

第6回地質年代学・宇宙年代学・ 同位体地学 国際会議

田中 剛 (地調技術部)・岡野 修 (USGS)・風早 康平 (地調環境地質部)

Tsuyoshi TANAKA Osamu OKANO Kohei KAZAHAYA

佐野 有司 (東大理学部)・中井 俊一 (東大理学部)

Yuji SANO Shun-ichi NAKAI

長尾 敬介 (岡山理大)・松田 准一 (神戸大理学部)

Keisuke NAGAO Jun-ichi MATSUDA

吉田 尚弘 (富山大理学部)・和田 秀樹 (静岡大理学部)

Naohiro YOSHIDA Hideki WADA

1. はじめに

この国際研究集会の前回は1982年日光市で開かれたことを記憶されている方も多いと思う(本誌 No. 346, 1983年6月号参照)。4年に1回 同位体比測定とその宇宙・地球科学への適用についてのオリンピック会議として今回は英国ケンブリッジ大学での開催である。会の主旨・歴史などについては前述の地質ニュースを見ていただくこととして 今回 この会で特記すべきことはそれほど大きくない国際研究集会であるにもかかわらず又英国という地球の裏側で開かれたにもかかわらず 日本の同位体地学・年代学の“少数民族”から32名もの研究者が参加し 28件の論文が発表されたことである。これは この会で発表する若年研究者への本田奨励金による旅費の援助に依るところが大である。記してお礼申し上げる。

以下にこの国際研究集会で発表された論文をレビューしてみたい。もちろん 限られたページ数で500に余る論文のすべてを紹介することは不可能であり それぞれの発表分野で重要な内容を含むと思われた論文のみをその従来の学問的背景をも含めて紹介する。発表論文の全体はその要旨が European Union of Geosciences の連絡誌 TERRA cognita (AGU の EOS に相当する雑誌) Vol. 6, No. 2 に掲載されており 地質調査所資料室で閲覧できる。

学術討論に加え地質巡検が ①北西部スコットランドの Lewisian (大西洋周辺各地に連なる25—30億年の地層群) ②北西部スコットランドの第3期火山岩類 (Skye島を中心とするもの) ③スコットランドのカレドニア変成帯 ④南部イングランドの Dorset ジュラ紀層について それぞれ1週間の日程で行なわれた。巡検については稿を改めて紹介したい。

SIXTH INTERNATIONAL CONFERENCE
GEOCHRONOLOGY, COSMOCHRONOLOGY
AND
ISOTOPE GEOLOGY
CAMBRIDGE
1986



写真-1 会議のシンボルとして用いられた ケンブリッジのシルエットと標題。

第1表 第6回会議の参加者及び発表論文数

2. 会議の概要

第6回会議 (Sixth International Conference Geochronology, Cosmochronology and Isotope Geology) は1986年6月30日から7月4日までケンブリッジ大学の地球科学教室講義室を中心に 周辺の植物学 解剖学教室などの講堂を利用し 5会場で行われた。いずれの会場も傾斜の急な階段教室で 山の斜面に座り 谷底をながめる風で 聞く側には楽であるが 演者にとっては逆に聴衆を仰ぐ姿勢で苦しいものであった。参加者は38ヶ国から800名以上 (同伴者を除く名簿から763名) に達した。地元ヨーロッパやアメリカ カナダ等の英語圏諸国からの参加者が多いのはもちろんであるが 日本 中国からの参加者が多いのが目立つ。日本は前記の本田奨励金によるところが大きい。中国からの参加者32名は前回の日光への参加者12名を大きく上廻る。中国が同位体地球化学へいかに大きな力を注いでいるかが伺える。論文の発表数からみると ドイツ ベルギー イタリア等ヨーロッパ諸国の気持の豊かさ (参加者数/論文数が大きい) とアメリカ イスラエル 日本のせちがらさ (勤勉さ?) がうかがえる。

会議の日程表を第2表に示す。500件を越す発表申込みがされたこともあり 朝9時から夜6時までの長時間に渡り 1人15分の持時間で5会場に分かれて発表がなされた。前回の1人20分3会場に比較して 興味のある発表が別々の会場で同時になされることも多く やたら忙がしく 中身が希薄になった感じはぬぐえない。しかし 夜間にはそれぞれ趣向を凝らした催しが企画されており 夏の日長 (高緯度のこともあり 夜の10時を回ってもまだ明るい) に疲れ切ってやっと時を思い出すこともしばしばであった。

会の参加者 (同伴者も) の多くは会場周辺にある大学の

参加国名	参加者数	発表論文数
米 国	179	156
英 国	163	76
西 ド イ ツ	61	35
フ ラ ン ス	57	42
カ ナ ダ	49	33
日 本	32	28
オーストラリア	32	27
中 国	30	22
イ タ リ ア	24	12
ス イ ス	22	18
イ ン ド	12	7
ベ ル ギ ー	10	5
ソ 連	10	10
ノ ル ウ ェ ー	9	6
イスラエル	9	11
南 ア フ リ カ	8	7
他 22ヶ国		
合 計	763	519

カレッジ (学寮) に宿泊し そこから会場へ歩いて通った。夏休みで学生のいない学寮の一般開放は大学 (私学) へ財政収入をもたらす重要な手段であるという。朝食付で1人13ポンド (約3,300円) は日本国内を基準に考えると割安であるが より設備の良いイギリスの民宿 (B&B; 日本のペンションに近いもの) がやはり1人10~15ポンドであることに比べると 大学と言えどもしっかりと稼いでいることがわかる。

3. 討論の内容

分野の概略は第2表の中に示すとおりであるが これに加えて全体講演として 6月30日に J. GEISS 氏に

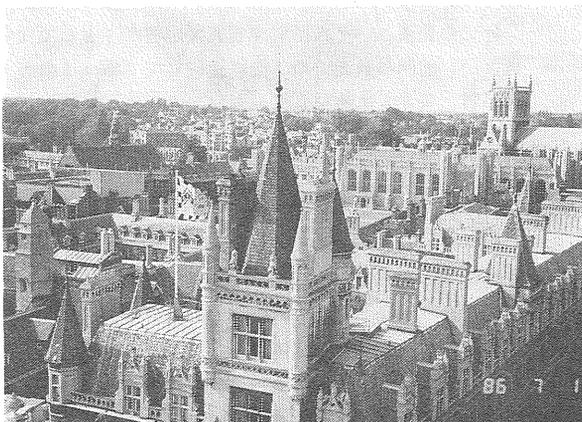


写真-2
ケンブリッジの屋並：手前は Gonville and Caius College, その向うは Trinity College の Great Gate と chapel, 右遠方のタワーは St John's College

第2表 会議の日程

会場		1	2	3	4	5	催物
6月30日 (月)	午前	地球・惑星の希ガス	続成過程	地殻とマントルの進化I (地殻の進化)	変成作用I (溶液-岩石系)		・ケンブリッジ市内 学寮のガイド付散策
	午後	地球・惑星の希ガス 宇宙線反応生成核種	続成過程	地殻とマントルの進化II (地殻の進化, 希ガス)	地質年代学I (花崗岩類)	海洋および大気	・川辺でのマドリール
7月1日 (火)	午前	火成岩成因論I (大陸の火山岩)	地殻とマントルの進化III (マントルの構成)	地質年代学II (始生代)	海洋における同位体トレーサー	変成進化	・ノルヴィチ大聖堂 ブリックリング ホール バス ツアー
	午後	火成岩成因論I (大陸の火山岩)	地殻とマントルの進化IV (捕獲岩類)	地質年代学III (新しい進歩と応用)	堆積岩の熱履歴	変成進化	・劇 “真夏の夜の夢”
7月2日 (水)	午前	火成岩成因論II (海域の火成作用)	地球の揮発性成分と その生成	地質年代学IV (U-Pb 法)	超高感度測定技術	古環境と 同位体層序	・舟遊びと ガーデンパーティ
	午後				顕生年代尺度の 校正		・Morris Dancers と英国の夕べ (ワインパーティ)
7月3日 (木)	午前	大陸地殻の進化	地殻とマントルの進化V (マントルの進化)	地質年代学V (K-Ar, Ar-Ar 法)	火成岩成因論III (He, N, 揮発成分)	鉱床 (花崗岩鉱化作用) (炭酸塩母岩)	・イーリー大聖堂と ステンドグラス博物館
	午後	大陸地殻の進化 安定同位体分別	同位体異常	地質年代学V (K-Ar, Ar-Ar 法)	火成岩成因論IV (花崗岩類)	鉱床 (炭酸塩母岩) (高温鉱床)	・夕食会
7月4日 (金)	午前	火成岩成因論V (サブダクション帯)	低温型鉱床の生成	地質年代学VI (フィッシュン トラック)	宇宙化学	地下水	・エリザベス朝風 お別れ会
	午後	火成岩成因論VI (キンバーライト とカーボナタイト)	マントルの溶融	地質年代学IV (U-Pb 法)	宇宙年代学	変成作用II (水-岩石反応)	

