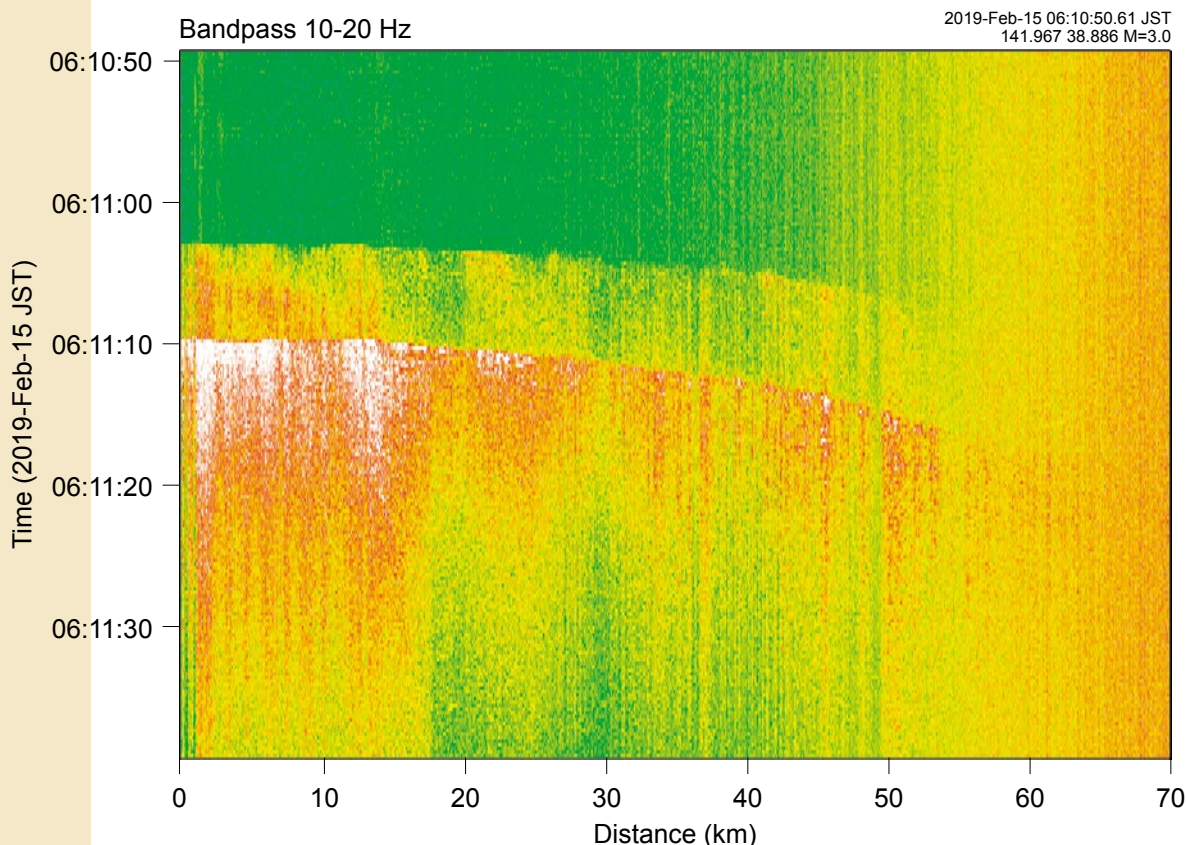
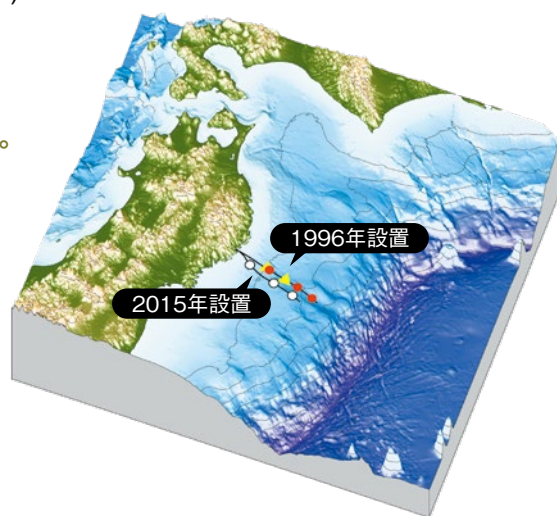


