

## 2005年秋季極域・寒冷域研究連絡会の報告

日本気象学会2005年度秋季大会(神戸)3日目(11月22日)のセッション終了後に、極域・寒冷域研究連絡会が大会B会場(神戸大学瀧川記念学術交流会館大会議室)にて行われた。出席者は約60名であった。今回の極域・寒冷域研究連絡会は、「オホーツク海から気候変動を探る」と題しての講演会を行った。オホーツク海は、北半球海氷域の南限であり、気候変動に敏感な領域である。そのオホーツク海の古海洋・古気候について、2名の方に、基本的な説明も交えながら講演して頂いた。その後、気候モデルを用いた過去及び将来のモンスーン活動の研究についての包括的な講演を1名の方にしていただいた。今回の講演会により異分野の研究者との交流の場を設けた事で、アジア域を中心とする気候変動研究の裾野がより広がることを期待している。以下に、各講演者より寄せられた講演要旨を紹介する。

代 表:

山崎孝治(北海道大学大学院地球環境科学研究院)

世話人:

平沢尚彦(国立極地研究所)

中村 尚(東京大学理学系研究科)

浮田甚郎(千葉大学)

高田久美子(地球環境フロンティア研究センター)

阿部彩子(東京大学気候システム研究センター)

佐藤 薫(東京大学理学系研究科)

本田明治(地球環境フロンティア研究センター)

齋藤冬樹(東京大学気候システム研究センター)

猪上 淳(地球環境観測研究センター)

高谷康太郎(地球環境フロンティア研究センター)

[http://polaris.nipr.ac.jp/~pras/coolnet/cl\\_index](http://polaris.nipr.ac.jp/~pras/coolnet/cl_index)

話題:

### 1. 「オホーツク海表層水温変動に影響を与える淡水インパクト ―海底堆積物に残された過去12万年の記録―」

原田尚美(地球環境観測研究センター)

#### 1.1 はじめに

オホーツク海は、冬季に海水によって覆われる世界で最も赤道寄りに位置する縁辺海である。海水の分布面積や厚さの変化は、地球の温暖化や寒冷化に敏感に応答すると考えられる。一方で、オホーツク海南西部の表層水温の変動は直接、オホーツク高気圧の発生や盛衰に影響を与えと言われており、オホーツク海的环境変動は、地球規模の気候変動の影響を受ける一方で日本を含む東アジアの地域的な気候変動に影響を及ぼすといった両側面を持ち合わせる。また、オホーツク海で形成される北太平洋中層水の起源水は、北太平洋中層循環の根幹として重要な役割を果たす。本研究では、オホーツク海の特徴を利用して北半球の高緯度域の気候変動を高い時間分解能で把握することを目的とした。具体的には、オホーツク海南西部における過去12万年にわたる表層水温と塩分の変化を復元し、地球規模の気候変動との関連について考察を行った。

#### 1.2 試料と方法

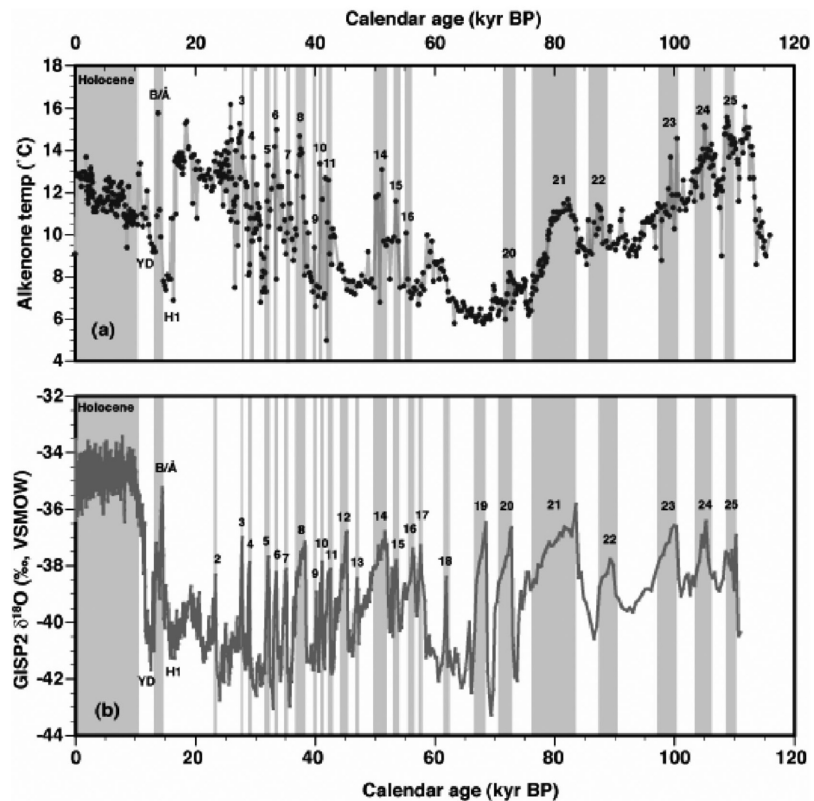
海底堆積物は、オホーツク海南西部において2001年にIMAGES航海によって採取された(MD01-2412, 44°32'N, 145°00'E; 水深, 1225 m)。水温、塩分の指標として長鎖不飽和アルキルケトン(アルケノン)を用いた。アルケノンとは、ハプト藻の中の *Emiliania huxleyi* および *Gephyrosapsa oceanica* (いずれも円石藻) が合成する水温指標性化合物であり、炭素数が37個のケトン化合物で炭素間の二重結合部が2つのもの( $C_{37:2}$ )と3つのもの( $C_{37:3}$ )があり、現場の生息水温(表層10~30 m 深度)とこの2つのケトンの相対量の変動とに相関関係がある(Prahl *et al.*, 1988)。最近の研究によると、4不飽和アルケノン( $C_{37:4}$ )の全アルケノン量に対する相対量が現場の塩分濃度と

