

阿賀野川の塩水潮上

立石雅昭¹・本多 結¹・徳岡隆夫²・吹田 歩²
松田滋夫³・安間 恵⁴・西村清和⁵

Saline water intrusion into the Aganogawa River

Masaaki Tateishi¹, Yu Honda¹, Takao Tokuoka², Ayumi Fukita²,
Shigeo Matsuda³, Kei Anma⁴ and Kiyokazu Nishimura⁵

Abstract: Salt water intrusion into the Aganogawa River was measured on November 19 and 20, 2004, and October 16 and 17, 2005 at spring tide, using mainly a SC-3 acoustic profiling system and water quality meter called TPM CLOROTEC. Velocity, direction and depth were also measured at two stations in the latter observation. SC-3 acoustic profiling system is an improved 200 kHz precision echosounder, that records the distribution of the halocline and the thickness of the saltwater layer as profile records. TPM CLOROTEC is a towing-type water quality meter, and real time data of depth, temperature, salinity, turbidity and chlorophyll-a can be obtained on the ship. These two instruments are very useful to recognize time-space distribution and changes of the halocline. At the Aganogawa River saline intrusion has been known to reach up to 14 km from the river mouth, and has been wrongly interpreted to the cause of the Niigata Minamata Disease. Our observation has successfully visualized the behavior of salt water intrusion into the Aganogawa River

Key words: Aganogawa River; saline wedge; echo-sounding survey, Niigata Minamata Disease

1 はじめに

潮位差の小さい日本海側の大きな河川では塩水の侵入は弱混合型であることが知られていて、阿賀野川(図1)もその代表例である。日本の感潮河川については三井(1970)のまとめがあり、建設省土木研究所(1993)は全国の感潮河川の実態についてまとめ、西條・奥田(1996)は河川感潮域について解説し、徳岡ほか(2001)は塩水楔観測システムを提案している、最近では弱混合河川の塩水潮上については徳岡ほか(1999)が江の川について、安間ほか(2005)が

天塩川およびサロベツ川について報告している。とくに阿賀野川では1965年に新潟水俣病が発生し、その原因として前年の新潟地震において信濃川河口部の農業倉庫が被害を受け、そこから流出した農薬が海に出て、さらに阿賀野川に塩水の潮上とともにもたらされ、下流域に被害を及ぼしたとする「塩水くさび」説が主張され、塩水くさびについての調査が行われている。それによると塩水は河口から6 km以上潮上していて、河川流量、干満によって変化すること、塩水と上位の淡水の境界はかなり明瞭であり、弱混合の状態にあることなどが裁判記録のなか

¹ 新潟大学理学部 地質科学教室 Department of Geosciences, Faculty of Science, Niigata University, Niigata 950-2181, Japan

² 徳岡汽水環境研究所 Tokuoka Laboratory for Studies of Brackish Water Environments, Matsue 690-0823, Japan

³ クローバテック株式会社 Clovertech Inc.

⁴ 川崎地質株式会社 Kawasaki Geological Engineering Co. Ltd., Tokyo 108-8377, Japan

⁵ 産業技術総合研究所 National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Tsukuba 305-8567, Japan

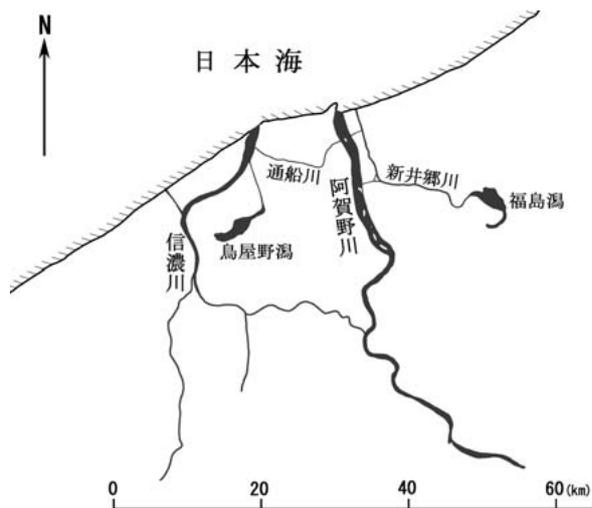


図 1. 調査地域位置

Fig. 1. Index map

にも記述されている。塩水くさび説は患者の発生が塩水湖上の範囲を越えて上流 60 km にまで至ったことから、原因として採用されることはなかったが、新潟水俣病の原因究明を遅らせ、あいまいにする結果となったことが知られている（新潟水俣病共闘会議東京事務局製作，新潟水俣病裁判判決全文，1972 による）。

阿賀野川の潮位変動量は大潮時で 46 cm，小潮時で 10 cm，感潮区間は河口から 16 km，最大塩水湖上距離は 14 km であることが知られている（建設省土木研究所河川部河川研究室，1993）。また，小戸田（2000）によると，感潮域は河口から 12 km，汽水域を特徴づけるヤマトシジミ漁は大阿賀橋（河口から 9.3 km）より下流で行われていることが報告されている。ここではおもに塩水くさび音響プロファイリングシステム SC-3（徳岡ほか，2001），曳航式水質計（TPM CLOROTEC，アレック電子），および水質計（QUANTA Q，ハイドロラボおよび COMPACT CTD，アレック電子）を用いて 2004 年 11 月（小潮時）と 2005 年 10 月（大潮時）に行った観測結果について述べる。2005 年の観測では河床に流向流速計・温度塩分計・水位計（コンパクト EM・コンパクト CT・コンパクト TD，いずれもアレック電子製），および塩水くさび音響動態観測システム CL 4，クローバテック）を設置して観測を行った。コンパクト EM は測定インターバル 1 秒，サンプル個数 60，バースト時間 5 分で平均，コンパクト CT および TD は測定インターバル 1 秒（グラフ表示は 5 分インターバル），コンパクト CTD は測定インターバル 0.1 秒，TPM クロロテックは測定インターバル 2 秒であ



図 2. 阿賀野川における SC-3 調査測線（2004 年 11 月 19, 20 日）

地形図は 2.5 万分の 1 「松浜」および「水原」による。

Fig. 2. Surveye routes at the Aganogawa River (Nov.19 and 20, 2004)

る。位置測定にはカシミール 3D を使用した。この利用法については吹田・西村（2005）で解説している。これらの結果についても述べる。なお，2004 年の SC-3 と TPM クロロテックによる観測結果については，その一部を徳岡ほか（2005）で紹介した。

2 2004 年 11 月の観測

11 月 19, 20 日（小潮時）に観測を行った。測線を図 2 に，河口から 5 km の胡桃山水位観測所の水位データを図 3 に示す。これらの観測は数日にわたってかなり雨の続いた後であったことから，塩水くさびは全体として河口近くまで押し戻されていた状況下で行ったものである。また，この年の夏には阿賀野川で洪水があり，河口を両岸からかなり閉塞していた砂州は左岸側がほとんど失われた状況にあった。SC-3 および TPM クロロテックによる観測の時間帯は図 3 に，結果については図 4, 5, 6 にまとめて示す。

2.1 11 月 19 日の観測

塩水が湖上している範囲を中心として 3 回の縦断観測を行った（図 4）。満潮 2 時間半後（観測①），3 時間半後（観測②）および干潮時（観測③），デジタル記録収録時のトラブルがあり，アナログ記録を示

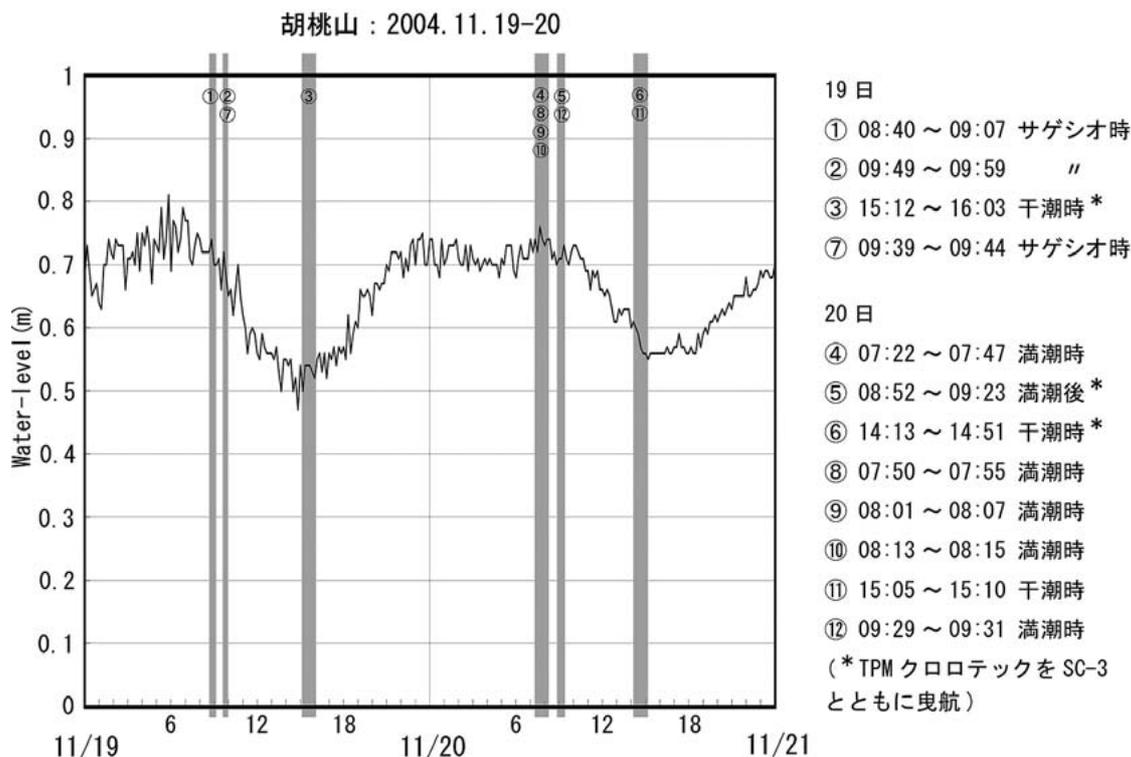


図 3. 胡桃山水位観測所の水位データ (国土交通省阿賀野川河川事務所による) と観測時間帯 (2004 年 11 月 19, 20 日)
Fig. 3. Water-level changes at the Kurumiyama Station, Aganogawa River (Nov. 19 and 20, 2004)

