地震研究所ニュースレター

NEWS LETTER Plus

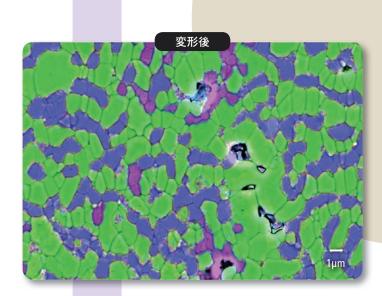
NEWS LETTER Plus

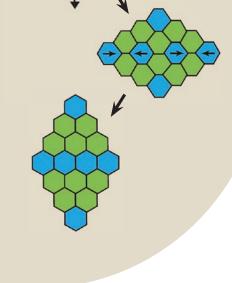
Earthquake Research Institute,

The University of Tokyo

変形前 1μm

特集





ントルは岩石だが、変形し、流動する。

それを実験室で再現できれば、マントル対流や、

それが引き起こす地震などのメカニズム解明につながる。

しかし、地球と実験室は時間や空間のスケールが異なり、再現はとても難しい。そうした中、平賀岳彦准教授は、

ナノメートルサイズの粒子を焼き固めた特殊な岩石を使うことで、

マントルが変形し引き伸ばされる様子を、

動画を早送りしたかのように観察することに成功。

粒子と粒子の隙間。地球科学と材料科学の隙間。

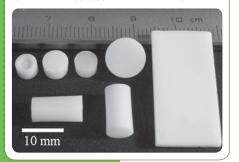
平賀准教授は、隙間学で地球科学を解こうとしている。



地震研究所 物質科学研究部門 准教授 平賀岳

図1 岩石試料

鉱物の微細な粒子を焼き固めてつくる。さまざまな 形、大きさの試料を作製することができる。



岩石をつくる

「実験に使う岩石は、粉をこねて焼いてつくっています。まるで陶芸家のようです」と平賀岳彦准教授は笑う。なぜ岩石をつくるところから始めるのだろうか。

「地球内部のマントルでは岩石が変形して流動し、そのマントル対流が地震などさまざまな現象を引き起こしています。岩石の流動を実験室で再現し、その過程を理解したいのです。しかし、マントル由来の岩石を持ってきて地球内部を再現した高温高圧の環境に置いて観察していても、岩石は流動しません。岩石は、何万年、何百万年もの長い時間をかけて動くからです」と平賀准教授。「どうしたら、その時間の壁を越え、現実的な時間スケールで岩石の流動を実験室で再現することができるのか。私は、実験に使う岩石を変えなければ駄目だと考えていたのです」

平賀准教授は、地震研で研究を始めるに当たって、「岩石をつくること」を一つ目の目標に据えた。「石の上にも3年といいますが、3年ほどかけてようやく実験に使える岩石をつくることができました。ポイントは岩石を構成する粒子の大きさです。粒径が小さくなるほど粒子が移動しやすくなり、岩石の変形が速くなるのです。そのことは知られていたのですが、小さな粒子をつくることが難しかったのです!

岩石は普通、数mmの粒子が集まってできている。これまでは岩石を砕いて小さな粒子をつくり、それを焼き固めていた。しかし、砕いてつくる粒子は10μmほどが限界だ。平賀准教授は、もっと小さい粒子をつくれないものかと、手掛かりを探して情報を集めていた。「ある日、フォルステライトの微小粒子からセラミックスをつくったという論文を見つけ、これだ!と思いました。すぐに論文の著者である物質・材料研究機構の大橋直樹氏に連絡を取りました」。その論文の共著者である宇部マテリアルズの佐野聡氏も加わり、共同研究がスタートした。

「マントルは主にオリビンという鉱物から成ります。フォルステライトは鉄が入っていないものの、そのほかの組成はオリビンと同じです。そして、彼らが合成したフォルステライトの粒子は直径100nm(1nmは10億分の1m)と、とても小さいのです。フォルステライトの微小粒子からつくった岩石を使えば、マントルの流動を実験室で再現できるはずです」

