

北上川融雪出水の追波湾における挙動について

工藤健太郎*・高坂香那**・田中總太郎***・石川忠晴****

新北上川が流入する追波湾において、融雪出水期の河川流出水の挙動を現地観測と衛星画像解析により面的に推定した。現地観測では、漁船の船底に濁度計と塩分水温計を取り付け、湾内表層の塩分・水温・濁度を連続的に計測した。その結果、塩分と濁度の間に高い相関のあること、出水ピークの1週間後でも湾内の塩分がかなり低い状態であることが分かった。次に、観測日前後のランドサット画像から、現地観測で得られた塩分・濁度の相関関係を利用し、湾内における表層塩分の面的分布を推定した。その結果、低塩分水は概ね湾中央部を直線的に流れるが、海水と混合し希釈されながら、湾内の島の影響で湾奥及び南の入江に滞留する様子が捉えられた。

1. はじめに

河川がもたらす種々の懸濁・溶存物質は、沿岸域に滋養を与え、生態系の成立及び水産活動に好ましい影響を与えている。その反面、出水時には沿岸域、特に内湾を一時的に低塩分・高濁度状態にするため、そこの生物にダメージを与えることもある。

一方、近年、流域の開発や河川構造物の設置により、河川流況が人為的に改変されてきている。このような改変は、流出先である沿岸域の水環境に影響を与える。そのため、流況の人為的改変に伴う沿岸域での河川水の挙動の変化を評価する必要がある。

本研究で対象とする追波湾には新北上川が流入しているが、この河道は放水路的役割を担っており常時と出水時の流量に隔たりが大きい。このため出水時には低塩分水塊が湾内に広がり、ワカメ等水産養殖種に被害を与えている恐れがある。そこで本研究では、融雪出水時に現地観測を行うとともに、衛星画像解析を組み合わせ、追波湾内表層の低塩分水塊の挙動を調べた。(図-1)

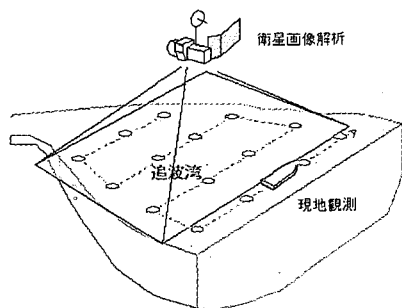


図-1 研究手法のイメージ

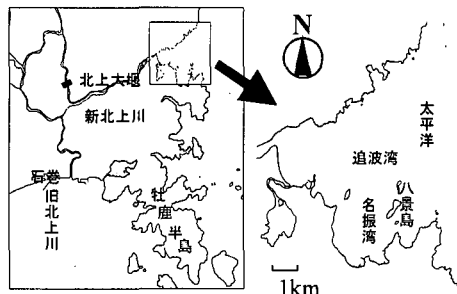


図-2 観測フィールド

2. 追波湾の概要

対象水域の位置と平面形状を図-2に示す。追波湾は三陸海岸の南部に位置する面積30 km²あまりの三角形の湾であり、リアス式海岸特有の岬や島が入り組んだ複雑な地形となっている。特に湾南部の名振湾は閉鎖性が強い水域である。追波湾内では水産業が活発で、ワカメ、カキ、ホタテなどが養殖されている。

湾奥には新北上川が流入している。新北上川は、旧北上川から分派する半人工河道で、放水路の役割を担っている。このため、追波湾には自然状態より大きな洪水が流入し、低塩分・高濁度状態が比較的長期間継続する。特にワカメは塩分13 psu以下の状態に長く曝されると成長が阻害されることから、低塩分水塊の挙動を把握することが重要となる。

