

9. その他の調査（赤川河口部）

本調査は、各モデル地域で懸念されている事項や、クリーンアップ調査・フォローアップ調査の結果と合わせて、漂流・漂着ゴミ削減方策を検討する上で必要な事項について調査・検討することを目的とした。

赤川河口部においては、数値シミュレーションによる漂着経路の把握及び標識放流による漂着割合把握を目的とした「漂着ゴミの発生源及び漂流経路に関わる調査」を実施した。

9.1 漂着ゴミの発生源及び漂流経路に関わる調査（漂流ボトル）

9.1.1 目的

漂着ゴミの削減施策立案のための基礎的な知見として、ゴミが漂流・漂着に至るまでの過程を把握することを目的とし調査を実施した。

9.1.2 調査内容

本調査では、特にゴミの漂流・漂着経路及び海域へのゴミの流入に着目し、ゴミの漂着割合の推定調査を実施した。

9.1.3 調査方法

赤川河口部において漂流ボトルを放流し、調査後回収することにより漂着場所、漂着割合を把握することとした。

漂流ボトルには、一般市民にとって身近なゴミである“ペットボトル”をイメージした生分解性プラスチック製の漂流ボトルを用いた（図 9.1-1）。容量は500mlとし、ボトル側面には、回収時の連絡をお願いする文章を日本語及び英語にて印刷した。

ボトル成型に適用可能な生分解性プラスチック素材には PBS（ポリブチレンサクシネート）と PLA（ポリ乳酸）が存在するが、本調査では、より生分解性能が高い PBS を用いることとした。



図 9.1-1 調査に用いた漂流ボトル

漂流ボトルの重量は46.3gであり、海面上での沈下率（側面方向のボトル投影面積のうち、水中に浸漬している面積の割合）は9%であった（図9.1-2）。



図 9.1-2 漂流ボトルの沈下状況（塩分濃度 32.5 の海水を使用）

放流を実施する県並びに隣県及び周辺の自治体の関係諸機関には、本調査内容を周知し、図9.1-3に示すポスターを配布し、漂流ボトルの回収率の向上に努めた。



図 9.1-3 漂流ボトル回収報告の依頼ポスター

9.1.4 作業工程

表 9.1-1 に作業工程を示した。漂流ボトル調査については、平成 19 年 10 月から 11 月にかけて、生分解性ボトルの作成、調査に関わる諸手続き、当該県並びに隣県及び周辺自治体の関係諸機関への調査の周知等の準備作業を行った。本年度の漂流ボトル調査は、冬季における平水時の状況を把握することとし、平成 19 年 12 月 15～17 日にボトルの放流を実施した（図 9.1-4）。

表 9.1-1 漂着ゴミの発生源及び漂流経路に係る調査の作業工程（平成 19 年度）

項目	年月						
	H19 10月	11月	12月	H20 1月	2月	3月	
ゴミの漂流・漂着経路、漂着割合の推定調査							
(1) 漂流ボトル調査	←→		←→				
(2) 数値シミュレーション		←→					

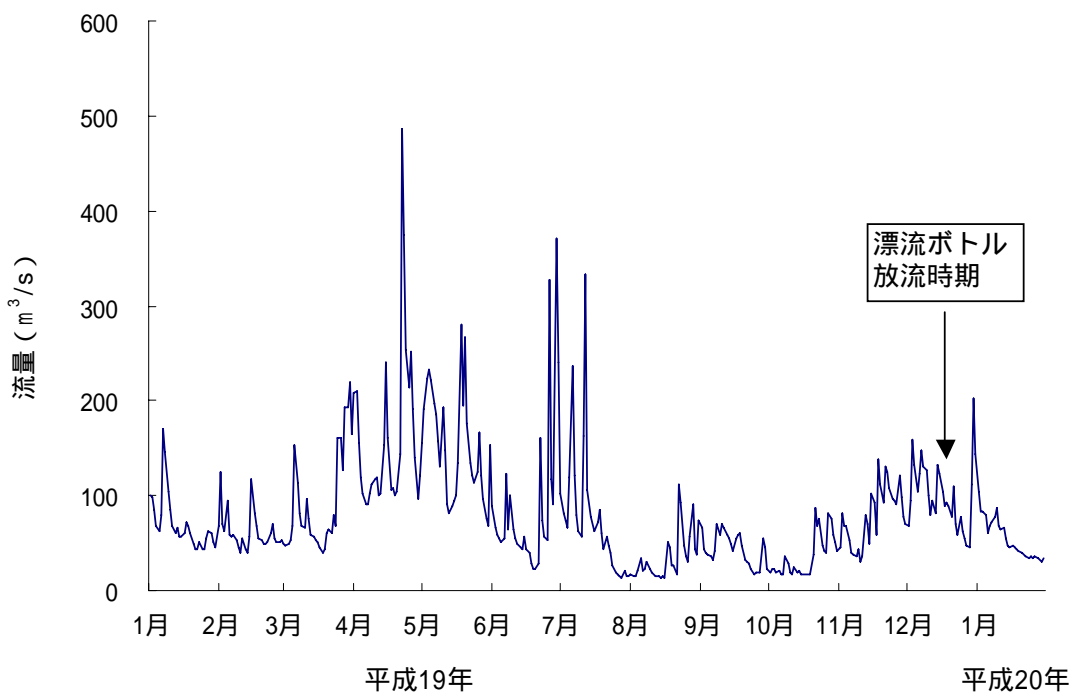


図 9.1-4 赤川河口部の流量変化(平成 19 年 1 月 1 日～平成 20 年 1 月 31 日)

国土交通省酒田河川国道事務所 浜中観測所データをもとに作成

9.1.5 調査結果

(1) 第一回放流調査

d. ボトルの放流

放流場所は袖浦橋とした。漂流ボトルをコンテナボックスに20-30本収容し、橋から水面上1-2mまでコンテナボックスを垂下後、転倒させ、漂流ボトルを放流した(図9.1-5)。この作業を4回繰り返し、合計で100本の漂流ボトルを放流した。

表9.1-2に第一回放流調査における放流状況を示した。



図 9.1-5 漂流ボトルの放流風景

(コンテナボックスの垂下、 ボックスの転倒、 放流直後の漂流ボトル)

表 9.1-2 漂流ボトルの放流状況 (山形：第一回調査)

放流日時	放流時刻	緯度	経度	風向	風速
平成19年12月15日	14:00 ~ 14:15	38-50-46.31	139-47-26.64	西北西	8.9m/s

e. ボトル漂着状況

放流後翌日、2日目、3日目、4日目、9日目において、袖浦橋上流 300m～河口（0.9km）、河口～十里塚地区（3km）、河口～浜中地区（1.5km）の区間について踏査し、ボトルの漂着状況の確認および回収を行った。

表 9.1-3 に漂流したボトルの回収本数を示した。調査員による回収（98 本）と地元の方による回収（2 本）により、第一回で放流したボトルは全て回収されている（図 9.1-6）。

表 9.1-3 漂流ボトルの回収状況（山形：第一回調査）

放流	調査員による回収分					地元の方による回収分	回収本数計	未回収本数
	12月16日	12月17日	12月18日	12月19日	12月25日			
12月15日	78	0	15	4	1	2	100	0
100	78	0	15	4	1	2	100	0



図 9.1-6 漂流ボトルの漂着状況（山形：第一回調査）
（平成 19 年 12 月 16 日撮影；左図：赤川左岸、右図：赤川右岸）

図 9.1-7 には、回収したボトルの分布割合を示した。放流直後、漂流ボトルは袖浦橋より上流 20m ~ 60m の河川内にて横断方向に滞留していたが、放流翌日の 12 月 16 日には、袖浦橋の上下流 150-200m 内の範囲で両岸にほとんど漂着した。



図 9.1-7 回収した漂流ボトルの分布 (山形：第一回放流調査)

(2) 第二回放流調査

a. ボトルの放流

第一回調査にてほとんどの漂流ボトルが河川内に滞留後、漂着したことから、放流日翌日に回収した78本の漂流ボトルを用い、より河口付近に放流点を移動し、第二回の放流調査を実施した。放流方法は、漂流ボトル一本ずつ河川の流心に投げ入れる方式とした(図9.1-8)。表9.1-4に第二回放流調査における放流状況を示した。



図 9.1-8 漂流ボトルの放流状況(山形:第二回調査)

表 9.1-4 漂流ボトルの放流状況(山形:第二回調査)

放流日時	放流時刻	緯度	経度	風向	風速
平成19年12月17日	8:50 ~ 9:00	38-50-52.24	139-47-06.43	南南東	4.0m/s

b. ボトル漂着状況

放流後当日、2日目、3日目、7日目において、袖浦橋上流 300m～河口（0.9km）、河口～十里塚地区（3km）、河口～浜中地区（1.5km）の区間について踏査し、ボトルの漂着状況の確認および回収を行った。

表 9.1-5 に漂流したボトルの回収本数を示した。放流したボトルは河川の流れに乗り、河口から 200m 程度沖合まで出ていったが、その後すぐに波に押し戻され、放流後 1 時間以内にほとんどのボトルが河口から突堤（河口から 150～200m 程度北）間の砂浜に漂着した（図 9.1-9、図 9.1-10）。

表 9.1-5 漂流ボトルの回収状況（山形：第二回調査）

放流	調査員による回収分				地元の方による回収分	回収本数計	未回収本数
	12月17日	12月18日	12月19日	12月25日			
78	76	2	0	0	0	78	0



図 9.1-9 漂流ボトルの漂着状況（山形：第二回調査）
（平成 19 年 12 月 17 日撮影）



図 9.1-10 回収した漂流ボトルの分布 (山形：第二回放流調査)

(3) 第三回放流調査

a. ボトルの放流

第二回調査においても漂流ボトルは短期間に漂着したことから、同日に回収された 76 本を用い、第二回調査と放流点近傍にて第三回の放流を実施した(表 9.1-6)。放流方法は、第二回同様、漂流ボトル一本ずつ、河川の流心に投げ入れる方式とした。

表 9.1-6 漂流ボトルの放流状況(山形：第三回調査)

放流日時	放流時刻	緯度	経度	風向	風速
平成19年12月17日	10:40 ~ 10:50	38-50-52.43	139-47-05.40	東南東	2.6m/s

b. ボトル漂着状況

放流後当日、2日目、3日目、7日目において、袖浦橋上流 300m ~ 河口(0.9km)、河口 ~ 十里塚地区(3km)、河口 ~ 浜中地区(1.5km)の区間について踏査し、ボトルの漂着状況の確認および回収を行った。表 9.1-7 に漂流したボトルの回収本数を示した。放流したボトルは第二調査同様、河川の流れに乗り河口から 200m 程度沖合まで出ていったが(図 9.2-11) その後すぐに波に押し戻され、放流後 1 時間以内に 66 本のボトルが河口から突堤(河口から 150 ~ 200m 程度北)間の砂浜に漂着した。ただし、目視において突堤により北に移動したボトルが数本確認され、これらのボトルのうち 8 本は突堤より北の砂浜に漂着したことが確認されている(図 9.1-12)。

表 9.1-7 漂流ボトルの回収状況(山形：第三回調査)

放流	調査員による回収分				地元の方による回収分	回収本数計	未回収本数
	12月17日	12月18日	12月19日	12月25日			
76	73	0	0	0	1	74	2



図 9.1-11 漂流ボトルの漂流状況

(放流後、漂流ボトルが沖に向かって流れている状況：平成 20 年 12 月 17 日撮影)

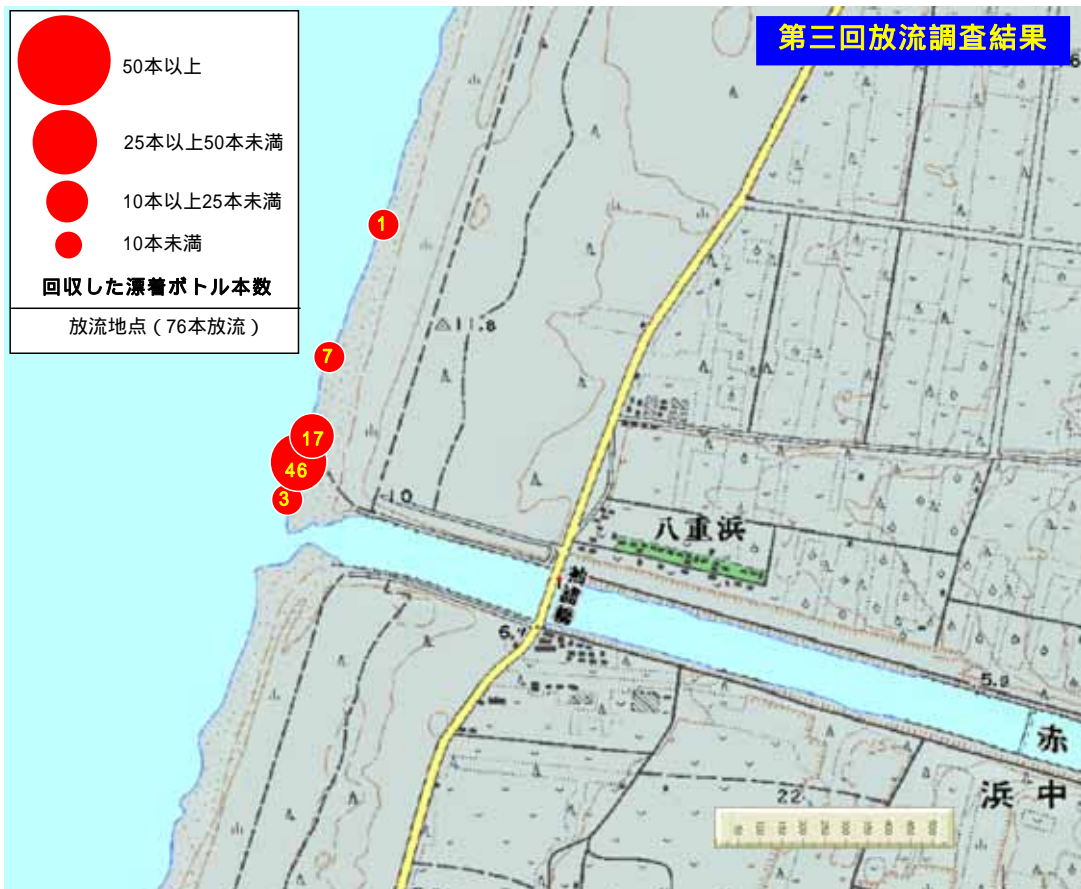


図 9.1-12 回収した漂流ボトルの分布 (山形：第三回放流調査)

