

内藤勲夫 (国立天文台地球回転研究系)

岩手県水沢市星が丘町2-12 (E-mail: naito@miz. nao. ac. jp)

Isao Naito (Earth Rotation Div. NAO)

Mizusawa-shi, Iwate-ken, 023 Japan

はじめに

GPS 気象学とは GPS (全球測位システム) による水蒸気可降水量などの観測とその天気予報、地球温暖化監視などへの応用研究のことである (Businger, 1996 ; Ware et al, 1996 ; 内藤, 1996)。GPS による可降水量の推定を可能にしたのは衛星軌道の精密化と GPS 解析ソフトウェアの向上である。我が国ではアメダス観測網に匹敵する国土地理院の全国 GPS 連続観測網(図 1)から得られる可降水量データの利用が可能である (畑中・他, 1996 ; 青梨・他, 1997)。ここでは、国土地理院の日本列島規模の GPS 観測網の利用をベースとして本年度からスタートした日本の GPS 気象学プロジェクト (GPS/MET JAPAN) のねらい、国土地理院の GPS 水蒸気情報の性質、GPS がとらえた日本列島上空の水蒸気の動態、環境科学をはじめとする学際科学への利用のための GPS 水蒸気情報データベースなど、について手短かに紹介する。

GPS/MET JAPAN の基本的なねらい

日本の GPS 気象学プロジェクトは次のような基本的なねらいを持つ。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日本列島における高空間分解能の水蒸気情報の水循環研究、環境科学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。プロジェクトの概念図を図 2 に、またその戦略図を図 3 に示す。

現在、プロジェクトは、図 3 の戦略ダイヤグラムに従って、次の 6 つの課題に分けられて推進されている。すなわち、(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、である。表題の GPS 水蒸気情報の環境科学への応用は主として上記の (5)、(6) の課題の中に取り込まれている。

