

## 漂着ゴミの発生源及び漂流経路に関わる調査 —赤川河口部における漂流シミュレーション—

### 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  $\rho$  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。

- ①  $x, y$  方向運動方程式
- ② 連続式
- ③ 水温拡散方程式
- ④ 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ていく。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を用いて、数値シミュレーションを行なう。使用した方程式系等については、6 章に示す。

### 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 11 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 の一様水深とした。

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 1 に示す最大 10 層とした。

表 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～ $\infty$

図 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 1 に示す河床標高と表 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。

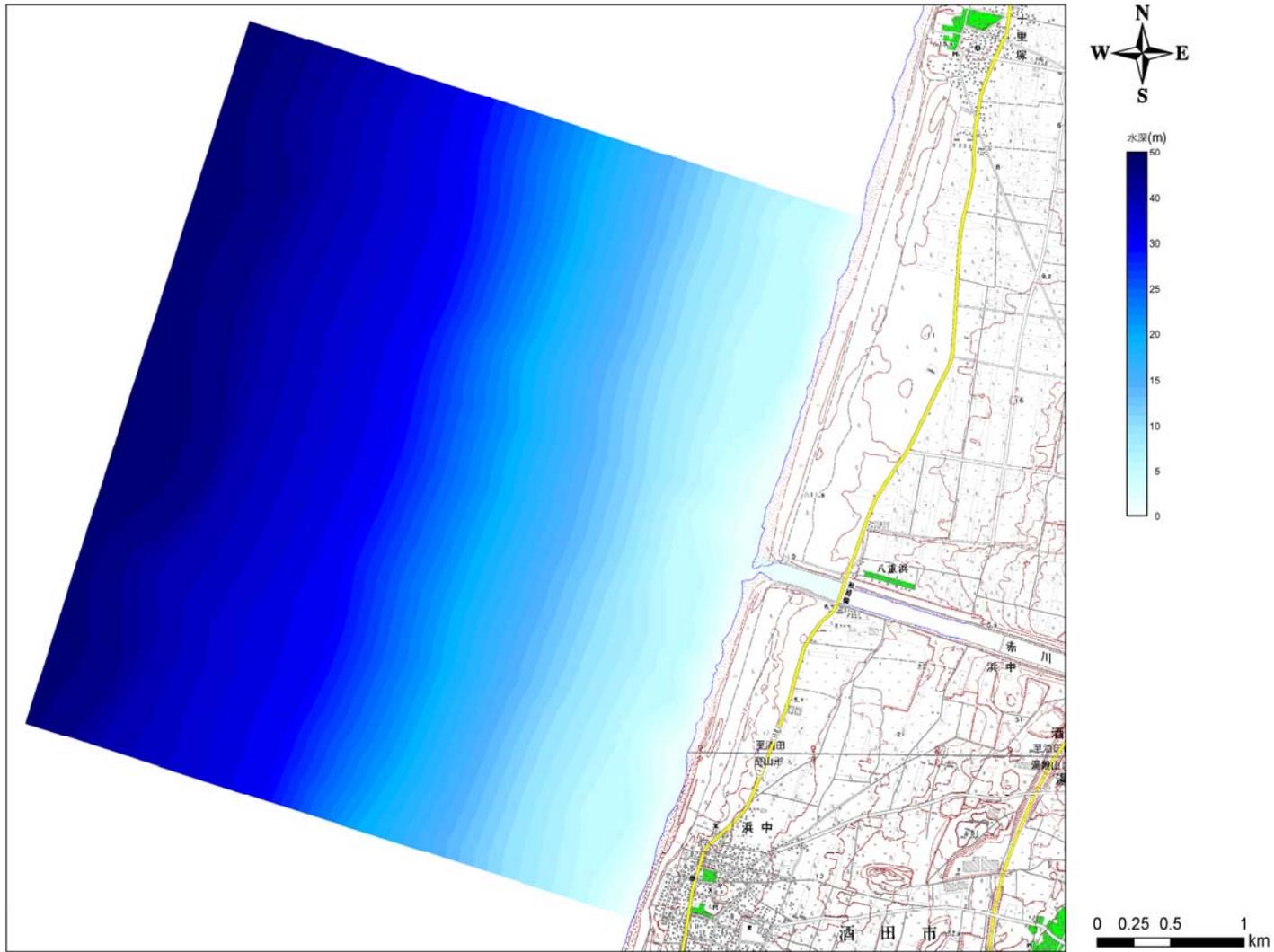


図 1 解析領域の水深

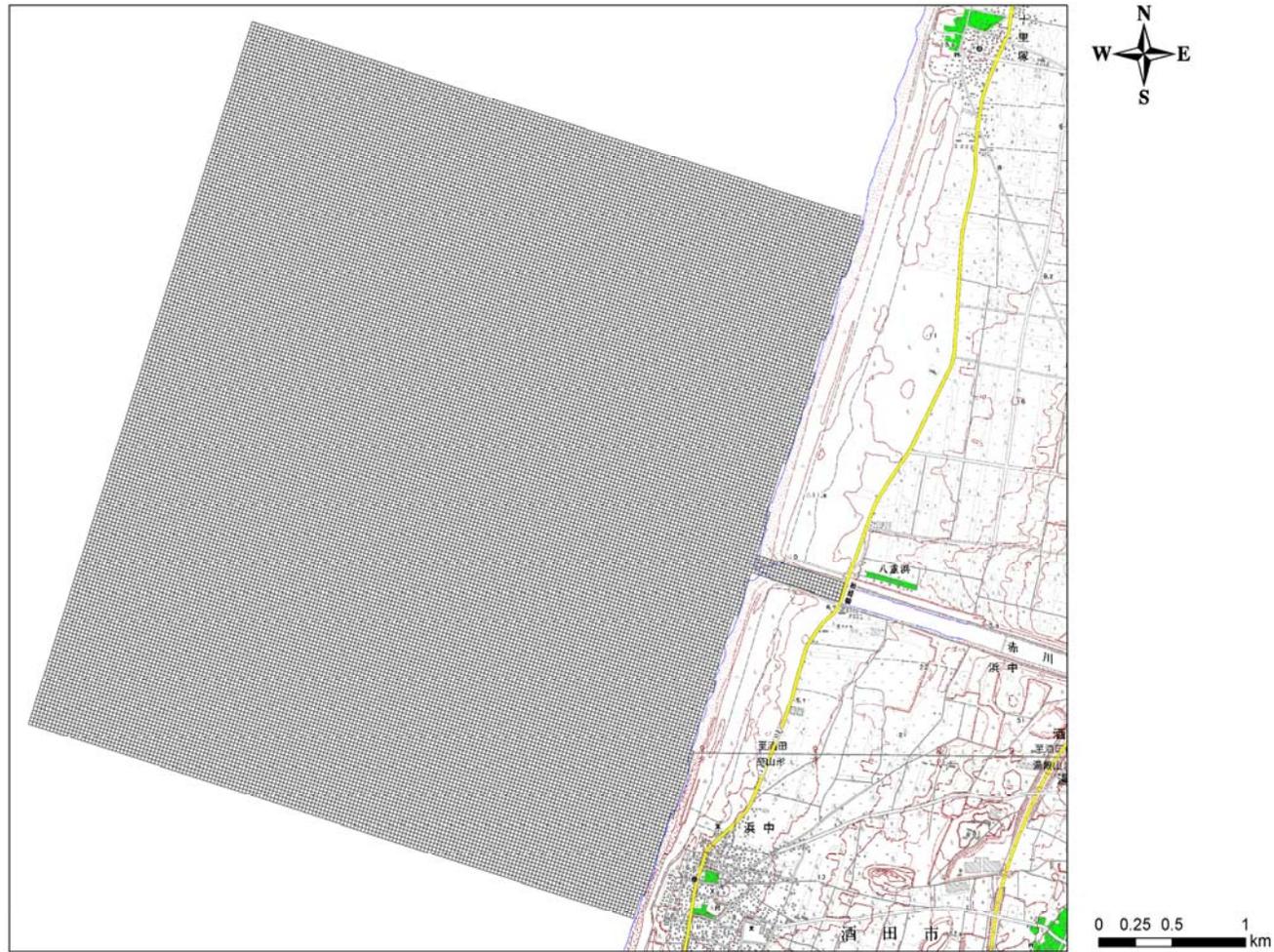


图 2 平面格子分割图

### 3. 海域流れの計算

#### 3.1 目的

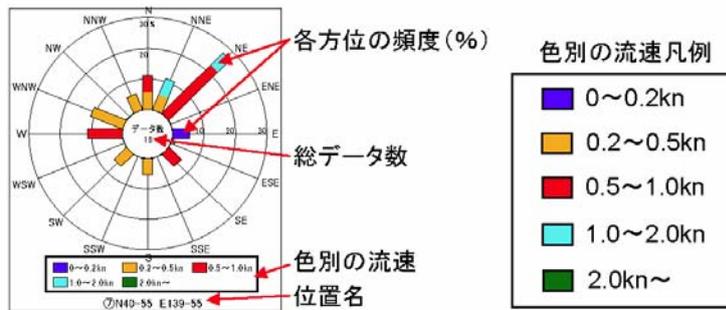
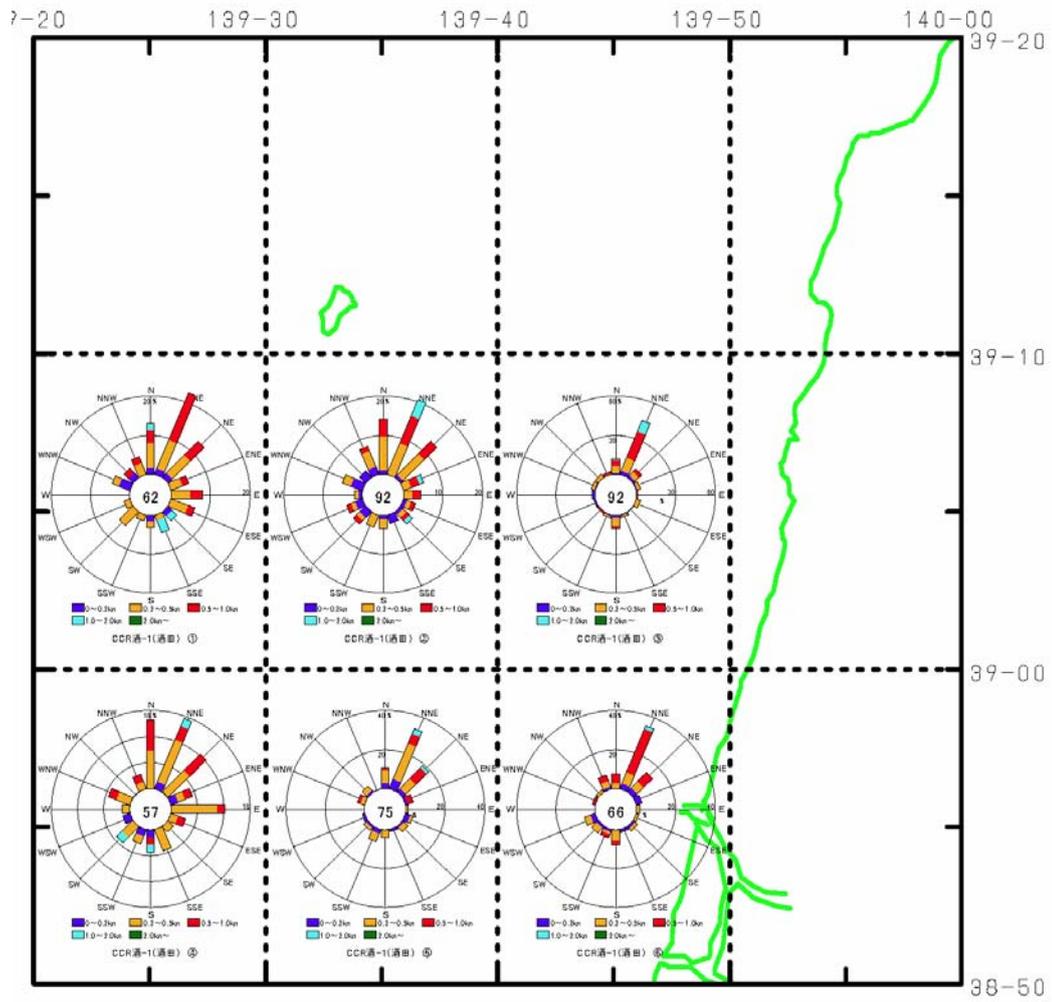
解析対象の海域は図 2.1 の  $38^{\circ} 50' N \sim 39^{\circ} 00' N$ 、 $139^{\circ} 40' E \sim 139^{\circ} 50' E$  に含まれる海域である。この海域は、図 3（日本海洋データセンター（Japan Oceanographic Data Center : JODC）の Web サイトからダウンロード）<sup>1)</sup>の流況頻度より、海域の流れの方向が NNE、流速が 0.5～1.0kn の頻度が高いことがわかる。これらを考慮して今回の解析では、流れの方向が NNE、流速が 0.5～1.0kn の海域流れを求めることとする。

