

日本海および北極海の海洋特性

— 放射能汚染に関連して —

MARINE CHARACTERISTICS IN THE SEA OF JAPAN AND THE ARCTIC OCEAN

— In relation to radioactive contamination —

和田 明*

Akira WADA

ABSTRACT ; Recently, the condition of radioactive waste dumping in the Far Eastern seas and the Arctic Ocean by the former Soviet Union and the Republic of Russia is being identified. The waters in these areas are very narrow, shallow and close to land. To assess the impact of such actual radioactive waste dumping, it is necessary to establish a safety assessment model which can predict local effects and a more realistic assessment method.

In connection with the above-mentioned problems, investigation and research activities are being carried out by many scientists. However, it goes without saying that the behavior of radioactive substances in the seas are deeply related to the marine characteristics of the Sea of Japan and the Arctic Ocean.

It is necessary to identify these marine characteristics in order to determine the circulation of seawater in both seas, analyze the diffusion of radioactive nuclides and make assessment of exposure doses. In this paper, therefore, the author examined the marine characteristics on the basis of JODC data as well as NOAA observation data on each layer, by making arrangements and illustrations of water temperatures and salinities in the three-dimensional boxes for the respective seas. The patterns of water masses classified by type were created using these distribution maps.

Keywords ; Radioactive contamination, Sea of Japan, Arctic Ocean, water mass distribution

1. はじめに

最近、旧ソビエト連邦およびロシア共和国による、極東海域や北極海への放射性廃棄物の投棄の状況が明らかにされつつある。これらの海域は極めて狭く、浅く、かつ陸地に近いという特徴を有している。この現実の投棄による影響を評価するには、局所的な影響を予測しうる安全評価モデルと、より現実的な評価方法確立する必要がある。

この問題をめぐって、多数の科学者が調査研究を続けているが、放射性物質の海洋での挙動は、日本海および北極海の海洋特性に深い関係があることは言うまでもない。

今後、両海域の海水循環を求め放射性核種の拡散解析、被曝線量評価を行うためには海洋特性を把握する必要がある。このため、本文ではJODCデータやNOAAの各層観測データなどをもとにして、それぞれの海域の3次元ボックスに水温、塩分を整理・図化し海洋特性の検討に用いた。これらの分布図から水塊の類型別パターンを作成した。

