

高分解能 SIMS への期待

富 樫 茂 子¹⁾

1. SIMS の地球科学への適用の現状

第7回宇宙地球・年代同位体国際会議が、1990年9月に、オーストラリアのキャンベラで開催された。この会議で、最近の二次イオンマイクロプローブ質量分析計(SIMS)やレーザープローブ質量分析計の発展により、地球科学の分野でも革命的な変化が起こりつつあることを私は眼のあたりにした。質量分析のフロンティアと題するセッションでは、世界の代表的な研究機関の装置から出された測定結果がしのぎを削った。鉱物粒子の微小領域の年代や同位体比、微量元素組成がわかるのだからすごい。しかも、応用範囲が広く、アイデア次第で地球科学へ貢献は計り知れない。

これまで広く使用されている SIMS は、質量分析部に四重極質量分析計がもちいられている。これに対し、現在発展しつつある装置は、収束半径を大きくし、質量分解能を極限にまで高めた磁場電場二重収束型の質量分析計を有しており、高分解能化に成功している。

SIMS による年代測定法も、目的に応じて、鉛などを用いた億年オーダーの時計から、数万年を扱える²³⁰-トリウム法の時計に至るまで様々な方法が可能である。今回の会議では、ジルコン粒子の結晶成長を、鉛年代、ウラン-鉛年代、ウラントリウム-鉛年代で示した報告が、地質のセッションにおいても数多く発表された。もはや、これらの測定方法は、手法的な開発段階だけではなく、地質への応用段階にあるといえる。

年代測定だけでなく、成因論に重要な同位体比が、目的に応じて測定されていた。たとえば、地球史における海水の変化を記録するカーボネイトのストロンチウム同位体比、海成か湖成かで大きく異なるトーマリンのボロン同位体比、堆積物に由来するのか地球深部に由来するのかが問題となるダイヤモンドの炭素同位体の測定や、宇宙線の照射や超新星の爆発で生ずる考えられる²⁶Alの直接検出などの仕事も精力的に進められている。

今回の会議ではオーストラリアの ANUTECH 社の SHRIMP、イギリスの VG 社の ISOLAB 120 の成果が目だったが、フランスのカメカ社の IMS 1270 など、今後の地球科学の分野での活躍が期待される SIMS である。一方、レーザープローブ質量分析計では、地質年代を広くカバーするアルゴン-アルゴン法はもちろん、炭素や硫黄や酸素などの安定同位体の測定も可能である。

このように、今回の宇宙・地球年代同位体国際会議では、いくつかの国から競いあって、それぞれ特徴のある SIMS と、宇宙・地球化学的な応用例が報告された。残念ながら、この会議では日本からの寄与は報告されていなかった。実際には本号に発表されるような成果があるのだが。歴史の違いはあるにせよ、日本は種々の分野で技術力があるし、宇宙・地球科学的なポテンシャルも十分にある。日本がやってやれない訳はないと思う。既に外国で製品化されたものもあり、これを購入するのも有力な手段である。その場合、近代化の予算とは桁違いのお金が必要なのは悩みの種ではある。一方、一口に SIMS といっても、何を目的にするかにより、多くのバリエーションがあることを考慮に入れば、目的指向の自前の装置の開発も魅力ある選択肢である。その場合、我々とともに、工技院の各研究機関との共同や、大学・民間企業との協力が不可欠であろう。

2. SHRIMP の見学

会議の合間に、田中剛さんを先頭に、地調の人と東大の増田研の人と一緒に SHRIMP を見学する機会を得た。SHRIMP は高感度高分解能のイオンマイクロプローブ質量分析計 (Sensitive High Resolution Ion Micro Probe の頭文字をとった語呂あわせの商標) で ANU (オーストラリア国立大学) で開発され、最古の 40 億年のジルコンの年代を測定した装置である。この装置の活躍は、地質ニュースの 429 号 (1990 年 5 月) に、柴田賢さんが詳しく紹介している。

現役の 1 号機が、いかにも手作りでの“ごっつい”のに対して市販される 2 号機はスマートである (写真 1)。それにしても、マグネットの大きさには驚いた (写真 2)。

1) 地質調査所 地殻化学部

キーワード：高分解能 SIMS, 年代測定法, 同位体, 質量分析計, 微小領域分析

本装置では、イオンビームを天然試料にあてるので(写真3)、たたき出された二次イオンは多種の元素や分子からなっている。この中から目的とする質量のイオンを収束選別しなければならない。そのために、強力で正確に制御された磁場や電場が必要となる。質量分析計の専門家がいるにせよ、自分達の手でこのような怪物のような装置を作り上げてしまうオーストラリアの底力には脱帽する。

