

2G01

(奨励賞)

炭酸塩試料を用いた陸域での物質循環と 第四紀気候研究

○堀 真子¹

(¹東大大海研)

古気候・古環境復元は、将来の気候変動とそれに伴う環境変化を予測する上で、重要な研究課題である。特に、人類の生産・消費活動が環境に重大なインパクトを及ぼすようになった現代において、第四紀の気候変化を高時間分解能で解析し、環境のフィードバックを理解することは、現実に即した環境対策を講じるために不可欠である。これまで、氷床コアや海底堆積物、湖底堆積物など、様々な古環境記録媒体によって、気温の長期的な推移が理解されてきた。ただし、多くの試料は地理的に偏っており、それを補う高時間分解能の古環境記録媒体が要求される。石筍に代表される陸成炭酸塩は、人類の生活圏に比較的近いところで生成し、長期間の連続した記録を保持することで優れている。中国から得られた石筍の酸素安定同位体記録は、太陽照射量と連動した東アジアモンスーンの盛衰を示し (Yuan et al., 2004; Wang et al., 2005; 2008)、第四紀古気候を代表するスタンダードの一つとなっている。

一方で、酸素安定同位体比以外の指標を用いて新たな古環境情報を読み取る試みも進められている。例えば、Goede et al. (1998) や Zhou et al. (2006) は、石筍中のストロンチウム濃度と同位体組成を用いて、内陸部から飛来する風成ダストの影響を気候変化と絡めて議論した。Tan et al. (2014) は、鉛と亜鉛を測定し、1980年以降の濃度上昇から人為汚染の影響を論じている。また、Badertscher et al. (2014) は臭素・モリブデン・硫黄を用いて、紀元前に発生した大規模な火山噴火のタイミングを検証し、植生や雨量の変化と比較している。しかし、これまでの古環境研究では、地球化学トレーサーの相対的な変化が注目され、定性的な議論に終わることがほとんどであった。

私は、堆積学の研究室で、炭酸塩堆積物を対象に、岩石記載をはじめとした地道な野外調査と薄片観察から研究を開始した。その後、トレーサーとなる元素の起源や同位体の分別過程に興味を持ち、熱力学モデルを利用して、物質循環の変遷を定量的に議論することを目標としてきた。本講演では、これまでの研究の中から、陸成炭酸塩を用いた3つの研究を例に、陸域の物質循環と古環境復元の課題と展望について紹介する。

1) トUFFA：炭素の供給源と変動要因

層状トUFFAは、河川で発達する炭酸カルシウムの堆積物であり、水の方解石に対する過飽和度の季節変化を反映した縞状組織を形成する。トUFFAの酸素・炭素安定同位体比は、この縞状組織と調和的な周期変化を示す。酸素安定同位体比が方解石の沈殿時の水温を反映するのに対し、炭素安定同位体比の周期変化は、地下水の溶存無機炭素の同位体比に由来する。当時、炭素安定同位体比の周期変化は洞窟の換気効果で説明されると考えられていたが、地下水塊の探査ができない以上、現実の換気量に対応する同

位体分別の大きさは検証されていなかった。

そこで、私は、土壌大気・外気・石灰岩の3つを端成分とした炭素のミキシングモデルを考え、二酸化炭素分圧と炭素安定同位体比、放射性炭素同位体比を測定することで、同位体マスバランスの連立方程式を完成させた。この結果、トゥファ堆積場の炭素安定同位体比は、洞窟の換気よりも、石灰岩台地を覆う植生の生物生産量の季節変化を反映して変動していることが明らかとなった (Hori et al., 2008)。

2) 石筍のストロンチウム : Prior calcite precipitation (PCP)

ストロンチウムは風成ダストの指標として期待される一方、その滴下水中の濃度は極めて変化しやすいパラメータである (Fairchild et al., 2000)。ストロンチウムは、方解石の沈殿の際にカルシウムと競合するため、石筍が沈殿するよりも早い段階で方解石の沈殿が起きると、母液中の元素比 (Sr/Ca) はレイリーの蒸留モデルに従って上昇する (Johnson et al., 2006)。同位体のミキシング-ダイアグラムは、濃度の逆数に対するクロスプロットで表されるから、母液の元素比が端成分と独立に変化する場合、濃度と同位体の関係は崩れてしまう。この前段階での沈殿を Prior calcite precipitation (PCP) と呼ぶ。

