

解説・総説

南極多点浅層コア解析

——目的および最近の成果——

亀田 貴雄¹⁾, 本山 秀明²⁾, 西尾 文彦³⁾

要 旨

1997年から2002年にかけて、日本南極地域観測隊は東ドゥローニングモードランドの4地点(H72・MD364・DFS・YM85)において、浅層雪氷コア(50～100 m深)を採取した。本稿では、これらのコアの採取目的、掘削地点の特徴、最近の浅層コア解析の成果を紹介する。紹介した成果は、1) H72コアの年代決定法およびその誤差、2) 過去164年間におけるH72地点における表面質量収支の経年変動、3) 化学主成分から明らかになったH72における堆積環境の変遷、などである。また、今後の浅層コア解析の展望について述べた。

キーワード：南極，浅層コア，H72，ITASE，表面質量収支，堆積環境

Key words: Antarctica, Shallow core, H72, ITASE, surface mass balance, depositional environment

1. はじめに

日本の南極観測第V期五ヶ年計画(1997～2001)における雪氷分野での観測は、極地雪氷分科会将来計画委員会(委員長：西尾文彦)において基本研究課題を立案した(極地雪氷分科会将来計画委員会, 1997)。これは、「南極氷床変動システムの研究」としてまとめられ、3つの研究課題「東南極における氷床の質量収支に関する研究」、「氷床変動のダイナミクスに関する研究」、「氷床の質量収支に係わる諸プロセスに関する研究」から構成されている。この中の「東南極における氷床の質量収支に関する研究」では、氷床の浅層部に記録された種々のシグナルと表面質量収支および物質循環との関わりを明らかにし、深層コア解釈のための基本データを得ることを目的とした。このために、多点で浅層コア(50～100 m深程度)を採取し、過去数百年程度の表面質量収支の地域特性、環境変動を明らかにすることを計画し

た。

これは、南極氷床全体の表面質量収支を多くの浅層コアから解明しようとする国際南極横断観測計画(International Trans-Antarctic Scientific Expedition, 以後ITASE計画)の一部も担っている。ITASE計画とは、人間活動が地球環境に影響を及ぼすようになった「過去200年間の気候・環境の特徴」を南極の多点コアから明らかにしようとする計画で、12ヶ国(オーストラリア、ブラジル、中国、フランス、ドイツ、イタリア、英国、米国、日本、ノルウェー、スウェーデン、ロシア)が参加している。これらの国により、1997年から2003年にかけて多くの地点で浅層コアが採取される予定である(例えばMayewski and Goodwin, 1996)。米国は西南極氷床で浅層コア掘削を行ない、一部の解析結果はすでに出版されている。またドイツやノルウェーなどのヨーロッパ各国は、深層コア掘削の予察も兼ねてドゥローニングモードランドで浅層コアを採取し、解析を進めている(例えば, Isaksson, *et al.*, 1999)。

本稿では、日本南極地域観測隊により、1997年以降に南極東ドゥローニングモードランドで掘削された4本の浅層コアの採取目的、採取地点の

1) 北見工業大学土木開発工学科

〒090-8507 北見市公園町165

2) 国立極地研究所

〒173-8515 東京都板橋区加賀1-9-10

3) 千葉大学環境リモートセンシング研究センター

〒263-8522 千葉市弥生町1-33

特徴および現在までに基本解析が終了した H72 コアの主要な解析結果を報告し、今後の研究を展望する。

2. 目的およびコア採取地点の特徴

日本南極地域観測隊は、1969 年から 30 年以上にわたり、東南極みずほ高原（東ドゥローニングモードランドの一部）で雪氷観測を継続している。これまでの研究（Furukawa *et al.*, 1996; Watanabe, 1978）により、この地域は雪の正味の堆積量である表面質量収支の観点から、1) 海岸線から標高 2000 m 以下の比較的多くの雪が積もる「沿岸多涵養地域」、2) 標高 2000 m から 3600 m までの「堆積中断のために欠層が起こる中流域」、3) 標高 3600 m 以上の「内陸少涵養地域」、に分類される事がわかっている。本計画では、これら 3 つの地域を代表する地点で浅層コア掘削を行ない、質量収支の時空間変動の特徴を明らかにすることを目的とした。コア採取地点を図 1 および表 1 に示す。H72 は、沿岸多涵養域の中でも特に毎年多く雪が積もることが報告されている（たとえば、長

