

氏 名 土 井 浩 一 郎  
 学位(専攻分野) 博 士 (理 学)  
 学位記番号 理 博 第 1370 号  
 学位授与の日付 平 成 4 年 3 月 23 日  
 学位授与の要件 学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当  
 研究科・専攻 理 学 研 究 科 地 球 物 理 学 専 攻  
 学位論文題目 Study on Gravity Changes Induced by Atmospheric Loading  
 (気圧変化により生じた重力変化についての研究)

論文調査委員 (主 査)  
 教 授 中 川 一 郎 教 授 田 中 寅 夫 教 授 住 友 則 彦

論 文 内 容 の 要 旨

1988年8月より、京都大学理学部において、2基の超伝導重力計を用いて、重力の時間的変化の連続観測が行なわれている。超伝導重力計による重力の連続観測は、従来のスプリング型重力計によるそれに比べて、長期間にわたって、高い精度を保ちつつ、安定した状態で、重力の時間的変化の記録を提供する。そのために、超伝導重力計を用いて重力の時間的変化を連続観測することによって、これまで検出することがきわめて困難であった気圧変化に伴う大気引力の変動および地球の変形に起因する微小な重力変化をみいだすことがようやく可能になってきた。

主論文1では、そのうちの1基の超伝導重力計によって得られた1990年1月の1カ月間の記録から、地球潮汐による重力変化および重力計の線形ドリフトを除去し、残りの重力変化について詳しく論じている。こうして得られた重力変化(最大で約 $10\mu\text{gal}$ )は、気圧変化(最大で約30mb)とよく対応している。気圧変化に伴う重力変化には、大気引力の変動によって生じる重力変化と気圧荷重の変動で地球が変形することによって生じる重力変化を含んでいる。気圧荷重の変動で地球が変形することによって生じる重力変化は地球の内部構造を反映した量であり、それを取り出すことにより、地球の内部構造に関する情報を得ることができる。この量を取り出すためには、大気引力の変動によって生じる重力変化の量を正確に見積もり、それを除去する必要がある。ところで、重力計に及ぼす大気の引力を計算するには、大気の水平方向および垂直方向の密度分布を知る必要があるが、それには大量のデータが必要であり、その計算には多くの時間を要する。そこで、本論文では、地上気圧と標準気圧モデルを用いて、簡便な方法を工夫して大気の密度分布を推定し、それを用いて大気の引力が計算されている。具体的には、観測点である京都を中心とする半径 $20^\circ$ の範囲の気圧分布を用いて、12時間ごとに大気の引力を計算し、その変動による影響を除去している。一方、気圧荷重の変動で地球が変形することによって生じる重力変化は、気圧荷重の大きさと地球モデル(Gutenberg-Bullen)から計算される荷重グリーン関数を用いて、理論的に算出することができる。観測から求められた気圧荷重の変動により生じた重力変化とその理論値はかなりよく対応し

ており、その大きさも海洋部分の応答を0とした場合と海洋部分が陸上部分と同じ応答をするとした場合の両極端な仮定の間にある。しかし、理論値と対応していない変化もあり、気圧変化の影響以外の成分が含まれていると推論している。

つぎに、主論文2では、主論文1での議論をさらにすすめて、観測から求められた気圧荷重の変動に伴う重力変化を用いて、地球の内部構造を反映する量である荷重グリーン関数を推定することを試みている。主論文1で採用された方法と同じ方法を用いて、1989年12月1日から1991年2月28日までの期間について、観測値から気圧荷重の変動に伴う重力変化を求めている。この場合は、観測データの期間が1年以上にわたっているために、極運動の影響に対する補正も施されている。また、本論文では、粘弾性構造を仮定した地球モデルから理論的に求められた荷重グリーン関数において、角距離 $0.5^\circ$ 付近に興味深い特徴がみられることを考慮して、角距離 $2.0^\circ$ までの荷重グリーン関数を求めることに主眼をおいている。実際に荷重グリーン関数を求めるにあたっては、離散化された荷重グリーン関数を求めるべき解と考え、気圧荷重の変動によって生じたと考えられる重力変化と各時刻の気圧荷重から観測方程式を組み立て、まず通常の最小2乗法を用いて方程式が解かれている。しかしながら、それによって得られた解は、観測値に含まれているノイズのために、絶対値が大きく、また、負の値も含んでおり、適正な解が得られていない。そこで、重力の方向を正とする場合は、求めるべき解は「負の値にならない」という条件のもとで、再び最小2乗法を適用して、解が求められている。その結果、観測点から遠い領域については解が求められなかったけれども、観測点に最も近い領域については理論的に予想される値とほぼ等しい解が得られている。観測点から遠い領域について解が決定できなかった原因は、観測値に含まれている地下水位の変動の影響などによるノイズが大きいためであろうと結論づけている。さらに、この計算の結果として、京都における重力の気圧係数が直接求められているが、その値は理論的に推定される値よりもやや小さい。このことは、観測点近傍の領域においては、荷重グリーン関数が理論的に推定されるよりも大きな値を採る必要のあることを意味している。観測から求められた重力の気圧係数と理論的に推定されるそれとの不一致は、最小2乗法を適用して荷重グリーン関数を求める際に用いられた観測値に含まれているノイズにより、正確な解が求められていない可能性があるためであろうと考えている。