- ・これらに加え全体講演(本文参照)およびポスター発表が行なわれた。
- ・表中の太字は課題講演を表わす。

よるヨーロッパ共同体のハレー探査にかかわる化学的成果について 7月1日に W. S. BROECKER 氏による浮遊性および底棲有孔虫に含まれる放射性炭素の測定にもとづく古海水循環について 7月3日には G. J. WASSERBURG 氏による 同位体比測定の精度 方法とその進歩についての講演があった。

それぞれの学術講演を日程に添って振り返ると次のようになる。

地球・惑星の希ガス

Planetary Volatiles のセッションでは イン石をはじめとして深海底堆積物 海嶺玄武岩 マントル鉱物 ダイヤモンド 天然ガス 火山ガス 酸性岩 ウラン・ト

リウム鉱物などに含まれる希ガスの同位体比と存在度についての発表と それに対する質疑応答が主としてなされた。 前回の日光での学会に比較して 希ガスのデータが質量ともに蓄積しており アメリカ ソ連 日本に加えて フランス イギリス ドイツなどで新しく地球の試料について希ガス同位体比の研究を開始しているのが印象的であった。

ヘリウム同位体比に関する研究で注目を集めたのは Woods Hole の Kurz によるハワイの Haleakala 火山の玄武岩の研究である。 彼の分析結果によるとある種の斑晶中のヘリウム同位体比は大気の値の2600倍にもなることが明らかにされた。 この同位体比はこれまで発表された地球の試料では最も高い値である。 マントル

起源の物質でも上限は30倍程度 宇宙塵の影響を受けたとされる深海底堆積物でもその同位体比は大気の140倍程度であることから 他の解釈が必要となる。今回の発表では このヘリウム-3は鉱物中の主成分元素が宇宙線によりたたかれて spallation により生じたとされた。ただし大気の2600倍の高い同位体比が得られたのは 試料中のヘリウムの絶対量が非常に少ないために spallation の効果が相対的に強くでたためである。ハワイ・マウイ島の頂上部の lava から同様に高いヘリウム同位体比のデータが Craig らにより Terrestrial Volatiles のセッションで発表されており 今後火山岩や深海底堆積物等のヘリウムの絶対量の少ない試料を扱う場合宇宙線照射の効果を考慮する必要がある。一方火山ガスや天然ガス 海嶺玄武岩の急冷ガラス等の場合はヘリウムの濃度が十分濃いため問題にはならないであろう。

海嶺玄武岩中のキセノンとアルゴンの同位体比と存在度についてパリの Allegre のグループとマイアミ大学の Fisher が異なる見解を示していた。Allegre らは海嶺玄武岩中の高い $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比とキセノン同位体比異常をマンツルの層構造と関連づけて解釈したが Fisher によると Allegre らの発見したキセノンの異常はブランクの補正に伴うものか あるいは単純な mass fractionation によるものとされた。これまでのところ 海嶺玄武岩などに含まれる微量のキセノン同位体比を精密に測定する技術が確立されていないため どちらとも言い兼ねるところがある。

続成過程

本会議のシンポジウムで取りあげられた項目の中で続



写真-3 King's College (1441年創立)のチャペル。ケンブリッジでは学生は自転車で学寮と教室を往復する。

成過程と関連したものは3つあった。1つはこの“Diagenetic Process”であり “Thermal history of Sediments”そして “Genesis of low temperature Ore deposits”である。堆積岩の種々の同位体による研究は石灰岩やドロマイト岩を除くと火成岩や変成岩に比べて今まで余り手のつけられていない研究領域だったと言える。1970年代後半からコンビーナーの1人でもあるイギリスの G. D. Curtis を中心としたグループが古い堆積岩中の炭酸塩団塊などに注目し それらの成因と堆積物の続成作用との関係を認めた。

その後多くの研究が80年代になっていろいろな地域で行われ 又 DSDP のコア中の炭酸塩団塊が発見されたりし 堆積物中の続成作用の初期に同位体的にも面白い事が起きていて それが過去の堆積物中にも残っている



写真-4 会場となった Department of Earth Sciences. 2階に Sedgwick Museum がある。車はアメリカ ヨーロッパ車が多く 日本車は少ない。



写真-5 写真-4に示した Sedgwick Museum 内部。広くはないが 見ごたえのある標本がぎっしりつまっている。

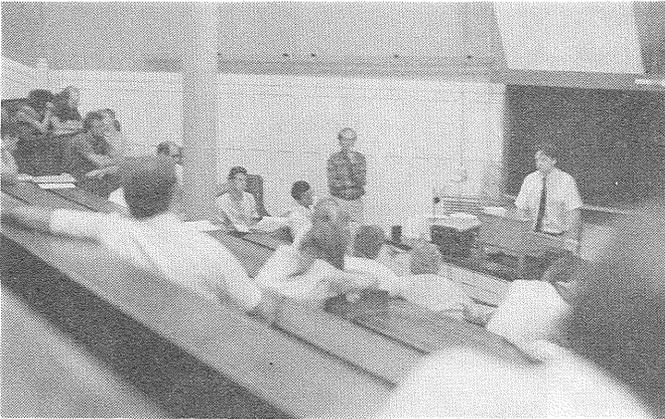


写真-6

第2日目第3会場での発表風景。

座長は筆者の一人、中井とアメリカの Russ 氏

ことがわかってきた。今回のこのシンポジウムもその延長上にあるが、安定同位体ばかりでなく $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 、堆積物中の雲母粘土鉱物（主として illite）から K-Ar 法による年代測定といったマルチ同位体研究がいくつか発表された。そして堆積物のサンプルとして明らかにボーリングコアを使って行った研究が5つは発表され、今までにない傾向であった。研究上の新しい面を捜すとすれば、あたりまえかも知れないが、続成作用という現象を解明するため、鉱物、特に粘土鉱物の生成過程や炭酸塩の続成過程、結晶化などと調和するよう、同位体の結果を1つの手段として活用する研究が多かったと言える。W. C. Elliott 他は Denver Basin の Drill core の中の粘土鉱物組成の変化 (Illite/Smectite の比) を Illite の K-Ar 法による年代尺度を入れ、熟度をより具体的に示した。同様な研究は J. R. Glasmann 他によって North Sea の例が発表された。そこでは、短時間 (約 1 Ma) の間に地殻変動により熱水の移動が起こり、続成作用が急激に起きたことが示され、従来の続成過程とは異なるイメージのものがあることが示された。続成過程の中でドロマイト化の問題は、1960年代から研究されているが、未だよく解明されていない。P. Aharon は同位体でこの問題を扱う事の問題点を指摘し、条件によっては起源と生成時期を追うことができることを示したが、古い地層のドロマイト問題は、謎が多い。

R. B. Halley は中国南部の Upper Permian の地層中の礁石灰岩をセメントする放射状方解石の同位体分析から、これらが過去の海洋の水温躍層や酸素極小層で生成されたと解釈した。この解釈が正しいとすれば、大変面白い結果である。T. Yanagi 他は、日本海溝の大陸側と大洋側の堆積物コアの Sr の同位体比の分析から、堆積環境のちがいがはっきりと Sr の同位体比の差として表われることを示した。A. Segev と G. Steinitz は、続成過程でできた Mn-ノジュールの中の Potassium を含

む鉱物に注目し、全岩、鉱物年代といった年代測定の手法を用いて、堆積年代、続成作用、Mn-ノジュールの生成といった年代を区別して求めることに成功した。

海洋における同位体トレーサー

ここでは主として元素の地球化学的サイクルの内、海洋域の実態を Sr, Ce, Nd, Hf などの同位体比から把握しようとするものである。海洋における Nd 同位体の広域変化の定量的なモデル作りを目指す論文が2編発表されたが、海嶺熱水系からの同位体比が玄武岩の値と異なることから思いどおりにならないようである。

Tanaka 他により、マンガンノジュール中の Nd 同位体比が陸源物質のそれであるのに対し、Ce 同位体比が海嶺玄武岩の値に似ることが報告された。Wasserburg から REE 内でそのような源のちがいが起きるはずがないとの発言があった。“だからおもしろいのだ (T)”

現在の海洋から過去の海洋の性質を復元するために、地質時代のチャート、テチス海の Mn 堆積物中の Sr, Nd 同位体比が測られている。UCLA のグループは、コロリス中の Sr 同位体比を高精度で測定し、2.2, 0.9, 0.2 m. y. に海水中の Sr 同位体比が急上昇したことを明らかにした。