<出典>

1) 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](http://www.jodc.go.jp/index_j.html)

# 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](http://www.jodc.go.jp/index_j.html)

図 3 酒田海域の流況頻度

### 3.2 計算条件

#### 3.2.1 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日の1日間とした。

#### 3.2.2 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4に示す。

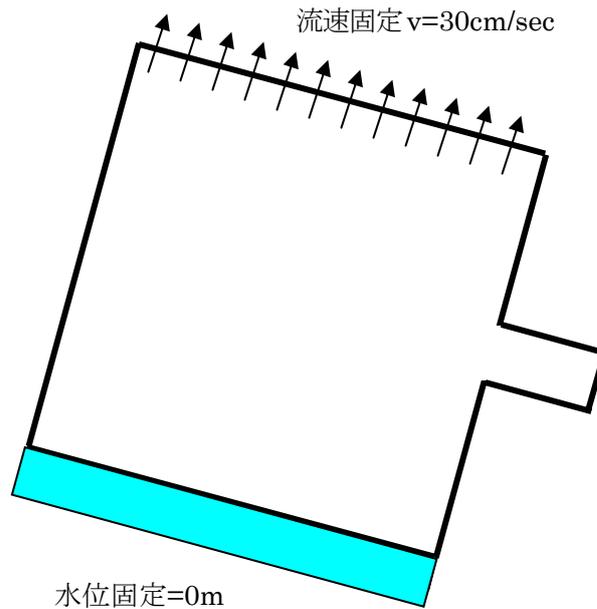


図4 海域境界条件

#### 3.2.3 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<sup>2)</sup>を図5に示す。

<出典>

2) 国土交通省酒田河川国道事務所：赤川浜中観測所流量

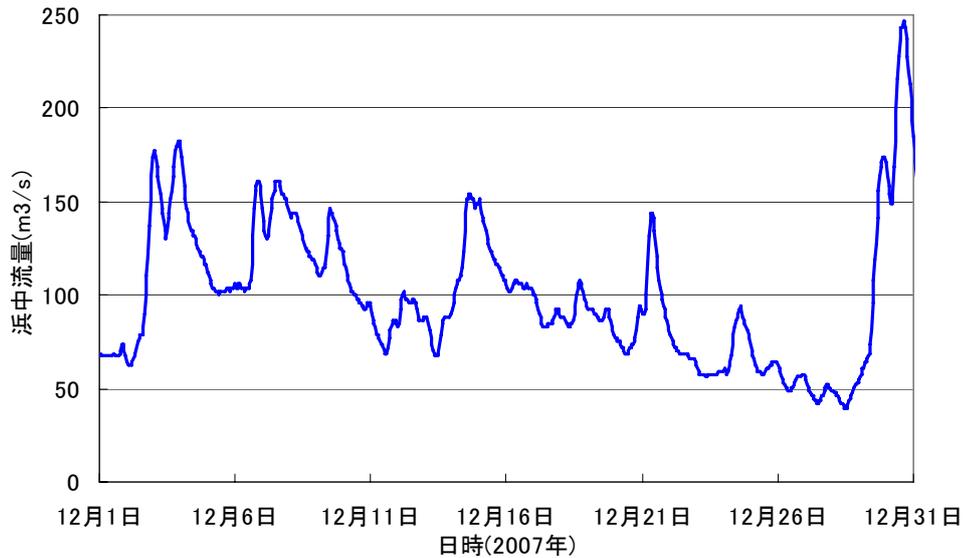


図 5 赤川の河川流量 (2007 年 12 月)

### 3. 2. 4 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、 $\nu_0$  : 中立状態 ( $Ri=0$ ) の粘性・拡散係数、 $\alpha, \beta$  : 係数。数値は粘性係数 :  $\alpha=1$ 、 $\beta=3$ 。拡散係数 :  $\alpha=3$ 、 $\beta=3$ 。

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、 $\rho$  : 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  $\nu_0$  は以下の式で評価されることが多い。Kolmogorov and Prandtl 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  $\nu_0$  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。

