

その他の調査結果
（漂流シミュレーション調査）

1 解析モデルの概要

計算を行なう上で必要となる境界条件、使用した基礎方程式や入力データについて以下に示す。

(1) 基礎方程式

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)において回転系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化して、数値シミュレーションを行なう。

2 解析領域と格子分割

解析領域は伊勢湾と三河湾全体を含む範囲とした。水平方向の解像度は300mとし、水平方向の格子数は $224 \times 208 = 46592$ 個である。鉛直方向には3m間隔とし、最大10層に分割した。Fig 1に海底地形を示す。この海底地形データを作成するために使用したソースデータは、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したJ-EGG500である。また、海岸線の再現には海上保安庁が刊行する海図を使用した。作成されたデータの最小水深は2mと設定した。

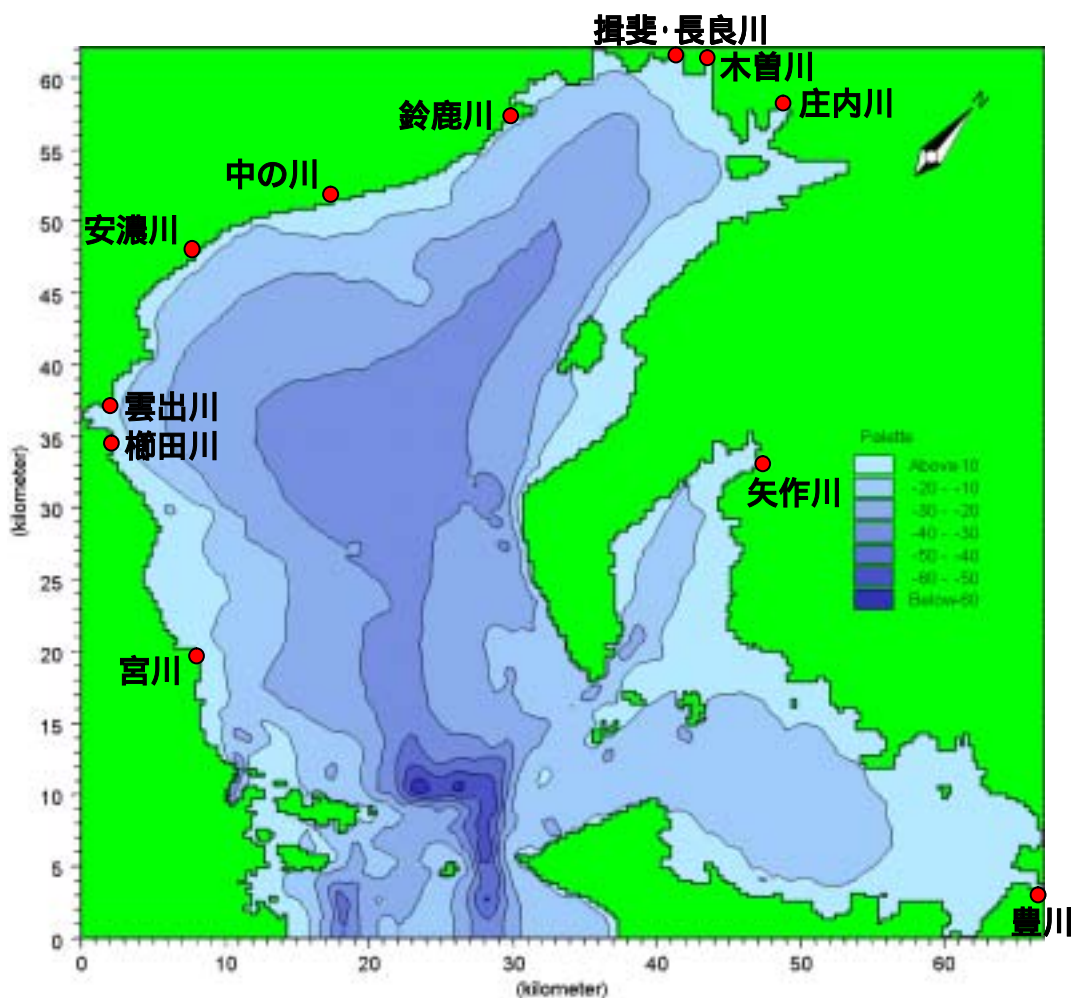


Fig.1 海底地形

3 海域流れの計算

3.1 計算条件

3.1.1 計算期間

計算期間は2008年1月1日~1月31日の1ヶ月間とし、3ヶ月の助走期間を与えた。

3.1.2 境界条件

1) 水位変動

開境界で潮位振幅の実測値を与えた。使用したデータは気象庁のWebサイトからダウンロードした1時間間隔の潮位の観測値である。この潮位データを東京湾平均海面(T.P.)基準に変換したものである。潮位データを Fig. 2 に示す。