堆積岩の熱履歴

ここではアパタイトのフィッシュントラックによる分析 (AFTA) が半数以上を占めた。鉱物中のフィッシュントラックがある温度以上に一定時間を越えてさらされると消えてしまうことを利用するもので、この『焼き鈍し』が起きる温度は、鉱物によってアパタイトは 125°C、ジルコンは 200°C などと異なるので、詳細な議論が可能となる。

Marshallsea はオーストラリアのボーヴェン湾について、2.5億年の間 60°C 以上にならなかった地域と、白

亜紀中頃に125°C以上から温度低下があったと認められる地域が混在していると報告した。

Miller 他はデボン紀の北アパラチア湾の堆積岩について100°Cから200°Cの間の熱履歴を経て来たことを示した。アパタイトによる見かけ上の年代は三疊紀後期あるいはジュラ紀初期を示しているが、これはニューヨーク東部の同時期に起ったと見られているこの地域での隆起と調和的に理解されるとした。

超高感度測定技術

ここでは前回同様 同位体比分析の1つの大きな手法となった加速器による ^{10}Be ^{14}C ^{26}Al ^{36}Cl ^{129}I の測定がアイスコア 地下水 堆積物等についてなされた。目新しいのは加速器マスが高感度であることを利用して地質試料中の Os Ir Pt 等を定量しようとする試み (Chew ら) や Os 同位体比を測定する試み (Teng ら) である。後者は Canion Diablo 隕石の Os 同位体比を化学操作なしに測定した他に 一般の岩石に対しては硫化ニッケルに岩石中の Os を抽出・濃縮し Os が 0.06 ppb という低濃度の試料に対しても 同位体比測定に成功している。しかし同位体比測定の精度としては 他の方法に比べ劣るようである。

新しい応用として 宇宙線照射により 地表の岩石中に生ずる ^{10}Be や ^{26}Al から岩石の地表での露出時間 (逆に言えば侵食速度) を求めた USCD の西泉らの成果が目

立った。

大陸地殻の進化

このセッションは聴衆も多く盛況だった。Compston, Pachett, DePaolo, McCulloch など そうそうたるメンバーが発表したが Allegre は発表をキャンセルした。今回は Nd 同位体比を用いた研究が主流を占めた感がある。Hf を用いた研究は前回から増加が見られず 困難さを示しているようで 今回は Patchett も Hf についての話はしなかった。

McCulloch はオーストラリア大陸の Proterozoic の造山帯で Sm-Nd 系の詳細な調査を行い 主要な地殻形成期を明らかにし また Proterozoic の地殻形成は Archaean の地殻の再融解によるものではないことを示した。オーストラリア大陸の上部地殻の三分の一は Proterozoic に付加されたものと結論している。

DePaolo は合衆国西部のカウ岩のデータから 大陸地殻の平均 Sm/Nd 比は 3.6 Gy 前には コンドライトでの値の 0.48 倍だったのに対し 1.8 Gy 前にはコンドライトの比の 0.63 倍まで増加し 外挿して現在の値を求めると 0.70 倍となり 現在の島孤の値と等しくなると報告している。これは Archaean の地殻が現在のものよりも大きな希土パターンの傾きをもつことになる。堆積岩からの推定では Archaean の地殻はフラットな希土パターンを持っていたと考えられており 今回の結論と相反する。これは両者の生成機構及び変成などの影響によるものと考えられる。

同位体異常

このセッションでは 初期太陽系における同位体異常と安定同位体の『非質量依存同位体効果』の二つの話題が中心となった。

第一の話題は四年前の日光でもとりあげられたが 特に Allende 隕石中の包有物に見出される同位体異常に話題が集中した。Papanastassiou は ^{48}Ca ^{50}Ti および ^{54}Cr の過剰が 3 : 1 : 1 である包有物を見出した。これは中性子に富む環境で生成し超新星の爆発により放出されたものであると思われた。又 イオンプローブによる同位体異常の解析について 数講演行なわれた。Hutcheon は $\delta^{26}\text{Mg}$ $\delta^{41}\text{Ca}$ $\delta^{13}\text{C}$ および $\delta^{50}\text{Ti}$ を Zinner 他はやはり Mg と Ti の同位体比を測定し 同位体異常の変動が個々の包有物によって大きく違うことを見出した。それは核合成起源の大きく異なる粒子が太陽星雲中に存在したことによると推論した。

地球上の物質に関しては $\delta^{17}\text{O}$ - $\delta^{18}\text{O}$ 相関直線の傾きが 質量に依存する同位体効果で説明される 1/2 である

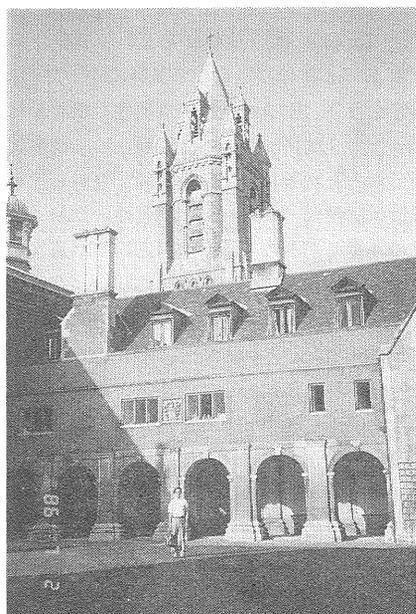


写真-7 参加者の宿舎の一つとなった Pembroke College と筆者の一人吉田。



写真-8

宿泊の中心となった St. John's College (1511年創立)の Bridge of Sighs (ため息橋?) と Cam 川. この橋の右たもとにある部屋を写真-9 に示す.

のに対して 地球外物質についての傾きは1であることが知られている. これまで核合成起源の異なる二種類の物質の混合とされてきたこの分布を 質量に依存しない同位体効果で説明しようという動きが第二の話題である.

火付け役となった Thiemens は O_2 から放電によって O_3 を生成する際に $\delta^{17}O$ - $\delta^{18}O$ の相関が傾き1の直線に乗ることを簡単な実験で見出した. 対称な生成 O_3 分子である $^{16}O^{16}O^{16}O$ よりも非対称な分子 ($^{17}O^{16}O^{16}O$ と $^{18}O^{16}O^{16}O$) の方が生成し易く ^{17}O と ^{18}O は同一の非対称性をもつので同じ割合で生成するという自説をくり返した. Robert は 水素原子と水素分子の衝突反応の正方向は質量依存 逆方向は非質量依存であるという結果を示したが 十分な解説を加えなかった. Epstein がこの話題に関する講演を準備不足を理由に中止したのは象徴的で この問題に関する決定的な理論的解決はしばらく先であるという印象を受けた.

低温型鉱床の生成

このセッションでは 全9編中6編が Pb-Zn 鉱床に関してであり 他に Au 及び U 鉱床に関する発表だった. Ohmoto は世界に広く分布する堆積岩中に生成している Cu-Pb-Zn 鉱床について その Cu/Pb/Zn 比及び硫黄同位体比の幅等により5つのグループ (中央アメリカ ミズーリ スウェーデン ウィスコンシン及びオーストラリア・ドイツ・アイルランド) に分類し これらの比及び熱力学的データから 個々の地域における鉱床生成の物理・化学的条件と過程を論じた.

低温型の鉱化作用では通常物理・化学変化のみならず生物起源の物質の関与 (主に酸化還元因子として) も重要である. 今回も3編 (Pb-Zn 鉱床) が生物起源物質の関与過程に言及していた. Macqueen and Powell は パイン ポイント (カナダ) の鉱化作用が bitumen 等の

有機物による $SO_4^{2-} \rightarrow H_2S$ の環元反応に帰因していることを有機物の段階加熱実験と硫黄同位体比から明らかにした. 安定同位体関係で目新しいところでは オーストラリアのグループによる SIMS (Secondary Ion Mass Spectrometer) を用いた硫黄同位体比の測定に関する発表があった. 現在 $30 \mu m$ のスポットで硫黄同位体比を $\pm 2\%$ の精度 (Single collector のため) で測定可能とのことである. この手法は すでに Mg 等の同位体比測定に用いられているが 今後 軽元素にも高精度で可能となると micro-scale での拡散現象等に応用可能となる.

