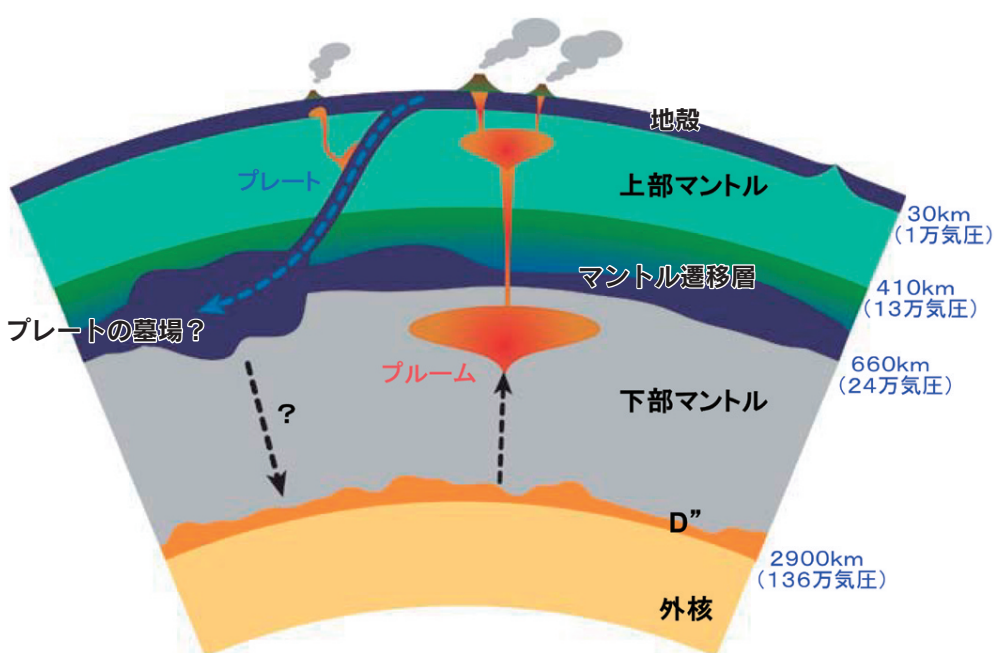


# SPring-8 NEWS

2008.7  
No.39



## マントルの構造とプレートの運動

研究成果・トピックス 2~4  
~地震波で地球の内部を探る~

行事報告 5  
第16回SPring-8施設公開  
ここが科学の最先端—スプリングエイト

SPring-8 Flash 6  
ナノテクノロジー放射光利用研究の最前線  
SPring-8 ワークショップ「ヘルスケア」(第5回SPring-8ヘルスケア研究会)

今後の行事予定 6

SPring-8ホームページアドレス

<http://www.spring8.or.jp/>

# 研究成果 トピックス

## 地震波で地球の内部を探る

### 地球の内部はどうなっているのか

私たちが立っている大地の下は、いったいどうなっているのでしょうか。

子どものころ、地球の内部はおおまかに、地殻、マントル、核からできていると学びました(図1)。しかし、それが何からできているのか、細かい構造がどうなっているかはまだわからない部分が多く、これらの解明が重要な研究対象となっています。では、行くことができず見ることもできない地下の様子を、どのように調べるのでしょうか。

地球科学の研究者たちは、地震波の速度を測ることによって地球の内部構造を詳しく知ろうとしています。

地震が起きたときに伝わる揺れ、それが地震波です。地震は世界各地で頻繁に起こっています。そして何年かに一度、巨大な地震が起こりますが、その地震波は地球の反対側にも届きます。たとえば、南米で起きた巨大地震の揺れは日本にまで伝わり、観測されます。

その地震波は、地球の内部を通過してきたものです。どのくらいの速さで伝わってきたかがわかれば、詳しく解析することで地球内部の物質や性質が推定できるの

です。図2は地球内部の地震波速度と、それをもとに計算した密度のグラフです。たとえばマントルの一番下(地下2900km付近)の密度はおよそ5g/cm<sup>3</sup>。これは気圧に換算して約136万気圧という、非常に高圧であることがわかります。

