

①研究概要

GPS気象学：GPS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

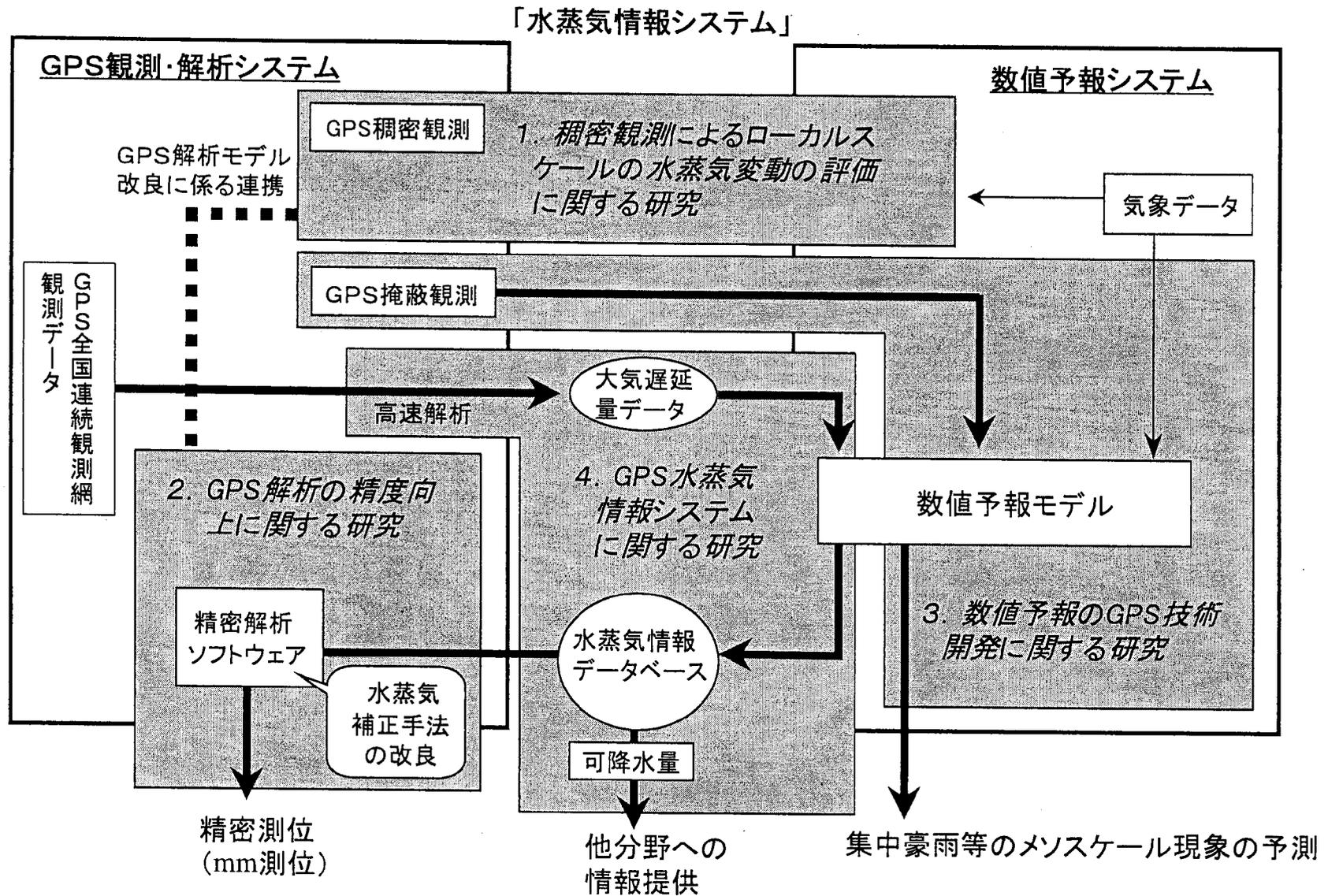
(平成12年度～平成13年度、第Ⅱ期)
H13年度予算額：1.60(億円)
研究体制：内藤勲夫(国立天文台)他12機関

