

# 伊勢湾とその沖における海洋循環

## Ocean Circulation in- and off Ise Bay

関根 義彦  
Yoshihiko SEKINE

### 1. はじめに

伊勢湾の平均水深は18mで比較的浅く、東京湾や大阪湾と比較して木曾三川に代表されるように河川水の流入が多い特色がある。今までに伊勢湾内外の水温、塩分および流速場などの海洋構造及び生物学的あるいは化学的観測が行われ、1985年以前の研究のまとめが宇野木(1985)、西条ほか(1985)、山路(1985)などにみられる。伊勢湾と東京湾の海水交換には著しい季節変化があり、東京湾と比較して伊勢湾は海水交換が大きいことが示されている(宇野木・岸野, 1977; 宇野木, 1980; 中田ほか, 1985)。また、伊勢湾は三河湾の存在のため東京湾や大阪湾のような一つの湾ではなく、より複雑な地形構造をしている(図1a)。

ここでは伊勢湾とその沖の海域の海洋循環に注目し、それに関連する水温・塩分・密度分布の季節変動について論じる。しかし、流れや水温などの分布には著しい経年変動があり、季節変化の平均像を議論するにも注意が必要である。例えば、1990年11-12月に三重大学の練習船『勢水丸』を用いた伊勢湾口のフロントの観測では、台風28号の到来前後のわずか3日の間に海況の大きな変化がみられた(関根ほか, 1992)。特に台風に伴う河川水の流出で湾奥部の低塩分化が著しく、低塩分水が幾つかの塩分躍層を形成しながら沖側に拡散していく過程が観測された。台風などの大きなイベント的現象の影響が伊勢湾の季節変動には顕著であることに注意が必要である。

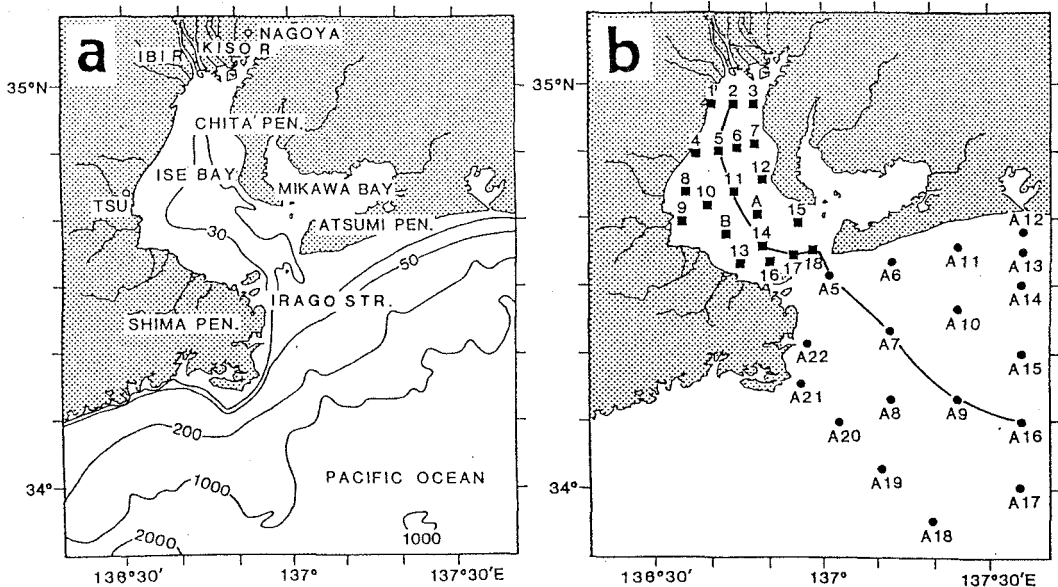


図1 (a) 伊勢湾の水深(m)と(b)三重県の水産技術センター(■)と愛知県水産試験場(●)による定期観測点の分布。(b)の中央部の実線は図2の鉛直断面の位置を示す

## 2. 伊勢湾内外の水温・塩分・密度の季節変化

伊勢湾およびその沖の海域については三重県の水産技術センターや愛知県水産試験場による定期的な観測がある(図1b)。1985年から1989年の観測データを用いた伊勢湾中央部の水温・塩分・密度の月別平均鉛直分布を図2に示した(Sekine and Mizutani, 1993)。冬季には海面冷却による鉛直混合で比較的水深の大きい湾口部では一様な温度となるが、浅い湾内では海底にやや高温水が残る。塩分の鉛直季節変化からも推定できるように、この湾内底層の高温水は外洋からの高塩分水に対応していて、冬季の海面冷却期でも海面近くの低塩分水の影響で密度成層が残ることに起因する。これに対して海面近くの低塩分水の影響が比較的小さい湾口域では冬季の海面冷却に伴う鉛直混合で密度も鉛直に一様になる。