逆相関の関係があることがわかってきた (Harada *et al.*, 2003). 本研究では, 7.2 cm 毎にアルケノンの定量分析を行った. 年代モデルから見積もられた時間分解能は, 1 試料あたり20年 (完新世)~100年弱 (氷期) の平均値を示す. また, オホーツク海ではアルケノン合成藻類は *Emiliania huxleyi* のみであり, 現在では秋 (10-11月) に1年で最も活発な生息時期を迎えることから, 秋の水温塩分を示す指標と言える.

### 1.3 結果

第1図に過去12万年間のアルケノン水温の変遷とグリーンランド氷床コア (GISP2) の酸素同位体比の変遷の結果を示す. アルケノン水温は, 5.5~16°C の範囲で, その変動幅は最終氷期 (18-55 kyrBP) で大きく, 短周期 (100年未満) で激しく変動していた. また GISP2 コアでみられる温暖イベント (interstadials) に同期して高いアルケノン水温を示していることから, オホーツク海の表層水温は, 北半球高緯度域の気候変動システムの強い影響下で変動していることが示唆された. 一方で塩分も大きく変動し, interstadials に低い塩分を示す事がわかった. この氷期の interstadials に示された高温低塩水の原因として3つの淡水インパクトを考えている. 1つ目は, 宗谷暖流の停止である. 本研究の地点は知床沖に位置し, 宗谷暖流水が南下してくる通り道である. 宗谷海峡の平均的な水深は約55 m であり, 氷期における低海水準により, 宗谷海峡は閉じていたことがわかっている. つまり高塩分である宗谷暖流の供給が停止していたために, 低塩となっていたと考えられる. 2つ目は, モンスーンの影響である. 夏の東アジアモンスーンの活動度 (相対降水量の変動) を示す中国南京の鍾乳石に記録された酸素同位体比の結

果によると, stadial (寒冷期) に比べ, interstadials において夏の相対降水量が多いことがわかった (Wang *et al.*, 2001). オホーツク海ではモンスーンの影響は, アムール河からの流入量の変動として受ける. アムールからの流入水は夏から秋にかけて1年で最も多く, しかも高温であることがわかっている (Ogi *et al.*, 2001). 従って, interstadials に夏の東アジアモンスーンは活発化しており, 降水量の増大にともなうアムール川起源の高温の淡水がオホーツク海南西部の表層水にも影響を与えていた可能性がある. また, 河川のみならず, 東アジアモンスーンの活発化によるオホーツク海上空の暖かい湿った気団及びそれがもたらす降水の影響といった, 大気側からの寄与も否定できない. 3つ目は海水の融氷水の存在である. Interstadials とはいえ, 気候は氷期のモードであり, 海水の被覆期間は現在 (4 か月) よりも長かった. このことは現在, 至る所に生息しているアルケノ



第1図 (a) 過去12万年間のアルケノン水温変動 (Harada *et al.*, 2006). (b) グリーンランド氷床コア GISP2 の酸素同位体比の変化 (Groote and Stuiver, 1997). グレーのバーと番号は温暖イベントを示す. (kyr BP = kiloyear before present: 現在より1000年前)

ン合成藻類が、長期間（半年以上）にわたって海水に被覆される北極域や南極域付近では、ほとんど生息しない事実と、堆積物中の interstadials のアルケノン含有量が完新世（この1万年間つづく温暖期）に比べて非常に少ないことから推測される。海水の被覆期間が長くなると融氷期は初夏へずれ込むことになり、溶けた低塩水は、初夏の海洋表層の成層化の安定を保つのに寄与する。成層化した表層水は、夏の日射で簡単に高温化し、結果として高温低塩水として夏から秋にかけて表層水を覆っていたのではないかと推測される。

