

図1
NECESSArrayの
観測点

中国東北部に広帯域地震計を120点設置し(赤)2年間観測を行った。黄色の線は、沈み込んだ太平洋プレートの位置を示す。

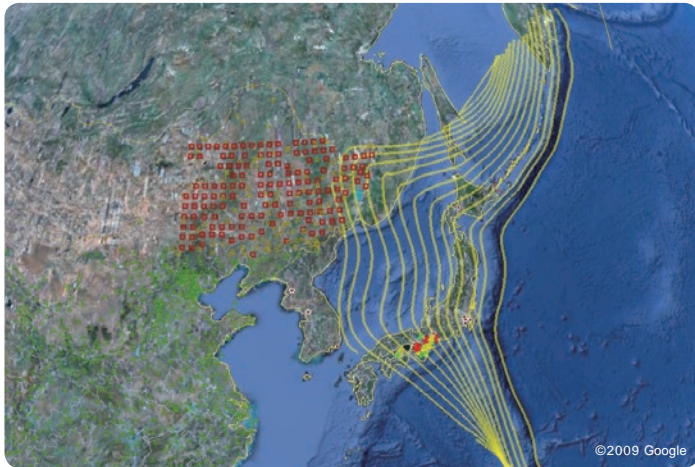


図2 観測点設置の様子 個人の家の庭先を借りて、穴を掘り、広帯域地震計と収録計を設置する。電源がない所では、太陽電池パネルを設置する。



NECESSArray計画とは

NECESSArrayは、中国東北部に構築した大規模な地震観測網(NorthEast China Extended Seismic Array)の略称である。日本と中国とアメリカの国際共同で、2009年に中国東北部に広帯域地震計を120点設置し、2年間観測を行った(図1)。日本からは地震研究所と海洋研究開発機構が、科研費(基盤研究S)のサポートのもとに参加した。

「NECESSArrayは地球深部を照らし出す望遠鏡です」と日本チームの中心となった川勝均教授。地震が発生すると、地震波が地球内部を伝わって裏側にも届く。地震波が伝わる速度は、物質の種類や状態によって変わる。例えば、低温や硬い物質では速くなり、高温や軟らかい物質では遅くなる。さまざまな場所で発生した地震の地震波を多くの観測点で捉え、その経路と到達時間を解析すると、地震波速度の分布、つまり地球内部の三次元構造が見えるのだ。このような手法を、地震波トモグラフィーと呼ぶ。

「NECESSArrayでは観測点の間隔は100km以下で、観測網の広さは差し渡し1000kmを超えます。これほど大規模で稠密

な広帯域地震観測網は、機動観測としては例がありません。NECESSArrayによって、地球深部の三次元構造を今までより格段に詳しく見ることができます」

三つの目的

NECESSArrayには大きく三つの目的がある。一つ目は、「スタグナントスラブのダイナミクスの解明」だ。地震波トモグラフィーによって、海溝から沈み込んだ海洋プレートは、斜めに沈み込んだ後、深さ660kmあたりで横たわって滞留していることが分かってきた。沈み込んだプレートは「スラブ」と呼ばれ、滞留しているスラブを「スタグナントスラブ」という。スタグナントスラブは、世界各地のプレート沈み込み帯で見られる。日本海溝から沈み込んだ太平洋プレートも中国大陸の下に滞留しているらしいのだが、スラブの様子はぼんやりとしか見えていなかった。

二つ目は、「中国大陸の形成・火成活動とダイナミクスの解明」だ。川勝教授は、「長白山(白頭山)の存在など、中国東北部はとても不思議な場所です」と言う。長白山は中国と北朝鮮の国境付近にある巨大な火山だ。

プレートが沈み込むとき、水を一緒に運び込む。その結果、マンツルの融点下がって融解し、マグマができる。それが上昇して地表に噴出し、火山がつくられる。日本列島の火山は、そのようにして形成された。「長白山は、プレートの沈み込み帯から離れ過ぎています」と川勝教授。「長白山の形成は、その下に滞留しているスラブと関連しているのではないかと考えられています。スラブとその上で起きている火成活動との関連を明らかにします」

