

地球化学・宇宙化学研究連絡委員会報告

地球環境に関わる地球化学の推進について

平成9年2月28日

日本学術会議

地球化学・宇宙化学研究連絡委員会

この報告は、第16期日本学術会議地球化学・宇宙化学研究連絡委員会の審議結果を取りまとめ発表するものである。

委員長	石渡良志	(東京都立大学理学部教授)
幹事	秋元 肇	(東京大学先端科学技術研究センター教授)
幹事	野津憲治	(東京大学理学部教授)
幹事	宮本正道	(東京大学理学部教授)
委員	青木謙一郎	(第4部会員・東北大学名誉教授)
	日下部 実	(岡山大学固体地球研究センター教授)
	田中 剛	(名古屋大学理学部教授)
	中澤高清	(東北大学理学部大気海洋変動観測研究センター教授)
	半田暢彦	(愛知県立大学教授)
	松田准一	(大阪大学理学部教授)
	水谷 仁	(文部省宇宙科学研究所教授)
	矢内桂三	(岩手大学工学部教授)

## 1. はじめに

第 15 期地球化学・宇宙化学研究連絡委員会は、審議結果をとりまとめ、1994 年 6 月「日本における地球化学の研究教育体制の確立について」を報告（以下、前回報告という）した。前回報告において研連は、1993 年度より文部省科学研究費補助金の分科細目表の中に細目「地球化学」が設置されたことを背景として、地球化学の重要性を再認識するとともに、わが国における地球科学の発展のためには、地質科学や地球物理学とバランスのとれた地球化学の発展が必須であること、さらに今日の社会的学問的要請に照らして日本における地球化学の研究教育体制が危機的状況にあることを指摘し、解消のための方策を提言した。本報告は、地球環境に関わる地球化学を推進する上での方針を示すものである。

人間活動の活発化に伴って、地球温暖化、酸性雨、オゾン層の破壊、砂漠化などの発生による地球環境システム的大幅な変化が危惧され、その実態の解明、将来の予測と対策は、社会的にも重大な課題となっている。地球環境問題は 21 世紀初頭における人類が直面する最大の課題であると言っても過言ではない。地球環境に関わる研究は、1990 年 4 月に日本学術会議の IGBP の推進についての勧告、つづく学術審議会による建議「大学等における地球圏-生物圏国際協同研究計画 (IGBP) の推進について」(1990, 7) がなされて以来進展してきた。さらに、1995 年以降これに関連した注目すべき動きが見られた。学術審議会による建議「地球環境科学の推進について」(1995, 4)、測地学審議会による建議「地球科学における重点的課題とその推進について」(1995, 6)、「アジアモンスーンエネルギー水循環観測研究計画 (GAME) について」(1995, 6) がなされた。また、1996 年 7 月に閣議決定された「科学技術基本計画」においても、食料、エネルギー、資源問題とともに地球環境研究の重要性が指摘されている。さらに、航空・電子等技術審議会 (1996, 7) においては、報告「地球変動予測の実現に向けて」がなされ、この中で大型の研究開発計画が提言されているなど、地球環境問題の解決に向けての大規模な学術研究が企画ないし実施に移されつつある。また、文部省においては地球環境問題に関する中核的研究機関の設置の検討が開始されている。

地球環境問題は人間活動によって地球環境に排出された化学物質によって引き起こされたものである。したがって、これら諸問題の解決に向けての学術研究には、地球表層の水・熱・エネルギー動態や植生変動の解明に関わる気象学、海洋学、生態学とともに、物質循環を中心的に取り扱う地球化学という学問分野が大きな役割を果たさねばならない。地球化学という学問は、地球を一つの物質系として捉え、この中で行なわれる物質循環を原子・分子のレベルで研究し、過去、現在、未来にわたっての地球変化を研究する分野である。このような 21 世紀の地球環境問題の重大性を展望するとき、新しい状況に立脚して、地球環境に関わる地球化学について、その役割と今後の進むべき方向を策定することは極めて重要であると判断される。

