

日本気象学会誌 気象集誌
(Journal of the Meteorological Society of Japan)
「GPS 気象学」特別号

第82巻 第1B号 2004年3月 目次と要旨

論 文

- Sibylle VEY・R. DIETRICH・K.-P. JOHNSEN・Jibylle MIAO・G. HEYGSTER：
AMSU-B データ，地上型 GPS データ及び NCEP/NCAR 再解析から求められた，
南極での対流圏の水蒸気の比較259-267
- 青梨和正・岩淵哲也・小司禎教・大谷 竜・市川隆一：地上型マイクロ波放射計で
観測された可降水量変動の統計的研究269-275
- 中村 一・瀬古 弘・小司禎教・高層气象台・気象測器検定試験センター：GPS 可降水量
との比較で判明したヴァイサラ RS80-A ソンデと明星 RS2-91 ソンデの湿度計測の
乾燥誤差277-299
- 小司禎教・中村 一・岩淵哲也・青梨和正・瀬古 弘・三島研二・板垣昭彦・市川隆一・
大谷 竜：つくば GPS 稠密観測：事後残差の蓄積による GPS 視線遅延量解析の
改善301-314
- 岩淵哲也・小司禎教・島田誠一・中村 一：つくば GPS 稠密観測：3種の解析手法で
評価された位相残差マップの比較315-330
- Michael MEINDL・Stefan SCHAER・Urs HUGENTOBLE・Gerhard BEUTLER：
欧州軌道決定センターにおける大気遅延勾配の推定：グローバル解による結果331-338
- 瀬古 弘・中村 一・島田誠一：数値気象モデルの出力を用いた GPS 大気モデルの評価339-350
- Seth I. GUTMAN・Susan R. SAHM・Stanley G. BENJAMIN・Barry E. SCHWARTZ・
Kirk L. HOLUB・Jebb Q. STEWART・Tracy Lorraine SMITH：
米国大気海洋庁予報システム研究所での地上型 GPS 可降水量観測の迅速な
リトリバルと同化：天気予報へのインパクト351-360
- Gerd GENDT・Galina DICK・Christoph REIGBER・Maria TOMASSINI・
Yanxiong LIU・Markus RAMATSCHI：ドイツにおける数値気象予報のための
GPS 水蒸気量の準リアルタイム監視361-370
- Jan DOUŠA：地上型 GPS 気象学のための精密衛星軌道情報：Pecný 測地観測所における
軌道決定の解析戦略と精度評価371-380
- Jens WICKERT・Torsten SCHMIDT・Georg BEYERLE・Rolf KÖNIG・
Christoph REIGBER・Norbert JAKOWSKI：CHAMP 衛星による
GPS 電波掩蔽観測：データ解析システムと鉛直大気分布の評価381-395
- Ho-Fang TSAI・津田敏隆・George A. HAJJ・Jens WICKERT・青山雄一：CHAMP
および SAC-C 衛星の GPS 掩蔽実験で観測された赤道ケルビン波397-406
- A. de la TORRE・津田敏隆・George A. HAJJ・Jens WICKERT：SAC-C および CHAMP
の GPS 掩蔽データを用いた成層圏の大気重力波の活動度のグローバルな分布407-417
- 津田敏隆・Klemens HOCKE：GPS 掩蔽観測データを用いた中層大気および電離圏の
大気波動の解析419-426

Ashraf MOUSA・津田敏隆：GPS ダウンルッキング掩蔽データのための インバージョンアルゴリズム：シミュレーション解析	427-432
青山雄一・小司禎教・Ashraf MOUSA・津田敏隆・中村 一：ダウンルッキング GPS 掩蔽データからの気温と水蒸気プロファイルの導出	433-440
中村 一・小泉 耕・萬納寺信崇：気象庁メソスケールモデルへの GPS 可降水量の同化と その降水予報へのインパクト	441-452
小泉 耕・佐藤芳昭：GPS 可降水量と TMI 可降水量のメソスケール数値予報モデルへの インパクト	453-457
Henrik VEDEL・Xiang-Yu HUANG：地上型 GPS データの数値予報への効果	459-472
瀬古 弘・川畑拓矢・露木 義・中村 一・小泉 耕・岩淵哲也：降水予報に対する GPS 水蒸気量とドップラーレーダ動径風のインパクト	473-489
S.-Q. Peng・X. ZOU：地上型 GPS の天頂遅延量と雨量観測値の同化による短時間雨量 予報へのインパクト	491-506
Y.-H. KUO・T.-K. WEE・S. SOKOLOVSKIY・C. ROCKEN・W. SCHREINER・ D. HUNT・R. A. ANTHES：GPS 掩蔽データの解析および誤差評価	507-531
X. ZOU・H. LIU・R. A. ANTHES・H. SHAO・J. C. CHANG・Y.-J. ZHU：AMSU 輝度温度データを使わないときの CHAMP 電波掩蔽観測の全球解析と予報への インパクト	533-549
Lubomir P. GRADINARSKY・Per JARLEMARK：水蒸気分布の推定のための 地上型 GPS トモグラフィ：仮想データと実データを用いた解析	551-560
野口 渉・吉原貴之・津田敏隆・平原和朗：移動セル法を用いたトモグラフィによる GPS つくば稠密観測の水蒸気時空間分布推定	561-568
瀬古 弘・中村 一・小司禎教・岩淵哲也：GPS 稠密観測で観測した雷雨にともなう メソスケールの水蒸気分布	569-586
Borys STOEW・Gunnar ELGERED：北欧の地上 GPS 観測網による 大気遅延パラメータの特徴	587-596

.....◇.....◇.....◇.....◇.....

Sibylle VEY・R. DIETRICH・K.-P. JOHNSEN・Jibylle MIAO・G. HEYGSTER：AMSU-B データ、地上 型 GPS データ及び NCEP/NCAR 再解析から求められた、南極での対流圏の水蒸気の比較	
Sibylle VEY, R. DIETRICH, K. P. JOHNSEN, Jibylle MIAO, and G. HEYGSTER：Comparison of Tropospheric Water Vapour over Antarctica Derived from AMSU-B Data, Ground-Based GPS Data and the NCEP/ NCAR Reanalysis	

南極での極端な気候条件と研究基地の数の少なさは、この地域の気象学的記録の数を制限している。従って、衛星の放射測定と地上型 GPS 測定は利用可能な水蒸気データの総数を改善する。

6つの南極のGPSステーションからの天頂総遅延量(ZTD)の時系列と地上気象データを組み合わせて、我々は可降水量(PW)変動を2時間の時間分解能で5

年間について求めた。NOAA-15衛星搭載のAdvanced Microwave Sounding Unit-B (AMSU-B)のデータは南極のほとんどの部分をカバーするが、観測は1日2-3回に限られる。従って、GPSとAMSU-Bデータセットは、時間空間について、互いに補足的である。

