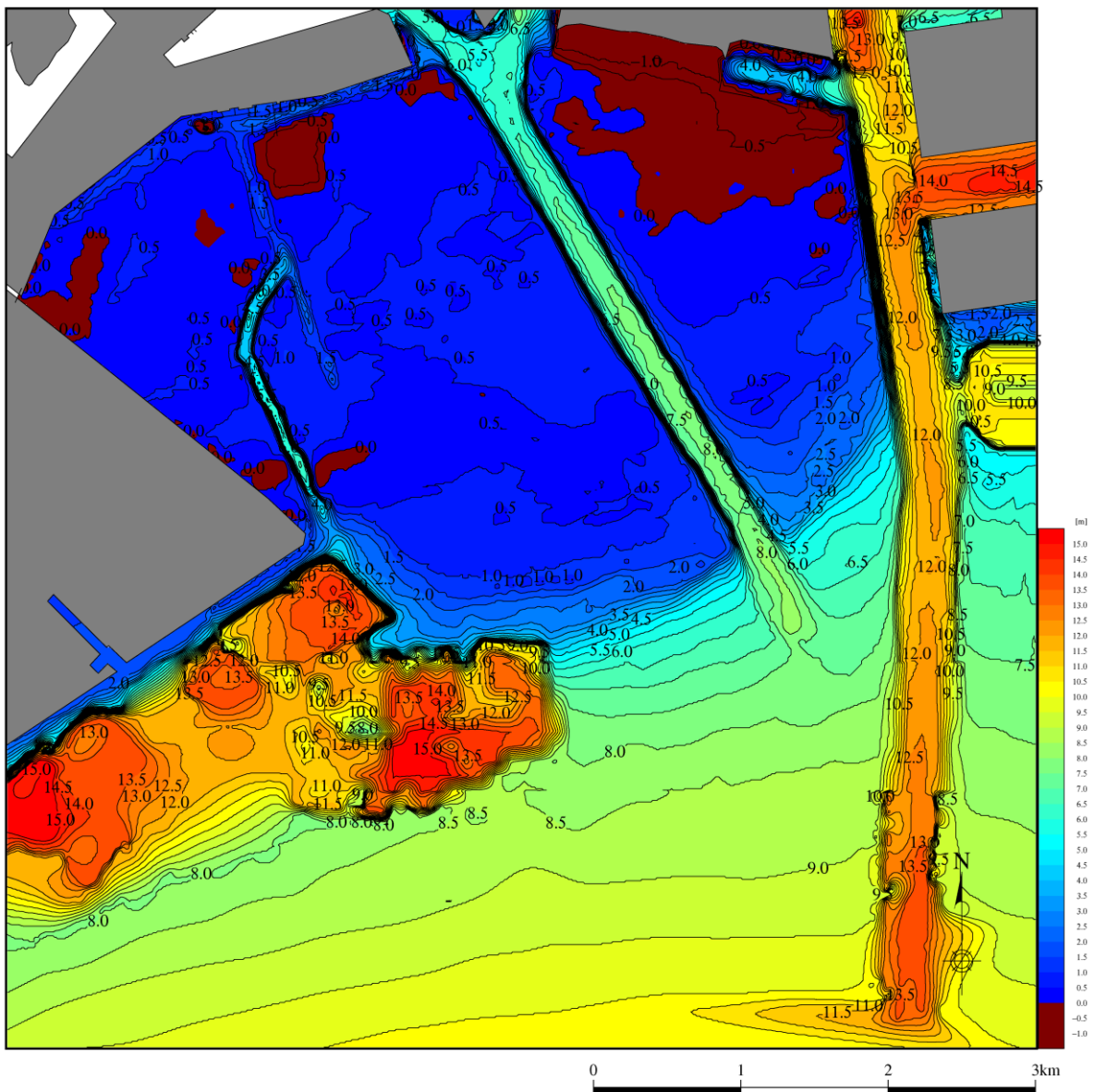


図 1.7(1) 小領域（三番瀬全体）の水深図

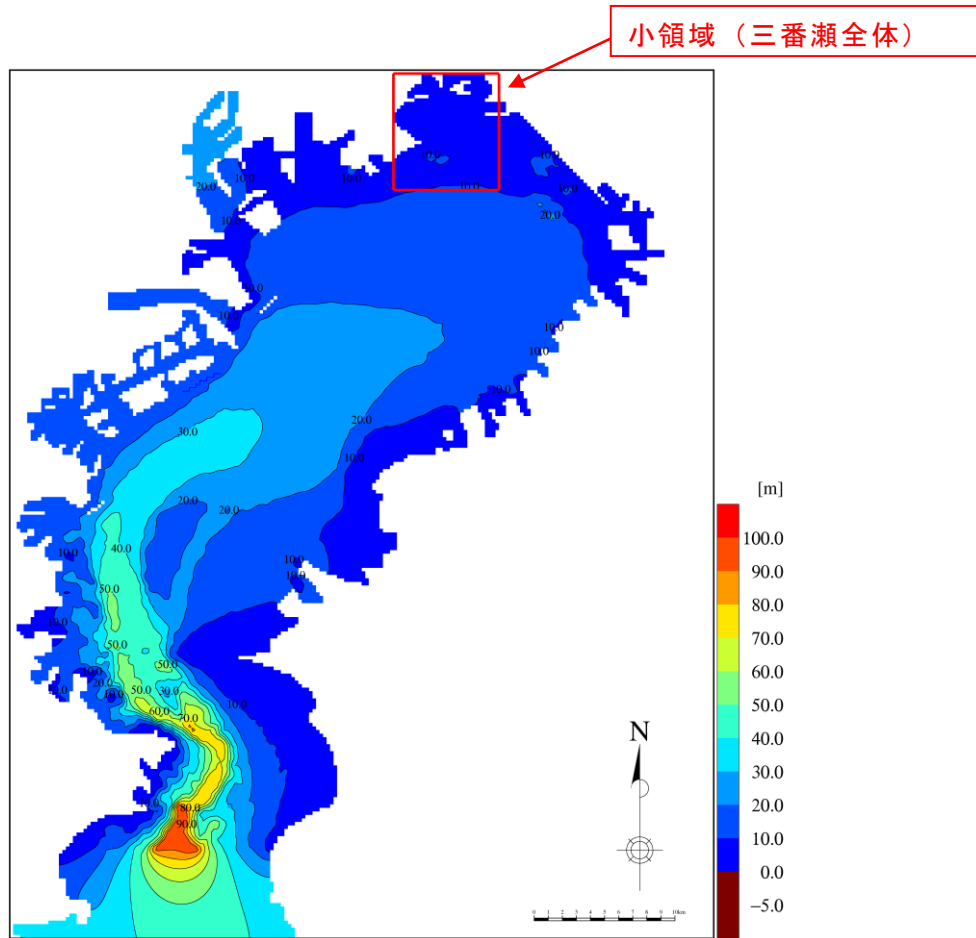


図 1.7(2) 大領域 (東京湾全体 : SWAN 用) の水深図

1.2.2 SMB法＋エネルギー平衡方程式

1) SMB法

(a)基礎式

以下に示す Wilson の式¹を用いて、波高と周期を算定する。

$$\frac{gH_{1/3}}{U_{10}^2} = 0.30 \left[1 - \left\{ 1 + 0.004 \left(\frac{gF}{U_{10}^2} \right)^{1/2} \right\}^{-2} \right] \quad (1)$$

$$\frac{gT_{1/3}}{2\pi U_{10}} = 1.37 \left[1 - \left\{ 1 + 0.008 \left(\frac{gF}{U_{10}^2} \right)^{1/3} \right\}^{-5} \right] \quad (2)$$

ここで、 $H_{1/3}$ と $T_{1/3}$ は有義波の波高と周期、 F は吹送距離 (km)、 U_{10} は海面上 10m の高さの風速(m/s)、 g は重力加速度 (m^2/s) である。

(b)有効フェッチ

吹送距離 F は、以下に示す有効吹送距離を用いる¹。

$$F_{eff} = \frac{\sum F_i \cos^2 \theta_i}{\sum \cos \theta_i} \quad (3)$$

ここで、 F_{eff} は有効吹送距離 (有効フェッチ)、 F_i は波の推算地点から i 番目の方向への対岸距離、 θ_i は F_i の方向と主方向のなす角度である。本検討では 360 度の方位角を 64 分割し ($i=1\sim 64$)、16 方位別に $\pm 45^\circ$ の範囲で F_{eff} を求めた。

三番瀬沖での有効フェッチの算定結果を図 1.8 に示す。

(c)風データ

式(1)の U_{10} として、三番瀬周辺での観測資料のうち周辺海域の海上風を代表していると考えられる東京灯標の風観測資料を収集し、風向・風速を設定した。

¹ (社) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，平成 19 年 7 月，140p.

