

# 地球化学の成立と第一次世界大戦

—『Victor Moritz Goldschmidt: Father of Modern Geochemistry』の不十分な点—

## Establishment of Geochemistry and World War I —Imperfections in *Victor Moritz Goldschmidt: Father of Modern Geochemistry*

北 林 雅 洋<sup>1)</sup>

Masahiro Kitabayashi

### 1. はじめに

本論文は、「現代地球化学の父」のサブタイトルで1992年に出版されたゴールドシュミットの伝記<sup>1)</sup>の不十分な点を、筆者が1987年にまとめた修士論文<sup>2)</sup>をふまえて検討する。それによって、地球化学成立の時期と、その成立に第一次世界大戦が大きな影響を与えていたことが、より明確になる。そして、第一次世界大戦がもたらした科学と社会の新たな関係について、これまで十分に着目されてこなかった重要な側面があることも、明らかになる。

国際地球化学会は、ゴールドシュミット (Victor Moritz Goldschmidt, 1888-1947) の功績を称えて1972年に「ゴールドシュミット賞」を創設し、毎年、表彰を実施してきた。そのゴールドシュミットの伝記がBrian Masonによってまとめられ、同学会の「Special Publication」の一冊として1992年に出版された。Masonは、1990年3月に当時のノルウェー地質調査所所長から譲り受けた144箱（一箱の大きさは不明だが）に及ぶ膨大で貴重な資料を用いて、他の研究者との交流や手記、重要な出来事なども織り交ぜながら、コンパクトにゴールドシュミットの生涯をまとめた。なお、河内洋佑による日本語訳「現代地球化学の父：ゴールドシュミット」が、2000年の『地質ニュース』に8回に分けて連載されている<sup>3)</sup>。

筆者は1987年に地球化学の歴史に関する修士論文をまとめた。そのすぐ後に出版されたMasonによる伝記を検討する機会が持てないまま、今日に至ってしまったが、他にこれを批判的に検討したものは見当たらない。筆者の修士論文で得られた知見をふまえると、重要な箇所でのMasonの記述の不備を指摘することができる。ゴールドシュミットは主要な論文をドイツ語で著していた。Masonはそれらを

英語に翻訳して紹介している。Masonによると、1922年にゴールドシュミットは新しい地球化学の概念的基礎を確立したのであり、2編の論文が重要なのだという。しかしMasonが示すそれらのタイトルは、もとのドイツ語の意味を反映したものになっていない。本論文では、これらの不備について具体的に確認する。

不備の確認は、もとの重要な意味を明らかにすることでもある。それによって、「概念的基礎」と「確立」の時期とに関するMasonのとらえ方が再検討されることになる。また、第一次世界大戦によってゴールドシュミットの研究の方向が大きく変わったとして、第一次世界大戦中の彼の活動をMasonは紹介しているのだが、その活動の中でも特に着目すべき点についても、再検討されることになる。

戦争において科学研究が果たす重要な役割について、社会的な共通理解をもたらしめたのが第一次世界大戦であった。大戦中に毒ガス研究に携わった科学者の次の言葉は有名である。「この戦争は、誰の目にも明らかのように、兵士たちの戦争という以上に科学者たちの戦争だった」<sup>4)</sup>。第一次世界大戦の特徴として「科学者・技術者が国家に協力する戦時体制が敷かれ、進歩した科学技術が軍事に応用された結果、新兵器が次々と登場した」ことが指摘されている<sup>5)</sup>。そのような共通理解に基づいて、第二次世界大戦では原爆開発などに多くの科学者が動員された。軍事技術のための科学研究の有用性・重要性は、今日においても重視されることだが、それは第一次世界大戦がもたらした事態の一つの側面である。ゴールドシュミットも、ノルウェー政府の依頼を受けて第一次世界大戦中に資源探査や代替資源開発を精力的に行った。そして大きな成果を挙げて、戦後もノルウェー政府から援助を受けて研究を進めた。しか

1) 香川大学教育学部

し、ゴールドシュミットが携わったのは軍事のための研究ではなかった。第一次世界大戦がもたらした科学と社会の新たな関係には、もう一つの重要な側面があったのである。この側面についても、本論文の最後に検討する。

