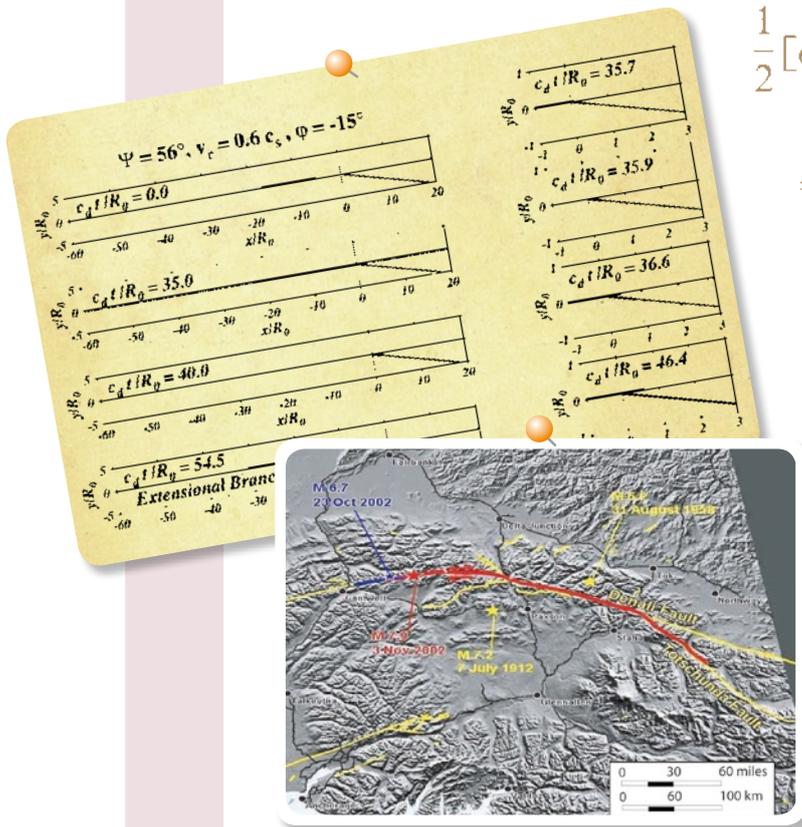


# PIUS 地震研究所 ニュースレター

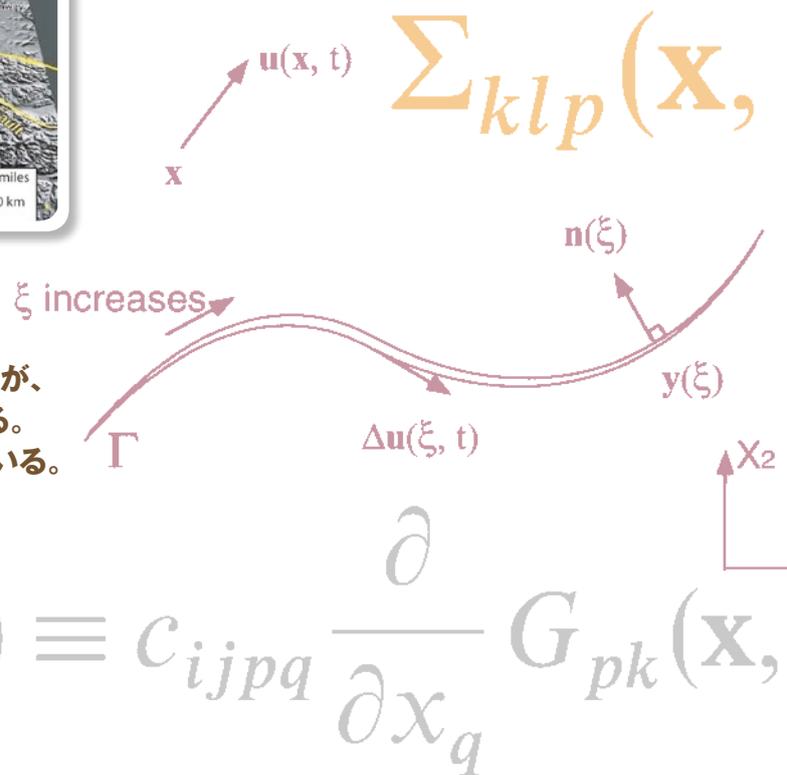
NEWS LETTER Plus No.13  
Earthquake Research Institute,  
The University of Tokyo



