

南極地域の地球化学的研究と地学における  
若干の課題に関する覚え書

吉 田 栄 夫\*

A Note on Relationship between Geochemical Investigation and Some  
Problems for Earth Sciences in the Antarctic

Yoshio YOSHIDA\*

**Abstract:** On the occasion of the Symposium on Antarctic Geochemistry, the following comment is made on geochemical research, as a suggestion from neighboring fields of earth sciences. The arrangement of phenomena related to the evolution and fluctuation of the Antarctic Ice Sheet, on the basis of time-scale, is proposed as a kind of framework for geochemical investigation in Antarctica. The classification of time-scale may fall into five ranks, *i.e.*  $10^{-1} \sim 10^1$  (year),  $10^1 \sim 10^3$ ,  $10^3 \sim 10^5$ ,  $10^5 \sim 10^6$ ,  $10^6 \sim 10^7$ . Brief discussion is given on the relationship between phenomena concerning the fluctuation of the ice sheet and the geochemical investigation or method. In this connexion, a speculative chronological correlation of glacial events in Antarctica is tabulated based on several sources including the author's own data.

**要旨:** 第2回南極地球化学シンポジウムに際して、地球科学の隣接分野からの地球化学的研究への提言として、次のコメントを行った。まず、南極氷床の発達と変動に関係すると考えられる諸事象を、時間的尺度を基準にして区分する。時間的尺度の階級は、 $10^{-1} \sim 10^1$ (年)、 $10^1 \sim 10^3$ 、 $10^3 \sim 10^5$ 、 $10^5 \sim 10^6$ 、 $10^6 \sim 10^7$ とした。この区分された氷床変動に関連する事象と地球化学的研究の関係について簡単に言及し、この区分が、地球化学調査・考察の枠組の一つとして利用され得ることを述べた。さらにこれと関連して、南極の“氷期”もしくは氷床の拡大・縮小と、これに影響を及ぼし、また及ぼされる諸要素を、資料的にきわめて不十分な段階ではあるが、今後検討するべきものとして、かりに編年的に整理し提示した。

はじめに

南極の地球化学的研究、とくにわが国の研究者によるものに関しては、綿拔(1975)による概観と紹介があり、本シンポジウムで新たに報告された研究を除くものが総括されてい

\* 国立極地研究所. National Institute of Polar Research, 9-10, Kaga 1-chome, Itabashi-ku, Tokyo 173.

る。これらの諸研究では気圏、水圏、岩石圏のいずれにもわたる広範囲な問題が扱われている。いうまでもなく地球化学は地球上の物質の賦存の仕方と循環を扱うものであって、地質学、地形学、水文学などの諸分野と深くかかわっており、これらの分野では化学的研究の成果や手段が重視され、他方、地球化学的考察には地学としての視点を欠くことができない。

以上のことをふまえて、隣接分野からの情報提供および提言として、地球化学的考察の際の枠組の一例となりうるであろうと思われる諸事象の整理の試案を提示し、かつ今後の地球化学的研究の課題の一部となしうる問題を例示したい。

### 1. “氷床の発達と変動”に関する事象の区分

南極氷床の形成と発達および変動の解明は、地学の重要な課題の一つである。氷床の質量収支とその結果としての変動には、種々の周期のものがあつて、その空間的範囲もまた種々のスケールがあつて、それぞれに応じた研究手段がとられている。これに関連する諸事象を大まかな時間的スケールで区分し、相互の関係を示したものが図1である。これは一例に過ぎないが、これを一つの枠組として地球化学的考察を進めることが、ある程度可能と考えられる。既往の成果や現在行われつつある地球化学的研究と対照しつつ、図1について若干の説明を加えたい。

最も短い時間的スケールに入るものは、積雪層の形成（蓄積）と氷床の消耗の現象で、季節的なものから10年のオーダーのものまでとした。酸素同位体による季節的温度変化や人工的放射性物質の蓄積、あるいはその他の包含物を用いて、積雪層形成の状況が探られており、物質のふるまひの追跡のための地球化学的方法への期待が大きい。積雪層の形成・変化は、氷床形成の基本となる現象であり、そのメカニズムに興味をもたれる。

