

# オホーツク海と世界の気候

東京大学名誉教授・日本水路協会海洋情報研究センター長 永田 豊

海洋は世界の気候システムにおいて重要な役割を果たしており、地球温暖化等の気候変化を緩和するはたらきをしている。それは、

- (1) 海はその巨大な熱容量を通して、気候変化を和らげるはたらきをする
- (2) 地球が太陽から受ける熱の緯度差を解消するための熱の南北輸送において、海は大気それに匹敵するほどの役割を果たす
- (3) 海水は二酸化炭素のような温室効果ガスをよく吸収する性質をもつためである

しかし、もし表面近くの水が中層・深層に沈み込むことがなければ

- (1) 水温の変化は極表層に限られ、実質上の海の熱容量は桁違いに小さくなる
- (2) 海洋による熱の南北輸送における深層循環の役割の大きさから、深層水の生成が止まると、海の熱輸送量は半減してしまう
- (3) 表層の海水は、速やかに温室効果ガスに対して飽和状態になり、その吸収能力は非常に小さくなる

ことによって、海の気候変動を調整する能力はほとんど失われてしまうのである。

表層水の沈降現象が気候変動に及ぼす効果を、数値実験の結果から示しておこう。Staufer et al., (1989) の結果によると、大気中の二酸化炭素の量が年間1%の割合で増加していった場合（メタン等他の温暖化ガスの増加傾向を加味した増加率）に予想される今後の地表付近の気温の変化を緯度ごとに示したのが図1である。この結果によると、北半球の中緯度で60年後には、2～3℃の気温上昇が起こるのであるが、南半球での70～80度付近での気温の上昇は0.5℃程度に止まっている。この時までには生じる海水温の変化を図2に示すが、この南半球高緯度のところで水温変動が深層にまで及んでいることが分かる。このように、水温変化が深層に及ぶならば変化が表層に止まる場合にくらべ、その部分の実質の熱容量が大きくなるから、その部分の変動量が抑えられるのである。

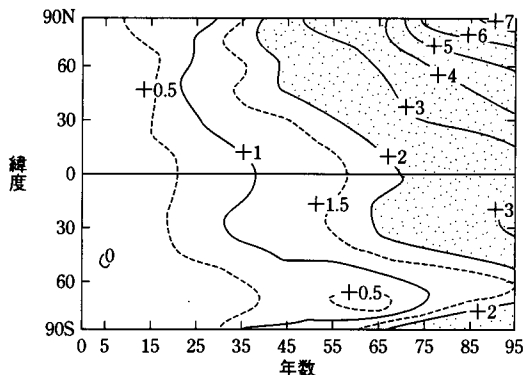


図1 大気中の二酸化炭素の量が年間1%の割合で増加した場合に予想される、地表付近の気温の変化

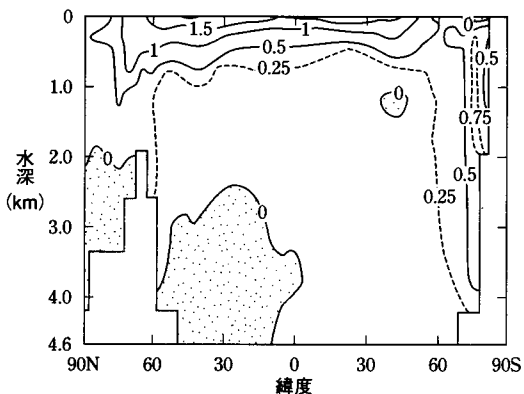


図2 60年後までに生じる海水温の変化

温度変化が深層にまで及ぶならば、深層循環の時間スケールが約1500年とされているから、長期にわたって海洋は気候変化を緩和することになる。しかし、この計算は格子間隔が粗いなど、かなり簡略化された数値計算であり、深層水の生成はある程度再現されているが、中層水の生成は殆ど再現されていない。温度の変化が、循環の時間スケールが数十年とされる海洋中層にしか及ばないとすると、気候変動は図1～2に示されるよりもずっと速く起こる可能性がある（海洋の循環と各層の時間スケールについての模式図を図3に示しておく：Nagata, 1995）。地球温暖化問題においてなされている多くの解説で、変動の時間スケールを考慮して行われて

