

学位論文題名

Transient, seasonal and inter-annual gravity changes
from GRACE data: Geophysical modelings

(衛星データを用いた地球重力場の一時的・季節的・経年的な
変化に関する地球物理学的研究)

学位論文内容の要旨

地球の重力場は、地球の表層や内部における様々な質量の移動を反映し時々刻々変化している。これまで超伝導重力計や絶対重力計といった精密な地上重力観測によって、マンツルの流動、地下水の移動、マグマの動きなど、目に見えない質量の移動が点的に捉えてられてきた。2002 年 3 月 17 日に打ち上げられた重力観測衛星 GRACE (Gravity Recovery And Climate Experiment)は、双子衛星間の距離を計測することによって、全球的に均一な精度で地球の重力場を求めることができる。GRACE では重力場の決定に要する時間が短いため、重力のわずかな時間変化を一ヶ月程度の時間分解能で観測することが可能となった。これによって、従来重力の観測対象とされていなかった季節的な陸水変動等の時間スケールの短い現象がとらえられるようになった。また全球の均一な観測が可能になったことから、地震に伴う重力変化のように従来ほとんど観測データがなかった地球物理学的现象が観測されるようになった。

これまで多くの研究者によって、季節的・経年の時間スケールの様々な重力変化が GRACE データを用いて議論されてきた。低緯度地域では雨季・乾季の繰り返しに伴う陸水の季節変化が顕著であり、高緯度地域では地球温暖化に伴う山岳氷河や大陸氷床の融解が経年的な重力減少として観測されている。本研究では重力の時間変化という切り口による新たな地球物理学的现象の解明を目指し、下記の三つのテーマに関して研究を行った。以下にそれぞれの概要を述べる。

(1) 2004 年スマトラ・アンダマン地震の地震時・地震後の重力変化

2004 年 12 月のスマトラ・アンダマン地震の際に、初めて衛星観測によって地震時重力変化が検出された。本研究では、地震に伴う瞬時の重力変化だけでなく、地震後に重力がゆっくりと変動する現象を発見し、その地球物理学的な意義を議論した。GRACE データが示すジオイド高の時系列の詳細な解析から、地震時に生じたジオイドの凹みがゆっくりと回復していることを見いだした。地殻変動などで知られる地震の余効変動は (a) 粘性緩和 (b) アフタースリップ (c) 間隙水の拡散の三種類の現象の組み合わせでモデル化されることが多いが、GRACE で観測された地震後の変動は、1)地震時の変化と符号が逆で、2)時定数 0.6 年という短い時間スケールを持つことから、(c)間隙水の拡散が重要であることが示唆された。本研究では深部における水の含有量やそれらの拡散係数から、そのようなモデルが可能であるかを論じた。

(2) 二次の成分を持った重力の経年変化

陸地において、GRACE が観測する重力変化は主に土壌水分を反映している。土壌水分は降水量、蒸発散、河川等による流出といったフラックスの積分値であり、もし降水量等に長期的な

一次変化成分があれば、GRACE の重力変化には二次の変化成分が現れるはずである。これまでの GRACE の研究では、重力の時間変化は季節変化と一次関数でモデル化すれば充分と考えられていたが、打ち上げから九年を経過した今、気候変動を反映する二次変化成分に焦点を合わせた研究は意義があると思われる。本研究では、GRACE による重力の時間変化時系列を季節変化と二次関数でモデル化し、重力変化の加速・減速についてその大きさや地理的分布を議論する。さらに陸水モデルや降水量データからも同様の二次的な変化分を比較した。その結果 GRACE で得られた加速・減速の変化は、降水量の直線的な時間変化を反映している可能性が高いことを確認した。

(3) シベリア永久凍土帯における季節的・経年的な重力変化

地球温暖化に伴って世界中の様々な地域の氷河・氷床が加速度的に融解し海面上昇に影響を与えている。GRACE データによる経年的な重力変化を見てみると、永久凍土で覆われている東シベリアでは、年間約 30.7 Gt という顕著な貯水量の増加が見られる。これはパタゴニアの氷河の融解量に匹敵し、海面上昇を和らげる作用を持つ。永久凍土域では凍土の不透水性のため地下水の涵養がなく、また余剰水が氷として冬越しできるため、一般的に土壌水分量の経年変化が温帯地域に比べて大きい。本研究では GRACE データと降水量や河川流量データといった地上観測データを比較することで、永久凍土における季節的および経年的な水収支を議論した。その結果、降水量の増加が貯水量増加の直接的原因であるが、活動層(永久凍土帯で夏季に融解する層)の厚化によって許容貯水量そのものが増大していることも間接的に貢献している可能性が示唆された。

学位論文審査の要旨

主査	教授	日置幸介
副査	教授	池田隆司
副査	教授	蓬田清
副査	准教授	古屋正人
副査	教授	村上亮

学位論文題名

Transient, seasonal and inter-annual gravity changes from GRACE data: Geophysical modelings

