

GPS/MET JAPAN の概要

内藤勲夫 (国立天文台地球回転研究系)

科学技術庁振興調整費による「GPS 気象学による水蒸気情報システムの構築と気象学、測地学、水文学への応用に関する研究 (GPS/MET Japan)」の第 1 期計画が本年からスタートする運びとなった。ここでは、その背景、目的、戦略、課題、目標などを手短かに紹介する。なお、詳細は科技庁 (1997) あるいは内藤 (1996) などを参照されたい。

GPS/MET Japan の背景とこれまでの経過

GPS の衛星軌道情報の高精度化によって、GPS 電波の大気 (伝播) 遅延の高精度観測が可能となり、その気象学的利用を目指す「GPS 気象学」が米国の研究者達から提唱された (例えば、Businger et al, 1996 ; Ware et al, 1996 を参照)。GPS による可降水量の観測精度は約 1.5 mm で、これはラジオゾンデのそれにほぼ匹敵している。

一方、地震国の我が国は世界に例を見ない稠密な GPS による地殻変動の連続観測網 (図 1) を整備してきたが、水蒸気に起因する大気遅延誤差がその最大の障害となっていた。とりわけ鉛直成分の誤差は我が国の湿潤な気候を反映してしばしば数 cm に及ぶ。従って、この誤差を如何に処理するかが我が国の GPS 観測上の大きな課題となっている。

さて、気象学にあっては、水蒸気の信頼できる観測は長い間ラジオゾンデのみに依存してきたが、その時間空間分解能には限界があった。それに代わる方法として近年では衛星や地上からのラジオメーターによるリモートセンシングが実用化されているが、めまぐるしく変わる水蒸気の動態を定常観測で捕らえるには程遠く、とりわけ陸上での水蒸気観測にはまだ解決すべき多くの課題を残している。こうした水蒸気観測の不備は我が国特有の集中豪雨などの成因となるメソ気象のモデル化の研究の障害となってきた。

幸いに、我が国の測地学分野においても、GPS の導入をきっかけとして測地観測に及ぼす大気遅延の研究 (例えば、田中、1986) や、数値予報データに基づく大気遅延の評価が進められてきた (市川・他、1997)。そして、現在、GPS の集中観測による水蒸気変動の総合研究 (田中、1995) が文部省科学研究費の支援を受けて実施されている。こうした状況の中で、GPS/MET Japan は国土地理院から科学技術庁に提案され (辻・他、1995)、過去 2 回のワークショップ (畑中・他、1996 ; 青梨・他、1997) と昨年 の F S を経て、本年度から第 1 期 (3 ヶ年) 研究計画としてスタートすることとなった。その基本的な目的は次のように要約される。

GPS/MET Japan の目的と戦略

国土地理院の全国 GPS 連続観測網から得られる水蒸気情報を気象庁数値予報システム (4 次元データ同化システム : 4DDA) に取り込み、メソ気象予報などの向上に資する一方で、4 DDA 出力 (数値予報データ) を国土地理院などの測地観測分野にフィードバックして、GPS をはじめとする様々な宇宙測地観測の精度向上に役立たせることを基本とし、こうした過程で生産される水蒸気情報を水循環研究などの学際科学分野の様々な目的に応用するための「水蒸気情報データベース」を構築する。図 2 はその概念図を、また図 3 はその戦略図を示す。その課題と論点をまとめると次のようになる。

GPS/MET Japan の課題とその問題点

課題は大きく分けて、(1) GPS 可降水量の推定と評価に関する研究、(2) GPS 可降水量に基づく数値予報の研究、(3) 宇宙測地の精度向上に関する研究、(4) GPS リアルタイム解析技術の開発、(5) 水蒸気情報データベースの開発、(6) 水蒸気情報の学際的評価・利用に関する研究、が想定されている。

(1) では既に大谷・他(1997)の精密暦に基づく可降水量の推定とそのラジオゾンデによる評価がなされているので、今後は放送暦あるいは予報暦に基づく推定と評価が焦点となる。(2) では国土地理院における定常観測から得られる3時間毎のGPS可降水量を取り込んだ4DDAのインパクト実験とそれによる高時空間分解能数値予報モデルの開発が主題となる。(3) ではインパクト実験出力データ(数値予報データ)に基づいて算出された様々な大気遅延モデルをGPS観測データで評価することが当面の課題である。この場合、ラジオメーターによる衛星方向の大気遅延を取り込んだ解析でGPS観測精度の向上を果たしているWare et al(1997)の解析技術を如何に取り入れるかが焦点となる。(4) では3時間毎の国土地理院のGPS定常解析を如何にして高速化するかが当面の目標である。(5) では国土地理院のGPS定常解析システムで得られたSINEXファイルに蓄積されている残差ファイル(この大半が大気遅延情報である)をGPS気象学の立場から厳密に評価検証することが当面の課題である。(6) では以上の5つの課題を視野に入れた水蒸気情報の利用技術の基礎開発が当面の課題である。

