

## 化石形状を記憶する準流体惑星の真の極移動：潮汐変形による歪みエネルギーの効果

True polar wander of a quasi-fluid planet with a fossil shape: Effect of strain energy due to tidal deformation

原田 雄司<sup>1\*</sup>

Yuji Harada<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 上海天文台

<sup>1</sup>Shanghai Astronomical Observatory

固体天体のリソスフェアに蓄積される弾性歪みエネルギーは、天体の自転軸の挙動、特に真の極移動に影響を及ぼす。もし仮に、リソスフェアを持たず完全に流体的に振る舞う仮想的な天体を想定するならば、その静水圧形状は常に保持される。この場合、最終的な自転軸は慣性能率の主軸と一致する。この状態において回転エネルギーが最小となるからである。その一方、弾的に振る舞うリソスフェアを持つ現実的な天体においては、自転軸は慣性能率の主軸と一致しない、という可能性が一部の先行研究によって指摘されている。何故なら、長期的な自転軸の移動に起因する潮汐応力によって、膨大な歪みエネルギーがリソスフェアに蓄積されるからである。即ち、回転エネルギーのみならず歪みエネルギーも含めた、全エネルギーの和を最小化するように極位置が選択される。

しかしながら、上記の先行研究が取り扱った内容は、あくまで自転軸が移動する前と移動した後の極位置の差のみである。つまり初期状態から定常状態までの永年の極位置の時間変化については言及されていない。このような極位置の永年変動のモデリングは次の点において重要と考えられる。一つ目に、真の極移動の励起源が生じてから極位置が定常状態に達するまでの時間スケールを与える事が出来るようになる。よって複数の表面荷重・内部力源が存在する時、どれが真の極移動に寄与しているのか、そしてどれくらい寄与しているのか、という定量的議論が可能となる。二つ目に、地形や地磁気のような地質学的状況証拠から推定された真の極移動のシナリオについて、力学的解釈を与える事が出来るようになる。よって或る真の極移動のシナリオが提示された時、それについての物理的な妥当性の検討が可能となる。

そこで本研究では、前述の歪みエネルギーに関する先行研究を踏まえて、真の極移動における極位置の時間変化を定式化・数値計算した。特に大規模かつ長期的な極位置の時間変化に対しては準流体近似によるモデリングが適切である。従って本研究では、従来の準流体近似に基づく真の極移動を踏襲しつつ、それと同時にエネルギー全体の最小化も考慮して、各時点における自転軸の向きを求めた。これは実質上、リソスフェアの潮汐変形に起因する弾性トルクを準流体惑星のリュビル方程式の中に組み込む事と、物理的に等価である。尚、本研究では簡単の為、先行研究と同様、励起源として単独の軸対称の表面荷重を想定した。算出に際しては、荷重の最初の位置、荷重の成長の期間、荷重の大きさの最大値をパラメータとして与えた。更にそれらの結果を、歪みエネルギーを考慮しない場合と比較した。

その結果、歪みエネルギーを考慮した場合は、考慮しない場合と比べて次のような違いを示した。一つは、たとえ同じパラメータを与えても、定常状態に達した後の極位置が異なる事である。この点は、先行研究の結果と矛盾しない事を示している。もう一つは、やはり同じパラメータを与えても、極位置が定常状態に達するまでの時間スケールが異なる事である。この点は、リソスフェアの歪みエネルギーが実効的な荷重の影響を抑制する事を示している。定常状態自体に関してこのような効果が存在する事は、先行研究によって既に指摘されているが、それと類似の効果が真の極移動の特徴的な時間スケールにおいても見られる、という事を本結果は意味している。但しその厳密な時間スケールは、単に実効的な荷重の大きさを小さくするだけでは見積もる事が出来ない。と言うのも、真の極移動に伴う歪みエネルギーの変化は、励起源である荷重自体の変化に対して遅延を伴うからである。この遅延の原因は長期的極運動による遠心力形状の粘弾性的再調整である。

以上により、実際の惑星や衛星の永年の極移動の物理的解釈、即ち、定常状態に達するまでの時間スケールや、定常状態に至るまでの変化を見積もる上では、歪みエネルギーは必ずしも無視出来ない、という事が本結果から示唆される。

キーワード: 化石形状, 準流体近似, 極移動, 弾性リソスフェア, 潮汐変形, 歪みエネルギー

Keywords: fossil shape, quasi-fluid approximation, polar wander, elastic lithosphere, tidal deformation, strain energy