なお、プロジェクトの詳細は昨年度実施されたフィージビリティ・スタディー

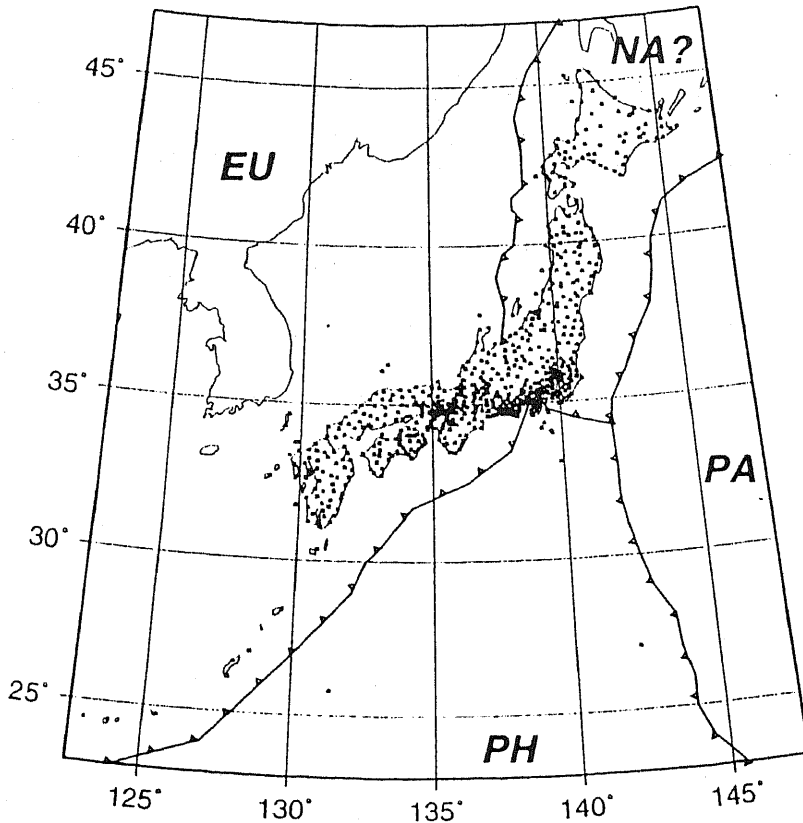


図1 国土地理院の全国GPS連続観測網の観測点配置図。観測点数は本年度中に約1000点となる。科学技術庁(1997)による。

GPS気象学

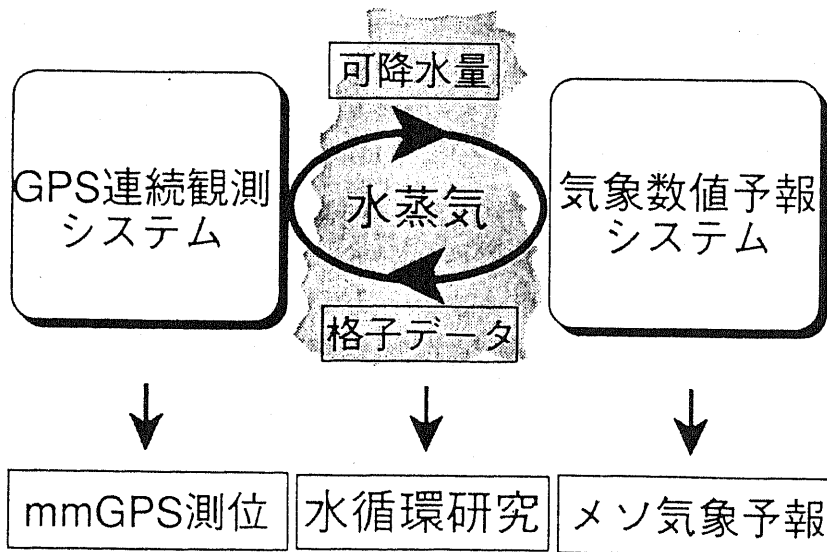


図2 日本のGPS気象学研究プロジェクト(GPS/MET JAPAN)の概念図。科学技術庁(1997)による。

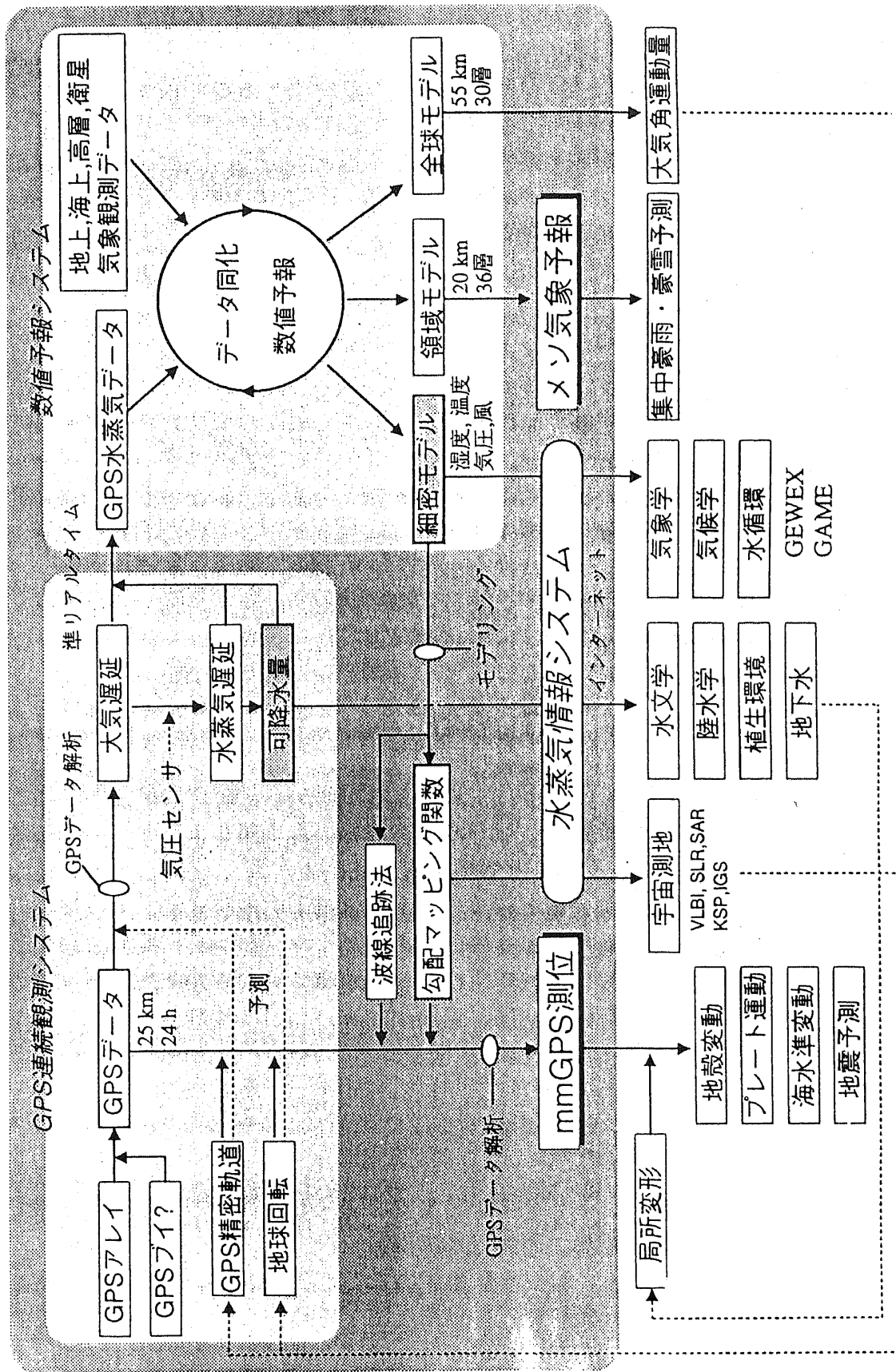


図3 日本のGPS気象学研究プロジェクト(GPS/MET JAPAN)の戦略ダイアグラム。科学技術庁(1997)による。

(F S)の最終報告書(科学技術庁、1997)、あるいはその解説(内藤、1996)、または本年6月に千葉大学で開催されたGPS気象学ワークショップ報告(中村・近藤、1997)を参照されたい。

GPS 水蒸気情報の性質

GPS 水蒸気情報は次のような性質を持つ。(1) GPS から得られる水蒸気情報は水蒸気量の鉛直積分値である可降水量だけである。(2) 可降水量は高さ毎にほぼ高さと同じ半径を持つ円の面積で平均された水蒸気量の鉛直積分値である。

(3) 可降水量の時間分解能は、原理的には10分程度まで可能であるが、現実的には1時間ないし3時間である。(4) 国土地理院のGPS観測網データを使用する場合の可降水量の空間分解能は地域によってやや違いがあるが(図1参照)おおむね2.5 km程度である。(5) 可降水量の精度は約1.5 mmで、しかも雨などの影響をほとんど受けない。