

1. 日本海, オホーツク海沿岸の海洋構造と生産力

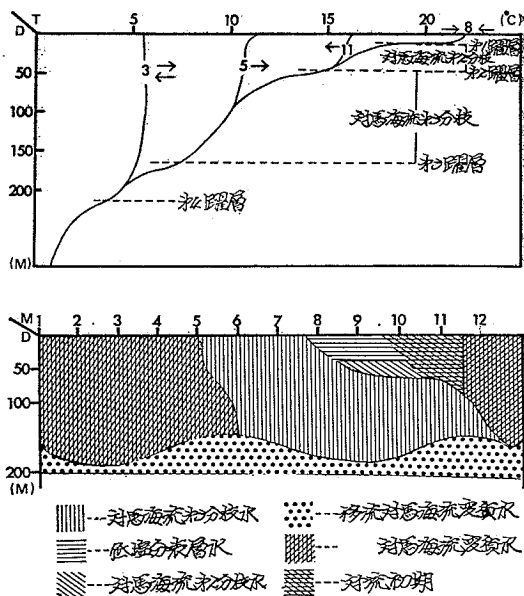
藤井 浄・佐藤 芳和 (北海道区水産研究所)

海洋構造のもつ生産力の評価についての筆者等の考えは、コンブ、ワカメなど海藻の肥培管理的考えから出発しており、北海道周辺の浅海、内湾域の栄養塩現存量を測定している中で出てきた肥沃度思想を、食物連鎖における栄養段階の一過程として捉え、無機三態窒素を指標として4つの肥料補給基本型を想定し、この想定を窓口として、生産力の解明に近づく立場で現在研究を展開している。更に本報告もこの立場でまとめたものである。更に海洋構造に関しては本州沿岸西側を北上し、北海道周辺の沿岸域の約3/4に影響を与える対馬海流について、研究者間でも色々意見のあるところであるが、この点の論議については後日にゆずり、本報告では筆者等の考えている、日本海を北上する対馬海流は三つの異なる系統の水塊によって構成されているという仮説(藤井・茄子川, 1966, 漁業資源研究会議報, 1969)に従って述べる。すなわち、津軽海峡より太平洋に流出し津軽暖流となり、晩春以降道南沿岸に影響を及ぼすのは、5月以降対馬海峡東西口より日本海に流入した対馬海流第1, 第2分枝水系であり、早春以降本道西岸を北上し、宗谷海峡付近で一部を宗谷暖流としてオホーツク海に分枝させ、更に、カラフト西岸へと北上する対馬海流系水は、冬季間日本海南部で変質された対馬海流第3分枝水系である。

とりまとめに当り有益な御助言を戴いた北海道大学水産学部大谷清隆博士、北海道区水産研究所駒木成海洋部長に厚くお礼を申しあげる。

1. 日本海側沿岸域に出現する水系とその季節変化

北海道日本海側の沿岸域に大きな影響を与えるのは、沿岸ぞいに北上する対馬海流第3分枝水系(以下文中では第3分枝と表現する)であるので、そのほぼ中心に位置する石狩湾北西沖の43°-30'N, 140°-00'E点を選び、年間の水温の鉛直分布の状態から水系区分を行なったので、その季節変化を模式的に第1図に示す。第1図上段は水温の鉛直分布の年間の状態を示したものであり、実線は季節毎の水温の鉛直分布を示し、点線は水温躍層を根拠にして水系区分をする場合の典型的な例を示したものである。8月は年間で最も水温の成層が発達する時期であり、上層より第1, 第2, 第3, 第4という具合に躍層が形成される。水温20°C前後にみられる第1躍層より上層は高温、低塩分な表層水が占め、この第1躍層と水温14°C前後にみられる第2躍層の間は対馬海流第