我々は、これら2つの独立なアルゴリズムからの

PWの結果を1年間のデータを用いて、相互検証する。それに加えて、AMSU-BとGPSのPW観測を米国国立環境予報センター(NCEP)再解析と比較する。これらの3つのデータセットは高い相関を持つ。3つのデータセットの差の平均は、ステーションに依存し、-1.7 mmから+1.2 mmまで変化する。バイアスの多くの部分は、GPS PW推定に影響する、気圧の不確実性に起因するかもしれない。

GPSとAMSU-Bは、独立したデータ源として、乾

燥した南極大気のPW推定の正確な方法であることが確かめられた。NCEP解析からのPWの結果は、南極沿岸の調査ステーションでのPW観測と一般的にはよく対応する。O'Higginsステーションで得られた結果は他のステーションと異なる。O'Higginsは南極半島に位置し、南極の主大陸沿岸よりはより湿潤な環境を持つ。このことが、このステーションの特異な振る舞いを説明するかもしれない。

青梨和正・岩淵哲也・小司禎教・大谷 竜・市川隆一：地上型マイクロ波放射計で観測された可降水量変動の統計的研究

Kazumasa AONASHI, Tetsuya IWABUCHI, Yoshinori SHOJI, Ryu OHTANI, and Ryu-ich ICHIKAWA : Statistical Study on Precipitable Water Content Variations Observed with Ground-Based Microwave Radiometers

GPSデータの解析の時には、可降水量(PWC)の時間的変動性についてアприオリに仮定しているため、正確なGPS解析には、PWCの時間的変動の情報が必要である。また、解析されたPWC変動のデータを数値予報モデルに入力するためには、その空間スケールを知る必要がある。

本研究の目的は、日本のPWCの時間的、空間的変動の特徴を明らかにすることである。このため、2000年から2001年のいくつかの観測期間で、関東平野東部で地上型水蒸気ラジオメータ(WVR)によるGPS衛星方向のPWC観測を行った。観測されたPWCデータから、PWCの鉛直積算成分、水平グラディエント、非一様性の3成分を推定した。鉛直積算成分の季節変化を除くため、鉛直PWCの10日平均からの偏差(鉛直偏差と呼ぶ)を計算した。また、PWCの3成分の水平スケールを大まかに推定するため、3つのMWRサイトでの同期観測のデータを用いた。

これらのデータを統計的に解析した結果は以下の通りである：

- 1) 鉛直偏差の標準偏差は、グラディエントに起因するPWC変動、非一様成分の約20倍程度の大きさを持つこと、グラディエントに起因する変動は非一様性成分よりも小さいことがわかった。
- 2) また、鉛直偏差は周期～5-6日と8-9日に対して大きなスペクトルパワーを持つ。一方、グラディエントは、1日付近の周期の変動が卓越する。
- 3) 大まかな推定では、鉛直偏差、グラディエントの水平スケールは各々、数百キロメートル、数十キロメートルである。また、非一様成分の水平スケールは10キロメートル未満と考えられる。

上記の時間、空間スケールの特徴から、鉛直偏差、グラディエントの変動は、各々総観規模擾乱、局地循環と密接な関連があると考えられる。

中村 一・瀬古 弘・小司禎教・高層气象台・気象測器検定試験センター：GPS可降水量との比較で判明したヴァイサラRS80-Aゾンデと明星RS2-91ゾンデの湿度計測の乾燥誤差

Hajime NAKAMURA, Hiromu SEKO, Yoshinori SHOJI, Aerological Observatory, and Meteorological Instruments Center : Dry Biases of Humidity Measurements from the Vaisala RS80-A and Meisei RS2-91 Radiosondes and from Ground-Based GPS

2000年秋に実施した「つくば稠密GPS観測実験」では、GPSから得られた可降水量の検証のために3時間

間隔の高層ゾンデ観測を実施した。気象庁現業ゾンデである明星電気社製RS2-91(静電容量型高分子膜湿

度計)を6時間毎、ヴァイサラ社製 RS80-15G(A-type 湿度センサー, 以下 RS80-A)を6時間毎, 交互に放球した。その結果, RS80-15A の可降水量は RS2-91及び GPS の可降水量より3-4 mm (約4-6%) 少ないという系統誤差が見つかった。この誤差は RS80-15A と RS2-91の二つのゾンデの同時または連続放球でも確認された。センサーの新型保護キャップの導入により系統誤差は減少したが、まだ、かなりの系統誤差が残っていることが分かった。

更に、湿度検定装置に RS-80と RS2-91を置き、鏡面冷却式露点計を参照器として、室温条件下で湿度測定実験を行った。RS80-15A は、全湿度域で鏡面冷却式露点計より5から15%低い湿度値を示した。

一方、RS2-91は、低湿度の場合は若干湿り過ぎ、中

高湿度の場合はほんの少し乾燥傾向を示すが、全般的には鏡面冷却式露点計と良く一致していた。なお、RS2-91については1999年に湿度センサーの改良を行っており、それ以前の旧式 RS2-91は、RS80-15A に近い乾燥誤差を持っていることが高層気象台から報告されている(浜江他, 2000)。

日本国内において GPS 可降水量をゾンデデータで検証した過去の研究では、かなりの例で、GPS 可降水量とゾンデ可降水量が良く一致しており、GPS 解析による可降水量の精度が良いと結論しているものがある。しかし、本研究の結果および高層気象台の報告は、過去の GPS 解析は可降水量を実際より過小に推定しており、最新の改良された GPS 解析手法で再解析する必要があることを示唆している。

小司禎教・中村 一・岩淵哲也・青梨和正・瀬古 弘・三島研二・板垣昭彦・市川隆一・大谷 竜：つくば GPS 稠密観測：事後残差の蓄積による GPS 視線遅延量解析の改善

Yoshinori SHOJI, Hajime NAKAMURA, Tetsuya IWABUCHI, Kazumasa AONASHI, Hiromu SEKO, Kenji MISHIMA, Akihiko ITAGAKI, Ryuichi ICHIKAWA, and Ryu OHTANI : Tsukuba GPS Dense Net Campaign Observation : Improvement in GPS Analysis of Slant Path Delay by Stacking One-way Postfit Phase Residuals

数 km~20 km 程度の小規模な水蒸気場の変動は、GPS 測位解析の誤差を引き起こす一方、対流性降水に関連するなど、気象学的にも解明すべき重要な課題である。このローカルな水蒸気変動を研究するため、「つくば GPS 稠密観測」と呼ばれる特別観測が、トータルで2.5か月間つくば市周辺で実施された。この観測では、つくば市周辺20キロメートル四方の領域に1~3 km 間隔に配置された75箇所(79GPS アンテナ)で GPS の連続観測が行われた。

GPS 解析において、アンテナ機種毎に特有なアンテナ位相中心変動の補正に、米国海洋大気庁(NOAA)から提供されたアンテナ位相特性モデルが用いられた。さらに、アンテナ位相中心変動の方位角依存成分や、個々の観測点で異なる反射波(Multipath)の影響を補正するために、事後残差を仰角2度・方位角5度単位で蓄積して、全観測点に対する補正テーブル(MPS map)を作成した。

MPS map を導入することで、全ての観測点で、位相事後残差の強い仰角依存性ととも、方位角依存性が解消された。さらに、衛星の軌道情報や衛星時計の

誤差を取り除くため、事後残差に含まれる全ての GPS 観測点に共通した時間変動成分を取り除いた結果、高精度の視線遅延量(GPS 衛星から地上のアンテナに至る GPS 電波の経路に沿った遅延量、以下 SPD)を得ることができた。

得られた SPD の水平スケールを、SPD の空間相関から推定した結果、天頂遅延量、一次勾配、及び、一次よりも高次の非一様成分の水平スケールは各々 644 ± 120 km, 62 ± 23 km, 2-3 km 程度であることがわかった。

MPS map を用いた補正は、GPS による可降水量(PWV)の解析にも効果があることが示された。アンテナ機種に依存する PWV のバイアスが減少し、数時間間隔の誤差変動にも改善が見られた。高層ゾンデや水蒸気ラジオメータなど、他の PWV 観測と比較した結果、二乗平均平方根誤差(RMS)が2.0 mm 未満であった。また、PWV の観測全期間の時間平均値は、アンテナの高度と負の相関関係にあり、全観測点でバイアスの少ないデータが得られたことが示された。

岩淵哲也・小司禎教・島田誠一・中村 一：つくば GPS 稠密観測：3種の解析手法で評価された位相残差マップの比較

Tetsuya IWABUCHI, Yoshinori SHOJI, Seiichi SHIMADA, and Hajime NAKAMURA : Tsukuba GPS Dense Net Campaign Observations : Comparison of the Stacking Maps of Post-fit Phase Residuals Estimated from Three Software Packages

3種類のGPS解析ソフトウェアで得られる位相残差(観測値と推定値の差)の特性が評価され、マルチパスの振る舞いが議論された。解析には、2000年つくばGPS稠密観測データが用いられ、L1波とL2波の線形結合であるLC波を用いた解析事後残差が方位角1度×仰角1度の解像度でスタッキングされ、位相残差のスタッキングマップが作成された。位相残差のスカイマップは3つの解析手法の間で類似したパターンを示した。位相残差データのランダム誤差を評価するために導入された指標は、単独測位の手法で得られる位相残差が、二重位相差の手法で得られるその約2倍のばらつきをもつことを示した。このスタッキングマップに見られた振動パターンはElosegui (1995)の

マルチパスモデルで再現され、それがマルチパス誤差に起因するものであることが確認された。スタッキングマップの解析後の適用によるマルチパス誤差の低減化を行ったところ、その位相残差に対するインパクトは系統的なマルチパスが卓越する観測点で特に大きかった。単独測位の手法では、スタッキングマップを解析後に適用すると系統的な振動成分は減少したが、二重位相差の手法より2倍大きなばらつきが残った。マルチパス誤差は天頂遅延にバイアスを引き起こし、それに基づいて復元される視線遅延の絶対量に低仰角になるほど大きなバイアスを引き起こす。これは、スタッキングマップの解析への適用の重要性を示唆する。

Michael MEINDL・Stefan SCHAER・Urs HUGENTOBLE・Gerhard BEUTLER：欧州軌道決定センターにおける大気遅延勾配の推定：グローバル解による結果

Michael MEINDL, Stefan SCHAER, Urs HUGENTOBLE, and Gerhard BEUTLER : Tropospheric Gradient Estimation at CODE : Results from Global Solutions

低仰角の観測を高精度GPS解析に用いた。大気遅延勾配パラメータを解析に導入することにより、大気遅延の方位変化を考慮することができるようになった。この手法によって観測点座標値の再現性が大きく

改善された。北半球(または南半球)の観測点で推定された大気遅延勾配の平均値は大部分が同様の傾向を持っている。全地球の解析結果を数年分組み合わせた結果には、一貫したパターンが認められる。

瀬古 弘・中村 一・島田誠一：数値気象モデルの出力を用いたGPS大気モデルの評価

Hiromu SEKO, Hajime NAKAMURA and Seiichi SHIMADA : An Evaluation of Atmospheric Models for GPS data Retrieval by Output from a Numerical Weather Model

GPS測位では、観測した遅延量を大気モデルにフィッティングさせて大気遅延量を推定するため、観測した遅延量とフィッティングにより推定した遅延量の差が、マルチパスやアンテナ位相中心と共に、測位誤差の要因になる。そのため、測位誤差を最小にするためには、大気モデルは遅延量分布を正確に表現しなければならない。

風下山岳波が発生した1997年3月7日に、伊豆半島

と初島で、大きな測位誤差が観測された。風下山岳波と大きな測位誤差が同時に観測されたことは、風下山岳波によって引き起こされた大気モデルで表現できない小さいスケールの変動が、大きな測位誤差をもたらしたことを示唆している。

本研究では、高解像度非静力学モデルを使って風下山岳波を再現し、再現した水蒸気場と密度場からレイトレーシング法をもちいて遅延量を算出した。実際の

遅延量の代わりに算出した遅延量を大気モデルにフィッティングさせ、遅延量とフィッティングしたものの差から求めた測位誤差により、大気モデルを評価した。

風下山岳波の事例を用いて、3つの大気モデルを評価した。天頂遅延だけが未知のパラメータである『一様モデル』では、大きい測位誤差が推定された。勾配パラメータを未知のパラメータに追加した『線形勾配モデル』では、水平方向の測位誤差が大きく減少した。

さらに、2次の項を未知数に追加した『2次関数フィッティングモデル』では、水平方向と垂直方向で測位誤差が減少した。

本事例における大気モデルの評価により、以下の結果が分かった。

- 1) 複雑な擾乱は、『線形勾配モデル』では表現することができない。
- 2) 『2次関数フィッティングモデル』は、水平・鉛直方向の測位誤差を減らすことができる。

Seth I. GUTMAN • Susan R. SAHM • Stanley G. BENJAMIN • Barry E. SCHWARTZ • Kirk L. HOLUB • Jebb Q. STEWART • Tracy Lorraine SMITH : 米国大気海洋庁予報システム研究所での地上型 GPS 可降水量観測の迅速なリトリバルと同化 : 天気予報へのインパクト

Seth I. GUTMAN, Susan R. SAHM, Stanley G. BENJAMIN, Barry E. SCHWARTZ, Kirk L. HOLUB, Jebb Q. STEWART, and Tracy Lorraine SMITH : Rapid Retrieval and Assimilation of Ground Based GPS Precipitable Water Observations at the NOAA Forecast Systems Laboratory : Impact on Weather Forecasts

1994年以来、米国大気海洋庁 (NOAA) 予報システム研究所 (FSL) は地上型 GPS リモートセンシング技術の有効性を、現業の天気予報、気候モニタリング、大気研究、そしてその他の応用 (衛星の補正や検証など) について、評価してきた。GPS 積算可降水量 (IPW) リトリバル値と付随する地上気象観測値を30分ごとに15分以内の遅れで、取得、処理、配布する技術が開発されてきた。これらの観測を、NOAA/FSLで1時間毎に走る、迅速更新サイクル (RUC) 数値予報同化/モデルシステムの研究バージョンに同化する技術が開発され、これらの観測の短期天気予報精度へのインパクトが1998年から、60キロメートルバージョンのシステムを用いて評価されてきた。

これらの評価は、data denial experiments (GPS 水蒸気観測を用いた実験と用いない実験の並行ラン) から構成され、GPS から求めた IPW リトリバルの短期水蒸気、降水予報に対するインパクトを求めるものである。これらの実験は、米国の中部の一部、気象学

的な見地では、地球でもっとも観測の多い地域、で行われた。このことは、このインパクトの評価を非常に容易にしたが、評価中の新しい観測システム、例えば GPS、に特別な課題を与えることとなった。というのは、比較的少数の観測が、多数の他の同じあるいは関連したパラメータの観測と“競争”しなければならないためである。

それにもかかわらず、5年間の実験は多少とも継続的な改善が3時間の相対湿度予報について500 hPa レベルより下の層であることを示す。もっとも大きな予報スキルが見られるのは、寒候期で水蒸気の変化が総観スケールの天気システムに支配されるときである。もっとも明らかな結果は、GPS IPW データの同化による予報スキルの向上のインパクトが、毎年GPSステーション数が増えるにつれて大きくなったことで、これは、米国のGPSネットワークの密度が増せば、予報のさらなる改善につながることを示唆している。

Gerd GENDT・Galina DICK・Christoph REIGBER・Maria TOMASSINI・Yanxiong LIU・Markus RAMATSCHI：ドイツにおける数値気象予報のためのGPS水蒸気量の準リアルタイム監視

Gerd GENDT, Galina DICK, Christoph REIGBER, Maria TOMASSINI, Yanxiong LIU, and Markus RAMATSCHI :
Near Real Time GPS Water Vapor Monitoring for Numerical Weather Prediction in Germany

ヘルムホルツ協会戦略プロジェクトである“GPS 大気観測”では、ドイツと近隣諸国内の170台のGPS受信機を用いて、水蒸気を現業的に監視するシステムを構築した。システムではLinuxのパソコンを用いて12-15分間の計算を行い、1時間毎に30分間隔の可降水量を±1-2mmの精度で推定する。この可降水量推定

値は、同地点の他の観測データやドイツ気象局の局地数値モデルを用いて定常的に検証されている。ドイツ気象局で行った数値モデルを用いた予報実験では、12時間予報の相対湿度では2%の改善が見られたが、24時間を越える降水予報へのインパクトについては、はっきりとした結果は得られなかった。

Jan DOUŠA：地上型GPS気象学のための精密衛星軌道情報：Pecný測地観測所における軌道決定の解析戦略と精度評価

Jan DOUŠA : Precise Orbits for Ground-Based GPS Meteorology : Processing Strategy and Quality Assessment of the Orbits Determined at Geodetic Observatory Pecný

ここ数年間、GPS気象学は準リアルタイムGPS解析の駆動力となってきた。精密なGPS軌道情報(暦)が準リアルタイムに入手できることは、GPSのほとんど全ての応用一殊に大気遅延パラメータの推定一において信頼性の高い結果を得るために本質的に重要である。衛星軌道情報には、精度の高さだけでなく、作成過程の安定性や衛星のセットが完備であることも要求される。最も利用できそうな軌道情報の候補は、国際GPS事業(IGS)から提供されているものである。我々は、まず、Pecný測地観測所でルーチン的に使用して

いるIGS超高速暦のモニター活動の結果を報告する。その後、我々が独自に行っている準リアルタイム軌道決定の過程(短い軌道アークを最終的な2-3日間の軌道アークに結合する)を説明する。我々の公式的な軌道決定の結果を、その試験用バージョンと共に、IGS最終暦およびIGS超高速暦との比較により評価した。最後に、我々の軌道情報を地域的・全球的な大気遅延推定のための準リアルタイムGPS解析に直接適用した結果を示す。

Jens WICKERT・Torsten SCHMIDT・Georg BEYERLE・Rolf KÖNIG・Christoph REIGBER・Norbert JAKOWSKI：CHAMP衛星によるGPS電波掩蔽観測：データ解析システムと鉛直大気分布の評価

Jens WICKERT, Torsten SCHMIDT, Georg BEYERLE, Rolf KÖNIG, Christoph REIGBER, and Norbert JAKOWSKI : The Radio Occultation Experiment aboard CHAMP : Operational Data Analysis and Validation of Vertical Atmospheric Profiles

この論文ではドイツのCHAMP(CHALLENGING Minisatellite Payload)衛星によるGPS掩蔽データを定常的に解析するシステムについて述べる。

実際のGPS掩蔽観測から処理結果提供までの時間遅れを平均で約5時間以内に抑え、連続的に準リアルタイムで処理することができた。なお個々の観測事象については3時間未満の遅れで処理できる。これを実

現するには定常的に運用されている地上のインフラストラクチャーを利用しており、極域の衛星ダウンリンク・ステーション、全世界に分布するGPS参照点ネットワーク、精密軌道決定システム、自動掩蔽データ処理システム、およびGFZが運用するデータ処理システムを活用している。なお、これらはCHAMPおよびドイツGPS大気計測プロジェクト(GASP)により整

備された。

2001年と2002年に全球に分布する120,000以上の掩蔽データが自動的に解析された。46,000組の屈折率、温度および水蒸気プロファイル ECMWF データおよび全球のラジオゾンデ観測データを用いて検証した。ECMWF と比較して平均気温プロファイルのバイアスは高度10-35 km で0.4K 以下であり、屈折率の平均標準偏差0.5%以下であった。この偏差は高度に依存しており、10 km で1 K, 30 km で2 K であった。この結果は約6,000の CHAMP 掩蔽データを対応するラジオゾンデ測定と比較することで確認された。

