

機関番号：82636

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21740333

研究課題名 (和文)

ネットワーク配信を目的とした地球表層流体の荷重変動データベースの構築

研究課題名 (英文)

Development of the Estimation Service of the Earth's Surface Fluid Load Effects

研究代表者

瀧口 博士 (TAKIGUCHI HIROSHI)

(独) 情報通信研究機構・新世代ネットワーク研究センター光・時空標準グループ・専攻研究員

研究者番号：20435788

研究成果の概要 (和文)：

地球表層流体の質量再分配に伴う表面荷重の時間変化は、地球を弾性変形させる。地殻変動の観点からは、このようなノイズに起因する変位は除去すべきである。本研究では、宇宙測地技術の為に、Webに基づく荷重変動計算サービスを構築した。このデータベースは、“いつでも、どこでも、だれでも” 荷重変動を計算する事が出来る。具体的には、大気荷重、非潮汐海洋荷重、陸水荷重について計算可能である。

研究成果の概要 (英文)：

Temporal changes of surface loadings due to the mass redistribution of the fluid envelope of the Earth cause the Earth to deform. From the viewpoint of crustal movements, such displacements due to these noises should be eliminated. So, we developed the calculation service about the displacement of the Earth's surface loads for space geodetic techniques based on the web. This database runs as a service to calculate the load displacements at arbitrary time and arbitrary location by arbitrary users. This service can calculate the several loads such as atmospheric loading, non-tidal ocean loading, continental water loading.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,000,000	600,000	2,600,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・固体地球惑星物理学

キーワード：観測手法, 荷重変動, 宇宙測地学, 地殻変動, GPS, VLBI

1. 研究開始当初の背景

荷重変動の研究について

- (1) 日本では、2000年頃、Murakami and Miyazaki (2001) が GPS Earth Observation Network System (GEONET) の座標解に周期的変動がみられると発表したことに始まる。

彼らの見解はプレート運動の変動速度が季節変動しているというものであった。この研究から、GEONETに見られる周期的変動に関心がもたれ、多くの研究が行われた。Heki (2001) では、日本国内の各種データから、積雪荷重、大気荷重、非潮汐海洋荷

重, 土壌水分荷重およびダムの貯水荷重の影響を見積もり, この周期変動の一部が荷重変動によるものであることを示した. また, Hatanaka (2003)では, スケール変動やモデル誤差, 軌道誤差など, 何らかの系統誤差が周期的変動の大部分を占める事が示された. さらに, Munekane et al. (2004)は, 国土地理院構内に設置されている International GPS Service (IGS)点 TSKB の垂直座標時系列に見られる周期的変動が, つくば周辺の地下水変化に因るものである事を示した.

- (2) 国外では, グローバルな荷重変動の見積りが行われている. Dong et al. (2002), vanDam et al. (2001)らは, 各種グローバルの気象データを用い, 質量分布の変化に伴う地表の荷重変形の振幅を求めている. 鉛直方向に関して, 大気荷重で 4~10mm, 非潮汐海洋荷重で 2~5mm, 積雪や土壌水分を合計した陸水荷重で 3~15mm の振幅が見積もられた. また, 計算された荷重変形と観測とを比較する研究も行われている. Dong et al. (2002)では, 求めた荷重変動の振幅と, グローバルに分布する GPS データの年周振幅を比較し, GPS の垂直変動の振幅の約 40%を荷重変動の振幅で説明できる事を示している. その他, 荷重変動の時系列と, GPS や VLBI の時系列を比較し, 両者の相関から周期的変動の軽減が可能であることを示した研究なども行われている.
- (3) 荷重変動を計算してデータベースとして公開するという研究については, 国際地球回転事業 (IERS) の中の特別事務局 (Special Bureau for Loading) で行われている. また, Petrov and Boy (2004)では, VLBI 観測点での大気荷重を 6 時間毎に計算し Web 上で提供している. しかし, 両方共に今のところ大気荷重のみの提供である.

2. 研究の目的

- (1) 本研究は, 精密測位解析における荷重変動 (地球表層流体が移動することに伴う, 質量再分配による地球の弾性変形) の補正方法を確立すると共に, 補正用のデータを提供しよう

とするものである. 具体的には, 精密測位を行う解析者が必要とする任意の地点での荷重変動の影響を, “いつでも, どこでも” 計算でき, “だれでも” 使用できるように, 計算結果を提供するシステムを構築する事である. 補正方法の確立も本研究の目的であるが, ある程度の検証時間が必要であるので, 本研究期間内では, 任意の地点の荷重変動を, “いつでも, どこでも, だれでも” 使用できるシステムを提供する所までを目指す.

- (2) 先行研究のなかでの位置づけとしては, 本研究は, 先行研究を基にサービスとしての荷重変動計算及びデータ提供を行うという点で, 一歩社会に近い研究と考えられる.

3. 研究の方法

(1) 【平成 21 年度】

初年度は, 主に計算プログラムの改良と, 計算に使用するデータの選定について研究を行う.