* 東海大学海洋学部, School of Marine Science and Technology, Tokai University

2. 日本海の海洋特性

2. 1 検討方法

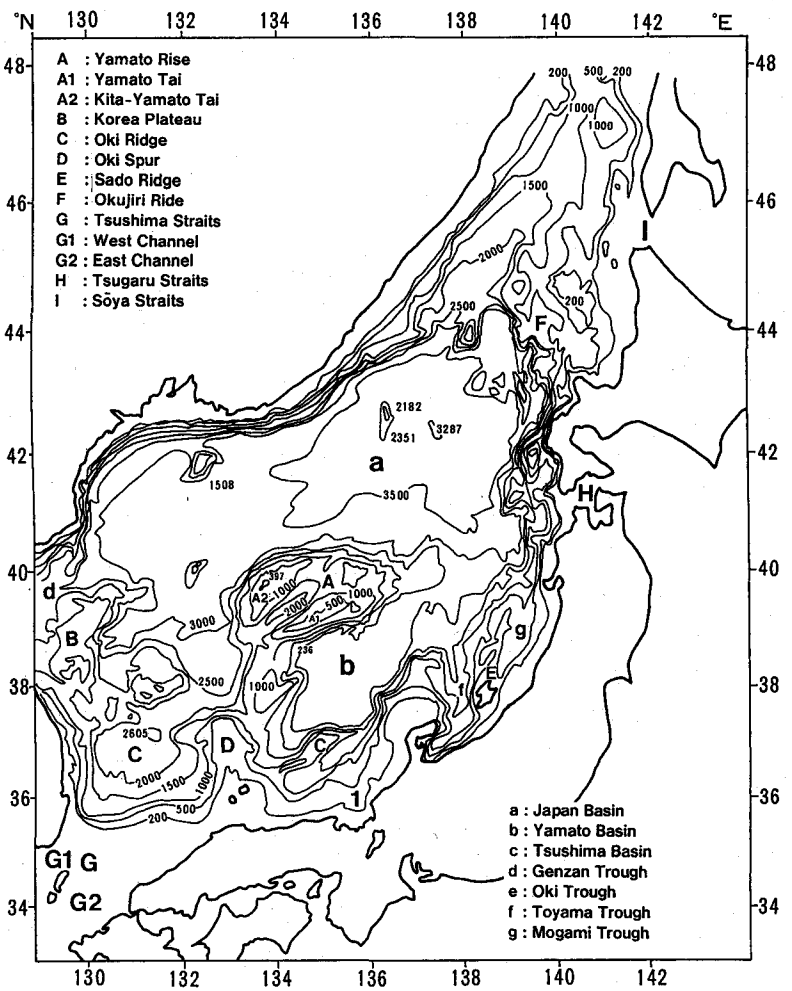
旧ソ連及びロシアによる核廃棄物の日本海への投棄の現実、今後どのような影響を及ぼすのであろうか。この問題をめぐって、多数の科学者が調査研究を続けているが、とりわけ日本海の海洋特性についての十分な知見が必要であると考えられる。調査の第一段階として、日本海の水温・塩分分布から検討することとし、日本海洋データセンターの日本近海の水温・塩分のデータ（1981～1990年）を利用して研究対象領域のデータを抜き出し41×41ボックスのデータ層を24層作成した。そして、水温・塩分の水平、鉛直方向24層（0～3500m）四季別及び年平均のコンター図を描いた。また、鉛直方向も同様にして、緯度・経度ともに四季別のコンター図を描いた。これと既往の知見より日本海の水温・塩分分布の特性を検討し、日本海の流れを考察した。

2. 2 海底地形（図－1 参照）

日本海は、面積約130万km²，平均水深約1350m，最大水深約3700m，容積約175万km³を持ち、外海との接点を、対馬、津軽、宗谷、タタールの四つの非常に狭い海峡としか持たない閉鎖的な海洋である。

この四つの海峡は全て陸棚上に位置し、その水深はせいぜい10～150m程度でしかない。地形は、北緯40度を境に南北で異なり、北半は広大に広がる日本海盆で代表される平坦で単調な地形、南半は対馬海盆、大和海盆をベースに舟状海盆や海脚・海嶺が配列する比較的複雑な地形を示す。大陸側の沿岸地形は比較的単調で、しかも、海岸線から数10kmで深さ3000mの日本海盆に達する急崖を成し、陸棚は貧弱である。

日本海のほぼ中央に位置する大和海嶺は、日本海底で最大の高まりを示し、海嶺頂部の水深は数100m程度で、豊富な水産資源を有する海域となっている。一方、深さ3000mを越える深海の大平原である日本海盆で目立つのは、北緯42.7度、東経136.3度付近にあるボゴロフ海山である。



図－1 日本海底地形図

2. 3 海洋構造

日本海の中央付近にはいわゆる極前線が形成されており、対馬暖流系水域と亜寒帯系水域とを二分している。日本海の海況は、対馬暖流の消長によって左右されるが、その流量は $(3 \sim 7) \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ 、流速は1ノット前後で黒潮にくらべると流量は約1/10、流速は約1/4の弱い流れのために気象の影響を受けやすく、季節的にも複雑な変化をしている。

日本海の海水は、対馬暖流系の表層水・中層水、寒流系の表層水、日本海の中・深層部を広く占拠する日本海固有水などの各水塊から構成されいと言われている。日本海における鉛直構造を大まかにみると、季節変化を大きく受ける上層部とそれ以深にあって年間を通じて極めて低温な日本海固有水の領域にはっきり区分され、前者の浅い(200~300m)ことが大きな特徴となっている。(図-2(1), 2(2)参照)

日本海の表層循環の概念については、長沼(1972)により図-3に示す表層循環の概念図を与えている。

夏季における対馬暖流は多くの渦を伴いながらも3つの支流に枝分かれしている。3つの支流は男鹿半島付近で合流した後、大部分は津軽海峡から流出し、残りは宗谷海峡から大部分が流出する。一方、シベリア沿岸には南西方向に流れるリマン海峡があり、その支流は、朝鮮半島北岸にまで達している。