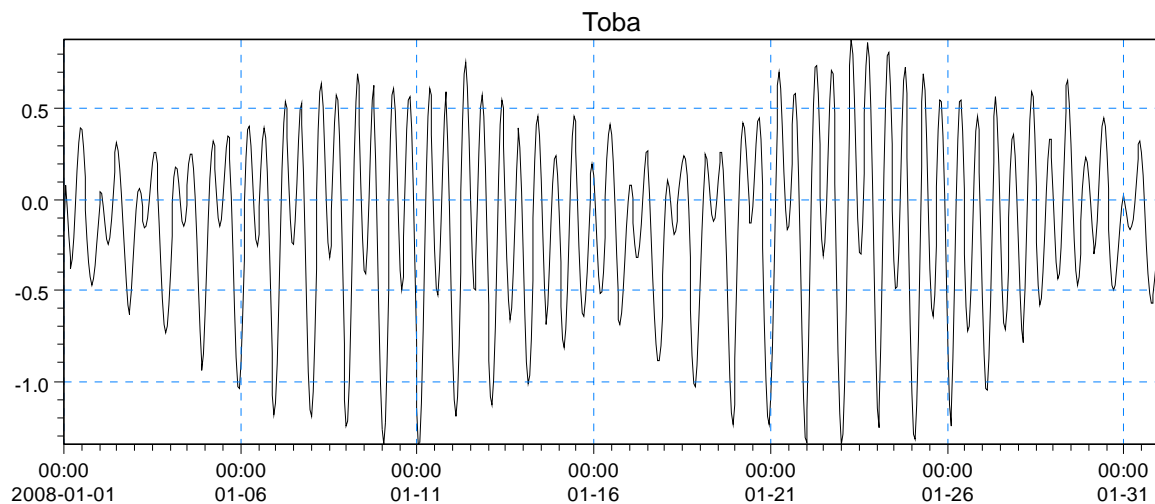


Fig. 2 鳥羽の潮位 (T.P.基準)

2)海面風応力

計算期間に対応する気象庁から提供されるメソ数値予報モデルの GPV データを計算領域内で空間補間して使用した。

3.1.3 河川流入条件

主要河川である庄内川、木曽川、長良川、揖斐川、鈴鹿川、雲出川、櫛田川、宮川、矢作川、豊川と今回放流実験を行った中の川、安濃川の 12 河川からの河川水の流入を考慮した。各河川の流量は 1999-2003 年の流量年表より 1 月の流量の平均値を求めて使用した。中の川、安濃川については平成 18 年度公共用水域測定結果表の年平均値を使用した。各河川の流量を表 1 に示す。

表 1 各河川の流量

	流量[m ³ /s]	流量観測所
庄内川	17.50	枇杷島
木曽川	116.97	犬山
長良川	78.90	墨俣
揖斐川	70.81	万石・高淵
鈴鹿川	3.93	高岡
中の川	0.90*	木鎌橋
安濃川	2.40*	御山荘橋
雲出川	4.16	大仰
櫛田川	5.38	両郡
宮川	18.86	岩出
矢作川	26.75	米津
豊川	12.05	当古

3.1.4 初期条件

関根 (1999) の 1 月の観測値をもとに、湾内全体で水温 10 、塩分 33.8psu を与えた。

3.1.5 初期流動場の計算

数値計算の安定性とモデルのスピンアップ計算のために3ヶ月の助走期間を設けた。助走期間中の潮位振幅は潮位表に掲載されている鳥羽の主要4分潮の調和定数から潮位を計算して与えた。また、風向および風速は気象庁のWebサイトからダウンロードした津における2007年10月1日から12月31日の1時間間隔の風向・風速データを平均化した値を使用し、助走計算中は一定とした。

3.2 計算結果

計算結果を以下に整理して示す。

3.2.1 流動場の計算結果

小潮の期間における流入と流出最強時の表層流速ベクトルと海面変位の水平分布図を Fig. 3 と Fig. 4 に示す。流入最強時は湾全体で湾奥へ向かう流れ、流出最強時には湾全体で湾口へ向かう流れとなっている。流速は湾口で強く0.5 m/s 程度であり、湾奥に向かって弱くなり湾奥では数 cm ほどの流れしか存在しない。

大潮の期間における流入と流出最強時の表層の流速ベクトルと海面変位の水平分布を Fig. 5 と Fig. 6 に示す。小潮の期間と同様に流入最強時は湾全体で湾奥へ向かう流れ、流出最強時は湾全体で湾口へ向かう流れとなる。流速は湾口部で1 m/s となり、湾後部でも0.1 m/s ほどの流れが存在する。