(6) 国土地理院の観測点は島を含む陸上に限られ、また山岳部では盆地に設置されている。詳細は大谷・他(1997)、科学技術庁(1997)、あるいは本年度末に出版予定の気象研究ノート「GPS気象学」特集号などを参照されたい。

以上はGPS可降水量情報そのものの性質であるが、国土地理院のGPS水蒸気情報を気象庁の数値予報システムに取り込んで得られる4DDAデータに基づく水蒸気情報の構築もGPS/MET JAPANの目標の一つであることから、将来的には3次元水蒸気情報の利用も可能となると考えられる。

国土地理院 GPS 観測網がとらえた可降水量の動態

参考のために最新の成果を2、3紹介す

る。図4は国土地理院のGPS観測網(図1)から気象庁の8つのラジオゾンデ観測点に近いGPS観測点を選び出し、GPSで得られた可降水量とラジオゾンデによるそれとを比較したものである。両者の観測点が同一地点ではないにもかかわらず、両者はほぼ1対1の関係を示し、GPSが水蒸気センサーとしての役割も十分に果たすことを示している。しかし、よく見ると、国土地理院の地殻変動の定常観測を目的としたGPS解析で得られたGPS可降水量(右側の図)はラジオゾンデ可降水量に対しやや小さな値を示すのに対し、可降水量の推定を目的としたGPS解析で得られたGPS可降水量(左側の図)はほぼラジオゾンデ可降水量に近い値を示すが、この程度の違いは国土地理院に可降水量を目的としたGPS解析システムの導入によって容易に解消されると考えられる。

図5は潮の岬における同様の比較を時間を追って示したものである。午前9時と午後9時の1日2回のラジオゾンデ観測では捕えられない水蒸気量の急激な変化がGPSで見事に捕えられている。