顕生代年代尺度の校正

このセッションは11編の論文発表があった. Fuhrmann と Lippolt は 他の研究者から提案されている第4紀の K-Ar 年代測定用標準試料について ^{40}Ar - ^{39}Ar 年代測定を行い K-Ar 年代の信頼性を検討した. その結果 この3試料については問題なく 標準試料として適切であると判断した. 反対に 他から提案されている黒雲母試料は K-Ar の不均質性 ^{40}Ar - ^{39}Ar のパターンの不良などから 標準試料として不適当であるとしている. Cebula 達は Fish Canyon Tuff (コロラド州) から分離した さまざまな鉱物の K-Ar 年代 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年代とフィッシュトラック年代が一致することから それぞれの年代測定の標準試料につかえることを報告した. Gillot と Valladas は 熱ルミネッセンス年代 K-Ar 年代と ^{14}C 年代を比較し 過去5万年程度のタイムスケールのより精密化を試みた. その他 白亜紀および第三紀にかけての地磁気極性の編年表を ^{40}Ar - ^{39}Ar の年代データを中心に手直しするという研究が Obradovich 達により発表された. また Craig 達も1982年の Harland 達の“地質タイムスケール”を最近発表されたデータを取り入れ新しく改訂中であることを



写真-9

St. Johns College 寮の室内：5～6 m²の台所兼用の前室が付いた30 m²程の広さである。板張りの床にすり切れたジュータン机とロッカー 洋服ダンス ベッド 応接セットのある殺風景で質素な作りである。オーディオや空調のない点はどこかのお嬢様学寮に劣るかもしれないが16世紀からこの空間を学生に使用させ得た富の力はすごいものである。部屋の作りは建築年代やCollegeによりさまざまである。

報告した。

地質年代学Ⅲ（新しい進歩とその応用）

このセッションは二日目の午後から行われた。聴衆は150～200人前後で発表内容はArに関連する年代測定についてのものが多かった。

講演の中で最も議論が集中したのはHarperらによる時間と空間の地質学であった。これは重力と他の力の結びつきの可能性を示唆するKaluza-Klein理論を証明するために軽い放射性核種であるRbと重いUとの挙動を比較したものであるが難解な内容なので理論について興味のある方はNucl. Phys. B186, 412 (1981)などを参照して頂きたい。

Sutterらはレーザーマイクロプローブを用いて鉱物一粒子の⁴⁰Ar-³⁹Ar年代の測定に成功した。レーザービーム径は～100 μm程度で研磨された岩石薄片に照射しArを気化させる。彼らは白雲母・黒雲母・角閃石などにこの方法を適用し通常の方法で得た結果と一致する年代を得ている。

Brookins及びBaadsgaardらは蒸発残留岩に対しK-Ar Rb-Sr法などを適用し鉱物間の生成史などを調べた。

NakaiらはLa-Ba法による希土鉱物の年代測定を報告した。これは¹³⁸Laが¹³⁸Baへ電子捕獲壊変するのを利用した年代測定法で希土鉱物に適用範囲が限られている。しかしアイソクロン法を用いずに一個の試料から年代測定が可能であるという特長があり希土鉱物を含むカコウ岩 片麻岩などの研究に有力で

ある。この方法を使うさいにLa-Ce法と同様に¹³⁸Laの壊変定数が正確に求まっていないという問題があるがフィンランドのペグマタイト鉱床起源の希土鉱物でSm-Nd鉱物年代とLa-Ba年代を比較してみたところ¹³⁸LaのλECは4.16×10⁻¹²yr⁻¹程度だろうとNakaiらは見積っている。

このセッションで注目を集めたものにRussらによるICP-質量分析計(ICP-MS)を利用した¹⁸⁷Re-¹⁸⁷Os法による年代測定の試みがあった。Re-Os法は1960年代に試みられたものの表面電離型質量分析計による同位体比測定が困難であるためその後の実用化が遅れた。しかし今回の会議ではRussを含め三件の報告がなされた。

他の二件はそれぞれ二次イオン質量分析計(SIMS)及び加速器型質量分析計を利用したものである。ICP-MSを用いたRussらはOs同位体比の測定のみを行っている段階である。Os同位体比測定にはOs数ngが必要(溶液中で1 ppm程度)で測定精度は1%程度である。

地質年代学Ⅳ（U-Pb法）

このセッションでは最近の技術的進歩に関する報告が数多くなされた。

Kroughらのグループは²⁰⁵Pbスパイクの製造及びそのスパイクとテフロン製分解容器を利用することにより鉛の汚染の影響を小さくした。その結果彼らは5 μgのArcheanのジルコンの年代測定に成功している。また空気によりジルコンの外皮を削磨しコンコ

ーディアにのるジルコン一粒子より年代を求めることにも成功している。

Compston らのグループは SIMS を用いた U-Th-Pb の年代測定を精力的に行っている。彼らはまたジルコンの Hf 同位体比も SIMS により測定している。測定精度は1パーミル以上ということで表面電離型質量分析計による測定には及ばないが Hf も表面電離で測定が困難な元素の一つであるので今後の進歩に期待したい。

地殻岩石中に広く分布するジルコンは U を濃集しているため U-Pb 年代測定に格好の材料である。このセッションでは27編の論文発表があったがそのうちの20編までがジルコンを扱ったものであった。ジルコンの U-Pb 年代測定ではしばしば確定的な年代が得られない場合があってその原因の1つは性質や起源の異なるジルコンが1つの岩石あるいは結晶中においてさえ共存している場合があるからである。こうした問題点を除くために最近では分析方法・技術の改良によって個々のジルコン結晶あるいはその一部についての年代測定が行われるまでになっている。その一例として Roddick らの報告を挙げると彼らは4つのコレクターを装備した質量分析計を用いて5 μ g 程度の始生代ジルコンについて十分な精度で年代を求めている。こうした分析技術の向上を背景にして個々の結晶についての不一致年代を改善する努力が重ねられている。例えば Krough はジルコンの外殻部分を摩耗除去することによってカナダの Meguma および Spruce Brook 堆積岩中のジルコンについてより確かな U-Pb 年代を求めることができた。

Kober はフィラメントにジルコンの結晶を直接乗せて蒸発させる方法によって Pb 同位体比の測定を行った。同様の方法はこれまでも行われているが彼の場合はイオン化フィラメントを加えた二重フィラメント方式を採用することによって技術的改善をはかった結果シリカゲル法に匹敵する強度のイオンビームを得ることができた。

Henry らは北米の始生代花崗岩体から取り出した個々のジルコン結晶について X線マイクロプローブにより結晶内の組成変化と overgrowth などの様子を詳しく調べ U-Pb 年代と比較対照することによって不一致年代の解析を行った。

オーストラリア国立大学の Kinny と Compston はイオンプローブ質量分析計を用いてジルコンの U-Pb 年代に加えて Hf 同位体比の測定を行い変成作用による U-Pb 系のリセットに伴って $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ の高い部

分がリムとして形成されている例などを報告した。

地質年代学 V (K-Ar Ar-Ar 法による研究)

このセッションではカナダ イギリス ドイツ フランス ポーランド イタリア 中国 日本 インドなどの研究者が世界各地の岩石試料について K-Ar 法及び Ar-Ar 法をもちいた絶対年代測定の結果について発表した。Regional Studies のセッション名が示すように年代値は試料採取地点の詳細な地質学の成果とともに議論されるため各地のテクトニクスについて予備知識がない場合発表を理解するのが難しかった。比較的一般性の高いものとしては Zashu らのザイルのダイヤモンドの K-Ar 年代測定があげられる。前回の日光の学会で Ozima and Zashu は南アフリカ産のダイヤモンドのヘリウム同位体比を測定し最大値では大気の170倍にも達することを示した。この値は地球生成時のヘリウム同位体比に近いのでダイヤモンドは地球生成と同じ時期に作られたものと解釈された。この推定を確かめるため今回は同一地点で採取された10個のダイヤモンドについて K 濃度と Ar 同位体比及びその濃度を測定した。その結果 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}-\text{K}/^{36}\text{Ar}$ ダイアグラム上で直線にのることがわかった。もしこの直線がアイソクロンであるとするとその年代は58億年となり地球の年代より古く現実的ではない。そこで彼らは $^{40}\text{K}/\text{K}$ 比が地球生成時のダイヤモンドと現在の試料では異なるため見かけ上古い年代が得られたと解釈した。 $^{40}\text{K}/\text{K}$ 比の違いについては Clayton がある種のイン石の異常に古い年代を説明するために議論しているがいまのところ確証はない。

ダイヤモンド中の希ガスについては U. C. Berkeley の Honda らが Planetary Volatiles のセッションで別に発表していた。ヘリウム同位体比は最大値で大気の110倍に達し $^{20}\text{Ne}/^{22}\text{Ne}$ 比に異常が発見された。高いヘリウム同位体比について宇宙塵を含む深海底堆積物が沈み込みによりマントルにもたらされそれがダイヤモンドに取り込まれる可能性を彼らは示した。一方 Scripps の Lal らは Terrestrial Volatile のセッションで宇宙線により生成した中性子が Li や Be と反応してヘリウム-3を作るためと推定していた。ダイヤモンドの年代の異常に関連してアルゴン同位体比に対する宇宙線照射の影響を考える必要があると思われる。