夏季には季節水温躍層が生じる。4月は鉛直一様に近い冬のパターンであるが、5月に季節躍層の形成を伴う夏のパターンに急変する。また、5月には海面水温の水平勾配があるが6月に海面水温は湾内と外洋域で一様になる。それ以降季節水温躍層の発達が進み、9月に海面水温は最高となる。しかし、10月に急激に鉛直混合が始まり、冬季の水温分布パターンに近くなる。外洋域では季節水温躍層が50m以深で11月まで残っており、12月には混合層の発達で70m以浅は水温一様となる。冬季に湾内部が $10^{\circ}\text{C}$ 程度であるのに対し、外洋は $15^{\circ}\text{--}16^{\circ}\text{C}$ であり、 $5^{\circ}\text{C}$ を越える水平水温差が生じる。

冬季の湾内部の塩分は上層に31psu以下の低塩分水があり、海底近くには33psuの高塩分水がある。冬季の湾口部では塩分が鉛直方向に一様であり、外洋から34.5psuを越える高塩分水が伊良湖水道まで接近している。4月より河川水の張り出しに伴い河川水フロントが湾奥より徐々に形成される。河川水の張り出しに伴う低塩分水の厚さは高々10mで、25psu以下の顕著な低塩分水はほぼ5m以浅に限定される。

夏季の低塩分水の影響は湾口から外洋域におよび、33psu以下の低塩分水が伊良湖水道沖のA7の観測点(図1b)あたりまで張り出す。また、20m以浅では34psu以下の海水がA16あたりまでを被い、伊勢湾内部の低塩分水の影響を受けた海水が外洋部に広く拡散していることがわかる。この様子を明確に見るため、海面塩分分布を図3に示した。夏季には32psu以下の湾内の低塩分水が外洋に張り出している。図3に示した海面塩分の標準偏差では7月には伊良湖水道沖で4–2psuの大きい値となり、低塩分水の分布には経年変化が存在する。また、夏季の湾奥は15psu以下の河川水で海面は覆われ、それより塩分値の高い20psu以下の低塩分水は主に三重県側に存在する。反対に25psu以上の相対的に高塩分水が知多半島沿いに存在し、24–26psuの等塩分線は湾内でS字形になる。また、夏の湾内の塩分分布の標準偏差も5psuを越え、河川水フロントの湾内分布にも経年変化が顕著であることが示唆される。冬季には34.5psu以上の黒潮系の外洋水が伊良湖水道の近くまで接近する(図3)。夏季には34psuの等塩分線がはるか沖のA17(図1b)まで移動する点を考慮すると、伊勢湾からの低塩分水の外洋への拡散は夏季は顕著であるが冬季は小さいことが示唆される。

図2の密度の鉛直分布では湾内では概ね塩分に、伊良湖水道およびその沖では塩分と水温の両方に依存することがわかる。1月の湾内部の水温場では水温の鉛直逆転が見られたが、密度の逆転は生じていない。密度の極大域が1月に伊良湖水道でみられ、高温高塩分の外洋水と低温低塩分の沿岸水が混合することで重い海水が生じ、熱塩フロントの形成が示唆される。7月に顕著な河口フロントが形成され、10月以降に生じる河口フロント消滅による低塩分水の鉛直移流拡散が湾内外の海洋構造の季節変化に大きな影響を及ぼすことが示唆される。

