

津軽海域総合開発事業調査(前潟地区)

水 質 環 境 調 査

仲村 俊毅・兜森 良則・黄金崎栄一・天野 勝三
早川 豊・小倉大二郎・奈良 賢静・池内 仁
松宮 隆志*・沢田 満**・関野 賢治**

調 査 目 的

十三湖前潟をヒラメ稚魚育成場として改造するため、前潟における海水交換特性や、河川水出水時の前潟、水戸口の塩分量応答特性を明らかにすることにより、ヒラメ稚魚育成場造成へ向けての適切な環境改変工法の策定に資する。

調 査 内 容

1. 調査時期 昭和60年7月から同10月
2. 調査項目、調査方法、調査のねらい
 - (1) 岩木川河川流量 建設省青森工事事務所より資料収集、流量観測は図1の五所川原市近傍。河川水流量の増減によって、水戸口、前潟の塩分量がどのように変動するかを調査する。
 - (2) 水 位 観 測 水位変動と海水流動、前潟内塩分量変動等を把握し、前潟の水理特性を明らかにする。観測は図3のL-1、L-2、L-3の3点で民間委託により実施(8月5日～10月4日)。なお、L-2'は建設省青森工事事務所の水位観測所で、7月29～31日の調査時には、ここの量水板の目視読み取りにより水位観測を行った。
 - (3) 前 潟 定 点 観 測 前潟の水温、塩分量の長期的変動を把握するため、図3のT-1又はT-2において、随時、水温と塩分量の測定を行った。測定はT-S計(HAMON、Temperature-Salinity Bridge モデル602)を用いた。
 - (4) 前 潟 内 観 測 前潟内での水温、塩分分布を把握するため、図3の1～16の16地点で計6回、T-S計を用いて観測を行った。
 - (5) 前 潟 入 出 口 観 測 前潟へ出入する水の特性を調べるため、図3の㉠及び㉡で、1～2潮時にわたり水温、塩分、流速の毎時観測を行った。流速計は河川用のCM-10SD型を用いた。
 - (6) 水 戸 口 観 測 河川流量の増減に対する水戸口での水温、塩分の変動を把握するため、

* 鯨ヶ沢地方水産業改良普及所：現在、水産部漁業振興課

** 水産部漁業振興課

図3のM-1～M-4において、T-S計による測定を行った。

- (7) 流跡線調査 前潟内の水の流動状況を把握するため、魚釣り用のうきを利用して、流跡線調査を行った。
- (8) 底質、溶存酸素 前潟内の数地点で底質、及び溶存酸素を測定した。底質は全硫化物、強熱減量、粒度組成の3項目について測定した。溶存酸素の測定はウインクラーク法又はDoメーターによった。

調査結果

本事業の当初構想は、

- (1) 前潟内を浚渫、堀削し、ヒラメ稚魚育成場をつくる。
- (2) 稚魚育成場と外海または水戸口との間に導水路を開削し、潮汐による海水の取水を計る。
- (3) 導水路及び前潟出入口に水門を設置し、河川の大量出水時には、稚魚育成場の低塩分化为防ぐため、水門操作を行う。
- (4) 稚魚育成場の利用期間としては7月、9月を考える。

となっている。したがって、そのねらいは稚魚育成場の環境改良及び塩分量の安定化を計るための海水交換の促進にある。また、ヒラメ稚魚の育成条件としては、塩分量が

4%以上、水温は28℃以下という知見が得られている。もちろん、ヒラメ稚魚の生態から考えて、底質は砂質、溶存酸素は豊富という条件も満たされねばならない。このような当初構想及びヒラメ稚魚の生理生態について得られた知見に基づき、本調査は以下に示す項目をねらいとした。

- (1) 前潟の水温、溶存酸素、底質等の環境条件の把握。
- (2) 前潟の塩分量変動と、その制御要因についての検討。
- (3) 前潟の海水交換の状況。
- (4) 十三湖水戸口の塩分量変動と、その制御要因についての検討。

1. 調査対象地域周辺の概況

図1に岩木川流域図を示した。流域には弘前市、黒石市、五所川原市の3市を含み、多くは水田またはリンゴ園となっている。支流の上流部には夏季の渇水時に農業用水を確保するため、かんがい用のダムがつけられている。流域面積は、最下流の流量観測所のある五所川原市から上流部で、1,740.3km²となっている。

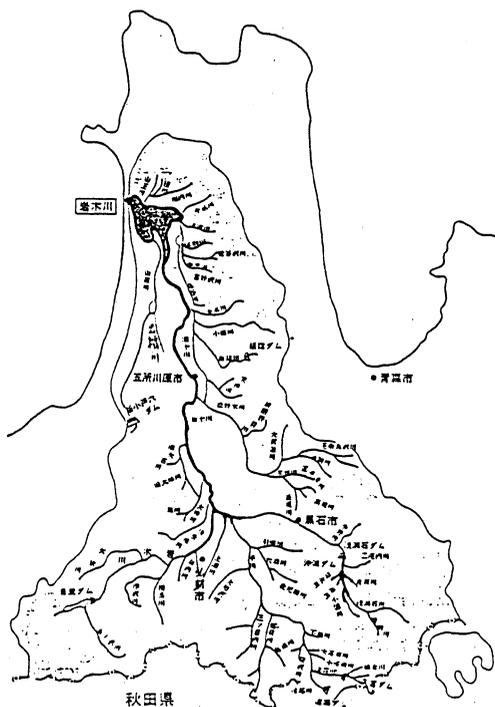


図1 岩木川流域図



図2 十三湖、前潟周辺

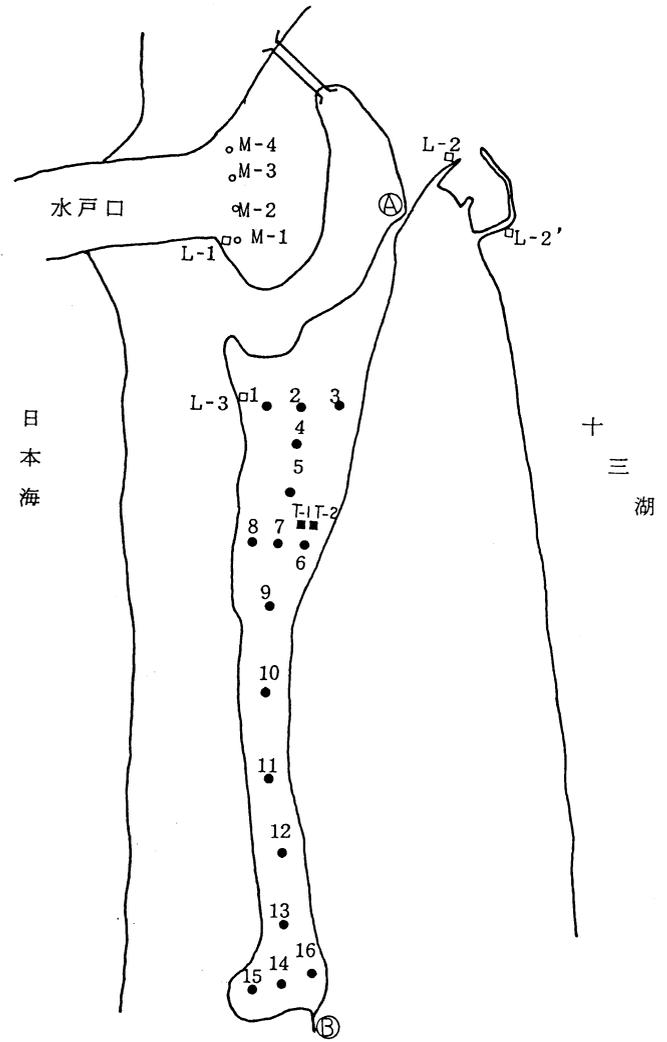


図3 調査地点

十三湖は岩木川の最下流部に位置する汽水湖で、面積 18.07 km²、水深は最深部でも 2 m 前後である。湖面の標高は低く、また日本海と連絡する水戸口の通水断面も大きいため、外海潮汐に応じた水位変化があり、それに伴い、海水の流入、流出が起こる。

