

# 横浜川崎地区京浜運河における水質の現状調査

## FIELD SURVEY ON WATER QUALITY AND CURRENTS IN SOUTHERN PART OF KEIHIN CANAL

有路隆一<sup>1</sup>・田中陽二<sup>2</sup>・諸星一信<sup>3</sup>・松坂省一<sup>4</sup>・鈴木高二朗<sup>5</sup>

Ryuuichi ARIJI, Yoji TANAKA, Kazunobu MOROHOSHI,  
Syioichi MATSUZAKA and Kojiro SUZUKI

<sup>1</sup>正会員 (独)港湾空港技術研究所 海洋・水工部 (〒239-0831 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)  
(前 関東地方整備局 横浜港湾空港技術調査事務所)

<sup>2</sup>正会員 博(環境) (独)港湾空港技術研究所 海洋・水工部 (〒239-0831 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

<sup>3</sup>正会員 工修 関東地方整備局横浜港湾空港技術調査事務所 (〒221-0053 神奈川県横浜市橋本町2-1-4)

<sup>4</sup>関東地方整備局 鹿島港湾・空港整備事務所 (〒314-0021 茨城県鹿嶋市栗生2254)  
(前 関東地方整備局 横浜港湾空港技術調査事務所)

<sup>5</sup>正会員 修(工) (独)港湾空港技術研究所 海洋・水工部 (〒239-0831 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

Southern part of Keihin Canal in Tokyo bay is highly urbanized. The water is warmer than the other part of Tokyo bay because of thermal pollution from many industries. The lack of DO is also severe. Some countermeasures improving the water quality, e.g. small artificial tidal flat, have been considered. However, because of the lack of information of water quality, the efficiency of these countermeasures is not clear. In order to clarify the environment in Keihin Canal, water quality is measured every 2 weeks at fixed points in and outside of the Canal.

Following results are obtained. 1) In autumn, anoxic water of the canal possibly flows out into Tokyo Bay estimated by the T-S data. 2) The surface water temperature is 2°C higher than the outside of the canal.

**Key Words :** Keihin Canal, water quality, Tokyo Bay, DO, thermal pollution

### 1. はじめに

貧酸素水塊の発生は東京湾の環境の中で最も重要な課題であり、今後とも取り組むべき課題である。東京湾奥や千葉周辺の浚渫窪地での貧酸素水塊の形成は大規模であり、青潮の発生原因とも絡めてこれまでも佐々木<sup>1)</sup>によってその発生メカニズムが明らかになってきている。一方、東京湾西岸に目を向けると、そこには京浜運河があり、閉鎖性の高い海域であるため貧酸素水塊の発生箇所となり、東京湾全体にも影響を与えている可能性がある。しかし、これまでのところ横浜川崎地区の京浜運河の水質は十分に調査されておらず、その解明が望まれている。また、横浜川崎地区の京浜運河の一部は老朽化して利用率が低い箇所もでてきており、そのような箇所では、小型の干潟造成など環境再生プロジェクトが実施でき、東京湾全体の環境にも良い影響をもたらす可能性がある。ここでは将来の環境再生も視野に入れて横浜川崎地区京浜運河の水質特性を明らかにすることとした。

なお、広義としての京浜運河は東京港と横浜港を結ぶ運河の総称であり、多摩川をはさんで北側と南側に分けられる。本研究では多摩川より南側の京浜

運河を取扱い、以下の議論で単に「京浜運河」と記述する場合は横浜川崎地区の京浜運河を表す。同様に「東京湾」とは京浜運河を除いた東京湾を表す。

### 2. 横浜川崎地区京浜運河の特徴

京浜運河は運河網が形成されているため東京湾のなかでも特殊な水質環境が形成されていると考えられる。そこで、京浜運河の地形的な特徴を述べるとともに、既往の研究結果から京浜運河の水質と底質の特徴を整理する。