3.2.5 初期条件

水温・塩分濃度の 12 月の平均データは表 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)<sup>1)</sup> に示す通りである。水温は水深 75m まではほぼ 15°C であることから、全域 15°C 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°C の塩分、密度の初期値分布を図 6 に示す。

表 2 海域の水温及び塩分濃度

水深(m)	水温(°C)	塩分濃度(‰)	密度(g/m <sup>3</sup> )
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 >

1) 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](http://www.jodc.go.jp/index_j.html)

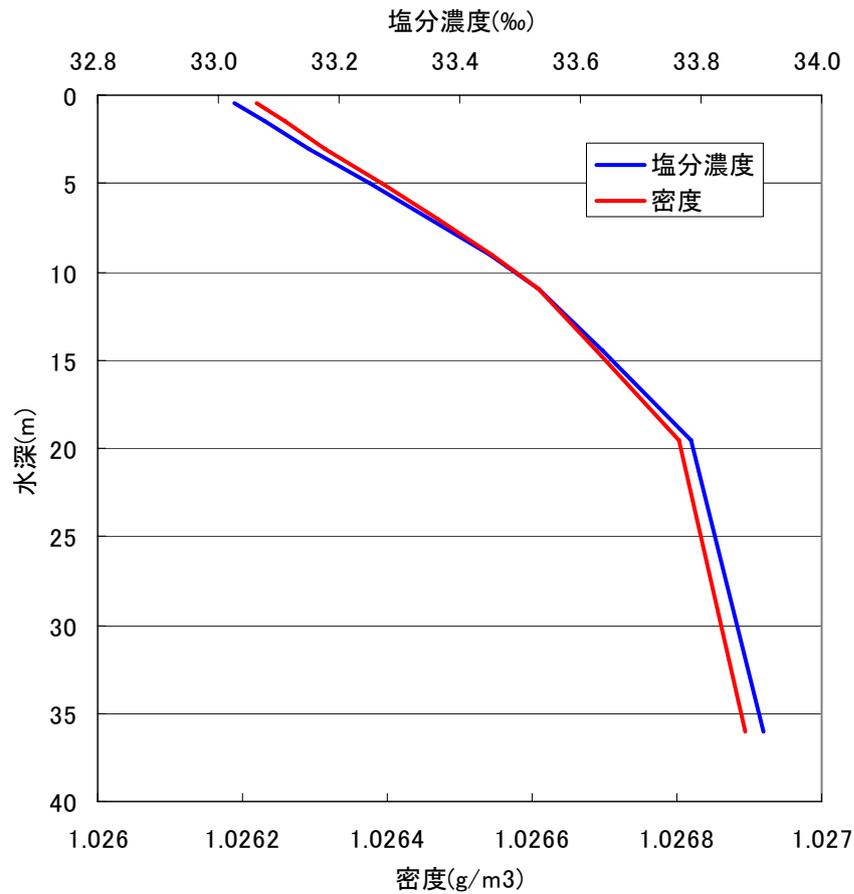


図 6 塩分・密度の初期鉛直分布

### 3.2.6 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。

- ①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。
- ②①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。

