

地球化学

本島 公司	牧 真一	高橋 清
砂川 一郎	比留川 貴	安藤 厚
安藤 直行	倉沢 一	米谷 宏
柴田 賢	伊藤 司郎	遠藤 祐二
後藤 吉之		

鉱 地質調査所の地球化学研究の発足とその発展 将来への展望などである。

I.1 地球化学の学問としての発展

ヴェルナドスキー (V. Vernadsky, 1863-1945) はその著書のぼう頭に 二十世紀の新科学—地球化学と述べているのであるが この新しい学問は 歴史的にどのようなように生まれてきたかを まずはじめにながめてみたい。

自然科学の形成史のなかで 比較的早期に形成された科学として 16~17 世紀にえられたコペルニクスやガリレーによる天文学の成果 17世紀のニュートンによる物理学 18世紀のラボアジエの化学 リンネなどによる動物学などがある。

地質学は18世紀の後半において ほぼ現在の体系が形成されたとみられている。同じ地球科学のなかでも多くの協同観測によって研究が進められる性質の強い気象学や地震学は 形成がややおくれ19世紀後半になったといわれる (都城秋穂: 地球科学の歴史と現状(1)(2)(3)(4) 自然 1965年9月~12月)。

地球化学とは何か? 単に化学でなく地球化学となぜよぶのか? 地球化学について書く人は なぜに化学者でなく 地質学者 鉱物学者 結晶学者なのか? 以上の一連の質問について答えたのがソ連のフェルスマン (Fersman) であるが これはきわめて妥当な問答である (A. Fersman; Geochemistry for Everyone, Foreign Language Publishing House, Moscow, 1958) この点に関するわが国の地球化学者の答えは種々あるが 一般に地球化学の内容や目的は 次のように考えられているようである。すなわち 地球化学は地球を研究対象とした自然科学の一部門であって 地球全体とその構成部分との化学を取り扱う科学である。地球における同位体を含めての化学元素の分布と移動を空間的・時間的に取り扱い 元素分布を支配する法則発見を目的とする学問である。

地球化学発展の歴史は きわめて古い時代にさかのぼるが 近代の地球化学形成は ほぼ18世紀までさかのぼれば理解されやすいようである。スウェーデンの化学者兼鉱物学者ベルゼリウス (J. J. Berzelius 1779~1848) は その一門とともに鉱物の分析とそれによる分類を試

はじめに

最近における地球科学全般の進歩のなかにあって 地球化学の領域でもまたたいへんな変化があった。また地質調査所の調査・研究業務の中に占める地球化学の役割り・比重にも 変化が生じているようである。たとえば 同位体地球化学の発達にともなって 地質絶対年代の決定ができるようになり これらの資料をめぐって地質学の面においていろいろと論議がでているなどは一例としてあげてよいであろう。

地質調査所で地球化学的な研究を発展させるべく 地球化学課が昭和30年に生まれてから 昨年(1995年)はちょうど10年目にあたっているのだから 地球化学全般について概要をまとめてみるのはよい時期であると考えられる。

このところ 日本学術会議に対して 各学会から長期計画が提出され また学術会議の研究所設立案も含めた研究長期計画が討議されている。このような時期に地質調査所の地球化学面の調査・研究について検討するのも有意義と考えられる。

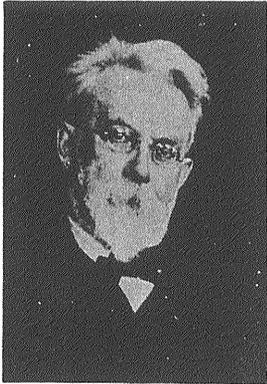
この特集号に掲載した人物写真の一部は 都立大学の野口喜三雄 半谷高久 一国雅巳の諸博士 東大名誉教授の南英一博士 気象研究所の猿橋勝子博士のご厚意によった。記して深謝の意を表する。



フェルスマン
A. Fersman (1883~1945)

I 地球化学の発展と地質調査所の地球化学

ここで述べたい事項は 地球化学の学問としての生いたち 日本におけるその発展形成 研究に用いられる器械の発達と学問の発展の関連 地球化学の立場 地化学探



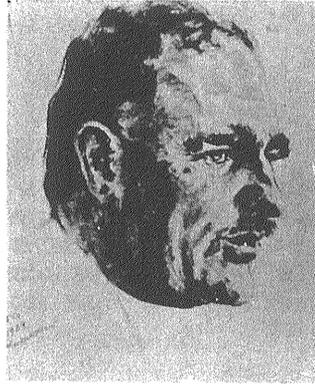
ヴェルナドスキー
V. Vernadsky (1863~1945)

み silicate の語を初めて使用した。1850年までにはすでに数多くの資料が得られている。スイスの化学者シェーンバイン (C. F. Schönbein 1799~1868) は オゾンの発見者としても有名であるが 1838年に Geochemistry の語を初めて使用した。Chemical geology Chemical mineralogy の語も広義の地質学に含まれて19世紀から使用

されている。1861年ロート (J. L. Roth 1818~1892) が岩石の化学分析値を集めて出版した時にはすでに1000個近い分析が発表されており この本は1847~1854年に出版されたビショフ (Bischof) の化学的地質学の部分にとってかわった。この間にあってメンデレーフ (D. Mendeleev 1834~1907) の周期律の発見は自然の理解を深いものにした。

かくて地球化学の一つの中心がソ連におこった。1924年に La Géochimie を著わして 気圏 水圏 生物圏を含めて近代地球化学を体系づけた ヴェルナドスキーは はじめモスクワ大学の鉱物学および結晶学教授であり 後に科学アカデミーにあって生物地球化学研究所を創設し カオリン核説で著名なほかに 生物地球化学の創始者になった。彼のモスクワ大学時代の教え子にフェルスマン (A. Fersman 1883~1945) がある。

フェルスマンは1912年に同大学の鉱物学教授となり同年地球化学に関するはじめての教授を開始した。彼は “われわれは地球の化学者でなければならぬ。鉱物の分布と生成のみでなく また元素の一時的安定結合のみでなくすべての元素に対して その分布 その転移 その一生を研究しなくてはならない” と述べた。彼は元素は最終的には原子構造に支配されると考えた。そして宇宙における元素分布を研究し また花崗岩とペグマタイトに関してりっぱな業績を残している。すなわち彼の学問的功績は 1933~1939年に出された4巻の著書に最も顕著であるが 他面地球化学を資源探査にむけ



ゴールドシュミット
V. M. Goldschmidt (1888~1947)

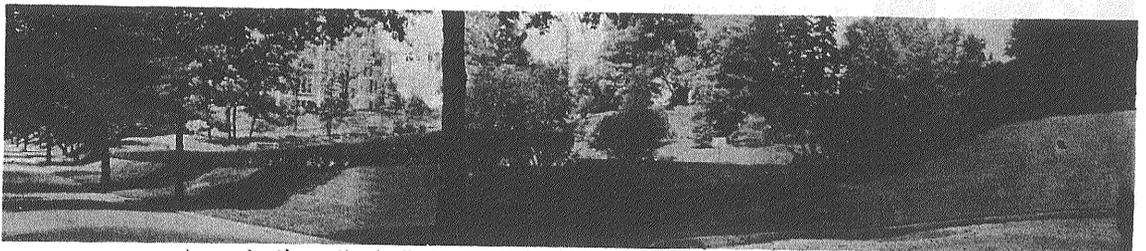
た点にも重視する心が必要だろう。それ以来 ソ連邦における地球化学はこの点で世界をリードしていることはたしかである。

ところで もう一つの地球化学の発展の中心がアメリカにある。クラーク (F. W. Clarke 1847~1931) は1884年に

アメリカ地質調査所の化学主任に任命され 地球化学に専念する一つの中心ができた。彼は地質学者であったが 36年にわたる岩石鉱物についての資料をまとめて ついに かつきの Data of Geochemistry を1908年に U.S. G. S. Bulletin 330として発刊した。その業績は1924年の最終5版によって 一つの時代の終りをかくしたといえる。

