

海流と沿岸環境

柏 村 正 和

1. まえがき

港湾土木技術者が関心を持つ海象といえば、まず波浪、沿岸流、漂砂などがあげられよう。これに対し、海流とか、沿岸環境とかは、一昔前ほど無関心ではないとしても、やはり自分の専門外という感じを持つのが普通ではないかと思う。しかし、それにもかかわらず港湾技術者には、近年、従来の海岸工学の範疇にないこれらの知識や理解を問われる頻度が多くなってきている。高度経済成長を背景に生まれたおびただしい開発プランが、次第に巨大化して施工されるにおよび、人間や生物の生存にかかわる環境のアンバランスが目立ち始め、公害として告発される事件があい次いで発生したため、いたずらに専門的技術のみを尊しとする風潮がにわかにゆらいで、周囲の環境とのマッチングを重視する思想が急速に成長してきたのである。このような傾向は、科学全般にわたってもふえてきたようで、これは解析（analysis）から総合（synthesis）への思想の転換である。昔の科学は総合の色彩が強かった。例えば一人の科学者が、医者であり、数学者であり、同時に物理学者であるというように、科学の広い分野に視野を向けていた。このことは、科学の諸分野が互いに連繋を持ち、一人の科学者が科学の全体像を明確に認識でき、その調和のとれた発展を監視できる雰囲気があったことを意味する。しかし、科学知識がふえるにつれ、そして産業革命とそれをもたらした機械文明の体験から、人は間口をせまくして専門化した方が、全体の進歩のためには能率的であることを発見する。これは、科学を進める巨大で複雑な機械の中で、一人の人間はその一つの歯車にすぎず、しかも優秀な歯車であればよいということである。かくして、総合から解析へと体質の変化が起こり、科学および工業の急激な発展をもたらしたのである。そして、それと引換えに、全体を見渡しその調和の程度を判定できる人間がいなくなってしまった。このようにして、冒頭に述べたような見直しが現在行われているのである。したがって、従来の技術の範囲外について新しく学ばねばならぬ事態が起きたことは、たまたま時代のはね返りに運悪く当たったから、ではなく、必然的にこうなる宿命だから、なのだと考えなければならない。

本講を記述する意図もこの線に沿ったもので、海流と沿岸環境についての知識は、最近たまたま話題になることが多いから、ではなく、これから必須のものになるから必要なのだということを訴えたい。

2. 大型港湾と海況との関連

従来の海岸工学の対象とする海域は汀線から数百米、遠くても1～2 軒程度であり、海洋学的な視野からすると、海岸に沿う糸のような細い領域である。そのせまい範囲内で、砕波、沿岸流、漂砂、地形変形などが問題にされている。したがって、その沿岸固有の局地的特徴を持つ力学的問題が主役である。例えば、海の流れといっても、そこでは距岸数百米以内の砕波帯に生ずる沿岸流とか、海浜流系が主体で、それは汀線や海底形状および波の性質から特性の定まる、力学的には比較的単純な構造の流れである。しかし、超大型港湾となると様子がかかなり変わってくる。たとえば現在建設中の苫小牧東港は、洋上の港湾区域が、現在の苫小牧港防波堤を含めて並岸22軒、距岸7 軒近くにもおよんでいる。これだけ構造物が海に出ると、対象となる流れは、砕波帯内の沿岸流のようなものよりも、もっと大きい海洋学的な

規模の海流が主体となる。海流は、その成因が多岐にわたっていて、砕波帯内の流れのように波の性質から推測できるような単純なものではない。黒潮とか親潮のように地球的規模で配置されている大海流をはじめとして、風による吹送流、海面傾斜による傾斜流、沿岸地形のもたらす補流、密度不均衡から生ずる密度流、およびそれと地球自転の偏向力とのかね合いから生れる地衡流とか慣性振動流、波による質量輸送流、それに潮汐にもとづく潮流、等々が成分比も区別つかぬままに含まれているのであって、水深方向にも流向流速が常に変化しているような複雑な流れである。したがって、このような流れを長期間にわたってめんみつに測定自記し得たとしても、その資料から何を読み取るかということとはきわめて難しい。この種の観測資料に対し従来よく用いられた方法、しかも安易に用いられた方法は潮流調和解析法である。内海や内湾、またはそれに通ずる海峡や水道では潮流の卓越するところが多いので、この方法が有効なことは多くの実例がある。しかし、外洋に面した測点では先に述べたように潮流以外の成分が多いために、有効でないことが多く、たとえ、あえてこの方法によって解析したとしても、潮流楕円の流速の振幅が小さく、これに対し恒流成分は逆に大きく、しかも、恒流が日によってきわめて不規則に変化し、とても恒流といえぬような結果をもたらすことになる。これの正しい解析法はまだ確立されてはいないが、今後かなり実現の可能性のあるやり方は、流れのスペクトル解析から、それに含まれる主要な長周期変動成分を選び出し、その原因を探究して明らかにした上、潮流と同様に変動の構成成分として扱うやり方である。ただし、このようにして解析した結果が港湾や海岸に何を与えるかというと、せいぜい季節的な海流の主方向や速さの資料になることとか、時には海洋汚染の推測に必要な水平拡散係数の割り出しに利用する、という程度が現時点での考え方であろう。たしかに、海流そのものが、波浪や漂砂のように、海岸侵食をもたらしたり、構造物を破壊したりすることはまずないから、あまり関心を持たれないのも無理のないことである。

しかし、すでに述べたように、今後の大型港湾の建設、管理にたずさわる技術者は、この辺の考え方にとどまることはもう許されなくなろう。人工衛星の撮った写真にも、地球をいじくったという表現が誇張でないほど大きく海中に防波堤が突出している写真を見ると、周辺の沿岸に与える環境の変化が懸念されてくる。人々のこのような懸念に対し、港湾技術者は、その環境の根底に横たわる自然を把握した上で、適確な見通しをもって環境変化の程度とか内容について説明し得るものでなければならぬ。しかし、かく一口にいうのは容易であるが、実際は、学問としてやっと歩き始めたばかりの環境科学に関する基礎から応用までの多方面にわたる龐大な知識をもって、現地の状況を判断し、把握していかなければならぬ問題なので生易しいものではない。だが、だからといって茫然自失してはならず、少しでもその方向に向かって動き出さなければいけないだろう。そして、そのとき真先によく見つめなければならないものは何かといえば、それは海流である。前に述べた海流の流向、流速のような力学量だけではなく、水温とか塩分のような物理量とか、溶存物質などの化学量、あるいは生存生物の指標種、卓越種等々について知ること、つまり、海流そのもののあらゆる性質を知ることが最も基本となる重要なことである。