他方、消耗については測定がより難しい点があつて、正確にとらえられているとはいえない。ただ、主要な作用である氷床の分裂による氷山流出については比較のおさえ易いので、現在算定されている消耗は量的には大きな誤りはないというのが一般的な考えであろう。しかし、より細かい議論のためには資料の蓄積、そのための測定方法の改善が必要である。これに関連して、地球化学の分野ではとくに大気—海洋—氷の間の物質の移動、平衡が考察されてきた（たとえば、MIYAKE and MATSUO, 1963）が、氷河氷を構成する水物質、包含大気の研究の進展が期待される。ことにこれまでの調査で知られる（MEGURO *et al.*, 1964; SIEGEL and DORT, Jr., 1969; OMOTO, 1972 など）南極氷塊の放射性炭素濃度の減少の要因についての検討を望みたい。

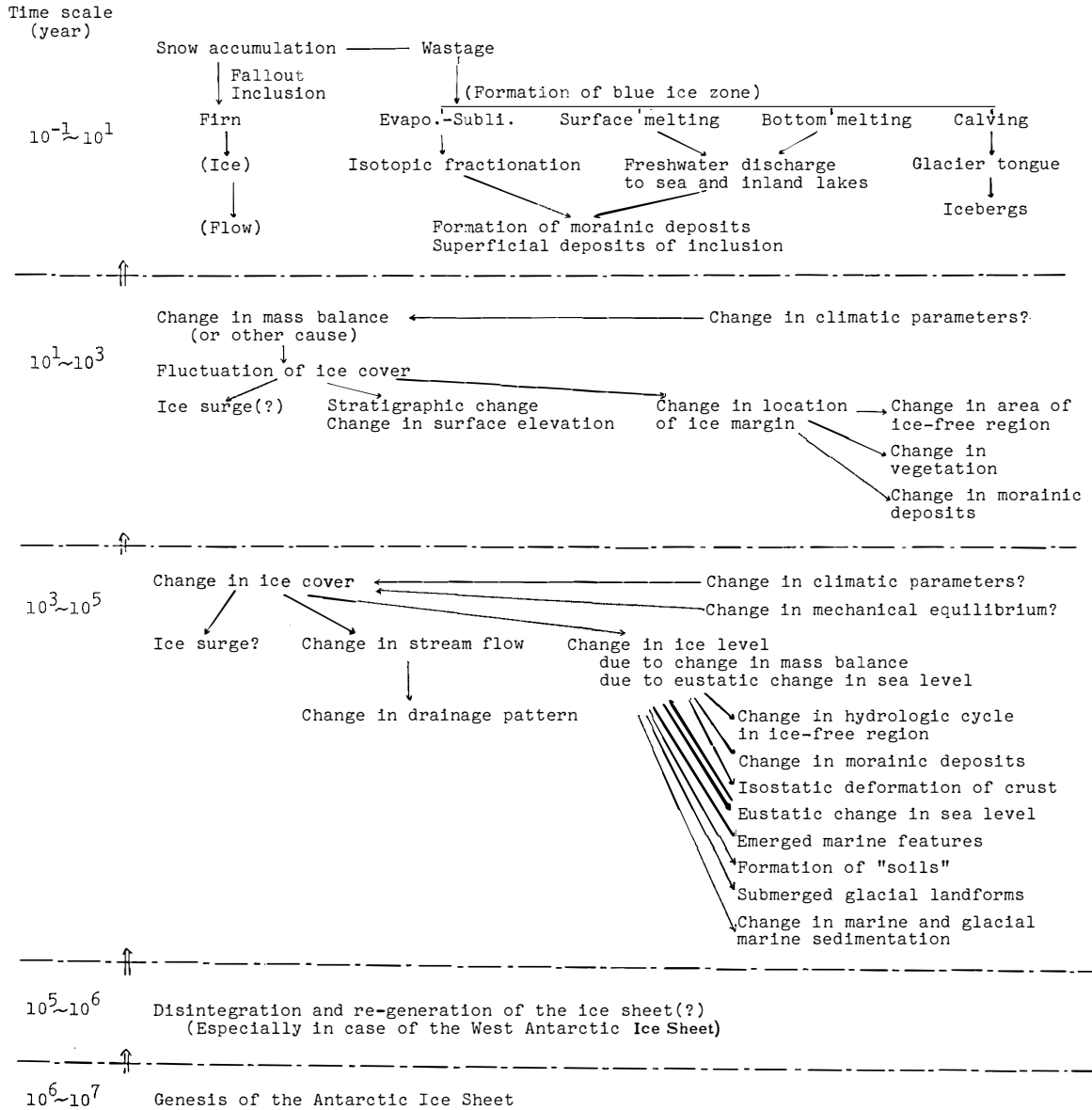


図 1 時間的スケールにより区分した南極氷床の発達と変動に関連する諸現象  
 Fig. 1. Phenomena related to the evolution and fluctuation of the Antarctic Ice Sheet, arranged on the basis of time-scale.

第2のタイムスケールは  $10^1 \sim 10^3$  年のオーダーで、氷床上では雪からフィルン、氷への変質、あるいは積雪量や積雪層形成時の気温などのパラメーターの変動が、層位学的にないし化学的に測定しうる。こうした変動は、一方では氷床縁辺の変化となって現れることが期待される。ここではおもに地形学的ないし雪氷学的方法による追跡が行われているが、露岩上の湖沼の化学的研究、蒸発堆積物 (evaporite) や昇華凝固物 (efflorescence) の化学的研究もまた、自然環境とその変化に関して貴重な情報をもたらしつつある。ただこの場合、ど

のような時間の範囲をとって考察するかが重要であり、その識別は容易ではないにしても充分留意が必要である。

