

氏名 田村良明  
 学位(専攻分野) 博士(理学)  
 学位記番号 論理博第1378号  
 学位授与の日付 平成12年3月23日  
 学位授与の要件 学位規則第4条第2項該当  
 学位論文題目 Study on Precise Tidal Processing  
 (潮汐の精密解析に関する研究)

論文調査委員 (主査) 教授 竹本修三 助教授 福田洋一 教授 古澤 保

### 論文内容の要旨

地球潮汐の研究目的の一つは、起潮力という外力に対する地球の応答特性を、地球規模の現象から地域的・局所的な規模までの種々の現象について論じることにある。このためには、まず外力となる起潮力について十分な精度で予測できることが基本的に必要となる。また、潮汐観測データから有用な情報を抽出するには、測定環境の変化による擾乱の影響を観測値から除去したり、潮汐に固有な問題に対応した高度な解析法の開発も不可欠である。本論文では、潮汐の精密解析に関する研究として、1) 起潮力ポテンシャルの調和展開、2) 潮汐解析法の開発、3) 実際の潮汐観測データへの応用、の3つの点について論じている。

#### 1) 起潮力ポテンシャルの調和展開について

起潮力の計算方法としては、月や太陽の起潮力源となる天体の位置から直接計算する方法 (ephemeris tide と称す) と起潮力を角速度の異なる多数の正弦波 (分潮) の集まりとして計算する方法 (harmonic tide と称す) の2種の方法がある。後者は、起潮力を周波数軸に展開し、多数の正弦波に分解するものであり、調和展開 (harmonic development) とよばれている。前者の計算方法の方が一般に単純であるが、起潮力に対する地球の応答の周波数特性を調べたり、予測値を計算する場合には、後者のように理論潮汐が周波数別の成分に分かれた表 (分潮表, harmonic table) として与えられている方が都合が良い。

分潮表については、1980年代まで、Cartwright and Tayler (1971), Cartwright and Edden (1973) による表が標準的なものとして広く使われていた。Tamura (1987) は、超伝導重力計の出現など観測精度の向上に対応して新たな分潮表を作成した。この分潮表は、重力潮汐に換算して振幅が1 nGal の分潮まで展開するものであった。しかしながら、分潮の角速度を表すのに伝統的な角度引数を用いた制約のため、1 nGal の振幅を越える分潮が数個残っていた。また、分潮を合成して時間軸で ephemeris tide と harmonic tide を比較すると最大誤差が30 nGal 程度になる場合があり、若干の改良の余地があった。Tamura (1995) は分潮表の改訂を試みたが、4次のポテンシャルの改良を行っていなかったこと、角速度の推定方法が厳密ではなかったことがあり、今回再度の改訂を行った。月と太陽の他、金星と木星による惑星起源の分潮表も含む詳細な調和展開表を作成した。この表をもとに剛体地球に対する重力潮汐の理論値を計算した結果、その誤差は周波数領域で最大で0.2~0.3 nGal、時間軸では平均1 nGal、最大で5 nGal 程度に抑えることができた。

#### 2) 潮汐解析方法の開発

潮汐解析法の構築にあたり、観測値のドリフト成分を時刻  $t$  の多項式で表したり、区分的にチェビシエフ多項式を適用した関数などで表すことが考えられる。しかし、実際の観測データではこれらの方法でドリフトのモデル化を行うことが困難な場合が多い。そこで、ドリフトの推定に Bayes 統計モデル (情報量規準 ABIC) を組み込んだ潮汐解析プログラム BAYTAP-G が開発された (Tamura *et al.*, 1991)。この手法は柔軟なドリフトの形を取り扱えること、気圧変化などによる擾乱作用を応答法により除去できること、詳細な調和展開表を組み込んでいること等により、潮汐定数をきわめて高精度で決定することができる。また、欠測区間を含む部分のドリフトの推定や、異常値の検出などの優れた機能を有している。

この解析法の特徴は ABIC を用いたドリフトの推定法にあり、その方法の適用可能範囲についての吟味が行われている。観測値に異常値が含まれている場合や、残差に何らかの構造を持つ場合に注意すべき点が述べられている。また、解析の対象となる現象の周期（潮汐の種 species）とパラメータの推定誤差の関係、データのサンプリング間隔について議論されている。さらに、重力潮汐データの残差スペクトルを例示し、解析法の適用にあたり適切な分潮の分け方や解析区間の取り扱い方について議論している。

### 3) 実際の潮汐観測データへの応用

2) で示された解析手法 BAYTAP-G による実際の観測データへの適用例として、ひずみ潮汐と重力潮汐の解析例のほか、コア・アンダートーンの探索や地球自転速度変動などの地球物理観測データの解析にも応用できることが示されている。

ひずみ潮汐の解析では、BAYTAP-G で採用されたドリフトの推定法が、複雑な変化を示すドリフトの推定に有用であることが示されている。起潮力ポテンシャルの展開や解析法の開発は潮汐定数の精密決定を目的として行われていたが、このようなドリフト自身の推定は、微小なひずみ変化の検出といった地殻変動データの解析にとって重要である。コア・アンダートーンの探索への応用においても、潮汐定数の決定よりは、むしろ、潮汐成分を取り除いたドリフト成分の抽出に利用されている。南極昭和基地で得られた重力潮汐データの解析では、潮汐定数の精密決定のほか、地球の流体核の共鳴現象について言及している。