研究の概要・目標
<p>1 何を目指しているのか 1000点を有するわが国の全国GPS連続観測網データの解析とGPS稠密特別観測によって、日本列島上空の水蒸気の3次元構造を解明し、日本域における天気予報の改善と日本列島における地殻変動監視の信頼度の向上を目指している。</p>
<p>(第Ⅱ期の目標)稠密観測によるローカルスケールの水蒸気現象の把握、高時間分解能の可降水量データベース構築による測地精度・数値予報精度の改善。</p>
<p>2 何を研究するのか 局地的な水蒸気分布に伴う降水現象のメカニズム、水蒸気の偏在に起因するGPS測位誤差の振る舞いなどに関する基礎研究。</p>
<p>3 何が新しいのか GPS稠密観測データなどによって、従来の気象観測実験では得られない高時間・高空間分解能の水蒸気の3次元構造が解明されること。</p>

諸外国の現状等
<p>1 現状 GPSが捉える大気情報の気象学的利用(GPS気象学)には、地上で水蒸気の積分量(可降水量)を捉える地球基地型GPS気象学と低軌道衛星で全球的な上層大気温度構造を捉える宇宙基地型GPS気象学がある。これらは共に米国で提案されたが、現在では、日本、米国、欧州で研究開発が進められている。</p>
<p>2 我が国の水準 わが国の地球基地型GPS気象学の水準は今や世界をリードする水準に到達しつつある。これには世界に類を見ない1000点を有する国土地理院の全国GPS連続観測網による豊かな研究資源が大きく寄与している。</p>

研究進展・成果がもたらす利点
<p>1 世界水準との関係 GPS稠密特別観測による水蒸気の3次元構造の推定に成功すると、降水予報の向上、GPS鉛直測位誤差の低減手法などの開発研究で世界をリードすることができる。</p>
<p>2 波及効果 ・水蒸気の局地的な振る舞いの解明が降水予報の改善を促す。 ・GPS測位誤差の低減が地殻変動監視の信頼度を向上させる。 ・GPS水蒸気情報データベースの利用が関連分野の学際研究を促す。 ・宇宙基地型GPS気象学技術による全球大気モニターが地球温暖化の実態の解明を促す。</p>

「GPS気象学:GPS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」



③所要経費一覧(平成12～13年度)

研究項目	実施担当機関等	経費(千円)		
		12年度	13年度	合計
1 稠密観測によるローカルスケールの水蒸気変動の評価に関する研究				
1.1 稠密観測による水蒸気変動の評価に関する研究				
1.1.1 稠密観測による測量解析手法の評価	文部科学省研究開発局 (財)日本測量調査技術協会(委託)	65,933	80,022	145,955
1.1.2 稠密観測によるローカルスケールの気象の変動の評価	文部科学省研究開発局 (財)日本気象協会(委託)	22,494	28,731	51,225
1.1.3 稠密観測を用いた数値実験による水蒸気3次元構造の研究	国土交通省気象庁気象研究所 名古屋大学大学院理学研究科	11,458	2,976	14,434
		1,001	932	1,933
1.2 稠密観測のためのGPS解析モデルの改良に関する研究				
1.2.1 水蒸気ラジオメーターを併用した解析モデルの改良	(独)通信総合研究所	994	522	1,516
1.2.2 ローカルスケールの水蒸気変動を考慮した解析ソフトウェアの開発	文部科学省防災科学技術研究所 国立天文台地球回転研究系	3,991	3,642	7,633
		2,219	599	2,818

研究項目	実施担当機関等	経費(千円)		
		12年度	13年度	合計
2 GPS解析の精度向上に関する研究				
2.1 水蒸気変動のGPS解析に及ぼす影響に関する研究				
2.1.1 水蒸気の水平非一様性による大気遅延量推定誤差の評価	国土交通省気象庁気象研究所	1,371	463	1,834
2.1.2 山岳域における大気遅延量推定誤差と鉛直測位の関係の評価	文部科学省研究開発局 (財)日本気象協会(委託)	10,144	2,486	12,630
2.1.3 GPS 鉛直測位成分推定に及ぼす水蒸気変動の評価	(独)産業技術総合研究所 国立天文台地球回転研究系	9,968	3,706	13,674
2.2 数値予報データによるGPS測位精度向上の研究				
2.2.1 数値予報データに基づくGPS解析モデルの開発	(独)通信総合研究所	1,763	581	2,344
2.2.2 数値予報データによる解析ソフトウェアの評価	文部科学省防災科学技術研究所	2,029	2,267	4,296
2.2.3 数値予報データによるGPS観測網の高精度化に関する研究	国土交通省国土地理院	1,000	447	1,447