## 2. 地球の物質代謝：1922年

B. Masonは、1922年がゴールドシュミットの地球化学の概念の発展と研究計画にとって決定的な年であったと述べ、「短いが独創的な論文2編」のタイトルを紹介している<sup>6</sup>。「Der Stoffwechsel der Erde (The differentiation of the Earth)」と「Geochemische Verteilungsgesetze der Elemente (The law of distribution of the chemical elements)」というように、元のドイツ語タイトルを示したうえで( )内に、その英語訳を示すのである。

しかし、元のドイツ語の重要な意味内容が英語訳には反映されていない。ドイツ語で「地球の物質代謝」となっているタイトルが英語訳では「地球の分化」とされ、生物の特徴である物質代謝を地球に当てはめるとらえようとする「独創的」な視点が、英語訳には反映されていない。また、ドイツ語タイトルの「元素の地球化学的分配則」は英語訳では「化学元素分配の法則」とされてしまい、肝心の「地球化学的」が抜け落ちてしまっている。

ゴールドシュミットの「地球の物質代謝」は、1922年に同じタイトルで次の3つの雑誌に掲載された。

- ① *Videnskapsselskapets Skrifter. I. Mat. -Naturv. Klasse.* 1922, No.11, 1-25
- ② *Zeitschrift für angewandte Chemie*, 35, 1922, 582-583
- ③ *Zeitschrift für Elektrochemie und angewandte physikalische Chemie*, 28, 1922, 411-421

①と③は同じ内容で、②はその要約となっている。①はノルウェーの雑誌で、②と③は国際的な雑誌である。①の「注」には「1922年9月21日、ドイツブンゼン協会年次総会における講演」と記されている。②の冒頭には「この講演は、地球を構成する諸化学成分の分配と移動を論じる」と述べられ、「地球化学」という用語こそ用いられていないが、地球全体を対象に元素の移動を論じるという点で、地球化学の歴史において画期となるものであった。

ゴールドシュミットはここで、地球の化学的進化の概要を示した。初期の地球では重い成分が中心に、軽い成分が外側に濃縮される、重力分離がまず起こり、外側から気圏、水圏、珪酸塩殻、エクロジャイト殻、硫化物-酸化物殻、中心の金属核へと分離する。さらに、珪酸塩殻内部での物理化学的物質移動の三つの主要形態が論じられる。すなわち、結晶作用の物理化学的法則として分別結晶作用、珪酸塩殻表面での物理化学的過程として風化・浸食・堆積作用、そして珪酸塩殻内部での溶液・気体の移動・置換として変成作用（特に交代作用）についてである。

第一次世界大戦以前に「地球化学」をタイトルに含む出

版物としてよく知られていたのは、アメリカのF. W. Clarkeの『The Data of Geochemistry』である。初版が1908年に出版され、その後第2版が1911年、第3版が1916年、第4版が1920年、第5版が1924年に出版された。Clarkeは1889年の論文「化学元素の相対的存在度」において初めて「地殻の平均化学組成」を示していた。この時のClarkeには、地球全体の化学元素の相対的存在度を明らかにするという問題意識はあったのだが、確実なことが言えないため、確実なデータとして「地殻」のそれを示したのである。それは『The Data of Geochemistry』の初版から第4版でも同様で、示されていたのは「地殻の平均化学組成」であった。ところが、第5版では「地球の平均化学組成」も数値で示されるようになった<sup>7</sup>。1922年にゴールドシュミットが地球全体を対象にして「地球の物質代謝」を論じた後、Clarkeの地球化学の対象も1924年になって初めて地球全体へと拡大したのである。