私は、およそ 18,000 年前から 4,000 年前に沈殿した石筍試料を用いて PCP の影響を検証し、ストロンチウム濃度・バリウム濃度・炭素安定同位体比の長期変動パターンが PCP の蒸留曲線に一致することを初めて明らかにした (Hori et al., 2013)。

3) 石筍の希土類元素 : 分別のタイミング

希土類元素 (REE) もまた、物質循環の指標としてよく利用される。私は、同じ石筍中の希土類元素濃度を分析し、母岩で規格化したパターンが軽い元素 (LREE) から重い元素 (HREE) にかけて直線的に上昇する特徴を見出した。この特徴は、中国やフランスの石筍にも普遍的に認められる (Zhou et al., 2008; Boudine et al., 2011)。希土類元素の分配係数は非常に大きいので、滴下水からの石筍の沈殿や、PCP などの過程では、測定で得られた直線的な HREE 濃縮を再現できない。このことは、希土類元素が方解石の沈殿時ではなく、溶解時に分配していることを示唆する。さらに、イオン半径がカルシウムよりも大きい La と Ce は、元素の溶出における速度論的効果を受け、残りの元素とは異なる挙動をとることもわかった。以上の結果から、私は、石筍の希土類元素パターンが陸域化学風化速度の指標となる可能性を提唱した (Hori et al., 2014)。

以上の研究は、九州大学の狩野彰宏先生や、高知コア研究所の石川剛志さんをはじめ、共著の方々の助言と励ましによって支えられてきた。今後は、新たな環境トレーサーの開拓に挑戦するとともに、炭酸塩の沈殿と溶解に関わる物質収支を明らかにすることで、気候システムにおける炭酸塩の役割の理解に役立てていきたい。

Geochemical cycles and climate change in Quaternary studied by multi-tracers in terrestrial carbonates

*Masako Hori¹ (¹AORI, The University of Tokyo)

2G02 (奨励賞)

隕石の海洋衝突模擬実験によるアミノ酸などの生成に関する研究

○古川善博
(東北大学 理学研究科地学専攻)

生命誕生前の地球において、生命を構成する有機分子がいつ、どのようにして出現したのかという疑問の解明は未解決の大きな課題である。タンパク質は生体内での化学反応を触媒する不可欠な物質であり、DNA は遺伝情報を保持している。また、一部の RNA は遺伝情報の一部を保持すると同時にタンパク質に似た触媒機能を持つことが知られている。これらの巨大分子は非常に複雑な構造を持っているが、その構成物質は意外にも巨大分子の複雑さに比べて極めて単純な物質である。例えば、タンパク質は 20 種類のアミノ酸の重合体であり、DNA と RNA はリン酸、5 種類の核酸塩基、2 種類の糖 (リボース、デオキシリボース) から成るヌクレオチドの重合体である。これらのことから、生命誕生にはアミノ酸や核酸塩基、糖などの出現とそれらの規則的な重合が必要であると考えられている。しかし、人類は地球惑星環境において、生命誕生に必要な種および量の有機分子が生成し重合する合理的な現象を見いだしていない。

私の研究ではこのような課題のいくつかを解決するため、隕石の衝突環境における鉱物-水相互作用とそれに伴う有機物の生成や、海洋堆積物の続生作用に伴うアミノ酸の重合、ホウ酸との複合体形成によるリボースの安定化やヌクレオチドの位置選択的リン酸化などの研究に取り組んで来た。本講演では隕石の海洋衝突模擬実験による有機物の生成研究を中心にこれらの研究を紹介する。

集積後の地球が冷却し海洋が形成された頃の地球の大気は、マグマオーシャンにより酸素分圧がバッファーされ、二酸化炭素と窒素を主成分とするものであったと考えられている。このような大気からは Urey-Miller タイプの化学合成によりアミノ酸や核酸塩基などの生体構成有機分子を生成することはできない。一方で、海洋では二価鉄の酸化に伴った窒素酸化物の還元や隕石の衝突による窒素の還元によりアンモニアが供給されていたと考えられている。