す)で、くさび先端の位置は順次後退していて、干潮時には河口から 1 km の松浜橋付近にまで後退している。

①は満潮 2 時間半後の記録で、くさびの先端は河口からの距離 1.7 km にあり、松浜橋下流では淡塩境界部に流下する淡水による塩水のはぎとり(連行)がみられる。②は満潮 3 時間半後の記録で、くさびの先端の位置は①よりもわずかに後退している。水温・塩分の鉛直分布で明らかなように、上位の淡水と下位の塩水の境界は明瞭で、混合部は 20 cm 程度の厚さである。③は干潮時の記録で、くさびの先端の位置は松浜橋まで大きく後退している。この観測では TPM クロロテックによる水質測定が連続的に行われた。その結果は図中に合わせて示している。音響(淡塩)境界で塩分値が大きく変化していて、これより下位ではほとんど 30 PSU 以上である。

縦断①の観測に引き続いて、塩水くさび先端よりもわずかに上流の 2 km 地点で横断観測を行った(図 6 の⑦)。この断面上では、塩水くさびの先端はこの位置にまで達していないが、これより左岸寄りの小さな深みには淡塩境界と認められる反射面が存在する。すなわち右岸よりの滲筋(本流にあたると思われる)では塩水がこの位置よりも下流に押し出されているが、小さな滲筋にそっては塩水が入り込ん

だままの状態にあるものと推定できる。

2.2 11 月 20 日の観測

塩水が溯上している範囲を中心として 3 回の縦断観測を行った(図 5)。満潮時(観測④)、1 時間後(観測⑤)および干潮 1 時間半前(観測⑥)で、くさび先端の位置は④と⑤ではほぼ同じ位置にあり、前日の満潮 2 時間半後と比べると 200 m ほど前進した位置にある。⑥では④と⑤よりも大きく後退していて、前日の③の位置とほぼ同じである。観測の⑤と⑥では TPM クロロテックによる観測が同時に行われ、水深と塩分の変化を音響記録とともに示している。いずれにおいても音響記録で認められる淡塩境界の厚さは 20 cm 程度で、水質測定から 30 PSU を超える海水と上位の淡水が狭い漸移帯で接していることとよく一致している。

縦断記録④に対応する横断記録を⑧、⑨、⑩、同じく⑥に対応する横断記録を⑪として図 6 に示す。

⑧は満潮時の記録で、右岸側に 5 m を越える深み、左岸側には 3 m の深みがある。これらの滲筋には塩水は到達していない。⑨は満潮 20 分後の記録で、主流の滲筋には同様に塩水が溯上していないが、右岸側の 2 つの滲筋にそっては塩水が溯上していることがわかる(前日の横断測線⑦でも同様)。⑩

阿賀野川 SC-3 等の観測 04. 11. 20 (縦断)

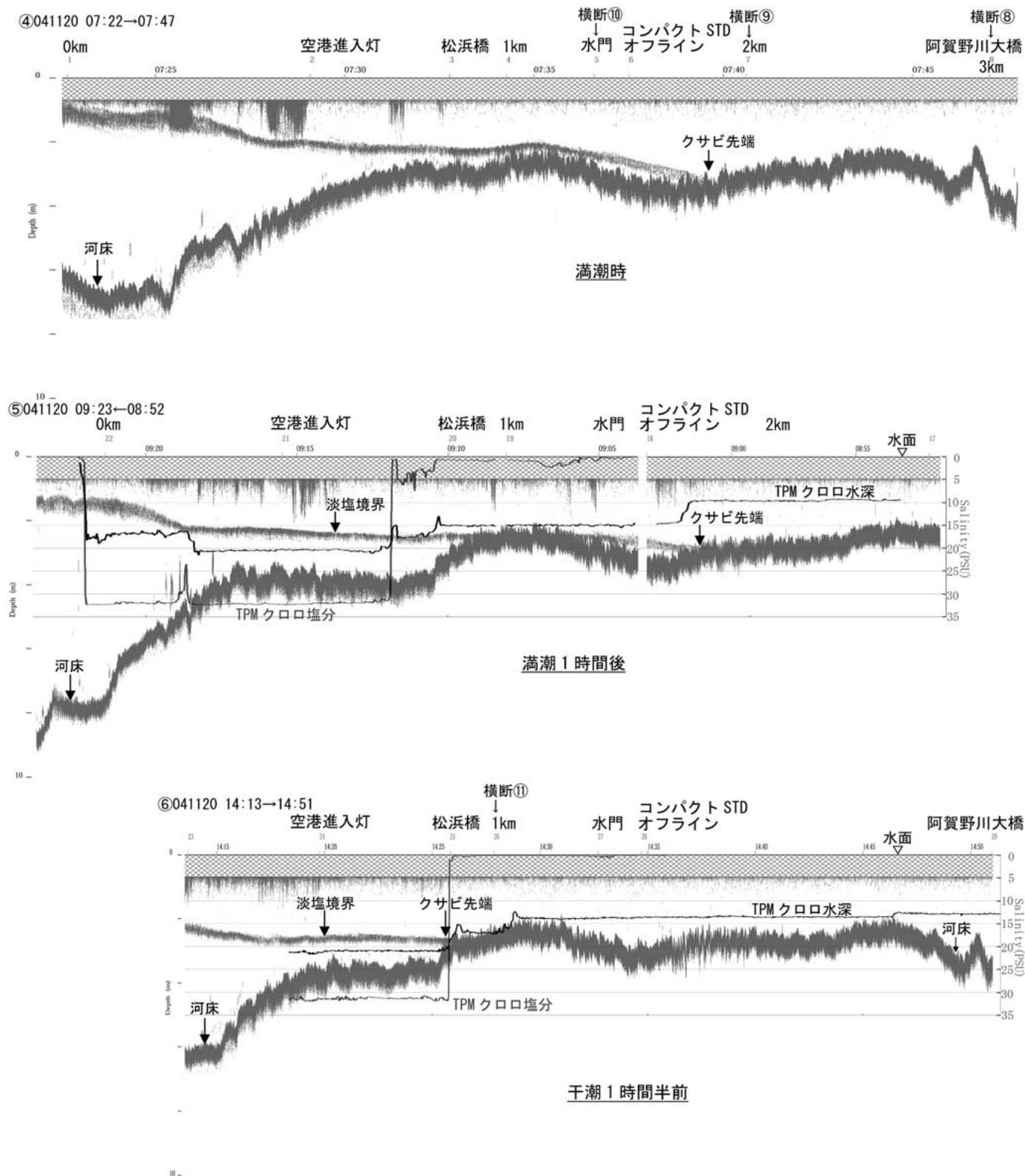
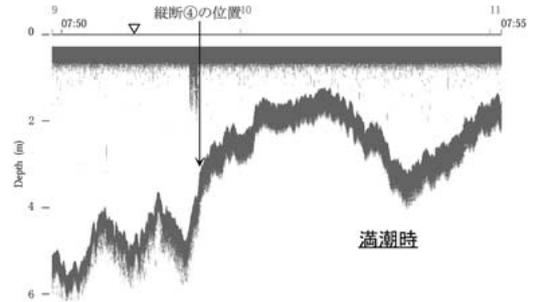


図 5. SC-3 による縦断調査記録 (2004 年 11 月 20 日)
 Fig. 5. The data of the SC-3 acoustic profiling system (Nov.20, 2004)

阿賀野川 SC-3 等の観測（横断；19 日左⑦, 20 日右⑧～⑪）

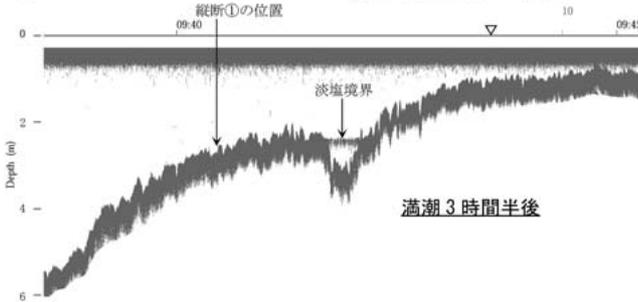
20 日

⑧041120 07:50～07:55 3km 横断（縦断④に対応）

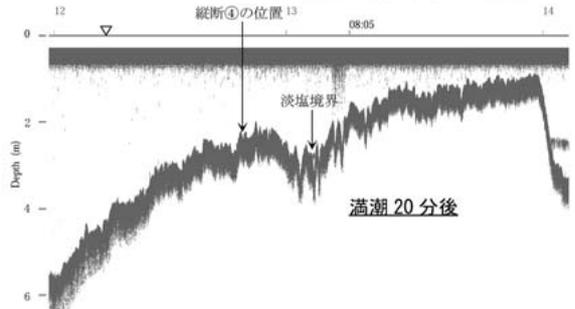


19 日

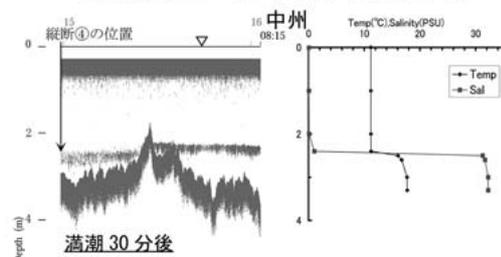
⑦041119 09:39～09:44 2km 横断（縦断①に対応）



⑨041120 08:01～08:07 2km 横断（縦断④に対応）

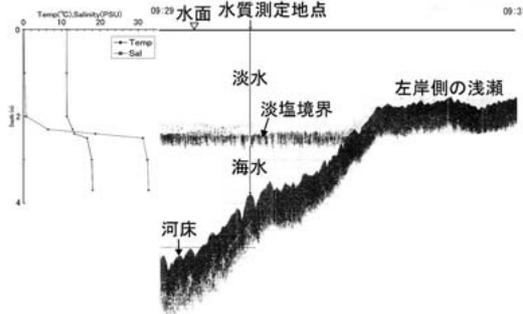


⑩041120 08:13～08:15 1.5km 横断（縦断④に対応，
縦断測線上～右岸にむけて中州まで）



松浜橋北西（シジミ稚貝放流計画地点）の SC3 観測と水質測定
（2004.11.20、小潮時の満潮 2 時間後）

⑫041120 08:29～09:31



⑪041120 15:05～15:10 1km 横断（縦断⑥に対応）

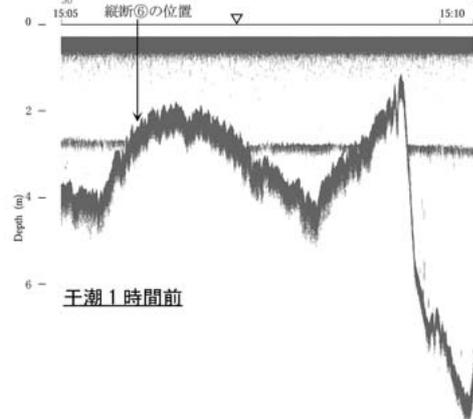


図 6. SC-3 による横断調査記録（2004 年 11 月 19, 20 日）

Fig. 6. The data of the SC-3 acoustic profiling system (Nov.19 and 20, 200)