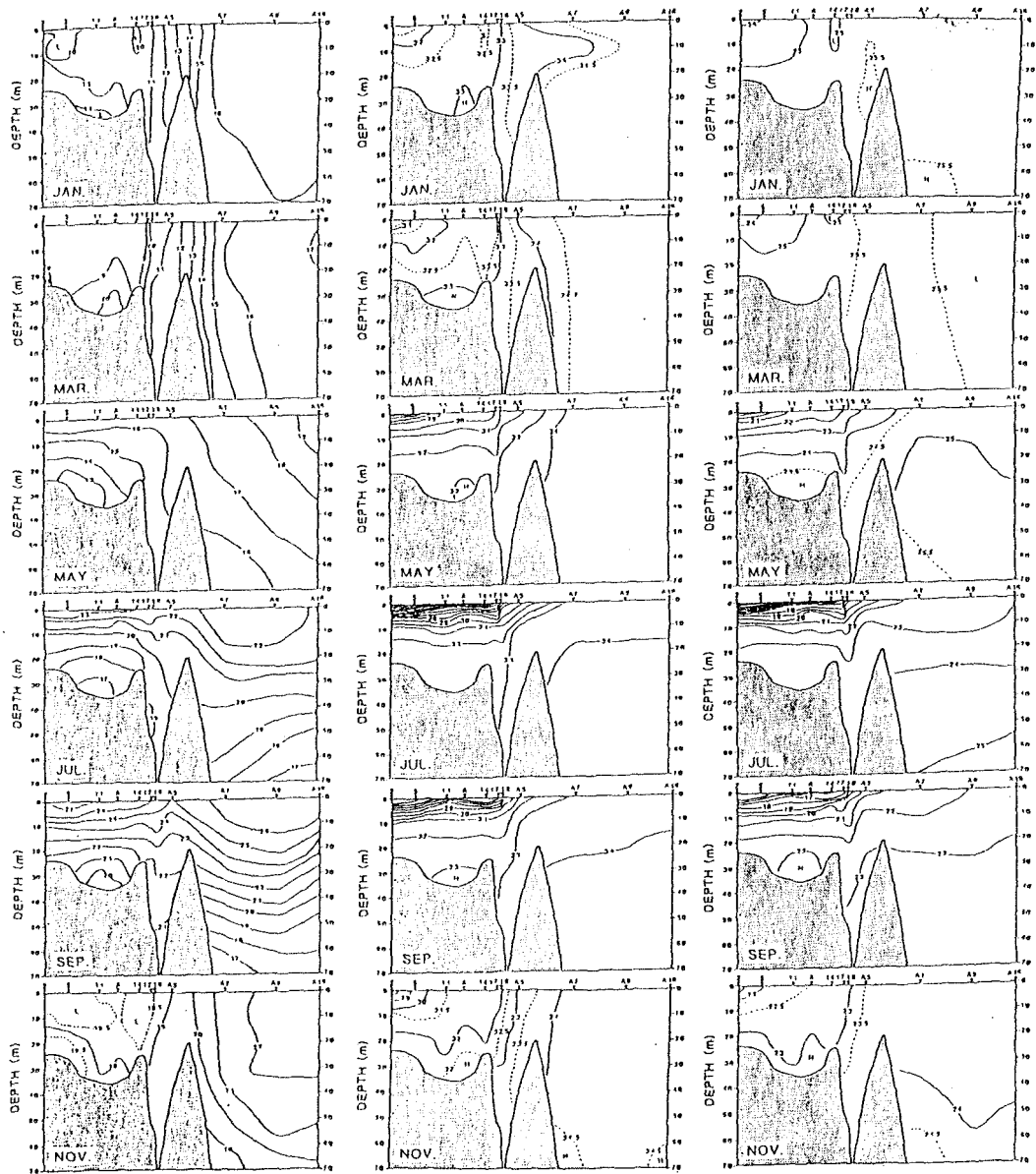


図2 伊勢湾中央部(図1 bの実線)に沿う水温( $^{\circ}\text{C}$ )(左図), 塩分(psu)(中図)および密度( $\sigma_t$ )の1985年から1989年までの月別平均鉛直分布(Sekine and Mizutani, 1993).