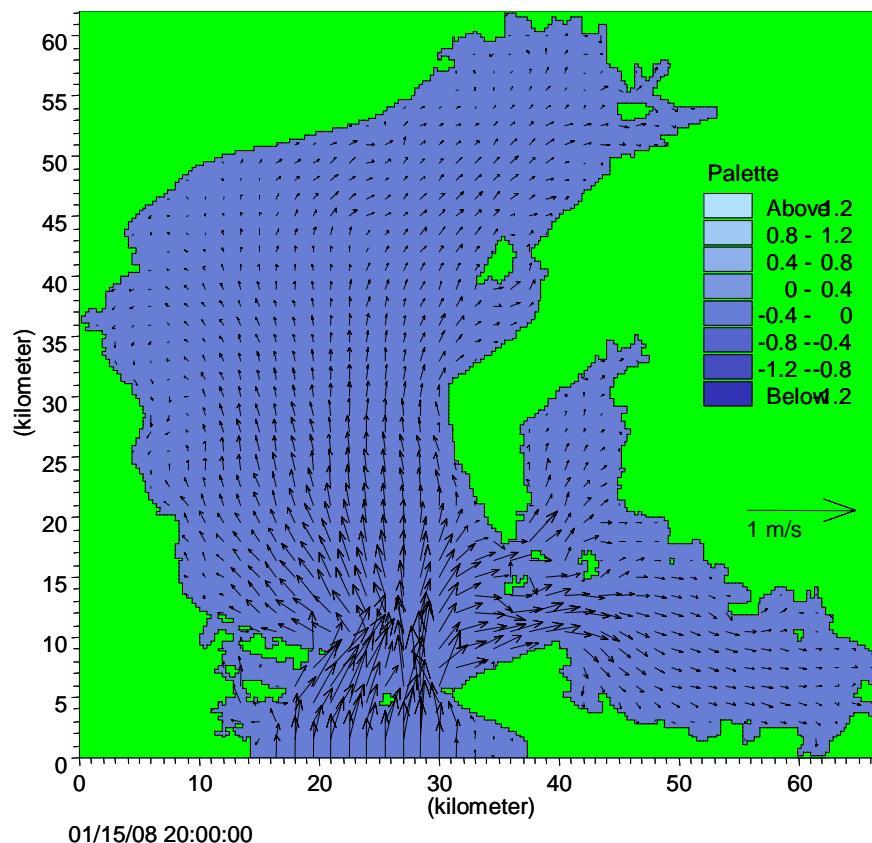


Fig. 3 小潮期間の流入最強時の流れと水位の水平分布図

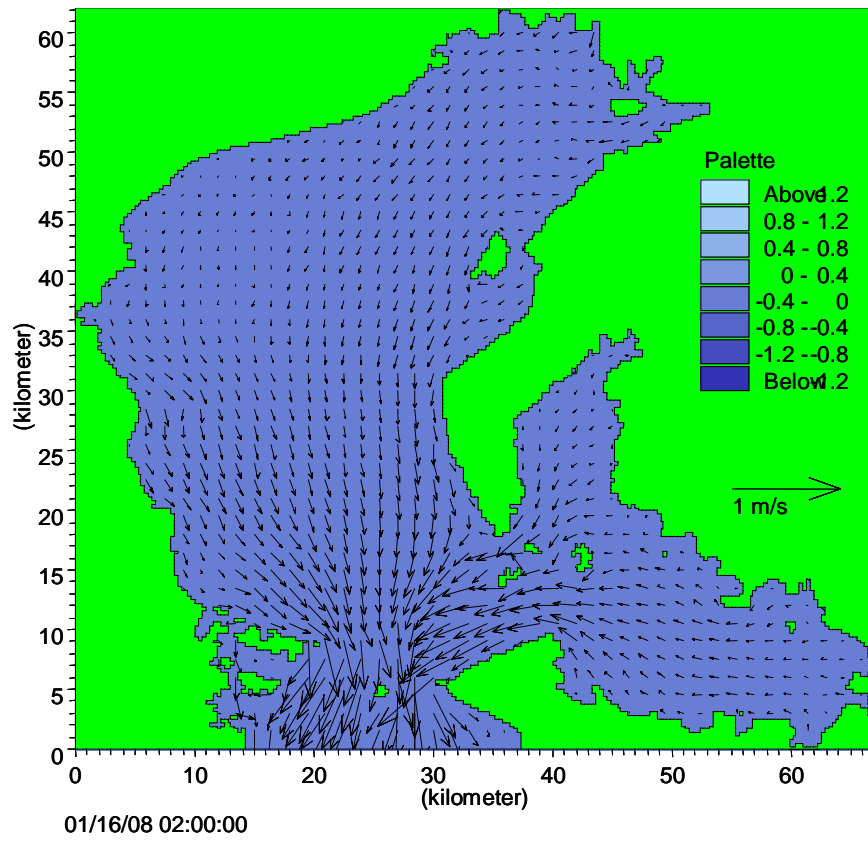


Fig. 4 小潮期間の流出最強時の流れと水位の水平分布図

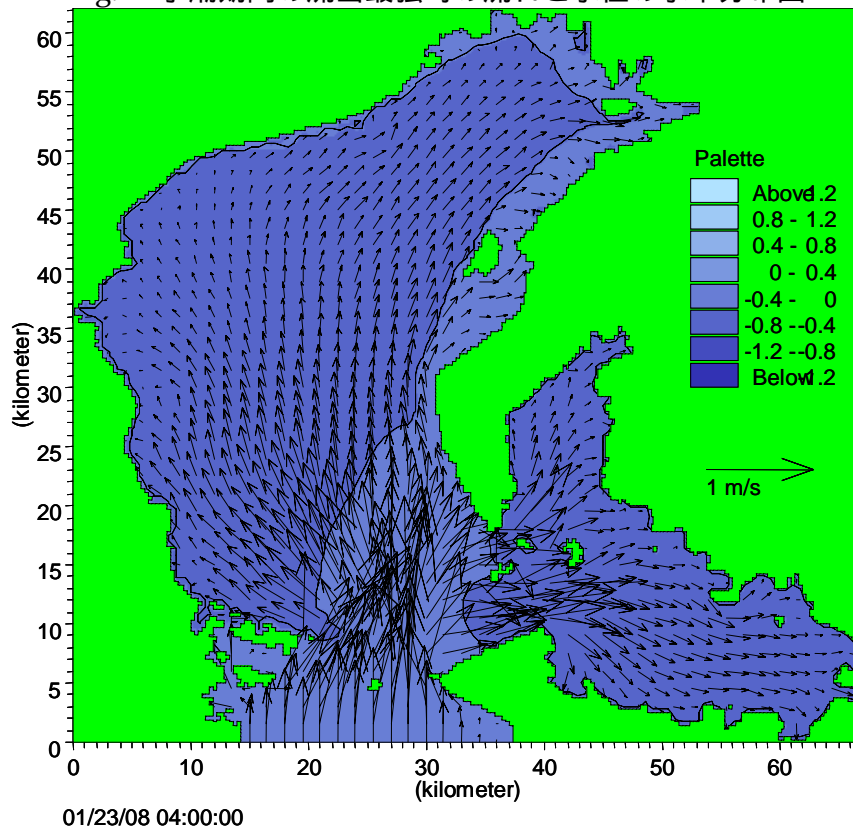


Fig. 5 大潮期間の流入最強時の流れの水平分布図