研究項目	実施担当機関等	経費(千円)		
		12年度	13年度	合計
3 数値予報のGPS技術開発に関する研究				
3.1 GPS可降水量のデータ同化の検証と改良に関する研究				
3.1.1 GPS可降水量の4次元データ同化手法の検証と改良	国土交通省気象庁数値予報課 東京大学地震研究所	1,851 3,274	1,428 2,644	3,279 5,918
3.1.2 海域離島GPS観測とその気象学的・測地学的応用可能性の検証	国土交通省海上保安庁水路部	2,931	1,841	4,772
3.2 GPSを用いた降水現象の実況監視予測に関する研究				
3.2.1 GPSを用いた降水現象の実況監視予測に関する研究	文部科学省研究開発局 (財)日本気象協会(委託)	9,642	6,632	16,274
3.3 宇宙基地型GPS気象学に関する研究				
3.3.1 GPS/LEOによる大気掩蔽観測に関する研究	文部科学省研究開発局 (財)日本気象協会(委託)	6,449	4,391	10,840
3.3.2 ダウンルッキング型大気掩蔽手法の開発	国土交通省気象庁気象研究所 文部科学省研究開発局 (財)日本気象協会(委託)	2,201 6,346	2,228 3,871	4,429 10,217

研究項目	実施担当機関等	経費(千円)		
		12年度	13年度	合計
4 GPS水蒸気情報システムに関する研究				
4.1水蒸気情報システムの高度化に関する研究				
4.1.1 水蒸気情報システムの高度化に関する研究	国土交通省国土地理院 千葉大学環境リモートセンシング研究センター	8,428	6,810	15,238

④研究成果の概要

[序]

本研究のそもそもの出発点は、「水蒸気をノイズとする測地学」と「水蒸気をシグナルとする気象学」が、GPS に内在する研究資源を介して学際協力を行い、互いにフィードバックを受けながら双方の発展を図ることを基本概念として実施した、平成8年度のフィージビリティ・スタディー (FS) である。その戦略目標は、国土地理院の全国 GPS 連続観測網 (GEONET) から得られる GPS 水蒸気情報を気象庁の数値予報システムに入力して降水現象などの気象予測の改善を図る一方で、気象庁数値予報データを水蒸気変動に起因する GPS 測位誤差の低減手法の開発に応用して GEONET による地殻変動監視の高度化を図ると共に、GEONET が発信する GPS 水蒸気情報を学際分野の研究に資することに置かれている。これら基本概念および戦略目標は、その後の第1期計画 (平成9年度—11年度) および第2期計画 (平成12年度—13年度) の指導指針となって、後述するような様々な成果を生み出した。

第1期では、主として、GEONET から得られるいわゆるメソスケールの水蒸気変動の実態把握とそれが GPS 測位に及ぼす影響の評価に重点を置いて研究を実施したが、第2期では、空間スケール 10km 程度以下のさらに小規模のローカルスケールの水蒸気変動に焦点を絞り、GPS による3次元水蒸気変動の観測・解析および数値モデル実験と、それによる GPS 鉛直測位精度の向上に重点を置き、①稠密観測によるローカルスケールの水蒸気変動の評価に関する研究、②GPS 解析の精度向上に関する研究、③数値予報の GPS 技術開発に関する研究、④GPS 水蒸気情報システムに関する研究、の4つのサブテーマのもとに研究を実施した。このように、本研究は、第1期・第2期を通じて、GEONET 水蒸気情報を気象庁および国土地理院の業務へ反映させるための基礎研究と位置付けられて実施されたが、後述するように、第2期の終了をもって、ようやくその本来の目標の大半を達成するに至った。

なお、本総括においては、以下に示すように、まず、第2期における[主な研究成果]を列挙してまとめ、次に、それらの[波及効果・発展方向・改善点等]を今後の業務化などを目標として同様にまとめた。最後に、第1期、第2期を通じてのこれまでの経緯を[補記]した。