GPS/MET Japan が達成すべき目標

以上は第1期(3ヶ年)のおおよその目標であるが、第2期(2ヶ年)を含む5年間の目標をどう設定するかは、この研究が世界に先駆けた計画であるだけに、多くの議論があると思われる。筆者はその目標を上記基本目的に沿った「国土地理院と気象庁との間の情報のパイプの敷設」に置いている。図3で明らかのように、この情報のパイプは双方向であること、すなわち、フィードバックシステムを構成することが基本である。そこで、既に国土地理院ではGPS情報を速やかに公開するためのシステムの構築を始めているので、まずこれを支援してより学際的なシステムとして充実させることが第一の目標となる。千葉大学環境リモートセンシング研究センターなどとの情報のリンクはこのシステムの学際的波及効果を高める上で極めて重要な役割を果たすと考えられる。

一方、気象庁からフィードバックされた気象情報に基づく測地観測の精度向上に関する課題における目標の設定はまだ研究がスタートしていない現状では極めて難しいが、上記の論点を十分に見極めた「測地分野と気象分野の理解の一致」が当面の目標になるだろう。この場合、測地分野においては「大気遅延の補正」と言う従来の概念から脱却することが肝要であろう。言い換えれば、従来の誤差としての大気遅延情報の「統計的な理解」から、今後は図3のダイアグラムにおける大気遅延情報の「物理的な理解」に前進させることが上記の理解の一致の鍵となるだろう。

謝辞

GPS/MET Japan の立ち上げに多大の協力をいただいた科学技術庁のFS推進委員・作業部会委員、実行計画作業部会委員に厚く感謝いたします。

参考文献

- 青梨和正・他 (1996) : 第2回 GPS 気象学ワークショップ報告、天気、44、47—50.
- Businger et al (1997) : The promise of GPS in Atmospheric monitoring, Bull. Ame. Meteor. Soc. , 77, 5—18.
- 畑中雄樹・他 (1996) : 第1回 GPS 気象学ワークショップ報告、天気、43、181—186.
- Ichikawa, R. et al (1997) : Positioning Error in GPS Measurements due to Atmospheric Excess Path Delay Estimated from Three—Dimensional, Numerical Prediction Model Data, J. Geod. Soc. Japan, 42, 183—204.
- 科学技術庁 (1997) : GPS 気象学による水蒸気情報システムの構築と気象学、測地学、水文学への応用に関する研究、平成8年度科学技術庁特別研究 (FS) 報告書.
- 内藤勲夫 (1996) : 水蒸気を測る : GPS 気象学のねらい、水文・水資源学会誌、9、570—578.
- 大谷 竜・他 (1997) : 国土地理院 GPS 観測網から推定された可降水量、天気 (印刷中).
- 田中寅夫 (1986) : 誤差要因、GPS、日本測地学会編、日本測量協会発行、147—167.
- 田中寅夫 (1995) : 対流圏 GPS トモグラフィーとそれに基づく GPS 測位の高精度化、平成7年度文部省科学研究費基盤研究 (A) 申請書.
- 辻 宏道・他 (1995) : GPS 気象学による水蒸気情報システムの構築と天気予報、地震予知、陸水研究への応用に関する調査研究、科学技術庁特別研究資料.
- Ware, R. et al (1996) : GPS sounding of Atmosphere from low earth orbit : Preliminary results, Bull. Ame. Meteor. Soc. , 77, 19—40.
- Ware, R. et al (1997) : GPS surveying with 1mm precision using corrections for atmospheric slant delay, submitted to GRL.

ワークショップ (WS) 後記

今回のWSでの第一の印象は気象側と測地側の息がピッタリ合い、WSがGPS/MET Japanのキックオフ・ミーティングとして十分に機能していたことであろう。そこで、WSで提案されたそれぞれの課題についての筆者の個人的な印象を追記しておきたい。

まず、気象学的立場からのGPS可降水量の評価についてはねらいどおりの観測研究計画が着々と進行しているとの印象を強く受けた。特に我が国の島国地形に拘束された局地循環の解明は地形性の降水現象の解明やGPS測位誤差の解明に大きく貢献することが期待される。一方、測地学的立場からのGPS可降水量の評価についてもユニークな観測研究計画が準備されている。とりわけ高山におけるGPS観測は隆起・沈降の検出などの測地学的目的に加えてこれまで観測例がない山岳部における水蒸気の振る舞いを捕らえる上でも貴重なデータを提供するだろう。