PIUS 地震研究所 ニュースレター

NEWS LETTER Plus No.39
Earthquake Research Institute,
The University of Tokyo



海域は陸と比べて地震観測点が少なく、高密度な地震観測網の構築が差し迫った課題となっている。それを実現する革新的な技術として近年注目されているのが、光ファイバーを用いて振動を計測するDASである。この“光ファイバー地震計”によって海底地震観測はどう変わるのか？三陸沖光ケーブル式海底地震・津波観測システムを用いてDASによる地震観測を実施している観測開発基盤センターの篠原雅尚教授に聞いた。



特集

光ファイバー地震計が拓く 海域観測の新展開



東京大学地震研究所

光ファイバー地震計が拓く 海域観測の新展開

観測開発基盤センター 教授 篠原 雅尚

海域の観測点を増やしたい

篠原雅尚教授の専門は海域地震観測である。「なぜ海域なのかというと、日本周辺では大地震の多くが海域で発生していて、地震の学術研究のためにも、緊急地震速報や津波警報など防災に役立つ情報を得るためにも、できるだけ震源に近づいて詳しく観測したいからです」

海域での地震観測の主流の一つは、海底ケーブル式だ。耐水・耐圧容器に地震計を入れ、それを複数個ケーブルで接続して海底に設置する。水圧計を加えて津波や地殻の上下変動を観測できるものもある。ケーブルが陸上局につながっているため、観測データをリアルタイムに取得できる、電力を供給して長期間のモニタリングができる、といった利点がある。

北海道沖から房総半島沖にかけて日本海溝海底地震津波観測網 (S-net) が、紀伊

半島沖から室戸岬沖にかけて地震・津波観測監視システム (DONET) が展開されるなど、海底の地震観測網の整備はずいぶん進んだ。高知県沖から日向灘にかけて南海トラフ海底地震津波観測網 (N-net) の構築も進められている。しかし篠原教授は、「陸と比べると、海域には地震観測点がまだ少ない」と指摘する。「海底ケーブルが広範囲に敷設されていても、地震計を設置した場所しか観測はできません。もっと多くの場所で観測したいというのが、私たちの願いです」

光ファイバーで振動を検知する

どうしたら海域で高密度の地震観測を実現できるか——篠原教授はある技術に注目した。「DASです。Distributed Acoustic Sensingの略で、ダスと読みます。分散型音響センシングと訳され、光ファイバーをセンサーとして振動を検知する技術です」

基本的な仕組みを説明すると、まず光ファイバーの端からレーザー光パルスを放射する。光ファイバーはガラスできていて透明度が高いが至る所に不均質な部分があり、レーザー光は不均質部分で散乱され一部が戻ってくる。光ファイバーに振動が加わると、光ファイバーが伸縮して不均質部分2点間の距離が変わり、散乱光のパターンが変化する。それを利用し、レーザー光を繰り返し放射して散乱光のパターン変化を計測することで振動を検出するのだ。

DASは、10年以上前からセキュリティー分野などで使われている。例えば、光ファイバーを塙に設置しておくことで、侵入者を検知できる。パイプラインに設置して損傷をモニタリングしたり、道路に設置して交通量の調査などにも使われている。光ファイバーをセンサーとして振動を検知できることは、篠原教授も知っていた。「地震の観測では、振動したかどうかだけでなく、どこがどれだけ揺れたかを捉える必要があります。その精度はなさそうなので地震観測には使えないかと、以前は思っていました」と振り返る。

認識が変わったのは2017年だ。「アメリカ地球物理学連合 (AGU) の学会でDASに

関する先駆的な研究が紹介され、散乱光の解析に干渉計測という手法を使うと散乱点間の距離変化を高精度で計測できることを知りました。点で行っていた地震観測を線状で高密度にできる革新的な技術だ。そう直感しました」

光ファイバー内には散乱点となる不均質部分が至る所にあるので距離変化を計測する間隔を数mと短くでき、レーザー光は遠くまで到達するので100km先まで計測できる。「DASを用いると、100kmにわたって数m間隔で地震計を設置したようなデータを取得できるのです。1秒間に数百回以上の短い時間間隔でのデータ取得も可能です。しかし、それが地震研究に使えるデータなのかどうかを検証する必要があります」