ANU の Ian Williams 氏が、器用に1号機のイオン銃のクリーニングをしていた。彼は学会のセッション・フ

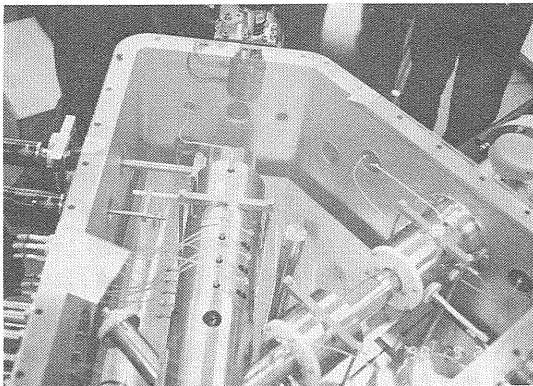
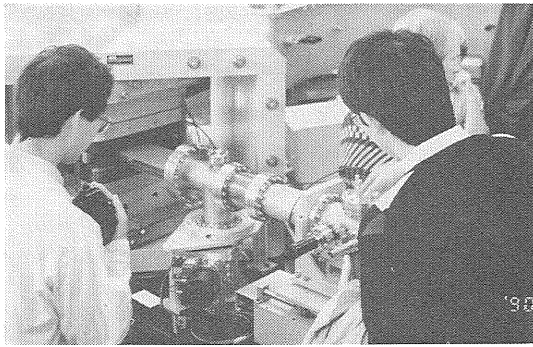
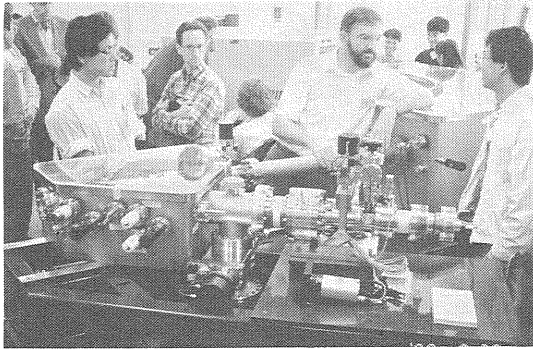


写真1(上) SHRIMP II 田中 剛氏撮影
 写真2(中) マグネットと検出部 田中 剛氏撮影
 写真3(下) 試料装着部とイオン銃(見学用にアクリル容器に納められている) 田中 剛氏撮影

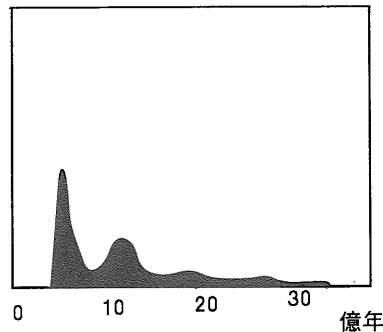
リー日に、クーマ花崗岩の各露頭で、その露頭の花崗岩に含まれるジルコン粒子の各部の年代の頻度分布図(第1図)を配布していた地質屋である。彼によれば、いろいろな程度に堆積岩の構造を残したSタイプの花崗岩と、源岩と予測されている堆積岩が、どれもよく似た年代頻度分布パターンを示す。パターンは、花崗岩生成時の約5億年の大きなピークのほかに、約10億年に2番目のピークがあり、さらに、20億年とか30億年という古い年代のジルコンが散在している。パターンの類似は、これらのSタイプの花崗岩が同源の堆積岩を原料とし、みかけの違いは熔融の程度の差であることを明瞭に示している。さらに、花崗岩ができるくらいの温度では、ジルコンは完全にはリセットされず、生まれる前の過去の名残を、しっかりと保持していることになるわけだ。

SHRIMP は1号機も2号機も平屋建ての別棟におさめられており、本体のおかれている部屋は一機につき200㎡程度だろう。天井には機器を移動するためのクレーン用のレールが設置されていた。日本の場合は建物自体の耐震構造が問題になるであろう。これだけ大きな装置の光学系を精度よく維持するのは容易ではないに違いない。

基本的なメンテナンスは数名の専門家で維持されている。スケジュール表は1年以上びりりとかきこまれていた。Ian William 氏に代表されるように、地質屋自身がかかり使いこなしているというのが印象的であった。

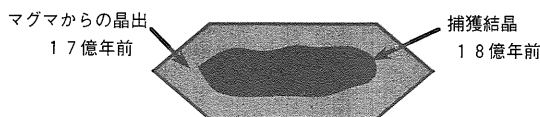
使用者は大学だけでなく、たとえば、オーストラリア鉱山資源局の Rod Page 氏はブロークンヒル周辺の変成岩の年代データを精力的に出していた。ブロークンヒルでは一粒のジルコンの中にも、中心部で18億年の捕獲結晶の年代、その外側で17億年のマグマから生成した年代ステージと、それぞれの年代の違いが測定されていた

