

ぶなどの留学的傾向が強かったが この10年間程は研究協力 技術援助を目的として 常に誰かが海外出張中であり この状態は今後も続くことであろう。 くしくも1982年6月には第5回地質年代学・宇宙年代学・同位体地学国際会議が日本で開催されたが 地球化学課は事務局として連絡その他の業務を分担した。 これらのことは 地質調査所における宇宙・地球化学の研究が日本のみならず 世界的に重要な地位を占めるに至ったことを物語っている。

次に地球化学課の現在の研究テーマに従って 地質調査所における地球化学の歴史と展望についてのべる。

火成岩の地球化学

地球化学課発足当時の1950年代は 日本の火山岩の化学的データが極めて不足していた。 そこで とまかく岩石の主成分 微量成分の分析を 火山毎にflow-unitについて精力的に推進させることになった。 火山毎に密度の高い分析値を出すことは 当時望まれていたことではあった。 とくにデータ不足の西日本地域についてははじめられ いわゆる大山火山帯 北西九州 山陰琉球列島の火山系列の化学的性質が明らかになってきた。 地域的には伊豆半島地域も併行させた。 この方法は 現在ではごく普通であるが 火山噴出物の活動順序 unitを吟味し システムティックなサンプリングと分析である。 注意して作製された岩石の粉末試料はそのまま現在行われているSrなどの同位体比測定用に使用されている。 化学分析されたものについて 分光分析あるいは原子吸光分析法などによる微量元素の定量も行われた。

ついで 1965年頃 当時海外で盛んになってきた火山岩などのSrやPb同位体の測定を日本でもやるべきだということで 1969年には地球化学課に実験室と質量分析計が設置され 年代測定と共にSr同位体比測定を推し進めた。 Rb-Sr関係図にもとづいて 日本はもとより世界各地の火山岩類の岩石系列毎の特徴が明らかになった(図1)。 Sr同位体比からは 日本列島弧はいわゆる東日本と西日本とで フォッサ・マグナを境にしてははっきり異なり とくに隠岐島後火山岩類で代表されるように 西日本の一部は大陸周縁部にあてはまることなど Pb同位体などからも指摘された。 また島弧の火山帯を横断する方向にSr同位体比が変化すること つまり日本海側に同位比が低くなることを 島弧での特徴としていち早くとらえた。

その成因は今後の問題である。

また 国際共同研究の一端として インド・デカン高原玄武岩 あるいは南極マクマード地域の火成活動の研究に参加するなど 幅広い研究も進められている。 新しく設置された質量分析計(図2)の高い精度によるSr同位体比測定で さらにきめ細かく しかも確実な議論を行えるようになった。 例えば 日本海の成因の議論に新生代火山岩の同位比と年代から大きく貢献できるようになったこと あるいは火山毎のマグマ進化モデル さらには大規模台地玄武岩や火砕岩の成因をよりの確に論ずることが可能になったことである。 一方 希土類元素(REE)パターンによる各種マグマの成因 島弧での特徴 あるいはin situ分化とREEの挙動など新しい事実が明らかになった(図3)。 また 汚染のないよう十分に注意されて準備しつつあるクリーンラボでのPb同位体比の研究も 間もなくははじめられようとしている。 このようにして 火山岩及び関連物質について Sr Pb Nd Oなどの同位体比による研究(他部課との協力を含めて)が 当面の研究分野となろう。

ところで 日本列島にみられる火山岩の性質はその歴史を通して不変だろうか? 日本には2~3億年前の海底噴火による古い火山岩がある。 しかしその構成鉱物の多くは変成しており 通常の岩石学的手法で研究することは不可能であった。 地球化学課では 特に変質に強い希土類元素存在度から それらの岩石の対比・成因を研究した。 その結果 当時の海底火山岩はその性質・分布とも現在の島弧を形づくるものと異なることがわかった。 みかぶ帯の火山岩は軽希土に乏しく 海嶺の