また、「地殻の平均化学組成」は火成岩や鉱床の成因に関する研究の基礎として重要な役割を果たし、それらの研究と関連して精緻化されていった。1889年にClarkeが示した「地殻の平均化学組成」は0.1%以上で存在する19種類の元素で表されていた。火成作用と結びついた金属鉱床に関する研究を行っていたノルウェーのJ. H. L. Vogtは、0.1%以下で分布する元素の相対的存在度を問題にしていた。1898年にVogtは、希少元素の相対的存在度を導き出し、それらの相対的な濃縮の規則性を火成岩のタイプと関連づけて明らかにした<sup>8</sup>。「最も多く分布する重金属、つまり鉄、マンガン、クロム、ニッケル、コバルト、さらにチタン」は「塩基性火成岩に濃縮し」、「スズ、タングステン、タンタル、ニオブ、さらにセリウム-イットリウム金属、トリウム、ジルコニウム」は「酸性岩と結びつけられる」というのである。アメリカのH. S. Washingtonは1908年に、それらの「関係はもっと複雑であり」、「ほかの構成要素の相対的な量、ナトリウム、カリウム、鉄、マグネシウム、石灰に明らかに依存する」ことを明らかにした<sup>9</sup>。1880年代から20世紀初頭にかけて、鉄鋼業や電気工業の発展を背景に、利用される金属が量的に増大し種類も多様化していった。例えば鉄鋼業においては、マンガン鋼、ニッケル鋼、クロム鋼、タングステン鋼などのさまざまな特質をもった合金鋼（特殊鋼）が発明され実用化されていった<sup>10</sup>。それら金属の資源探査において、元素分布の規則性に関する認識は重要な役割を果たした。そして、1922年の「地球の物質代謝」においてゴールドシュミットは、そのような元素分布の規則性がどのようにしてもたらされたのか、つまり地球の歴史における元素の移動の仕方を論じ始めたのである。

## 3. 元素の地球化学的分配則：1923年

B. Masonは、前記のように、「短いが独創的な論文2編」

の一つとして1923年の論文「元素の地球化学的分配則」<sup>11</sup>も位置づけるのだが、下に引用する内容については言及していない。そのため、「新しい地球化学の概念的基礎を確立した」<sup>12</sup>とMasonは指摘するのだが、確立された概念的基礎がどのようなものかは、明確には示されていない。

ゴールドシュミットが「地球化学」という用語を最初に用いたのは、この論文においてであった。その冒頭で彼は、地球化学の課題について次のように述べていた。

化学元素がどのような数量関係で分布しているのか、それがどのような過程にあるのか、個々の元素の局所的な富化作用に何が決定的であるのか、そういうことを確定することは、地球化学の最も関心を引く、そして最も重要な課題に属する。

そして、その前年の「地球の物質代謝」に言及したうえで、この論文の課題を次のように示していた。

以前の説明において私は、岩石中の物理化学的諸過程を「地球の物質代謝」としてみなせることを示した。今回、私は多くの主要な場合において物質代謝過程の方向に決定的な影響を及ぼし、今日の元素の分配状態への道程において重要な意義を持ついくつかの一般的な諸原理に言及したい。

この論文では主に、元素の地球化学的分類が示される。「地球の物質代謝」で示された地球の化学的進化の過程をふまえて、各元素が「親鉄元素」「親銅元素」「親石元素」「親気元素」に分類され、「親石元素」はさらに「初期結晶作用の元素」「主結晶作用の元素」「残余結晶作用の元素」に分類される。これらの分類は、冶金における経験的知識や隕鉄や隕石の化学組成の分析、鉄くずの分析、地球上の岩石の広範な化学成分分析の結果に基づいて行われた。

ゴールドシュミットは引き続き、研究の進展によって明らかになったことを「元素の地球化学的分配則」の続報として発表していった。

「元素の地球化学的分配則Ⅱ—地球化学的分配則と原子構造との関係」(1924年)では、元素の地球化学的分類が原子構造とどのように関係しているかが論じられた。

「元素の地球化学的分配則Ⅲ—鉱物中の希土類元素の分布に関するX線分光写真研究」(1924年)では、定量分析の成果が報告され、元素の相対的存在度の規則性がここでも確認された。

「元素の地球化学的分配則Ⅳ—希土類金属酸化物の結晶構造について」(1925年)では、希土類金属の3-2酸化物の結晶化学的類似性が、酸化物の格子寸法との関係で議論された。その議論をさらに広げて「元素の地球化学的分配則Ⅴ—3-2酸化物の同形と多形、ランタニド収縮とその帰結」