田 1992）。これは、H72 が氷床表面傾斜の緩い地点に位置するため、内陸からのカタバ風が弱まり、結果として多くの雪が積もるためと考えられる。第 39 次南極地域観測隊では、沿岸域における表面質量収支の年々変動を明らかにするために、この地点において 72.4 m 深のコアを採取した。なお、H72 周辺の沿岸多涵養地域では、すでに S25 コア（100 m, 1984 年）、H15 コア（120 m, 1991 年）も採取されているので、これらのコアの解析結果との比較研究も念頭においた。

また、YM85 地点においても第 42 次隊により 105.5 m 深の浅層コアが採取された。ここでは採取したコアの解析に加えて、掘削孔を用いたフィルンエアサンプリングが実施され、氷化に至るまでのフィルン中の大気組成および同位体組成が測定された。今後、コアの解析とともにフィルン中の大気成分の解析を行なう予定である。

中流域では、第 42 次隊が MD364（中継拠点）で 80.08 m 深のコアを採取した。MD364 は、1992 年 1 月から 97 年 1 月までの 5 年間の 50 本雪尺観測の結果、表面質量収支の平均は 10.5 mm/yr（水当量）*であったが、1 年毎の観測では表面質量収支がマイナスを示す雪尺観測地点もあった。つまり、1 年間を通じて雪面の削剥が卓越している場所もあった。このような「堆積中断」は、ルート雪尺や雪面形態の観測から明らかにされているが、雪尺設置以前についてはほとんどわかっていない。MD364 コアでは、このような「堆積中断の時間変動」を他のコア（例えば、連続的に堆積していることがわかっている H72 コアなど）の解析結果と比較することにより明らかにする事を目的とした。

内陸域では、第 38 次隊によりドームふじ観測拠点から 200 km 南のドーム南地点（DFS: Dome Fuji South）で浅層コアを採取した。これまでのドームふじ観測拠点での堆積過程の研究（Kameda *et al.*, 1997）から「内陸氷床での年間表面質量収支は 20 ~ 40 mm/yr（水当量）と少ないが、ほぼ毎月プラスである事」が明らかにされている。つまり、詳細にコアを分析すれば、酸素同位体組

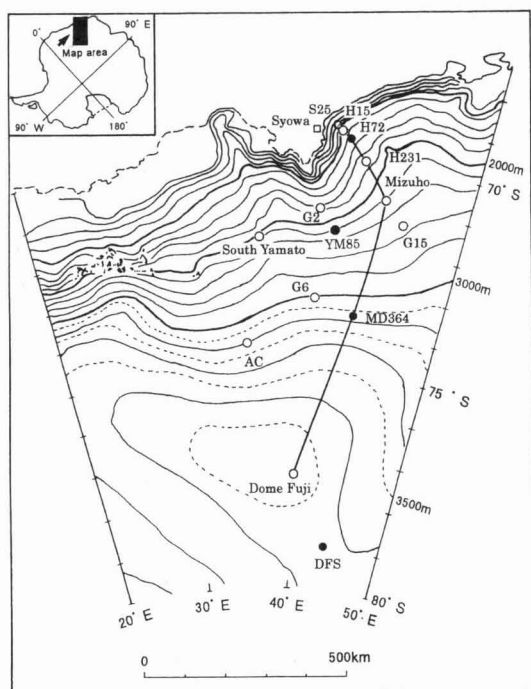


図 1 南極観測第 V 期五ヶ年計画期間 (1997 ~ 2001 年) で採取された 4 本の浅層コア (●)。それ以前に採取された 100 m 深以上のコアを○で示す。

* MD364 での平均表面質量収支の水当量計算では、Satow *et al.* (1999) による表面密度の計算式を使い、表面密度 ρ_s を 393 kg/m³ とした。

表1 南極観測第V期五ヶ年計画期間(1997年~2002年)において採取された浅層コア.

コア名	緯度, 経度	標高	掘削深	掘削年月 (隊次)
H72	69°12'17"S, 41°05'26"E	1214 m	73.28 m	1998年9月 (39次隊)
YM85	71°35'14"S, 40°38'05"E	2246 m	105.5 m	2002年1月 (42次隊)
MD364 (中継拠点)	74°00'29"S, 42°59'48"E	3353 m	80.08 m	2001年1月 (42次隊)
DFS (ドーム南)	79°00'02"S, 42°29'49"E	3699 m	56.43 m	1997年12月 (38次隊)

成やイオン濃度などの季節変動が抽出でき, 年層も確定できる可能性がある. また, これまでドームふじ観測拠点よりも内陸域では調査はほとんど行われておらず, 内陸域での表面質量収支や物質循環などの新たな情報入手が期待される. DFS コアではこれらの事を明らかにすることを目的として採取された.