釜石沖の海底ケーブルで検証

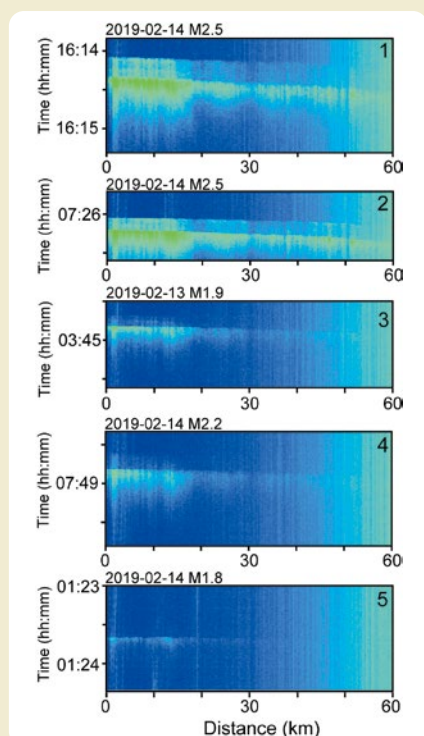
検証には、地震研が岩手県釜石市沖に設置した「三陸沖光ケーブル式海底地震・津波観測システム」の2本のケーブルのうち1996年に設置した方を使った (表紙)。予備の光ファイバーがあり、陸上局の光ファイバーの端にDAS装置を設置するだけで計測が可能だったからだ。長さ約120kmのケーブルには地震計3台 (赤丸) と津波計2台 (黄三角) が設置されており、DASのデータと比較できるのも好都合だった。

そして2019年2月に初めての試験観測を実施。観測中の2月15日に震源の深さ50km、マグニチュード (M) 3.0の地震が発生した。震央から観測システムまでの距離は約50kmだった。DASのデータから得られたひずみの変化を可視化したものを表紙に示す。縦軸は時間で上から下へ進み、6時10分50.61秒に地震が発生した。横軸は陸上局からの距離で70kmまでを表示している。70kmを5m間隔で計測しているため、1万4000点のデータである。「暖色はひずみが大きく変化したこと、言い換えると、大きく揺れたことを示しています。P波が到達して揺れ、その後にS波が到達して揺れたことが明瞭に記録されています」と篠原教授は説明する。

試験観測中に近傍で発生したM1.8以上

図1 DASによって得られた地震の記録例

横軸は陸上局からの距離、縦軸は時間。2019年2月の試験観測では、近傍で発生したM1.8以上の全ての地震が記録されていた。



の全ての地震に加え(図1)、ウラジオストク付近の深さ490kmで発生したM3.8の深発地震も記録できていた。DASは地震を捉えることができ、感度も悪くない。

次にDASのデータを観測システムに設置されている地震計のデータと比較した。DASは振動による光ファイバーのひずみの変化を計測し、地震計は加速度の変化を計測している。測っているものが違うのだが、おおよそ似た波形になっていた。また、ある仮定をすると簡単な数式を使ってDASが捉えたひずみを加速度に変換できる。その結果は、地震計が捉えた加速度のデータとよく一致していた。ノイズも地震計と同程度だった。

地下構造探査にも有効

2020年には、DASを用いて地下構造探査を行った。海域の地下構造探査では、観測船が曳航するエアガンから圧縮空気を放出して人工地震波を発生させ、地層の境界で反射した波を海底地震計や船が曳航するストリーマケーブルで捉え、そのデータを解析して地下構造を描き出す。DASのデータから得た地下構造は、ストリーマケーブルのデータから得た地下構造とは見掛けがまったく違っていただけから、解析を担当した大学院生の高野洋輝さんはじめ篠原教授らは頭を悩ませた(図2)。

考察の結果、DASは海底に横たわっている光ファイバーと平行な横方向のひずみを計測するため、縦波であるP波の感度が低く、横波であるS波には高感度であることが関係しているとわかった。S波は水中を伝わらないので、ストリーマケーブルはP波だけを記録している。「DASを用いるとS波の反射面が卓越して見えるという従来方法との違いはありますが、人工地震波を用いた地下構造探査にも使えることが確かめられました。S波はP波より伝播速度が遅いことから、詳細な情報が得られるという利点もあります」

地下構造を調べるには、地震波干渉法といって、脈動と呼ばれる波浪などによる微小な振動を2点で観測したデータを用いる方法もある。大学院生の福島駿さんを中心とした篠原教授のグループは、世界で初めて脈動のDAS計測から深部堆積層までの探査にも成功した。水平方向の解像度も従来にない高さだ。海底地震計の場合、観測点の間隔は通常10kmほどだが、DASは観測点の間隔が数mと短いのである。しかもDASは観測点が多数あるため、構造を求めるのに必要なデータを短時間で取得できる。