9.2 漂着ゴミの発生源及び漂流経路に関わる調査（漂流シミュレーション）

9.2.1 モデルの概要

解析に供したモデルは3次元レベルモデルで、使用された基礎方程式は以下の4つである。これらの式は、デカルト座標系(x,y,z)において非回転系(コリオリ力考慮せず)の非圧縮粘性流体を仮定し、静水圧近似およびブシネスク近似(密度の空間変化の影響を圧力勾配項でのみ考える)を仮定している。

x,y 方向運動方程式

連続式

水温拡散方程式

塩分拡散方程式

これらの方程式を陽に解くことでそれぞれの物理量を計算した。また、本モデル内では海面風応力を求めるために、風向・風速時系列データからの海面風応力のバルク式を用いた。以上の方程式を差分法で、数値シミュレーションを行った。

9.2.2 解析領域と格子分割

解析領域は海域が赤川河口から汀線平行方向(NNE)に南北それぞれ2.5km、汀線直角方向には汀線より沖方向に4.5km、赤川上流方向に約0.5km(袖浦橋地点)までの5kmとした。図9.2-1に解析領域の水深(m)を示す。水深は日本水路協会の海底地形デジタルデータm7000シリーズより作成した。また、河川の水深は参考とする資料がなかったため2mの一樣水深とした。

格子間隔は、水平方向に25mとし、水深方向の分割は水深によって層数が異なるが表9.2-1に示す最大10層とした。

表 9.2-1 水深方向の層分割

層番号	水深(m)
1	平均海面～1.0
2	1.0～2.0
3	2.0～4.0
4	4.0～6.0
5	6.0～8.0
6	8.0～10.0
7	10.0～12.0
8	12.0～17.0
9	17.0～22.0
10	22.0～

図9.2-2に第1層の平面格子分割を示す。なお、第2層目以深は図9.2-1に示す河床標高と表9.2-1に示す層分割に従い、各セルの水深方向の層数は決められる。

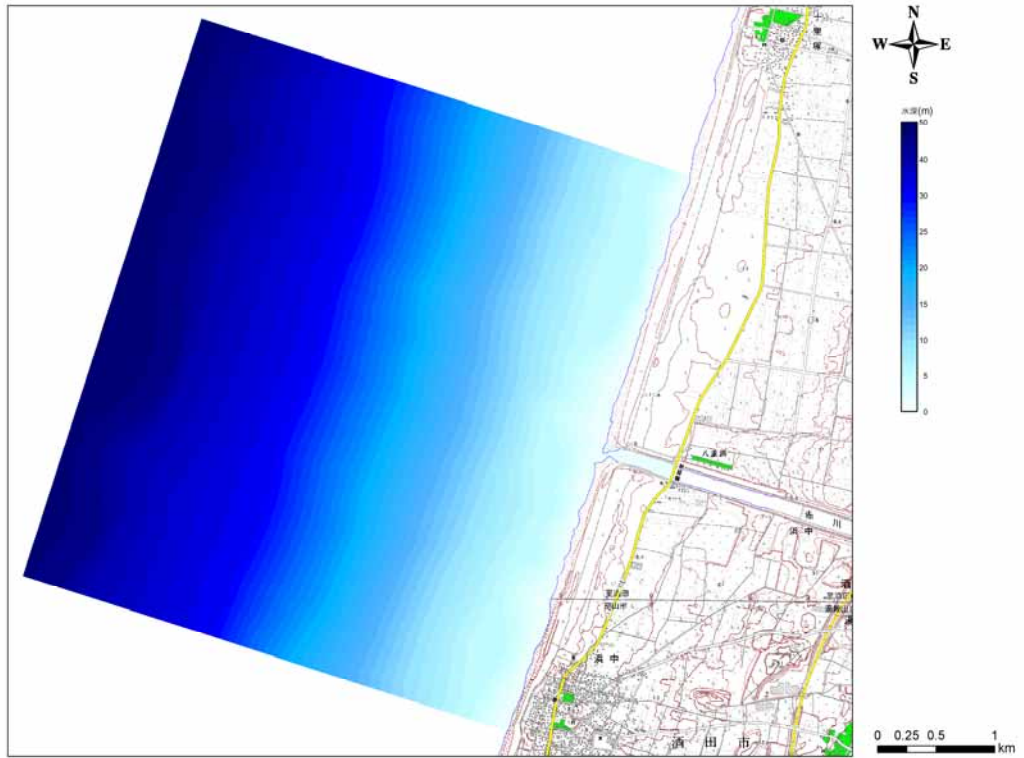


図 9.2-1 解析領域の水深

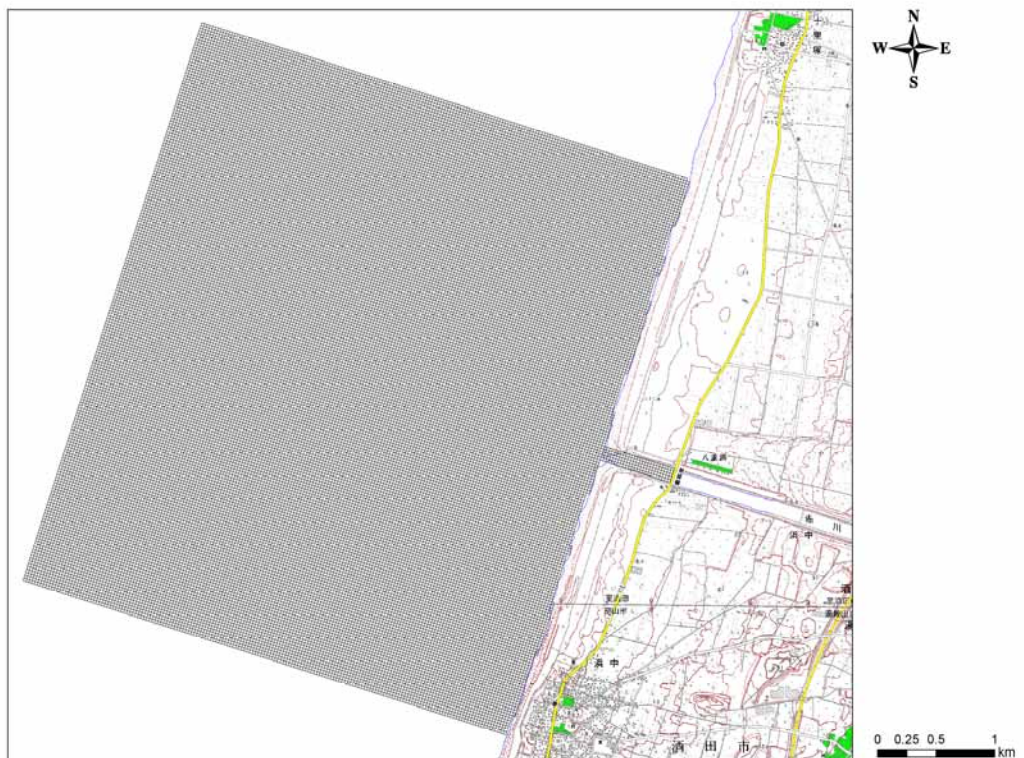


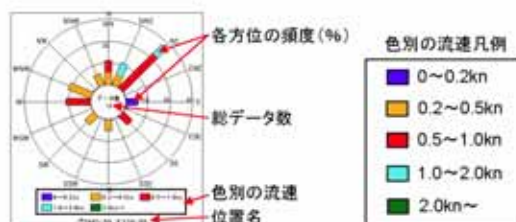
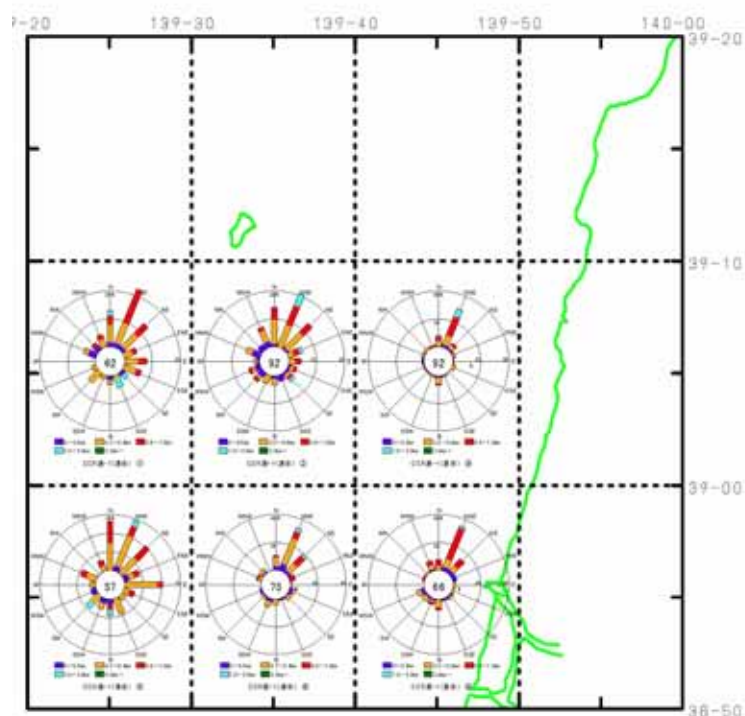
図 9.2-2 平面格子分割図

9.2.3 流況の計算

- ・目的

解析対象の海域は、38°50'N～39°00'N、139°40'E～139°50'E に含まれる海域である。この海域は、図 9.2-3(日本海洋データセンター(Japan Oceanographic Data Center : JODC) の Web サイトからダウンロード) の流況頻度より、海域の流れの方向が NNE、流速が 0.5～1.0kn の頻度が高いことがわかる。これらを考慮して今回の解析では、流れの方向が NNE、流速が 0.5～1.0kn の海域流れを求めることとする。

酒田海域



< 出典 > 日本海洋データセンター (Japan Oceanographic Data Center : JODC) の HP
http://www.jodc.go.jp/index_j.html

図 9.2-3 酒田海域の流況頻度

・計算条件

計算期間

第2回及び第3回放流試験を対象とするため2007年12月17日1日間とした。

海域境界条件

解析領域南側では水位を0mで固定、解析領域北側では汀線平行方向(NNE)の流速を30cm/secで固定した。また、沖側は閉境界とした。海域境界条件を図9.2-4に示す。

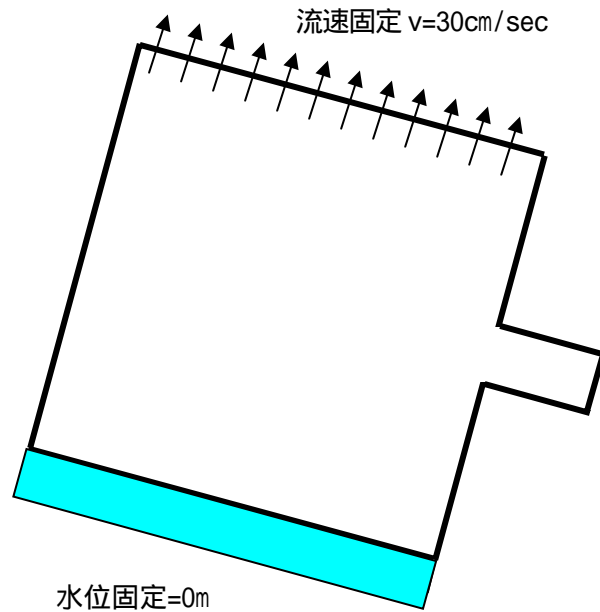


図 9.2-4 海域境界条件

河川流入条件

赤川の河川流量は、浜中地点で2007年12月の毎正時の流量が得られているためその値を河川流量として解析した。河川流量¹⁾を図9.2-5に示す。

< 出典 >

1) 国土交通省酒田河川国道事務所：赤川浜中観測所流量

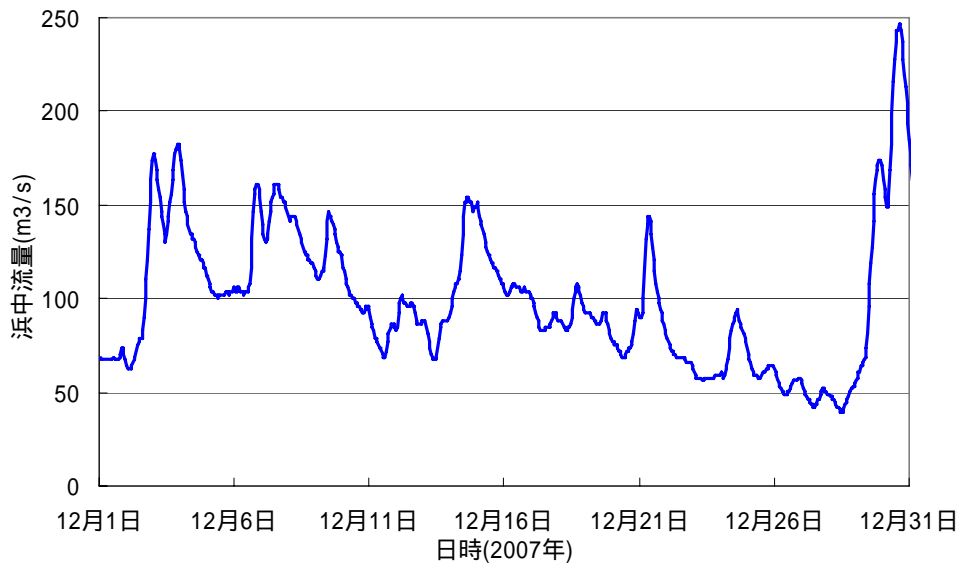


図 9.2-5 赤川の河川流量 (2007 年 12 月)

物理パラメータ

1) 底面摩擦係数

内湾等のシミュレーションで一般的に用いられている値 0.0026 を適用した。

2) 水平渦動粘性係数・水平渦動拡散係数

$1 \times 10^4 \text{cm}^2/\text{s}$ を適用した。

3) 鉛直渦動粘性係数・鉛直渦動拡散係数

SGS (Sub Grid Scale) エネルギー - 及びリチャードソン数の関数を用いた骨格構造を用いた。

$$\nu = \nu_0 \cdot (1 + \beta \cdot Ri)^{-\alpha} \quad (\text{proposed by Rossby and Montgomery})$$

ここに、 ν_0 : 中立状態 ($Ri = 0$) の粘性・拡散係数、 α, β : 係数。数値は粘性係数 :

$=1$ 、 $=3$ 。拡散係数 : $=3$ 、 $=3$ 。

リチャードソン数 Ri は乱流エネルギーを用いて評価する方法 (turbulent Richardson number) を用いた。

$$\text{turbulent Richardson number} : Ri = -\frac{g \cdot (\partial \rho / \partial z)}{\rho \cdot e} \cdot L^2$$