### 実験室でマントルの様子を調べる

ただ、いつ起こるのかわからない地震を待っているだけでは研究が進みません。愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター(GRC)長の入船徹男教授は、地球内部の条件を実験室で作出し、仮想的な地震波を伝わらせて速度を測る実験を行っています。実験は、観測されている自然の地震波速度と比較検討しながら進めます。

入船教授は、地殻の下にあるマントルについて研究しています。マントルは圧力や構成成分の違いによって上から、「上部マントル」「マントル遷移層」「下部マントル」に分かれます(図1)。このうち比較的圧力が低い上部

マントルは、「かんらん岩」が主成分であることがわかっています。地震波をはじめ、ときおり地表に吐き出されてくる上部マントル由来の成分を調べるなどして、ほぼ間違いないと結論付けられています。

より高圧のマントル遷移層は、地震波速度の特殊な変化(図2)から、マントル全体の運動や形成過程を知るうえでの鍵とされています。しかし、20万気圧にもおよぶ条件で地震波を測定するのは技術的に難しく、「これまで『かんらん岩』か『ピクロジャイト岩』かで論争になっていました」(図3)と入船教授。そして、さらに圧力が高まる下部マントルについてはほとんどわかっていません。

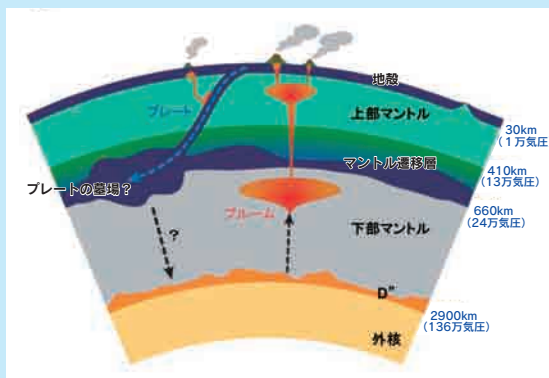


図1. マントルの構造とプレートの運動  
マントルはおおまかに、上部マントル、マントル遷移層、下部マントルに分かれる。それ以外にもプレートの目地やD''層などがあると考えられており、マントルの構造やダイナミクスは複雑である(愛媛大学GRC土屋旬氏提供)。

この記事は、愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター(GRC)長の入船徹男教授にインタビューをして構成しました。

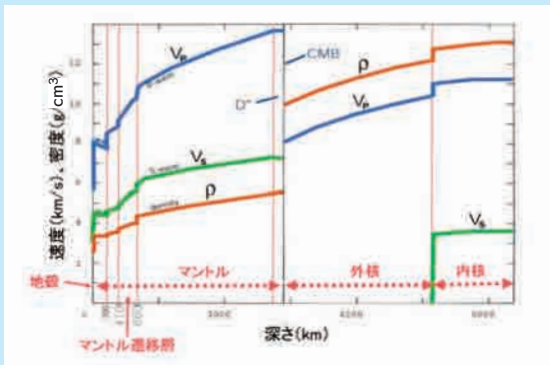


図2. 地球内部の地震波速度・密度  
 $V_p$ はP波(縦波)の速度、 $V_s$ はS波(横波)の速度、 $\rho$ は内部物質の密度。密度の決定精度は約±2~3%である。マントルと核の境界や、地下410kmから660kmの「マントル遷移層」は速度が不連続になっている。