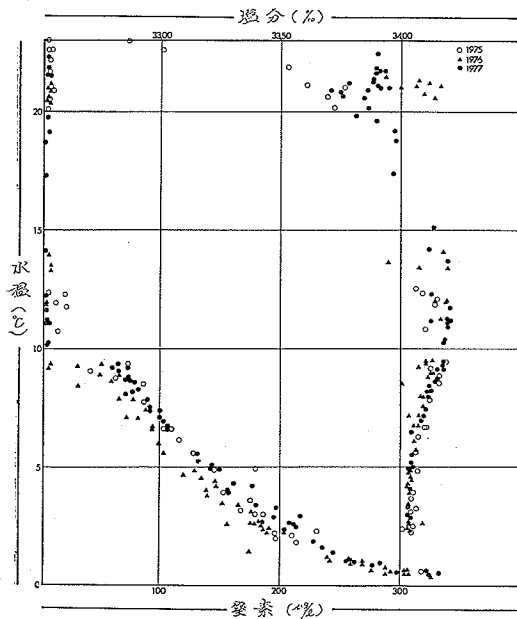


第1図 石狩湾沖の水温鉛直分布模式図(上段)と年間の水系分布の模式図(石狩湾)(下段)

2分枝水(以下文中では第2分枝と表現する)がほぼ50m層付近を中心に薄くみられる。この第2分枝は年変動が大きく、かつ雄冬岬以北には北上しないという特徴がある。この第2躍層と水温7°C前後にみられる第3躍層の間には春以降北上してきた第3分枝水が分布し、第3躍層と水温4°C前後にみられる第4躍層の間は、冬季間の対流混合により変質された暖流変質水が分布し、更に、この下層に日本海固有冷水がある。この安定した層重状態は9月中旬以降表面よりくずれはじめ、11月には対流による混合が50m以深におよび、第1躍層が消滅するとともに第2躍層の位置も深まる。冷却混合が進むにつれ、翌年1月頃には第2躍層は消失し、3月の対流盛期には第3躍層も消失する。しかし、第4躍層は存続し、上層に均質化された変質水、下層に日本海固有冷水という年間最少の成層しかみられない時期になる。この状態は4月以降第3躍層を形成しつつ第3分枝の北上がみられはじめると終りを告げ、7月中、下旬頃には表層水、第2分枝の北上もあって、第1, 第2躍層が形成される。図1下段は前記の手法に従って水系区分した水深を季節毎にプロットし作成した石狩湾沖の水系の層重模

式図であり、北上の主体をなす第3分枝水系は、4月中旬頃より渡島半島以北へ北上しはじめ、5月上旬石狩湾、5月下旬宗谷海峡付近までその先端が北上する。秋季の対流は北方よりはじまり、宗谷海峡付近と渡島半島付近とは2~3旬ていどの遅れの差がみられる。

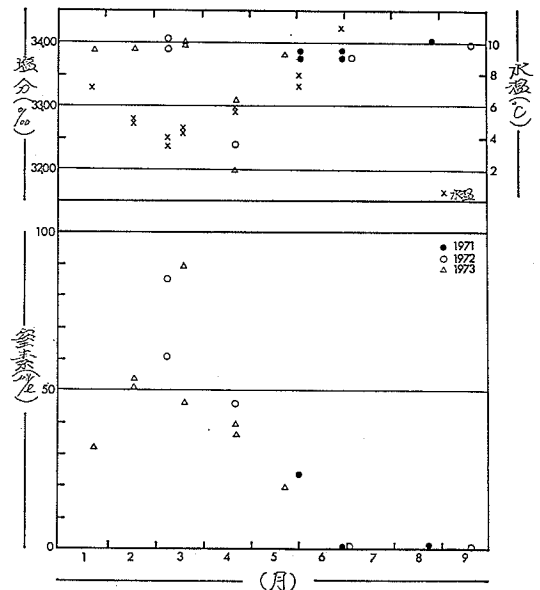
2. 日本海側沿岸域の成層構造と無機三態窒素の関係
海産生物の食物連鎖の中で栄養素として重要な役割をはたす窒素分と水温との関係を第2図に示す。なお、本報