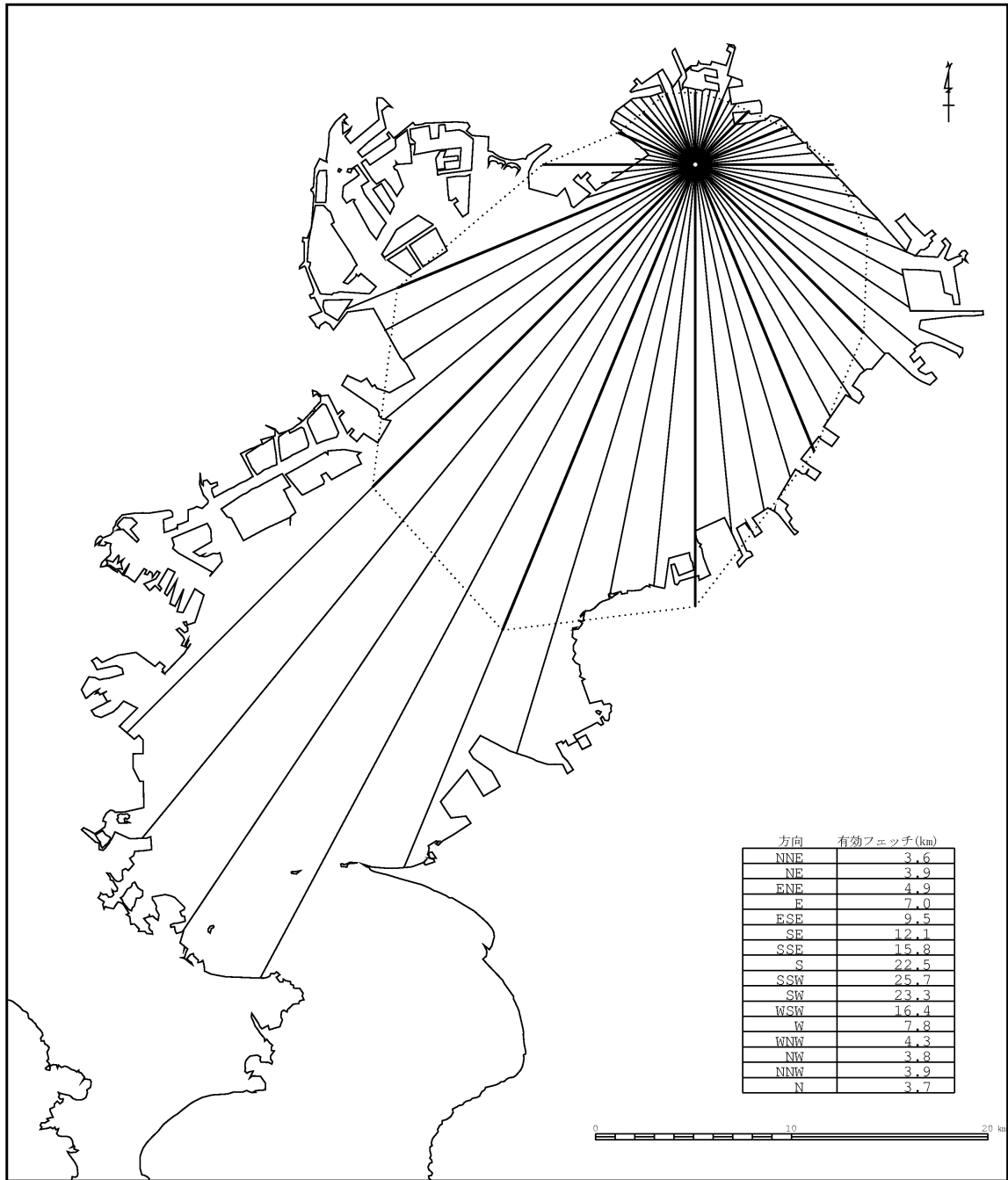


図 1.8 SMB法で風波を推算するための三番瀬沖での有効フェッチ

2) エネルギー平衡方程式

(a) 基礎式

エネルギー平衡方程式の基礎式を以下に示す。

$$\frac{\partial}{\partial x}(SC_g \cos \theta) + \frac{\partial}{\partial y}(SC_g \sin \theta) + \frac{\partial}{\partial \theta} \left[S \left(\frac{C_g}{C} \right) \left\{ \sin \theta \left(\frac{\partial C}{\partial x} \right) - \cos \theta \left(\frac{\partial C}{\partial y} \right) \right\} \right] = 0 \quad (4)$$

ここに、 $S (=S(f, \theta))$ 、 f ：周波数、 θ ：角度) は波の方向スペクトル、 C_g は波の群速度、 C は波速である。

上式において、左辺第 1 項と第 2 項は浅水変形による波高の変化を表し、第 3 項は屈折による波高変化を表す。また、有義波高 $H(H_{1/3})$ は、方向スペクトルを用いて次式で表される。

$$H = 4.0 \left(\int_0^\infty \int_{-\pi/2}^{\pi/2} S(f, \theta) df d\theta \right)^{1/2} \quad (5)$$

(b) 砕波モデル

砕波波高 H_b は合田 (1970)² の次式を用いて評価し、高山ら (1991)³ の手法を用いてエネルギー平衡方程式法に取り込んだ。

$$H_b = AL_0 \left\{ 1 - \exp \left[-1.5 \frac{\pi h}{L_0} (1 + 15 \tan^{4/3} \theta) \right] \right\} : A = 0.17 \quad (6)$$

ここで、 L_0 は沖波波長、 h は水深、 $\tan \theta$ は海底勾配である。

具体的には、砕波によって失われる波のエネルギーは個々の成分波が持っているエネルギーに比例するものとして、エネルギー平衡方程式の基礎式の右辺に $-\varepsilon_b' S$ とする減衰項を追加し、上式の砕波波高に対応するエネルギー逸散率 ε_b' を算定した。

(c) 反射

構造物などからの反射波の計算については、高山ら (1991)³ の方法を用いて、岸方向へ進む波と沖方向へ反射される波をエネルギー合成して波高を算定した。ここで、入射波の波高を H_p 、反射波の波高を H_r とすると、エネルギー合成した波高 H_s は以下のように計算できる。

$$H_s = \sqrt{H_p^2 + H_r^2} \quad (7)$$