(1925年)では、いろいろな3-2酸化物の結晶の相関を論じ、3価の元素の地球化学についてまとめられた。その議論を2価と4価の元素についてまで拡大したのが「元素の地球化学的分配則Ⅵ—金鉱石型の結晶構造に関して、2価と4価の元素の地球化学に対する所見とともに」(1926年)であった。これらの研究成果から導き出される結晶化学の諸法則をまとめ、各元素のイオン半径とともに提示したのが「元素の地球化学的分配則Ⅶ—結晶化学の諸法則」(1926年)である。

「元素の地球化学的分配則Ⅷ—結晶の性質と構成に関する研究」(1927年)は、明らかになった結晶化学の諸法則を基礎に、各種の結晶の、配位数と粒子間距離との関係、化学組成と結晶構造との関係、結晶の硬度等を論じたもので、ゴールドシュミットの結晶化学研究の集大成ともいえる。

これらの論文はすべてノルウェーの雑誌に掲載されたが、1929年にはドイツの雑誌に「元素の地球化学的分配則」が掲載された<sup>13</sup>。ここでは、それまでのゴールドシュミットの研究成果が簡潔にまとめられ、鉄融解物、硫化物融解物、珪酸塩融解物、蒸気相のそれぞれの間での元素の分配及び珪酸塩融解物の結晶化の過程での元素の分配が論じられた。

ゴールドシュミットが1922年の「地球の物質代謝」において示していた、珪酸塩殻表面での物理化学的過程としての風化・浸食・堆積作用に関する分配則の解明は、1930年代に進められた。それらの成果をまとめて1938年に「元素の地球化学的分配則Ⅸ—元素及び原子種の数量関係」が発表された。ここでは、元素ごとに地球化学的挙動が論じられた。

#### 4. 地球化学の課題と方法:1926年

B. Masonは、ゴールドシュミットが1926年にドイツの雑誌に発表した「地球化学の課題と方法」<sup>14</sup>について、何も言及していない。地球化学の成立を問題にするのであれば、その課題と方法についてまとめて論じた論文は注目には値するはずなのである。

この論文でゴールドシュミットは地球化学の任務と目標について次のように示した。これらは、彼が1923年の「元素の地球化学的分配則」で述べていたことを、より一般化し端的にまとめて示したものと見える。

地球化学の任務は、一方では、地球の定量的化学構成をしっかりと確定することであり、他方では、それらによって個々の元素の分配の仕方が規定されるような諸法則を見出すことである。

今日の地球の物質分配を、合法的な分配過程の結果として認識することが、地球化学の目標である。

元素の地球化学的分配則に関する研究を精力的に進めていたゴールドシュミットは、それまでの成果と残された課題について、研究の方法・進め方も論じながら、この論文でまとめて示したのである。例えば「親気元素」に関して次のような課題があることを示していた。「沃土の歴史は部分的にまだ謎に包まれている」、「大気酸素含有量もまた、地球化学者に、さらに重要な未解決の課題を示す」。また、珪酸塩殻表面での風化・浸食・堆積作用などに関して、つまり「すでに固まった岩石物質の二次的物質転換」に関しては、「ここでこの物質転換とその合法則性を扱うとすれば、それは手に余る」と述べ、残された課題であることを指摘していた。

このように、その課題と方法がまとまった形で示されたことにより、地球化学は成立したといえる。

当然ではあるが、他の研究者による重要な成果についても、この論文には位置づけられている。特にロシアのW. Vernadsky<sup>15</sup>の研究について、ゴールドシュミットは重要な成果として、次のように位置づけていた。

岩石圏と大気圏との間の境界層は、特に生物圏としての意義がW. Vernadskyによって強調されたわけだが、生命物質と非生命物質との間の特に強烈な物質取引の現場であるため、物質分配の地球化学的進化への生化学的変換の寄与がさらに加わる。

岩石圏と大気圏、生物圏の間での種々の、そして重要な相互作用は、特にW. Vernadskyが完全に説明したように、今日の地球の物質分配に大規模に関与している。

ゴールドシュミットが1922年の「地球の物質代謝」において示した地球の化学的進化の過程には、生物の作用は位置づけられていなかった。それを補うものとしてVernadskyの研究を、ゴールドシュミットは重視していたのである。

