

流況が複雑な海域における海洋情報の 収集に関する研究

平成21年3月

財団法人 日本水路協会

この調査研究は、競艇公益資金による日本財団の事業助成金を受けて実施したものである。

まえがき

この報告書は、当協会が日本財団からの事業助成金を受けて平成20年度に実施した「流況が複雑な海域における海洋情報の収集に関する研究」の事業内容、成果等を取りまとめたものです。各位におかれましてご参考になれば幸いです。

全国の河川の河口域周辺及び海跡湖の開口部（インレット）は重要な水路やマリレジャー海域となっていますが、流れと波が複雑なために遊泳者・水上バイク等愛好者の行方不明・死亡事故、船舶の転覆事故が多発する海域でもあります。このような事故は当該海域における調査手法が確立されていないことで、流況把握が十分に行われておらず、ユーザー等に十分な情報が発信されていないために生じているものと思われまます。

そのため「流況が複雑な海域における海洋情報の収集に関する研究」を実施することで河口域周辺等の流況の特性を解明するとともに、その結果をユーザー等に提供することで、海洋の安全確保はもとより海洋に関する国民の理解の増進に貢献し、小型船舶やマリレジャー愛好者等の事故を減少することを目的としています。

2カ年計画の初年度である平成20年度は、河口域周辺海域に主眼を置き、潮汐変化が小さい日本海側の京都府由良川と潮汐変化が大きい太平洋側の相模川の2カ所をモデル海域として、河口域周辺における調査手法の確立、調査及びデータ解析を行い、流況特性を解明しました。

さらに、解明した流況特性を分かりやすく掲載したリーフレットを作成し、小型船舶やマリレジャー愛好者等の事故を減少するための啓発資料として、海上保安庁海洋情報部経由で漁連、サーフショップ、教育委員会等の関係機関に配布しました。

本研究でご指導をいただいた間瀬 肇委員長を初めとする各委員の皆様、共同研究として一翼を担っていただいた海洋情報部のご担当の皆様及び調査、解析を担当していただいた株式会社エコーの皆様に厚くお礼申し上げます。

平成21年3月

財団法人 日本水路協会

目 次

第1章 研究の概要	1
1. 1 研究の目的	1
1. 2 研究の概要	1
1. 3 委員会等	2
1. 3. 1 委員会の構成	2
1. 3. 2 審議経過	2
第2章 研究内容	3
2. 1 モデル海域設定	3
2. 2 由良川河口域調査	4
2. 2. 1 既往資料収集・整理	4
2. 2. 2 現地調査	9
2. 2. 3 モデル海域（由良川河口域）での特性把握	26
2. 2. 4 由良川河口域での海難事故に繋がる危険要素	50
2. 3 相模川河口域調査	51
2. 3. 1 既往資料収集・整理	51
2. 3. 2 現地調査	56
2. 3. 3 モデル海域（相模川河口域）での特性把握	73
2. 3. 4 相模川河口域における海難事故に繋がる危険要素	97
2. 4 調査結果とりまとめ	98
2. 4. 1 由良川河口域とりまとめ	98
2. 4. 2 相模川河口域とりまとめ	98
第3章 広報活動	99
3. 1 啓蒙資料の作成	99

第1章 研究の概要

1. 1 研究の目的

河口域周辺海域は、重要な水路やマリンレジャーの場として利用される場合が多いが、地形や流れが複雑であるため、小型船舶の転覆事故、遊泳者・水上バイク等愛好者の行方不明・死亡事故が多発する海域でもある。

このような事故は、流況などの特性把握が十分に行われておらずユーザーに情報が発信されていないために生じているものと思われる。

これらのことから河口域における流況調査を実施し、河口域における流れ等のメカニズムの解明を行い、その結果をユーザーに提供することにより、小型船舶やマリンレジャー愛好者の事故を軽減させることを目的とする。

1. 2 研究の概要

本研究の調査フローを以下に示す。

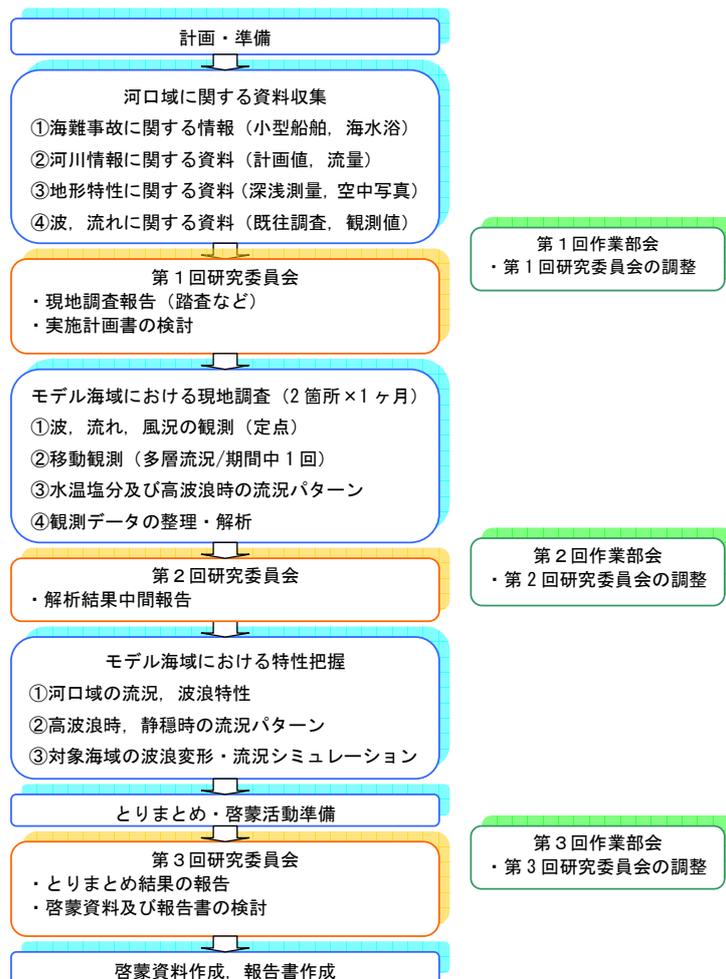


図 1-1 調査フロー

1. 3 委員会等

1. 3. 1 委員会の構成

(委員長)

間瀬 肇 京都大学防災研究所気象・水象災害研究部門沿岸災害研究分野 教授

(委員)

青木 伸一 豊橋技術科学大学建設工学系 教授

西隆 一郎 鹿児島大学水産学部 准教授

神原 康次 第一管区海上保安部海洋情報部長

内城 勝利 第三管区海上保安部海洋情報部長

雪松 隆雄 第八管区海上保安部海洋情報部長

(関係官庁)

佐藤 敏 海上保安庁海洋情報部環境調査課長

須藤 幹男 海上保安庁海洋情報部環境調査課主任環境調査官

村瀬 克史 海上保安庁警備救難部救難課海浜事故対策官

清水 潤子 海上保安庁海洋情報部技術国際課主任研究官

山尾 理 海上保安庁海洋情報部技術国際課研究官

(作業部会)

事務局：

陶 正史：財団法人 日本水路協会 専務理事

熊坂 文雄 財団法人 日本水路協会 調査研究部長

鈴木 直子 財団法人 日本水路協会 調査研究部

委託先：

株式会社エコー

1. 3. 2 審議経過

平成 20 年 5 月 21 日 第 1 回研究委員会 事業計画の了承、実施計画書の審議・承認

平成 20 年 11 月 21 日 第 2 回研究委員会 事業の中間報告の審議・承認

平成 21 年 1 月 20 日 第 3 回研究委員会 事業の最終報告及び総括

この他、平成 20 年 4 月 16 日、平成 20 年 5 月 14 日、平成 20 年 11 月 11 日、平成 21 年 1 月 13 日に作業部会を開催し、細目の整理・検討を行った。

第2章 研究内容

2. 1 モデル海域設定

現地調査は、モデル海域として選定した日本海側の「由良川」と太平洋側の「相模川」の2海域を対象として実施した。図 2-1 にモデル海域の位置を示す。

モデル海域は、以下①～③の項目を考慮し、潮位差が小さい日本海側の由良川と、潮位差が大きい太平洋側の相模川をモデル海域として抽出した。表 2-1 に過去5年間の河口域における遊泳者・船舶事故一覧（過去5年間）を示す。

- ①河口域及びその周辺で海難事故（海水浴、小型船舶の転覆事故）が発生している。
- ②河口域及びその周辺で海水浴・マリレジャーまたは小型船舶の利用がある。
- ③気象・海象及び利用状況等の異なる海域を2海域抽出する。

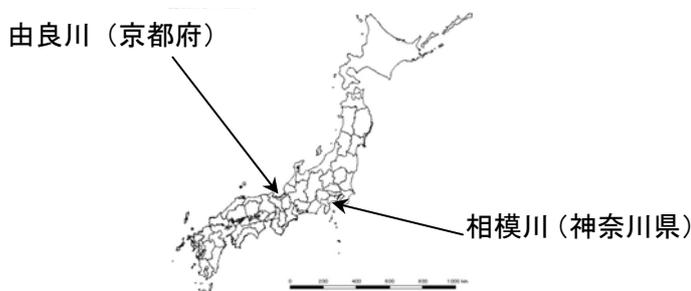


図 2-1 モデル海域

表 2-1 遊泳者・船舶事故一覧（過去5年間）

河口域及び海跡湖河口における遊泳者・船舶の事故一覧(15. 1～19. 10)

河口域	遊泳者等	事故等の概要
発生年月日	発生場所	
15. 08. 05	京都府由良川河口	遊泳者溺死
15. 09. 07	宮津市由良海水浴場	宮津市由良海水浴場から舞鶴市神崎方向へ泳いで渡るうとした遊泳者1名が溺死。
15. 11. 18	京都府由良川河口	サーファーが2名が沖へ流された。巡視艇により無事救助された
16. 06. 19	静岡市大谷川河口	大学生2名が沖に流れ行方不明。
17. 06. 27	神奈川県藤沢市引地川河口	サーファー1名が行方不明。30日遺体で発見。
17. 07. 18	新潟県内川河口	新潟県中条町の中3男子が行方不明となり約3時間後に岸から約50mの海底で発見されたが死亡。
17. 08. 17	北海道小樽市星置川河口付近	遊泳中の中学生2名が流された。1名は付近にいた水上オートバイにより救助されたが、1名は死亡。
18. 02. 24	静岡県海岸引地川河口	女性サーファーが沖合に流され、巡視艇により救助された。
18. 08. 04	静岡県海岸引地川河口	中学校1年生の生徒2名が流されて行方不明となり、5日に遺体で発見
18. 09. 03	福島県清戸川河口付近	釣り人が川を渡るうとしたところ波にもまれ海に流され死亡。
19. 08. 10	福島県新地町地蔵川河口	あさりを探り男性が沖合に流された。巡視船潜水士が海底で発見揚収。
19. 09. 16	神奈川県花水川河口	小学生2名が河口付近で高波にさらわれ流された。サーファーに救助されたが1名が死亡。
19. 09. 17	神奈川県花水川河口	中学生が溺れ、救助。

河口域	小型船舶	事故等の概要
発生年月日	発生場所	
15. 05. 04	太田川河口付近	プレジャーボートが波を受けて転覆。乗員2名は救命胴衣を着用していた為、自力で海岸に泳ぎ着き無事。
16. 04. 02	広島県今津川河口	風浪を船尾から受け、海水が進入し航行不能(3. 6m)
17. 04. 28	宮城県東松島市鳴瀬川河口付近	漁船が転覆。4名の中、3名は巡視艇救助されたが、1名が行方不明になった。
17. 05. 02	神奈川県相模川河口	ジャーボート転覆。乗船者4名は平塚消防署及び水難救済会所属艇により救助された
17. 05. 18	静岡県豊川市御川河口	御川河口から400m沖で1名乗組みの漁船が転覆した。乗組員は付近航行中の漁船が救助。
17. 07. 10	神奈川県相模川河口	河口において三角波に持ち上げられ、大傾斜して転覆。(7. 1m)
17. 09. 03	徳島県吉野川河口	風浪を受け大傾斜した際、同乗者が落水して死亡。(8. 9m)
17. 09. 03	山形県遊佐町月光川河口付近	3名乗組の遊漁船転覆。乗組員は救命胴衣を着用しており、自力で陸岸にたどり着いた。
17. 11. 08	宮城県四方十川河口	浅瀬を航行中、大波を受けて大きく傾斜し、同乗者が転落し、死亡。(6. 5m)
17. 11. 12	宮城県阿武隈川河口付近	小型船舶が転覆。1名が具防炎ヘリに救助されたが、もう1名は行方不明。
17. 11. 28	北海道厚田川河口	漁船4トン、1名乗組みが転覆。乗組員死亡。
18. 01. 24	宮城県名取川河口付近	測量作業中の小型船が転覆し3名が海中に投げ出された。漁船とヘリコプターにより全員救助された。
18. 03. 05	静岡県由比川河口	由比川河口沖約200メートルで2名乗りのプレジャーボートが転覆。乗員は巡視艇に救助された
18. 03. 20	静岡県清水方々瀬川河口	波浪を受け、船首部が高く持ち上げられ、急速に下降。同乗者が投げ出され負傷。(6. 5m)
18. 03. 24	神奈川県相模川河口	しらす漁船(4名乗組み、8. 6トン)が相模川河口において横波を受け、転覆
18. 03. 25	神奈川県相模川河口	河口付近でプレジャーボート転覆。男性1名(53歳)死亡。

河口域	小型船舶	事故等の概要
発生年月日	発生場所	
18. 08. 14	千葉県一宮川河口	河口部を通過し沖合へ向け航行中、河口部特有の大きな巻波を受け転覆(10m)
18. 09. 23	宮城県鳴瀬川河口	帰港中のプレジャーボートが船尾から追波を受け岩礁に乗り上げ転覆し乗組員2名海中に投げ出された。2
18. 10. 13	宮城県鳴瀬川河口	小型漁船が転覆。消防署員に救助された。
19. 07. 28	伊勢市勢田川河口	遊漁船(長さ5. 7メートル)の船長がえきを取っている最中に溺死。
19. 08. 13	愛知県矢作川河口	7. 5歳の男性が溺死
19. 09. 8	浜田市布川河口	遊漁船が、河口前面海域で強い波を受けて舵が効かなくなり、付近岩場に衝突して転覆。船長負傷。

2. 2 由良川河口域調査

2.2.1 既往資料収集・整理

(1) 由良川と河口周辺の概要

一級河川である由良川は、その源を京都・福井・滋賀の府県境三国岳に発し、山間部を流れ宮津市及び舞鶴市において日本海に注ぐ、典型的な山地河川である。

表 2-2 に由良川の河川情報、図 2-2 に流域図を示す。また、図 2-3 に由良川河口域周辺の主要な気象・海象観測位置を示す。

表 2-2 由良川の河川情報

項目	河川情報	備考
流域面積	1,880 km ²	※1
幹川流路延長	146 km	※1
計画高水流量	5,600 m ³ /s	※1, 福知山
平水流量	32.6 m ³ /s	※2, 福知山
低水流量	20.0 m ³ /s	※2, 福知山

※1) 福知山河川国道事務所 HP (由良川水系河川整備計画)

<http://www.kkr.mlit.go.jp/fukuchiyama/river/report.html>

※2) 国土交通省 HP (河川, 統計調査結果, 一級水系の流況 (平成 12 年))

http://www.mlit.go.jp/river/toukei_chousa/kasen/jiten/toukei/birn96p.html



図 2-2 由良川流域図

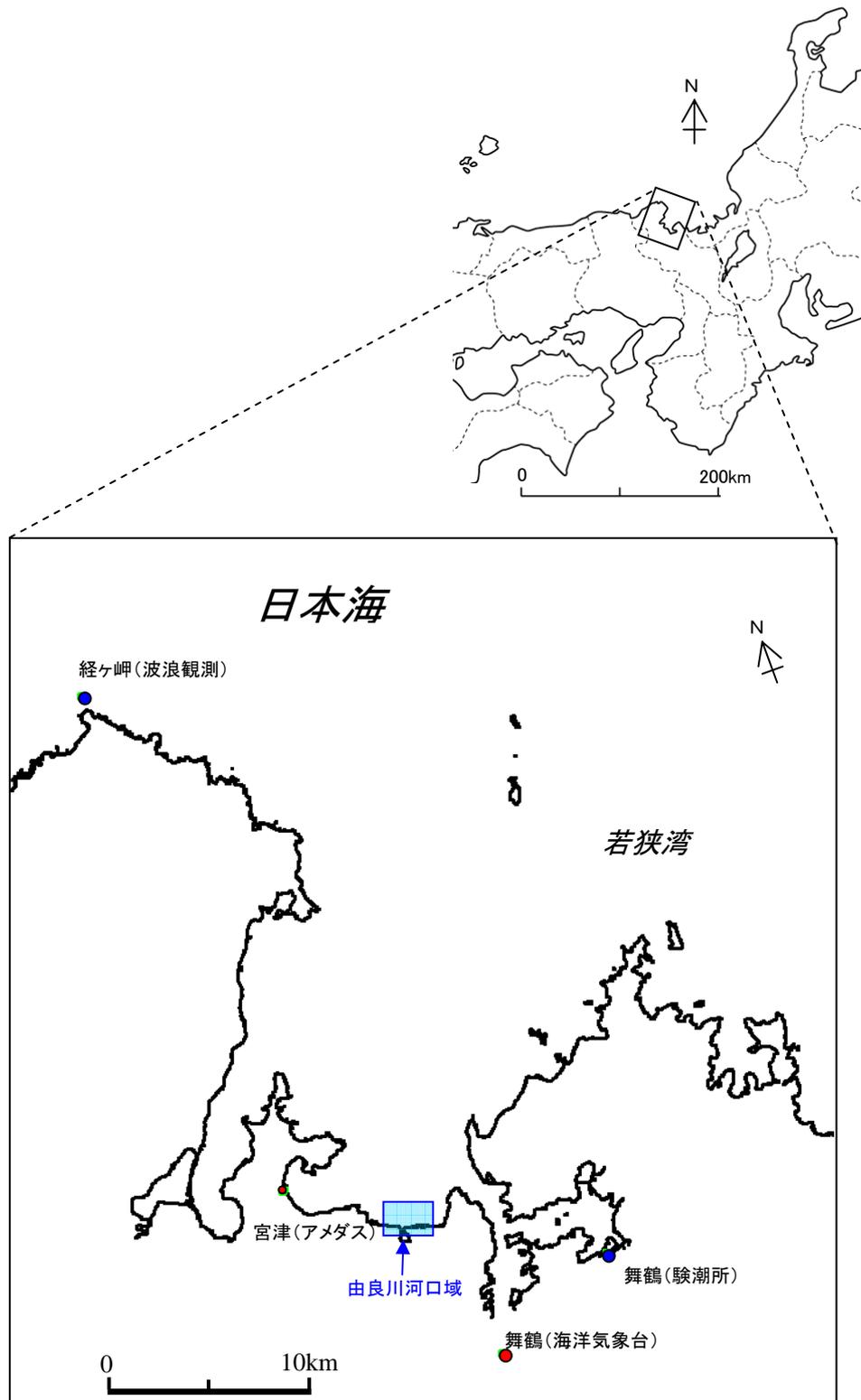


図 2-3 調査位置（由良川河口域）と周辺の主な気象・海象観測位置

(2) 気象・海象条件

1) 風条件

宮津と舞鶴におけるアメダス風向・風速記録より、過去20年分の風配図を以下に示す。

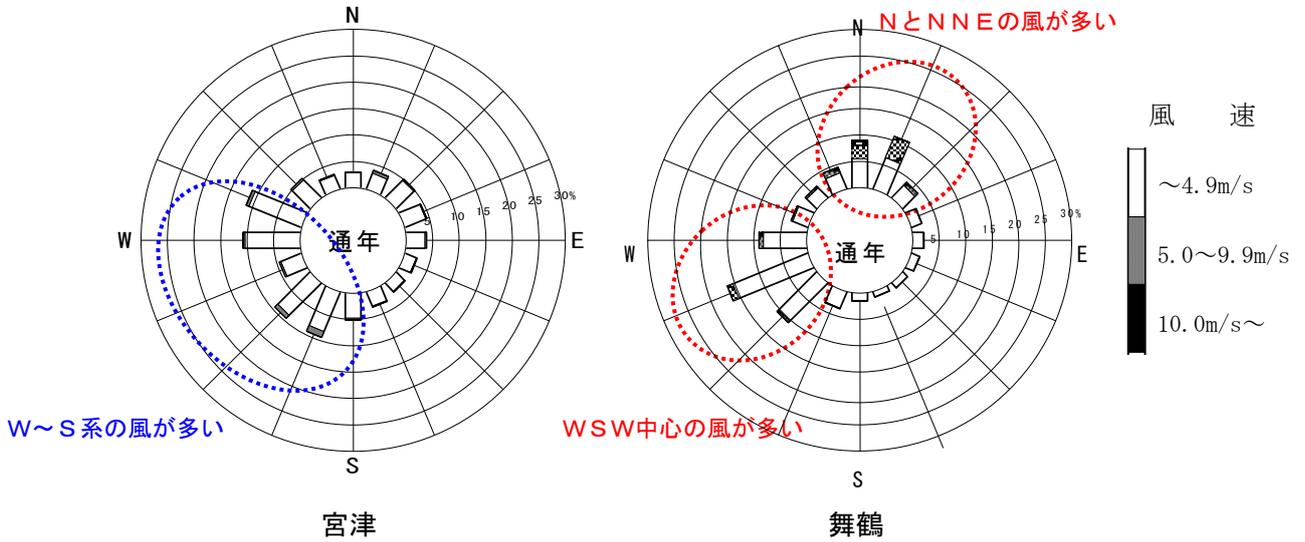


図 2-4 風配図(1987年1月~2006年12月, 宮津(左図), 舞鶴(右図))

2) 潮位条件

舞鶴港の潮位図(出典: 舞鶴海洋気象台潮位表)を以下に示す。

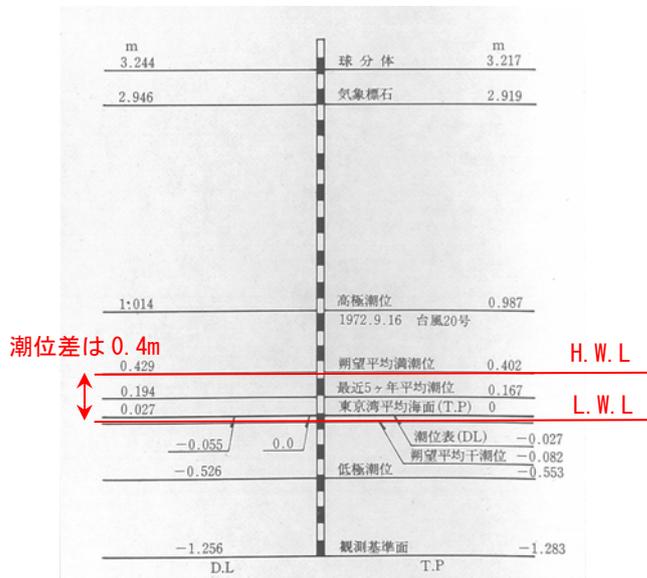
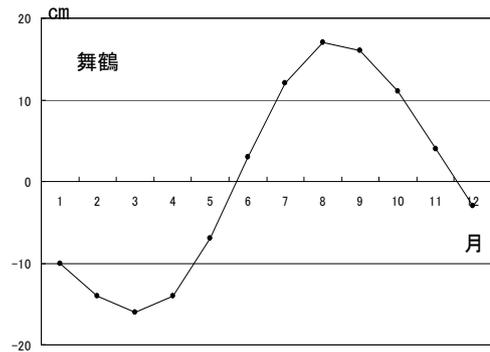


図 2-5 舞鶴港潮位図



出典) 平成17年潮汐表より

図 2-6 月別平均潮位の変動

3) 波浪条件

経ヶ岬での 1991 年から 2004 年までの波高・周期出現頻度表（通年）を以下に示す。
また、柴山での波向・波高頻度グラフを示す。

表 2-3 波高・周期出現頻度(経ヶ岬, 1991 年 1 月～2004 年 12 月)

経ヶ岬(1991～2004年, 通年)		測得率: 86.8%														合計		
波高(m)	周期(s)	静穏	0.1～0.9	1.0～1.9	2.0～2.9	3.0～3.9	4.0～4.9	5.0～5.9	6.0～6.9	7.0～7.9	8.0～8.9	9.0～9.9	10.0～10.9	11.0～11.9	12.0～12.9		13.0～13.9	14.0～
静穏																		
0.01	～ 0.49				7 0.0	4125 3.9	14150 13.3	10102 9.5	3402 3.2	597 0.6	148 0.1	13 0.0	1 0.0					32545 30.5
0.50	～ 0.99				8 0.0	811 0.8	5893 5.5	9888 9.3	8142 7.6	3297 3.1	914 0.9	204 0.2	36 0.0	2 0.0	1 0.0			29196 27.4
1.00	～ 1.49				6 0.0	809 0.8	4164 3.9	5809 5.5	4276 4.0	1264 1.2	319 0.3	58 0.1	12 0.0					16717 15.7
1.50	～ 1.99					25 0.0	1232 1.2	3544 3.3	3452 3.2	1714 1.6	427 0.4	88 0.1	8 0.0					10490 9.8
2.00	～ 2.49					1 0.0	134 0.1	1862 1.7	2561 2.4	1851 1.7	643 0.6	117 0.1	11 0.0					7180 6.7
2.50	～ 2.99							368 0.3	1809 1.7	1533 1.4	623 0.6	153 0.1	30 0.0	2 0.0				4518 4.2
3.00	～ 3.49							24 0.0	794 0.7	1218 1.1	544 0.5	138 0.1	13 0.0	6 0.0	1 0.0			2738 2.6
3.50	～ 3.99							1 0.0	153 0.1	757 0.7	504 0.5	152 0.1	23 0.0	5 0.0				1595 1.5
4.00	～ 4.49								6 0.0	257 0.2	416 0.4	170 0.2	34 0.0	1 0.0	2 0.0			886 0.8
4.50	～ 4.99									29 0.0	230 0.2	125 0.1	25 0.0	2 0.0	1 0.0			412 0.4
5.00	～ 5.49										58 0.1	86 0.1	38 0.0	2 0.0	1 0.0			185 0.2
5.50	～ 5.99										10 0.0	54 0.1	20 0.0	4 0.0				88 0.1
6.00	～ 6.49											17 0.0	6 0.0					23 0.0
6.50	～ 6.99											3 0.0	2 0.0					5 0.0
7.00	～ 7.49												1 0.0					1 0.0
7.50	～ 7.99																	
8.00	～ 8.49													1 0.0				1 0.0
8.50	～																	
合計				15 0.0	4942 4.6	20878 19.6	25520 23.9	23152 21.7	16945 15.9	9685 9.1	3991 3.7	1198 1.1	226 0.2	23 0.0	5 0.0			106580 100.0

上段：度数, 下段：頻度(%)

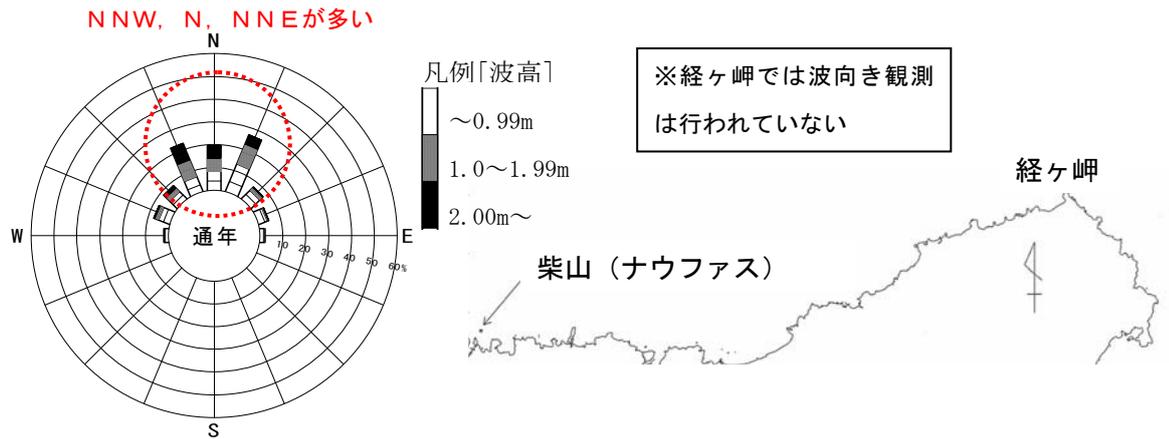


図 2-7 波向頻度分布(柴山, 2000 年 1 月～2005 年 12 月)

4) 地形条件

i) 河口部の現状確認

図 2-8 に由良川で実施した現地踏査（4 月 25 日）の写真を示す。由良川の河口東側の砂州が大きく発達している。写真の手前が宮津市，対岸が舞鶴市である。由良川の河口域は神崎海水浴場（舞鶴市）と由良海水浴場（宮津市）の間に位置する。水上バイクやプレジャーボート，漁船は両岸の砂州の間を通過して，海域と河川を出入りする。

<写真撮影位置図>

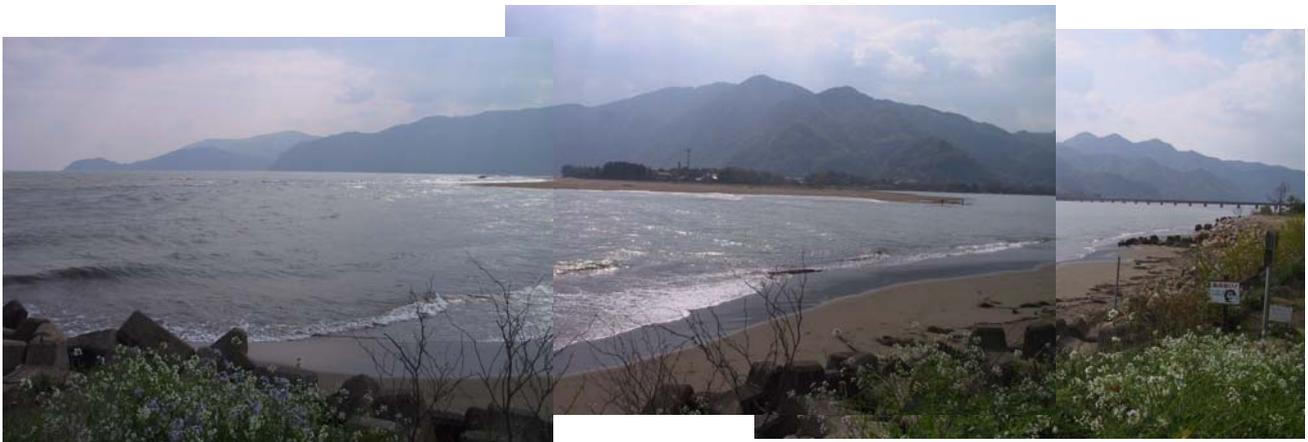


図 2-8 由良川現地踏査時（4 月 25 日）

ii) 河口砂州地形

由良川の砂州地形の状況を調べるために空中写真の整理を行った。由良川の空中写真（2006 年 5 月）のモザイク図を図 2-9 に示す。

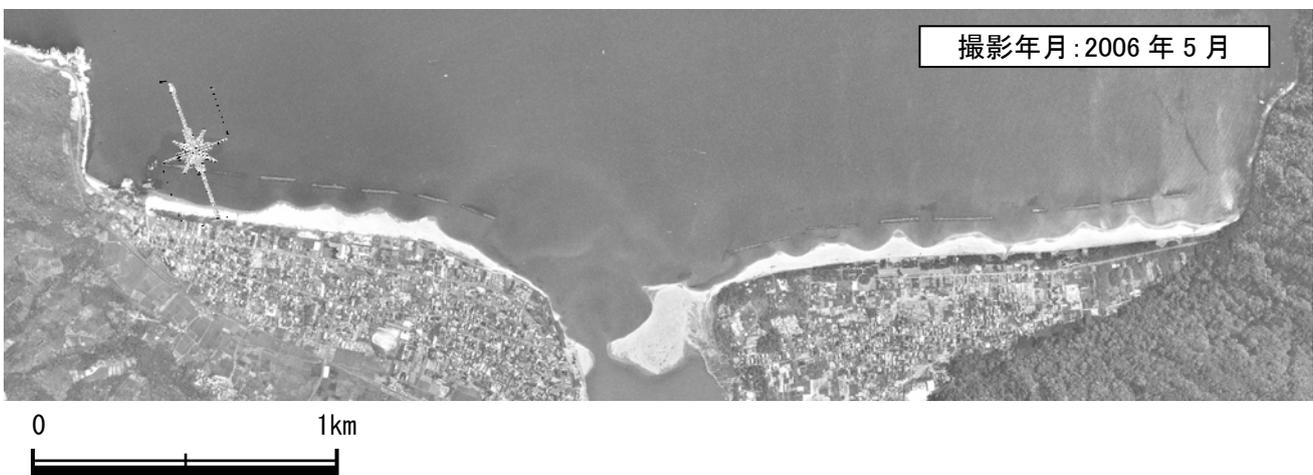


図 2-9 由良川周辺の航空写真（2006 年 5 月）

2.2.2 現地調査

(1) 現地調査実施状況

1) 現地観測実施時期

由良川河口域の流況観測を以下の日程で実施した。

- 流況観測（定点観測） : 2008年6月4日 ～ 7月9日
 移動流況観測・水温塩分観測 : 2008年6月6日
 ブイ追跡流況観測 : 2008年6月27日, 30日
 (※平常時流況観測: 7月10日)
 砂州地形外形の簡易測量 : 6月3日, 6月27日, 7月10日

2) 調査位置

由良川の現地調査位置を以下に示す。

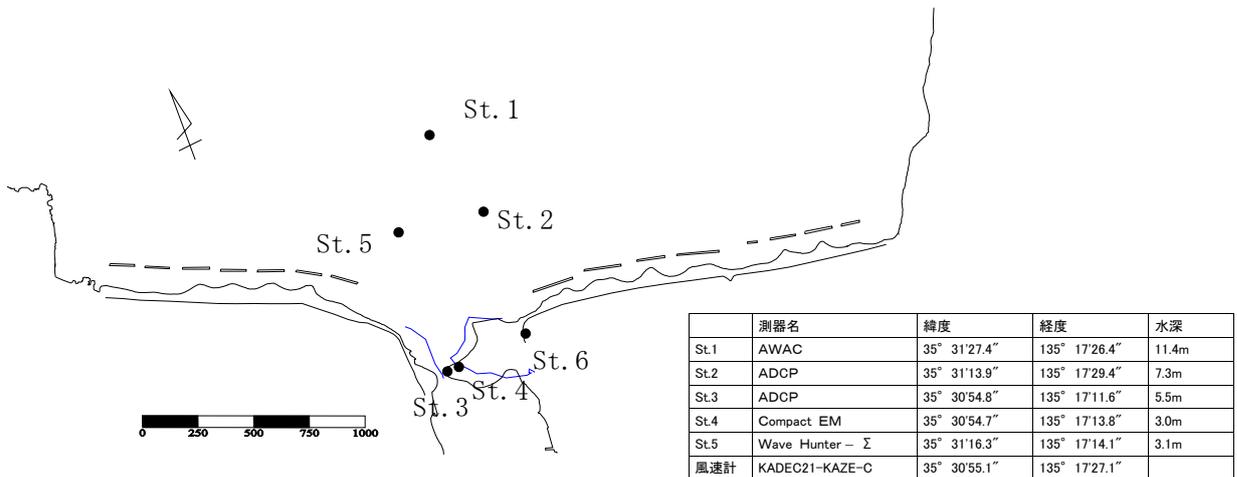


図 2-10 由良川河口域の流況調査位置図

3) 観測機器と観測項目

観測機器及び観測項目は以下に示すとおりである。

表 2-4 観測機器と観測項目

地点	観測機器	観測項目	観測日数	サンプリング間隔	観測頻度
St. 1	ドップラー式海象計	波浪・多層流向流速	34.9日	0.5秒	波浪: 60分毎/17分
St. 2	ドップラー式流速計	多層流向流速	34.8日	1.0秒	10分毎/1分
St. 3	ドップラー式流速計	多層流向流速	32.4日	1.0秒	10分毎/1分
St. 4	電磁流速計	流向流速	34.1日	1.0秒	10分毎/30秒
St. 5	超音波式波高計 電磁流速計	波浪, 底面流向流速	34.9日	0.5秒	60分毎/20分
St. 6	風向・風速計	風向風速	36.7日	1.0秒	10分毎/10分

(2) 現地調査期間中の気象・海象条件, 河川流量条件

1) 気象・海象

調査対象海域の気象・海象観測記録として, 舞鶴港の観測潮位と経ヶ岬の有義波高, アメダス(宮津)を収集し, 以下の時系列的な整理を行った.

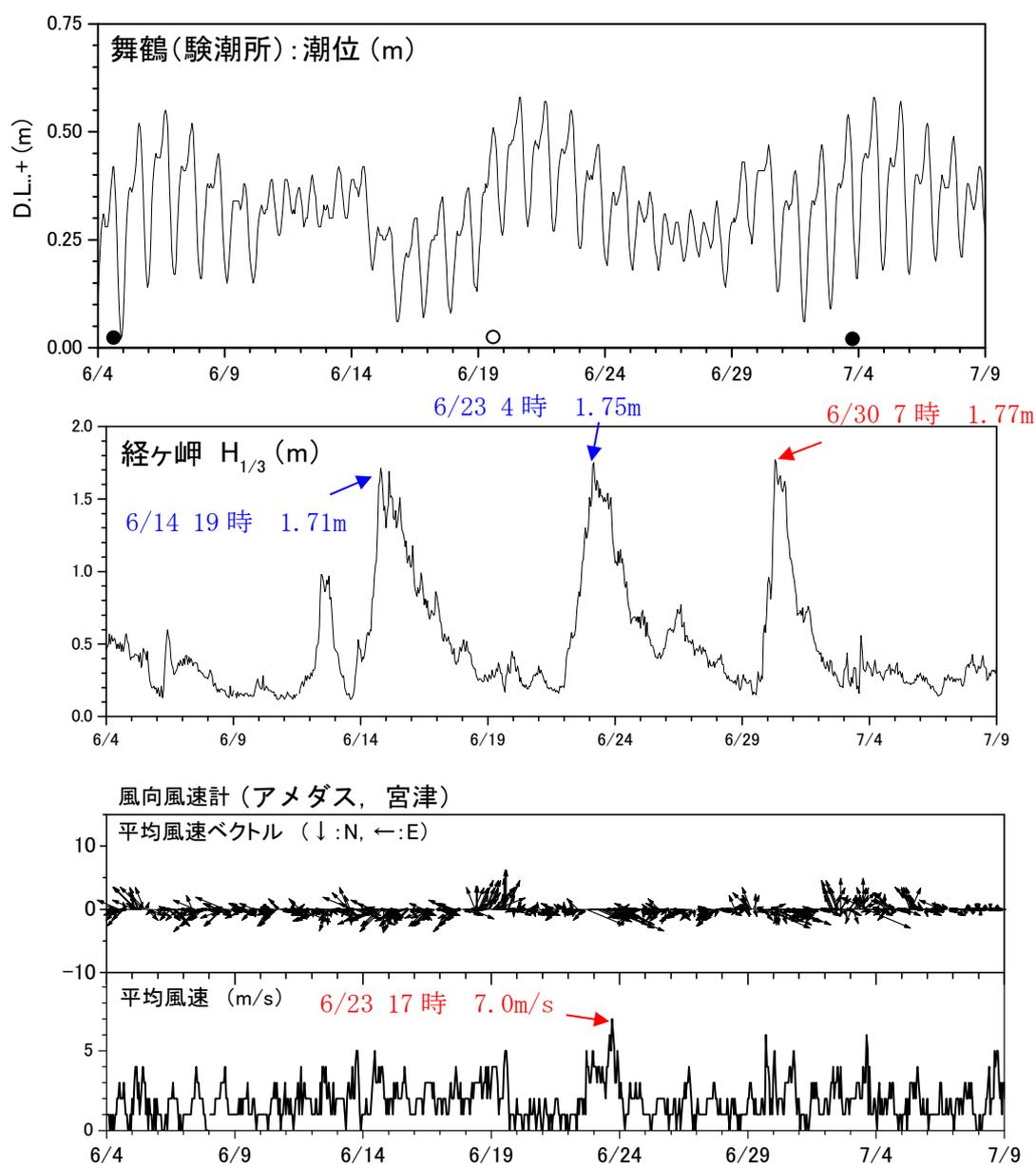


図 2-11 潮位と波浪, 風の観測記録

2) 降水量・河川流量

由良川流域の降水量と波美観測所の河川流量（水位からの推定値）の時系列を整理した。

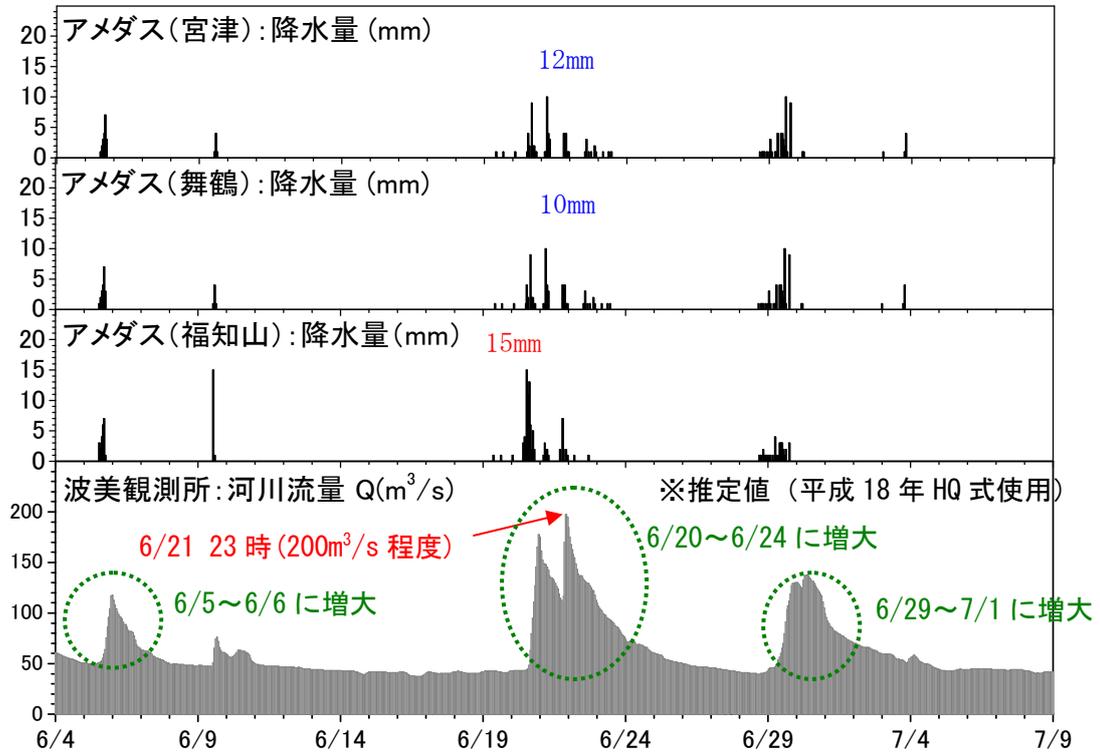


図 2-12 降水量（宮津，舞鶴，福知山）と河川流量（波美）の時系列

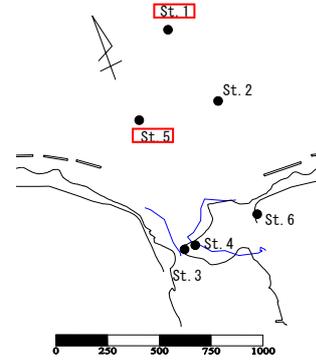


図 2-13 波美観測所（流量・水位）の位置

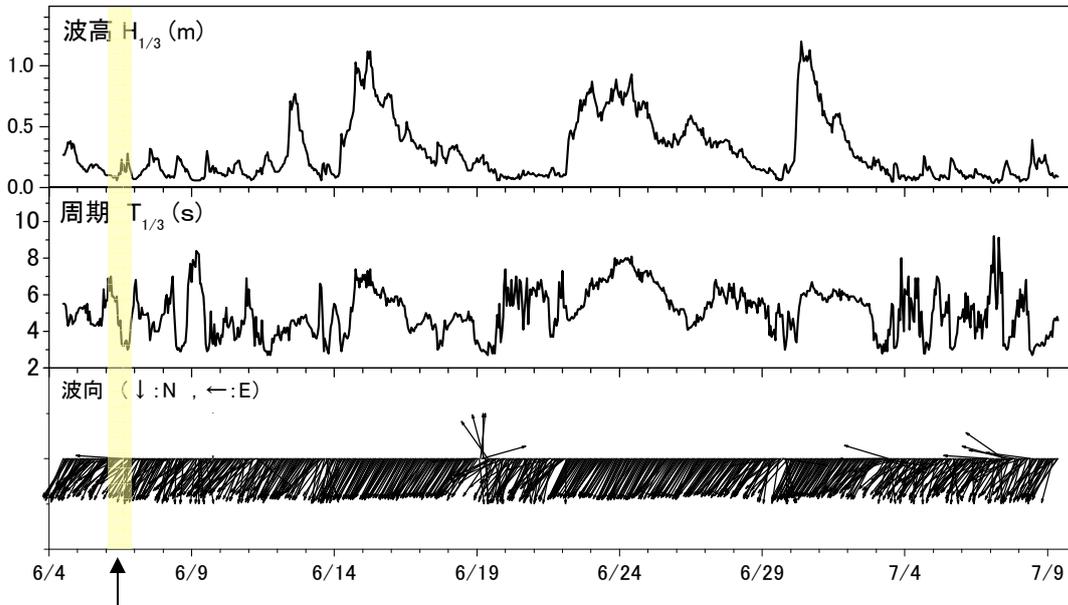
(3) 各観測データの経時変化

1) 波浪の時系列変化

St. 1 (AWAC) と St. 5 (WAVE-Hunter) で取得した波浪時系列変化 (有義波高, 周期, 波向) を以下に示す.



