

PIUS

地震研究所
ニュースレター

NEWS LETTER Plus No.25
Earthquake Research Institute,
The University of Tokyo



特集

地殻変動観測の 限界を超える

神 岡鉱山の地下に、基線長1500mの大型レーザーひずみ計が完成し、2016年8月に試験観測を開始した。これまでにない高い精度で地殻変動を捉えることが可能なため、地震や常時地球自由振動などさまざまな地球科学的な現象の理解が進むと期待されている。並んでいる大型低温重力波望遠鏡「KAGRA」との連携も重要な任務である。



東京大学地震研究所

地殻変動観測の 限界を超える

新谷昌人 観測開発基盤センター教授

新谷昌人教授は、岐阜県飛騨市神岡町にある神岡鉱山へ足しげく通っている。神岡鉱山といえば、その地下にはニュートリノを観測する「スーパーカミオカンデ」や反ニュートリノの検出を目指す「KamLAND」、ダークマターの正体解明を目指す「XMASS」、重力波の観測を狙う「KAGRA」など、最先端の実験施設がある。新谷教授の目的は、そのいずれでもない。「東京大学地震研究所と京都大学防災研究所の研究者が中心となり、KAGRAの隣に基線長1500mの大型レーザーひずみ計を建設し、2016年8月に試験観測を開始しました。KAGRAやスーパーカミオカンデは宇宙に目を向け、その謎に迫るものですが、私たちのレーザーひずみ計は地球内部に目を向け、地球科学的な現象を探っています」(図1)

遠地の地震に伴う地殻変動を検知

「私たちが神岡鉱山にレーザーひずみ計を設置するのは、これが2台目です」と新谷教授。「1台目の基線長は100mで、2003年に観測を開始しました」

レーザーひずみ計とは、レーザーを二つの光路に分けて別々の鏡に当て反射して戻ってきたものを干渉させ、位相差をもとに光路の長さの変化を検出する装置である。ここでは波長の安定度が高い緑色レーザーを使用しており、精度は 10^{-13} 、つまり100mのレーザーひずみ計であれば0.01nmの変化を検出できる。レーザーの光路を真空にし、さらに温度変化や人為的な振動が少ない地下に設置することで、高精度の観測が可能になる。

「2007年能登半島地震(M6.9)に伴って100mのレーザーひずみ計が3.5 μ m伸びたことを検出しました」と新谷教授。「その震源と神岡は100kmも離れています。これほど

遠くで起きた地震に伴うわずかな地殻変動を捉えたのは、初めてです。この地殻変動のデータは、地震だけでなく地球科学の研究者がぜひ欲しいと思っていたものです」

断層モデルの精度向上に貢献

地震は、断層がずれる現象である。そのときに地震波が出て、遠くまで伝播していく。さまざまな場所で観測された地震波のデータを解析することで、どのくらいの大きさの断層がどの方向にどのように動いたかという断層モデルがつくられる。断層モデルは、地震の発生メカニズムの理解に不可欠だ。

しかし断層がずれる速さはさまざまで、ゆっくり動く場合、地震波は出にくい。断層モデルをつくるには、地震波のデータだけでは必ずしも十分ではないのだ。「地震波に加え、地殻変動を観測できれば、断層がずれる速さによらず精度の高い断層モデルをつくることができます。しかし、これまでそれは困難でした」と新谷教授は指摘する。人工衛星を利用したGNSS(全球測位衛星システム)を用いれば、数mmの地殻変動を観測できる。しかし震源域から離れるほど地殻変動は小さくなるため、巨大地震でなければ、GNSSで捉えられる地殻変動は震源のごく近くに限定されてしまうからだ。震源が海底下の場合、地殻変動の情報はほとんど得ることができない。

そうした中、レーザーひずみ計によって遠くで発生した地震の地殻変動を観測できたことは大きな進展である。この観測は、高精度なレーザーひずみ計があればできるというものではない。例えば、地球は月と太陽の潮汐力によって約半月周期で伸び縮みをしている。潮汐力をはじめ地震以外のさまざまな変動要因を補正するプログラムを独自に開発して、ようやく小さな地殻変動が浮き上がってきたのだ。