#### (1) 地形

京浜運河は海岸線が全て埋立地となっている高度に人工化された海域であり、3つの航路(横浜航路、鶴見航路、川崎航路)および多数の運河からなる。浚渫されている運河は15m程度の水深が確保されているが、細い運河は水深2m程度しかない場所もある。また、運河と運河が分断され、海水の交換が無い部分も多い。京浜運河内に流入する主要な河川は鶴見川であり、多摩川とも運河を通じて繋がっている。

## (2) 温排水と水質

京浜運河内にある火力発電所は計4カ所（合計647万kW）あり、運河内に温排水を放出している。加えて、製鉄所や製油所などの大規模工場も多く存在し、東京湾の中でも温排水の影響を強く受けるエリアである。松川ら<sup>2)</sup>は京浜運河の表層水温が温排水の影響により周年1~2℃高く、東京湾中央部と比較して水温・塩分・栄養塩ともに独自の海洋構造を有していると指摘している。

### (3) 底質

運河内は閉鎖性が強いいため、有機物に富む軟泥が堆積しやすい海域である。佐々木ら<sup>3)</sup>は冬季に底質環境の現地調査を行い、横浜港奥部の底質は強熱減量が高く、冬季にも関わらず底層直上は貧酸素状態であり、強い硫化水素臭を観測し、京浜運河の奥まった部分では底質の有機汚濁が著しく、貧酸素水塊の発生要因となっていることを指摘している。岡田ら<sup>4)</sup>も横浜港の奥部は含水比 250 以上の軟泥が堆積していることを観測している。ただし、横浜航路・鶴見航路には比較的広い範囲で含水比 150 程度の領域が点在していることを観測しており、良好な生物生息場として機能するポテンシャルを有していると指摘している。

### 3. 観測方法

### (1) 定期觀測

夏季から冬季にかけての京浜運河における水質を把握するため、2007 年 8 月～2008 年 3 月にかけて、京浜運河内に 4 カ所の観測点を設けて（図-1）、1 週間に 1 度の頻度で多項目水質計（塩分、水温、溶存酸素、他）による定点観測を実施した。そのほか、東京湾内にも観測点を設け、京浜運河と東京湾内との水質の比較を行った。

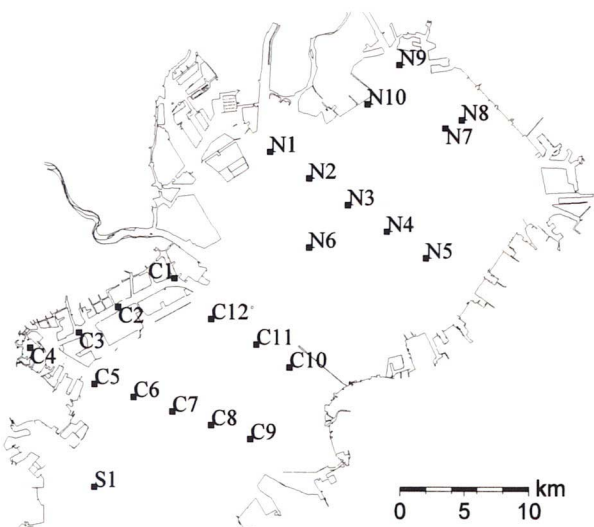


図-1 東京湾の定期観測地点

## (2) 集中多点観測

京浜運河は多数の運河網が形成されており、それらの水質特性を把握するため、2008 年 2 月に集中多点観測を実施した。

なお、定期観測と集中多点観測は 2007 年 7 月に導入された横浜港湾空港技術調査事務所の環境調査船により行われたものである。この環境調査船は全長 10.6m、最大出力 169kW×2 であり、船舶が比較的小型であるため機動性に優れ、狭く浅い運河が多数ある京浜運河においても高密度かつ高頻度な観測が可能となった。