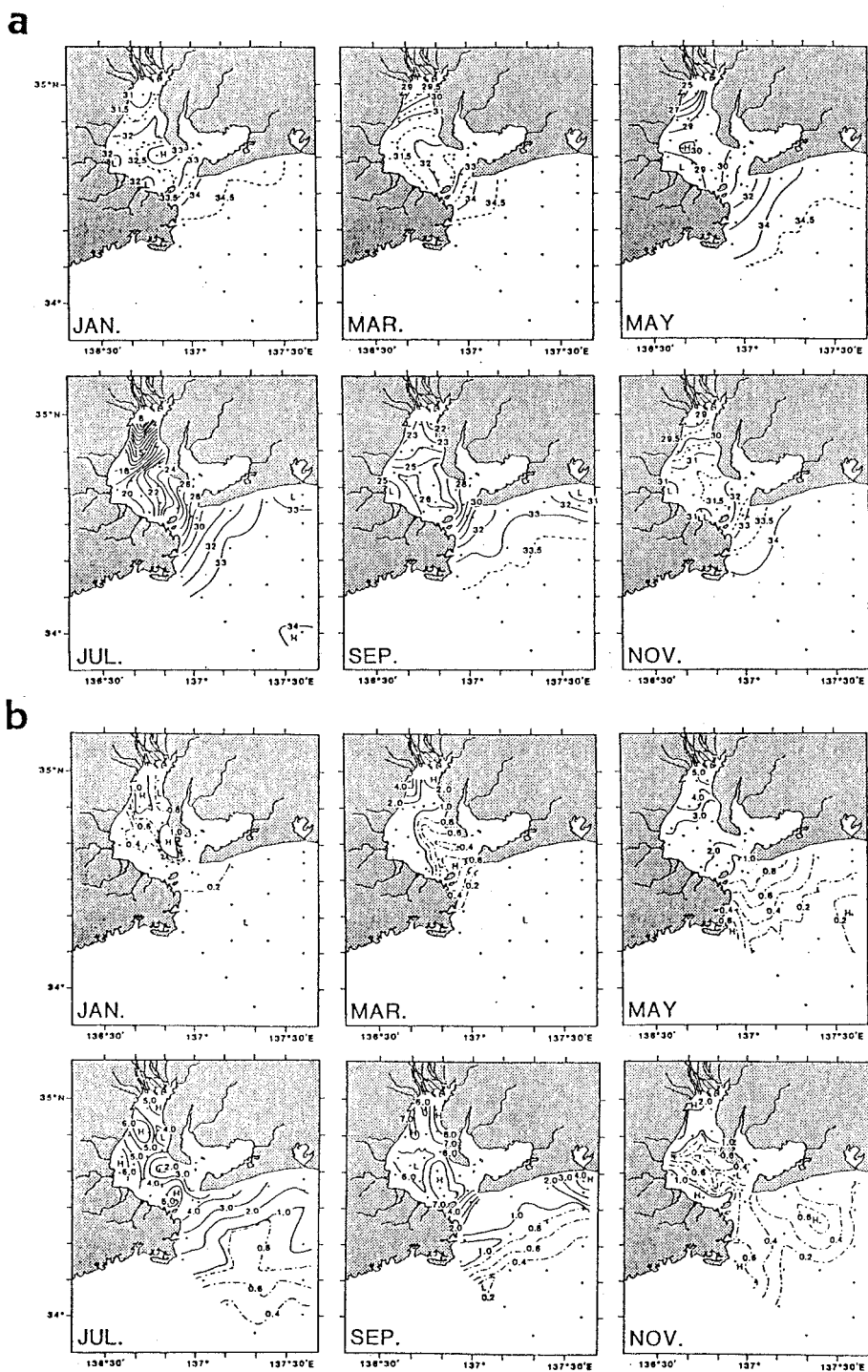


図3 (a) 伊勢湾とその沖の表面塩分値(psu)の1985年から1989年までの月別平均分布と(b) 平均値からの標準偏差 (Sekine and Mizutani, 1993).

### 3. 伊勢湾内外の循環の季節変化

水温や塩分などの分布に比較して流速場の過去のデータは相対的に乏しく、季節変動を明確にすることは不可能である。近年音波のドップラー効果を利用するADCPによる流速測定が頻繁に行われるようになり、流速データは徐々に蓄積されつつある。しかし、流速の観測値には潮流の成分が大きく含まれるため、観測データの潮時や大潮・小潮間の差異など考慮すべき問題が多くデータの取り扱い方に問題が残る。

従来より伊勢湾内には図4に示すような3つの循環が夏季に存在することが知られている。佐藤(1996)は過去のデータを集積し、図5aに示す区分域で日平均流を求めた。湾奥部には図4に示した時計回りの循環がみられるが、それ以外の領域では成層の強い時期と弱い時期とで大きく異なる流れが示唆される。彼はこの図より流線関数を計算し(詳細は佐藤, 1996参照)、密度成層の形成期(5月から9月)にかけては図4とほぼ共通する流れのパターンとなるのに対し、密度成層の弱い期間では循環の流量が小さく流れは不明確で、知多半島沖の比較的強い流れは陸から生じる形になっており、3次元的な流れの構造を示した。図6に示した1月の平均水温では知多半島沿いに低温水の存在があり、北西の季節風で生じた知多半島沿いの沿岸湧昇であることが示唆される。

今までに幾つかの数値モデルを用いた研究がある。図7は柳ほか(1998)による1996年7月の水温や塩分の観測値を基礎とする流れの診断モデルの結果である。5m以浅の上層の湾中央には時計回りの高気圧循環、伊良湖水道を少し入った湾口には反時計回りの低気圧循環がある。図4の湾奥の時計回りの循環①は不明確であるが、湾中央の時計回り循環②と湾口の反時計回りの循環③はよく再現されている。図7の下層の流れでは湾中央の上層で時計回りの循環②

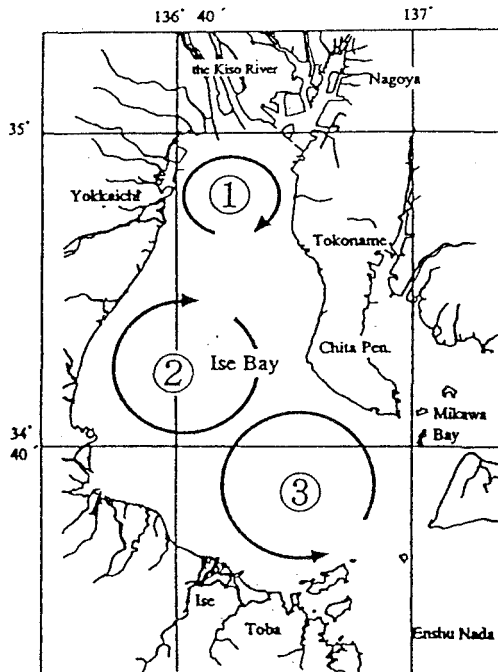


図4 伊勢湾の上層循環の模式図(佐藤, 1996).