第2図 8月の水温—塩分、水温—窒素関係図

告で窒素量としてとりあつたのはアンモニア態、亜硝酸態、硝酸態の三態の合計量である。第2図は北中央水試か実施した石狩湾周辺の調査から8月下旬の暖流盛期の石狩湾沖の200m等深線より沖合の暖流域について選り出し、1975年から1977年までの3カ年間の値を一緒にまとめ作成したが、水温—塩分関係では2°C以下になると塩分は殆ど変わらず、水温のみが降温するという直線的な関係がみられ、水温—窒素関係と点が重複するので削除してある。水温を水系指標として用いたのは、当海域に出現する水系は季節を追って高温な水系が上層に層重するという特徴がみられ、水温は一義的に水系特性を反映しているものと判断できるからである。第2図の水温—塩分関係から成層状態をまとめると以下のようなものである。表層には高温、低塩分対馬海流表層水があり、年変動はあるが石狩川の河水がみられる年もある。この表層水の直下層には、かなりの年変動を示しつつも水温14°C

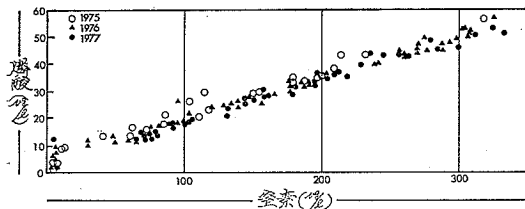
以上、塩分34.0~34.1‰を示して第2分枝水がみられ、更にこの下層には水温7~13°C、塩分34.1~34.2‰を示して第3分枝水、水温4~6°C、塩分34.6‰台を示して変質水、水温4°C以下には日本海固有冷水という具合に層重状態を区分けすることができる。このような各水系の層重状態との対応で水温—窒素関係より窒素量をみると、表層水、河川水、第2分枝水という第2躍層以浅では10μg/l以下と痕跡ていどの消費された状態を示すが、この下層の第3分枝水内に入ると、第2躍層直下の水温10~14°Cを示す部分の痕跡ていどから10μg/l台とやや増量する傾向がみられはじめ、第3躍層直上の水温7~9°Cを示す部分では50~100μg/lと増量する。更に下方の変質水になると110~160μg/lと増加し、日本海固有冷水に入ると150μg/l以上になり、深さが増すにつれ増量し、500m層では330μg/lを示すが窒素の形態はいずれも硝酸型である。また、図は省略するが北上初期に当る6月では、第3分枝は表面まで露出しているが、表面付近はすでに消費がはじまり10μg/l以下と痕跡ていどを示すが、第3分枝としてこの時期の北上の主体をなす水温10°C以下の暖流水と変質水、日本海固有冷水はともに8月と同じていどの窒素水準である。更に、対流初期に当る10月でも、対流層に該当する表層水、第2分枝水では痕跡ていどの状態が持続しているが、対流層以深の第3分枝水、変質水、日本海固有冷水ともに8月と同程度の安定した水準を保つという傾向がみられる。



第3図 増毛沖水深30,50mの窒素、塩分の変化図

冬期間の沖合については殆ど資料がなく、僅かに石狩湾内について吉田・渡辺・土門(1977)、藤井・佐藤(1977)の報告からうかがい知ることができる。ここでは、北水研海洋部が1971~1973年にかけて調査した結果のうちから、冬季間道西岸を広く覆う対馬海流変質水内での変動傾向を示すと考えられる、石狩湾北方の増毛北西沖30m深と50m深の2層を選び第3図に示す。第3図によると11月以降対流の深化とともに窒素量は増加しはじめるが、翌年1月以降は、塩分は33.9~34.0‰と安定し、水温が冷却により単純に降温するという変質過程の中で増加し、水温最低期の3月上、中旬に変質水内で年間最高値がみられる。最高期以降は減量傾向を示し、4月に河川水の影響をうけた低塩分な沿岸水が現れても窒素量に増加がみられず、5月以降は北上してきた第3分枝水の影響下に入るが減量傾向はそのまま持続している。

