

氏 名 金 悦希

学位（専攻分野） 博士（理学）

学位記番号 総研大甲第 1423 号

学位授与の日付 平成 23 年 3 月 24 日

学位授与の要件 複合科学研究科 極域科学専攻
学位規則第 6 条第 1 項該当

学位論文題目 Tidal gravity measurements corrected by recent global
ocean tide models at five SG stations and the estimation
of FCR parameters using Bayesian method

論文審査委員 主 査 教授 澁谷 和雄
准教授 土井 浩一郎
助教 青山 雄一
准教授 松本 晃治
教授 福田 洋一 京都大学

論文内容の要旨

We performed a validation study of six ocean tide models (CSR4.0, GOT99.2b, NAO.99b, FES2004, TPXO7.1, and TPXO7.2) using superconducting gravity data recorded at Syowa Station. From comparison with the observed loading effects, the most optimum ocean tide model was found to be TPXO7.2, which had a combined root mean square (RMS) misfit of $0.194 \mu\text{Gal}$ for the eight major (four diurnal and four semidiurnal) waves. To determine the effect of inclusion of regional tide gauge and bottom-pressure data around Syowa Station, we estimated the combined RMS misfit for all eight waves; incorporation of these regional data into the global TPXO7.2 model resulted in a 5% reduction in the misfit. Our phase lag anomalies indicated that the scatter of the out-phase component was greater than that of the in-phase component in the final residuals; this tendency was especially clear for K1 and M2 waves. Improvement of the phase differences was the key, especially for semidiurnal waves, to determine the optimum ocean tide model.

We also used superconducting gravimeter data from four other stations in Metsahovi, Strasbourg, Sutherland and Canberra. The semidiurnal models that gave the smallest combined misfit at the above stations were TPXO7.2, NAO.99b, TPXO7.2, CSR4.0 and TPXO7.2, respectively. For diurnal bands, TPXO7.2 gave the smallest combined misfit at all stations. The imaginary component of the residual fairly reduced for O1, K1 and M2 by TPXO7.2, while there still remained a relatively large imaginary component of the residual for S2, especially in the cases of Canberra and Syowa.

Strasbourg and Canberra gave values close to the inelastic theoretical one for K1 regardless of the ocean tide model. Sutherland resulted in a gravimetric factor that was a little higher than the theoretical value, but Metsahovi and Syowa had large anomalous differences depending on ocean tide models. It is noted that adoption of a new calibration factor for Metsahovi resulted in the smaller error of the real component in the final residuals and gravimetric factors. The value obtained using the optimal ocean tide model, was found to be closer to the theoretical inelastic value. It is early to assert the latitude dependence of the tidal gravimetric factor yet, mainly

because of inaccurate ocean loading correction for high-latitude stations of Metsahovi and Syowa. More accurate ocean tide model may give rise to the theoretical dependency by Dehant et al. (1999).

Gravity data recorded by superconducting gravimeters at Metsahovi, Strasbourg, Sutherland, Canberra and Syowa Station were used to estimate the parameters of fluid core resonance (FCR) using the Bayesian method. From a statistical test on the imaginary component error in K_1 , Ψ_1 and Φ_1 waves, we found that the Ψ_1 wave was most sensitive to the correlation between the quality factor and imaginary component of the resonance strength and to the standard deviation of quality factor. In the estimation of FCR parameters using data from each station, the quality factor of Metsahovi, Sutherland and Syowa Station were found to diverge, that is, resulted in non-symmetric probability density function (PDF). Those for Strasbourg and Canberra showed the convergent symmetric PDF and the most probable values of the obtained quality factors were 37762 ± 4452 and 3311 ± 607 , respectively.

Strasbourg was the only station which showed convergent correlation between the eigenperiod and the imaginary part of resonance strength. The obtained eigenperiod was 429 ± 2 days, which is close to 430 days by theory of Mathews et al. (2002).

Employing the stacking method, the parameters of FCR were found to have a normally distributed PDF; 432 ± 2 days for the eigenperiod, $0.6362 \pm 0.006^\circ/\text{h}$ for the real component of resonance strength, $-0.1967 \pm 0.0236^\circ/\text{h}$ for the imaginary component of resonance strength, and 35897 ± 4230 for the quality factor, respectively.