## 2. 最近の研究動向と地球化学の位置

地球に関する諸科学の中で、地球物理学は、力学およびエネルギー過程を中心に地球システムの動態・進化を追求し、また地質学は総合的視点から地球システムの変動・進化を究明しようとするものと理解される。これに対して、地球化学は、地球上の複雑に絡み合う物質循環像を、元素および同位体を基本としつつその運動・離合集散（化学反応）過程として捉え研究する。原子は化学反応して単純な分子から巨大分子に至るまで殆ど無限の化合物を作るという特性を持っている。これら原子の離合・集散過程を研究する分野が化学である。地球表層における物質循環を例にとると、地球化学者は大気－水圏－地圏を通しての物質の化学的・物理的動きを元素・同位体・分子のレベルで研究する。この様にして初めて地球上の物質循環像が明らかにされるのである。したがって、地球表層における物質循環の解明においては地球化学が中核的役割を果たすべきことは明らかであり、その研究の遂行においては元素・同位体とその化学の基礎を十分習得していることが要求される。

大気・水圏、地圏および生物圏を含む地球環境システムにおいては、熱・エネルギー動態を取り扱う地球物理学や、変動する植生や生物多様性を観測研究する生態学と、物質循環を取り扱う地球化学との緊密な連携により、その変化と進化過程を把握し、解明しようとする動きが活発である。この中で物質循環を元素・同位体・分子と化学種に注目して取り扱う地球化学の必要性がますます認識されるようになってきている。さらに、今後の化学物質の動態の解析と観測、化学過程の解明において地球化学の中核的役割が期待されている。

最近の地球に関連する研究動向を概観すると以下の特徴が見られるとともに、今後地球化学が果たすべき大きな役割が浮き彫りにされる。

第一に、地球に関する諸科学は、空間的・時間的に異なる様々な規模の地球現象を総合的に解明する「地球科学」の新たな段階へと発展しつつあることがますます鮮明となってきている。超高層、大気・水圏、固体地球、生物圏などから構成される地球環境システムは、強い相互作用の下に連携する系として理解され、現在これら変動・進化する地球の解明に多くの努力が注がれている。実際、わが国では過去 5・6 年間に地球圏－生物圏国際協同研究計画 (IGBP)、中でも地球規模海洋フラックス研究計画 (JGOFS) が実行に移された。研究船による北西太平洋を中心とした物質循環の研究が精力的に行なわれ、海洋における炭素循環像が一層鮮明にされた。特に大気二酸化炭素の吸収にはたす中層水の重要性が明らかにされた。また西赤道域・西太平洋における深海堆積物コアに残された環境変動の記録の解読研究などが実施され、これらの海域における環境変動の実態が明らかにされた。また、地球大気化学研究計画 (IGAC) の一環として、アジア・西太平洋地域における大気化学過程の観測研究も行なわれた。これらの研究を通して、地球に関する諸科学と地球化学との協同・協調した研究が従来にまして進んだ。

第二に、観測・分析技術に著しい進展がみられた。高分解能質量分析計、高解像度干渉計などの先端分析技術の進歩は、地球環境の高感度観測を可能にした。また加速器年代測

定法の出現は、海洋堆積物コア、氷床コアなどに正確な時間軸を与えることを可能にし、地球環境変動の解析を飛躍的に精密・正確なものにしつつある。大気、海洋および陸上における温室効果気体のモニタリング網が確立されつつあり、地球環境の変化が克明に把握されるようになりつつある。気候変動の将来予測に大きく貢献することが期待される。

### 3. 推進すべき重要課題

直面する地球科学の諸課題は、測地学審議会による建議「地球科学における重点的課題とその推進について」に詳しく述べられており、これらの諸課題は地球化学が取り組むべき課題でもある。言うまでもなく、変動・進化する地球環境システムの理解にあたっては、関連分野と連携した地球化学の一層の発展が不可欠である。そうすることによってはじめて、地球環境システムの一層高度な理解が可能となる。地球環境変動に関わる地球化学において、特に推進を図るべき課題は次の事項である。

