

港湾空港技術研究所 資料

TECHNICAL NOTE
OF
THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

No. 1134

June 2006

東京湾口フェリーによる海洋環境の2003～2005年の
観測結果とその特性

鈴木 高二朗
竹田 晃

独立行政法人 港湾空港技術研究所

Independent Administrative Institution,
Port and Airport Research Institute, Japan

目 次

要 旨	3
1. はじめに	4
1.1 東京湾口の既往の研究	4
1.2 フェリーを用いた海洋観測の例	4
2. 観測装置とその特性	5
2.1 東京湾フェリー“かなや丸”	5
2.2 流向流速測定装置	6
2.3 水質測定装置	7
2.4 気象測定装置	8
2.5 データ取得状況	9
2.6 流速データの解析について	9
3. 2003年12月～2005年10月間の観測結果	10
3.1 水質・気象の長期変化	10
3.2 潮汐による流況の特性と潮流楕円	18
3.3 各季節の流況と水質の特性	20
3.4 外洋水流入の周期性とスペクトル特性	28
3.5 湾口における海水交換量	29
3.6 海水交換量	30
4. おわりに	31
謝 辞	32
参考文献	32
付録.A	34

Continuous Currents, Water Quality and Meteorological Monitoring using Ferry at Tokyo Bay Mouth in 2004-2005

Kojiro SUZUKI*
Akira TAKEDA**

Synopsis

Continuous currents, water quality and meteorological monitoring have been conducted at the mouth of Tokyo bay since Dec. 2003. The data were obtained using a ferry boat, Tokyo-wan Ferry “Kanayamaru”. Analyzed results are as follows.

(1) Maximum (Minimum) water temperature is about 27°C(12°C) in Jul. to Aug. (Jan. to Feb.). Due to the intrusion of Kuroshio current, water temperature in winter changes about 5°C in a period of 1 to 2 weeks. Salinity is about 34PSU in dry winter and 25PSU in autumn because of heavy rain fall. Maximum concentration of Chlorophyll.*a* is about 10 μ g/l in winter and 54 μ g/l in Jun. to Sep.

(2) Before the occasion of a strong intrusion of Kuroshio current, there is a strong water outflow from Tokyo Bay. The Kuroshio intrusion was periodic in Jan. to Mar. 2004 and the peak spectrum is seen in 7.1days and 21.3days.

(3) According to the cross correlation between the flow rate in Tama river and the salinity at the mouth of Tokyo Bay, the salinity at the mouth of Tokyo Bay becomes minimum in 2 to 3 days after the time when the flow rate in Tama river is maximum.

(4) Using ABIC (Akaike Bayesian Information Criterion) , water exchange rate is estimated from the current obtained by ADCP data. The maximum (minimum) rate was seen in autumn (winter).

Key Words: Tokyo bay, water exchange rate, ABIC

* Senior Research Engineer, Marine Environment and Engineering Department
** Marine Environment and Engineering Department
3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan
Phone : +81-46-844-5082 Fax : +81-46-844-1274 e-mail:suzuki_k@pari.go.jp

東京湾口フェリーによる海洋環境の 2003～2005年の観測結果とその特性

鈴木高二朗*・竹田 晃**

要 旨

東京湾口の海洋環境観測を行うため、2003年2月に東京湾フェリー株式会社所有“かなや丸”に流況を計測する ADCP を、2003年12月に水質・気象を計測する装置を設置し、東京湾口の海洋環境観測を開始した。本資料では、設置開始から2005年10月までのデータを取りまとめ、約2年間の湾口の流況・水質・気象の特性を調べた。その結果、

(1)表層海水の一日平均のデータから以下のことが分かった。水温は夏季7～8月にかけて最大で約27℃となり、冬季1～2月に最小で約12℃である。冬季は黒潮系暖水の影響で1～2週間周期で約5℃ほど大きく変動している。塩分は冬季34PSU前後と高く、降雨の多い8～10月にかけて低下し、最小で25PSUであった。 σ_t は冬季に最大で降雨量の多い秋期に最小値をとる。12月～2月の黒潮系暖水流入時には塩分水温が大きく変動していたのに対し、 σ_t の変化は小さかった。クロロフィル *a* は冬季に小さく最大で10 μ g/l程度である。一方、6～9月にかけては大きく54 μ g/lまで上昇した。

(2)冬季黒潮系暖水流入前後の残差流を見ると、流入前に強い流出があり、その後強い流入が見られ、さらに黒潮系暖水流出時には強い流出を伴っていた。周期性の強かった2004年1月の表層塩分と残差流成分に対してスペクトルをとると、強いスペクトルが金谷側に見られており、7.1日と21.3日が特に強くなっていた。周期的な変化は、冬だけでなく夏季、秋期にも見られた。

(3)多摩川流量と湾口塩分との相互相関をとると、湾口での塩分低下は多摩川の流量のピークから約2～3日後に最大となった。

(4)赤池バイズ型情報量基準 (ABIC) で推定された残差流から海水交換量を推定した。1ヶ月平均をとった海水交換量でみると秋に最も海水交換が盛んで、東京湾内水容量を交換量で除した見かけの滞留時間は17～19日程度であった。冬場は海水交換が小さく見かけの滞留時間は23～27日だった。

キーワード：海洋環境観測，東京湾，海水交換量，ABIC

* 海洋・水工部沿岸環境領域主席研究官

** 海洋・水工部沿岸環境領域特任研究員

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 独立行政法人 港湾空港技術研究所
電話：046-844-5082 Fax：046-844-1274 e-mail:suzuki_k@pari.go.jp

1. はじめに

東京湾は従来より我が国の内湾、内海の中でも最も高密度に利用されている海域である。2005年現在も、羽田空港再拡張事業、東京湾口航路整備事業、あるいは東京湾の環境を蘇生させようとする事業が実施中あるいは計画中である。これらの大規模プロジェクト等を適切に推進していくうえで東京湾の環境を的確に把握し、予測、管理していくことが重要である。

そのためには、東京湾の環境の変化を観測によって調べることが求められるが、東京湾では船舶などの交通量が多いため、観測船等を用いた連続的な海洋観測を行うのが難しい。特に、東京湾口は狭い海域を多くの船舶が出入りするため、海洋観測が極めて難しい。

しかしながら、東京湾口は、東京湾の海水と外洋水が出入りする唯一の場所であり、東京湾の海水の動きや水質の変化を知る上で極めて重要な海域であり、常時連続的な観測が求められていた。そこで、当研究所では2003年12月より、東京湾口を横断する東京湾フェリー株式会社所有の“かなや丸”に流況を計測するADCPと水質・気象を自動で計測する装置を設置し、東京湾口の環境観測を開始した。

本資料では、設置開始から2005年10月までのデータを取りまとめ、約2年間の湾口の流況・水質・気象の特質を取りまとめる。

1.1 東京湾口の既往の研究

船舶の交通量が多いため東京湾口での環境観測例は限られているものの、これまでに多くの研究例がある。

東京湾口での海水交換量や、東京湾に流入した淡水の滞留時間に関する研究としては、松本ら(1974)をはじめ、これまでに調査研究が行われており、宇野木ら(1977)はボックスモデルにより、東京湾の淡水の滞留時間は冬季1~2月が3.5ヶ月、夏季9~10月は0.8ヶ月であり、年平均は1.6ヶ月であるとした。一方、2002年の国交省国土技術政策総合研究所の研究(高尾ら、2004)によると、首都圏での上水利用量の増大により、淡水の滞留時間は夏季20日、冬季40日と短くなっていると報告されている。

一方、東京湾口での重要な海洋現象として、非定常的に発生する黒潮系暖水の東京湾への波及現象があげられる。日向(2004)は、東京湾の流動への外洋影響について取りまとめており、これまでの東京湾口の研究を概観することができる。特に特徴的なのは、冬季の湾口フロントと成層期の黒潮系暖水の中層貫入現象である。

冬季の湾口フロントは、外洋の高温・高塩分・低クロロフィル a の海水と、低温・低塩分・高クロロフィル a

の湾内の海水が接してできているものであり、そこでは塩分、水温、クロロフィル a が急激に変化している。このフロントは、熱塩フロントの一種としてよく知られ(柳,1990)、そこでの流れや水質の特性に関する多くの研究例がある。ただし、最近の日向ら(2000)の研究で、このフロントは熱塩フロントとしての生成機構だけでは説明がつかず、黒潮の流軸変動などによって変化しやすく、非定常的であることが明らかになってきている。

また、Yanagi et al.(1989)や日向ら(1999)によって、高温低塩分、低密度の海水が表層を覆っている成層化した夏~秋の海域では、高塩分、高密度の外洋水(黒潮系暖水)が中層から流入し、表層では低密度の海水が流出、下層から高濁度、高密度の海水が流出するという、外洋水の中層貫入現象が発生することが分かっている。

最近、日向ら(2004)により、このような黒潮系暖水の流入には、黒潮流軸の変動の他に、海上風の影響があることも指摘されている。

フェリーによる東京湾口の観測では、このような複雑な外洋水と内湾水の出入りを常時連続的に計測することで、数値計算などとの組み合わせにより東京湾のリアルタイムな変化を捉えられる可能性がある。

1.2 フェリーを用いた海洋観測の例

フェリーなどの定期船舶を利用した海洋観測は、これまでも**表-1**のように数多く行われている。

我が国での先駆的な観測例としては国立環境研究所を中心に実施されている瀬戸内海のフェリーを用いた観測があげられる(原島ら、2001; Harashima et al, 2006)。ここでは、表層の塩分水温の他、各種栄養塩の観測が行われており、約15年にわたって定常的なデータが得られている。(http://www-cger2.nies.go.jp/marine/east/me.html)

また、博多釜山航路“かめりあ”では、ADCPによる断面の流況流向観測と表層海水の塩分・水温・蛍光光度の観測が行われている(Takikawa et al., 2005; http://nmg.riam.kyushu-u.ac.jp/~camellia/)。

東京湾でもこれまでに、小笠原航路で東北大学が実施したTOLEX(Kizu et al., 2001)や、神奈川水産試験場の東京湾フェリー“しらは丸”による表層水温観測が実施されている。

さらに、欧州では、現在、フェリーボックス計画(http://www.ferrybox.org)とよばれるフェリーを用いた観測が精力的に実施されている。

一方、**表-1**には、国土交通省各地方整備局が所有する清掃船による海洋観測例もまとめている。清掃船も頻繁に稼働しており、定期船舶との観測ともあわせて貴重な観測データが得られている。

表-1 日本国内のフェリーや清掃船を用いた海洋環境観測の例

船名	海域	観測項目	開始年	実施機関	協力
さんふらわああいぼり	別府-大阪	塩分, 水温, クロロフィルa, 硝酸態, 亜硝酸態, アンモニア態の各窒素, リン酸態リン, 溶存ケイ素	1987年～ (1991年6月よりフェリー「檀皇, くるしお, さんふらわあ2」で観測, 現在さんふらわああいぼり)	国立環境研究所	関西汽船株式会社
かめりあ	博多-釜山	1997年2月～ ADCP 2002年11月～ 水温 塩分 クロロフィルa	2002年3月～	九州大学応用力学研究所	カメラライン株式会社
おがさわら丸	東京-秩父島	ADCP 水温	1991年2月～2005年3月	東北大学 (独)海洋開発研究機構	小笠原海運株式会社
おんど2000	広島港安芸灘	水平流速 塩分 水温 クロロフィルa 濁度 pH 風向風速	2000年4月～	国土交通省中国地方整備局 広島港湾・空港整備事務所	
べいくりん	東京湾	塩分 水温 クロロフィルa 濁度 pH DO	2001年～	国土交通省関東地方整備局 千葉港湾事務所	
海輝	有明海, 八代海	塩分 水温 クロロフィルa 濁度 pH DO	2003年11月～	国土交通省九州地方整備局 熊本港湾・空港整備事務所	
いこま	大阪湾	塩分 水温 クロロフィルa 濁度 pH DO	2004年4月～	国土交通省近畿地方整備局 神戸港湾事務所	

2. 観測装置とその特性

2.1 東京湾フェリー“かなや丸”

観測装置は東京湾フェリー株式会社の所有する“かなや丸”に設置されている。“かなや丸”は総トン数3,680t, 全長79.0m, 速力24km/h, 定員580人, 車両数100台であり, 1992年4月より就航している。

図-2.1は東京湾の水深とフェリー航路である。フェリーは神奈川県久里浜港と千葉県金谷港を船速約6m/sで移動し, 片道約35～40分で, 毎日AM6:20からPM7:20にかけて約7往復している。

図-2.2はフェリー観測の模式図である。全断面の流向流速, 表層の塩分・水温等の水質, 風向風速等の気象データを計測しており, フェリーの位置はGPS (Leica製MX421)で求めている。観測されたデータは久里浜港

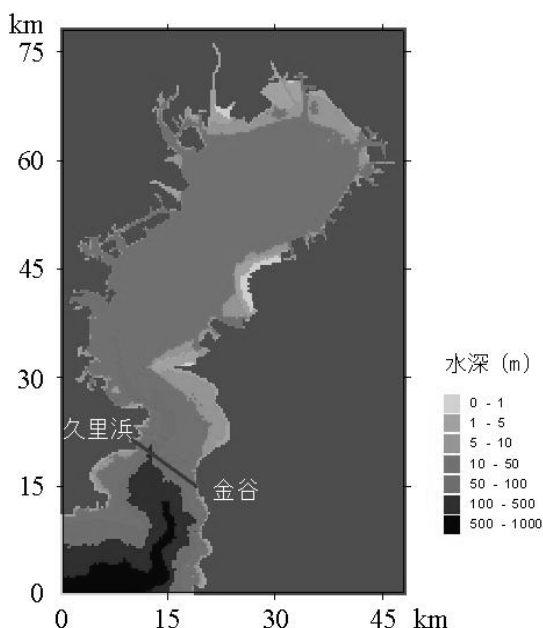


図-2.1 東京湾の水深とフェリー航路

着岸時に PHS(AirHTM)でインターネットサーバーへ送信されている。

図-2.3はフェリー“かなや丸”の断面図と平面図であり, 各種測定装置の設置位置が示されている。多層流向流速計 (ADCP) は船底中央部に, 気象測定装置はフェリーのレーダーマストの上に, 水質測定装置は機関室背後の右舷側にそれぞれ設置されている。

写真-2.1は, 浦賀ドック入きよ時のフェリー(a)と ADCP 本体(b), 水質測定装置(c), 気象測定装置(d)である。

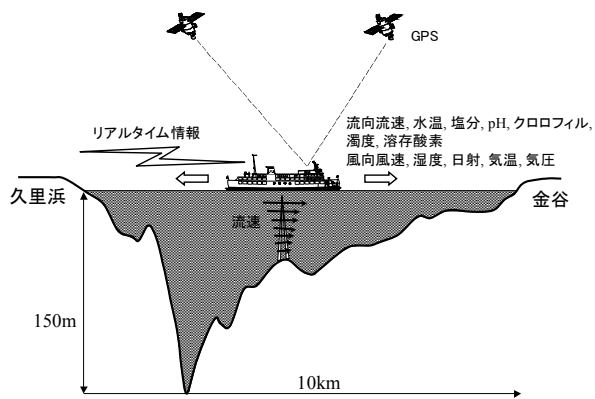


図-2.2 フェリー観測の模式図

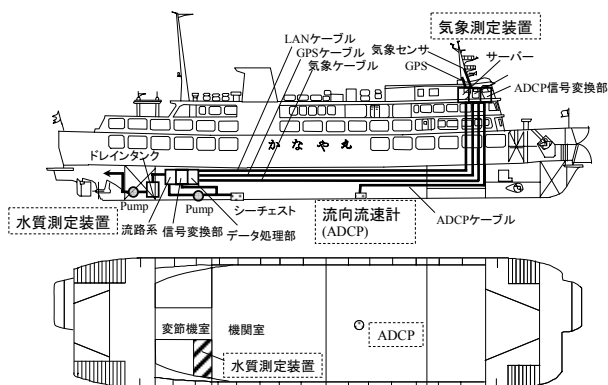


図-2.3 フェリーの断面・平面図と測定装置設置位置

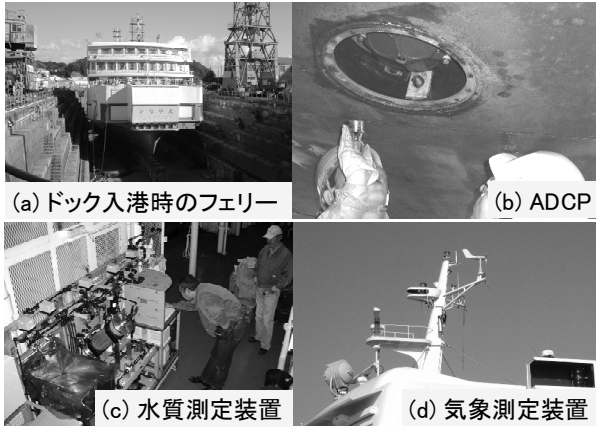


写真-2.1 フェリーと各種計測装置

2.2 流向流速測定装置

(1) 流向流速測定装置とその仕様

流向流速測定装置は RD Instruments 社製船底装備型 Broad-Band ADCP (Workhorse Mariner ADCP) であり、船底に設置された ADCP 本体と、フェリーのブリッジに設置された PC、および ADCP デッキボックスで構成されている。船底型 ADCP は、独自のジャイロコンパスを持たないため、フェリーに既存のジャイロコンパス（トキメック社製 TG-5000）からの方位信号を受けて流速成分を求めている。海水の対地流速は、ADCP で得られる各層の流れの対船流速から、海底からの反射波から得られる船速を差し引くことで得ている（ボトムトラックリフレンス）。

ADCP の発振周波数は 300kHz であり、計測可能最大水深は 175m、ボトムトラックが可能な最大水深は 260m、音響発信器のビーム角は 20° である。

フェリーの吃水は 3.4m であり、流速の鉛直プロファイルは水深 10.59m の位置から層厚 4m で 40 層計測されている。流向流速データとしては 1.5s 間隔で測定される生データの 20s 平均データ STA (13Pings/Ens) と 60s 平均データ LTA (37Pings/Ens) があり、本資料では 20s 平均の STA データをもとに解析を行っている。この場合、船速が約 6m/s であるので、約 120m 間隔で 1 航海あたり 80 点ほどのデータが得られる。

通常 ADCP では海底面の直上に測定不能な水深域 D ができる。船底直下の水深を D_B 、ビーム角を θ とすると D は式(1)で表される。本研究ではビーム角が 20° であるので、海底から水深の約 6% が測定不能域である。

$$D = D_B (1 - \cos \theta) \quad \dots(1)$$

(2) ヘディングデータの GPS による補正

ADCP で得られる流速値は船の向きを基準とした座標

系の流速値として得られるため、流速データを緯度経度座標等の座標系の流速値に変換するためには別途船の進行する向き（船首の向き）を計測しておく必要がある。ここではこの船首の向きをヘディングデータとよぶ。本観測でのヘディングデータは“かなや丸”に設置されたジャイロからデッキボックスという信号変換部を通して取得している。

デッキボックスで出力されるヘディングデータは相対的な角度であり、例えば磁北を 0° として設定したい場合には、久里浜港停船時などに磁北を 0° とした船首の角度をあらかじめ設定しておく必要がある。なお、久里浜港停船時の船首の角度は 198° である。

しかし、本観測では長期間観測するうちに、図-2.4 のようにヘディングデータがドリフトするという問題がある。また、台風時にフェリーが浦賀港あるいは長浦港に避難すると、停泊中、船の電源を落とすため計測器に通電なくなり、デッキボックスの値が初期値 (0°) に戻ってしまうという問題がある。そのため、このようにして変化してしまったヘディングデータを何らかの方法で補正して、緯度経度座標系の流速値を得る必要がある。

そこで、本研究ではヘディング補正をする前に得られた流速値 u_x, u_y に対して、GPS で得られた船首の向き Head_N から、デッキボックスで得られたヘディング値 Head_J を差し引いた値 ΔHead の回転変換を式(2)、(3)のように施すことで、流速値のヘディング補正を行っている。式中、 U_x, U_y はヘディング補正された流速データであり、Head_N、Head_J は共に RDI 製の Win ADCP というソフトウェアにより出力される値である。

$$\Delta \text{Head} = \text{Head}_N - \text{Head}_J \quad \dots(2)$$

$$\begin{pmatrix} U_x \\ U_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\Delta \text{Head}) & \sin(\Delta \text{Head}) \\ -\sin(\Delta \text{Head}) & \cos(\Delta \text{Head}) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_x \\ u_y \end{pmatrix} \quad \dots(3)$$

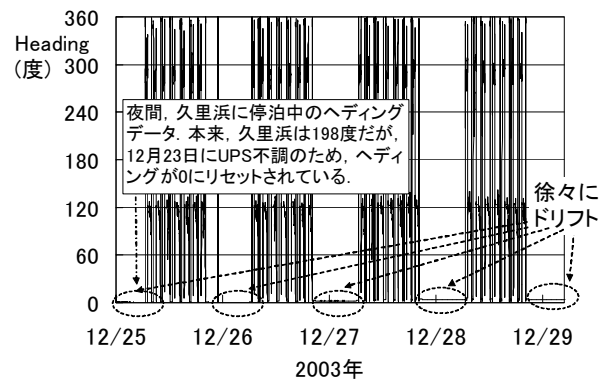


図-2.4 ヘディングデータのドリフト

2.3 水質測定装置

(1) 水質測定装置の配管

水質の測定は、**図-2.5**、**図-2.6** のように船底のシーチェストから取水ポンプによって自動で表層の海水を採取している。まず、シーチェストから 2m の位置に設置された船底水温計で水温を計測し、その後、その海水を海水分析装置に送って多項目の水質を計測している。