1905年アメリカのワシントン市に設立されたカーネギー (Carnegie) 財団の地球物理学研究所 (Geophysical Laboratory) は 物理化学の原理を地球の科学に応用する試みによって 偉大な成果をあげ続けて 今日におよんでいる。この研究所では 大規模な地殻の分析研究 岩石鉱物の相律の研究 とくに高温高压下の研究が盛んである。また海洋面の研究ではとくに海底土の放射能の研究に貴重なものがある。今日でもアメリカでは地質学の中の化学的な面は伝統的に強く 地球化学の名でよばれている。

地球化学形成にとっては 北欧にもう一つの中心があった。ノルウェーの科学者フォークト (J. Vogt 1858~1932) は 物理化学的岩石学を創設し 岩漿作用に関する研究 岩石圏の組成に関して貢献するところが大きい。ゴールドシュミット (V. M. Goldschmidt 1888~1947) は フォークトとブレッガー (W. C. Brøgger) の門下である。ゴールドシュミットは1930年代から約20年間にわたり オスロー (Oslo) とゲッティンゲン (Göttingen) 大学の鉱物学教室で 協力者とともにりっぱな研



カーネギー地球物理学研究所全景 (鈴木淑夫氏提供)



ユーリー H. C. Urey (1893～)



メーソン(B. Mason)(1917～)
1961.6.22.地質調査所来訪



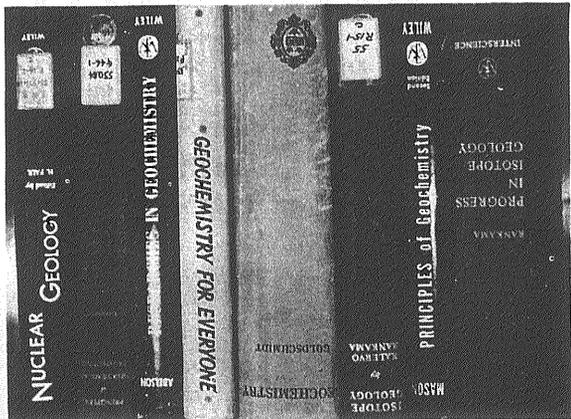
サハマ Th. G. Sahama (1910～) 左後方は(ヨーダー
H. S. Yoder, Jr)(1921～)
(1962年地質調査所地球化学課分光分析室にて)

究結果を得た。彼は1911年にオスロ大学卒業後 クリスタニア地域の変成作用に関する研究で 相律を接触変成作用に適用したが エスコラ (Eskola) の鉱物相 (Mineral facies) もこれに刺激されて生まれたものである。1912年ラウエ (von Laue) によるX線廻折が発見されるや この技術を固体地球化学の研究に適用しまた定量分光分析技術によって 化学元素と結晶との関連を明らかにする近代結晶化学の原理の開拓へとむかった。1922年以来発表した「地球の物質代謝」「元素の地球化学的分配法則」は 地球の元素分布のみならず マグマから岩石鉱物の結晶分化作用の研究 地殻表面の風化作用 地球内部の実験的推論におよび イオン半径の測定によって化学元素の地球化学的分類を行ない 同

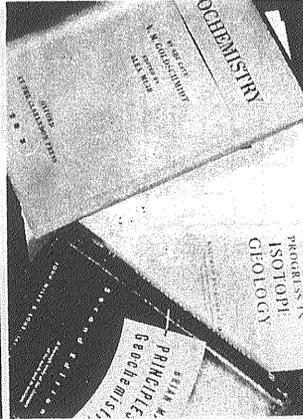
形の概念を導入して近代地球化学の一体系をつかった。また地殻深部の地球化学的研究の発展をうながした。

欧州ではノダック (Noddack) 夫妻の地殻ならびに隕石中の微量元素の研究「元素普存の法則」に関する研究も重要である。ハーン (O. Hahn) とその協力者の放射能に関する研究も重視されている。

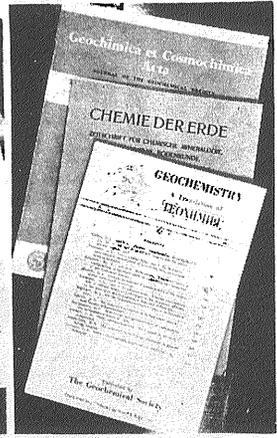
地球化学の最近におけるめぼしい方向に 同位体地球化学と高温高压下における化学変化の理論および実験的研究があげられる。放射性および安定同位体の研究は絶対年代の測定をはじめ 新しい研究面を開拓しつつあり この面の研究ではアメリカとソ連がとくに多くの資料を得ている。宇宙化学と地球化学の接近による研究面 放射化分析などによる極微分布を利用した元素およ



地球化学関係 外国図書



一般地球化学に関する 外国図書



地球化学に関する代表的な外国雑誌



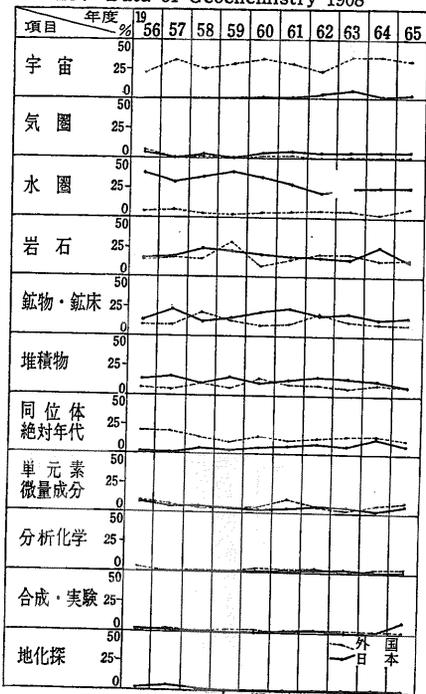
び地球成因論にもまた注目すべき成果がある。

なお戦後特記されるべき国際的できごとの中には 次の事項が含まれるべきであろう。

- 1951年… Geochimica et Cosmochimica Acta がイギリスで発刊される
- 1952年… Chemie der Erde が Jena で再刊される
- 1955年… 国際的学会にしようとの意欲のもとに Geochemical Society がアメリカでできた
- 1956年… TEOXNMNJA がソ連で発刊された1959年この雑誌の完全英訳がアメリカで行なわれた
- 1966年… Chemical Geology がオランダから季刊で出される予定

地球化学の体系全般に関するおもな成書をあげる

Clarke: Data of Geochemistry 1908



第1図 最近10年間に主要雑誌に発表された論文内容の分類

Vernadsky: La Géochimie 1924
 Clarke: Data of Geochemistry (5th edition) 1924
 高橋純一訳: ヴェルナドスキー地球化学 1933
 河出書房: 化学実験学—地球化学— 1941
 Rankama & Sahama: Geochemistry 1950
 Mason: Principles of Geochemistry 1952
 Saukow: Geochemie 1953
 岩崎岩次: 地球化学概説 1953
 三宅泰雄: 地球化学 1954
 Rankama: Isotope Geology 1954
 Faul editor: Nuclear Geology 1954
 Goldschmidt: Geochemistry 1954
 半谷高久訳: (メースン) 地球化学概論 1954
 Fersman: Geochemistry for everyone 1958
 日本化学会編: 実験化学講座—地球化学—1958
 Abelson editor: Researches in Geochemistry 1959
 Smith: Physical Geochemistry 1963
 菅原健・半谷高久編: 地球化学入門 1964
 Fife: Geochemistry of Solids 1964