Vernadskyは1924年にフランスのパリで『La Geochimie』を出版していた。これを日本にいち早く紹介していた高橋純一は、1933年に日本語訳を出版した<sup>16</sup>。この日本語版は、Vernadskyによる1930年のドイツ語増補改訂版やロシア語改訂版用原稿を高橋が参照して翻訳したもので、1933年時点でのVernadskyの成果を高橋がまとめたものといえる。その高橋の「訳訂者の言葉」によると、「ゴールドシュミットの学派」の「結晶化学的方法を主とする、云わば分析の実験的なるに対し」、Vernadskyが「専ら鉱物学的、生物学的方法に拠って、云わば経験的総合的なる点において、興味ある対照を示す」ということである。Vernadskyも1920年代には地球における元素の移動・歴史を論じるようになっていたが、それは主に生物の作用に着目して「経験

的」な方法に拠るもので、したがってその対象は地球表面が主であった。

ゴールドシュミットがVernadskyと親しく交流があったことを、B. Masonは手紙<sup>17</sup>や写真<sup>18</sup>も示して紹介している。

## 5. 定量的地球化学の基礎：1933年

B. Masonは、ゴールドシュミットが1934年に炭素の地球化学的循環を定量的に明らかにしたことを紹介し<sup>19</sup>、1936年のノルウェー語の論文の一部を英語訳し、「彼の注目すべき先見性」として次のように引用している<sup>20</sup>。

炭素循環は特に興味深い。工業的に石炭その他の燃料を消費することが既に大気中の二酸化炭素の量に重大な影響を及ぼしているからである。毎年、燃料の消費によって大気中に加わる二酸化炭素の量は、世界の火山から供給される量の200倍に達している。このことは現代の人類活動が地球化学的ファクターとして非常に重要であることを示すものである。

『温暖化の＜発見＞とは何か』<sup>21</sup>においてワートは、「ロシアの地球化学者ヴラディミール・ヴェルナツキー」が「人間の産業によって生み出された物質の体積は地質学で扱うべき量に近づきつつあると気づいた」ことを紹介している<sup>22</sup>。しかし、二酸化炭素について定量的に論じたゴールドシュミットについては言及がない。その点で、B. Masonの指摘は重要であり、広く知られる必要がある。

しかし、ゴールドシュミットが最初に炭素の地球化学的循環を定量的に示したのは、1934年の前年の1933年であった。B. Masonが紹介したのは1934年の「地球化学に関する三つの講演」<sup>23</sup>だが、1933年に「定量的地球化学の基礎」<sup>24</sup>が発表されていて、その中で同様の内容が示されていた。ゴールドシュミットは、1933年に示した図の中に本文中で示した数値を書き入れてわかりやすくした図を作成し直して、1934年に掲載したのである。

論文「定量的地球化学の基礎」では、まず、気圏・水圏の量と化学組成、火成岩の平均化学組成、堆積物の量などが見積もられ、炭素や沃土の循環といくつかの元素の地球化学的収支表について議論された。地球表面での物理化学的諸過程における元素の分配を論じるための基礎資料と、その方法とが提示された。前記の通り、1926年の「地球化学の課題と方法」においてゴールドシュミットが、「手に余る」としていた「すでに固まった岩石物質の二次的物質転換」と「その合法則性」、「部分的にまだ謎に包まれている」としていた「沃土の歴史」、「重要な未解決の課題」としていた「大気酸素含有量」に関して、解明を試みていたのである。

このように重要な位置を占める「定量的地球化学の基礎」なのだが、B. Masonは全く言及しておらず、この点で

も見過ごせない不十分さがある。

## 6. 第一次世界大戦中の原料委員会の活動

1922年に「地球の物質代謝」を発表し、1923年から系統的に「元素の地球化学的分配則」の解明を進めたゴールドシュミットであったが、それ以前はオスロ地域の接触変成岩の研究やノルウェー南部の高山地帯の地質学的・岩石学的研究で重要な成果を挙げていた。「第一次世界大戦によってゴールドシュミットの科学研究の方向は大きく変わった」<sup>25</sup>であり、原料研究所での彼の活動に注目してB. Masonは第4章のタイトルを「The Raw Materials Laboratory」とした。