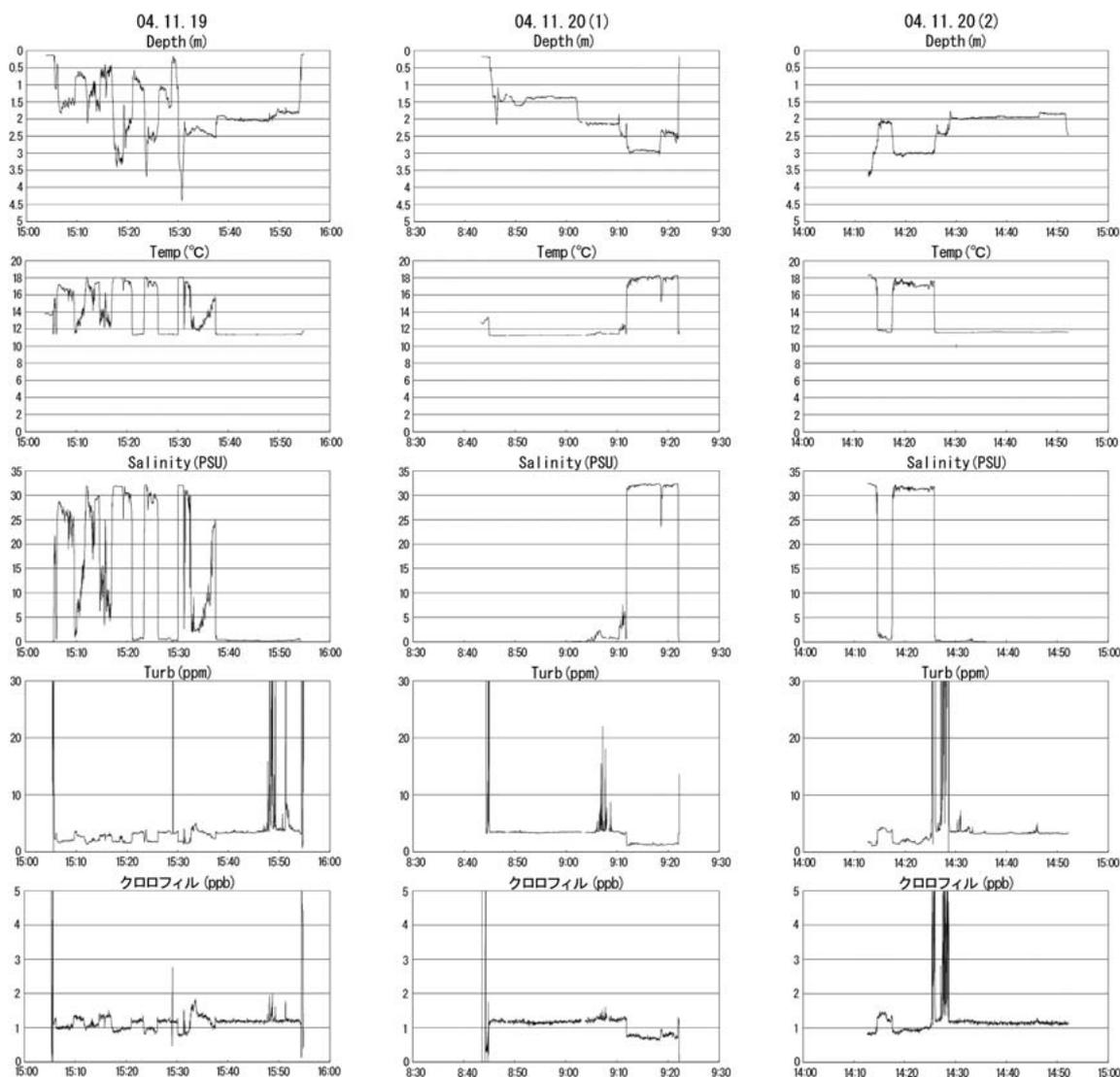


図7. TPM クロロテックによる水質データ(深度, 温度, 塩分, 濁度, クロロフィル a; 2004年11月19, 20日)
Fig. 7. Time-series data of Depth, Temperature, Salinity, Turbidity and Chlorophyll-a by TPM CLOROTEC (Nov.19 and 20, 2004)

は満潮30分後の記録で, 横断⑨では右岸側の大きな濁には塩水は達していないが, この地点は越えて溯上している. 中央の高まりより右岸側の滞筋には塩水が溯上していて, 横断⑨の深みにまで連続している. これらの2つの滞筋では淡塩境界の深度は異なっている.

⑪は干潮1時間前の記録で, 縦断⑥は高まりの位置を通過しているために塩水は認められないが, 右岸側の深みには塩水があり, 横断⑩の右岸側の塩水に連続している. さらに右岸沿いには水深9 mに達する滞筋があり, ここの塩水は横断⑨の右岸沿いの塩水にまで連続している. これらのことは主流滞筋に沿っては上流からの淡水の流れが強く塩水くさびが大きく後退させられているが, 左岸側の滞筋ではそれが弱いために, 塩水が溯上したままであること

を示している. 3つの塩水侵入路での淡塩境界の高さは同じで, 水深3 mにある. 満潮時に近い横断⑨⑩では淡塩境界はほぼ水深2.6 mであった. 満潮から干潮へは水位は約18 cm降下したのに対して, 淡水層の厚さは40 cm大きくなり, 淡塩境界面で見ると58 cm降下したことになる.

2.3 TPM クロロテックによる観測

11月19日の縦断観測③と11月20日の縦断観測⑤, ⑥ではSC-3音響観測とともにTPM クロロテックによる水質観測(深度, 温度, 塩分, 濁度, クロロフィル a)が同時に行われた. 図4と5にはSC-3音響記録と対応させて示している. 水質データについてはまとめて図7に示す.

SC-3音響記録と対応すると, 曳航体の深度位置が

淡塩境界よりも上にあるか下にあるかによって温度と塩分が急激に変わることがわかり、上位の淡水塊と塩水塊の水質の違いが明瞭である。濁度およびクロロフィル a についてみると、淡水塊と塩水塊では濃度が異なり、濁度およびクロロフィル a の値は淡水のほうが塩水よりもわずかに大きい傾向が認められた。

2.4 松浜橋北西のヤマトシジミ漁場付近での観測

松浜漁協によってヤマトシジミの稚貝の放流が計画されている松浜橋北西(空港誘導灯北)の測線(図3の⑫)の音響記録と水質測定結果を図6の中に示している。この記録では上位の淡水と下位の塩水(海水)はごく狭い漸移帯で接していて、また、地形的にみても、ヤマトシジミの生息に適した汽水の範囲は非常に限られていることがわかる。ただし、この観測は河口砂州が夏季の出水で大きく消失した後で、しかも数日間続いた雨による流量の増加で塩水くさびが通常よりも大きく後退した状況下で行われたことから、ヤマトシジミの漁場としての適、不適を議論することはできない。

3 2005年10月の観測

10月16, 17日(大潮時)に前回と同様にSC-3およびTPMクロロテックとともにサイドスキャンソーナー(SportScan, Imagenex社製)による船上からの観測を行った。この観測では水質測定はコンパクトCTDによって行った。また、最初のSC-3による観測で塩水溯上状況を把握した上で適当な2地点(河口から1.5 km 地点, 水深2.5 m(下流定点)と6.5 km 地点, 水深2.3 m(上流定点))を選び、オフライン音響装置CL-4型と温度塩分計を設置した。上流定点には水位計(コンパクトTD)および流向流速計(コンパクトEM)を合わせて設置した。定点観測は10月18日まで連続して行った。今回の観測は平水時の観測で、観測期間中に顕著な流量の変化はなく、塩水は河口から約8~9 km まで溯上している状況であった。なお、河口砂州については、前年度の観測時とは異なり、ほぼ通年の状況に戻った状態であった。曳航調査測線と定点観測位置、胡桃山(河口から5 km)における水位変化、これから1.5 km 上流の上流定点における水位変化を、それぞれ図8, 9, 10に示す。SC-3音響記録についてはまとめて図11に示す。これらの結果のうちコンパクトCTDによる塩分については図11の中に示し、全体の水質測定データに

については図12, 13として示した。

3.1 10月16日の観測

河床2地点に機器を設置して連続観測を行うためにSC-3により塩水溯上の状況をまず把握することとした。河口から10 km 手前までのSC-3の記録を図11①に示す。この観測は干潮1時間後のもので、塩水くさびの先端は8 km 地点を越えた所に位置していた。淡塩境界は明瞭で、上流へむけてごくわずかに傾斜している。境界面上には連行が見られる。

上記の観測結果にもとづいて、河床への機器設置地点を決め、前述のように設置を行った。その後、阿賀野川大橋から上流へJR鉄橋までと下流定点から松浜橋経由松浜港までについて、SC-3とサイドスキャンソーナーによる観測を行った(観測②)これらについては3-4で述べる。