高温低塩水の3つの要因の中で特筆すべきは、低緯度にその起源をもつモンスーンとの関連であろう。ここには示さなかったが、アルケノン含有量の変動パターンが中・低緯度域における大気循環インデックスの変動パターン (Mayewski *et al.*, 1997) と非常に類似していることから高緯度域のオホーツク海が中低緯度域の大気循環変動の影響を強く受けていることが示唆される。本研究は、高緯度—中低緯度の気候変動のリンケージを太平洋の高緯度域において数十年の分解能で示す希少な結果である。

## 2. 「オホーツク海水の数百年～数千年周期の急激な拡大・縮小イベント —海底堆積物コアに残された過去12万年の記録—」

坂本竜彦（海洋研究開発機構  
地球内部変動研究センター）

海水は、気候システムの中で熱および塩分の再配分という点で重要な役割を果たしている。海水形成に伴って排出される低温高塩分のブライン水<sup>†</sup>は高密度水として海洋中・深層に沈み込むため、特に、数百年～数千年の時間スケールでは、海洋における熱塩循環に大きな影響を及ぼす。この点で、過去の海水変動を復元し、その変動の様子を知ることは、数百年～数千年周期の気候変動のメカニズムを理解するために重要となる。

過去の気候・海洋変動を復元するためには、海底堆積物中に残された様々なプロキシ (proxy, 環境指標) を使用する。現在の地球を観測する方法に対し、古気候学・古海洋学では、プロキシを使って間接的に

過去の地球を観測する方法をとる。プロキシは、温度、塩分、生物生産性など直接観測する物理化学生物量と堆積物中の諸属性を比較することで、実験的、観測的、経験的に構築される。プロキシによって、定性的であるか定量的であるか、定量的である場合にはどの程度の誤差を含むかは様々であるので、その使用には注意が必要である。海水の復元には、海底堆積物に含まれた漂流岩屑 (Ice-rafted debris: IRD) や氷生藻類の殻などが使われる。私たちは、オホーツク海における IRD について、セディメントトラップによる現在の IRD 堆積、海底表層堆積物による IRD の分布と起源、海底堆積物コアによる過去12万年間の海水変動の復元を行った。

1998年～2000年の2年間にサハリン沖で行ったセディメントトラップでは、秋と春先の年2回、陸上起源粒子フラックスの増加が確認された。春先のフラックスの増加は衛星観測から導かれた海水密度の急減 (融氷) に発生し、シルト—砂サイズの粒子で校正され、IRD の堆積現象であることが確かめられた。オホーツク海における IRD は63  $\mu\text{m}$  以上の粒子群であることが粒度分析の結果から決定づけられた。

面的な海底表層堆積物中の粒度、鉱物組成の分析から、数十年～数百年の平均的な IRD の分布は、現在の海水拡大域に対応していること、長石類の含有量がアムール河口に向かうほど高くなることから、海水は現在と同じように常にオホーツク北西から拡大していたことが推測された。

オホーツク中央部東西方向に分布する3本の海底堆積物コア中の IRD およびその鉱物組成の分析から、過去10万年間に合計13回、急激に海水が拡大・縮小するイベント (Okhotsk Sea-Ice Expansion Events) が確認された。これらの拡大はグリーンランド氷床コア中のダストの分析から推定された極域大気循環指標 (Polar Circulation Index: Mayewski *et al.*, 1997) の極大期に相当することから、数百年～数千年周期においては、極域大気循環の強化がオホーツク海周辺の風の場合 (平均的なアリューシャン低気圧の勢力) を強め、海水の拡大を導くことが推定された。今後、ベーリング海などを含めた、より面的な海水拡大域の復元、海水形成に伴う寒冷化へのフィードバック効果、海水形成に伴う陸棚水塊の形成とオホーツク中層水の生成率などの議論を発展させていきたいと考えている。

<sup>†</sup> ブライン水：氷が形成されるとき、海水中的の淡水が結氷し、海水中的の塩分が排出される。その結果形成される高塩分で高密度の水をブラインとよぶ。