熱帯域の対流圏下層では屈折率が約5%まで負のバイアスを持つことが分かった。これは絶対湿度では約30%までの乾燥バイアスに対応する。我々は Canoni-

cal transform や sliding spectral approach といった新しいリトリバル法を応用することで、平均で屈折率バイアスを約半分に減少させ、対応する絶対湿度のバイアスを1/3に小さくすることができた。中緯度では境界層より上層では屈折率バイアスは認められないことが、CHAMP による屈折率プロファイルをラジオゾンデデータと比較することで検証された。

50,000を越える電子密度プロファイルが、2001-2002年に自動的に解析された。このうち1004例についてイオゾンデ観測データと比較したところ、foF2とhmF2についてのバイアスが0.18MHz および13.4 km であり、それぞれの標準偏差は1.28 MHz (foF2) および46.8 km (hmF2) であることが分かった。

Ho-Fang TSAI • 津田敏隆 • George A. HAJJ • Jens WICKERT • 青山雄一 : CHAMP および SAC-C 衛星の GPS 掩蔽実験で観測された赤道ケルビン波

Ho-Fang TSAI, Toshitaka TSUDA, George A. HAJJ, Jens WICKERT, and Yuichi AOYAMA : Equatorial Kelvin Waves Observed with GPS Occultation Measurements (CHAMP and SAC-C)

この論文では CHAMP および SAC-C 衛星で行われた GPS 掩蔽実験により、2001年5月から2002年12月に対流圏上部から成層圏下部で得られた温度プロファイルを用いて赤道ケルビン波の構造および伝搬特性を研究した。

ケルビン波にともなう温度変動の時間・経度断面は東向き伝搬で特徴付けられており、一方、高度10-30 km における高度・経度断面からは高度について位相

が傾いている様相が明らかになった。さらに、ケルビン波が対流圏の上部から成層圏へ連続的につながる構造を示すことが分かった。対流圏界面の近くではケルビン波にともなう温度変動の振幅が2 K 程度であった。2001年の事例ではケルビン波の周期が12.5-14日で東西波数が1、鉛直波長は7.6-8.5 km であった。一方、2002年では波数が2、周期9.3-11.0日、鉛直波長が4.4-5.8 km であった。

A. de la TORRE • 津田敏隆 • George A. HAJJ • Jens WICKERT : SAC-C および CHAMP の GPS 掩蔽データを用いた成層圏の大気重力波の活動度のグローバルな分布

A. de la TORRE, Toshitaka TSUDA, George A. HAJJ, and Jens WICKERT : A Global Distribution of the Stratospheric Gravity Wave Activity from GPS Occultation Profiles with SAC-C and CHAMP

SAC-C および CHAMP 衛星による GPS 掩蔽観測で得られた温度プロファイルを用いて大気重力波のエネルギー分布を解析した。2001年の10-12月に、南北半球にわたる GPS 掩蔽データを緯度・経度について区分けし、それぞれの領域で波動エネルギーの高度変化を調べたところ、特徴的な変動が3か月間に共通して認められた。そこで最もデータ量が多かった11月について特性を詳しく検討した。もっとも10月には中緯度

で11月と異なる特性が認められた。つまり、南緯40-60°で北緯40-60°と比べて著しく大きい波動活動が認められた。ブラジル、インドネシアおよびインドの赤道領域では波動活動度が増大しており、長波放射データと相関が認められた。

ケルビン波などの赤道波の影響を考慮するために、鉛直波長が3.5 km 以上と以下の変動成分を区別して解析した。両成分について成層圏下部および対流圏上

部における厚さ数 km の高度層で、系統的に変動強度が増大した。その中心高度は緯度が高くなるにつれて次第に低くなっており、対流圏界面の高度と同様の緯度変化を示す。赤道域および中緯度で波動活動の経度変化が認められる。

とりわけ南半球の中緯度では、3.5 km より長い鉛直

波長の成分が西経65-70°でエネルギー増大していた。これはアンデス山脈に起因する山岳波の励起に関係していると考えられる。この現象は、この緯度・経度領域に利用可能な掩蔽データがある場合は必ず認められた。

津田敏隆・Klemens HOCKE：GPS 掩蔽観測データを用いた中層大気および電離圏の大気波動の解析

Toshitaka TSUDA and Klemens HOCKE：Application of GPS Radio Occultation Data for Studies of Atmospheric Waves in the Middle Atmosphere and Ionosphere

低軌道衛星による GPS 掩蔽観測により、優れた高度分解能で対流圏および成層圏の気温プロファイルを観測することができる。また GPS 掩蔽により電離圏の E 層中の電子密度変動も求まる。対流圏から超高層大気までを同時観測できる GPS 掩蔽データの活用範囲は広い。この論文では GPS 掩蔽データを活用して解明された、対流圏、成層圏および電離層の力学構造に関する研究成果をまとめる。

米国が世界で初めて実施した GPS 掩蔽観測である

GPS/MET (GPS/Meteorology) 実験で得られたデータを用いて、熱帯域の対流圏界面付近の詳細な温度構造が解析された。また、GPS/MET のデータにより成層圏の大気重力波エネルギーのグローバルな分布が明らかになった。インドネシア群島付近で特に活発な積雲対流と成層圏の重力波のエネルギー増大とがよく対応していた。さらに、アンデス山脈の上空では山岳波が励起され、その効果が電離層まで到達し、スポラディック E 層を生成していることが示唆された。

Ashraf MOUSA・津田敏隆：GPS ダウンルッキング掩蔽データのためのインバージョンアルゴリズム：シミュレーション解析

Ashraf MOUSA and Toshitaka TSUDA：Inversion Algorithms for GPS Downward Looking Occultation Data：Simulation Analysis

アンテナを下方に向けた GPS 受信機を地球大気内のプラットフォーム（例えば山頂）に設置することで、GPS 衛星を観測し、電波掩蔽手法によって大気屈折率プロファイルを推定することができる。この観測手法はダウンルッキング GPS 掩蔽 (DL 掩蔽) 法と呼ばれ、主要な観測量はインパクト・パラメーターの関数としての電波屈折角である。DL 掩蔽法では正負両方の仰角における屈折角が得られる。屈折角から大気屈折率の推定には、最小二乗法レイトレーシング (LS) 法、あるいは Abel 変換手法のいずれかが用いられる。LS 法は、正負の仰角のデータに直接適用することができ、

地表から受信機高度の上空約 2 km までの屈折率推定を可能にする。一方、Abel 変換は、同じインパクトパラメーターを持つ負仰角と正仰角の屈折角の差である部分屈折角プロファイルに対して機能する。

