

閉鎖性海域の流動・密度構造に関する現地観測

——神奈川県金沢八景海域を対象として——

稲垣 聡*・田中昌宏**・秋山真吾*
棚瀬信夫***・林 文慶****

1. はじめに

湾内の水がどのように流動し外海水と交換するかは水質環境を考える上で最も基本的な問題である。このため海水交換に関して多くの研究があり、近年の ADCP 等の計測機器の発達により湾水流動の 3 次元構造の測定例も見られるようになってきている。例えば中辻ら（1995）の大阪湾の還流や 3 次元構造に関する検討、杉山ら（1995）の伊勢湾の流動構造の観測、田村ら（1995）、宗景ら（1991）の浦の内湾における密度構造の詳細観測や差込み現象の把握などがある。しかしながら、外海との相互作用を含めた詳細な議論のできる実測データは未だ少なく、また海水交換の時間スケールは数時間から季節単位など様々であり、それぞれについて詳細な検討が必要である。

そこで本研究では、まず高精度な現地データの蓄積が重要と考え、流動の全容を把握しやすい小規模閉鎖性海域の例として神奈川県横浜市南部の金沢八景海域を対象に、流れ・水温・塩分濃度の現地観測を行い、成層期の流動構造について検討を加えた。著者らは 1993 年より本海域において流動および水質の現地観測や数値解析を実施し、これまでに本海域の 2 つの湾（金沢湾および平潟湾、図-1 参照）を結ぶ野島水路での密度成層構造（新保ら、1993）、風の効果や海水交換の特徴（稲垣ら、1996）、野島の南側の水路開削に伴う水質変化（稲垣ら、1996）について検討を重ねてきた。本研究では、1 潮汐間の 3 次元的な流動・密度構造の変化に着目した ADCP による観測と、長期観測として 2 つの湾での水温・塩分等の 1 ヶ月以上の連続観測を行った結果について報告する。

2. 1 潮汐間における 3 次元流動・密度観測

(1) 観測内容

対象海域を図-1 に示す。本海域は、東京湾の南西部に位置する金沢湾の奥に閉鎖性の高い平潟湾を持つ 2 重の内湾性海域である。また、金沢湾には人工島である八景島が存在する。平潟湾には 4 本の都市河川が流入し、横浜

市（1989）によると 1986 年の概算で総流入量は 56,000 t/day で、その後下水道の普及により急速な流入量の減少が予測されている。金沢湾には大きな河川の流入はない。金沢湾は 2.5 km² 程度の広さであり、小型船で湾全体の計測を短期間に行うことが可能である。

成層の発達する夏季、大潮時で日潮不等の小さい 1996 年 7 月 2 日に、ADCP（RD Instruments 社製 1200 kHz

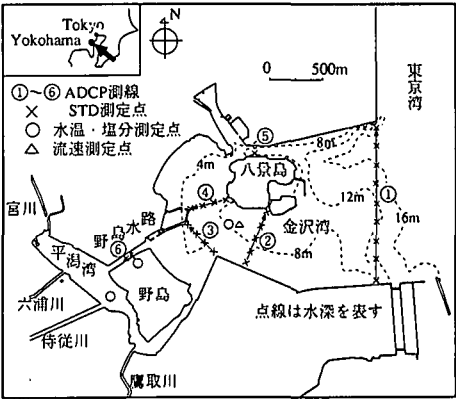


図-1 対象海域概要と測定点

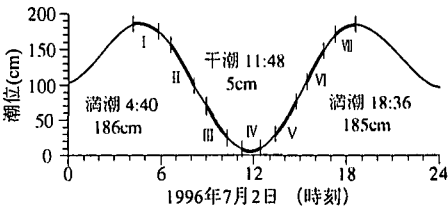


図-2 ADCP 観測日潮位と観測の時間帯

表-1 ADCP 観測

回	計測時刻	潮汐との対応
I	4 : 14 ~ 5 : 52	満潮
II	6 : 39 ~ 8 : 08	下げ潮 (前半)
III	8 : 59 ~ 10 : 21	下げ潮 (後半)
IV	11 : 17 ~ 12 : 30	干潮
V	13 : 32 ~ 14 : 48	上げ潮 (前半)
VI	15 : 26 ~ 16 : 41	上げ潮 (後半)
VII	17 : 17 ~ 18 : 35	満潮