第3は  $10^3 \sim 10^5$  年のオーダーのものである。このような時間的スケールの現象は、地形や未固結堆積物に最もよく示される。すなわち、モレーンの分化、隆起汀線、沈水氷食地形、湖の変化、海成・湖成堆積物の変化などである。逆にいえば、これらに影響を与えないものは、記録されないことになる。したがって、地形や層序を用いた氷河地質学的方法が駆使されるが、露岩地域の狭いところでは、この記録が乏しいので、十分な分析は困難な場合がしばしばある。南極地域で最大の露岩地域であるマクマード・オアシスは、こうした点で最も重要な標準地域となるが、この地域の諸現象と他地域とくに内陸露岩地域のそれらとの間の対比は、いぜんとして困難である。そこで、化学的な手法への期待は大きく、適切な試料を求めての放射性炭素、トリウム同位体、カリウム-アルゴン法などによる年代決定、風化生成物による相対的（あるいは絶対的）編年のための化学（たとえば BEHLING, 1972）、あるいは古環境推定の同位体化学などの成果がさらに集積することが望まれる。

このタイムスケールでは、北半球の氷河時代と南極氷床の消長が、いかに関連するかが最も中心的な課題で、北半球の氷河の盛衰による海水準の変動—氷河性ユースタシー—が南極氷床の拡大縮小を支配するとする HOLLIN (1962) の仮説は広い支持を集めている。ことに氷棚の存在するところでは、その海底への接地がおもな氷河の拡大をもたらすとされるが、マクマード地域と異なって、昭和基地付近のような氷棚のない東南極の沿岸で、果してこのようなことが起こったか否かはなお検討の余地がある。氷棚が広く、また海面下の高さにある基盤が広い西南極氷床は、きわめて微妙なバランスを保って存在しており、海面の昇降に敏感であるとされる（たとえば HUGHES, 1975）が、その変動と東南極氷床の変動との関係については一致した見解はなく、これを明らかにするためにはさらに野外の資料が必要である。現在進めつつある沿岸近くの海底地形の調査と関連して、海底堆積物の分析が進行すれば、この点でかなりの資料をうることができると考えられ、化学的性質の検討結果が期待される。