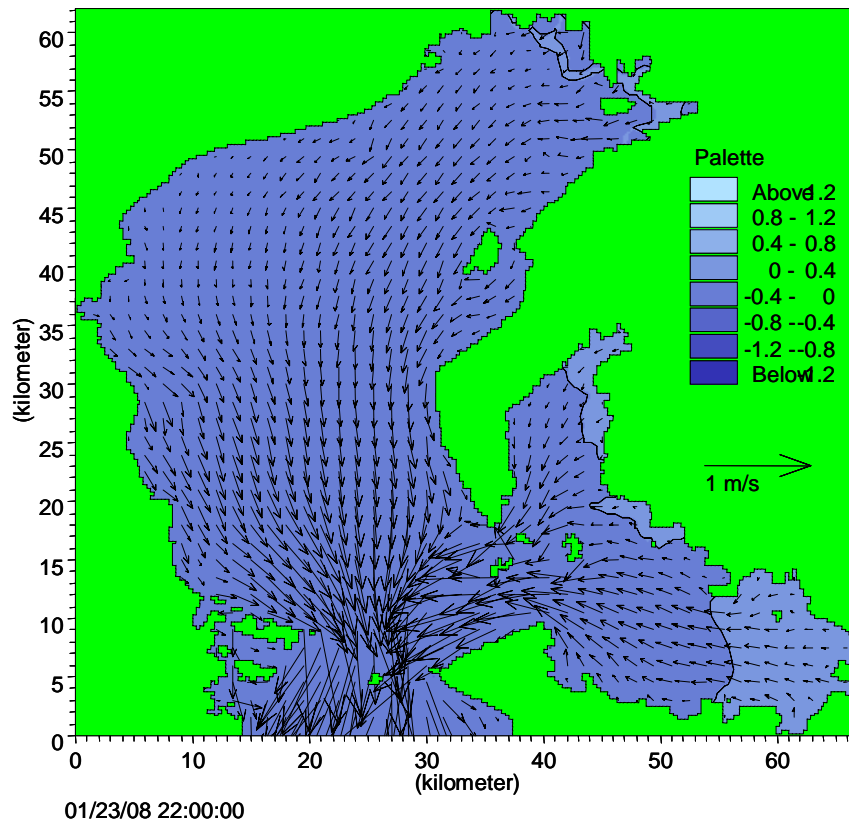


Fig. 6 大潮期間の流出最強時の流れの水平分布図

Fig.7 に計算期間 1 ヶ月平均した流速ベクトルの水平分布を示す。潮汐成分を除いた冬季の伊勢湾の恒流と考える。全体的に流れは弱く 0.1 m/s 以下となっている。湾口付近に時計回りと反時計回りの渦対が存在する。また、伊勢湾の西岸に沿って湾口に向かう流れが存在する。三河湾でははっきりとした流れが見られない。