海流は沿岸環境を左右する最大の因子である。まず沿岸の気候に大きな影響を与える。海に面した地方は一年の寒暖の差が小さく、住みやすい。海水の巨大な熱容量がその原因である。暖流に面する海岸は冬も暖かい。寒流では逆である。北海道日本海側には結氷する港は一つもないのに、オホーツク海沿岸、道東太平洋岸は結氷する港は至所にある。これは暖かい対馬暖流に対し、東カラフト海流や親潮が一年を平均して5～6℃も低温であることによる。季節により、暖流と寒流が交代して沿岸を占める所もあ

る。そこでは寒流に代わった途端に寒波の来襲を受けることになる。北海道日高胆振の海岸が好例である。海上の霧の発生も海流の性質に深く関連している。船舶の安全航行の上で看過できぬ現象で、港湾管理の立場からも理解しておく必要があろう。海流の性質に応じて、生息する海洋生物が異なる。プランクトンのあるものは海流の指標種として利用される。いいかえるとどの海流にも固有の種が生息するというのである。これらを食餌とする魚類も海流によって固有種がある。海洋生物の生態は強く海流に依存している。とくに沿岸海域は陸水の流出、解氷などにより海水がうすまり、沿岸水帯が形成され、その沿岸独特の水質が現われる。そしてその水質に適合した生物が生息する。

このように、沿岸環境を支配する多くの因子が海流に関係している。したがって、このような問題を扱う際の第一が、あらゆる角度から見た海流の性質を知ることであり、ついで種々の環境因子との間の関係について調査しておくことである。このような知識が確立されていれば、港湾の建設、管理にかかわって起こる環境面の多くの問題に正しい評価を与えることが可能になる。

以上の見方に立ち、苫小牧東港において毎年行っている諸調査の結果から、とくに海流に関する資料を解析して、そのいくつかの特性、ならびに沿岸環境との関連を明らかにした経験とその内容を紹介し、参考に供したい。

3. 当面する港湾海域を占める海流の一般的知識

自分の受け持つ港湾を含む海域には、固有の海流があるので、まずその一般的知識を得ておかなければならない。海洋学の教科書¹⁾をはじめとして、事典²⁾、叢書³⁾、などを活用するとよい。勿論、海洋学に関する論文をくわしく調べていけばこれに越したことはない。

例えば、苫小牧東港に直接関与する海流は、親潮と呼ばれている千島海流と津軽暖流である。また間接的には黒潮すなわち日本海流の影響を受けている。これら三海流の一般的性質のうち、苫小牧沖海域に関連する事項をとりまとめてみるとつぎのようになる。

図-1は、故渡辺博士が示した北日本の海流の夏季型分布図である⁴⁾。苫小牧沖は、対馬暖流の分枝である津軽暖流と、千島列島沿いに南下する、日本の代表的寒流である親潮とが制圧する海域で、次第に判るように一年を周期としてこれらの暖流と寒流が一度ずつ交替する特異な現象をくり返している。この二海流は、さらに、日本列島東を北上する黒潮の影響を受けて季節的に変動している。黒潮自身は北海道に接岸することはないが、その勢力の盛衰は、間接的に親潮や津軽暖流の盛衰を支配している。これら三つの海流の一般的な特性につき、先に示した文献および北大水産学部の諸研究⁵⁾、北海道区水産研究所の研究⁶⁾などをもとにしてとりまとめたものをまず述べてみる。

(1) 黒 潮

黒潮は、日本近海における最大の海流で、世界でこれに匹敵するのは、北米南東岸沿いの湾流(Gulf Stream)だけである。フィリピン、台湾東方に発し、大陸

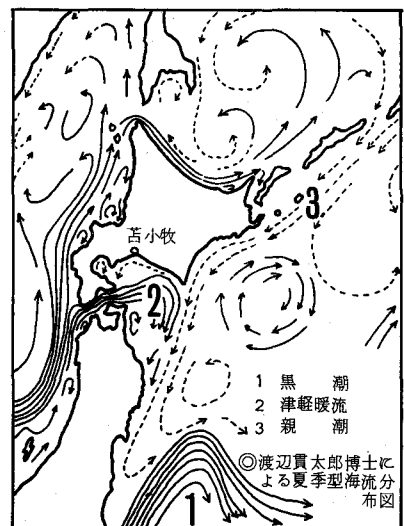


図-1 北日本の夏季型海流模式図⁴⁾

棚外縁沿いに北上し、土喝喇列島を通して、一部対馬海峡から日本海に入り対馬暖流となるが、主流は日本列島東岸に沿って北上し、流速3～5ノット、幅約30海里（55.6軒）の細いベルト状をなし、蛇行を伴ない、時には本土に異常接近したり離れたりする。関東地方東岸沖附近から陸岸を離れ、幅を増し流速を減じ、北東に向きを変えてやがて北太平洋海流に移行する。本土を離れる際、一部がちぎれて強い渦を三陸沖に残したり、分派を作ったりするが、これらは黒潮続流と称する。カツオ、マグロなど暖水性魚族が東北海区北部まで回遊してくるのは、黒潮続流の分派が北上するためで、三陸沖が有利な漁場であるのは、黒潮と親潮の潮境にあつて、両水系の魚群が密集するからである。黒潮は暖流なので冬季でも表層の水温20℃、塩分34.8‰と高く、夏季の水温30℃近くにも達するが、逆に塩分は34‰以下になる。黒潮自体が北海道に達することはないが、その勢力の消長は、親潮や津軽暖流の勢を助長したり、阻止したりするので、間接的には苫小牧沖の海流の動向に強い影響力を持っている。