図6は今年の9月1日から2日にかけて日本列島を南北に横たわった秋雨前線(右上の天気図参照)がゆっくり東に移動したときの国土地理院の定常解析で得られた可降水量の様子を示す。ただし、この図では乾燥空気による大気遅延は除去されていないが、この期間の気圧変化が数hPaであったことから、図の大半の変動は可降水量の変動で、水蒸気が前線にへばりついている様子が明瞭に見て取れる。同様に、3時間毎の可降水量の日変化を描くと夏期では顕著な日変化を示し、GPS水蒸気情報が気象学のみならず環境科学をはじめとする様々な学際分野に寄与する可能性を秘めていることがわかる(岩淵・内藤、1997)。

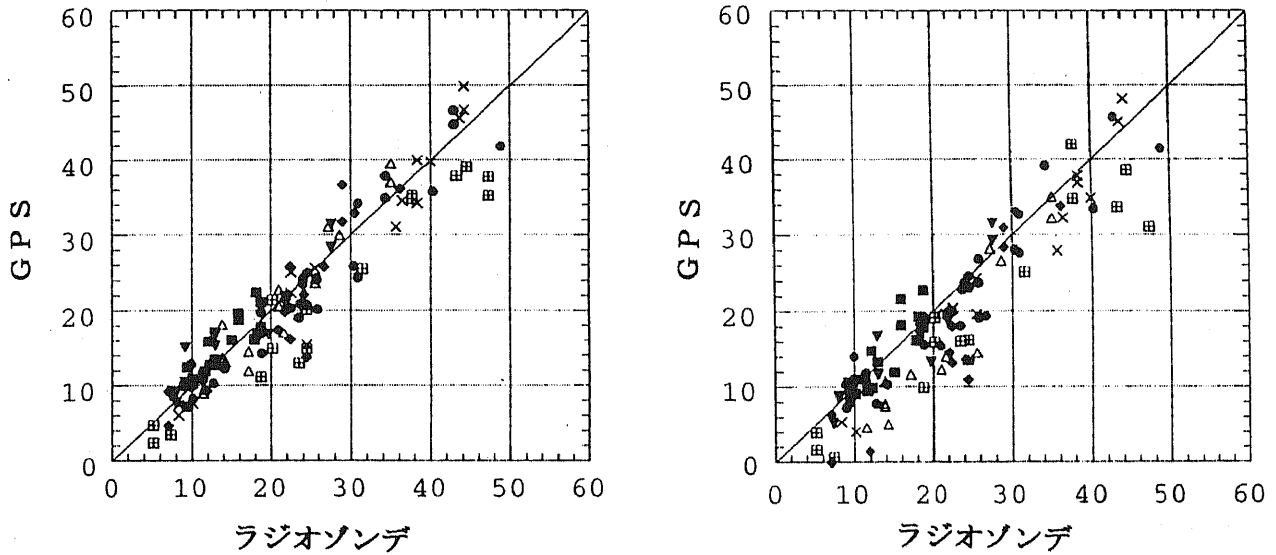


図4

気象庁の8つのラジオゾンデ観測点におけるGPSとラジオゾンデによる二つの可降水量の相関。単位はmm。左：GIPSYソフトウェアに基づいて大気遅延の推定を目的として解析した結果、右：GAMITソフトウェアに基づく国土地理院の地殻変動の定常解析（ルーチン）の結果。
科学技術庁（1997）による。

