

閏秒回避の提案

A proposal to avoid a leap second

*高橋 耕三¹*Kozo Takahashi¹

1.なし

1.None

はじめに：2015/07/00 に協定世界時（UTC）に閏秒が1秒挿入されました。閏秒がある理由として、地球の自転角速度の減少が挙げられることがあります。閏秒の挿入が面倒なことが一般的なため、閏秒の廃止が話題になったこともあります。

地球の自転角速度が減少することは事実ですが、その程度は甚少です。そこで、閏秒の挿入と同じ効果があり、大衆には操作の必要無い閏秒挿入回避の方法を提案します。

自転角速度の減少：地球が誕生した45.5億年前の自転角速度の最高値 ω_0 は、遠心力と重力が釣り合う時の値ですから、次式から求められます。

（以下 **： 冪乗）

$$r \times \omega_0^{**2} = g$$

ここに

地球の半径 $r = 6378100$ m

重力の加速度の標準値 $g = 9.80665$ m/s^{**2}

を代入すると

$$\omega_0 = 1.2400 \times 10^{**3} \text{ rad/sec} = 107 \text{ rad/day} : (\text{遠心力と重力が釣り合う値}) \text{ となります。}$$

現在の値

$$\omega_p = 7.292 \times 10^{**5} \text{ rad/sec}$$

までに、指数関数的に減少したとすると、

$$\log(\omega_p / \omega_0) = -k t \quad (1)$$

上式に

$$\omega_0 / \omega_p = 1.240 \times 10^{**3} / 7.292 \times 10^{**5}$$

$$= 16.98$$

$$\log(\omega_0 / \omega_p) = 2.833$$

と地球の年齢 $t = 45.5$ 億年 $= 1.436 \times 10^{**17}$ sec

を代入すると

$$k = 1.973 \times 10^{**17} / \text{sec} = 6.226 \times 10^{**10} / \text{year}$$

$$= 0.0623 / \text{億年}$$

上記の減衰係数 k は、初期値を可能な最大値とした場合の値ですから、実際はこの値以下とすることになります。

半減期 t_h は (1) から、次式で与えられます。

$$\log(\omega_p / \omega_0) = -k t_h$$

$$\omega_p / \omega_0 = 0.5 \quad \log 0.5 = 0.6931 = 0.0623 t_h$$

から

$$t_h = (0.6931 / 0.0623) \text{ 億年} = 11.125 \text{ 億年}$$

ところで、

$$45.5 \text{ 億年} / 11.125 \text{ 億年} = 4.0899, \quad 05^{**4.0899} = 0.05872 = 1 / 17.03$$

となつて、上記の ω_0 / ω_p の値と計算誤差の範囲内で一致しています。

なお、実際の半減期は、上述の理由から、11.1億年以下とすることになります。

ところで、過去15年間に5回閏秒が挿入されていることから、3年に1秒の割合で地球の自転周期が長くなっていると言われていています。この割合で自転周期が長くなっていく場合の半減期は下記のようにして求め

ます。

現在の自転周期を T_0 、 t 年（3年）後のそれを T とすると、

$$T - T_0 = 1 \text{ sec}$$

$$T - T_0 = 2\pi(1/\omega - 1/\omega_0) = 2\pi(\omega_0 - \omega)/(\omega \omega_0) = 1$$

上式に

$$\omega = \omega_0 e^{-(k t)}$$

を代入すると

$$2\pi/\omega\{1 - e^{-(k t)}\} = 1 \text{ sec}$$

$$\text{i.e. } \omega/2\pi = 1 - e^{-(k t)} \doteq k t$$

上式に $\omega = \omega_p = 7.292 \times 10^{-5} \text{ rad/sec} = 2301 \text{ rad/year}$ と $t = 3 \text{ 年}$ を代入すると

$$k_p = 3.869 \times 10^{-6} / \text{年}$$

上述の半減期の式に上記の値を代入すると、現在の地球の自転角速度の半減期 T_p は、次式から

$$\log 0.5 = 0.6931 = 3.869 \times 10^{-6} \times T_p$$

$$T_p = 0.6931 / 3.869 \times 10^{-6} = 1.791 \times 10^5 \text{ 年} \doteq 18 \text{ 万年}$$