現在, グローバルな主要観測局での荷重効果を計算するプログラムは完成している. このプログラムを, “いつでも, どこでも”, “だれでも” 使用できるように改良するには, プログラムに使用する言語も重要なファクターである. 現在のプログラムは, Fortran で書かれているが, Java などの汎用性があり, Web 上で実行可能なものに変更することも考える. 大量のデータを使用するため, ある程度実行速度の速い計算機と, Fortran などのコンパイラが必要である. また, “いつでも” に対応するには, 計算に使用するデータの存在期間, 時間分解能, 更新頻度などが制約条件となってくる. 使用データは, 種類によってフォーマットが異なる上に, 計算過程も多少異なる. まず, “どこでも” に対応し, “だれでも”, “いつでも” の順に改良を進める.

使用するデータの選定は, 解析機関の違い, 観測値とデータ同化のような由来の違いで数種類存在する, 荷重変動を計算し, 実際の測位データを補正することで, その整合性から判断する. 具体的には, VLBI や GPS の解析解から荷重変動を直接引く, もしくは解析途中に荷重変動時系列を取り込む方法で荷重変動の影響を取り除く. この結果, 例えば時系列に見られた周期成分を, どちらがよりよく説明しているかで判断できると考える.

このような検証は, 多くの事例がある方がよい. 積極的に学会等で, 研究内容を説明, 公

開し、他の興味ある研究者から意見を聞く予定である。

計算プログラムの改良に際しては、本機構で開発が行われている精密衛星軌道決定ソフトウェア, "concerto" の開発メンバーと協力して行う。concerto version 4 は、OS や機種に依存する事無く動作させる事を考慮して、開発言語に Java を採用しており、標準化、ネットワーク配信の両面で参考にする面が多い。

(2) 【平成22年度】

前年度の結果を踏まえ、計算過程に加えるオプションについて研究を行い、Webサーバを構築し、解析の環境と解析結果の提供ができる環境を整える。

計算過程に加えるオプションとしては、荷重計算をする際、グローバルな海陸情報が必要であるが、どの程度の解像度が必要なのか、どの程度で十分なのかを検証すると共に、ユーザーが自由に選べるようにプログラムを改良する。また、浅海・内海・湾・湖などの扱いも、ユーザー側で細かく調整できるようにし、ある程度オプションを変えることで、計算結果がどのように変化するかを調査する。また、関連して、通常海面上の大気圧の変動は海水の移動に因って補償されること (Inverted Barometer (IB)) を仮定しているが、全ての地域でその仮定は正しいのか、大気と海面高変動の荷重変動の影響を別々に計算しているがそれでいいのかを検証する。

以上の研究の集大成として、Webサーバ上に、主要観測局 (GPS, VLBI, SLR など) の各種荷重時系列データ (大気荷重, 非潮汐海洋荷重, 陸水荷重, etc.) と、ユーザーが必要な情報 (緯度, 経度, 高さ, 時刻 (期間)) を入力する事で、各種荷重変動を計算するプログラムを提供する。また、学会および論文として国内外に公開する。

最終的なデータベースの公開及び計算プログラムの提供には、筆者の所属するグループで試験運用が行われている、高度精密測位システム A P P S (APPS: Advanced Precise Positioning System) のノウハウを参考にする。APPS は、ユーザーが取得した GPS データをメールで送るだけで、高精度の解析結果を返信するものである。将来的には、APPS に本研究の荷重変動補正を取り入れる予定である。

4. 研究成果

(1) 上記研究の方法に従い、いつでも、どこでも、だれでも” 荷重変動の計算が可能な

システムを構築した (図1)。初年度は、主に荷重変動計算プログラムの改良を行った。本研究開始以前に、グローバルな主要観測局での荷重効果を計算するプログラムは完成していたので、このプログラムをコマンドラインベースで任意の地点の任意の時間について計算する事が出来るように改良した。実際に荷重変動を計算するには、荷重変動の種類を選択し、適切な解析データを研究機関からダウンロードしなければならない。この選択とダウンロードも含めて、コマンドとオプションの組み合わせで実行可能にした。これにより、ほぼ自動的に任意の荷重変動を計算可能となった。また、これまで Fortran で開発を行っているが、今後の改良、オプション追加が容易になるように C++ に移植する作業も始めた。

計算に使用するデータは、いくつかの研究機関から公開されている。これまで大気荷重の計算に使用する大気圧データは、米国大気海洋庁の NCEP 再解析データのみだった。これをヨーロッパ中期気象予報センターの再解析データ (ERA-40) と気象庁の三次元客観解析データ (JRA-25 長期再解析データ) にも対応した。

