



## 小惑星探査機「はやぶさ」が持ち帰った小惑星微粒子を分析

### 研究成果のポイント

- ・はやぶさにより回収された小惑星微粒子の分析に成功
- ・小惑星が隕石の供給源であることを証明
- ・惑星進化の幼年期の研究進展に期待

### 研究成果の概要

これまでの研究から、酸素同位体比は太陽系の天体毎に異なっていると考えられています。しかし、小惑星がどのような酸素同位体比を持つかこれまで知られていませんでした。今回、小惑星探査機「はやぶさ」により回収された小惑星イトカワの微粒子の酸素同位体比を、同位体顕微鏡により決定することに成功しました。イトカワの酸素同位体組成は地球物質とは異なり  $^{16}\text{O}$  成分に欠乏していました。このことにより、S 型小惑星イトカワは平衡普通コンドライト（太陽系の最初の物質をそのまま残している隕石の一つ）の母天体の一つであることが初めてわかりました。

この成果は、S 型小惑星とコンドライトとの間の酸素同位体比の直接の関係を示した初めての証拠であり、隕石のふるさとが小惑星であるという仮説を証明しました。

### 論文発表の概要

研究論文名 : Oxygen Isotopic Compositions of Asteroidal Materials Returned from Itokawa by the Hayabusa Mission (はやぶさ計画によりイトカワから回収された小惑星物質の酸素同位体組成)

著者 : 氏名 (所属) 坂本尚義, 伊藤正一, 坂本直哉, 阿部憲一, 橋口未奈子, 片山樹里, 加藤千図, 川崎教行, 小林幸雄, 女池竜二, 朴昌根, 武井将志, 若木重行, 山本広佑 (北大), 橋爪光, 土山明 (阪大), 瀬戸雄介 (神戸大), 中村智樹 (東北大), 長尾敬介 (東大), 野口高明 (茨城大), 海老原充 (首都大), 奈良岡浩, 北島富美雄, 岡崎隆司 (九大), T. R. Ireland (オーストラリア国立大), M. E. Zolensky (NASA), 安部正真, 藤村彰夫, 川口淳一郎, 向井利典, 上相真之, 矢田達, 吉川真 (JAXA)

公表雑誌 : Science 8月26日号

公表日 : 日本時間 (現地時間) 2011年8月26日 (金) 午前3時 (米国東部時間 2011年8月25日 午後2時)

## 研究成果の概要

### (背景)

惑星を作る元素の半分以上が酸素です。これは体積にすれば地球の70%以上を占めることとなります。ですから、酸素は惑星の骨格を作る最も重要な元素です(図1)。酸素は3種類の原子(同位体)からなっていて、その比率が惑星の特徴を示すことがわかっています。つまり人間でいえば指紋のようなもので、酸素同位体比は惑星ごとに異なっています(図2)。はやぶさが持ち帰った小惑星イトカワの試料の酸素同位体比を調べることは、小惑星イトカワの正体を明らかにすることなのです。

### (研究手法)

はやぶさが持ち帰った小惑星イトカワの試料の大きさは0.1mmより小さな微粒子です。我々は同位体顕微鏡を用いて直径0.01mmの微小領域の酸素同位体を精密に分析する方法を開発し、28個のイトカワ微粒子について酸素同位体比の測定に成功しました(図3)。この分析法では、イトカワ微粒子に高速で飛ぶ原子を衝突させることにより、イトカワ微粒子表面から掘り出した酸素原子を分析します。その結果、イトカワ微粒子表面には小さいクレーターができます(図4)。

### (研究成果)

測定した28個のイトカワ微粒子は一つとして地球物質の酸素同位体比を持つものはありませんでした(図5)。はやぶさは正真正銘イトカワ表面の物質を採取してきたのです。イトカワ微粒子は地球物質の左上側に集団を作って分布しています。この分布の様子から、イトカワはLやLLとよばれている普通コンドライトの一種とよく似ていることがわかりました。このことから、普通コンドライトがイトカワの様なS型小惑星とよばれる小惑星からやってくるのが初めて証明されました。エジプトの古代文字がロゼッタストーンの発見により解読することができたように、このイトカワ微粒子は、これまでの隕石研究と小惑星との間の因果関係を初めて結びつけました。私たち人類はこれまでに惑星探査器を用いてイトカワ以外の小惑星の観測をたくさんしているので、今後の研究では、どの小惑星からどの隕石がやってきたのかを明らかにしていけるでしょう。そして隕石毎にそのふるさとの天体の姿がこれからビビッドにわかってくることでしょう。

もう少し詳しくイトカワの酸素同位体比の分布を見ていきましょう(図5)。左下から順に黒丸の集団、赤四角の集団、青丸の集団と列を作り並んでいることがわかります。シンボルの違いは鉱物の違いを示しており、黒丸はかんらん石、赤四角は輝石、青丸は斜長石に対応しています。鉱物により特徴のある酸素同位体比を持ち、それが集団として一列に並んでいるのです。