(2) 親潮（千島海流）

親潮は日本近海の代表的寒流で、千島列島の東方海域を列島に沿って南西に向かう。これに、千島列島を抜けてオホーツク海から加わる低温、低鹹の海水があり、混合水が北海道南東岸に沿って三陸沖に南下する。これは親潮接岸分枝と呼ばれ、苫小牧海域を支配する重要なものである。親潮本流は、接岸分枝の東側を0.7～1.3ノットの流速で南西に下る。強流帯の幅は10～15海里であるが、流量からいうと黒潮の1/3乃至1/4程度といわれている。冬季表面水温は1℃前後、夏季でも19℃前後で、黒潮に較べてはるかに低く、また塩分も年間を通じて33.2‰以下で、やはり低い。本流の東には親潮反流が存在し、北海道東方で東に方向を変える。親潮接岸分枝は、三陸沖で黒潮と接し、東方に進路を変えとも、黒潮の下に潜入するともいわれている。しかし、親潮全体としては、北太平洋北部を大きく占める亜寒帯寒流の左旋環流の一部を形成している。親潮接岸分枝は、釧路沖、襟裳岬を洗って南下するが、一部は日高沿岸に沿って苫小牧方向に向かうことがあり、津軽暖流と接すると顕著な潮境を作る。接岸分枝は、千島列島を通過するオホーツク海の冷水をかなり含むため、本流よりもさらに低温低鹹で、2月～3月には0℃以下、塩分32.5‰（塩素量18.0‰）以下になる。釧路沖のあたりに、親潮とは別に三陸沖で黒潮から分離した高温高鹹の右旋環流（図-1参照）が存在することがあり、その時は複雑な海況になる。海流瓶による研究⁷⁾からその漂着径路は図-2と図-3のとおりである。これによると、すでに述べた三陸沖に向かう流れの他に、襟裳岬を迂回して西進し、日高海岸沿いに苫小牧に至る流れのあることが判る。同時に、青森県下北半島や、三陸方面に達するものがあつて、苫小牧沖、襟裳岬以西の海域は親潮接岸分枝の強い影響下にあることが判る。興味深いことに、千島列島の中央部より北側で放流された海流瓶には、日本で拾得されたものがなく、すべて北米沿岸に漂着している。

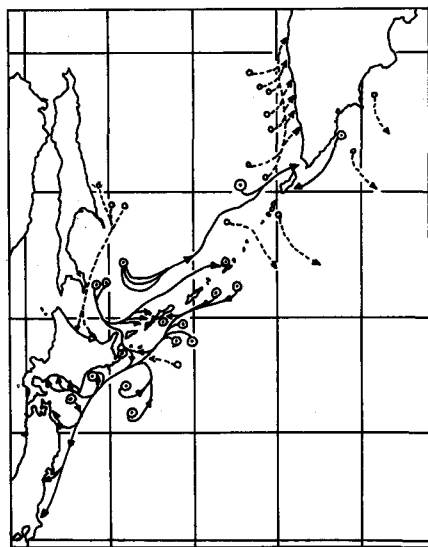
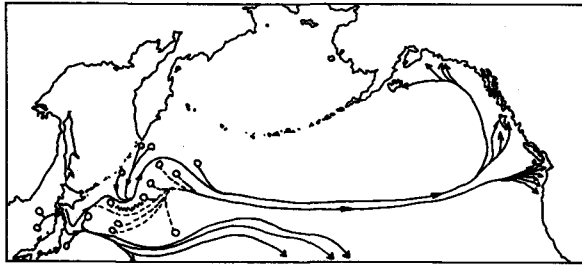


図-2 北日本オホーツク海、太平洋の海流瓶漂着径路⁷⁾



図－3 北太平洋における海流瓶漂着径路⁷⁾

また、接岸分枝に乗った海流瓶は、すべて北海道、東北地方、関東地方の太平洋岸に漂着しており、北米やその他の外国では拾得されていない。このことから、苫小牧沖に深くかかわる親潮、つまり接岸分枝は、オホーツク海から太平洋に抜ける東カラフト海流の成分を多く含んでいることが察せられる。

(3) 津軽暖流

日本海を、本土西海岸に沿って北上する対馬暖流は、津軽海峡にその半分もしくはそれ以上の流量を送りこむ。これが津軽暖流と称されるもので、太平洋に流出している。残りの対馬暖流は日本海をさらに北上して、一部宗谷海峡からオホーツク海へ抜け、残余はカラフト西岸に沿って北上を続けたのち、やがて混合消滅する。津軽暖流の厚さは、約 200 m 程度で、その下に親潮系冷水が入りこんでいる。津軽暖流は、太平洋に出た後、はじめ東進するがその後向きを変え、三陸沿岸に沿って親潮接岸分枝と平行に、そして両者の間に潮境を作りながら南下し、金華山附近に達する。末流は犬吠崎附近にまで至ることがあるという。津軽暖流は、冬でも 7℃ 以上の高温で、盛夏には 22℃ にまで上昇する。流心部の塩分は、年間を通じて 33.9‰ (塩素量 18.75 ‰) 以上である。源流が黒潮であるために水質的には黒潮によく似ており、後述のように T-S ダイアグラム上でそれを確かめることができる。津軽海峡では流れが収束するため早く、7 ノットに達することもある。津軽海峡は、潮差の微小な日本海と潮差の大きい太平洋とを結んでいるので強い潮流が重なっていて、流向流速は時間的にも場所的にも変化しているが、日本海から太平洋へ抜ける恒流が強いいため、潮流の強いときでも太平洋から日本海の方へ通過する流れはない。海峡の潮位は、毎日 2 回の高潮と 2 回の低潮を見るが、潮流は毎日 1 回の東流と 1 回の西流がある。津軽暖流の強さは、毎年 5 月～8 月に強いが年によりかなり変動する。これは黒潮の勢力と関係があり、黒潮が弱いときには、親潮接岸分枝の南下の勢力が強くなり、その吸出し効果によって津軽暖流が強まる、という説がある。また、黒潮前線から分離した暖水塊が三陸近海を占めるときは、それにより遮られて津軽暖流は弱まる、ともいわれている。

津軽海峡の日本海側から放流した海流瓶は、北海道や青森県で回収されたものを除けば、図－3 のように北米海岸に漂着し、黒潮と一体になって北太平洋右旋環流に合同することが示される⁷⁾。これにより津軽暖流は、親潮とは異質で、並んで太平洋を横断しても混合することなく、やがて北米海岸で南北に分れていくことが判る。津軽暖流に乗った海流瓶のうち本土に着くものは季節により一つの傾向がある。北海道沿岸に着くのは 6 月～8 月でとくに 8 月が多く、本州岸は 9 月から翌年 4 月までの冬季に多い。すなわち、6～8 月の夏季は、津軽暖流は北海道側に寄り、9～4 月の冬季は青森県