三つ目の目的は、「マンツル最深部と核の構造およびダイナミクスの解明」だ。

観測点設置、撤収の旅

NECESSArrayを構成する120台の広帯域地震計は、日本が40台、アメリカが80台用意。北京大学で動作確認をした後、2009年9月2日、20人を超える日本、アメリカ、中国の研究者、技術官、学生が4チームに分かれ、観測点設置の旅に出発した。

日本チームは内モンゴルの60点を担当。2チーム4班に分かれ、地震計を設置していく(図2)。設置場所の多くは、個人の家の敷地を借りた。現地の人に、前もって地面に穴を掘ってコンクリートを敷いておいてもらう。生活振動の影響を受けずに精密な観測を行うためである。草原を延々と走って設置場所に到着すると、コンクリートの上に地震計を設置し、土をかけて埋める。観測データを記録する収録計を設置し、観測を開始。1日に設置できるのは1点、多くて2点だ。3週間かけて120点の設置を完了した。

「海外での観測が初めての学生・研究員もいましたが、みんなよく頑張りました。設置が終われば一段落かと思ったのですが、達成感を味わう暇はありませんでした」と川勝教授は笑う。設置から1ヶ月後の10月下旬には、1回目の保守点検作業を行い、観測データを回収しなければならなかったのだ。中国東北部は寒い。10月といえども雪が降り、全観測点を回ることができなかった。「点検を行った90点は問題なく稼働していましたが、これから2年間、最後まで120点もの観測点を維持できるだろうか」と憂鬱になりました」

その後も半年に1回、保守点検と観測データの回収を行った。そして、2011年8月20日に全観測点の撤収を完了。「車がぬかる

みにはまって動けなくなったり、収録計を入れた容器が爆発したりといったトラブルはありましたが、大きな事故はなく2年間の観測を終了し、撤収することができました」

スラブに穴が開いている？

NECESSArrayの観測データは、観測終了から2年間、プロジェクトメンバーが独占して使うことができる。観測データの解析からどのようなことが見えてきたのだろうか。

1回目の保守点検で回収した観測データには、2009年9月30日に南アメリカのボリビアで起きた地震が記録されていた。「とても良質なデータが取れていました」と川勝教授。中国東北部は、人口密度が低いと人工的なノイズが少ないこと、内陸なので海の波のノイズが弱いことなどによる。「この良質なデータが2年分集まれば、新しいことが見えてくるに違いないと期待が膨らみました」。その期待は裏切られなかった。「中国大陸の下のスラブは、これまで考えられていたとは違う、驚くべき姿をしていることが分かりました」

NECESSArrayの観測データを解析すると、深さ600kmあたりでは東側に地震波の高速度領域（青）が見える（図3）。これは、スラブである。スラブは周囲より冷たいため、地震波の速度が速くなる。スラブの存在はこれまで分かっていた通りだった。問題は、その西側だ。「高速度領域が途切れ、その西側に低速度領域（赤）があったのです。それは、滞留しているスラブが途切れ、暖かいあるいは軟らかい物質があることを意味します。このデータをどのように解釈すべきか議論の途中で、決着はついていませんが、スラブに穴が開いている可能性があります（表紙、想像図）

川勝教授は続ける。「さらに興味深いのは、そのスラブの穴の上に長白山があることです。スラブの穴と長白山の形成には何らかの関係があると考えるのが自然でしょう」。スラブの下には高温のマントルがあり、それが海洋プレートの上昇し火山をつくったのではないかと考えられている。

「本当にスラブに穴が開いているのか。長白山の下にある低速度領域の正体は何か。それらについて明らかにしていく必要があります。私は、スラブに穴が開いているのではなく、長白山の下から西側にはスラブがないか

もしれないと考えています」と川勝教授。

マントルの底や内核を描き出す

三つ目の目的である地球深部についても新たな知見が得られた。「南太平洋の下にあるブルームのしっぽを捉えることができました」と川勝教授。これまでの地震波トモグラフィ観測によって、アフリカと南太平洋の下にマントルの上昇流、ブルームがあることが分かっている。ブルームのしっぽ、つまりマントルの底にあるブルームの発生領域を探る研究は、アフリカについては進んでいるが、南太平洋については遅れていた。NECESSArrayの観測によって、南太平洋の下のマントルの底が詳しく見えたのだ。