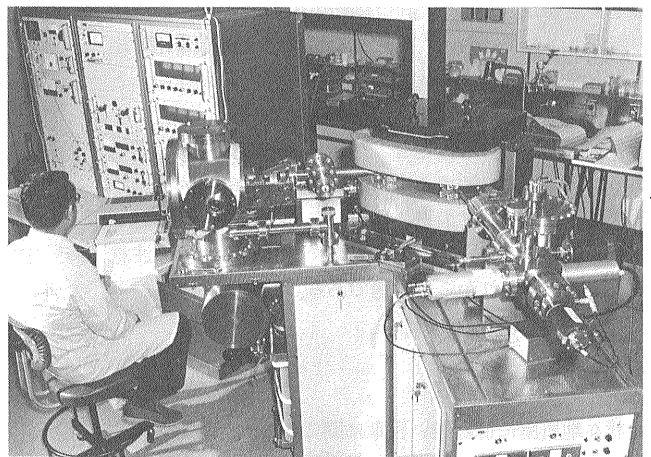


図2 VG Isotopes社製 Isomass 54E型固体用質量分析計
Sr Nd Pb同位体比測定 Rb-Sr Sm-Nd年代測定 希土類元素の定量などに使用されている。

ものに対比され その両翼には軽希土に富むアルカリ岩が主として分布する。この古生代地向斜は現在の西太平洋の海盆 または縁海のような所に生じた局所的な張力系あるいは紅海のような汎世界的な張力系の一部として形成され その geodynamic な場の環境に従って異った種類の海底火山岩“地向斜玄武岩”がその断裂帯に沿って生成したものと結論された。

金属鉱床の地球化学は 浅熱水成脈状鉱床を端緒とし接触交代鉱床 黒鉱鉱床 および層状含銅硫化鉄鉱床にその研究対象を広げて 数々の成果があげられてきた。わが国の主要な鉱床を網羅するこれらの研究成果は 鉱床の成因解明 生成条件の推定 鉱床探査に活用されている。鉱床の母岩に記録されている ある特定元素の一次拡散分布を検出して局地的探鉱が行われる一方 水や風の作用による二次拡散を利用して広域的探鉱が実施されている。このような地球化学的探鉱法は 他の探査法に比して経済的であり 効果も認められることから未知鉱床の探査計画には必ず含まれるようになった。それに伴って 種々の鉱床周辺における特定元素の一次および二次拡散に関して 膨大な基礎データが蓄積されつつある。これらは最近開発されつつあるデータベース・システムに集録されて 特定元素の地球化学的研究に利用されると共に 特に海外の未開発地域における探鉱法の確立などに活用されることになるであろう。

一方 深成岩及び古期火山岩の研究として 島弧におけるIタイプ・Sタイプの区別 あるいはマグネタイト系列とイルメナイト系列の区分が提唱されているが これらの議論を Sr S Oなどの同位体組成によって検討する試みがなされつつある。また 本邦領家帯の塩基性岩が示す高いSr同位体初生値の説明などが今後の課題とされている。花崗岩の成因は 同様な化学組成をもつ中生代などの大規模酸性火砕岩との関連からとらえられているが まだ結論をえていない。マグマを発生する起源物質の推定と 溶融における相平衡と鉱物間の元素の分配に関する実験的及び理論的研究を進めること またマグマの貫入固結した場の構造的な位置づけと その岩体の組成と初生マグマの推定に一層の注意を払うことがこれからの課題である。