反射率の設定値については、表 1.3 に示す合田 (1990)⁴ による概略値をもとに、対応する構造様式の中央値を設定した (図 1.9)。

²合田良實：砕波資料の整理について，土木学会論文集，No.180，昭和45年（1970），pp.39-49.

³高山知司・池田直太・平石哲也：砕波及び反射を考慮した波浪変形計算，港湾技術研究所報告，第30巻，第1号，平成3年（1991），pp.21-67.

⁴合田良實：港湾構造物の耐波設計，鹿島出版会，平成2年（1990），70p.

表 1.3 波の反射率の概略値⁴

構造様式	反射率
直立壁（天端は静水面上）	0.7～1.0
直立壁（天端は静水面下）	0.5～0.7
捨石斜面（2～3割勾配）	0.3～0.6
異形消波ブロック斜面	0.3～0.5
直立消波(スリットケーソン)構造物	0.3～0.8
天然海浜	0.05～0.2

施行中：平成 21 年 8 月時点（平成 18 年 6 月以前は直立護岸）



図 1.9 反射率設定値

(d) 計算条件

a) 計算領域

図 1.7 に示す三番瀬全体 (7km×7km)。

b) 計算格子間隔

計算格子は、一様に 10m 間隔とした。

c) 水深条件

以下の資料をもとに、10m 間隔の水深データを作成した。

①三番瀬データベース (平成 20 年度測量結果)

②海底地形デジタルデータ (M7001、海上保安庁)

③臨界北部地区等深線図 (千葉県企業庁, 平成 6 年, 深掘れ部)

d) その他

表 1.4 エネルギー平衡方程式の計算条件

項目	設定条件
計算領域	三番瀬全体を含む 7km×7km
格子間隔	10m (700 メッシュ×700 メッシュ)
スペクトル方向領域	沖から岸に向かう方向に対して -90° ~ +90°
方向分割数	36
波の方向集中度 (Smax)	10
周波数分割数	5 (等エネルギー分割)
計算潮位	東京灯標の実測値

1. 2. 3 SWAN

(a) 基礎式

SWAN (Simulating Waves Nearshore) は、深海波を主対象として実績のある WAM をベースに、浅海域から極浅海域に適用するために改良された波浪推算モデルである。その概要を以下に示す。

SWAN では、波・流れ共存場の波浪の方向スペクトルを扱い易いように、エネルギースペクトルではなく、波作用量 (wave action) が用いられている。波作用量 N とエネルギースペクトル E の関係は次式で表される。

$$N(\sigma, \theta) = \frac{E(\sigma, \theta)}{\sigma} \quad (8)$$

ここで、 σ は流れに対する相対角周波数 (流れとともに移動する座標系から見た角周波数) であり、絶対角周波数 ω 、波数ベクトル \vec{k} 、流速ベクトル \vec{U} から、 $\sigma = \omega - \vec{k} \cdot \vec{U}$ で求められる。