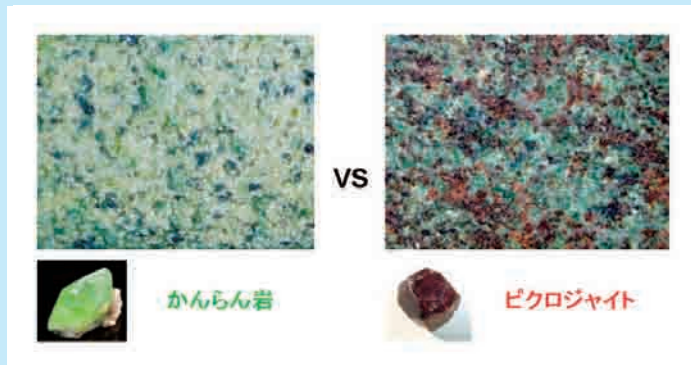


図3. 「かんらん岩」か「ピクロジャイト岩」か  
 かんらん岩は、かんらん石6割、ざくろ石・輝石など4割からなる。ピクロジャイト岩は逆に、かんらん石4割、ざくろ石・輝石など6割からなる。

## 超 高压・高温での測定

実験では、かんらん岩やピクロジャイト岩を構成する鉱物を、目標とするマントル遷移層の圧力・温度(20万気圧、1400°C)に置き、地震波の代わりに超音波を岩石試料に流して、その速度を測ります。そのうえで、観測値と比較してかんらん岩かピクロジャイト岩かを決定します。

手順は以下のとおりです(図4)。  
 ①正八面体の圧力容器(ピンク)に穴をあけて岩石試料(青)を入れ、8個の超合金アンビル(薄い青)で押さえつける。圧力容器とアンビルの接する面が小さいほど大きな圧力がかかる。  
 ②アンビルの角から超音波を発生させて試料に当てる。  
 ③放射光X線を用いた画像により試料の長さを正確に測

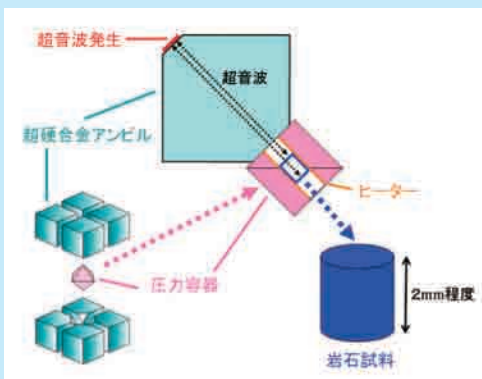


図4. 超音波(地震波)速度の測定

り、また超音波の試料通過時間を測る。④長さ÷時間で速度を求める。

高い圧力と温度で精密な速度測定を行うには、いくつかのポイントとなる技術が必要です。試料を壊さずに圧力と温度を上げること。高温・高压状態で試料の長さや超音波の通過時間を正確に計ること。また、岩石試料や八面体の圧力容器は1回の測定にしか耐えられないので、同じ品質の試料を作製するノウハウが重要です。「私たちは超音波速度の測定をするために、まず試料や圧力容器を作るところから始めるのです」と入船教授は言います。

愛媛大学の研究室には、圧力容器などを工作する旋盤機械、人の身長をゆうに超える大きな圧力装置などがところ狭しと並べられています。ここでは予備的な実験を行い、本番の実験は、SPring-8のビームラインBL04B1と超高压装置SPPED-1500を使って行いました。試料の長さを正確に測るには、高輝度の放射光X線が欠かせないからです。

## かんらん岩で決まりか

結果を図5に示しました。P波\*の速度( $V_p$ )、S波\*の速度( $V_s$ )どちらからも、かんらん岩(黄緑線)のほうがピクロジャイト岩(赤線)より観測値(灰色線)に近いことがいえます。この結果により、「今回、長い論争に決着を付けることができたのではないかと考えています」と入船教授。

もちろん、これですべてが終わったわけではありません。たとえばマントル遷移層の下部、地下600km付近を見ると、かんらん岩、ピクロジャイト岩のどちらも観測値に合わないことがわかります。これは「ハルツバ