3. H72 コア解析の主要な成果

南極で採取されたコアは, 国立極地研究所の低温実験室にて解析を行なった. 解析項目および方法は西尾ら(2001)に述べたので, ここでは基本解析を終了した H72 コアの結果を Nishio *et al.* (2002) から主要な図表を引用して説明する.

図2は, 19.4 m から 21.6 m 深までのコア層位(モザイク画像), 固体電気伝導度(ECM)の電流値, 酸素同位体組成($\delta^{18}\text{O}$), 季節変化を示していると思われる化学成分を示す. コア層位はデジタルカメラにより撮影された画像を接合して作成した. コア中には厚さ1 mm 前後の氷板(クラスト)が観察されたが, これらは微少な気泡を含むタイプ(CR1), 含まないタイプ(CR2)に分類できた. この中で, CR2はECM電流値が極大になる場所に存在する事が多かった. また, ECM電流値の極大の近くで酸素同位体組成も極大を示した. したがって, CR2とECM電流値が極大を示す深度は夏層に対応していると考えられ, H72 コアでは図2に示すようにECM電流値とCR2の分布を調べることで, 年層境界を決定できる可能性がある事がわかった.

次に, これを検証するために, ECM電流値と

コア中のトリチウム濃度, 雪尺観測の結果を比較した(図3). H72のトリチウム濃度は南極点での1978年ピット観測の結果(Jouzel *et al.*, 1979)と変動パターンがほぼ一致し, 堆積年代の推定に利用することができた. この年代とさきほどのECM電流値とCR2を用いた年層境界を比較するとほぼ一致し, 前述の年代決定法の妥当性が検証できた.

次に, トリチウム濃度ピークよりもさらに深い部分の年代を検証するため, コア中の火山シグナルに注目した. 火山ガス中に多く含まれている二酸化硫黄などの酸性ガスは, 降水粒子中に取り込まれ積雪となって氷床上に堆積すると, pHの値が低く非海塩性硫酸イオン濃度(nssSO_4^{2-} , Na^+ 濃度を指標として計算. 詳細は本誌掲載の用語集を参照.)が高い層が形成される. ECM電流値はコア中の H^+ 濃度に比例していると考えられているので, 季節変化よりも大きな電流値ピークが見られる層は大規模な火山噴火により生じたと考えられる(例えば, Hammer, 1980). コア中に含まれる nssSO_4^{2-} も同様に, 季節変化よりも高濃度を示す層は火山噴火に対応する可能性が高い.

表2に nssSO_4^{2-} とECM電流値にみられるそれぞれのピークが平均値から 2σ (σ :標準偏差)を超えるものを抜き出した. 次に, 表2のa~pまでの16のピークのメタンスルホン酸(MSA)濃度とpHを調べ, これらが火山性起源であるかを調べた.

nssSO_4^{2-} 濃度は図2にみられるように季節変動を示している. この季節変動は海洋性生物起源のDMS(ジメチルサルファイド)が酸化され生成された nssSO_4^{2-} が原因となって生じている可能性もある(例えばSavoie *et al.*, 1992; Kohno *et al.*, 1999). 従って, H^+ (以下, pHで表す)とDMSが nssSO_4^{2-} に酸化されるときの中間生成物であるMSA(メタンスルホン酸)濃度を用いて, 火山性ピークに信頼度A, Bを付記した. 信頼度Aは, nssSO_4^{2-} が 2σ 以上の濃度で, pHとMSAがそれぞれの平均値より低い場合である. 一方, 信頼度Bは, pHとMSAのどちらかが平均値よりも高い場合を示しており, 信頼度Aよりも火山性起源の可能性が低いことを表わす.

