

# 3C11

(Invited)

## 融解による地球深部の物質分化

○館野繁彦

(岡山大学・惑星物質研究所)

近年高精度同位体分析の進展により安定同位体組成のコンドライトと地球物質との比較が行われ、地球の起源物質推定について新たな知見がもたらされつつある。現在のところ、いずれのタイプのコンドライトも単一の起源物質としての候補とすることには限界があるようである。また起源物質推定のアプローチとして、バルクアース組成の理解があるが、地球の6割の体積を占める下部マントル起源の地質試料が欠如している以上、これも決定的とは言いがたい。下部マントルの化学組成については、660km地震波不連続面がおおむねポストスピネル転移((リングウッダイト→ブリッジマナイト+フェロペリクレイス)で説明されることから少なくとも下部マントル上部については上部マントルと同じ化学組成(例えばパイロライト的)であると言えるだろう。一方、下部マントル深部については、地震波トモグラフィーから三次元的な不均質構造が観測されており、化学組成不均質を示唆するものである。この事実は、弾性波速度と密度について、地震波観測により得られた一次元化モデルと実験データとの比較による下部マントルバルク組成推定の限界を意味するものである。

地球はその形成初期において「マグマオーシャンの冷却に伴う化学的成層構造の形成」が起こったはずである。そこで地球内部で起こった(または起こり得た)融解とその後の結晶分化を実験的に再現し、その物質分化過程を理解する必要がある。これに基づき初期地球の描像を可能な限り復元し、地球の起源物質推定へ新たな制約を与えることを目指す。具体的には(1)マグマオーシャンから始めに晶出する鉱物種の特定(2)結晶分化に伴う残液の化学組成進化(3)両者間の元素分配を知る必要がある。さらにそれら固液間の密度の大小関係は形成される成層構造を制約する上で極めて重要となる。特にある起源物質を仮定したときに、分化により上部マントル組成を再現できるか否かが特に重要である。マグマオーシャンはマントル全域に及んでいた可能性があるため、超高压下における融解の再現実験が有効なアプローチである。これにむけて、まずはマントル物質の状態図作成のために、これまでに高压下における融解実験が行われてきた。マルチアンビル型高压発生装置により下部マントル上部相当まで実験が勢力的に行われた後、近年はダイヤモンドアンビルセル装置(DAC)により実験圧力が拡大されている。DAC実験の試料は極めて小さいために、放射光X線を用いた実験が主流であったが、分析技術の進歩にともない、実験回収試料の化学分析が可能になってきた。講演ではDACを用いた実験において、何が技術的に可能であることを紹介し、かんらん岩、MORB、エンスタタイトコンドライトについての融解実験の結果について報告する。

Chemical differentiation in the deep Earth

\*S. Tateno<sup>1</sup> (<sup>1</sup>Inst. Planetary Materials, Okayama Univ.)

# 3C12

## オーストララシアンテクタイト中での隕石成分の探索

○白井直樹、Rabeya Akhter、海老原充  
(首都大学東京大学院 理工学研究科)

【はじめに】テクタイトは、地球上での隕石衝突によって生成したガラスであり、4つの限定された地域（チェコ、象牙海岸、北アメリカとオーストラリア・アジア）から発見されている。オーストラリアとアジアに分布するテクタイト間では、他の3つの地域からのテクタイトに比べて、元素組成に大きな変化が見られる。特に、Cr、CoとNi濃度間で正の相関が見られ、この相関が隕石由来なのかあるいはマフィック成分由来なのかははっきりしていない[1]。そこで、本研究では、オーストララシアンテクタイト中の白金族元素の定量を行い、テクタイト中に含まれているであろう隕石の痕跡を調べることを目的とした。またオーストララシアンテクタイト間で見られるCr、CoとNi濃度間での相関関係の起源を調べることを目的とした。

【実験】オーストララシアンテクタイトを粉末状にし、それぞれ約4~10 g分取して、白金族元素の定量を行った。白金族元素の定量には、NiS fire-assay 前濃縮法を組み合わせた同位体希釈誘導結合プラズマ質量分析法を用いた。Ru、Pd、IrとPtは同位体希釈法で、Rhは検量線法にて定量を行った。