由良川 St. 1 (超音波式) 水深 11.4m



曳航式・水温観測日 図 2-14 波浪の時系列 (St. 1, AWAC)

由良川 St. 5 (WAVE-Hunter, 超音波式) 水深 3.1m

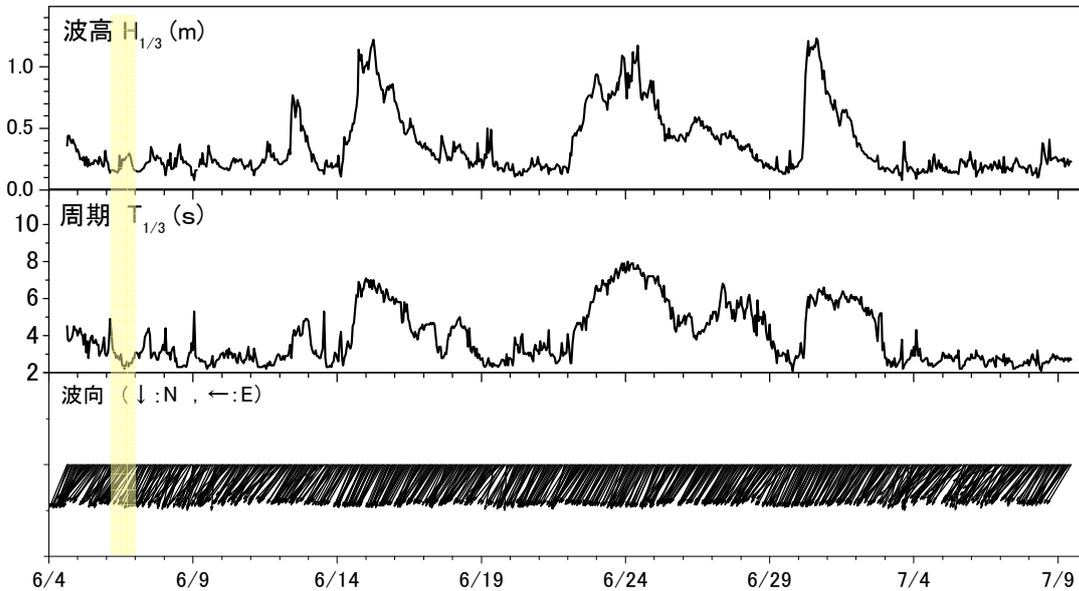
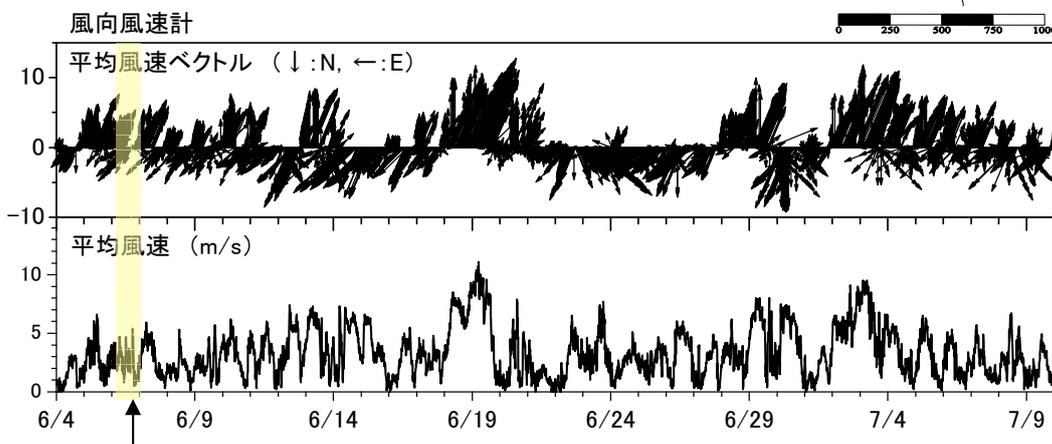
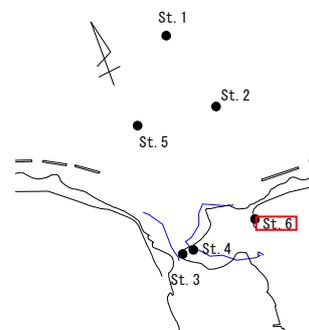


図 2-15 波浪の時系列 (St. 5, Wave Hunter)

2) 風観測記録

St. 6 (陸上の地点) での風観測記録の時系列を以下に示す.



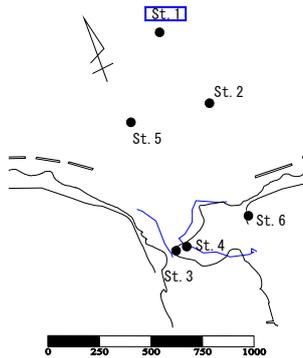
曳航式・水温観測日

図 2-16 風況の時系列 (風向・風速, 陸上部 St. 6)

3) 流況観測記録

i) 多層流速観測記録

本調査では、多層流速観測を St. 1 (海域沖側) と St. 2, St. 3 (河道内) で実施した。St. 1 の多層流況観測記録を図 2-17 に、St. 2 と St. 3 における多層流況観測の時系列を図 2-18, に示す。St. 2 と St. 3 の表層と最下層の時系列変化を図 2-19 にまとめた。



由良川 St. 1 (水深 11.4m)

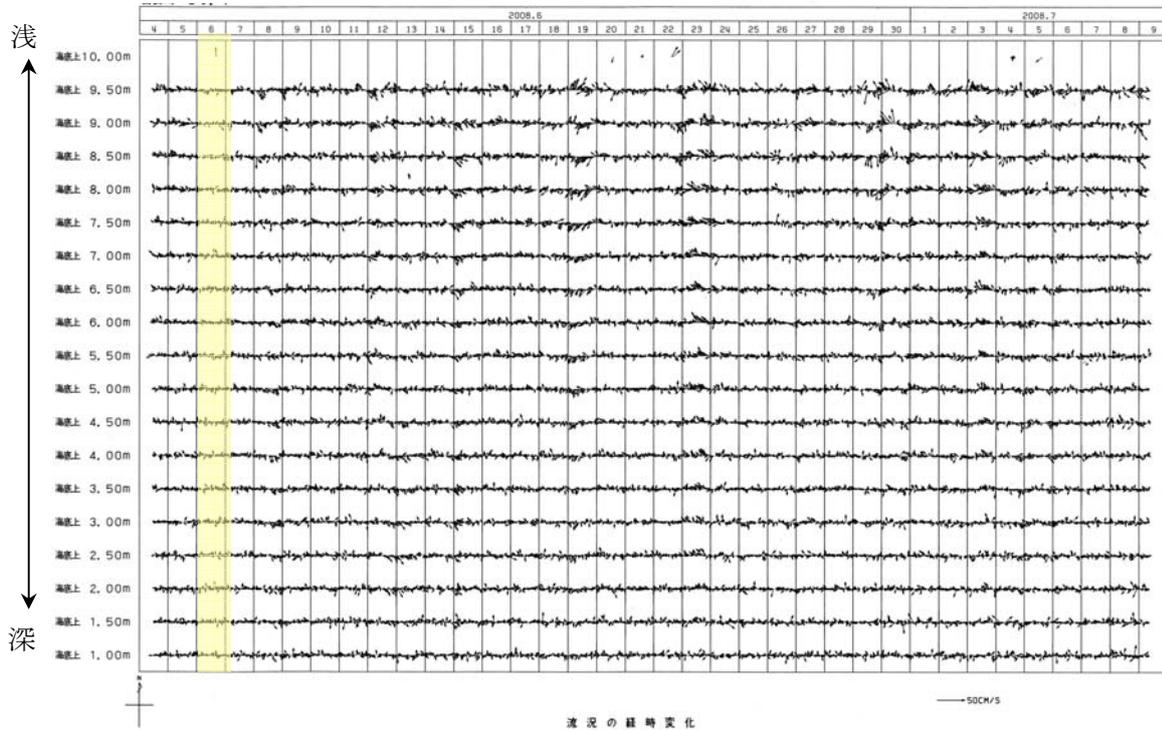


図 2-17 多層流速観測記録 (St. 1)

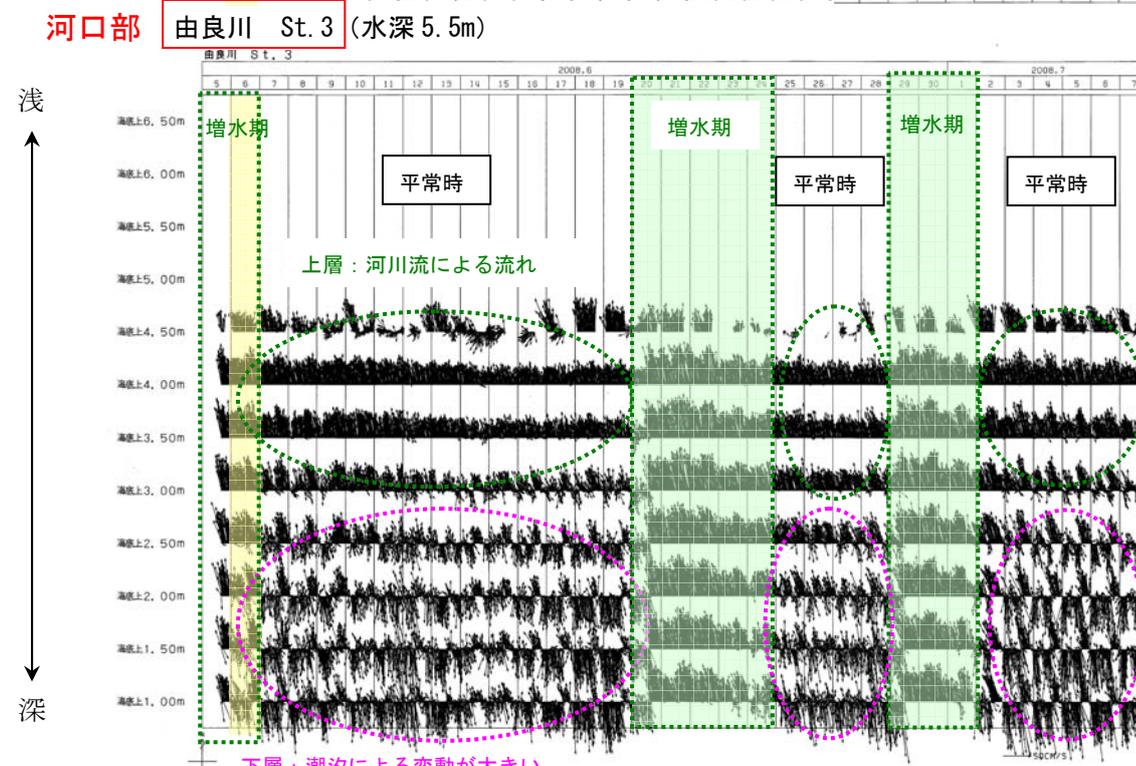
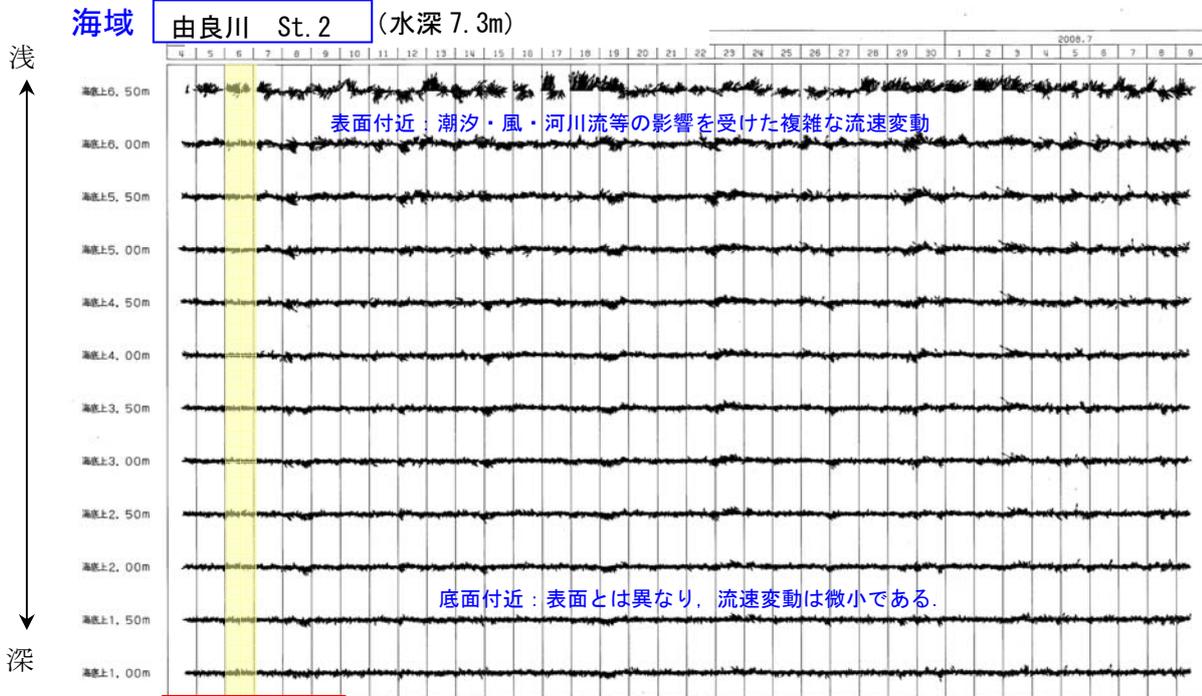
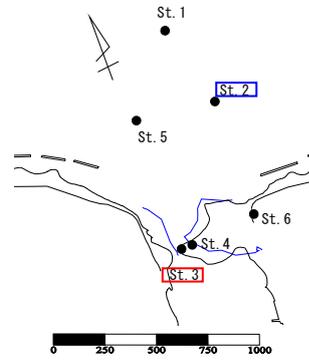
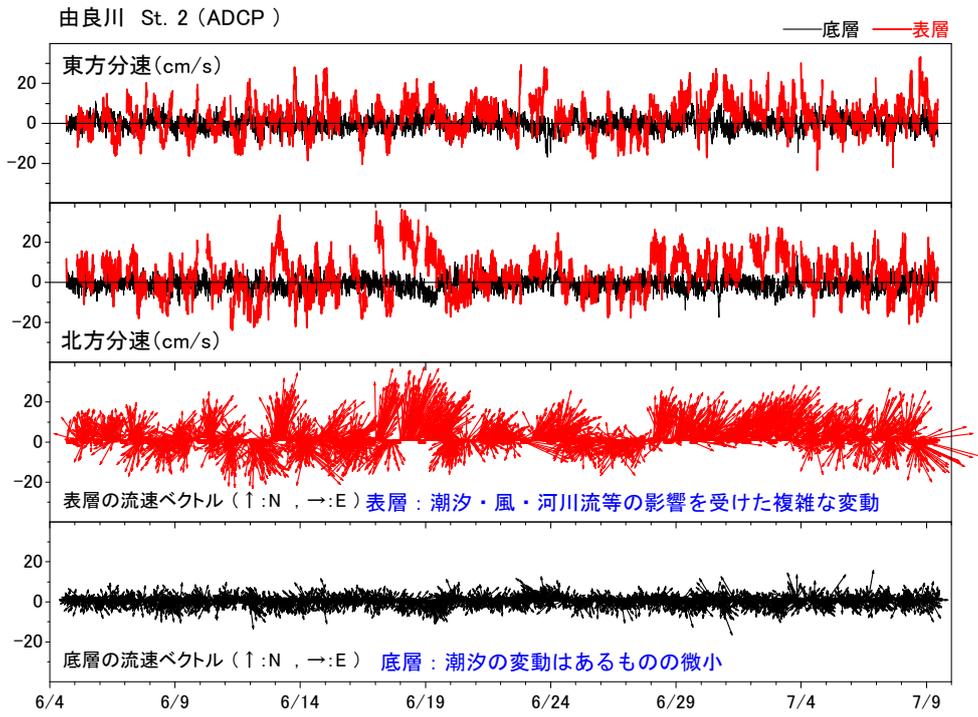


図 2-18 多層流速観測記録 (上図 ; St. 2, 下図 ; St. 3)

海域



河口部

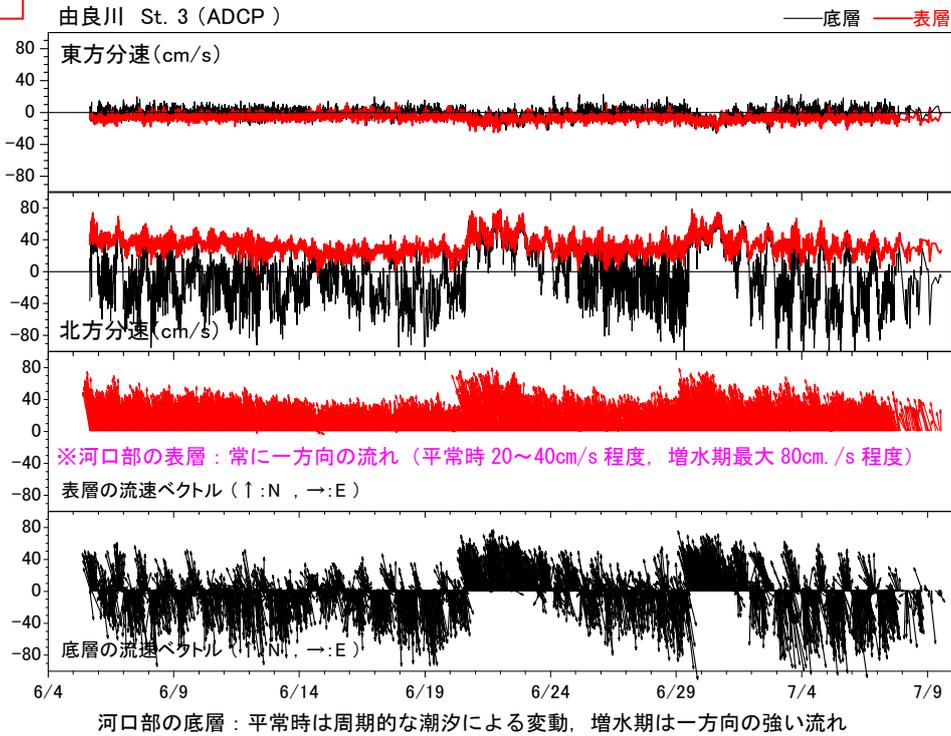
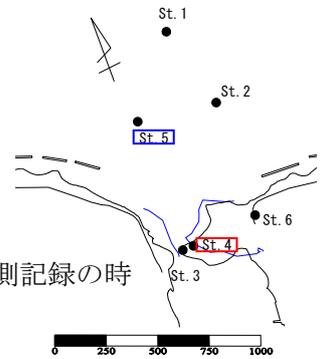


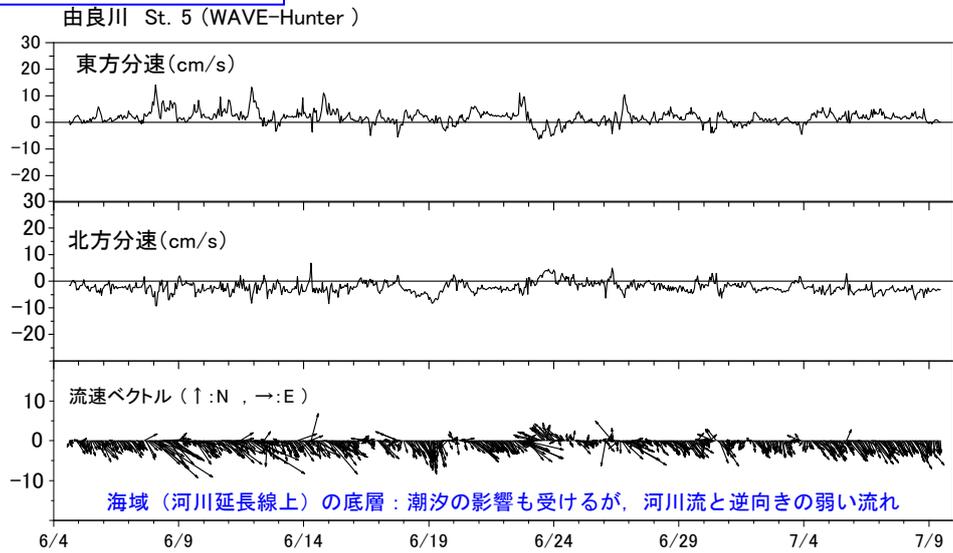
図 2-19 表層流速と底層流速の時系列変化 (上図; St. 2, 下図; St. 3)



ii) 単層流速観測記録

St. 5 (Wave-Hunter) と St. 3 (Compact-EM) で取得された底層での流速観測記録の時系列を以下に示す。

海域（河川延長線上）



河口部

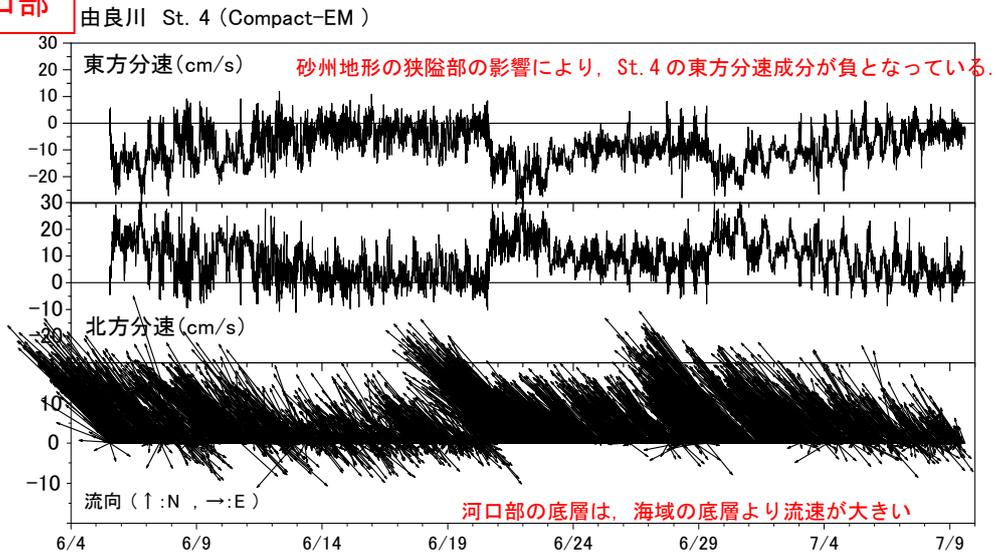


図 2-20 単層流速の時系列変化（上図；St. 5, 下図；St. 4）

(4) 曳航式流況調査

1) 曳航式観測時の気象・海象条件及び流況測定記録

曳航式流況観測時（2008年6月6日）の各観測記録より気象・海象条件、流況観測記録を以下のとおり整理した。

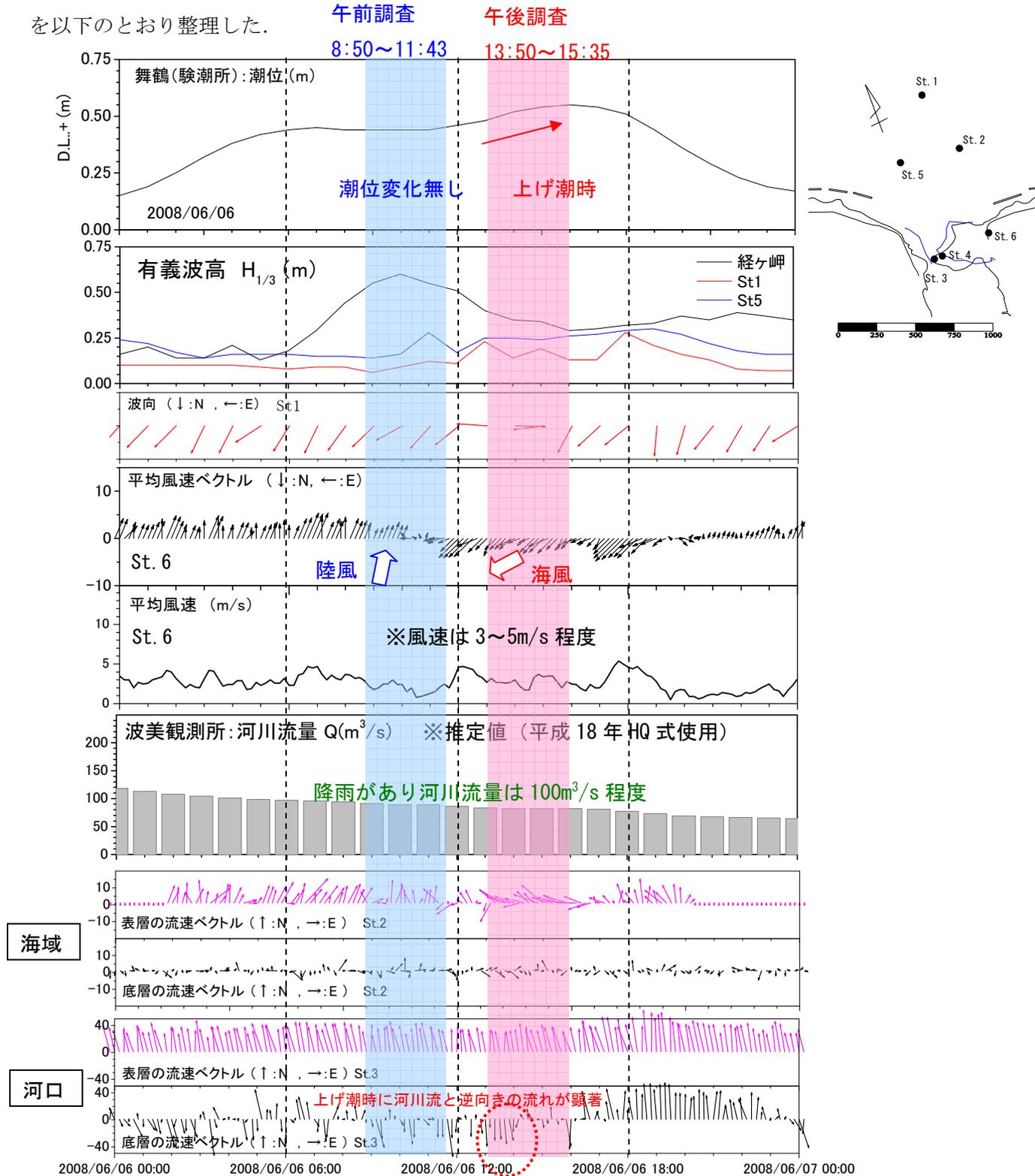


図 2-21 曳航式流況観測時（2008年6月6日）の各観測記録（由良川）

2) 航跡図

曳航式流況観測の航跡図（6月6日午前、午後）を以下に示す。

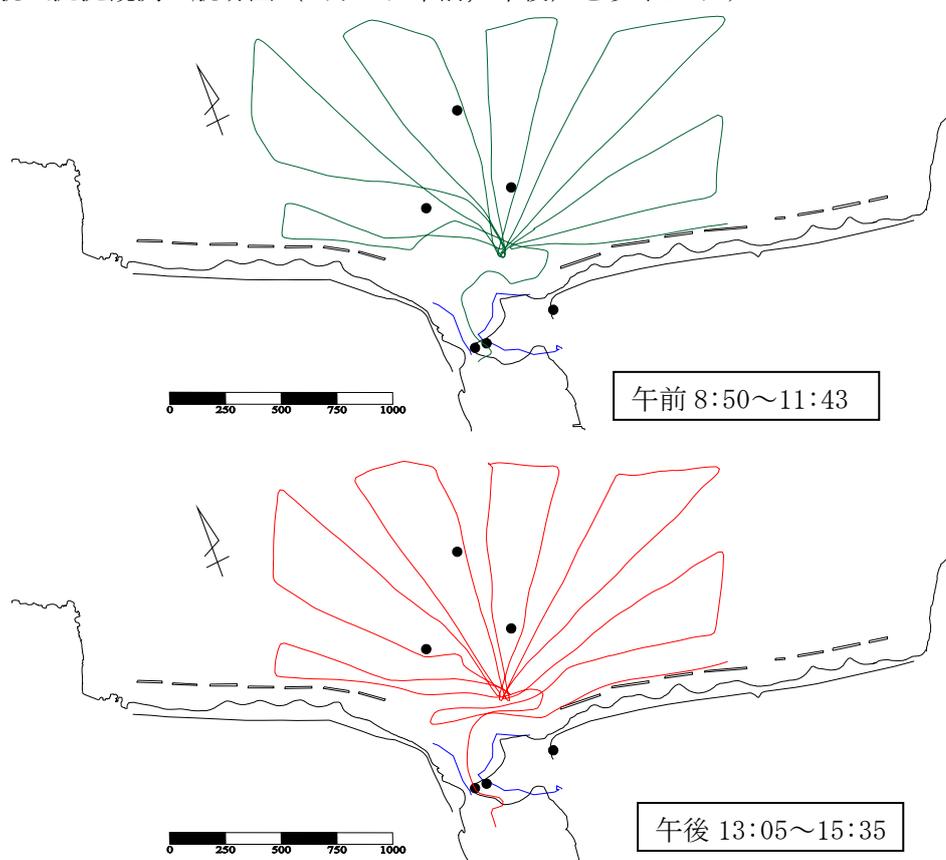


図 2-22 移動流況観測の航跡図（上図；午前調査，下図；午後調査）

3) 曳航式流況観測結果による流れの平面分布

曳航式流況観測結果を利用し，スプライン補間によりメッシュデータ化を行い，流れの平面分布図を作成した。

スプライン補間に用いたデータは，曳航式流況調査より得られた多層流況データより，表層（水深0.5m）と底層のデータを用いることとした。

解析に使用する表層と底層の模式図を図 2-23 に示す。

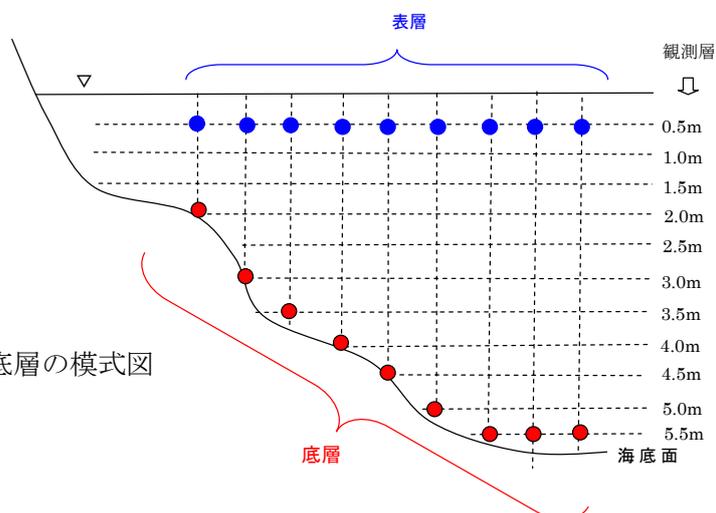


図 2-23 解析に使用する表層と底層の模式図

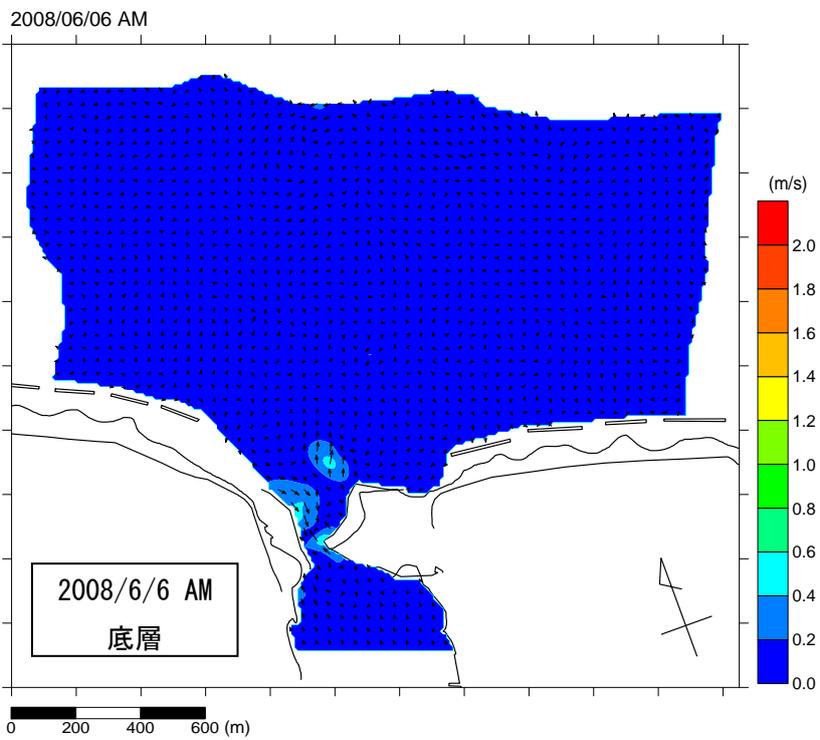
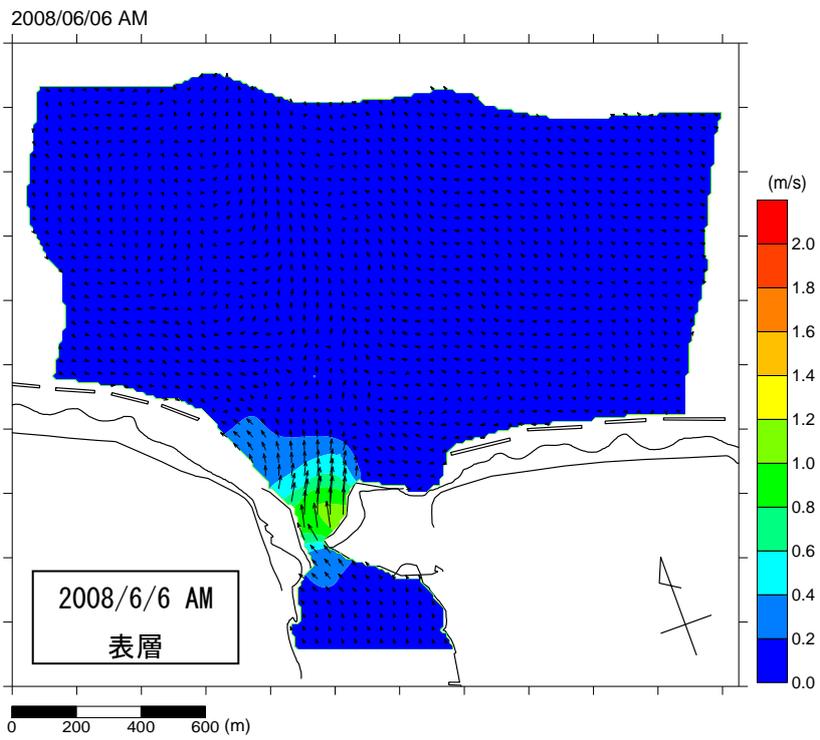


図 2-24 由良川河口域流況データ (2008/6/6 AM) のスプライン補間結果

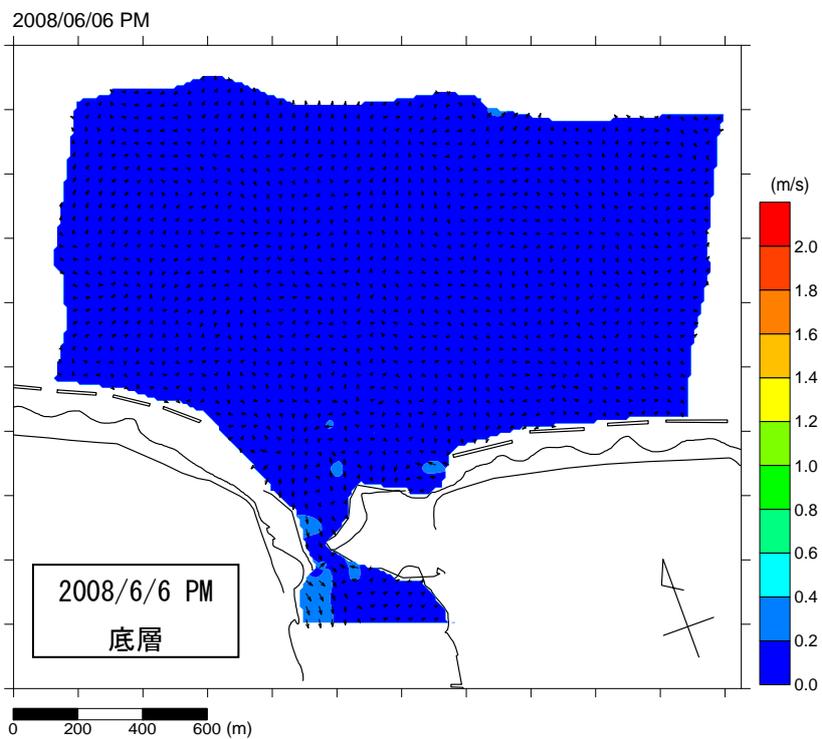
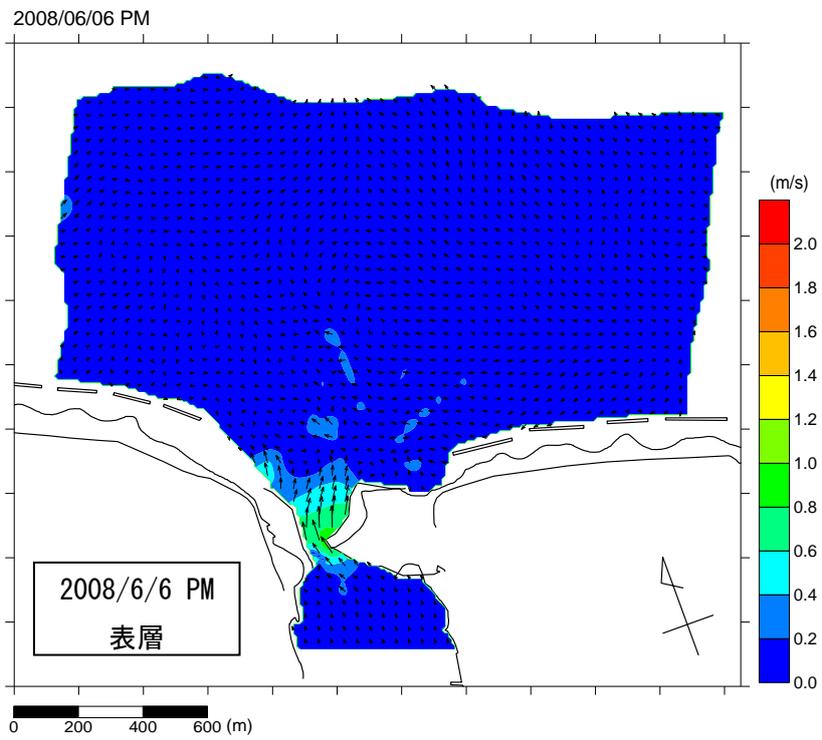


図 2-25 由良川河口域流況データ (2008/6/6 PM) のスプライン補間結果

(5) 水温・塩分観測結果

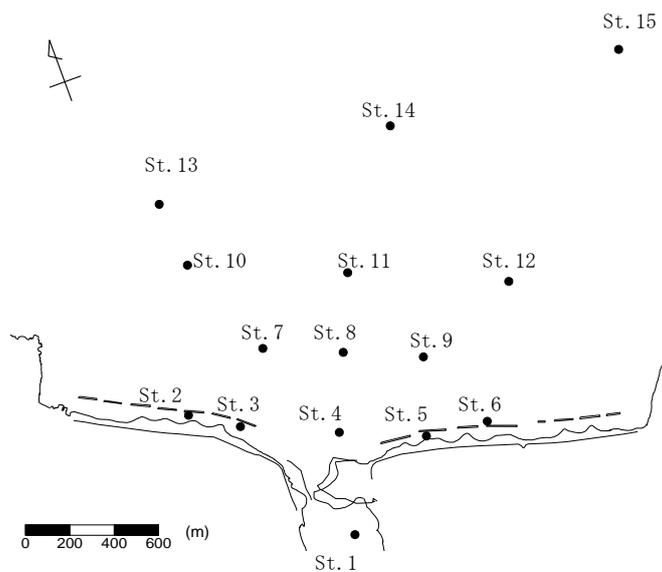
1) 観測地点及び観測開始時間

由良川河口周辺海域で、表 2-11 に示す観測位置と観測時間で水温と塩分観測を行った。

表 2-5 水温・塩分観測地点の座標・観測時間

1回目 (干潮)			
	緯度	経度	観測開始時間
St. 1	35° 30' 44.60"	135° 17' 17.80"	09:07
St. 2	35° 31' 18.80"	135° 16' 49.00"	10:44
St. 3	35° 31' 13.10"	135° 17' 00.15"	10:51
St. 4	35° 31' 05.30"	135° 17' 22.70"	11:02
St. 5	35° 30' 58.70"	135° 17' 42.70"	11:08
St. 6	35° 30' 57.40"	135° 17' 58.10"	11:13
St. 7	35° 31' 26.60"	135° 17' 11.90"	10:35
St. 8	35° 31' 20.40"	135° 17' 30.30"	10:30
St. 9	35° 31' 14.10"	135° 17' 48.60"	10:25
St. 10	35° 31' 47.70"	135° 17' 01.30"	09:59
St. 11	35° 31' 35.40"	135° 17' 38.00"	10:08
St. 12	35° 31' 22.80"	135° 18' 14.80"	10:17
St. 13	35° 32' 01.30"	135° 16' 59.80"	09:50
St. 14	35° 32' 00.70"	135° 18' 00.20"	09:39
St. 15	35° 31' 59.90"	135° 18' 59.80"	09:27

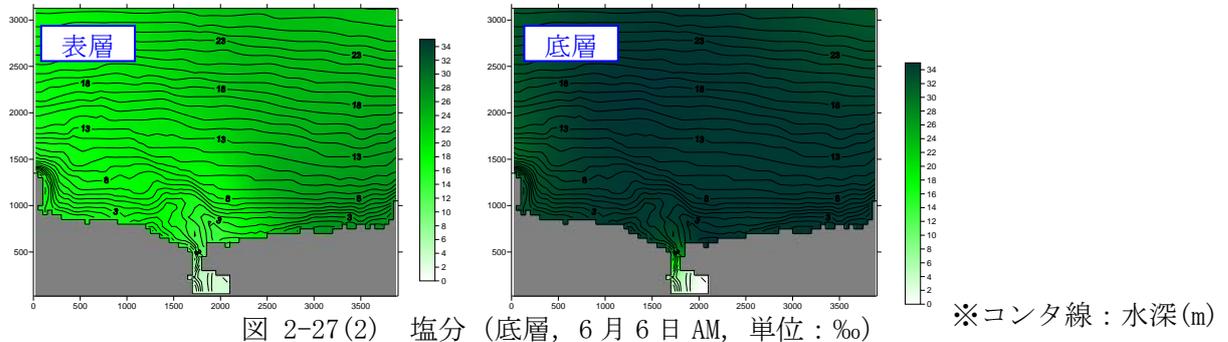
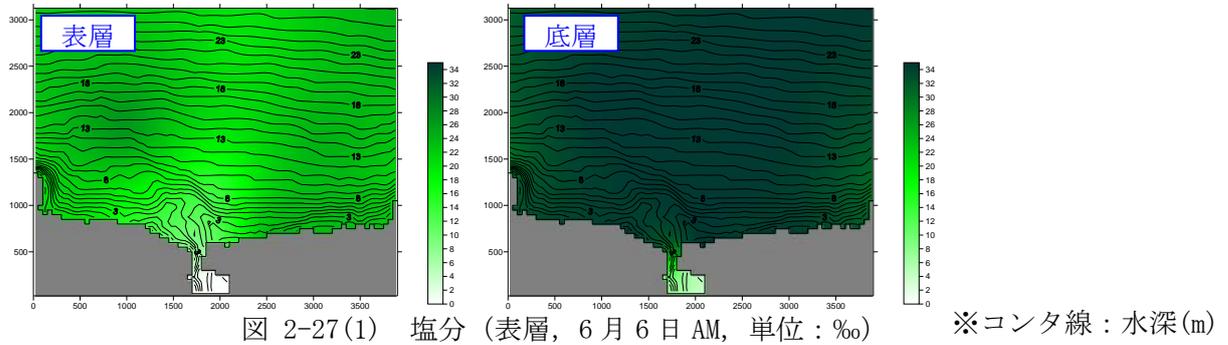
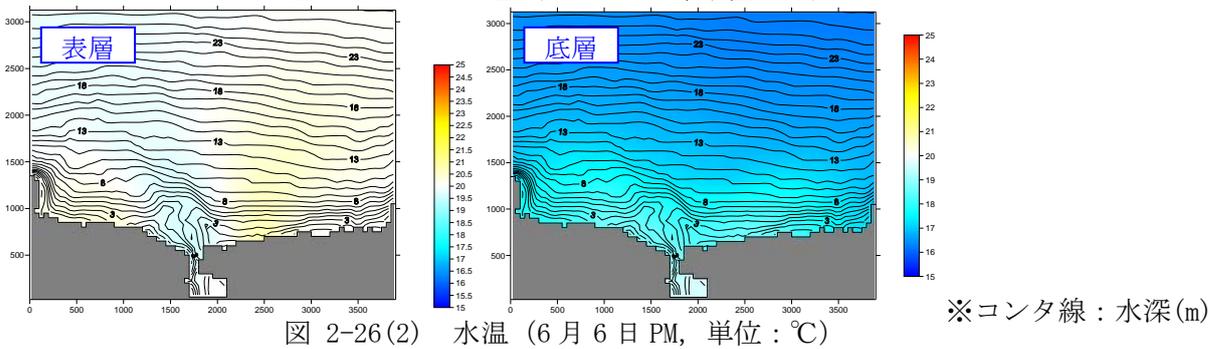
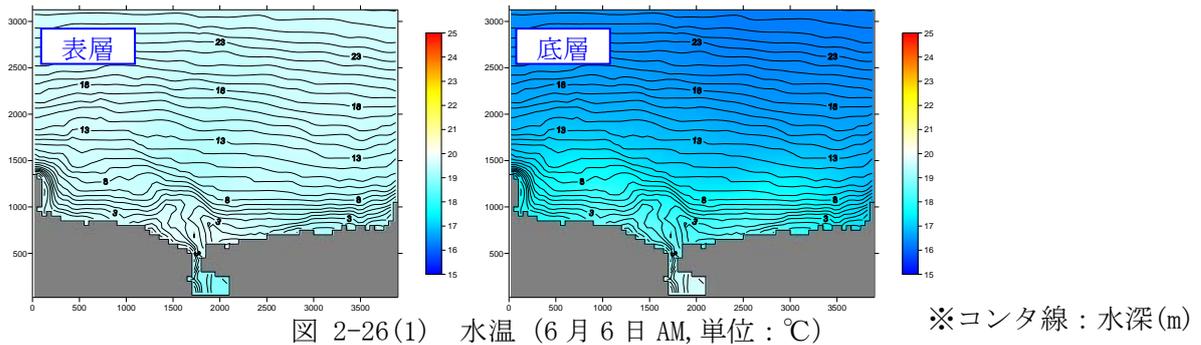
2回目 (満潮)			
	緯度	経度	観測開始時間
St. 1	35° 30' 44.40"	135° 17' 18.70"	13:03
St. 2	35° 31' 18.80"	135° 16' 48.70"	14:27
St. 3	35° 31' 13.10"	135° 17' 01.50"	14:32
St. 4	35° 31' 05.30"	135° 17' 22.70"	14:40
St. 5	35° 30' 58.70"	135° 17' 42.60"	14:45
St. 6	35° 30' 57.50"	135° 17' 58.10"	14:49
St. 7	35° 31' 26.70"	135° 17' 12.00"	14:21
St. 8	35° 31' 20.40"	135° 17' 30.30"	14:16
St. 9	35° 31' 14.20"	135° 17' 48.60"	14:11
St. 10	35° 31' 47.80"	135° 17' 01.30"	13:50
St. 11	35° 31' 35.40"	135° 17' 38.10"	13:58
St. 12	35° 31' 22.70"	135° 18' 14.60"	14:06
St. 13	35° 32' 00.70"	135° 17' 00.30"	13:45
St. 14	35° 32' 00.30"	135° 18' 00.10"	13:34
St. 15	35° 31' 00.30"	135° 18' 59.00"	13:24