[主な研究成果]

(1) 稠密観測によるローカルスケールの水蒸気変動の評価に関する研究

- ・2000年秋と2001年夏の2回にわたって、「つくば域」において、大気遅延量を高時間分解能でとらえるための GPS 稠密観測を世界ではじめて実施し、そのデータを国際データベース化した。
- ・GPS アンテナの位相特性、地面などによるマルチパスなどに起因する誤差を統計的に除去する手法を開発し、GPS 観測誤差を大幅に低減させると共に、従来より高精度の GPS 視線遅延量 (衛星方向の遅延量) の推定に成功した。
- ・GPS 視線遅延量から水蒸気の3次元分布を推定するトモグラフィ法を、稠密観測データに適用して、ローカルスケールの水蒸気変動を捉えた。
- ・GPS 解析ソフトウェアに組みこまれている海洋潮汐荷重モデルの高度化を世界ではじめて行った。
- ・つくばにおける GPS とラジオゾンデの双方による可降水量比較観測によって、ゾンデ可降水量のバイアスなどを検証した。

(2) GPS 解析の精度向上に関する研究

- ・気象庁数値予報データに基づく動的な大気モデル (ダイナミック・マッピング関数) の採用によって、GEONET の上下変動成分の大気変動で生じる見掛けの年周変化が除去される可能性を示した。

- ・大気遅延に起因する GPS 測位誤差の数値気象モデルによる実験によって、山岳風下波などの特殊な気象条件で生じた系統測位誤差を再現することに成功した。

- ・水蒸気ラジオメーター観測、数値気象モデル実験などによって、水蒸気変動の強い非一様性が従来の静的な大気モデルに基づく GPS 解析による位置・可降水量の推定精度を劣化させていることを突きとめた。

- ・前線に伴う水蒸気変動で生じる GPS 鉛直測位における数日程度の見掛けの変動の大半の要因が気候値に基づく静的なマッピング関数の採用にあることを示した。

(3) 数値予報の GPS 技術開発に関する研究

- ・GEONET 可降水量の気象庁数値予報モデルへのデータ同化実験によって、降水予報精度の改善には水蒸気鉛直分布の推定精度をさらに向上させる必要性がわかった。

- ・一般に、可降水量の時空間変動が積乱雲活動の先行指標としてとらえることができること、とりわけ、関東平野およびその周辺域においては、その傾向が著しいことがわかった。

- ・LEO (低軌道衛星) を用いた GPS/LEO 掩蔽観測データの解析から、熱帯域の積雲対流や中緯度山岳地形で励起された大気波動の影響が電離層まで到達し、成層圏の温度変動と電離層のプラズマ擾乱を励起していることなどを見出すと共に、電子密度擾乱のグローバルな分布を世界で初めて示した。

- ・世界に先駆けて、孤立峰におけるダウンルッキング (DL) 大気掩蔽実験観測を筑波山頂と富士山頂で実施し、負仰角の GPS 衛星からの電波信号データの観測に成功した。

(4) GPS 水蒸気情報システムに関する研究

- ・IGS (International GPS Service) による超迅速暦、高精度海洋潮汐荷重モデルなどを組みこんだ、大気遅延推定のための準リアルタイム解析システムを完成した。

- ・アンテナ位相特性モデルなどを組み込んだ新しい解析戦略で、GEONET の 1996 年 3 月以降の全データを再解析し、従来より高精度の大気遅延量データベースを構築した。

- ・GEONET 可降水量データに気象衛星 (GMS 及び NOAA) の水蒸気画像データを加えた、複合的データベース検索システムを構築し、日本列島上のみならずその近海までをカバーする水蒸気可降水量変動の可視化に成功した。

[波及効果・発展方向・改善点等]

(1) 稠密観測によるローカルスケールの水蒸気変動の評価に関する研究

- ・GPS 稠密観測データの国際データベース化を通じて、水蒸気トモグラフィー解析などの国際共同研究の推進が期待される。

- ・GPS 視線遅延情報の気象学的な有効利用を図るために、これをトモグラフィー法、4次元データ同化などに適用した実験解析を、GPS 稠密観測データなどを用いて推進し、その算出法を確立する必要がある。