3.2 10月17日の観測

SC-3とサイドスキャンソーナーを併用して河口から塩水溯上の範囲を越えるところ(大阿賀橋の先)まで、1 km ごとに縦断観測および横断観測(観測③)を行った。SC-3の結果と1 km ごとに停船して測定した水質について、まとめて図11③に示す。(8, 9 km 地点では横断観測結果にもとづいて縦断観測の測線位置を滲筋にくるように修正している)。この観測は無風状態で、観測範囲では表層での淡水の流れもほとんどない状況で行われた。干潮から上流へ向けての観測で、くさびの先端を捉えたのは干潮後3時間半で、前日の記録(観測①)と比較すると、くさびの先端はより上流まで前進していて、約9 km 地点にあった。淡塩境界は明瞭で、上流へむけてごくわずかに傾斜している。境界面上には連行が見られる。1 km ごとの横断観測結果をみると、淡塩境界は横断方向にはほぼ水平であることがわかる。この観測では1 km ごとにコンパクトCTDを用いて水質測定を行った。塩分の鉛直分布については同図中に、全体の水質データについては図12に示した。いずれの地点においても音響反射面を境にして塩分は急激に変化している。淡塩境界面より下位の塩水塊は7 km 地点までは30 PSUを超えていて海水であるが、これより上流では多少薄まっていて、9 km 地点では26 PSUであった。

図11④はSC-3とTPMクロロテックを併用して8 km 地点から下流へ、2 km 地点までの満潮時の記録である。上段は音響記録で、淡塩境界面は明瞭で、上流へ向けてごくわずかに傾斜している。下段は音

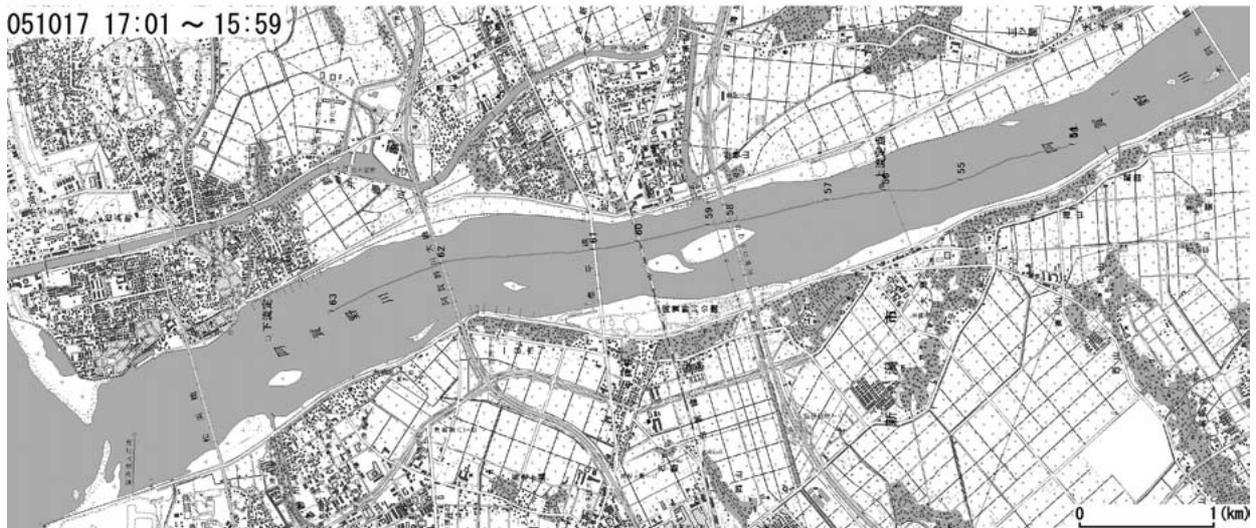
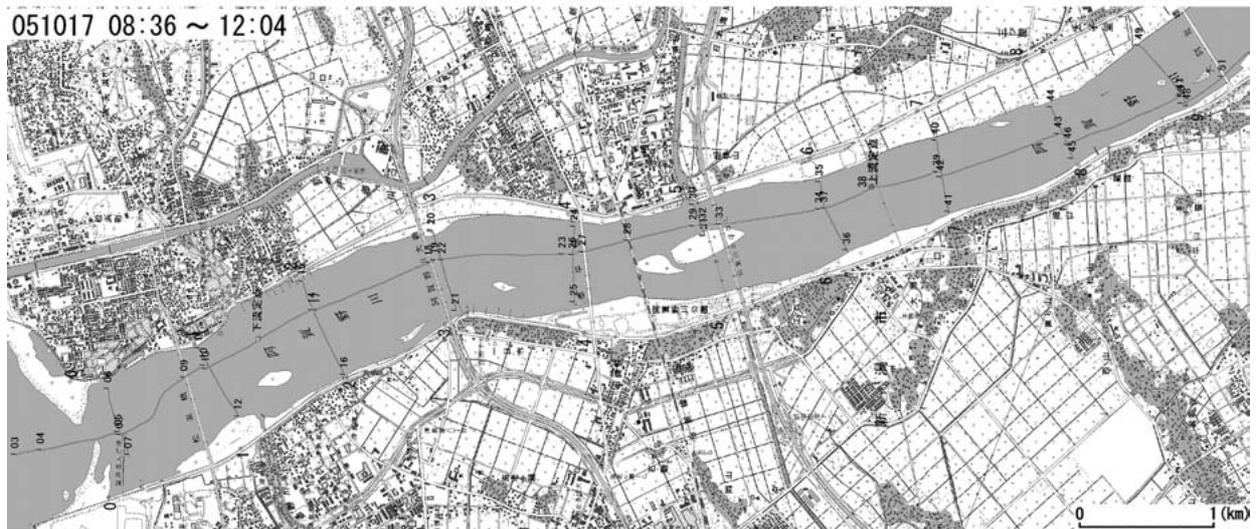
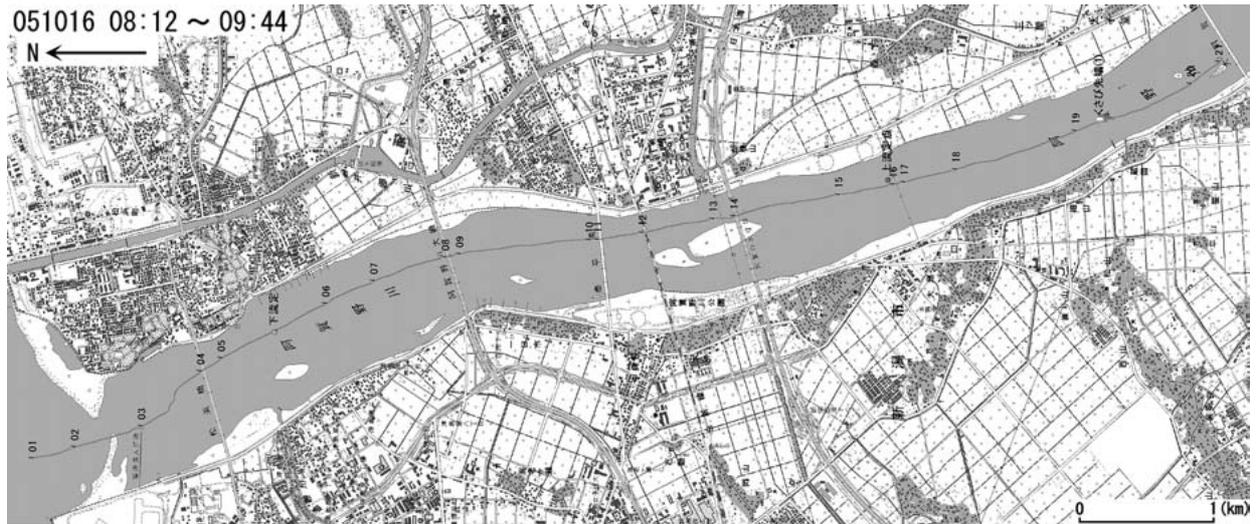


図 8. 阿賀野川における SC-3 調査測線 (2005 年 10 月 16, 17 日)
 地形図は 2.5 万分の 1「松浜」および「水原」による。
Fig. 8. Surveyed routes at the Aganogawa River (October 16 and 17, 2005)

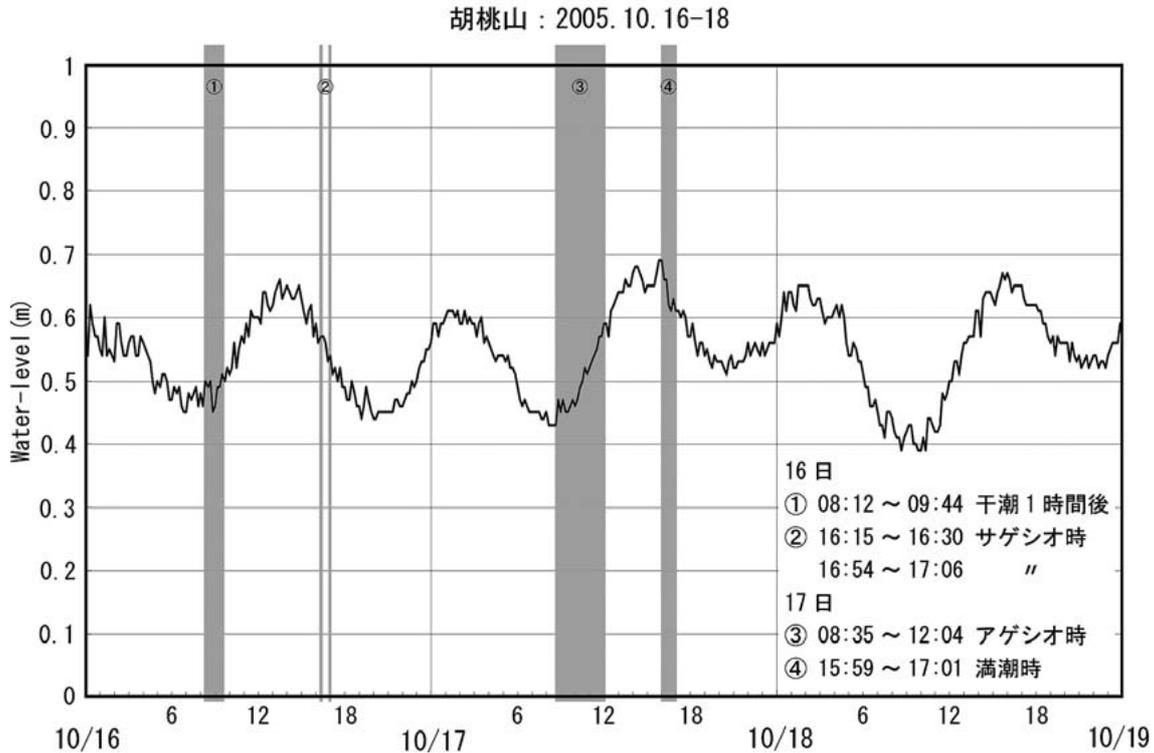


図9. 胡桃山水位観測所の水位データ(国土交通省阿賀野川河川事務所による)と観測時間帯(2005年10月16, 17日)