側に寄る傾向がある。このような傾向には黒潮の影響のあることが察せられる。すなわち、春から夏にかけて黒潮が発達し、勢力の弱い親潮を北へ、せき上げる形になり、それと同時に津軽暖流も北側に押しやられることにより、まず、渡島半島に接岸し、ついで次第に襟裳岬西方海域に両海流による巴型の左旋性水平循環を生じて、日高海岸には襟裳岬の方から津軽暖流が着岸し始めるようである。そして、冬季は黒潮の減退と共に親潮が勢力を増し、三陸に向かうその流れに誘導されて津軽暖流は青森県側に寄る、というパターンを毎年繰返しているものと想定される。

以上、苫小牧沖海域の海流を支配する親潮、津軽暖流、そして深く関連を持つ黒潮の一般的な特性を概観した。このように基礎知識を整理した上で、当該港湾海域で行われる各種の継続調査資料を見直すと、海域を通過する海流の季節的動向を、よりくわしく理解できる。

4. T-Sダイアグラムについて

海流の動向をくわしく知るためには、長期の連続観測の資料が必要である。流向、流速、波浪など力学量の資料も勿論大切であるが、海流の季節的動向を知るのに最も役に立つ量は、水温と塩分であろう。そして、それぞれを独立に調べるよりも、この二つをあわせて一つと考えて扱うのが有効である。つまり、観測点には、水温と塩分を同時に測定できるような測定器械を設置しておくことが望ましい。何故ならば、グラフ用紙上に水温(T)を縦軸に、塩分(S)を横軸にとって測定値をプロットすると、その測点は季節によって様々な場所に移動し、一年経過すると一つの軌跡を画いて元の場所に戻り、その軌跡はその海域に固有の曲線になるのであって、海洋環境が似ていれば近い曲線に、似ていなければ明らかに違う曲線になることが知られていて、古くから、海洋の水塊区分をする時に用いられているからである。このグラフを、T-Sダイアグラムと呼んでいる。たとえば、図-4に日本近海における代表的な水塊のT-Sダイアグラムを示す。右の方の、縦に伸びた特性線を示すのは、黒潮、日本海対馬暖

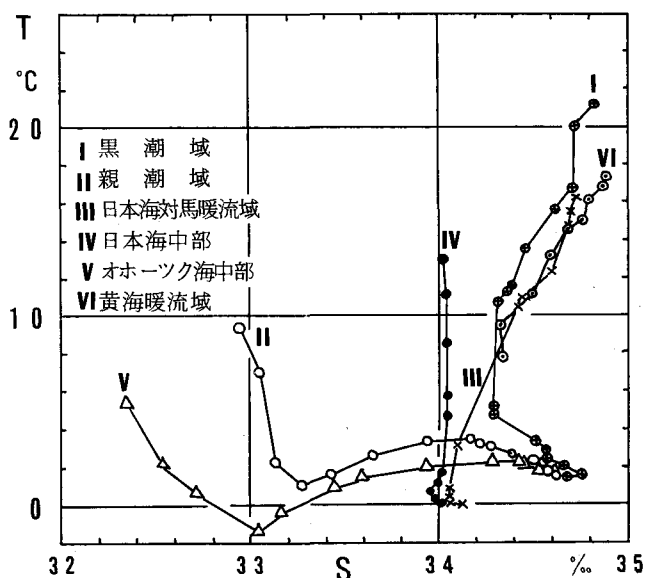


図-4 日本近海の代表的海流のT-Sダイアグラム²⁾

流域、日本海中部、黄海暖流域のもので、いずれも黒潮または黒潮から派生した暖流水塊なので比較的似ている。これに対し左方に水平に伸びて変化しているのは、親潮、オホーツク中部の寒流水塊で、両者同志は比較的似ているが、先の暖流の特性群とは全く異なった曲線の形態になっている。このように海域には海域毎の、もっと厳密に言えば、一つ一つの測点毎のT-S特性線が対応している。同じ海流系でも陸岸に近い所では、陸水の影響を受けて塩分の値が下ると同時に、浅いため日射による温度上昇があつて、沖とは少しずれた特性線が得られようし、また、苫小牧のように寒流と暖流の影響を受けている所では、両者の特性の混ざった独特な曲線になろうから、時期によりどちらの系に属しているか判定するのに、この特性線の性質から糸口がつかめるであろう。

海流の性質を特性づける量は、他にも海水中の微量元素とか溶存酸素の量、あるいはプランクトンの種など、いくつか挙げることができるが、基本的なものとしては上記の水温-塩分特性が第一であり、水塊分析の常套手段として広く用いられている。したがって、苫小牧の実測から、T-S測定結果を出し、それをもとに海況の診断をした例を示したい。

苫小牧東港港湾区域の海上で行われている各種調査のうち、毎月1回水質調査が浮游生物調査と平行して継続されており、水温Tと塩分Sの測定が含まれている。そのうち昭和53年の分を取りあげて話題とする。図-5は調査地点で32点におよんでいるが、測定海域は並岸12軒、距岸7軒の範囲内にある。