宇宙化学

我々地質屋には縁遠い言葉に聞こえる。しかし日本の宇宙化学の第1歩は地質調査所に始まったことを知ってほしい。地質調査所の創立をさかのぼること2年

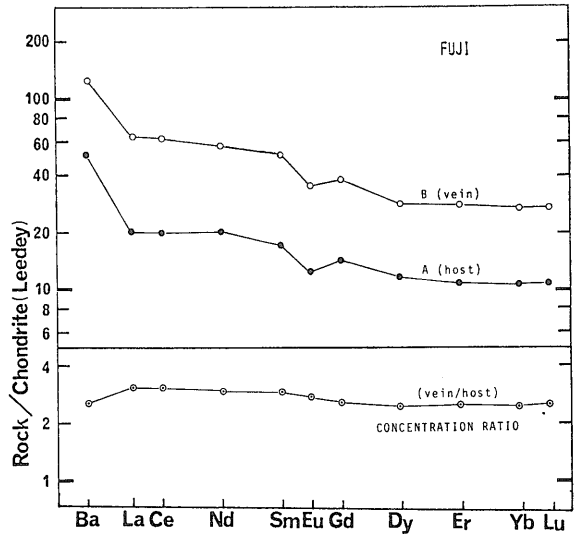


図3 富士溶岩とその分化脈 (segregation vein) の希土類元素パターン In situ 分化では平行変化を示す。

すでに明治13年(1880年)には同年2月兵庫県に落下した竹内隕石の分析がなされた。地質調査所報文分析之部(第1冊・明治14年)には所の前身である農務局地質課の分析掛長コルシェルトによりそれがコンドライト隕石に分類されるものであることも明記されている。さらに1898年には小寺により白荻隕鉄が 1910年には杉浦彌三により美濃隕石が分析された。これらの正確な分析値は日本の宇宙化学の先駆であり 後年隕石の分類上きわめて重要な意味を持った。以上を地質調査所における宇宙化学の播種期と呼ぼう。

以後数十年間 宇宙化学の興味は分析化学の応用の一端として 隕石中の微量元素の正確な定量に向けられた。戦後間もなく東京大学を中心とした多数の研究者が海外において 中性子放射化分析法による隕石中の微量元素の分析に携わった。その成果はめざましいものであったが 国内において体系的な宇宙化学の芽は育たなかったように思える。

宇宙化学が一人歩きを始めたのは 言うまでもなく月の岩石によるところが大きい。月試料の研究は 同一試料がいくつかの異った研究所で分析されたことから“世界の分析コンクール”でもあった。低汚染・同位体比の精密測定・微量元素の分析……それに勝った研究所が低成長期の今日でもめざましい成果を上げている。少なからぬ日本人が月のプロジェクトに参加した。しかし その大半は米国においてであり 国内に分析試料

が持ち込まれたのはわずかしかない。地球化学課では1971年から日本電子製固体用質量分析計を用いて希土類元素とBaの精密定量を始めた。その結果の一部を分析した試料の写真とともに図4に示す。

世界中の月・隕石に関する成果は Proceedings of the Lunar & Planetary Science Conference として3,000ページにのぼるものが毎年公表されている。その中で地質調査所における希土類元素の分析精度は“月の陸地”の岩石中に正のCe異常を発見したことと相まって世界一の折紙がつけられた。それは当時月の石とともに分析した Leedeey 隕石の分析値が10年を経た今日なお地球上の岩石中の希土類元素存在度パターンを画く基準として世界中で用いられることから証明されよう。これが地質調査所における宇宙化学の萌芽期であろう。しかしこれらの研究も所内では火山岩

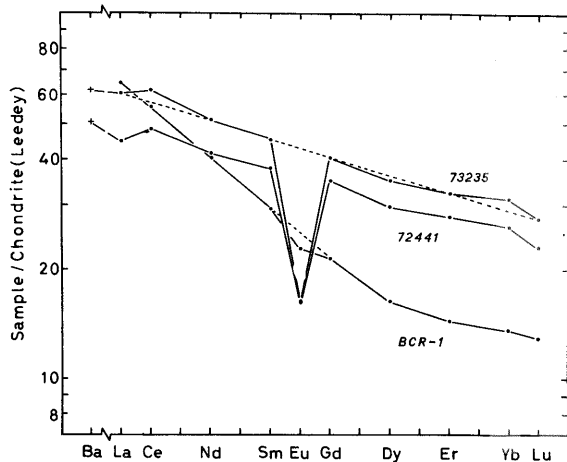
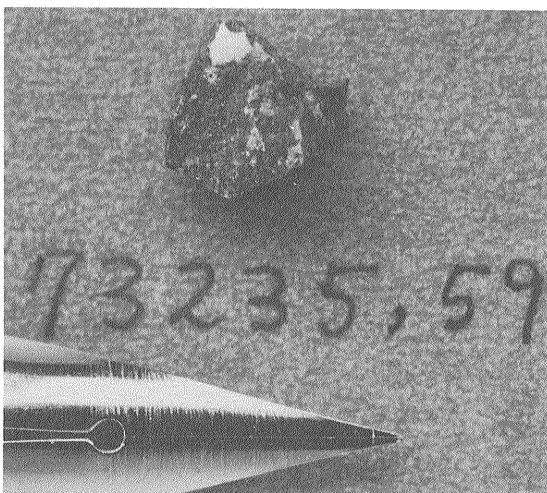


図4 アポロ17号によるTaurus-Littrowからの試料(73235, 59:写真)とその希土類元素存在度パターン(Masuda, Tanaka, Nakamura and Kurasawa, 1974).