半減期は約18万年となり、地球の年齢と相容れない値となります。

このようになってしまったのは、1秒の定義が不適切であったためです。現在の定義は、Csの放射波 $f = 9.192631770 \text{ GHz}$ 波の1周期 T_0 の9192631770倍とされています。それ故、1秒の定義を T_0 現在の値よりも、3年に1秒長くのなるようにすれば閏秒の必要は当面は無くなるわけです。

具体的には、3年は10の約8乗秒(= $0.9467 \times 10^8 \text{ sec}$)ですから、Csの放射波を $1 + 1 \text{ 秒} / 3 \text{ 年} = 1 + 1.0563 \times 10^{-8}$ 倍して 9.192631673 GHz と定義すれば良いわけです。即ち、 $T = 1/f$ ですから、10桁あったCsの放射波の有効桁数の最後の3桁を変更すれば、

$$9192631770 / 9192631673 = 1 + 1.056 \times 10^{-8}$$

となりますから、1秒が 1.056×10^{-8} だけ長くなり、3年で約一秒長くなることとなります。

即ち、10桁あるCsの放射波の有効桁数の最後の3桁を変更すれば、閏秒の挿入は、現在は3年に一度ですが、前述したように、半減期は11.125億年以上ですから、向こう百年以上、閏秒の問題は考え無くてもよくなるはずで。

時間の定義の変更に伴う基本単位への影響：現在、光速は 299792458 m/sec 、長さの基本単位1 mは、真空中の光の $1 / 299792458 \text{ s}$ 間の伝搬距離となっています。光速 c は、基本中の基本であるため、その絶対値も定義も変えないことが望ましいわけですから、秒の定義の変更に伴う長さの定義を変える必要があります。光速と時間で定義されている長さを、時間の増加、 $1.056 \times 10^{-8} \text{ sec}$ 、に伴い、 $3.17 \times 10^{-8} \text{ m}$ だけ1 mを短くするならば、光速の絶対値・定義とも不変となります。

ただし、可能性は殆どありませんが、長さの定義と絶対値を現在のままにするのならば、光速を、1秒が長くなった分に対応する 3.2 m/sec 増やし、現在の定義値 299792458 m/sec から 299792461 m/sec に変更する必要があります。定義の時間の逆数は、1秒が長くなった分だけ短くなりますが、光速がその分だけ速くなっていますから、絶対値は不変となります。おわりに：閏秒の挿入に際しては、世界で何万人もが対応する必要がありますが、時間の定義の変更は、全世界で数人で対応することができます。しかも、その効果には殆ど差がありません。

キーワード：閏秒、閏秒回避

Keywords: leap second, avoid leap seconds

アジア・オセアニアVLBIグループ (AOV) の活動について

Activities of the Asia-Oceania VLBI Group for Geodesy and Astrometry (AOV)

*川畑 亮二¹、和田 弘人¹、福崎 順洋¹、石本 正芳¹、若杉 貴浩¹

*Ryoji Kawabata¹, Kojin Wada¹, Yoshihiro Fukuzaki¹, Masayoshi Ishimoto¹, Takahiro Wakasugi¹

1.国土交通省国土地理院

1.GSI of Japan

アジア・オセアニアVLBIグループ (AOV) は、当地域のVLBIに関する連携を強化するため、2014年に設立されたIVSのサブグループである。2015年のAOVの活動として、計6回のVLBI観測を実施した。また、11月19-20日には、AOV単独では初の会議となる第1回アジア・オセアニアVLBI会議をタスマニア大学 (オーストラリア ホバート) で開催し、AOV加盟機関の代表者らが最新の活動状況について情報共有を行うとともに、2016年以降のAOVの活動方針について議論を行った。本講演では、これらのAOVの活動について報告する。

キーワード：VLBI

Keywords: VLBI

外核の熱流束と地球自転速度変化

Heat flux flow in the outer core and Earth's rotational motion

*角田 忠一¹

*Chuichi Kakuta¹

1.なし

1.none

Heat flux flow in the outer core transfers heat energy from the Earth's central part into the mantle. It contributes to motion of the compressible outer core and zonal thermal wind in the outer core. These motions relate with the Earth's rotational motion.