宇宙年代学

宇宙年代学はこの会議の名前にもなっている重要なテーマであるがその割には論文は8編であまり盛況とは言えない雰囲気であった。

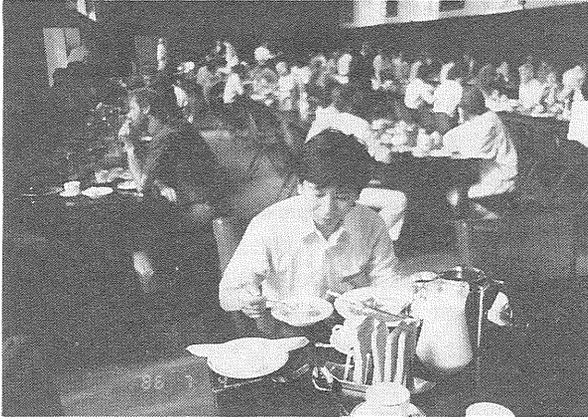


写真-10

College での朝食風景：写真の手前側は床が1段と高くなっており 背もたれの付いた椅子が用いられている。普段ここは教授の席となる。 食事をしているのは筆者の一人 佐野。

月の年代に関しては Mayer らが Apollo 14 15 17 による breccia の薄片にある granite 中の5個のジルコンについて 高分解能 IMA を用いて Pb-Pb 法による年代を求めた。得られた年代値4.16-4.33 by は これら granite がグローバルなマグマ・オーシャンの固化の際 結晶化した年代を示していると述べた。彼らを使用した Canberra の IMA は分解能6500というものでこの装置の方に筆者は感動した。Dasch らは Apollo 14 の breccia の basalt について Rb-Sr 年代を求め 3.96-4.33 by の値を得ている。

Allegre らは Allende 隕石中の Ti と Cr の同位体比異常を持つ3個の inclusion を chemical reaching して Pb-Pb 年代を測定し 4.565-4.575 by の値を得た。この値は 最も古いエコンドライトの 4.555 by や 最も古い変成されたコンドライト St. Severin の 4.55 by に較べても 0.01~0.02by 古いので これら inclusion は 太陽系の中で知られている限り最も古い物質であると述べた。この時は 発表者が Göpel というバリ女性であることもあってか 多くの質問が出た。

Canberra のグループは 前述の IMA を用いて Murchison と Allende の perovskite について U-Pb 年代を測定し 4.565-4.666 by の年代を報告した。

Thiel and Rulying は Jilin 隕石 (H5) から2本のコア・サンプルを取り 銀河宇宙線による track 密度を調べて すでに報告されている 2 stage exposure model による推定値と よく一致することを述べた。また 落下に際しての表層の ablation loss は11~14cm 程度と見積った。

Okano らは 6個の Yamato-79 LL-コンドライトの Rb-Sr 年代及び希ガス同位体測定にもとづき これらの隕石がもとは一つの天体だったこと 更に この母天体で 1.2 by 前に 大きなショックを受け Rb-Sr K-Ar 系がリセットされたことを示した。

Müller は レーザーを用いた ^{40}Ar - ^{39}Ar 年代測定を非平衡 EH コンドライト Qinzhen に適用して 4.4 by の年代と 1.7 by の変成年代を求めた。

宇宙化学

このセッションは最終日の午前であり 15の論文が提出されていたが 3つの取消しがあった。

Suess らは 奇数質量核の存在量が 質量数に対してスムーズな分布をしているという顕著な傾向は 奇数核が偶数核に比べて大きい中性子捕獲断面積を持つため それらの核は s-process より主に r-process で作られるからであるとし r-process 核の存在量がスムーズな分布をする理由について 考えを述べた。

Sears は TL 燐光を用いて隕石の熱史・ショックの影響の研究ができる可能性を述べた。

Alexander らは 初期太陽系における presolar dust などの影響を考慮すると 従来の年代学が どのような年代を意味しているか あいまいであるとして 自己の考えを述べた。

McKeegan らは 成層圏ダストの IMA による分析を行い いくつかの chondritic な粒子は非常に大きい δD の変動を示し 数ミクロンのオーダーで不均質であるが他の同位体には 地球外物質であることを示す明確な同位体異常は見られなかったことを報告した。

Nagao and Matsuda は 南極隕石 Belgica-7904 (C2) を Size Separation して得た6つの試料について希ガス同位体分析を行い 全岩で報告された Kr Xe 同位体比異常を どの試料が担っているかを調べたが いずれも明確な異常は示さなかったと報告した。

ソ連のグループは Efremovka (CV3) を酸で処理した残渣中の Xe 同位体比と エンスタタイト・コンドライト Pillister (E6) Adhi Kot (E4) の Xe について論文を提出して 期待していたが 講演は二つとも

取消された。

エンスタタイト・コンドライトについては他に二つの論文があった。WrightらはE・コンドライト中のグラファイトの $\delta^{13}\text{C}$ 変動が異常な同位体比を持つ微量の炭素による可能性を調べ type 3, 4 のグラファイト中に ^{13}C に富んだ二つの微量成分が含まれているらしいと述べた。BurgessらはE・コンドライト中のSを O_2 中で段階的加熱により SO_2 として抽出して調べ450~600°Cの放出SはFeSに対応し700~1200°CのSはCaSや他のrefractoryな硫化物に対応していると述べた。

隕石中の ^{244}Pu を年代学に应用するにはPuの化学的性質を知る必要がある。Puが軽希土類元素特にNdと似た行動をとるという報告もありまたこれを支持しないデータもある。BurnettらはPuとNdの関係を調べるためAllendeのコンドルールについてXe, track, Ndを測定してfission Xeより推定した ^{244}Pu とNdとの比はOlivineコンドルールCAIコンドルールとも約 2×10^{-4} でfactor 2程度内に納まることを示した。

Hondaらは鉄隕石中の微量元素である親石元素(ppm)と宇宙線起源核種を含むSc Cr Mn (ppb)を中性子放射化分析とグロー放電質量分析法で測定した結果両者の方法による測定値及び文献値との良い一致が得られたことを報告した。

Dreibus and Wänkeは地球と火星(SNC隕石の母天体と考える)のマントル中のMn Cr Vなどの含有量の相違に注目して二成分混合モデルによる地球・火星形成論を述べている。

Lipschutzらは南極隕石と非南極隕石のO-コンドライトについて親石及び揮発性元素の分析を行った。その結果非南極隕石とVictoria Landの隕石の間で明確な相違があり更にVictoria Landより若いterrestrial ageを持つQueen Mary Landの隕石とも異なることがわかった。これは地球軌道付近の隕石fluxが $10^5 \sim 10^6$ 年のスケールで時間的に変動しているためであろうと述べた。

火成岩成因論Ⅲ (He, N など揮発性成分)

He, H-Volatilesのセッションでは主として海嶺玄武岩の急冷ガラスやその包有物中のヘリウム 窒素 酸素 水素 炭素などの揮発性成分の存在度及び同位体組成について議論された。海嶺玄武岩はSrやNd同位体比の結果から上部マントルを代表するものと考えられていた。さらに最近の希ガス同位体比の分析により海嶺玄武岩中の急冷ガラスは上部マントル起源のヘリウム等

の揮発性元素を多量に含むことが解った。このセッションでの発表の主題はヘリウムと共存する二酸化炭素や窒素を測定することによりマントルの炭素・窒素同位体比を明らかにすることである。

イギリスのExleyらは玄武岩中の窒素の濃度とその同位体比を段階加熱法を用いて測定した。窒素の濃度は著しく低く平均で0.8 ppmにすぎずしかも主として高温のステップで岩石から放出された。低温のステップの窒素同位体比は0%であり大気起源の窒素が岩石の表面に吸着したことを示した。高温のステップの窒素同位体比は多少のバラツキはもつが平均で+7.5%であった。続いて発表されたBoydらの研究によるとダイヤモンド中の窒素同位体比も大気値より高くマントルの窒素では ^{15}N が濃縮している可能性がある。

火成岩成因論Ⅵ (キンパーライトとカーボナタイト)

Kinberlite/carbonatiteのsessionでは7つの論文が紹介された。いづれも大陸地域のマントルに由来する特殊な岩石だけにMinorではあるが興味深い研究テーマである。多くの発表で同位体(C O Sr Pb Nd)と微量元素など多角的な視点からの研究が多い。D.R.Nelson他はオーストラリア アフリカ ヨーロッパなど地域も時代も異なるカーボナタイトのSr-Ndの同位体組成を示しOceanic-mantle arrayよりより放射性物質に由来する成分が少ないがPbの同位体組成は放射性起源に由来するものが多い。他の特徴も合わせるとSt. Helena-Australの大洋島のマグマの性質とよく似ていることがわかる。このことから逆に炭酸塩や CO_2 の相が存在することによって大洋島のマグマの性質が決められるかも知れないと発表した。D. E. Scatena-Wachel他はイオンマイクロプローブを使い細粒のカーボナタイトの鉱物のSr同位体および微量元素分析を行いカーボナタイトマグマの特徴を比べた。R. W. Williams他はカーボナタイトマグマの噴出で有名なOldoinyo Lengai火山のマグマがU, Th系の元素に非平衡でRa-228 Ra-226が濃集していることからモデル計算を行いカーボナタイトマグマのできた時が噴火のせいぜい20年前であるという面白い報告をした。