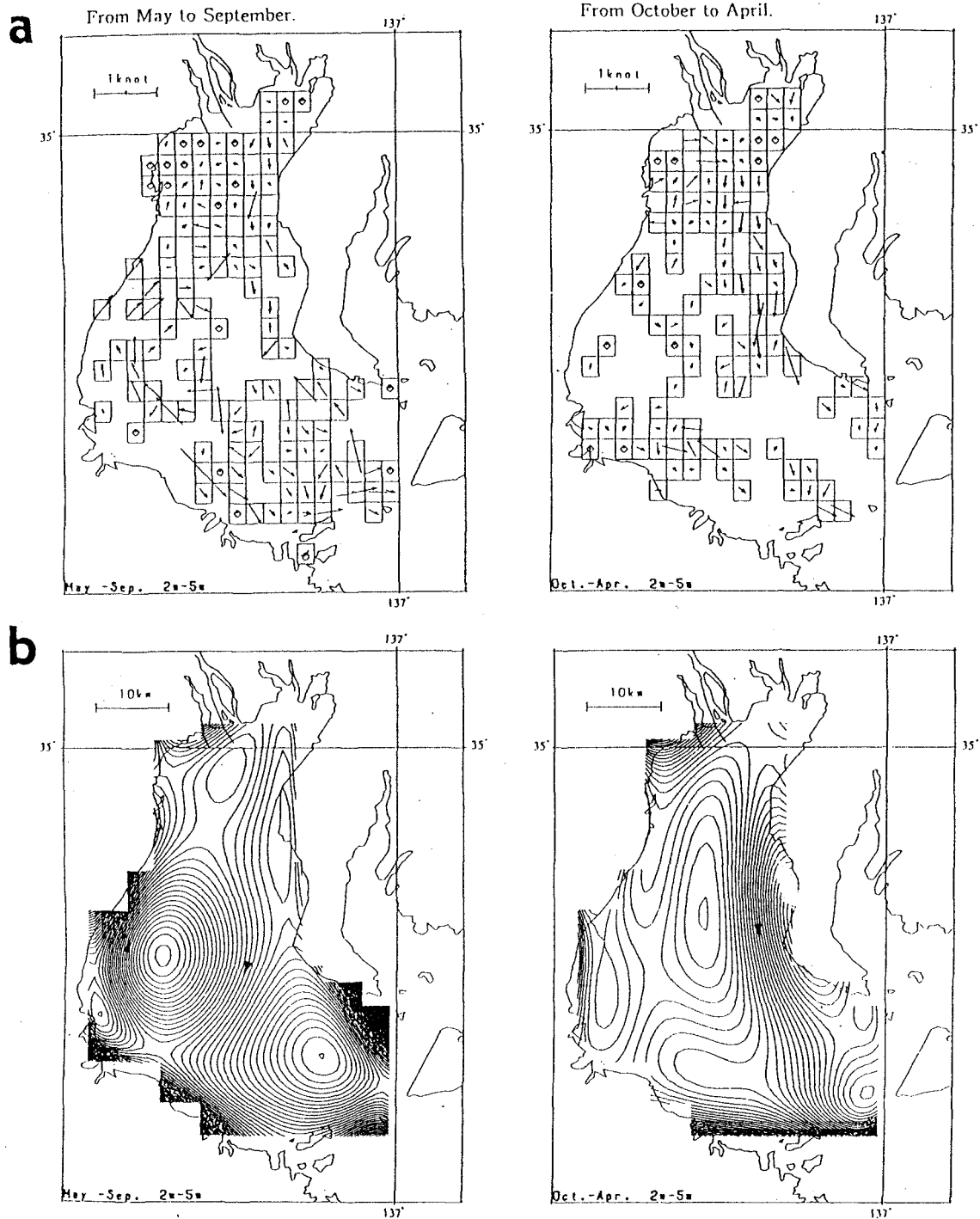
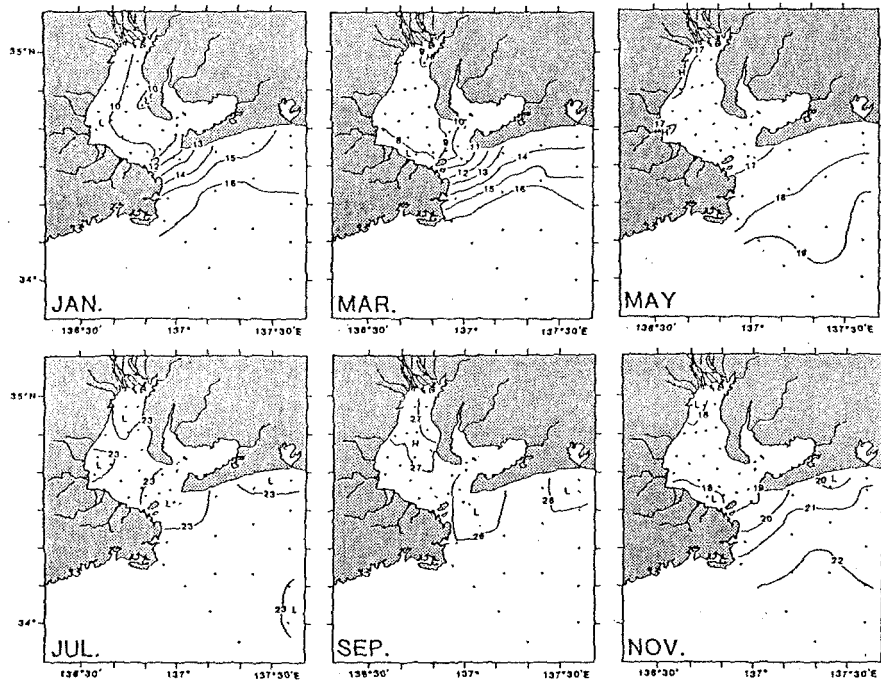