第4は  $10^5 \sim 10^6$  年のオーダーであり、ここでは前記の第四紀の氷期—間氷期との関連が主題となるが、さらにこれより一けた大きな時間的スケールの現象（もしくは今のところその程度の粗さでしかとらえられない事象）が問題となる。第三紀と第四紀の区分はしだいに意義が薄れてきたとされる（FLINT, 1971）が、南極では、古くから推定された（WRIGHT and PRIESTLEY, 1922）第三紀からの氷床の存在が実証された（たとえば RUTFORD, 1972）

以上、他のどの地域にもまして、このような考えが適切である。マイルストーンとされる PÉWÉ (1960) の 4 回の氷床拡大期の識別は、かりに北半球の 4 回の氷期に対比させたものであったが、これらのうちの古いものは、第四紀をはるかに越えることが立証された（たとえば DENTON *et al.*, 1970）のは、火山岩のカリウム—アルゴン法による年代決定によるものである。この時間的オーダーでは、よりドラマティックな地殻変動や環境変化があることが、一部分明らかになり、また当然期待される。大陸棚の深いこと—地殻の相対的沈降を予測させる—と、隆起汀線にみられる地殻の相対的隆起の現象は、ややパラドクシカルであり、地殻均衡の検討においても、その時代決定が重要となり、化学的手段による成果が望まれる。

第 5 は  $10^6 \sim 10^7$  年で、これと関連することは前項にも含まれる時間的に大規模な氷床変化と、氷床の発現である。後者はいわゆる大陸漂移と関連すると考えられており、その地学的意義は明らかである。ただしこの分野では、今後解明されるべきことがきわめて多く、現段階ではスペキュレーションが多い。ここでも化学的に重要なものの一つは時代決定であるが、マントル—地殻物質の化学的性質の検討も注目される。

## 2. 南極の氷床の消長

前節に述べた氷床の発達と関連して、これまでに公表された“氷期”，あるいはより正確には氷河消長において識別されたいくつかの“時期”を、きわめて大胆に編年表としてみたのが、図 2 (吉田, 1976) である。これは前節にもあるように、年代の尺度がはっきりしないものが多いので、時期尚早の批判は免れ得ないが、この小文の性格上、今後検討すべきものとしてあえて提示した。地学の一分野として、これを一つの枠組として野外の証拠・資料を収集整理し、化学的諸問題の検討にも供したいと考えている。

1 節 2 節を通じて、野外における調査として重要なことの一つは、南極全体でいかなる地学的地域区分がなしうるか、すなわち地域をどう確定し、それが他といかなる共通性や異質性を有するかということをも明らかにしていくことであろう。

## 3. 基盤岩の年代

基盤岩の化学に関する諸問題も当然扱われてきたし、昭和基地近傍のプレカンブリア—カンブリア紀の火成岩、変成岩に関する岩石学的検討は重要な課題である。しかし、基盤岩の時代的、空間的スケールの区分はまだまだ充分とはいえないようである。年代についてはかなり多くの資料がととのってきており、やや古いが島 (1967) のまとめもある。マクマード地