前潟は十三湖水戸口付近に位置し、十三湖と接続する汽水湖で、南北に長く、面積 195,000 m²、水深は潮位や河川出水量によっても変化するが、最深部で 2 m 弱、大部分は 1 m 未満となっている。出入口は北東に狭く開口し、十三湖と直接連絡しているが、水戸口とは近接する。南側にはセバト沼、明神沼があり、これらを一括してセバト水系と称している。この水系の流域面積は実測されていないが、地形図等から判断すると狭く、また周辺は砂質であるため、降水があっても大量の出水はないと思われる。なお、明神沼は湧水により涵養されているといわれている。

前潟への水の出入は、(1)十三湖水、(2)水戸口から直接流入する海水、(3)セバト沼との交流、(4)直接降水、蒸発、(5)家庭排水、等が考えられるが、十三湖水面の昇降に伴う出入口での水の通過量は、前潟の体積（深浦港潮汐観測基準点、D.L.=0 基準）の約 40%にも達することから、(1)の十三湖水が量的に最も多いと考えられる。

前述したように、本調査の主目的は水戸口、前潟における塩分量変動と、その要因を把握することであり、前潟への水の出入量の大部分が十三湖水とすると、これらの塩分量変動には、十三湖に流入する河川水量と水戸口から流入する海水量との両者の量的なバランスが問題となる。

十三湖へ流入する河川は合計 13 河川あるが、流量観測資料の得られたのは 5 河川である。表 1 に流域面積と流量を示した。このなかで、出精川は山田川中流部の田光沼に注ぐので、山田川河口部では出精川と山田川の合計の流量となる。

岩木川の流域面積と他の 5 河川合計の流域面積の比は 7.3%、同様に流量比は 7.5～14.3%となっている。流量比の月による変動は、岩木川の場合、夏季の渇水期には上流のいくつかのダムで貯水が行われ、流量が過少となるためである。したがって、出水時において十三湖に流入する河川水の 90%強は岩木川によるものと考えられるので、本報告においては河川流量としては岩木川のみをとりあげる。

図 4 に日本海深浦における月平均海面水位を示した。最低水位は 3 月、最高水位は 8 月となっている。本事業のヒラメ稚魚育成期間としては 7 月、9 月を考えているが、この期間は年間で最も水位の高い時期で、十三湖、前潟ともに最も高塩分化し易い時期である。

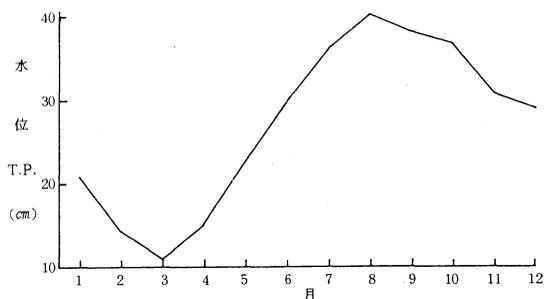


図 4 深浦・月平均水位（昭和54～59年の平均）

表1 十三湖へ流入する河川の流域面積と流量

(農林部土地改良事務所 資料) (トン)

| (A) 流域面積 | (B) 流量 | 5 月 | 6 月 | 7 月 | 8 月 |
|------------------------------------|----------------|--------|-------|-------|-------|
| 岩木川 1,740.3 km ² (五所川原) | 岩木川 | 114.99 | 42.30 | 60.41 | 57.18 |
| 相内川 54.1 | 相内川 | 1.97 | 0.88 | 1.86 | 1.37 |
| 今泉川 12.5 | 今泉川 | 0.66 | 0.27 | 0.45 | 0.29 |
| 尾別川 6.5 | 尾別川 | 1.14 | 0.40 | 0.78 | 0.61 |
| 山田川 39.4 | 山田川 | 2.61 | 2.33 | 2.76 | 3.37 |
| 出精川 14.2 | 出精川 | 2.23 | 2.18 | 2.35 | 2.53 |
| 岩木川流域面積と 他の5河川合計流域面積比 7.3% | 対岩木川 流量比(%) | 7.5 | 14.3 | 13.6 | 14.3 |

* 流量は月平均で昭和56～59年の平均

2. 水温、底質、溶存酸素

図5に前潟の表層、底層と水戸口表層の水温を示した。調査地点は、前潟は図3のst.6またはT-1またはT-2で、水戸口はM-1である。いずれも1日に複数回の測定がある場合は高い方の値をとった。最も高温となる8月には、前潟は水戸口に比べ2℃強高温となる。また、前潟内では表層よりも底層が高温である。これらは、前潟内では水が停滞し易いことや、底層の方が高温のまま維持されているということは、鉛直的に二層構造を成していることを示唆している。

表2に底質及び溶存酸素の測定結果を一括して示した。表中のst.番号は図3に示してある。底質測定結果をみると、潟奥部ほど砂泥粒子は細く、強熱減量は増加する。また、全硫化物の増加はきわめて著しい。st.12の全硫化物は、夏季にしばしば貧酸素水の発生で知られる陸奥湾中央部の約33倍となっている。実際に底泥は硫化水素臭を伴う、黒色のヘドロ状となっている。このような底泥の起源は、夏季に大量に発生する「シオクサ」と思われるが、これらが沈積するということは、海水交換が不良であることを示している。ボーリング調査の結果、このヘドロ状の底泥の厚さは約10cm程度であった。また深さ別では、0.1～0.6mでは細砂で、全硫化物は0.075mg/g、0.6～1.4mでは、シルトで、0.091mg/g、1.5～2.5mでは細砂で0.011mg/gとなっていた。このことは表層を薄く覆っている底泥を除去すれば、良好な底質環境を確保

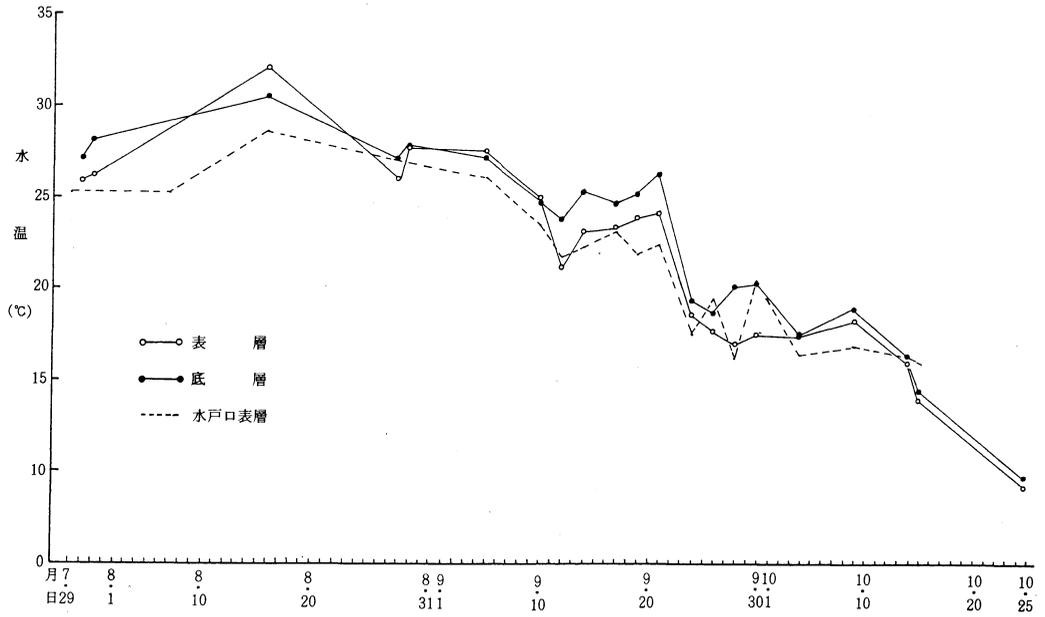


図5 前潟及び水戸口での水温変化

表2 底質及び溶存酸素測定結果

底質調査結果

(9月10日採取、9月11~12日測定)

| 場所 st. | 硫化物 (mg/day g) | 強熱減量 (%) | 粒度組成 (%) | | |
|--------------|-------------------|-------------|----------|------------|---------------------|
| | | | 0.5 mm < | 0.125 mm < | 0.125 mm > |
| 3 | 1.41 | 4.4 | 11.12 | 49.85 | 39.03 |
| 4 | 5.50 | 11.7 | 2.82 | 26.23 | 70.96 |
| 10 | 8.62 | 17.5 | 1.57 | 17.28 | 81.15 |
| 12 | 18.11 | 20.8 | 0.93 | 4.00 | 95.07 |
| 浮棧橋 (T-2) | 2.27 | 7.3 | 19.13 | 50.39 | 30.48 |
| 赤石漁港防波堤 | 0.06 | 12.3 | | | |
| 陸奥湾* 西湾中央 | 0.54 | 15.4 | | | 0.063 mm > 96.64 |