3. 日本海側沿岸域の無機三態窒素と磷酸態磷の関係
 栄養素として窒素分とともに生物に対し重要な役割をもつ磷酸態磷量(以後文中では磷酸量と表現する)窒素量との間には第4図のような関係が見出される。第4



第4図 8月の窒素-磷酸関係図

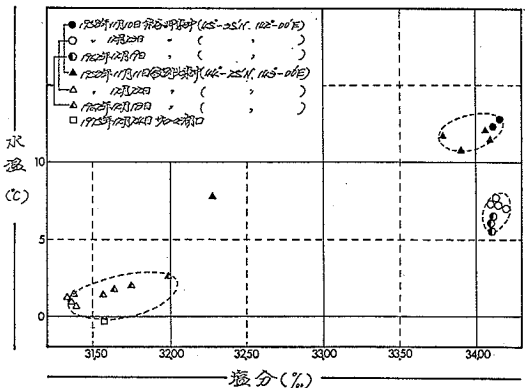
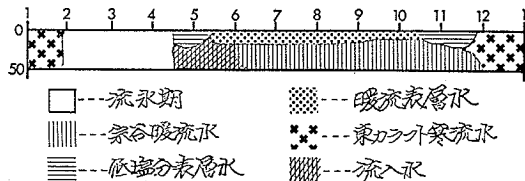
図によると、受光層内に該当する表層水、第2分枝水内では、窒素量、磷酸量ともに10μg/l以下と水準が低く、この直下層にみられる第3分枝の上層水では年変動は激しいが窒素量、磷酸量ともに10μg/l台とやや高くなる傾向がみられているが、磷酸量の方がより強くこの傾向がみられている。更に、この下方の水温10°C以下の第3分枝水になると窒素量50~100μg/lと高くなり、磷酸量にも増加がみられ10~20μg/lを示すようになる。この下層の変質水になると窒素量は110~160μg/l、磷酸量も20μg/l台と増加し、更に、下層の日本海固有冷水になると窒素量150μg/l以上、磷酸量30μg/l以上を示すようになって、500m層付近では窒素量310μg/l、磷酸量58μg/lと両者ともに高水準を示す。表層付近の受光層を除く以深の各水系の窒素量、磷酸量は6月から10月までは若干の年変動はみられるもののほぼ同じ傾向を示して両者に直線的関係が存在する。本道西岸域の冬季間の栄養補給の根源は対流深度内にある深部の各水系

水に依存していることを示しているものと考えられる。

4. オホーツク海側沿岸域に出現する水系とその季節変化

流水が去って開水面になった時期以降の北海道オホーツク海沿岸域に大きな影響を与えるのは、宗谷海峡より高温、高塩分を示してオホーツク海に流入し、沿岸ぞいに南東流する宗谷暖流水系であると杉浦(1957)、若生・小島(1961)、茄子川(1961)等は指摘している。筆者等はこれをさらに北海道西岸を北上する対馬海流第3分枝水系との関連で、6月~11月までは第3分枝水が宗谷海峡西沖で分岐して宗谷暖流として流入し、6月以前の流水盛期から海あけ期では、北海道西岸で生成された変質水が流入すると考え、この流入水を宗谷暖流前駆水と仮称し、6月以降の宗谷暖流と区別している。

オホーツク海沿岸のほぼ中心に位置し、開水面期以降安定して宗谷暖流前駆水、宗谷暖流水の影響をうけると考えられる、紋別北東沖の水深50m点(44-25', 143°-30'E地点)を選び、各水系の出現の推移と晩秋の水温-塩分関係を第5図に示す。第5図の上段は紋別沖に現れる各