3. 河川流出水の三次元観測

3.1 観測方法

平成13年4月21日に融雪出水の現地観測を実施した。融雪出水期間の流量波形を図-3に示す。図中には現地観測日とともに、後述する衛星画像の撮影日も記入してある。現地観測では、メモリー式濁度計(アレック電子製, MTB-16K)とメモリー式塩分水温計(アレック電子製, ACT-HR)を漁船の船底に取り付け、予め定めた測線(図-4に示す)上を走行することにより、表層水質

* 学生会員 工修 東京工業大学大学院総合理工学研究科環境理工学
創造専攻 日本学術振興会特別研究員
** 工修 日本エル・シー・エー(株)
*** 正会員 工博 日本リモート・センシング技術センター(財)研究
部長
**** フェロー 工博 東京工業大学教授 大学院総合理工学研究科環境
理工学創造専攻

を連続的に計測した。なお、船の位置はGPS (MAGEL-LAN 社製, GPS315) により別途記録した。図-4 に●で示す地点では、船を停止し、多項目水質計 (アレック電子製, ACL1182-PDK) により塩分・水温の鉛直分布を計測した。

3.2 観測結果及び考察

連続計測から得られた表層塩分・濁度・水温を図-5 に示す。河口近くでは低塩分、高濁度、高水温となっていることがわかる。高水温の原因は、この季節には河川水が海水より若干暖かいためである。塩分は沖に向かって

漸減するが、湾内の島 (八景島) の東西で変化が大きいことから、この島が河川からの流れに障害物として作用しているのではないかと考えられる。なお、本研究で用いた濁度計は $50\text{ }\mu\text{m}$ カオリンでキャリブレーションされ [ppm] 表示で値を記録するので、以下では濁度単位を ppm として取り扱う。