$$\frac{1}{2} [\sigma_{11}(\mathbf{x}, t) + \sigma_{22}(\mathbf{x}, t)]$$

$$= -\text{p.f.} \int_{\Gamma} d\xi \int_0^t d\tau \Delta \dot{u}_t(\xi, \tau) \mu(\lambda + \mu) \left\{ [n_2^2(\xi) \times \left[ \frac{\partial^2}{\partial x_1 \partial x_2} (R_{11} + R_{22}) + \left( \frac{\partial^2}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2}{\partial x_2^2} \right) R \right] + 2n_1(\xi)n_2(\xi) \left( \frac{\partial^2}{\partial x_1^2} R_{11} - \frac{\partial^2}{\partial x_2^2} R_{22} \right) \right\},$$

**地震**はどのように起きるのか。  
その難問に数理的なアプローチで挑んでいるのが、  
数理系研究部門の山下輝夫教授と亀伸樹准教授である。  
地震の発生には、いくつかの原因が複雑に絡み合っている。  
その複雑な現象に潜む規則性を見つけ、  
地震の発生を統一的に理解することを目指す。  
それは、地震の発生予測にもつながっていく。



特集

## 地震の起こり方を 物理する



# 物理地震

# その起こり方を

取材協力  
数理系研究部門

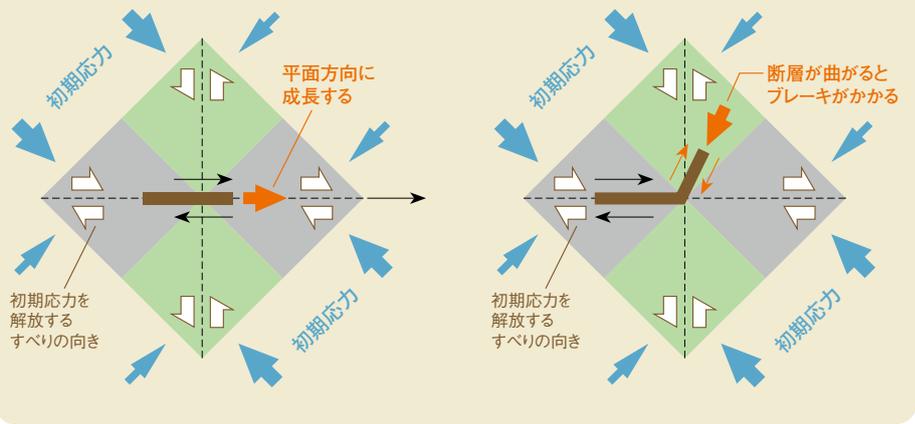


山下輝夫  
教授



亀 伸樹  
准教授

図1 断層の破壊が止まるメカニズム



## 地震はいろいろな原因が複雑に絡み合って起きる

地震はどのように起きるのだろうか——人類はまだ、その答えを手にしていない。「地震とは、地下の岩石が壊れて断層がすべる現象です。地震の発生はとても複雑で、さまざまな原因が絡み合っています。しかも、原因と原因の相互作用が“非線形”であるため、地震の発生を理解することは、とても難しいのです」と山下輝夫教授。

非線形とは？ 複数の原因があっても、それぞれに影響はなく、原因の単純な足し合わせで結論を導き出すことができる場合を“線形”という。一方、非線形では、原因同士が影響し合い、原因の足し合わせでは導き出せない結果が出る。「非線形の現象はとても複雑で、その理解は一筋縄ではいきません。そこで私たちは、数理的なアプローチを取っています。理論的な手法とコンピュータシミュレーションを使い、どの原因が、また原因同士のどのような影響が、地震の発生に最も重要なのかを探ろうとしているのです」