戦争によって輸入が途絶えるようになり、ノルウェー政府は1917年11月に原料委員会を組織し、ゴールドシュミットがその委員長となった。原料委員会の決定により、政府からの財政援助を得て新しく原料研究所が開設され、スタッフが雇われ新設備が整えられた<sup>26</sup>。「原料研究所の初期の仕事」をB. Masonは次のように紹介している<sup>27</sup>。

もっぱらそれまで輸入に頼っていた物質の国内での発見と、可能なら適当な代替物質の発明に向けられていた。これらには粘土または灰長石（略）からのアルミニウムの生産；輸入カリ肥料の代わりにカリの多い鉱物、特に黒雲母の利用；燐酸塩鉱床の探査；塗料に利用する二酸化チタン製造のためのノルウェー産イルメナイトの利用などがある。

Masonが「カリ肥料」に言及するのはこの部分だけで、実施された調査・研究活動は紹介されていない。しかし、ゴールドシュミット本人が語るところによると、カリウムの問題は特に重要で、実用化に向けてかなりの調査・研究が実施された。

ゴールドシュミットは1925年4月22日にオスロ市手工芸・工業協会において「原料委員会の仕事」と題する講演を行っていた。その内容が「産業的諸問題に関する調査研究」と題して雑誌に掲載された<sup>28</sup>。ゴールドシュミットは次のように述べていた。

委員会の活動目的の中心であり、我々自身が最重要とみなす仕事に、農業資源に関する調査が含まれている。我々がこの分野で特に重視したのは、リンおよびカリであった。

ただし、「我々のリン資源に関する調査はまだ比較的初期の段階にある」と率直に認めていた。その一方で「ノルウェー国内でのカリの調達に関しては相当に研究した」と述べ、次のように説明していた。

ノルウェーの土壤に含まれている利用可能なカリが、何を起源としているかということについて、相当量の調査を行った。この調査は私が指導して行ったが、その結果、予想していた以上に雲母鉱物、特に黒雲母が重要な役割を果たしていることが判明した。この調査は、ノルウェーの岩石類の鉱物組成および風化性に関する広範囲で組織的な研究に基づいていた。

そのうえで、「特にカリ分の乏しい沼土での効果が絶大」で、「黒雲母を利用することは湿地の土壤改良にとって特別に大切」になると指摘した。そして「実際の農業に我々の研究で得た結果をどのような形で利用すれば良いか」という点についても研究を進めたことを紹介し、「経済的に最も有利な利用法は次のようなやり方」だとして、その方法を説明していた。

このように、第一次世界大戦中の原料委員会の活動を通して、ゴールドシュミットは岩石に含まれる元素の挙動に着目するようになり、その後の地球化学的研究の基本的な視点を獲得していたのである。

## 7. 人類活動の制御に関する客観的な根拠

第一次世界大戦の輸入途絶によって「カリ肥料」問題が発生したのはノルウェーだけでなく、多くの国においてであった。第一次世界大戦直前の1913年には、カリウム資源の産出量はドイツが世界の98%を占めていた<sup>29</sup>からである。カリウムだけでなく、多くの原料の自給問題が、交戦国のみならずノルウェーのような中立国にとっても切迫した問題となった。各国のおかれた条件によって、それへの対応には違いがみられた。地球化学の成立に大きな関与をした科学者たちがいた国々、つまりアメリカ、ロシア、ノルウェーの対応には、大きな違いがあった。

アメリカでは、第一次世界大戦前に外国に依存していた鉱物資源のうち、国内資源探査の結果、硝酸塩やカリウム、マンガン、クロム、マグネシウムについてはほとんど自給できるほどの鉱床を発見することができた。しかし、スズ、ニッケル、プラチナ類、バナジウム、ジルコニウム、コバルトなどは、ほとんどあるいはかなり、外国に依存せざるを得なかった<sup>30</sup>。これらの不足原料に対しては、南アメリカの鉱山へのアメリカ大企業の進出<sup>31</sup>などにより、かなり安定した供給条件を作り出した。