#### 4. 觀測結果

### (1) 水質の時系列変化

図-2は、2007年8月～12月にかけての京浜運河内C01、C04と東京湾内C05、C12の水温・塩分・溶存酸素・クロロフィルaの時系列変化である。京浜運河内C01では水深6～7m付近に水温躍層ができており、C12、C04よりも長く10月末までその傾向がある。冬になると、C01の表層水温はC12よりも2℃ほど高く、京浜運河のひとつの特徴である温排水の影響が出ている。一方、冬季の東京湾では高塩分・高水温の外洋水の進入によって底層の水温が高くなる<sup>5)</sup>が、その影響で京浜運河内でも中層よりも底層の水温が高くなっている。したがって、冬季では表層と底層で水温が極大となる三重構造が形成される。

塩分についてみると9/3に東京湾内のC12で底層塩分の上昇が見られ、京浜運河内のC03でも9/5に塩分が上昇しており、湾中央部との連動が見られる。その後、9/6の台風によって塩分が低下し、C01（およびC02）において塩分低下が顕著である。ただし、横浜港のC04ではその影響が少なかった。

10/3にはC01, C03で底層の塩分が上昇しており、C05でも水深14m付近まで33PSUの塩分水塊が見られるが、東京湾内のC12では33PSUの水塊は水深15m以深に存在している。これは、横浜側から高塩分水塊が京浜運河内に流入したことを示唆している。

10/24はC12, C01, C03で水深10m以浅に塩分32PSUの水塊が見られるが、C05では水深13m以深に32PSUの水塊があり、川崎側からの流入を示唆している。

このように、京浜運河と東京湾中央部との水塊の移動は常に一定の流向が存在するのではなく、潮の流れや密度躍層などの状況に応じて変化しているものと考えられる。

溶存酸素についてみると、京浜運河内は全層とも湾中央部より低い傾向にある。底層の溶存酸素が低いことは、底層付近では有機汚濁が激しい底泥によって酸素消費が発生していることを示唆している。底層の貧酸素状態（2mg/L以下）が解消されるのは10月末であり、東京湾中央部よりも遅くなっている。

