

地球の内部構造を見る“目”

地球は、地殻、マントル、核という層構造をしている。核は、固体の内核と液体の外核からなる。——このような地球の内部構造は、主に地震波の観測から明らかになった。震源から出た地震波は、性質が異なる物質の境界で屈折し、また伝わる速度は物質の種類や温度で変わる。そのため、世界各地の観測点で震源からの距離と地震波の到達時間を調べると、地震波がどうい物質の場所を通過してきたか、つまり地球の内部構造が分かるのだ。

そして最近、地球の内部を見る別の方法として注目されているのが、電磁気観測である。電気と磁気からどうして地球の内部構造が分かるのだろうか。

方位磁石は北を向く。これは、地球自体が巨大な磁石になっているからだ。地球の磁場の強さや向きは一定ではなく、太陽から噴き出す高温の荷電粒子の流れである「太陽風」などの影響を受けて、常に変動している。磁場変動は地球内部まで伝わり、電流を発生させる。これは、コイルの中で磁石を動かすと電位差(起電力)を生じて電流が流れる、電磁誘導の原理によるものだ。磁場の変動とそれによって発生した電位差を観測することで、地球内部がどのくらい電気を通しやすいかを表す「電気伝導度」を求めることができる。

太陽活動に伴う磁場変動は、数秒から数年周期で現れる。周期の長い磁場変動ほど地球の深くまで伝わるため、さまざまな周期の磁場変動をさまざまな場所で観測して電気伝導度を求めることで、どこに電気を通しやすい物質があり、どこに通しにくい物質がある

か、地球の内部構造を3次元的に可視化することができるのだ。例えば、数百秒から1日の周期の磁場変動を使うと深さ数kmから数百km、数十日から100日の周期を使うと深さ300~1000kmの構造が分かる。

温度や水、部分溶融が見える

電気伝導度はどのような要因で変わるのだろうか。例えば、マントルを構成する鉱物は、温度が高くなると電気伝導度が高くなる。温度が上がると岩石は溶け始め、溶融した部分はさらに電気伝導度が高くなる。また、鉱物が水を含んでいる場合も、電気伝導度が高い。ただし、ここでいう水とは、液体の水ではなく、鉱物の結晶の間に入り込んだ水素イオンを指している。

水は、海の起源や進化、地震発生、火山形成、マントル対流など、地球の表層から深部まで、さまざまな現象とかかわっている。地球の理解には、水が地球内部のどこにどれだけあるかを知ることが不可欠である。地震波の速度も、水による影響を受ける。しかしその変化はわずかで、温度の影響が最も大きい。電気伝導度は、ごく少量の水で10倍も変化することがある。電磁気観測が注目されているのは、水に敏感なことが理由の一つである。

沈み込んだプレートの行方

地震研究所の海洋観測研究センターは海洋研究開発機構と共同で、2004~2009年に大規模な電磁気観測網を西太平洋に展開した。文部科学省の特定領域研究「スタグナントスラブ:マントルダイナミクスの

新展開」(2004年度から5ヵ年)の一環である。スタグナントとは「よどんだ」という意味で、スラブは「沈み込んだプレート」を指す。

1992年、地震波観測から、日本列島の下の深さ660kmあたりに長さ2000kmにわたって地震波速度が速い、つまり低温の領域があることが分かった。沈み込んだプレートがたまっているのだ。そこは上部マントルと下部マントルの境界で、「マントル遷移層」と呼ばれている。その後の地震波観測から、スタグナントスラブは沈み込み帯に一般的な現象であることが分かってきた。

スタグナントスラブ計画では、沈み込んだプレートはなぜ滞留し、その後どうなるのかを明らかにするため、地震波や電磁気の観測、岩石実験、計算機科学などの研究者が集結し、横断的に観測研究を進めてきた。特に、電磁気観測への期待は大きかった。地震波と電磁気という異なる手法で同じ現象を見ることで、その現象をより深く理解できるからだ。

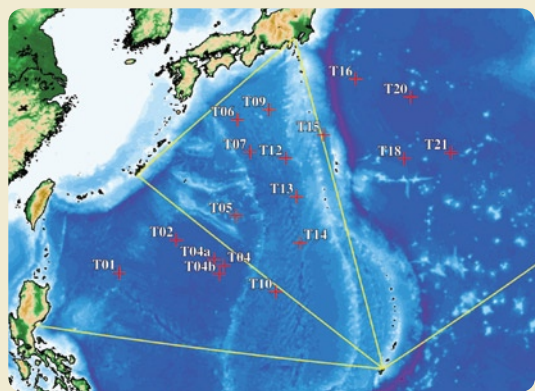
海底電位差磁力計(OBEM)を船から投下して海底に設置し、1年間観測を行い回収する(表紙)。それを3回繰り返した。海底で観測するのは、知りたい場所に近づきたいからだ。OBEMは、中央の耐圧球に磁場のセンサーと記録装置が入っている。4本の長いパイプの先に電極があり、電極と電極の間の電位差を計測する。延べ37台のOBEMを投入し、21点の全観測点で1~3年分のデータが得られた(図1)。これほど大規模な海底電磁気観測は世界初であり、全観測点のデータ回収成功も画期的なことである。

スタグナントスラブと水の関係

データの解析は進行中だが、すでに成果が出ている。その一つが、太平洋プレートが沈み込んでいる小笠原・マリアナ諸島の西側の海底下、深さ400kmに電気伝導度が高い領域を発見したことである(図2)。地震波観測との比較から、同じ領域に地震波速度の異常は見られないこと、高電気伝導度領域はスタグナントスラブの上にあることが分かった。この高電気伝導度領域は温度だけでは説明できず、沈み込むプレートが運んできた水がスタグナントスラブの上にとまって

図1 「スタグナントスラブ計画」で実施した海底電磁気機動観測

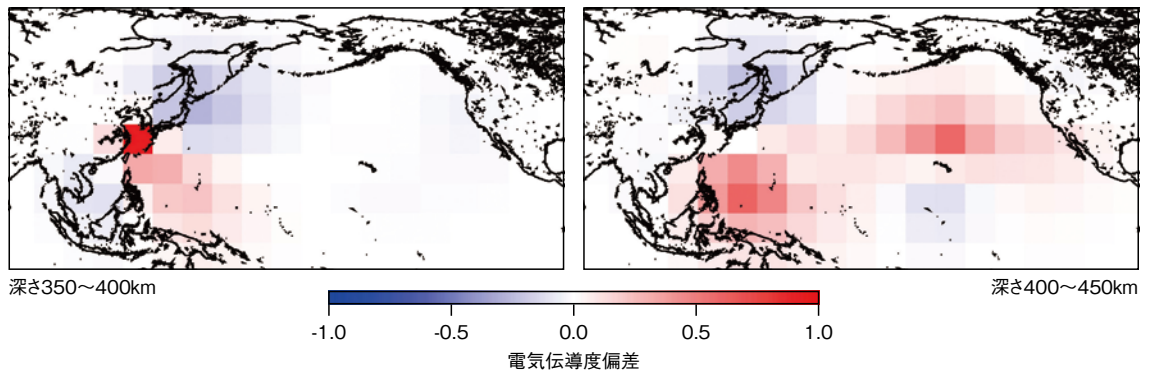
赤い十字で示した観測点に海底電位差磁力計(OBEM)を設置し、1年間観測を行い回収する。それを3回繰り返した。黄線は電磁気観測に使用している海底通信ケーブル。



電磁気で地球

図2 電磁気観測から明らかになったマントル遷移層上部付近の電気伝導度分布

マントルの基準となる構造からの比を示し、赤い領域では電気伝導度が高い。小笠原・マリアナ諸島の西側の海底下、深さ400kmのマントル遷移層上部に、電気伝導度が高い領域がある。沈み込むプレートが運び込んできた水がスタグナントスラブの上にとまっていると考えられている。



いると考えられている(図3)。新しく温かいプレートが沈み込んだスタグナントスラブの上には、電気伝導度が高い領域は見つかっていない。太平洋プレートのように古く冷たいプレートだけが、水を深くまで運び込むようだ。その水はマントル対流などにどのような影響を与えるのか、今後明らかにしていく必要がある。

スタグナントスラブそのものを電磁気で見る。それが、大きな目標である。周期が長い磁場変動を使うと、より深部の構造を見ることができ、長期間の観測データが必要で、解析も格段に難しくなる。非常にチャレンジングだが、今回得られたOBEMの3年分の電磁気観測データならば、スタグナントスラブがある深さまで可視化できそうだ。今、試行錯誤しながら解析が進められている。