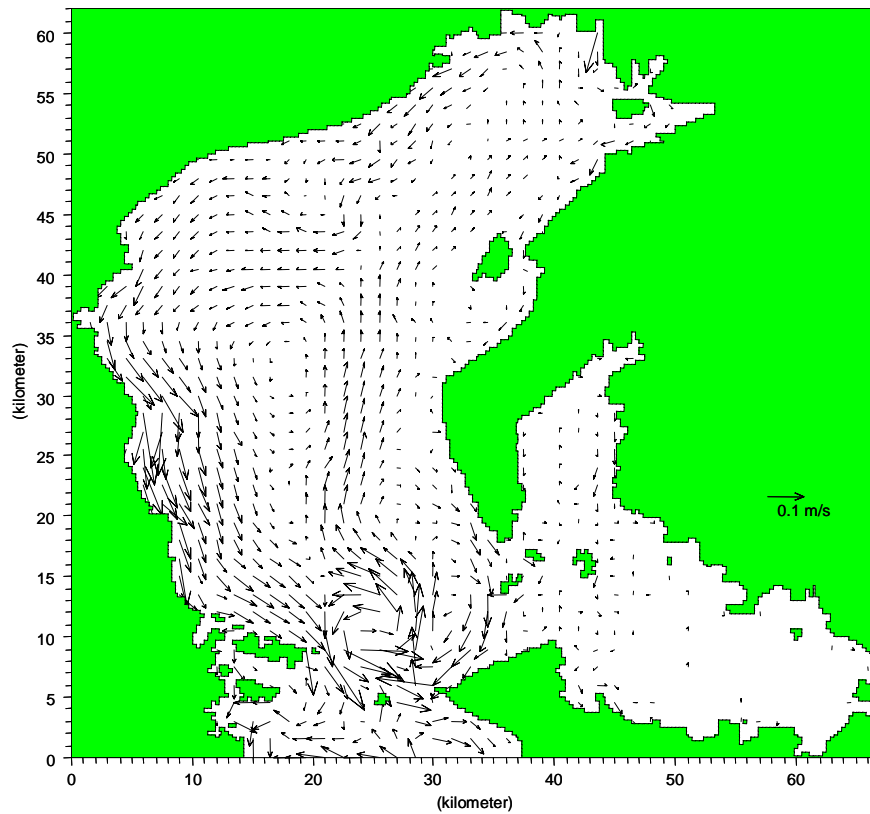


Fig. 7 1ヶ月平均した流速の水平分布図

3.3 漂流物の追跡解析

3.3.1 風圧流の解析

1) 流速

風圧流 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 と海面下面積 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、 とする。

K : 風圧係数。小田巻実(1986)¹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。

風速は伊勢湾の緯度、経度毎に与えられた時々刻々の値から漂流物位置の風速を求めることとする。風圧係数は小田巻実(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 として風圧流を解析する。

¹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

3.3.2 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の一様乱数、 K_h (m/s)は乱流拡散係数で Morales et al.(1997)²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)

なお、本来の拡散現象であれば、 R_i は平均ゼロ、分散1の正規乱数であるべきであるが、ここでは拡散現象の標準偏差 $\sqrt{2 \cdot K_h \cdot \Delta t}$ のみを利用し、 \pm 標準偏差の範囲でrandomに拡散する(確率密度関数一定)、いわゆるrandom diffusionとして扱っていることになる。九州大学応用力学研究所ではOil spill simulationでも同様のrandom diffusionの取り扱いとしている。また、参考のため示すと後藤(1983)³は津波による木材の流出の解析で同様の取り扱いを行っている。ただし、random diffusionによる移動の範囲は $\pm 0.5 \times$ 標準偏差の範囲としている。

3.4 漂流物の追跡結果

漂流物追跡解析はアルゴスボトル、携帯ボトル、生分解性ボトルの3ケースを実施した。なお、漂流物は表4.2に示す時間および場所に各河川でアルゴスボトル1個、携帯ボトル1個、生分解性ボトル100個投入している。

表 4.2 放流試験の概要

番号	河川名	放流日	放流時刻	緯度	経度	風向	風速	備考
1	木曾川	平成20年1月7日	06:40~06:49	35-01-56.9	136-44-22.6	北北東	2.1m/s	右岸河口部より放流
2	鈴鹿川	平成20年1月7日	07:50~08:05	34-55-51.4	136-38-50.0	calm	0.4m/s以下	右岸河口部より放流
3	中の川	平成20年1月7日	09:10~09:15	34-48-13.6	136-34-14.0	北北西	1.2m/s	右岸河口部より放流
4	安濃川	平成20年1月7日	06:45~07:00	34-43-46.9	136-31-46.0	西	0.4m/s以下	右岸河口部より放流
5	櫛田川	平成20年1月7日	08:05~08:15	34-36-13.6	136-34-09.8	南東	0.4m/s以下	左岸河口部より放流