I. 2 地球化学の立場 (付地球化学探鉱)

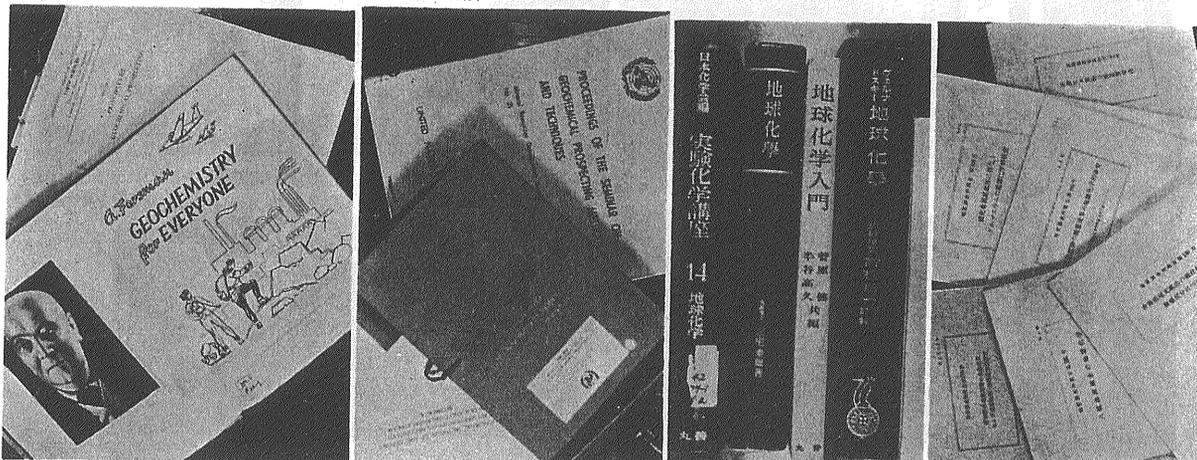
地球化学の学問としての形成の概略について述べた前項の中に 他の学問との領域や研究方法などに関する地球化学の立場がかなりはっきりと示されている。

岩石学 鉱物学も含めての広義の地質学中の化学的面は とくにアメリカ ヨーロッパなどの地域では今日で

第一表 最近一〇年間に主要雑誌に発表された論文内容

雑誌名 Geochimica et Cosmochimica Acta

項目	年	1956	57	58	59	60	61	62	63	64	65
いん石・宇宙	11	22	23	33	33	28	29	29	63	30	
気圏 (大気・フューアール)	2	1	2		2	2		2		3	
水圏 (海水・地下水・融氷・塩水・塩湖)	4	4	2	3	6	8	8	6	5	9	
岩石	10	10	6	17	4	6	15	20	20	8	
鉱床・鉱石 (石油・鉱石)	2	4	4	8	2	4	2	5	8	4	
堆積物 (石油・鉱石)	2	2	4		13	7	8	5	14	7	
同位体・絶対年代	10	12	5	6	14	10	20	17	22	8	
単元素・微量成分	3	5	1	2	4	4	1	1	3	5	
分析化学		1	2		6	4		7	2	5	
合成・実験		2		3	4			3	3	2	
地化学探査											



地球化学に関する外国出版物の一部

国連の地球化学探鉱に関するセミナーの出版物 (1963および1965)

地球化学に関する日本の出版物の一部

地球化学に関する地質調査所の報告

も地球化学とよんでいる。生物地球化学 汚染も含めての社会地球化学も 近頃きわめて注目されている。地球化学の領域に関しては 歴史的にみても 気圏を除いては 地球化学が生長してきた過程において 広義の地質学との関係が最も深い。鉱物学と地球化学 岩石学と地球化学などなどの関連については のちほど各項で述べるところであろう。地球化学の立場を明らかにする意味で 国内外の主要学術雑誌にあらわれた対象別方法別の論文の割合いを第1表および第1図に示す。最近における変せんなどもじゅうぶん読みとれると思う。

次いで I. 1項で除外した地球化学探鉱について やや詳しく説明を加えて 地球化学と応用地球化学の関連の一端を明らかにしておく。

世界における地球化学探鉱研究実施の中心は 現在3つあると考えられる。その1は 英国のロンドン大学に属する Imperial College of Science and Technology にあつて 英国地質調査所の勧告によつて設立された Geochemical Prospecting Research Centre である。目下ウェブ (Webb) 教授指導のもとにあり はじめ後述の米国方式で研究を進めた。地域的には主としてアフリカ (最大はローデシアの Cu) 東南アジアなどで業績をあげており 対象は Cu Pb Zn Co Ni Cr Sn W Mo Be As Sb であり 門下にツームス (Dr. Tooms) カナダのクリウス (Dr. Clews) などのすぐれた人たちがいる。広く海外から留学生も集まり 理論と実際についての研究と指導を行なっている。基礎的地球化学の研究もおこたらず 深海底のマンガン団塊の研究も手がけるなど 幅広い活動を行なっている。ウェブ教授と 後述のアメリカのホウクス (Hawkes) 教授の著書 *Geochemistry in Mineral Exploration* (1922) は 金属鉱床に対する現在における最もよい地球化学探鉱の書である。銅鉱床その他の潜頭鉱床探査に 地質 空中写真 地球化学探査の三者を併用することを強く求めている。

中心の第2はアメリカにある。アメリカ地質調査所と 元そこに奉職して現在カリフォルニア大学にいる ホウクス教授らを中心とするもので 地球化学探鉱に適した分析法の開発とその標準化などから 各種鉱床に対する地球化学探鉱全体にわたり 多くの成果を得ている。U. S. G. S. では湿式迅速分析法と分光分析法とを併行して研究し 1950年代の初期に実地調査を開始し 南アパラチア地域と 太平洋岸の北西部で良好な結果を得た。それらの結果は U. S. G. S. の出版物 (Bull. No. 1000: No. 1000-A No. 1000-G は 1954年までの文献集) による外 たたとえば前項にあげた *Researches in Geochemistry* などに手ぎわよくまとめられて出版されるなどしている。放射性鉱物資源についての成果にも見るべきものが多い。アメリカにおける石油 天然ガス鉱床に対する地球化学探鉱は 土壌空気法にはじまり 土壌法を経て微生物法にまで発展したが 最近これら探鉱法を活用しているようには見えない。ただし試掘井 探掘井などに対する mud logging は 油田の探鉱・開発に対しては不可欠のものとして活用されていることはいうまでもない。

中心の第3は ソビエト連邦である。この国の地球化学は 資源探査と強く結びついた成長をしてきたことはすでに述べた。

地球化学探鉱法は1935年ソコロフ (V. I. Sokolov) が石油探鉱にはじめて適用して以来 この国ではすでに30年の経験をもっている。金属鉱床に対しても 現在間違いなく世界最大のチームをもつていて 1965年現在その従事する専門家だけでおよそ1,000名であるという(1965年8月 国連セミナー)強力に探鉱を進めている指導の中心は全ソ地質委員会であり 地質および地球化学探鉱トラストは 多くの野外調査隊をおくつている。おもしろいのは 地球化学図の作製がほとんど地球物理関係者の手によつて行なわれたことであり (I. I. Ginzburg: *Principles of Geochemical Prospecting*, 1960 xiii頁) 1955年地質および資源保全省の命令によつて 地質の野外作業では必ず地球化学的研究が行なわれなければならないとされたことである。とくに効果をあげているのは中央アジア地域でありこの外調査地域はソビエト連邦全域にわたつている。測点数は年間およそ850万に達するといわれる。石油・ガスについても強力に進めている。とくに 深度100m前後の作井コアを用いた調査法は 大きな成果を得ている模様であり (1965年8月 モスクワの石油研究所訪問結果による) カルチュフ (Kartsev) らによる著書 *Geochemical Methods of Prospecting and Exploration for Petroleum and Natural Gas* 1959は 現在における石油とガスの地球化学探鉱に関する最もすぐれた著書である。1956年に行なわれた全ソの地球化学探鉱会議の成果をとりまとめたクラスニコフ (Krasnikov 1957) の著書もすぐれているし 1965年8月にモスクワで行なわれた国連の地球化学探鉱セミナーの資料によつても 最近におけるソ連のこの面における概況を知ることができる (その資料は日本に1部しかないが地質調査所で保管している)。