“かなや丸”は、久里浜—金谷間を僅か 30 分で航行するため、船底から取り込まれた表層水が分析装置まで送られてくるまでのタイムラグを小さくして測定する必要

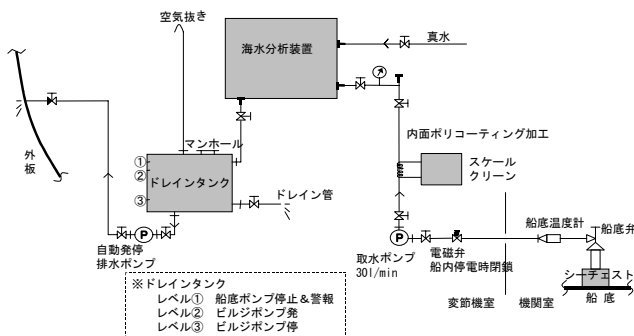


図-2.5 水質測定用の船底配管模式図

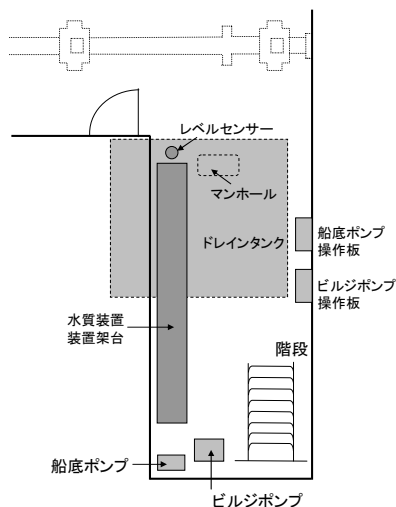


図-2.6 変節器室内の水質測定装置等設置状況

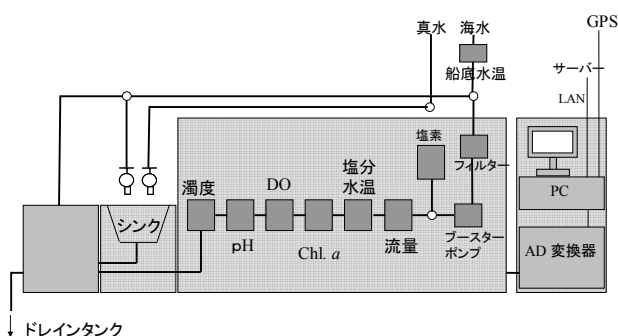


図-2.7 変節器室内の水質測定装置等設置状況

がある。そこで、配管を 25A のパイプで結び、30l/min ($5.0 \times 10^{-4} \text{m}^3/\text{s}$) の高流量、高流速で海水を流している。

また、配管内部は時間経過とともにスケール（付着物）が溜まり、内部抵抗が増加して本来の吐出流量が得られなくなる。そこで、造船所での加工がやすく安価である鋼管を選び内部にスケールが付着し難いポリライニング加工を施している。また、スケール付着を極力防ぐため、スケール付着防止装置“スケールクリーン”を採用した。これは配管にケーブルを巻いて電磁でスケール成分を細分化しスケール付着を防止するものである。

(2) 分析装置

図-2.7 は、海水分析装置の概略図であり、流量・水温・塩分・クロロフィル a・溶存酸素・pH・濁度が順に計測されている。分析装置の流路に流れ込んだ海水は大型ゴミを除去させる 5mm のフィルターを通過後、クロロフィル a を感度よく感知させるためにブースターポンプを経由して約 1.5l/min ($2.5 \times 10^{-5} \text{m}^3/\text{s}$) に規定させて各センサーを通過させ、排水バッファタンクに流れ落ちるようになっている。

船底水温を含めた各センサーのデータは、AD 変換された後に PC に 1 分間隔で保存されている。船速が約 6m/s であるので、約 360m 間隔でデータが取得されることになる。

データは 1 航海毎に CSV ファイルにまとめられ、久里浜港着岸時に、ブリッジの PHS サーバーが LAN 経由でデータを取得し、陸上のインターネットサーバーに転送している。この際、CSV ファイルには GPS からの情報（年月日、時刻、緯度経度）とレーダーマストに取り付けられている気象測定装置のデータ（風向風速、気温、日射、湿度、気圧）が共に収録されている。

なお、センサー自体の汚れを防ぐため、久里浜港および金谷港入港時には、分析装置内部に懸濁海水を流入させず、入港している間、生物付着防止液（塩素）を混ぜた海水を分析装置内部に流す方法をとっている。

(3) 各種水質センサー

水質測定装置に用いた各種センサー類の名称と仕様は以下のとおりである。

- ・船底水温センサー Sea-Bird Electronics 製 SBE38
測定範囲：-5～35℃，精度：±0.001℃
- ・CT センサー FSI 製 Excell Thermosalinograph
水温 測定範囲：-3～+45℃，精度：0.010℃
電気伝導度 測定範囲：0～90mS/cm，精度：0.025mS/cm
塩分 測定範囲：2～42PSU，精度：0.030PSU
- ・クロロフィル蛍光光度計 Wetlabs 製 ws-3-mf
測定範囲：0.03-75 $\mu\text{g/l}$ ，感度：0.03 $\mu\text{g/l}$

蛍光波長：685nm，サンプリングレート：6Hz

・溶存酸素計 AMT 製

ガルバニ方式，ガラスチップセンサー

測定範囲：0.07～200%飽和，精度：0.15%FS

・pH計 AMT 製

測定範囲：2～11pH，精度：±0.05pH

・水中透過光型濁度計(H17.6 から使用)Wetlabs 製 C-Star

光路長：25cm，波長：660nm，バンド幅 20nm

(4) 水質測定装置での時間遅れ

船底シーチェストから海水分析装置まで約 25m ある。配管の径が 0.025m，流量が $5.0 \times 10^{-4} \text{m}^3/\text{s}$ であるので，管内流速は 1m/s となり，25s 程度で海水分析装置まで海水が到達するものと考えられる。また，海水分析装置内部では，分析装置内の管路が約 10m，配管の径が 0.005m，流量が $2.5 \times 10^{-5} \text{m}^3/\text{s}$ であるため，31s 程度かかっていることになる。したがって，シーチェストから取水された海水は約 1 分程度遅れて分析されているものと推定される。

図-2.8 は金谷側に黒潮系暖水が流入した 2004 年 1 月 21 日のデータであり，船底シーチェストから約 2m 離れた位置に設置されている船底水温計 (SBE38) の水温データと分析装置内の CT センサーの水温・塩分データを比較したものである。また，表-2.1 はこの時の船底水温と CT センサーの塩分水温の相関係数であり，海水分析装置で計測された水温は船底水温より 2 分程度遅れて相関係数が最大になるのに対し，塩分は 1 分遅れて最大となっている。

港内に停泊中，図-2.7 のブースターポンプは停止しており，海水は分析装置内に流れておらず，フェリーが移動し始めるとブースターポンプが起動するため，徐々に分析装置内では水温が上昇する傾向にある。このため，分析装置内で計測される水温は，船底水温に対してさらに 1 分程度遅れて相関が高くなっているのではないかと考えられる。

以上のことから，本研究では船底水温以外の水質データはフェリーが 1 分前にいた海域のデータであるものとして解析を行うこととした。

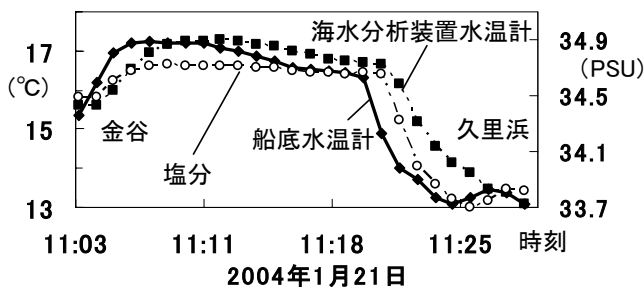


図-2.8 時間遅れ

表-2.1 船底水温と CT センサー塩分・水温の相関

時間遅れ(分)	2004年1月21日11時04分発	
	水温	塩分
0	0.8191	0.8935
1	0.9544	0.9702
2	0.9910	0.9255
3	0.9057	0.8022

2.4 気象測定装置

(1) センサーの仕様

気象測定装置に用いたセンサーは，VAISALA 製自動気象ステーション MAWS であり，その仕様は以下のとおりである。

風速 測定範囲：0.5～60m/s，精度：±0.3m/s

風向 測定範囲：0～360°，精度：±3°

気温 測定範囲：-40～+60℃，精度：0.3℃

湿度 測定範囲：0～100%，精度：±2%

気圧 測定範囲：600～1100hPa，精度：±0.3hPa

日射 測定範囲：2000W/m²

(2) 風向風速データからのフェリー速度の分離

風向風速はフェリーが移動するため，図-2.9(a)のようにフェリーの風向風速を含んだデータとなる。そのため，以下に示す式でフェリーの速度を取り除く必要がある。なおここでは，N 方向を x 軸の正方向とし，W 方向を y 軸の正方向とし，反時計回りを正としている。

$$\vec{w} = (w_x, w_y) : \text{その場の風の速度} \quad \dots(4)$$

$$\vec{v} = (v_x, v_y) : \text{フェリーが動くことによる風の速度} \\ \text{(船の速度と 180 度ずれている)} \quad \dots(5)$$

$$\vec{V} = (V_x, V_y) : \text{計測される風の速度} \quad \dots(6) \\ \text{(向きは風速計の向き)}$$

$$\vec{V} = (V_x, V_y) = (|\vec{V}| \cos(-(\xi + \varphi)), |\vec{V}| \sin(-(\xi + \varphi))) \quad \dots(7)$$

$$\vec{V} = (-v_x - w_x, -v_y - w_y) \\ = (|\vec{s}| \cos(-\xi) - w_x, |\vec{s}| \sin(-\xi) - w_y) \quad \dots(8)$$

(7),(8)式よりその場の風の風速は以下の(9)式となる。

$$w_x = |\vec{s}| \cos(-\xi) - |\vec{V}| \cos(-(\xi + \varphi)) \quad \dots(9)$$

$$w_y = |\vec{s}| \sin(-\xi) - |\vec{V}| \sin(-(\xi + \varphi)) \quad \dots(10)$$

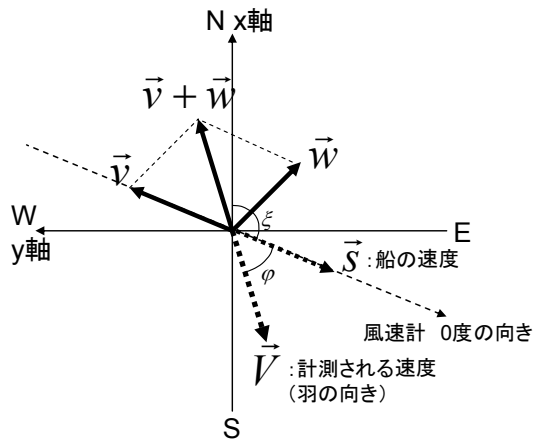
また，何らかの原因で風向風速計の設置角度がずれた

場合、角度を補正する必要がある。図-2.9(b)は風向風速計の羽の設置角度が θ_ε だけずれた場合の図であり、この場合、以下の式で風速を推定する。

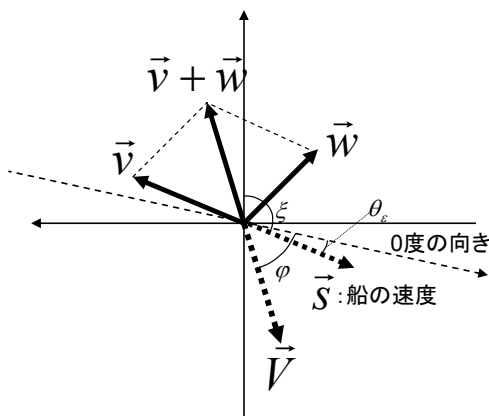
$$w_x = |\vec{s}| \cos(-\xi) - |\vec{V}| \cos(-(\xi + \varphi - \theta_\varepsilon))$$

$$w_x = |\vec{s}| \cos(-\xi) - |\vec{V}| \cos(-(\xi + \varphi - \theta_\varepsilon))$$

... (11), (12)



(a) 風速計の0度の向きが船首方向と一致している場合



(b) 風速計の0度の向きが船首方向と一致していない場合

図-2.9 風向風速データとフェリー速度の関係

2.5 データ取得状況

ADCPは2003年1月、気象・水質測定装置は2003年12月に設置し、ADCPは2003年2月より、気象水質データは2003年12月より計測を行っている。しかしながら、計器の故障や検定、フェリーのドック期間、荒天時の欠航のため、データが計測できていない日もある。図-2.10はこれまでのデータ取得状況を示すものである。また、図-2.11には1日あたりのデータ取得回数の頻度分布をしめした。全日数のうちADCPは約81%、水質気象

データは約61%データが得られている。また、1日あたりのデータ取得数は13、14日が最も頻度が高い。

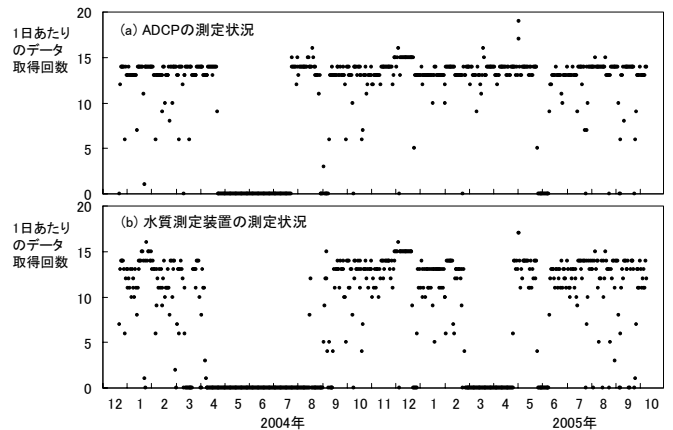


図-2.10 ADCP、水質気象データの1日あたりのデータ取得回数

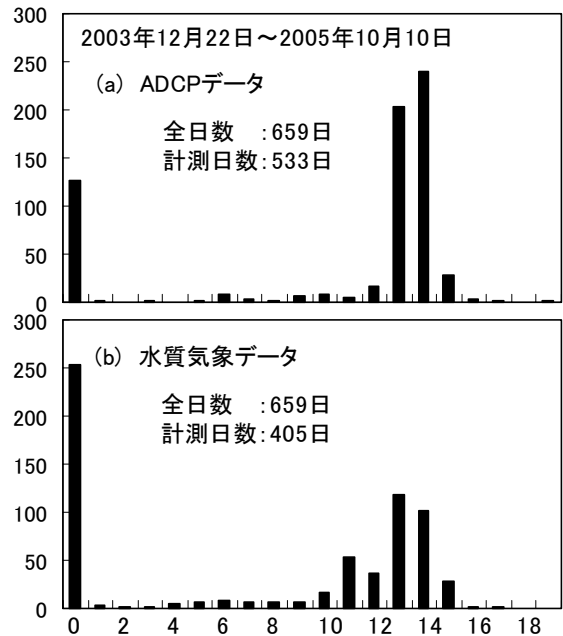


図-2.11 1日あたりのデータ取得回数頻度分布

2.6 流速データの解析について

流速データは、潮汐成分と残差流成分、および観測誤差の和として観測される。残差流は密度流や吹送流からなるもので、その推定が重要となる。通常、残差流成分は、調和解析で潮汐成分を求めた後、観測データからその潮汐成分を差し引くことで求めるが、本研究ではより現象を分かりやすくみるため、通常の調和解析の他に、赤池ベイズ型情報量基準 (Akaike Bayesian Information Criterion, 以下、ABIC) を用いた拡張された調和解析を用い、連続的な残差流成分を推定している。詳細は、付録Aおよび鈴木ら(2004)を参照されたい。

3. 2003年12月～2005年10月までの観測結果

3.1 水質・気象の長期変化

(1) 1日平均データの長期変化

図-3.1 は、これまでに観測された表層の塩分、水温、 σ_t 、クロロフィル a 、濁度、分析装置内の流量の1日の全てのデータの平均値の長期変化をみたものである。荒川、多摩川、鶴見川流域の平均降雨量と、湾口のアシカ島で計測されている波浪のエネルギーフラックス、および久里浜湾内の潮汐データもともに記している。降雨量は、国土交通省水文水質データベース (<http://www1.river.go.jp/>) からの各河川の観測ポイントの平均値である。

水温は夏季7～8月にかけて最大で約27℃となり、冬季1～2月に最小で約12℃である。冬季は水温が1～2週間周期で約5℃ほど大きく変動しているものの、それ以外の季節は全般になだらかに変化している。

塩分は降雨量の少ない冬季は34PSU前後であり、水温と同様に1～2週間周期で約3PSUの変動がみられる。一方、降雨量の多い春季、秋期、特に、台風による降雨の多い8～10月にかけては塩分の変動が大きく、最小で25PSU程度まで低下している。また、2003年12月～2004年2月と2004年12月～2005年2月の塩分を比較すると全体に2003年12月～2004年2月の塩分の方が大きくなっている。

σ_t は塩分が大きく、水温の小さい冬季に最大となり、夏季、秋期に小さくなる傾向にあり、降雨量の多い秋期に最小値をとっている。12月～2月は塩分・水温が大きく変動していたのに対し、 σ_t の変化は小さいという特徴がある。

クロロフィル a は、冬季に全体に小さく、最大でも10 $\mu\text{g/l}$ 程度である。一方、6～9月にかけては大きく、約54 $\mu\text{g/l}$ まで上昇している。その後、徐々に小さくなり、10月は大きくても3 $\mu\text{g/l}$ 程度である。

なお、2004年4～8月、2005年2～3月はフェリーのドック期間とセンサーの較正などのため、データ数が少なくなっており、荒天時もフェリー欠航のためデータが得られていない。また、分析装置の配管内の流量を見ると通常は1.2～1.5l/min程度であるが、ゴミが流入すると流量が小さくなり、メンテナンスが必要となる。2005年1月7日～19日はゴミの流入で管路が閉塞し、データが得られていない。

図-3.2 は、気象の1日平均の時系列である。

気温は1～2月に約3℃まで低下し、7～8月に最大で約26℃となっており、比較的なだらかに変化している。

気圧は10～3月にかけて大きく、最大で1030hPa程度

である。一方、6～8月にかけて小さくなり1010hPa程度となっている。なお、台風通過時の気圧の低下は、フェリーが欠航するため計測されていない。

日射は雲量によって左右されるため、毎日の変動が激しい。包絡線は夏至の時期に高く500W/m²程度、冬至の時期に250W/m²程度であり、約2倍の違いがある。

湿度は5～7月にかけて大きく90%程度で安定している。一方、冬季11～2月にかけて包絡線は小さくなり、40%程度となっている。

風向風速は、10～2月にかけては全般に北の風（やや東より）の日が多く、4～9月にかけては南の風（やや西より）の日が多くなっている。季節風は通常、冬季に北西であるが、湾口の地形の影響のためか、全体に北東の風となっている。

(2) 各観測値の時間・空間変化と、久里浜側と金谷側の違い

図-3.1 と図-3.2 は、1日の平均値の長期変化であったのに対し、ここではより詳細に、水温、塩分等の観測値が1日のうちにどの程度変化していたのかをしてみる。

図-3.3～3.14 は水温、塩分、 σ_t 、クロロフィル a 、濁度、気温、気圧、日射、湿度、風向、風速のデータであり、(a) は1日の全てのデータの平均値と最大値、および最小値である。また、(b) は1日のうちにどの程度データが時間的に変化したのか、(c) は空間的にどの程度の違いがあったのかを示している。さらに、(d) は久里浜側と航路中央、および金谷側のデータの違いを示している。