2) 水温・塩分の平面分布図

水温、塩分の測定結果を表層と底層に着目した整理を行い、スプライン補間による以下の平面分布図をまとめた。

6月6日 AM 調査時と PM 調査時ともに、表層と底層では水温差があったことと、表層の塩分濃度は、底層に比べ調査範囲全域で低かったことが確認できる。



(6) ブイ追跡による流況パターン把握

1) 測定方法

簡易 GPS ブイを用いて、高波浪時の表層の流れを観測した。簡易 GPS ブイのフロートは通常、漁具に用いられるフロートで寸法 274×228×42mm、浮力 8500g の規格のものを使用し、GPS は多機能ハンディ型のものを使用した。以下に観測時の状況写真を示す。



図 2-28 簡易 GPS ブイによる流況パターンの確認状況 (由良川)

2) 高波浪時の流況

高波浪時 (2008 年 6 月 27 日, 30 日) に GPS ブイを使用して、追跡調査を実施した。

表 2-6 高波浪時の GPS ブイ追跡観測

日付	No	開始時刻	終了時刻	経過時間
2008/6/27	1	8:12:07	8:28:37	0:16:30
	2	8:37:01	9:06:51	0:29:50
	3	9:32:00	10:07:00	0:35:00
2008/6/30	1	16:56:56	17:01:06	0:04:10
	2	17:18:38	17:30:08	0:11:30
	3	17:37:00	17:40:50	0:03:50
	4	18:04:37	18:12:57	0:08:20
	5	18:58:15	19:01:15	0:03:00
	6	18:35:17	18:45:07	0:09:50

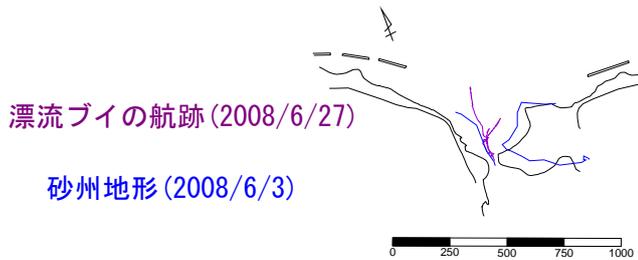


図 2-29 ブイ航跡の重ね合せ図 (6 月 27 日実施, 高波浪時)

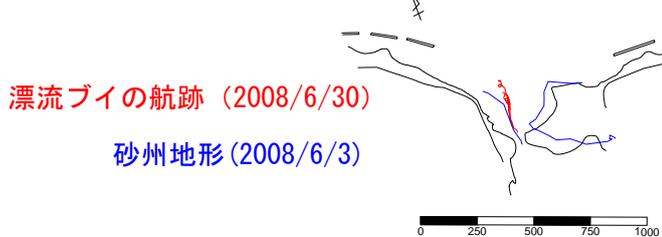


図 2-30 ブイ航跡の重ね合せ図 (6 月 30 日実施, 高波浪時)

3) 平常時の流況観測

荒天時の状況と比較するため、平常時（2008年7月10日）にGPSブイを使用して、追跡調査を実施した。

図 2-31 平常時のGPSブイ追跡観測

日付	No	開始時刻	終了時刻	経過時間
2008/7/10	1	8:47:01	9:00:21	0:13:20
	2	9:05:06	9:20:48	0:15:42
	3	9:35:02	9:50:22	0:15:20
	4	9:56:03	10:11:23	0:15:20
	5	10:17:01	10:32:22	0:15:21

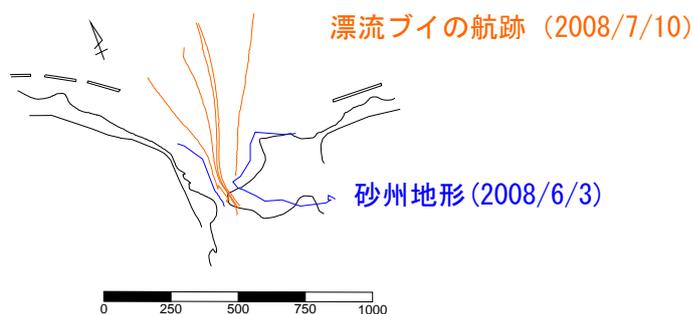


図 2-32 ブイ航跡の重ね合せ図（7月10日実施、平常時）

(7) 調査期間中の砂州地形の変化

由良川河口域の調査期間中に簡易型GPSを用いて砂州の水際の位置を3回（6/3, 6/27, 7/10）測定し、砂州地形の変化を図 2-33 に整理した。

この結果より、調査期間中に砂州地形は大きな変化は無かったことが確認できる。

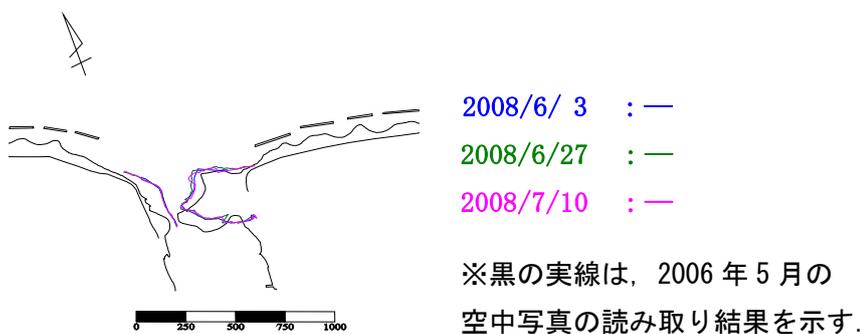


図 2-33 調査期間中の砂州地形の変化

2.2.3 モデル海域（由良川河口域）での特性把握

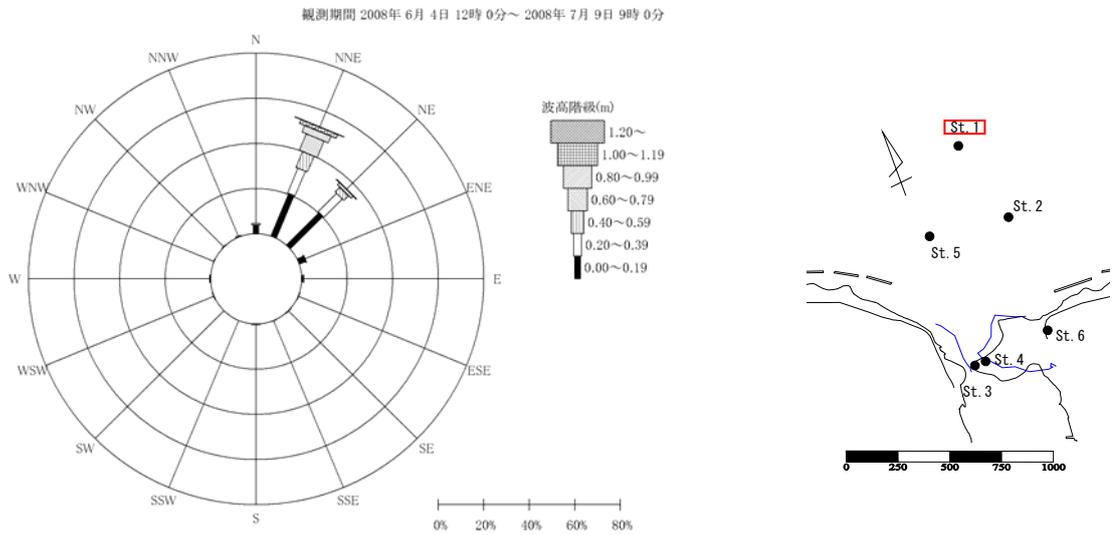
(1) 現地調査結果の整理

由良川河口域の波浪・流況に関して、現地調査結果を整理した結果を以下に示す。

1) 波浪出現頻度

由良川河口域での観測期間中（2008年6月4日～7月9日）の波浪データの整理結果を図 2-34 に示す。最も沖側の観測点である St.1 の出現頻度特性は以下の通りである。

- ・波向は NNE が大半を占める。
- ・波高は 0.5m 未満が 80.6% であり、最大波高は 1.2m 程度である。
- ・最多周期は 4.0～4.9 秒であるが、波高 0.6m 以上では 6.0～6.9 秒が最も多い。



平均波向別有義波高 由良川 St.1

波高階級(m)	周期階級 (s)																合計		
	0.0 ~0.9	1.0 ~1.9	2.0 ~2.9	3.0 ~3.9	4.0 ~4.9	5.0 ~5.9	6.0 ~6.9	7.0 ~7.9	8.0 ~8.9	9.0 ~9.9	10.0 ~10.9	11.0 ~11.9	12.0 ~12.9	13.0 ~13.9	14.0 ~14.9	15.0 ~15.9		16.0~	
0.00-0.09	0	0	0	0.2	3.3	6.9	4.3	1.7	0.4	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	17.1
0.10-0.19	0	0	0.8	11.7	11.1	6.4	2.1	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32.6
0.20-0.29	0	0	1.8	4.9	4.2	3.3	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14.4
0.30-0.39	0	0	0.4	1	3.9	3.1	2.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
0.40-0.49	0	0	0.1	0.7	2.1	1.7	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.5
0.50-0.59	0	0	0	0	1.6	1.9	1	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.9
0.60-0.69	0	0	0	0.1	0.5	1	1.6	0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.8
0.70-0.79	0	0	0	0	0.4	1	2.3	1.7	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.5
0.80-0.89	0	0	0	0	0.1	0	1.2	0.8	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.3
0.90-0.99	0	0	0	0	0	0	0.8	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.1
1.00-1.09	0	0	0	0	0	0.4	0.8	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.3
1.10-1.19	0	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5
1.20-1.29	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1
1.30-1.39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.40-1.49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.50-1.59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.60-1.69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.70-1.79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.80-1.89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.90-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
合計	0	0	3.1	18.6	27.2	25.7	18.1	6.1	1	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	100

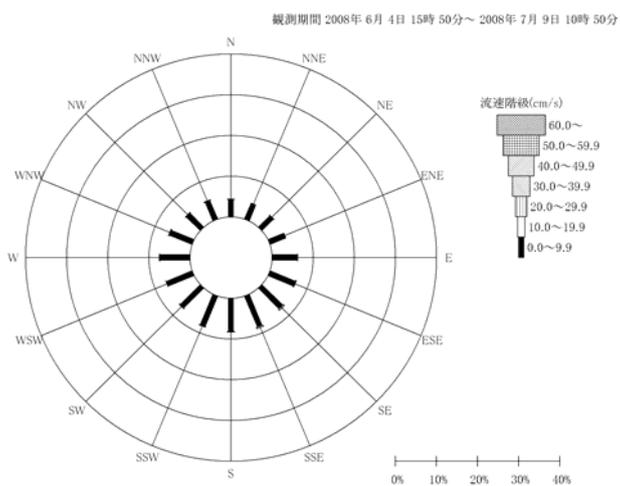
静穏 0%

図 2-34 調査期間中の波浪出現頻度（由良川河口域，St1）

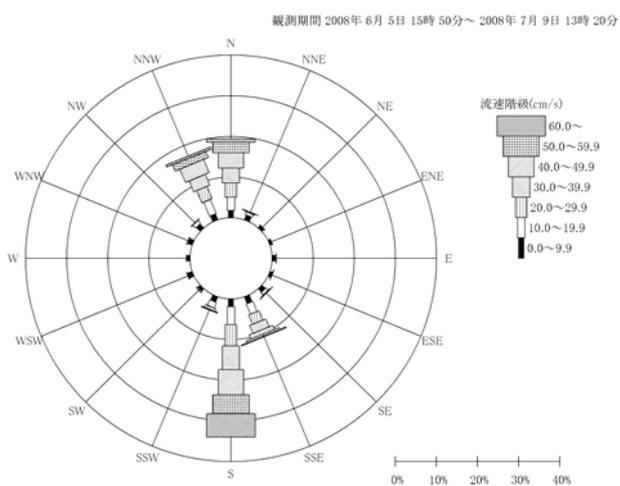
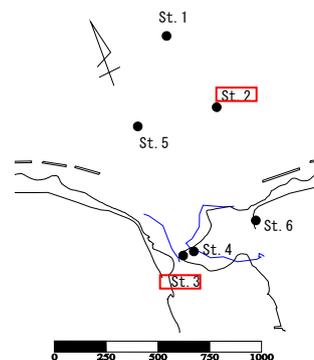
2) 流況出現頻度

観測期間中の流況出現頻度の特性は以下のとおりである。

- St. 2 の底層の流速は 10cm/s 未満であり，流向はどの向きにも一様な頻度特性分布を示している。
- St. 3 の底層の流向頻度より，底層は河川の流下方向と逆向き流れが多数あり，N・NNW と S・SSE を往復する流れであることがわかる。



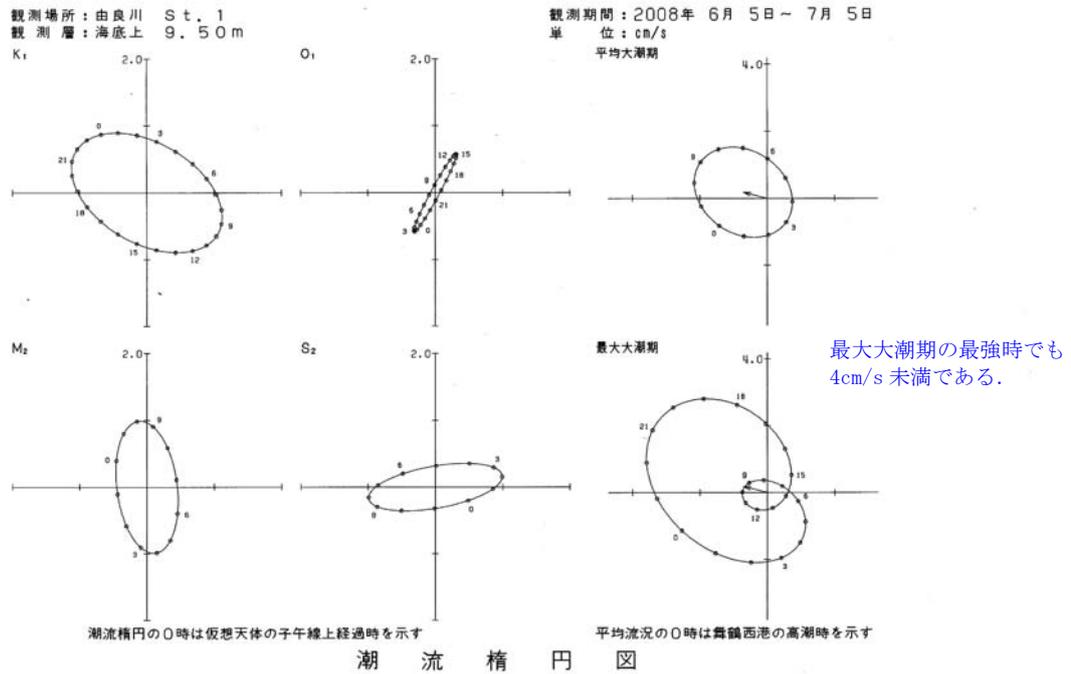
平均流向別平均流速 由良川 St.2



平均流向別平均流速 由良川 St.3

図 2-35 調査期間中の流況出現頻度（上図；St. 2，下図；St. 3）

3) 潮流調和分解 (由良川 St. 1, 海底上 9.5m の観測層, 水深 11.4m)



場所: 由良川
測点: St. 1
位置: 北緯 35° 31' 27"
東経 135° 17' 26"
観測層: 海底上 9.50m
観測年月日: 2008年6月5日 ~ 2008年7月5日

分潮	北方分速		東方分速		精円要素						主流向 3.6°	
	流速 (cm/sec)	遅角 (°)	流速 (cm/sec)	遅角 (°)	長軸		短軸		流速 (cm/sec)	遅角 (°)		
K ₁	0.9	13.5	1.1	127.4	300.4	1.2	327.2	30.4	0.7	57.2	0.9	17.8
O ₁	0.6	213.5	0.3	226.5	28.4	0.7	216.5	118.4	0.1	306.5	0.6	213.9
P ₁	0.3	13.5	0.4	127.4	300.4	0.4	327.2	30.4	0.2	57.2	0.3	17.8
Q ₁	0.5	342.8	0.7	106.3	300.0	0.8	302.3	30.0	0.4	32.3	0.5	347.2
M ₂	1.0	293.7	0.5	191.3	352.7	1.0	297.1	82.7	0.4	207.1	1.0	292.1
S ₂	0.4	124.5	1.0	60.7	80.0	1.0	63.9	170.0	0.3	333.9	0.4	116.1
K ₂	0.1	124.5	0.3	60.7	80.0	0.3	63.9	170.0	0.1	333.9	0.1	116.1
N ₂	0.6	80.8	0.2	248.5	343.6	0.6	79.8	73.6	0.0	169.8	0.6	81.0
L ₂	0.2	324.7	0.1	25.6	25.5	0.2	338.4	115.5	0.1	68.4	0.2	326.8
ν ₂	0.1	80.8	0.0	248.5	343.6	0.1	79.8	73.6	0.0	169.8	0.1	81.0
μ ₂	0.3	111.2	1.1	283.8	283.1	1.2	104.2	13.1	0.0	194.2	0.2	114.0
M ₄	0.3	152.5	0.9	112.3	74.2	0.9	115.7	164.2	0.2	25.7	0.3	146.7
MS ₄	0.9	230.0	0.6	37.6	329.1	1.1	226.7	59.1	0.1	316.7	0.9	230.5
V ₀	0.2		-0.7			0.7		284.2			0.1	

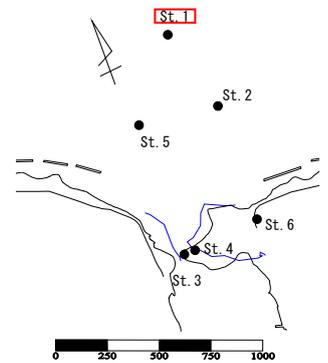


図 2-36 潮流調和分解結果 (由良川河口域(St. 1), 海底上 9.5m の観測層, 水深 11.4m)

4) 曳航式調査時の流況パターン

2008年6月6日の午前と午後に、曳航式流速計による広域の流速測定が実施された。図2-37は、観測データのスプライン補完により流速ベクトル分布（表層流速）を作成したものである。図より、河口部の砂州の狭隘部では、流れが強く（流速1.0m/s程度）、海域に出るに従い流速が低減する様子が確認される。

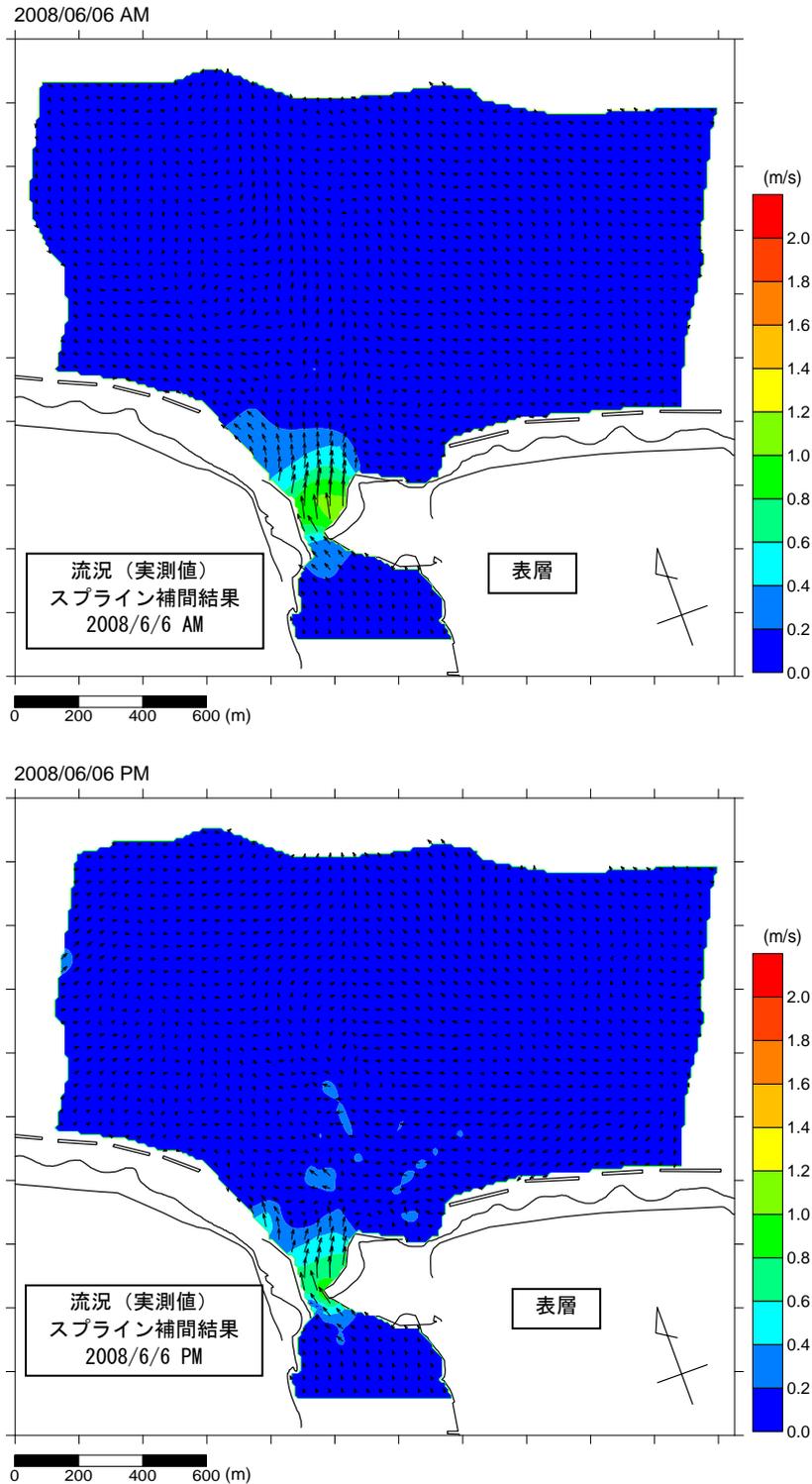


図 2-37 由良川河口域の曳航式流況調査結果（表層）（上図；AM，下図；PM）

(2) 流況シミュレーション

1) シミュレーションモデルの概要

河口付近は、波と流れが影響を及ぼしあい、複雑な流況パターンが形成されているため、シミュレーションモデルには、波と流れの相互干渉を考慮できることが要求される。本調査では、波浪変形モデルと流れ場計算モデルの 2 つの数値モデルを用いて河口域周辺の流れ場のシミュレーションをおこなう。以下にモデルの特徴を述べる。(なお、より詳細なモデルの説明は参考資料に付した。)

i) 波浪変形モデル (WABED)

波浪変形の計算には、波作用量平衡方程式に基づく波浪変形モデル (WABED; 間瀬ら, 1999) を用いた。波作用量は波エネルギー E を相対角周波数 σ で除した量で定義される量である。波作用量平衡方程式は、波の進行方向に逆流する流れがあるときの波高の増大及び順流時の波高の低減といった流れの影響による波の変形を考慮することができる点が大きな特徴である。

ii) 流れ場計算モデル (NeCST)

河口域は、河川流、潮流、吸送流及び海浜流 (波による流れ) など多様な外力が相互に影響し流れ場を形成する。本調査では、水深積分型の連続式と運動方程式を基礎式とし、上記のような多様な外力条件下の流況を計算するために開発された流れ場計算モデル (NeCST-2D) により流れ場の計算をおこなう。

また、波と流れ (河川流, 潮流) が共存する場合の計算では、図 2-38 に示すように、波浪変形モデルと流れ場計算モデルの計算結果をそれぞれ受け渡して繰り返し計算することにより波と流れの相互作用を考慮する。

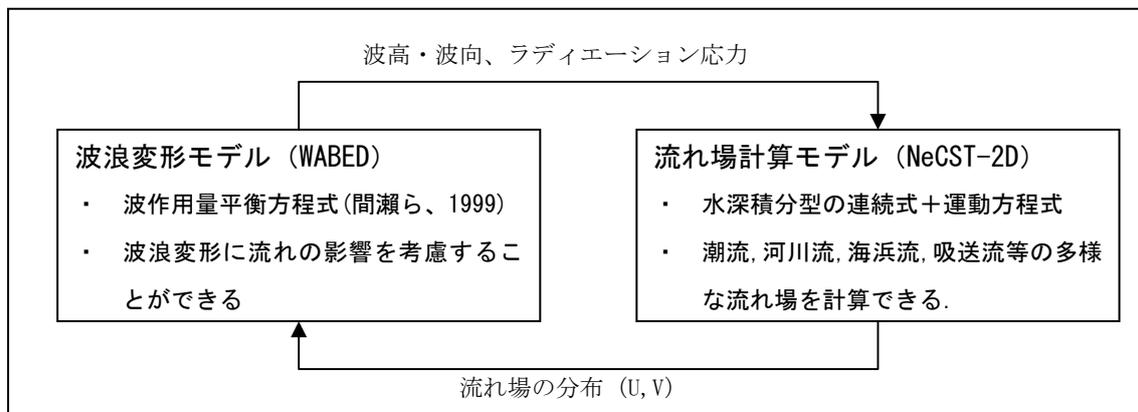


図 2-38 波・流れの相互作用を考慮した流況予測の数値計算モデル

2) 計算条件

i) 地形データ

計算に用いる由良川河口域周辺の海底地形を図 2-39 に示す。地形データは 2005 年 3 月の測量データを基に 10m 格子の水深データ (=225x190) を作成した。河口の砂州形状は調査実施時に砂州地形の外形をポータブル GPS による簡易測量を実施しており、その形状を当てはめた。図 2-39 の海底形状では、河口の狭隘部の最大水深が 1m 程度となっており、河口がほぼ閉塞している条件とみなせる。

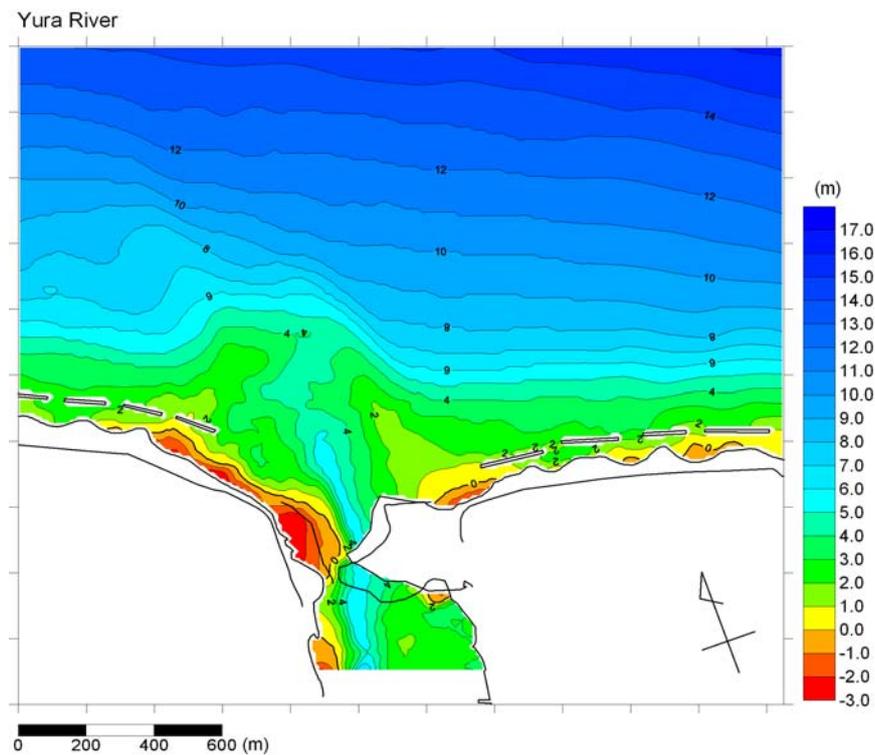


図 2-39 海底地形 (由良川河口域)

ii) 外力条件

シミュレーションに用いる外力条件として、現地調査期間中の河川流量データ（図 2-40）及び波浪観測データ（図 2-41）より、表 2-75 に示すケースの特徴的な外力条件を抽出した。これらの条件について、流況予測計算をおこない、由良川河口域での特徴的な流況パターンを検討する。

表 2-7 現地観測時の外力データより抽出した特徴的な外力条件

ケース	河川流	波浪			潮位 (m, D.L.)	備考
	流量(m ³ /s)	波高(m)	周期(s)	波向(度)		
①- AM	89.9	-	-	-	+0.44	増水時, 低波浪 (6/6) (※曳航式調査時)
①- PM	81.9	-	-	-	+0.52	
②	41.8	1.12	7.4	NNE	+0.25	夏季通常時, 高波浪 (6/15)
③	42.6	-	-	-	+0.36	夏季通常時, 低波浪 (6/19)
④	197.66	-	-	-	+0.27	増水時, 低波浪 (6/21)
⑤	137.81	1.20	6.0	NNE	+0.45	増水時, 高波浪 (6/30)

注) 低波浪は、波高 0.2m 以下であり、波浪の影響は少ないものとした。

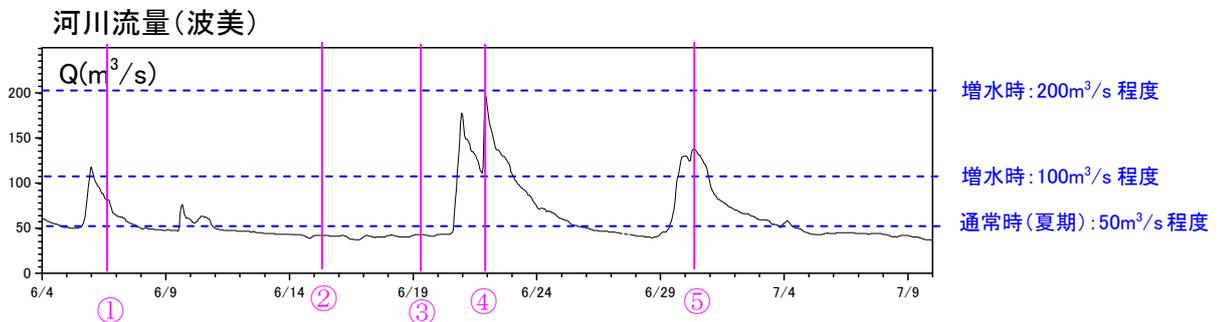


図 2-40 河川流量（波美観測所の推定値）の時系列

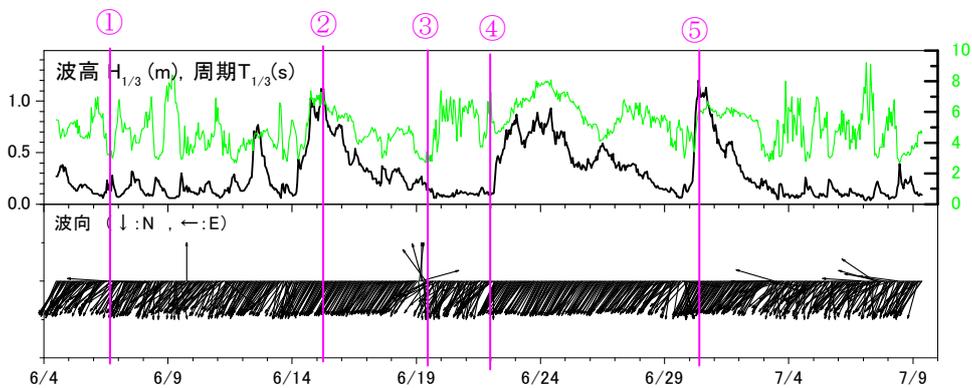


図 2-41 St. 1（超音波式波高計）の時系列

iii) 計算方法

表 2-7 に示す計算ケースは、低波浪であり河川流のみで流況予測をするケース (①, ③, ④) と河川流と波浪が共存するケース (②, ⑤) の2つのタイプに分けられる。

河川流のみの計算ケース (①, ③, ④)

この場合、流れ場計算モデルのみを用いて計算する。境界条件として、図 2-39 上の下側の開境界上で表 2-7 に示す流量を与え、左右及び上側の開境界では水位を一定として計算をおこなう。計算の時間刻みは 0.5s とし、28800 ステップ (=4 時間) の計算をおこなって最終結果を出力する。

河川流と波浪が共存する計算ケース (②, ⑤)

この場合、波浪変形計算モデルと流れ場計算モデルの2つを用いて、図 2-38 に示すように、それぞれの計算結果を入力条件として受け渡しつつ計算をすすめる。波浪変形計算より出力される各格子点における波高・周期・波向・ラディエーションストレスを流れ場計算の入力条件とし、また、流れ場計算より出力される各格子点の流速 (U, V) を次の波浪変形計算の入力条件として受け渡すことで、波と流れの相互作用を考慮した流況予測計算をおこなう。

3) 河川流による流況パターン（ケース①，③，④）

ここでは，河川流のみの計算ケースの結果を示す。

(a) ケース①（流量＝80～90m³/s）

まず，ケース①の計算結果を示す。ケース①は増水後に実施した曳航式調査時と一致する条件であるため，流速分布のパターンを観測結果と計算結果で比較した。ケース①-AMの流況再現結果を図 2-42，ケース①-PMを図 2-43 に示す。

計算結果は，実測データと同様に，河口部の砂州の狭隘部で流れが強く（流速 1.0m/s 程度），海域に出るに従い流速が低減する様子が確認され，計算結果は妥当な結果を与えている。ただし，砂州の狭隘部において，計算結果は現地調査結果より大きな流速値を示している点は，シミュレーションに用いた地形データの河口部がほぼ閉塞しており，今回の調査実施時の河口の状況とは異なっているためと推測される。

(b) ケース③（流量＝43m³/s）

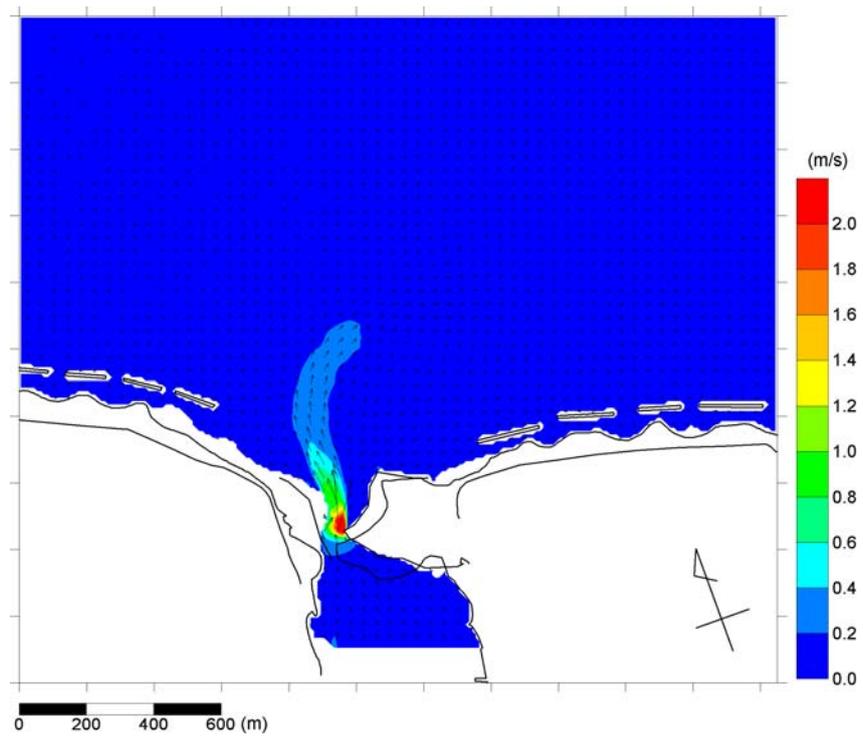
通常時の流量条件に対応するケース③の計算結果を図 2-44 に示す。このケースにおいても河口の狭隘部では 0.4～0.6m/s の比較的速い流速が生じている。

(c) ケース④（流量＝198m³/s）

ケース④（図 2-45）は，現地観測期間中最大の流量条件に対する計算結果である。0.4～0.6m/s の比較的速い流速が生じている範囲が沖側まで広く分布している。

(d) 参考ケース

また，参考ケースとして，ケース⑤の流量条件で河川流のみの計算をおこなった場合と 1000m³/s の流量条件の計算結果を図 2-46 と図 2-47 にそれぞれ示す。河川流による流況を計算した一連の結果から，河川流量に応じて海域の流れのパターンが大きく異なることが確認される。



2008/06/06 AM

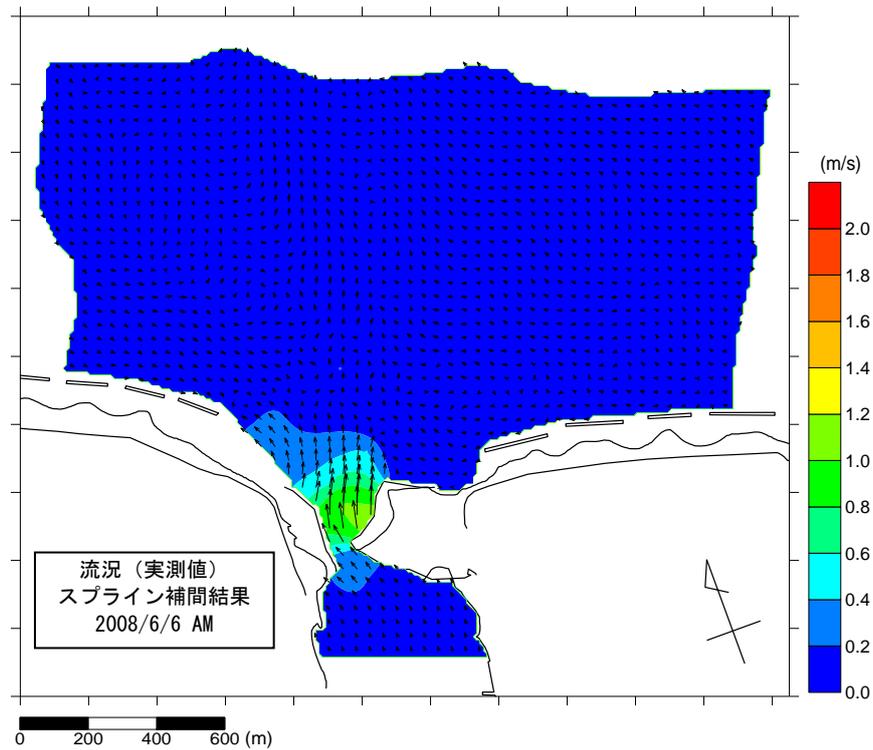


図 2-42 ケース①-AM の流況計算結果 (上) と曳航式調査結果よりスプライン補間して得られた流況パターン (下) (流量 : $Q=89.9\text{m}^3/\text{s}$)

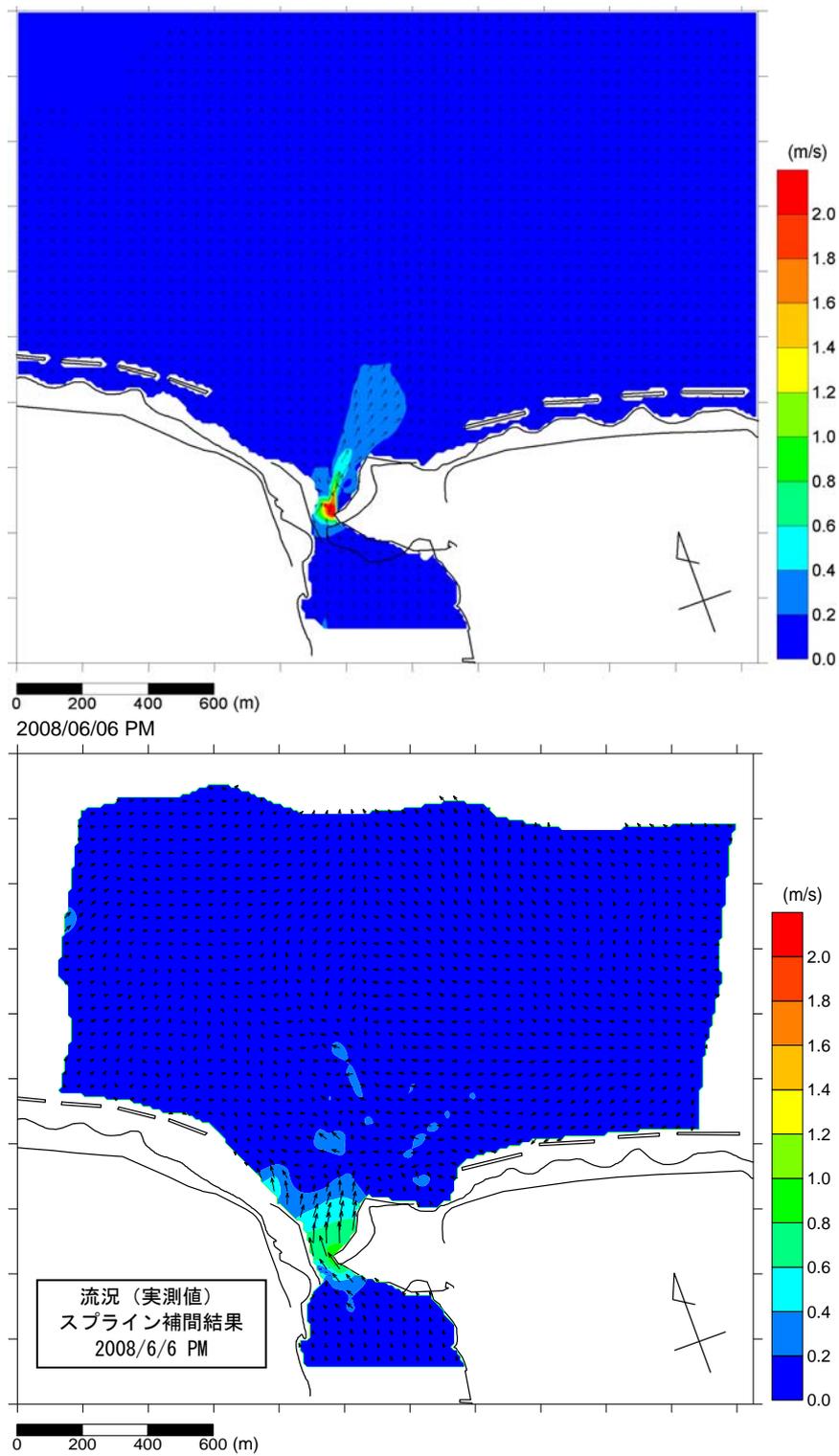


図 2-43 ケース①-PM の流況計算結果（上）と曳航式調査結果よりスプライン補間して得られた流況パターン（下）（流量： $Q=81.9\text{m}^3/\text{s}$ ）

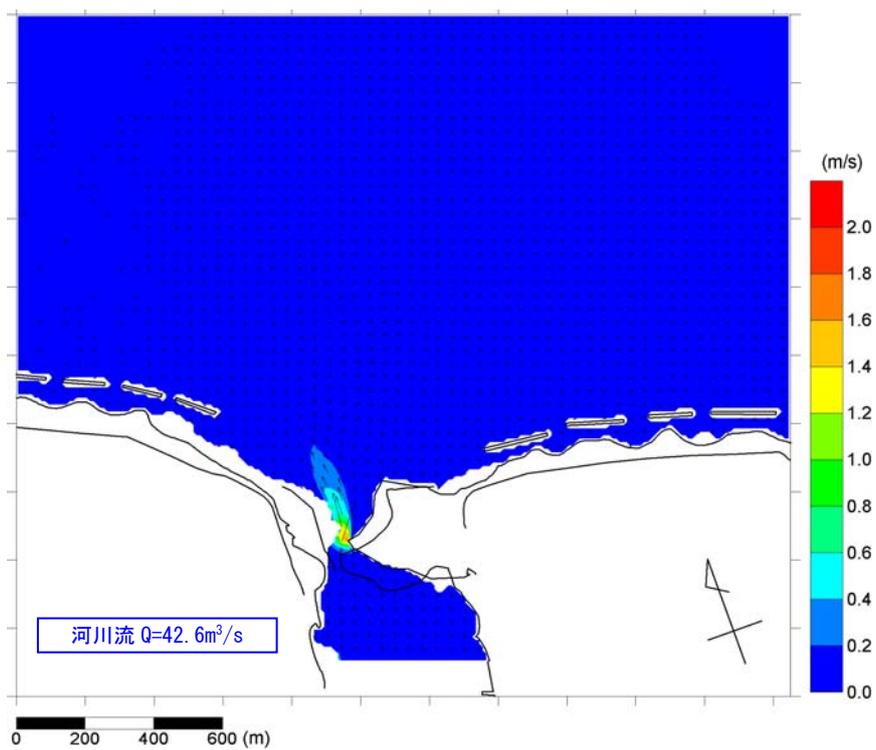


図 2-44 ケース③の流況計算結果 (流量 : $Q=42.6\text{m}^3/\text{s}$, 夏季通常時)

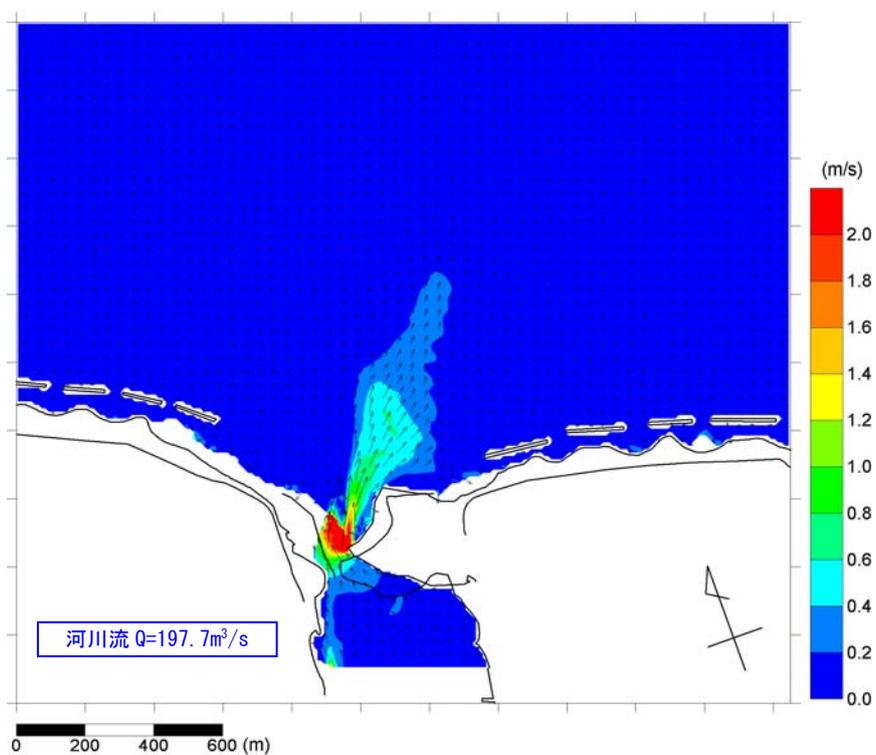


図 2-45 ケース④の流況計算結果 (流量 : $Q=197.7\text{m}^3/\text{s}$)

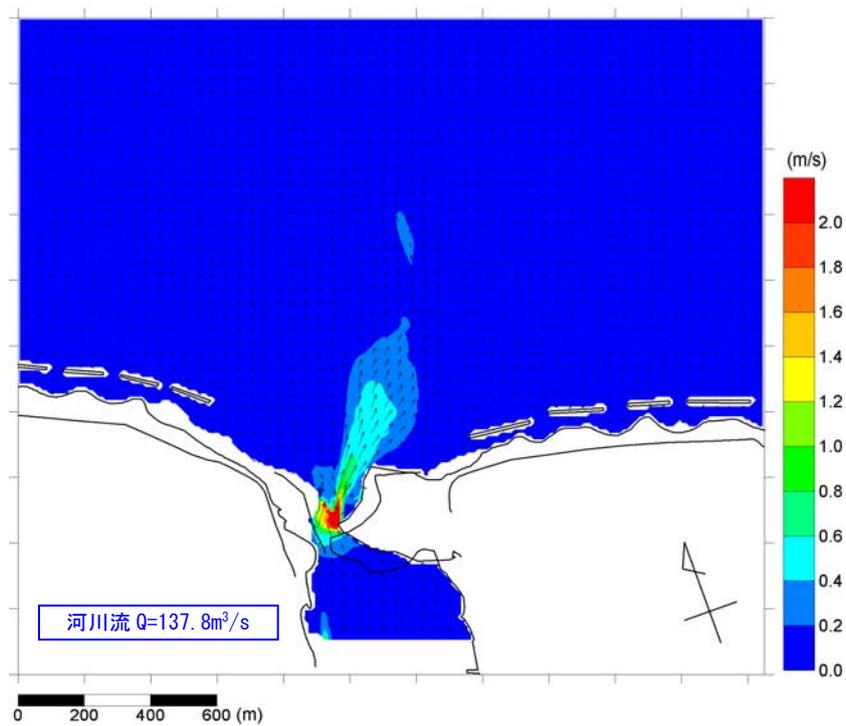


図 2-46 ケース⑤で河川流のみを流況計算結果（流量： $Q=137.8\text{m}^3/\text{s}$ ）（参考例）

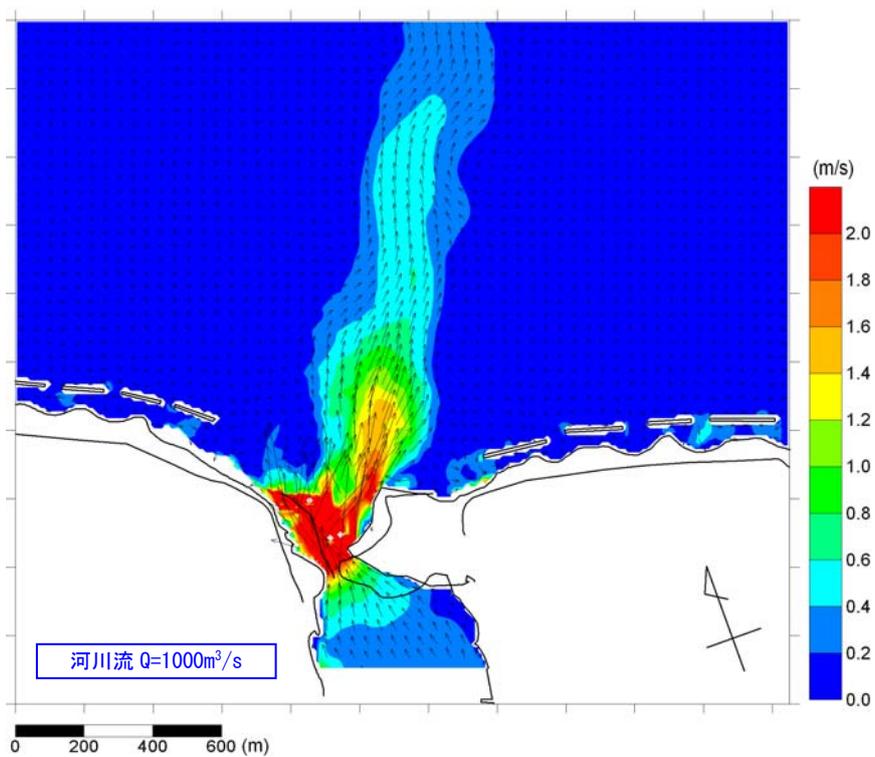


図 2-47 河川流量 $Q=1000\text{m}^3/\text{s}$ の場合の流況計算結果（参考例）

4) 波により生じる海浜流の流況パターン (ケース②, ⑤)

波により生じる海浜流をケース②と⑤について計算した. 図 2-48~図 2-51 に波高分布と海浜流分布を示す. ケース②と⑤の両者とも, 河口に向かう海浜流が生じている.

