

アポロ深発月震のカオス的活動

Chaotic activity of Apollo deep moonquakes

小山 順二[1]

Junji Koyama[1]

[1] 北大・理・地球惑星

[1] Earth and Planetary Sci., Hokkaido Univ.

1. はじめに 1969年から1977年の8年余にわたるNASAアポロ計画による月地震観測では、月面上に設置された4つの地震観測点から、地震観測連続データが地球に伝送されてきた(Latham et al., 1971). 最近このアポロ地震観測データから、観測波形の相関解析とクラスター解析を併用して、新しい月震イベントカタログが編集された(Nakamura, 2003, 2005). 深発月震のグループが従来108グループ知られていたが新しいカタログではそれらが77グループに再編され、さらに、複数の観測点で波形の相関が良いものだけでも89のグループが新たに知られることになった。そのうち震源位置が推定されている月震は106個になり、震源位置についての情報が2倍以上になった。

ここでは新たに決められた深発月震の震源情報を踏まえて、月内部の地震活動の空間的・時間的なふるまいについて詳しく考えることにする。

2. 深発月震の周期性解析 ある運動の軌跡 li がくり返し特定の面をよぎるとき、その k 番目と $k + 1$ 番目の軌跡が写像 f で $li(k + 1) = f(li(k))$ と表されるとする。これは複雑な運動の軌跡を $li(k)$ $li(k + 1)$ 平面上(位相空間)の点の集まりで表現するものである。今 $li(k)$ を i グループの深発月震の k と $k - 1$ 番目のイベントの発生時刻の差とする。Poincare Map (PM) はこのような $li(k + 1)$ の $li(k)$ に対する点の分布から作り出される。

新しい深発月震カタログをPM解析して、それぞれの月震のグループには特徴的な、(1)1月の周期性、(2)半月の周期性、(3)数日のうちに続けて発生する続発性、(4)一月のうちにひろがって発生する続発性、(5)発生周期の大きなゆらぎ、(6)ランダムに見えるような活動があることが新たにわかった。(1)はPM上でアトラクター点として特徴づけられ、(5)や(6)はPM上で散漫な分布となる。

3. Poincare Mapの特異な構造 特徴的な(4)の活動は、ある発生のトリガーレベルより大きな周期的活動(周期 TA)と別の周期(TD)を持つ違ったトリガーレベルの活動を考えることで説明できる。月震では、この周期性は交点月周期(27.212221日)と近点月周期(27.554550日)である。前者の活動あるいは後者の活動だけなら、はっきりとした一月の周期性を示すグループの活動となる。実際に、近点月周期にしたがって発生する2つのイベントと交点月周期にしたがう1つのイベントを確率70%で、発生の周期性にはどちらの活動にも最大2日のゆらぎを一様乱数で与えたPMを描くことで、わずかな周期のずれから、一月の周期性や(4)の続発性が生まれることが確かめられる。実際に観測されているものはこのような計算例からもわかるように、発生するしないの確率的な要素と、月地球潮汐の周期性ばかりではない大きなゆらぎが存在し、完全には予測することができないことである。

(2)の半月の周期性と思われるPMはあるが、それは安定なアトラクター点ではなく、位相が連続的にずれている。つまりここでの半月の周期性は、交点月と近点月周期がちょうど半周期ずれた時に発生するイベントであり、位相が1月ごとに少しづつずれていることを思わせる。また、続発性や周期性のゆらぎが特に大きく、ランダムに近い散漫な分布も、近点月・交点月周期でそれぞれ1月に3個のイベントが確率50%で発生する場合で、発生周期のゆらぎを先の計算の倍である最大4日に仮定したPMで再現できる。ランダムに近いような散漫な分布も、二つの周期性に依存する活動が重なり合い、その発生が確率的でしかも周期性のゆらぎが大きな場合として、理解される。

4. まとめ この解析で最も重要な点は、従来月と地球の潮汐力により励起され、1月の周期性が明瞭であると信じられてきた深発月震の活動様式が、周期的ではあるが周期性にゆらぎが大きく予測不能なカオス的な活動として捉え直されたことにある。月-地球潮汐により励起されるそれぞれの月震グループでの非線形な応答が震源域での構造の複雑さや発生周期のゆらぎの大きさを生み出していると考えられる。