

GEONETにおける大気擾乱の影響評価システムの構築 Diagnosis system of troposphere-induced positioning errors for GEONET

石本 正芳^{1*}

Masayoshi Ishimoto^{1*}

¹ 国土地理院

¹GSI of Japan

国土地理院では、GEONETの観測データを速やかに解析することにより地殻変動の監視を行っている。しかし、特に内陸の浅い地震や火山活動等の地殻変動の監視においては、時間・空間スケールの小さな大気擾乱による見かけの変動が疑われる場合がある。このような場合、現状ではデータの蓄積を待って判断を行っているため、速やかに地殻変動情報の提供する上で問題となっている。そのため、このような小スケールの大気擾乱による誤差の可能性の高低を判断可能とするためのシステムの開発に取り組んできた。

これまでに、気象庁のメソモデルを初期値・境界値とした高分解能数値気象モデルを生成し、そのデータから小スケールの大気擾乱による見かけの変動を推定する手法を構築した。この手法による推定値が、GEONETの定常解析で除去できない小スケールの大気擾乱によるみかけの変動を再現でき、誤差の発現機構も再現できる場合があることを確認した(日本測地学会第116回講演会)。しかし、この手法では大気擾乱による測位誤差が再現できる場合や誤った推定をする場合があることから、適切に大気擾乱の影響を判断するためには、推定値に対する信頼性の情報が必要である。

そこで、本研究では、まず推定値と観測値との適合性を定量的に評価する手法を構築した。次に、この評価手法を用いて、GEONETの定常解析結果に有意な地殻変動が認められない時期のデータを用いて、様々な気象条件における推定値と観測値との適合性を調査した。その結果、特定の条件において適合性が高くなることが明らかになったため、この結果を電子基準点毎に各気象条件における推定値の信頼度としてとりまとめた。この信頼度を付与した推定値を、地震時に大気擾乱の影響が疑われる事例について適用した結果、大気擾乱の影響について有効な判断が可能であることが確認された。

本報告では、以上の結果と、この結果に基づいて構築したGEONETにおける大気擾乱の影響評価システムの概要について報告する。

バングラデシュにおける大気水蒸気変動の検出と陸水荷重変化による地表変動の推定

Seasonal variation of atmospheric water vapor and hydrologic loading effect on ground deformation in Bangladesh

田中 幹人^{1*}, 田部井 隆雄², 村田 文絵²
Mikito Tanaka^{1*}, Takao Tabei², Fumie Murata²

¹ 高知大学大学院, ² 高知大学理学部

¹Kochi University, ²Faculty of Science, Kochi University

バングラデシュは世界で最も降水量が多い国の1つであり、北東部では年間降水量 5000 mm を記録する。国土の大部分はガンジス川、ブラマプトラ川、メグナ川がベンガル湾に注ぐデルタ地帯に位置し、雨期前後の不安定な大気によるサイクロンや、大量の降水に続く河川のオーバーフローによる災害が発生している。さらに、このような季節的な陸水荷重の増減に伴う地表上下変動が確認されている。本研究では、バングラデシュにおける GPS 固定連続観測データから可降水量 (GPS-PW) を算出し、大気水蒸気量の季節変動を考察する。さらに、GPS 座標時系列から求めた地表変動と陸水荷重変化との関係を議論する。

Dhaka と Sylhet において、2011 年 4 月から 8 月まで約 100 日間の GPS 観測を行った。解析には GIPSY-OASIS II Ver.6.0 の精密単独測位法を用い、日々の座標解 3 成分と 5 分ごとの天頂湿潤遅延 (ZWD) を推定した。どちらの観測点でも、ZWD は 6 月中旬を境にその前後で異なる特徴を示した。前半では 1 か月あたり約 0.15 m の増加を示し、後半では約 0.4m のレベルを維持した。また、前半では振幅が大きく波長が短い数時間スケールの変動が顕著であるが、後半では振幅が小さく波長が長い 10~20 日周期の変動が卓越する。これらはそれぞれ、気象擾乱が激しいプレモンスーン季と、水蒸気の絶対量は多いが時間変動は穏やかなモンスーン季の特徴を示していると解釈される。ZWD から GPS-PW への変換には係数 0.16 を使用し、1 時間平均値を算出して、高層ゾンデ観測から得られる可降水量 (sonde-PW) と比較した。sonde-PW の算出には、Sylhet においては 5 月上旬の集中観測データ、Dhaka においてはバングラデシュ気象局による定常観測データを用いた。Sylhet では GPS-PW と sonde-PW は概ね一致し、両者の差の RMS は全体量の 7% 程度であった。Dhaka では GPS-PW と sonde-PW の時間変化はほぼ一致したが、系統的に sonde-PW が 10~15mm 大きく算出された。Dhaka のゾンデ観測値には 100% を超える湿度が示される日が多くあり、湿度センサーにウェットバイアスが存在することが過大評価の原因であると考えられる。