² 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

³ 後藤智明(1997); 津波による木材の流出に関する計算、第30回海岸工学講演会論文集

計算に使用した GPV の地上の風を Fig.8 に示めす。

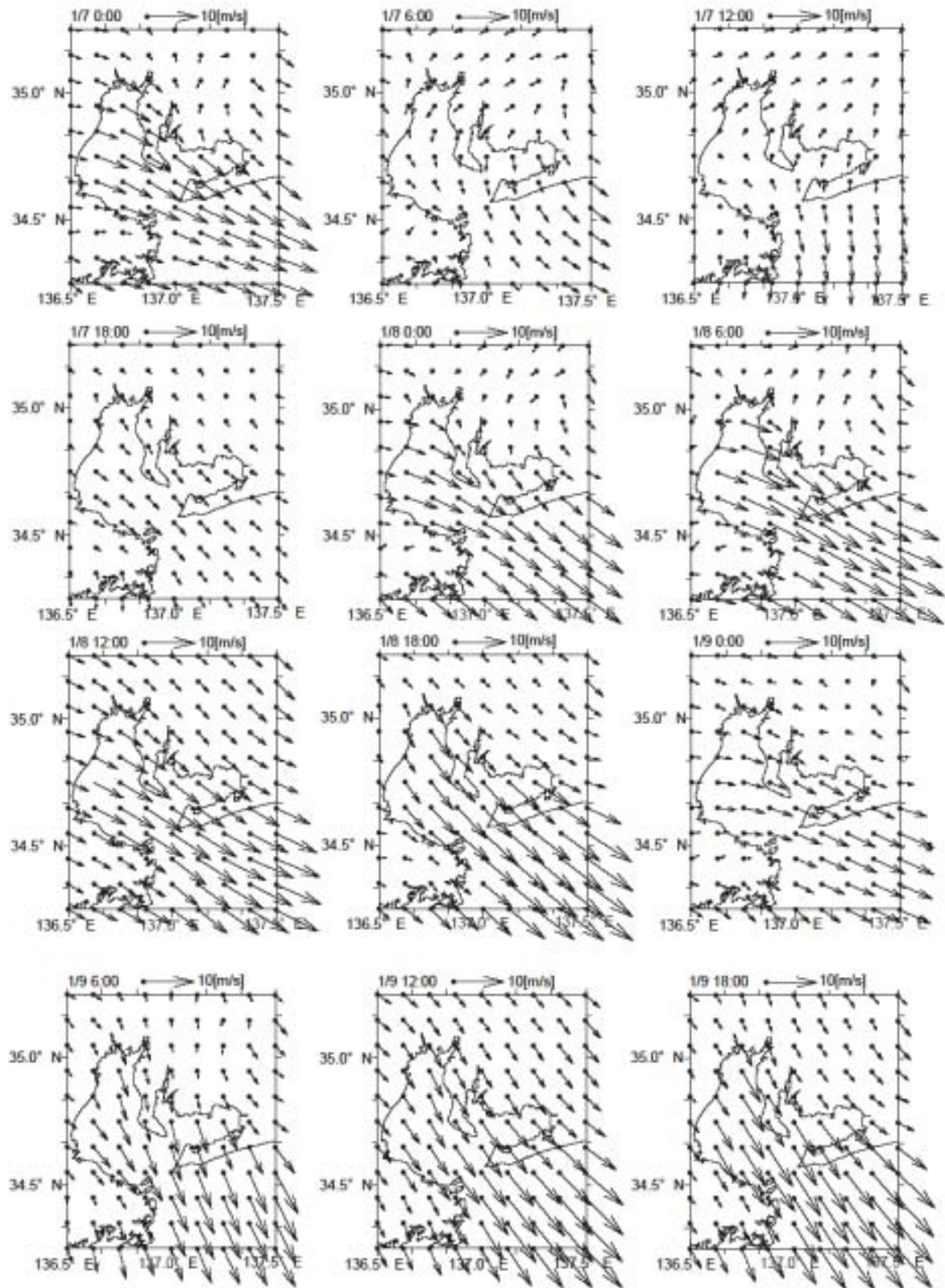