これまでに、2007年7月16日に日本海の地下約350kmで発生した地震など、約10個の遠地地震に伴う地殻変動を捉えることに成功している(図2左)。従来の地震観測から得られた断層モデルを仮定して計算した神岡での地殻変動は、実際にレーザーひずみ計で観測された結果とおおよそ一致するが、細かい違いもあった。「地殻変動を高い精度で観測できるレーザーひずみ計の観測結果は、地震波が出にくい断層の動きも反映したものになっているのではないかと考え、検証を進めているところです」

1500m大型レーザーひずみ計を建設。KAGRAとも連携

新谷教授は、より大型のレーザーひずみ

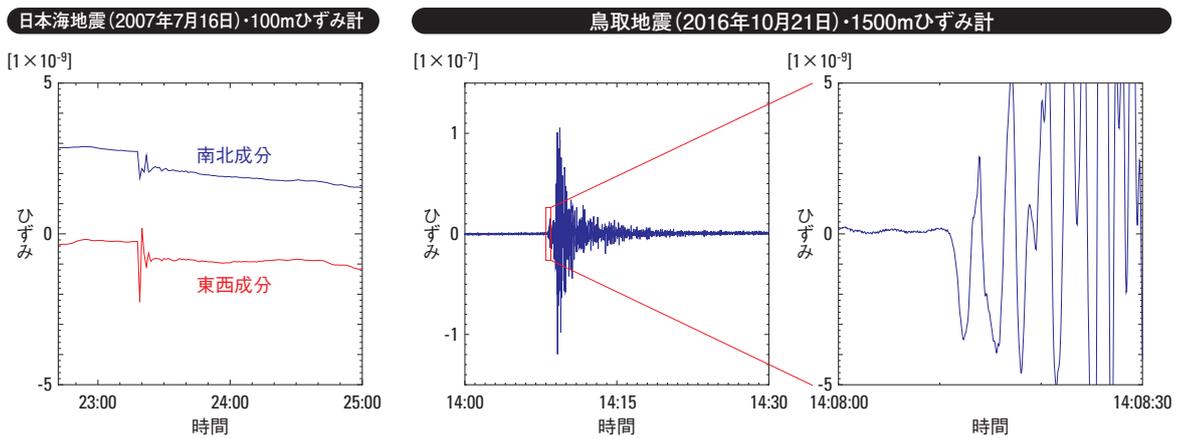
図1 神岡鉱山の実験施設群

大型低温重力波望遠鏡「KAGRA」は、一辺の長さが3kmのL字形に伸びるトンネル内に建設されている。基線長1500mの大型レーザーひずみ計は、KAGRAの一方のトンネル内にある。地表からの深さは200m以上。2003年から観測を行っている基線長100mのレーザーひずみ計は、KAGRAのプロトタイプであるCLIOに隣接している。



図2 地震に伴う地殻変動とひずみ波形の観測例

100mレーザーひずみ計では 10^{-10} 台の縮みが捉えられている(左)。1500mレーザーひずみ計では、周期数秒の定常的なゆれ(脈動、振幅約 10^{-10})に加え、14時8分10秒ごろの地震波の初動によって生じた 3.5×10^{-9} の縮み(1500m基線が約5 μ m短縮)が明瞭に捉えられている(右)。



計を設置したいと考えていた。レーザーひずみ計は、基線が長いほど小さい変化を捉えることができるからだ。また、局所的な変化の影響を除去できる。

念願の大型化は、KAGRAプロジェクトの一環として実現された。「一方は地球科学、一方は物理学・天文学の観測装置ですが、連携は双方にとって大きなメリットがあるので」と新谷教授。

質量を持った物体が運動すると空間のゆがみが生じ、そのゆがみが重力波として伝わってくる。KAGRAはその空間のゆがみを観測しようとしているのだが、変化は非常に小さいため、地震や潮汐などによる変動を正確に把握して取り除く必要がある。それに地球科学用のレーザーひずみ計が役立つのだ。新谷教授たちにとってもKAGRAの整備されたトンネルを利用できることで、さまざまな利便性が高まる。