ここに、 z : 鉛直上向きがプラス、 g : 重力加速度、 u : 流速、 ρ : 密度、 e : 乱流エネルギー、 L : 長さスケール (length scale)。

なお、長さスケール L は水表面及び底面からの距離を用いて以下のように示される。

$$L = k \cdot z \cdot (1 - z/d)^{1/2}$$

ここに、 k : Von Karman 定数 ($=0.4$)、 z : 底面からの鉛直距離、 d : 底面 ~ 水表面の鉛直距離。

さらに、乱流モデルを用いる際の中立状態の渦動粘性係数 ν_0 は以下の式で評価されることが多い。Kolmogorov and Prandtle の仮説によると渦動粘性係数は単位質量当たりの乱流エネルギー e の1/2乗と長さスケール L に比例するとし、渦動粘性係数 ν_0 は以下の式で表現できる。

$$\nu_0 = \rho \cdot L \cdot \sqrt{e}$$

4) コリオリパラメータ

今回の解析ではコリオリは考慮していない。

初期条件

水温・塩分濃度の12月の平均データは表9.2-2(日本海洋データセンター(Japan Oceanographic Data Center : JODC)のWebサイトからダウンロード)に示す通りである。水温は水深75mまではほぼ15であることから、全域15一様とした。また、表層で密度の逆転が見られるが、塩分濃度を調整して逆転が生じないように設定した。水温15の塩分、密度の初期値分布を図9.2-6に示す。

表 9.2-2 海域の水温及び塩分濃度

水深(m)	水温()	塩分濃度(‰)	密度(g/m ³)
0	14.80	33.74	1.025064
10	15.02	33.50	1.024832
20	15.13	33.80	1.025039
30	15.13	33.88	1.025100
50	15.08	33.96	1.025173
75	14.98	33.99	1.025218
100	14.55	34.08	1.025380
125	13.23	34.10	1.025669
150	10.90	34.16	1.026160
200	6.11	34.16	1.026897
250	2.76	34.15	1.027250
300	1.53	34.22	1.027404

< 出典 > 日本海洋データセンター (Japan Oceanographic Data Center : JODC) の HP
http://www.jodc.go.jp/index_j.html

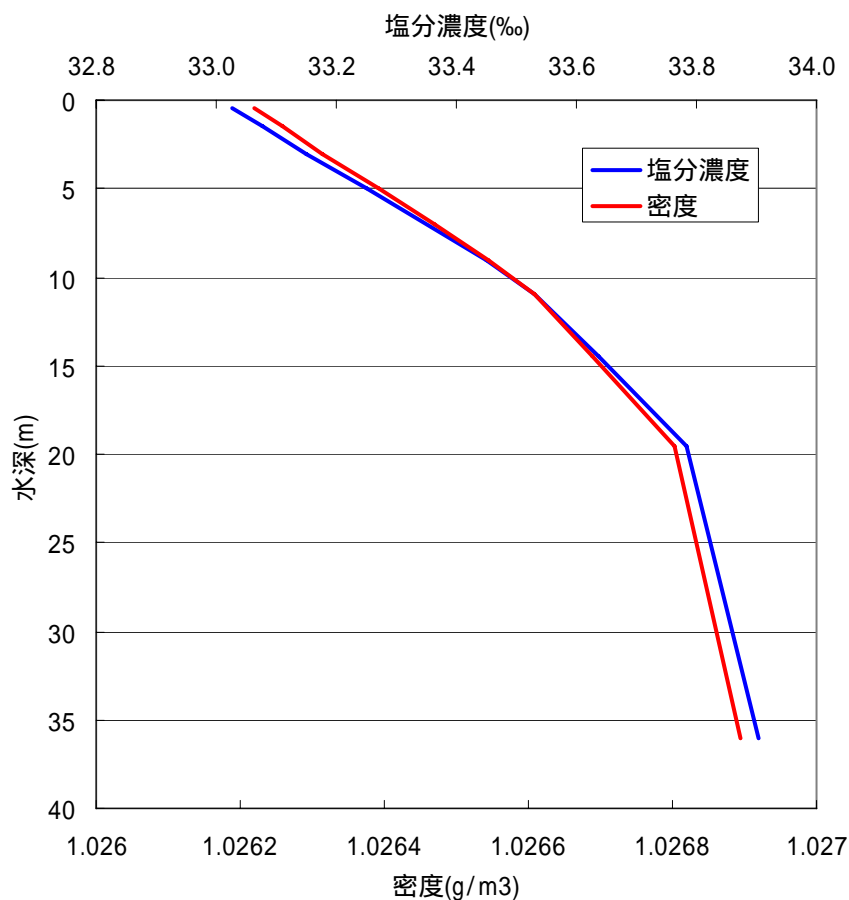


図 9.2-6 塩分・密度の初期鉛直分布

初期流動場の計算

12月17日の計算の前に以下の手順で初期流動場計算を実施した。

河川流入なしで1日間海域流れの計算。解析領域北側の境界流速を30cm/secにした。

の流れを初期値として赤川の河川流量を考慮した流れの計算を3時間実施。赤川流量は3時間で12月17日0時の流量まで立ち上げた。

9.2.4 計算結果

海域流れの計算結果を整理して以下に示す。

図 9.2-7 には代表3地点の12月17日の汀線平行方向(NNE)流速時系列を示す。図 9.2-8 には12月17日8時50分~12時まで10分毎の赤川河口付近の流速ベクトル分布を示す。