図5 (a) 伊勢湾の各メッシュでの流れの観測値の平均、(b)流れの平均値(a)から計算した流線関数. 等値線の間隔は(0.1kmknot)(佐藤, 1966).

a



b

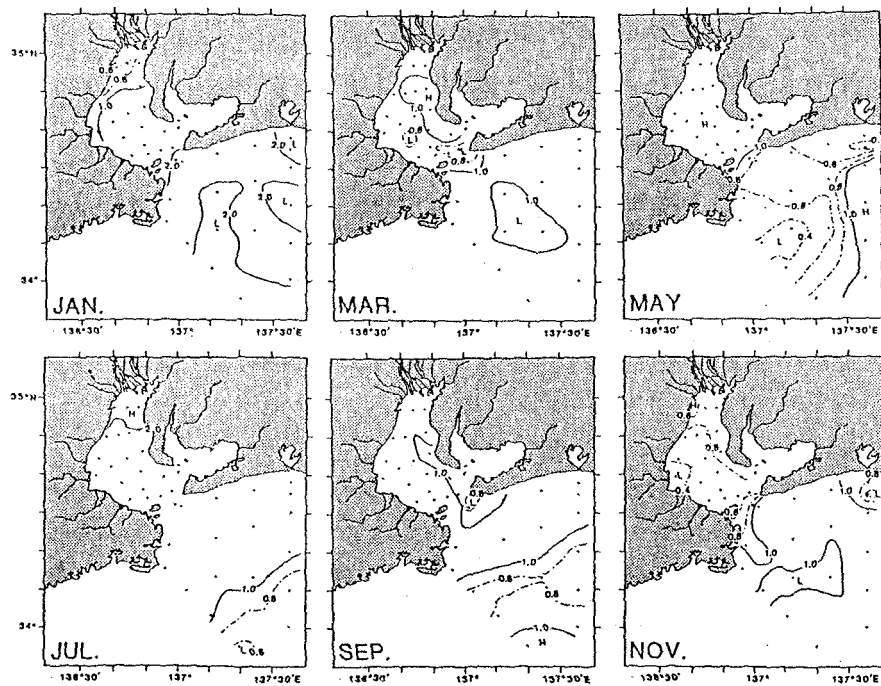


図6 (a) 伊勢湾とその沖の表面水温値( $^{\circ}\text{C}$ )の1985年から1989年までの月別平均分布と (b) 平均値からの標準偏差 (Sekine et al., 1992).