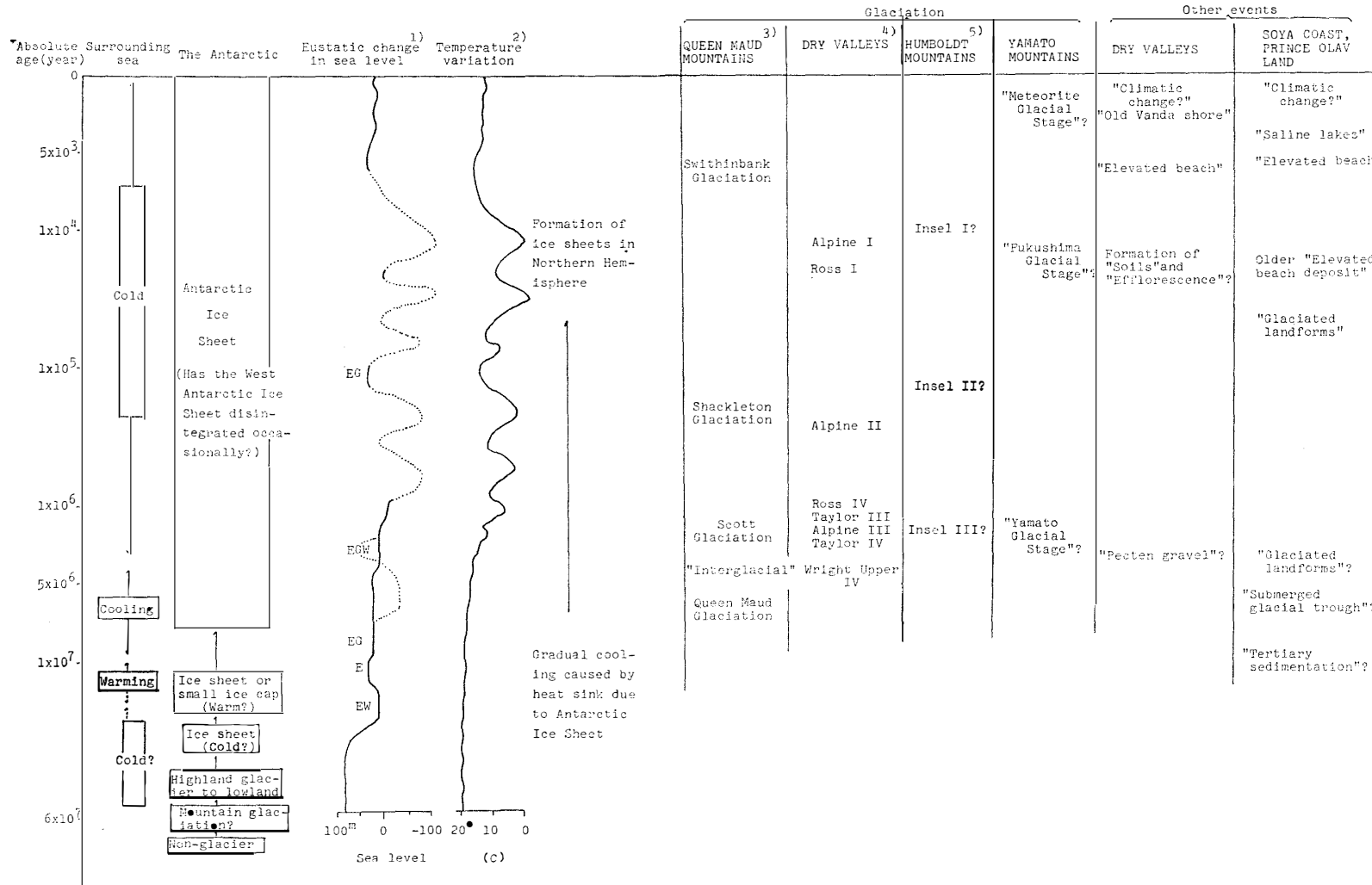


図 2 南極の氷河の変遷

Fig. 2. Antarctic glacial events.

- 1) After MERCER, 1968. 2) Compiled from several sources. 3) MAYEWSKI and GOLDTHWAIT, 1973.  
 4) BULL and WEBB, 1973. 5) BARDIN, 1972.

域の火山岩の検討もなされつつある(倉沢, 1975)。今後は西南極地域における日本隊による調査をも含めて, 1節に述べたプレートテクトニクスとの関連の追求が, 課題の一つとなるらう。

### お わ り に

以上述べたように, 南極の地学の主要な柱の一つをなす南極氷床の形成とその変遷の解明には, 地球化学的研究の占める役割が大きい。いかなる枠組をもって南極における地球化学—とくに日本隊の一の研究を進めるかを検討する際, この小文でふれたことが参考にされれば幸いである。

最後に, これまであまり日本隊によって取り上げられてこなかったことで, 地学の隣接分野から検討を望みたいことを列記したい。

- 1) 大陸周辺の海の問題—海水とその循環, 大気—海—海底—氷の相互作用
- 2) 風化と物質の移動およびその年代
- 3) 永久凍土の化学
- 4) 大陸氷の諸性質—とくにその地域性—