流速は3地点平均で25cm/sec~50cm/sec(0.5~1.0kn)の範囲内であり、この海域流れを用いて漂流物追跡解析を実施した。

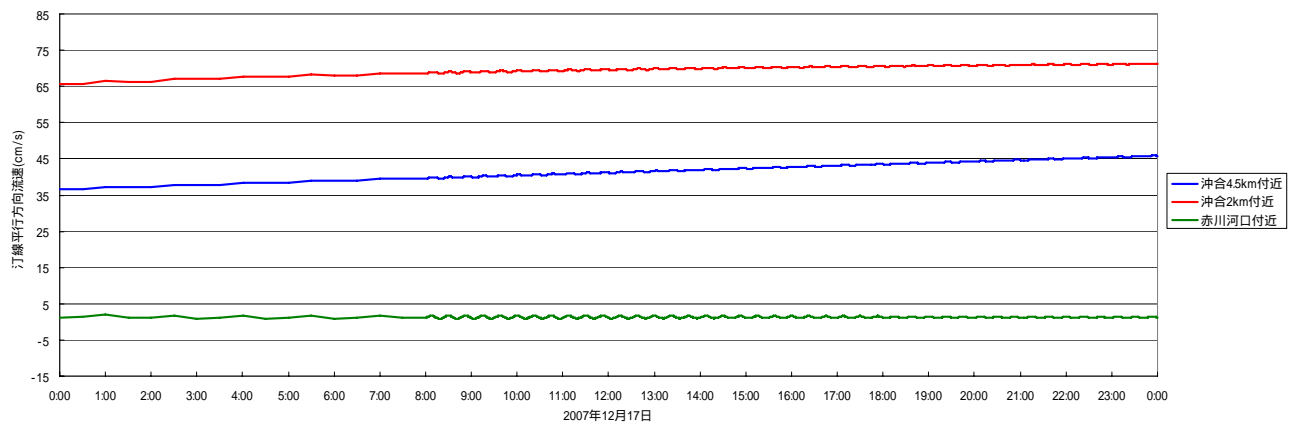


图 9.2-7 汀線平行方向(NNE)流速時系列

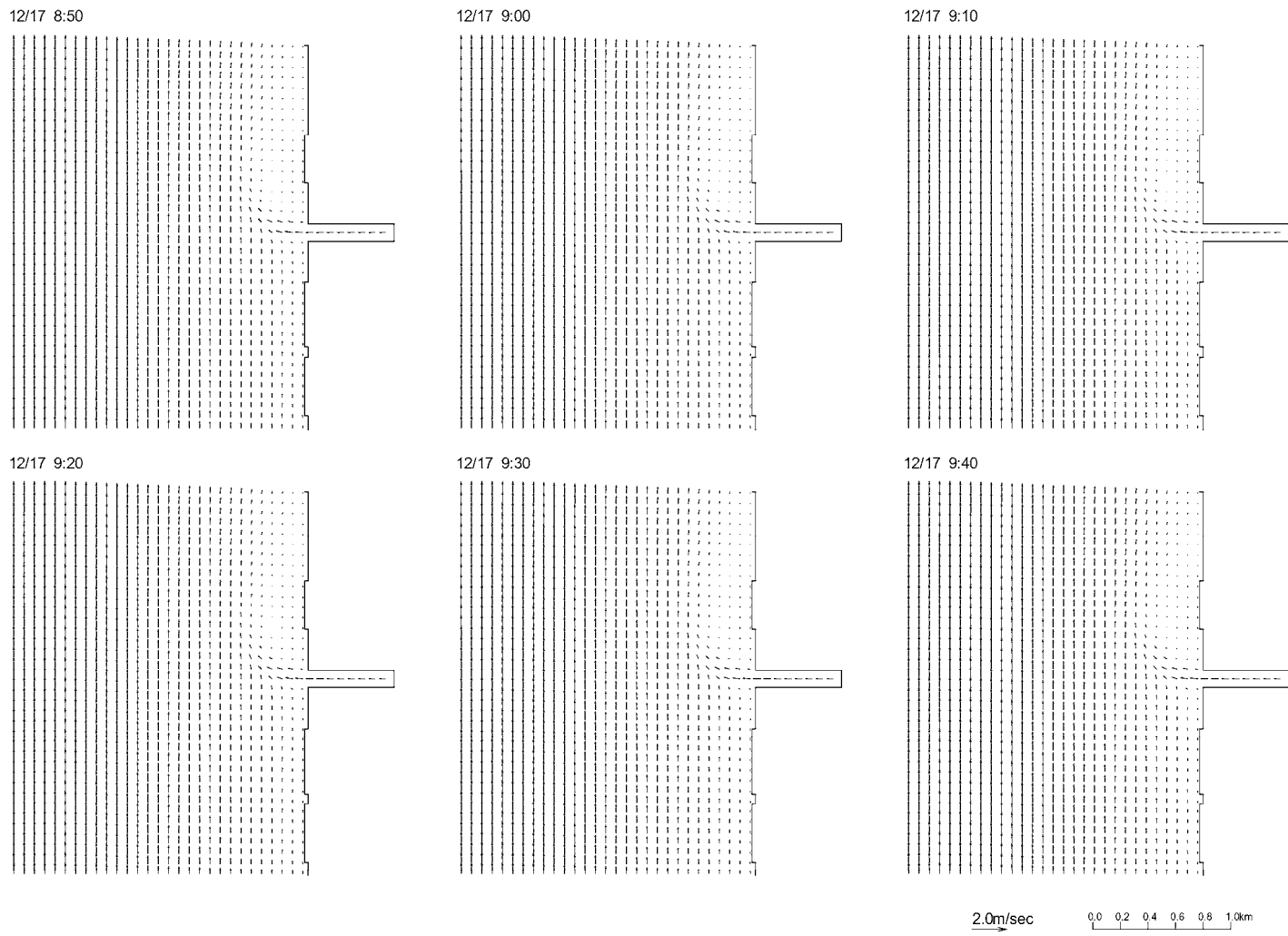


図 9.2-8(1) 赤川河口付近の流速ベクトル分布

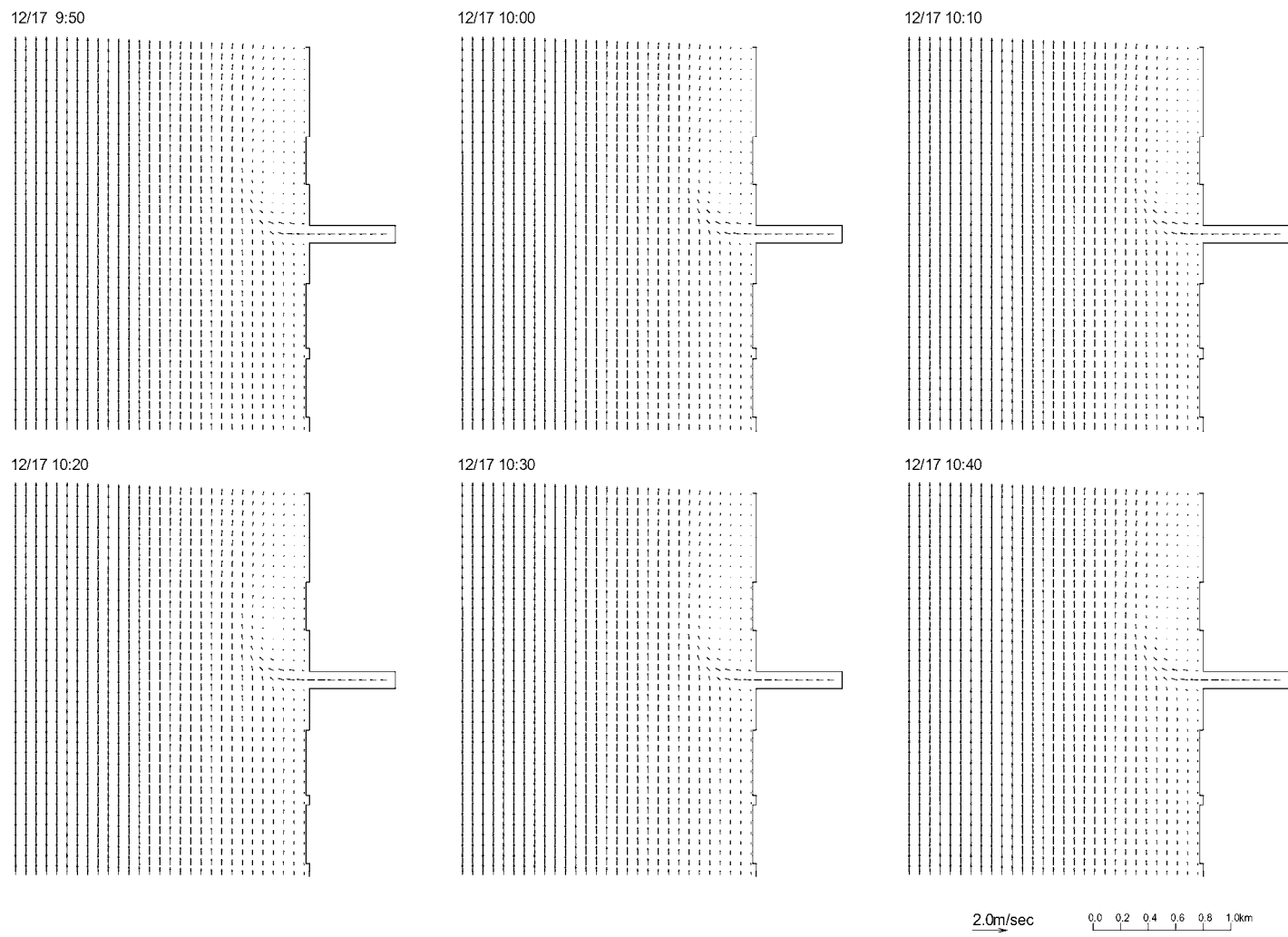


図 9.2-8(2) 赤川河口付近の流速ベクトル分布

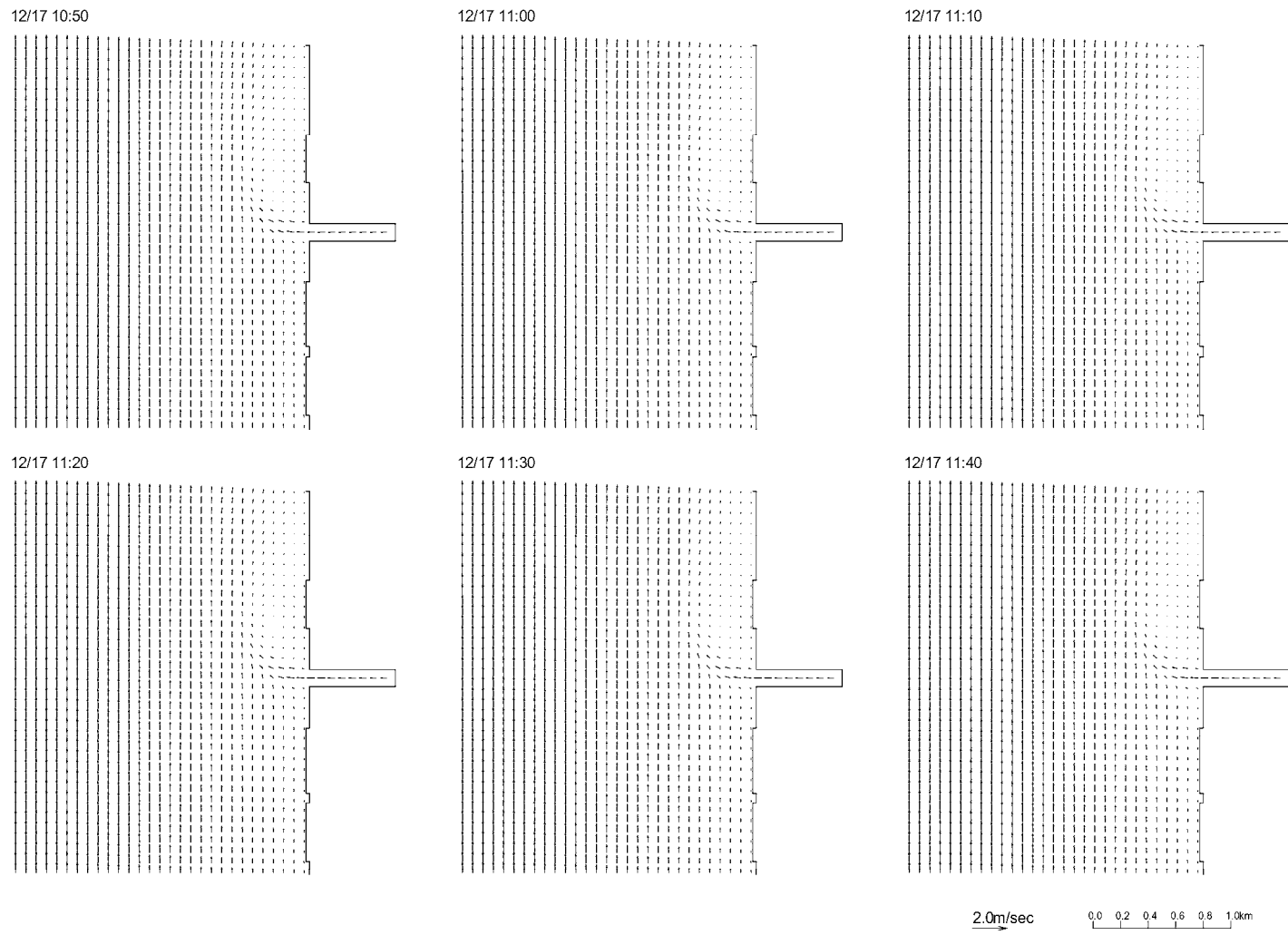


図 9.2-8(3) 赤川河口付近の流速ベクトル分布

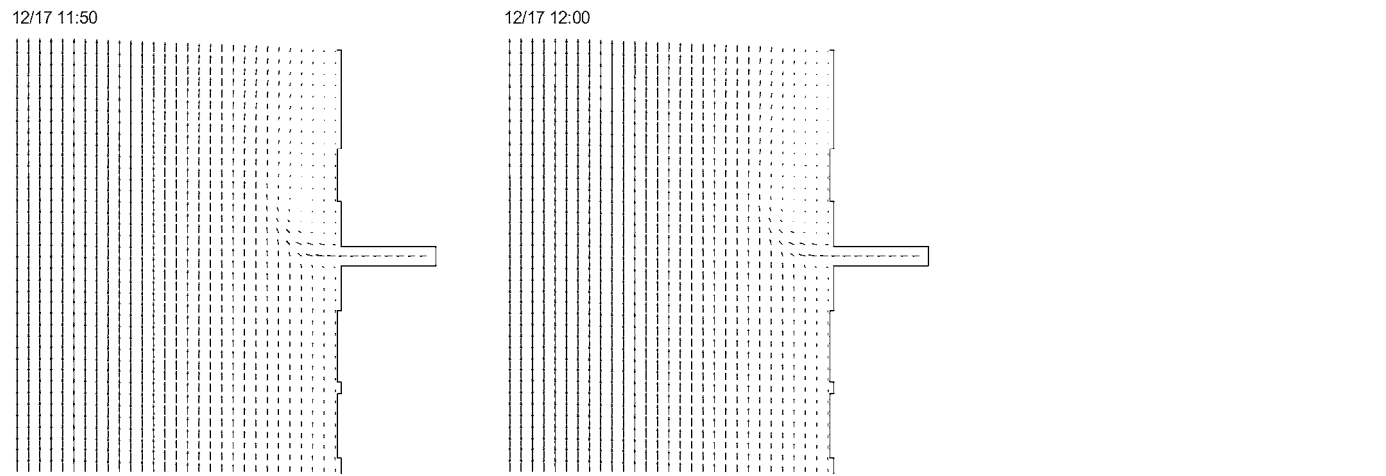


図 9.2-8(4) 赤川河口付近の流速ベクトル分布

9.2.5 風圧流の解析

(1) 風圧流の算定

風圧流 U は以下の式で求められる。

$$U = K \times \sqrt{A/B} \times W$$

ここに、 U : 風圧流 (m/s)

W : 風速 (m/s)

A/B : 海面上面積 A と海面下面積 B の断面積比。対象とするペットボトルの海面上面積 91%、海面下面積 9% とし、 $A/B=10.1$ とする。

K : 風圧係数。小田巻(1986)²⁾は風の状態や漂流物の浮かび方によって幅を持つものと考えたほうがよく 0.02 ~ 0.05 ぐらいの値を持つとしている。

風圧係数は小田巻(1986)によると、空ドラム缶で 0.032、船舶で 0.036 等の値が示されているが、海上保安庁では風圧中心が高い場合 0.035、風圧中心が低い場合 0.025 としている。漂流対象がペットボトルであるため風圧係数は 0.035 とした。

風速は酒田沖の緯度、経度毎に与えられた時々刻々の気象庁の予測値を用いて、図 9.2-8 の格子中央点毎に風速を内挿し、その風速を用いて漂流物位置の風速を求めた。なお、各格子内はどの位置でも同じ風速とし、時間方向は線形に内挿した。図 9.2-9 に代表して 12 月 17 日 8 時から 12 時までの格子中央点毎に内挿した解析領域全体の風速ベクトル (図 9.2-9 左側) と酒田沖の緯度、経度毎に与えられた時々刻々の気象庁予測値の風速ベクトル (図 9.2-9 右側) を示す。なお、内挿した解析領域全体の風速ベクトル (図 9.2-9 左側) は間引いて表示している。

< 出典 >

2) 小田巻実(1986) : 沿岸域における漂流予測の試み、沿岸海洋研究ノート、第 23 巻、第 2 号

(2) 偏角

風圧流は水上部の風圧中心と水中部の受圧中心とのバランスによって、風圧流の方向は、直接に風下よりも、風下に向かって右あるいは左に偏する傾向があると言われている。

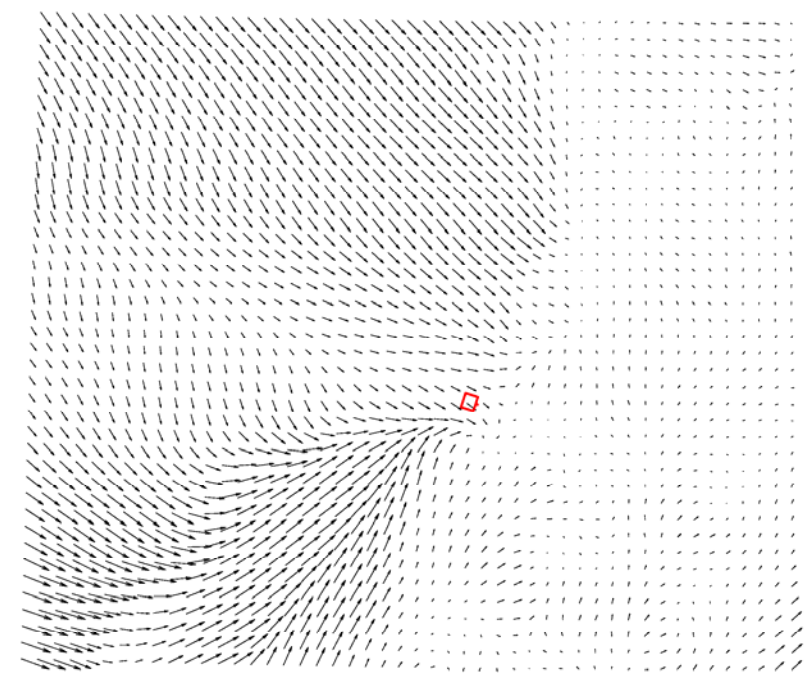
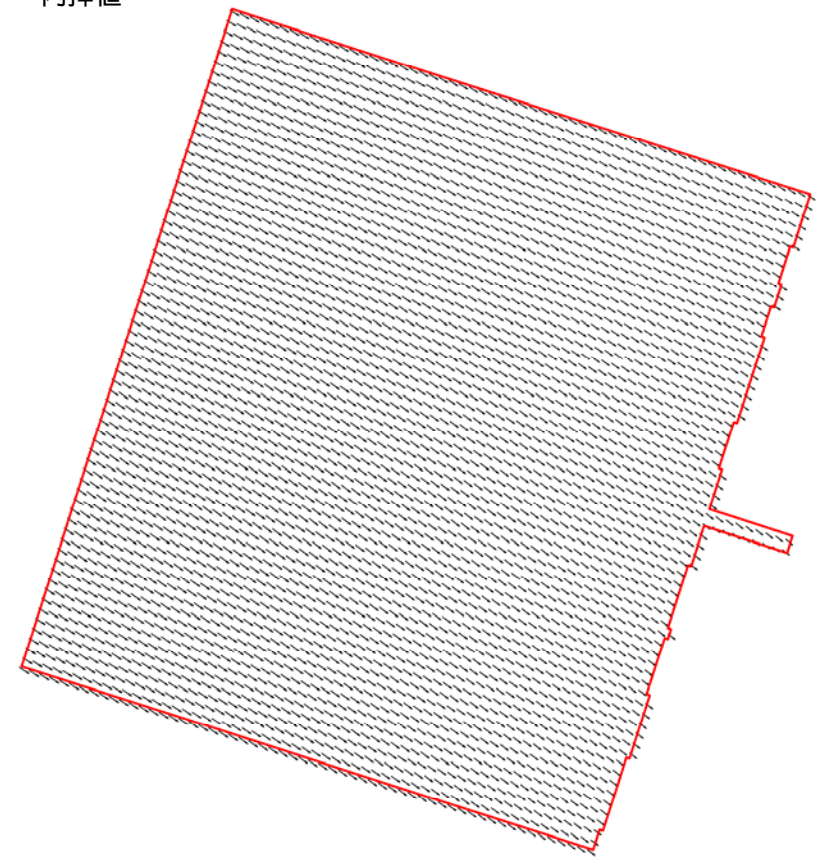
ただし、この偏角は一定のものではなく漂流物によって異なり ± 15 度のように表示されることが多い。偏角が全くランダムな現象と仮定されるなら最大偏角 を設定し 0~1 の一様乱数 rand を用い $\times (2 \times \text{rand} - 1)$ のように設定することも可能である。しかし、未だ偏角を取り入れた風圧流の解析事例は見受けられないようである。今回の解析では偏角は考慮しないこととした。

