

最先端・次世代研究開発支援プログラム  
事後評価書

研究課題名	安定同位体異常を用いた地球大気硫黄循環変動の解析
研究機関・部局・職名	東京工業大学・大学院理工学研究科・准教授
氏名	上野 雄一郎

## 【研究目的】

地球大気の化学組成は 46 億年の地球史と生命活動の変化の結果、劇的に変化して来たと考えられるが、温室効果ガスや酸化還元状態の変動は未だ定量的見積りに至っていない。中でも硫黄の大気循環は硫酸エアロゾル形成を通して放射平衡に影響するため、地表面気温とその変動にとって極めて重要である。近年、太古代堆積岩に硫黄の非質量依存同位体分別(MIF)が発見されたことで大気酸素分圧は太古代・原生代境界(約 25 億年前)を境に急上昇し、これが全球凍結事件に代表される気候変動と密接に関わると考えられるようになった。地層に記録されたこの同位体異常( $\Delta^{33}\text{S}$  及び  $\Delta^{36}\text{S}$ )は大気中での光化学反応に由来するため、過去の大気化学過程の指標となると考えられるが、この同位体異常の記録を古大気化学情報に焼きなおすためには、実験的な研究が不足しており、詳細は明らかになっていない。現在の温暖化研究の中でもこの硫黄同位体異常を鍵とした硫酸エアロゾル形成に関わる研究がなされ、大規模火山噴火による大気への硫黄注入が気候にもたらす影響が新たな観点で評価され始めているが、同位体効果の素過程の理解が進んでいないために、その利用価値が十分に引き出されていない。

本研究では、(1)光化学反応による硫黄同位体異常について実験的研究を行い、(2)堆積岩試料の分析と(3)大気モデルの構築と解析を行うことによって、酸素の有無にとどまらない新しい大気化学指標を構築し、太古代末期に起きた大気組成変動の実体を解明する。これまでの研究で考慮された質量数 32、33 および 34 硫黄安定同位体に加え、存在度の低い  $^{36}\text{S}$  を含めた 4 種に拡張することも重要な目標の一つである。研究期間内のミニマムサクセスは古大気変動の解読にあるが、ここで構築されるモデルはより短期間の現在の大気や他の惑星大気化学にも適用しうる。この将来展望を見据えてモデルの開発を行う。また現在の大気研究への応用として成層圏硫酸エアロゾル形成過程の解明を目標とする。

## 【総合評価】

	特に優れた成果が得られている
○	優れた成果が得られている
	一定の成果が得られている
	十分な成果が得られていない

<b>【所見】</b>
<b>① 総合所見</b>
<p>本研究は、地層に残る硫黄の同位体異常の記録から太古代末期に起きた大気組成変動の実体を解明することを目指したもので、実験室レベルの分光基礎データに基づき、実試料の同位体計測に応用することにより古大気モデルを構築し、38-23億年の間の大気変動を4つの時代に区分することができること、さらに、太古代末の同位体異常変動の要因は、(1)活発な火山活動と(2)還元ガス量の増加を反映すること等の新たな知見を得ており、十分評価できる。</p>

<b>② 目的の達成状況</b>
<p>・所期の目的が (<input checked="" type="checkbox"/>全て達成された ・ <input type="checkbox"/>一部達成された ・ <input type="checkbox"/>達成されなかった)</p> <p>本研究課題は、大気化学研究において、トレーサーとして用いる硫黄安定同位体の種類を4種にし、酸素濃度変化に留まらない新しい大気化学指標を構築し、太古代末期に起きた大気組成変動の実態解明を目指しており、具体的には、</p> <p>① 4種の硫黄安定同位体のハイスループット分析法の確立</p> <p>② 光解離実験と分子分光実験から同位体分別係数のスペクトル依存性を求め、同位体記録の再現可能な大気モデルの構築</p> <p>③ 太古代末期に特化した堆積岩試料の硫黄同位体分析による同位体異常値の変動現象の把握</p> <p>を課題として挙げている。</p> <p>解析する同位体を4種に増やしたハイスループット分析法の確立、基礎分光データの取得を基礎として、実試料の同位体スペクトルの計測の解析に基づき、大気モデルを構築することにより、38-23億年の間の大気変動を明らかにし、新たな知見を得ている。したがって、当初の課題はおおむね達成され、最終目標が達成できたと判断できる。</p>

<b>③ 研究の成果</b>
<p>・これまでの研究成果により判明した事実や開発した技術等に先進性・優位性が (<input checked="" type="checkbox"/>ある ・ <input type="checkbox"/>ない)</p> <p>・ブレークスルーと呼べるような特筆すべき研究成果が (<input checked="" type="checkbox"/>創出された ・ <input type="checkbox"/>創出されなかった)</p> <p>・当初の目的の他に得られた成果が (<input checked="" type="checkbox"/>ある ・ <input type="checkbox"/>ない)</p> <p>研究課題の成果の先進性や優位性としては、目的①に関連する4種の硫黄安定同位体のハイスループット分析法の確立である。この分析法は、本研究で目標としていた②大気モデルの構築や③同位体異常値の変動現象の把握に止まらず、硫黄が関与する多くの研究課題に適用できるものと考えられる。成層圏硫酸エアロゾル形成過程の解明や派生効果としての放射性核種<sup>35</sup>Sの輸送経路の追跡等、本研究でも本</p>

分析法が有効に利用されている。

特に本手法により約 29 億年前に大気組成が変化したことを明らかにしたこと、また光解離時に引き起こされる同位体効果の圧力依存性を新たに見出したこと等、独自の成果、技術として高い先進性・優位性を持つと判断できる。

また、本手法を現在の大気化学過程に応用し、硫酸エアロゾル形成経路の解明に役立つことを示したのは、当初の目的の他に特記すべき研究成果であると判断する。

#### ④ 研究成果の効果

・研究成果は、関連する研究分野への波及効果が  
(見込まれる ・ 見込まれない)

・社会的・経済的な課題の解決への波及効果が  
(見込まれる ・ 見込まれない)

既に述べたように本研究課題の最も優れた成果は、4種の硫黄安定同位体のハイスループット分析法の確立、光解離と分光実験により4種の硫黄安定同位体の分別係数を紫外線波長の関係として得ることと考えられる。この分析法は、大気過程を同位体から追跡する研究分野、特に硫黄が関与する多くの研究課題に適用できるものと考えられる。

本研究課題の成果は、純粋科学的立場からの探求の結果であり、社会的・経済的課題の解決への貢献が見込まれるものではない。しかし、本研究課題の成果である硫黄安定同位体の分析法は、波及効果として、また大規模活動に伴う環境変動の予測などを通して、社会的課題の解決へ貢献する可能性は見込まれる。

#### ⑤ 研究実施マネジメントの状況

・適切なマネジメントが (行われた ・ 行われなかった)

研究開発マネジメント全般については、良好に運営されているものと判断できる。本研究課題が対象とする非質量依存同位体分別、その中での波長依存同位体効果、本研究課題で明らかになった圧力依存性等については、現象面のみならず理論面での理解も他の理論研究者との協働を通し深める必要があると考えられる。

論文発表 35 件、会議発表 103 件という数は、研究成果が着実に公表されていることを物語っている。

また、国民との科学・技術対話に関しても高校生や一般を対象とする講演会を開催しており、十分とは言えないまでも、最低限はクリアしていると判断できる。