地球磁場の起源を知る

海半球観測研究センターでは、海底通信ケーブルを用いた電磁気観測も行っている(図1)。国際電話で使用されていたものを譲り受け、長さ2000kmのアンテナとして使っているのだ。長期間の常時観測が可能なので、数十日から100日周期の磁場変動を使い、マントル遷移層から下部マントルまでの構造が分かると期待されている。

さらに、海底通信ケーブルを使い、外核で発生している磁場の変動をとらえようとしている。地球の磁場は外核で液体の鉄が動くことで生まれると考えられているが、まだ謎も多い。外核で発生する磁場の変動によって発生した電位差を観測できれば、磁場の発生

機構を解明できる。しかし、外核起源の磁場変動の周期は数十年なので、とても長期間の観測が必要だ。しかも、その電位差は非常に小さいと予測されている。

地球深部からの小さな信号を受けるには、アンテナは、地球磁場の磁力線の向きと同じ南北方向に伸びている方がよい。しかし、海底通信ケーブルの多くは東西方向に敷かれている。そこで、自前でケーブルを敷設して長期間観測するシステムを開発中だ。南大東島の沖で10kmのケーブル敷設と1年間の観測試験を行い、データの回収にも成功した。目標のケーブル長は100kmで、OBEMと海底通信ケーブルの中間規模の観測が可能になる。

“普通の場所”を見る

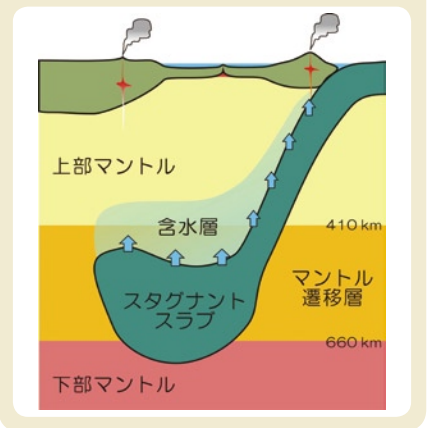
「スタグナントスラブ計画」は2009年度で終了したが、電磁気観測はもちろん続く。これまではプレートが生まれる海嶺や、プレートの沈み込み帯など、特別な場所を観測してきた。今後のターゲットは“普通の場所”だ。

プレートテクトニクスはよく知られている現象だが、なぜプレートが上部マントルの上を移動できるのか、実はよく分かっていない。プレート直下の上部マントルは温度が高く部分溶解しているからという説と、水を含んでいるため粘性が低くなっているからという説がある。“普通の場所”で電磁気観測を行うことで、水と部分溶解の影響を区別し、どちらの説が正しいのか、はっきりできるだろう。

地球の表層から深部まで、マントルのダイ

図3 スタグナントスラブ

地震波観測から、沈み込んだプレートはマントル遷移層にいったんたまるのが分かり、「スタグナントスラブ」と呼ばれている。電磁気観測から、古く冷たいプレートは水を運び込み、それがスタグナントスラブの上にとまっていることが分かった。



ナミクスを丸ごと理解すること。それは、地球科学の重要な課題である。電磁気観測グループは、電気伝導度というユニークな切り口でこの課題達成に挑んでいる。

電磁気観測による構造解析は、ようやく地震波と直接比較できるレベルの構造を描き出せるようになってきた。高温高压状態にした岩石の電気伝導度を測る実験や、シミュレーションも進んでいる。さらに、太陽はこれから活動期に入る。太陽活動が活発なときは磁場変動が大きく、発生する電位差も大きくなるため、精度の高い観測がしやすくなる。マントルダイナミクスの理解に大きく近づくことだろう。

(取材・執筆:鈴木志乃)

内部を見る

取材協力 海半球観測研究センター



清水久芳
准教授



馬場聖至
助教

TOPICS



小山悦郎技術職員、 第17回震災予防協会賞を受賞

地震・火山災害の予防軽減に対する小山悦郎技術職員の長年にわたる貢献に対し、震災予防協会賞が授与されました。小山技術職員は1965年から国内外の火山観測の最前線で活躍を続け、今も浅間火山観測所で浅間山を見守っています。