SGD021-P02

会場:コンベンションホール

時間:5月23日 14:00-16:30

## 仮想化 OS を使用した VLBI/USB サンプラーの複数並行技術の研究 Research on the parallel processing of VLBI USB samplers by using virtualization OS

梶原 透<sup>1\*</sup>, 高橋 富士信<sup>1</sup>, 近藤 哲郎<sup>2</sup>

Toru Kajiwara<sup>1\*</sup>, Fujinobu Takahashi<sup>1</sup>, Tetsuro Kondo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 横浜国立大学大学院工学府, <sup>2</sup> 鹿島宇宙技術センター

<sup>1</sup>Yokohama National University, <sup>2</sup>Kashima Space Research Center

K5/VSSP(Versatile Scientific Sampling Processor)32 サンプラーユニットは USB 経由で PC に接続可能な VLBI(Very Long Baseline Interferometry) 観測用高機能サンプラーである。このサンプラーは現状では 1 台の PC で 1 台までしか動作しないという問題点が存在する。この点を改善する為に、最近注目されている「仮想化」という技術に着目し、1 台の PC 内に複数の仮想 PC を作成し、それぞれの仮想 PC にサンプラーを割り当てることで、1 台の PC で複数台のサンプラーを動作させることが可能ではないかと考え、実験を行った。また、仮想化を使用したシステムを用いて実際に 16Ch/8Mbps および 16Mbps の測地 VLBI 観測を一台の PC で鹿島局と小金井局との間の実験で実施することに成功した。そのデータを相関処理を用いて解析することでシステムの評価を行ったので報告する。

キーワード: 仮想化, VLBI, サンプラー, 相関処理

Keywords: virtualization, VLBI, sampler, correlation processing

# Japan Geoscience Union Meeting 2011

(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SGD021-P03

会場:コンベンションホール

時間:5月23日 14:00-16:30

## 宇宙測地技術解析ソフトウェア c5++ の開発 その2 Development of space geodetic analysis software c5++, Part-2

大坪 俊通<sup>1\*</sup>, ホビガー トーマス<sup>2</sup>, 後藤 忠広<sup>2</sup>, 久保岡 俊宏<sup>2</sup>, 瀧口 博士<sup>2</sup>, 関戸 衛<sup>2</sup>, 竹内 央<sup>3</sup>

Toshimichi Otsubo<sup>1\*</sup>, Thomas Hobiger<sup>2</sup>, Tadahiro Gotoh<sup>2</sup>, Toshihiro Kubooka<sup>2</sup>, Hiroshi Takiguchi<sup>2</sup>, Mamoru Sekido<sup>2</sup>, Hiroshi Takeuchi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>一橋大学, <sup>2</sup>情報通信研究機構, <sup>3</sup>宇宙航空研究開発機構

<sup>1</sup>Hitotsubashi University, <sup>2</sup>NICT, <sup>3</sup>JAXA

情報通信研究機構・一橋大学・宇宙航空研究開発機構では, SLR (Satellite Laser Ranging; 衛星レーザ測距), VLBI (Very Long Baseline Interferometry; 超長基線電波干渉法) などの高精度宇宙測地技術・航法技術のための解析ソフトウェア c5++ の開発に着手した。

宇宙測地の分野に限らず, 複数の独立な観測を統合した形での解析解が求められることが多くなっている。“c5++”では, VLBI・SLR の統合解析をはじめ, 複数の異種データを観測方程式の段階から統合して解析する機能を備える。

あわせて, 地球回転・潮汐変形・衛星加速度・伝搬遅延などに関する物理モデルを, 2010 年末にリリースされた IERS Conventions 2010 に準拠させるべく作業を行っている。

すでに VLBI による地球回転パラメータ導出の機能は実装し, UT1 速報値を提供するに至っている。その実例を含めて紹介する。

キーワード: 宇宙測地, 衛星レーザ測距, 超長基線電波干渉法

Keywords: space geodesy, satellite laser ranging, very long baseline interferometry

SGD021-P04

会場:コンベンションホール

時間:5月23日 14:00-16:30

## GEONET 準リアルタイム解析システムの構築について Construction of GEONET quasi-real-time analysis system

小島 秀基<sup>1\*</sup>, 影山勇雄<sup>1</sup>, 矢萩智裕<sup>1</sup>, 古屋智秋<sup>1</sup>, 古屋有希子<sup>1</sup>

Hideki Kojima<sup>1\*</sup>, Isao Kageyama<sup>1</sup>, Toshihiro Yahagi<sup>1</sup>, Tomoaki Furuya<sup>1</sup>, Yukiko Furuya<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 国土地理院 測地観測センター 地殻監視課

