

論文内容要旨

(No. 1)

氏名	田中 佐千子	提出年	平成 15 年
学位論文の題名	地球潮汐による地震トリガー作用の時空間的特徴		

論文目次

第 1 章 序論

- 1-1 地球潮汐と地震発生の関係に関する従来の研究
- 1-2 本研究の目的

第 2 章 解析方法

- 2-1 理論地球潮汐
 - 2-1-1 理論地球潮汐の計算方法
 - 2-1-2 海洋潮汐モデル NAO.99b による間接項の評価
 - 2-1-3 理論地球潮汐と観測値の比較
- 2-2 Schuster の検定

第 3 章 全世界の地震についての解析

- 3-1 地震データと応力成分
- 3-2 解析結果
 - 3-2-1 全データ
 - 3-2-2 発震機構依存性
 - 3-2-3 深さ依存性
 - 3-2-4 地震規模依存性
 - 3-2-5 まとめ
- 3-3 議論
- 3-4 結論

第 4 章 全世界の沈み込み帯の地震についての解析

- 4-1 地震データと応力成分
- 4-2 解析結果
 - 4-2-1 全世界の沈み込み帯
 - 4-2-2 アラスカ - アリューシャン地域
 - 4-2-3 トンガ - ケルマデック地域
 - 4-2-4 ソロモン地域
 - 4-2-5 その他の地域
- 4-3 議論

- 4-4 結論
- 第5章 日本周辺の地震についての解析
 - 5-1 地震データ
 - 5-2 解析方法
 - 5-2-1 潮汐応力の圧縮軸方位
 - 5-2-2 仮説検定
 - 5-3 解析結果
 - 5-4 潮汐応力の圧縮軸方位とテクトニック応力
 - 5-5 議論
 - 5-6 結論
- 第6章 東海地域の推定固着域周辺の地震についての解析
 - 6-1 東海地域の推定固着域周辺の地震活動
 - 6-2 地震データと応力成分
 - 6-3 解析結果
 - 6-3-1 全データ
 - 6-3-2 時間依存性
 - 6-3-3 空間分布
 - 6-4 議論
 - 6-5 結論
- 第7章 議論
 - 7-1 地球潮汐による地震トリガー作用の特徴
 - 7-1-1 大・中地震の発生との関連性
 - 7-1-2 大・中地震の発生に対応する再現性
 - 7-1-3 地震発生時に固有の潮汐位相角および方位
 - 7-2 周期応力による地震トリガーモデル
 - 7-2-1 すべり速度・状態依存摩擦構成則
 - 7-2-2 地震トリガーモデル
 - 7-2-3 周期的な剪断応力の効果
 - 7-2-4 周期的な法線応力の効果
 - 7-2-5 まとめ
 - 7-3 今後の課題
- 第8章 結論
- 参考文献

論 文 要 旨

地球潮汐によって地球内部には $10^3 \sim 10^4$ Pa 程度の準周期的な応力変化がもたらされている。破壊前の臨界応力状態にある断層上では、このような微小な応力変化によって地震の発生に至る、つまり、地球潮汐が地震のトリガー（引き金）要因となる可能性が考えられる。地球潮汐によって地球内部に生じる応力変化は理論的に高精度に予測することができるため、その地震トリガー作用を明らかにすることは地震発生の物理メカニズムについ

て極めて重要な知見を与えると考えられる。本研究では、高精度の理論地球潮汐の計算と良質な地震データに基づき、地球潮汐と地震発生の関係を統計的な手法により詳細に調査した。対象とした地震データはハーバード大学の CMT 解による全世界の地震および沈み込み帯の地震、気象庁一元化震源による日本周辺の地震、防災科学技術研究所の関東・東海地殻活動観測網による東海地域の推定固着域周辺の微小地震であり、様々な空間スケール、地震規模の地震を統一的に扱った。本論文の構成と主な内容は以下の通りである。

第 1 章では、従来の地球潮汐と地震発生の関係に関する研究をまとめ、これまでの知見とその問題点を指摘した。

第 2 章では、理論地球潮汐の計算方法について述べた。計算は、起潮力による直接項だけでなく、海洋荷重の効果（間接項）まで包含すること、間接項の評価には衛星高度計データを用いて新しく開発された海洋潮汐モデル NAO.99b を用いたことに特徴がある。これにより、より厳密な間接項の評価が可能となり、高精度な理論地球潮汐が得られるようになった。このことは、地表で得られた観測値と理論値の比較からも確認された。

第 3 章では、24 年間にわたって蓄積されたハーバード大学の CMT 解を用い、全世界の地震について地球潮汐と地震発生の関係を調査した。剪断応力成分および応力テンソルの対角和 (J1) 成分について解析を行った結果、全世界の地震を一括して扱うと地球潮汐と地震発生の間に有意な相関は得られなかった。しかし、発震機構によって地震データを分類することにより、明瞭な相関が存在する場所があることが確認された。特に、逆断層型地震について剪断応力成分との間に顕著な相関が認められた。また、正断層型地震についても J1 成分との間に一部有意な相関が得られた。しかし、横ずれ断層型地震については全く相関が認められなかった。高い相関が存在する全ての場合において、地球潮汐による応力変化が地震発生を促進させる位相付近に地震が多発する傾向があることが示された。

