

陸奥湾の沿岸流に関する調査

は し が き

本県の陸奥湾は、全国でも有数な内湾として、その利用については各方面から注目をあびているが、沿岸漁業の立場からも、栽培漁場の最適地として、全国的な期待がすこぶる大きい海域である。

近年のわが国沿岸海域では、海の自然浄化力を無視した開発により、その生産力をいちじるしく低下させている事例が多い。現在、むつ小川原地域においては、国の新全国総合開発計画が検討されているが、これらに対処するためにも、むつ湾について、先進地の事例を十分検討し、海域の利用を誤らないようにすることは、単に漁業のみならず、県土の有効利用の観点から是非必要なことである。

本調査は、上記の観点から、湾内の漁場環境保全と漁業振興上基本的要素となる海水の流動と交換等についての基礎資料を得るために、昭和46年度、47年度の2ケ年にわたり、北海道大学水産学部へ委託して実施した。

本報告書は、2ケ年にわたる調査結果のとりまとめであり、今後のむつ湾利用に指針を与えるものと期待される。

おわりに、本調査を担当し、とりまとめられた次の諸先生方および本調査に協力された関係漁業協同組合に感謝の意を表する次第である。

記

北海道大学水産学部	教 授	井 上 直 一
	教 授	西 村 雅 吉
	助 教 授	梶 原 昌 弘
	助 手	大 谷 清 隆
	助 手	松 永 勝 彦

I 陸奥湾の沿岸流に関する調査

大 谷 清 隆

(1) 調査の目的

青森県水産商工部から本調査を依頼された際の主旨は湾内の海水の流動状況を把握したいとのことであった。しかし、一般的に、海水の流動状況を把握することは容易でなく、かつ季節変化等もあって、単一な調査によってこれを求めることは難しい。したがって本調査では先ず、むつ湾の海況特性とその季節変化の状況を把握することを基本とし、これにもとづき、流動状況を推測した。さらに、流速計による実測を行ない。この推測の方法についての信頼性を吟味した。

(2) 調査の方法

調査はむつ湾全域を対象とし、昭和46年8月から昭和47年8月までの一年間に5回実施した。各回、約30地点でナンゼン採水器と転倒温度計を用いて、5～8層の採水、測温を行なった。塩分は実験室に於て、オートラブリノメーターを使用し、検定した。

さらに、昭和47年6月には平館海峡の二地点、三層について流速計による海潮流の実測を試みたがそのうち一地点は予期せざる事故のため、測定値が得られなかった。

昭和47年7月末から8月初めに、弁天島、大島間の三地点に於いて、10m深に3機の流速計を設置し、流速を測定した。

(3) 調査の結果

① むつ湾の海峡特性

むつ湾に流入する外海水は、対馬暖流から分派して津軽海峡に入ってくる。比較的高温高塩分という特性をもつ津軽暖流水である。函館海洋気象台の長期間にわたる観測結果（函館海洋気象台、1961）によると、むつ湾口に近い海峡南側水域での表面の平均塩分は5月から10月にかけて低く33.4～33.6‰で、12月から3月は高く33.8～33.9‰程度である。表面での平均水温は3月が最も低く8.0℃で8月中旬に最高となって23.7℃である。これに対して、青函連絡船の航路上のむつ湾西湾では、塩分は周年を通じて海峡の南部水域より、秋・冬の期間で約0.2‰、春夏では約0.4‰も低い値を示している。水温は海峡南部水域にくらべて秋冬は低く、5～8月では反対に高くなっている。

② 湾内の流れのパターン

海の水の流動を適格に把握することは非常に困難な問題である。しかしここでは以下のことを前提として流れのパターンを求めた。即ち、この調査の基本的考えは、湾内に汚染物質が流出した場合湾内をどのようにして広がって行くのかということであり、またその汚染物質として原油を主たる対象としている。海水の更新は移流や混合によって行なわれていて、塩分輸送も同様な過程が考えられる。しかし、原油の性質上、拡散によって原油が薄められるということは、単に油汚染の影響範囲をひろげるに過ぎず、その被害を無にするわけではない。また対象となる有用魚介類の場合、えさ生物による再濃縮ということを考慮しなければならないから、このような閉鎖的な湾に於いて、拡散を論ずることはこの場合は無意味である。ここで問題とすべきことは、汚染物質を湾内から外海に運び出すべき機構をむつ湾がもっているかどうかということである。その意味に於いて、移流による輸送を第1に考えなければならないことは、新潟沿岸でのタンカー事故をみても明らかなことである。したがってここでは、塩分と質量の輸送の連続性を用いて、拡散による塩分輸送を無視して、相対的な質量輸送を求めた。

