

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	長 縄 和 洋
論文題目	地上重力データを用いたアラスカ南東部における氷河性地殻均衡の統合的理解		
(論文内容の要旨)			
<p>高緯度氷河域では過去の氷河融解に伴う粘弾性変形や現代の氷河融解に伴う弾性変形が発生しており、氷河性地殻均衡(GIA: Glacial Isostatic Adjustment)と呼ばれている。現在の氷河の融解(PDIM: Present-Day Ice Melting)は現在の地球環境を知る上でも重要であるが、PDIMを評価するためにはGIAの寄与を定量的に評価する必要がある。重力加速度(重力)は質量分布の空間積分値として表現されるので、高精度の重力観測値がGIAを決める上で優位な観測量であると考えられる。しかし、氷河域における地上重力観測の事例は少なく、その有効性は十分に議論されてこなかった。</p> <p>本研究の対象地域であるアラスカ南東部では、小氷期以降の大規模な氷河融解により、最大 3 cm/year を超える地表面の隆起が観測されている。この地域には2000年代に稠密なGNSS観測網が構築され、得られた地表変位データからGIAモデルの構築が行われてきた。一方、地上絶対重力観測は2006~2008年に実施され、重力変化速度が求められたが、その値はGNSSデータから得られたGIAモデルと乖離していた。ここで使用された重力観測データは量的に十分ではないと考えられ、得られていた重力変化速度の精度も確度も十分ではないと考えられる。そこで本研究では、2012~2015年にアラスカ南東部で地上絶対重力観測が行われたことに着目し、そのデータを2006~2008年の絶対重力データと合わせて再解析することで、アラスカ南東部における絶対重力の時間変化を高精度で決定した。その結果、当該地域の6つの重力点における2006~2015年の重力変化速度は $-2.05 \sim -4.40 \mu\text{Gal}/\text{year}$ ($1 \mu\text{Gal} = 10^{-8}\text{m}/\text{s}^2$) となり、その標準偏差は先行研究と比較して最大88%低減することを示すことができた。</p> <p>次に、得られた重力時間変化からGIAモデルを構築し、アラスカ南東部直下のリソスフェアの厚さと上部マントルの粘性率を可変パラメータとし、本研究で得られた重力変化率に最も適合する値を探索した。その結果、リソスフェアの厚さは $55 \pm 9\text{km}$、上部マントルの粘性率は $(1.2 \pm 0.8) \times 10^{19} \text{Pa s}$ と推定された。これらの値は、先行研究でGNSSデータから推定されたGIAモデルと誤差範囲内で一致しており、地上重力観測が地下構造を推定するのに有効であることを示している。また、本研究で構築したGIAモデルによってGNSS観測の鉛直変位速度やGRACE衛星の重力変化速度も定量的かつ統一的に再現しており、本研究のGIAモデルの妥当性が示された。</p> <p>さらに、本研究で用いた観測データや得られたGIAモデルに基づいて、当該地域の鉛直変位に対する重力変化の比を計算した。その結果、弾性荷重変形における比の値は $-0.221 \mu\text{Gal}/\text{mm}$ 程度、粘弾性荷重変形に対する比の値は $-0.171 \mu\text{Gal}/\text{mm}$ 程度と求まった。このうち、粘弾性荷重変化に対する比の絶対値は他のGIA域よりも有意に大きく、氷河融解履歴の違いによって比の値に地域性があることが分かった。</p> <p>以上、本研究により、地上重力データに基づいてアラスカ南東部のGIA変動が統合的に理解でき、また、GIA変動の把握における地上重力観測の有効性を示すことができた。この成果は、アラスカ南東部だけでなく他の氷河域においても地上重力観測に基づくGIA研究をさらに進展させることができると期待される。</p>			

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

観測データによって氷河域のGIA変動を求める研究は、衛星測位観測や、衛星重力観測に基づくものが主流であった。GNSSでは地表面の変位が測定されるのに対し、重力観測値は地下の質量分布の変動をとらえており、計測している量が全く異なる。地表面変位に基づいて構築されたGIAモデルが、全く独立な観測量を再現できて初めて、信頼性高いGIAモデルといえることができる。そこで、重力変動に基づくGIAモデルの構築が急務となっていた。しかし、衛星重力データは空間解像度が低く、数100～1000kmスケールの長波長の変動しかとらえられない。

本申請論文で用いられている地上重力観測では、 μGal (10^{-8}m/s^2) オーダーの精度で重力変化が求まり、短波長から超波長の現象までとらえることが可能である。しかしこれまで、氷河域における地上重力観測は複数のキャンペーン観測の結果があるものの観測回数が少なく、モデリングに用いる重力変化値の精度はGIAモデルを構築する上で十分高くなかった。申請者は、当該地域で地上重力のキャンペーン観測が蓄積したことを受け、2006～2015年にわたってアラスカ南東部で得られた絶対重力データから重力変化速度を決定し、この地域の直下のレオロジー構造の推定を行った。地上重力データからGIA域直下のレオロジー構造を直接推定したのは本研究が初めてで、本研究はGIA研究の分野において先駆的な研究として高く評価できる。さらに申請者は、絶対重力データを用いれば、GNSSデータに基づく既存のレオロジー構造よりも高い精度でレオロジーを推定できることを示した。この結果は、GIA域における地上重力観測の優位性を示すものであり、GIAや氷河融解に関連する研究に対して大きなインパクトを与えるものである。

また申請者は、アラスカ南東部で得られた絶対重力およびGNSSデータを用いて、地表面における鉛直変位に対する重力変化の比について定量的に考察した。鉛直変位に対する重力変化の比は、地下の変動源の密度を簡易的に知ることのできる物理量として知られている。これまでは、衛星重力データや数値モデルを用いてこの比の値が推定されており、「鉛直変位に対する重力変化の比は、氷河融解履歴に関わらず一定値をとる」とする考えが定説であった。申請者は、アラスカ南東部で得られた地上重力観測およびGNSS観測の結果と、本研究で構築されたGIAモデルとを用い、鉛直変位に対する重力変化の比を推定した。その結果、当該地域の比の値は先行研究で報告されていた値と有意に異なっており、氷河融解履歴の違いによってこの比の値に地域性があることを定量的に示した。このように、地上観測データに基づいて鉛直変位に対する重力変化の比に地域性がみられることを詳細に議論したのは本申請論文が初めてであり、その成果は関連分野における重要な知見として高く評価できる。

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る。また、令和5年1月16日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 年 月 日以降