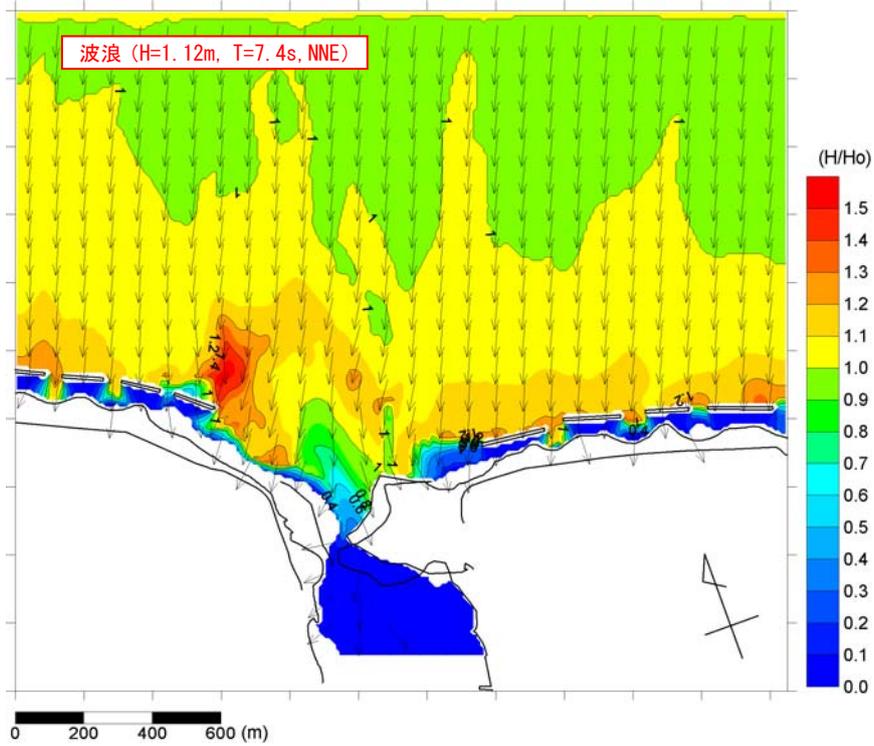


図 2-48 波浪変形計算結果 (ケース②H=1.12m, T=7.4s, NNE)

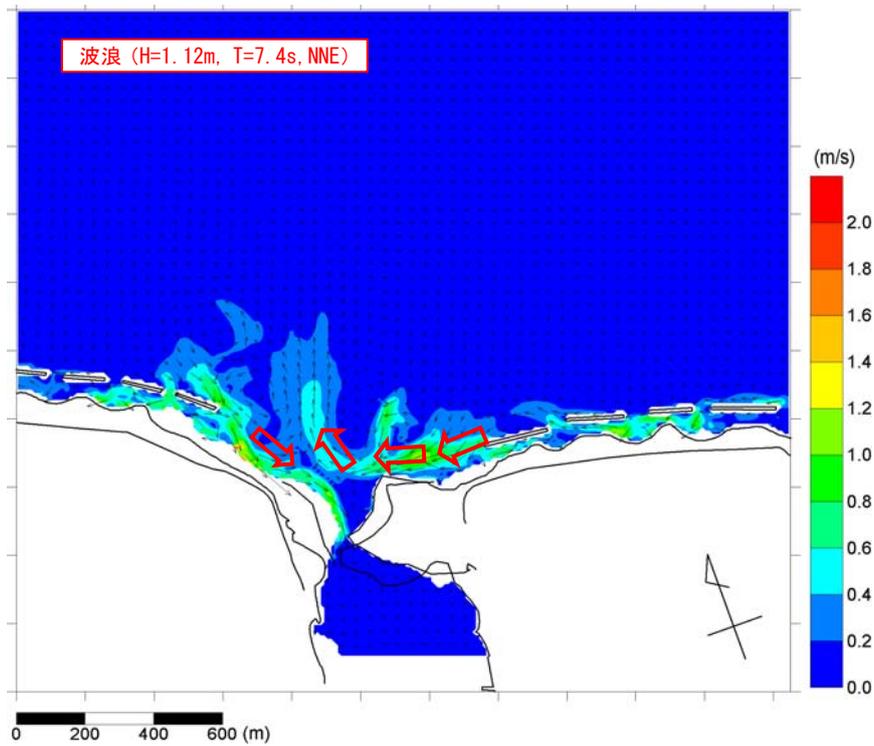


図 2-49 海浜流 (ケース②: H=1.12m, T=7.4s, NNE)

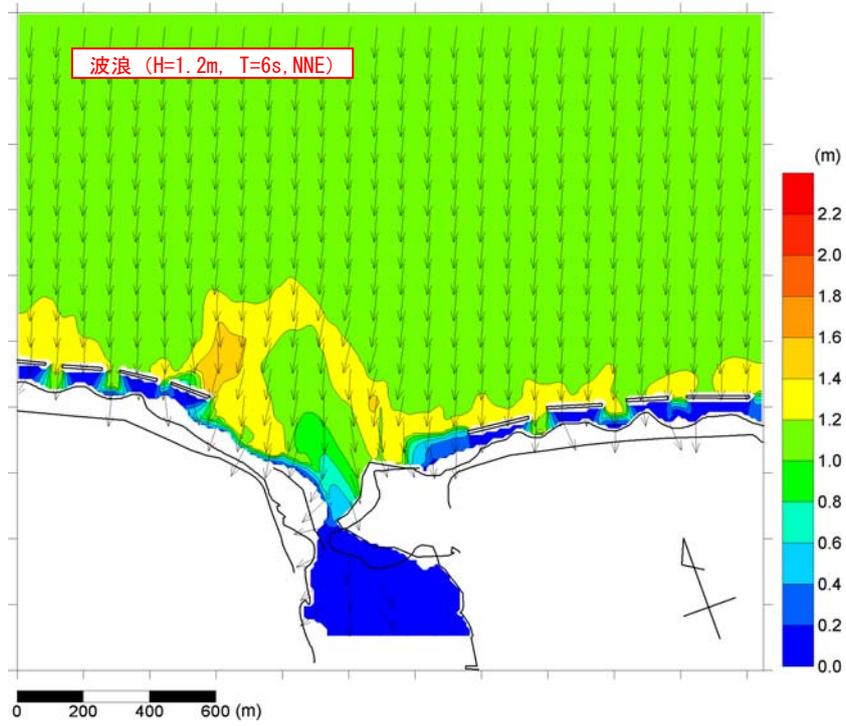


図 2-50 波浪変形計算結果 (ケース⑤) : H=1.20m, T=6.0s, NNE)

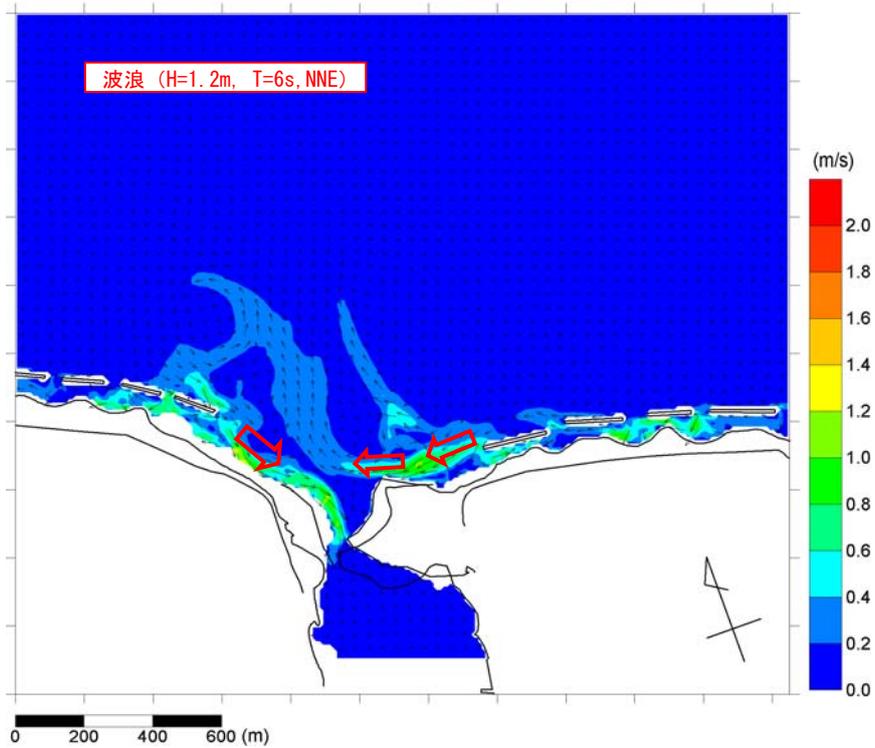


図 2-51 海浜流 (ケース⑤) : H=1.20m, T=6.0s, NNE)

5) 波と流れが共存する場合の流況パターン

波と流れが共存する場合の流況シミュレーションをおこなった。以下では、まず、河川流の有無により波浪場が変化する状況の計算結果を示し、次に、波と流れの相互作用を考慮した場合の流況の計算結果を示す。

i) 河川流の有無による波浪場の変化

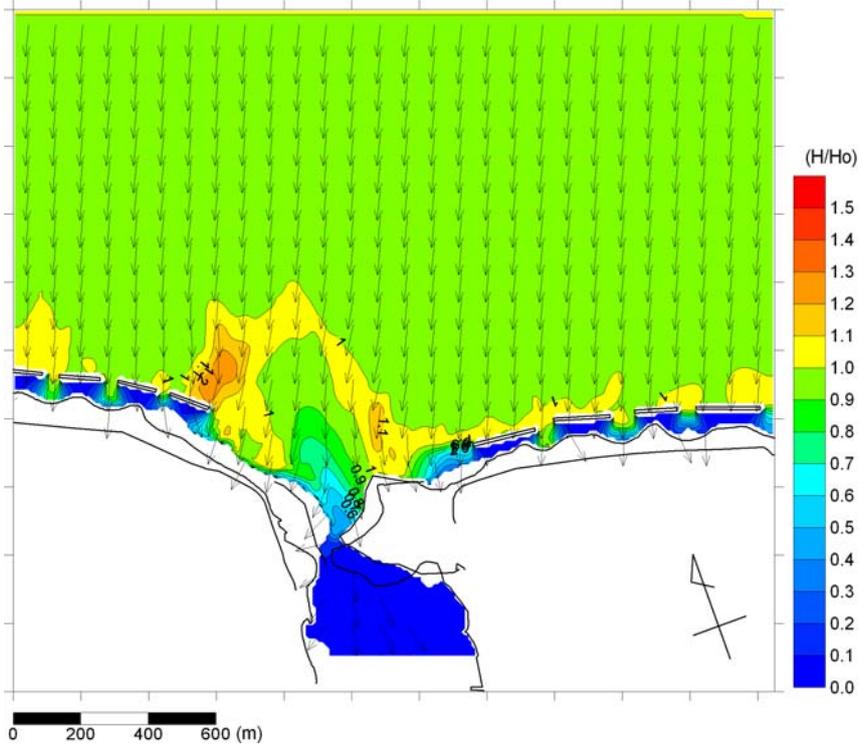
河川流の影響による波高分布の変化を計算するため、流量の多いケース⑤を対象に流れを考慮した波浪変形計算をおこなった。河川流のみによる流況パターンである図 2-46 (ケース⑤) と図 2-45 (ケース④) を比較すると、流況パターンがほぼ類似していたため、以下の計算では、河川流の影響範囲が若干広いケース④の流量条件とケース⑤の波浪条件を用いることとした (ケース⑤')。

図 2-52 は、流れを考慮しない場合の波高分布と図 2-45 に示す流れを考慮した場合の波高分布を示したものである。波高分布は、各地点の波高 H を沖波波高 H_0 で無次元化した波高比 ($=H/H_0$) で表示した。また、図 2-53 は、流れを考慮した場合としない場合の波高の差を沖波波高で無次元化した量及び流れ場の流速ベクトルを同時に表示した。図 2-53 より、河川流の影響が顕著な場所で波高の増大が生じており、増分は右側の砂州の沖で入射波高の 30~40% まで増幅している。

図 2-54 は、波向きの変化を比較したものである。波向きのは沖合いではそれほど顕著な変化は認められないが、河口付近では大きく変化している箇所がある。

以上の計算結果より、流れの影響により波浪場が大きく変化する様子が確認される。

without Current, H/Ho: Ho=1.2m, T=6.0s, Dir=-6 deg.



with Current, H/Ho: Ho=1.2m, T=6.0s, Dir=-6 deg.

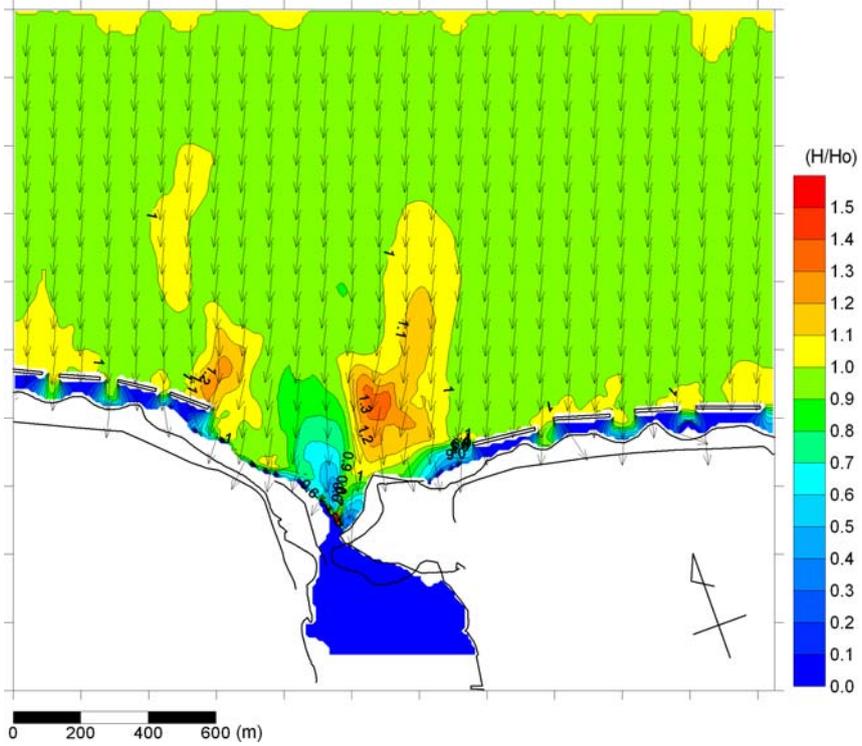


図 2-52 波高・波向き分布 (上: 河川流なしの場合, 下: 河川流ありの場合)

$\Delta H/H_0$: $H_0=1.2\text{m}$, $T=6.0\text{s}$, $\text{Dir}=-6\text{ deg}$.

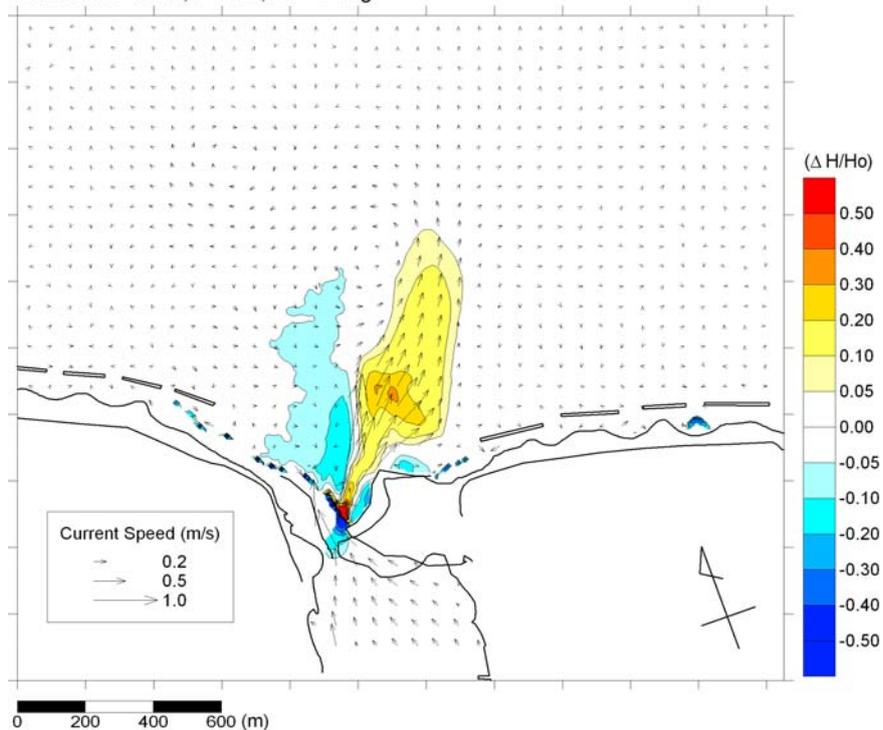


図 2-53 河川流の影響による波高の増大
 $(\Delta H/H_0 = H/H_0 \text{ (河川流あり)} - H/H_0 \text{ (河川流なし)})$

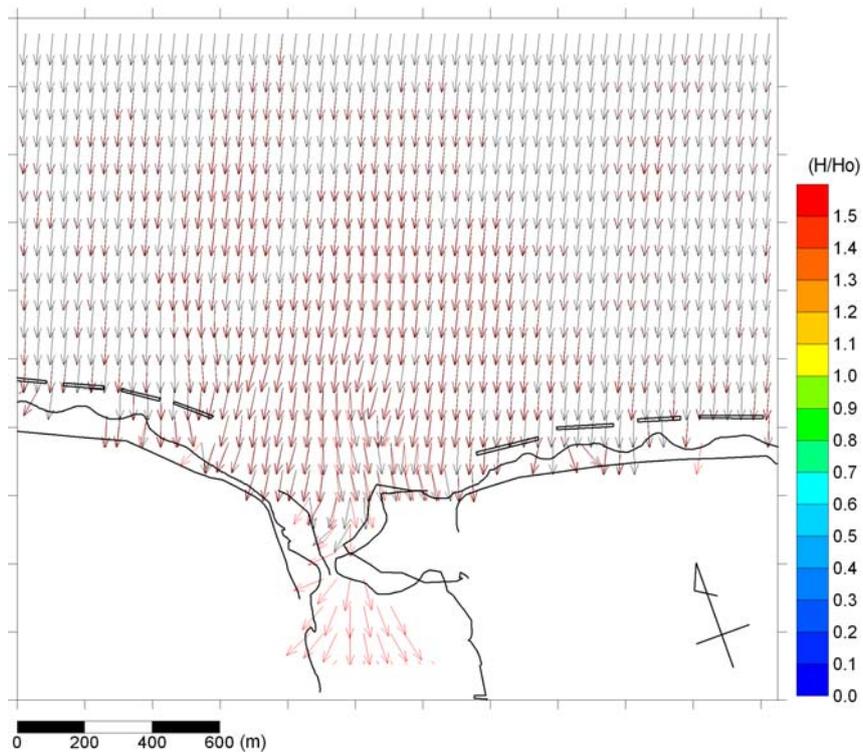


図 2-54 波向き比較 (赤矢印: 河川流なし、黒矢印: 河川流あり)

ii) 波と流れの相互作用を考慮した流況シミュレーション

次に、ケース⑤'の条件で、図 2-55 に示す方法により、波・流れの相互作用を考慮した流況シミュレーションを実施した結果を示す。この方法では、Step 1 の段階では、通常の流れを考慮しない海浜流計算と同様である。Step 2 では、Step1 の海浜流分布を考慮した波浪変形計算をおこない、河川流を与えた流れ場の計算をおこなう。更に Step 3 において、河川流及び海浜流を考慮した波浪変形を計算し、河川流と海浜流が複合した流れ場を算定する。このように、段階的に波浪場と流れ場の変化をフィードバックしつつ計算を進めることで、波・流れの相互作用を考慮した計算が可能になると考えられる。

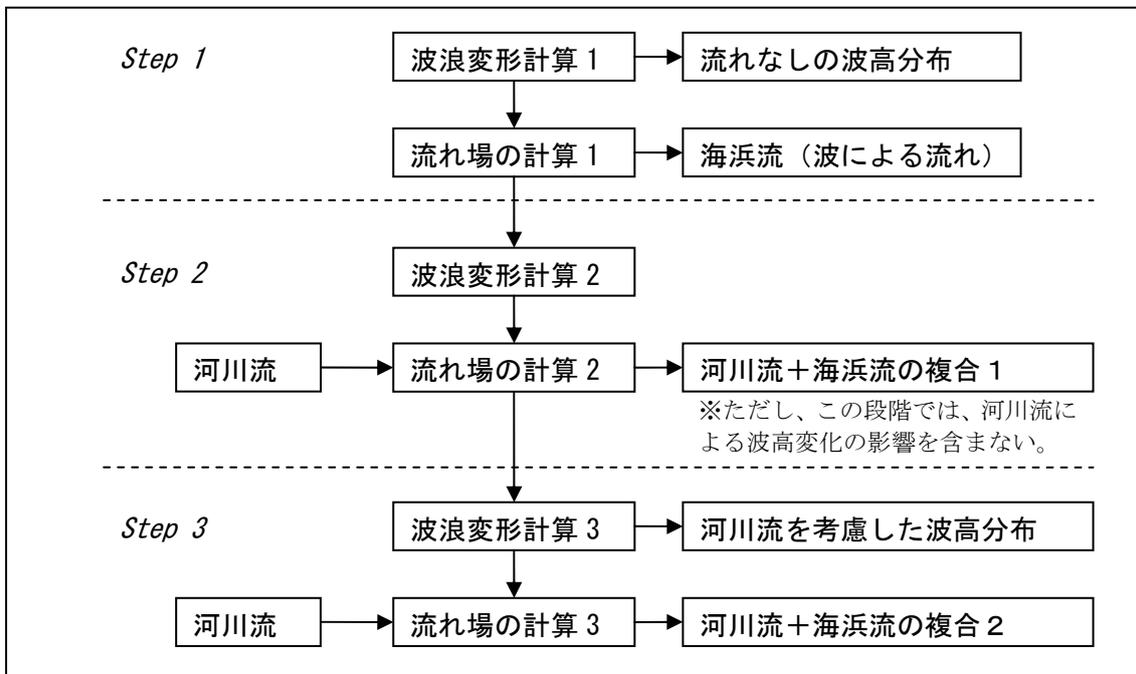
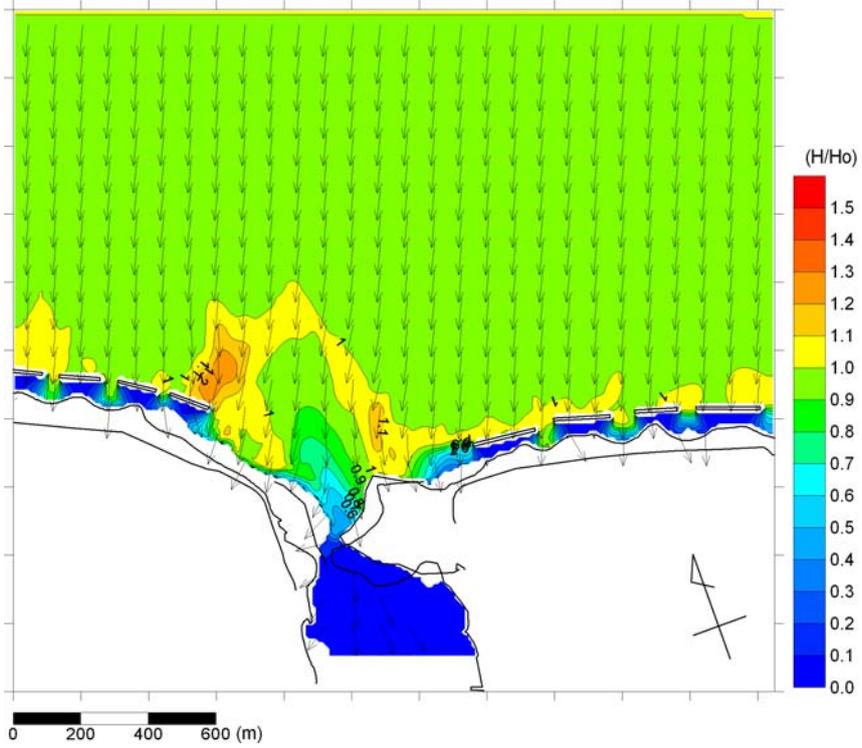


図 2-55 波と流れの相互作用を考慮した流況予測の方法

図 2-56～図 2-58 に、それぞれの計算段階における波高・波向分布と流速分布を示す。計算中では、潮位、河川流量、入射波条件は一定としている。図 2-56～図 2-58 に示されるように、各計算段階において波浪場、流れ場が段階的に変化していく様子が確認される。

図 2-59～図 2-62 は、Step 2 及び Step 3 と Step1 の段階（波の影響のみ）の波高、流速分布の差図を表示したものである。波の影響のみが考慮される Step 1 の結果に比べ、波高、流速とも河川流の影響が大きい領域で変化量が大きく、河口域周辺では、複雑な流れ場が形成されていることが確認される。

H/Ho (Step 1): Ho=1.2m, T=6.0s, Dir=-6 deg.



Current (Step 1), $Q=0\text{m}^3/\text{s}$

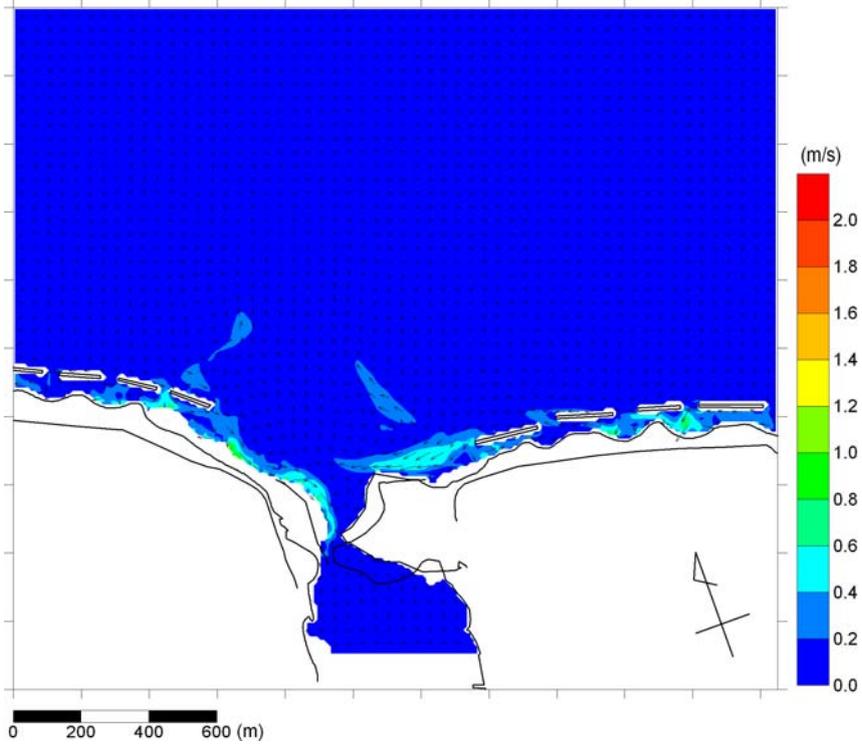
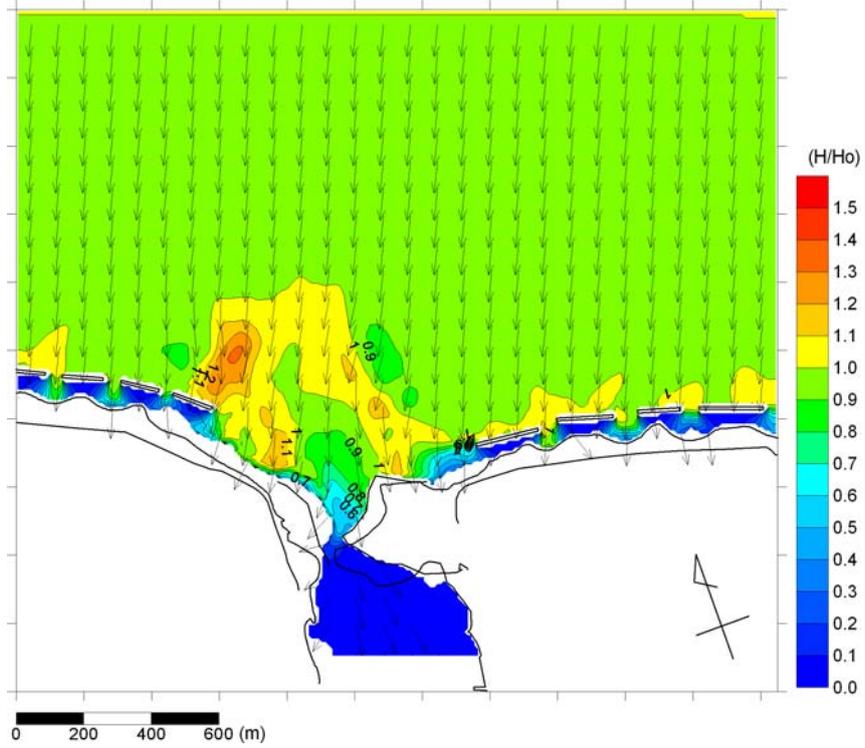


図 2-56 波高・波向分布 (上) と海浜流分布 (下) ; Step 1 (河川流なし)

H/Ho (Step 2): Ho=1.2m, T=6.0s, Dir=-6 deg.



Current (Step 2), $Q=198\text{m}^3/\text{s}$

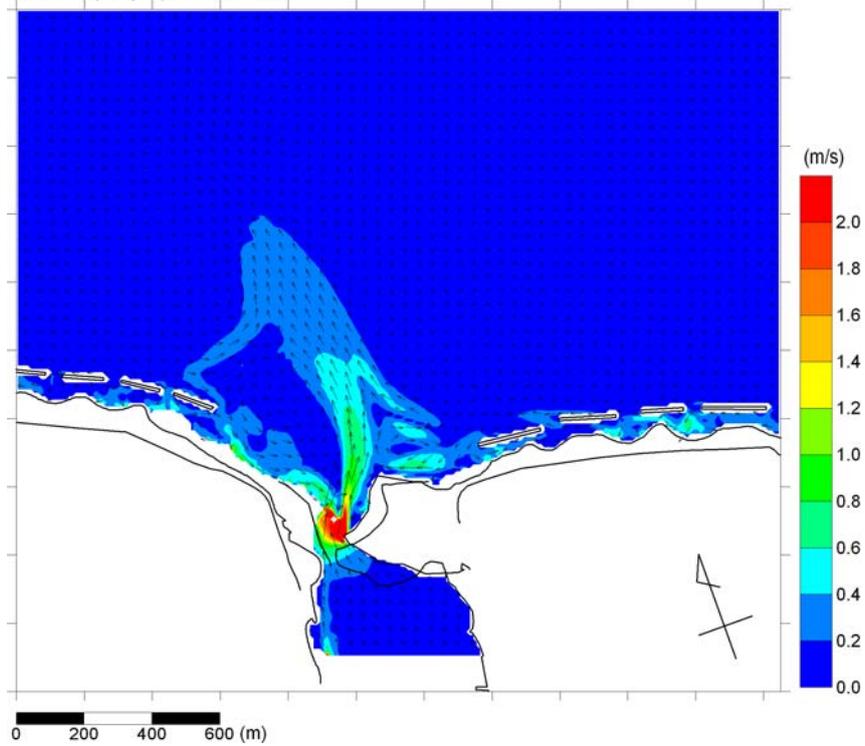


図 2-57 波高・波向分布 (上) と流れの分布 (下) ; Step 2 (河川流 : $Q=198\text{m}^3/\text{s}$)

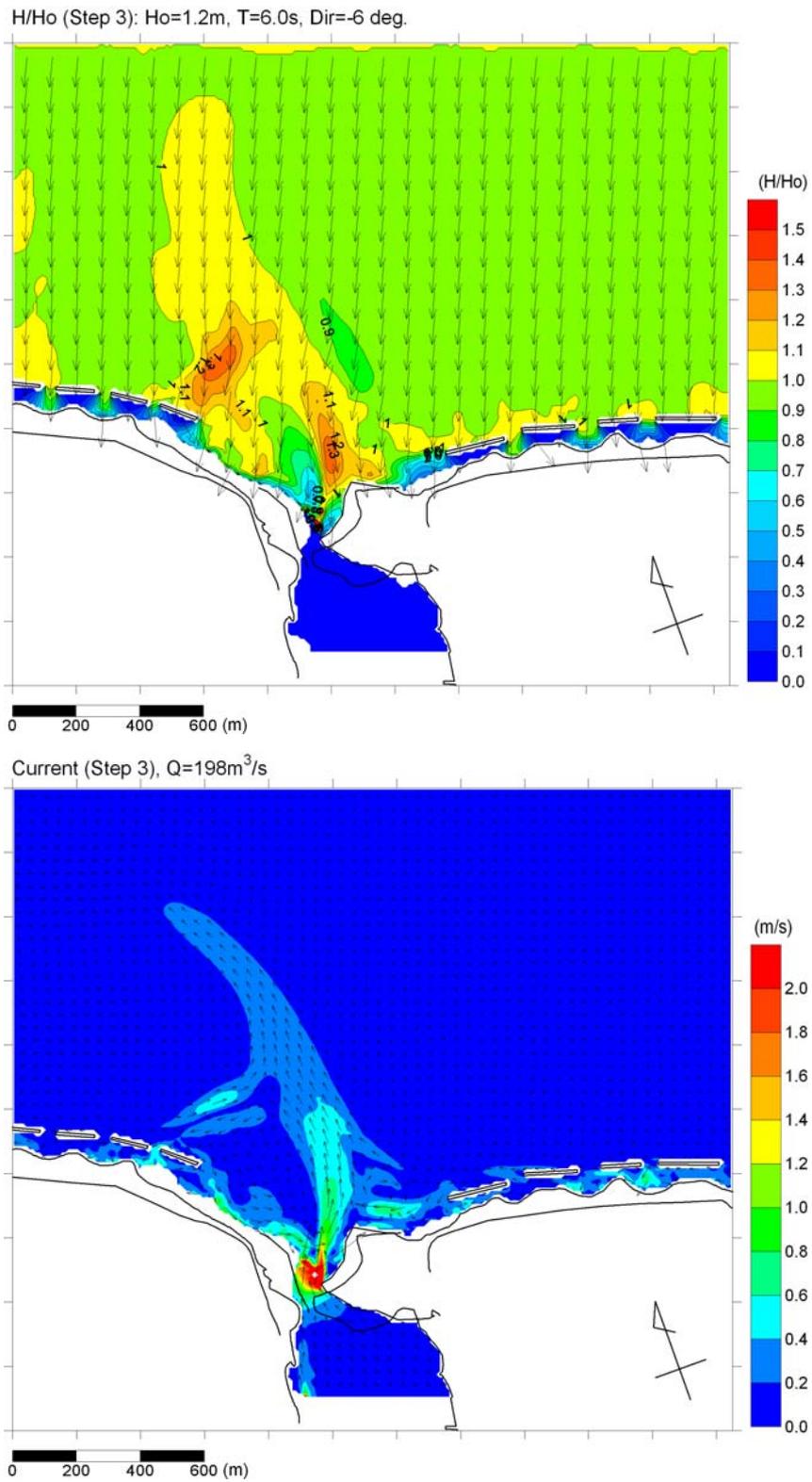


図 2-58 波高・波向分布 (上) と流れの分布 (下) ; Step 3 (河川流 : Q=198m³/s)

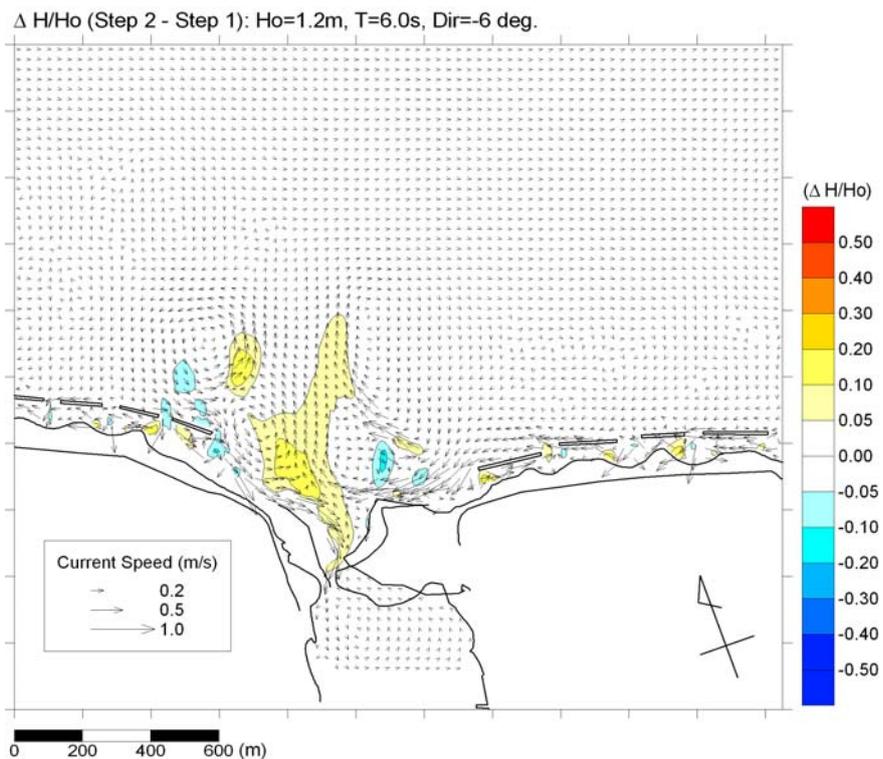


図 2-59 波高分布の差図 (Step2-Step1)、流速ベクトルは Step1 後 (=海浜流のみ) を表示

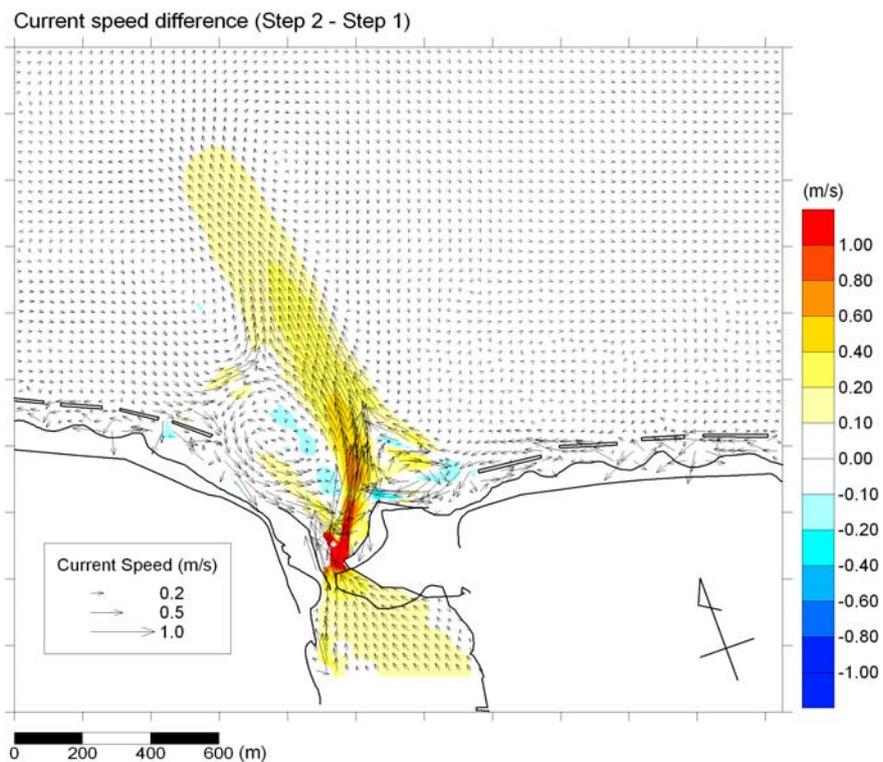


図 2-60 流速分布の差図 (Step2-Step1)、流速ベクトルは Step2 後を表示

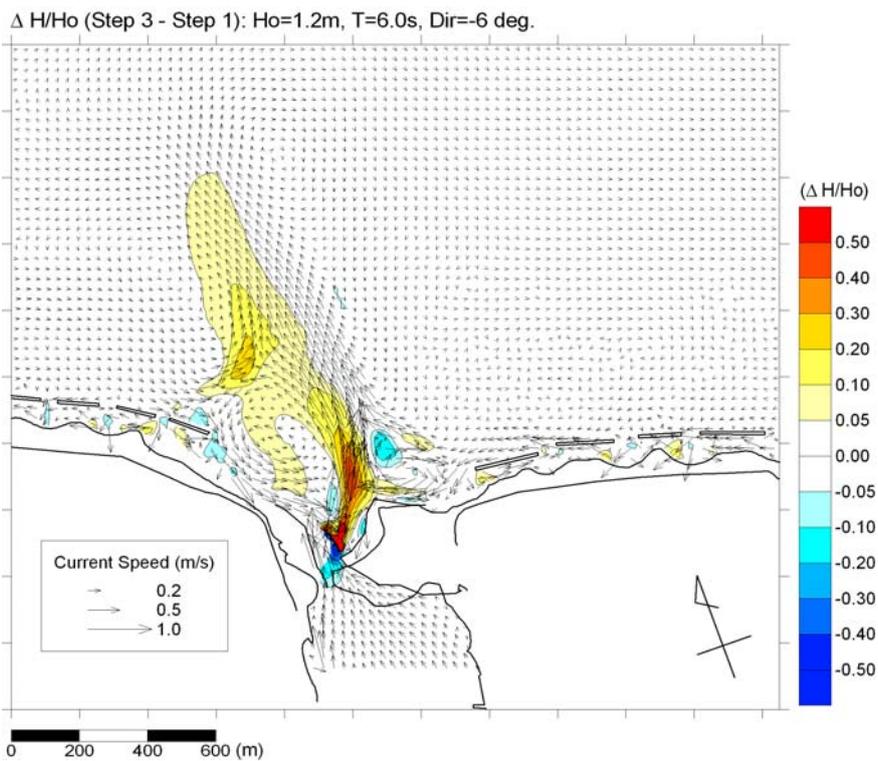


図 2-61 波高分布の差図 (Step3-Step1)、流速ベクトルは Step2 後を表示

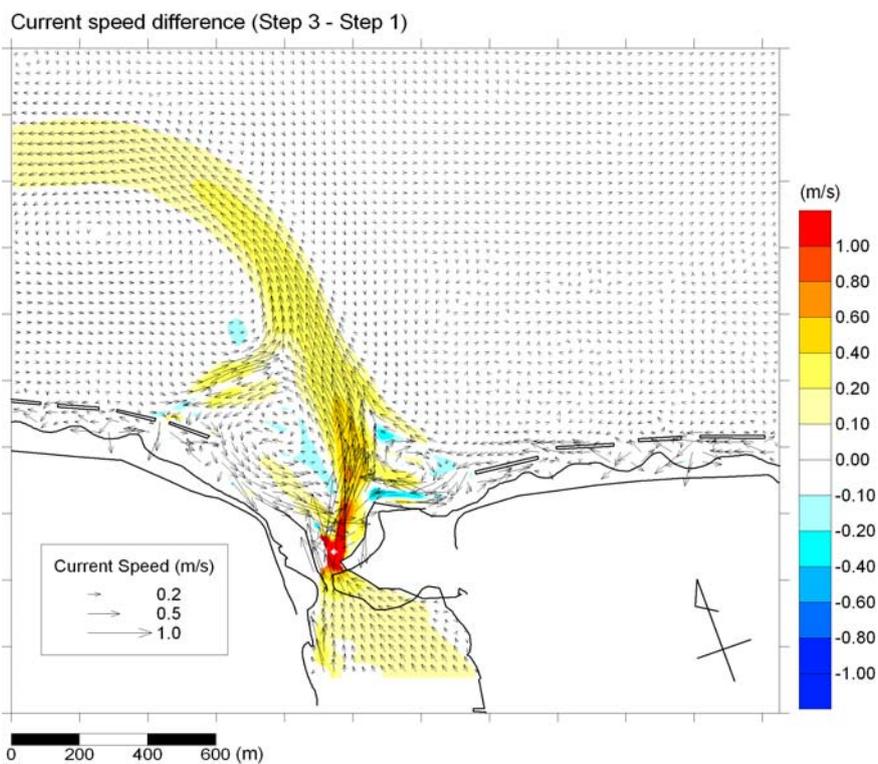


図 2-62 流速分布の差図 (Step3-Step1)、流速ベクトルは Step3 後を表示

2.2.4 由良川河口域での海難事故に繋がる危険要素

相模川河口域の調査結果より得た知見より、以下の危険要素が挙げられる。

- ・由良川は両側に海水浴場があり、河口域での遊泳者事故がある。
- ・両岸には砂州が形成されており、その狭隘部付近では対岸は非常に近く感じる。
- ・河口砂州の狭隘部は、河川流量が小さくても流速が急激に速くなる箇所であり、水温や潮流により上層と下層では流れの向きが異なることがある。
- ・人の遊泳限界は0.2m/s～0.5m/sと言われており、河口域の狭隘部付近は平水時であってもこれらを超える。
- ・河口域において流速が大きい分布域は、河川流量や波浪条件によって大きく異なり、その流況パターンは多様で複雑なものとなる。
- ・波浪によって河口周辺で発生する海浜流は、砂州地形に沿って河川の両側から河口中央に向かう。
- ・河口付近には強い沖向きの流れが存在し、河川流量が大きい場合には強い沖向き流れの分布域は沖にまで達する。
- ・河川流量が多い時には、流れと波の相互影響により波高が増大する。