ソ連および西側諸国の地球化学探鉱のおもな機関を 次に一括して 第2表に示す。

第2表 ソ連および西側諸国の地球化学探鉱の研究機関 (Hawkes & Webb 1962 による)

Russian Organization Conducting Research and Development of Geochemical Prospecting Methods (ソ連における地球化学探鉱法の開発と指導的研究の機関)

- (1) Academy of Sciences of the U. S. S. R. (ANSSSR) (ソ連科学アカデミー)
 1. Chukhrov Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry (IGEM), Moscow (チュクロフ鉱床地質学 岩石構造学 鉱物学 地球化学研究所)
 2. Institute of Mineralogy, Geochemistry and Crystal Chemistry of Rare Elements (IMGRE), Moscow (稀元素の鉱物学 地球化学 結晶化学 研究所)
 3. Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry, (GEOKHI), Moscow (ヴェルナドスキー地球化学 分析化学研究所)
- (2) Ministry of Geology and Conservation of Resources (MGION) (地質 資源保全省)
 1. All-Union Aerogeological Trust, (VAGT), Moscow (全ソ航空地質トラスト)
 2. All-Union Geological-Scientific Research Institute, (VSEGEI), Leningrad (全ソ地球科学研究所)
 3. All-Union Scientific Research Institute of Ex-

ploration Geophysics (VIRG) (全ソ地球物理学研究所)

4. All-Union Scientific Research Institute of Hydrogeology and Engineering Geology (VSEGINGEO), Moscow (全ソ水理地質学 工学地質学研究所)
5. All-Union Scientific Research Institute of Methods and Procedure of Exploration, (VITR), Leningrad (全ソ探査法研究所)
6. All-Union Scientific Research Institute of Mineral Raw Material, (VIMS), Moscow (全ソ原料鉱物研究所)
7. Main Geophysical Organization (Glavgeofizika): includes geophysical trust for carrying out routine survey work (おもな地球物理学的機関:ルーチンの調査業務を遂行する地球物理学的のトラストを含む)

(3) Universities (大学)

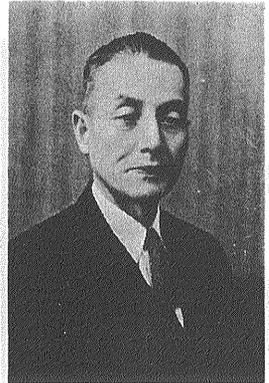
1. Leningrad Technological Institute (レニングラード工業大学)
2. Leningrad State University (レニングラード国立大学)
3. Moscow State University (モスクワ国立大学)
4. Tomsk Polytechnical Institute (トムスク工業大学)

(4) Union Republic Academies of Sciences (連邦共和国科学アカデミー)

1. Armenian Academy of Sciences, Yerevan (アルメニア科学アカデミー)
2. Kazakh Academy of Sciences, Almaata (カザフ科学アカデミー)

Principal Western Organizations Conducting Research and Development of Geochemical Prospecting Methods in 1960 (西側諸国におけるおもな地球化学探鉱法の開発と指導的研究の機関)

Country (国名)	Organization (機関名)	Address (所在地)
Canada	Geological Survey of Canada (カナダ地質調査所)	Ottawa, Ont.
	Geology Department of University of British Columbia (ブリテイッシュコロンビア大学地質学部)	Vancouver, B. C.
Finland	Geological Survey of Finland (フィンランド地質調査所)	Otaniemi
France	Bureau de Recherches Geologique et Minerres (B. R. G. M.) (地質学 鉱物学研究局)	Paris
Norway	Rastoffslaboratorium (ラストフ研究所)	Trondheim
United Kingdom	Geochemical Prospecting Research Centre (地球化学探鉱研究センター)	Imperial College of Science and Technology, London



柴田雄次(1882~) 木村健二郎(1896~)
 United States U. S. Geological Survey Denver, Col. Berkeley, Cal.
 (合衆国地質調査所) Department of Mineral Technology, University of California (カリフォルニア大学鉱物工学部)

地球化学の将来の国際的立場については 地球化学そのものの学問としての受けとり方によってだいぶ論議が複雑になる。現在地球化学は 国際学術連合会 (ICSU) に属する国際測地学地球物理学連合 (IUGG) と 国際純正および応用化学連合 (IUPAC) に委員会をもっているが やや分散的に扱われている傾向がある。

一方 1955年に設立されたアメリカの地球化学会の現会長テキサス大学のインガーソン (Ingerson) 教授の提案により 1964年12月にインドのニューデリーで開催された第22回国際地質科学会議 (International Geological Congress) の総会の際に 地球化学者の中で国際地球化学協会 (International Association of Geochemistry) の設立がきめられた。インガーソン博士は この協会が国際地質科学連合 (International Union of Geological Sciences) への加盟 (affiliation) を考えているようであるが 日本地球化学会の委員会では IUGG または IUPAC への加盟を考える意見が強い。地質調査所にあつて地球化学的研究にたずさわる私たちとしては この日本地球化学会委員会の決定に対しては 深く考えなければならぬ点がある。

I. 3 日本における地球化学の形成発展

わが国の地球化学発展の経過の概要は 菅原健博士の著書 たまゆら (1965) にまとめてある。要点を書きぬきさせていただくと 以下のようなのである。

明治維新以前...地球化学的研究と名づくべき活動を見出すことは困難である。ただしシーボルトの業績は重視される。彼は 1823~1829 年の滞日期間に 日本の地質・鉱産物・鉱山 温泉の定性分析結果などを記録したが これがわが国における最古の地球化学的記録であろう。



南英一(1899~)



高橋純一(1887~1959)

明治初年…衛生試験所 工業試験場 農事試験場 地質調査所 水産試験場などが設立され その調査作業の産物として化学的資料が生じてきたが 地質学や鉱物学の見地からできたもので 地球化学的研究資料としては不十分であった。

大正10(1921)年前後…東大化学教室の柴田雄次教授が地球化学の研究を重視され 欧州から持ち帰られた分光分析装置を使用して 稀土類元素の研究を本邦産鉱石について開始 松野博士 木村健二郎博士 井上 植村 太秦 南の諸博士らがこれらを研究題目として 研究を進展させた。

大正13(1924)年…理研の飯盛里安博士が放射性鉱物研究の第1報ともいふべき 本邦産の放射性マンガソ土の新種について公表されたが その後も多くの業績がこれに続いた。

大正14(1925)年…ヴェルナドスキー著「ラ・ジェオシミエ」の論講が 柴田教授主宰で東大化学教室で行なわれた。菅原健博士の 仁科三湖に関する地球化学的研究が開始された。

大正15(1926)年…柴田教授が国民新聞上に 新興科学地球化学の一文をよせた。地球化学の語が印刷になった最初である。吉村信吉博士の湖沼学の研究発表がはじまる。

昭和5(1930)年頃…岡田家武博士による岩波講座の一篇「地球化学」が出版された。同博士による総合地球化学的色彩の濃い研究が行なわれる。中央気象台では朝比奈貞一博士が 河川 降水 地下水に関する研究を行なう。この研究は 後に一部気象研究所の三宅泰雄博士およびその協同研究者によって発展させられ 今日までに多くの業績が気象台から得られている。地球物理学的活動に地球化学的援助の必要性を気象台で認めたことは特筆される。

昭和10(1935)年…柴田 野口両博士による火山研究がはじめて発表された。また北大の富永教授の火山の研究もあり 東大では柴田 野口 岩崎氏らによる火山の研究が引き続き行なわれた。