<sup>1</sup>GSI of Japan

国土地理院は、規模の大きな地震発生時に、GEONETの1秒サンプリングデータを用いたGPSキネマティック解析を行っている。この解析は、データが1時間単位のファイルに格納された後に行われるため、後処理1秒解析と呼ばれており、地震後の地殻変動の把握に役立てられている。後処理1秒解析の特長は、国土地理院が定常的に行っている解析（定常解析）よりも解析結果を早く出せることであるが、一方で解析にかかる時間が短いため、定常解析に比べて精度は劣る。また、現状では地震後に後処理1秒解析による結果を得るまでに3時間程度を要しており、解析精度を勘案するとそのメリットはあまり大きくない。

後処理1秒解析による結果を得るまでに時間を要する原因は、後処理1秒解析の起動が手動であり、地震後に参集する職員の到着を待たねばならないこと、解析にかかるデータファイルが1時間単位であるため、ファイルが出来るまでの待ち時間が最大1時間程度必要なこと、解析にかかる観測点選択等の設定作業（クラスタリング作業）を手動で行っていること、が挙げられる。

平成22年度、これらによる解析結果を得るまでの時間的ロスを解消するため、緊急地震速報をトリガーとして後処理1秒解析を自動で実行する準リアルタイム解析システムを構築した。準リアルタイム解析システムによって、地震後に後処理1秒解析結果を得るまでの時間は最短で約1時間に短縮することが可能となった。

本発表では、この準リアルタイム解析システムの紹介とこのシステムの可能性と課題などについて報告する。

キーワード: 電子基準点, 地殻変動

Keywords: GEONET, GPS

SGD021-P05

会場:コンベンションホール

時間:5月23日 14:00-16:30

## GPS とマイクロ波放射計による可降水量の比較観測 Monitoring of atmospheric precipitable water using GPS and microwave radiometer

田中 幹人<sup>1\*</sup>, 田部井 隆雄<sup>1</sup>, 大東 雄二<sup>2</sup>, 村田 文絵<sup>1</sup>  
Mikito Tanaka<sup>1\*</sup>, Takao Tabei<sup>1</sup>, Yuji Ohhigashi<sup>2</sup>, Fumie Murata<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 高知大学理学部, <sup>2</sup> 三菱電機特機システム

<sup>1</sup>Faculty of Science, Kochi University, <sup>2</sup>Mitsubishi Electric Tokki Systems

GPS 固定連続観測データから算出した可降水量 (GPS-PW) を, 気象ゾンデおよびマイクロ波放射計 (MR) の並行観測結果と比較した。期間は 2010 年 6 月の約 1 ヶ月間で, 観測場所は高知大学理学部屋上である。GPS 解析には GIPSY-OASIS II Ver.6.0 の精密単独測位法を用い, 衛星軌道として精密暦を, マッピング関数として VMF を使用し, 位相の ambiguity 決定を行うとともに, 5 分ごとの天頂湿潤遅延を推定した。GPS-PW への変換には係数 0.16 を使用したが, 1 時間ごとの地上気温を用いて係数を更新しても, 違いは 1% 未満だった。ゾンデの放球は毎日午前 7 時 (JST) に行われ, 気圧高度 10hPa ごとに可降水量を算出し積算した。1 回の観測に要する時間は約 1 時間である。今回使用した MR は比較的安価な装置として開発中のもので, 23GHz および 36GHz の天頂方向輝度温度を 10 秒間隔で連続測定した。可降水量 (MR-PW) へ変換するため, 輝度温度を独立変数とし, GPS-PW を真値とみなす重回帰式より変換係数を決定した。なお, 降雨時の MR 測定値は除外した。GPS-PW と MR-PW の相関係数は 0.974 で, 両者はほぼ同じ精度で可降水量を検出できることが判明した。MR の持つ機動性とリアルタイム性を生かせば, 都市部等のインフラが集中した環境でも水蒸気擾乱を安定してモニターできる見通しが立った。

次に, 衛星軌道情報とマッピング関数を変えることで, GPS の大気遅延推定にどのような変化が生じるか調べた。GEONET の 0083 観測点 (高知) の 2010 年 1 年間のデータを使い, 軌道情報として JPL が提供する最終精密暦, 速報暦, 予報暦を, MF として VMF, GMF, NMF を使用した。最終精密暦と VMF を使った最高精度の解析と, 予報暦と GMF を使った準リアルタイムの解析で算出した天頂湿潤遅延を比較すると, 両者の差の RMS は 2.36mm で, 可降水量に換算して 0.38mm という良い一致が見られた。GPS は直接観測であるゾンデを上回る時間・空間分解能で PW を算出でき, 準リアルタイムでも良好な結果を得ることができていることを確認した。すでに高密度に配置されている GPS 連続観測網は, 気象観測においても極めて有効である。