の地球化学的研究の一部としてなされ 単独のテーマを持つに至らなかった

月の研究はその多くが米国でなされたが それらが端緒となり 国内においても体系的な宇宙化学に賭そうとする研究者が多くなった。 本田雅健・増田彰正・小沼直樹・高岡宣雄・武田弘らはそれぞれ 放射化学 地球化学 希ガス 鉱物学から宇宙化学に身をのり出してきた人達である。 それに拍車をかけたのが日本の南極観測隊により発見採集された南極隕石である。 数千個にのぼる隕石は宇宙化学者のみならず 物理学者や岩石学者にも大きな夢を与えはじめた。 地質調査所でも1981年から 地球化学課と鉱床研究課が極地研究所と南極隕石の同位体比について共同研究を始めた。 南極隕石は日本国内のみならず 世界的に貴重な試料であることから 日本学術会議は 1980年 政府に隕石科学研究センターを目指した南極隕石センターの設立を勧告した。

これまでの宇宙化学は純粋科学としての学問であった。 それは今後も発展するだろう。 隕石およびそれらを構成する粒子の化学組成・同位体組成は太陽系生成の歴史を考え未来を予測する上で 又地球深部を考える上でますます重要になろう。 加えて宇宙化学は21世紀の鉱工業を担うものともなるだろう。 天空に漂う無限の資源は地上の鉱床とは異っている。 1980年代の地球資源衛星につづき 1990年代には宇宙資源探査機を作る必要が生じてこよう。 地質調査所は隕石を用い 惑星資源探査の基礎研究をしなければならない。 また46億年の昔 原始太陽の放射線と 熱をあびながら無重力下で生じた隕石鉱物の中には 地上で未発見の鉱物や Texture を持つものがある。 それは特異な希元素存在

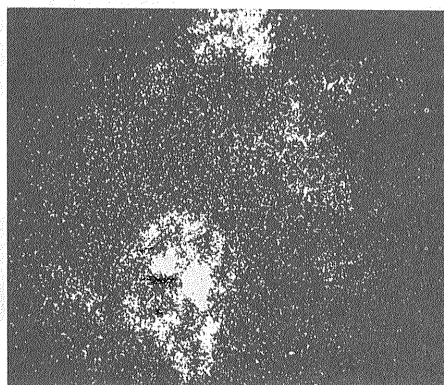


図5 地質調査所でAllende隕石中に発見されたBaTiO₃のBaX線像(Tanaka and Okumura, 1977)

度パターンを示すことが多い。それは新材料合成の助けとなる特殊な工学物性を示さないだろうか。今後宇宙化学に純粋科学的な研究とともに鉱工業的な応用面に意味を持たせるのが地質調査所における宇宙化学の展開期となるだろう。

堆積岩の地球化学

1965年頃までの堆積岩の地球化学的研究は 堆積岩中の可溶性有機物 ガス状炭化水素 $C \cdot H \cdot N$ などの有機地球化学的成分 堆積岩中の微量無機ガス成分 間隙水の成分 および堆積岩の主・微量成分などの分析が主体となり その成果は天然ガス鉱床 堆積鉱床の地球化学探査に多く貢献してきた。

1. 堆積岩中の炭化水素の地球化学

国際的にみるとここ10数年間には 石油開発技術の向上と 分析機器の進歩とがあいまって 石油鉱床探査とのかかわりの中で「石油成因」に関する研究が従来にまして新しい一つの潮流となっている。こうした背景のもとで我国では 東北大学 石油公団を始めとして地質調査所でも「石油成因」との関連で 炭化水素の地球化学的研究を行うようになった。「堆積岩中の炭化水素」から根原物質の推定と その「続成作用の解明」を研究目的として各種堆積岩の炭化水素に関する基礎資料の蓄積を行っている。東北大学 石油公団が 主として産油地域の堆積岩を対象とした炭化水素の研究を行っているのに対して 地質調査所では 主に現世堆積物・非産油地域の堆積岩を対象としガス状炭化水素 ノルマルパラフィン $C \cdot H \cdot N$ 及び可溶性有機物の研

究を行っている(図6)。最近では 地球上の全有機物のほぼ90%を占め かつ今のところ有力な石油の起原物質と考えられている「ケロジェン」の物理化学的性質を解明するための研究が各国で行われている。地質調査所におけるケロジェンの研究は 我国では比較的早い時期に着手したが マンパワー 新しい分析機器の導入のたちおくれなどの「総合力」に欠け 主としてケロジェンの $C \cdot H \cdot N$ の元素分析のレベルに止まっている。堆積岩に供給された有機性根原物質の研究では「生物指標化合物」としてのイソプレノイド炭化水素が重要視される。地質調査所では Stevensらによるノルマルパラフィンの生物指標を用いて 現世堆積物や古期堆積岩の研究を行っている。

炭化水素の地球化学的研究は 単に「石油成因」にとどまることはない。炭化水素が火成岩や結晶質変成岩類にも発見されたこともあって 岩石圏における炭化水素のすべてが 生物起源とするには問題が残る。岩石圏における炭化水素の生物 非生物起源を区別するためには さらに多くの「生物指標化合物」の発見が重要である。また同じように異種生物間をそれぞれ特徴づけるような「生物指標化合物」の選別も期待される。一方岩石圏における炭化水素の「続成作用」については 加熱 加圧による分解と合成のシミュレーション実験の結果が目される。地質学的側面も加味したケロジェンの物理化学的性質の解明は「石油の成因」についてはもちろん 将来の炭化水素の地球化学的研究にとって新しい意義を提起してくれるものと期待される。

2. 地球化学的方法による堆積環境の推定

堆積岩の堆積環境を明らかにすることは石炭 石油鉱床や堆積性金属 非金属鉱床の探査につながる重要な課題である。地質学においては 堆積環境推定のためもっともよく使われるのは化石である。化石は産出地層の地質時代に特徴的な出現度を示し また あるものは堆積環境を示している。環境指示するもので化石以外のものとして重鉱物や粘土鉱物による鉱物組成も使われる。しかし堆積岩のすべてに化石をみつめることは期待できず また鉱物組成からも その堆積環境がはっきりしない場合がおおい。化石として古生物は絶滅した生物種が多いから 古生物の生活に必要な決定的な環境条件を見出すことはむずかしい場合もある。これらを補う方法として 堆積岩の堆積環境を pH— Eh の関係や化学組成 特に微量成分 及び

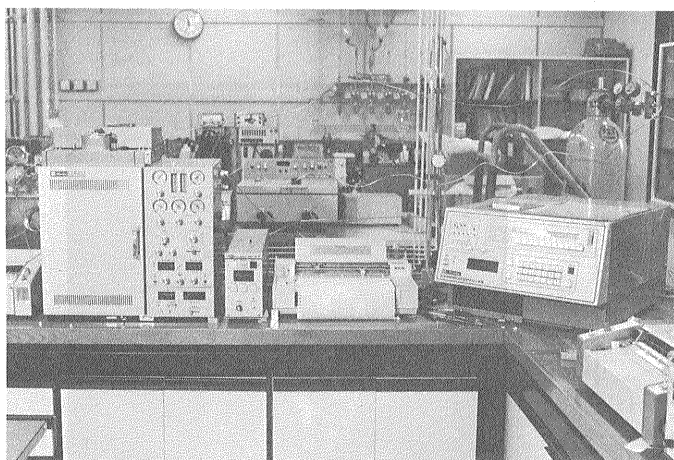


図6 ノルマルパラフィンの分析に用いられているガス chromatograph

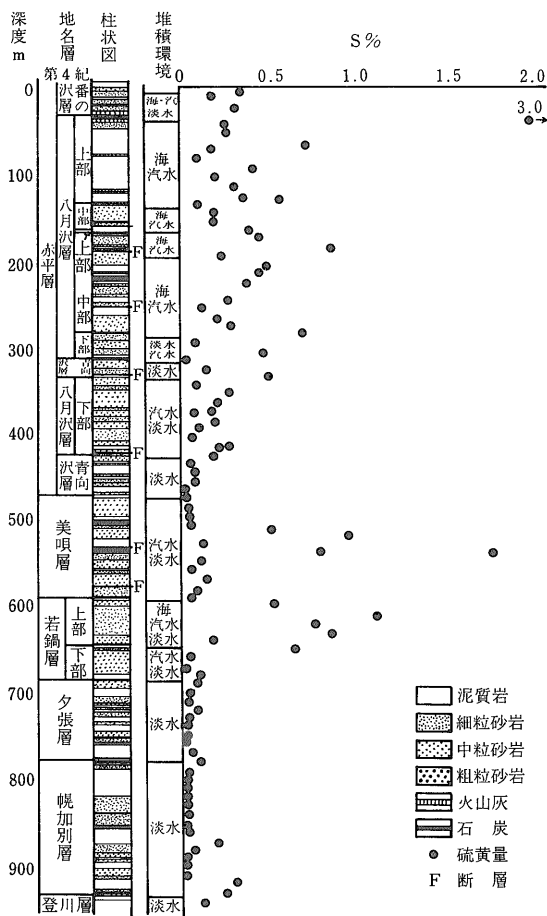


図7 堆積岩の全硫黄分布と堆積環境の関係、石狩炭田の例 海成層と陸成層（淡水成層）の判別に使用される。

有機物組成から推定しようとする試みが盛になっている。地質調査所では主に堆積岩の主成分についての資料を蓄積している。これら主成分の中でカルシウム、マンガン及び硫黄含量の分布幅が他の成分に比べて大きく、特に硫黄はこのほか大きい。硫黄含有量の分布幅の大きい理由を解明するため、堆積物と硫黄の関係を詳細に検討した結果、有機物が多く海棲化石を含む海成堆積物では、堆積時海水からの硫酸イオンの供給と有機物の分解作用でできる還元環境で硫酸還元バクテリアが発生し、その働きで硫化水素を生産する。この硫化水素は水に溶けている鉄と結合し、硫化鉄として堆積物中に固定される。

陸成堆積物は供給された硫酸イオンが少なく、かつ湖水等に見られる水の季節循環とあいまって、酸化環境が保たれたため堆積物中に硫黄が固定されない。

以上のことから硫黄を地層の堆積環境を示す指示元素

として使用出来る（図7）。

堆積岩中の硫黄の形態については研究例が少なく、わが国の現世堆積物中には鉄と硫黄の化合物は二硫化鉄(FeS₂)が主で、硫化鉄(FeS)は見出されていない。しかし、油・ガス鉱床を胚胎する堆積岩には硫化鉄が検出され、油・ガス田の成因に何らかのかかわりがあると考えられる。堆積岩中の硫黄形態の研究の進展によっては、油・ガス田の成因解明に大きな意義を提起してくれるものと期待される。

地質年代

地質調査所において年代測定の研究が始まったのは1960年である。そして古い日立製の質量分析計を使って測定されたK-Ar年代結果が、最初に公表されたのが1965年であった。また、この年に三菱製のガラス製アルゴン専用質量分析計が設置された。丁度同じ頃、東北大学岩鉱教室でもK-Ar法の開発が積極的に進められ、データが出始めたところであった。こうして日本の代表的な花崗岩や一部の變成岩のK-Ar年代は1970年頃までにはほぼわかった。

その後1975年にはMicromass 6型質量分析計(図8)が設置され、若い火山岩(～10⁶年)の年代測定も可能になった。そして従来からの花崗岩・變成岩に加えて、火山岩の年代測定も盛んに行われるようになった。特にわが国では新第三紀以降の若い火山岩の分布が広く、これらの年代測定は、地域地質研究、地熱源評価、あるいは年代尺度作成に重要な役割を果たしている。

一方、Rb-Sr法は1969年に日本電子製固体用質量分析計が導入されると共に始められ、軌道にのるのにそれほど時間はかからなかった。特にRb-Sr全岩アイソクロン法は、複雑な歴史を経た岩石の年代測定に威力を示す場合があり、この方法で上麻生礫岩の片麻岩礫の年代測定が行われた。そして20億年という年代により、この岩石がわが国最古の岩石であることが確認された(図9)。

筑波移転に伴い更新備品として1980年に設置されたIsomass 54E型固体用質量分析計は、全自動高精度をセールス・ポイントとした装置で、Sr同位体比を0.003%の精度で測定できる。これにより、かなり若い岩石や塩基性岩の年代測定も可能になった。Rb-Sr法では従来からの花崗岩・變成岩の年代測定に加えて、堆積岩の直接年代測定も試みられている。

新しい質量分析計の導入により、Sm-Nd年代測定も可能となった。特にこの方法は塩基性岩に有利で

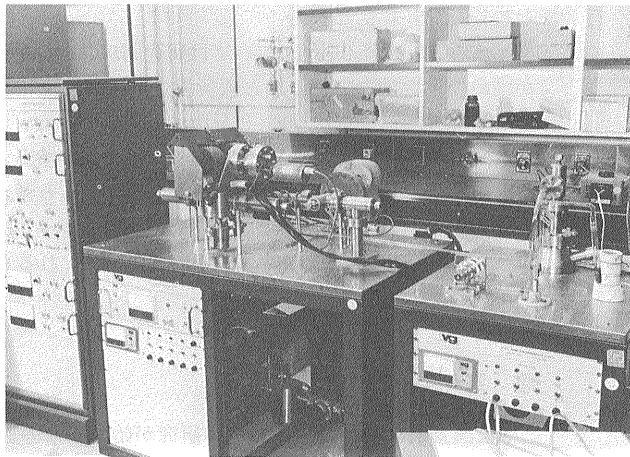


図8 K-Ar年代測定用VG Micromass 6型質量分析計

また変質した岩石にも適用できるという特徴がある。さらには 世界で初めてLa-Ce法による年代測定が試みられ 今後の展開に期待がかけられている。

ここでU-Th-Pb法についてふれておこう。この方法は先進国では K-Ar法 Rb-Sr法と共にごく普通に行われているが 残念ながらわが国ではまだ実施されていない。特にジルコンのU-Th-Pb年代測定は複雑な地質事象を経た岩石に有効であることがわかっているので 地質調査所でも早急に開始すべく現在準備中である。

^{14}C 年代測定法については 1979年からベンゼン液体シンチレーション法による研究が開始された。低バックグラウンドを特徴とするアロカ LB1型液体シンチレーションカウンターと 試料中の炭素からベンゼンを合成する装置(図10)が設置され 測定法の詳しい検討が行われてきた。1981年には 貝・木片・炭の年代測定が

可能となった。

地質調査所では上述の年代測定法の他に フィッション・トラック法 ^{210}Pb 法 熱ルミネッセンス法による年代測定が行われており 現世から46億年という地球の年令にわたる広い年代範囲をカバーし 最適の方法で年代測定を行う体制ができています。地球科学における年代の重要性はいうまでもないことであり 地質調査所における年代グループが果たす役割は今後も益々大きくなることであろう。

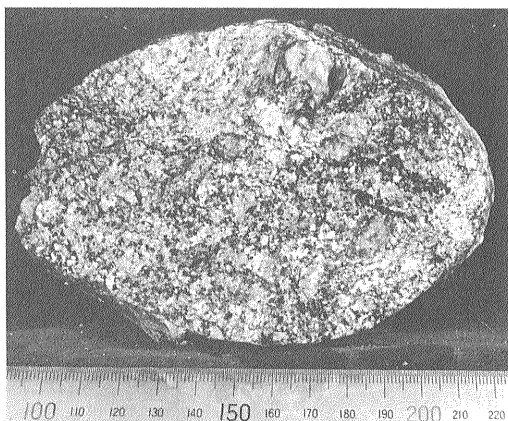


図9 日本最古の岩石
岐阜県七宗町上麻生産 上麻生礫岩中の片麻岩礫で その生成年代は約20億年である。

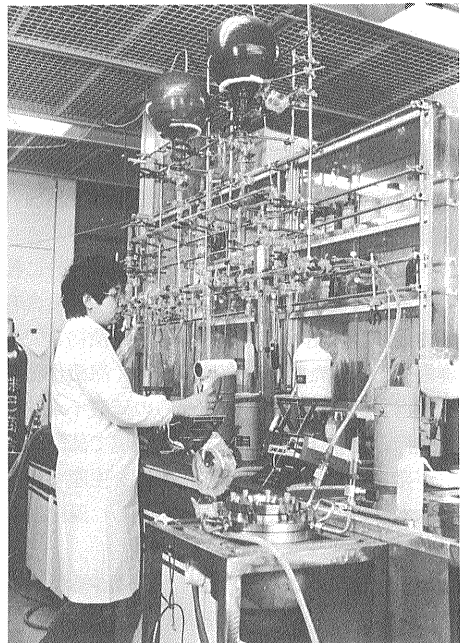


図10 ^{14}C 年代測定法におけるベンゼン合成装置。