計測は満潮①→⑤→②→③→④→⑥の順で行った。

* 正会員 工 修 鹿島技術研究所 研究員
** 正会員 工 博 鹿島技術研究所 主任研究員
*** 正会員 農 博 鹿島技術研究所 室長
**** 正会員 学術博 鹿島技術研究所 研究員

仕様)を用いて流速観測を行った。測線は図-1に示す①~⑥の6測線であり、①~④では船速1~2 ktで曳航しながら観測、⑤、⑥の水路部では数分間停船して観測を行った。同時に図中の×の点においてSTD(アレック社製AST 200-PK)を用いて水温・塩分濃度の鉛直分布を測定した。計測はこれらの測線において満潮から次の満潮までの1潮汐間に、図-2および表-1に示すI~VIIの計7回行った。1回の計測に約80分を要している。

(2) 結果および考察

図-3に、金沢湾の湾口にあたる測線①の断面における流速の東西方向成分及び塩分濃度の鉛直断面分布を示す。II, Vの時刻の結果は省略する。なお、ADCP曳航観測で船を動かしながらSTD観測も行ったため、深い部分の海底付近では水温・塩分のデータは得られていない。ちなみに、水温と塩分の分布形はきわめて類似しており、高塩分の場所で低温、低塩分の場所で高温との対応が見られている。

塩分濃度分布をみると、満潮のIの状態では明瞭な成層が存在し、それが下げ潮時に高塩分水が消えて低塩分の層が厚くなり、干潮時に一度成層が消滅した後、満潮に向けて再び成層が形成される、という変化をしている。

流れとの対応を詳しく見ると、Iの満潮時には直前の上げ潮時の名残りと見られる底層への流入構造から、IIIの下げ潮時には底層で流出する流れとなる。底層にある高塩分・低温の高密度の水塊が潮汐変化とともに湾外に流出する動きに対応すると考えられる。逆に上げ潮時から満潮の段階(VI, VII)では、湾外から低温・高塩分の海水が湾内の底層に侵入して成層が復活し、表層は湾口に向かう鉛直循環構造の流れが観測された。

このような湾口における分布を踏まえて、湾内の平面的な流速分布に着目する。図-4には特徴的な流れのパターンが見えたIII, IV(下げ潮~干潮時)の表層(水面下-1.25 m)、および最終VIIの表層および下層(水面下-6.75 m)の水平流速分布を示す。

III, IVの表層では、八景島の周囲に明確な時計回りの還流が形成され、比較的長時間持続する現象が見られた。これは表層のみに見られる流れであり、底層では測線①、②で湾外に流出する流れが見られ、湾奥の流れは小さかった。この還流は、測線①のI~IVで継続的に観測された南下流が成因の一つに考えられる。この南下流は表層で強く、底層では弱いか、逆に北向きに流れる部分が見られた。

図-5に示した流動の概念図のように、測線①の場所での南下流は東京湾の下げ潮時の基本的な流向である。しかも、東京湾全域が大きな一つの成層海域であるから、この時期の下げ潮流はエスチュアリー循環の影響で表層で速くなる。したがって、金沢湾の湾水もこのような東