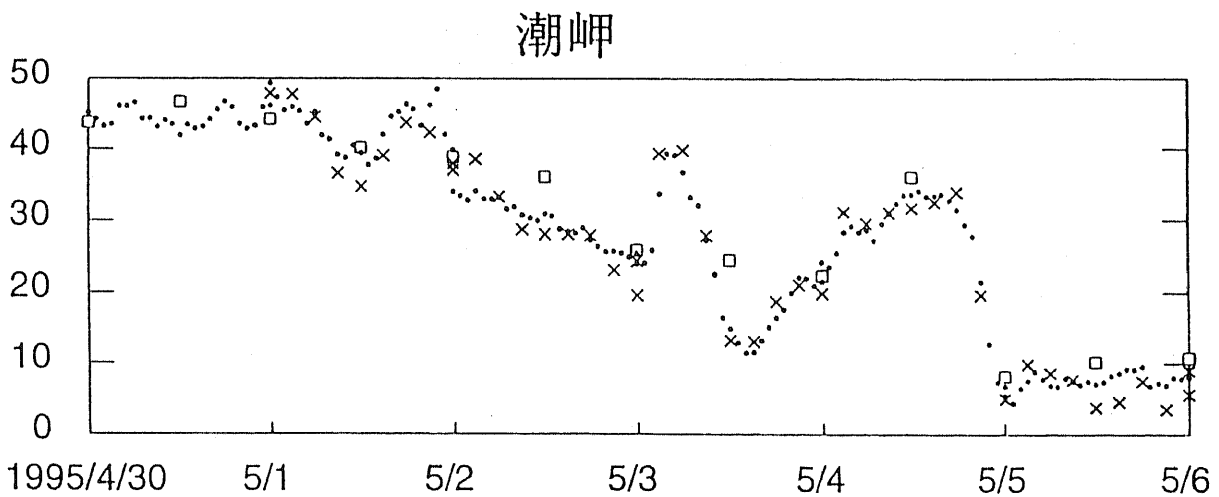


図5

潮の岬におけるGPSとラジオゾンデによる二つの可降水量の時間変化の比較。単位はmm。黒点はGPS観測からGIPSYソフトウェアで推定された1時間毎の値、×印はGPS観測からGAMITソフトウェアで国土地理院によって定常的に推定された3時間毎の値、□印はラジオゾンデによる値をそれぞれ示す。
科学技術庁（1997）による。

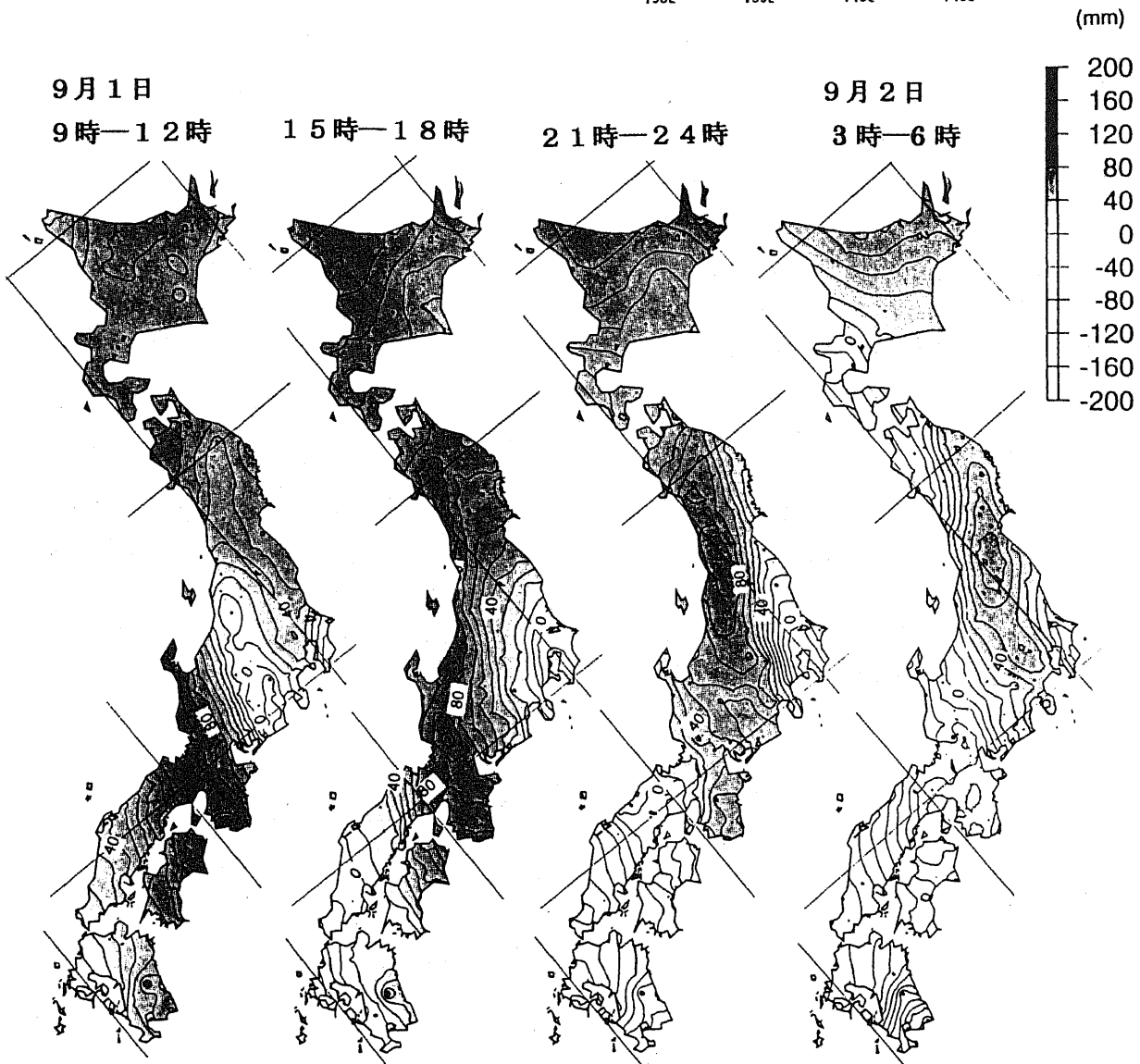
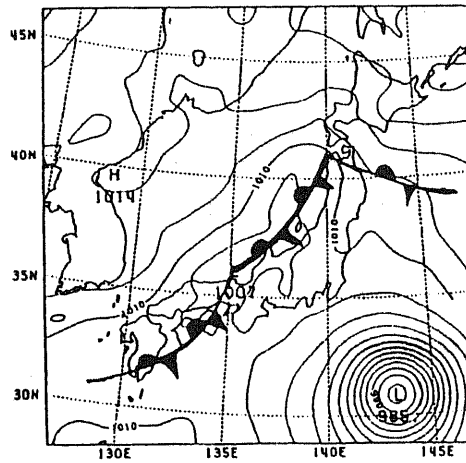