釜石沖の海底ケーブルを用いて、これまでに9回、最長2カ月弱の試験観測を実施して

図2 人工地震を用いた地下構造探査

左は船で曳航するストリーマケーブルのデータ、右は三陸沖光ケーブル式海底地震・津波観測システムを用いたDASのデータから得られた地下構造。DASは横波であるS波に感度が高く、またS波は伝播速度が遅いため解像度が高い。

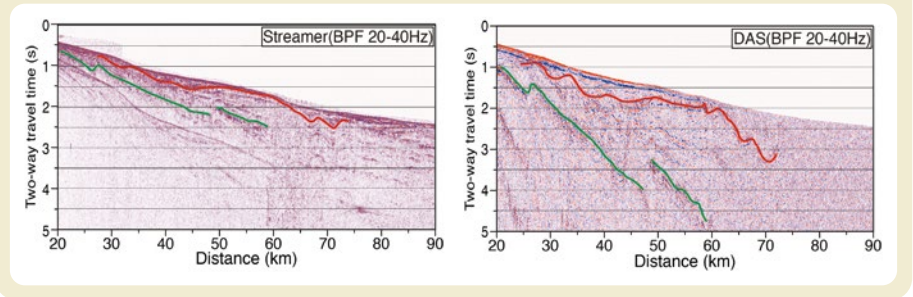
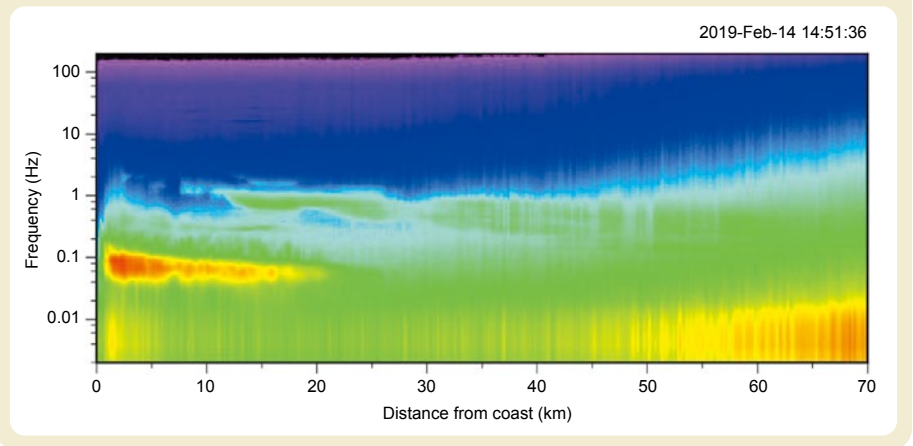


図3 DASによって得られた海底の雑微動の空間的な変化

海岸から沖合に向けて雑微動の周期の変化が明瞭に観測されたのは初めてである。



きた。「DASは海底地震観測に十分な性能を有していることが確かめられました。海底地震観測の革新的な技術になるという直感が、確信に変わりつつあります」と篠原教授。

思わぬ発見もあった。海岸付近では15秒程度の卓越周期を持つ微雑音が観測されているが、沖合20kmくらいでこの微雑音は小さくなり、数秒の卓越周期を持つ微雑音に置き換わることがわかったのだ(図3)。「これまで海岸から70km沖合まで高密度・高精度で地震観測した例はありません。その観測を実現したからこそ見えてきた現象です。深海底では世界中どこでも数秒の卓越周期を持つ雑微動が観測されます。その雑微動の起源を捉えているのかもしれませんが。ぜひ専門家と解析したいと思っています」

震源・マグニチュード・発震機構解の決定、津波観測を目指す

今後については「長期連続観測を実現するとともに、地震学の基本である震源決定、マグニチュード決定、発震機構解の決定を行うための研究開発を進めていく」と篠原教授。超高密度でデータを得られることがDASの利点であるが、長期連続観測となるとデータが膨大になるため、それを蓄積できるシステ