キーワード：外核境界、熱流束、地球自転速度変化

Keywords: boundary of the outer core, heat flux flow, variation of Earth rotation

倒立振子を利用した望遠鏡姿勢制御方式

A method for attitude control of telescopes making use of the reverse pendulum

*花田 英夫^{1,2}、鶴田 誠逸¹、浅利 一善¹、荒木 博志^{1,2}、船崎 健一³、佐藤 淳³、谷口 英夫³*Hideo Hanada^{1,2}, Seiitsu Tsuruta¹, Kazuyoshi Asari¹, Hiroshi Araki^{1,2}, Ken-ichi Funazaki³, Atsushi Satoh³, Hideo Taniguchi³

1.国立天文台RISE、2.総研大物理、3.岩手大学工学部

1.RISE, National Astronomical Observatory, 2.SOKENDAI, 3.Iwate Univ.

国立天文台水沢地区を中心に月の回観測のための月面望遠鏡を開発してきたが、小型ロケットが主流となる今後の日本の月惑星探査の流れの中で、望遠鏡の小型化も必須である。この観点から、倒立振子を利用した望遠鏡鏡筒の鉛直制御を提案する。

倒立振子は重心が支点より上に来る不安定な系で、これを直立させる技術は、古くから制御工学の代表的な課題の一つとして多くの研究がなされてきた。また、最近では二足歩行ロボットに必要な技術として新たな展開を見せているが、望遠鏡の鉛直制御に利用するのは初の試みである。

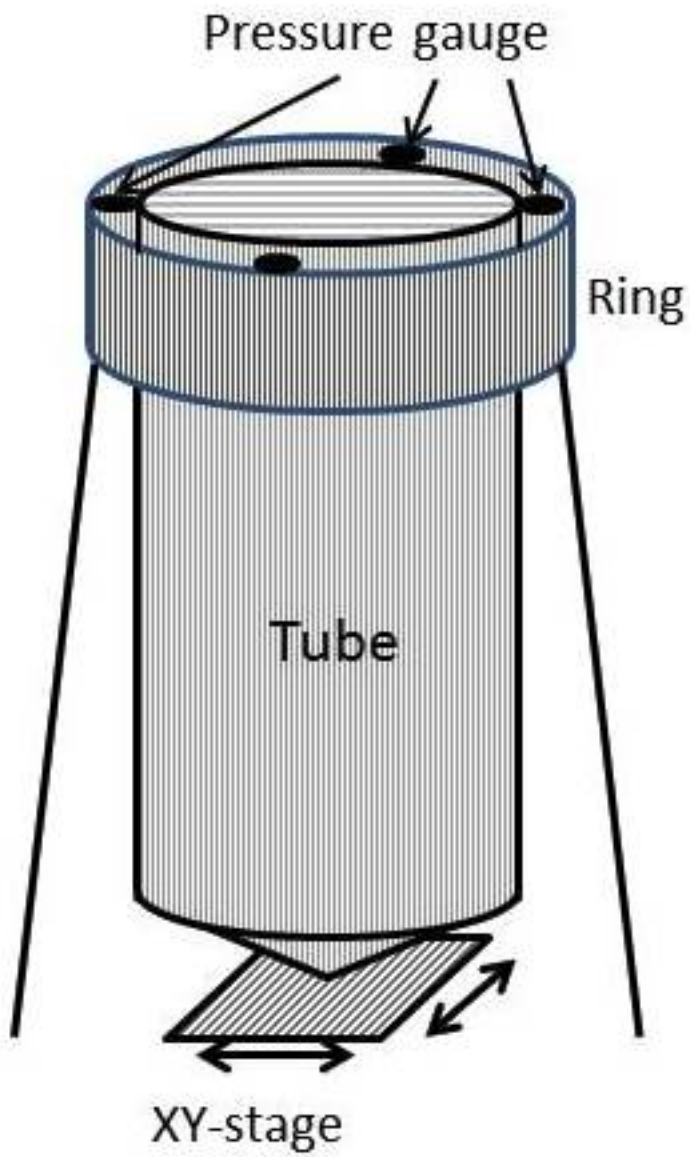
鏡筒自体を倒立振子本体とし、底部を点で支持すると、一見不安定であるが、逆に、鉛直からのズレに対する感度が高いので、高精度の鉛直制御が期待できる。ここでは、円筒（鏡筒）の底部を円錐形とし、先端部をXY自動ステージ上に置く。一方、鏡筒上部を円環で囲み、4方から圧力センサーで支える（図1参照）。円筒が鉛直からずれると、重力により倒そうとするトルクが働き、そのトルクによる力を圧力センサーが検知し、それをゼロにするように、底面のXYステージを微小変位させる。