図-6 に主要地点での水質鉛直分布を示す。(a)~(f) は河口から沖へ向かう湾中央の測点での計測結果を、

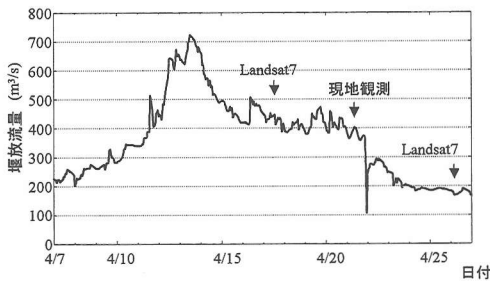


図-3 観測日及び北上大堰放流量

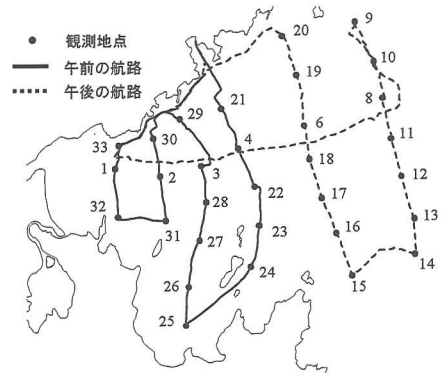


図-4 現地観測地点及び航路

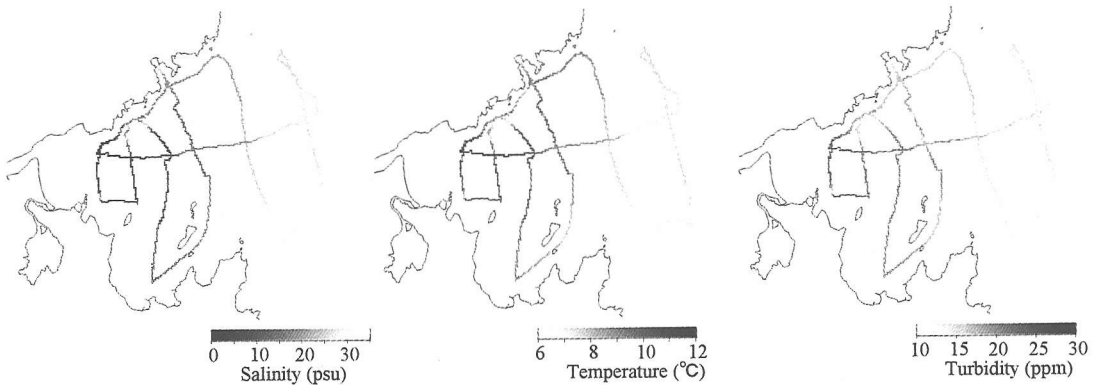


図-5 表層移動観測結果

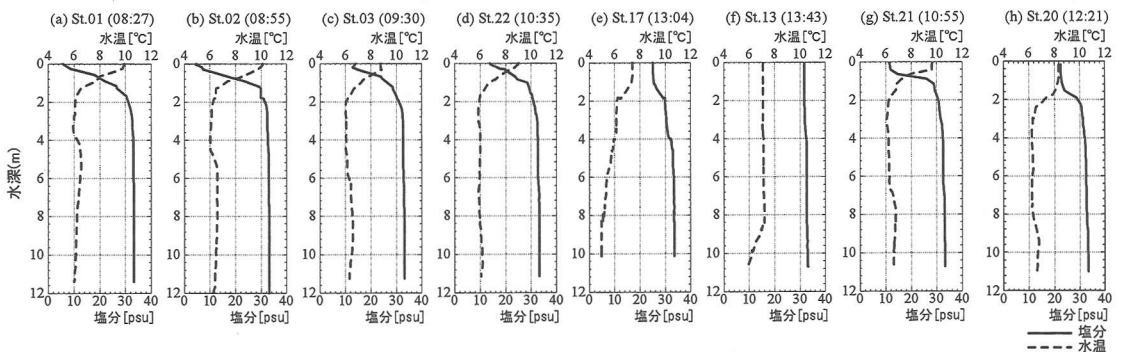


図-6 定点における鉛直方向水質分布

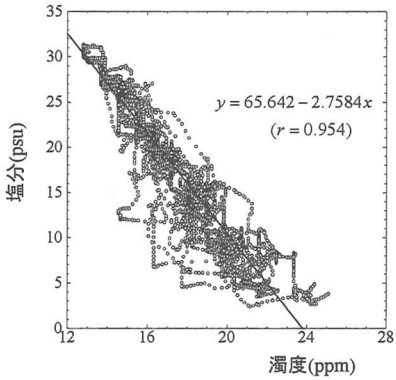


図-7 塩分と濁度の相関関係

(g), (h)は北岸沿いの測点での計測結果である。河口に最も近い St. 01 の表層塩分は 5 psu, 湾中央部の St. 22 でも 7 psu と, かなり低い値を示している。一方, 湾奥から北岸にかけては((a)~(c), (g), (h)), 低塩分層の下に若干水温の低い層が存在することがわかる。その厚さは湾奥ほど薄く且つ表層に近くなっている。このことから, やや冷たい海水が湾の北岸沿いに流入し, 河口付近で湧昇し連行されているのではないかとと思われる。

図-7 に, 連続計測で得られた塩分と濁度の相関を示す。濁度の分解能が比較的粗い (1 ppm) ため, ややギクシャクした分布になっているが, 両者の平均的関係は概ね直線的である。すなわち, 湾内における濁度の減衰は, 粒子の沈降よりも, 海水と河川水の混合による「希釈」の影響が支配的であると思われる。したがって, 濁度をトレーサーとして低塩分水塊の挙動を把握できる可能性がある。そこで, 最小自乗法により塩分と濁度の関係を次式のように求めた。

$$\text{Sal} = 65.642 - 2.7584 \text{Turb} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに, Sal は塩分 (psu), Turb は濁度 (ppm) である。なお, 今回帰式の相関係数は 0.954 であった。

4. 衛星画像からの塩分分布の推定

4.1 使用した衛星データ

現地観測で得られたデータは船の走行線上に限られており, 湾全体の状況は必ずしも明確でない。そこで本節では, 上述した塩分・濁度の相関関係を利用し, LANDSAT 衛星画像から低塩分水塊の挙動の面的把握を試みる。

用いた衛星データは LANDSAT7/ETM+ である。LANDSAT-7 号は約 16 日周期で同一地点に飛来するが, 追波湾は 106-33 と 107-33 の 2 つのシーンに含まれているので, 約 8 日周期で画像が得られる。現地観測日

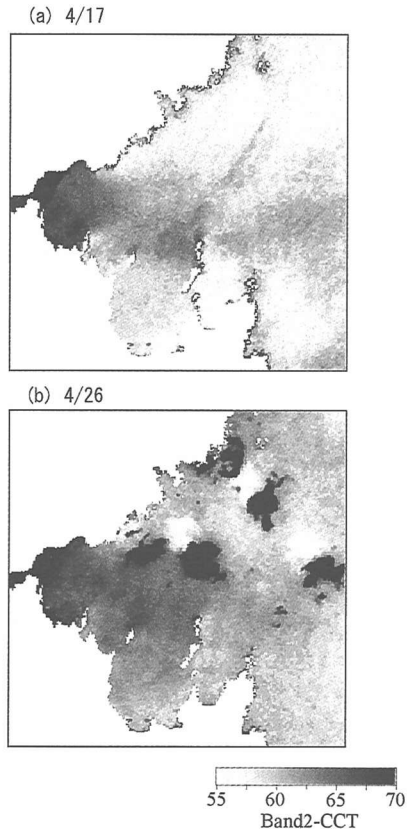


図-8 Band 2-CCT 値の分布

(4月21日)に近いLANDSAT-7号の飛来日は4月17日と26日であった。幸い両日とも天候は晴れで, 比較的良好な画像が得られている。本研究ではこの2シーンを用いて湾内流況の推定を行った。

まず, 上述の2シーンのデータから追波湾周辺を切り出し, 幾何補正を行った後, 各ピクセル(解像度約30 m)に対して, 3×3 のウィンドウでメディアンフィルターをかけノイズを除去した。濁度と相関が高いと考えられるバンド2の値(放射輝度を離散化した256階調の値, 以下CCT値と呼ぶ)を用いて以下の検討を実施した。

図-8に, 両シーンのCCT値を濃淡で示す。CCT値の高い領域は河口付近から湾中央部を通って沖に向かっていく。CCT値は河口部で最も高く, また湾北部と南部を比較すると, 南部で高い傾向にある。この結果は, 現地観測で得られた表層濁度の分布と類似している。したがって, CCT値と濁度の関係を定量的に評価できれば, 衛星画像の得られた両日の濁度平面分布が求まり, また式(1)の関係から塩分の平面分布が得られるであろう。さらに2シーンの差から, 低塩分水塊の移動傾向に関する情報が得られると期待できる。なお, 4月26日の画像で北側水域に見える白と黒の塊は, 雲とその影であるの

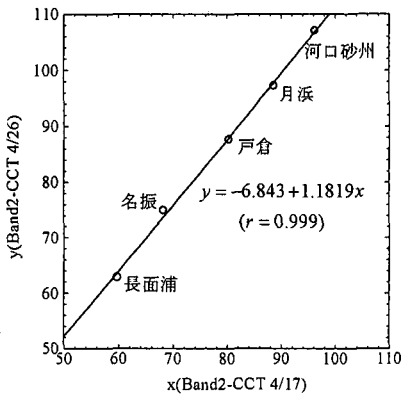


図-9 Band 2 における CCT 値の比較

で、以下の解析からは除外した。

4.2 輝度補正

2つのシーンは日付と衛星軌道が異なるため、CCT 値には大気状態や方位角等の差異の影響が含まれていると考えられる。そこで、濁水と同系統の色調である地上固定点を選択し、両シーンの CCT 値の比較を行った。具体的には沼地1地点、河口砂洲1地点、集落3地点である。その結果を図-9に示す。各点はほとんど同一直線上に並び、4月26日のCCT値が4月17日のCCT値を上回っていることがわかる。そこで、同一地点のCCT値が両シーンで等しくなるように、この直線関係を用いて4月26日のCCT値を4月17日の「相当CCT値」に変換した。この補正により、両日の間の濁度の変化を捉えることが可能になる。