ムと、ディープラーニングなどAI(人工知能)を活用した新しい解析手法の開発が不可欠になる。震源決定とマグニチュード決定はめどが付いているが、発震機構解の決定は難題だ。発震機構解の決定とは、地震を起こした断層がどのように動いたか、どのようになっているかを推定することをいう。DASで計測できるのは光ファイバーと平行な水平方向のひずみだけである。多数の1成分のひずみデータから断層の動きを導き出す方法を探索しているところだ。

さらに、「津波観測にも応用したい」と言う。DASのデータには波浪起源と思われるひずみが捉えられていることから、津波によるひずみも観測できるのではないかと篠原教授は考えている。新たに導入した最新のDAS装置を用いて検証していく計画だ。

日本周辺には、通信用の海底ケーブルが張り巡らされている。そのほとんどは光ファイバーなので、DASが可能だ。「使われていない海底ケーブルを利用することで、日本周辺に高密度な観測網を拡張できないかと考えています。そしてDASのデータを地震研究と緊急地震速報や津波警報などに役立てる。それが私の最終目標です」

(取材・執筆:鈴木志乃)

TOPICS

広報アウトリーチ室活動報告

●「国際青少年サイエンス交流事業」が2年ぶりに現地開催

科学技術振興機構 (JST) の「国際青少年サイエンス交流事業 (さくらサイエンスプログラム)」が2022年8月、2年ぶりに現地開催されました。台湾、インド、韓国、インドネシア、マレーシアから8名の参加者が来所し、中国の学生1名がオンラインで参加しました。写真は、巡検で訪れた草津白根山。



●「サイエンスカフェ」開催

地震・火山噴火予知研究協議会と広報アウトリーチ室の共同企画であるサイエンスカフェの第16回「群発地震」を、酒井慎一教授 (東京大学地震研究所・情報学環)、飯尾能久教授 (京都大学防災研究所) のお二人を話題提供者に、2022年9月16日オンラインで開催しました。

最近の研究

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

- 地震規模に比べて大きな津波を繰り返し引き起こす火山性地震の発生メカニズム: 海底火山・須美寿カルデラにおける「トラップドア断層破壊」



プレスリリース

- 2022年10月11日
世界初、ミュオグラフィによる台風の観測

INFORMATION

お知らせ

- 新たな地震研グッズの「地震波形てぬぐい」と「鯨絵マスキングテープ」が、UTCC (東京大学コミュニケーションセンター、本郷キャンパス内) の店頭で購入できるようになりました。本郷キャンパスにお越しの際は、ぜひお立ち寄りください。



地震波形てぬぐい。地震研白木観測点で記録された、近年起きた被害地震の波形をあしらった手ぬぐいです。日時のみを表示することで、どの地震かを考えて記憶にとどめ、今後の備えを意識していただくことを願っています。熨斗の解説文は英訳付き。1,200円 (税込み)



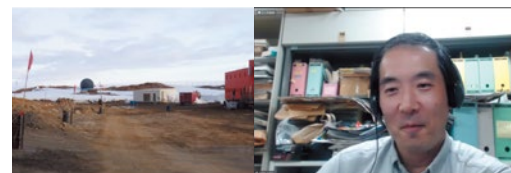
鯨絵マスキングテープ。地震研の図書室が所蔵している鯨絵のうち4点をマスキングテープにしました。450円 (税込み)

人事異動

- 2022年10月3日 任期満了 リンゼイ麻衣子 財務チーム・管理担当 一般職員

●「懇談の場」開催

地震研究所と参加者とのコミュニケーション促進の場である「懇談の場」を2022年8月26日にオンラインで開催しました。「南極の野外で絶対重力を測る」について、観測開発基盤センター 新谷昌人教授によるお話でした。



●「IPGP-ERIワークショップ2022」開催

地震研究所とIPGP (Institut de Physique du Globe de Paris: パリ地球物理研究所) の共同で「IPGP-ERIワークショップ2022」が2022年9月27~29日に開催され、IPGPより13名の参加者が来所しました。



受賞

- 佐竹健治教授・所長、加藤愛太郎教授、堀宗朗名誉教授が令和4年防災功労者内閣総理大臣表彰を受賞
- 臼井嘉哉助教の業績が地球電磁気・地球惑星圏学会 (SGEPSS) の大林奨励賞を受賞
- 上嶋誠教授、小山崇夫助教らの論文がSGEPSS論文賞を受賞



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 (寺田眞彦)

東京大学地震研究所 ニュースレターPlus 第39号

発行日 2022年11月2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
orhp@eri.u-tokyo.ac.jp
ホームページ
https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/