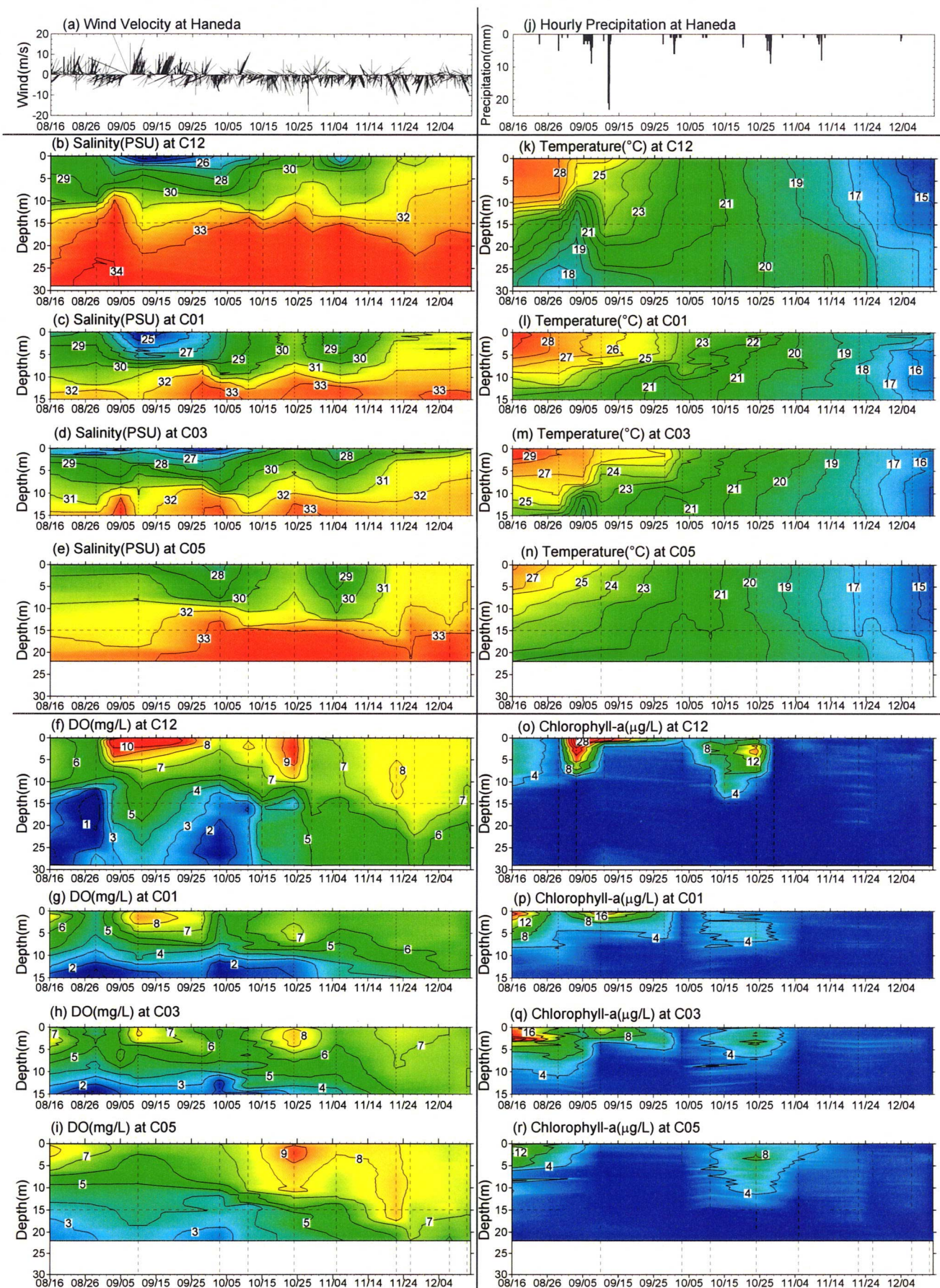


図-2 京浜運河および東京湾中央部における水質(水温・塩分・溶存酸素・クロロフィル a)の時系列変化  
(a), (j)は羽田アメダス局の風向風速および気温、縦の破線は観測日を表す

クロロフィル $a$ に関しても10月以降は湾中央部より低い傾向にある。これは冷却水として取水し温排水として連行・拡散していくことによって希釈される効果によるものと考えられる。クロロフィル $a$ と同様に、10月以降に溶存酸素が全層で東京湾中央部よりも低い傾向にあることは、取排水に伴って底層の低酸素水塊が連行・拡散したことによるものと考えられる。

## (2) 京浜運河からの貧酸素水塊の流出の可能性

図-3はC04からC10までの横断面水質分布である。東京湾内のC12, C11の中層において溶存酸素とpHの局所的な低下が見られる。一方、図-4のC01とC12地点のTSダイアグラムより、C01の底層水塊とC12の溶存酸素低下部分の塩分水温は一致しており、両者は同一の水塊と判断され得る。千葉側のC11よりも京浜運河側のC12の地点がより溶存酸素およびpHが低下していることは京浜運河の底層水塊が東京湾内に流出していることを示唆している。本研究では水質観測のみであるため、京浜運河からの流出過程は不明であるが、今後京浜運河の底層部の流動が観測できればより詳細なメカニズムが明らかになると期待される。