変成作用 (溶液-岩石系 水-岩石反応)

変成作用のSessionでは18篇(1篇キャンセル)の論文が紹介された。このSessionはI Fluid-Rock ProcessとII Water-rock exchangeという2つのSubsessionに分けられているがIでは主に変成作用を中心にIIではマグマと水による相互作用(熱水作用)を中心としたsessionのようだがあまり明確ではなかった。変

成鉱物の H, C, O や Sr などの同位体組成から岩石と反応した水や物質の起源をさぐり その生成過程を研究するものであるが 反応の程度は 岩石と水との割合によって大きく変わってくる。今回の発表の中でも 岩石の種類 変成度などにより変成作用時の流体の性質を特徴付けようとする試みがされている。K. M. Greig 他は S-W Scotland の変成帯で変成度が順次変化しても酸素の同位体の変化は一定の傾向を示さず周囲の岩石種や fluid の起源によって 様々な変化を起こし 変成時期や累進 後退といった現象に対応する反応過程を区別した。変成作用は様々な中間的な過程を含む複雑な現象であり 岩石・鉱物学的な解析と合わせた研究によって同位体の役割も意義が増すことを示した例といえる。熱水作用で生成された Graphite に関する論文が 3 篇紹介された。通常どこにでもありそうな Graphite も結晶としては得がたく 又変成流体の酸化状態を規定する重要な役割を持っている。Graphite の $\delta^{13}\text{C}$ 値も産状によって異なり 種々の起源の炭素原料から Graphite が成長した事を示している。今後も熱水から晶出したものばかりでなく 変成岩中の Graphite の結晶についても その成長とその詳細な同位体比などから変成流体についての情報が得られるであろう。マグマと地表水との交換がいつどの程度 どのように行われるかといった水-岩石反応に関して多くの研究が紹介された。K. Simon & J. Hoefs は Granite が貫入した後で大規模に変質をうけ温度が下がるに従い流体の化学組成や同位体組成が次々と変化していった過程を示した。J. R. Bownan 他は Porphyry copper をつくった熱水の進化をかなり細かく追った。Y. N. Shieh & T. M. Mensing はボーリングコアを使用した研究で古生層とプレカンブリアの不整合面から下位で順次変質が起きて

いることを O, Sr の同位体と 鉱物の化学組成から示した。又 $\delta^{18}\text{O}$ と斜長石の K-Na の交換が極めて理想的に行われたことを示した。

R. A. Duncan & H. Staudigel は 雲母粘土鉱物である Celadonite の K-Ar 法 Rb-Sr 法を適用することに成功した。D. S. D. P. のコアからもとの Basalt の年代と celadonite の年代とから 15 Ma の間海水による変質過程が続いていたという面白い結果が得られた。

海洋および大気

このセッションでは 終始スライドプロジェクターが不調で「次は日本製を」という声がかかる程であった。しかし数枚のスライドを欠いても板書をするなどしてかえって活発な議論がなされた。

Craig 他は Greenland 氷床中に閉じ込められた 300 年以上昔の空気に含まれる極微量の CH_4 の $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比を測定した。その結果は 過去 330 年から 100 年の間は $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比がほぼ一定 ($\delta^{13}\text{C} \approx -50\%$) であったのに対して現在 ($\delta^{13}\text{C} \approx -48\%$) まで約 2%程 ^{13}C が濃縮していることを示している。この結果から CH_4 の濃度が過去 100 年間に約 2 倍になった原因が化石燃料の燃焼による付加であることを炭素同位体比によって裏づけられたとしている。

Yoshida and Morimoto は N_2O の循環を窒素同位体比を用いて明確に記述した。 N_2O は大気の熱収支と成層圏の光化学に重要な役割を果たす大気成分としてこの 10 年間多くの科学者の注目を浴びていた。彼らによると N_2O は主に微生物により生成・消費され 成層圏で光分解される割合は小さい。この結論は微生物による生成の際の大きな同位体分別 ($\alpha = 0.94 \sim 0.97$) に見合う消費機構として光分解 ($\alpha \approx 0.98$) 以上に微生物による消費 ($\alpha \approx 0.96$) が重要であるという質量保存則から明快に導かれた。さらに彼らは現在の N_2O (330ppb, $\delta^{15}\text{N} \approx 8\%$) が人類活動により一年間に +3 ppb, -0.1% ずつ変化すると予測し 濃度の変化に対して $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ 比の変化が大きいことが注目を集めた。

他に島弧などの火山活動における堆積物の再循環の割合を示す指標として最近注目されている ^{10}Be に関する論文が数報発表された。Boules, Raisbeck and Yiou は海洋底堆積物を酸処理し その溶液中の $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$ 比の方が残渣中よりもかなり高いことを示し海底堆積物の年代決定には試料の酸処理が有効であると報告した。Osmond, Sharma and Somayajulu は北極海の ^{230}Th の堆積速度が他の海域に比べて遅いことをすでに見出していたが ^{10}Be の堆積速度がさらに遅いことを報告した。これは ^{10}Be の吸着した微粒子がかなりの割合でこの海

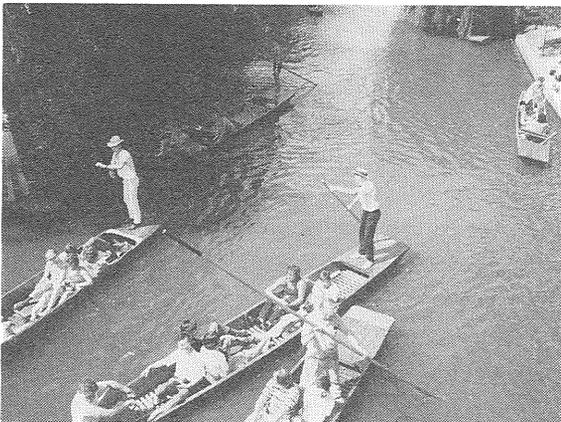


写真-11 Cam 川での舟遊び：中央の舟に乗っているのは小嶋氏と松久氏夫妻。

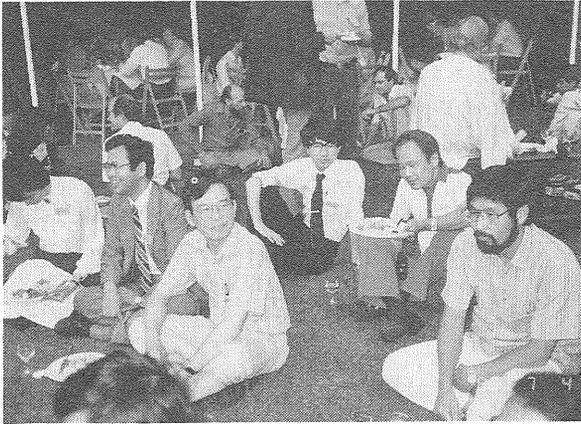


写真-12

夕食会風景：参加者があまりに多かったためか庭が会場となった。国内学会の懇親会で鍛えられていたはずの日本人参加者も遠慮が先になってか、十分な食事にありつけた人は少なかったようである。ただワインが豊富だったのは西欧ならではの事。

域から取り除かれているためであると推論している。

古環境と同位体層序

このセッションではリン酸塩の酸素同位体比を利用した温度計による古海水温の推定に関する2つの発表が注目された。

Kolodny and Raab はイスラエルの白亜紀から始新世に至る魚類の歯と骨化石のリン酸の $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 比を測定したところ17から20%の範囲にあった。このことは白亜紀に 30°C であった海水温が一時 24°C まで下がったが、始新世始めには 28°C になっていたことを示している。イスラエルの白亜紀当時の緯度は約 10°N で熱帯であった。白亜紀の古緯度が 30 から 50°N であった北ヨーロッパの試料について分析したところ緯度の増加に伴ない系統的に温度の減少が見られ、極と赤道間の温度差が約 10°C と見積られた。彼らは以上から白亜紀当時の地球は温暖であったと結論している。

Karhu and Epstein はリン酸塩の $\delta^{18}\text{O}$ のみでなくそれと共生するチャートの $\delta^{18}\text{O}$ を測定し二つの温度計の相互較正を試みた。含酸素鉱物の $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 比はそれと平衡にある水の $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 比と同位体分別係数(温度の関数)で決定される。つまり同じ水と平衡にあったと思われる二種類の鉱物の $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 比を測定すれば連立方程式の解として平衡にあった水の $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 比と当時の温度とが求まるわけである。しかしそのためには二種類の鉱物の酸素同位体分別係数の温度依存性(二つの温度計の各々の較正曲線の傾き)がある程度異ならないと精度が悪い。炭酸塩とリン酸塩、ケイ藻の作るシリカとリン酸塩などでは従来不可能とされていた。したがって理論的には鉱物同位体温度計を提案した Urey がすでに指摘していたが、かつて成功していなかった。彼らは顕生代と先カンブリア紀末期の共生し保存状態の良いチャートとリン酸塩の組合せを選び上法を試みた。

その結果先カンブリア紀から現在まで海水の酸素同位体比は $\delta^{18}\text{O} \sim -1\%$ で大きく変動しなかったという常識的な第一の結論を得た。第二に先カンブリア紀末期は約 80°C という高温で、現在に向うにつれ徐々に温度が低下したと結論した。

鉱床

このセッションはさらに3つのトピックスに分けられる。即ち①花こう岩関連鉱化作用 ②Carbonate Hosted ③高温鉱床である。

①花こう岩関連鉱化作用では軽元素(H C O S)の安定同位体による鉱化作用の研究が2編 Sr Pb Nd の同位体による鉱液の起源と年代測定に関する研究が4編発表された。Morishita は石英-白雲母系の酸素同位体温度と流体包有物の均質化温度の違いに着目し地質圧力計として用いた。

②Carbonate Hosted では石灰岩中に生成した Pb-Zn 鉱床について5編が発表された。内分けは年代測定に関するもの2編 生成環境・成因に関するもの3編であった。

③高温鉱床では軽元素の安定同位体による研究3編 Pb 等の同位体による研究が4編発表された。Herbert はオーストラリア西イングランド地方での海底熱水鉱床(Cu-Zn)の硫黄同位体の研究からこの鉱液がマグマに由来するものであることを示した。この結果はこのタイプの鉱床成因論として現在支持されつつある海水循環モデルが、少なくともこの鉱床には適用できないことを示している。

地殻とマントルの進化II (希ガス)

このセッションは3つの論文からなる極めて短いものであり、初日であったことからソ連のグループの論文が取り消され(会議の初日はソ連の参加者にビザが下り

なかったため空港に足止めされた) 更に1つは Cosmogenic Isotope のセッションに回された。残り1つの論文で希ガスのセッションが行われたのか 他のセッションに回されて消滅したのか 筆者の怠慢のため不明である。したがって アブストラクトの内容にもとづいて紹介する。

Cambridge の O'Nions のグループは 地殻岩石中で生成される放射起源 He の同位体比 $^3\text{He}/^4\text{He}$ について論じた。U Th は ^4He 核である α 粒子を放出し この α の一部は 岩石を構成する軽元素と (α, n) 反応を行って中性子を生成する。 ^3He は この中性子の ^6Li による捕獲反応により生成される。 鉱物中での α 線の飛程は小さいため U, Th の分布が特殊な鉱物に局在するか否かにより 中性子生成率が変わり ^3He の生成率も変動する。 また 熱中性子捕獲断面積の大きい B や Gd の含有量が高くなると 中性子 flux が減少するため 放射起源 $^3\text{He}/^4\text{He}$ は factor 5 程度の変動を受けるとしている。

ソ連のグループは 深部岩石中の希ガス組成がマントル中の組成を反映していないのは 大気希ガスの汚染と分別によるものであるとし 後者の原因の一つである melt と gas の間の分配を考慮すると MORB を作るマントルでは $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar} > 25000$ PLUM basalt を作るマントルでは $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar} > 7000$ であろうと述べている。

O'Nions たちは マントル・ペリドタイト中の CO_2 -rich fluid の $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ を調べて 大陸地殻中に Sediment からの炭素が供給されている可能性を述べている。

地殻とマントルの進化III (マントルの構成)

このセッションでは 4編の論文発表があった。Lambert と Chamberlain は 2層モデルの内上部マントル内にさらに3層を想定し議論を展開した。Meijer は部分熔融における U/Pb の分別を問題に取り上げ Pb の方が U よりメルトにはいりやすいことを主張した。彼によればマントルで熔融した時の U Th Pb の分配に関する決定的な実験データはないという。Zhu 達は中国の新生代の玄武岩につき Pb-Sr-Nd の同位体測定を行い 3成分の混合系で説明できることを発表した。

地殻とマントルの進化IV (捕獲岩類)

このセッションでは 20編の論文発表があった。世界各地の玄武岩や超塩基性岩またその構成鉱物などについて Nd Sr Pb などいくつかの同位体を組み合わせて総合的に研究する いわゆる “マルチアイソトープ” の

研究が中心であった。Nd だけの同位体比を使った研究は1編だけで Nd-Sr の組合せが7編 Pb も含めた Nd-Sr-Pb のマルチアイソトープの研究が5編 Nd-Sr-Pb-Hf も1編あった。その他 Pb-Nd の組合せが1編と Nd-Sr-O の組合せが1編 O だけの同位体研究が3編に Hf だけの同位体研究が1編である。このようにマルチアイソトープの研究が花盛りである。中国の玄武岩および超塩基性岩の研究は3つの異なるグループ MIT ケンブリッジ 米国地質調査所から発表された。MIT のグループは 東中国のアルカリ玄武岩のスピネルペリドタイトの Nd-Sr 同位体比のデータが3つのグループに分類されるとしている。ケンブリッジグループも東中国の広い地域からの超塩基性岩について Pb-Nd-Sr のデータを提出したが 最終的な結論をだすにはまだデータが少なすぎるとした。米国地質調査所のグループは北東中国のアルカリ玄武岩およびその捕獲岩について Pb-Nd-Sr 同位体比を測定 玄武岩の方はマントル内の不均質な2層の混合モデル もしくは地殻下部をつけ加えた3成分系で説明できるとしている。捕獲岩の Nd-Sr 同位体研究からは 母岩と関係がないことが示された。その他 トルコのアルカリ玄武岩と捕獲岩についての Nd-Sr-Pb 同位体研究などがあった。またオーストラル諸島の島々からの Nd-Sr-Pb-Hf の4元素の同位体を組み合わせたマルチアイソトープの研究では 1つの島列であるオーストラル諸島に対して少くとも3つの異ったマントルソースを考えなければならないことが提唱された。3編のO同位体研究はいずれも超塩基性岩の構成鉱物について測定したものである。例えば Smith 達は キンパライトパイプ中のノジュールからの鉱物についてO同位体比を測定 1つのノジュールで鉱物間のO同位体比の差は小さいが 同じ鉱物でもノジュール間で差が大きいことを示した。

地殻とマントルの進化V (マントル進化)

このセッションでは Luck が SIMS を用いた Os 同位体比測定を報告している。彼らはカンラン岩・ダナイト・超塩基性捕獲岩などの 超塩基性岩で測定を行い 1 ng 程度の Os で 1%程度の精度を得ている。彼らはマントルの Os 同位体進化曲線を報告している。今後この分析法の改良により 親鉄元素(あるいは親銅元素)である Re-Os 系の同位体トレーサを用いた地殻・マントルの化学進化についての議論がさかんになると思われる。

宇宙線反応生成核種

宇宙線との核反応で生成される核種は ^{14}C など地球

大気上層部で生成されるものを除けば 宇宙空間に存在した証拠の一つとされるのが普通であった。ハワイ火山の山頂岩石中に 地上に到達した宇宙線による宇宙線照射起源 He が発見されたという噂を聞いて一年も経ないうちに 地球物質中の宇宙線照射起源核種に関する論文が さも当然というように提出されているのに驚かされた。宇宙線起源核種としては ${}^3\text{He}$ (stable) ${}^{10}\text{Be}$ ($1.6 \times 10^6\text{y}$) ${}^{26}\text{Al}$ ($0.7 \times 10^6\text{y}$) ${}^{36}\text{Cl}$ ($0.3 \times 10^6\text{y}$) が地球岩石中に 検出されており 放射性核種は その半減期に相当する程度の期間の erosion rate を調べるのに有用であることが報告されている。Lal らは ${}^{37}\text{Ar}$ (35days) ${}^{39}\text{Ar}$ (270 y) の含有量の測定を行い また ${}^{39}\text{Ar}$ は Maunder Minimum (17世紀の太陽黒点が極端に少なかった約70年間) の間に 地上に達した宇宙線強度の研究に有用であることを指摘した。

Bern のグループは 地球磁場が逆転するときの数千年間は 宇宙線に対して磁気シールドが効かなくなるため 宇宙線起源核種の生成率が上がる。そこで ${}^{10}\text{Be}$ 過多は 数10万年の間隔で起こる このような現象の研究に特に有用であり すでに73万年前の Brunhes-Matuyama reversal のとき ${}^{10}\text{Be}$ の生成率が増加したことが報告されていると述べた。