- ・高度化された海洋潮汐荷重モデルは今後実現される高精度 VLBI 測位などへの貢献が期待される。

(2) GPS 解析の精度向上に関する研究

- ・水蒸気ラジオメーター観測と数値気象モデル実験を併用して、複雑地形・湿潤気候のわが国に適した GPS 解析ソフトウェア用の標準的なダイナミック・マッピング関数を開発する必要がある。

・気象庁数値予報データに基づいたダイナミック・マッピング関数をGEONETルーチン解析に取り込み、大気変動に起因する見かけの測位変動を除去するための実証実験を行う必要がある。

(3) 数値予報のGPS技術開発に関する研究

・気象庁数値予報の降水予報を改善するためには、そのデータ同化システムにGEONET視線遅延情報を取り込む必要がある。これに関連して、最近実施されたGEONETの200観測点における衛星電波受信最低仰角の15度から7度への低仰角化の有効な活用が早急に望まれる。

・GPS可降水量情報を豪雨などの短時間予報に利用するために、可降水量変動が積乱雲活動に与えるメカニズムを解明し、先行指標としての適応限界を明らかにする必要がある。

・気象予報業務を目的とした、GEONETの準リアルタイムGPS解析システムを開発・整備する必要がある。

・GPS/LEO掩蔽法に関する研究は、科学振興調整費などの支援を得て、より一層の発展が期待される。とりわけ、日本独自のGPS/LEO掩蔽観測、DL掩蔽観測などを推進し、それらの情報を数値予報モデルにリアルタイムでデータ同化するための、GPS/LEO掩蔽データ配信システムの開発を目指す必要がある。

(4) GPS水蒸気情報システムに関する研究

・気象庁数値予報データに基づいて、大気変動に起因するGEONET測位誤差を診断するためのデータベースを開発・整備する必要がある。

・高度化されたGEONET可降水量データ、気象衛星画像などに基づいて構築された複合型GPSデータベース検索システムの水循環科学・環境科学などへの学際利用が期待される。

⑤研究成果公表等の状況

課題名(研究代表者):GPS気象学:GPS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(内藤勲夫)

【研究成果発表等】

	原著論文による発表	左記以外の誌上発表	口頭発表	合計
国内	33(6)件	16件	133件	182(6)件
国外	10(13)件	11件	33件	54(13)件
合計	43(19)件	27件	166件	236(19)件

(注:既発表論文について記載し、投稿中の論文については括弧書きで記載のこと)

【主要雑誌への研究成果発表】

Journal	※7*テーマ	※7*テーマ	※7*テーマ	※7*テーマ	合計
	1	2	3	4	
Earth, Planets, and Space	3(1)	4(1)	2	0	9(2)
GPS World	0	0	1	0	1
Geophys. Res. Lett.	0	1	2	0	3
Hydrological Process	0	0	(1)	0	(1)
J. Appl. Meteor.	0	(1)	0	0	(1)
J. Atmos. Sci.	0	0	1	0	1
J. Comm. Res. Lab.	1	0	0	0	1
J. Geodesy	(1)	0	0	0	(1)
J. Geophys. Res.	(2)	3(2)	3(1)	0	6(5)
J. Meteor. Soc. Japan	0	0	5(2)	0	5(2)
J. Oceanogr.	1	0	0	0	1
気象研究ノート	0	0	2	0	2
気候システム研究叢書	0	0	1	0	1
月刊地球	2	1	1	0	4
京都大学防災研究所年報	0	0	2	0	2
水文・水資源学会誌	0	0	0	1	1
数値予報課報告	0	0	3	0	3
測地学会誌	1(1)	2	1	0	4(1)
地学雑誌	0	1	0	0	1
通信総合研究所季報	1	0	0	0	1
天気	0	1	3	0	4
電子情報通信学会誌	1	0	1	0	2
東北地域災害科学研究	0	0	1	0	1
東北の雪と生活	0	0	1	0	1
日本建設情報総合センター月刊誌	1	0	0	0	1
水工学論文集	0	0	2	0	2
主要雑誌小計	11(5)	13(4)	32(4)	1	57(13)
発表論文合計	15(5)	16(6)	37(8)	2	70(19)

(注：既発表論文について記載し、投稿中の論文については括弧書きで記載のこと)