Fig. 9. Water-level changes at the Kurumiyama Station, Aganogawa River (October 16 and 17, 2005)

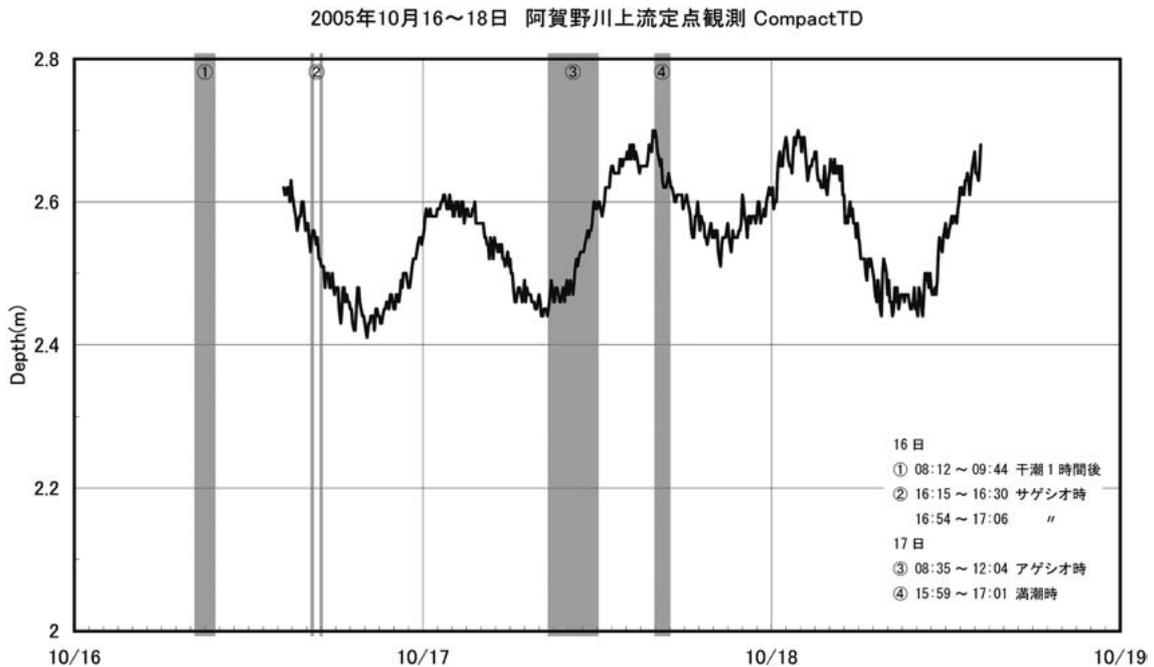


図10. 上流定点における水位データ(コンパクトTDによる; 2005年10月16~18日)

Fig. 10. Water-level changes at the upstream station (October 16~18, 2005)

響反射(淡塩境界)面とTPMクロロテックの深度およびこれに対応する塩分・濁度・クロロフィルaの変化を示している。

3.3 TPMクロロテックによる観測

前述のように, 10月17日の午後の観測でSC-3とTPMクロロテック併用して行った(図11④)。船上でSC-3の記録により塩分躍層の深度を見ながら,

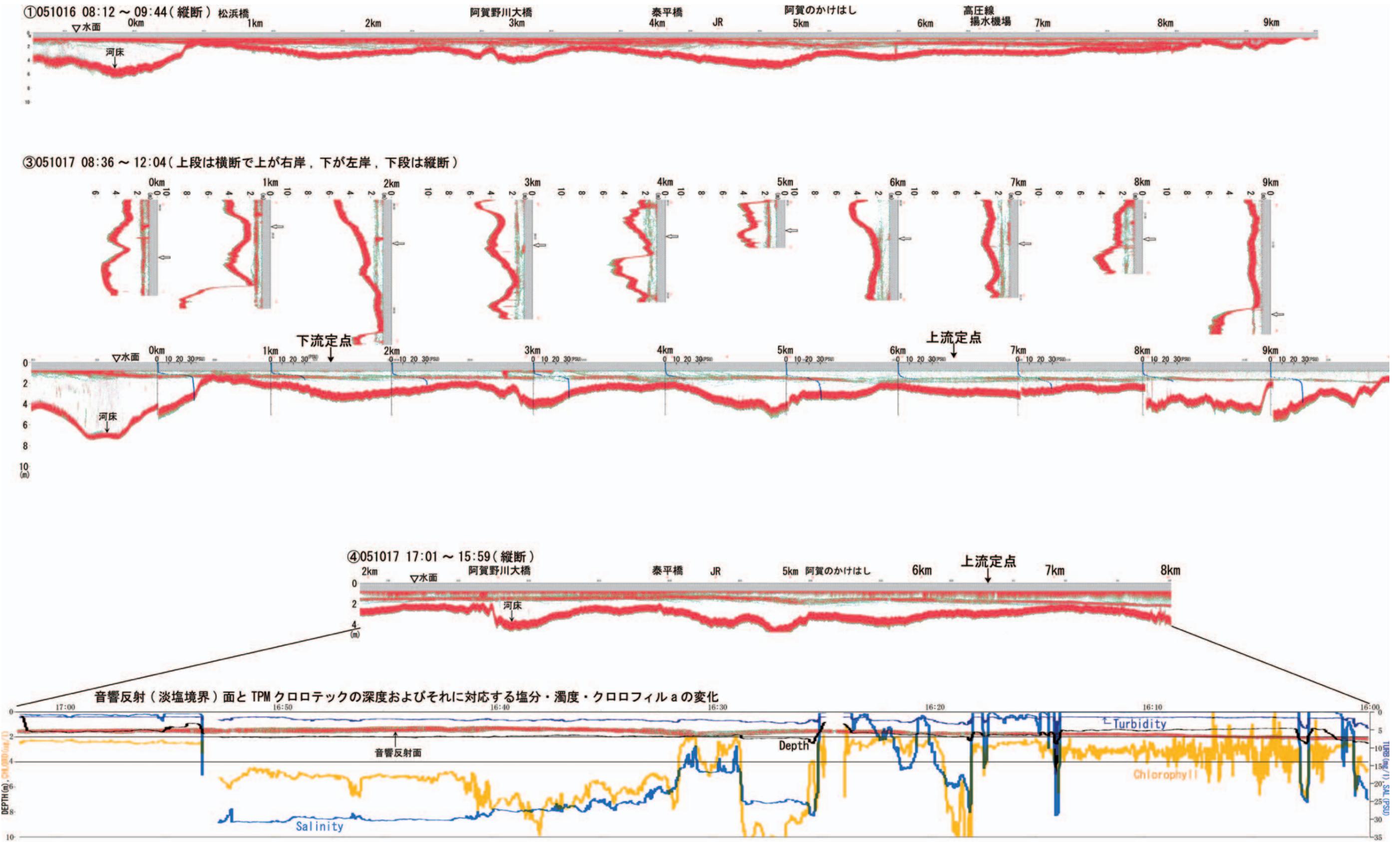


図 11. 阿賀野川における SC-3 調査結果 (2005 年 10 月 16, 17 日) および TPM クロロテックによる水質データ (深度, 温度, 塩分, 濁度, クロロフィル a; 2005 年 10 月 17 日)
 Fig. 11. The SC-3 acoustic profiling system (October 16 and 17, 2005) and Time-series data of Depth, Temperature, Salinity, Turbidity and Chlorophyll-a by TPM CLOROTEC (October 17, 2005)

