

# 999 人工衛星による重力観測から捉えた地球の質量収支及び形状に関する研究 —特に陸水変動研究への応用と重力ジオイド・モデル構築— Study on the earth's mass balance and shape from satellite gravimetry – hydrological application and gravimetric geoid modeling –

#松尾功二<sup>1</sup>

1: 国土地理院

Koji Matsuo<sup>1</sup>

1: Geospatial Information Authority of Japan

## はじめに

人工衛星による地球重力場の観測は、1957年に打ち上げられたSputnik衛星による力学的扁平項( $J_2$ 項)の計測に始まり、その後、レーザ発振器の発明や、衛星測位システム(GNSS)の登場、重力計の小型化・高性能化といった様々な技術革新の恩恵を受けながら飛躍的な進化を遂げてきた。そして、その地球科学的な利用は、地球の力学的形状(特にジオイド)の決定といった測地学分野に留まらず、気候変動に伴う陸水貯留量変化の把握や地震等に伴う固体地球応答のメカニズム解明といった学際領域へと伸展していった。

近年、地球重力場の精密計測に対する社会的ニーズは益々高まりを見せている。その一つの理由が、急速に進行する気候変動である。2000年代に入り気候変動に伴う極域氷床及び山岳氷河の融解が加速的に進行し、それに付随した海水準面の上昇が社会的な問題となっている。また、極端気象等に伴う洪水・干ばつが深刻化し、水資源の持続可能性が懸念されている。これらを定量的に把握し気候変動との関係性を明らかにするうえで、衛星重力観測は重要な役割を果たしている。その他の理由としては、高精度測位社会の到来も挙げられる。現在、GNSSの普及によって誰でもどこでも容易に高精度な3次元位置が利用できる社会となった。GNSSで得られる楕円体高を実用的な標高へと変換するためにはジオイド・モデルが必要となる。精密なジオイド・モデルを構築するうえで、衛星重力観測がもたらす全球重力データは欠かすことができない。

本講演では、著者が衛星重力データを軸に進めてきた気候変動に起因した地球の陸水変動の分析と標高基準系と基盤となる精密な重力ジオイド・モデルの開発について紹介する。

## 気候変動に起因した地球の陸水変動の分析

地球の陸水貯留量分布を変化させる気候変動としては、地球温暖化やエルニーニョ南方振動が主要な役割を果たすが、北半球の冬季においては北極振動も強い影響を及ぼす。本研究は、北極振動に伴う陸水変動をGRACE衛星によって観測された重力時間変化から分析した。北極振動とは、北極域と中緯度域間で起こる大気圧のシーソー現象であり、中緯度域に対し北極域の海面更生気圧が例年より低くなる場合を正の北極振動と呼び、その逆を負の北極振動と呼ぶ。GRACE重力データから推定される冬季(12月～3月)の表層質量変化を分析したところ、正の北極振動が発生した冬は北半球の高緯度地域(北緯55度以北)で質量の増加傾向が見られ、負の北極振動が発生した冬は中緯度

地域(北緯20度から55度)で質量の増加傾向が見られた。すなわち、正の北極振動が発生した冬は高緯度地域で降水量異常が、負の北極振動が発生した冬は中緯度地域で降水量異常が生じていることを示唆する。グリーンランドでは、北極振動に伴う降水量異常の空間パターンが北緯75度付近を境界に正負に応じてシーソー的に変化していることも明らかになった。北極振動の位相変化に伴って北半球の高緯度・中緯度地域間を移動する陸水質量は約1兆トンにも及んだ。GRACE重力データで得られた冬季の質量変化時系列を主成分分析したところ、北極振動の降水量異常シグナルは第一主成分として現れ、ユーラシア大陸、グリーンランドでは北極振動が支配的な役割を果たす一方で、北米大陸ではエルニーニョ南方振動の影響のほうが顕著であることが分かった。

## **日本の重力ジオイド・モデルの改良**

ジオイドは、地球形状を表現する測地学において最も重要な物理量であるとともに、標高の基準面を与える。GNSSの普及によって高精度測位社会が確立しつつある現代では、その実現の鍵として高精度なジオイド・モデルが要請される時代になってきた。本研究は、GNSSを用いた日本の標高基準系の実現及び効率的な維持管理を目的に、日本の重力ジオイド・モデルの高精度化に取り組んだ。従来のモデルにある技術的課題に対して、GOCE衛星による全球ジオポテンシャル・モデルの組み込みをはじめ、各種重力データの結合処理の改良（FEO法の適用）や数値積分手法の改良、残差地形モデルを用いた推定手法の導入等の計算手法の高度化を行い、長・短波長成分の大幅な精度改善に成功した。これにより、従来のモデルより精度向上を達成した新たなモデル「JGEOID2019」を構築した。さらに現在は、航空重力データを加えた次期ジオイド・モデル構築に取り組んでおり、沿岸域の高精度化による陸海ジオイドのシームレス化や国際標高基準系との互換性を確保するためのグローバルスタンダード化を進めている。

## **国際標高基準系の実現に向けた取組**

国際標高基準系(IHRF)とは、全球平均海面( $W_0$ 面)を基準面に、世界統一の標準と取決に従って実現された国際的な標高基準系である。IHRFの実現に関わる取り組みは、国際測地学連盟共同ワーキンググループによって進められてきた。その取り組みの中で、IHRFの基盤となるジオイド・モデルの最適な計算手法を検討するための「コロラドにおける1cmジオイド実験」が実施された。これは、米国コロラド州のジオイドを様々な計算手法を用いて構築することで、それぞれの手法の計算性能を評価しようというものである。実験には全世界から14グループが参加し、著者もその1グループとして参加した。著者のジオイド・モデルはストークス・ヘルメルト法によって構築され、精度は約3cmと評価された。最も高評価なモデルはカナダ天然資源局が提出したもので、同じくストークス・ヘルメルト法によって構築され、精度は約2cmであった。14グループの平均精度は約3cmで、計算手法は、2グループがストークス・ヘルメルト法、12グループがモロデンスキー法であった。

また、ワーキンググループの要請に応じ、日本における国際標高基準点の選定と重力ポテンシャル値の計算を行った。IHRFの選点要件に従い、新十津川、石岡、始良のIGS局をIHRF点に登録し、JGEOID2019をもとに計算した重力ポテンシャル値をワーキンググループに提出した。