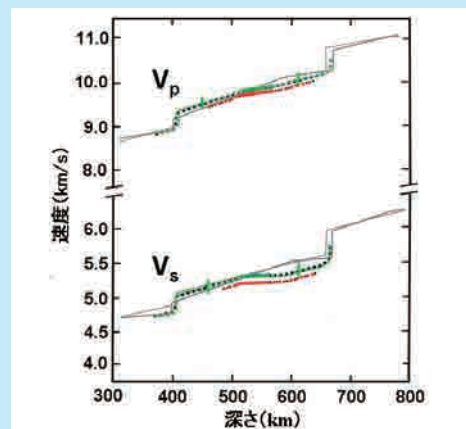


図5. かんらん岩とピクロジャイト岩の地震波速度  
 黄緑線はかんらん岩、赤線はピクロジャイト岩で、実線は実験値、点線は予測値。2本の灰色の実線は自然の地震波の観測値(Irifune et al. 2008)。かんらん岩の黄緑線のほうが、観測値の灰色線に近い。

ージャイト岩」という海洋プレート\*の成分によって説明できる可能性があります。かんらん岩の測定値からその超音波速度を推定すると、観測値に近い結果になることがわかりました。

これらの実験結果から、いろいろなことがいえるようになりました。マントル遷移層は、上部マントルと同じかんらん岩でできている。ただし、マントル遷移層の下部は、かんらん岩ではなくハルツバージャイト岩である可能性が高い。すると、ここは沈み込んだ「プレートの墓場」なのかもしれません(図6)。

## 地球のさらに深くへ

入船教授は今後の研究について、「マントル遷移層すべての速度を測定し、下部マントルに

ついても実験を行っていきます。下部マントルは地球の体積の半分以上をしめています。その性質や成分が詳しくわかれば、地球の原材料の起源解明につながるのです」と語ります。

そのためには、さらに高い圧力・温度条件で測定する必要がありますが、入船教授は、現在の装置でマントル下部の24万気圧を超える30万気圧まで測定できると考えています。それ以上の圧力条件についても、「ダイヤモンドを固めた新型のアンビルを使った技術を開発中です」と言います。いずれ近いうちに、136万気圧もある外核の条件にも到達

できるかもしれません。

また入船教授は、マグマの地震波測定や、地震学者やシミュレーションの研究者と協力して「プレートの墓場」に沈み込んだプレートの動きの解明なども目指しています。地球内部の様子は、徐々に解明されつつあります。

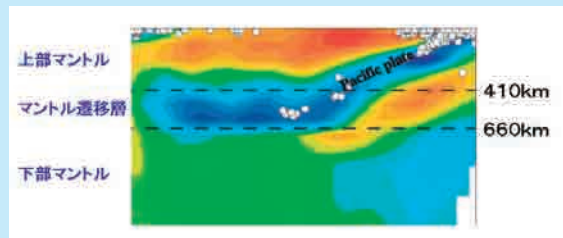


図6. プレートの墓場

地震波トモグラフィー (CT) でみた、海洋プレートがマントル遷移層に沈み込む様子 (Huang and Zhao (2006)より)。たまたまプレートが外核に落ち込む「フラッシングモデル」が提唱されているが、このままマントル遷移層に留まる可能性もある。「フラッシングモデル」は映画「日本沈没」の科学的根拠となったアイデアだが、プレートがマントル遷移層に留まるなら、映画のような日本沈没は起きないことになる。

## コラム 松山の四季

愛媛大学GRCのホームページ (<http://www.ehime-u.ac.jp/~grc/>) には「松山城の四季」というコーナーがあり、入船教授が撮影した写真がたくさん見られます。「松山城にはよく行くんです」と教授。



また、ノートパソコンの壁紙は道後温泉。「最近、周りの建物

を取り払って全景が見えるようになったので、写真に収めました」。入船教授の居室には、撮影に欠かせない立派な三脚が。かなりの写真通です。「でも最近は仕事が忙しくて、あまり写真を撮りに行けませんね」。重要な成果を出した研究者のため息が聞こえます。



道後温泉 (入船教授撮影)