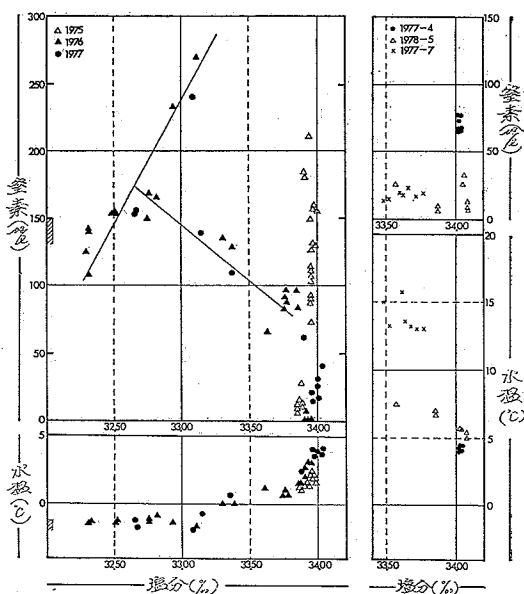
第5図 年間の水系の層重模式図(紋別北東沖)(上段)と11・12月の水温・塩分関係図(下段)

水系の分布状態を示したものであるが、流水盛期が終り海あけ期に入る4月中旬以降になると宗谷海峡からの宗谷暖流前駆水は、流水融氷水の影響を受け広範囲に分布する低温、低塩分オホーツク海表層水の下層に潜り、沿岸部を中層温暖層を形成しつつ南東下しはじめる。5月

中旬頃になるとオホーツク海表層水が沖合へ後退し、沿岸部は沿岸水が表面を覆うようになり、5月下、6月上旬には表層水を層重させた宗谷暖流水の先端が現れ、以降11月中旬頃まで宗谷暖流が持続して分布する。11月下旬以降はカラフト東岸を南下してくる低温、低塩分な東カラフト寒流の影響下に入り水塊の交替が行われ、12月下旬には雄武以南の沿岸部はすべて東カラフト寒流水系によって占められる。この水塊交替の様子を、海上保安庁が1958・1962年に実施した調査のうちから宗谷東沖と紋別北東沖の暖流域に該当する測点を選び、第5図下段に示す。これによると11月中旬では両者ともに高温、高塩分を示して宗谷暖流水としての特性を示しているが、12月下旬になると宗谷東沖では依然として高温、高塩分を示して宗谷暖流水の特性が持続しているのに対し、紋別沖では低温、低塩分な東カラフト寒流水の特性を示す水系に変わり完全に水塊が交替したことを示している。このような現象は1977年12月下旬に北水研が実施したサロマ湖口(□印で示す)の調査結果でも裏付けられていて平年の状態を示しているものと考えられる。

5. オホーツク海側沿岸域の水系と無機三態窒素の関係

この海域の最大特徴は冬期間流水によって海面の大部分が覆われ枝幸以北に僅かな開水面域が残るのみとなることであるが、この開水面域について北水研では、1975年に科学技術庁流水災害特別研究、1976年にカニ類に関する研究、1977年には科学技術庁オホーツク海に関する総合研究の一環として、いずれも3月中旬に調査を実施している。これらの結果から窒素分と水系との関係を第6図左側に示す。図下段は水温—塩分関係を示し、図上段は塩分—窒素関係を示している。ここで塩分を水系指標として用いたのは、当海域に出現する水系は、日本海沿岸部と異なり、水系毎の塩分差が大きく、それぞれの水系は安定した塩分値を示すという特徴がみられ、塩分は一義的に水系特性を表現すると判断できるからである。この図によると、△印で示す1975年と▲、●印で示す1976、1977年とは分布する水系、水系毎の窒素量にも大きな年変動がみられ、大別すると以下のようにまとめることができる。1975年の場合は、開水面域が狭少で水温、塩分差の少ない水塊の分布がみられた年であるが、そのなかでも沿岸部は低温、低塩分で窒素量も $30\mu\text{g/l}$ 以下を示すのに対し、沖合では流水縁辺部まで高温、高塩分で窒素量も $80\sim 200\mu\text{g/l}$ と高水準を示し2つの水系に分けられる。窒素の低水準な水系は宗谷海峡よりの宗谷暖流前駆水であり、窒素の高水準な水系は前年秋季より