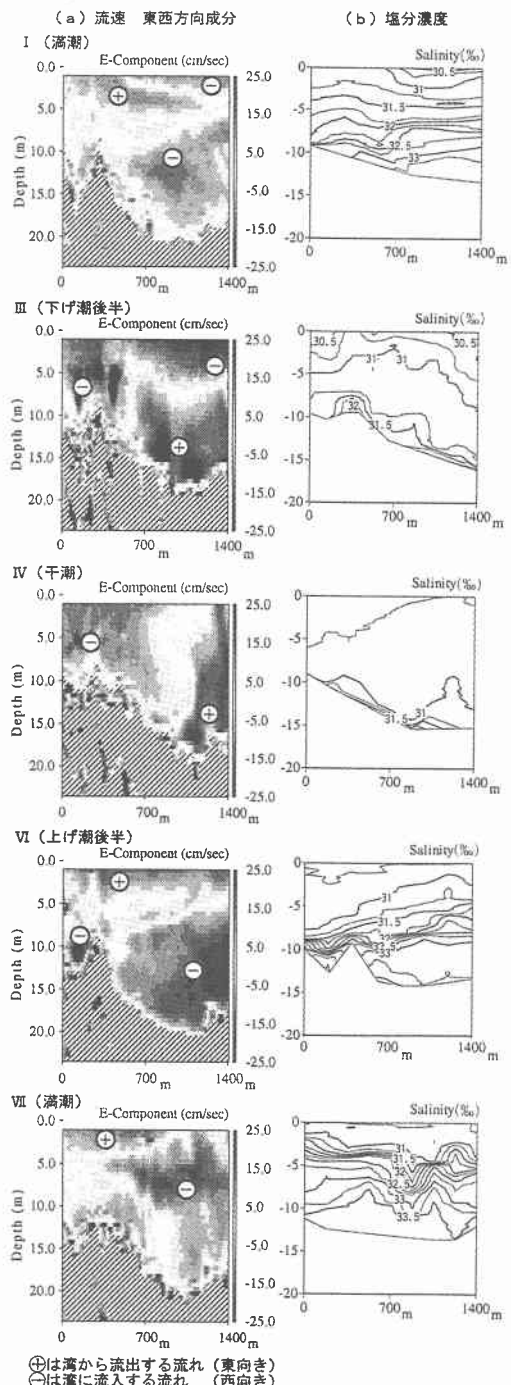


図-3 測線①(金沢湾湾口)における流速東西方向成分と塩分濃度の分布(湾口より湾奥を見る)