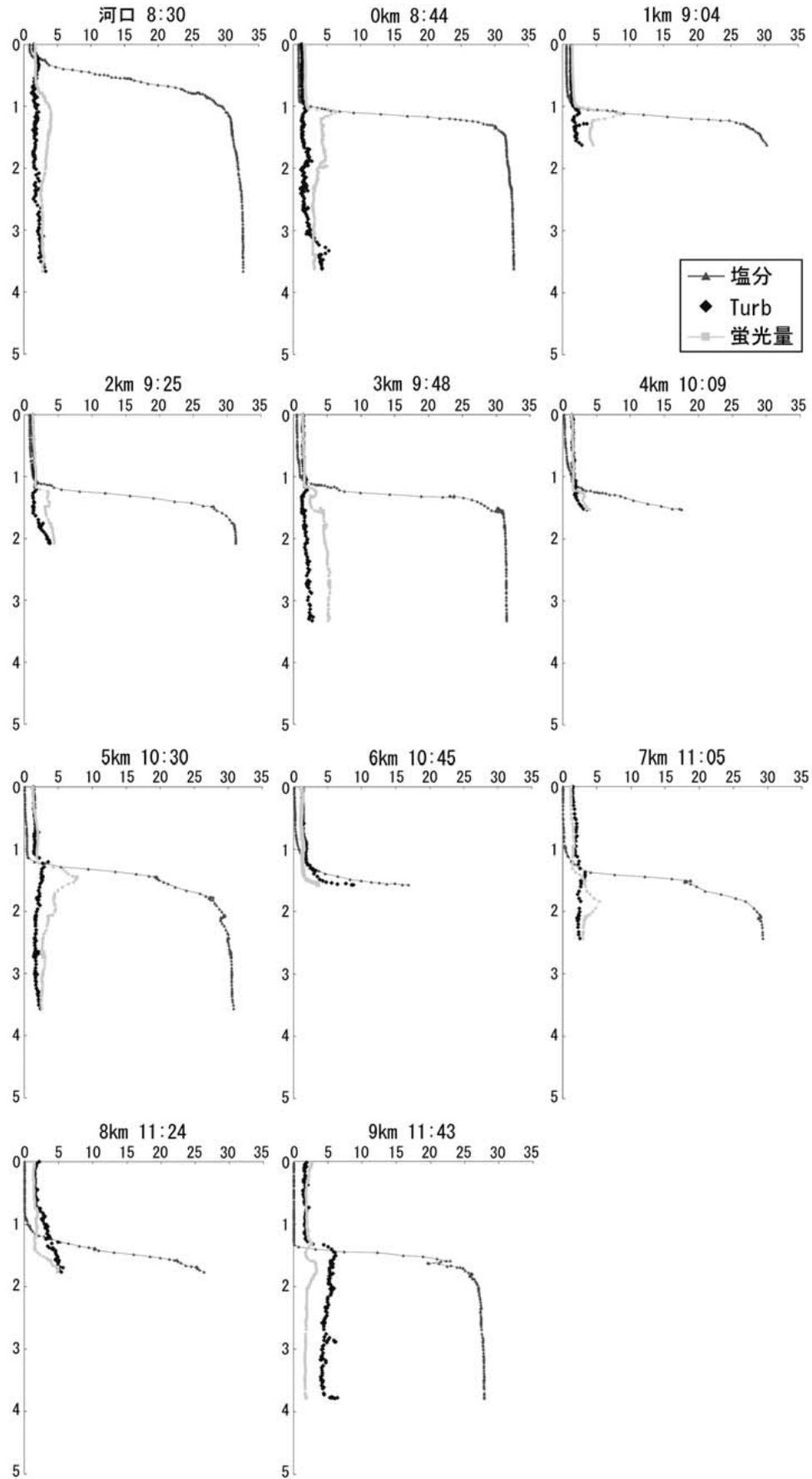


図 12. コンパクト CTD による水質データ (2005 年 10 月 17 日の縦断・横断時)

Fig. 12. Vertical Distribution of Salinity, Turbidity and Chlorophyll-a by COMPACT CTD (October 17, 2005)

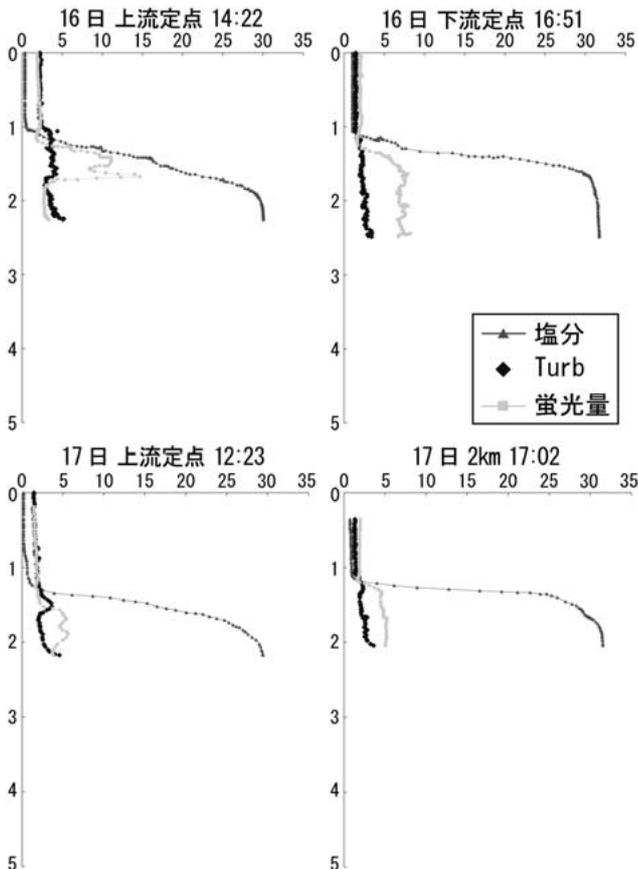


図 13. コンパクト CTD による水質データ (2005 年 10 月 16, 17 日残りのデータ)

Fig. 13. Vertical Distribution of Salinity, Turbidity and Chlorophyll-a by COMPACT CTD (October 16 and 17, 2005)

TPM クロロテックのセンサの深度を適当に調節しながら満潮時からサゲシオ時にかけて曳航観測を行ったものである。濁度およびクロロフィル a についてみると、淡水塊と塩水塊では濃度が異なり、濁度およびクロロフィル a の値は淡水のほうが塩水よりもわずかに小さく、前年度とは逆の結果が得られた。

3.4 サイドスキャンソナーによる観測

10月16日の観測②および10月17日の観測③では SC-3 と併用してサイドスキャンソナーによる観測を行った。代表的な記録を SC-3 記録と対応させて、まとめて図 14 として示す。

10月16日：図 14②は阿賀野川大橋から上流に、泰平橋手前までの記録である(図上段)。図の右半部では全面に砂漣が認められる。形態が明瞭な部分を拡大して示している。砂漣の形からみると上流向けの流向を示し、河床に沿って塩水が溯上している状況で形成されたものと考えられる。SC-3 の記録による

河床断面の凹凸の形態とも調和的である。地点 22 は阿賀野川大橋の橋脚の画像で、右舷側に認められるのはその“漏洩 (crosstalk)”である。この橋脚をとりまくような明暗の様子は上流からの流れでできた凹凸地形と判断される。また、16:25 地点の左舷側の画像は河床の障害物と判断される。図 14②は阿賀野川から松浜漁港に入ったところの記録である。右舷側の深みに突堤の一部が写っていて、岸壁が続き、係留された船の底の部分が鮮明な画像として得られている。左舷側も対岸の岸壁と係留された船の底の画像が明瞭である。

10月17日：図 14③の縦断は大阿賀橋下の上流向けの左岸側の記録で、河床のところどころに突起物(沈木など)や地形的な凹凸が認められる。11:40 あたりの右舷側の記録は岸壁の一部と判断される。左舷側では浅くなる地形が認められる。この浅い棚の上では上流側からの流れを示す砂漣が認められる。図 14③の横断記録では左岸側の深みには塩水が溯上しているが、右岸側に向けては浅い棚部が広がっていて、その上には全面的に舌状の砂漣が認められる。その形態からは進行方向にほぼ直交する流れで形成されたと判断され、下流へ向かう表層部の流れの向きとよく一致している。

3.5 河床設置機器による連続観測

10月16日の SC-3 第 1 回観測で塩水溯上の状況を把握した上で下流定点(河口から 1.5 km, 水深 2.5 m)および上流定点(河口から 6.5 km 地点, 水深 2.3 m)(図 8)を選定し、以下のように河床に機器を設置して 10月18日までの連続観測を行った。下流定点では音響装置に温度塩分計を添えて行い、上流定点では井桁に組んだ台上に流向流速計を設置し、水位計および温度塩分計を添え、音響装置はこれらと離して設置した。センサ部は前者では河床近くに、後者では河床から約 30 cm 上位に位置している。

上流定点における水位変化(図 10)

胡桃山水位観測所の水位変化(図 9)と比較すると、両者間の距離は 1.5 km で、ほぼ同じ水位変化が記録されている。10月16~17日の間で流量には大きな変化はなかったので、この変化は潮汐によるものであることは明らかで、その幅は 20 cm 程度までである。

上流定点における流向流速の変化(図 15)

流向流速は河床から 30 cm の高さで測定されている。淡塩境界は観測期間中は河床から 60~100 cm にあって、水位の変動幅は約 20 cm であるので、セ