この方式は、水平面の基準を光学系の中に組み込むこと無く、かつ、下げ振りのように入射方向に支点等の構造を置く必要が無いので、望遠鏡の方式にほとんど影響を与えない。したがって、小型の望遠鏡の新しい方式として発展性が期待できる。

おもりの質量 m (kg)の倒立振子が角度 θ 傾いた時に、水平方向にかかる力は $P = mg\sin\theta$ と表される。 $m = 1\text{kg}$ 、 $\theta = 1\text{秒角}$ ($4.8\times 10^{-6}\text{rad}$) とすると、 $P=4.8\times 10^{-5}\text{ N}$ (約 $50\mu\text{N}$) となる。現在市販の最高感度のセンサーは、分解能が $0.005\mu\text{N}$ であるので、1秒角傾いた場合の $1/10,000$ の力を検出できることに相当し、角度の分解能としては 0.1mas (ミリ秒角) となる。一方、ダイナミックレンジは分解能の約2万倍あるので、最高感度のセンサーを用いる場合は、姿勢を常に20秒角以内に保つ別の機構が必要である。また、倒立振子が鉛直から 1mas 傾いた状態から、鉛直にもどすために必要な支点の移動量は、支点からおもりの重心までの高さが 10cm の場合には、 $5\times 10^{-10}\text{m}$ (0.5nm) であるので、XYステージにはこの精度の位置決め精度が要求される。今回提案する制御方式によって、月、惑星探査用の望遠鏡の大幅な小型軽量化による新しい道を開くことが可能である。

キーワード：倒立振子、姿勢制御、望遠鏡

Keywords: reverse pendulum, attitude control, telescope



広帯域バンド幅合成について（その3）

On a wide-band bandwidth synthesis III

*近藤 哲朗¹、岳藤 一宏¹*Tetsuro Kondo¹, Kazuhiro Takefuji¹

1. 国立研究開発法人情報通信研究機構

1. National Institute of Information and Communications Technology

1. はじめに

受信帯が10GHz以上にも及ぶ広帯域VLBI観測データのバンド幅合成処理方法をほぼ確立した。実際の広帯域VLBI観測データを使用して処理方法の検証を行なったところ、広帯域バンド幅合成に成功しその有効性が検証できた。電離層遅延補正に関しては短基線観測のため電離層の影響が顕著には現れないため、電離層の影響をシミュレーションしたデータを使用した処理を行なった。その結果、補正に必要な電離層全電子数（TEC）の相対値が推定できることが示され、電離層補正法についても検証することができた。

2. 処理アルゴリズム

確立された広帯域バンド幅合成の処理アルゴリズムを以下に示す。

- 1) 参照スキンの決定：一連の観測の中で強度の強い電波星のスキン（観測）を1つ決めて処理の参照スキンとする。
- 2) バンド間遅延補正データの作成：参照スキンデータを用いて従来法でバンド毎に遅延残差および遅延変化率残差を決定し、更にこれらの残差を補正したクロススペクトルを求める。またバンド毎の遅延残差から一番低い周波数バンドを基準としたバンド間遅延補正データ作成する。
- 3) バンド内位相補正データの作成：2)で得られたクロススペクトルの位相の周波数特性をバンド毎に多項式または移動平均で近似しバンド毎の位相補正データを作成する。
- 4) 全スキンの処理：2), 3)で得られた「バンド間遅延補正データ」および「バンド内位相補正データ」を使用してすべてのスキンデータの広帯域バンド幅合成処理を行う。更に広帯域バンド幅合成処理で得られた遅延残差および遅延変化率残差を補正した広帯域クロススペクトル（バンド幅合成後のクロススペクトル）を求める。
- 5) 電離層補正処理：4)で得られた広帯域クロススペクトルを用いて電離層全電子数の補正量 ΔTEC を求め、この ΔTEC を使って各バンドの相関データの位相補正を行なった後、再度広帯域バンド幅合成処理を行う。