12月17日 8時

内挿値 h^{***}

気象庁予測値

-279



0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0km

20.0m/sec

0.0 20.0 40.0 60.0 80.0 100.0km

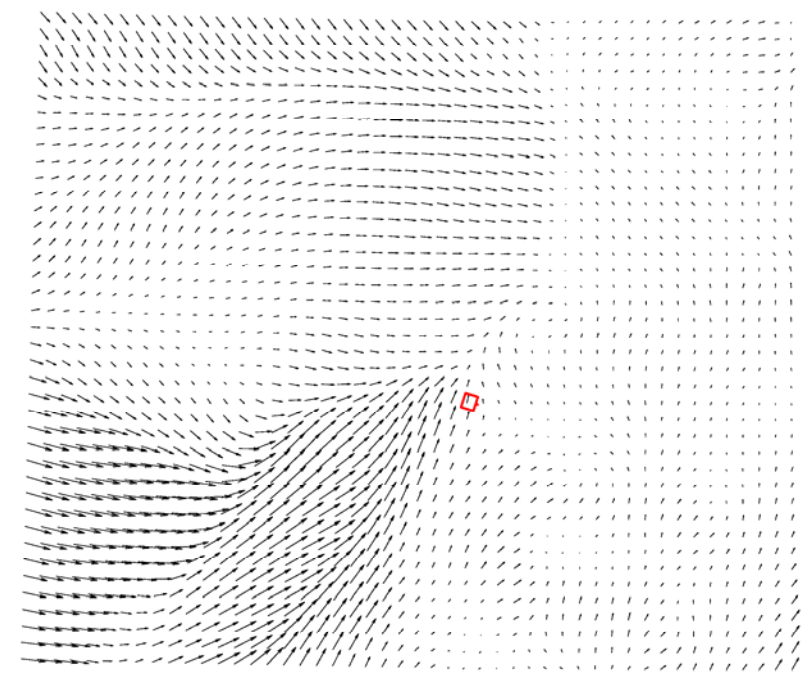
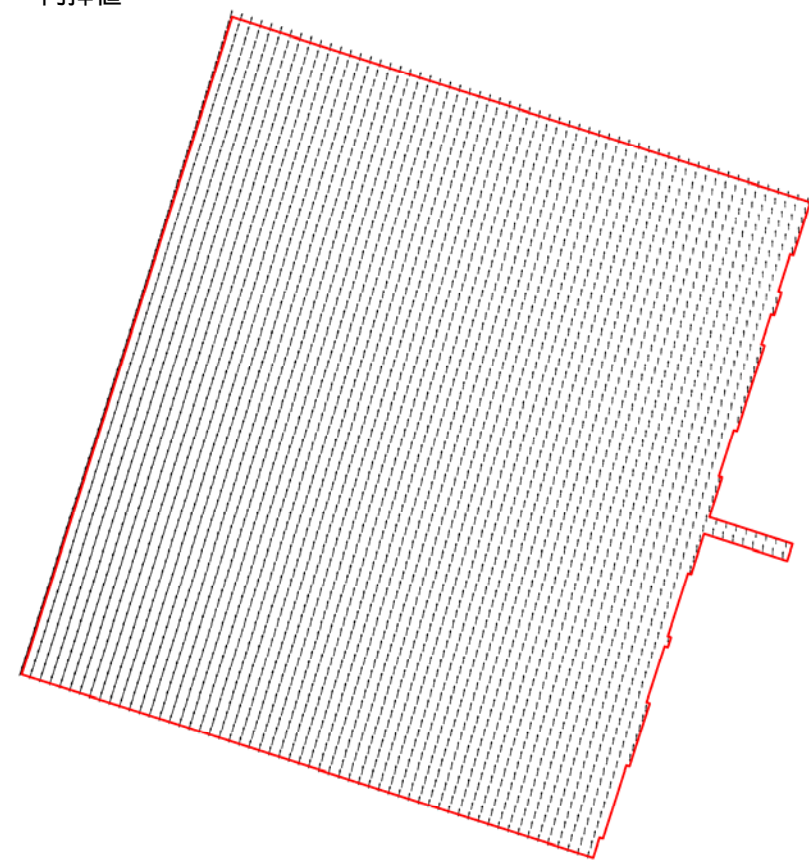
図 9.2-9(1) 風速ベクトル分布 (12月17日 8時)

12月17日 9時

内挿値 t^{***}

気象庁予測値

-280



0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0km

20.0m/sec

0.0 20.0 40.0 60.0 80.0 100.0km

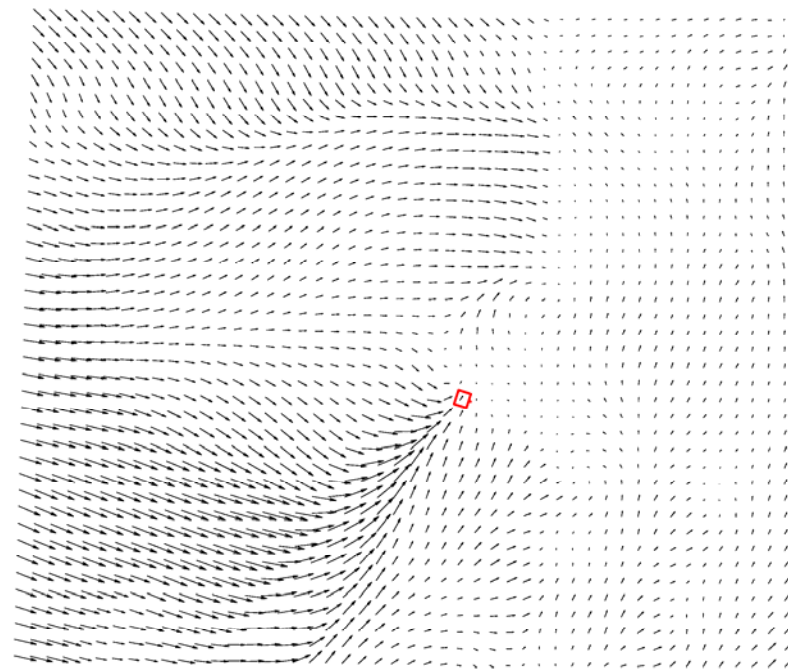
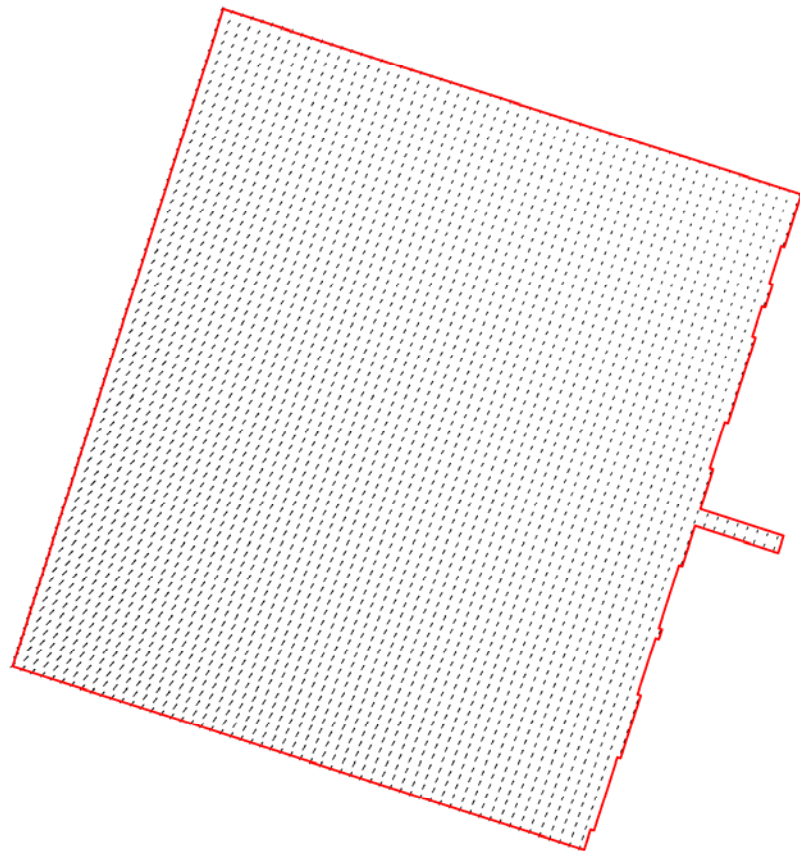
図 9.2-9(2) 風速ベクトル分布 (12月17日9時)

12月17日10時

内挿値 t^{***}

気象庁予測値

-281



0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0km

20.0m/sec

0.0 20.0 40.0 60.0 80.0 100.0km

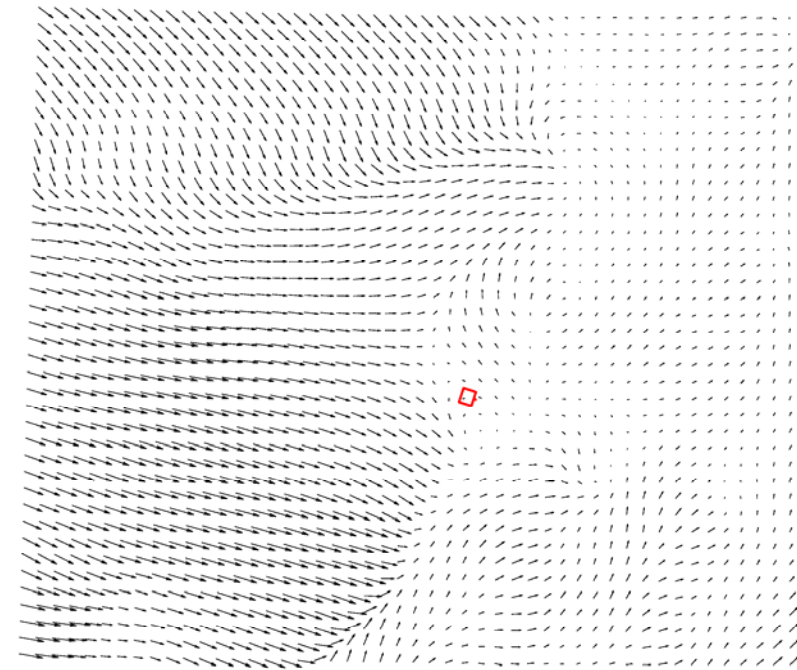
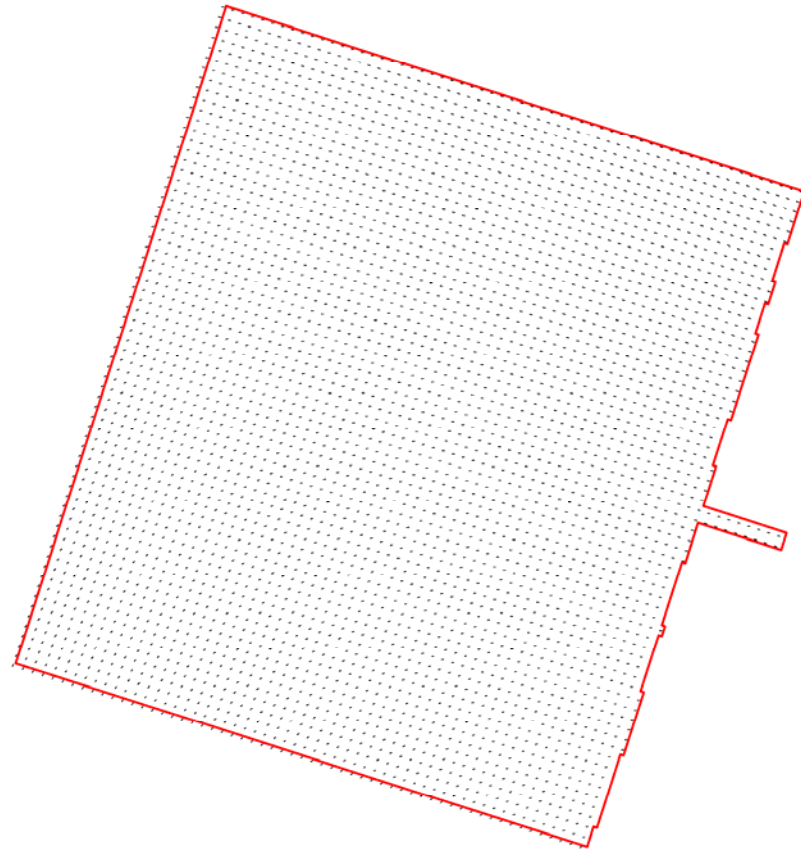
図 9.2-9(3) 風速ベクトル分布 (12月17日10時)

12月17日11時

内挿値 t^{***}

気象庁予測値

-282



0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0km

20.0m/sec

0.0 20.0 40.0 60.0 80.0 100.0km

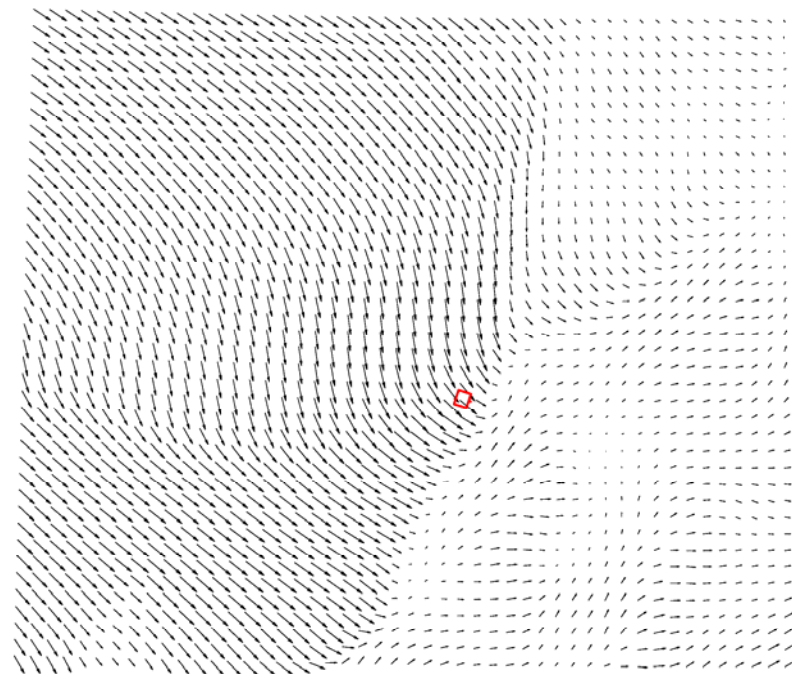
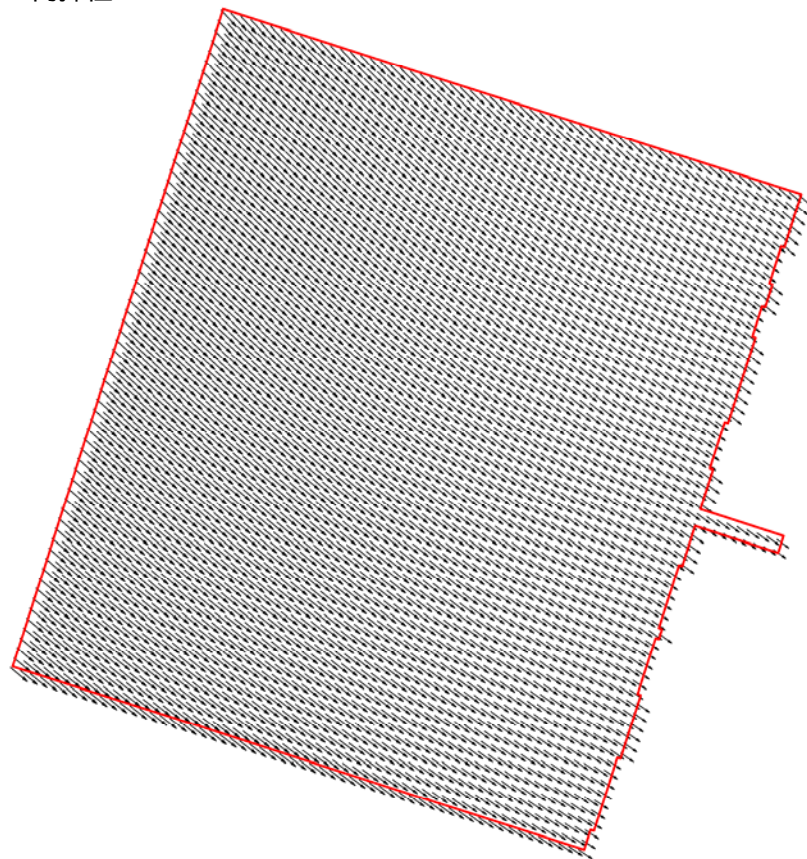
図 9.2-9(4) 風速ベクトル分布 (12月17日11時)