### 3.3 計算結果

海域流れの計算結果を整理して以下に示す。

図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することとする。

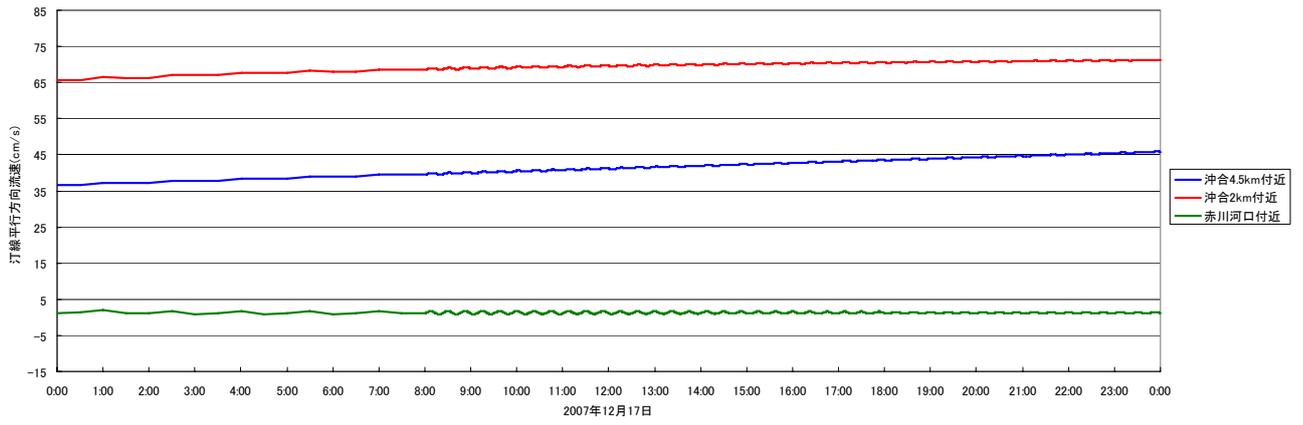


图 7 汀線平行方向(NNE)流速時系列

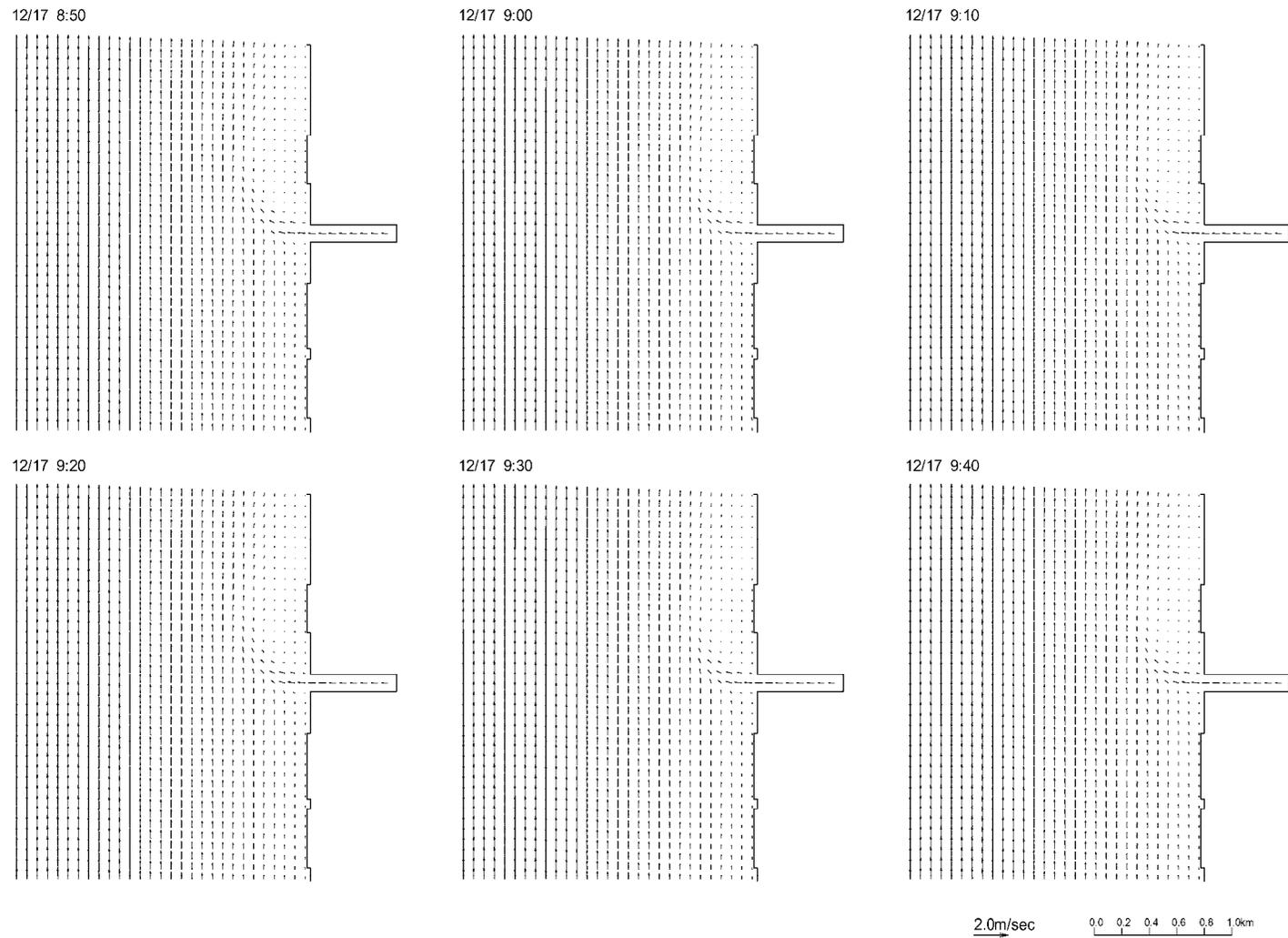


図 8(1) 赤川河口付近の流速ベクトル分布

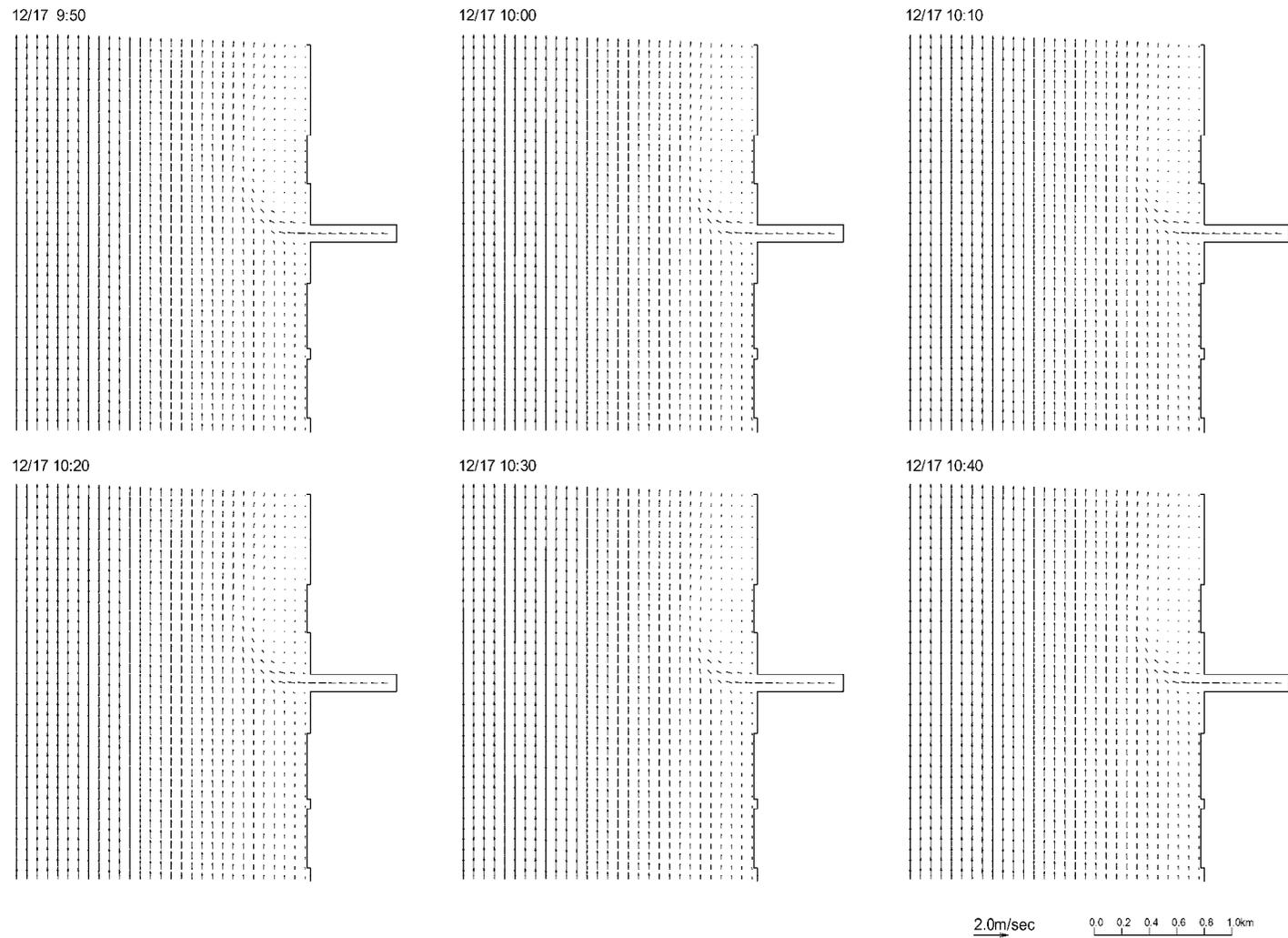


図 8(2) 赤川河口付近の流速ベクトル分布

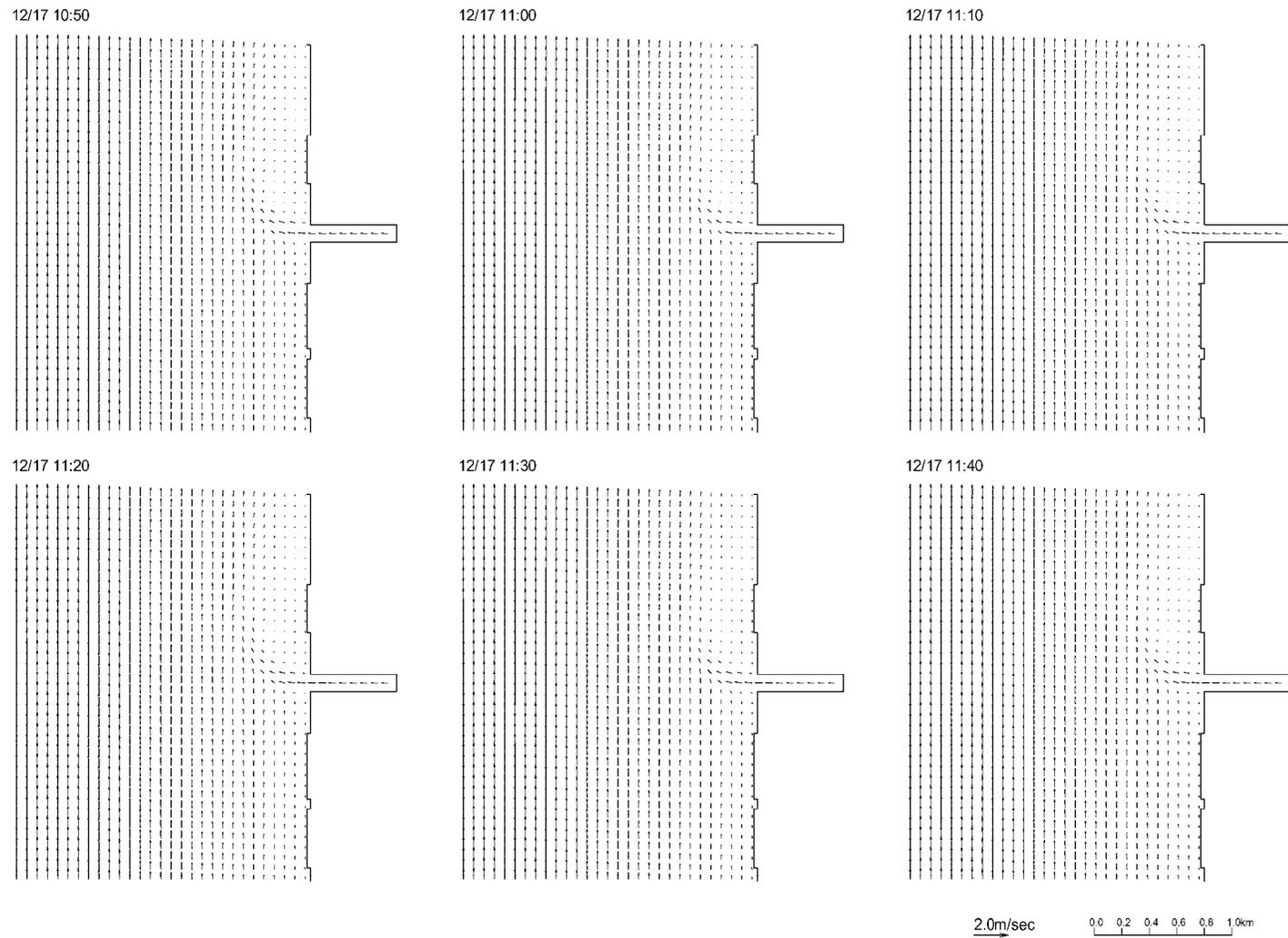