冬季における対馬暖流は夏季に見られた第2分枝が消え蛇行型となっている。

40°N以北における対馬暖流の流路は夏季とほぼ同じである。一方、大陸側では夏季に見られたリマン海流のような流系は存在しないようである。

上述の流れは、いわゆる三分枝説と呼ばれ、この他に対馬暖流は大きく蛇行する一本の流れが主流であるという説(蛇行説)がある。近年においてはこの両者を対馬暖流のパターンと認識して、その変動を研究する方向に向かっている。

リマン海流に関する研究・報告はいくつか出されている。しかし、リマン海流の実態については、海流の流れが弱く経年・季節変動が複雑であること、大陸側データの入手が困難なことなどから十分に把握されていない。

リマン海流は、対馬暖流の末流がカラフトの西側に沿って北上しながら冷却・希釈され、やがて向きを変えてシベリア大陸沿岸に沿って南下する流れであると言われている。間宮海峡が幅6.7km、水深12mしかないことから、リマン海流が日本海の中で形成されたもので、間宮海峡から流れ出してくるものではないことが指摘されている。

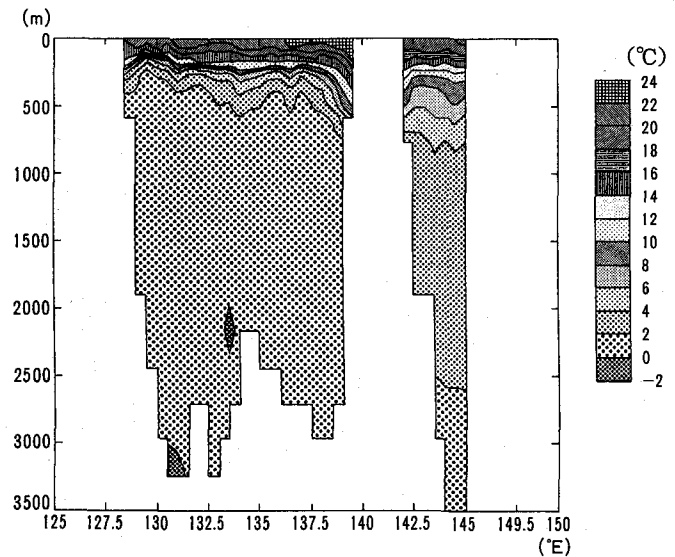


図-2(1) 鉛直方向(緯度: 40.0°N) 水温 夏期

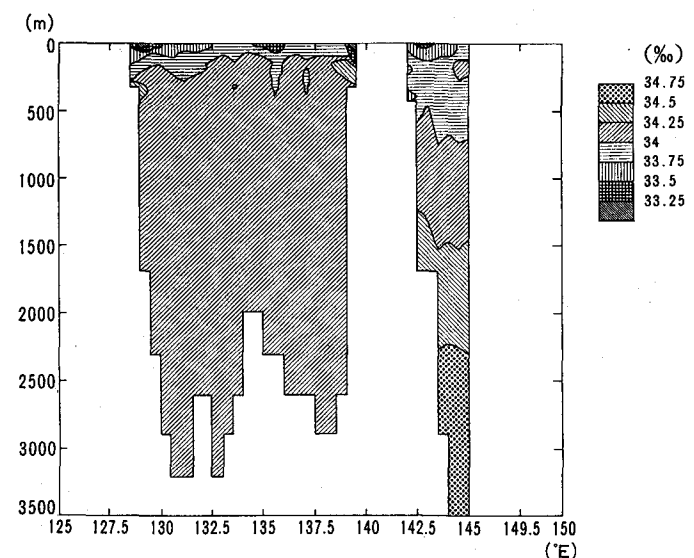
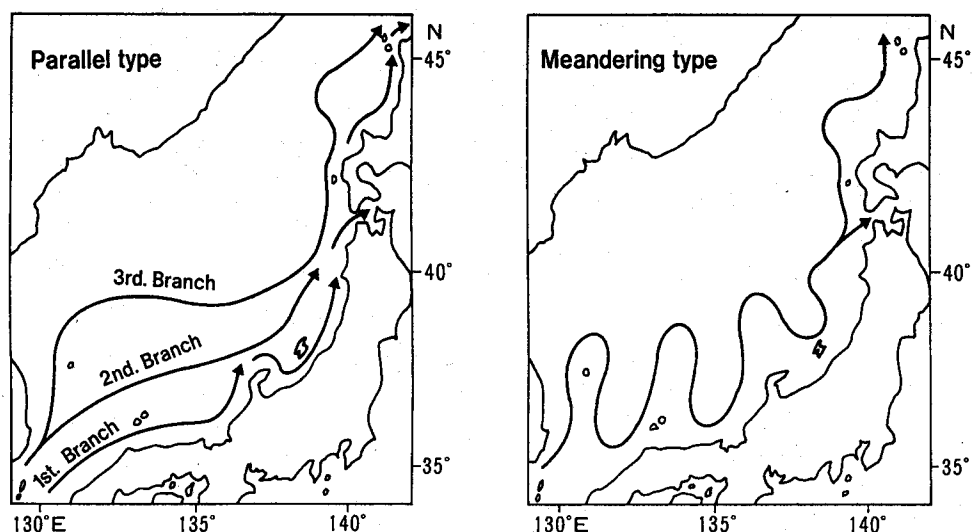