京湾の流動の影響を受け、表層のみで還流を形成したと考えられる。これは本海域の流動の一つの特徴であると言える。

一方で、図-3のVI, VIIに見られた上げ潮時の底層の湾

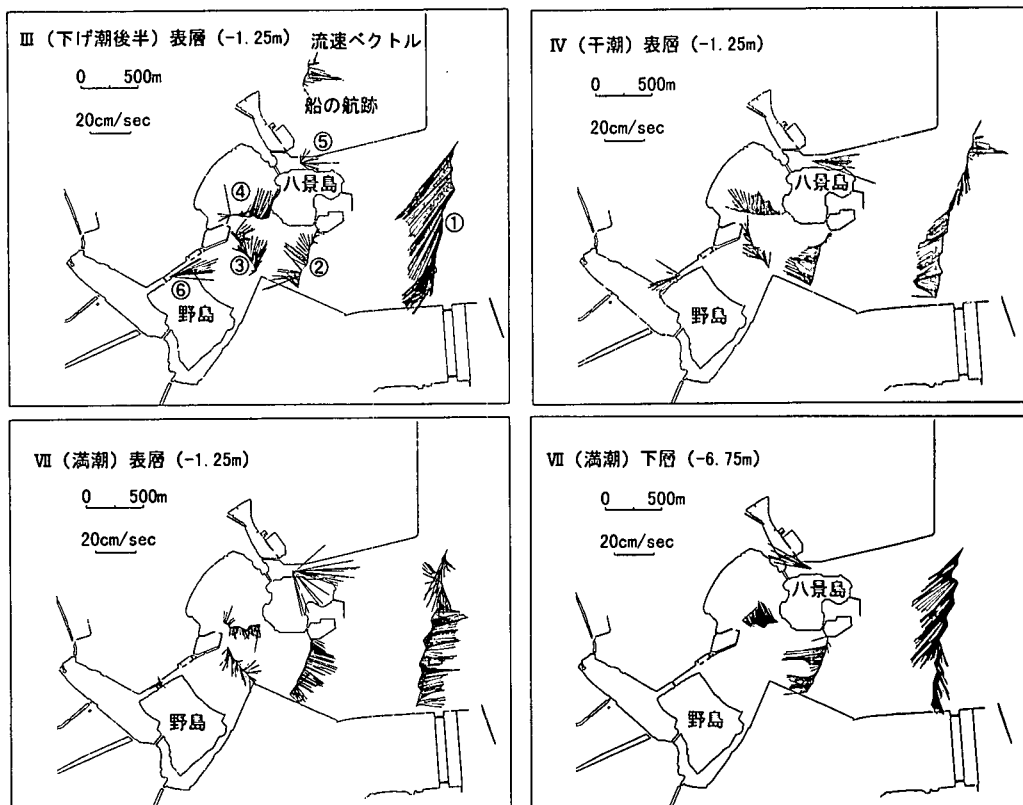


図-4 ADCP観測による流速の平面分布

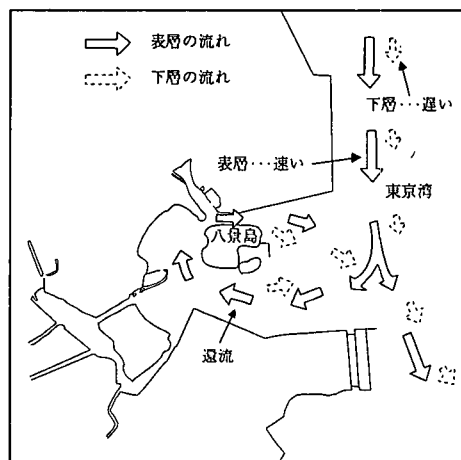


図-5 金沢湾表層の還流の形成

奥への流入、表層の流出は図-4のようにVIIでは湾全体規模に発達していることがわかる。

観測日は曇りで、午前中はほぼ無風、午後は弱い南西風があったものの、これら気象条件に起因する変動は特に見られなかった。今回の観測では、潮汐の運動に加えて密度構造に関連した流動が、外湾である東京湾に強い

影響を受けて形成される構造が捉えられた。なお、今回の観測日前1週間は全く降水が無く、この海域への淡水流入量はかなり少なくなっていたと考えられる。そのため、今回の観測では湾奥の測線④や⑥ではほぼ一層の流れであったが、出水時には河川フロントの動きが加わり、また強風時には稲垣ら(1996)の検討のように対象海域は大きな影響を受ける場合もあり、今回の流動構造にこれらの要素が加わることで本海域の流れはさらに複雑化すると考えられる。

3. 長期観測

(1) 観測内容

2.の集中観測日を含む1996年5月23日～7月8日の47日間において、平潟湾、金沢湾、及び2つの湾を結ぶ野島水路内の計3ヶ所(図-1)に自記式の水温・塩分計または水温計(アレック社製MDS-CT及びMDS-T)を鉛直方向に2～3個配置し、また金沢湾の測定点では底層に電磁流速計(アイオーテック社製WAVE HUNTER-Σ)も設置し連続計測を行った。測器の配置を表-2に示す。

(2) 観測結果と考察

図-6に観測結果を示す。この図には、横浜気象台観測

表-2 長期観測

観測地点 (図-1)	項目	計測位置
金沢湾 (水深 8.0 m)	水温 塩分濃度 流向・流速	-0.5 m, -1.5 m, -3.0 m -0.5 m 海底上 +0.8 m
野島水路 (水深 4.5 m)	水温 塩分濃度	-0.5 m, 海底上 +2.0 m -0.5 m
平潟湾 (水深 3.0 m)	水温 塩分濃度	-0.5 m, -1.2 m, -2.5 m -0.5 m, -1.2 m

水温・塩分は 10 分に 1 回、流速は毎正時 10 分間 (2 Hz) の計測

の風データ及び気温・降水、また横須賀の潮位変動もあわせて示している。なお、観測期間後半の塩分濃度の値は機器への生物付着のため値が次第に低下しており、絶対値には問題があるため相対的な変動のみに着目する。

5 月下旬から 7 月上旬の期間は通常梅雨期を含むにも関わらず、1996 年のこの観測期間内にはまとまった降雨がほとんど見られない。よってここでも河川の出水の影響は小さいデータが観測されていると考えられる。

観測期間内の水温変動に注目すると、日周期の変動をしながら期間全体に渡って上昇している中で、何か所か水温が大きく低下する箇所が見られる。この水温低下と気温の変動との相関は小さく、海水温特有の変動と考えられる。

詳しく見ると、強い南西風が吹いた時に (期間内の風速 4 m/s 以上の風は、すべて主方向が南西である)、金沢湾の流速観測点で弱い西向きの流れが見え、同時に水温が急速に低下し、塩分濃度が上昇している。風が弱まった後の数日間、今度は金沢湾観測点で東向きの比較強い流れが現れ、この時には水温は徐々に上昇し、塩分濃度は低下している。なお、この水温上昇・塩分低下期には、湾内の成層は弱まる傾向が見られている。

