

論文審査の結果の要旨

氏名 高木 悠

本論文は8章からなる。第1章は序論であり、地震によって生じるコサイスマック、ポストサイスマックな地球変形の理論計算における問題点について述べられている。そして本論文では従来の手法の足りない点を改善して、どのようにしてより完全な計算を可能にするかという見通しが展開される。

第2章では、点震源によって生じる地球内部の粘弾性変形の計算を定式化をする際に必要となる、支配方程式、境界条件、さらに4つの独立なモードの関係について、既存の理論が簡潔に要約されている。

第3章では、本論文の微分方程式を数値的に解くにあたって必要とされる数学的なテクニックについて述べられている。最初に、一様球についての解析解とその漸近展開が検討される。次に、非斉次の一次常微分方程式を解くうえでの標準的な方法が、数値的な不安定という問題を内在していることが示される。本論文はこの問題を、Okubo (1993)の相反定理を拡張することによって解決する。このことは、単なる解法上のテクニックということをして、論文提出者のすぐれた問題解決能力のあらわれであり、本論文全体においてももっとも高く評価されるべき貢献の一つであると認められる。このあと、数値積分による逆ラプラス変換、および球面調和関数の次数に関する足し合わせの議論が続き、理論計算の定式化が完了する。

第4章では、点震源が励起する地球内部変形の計算結果(グリーン関数)が、体積歪を例にとって示される。

第5章では、この理論が平成23年(2011)東北地方太平洋沖地震に応用される。体積歪は、地上において観測可能な量である重力と直接結びつくという点において、地球の変形を表す量のなかでも重要な量である。ここでの議論は、地震発生時におけるコサイスマックな変形と、その後に行進するポストサイスマックな変形とに分けて扱われる。コサイスマックな体積歪変化は、深さ方向におおむね同一のパターンを示すことが述べられているが、これは本論文において初めて定量的な検証が可能になったことがらであり、たとえばコサイスマックな重力変化を議論するような場面において重要である。次にポストサイスマックな体積歪については、弾性層ではコサイスマックな変形と同じセンスであるのに対し、粘弾性層では逆のセンスになることが計算結果から示される。このことも、本研究の理論が適用されて初めて確かに議論できるようになった事実である。つづいてこうした体積歪変化の特徴が、地表における重力変化との関係において議論される。従来、地震後に観測される重力変化の原因が地下のどの深さの層にあるかについてははっきりしなかったが、本論文におけるモデリングはそうした問題に明確な指針を与えるものとなりうる。

第6章では、本論文の粘弾性モデルが、東北地震後に観測された重力、歪などの変化をどこまで再現するかについての検証が行われる。ここでは2014.5年以降に見られる変化

のトレンドに注目し、それが粘弾性緩和の影響によるという仮説を立てて、そのことが理論計算により再現できるかが検証される。その結果、多くの観測点については、粘弾性モデルは観測値をおおむね説明することが示される。理論値と観測値との一致の度合いは必ずしも完全ではないが、そのことは本論文の価値を減ずるものではなく、今後さまざまな問題に特化してモデルを発展させていく可能性があることをむしろ示している。

第7章では、粘弾性のモデルをマクスウェルモデルからバーガーズモデルへ拡張することについての考察、および巨大地震にともなう応力変化と地震活動との関係について、今後の展望が述べられている。

第8章は全体のまとめである。

地震による地球の変形という問題は、Okada (1992)の半無限媒質モデルから Okubo (1993)の球対称モデルへ、さらに Tanaka et al. (2006)の粘弾性モデルへと、おもに日本の研究者が世界をリードする形で展開してきた。本論文は、これらを発展させて粘弾性地球の内部変形までをカバーした、一つの理論的終着点である。全体として、論文提出者の並外れた数理的な解析能力をもってのみ可能となる成果であり、到達したレベルはきわめて高い。本論文のモデルは、いま地震断層を議論する際に用いられている Okada (1992)のモデルをいずれ置き換えていくべきものであろうし、今後数十年程度のスタンダードとして測地学、地震学などにおいて広く用いられることが期待される。

なお、本論文第3章は大久保修平博士との共同研究であるが、論文提出者が主体となって理論の展開を行ったものであり、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

以上により、博士（理学）の学位を授与できると認める。