南太平洋の下のマントルの底には、地震波の低速度領域が薄く広がっていた。しかも、地震波速度の変化は急激で、周囲との境界がくっきりしている。「暖かい物質があるとも考えられます。しかし、熱は周囲にも伝わっていくので、地震波速度も緩やかに変化するのははずです。速度が急激に変化しているということは、組成などが異なる物質があることを意味するのではないかと考えています」

地球の中心にある核は、固体の内核と、その外側にある液体の外核に分かれている。これまでの観測から、内核の構造は均一ではなく、東半球と西半球でそれぞれ特徴的な構造を持つことが示唆されている。NECESSArrayでは、西半球の広い領域での特徴を抽出し東半球との違いをはっきり捉えることに成功。内核の成長を理解する手掛かりになる大きな成果である。

NECESSArrayのデータは2014年2月に公開された。「世界中の研究者が独自の視点で解析することで、中国大陸の下構造や、私たちが思い付かなかったようなマントル・核の研究が進むことを期待しています」

伊豆大島や瀬戸内海に大規模観測網を

川勝教授は、「回収してきた40台の地震計を有効に使わないともったいない」と言う。「例えば、伊豆大島で集中観測をすれば、火山活動のメカニズム解明につながるでしょう。瀬戸内海にも観測網をつくりたいですね」

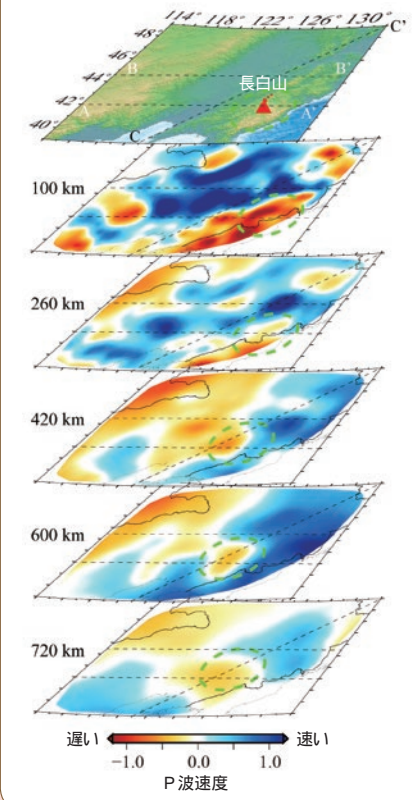
南海トラフではフィリピン海プレートがユー

ラシアプレートの下に沈み込み、巨大地震の震源域となっている。そこでどのような地震が発生するかを理解するには、フィリピン海プレートがどのように沈み込んでいるかを知ることが重要だ。しかし、四国と中国地方の間の下の様子がよく分かっていない。「瀬戸内海があるため、観測が手薄なのです。瀬戸内海の島々に観測点をつくれれば、沈み込むフィリピン海プレートの姿が詳しく見えるはずですよ」

「周到に準備して観測を行っても、得られたデータを解析すると、思いがけないものもいつも見えてきます。これだから観測は面白い。地球はまだ分からないことばかり」と川勝教授は言う。「良い観測研究には、予測をするための理と、予測を外すための勘が必要。これからも新しい場所で新しい観測をして、新しい地球の姿を描き出したいですね」

図3 中国東北部の地下の構造

NECESSArrayで観測したP波のデータを解析した結果、深さ600kmに見える地震波の高速度領域（青）は、スラブに対応する。高速度領域が途切れて低速度領域（赤）があることから、スラブに穴が開いているのではないかと考えられている。スラブの穴の上には、長白山という火山がある。アメリカチームがS波のデータを解析した結果でも、同ような構造が見えている。



観測 予測外の発見を求めて

川勝 均 海半球観測研究センター 教授

（取材・執筆：鈴木志乃）