3. 実処理結果

2015年1月16日に鹿島-石岡基線（基線長約50km）で実施した広帯域VLBI観測データを使用して実際に広帯域バンド幅合成を行なったところ良好な結果を得ることができた。鹿島-石岡基線は基線長が短く電離層の影響は顕著には現れないのでシミュレーションにより電離層の影響を被った相関データを生成し、そのデータを処理することにより電離層補正方法の検証を行なったところ、電離層補正に関しても良好な結果を得ることができた。

4. おわりに

広帯域バンド幅合成アルゴリズムを開発し実データを処理することによりアルゴリズムの有効性を検証した。その結果、広帯域バンド幅合成に成功し実的手法をほぼ確立することができたといえる。電離層補正手法に関しては実データの基線長が短かったため検証はシミュレーションデータを用いて行なったが、今後、大陸間基線等の長距離基線観測を通しての検証を進めて行く予定である。最後に、今回の検証に使用したデータは国土地理院の協力の下に石岡局と鹿島局の間で実施した広帯域VLBI観測によって得られたデータである。観測にご尽力いただいた国土地理院のVLBIグループの皆様に感謝する。

キーワード：ブイエルビーアイ、広帯域バンド幅合成、電離層補正

Keywords: VLBI, wideband bandwidth synthesis, ionospheric correction

VLBI 周波数比較への応用とGALA-V システムの開発(VII)

VLBI application for Frequency Transfer and Development of GALA-V System (VII)

*関戸 衛¹、岳藤 一宏¹、氏原 秀樹¹、近藤 哲朗¹、宮内 結花¹、堤 正則¹、川合 栄治¹、長谷川 新吾¹、瀧口 博士¹、市川 隆一²、花土 ゆう子¹、小山 泰弘³、渡部 謙一⁴、鈴山 智也⁴、小室 純一⁵、寺田 健次郎⁶、難波 難波⁶、高橋 留美⁶、岡本 慶大⁶、青木 哲郎⁶、池田 貴俊⁷

*Mamoru Sekido¹, Kazuhiro Takefuji¹, Hideki Ujihara¹, Tetsuro Kondo¹, Yuka Miyauchi¹, Masanori Tsutsumi¹, Eiji Kawai¹, Shingo Hasegawa¹, Hiroshi Takiguchi¹, Ryuichi Ichikawa², Yuko Hanado¹, Yasuhiro Koyama³, Ken-ichi Watabe⁴, Tomonari Suzuyama⁴, Jun-ichi Komuro⁵, Kenjiro Terada⁶, Kunitaka Namba⁶, Rumi Takahashi⁶, Yoshihiro Okamoto⁶, Tetsuro Aoki⁶, Takatoshi Ikeda⁷

1.情報通信研究機構 時空標準研究室、2.総務省情報通信国際戦略局技術政策課、3.情報通信研究機構 国際連携推進室、4.産業技術総合研究所 計量標準総合センター 時間標準研究グループ、5.情報通信研究機構 社会還元促進部門 研究開発支援室、6.情報通信研究機構 社会還元促進部門 情報システム室、7.情報通信研究機構 ネットワークアーキテクチャ研究室

1.National Institute of Information and Communications Technology, Space Time Standards Group, 2.Technology Policy Planning and Coordination, Global ICT Strategy Bureau Technology Policy Division, The Ministry of Internal Affairs and Communications, 3.National Institute of Information and Communications Technology, International Relations Office, 4.AIST, National Metrology Institute of Japan, Time Standards Group, 5.NICT, Outcome Promotion Department, Development support Section, 6.NICT, Outcome Promotion Department, Information System Section, 7.NICT, Network Architecture Laboratory