キーワード: GPS, 可降水量, ラジオゾンデ, マイクロ波放射計, マッピング関数

Keywords: GPS, precipitable water, radiosonde, radiometer, mapping function

SGD021-P06

会場:コンベンションホール

時間:5月23日 14:00-16:30

## 高分解能数値気象モデルを用いて再現された測位誤差について Numerical simulation of positioning errors using high-resolution numerical weather prediction model

石本 正芳<sup>1\*</sup>, 宗包 浩志<sup>1</sup>, 小林 知勝<sup>1</sup>

Masayoshi Ishimoto<sup>1\*</sup>, Hiroshi Munekane<sup>1</sup>, Tomokazu Kobayashi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 国土地理院

<sup>1</sup> GSI of Japan

桜島周辺の電子基準点では、観測点間の基線変化において、片側に偏ったばらつきが夏季に大きくなる特徴的な誤差が見られている。これまでに、この誤差の原因は特定されていない。そこで、本研究では、この誤差の原因が大気擾乱の影響である可能性を検討するため、高分解能な数値気象データを用いて測位誤差の再現を試みた。用いた数値気象データは、名古屋大学で開発された雲解像モデル CReSS(Cloud Resolving Storm Simulator)を用いて、気象庁メソ客観解析値を初期値・境界値として計算した、空間分解能 1km、時間分解能 1時間の数値気象データである。計算は2010年7月～8月の約1ヶ月間について行った。このデータを用いて、衛星測位システムシミュレータにより擬似 GPS 観測データを生成し、GIPSY ver5.0によりPPP解析を行って誤差を推定した。この推定誤差と実際の解析結果とを比較した結果、その誤差の空間パターンに類似する場合が見られ、桜島周辺の電子基準点に見られている座標値のばらつきの原因が大気擾乱の影響である可能性が高いことがわかった。

本報告では、さらにどのような気象条件で誤差が生じやすいのかについて検討した結果を報告する。

# Japan Geoscience Union Meeting 2011

(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SGD021-P07

会場:コンベンションホール

時間:5月23日 14:00-16:30

## Kaバンド WINDS 衛星電波干渉計システムにより得られた位相変動の解析 Ka-band Data Analysis of Phase Variation from WINDS Satellite Signals Interferometer System

片山 徹也<sup>1\*</sup>, 秦野拓哉<sup>1</sup>, 高橋富士信<sup>2</sup>  
Tetsuya Katayama<sup>1\*</sup>, Takuya Shinno<sup>1</sup>, Fujinobu Takahashi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 横浜国立大学大学院工学府, <sup>2</sup> 横浜国立大学大学院工学研究院  
<sup>1</sup>Yokohama National University, <sup>2</sup>Yokohama National University

高速インターネット衛星 WINDS は Ka バンドの周波数帯を利用している。Ka バンドの信号は波長が短いため、降雨や気象の影響を強く受ける。よって、我々は WINDS 衛星が送信している通信波や熱雑音電波を受信する干渉計システムを構築し、WINDS 衛星電波の降雨や気象による影響の測定と研究を行っている。干渉計システムでは、二つのアンテナで WINDS 衛星電波を受信し、相関処理を行っている。VLBI のフリンジストッピング技術を応用し、相関の位相変動を求めることができた。この位相変動の原因を解明するために、温度や大気圧などの気象変化と比較することで解析を行った。そして、WINDS 衛星電波の気象による影響、対流圏伝搬について考察を行った。

キーワード: WINDS, Ka バンド, 干渉計, 相関処理, 位相, 気象

Keywords: WINDS, Ka-band, interferometer, correlation processing, phase, meteorological phenomenon

SGD021-P08

会場:コンベンションホール

時間:5月23日 14:00-16:30

## GPS 受信機によるブイ姿勢計測の精度評価 The accuracy evaluation of attitude of buoy using GPS receivers

長田 幸仁<sup>1\*</sup>, 太田 雄策<sup>1</sup>, 木戸 元之<sup>1</sup>, 藤本 博己<sup>1</sup>  
Yukihito Osada<sup>1\*</sup>, Yusaku Ohta<sup>1</sup>, Motoyuki Kido<sup>1</sup>, Hiromi Fujimoto<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学理学研究科