いまむつ湾内にとった観測点の3地点をとって三角柱を考える。そのとき3つの鉛直断面を通る

質量と塩分量の和はそれぞれ0でなければならない。

断面を通る塩分量はその断面での平均塩分とその断面を通る質量の積で求まるから、ある断面について質量輸送を仮定すると、塩分の実測値から各断面での質量輸送は基準とした断面に対する比であらわされる。そのようにして求めたのが12図～15図である。図中の矢印の大きさはある基準とした断面に対する相対比の大きさをあらわしている。その方向は1972年6月と7月の場合自記流速計による恒流成分の方向から定め、3月、10月の場合、高塩分な水を外海からの流入水として定めた。1971年8月については、海上自衛隊の演習のため欠測点があったこと、採水ミスにより塩分の検定を欠く測点があったため示さなかった。

6月7月についてみると、西湾は全般的に大きな値が求められていて、弁天島大島間に北西向きの比較的大きな輸送がある。この時期に外海水は平館海峡の西側から流入し、東側から流出していることがうかがわれる。しかし、中央部の北西向きの輸送の東側では東向きの輸送は非常に小さく野辺地湾や横浜沖大湊沖などに、ゆるやかな小環流のあることがうかがわれる。

10月、3月では夏期とは逆に、中央部に南東に向う質量輸送が大きく、10月では野辺地湾にまで達していると考えられる。しかしこの南東方向の輸送の北側の海域では、夏期同様比較的質量輸送は小さく、小環流が認められる。

平館海峡の沖合の津軽海峡内に時計廻りの環流がしばしば形成される（函館海洋气象台、1961）が、この環流によって平館海峡を通じて湾内の海水の流動がひきおこされているとすると湾の内側では反時計廻りに回流することになる。この推論はいずれの観測でも平館海峡西側に高塩分水がみられる事実によって支持されよう。この計算の場合も平館海峡部ではそうになっている。しかし、湾中央部の輸送の方向は加熱期と冷却期では逆になっている。これは風向に対して最長の吹送距離をもつ方向に、大きな質量輸送を生じていることなどから冷却期に卓越する北西の季節風による吹き寄せに起因するものと考えられる。

このように、冷却期と加熱期では弁天島と大島の間の海域で、質量輸送の方向が逆向きになっているが、これを境として、西湾と東湾とを連絡する方向の輸送はみられず、外海水が直接東湾を循環し、外海に流出するパターンはいずれの時期にも得られない。

③ 質量輸送の規模の推定

1972年7月30日から8月3日の間、弁天島と大島を結ぶ線上の3地点で10m深に自記流速計を設置し、海潮流の測定を行なった。これと並行して、自記流速計の設置点を囲むように11点の採水測温を行なった。また、自記々録が10m深のみであるので、流れの鉛直方向の変化の概要を知るために、二地点で10m毎の深さで、流向流速を読み取り測定した。

自記流速計の記録によれば、3地点とも北向き成分が卓越していて、恒流成分が潮流成分を上まわっていた。即ち、この3地点では潮時にかかわりなく、北向成分が大きく、流れの主方向はほぼ一定している。

(4) 調 査 の 結 論

- (ア) むつ湾の特性の周年変化は東西両湾で異なっていて、東湾は西湾に比べて常に低塩分であり、西湾の値を越すことはない。また東湾では成層構造を示す時期は短く加熱期だけであるのに対し、西湾では加熱期から10月位まで成層構造を示す。
- (イ) 水温は加熱期に表面で東湾が高く、冷却期はこれと逆に東湾で低くほぼ一様な値となる。
- (ウ) これらの特性の違いの境界は、加熱期には大島と弁天島を結ぶ海域にみられ、冷却期では弁天島と野辺地沖を結ぶ海域に形成され、外海水が直接東湾に流入することは少ないと判断される。
- (エ) 以上の結果からも推定されるが、相対質量輸送の計算から東西両湾をめぐる大きな回流パターンは存在しないことが示され、移流による東湾の海水の更新は少ないと考えられる。
- (オ) 自記流速計の結果から、夏期の東湾に入る移流の規模は $6 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{sec}$ 程度と概算され、これが

全て東湾の海水を更新するとしても約2ヶ月を要することになり、東湾奥の水は、この時期は、移流によっては全く更新されないに等しいといえる。

(5) あ と が き

我国に於いて、むつ湾と同じような大きさを持ち、かつ、湾の海岸線長に比し、湾口部の小さい湾としては、噴火湾、東京湾、伊勢湾、鹿児島湾、有明海などがある。これらのうち、湾内に面して、工場あるいは工業地帯のないものは、むつ湾が唯一の存在である。

