

氷河コアによる環オホーツク地域の 環境変遷の復元

成田英器(総合地球環境学研究所)

白岩孝行(北海道大学低温科学研究所)

はじめに

氷床コアは過去の地球環境シグナルを高分解能で解析できる試料として使用されている。それは陸域や海洋域から季節毎に運ばれる物質が降雪と共に堆積し、凍結状態で保存されているからである。カムチャッカ氷冠は北東シベリアやオホーツク海に隣接しているために、そこで発生する環境イベントのシグナルを保存している有力なところである。また、アラスカやカナダの氷冠は北東シベリアや中国・乾燥域の偏西風の風下にあたり、特に、アジア乾燥域から運ばれる黄砂はそれらのコアに明確に記録されている。本研究計画における氷コア研究では、過去約1000年間の自然、及び人為環境シグナルの変遷をコア記録から復元し、それらが人間活動やシステムの変化とどのように関わっているかを明らかにすることを目標としている。ここでは、まず、これらの氷冠から採取される氷コアの解析からどのような環境シグナルが得られ、また、どのような環境シグナルとその変動の復元が期待されるかについて述べる。

氷河コアから得られるシグナル

1. 気候・人為環境シグナル

氷コアから過去の気温を推定するために、氷の酸素同位体組成比 ($\delta^{18}\text{O}$) が使われる。これによって気温の季節変動を復元でき、それから年間涵養量変動などを求めることができる。

図-1 は、カムチャッカ半島のウシュコフスキー氷冠コアで測定された年平均酸素同位体比とその変動を基本として年層

を推定して求められた年涵養量を、そして、年平均 Nitrate イオンの過去 170 年間の変動を示したものである (Shiraiwa and Tchoumitchev: 2002)。 $\delta^{18}\text{O}$ はそれぞれ気温変化と低気圧活動の指標であり、化学成分イオンは人為起源の汚染シグナルを意味する。この図から、涵養量は細かな変動はあるものの明瞭な長期変動は見られない。一方、19 世紀から 20 世紀にかけて気温の上昇と周期的な降水量変動が見られる。また、人為汚染として 1860 年以降 Nitrate イオンの増加が見られる。図-2 に、この年間涵養量とカナダ・ローガン山コアの年間涵養量の変化を示した (白岩, 山口: 2002, Holdsworth et al.: 1992)。11 年の移動平均をとった太線の変動を見ると、涵養量はそれぞれ数十年の変化が見られる。しかも、両者は逆相関的に変化している。これは海洋における北太平洋振動の周期(PDO)とほぼ一致し、両者の涵養量変化は密接に海洋と関係していることが推測できる (立花: 本会報)。このことから、現在の数年間の気象データ等による気候変動現象解析を氷コアデータを使って、更に過去数十年間の変動にさかのぼってそれを推定できる可能性がある。

2. 乾燥域からの黄砂

中国乾燥域から発生した黄砂はオホーツク海を含む北太平洋の広い範囲を通過してアラスカや北カナダ、そしてグリーンランド氷床にまで達する。図-3 はグリーンランド・Site-J コアの固体微粒子濃度と中国における黄砂発生頻度とを比較した

ものである。グリーンランド氷床の内陸部に堆積する固体微粒子は主に北米大陸の乾燥地域から運ばれたものと考えられていたが (Hammer et al.: 1978), 春に中国大陸の乾燥域で多発する低気圧を伴った寒冷前線により、黄砂が大量に大気中に放出され、偏西風によって運ばれたものも混じっていることが確かめられている (Biscaye, et al.: 1997)。図-4 は北米ローガン山氷河の Snow pit による Fe, Al, Ca 成分の深さ分布である。Snow pit の断面観測によると、褐色の汚れ層が 0.02-0.35 m と 1.3-1.4 m の深さにあり、そこに Fe, Al, Ca 成分のピークがある (的場等: 2002)。粘土鉱物のカオリンやモンモリロナイトには、Fe や Al 成分が多く含まれているので、黄砂の中でもそれらの類が多く含まれているものと考えられる。図-5 は中国・西崑崙山コアの約 20 m 深の固体微粒子 (dust) の電子顕微鏡写真と EDS 分析した結果の一例である。Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Fe が含まれていることが分かる。Okada 等 (Okada, et al., 1990) は北太平洋上大気に浮遊していた黄砂粒子において検出された元素の頻度を X 線定性分析で調べた。それによれば、Mg, Al, Si, K, Cl, Fe, Ca 等が多く検出されており、黄砂にも粘土成分が多く含まれていることを示唆している。データ量はまだ不十分であるが、両者の成分は良く似ている。このように、中国大陸の乾燥域を発し、北米やグリーンランドに黄砂が達するまでに海洋に大量の粘土鉱物を多く含む黄砂をもたらす。そして、この注入が海洋の生物生産にどのような影響を及ぼすのであろうか。氷コア中の固体微粒子 (Dust) の成分分析は、まだ十分に行われているわけではない。氷コア研究に