図-2(2) 鉛直方向(緯度: 40.0°N) 塩分 夏期



(対馬海流の強い場合、主として夏季)

(対馬海流の弱い場合、主として冬季)

図-3 対馬海流の流路パターン (Naganuma, 1973)

2. 4 日本海固有水

日本海に流入してくる暖流の海水が日本海全体に広がり、その分だけ固有水が日本海から流出してゆくものとする、約27年間で日本海の海水が入れ替わることになる。実際には、対馬暖流は密度が小さいために表層を流れて日本列島沿いに北上し、大部分は津軽海峡を通過して太平洋に流出し、残りの一部は宗谷海峡を通過してオホーツク海に出る。しかし、その量は日本海水のごく一部でしかなく、大部分は日本海に固有な海水である。

日本海固有水は、ほぼ様な水温・塩分値を示し、日本海全容積の80数%を占める大水塊である。

表-1 日本海固有水の特性

水 深	300～500m以下
水 温 の 範 囲	0～2℃
塩 分 の 範 囲	34.0～34.1
溶 存 酸 素	5.0～6.0 ml/l

日本海固有水の最大の特徴は、溶存酸素量が太平洋やその他の大洋の深層に比べて極めて多いことにある。北太平洋の同じ深さでは、溶存酸素量が(2～3) ml/l、日本海に隣接するオホーツク海や東シナ海でも同じ値であることから、日本海だけが周辺の海にくらべて溶存酸素量が(2～3)倍であるという。

これは、日本海では、他の海洋に比べ深層水及び底層水の補給がかなり速いことを物語っている。

日本海固有水の成因についても、様々な考察が成されている。いずれも、日本海固有水はリマン海流域での冬季海面冷却による鉛直対流や結氷作用により生成されると考えられている。

2. 5 汚染の状況

新聞報道(1993年10月19日の毎日新聞朝刊3面)によると、投棄地点は北緯41度37分～49分、東経133度22分～134度42分の海域とされている。投棄量は $1.2 \mu\text{Ci}/\text{l}$ (廃液中核種濃度) $\times 900 \text{ m}^3$ (廃液投棄量) $= 1.1 \text{ Ci}$ (核種投棄量)であったと推定される。液体廃棄物の核種組成は公表されていない。しかし新聞報道(1993年10月19日の日本経済新聞朝刊3面その他)によれば、今回投棄された廃液の大半は原子力潜水艦の解体に伴って生ずる原子炉の一次冷却水であるという。

当時、海上保安庁水路部が調査した海流は図-4に示す分布を示すものと考えられている。ロシア沿岸部を南下する寒流のリマン海流は、放射性液体廃棄物が投棄された第九海域付近で二つの分枝流に分かれる。その1つは、北朝鮮沿岸をさらに南下するが、他の流れは対馬海流の分枝流に沿って秋田、青森沖まで達し、対馬暖流と合流して一部が津軽海峡を抜け、その後、親潮の影響によって東北地方沿岸を南下する。