また, ECM電流値の場合は, H^+ 濃度を使って,

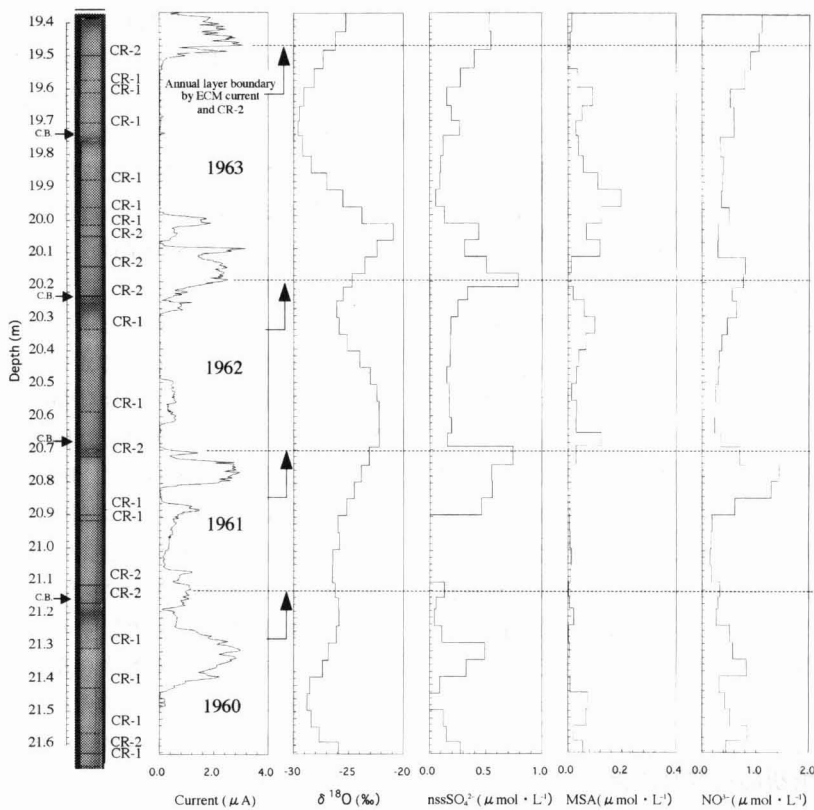


図2 19.40 m から 21.6 m までの層位, ECM 電流値, 酸素同位体組成 ($\delta^{18}\text{O}$), nssSO_4^{2-} , MSA, NO_3^- . 層位はデジタルビデオカメラで撮影したコア画像の合成から作成. CR-1 は気泡を含むクラスト層, CR-2 は気泡を含まないクラスト層で, CR-2 は夏の融解再凍結により形成された可能性がある. C. B. は, コアブレイクを示す.

信頼度 A (ECM 電流値が 2σ 以上でかつ H^+ も平均値以上), 信頼度 B (ECM 電流値が 2σ 以上だが, H^+ は平均値以下) を決定した. これらのシグナルの特徴から火山性シグナル a ~ p の信頼性を判定した. 信頼性 1 は, 上記の nssSO_4^{2-} と ECM によるシグナルの特徴が両者ともに A の場合で, 信頼度 2 はどちらかが A, 信頼度 3 はどちらかが B の場合であり, 「火山性起源シグナル」の信頼度を示す. また, これら 16 のシグナルの ECM による年代を示し, さらにそれぞれのシグナルに対応する給源火山を示した. これらの火山は, Simikin and Sibert (1994) により編纂された火山噴火リストでの DVI (Dust Veil Index) 値と H72 から沿岸へ 18 km 離れた H15 コア (図 1 参照) で決定された火山シグナル (Kohno *et al.*, 1999) を参考にして, 選び出した. なお, 火山性

シグナルの信頼度が “3” と判定された火山名には “?” を付した.

以上の給源火山の噴火年代とコア中の年代とを比較すると, 表 2 に示すように両者の差は 0 ~ +3 年であった. 通常, 火山から南極氷床への輸送時間 (北半球からでは 2 ~ 3 年, 赤道からでは 0 ~ 2 年と言われている) を考慮すると, H72 コアの年代は最大 ± 2 年程度の誤差が含まれている可能性がある事がわかった.

図 4 に ECM の測定結果を示す. ここでは, 図 2 で述べた ECM 電流値と気泡を含むクラスト層 (CR-2) 分布から推定された年層境界および火山名 (給源火山が不明な場合は, 表 2 のアルファベットを記載) を記した. コア最深部 (72.32 m) の年代は西暦 1831 ± 2 年 (図 4 では 1831 と表記) であること, 過去 167 年間の平均表面質量収支は, 311 mm/yr (水当量) であることがわかった.