よる北太平洋への過去の黄砂降下変動、及びその成分・解析結果が待たれるところである。

3. 北東シベリアからのエアロゾル

また、最近北東シベリアやカムチャッカ地域で山火事が多発し、そして工業化が進んでおり、これらによる汚染大気が増加している。これらのエアロゾルもまた氷コアの中に堆積している可能性が十分ある。産業革命以降の石炭や石油の使用によるコア中の硫酸イオンや硝酸イオンの急増はよく知られていることである (例えば、Keeling, 1973; Boden et al., 1990; Fujii et al.)。乾燥化によって発生するエアロゾル、そして、森林から発生する有機脂肪酸エアロゾルは工業化や農地化に伴う森林伐採の変化をコアに残しているのであろうか。一方、森林火災は最近の気候変化による乾燥化や人間の火の不始末によって頻繁になっている。火災によって発生する煤が隣接するカムチャッカ氷冠のコアに保存されている可能性も十分考えられる。

氷河コア解析の課題

これまで述べてきたように、カムチャッカや北米の氷河コアを調べることによって北東アジアの自然環境変動のバックグラウンドを基本に人為起源による環境シグナルの変動と北太平洋を中心とした気候システムを知ることができる可能性があり、これまでの解析実績から更に詳しい水涵養量、気温などの気候要素、人為起源の化学主成分、黄砂などの固体微粒子飛来頻度の様子などが比較的容易に得られそうである。また、Kawamura 等 (1996)、河村 (2002) はグリーンランド・Site J コア

の全有機態炭素に占める高分子脂肪酸の割合が1700年から1800年にかけてと1920年から1940年付近に増加傾向を見せたことを示した。特に、後者は北アメリカにおける乾燥化と多くのダストストームの結果であると考えた。このようにカムチャッカコアについても考えると、中国北部における1958年以降の急激な農耕地化による土壌粒子飛来の変化がコアに記録されているかもしれない。一方、最近急増している北東シベリアの森林火災情報である。森林火災によって放出される特有な物質はどのようなものなのであろうか。米国のアラスカ・フェアバンクス郊外のカリブー・ポーカークリーク実験流域で実地された大規模森林火災実験(FROSTFIREプロジェクト、本会報・柴田)の詳細な結果が待たれるところである。

氷コアは、はじめに述べたように、環境シグナルを凍結して保存し、その時間分解能が海底や湖沼コアよりも高い点で優れている。これは、年涵養量の多く、雪の融解が起こらない極域のコア試料に対してである。しかしながら、カムチャッカや北米の低高度にある氷冠では、夏季に表面融解が起こり、その融解水の浸透で時系列データが失われ、そのためにせつかくのデータの時間分解能が悪くなっている恐れがある。北米コアはそれを避けるために融解の起こらない高度で採取されているが、カムチャッカコアはその地理的位置と高度が低いために融解から逃れられない現状である。融解コアの年代決定、化学成分プロファイルなど融解水と共に移動する環境シグナル物質の挙動をどう解釈するかなど解析課題が残っている。