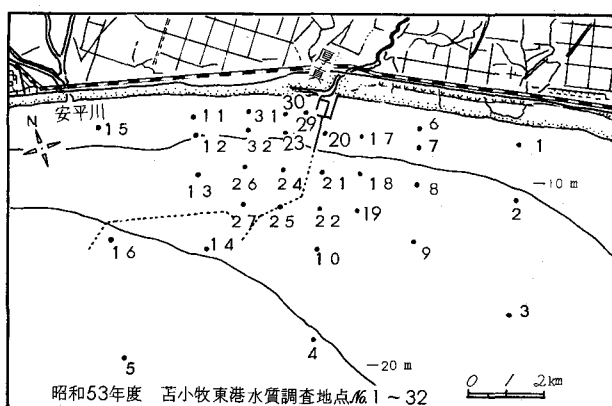


図-5 苫小牧東港沖調査地点図

各測定点の測定値のうち、深度10米と、表層の水温Tと塩分Sの値を取り出し、2枚のT-Sダイアグラムを作成した。それが図-6と図-7である。どちらの図にも、図-4に示した日本近海の代表的海流のT-S特性を、参考のために、実線をもって記入しておいた。苫小牧沖はすでに述べたとおり、親潮接岸分枝と津軽暖流とに支配される海域であり、前者は親潮およびオホーツク海中部水に、後者は黒潮および対馬暖流水に類似のT-S特性を示すであろう。まず図-6、深度10米の図をみると、一つの黒点は32測定点のうちの一つに対応するので、各月の測点群は32個からなる。もっとも値が重なって識別できない点も含まれる。1カ月に1度の測定なので各月間がかなり離れている部分もあるが、1年を周期として時計廻りに1巡していることがわかる。この循環特性は、同図の代表的海流のどれにもない珍しい型で、実はこのようなループを持つ特性こそ、暖流と寒流が季節により交替する特異な海域であることを示す重要な点である。そのほか、各月の測点群内の点のばらつきが春から夏にかけて著しいことに

も注意を払う必要がある。同じ月の中で測点がばらつくのは、同じ日時の観測にもかかわらず、測定位置により水温にも、塩分にもかなり値の分散があることを示し、これは陸水の影響によるものである。測定海域は陸岸に近接しているため、たえず陸水の流出あるいは融氷水の混入などによって塩分が希釈され、いわゆる沿岸水帯の形成される場所である。沿岸水は、その物理的な性質からわかるように、鉛直方向では表層ほど、また水平的には岸近くほど塩分がうすい。したがって、塩分がうすく且つ測点が非常にばらつくことは沿岸水の発達がかんて、広く沖にまでひろがっていることを意味している。4月から9月頃までは、解氷出水期、集中豪雨を含む雨量の多い時期をすべて含んでいるので、沿岸水帯が発達することは首肯できることである。反対に冬季は降水量があっても陸上は結氷渇水期であるため海への流出は少なく、沿岸水の発達は悪いのでそれだけ測点群のばらつきが減るのである。また沖の海流の水質がそのまま最も岸近くまでに及ぶ時期でもある。以上のことを念頭におきつつ図を見ると、各月の海流系が津軽暖流系か親潮系かを判断することができる。まず、1月、2月、3月は親潮接岸分枝が占めていることは間違いない。そしてこの月の順に低温、低鹹になっていくのは、この時期のオホーツク海冷水、つまり東カラフト海流の発達による寒冷水の混合によるものであろう。4月になると、北海道沿岸は前記のように解氷出水期

に入るため、塩分の低下がおこる。そして陸水出水最盛期の5月は、気温上昇と陸水による沿岸水帯の形成がかんになり、図の左上方へ点群が移動し、沿岸水の特徴である点群のばらつきがさらに大きくなる。融雪出水期をすぎると、若干塩分が回復して高くなる傾向が見られる。しかし、8月までの時期は諸河川の降水流出が続き、沿岸水帯は持続しているようである。ただし、自然の昇温により点群が次第に上方へ伸びていくが、この図だけでは、何時津軽暖流水に変わり始めるのか判断するのは難しい。この判定は、後に述べる浮游生物種の調査結果を見るときはつきりする。9月になると、点群は、暖流特性線の延長上に集まってきて、津軽暖流に変わっていることがよくわかる。10月、11月、12月と、降温により点群は次第に降下するが、暖流特性線に沿っているので、津軽暖流水が続いていると判断できる。ただ冬季でも陸水の影響は、陸岸に近いために避けられず、暖流の代表的特性線から若干塩分のうすい方に点

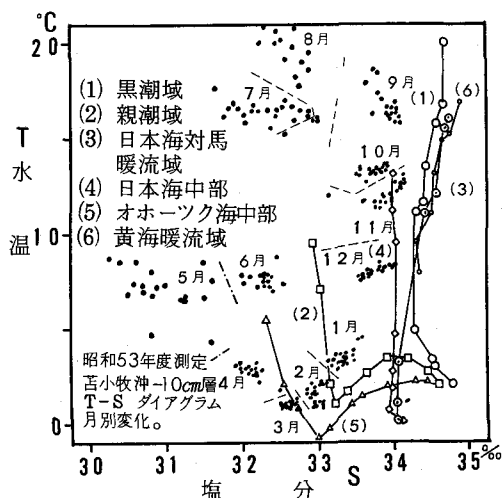


図-6 苫小牧東港沖海域、深度10米のT-Sダイアグラム

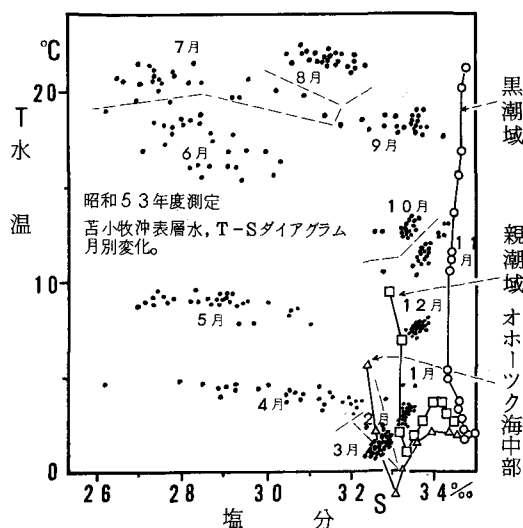


図-7 苫小牧東港沖海域、表層のT-Sダイアグラム

群はずれ続けている。12月と1月の間には、大幅の水温、塩分の低下があり、1月の測点群は寒流特性線に沿った位置に移り、この間に、かなり急激に、津軽暖流から親潮接岸分枝に交替したことが知られる。一方、図-7の表層の場合を見ると、大体の傾向は深度10米における図-6と同じである。極端な違いは、点群が、はるかに低い塩分の方へ寄っていることと、点のばらつきがもっと著しいことである。これは、先に述べたように、表層に近いほど沿岸水の影響を強く受けているためと解釈できる。このことから大事なことが指摘される。すなわち、海況を知るために設置する測器の位置は、沿岸では、1点では勿論のこと、2～3点でも少く、全体の傾向を知るためには、できるだけ多く、そしてできるだけ広範囲に配置すべきことである。沖の海流のみをとらえるのであれば、できるだけ陸岸から遠く、また深いほど沿岸水の影響が避けられる。苫小牧の海流については、北海道公害防止研究所が行った測定があり⁸⁾、それは深度60米で行われたものである。T-Sダイアグラムの傾向はほとんど変りないが、5月から7月までの時期の塩分低下が顕著でなく、陸水の影響はほとんど見られない。また、7月に、早くも塩分増加の兆しが現われ、8月には完全に暖流水に交替している。これは昭和51年の測定なので、年度による違いも想像されるが、沖の深い所ほど早く海流変化が到来するようである。