宇宙測地の精度向上に関しては測位誤差が如何なる大気遅延分布 (あるいは気象現象) と結びついているかの初歩的なサーベイが極めて重要であるとの印象を持った。こおしいたサーベイはトモグラフィー技術の開発においても研究の初期値となるであろう。また、トモグラフィー技術の開発目標をさしあたり Slant Path における大気遅延の検出に置くことによって、ラジオメーターによる観測や数値予報データに基づく宇宙測地の精度向上のためのソフトウェアの改造の研究が大きく前進するとの期待を持っている。

最後に、GPS水蒸気情報システムに関する課題については、いずれも今後の環境科学の進展にインパクトをもたらすものとして大いに期待できるだろう。これらの基礎研究が上記の他の課題と密接な連携のもとに推進されることを期待している。それには気象庁データの公開が急務である。

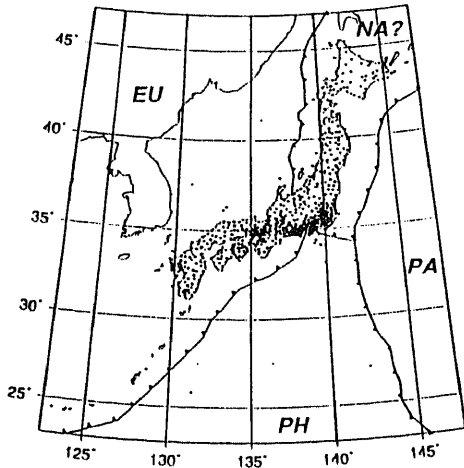


図1 国土地理院全国GPS連続観測網。

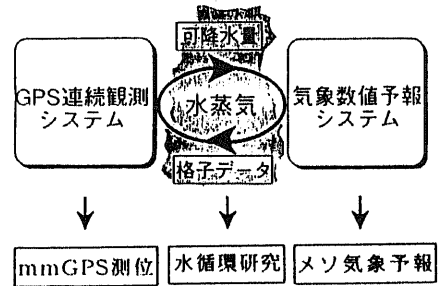


図2 GPS/MET Japan の概念図。

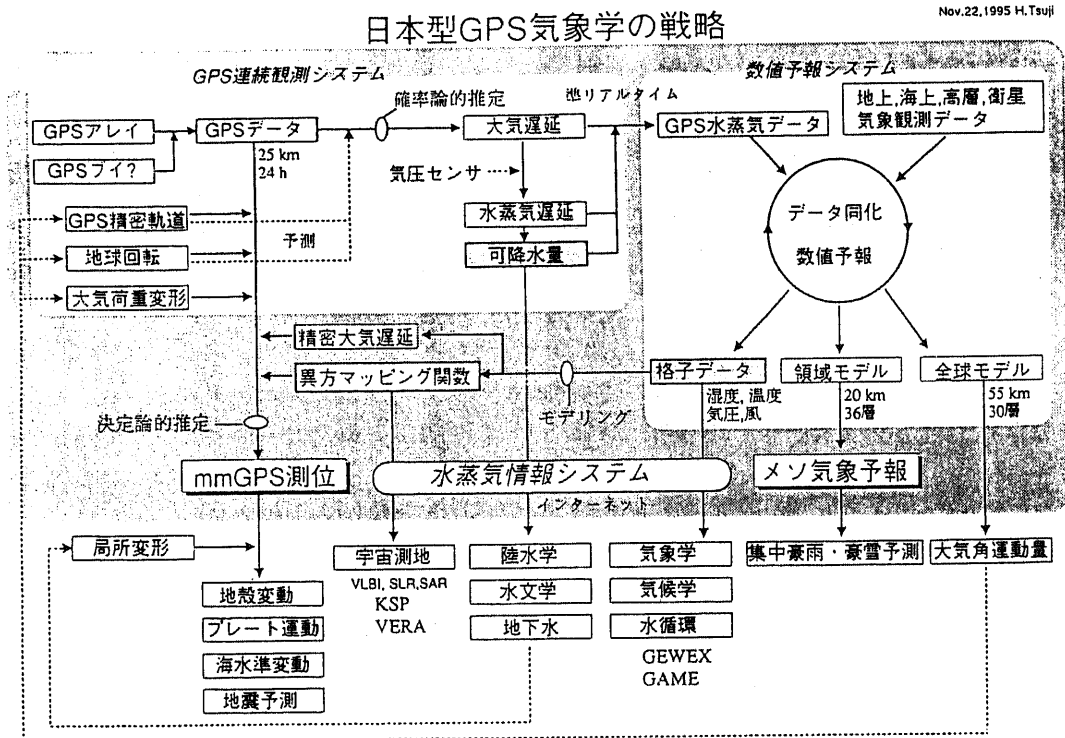


図3 GPS/MET Japan の戦略ダイアグラム。