(b) は1航海の平均値の1日のうちの最大偏差で、 Δ_t として(13)式で定義される値であり1日のうちの時間変化を示す尺度である。

(c) は1航海中の最大偏差の1日のうちの最大値で、 Δ_s として(15)式で表される値であり、1日のうちの空間変化を示す尺度である。

$$\Delta_t = \max(\text{Ave_1way}_{1:M}) - \min(\text{Ave_1way}_{1:M}) \quad \dots(13)$$

$$\text{Ave_1way}_j = \sum_{i=1}^N x_{i,j} / N \quad \dots(14)$$

$$\Delta_s = \max(\Delta_1\text{way}_{1:M}) - \min(\Delta_1\text{way}_{1:M}) \quad \dots(15)$$

$$\Delta_1\text{way}_j = \max(x_{1:N,j}) - \min(x_{1:N,j}) \quad \dots(16)$$

式中、N は1航海あたりのデータ数、M は1日のうちの航海数であり、 i, j はそれぞれ、1航海中のデータ番号、

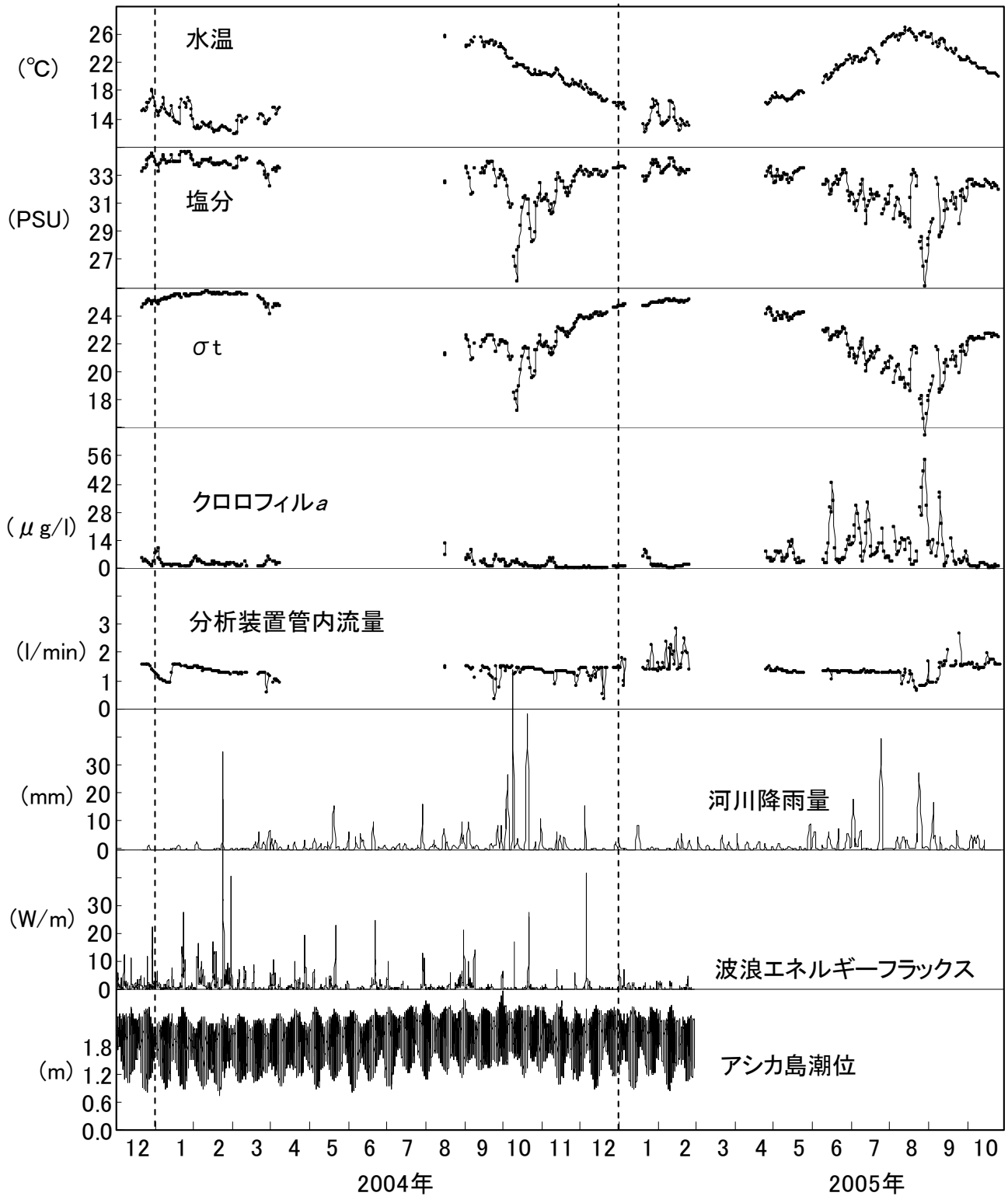


図-3.1 表層の塩分，水温， σ_t ，クロロフィル a ，分析装置内の流量の1日平均の時系列

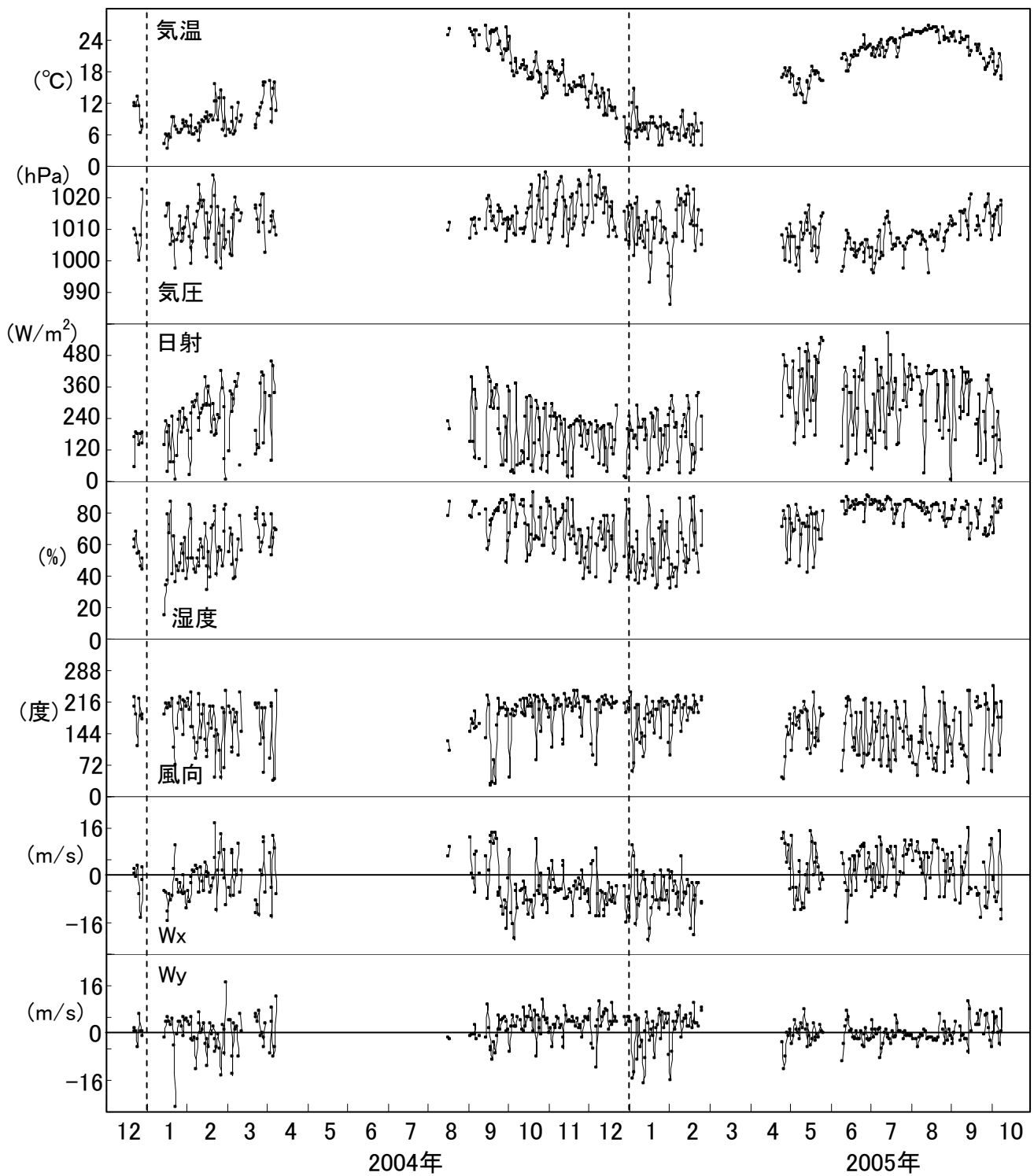


図-3.2 気温，気圧，日射，湿度，風向風速データの1日平均の時系列

1日のうちの航海番号である。なお、ここでの*i*番号は、久里浜、金谷を最短距離で結ぶ直線を25分割したものであり、GPSで計測されたフェリーの位置座標をその線に投影することで*i*番号に対応させている。

また、(d)は久里浜港に近い3点(*i*=1~3)と中央部の3点(*i*=12,13,14)、および金谷港に近い3点(*i*=23,24,25)の1日平均値から全データの1日平均値を差し引いた値を示しており、図中、白丸は金谷側、灰色三角は中央部、黒丸は久里浜側を示している。

水温(図-3.3)は、冬季12~2月に時間、空間変化がともに大きく、空間的には5~6°Cも変化している。次に夏季7~8月は時間変化が小さい一方で、2005年夏季には空間的な変化が4°Cに及ぶ日があった。春、秋は夏、冬と比較すると変化が全体的に小さい。また、(d)図を見ると、年間を通して金谷側の方が久里浜よりも水温が高い傾向にあり、特に冬季に金谷と久里浜の水温差が大きくなっている。

塩分(図-3.4)は、水温とは逆に淡水流入が多い春と秋に変動が大きい。特に2004年10~11月の空間変動が大きく10PSU以上異なっている。冬季は金谷側の方が久里浜側より塩分が高い傾向にあるのに対し、淡水流入の多い時期はそうした傾向が見られず、ばらつきも大きい。

σ_t (図-3.5)は、全体に塩分の影響を強く受け、2004

年10月には空間変動が7以上に達している。それ以外は全体にバラツキが小さく、全般に金谷側の方が久里浜側よりも σ_t が大きい。

クロロフィル*a*(図-3.6)は5~9月にかけて急上昇する日があり、1日で30 μ g/lを越える変化が見られる。空間変化も大きく2005年6月には70 μ g/lまで達している。

気圧(図-3.7)、気温(図-3.8)、日射(図-3.9)、湿度(図-3.10)、風速(図-3.11)といった気象データには、久里浜金谷間の距離が10kmと近いと、ほとんど空間的な変化が見られず、時間的な変化の方が大きい。そのため、久里浜と中央部、金谷の1日平均データにも、あまり変化が見られないものの、詳細を見ると、気温は冬(11~2月)に気温の変化が激しい日が多く、夏(6~9月)にかけて変化が小さい。また、冬(夏)、中央部の方が若干高く(低く)になっており、金谷の方が冬(夏)、久里浜より若干低く(高く)になっている。

湿度も、冬(10~3月)に時間的、空間的に変化が大きく、夏(6~9月)は変化が小さい。

風速も、冬(10~3月)に変化が大きく、夏(7~9月)に変化が小さい。また、夏は場所的な変化があまり見られないが、冬(10~2月)は久里浜の方が2m/sほど小さくなっている日が度々見られ、三浦半島の影響により久里浜周辺の風が小さくなっているものと考えられる。