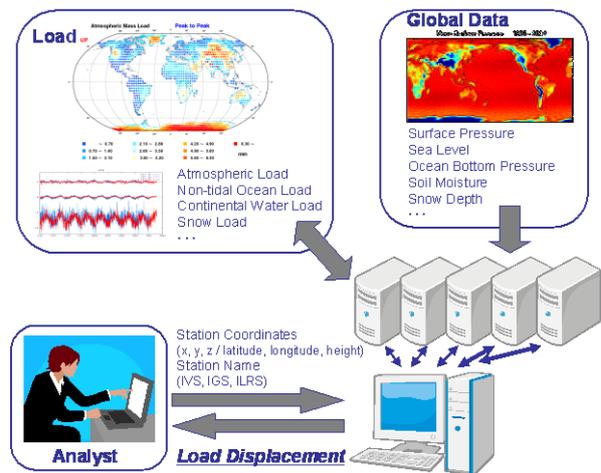


図1. 本研究で構築した、地球表層流体の荷重変動データベースの概念図。

2年目は、前年度の結果を踏まえ、計算過程に加えるオプションを設定し、最終年度として、Webサーバを構築し、ネットワーク越しのユーザーへ計算結果を提供する環境を整えた。

計算過程に加えるオプションとして、海陸情報と大気圧と海水の補償モデルをユーザーに選択できるようにプログラムを改良した。荷重計算をする際には、グローバルな海陸情報が必要であるが、計算する局が内陸部か沿岸部かによっては、計算時間と推定精度のトレードオフを考慮して海陸情報の解像

度を選択出来る事が望ましい。ユーザーが自分の目的に合わせた解像度を選択できるようにプログラムを改良した。また、通常海面上の大気圧の変動は海水の移動に因って補償されること (Inverted Barometer (IB)) を仮定しているが、IB モデルと大気圧変動が海水の移動に因って補償されず、海底圧力を変化させるモデル (Non-IB モデル) のどちらかを選択できるようにプログラムを改良した。

以上の研究の集大成として、Web サーバ上に、主要観測局 (GPS, VLBI, SLR) の各種荷重時系列データ (大気荷重, 非潮汐海洋荷重, 陸水荷重, etc.) と、ユーザーが必要な情報 (緯度, 経度, 高さ, 時刻 (期間)) を入力する事で、各種荷重変動を計算するプログラムを構築した (図 2)。

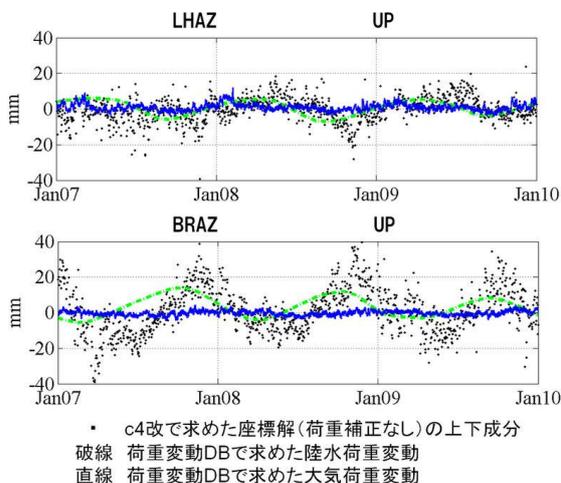


図 2. IGS 観測点 LHAZ (Lhasa, China) と BRAZ (Brasilia, Brazil) の上下変動と、本研究で構築した荷重変動データベースで計算した大気荷重と陸水荷重時系列。

(2) これらの成果は、学会などで適宜発表を行った。

日本国内では同様の研究はほとんど見られないので、データベースの完成時期や使用方法の問い合わせが多くあった。特に、地震研究分野では、使用する地殻変動データの高精度化は、シミュレーション結果に大きく寄与する事から、本研究への期待感は大い。

海外では、同様に荷重変動を計算する Web サイトを開発している研究が存在した。まだ開発途中であり、今後計算結果の比較を行い、互いの計算結果の信頼性向上を行う予定である。

(3) 現在、荷重変動データベースはある程度完成した。しかしながら、ユーザーに使用してもらう事は出来ていない。早急に、本データベースを公開し、使用してもらう事が必要である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 4 件)

- ① Hiroshi Takiguchi, et al., Development of the Estimation Service of the Earth's Surface Fluid Load Effects for Space Geodetic Techniques, 2010 AGU Fall Meeting, 2010年12月17日, Moscone Convention Center (サンフランシスコ、米国)
- ② 瀧口博士・他, 地球表層流体の荷重変動データベースの構築と荷重変動補正を伴う GPS 解析, 日本測地学会第 114 回講演会, 2010年11月8日, 京都大学宇治キャンパス (京都府)
- ③ 瀧口博士・他, 荷重変動データベースの構築, 平成 21 年度東大地震研共同利用による研究集会「重力観測・理論、その応用—陸上・海底から衛星観測まで—」, 2009年12月4日, 東京大学地震研究所 (東京都)
- ④ 瀧口博士・他, 地球表層流体の荷重変動データベースの構築, 日本地震学会 2009 年秋季大会, 2009年10月22日, 京都大学時計台記念館 (京都市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

瀧口 博士 (TAKIGUCHI HIROSHI)

(独) 情報通信研究機構・新世代ネットワーク
 研究センター光・時空標準グループ・専攻研究員
 研究者番号: 20435788

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: