

1. 海洋構造と変動

1.1. 北太平洋の海洋構造と変動

はじめに

北太平洋亜寒帯水域は高い生物生産力を持っているといわれ、我国の漁業生産も多くこの海域に依存している。しかし、この高い生物生産がいかんして維持されているのか、その物質循環の機構について、我々は未だ多くの知識を持ち合わせていない。本著ではこの水域の非生物的側面について述べ、生物生産との関りを考えてみる。

1. 地形と気象

北太平洋亜寒帯水域はシベリア大陸と北米大陸とにその北側をかこまれ、北極海とは狭く浅いベーリング海峡で連絡しているが、実際上極海とは区切られた、北縁で閉鎖された海域である。これは北大西洋や、南極周回流に連らなっている南半球各大洋の亜寒帯水域と異なる特徴といえる。さらに、列島弧で仕切られてはいるが、比較的広い大陸棚をもつベーリング海とオホーツク海の二つの縁海がそれぞれ北縁と西縁にあることも、生物生産の機構を考えるうえで重要な点であろう。

シベリア大陸は夏期に日射が強まるとともに広い低圧部となり、北太平洋高気圧の北上と相まって、この海域の風は南西風が主となる。これに対して冬期には、シベリア大陸は強大な高圧部となり、ベーリング海あるいはアラスカ湾に中心を持つ広大なアリューシアン低気圧との間に強い季節風を生ずる。このためこの海域の西部には極気団からの寒気が北寄りの風となって送り込まれ、海面を上げしく冷却する。南部では強い偏西風が連吹し、海面近くをかきまぜる。東部では、北米大陸西岸の山脈にさえぎられ、洋上を通過して十分に水蒸気を含んだ南寄りの風が山岳地帯に大量の降雪をもたらす。

南極大陸をめぐる偏西風が一年中吹いている南半球亜寒帯水域に比較すると、北太平洋亜寒帯水域は風系の変化等気象の季節変化が明瞭であり、陸地の影響もより多く受けている。冬期間、亜寒帯水域西部に入り込む寒気は緯度の割には低温で、オホーツク海北岸及び西岸では結水が見られる。オホーツク海はベーリング海より低緯度に位置しているが、この強烈な寒気のため生成される海水の量は多く、ここより南下する流水は北海道北東

大谷清隆 (北海道大学水産学部)

岸を経て襟裳岬 (41°55'N) 付近にまで達する。一方東部海域では、亜寒帯水域全体をすっぽり包み込む反時計回りの循環的風系のため、これと対照的に温暖であり、結水はベーリング海北東部の大陸棚上とシベリアのごく沿岸に限られる。

海水が凍ると、水とならなかった残余の海水の塩分濃度は結水量に応じて増加する。ベーリング海の大陸棚上の場合には結水によって海水の塩分が濃縮されても、海盆部の海水の塩分よりはるかに低く、結水海域の海底上に結水温度に近い寒冷な水帯となって夏期にも残留している (大谷, 1969)。一方、オホーツク海では、北西部の大陸棚上で結水した海水は北寄りの離岸風によって沖合に運ばれて南下するため、陸棚上では新たに海水が次々とつくられて行く。このため結水による塩分濃縮は特定の場所で大きく、北西部大陸棚上では 33.6% の高塩分水が夏期の調査で観測されている (木谷, 島崎, 1971)。この高塩分な冷水は同深度の海盆部の海水よりはるかに高い密度を持っているので、陸棚の海底に沿って流下し、オホーツク海中層に拡散して行く (木谷, 1973)。

大気と海面との間の水収支は、降水量が蒸発量を上廻り、東部海域ではその差が大きく、差し引き亜寒帯水域は希釈の傾向にある (DODIMEAD *et al.*, 1963)。これに加えて、北米大陸西岸の山岳地帯に冬期間多量に降り積った降雪は春から夏の間融雪水あるいは氷河の融氷水として大量に東部海域沿岸に流出して来る。さらに流水の融解や降水量の増大なども加わり、下層の水との間に顕著な塩分差が生じる。

2. 鉛直構造

北太平洋亜寒帯水域では、塩分の鉛直構造は表面から 100~150 m の厚さをもつ低塩分な上層と、150~200 m 以深の下層との二層構造を示し、この間の塩分躍層は 0.8~1.0‰ の塩分差があって永続的かつ明瞭な境をなしているのが一般的である (第 1 図)。

加熱期に表面近くは融氷水・陸水・降水等によって更に希釈されるので、上層上部には季節的塩分躍層を生じる。この躍層は表面からの加熱によって生じる水温躍層と一致して大きな密度躍層を形成するため、下方から有

計廻りの大循環に対向して、反時計廻りの閉鎖的な循環流を形成している。このひとめぐりの循環の中にはさらに、アラスカ湾、ベーリング海、オホーツク海及びカムチャッカ半島南東海域にそれぞれ反時計廻りの小環流が存在する。この亜寒帯循環を構成している海流系は第2図 (FAVORITE *et al.*, 1976) のように理解されている。

亜寒帯水と亜熱帯水との接触は、北海道、東北の沖合で、親潮と黒潮との会合にはじまる。会合水域では両海流は蛇行を重ねたり、主流部より切離した孤立水塊が入り乱れたりして複雑で、川合 (1972) はこの水域を混乱水域と名付け、入り組んだ海況を表現している。秦 (1974) は黒潮から切離した黒潮暖水塊を20カ月にわたって追跡し、北上しながら冷却期を経て亜寒帯水中に消滅していく様子を述べているが、これは亜熱帯水から亜寒帯水への熱と塩分の輸送機構の一形態を示すものとして注目される。

黒潮と親潮はこの水域から入り組みながらも並行して東に流れ、熱と塩分を交換しながらそれぞれ北太平洋海流とウエスト・ウインド・ドリフトに変わって行く。混乱水域の幅は日本近海では狭く、東に行くにしたがって広がり、不明瞭になる。ウエスト・ウインド・ドリフトの大部分は北米西岸で南下し、カリフォルニア海流となって過剰な淡水を亜熱帯水域に送り込む。残余の部分はアラスカ湾をめぐるアラスカ環流に連なり、熱と塩分を亜寒帯循環に送り込む。

アラスカ湾では陸上から多量な淡水が流出して来るため、アラスカ環流の上層は希釈され、塩分の二重構造をもつようになる。この水の約半分はアラスカ湾内を環流するが、残余の部分はアラスカ半島よりさらに西に流れ、アラスカストリームとなる。アラスカストリームの低塩分な上層の水の大部分は、西流する間に、アリューシアン列島東側の海峡を通過してベーリング海に流入し、ベーリング海東部の陸棚水を涵養する。残りの一部は更に西に流れ180°を越える場合もある。アラスカストリームの主流部の一部はアムチッカ水道からベーリング海に入って東に流れ、陸棚斜面に沿う反時計廻りの循環流を構成するが、過半は更に西に流れてアツ島西側の水道を通過してベーリング海に入り、共に海盆部の水を涵養する。ベーリング海の中の流れは全体として反時計廻りに循環しているが、オリュートル岬から南にのびる瀬によって東西にわけられている海盆にも、それぞれ反時計廻りの環流が認められる。アラスカストリームの水は東部亜寒帯水の特性をもって西に流れて来るが、ベーリング海を環流する間に冷却期を経て、西部亜寒帯水へ

と変質して行く。

ベーリング海を環流した水はコマンドルスキー群島とカムチャッカ半島との間の海峡から再び太平洋に流出し、東カムチャッカ海流となる。東カムチャッカ海流の一部は千島列島北側の海峡を通過してオホーツク海に流入するが、オホーツク海を環流するのはその一部であり、大部分は、すでにオホーツク海を環流して中層に冷水をもったオホーツク海固有水と混合して、再び太平洋に流出する。その一部は東カムチャッカ海流の残余の部分と共に東に流れ、サブアークティック海流となる。残りの過半は更に南下し、親潮となって東北沖に至る。