東京湾はすでに、漁業生産の面からは無価値に近い状態にあるといえよう。さらに、瀬戸内海の例にもみられるごとく、人間の工業生産活動の廃棄物が、海の自然の浄化力を上廻って、その害が再び人間の生命をもおびやかしている現状である。このような時点に於いて、むつ湾を日本で唯一の汚染される危険の少ない湾として、現状を保持して行こうとすることは、我国に生活を営む人間として、今や最低限に果さねばならない義務と考える。

人間の行動には過誤はつきものであろう。したがって、原油タンカーが湾内を航行し、荷揚げバースを建設することは、必ず湾内が原油によって汚染される事態を生ずるものと考えねばならない。上述の意味に於いても、湾内を汚染する危険をさけることは、必ずや将来に於て、全ての人々にとっての利益になるものと考ええる。

以上、本報告を提出するに際し、調査を通じて得た感慨を述べておく。

II バナジウム濃度分布と海流のよどみに関する調査

西 村 雅 吉
松 永 勝 彦

(1) 調査の目的

むつ湾内の海水の動きを調査するに当っては、北大水産学部海洋学気象学講座によって取り上げられた塩分と水温による調査が本命であって、同様なことを行うには、いずれの成分をとっても、塩分測定の精度にはおよばないことは自明である。それで、われわれは、まったく趣きを異にして、微量成分であるバナジウムに注目することにした。その理由は、たまたま当講座で海水中のバナジウムの定量に自信がもてたこともあるが、海水では主成分であるナトリウムに対してバナジウムの存在比は 0.14×10^{-5} であるのに反して、岩石圏ではその比は 5.600×10^{-5} と海水に比していちじるしく大きく、またバナジウムは生物中に濃縮される元素であり、プランクトンに取り込まれ、その死骸からまた海水中へ供給される。従って陸からの岩石質のものおよびプランクトンの死骸の多い海水、およびそれらを沈積している底質との時間的にも質的にも接触の多い地点でバナジウムが大きくなることが推定され、局所的な海水のよどみを知る尺度になると考えたからである。

(2) 調査の方法

海水 500 ml を用い、4-(2ピリジルアゾ) レゾルシノールによる分光光度法によった。同一採水点の試料を少しとも2度分析し、その平均値をとった。また試料水の採水は1測定点において、採水は表面と海底から2〜3 m上の底層とについて行った。

(3) 調査の結果

海洋におけるバナジウム平均含有量は $1.5 \mu g / \ell$ といわれており、むつ湾における含量は、季節、場所によって $0.8 \sim 2.4 \mu g / \ell$ と変動するが、総平均値としては $1.7 \mu g / \ell$ とであり、それに大変近い値である。むつ湾にそそぐ河川水のバナジウム含量は $0.3 \sim 2.8 \mu g / \ell$ と幅があるが、これも世界の河川の平均値 $1 \mu g / \ell$ とさほど離れてはいない。この水域のみならず、一般に河川水のバナジウム濃度は海水のそれに近い。ということは、海水への河川水の混合があっても海水中のバナジウム濃度はさほど変化をうけないということになり、河川水による影響を打消して考えることができる。バナジウムを選んだ理由の一つはそれにある。

さらに、海水の濃縮や、希釈によるバナジウム濃度の変化を打消すために、つぎに示す計算によって求めた ΔV について考察を進める。

$$\Delta V = V_m - V_o \times \frac{S_m}{S_o}$$

V_o : 基準にとった試料水のバナジウム濃度。基準にとった試料水を表1〜4、第1〜4図に○印で示す。

V_m : 他の点での試料中のバナジウム濃度。

S_o : 基準にとった試料水の塩分。

S_m : 他の点での試料中の塩分。

測定点によって ΔV に差がでるということは、上述のことから、海水が移動する過程で蒸発による濃縮や、雨水や河川による希釈には無関係な原因によって生じたものとなる。

ΔV を減少させる原因は主に、プランクトンによる取込みであり、増大させる要因は、海水中のプランクトンによる取込みであり、増大させる要因は、海水中のプランクトンの死骸からの放出、岩石

粒子、およびそれらの沈積した底質からの溶解とみなされる。すなわち、 ΔV を増大させる地点ではプランクトンの死骸、岩石の粒子の集積のあった地点であり、そこに海流の還流、よどみがある点を示すものと考えられる。