(衛星データを用いた地球重力場の一時的・季節的・経年的な
変化に関する地球物理学的研究)

地球の重力場は、地球の表層や内部における様々な質量の移動を反映し時々刻々変化している。これまで超伝導重力計や絶対重力計といった精密な地上重力観測によって、マンツルの流動、地下水の移動、マグマの動きなど、目に見えない質量の移動が点的に捉えてられてきた。2002年に打ち上げられた重力観測衛星GRACE (Gravity Recovery And Climate Experiment) は、双子衛星間の距離を計測することによって、全球的に均一な精度で地球の重力場を求めることができる。GRACEでは重力場の決定に要する時間が短いため、重力のわずかな時間変化を一ヶ月程度の時間分解能で観測することが可能となった。これによって、従来重力の観測対象とされていなかった季節的な陸水変動等の時間スケールの短い現象がとらえられるようになった。また全球の均一な観測が可能になったことから、地震に伴う重力変化のように従来ほとんど観測データがなかった地球物理学の現象が観測されるようになった。

これまで多くの研究者によって、季節的・経年的時間スケールの様々な重力変化がGRACEデータを用いて議論されてきた。低緯度地域では雨季・乾季の繰返しに伴う陸水の季節変化が顕著であり、高緯度地域では地球温暖化に伴う山岳氷河や大陸氷床の融解が経年的な重力減少として観測されている。本研究では重力の時間変化という切り口による新たな地球物理学の現象の解明を目指し、三つのテーマに関して研究を行っている。

最初のテーマは2004年スマトラ・アングマン地震の地震時・地震後の重力変化である。2004年12月のスマトラ・アングマン地震の際に、初めて衛星観測によって地震時重力変化が検出された。本研究では、地震に伴う瞬時の重力変化だけでなく、地震後に重力がゆっくりと変動する現象を発見し、その地球物理学的な意義を議論した。GRACEデータが示すジオイド高の時系列の詳細な解析から、地震時に生じたジオイドの凹みがゆっくりと回復していることを見いだした。地殻変動などで知られる地震の余効変動は、粘性緩和、アフタースリップ、間隙水の拡散の三種類の現象の組み合わせでモデル化されることが多いが、GRACEで観測さ

れた地震後の変動は、地震時の変化と符号が逆で、時定数0.6年という短い時間スケールを持つことから、間隙水の拡散が重要であることが示唆された。本研究では深部における水の含有量やそれらの拡散係数から、そのようなモデルが可能であるかを論じている。

次のテーマは二次の成分を持った重力の経年変化についてである。陸地において、GRACEが観測する重力変化は主に土壤水分を反映している。土壤水分は降水量、蒸発散、河川等による流出といったフラックスの積分値であり、もし降水量等に長期的な一次変化成分があれば、GRACEの重力変化には二次の変化成分が現れるはずである。これまでのGRACEの研究では、重力の時間変化は季節変化と一次関数でモデル化すれば充分と考えられていたが、打ち上げから九年を経過した今、気候変動を反映する二次変化成分に焦点を合わせた研究は意義があると思われる。本研究では、GRACEによる重力の時間変化時系列を季節変化と二次関数でモデル化し、重力変化の加速・減速についてその大きさや地理的分布を議論している。さらに陸水モデルや降水量データからも同様の二次的な変化分を比較した。その結果GRACEで得られた加速・減速の変化は、降水量の直線的な時間変化を反映している可能性が高いことを確認している。

最後のテーマはシベリア永久凍土帯における季節的・経年的な重力変化である。地球温暖化に伴って世界中の様々な地域の氷河・氷床が加速度的に融解し海面上昇に影響を与えている。GRACEデータによる経年的な重力変化を見てみると、永久凍土で覆われている東シベリアでは、年間約30.7 Gtという顕著な貯水量の増加が見られる。これはパタゴニアの氷河の融解量に匹敵し、海面上昇を和らげる作用を持つ。永久凍土域では凍土の不透水性のため地下水の涵養がなく、また余剰水が氷として冬越しできるため、一般的に土壤水分量の経年変化が温帯地域に比べて大きい。本研究ではGRACEデータと降水量や河川流量データといった地上観測データを比較することで、永久凍土における季節的および経年的な水収支を議論した。その結果、降水量の増加が貯水量増加の直接的原因であるが、活動層(永久凍土帯で夏季に融解する層)の厚化や地表の凹凸の発達によって許容貯水量そのものが増大していることも間接的に貢献している可能性が示唆された。

これらはいずれも重力観測による地球科学的研究の従来の枠を超えて、重力の時間変化をキーワードとして地震学、陸水学、雪氷学などの様々な分野へ応用したものであり、測地学の新しい可能性を広げるものである。よって著者は、北海道大学博士(理学)の学位を授与される資格あるものと認める。