この論文は、シミュレーションデータを使用して 2 つの屈折率推定手法の有効性と制限を要約する。この解析では、気候値モデルによる乾燥及び湿潤大気、並びに実際のラジオゾンデデータを使用する。解析結果は LS 法と Abel 変換の両方が大気屈折率を推定する能力があることを示している。さらに、論文では 2 つのアルゴリズムの差と制限を強調する。

青山雄一・小司禎教・Ashraf MOUSA・津田敏隆・中村 一：ダウンルッキング GPS 掩蔽データからの
気温と水蒸気プロファイルの導出

Yuichi AOYAMA, Yoshinori SHOJI, Ashraf MOUSA, Toshitaka TSUDA, and Hajime NAKAMURA : Temperature
and Water Vapor Profiles Derived from Mt. Fuji Downward-Looking GPS Occultation Data

地表付近の気温、水蒸気、気圧の鉛直構造を計測する新しい手法を開発するため、2001年7月10日から9月25日の期間、京都大学、気象研究所、米国ジェット推進研究所の共同研究として、富士山頂においてダウンルッキング GPS 掩蔽観測実験が行われた。この実験では TurboRogue SNR-8000 GPS 受信機とチョークリングアンテナを富士山測候所に設置し、地平線に沈み行く GPS 衛星から発射された電波が大気中を通過することによって生じる位相遅延を観測した。位

相遅延から GPS 電波の屈折特性を解析し、Abel 変換を適用することで、富士山南方における大気屈折率プロファイルが得られた。さらに、これらの大気屈折率プロファイルから、1次元変分法を用いて気温、水蒸気、気圧プロファイルを導出し、受信機高度(約3.8 km)では富士山測候所で観測された気温、湿度、気圧とそれぞれ1.7°C、1.2%、1.0 hPa 以内で一致していることを示した。

中村 一・小泉 耕・萬納寺信崇：気象庁メソスケールモデルへの GPS 可降水量の同化とその降水予報
へのインパクト

Hajime NAKAMURA, Ko KOIZUMI, and Nobutaka MANNOJI : Data Assimilation of GPS Precipitable Water
Vapor into the JMA Mesoscale Numerical Weather Prediction Model and its Impact on Rainfall
Forecasts

国土地理院によって日本全国に展開された GPS 観測網から得られる可降水量を気象庁のメソデータ同化システムによってメソスケールモデルに同化した。同化手法として最適内挿法と4次元変分法の2つの手法をテストした。双方のシステムから求められた解析値を使って、梅雨期と夏季の降水事例について気象庁メソスケールモデル (MSM) による予報実験を行った。2つのデータ同化システムのいずれについても、いくつかの事例では顕著な降水予報の改善が見られたが、統計的なスコアで見ると GPS 可降水量のインパクト

は中立となった。統計的な評価でインパクトが見られなかったのは、この実験で使用した GPS 観測点の数が少なく、観測点間の距離が大きかったため、降水システムが的確に捉えられなかったためと考えられる。また4次元変分法システムについては、積算量である可降水量を各レベルの水蒸気に配分する際に水蒸気の鉛直分布を大きく変えずぎて、安定度が変わってしまっている可能性もある。こうした結果は水蒸気の鉛直分布に関する観測情報がデータ同化にとって重要であることを示唆している。

小泉 耕・佐藤芳昭：GPS 可降水量と TMI 可降水量のメソスケール数値予報モデルへのインパクト

Ko KOIZUMI and Yoshiaki SATO : Impact of GPS and TMI Precipitable Water Data on Mesoscale Numerical
Weather Prediction Model Forecasts

TMI (TRMM Microwave Imager) から得られる可降水量と地上 GPS 観測から得られる可降水量を4次元変分法で気象庁メソスケールモデルに同化する観測システム実験を行った。GPS のデータは陸上にしかなく、TMI のデータは海上のみで得られるので、双方

のデータを相補的に使用することで解析領域全体の水蒸気についての情報が得られる。実験数は少ないものの、双方のデータを使用することでモデルの降水予報が改善するという結果が得られた。

Henrik VEDEL・Xiang-Yu HUANG：地上型 GPS データの数値予報への効果

Henrik VEDEL and Xiang-Yu HUANG : Impact of Ground Based GPS Data on Numerical Weather Prediction

ヨーロッパの地上型 GPS 受信機で得られた天頂遅延量 (ZTD) が、数値予報 (NWP) の精度におよぼす効果を調べた。ZTD は、NWP にとって重要である地上気圧や可降水量の情報を含んでおり、主に水蒸気の情報として期待されている。現在の水蒸気観測が不十分であれば、ZTD をデータ同化することによって、予報精度が向上することが考えられる。

本研究では、2002年2月に COST716で観測された117台の ZTD データを使って、ZTD データを同化した場合としない場合の数値実験を行った。実験には領域モデル HIRLAM のスペクトルモデル版、その変分法データ同化システムの3次元変分法版を用いた。

EWGLAM の観測データを用いて統計的に検証すると、ジオポテンシャル高度に系統的な改善が見られ

た以外は、ZTD データのインパクトは中立である。雨量計による12時間雨量を用いて、降水分布を分割表や降水分布の目視による比較で評価すると、ZTD データの同化によって強い降水の予報が改善されることが分かった。これまでの研究 (Vedel and Huang, 2003) などとあわせると、ZTD データは数値予報による降水予報の精度を改善するといえる。

GPS データを数値予報モデルに最適に用いるためには、モデルの予報値と観測した降水量の比較法、ZTD の観測値と数値予報モデルの第一推定値の誤差と誤差相関のより深い理解が必要である。ヨーロッパの新しいプロジェクト TOUGH はこれらの問題に取り組むであろう。

瀬古 弘・川畑拓矢・露木 義・中村 一・小泉 耕・岩淵哲也：降水予報に対する GPS 水蒸気量とドップラーレーダ動径風のインパクト

Hiromu SEKO, Takuya KAWABATA, Tadashi TSUYUKI, Hajime NAKAMURA, Ko KOIZUMI, and Tetsuya IWABUCHI : Impacts of GPS-derived Water Vapor and Radial Wind of Doppler Radar on Numerical Prediction of Precipitation

1999年7月21日の豪雨について、GPS 水蒸気データとドップラーレーダ動径風の降水予報に対するインパクトを、気象庁4次元同化システムを用いて調べた。

動径風 (RW) には成田空港と羽田空港のドップラーレーダの観測データを用い、GPS 水蒸気データには国土地理院の GPS 全国連続観測網 (GEONET) の観測データから得た可降水量 (PWV) と、GPS 受信機から GPS 衛星までの水蒸気積算量である視線水蒸気量 (SWV) を用いた。SWV は水蒸気量の3次元分布の情報を持っているため、同化により下層の水蒸気の供給がよりよく再現できることが期待できる。