#### (1) 地球における炭素および他の生元素の循環と変動過程の解明

地球圏－生物圏国際協同研究計画 (IGBP) では、地球温暖化に代表される地球変化を解明するために、物質循環、生物・生態系、気候システムを物理的、化学的、生物的過程と相互作用の面から総合的に研究してきた。地球環境変化の解明と予測に対して今後ますます大きな社会的要請があることは確かである。今日、人間活動による地球環境変化の将来をいかに正確に予測するかが求められており、それには自然のメカニズムを一層詳細に精密に理解することが不可欠である。しかし、現象の解析および現象を引き起こす諸因子の理解が、現状においては未だ不十分であると言わざるを得ない。地球化学の視点からは、元素・同位体・分子に基本をおいた「大気化学」「海洋炭素フラックス」「大気・海洋境界過程」「海洋・海底境界過程」「陸域・海洋相互作用」「気候変動・生態系相互作用」と「それら諸過程の歴史的変動メカニズム」等の多くの研究課題がある。これら諸過程の定量モデルの構築、それらサブシステム間の相互作用の定量モデルの構築、を目指す必要がある。また、これら諸過程の定量的理解によってはじめて、地球環境変動の正確な予測を可能とする基礎データが提供できるのである。これら諸過程の定量的モデルの構築に際しては、気象学、海洋学、生態学、地質学等の分野の協力と協同作業が不可欠である。

#### (2) 大気化学過程の解明とモデリング

地球環境システムの中でも大気圏を中心とする物質循環過程の解明 (大気化学) は、地球温暖化を初めとする地球環境変動の予測に直結した、地球化学の重要な研究課題である。大気化学では「温室効果気体の発生・消失過程」「エアロゾルの発生・輸送過程」「オゾン変動と大気光化学過程」などの解明、およびこれらを基本とした予測モデルの構築が重要な研究テーマである。大気化学の研究は重要であるにも拘わらず化学分野では最近まで比較的軽視されてきた。したがって本分野の推進には地球化学分野の研究者に加えて、地

球環境科学への志向をもつ物理化学・分析化学者など新しい化学者の参入が必要である。大気化学の研究の遂行に当たっては、航空機、船舶、および地上観測ステーションをベースとした集中観測および長期的観測が必要である。また、観測データの解析、モデルの構築に際しては、気象学、海洋学、生態学等の分野との協同作業が不可欠である。

### (3) 古環境復元のための年代測定法の開発と推進

$^{14}\text{C}$  加速器年代測定法の開発は、海洋堆積物コア、氷床コアに対して正確な時間軸を与えることに成功した。したがって、地球科学分野に数多くの加速器年代測定器を設置して、環境変動を高い時間分解能および精度で明らかにすることが必要である。しかし、将来予測のためのモデルの構築には、なお一層の時間分解能を上げた過去の環境変動の解析が必要とされている。これには現在の年代測定法の精度では不十分である。この状況を解決するために新しい年代測定法の開発が必要である。

### (4) 環境変動過程解析のための同位体化学的手法の開発と推進

人間活動をはじめ地球上の様々な変動過程は同位体比の変動として出現し、記録されている。特に、水素、炭素、酸素、窒素、硫黄は、生物活動と密接に関係しており、反応性も高く多くの種類の化合物を作り挙動する。したがって、これらの元素を含む化学種中の同位体比に記録される情報量は莫大なものである。最近の科学技術の進歩はこれらの情報の解読を可能にしつつある。複雑に絡み合っている諸過程を多くの素過程に分け高感度の分析を行なうことは、地球環境システムのモデル化に必須である。この際、元素や同位体の存在比は、システムとしての地球や変化する地球の動的断面を解明する指標として重要である。同位体化学手法を大きく発展させる責任は地球化学者が負っていると言わねばならない。

