

巨大断層のささやき

The secret chatter of giant faults

NAOMI LUBICK 2010年7月15日号 Vol. 466 (312-313)

北米大陸西部の地下で周期的に発生して長時間持続する微弱な震動は、大地震の予測に役立つ可能性がある。そのためにはまず、この震動の意味を明らかにする必要がある。

2010年7月、ワシントン大学（米国シアトル）の地震学者たちは、数週間前から非常警戒態勢に入っていた。近くのアリゾナ半島の地下深部では、長時間持続する微弱な震動（深部微動）が12～14か月ごとに発生しており、次の震動がいつ始まってもおかしくない時期に入っていたからだ。研究者らは万全な準備の下で、深部微動の発生を待ち構えている。

2009年、地震学チームは1年がかりでアリゾナ半島の山地の地中に100個以上の地震計アレイを設置し、精密な観測網を作り上げた。これらの地震計が深部微動の兆候を検出し始めたら、研究者らは現地に駆け付け、その発生源の上にさらに多くの地震計を設置し、数日ごとに地震計のバッテリーを交換したりデータをダウンロードしたりして管理を行うことになっている。こうして、地下深部で起きている地震活動についてできるだけ多くの情報を手に入れようというのだ。

深部微動（あるいは非火山性微動）は、地上では体に感じられない、数週間以内に終息するごく小さな揺れである。しか

し、地震学者にとって、深部微動は、過去10年間で最も重要な発見の1つである。深部微動を観測することで、恐ろしい被害をもたらす断層の活動について知ることができるかもしれないからだ。最初にこの深部微動が見つかったのは、2002年、日本だった。その1年後、北米太平洋岸北西地区の研究チームが、シアトルに近いカスカディアの地下で同様の深部微動を検出した。

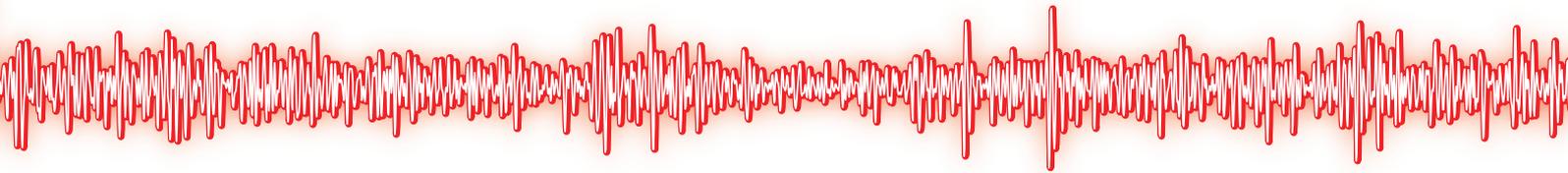
カスカディアでは、海岸の地下深部に、かつてマグニチュード9に近い地震を引き起こしたことがあると考えられている巨大な断層がある。カスカディアの深部微動が注目されているのは、この巨大断層に沿って発生しているからである。研究者らは、自分たちが計画している精密な観測により、断層に沿った地震活動の監視が容易になることを期待している。周期的に発生する深部微動を指標に、地下の応力の変化を追跡できるかもしれないし、今後の巨大地震の発生時期や発生場所を特定する手がかりさえ得られるかもしれない。

スタンフォード大学（米国カリフォルニア州）の地球物理学者 Greg Beroza

は、「そうした可能性を考えると、なんだかとてもワクワクしてきます」といい、ワシントン大学の研究チームによる観測結果を心待ちにしている。深部微動の発生が周期的であることは、研究者が準備を整えて観測に臨めることを意味している。地震活動をそんな風に詳細に観測できる機会など、めったにない。「地下深部の断層でなんらかの活動が起きていて、その周期性から、そう遠くない時期に次の活動が始まると予測できるなどと、10年前に聞かされたら、『そんなばかな』といていたでしょうね」と Beroza はいう。

とらえにくい信号

地震計による深部微動の記録は、普通の地震の記録とは異なっているようにみえる。普通の地震は激しく始まり、高周波エネルギーが突然生じて、急速に小さくなっていく。一方、深部微動は穏やかで、その震動は低周波成分に富み、ひっそりと始まり、終わっていく。こうした特性や震動の弱さのために、深部微動の発見は難しい。プレリミナリーな観測（試しに行ったものでデータとしては不十分な



観測)から、アラスカやメキシコなどでも深部微動が見つかった。しかし、こうした深部微動をとらえることのできる高感度の地震観測網をもつ地域はまだ少なく、情報は不十分である。

深部微動を最初に発見したのは、東京大学地震研究所の地震学者小原一成^{おぼらかずしげ}だった¹。日本には、全国の地中に設置した地震計で常時観測を行っている高感度地震観測網 (Hi-net) がある。Hi-net は、甚大な被害を出した 1995 年の阪神淡路大震災の後に日本政府が整備したもので、全国 600 か所の観測点からなる。深部微動は、この Hi-net が記録した信号の中から見つかった。微弱な震動はトラックの走行などの人間活動による振動にかき消されてしまうことがあるため、高感度地震計は、こうしたノイズを遮断できる地下 100m よりも深いところに設置されている。小原が地下 30km 以上の非常に深いところで数週間持続する微弱な震動を発見すると、世界中の研究者たちが、自分たちの地震計のデータに目を凝らし、同様の記録を探そうとした。