12月17日12時

内挿値 h^{***}

気象庁予測値

-283



0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0km

20.0m/sec

0.0 20.0 40.0 60.0 80.0 100.0km

図 9.2-9(5) 風速ベクトル分布 (12月17日12時)

9.2.6 漂流物の追跡解析

(1) 移流による移動

漂流物の追跡のための表層流は海域の流れ \vec{V} と風圧流 \vec{U} を合成した表層流 \vec{D} とする。

ある時刻 t に座標 (X_E, X_N) に位置した漂流物の Δt 時間における表層流による移動ベクトル $(\Delta X_E^C, \Delta X_N^C)$ は座標 (X_E, X_N) における表層流ベクトル (D_E, D_N) を用い以下のように求められる。

$$\Delta X_E^C = D_E \times \Delta t$$

$$\Delta X_N^C = D_N \times \Delta t$$

(2) random diffusionによる移動

random diffusionによる移動は、ある時刻 t に座標 (X_E, X_N) に位置した漂流物の Δt 時間における乱流拡散による移動ベクトル $(\Delta X_E^D, \Delta X_N^D)$ は拡散係数 K_h を用いて以下のように示される。

$$\Delta X_E^D = R_i \cdot \cos(2\pi \cdot R_i') \cdot \sqrt{2 \cdot K_h \cdot \Delta t}$$

$$\Delta X_N^D = R_i \cdot \sin(2\pi \cdot R_i') \cdot \sqrt{2 \cdot K_h \cdot \Delta t}$$

ここに R_i, R_i' は0~1の一樣乱数、 K_h (m^2/s)は乱流拡散係数で Morales et al.(1997)³⁾により以下のように示される。

$$K_h = 10^{-4} \cdot (272.8 \cdot |V| + 21.1 \cdot |W|)$$

ここに、 $|V|$: 海表面流速の絶対値(m/s)

$|W|$: 風速の絶対値(m/s)

< 出典 >

3) Morales, R.A., Elliott, A.J. & Lunel T. (1997); The Influence of tidal current and wind on mixing in the surface layers of the sea, Marine Pollution Bulletin, 34, pp.15-25

9.2.7 放流試験の概要

2007年12月に図9.2-10に示す位置で3回の放流試験が実施された。放流試験の概要は、表9.2-3、表9.2-4の通りである。

第1回の放流試験は12月15日に100個放流され、12月16日に78個、18日に15個、19日に4個、25日に1個、その他2個が回収されている。なお、これらの全てが領域A(図9.2-10中のA1-A2、A3-A4で囲まれた領域)で回収されている。

第2回の放流試験は第1回の放流試験で16日に回収された78個を用いて17日に実施され、同日中に76個、18日に2個が回収された。これらはいずれも図9.2-10に示す領域Bで回収された。

第3回の放流試験は第2回の放流試験で同日中に回収された76個を用いて17日に放流され、同日中に73個、その他1個の74個が回収され、領域Bで66個、領域Cで1個回収され

た。

第1回放流は河川内に漂着しているため再現対象として適切と考えにくい。したがって、第2回、第3回を再現の対象とした。

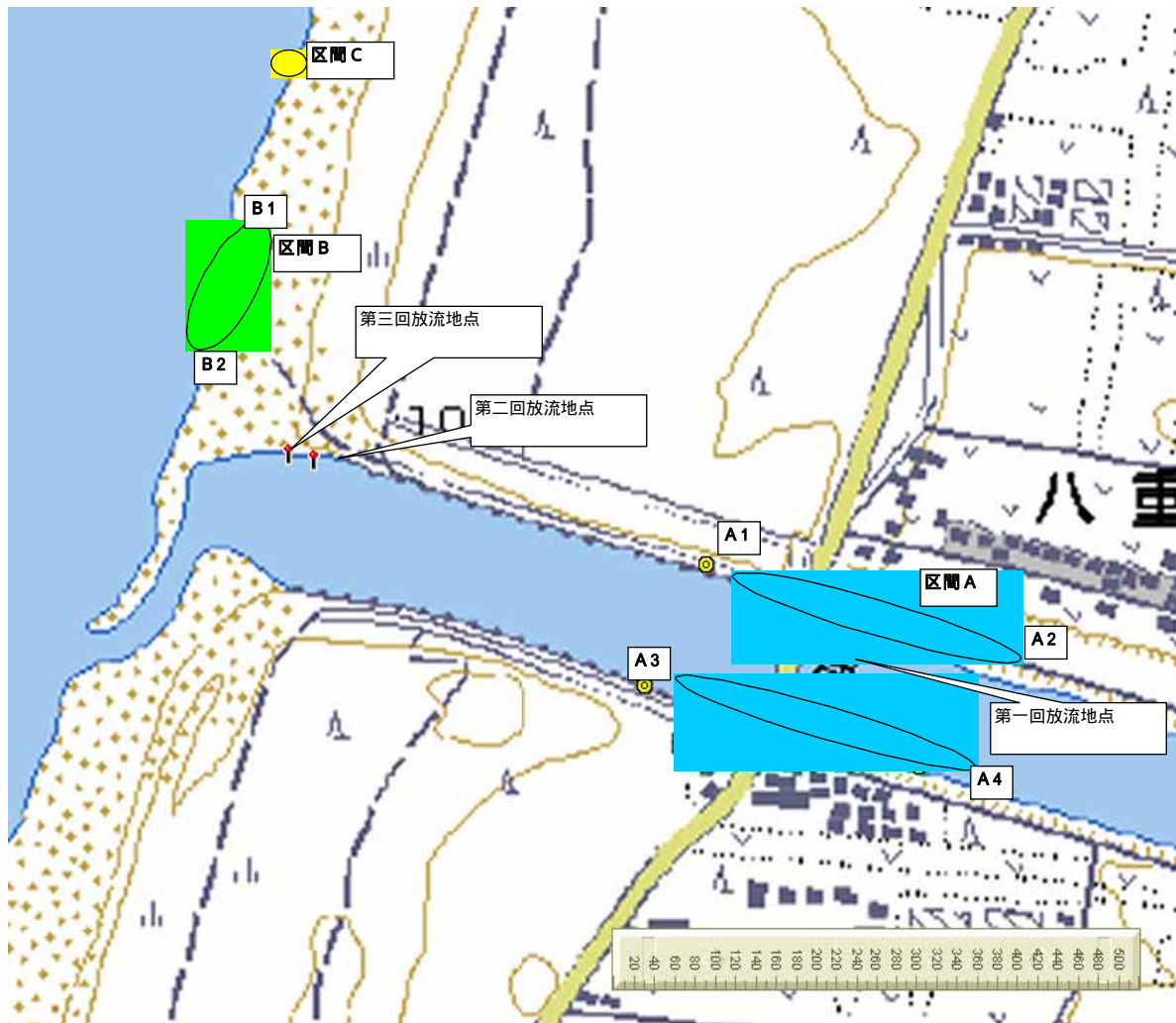


図 9.2-10 放流試験の実施位置

表 9.2-3 放流試験の概要

		放流時刻	緯度	経度	風向	風速	備考
第一回放流	12月15日	14:00 ~ 14:15	38-50-46.31	139-47-26.64	西北西	8.9m/s	
第二回放流	12月17日	8:50	38-50-52.24	139-47-06.43	南南東	4m/s	
第三回放流	12月17日	10:40	38-50-52.43	139-47-05.40	東南東	2.6m/s	

表 9.2-4 放流試験結果

	12月15日	12月16日	12月17日		12月18日	12月19日	12月25日	その他	回収状況
第1回放流	100	78	0		15	4	1	2	全て区間Aに漂着
第2回放流			78	76	2				全て区間Bに漂着
第3回放流			76	73				1	区間Bに66、区間Cに7、不明1

注)赤字は放流、黒字は回収を示す

9.2.8 漂流物の追跡解析結果

漂流物追跡解析は第2回及び第3回放流試験を対象に風圧係数 0.035 及び 0.025 の計 4 ケース実施した。なお、漂流物は図 9.2-10 及び表 9.2-4 に示す場所及び時間に第2回は 78 個、第3回は 76 個を投入している。漂流物追跡解析結果を整理して以下に示す。

図 9.2-11 ~ 図 9.2-14 には各ケースのある時間における漂流物の位置（図中赤丸）と水流速+風圧流を合成したベクトルを示す。

結果を要約すると以下の通りである。

- ・いずれの結果も漂流物の移動は移流(水流速 + 風圧流)が支配的で拡散による拡がりは小さい。これは 4.2 節に示した拡散係数が水流速 $|V| = 0.3m/s$ 、風速 $|W| = 3m/s$ 程度で計算すると $0.015m^2/s$ 程度の小さな値になること、放流開始から岸に漂着するまでの時間が再現計算では 1 時間以内であること等によると考えられる。
- ・図 9.2-11、図 9.2-12 を見ると、第2回放流試験は投入開始後数分で河川右岸側に漂着している。
- ・図 9.2-13、図 9.2-14 を見ると、第3回放流試験は河川から海域に流出し漂流物は河口から約 200m 北側に漂着しており、試験で漂着した位置とほぼ一致している。

第2回の放流試験の結果が満足に行えなかった要因として以下のことが考えられる。

- ・河口付近の地形表現が不十分であり、実際の河口付近の流れと異なっていると推察される（河口部には瀬が見られるなど河口閉塞的な現象が見られるが流れの解析には反映されていない）。
- ・漂流物はペットボトルを対象としており、岸壁にぶつかって流れる現象などは追跡解析に反映されていない。
- ・気象庁の風の予測値と現地の地上風の対応なども要因としては考えられる。