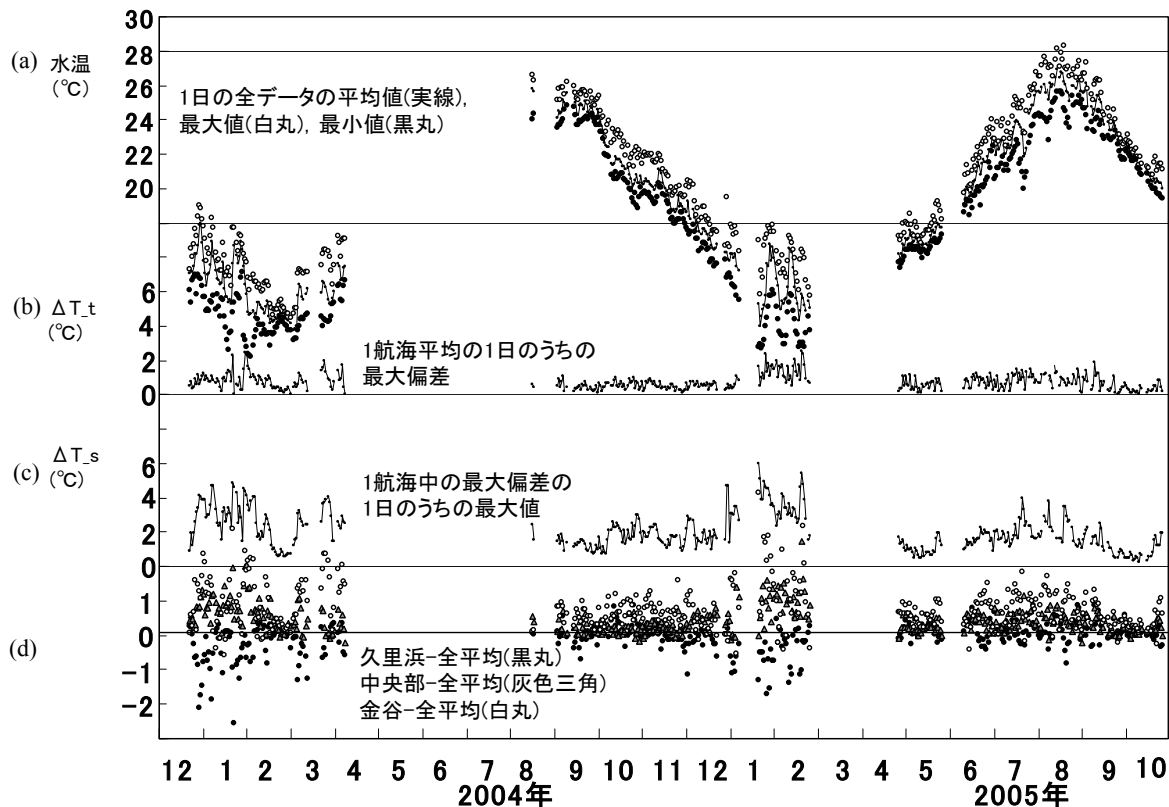


図-3.3 水温の(a)最大最小平均値と(b)時間変動、(c)空間変動、(d)久里浜、中央、金谷の全平均値からの偏差

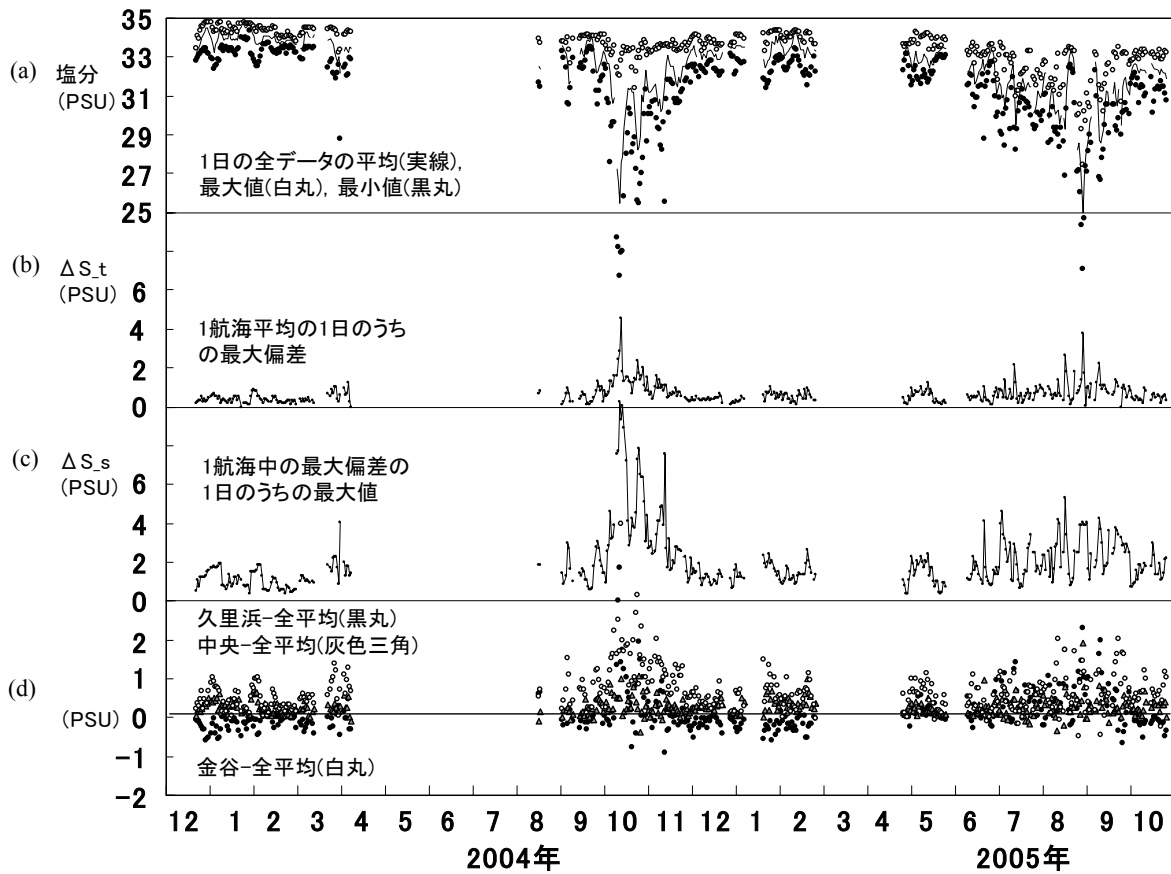


図-3.4 塩分の (a) 最大最小平均値と (b) 時間変動, (c) 空間変動, (d) 久里浜, 中央, 金谷の全平均値からの偏差

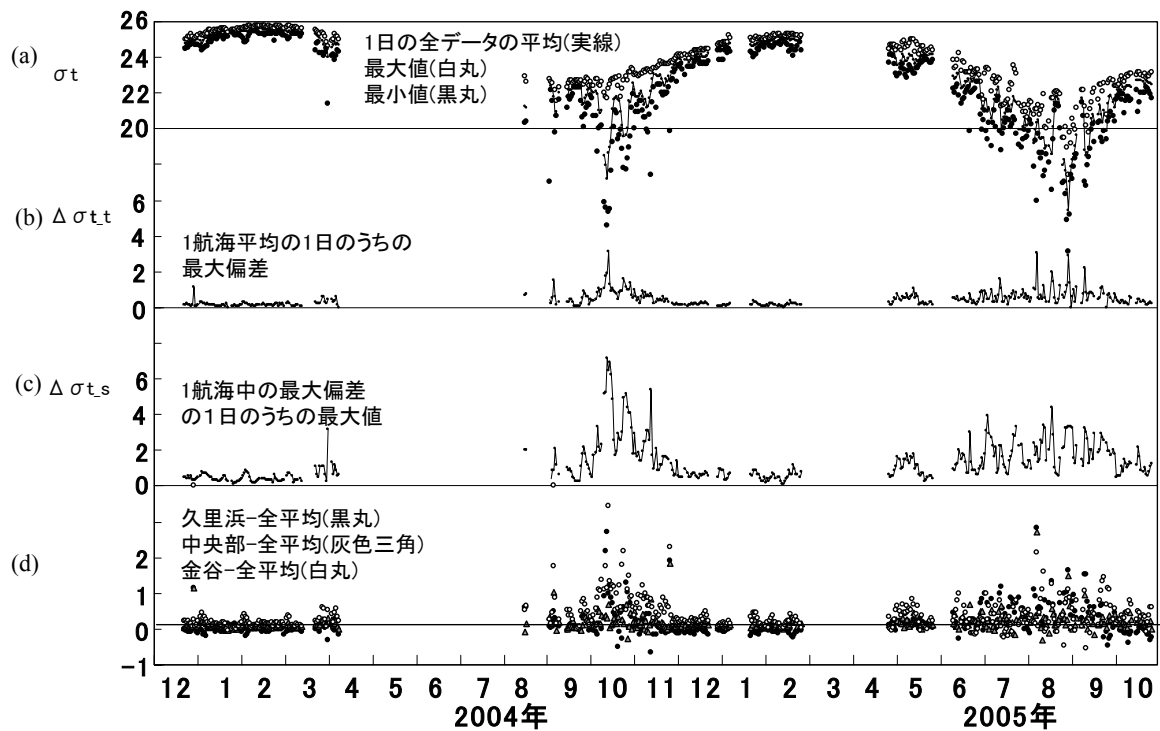


図-3.5 密度 σ_t の (a) 最大最小平均値と (b) 時間変動, (c) 空間変動, (d) 久里浜, 中央, 金谷の全平均値からの偏差

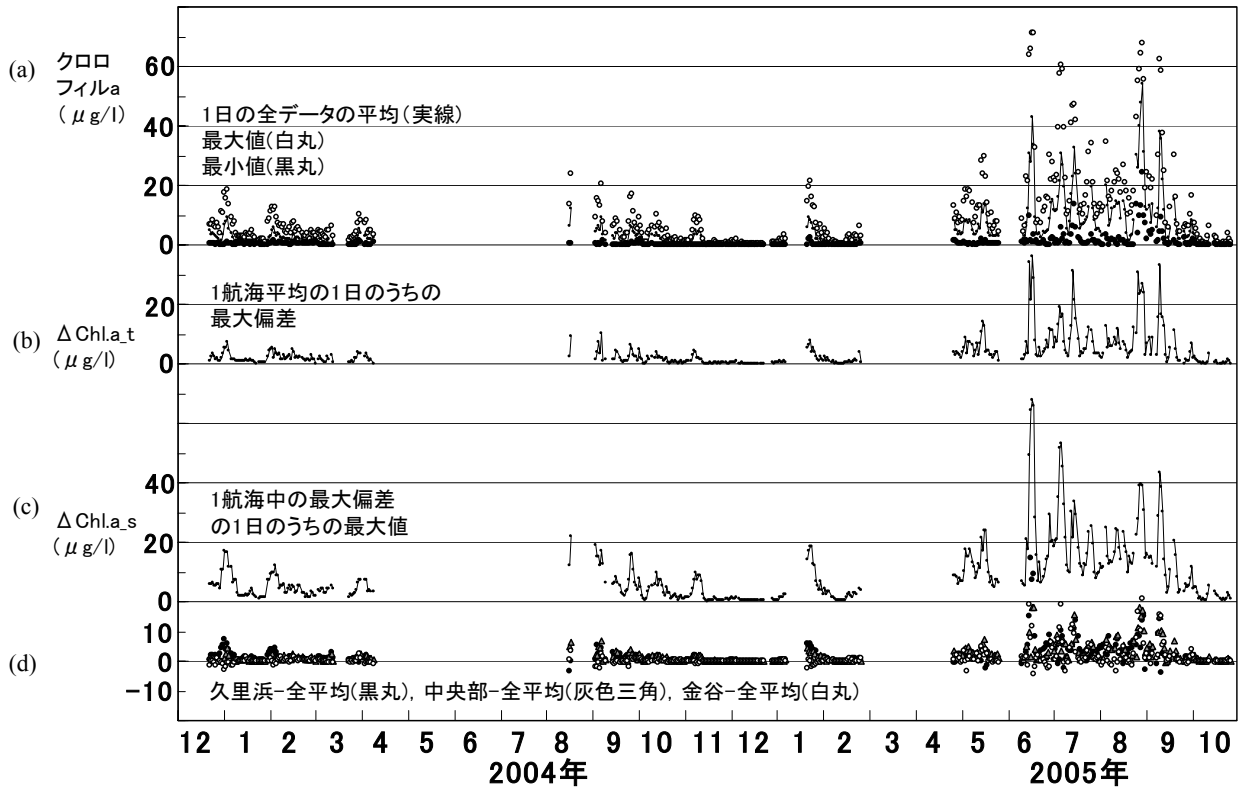


図-3.6 クロフィル a の (a) 最大最小平均値と (b) 時間変動, (c) 空間変動, (d) 久里浜, 中央, 金谷の全平均値からの偏差

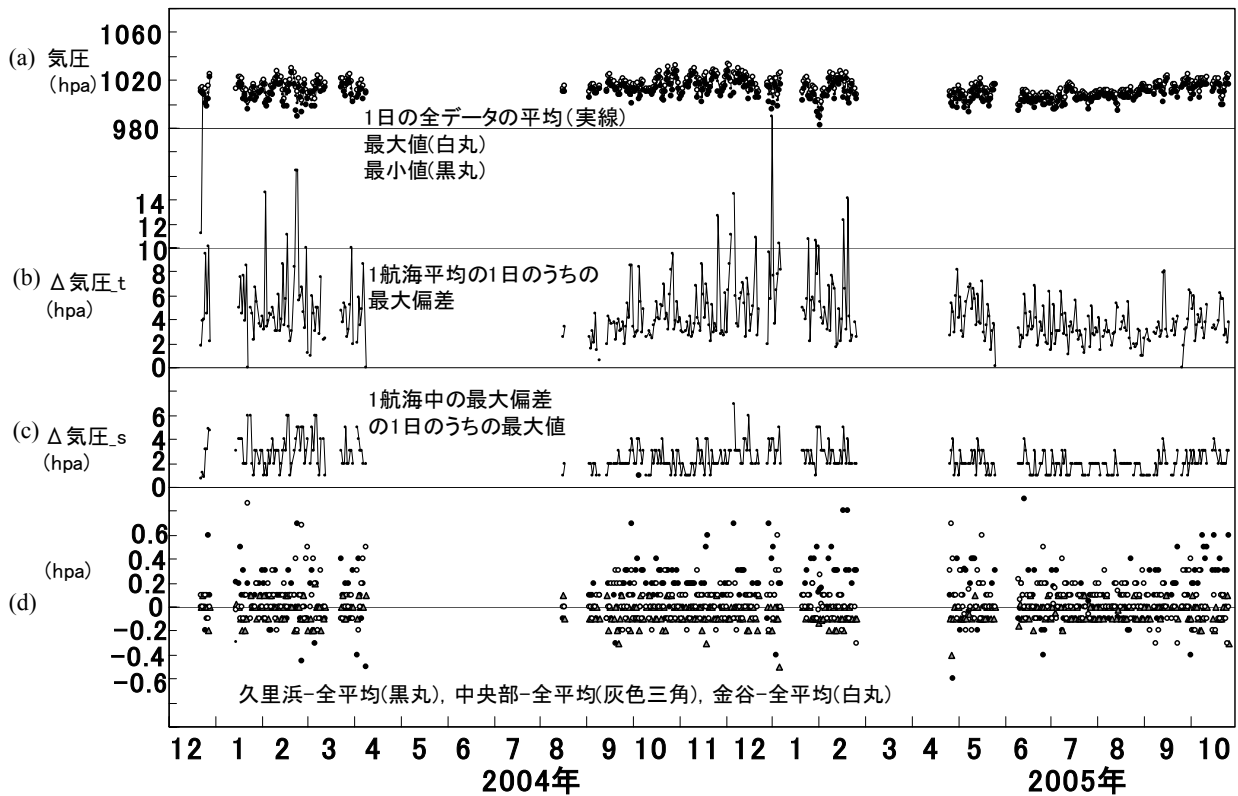


図-3.7 気圧の (a) 最大最小平均値と (b) 時間変動, (c) 空間変動, (d) 久里浜, 中央, 金谷の全平均値からの偏差

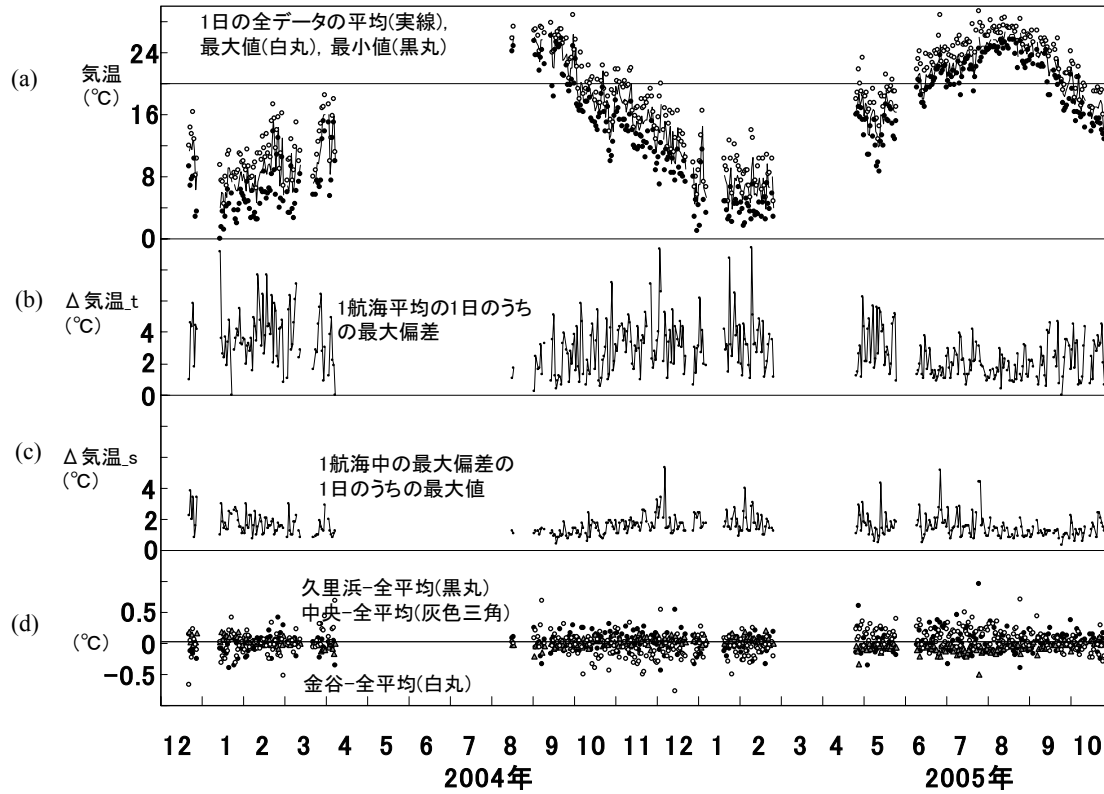


図-3.8 気温の (a) 最大最小平均値と (b) 時間変動, (c) 空間変動, (d) 久里浜, 中央, 金谷の全平均値からの偏差

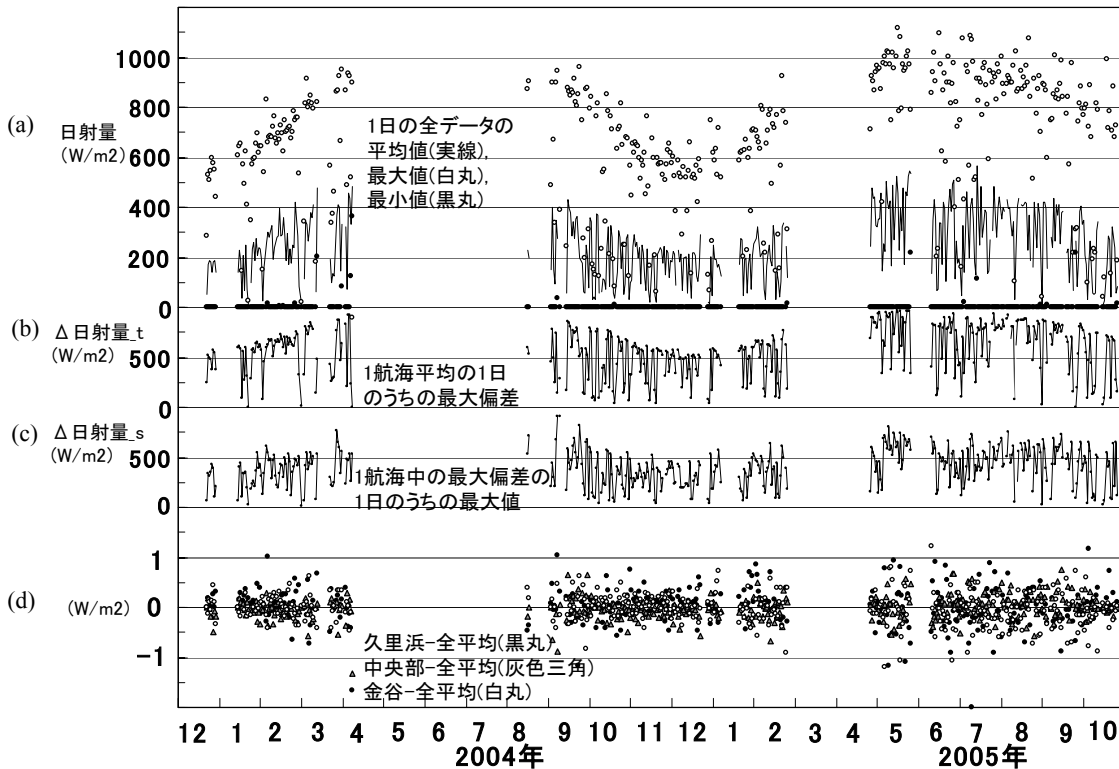


図-3.9 日射の (a) 最大最小平均値と (b) 時間変動, (c) 空間変動, (d) 久里浜, 中央, 金谷の全平均値からの偏差

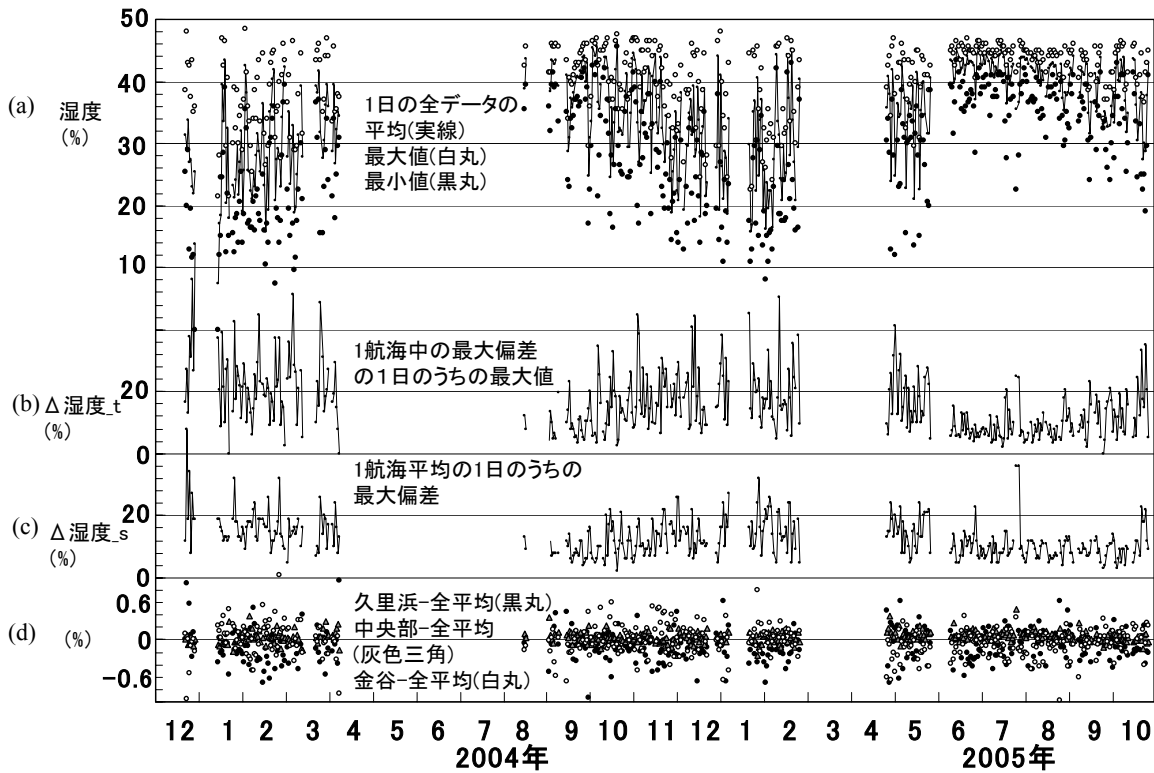


図-3.10 湿度の(a)最大最小平均値と(b)時間変動, (c)空間変動, (d)久里浜, 中央, 金谷の全平均値からの偏差

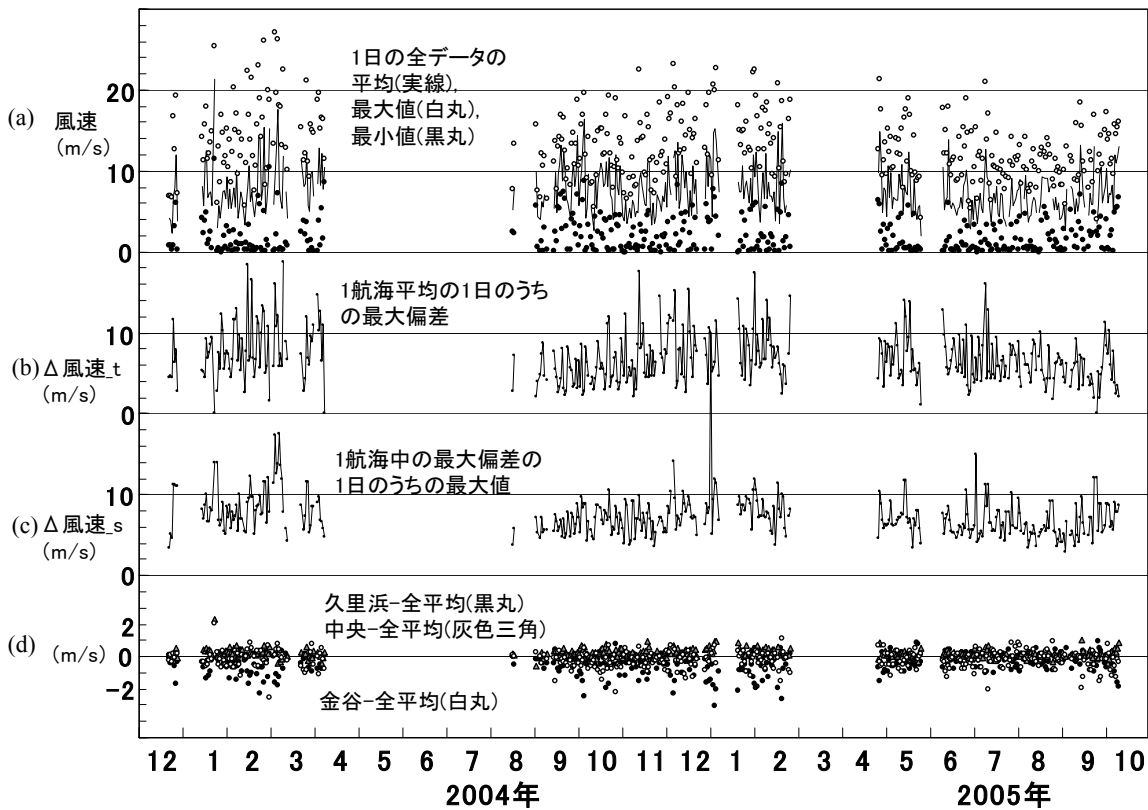


図-3.11 風速の(a)最大最小平均値と(b)時間変動, (c)空間変動, (d)久里浜, 中央, 金谷の全平均値からの偏差

3.2 潮汐による流況の特性と潮流槽円

図-3.12 は、2005年5月7日（大潮の日）の流向流速データである。かなや丸は船舶を避けて航行するため実際には蛇行して航行しているが、ここでは久里浜、金谷を最短距離で結ぶ直線に投影して流速を表示している。なお、これ以降、東京湾から流出する方向を**流出方向**、東京湾へ流入する方向を**流入方向**とよぶ。

AM6:39には久里浜から約4kmの場所の流速が最大で流出方向に0.54m/sである。その後、徐々に流速の大きい場所が金谷側へずれて行き、AM9:36には久里浜側から約7.5kmの位置の流速が最大となっている。一方、久里浜と金谷の岸に近い場所の流速は、中央部よりも早く流向が変わっている（位相が早い）。AM10:35時点では、久里浜から4~8kmの中央部は流出方向だが、久里浜、金谷近くの流向はともに流入方向である。

図-3.13 は、東京港の潮位とその時間微分、および ADCP の断面平均流速である。偶然ではあるが、ADCP の断面平均流速(cm/s)は、潮位の時間微分 $\Delta\eta / \Delta t$ (m/hr) と極めて近い値をとる傾向にある。

図-3.13 中、5月7日の断面平均流速を見ると、AM9:36までは流出であるのに対し、金谷側、久里浜側では流向が反転し流入方向になっており、断面平均流速よりも位相が早いのが分かる。一方、中央部の流速は、流向が流入方向となったAM10:35においても流出しており、断面平均流速よりも位相が遅いことが分かる。

図-3.14 は2004年1月のM2分潮の潮流槽円であり、海底溪谷のある久里浜から2.5kmの位置の槽円が最も大きくなっている。図には、表層の流速が最大となる位相線（槽円中心とその位相の流速を結んだ線）をともに示している。久里浜港と金谷港の周辺、さらに海底付近の位相が他の部分よりも早くなっている。潮汐が宇野木ら(1990)に示されるような摩擦をともなった振動流である

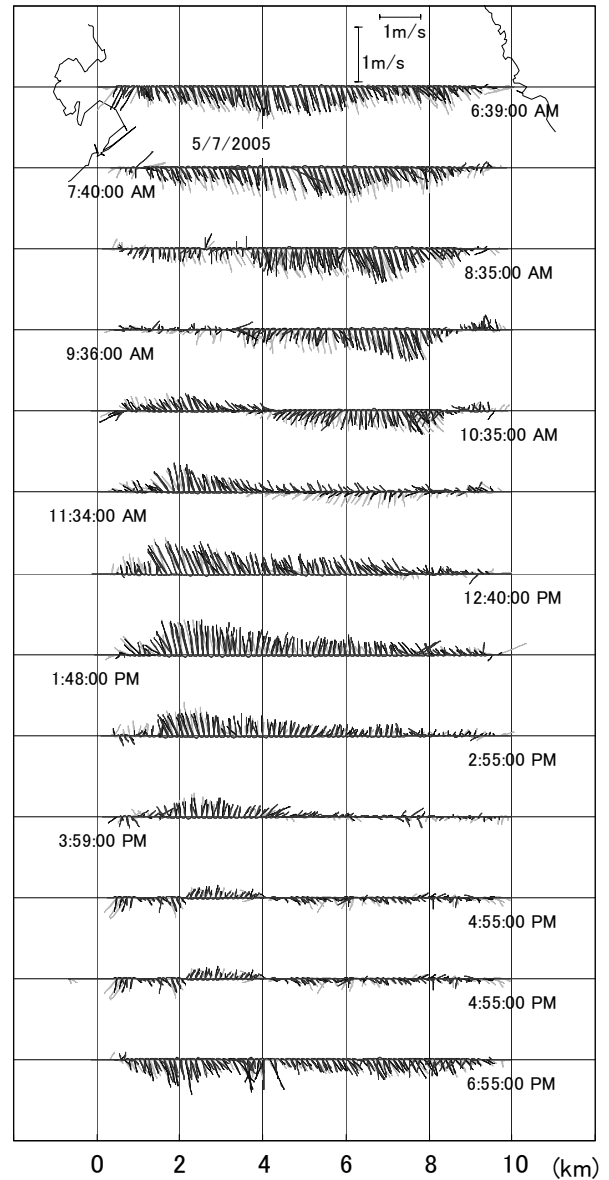


図-3.12 大潮の日の表層の流向流速（2005年5月7日）

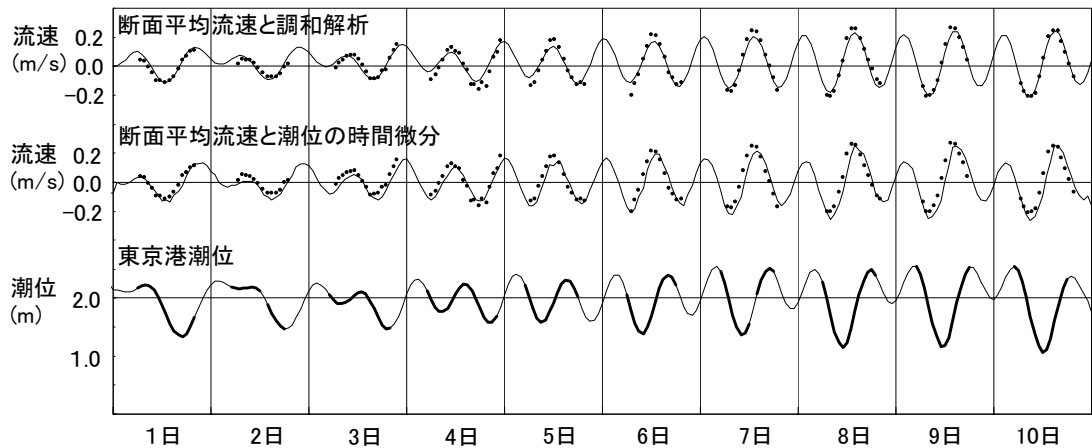


図-3.13 久里浜港の潮位と ADCP 断面平均流速の比較（2005年5月）

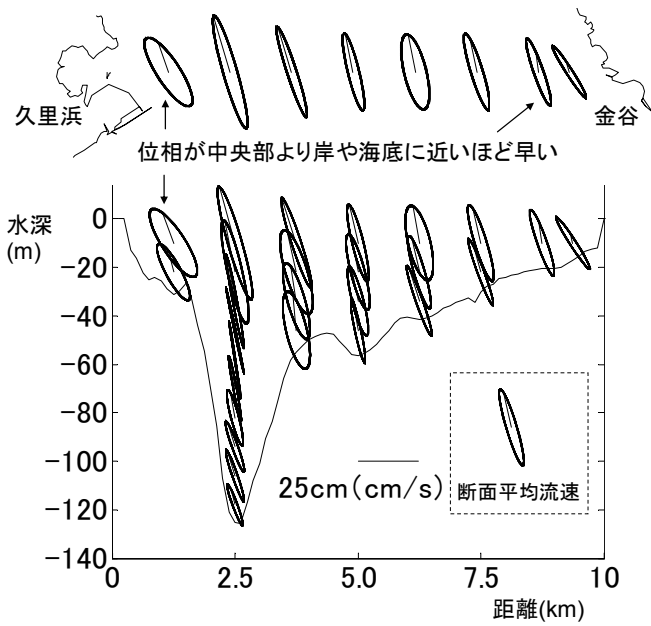


図-3.14 M2 潮流楕円(2004年1月)