昭和11(1936)年…海洋研究がスタートし 京大 北大 気象台から研究結果が出された。

昭和12(1937)年…柴田 野口 金子3氏の名で浅間火山湧出水の重水濃度研究が発表され その後小穴進也氏によって多くの形態の天然水の重水が測られている。

昭和13(1938)年…深海泥土の研究が 浜口氏 京大の石橋 原田氏らによって公表され 温泉の研究も引き続き行なわれた。

昭和16(1941)年…第1回地球化学討論会が東京で行なわれた。また化学実験学の地球化学篇も発刊された。日本海

洋学会がこの年に誕生した。
以上が 菅原博士による略史である。

戦後1953年4月には 日本地球化学研究会が発足した。当時の会員は約250名であったが 1963年には会名が日本地球化学会と変更され 1965年には 会員数がおよそ400名になった 本部は名古屋大学にある。

会員の約半数は化学出身者 他の半数は地質 岩石 鉱物の出身者によって構成されている。この会は年4回ニュースを発行しているが 1966年には年4回の学会誌を発行するべく計画され 目下学会誌発行に関する小委員会で具体案をねっている。

以上は主として化学的色彩の濃い立場からみたわが国の地球化学形成史であるが 地質学 鉱物学および結晶学 岩石学 鉱床学などの色彩の濃い立場からみたものは 後述される各項で若干ふれられる点がある。これらの学問の化学的面的研究は 欧米では地球化学と一般にも呼ばれているものに相当するが これらは旧帝大の地質学教室などにおいても数多くなされておられ その取り扱われた対象も 火山岩 変成岩 深成岩 金属鉱床 非金属鉱床 石油鉱床 現世堆積物 鉱物(海緑石なども含めて)におよんでいる。なかんづくヴェルナドスキーの地球化学の著書を 仏語と独語の原著から 昭和8年に詳細な注釈をつけて忠実に翻訳出版し 鉱物 水成岩 石油鉱床の研究面で地球化学的色彩の濃い業績を残し その門下に大きな影響を与えた高橋純一教授の功績は大きい。わが国の地球化学の研究における特徴はいくつもあろうが 次に述べる3点は高橋博士によってとくに指摘されている(高橋勝子:日本の地球化学の現状 化学の領域 昭和40年)

- ①日本の地球化学者の大部分が 化学科の卒業生から構成されていて 西欧 アメリカ ソ連などのように多くが地学関係の学科の卒業生によって構成されているものとたいへんに異なる。
- ②岩石圏の地球化学よりも 水圏 気圏 火山 温泉などの地球化学により多くの業績が残されている。
- ③地球化学の発展を歴史的にみると 他国の科学者の教育と指導を受けて発足したものでなく 日本の化学者の自身の努力と思想で発展してきた。

I. 1項の 地球化学論文その他の統計を改めてみなおせば どこまでを地球化学的研究の領域に含ませるかによって 上述の見解にも少しく影響がおよぶであろう。

地球化学とは何か? の問題にも関連して 地球化学の研究者が将来の研究活動全般にわたって常々深く考慮すべき点はきわめて多いといえよう。

つぎに 応用地球化学のうちの地球化学探鉱についてわが国の発展形成史の概略を述べる。 金属鉱床に対する地球化学探鉱は 大戦直後の昭和24 (1949) 年頃から文献として急速に目につくようになっていく。 そのはじめは東大化学教室の木村健二郎教授とその協力者によっている。 すなわち木村 藤原鎮男 横山祐之 島誠の諸博士らが 有機試薬を用いた分析法の採用による地球化学探鉱法を急速に発展させたものである。

その後地質調査所 大学 鉱山会社などで相次いで本方法が採用され 今日に至っている。

温泉に対する地球化学探鉱の試みも 終戦直後から意識的に行なわれてきた。 石油・天然ガス鉱床の地球化学探鉱の歴史は古く 昭和15年頃から終戦前後まで地質調査所の兼子勝 金原均二 八木次男 藤原健一の各技師によって 主として土壌空気法が開発されて 本邦のおよそ10の油田・ガス田に対する探査が行なわれ 報告されている。 昭和20年以降は 地質調査所による水溶性天然ガス鉱床の地球化学探鉱や 石油資源開発株式会社および東大応用微生物研究所などによる 地表からの探鉱などが注目されるものである。

この項の最後として 現在のわが国における地球化学の教育や研究機関について概略を述べたい。 以下には日本地球化学会の将来計画小委員会で調査した第3表をもって説明にかえる。 もちろん先に述べたように この種の統計は とり方にも用い方にもじゅうぶん注意する必要があるが 一応現在地球化学会と密接に関連を保っている研究機関の概略を知りうる資料といえよう。

第3表 わが国の地球化学教育・研究の現状 (日本地球化学会資料 1963 による)

1963年における研究者の年齢構成 (51機関の調査)
40歳以上 52名 40歳以下 138名 1:2.7

研究内容 (51機関)

地球化学と分析化学 49%
地球化学のみ (化学系) 18%

地球化学と放射化学 14%
地球化学と無機化学 10%
地球化学と地質学 8%
地球化学とその他 2%

1964年における設備

1. 質量分析計	{ 気体用	専用 8	共用 0.5
	{ 固体用	2	
2. 多重波高分析器または低レベル計数管付放射能測定器		8	6
3. X線分析装置	{ マイクロアナライザー	0	2
	{ 蛍光X線装置	3	2
	{ X線廻折装置	4	7
4. 高圧発生装置		0	0

学生定員数 (1963年における 国立 公立大学)

a) 化学系 (1年の定員)

学部	修士	博士
895	154	79

b) 地学系 (1年の定員)

	学部	修士	博士
地学	142	14	7
地質鉱物	85	51	25
地球科学	15	7	3
地球物理	25	43	21
計	267	115	56

大学における地球化学の講義

a) 学部 (31教室)

地球化学の講義あり	16
{ 他の関連分野の講義あり	4
{ " なし	12
地球化学の講義なし	6
{ 他の関連分野の講義あり	6
{ " なし	9

b) 大学院 (17教室)

地球化学の講義 あり	8
{ 他の関連分野の講義あり	4
{ " なし	4
地球化学の講義 なし	9
{ 他の関連分野の講義あり	6
{ " なし	3

地球化学関係の研究施設 (1964年)

名 称	全構成 (講座又は部門数)	地球化学部門	関連部門	備 考 (関連部門名)
東大海洋研	現在 6 (完成時 15)	1 (1)	1	無機海洋化学 (海洋生物化学)
東大地震研	10	0	[1]	
名大地球科学教室	5	1	1	地球化学 (岩石および鉱床)
名大水質研究施設	4	2	1	無機および有機水圏化学 (水代謝)
地質調査所 (本所)	18課	1課	1課	地球化学 (化学)
気象研	9	1	0	地球化学
岡山大温泉研	3	1	1	温泉化学 (温泉地質)

I. 4 地球化学研究と化学分析法および分析機器

地球化学的研究に限らず ある学問の研究に新しい道具 薬品 技術などが導入されることによって その学問が急速に進歩することがある。この意味で分析機器の開発研究や 分析化学の研究は 地球化学の発展にとってきわめて大切な要因になっている。この点モスクワのヴェルナドスキー名の研究所が 地球化学および分析化学をひょうぼうしているのは意味深い。

よくひかれる例であるが ゴールドシュミットらによって開拓された結晶の化学をとりいれた地球化学は X線廻折装置と 定量発光分光分析装置とを駆使して はじめてつくりあげることができたといわれる。

また最近の地球科学 ことに前カンブリア紀層の地質学に大きな進歩をもたらした絶対年代測定の研究 ならびに同位体地球化学研究の発展には 電子工学の進歩によって著しく性能を向上した質量分析計が大きく貢献している。地球化学の進歩と分析法の進歩とを組み合わせることは有意義であろうが紙面の関係上省略する。ただ今日 地球化学の研究で 普通に用いられる機器を 次に列記しておく。

- 直読式発光分光分析装置
- 大型廻折格子発光分光分析装置
- 石英発光分光分析装置
- 赤外線分光分析装置
- 蛍光X線分析装置
- 質量分析計
- 低バックグラウンド・カウンター
- 示差熱分析装置
- X線廻折装置
- X線マイクロアナライザー
- 熱天秤装置
- 鉱物の電磁分離装置
- 原子吸光分析装置
- 放射能測定装置