放射性廃液をPWRの一次冷却水とすると、核種組成はCo-58, Cr-51, Co-60, Mn-54, Fe-59と考えられるが、Co-60以外の核種の半減期は1年未満であるので、貯蔵期間が数年あれば減衰する。

核種については、Co-60を考慮すればよいことになる。

上記の海洋投棄における投棄量および核種組成は、ロシア当局の発表に基づいて推定されたものであり、相当の不確かさがあるものと考えられる。

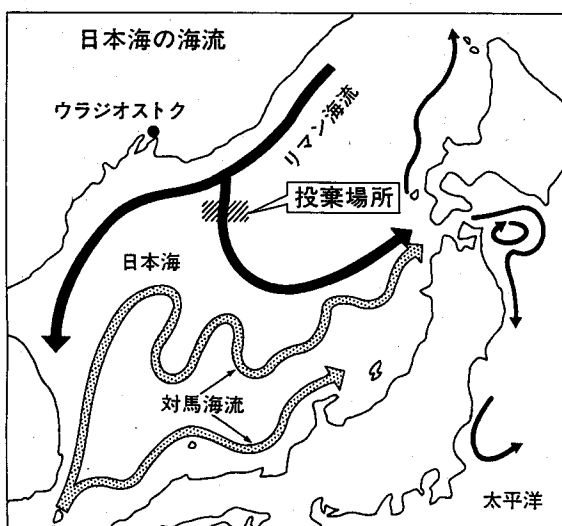


図-4 日本海における海流
(10月19日の毎日新聞朝刊27面より引用)

3. 北極海の海洋特性 (図-5 参照)

3. 1 汚染の状況

1990年秋、さまざまな非公式消息筋からの情報で放射性物質がバランツ海およびカラ海に投棄されていることが判明した。特に原子力潜水艦の原子炉合計17基がカラ海およびノバヤゼムリヤ諸島の東海岸のいくつかの湾内に投棄されているという事実が確認されている。この問題に対処するために、ロシア・ノルウェー共同専門家グループによる海水、海底土および生物のサンプルを採取して汚染の状況を検討しているが、現在のところその影響は有意でないことが認められている。

バランツ海およびカラ海の放射能汚染はいくつかの汚染源がかかわっている。主なものとして以下の通りである。

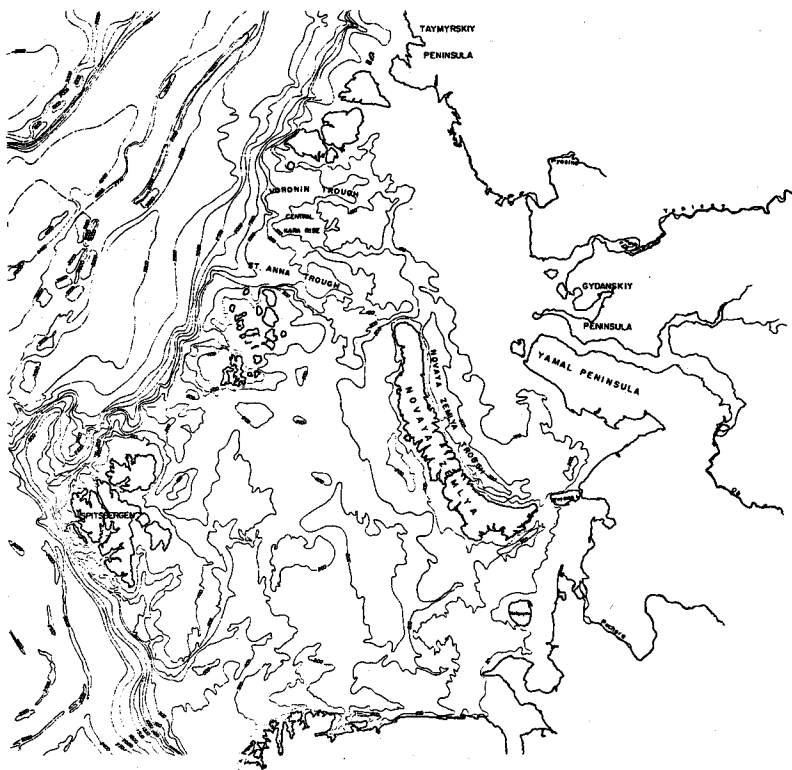


図-5 バランツ海とカラ海

(1) 核爆発実験による放射性降下物(大気、地下水、地下)