南西に流れる東カムチャッカ海流、東北東に流れるサブアークティック海流、そして北西に流れてベーリング海に入るアラスカストリームの三つの海流にかこまれるカムチャッカ半島南東の海域は、大きな反時計廻りの環流部となり、ウエスタン・サブアークティック・ジャイルと呼ばれている。

亜寒帯海域をこのようにひとめぐりするのに要する時間はおよそ5~6年と見積られている。

4. 下層水の上層への輸送

海の生物生産は基本的にはその海域における植物プランクトンの生産量に深くかかわっているが、植物プランクトンの生産量はまた有光層内の栄養塩類の量とその補給量に依存している。一般に有光層内では植物プランクトンの生産に伴って栄養塩類は消費されるため現存量は低くなっている。一方生産層から沈降して行く有機物は水中で分解されるので下層には解放された栄養塩類が豊富に含まれている。したがって、外洋では栄養塩の補給はなんらかの形で下層水の上昇によって維持される。その意味で、ここではこの海域に特有な下層水の上昇機構について述べる。

春季に太陽高度が上昇するにつれ、海面近くの有光層で植物プランクトンの生産が急速に行われる。生産に伴い有光層内の栄養塩は消費されるため生産量は低下し、有光層内での栄養塩類の再循環と下方から補給されるわずかな栄養塩類によって生産が維持される。北太平洋亜寒帯水域では春季の植物プランクトンの大増殖の際に、有光層内の栄養塩は消費されてしまうが、有光層底部にある季節的躍層のため有光層への栄養塩の補給は低く抑えられる。しかし、再び冷却期に入ると冷却による対流と強い季節風によって季節的躍層は消失し、上層の水は上下によく混合される。その結果、上層下部に高濃度に保たれていた栄養塩類は表面近くに運ばれ、次の大増殖期に備えられる。この現象は亜寒帯水域全般にわたって

見られる植物プランクトンの生産のパターンとして知られている。

有光層内へ下方から絶え間なく栄養塩類が補給される場合、その海域の植物プランクトンの生産量は飛躍的に増大すると考えられる。亜寒帯水域では栄養塩類は永久的塩分躍層を境として、下層には上層より50%も高濃度に分布している (SCRIPPS INST., 1966)。前述のように、アリューシャン列島や千島列島に沿う海域や陸棚斜面では、永久的塩分躍層が海底地形の影響を受けて破壊されている。このことは上下の水の混合が他の海域より促進されていることを意味し、ひいては有光層への栄養塩補給が多量であることを意味する。アリューシャン列島中部海域ではサケ・マス漁業従事者が濁り水(茶褐色水)として、流し網操業をさける水帯は上述のような植物プランクトンの生産が高く維持されている海域に相当する。

我々はこのような植物プランクトンの生産を基盤とする生物生産の中から漁業生産として多量な有機物を取り上げ、亜寒帯循環の外へ運び出している。また有光層から沈降する有機物は大陸棚上の底棲生物にとり込まれる分を除き、深海に落ち込みながら分解され、無機化する。したがって永続的に高い生産が維持されるためにはより深部からの栄養塩の補給がなければならない。

FAVORITE *et al.* (1976) はこの機構に二つの説明を与えている。一つは UDA (1963) や OHTANI (1973) も指摘しているように、亜寒帯環流中にあるいくつかの左旋環流に伴う湧昇域である。第3図に Ridge Domain として示されている海域は永久的塩分躍層は浅く、かつ塩分傾度の大きい海域であり、常に湧昇して来る下層水がするどい塩分躍層を維持しているものと考えられてい

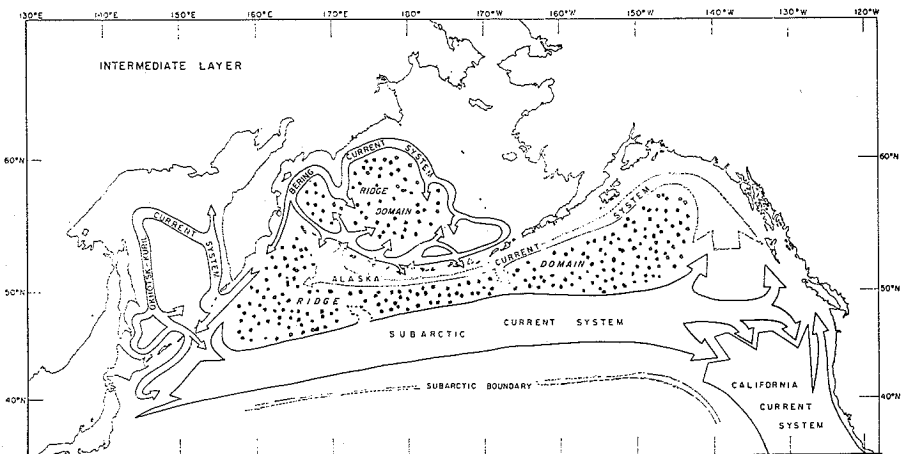
る。他の一つはエクマン輸送による水平発散である。この海域に秋から春にかけて吹く風はアリューシャン低気圧に代表されるが、この低気圧の場合、中心部より周辺部に強風帯がある。海面に吹く風によって海面近くの海水は吹き流されるが、その影響の及ぶ深さ(エクマン層)まで積分した流れの方向は北半球では風下に向かって右直角の方向になる。したがって、この海域では風によって生ずる海水の輸送は低気圧の外側を向き、かつ周辺部ほどその量が大きいことになる。水平方向に海水が拡がった分はエクマン層の下方からの海水で補われなければならないので、水平発散のある海域は湧昇も伴っていることになる。この海域では9月から5月の期間にこのような発散域が各所に生じている。

このような湧昇は沿岸湧昇に比較してはるかに小さな値であるが、永続的あるいは広範囲に生じているので、基礎生産を維持している機構として無視できないものだろう。

STOMMEL (1958) は深層の水は北大西洋とウェッデル海に起源をもち、北太平洋は深層循環の終点にあたることを示しているが、先に述べたような湧昇が、より深い深層循環によっても補われているとすると、北太平洋亜寒帯水域は亜寒帯循環の系外から栄養塩等が運び込まれる水域とも考えられる。もち論、現在はこの系内から漁業生産として取り出し得るものに対して、いかなる量的関係にあるかは論ずべくもないが、還元されるものの少いこの水域が高い生産力を維持している機構として注目ししよう。

5. 変動

この海域の海洋観測は季節的には夏期に偏っていて、



第3図 北太平洋亜寒帯水域の中層循環の模式図と Ridge Domain. (FAVORITE *et al.*, 1976 より)

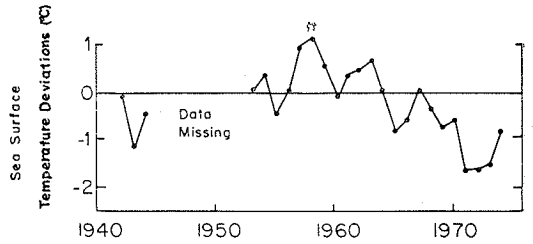
散発的な調査が多い。さらに調査海域もせまく分散して、継続的に調査されている海域は少い。したがって、この海域の変動については限られた事象について知られているにすぎない。

ベーリング海東部の陸棚上に夏期まで残っている底冷水の消長は前の冬の気象条件に支配されているが、底冷水の分布の変化は底棲魚類の分布に密接に対応していて、漁場形成上の非生物的要因として重要である(小藤, 前田, 1965)。前田ら(1968)は底冷水の占める分布面積の変化から3~5年間隔で変動していることを示している。藤井ら(1974)もブリストル湾の1963年以降の底水温の変化について調べ、1971年~1973年に冷水域の発達していることを指摘している。これらの変動はINGRAHAM *et al.* (1976)が指摘している1958年を頂点とし、1971年を谷とする年平均気温(於 Sitka)の変化や、アラスカ湾沿岸の月平均水温の変化傾向に一致していて、気象変動の反映として認められる。

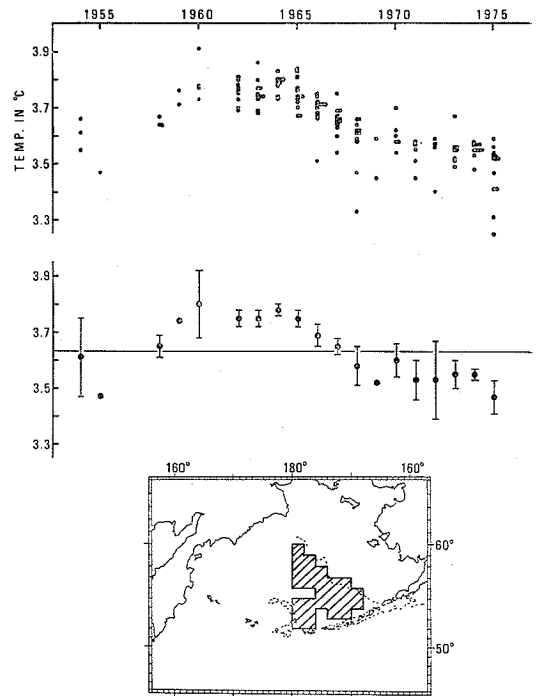
亜寒帯循環の西向きの輸送を代表するアラスカストリームの流量はこの海域としては比較的多くの時期に求められているが、FAVORITE (1974)はこれらをまとめて示し、夏期の流量と冬期の流量の相違は50%あるいはこれをこえる程度に冬期間の流量の多いことを指摘している。さらに風の応力から計算した流量の変動は冬期に流量が増加することを示している(FAVORITE *et al.*, 1976)。しかし、地衝流近似から求められる流量は測点のとり方や無流面の設定及び観測時期・場所によって多くのあいまいさを含むので、得られている結果はおよその変動の範囲を知るものとして理解されよう。

FAVORITE *et al.* (1973)はこの海域の長期変動について、表面水温の平均値からの偏差が5~6年かかって亜寒帯循環をひとめぐりしていることを指摘している。さらに太陽黒点の活動に関係してFAVORITE *et al.* (1976)は黒点の極大期にアリューシアン低気圧の中心が西に偏り、その結果アラスカ湾を北上する風の応力による海水の輸送が減少することを指摘しているが、沿岸水位や水温の変動にはむしろ5~6年という、亜寒帯循環のひとめぐりに相当する変動の卓越していることを述べている。

アラスカ湾の年平均表面水温(第4図 INGRAHAM *et al.*, 1976)には1953年以降5~6年の間隔の変動が認められるが、その極値は1958年以降明らかに減少傾向を示している。このような長期の変化傾向はベーリング海中層(250~500m深)の平均水温の変化にも認められる(第5図, 田中, 1977)。



第4図 アラスカ湾(55°N-60°N, 140°W-145°W)の表面水温の年平均値の偏差傾向。(INGRAHAM, BAKUN and FAVORITE; 1976より)



第5図 ベーリング海東部の中層(250m-500m)の平均水温の偏差傾向。(田中; 1977より)

この深度は躍層より下の層に相当するので気象の短期変動には影響されない。この深さの水温変化は下層水の移流によって生ずると考えられるから、第5図のような水温変化は亜寒帯循環における中層水のより長期にわたる質的变化を表していると解すべきであろう。このような変化を生ずる要因は第4図の変化傾向とともに、より大規模な気候変動にも関連づけられるべきかも知れないが、現在の断片的知見においては論ずべくもない。

おわりに

1977年は奇くも日本の漁業にとって根本よりその形態の変革をせまられた年となった。この時点で、永年多量

の漁獲を得て来た場の知見をまとめようとして、その乏しき特に著者自身を含め日本自体の貢献の少さに、赤面した次第である。今後日本の漁業が他国の主権の下で永続して漁獲を得ようとするためには諸外国を納得させる科学的調査を我が国自体で推し進めなければならないだろう。その意味では、現在の水産研究の質的変革も必要とされようし、行政主導の水産研究陣の編成換えも必要となろう。