【結果・考察】オーストララシアンテクタイトのIr含有量は、6~90 pptであり、上部地殻物質と同様の濃度範囲であった。オーストララシアンテクタイトの白金族元素存在度パターンは、上部地殻物質[2]と異なり、CIコンドライトで規格化したRuとRhの値は、Ir、PtとPdに比べ高い値であった。本研究で得られた結果をプロットしたものが図1である。本研究で分析したテクタイトは、上部地殻物質とマフィック岩石の混合線上にプロットされ、Cr、CoとNi間で見られた相関関係は、マフィック岩石の混入が原因であると考えられる。オーストララシアンテクタイトの白金族元素存在度パターンから、IC鉄隕石を端成分と仮定すると、オーストララシアンテクタイト中の鉄隕石混入割合は0.01%以下と考えられる。

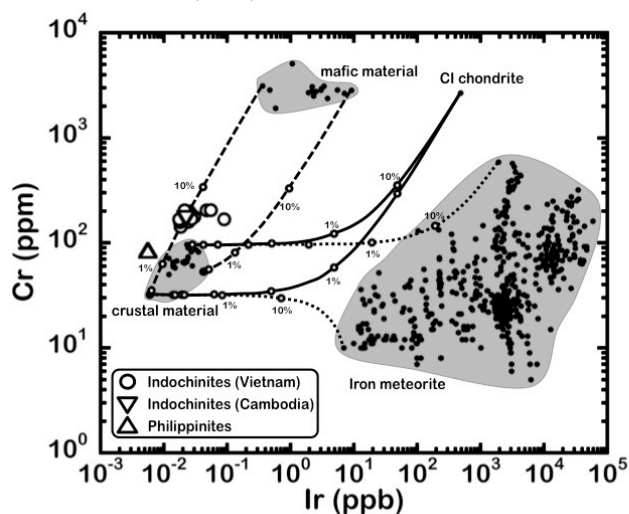


図1. テクタイトのIrとCr含有量の関係。図中の実線、破線と点線は、それぞれCIコンドライト、マフィック岩石、鉄隕石と上部地殻物質の混合線に対応する。

[1] Akhter R. et al. (2014) LPSC XLV, Abstract #1886. [2] Park J.-W et al. (2012) GCA, 93, 63-76. [3] Tagle R. and Hecht L. (2006) MAPS, 41, 1721-1735.

Search for the presence of meteoritic components in Australasian tektites.

\*N. Shirai, R. Akhter, M. Ebihara (Tokyo Metropolitan University)

箱根火山 2015 年 6 月 30 日降下火山灰の化学組成, 構成  
鉱物および水溶性付着成分○谷口 無我<sup>1</sup>、大場 武<sup>2</sup>、左合 正和<sup>2</sup>、関本 安佐子<sup>2</sup>( <sup>1</sup> 気象研究所火山研究部、<sup>2</sup> 東海大学理学部化学科)

伊豆半島最北端に位置する箱根火山では古くから群発地震が記録されており(萬年, 2003), 近年においても数年毎に顕著な火山性地震の群発が観測されてきた(原田ほか, 2013). 2015 年の活動では, 4 月 26 日に急増した火山性地震は 5 月 15 日にピークを迎えた後徐々に減衰にしたが, 6 月 29 日に再び増加して箱根火山中央火口丘神山の北側に位置する大涌谷でごく小規模な水蒸気爆発が発生し, 同日から翌 30 日にかけて火山灰が降下した(e.g., 温泉地学研究所, 2015; 濱崎ほか, 2015; 萬年ほか, 2015). 本研究では, 2015 年 6 月 30 日に降下した火山灰の化学組成, 構成鉱物および水溶性付着成分を分析し, 当該火山灰の起源を考察した.

火山灰試料は 2015 年 6 月 30 日午前 9:30~10:30 頃にかけて, 大涌谷噴気地帯の西側およそ 200~300m の範囲で観測車両のフロントガラスや防護盾に付着したものを回収した. 火山灰の化学組成の分析には酸分解による湿式分析法を使用し, 構成鉱物種の同定には粉末 X 線回折法および顕微鏡観察を併用した. 水溶性付着成分は純水に溶出させた後イオンクロマトグラフ法で分析した.