(2) 人工放射性核種の河川による北極海への移送

(3) ヨーロッパの再処理工場から排出された放射性核種

(4) 放射性液体および固体廃棄物の両海域への放出

現在、IAEAでは専門家会議(ロシア、デンマーク、ノルウェー、英国、日本)を設置し、両海域の流動、拡散モデルの構築に引き続き、被ばく線量の評価作業を今後2年以内に実施することとしている。

本文では、これらのモデリングに必要な海域の特性についてふれてみる。

3. 2 北極洋

北極洋の面積は $9.5 \times 10^6 \text{ km}^2$ 、容積は $1.7 \times 10^7 \text{ km}^3$ を占め、陸地により閉ざされた水域である。場所によっては4000mの深さがある。ここでは、3つの主要な水塊があると考えられる。

i. 北極表層水：表層から200m深さまで存在しているこの水塊は、氷のカバーに依存するが、温度・塩分とも顕著に変化する。

ii. 大西洋水：水面下200~900mに存在する。この水塊の温度は0度以上、塩分濃度は35‰である。

iii. 北極深層水：大西洋水塊以深で海洋底までおよんでいる。

北極洋の水収支は、ベーリング海峡とノルウェー海を通過する流れによって、均合が保たれている。

3. 3 バランツ海

バランツ海の面積は、1,424,000

(km^2)、容積は $3 \times 10^5 \text{ km}^3$ であり西

側のノルウェー海と隣接している。

暖流系水である北大西洋流は、ノース岬の西側から流入する。そして、2つの主要な分岐流に分かれる。

1つは東方(沿岸流系)へ、1つは北中心域へ流れる。冷たい北極水は、スピッツバーゲン島とフランツヨセフ諸島との間の北方から、またフランツヨセフ諸島とノバヤゼムリヤ島との間の北方から流入してくる。

バランツ海の水の循環は、一般的にいて反時計回りである。

海は、春に成層化し、冬に混合する。

高い生物生産のある地域である。

塩分濃度は、32~35‰である。

バランツ海の水の構造は、図-6に示す4つの主要な水塊をもつものとして考えられる。

(図-6中の番号と対応している。)