SWAN の基礎式 (平面座標系) を以下に示す。

波作用量平衡方程式 (Wave action balance equation)

$$\frac{\partial}{\partial t} N + \frac{\partial}{\partial x} (C_x \cdot N) + \frac{\partial}{\partial y} (C_y \cdot N) + \frac{\partial}{\partial \sigma} (C_\sigma \cdot N) + \frac{\partial}{\partial \theta} (C_\theta \cdot N) = \frac{S}{\sigma} \quad (9)$$

ここに、 C_x 、 C_y 、 C_θ 、 C_σ は各空間における伝播速度であり、次式で表される。

$$C_x = C_g \cdot \cos \theta + U \quad (10)$$

$$C_y = C_g \cdot \sin \theta + V \quad (11)$$

$$C_\theta = \frac{\sigma}{\sinh 2kh} \left(\sin \theta \frac{\partial h}{\partial x} - \cos \theta \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \cos \theta \cdot \sin \theta \frac{\partial U}{\partial x} - \cos^2 \theta \cdot \frac{\partial U}{\partial y} + \sin^2 \theta \cdot \frac{\partial V}{\partial x} - \sin \theta \cdot \cos \theta \frac{\partial V}{\partial y} \quad (12)$$

$$C_\sigma = \frac{k\sigma}{\sinh 2kh} \left(\frac{\partial h}{\partial t} + U \frac{\partial h}{\partial x} + V \frac{\partial h}{\partial y} \right) - C_g \left(k \cos^2 \theta \cdot \frac{\partial U}{\partial x} + k \cos \theta \cdot \sin \theta \cdot \frac{\partial V}{\partial x} + k \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta \cdot \frac{\partial U}{\partial y} + k \sin^2 \theta \cdot \frac{\partial V}{\partial y} \right) \quad (13)$$

ここに、 C_g は群速度、 U 、 V は成分流速である。

また、基礎式右辺のエネルギーソース項 S は次式で表される。

$$S = S_{in} + S_{ds} + S_{bf} + S_{br} + S_{nl3} + S_{nl4} \quad (14)$$

ここに、 S_{in} は風から波へのエネルギー輸送項、 S_{ds} は白波砕波によるエネルギー消散項、 S_{bf} は海底摩擦によるエネルギー消散項（本検討では無視した）、 S_{br} は地形性砕波によるエネルギー消散項、 S_{nl3} は3波共鳴非線形相互作用によるエネルギー輸送項、 S_{nl4} は4波共鳴非線形相互作用によるエネルギー輸送項である。

(b) 砕波モデル

SWANにおける（地形性）砕波によるエネルギー消散は、Battjes and Janssen(1978)による bore モデルに計算される。

$$S_{br} = D_{tot} \frac{E(\sigma, \theta)}{E_{tot}} \quad (15)$$

ここで、

$$E_{tot} = \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta \quad (16)$$

$$D_{tot} = -\frac{1}{4} \alpha_{BJ} Q_b \left(\frac{\bar{\sigma}}{2\pi} \right) H_m^2 \quad (17)$$

である。さらに、 Q_b は砕波が起こる確率、 H_m は砕波限界波高、 $\bar{\sigma}$ は平均各周波数、 d は水深である。ここで、砕波が起こる確率 Q_b 及び砕波限界波高 H_m は、次式で表される。

$$\frac{1-Q_b}{\ln Q_b} = -8 \frac{E_{tot}}{H_m^2} \quad (18)$$

$$H_m = \gamma d \quad (19)$$

パラメータ α_{BJ} 及び γ は、それぞれ $\alpha_{BJ}=1$ 及び $\gamma=0.73$ が SWAN におけるデフォルト値である。ただし、本検討では、三番瀬内での波浪観測結果との整合性を検討した結果、 $\gamma=1.2$ を設定した。

(c) 計算条件

a) 風の条件

東京灯標の実測値を用いた。ただし、相当数の試算の結果、以下の条件で風データを与えた。

- ① 当該時刻を含む前 3 時間のベクトル平均風速。
- ② 上記の風に対して、風速補正值として 0.86 倍を設定。

b) その他

表 1.5 SWAN の計算条件

項目	設定条件	備考
計算領域	大領域: 東京湾全体 小領域: 三番瀬全体	エネルギー平衡方程式と同じ
格子間隔	大領域: 250m 小領域: 10m	
スペクトル方向領域	0~360°	
方向分割数	48	
スペクトル周波数領域	0.05~1.0Hz (1~20sec)	
周波数分割数	15	
砕波指標	$\gamma = 1.2$	式(19)
風の条件	東京灯標の実測値	3 時間平均風を補正
計算潮位	東京灯標の実測値	

1.2.4 計算結果

1.2.5 SMB法+エネルギー平衡方程式

1) 三番瀬沖の波高の検証

平成11年度夏季の波浪観測期間を対象として、沖側の Stn. 3 での波高（観測結果）と SMB法による波浪推算結果 を比較した。

観測結果と推算結果の比較を図 1.10 に示す。推算波高は全般に実測値を過大評価しているものの、良好な相関性が見られる。

そこで、図 1.10(2) の回帰式を用いて推算波高の補正を行った。また、風速がほぼ0の場合でも観測波高は0とはならず、0.1m程度の波高となっていることを考慮して、最低波高を0.1mとした。

ここで、Stn. 3 での観測波高は浅海変形の影響を受けているので、補正係数には、平均的な浅水係数及び屈折係数も含まれている。

補正した推算結果と観測結果の経時変化の比較を図 1.11 に示す。両者は良く一致しており、SMB法による波浪推算結果を補正することにより、三番瀬沖の波高を再現することができた。