また、当時の地球には隕石などの地球外物質が現在よりも遥かに高頻度で衝突していたと考えられている。地球外物質のうち、炭素質コンドライトはアミノ酸などを含んでおり、低速で衝突した場合にはこれらが生体構成有機物の供給源と成り得るが、高速衝突の場合は、有機物は分解してしまう。一方で金属鉄を含む普通コンドライトや隕鉄の様な組成をもつ地球外物質が海洋に高速で衝突し、隕石が粉碎され衝突域の海洋水を蒸発させる場合には、隕石物質、海洋溶存物質および大気から成る高温の衝突蒸気雲が形成され、鉱物の水質変質や鉄の酸化に伴う還元反応が期待できる(Nakazawa et al., 2005, *EPSL*; Furukawa et al., 2007, *EPSL*; Furukawa et al., 2012, *GCA*; Furukawa et al., 2013, *Icarus*)。

著者らはこのような現象が初期地球に生体構成有機分子をもたらす可能性に着目し、

一段式火薬銃を用いた衝突模擬実験を行った。生体構成有機分子は身の回りにあふれており、コンタミネーションの可能性を排除しきれないので、使用する炭素源には¹³Cのアモルファス炭素と炭酸を用いた。生成物の分析は液体クロマトグラフィー・タンデム質量分析計を用いて、全ての炭素が¹³Cで構成されるアミノ酸、アミン、カルボン酸、核酸塩基を対象に同定と定量を行った。

この結果、アモルファス炭素を炭素源とした場合は最も単純なアミノ酸であるグリシンおよび数種のアミンとカルボン酸の生成が確認された(Furukawa *et al.*, 2009, *Nature Geoscience*)。炭酸を炭素源とした場合には9種類のタンパク質構成アミノ酸、4種類の非タンパク質構成アミノ酸、2種類の核酸塩基、および4種類のアミンの生成が確認された(Furukawa *et al.*, submitted)。実験結果と地球外物質のサイズ別飛来量を基にアミノ酸と核酸塩基の供給量を衝突による生成、炭素質コンドライトによる飛来、および星間塵による飛来と比較すると衝突による生成量は炭素質コンドライトによる供給量よりも十分に高く、星間塵によって供給される可能性のある量と同程度であった。ただし、星間塵や微小隕石からはコンタミネーション量を優位に超えるアミノ酸や核酸塩基は検出されていないためそれらによる供給量の推定は難しい。このことから、地球外物質の衝突による有機物生成は初期地球への生物構成有機分子の供給に重要な役割を果たしたと考えられる。

アミノ酸や核酸塩基から RNA, DNA, タンパク質などの巨大分子に重合する過程は脱水反応である。著者らは鉱物に吸着され海底に沈積したアミノ酸が堆積物の続生作用に伴う脱水環境で重合する可能性に着目し、高温高压下でのアミノ酸の重合実験を行った。その結果、グリシンおよびバリンをモデルアミノ酸として行った実験で、既存の模擬実験よりも重合が促進されることが明らかになった(Ohara *et al.*, 2007, *OLEB*; Furukawa *et al.*, 2011, *OLEB*)。また、圧力がアミノ酸とその重合物の分解を抑制する効果も明らかになった(Otake *et al.*, 2010, *Astrobiology*; Furukawa *et al.*, 2011, *OLEB*)。

リボースは核酸塩基およびリン酸と共に RNA を構成する重要な物質であるが、リボースはその生成過程で同時に生成する異性体よりも化学的に不安定であることが知られている。しかし、何故リボースが RNA の構成物となったのかということは全くの謎であった。著者らはリボースの安定性を向上させると提案されていたホウ酸およびケイ酸がリボースおよびその異性体の安定性向上にどの程度の効果があるのかを実験的に検証した。その結果、ホウ酸がリボースの安定性を選択的に向上させることを明らかにした(Furukawa *et al.*, 2013, *OLEB*)。

生命誕生前の地球上での無機および有機の化学反応は地球化学でコントロールされているとすることができる。新しいアイデアや技術によって生命の起源に関する課題は着実に解決に向かっていくが、まだまだ膨大な難問が残っている。今後も地球化学的な視点からこのような難問に取り組んでいきたい。

Formation of organic compounds by impacts of extraterrestrial objects.