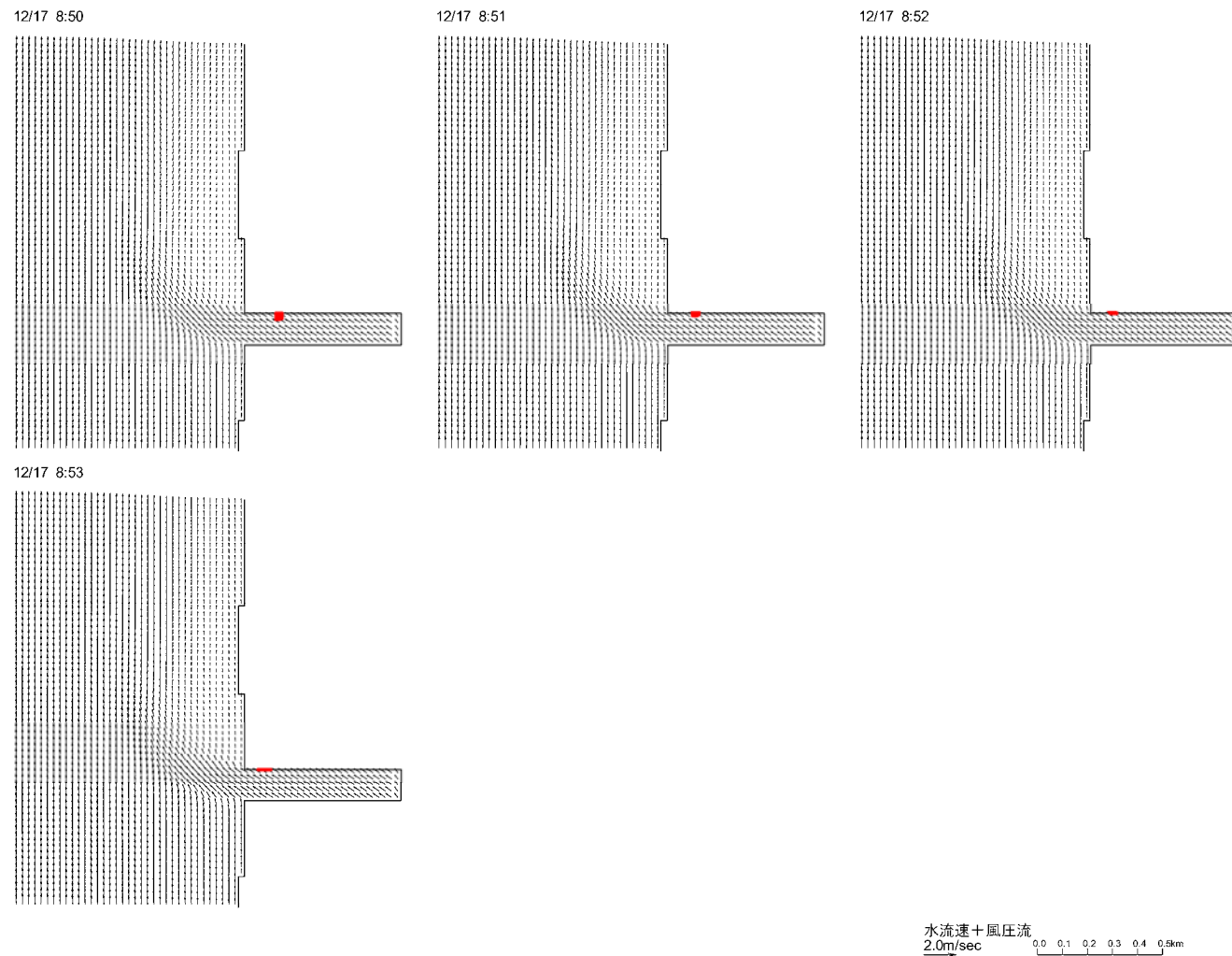


図 9.2-11 漂流物の位置と水流速+風圧流を合成したベクトル図（第2回放流試験、風圧係数 0.035）

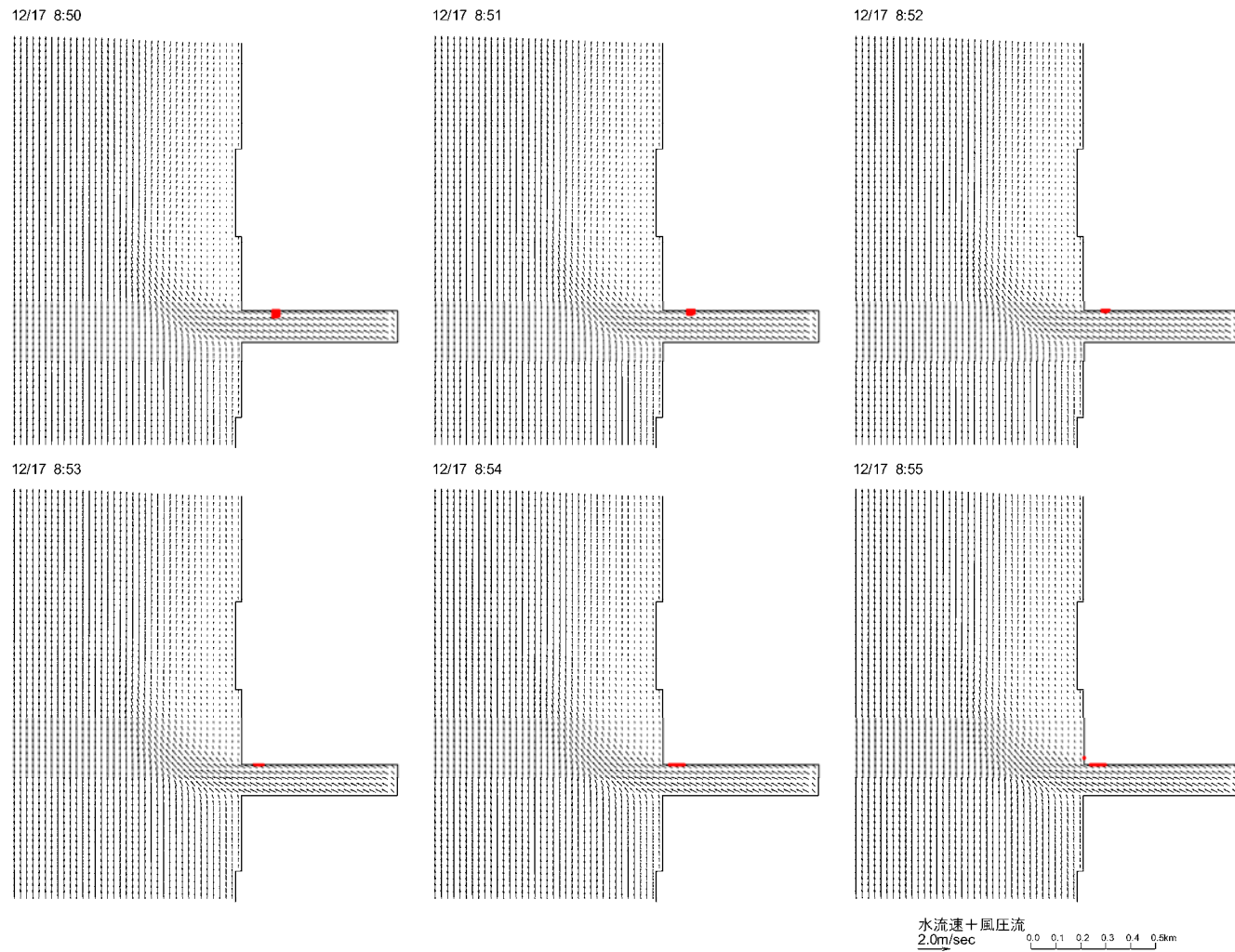


図 9.2-12 漂流物の位置と水流速+風圧流を合成したベクトル図 (第2回放流試験、風圧係数 0.025)

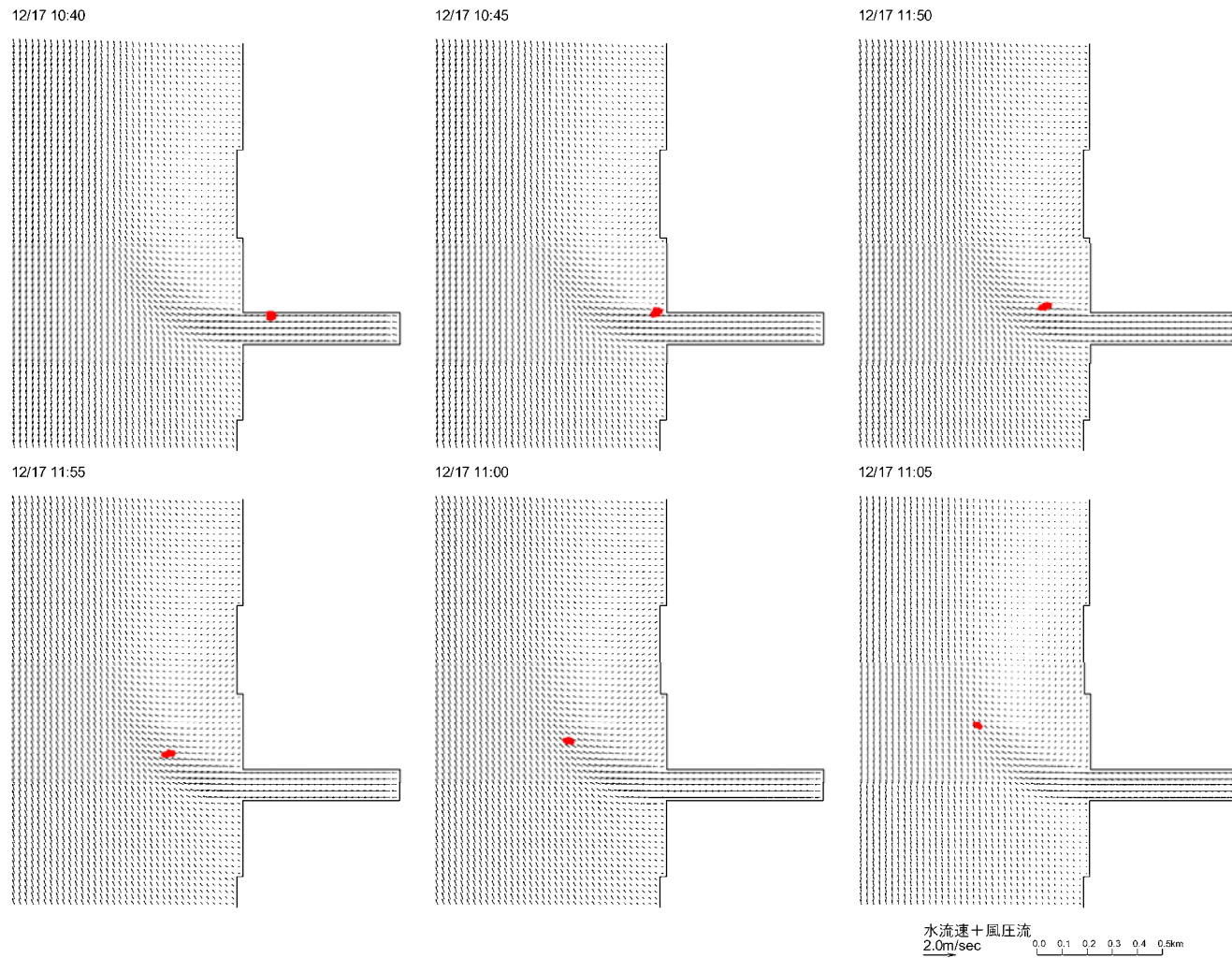


図 9.2-13(1) 漂流物の位置と水流速+風圧流を合成したベクトル図 (第3回放流試験、風圧係数 0.035)

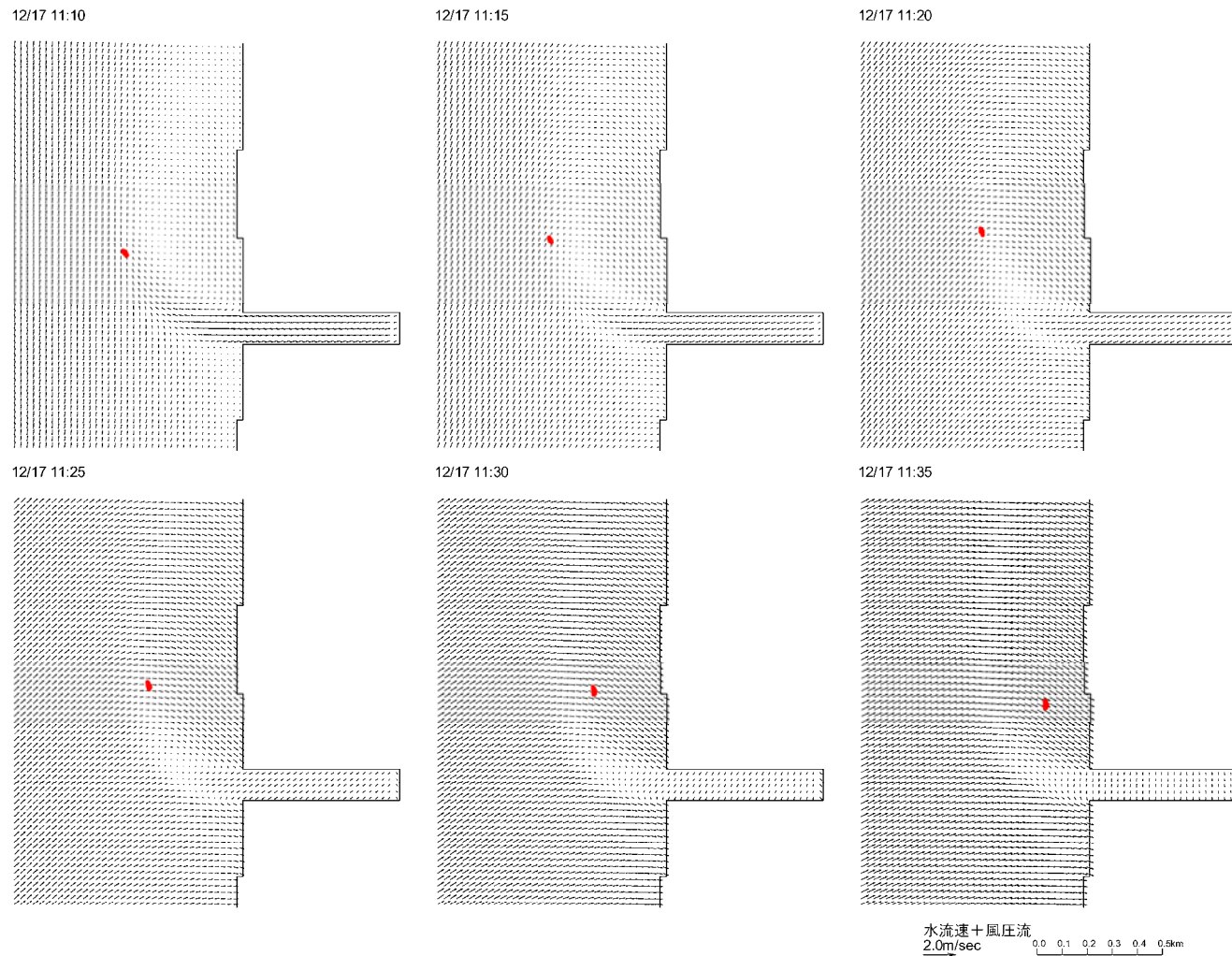
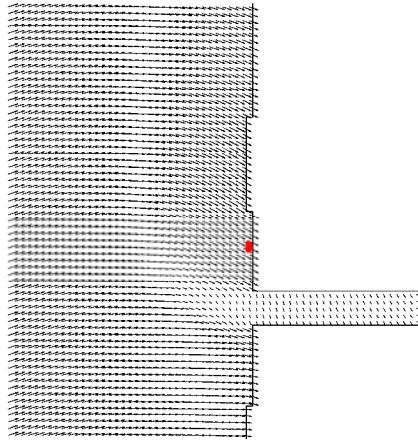


図 9.2-13(2) 漂流物の位置と水流速+風圧流を合成したベクトル図 (第3回放流試験、風圧係数 0.035)

12/17 11:41



水流速+風圧流
2.0m/sec 0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5m

図 9.2-13(3) 漂流物の位置と水流速+風圧流を合成したベクトル図 (第3回放流試験、風圧係数0.035)

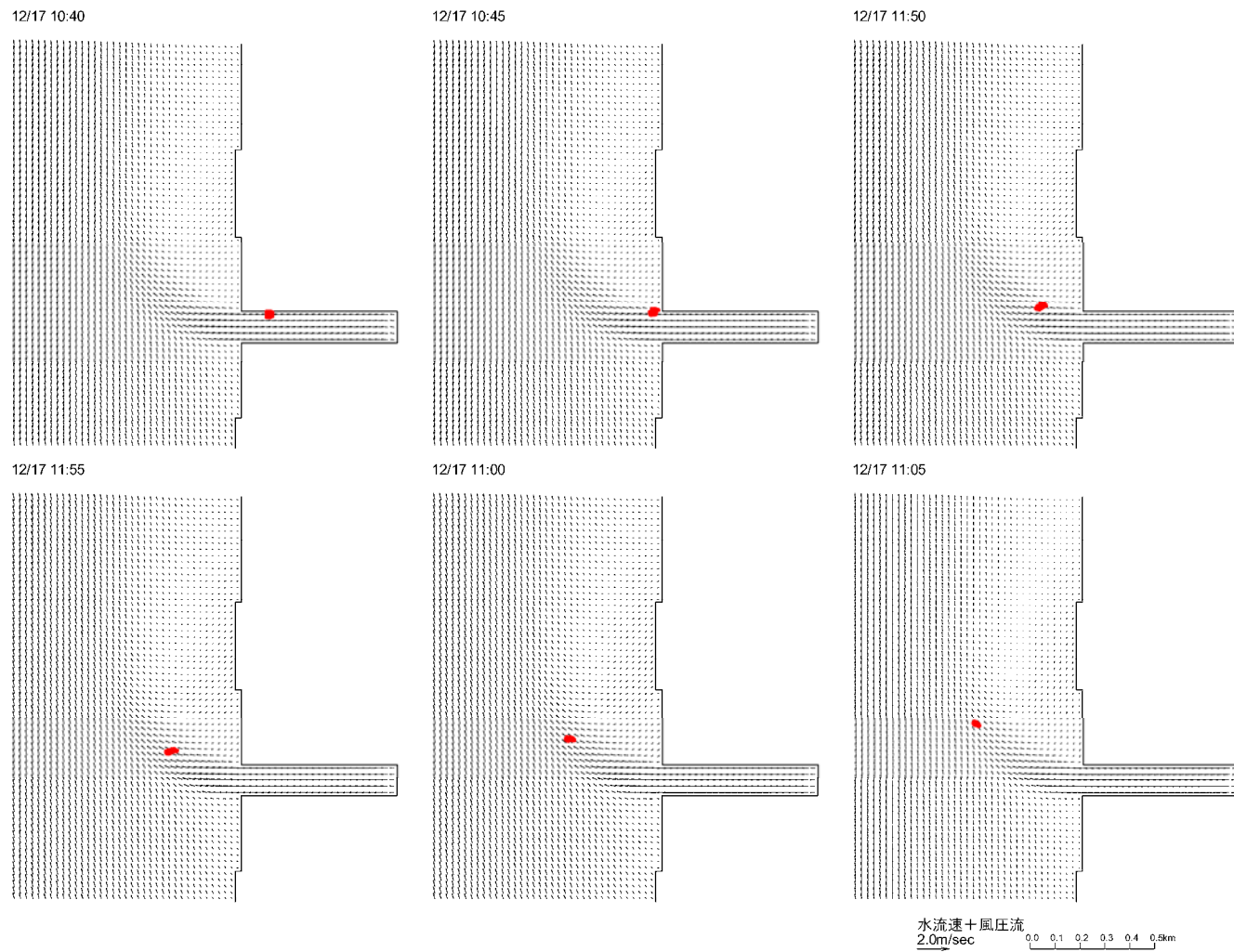


図 9.2-14(1) 漂流物の位置と水流速+風圧流を合成したベクトル図 (第3回放流試験、風圧係数 0.025)