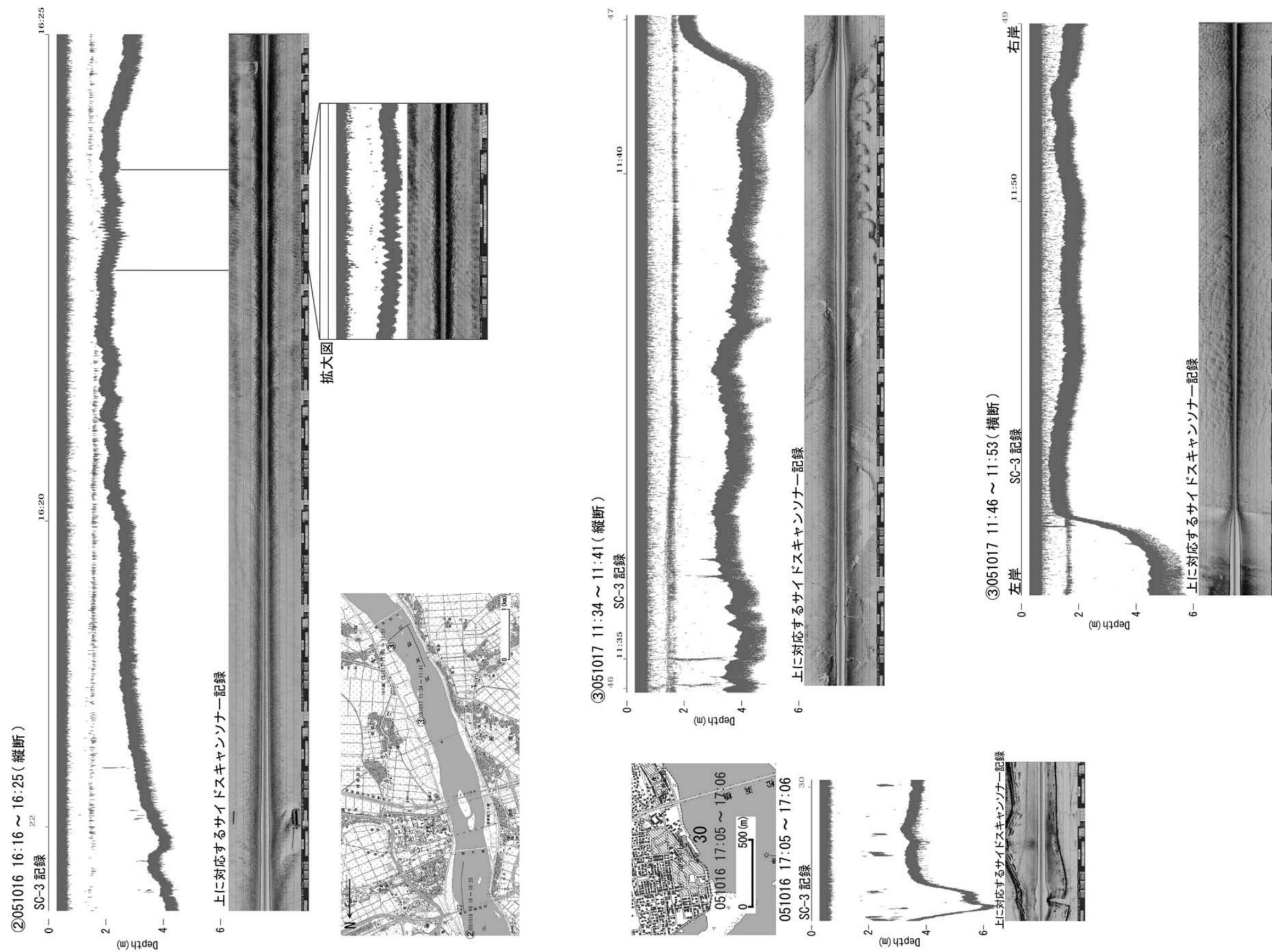


図 14. サイドスキャンソナーによる阿賀野川河床観測 (2005 年 10 月 16, 17 日)
地形図は 2.5 万分の 1「松浜」による。

Fig. 14. The Side-scan sonar images of river bottom (October 16 and 17, 2005)

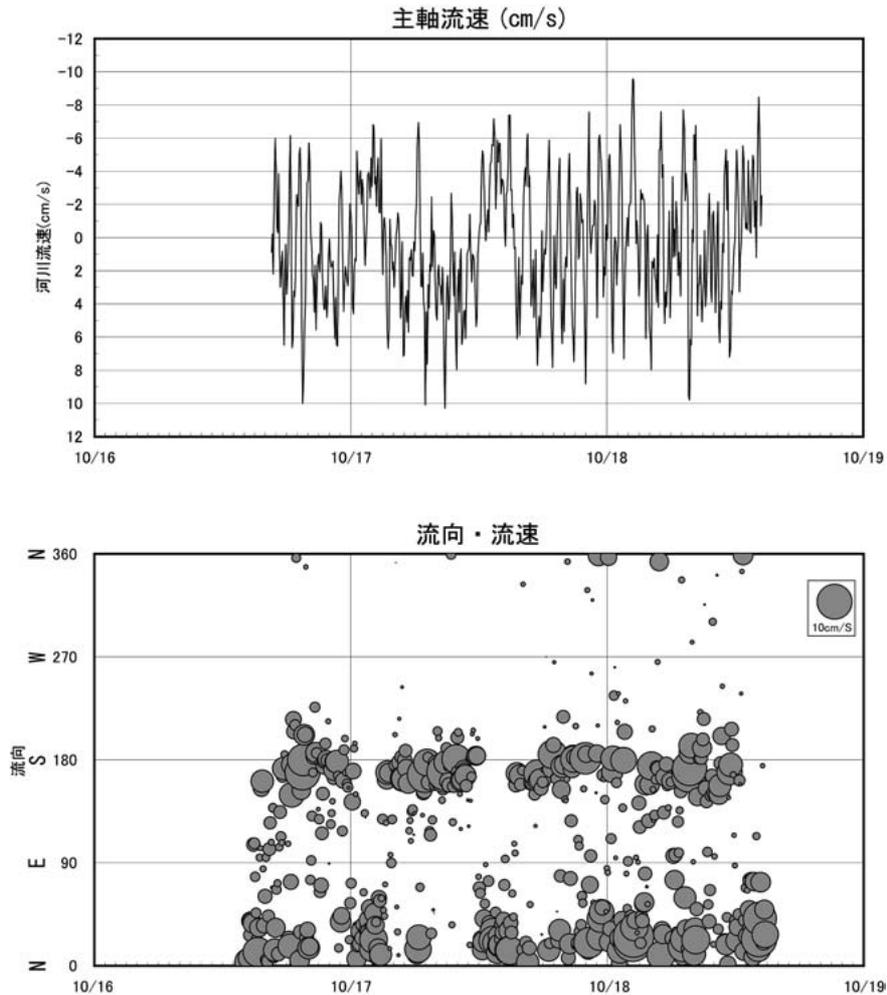


図 15. 上流定点におけるコンパクト EM による流向流速データ (2005 年 10 月 16～18 日)

Fig. 15. Flow direction and velocity at the upstream station by COMPACT EM (October 16～18, 2005)

ンサ部はほとんど塩水中にあったと判断されることから、塩水中の流向流速が測定されたことになる。流速がかなり小さいことから、データの信頼度に多少の問題があるが、流向は北および南に規則的に移り変わっているので、この大きな変化が塩水塊のアゲおよびサゲによる動きを示していると考えられる。主軸流速でみると、アゲおよびサゲがかなり安定して認められる間は、水位変化 (図 9) でみても、アゲシオ時およびサゲシオ時の間と一致しているとみなせる。流速はアゲ、サゲとも最大でも 10 cm 以下、6 cm 程度で、ほぼ同じ規模である。

両定点における温度・塩分の変化 (図 16)

上流定点の温度・塩分は観測期間中にほぼ一定であり、塩分は 29～30 PSU であることから、この位置に塩水が侵入していたことが明らかである。いっぽう、下流定点では温度は観測期間中にほぼ一定であ

るが、塩分については 32～16 PSU で、大きな変化を繰り返すという結果が得られた。上流定点にはこの間、塩水が湖上したままであったことは明らかなので、下流定点でこのような塩分の大きな変動が起こる理由は明らかでない。ひとつの解釈として、音探機器に添えて河床に寝かせて設置したことから、河床にそって移動する浮泥中にセンサ部が埋没することによって塩分値が変化するという可能性が考えられる。なお、上流定点ではこのような現象はまったく認められなかった。これはセンサ部が河床から 30 cm 上に突出していたことによると考えられる。

4 まとめと討論

・2004 年 11 月の小潮時と 2005 年 10 月の大潮時に阿賀野川の塩水湖上の観測を塩水くさび音響プロファ

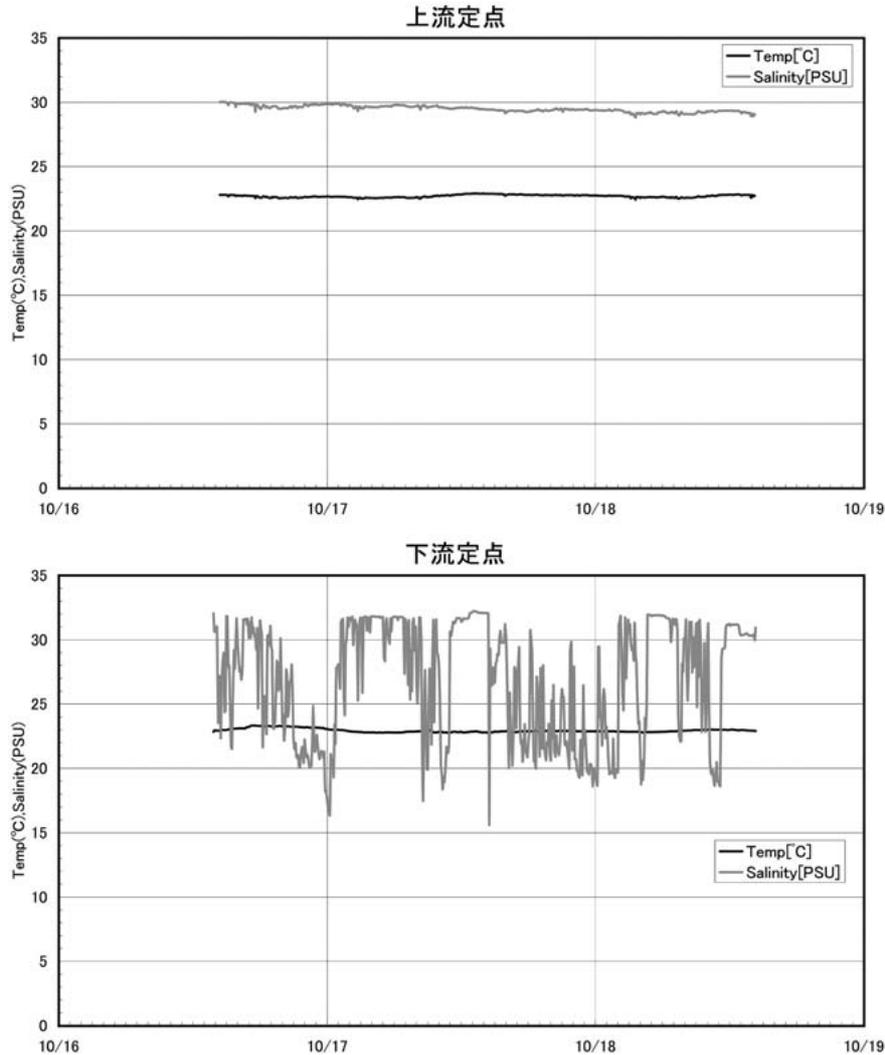


図 16. 上流および下流定点におけるコンパクト CT による温度・塩分データ (2005 年 10 月 16~18 日)

Fig. 16. Time-series changes of temperature and salinity at the upstream and lowerstream stations by COMPACT CT (October 16~18, 2005)

イリングシステムと水質計等を使用して行った。前者は降雨による流量の増大時で、塩水くさびの先端は河口から 1~2 km までの位置にあった。くさび先端の位置は満潮時は干潮時よりも数 100 m は前進している (図 4, 5)。後者は平水時で、くさびの先端は河口から 8~10 km の位置にあった。くさび先端の位置は満潮時は干潮時よりも約 2 km 前進している (図 11)。音響的に捉えられる淡塩境界はいずれの場合も明瞭で、上流にむけてわずかに傾斜していて、これより上位では下位の塩水塊が削られる連行現象がよくみられる。