*Y. Furukawa (Department of Earth Science, Tohoku University)

2G03

(奨励賞)

Re-Os 年代測定法による硫化物鉱床の成因に関する研究

○野崎達生^{1,2}

(¹海洋研究開発機構, ²東大・工)

はじめに

我々の暮らしている日本列島は、主に過去 4 億年以降に形成された付加体を基盤としている (Isozaki et al., 2010_*Gondwana Res.*). 付加体中には、過去に海底で形成され、付加体中に取り込まれた様々なタイプの鉱床が胚胎している。例えば、中央海嶺の熱水鉱床に由来する別子型硫化物鉱床は三波川帯に多く分布しており、層状チャートに伴う Mn 酸化物/炭酸塩鉱床はジュラ紀付加体の美濃一丹波帯に多く分布している (Sato and Kase, 1996_*Island Arc*). これらの鉱床は、還元的/酸化的環境という対照的な条件下で安定なため、鉱床の生成年代を全て知ることができれば海洋の酸化還元環境変遷史や鉱床成因の大きな支配法則が解明できるのではないかという動機から本研究を開始した。

Re-Os 年代決定法との出会い

層状チャートに伴う Mn 酸化物/炭酸塩鉱床や緑色岩に伴う Fe-Mn 酸化物鉱床 (アンバー) の生成年代は、鉱石や母岩に含まれる化石から年代を決定できる。一方、硫化物鉱床の生成年代決定が難しく、特に変成帯に多く分布している別子型鉱床の年代決定には困難が想定された。そこで、硫化物鉱床の生成年代を、鉱床を形成する硫化物から直接的に決定できる Re-Os 法 (例えば, Stein et al., 2001_*Econ. Geol.*) の存在を知り、JAMSTEC 鈴木勝彦氏との共同研究を開始した。私がこの研究を本格的に開始したのは博士課程 2 年からであり、変成作用で Re-Os 同位体系がリセットされている可能性も大いに予想されたため、博論研究がうまくいくかどうかの大きな賭けであった。

別子型鉱床の Re-Os 年代決定：古海洋環境変動と鉱床の生成・保存

まずは模式地である愛媛県別子鉱床の年代決定から試みた。鉱石試料は細粒の硫化物と脈石鉱物が入り組んだ複雑な組織であるため、粉末試料の調製に磁選や重液分離を施し、試行錯誤を繰り返した。また、過去に Re-Os 法が全く適用されていない鉱床であったため、試料/スパイク比の調整を勘に頼らざるを得ず、何度か分析を行い最適化した。その結果、別子鉱床から約 150 Ma を示すアイソクロンが得られたが、¹⁸⁷Re/¹⁸⁸Os 比が高い 1 試料に大きく影響されたアイソクロンであったので、この時点では年代値に確信が持てなかった。次に、別子鉱床と同層準とされている和歌山県飯盛鉱床の年代決定を試みた。本鉱床からは、極めて直線性の良いアイソクロンが得られ、その年代値が別子鉱床に誤差範囲内で一致していた (Nozaki et al., 2010_*Geochim. Cosmochim. Acta*). 飯盛鉱床の結果を受けて、緑簾石一角閃岩相低温部程度の変成作用を被っても初生的な年代値を得られることが明らかになったので、本手法を三波川帯に分布する 11 の別子型鉱床に適用した。その結果、和歌山県紀伊半島～愛媛県佐多岬の三波川帯に分布する

別子型鉱床の生成年代がジュラ紀後期 (約 150 Ma) に集中することが明らかになった。

ジュラ紀後期は海水の Sr 同位体比組成が過去 3 億年間に最も低下した時期に相当する (Jones and Jenkyns, 2001_*Am. J. Sci.*). したがって、低い同位体比を持つ熱水 flux が多かったことを示しており、熱水活動を引き越す火成活動の活発化に伴い、大気 CO₂ 濃度が現在の数倍以上高かったと見積もられている (Bernier and Kothavala, 2001_*Am. J. Sci.*). そのため、地球表層の温度が現在よりも 5 - 10 度高く、極域に氷床が発達していなかったと考えられている (Sellwood and Valdes, 2008_*Proc. Geol. Assoc.*). したがって、極域における海洋大循環の駆動力が低下し、海洋の成層化と還元的な海洋底の拡がりによって、遠洋域の中央海嶺で大規模に生じた別子型鉱床は、酸化的海水による酸化消失を免れて保存されたと考えられる (Nozaki et al., 2013_*Sci. Rep.*). このように、硫化物鉱床の生成年代が Re-Os 法によって蓄積されたことにより、鉱床の生成・保存と古海洋環境変動のリンケージが解明されつつある。さらに、茨城県日立変成帯に分布する日立鉱床からは日本列島最古の鉱床年代が得られており (Nozaki et al., *in press_Econ. Geol.*), 四万十帯北帯に分布する白亜紀後期の海嶺沈み込み現象に伴う別子型鉱床に関しても新たな年代値が得られている。