「私たちの研究は、多くの人がイメージする地震研究とは少し違うかもしれませんね」と山下教授。地震計の設置や活断層の調査など山や海に行くことはない。また、研究室の机にはパソコンが置かれていない。「私たちの研究は、解き明かしたい現象の数理モデルをつくることから始まります。その現象を記述する計算式を頭の中で考え、ノートに書いていきます。手書きです。定式化できたら初めてパソコンに向かい、プログラムを打ち込みます。そして、さまざまな条件でシミュレーションを行い、解析していきます」

亀伸樹准教授は、なぜ実験をしないのですか、とよく聞かれるという。「実験では、地震が発生する地下と同じ高温高压状態をつくり出し、数cmの大きさの岩石試料を用いて岩石全体が破壊する様子を調べることができます。しかし、試料の中を破壊がどのように広

がるのか、どのように停止するかなど、途中の様子を詳しく捉えることはできません。一方、数理的な手法を使えば、岩石の大きさや性質、時間など条件を変えて、コンピュータの中で地震を再現することができます」

## 地震の破壊はなぜ止まる？

地震の発生を数理的に研究しているグループは、世界中を見ても多くない。「とにかく難しいのです」と山下教授。それでも、果敢に挑むのはなぜか。「複雑な現象にも規則性が潜んでいるはず。それを見つけ、地震の発生を統一的に理解することができれば、地震の発生予測にもつながります。亀君が大学院生のときに行った研究は、その先駆けといえるでしょう」

それはどのような研究なのか、亀准教授に解説していただく。「地震学では、観測された地震波形を説明できる震源の断層モデルをつくり、地震の発生を理解しようとしていました。その断層は単純な平面です。でも、割れたコップや折れた木の断面はギザギザです。断層モデルと自分が抱えている破壊のイメージが、あまりにもかけ離れていました。だから、断層はもっと複雑な形状をしているのではないか、と疑問に思ったのです」

そこで、断層が平面に限らずどの方向に成長してもいい新しい計算方法を開発し、シミュレーションを行ったところ、驚きの結果となった。「断層の成長があるところでびたっと止まったのです。びっくりしました」と亀准教授。平面の断層モデルのシミュレーションでは、断層がどこまでも成長していってしまう。そのため、実際の地震で断層の成長がなぜ止まるのか、大きな謎になっていたのだ。

「断層は最初、平面方向に成長していきます(図1左)。先端の速度が速くなると、破壊を起こそうとする力は平面から少し上にずれた方向で最大になります。その結果、断層は曲がり、平面からのずれが45度を超えると

断層の成長にブレーキがかかるのです(図1右)。破壊の方向が平面からずれることが、断層の成長を左右していることが分かりました」

それが1998年。その後、この計算方法を用いて2002年に発生したアラスカ・テナリ地震について断層の成長をシミュレーションしたところ、実際に破壊が進んだ経路と一致した。地震の規模は断層の長さで決まる。断層の破壊がどこから始まり、どこで止まるかが分かれば、地震の規模の予測にもつながると期待されている。しかし、亀准教授は「地震の起き方は断層面の形ですべて理解できるほど単純ではありません。さまざまな原因を考慮する必要があります」と指摘する。

### 流体と地震の複雑な関係

「私たちは最近、地下の流体と地震の関係に注目しています」と山下教授。アメリカ・デンバーで1960年代、工場の廃液を大量に地下に注入したところ、それまでほとんど地震が発生しなかった場所にもかかわらず、地震が多発するようになったという報告がある。廃液の注入量と地震の数は相関していた。この例のように流体が地震の発生に影響を及ぼしていることは知られているが、その詳しい仕組みは分かっていない。

「地震には、大規模なものから小規模なもの、群発地震、前震、余震など、さまざまなパターンがあります。地下の流体と地震の起こり方の関係からさまざまな地震を統一的に説明できるのではないかと考え、研究を進めています」と山下教授は言う。