4 6年8月下旬(第1図)：夏の成層により上下混合のない時期にプランクトンの死骸などが局所的に底に沈んで濃縮し、バナジウムを溶出して全般としても ΔV を大とし、そのあとを受けて、そろそろ上下混合期に入り、表層と底層とでバナジウムの分布パターンにかなりよい一致がみられる。また、表層底層ともに同一分布パターン地区においても底層の ΔV が表層よりも大きく、バナジウム供給源が底層の方にあることをよく示している。

4 6年10月中旬(第2図)：10月の上下混合期になると、8月にみられた夏泊半島西側の局所 ΔV の増大も消え、また、野辺地沖の ΔV の濃縮も消えるが、これは大谷によって指摘された、弁天島から野辺地湾にかけての高塩分の入り込みによるものと考えられる。しかし、下北半島南側沿岸にかけては、未だ水の停滞がみられるようである。

4 7年3月：この時期に採水した試料については、分析に失敗したので資料がない。

4 7年6月上旬(第3図)：上下混合期から成層期に移る段階にあり、表層では横浜沖に濃縮がみられるだけであるが、底層は全般的に ΔV が大きく、分布も他の時期とはやや様子を異にしている。

4 7年7月下旬(第4図)：最も成層が進み、表層では ΔV の増加は殆んどみられず、底層では6月同様に ΔV は大変に大きく、成層によるよどみがよく表われている。とくに横浜沖から下北半島へかけて濃縮が大きくみられる。

(4) 調 査 の 結 論

- (ア) 全般としては、西湾より東湾に ΔV が大きく、東湾でも横浜沖から下北半島の南岸にかけて ΔV が大きく、この地区の水は他に較べても停留しやすいものと思われる。
- (イ) 夏の成層期では、表面層は他期に比較すれば水平的にはやや混合がよく、夏から秋にかけての成層期から混合期への移り変りには、横浜沖から下北半島南岸へかけてのみならず、野辺地湾、夏泊半島西岸にも水の停留がみられるのではないかとと思われる。

Ⅲ 野辺地町地先における染料拡散に関する調査

井 上 直 一
梶 原 昌 弘

(1) は し め に

内湾における海水或いは汚水の混合拡散の度合を知ることは、内湾の多くが重要な水産資源棲息の場合、ないしは栽培漁業の場であることを考える時、極めて重要な問題である。

この混合拡散を支配する要因として、混合されるべき海水や汚水の総量が最も重要であることは云う迄もないが、恒流、潮流、局所的な海浜流系等の海の流れ、またこの流れの支配因子でもある沿岸地形や海底地形、さらに密度成層、波浪、風向風速等数多くの要因を挙げることができる。これらの要因を現象的に要約するならば、広義の意味での海水の流動と、海水の乱れの状態であると云うことができる。

この乱れによる拡散、そしてその度合である渦動拡散係数は、対象とする海域の海洋状態によつて、さらに海域の規模によつても異なる値である。

この報告は野辺地漁業協同組合及び有戸の沖合約 1 キロ附近の海域を対象に行った染料投入による拡散調査の報告書である。

(2) 調 査 の 方 法

測定海域に 100 m の間隔をおいて 2 隻の船をアンカーで固定し、一方これを直交させるようにして 2 枚の標識板を十文字型に配したが、昭和 47 年度の実験に際してはこの中心点に標識板を更に 1 枚追加した。各々の間隔は巻尺によつて測定し、正確を期した。

投入染料としては、濃度 4 % のウラニン水溶液 50 リットルを使用した。この全量を、海の流れに応じて前記標識の中心点よりやや潮上に瞬時に投入した。この染料の拡散状況はアジア航測 KK の模型飛行機（エアラック）によつて 5 分間隔で上空より撮影した。測定日時は次の通りである。

昭和 46 年 10 月 20 日 14 時 04 分～14 時 40 分（有戸）
昭和 46 年 10 月 21 日 14 時 20 分～15 時 03 分（野辺地）
昭和 47 年 10 月 25 日 14 時 28 分～15 時 18 分（有戸）
昭和 47 年 10 月 26 日 10 時 07 分～11 時 30 分（野辺地）
昭和 47 年 10 月 26 日 13 時 59 分～14 時 58 分（野辺地）

(3) 調 査 の 結 果

① 染料拡散状況

撮影フィルムから前記標識間隔を考慮しつつ、縮尺 1/100 になるように印画紙に引き伸ばし、染料雲の面積をプランメーター（面積計）を用いて読みとつた。

昭和 46 年度の測定結果を見ると、染料雲は全体として陸岸に平行に南東に移動しているが、各々の染料雲は陸岸に直交する軸方向に拡散する細長い型となつている。

また昭和 47 年度の測定結果をみても、南西に移動しながら陸岸と平行な西方向に伸びる傾向を示した。

② 拡散係数

実験に際しては染料を瞬時に投入しており、この報告ではいわゆる瞬時点源としてこれを扱うことにする。この瞬時点源による二次元の拡散方程式の解は次のように知られている。

$$C = \frac{Q}{4\pi K t} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{4Kt}\right) \cdots \cdots (1)$$