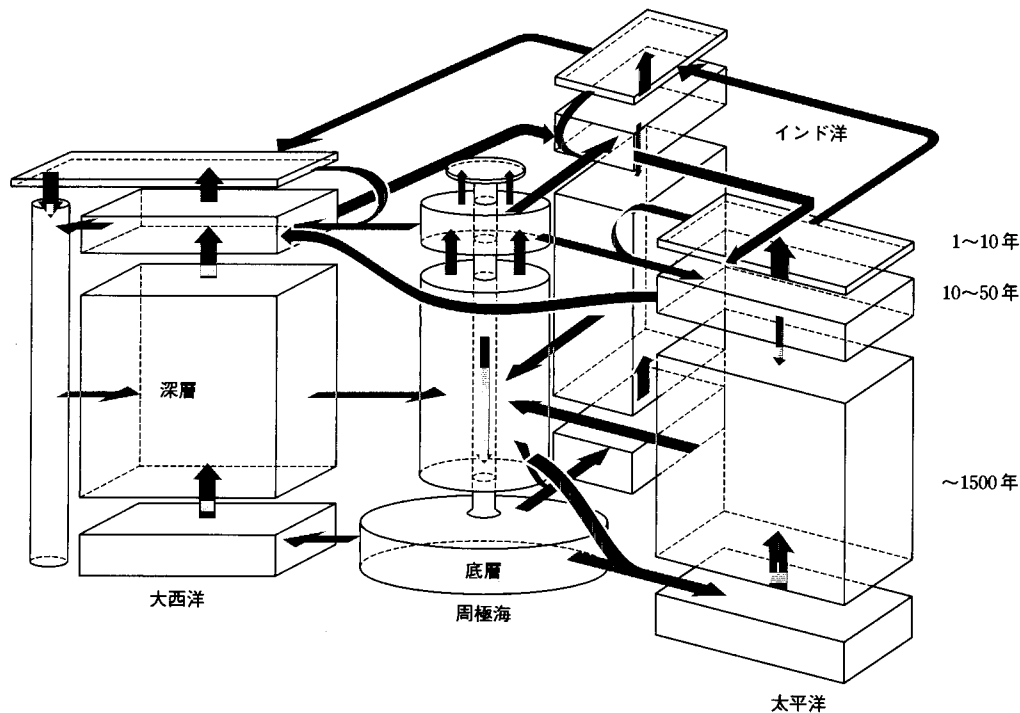


図3 海洋の循環の模式図と各層の循環における時間スケール

いるものは非常に少ない。変化が地質学的な何万年・何億年の時間をかけて起こるならば、地球温暖化は来るべき次の氷河期を緩和するものとして歓迎すべきことかもしれない。しかし現在問題とされている変動はもっと短時間で起こる変化で、恐ろしいのは急激な変化に伴う気候システムのバランスが壊れることの方で、温暖化の影響は、局所的・一時的には異常低温・異常寒波を引き起こすようなことにも現れる。最近の異常気象の増加はすでにそれが顕在化しつつあるものと考えられるのである。温暖化

は、陸上にある水を溶かし海水面上昇をもたらすことはよく報道されており、陸水が全部溶けると海水面は数十メートル上昇するとされる。建設省にいる友人の話では、50cmの水位上昇が、100年以上の時間スケールで起こるならば十分対処できるが、20～30年の間に起こるならお手上げだと言う。海岸堤防の寿命は100年程度であるから、100年以上なら補修・改修時に対処すれば良いが、30年ならば全国いっせいに嵩上げ工事を行わなければならない、それは事実上不可能だという訳である。