地下では、深いところほど圧力が高くなる。地震が多発する深さ10kmくらいでは、1m<sup>2</sup>当たり約1万トンもの圧力がかかっている。高い圧力下で断層がすべると、摩擦によって熱が発生して1000℃にもなり、周辺の岩石が膨張する。このとき、岩石に含まれている流体の振る舞いが地震の起こり方に影響するという。「岩石が流体を多く含んでいる場合、摩擦熱によって流体が急激に膨張し、流体の圧力が高まります。その結果、岩石にかかっている圧力を打ち消して断層の摩擦が小さくなり、大きくすべって大規模な地震になります(図2A)」

流体には逆の効果もあるという。断層がすべると周囲の岩石が破碎される。すると、多くの隙間ができて、流体圧が急激に低下する。その結果、断層の摩擦が大きくなり、断層のすべりは小さく、小規模な地震で終わる(図2B)。断層の周りの岩石が均一で破碎されにくいと、この効果は働かない。

「流体、摩擦熱、岩石の破碎の相互作用は一見複雑ですが、摩擦熱が勝てば断層のすべりが促進され、破碎が勝てばすべりが抑制される、という規則性が見えてきました。“ゆっくり地震”のメカニズムも説明できるかもしれません」と山下教授は言う。

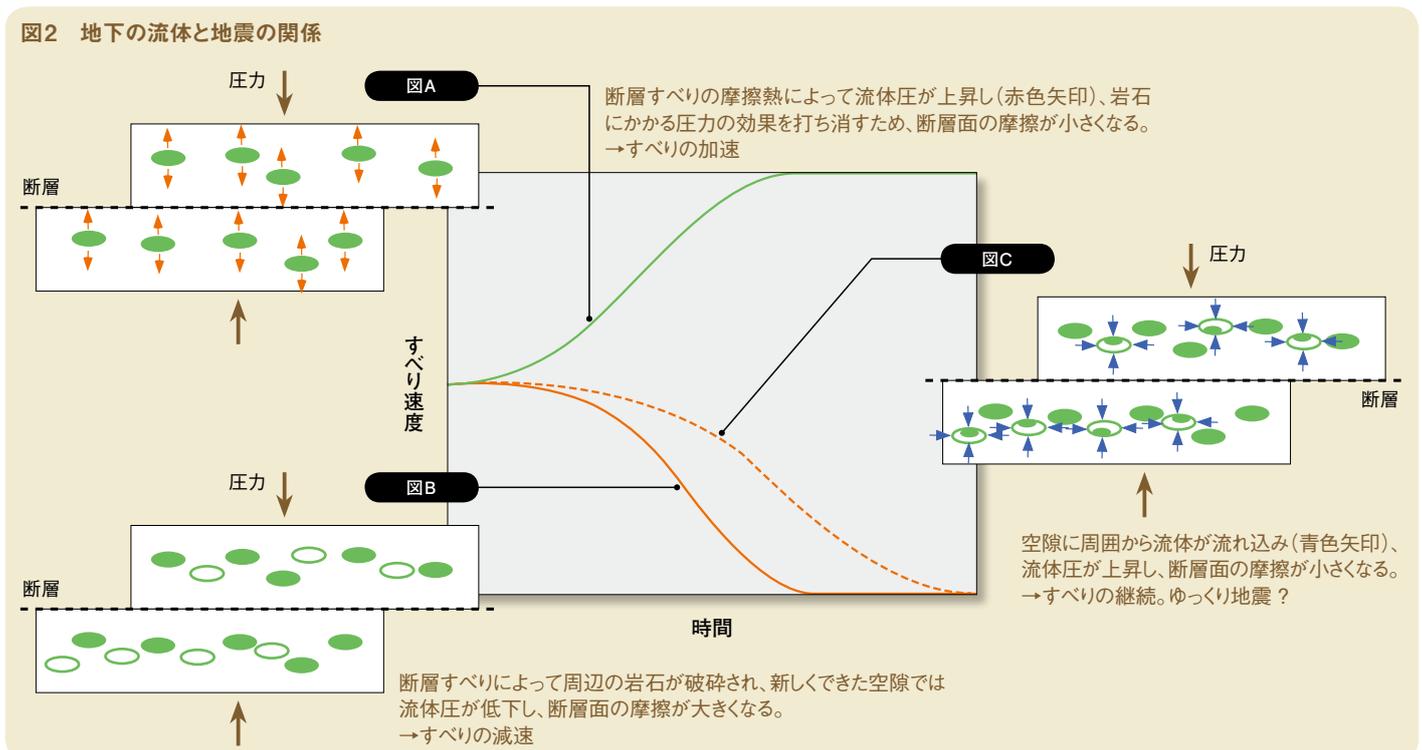
普通の地震では、断層がすべる時間は数秒から数十秒である。一方、ゆっくり地震では、数日から長いものでは1年以上にわたって断層がゆっくりすべり続ける。ゆっくり地震は東海地震の震源域などで観測され、地震学において最もホットなテーマの一つになっている。「断層がすべり始めると、周囲の岩