水温低下・塩分上昇が起こることで、強風時に外海である東京湾の海水が入り込んでいる可能性が高い。南方向からの風が卓越する時は東京湾の西岸で北上する流れが卓越することが田中ら (1997) などで示されており、このことから東京湾湾口部付近の低温・高塩分水が金沢湾まで運ばれることが考えられる。さらに東京湾全体の密度構造まで考えると、南西風が強く吹いた際に岸の表層で沿岸ジェットが発達し、コリオリ力で右側に曲げられ、図-7 の概念図に示す南西から北西にかけての水域で沿岸湧昇が発生する (田中, 1993)。金沢八景海域はこの湧昇域に含まれることになり、東京湾底層の低温・高塩分水が表層付近に持ち上げられることで、高密度水が入り込みやすい状況が生まれることになる。

一方、風が弱まった後の水温上昇・塩分低下については、先のように湾内に侵入してきた高密度水が再び外海に流出していくことに対応すると考えられる。今回のよ

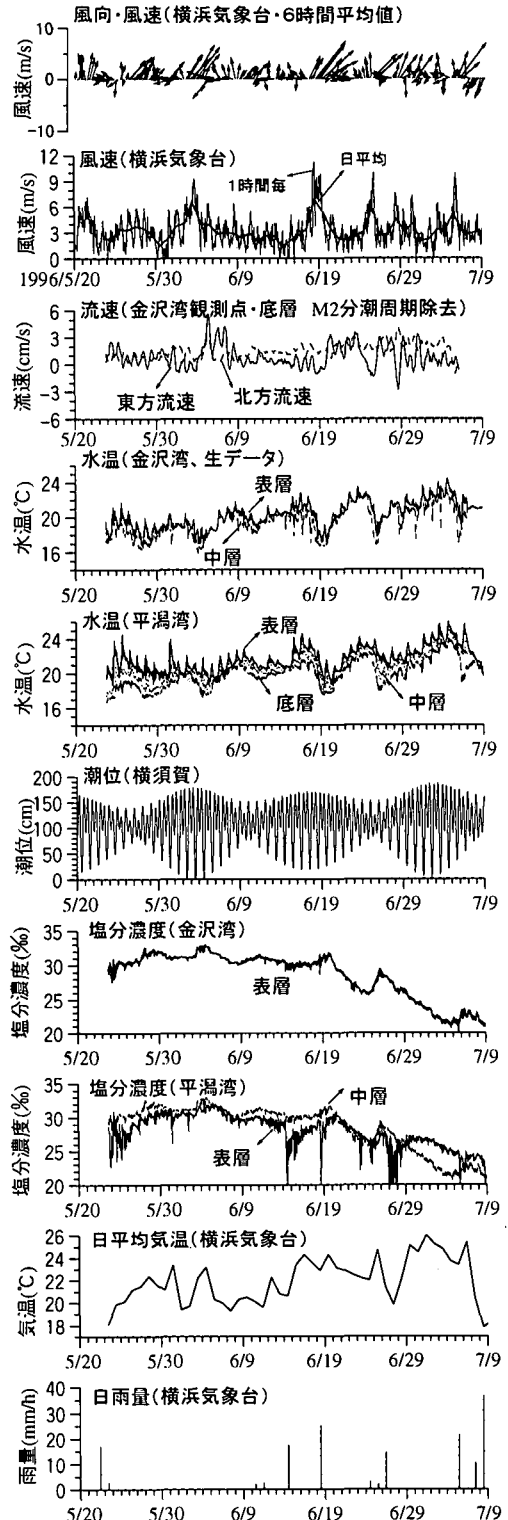


図-6 長期観測結果

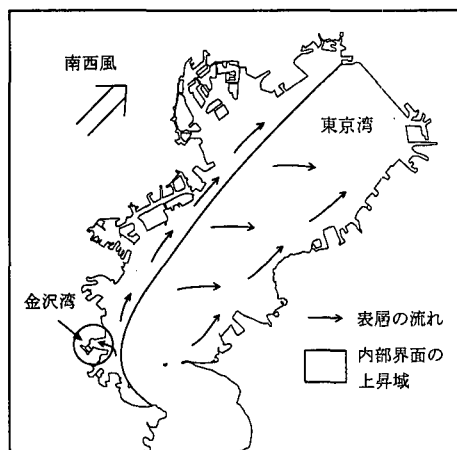


図-7 南西風連吹時の沿岸湧昇

うな特徴的な現象は本海域の海水交換を考える上でも重要と考えられる。

また、このような強風後以外にも水温や塩分が若干変動している部分も見られる。これらの変動は潮汐の大潮・小潮に会う周期性の変動にも見え、この潮汐との関係も留意しなくてはならない。しかし、宗景ら(1991)が浦の内湾で観測した差込み現象のように、大潮期の大きな潮流変動により外海水が湾内に流入する、という図式は今回のデータを見る限りでは見られていない。むしろ小潮期の後半に塩分上昇・水温低下する傾向も見られる。ただし、満潮時において今回は水温・塩分測定を行っていない金沢湾の底層で、2.で述べた ADCP 観測時に見られたような潮汐変動に伴う高密度水の多量の流出・流入が起こっていることは考えられる。

以上、長期的変動を見ても、本海域の流動は密度構造と密接に関連し、風の作用も含め外湾である東京湾との相互作用が重要であると考えられる。

4. 結 論

横浜市金沢八景海域(金沢湾・平潟湾)を対象に、1 潮汐間の 3 次元的な流動・密度構造の変化に着目した

ADCP による観測と、長期的な変動を捉えるための計器設置による 1 ヶ月以上の連続観測の両方を実施し、以下の知見を得た。