Fig.8(1)伊勢湾の風の時間変化

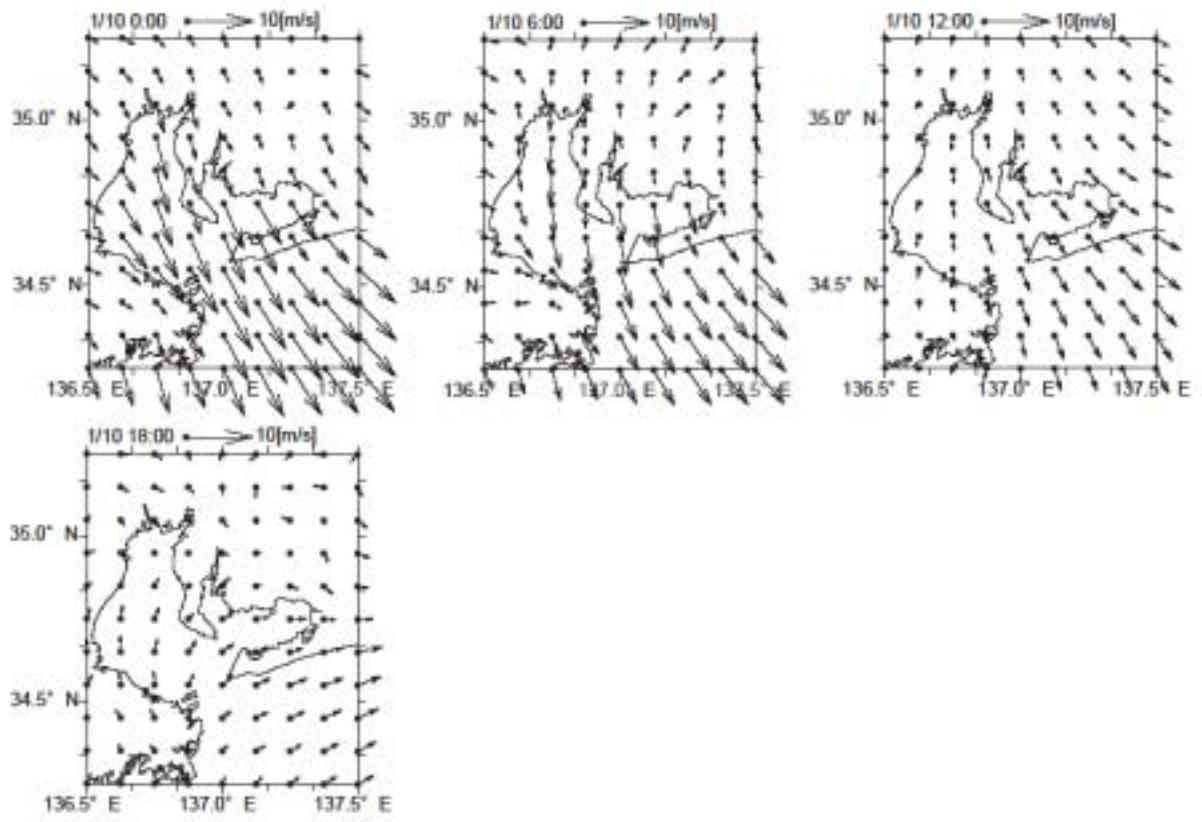


Fig.8(2)伊勢湾の風の時間変化

Fig 9 と Fig.10 にアルゴスボトルと携帯ボトルの漂流経路を示す。

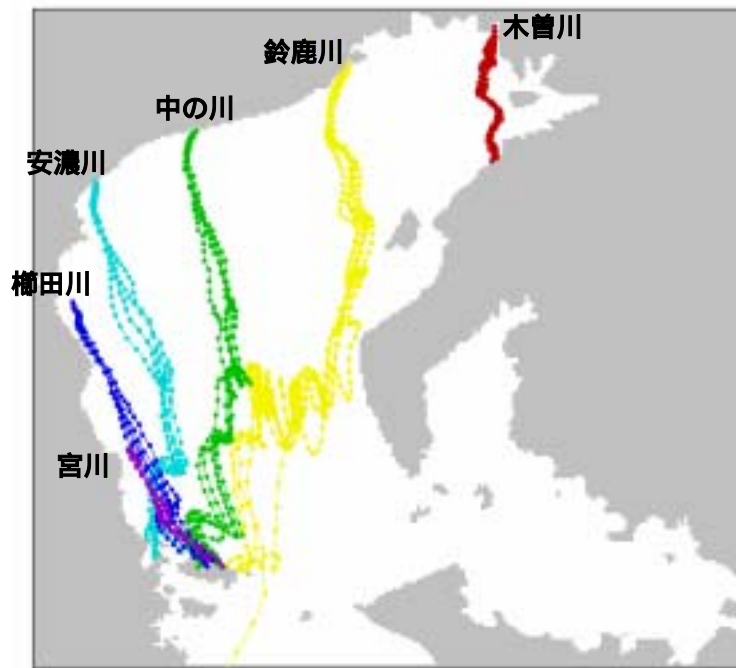