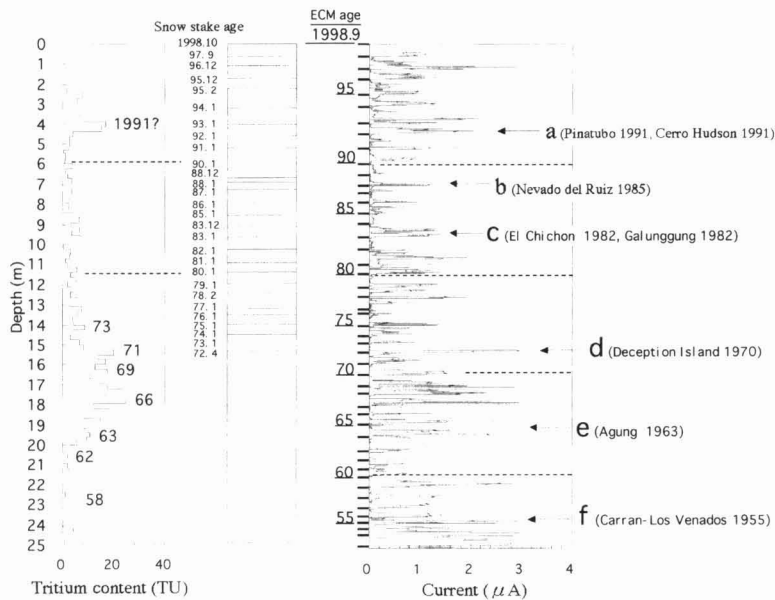


図3 表面から25 m深までのトリチウム濃度、雪尺観測による堆積量、ECM電流値の比較。ECM年代の実線は、ECM電流値と層位情報(CR-2の分布)から推定した年層境界。1998年10月から1972年4月までは、雪尺による年代を示す。トリチウム濃度の年代は、Jouzel *et al.* (1979) による南極点での1978年ピットの観測結果を参照して推定した年代。aからfは推定された給源火山名(表2および本文参照)。

表2 H72で観察された火山性起源の可能性があるシグナルの深度、化学成分、火山性シグナルとしての信頼度、ECM年代、可能性のある給源火山、火山噴火規模(DVI)およびECM年代と火山噴火年との年代差。

シグナル名	深度		化学成分				火山シグナルの信頼度	シグナルの特徴		ECM年代	可能性のある給源火山名(噴火年)	VEI	火山噴火とECM年代との年代差(年)
	上端(m)	下端(m)	nsSO ₄ ²⁻	pH	H ⁺	MSA ¹⁾		nsSO ₄ ²⁻	ECM				
a	4.115	4.365	0.44	5.43	3.72	0.052	3		B	1992	Pinatubo(1991)?, Cerro Hudson(1991)?	6, 5	+1
b	6.725	6.960	1.47	5.45	3.55	0.015	3	B		1988			
c	9.115	9.335	0.34	5.48	3.31	0.017	3		B	1983	El Chichon(1982)?, Galunggung(1982)?	5, 4	+1
d	15.000	15.240	0.66	5.33	4.68	0.025	3		B	1972	Deception Island(1970)?	3	+1
e	19.150	19.395	0.75	5.01	9.77	0.050	2		A	1964	Agung(1963)	4	+1
f	24.330	24.495	0.97	5.31	4.90	0.042	2	A	B	1955	Carran-Los Venados(1955)	4	0
g	38.500	38.640	0.71	5.11	7.76	0.072	2		A	1921	Kelut(1919), Manam(1919)	4	+2
h	47.150	47.285	0.86	5.32	4.79	0.077	3	B		1902	Santa Maria(1902)?	6	0
i	53.675	53.835	0.80	5.24	5.75	0.028	1	A	A	1886	Tarawera(1886)	5	0
j	54.320	54.485	0.88	5.29	5.13	0.026	1	A	A	1884	Krakatau(1883)	6	+1
k	57.755	57.875	0.78	5.33	4.68	n.d. ²⁾	3	B		1875	Merapi(1872)?	4	+3
l	58.610	58.730	0.78	5.25	5.62	0.009	1	A	A	1872			
m	63.780	63.905	1.01	5.27	5.37	0.031	1	A	A	1859	Fuego(1856)	4	+3
n	64.275	64.400	1.51	5.21	6.17	0.010	1	A	A	1858	Fuego(1856)	4	+2
o	66.675	66.800	0.81	5.35	4.47	0.043	3	B		1850			
p	70.990	71.090	1.09	5.24	5.75	0.032	1	A	A	1837	Cosiguina(1835)	5	+2