### 3. 「気候モデルによる過去・現在・将来のモン スーンシミュレーション」

鬼頭昭雄（気象研究所）

現在、世界の約20の研究機関で最新の全球大気海洋結合大循環モデル（AOGCM）を用いての20世紀気候再現実験及び各種シナリオ下での21世紀気候予測実験（いわゆる地球温暖化予測実験）が実行され、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第4次評価報告書（AR4）に向けて様々な解析が行われている。冬の高緯度や夏季亜熱帯乾燥域での大きい昇温、高緯度と低緯度の降水量増加や亜熱帯域での降水量減少などの大陸規模での気温・降水量変化とその空間パターンについては、IPCC第3次評価報告書（TAR）と定性的な違いはないが、annular modeの変化や基本場のエルニーニョの応答などの新たな知見も出てきた。TARと比べると、フラックス補正を用いないモデルの割合がAR4では格段に増大しているが、フラックス補正を用いないことによる基本場のバイアス（北太平洋域における海水域の拡がりすぎや熱帯太平洋の東海水温傾度の誤差など）の存在は、大気・海洋の応答を評価する上で考慮されるべき問題であるといえる。

古気候モデリング相互比較実験（PMIP2）では、主として6000年前の完新世中期と21000年前の最終氷期最盛期をターゲットとして、温暖化実験に使用しているものと同じAOGCMでの計算が行われている。研究会では、気象研究所での6000年前（6 ka）の気候再現結果を紹介した。PMIP2では、「現在（0 ka）」としては産業革命以前の二酸化炭素量（280 ppm）を与えた実験を用いる。6 kaと0 kaとの違いは、地球軌道要素のみである。フラックス補正ありの場合と、フラックス補正なしの場合の両方で実験を行った。

6 kaの大気頂での太陽放射量は、北半球の夏から秋に0 kaより大きく、冬から春に少ない。そのため、6 kaの地上気温変化としては、北半球夏季の大陸上では0 kaより温暖だが、冬から春には寒冷であり、気温の年較差が大きくなる。低緯度の太陽放射量が約 $1 \text{ W m}^{-2}$ 少ないことを反映して、海面水温は約0.4度低い。大陸上及び低緯度での気温・降水量・海面塩分濃度変化は、各季節ともフラックス補正の有無如何に関わらず似た空間分布であるが、北太平洋域では0 ka気候値の海水分布の差（フラックス補正なし実験では高緯度海面水温は低温バイアスで海水が過剰に張っている）に起因する応答の差が生じた。エルニーニョ南方振動現象（ENSO）の変調を調べたところ、

フラックス補正あり実験では0 kaと6 kaに大きな差が現れなかったが、フラックス補正なし実験では6 kaのENSOが0 kaに比べて振幅が弱いことがわかった。両実験での差は、フラックス補正の有無による熱帯太平洋の大気と海洋の感度の違いによると考えられ、今後詰めていく必要がある。

#### お詫びおよび謝辞

編集作業が遅れ、研究会報告が大幅に遅れてしまったことを、ここに心からお詫びいたします。また、講演を快く引き受けてくださった諸氏に感謝申し上げます。

#### 参考文献

- Grootes, P. M. and M. Stuiver, 1997 : Oxygen 18/16 variability in Greenland snow and ice with  $10^3$  to  $10^5$ -year time resolution, *J. Geophys. Res.*, **102**, 26455-26470.
- Harada, N., K.-H. Shin, A. Murata, M. Uchida and T. Nakatani, 2003 : Characteristics of alkenones synthesized by a bloom of *Emiliania huxleyi* in the Bering Sea, *Geochim. Cosmochim. Acta*, **67**, 1507-1519.
- Harada, N., N. Ahagon, T. Sakamoto, M. Uchida, M. Ikehara and Y. Shibata, 2006 : Rapid fluctuation of alkenone temperature in the southwestern Okhotsk Sea during the past 120 kyr, *Global Planet. Change* (in press).
- Mayewski, P. A., L. D. Meeker, M. S. Twickler, W. Whitlow, Q. Yang, W. B. Lyons and M. Prentice, 1997 : Major features and forcing of high-latitude northern hemisphere atmospheric circulation using a 110,000-year-long glaciochemical series, *J. Geophys. Res.*, **102**, 26345-26366.
- Ogi, M., Y. Tachibana, F. Nishio and M. A. Danchenkov, 2001 : Does the fresh water supply from the Amur River flowing into the Sea of Okhotsk affect sea ice formation?, *J. Meteor. Soc. Japan*, **79**, 123-129.
- Prahl, F. G., L. A. Muehlhausen and D. L. Zahnle, 1988 : Further evaluation of long-chain alkenones as indicators of paleoceanographic conditions, *Geochim. Cosmochim. Acta*, **52**, 2303-2310.
- Wang, Y. J., H. Cheng, R. L. Edwards, Z. S. An, J. Y. Wu, C.-C. Shen and J. A. Dorale, 2001 : A high-resolution absolute-dated late Pleistocene monsoon record from Hulu Cave, China, *Science*, **294**, 2345-2348, doi : 10. 1126/science. 1064618.