参考論文1篇は、この研究の基礎となった複数台の重力計で観測された重力の潮汐変化の信頼度を論じたものである。

## 論文審査の結果の要旨

重力の時間的変化の連続観測に供せられていた従来のスプリング型重力計は、その観測精度が $10^{-9}g$ であったために、気圧荷重の変動によって地球が変形することにより生じる重力変化のようなきわめて微小な量を検出することは、ほとんど不可能であった。それゆえに、これまでの研究は、地球モデルを用いて表面荷重の変動による重力変化を計算し、その補正量を求めることに絞られており、観測から表面荷重の変動による重力変化の研究を含めて、地殻の構造を議論する研究はなされていなかった。ところが、超伝導重力計が重力の時間的変化の連続観測に供せられる最近になって、観測精度が原理的には3桁、実質的にも2桁向上し、ようやく、この分野にも曙光がみえはじめてきた。このような情勢において、この研

究は、従来は観測値に含まれるノイズとして扱われ、観測値から除去されていた気圧変化に伴う重力変化を、地球の内部構造を探る上でのシグナルとしてとらえている点に特徴があり、今後ますます重要になると思われる大気および海洋と固体地球との間のさまざまな相互作用の研究において、その先駆をなすものと考えられる。

主論文1では、京都において、1基の超伝導重力計を用いて観測された1990年1月の1カ月間の記録に注意深いデータ処理を施し、除去することが可能な地球潮汐による重力変化および重力計自体に起因するドリフトを除去し、気圧変化に明瞭に逆比例した重力変化を抽出することに成功している。つぎに、こうして得られた重力変化から、気圧変化に伴う大気引力の変動によって生じた重力変化を地上気圧と標準大気モデルを用いて推定して除去し、気圧変化に伴う表面荷重の変動で地球が変形したことによって生じた重力変化を検出している。こうして求められた気圧荷重の変動により生じた重力変化の大きさは、地球モデル（Gutenberg-Bullen）について理論的に予想される値とよく一致している。

つぎに、主論文2では、気圧荷重の変動によって地球が変形することにより生じたと考えられる重力変化とそれに対応する気圧荷重の量から重力に対する荷重グリーン関数を求めようとする新しい試みに挑戦しているが、その試みは完全に成功したとはいえない。その理由は、申請者も指摘しているように、観測量として用いられた気圧荷重の変動による重力変化のなかに、地下水位の変動の影響などさまざまな原因によるノイズが含まれているためであると考えられる。今後、一方では観測値に含まれるノイズを減少させる努力をするとともに、他方ではノイズに強い解法を考案して解を改善することが必要である。しかし、本論文によって、重力の時間的変化の観測から荷重グリーン関数を求めることが決して不可能ではないことを示したことの学問的な意義はきわめて大きい。

今後、この方法を用いて、地球潮汐や地球の自由振動や地震波などとは異なった周波数に対応する地球上の陸域や海域の荷重グリーン関数を求めることにより、各陸域や各海域の粘弾性構造を解明することも可能であろう。また、この研究の手法は、将来、地球内部の粘弾性構造の解明やその異方性の解明にも役だつことが期待される。

よって、本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認めた。

なお、主論文および参考論文に報告されている研究業績を中心とし、これに関連した研究分野について試問した結果、合格と認めた。