約 100 日間の GPS 座標時系列には Sylhet で約 20mm、Dhaka で約 30mm の沈降が認められた。先行研究によって、Sylhet と Dhaka において陸水荷重の季節的増減による両振幅 60mm の上下年周変動が検出されており、本観測でもこの変動の一部を捉えたと考えられる。季節変動をより長期の定常変動と分離するため、UNAVCO が計 11 点で実施した 2007 年約 300 日間の GPS 連続観測のデータを解析した。全期間の座標時系列から各成分の平均変動速度を推定し、定常変動と仮定する。5~8 月期の変動速度から定常変動速度を差引くことで、季節変動を抽出した。約 100 日間に水平面内では南方向に約 10mm の変位が、上下方向では最大約 20mm の沈降が認められた。この沈降量から、Becker and Bevis (2004) の上下変位と面荷重の関係式を用いて、季節的な荷重分布を推定した。全観測点を含む 600km 四方の範囲を正方形で 9 分割し、各ブロックの荷重量を同時推定した。推定値は約 2500~4500Pa となり、面積を考慮すれば総質量は約 37~67GT となる。先行研究では季節的に 50GT の質量増加があるという結果が得られており、本研究の結果はこれと調和的である。これらの値は、バングラデシュ全土を覆う滞留水の厚さが 26~46cm 増加することに匹敵する。今後、より正確な定常変動と詳細な荷重分布を得るためには、さらに長期かつ稠密な GPS 観測データが必要である。

キーワード: GPS 気象学, バングラデシュ, 陸水荷重

Keywords: GPS Meteorology, Bangladesh, hydrologic loading

時空情報正当性検証における相関処理技術の開発

Development of the correlation processing technology in space-time information justification verification

梶原 透¹, 武藤 竜洋¹, 高橋 富士信^{1*}, 市川 隆一², 高島 和宏³, 大坪 俊通⁴, 小山 泰弘², 関戸 衛², 岳藤 一宏², ホビガート ーモス²

Toru Kajiwara¹, Tatsuhiro Muto¹, Fujinobu Takahashi^{1*}, Ryuichi Ichikawa², Kazuhiro Takashima³, Toshimichi Otsubo⁴, Yasuhiro Koyama², Mamoru Sekido², Kazuhiro Takefuji², Thomas Hobiger²

¹ 横浜国立大学, ² 情報通信研究機構, ³ 国土交通省国土地理院, ⁴ 一橋大学

¹Yokohama National University, ²National Institute of Information and Communications Technology, ³Geospatial Information Authority of Japan, ⁴Hitotsubashi University

近年、GPS 携帯電話やスマートフォンなどの情報端末の普及により、位置情報の活用が広がってきている。それに伴い、位置情報に一定の信頼性・正当性が求められるケースも増えてきている。そこで、位置情報とその位置情報を取得した時刻を合わせた四次元の「時空情報」の正当性を検証できるシステムの開発が現在行われている。また、時空情報正当性検証システムはデータ取得とデータ後処理の2グループに分かれて研究・開発が行われている。本研究は、後者のデータ後処理技術についての研究である。

時空情報正当性検証はGNSS、地上デジタル放送、準星等の電波を2地点で受信することによって行う。2地点とは、正当性検証を利用するユーザ局と、精密位置が分かっている基準局のことである。正当性検証には、最低4つの電波源が必要となる(四次元情報のため)。本研究では同一周波数帯に多数存在し、かつ地域に縛られず受信可能なGNSS衛星の電波の到達時間差を求め、遅延時間を距離に換算し、理論値と比較することにより、正当性検証を行うことができる。

本研究では、短基線と長基線それぞれに対応した処理手法の開発を行った。短基線には、遅延時間と変化率のサーチ範囲が小さいという特徴があるため、従来のVLBI型相関処理よりも効率のよい2D-FFTを利用した粗決定処理手法の開発を行った。本処理手法では、一度の処理で全衛星の相関ピークを観測可能となっている。ただし、本処理手法は基線長200Km以下程度の場合しか適用できない。長基線に関しては、短基線の粗決定処理をそのまま適用するとピーク幅が広がるといった問題が起こるため、その補正を行いつつ高速で結果を出す粗決定処理手法を別途開発した。本処理手法は短基線と異なり一度の処理で一衛星の相関ピークしか観測することはできないが、短基線の粗決定とほぼ同等の遅延時間精度を確保することができた。また、粗決定は遅延時間のサーチ単位がbitで制限される等の弱点を持つため、より精密な補正を行いつつ、細かい粒度で遅延時間をサーチでき、かつ長時間の積分も可能な精決定処理手法の開発も行った。精決定によって、粗決定から精度を大きく改善することができた。これらの処理には処理時間短縮のためにGPUの導入も行った。

短基線には、伝搬経路が酷似しているといった特徴がある。この場合、高精度な位相遅延を決定することができる。そこで、本研究では短基線における遅延時間決定精度を大幅に向上するため、位相遅延の決定法の開発も行った。さらに、位相遅延の精度を向上する手法の開発も行った。最終的に、位相遅延によって、低仰角の衛星であってもピコ秒、高仰角ならばサブピコ秒程度の遅延時間精度を実現することができた。

長基線では、伝搬経路が大きく異なるために位相遅延を決定することは難しい。そこで、本研究では周波数帯域を合成して精度を向上するバンド幅合成という技術に着目し、GNSS衛星がいくつかの周波数帯を持つことを利用して、長基線であっても高精度な遅延時間を実現できる処理手法の開発も行った。その結果より、位相遅延と同等とはいかないまでも、精決定からは大きく精度を改善することができた。

本研究は、科研費基盤研究A(課題番号21241043)の助成を受けて実施している。

キーワード: VLBI, GNSS, GPS, QZS, 時空情報, 認証

Keywords: VLBI, GNSS, GPS, QZS, Space-time information, Attestation

月レーザー測距データ精密解析のためのソフトウェアの開発 Development of software for precise LLR data analysis

長澤 亮佑^{1*}, 大坪 俊通¹
Ryosuke Nagasawa^{1*}, Toshimichi Otsubo¹

¹一橋大学
¹Hitotsubashi University

月レーザー測距データを用いて月の軌道運動ならびに回転運動の決定を行うべく、ソフトウェアの開発を行っている。研究の初期段階として、月レーザー測距観測モデルを最新の物理モデルを組み合わせる構築した。まず、月の軌道は、NASA ジェット推進研究所 (JPL) による月惑星暦 DE421 を使用した。モデルの構成要素は、地上局とリフレクタの位置に関するものと、レーザー光の伝播遅延に関するものに分けられる。前者には軌道暦から取得した月の軌道と秤動、地球回転、および地球と月の固体潮汐を考慮した。後者にはレーザー光が往復する間に生じる光行差、大気遅延、および相対論効果による光差を考慮したほか、軌道暦と観測値との時空の相違も考慮し、変換時に生じる相対論効果を補正した。軌道暦の読み出しを始め、要素の計算には宇宙測地解析ソフトウェア c5++ (大坪ほか、本講演会、2011) のモジュールを用いた。また、観測値は Crustal Dynamics Data Information System (CDDIS) にて公開されている Normal Point データを取得し、1996年6月から2011年12月までの2029ポイントを使用した。

各観測値に対してモデルによる予測値を求めたところ、残差の平均は約0.18 m、標準偏差は約0.09 mであった。残差を見る限りではモデルに一層の改良の余地があると思われるが、そもそも DE421 が内包する誤差の程度が不明である。そこで次なる段階として、今後は月の軌道運動と回転運動のパラメータを推定することで解析精度の向上を目指す予定である。

本発表では、初期に行ったモデルと実データとの比較、およびその後のソフトウェア開発の構想について報告する。

キーワード: 月レーザー測距, 解析ソフトウェア, 軌道暦
Keywords: lunar laser ranging, analysis software, ephemeris

円環外核の運動の励起 Excitation of the motion of a cylindrical outer core

角田 忠一^{1*}
Chuichi Kakuta^{1*}

¹ なし
¹ none

Wen(2006)は中部 Africa 下層の内核表面で 1993年-2003年 のP波比較から、2003年に内核半径が0.98から1.75 km増加したことを示した。今回は内核表面の発熱を伴う変形による外核の流体運動および回転軸のまわりの赤道面の運動をしらべる。外核を回転軸のまわりのうすい円環とし、内核表面の変形を1次の球関数 Y_{11i} ($i=1, \cos \theta; i=2, \sin \theta$) の非対称モードとし、変形が進行波として24年の周期変化と考える。外核の流体運動は Smylie and Rochester (1981) のSSA(Sub-seismic Approximation)を採用する。この近似では発散は0でないが、圧力変化の重力方向の成分のみが発散に寄与する。うすい外核表面(CMB)の垂直変位、 U_r は内核境界(ICB)における値と等しいとする。外核の東半球で上昇したとすれば東半球の密度が上昇し、円環外核の重心は $2U_r$ 東半球に移動する。また軸非対称な回転方向の層流は1次(Y_{11i})の密度分布と結合して2次の回転軸のまわりの角運動量を発生する。この大きさは円環の主慣性能率からなる角運動量の 10^{-11} の大きさである。また2次の変動量には既知の赤道楕円形状の中心が地球重心から移動するため、内核と外核の回転軸まわりの秤動の発生もふくまれる。

キーワード: 外核, うすい円環外核, 内核, 密度分布, 角運動量, 秤動

Keywords: outer core, thin cylindrical outer core, inner core, density distribution, angular momentum, libration