文献

- Biscaye, P.E., Grousset, F.E., Revel, M., Gaast, S., Ziilenski, G.A and Kukla, G. (1997) : Asian provenance of glacial dust (stage 2) in the Greenland Ice Sheet Project 2 Ice Core, Summit, Greenland. *J. Geophys. Res.*, **102**, 26765-26871.
- Borden, T. A., Kanchiruk, P. and Farrell, M. P. (1990) : Trends '90, A Compendium of Data on Global Change. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Tennessee, USA., 87-133.
- 張 (1982): 歴史時期“雨土”現象剖析, 科学通報, 27, 294-288.
- Fujii, Y., Kamiyama, K., Shoji, H., Narita, H., Nishio, F., Kameda, T. and Watanabe, O. (2001) : 210-years ice core records of dust storms, volcanic eruptions and acidification at Site-J, Greenland, *Mem. Natl Inst. Polar Res., Spec. Issue*, 54, 209-220.
- Hammer, C.U., Clausen, H.B., Dansgaard, W., Gundestrup, N., Johnsen, S.J. and Reeh, N. (1978) : Dating of Greenland ice cores by flow models, isotopes, volcanic debris, and continental dust. *J. Glaciol.*, **20**, 3-26.
- Holdsworth, G., Krouse, H.R. and Nosal, M. (1992) : Ice core climate signals from Mount Logan, Yukon A. D. 1700-1987. In Bradley, R.S. and Jones, P.D. eds.: *Climate Science 1500*. Routledge, 483-504.
- Kawamura, K., Suzuki, I., Fujii, Y. and Watanabe, O. (1996) : Ice core record of fatty acids over the past 450 years in Greenland. *Geophys. Res. Lett.*, **23**, 2665-2668.
- 河村公隆 (2002) : 氷床コアの有機地球化学 : 過去の大気環境の復元, *Res. Org. Geochem.*, **17**, 1-11.

Keeling, C.D. (1973) : Industrial production of carbon dioxide from fossil fuels and limestone. *Tellus*, 25, 174-198.

的場澄人, 瀬川高弘, 山崎哲秀, 東久美子, 白岩孝行, 金森晶作, 藤井理行 (2002) : カナダ, ローガン山における積雪中の金属元素濃度プロファイル. 第 25 回極域気水圏シンポジウムプログラム・講演要旨 (国立極地研究所), 36 pp.

中尾正義, 藤井理行, 上田豊 (1995) : 雪氷コアによるアジアの乾燥史の復元, 雪氷コアによる砂漠形成史に関する研究, 名古屋大学水圏科学研究所, 76-83.

Okada, K., Naruse, H., Tanaka, T., Nemoto, O., Iwasaki, Y., Wu, P.M., Ono, A., Duce, R.A., Uematsu, M., Merrill, J.T. and Arai, K. (1990) : X-ray spectrometry of individual Asian dust storm particles over the Japanese islands and the North Pacific Ocean. *Atmos. Environ.*, **24A**, 1369-1378.

白岩孝行, 山口悟 (2002) : カムチャッカ半島の近年の氷河質量収支変動と気候変動復元. *地学雑誌*, **111**, 4, 476-485.

Shiraiwa, T. and Techoumitchev, S. A. (2002) : Mountain Environment in Kamchatka: Physical Backgrounds and Recent Changes in the Climate and Glaciers, *Global Environ. Res.*, 6, 1, 19-30.