<sup>1</sup>Tohoku Univ., Graduate school of science

海底地殻変動観測では、船、曳航ブイ、係留ブイなどを用いて観測を行っている。これらの装置において、動揺や傾斜などの姿勢変化は重要な情報である。特に海底地殻変動観測では、音響トランスデューサの位置を正確に求めることが精度向上にもつながってくる。姿勢を計測方法として(1)慣性航走装置(RLG, MEMS)(2)複数台のGNSS受信機もしくは、複数台のアンテナを装備できるGNSS受信機がある。本講演では(2)にある方法について姿勢計測の精度評価を行う。

使用する受信機としてSigma (Javad GNSS社), PolaRx2@ (Septentrio社), GRX1200+ (Leica Geosystem社)を用いた。基礎試験として次の方法を行った。個々の受信機の静止状態での姿勢の精度評価を行った。PolaRx2@は、2006年に4時間程度、Sigmaは、2010年10月に2日程度東北大学の屋上にて行った。この試験により次のことが得られた。2つの受信機ともカタログ精度に近い値が得られており保証精度が静止状態で得られた。時系列においてパワースペクトル解析を行った結果Sigmaがノイズレベルで1桁程度小さいこと、姿勢のばらつきとDOPに良い相関があることが確認された。しかし、試験観測を行っている時期が異なるので受信機の詳細な比較をすることは難しい。そのため今後すべての受信機を用いて屋上にて静止試験を行い、更に移動体での精度評価試験を行う予定である。

### 追記

測位衛星技術社の内田さんにJavad GNSS社Sigma受信機をお借りしました

キーワード: GPS, 姿勢

Keywords: GPS, attitude

SGD021-P09

会場:コンベンションホール

時間:5月23日 14:00-16:30

## 南極昭和基地周辺でのGPSブイによる海洋潮汐観測 Ocean tidal observation with GPS buoy around Lutzow-Holmbukka, East Antarctica

青山 雄一<sup>1\*</sup>, 土井 浩一郎<sup>1</sup>, 渋谷 和雄<sup>1</sup>

Yuichi Aoyama<sup>1\*</sup>, Koichiro Doi<sup>1</sup>, Kazuo Shibuya<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 国立極地研究所

<sup>1</sup>National Institute of Polar Research

With the objective of measuring the ocean tide around Lutzow-Holmbukka, East Antarctica, we have been developing GPS buoys. In 2005, the first GPS buoy was installed on sea surface at Nishi-no-ura, the shore of East Ongul Island, where the ocean bottom pressure has been regularly observed as tide gauge data at Syowa Station. This GPS buoy consisted of a dual frequency GPS receiver and antenna (Lexon-GGD160T & GrAnt; Javad Inc.), the buoy with a float (Zeni-light buoy Co., Ltd.) and two Pb batteries (12V24Ah). Several continuous ocean tidal observations could be conducted for 5 - 7 days without its maintenance. Aiming to perform the continuous ocean tidal observation for a few months, we modified the GPS buoy and examined its performance in 2008. We applied a hybrid power system which was combination of the electric double layer capacitor (30VA, PowerSystems Co., Ltd.) and the Pb battery (12V24Ah) to a second generation of the GPS buoy and we attached 20W solar panel on its float. The dual frequency GPS receiver and antenna (DL-V3 and GPS-702-GG; NovAtel Inc.) were incorporated into the GPS buoy. This GPS buoy was installed on the offing of Benten Jima which is located on about 20 km distance from Syowa Station, at the end of September, 2008. Due to malfunction of the charging to the Pb battery, the power supply of GPS was maintained by the electric charge and discharge to the capacitor. The 30VA capacity of the capacitor and 20W power generation of the solar panel were too short to perform the continuous GPS measurement. Therefore the ocean tidal observation by the GPS was intermittent. Polar day and fine weather in austral summer enabled the comparatively continuous observation. The instantaneous positions of the GPS buoy which were synchronized with the ocean tide were determined from GPS data obtained during Nov. - Dec., 2008 by adopting the kinematic precise point positioning analysis with GPS Tools. The ocean tidal analysis with BAYTAP-G was applied to the time series of the instantaneous GPS position data during Nov. - Dec., 2008.

We still continue to improve the GPS buoy. We plan to install the several GPS buoys around Lutzow-Holmbukka and to conduct the continuous ocean tidal observations in order to study the geoid and the ocean tide in this area.

キーワード: GPS ブイ, 海洋潮汐, 南極

Keywords: GPS bouy, Ocean tidal observation, Antarctica