* 昭和53年6月9日採取

溶存酸素測定結果

(9月27日採水、ウィンクラー法)

| st. | 水温 (°C) | 塩分 (‰) | 溶存酸素 (ppm) | 飽和度 (%) | |
|-----------|---------|--------|------------|---------|-------|
| 3 | 表層 | 16.9 | 16.0 | 9.11 | 100.3 |
| | 中層 | 17.7 | 25.2 | 8.25 | 97.5 |
| | 底層 | 19.1 | 28.2 | 8.56 | 105.6 |
| 4 | | 17.0 | 20.3 | 9.66 | 109.4 |
| | | 19.0 | 25.1 | 8.87 | 107.1 |
| | | 19.2 | 26.4 | 17.40 | 212.5 |
| 10 | | 17.6 | 13.3 | 9.07 | 99.6 |
| | | 17.5 | 17.4 | 9.29 | 104.3 |
| | | 18.1 | 22.7 | 8.99 | 105.3 |
| 12 | | 17.4 | 14.2 | 8.56 | 94.1 |
| | | 17.4 | 18.7 | 5.21 | 58.8 |
| | | 21.3 | 23.8 | 5.70 | 71.0 |
| 浮棧橋 (T-1) | | 18.5 | 14.2 | 9.82 | 110.1 |
| | | 18.4 | 24.3 | 9.49 | 112.9 |
| | | 19.5 | 26.7 | 14.71 | 180.9 |

できることを示している。

一方、溶存酸素の測定結果をみると、底泥の状況から予想される結果に反して、過飽和の状態を示すことが多い。これは、大量に発生するシオクサの光合成によるものと思われ、しばしば非常に低い酸素量や、飽和度で60%を下回る例が測定されている。生物生産の場としては、溶存酸素量は飽和度で60%以上が必要とされているが、もし、シオクサによる光合成がなければ、この要件を満たすのは困難であることは容易に想像される。これらの環境は、底泥の除去や、海水交換の促進により、改良は可能と思われる。

溶存酸素測定結果

前潟浮棧橋 (T-1)

(Do メーター、8月28～29日)

単位 ppm

| 時 | 刻 | 表層 | 中層 | 底層 |
|------|-------|------|------|------|
| 8.28 | 13:06 | 11.2 | 11.7 | 19.2 |
| | 14:10 | 10.6 | 10.7 | 12.0 |
| | 15:10 | 12.2 | 11.4 | 6.0 |
| | 16:13 | 12.5 | 12.6 | 24.0 |
| | 17:10 | 13.3 | 11.5 | 2.8 |
| | 18:17 | 14.2 | 16.6 | 10.0 |
| 8.29 | 19:20 | 15.1 | 19.2 | 8.0 |
| | 05:11 | 7.4 | 12.2 | 5.7 |

3. 前潟の塩分量変動

3-1 長期変動

図6に前潟表層、底層の塩分量、岩木川日平均流量、水戸口における日平均水位 (T.P. cm) を示した。塩分量はst.6 または T-1、または T-2 での測定で、1日に複数回の測定がある場合、平均を採った。また8月28～29日は25時間にわたって毎正時に測定を行ったので、その範囲を図示した。水位はL-1で観測した。

前潟内の表層と底層の塩分差はかなり大きく、強く成層している。この塩分差がしばしば小さくなるが、これは一時期 (9月5～12日) の観測地点の変更 (T-1からT-2へ変更) や、強い西寄りの風による吹き寄せと鉛直混合の結果である。表層塩分量は、河川の出水から数日後に極小となる傾向がみられるが、水戸口水位と対応するような変動もみられ、必ずしもその関係は明白ではない。底層塩分量は表層の変動パターンとはやや異り、表層と底層で海水交換の様相が異なるであろうことを示唆している。10月中旬以降、出水量の増大とともに、塩分量が低下してきているが、この時期は海面水位も急速に低下していく時期で、おそらくは、その両者の影響によるものと思われる。

3-2 短期変動

図7に前潟における塩分量の短期変動例を示した。測定はT-1と出入口㊤で、26時間にわたり、毎正時に行った。

前潟内のT-1での塩分量変動はほとんどなく、わずかに、表層で、最終測定時にやや著しい低下がみられただけである。一方、出入口を流入、流出する水の塩分量は大きな時間変化がある。この出入口での塩分量変動はT-1へはほとんど反映されていない。このことは前潟自体の外部の変動に対する応答の遅さ、すなわち水の停滞が起こり易いことを示している。