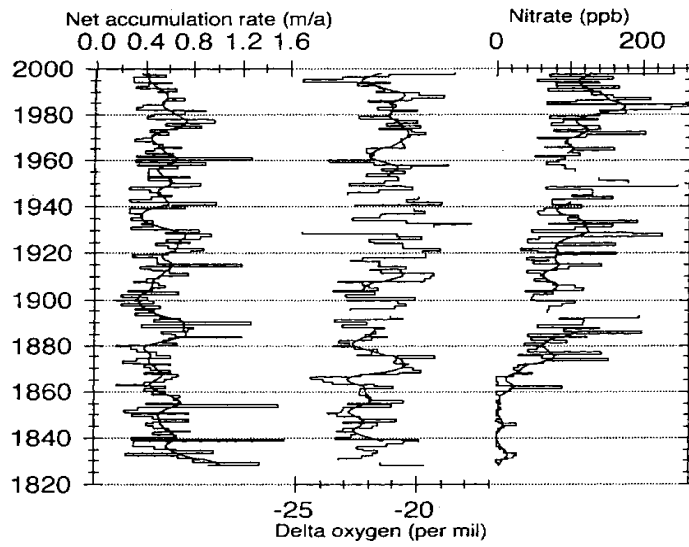


図-1. カムチャッカコアによる過去 170 年間の年涵養量と酸素同位体組成比 ($\delta^{18}\text{O}$), Nitrate 濃度

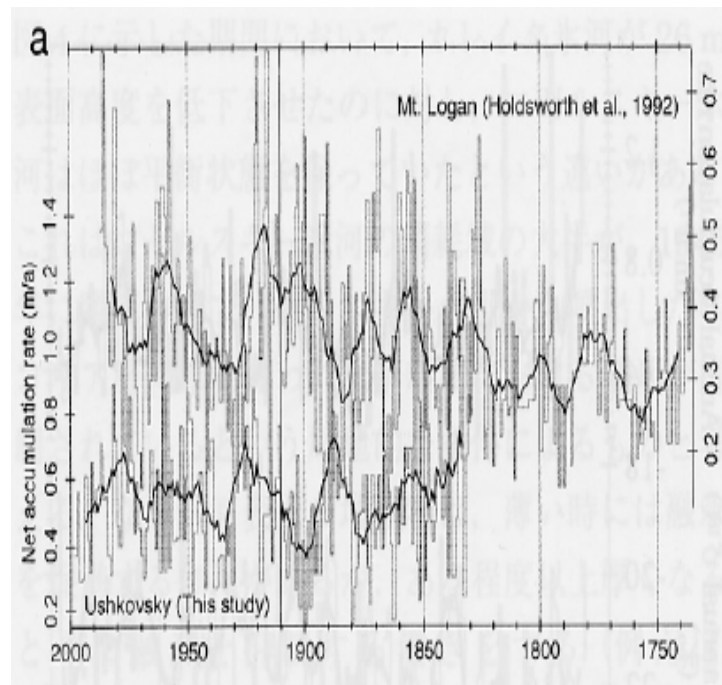


図-2. カムチャッカ半島のウシュコフスキー氷冠コアとカナダ・ローガン山のコアからの年涵養量変動

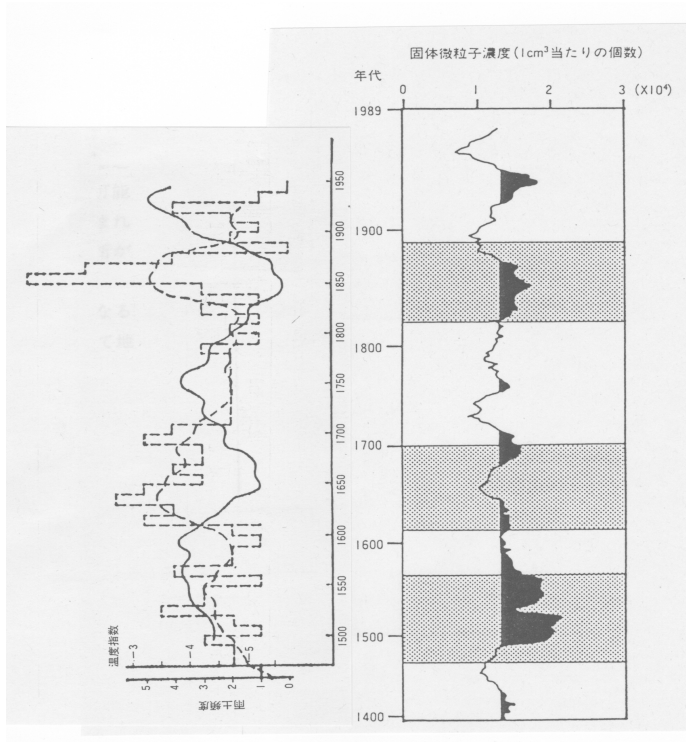


図-3. グリーンランド・Site-J コアの固体微粒子濃度と中国における黄砂発生頻度．左図は中国における最近 500 年間の黄砂頻度(破線)と温度指数(実線)．右図はグリーンランド・Site-J コアの固体微粒子濃度．両者の黄砂頻度と濃度は同期しているように見える。