一列に並ぶ事実は、イトカワ微粒子が変成作用を受けて加熱されたことを示しています。激しく加熱されるとそれぞれの鉱物の酸素同位体比は鉱物ごとに一点に収束してしまうのですが、そうっておらず、列を作っています。これは加熱がマイルドであったことを示しています。この3つの鉱物の酸素同位体比の平均値の違いは加熱温度に相当するので、その違いから変成温度を見積もると、約650°Cという温度がでてきます。イトカワのような差し渡し600m程度の天体ではそんなに温度が上がらないので、イトカワはもっと大きな小惑星(イトカワ母天体)の破片であり、イトカワ母天体が変成作用を受けたことがわかります。また、酸素同位体比が完全に一点に収束していないことは、微粒子中にイトカワ母天体を作った以前の情報も消えずに残されていることがわかります。今後、イトカワ微粒子の分析をさらに詳しく進めることにより、イトカワ母天体を作った過程が解析され、その結果、太陽系の起源に迫れることを示しています。

### (今後への期待)

今回の研究により、小惑星と隕石との間の直接の関係が明解に証明されました。イトカワの微粒子の研究を進めることにより、イトカワやイトカワ母天体の形成史が明らかになることが期待されます。イトカワ母天体は惑星進化の幼年期に相当しますので、その成果は太陽系誕生後の惑星ができた頃の歴史解明へと一般化されていくものと思われます。

また、今回の成果により、次期小惑星サンプルリターンミッションであるはやぶさ2が目的とするC型小惑星は、イトカワとは全然異なる水の記録が残っている小惑星である可能性がますます強くなりました。この小惑星からサンプルを持ち帰ることに成功すれば、私たち生命環境の必須物質である地球の水の起源解明に関する大きな鍵を見つけられるかもしれません。

### お問い合わせ先

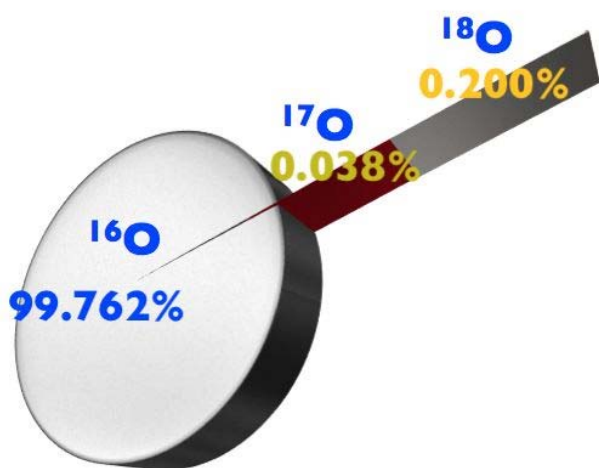
所属・職・氏名：北海道大学大学院理学研究院・教授 塚本 尚義 (ゆりもと ひさよし)