岩石が水あめのように伸びる 超塑性現象

フォルステライトの微小粒子を焼き固めて、 幅1cm、長さ2cmほどの岩石を作製(図1)。 よりマントルの組成に近づけるため、エンスタタイトとダイオプサイドという鉱物も加えた。そして平賀准教授は、セラミックスの高温変形が専門である物質・材料研究機構の吉田英弘氏らの協力のもと、その試料を引っ張る実験を行った。

「普通、岩石を引っ張る実験はしません。岩石は引っ張りに弱く壊れてしまうからで、ほとんどの場合、圧縮実験です」と平賀准教授。にもかかわらず、なぜ岩石を引っ張ったのだろうか。「物質を構成する粒子が非常に小さいと、超塑性という性質が現れることが知られています。直径100nmの粒子ならば超塑性が現れるはずだと考えたのです」。伸びた物が元に戻らない性質を塑性といい、数倍以上に伸びる場合は超塑性と呼ぶ。マントルが海溝などで沈み込むときに超塑性が出現していると考えられているのだ。

そこで、平賀准教授は作製した岩石を秒速0.001mmで左右に引っ張った。数時間引っ張り続けると、岩石は6倍以上に伸びた(図2)。超塑性が現れたのだ。「地球内部のマントルで起きている現象を早送りして観察することに成功したのです。実は、大学院生のころから岩石の超塑性を調べたいと思っていました。20年来の夢がようやくかないました

さらに興味深いことに、岩石が伸びていく と、粒子が隣の粒子と連なって大きくなること が分かった。表紙の上が変形前、下が変形 後の岩石の走査型電子顕微鏡写真で、緑 がフォルステライト、青がエンスタタイト、ピン クがダイオプサイドである。縦方向に変形す ると、粒子の長軸が変形方向にそろい、一方 で、同じ鉱物の粒子同士は変形方向にほぼ 直交した方向に連なる。そのメカニズムは、変 形中の粒子のスイッチングと、同じ種類の鉱 物同士の衝突・合体で、うまく説明された(表 紙右)。粒子が連なって大きくなれば、超塑性 は失われる。地球では、マントルは海溝などで 沈み込むときに超塑性が現れて伸び、やがて 超塑性が失われて硬くなると考えられる。この 現象は、地震発生のメカニズムにも深く関わ っているに違いない。

しかし、引っ張りに弱いはずの岩石が、なぜ壊れてしまわなかったのだろうか。「そこが、この試料のすごい点です」と平賀准教授。「粒子を焼き固めると普通は隙間がたくさんできてしまい、引っ張ると隙間から壊れてしまいます。一方、ナノスケールの粒子は焼くとなぜか隙間がなくなり、壊れにくいのです。地球内部は圧力が高いため、粒子の隙間はありません。その点でも、この試料は、マントルをよく模擬しているといえます」

図2 マントルを模擬した 岩石試料の 引っ張り試験

秒速0.001mmで数時間、左右に引っ張った。その結果、6倍以上伸び、超塑性を発現していることが確認できた。



地震波速度異方性が起きる 新しいメカニズム

平賀准教授は、フォルステライトの微小粒子からつくった岩石を使った実験を進める中で、気になる現象を見つけた。「岩石に力を加えると、結晶(鉱物1粒子)の軸の向きがそろう場合と、そろわない場合があるのです。調べてみると、結晶が長細い"ノビノビタイプ"はそろわないことが分かってきました。これだけでも大きな発見ですが、それが地球内部の現象と関わりがあればさらに面白く、インパクトも大きくなると考え、すぐには論文発表しませんでした。するとある日、地震研の研究セミナーでよく見掛けていた地震波速度異方性の図がふと頭に浮かんだのです