図6

下：1996年9月1日から2日にかけて国土地理院の全国GPS連続観測網がとらえた前線通過に伴う可降水量の変化（図のスケールに0.15を乗じた量）。ただし、可降水量の平均値は除去されている。右上：1996年9月1日午前9時の天気図。岩淵・他（1997）による。

学際利用のための GPS 水蒸気情報データベースの構築

国土地理院における GPS 情報は二つの形式でファイルされている。一つは RINEX ファイルと呼ばれる生の観測データで、他の一つは SINEX ファイルと呼ばれるソフトウェアで解析されたデータである。図6のような日本列島スケールでの水蒸気情報の利用は後者に基づいており、ユーザーはインターネットでアクセス可能な状況にある。また、現在、国土地理院では GPS 水蒸気情報データベースの構築を千葉大学環境リモートセンシング研究センターの近藤昭彦氏の協力を得て推進中である。これによって、近い将来、千葉大学のデータベースを中継基地として、GPS 水蒸気情報のリモートセンシングのための大気補正をはじめ水文学・環境科学などへの学際利用が促進されると思われる。

おわりに

GPS 気象学プロジェクトには、ここで紹介した測地目的の GPS 観測網データを利用するプロジェクトの他に、米国が推進中の低高度衛星に搭載された受信機で大気全層の気温と水蒸気量の鉛直プロファイルを全球規模で観測し、地球温暖化の監視に役立てようとするプロジェクトがある (Ware et al, 1996)。これら日米双方の GPS 気象学は研究対象の空間スケールにおいて互いに相補的關係にあり、また共に地球温暖化あるいはその影響の監視に寄与すると言う性格を持つ。その意味で、今後、GPS が地球システム変動の監視センサーとして大きな役割が期待されている。

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. Am. 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.
- 岩淵哲也・他 (1997) : 国土地理院の全国 GPS 連続観測網がとらえた前線に伴う水蒸気可降水量の動態、天気 (投稿中).
- 岩淵哲也・内藤勲夫 (1997) : 国土地理院 GPS 解析結果から取り出した日本域の可降水量の日変化、1997 年日本気象学会秋季講演会予稿集、296.
- 科学技術庁 (1997) : 平成8年度科学技術振興調整費「GPS 気象学による水蒸気情報システムの構築と天気予報、地震予知研究、陸水研究への応用に関する調査」(最終報告書)、科学技術庁研究開発局海洋地球課.
- 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.
- 中村 一・近藤昭彦 (1997) : 「GPS による日本列島の水蒸気可降水量情報のデータベース化と気象学、環境科学、水文学などへの利用に関する研究会」集録 (印刷中) .
- 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、44、317—325.
- Ware et al (1996) : GPS sounding of the atmosphere from low orbit : Preliminary Results, Bull. Am. Met. Soc. , 77, 19—40.