RW と PWV, SWV の同化のインパクトは、解析値から予報した降水域と観測した降水域を比較することによって調べた。通常的气象データを同化した場合、小さな降水域が東京からはなれた山岳域に発生した。PWV や SWV を通常的气象データと一緒に同化すると、下層が湿り、収束域に沿って降水が発生した。しかしながら、収束域の位置が実際と異なっていて、降水域の位置は正しく再現できなかった。動径風と通常

的气象データを同化すると、東京の北西側に北風が再現された。この北風は降水域が観測された場所の収束を強め、観測とほぼ同じ位置に降水域が再現された。しかし、南側からの下層インフローの水蒸気量が観測よりも少ないために、降水域の発生は1時間ほど遅れた。動径風と PWV や SWV を通常的气象データと一緒に同化させると、降水域は遅れることなく発達し、降水域の位置も正しく再現することができた。

つぎに、解析値の水蒸気量の鉛直分布を第一推定値のものと比較することにより、SWV の同化のインパクトを調べた。PWV と通常的气象データを同化させると、下層インフローの上流側の水蒸気量が減少するが、PWV の代わりに SWV を同化させると減少しなかった。

予報した降水域や水蒸気の鉛直分布の比較から、RW と GPS 水蒸気データを同化すると降水予報の精度が改善し、SWV を用いると水蒸気の鉛直構造も再現しうることがわかった。

S.-Q. Peng・X. ZOU : 地上型 GPS の天頂遅延量と雨量観測値の同化による短時間雨量予報へのインパクト

S.-Q. Peng and X. ZOU : Impact on Short-Range Precipitation Forecasts from Assimilation of Ground-Based GPS Zenith Total Delay and Rain Gauge Precipitation Observations

本論文では、1997年12月5-6日に南カルフォルニアで起きた暴風雪の事例で天頂遅延量 (ZTD) と雨量観測を同化することによる短時間雨量予報へのインパクトを調べた。1時間毎の雨量の同化は、同化期間内でスレットスコアを300%以上改善したが、同化期間を越えると改善率は急速に低下し30%以下になった。ZTD を同化すると、雨量を同化した時のような観測に似た降水域を再現しない (34%ほどの改善) が、同化期間以外でも降水量を同化した場合と同程度の改善が見られ

た。ZTD と雨量の同化は、降水域の熱力学構造を、降水が起こりやすい様に変え、水平風や鉛直風も降水過程に合うように変化する。観測された降水量および予報された降水量をデータ同化の有無による予報の違いと合わせてスペクトル解析すると、雨量の同化は、予報された大気場を小さいスケール (25-50 km) で変化させるが、ZTD はより大きなスケール (>50 km) で変化させることがわかった。

Y.-H. KUO・T.-K. WEE・S. SOKOLOVSKIY・C. ROCKEN・W. SCHREINER・D. HUNT・R. A. ANTHES : GPS 掩蔽データの解析および誤差評価

Y.-H. KUO, T.-K. WEE, S. SOKOLOVSKIY, C. ROCKEN, W. SCHREINER, D. HUNT, and R. A. ANTHES : Inversion and Error Estimation of GPS Radio Occultation Data

この論文では大気科学共同研究センター (UCAR) が COSMIC ((Constellation Observing System for Meteorology, Ionosphere and Climate) の GPS 掩蔽データを解析するために設立したデータ解析・アーカイブセンター (CDAAC) において開発された GPS 掩蔽データの解析手法について述べる。

CHAMP および SAC-C 衛星による GPS 掩蔽で 2001年12月に取得された初期データについて、CDAAC のソフトウェアによって処理された大気屈折率の精度評価をしたところ、GPS 掩蔽観測は高度約 5 km から 25 km で最も高い精度を示すことが分かった。この高度領域では屈折率の観測誤差は一般に 0.5% から 0.3% の範囲であった。観測誤差は熱帯域の対流圏では高度が下がって地表に近づくにつれて増加し、最下層の数 km では約 3% に達する。GPS 掩蔽の観測誤差は高度 25 km 以上でも増加し、特に冬半球の高緯度で大きくなる。これらの誤差評価は初期の理論的予測値より大きかった。

熱帯域対流圏の観測誤差は、湿度分布の複雑な構造、GPS 電波の異常伝搬あるいは GPS 受信機の信号追尾

エラーに起因する。高度 25 km 以上で誤差が大きくなるのは、主に電離層効果の補正に関係した雑音、あるいは雑音を抑圧するために推定法最適化の過程で使用する付随的なデータの使用法に関係する。雑音が少ない掩蔽データを選別すれば、高度 25 km 以上の誤差が有意に減少することを実証した。短期予測と比較して、熱帯の対流圏下部でさえ、GPS 掩蔽観測データがラジオゾンデよりも屈折率の誤差が小さくなった。この相違は恐らく直接測定であるラジオゾンデでは代表値に大きな誤差を含むことによるのであろう。高度 3 km 以下の熱帯対流圏下部以外では、GPS 掩蔽の観測誤差は、NCEP (National Centers for Environmental Prediction) の数値予報モデルの 12 時間予測と比べて同等かより小さいことが分かった。したがって、GPS 掩蔽観測が全球的な気象解析および予測精度を改善するだろうと示唆される。

COSMIC 等の将来の衛星ミッションでは、進歩した高度な信号追尾技術 (オープンループトラッキング) が使用されるので、GPS 掩蔽観測の精度はさらに改善されると期待される。

X. ZOU · H. LIU · R. A. ANTHES · H. SHAO · J. C. CHANG · Y.-J. ZHU : AMSU 輝度温度データを使わないときの CHAMP 電波掩蔽観測の全球解析と予報へのインパクト

X. ZOU, H. LIU, R. A. ANTHES, H. SHAO, J. C. CHANG, and Y.-J. ZHU : Impact of CHAMP Radio Occultation Observations on Global Analysis and Forecasts in the Absence of AMSU Radiance Data

Challenging Minisatellite Payload (CHAMP) 電波掩蔽 (RO) 観測の2週間分が、GPS 偏角データ同化のために最近改良された観測オペレーターを用いた米国国立環境予報センター (NCEP) 3次元変分法 (3D-Var) システムを使って、全球解析に同化された。本研究で用いた、NCEP 3D-Var システムは Advanced Microwave Sounding Unit (AMSU) 輝度が実験で使われていないため最適なものではない。CHAMP 観測を含む解析 (GPS analyses) と含まない解析 (NO-GPS analyses) の相互比較、また観測と同じ場所の通常のラジオゾンデ及びドロップゾンデデータこれらは両方の解析から除かれている一との比較が行われた。