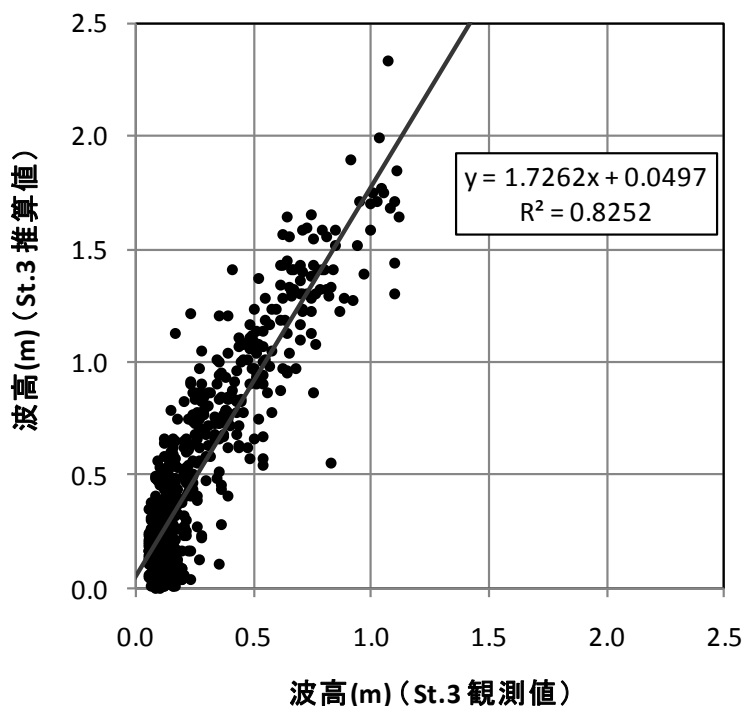


図 1.10(1) 三番瀬沖での波高観測結果と推算結果

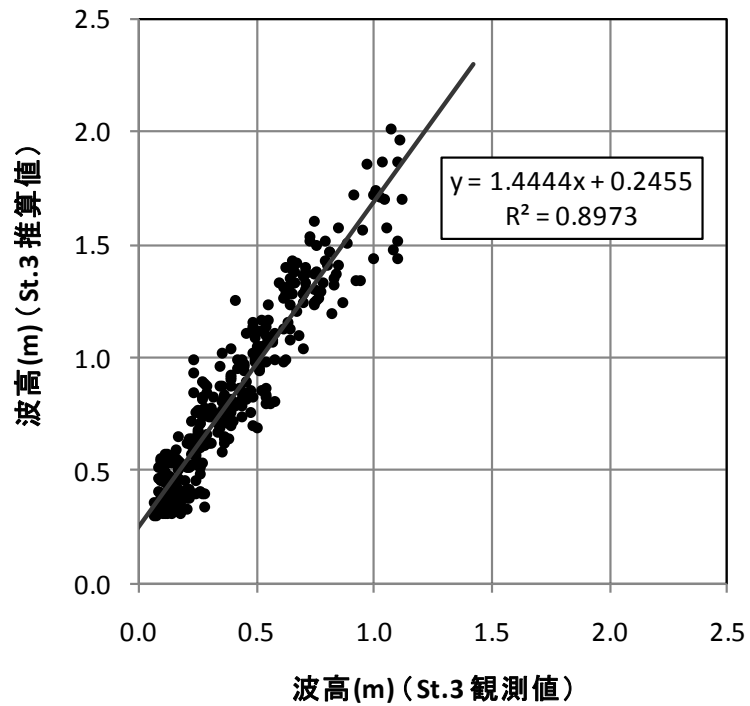


図 1.10(2) 三番瀬沖での波高観測結果と推算結果（推算波高 0.3m以上）

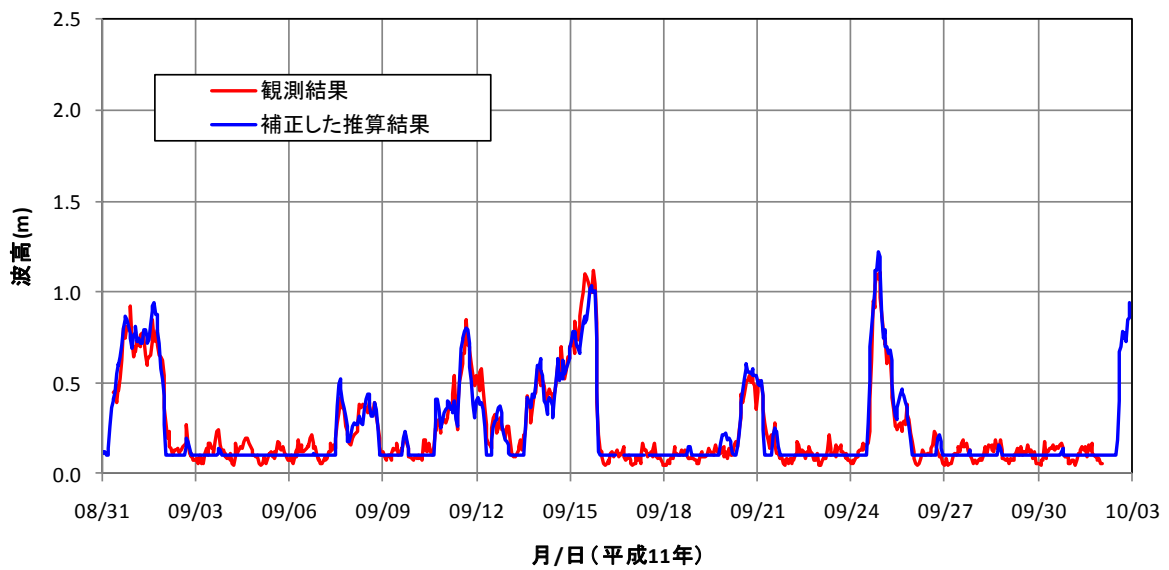


図 1.11 三番瀬沖での波高観測結果と推算結果（補正後）の経時変化

2) 塩浜地区の波高の検証

SMB法の推算結果を境界条件として、エネルギー平衡方程式による波浪変形計算を行った。

(a) 検証ケース

表 1.1 に示した 19 事例のうち、SMB法による三番瀬沖推算波浪の波向が南系の計 13 ケースを対象とした（表 1.6 の●）。

a) 境界条件：波高、周期、波向

波高の極大値発生時刻のズレを考慮し、塩浜地区での起時の前後最大の三番瀬沖推算結果（SMB法）を境界条件とした。ただし、浅海変形の効果を含んだ推算地点 Stn. 3 での波高と合うように入射波高を補正した。