2. 3 相模川河口域調査

2.3.1 既往資料収集・整理

(1) 相模川と河口域周辺の概要

相模川は、その源を富士山（標高3,776m）に発し、山梨県内では「桂川」と呼ばれ、山中湖から笹子川、葛野川などの支川を合わせ、山梨県の東部を東に流れて神奈川県に入り、「相模川」と名を変え、相模ダム、城山ダムを経て流路を南に転じ、神奈川県中央部を流下し、中津川などの支川を合わせて相模湾に注ぐ、幹川流路延長113km、流域面積1,680km²の一級河川である。表2-8に相模川の河川情報を示す。

表 2-8 相模川の河川情報

項目	河川情報	備考
流域面積	1,680 km ²	※1
幹川流路延長	113 km	※1
計画高水流量	7,800 m ³ /s	※1（河口付近）
平水流量	- m ³ /s	
低水流量	9.7 m ³ /s	※1（寒川取水堰下流, 5年平均 (H.12~H.16)）

※1) 京浜河川事務所 HP（相模川水系河川整備基本方針）

<http://www.ktr.mlit.go.jp/keihin/sagami/project/policy/02.htm#02>

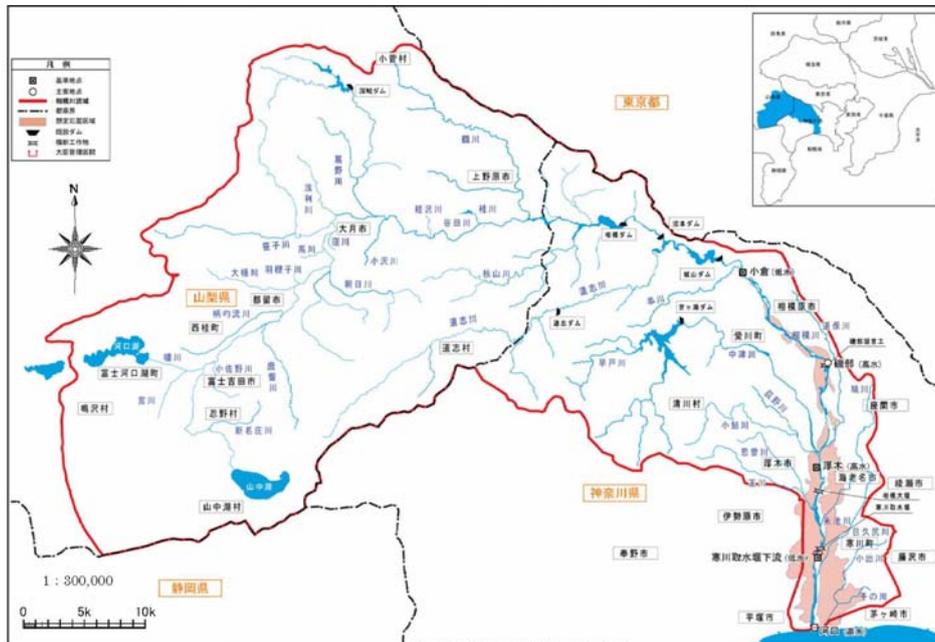


図 2-63 相模川流域図

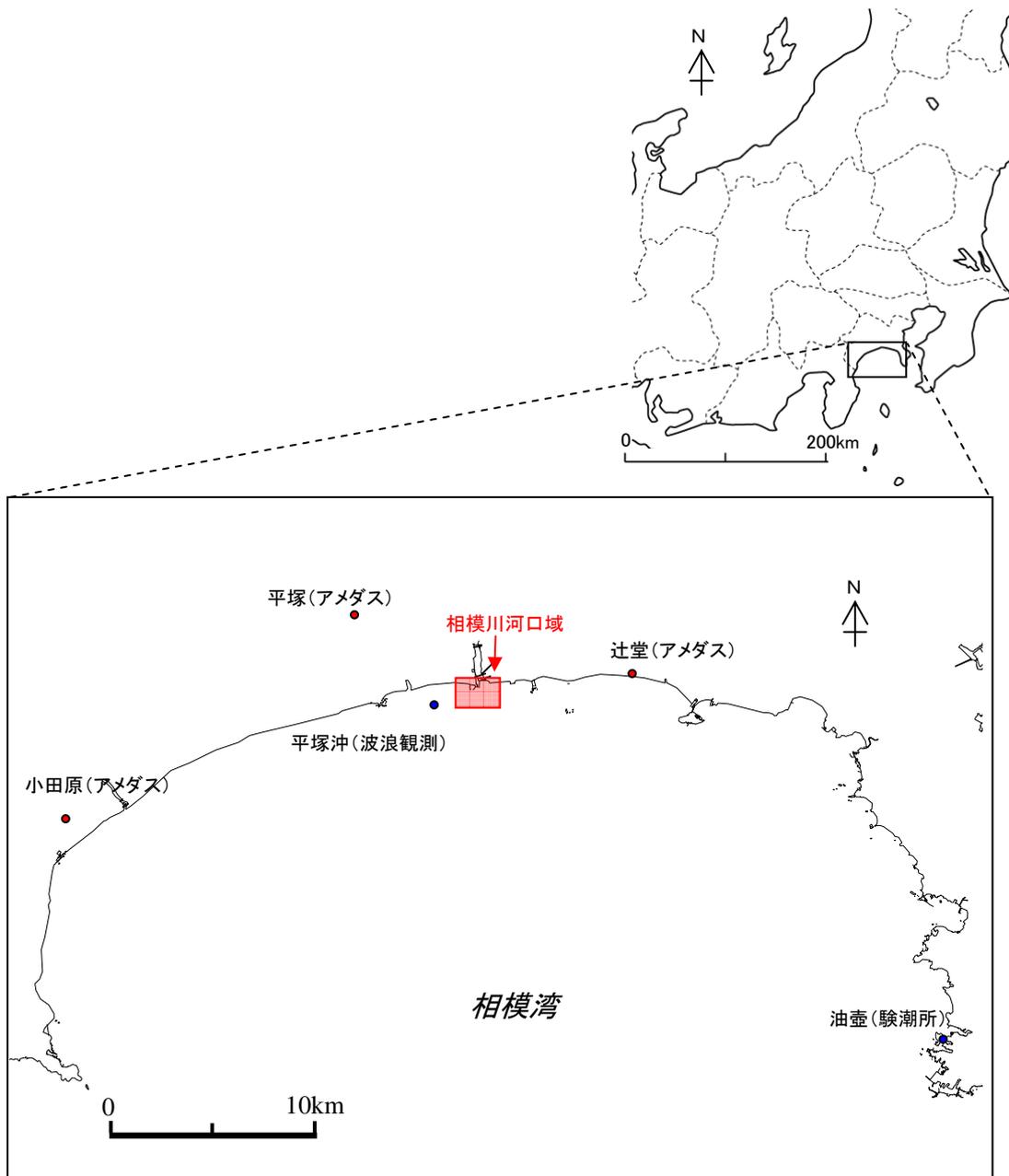


図 2-64 調査位置（相模川河口域）と周辺の主な気象・海象観測位置

(2) 気象条件

1) 風条件

アメダス観測地点（辻堂）での通年の風配図は以下のとおりである。

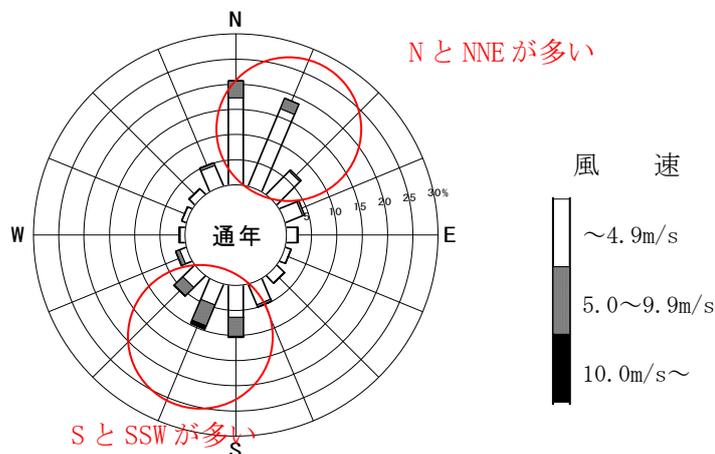


図 2-65 風配図(辻堂, 1993年1月~2006年12月)

2) 潮位条件

「相模灘沿岸海岸保全基本計画, 海岸保全施設台帳, (神奈川県)」によると当海岸における潮位は, H. H. W. L. T. P. +1.61m, H. W. L. T. P. +0.85m, L. W. L. T. P. -0.65m, 計画偏差: 0.76m である。また, 以下の潮位関係図は, 「第3回西湘バイパス構造物崩落に関する調査検討委員会 (平成19年12月15日)」より国土交通省関東地方整備局のホームページから収集したものである。



図 2-66 潮位関係図

3) 波浪条件

平塚沖の波浪観測記録より，通年の波高・周期発生頻度と波向・波高の頻度グラフを以下にまとめた。

表 2-9 波高・周期の発生頻度(年間，1988年1月～2007年12月，平塚)

波高(m) \ 周期(s)	静穏	0.1~0.9	1.0~1.9	2.0~2.9	3.0~3.9	4.0~4.9	5.0~5.9	6.0~6.9	7.0~7.9	8.0~8.9	9.0~9.9	10.0~10.9	11.0~11.9	12.0~12.9	13.0~13.9	14.0~14.9	15.0~15.9	合計
静穏																		
0.01 ~ 0.49			271 0.2	900 0.6	5555 3.4	14996 9.2	23880 14.6	21391 13.1	9833 6.0	2467 1.5	462 0.3	111 0.1	58 0.0	32 0.0	20 0.0	20 0.0	41 0.0	80037 48.9
0.50 ~ 0.99				17 0.0	3289 2.0	10096 6.2	10259 6.3	12624 7.7	11925 7.3	7325 4.5	3621 2.2	1659 1.0	711 0.4	253 0.2	68 0.0	9 0.0	2 0.0	61858 37.8
1.00 ~ 1.49				4 0.0	60 0.0	2314 1.4	3120 1.9	1856 1.1	1804 1.1	1830 1.1	1456 0.9	929 0.6	825 0.5	597 0.4	285 0.2	55 0.0	8 0.0	15143 9.3
1.50 ~ 1.99					2 0.0	82 0.1	921 0.6	713 0.4	475 0.3	499 0.3	437 0.3	278 0.2	246 0.2	282 0.2	192 0.1	96 0.1	16 0.0	4239 2.6
2.00 ~ 2.49		1 0.0	2 0.0	1 0.0			67 0.0	230 0.1	199 0.1	200 0.1	153 0.1	114 0.1	104 0.1	103 0.1	94 0.1	62 0.0	17 0.0	1347 0.8
2.50 ~ 2.99			3 0.0	1 0.0	1 0.0		3 0.0	46 0.0	99 0.1	101 0.1	69 0.0	47 0.0	36 0.0	61 0.0	29 0.0	34 0.0	15 0.0	545 0.3
3.00 ~ 3.49							1 0.0	7 0.0	40 0.0	56 0.0	34 0.0	21 0.0	25 0.0	29 0.0	11 0.0	17 0.0	12 0.0	253 0.2
3.50 ~ 3.99									10 0.0	31 0.0	12 0.0	11 0.0	4 0.0	3 0.0	7 0.0	12 0.0	5 0.0	95 0.1
4.00 ~ 4.49									3 0.0	6 0.0	7 0.0	6 0.0	2 0.0		1 0.0	4 0.0	2 0.0	31 0.0
4.50 ~ 4.99									1 0.0	3 0.0		4 0.0	1 0.0	1 0.0			4 0.0	14 0.0
5.00 ~ 5.49											1 0.0	5 0.0		1 0.0				7 0.0
5.50 ~ 5.99											1 0.0	3 0.0						4 0.0
6.00 ~ 6.49												1 0.0				1 0.0		2 0.0
6.50 ~ 6.99												1 0.0						1 0.0
7.00 ~																		
合計		1 0.0	276 0.2	923 0.6	8907 5.4	27488 16.8	38251 23.4	36867 22.5	24389 14.9	12518 7.7	6253 3.8	3190 2.0	2012 1.2	1362 0.8	708 0.4	309 0.2	122 0.1	163576 100.0

上段：度数，下段：頻度(%)

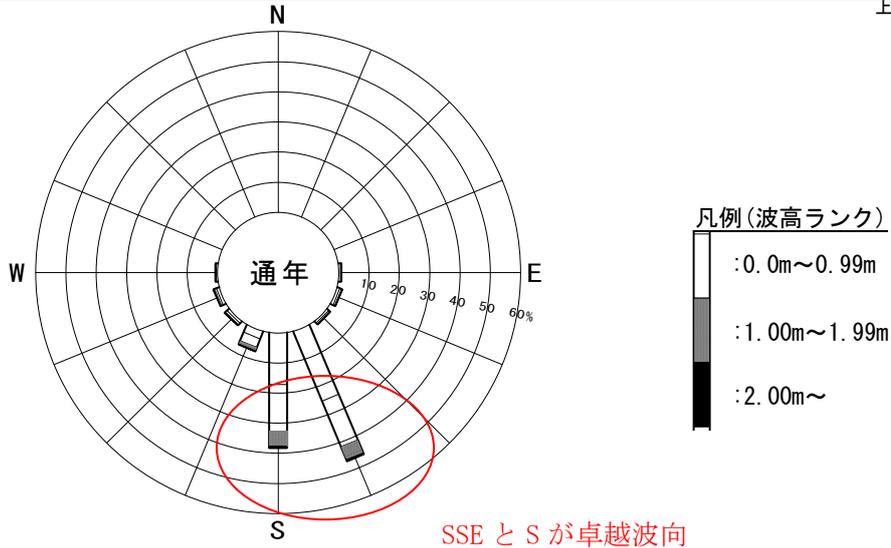
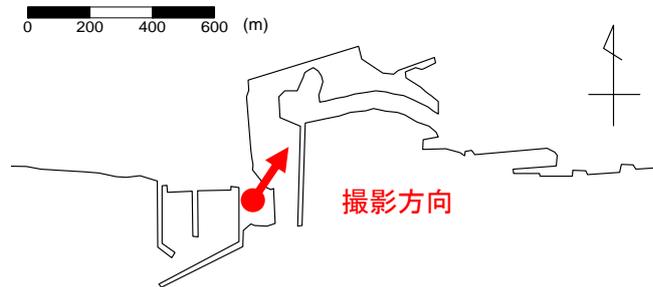


図 2-67 波向頻度分布(平塚，1988年1月～2007年12月)

4) 地形条件

i) 河口部の現状確認

相模川の河口中央部には導流堤が2基あり、小型船舶（漁船やプレジャーボート）が頻繁に河道と海域を出入りする。また、相模大橋と平行して、河口砂州が大きく発達している。



<写真撮影位置図>



図 2-68 相模川現地踏査時（7月17日）

ii) 砂州地形の変遷

相模川河口域の砂州地形の状況を調べるために、空中写真（1999年12月）の整理を行った。空中写真のモザイク図を図2-69に示す。

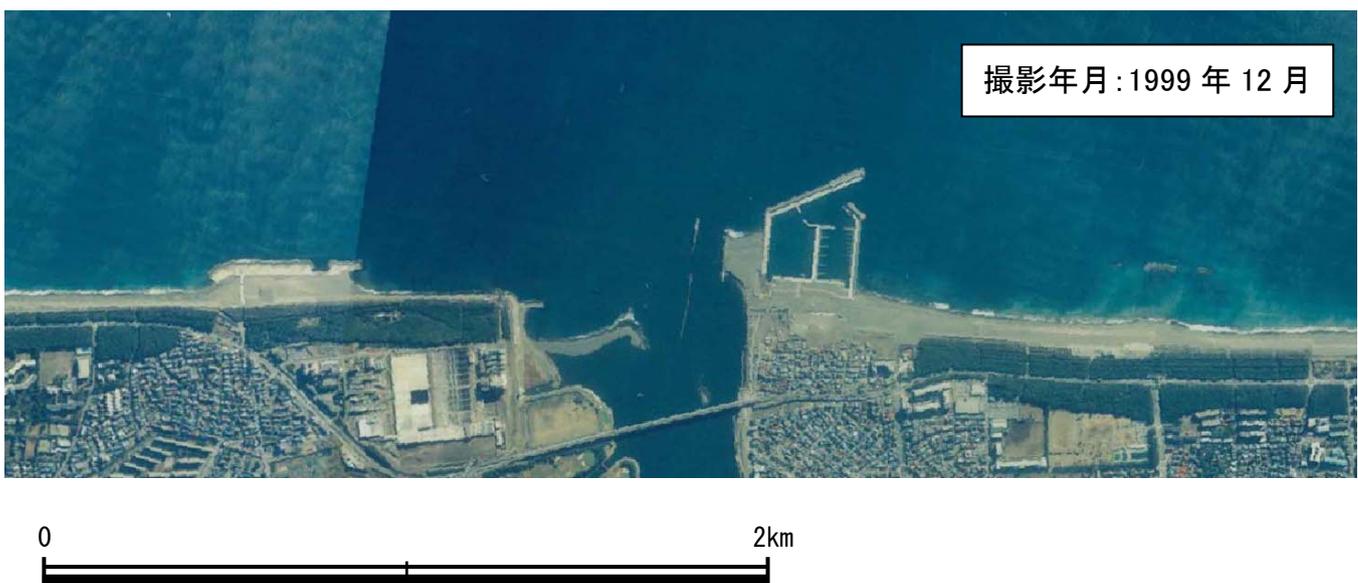


図 2-69 相模川周辺の航空写真（1999年12月）

2.3.2 現地調査

(1) 現地調査実施状況（位置図，調査項目，工程）

1) 現地観測実施時期

相模川河口域の流況観測を以下の日程で実施した。

流況観測（定点観測） : 2008年8月5日 ~ 9月8日

曳航式流況観測・水温塩分観測 : 2008年8月28日

高波浪時流況観測 : 2008年9月20日

(※平常時流況観測 : 8/6, 8/29, 9/8)

2) 調査位置

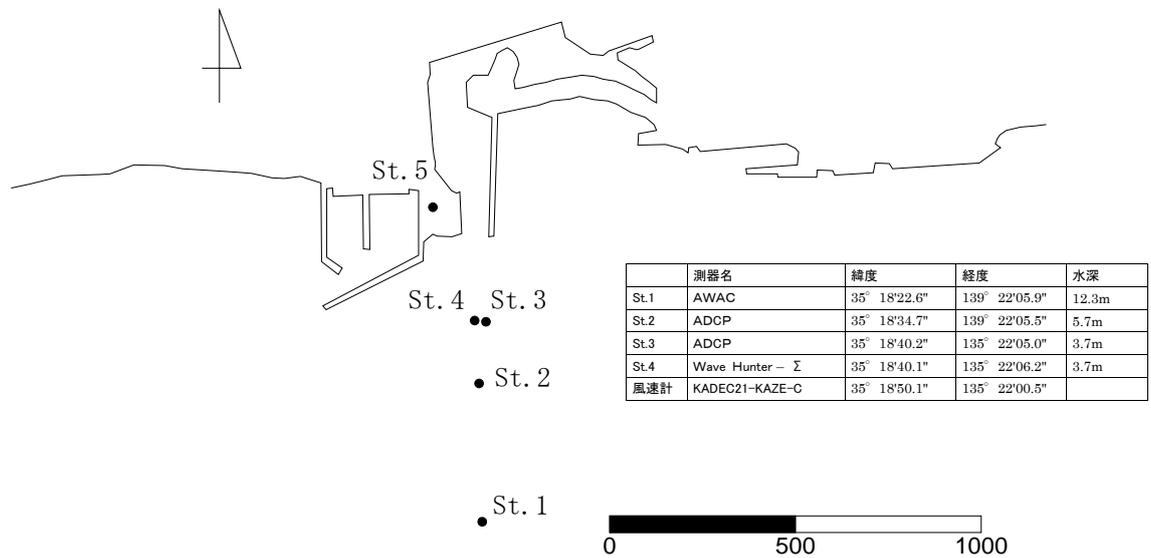


図 2-70 相模川河口域の流況調査位置図

3) 観測機器と観測項目

表 2-10 観測機器と観測項目

地点	観測機器	観測項目	観測日数	サンプリング間隔	観測頻度
St. 1	トップラー式海象計	波浪・多層流向流速	34.0日	0.5s	波浪 : 60分毎/17分
St. 2	トップラー式流速計	多層流向流速	33.9日	1.0s	10分毎/1分
St. 3	トップラー式流速計	多層流向流速	18.5日	1.0s	10分毎/1分
St. 4	超音波式波高計 電磁流速計	波浪, 底面流向流速	33.1日	0.5s	60分毎/20分
St. 5	風向・風速計	風向風速	35.7日	1.0s	10分毎/10分

(2) 現地調査期間中の気象・海象条件, 河川流量条件等

1) 気象・海象

調査対象海域を代表する気象・海象観測記録として, 油壺験潮所の観測潮位と平塚沖の有義波高, アメダス(辻堂)を収集し, 以下の時系列的な整理を行った.

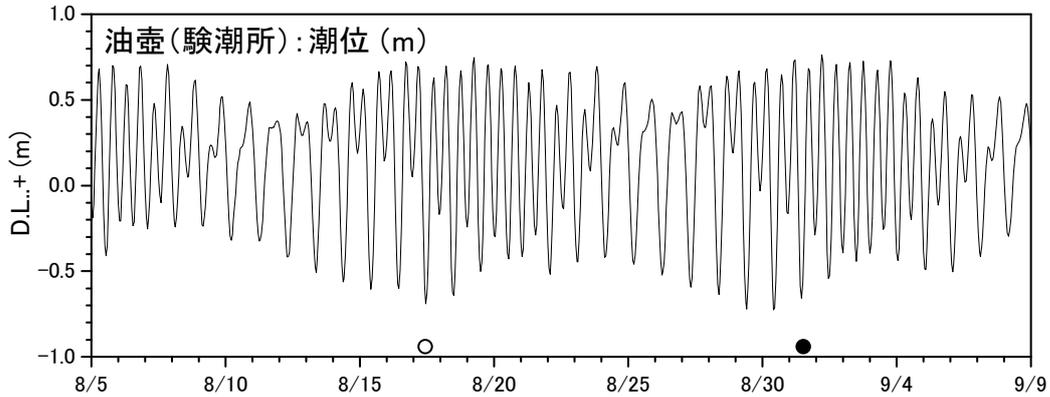


図 2-71 油壺験潮所の観測潮位

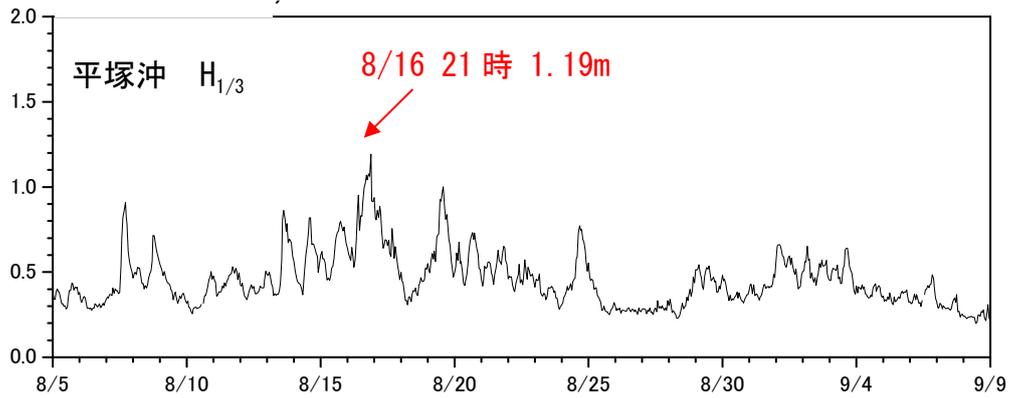
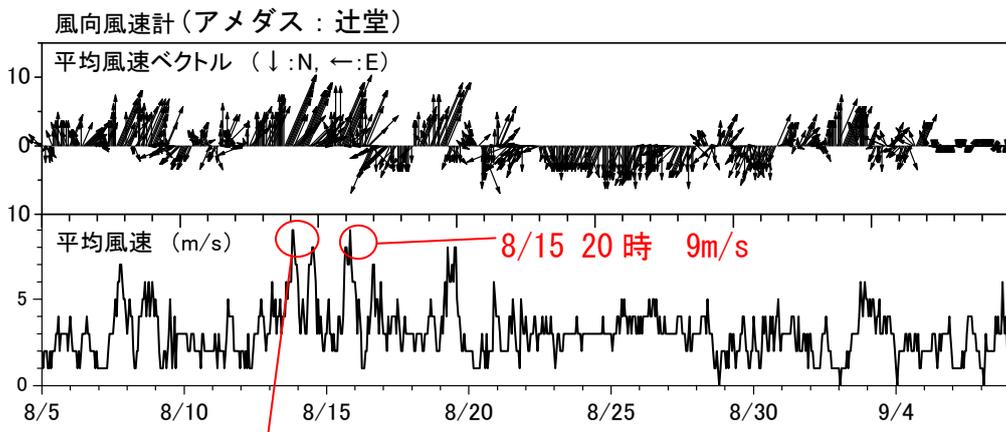


図 2-72 平塚沖の波浪



8/13 19-20時 9m/s

図 2-73 平塚沖の波浪

2) 降水量・河川流量

相模川流域の降水量と波美の河川流量（水位からの推定値）の時系列を整理した。

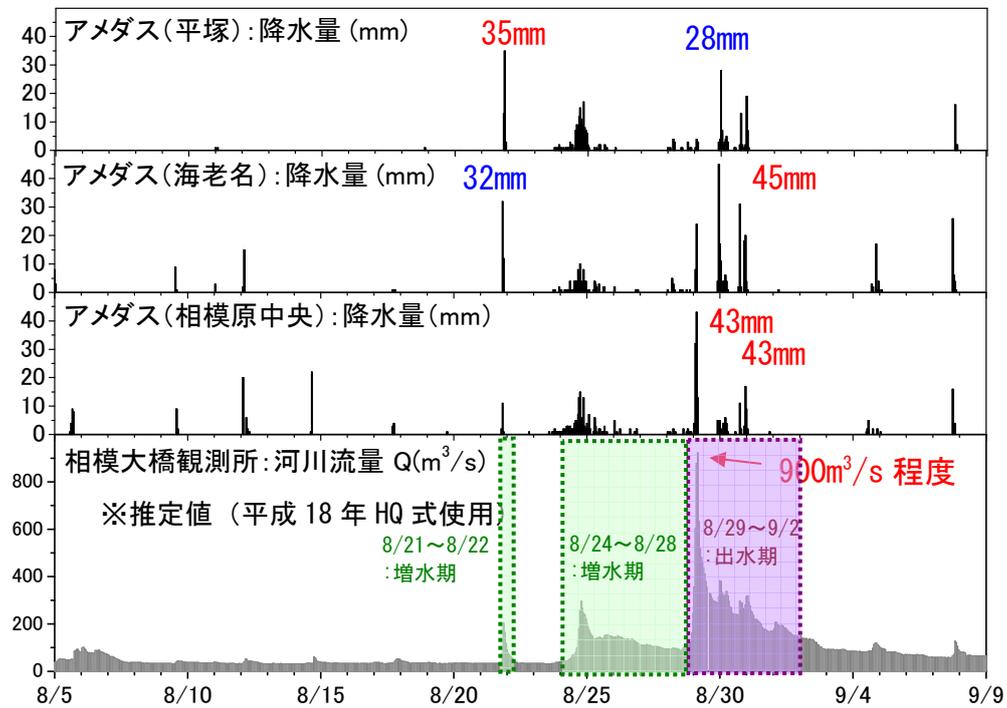


図 2-74 降水量（平塚，海老名，相模原大橋）と河川流量（相模大橋）の時系列



図 2-75 相模大橋観測所の位置

(3) 各観測データの経時変化

1) 波浪の時系列変化

St. 1 (AWAC) と St. 4 (WAVE-Hunter) で取得した波浪時系列変化 (有義波高, 周期, 波向) を以下に示す.

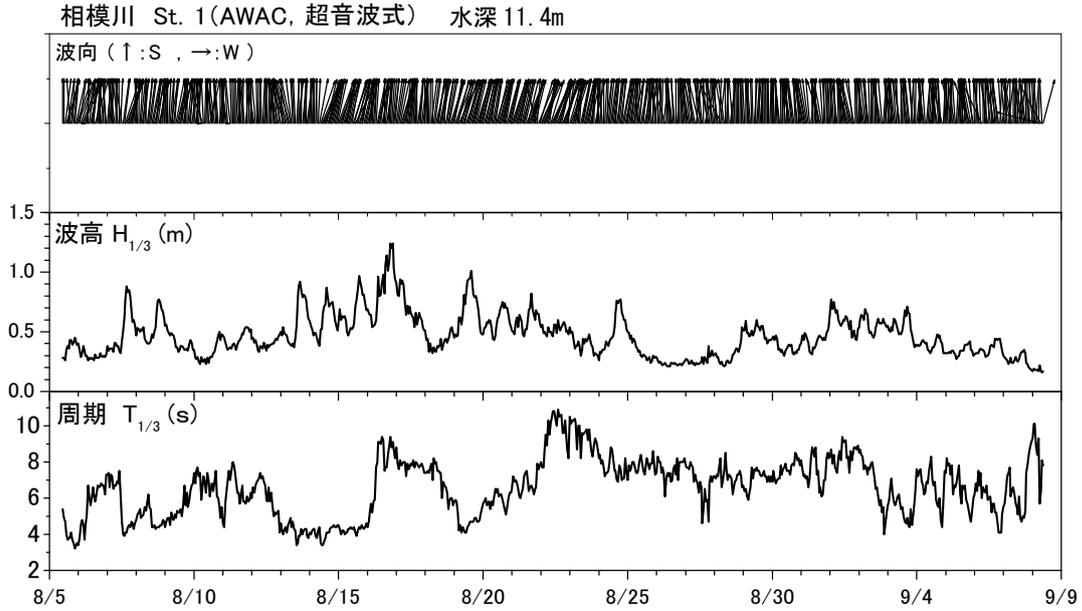


図 2-76 波浪の時系列 (St. 1, AWAC)

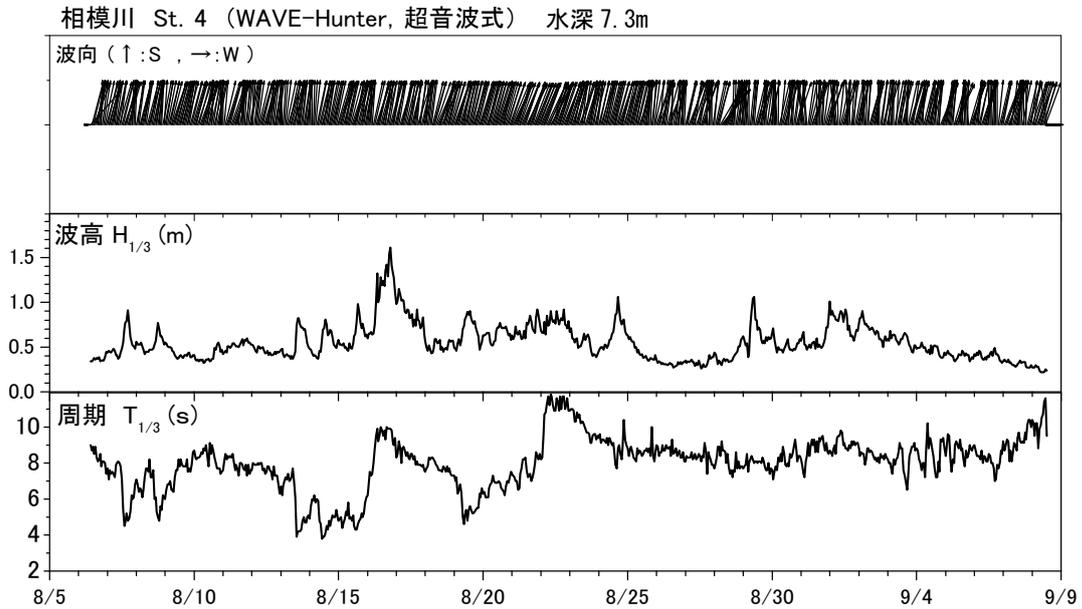


図 2-77 波浪の時系列 (St. 4, Wave Hunter)

2) 風観測記録

St. 5 (陸上の地点) での風観測記録の時系列を以下に示す.

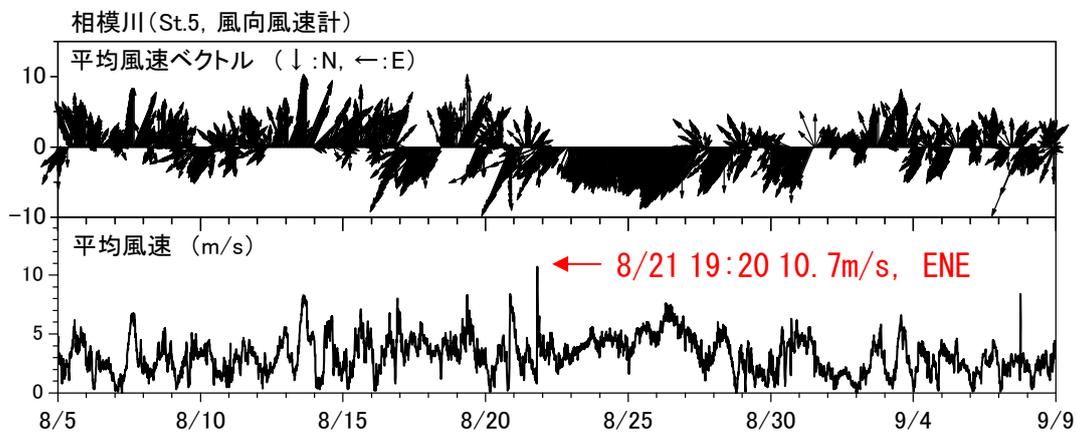
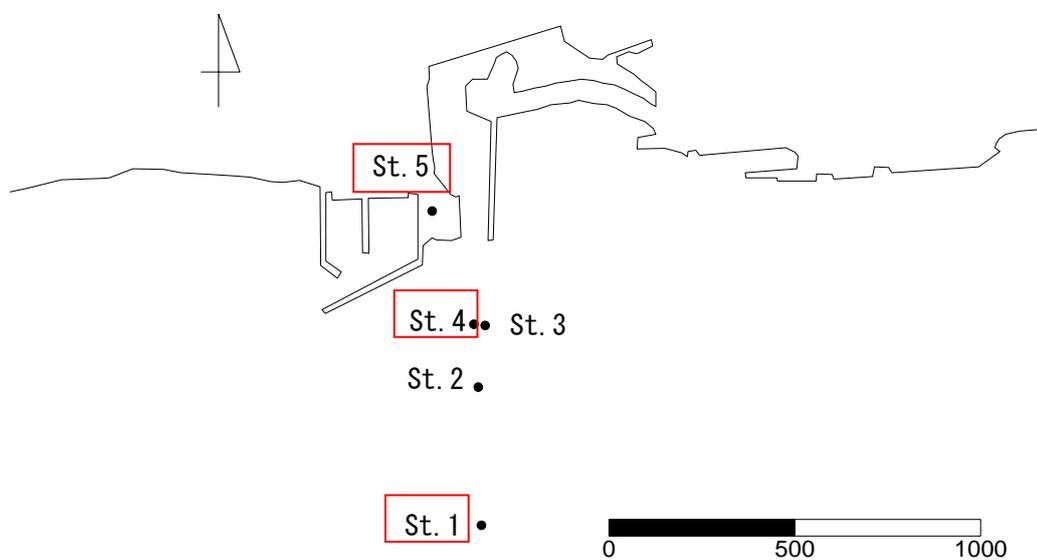


図 2-78 風況の時系列 (風向・風速, 陸上部 St. 5)



<調査位置図 (相模川) >

3) 流況観測記録

i) 多層流速観測記録

最も沖側の観測地点 St. 1 における多層流速観測の時系列を図 2-79 に示す。St. 2 と St. 3 における多層流況観測の時系列を図 2-80 に示す。また、表層と最下層の時系列変化を図 2-81 にまとめた。

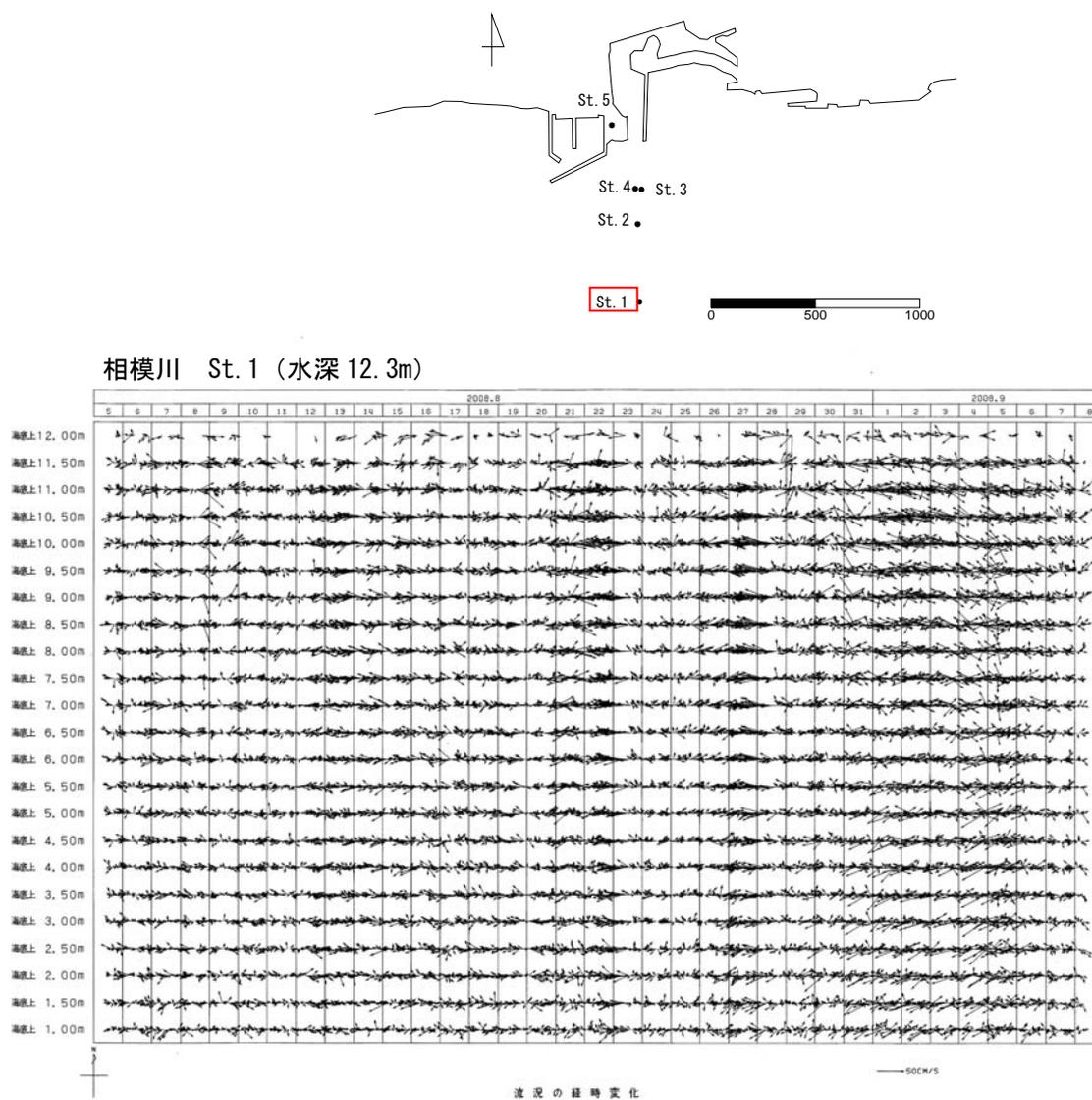
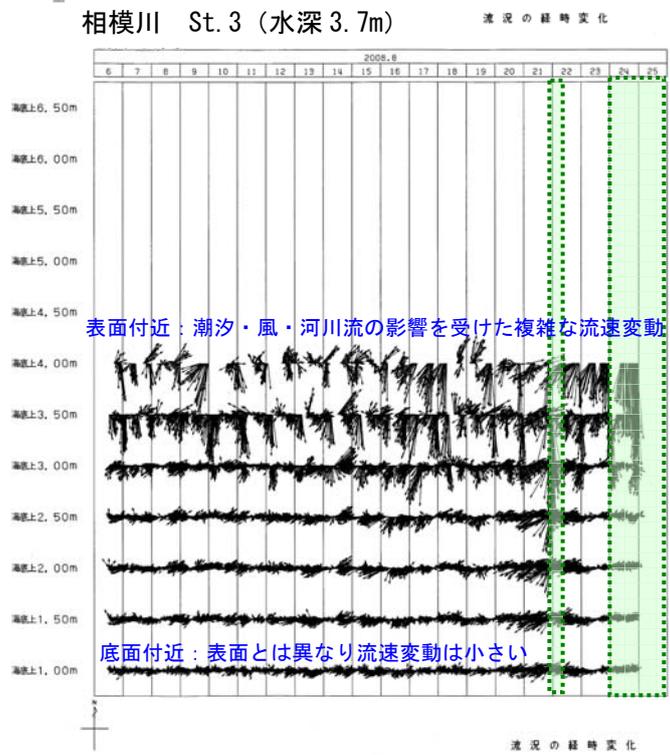
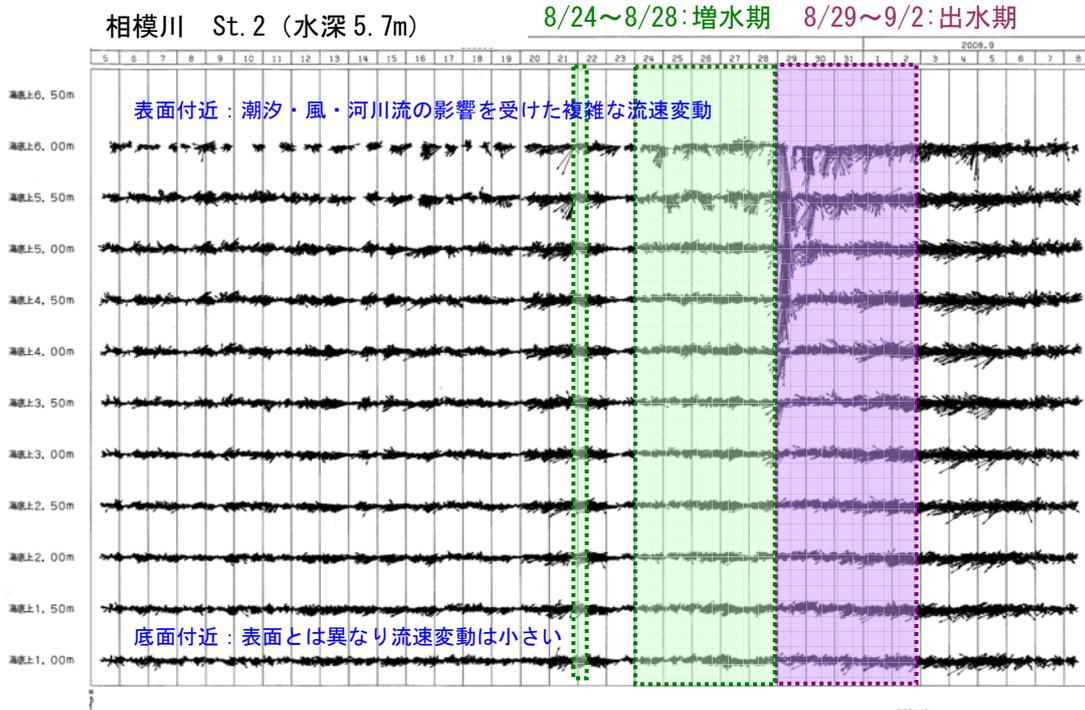
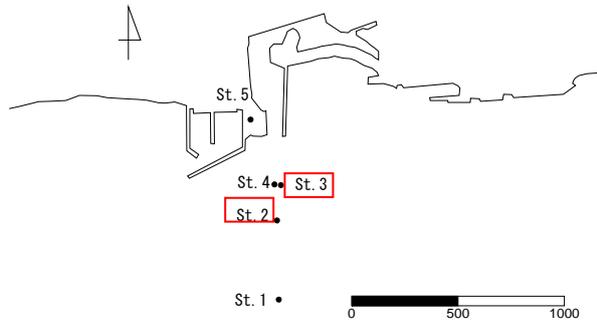


図 2-79 多層流速観測記録 (St. 1)



※8/25 0:30 以降は欠測

図 2-80 多層流速観測記録 (上図 ; St. 2, 下図 ; St. 3)