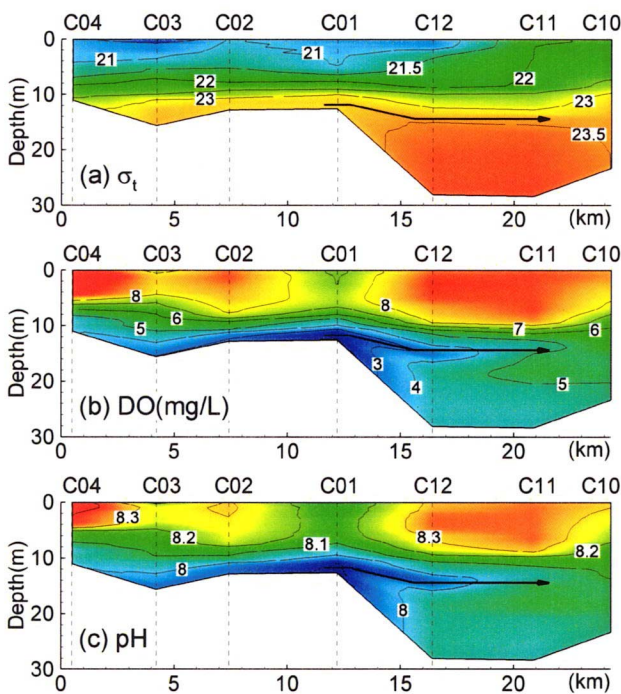


図-3 2007/10/24 の C04 から C10 の水質横断面分布

## 5. 温排水が京浜運河に及ぼす影響

### (1) 温排水の面的な広がり

冬季2月に行った多点観測による表層の水温分布を図-5(次項)に示す。京浜運河は東京湾中央部と比較すると1~2℃高くなっており、局所的には8℃

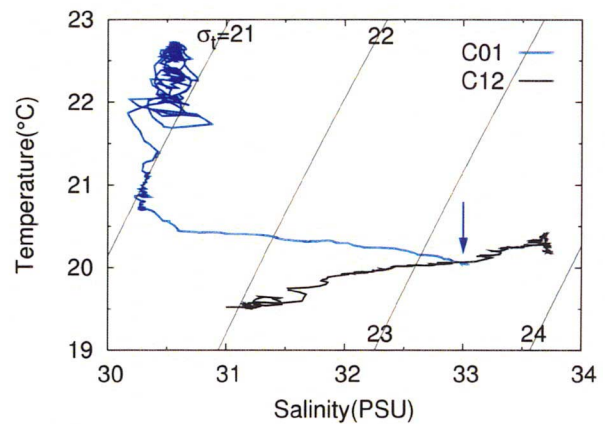


図-4 2007/10/24 の C01 と C12 の TS ダイアグラム

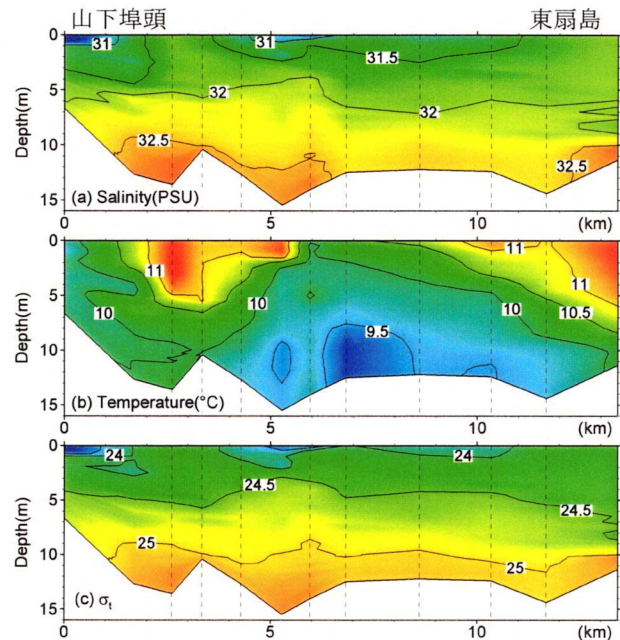


図-6 2008/2/20 の山下埠頭から東扇島までの水質横断面分布

以上高くなっていることが確認された。高水温が観測された場所は発電所および工場が近くにある海域であり、明らかに温排水の影響である。横浜港の奥部(大黒町北西部)からの温排水は潮流によって山下埠頭近くまで流れ出しているのが分かる。