以上のように、水温と塩分の測定が水塊区分にいかにより有効な手段であるか、そして沿岸の測定でも、沖の海流を知るのに十分役立っていることなどを理解いただけることと思う。しかし、T-Sダイアグラムは万能ではない。4月～8月の水質変遷が、陸水だけによるのか、自然昇温によるのか、津軽暖流の到来によるのか、決め難い点があった。また、水温、塩分以外の栄養塩などの溶存量とか、海洋生物などについての情報は、少しも得られていない。つぎの節で、浮游生物調査の結果を紹介して、新たに得られる知識や、T-Sダイアグラムだけでは不足だった海流についての情報を、これが、どのようにして補い得るか示したい。

5. プランクトン生息種の調査について

海流の水塊分析の一手段として、プランクトン、すなわち浮游生物のある種のものは、水塊の指標種の役割りを果たしている。浮游生物の生息場所は、その栄養塩類、塩素量、透明度、水温、深度、その他の物理的、化学的なさまざまな要素を総合した水質環境に応じて決まり、それに適した種が生息するものである。したがって、古くから浮游生物の種を調べて、その海流の系統や性質、あるいはそれらを食餌とする魚群の探査に利用されていた。前節に述べたようなT-Sダイアグラムによる水塊分析の際にも、有力な裏付けや補助の方法になるものである。もし、調査の対象が海中生物や海洋の生物環境、あるいは化学的水質などにあるときには、これは欠くことのできない方法である。沿岸は沿岸水、陸上からの廃水、浅いための日射の影響によって、沖の外洋水とは異なった水質環境ができるので、沖と沿岸では、たとえ海流系は同じでも異なる種が見出されることも知られている。その意味では先に述べたT-S法よりも、もっと、きめの細かい分析手段といえないこともない。このような意味で、大型港湾の建設に伴う環境監視のためには、水質の化学的分析とともに忘れることのできない観測項目である。

苫小牧東港では、海洋生物生態調査の一環として浮游生物調査を行っている。そのうち昭和53年の調査資料を用いて、とくにT-Sダイアグラムによる海流水塊分析に関連する問題の考察を行うことにする。

調査は昭和53年8月より54年7月まで毎月1回、図-5のT-S解析のデータを得た観測点のうち、8点で行われた。浮游生物の採集は北原式定量ネットと北太平洋標準ネットとにより、いずれも海底か

ら水面まで垂直に曳網した。参考までに述べると、これと同時に、先に述べた水温、塩分のほかに、透明度、総窒素、総磷、クロロフィルaなどの測定が行われている。

元北海道大学水産学部教授、川村輝良氏が、これらのとりまとめを行っているが⁹⁾、そのうちの一つを表-1として示す。浮游生物を、植物性、原生動物性、動物性に分類し、おびたしい多くの種の中から、

表-1 苫小牧海域のプランクトン卓越種

1978 ~ 1979		
	植物性	動物性
August:	<u>Chaetoceros didymus</u> <u>Coscinodiscus radiatus</u> <u>Chaetoceros affinis</u> <u>Chaetoceros lorenzianus</u>	<u>Ceratium macroceros</u> <u>Ceratium tripos</u> <u>Oithona similis</u> <u>Evadne tergestina</u>
September:	<u>Skeletonema costatum</u> <u>Thalassionema nitzschioides</u>	(<u>Ceratium macroceros</u>) (<u>Distephanus speculum</u>) <u>Paracalanus purvus</u> <u>Podon leuchari</u>
October:	<u>Skeletonema costatum</u> <u>Thalassionema nitzschioides</u> <u>Nitzshia seriata</u>	(<u>Ceratium arietium</u>) (<u>Ceratium sumatranum</u>) (<u>Distephanus speculum</u>) <u>Acartia clausi</u> <u>Paracalanus parvus</u> *
November:	<u>Asterionella japonica</u>	<u>Distephanus speculum</u> <u>Acartia clausi</u>
December:	<u>Skeletonema costatum</u> <u>Chaetoceros decipiens</u> <u>Chaetoceros debilis</u>	<u>Distephanus speculum</u> <u>Acartia clausi</u>
1979	<u>Thalassiosira nordenskiöldi</u>	<u>Pseudocalanus elongatus</u>
January:	<u>Thalassiosira pacifica</u> <u>Chaetoceros decipiens</u> <u>Chaetoceros debilis</u>	<u>Theragra chalcogramma</u>
February:	<u>Thalassiosira nordenskiöldi</u> <u>Thalassiosira pacifica</u>	<u>Parafavella denticulata</u> ** <u>Pseudocalanus elongatus</u>
March:	<u>Chaetoceros socialis</u> <u>Thalassiosira nordenskiöldi</u>	(<u>Pseudocalanus elongatus</u>) (<u>Acartia longiremis</u>)
April:	<u>Chaetoceros radicans</u>	<u>Tintinnopsis japonica</u> (<u>Acartia longiremis</u>)
May:	<u>Chaetoceros radicans</u>	<u>Dinobryon cylindricum</u> <u>Ceratium longipes</u> <u>Acartia longiremis</u>
June:	<u>Chaetoceros radicans</u>	<u>Dinobryon cylindricum</u> <u>Ceratium longipes</u> <u>Acartia longiremis</u>
July:	<u>Chaetoceros radicans</u> <u>Chaetoceros danicus</u>	<u>Dinobryon cylindricum</u> (<u>Ceratium longipes</u>) (<u>Pseudocalanus elongatus</u>)
(備考) ===== 暖水種。 (...)は卓越種でない * この種の終を以て、夏型の		
----- 冷水種。 ことを示す。 終とされている。		
----- 湖沼種 (淡水種) **典型的な北洋種である。		