文：吉戸智明 協力：サイテック・コミュニケーションズ

## 用語解説

### ●P波、S波

岩盤中を伝わる地震波。P波 (Primary wave) は地震が発生したとき最初に到達する地震波で、初期微動を起こす。S波 (Secondary wave) は2番目に到達し、主要動とよばれる大きな揺れを起こす。

### ●プレート

地球の表面を覆う十数枚の岩盤。大陸プレートと海洋プレートがあり、海洋プレートは大陸プレートより密度が高いため、ぶつかると海洋プレートは大陸プレートの下に沈んでいく。

# 行事 報告

## 第16回SPring-8施設公開 ここが科学の最先端—スプリングエイト

4月27日(日)、科学技術週間にちなんで、今年で16回目となる恒例の施設公開を開催しました。天候に恵まれたこともあり、過去最高の3,590人もの方々にご来場いただきました。当日は、兵庫県のマスコット「はばタン」などが大活躍。施設公開は大いに盛り上がりました。

今年は例年の「放射光発生装置（加速器設備）」、「実験ホール」、「X線自由電子レーザー試験加速器」などに加えて、2月15日にオープンした兵庫県放射光ナノテク研究所が新たに公開されました。ナノテク研究所では、電子顕微鏡を用いて花粉分子をモニターに映し出したり、変装した講師によるセミナーが開催されたりといった内容で、大人から子供にまで好評でした。



©「神様のパズル」製作委員会  
6月7日公開の「神様のパズル」のSPring-8でのロケ風景写真を展示しました

また、6月から公開中の映画「神様のパズル」の撮影が昨年SPring-8において行われ、その撮影風景の写真を実験ホール内に展示したところ、非常に大勢の方々が関心を示して下さり、終始、人の波が絶えることはありませんでした。もし今後映画をご覧になる方がいらっしゃればSPring-8で撮影されたカットをぜひ見つけて下さい。

見学ツアーは、「放射光発生装置（加速器設備）ツアー」と「実験ホールツアー」の2つを企画しました。併せて定員680人のところに約1400人も応募があり、抽選となりました。見学ツアーは来年も実施する予定ですので、今年惜しくもご参加いただけなかった皆様は、来年もぜひご応募ください。

科学講演会は、4人の講師により、それぞれSPring-8を利用した研究成果について講演していただき、会場は終始満員でした。

土山明教授（大阪大学大学院）には「彗星の塵」、永井耕介研究主幹（兵庫県立農林水産技術総合センター）には「農産物の産地判別」、田中裕久エグゼクティブ・テクニカル・エキスパート（ダイハツ工業(株)）には「自動車触媒」、岩本裕之主幹研究員（(財)高輝度光科学研究センター）には「昆虫のはばたき」をテーマに講演いただきました。聴講された方からは、「SPring-8は特定の分野に特化した研究施設だと思っていたのに、いろいろな研究分野で利用されているなんて知らなかった！」との感想があり、SPring-8の新たな一面を発見していただけるよい機会となったようでした。

その他各会場では、実際に手で触れることができるような体験イベントコーナーを数多く設置していたこともあり、科学の不思議に興味津々の子供たちで絶えず一杯でした。

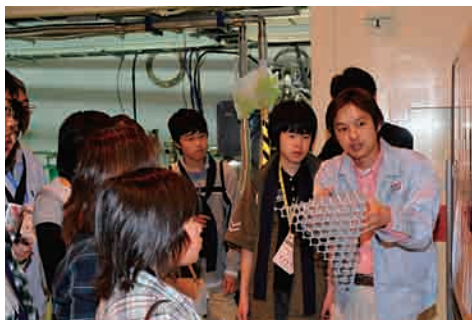
来年もSPring-8や科学に関心を持っていただけるようスタッフ一同知恵を絞って皆様のお越しをお待ち申し上げておりますので、是非またご来場下さい。（広報室）