1. はじめに

NICT は、遠距離周波数比較を目的とした広帯域VLBIシステム (GALA-V) の開発を進めている。それぞれ原子周波数標準器のある場所に小型VLBI観測局を設置し、比較対象とする原子周波数標準器の信号を基準信号としてVLBI観測を行うことにより、それらの周波数差を比較することができる。GALA-Vプロジェクトではアンテナの受信感度と遅延計測精度を向上させるため3-14GHzの非常に広い帯域で電波星からの電波を受信する。GALA-Vは、国際VLBI事業 (IVS) が次世代の測地VLBI観測システムとして開発をすすめているVGOS (VLBI Global Observing System) との共同観測を念頭に、互換性を持つ仕様で開発を進めている。VGOSシステムとの共同観測は、高精度な周波数比較にも有益であり、共同観測により測地と周波数比較の両立を目指している。

2. 国土地理院石岡局13m - NICT鹿島34m の超広帯域VLBI実験

2015年には国内のVGOS局として完成した国土地理院の石岡測地観測局(直径13m)と、広帯域受信機を搭載した鹿島34m局の間で試験観測を実施し、世界初となる8GHz帯域幅の超広帯域信号の合成に成功した。その後の実験では1秒間の観測でサブピコ秒(光速で約0.1mm)の遅延計測精度が実現できることを実証した。しかしながら遅延の計測精度が高くても、局位置の推定を行うためには、VGOSで求められている高速駆動のアンテナでなければ大気遅延推定誤差が支配的となることが予想されており、2015年8月に行った鹿島34m-石岡局のVLBI観測では、このことを裏付ける結果が得られている。局位置推定の精度はそのまま周波数比較の精度と対応する。今後、高速駆動のVGOS局または、複数の広帯域VLBIアンテナとの共同観測等、更なる精度改善の方策を検討する。

3. 産総研—NICT小金井間の周波数比較VLBI実験

GALA-V周波数比較プロジェクトでは、日本標準時を維持するNICTと原子周波数標準を開発している産総研に小型VLBIアンテナを設置し、VLBI技術を使った周波数比較のテストベッドとしてUTC[NICT] とUTC[NMIJ]の比較実験を行っている。前節述べた広帯域VLBI観測によって、小型でも十分な遅延計測精度と信号帯雑音比 (SNR) でVLBI観測が可能であり、発表では現在までの精度検証実験の結果を報告する。

4. まとめ

GALA-V周波数比較プロジェクトでは、IVSの進めるVGOSに対応した広帯域VLBI観測システムの開発を進めており、国土地理院石岡測地観測局との実証実験により、1秒で1ピコ秒を切る遅延計測精度を実現した。これは現在マイクロ波による世界最高レベルの群遅延計測である。現在、我々は産総研とNICT小金井の間で周波数比較実験を進めており、精度検証の後、小型VLBI局の海外への移設と大陸間規模の周波数比較実験を目指す。

謝辞

広帯域VLBI実験の実施にあたって多大な協力を頂いている国土交通省国土地理院の方々に感謝します。

キーワード：超長基線電波干渉計 (VLBI)、VLBI 全地球観測システム、長距離周波数比較

Keywords: Very Long Baseline Interferometry(VLBI), VGOS(VLBI Global Observing System), Distant Frequency Comparison

隣接周波数帯電波のGNSS観測への影響

Effect of adjacent frequency signal on geodetic GNSS observations

*辻 宏道¹、畑中 雄樹¹、佐藤 雄大¹、古屋 智秋¹、鈴木 啓¹、村松 弘規¹、犬飼 孝明¹、三木原 香乃¹、高松 直史¹、中久喜 智一¹、藤原 智¹、今給黎 哲郎¹、飛田 幹男¹、矢来 博司¹

*Hiromichi Tsuji¹, Yuki Hatanaka¹, Yudai Sato¹, Tomoaki Furuya¹, Akira Suzuki¹, Hiroki Muramatsu¹, Takaaki Inukai¹, Kano Mikiyoshi¹, Naofumi Takamatsu¹, Tomokazu Nakakuki¹, Satoshi Fujiwara¹, Tetsuro Imakiire¹, Mikio Tobita¹, Hiroshi Yurai¹

1. 国土交通省国土地理院

1. GSI of Japan

1. 背景

国土地理院はGPS等の測位衛星（GNSS）の電波を受信する「電子基準点」を全国約1,300箇所に設置し、そのデータを利用して測量や地殻変動監視を行うとともに、そのデータを公開して測量・測位、防災分野等での活用を推進している。GPSはL1帯（1.57542 GHz）及びL2帯（1.2276 GHz）の信号を送信しているが、近年、準天頂衛星や次世代GPSはL5帯（1.17645 GHz）の信号も送信しており、最新型のGNSS受信機及びアンテナは、従来よりも広い周波数帯に対応した設計となっている。