卓越種を抽出して、採集した月と対比させてある。二重破線のアンダーラインが暖水種、一重実線が冷水種として知られているもので、一重破線は、本来、海にいない淡水種であることを示している。すべての種をもれなく表にすることは労のみ多くあまり有効でない。例えば、53年11月から54年7月までの9カ月の集計によると、北原式による採集プランクトンは植物性86種、原生動物58種、動物103種で、北太平洋標準ネットによる動物プランクトンは108種にもおよんでいるからである。表-1の他に、月別のプランクトン平均種類数の変化、地点別の分布、単位体積中の換算個数、または細胞数の変化や分布などの取りまとめもなされている。とくに、植物性や動物性のプランクトンが月毎に盛衰をくり返す

状況は海流の水質や気候、あるいは海流そのものの交替の影響、さらに、他の水中生物との食物連鎖の関連から見ると、一つの壮大なドラマとして映る迫力を持っている。しかし、これについては、筆者自身まだ解析の及ばない深い未知の部分が多いので今回は触れないことにするが、近い将来、海洋環境の立場からぜひとも解明しなければならないものである。

表-1に戻り暫く考察してみる。暖水種が8月から現われ始め、12月まで続き、その最盛期は植物プランクトンの種類数や現存量から判断して10月と考えられる。1月になると暖水種は忽然と消え、代りに冷水種が現われる。これは7月まで続いているが、冷水種の代表的なものが多く現われる3月が最盛期と判断される。以上から容易に想像されるように、8月から苦小牧沖は津軽暖流系水が占め始め、12月まで継続し、1月になると親潮接岸分枝がこれと交替して、7月まで苦小牧沖を占めていることが判る。陸上の気候に較べると、約3カ月、海中の季節はおくれている形になっている。この結果が、前節のT-Sダイアグラムから得た海流の季節的変遷像ときわめてよく一致していることは納得できよう。T-Sダイアグラムから見た8月から12月は、津軽暖流系水の出現時期であった。浮游生物暖水種の出現時期と完全に一致している。とくに生物の最盛期である10月は、T-S図上では暖流系特性の中央に位置する時期で、海中の真夏に相当するという生物から見た指摘は首肯できる。また、T-Sダイアグラムから判断される1月～4月の親潮接岸分枝の全盛時も、生物は冷水種の出現時期で、とくに3月はT-S図からみても、冬型の最盛期であることが納得される。特筆されることは、冷水種が7月まで持続し、その間、暖水種は一つも現われていないことである。T-S図の判定から、4月以降7月までは変質水であることを述べたが、このような7月までの冷水種の持続は、この変質水が、水塊自体は親潮接岸分枝であって、それが陸水の混入と自然昇温によって変質したものであり、まだ津軽暖流の影響を受けていないことを証明している。このことは、T-S図で判断の難しかった点を浮游生物調査が補ったことを意味するし、また両者からの結論がほとんど完全な一致を見たことは、それだけこの結論の信憑性が相乗的に高いことを証明するものである。この意味をも含めて、種々の調査結果の多角的な検討が重要であるし、また積極的に進める必要のあることだと思ふのである。

6. 海流のおよぼす沿岸環境への影響

これまで述べたことは、沿岸で行う長期観測のうち、従来よく行われていた流れの流向流速とか、波向波高のような力学量以外に、海流に附随する物理量としての水温、塩分、あるいは生物量としてのプランクトン卓越種などから、海流そのものの持つ特性を割り出そうとするものであった。これにより、親潮とか津軽暖流が、どのように苦小牧沖海域にかかわっているか、かなり明瞭な実体像が浮き上ったという事例を紹介した。勿論これらの他に、海流の性質を多角的に知るための分析には、多くのものが考えられる。前にも若干触れたプランクトンの月別現存量の変遷から、食物連鎖を通じての魚貝類生産の動向を追うのは、単に水産業からの視点にとどまらず、人間に深くかかわる海洋生産の機構を明らかにし、それを正しく利用することにより直接人類に貢献するばかりでなく、今日多くの問題を提起し続ける陸上の営みの海洋環境への影響の評価に、最も基礎となる直接の資料を提供することになろう。このような生物面ばかりでなく、化学的に見た水質の動向も、勝るとも劣らぬ重要な内容を豊富に含んでいる。これはまた、定量化するには、生物調査よりも便利な点を多々持っており、物理、生物、化学の三つの方法を総合した観測は今後必須の観測法になって固定していくものと思われる。

このようにして明らかにされた海流の性質は、どのように環境に関連を持っているか、これは、一口

にいけないほど多くのものを含んでいる。まず第一に、その沿岸の気候、気象を左右するほどの影響力を持っていることである。気温、風、湿度などの気象因子から、日々の天候に至るまで、沿岸地方では海を抜きにした議論は考えられない。これらは一港湾の関心事を超越した事象であるが、中には港湾にとってとくに重要なものもある。例えば、海霧はその一つであろう。霧は陸上では、日照時間の減少と日中の気温低下につながるので、農業上支障のある自然現象であるが、海上では船舶の安全上きわめて大きな環境因子である。とくに、レーダーを装備しない小型船舶の出入港、海上航行の重大な障害になっている。実は、海霧は海流系の配置の状況と密接な関係を持っているのであり、港湾管理者として、その発生機構を知っておくことは大事なことと思うし、季節による海流系の配置が察知されれば、海霧発生予報を下すことも不可能ではない。

霧の発生原因は大別して二つあり、一つは接触冷却、輻射冷却、断熱冷却のような空気に対する冷却作用で起るもの、他の一つは、未飽和の空気に、それより高温の水からの蒸発があつて、その空気が飽和に達して発生するものである。前者を冷却霧、後者を蒸発霧というが、海霧は前者に属し、例えば暖水塊の上を吹送することにより湿潤になった空気が、寒冷な海域へ移流してくると、下層が海面による接触冷却の作用を受け発生する。この型の海霧は移流霧と呼ばれ、海霧のほとんどがこれである。別のものとしては、寒温両気団の接触前線で蒸発霧を生ずることがあり、これが海上であればやはり海霧になる。これは前線霧とも呼ばれている。前者の移流霧はその発生機構から考えて、一般に気温が海水温より高くなる春から夏にかけて起る。とくに、寒流、暖流が相接するような海域では、暖流の上を通過した空気が寒流系上に来るときによく発生する。例えば、千島、オホーツク海沿岸、北海道東の太平洋沿岸は世界一の海霧多発海域として知られている。これは親潮という強力な寒流の支配下にある海域であるため、黒潮の発達する初夏に、黒潮前線、黒潮続流などを渡ってきた湿潤な南の風が、親潮に接触して冷却され生ずるものである。苫小牧沖の場合は、道東地方ほどではないが、初夏に寒暖両海流が道東と似た配置になり、やはり霧の頻発する海域である。すなわち、初夏は沿岸近くに親潮接岸分枝がまだ根強く残っていて、沖には、津軽暖流が勢を増して迫ってくる時期である。やはり南の風が吹いて海霧を発生し、しばしば船舶の航行に難渋を来している。表-2は、北海道太平洋の霧の発生する平均日数