地震波速度異方性とは、地震波の伝搬速度が方位によって異なることをいい、結晶の軸の向きがそろうことによって生じる。結晶軸がそろうのは転位クリープによるというのが定説となっていた。転位クリープとは、結晶にはすべりやすい面があり、岩石が流動して力がかかるとその面ですべるために結晶軸がそろう、というものだ。「しかし、地球内部は常に力がかかっているのに、結晶軸の向きがそろっていない場所もあります。転位クリープ以外のメカニズムの存在が示唆されていましたが、深くは検証されてきませんでした。私たちは、岩石実験の結果から、結晶軸の向きがそろうかどうかは結晶の形に依存しているという新しいメカニズムを提唱しました」(図3)

新メカニズムに対して懐疑的な意見もある。そこで、平賀准教授は結晶が並ぶ様子を見せてしまおうという実験を計画している。あらかじめ結晶に細い線を入れておく。ナノテクノロジーの技術を使えば簡単である。力をかける前と後で線の向きを確認すれば、どう動いたかが一目瞭然だ。「丸形は結晶軸がそろわないと言いましたが、まったく動かないからなのか、回転していても止まらないからなのか、も分かると期待しています」

隙間学

次々と実験を行い、次々と発見をしている

平賀准教授の強みは何か。「私は、粒子と粒子の境界、粒界を専門にしてきました。粒子が動くときに最も重要なのは粒界です。しかし、地球科学で粒界を専門にしている人は、私のほかにいません。さらに、私は材料科学も分かる。これも大きな強みですね」

平賀准教授は、大学では地質学を専攻していた。「山が好きなので地質調査は楽しいのですが、岩石を見て、何が含まれていて、どのような過程を経ているかを読み取るのは苦手でしたね。先生は手にした岩石の履歴を語ってくれるのですが、どうして見ただけでそんなことが分かるのだろうと思ってしまうのです。そ

のころから、材料科学の視点で地球科学を 見るべきだと考えるようになっていました。材 料科学の研究者だった父の影響も大きいで すね」

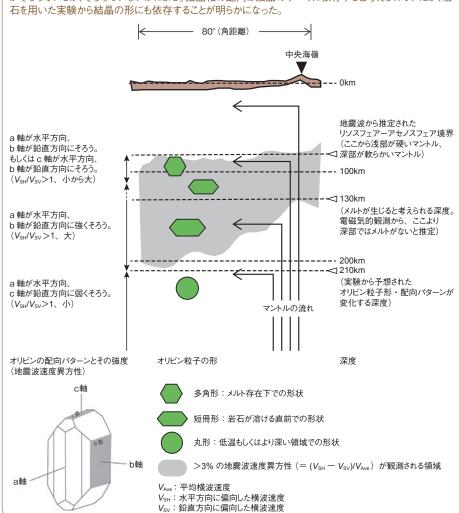
「材料科学と地球科学は、考え方が逆」と 平賀准教授は言う。「材料科学では、どの材料をどの機械に入れて何をしたのかを知っています。地球科学では、機械から出てきた物を見て、材料は何で、何をしたのかを理解しないといけない。私には無茶な話に思えます。自分で岩石をつくって実験するようになって、初めて分かるようになったことはたくさんあります|

平賀准教授は「専門は隙間学と言っておこうかな」と笑う。「粒子と粒子の隙間であり、地球科学と材料科学の隙間。隙間学で地球科学を解きたいですね。数cmの試料を使った1日の実験が、数千kmに及ぶ数万年の地球の現象とつながっているのです。時空を超えられることが、私たちの研究の醍醐味です」

(取材・執筆:鈴木志乃/フォトンクリエイト)

図3 岩石実験で推定された太平洋底に横たわるマントルアセノスフェア内のオリビン粒子形、 結晶配向パターンとそれに基づく地震波速度の特徴

マントルでは、地震波の伝搬速度が方位によって異なっており(地震波速度異方性)、それは結晶軸の向きがそろっているか、そろっていないかによる。結晶軸の配向は結晶のすべりに依存すると考えられていたが、岩石を田いた宝験から結晶の形によ体左することが明らかになった。