本論文は英文で書かれ6章で構成されている。1章の Introduction に続く2章で、南極・昭和基地で記録された超伝導重力計データを使用して、最新6個の海洋潮汐モデル (CSR4.0、GOT99.2b、NAO.99b、FES2004、TPXO7.1、およびTPXO7.2) の精度検証を行った。モデルから計算される潮汐荷重効果と観測との比較から、最適な海洋潮汐モデルがTPXO7.2であることを示した (misfitは $0.194\mu\text{Gal}$)。また、O1、K1とM2分潮の misfit 傾向から位相遅れの精度の良し悪しが、最適な海洋潮汐モデルを決定する鍵になることを示した。3章では Metsahovi (フィンランド)、Strasbourg (フランス)、Sutherland (南アフリカ)、Canberra (オーストラリア) について、昭和基地と同様に、海洋潮汐荷重計算を通して各点ごとの最適海洋潮汐モデルの検証を実施した。昭和基地は海岸線からの距離が1 km 以内で、一番海洋モデルの影響が強くなるので、2、3章を分けてより詳細に議論している。

4章では2、3章の結論をもとに、最適海洋潮汐モデルを用いて精度の良い gravimetric factor を計算し、南北に広い緯度にわたって分布する5観測点について、理論値との対応を検証した。K1分潮 gravimetric factor は弾性理論、非弾性理論の値の差が0.1%であるが、Strasbourg と Canberra の実測値は Dehant et al. (1999)あるいは Mathews (2001)の非弾性理論値に近い値を与え、Sutherland を含め、弾性体理論モデルでは説明がつかないことを示した。そして、Metsahovi と Syowa では、補正に採用する海洋潮汐モデルに依存して実測 gravimetric factor に大きなばらつきが生じたが、海洋潮汐補正精度がより向上していくと、Dehant et al. (1999)と Mathews (2001)理論のどちらがより正しいか検証できる見通しを示した。

5章では、4章で得られた日周潮 gravimetric factor を基に Bayesian method (Florsch and Hinderer, 2000; Rosat et al., 2009)を用いて Fluid Core Resonance (FCR) パラメータを推定した。この推定においては、マイナー分潮である PHI1 の gravimetric factor の虚数成分の誤差が、最終解に大きく影響すると simulation により明らかにしている。そして、この研究で初めて、Strasbourg 単独観測で、正規分布の確率密度関数を持つ FCR パラメータを得ることに成功し、5点を用いた stacking 解析においても従来(Rosat et al., 2009)よりもっともらしい結果を得た。なお、得られた共鳴周期は 432 ± 2 日、共鳴強度の実数成分は $0.6362\pm 0.006\times 10^{-3}/\text{h}$ 、虚数成分は $-0.1967\pm 0.0236\times 10^{-4}/\text{h}$ 、減衰定数 Q は 35897 ± 4230 で理論予測と比較して妥当であった。

本論文全体の結論 (6章) では次の3点を端的に示した ; (1) 現時点で最適なグローバル海洋潮汐モデルがTPXO7.2であること、regional tide modelの開発と組み込みにより、より精確な gravimetric factor を評価でき、その判断基準は misfit の最小化であること、(2) 広い緯度にわたる観測点の実測 K1 gravimetric factor に基づくと、弾性地球モデルは成り立たないこと、但し、非弾性モデルである Dehant et al. (1999)理論と Mathews (2001)理論の優劣は現時点では決めがたいこと、(3) 従来、多点 stacking でしか求め得なかった FCR パラメータを世界で初めて、単一点観測 (Strasbourg 及び Canberra) で得たこと。特に、(3)の結果は、この研究手法をさらに発展させれば、FCR パラメータの緯度比較が可能になる道筋を示したという意味で重要である。

本研究では理論的側面でのoriginalityはない。しかし、観測データの解析に基づく海洋潮汐モデルの実証的比較を、現時点で可能な限り極限まで突き詰めた研究は、本申請者が初めてである。そして、その結果、単独観測点データから発散せず、かつもっともらしいFCR parameterの範囲を導くことに成功したのも、本申請者が初めてである。精度向上をさらに実現するために必要な超伝導重力計の位相遅れ測定やregional tide model組み込みの重要性を指摘し、今後の研究方向性も妥当であることから、審査員全員、本研究が極域科学専攻の博士（理学）取得に十分相当すると認めた。