なお、BAYTAP-G では長周期潮汐がモデルに組み込まれていない。極域や赤道域の潮汐データの解析を行う場合、長周期潮汐の振幅が日本のような中緯度帯での観測の場合と比較して相対的に大きくなり、日周潮や半日周潮の潮汐定数決定に影響を及ぼす恐れがある。しかし、合成データによるシミュレーション解析の結果、ごく極端な例を除き、そのような影響がないことが示された。

## 論文審査の結果の要旨

月や太陽の引力によって海水が潮汐現象を呈することは、古くから知られているが、固体地球も、ごくわずかではあるが、潮汐現象を呈する。この、固体地球そのものが呈する潮汐現象を地球潮汐とよぶ。19 世紀から 20 世紀にかけて、地球潮汐に関する理論、観測両面からの研究がすすみ、両者の比較を通じて地球の内部構造についての多くの知見が得られてきた。最近では、超伝導重力計などの精密な観測計器の出現により、地球潮汐の日周潮帯にみられる流体核共鳴現象や極潮汐などの地球ダイナミクスを解明するうえで重要なシグナルを検出する可能性が開かれた。しかし、このようなシグナルは、きわめて微小であり、測定環境の変化による擾乱や計器固有のノイズなどを除去し、有用な情報を抽出するためには、まず外力となる起潮力を十分な精度で予測できることが基本的に必要である。また、精密観測計器で得られた潮汐観測データから、潮汐に固有な問題に対応する高度な解析法の開発も不可欠である。

申請者は、潮汐の精密解析に関して、1) 起潮力ポテンシャルの調和展開、2) 潮汐解析法の開発、3) 実際の潮汐観測データへの応用、の 3 つの点について論じている。

まず、起潮力ポテンシャルの調和展開については、月や太陽の起潮力源となる天体の位置から直接計算する方法と起潮力を角速度の異なる多数の正弦波（分潮）の集まりとして計算する方法とがある。前者の計算方法の方が一般に単純であるが、起潮力に対する地球の応答の周波数特性を調べたり、予測値を計算する場合には、後者のように理論潮汐が周波数別の成分に分かれた表（分潮表）として与えられている方が都合が良い。分潮表については、1980 年代まで Cartwright らによって得られたものが標準的なものとして広く使われていた。申請者は、月と太陽の起潮力ポテンシャルを 4 次の項まで調和展開し、金星と木星による惑星起源の潮汐も含む詳細な調和展開表を作成した。この表をもとに剛体地球に対する重力潮汐の理論値を計算した結果、その誤差は、周波数領域で Cartwright らによるものが最大で 26 nGal であったものが 0.2 ~ 0.3 nGal に、時間領域では同じく平均 50 nGal、最大で 160 nGal 程度であったものが、平均 1 nGal、最大で 5 nGal 程度に改善された。申請者によって求められた分潮表は、現時点でもっとも信頼性の高い詳細な分潮表として国際的な評価を得ており、国際測地学協会地球潮汐委員会のホームページにも掲載され、広く引用されている。

つぎに、申請者は、潮汐解析方法の開発について、観測データに含まれるドリフトの推定に Bayes 統計モデル（情報量規準 ABIC）を組み込んだ潮汐解析プログラム BAYTAP-G を開発した。現在、BAYTAP-G は、ドイツの H.-G. Wenzel が

開発した潮汐解析プログラム ETERNA と並ぶ優れた潮汐解析プログラムとして、全世界の潮汐研究者に広く活用されている。BAYTAP-G の特長は、柔軟なドリフトの形を取り扱えること、気圧変化などによる擾乱作用を応答法により除去できること、詳細な調和展開表を組み込んでいること等により、潮汐定数をきわめて高精度で決定できることにあり、また、欠測区間を含む部分のドリフトの推定や、異常値の検出などの優れた機能を有している。本論文では、観測値に異常値が含まれている場合や、残差が何らかの規則性を持つ場合に注意すべき点が述べられており、解析の対象となる現象の周期とパラメータの推定誤差の関係やデータのサンプリング間隔について議論されている。また、重力潮汐データの残差スペクトルが例示され、解析法の適用にあたり適切な分潮の分け方や解析区間の取り扱い方についても議論されている。

さらに、申請者は、BAYTAP-G 潮汐解析プログラムの実際の観測データへの適用例として、江刺地球潮汐観測施設で得られたひずみ潮汐を解析し、BAYTAP-G が、複雑な変化を示すひずみ潮汐のドリフトの推定に有用であることを示した。起潮力ポテンシャルの展開や解析法の開発は、潮汐定数の精密決定を目的として行われていたが、このようなドリフト自身の推定は、微小なひずみ変化の検出といった地殻変動データの解析にとって重要であり、BAYTAP-G 潮汐解析プログラムは、地震前後の地殻ひずみ変化の研究などに威力を発揮するものと期待される。また、本論文では、南極昭和基地の超伝導重力計で得られた観測データに基づく地球の流体核の共鳴現象の解析例や、IDA の重力観測網データを用いたコア・アンダートーンの探索例も示されており、BAYTAP-G の有効性を明らかにしている。また、このプログラムは国内外に配布され、多数の利用者があり、関連分野の研究推進に貢献している。

参考論文 9 篇は、起潮力ポテンシャルの調和展開や潮汐解析法の開発について論じたもので、本研究の基礎になっており、測地学に関連する学術論文にしばしば引用されている。

以上の諸点から、本論文は博士（理学）の学位論文として価値があるものと認めた。

なお、平成 12 年 2 月 1 日、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。