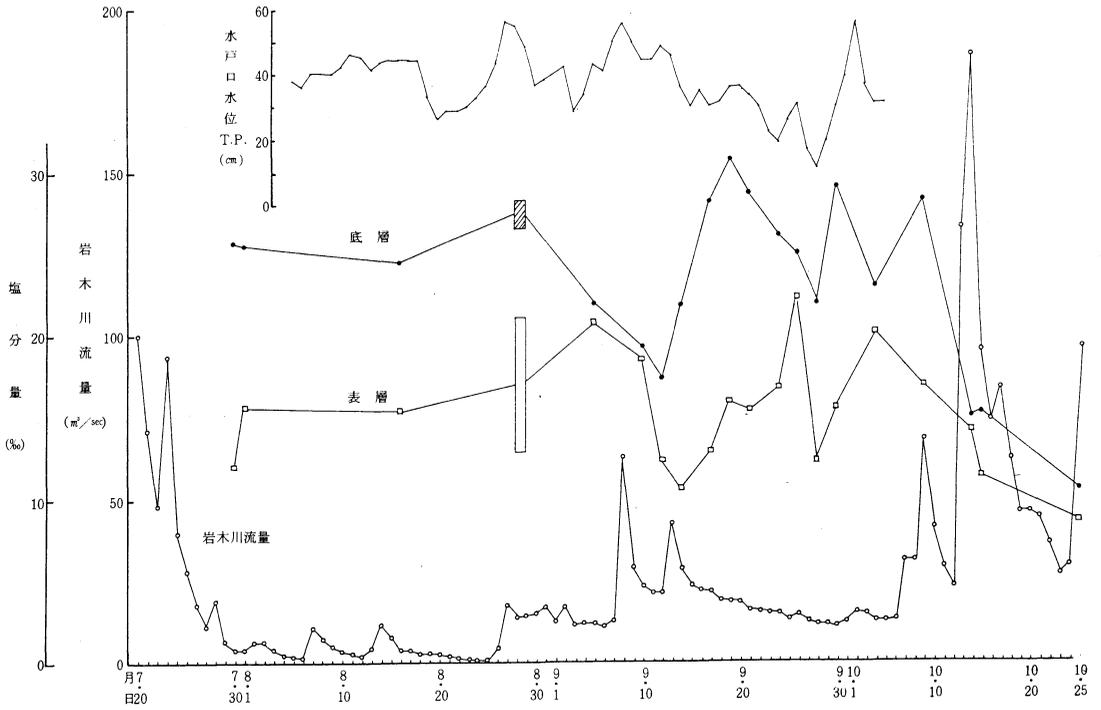


図6 前潟における塩分量変動、水戸口水位、岩木川河川流量

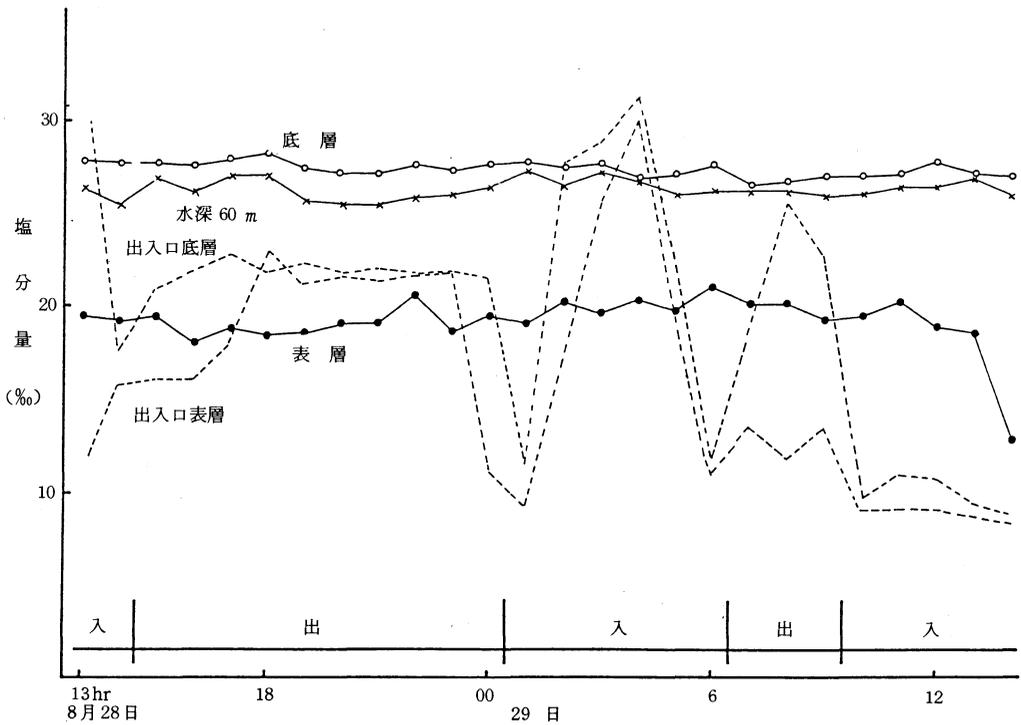


図7 前潟における塩分量の短期変動

3-3 塩分量と海面水位、河川流量との関係
 潮位（水位）観測の行われた期間（8月5日～10月4日）に限って、前潟の塩分量と海面水位、河川流量との関係を調べた。塩分量はT-1での測定値、水位はL-2での毎時の値を用い、塩分測定時の直前の正時を0hrとし、それよりさらに7時間さかのぼった毎正時の測定値を用いた。また、岩木川流量1は塩分量観測日当日と、その前日の累積流量、2はさらに前々日の流量を加えた累積流量である。

表層塩分量は2時間前から5時間前までの水位や、河川流量1との相関が比較的高いが、相関係数の絶対値で0.5を越えない。底層塩分量は水位との相関はほとんどなく、河川流量2との相関が比較的高い。

底層塩分量と水位との相関が低いのは、前潟が地形的に船底型であるので、流入した流水は底層に滞留し、より高密度の水が流入したときにのみ間歇的に交換するという特性を持つため、水位変動がそのまま海水交換に結び付かないためであろう。

河川流量との関係では、表層塩分量は河川流量1と、底層塩分量は河川流量2との相関が高い。このことは表層塩分量は河川流量の変化に対する応答が早く、底層塩分量は河川流量の累積的な効果により変動するであろうことを示唆している。

重回帰分析の結果を以下に示したが、表層の塩分量は水位や河川流量で、その変動の多くを説明できる。しかし、底層塩分量の場合、重回帰の中には河川流量2しか取り込まれず、重相関も0.51と低く、その変化は表層よりも複雑である。

$$\text{表層塩分量} = 17.63 + 0.11 \times (\text{5時間前水位}) - 0.24 \times (\text{河川流量1}) + 0.06 \times (\text{河川流量2})$$

$$R = 0.672$$

$$\text{底層塩分量} = 30.37 - 0.09 \times (\text{河川流量2})$$

$$R = 0.510$$

4. 前潟の海水交換の状況

4-1 前潟へ流入、流出する水の特性

図8と図9に前潟出入口における塩分量段階別流入流出量を示した。これは塩分量を1%毎に区切り、それぞれの塩分量を示す水の流入量を、測定時間内の流出入水総量に対する百分比として示した。

流入する水の塩分量は大きなバラツキをみせており、高塩分側と低塩分側で多く、中間的な塩分量の水は少ない。低塩分水は十三湖水、高塩分水は若干希釈された海水であり、両者はかな

表3 前潟の塩分量と海面水位、河川流量との相関 (n=51)

| | | 表層 | 底層 |
|----------------------------------|------|--------|--------|
| 潮位観測時刻 (塩分量測定時 からさかのぼった時刻) | 7 hr | 0.382 | 0.178 |
| | 6 | 0.384 | 0.139 |
| | 5 | 0.415 | 0.095 |
| | 4 | 0.415 | 0.057 |
| | 3 | 0.416 | 0.032 |
| | 2 | 0.408 | 0.017 |
| | 1 | 0.390 | 0.011 |
| | 0 | 0.371 | 0.038 |
| 岩木川河川流量 | 1 | -0.483 | -0.390 |
| | 2 | -0.375 | -0.510 |

り明瞭に識別できる。流出する水の塩分量はバラツキが小さく、20%前後に集中している。この塩分量はおおむね前潟内の平均塩分量に近く、もし、この流出水が前潟内に滞留していた水だとすると、きわめて効率の良い海水交換が行われていることになる。しかし、後述する前潟内の流動状況からみて、流入した水が流出までの過程で混合されたためと見るのが妥当であろう。

図10に上げた潮時において前潟内へ流入する水の塩分量を示した。これは干潮から満潮までの時間を100として、塩分量測定時を干潮時からの経過時間の比で示したもので、0%は干潮時を、100%は満潮時を意味する。資料は7月29～31日及び8月28～29日の上げ潮時のものであるが、この時の岩木川日平均流量は4.4～14.6 m³/sec と渇水に近い状態であった。

潮時による塩分量変化は非常に大きい。上げ潮最強流時には30%近い、やや希釈された海水が流入する。上げ潮初期あるいは末期には10%前後の低塩分水がみられるが、これは明らかに十三湖水である。