4.3 衛星データによる塩分平面分布の推定

現地観測(4月21日)で表層濁度を計測した地点における両シーンのCCT値を抽出し、観測濁度とCCT値の相関を取った結果を図-10に示す。図中の直線は最小自乗法で求めた回帰直線である。どちらの場合も点が非常にバラついているが、これは濁度データと衛星データの時間が異なるためである。すなわち、その間に濁度のパターンは当然変化している。しかし、図-8に示したように、CCT値の高い領域は4月17日と4月26日ともに湾中央部にいることから、濁度のパターンが変化しても、全く異なってしまっているわけではない。実際、図-10中の回帰直線の勾配はほぼ同じであることが分かる。

そこで、現地観測を実施した4月21日に「仮に衛星が飛来した場合に得られるであろう相関式」も、これらに近い直線関係であると仮定し、図-10の2本の回帰直線を「日数で内分」して推定した。

$$\text{Turb} = -52.3305 + 1.1868 \text{CCT}_{\text{Band 2}} \dots\dots\dots (2)$$

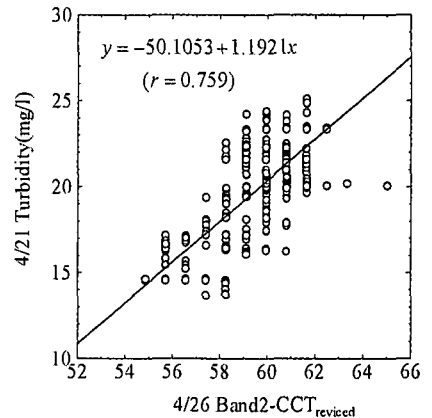
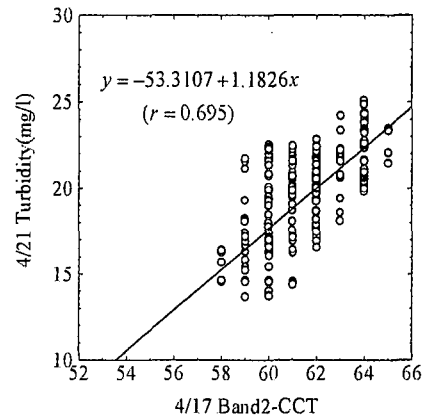


図-10 衛星データと濁度の相関

ここに、 $\text{CCT}_{\text{Band 2}}$ は前節で補正されたバンド2のCCT値である。

式(2)が濁度とCCT値の本来の関係(つまり現地観測と衛星画像が同時であった場合の関係)であると仮定し、4月17日と26日それぞれにおいて表層濁度分布を求めた後、式(1)を用いて両日の表層塩分分布を推定した。その結果を図-11に示す。

大局的な流れ特性は、4月21日の現地観測から推定されたものと類似している。すなわち、河口から排出された低塩分水は、湾のほぼ中央を沖に向かって希釈されつつ流下する。八景島以西では、塩分がワカメの成長の下限値である13psuを下回っている領域が広く見られる。また、八景島が流れの障害となり、低塩分水塊が湾内に滞留する傾向が見てとれる。

一方、2画像の差から、低塩分水塊の動的特性も把握できる。図-4に示したように4月17日は出水ピークの4日後で、河川流量は依然として $400 \text{ m}^3/\text{s}$ の高レベルにあったが、この時点では15psu以下の低塩分水塊は河口から外海まで連続して流下している。5psu以下の水は主に河口付近の入り江に留まっているが、八景島の西側にも残存している。また、北方へも舌状の弱い低塩分領域