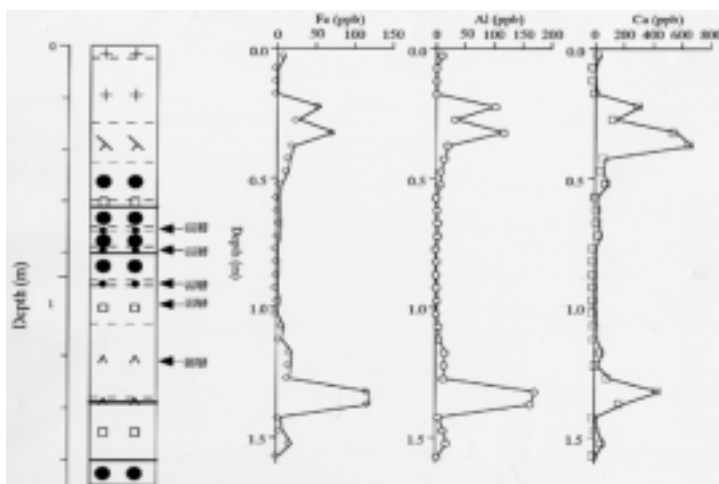


図-4. 北米ローガン山氷河の Snow pit による Fe, Al, Ca 成分の深さ分布である．Snow pit の断面観測

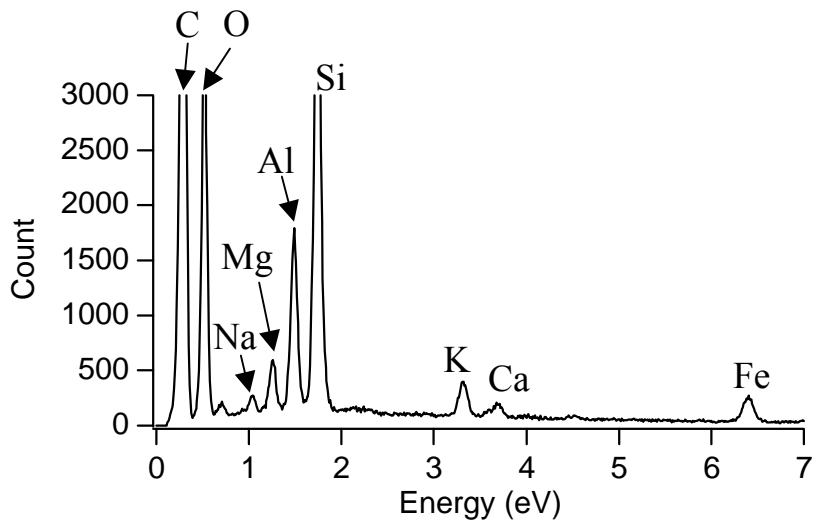
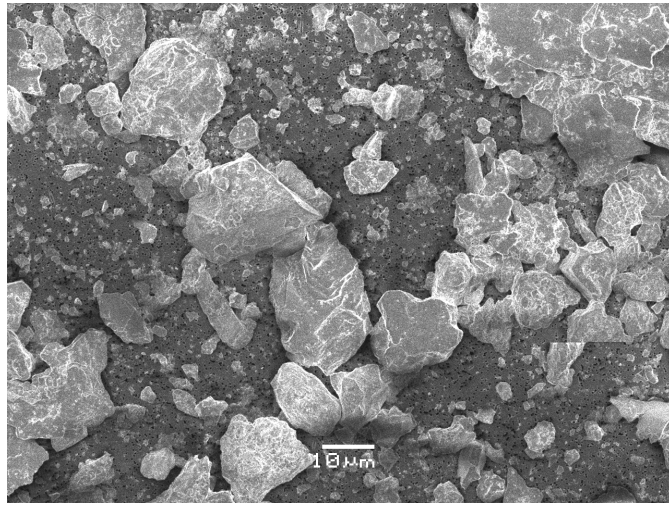


図-5. 中国・西崑崙コア 20 m 深さ付近の固体微粒子 (dust) の電子顕微鏡写真と EDS 分析結果