1) 単位は $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

2) n.d.= not detected, 検出限界は $0.006\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

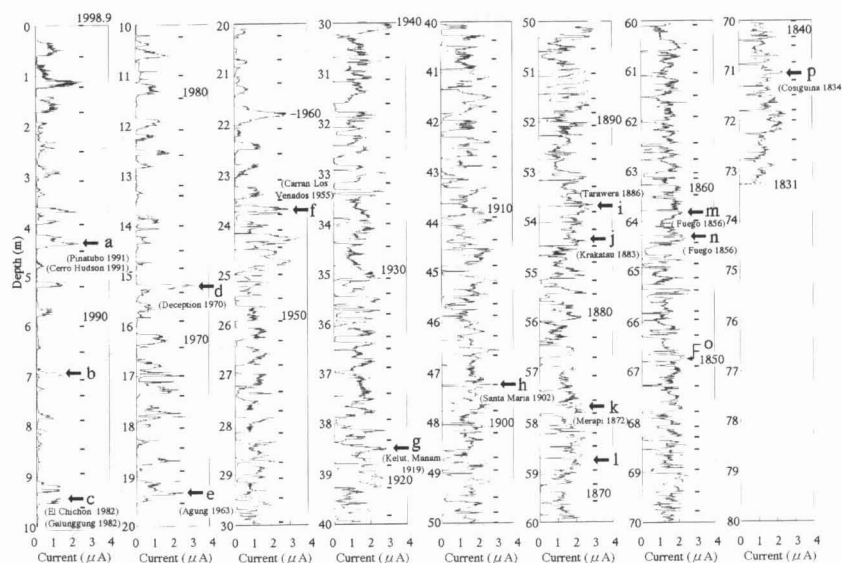


図4 H72 コアの ECM 電流値。点線は、ECM 電流値と層位情報 (CR-2 の分布) から推定した年層境界。コア最深部 (73.16 m 深) は、西暦 1831 年と推定された。a ~ p は、推定された給源火山名 (表 2 および本文参照)。

上記の年層境界とコアの密度から計算した表面質量収支の変動を図 5 に示す。ここでは、年層境界の年代推定の誤差 (± 2 年) を取り除くために、5 年の移動平均結果を太線で示した。H72 では、過去 167 年間に渡り、おおよそ 230 mm/yr から 350 mm/yr の範囲で変動しており、長期的には 1831 年から 1900 年ころまで変動しながら徐々に増加し、その後ほぼ一定になっているが、1960 年以降、若干減少する傾向があった。このような詳細な表面質量収支の復元は、東南極氷床で採取されたコアでは初めての成果である。

図 6 に酸素同位体組成と化学成分の一部を示す。酸素同位体組成は 1850 年から 1880 年にかけてゆるやかに増加し、その後 1900 年までに徐々に減少するが、1900 年以降は約 20 年を周期とする変動を示すことがわかった。また、 nsSO_4^{2-} は、酸素同位体組成と同様な変動を示すが、1900 年以降、多少増加する傾向が見られる。また、MSA は、海洋における生物活動で形成される DMS の酸化物であるが、この濃度は低いが、いくつかのピークが観察された。これらのピークは全て単発的に現れていることから、沿岸から H72 に向かう物質輸送は短期的には強められたが、継続していなかったことが考えられる。硝酸イオン (NO_3^-) は変動が小さいが、MSA と同様にピー

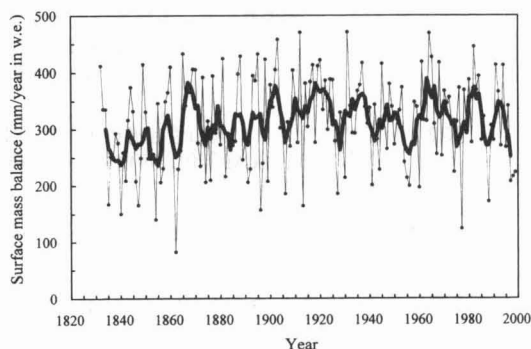


図5 H72 における過去 167 年間の表面質量収支変動。平均表面質量収支は 311 mm/yr (水当量) であった。年代は、図 4 に示す ECM 電流値と層位情報より決めた年層境界に基づく年代 (ECM 年代) を使用。太線で 5 年の移動平均結果を示す。