火山灰の化学組成は大涌谷周辺に分布する安山岩質溶岩(Kuno, 1962)に比べて Si に富む一方で Na, K, Ca, Mg に乏しい等, 酸性熱水変質を受けて変質した溶岩(平野ほか, 1965)に似た傾向を示した. 火山灰からはモンモリロナイト, 黄鉄鉱, トリディマイト, クリストバライト, 石膏, 硬石膏, 斜長石, 石英が検出された. これらの鉱物の構成は比較的低温での熱水変質作用によって生じたと考えられ, 当該火山灰が熱水変質帯の浅部に由来することを示唆した. 大涌谷周辺の温泉井や蒸気井のコアの分析によれば, 当該地域には地表から 300~400m 程度まではモンモリロナイト, それ以深では緑泥石の出現が報告されており(萬年・山下, 2005), 本研究で対象とした火山灰は深度 300~400m 程度よりも浅所から放出されたと推定される. 火山灰の水溶性付着成分からは, 火山灰 1kg 当たり Cl<sup>-</sup>が 12.2g, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>が 6.6g 検出され, Cl/S モル比はおおよそ 5 であった. これらの付着量および Cl/S 比は本邦各地の火山灰の付着成分に比較して大きく(e.g., 松尾ほか, 1977; 近堂ほか, 1979; 宮地・尾口, 2004), 火山ガスの付着に起因するよりも熱水の付着に起因すると考える方が妥当と判断された. 大涌谷周辺の熱水の Cl/S 比は表層では小さい一方, 地下 29~36m では 2 程度(綿貫, 1966), 地下約 351m では 7 を超える(Oki and Hirano, 1970; Zone IVa = 中央火口丘火山岩類中). これらのことを踏まえれば, 水溶性付着成分からも当該火山灰は熱水系の浅部に由来すると推定され, この結果は鉱物組成から推定された結果と整合的である.

Chemical composition, constituent minerals, and water-soluble components of volcanic ash erupted from Owakudani fumarolic area of Hakone volcano on June 30, 2015

\*M. Yaguchi<sup>1</sup>, T. Ohba<sup>2</sup>, M. Sago<sup>2</sup> and A. Sekimoto<sup>2</sup> (<sup>1</sup>Volcanol. Res. Dept., Meteorological Research Inst., <sup>2</sup>Dept. Chem., Sch. Sci., Tokai Univ.)

○川本竜彦<sup>1</sup>( <sup>1</sup> 京都大学・理・地球熱学研究施設)

沈み込み帯流体の化学組成を知るため、岩石を構成する鉱物中に含まれる流体包有物の塩濃度に注目する。水流体によって運ばれる微量成分元素の量は、その塩濃度に大きく依存しており、島弧玄武岩の微量成分元素の存在度を説明するためには、沈み込む海洋地殻からマントルウェッジへの化学成分移動に塩水が関与する必要がある (Kawamoto et al., 2014, *Earth Planets Space*)。沈み込み帯流体の塩濃度に制約条件を与えるために、マントルウェッジのカンラン岩捕獲岩 (Kawamoto et al., 2013, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*; Kumagai et al., 2014, *Contrib. Mineral. Petrol.*) と、沈み込む海洋地殻由来の高圧変成岩に含まれる流体包有物の塩濃度を、マイクロサーモメトリー法で推定している。実験手法は、顕微鏡下に加熱冷却ステージをおき、流体包有物中の氷の融解温度を決定し、それを NaCl 換算量として塩濃度を推定する古典的なものである。

沈み込み帯のマグマの噴火に伴い地表に出たカンラン岩捕獲岩の流体包有物に、水に富む流体を含む流体包有物を持つものが知られており (McInnes et al., 2001, *Earth Planet. Sci. Lett.*)、それらは数 10 ミクロンの大きさを有するものがある。しかし、高圧変成岩中のヒスイ輝石やローソン石などの流体包有物は 10 ミクロン以下であることが一般的である。私は、大きさ数ミクロン程度あれば、氷の融解温度を推定することができると思う。現在では、冷却加熱ステージを始め実験の道具はすべて市販されている。その中でも、100 倍の長作動対物レンズや顕微鏡像をテレビモニターに映す(高速で)高解像度のカメラを利用すると、表題に示したように大きさ 4 ミクロンでも測定できる。一般に流体包有物の観察では比較的厚い両面研磨片を使うが、より小さな流体包有物を観察するためには、より薄く、文字通り薄片を利用するとよい。