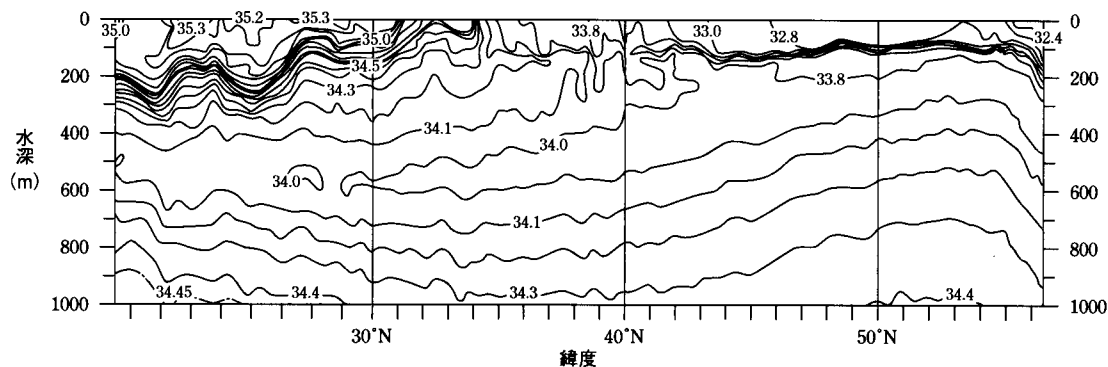


図4 北太平洋の南北断面における塩分 (%) の分布

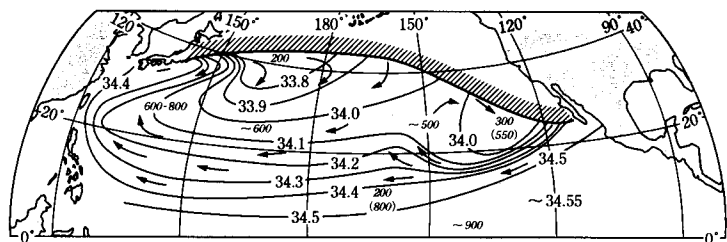


図5 図4の塩分極小のところでの塩分(‰)の平面分布と推定される水の水平循環 (3桁の数値はその場所のおよその深さを示す)

北太平洋においても、中層循環が発達していて、図4に示すように中緯度の広い範囲に上下よりも塩分値の小さい塩分極小層（この近くの水を北太平洋中層水とよぶ）が発達していることが古くから知られている。上下より低い値であるから上下の水の混合では作り得ないから、この水はどこから運ばれてきたものでなければならない。塩分極小のところでの塩分の平面分布を示したものが図5である。また、その上での推定された循環の様子も示されている。この平面図は1942年に発行された古い教科書(Sverdrup et al.,1942) から引用したものであるが、細部を除けば現在の知見とほぼ一致している。最近の数値実験の結果によると、中層水が、ぐるっと一周するのに40年位かかるとされており、水温変動が主として中層にしか及ばないならば、先に述べたように海洋の緩和作用の時間スケールは40年程度でしかないことになる。

このような重い水は、冬季の冷却によって海面近くで作られるはずであるが、亜寒帯太平洋では厳冬期でも、そのような重い水はどこにも発見されず、成因は長い間謎のままであった。わが国の木谷博士(Kitani,1973)がオホーツク海北西部の陸棚の海底近くに結水点に近い水温を持つ塩分の高い重い水が秋口になっても存在することを発見し、これが冬季の結水にとまって排出されるブラインとよばれる濃い塩水に起因することを示した。しかし、北太平洋中層水の生成と結びつけて論じられるようになったのは、実に新しく1992年に北太平洋海洋科学機構(PICES)が設立され、その海洋物理学

と気候に関する科学委員会(当時の委員長永田豊)でオホーツク海が大きく取り上げられてからである。この委員会は、オホーツク海作業委員会を設立し、その知見と研究に関する報告(Talley and Nagata, 1995)を纏めると共に、2度にわたってオホーツク海に関するシンポジウム

を開催してきている。最近のオホーツク海研究の進展には目覚ましいものがあり、2000年春の日本海洋学会の春季大会では、ロシアの研究者を含めて22件ものオホーツク海の研究発表があったほどである。

最近の研究の一例として、ロシアの観測結果(Figurkin and Zhigalov,1999)から、1997年の4~5月、7~8月の陸棚上の重い冷水の分布状況を図6に示す。この重い水の生成には冬季の強い大陸から吹き出す季節風が預かっている。図7は厳冬期のオホーツク海の海水分布を模式的に示したものであるが、強い季節風によって海水は沖合に運ばれて恒常的に開水面(ポリニア)が岸沿いに形成される。氷