2016年2月、アメリカの重力波望遠鏡LIGOがブラックホールの合体によって発生した重力波の観測に成功したと報じられた。KAGRAは2016年3~4月に初めての試験観測を実施、2018年度の本格観測開始を目指して準備を進めている。「KAGRAには、環境が安定している地下にあること、極低温鏡の導入など、ほかの重力波望遠鏡にはない特徴があります。地球科学的な地殻変動観測と連携しているのもKAGRAだけです。重力波の初観測を逃したのは残念ですが、KAGRAには大きな期待が寄せられています」と新谷教授。「私は大学院生とき、重力波の研究を行っていたので、KAGRAの精度向上に貢献できるのはとてもうれしいです」

地震の発生前から終了後まで

大型レーザーひずみ計は、2016年8月に試験観測を開始(図3)。10月21日に発生した鳥取県中部の地震(M6.6)や11月13日に発生したニュージーランドの地震(M7.8)

に伴うひずみ波形を捉えることに成功した(図2右)。100mレーザーひずみ計より精度が上がっている。

新谷教授は、「大型レーザーひずみ計によって、今までの限界を超えた地球科学的な観測に一步踏み出すことができる」と言う。「まずは、地震が発生する前から終わった後まで、一連の地殻変動を全て捉えたいですね」

地震発生前には断層にひずみがたまったり断層がゆっくりすべったり、地震発生後にはゆっくりしたすべりが継続したりする。しかし、ゆっくりした小さな変動は地震波が出にくく、GNSSでの観測も難しいため、地震前後の現象やそのメカニズムは不明な点が多い。レーザーひずみ計ならば、年から月といった長周期の変動も高精度で捉えることが可能だ。

常時地球自由振動など、日から数時間程度の中間的な周期の変動も観測できる。「常時地球自由振動による地殻の伸び縮みを観測したいというのが、レーザーひずみ計の開発を始めた動機でした。ぜひやり遂げたい。それは、地球内部の構造や運動の理解にも

つながります。さらに、これまで誰も捉えていない新しい変動現象も観測できるのではないかと楽しみにしています」

火星の衛星フォボスへ

新谷教授は、ほかにも楽しみにしていることがある。「火星の衛星フォボスとダイモスの探査です」

宇宙航空研究開発機構(JAXA)は、フォボスに着陸し、岩石などを地球に持ち帰る探査機を2024年にも打ち上げることを計画している。「私たちは、海中での重力観測で培った技術を使ってフォボスやダイモスを周回しながら重力を観測し、内部構造を明らかにするための観測機器を提案しています」。フォボスやダイモスがどのようにしてできたのかわからない。内部構造が分かれば、その起源に迫ることができる。ひいては初期の太陽系や地球の理解につながるかもしれない。新谷教授は声を弾ませる。「地球でも、ほかの天体でも、まだ誰も測っていないものを測るとするのは、ワクワクします」

図3 1500m大型レーザーひずみ計の構成

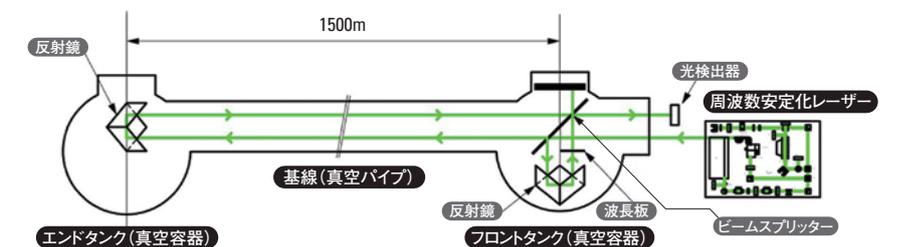
入射したレーザー光はビームスプリッターで左側の1500m基線と手前の基準基線(約50cm)に分けられる。それぞれの反射鏡から戻った光はビームスプリッターで干渉し、その強度を光検出器で測定することで基線の伸縮を読み取る。構成は簡略化して描いている。