図 8(3) 赤川河口付近の流速ベクトル分布

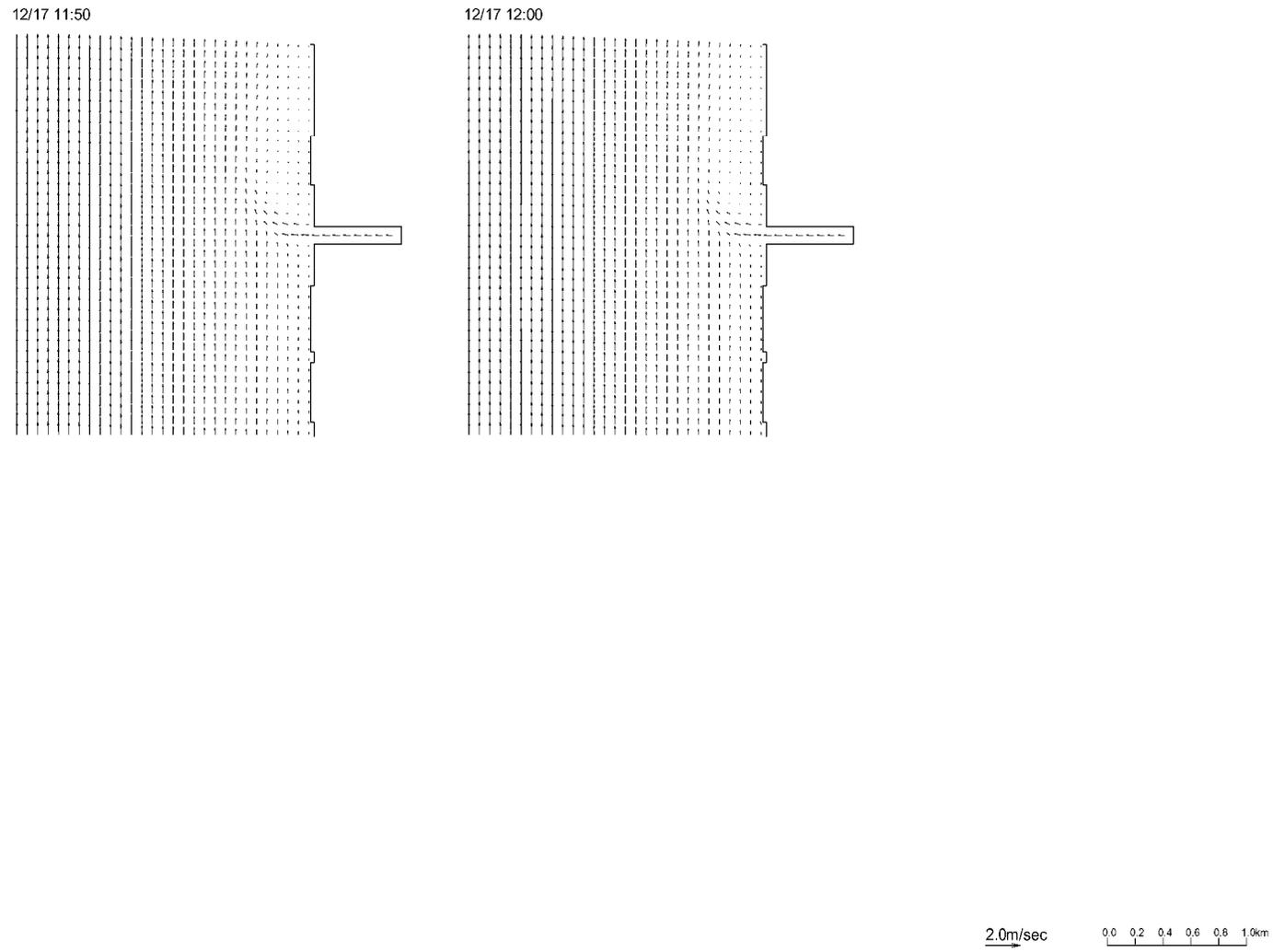


図 8(4) 赤川河口付近の流速ベクトル分布

## 4. 風圧流の解析

### 4.1 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)<sup>2)</sup>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 2 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 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 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 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 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

### 4.2 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  $\alpha$  を設定し 0~1 の一様乱数 rand を用い  $\alpha \times (2 \times \text{rand} - 1)$  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。