- 1) ADCP による観測から、潮汐と密度差に起因する流れが東京湾の流動に強い影響を受けて対象海域に形成されることがわかった。特に、下げ潮時に金沢湾内表層では時計回りの還流が見られた。これは東京湾表層の南下流によるものと考えられ、成層期における本海域の流動の特徴の一つと考えられる。
- 2) 対象海域の長期の水質変動観測から、強い南西風が吹く際に東京湾の低温・高塩分水が湾内に流入し、その後流出していく現象が捉えられた。風による東京湾の流動および密度構造の変化と、対象海域の東京湾に対する位置が関係していると考えられる。

参 考 文 献

- 稲垣 聡・新保裕美・林 文慶・田中昌宏・棚瀬信夫 (1996): 密度成層を形成する閉鎖性湾の流動及び水質の特性, 海岸工学論文集, 第 43 巻, pp. 1096-1100.
- 稲垣 聡・田中昌宏・棚瀬信夫 (1996): 金沢八景海域の水質・流動特性と水路開削の影響, 鹿島技術研究所年報, 第 44 号, pp. 179-184.
- 新保裕美・田中昌宏・リンブーンケン・棚瀬信夫 (1995): 干潟が存在する海域の流れと水質の現地計測, 土木学会関東支部研究発表会講演概要集, No. 22, pp. 142-143.
- 杉山陽一・藤原建紀・中辻啓二・福井真吾 (1995): ADCP による伊勢湾の流動構造調査, 海岸工学論文集, 第 42 巻, pp. 1096-1100.
- 田中昌宏 (1993): 成層化した湾の風による混合と流れのモデル化について, 海岸工学論文集, 第 40 巻, pp. 1096-1100.
- 田中昌宏・稲垣 聡・八木 宏 (1997): 東京湾成層期のリアルタイムシミュレーション, 海岸工学論文集, 第 44 巻, pp. 386-390.
- 田村圭一・宗景志浩 (1993): ADCP 観測による浦の内湾の流れ構造と浮遊物質分布の特性, 高知大学学術研究報告, 第 42 巻, pp. 49-58.
- 中辻啓二・藤原建紀 (1995): 大阪湾におけるエスチュアリー循環機構, 海岸工学論文集, 第 42 巻, pp. 396-400.
- 宗景志浩・木村昭保・村田 宏・森山貴光・田島健司 (1991): 浦の内湾における湾外水の差込み現象と貧酸素水塊の消長について, 日本水産学会誌, 第 57 巻, pp. 1635-1643.
- 横浜市 (1989): 平潟湾水質保全計画, 平成元年 11 月, 113 p.