・2004 年 11 月の観測は降雨によって流量が増大し、通常は 6 km 以上は溯上している塩水が下流に押し戻されていた状態と言える。2005 年 10 月の観測は渇水時で、塩水は 8 km 以上にまで溯上していて、干

潮時にもこれより下がることはない (図 11)。したがってこれより下流域では淡塩境界は干満によって上下するのみで、その大きさは水位差分の 20 cm 程度である。

・音響的に認められる淡塩境界は水質の鉛直分布の測定結果とも調和的で 20 cm ほどの厚さで上位の淡水塊と下位の塩水塊が接していることがわかる。2005 年 10 月の観測では下位の塩水塊は河口から 7 km くらいまでは 30 PSU 以上の海水であり、これより上流には次第に薄まり、9 km では 26 PSU 程度となる (図 11③)。

・2005 年 10 月の観測では図 8 に示した 2 つの定点を設けて河床に機器を設置して淡塩境界より下位の塩水塊の動態について 3 日間の連続観測を行った。上流定点では温度・塩分はこの間ほぼ一定の値で推移

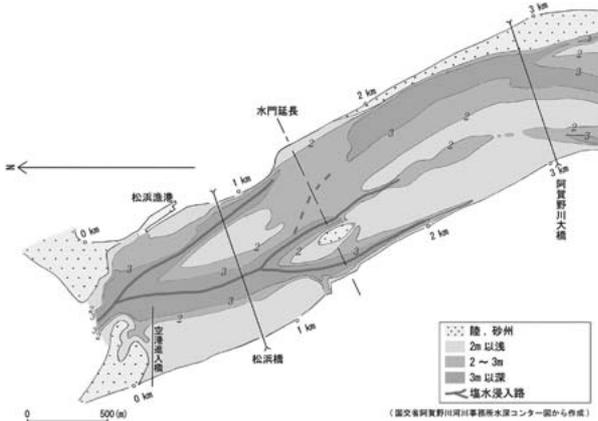


図 17. 阿賀野川河口域における滲筋(阿賀野川河川事務所の深浅測量図にもとづく)と塩水くさびの侵入状況(2004年11月20日)

Fig. 17. Salt intrusion along the channels at the river-mouth area of the Aganogawa River (Nov.20, 2004)

し、センサ部が塩水中にあったことがわかるが、下流定点での温度・塩分測定からは、塩水塊中に位置していたにもかかわらず、塩分値が32~16 PSUで大きく変動するという結果が得られた(図15)。上流側のセンサ部は河床から30 cm上位にあったのに対して、下流側のセンサ部は河床に沿っていたために、浮泥による一時的なセンサ部の埋積が起こって塩分値が変化した可能性が考えられる。また、上流定点には流向流速計を併設して観測したが、観測期間中はずっと塩水領域にあって、干満に対応して流向が変化することがわかった。流速が小さいので精度に多少の問題が残るが、最大でも10 cm/s、通常は6 cm/s程度で、アゲシオ時およびサゲシオ時とも大きさはほぼ同等であった(図16)。

・2004年11月の観測は流量が大きかったために、通常では河口をかなり閉塞して海水の流入を阻害する両岸からの砂州がほとんど失われていたという条件があったにもかかわらず、塩水くさびの先端は河口から2 kmより下流に後退していた。20日の観測では図6に示したように主流と支流の滲筋ではくさび先端の位置がことなっていた。これは滲筋によって流下する淡水による押し戻しが異なっていたことで説明できる。図17に阿賀野川河川事務所による5000分の1水深コンター図(平成2000年2月測量)から簡略化して作成した滲筋を示す。このような地形は2004年11月の観測時にも基本的に維持されていたことをSC-3による観測で確認している。この図で明らかなように、流速の小さい滲筋では溯上した塩水は後退することなく、かなりの時間留まることが可能であることがわかる。

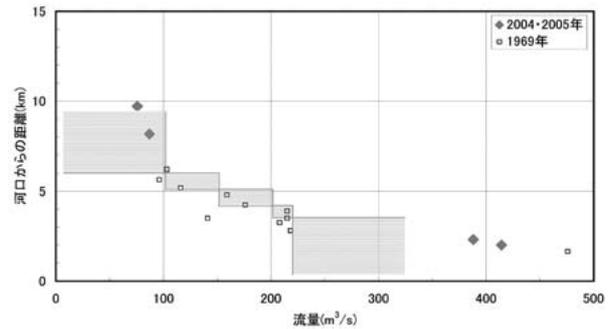


図 18. 阿賀野川における河川流量と塩水くさびの侵入距離との関係

2004および2005は今回の2回の観測による。1969の四角は新潟水俣病共闘会議東京事務局(1972)によるもので、網掛け部分は流量を段階区分した際の溯上範囲で、同資料にもとづく。

Fig. 18. Relationship between saline invasion limit and the amount of outflowing water.

・2004年11月19~20日の調査では塩水くさびの先端は河口から約2 kmまでの位置にあり、この時の河川流量は馬木観測所で約400 m³/sであった。2005年10月16~17日の調査ではくさびの先端は河口から約9 kmの位置にあり、上記観測所の流量は約80 m³/sであった。2つの時期の計4つのデータを図18に示す。流量と溯上距離の関係をこれらのデータから推定することが可能である。また、新潟水俣病裁判記録によると、1969年には塩水くさびの調査がなされ、溯上距離と日流量の関係が検討されている。これらのデータについても、参考として図19の中に示した(ただし、この流量は横越観測所のものである。阿賀野川河川事務所の2002年の流量データを見ると、横越および馬木観測所の日流量には大きな差はない)。両者を比較すると、1969年時には、2004、2005年に比べて、塩水がやや溯上しにくい河床環境にあった可能性がある。

・2004年11月のSC-3による観測では塩水くさびの先端の位置が4回捉えられている。くさび先端の位置と胡桃山観測所の水位との関係を図19に示した(丸数字は図3に示した観測時間帯)。図3をみると、観測①②④⑤は潮位の高い時、観測③は潮位の低いときで、アゲシオ時にくさびの先端が前進し、サゲシオ時に後退することが明らかである。すなわち、くさび先端の位置はおもに河川流量によって決まるが、感潮区間では干満による影響を考慮する必要がある。

・阿賀野川では1965年に新潟水俣病が発生し、その原因として一時、信濃川河口から流失した農薬が阿賀野川河口に至り、下流域を汚染したとする「塩水

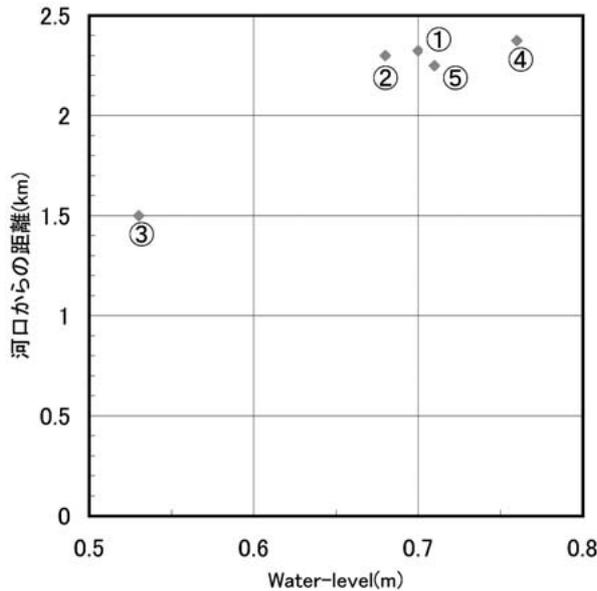


図 19. 阿賀野川河口域における水位と塩水くさびの侵入距離との関係

Fig. 19. Relationship between saline invasion limit and water level.

くさび説」が主張された。その発生源が上流 64 km の工場にあったことと塩水溯上域に患者が多く発生したということをあわせて考えると、上流からもたらされたメチル水銀を伴う細粒物質が塩水域で沈降・堆積し、比較的長期間河床に留まった可能性が指摘できる。

[謝辞] この調査を行うにあたり松浜漁業協同組合(木村 勲組合長)には船の利用と操船でお世話になり、伊藤健作氏には調査に協力いただいた。国土交通省阿賀野川河川事務所には水位・流量データの提供を受け、また 5000 分の 1 水深コンター図を利用させていただいた。記してお礼申し上げます。

引用文献

- 安間 恵・徳岡隆夫・吹田 歩・西村清和(2005)天塩川およびサロベツ川の塩水溯上. LAGUNA (汽水水域研究), 8: 15-22.
- 吹田 歩・西村清和(2005)フリーソフト「カシミール 3 D」を利用した汽水・沿岸域調査用ナビゲーションシステム. 海洋理工学会, 11: 81-87.
- 建設省土木研究所河川研究室(1993)感潮河川の塩水溯上実態と混合特性. 土木研究所資料: 82 p.
- 小戸田 明(2000)阿賀野川. 日本のシジミ漁業(中村幹雄編著, たたら書房): 144-151.
- 三井嘉都夫(1970)本邦主要河川の塩水溯上型について. 法政大学文学部紀要, 16: 29-44.
- 新潟水俣病共闘会議東京事務局(1972)新潟水俣病裁判判決全文.
- 西條八東・奥田節夫(1996 編)河川感潮域. 名古屋大学出版社: 248 p.
- 徳岡隆夫・吹田 歩・立石雅昭・西村清和・安間恵・松田滋夫・川澄敏治・関 達雄(2005)音響探査機(SC-3)と曳航式水質計(TPM CLOROTEC)を用いた塩水くさび・塩分躍層調査. LAGUNA (汽水水域研究), 12: 233-245.
- 徳岡隆夫・三瓶良和・西村清和・須崎 聡・松田滋夫・久保田俊輔・鈴木重教上野博芳(2001)塩水楔観測システムの開発(テクノオーシャン 2000 ポスター展示の紹介). LAGUNA(汽水水域研究), 8: 101-110.
- 徳岡隆夫・三瓶良和・上野博芳・西村清和・須崎聡・松田滋夫・久保田俊輔・鈴木重教(1999)江の川の塩水楔—塩水溯上の長期連続観測システムの開発—(濁水期溯上例, 1998 年 12 月~1999 年 2 月). LAGUNA (汽水水域研究), 6: 81-87.