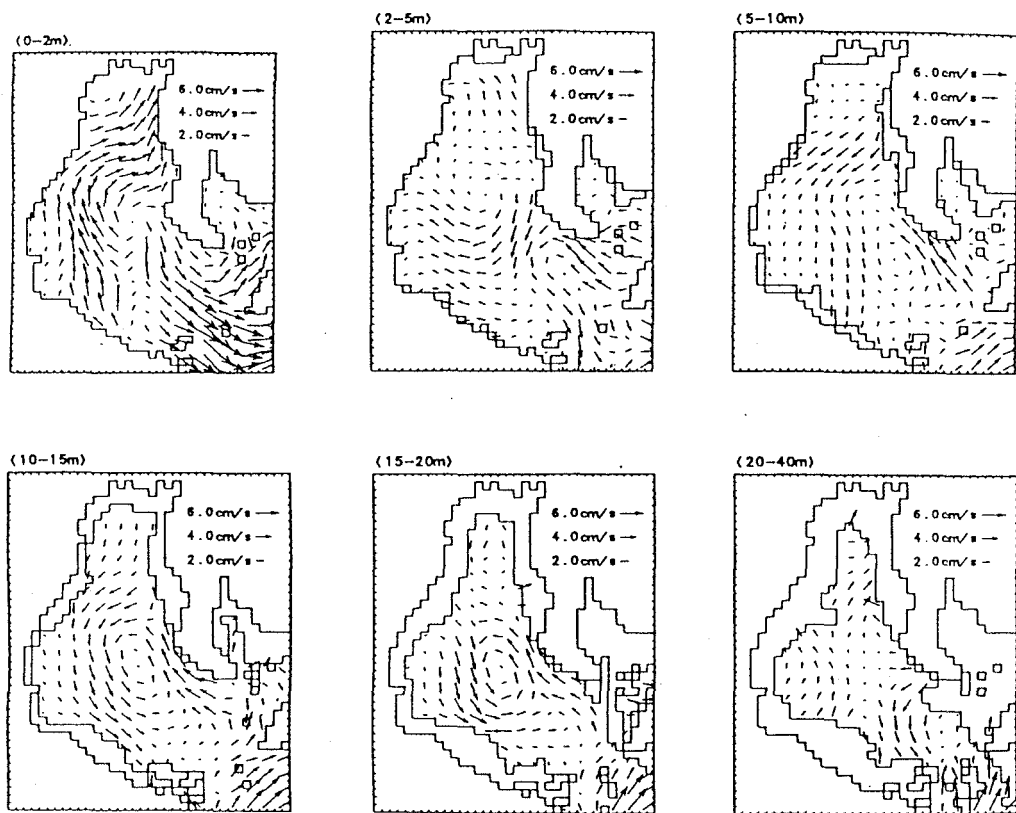


図7 柳ほか(1998)による診断数値モデルの結果

が反時計回りになっており、湾口の反時計回りの循環③は同じ反時計回り循環となっている。②の上下で反対方向の回転は内部密度構造の変化に伴うもので(例えば杉山ほか, 1994など)、③の同じ方向の回転はこの反時計回りの循環が伊良湖水道周辺の半島などの地形効果による潮汐残差流であることが示された。

#### 4. 伊勢湾の外洋との海水交換

図2より湾内の低塩分水が伊良湖水道を通して外洋に張り出している可能性が示された。図3に示した塩分の水平分布によると、冬季には34.5psu以上の外洋水が比較的伊勢湾に接近するものの夏季には32psu以下の低塩分水が伊良湖水道を越えて湾外に張り出している。1995年5月に三重大学の勢水丸を用いて志摩半島と浜名湖沖を結ぶ線上でCTDによる観測を行ったが、A7の観測点(図1b)あたりまで志摩半島側から32psu以下の海水が水深5m以浅で張り出している様子が観測された。

図8は1995年10月24日に三重大学の勢水丸を用いて行ったADCPによる流速分布である。湾外では1msec<sup>-1</sup>を越える大きな西向きの流れが観測された。伊良湖水道では50cmsec<sup>-1</sup>を越える伊勢湾内に入る潮流が観測された。佐藤ほか(1994)は1993年8月に伊良湖水道のADCPの往復観測を行い、顕著な伊良湖水道を通過する潮流を観測している。彼らはADCP流速データの時空間分布の解析を行い、潮流が流下方向に大きくなる特徴を指摘した。未だに流速