日本列島は活動的大陸縁辺域に存在するために様々なタイプの鉱床が分布しており、世界最高解像度で地質区分が進んでいることから、これらの鉱床に最新の地球化学的手法を適用することによって、鉱床成因の本質にさらに迫れるのではないかと期待される。

新たな分析法と今後の展望

N-TIMS による Re-Os 年代決定と並行して、MC-ICP-MS と気化法を用いた迅速 Os 同位体測定法の開発を行った (Nozaki et al., 2012_*Geostand. Geoanal. Res.*). 本手法により Re-Os の分離と Os 同位体測定を同時にでき、試料処理能力が向上した。本手法は精度よりもデータ数が重要な古海洋環境変動の研究に適しており、チャートや Mn クラストなどに適用され、興味深い結果が得られつつある (Sato et al., 2013_*Nature Commun.*). 今後、Re-Os 同位体は様々な地球化学的研究に益々応用されていくと考えられる。

謝辞: 卒業論文～博士課程にかけて、研究のイロハが何も分かっていなかった未熟な私を終始適切に御指導して頂いた、東京大学加藤泰浩教授に深く御礼申し上げます。また、博士課程～現在にかけて、Re-Os 分析や様々な飛躍の機会を提供して下さった JAMSTEC 鈴木勝彦上席研究員、研究室の先輩として研究者のあるべき姿を背中で教えて下さった東京大学中村謙太郎准教授・藤永公一郎特任研究員、岩石記載、薄片作成、XRF・EPMA 分析など様々な御指導を頂いた深田地質研究所の石井輝秋客員研究員、そしてこれまで研究を進めていくうえで御世話になった全ての方々に感謝申し上げます。

Re-Os geochronology on the volcanogenic massive sulfide deposit and its metallogenic study

*T. Nozaki^{1,2} (¹JAMSTEC, ²Univ. of Tokyo)

2G04 (学会賞)

希ガス同位体による地球内部構造進化に関する研究:

Diamonds - time capsules of ancient mantle volatiles and the key to dynamic earth evolution

○Masahiko Honda

(Research School of Earth Sciences, The Australian National University)

Diamonds are robust containers of volatiles trapped during their crystallisation in the Earth's deep mantle (>180 km). As diamonds are known to have formed up to 3.5 Ga ago, they have the unique potential to reveal mantle volatile compositions through time. Of these volatiles, the noble gases (He, Ne, Ar, Kr, Xe) are the most important tracers of mantle processes. Consequently, analysis of noble gases in diamonds of known age is absolutely vital for addressing fundamental questions on the structure, evolution and geodynamics of the Earth's mantle through time (e.g. testing the hypothesis of whole mantle versus two-layer convection).

As part of a broader investigation into the evolution of the noble gases through time, I studied the noble gas compositions of black borts (framesites) and polycrystalline diamonds of known peridotite/eclogite paragenesis from the Jwaneng kimberlite pipe, Botswana. The most striking observation found in the framesites is the presence of crustal nucleogenic neon, released on graphitisation of the framesites. Neon of this composition can only have been produced in the crust and subsequently incorporated during formation of the framesites in the mantle. This may indicate that noble gases produced in the crust, such as nucleogenic neon, were introduced into the sub-continental mantle source during ancient subduction-related processes, and that some parts of the mantle contain significant quantities of crustal noble gases. Recent Re-Os analyses of eclogite xenoliths and eclogitic inclusions in diamonds from southern African kimberlites suggest that subduction-related crustal recycling may have been a viable process during continent formation in the Archean (~2.9 Ga) and resulted in widespread formation of eclogitic diamonds at that time. If this is true, then crustal noble gases could have been introduced into the mantle at a very early stage in Earth history.

In contrast, the Jwaneng polycrystalline diamonds appear to have similar noble gas, particularly neon, isotope compositions as observed in present-day MORBs,

regardless of their parageneses. This implies that the Jwaneng polycrystalline diamonds may have formed in recent time, possibly as young as the kimberlite emplacement age of 235Ma. Furthermore, neon isotope compositions in the mantle where Jwaneng diamonds formed appear to have temporally changed from crustal Ne (as observed in the framesites) to the MORB-like Ne (as observed in the polycrystalline diamonds).