第 4 章では、解析の対象領域を 12 の沈み込み帯に絞り込み、より詳しい調査を行った。使用する地震データは浅発逆断層型地震（深さ < 70 km）に限定し、これらの地震をプレート境界で発生する地震とみなした。この仮定に基づき、CMT 解の 2 つの節面から断層面を特定し、断層面上の剪断応力成分に加え、法線応力成分、それらの組み合わせで表されるクーロンの破壊関数についても調査を行った。解析の結果、幾つかの地域で地球潮汐と地震発生の間に有意な相関が認められた。地域毎に相関が現われる摩擦係数の値は異なり、プレート境界毎にその摩擦係数の値が異なる可能性を示唆した。各地域において最も強く相関が現われた摩擦係数の値を用い、さらに詳細な調査を行った。その結果、アラスカ - アリューシャン、トンガ - ケルマデック、ソロモン地域において、顕著な相関が認められた。いずれの場合も、顕著な相関はその地域で発生した大地震 ($M_w \geq 7.5$) の震源域近傍において、その発生に先立つ期間 (5 ~ 10 年) に現われる。大地震発生後には、再び相関の無い状態に戻る。また、アラスカ - アリューシャン地域では、近接して発生した大地震の繰り返しに伴い、顕著な相関も繰り返し現われることが見出された。

第 5 章では、気象庁の一元化震源データを用い、日本周辺の地震について解析を行った。用いた震源データには発震機構解が得られていない小さい地震も含まれるので、新たに潮汐応力の圧縮軸方位に着目した解析を行うこととした。日本全域を $1^\circ \times 1^\circ$ の領域に分割し、100 領域について潮汐応力の圧縮軸方位を調査した結果、13 領域で地球潮汐と地震発生の間に有意な相関が得られた。これらの領域について、地震発生が集中する潮汐応力の圧縮

軸方位を抽出した。相関が認められた全ての領域において、この方位はその領域内で得られた発震機構解の P 軸方位とよく一致することが明らかとなった。このことは、地球潮汐による応力変化がその領域内で支配的な応力場を増大させる方向に働く際に地震がトリガーされる可能性を強く示唆している。また、有意な相関が得られた領域は、近年大地震が発生した領域と対応している。

第 6 章では、東海地域の推定固着域周辺の地震活動について、地球潮汐と地震発生の関係を調査した。用いた地震データは約 17 年間にわたって防災科学技術研究所により得られた微小地震の発震機構解である。応力成分は剪断応力成分に注目した。この地域では、常時の地震活動と比べマグニチュードが 1 以上大きい特徴的な中規模地震 ($M \geq 4.5$) が繰り返し発生している。地球潮汐と地震発生の相関は、この特徴的な中規模地震の発生に先立つ期間 (1~2 年) に顕著に現われることが明らかとなった。また、相関の高い領域は、プレート境界の固着が特に強いと考えられている近年地震活動の活発化している領域内に現われる。

第 7 章では、第 3 章から第 6 章までの地震データの解析を総括し、地球潮汐と地震発生の相関に見られる特徴の抽出を試みた。いずれの場合も、地震データを全て一括して扱うと、両者の間に相関は認められない。しかし、高い相関が存在する場合があることが明らかとなった。各章において様々な空間スケールおよび地震規模の地震を対象としたにも関わらず、その相関の現われ方に共通の特徴をもつ事例が見出された。その特徴は以下の通りである。

- (1) 大・中地震の発生域近傍において、その発生に先立つ期間に顕著な相関が現われる。大・中地震の発生後、顕著な相関は消滅する。
- (2) 高い相関が存在する場合は全て、地球潮汐による応力変化がその発生を促進する位相や方位付近に地震発生が集中する。

以上の特徴は、検出された相関が単なる統計的な偶然ではなく、地球潮汐が実際の地震発生に無視できない影響を及ぼしていることをはっきりと示している。

この物理メカニズムを明らかにするために、岩石実験より導出された摩擦構成則を組み込んだ地震トリガーモデルを用い、周期的な応力変化が地震発生に及ぼす影響を検討した。その結果、地球潮汐によって生じる $10^3 \sim 10^4$ Pa 程度の微小な応力変化でも地震発生に強い影響を及ぼすことが可能であることが示された。両者の相関は応力変化の振幅が大きい、摩擦特性を表すパラメータ a が小さい、法線応力が小さいほど強く現われる。また、このモデルによって、地震データの解析から見出された特徴 (2) が物理的に妥当であることが明らかとなった。

第 8 章では、本研究の結論をまとめた。本研究では、様々な空間スケールにおいて地球潮汐と地震発生の関係を詳細に調査し、地球潮汐による地震トリガー作用の存在を疑いの余地無く実証した。この成果は、高精度の理論地球潮汐の計算、良質な地震データ、そして緻密かつ多面的なデータ解析の積み重ねとそれらの総括によって初めて得られたものである。さらに、摩擦構成則を組み込んだ地震トリガーモデルにより、地球潮汐が地震発生に強い影響を及ぼすことが物理的に可能であることを明らかにした。本研究の成果は、地震発生の物理の解明に貢献をなすだけでなく、地球潮汐による地震トリガー作用の観測が大地震に至る応力蓄積過程の監視に有効である可能性をも示すものである。