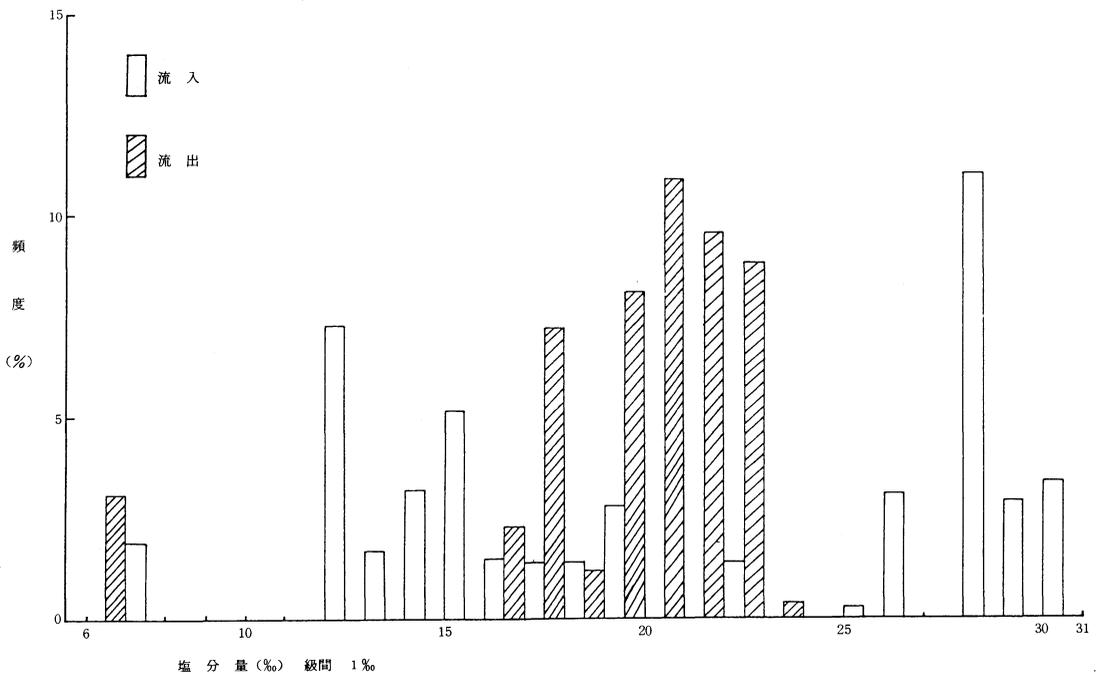


図8 塩分量段階別流入流出量 (%) 7月30日12:30～31日13:30

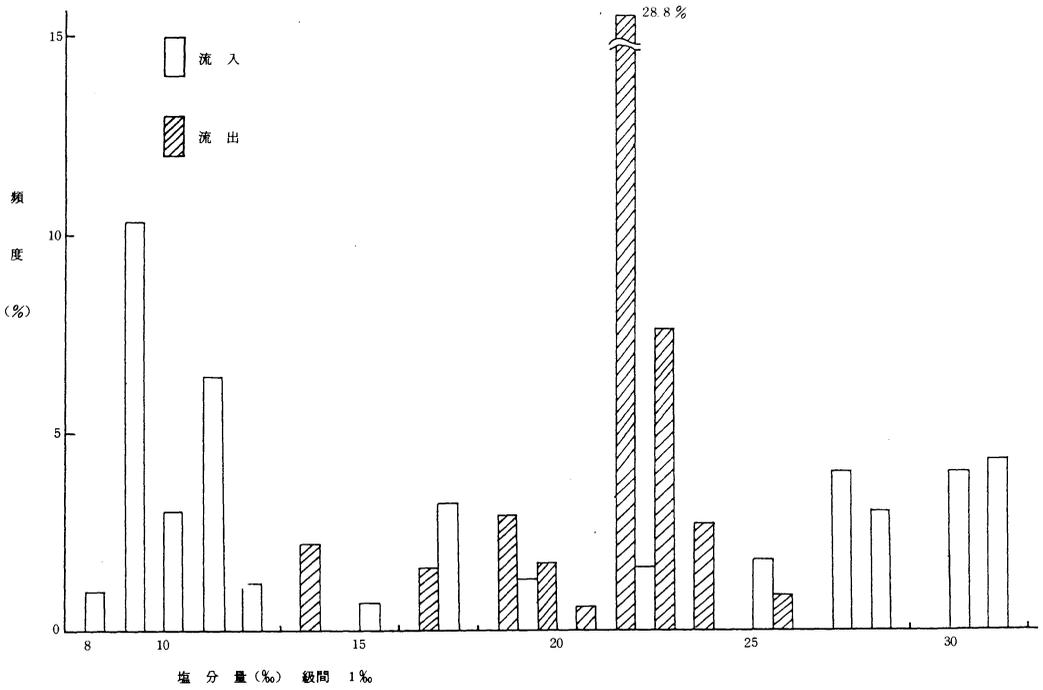


図9 塩分量段階別流入流出量 (%) 8月28日12:40~29日13:35

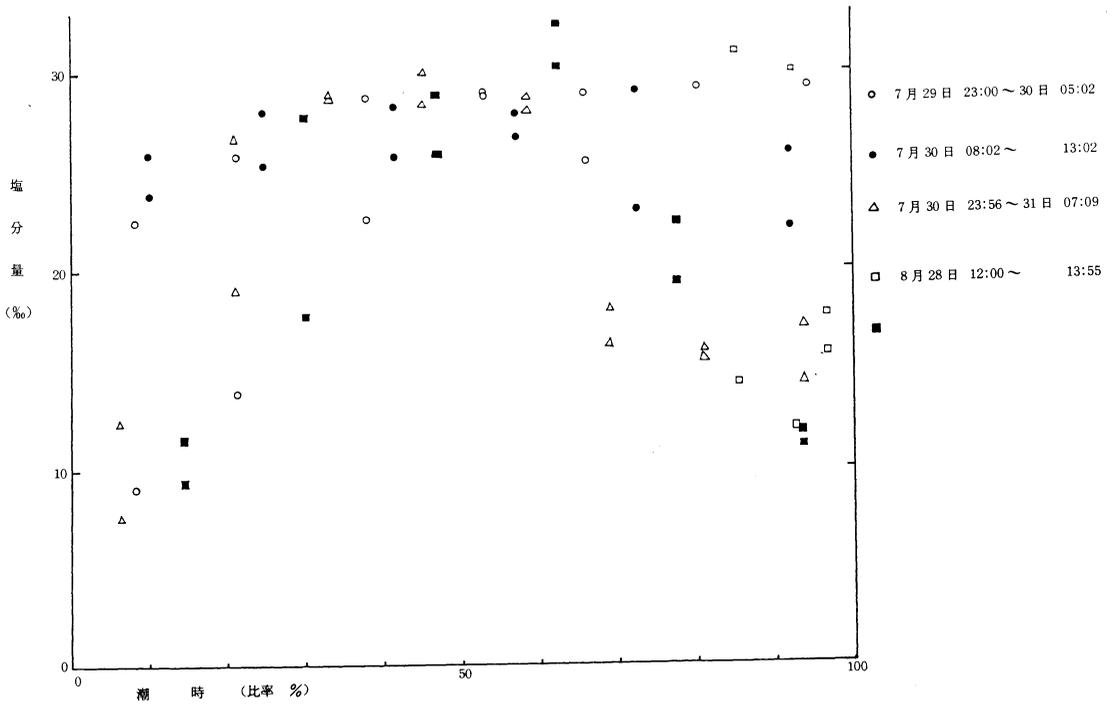


図10 上げ潮時における潮時と前潟内へ流入する水の塩分量

4-2 前潟内の水収支、塩分収支

7月30～31日と8月28～29日の2回にわたり、前潟内への水と塩分の出入を調べた。方法は前潟出入口、及びセバト沼との間の水門で毎正時に流速測定と塩分量の測定を1潮時にわたって行うとともに、1潮時間に3回、前潟内16地点で塩分量の測定を行った。同時に前潟の水位変化を把握することにより、水の収支、塩分の収支を算出した。結果を表3、表4に示した。

まず水収支の観測結果であるが、出入口を通過する水の量は前潟の体積(D.L.=0基準で9/200 m³)に対し、38～51%になっている。しかし、収支上の誤差(表中には残差として表示)が、出入水量の10.2～17.1%となっている。これは、流速測定から流量を算出する際の誤差の混入によるものと思われる。セバト沼との交流量は出入口での交流量の1.7～8.8%である。これらのことから、前潟への水の交流の大部分は十三湖側と行われることがわかる。

一方、流速測定と同時に行った塩分量の測定から塩分収支を求めると表4のようになる。塩分の出入から求めた潟内の塩分量は、実測による総平均塩分量と良い一致を示している。このことは、前潟の塩分量が、十三湖と交流する水の塩分量によりコントロールされていることを示唆している。

表3 潟内水収支計算結果表

△V: 潟内の総水量の変化量

O_F: 出入口における流入、流出

S_F: セバト沼水門における流入、流出

R: 残差

(1) 7月30日 12時30分～31日13時30分

| | 30日 12:30～ 同 20:30 | 30日 20:30～ 31日 13:30 |
|----------------------------------|-----------------------|-------------------------|
| △V (m ³) | -38,922.0 | 35,997.0 |
| O _F (m ³) | -46,849.6 | 43,237.8 |
| R (m ³) | 7,927.6 | -7,240.8 |
| R/△V(%) | 20.4 | 20.1 |
| R/O _F (%) | 16.9 | 16.7 |

潮位(D.L.) (cm)

30日 12:30 44.7

" 20:30 24.7

31日 13:30 43.2

(2) 8月28日 12時40分～29日13時35分

| | 28日 12:40～ 同 20:35 | 28日 20:35～ 29日 13:35 |
|----------------------------------|-----------------------|-------------------------|
| △V (m ³) | -27,885.0 | 20,865.0 |
| O _F (m ³) | -34,435.7 | 25,678.1 |
| S _F (m ³) | 3,022.7 | -426.3 |
| R (m ³) | 3,528.0 | -4,386.8 |
| R/△V(%) | 12.7 | 21.0 |
| R/O _F (%) | 10.2 | 17.1 |
| R/S _F (%) | 116.7 | 1,029.0 |

潮位(D.L.) (cm)

28日 12:40 54.7

" 20:35 40.4

" 13:35 51.1

表 4 潟内塩収支計算結果表

$\bar{\text{sal}}$: 潟内総平均塩分量

Sc : " 計算塩分量 (出入口流出入塩量から計算)

ΔS : 総塩量の変化量

Os : 出入口における流出入塩量

Ss : セバト水門における流出入塩量

Rs : 残差塩量

Rsal : 残差流出入水の塩分量

(1) 7月30日12時30分～31日12時30分

| | 12:30 | 20:30 | 13:30 |
|--------------------------------|----------|----------|-------|
| $\bar{\text{sal}}$ (‰) | 19.14 | 17.64 | 18.16 |
| Sc (‰) | * | 18.06 | 19.26 |
| ΔS (ton) | -950.374 | 724.913 | |
| Os (ton) | -892.249 | 915.989 | |
| Rs (ton) | -58.125 | -191.076 | |
| Rsal (‰) | — | 26.39 | |
| $\text{Rs}/\Delta\text{S}$ (%) | 6.1 | 26.4 | |
| Rs/Os (%) | 6.5 | 20.9 | |

(2) 8月28日12時40分～29日13時15分

| | 12:40 | 20:35 | 13:35 |
|--------------------------------|----------|---------|-------|
| $\bar{\text{sal}}$ (‰) | 22.28 | 21.53 | 21.54 |
| Sc (‰) | * | 21.61 | 21.41 |
| ΔS (ton) | -746.884 | 451.107 | |
| Os (ton) | -733.499 | 426.162 | |
| Ss (ton) | 35.152 | -40.231 | |
| Rs (ton) | -48.537 | 65.176 | |
| Rsal (‰) | — | — | |
| $\text{Rs}/\Delta\text{S}$ (%) | 6.5 | 14.4 | |
| Rs/Os (%) | 6.6 | 15.3 | |

4-3 前潟内の流動

釣り用のフロートを追跡することにより、前潟内の流動状況を調べた。図11は下げ潮時の結果で、北西の強風のため、潟内東岸へ向かうものが多かった。一部は出入口へ向かい、その速度は 3.9 cm/sec と見積もられた。図12は上げ潮時の結果であるが、転流直後であったため、全体に流れは弱い。出入口近傍で投入したフロートは潟内へ向かい、その速度は $3.7 \sim 5.6 \text{ cm/sec}$ 。その直後に潟内で投入されたものは、弱い西寄りの風で東寄りに流されている。また、潟中央部で投入されたものは、いったん出入口へ向かい、後に反転している。このことは、出入口での水の動きが、潟内部へはストレートに反映されていないことを意味しよう。これは、ひとつには地形の影響が考えられる。すなわち、出入口から潟奥部へ、ラッパ状に開いた地形では、出入口での流速が潟内では維持されないのである。このような結果は、前潟内での海水交流が良くないことを示している。

4-4 前潟内の海水交換の状況

これまで述べてきたように、前潟内では出入口における水の動きがストレートには伝わっていない。また、図7に示した、前潟内と出入口での塩分量変動からも、同様の傾向がうかがわれる。さらに、潟内の底泥に含まれる異常に多くの硫化物、大量に繁茂するシオクサ、などからも海水交換が不良であることがわかる。そして、水温や塩分にみられる二重構造は、表層と

底層で海水交換の様相が異なるであろうことを示している。表層よりも底層でしばしば水温が高いが、これは、表層水によるレンズ効果の他に、底層水の方が表層水に比べ滞留時間が長いことにもよるであろう。この底層水の交換は前潟が船底型の地形であることや、底層塩分量に、海面水位との対応がみられないことから、より高密度の海水が流入した時にのみ、間歇的に行われるものと推定される。

また、本事業を推進するうえで満たすべき条件のひとつとして、塩分量の高レベルでの安定化がある。本調査は岩木川河川流量の濁水時期に行われたため、変動は大きいものの、調査期間を通じて、塩分量は高く保たれていた。

しかし、水収支、塩分収支の結果から明らかなように、前潟へ出入する水は十三湖水が主体であるとすれば、増水時には、前潟内は低塩分化するであろうことは容易に想像し得る。したがって、塩分量の高レベルでの安定化という条件は、現出入口からの海水交換のみでは満たし得ないものと思われる。

5. 水戸口での塩分量変動

前潟内の塩分量を高レベルで安定化するために、水戸口に導水路を開削し、海水を導入することが考えられていた。そこで、水戸口における塩分量変動と河川流量、潮時の関係を調べてみた。塩分量のデータは、水戸口に導水路を設置するにしても、河川管理上の問題から水深2m前後と決められていたので、図3のM-1の水深2mでの測定値を用い、M-1の水深が2mを切る場合はM-2での値を用いた。塩分量の測定は上げ潮、下げ潮を問わず行ったが、実際に取水するのは上げ潮時であるので、上げ潮時の結果についてのみ分析した。さらに、ヒラメ稚魚の生息可能限界塩分量は4%とされているので、危険率を見込んで10%を取水可能下限塩分量と設定した場合、取水が不可能になる日数がどの位あるかを検討した。

塩分量と河川流量の関係を図13に示した。上げ潮～満潮時の塩分量と河川流量との相関係数は以下の通りで、塩分量を測定した当日、あるいは前日、また、その両者の平均流量との相関が最も良い。また、取水不能となる河川流量を求めるため、塩分量と河川流量の間に指数回帰を当てはめたが、その際に塩分量を対数変換した時の相関も同様の傾向を示した。さらに、図13にみるように、データが高塩分、少流量側と、低塩分、大流量側に集中する場合、みかけ上の相関係数が高くなることがあるので、順位相関により確かめた。その結果、順位相関によっても、当日、あ

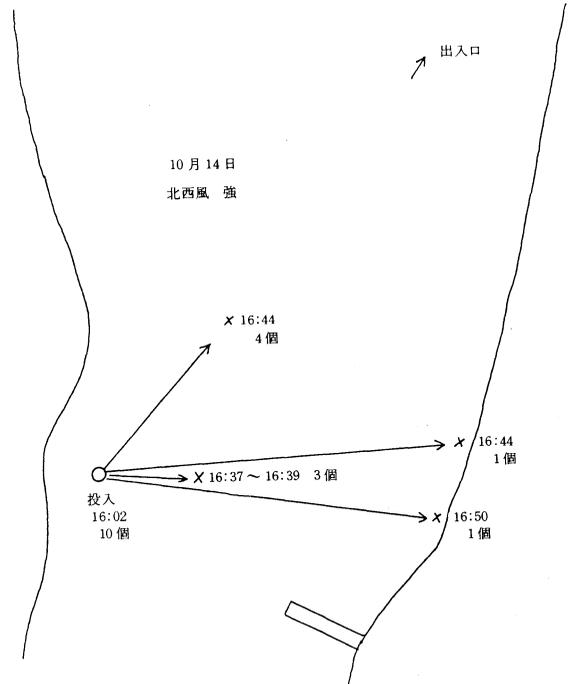


図11 下げ潮時における前潟内の流動状況

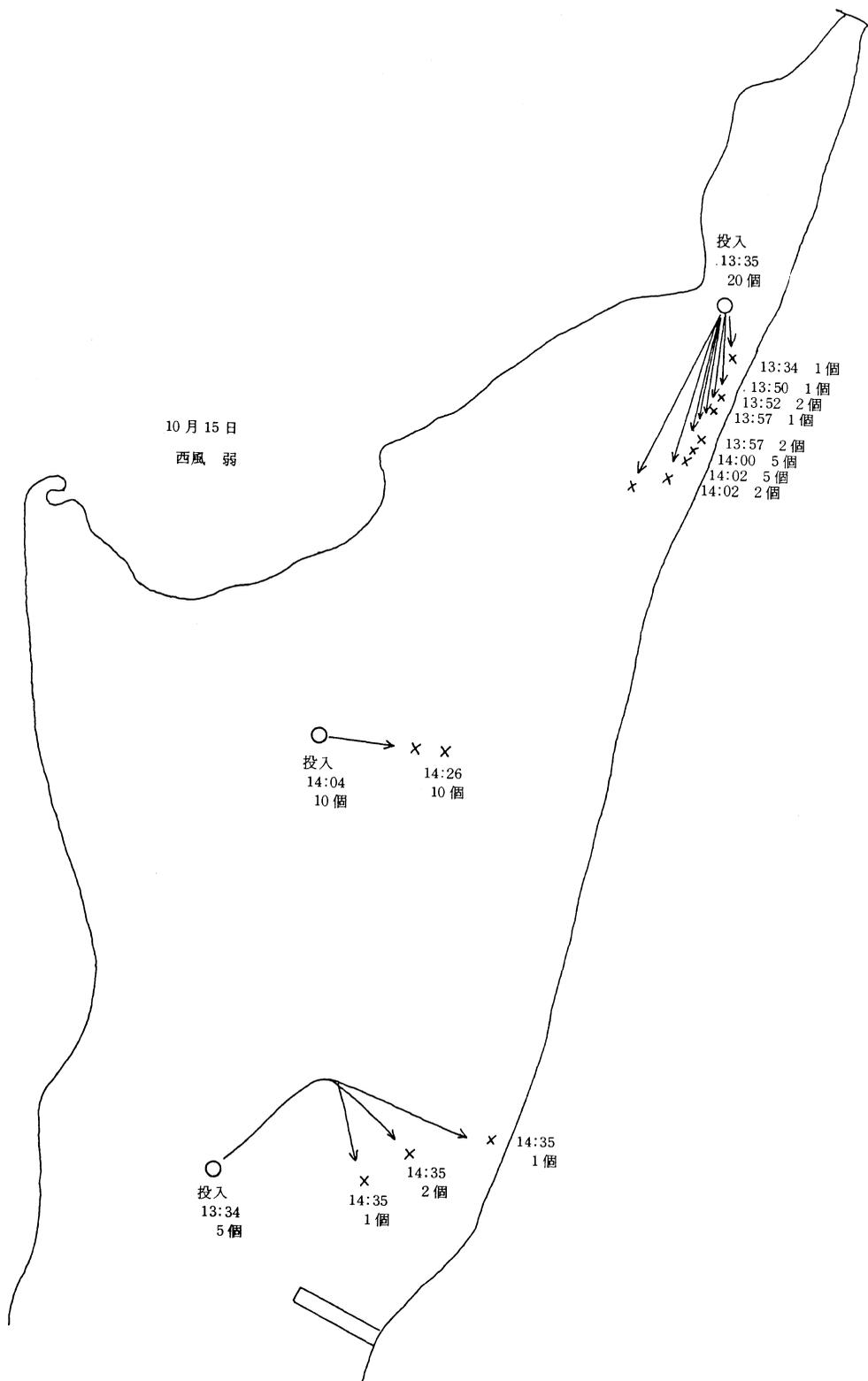


図12 上げ潮時における前潟内の流動状況

るいは前日の流量との相関が良い。したがって、塩分量変動には当日の河川流量を考えればよいものと判断される。

塩分量と河川流量との相関係数（上げ潮～満潮時のデータのみ、 $n=17$ ）

| | | | | | | | | |
|-------------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|
| （単相関）当日河川流量 | …………… | 0.955 | （対数変換） | …………… | 0.988 | （順位相関） | …………… | 0.625 |
| 前日 | ” | …………… | 0.933 | …………… | 0.866 | …………… | …………… | 0.615 |
| 前々日 | ” | …………… | 0.326 | …………… | 0.209 | …………… | …………… | 0.447 |
| 当日と前日の平均 | …………… | 0.978 | …………… | …………… | 0.963 | …………… | …………… | |

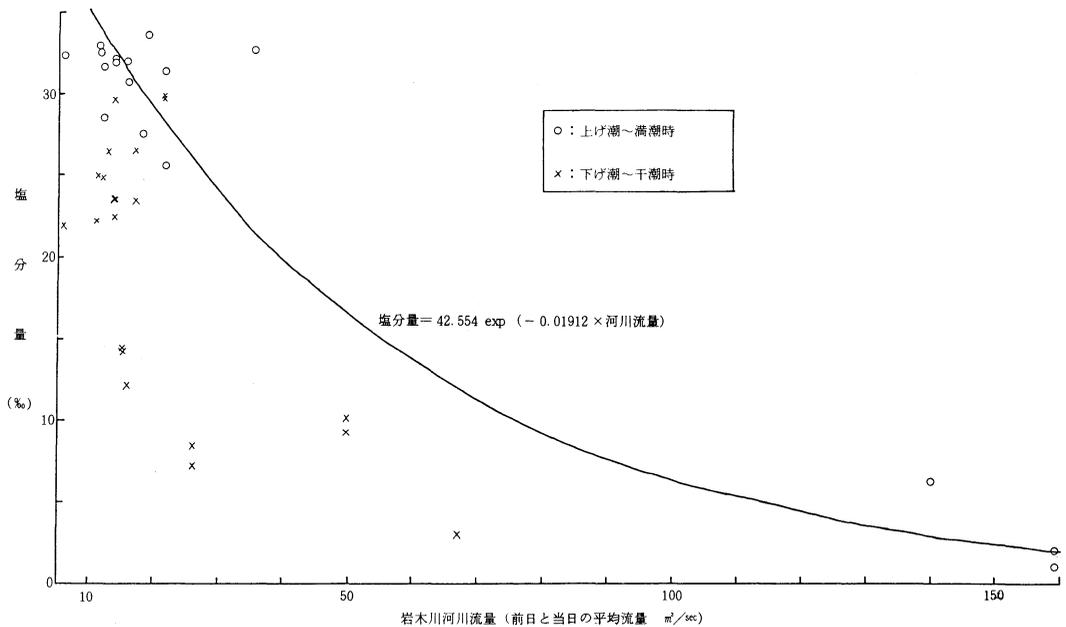


図13 水戸口水深2 mにおける塩分量と岩木川河川流量（当日と前日の平均流量、 m^3/sec ）の関係

塩分量と河川流量の間に得られた指数回帰から、取水可能下限塩分量である10%の時の河川流量は $75 m^3/sec$ となる。一方、潮時として、上げ潮～満潮時を1とし、下げ潮～干潮時を2として、河川流量に当日と前日の平均流量を用いて、塩分量との間に重回帰式を求めたところ、以下の通りとなった。そして、この重回帰式から、上げ潮時に塩分量10%に相当する河川流量は $114 m^3/sec$

$$\text{塩分量} = 45.98 - 10.95 \times (\text{潮時}) - 0.219 \times (\text{河川流量})$$

$$n = 38 \quad \text{重相関係数} = 0.868$$

$$\text{潮時の偏回帰係数} = -0.541$$

$$\text{流量の偏回帰係数} = -0.827$$

となる。異なる二つの方法で求めた、取水不能限界河川流量の値は大きく異なっているが、いずれも、中程度の流量時（100 m^3 前後）に実測例がないための推定値であるためであって、どちらを採用するかは判断は難しい。そこで、取水不能となる河川流量に、 $75 m^3/sec$ 、 $110 m^3/sec$ の二

つを設定し、過去の岩木川流量資料から、取水不能日数を求めた。なお、流量 $110 \text{ m}^3/\text{sec}$ は取水可能下限塩分量を、前述した指数回帰に当てはめれば、5%に設定したと等価である。

表5に岩木川の出水により、取水が不能となる日数を、昭和49年以降について示した。取水不能日としては、前日または当日に河川流量が $75 \text{ m}^3/\text{sec}$ 、 $110 \text{ m}^3/\text{sec}$ を越える日と定義した。このことから、取水不能日数の最小単位は2日となる。以下の表中に取水不能日数または連続取水日数が1日とあるのは、その前月の終日に流量が75、または $110 \text{ m}^3/\text{sec}$ を越えた場合である。

表5の(1)に示したように、月別の取水不能日数は7～9月のtotalの12カ年平均で、75トンの場合で22.8日(24.8%)、110トンの場合で13.9日(15.1%)となる。また、問題の性質からみて、連続して取水が不能となる日数が、何日にわたるかが重要な意味を持つが、前述したように取水不能日数の最小単位は2日となるので、2日以内と2日を越える場合に分けて考えると、2日を越える場合の方が多い。すなわち、いったん取水不能となれば、連続して3日以上にわたることが多いということである。また(3)に示したように、各年別に最大の連続取水不能日数をとりあげてみると、ほとんどが3日を越える。

本事業においては、出水時には現出入口を閉鎖し、淡水の流入を防ぐというのが基本的な考え方であるから、水戸口からの取水が不能ということは、前潟内に海水交換が行われないということになる。夏季の高温期に3日以上にもわたって、無換水状態が続くということは、水温や溶存酸素の面からヒラメ稚魚の生息に適切な条件を維持できないことを意味するであろう。したがって、前潟を高塩分に安定化することの他に、常時海水交換を行うことにより、良好な環境条件を維持しようとするならば、水戸口ではなく、海側へ導水路を設置することが望ましい。

表5 岩木川の出水により水戸口から前潟への取水が不能となる日数

(1) 月別取水不能日数

()内は%

a) 75トンの場合

| 年 | 7 月 | 8 月 | 9 月 | total |
|----------|------------|------------|------------|-------------|
| 昭 49 | 5 (16.1) | 10 (32.3) | 9 (30.0) | 24 (26.1) |
| 50 | 10 (32.3) | 16 (51.6) | 12 (40.0) | 38 (41.3) |
| 51 | 0 (0.0) | 10 (32.3) | 11 (36.7) | 21 (22.8) |
| 52 | 4 (12.9) | 10 (32.3) | 12 (40.0) | 26 (28.3) |
| 53 | 0 (0.0) | 5 (16.1) | 3 (10.0) | 8 (8.7) |
| 54 | 14 (45.2) | 12 (38.7) | 10 (33.3) | 36 (39.1) |
| 55 | 3 (9.7) | 5 (16.1) | 12 (40.0) | 20 (21.7) |
| 56 | 17 (54.8) | 12 (38.7) | 11 (36.7) | 40 (43.5) |
| 57 | 0 (0.0) | 2 (6.5) | 5 (16.7) | 7 (7.6) |
| 58 | 4 (12.9) | 8 (25.8) | 7 (23.3) | 19 (20.7) |
| 59 | 15 (48.4) | 0 (0.0) | 6 (20.0) | 21 (22.8) |
| 60 | 14 (45.2) | 0 (0.0) | 0 (0.0) | 14 (15.2) |
| 12 年 平 均 | 7.2 (23.2) | 7.5 (24.2) | 7.3 (24.4) | 22.8 (24.8) |

b) 110トンの場合

| 年 | 7 月 | 8 月 | 9 月 | total |
|----------|------------|------------|------------|-------------|
| 昭 49 | 1 (3.2) | 6 (19.4) | 6 (20.0) | 13 (14.1) |
| 50 | 5 (16.1) | 14 (45.2) | 3 (10.0) | 22 (23.9) |
| 51 | 0 (0.0) | 7 (22.6) | 9 (30.0) | 16 (17.4) |
| 52 | 2 (6.5) | 9 (29.0) | 6 (20.0) | 17 (18.5) |
| 53 | 0 (0.0) | 2 (6.5) | 0 (0.0) | 2 (2.2) |
| 54 | 7 (22.6) | 6 (19.4) | 5 (16.7) | 18 (19.6) |
| 55 | 2 (6.5) | 1 (3.2) | 7 (23.3) | 10 (10.9) |
| 56 | 16 (51.6) | 12 (38.7) | 9 (30.0) | 37 (40.2) |
| 57 | 0 (0.0) | 2 (6.5) | 4 (13.3) | 6 (6.5) |
| 58 | 2 (6.5) | 5 (16.1) | 2 (6.7) | 9 (9.8) |
| 59 | 7 (22.6) | 0 (0.0) | 3 (10.0) | 10 (10.9) |
| 60 | 7 (22.6) | 0 (0.0) | 0 (0.0) | 7 (7.6) |
| 12 年 平 均 | 4.1 (13.2) | 5.3 (17.1) | 4.5 (15.0) | 13.9 (15.1) |

(2) 連続取水不能日数別頻度 7～9月、49～60年

a) 75トン

%頻度には1日の分は含めていない。

| 日数 | 頻度 | 日数 | 頻度 | 日数 | 頻度 |
|----|-----------|----|---------|----|---------|
| 1 | 2 (-) | 8 | 2 (3.4) | 15 | 1 (1.7) |
| 2 | 18 (30.5) | 9 | 1 (1.7) | 16 | 0 (0.0) |
| 3 | 15 (25.4) | 10 | 1 (1.7) | 17 | 0 (0.0) |
| 4 | 6 (10.2) | 11 | 1 (1.7) | 18 | 0 (0.0) |
| 5 | 6 (10.2) | 12 | 0 (0.0) | 19 | 0 (0.0) |
| 6 | 0 (0.0) | 13 | 1 (1.7) | 20 | 0 (0.0) |
| 7 | 6 (10.2) | 14 | 0 (0.0) | 21 | 1 (1.7) |

b) 110トン

| 日数 | 頻度 | 日数 | 頻度 | 日数 | 頻度 |
|----|-----------|----|---------|----|---------|
| 1 | 1 (-) | 8 | 0 (0.0) | 15 | 0 (0.0) |
| 2 | 13 (30.2) | 9 | 2 (4.7) | 16 | 0 (0.0) |
| 3 | 17 (39.5) | 10 | 1 (2.3) | 17 | 0 (0.0) |
| 4 | 5 (11.6) | 11 | 0 (0.0) | 18 | 0 (0.0) |
| 5 | 2 (4.7) | 12 | 0 (0.0) | 19 | 1 (2.3) |
| 6 | 2 (4.7) | 13 | 0 (0.0) | 20 | 0 (0.0) |
| 7 | 0 (0.0) | 14 | 0 (0.0) | 21 | 0 (0.0) |

(3) 最大連続取水不能日数

| 年 | 日数 | |
|-------------|-------|-------|
| | 75トン | 110トン |
| 49 | 9 | 6 |
| 50 | 15 | 10 |
| 51 | 11 | 9 |
| 52 | 7 | 6 |
| 53 | 5 | 2 |
| 54 | 8 | 3 |
| 55 | 10 | 3 |
| 56 | 21 | 19 |
| 57 | 4 | 3 |
| 58 | 7 | 5 |
| 59 | 8 | 4 |
| 60 | 7 | 5 |
| 平均 | 9.33 | 6.25 |
| S.D. | 4.66 | 4.69 |
| リターンピリオド10年 | 17.3日 | 14.3日 |
| 20年 | 20.6日 | 17.6日 |

ま と め

以上の調査結果を要約し、さらに今後の事業構想の策定に当って留意すべき点を挙げる。

- (1) 底質の状態は非常に悪く、特に潟奥部ほど硫化物が多くなる。事業にあたっては、底質環境の改良が不可欠な要件となるが、このヘドロ層の厚さは薄いため、ヘドロ層を除去するだけで充分であろう。また、再び底質環境の悪化を招かないようにするためには、海水交換を促進する必要がある。
- (2) 前潟の塩分量は、本調査期間中は、変動は大きいものの、高いレベルで維持されていた。しかし、出入する水の大部分は十三湖水であることを考慮すれば、河川の大量出水時には淡水化する可能性がある。これを防ぐためには出水時に、現出入口を閉鎖するという手段があるが、これは、海水交換を促進するという目的とは矛盾するものである。
- (3) 現状の前潟は、海水交換が不良である。このひとつの理由として、地形が考えられる。すなわち、出入口から奥部へラップ状に開いているため、出入口での流れのエネルギーが潟奥部まで維持されず、奥部で海水交換が行われない。また、船底型（出入口で浅く、奥部で深い）であるため、底層水が滞留し易い。これらを改良し、海水交換を促進させるためには、地形を改造することが必要であろう。
- (4) 前潟内の塩分量を高いレベルで安定させ、さらに常時、海水交換を行わせる目的で、水戸口へ導水路を設置し、水戸口から海水を取水することが考えられた。しかし、水戸口では岩木川河川流量が $75 \sim 110 \text{ m}^3/\text{sec}$ で取水可能下限塩分量の10%を下回る。この場合、取水を中止すると、潟内は3日以上にわたり無換水状態となり、ヒラメ稚魚の育成に必要な環境条件を維持できない。したがって、水戸口からの取水は意味がなく、前述した要件を満たすためには、海側からの海水導入を考えるべきであろう。