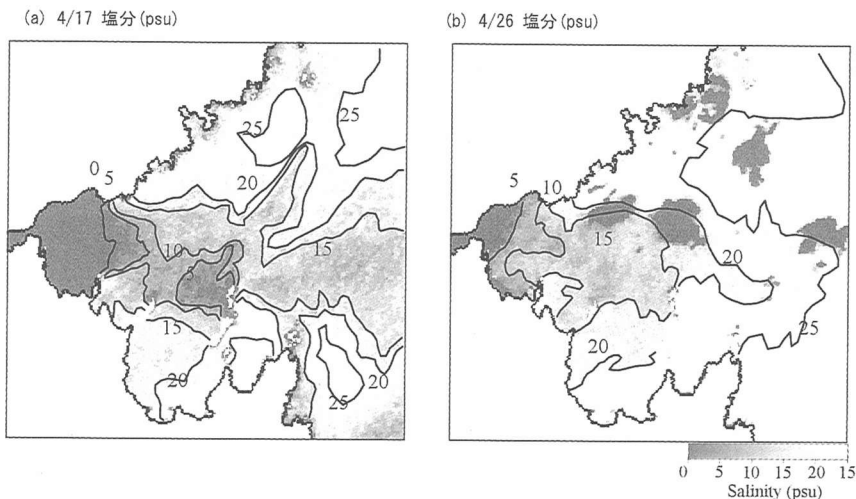


図-11 衛星画像より推定された塩分分布

が見られる。

一方4月26日の河川流量は $200 \text{ m}^3/\text{s}$ まで減少しており、出水の主要部分は外海に流出したか、或いは底層海水と混合し、15 psu 以下低塩分領域はかなり縮小している。しかし八景島以西には以前として残存し、低塩分状態はかなり長期化している様子がわかる。また、低塩分領域は湾中央からやや南に偏る傾向がみられる。今回の出水では、名振湾の塩分は15～20 psu の範囲に留まっているが、より大きな出水では、名振湾全域で低塩分状態が長期的に生じる恐れがあると言える。

5. おわりに

本研究では、追波湾における河川流出水の面的挙動を現地観測及び衛星画像解析から推定した。その結果、低塩分水塊は河口から八景島までの水域と南部の入り江に滞留する傾向が認められた。今回の融雪出水はピーク流量が $700 \text{ m}^3/\text{s}$ と比較的小規模であったにもかかわらず、ワカメ養殖に影響が出ると考えられている13 psu 以下の塩分状態が広い範囲で生じていた。

今回の現地観測はLANDSATの飛来と同時になかったことから、解析結果に多少の曖昧さが残されているも

の、観測データと衛星データが比較的整合していることから、大局的な流れ特性はある程度把握できたと考えられる。衛星画像と同期して観測を行える機会はむしろ稀であることから、本研究で実施したような多少曖昧な手法による推定も、現実的には必要であると筆者らは考えている。

本研究を実施するにあたり、国土交通省東北地方整備局北上川下流工事事務所及び十三浜漁業協同組合にお世話になった。記して謝意を表する。本研究は科学研究費基盤研究B(研究代表者:石川忠晴)の補助を受けている。

参考文献

- 宇多高明・村井禎美・竹渕 勉 (1986): ランドサットによる沿岸流況調査, 第33回海岸工学講演会論文集, pp. 591-595.
- 堤 毅一・幸野淳一・安楽康二・菊川浩行・下菌清香・木下紀正 (1999): 熱赤外画像に見る鹿児島湾北部河川水の広がり, 日本リモートセンシング学会誌, 19巻, 2号, pp. 37-49.
- 宮城県編 (1995): 宮城県の伝統的漁具漁法Ⅷ 養殖編(わかめ・こんぶ), 宮城県, 103 p.
- 日本リモートセンシング研究会編 (2001): 改訂版 図解リモートセンシング, 日本測量協会(社), 325 p.