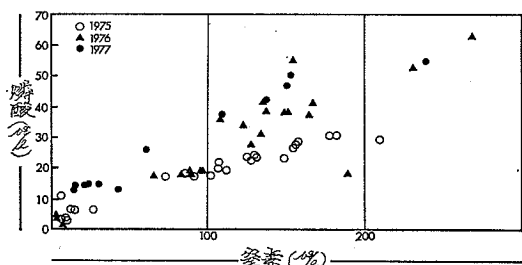
第6図 3月の水温—塩分、塩分—窒素関係図(左側)と4・5・7月の水温—塩分、塩分—窒素関係図(右側)

この海域に残存して変質した宗谷暖流系越冬水(仮称)と考えられ、流水盛期にはこの水系のみが開水面域に分布するのではないかと考えられる例である。一方、1976、1977年の場合は開水面域が1975年よりやや大きな広がりをもせるとともに、分布する水系も、沿岸側より高温、高塩分で窒素量は $40\mu\text{g/l}$ 以下と低水準を示す宗谷暖流前駆水、その沖には宗谷暖流前駆水よりもやや低温、低塩分ながら窒素量では逆に $80\sim 100\mu\text{g/l}$ を示す越冬水がある。更に、この沖には流水融氷水を含む低温、低塩分で窒素量 $100\sim 250\mu\text{g/l}$ を示すオホーツク海固有水があり、この間は混合水帯となっている。なお、水温 $0\sim -1^\circ\text{C}$ 、塩分 $32.8\sim 33.2\text{‰}$ 、窒素 $150\mu\text{g/l}$ 以上を示す部分は、夏季には中冷水となるものであるが、基本的には夏季と変らぬ3水系の配置がみられる例である。両者は海洋構造という側面で比較すると前者は流水盛期に近い状態、後者は海あけ期に近づいた状態と考えることができ、この遅速が以降の海況にどう反映されるのかは今後の問題である。また、図中に斜線で示したのは、1972~1974かけ北水研が実施した、3月中旬の氷面下のサロマ湖内の測得値であり、水温は -1.5°C 前後、塩分は 32.0‰ 前後、窒素量 $130\sim 150\mu\text{g/l}$ と東カラフト寒流水内での値であり、藤井・佐藤(1977)によれば、この窒素量は年間最高値であると報告されている。更に、海

あけ期以降沿岸ぞいに南東下する宗谷暖流前駆水、宗谷暖流水の窒素量の動向を明らかにするため、1977年4月1978年5月、1977年7月に北水研が実施した調査のうちから沿岸域の水温—塩分関係（図下段）、塩分窒素—関係（図上段）をまとめたものを第6図右側に示す。この図によると、4月では水温3.9~4.5°C、塩分34.02~34.05‰という均質な宗谷暖流前駆水内で窒素量は60~70 $\mu\text{g}/\text{l}$ と高水準を示し、5月では水温5~7°C、塩分33.5~34.0‰と表層は高温、低塩分な表層水の層重がみられ、窒素量は5~33 $\mu\text{g}/\text{l}$ と変化の幅が大きく、消費運動が活発化しつつある状態を示し、7月では水温13~15°C、塩分33.5~33.7‰という暖流表層水内で窒素量は10 $\mu\text{g}/\text{l}$ 台と安定した状態で低水準を示すが、1977年4月、1978年5月の窒素量の変化状態からみて、海あけ期に宗谷海峡より流入する宗谷暖流前駆水の宗谷海峡西沖における特性値と流入機構に年変動があることが予想される。