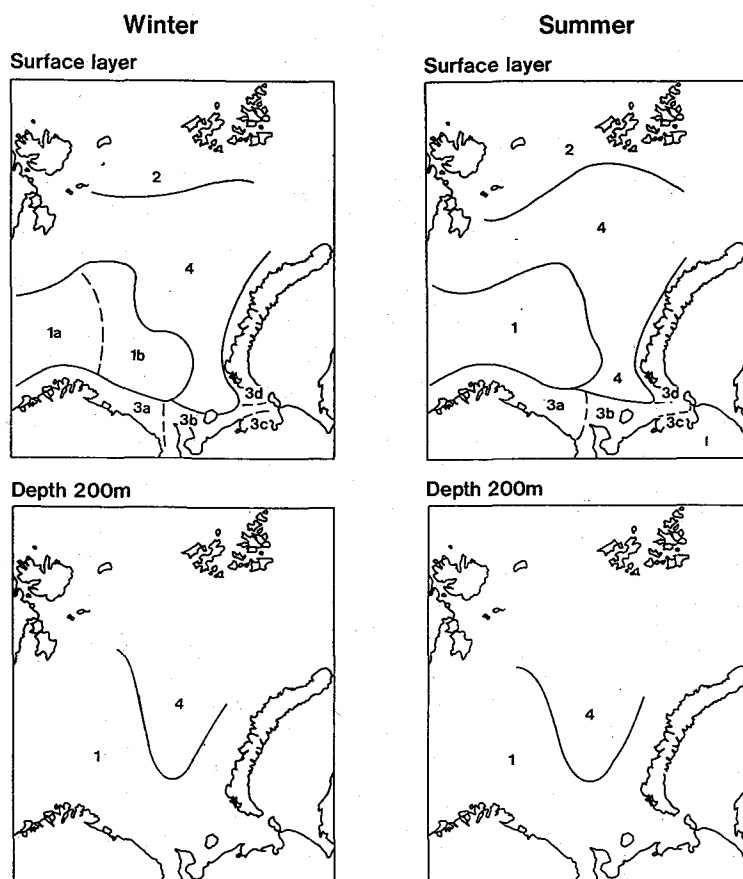


図-6 バランツ海の水塊分布

1. 表層流として西側から流入する大西洋水塊と、北極水域からある深さで北及び北東から流入する大西洋水塊
2. 北側から表層流として流入する北極水塊
3. 沿岸水塊（大陸から流入）
4. 混合したのち、そこにとどまるバランツ海水塊

3. 4 カラ海

カラ海の面積は883,000(km²)、容積は98,000(km³)である。海の水深は浅く、その平均水深は120mである。しかし、沢山の深い谷が存在している。例えばノバヤゼムリヤ諸島の東側にあるノバヤゼムリヤトラフ(300-400m)、ノバヤゼムリヤ諸島の北方にトラフ(600m)がある。この海域には、オビ川ならびにエニセイ川から年間1500km³の河川水が流入する。これらの淡水流入が、北向きの流れを引き起こし、大陸に沿う北東流とノバヤゼムリヤ島の沿岸に沿う南西流に分かれる渦を形づくっている。

河川水の流入は、夏に顕著で冬に著しく減少する。図-7は、主要な河川水流出量の経年変化を示す。カラ海の水塊構造は、北極海とバランツ海からの流入水と河川水流入によって支配されている。5つの主要な水塊が存在している。(図-8参照、図中の番号と対応している)