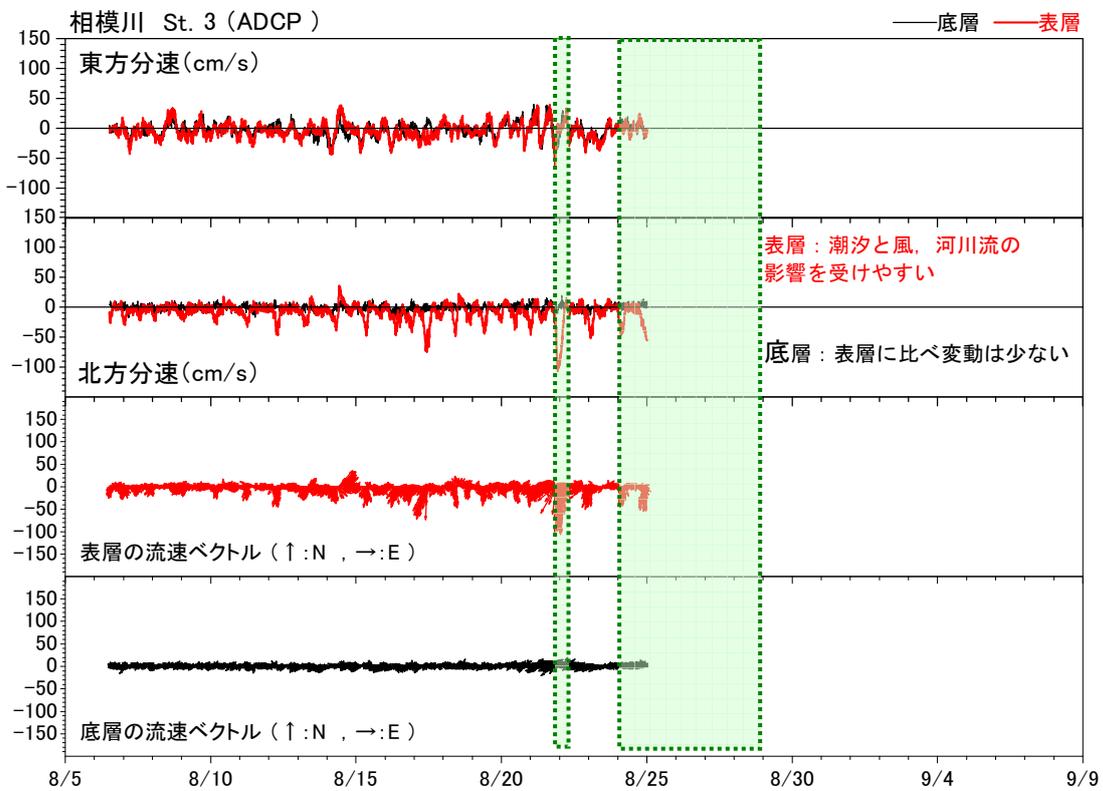
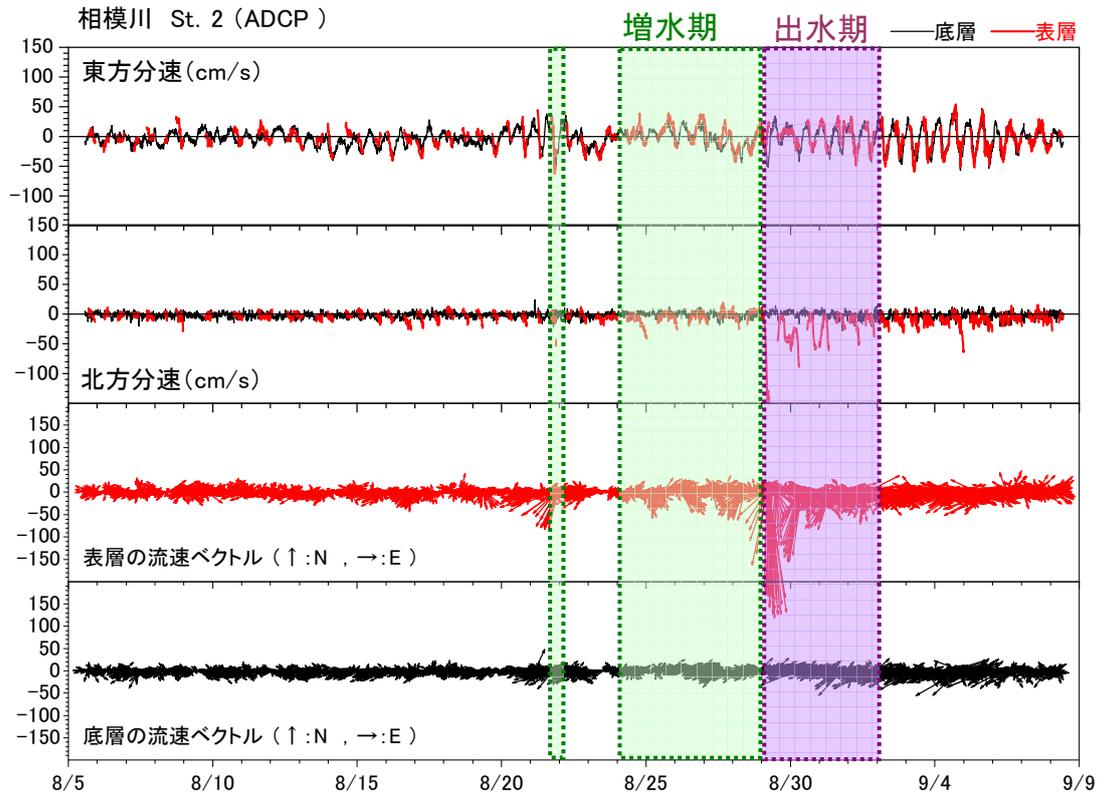


図 2-81 表層流速と底層流速の時系列変化 (上図; St. 2, 下図; St. 3)

ii) 単層流速観測記録

St. 4 (Wave-Hunter で取得された底層での流速観測記録の時系列を以下に示す。

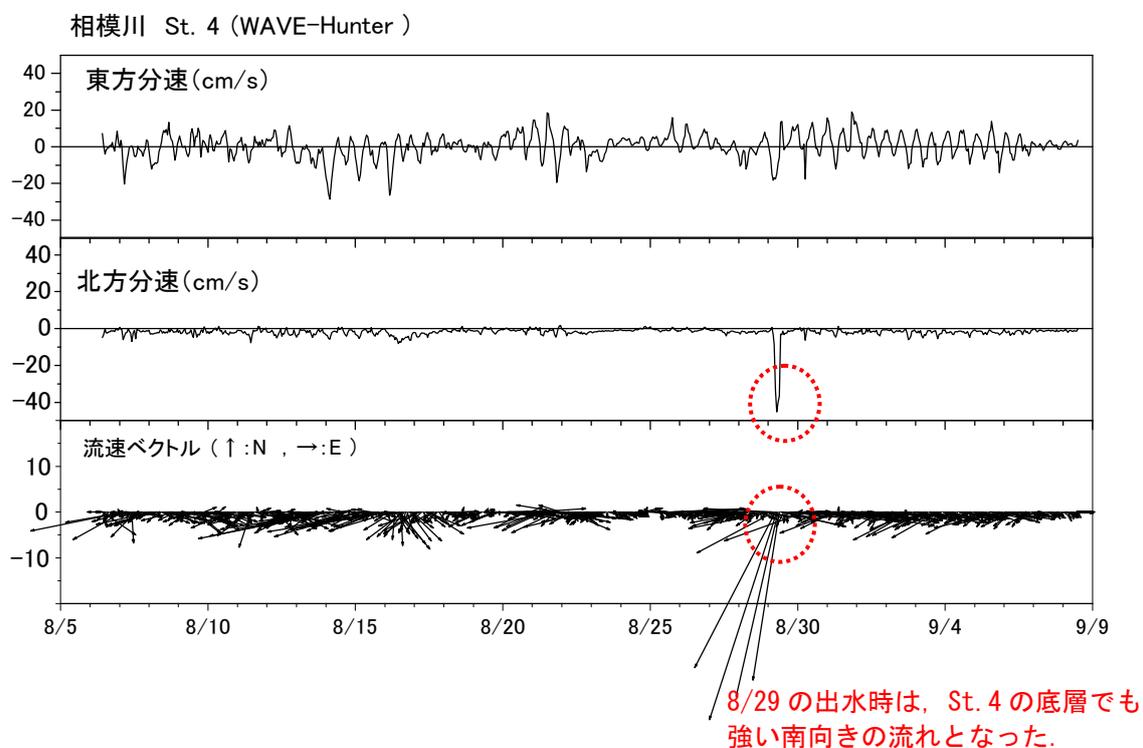
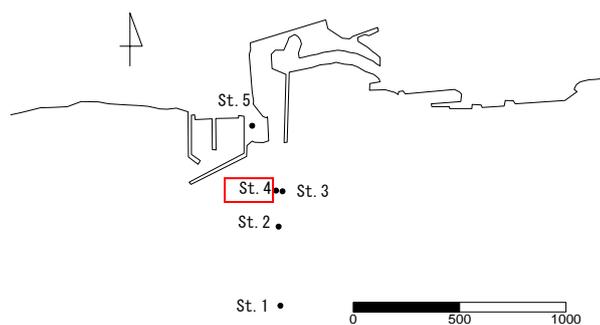


図 2-82 単層流速の時系列変化 (St. 4)



(4) 曳航式流況観測結果

1) 曳航式観測時の気象・海象条件及び流況測定記録

曳航式流況観測時（2008年8月28日）の各観測記録より気象・海象条件，流況観測記録を以下のとおり整理した。

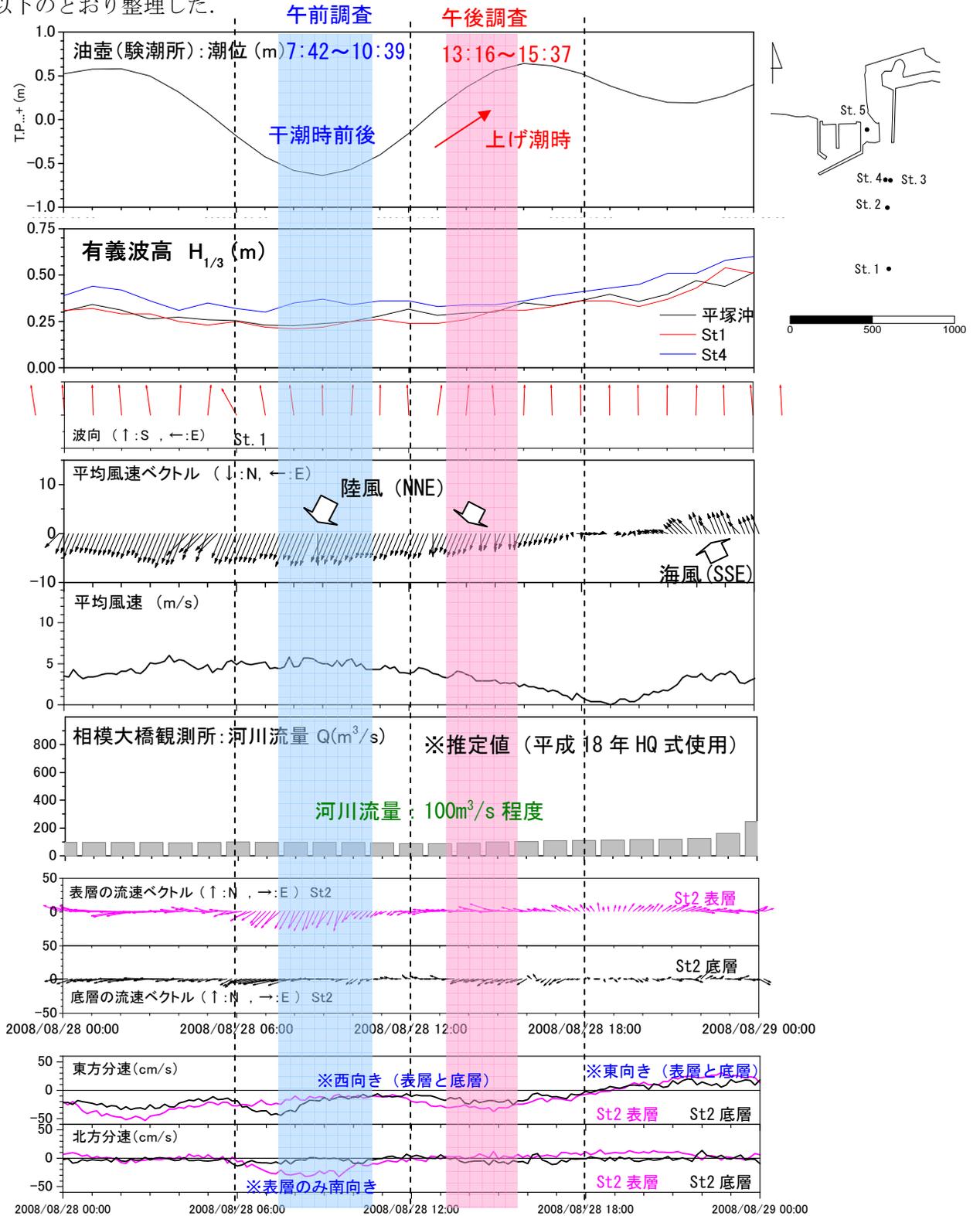


図 2-83 曳航式流況観測時（2008年8月28日）の各観測記録（相模川）

2) 航跡図

移動式流況観測の航跡図（8月28日午前、午後）を以下に示す。

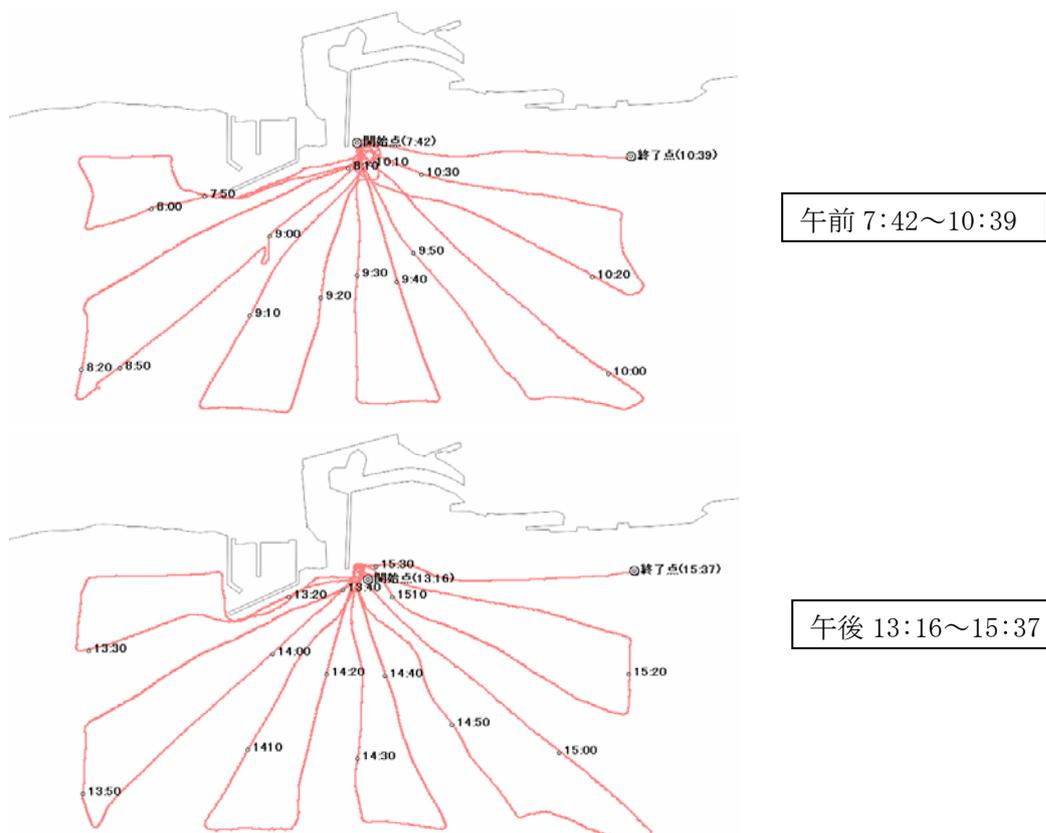


図 2-84 移動流況観測の航跡図（上図；午前調査，下図；午後調査）

3) 曳航式流況観測結果による流れの平面分布

曳航式流況観測結果を利用し、スプライン補間によりメッシュデータ化を行い、流れの平面分布図を作成した。

スプライン補間に用いたデータは、曳航式流況調査より得られた多層流況データより、表層（水深0.5m）と底層のデータを用いることとした。

解析に使用する表層と底層の模式図を図 2-23 に示す。

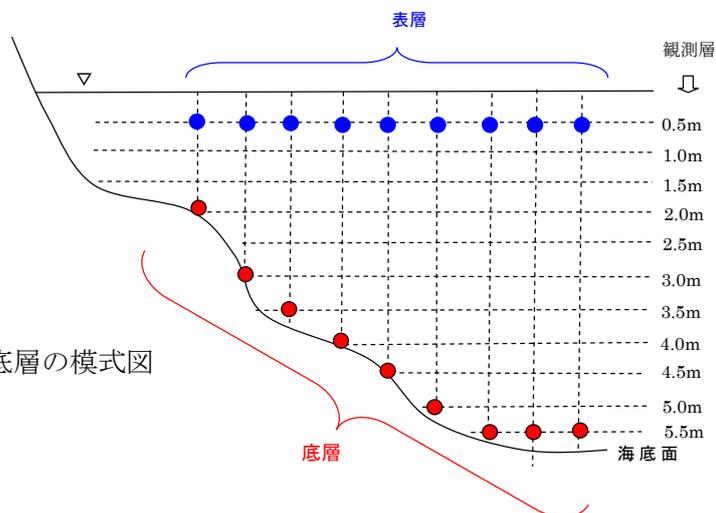


図 2-85 解析に使用する表層と底層の模式図

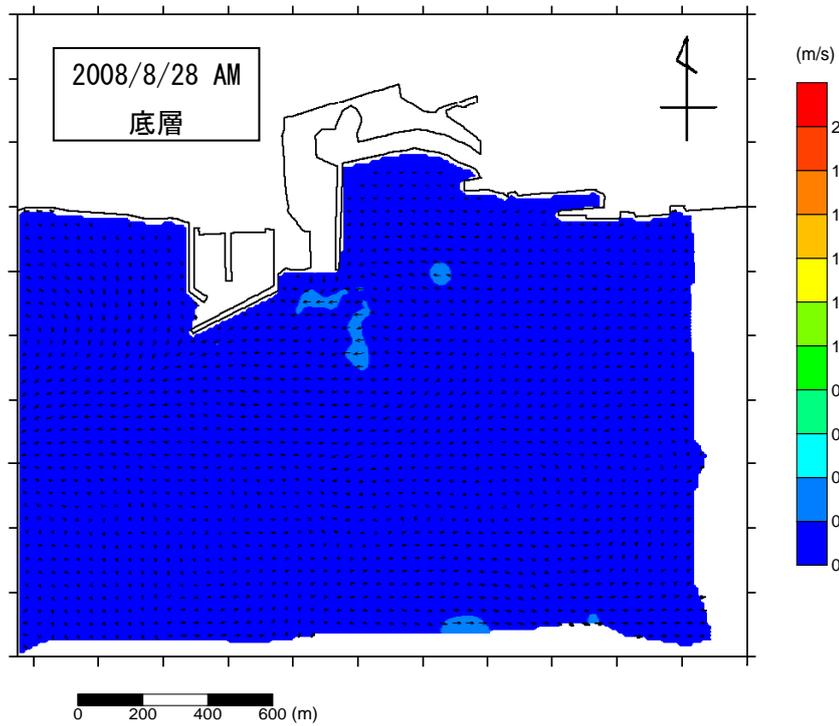
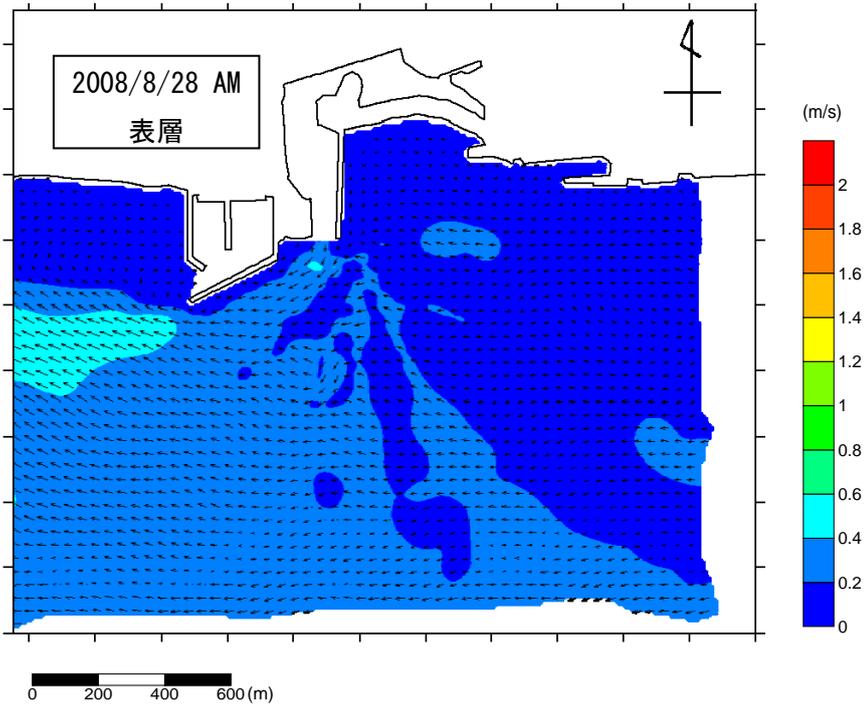


図 2-86 相模川河口域流況データ (2008/8/28 AM) のスプライン補間結果

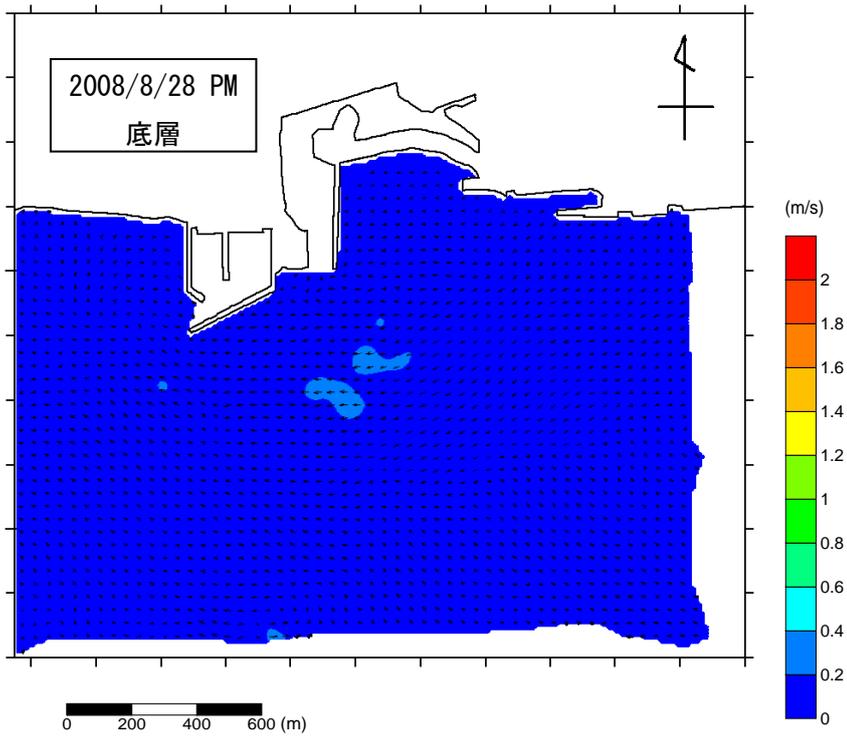
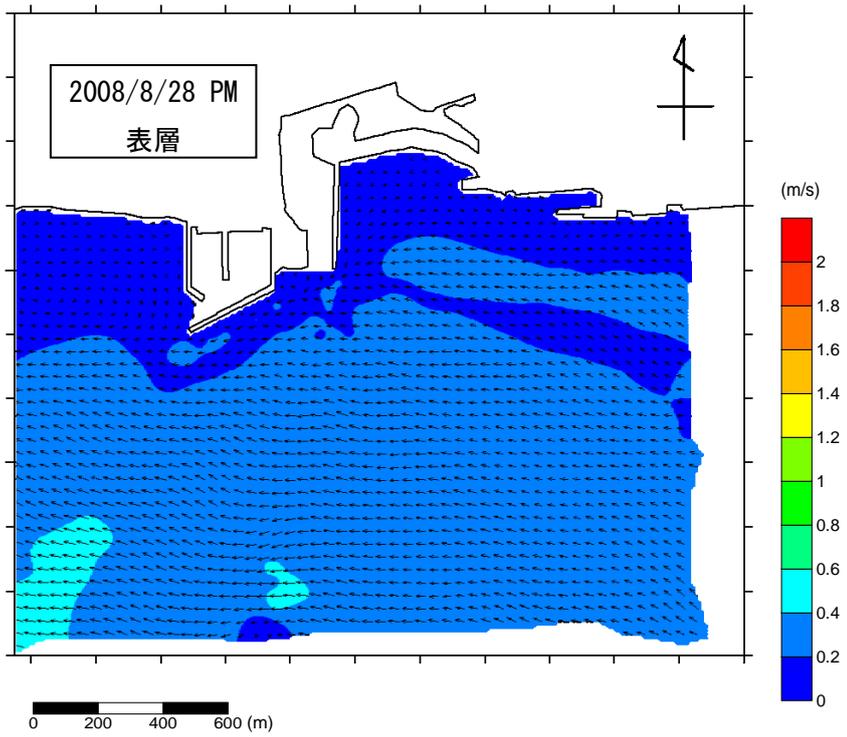


図 2-87 相模川河口域流況データ (2008/8/29 PM) のスプライン補間結果

(5) 水温・塩分観測結果

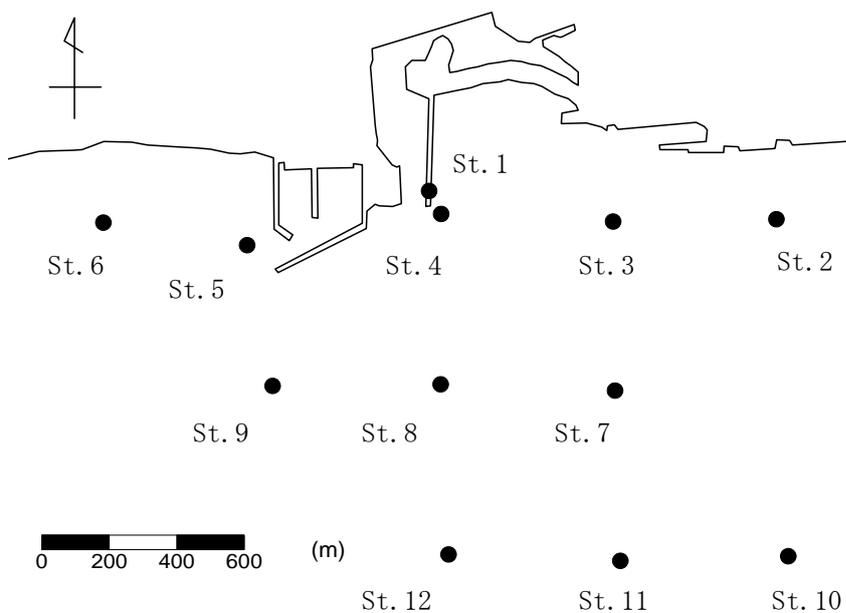
1) 観測地点及び観測開始時間

相模川河口周辺海域で表 2-11 に示す観測位置と観測時間で水温と塩分観測を行った。

表 2-11 水温・塩分観測地点の座標・観測時間 (2008 年 8 月 28 日実施)

1回目 (干潮)			
	緯度	経度	観測開始時間
St. 1	35° 18' 49.05"	139° 22' 06.85"	7:03
St. 2	35° 18' 46.47"	139° 22' 47.55"	7:59
St. 3	35° 18' 46.17"	139° 22' 28.42"	7:11
St. 4	35° 18' 46.83"	139° 22' 08.27"	7:07
St. 5	35° 18' 43.72"	139° 21' 45.56"	8:05
St. 6	35° 18' 45.84"	139° 21' 28.70"	8:10
St. 7	35° 18' 29.82"	139° 22' 28.74"	7:16
St. 8	35° 18' 30.35"	139° 22' 08.31"	7:21
St. 9	35° 18' 30.12"	139° 21' 48.62"	7:25
St. 10	35° 18' 13.88"	139° 22' 49.12"	7:50
St. 11	35° 18' 13.90"	139° 22' 09.32"	7:45
St. 12	35° 18' 13.36"	139° 22' 29.46"	7:50

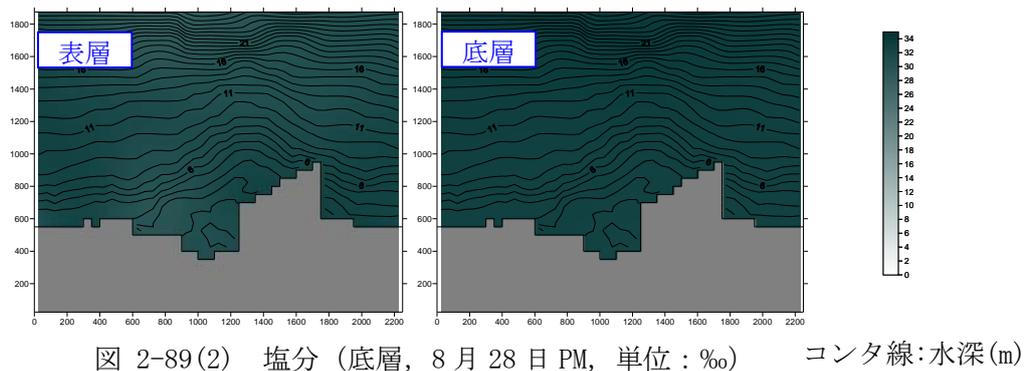
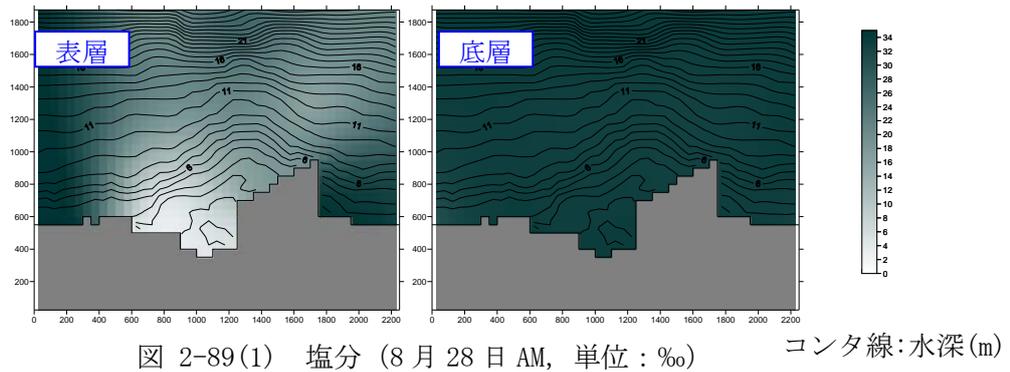
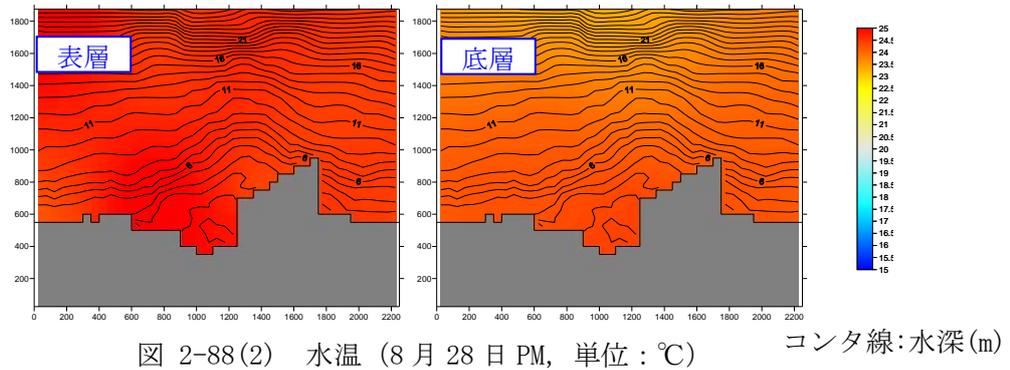
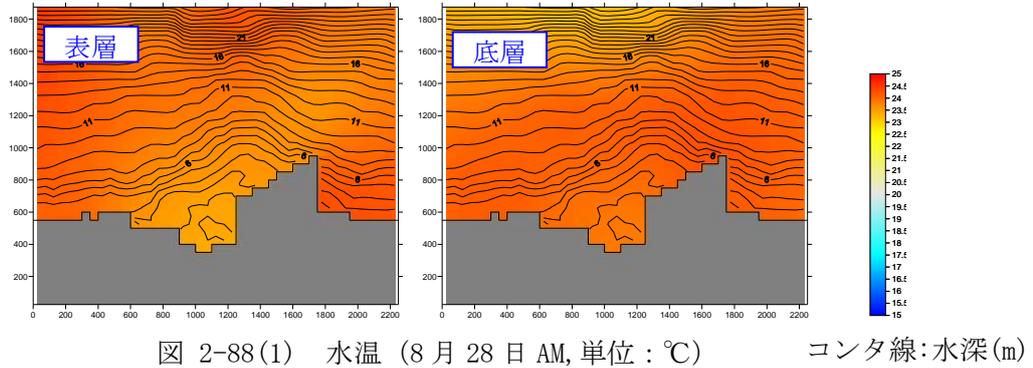
2回目 (満潮)			
	緯度	経度	観測開始時間
St. 1	35° 18' 49.05"	139° 22' 06.85"	14:20
St. 2	35° 18' 46.47"	139° 22' 47.55"	14:10
St. 3	35° 18' 46.17"	139° 22' 28.42"	14:15
St. 4	35° 18' 46.83"	139° 22' 08.27"	14:18
St. 5	35° 18' 43.72"	139° 21' 45.56"	14:26
St. 6	35° 18' 45.84"	139° 21' 28.70"	14:30
St. 7	35° 18' 29.82"	139° 22' 28.74"	13:57
St. 8	35° 18' 30.35"	139° 22' 08.31"	13:54
St. 9	35° 18' 30.12"	139° 21' 48.62"	13:50
St. 10	35° 18' 13.88"	139° 22' 49.12"	13:25
St. 11	35° 18' 13.90"	139° 22' 09.32"	13:35
St. 12	35° 18' 13.36"	139° 22' 29.46"	13:42



2) 水温・塩分の平面分布図

水温・塩分の測定結果に対しスプライン補間を行い、以下の平面分布図をまとめた。

これらの結果より、8月28日 AM 調査時は表層と底層の水温は同程度であったが、PM 調査時には表層の水温のみが上昇したことで、AM 調査時（干潮時前後）の表層の塩分が河口周辺で低かったことが確認できる。



(6) ブイ追跡による流況パターン把握

1) 測定方法

簡易 GPS ブイを用いて，高波浪時の表層の流れを観測した．簡易 GPS ブイのフロートは通常，漁具に用いられるフロートで寸法 274×228×42mm，浮力 8500g の規格のものを使用し，GPS は多機能ハンディ型のものを使用した．以下に観測時の状況写真を示す．



図 2-90 簡易 GPS ブイによる流況パターンの確認状況（相模川）

2) 高波浪時の流況

高波浪時（2008年9月20日）に簡易 GPS ブイを使用して，追跡調査を実施した．

表 2-12 高波浪時の簡易 GPS ブイ追跡観測

日付	No	開始時刻	終了時刻	経過時間
2008/9/20	1	9:42:37	9:55:29	0:12:52
	2	9:57:32	10:04:55	0:07:23
	3	10:05:13	10:12:14	0:07:01
	4	10:27:55	10:41:08	0:13:13
	5	11:01:39	11:08:59	0:07:20
	6	11:11:39	11:24:53	0:13:14

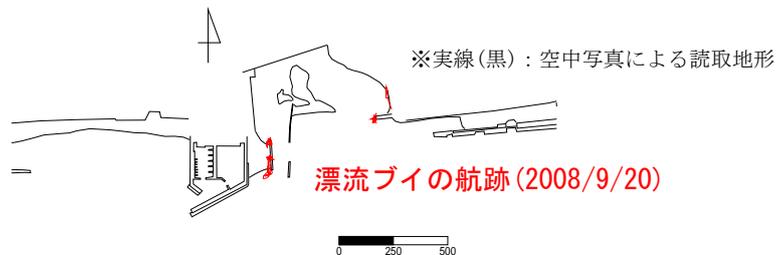


図 2-91 ブイ航跡の重ね合せ図（9月20日実施，高波浪時）

3) 平常時の流況観測

荒天時の状況と比較するため，平常時（2008年8月6日と29日，9月8日）に簡易 GPS ブイを使用して，追跡調査を実施した．

表 2-13 平常時の簡易 GPS ブイ追跡観測

日付	No	開始時刻	終了時刻	経過時間
2008/8/6	1	12:49:30	12:57:20	0:07:50
	2	13:00:53	13:08:03	0:07:10
2008/8/29	1	10:00:55	10:07:27	0:06:32
	2	10:07:43	10:11:00	0:03:17
	3	10:54:20	11:11:02	0:16:42
2008/9/8	1	8:35:06	8:41:57	0:06:51
	2	8:55:03	9:02:43	0:07:40
	3	9:14:03	9:18:54	0:04:51
	4	9:24:55	9:36:15	0:11:20

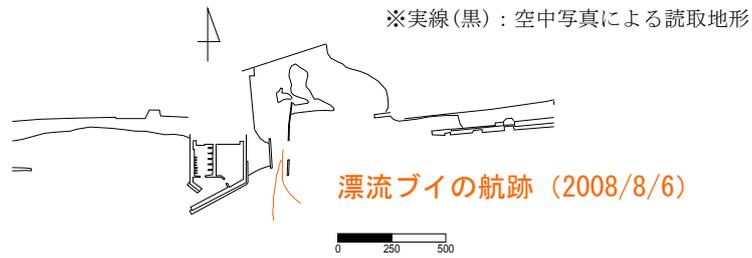


図 2-92(1) ブイ航跡の重ね合せ図 (8月6日実施, 平常時)

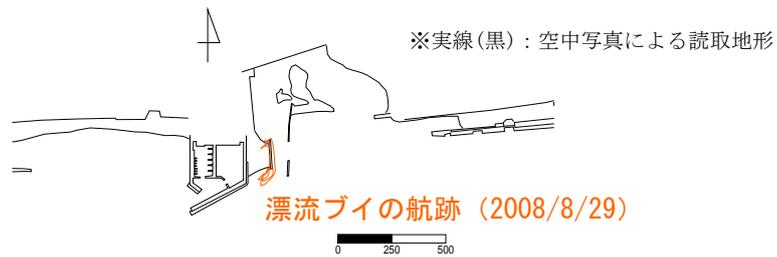


図 2-92(2) ブイ航跡の重ね合せ図 (8月6日実施, 平常時)

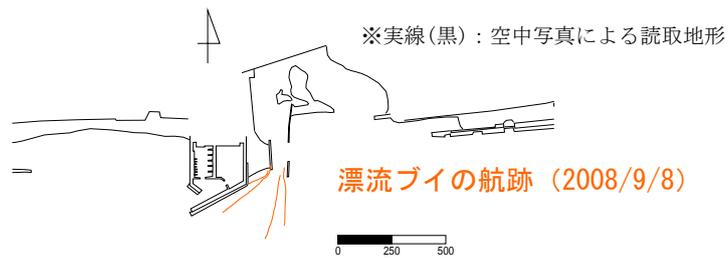


図 2-92(3) ブイ航跡の重ね合せ図 (9月8日実施, 平常時)

(7) 調査期間中の砂州地形の変化

相模川河口域の調査期間中に簡易型GPSを用いて砂州の水際の位置を3回(8/6, 8/29, 9/8)測定し, 砂州地形の変化を図 2-93 に整理した。

この結果より, 調査期間中に砂州地形は大きな変化は無かったことが確認できる。



図 2-93 調査期間中の砂州地形の変化

2.3.3 モデル海域（相模川河口域）での特性把握

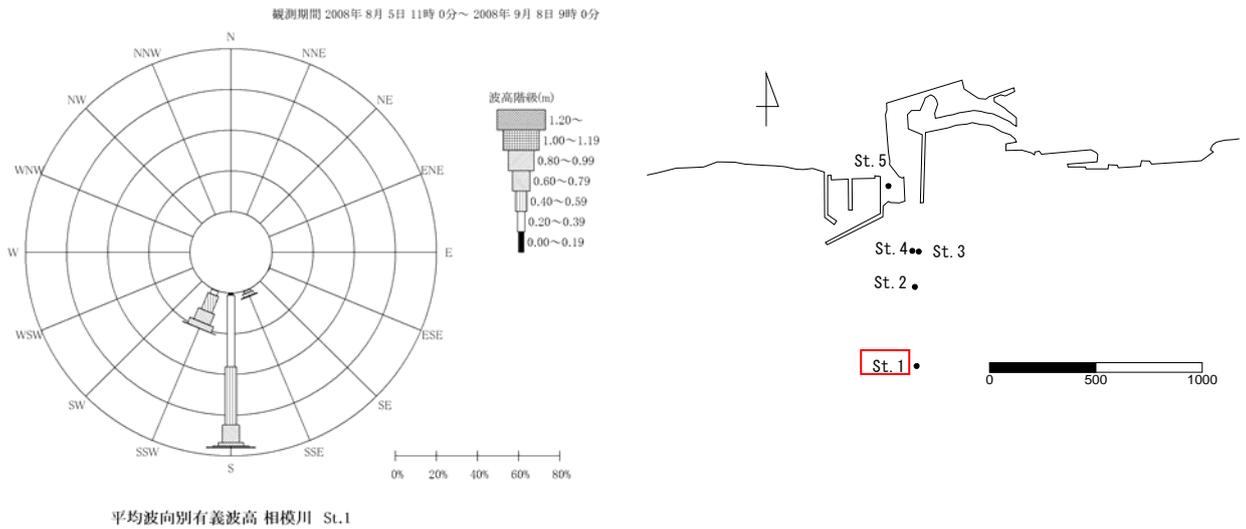
(1) 現地調査結果の整理

相模川河口域の波浪・流況に関して、現地調査結果を整理した結果を以下に示す。

1) 波浪出現頻度

相模川河口域での観測期間中の波浪出現頻度の特性は以下のとおりである。

- ・波向の出現頻度はSが大半を占め、SSWも若干多くある。
- ・波高は50cm未満が62.7%を占めており、最大波高は1.2～1.29の間である。
- ・最多周期は、7.0～7.9秒である。



波高階級 (m)	周期階級 (s)																合計	
	0.0-0.9	1.0-1.9	2.0-2.9	3.0-3.9	4.0-4.9	5.0-5.9	6.0-6.9	7.0-7.9	8.0-8.9	9.0-9.9	10.0-10.9	11.0-11.9	12.0-12.9	13.0-13.9	14.0-14.9	15.0-15.9		16.0-
0.00-0.09	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.10-0.19	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.5	0.4	0.2	0	0	0	0	0	0	0
0.20-0.29	0	0	0	0	0.5	1.3	4.3	6.4	1.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.30-0.39	0	0	0	0.7	1.8	3.4	6	9	3.1	0.4	0.4	0	0	0	0	0	0	0
0.40-0.49	0	0	0	0.9	3.9	4.5	5	4.3	1.8	1	0.7	0	0	0	0	0	0	0
0.50-0.59	0	0	0	0.4	3.6	3.6	2.5	3.3	1.5	0.7	1.2	0	0	0	0	0	0	0
0.60-0.69	0	0	0	0.5	2.8	0.7	1.7	2.8	1.1	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0	0
0.70-0.79	0	0	0	0.5	2.1	0.6	0.4	0.6	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.80-0.89	0	0	0	0.1	2.1	0	0.1	0.4	0.1	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0
0.90-0.99	0	0	0	0.1	0.6	0	0	0.2	0.4	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0
1.00-1.09	0	0	0	0	0.1	0	0	0.1	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.10-1.19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.20-1.29	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0
1.30-1.39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.40-1.49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.50-1.59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.60-1.69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.70-1.79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.80-1.89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.90-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
合計	0	0	0	3.2	17.5	14.2	20.1	27.4	11.3	3.6	2.7	0	0	0	0	0	0	0
静穏	0%																	

図 2-94 調査期間中の波浪出現頻度（相模川河口域，St1）

2) 流況出現頻度 (St2, St3 の底層)

相模川河口域での観測期間中の流況出現頻度の特性は以下のとおりである。

- St. 2 の底層の頻度分布より、流向は東西方向に卓越していることがわかる。
- St. 4 は陸に近い場所にあり、E系 (E, ESE) と W系 (WSW) の頻度が高い。