### 謝 辞

第2回南極地球化学シンポジウムに際して, 隣接分野の立場からコメントをさせていただける機会を与えられた地球化学会南極小委員会の諸先生に厚くお礼申し上げる。

### 文 献

- BARDIN, V. I. (1972): Moraines of Antarctica. *Antarctic Geology and Geophysics*, ed. by R. J. ADIE, Oslo, Universitetsforlaget, 663–667.
- BEHLING, R. E. (1972): Calculated dates of selected glacial events in Wright Valley. *Antarct. J. U. S.*, **7**, 247–248.
- BULL, C. and WEBB, P. N. (1973): Some recent developments in the investigation of the glacial history and glaciology of Antarctica. *Palaeocol. Afr.*, **8**, 55–84.
- DENTON, G. H., ARMSTRONG, R. L. and STUIVER, M. (1970): Late Cenozoic glaciation in Antarctica: The record in the McMurdo Sound region. *Antarct. J. U. S.*, **5**, 15–21.
- FLINT, R. F. (1971): *Glacial and Quaternary Geology*. New York, Wiley, 892 p.
- HOLLIN, J. T. (1962): On the glacial history of Antarctica. *J. Glaciol.*, **4**, 173–195.
- HUGHES, T. (1975): The West Antarctic ice sheet: Instability, disintegration, and initiation of ice ages. *Rev. Geophys. Space Phys.*, **13**, 502–526.
- 倉沢 一 (1975): 南極ロス島火山岩類のストロンチウム同位体組成. *地球化学*, **9**, 61–66.

- MAYEWSKI, P. A. and GOLDTHWAIT, R. P. (1973): Glacial geology and late Cenozoic history of the Transantarctic Mountains, Antarctica. Paper presented to the 9th Congress of INQUA, Christchurch, December, 1973.
- MEGURO, H., YOSHIDA, Y., UCHIO, T., KIGOSHI, K. and SUGAWARA, K. (1964): Quaternary marine sediments and their geological dates with reference to the geomorphology of Kronprins Olav Kyst. *Antarctic Geology*, ed. by R. J. ADIE, Amsterdam, North-Holland, 73-80.
- MERCER, J. H. (1968): The discontinuous glacio-eustatic fall in Tertiary sea level. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, **5**, 77-85.
- MIYAKE, Y. and MATSUO, S. (1963): A role of sea ice and sea water in the Antarctic on the carbon dioxide cycle in the atmosphere. *Meteorol. Geophys.*, **14**, 121-125.
- OMOTO, K. (1972): A preliminary report on modern carbon datings at Syowa Station and its neighbourhood, East Antarctica. *Nankyoku Shiryo (Antarct. Rec.)*, **43**, 20-24.
- PÉWÉ, T. L. (1960): Multiple glaciation in the McMurdo Sound region, Antarctica: A progress report. *J. Geol.*, **68**, 498-514.
- RUTFORD, R. H. (1972): Glacial geomorphology of the Ellsworth Mountains. *Antarctic Geology and Geophysics*, ed. by R. J. ADIE, Oslo, Universitetsforlaget, 225-232.
- 島 誠 (1967) : 南極 Victoria Land の Dry Valley 調査報告. VI, 岩石試料の年代測定, 南極資料, **29**, 76-81.
- SIEGEL, F. R. and DORT, W., Jr. (1969): Mirabilite and associated sea bones, Southern Victoria Land, Antarctica. *Antarct. J. U. S.*, **4**, 173.
- 綿拔邦彦 (1975) : 南極の地球化学—南極における地球化学的研究. 地球化学, **9**, 16-21.
- WRIGHT, C. S. and PRIESTLEY, R. E. (1922): *Glaciology, British (Terra Nova) Antarctic Expedition, 1910-1913*. London, Harrison and Sons, 481 p.
- 吉田栄夫 (1976) : 南極における氷床の変動と第四紀. 第四紀研究, **15**(4), 28-35.