日本の深部微動のほとんどは、2つのプレートがぶつかり合って、一方が他方の下に沈み込んでいく場所に沿って起きている。北米太平洋岸北西地区の地下にも、カナダのバンクーバー島 (ブリティッシュコロンビア州) から米国カリフォルニア州北部に伸びるカスカディア沈み込み帯に沿って、同様の構造がある (18 ページ図「深部微動の発生源」参照)。ここでは、ファンデフカプレートが北米プレートの下にすべり込んでいる。1700 年に発生したと考えられてい

る最後の巨大地震以来、カスカディア沈み込み帯の危険地域は固着 (プレートどうしが強固に接着していて、エネルギーがたまっている状態) しており、研究者らは、22 世紀中に崩壊して大災害を引き起こすと予想している。

こうした危険があるため、研究者たちは、地下深部の沈み込み帯の状態を探るための手段として深部微動の検出に非常に関心をもった。しかし、2009 年は、観測機会を逃してしまった。ワシントン大学の研究チームは深部微動の発生を 8 月と予想していたのだが、観測装置がほとんど設置できていない 5 月初旬に始まってしまったのだ。一部の震動は常設地震計アレイを使って記録できたが、期待したような詳細な情報は得られなかった。

今年も、準備万全だ。常設地震計アレイが深部微動の最初の兆候をとらえたら、その発生源の上に観測網を設置する。それぞれのアレイは、人間活動による振動が届かない場所に、25 個前後の地震計を 200 ~ 300m 間隔で配置したものからなる。こうした研究は、米国科学財団から非営利研究コンソーシアム Earthscope に交付された 50 万ドル (約 4200 万円) の助成金に支えられている。

ワシントン大学の地震学者で、このプロジェクトの主任研究者の 1 人である John Vidale は、「我々が現在行っている実験は、これまで見ることはできなかったものを見せてくれる点で、前例のないものになるでしょう」という。

Vidale によると、研究チームが「アレイのアレイ」とよんでいるこの観測網は、地震波がそれぞれの地震計に到達す

る時刻を比較することで、深部微動の発生源を正確に特定できるという。「我々が耳で音を聞いて、どの方向から聞こえてくるのかを当てられるのと同じことでず」と彼はいう。

深部微動の発生源を巡っては激しい論争が起きている。日本では、深部微動は 2 つのプレートの境界面 (沈み込み帯—断層境界) で発生していることが観察されており、ここでは巨大地震も発生している。一方、太平洋地球科学センター (カナダ・ブリティッシュコロンビア州シドニー) の Honn Kao らによると、カスカディアでは、地震計の記録からは一部の微動が断層面上で発生している可能性が示唆されるという²。

深部微動の発生源

深部微動の発生源の位置を特定することは、深部微動を発生させる物理的過程の解明に役立つはずだ。深部微動は地下数十 km の深さで発生する。ここは、低温の地殻が、高温のマントルに引き込まれる所である。上部地殻の岩石はもろく、応力を受けて破壊され、地震を引き起こす。しかし、マントル中の岩石は非常に高温なので、圧力を受けても破壊されずにひずんでいく。深部微動は、沈み込むプレートの温度が上昇し、岩石が柔軟になってきた程度の、複雑な領域で起こるようにみえる。

Nature 2010 年 7 月 15 日号に発表された研究³は、日本で観測されている一部の深部微動については、その発生過程を解明する役に立つかもしれない。論文著者で、東京大学の地震学者の井出哲^{いでとし}は、四国で観察される深部微動が、その場所

の沈み込み帯にある岩石の種類に影響を受けている可能性がある」と指摘した。井出は、一部の深部微動の発生源が縞状に並んでいて、その方向が、沈み込んでいくプレートの過去 1000 万年間の移動方向と一致していることを発見した。彼は、これらの縞から、日本列島の下に潜り込んでいく海洋プレート上の海山(かつての火山が沈下したもの)が通った経路をたどれるとする仮説を提案した。

この仮説が正しいなら、海山が深部微動に作用する過程は 2 つ考えられると井出はいう。1 つは、海山等が沈み込む途中でマントルに付けた凸凹が不規則にすべるといふものである。もう 1 つは、沈み込むプレートの脱水反応で生成された水によってマントルの岩石が変成し、境界面の性質が変化して、安定したすべりからぎくしゃくした運動になり、微弱な振動が生み出されるというものだ。

Beroza は、井出の研究結果はプレリミナリーなものにすぎないというが、どうやって断層に沿った岩石の特性が数百万年も保存されて、今日の深部微動に影響を及ぼしているのかを示唆する「非常に重要な結果」であると評価している。日本の深部微動と同様、カスカディアの深部微動も帯状に発生することがあり、沈み込んでいく岩石の何らかの特性を反映している可能性がある。