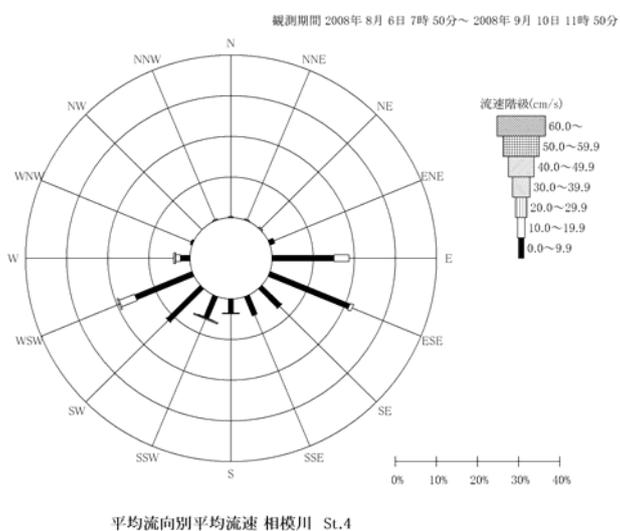
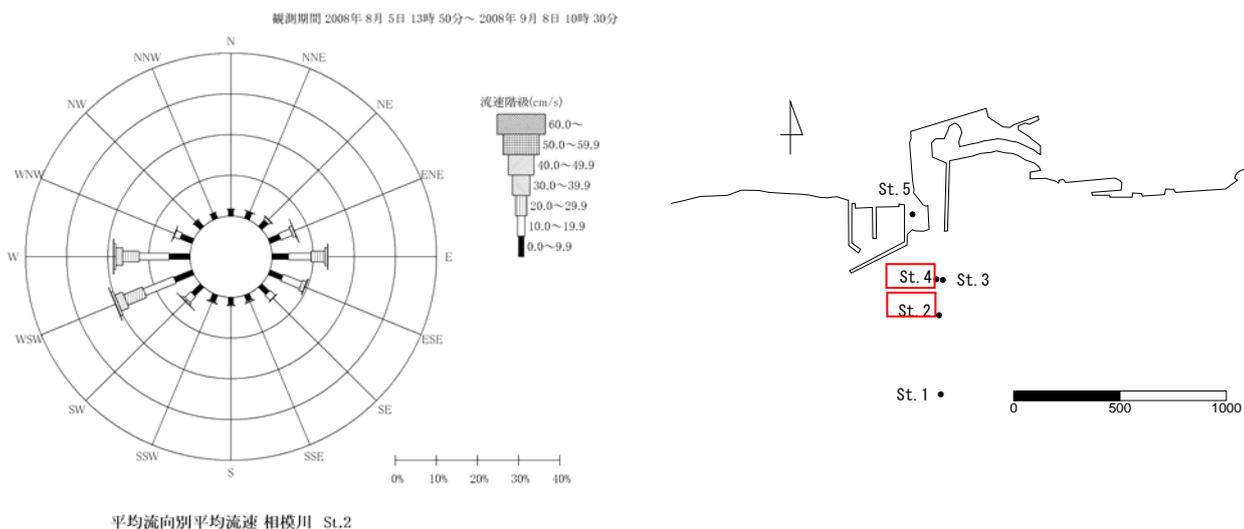
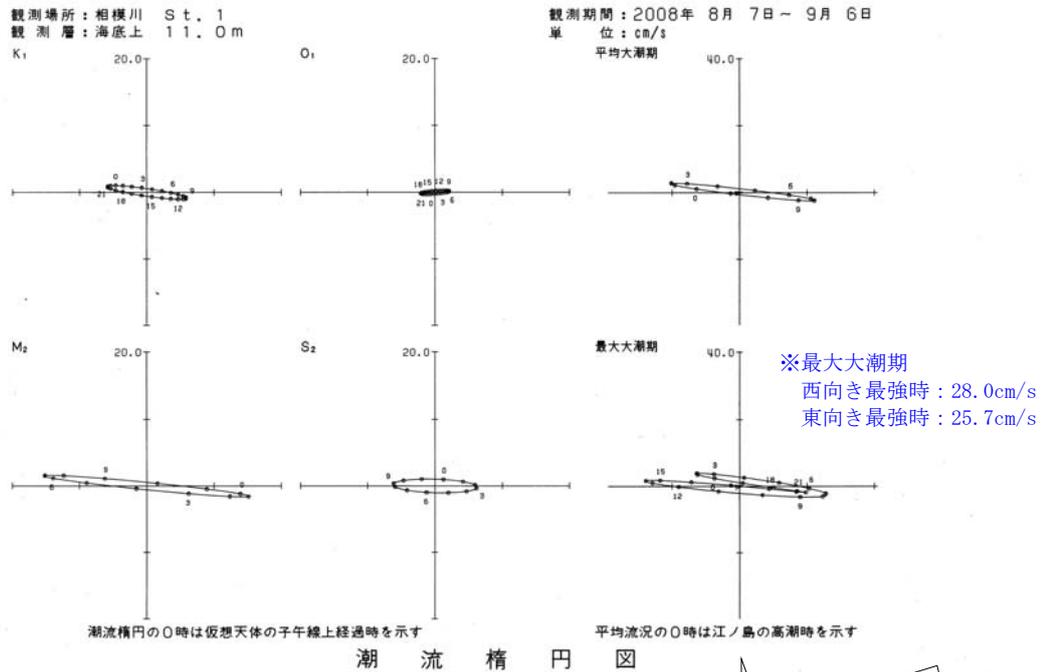
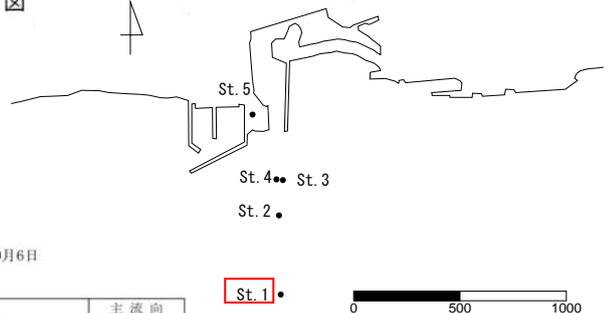


図 2-95 調査期間中の流況出現頻度 (上図 ; St. 2, 下図 ; St. 4)

3) 潮流調和分解 (相模川 St. 1 海底上 11.0m の観測層, 水深 12.3m)



場 所： 相模川
測 点： St. 1
位 置： 北緯 35° 18' 23"
東経 139° 22' 6"
観 測 層： 海底上 11.0m
観 測 年 月 日： 2008年8月7日 ~ 2008年9月6日



分潮	北方分速		東方分速		楕円要素								主流向 274.7°
	流速 (cm/sec)	遅角 (°)	流速 (cm/sec)	遅角 (°)	長 軸				短 軸				
					方向 (°)	流速 (cm/sec)	遅角 (°)	方向 (°)	流速 (cm/sec)	遅角 (°)			
K ₁	1.0	356.8	5.9	142.4	278.2	5.9	323.2	8.2	0.6	53.2	5.9	322.8	
O ₁	0.3	162.5	2.1	107.9	85.5	2.1	108.4	175.5	0.2	18.4	2.1	287.4	
P ₁	0.3	356.8	2.0	142.4	278.2	2.0	323.2	8.2	0.2	53.2	2.0	322.8	
Q ₁	0.4	30.5	1.4	129.4	273.0	1.4	310.3	3.0	0.4	40.3	1.4	310.8	
M ₂	1.6	224.0	15.3	24.1	275.8	15.3	204.3	5.8	0.6	294.3	15.3	204.2	
S ₂	1.0	338.2	6.3	78.4	271.7	6.3	258.7	1.7	1.0	348.7	6.3	259.2	
K ₂	0.3	338.2	1.7	78.4	271.7	1.7	258.7	1.7	0.3	348.7	1.7	259.2	
N ₂	2.0	192.5	3.2	3.3	301.5	3.8	185.8	31.5	0.3	275.8	3.4	183.7	
L ₂	1.1	148.2	3.5	302.0	285.3	3.7	124.0	15.3	0.5	214.0	3.6	122.7	
v ₂	0.4	192.5	0.6	3.3	301.5	0.7	185.8	31.5	0.1	275.8	0.7	183.7	
μ ₂	0.8	135.3	1.7	15.1	286.2	1.8	188.7	16.2	0.7	98.7	1.8	193.2	
M ₄	0.6	99.1	2.0	155.5	80.7	2.1	153.4	170.7	0.5	243.4	2.0	336.6	
MS ₄	1.2	171.8	1.5	265.2	278.6	1.5	92.2	8.6	1.2	182.2	1.5	89.1	
V ₀	0.2		1.0			1.0				78.7		-0.9	

潮流調和分解結果

4) 曳航式調査時の流況パターン

2008年8月28日の午前と午後に、曳航式流速計による広域の流速測定が実施された。図2-37は、観測データのスプライン補完により流速ベクトル分布（表層流速）を作成したものである。相模川河口周辺では沖合を西向きに流れる潮流が特徴的である。

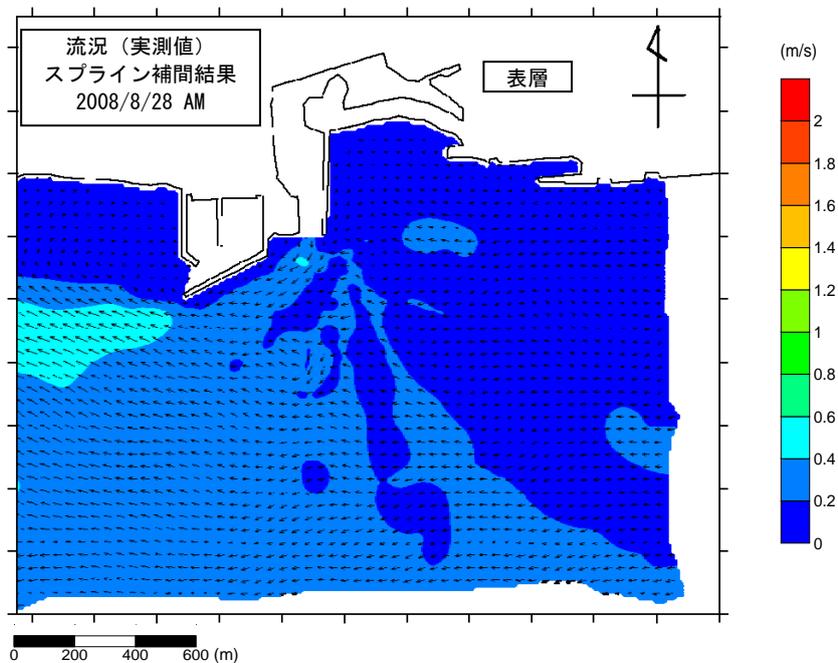


図 2-96 相模川河口域の曳航式流況調査結果（表層，AM）

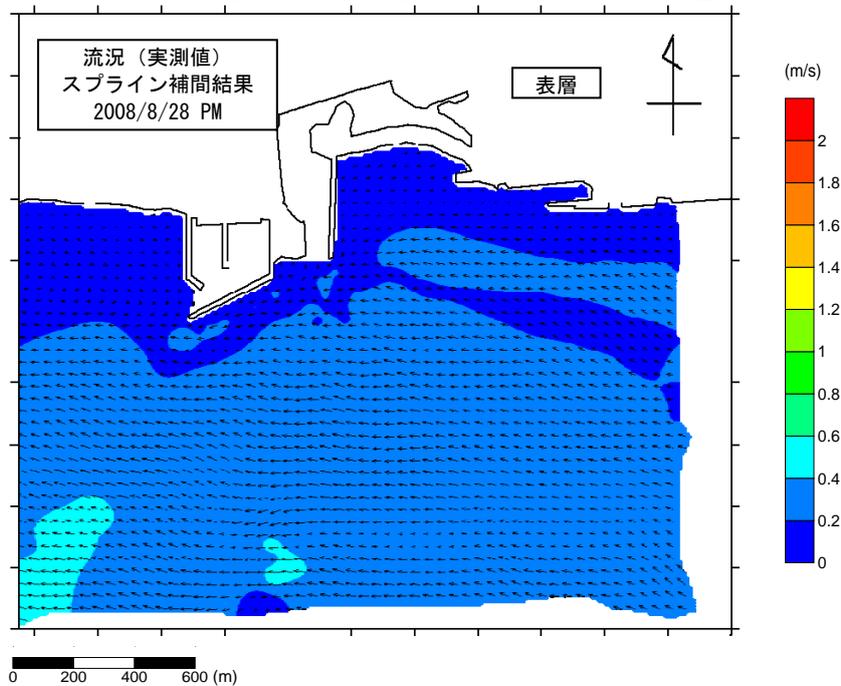


図 2-97 相模川河口域の曳航式流況調査結果（底層，PM）

(2) 流況シミュレーション

1) 計算条件

i) 地形データ

相模川周辺の地形データは、河口部で砂州がある場合とない場合の2種類を用いた。

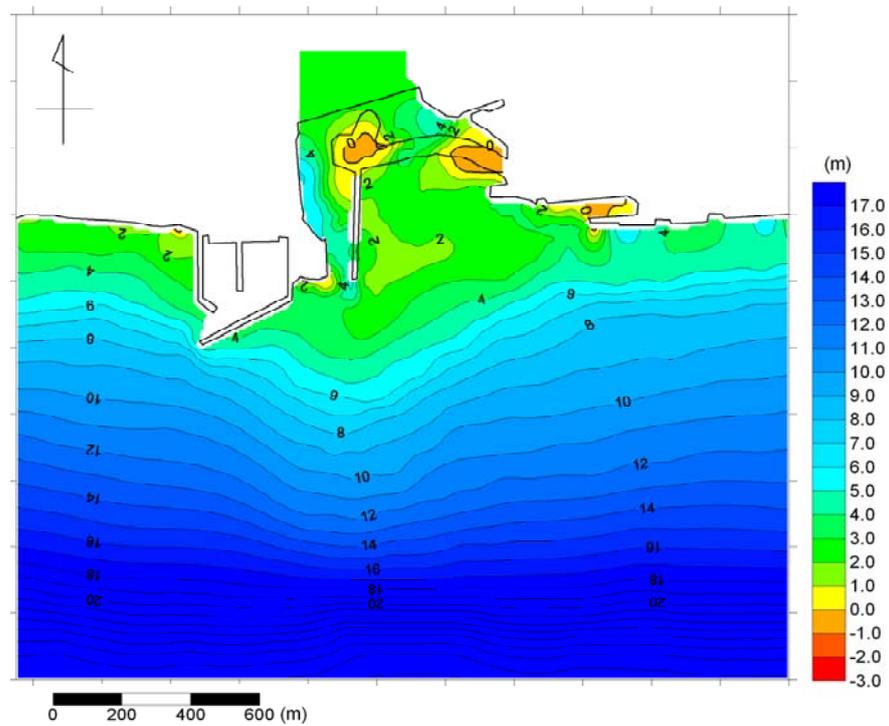
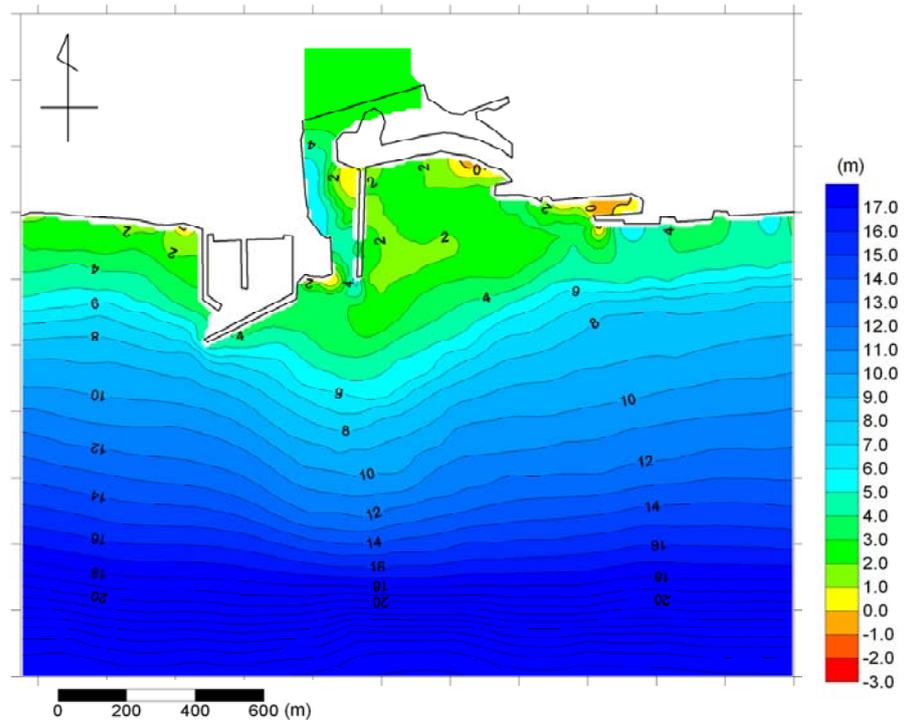


図 2-98 相模川河口周辺の海底地形（上：砂州あり，下：砂州なし）

ii) 外力条件

シミュレーションに用いる外力条件として、現地調査期間中の河川流量データ（図 2-99）及び波浪観測データ（図 2-100）より、表 2-14 に示すケースの特徴的な外力条件を抽出した。これらの条件について、流況予測計算をおこない、相模川河口域での特徴的な流況パターンを検討する。

表 2-14 現地観測時の外力データより抽出した特徴的な外力条件

ケース	河川流	波浪			潮位	備考
	流量(m ³ /s)	波高(m)	周期(s)	波向(度)	(m, T.P.)	
①	34.14	1.24	9.1	S	+0.24	夏季通常時, 高波浪 (8/16)
②	96.85 90.89	-	-	-	+0.37	増水時, 低波浪 (8/28) (※曳航式調査時)
③	924.1	0.49	9.1	S	+0.57	増水時, 高波浪 (8/29)

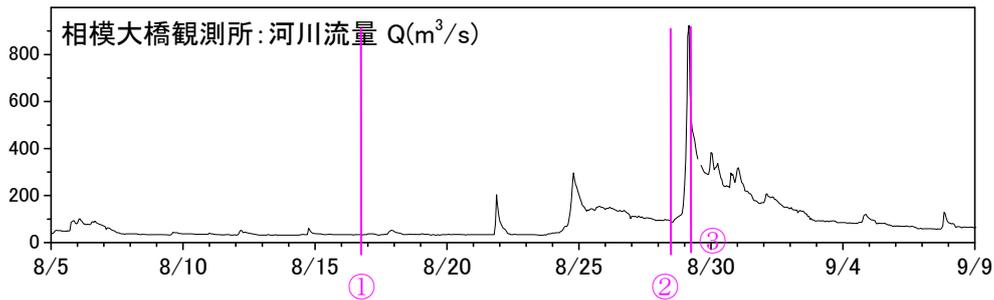


図 2-99 河川流量（相模大橋観測所の推定値）の時系列

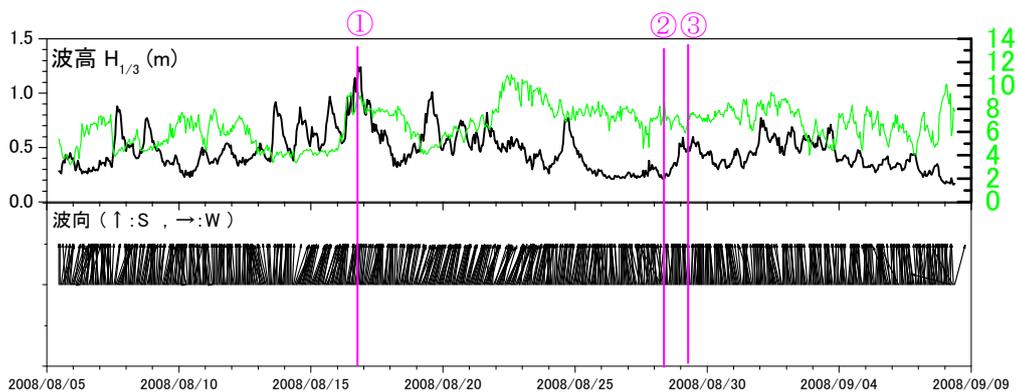


図 2-100 St. 1（超音波式波高計）の時系列

2) 河川流と潮流による流況パターン

(a) 再現計算（ケース②：流量=90~100m³/s）

ケース③は曳航式調査時と一致する条件であるため、流速分布のパターンを観測結果と計算結果で比較した。ケース②-AMの流況再現結果を図 2-101、ケース②-PMを

図 2-103 に示す。実測データは西向きの潮流が生じているため、河川流条件とともに東西方向の開境界で水位差を与えて調整することで潮流を再現した。

計算結果は、妥当な結果を与えており、実測データをよく再現している。

(b) 通常時（ケース①：Q=30m³/s 程度）

図 2-105 は、ケース①の河川流条件のみを与えて計算した結果である。流量が小さいため、海域に流れはほとんど生じていない。

(c) 増水時（ケース②Q=100m³/s 程度）

図 2-106 は、ケース②の河川流条件のみを与えて計算した結果である。河川流条件は図 2-103 と同様であるが、潮流を考慮していない点でことなる。河口出口当たりで比較的速い流速が生じている。

(d) 増水時（ケース③Q=900m³/s 程度）

図 2-107 は、ケース③の河川流条件のみを与えて計算した結果である。増水時は砂州を乗り越える流れが観察されているため、砂州なし地形を用いて計算している。河口の広い範囲で 1m/s 程度の速い流れが生じている。

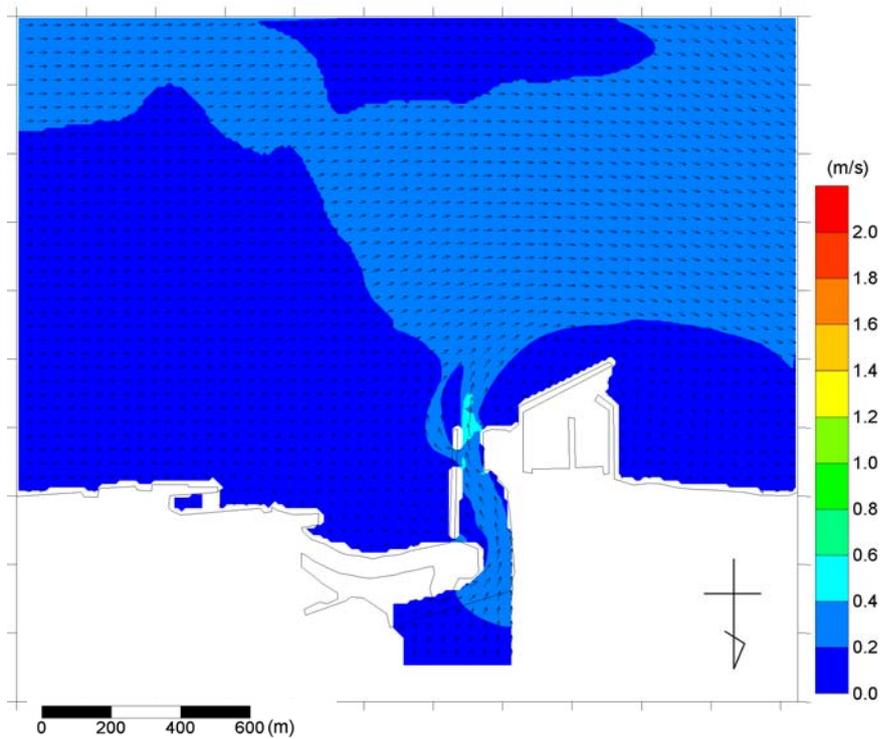


図 2-101 ケース②-AM : 2008/08/28 午前の再現計算 (河川流 $Q=96.85\text{m}^3/\text{s}$ + 西向き潮流)

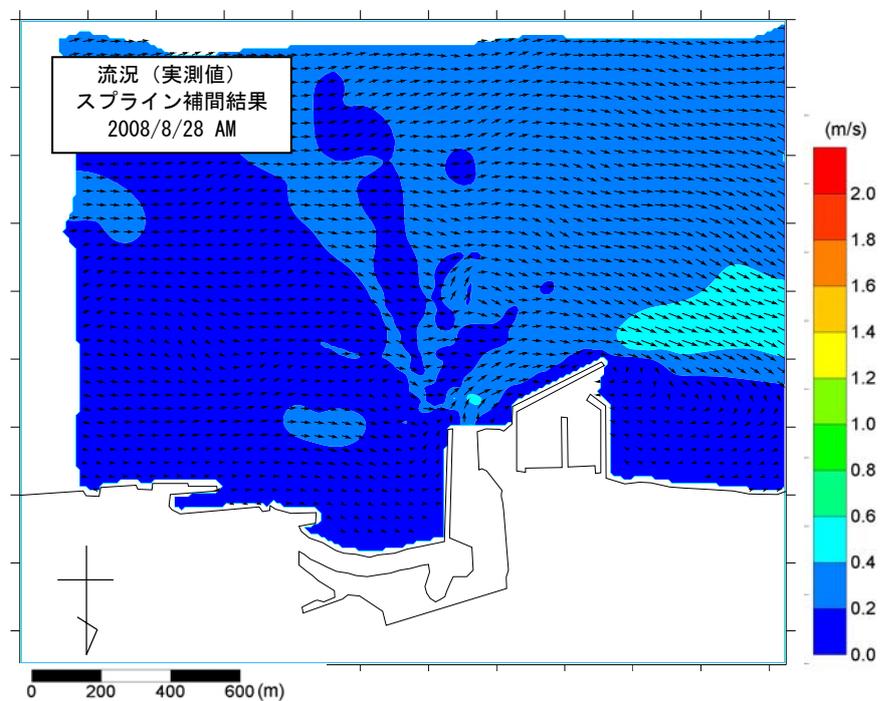


図 2-102 ケース②-AM の曳航式調査結果よりスプライン補間して得られた流況パターン (下) (流量 : $Q=97\text{m}^3/\text{s}$)

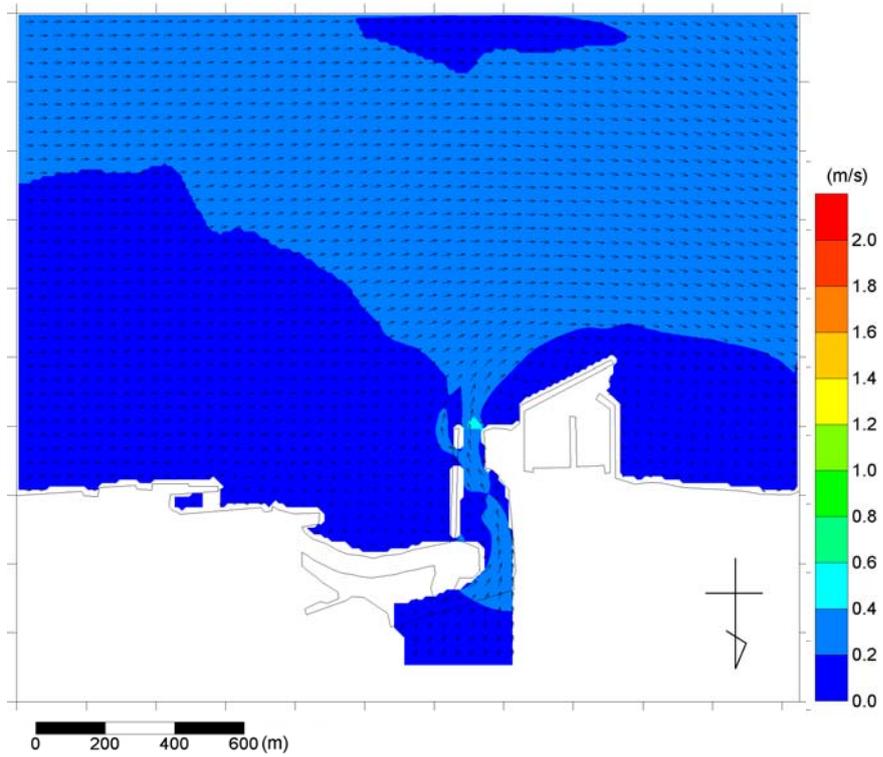


図 2-103 ケース②PM : 2008/08/28 PM の再現計算 (河川流 $Q=90.89\text{m}^3/\text{s}$ + 西向き潮流)

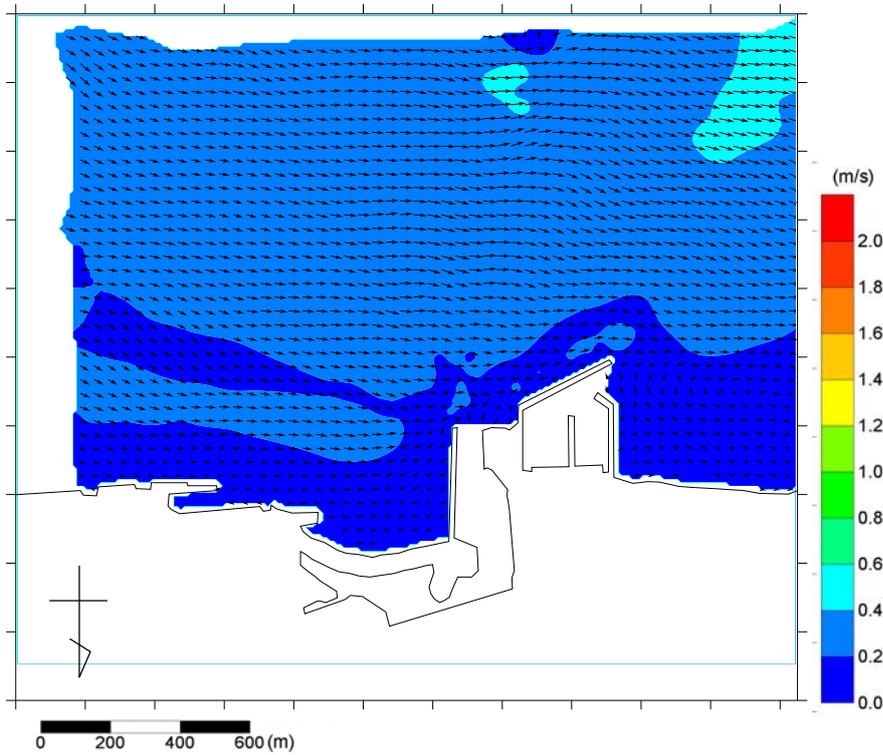


図 2-104 ケース②-PM の曳航式調査結果よりスプライン補間して得られた流況パターン
(下) (流量 : $Q=90.89\text{m}^3/\text{s}$)

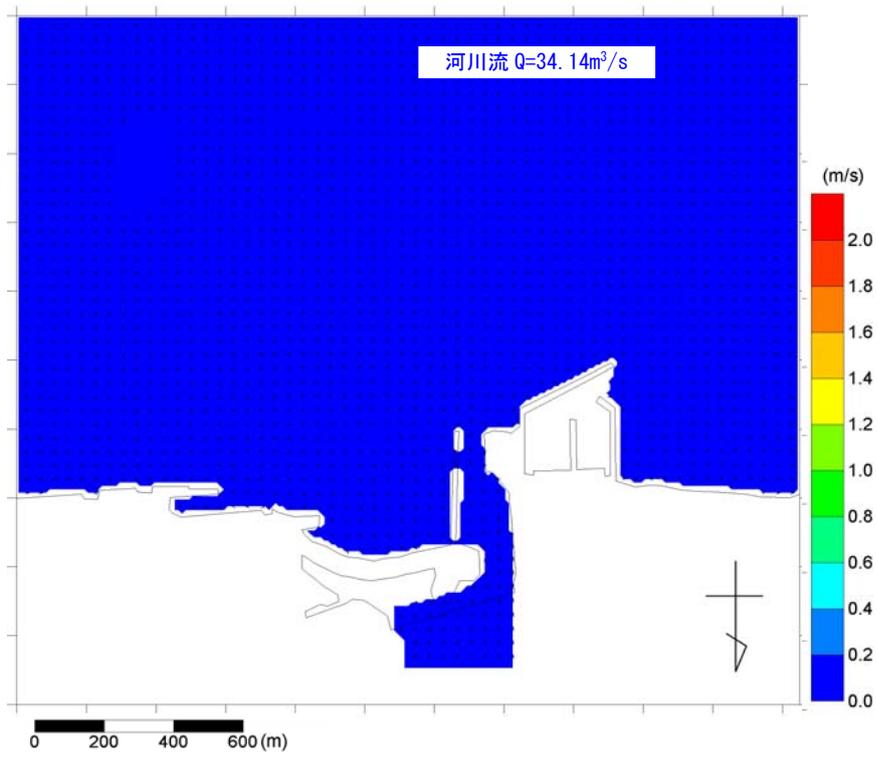


図 2-105 河川流のみ (① : 2008/8/16 21:00 $Q=34.14\text{m}^3/\text{s}$)

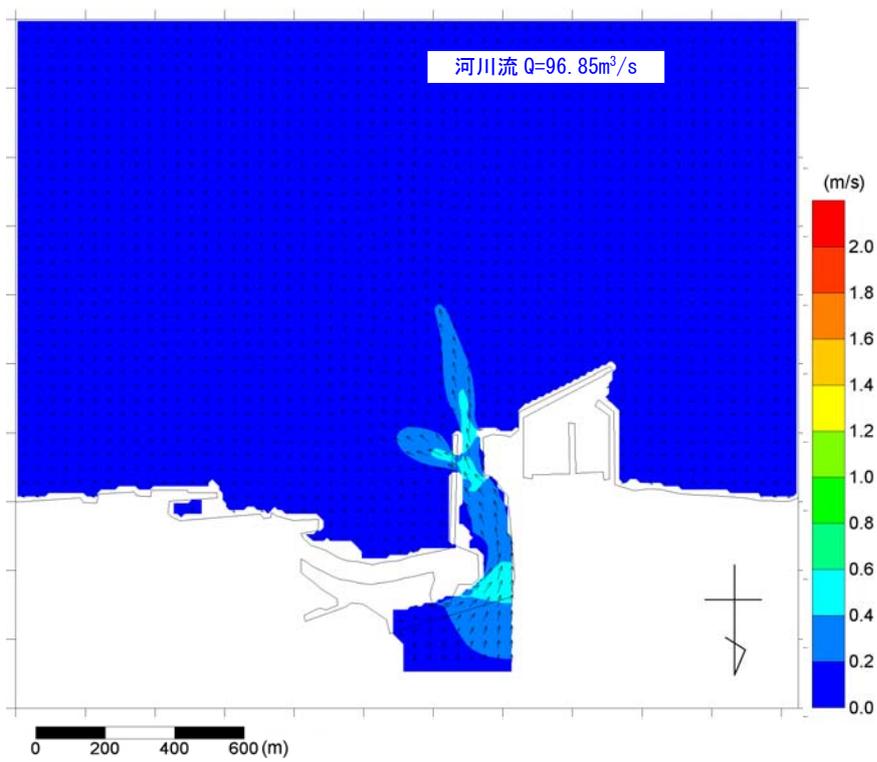


図 2-106 河川流のみ (② : 2008/8/28 AM $Q=96.85\text{m}^3/\text{s}$)

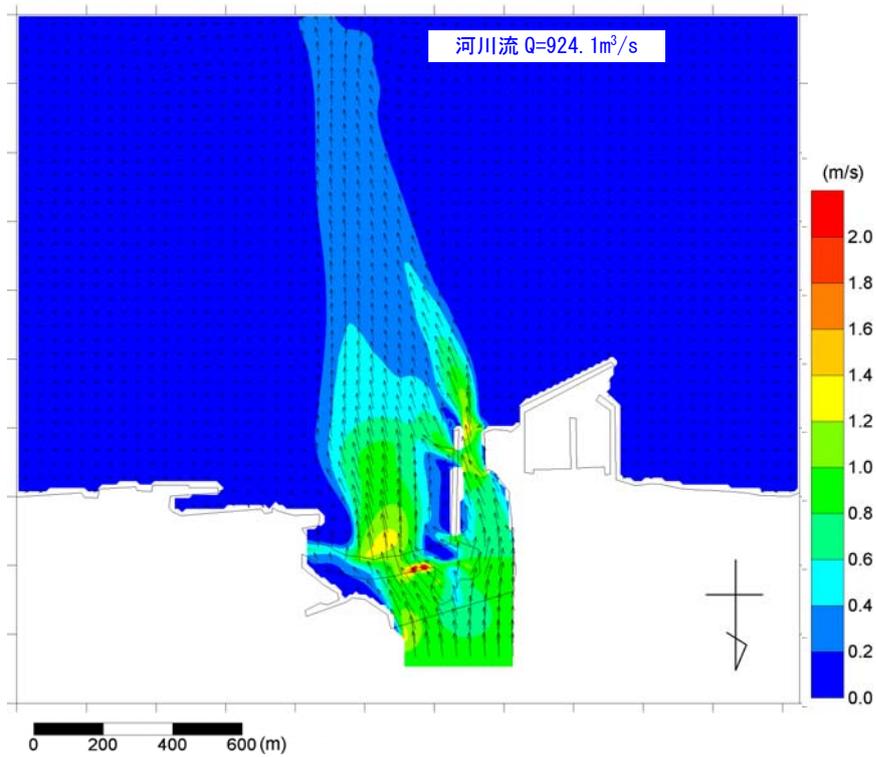


図 2-107 河川流のみ (③ : 2008/8/29 4時 Q=924.1m³/s)

3) 波により生じる海浜流の流況パターン

波により生じる海浜流をケース①と③について計算した。ここでは、波のみにより生じる流れの計算結果を表示している。図 2-108～図 2-111 に高分布と海浜流分布を示す。ケース②と⑤の両者とも、河口に向かう海浜流が生じている。ケース①は河口砂州前面付近で強い海浜流が生じている。

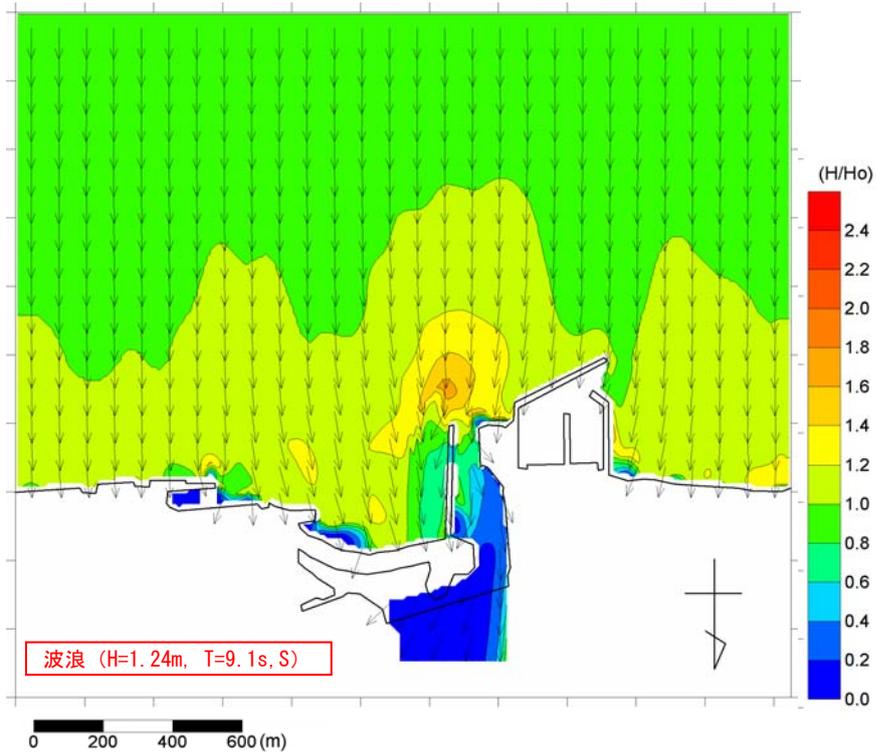


图 2-108 波浪变形计算结果 (① : 2008/8/16 21 时 H=1.24m, T=9.1s, 波向 S)

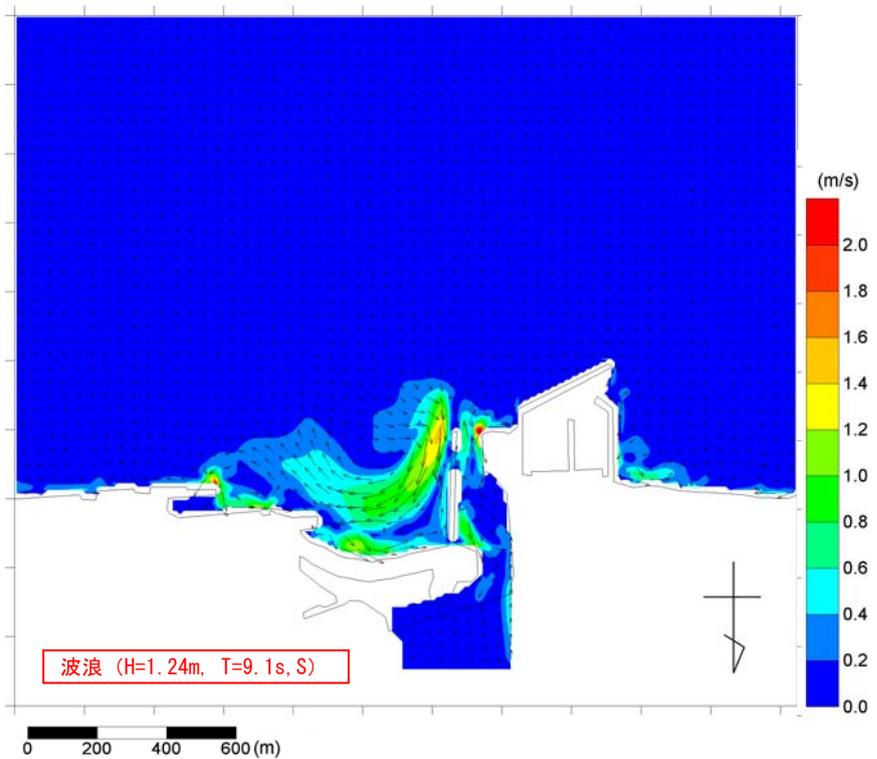


图 2-109 海浜流 (① : 2008/8/16 21 时 H=1.24m, T=9.1s, 波向 S)

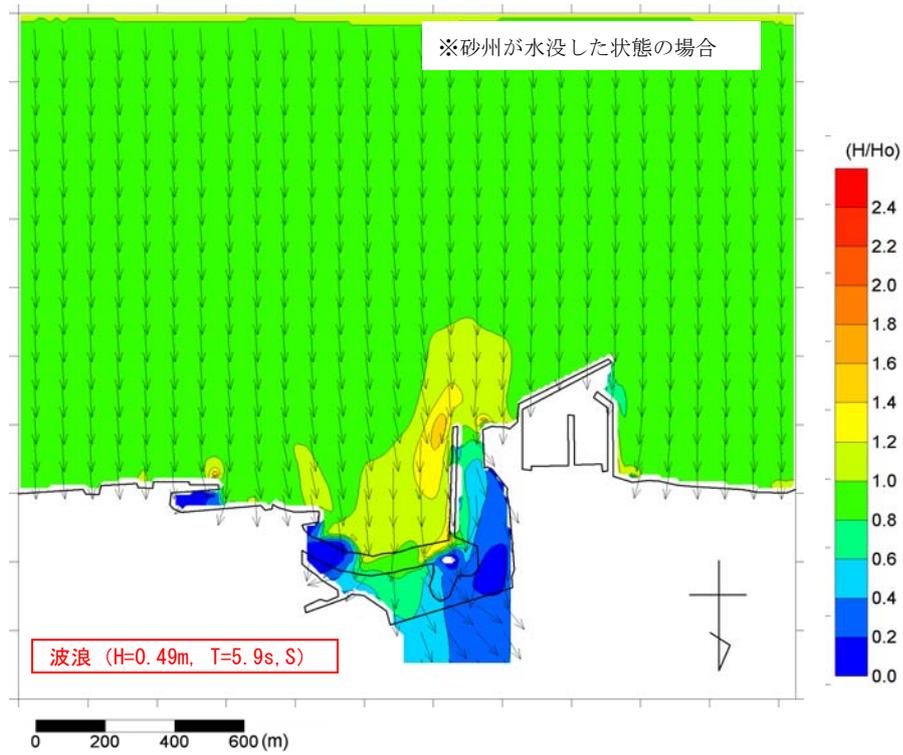


図 2-110 波浪変形計算結果 (③ : 2008/8/29 4時 H=0.49m, T=5.9s, 波向 S)

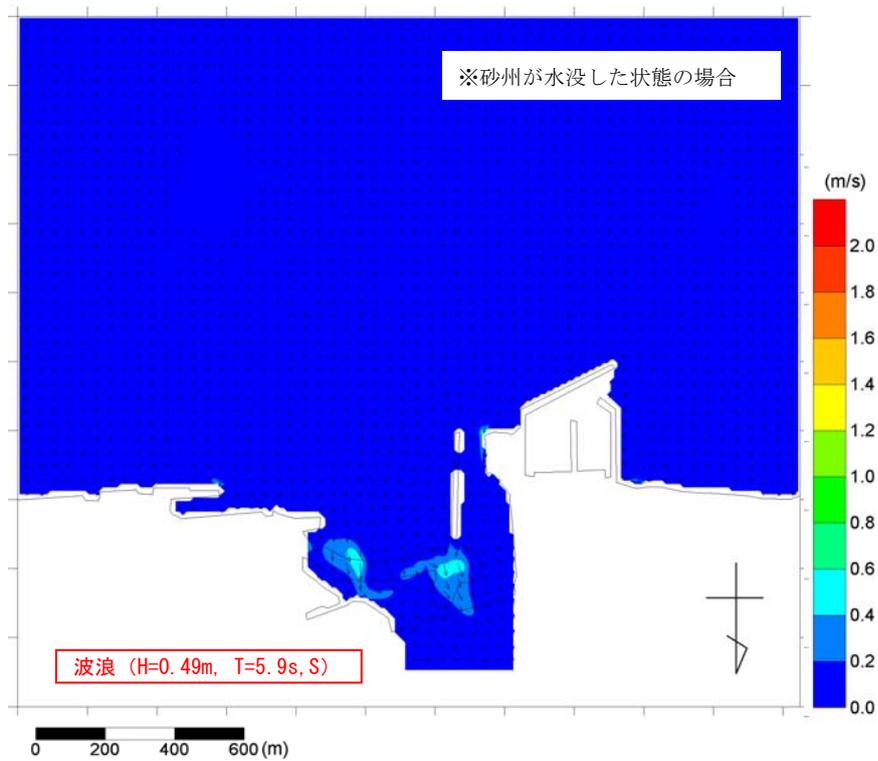


図 2-111 海浜流 (③ : 2008/8/29 4時 H=0.49m, T=5.9s, 波向 S)

4) 波と流れが共存する場合の流況パターン

波と流れが共存する場合の流況シミュレーションをおこなった。相模川河口域では、東西方向の潮流も特徴であるため、波、河川流及び潮流を考慮した各種の複合パターンを計算した。計算では、由良川において示した波・流れの相互作用を3段階で計算する手法を用いた。その3段階目を以下に示す。