Seismic tomography studies of the Kaapvaal-Zimbabwe craton in southern Africa reveal distinct seismic velocity profiles at 150 km depth, within the diamond stability field, which appear to correlate with differences in diamond paragenesis. Diamond mines with predominantly eclogitic diamonds (e.g. Jwaneng, Orapa, Premier) overlie lithospheric mantle with relatively slow P-wave velocities, whereas localities with predominantly peridotitic diamonds (e.g. Kimberley, Finsch) are associated with faster P-wave velocities. This distinction in P-wave velocities can be interpreted in terms of different chemical compositions in the lithospheric mantle; the region with slower P-wave velocities could correlate with an oceanic lithospheric component and/or metasomatising fluids introduced by ancient subduction-related processes, whereas the faster P-wave velocity region may reflect mid-Archean mantle depletion events initiated by craton keel formation. As the mantle beneath the Jwaneng mine is characterized by slower P-wave velocities at 150 km depth, our finding of present-day MORB-like noble gases in Jwaneng polycrystalline diamonds appears to be consistent with the tomographic observations. On this basis, it is postulated that diamonds from eclogitic mines could clarify whether or not material subducted into the deep mantle retained crustal \pm atmospheric noble gases, thus permitting quantification of subducted noble gases through time - currently a critical unknown in all mantle evolution and outgassing models. In contrast, diamonds from the peridotitic mines could contain ancient mantle noble gas compositions and would be more suitable for investigating the evolution of the noble gases through time.

2G05

(柴田賞)

地球史における硫黄循環に関する研究

○大本 洋 (ペンシルヴァニア州立大学)

地球史における **S** の循環は、**O**, **C**, および **Fe** の循環と密接に結びついてきた。これらの元素の循環は、約 25 億年前を境にして根本的に変化したと一般的に考えられている。例えば、25 億年以降における、大陸から海洋、海洋から大陸地殻、海洋から海洋地殻、海洋地殻からマントル、マントルから大陸および海洋への硫黄の循環においては、 SO_4^{2-} が重要な役割をもってきたと考えられている。

SO_4^{2-} は主として陸上において、(A) 岩石中の **sulfides** (主として黄鉄鉱) の酸化的風化、(B) 岩石中の **sulfates** の風化、および (C) 火山ガスの SO_2 および H_2S の酸化によって生成され、海洋に運ばれる。

海洋の SO_4^{2-} は大陸近くの海盆において (D) 海水の蒸発により **gypsum/anhydrite** を生成し、(E) バクテリアにより還元され **sulfides** (主として黄鉄鉱) を堆積岩中につくる。(F) 炭素と硫黄に富んだ堆積岩は、**subduction zone** を経て大陸にもどる。その過程において、還元的な **S-type** マグマが生成される。

海洋の SO_4^{2-} は中央海嶺および他の海底火山地帯においては、(G) 海水と海底火山岩との反応により、大部分は **sulfates** として海洋地殻に取り込まれるが、一部は H_2S に還元され岩石中および海底熱水鉱床において、**sulfides** を作る。(H) **sulfates** に富んだ海洋地殻はマントルに運ばれ、イオウに富んだ酸化的なマントルをつくる。このようなマントルで生成されたマグマはイオウに富み酸化的となる (たとえば、**I-type magma** や **boninites**)。

上記のプロセスにおいて、従来の研究からどのような疑問が明らかにされてきたか、どのような問題がまだ解決されていないかを **review** する。たとえば、(G) において、海水の SO_4^{2-} の何パーセントが海洋地殻にとり込められ、何パーセントが熱水鉱床の生成に寄与するかは、判っていない。同様に、海底熱水溶液中の H_2S の起源についても、満足な解答は得られていない。

25 億年以前においては、大気は O_2 に乏しく、海洋は SO_4^{2-} に乏しく、上記の (A) – (G) のプロセスは重要でなかったと、一般に考えられている。この考えは、主として **Archean sedimentary rocks** にみられる **MIF-S (Mass independent fractionation of S isotopes)** は火山ガスの SO_2 が O_2 に乏しい大気中で、太陽からの **UV** により、**S** と SO_4^{2-} に分解する時に作られたという仮説に基づく。この説の妥当性を検証し、25 億年以前のイオウの循環をも考察する。

Geochemical cycles of sulfur through geologic history

*Hiroshi Ohmoto (The Pennsylvania State University)