玄関で来場者を出迎えるはばタン



サウンドビーム



実験ホール1周ツアー



加速器収納部の公開

## ナノテクノロジー放射光利用研究の最前線

5月7日、(独)日本原子力研究開発機構 (JAEA)、(独)物質・材料研究機構 (NIMS)、立命館大学、(財)高輝度光科学研究センター (JASRI) の主催による平成19年度文部科学省ナノテクノロジー・ネットワーク/重点ナノテクノロジー支援放射光利用研究成果報告会「ナノテクノロジー放射光利用研究の最前線2007」が大阪市で開催され、113名が参加しました。この報告会では、平井康晴氏 (九州シンクロトロン光研究センター副所

長)、佐々木高義氏 (NIMSナノスケール物質センター長) による招待講演2件と、文部科学省の委託事業「ナノテクノロジー・ネットワーク」に参画するJAEA、NIMS、立命館大学がSPring-8及び立命館大学SRセンターにおいて支援した研究成果の中から、特にすぐれた成果4件及び、JASRIがSPring-8で行った「重点ナノテクノロジー支援」に基づいて支援した研究成果の中から、特にすぐれた成果4件の研究成果報告がありました。また「ナノテクノロジー・ネットワーク」研究成果のポスター発表11件と「重点ナノテクノロジー支援」研究成果のポスター発表10件が行われ、ナノテクノロジー研究における放射光の有効性と可能性を広く産学官の研究者の方々に理解していただく機会になりました。(独)日本原子力研究開発機構)



## SPring-8ワークショップ「ヘルスケア」(第5回SPring-8ヘルスケア研究会)

私たちが視野に入れているヘルスケアの対象製品としては化粧品、食品、医薬品などがあります。これらの新製品の開発を目指した研究が進められています。実験により、分子レベルでの構造が調べられ、外から見えない構造を透視して見ることができ、元素の種類を識別して検出できます。今回のワークショップは2008年5月8日(木)キャンパスイノベーションセンター東京地区で新規化粧品の開発が盛んな分野である毛髪に絞って行われました。はじめに毛髪の構造研究の最前線と毛髪中のカルシウム濃度を測ることによるガンの早期発見



見についての基調講演が行われ、引き続き実施例の紹介がありました。毛髪の中に高分子が入ること、またそれらがどこに入っているかを微小領域の分光ができる赤外顕微鏡で、分子振動を検出して画像化しました。高分解能X線CT法を用いて、ダメージヘアの内部構造を得ることができました。毛髪を長さ30 $\mu\text{m}$ (マイクロメートルは1000分の1mm)の輪切りにし、円形の断面に垂直に5 $\mu\text{m}$ のマイクロビームX線を入射しビームを少しずつ動かし、X線の回折像を取得することにより断面内の構造変化を分子レベルで明らかにしました。このように毛髪の研究一つをとってみてもSPring-8でのいろいろな手法を駆使して行われており、SPring-8利用について多くの研究者が益々関心を寄せています。(産業利用推進室)

## 今後の 行事予定

- 8月6日～8日 第11回高校生のためのサイエンスサマーキャンプ (SPring-8)
- 8月6日～8日 第11回XAFS (X線吸収微細構造) 討論会 (姫路市)
- 8月18日～22日 第6回ホウ酸ガラス、結晶ならびに融体に関する国際会議 (姫路市)
- 9月18日～19日 SPring-8産業利用報告会 (第5回) (東京)

## 施設見学の申し込み方法

見学のお申し込みについては、電話で広報室までお問い合わせ下さい。また、以下ホームページからお申し込みいただけます。

(財)高輝度光科学研究センター 広報室

電話番号:0791-58-2785

ファックス番号:0791-58-2786

URL:[http://www.spring8.or.jp/ja/support/contact/site\\_tour/](http://www.spring8.or.jp/ja/support/contact/site_tour/)

編集 SPring-8 News 編集委員会

発行  **財団法人 高輝度光科学研究センター**  
Japan Synchrotron Radiation Research Institute  
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都1丁目1番1号  
TEL(0791)58-2785 FAX(0791)58-2786 E-mail:kouhou@spring8.or.jp

広報室

ホームページアドレス  
<http://www.spring8.or.jp/>