

## つくば GPS 稠密観測：GPS 解析の改良と水蒸気トモグラフィー

Tsukuba dense network GPS observation campaign: Correction of phase center variation, and water vapor tomography.

# 小司 禎教[1], 瀬古 弘[2], 岩淵 哲也[3], 中村 一[4], 青梨 和正[5], 三島 研二[6], 板垣 昭彦[7], 市川 隆一[8], 大谷 竜[9]

# Yoshinori Shoji[1], Hiromu Seko[2], Tetsuya Iwabuchi[3], Hajime Nakamura[4], Kazumasa Aonashi[5], Kenji Mishima[6], Akihiko Itagaki[7], Ryuichi Ichikawa[8], Ryu Ohtani[9]

[1] 気象研・予報・3研, [2] 気象庁・気象研・予報, [3] 学振(気象研), [4] 気象研・予報, [5] 気象研予報, [6] 測技協, [7] 気象協会・開発本部, [8] 通総研, [9] 産総研

[1] Third Lab of Forecast Dep., MRI, [2] Forecast Dep., MRI, JMA, [3] JSPS (MRI), [4] MRI, [5] FRD, MRI, [6] APA, [7] JWA, [8] CRL, [9] GSJ,

AIST

### 1. はじめに

2000年秋(10/14-11/13)と2001年夏(7/14-9/3)の計約2.5ヶ月間、茨城県つくば市周辺20km四方に1~3km間隔で75箇所のGPSアンテナを配置したGPS稠密観測が実施された。メソスケールの水蒸気変動のGPS解析に与える影響を調査すると共に、積雲対流等の現象に伴う水蒸気の動態を解明することが目的である。ここではGPSアンテナの位相中心変動・マルチパス)の補正効果について述べ、それを用いた水蒸気3次元トモグラフィーについて報告する。

### 2. 観測の概要

GPSは、カットオフ仰角を0度とし、1秒サンプリングを行った。原則1サイトに1受信機だが、気象研究所と国土地理院では、比較のため3機種で観測を行った。両サイトでは水蒸気ラジオメータを用いてGPS衛星方向の水蒸気量観測を行った。2000年秋の観測では高層気象台に6時間間隔のゾンデ観測を実施してもらい、3時間ずらして6時間間隔でヴァイサラGPSゾンデを放球した。22箇所に地上気象測器を設置し1分サンプリングで観測を行った。

### 3. アンテナ位相特性と反射波の影響、及びその補正

GPSは、衛星から発射された搬送波の位相を観測するが、受信する角度(主に仰角)によって位相が変化する。稠密観測で最も多く用いたTrimbleグランドプレーンでは遅延量換算で最大50mmもの位相中心変動がある。アンテナ位相特性は機種毎に共通しているため、GPS解析では通常、IGSが公開しているアンテナ機種別の位相特性モデル(仰角方向のみ記述)により補正を行う。一方、観測点によっては周囲の構造物からの反射波が誤差をもたらす。個々の観測点の観測環境に依存するため、アンテナ機種によるモデル化できない。

これらの誤差は、搬送波の入射角に依存し、GPS衛星の配置は1恒星日周期で繰り返すため、GPS解析でアンテナ座標と大気遅延量が解析された後、事後残差を入射角別にあるまとまった期間蓄積し平均することで、推定することができる。今回、IGSモデルを用いた解析結果の事後残差を仰角2度、方位角5度単位で31日間残差をスタッキングし、補正テーブルを作成し、結果を比較した。

GPSから衛星方向の水蒸気量を解析するためには、まず視線遅延を解析する。視線遅延は、天頂方向の大気遅延量にマッピング関数を乗算し、事後残差を加えることで算出するため天頂遅延量を正しく解析することが重要である。事後残差をIGSモデルを用いた解析結果と、事後残差スタッキングによる補正テーブルの解析結果とを比較すると、IGSモデルによる補正では、10mm程度の振幅で事後残差が変動するが、補正テーブルを適用した結果仰角に対して均質な事後残差が得られることがわかった。また、気象研に設置したGPSデータから解析したGPS可降水量と、気象研に設置した水蒸気ラジオメータや、高層ゾンデ観測による可降水量を比較すると、両者共にRMS誤差2mm未満で一致していた。

### 4. トモグラフィー法で推定した水蒸気分布

これまで述べてきたように、残差スタッキングやアンテナの位相特性を考慮することにより、視線水蒸気量を精度良く求めることができる。この視線水蒸気量は、大気を分割したセル内の視線の長さでセル毎の水蒸気密度の積を視線にそって積算した値と一致する。この関係を観測方程式に用い、水蒸気分布の3次元分布を最小自乗法等で推定するトモグラフィー法が開発されている。

稠密観測領域内に背の低い小さい降水域が存在した10月23日21時10分から40分にトモグラフィー法を適用すると、下層2km以下では、北に移動する水蒸気偏差を追跡することができた。この偏差の移動方向は観測した水平風と矛盾しなかった。しかし、降水域と水蒸気の正偏差域とは一致していなかった。降水自体が弱く、水蒸気偏差の値も大きくなく、トモグラフィー推定に十分な精度で視線水蒸気量が解析できていないのかもしれない。

今後は、水蒸気偏差の大きい2001年夏の稠密観測の事例を解析するとともに、降水域以外の水蒸気偏差の原

因を調べる。