最終講義

3月をもって定年退職される4人の先生方の最終講義が行われました。左から藤井敏嗣教授、佐野修教授、金沢敏彦教授、渡辺秀文教授。



佐竹健治教授、アメリカ地球物理学連合 (AGU) のフェローに

アメリカ地球物理学連合 (AGU) とは、世界100か国以上に会員を持つアメリカの地球物理学学会です。6万人近い会員の中から、地球惑星科学への貢献のあった方がフェローとして認定されます。2010年は58名のフェローが選ばれ、日本からは佐竹健治教授が選出されました。全会員の0.1%を上限とする名誉ある選出です。(佐竹教授の取り組みの一部はニュースレターPlus 6号にて。<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/KOHO/NEWSLETTER/plus/>)

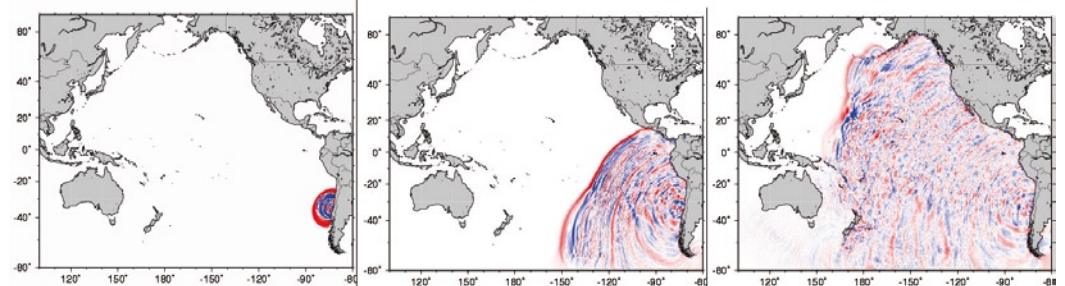
地震研究所は共同利用・共同研究拠点となり改組しました

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ました。また、これに伴い4部門・7センターへと改組しました。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/>

相次ぐ国内外の地震

1月にはハイチ (M7.0) で、2月末には沖縄本島近海 (M7.0) と南米チリ中部 (M8.6) で、4月にはバハカリフォルニア (M7.2)、スマトラ島北部 (M7.7) と中国青海省

(M6.9) で、地震がありました。チリ中部地震では、地震発生から23時間後に津波が日本へ到達しました。50年前のチリ地震では、津波の到来で142名の日本人が亡くなりました。今回はその教訓を踏まえることができたのか、この機会に振り返るべきではないでしょうか。



2010年2月27日に発生したチリ中部地震の津波シミュレーション

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10号

発行日 2010年4月30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
フォントクリエイト
(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
ホームページ
<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/>

INFORMATION

人事異動

- 昇任 教授 (物質科学系研究部門) 中井俊一
- 教授 (観測開発基盤センター) 篠原雅尚
- 技術専門職員 宮川幸治
- 係長 (庶務チーム) 倉光知恵
- 主任 (庶務チーム・図書) 坂牧一博
- 採用 准教授 (高エネルギー素粒子 地球物理学研究センター) 田中宏幸
- 助教 (高エネルギー素粒子 地球物理学研究センター) 武多昭道

- 助教 (地震火山情報センター) 大木聖子
- 技術職員 森 健彦
- 転入 専門職員 (研究支援チーム) 浅田成一
- 専門職員 (契約チーム) 大塚正己
- 係長 (庶務チーム・図書) 松家久美
- 主任 (契約チーム) 坂尾 操
- 一般職員 (庶務チーム) 武田浩子
- 転出 主査 (契約チーム) 新藤正夫
- 専門職員 (研究支援チーム) 高島悟史
- 係長 (庶務チーム・図書) 村松敏哉
- 係長 (庶務チーム) 妻谷重男

イベント開催日程

- 地球惑星科学連合大会 (幕張メッセ国際会議場) ブース出展 5月23日(日)~28日(金)
- 地震研究所一般公開 8月3日(火)
- 高校生のためのオープンキャンパス 8月4日(水)
- 地震研究所施設見学「ラボツアー」は、ほぼ毎月開催しています。<http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/tour/>