横浜港から東扇島まで(図-5の一点破線で結んだライン)の横断面分布を図-6に示す。表層の水温が高い場所では底層付近でも水温の上昇が0.5℃程度見られる。また、水温の高い場所では塩分も比較的高くなっており、これは底層からの冷却水の取排水によるものと考えられる。よって、水温・塩分ともに水平方向の変化は大きいものの、水温が高い部分は塩分も高いので水平方向の密度( $\sigma_t$ )は一樣に近い。このように、京浜運河の水質は温排水によって空間的に複雑な分布をしており、水質環境を把握する際に京浜運河全体を一括りの海域とみなすことは適切でないとと言える。よって、次に水質環境からみた京浜運河の特性を区域ごとに分類する。

## (2) 京浜運河の区域特性

地図上では繋がっている用に見える運河だが、分断されている箇所も多く、実際にはそれぞれ海水特性が異なっており、大きく5区域に分類することができる。川崎区域1：それぞれの運河が橋などで分断され運河間の海水交換が無く、温排水が顕著な区域。川崎区域2：温排水は川崎区域1と同様に顕著であるが、多摩川の淡水の影響を強く受ける区域。運河中央区域：水路幅が大きく水深が深く、東京湾中央との海水交換が大きい区域。横浜区域1：温排水の排出源が無いものの、他の区域（特に大黒町）からの温排水の影響を受ける区域。横浜区域2：水路は分断されておらず、それぞれの区域で海水の交流が見られ、鶴見川の影響を受ける区域。それぞれの区域で流動構造も大きく異なることが予想され、京浜運河の流動場の解明は今後の課題に挙げられる。

## (3) 京浜運河での温排水の総エネルギーの試算

2008年2月の集中観測では計55点の水質データが得られたが、それらのデータをもとに京浜運河内の温排水の総エネルギーを以下の方法で見積もった。

①京浜運河の海域を分割し、観測地点*i*の代表面積 $S_i$ を求める。②温排水がない場合の京浜運河の水温

分布は、図-5の矢印に示す大黒埠頭の南の観測点K10と同じになると仮定する。なお、K10の水温分布は図-7に示す通りであり、鉛直方向の平均水温は9.6℃である（全観測点の中で2番目に低い）。③京浜運河全体内の水温上昇 $\Delta T$ は次式で計算される。

$$\Delta T = \frac{1}{V} \left\{ \sum_i S_i \int (T_i - T_0) dz \right\} \quad (1)$$

ここで、 $V$ は京浜運河の体積、 $T_i$ は地点*i*の水温分布、 $T_0$ は基準点K10の水温分布である（K10より深い部分の水温はK10の底層水温を用いる）。