表-2 北海道太平洋岸における平均霧日数 (1957~1961年)

海 区	地 点	5 月	6 月	7 月	8 月	海霧期間
十 勝 沖	落 石	14	19	26	18	78
	釧 路	12	17	20	14	62
	襟 裳	14	22	25	17	78
日 高 沖	苫小牧	7	12	13	5	36
	室 蘭	7	10	14	5	36
	恵 山	9	12	12	4	37
津軽海峡	函 館	2	4	6	1	12
	竜 飛	5	6	6	1	18

を表にしたもので、「十勝沖海区」と記したのが道東の親潮支配下の海域、「日高沖」が苫小牧を含む海区で、親潮接岸分枝と津軽暖流が一年を周期として一交替するところである。また「津軽海峡」は一

年中津軽暖流の支配下にある海区である。この表から判るように、暖流と寒流が接触する海域に海霧が多発している実情をうかがい知ることができよう。このことから、海流系の季節変動パターンが変化するのに応じ、海霧発生状況も変化することが判る。このあたりの観測資料を集めれば予報も可能になってくると思われる。寒暖両海流系の海上分布を知るのには、近年急速に進歩しつつある人工衛星による熱赤外バンドの画像を利用するのが何よりも有効であり、注目すべき手段として心にとどめるべきものと思う。

以上、海霧を話題例として取り上げたが、海流の沿岸環境への影響例は他にも多い。前にも触れたが陸水の流出による沿岸水の形成は、独特な沿岸環境を形成している。とくに、浅い閉塞性内湾では、この沿岸水に含まれる塩分濃度の値が貝類など底棲生物の生存に微妙に関連している。また陸水中に含まれる陸上の昆虫の死骸や淡水プランクトンなどが、海洋魚類の豊富な餌となり、快適な生息条件を形作っている。したがって、河道切替や、沿岸海洋構造物造成が、これらの環境を破壊することがある。また都市からの生活排水や、産業廃水が、陸水の自然な化学的・生物的組成を乱すために、沿岸水の富栄養化による赤潮発生とか、有害物質の堆積による魚体や間接的に人体への悪影響など、今日社会問題となっている様々の内容のものが起り得る。とくに、公害問題と呼ばれるこの面からの視点は、現在、多くの人々が持っている見方であるが、往々にして、本質の追究なくして目前の応急対策や、責任追究などだけに流れている事例が見られる。このような問題も、漁業者や水産関係者ばかりでなく、海に向いて仕事をしている港湾技術者などが、常々、目の前の海流そのものの多角的な特性を正しく心得ていれば、事前に察知し得るものが多いのではないかと思う。

7. あとがき

港湾工学は、従来、海の力学的側面ばかりを見てきた。直接的には、それが最も重要なことであつた。しかし、港湾が大型化すると、単に船の出入、碇泊、繋船という力学連鎖の事象にとどまらず、人間の多方面の生活環境までが関連してきて、これを無視して通れないようになった。関連する内容は多岐にわたるが、一口にいえば沿岸環境である。そしてそれは、海流と不離不即の関係にある。海流をよく知ること、単に力学面ばかりでなく、物理的性質、化学的性質、生物学的性質をよく知ることが大事である。そして海流と沿岸環境との関係をよく考察して知っておくことが肝要である。港ごとに、目の前の海の性質は千変万化である。それを調べるには、その人が、そこで調べるより仕方がない。大雑把なことは教科書が教えてくれるが、その土地の海流と沿岸環境の精緻な関係は、何よりもそこで測ることである。

このような見方に立ち、筆者が体験した苦小牧における諸事象と、その考察の過程を記した。この種の問題は、経験が第一である。筆者自身、まだまだ経験不足であるが、このような事象の捉え方の重要性を痛感するあまり、筆を運んできた。多くの方々の関心を集ることを願う次第である。

以 上

文 献

- 1) 例えば、海洋学講座（全15巻）、東京大学出版会、海洋科学基礎講座（全12巻）、東海大学出版会、など。
- 2) 海洋の事典、和達清夫監修、東京堂。
- 3) 海洋物理学研究（全5冊）、海洋科学別冊、海洋出版株式会社。

- 4) 渡辺貫太郎：北海道周辺の海況および気象の特色，沿岸海洋研究ノート，第3巻，第2号，1964。
- 5) 大谷清隆ほか：噴火湾の海況変動の研究，Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ，Ⅳ，北海道大学水産学部研究彙報，第20巻，第4号，第22巻，第1，2，3号，1970，1971，他多数。
- 6) 駒木成：浅海漁場開発と外海条件，水工学シリーズ75-B-5，土木学会水理委員会，1975。
- 7) 秦克己：北太平洋における海流瓶の投入結果について，日本海洋学会誌，第19巻，第1号，1963。
- 8) 安藤和夫・斉藤修・有末二郎・柴田敏三：苫小牧海域の海況について，北海道公害防止研究所報，第4号，1977。
- 9) 川村輝良：昭和53年11月～昭和54年7月におけるプランクトン調査結果のまとめ，昭和54年度苫小牧港湾環境調査報告書，委員会検討資料，苫小牧港湾環境調査委員会，1980，3月，および
柏村正和・川村輝良・上園晃：大型港湾建設にともなう海洋生物環境評価の一手法，第27回海岸工学講演会論文集，pp. 532～536，1980。
- 10) 唐津進・増沢昇・沢田昭夫・斉藤実・荒川正一・孫野長治：北海道太平洋岸の霧，気象研究ノート，第14巻，第1号，1965。