年代頻度



第1図 源岩が同じで花崗岩化の程度異なる花崗岩中のジルコンの年代の頻度分布図(イアン ウィリアムズ氏が示したデータに基づく概念図)

頻度図であることに注目、1つの試料でなんと100個程度の年代を得ている。



第2図 1つのジルコン粒子に記録されたジルコンの履歴（ロッド・ペイジ氏の示したデータの概念図）

(第2図)。

鉱山資源局のテクニシャンの Chris は地質の出身であった。彼によれば、一つの岩石から分析に必要な数のジルコンを取り出すのに、15 kg もの岩石を処理しなければならないこともあるという。ただし、この点に関しては、ジルコンを取り出すノウハウが、フィッシュオントラック年代測定法で蓄積されているのが心強い。

このように、SHRIMPのような巨大な装置を使いこなすには、装置に詳しく新技術の開発が行える研究者と、これを地球科学的に柔軟に応用できる研究者が互いに協力しあうことが不可欠であることを強く感じた。

3. 何がやりたいか

私たちのグループでは、さまざまな放射壊変系の同位体を用いて、地球史を明らかにしてきた。さらに最近では、太陽系の化学進化の道筋の探求を試みつつある。私たちがこれまで用いてきた放射壊変系は、K-Ar, Rb-Sr, Sm-Nd, La-Ce, Re-Os 系などである。分析手段は K-Ar 系は希ガス用の質量分析計、Re-Os 系は ICP-MS、そのほかは表面電離型の質量分析計である。これらのいずれも、十分な精度を得るためには、試料に化学的または物理的処理を施し、目的とする元素を精製する前処理が不可欠であった。そのために、鉱物の成長に伴う組成の微小領域の同位体的変化の解明などは、試料の量や分離の困難さから、あきらめざるをえなかった。その点において、SHRIMP のような高分解能の SIMS の最近の技術の進歩により、ミクロン単位といった微小領域の同位体比の分析を可能にしたことは、画期的なことである。最古の年代が本装置で測定されていることが象徴的に示すように、地球史において、特に、地球の初期に何が起きたのかを知る上で、本装置の果たすべき可能性は限りない。

隕石のなかには、太陽系の初期の46億年前、場合によってはそれ以前の情報を保持していると考えられているものがある。これらの隕石は、微細な鉱物からなり、それらの起源は鉱物ごとに異なり、しかも非平衡に存在し

ている。このような物質については、どれだけ微小な領域の分析ができるかが、成因解明の律速になっているといっても過言ではない。日本は南極のやまと隕石という豊富で貴重な財産をもっており、そういった点でも、日本での技術の開発とその応用が望まれる。

超伝導体をはじめとする、新材料の開発や、理論の解明にとっても本装置は大きな期待ができるであろう。

このように地球科学をはじめ、さまざまな分野への応用性の大きい SIMS のような装置は、装置を保有するかしないかで、全く別の次元の世界に住んでいるようなものであることを強く感じた。そのショックは、EPMA の出現をはるかに越えているのではないだろうか。

4. おわりに

なんとかして、高分解能 SIMS を手にいれたい。その思いを強くしてオーストラリアから帰ってきた。そして、この特集を企画した平田岳史さんと森下祐一さんの熱意も並々ならぬものである。いつかきっとの思いで、少しでも可能性があるごとに、トライしている。

最近の地球科学において、未踏分野を開拓した研究の多くは、微小領域の分析を駆使したものである。試料の平均的な化学情報だけでは成因を特定できない場合に、微小領域の情報が議論に決定的な制約を与える場合も少なくない。現在の日本の地球科学は世界的にみてもトップレベルにあるといえる。このレベルを維持し、これからの地球科学を担って行くためには、高分解能 SIMS を装備することが不可欠である。今回の SHRIMP の見学を通じて、高分解能 SIMS の魅力を実感し、その潜在能力に舌を巻いた。その思いは、地質調査所だけでなく、日本の地球科学者の共通の願いであることを信じて疑わない。

参考文献

- 柴田 賢(1990):最古の岩石,その後.地質ニュース, no. 429. 6-12.
- Seventh International Conference on Geochronology Cosmochronology and Isotope Geology, Abstract, No.27, Geological Society of Australia, pp.125.
- Compston, W., Williams, I. S. and Meyer, C. (1984), U-Pb geochronology of zircons from Lunar Breccia 73217 using a sensitive high mass-resolution ion microprobe, Proc. XIV Lunar Planet Sci. Conf., JGR, 89, Suppl. B525-534.
- TOGASHI Shigeko (1992): A promising future of High Resolution Secondary Ion Microprobe Mass Spectrometry

<受付:1991年11月8日>