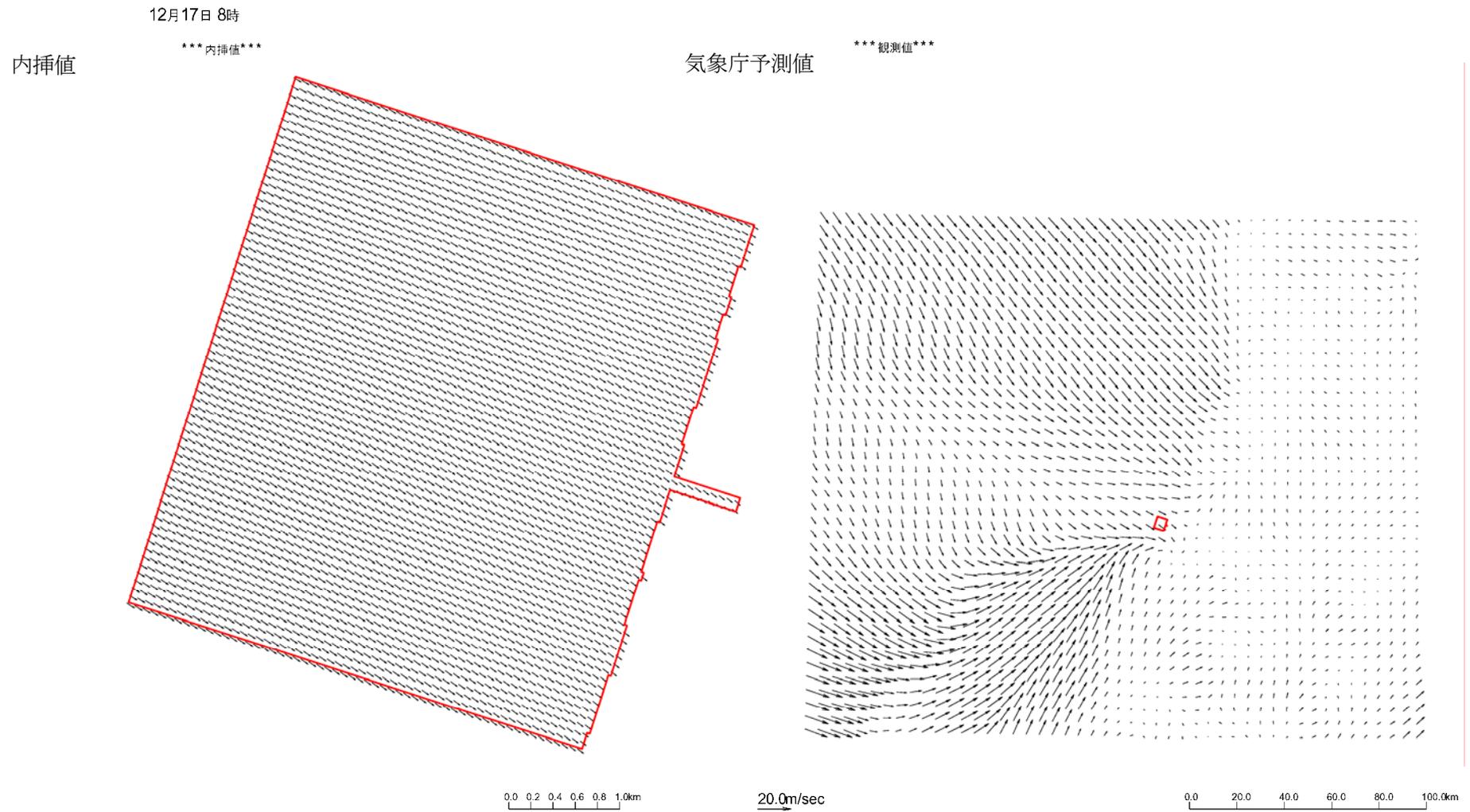


図 9(1) 風速ベクトル分布 (12月17日 8時)

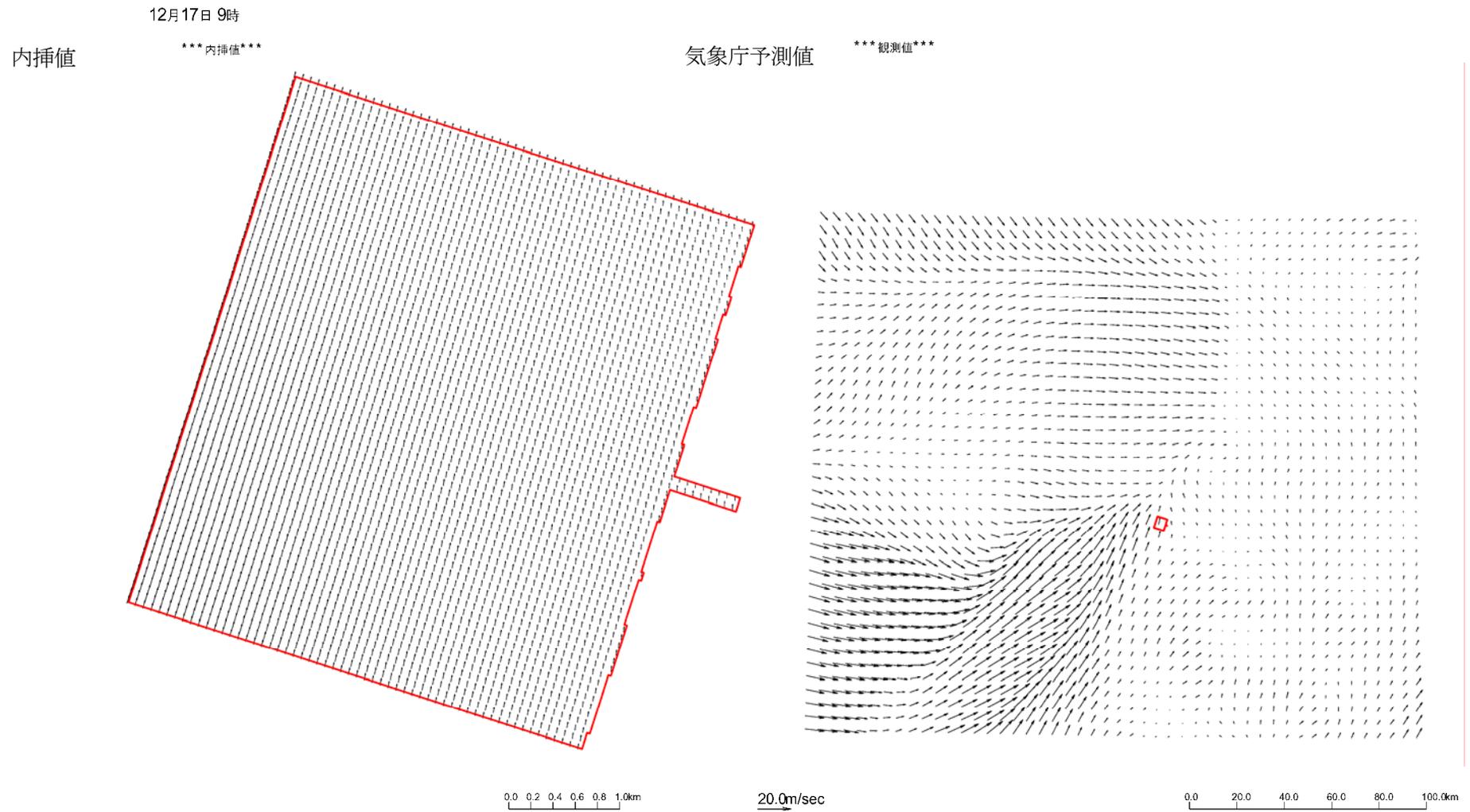


図 9(2) 風速ベクトル分布 (12月17日9時)