ここで、 C は任意点における染料の濃度、 Q は投入された染料の全量、 K は渦動拡散係でこの解では x, y 方向に同一としている。染料が肉眼ないしは写真で識別できる限界濃度はほぼ一定であることが知られているから、この識別された染料雲の面積を S とおいてみる。いまこの染料雲が同心円状に拡散するものとするならば、その半径を r としたとき、 $r^2 = x^2 + y^2$ であり、言う迄もなく $S = \pi r^2$ である。そこで(1)式に S を代入して整理すると、

$$S = 4 \pi K t \cdot \ln \frac{Q}{C} \cdot \frac{1}{4 \pi K t} \cdots \cdots (2)$$

となる。自然対数を展開し、各々の単数及び変数のオーダーを考慮すると拡散係数は近似的に次のように表わされる。

$$K \doteq \frac{S}{8 \pi t \left(1 + \frac{1}{3} + \frac{1}{5} + \cdots \right)} \cdots \cdots (3)$$

第1図、第2図は各々昭和46年、47年度の拡散係数を縦軸に、半径 r を横軸にとって図示したものである。これらの図で実線で示したのは、拡散係数(K)が拡散規模、つまり半径(r)の $4/3$ 乗に比例すると考えられていることから $K \sim r^{4/3}$ を示したものである。

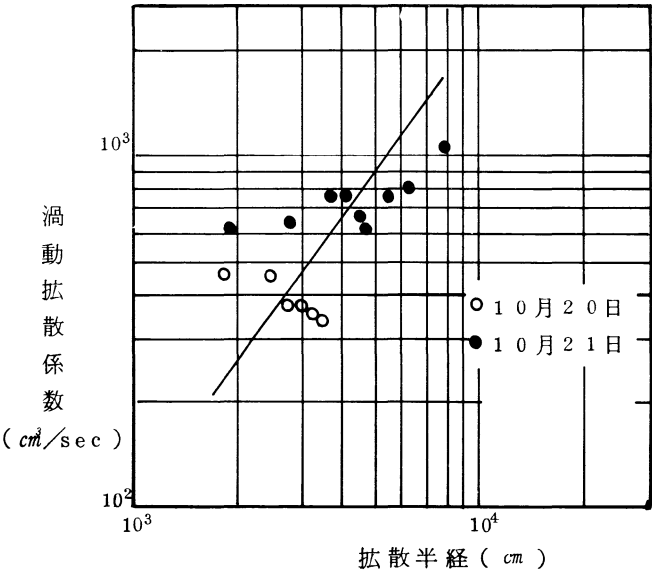
(4) 調 査 結 論

- (ア) 第1図～第5図の染料雲の拡散状況をみると、測定日時によって全般的な染料雲の移動状況やその拡がりに明らかに大きな違いがある。このような違いは主として流れによって生じたものと考えられる。

即ち、野辺地沖の測定では染料雲の長軸方向は風向と殆んど一致していた。これは投入された染料が拡散しながら全体として南東方向の弱い向岸流によって移動するが、同時に風向方向に、即ち南の方向に表層の染料雲が引っ張られていることを示している。海流によって染料雲が移動する場合も含めて、染料の投入点附近では染料雲は海面下に沈降拡散し、風向の先端附近では海面近くにあつて厳密には二次平面ではない。即ち、鉛直的に厚みをもった染料雲が更に斜めに拡散しており、上空から撮影されたフィルムは海面上の投影面としてとらえていることになる。縦って、ここで算出された拡散係数よりも若干大きくなるであろう。

- (イ) 第1図、第2図いずれの測定値でも、拡散係数は半径 r の $4/3$ 乗に比例せず、拡散係数の増加率は減少する。これは内湾の乱れの状態に原因するものであろう。なお内湾でしかもホタテ栽培場であることを考慮して投入染料も比較的少量であり、拡散規模から言えば小規模拡散ではあるが、この野辺地湾での拡散の支配要因としては風による移流を重要視しなければならないだろう。

第 1 図 渦動拡散係数と拡散半径との関係
(昭和 4 6 年度の測定)



第 2 図 渦動拡散係数と拡散半径との関係
(昭和 4 7 年度の測定)