経度平均した気温、湿度、及び地上気圧の GPS analyses と NO-GPS analyses の差が調べられた。GPS analyses は南半球、特に中高緯度で、NO-GPS ana-

lyses よりも高い気温を示した。GPS analyses は NO-GPS analyses に比べて、対流圏の下層でより乾燥、中層でより湿潤である。GPS 観測を含めたことで、地上気圧は、若干南半球で増加 (最大0.8hPa)、北半球で減少 (最大0.25hPa) した。観測と同じ場所の独立したサウンディングと比較すると、CHAMP 観測を含まない場合の南半球の解析の大きな負の気温バイアス (最大2.5 K) が約4割減少している。CHAMP データが含まれたときに、平均で20%の気温解析誤差の減少が南半球で得られた。地上気圧解析誤差の CHAMP を含む場合と含まない場合の差は、0.8 (1.5 hPa 以下) である。CHAMP 掩蔽を含む解析と含まない解析を初期とする数値予報の比較は、CHAMP 観測を用いることで、熱帯と南半球の予報に小さな改善があることを示す。

Lubomir P. GRADINARSKY · Per JARLEMARK : 水蒸気分布の推定のための地上型 GPS トモグラフィ：仮想データと実データを用いた解析

Lubomir P. GRADINARSKY and Per JARLEMARK : Ground-Based GPS Tomography of Water Vapor : Analysis of Simulated and Real Data

GPS トモグラフィと呼ばれる手法を提案し、その性能を調べた。GPS トモグラフィは大気の水蒸気による屈折率の3次元分布の推定に使われている。GPS トモグラフィで用いられる基本的な観測量である視線遅延量の推定と、その欠点も議論した。

GPS 視線遅延量と、独立した観測量である水蒸気ラジオメータのデータとも比較をおこなった。さらに、本研究では、トモグラフィ法の2つの手法を用いて水

蒸気の鉛直分布の再現性を議論した。2つの手法とも、屈折率の統計的な分布を利用したカルマンフィルターであるが、カルマンフィルターの共分散行列の作成法が異なっている。スウェーデンの8台の地上型 GPS 受信機のネットワークを用いて作成した仮想データと観測した実データから再現した結果から、GPS トモグラフィには、推定した視線遅延量の誤差と粗い視線分布にともなう限界があることが示された。

野口 渉 · 吉原貴之 · 津田敏隆 · 平原和朗 : 移動セル法を用いたトモグラフィによる GPS つくば稠密観測の水蒸気時空間分布推定

Wataru NOGUCHI, Takayuki YOSHIHARA, Toshitaka TSUDA, and Kazuro HIRAHARA : Time-Height Distribution of Water Vapor Derived by Moving Cell Tomography During Tsukuba GPS Campaigns

2000年10~11月および2001年7~8月に茨城県つくば市周辺で15 km 四方程度の範囲内に受信機75台を配

置して GPS 稠密観測が行われた。その際の水蒸気の時空間分布を明らかにする目的で視線方向遅延量のト

モグラフィ解析を行った。本研究ではこの解析に Seko et. al. [2000] が数100 km スケールを対象に行っている移動セル法を導入し、推定時間間隔の改良を行

い10分毎の分布を推定した。その結果、他の機器で観測された気象現象に合致する水蒸気分布が得られた。

瀬古 弘・中村 一・小司禎教・岩淵哲也：GPS 稠密観測で観測した雷雨にともなうメソ γ スケールの水蒸気分布

Hiromu SEKO, Hajime NAKAMURA, Yoshinori SHOJI, and Tetsuya IWABUCHI : The Meso- γ scale Water Vapor Distribution Associated with the Thunderstorm Calculated from a Dense Network of GPS Receivers

2000年秋と2001年夏につくばGPS稠密観測を行い、メソ γ スケールの水蒸気分布を測定した。観測期間内の2001年8月1日に発生した雷雨について、雷雨に伴う水蒸気変動を75台のGPS受信機と20台の地上測器で観測し、GPS受信機からGPS衛星までの水蒸気量である視線水蒸気量にトモグラフィ法を適用して、水蒸気の3次元分布を求めた。

本研究では、マルチパスやアンテナ位相中心変動などの誤差因を取り除き、十分な精度で推定した視線水蒸気量を用いた。仰角の影響を除くために視線水蒸気量を鉛直方向に変換した値 (VSWV) を比較すると、近接する受信機と同じ衛星に対するVSWVは相関が大きく、雷雨の発達時では移動する雷雨に相対的な受

信機の位置によってVSWVが異なっていた。これらの結果から、視線水蒸気量が雷雨の水蒸気分布の情報を含んでいることが分かった。また、視線水蒸気量の変動とGPS受信機周辺の可降水量分布との対応を調べると、VSWVが大きい視線の方角とPWVが大きい領域のある方角が一致していた。

トモグラフィ法で推定した水蒸気分布とドップラーレーダで観測した反射強度を比較すると、水蒸気量の大きな領域は、地上付近では降水域の北側にあり、高度3 kmよりも上側では、反射強度が強まる領域で大きかった。また、対流が発生期では、降水エコーの出現する20分前に、高度1 kmよりも上側で水蒸気量が増大していた。

Borys STOEW・Gunnar ELGERED：北欧の地上GPS観測網による大気遅延パラメータの特徴

Borys STOEW and Gunnar ELGERED : Characterization of Atmospheric Parameters using a Ground Based GPS Network in North Europe

GPS受信機のネットワークを用いて推定された天頂方向の湿潤遅延量 (ZWD) および全遅延量 (ZTD) の時空間変化の特徴を調査した。この様な調査は大気の水蒸気モデリングの改良や検証、GPS気象学への適用、そしてナビゲーションにとって重要である。

我々は、天頂方向の静水圧遅延量 (ZHD) と ZWD の推定値をランダムウォークに従う確率論的プロセスの実現値として扱い、そのパラメータを、異なる場所や観測手法で、1時間および3時間間隔のデータに対して求めた。1997-1998年の期間について、本研究で扱っ

た観測点の全てにおいて、ZTDの月ごとの標準偏差は50 mm以下であり、顕著な季節変化は見られなかった。しかしながら、観測点間のZTDの差には季節依存性が見られ、それはZWDの空間的な変化によるものと考えられる。このことは、GPSのデータを数値予報モデルに同化する際に考慮すべき点である。

北欧の冬及び夏におけるZHDとZWDの典型的な空間分布の特徴の違いを示す。最後に、ZTDの急速な変化を検出するために時間構造関数を利用することについて記述する。