TEL: 011-706-9173 FAX: 011-706-9173 E-mail: yuri@ep.sci.hokudai.ac.jp

ホームページ: <http://www.ep.sci.hokudai.ac.jp/~g3/>

### 【参考図】

## 図1 惑星の骨格を作る酸素 原子の50%以上，体積の70%以上



酸素には3種類の酸素同位体がある



私たちは  
酸素の上に乗っている

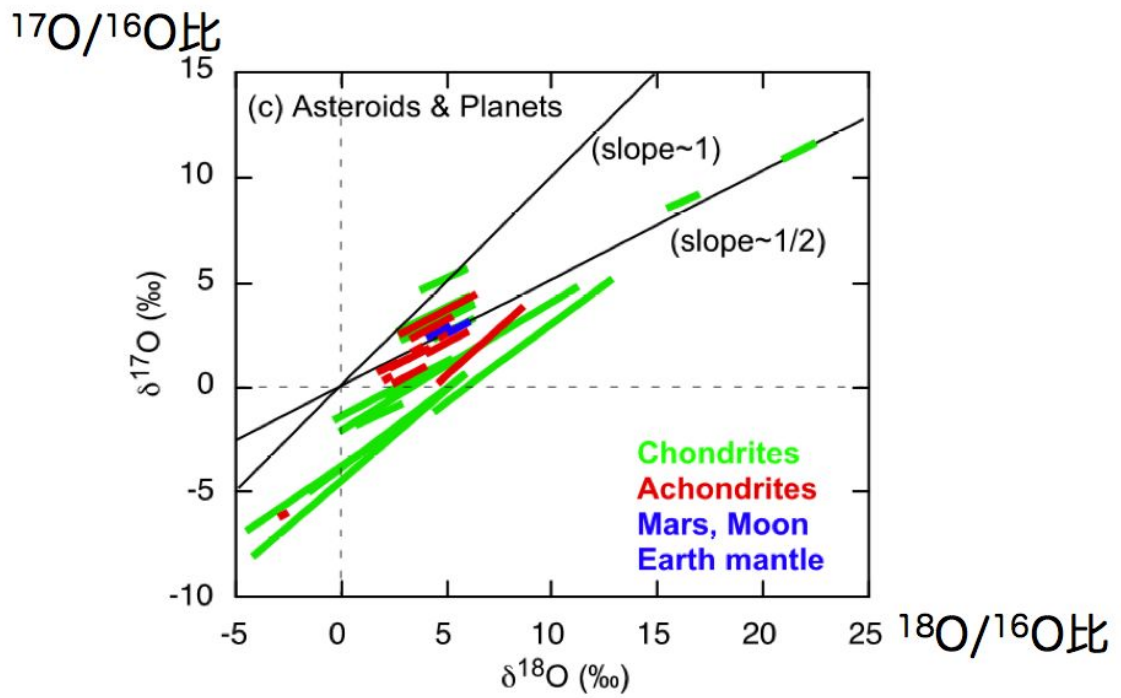


図2 地球，月，各種隕石の酸素同位体比が別々の値であることを示す図



図3 分析中の同位体顕微鏡

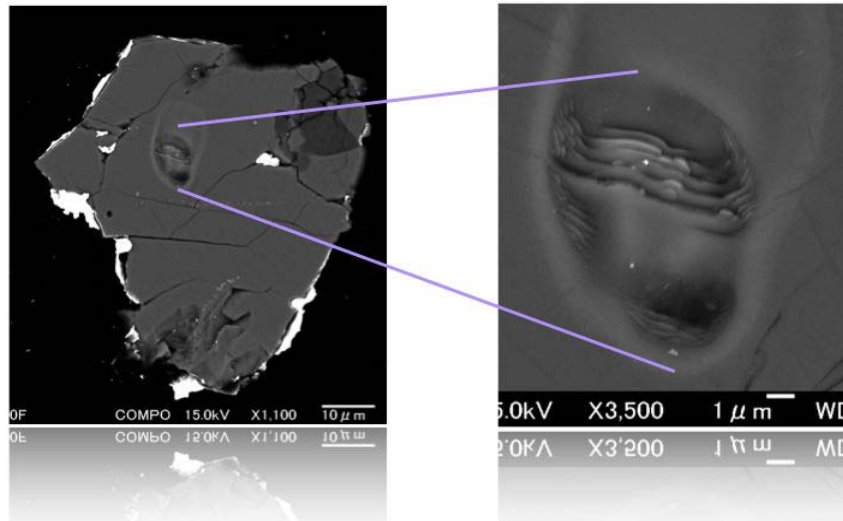


図4 イトカワ微粒子表面の電子顕微鏡写真と同位体顕微鏡で分析した場所にできたクレーター

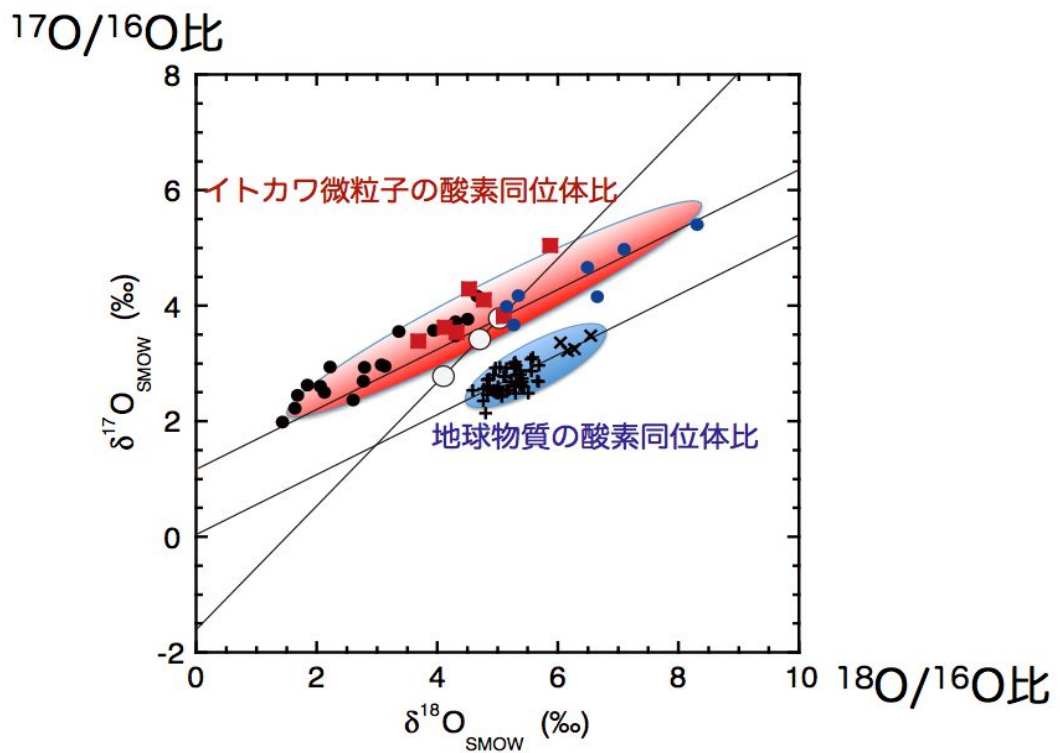


図5 イトカワ微粒子と地球物質の酸素同位体比