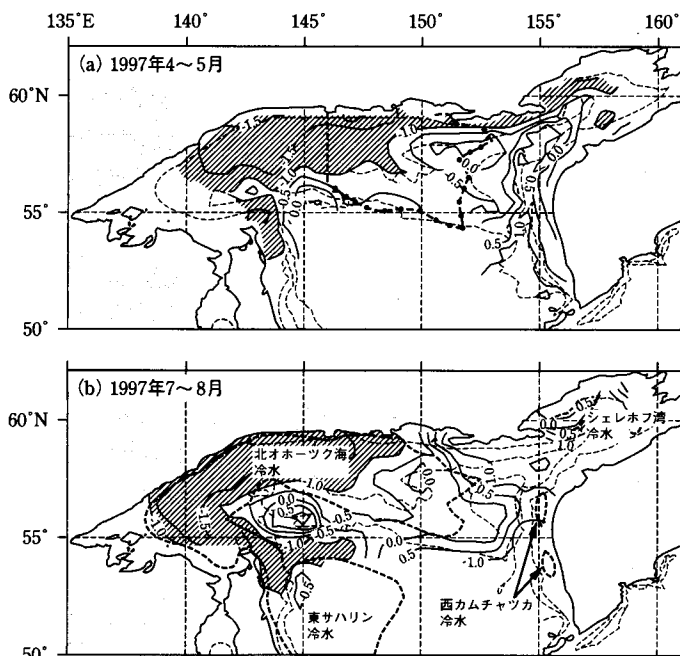


図6 オホーツク海北部での冷水の分布。陸棚上では海底近くの水温を、外洋では温度極小層の水温を示す。破線は冷水の広がり外縁を示し、特に水温が $-1^{\circ}\text{C}$ 以下の部分を斜線で示す。

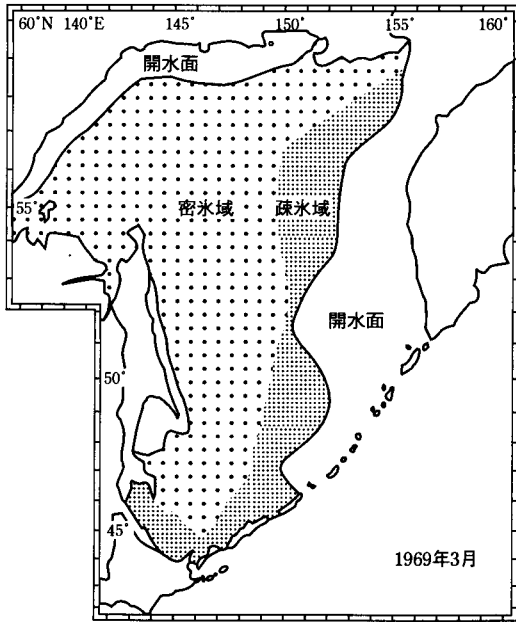


図7 厳冬のオホーツク海の模式的な海氷分布

が一旦張り詰めると熱の伝達を妨げるため氷の生成率が著しく減少する。しかし、開水面では海水は容易に熱を奪われ、盛んに海氷が生成される。このできた氷が次々に沖合に運ばれ、海水面が維持されるから、ここで一冬に生成される海氷の量は莫大なものとなり、ために生成される重い水の量も莫大なものとなる。図6の観測によると北部および北東部の陸棚域でもかなりの量の重い水が作られているよう

で、この部分で作られた水は、陸棚上に西に運ばれ、北西部の陸棚からサハリンの北を通りオホーツク海の中央部に流れ出ているようである。

この冷たい水の生成量が北太平洋中層水全体をまかなうに十分な量であることは、すでに指摘されている。この冷水は、そのまま北太平洋中層水となるのではなく、サハリン北東にある浅瀬付近で、あるいはクリル(千島)列島間の海峡を通過する際に、潮汐混合などで大きく変質し、太平洋に流れてきた後もさらにわが国の三陸沖で黒潮に運ばれてきた古い中層水(亜熱帯の中層を一周してきた水)と混合する等、非常に複雑な水塊変質が起こることが知られている。しかし、その詳細を明らかにし、気候変動予想モデルに組込んでいくためには、まだまだ多くの研究が必要とされる。しかし、このような最近の研究を通して、数十年の時間スケールの気候変動を正確に予測する海洋モデルの構築の糸口は、ようやく得られつつあるのである。

#### 参考文献

- Figurkin, A.L., and I. A. Zhigalov, . PICES Scientific Report No. 12, 1999.  
 Kitani, K., Bull. Far Seas Fish. Res. Lab., 9, 45-76, 1973.  
 Nagata, Y., PICES Press, 3-1, 9-11  
 Stauffer R. J., S. Manabe and K. Bryan, Nature, 342, 1989.  
 Sverdrup, H.U., M.W. Johnson and R.H. Fleming, Printice-Hall, pp1087, 1942.  
 Talley, L. D. and Y. Nagata, PICES Scientific Report No. 2, 1995.

サイエンスネット第8号

平成12年5月発行(年3回発行予定)

発行所 数研出版株式会社

頒価 100円

東京 〒102-0073 東京都千代田区九段北1-12-11

TEL (03) 3265-0811 (代表)

京都 〒604-0867 京都市中京区烏丸丸太町西入ル

TEL (075) 231-0161 (代表)

150405