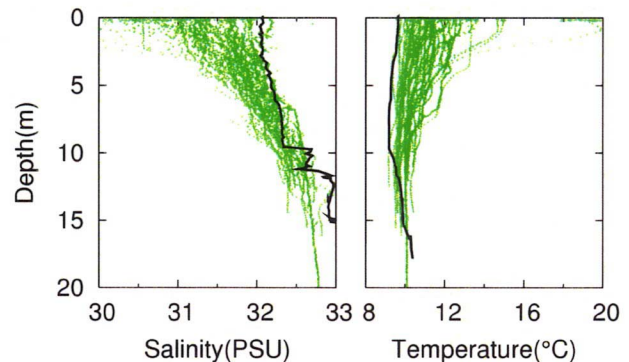


図-7 2008/2/20の塩分・水温プロファイル（太い実線がK10の値、他の点は全観測地点の値）

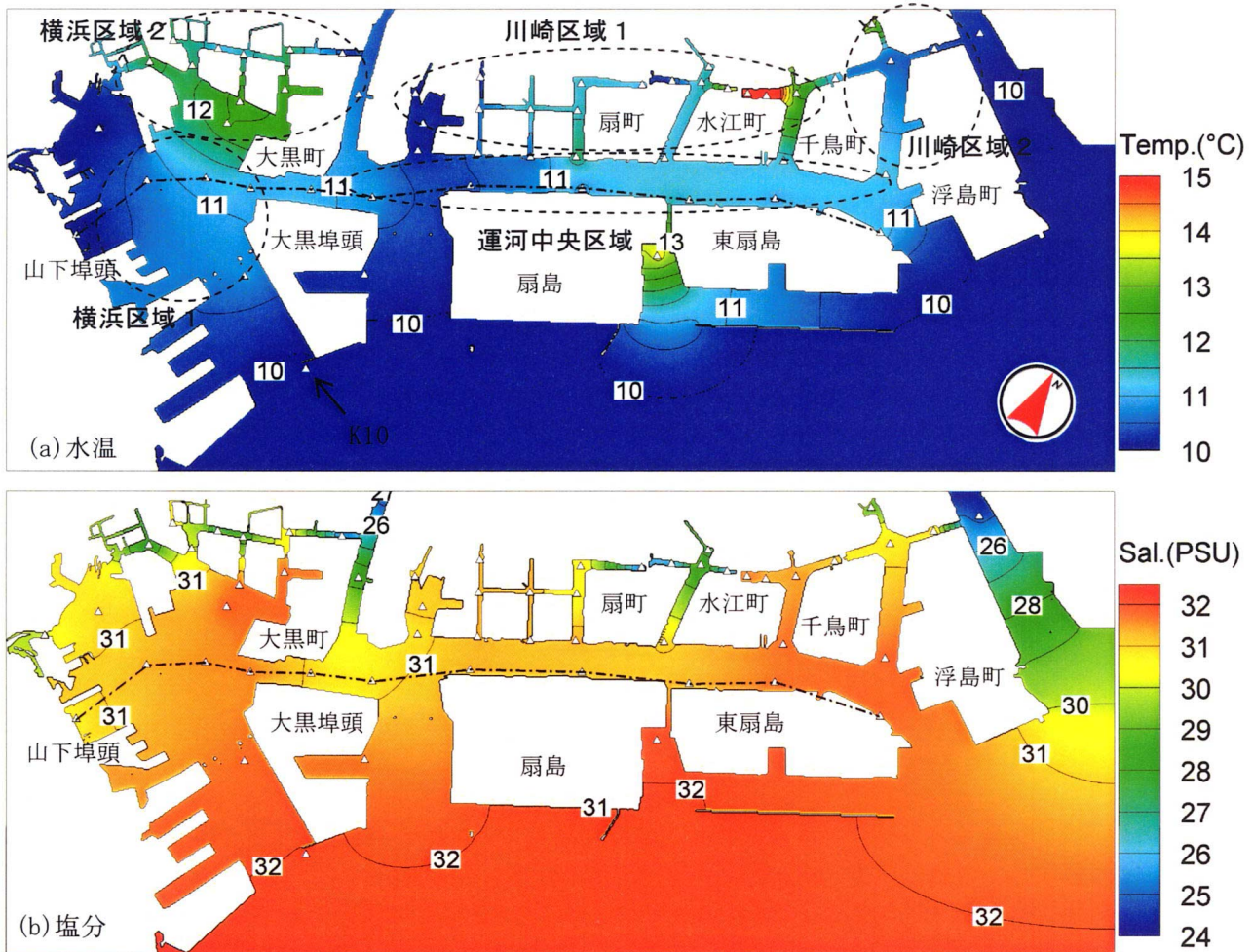


図-5 2008/2/20の集中観測による表層水温・塩分分布（△点は計測地点）

上記の方法で見積もったところ、温排水による水温上昇は京浜運河の総体積  $0.31\text{km}^3$  に対して  $0.83^\circ\text{C}$  であった。計算上の平均水深は  $12.1\text{m}$  であるから、水温上昇分の熱量が全て表層  $5\text{m}$  に集中したとすると約  $2^\circ\text{C}$  の水温上昇となる。この値は、松川ら<sup>2)</sup>が京浜運河の表層水温は周辺海域より周年  $1\sim 2^\circ\text{C}$  高いという指摘とほぼ一致し、大胆な仮定の見積もりではあるがおおよその推算値になっていると考えられる。このような熱量が定常的に発生していることを考えれば、温排水が京浜運河の水質環境に対してひとつの支配的要因となっていると判断される。次に東京湾に及ぼす影響を考えてみると、観音崎—富津以北の表面積は約  $1000\text{km}^2$  であるから<sup>6)</sup>、表層  $5\text{m}$  に均一に広がると仮定すれば約  $0.05^\circ\text{C}$  の水温上昇に相当する。

## 6. まとめ

本研究では横浜川崎地区の京浜運河を対象として水質の現況調査を実施し、京浜運河および東京湾内の地点について夏季から冬季にわたり定点観測データを得た。加えて冬季に京浜運河内の集中観測を行い、空間的に高密度な水質データを取得した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 京浜運河内は温排水の影響によって独自の水質環境にあり、表層の水温は東京湾中央部と比べて全体的に  $1\sim 2^\circ\text{C}$  高く、局所的には  $8^\circ\text{C}$  以上の水温上昇が確認された。冬季においては、底層も外洋系水塊の流入によって水温が高くなるため、中層を水温極小とする三重構造が形成されることが分かった。さらに、冷却水として底層水が使用され温排水として排出されるため、水温が高い場所は塩分も高くなっており、水温・塩分ともに空間的に特殊な分布をしている。