クが単発的に現れていた。グリーンランドなどの北極域で掘削された氷床コア中にみられるような、人間活動の影響による硝酸イオン濃度の上昇 (例えば Fischer *et al.*, 1998) は検出されなかった。

4. 今後の展開

今後、表 1 に示すコアの基本解析を継続して行ない、コアに記録されている種々のシグナルを抽出し、1) コア中の年層境界の確定およびそれに基づくコア年代の決定、2) 表面質量収支の変動の特性、3) 酸素同位体組成や化学成分から推定

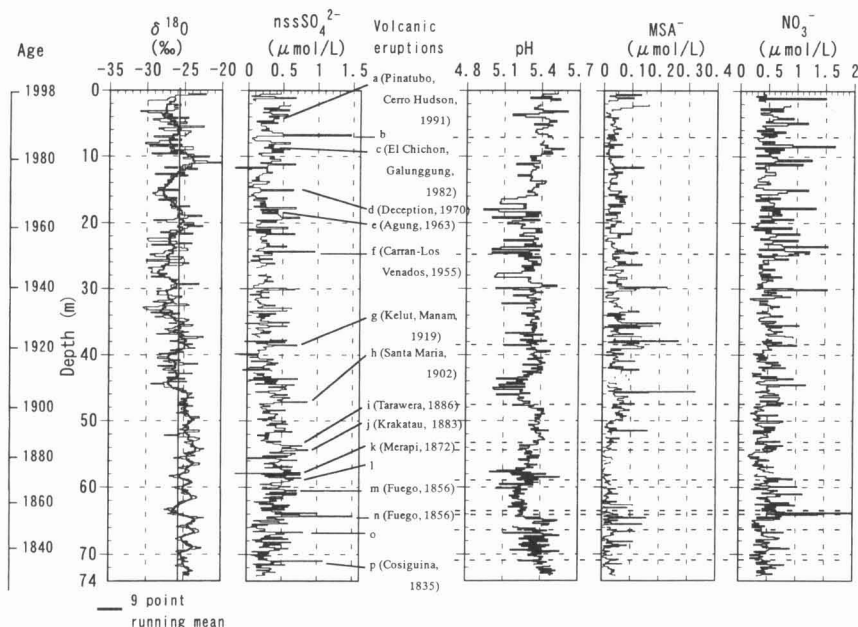


図6 酸素同位体組成 ($\delta^{18}\text{O}$), 化学成分 (nssSO_4^{2-} , MSA^- , NO_3^-), pH の測定結果. 年代は, 図4の ECM 電流値より決めた年層境界に基づく年代 (ECM 年代) を使用. $\delta^{18}\text{O}$ の太実線は, 9 点の移動平均結果を示す (おおむね 3 ~ 5 年平均に相当). 表2で検討した火山性ピークには, 火山の名称またはアルファベットを記した.

される堆積環境の変動特性, を多点で明らかにする計画である. また, 東ドゥローニングモードランドの周辺で採取されたコア (例えば, ヨーロッパグループによるドゥローニングモードランドコアおよび中国によるランバート氷河流域でのコア) との比較を進め, 我々がこれまで調査してきた東ドゥローニングモードランド地域の過去数百年間の堆積環境の特徴を明らかにしていく予定である.

謝 辞

本研究計画で解析した浅層コアを現地で採取していただいた第39次隊の山田知充 (北大低温科学研究所), 鈴木啓助 (信州大学理学部), 橋田元 (国立極地研究所), 以上の諸氏に深く感謝いたします. また, 本稿で紹介した H72 コアの解析結果は, 多くの方々が参加した「南極浅層コア解析サイエンストレンチ」の成果である. 国立極地研究所で実施したサイエンストレンチに参加された共同研究者の方々に感謝いたします. また, 五十嵐誠・河野美香 (国立極地研究所), 戸山陽子 (千葉大学大学院生) の諸氏からは, 本稿に対し

て適切な助言をいただいた. なお本研究には, 国立極地研究所共同研究費および文部科学省科学研究費 [課題番号 12680537, 代表者: 本山秀明 (平成12年度), 古川晶雄 (平成13年度)] の補助を受けた. 記して謝意を表する.