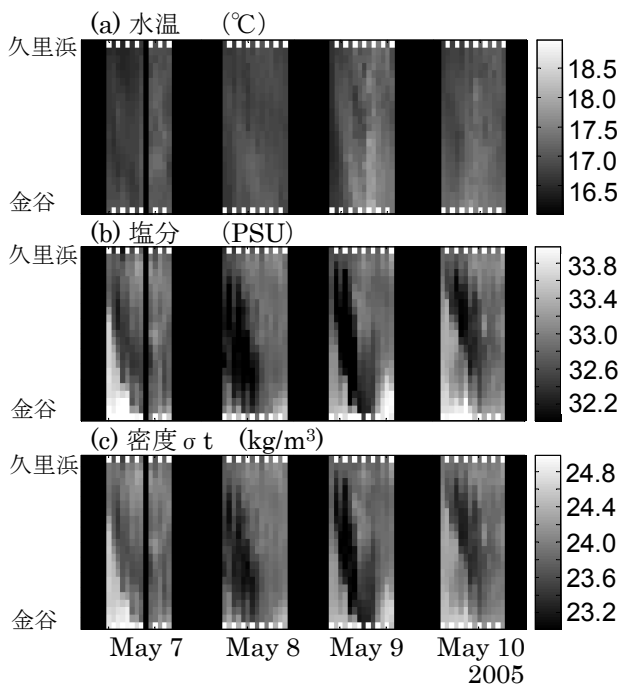


図-3.15 大潮時の水温、塩分、 σ_t の変化

ことを示しているものと考えられる。なお、その他の期間の潮流楕円は付録 CD-ROM に保存している。

図-3.15 は、2005年5月の塩分、水温、 σ_t の全データを、横軸を時間に、縦軸を久里浜と金谷の距離として表示したものである。図-3.12 に示した流れと比較すると、AM6:39~AM10:35にかけて流出速度の速い位置が徐々に金谷側にずれていくことにより、湾内の塩分、 σ_t

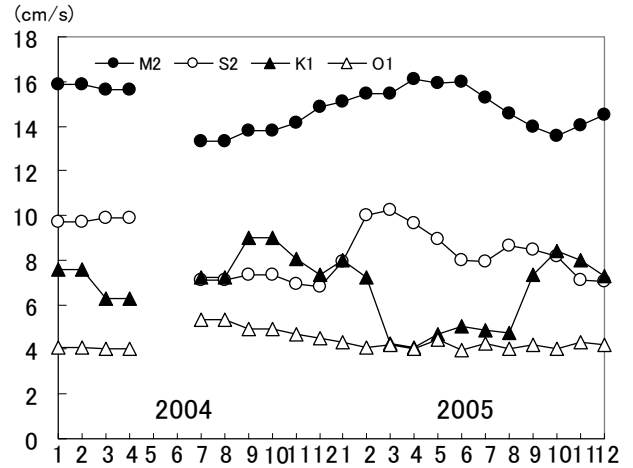


図-3.16(a) ADCP 断面平均流速の各月の調和定数

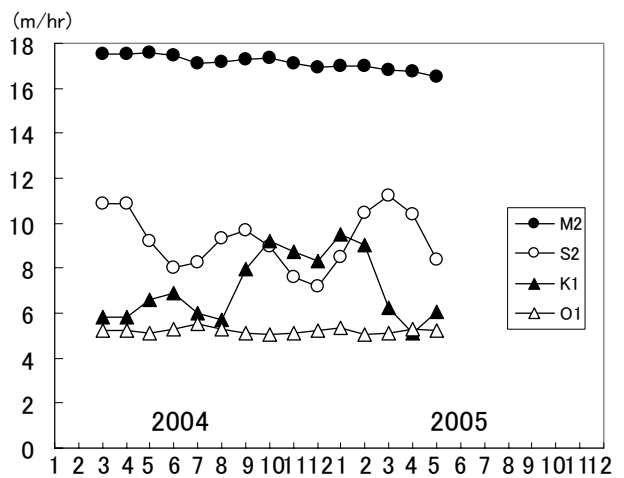


図-3.16(b) 久里浜港潮位の時間微分の各月の調和定数

の低い水塊が徐々に金谷側に移動しているように見える。

一方、岸に近い部分の潮流の位相が早いいため、外洋水の塩分、 σ_t の高い水塊が、久里浜港と金谷港の方から徐々に、湾の中央部に広がっていくように見えている。このような塩分、 σ_t の変化は、2005年5月だけでなく、大潮時によくみられ、付録 CD-ROM の図を参照されたい。

図-3.16(a) は、断面平均流速の各月の調和定数の変化である。M2 分潮は 15cm/s 程度で、若干、夏の方が冬よりも小さくなる傾向にある。S2 と K1 分潮が変化しやすい傾向にあり、観測誤差か、海域の特性なのかは、さらに検討を要する。

図-3.13 に示されるように、偶然ではあるが、久里浜港の潮位の時間微分と ADCP 断面平均流速の値がよく一致するため、久里浜港の潮位の時間微分の調和定数を求めたのが図-3.16(b)である。M2、O1 は年間通して一定であるが、S2、K1 は変動が激しく図-3.16(a)の結果と傾向が似ている。

3.3 各季節の流況と水質の特性

(1) 冬季の流況と水質の特性

a) 外洋水の流入とフロントの発生

図-3.17 は、2003年12月23日～2004年3月31日までの水温、塩分、 σ_t 、クロロフィル a の変化である。塩分、水温は同じタイミングで上下し、1～2週間周期で変動しているのに対し、クロロフィル a は塩分、水温と逆の傾向を示している。

図-3.18 は、塩分水温が急激に上昇した1月21日の表層と断面の流速、塩分、水温、クロロフィル a と密度 σ_t の分布である。久里浜から7kmの位置では約0.6m/sもの速さで内湾に流入する流れがあり、そこでの水温は17°Cと冬にもかかわらず暖かく、塩分も34.8PSUと高かった。このことから、高温高塩分の外洋水が速い速度で流入していたものと考えられる。一方、久里浜港から約3.5kmの位置では流向が反転しており、塩分水温はそこを境にそれぞれ4°C、1PSUほども小さくなっており、久里浜側では東京湾からの海水が流出していたものと考えられる。

久里浜から約3.5kmの位置で塩分・水温・クロロフィル a が急変する点では σ_t が極大値をとっており、熱塩フロント(柳, 1990)の特徴を持っている。ただし、最近の日向ら(2000, 2004)の研究によると、このような冬季東京湾口におけるフロントは定常的に発生する熱塩フロントとしては説明ができず、間欠的な黒潮系暖水の波及が大きく影響し、非定常的に発生していると言われている。

図-3.19 は、2004年1月の水温塩分、 σ_t 、クロロフィル a 、および流況の水深10,20,40,60mの実測値と残差流、さらに潮位、波浪エネルギーフラックス、降雨量、日射、気圧、湿度、南北東西風速の変化を示すものである。

水温等の水質と流況は、久里浜から金谷までのフェリーで計測された全データがプロットされている。流速は東京湾へ流入する向きを正として赤で表示し、流出する向きを負として青で表示している。フェリーで計測された気象データ(日射、気圧、湿度、風速)は1航海の平均値が載せてあり、1月1日～13日は欠測している。

潮位と波浪は当所海洋情報研究室で計測されている久里浜港の潮位と湾口アシカ島の波浪データであり、降雨量は国交省の水文水質データ(<http://www1.river.go.jp/>)のうち、多摩川流域の観測所の平均降雨量である。

夜間はフェリーが航行しないため、水質、流況、気象の実測値はデータが抜けた形となっている。また、1月22～23日は低気圧の通過にともなって、フェリーが欠航している。残差流成分は、2章で詳述したABICを用いて推定しており、残差流成分は時間的にならぬかであるという仮定を用いて夜間の欠測部分も推定している。

水温と塩分は1月6～7日、1月14日、1月21日～30日に同時に上昇しており、塩分水温の高い外洋水が流入してきているものと考えられる。このときの残差流は塩分水温が上昇する際に金谷側から中央部にかけて流入しており、特に1月21日と1月26日の流速が大きい。

σ_t を見ると、1月7日、14日の前後、16～20日、25日、29～31日は、 σ_t が大きくなっており、そのような場所にフロントがあったのではないかと推定される。2004年以外には、2003年に12月27日～31日、2005年に1月26～29日、2月9日～13日に顕著に見られた。付録CD-ROMに、観測開始から全ての月について図-3.19と同様の図を含めているので参照されたい。

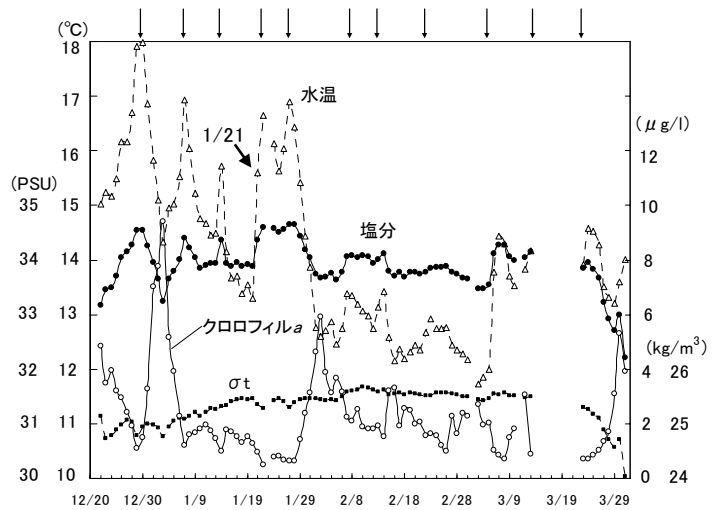


図-3.17 2004年冬季の塩分、水温、 σ_t 、クロロフィル a

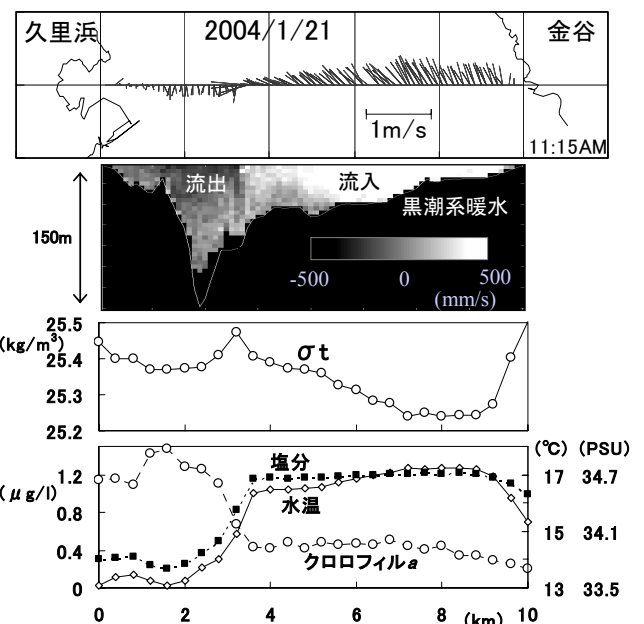


図-3.18 冬季の高温、高塩分、低クロロフィル a の外洋水の流入とそれにとまうフロント

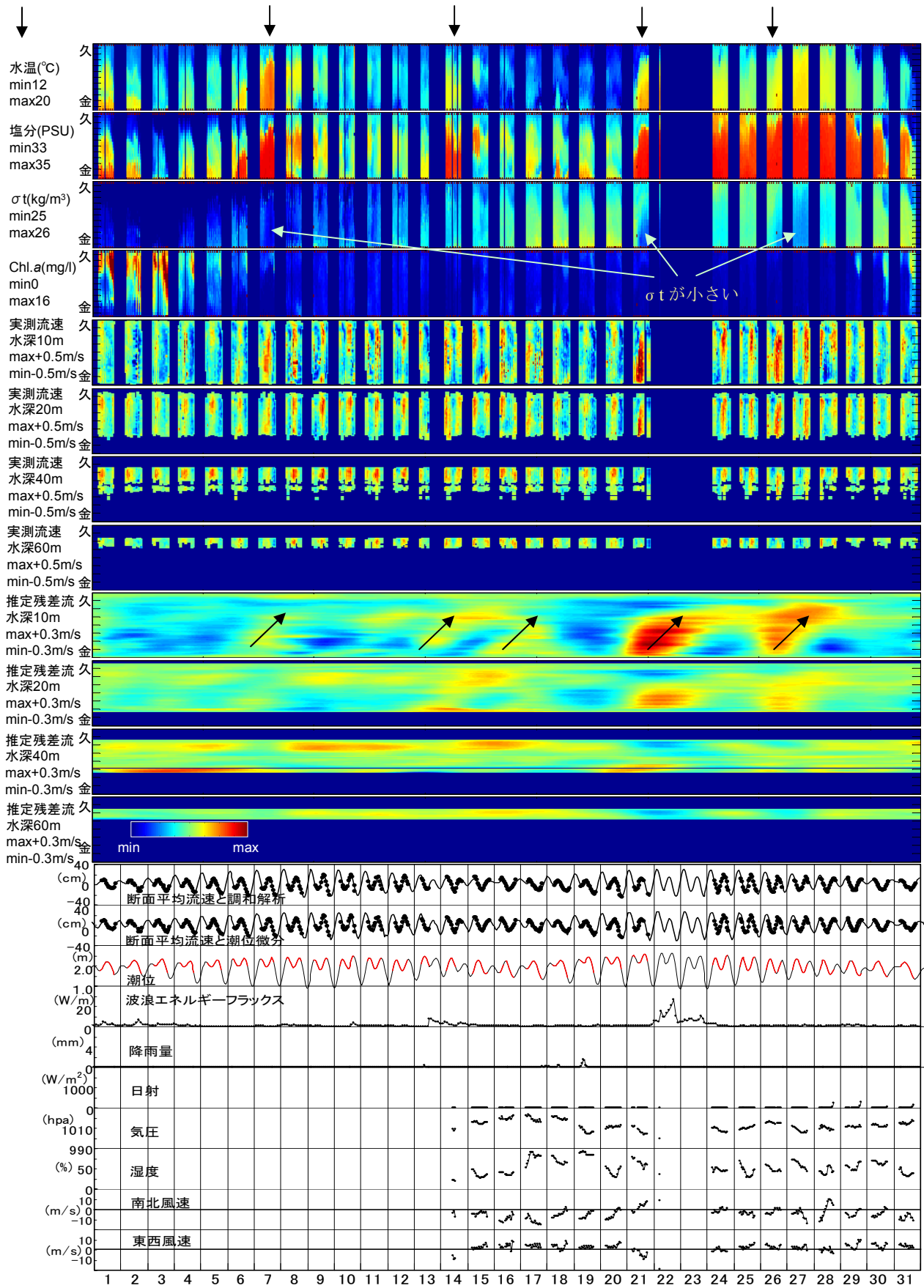


図-3.19 冬季の水質・気象・流況の変化(2004年1月) 12月28日, 1月7, 14, 21, 26日に外洋水が流入(各月について同様な図が付録CD-ROMにあるので参照されたい)

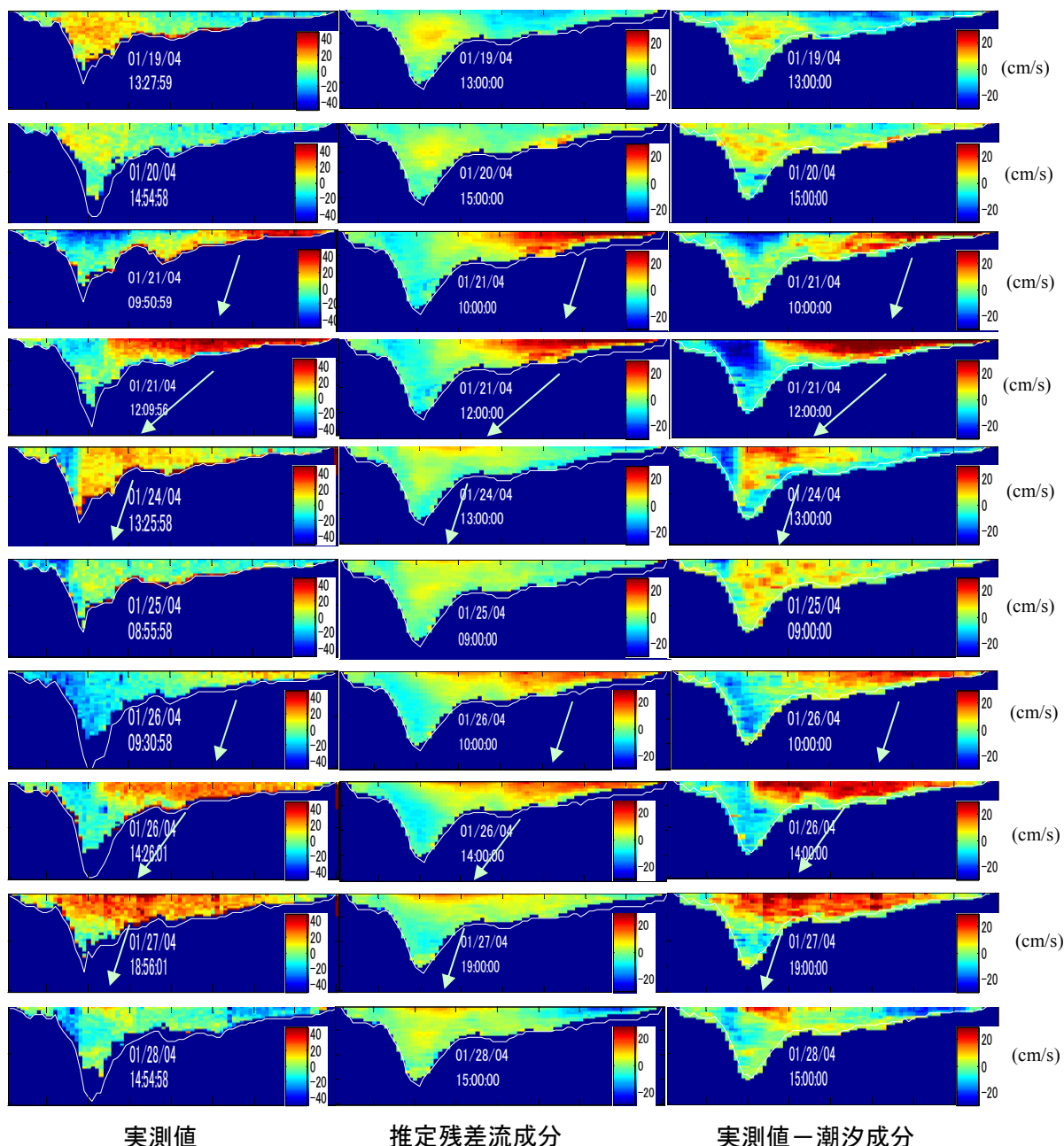


図-3.20 外洋水の特徴的な流入，流出過程 (2004年1月19～28日) 推定残差流成分はベイズ型情報量基準による残差流であり，実測値-潮汐成分は，実測値からベイズ型情報量基準による潮汐成分を差し引いたもの

b) 外洋水の流入，流出過程

図-3.19を改めて見ると，外洋水の流入前と流入後の数日間に強い流出があり，金谷側でみると6～10日程度の周期で流入流出を繰り返しているように見える。

図-3.20は2004年1月20～28日までの断面流速分布である。20日は千葉側が流出傾向にあるが，21日には千葉側から外洋水が強く流入し始め，24,25日には流入箇所が中央部にずれて，千葉側では強い流出となっている。その後，26日に再び千葉側から強く流入し，28日には流入箇所が中央部にずれて千葉側では強い流出となった。