Leary と Phillips (講演時に不在だったため講演取消し) は1000~3000mの高度の表面岩石中に存在する 照射起源 ${}^{36}\text{Cl}$ の量を ${}^{36}\text{Cl}/\text{Cl}$ の比として測定し K-Ar 年代と良い相関が得られることを示した。 ${}^{36}\text{Cl}$ は もっと改善すれば $10^3 \sim 10^6$ 年の若い火山岩の年代測定に有用であると述べている。分析装置に関しては 東大のタンデム加速器を用いた質量分析計による ${}^{10}\text{Be}$ と ${}^{14}\text{C}$ の分析について 技術的な面での報告が Yoshida らよりなされた。

変成進化

このセッションでは15編の論文が発表された。年代測定に基づいて変成岩地域の地史を組み立てるのがこの分野の研究テーマであるが 近年では各種の鉱物についていろいろな方法による年代(multimineral and multitechnique isotopic ages)を求めることによってより詳細な議論がされるようになってきた。Jägerをはじめとするベルン大学のグループは 雲母 ジルコン 燐灰石の Rb-Sr K-Ar フィッシュトラック法による年代測定を行ってアルプス地域の変成作用および構造運動の履歴を解析した。さらにこうした結果をまとめて 高度変成岩の鉱物年代が温度のみに依存した冷却年代を示すのに対し 低度変成岩では 鉱物の粒径や化学組成などにも依存し 形成年代あるいはそれと冷却年代との中間

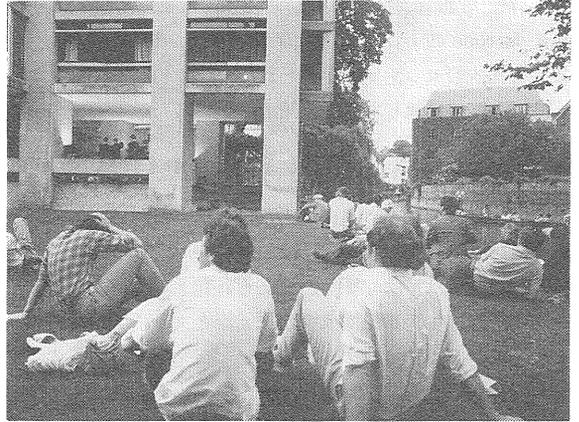


写真-13 6月30日の Madrigals by the river
(川辺のコラス)

9時過ぎでもこの明るさ!

St. John's College の River Court にて

的な年代 (mixing age) が得られることを明らかにした。

Wijbrans と McDougall (西オーストラリアのグリーンストーン) Dallmeyer と Hames (北ノルウェーの片麻岩地域) Lux (アメリカ メイン州の低圧変成岩地域) Mc Dougall と Wijbrans (ユーグ海 Naxos 島) Berry と Mc Dougall (インドネシア Timor 島) らは 主に角閃石と雲母の Ar-Ar 年代に基づいた研究を紹介した。

また Rb-Sr と Sm-Nd 系を用いた研究が Stosch と Lugmair (ババリア地方のエクロジャイト) Pin (アルプス地方のオフィオライト) によって発表された。

Bachmann と Grauert は北西アルゼンチンの縞状片麻岩の Rb-Sr 系を分析し ざくろ石ではより古い変成年代の名残が保存されていることから ざくろ石中での Sr の拡散係数が 母岩に比べて 少なくとも4桁小さいものであるという結論を示した。

Arakawa は Rb-Sr 年代から解析した飛驒変成帯の地史を紹介した。

地球の揮発性成分とその生成

このセッションでは13編の論文が発表された。He に関する論文が一番多く Hulston 達によるニュージーランドの地熱地帯からの ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$ 比や Poreda と Craig によるカルフォルニア 台湾 ニュージーランドからの報告 また Hill 達によるフランスからの報告があった。いずれも大気の数倍の大きさで マントル起源の成分を含んでいる。Craig 達は中央海嶺 ホットスポット地域など地球上のさまざまな地域からの He やメタンのデータを比較 概説し これは He 研究のまとめという印象があった。

Hilton 達は Long Valley Caldera での地震活動と $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比の変化について報告した。Craig 達はハワイの山頂の溶岩から宇宙線の照射によりつくられる ^3He があることを報告した。オリビンや単斜輝石の斑晶を真空中で粉碎して流体包有物中のマントル起源の He を取り除いた後 溶融により脱ガスされる He はオリビンなどでは大気の 1200 倍もの高い $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比が得られるというものである。その他 Saito は火成岩の鉱物分離を行い希ガス測定をした報告をし Schwarzman 達はマグネタイト Kelley と Turner はチャートをつかって地球の古大気の $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比を決定し現在の大気の値 295.5 より少しだけだが低い値が得られるという発表があった。また Matsuda 達は深海底堆積物中で珪質化石が重い希ガスを大量に含んでいることを化学分離による希ガス測定 表面積測定などから示した。陸上の地熱地帯で晶出してくるアモルファスシリカについても同じく重い希ガスの濃縮がみられる。

安定同位体分別

このセッションではポスター発表を加えると13編の発表があった。今回は従来の平衡論から脱皮し時間の関与した過程でのより詳細な情報を得ようとする試みが多くなされていた。Gregory らは 鉱物ベアの酸素同位体比プロット (δ - δ プロット) の規則性から同位体交換非平衡の問題について深く言及した。彼らは δ - δ プロットの形から岩石あるいは鉱物が生成した後の同位体交換履歴について半定量的な情報を得ることができることをガブロ中の斜長石-単斜輝石 花こう岩中の石英-長石 マントルノジュール中のオリビン-輝石等の例を用いて示した。Gilletti はメキシコ及びカリフォルニア産のトーナライトについて 全岩の酸素同位体比 鉱物の粒度及び岩石のモードを入力とし 10 cm スケールでの閉鎖系 cm スケールでの鉱物間の酸素の拡散を仮定し 鉱物中の酸素拡散係数を用いてトーナライトの冷却速度を求めた。このとき同時に求まる各鉱物の酸素同位体比は実際の測定値と 0.1%以内の差で一致した。この手法は変成岩の冷却速度にも応用が可能である。Wada and Ito は μm オーダーの炭酸ガスの炭素及び酸素同位体比を正確に測定する手法を確立し 高変成度の晶質石灰岩中の方解石-グラファイト系について μm 単位にカットした試料の同位体比を測定した。その結果 方解石 グラファイト共に一つの小さな結晶粒界中にも 同位体的な zoning があることがわかった。実験的研究としては Clayton により 方解石-石英-長石-輝石-オリビン系での酸素同位体分別係数の温度依存性を 1200°C の高温域まで求めた結果が発表され

た。他に水溶液中でのアルバイト-アノーサイト系の酸素同位体交換反応と陽イオン交換反応の機構 低温における結晶水と水溶液間の水素及び酸素同位体分別 100°C~350°C における気液二相間の水の水素及び酸素同位体分別の NaCl 溶存効果等の基礎的な研究成果が発表された。

Jones らはレーザー マイクロプローブにより炭酸塩及び硫化物の極小部のみガス化 (CO_2 , SO_2) し 同位体比測定が可能な装置を紹介した。

地下水

このセッションでは 同位体水理学に関する研究が多数をしめ 安定同位体 (H O) 及び天然の放射性トレーサー (^{14}C ^{234}U) による研究が5編 Sr 同位体比あるいは ^{10}Be による研究が3編発表された。その他室内実験物 年代測定法及びラドンによる地震予知がそれぞれ1編ずつ発表された。Hussain and Andreus は天然水中の過剰の ^{234}U の原因を明らかにする目的で花こう岩等の火成岩の純水中への溶出実験を行った。その結果 過剰の ^{234}U は岩石中の 微少割れ目の数に関連していることがわかった。Voltaggio and Taddeucci は生成年代が15年より新しい brine 鉱物について $^{228}\text{Th}/^{228}\text{Ra}$ 年代測定法が応用できると発表した。Wakita らは岩体に働く引張応力が地下水中のラドン濃度の増加に関係していることを1978年に伊豆で発生したM7.0の地震時にみられた前兆的現象を例に発表した。

4. 会を終えて

最後に個人的な感想を少し付け加えたい。私は国際会議に初めて参加したのですが 同業者の多さに驚きました。Nd 同位体比を用いた研究など 同じ手法を用いて多数の研究者が仕事をしている分野では 今後どのように個人の独自性を出すか難しい問題であると感じました。(中井)

本文で概観したのは 発表された論文の一部にしか過ぎません。にもかかわらず 参加した筆者自身でも今 このレビューを見て はじめて へえ~ここにこんなおもしろいものがあった と気が付くことがしばしばでした。やはりものになったのは英語が 100%理解できても1/5(会場が5会場に増え 十分な討論ができなかったことに対する Moor bath 氏の釈明演説)だったのでしょか?

次回(第7回)は4年後にオーストラリアで開かれることになった。この時にも本田奨励金による旅費の援助が予定されていると聞く。ぜひ多くの参加があってほしいものです。(田中)