6. オホーツク海沿岸域の無機三態窒素と磷酸態磷の関係

窒素量と磷酸量間に有意な関係が存在するかどうか確かめるため、流水盛期3月の窒素—磷酸関係を第7図に



第7図 3月の窒素—磷酸関係図

示す。第7図によると、宗谷暖流前駆水は窒素40 $\mu\text{g}/\text{l}$ 以下、磷酸15 $\mu\text{g}/\text{l}$ 以下と低水準を示してみられるが、宗谷暖流越冬水は1975年では窒素80~200 $\mu\text{g}/\text{l}$ 、磷酸15~30 $\mu\text{g}/\text{l}$ 、1976年では窒素80~100 $\mu\text{g}/\text{l}$ 、磷酸10 $\mu\text{g}/\text{l}$ 台を示し、オホーツク海固有水に比べいずれも磷酸量の低水準が目立っている。オホーツク海固有水の表層部分は窒素100~150 $\mu\text{g}/\text{l}$ 、磷酸30~45 $\mu\text{g}/\text{l}$ を示し、この下層の中冷水となる部分は窒素150 $\mu\text{g}/\text{l}$ 以上、磷酸40~60 $\mu\text{g}/\text{l}$ と高水準でみられ、混合水では窒素100~150 $\mu\text{g}/\text{l}$ 、磷酸20~40 $\mu\text{g}/\text{l}$ を示し、それぞれの水系によって独自の傾向がみられるようである。更に、図は省略するが4、5、7月においてもこの傾向が持続してみられている。

むすびとして、日本海、オホーツク海沿岸に分布する

各水系の特性指標値をまとめると第1表のようになる。

第1表 日本海、オホーツク海沿岸に分布する各水系の特性指標

日本海側			
水系名	出現時期	水温	塩分
対馬海流第2分枝水	7~11月	15~18	34.00~34.20
対馬海流第3分枝水	5~11月	7~14	34.15~34.50
対馬海流変質水	周年	4~6	34.10台
日本海固有冷水	周年	0~3	34.00~34.10
西カラフト沿岸水	1~3月	-1~1	33.0‰以下
オホーツク海側			
水系名	出現時期	水温	塩分
宗谷暖流前駆水	3~5月	3~5	33.80~34.00
宗谷暖流水	6~11月	7~17	33.60~34.30
宗谷暖流系越冬水	3月	3~4	33.90~34.00
混合水	3~11月	3~6	33.20~33.60
オホーツク海表層水	4~10月		32.0‰以下
中冷水	周年	-1~2	32.80~33.40
東カラフト寒流水	11~翌3月	7°C以下	32.0‰以下

更に両海域の肥沃分の補給過程の特徴を述べると、日本海側沿岸域は、対馬海流第3分枝水とその変質水という外洋水と沿岸水、陸水の関係のなかで変質水内で年間最高値を3月上・中旬頃に示すという比較的安定した年周期がみられる。一方、オホーツク海側沿岸域は、越冬変質水にはじまり宗谷暖流前駆水、宗谷暖流水、東カラフト寒流水という具合に時期毎に特性の異なる外洋水の影響を受けるので、それぞれの水系の出現時期の遅速による影響が大きい海域であるといえる。

引用文献

- 藤井 浄・茄子川郁夫 (1966) 海洋研究の現状とその方法について。漁業資源研究会議報, 5, 5-6.
- 藤井 浄・佐藤芳和 (1977) 寒冷水域における低次生産の2, 3の例について。漁業資源研究会議報, 20, 25-44.
- 漁業資源研究会議 (1969) 北海道区沿岸、沖合における環境研究編漁業資源研究会議報, 10, 123-128.
- 北海道 (1976) 海域生態調査報告書。物理化学的環境調査編, 19-35.
- 北海道 (1977) 海域生態調査報告書。物理化学的環境調査編, 17-33.

北海道 (1978) 海域生態調査報告書。物理化学的環境調査編, 22-39.

茄子川郁夫 (1961) 宗谷海峡東側海域の海水消滅直後の海況にみられる現象について。北水試月報, 18(10), 1-12.

杉浦次郎 (1957) オホーツク海南西部の海況について。

気象庁研究時報, 10(7), 11-14.