文 献

- Fischer, H., Wagenbach, D. and Kipfstuhl, J., 1998: Sulfate and nitrate firn concentrations on the Greenland ice sheet, 2. Temporal anthropogenic deposition changes. *Jour. Geophys. Res.*, **103**, 21, 935-21, 942.
- Furukawa, T., Kamiyama, K. and Maeno, H., 1996: Snow surface features along the traverse route from the coast to Dome Fuji, Queen Maud Land, Antarctica. *Proc. NIPR Symp. Polar Meteorol. Glaciol.*, **10**, 13-24.
- Hammer, C.U., 1980: Acidity of polar ice core in relation to absolute dating, past volcanism, and radio echoes. *J. Glaciol.*, **25**(93), 359-372.
- Isaksson, E., van den Broke, M.R., Winther, J. G., Karlof, L., Pinglot, J.F. and Gundestrup, N., 1999: Accumulation and proxy-temperature variability in Dronning Maud Land, Antarctica, determined from shallow firn cores, *Ann. Glaciol.*, **29**, 17-22.
- Jouzel, J., L. Merlivat, M. Pourchet and C. Lorius., 1979: A continuous record of artificial Tritium fallout at the South Pole. *Earth and Planet. Sci. Lett.*, **45**(1), 188-200.

- Kameda, T., Azuma, N., Furukawa, T., Ageta, Y. and Takahashi, S., 1997: Surface mass balance, sublimation and snow temperatures at Dome Fuji Station, Antarctica, in 1995. *Proc. NIPR Symp. Polar Meteorol. Glaciol.*, **11**, 24-34.
- Kohno, M., Fujii, Y., Kusakabe, M., Fukuoka, T., 1999: The last 300-year volcanic signals recorded in an ice core from H15, Antarctica, *雪氷*, **61** 巻 1 号, 13-24.
- 極地雪氷分科会将来計画委員会, 1997: 南極氷床変動システムの研究, *雪氷*, 59 巻 1 号, 11-22.
- Mayewski, P. and Goodwin, I.D., 1996: International Trans-Antarctic Scientific Expedition (ITASE) "200 years of past Antarctic Climatic and Environmental Change", Science and Implementation Plan, 1996, Report for the ITASE Workshop, Cambridge, UK, 2-3, August, 1996.
- 西尾文彦, 五十嵐誠, 亀田貴雄, 本山秀明, 直木和弘, 高田守昌, 戸山陽子, 渡邊興亜, 2001: 南極浅層コア (H72, ドーム南) の基本解析, *雪氷*, **63** 巻 1 号, 49-63.
- Nishio, F., Furukawa, T., Hashida, G., Igarashi, M., Kameda, T., Kohno, M., Motoyama, H., Naoki, N., Satow, K., Suzuki, K., Takata, M., Toyama, Y., Yamada, T., Watanabe, O., 2002: Annual layer determinations and 167-year records of past climate of H72 ice core in East Dronning Maud Land, Antarctica. *Ann. Glaciol.*, **35** (in press).
- 長田和雄・大畑哲夫・上田豊, 1992: みずほ高原における表面質量収支の年々変化: 雪尺データとコア解析. 日本雪氷学会全国大会講演予稿集, 38.
- Satow, K., Watanabe O., Shoji, H. and Motoyama, H., 1999: The relationship among accumulation rate, stable isotope ratio and surface temperature on the plateau of East Dronning Maud Land, Antarctica. *Polar Meteorol. Glaciol.*, **13**, 43-52.
- Savoie, D. L., J. M. Prospero, R. J. Larsen and E. S. Saltzman. 1992. Nitrogen and sulfur species in aerosols at Mawson, Antarctica, and their relationship to natural radionuclides. *J. Atmos. Chem.*, **14**, 181-204.
- Simkin, T. and Siebert, L., 1994: *Volcanoes of the World* (2nd edition), Geoscience Press, Tucson (AZ), 349pp.
- Watanabe, O., 1978: Distribution of surface features of snow cover in Mizuho Plateau. *Mem. Natl. Inst. Polar Res., Spec. Issue*, **7**, 44-62.

Analyses of antarctic shallow ice cores, purposes and recent results

Takao KAMEDA¹⁾, Hideaki MOTOYAMA²⁾ and Fumihiko NISHIO³⁾

1) *Kitami Institute of Technology, 165 Koencho, Kitami, Hokkaido 090-8507*

2) *National Institute of Polar Research, 9-10, Kaga 1-chome, Itabashi-ku, Tokyo, 173-8515*

3) *Center for Environmental Remote Sensing, Chiba University, 1-33, Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba, 263-8522*

(2001 年 12 月 20 日受付, 2002 年 5 月 29 日改稿受付, 2002 年 6 月 10 日受理)