## 4. 推進の方策：人材の養成システムの確立

地球科学の新しい展開には、大学院重点化における教育・研究体制の拡充、地球科学関連諸教育・研究機関のネットワーク化による連携体制の確立が必要不可欠であり、この方向で教育・研究体制の枠組が再編成されつつある。特に地球環境に関わる諸科学の発展のためには、関連する諸科学（地球物理学、地質学、地理学、生態学等）とともに基幹をなす地球化学の充実が必要不可欠である。この点に関して、わが国の現状は著しくバランスを欠いており、地球化学分野の人的充実に大きな立ち後れが認められる。例えば「国立19大学地球科学系教室要覧（1995年度版）」によれば、地球科学系教室および関連する研究室を構成する教員の中での地球化学系研究者の比率は地球物理学研究者の6分の1、地質学研究者の16分の1にすぎない。

したがって、地球化学の人材養成システムの飛躍的・抜本的な改善が早急に必要である。この点は、測地学審議会による建議「地球科学における重点的課題とその推進について」

においても指摘されている。わが国における地球化学分野の人的充実の立ち後れは、研究者養成の基幹を担う大学の現状に起因する。すなわち、地球物理学・地質学分野では、一部「地球科学科」「地球惑星科学科」等に再編成されているが、ほとんどすべての国立大学に、独立した固有の学科・大学院がある。これに対して、地球化学分野ではいずれの国立大学にも固有の学科・大学院がない。地球科学系学科に地球化学関連の講座はあるが、多くの場合地圏（固体系）のみを扱っており専門に極端な片寄りが見られる。また化学科では、無機・分析化学講座などで一部地球化学研究が行なわれているにすぎない。以上のように、現状において地球化学分野の人材養成システムは極端に不備であると言わざるを得ない。このような状況の抜本的解決を早急に図らなければ、今後地球環境研究に欠かせない地球化学者を持続的に確保することが出来ず、結果としてわが国における研究の推進に重大な障害を招く恐れがある。

日本地球化学会が全国の主要大学を対象として実施したアンケート調査によれば、現在全国の大学において何らかの形で地球化学または関連の講義が行なわれているという実態が明らかとなっている。この事実は地球化学等に対して社会的要請が高い証と考えられる。

以上を総括すると、高校および大学初年級においては一般教養としての地球環境関連の教育の普及、また全国の大学学部においては化学系学科および地球科学系科での地球環境化学教育の強化、を図るべきである。さらに、以下の人材養成方策の実現が必要である。

(1) 学術審議会による建議「地球環境科学の推進について」で述べられている地球環境科学における中核的研究機関ができる際には、地球化学関連の研究組織の設置が必要である。

(2) 地球科学系学科および化学系学科（大学院）における地球化学講座の新設および拡充：

全国のすべての国公立大学の化学系大学院に無機系、物理化学系および有機・生命系の地球化学講座を新設する必要がある。また地球科学系学科においては流体系（地球表層部）および固体系の地球化学の講座を設置し、研究者の育成を図る必要がある。

(3) 地球・宇宙関連の研究所における地球化学系研究部門および研究室の拡充：  
国立極地研究所、宇宙科学研究所などの文部省大学共同利用機関、国立大学附置共同利用研究所である東京大学海洋研究所、名古屋大学大気水圏科学研究所、北海道大学低温科学研究所などに地球化学部門を設置または拡充し、地球化学の研究の推進を図るとともに大学院教育の拡充を図る必要がある。

(4) 地球化学専攻（大学院）の新設：  
地球化学の研究の推進には、化学の基礎を十分修得した人材を育成する必要がある。それ

には前記の諸改善に加えて、全国で少なくとも複数の国立（または公立）大学に地球化学専攻（大学院）を新設し、地球化学の総合的教育・研究体制の整備を図り、人材を育成する必要がある。ここでは地球科学・地球環境問題への広い視野と共に、元素・同位体とその化学の基礎を教育する。専攻の構成は上記の目的を達成できる構成とする。宇宙・惑星・地球内部の地球化学、大気・水圏・陸域の地球化学、生物圏・人間活動の地球化学、古環境地球化学、同位体地球化学、有機地球化学、生物地球化学などの研究室の設置が考えられる。