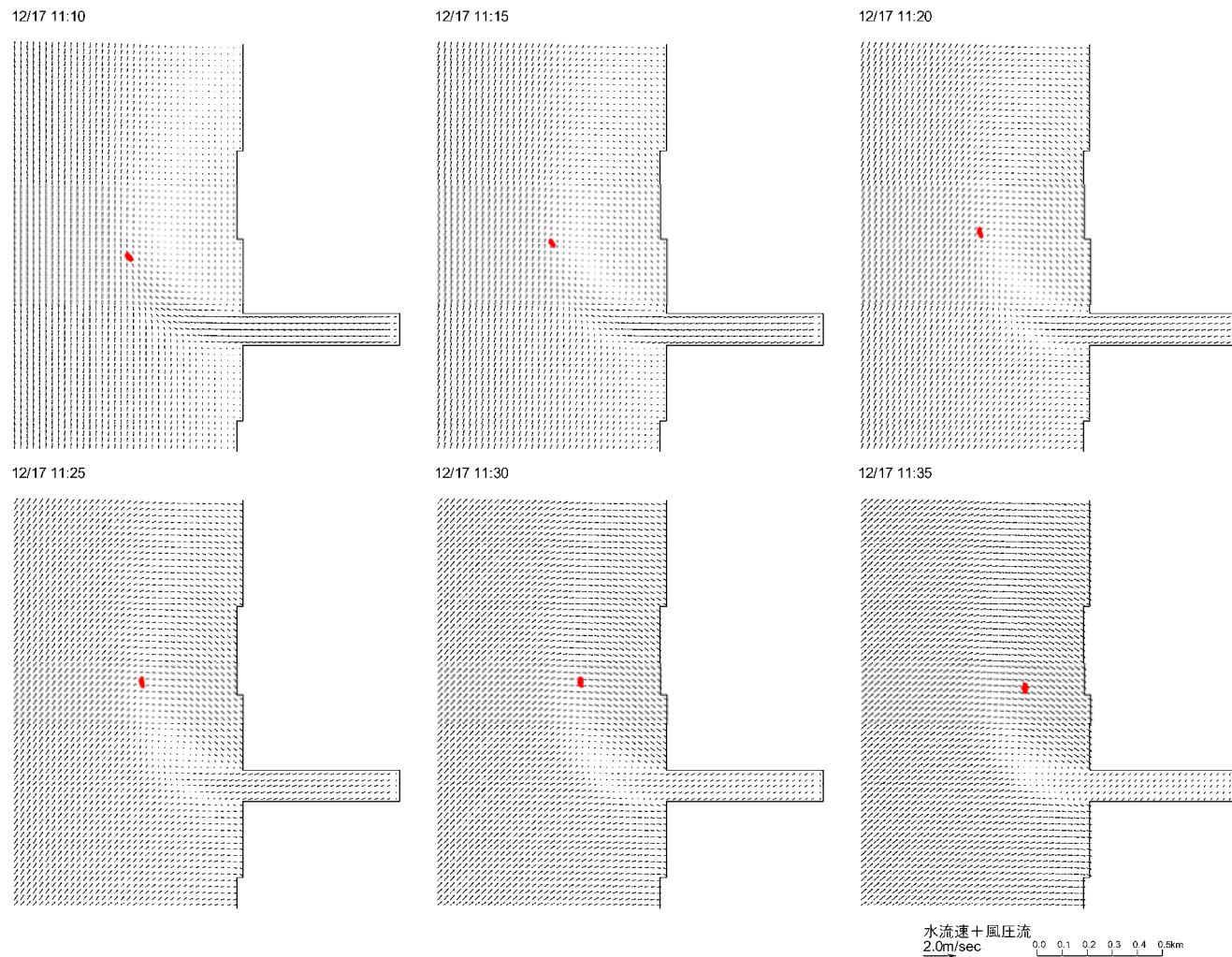
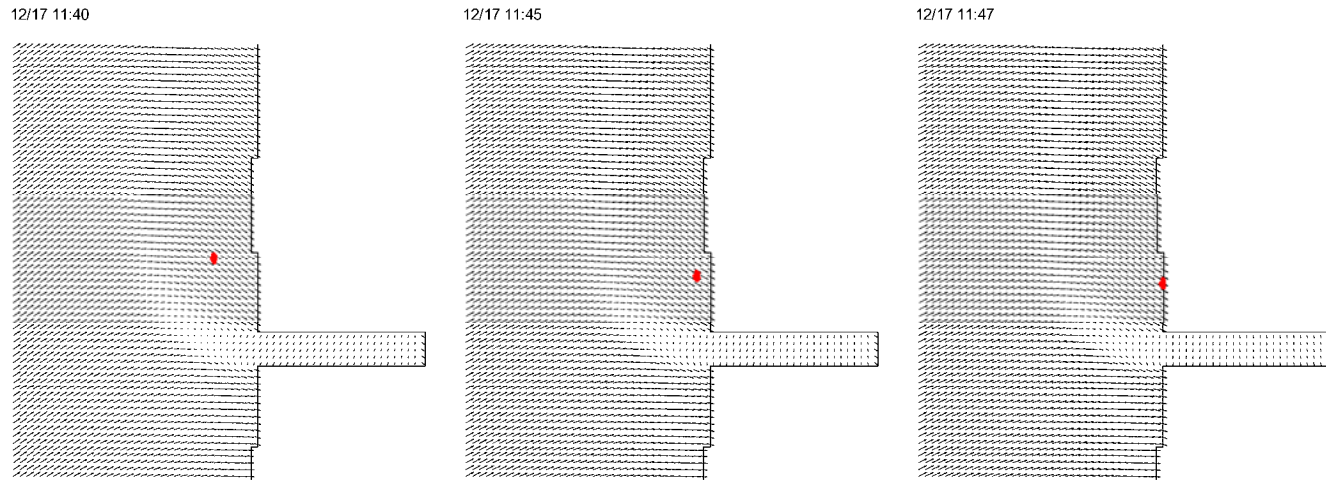


図 9.2-14(2) 漂流物の位置と水流速+風圧流を合成したベクトル図 (第3回放流試験、風圧係数 0.025)



水流速+風圧流
 2.0m/sec 0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5m

図 9.2-14(3) 漂流物の位置と水流速+風圧流を合成したベクトル図 (第3回放流試験、風圧係数 0.025)

9.2.9 参考資料（解析モデルの概要）

海域流れの解析モデルは、水平、鉛直（水深）方向の密度分布を表現できることが必要となる。したがって、解析モデルには Leendertse らによって開発された三次元 Multi-level モデルを用いることとする。このモデルは水深方向には静力学平衡が成り立つことを仮定し、計算量の節約をはかっている実用的な三次元モデルといえる。

なお、流動・拡散計算で一般的に用いられる 2 次元単層モデルでは、流れや密度分布を底面から水面まで平均化して表現するため、計算モデルとして本検討の目的とは合致しない。

以下に、基礎方程式を示す。

1) x 方向の運動方程式

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial(u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(uv)}{\partial y} + \frac{\partial(uw)}{\partial z} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right) = 0$$

2) y 方向の運動方程式

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial(vu)}{\partial x} + \frac{\partial(v^2)}{\partial y} + \frac{\partial(vw)}{\partial z} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} \right) = 0$$

3) 静力学平衡の式

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} = g$$

4) 連続の式

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

5) 自由表面の式

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = - \frac{\partial}{\partial x} \left(\int_{-H}^{\zeta} u dz \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(\int_{-H}^{\zeta} v dz \right)$$

6) 塩分拡散式

$$\frac{\partial s}{\partial t} + \frac{\partial(us)}{\partial x} + \frac{\partial(vs)}{\partial y} + \frac{\partial(ws)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial s}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial s}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_z \frac{\partial s}{\partial z} \right)$$

7) 状態方程式

密度は塩分、水温の関数として以下の関数式で取り扱う。

$$\rho = \rho(s, T)$$

この状態方程式として、以下に示す Knudsen の式を用いる。

海水密度は塩分と温度の関数であり、示すには現場密度 σ_T を用いることが多い。 σ_T は海水

の密度から 1 を減じ、それを 1000 倍した値で示され、温度 T () のときの密度 ρ_T は

$\rho_T = 1 + 10^{-3} \sigma_T$ となる。Knudsen によれば、温度 0 の時の $\sigma_0 \left(\frac{g}{cm^3} \right)$ は塩分濃度 s (‰) の関数として次式で示される。

$$\sigma_0 = -0.069 + 1.4708s - 0.001570s^2 + 0.0000398s^3$$

また、温度 T () の時の $\sigma_T \left(\frac{g}{cm^3} \right)$ は次式で求められる。

$$\sigma_T = -\frac{(T - 3.98)^2}{503.570} \frac{T + 283}{T + 67.26} + (\sigma_0 + 0.1324) \{1 - A_T + B_T(\sigma_0 - 0.1324)\}$$

$$A_T = T(4.7867 - 0.098185T + 0.0010843T^2) \times 10^{-3}$$

$$B_T = T(18.030 - 0.8164T + 0.01667T^2) \times 10^{-6}$$

ここに、 x, y, z : 直交座標系で z は上向きを正

u, v, w : x, y, z 方向の流速

$\tau_{xi, yj}$: (x_i, y_j) 面の応力

ρ : 密度

p : 圧力

g : 重力加速度

ζ : 水位

H : 水深

T : 水温

s : 塩分濃度

D_x, D_y, D_z : それぞれ x, y, z 方向の渦動拡散係数

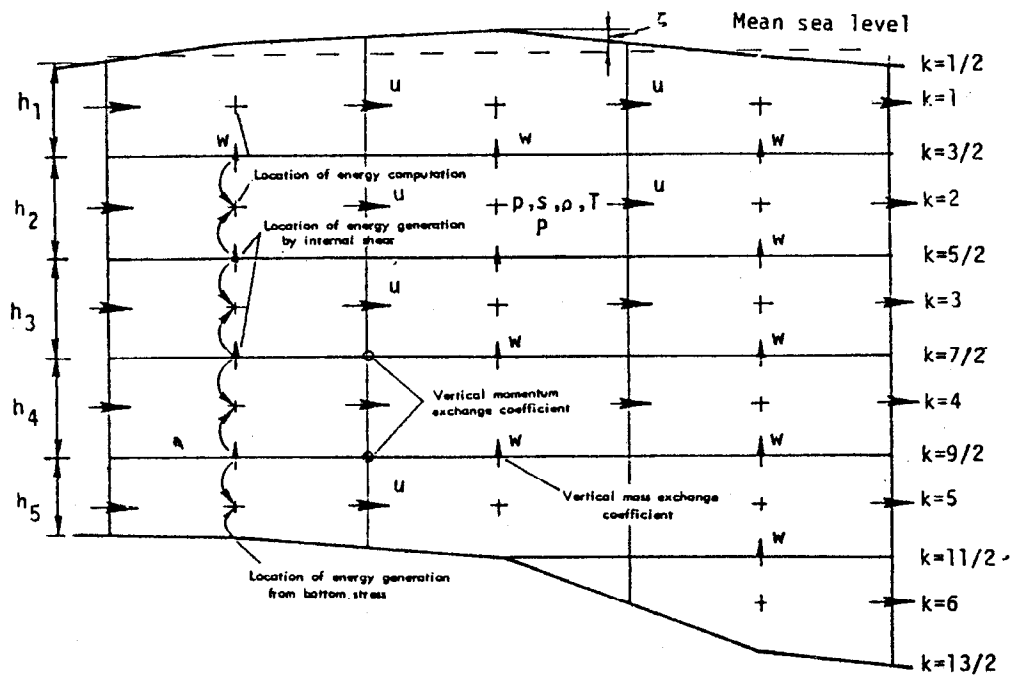
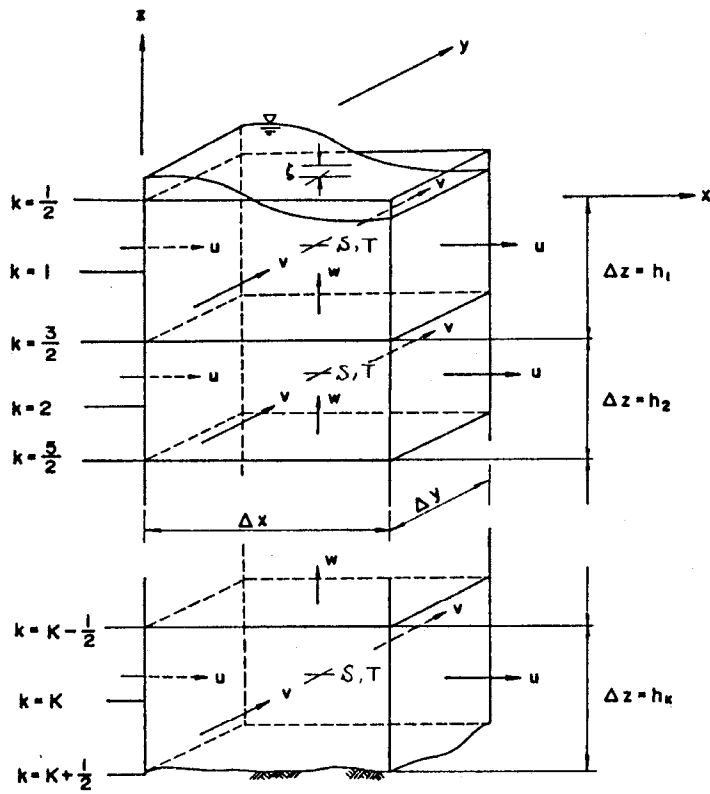


図 9.2-15 三次元 Multi-level モデルの概要