石が破碎されます。新しくできた隙間で流体圧が急激に低下し、断層のすべりはいったん抑制されます。しかし、流体が移動しやすい場合、しばらくすると断層付近の隙間に周囲から流体が少しずつ流れ込んで流体圧が高まり、断層のすべりが徐々に促進されていきます(図2C)。これが、ゆっくり地震の発生のメカニズムではないかと考えています」

### 数理的研究への招待

では、今後やらなければいけないことは何か。山下教授の答えはこうだ。「地震の起こり方を物理する」といっていますが、これまでの研究はほとんどが力学でした。岩石の性質や熱・流体の影響などを取り入れ、物理に仕立て上げていく必要があります。化学の要素も取り入れていくべきです」。亀准教授は、「すでに分かっている地下の断層構造をもとに、破壊はどこから始まり、どこで終わるのかをシミュレーションから導き出し、地震の発生予測につなげていきたい」と言う。

2人には共通の悩みがある。この分野に興味を持ってくれる学生が少ないことだ。では、亀准教授はなぜこの道に進んだのだろうか。「生物学や化学、地学も性に合わず、最後に残ったのがこれでした。理論的な研究は一人でできることも魅力」。山下教授は？「体を動かさなければいけないフィールドワークが面倒でね(笑)。地震の起こり方は分かっていないことばかりです。地震発生の数理的研究では、ちょっとしたアイデアでまだまだ大発見が期待できます。新しい見方ができる若い人にどんどん来てほしいですね」



今回の地震で観測された表面波。マリアナ海溝にトラップされた表面波(紫色)が一部地域で観測されている。

# TOPICS



噴煙を上げる新燃岳(撮影:1月27日、中田節也教授)

## 霧島連山の新燃岳が噴火

1月19日に小規模噴火を起こした新燃岳が、26日にマグマを噴出する本格的な噴火を起こしました。近隣の自治体では一時避難勧告が出るなど、緊迫した状態が続いています。地震研では特集ページを立ち上げるとともに、1月30日と2月8日に合同説明会を開催し、情報発信に努めています。[http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/eqvolc/201101\\_shinmoe/](http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/eqvolc/201101_shinmoe/)

## インドネシア・ムンタワイ諸島でM7.7の地震、ムラビ山で断続的な噴火

2010年10月25日午後11時42分(現地時間午後9時42分)、インドネシアのスマトラ島西方にあるムンタワイ諸島でM7.7の津波地震が発生し、500名以上の方が亡くなりました。[http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/eqvolc/201010\\_mentawai/](http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/eqvolc/201010_mentawai/)