本著をまとめるにあたって、Dr. F. FAVORITE および奈須敬二博士より多くの資料の提供を頂いた。ここに感謝の意を表す。

文 献

- DODIMEAD, A.J., F. FAVORITE, and T. HIRANO (1963) Salmon of the North Pacific Ocean—Part II. Review of oceanography of the Subarctic Pacific Ocean. INPFC. Bull., 13.
- DODIMEAD, A.J. (1967) Winter oceanographic conditions in the central subarctic Pacific. INPFC. Doc., 999.
- DODIMEAD, A.J. and G.L. PICKARD (1967) Annual changes in the oceanic-coastal waters of the eastern Subarctic Pacific. Journ. Fish. Res. Bd. Canada, 24(11).
- FAVORITE, F. and D.R. MCLAIN (1973) Coherence in transpacific movements of positive and negative anomalies of sea surface temperature, 1953-60. Nature, 244(5412).
- FAVORITE, F. (1974) On flow into Bering Sea through Aleutian Islands passes. In: D.W. HOOD and E.J. KELEY (eds.), Oceanography of the Bering Sea. Inst. Mar. Sci. Occas. Publ. No. 2, Univ. Alaska, Fairbanks, Alaska.
- FAVORITE, F. and W.J. INGRAHAM, Jr. (1976) Sunspot activity and oceanic conditions in the northern North Pacific Ocean. Journ. Ocean. Soc. Japan., 32, 2.
- FAVORITE, F., A.J. DODIMEAD and K. NASU (1976) Oceanographs of the Subarctic Pacific Region, 1960-71. INPFC. Bull., 33.
- 藤井武治, 増田紀義, 西山恒夫, 小林源司, 安間 元 (1974) 東部ベーリング海における海況とベニサケ (*O. nerka*) 分布との関係。特に、1973年ブリストル湾系ベニサケの回帰異変に関する一考察。北大水産彙報, 25(3).
- 秦 克己 (1974) 黒潮から分離した暖水塊の変動について。研究時報, 26(7).
- INGRAHAM, W.J. Jr., A. BAKUM and F. FAVORITE. (1976) Physical oceanography of the Gulf of Alaska. Northwest Fisheries Center Nat. Mar. Fish. Serv. Seattle, Washington.
- 川合英夫 (1972) 黒潮と親潮の海況学。海洋物理Ⅱ。海洋科学基礎講座。東海大学出版会。
- 木谷浩三, 島崎健二 (1971) 北部オホーツク海の夏季の海況について。北大水産彙報, 22(3).
- KITANI, K. (1973) An oceanographic study of the Okhotsk Sea—particularly in regard to cold waters—. Bull. Far Seas Fish. Res. Lab., 9.
- 小藤英登, 前田辰昭 (1965) 東部ベーリング海トロール漁場における魚群の移動と底水温の変化。日水誌, 31(10).
- 前田辰昭 (1972) ベーリング海東部における1969年と1970年のスケトウダラ漁況について。日水誌, 38(7).
- 永井達樹 (1973) 千島列島海域の海況と列島間の海水の交換—特に親潮中層水の形成について。北大水産学部修士論文。
- 大谷清隆 (1969) Bering 海東部の陸棚水の海洋構造と海水について。北大水産彙報, 20(2)
- OHTANI, K., Y. AKIBA, and A.Y. TAKENOUTI (1972) Formation of western subarctic water in the Bering Sea. In A. Y. TAKENOUTI ed. Biological oceanography of the Northern North Pacific Ocean. Idemitsu Shoten, Tokyo.
- OHTANI, K. (1973) Oceanographic structure in the Bering Sea. Mem. Fac. Fish., Hokkaido Univ., 21(1).
- STOMMEL, H. (1958) The abyssal circulation. Deep-Sea Res., 5.
- TANIGUCHI, A. (1972) Geographical variation of primary production in the western Pacific Ocean and adjacent seas with reference to the interrelations between various parameters of primary production. Mem. Fac. Fish., Hokkaido Univ., 19(12).
- Scripps Inst. Ocean. Boreas Expedition. SIO reference 66-24.
- UDA, M. (1963) Oceanography of the Subarctic Pacific Ocean. Journ. Fish. Res. Bd. Canada., 20.