このような，①始めに外洋水流入前の中央部から千葉

側にかけての流出，②次に千葉沿岸に沿った外洋水の流入，③最後に外洋水流入箇所の中央部への移動と千葉側での流出，といった残差流の発生状況は，この他にも冬季(11月下旬～3月)，千葉側で塩分水温の上昇が発生したほとんどのケース(2003/12/23～2004/1/2, 1/5～8, 1/11～14, 1/19～29, 3/5～8, 2005/1/17～22, 2/8～11, 11/16～22, 12/26～2006/1/1)で見られた。付録CD-ROMを参考にされたい。

こうした残差流の変化については，外洋水の長周期波動としての振る舞いや，冬季の気象変化の影響などが考えられる。今後，その原因を検討していく予定である。

(2) 夏季の南風による表層塩分の上昇

図-3.21 は、2004年7月24～8月1日の断面流速分布である。7月24～27日、7月30日～8月1日では、表層で強い流入が見られ、中層流出、下層流入となっていた。一方、7月28～29日は逆に表層流出、中層下層で流入であった。台風の影響で北風となった7月28～29日を除くと、この期間は全体に強い南風が吹いていた。このため夏季に成層化した海域に南よりの海上風が吹くことにより、表層10～20mで東京湾への流入する吹送流が発生していたのではないかと考えられる。

2004年は気象・水質解析装置が故障しており、データが取られていなかった。以下、同様の現象が見られた2005年夏季のデータを見てみる。

図-3.22 は、2005年6月11日～8月31日の1日平均の塩分、水温、密度 σ_t 、クロロフィル a 、南北風速（南風が正）、多摩川流域平均降雨量である。南風となっていた日が多く、約1～2日遅れて塩分と密度が上昇、水温とクロロフィル a が下降する傾向にある。

特に台風11号が首都圏を通過する前の8月18日～23日にかけて風速約10m/sの南風が連吹しており、これにより湾口に高塩分・高密度で、内湾に比して低温・低クロロフィル a の外洋水が進入してきたものと考えられる。

図-3.24 (次頁) は、2005年8月の水温塩分、 σ_t 、クロロフィル a 、および流況の水深10m、20m、40m、60mの実測値と残差流、さらに潮位、波浪エネルギーフラックス、降雨量、日射、気圧、湿度、南北東西風速の変化であり、図-3.19と同様の図である。また、ABICによる残差流の推定では、残差流が時間的に均される傾向にある。そのため、より急激な変動を見るため図-3.25 (次々頁) では、実測値から3ヶ月の調和解析による潮汐成分を差し引いて求めた残差流を示している。(残差流以外は図-3.21と同様である。なお、同様の図の各月のデータを付録CD-ROMに載せているので参照されたい)。

8月14～19日にかけては、内湾からの約28℃の高温低塩分の水塊が流出していた。その後、8月18日～23日の南風の連吹により、表層の水深10mの残差流は強い流入となっており、水深20m、水深40m、60mでは弱いながらも流出傾向となっており、表層で強い吹送流が発生していたことを示していると考えられる。一方、台風11号の影響により8月24日頃からは上層で流出、中層下層で流入するようになり、流れが反転している。

図-3.23 は8月19日～27日にかけての断面流速である。表層で強い吹送流が発達し、中層流出、下層流入となったものと考えられ、2004年夏季の図-3.21と同様な流速分布をしているのが分かる。

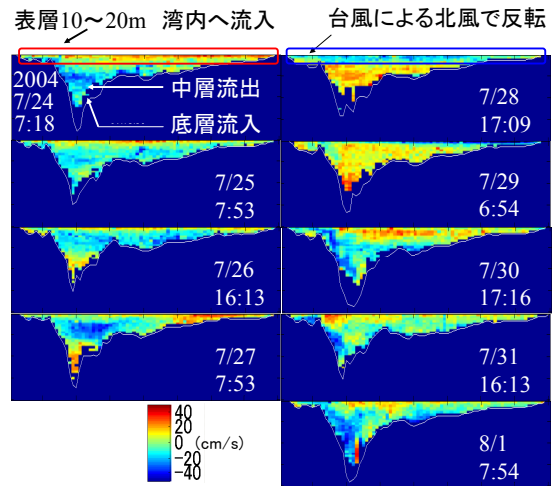


図-3.21 2004年夏季 表層流入と中層流出状況

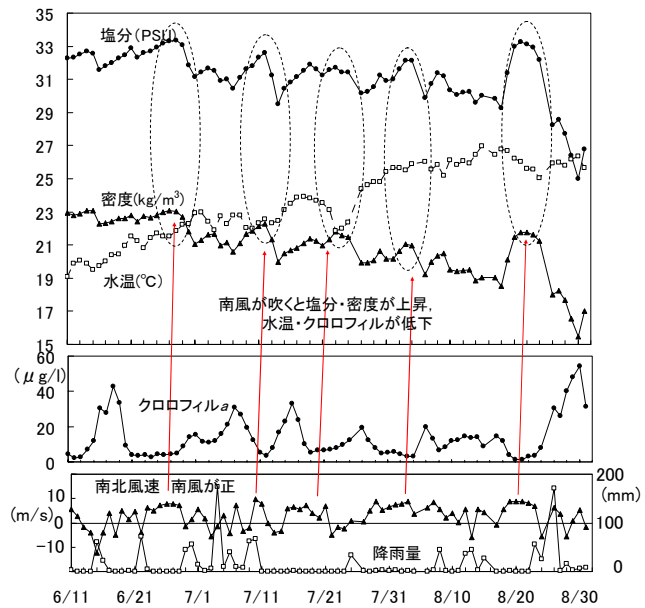


図-3.22 2005年夏季 水質と海上風の関係

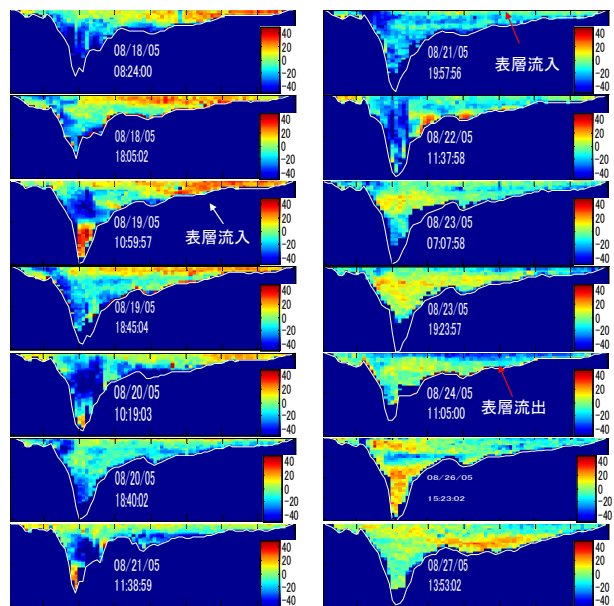


図-3.23 2005年8月 表層流入状況

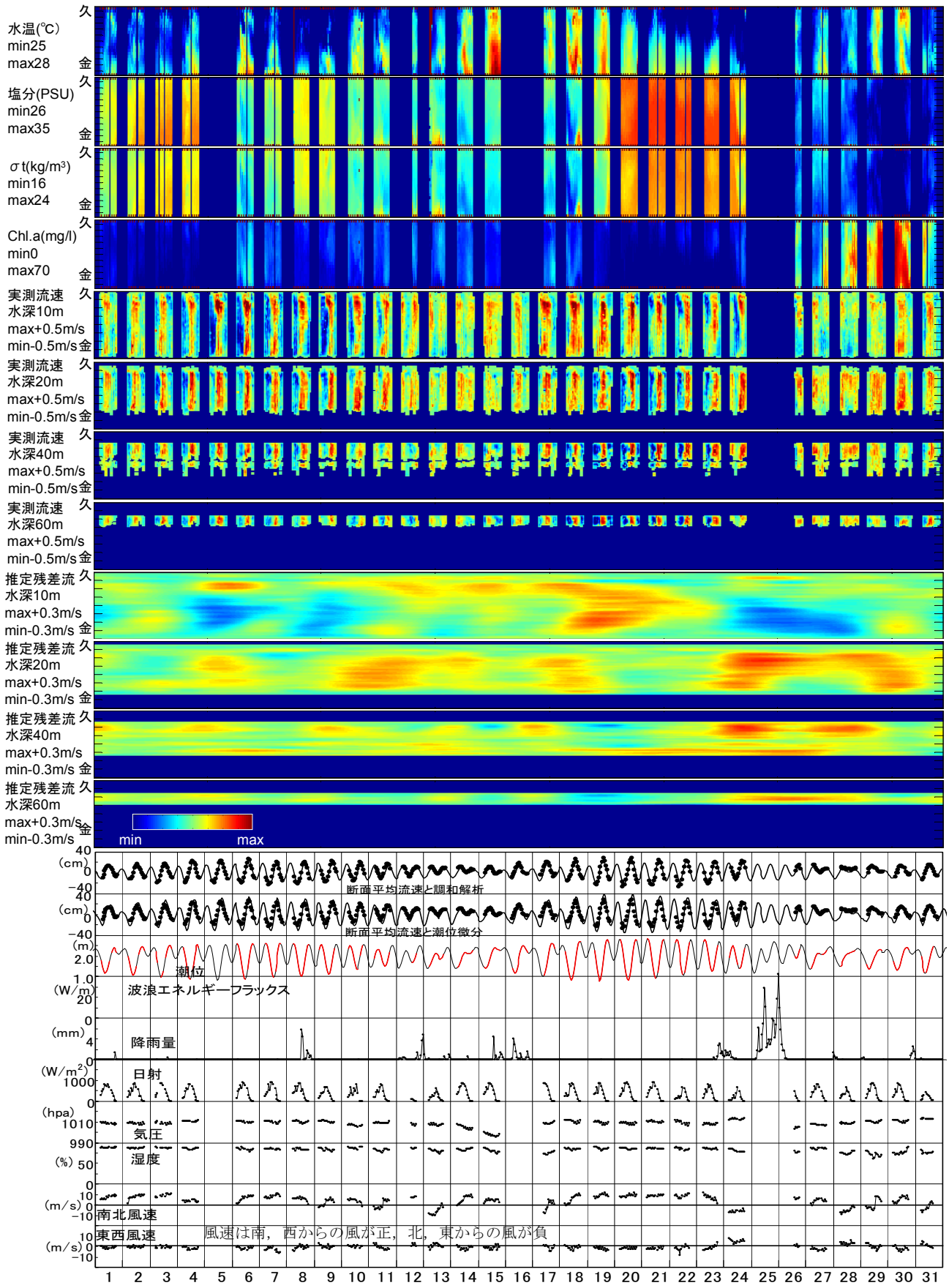


図-3.24 夏季の水質・気象・流況の変化(2005年8月) 8月18~23日に南風が連吹き、表層10mで外洋水が流入、塩分、 σ_t が上昇し、水温、クロロフィル*a*が低下している。

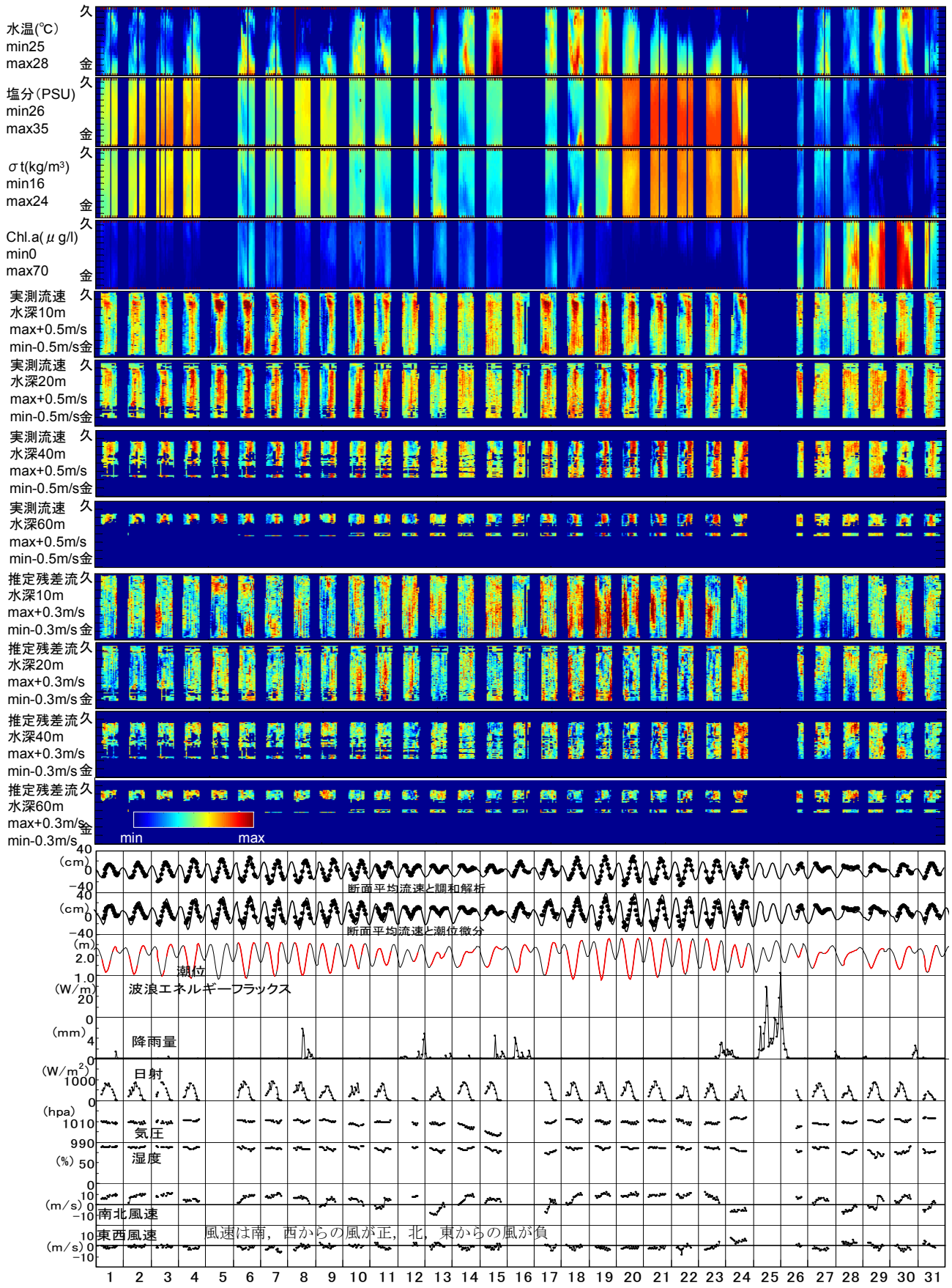


図-3.25 夏季の水質・気象・流況の変化 (2005年8月) 残差流を実測値から3ヶ月の調和解析によって得た潮汐成分を差し引いて求めている (同様の図を各月について付録CD-ROMに掲載している)

(3) 台風や秋雨前線による秋の外洋水の流入

図-3.26 は、2004 年秋の降雨量、風速と水質の関係である。2004 年秋は台風が頻繁に関東地方に襲来し、秋雨前線も含めて淡水流入の回数が多かった。降雨量と水質を比較すると、数日遅れて塩分、密度が低下しており、内湾から低塩分、低密度の海水が流出していることが分かる。また、11 月以外は、このような淡水流入にあわせてクロロフィル *a* が増加する傾向にある。それとは逆に 9 月 20 日前後は、約 10m/s の風が吹いており、(2) で述べたと同様な湾内へ流入する吹送流が発達し、塩分が上昇している。

図-3.27 は、多摩川流域の降雨量と湾口の表層塩分の低下との相互相関であり、縦軸が相互相関、横軸が時間差を示しており、相互相関は以下の式(17)で計算した。

$$C_{sr}(\tau) = \int (34 - S(t + \tau)) * w(t) dt \quad (17)$$

$$[C_{sr}]_{\max} = \max[C_{sr}(\tau)] \quad (18)$$

ここで、*t* は時間(日)、 τ は相互相関を出す際の時間差(日)、*w(t)* は多摩川流域の 11 地点の日平均降雨量(mm/日)、*S(t)* は湾口での 1 日の平均塩分(PSU)であり、塩分の低下量は 34PSU からの差として計算している。また、相互相関は $C_{sr}(\tau) / [C_{sr}]_{\max}$ というように、その最大値で除して無次元化している。なお、塩分と降雨量は 2004 年 9 月 6 日～2005 年 1 月 31 日のデータで相互相関を求めている。また、多摩川流域の降雨量は、前述した国交省水文データ HP からのデータを用いている。

降雨量と湾口表層塩分低下量の相互相関は約 3～5 日後に最大となっており、降雨の後、約 3～5 日後に湾口の表層塩分が低下する傾向にあることを示している。

図-3.28 は、多摩川の石原で計測された河川流量と湾口の表層塩分低下量との相互相関である。相互相関は、上式(17)の *w(t)* を多摩川の 1 日平均流量として求めた。

相互相関は約 2～3 日後に相互相関が最大となっており、多摩川河口から約 2～3 日後に淡水の大部分が湾口に到達していたのではないかと考えられる。降雨は河川流域だけでなく、東京湾の海表面自体にもあるため、塩分の低下が河川起源だけとは限らないものの、上図からすると比較的速く河川起源の淡水が湾口に到達しているものの推測される。

図-3.29 は、台風による淡水流入が頻繁に起きた 2004 年 10 月の水温塩分、 σ_t 、クロロフィル *a*、および流況の水深 10m、20m、40m、60m の実測値と残差流、さらに

潮位、波浪エネルギーフラックス、降雨量、日射、気圧、湿度、南北東西風速の変化であり、図-3.19 と同様の図である。

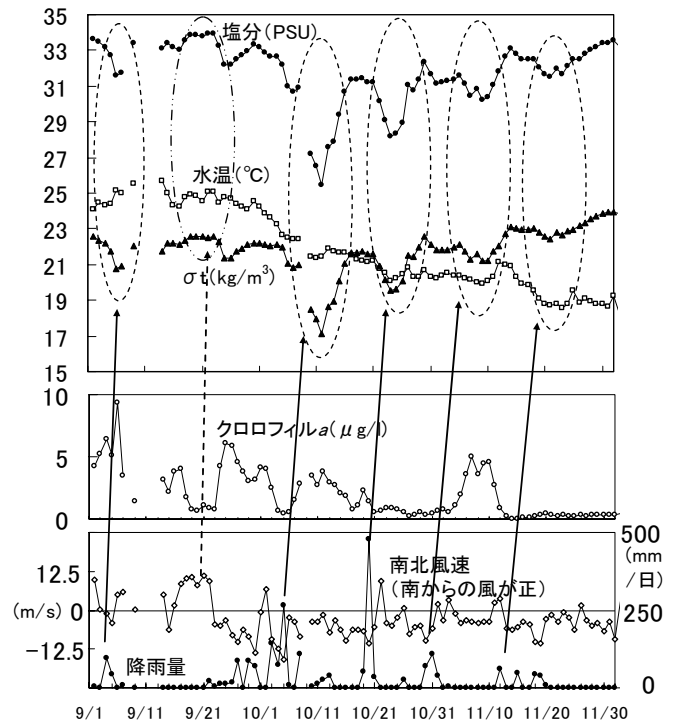


図-3.26 2004 年秋の降雨量、風速と水質の関係 (降雨後、数日遅れて塩分密度が低下、クロロフィル *a* が増加)