これまで得られている沈み込み帯流体の塩濃度のデータと、東京大学の角野博士と小林氏のハロゲンの分析結果 (小林たち, 2015, *地学雑誌*) を合わせて考えると、海洋からマントルウェッジを経て火山に至るまで海水起源の塩水があまり化学的に分化せずに移動することを示す。具体的には、海水が堆積岩の間隙水になり、アウターライズ断層に沿って浸透し蛇紋岩を作り、その脱水分解により塩水は、沈み込み帯深部へと移動すると提案する。

Salinity measurement of 4-micrometer fluid inclusions with microthermometry to understand chemical compositions of subduction-zone fluids

\*T. Kawamoto<sup>1</sup> (<sup>1</sup>Inst. Geothemal Sci., Beppu, Kyoto Univ.)

○山本順司<sup>1</sup>、石橋秀巳<sup>2</sup>、高畑幸平<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>北海道大学 総合博物館、<sup>2</sup>静岡大学 理学部、<sup>3</sup>北海道大学 理学院)

本研究では、マンツル鉱物の流体包有物に見られる CO/CO<sub>2</sub> 比から、マンツルの酸化還元状態 (Redox) を推定する手法を提案する。

元素の化学状態は自然現象を制御する重要な要素である。例えば、海洋の酸化還元環境は、海底堆積物の化学組成や沈積速度に影響を与えており、マグマの酸素フガシティは、マグマから晶出する鉱物種や発泡ガス成分を変える。このような背景もあり、天然物質の化学状態を調べる手法が多く開発され、利用されてきた。

物質に含まれる元素の化学状態 (価数) を調べるには、NMR 法やメスバウアー分光法、ESR 法、XPS 法、XAFS 法が有名である。そのほかにも鉱物の主成分組成から推定する方法もある。しかし、これらの手法は特定の元素群を測定対象とするため、それらの元素を多く含む鉱物に偏向した情報を得てしまうことになる。岩石中では交代作用や風化によって鉱物種ごとに異なる酸化還元状態がもたらされている可能性があるため、岩石の酸化還元状態を議論するには、特定の鉱物種に依存しない測定法も有用である。

本研究で提唱する手法は流体包有物を測定対象としている。流体包有物はあらゆる鉱物に見られるため、特定の鉱物種に依存せずに済むことが一つの特徴となる。マンツル由来岩石の場合、CO<sub>2</sub> を主成分とする流体の存在が多く報告されている。この CO<sub>2</sub> 流体は還元的な環境に置かれると周囲の鉱物と反応し、部分的に CO に変化する。つまり、流体包有物の CO/CO<sub>2</sub> 比を精度良く測定できればその流体および周囲の鉱物が持つ酸素フガシティを知ることができるはずである。

そこで、あるマンツル捕獲岩に見られる流体包有物を顕微ラマン分光分析によって調べたところ、CO<sub>2</sub> ピークとともに微小な CO ピークを検出した。それらのラマン強度における相対比 (CO/CO<sub>2</sub> 比) は 0.0114 であった。これを原子比に換算すると 0.021 となる (2.1 mol% の一酸化炭素を含む CO-CO<sub>2</sub> 流体)。この捕獲岩の両輝石温度は 980°C であったため、この流体がマンツルにいた時の酸素フガシティは QFM の下 0.7 桁程度であったと推定できる。確度を検証するため、この捕獲岩に含まれるクロムスピネルの主成分組成を用いて酸素フガシティを計算すると、QFM の下 0.6 桁となり、CO/CO<sub>2</sub> 比から求めた値と整合的であった。精度および確度の検証が必要であるが、本手法は鉱物種に依存しない Redox プローブとして有効に機能する可能性がある。

Mantle redox estimation using fluid inclusions

\*J. Yamamoto<sup>1</sup>, H. Ishibashi<sup>2</sup>, K. Takahata<sup>3</sup> (<sup>1</sup>The Hokkaido University Museum, <sup>2</sup>Faculty of Science, Shizuoka Univ., <sup>3</sup>Graduate School of Science, Hokkaido Univ.)