直読式分光分析装置 コンパクトアトムカウンター 岩石鉱物分析用に設計され40本のフォトマルをそなえている 岩石主成分を含む約30元素の定量ができ スペクトル線強度はデジタルに表示すると同時にタイプで印字される (地質調査所 地球化学課)

これら機器についての概要を知るには たとえばスメールズ (A. A. Smales) およびウェージャー (L. R. Wager) 編の Methods in Geochemistry (1960) などを参考にするとよい。

また地球化学一般の分析については I. 1項にあげた化学実験学(1941) 実験化学講座(1958)などを参考にすると便利である。地球化学探鉱に対する分析法は 島誠著 地球化学探鉱法(丸善 1955)

アメリカ地質調査所の Bull. 1152(1963)などが便利である。なおホクスおよびウエブ(1962)による。地球化学探鉱に対する一般分析法は第4表のようである。

最近微量水銀による探鉱法の有効性が認められ 原子吸光分析法が感度 0. n~1 ppb で開発され 多くの注目を集めるに至った。またカナダなどで開発が研究されつつある大気中の超微量水銀を検知して行なうエアボン地球化学探鉱法などの成果にも 注目しておく必要がある。

I. 5 地質調査所における地球化学研究の発足とその発展

地質調査所は 設立以来およそ90年の歴史をもっており その間地質標本についての化学分析が続けられてきた。たとえば 岩石 鉱物 地下水 天然ガス 温泉 鉱石などに関する分析は 地質調査研究の必要上からきわめて多数にのぼっている。それらの成果の一部は次のようにまとめて公表されている。

- 本邦産花崗岩質岩石の化学成分 1959
- 日本産火山岩の化学成分 1962
- 地質調査所化学分析成果表 I (岩石・鉱物 1954~1960) 1962
- 地質調査所化学分析成果表 II (地下水 1951~1961) 1962
- 地質調査所化学分析成果表 III (鉱石 1946~1962) 1963

昭和15(1940)年頃には すでに述べたように石油・



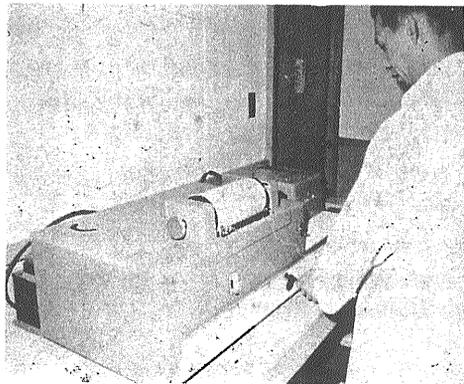
JACO エバート型 3.4m 回折格子分光分析装置 主として岩石鉱物中の微量成分の定量に用いる (地質調査所 地球化学課)

天然ガスの地球化学探鉱法の研究が 地質調査所で発足している。 ついで 地質調査所における地球化学的研究の上で重要なできごとは 昭和23 (1948) 年8月に 理探査部へ地物化学研究室が設置されたことである。 この研究室は はじめ石油・天然ガス鉱床の地球化学的

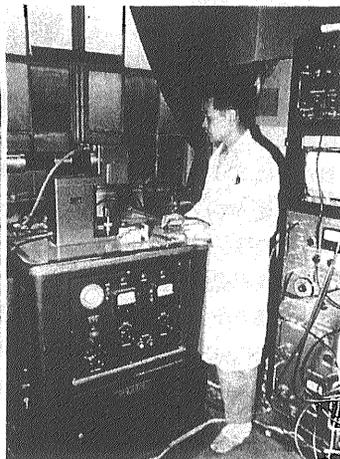
研究で著しい成果をあげた。 藤原健一 下河原達也 島田信位の各技官らがこの研究室に所属していたが 後には金属鉱床に関する地球化学的研究を手がけるに至った。 この研究室が 物理探査部へ設置されたのも興味深く ソ連の地球化学探鉱や地球化学図の作製が物理探

第4表 普通に用いられる分析法 (Hawkes & Webb, 1962)

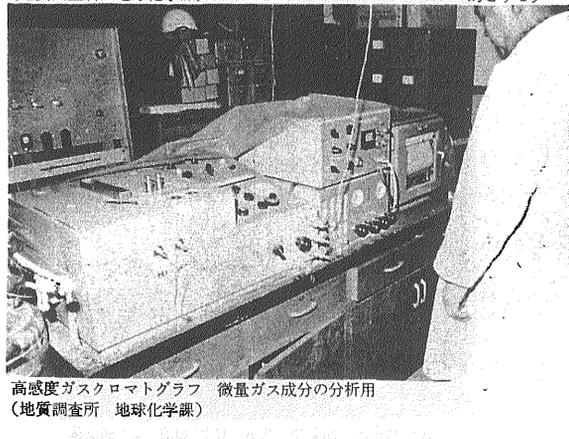
元 素	重量分析	比色分析	点滴試験	ペーパークロマト	分光分析法	放射線分析法	ラマンチオ	ボログラフ
Sb	0	0	0	0	0	0	0	0
As	0	0	0	0	0	0	0	0
Ba	0	0	0	0	0	0	0	0
Be	0	0	0	0	0	0	0	0
Bi	0	0	0	0	0	0	0	0
B	0	0	0	0	0	0	0	0
Cd	0	0	0	0	0	0	0	0
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0
Cc	0	0	0	0	0	0	0	0
Cu	0	0	0	0	0	0	0	0
C	0	0	0	0	0	0	0	0
F	0	0	0	0	0	0	0	0
Au	0	0	0	0	0	0	0	0
Pb	0	0	0	0	0	0	0	0
Li	0	0	0	0	0	0	0	0
Mg	0	0	0	0	0	0	0	0
Hg	0	0	0	0	0	0	0	0
Mo	0	0	0	0	0	0	0	0
Ni	0	0	0	0	0	0	0	0
Nb	0	0	0	0	0	0	0	0
Pt	0	0	0	0	0	0	0	0
格土類	0	0	0	0	0	0	0	0
R	0	0	0	0	0	0	0	0
S	0	0	0	0	0	0	0	0
Se	0	0	0	0	0	0	0	0
Ag	0	0	0	0	0	0	0	0
Sr	0	0	0	0	0	0	0	0
S	0	0	0	0	0	0	0	0
Ta	0	0	0	0	0	0	0	0
Th	0	0	0	0	0	0	0	0
Ti	0	0	0	0	0	0	0	0
W	0	0	0	0	0	0	0	0
U	0	0	0	0	0	0	0	0
V	0	0	0	0	0	0	0	0
Zn	0	0	0	0	0	0	0	0



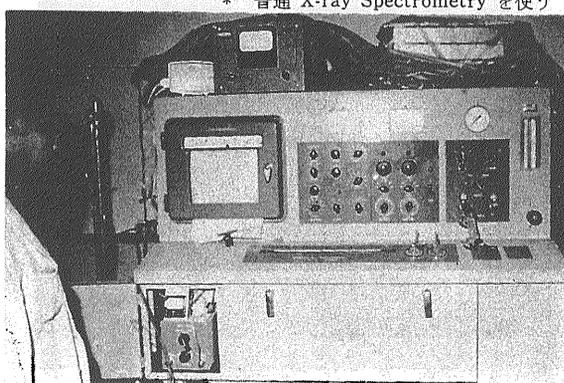
赤外分光光度計 有機物などの分子構造研究用 (地質調査所 地球化学課)