- 2) 温排水が京浜運河に与える水温上昇量は、京浜

運河全体の体積に対して  $0.83^\circ\text{C}$  と見積もられ、非常に大きな熱量であることが分かった。

- 3) 京浜運河の底層は湾中央部よりも溶存酸素が低く、底泥による酸素消費が著しいことが示唆された。京浜運河と東京湾中央部で水塊の流出入が発生している状況も観測され、京浜運河が東京湾の貧酸素水塊発生のひとつのソースになっていることが考えられる。ただし、京浜運河と東京湾中央部との水塊移動は常に一定の流向が存在するのではなく、潮の流れや密度躍層などの状況に応じて変化しているものと考えられる。

今後の課題として、京浜運河に多く存在している運河網内の流動場がどのようなになっているかを把握する必要がある。また、京浜運河内の貧酸素水塊が東京湾に流出し拡散していく過程の解明も望まれる。

## 参考文献

- 1) 佐々木淳：東京湾湾奥水塊の湧昇現象と青潮への影響，海岸工学論文集，第 44 巻，pp.1101-1105，1997.
- 2) 松川康夫，下田徹：京浜運河のプランクトン群集に対する発電用冷却水取排水の影響，中央水研研報，第 11 号，pp.1-21，1998.
- 3) 佐々木淳，角田篤：横浜港における底質環境特性に関する現地調査，海洋開発論文集，第 23 巻，pp.1147-1152，2007.
- 4) 岡田知也，古川恵太：東京湾沿岸域における音響装置を用いた詳細な底質分布図の作成とベントス生息状況，海岸工学論文集，第 52 巻，pp.1431-1435，2005.
- 5) 日向博文，八木宏，吉岡健，灘岡和夫：黒潮系暖水波及時における冬期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，No.656/II-52，pp.221-238，2000.
- 6) 日本海洋学会沿岸海洋研究部会編：日本全国沿岸海洋誌，東海大学出版会，p.336，1985.
- 7) 佐藤千鶴，古川恵太，岡田知也：京浜運河における底生生物からみた自然再生の可能性，海洋開発論文集，第 23 巻，pp.211-216，2006.