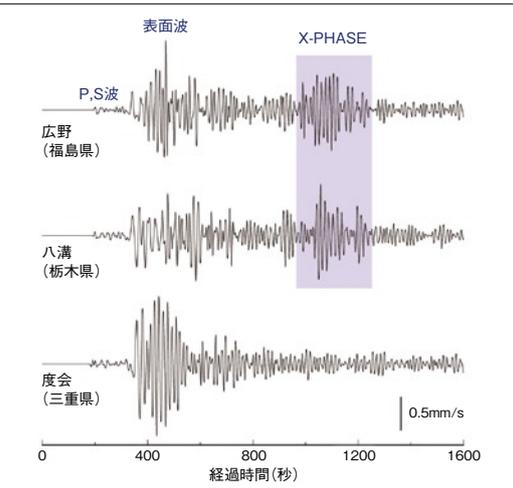
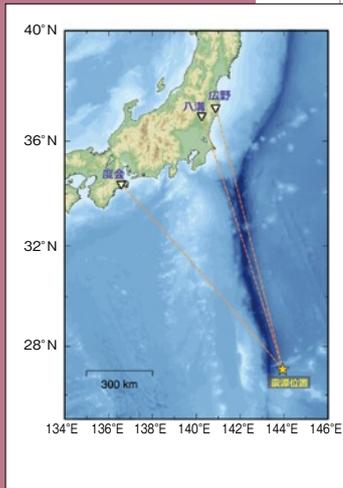
また、ジャワ島のムラビ山では噴火が断続的に起こり、11月末時点で300名を超える死者を出し、30万人以上が避難生活を余儀なくされました。

## 日本地震学会、アメリカ地球物理学連合にブースを出展

2010年10月27~29日に広島で開催された日本地震学会秋季大会、12月12~17日にサンフランシスコで開催されたアメリカ地球物理学連合秋季大会へブースを出展しました。



アメリカ地球物理学連合の地震研ブース



## 小笠原諸島でM7.4の地震

2010年12月22日午前2時19分ごろ、小笠原諸島父島東方のアウトライズでマグニチュード(M)7.4の正断層型の地震が発生し、東京都小笠原村で震度4を観測したほか、父島で最大30cm、神津島で最大10cmの津波が観測されました。[http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/eqvolc/201012\\_ogasawara/](http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/eqvolc/201012_ogasawara/)

## 研究成果

平賀岳彦准教授の「マントルの超塑性とその自発的消滅」の研究が、Nature誌に掲載されました。[http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/press/prbacknum/201012\\_dhriraga/](http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/press/prbacknum/201012_dhriraga/)

フィリピン海プレートの沈み込みに伴うスロー地震に関する小原一成教授らの研究が、Science誌に掲載され、主著者の廣瀬仁さんが所属する防災科学技術研究所から発表されました。[http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/2010/12/2010\\_12\\_drobara/](http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/2010/12/2010_12_drobara/)

## 表彰・受賞

篠原雅尚教授、山田知朗助教、金沢敏彦名誉教授が、海洋調査技術学会技術賞を受賞しました。今回の受賞は、震源の近くでも振り切れることのない加速度計を組み込んだ海底地震計の開発がたたえられたものです。

# INFORMATION

## 共同利用

個々の大学の枠を超えて施設や資料・データを全国の研究者が共同で利用することのできる拠点として、地震研究所は全国共同利用・共同研究拠点と認定されています。地震研究所のポテンシャルを全国の研究者に活用していただけます。詳しくはHPへ。<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/sharing/>

## 人事異動

- 昇任 准教授 (物質科学系研究部門) 平賀岳彦
- 准教授 (海半球観測研究センター) 竹内 希
- 採用 助教 (地震予知研究センター) 石山達也

## イベント開催

- 2010年度冬の公開講義 3月6日(日)に開催します。詳しくはHPへ。<http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/>
- 地震研究所施設見学「ラボツアー」 ほぼ毎月開催しています。<http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/tour/>

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

東京大学地震研究所  
ニュースレターPlus  
第13号

発行日 2011年2月28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  
(責任者:大木聖子)

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  
[outreach@eri.u-tokyo.ac.jp](mailto:outreach@eri.u-tokyo.ac.jp)  
ホームページ  
<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/>