ロシアは第一次世界大戦前には鉱山業の大半が外国資本の下に置かれていた<sup>32</sup>。戦争が始まると間もなく、燃料と原料のひどい危機に見舞われた。このような原料不足に対して国内資源の探査が積極的に行われるようになったのは革命が起こってからだった。その結果、燐灰石やカリ塩も含め、多くの重要な鉱物資源が発見され、開発されていった<sup>33</sup>。

ノルウェーは第一次世界大戦前、黄鉄鉱やチタン鉄鉱、

モリブデン、ニッケルなど、限られた鉱物資源の産出しかなかった<sup>34</sup>。第一次世界大戦中も1916年までは、中立国として連合国側やドイツと貿易を行うことができ、原料の自給問題はまだ生じていなかったのだが、1917年になるとドイツの潜水艦の攻撃により多数の商船が沈没させられ、外国からの原料の輸入は困難になった<sup>35</sup>。ノルウェーは交戦国ではなかったため、軍事用の原料供給問題は生じなかったが、国民生活と直結した部門での問題が生じた。その中で重要なものの一つが、農業肥料用原料の問題だったのである。ノルウェーの地質条件ではリンやカリウムについて、すでに知られた型の鉱床の発見は期待できなかった。その点がアメリカやロシアとは大きく異なっていた。そこでゴールドシュミットは、土壌中の元素の起源を解明し、それを利用しようとした。カリウムについてはそれに成功し、黒雲母を活用する経済的に有効な方法が明らかにされたのである。

地球における元素の移動の規則性を明らかにし、それに沿うように人為的な作用を加え、望ましい結果を得る、そのような行動様式が、第一次世界大戦を通して形成されたのである。ゴールドシュミットが解明を進めた「元素の地球化学的分配則」は、地球化学的ファクターの重要な一つとして人類活動を位置づけ、その影響を定量的に明らかにすることを可能にした。地球化学は、地球化学的ファクターとしての人類活動を制御する際の客観的な根拠を提供する、そのような機能も果たすのである。

第一次世界大戦を契機に、地球化学的ファクターとしての人類活動の影響を定量的に明らかにする科学が形成された。それは、人類活動の一種である戦争の地球化学的ファクターとしての影響を定量的に明らかにし、その制御のための客観的根拠を提供するという機能も果たしうる。

## 8. おわりに

本論文では、第一次世界大戦中の原料委員会でのゴールドシュミットの活動をある程度具体的に確認し、その活動を通して彼が岩石中の元素の挙動に着目するようになり、地球化学の基本的な視点を獲得していたことを明らかにした。しかし、活動の中で何を考えていたのかは確認することができていない。したがって、1922年以降に展開される系統的で体系的な地球化学研究をどのようにして構想したのかは、まだ不明である。

その点で注目されるのは、ゴールドシュミットが1918年にノルウェー語で「二つの時代の間」<sup>36</sup>を発表していたことである。彼が第一次世界大戦下において「時代」をどのようにとらえていたのか、興味深い文献であるが、まだその内容を確認できていない。その内容をふまえることで、ゴールドシュミットが構想した地球化学の特徴がより明確になると期待される。