研究者たちは、岩石に圧力をかけたときの摩擦や間隙率などの特性の変化を検証した新旧の室内実験のデータを用いて、普通の地震ではなく深部微動が発生する条件を明らかにしようとしている。スタンフォード大学の地球物理学者 Paul Segall は、これらの研究は、沈み込み帯の深さでの断層の動きを明らかにするのに役立つかもしれないという。

大地震との関係

研究者らは、深部微動と、同じ断層で発生する大地震との関連についても知りたがっている。よく観測されている日本とカスカディアの深部微動は、沈み込んでいくプレート上の大地震の発生場所付近で生じる傾向がある。深部微動は、大地震を引き起こすエネルギーを蓄えている「固着」領域の下方で発生しているのだ(左下図「深部微動の発生源」参照)。

ワシントン大学の地球物理学者 Joan Gomberg によると、研究者たちは今、断層における圧力の変化に連動するような深部微動のパターンの変化を探しているという。そのような関係がわかれば、大地震の前兆を見つけるために、深部微動の監視を始めることができる。これまでに、興味深い手がかりがいくつか見つかっているが、確実なものはまだない。例えば、カリフォルニア州のサンアンドレアス断層では、マグニチュード 1 または 2 の地震とともに深部微動が発生したが、両者の直接的な関係はまだ証明されていないのだ⁴。

一方、小原らは、日本の地下で発生する深部微動について、より詳細なデータを集めるために、さらなる監視システムの設置を計画している。カスカディアの研究者たちも、2010 年の深部微動を逃すまいと周到な準備をしている。

ワシントン大学の地震学者 Ken Creager は、深部微動をとらえ損なった 2009 年の失望を思い出して、「深部微動は、時計仕掛けのように周期的に発生しますが、その周期はあまり厳密ではないのです」という。けれども今年は自信がある。「今回こそは、逃しません」。

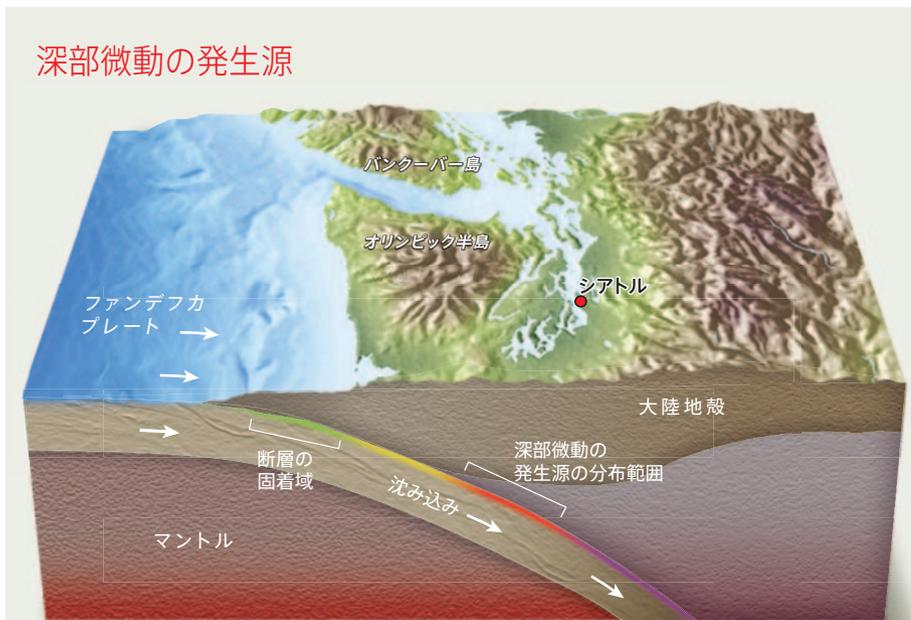
【訳注：2010 年 8 月 8 日、彼らはいよいよカスカディアの深部微動をとらえた。】

(翻訳：三枝小夜子)

Naomi Lubick はチューリヒ(スイス)に拠点を置くフリーランスのライター。

1. Obara, K. *Science* **296**, 1679-1681 (2002).
2. Kao, H. et al. *J. Geophys. Res.* **114**, B00A12 (2009).
3. Ide, S. *Nature* **466**, 356-359 (2010).
4. Nadeau, R. M. & Guilhem, A. *Science* **325**, 191-193 (2009).

深部微動の発生源



カスカディア沈み込み帯に沿って、海洋地殻の一部が北米プレートの下にすべり込んでいる。プレートの間の断層面上部は固着して圧力をため込んでおり、将来、これが一気に解放されて大地震を引き起こすと予想されている。断層の下部や周辺領域では、ほぼ毎年、深部微動が発生している。周期的に発生する深部微動を調べることは、地震学者が沈み込み帯の状態を監視する役に立つかもしれない。

地震計が記録した深部微動(上)と微弱地震(下)の波形。