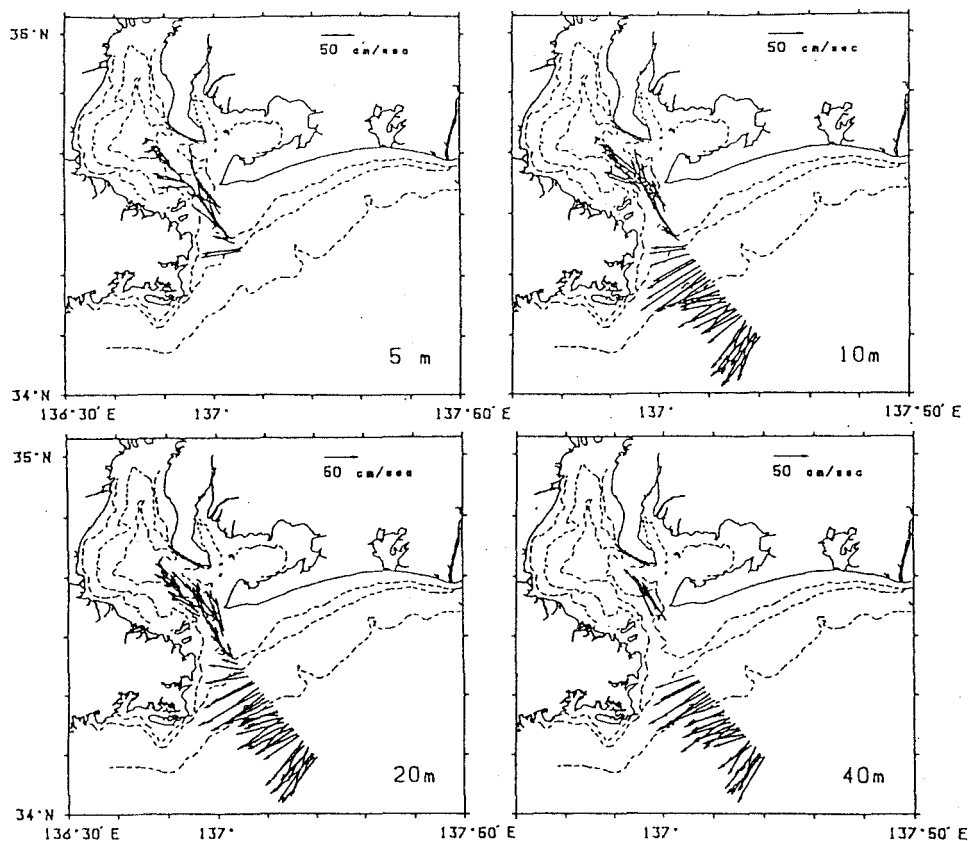


図8 1995年10月24日に三重大の「勢水丸」がADCPで観測した流速分布

観測は不十分であるが、これらの潮流は往復流ではあるが上げ潮と下げ潮で非対称であり、伊勢湾の海水交換に大きな寄与をしている可能性が高い。

伊良湖水道を通過する潮流の海水交換量の定量的な議論はデータの不足より現段階では不可能である。今後、伊良湖水道周辺で多数点における流れの直接測流や化学量・生物量の季節変化や大潮・小潮などの流速変化などを考慮して観測を行うことが必要である。特に伊勢湾の場合、湾口の伊良湖水道の主要部が航路になっており、航路内では船舶の頻繁な通行から規制があり、水温や塩分の観測すら容易にできないという現状にある。伊勢湾内水と外洋の海水とが接する海洋現象のキーポイントともいべき海域が航路内にあるのは大きな問題である。もう一つの大きな問題は伊勢湾内を観測船で調べる場合、船のスクリューの回転の影響で鉛直拡散が生じ、海洋上層の水温や塩分の躍層が大きく乱れる場合がある。量子力学の不確定性原理のような原理が海洋観測にもあてはまることが示唆される(関根,1995)。図9は1990年7月に伊勢湾内で三重大の練習船「勢水丸」が3m深の水温をゆっくり走りながら観測中に船の前を別の船舶が横断した時の水温の空間変化である。図2の水温分布からも推量されるようにスクリューの回転で下層の低温水との鉛直混合が生じ、3メートル深の水温が $4^{\circ}\text{C}$ も低下している。沿岸海域の水温や塩分などの観測は一考が必要となる。

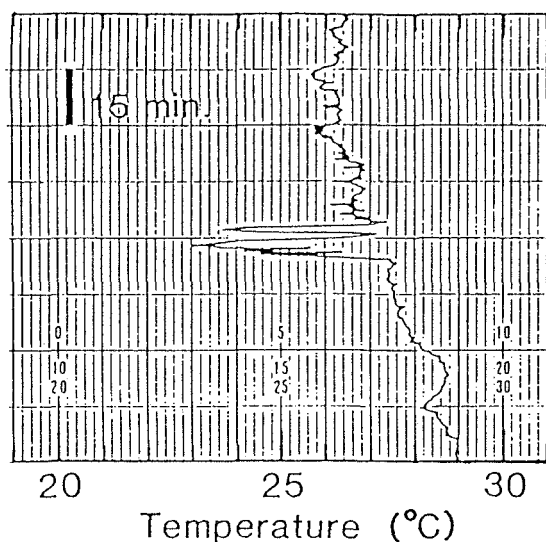


図9 1990年7月20日の伊良湖水道における三重大の『勢水丸』の航走水温の変化（関根, 1995）.

#### 参考文献

- 中田喜一郎・石川公敏・松川康夫（1985）内湾の流動場の数値実験. 沿岸海洋研究ノート, 22, 96-108.
- 西条八束・八木明彦・三田村緒左武（1985）日本全国沿岸海洋誌. 第13章, 伊勢湾三河湾, III 化学. 日本海洋学会沿岸海洋研究部会編, 東海大学出版会 528-545.
- 佐藤 敏, 宗田幸次, 佐藤秀行（1994）ADCPによる伊良湖水道往復観測. 海洋調査技術, 6, 23-29.
- 佐藤 敏（1996）伊勢湾表層の循環流について. 沿岸海洋研究, 33, 221-228.
- 関根義彦, 川俣信一, 佐藤裕一（1992）初冬季における伊勢湾の沿岸フロントの観測. 沿岸海洋研究ノート, 29, 190-196.
- Sekine, Y., H. Mizutani and T. Motoya（1992）Seasonal variation in temperature, salinity and density in- and off Ise Bay. Bull. Fac. Biores., Mie Univ. No. 8, 1-18.
- Sekine, Y. and H. Mizutani（1993）Seasonal variation in vertical distribution in temperature, salinity and density in- and off Ise Bay. Bull. Fac. Biores., Mie Univ. No. 10, 147-164.
- 関根義彦（1995）: 海洋物理学概論. 成山堂書店, 140pp.
- 関根義彦（1996）: 伊勢湾. 沿岸海洋研究, 34, 45-51.
- 杉山陽一, 藤原建紀, 中辻啓二, 水鳥雅文（1994）伊勢湾北部海域の密度成層と残差流. 第41回海岸工学講演会論文集, 291-295.
- 宇野木早苗・岸野元彰（1977）: 大局的にみた内湾の海水交換. 第24回海岸工学講演会論文集, 486-490.
- 宇野木早苗（1980）: 海水交換とその素過程について. 沿岸海洋研究ノート, 17, 89-98.
- 宇野木早苗（1985）: 日本全国沿岸海洋誌. 第13章, 伊勢湾三河湾II物理. 日本海洋学会沿岸海洋研究部会編, 東海大学出版会, 513-527.
- 山路 勇（1985）: 日本全国沿岸海洋誌. 第13章, 伊勢湾三河湾IV生物. 日本海洋学会沿岸海洋研究部会編, 東海大学出版会, 546-559.
- 柳 哲雄, 黒田 誠, 石丸 隆, 才野敏郎（1998）伊勢湾の夏季の残差流. 沿岸海洋研究, 35, 185-191.