また、人類活動が重要な地球化学的ファクターとして自

覚されるようになった時代という視点から、戦争の性格について改めて検討することも必要であろう。

## 注

- 1 Brian Mason, *Victor Moritz Goldschmidt: Father of Modern Geochemistry* (The Geochemical Society: Special Publication No. 4, 1992).
- 2 北林雅洋「1920年代における地球化学成立の過程とその要因に関する研究」東京工業大学大学院修士論文、1987年2月。
- 3 河内洋佑「現代地球化学の父：ゴールドシュミット」『地質ニュース』545号（2000年1月）pp.34-44、546号（2000年2月）pp.52-58、548号（2000年4月）pp.27-35、550号（2000年6月）pp.53-65、552号（2000年8月）pp.42-58、554号（2000年10月）pp.44-63、555号（2000年11月）pp.29-39、556号（2000年12月）pp.59-65。なお、原著の「まえがき」及び「付録」は翻訳されていない。
- 4 高橋智子・日野川静枝『科学者の現代史』青木書店、1995年、p.32。
- 5 松野誠也「第一次世界大戦と科学技術」日本科学史学会編『科学史事典』丸善出版、2021年、pp.554-555。
- 6 Brian Mason、前掲書1、p.26。
- 7 F. W. Clarkeに関しては、北林雅洋「F. W. Clarkeの地球化学的研究の課題について」『科学史研究』No.168、1988年冬、pp.215-217、参照。
- 8 J. H. L. Vogt, "Über die relative Verbreitung der Elemente, besonders der Schwermetalle, und über Concentration des ursprünglich fein vertheilten Metallgehaltes zu Erzlagersätten," *Zeitschrift für praktische Geologie* (1898) Juli: 225-238, September: 314-327.
- 9 H. S. Washington, "The Distribution of Elements in Igneous Rocks," *Trans. Amer. Instit. Of Mining Engineers* vol.39 (1908): 735-764.
- 10 奥村正二『製鉄製鋼技術史』伊藤書店、1944年。
- 11 V. M. Goldschmidt, "Geochemische Verteilungsgesetze der Elemente," *Videnskapsselskapets Skrifter. I. Mat. -Naturv. Klasse* (1923) No.3: 1-17.
- 12 Brian Mason、前掲書1、p.28。
- 13 V. M. Goldschmidt, "Geochemische Verteilungsgesetze der Elemente," *Phys. Z.*, 1929, 30: 519-520.
- 14 V. M. Goldschmidt, "Probleme und Methoden der Geochemie," *G. Beitr. Geophys.*, 1926, 15: 38-50.
- 15 ゴールドシュミットの表記による。英語表記だとV. Vernadskyとされる。
- 16 ヴェルナドスキー著・高橋純一訂訳『地球化学』内田老鶴圃、1933年。
- 17 Brian Mason、前掲書1、p.57。1932年7月16日付のVernadsky宛ての手紙。

- 18 同上、p.105 Plate23。1932年6月にゴールドシュミットの自宅前で親しく話をしている二人の様子が撮影されている。
- 19 同上、p.65。
- 20 同上、p.66。
- 21 S・R・ワート（増田耕一・熊井ひろ美訳）『温暖化の＜発見＞とは何か』みすず書房、2005年。原著の出版は2003年。
- 22 同上、p.24。
- 23 V. M. Goldschmidt, “Drei Vorträge über Geochemie,” *Geol. Foe. Stockh. Forh.*, 1934, 56: 385-427.
- 24 V. M. Goldschmidt, “Grundlagen der quantitativen Geochemie,” *Fortschr. Miner.*, 1933, 17: 112-156.
- 25 Brian Mason、前掲書1、p.23。
- 26 同上。
- 27 同上、p.24。
- 28 V. M. Goldschmidt, “Forskningsarbeide over industrielle problemer,” *Norges industri*, 1925, 177-190.
- 29 J. E. Spurr, *Political and Commercial Geology and the World's Mineral Resources* (McGraw-Hill, 1920), p.540, Fig.23.
- 30 C. K. Leith, “International Control of Minerals,” *Mineral Resources of the United States* (1917), 7A-16A.
- 31 ソビエト科学アカデミー（江口朴郎ほか監訳）『世界史（近代10）』東京図書、1964年、p.763。
- 32 M・タンザー（落谷硯児・蔵本喜久訳）『資源戦争』大槻書店、1982年、p.239。
- 33 B・スミルノフ（渡辺武男監訳）『新版鉱床地質学』ラテイス刊、1976年、p.24。
- 34 F・フリーデンスブルク（岡崎次郎訳）『世界鉱業論』生活社、1942年、pp.542-544。
- 35 T. K. Derry, *A History of Modern Norway, 1814-1972* (London, 1973), p.284.
- 36 V. M. Goldschmidt, “Mellem to tidsaldre,” *Samtiden*, 1918, 29: 405-417.