真空容器とそれにつながる真空パイプ。真空容器は高さ1.3m・直径1.2m。真空パイプは直径40cm。左奥はKAGRAの真空パイプで直径は80cm。



真空容器の中に反射鏡を固定している様子



TOPICS

地震・火山情報

地震研究所のホームページ「地震・火山情報」で、情報が随時更新されています。

<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/topics/>

- 2016年10月16日から25日にかけて、地震研究所の武尾実教授が率いる研究チームによる西之島上陸調査が2013年の噴火開始後、初めて行われ、その様子の動画が公開されています。
- 2016年10月21日鳥取県中部の地震
- 2016年4月14日熊本地震

報告

- 科学技術振興機構（JST）の日本・アジア青少年サイエンス交流事業が2016年7月に開催され、中国、インド、台湾や韓国の学生10名が来所しました。



巡検で東北を訪れた際に立ち寄った中尊寺での集合写真

- 日本地球惑星科学連合（JpGU）連合大会（千葉県幕張開催）やアジア・大洋州地球科学連合（AOGS）年会（中国・北京開催）にブースを出展しました。
- 一般公開・公開講義を2016年も8月に開催しました。
- 小原一成所長・加藤愛太郎准教授の論文が『Science』に掲載されました。
- 西田究准教授の論文が『Science』に掲載され、表紙にも選ばれました。また『Science』誌主催の記者レクチャーである「Media Availability」が、2016年8月24日に地震研究所のセミナー室にて開催されました。日本での実施は今回が初めてです。



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://www.eri.u-tokyo.ac.jp/researchlist/>

- 大規模シミュレーションモデルに基づくデータ同化のための不確実性評価が可能な新しい4次元変分法の開発
- 地震波勾配法による2次元地震波動場の再構築
- 温故知新
- 2014年チリ北部地震M8.2の発生前に見られた加速的な固着の剥がれ
- 三次元数値計算による実験試料の幾何形状が波動場に及ぼす影響の検討
- 2016年熊本地震の本震発生前に見られた前震域の拡大
- スロー地震の巨大地震との関連性
- 2014年長野県北部地震の余震活動によって明らかになった神城断層のFootwall Shortcut Thrust断層モデル
- 地震波エンベロープ及びその偏微分係数を計算するための摂動モンテカルロ法
- 高周波数地震動により制約された2015年5月30日に小笠原諸島西方沖で発生した深発地震（Mw 7.9）の発生位置
- アウターライズ地震の際の海洋レイリー波が長周期地震動の継続時間に及ぼす影響
- 地震波輻射エネルギー総量の観点から見た西南日本における深部低周波微動の活動特性
- 溶岩流による成長する新火山島の形態的進化

受賞

- 加藤照之教授らが「日本測地学会賞坪井賞（団体賞）」を受賞
- 中谷正生准教授「岩の力学連合会フロンティア賞」を受賞
- 中田節也教授「日本火山学会賞」を受賞
- 安田敦准教授・吉本充宏外来研究員らが「日本火山学会論文賞」を受賞
- 加藤愛太郎准教授が「日本火山学会論文賞」を受賞

INFORMATION

人事異動

- | | | | |
|---------|-------|--------|-------------------|
| ● 10月1日 | 転入 | 里村俊彦 | 財務チーム・契約 係長 |
| | 転出 | 下村勇人 | 財務チーム・契約 係長 |
| ● 9月30日 | 退職 | 中川茂樹 | 地震火山情報センター 講師 |
| ● 8月16日 | 昇任 | 中川茂樹 | 地震火山情報センター 講師 |
| ● 7月1日 | 転入 | 千葉大輔 | 財務チーム・契約 係長 |
| | 転出 | 新井宏之 | 研究支援チーム・研究協力 主任 |
| | | 内間邦夫 | 財務チーム・契約 係長 |
| | | 森 有子 | 研究支援チーム・研究協力 主任 |
| ● 6月1日 | 臨時的採用 | 長谷川とし子 | 研究支援チーム・研究協力 一般職員 |
| ● 5月1日 | 採用 | 西山昭仁 | 地震予知研究センター 助教 |
| ● 4月11日 | 臨時的採用 | 米津朋尚 | 技術部技術開発室 技術職員 |



西之島の西海岸から見た火砕丘と溶岩流（環境省提供）

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25号

発行日 2017年1月27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/>