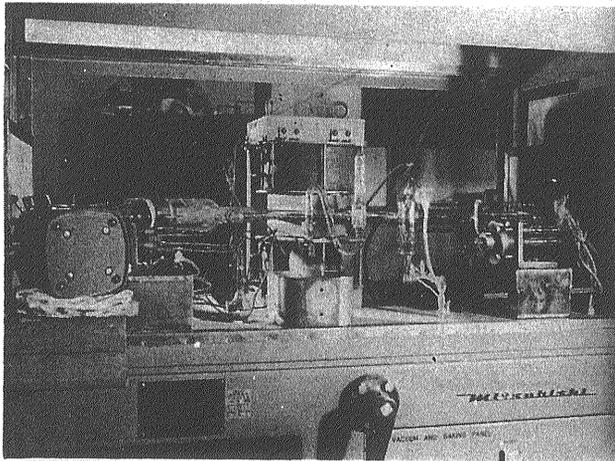
蛍光X線分析装置 (化学課)(主成分分析を目的とする)



高感度ガスクロマトグラフ 微量ガス成分の分析用 (地質調査所 地球化学課)



ガスクロマトグラフ 一般ガス分析用 (大型) (地質調査所 地球化学課)



質量分析計 分析部
年代測定用質量分析計の主要部で 右側イオン・ソース 中央電磁石 左側コレクター分析管: パイレックスガラス製 1500mm60° 分析感度: 10⁻⁸ml の Ar の同位体比が測定できる (地質調査所 地球化学課)



ガスクロマトグラフ 一般ガス分析用 (小型)
測定車に登載し現地分析にも使用している (地質調査所 地球化学課)

* 普通 X-ray Spectrometry を使う

査の作業と密接につながっていたのと 相似関係にある。この研究室の業績は 地質調査所における地球化学的研究の重要性を認識させてくれた。

また同じく 昭和23 (1948) 年8月には 地質部に岩石鉱物課がおかれ その中に岩石鉱物物理化学研究室がつけられた。この研究室の業務には 岩石学 鉱物学 化石 化学分析などを一体とした地球化学的研究を進めようとする意図が明らかであった。

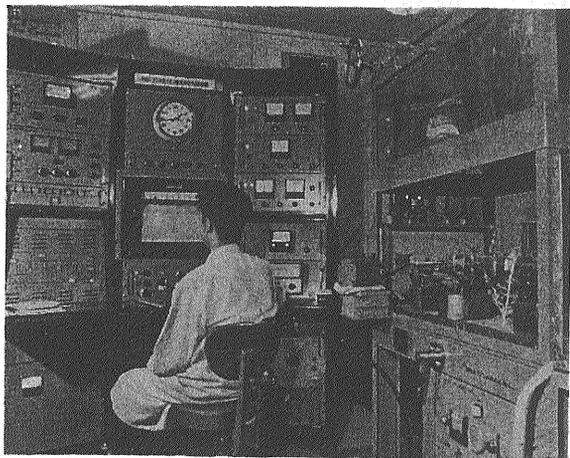
昭和24 (1949) 年にはじまった水溶性天然ガス鉱床のガス付随水を主として用いる地球化学探鉱法が 兼子勝 金原均二の両博士の指導下で 石油課員などによって手がけられ 前記の地球化学研究室との協力によって成果をあげた。大きな成果の一つに東京ガス田の発見がある。同じく昭和24 (1949) 年10月には 地質調査所ではじめて石油・ガス以外の地球化学探鉱が能登半島の燐鉱を対象にして 水理地球化学法および土壤法によって行なわれ こえて昭和25 (1950) 年に山形県大泉鉱山の探査へと発展していった。

昭和30 (1955) 年前後には 地質調査研究業務に対する地球化学的研究の必要性が さらに大きくなり 昭和28 (1953) 年 所長に就任した兼子勝博士は 昭和30年8月1日付をもって 次の3研究室からなる地球化学課の設立を決定した。

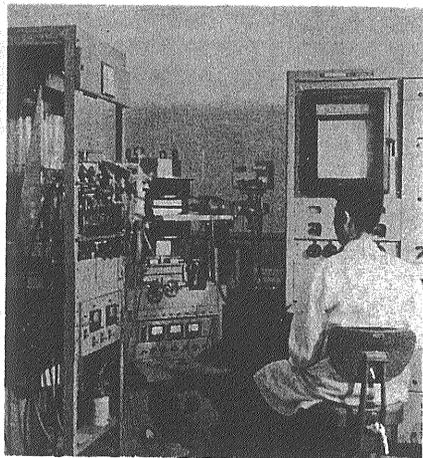
1. 岩石鉱物中の同位元素の研究
2. 岩石鉱物中の微量成分の研究
3. 地質鉱床調査に必要な地球化学技術の研究

地球化学課の設立にあたっては 事前に所内に設立準備委員会を設け その方向としては 次の点が出されている。

- ① 参考としてアメリカ地質調査所の地球化学および岩石部門をとる
- ② 研究課としてのばすこと
- ③ 所内の地質部課および物理探査部と密接な関係をもつようにすること



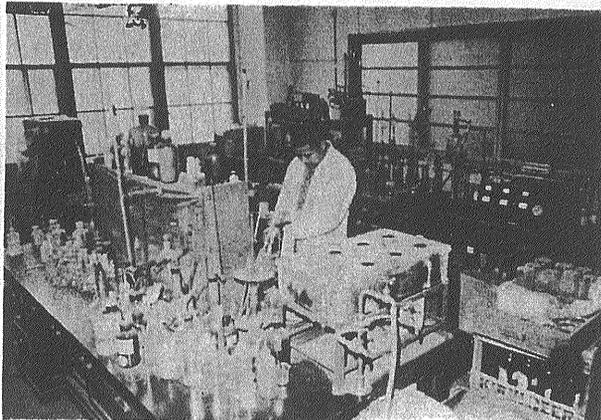
年代測定用質量分析計: K-Ar 法による年代測定において Ar の同位体比測定に用いられる。右側 分析計本体 左側 電源部 (地質調査所 地球化学課)



同位体比精密測定用質量分析計 C.N.O.S 等の同位体組成の天然におけるわずかな変化を測定する装置。左側 計料部 中央分析部 右側 電源部 分析管: ダブルコレクター 200mm 90° (地質調査所 地球化学課)



位相差顕微鏡で結晶表面の観察 (地質調査所 地球化学課)



実験室 一般分析用 (地質調査所 地球化学課)

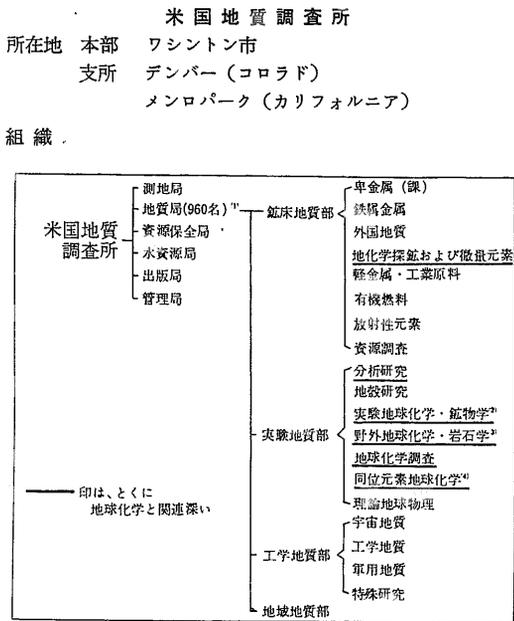
したがって設立以来の地球化学課では 次の方針に沿って研究をすすめてきた。

- ① 数多くの測定値を積みかさねた研究を進展させる
- ② 資料整備を重視する
- ③ 所内の他の部すなわち鉱床 燃料 地質 物理探査から併任者を出してもらい その協力によって 地質学 地球物理学と密接な関係をたもつ状態で地球化学の研究を進める
- ④ 最新の機器の設置を希望する
- ⑤ 国内外の学会の活動を重視する