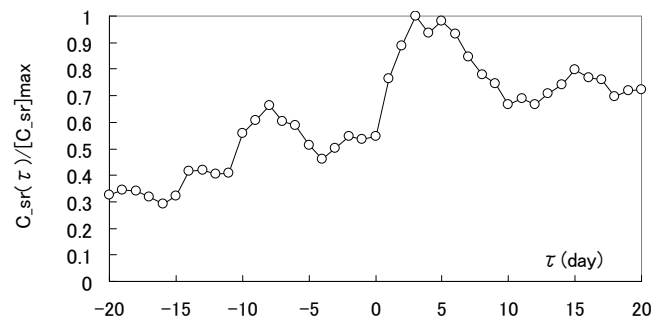


図-3.27 多摩川荒川流域の降雨量と湾口表層塩分低下量との相互相関

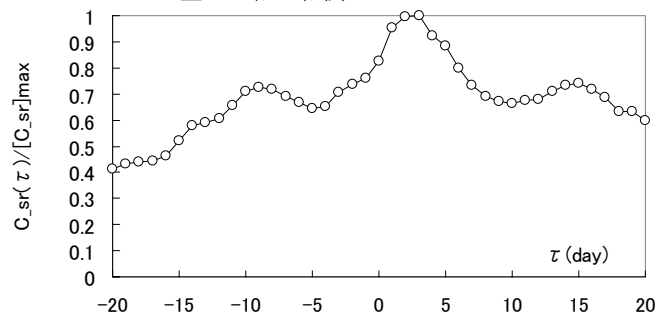


図-3.28 多摩川石原の河川流量と湾口表層塩分低下量との相互相関

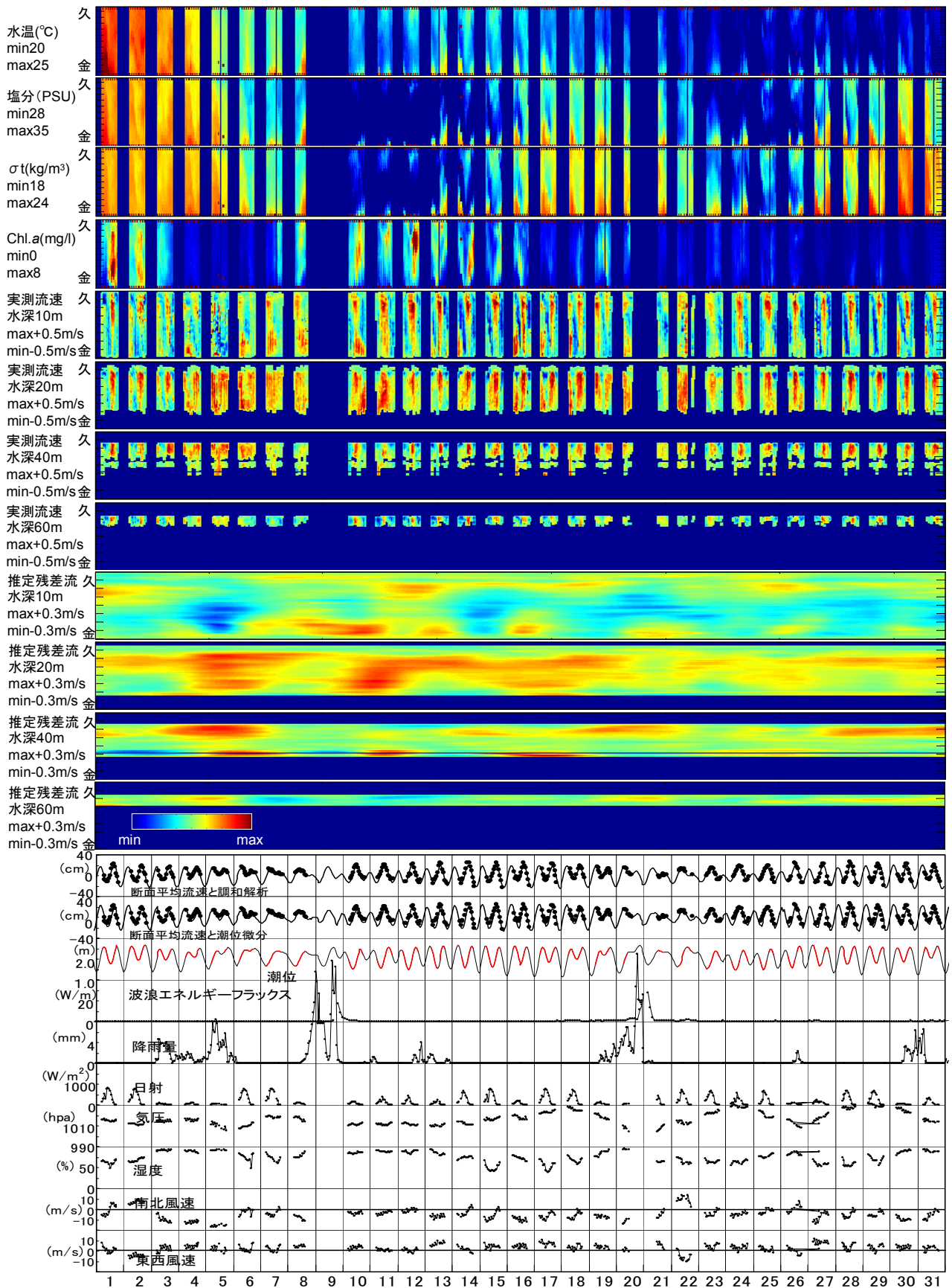


図-3.29 秋季の水質・気象・流況の変化 (2004年10月)

2004年10月は、10月3日に秋雨前線、10月9日に台風22号、10月20日に台風23号が通過し、その後に塩分の低下が見られる。なお、台風通過に伴って荒天となり、フェリーが欠航している。

残差流を見ると、10月4～6日、10～31日にかけて、表層から流出、中層から流入している。深さ方向の塩分、水温データが無いため、推測しかできないものの、これまでの日向ら（1999）の観測などから類推すると、表層から低塩分、低密度の内湾水が流出し、中層から高塩分、高密度の外洋水が流入しているものと考えられる。

図-3.30は、台風22号による塩分低下が見られた10月10日16時頃の断面実測流速である。特徴的な外洋水の流入状況であり、表層流出、中層流入、下層流出という、いわゆる中層貫入（日向ら、1999）となっている。塩分水温は、表層の流出速度が最も大きい久里浜から5～6kmの位置で最小値となっており、千葉側では比較的塩分水温が大きくなっている。このように中層貫入する場合も、千葉側では塩分水温が高くなっている場合が多く、外洋水が表層に表れるという特徴がある。

一方、10月4～6日にかけては、表層でその他の期間より強い流出傾向にあり、千葉側でも表層から流出している。3～5日にかけて、日平均風速が10m/sを超える北風が吹いており、流出速度が速くなったとも考えられるが、黒潮流軸の変動等も原因として考えられることから、今後さらに検討をしていく予定である。

ABICによる結果では、10月7～9日のように中層貫入が弱い日もあるものの、10月、11月のほとんどの日が中層貫入となっていた。また、2005年は、9月、10月に中層貫入が見られたものの、2004年ほどは顕著でなく、台風が2004年ほどには来襲しなかった結果ではないかと推測される。（2004年11月、2005年9、10月の結果については、付録CD-ROMを参照されたい）。2004年と2005年の違い等についても検討を進めていく予定である。

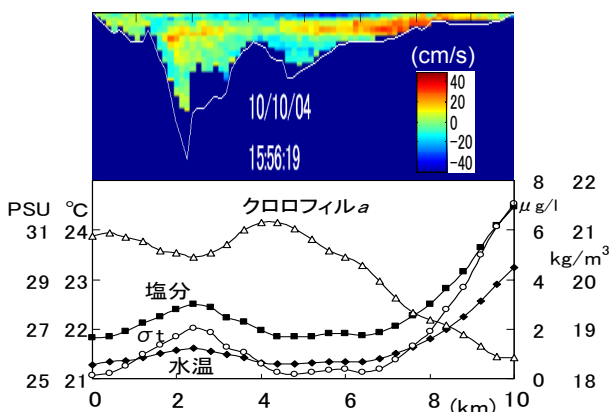


図-3.30 秋の外洋水の中層貫入（2004年10月10日）

3.4 外洋水流入の周期性とスペクトル特性

これまでに述べたことから、外洋水の流入状況が各季節によって異なること、また、気象の変化などで流入の変化が激しく非定常性に富むこと、さらに、3.3(1)で述べたように冬季の塩分水温や残差流には周期的な変化が繰り返されている場合が多いことが分かってきた。

そこで、外洋水の周期性を調べるため2004年1月の表層の残差流成分と、水温塩分の時系列に対してスペクトルをとったのが図-3.31である。縦軸は久里浜から金谷の位置を、横軸は周波数の逆数で日単位で表示している。なお、残差流は2004年1月11日～3月14日の1時間おきのデータ、塩分水温は2004年1月1日～3月4日の1日平均のデータを用いている。また、塩分水温はそれぞれの時系列データから、20日移動平均を差し引いた時系列データを作成してFFTにかけている。AM6:20～PM7:20までを平均して1日1個の塩分水温データとしており、このときのM2分潮のエイリアジングは約16.7日となる。

残差流成分は分かりにくいものの、エイリアジング以外のスペクトルのピークは5.3, 7.1, 21.3日に見られる。久里浜側は変動が小さく、特に周期が短くなるにつれて久里浜側でのスペクトルが小さくなる傾向にある。

外洋水は千葉の沿岸に沿って1週間程度の周期で流入しており、久里浜近くまで流入するケースも21日程度の周期で見られることを示しているものと考えられる。

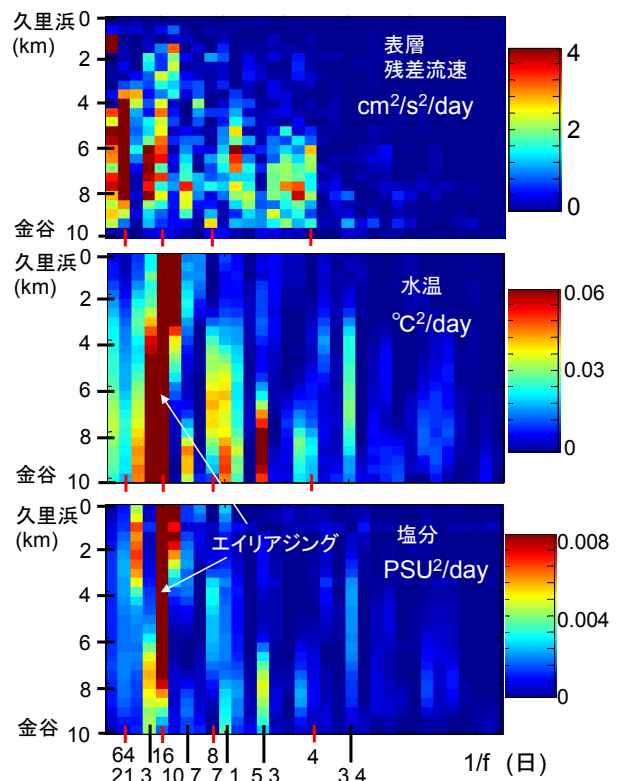


図-3.31 残差流、水温、塩分のスペクトル

3.5 1ヶ月平均の断面流速分布

図-3.32は、ABICで求めた残差流成分の1ヶ月平均の断面流速である。ほとんどの季節で上層流出、中層流入、下層流出というような中層貫入、もしくは、上層流出、下層流入といったエスチュアリ循環的な分布になっており、強い外洋水の流入が見られた2004年1月でさえそのような断面分布となっている。

久里浜から2~3km、水深20~40mの海底渓谷に相当する部分での流入流速が全般に大きい。しかし、7~9月にかけては流速の速い部分が久里浜から2~7kmの範囲に均され、より表層に近くなっており、他の季節と異なっている。また、2004、2005年ともに10月が最も海水の出入りが大きい。なお、2004年7月、2005年6月はドック期間のため完全な1ヶ月の平均とはなっていない。

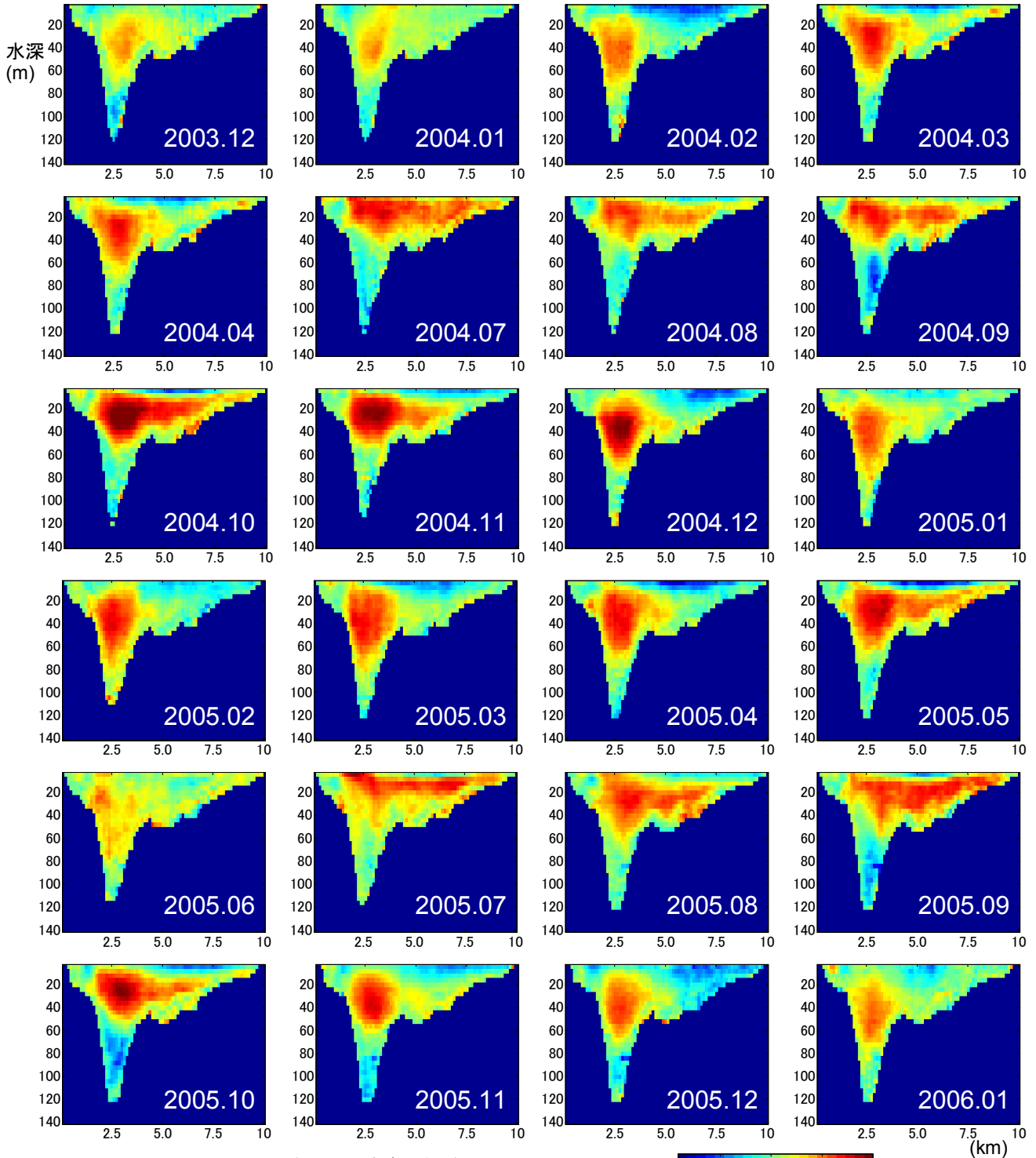
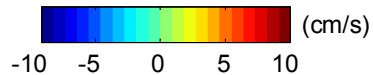


図-3.32 1ヶ月平均の断面流速分布 (ABICによる残差流の1ヶ月平均 赤が流入、青が流出)



八木ら(2003)は、外洋の塩分水温と東京湾への淡水流入をもとに数値実験を行っている。中層貫入が観測された1998年8~9月(日向ら, 2001)を対象にした計算(数値実験Ⅰ)と、神奈川水産総合研究所の館山沖の観測結果を基にした月ごとの平均断面の計算(数値実験Ⅱ)が行われている。数値実験Ⅰでは、今回の観測場所と近い湾口断面の計算結果が示されており、その結果は表層と久里浜側および海底溪谷部で流出、千葉側から下層から流入という結果となっており、流速も最大で約10cm/sであるなど、今回の観測結果と極めて近い結果となっていた。

また、各月の計算では冬季はエスチュアリ循環、その他は中層貫入で、特に秋に中層貫入が卓越するという結果を得ている。検査断面の位置が観音崎よりも北側であり、今回の観測断面とは異なっているにもかかわらず、ほぼ同様な結果となっている。

1ヶ月平均という単位でみるならば、海水の流動もより定常的になってくるものと推察される。

3.6 湾口における海水交換量

図-3.33は、推定された残差流から湾口における海水

交換量を見積もったものである。海水交換量 Q は、ABICによる残差流(u_+, u_-)を用いて求めた外洋から湾内へ流入する、(あるいは湾内から外洋へ流出する)単位時間あたりの海水量として、以下の式で求めている。

$$Q = (Q_+ - Q_-) / 2 \quad (19)$$

$$Q_+ = \int u_+ dA_+ \quad Q_- = \int u_- dA_- \quad (20)$$

ここで、 u_+, u_- はそれぞれ、ABICで求めた残差流のうち湾内へ流入する流速と湾内から流出する流速であり、 dA_+, dA_- はそれぞれ流入、流出している位置の断面積である。 Q_+, Q_- は、それぞれABICによって得られた残差流の流入流量、流出流量である。また、 Q_+, Q_- を足し合わせた流量は必ずしもゼロとはならないため、式(19)のようにして海水交換量としている。

最も海水交換量が多かったのは、冬季2004年1月21日の黒潮系暖水流入時の海水交換量であり、 $24000\text{m}^3/\text{s}$ に達している。

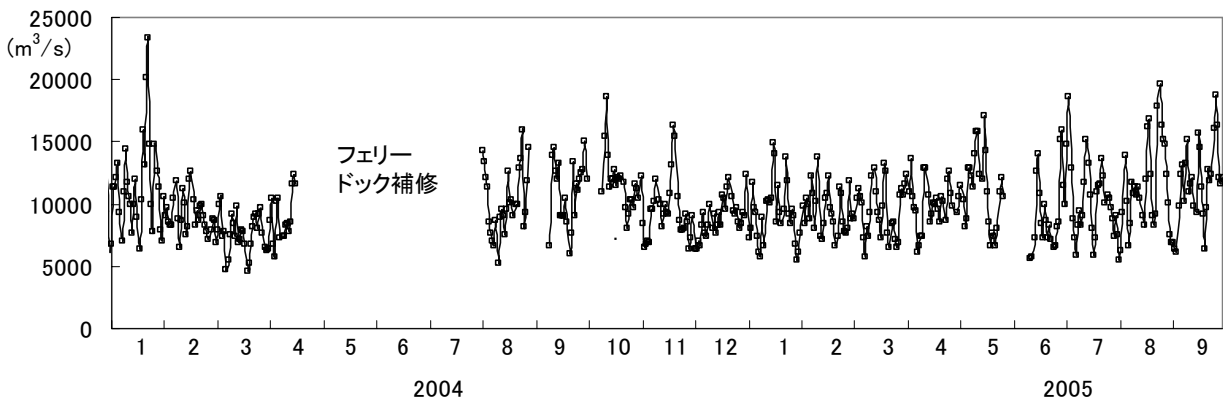


図-3.33 ABICによる残差流から推定された海水交換量

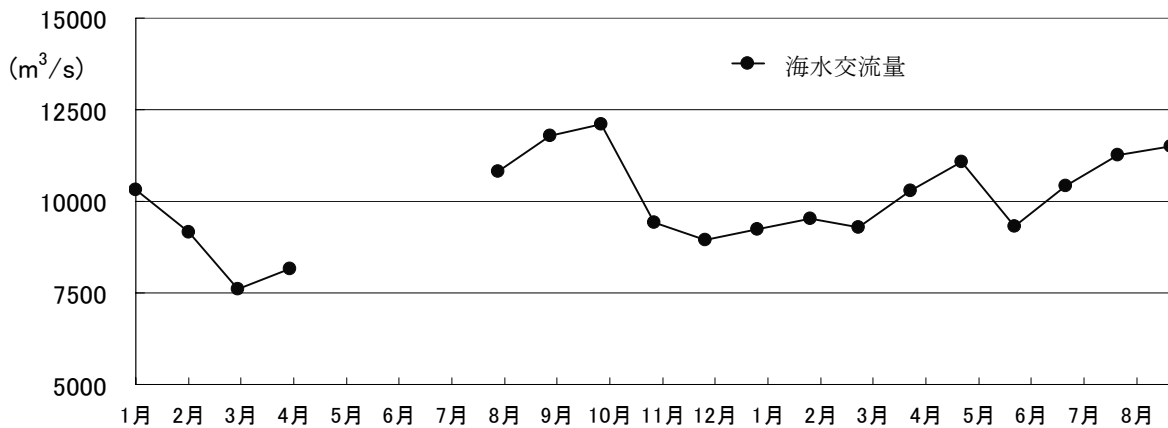


図-3.34 海水交換量の1ヶ月平均

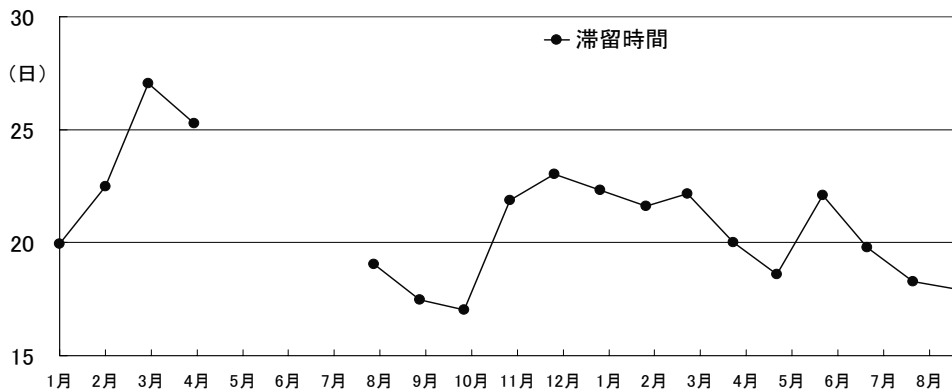


図-3.35 東京湾の水容量を海水交換流量で除した海水の東京湾におけるみかけの滞留日数

図-3.34, 3.35 は、上図の1ヶ月平均をとったものであり、それぞれ、海水交換量とそれから得られるみかけの東京湾の海水の滞留時間である。

淡水流入量の多い秋に最も海水交換が盛んであり、富津-観音崎を結ぶ東京湾内水容量(17km³)を交換量で除したみかけの滞留時間は秋に17~19日程度であるのに対し、冬季は海水交換が小さく23~27日程度である。