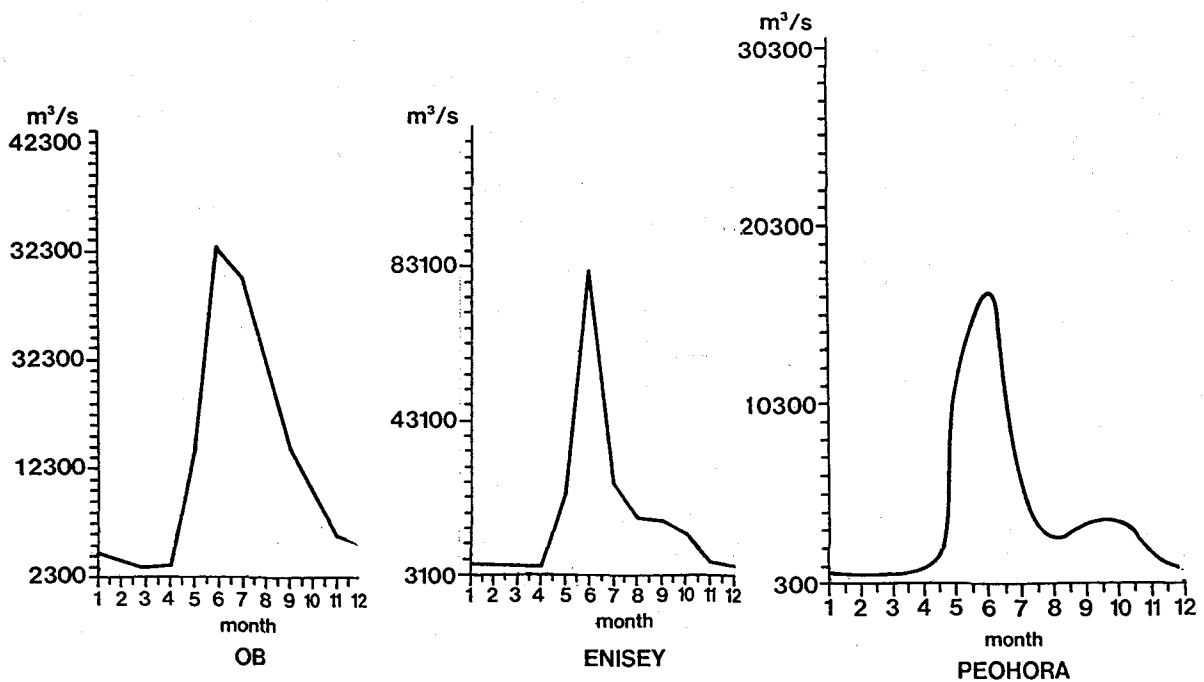


図-7 河川水量の月変化

1. より高い水温と塩分濃度を有する大西洋水を起源にもつバルツ海水が、北方からとフランツヨセフ諸島とノバヤゼムリヤ諸島との間の北西からとカラ海峡を通る南西方向から供給される。
2. 北極海水域の表層水
3. カラ海と表層水
4. オビ川とエニセイ川からの低塩分水、夏期比較的高温（7～10℃）の流入

海は北方ならびに南西域において、夏季（20mまで）よく成層しているが、秋になると激しい嵐の来襲により、鉛直方向に完全に混合する。塩分濃度は、沖合で32‰、オビ、エニセイ河口付近で10‰である。

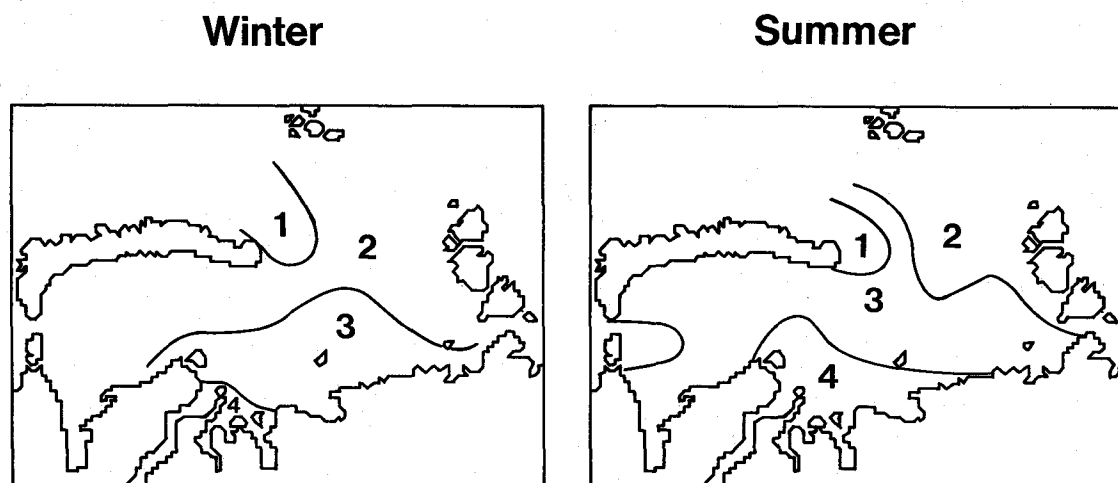


図-8 カラ海の水塊分布

4. まとめ

両海域の流れの解析を進めるために、日本海についてはJOCデータ（1981～1990）を利用して41×41ボックスのデータ層を24層（0～3500m）四季別、年平均の水温・塩分特性を検討し、日本海の流れを考察した。その結果、水深300mを境にして二層に分かれ、上層は暖流、寒流および降雨の影響を受け、四季を通して激しく変化する。一方、下層は日本海固有水と呼ばれる年間を通して水塊はほぼ一定となっており、太平洋のそれとは異なることを確認している。

北極海については、NOAAの各層観測データなどをもとにして、北緯64～82°，東経16～104°の範囲で水温、塩分をそれぞれ0.1°，0.1刻みに整理・図化し、海洋特性の検討に用いた。当該海域は西のバルツ海と東のカラ海より成り、水深は200m以浅で西では北大西洋水塊、北側からは北極海冷水、沿岸からはオビ、エニセイ川などの大量河川水の流入からなる複雑な流況を呈しており、分布図から水塊の類型別パターンを作成した。

現在、この解析結果をもとにボックスモデルによる流れの解析を進め、日本海および北極海のより緻密な解析を行っている。