b) 境界条件：潮位

塩浜地区での起時と同時刻の東京灯標での潮位観測値を設定した。

表 1.6 エネルギー平衡方程式による塩浜地区の波浪の検証ケース（●のケース）

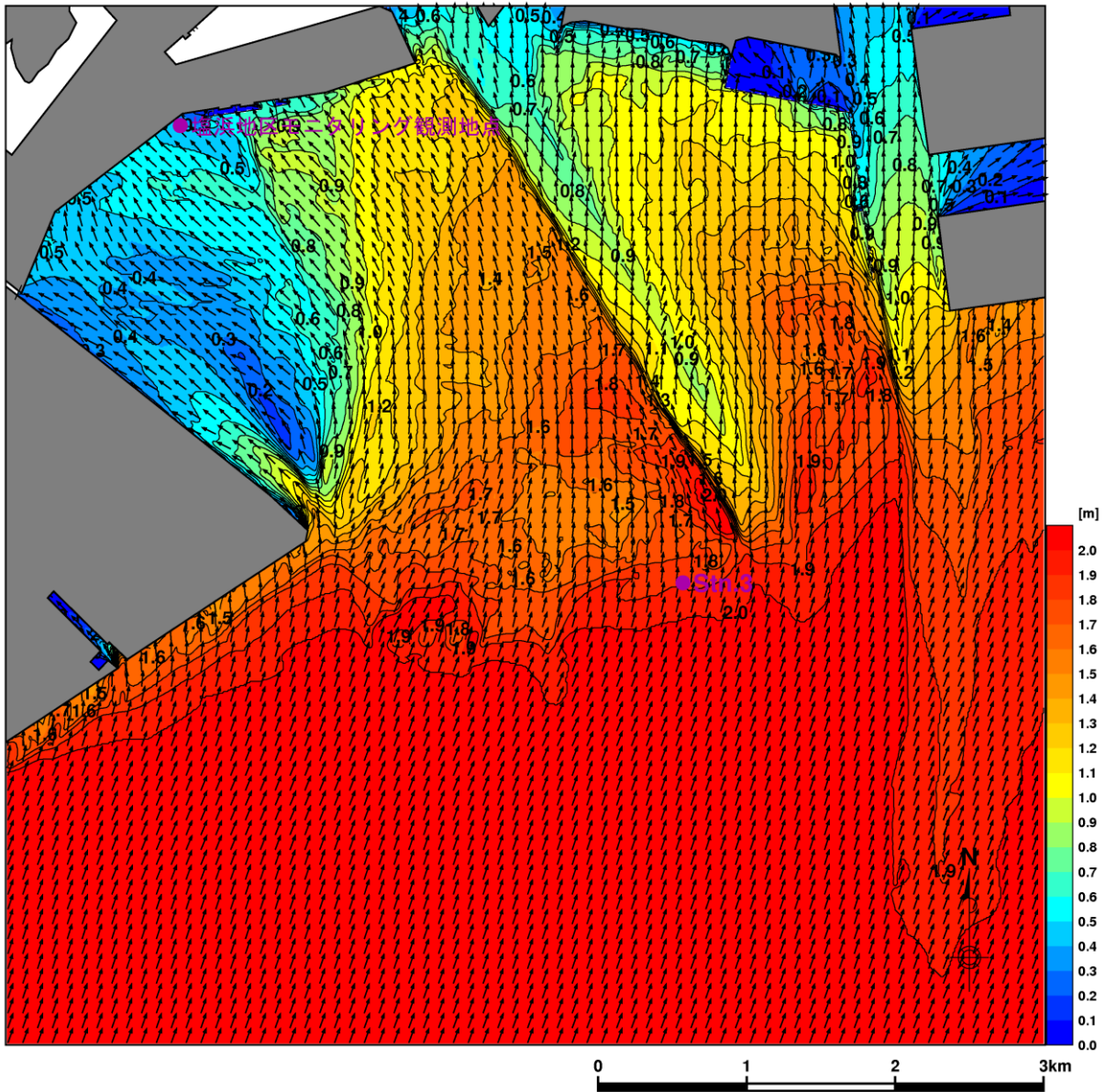
No.	塩浜地区モニタリング観測			三番瀬沖推算結果（前後最大）				東京灯標（同時刻）
	起時	有義波高 (m)	有義波周期 (s)	起時	有義波高 (m)	有義波周期 (s)	波向	潮位（A. P. +） (cm)
●1	2006/03/12 13:00	0.50	2.6	03/12 15:00	1.05	4.6	SSW	149
●2	2006/03/17 02:00	0.66	2.5	03/17 03:00	1.51	5.2	SSW	101
×3	2006/03/27 15:00	0.39	2.6	03/27 18:00	0.26	2.7	ESE	171
●4	2006/04/02 20:00	0.44	5.1	04/02 17:00	0.97	4.4	SSW	206
●5	2007/03/05 21:00	0.62	2.8	03/05 21:00	1.25	4.9	SSW	151
●6	2007/03/25 08:00	0.79	3.7	03/25 09:00	1.27	4.9	S	206
●7	2007/03/29 13:00	0.31	2.7	03/29 11:00	1.03	4.5	SSW	153
●8	2007/04/01 03:00	0.43	4.6	04/01 00:00	1.18	4.8	S	191
●9	2007/04/14 01:00	0.39	3.2	04/13 17:00	0.98	4.5	SSW	155
×10	2007/04/15 16:00	0.30	2.6	04/15 18:00	0.16	2.4	ESE	183
●11	2007/04/21 20:00	0.34	3.6	04/22 11:00	1.27	4.9	SSW	166
●12	2007/09/07 04:00	1.03	3.4	09/07 06:00	1.89	5.6	SSW	213
●13	2007/09/17 19:00	0.31	3.6	09/17 19:00	0.87	4.3	SSW	189
×14	2007/09/26 16:00	0.34	2.6	09/26 17:00	0.18	2.5	ESE	193
×15	2008/03/25 18:00	0.32	2.5	03/25 18:00	0.23	2.7	ESE	171
×16	2008/04/06 17:00	0.37	2.6	04/06 18:00	0.19	2.6	ESE	192
×17	2008/04/08 05:00	0.38	2.5	04/08 10:00	0.43	2.8	NNE	202
●18	2008/04/24 07:00	0.30	2.5	04/24 14:00	0.80	4.1	SW	180
●19	2008/09/26 02:00	0.33	3.8	09/26 12:00	0.94	4.4	SSW	184