4. おわりに

本資料では、2003年12月から開始した東京湾口のフェリーによる流況・水質・気象のデータを2005年10月までの約2年間についてとりまとめた。その結果、以下のことが分かった。

(1) 水質・気象の長期変化：

水質・気象データの1日平均や最小、最大値等の長期変化から以下のことが明らかとなった。

湾口の表層水温は夏季7~8月にかけて最大で約27℃となり、冬季1~2月に最小で約12℃である。冬季は外洋水の影響で1~2週間周期で約5℃ほど大きく変動している。塩分は降雨量の少ない冬季は34PSU前後である。一方、降雨量の多い春季、秋期、特に、台風による降雨の多い8~10月にかけては塩分の変動が大きく、最小で25PSU程度まで低下している。密度を示す σ_t は冬季に最大で降雨量の多い秋期に最小値をとる。12月~2月の黒潮系暖水流入時には塩分水温が大きく変動していたのに対し、 σ_t の変化は小さかった。クロロフィルaは、冬季に小さく最大でも10 μ g/l程度である。一方、6~9月にかけて大きく、約54 μ g/lまで上昇している。

気温は日平均で7~8月に最高で約27℃、1月に最低で4℃で、観測期間中の最高気温は29℃、最低気温は1℃であった。また、湿度は冬季に小さい一方、6~8月にかけて高く、日平均が90%に達する日が多かった。

(2) 潮流楕円と調和定数：

各月の観測断面の潮流楕円を求めたところ、潮流楕円は海底溪谷のある久里浜から2.5kmの表層部が最も大きくM2分潮で約24cm/sであった。また、位相は久里浜港と金谷港の周辺や海底付近の方が断面平均流速よりも早く、逆に中央部では遅くなっていた。断面平均流速のM2分潮は年間平均で約15cm/sで、夏季に小さく約14cm/s、冬季に16cm/sである。

(3) 冬季の流況と水質の特性：

冬季の塩分、水温は1~2週間間隔でそれぞれ4℃、1PSUほども上下変動している。このように塩分水温が急激に上昇する場合、千葉側から高温、高塩分、低クロロフィルaの外洋水が速い速度で湾内に流入し、久里浜側から低温、低塩分の内湾水が流出しており、その境目には明瞭なフロントが発生する。

2004年1月の表層の残差流成分と、水温塩分の時系列に対してスペクトルをとったところ、スペクトルのピークは5.3, 7.1, 21.3日に見られ、周期が短くなるにつれて久里浜側でのスペクトルが小さくなっていた。

(4) 夏季の流況と水質の特性：

夏季は季節風等の影響で全般に南風となる日が多く、表層に強い吹送流が発達する傾向にある。風速約10m/sの南風が連吹すると、湾内よりも高塩分、高密度、低温、低クロロフィルaの外洋水が吹送流によって運ばれ、約1~2日遅れて塩分、密度が上昇、水温、クロロフィルaが下降している。

(5) 秋季の流況と水質の特性：

秋は台風等による淡水流入が多く、降雨の後、数日遅れて湾口の塩分、密度が低下していた。多摩川の河川流量と東京湾口の塩分低下量との相互相関は、河川流量のピークとなった日から約2~3日後に最大となっていた。

塩分が低下したときの湾口の断面流速分布は、表層流

出, 中層流入, 下層流出という, いわゆる中層貫入(日向ら, 1999)となっており, ABICによって推定した残差流は, 2004年は10月7~9日のように中層貫入が弱い日もあるものの, 10月, 11月のほとんどの日が中層貫入となっていた。

(6)各月の1ヶ月平均断面流速分布:

ABICで求めた残差流成分の1ヶ月平均の断面流速を求めたところ, ほとんどの季節で上層流出, 中層流入, 下層流出というような中層貫入, もしくは, 上層流出, 下層流入といったエスチュアリ循環的な分布になっていた。

冬, 春, 秋は久里浜から2~3km, 水深20~40mの海底溪谷に相当する部分での流入流速が全般に大きい。一方, 7~9月にかけては流入流速の速い部分が久里浜から2~7kmの範囲に均され, より表層に近くなっている。

(7)湾口の海水交換量:

ABICを用いて推定した残差流から海水交換量を推定した。最も海水交換量が多かったのは, 冬季2004年1月21日であり, $24000\text{m}^3/\text{s}$ に達していた。1ヶ月平均の海水交換量は, 淡水流入量の多い秋に最も多く, 東京湾の水容量 17km^3 を海水交換量で除したみかけの滞留時間は約17~19日であった。一方, 冬季は海水交換が小さく, みかけの滞留時間は23~27日であった。

謝 辞

本研究を行うにあたって, 東京湾フェリー株式会社の樋口部長, 黒川部長代理他海務部の方々, “かなや丸”の船長, 機関長をはじめ多くの船員の方々から多大なるご協力をいただいています。

また, 多摩川石原における流量は国交省関東地方整備局京浜河川事務所より頂いています。久里浜港内の潮位, アシカ島の波高データは当所海象情報研究室からいただいています。港湾空港技術研究所 細川恭史理事, 小谷拓海洋・水工部長, 中村由行沿岸環境領域長からは, 貴重なご意見・ご指摘を頂いています。ここに深甚なる感謝の意を表します。

参 考 文 献

宇野木早苗・齋藤晃・小菅晋(1990): 海洋技術者のための流れ学, 東海大学出版会, 312p.
鈴木高二朗・加藤英夫・桑江朝比呂・下司弘之・亀山豊(2004): 東京湾口を横断するフェリーによる冬季海水流動と水質の長期連続観測, 海岸工学論文集, 第51巻, pp.891-895.
鈴木高二朗・竹田晃・橋本典明(2005): 非固定航路で不

連続的に観測された流況データからの潮汐成分と残差流成分の分離手法について, 港空研報告, 第44巻第2号, pp.39-56.

高尾・岡田・中山・古川(2004): 2002年東京湾広域環境調査に基づく東京湾の滞留時間の季節変化, 国総研資料, 第169号

原島省・呉在龍・姜(2001): フェリーによる海洋環境モニタリングの現状と課題, 沿岸海洋研究, 第38巻, 第2号, pp.79-90.

日向博文, 灘岡和夫, 田淵広嗣, 吉岡健, 古川恵太, 八木宏(1999): 東京湾における成層期流況の動的変動過程, 海岸工学論文集, 第46巻, pp.451-455.

日向博文, 八木宏, 吉岡健, 灘岡和夫(2000): 黒潮系暖水波及時における冬季東京湾湾口部の流動構造と熱・物質フラックス, 土木学会論文集Ⅱ・656(52), pp.221-238.

日向博文, 灘岡和夫, 八木宏, 田淵広嗣, 吉岡健(2001): 黒潮流路変動に伴う高温沿岸水波及時における成層期東京湾内の流動構造と熱・物質輸送特性・土木学会論文集Ⅱ・684(56), 93-111.

日向博文, 宮野仁, 柳哲雄, 石丸隆, 粕谷智之, 川村宏(2003): 大島西水道からの黒潮系暖水流入時における相模湾表層循環流の短周期変動特性, 海の研究, 12(2), pp.167-184.

日向博文(2004): 東京湾の流動への外洋影響—特に黒潮変動影響について, 土木学会水工学シリーズ, 04-B-3,1-21.

日向博文, 柳哲雄, 川村宏(2004): 相模湾への黒潮系暖水流入に与える海上風の影響について, 沿岸海洋研究, 41(2), pp.83-95.

八木宏, 片岡理英子, 山口肇, 藤原建紀(2003): 東京湾の外海水進入特性に関する数値実験, 海岸工学論文集, 第50巻, pp.931-935.

松本輝寿・金子安雄・寺尾 健・川島 毅(1974): 海水交流に関する現地観測, 第21回海岸工学講演会論文集, pp.291-296.

万田敦昌・磯辺篤彦・松野健・柳哲雄・韓仁盛・神尾光一郎・西田英明・久野俊行・森井康宏・山脇信博・吉村浩・兼原壽生・青島隆(2000): 東シナ海黒潮前線におけるADCP観測結果とこれに適用した潮流分離手法について,九州大学総合理工学研究科報告,21 p.343-348.

柳哲雄編(1990): 潮目の科学—沿岸フロント域の物理・化学・生物過程—, 169p.

Harashima, A., T. Kimoto, T. Wakabayashi, and T.

- Hadao(2006) : Verification of the Silica Deficiency Hypothesis Based on Biogeochemical Trends in the Aquatic Continuum of Lake Biwa - Yodo River – Seto Inland Sea, Japan, *Ambio* Vol.35, No.1, Feb, 2006.
- Kizu, S., T. Taneda and K. Hanawa(2001): Estimation of Tidal Current in Tokyo-Ogasawara Area using TOLEX-ADCP Data, *Tohoku Geophysical Journal*, Vol.36, No.1.
- Takikawa, T., J.-H. Yoon and K.-D. Cho(2005): The Tsushima Warm Current through Tsushima Straits Estimated from Ferryboat ADCP Data, *Journal of Physical Oceanography*, Vol.35, pp.1154-1168.
- Yanagi, T. and T.Sanuki(1991) : Variation in the thermohaline front at the mouth of Tokyo Bay, *Journal of the Oceanographical Society of Japan*, Vol.47, pp.105-110.
- Yanagi, T. and H. Hinata (2004) : Water exchange between Tokyo Bay and the Pacific Ocean during winter Ocean Dynamics, vol.54, 452-459.

(2006年 月 日受付)

A. ABICによる残差流の推定について

(付録 CD-ROM 内容)

B. 付録 CD-ROM

¥apB-1 水質流況 (NOR) ABIC. ppt

各月の水質, 流況, 気象の変化: 図-3.19 と同様の図(2004年3月~2005年11月, 残差流は ABIC による残差流を表示)

¥apB-1 水質流況 (NOR) 3ヶ月調和解析. ppt

各月の水質, 流況, 気象の変化: 図-3.25 と同様の図(2004年3月~2005年11月, 残差流は3ヶ月調和解析による残差流を表示)

¥apB-3 各月の潮流楕円. doc

3ヶ月調和解析による各月の潮流楕円
(M2, S2, K1, O1 分潮)

¥abB-4 代表的な外洋水の流出入. ppt

観測期間中に見られた代表的な外洋水の流出入

¥abB-5 水質気象データ (フォルダ)

2003年12月~2006年2月までの全水質気象データ

¥abB-6 ABICによる残差流推定プログラム (フォルダ)

¥時系列解析プログラム (フォルダ)

1つの潮流データに対して, ABIC を用いて残差流と潮汐成分を分離する簡単なプログラム

(Baysea_analysis.m)

プログラムは Matlab で組まれている.

¥2004年1月解析例 (フォルダ)

2004年1月の ADCP 実測値の全データを用いて行うプログラム例

(Baysea_analysis_step1.m)

(Baysea_analysis_step1.m)

(Baysea_analysis_step2.m)

(image_drift.m)

このプログラムを実行する際に用いる流速実測データと水深データ

(流速: 00kaime_2003.12.22_2004.01.31.txt)

(水深: dpave_2003.12.22_2004.01.31.txt)

図-3.19 の計算に用いている.

なお, 計算の実行にあたっては, 空フォルダ

¥2004.01¥chowa, ¥2004.01¥drift を作っておく.

として、ABIC が最小化されるような超パラメータ ν を選択する。最終的に ABIC は以下ようになる。

$$ABIC = N \ln 2\pi + N + N \ln \hat{\sigma}^2 - K \ln u^2 + \sum_{i=1}^{2M+K} S_{i,j}^2 \quad \dots(41)$$

(5) ABIC による残差流成分推定の計算例

ここでは簡単のため航路が蛇行していないと考え、**図-A.1**のように $y=0$ とし、標準航路のある地点のデータを取り扱うものとした。計算に用いたのは**図-A.1**で示される ADCP の計測範囲のうち、金谷側の海表面に近い場所の流速の時系列データである。また、同データの作成にあたっては高波浪時のデータを除くとともに、毎正時の 1 時間毎のデータとするためデータの補間を行っている。

解析対象とした 2003 年 12 月 23 日 0 時～2004 年 1 月 21 日 23 時のうち、推定する変数の個数は、残差流成分 d_n の個数が 720 個、調和定数 a_n は 13 分潮を用いており 26 個である。一方、欠測時間を除いた時系列データ u_n の個数は 408 個（観測期間の 56.7%）である。

図-A.2 は、超パラメータと ABIC であり、超パラメータ ν が約 27 のとき、ABIC が最小値を取っている。

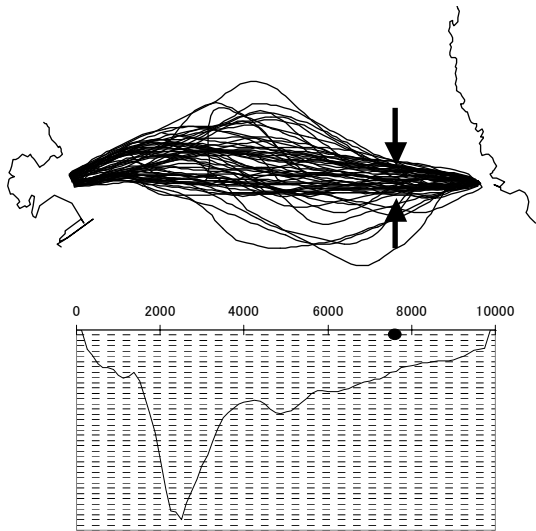


図-A.1 解析に用いた ADCP データの取得位置

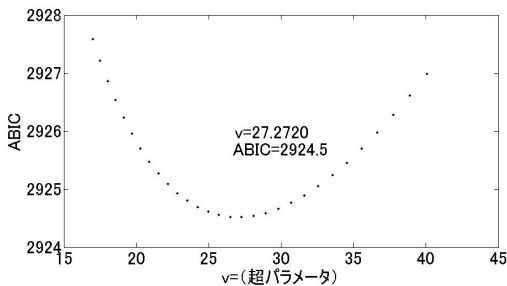


図-A.2 超パラメータ ν と ABIC

図-A.3 は、実測流速と推定された潮汐成分、および残差流成分である。残差流成分は潮汐成分と比較するとゆったりとした波形である。これは**図-3.19**の塩分水温と比較すると黒潮系暖水の流入流出の時期に対応している。

図-A.4、**A.5**、**A.6** は、それぞれ ABIC による 2004 年 1 月の潮流楕円と、1 ヶ月（2004 年 1 月）、3 ヶ月（2004 年 1～3 月）の通常の調和解析による潮流楕円である。それぞれ、若干の違いはあるものの、ほぼ一致している。

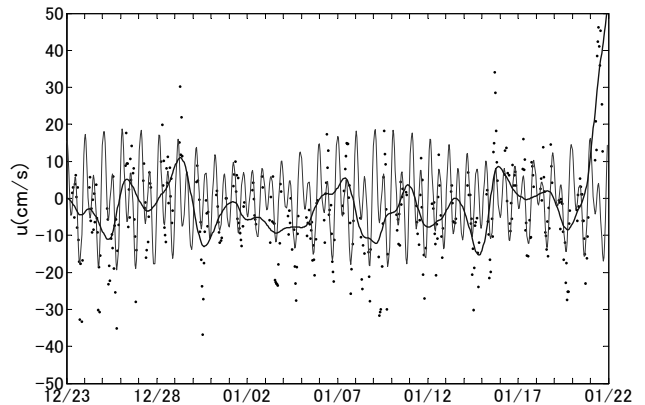


図-A.3 ABIC 最小化によって推定された潮汐成分と残差成分（細線が潮汐，太線が残差流，点が実測値である）

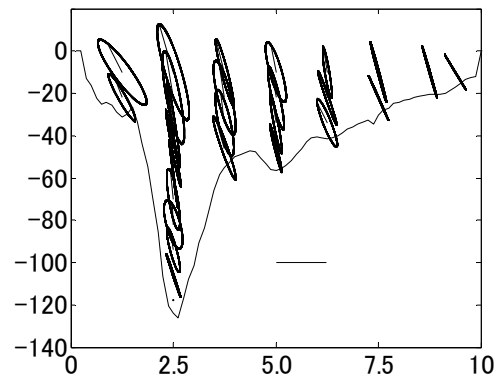


図-A.4 ABIC による潮流楕円（2004 年 1 月）

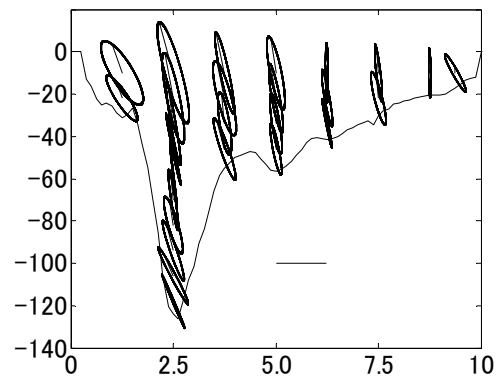


図-A.5 調和解析による潮流楕円（2004 年 1 月）

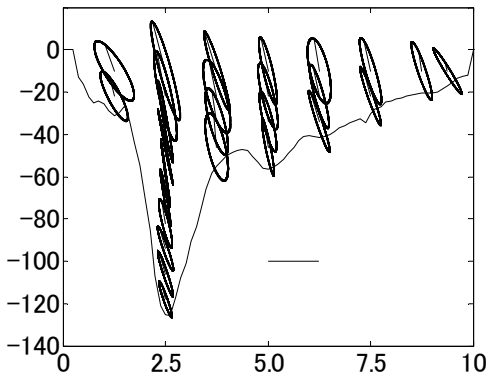


図-A.6 調和解析による潮流楕円 (2004年1~3月)

図-A.7 は, ABIC による調和成分と, 通常の調和解析による調和成分から, 湾口の断面平均流速の時系列を作成し, 比較したものであり, 実測の断面平均流速もともに載せている. いずれのケースもよく一致しているのが分かる.

参考文献

石黒真木夫・佐藤忠弘・田村良明・大江昌嗣 (1984): 潮汐データ解析プログラム BAY-TAP の紹介, 統計数理研究所集報, Vol.32, pp.71-85.
 Hirotugu Akaike (1980): Likelihood and Bayes procedure, Bayesian Statistics, University press, Valencia, Spain, pp.143-166.

主要記号一覧表

- ABIC: 赤池のベイズ型情報量基準
- a_{2m-1}, a_{2m} : 潮汐成分 m の調和定数
- B**: ADCP で得られた観測流速ベクトル
- CS**: ABIC による解析での説明変数の行列

- d_n : 時刻 n の残差流成分
- d**: 残差流成分の未知数ベクトル
- D**: 作用行列
- DP : 多項式の次数
- I**: 単位行列
- M : 分潮数
- N : 観測のデータ数
- Q, R**: QR 分解によって得られた行列
- u_0 : 残差流成分(通常の調和解析での)
- u_n : 時刻 t_n での観測データ
- U**: 行列 **Q** の転置行列
- v : 超パラメーター
- x, y, z : 位置座標
- Z**: QR 分解を実施するために構成された行列
- $\alpha_{j,k,k}$: 多項式の係数
- a**: 調和定数の係数ベクトル
- ϵ_n : 誤差項
- σ^2 : 分散
- $\hat{\sigma}^2$: 分散の最小自乗法による推定値
- ω_m : 潮汐成分 m の角周波数

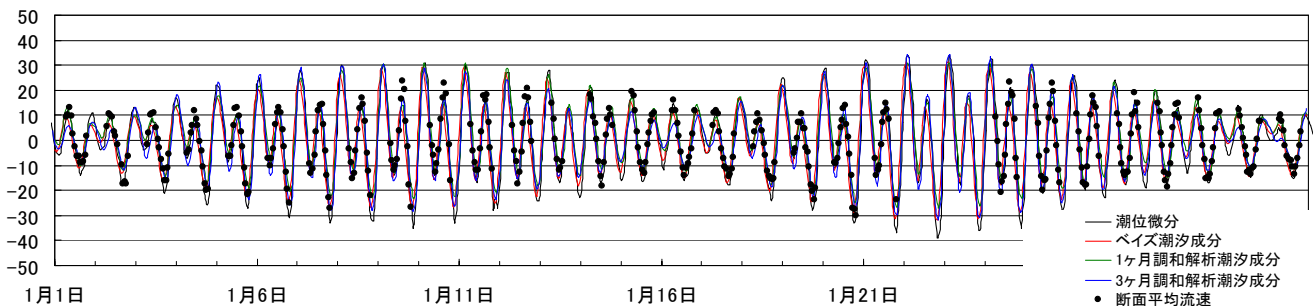


図-A.7 断面平均流速の潮汐成分 ABIC と通常の調和解析, および実測平均流速の比較

港湾空港技術研究所資料 No.1134

2006.6

編集兼発行人 独立行政法人港湾空港技術研究所

発行所 独立行政法人港湾空港技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号
TEL.046(844)5010 URL:http://www.pari.go.jp

印刷所 ニッセイエプロ株式会社

Copyright © (2006) by PARI

All rights reserved. No part of this book must be reproduced by any means without the written permission of the President of PARI.

この資料は、港湾空港技術研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部または一部の転載、複写は港湾空港技術研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。