若生 允・小島伊織 (1961) オホーツク海南西域の海況について (1)。北水試月報, 18(5), 8-25.

吉田喜一・土門和子・渡辺智視 (1977) 石狩湾沿岸漁場の物理, 化学的環境。北水試月報, 34(4), 1-6.

2. 北海道日本海沿岸およびオホーツク海沿岸の動物プランクトン現存量

小 鳥 守 之 (北海道立中央水産試験場)

小 林 時 正 (北海道区水産研究所)

大槻 知寛・丸山 秀佳 (北海道立網走水産試験場)

小野田 豊・佐野満広・北口孝郎 (北海道立稚内水産試験場)

1. はじめに

現存量は生物生産力と直接関連を持つ数値ではないが、一面では生物生産力の反映と認めることはできよう。北海道周辺海域の動物プランクトン現存量については、その資料が組織的にとりまとめられている現状とは思われないので、ここでは著者らが1975年以来集積してきた動物プランクトン湿重量の資料に基づき、北海道日本海沿岸とオホーツク海沿岸の動物プランクトン現存量について述べる。

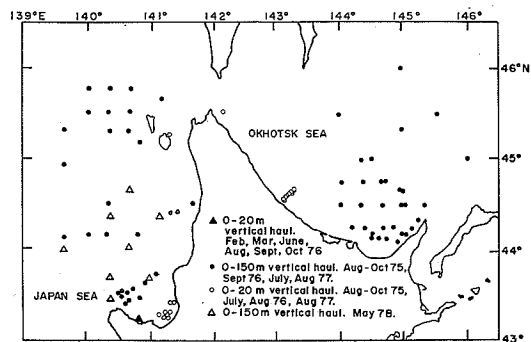
湿重量は当然標本の組成によってはなはだしく変り、組成を無視して全体をひくくめた値にどれほどの意味があるかについては問題があるが、それでも数多くの測定資料が多くの区域から集められ、海域の二次、三次生産者の現存量を一つかみに知り得るという点で有用である (元田, 1975)。また、ここでは、調査海域における水平的・鉛直的な水塊配置等を考慮することなく、標記2海域の主として水深およそ150mから海面までの水柱に存在した動物プランクトンの平均的な分布密度を、水塊が異なることに起因すると考えられるプランクトン分布の不均一性を全く考慮せずに、単純に比較した。従って、本調査結果は、標記海域の生物海洋学的特性のごく限られた一側面を示すにすぎぬものと思われるが、前述のとおり、そのように限られた側面すら、北海道周辺の海域においては、明らかになっていない現状と考えられる。この種の調査資料は今後とも長期間に亘って継続的に集積することによって、はじめてその価値も高まるものと思われる。

2. 材料と方法

湿重量測定に供した動物プランクトン標本は北太平洋標準プランクトンネット (NORPAC ネット, 網目, 0.33

mm, 口径45cm, 側長180cm,) (元田, 1957) による鉛直採集によって得た。ここでは、ワイヤ長で150mから海面までと、同じく20~25mから海面までの鉛直採集によって得た資料のみを用い、曳網距離の異なる採集結果を互いに比較することは避けた。従って、ここで述べる現存量は主に深度およそ150m以浅の海洋表層の中型動物プランクトン現存量である。すなわち、この値は、前節でも述べたとおり、調査海域の物理的海洋構造を全く考慮せず、主として0~150m水柱内について算出した動物プランクトンの平均的分布密度である。

標本は採集後ただちに船上で10%ホルマリン海水で固定し、保存した。湿重量の測定は、標本中の大型のくらげ類、稚魚等を肉眼でとり除いた後、吸引法 (元田 1975) に依って行った。採集にあたって汙水計を用いていない場合もあったから、得られた結果は、ネット汙水率を100%とみなし、ネット口面積と繰出しワイヤ長とから推定汙水量を求め、これに基づいて現存量に換算した。従って、得られた現存量値はやや過小に評価された



第1図 動物プランクトン標本の採集地点