●：塩浜地区で有義波高 0.3m 以上かつ三番瀬沖推算波向が南系の場合

(b) 検証結果

計 13 ケースを代表して No. 12 の例について、波高と波向ベクトルの平面分布を図 1.12 に示す。

塩浜地区における観測結果と計算結果の関係は、図 1.13 に示すとおりである。全般に、計算結果は過小評価であった。



(エネルギー平衡方程式による計算結果)

図 1.12 波高と波向ベクトルの平面分布 (表 1.1 及び表 1.6 の No.12)

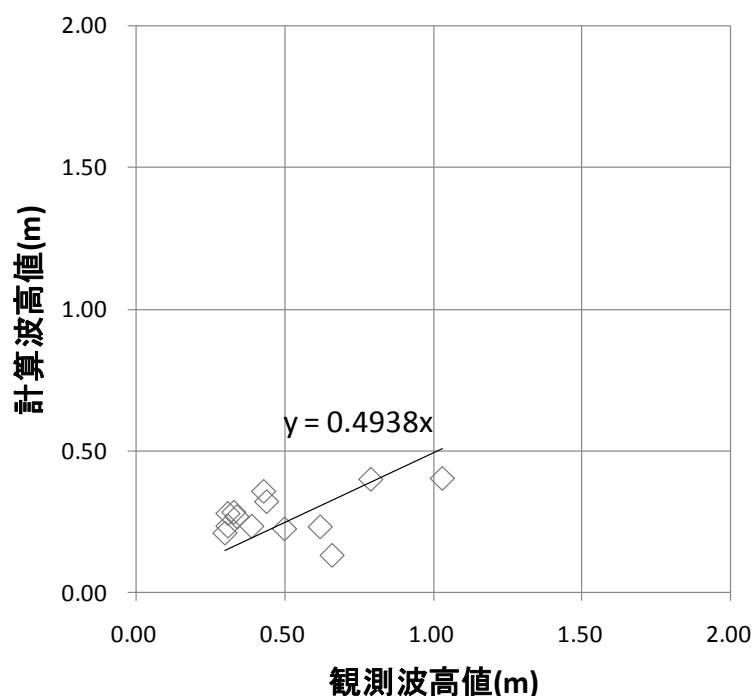


図 1.13 塩浜地区での波高観測結果と計算結果の相関図

3) 考察

塩浜地区の波高の計算結果は、実測値よりも小さい（過小評価している）。考えられる原因の一つとして、三番瀬内での風による波の発達（風から波へのエネルギー輸送）が挙げられる。エネルギー平衡方程式では、境界条件として入射させた波の地形による波浪変形のみを扱っているため、この効果を考慮できない。

塩浜地区から三番瀬沖に至る浅海域の直線距離は約 3.5km である。この距離を風速 27.3m/s の風が吹走する場合について（表 1.1 の No.12 を想定）、Bretschneider の方法（浅海風波の波浪推算方法）⁵により一定水深 2.5m の条件で波高を計算すると、有義波高は約 0.6m となる。

一方、図 1.12 に示した計算結果によれば、塩浜地区での波高は約 0.4m である。よって、南寄りの強風時における三番瀬の最奥部では、沖から伝播して砕波した後に到達する波浪よりも、三番瀬内の水域で風によって発達する波浪の方が、エネルギー的に大きいものと推察される。

⁵ 土木学会：水理公式集，1985，pp.491-492.