一方、携帯電話サービスでは、LTEと呼ばれる次世代高速通信サービスが全国で開始されており、この中には1.5 GHz付近の電波を利用するものも含まれる。

2. 現象

電子基準点「函館」で、2013年5月から観測される衛星の信号強度（SN比）が低下するとともに、データを解析して得られる電子基準点の高さに、見かけ上の変動（振幅：最大約5 cm、周期：2~3週間）が生じた。現地測量により実際の変動でないことは確認されたが、原因の究明には至らず、当該基準点は公共測量で利用できないように措置した。

その後も、電子基準点「焼津A」で、2014年3月からSN比の低下及び見かけ上の上下変動（振幅：最大約2 cm、周期：2ヶ月）が確認されるなど、2016年2月現在、同様な現象が「函館」以外に13点でも発生している（電子基準点名：「焼津A」、「大阪」、「神奈川川崎」、「石垣2」、「御殿場」、「足立」、「越谷」、「新富」、「大宮」、「楠」、「八郷」、「厚岸」、「指宿」）。いずれも水平変動はなく、上下変動も比較的小さいため、通常の公共測量では利用できるが、GNSS測量による標高の測量を行う場合は利用できない。

地殻変動の研究を行う場合、これらの電子基準点の「日々の座標値」や関連する基線に現れる周期的な上下変動は、実際の変動ではないことに注意が必要である。

3. 仮説

これらの電子基準点に共通するのは、

- 1) マルチGNSSに対応した同一機種を受信機及びチョークリング・アンテナを利用していること、
- 2) 周辺（概ね1 km以内）に携帯電話基地局があり、SN比の低下が始まった日に1.5 GHz付近の電波を利用するLTEサービスが開始されていること

である。このため、GPSのL1帯の隣接周波数帯にあるLTE信号が、従来より広い帯域に感度を持つアンテナに混入し、アンテナや受信機のアンプが飽和する等によりSN比が低下しているとの仮説が成り立つ。しかし、そのデータを基線解析すると上下方向だけに周期的な変動が現れるメカニズムはよくわからない。

4. 当面の対応

メーカー提供のL1帯隣接周波数帯の1.5 GHz信号を除去するフィルターをアンテナと受信機間に挿入して、「函館」及び「焼津A」で観測したところ、SN比は現象の発生前には戻らないものの改善が見られ、見かけ上の上下変動は大きく低減した。また、5~10 dBのアッテネータ（減衰器）の挿入によっても、ほぼ同様な

効果が見られることを確認している。今後、減衰量の最適値を決定し、見かけ上の上下変動が発生している電子基準点にアッテネータを挿入することを検討している。

キーワード：GNSS、電波干渉

Keywords: GNSS, adjacent frequency channel interference

ルジャンドル陪函数の数値計算法の比較

Comparison of computational methods of associated Legendre functions

*榎本 剛¹*Takeshi Enomoto¹

1. 京都大学防災研究所

1. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

三角函数とルジャンドル陪函数からなる球面調和函数は、地球物理学だけでなく球面を取り扱う様々な分野で利用されている。気象学では、球面調和函数は大気大循環モデルにおいて大気の予報変数を展開して力学過程を計算したり、大気のエネルギースペクトルを解析するために用いられる。近年の計算機性能の向上により、大きな切断波数を用いて高い水平解像度を実現することが可能となった。しかしながら、従来利用されてきた倍精度の3点漸化式では、アンダーフローが生じるため高階高次のルジャンドル陪函数の値を正確に計算することができない。アンダーフローを回避する方法として、倍精度の4点漸化式と拡張浮動小数点数の3点漸化式を用いた手法が提案されている。二つの手法を比較したところ、精度では前者が速度では後者が有利であることが分った。4点漸化式とともに用いられるルジャンドル多項式のフーリエ展開の精度の改良についても紹介する。

キーワード：球面、数値計算法、スペクトル法

Keywords: Sphere, Numerical method, Spectral method