この間におけるおもな研究対象で かつ成果をあげたものは 次のようである。

黒鉱々床の地球化学的研究

第5表 アメリカ地質調査所およびカナダ地質調査所の機構



- (1) 10カ年計画で 現在員960名を1,750名にする
 - (2) 岩石 鉱床の生成温度 圧力 化学成分などを決定し それらの生成機構を明らかにする 研究対象には火成岩 堆積岩 変成岩も含まれ また水溶液の化学 鉱物群の研究 実験的研究も含まれる
 - (3) 岩石の生成の概念と原理を野外観察の解釈に応用する 火山現象 岩石学 熱水性母岩変質 温泉作用 火成岩中の微量元素を含み 特殊元素の経済面も考慮した研究も含む
 - (4) 当面の研究は放射性同位元素による地質年代の決定が主であるが とくに軽い安定同位元素の研究に 大きな努力がはらわれようとしている
- * 米国地質調査所では地球化学的資料の編集に努力している 1962年から発足して 各種元素の調査と総合分析をしている 資源 衛生面にも利用されている また「地球化学図」が作製されている
- * 生物地球化学の研究も進められている 炭酸塩堆積物中にあるバクテリアによって 水素と電気酸を発生させる研究や 特殊生物が特殊金属を濃集することに関する研究などがある
- * 地殻の組成的研究では UMP (International Upper Mantle Project) と合わせてとりあげられる面もある
- * 分析研究室では 精密分析と迅速分析の研究がすすめられている

- 接触交代鉱床の地球化学的研究
- キースラーガーの地球化学的研究
- 西日本玄武岩類の岩石学的・地球化学的研究
- いわゆる大山火山帯火山岩類の岩石学的・地球化学的研究
- 結晶の表面構造の顕微鏡的干渉法的研究
- 水成岩の化学組成による堆積環境の研究
- 水成岩の有機物の研究
- 天然ガスの微量成分の地球化学的研究
- K-Ar 法による地質絶対年代の研究
- 地球化学的標準試料の作成

以上のほかに ヘリウム資源 ウラン鉱床 天然ガス および石油鉱床 地下水 地すべり 地熱などの地球化学的研究がとりあげられている。なお 当然機器分析の研究も進められ 成果が公表されている。

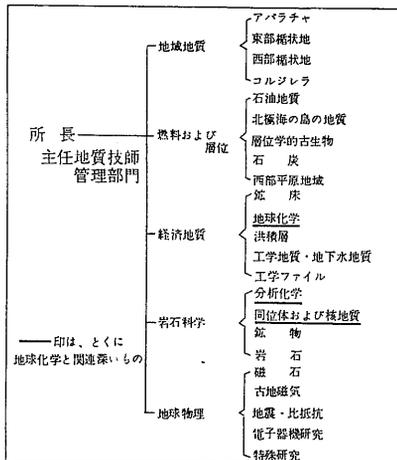
昭和37(1962)年秋には 地球化学討論会が溝ノ口本所で開かれた。同じく昭和37年には地質絶対年代決定懇談会の第一回の会合が本所でもたれ その事務局が地球化学課におかれて今日におよんでいる。

地球化学課で得られた研究成果は 地質調査所の出版物で公表される外 たとえば鉱物学会 化学会 地球化学会 鉱山地質学会 鉱業会 石油技術協会 火山学会 地質学会 分析化学会 分光学会 質量分析学会 岩石鉱物鉱床学会 物理学会 国際火山学会 アメリカ鉱物

カナダ地質調査所

人員 420名(うち博士150名)
夏季にはこのほか大学から多数が調査に参加
予算 700万 カナダドル
プロジェクト 200
所在地 本部 オタワ 支所 アルバータ州(石油関係約30名)
研究者の専攻 地質 鉱物 古生物 地理 化学 地球化学 物理 地球物理 数学 植物 動物

組織



第6表 ソ連における地球化学関係の研究機関

— 第2表以外の —

(日本地球化学会1964による)

Institute of Geochemistry (1958, Organized for the development of Siberia) (地球化学研究所) (シベリア開発のために1958年につくられた機関)
 Laboratory of Precambrian Geology (先カンブリア地質実験室)
 Institute of Geology (地質学研究所)
 Far Eastern Geological Institute (極東地質研究所)
 Institute of Geological Sciences (地球科学研究所)
 Radium Institute imeni V.G. Khlopov (ラジウム研究所)
 Hydrochemical Institute (水圏化学研究所)
 Institute of Oceanology (海洋学研究所)
 State Hydrological Institute (国立水文研究所)
 All-Union Scientific-Research Geological Institute (全ソ地質学研究所)
 Institute of Geology (地質学研究所)
 Institute of Geology and Mineral Resource (地質学、鉱物資源研究所)
 All-Union Scientific-Research Institute for Water Supply, Sewage, Hydrotechnical Structures, and Engineering Hydrology (全ソ上・下水道 水工学 応用水理学研究所)
 Institute of Mineral Resources (鉱物資源研究所)

学会 国連の会議などの諸機関を通じて公表されている。昭和40(1965)年10月1日には 地球化学課に新たに 鉱物化学・岩石化学の研究室が増設され 従来の3研究室に加えて 4研究室制によって研究を進めることになった。昭和40年11月20日 同課の現在人員は13名である。

I. 6 地球化学研究の将来について

日本地球化学会の調査による わが国の地球化学の研究と教育の1963年における状態は すでに I. 3項の最後の部分の第3表に示した。

一方 アメリカ地質調査所とカナダ地質調査所の機構は 第5表のとおりである。

またソ連の地球化学 地質関係の機関には I. 2項で述べたもの以外に第6表のようなものがある。

以上わが国と いわゆる先進3カ国の事情を総合して今後の地質調査所の地球化学関係の仕事を進める上で考慮すべきものとして次の各条が考えられる。

- (1) 研究対象は わが国のおかれている地域性を考えてえらぶこと たとえば ①火成活動に関連する温泉地熱 地震 火山 鉱床などの研究 ②海洋に囲まれた特性を生かした大陸棚 島孤 地球化学的輪廻などの研究 ③日本の気候に合わせた地球化学の研究 ④わが国の工業技術の特徴と合わ

せた研究面の開拓 ⑤微細地質調査に合わせた微細地球化学の研究などが考えられる。

- (2) 総合的地球化学の研究を進めること。たとえば地質 地球物理 地球化学の三位一体によって進められる研究の利点をのぼすこと ここで強調したいのは地球化学の研究では ルーチンの化学分析がきわめて重要であるという事実である。とくに地質調査所は 仕事の性質上この点に留意しなくてはならないと思われる。
- (3) 同位体地球化学の発展をはかること
- (4) 地球化学探鉱の方法と技術を開発してゆくこととくに地質学者のこの面への進出を期待するとともにこの面の研究はとくに国際的視野にたつたものを早く形造る必要がある。
- (5) 一方基礎研究を多く受けもつ いわゆる先進国型の地質調査所の内容の研究へと移化すること。そのためには 地質学と密着した理論および野外地球化学の研究と 物理・化学などの基礎科学に密着した理論および実験地球化学の2面を合わせ育てる必要がある。すなわち具体的には実験面では高温高压実験 熱水合成実験などを含み 理論面では熱力学が重視される。もちろんこの点については 地球科学関係の他省庁 大学などの研究関係の将来計画も考慮に入れた 総合的判断を必要とすることはいうまでもない。
- (6) 以上の観点にたつて 地質調査所の地球化学的研究業務を遂行するには 国内外の学会その他の事情をよく知る必要がある。

地質調査所の研究をすすめる上で 研究者の確保は大きな問題である。現在は大学の化学または地学科出身者が本所において数年間の地球化学者としての勉強訓練をへて研究者として育てゆく。すなわち 当所の将来の研究のためには 大学における地球科学研究者の教育・養成などにきわめて大きく左右される性質が含まれている。大学教育の内容についてもそのいくつかを変更し 近くは地球化学の授業を重視する方向へと向いつつあるように聞いているので わが国における地球化学の研究は 近い将来 著しく発展する要素を含むものと期待している。

(筆者らは 技術部地球化学課)