Fig. 9 アルゴスボトルの漂流経路

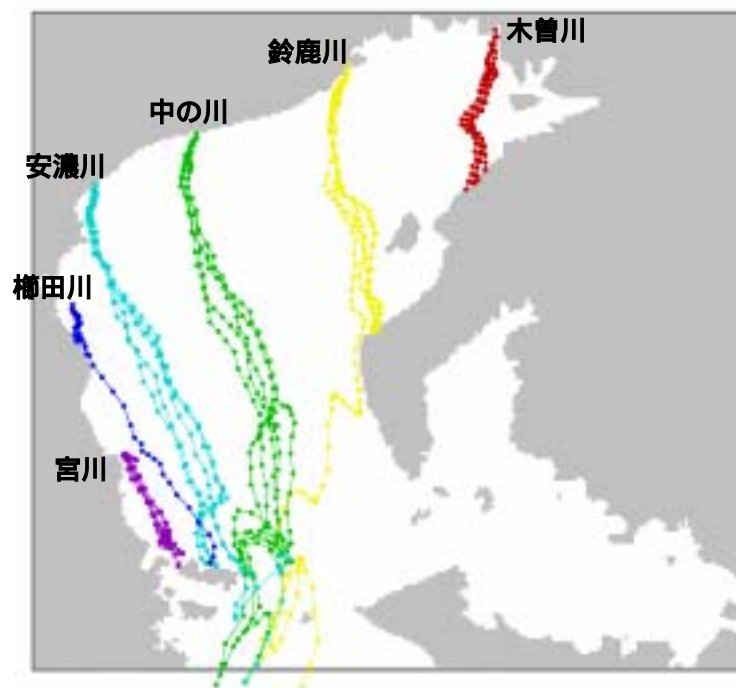


Fig. 10 携帯ボトルの漂流経路

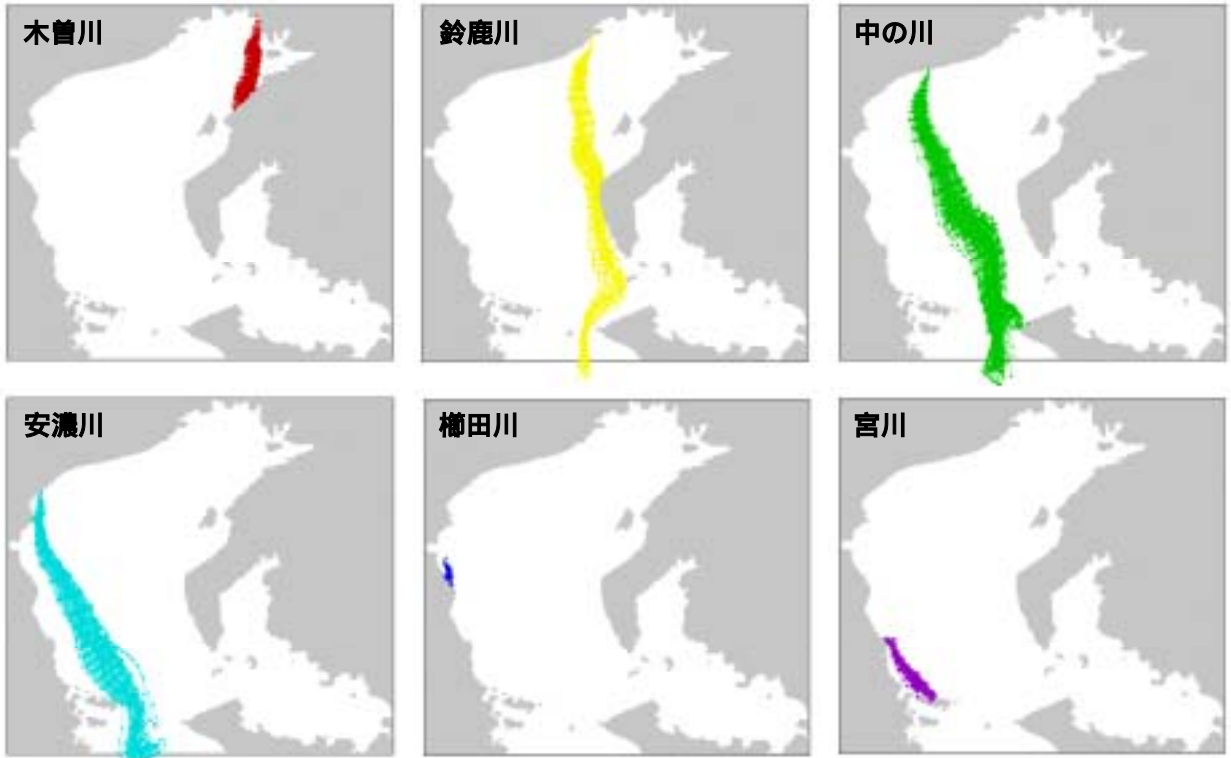


Fig. 11 生分解性ボトルの漂流経路