

II 7-2

SPRING-8 による地震記録を用いた地球コアの運動の追求

京都大学防災研究所 川崎一朗

(財)高輝度光科学研究センター 松井佐久夫, 伊達 伸

1. 本分野の概要

これほど地球科学が進歩したのに、単純な基本的なことで、よく分かっていないことが意外と多い。例えば、地球（赤道半径 6371 km）の内核（半径約 1220 km）の密度は意外と解けていない。地球全体の質量 (6×10^{24} kg) や密度 (5.5 g/cm^3) は天文観測データから決めることができる。ところが、内核の質量は全体の約 60 分の 1 しかなく、その密度は誤差に埋もれてしまう。内核の密度がほぼ 13 g/cm^3 と決まるようになったのは、1960 年代、良質の長周期地震計が世界に展開され、振動エネルギーが地球の中心にまで浸透する 1000 秒より長周期のモードの固有周期が精度良く決まるようになってからである。しかし、その様な固有振動モードでも、核の情報はごく部分的にしか含んでおらず、得られた内核の密度の一意性にはまだ不満が残っている。

振動が起こるのは復元力が働くからである。結晶構造が変形した場合に生じる復元力は元をただせば原子間力なので非常に大きく、従って弾性波（地震波）の伝播速度は速く、地球の弾性的固有振動の周期は一番長周期のモードでも約 54 分である。何らかの原因で固体内核が流体外核の中の安定な位置からずれると、浮力を復元力とする Slichter mode と呼ばれている固有振動が起こる。浮力は弾性的な復元力より小さく、内核の密度を $\sim 13 \text{ g/cm}^3$ とすると固有周期は約 5.4 時間 (Dahlen and Tromp, 1998) になる。この固有周期は、大局的に内核と外核の密度差にのみ依存し、逆に観測から固有周期を決定できれば、内核の密度を高い一意性で決定できる。そのため、多くの研究者が Slichter mode の検出に挑んだが、いまだに確実な発見事例はない。

地震学の強力な耳である地震計は、振子を使っているという制約上、感度は数百秒を超えて長周期になるほど急激に落ちる。それに代わる有力な観測手段は地殻の歪みを連続計測する伸縮計で、周期無限大まで感度は一定である。2 年前から、神岡鉱山のスーパーカミオカンデから 200 m 程離れた別の横穴に長さ 100 m のレーザー伸縮計が設置され、かつてない高精度の歪みの連続観測が試みられている。原理については本報告の「レーザー干渉地殻測定」(竹本修三)を参照されたい。

しかしながら、伸縮計の欠点は、大気圧変化、温度変化、雨などの気象要素が大きなノイズ源になることである。最大のノイズである固体潮汐（研究者によってはこっちがシグナル）の振幅は 10^{-8} のオーダーで、大気圧変化の影響も同程度である。気象要素がこのように大きなノイズ源になるのは、観測点の基盤のごく近傍の 100 m スケールの局的不均質が変化を増幅するからである。一方、Slichter mode など核に由来する振動のシグナルは、マグニチュード 8 クラスの地震の場合で 10^{-12} かそれ以下の極微小である。

2. 本研究分野の現状と最近の進歩

1999 年、伊達等によって、高輝度光科学研究センター（兵庫県佐用郡三日月町）の

SPring-8 (大型放射光施設) の加速器リング長の地球潮汐による伸縮が捉えられているという最初の報告が出された。比較的均質な岩盤の上に km スケールの観測装置があると、気象要素に由来するノイズが桁違いに小さくなるはずであり、Slichter mode も捕捉可能ではないかと期待が持たれた。加速器リングの一周は約 1.4 km あるが、その中を周回する電子軌道の長さは、電子を加速し 10 桁の精度でコントロールされている 508 MHz の RF の周波数に

より固定されている。一方、長さの変化を求めるためのビーム位置モニターの分解能は $0.5 \mu\text{m}$ 程度で 88 個あり、平均値を用いて歪みに換算すると 10^{-11} 程度の分解能になる。

2004 年 12 月 26 日、日本時間の午前 9 時 59 分、マグニチュード 9 の超巨大スマトラ地震が起こった。30 万人を超える人命が失われたことは痛ましいとはいえ、サイエンスとして言うならば、SPring-8 が、初めて、観測限界以上の大きさに励起された Slichter mode を記録しているかもしれないと期待した。図 1 は、地震波が到達する (日本時間 10 時 9 分頃) 40 分程前からほぼ 5 時間分の、リングの周長の変化に敏感な部分に置かれている電子ビーム位置モニターの記録である。この値に 0.5 を掛けるとほぼ周長の変化に換算できる。図から、地震が起こってから最初の 1 時間 (10 時から 11 時) の間に、数十秒から数百秒の周期で、加速器リングの長さは $\pm 0.4 \text{ mm}$ ほど、歪みにして $\pm 3 \times 10^{-7}$ 変動したことが分かる。周期 50~100 秒の P 波と S 波、震源から日本列島に直接やって来た表面波、震源から南西の方向に出てから地球を 1 周して日本列島にやってきた周期 200 秒から 300 秒の表面波、日本列島を通り過ぎてさらに地球を 1 周して再び日本列島にやってきた同様の周期の表面波が識別できる。気象庁精密観測室 (長野県長野市) の伸縮計歪み記録と比較して、図 1 は忠実に長周期地震波を記録していることも分かる。SPring-8 はこの日、定常的な利用運転の期間中にあったわけではなく、マシン側のスタディー期間中であつたため、14 時 20 分頃からは運転条件が変わり、地震記録として使えるほどのデータは得られなくなった。今回は測定時間も短く長時間の周期の振動を捕えるのは難しかったが、SPring-8 という光の装置が、本来の目的とは違う形で地球科学に利用されつつある科学の前線を手短に紹介した。

3. 本研究分野の将来性・応用

物理計測が SPring-8 のようにここまで超高精度化してくると、もはや、地球ダイナミクスとも無縁でありえない。今後、ますます、互いに意識せざるをえないであろう。

参考文献

- 1) Bloxham, J., S. Zatman and M. Dumberry: Nature, 420, 65-68, doi: 10.1038/nature01134 (2002).
- 2) Dahlen, F. A. and J. Tromp: Theoretical Global Seismology, p. 314, 1998.
- 3) 伊達 伸: パリティ, 14, 49-51 (1999).

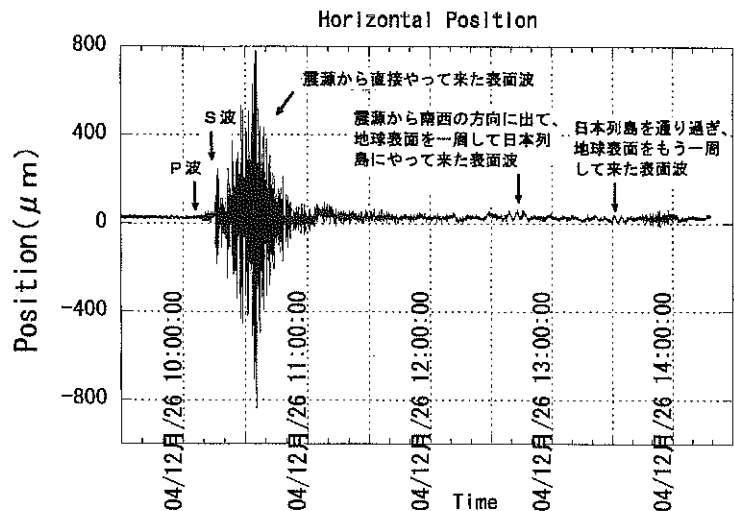


図 1