なお、潮流条件としては、図 2-112、図 2-113 に示すような最大大潮期の流速を再現する条件を設定した。

図 2-114～図 2-119 に河川流、海浜流及び潮流を組み合わせた場合の流況パターンを示す。

流量が小さいケース①の場合には、河川流+海浜流と更に潮流を加えた場合とで流況にほとんど違いは認められない。

また、流量が大きいケース③の場合には、河川流の影響が沖合まで到達するため、沖合での流況が潮流の影響を受けて変化する。

ように考慮する以下では、まず、河川流の有無により波浪場が変化する状況の計算結果を示し、次に、波と流れの相互作用を考慮した場合の流況の計算結果を示す。

i) 潮流による流況パターン

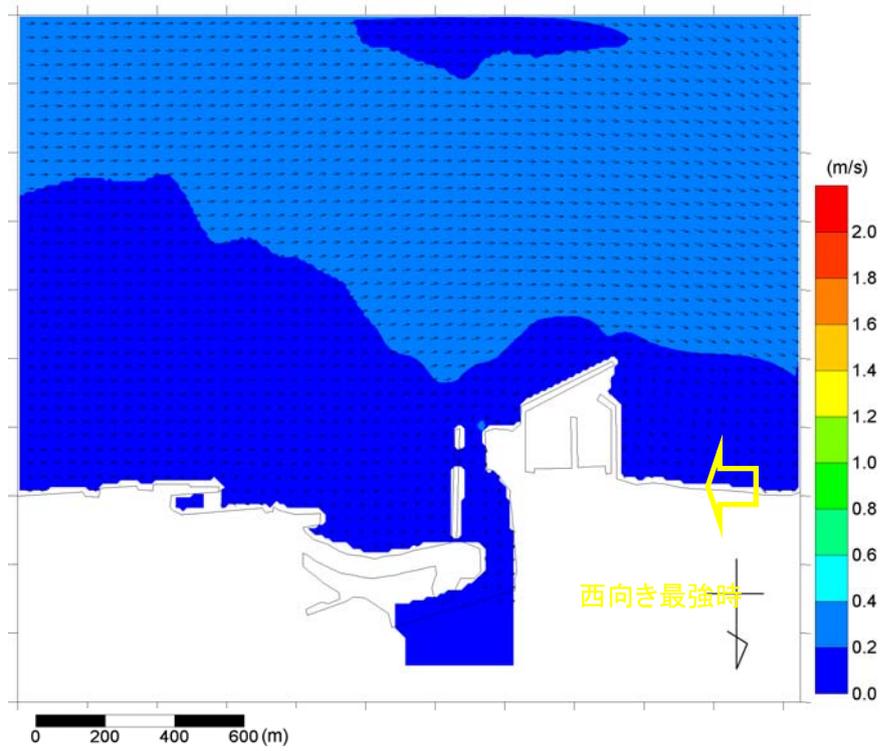


図 2-112 最大大潮期（西向き最強時, 28.0cm/s）

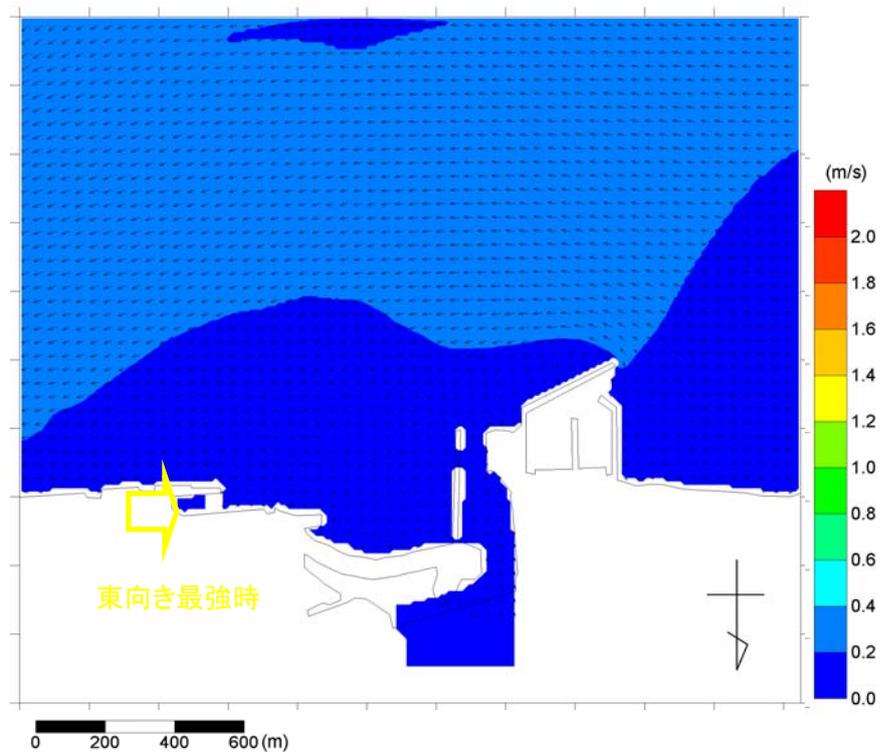


図 2-113 最大大潮期（東向き最強時, 25.7cm/s）

ii) 河川流+海浜流による流況パターン

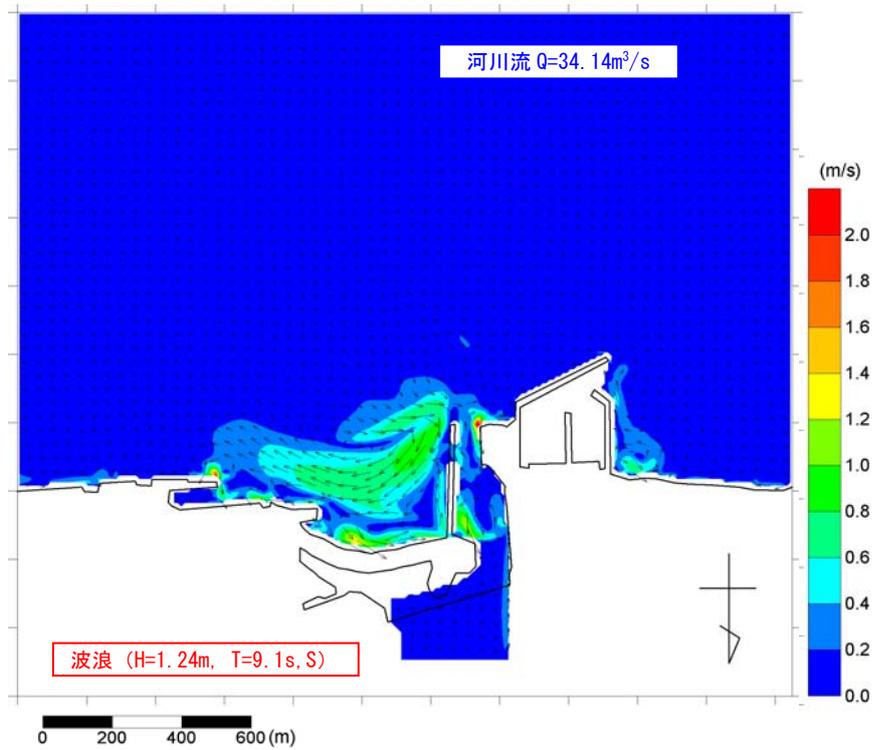


図 2-114 河川流+海浜流 (①: 2008/8/16 21 時 $Q=34.14\text{m}^3/\text{s}$, $H=1.24\text{m}$, $T=9.1\text{s}$, 波向 S)

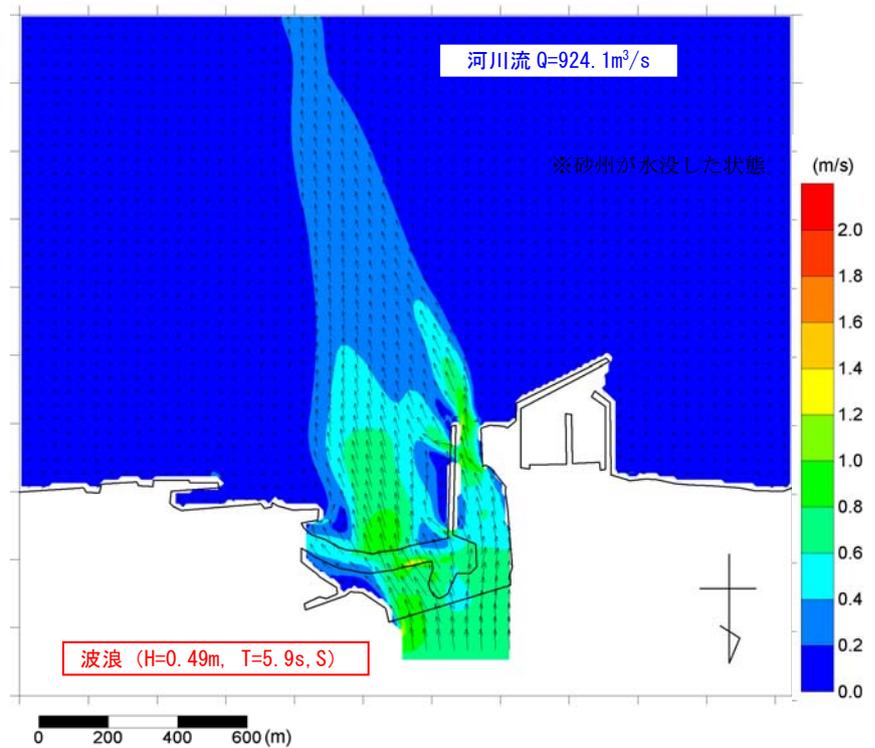


図 2-115 河川流+海浜流 (③: 2008/8/29 4 時 $Q=924.1\text{m}^3/\text{s}$, $H=0.49\text{m}$, $T=5.9\text{s}$, 波向 S)

iii) 河川流+海浜流+潮流による流況パターン

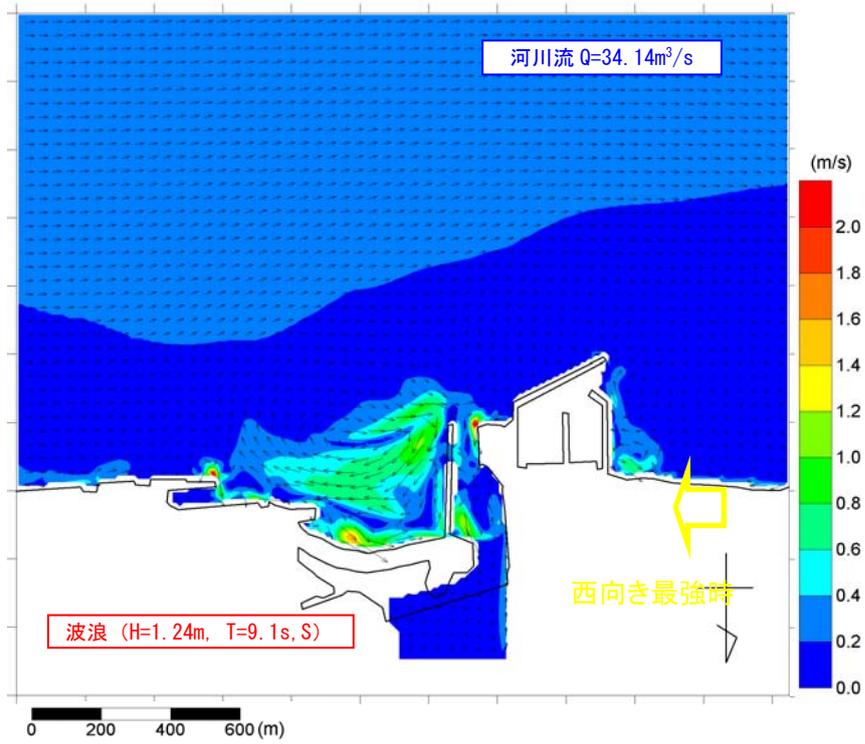


図 2-116 河川流+海浜流+潮流 (① : 2008/8/16 21時 $Q=34.14\text{m}^3/\text{s}$, $H=1.24\text{m}$, $T=9.1\text{s}$, 波向 S , 西向き潮流)

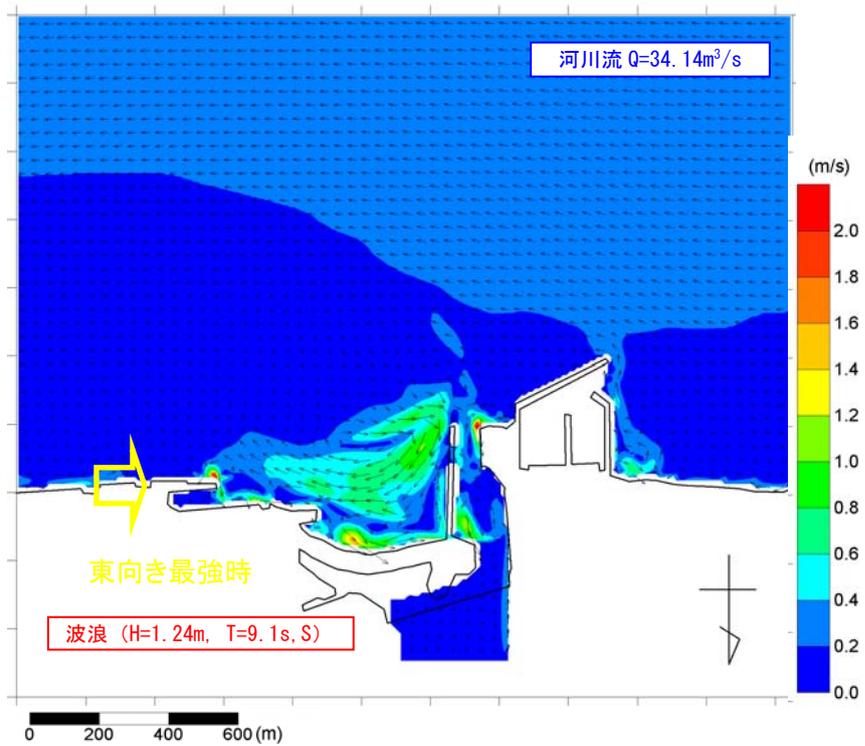


図 2-117 河川流+海浜流+潮流 (① : 2008/8/16 21時 $Q=34.14\text{m}^3/\text{s}$, $H=1.24\text{m}$, $T=9.1\text{s}$, 波向 S , 東向き潮流)

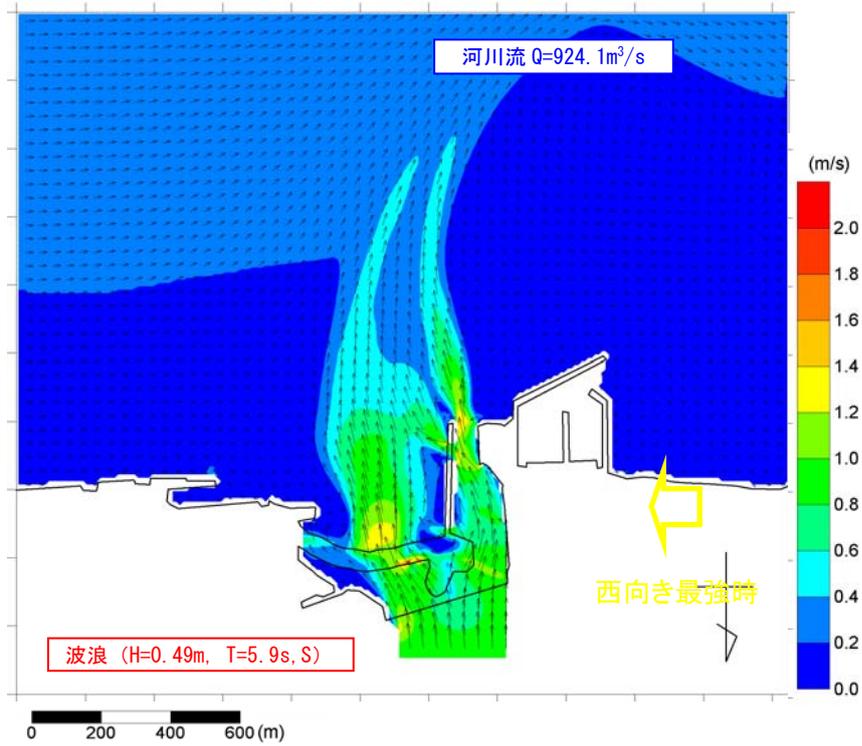


図 2-118 河川流+海浜流+潮流 (③:2008/8/29 4時 $Q=924.1\text{m}^3/\text{s}$, $H=0.49\text{m}$, $T=5.9\text{s}$, 波向 S, 西向き潮流)

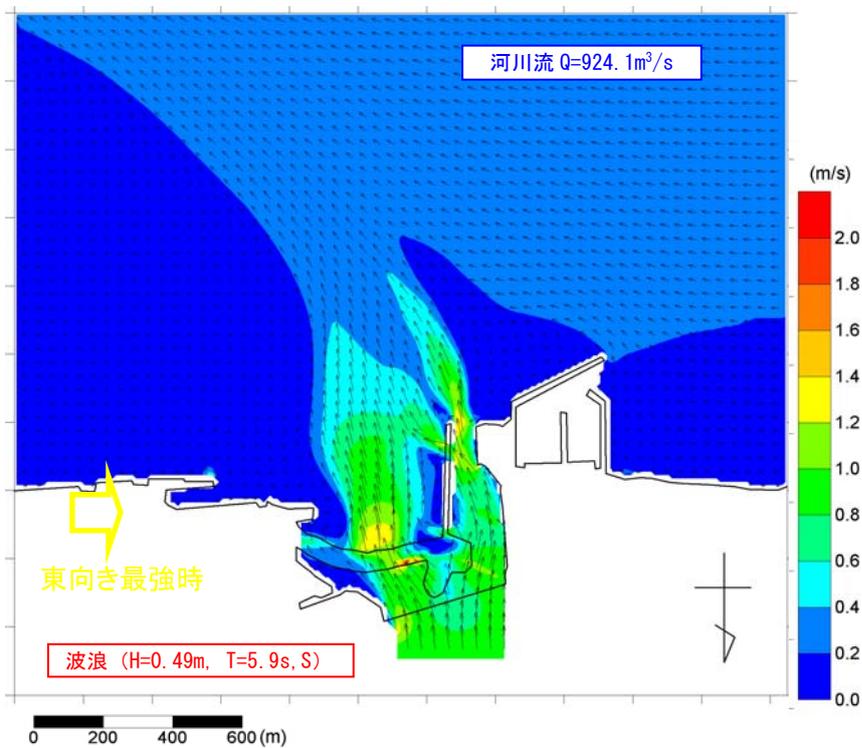


図 2-119 河川流+海浜流+潮流 (③:2008/8/29 4時 $Q=924.1\text{m}^3/\text{s}$, $H=0.49\text{m}$, $T=5.9\text{s}$, 波向 S, 東向き潮流)

iv) 波と流れの相互作用を考慮した流況シミュレーション

増水時のケース③で潮流と海浜流を考慮する場合について、図 2-55 に示す波・流れの相互作用を考慮する計算手法時の各段階別の計算結果を以下に示す。

図 2-120～図 2-122 に、それぞれの計算段階における波高・波向分布と流速分布を示す。図より、各計算段階において波浪場、流れ場が段階的に変化していく様子が確認される。

図 2-123～図 2-126 は、Step 2 及び Step 3 と Step1 の段階（波の影響のみ）の波高、流速分布の差図を表示したものである。波高については、入射波高が小さいため、Step 1-2 間での変化が小さいが、河川流の影響が考慮される Step3 では流れの影響をうけて波浪場が大きく変化している。

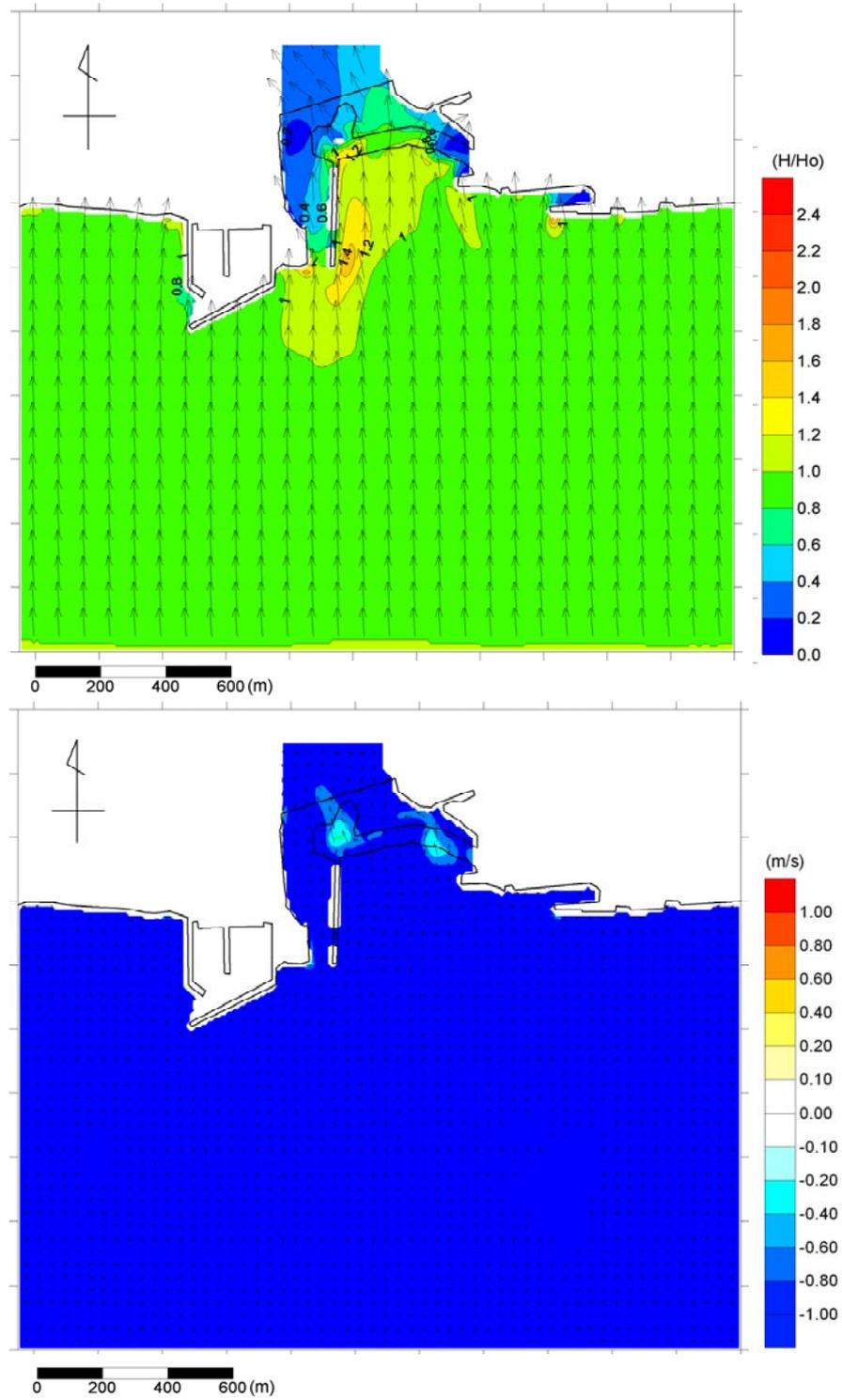


図 2-120 波高・波向分布（上）と海浜流分布（下）；Step 1（河川流なし）

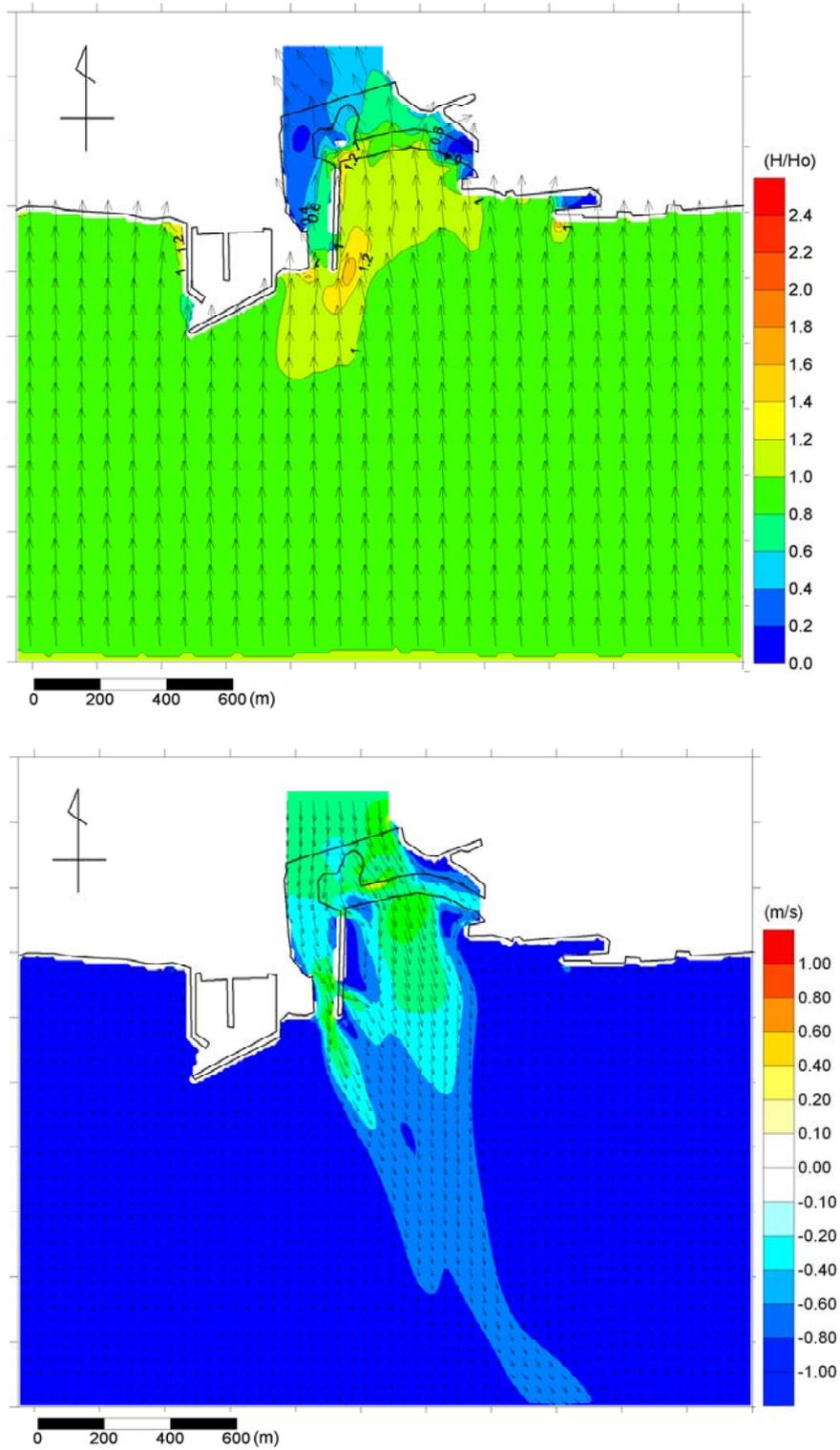


图 2-121 波高・波向分布 (上) と海浜流分布 (下) ; Step 2 (河川流 : $Q=200\text{m}^3/\text{s}$ 程度)

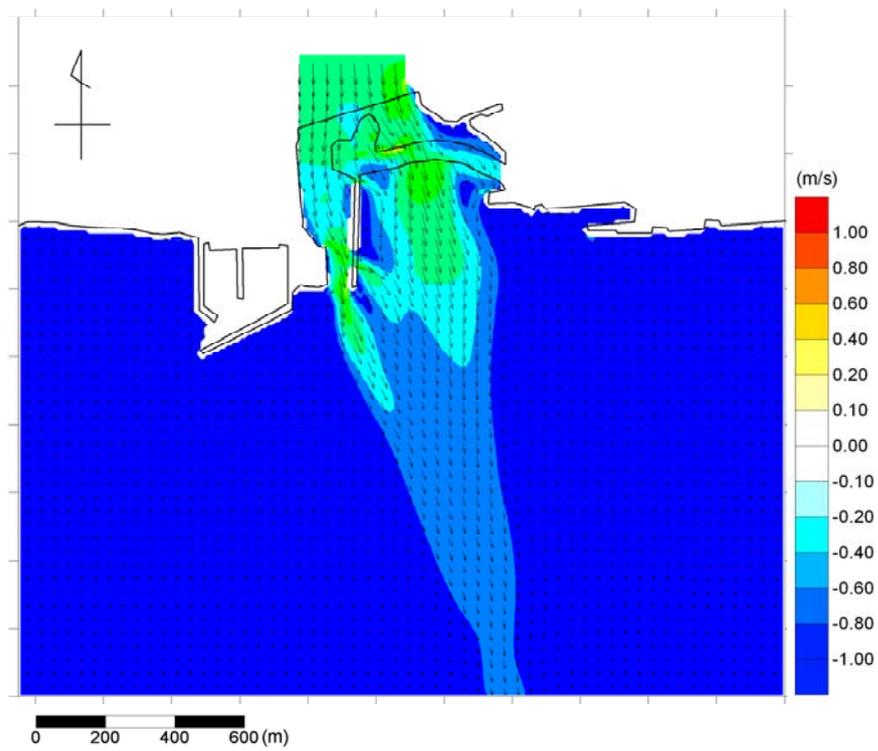
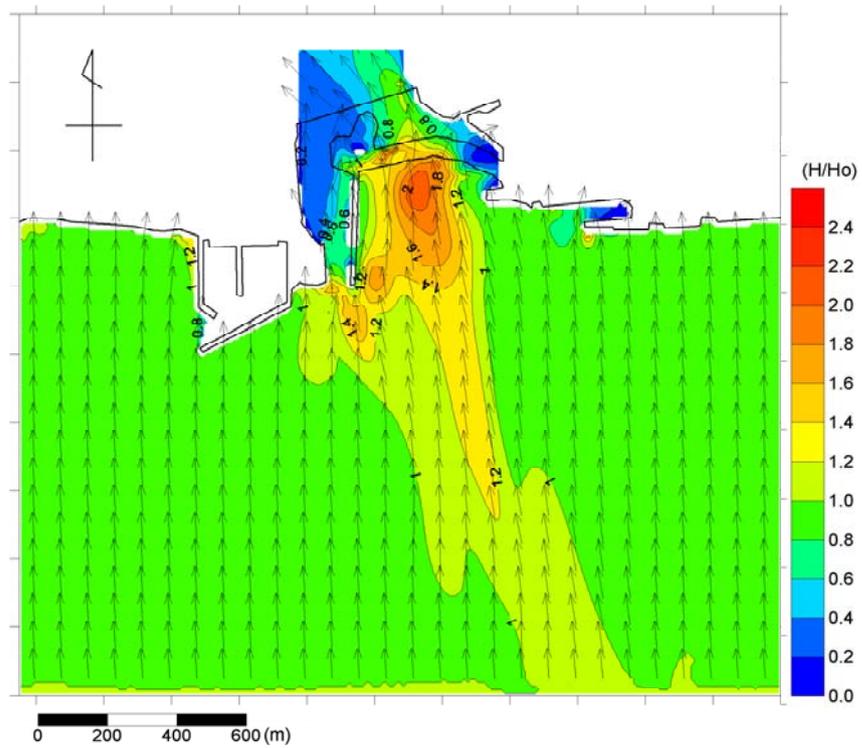


图 2-122 波高・波向分布（上）と海浜流分布（下）；Step 3（河川流： $Q=200\text{m}^3/\text{s}$ 程度）

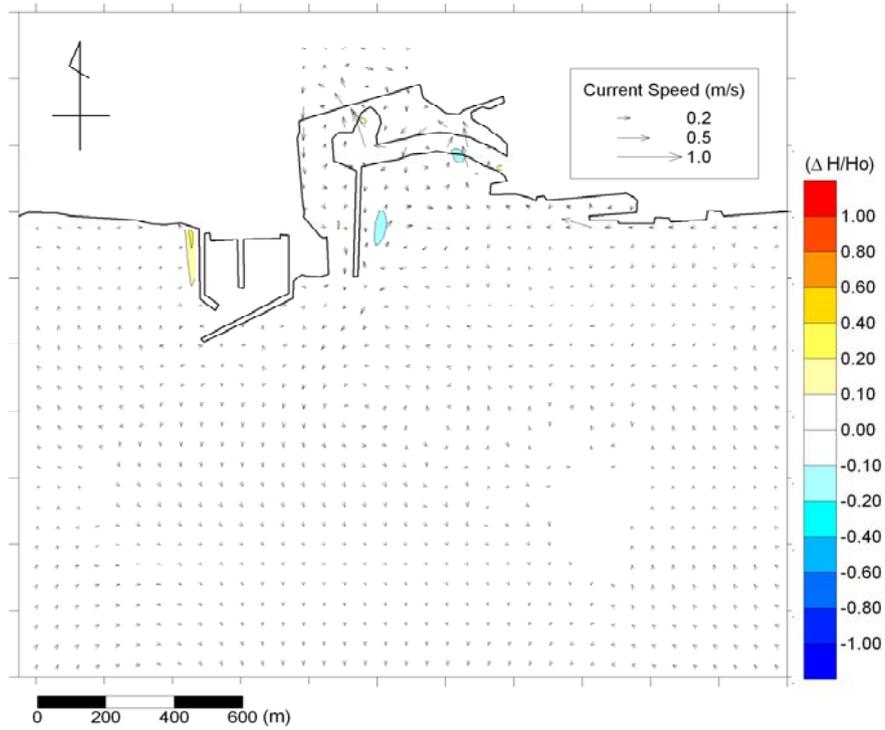


図 2-123 波高分布の差図 (Step2-Step1)、流速ベクトルは Step1 後 (=海浜流のみ) を表示

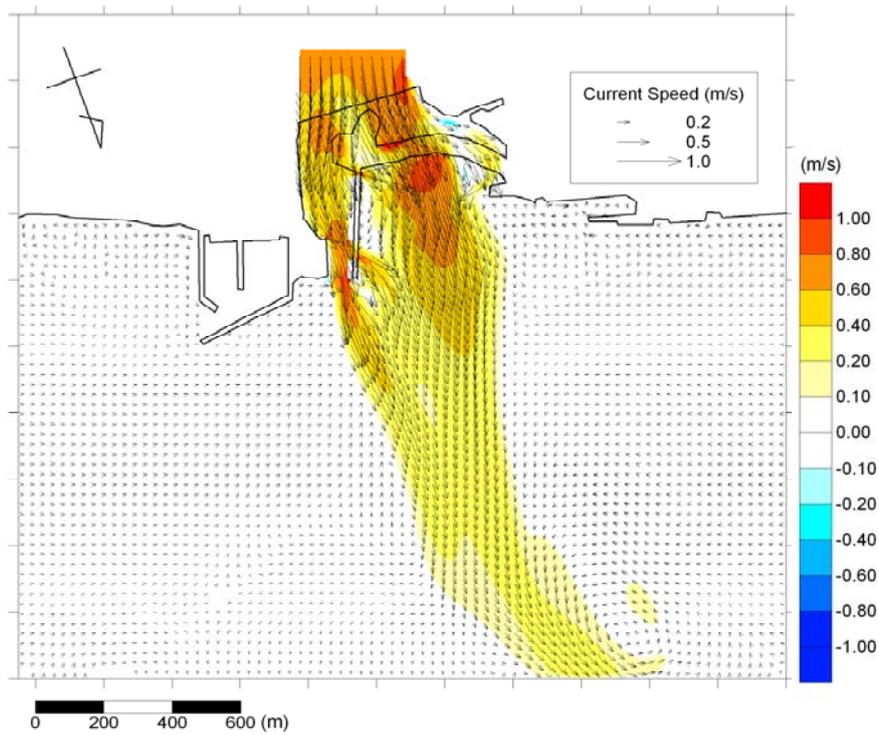


図 2-124 流速分布の差図 (Step2-Step1)、流速ベクトルは Step2 後を表示

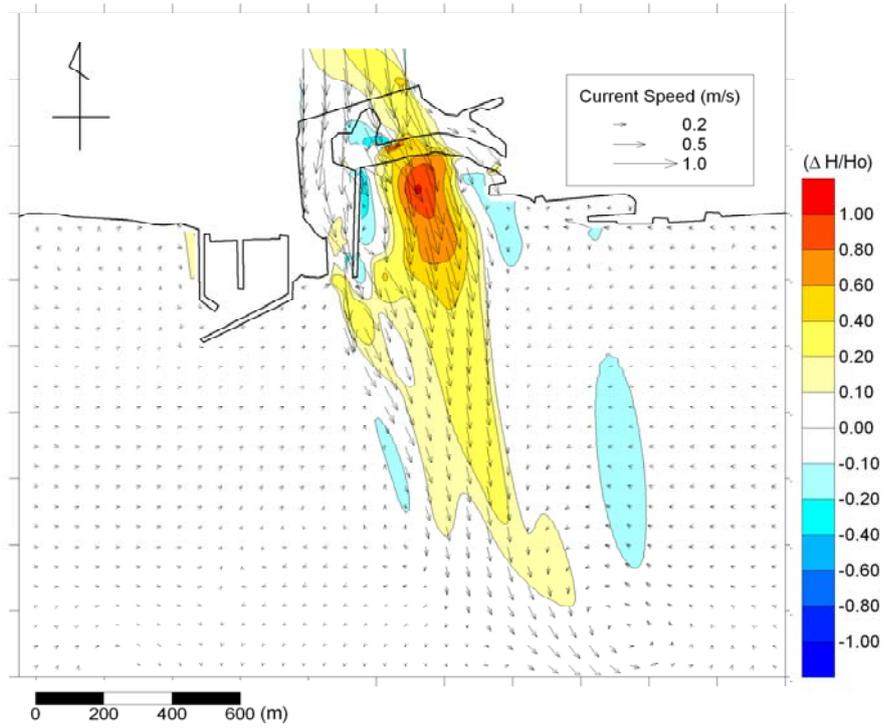


図 2-125 波高分布の差図 (Step3-Step1)、流速ベクトルは Step2 後を表示

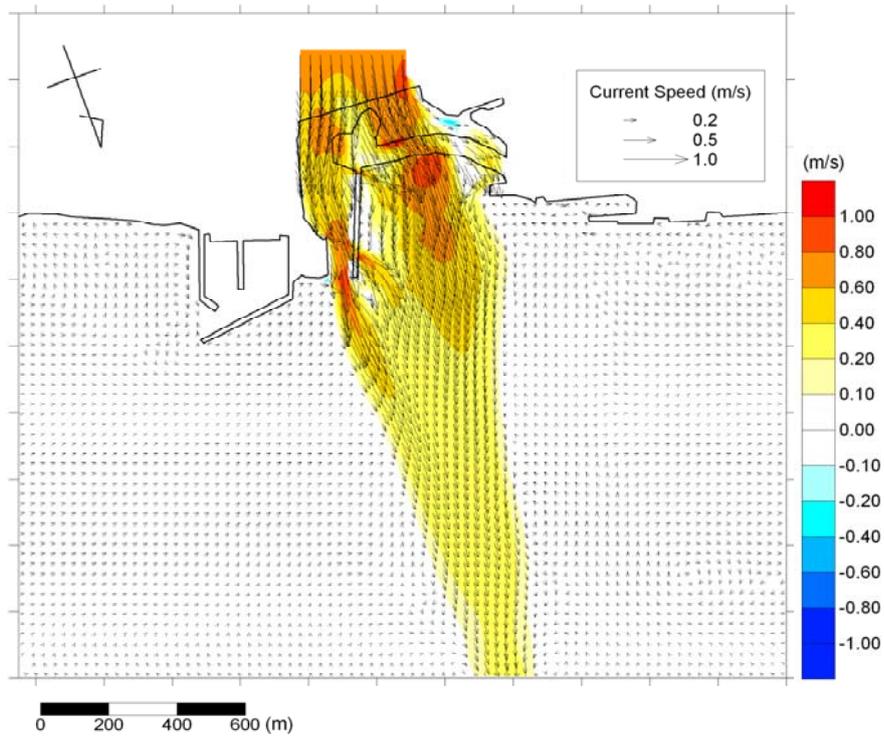


図 2-126 流速分布の差図 (Step3-Step1)、流速ベクトルは Step3 後を表示

2.3.4 相模川河口域における海難事故に繋がる危険要素

相模川河口域の調査結果より得た知見より、以下の危険要素が挙げられる。

- ・相模川河口域は、船舶の出入りが多く、河口域での船舶事故が発生しやすい場所である。
- ・大規模な出水時に波と流れの相互影響により波高が増大し、船舶が転覆する要因となり得る。
- ・河口の出入り口付近は、平水時でも波によって発生する海浜流と海底地形の影響を受け、波高が大きくなる場所がある。
- ・相模川河口中央の砂州は、増水時には水没する。
- ・砂州の狭隘部は、増水すると流速が若干速くなる箇所がある。
- ・相模川河口部沖は、東西方向の潮流の影響を受ける。

2. 4 調査結果とりまとめ

2.4.1 由良川河口域とりまとめ

由良川河口域の流況調査により得た知見を以下にまとめる。

- ・ 両岸には砂州が形成されており，その狭隘部付近では対岸は非常に近く感じる。
- ・ 河口砂州の狭隘部には濤筋があり，断面地形は急に深くなる。
- ・ 平水時であっても，河口砂州の狭隘部での流速は早い。
- ・ 出水・増水時は，強い冲向き流れの分布域が沖合まで分布する。
- ・ 波浪によって河口周辺で発生する海浜流は，砂州地形に沿って河川の両側から河口中央に向かう
- ・ 潮汐の作用により，上げ潮時には底層の流れが河川流と逆向きになるなど，河口付近では流速鉛直分布が複雑である。
- ・ 由良川河口域の潮流成分はごく小さく，大潮最強時の流速で5cm/s未満である。
- ・ 由良川河口域の流況に影響を与える主要な外力は，河川流と波である。河川流と波による海浜流の組合せに加え，砂州の地形条件により，流況パターンは多様で複雑である。
- ・ 出水時の流れの作用により，波と流れの相互干渉のため波高が増大し，船舶航行には注意を要する。

2.4.2 相模川河口域とりまとめ

相模川河口域の流況調査により得た知見を以下にまとめる。

- ・ 河口中央には河川横断方向に砂州が形成されており，右岸側に導流堤がある。
- ・ 平水時には河川流は砂州により閉塞され，河川流のほとんどは導流堤で確保された河道へと向かう。
- ・ 平水時の河道の流れは比較的穏やかであるが，出水時には，砂州を乗り越える大規模な流れとなる。
- ・ 漁船やプレジャーボート等の往来が活発であり，河口域での船舶事故が懸念される。
- ・ 相模川河口域の潮流は，東西方向に卓越し，大潮最強時の流速は約25～28cm/sである。
- ・ 相模川河口域の流況に影響を与える主要な外力は，河川流と波，潮流である。これらの外力の組合せによりその流況パターンは多様で複雑である。
- ・ 出水時の流れの作用により，波と流れの相互干渉のため波高が増大し，船舶航行には注意を要する。

第3章 広報活動

3. 1 啓蒙資料の作成

本調査により得られた知見をもとに、以下の啓蒙活動資料（案）を作成した。

遊泳者に対する啓蒙資料（案）を図 3-1、小型船舶に対する啓蒙資料を図 3-2 に示す。

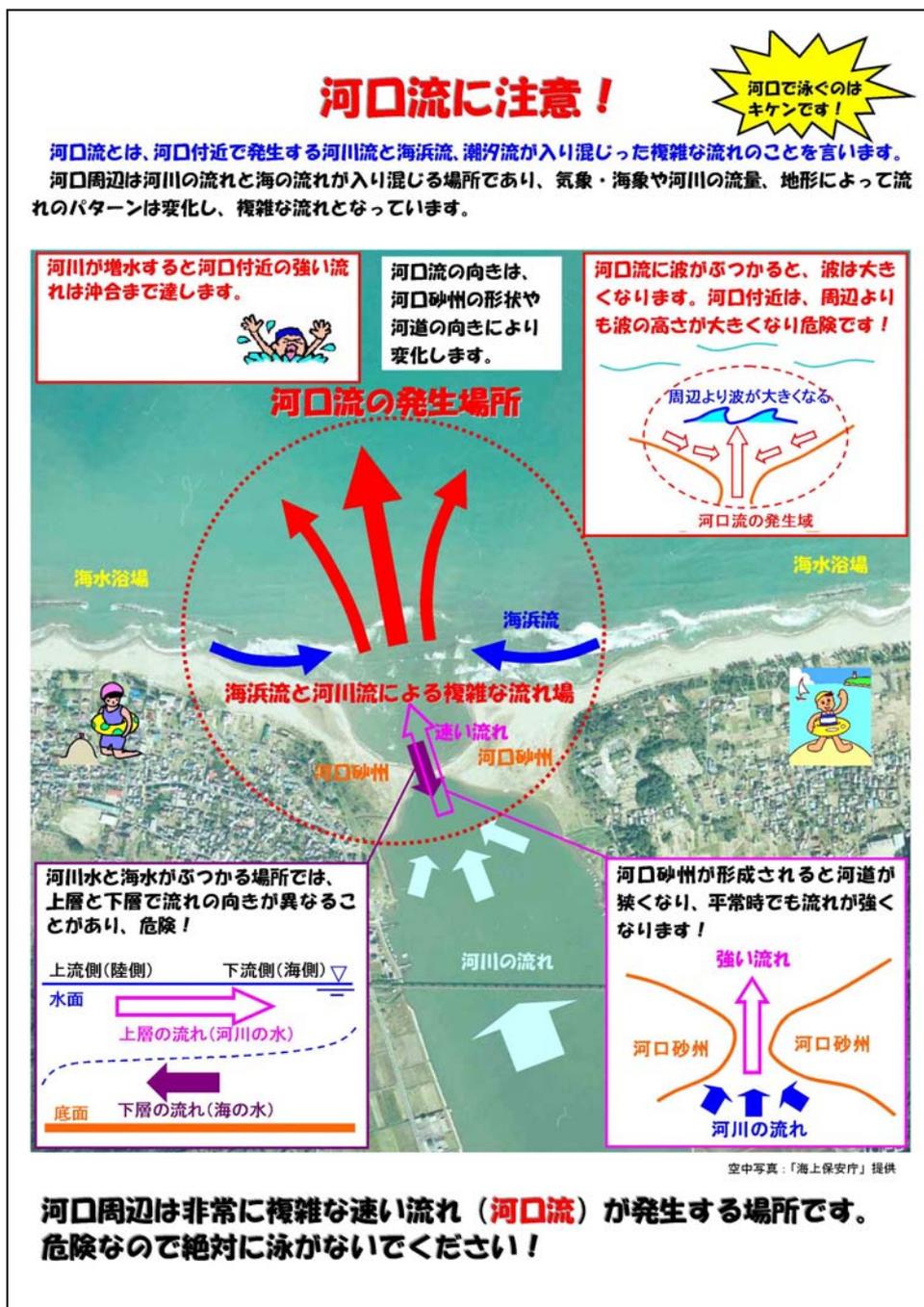


図 3-1 遊泳者に対する啓蒙資料

河口流に注意！

小型船舶は
操船に注意！

～河口域は、波が異常に高くなる場所があるので、小型船舶の操船には十分に注意してください！～



空中写真：「海上保安庁」提供

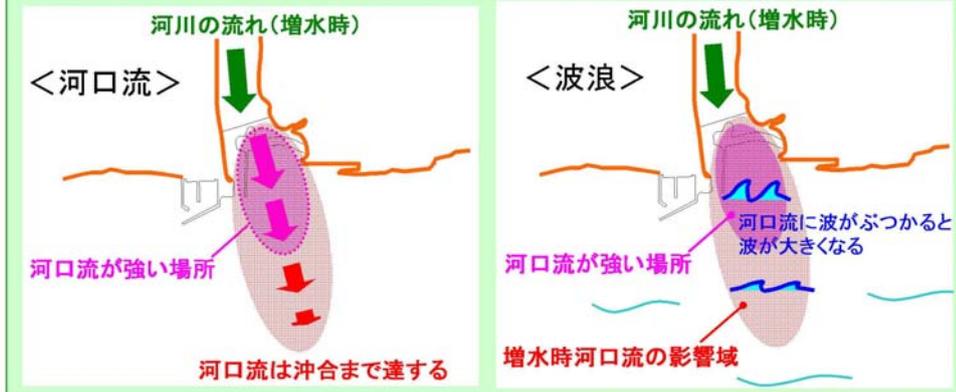
平水時の河口流

平水時でも、波により発生する海浜流と海底地形の影響を受け、波が増大している場所があります。



増水時の河口流

河口流に波がぶつかると、波は大きくなります。増水時の場合、河口流のある場所では波が集中し、波の高さが異常に大きくなるので、非常に危険です。



小型船舶（漁船やフレジャーボート）利用者の皆様へ

河口付近は、河口流の作用により波が集中して波高が大きくなることもあり、小型船舶の転覆事故が起こりやすい場所です。操船には十分に注意してください！



(財) 日本水路協会

〒144-0041 東京都大田区羽田空港 1-6-6

TEL 03-3543-7135 FAX 03-5708-7138 <http://www.jwa.or.jp>

図 3-2 小型船舶に対する啓蒙資料（案）

この報告書の内容に関してのお問い合わせは、下記宛にお願いします。

財団法人 日本水路協会 調査研究部
〒144-0041 東京都大田区羽田空港 1-6-6
Tel 03 (5708) 7135 Fax 03 (5708) 7138
e-mail cho-sa@jha.jp

財団法人 日本水路協会 発行

〒144-0041 東京都大田区羽田空港 1 丁目 6 番 6 号