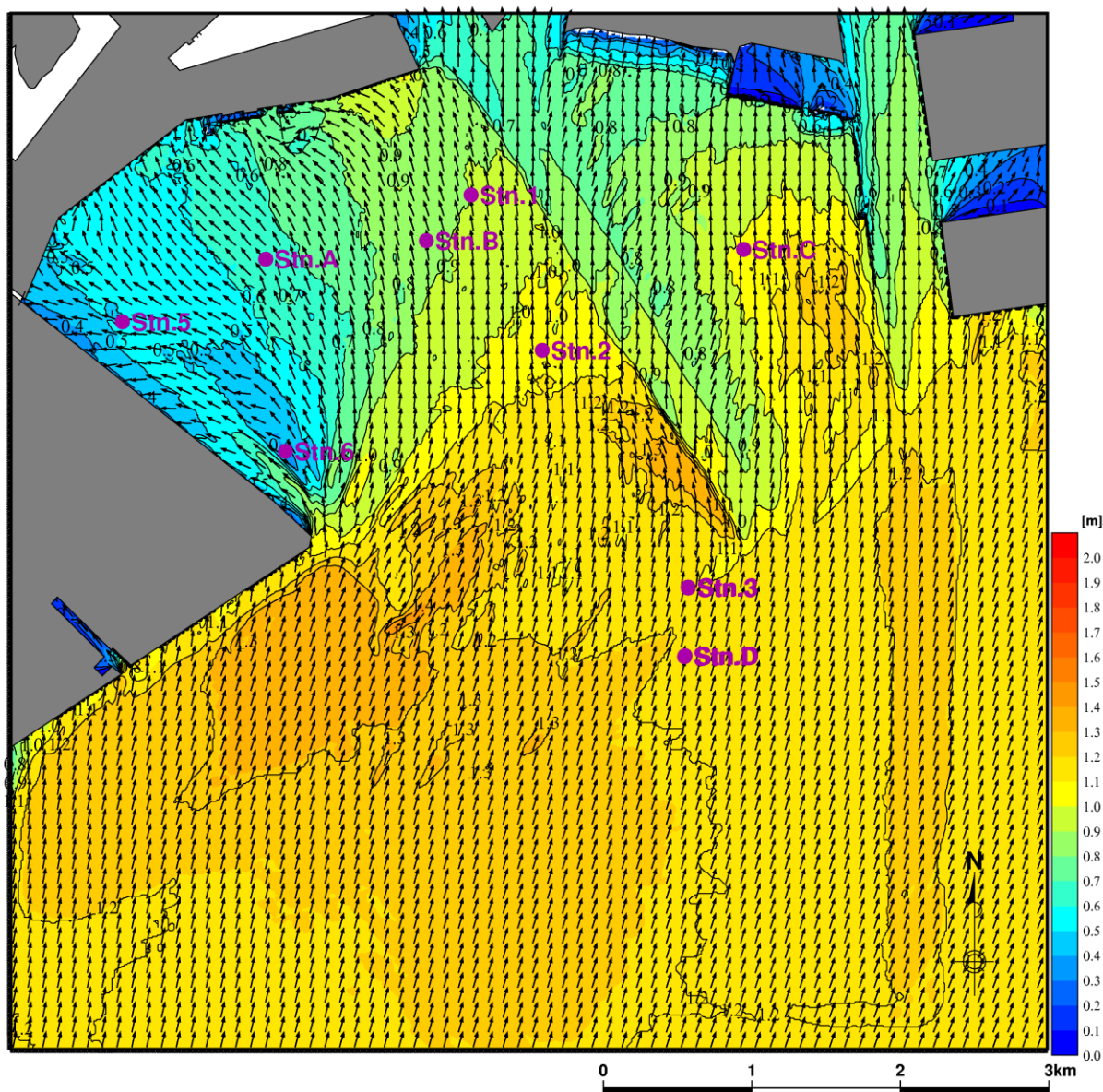
1. 2. 6 SWAN

1) 三番瀬沖の波高の検証

平成 11 年度の観測事例を対象として、表 1.2 に示した 7 ケース（沖側の Stn. 3 及び Stn. D において有義波高が 0.5m 以上であった気象擾乱）を対象とした。

表 1.2 の No. 3 事例について、波高と波向ベクトルの平面分布を図 1.14 に示す。また、沖側の Stn. 3 及び Stn. D における観測結果と計算結果の比較を図 1.15 に示す。

図 1.15 によれば、SWAN による三番瀬沖の波浪推算結果は観測結果の波高と概ね 1 : 1 に対応しており、再現性は良好である。



(SWAN による計算結果)

図 1.14 波高と波向ベクトルの平面分布 (表 1.2 の No. 3)

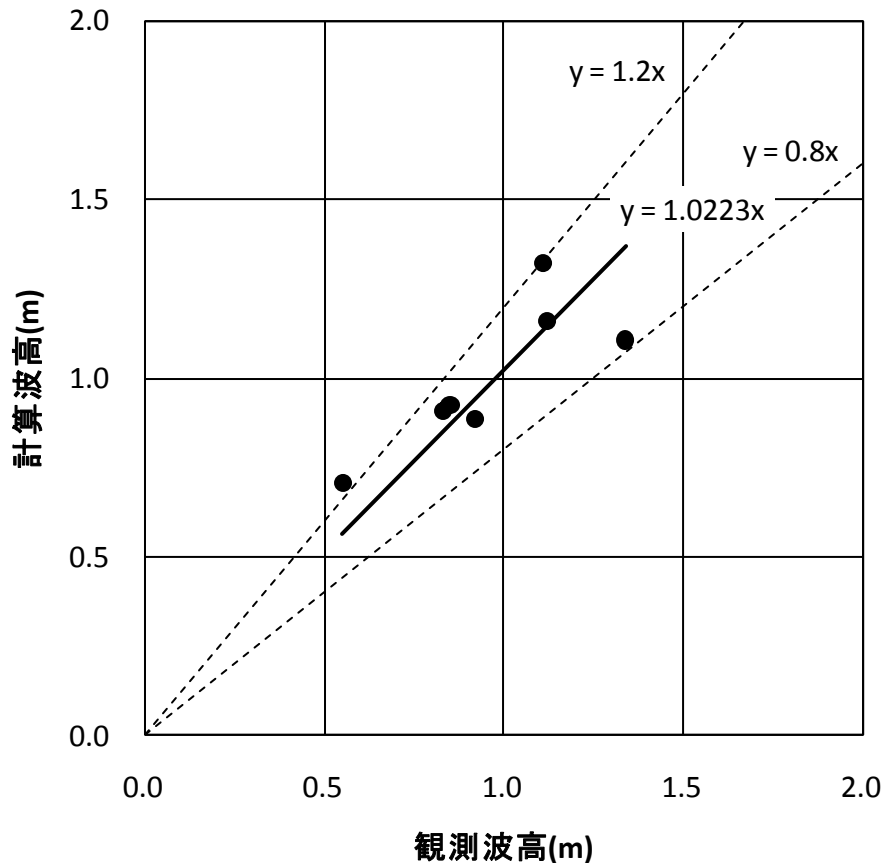


図 1.15 三番瀬沖での波高観測結果と計算結果（SWAN）の相関図

2) 三番瀬全体での波高分布の検証

前述の検討ケースのうち夏季（平成 11 年度）の 5 ケース^{注)} について、三番瀬内の波浪観測結果と計算結果を比較した。三番瀬沖の Stn. 3 での波高に対する各地点の波高の散布図として示している。

注) 冬季の観測事例は、ノリひびによる減衰の影響があるので、別途検討を行う。

SWAN による計算結果は、Stn. 3（三番瀬沖）での波高に対して、浦安側の遮蔽域 Stn. 5 及び Stn. 6 における波高をやや過大に評価しているが、その他の地点では観測値のバラつきの範囲内に入っており、再現性は概ね良好である。

沖波に対する浦安側の地点での過大評価は、風を一様としていること、回折（方向分散）の効果を過大評価していることが原因であると考えられる。