軽減方策の探究とである(寺田寅彦)直接又は間接に地震に起因する災害の予地震に関する諸現象の科学的研究と本所永遠の使命とする所は

東京大学地震研究所 ニュースレターPlus 第20号

発行日 2014年10月10日 発行者 東京大学 地震研究所 編集者 地震研究所 広報アウトリーチ室 制作協力

制作協力 フォトンクリエイト (デザイン:酒井デザイン室)

問い合わせ先 〒113-0032 東京都文京区弥生1-1-1 東京大学 地震研究所 広報アウトリーチ室

Eメール orhp@eri.u-tokyo.ac.jp ホームページ http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/

TOPICS

イベント報告

●東京大学地震研究所外部評価

2014年6月10~12日の3日間、外部評価委員会が開かれました。2009年以来の開催となります。国内外から評価委員の方々にお越しいただき、評価・助言を頂きました。

●地震研究所 2014年度公開講義・一般公開・ オープンキャンパス

2014年8月6日に、地震研公開講義・一般公開が、7日にオープンキャンパスが開催されました。両日の来場者数は合計1000名を超え、盛況のうちに終えました。

例年3月に開催している公開講義も、今年は一般公開 と同時開催となり、堀宗朗教授による「スーパーコンピュ ータを使った地震のシミュレーション」と西田究准教授に よる「地球の独り言:地面の"ゆれ"を聴いてみよう」の2テ ーマで講義が行われました。





受賞

佐竹健治教授・堀宗朗教授が編集した『東日本大震災の科学』(東京大学出版会)が、土木学会による「平成25年度出版文化賞」を受賞しました。多角的な視点で東日本大震災の実像に迫ったこと、また次なる巨大地震に対する防災・減災について提言を行ったことが高く評価されたものです。

最近の研究から

最近の研究を紹介するコンテンツ「最近の研究から」に、 新たな論文が追加されています。ぜひご覧ください。

http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/category/thesis/

- ●地球の自己重力と弾性が引き起す遠地津波の走時 遅延と初期反転位相
- 地震波速度の時間変化による火山性流体のマッピング
- ・沈み込んだプレートの穴と長白山火山の起源のなぞ 一NECESSArray計画:中国大陸からみる地球内部 の活動─

地震·火山情報

●西之島の噴火活動

2013年11月21日に始まった西之島の噴火活動が今も続いており、ホームページで随時情報を更新しています。 http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/20111122 nishinoshima/

●2014年7月12日福島県沖の地震

2014年4月から観測を再開した釜石市沖海底ケーブル 式地震津波観測システムで観測された海面変動をホームページに掲載しました。http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/2014712fukushimakenoki/

●2014年9月27日御嶽山の噴火

2014年9月27日午前11時52分に、長野県と岐阜県の境にある御嶽山で噴火が発生しました。ホームページ上に特集ページを設けました。http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/20140929ontakesan/

INFORMATION

人事異動

●7月1日

転出 ・ 倉光知恵 庶務チーム・人事 係長 転入 ・ 今村 智 庶務チーム・人事 係長

平成27年度地震研究所共同利用・ 共同研究および客員教員公募について

平成27年度共同利用につきまして、下記の通り共同利用・ 共同研究と客員教員の公募を行っています。

- ●公募事項:共同利用・共同研究(特定共同研究A、B、C への参加者、一般共同研究課題、および研究集会) 客員教員(国内)
- ②申請資格:国立大学法人、公・私立大学及び国・公立研 究機関の教員・研究者又はこれに準じるもの。

●6月1日

採用 ・安藤美和子 技術部総合観測室 技術職員

❸申請方法:指定の書式に記入の上、共同利用・共同研究はwebより、客員教員は郵送にて提出してください。

④申請期限:平成26年10月31日(金)

共同研究の種別の詳細と書式については下記のホームページをご参照ください。

http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/sharing/info.html 皆さまからの申請をお待ちしております。