

氏 名 岩 淵 哲 也

学位（専攻分野） 博士(理学)

学 位 記 番 号 総研大甲第387号

学位授与の日付 平成11年3月24日

学位授与の要件 数物科学研究科 天文科学専攻

学位規則第4条第1項該当

学 位 論 文 題 目 Researches on Decadal Polar Motion and GPS Retrieved
Water Vapor

論 文 審 査 委 員 主 査 教 授 大江 昌嗣
教 授 木下 宙
助 教 授 内藤 勲夫
教 授 田中 寅夫（京都大学）
助 教 授 沖 大幹（東京大学）
助 教 授 日置 幸介（国立天文台）
川口 則幸（国立天文台）

論文内容の要旨

産業革命後の人間活動の急激な増加に起因する二酸化炭素などの温室効果ガスの排出は、ここ数十年の地球温暖化を引き起こしていると考えられている。また、気候モデルによるシミュレーションは、二酸化炭素の濃度倍増時に気温が1.5℃から4.5℃上昇することを予測している。

この地球温暖化とともに、その影響で生じると予測される海面上昇や降水パターンの変化に代表される気候変動などは、現在大きな国際問題となっている。しかしながら、現在、地球温暖化とその影響の検証と予測には大きな不確定性が伴うことが知られている。その理由の1つは、(1)気候システムに内在する10年スケール変動の変化率が地球温暖化とそれに起因する気候変動の変化率と同程度かそれ以上の大きさを持ち、しかも、そのメカニズムが分かっていないことである。他の1つは、(2)大気中で最大の温室効果ガスとして知られる水蒸気に関する高精度高時空間分解能データが不足していることである。

ところで、近年導入されたVLBI (Very Long Baseline Interferometry) やGPS (Global Positioning System) などのいわゆる宇宙測地技術は、観測点位置をcm から mm オーダーで決定することを可能にし、それらによって観測された極運動に大気・水圏の流体の運動を反映する10年変動が存在すること、また、それらが使用する電波の伝搬経路中の水蒸気の積算値の高精度観測が可能であること、が示されている。

そこで、本研究では、従来の気象学的手法などだけでは不十分な地球温暖化の影響の検証と監視に、測地学的立場から支援することを目的にし、上述した極運動データとGPSデータに基づき、(1)大気水圏の10年スケール変動のメカニズムの解明、(2)大気中の水蒸気の動態の理解、に関して、特に地球温暖化に密接に関与する水の役割を通じて基礎的な議論を行った。

まず、(1)では、IPMSデータおよびSPACE94データの2つの極運動に共通に見られる10年変動が、北大西洋を作用点にもつ冬季の気圧の南北振動として知られる北大西洋振動(NAO)の変動と類似した振る舞いを示すことに注目し、これを10年スケールの大気・水圏の流体の質量再分布効果で説明することを試みた。

その結果、NAOと極運動の密接な関連にもかかわらず、気象庁(JMA)の北半球気圧データに基づき計算された大気の質量再分布効果による励起極は、観測に基づく励起極の約10%しか説明できないことが示され、NAOと極運動の相関は、NAOと関連する水圏変動により説明されることが示唆された。そこで、NOAAの5°×5°で月ごとの降水量データと、降水の時間依存の指数関数的減衰を仮定した陸水貯留量モデルに基づき励起極を計算したところ、降水のグローバルな減衰時間が3.7ヶ月のとき、すなわち、ある月の降水が3.7ヶ月後にその1/eに減衰し、残りは海洋に流出するとき、観測値と計算値の残差の2乗和が最小となり、このとき、観測に基づく励起極の約40%が説明可能であることが示された。しかも、計算値の観測値に対する約1年の位相の進みを無視するならば、モデルにおける降水の減衰時間が6~7ヶ月のとき、観測値の約80%が説明可能であることが示された。

この事実に加え、極運動の10年変動の位相と対応する海面の東西のシーソー変動が北大西洋の海岸域に存在すること、北米大陸とユーラシア大陸の間にも降水量変動の東西のシーソーパターンが存在することが明らかにされた。これらの事実を結びつけることにより、

北大西洋を作用点にもつ水循環の10年スケール変動の概念モデルが提唱された。

次に、(2)では、地殻変動の監視を目的とする国土地理院(GSI)の612点からなる高密度(空間分解能約50 km)な全国GPS観測網の解析で副産物として得られる天頂方向の大気遅延(ZTD)に基づき、この観測網が高時空間分解能の水蒸気センサーとして気象学的に利用可能かどうか調査された。一般に、GPS解析では、ZTDが観測点の測位解とともに評価されるが、このZTDは、観測点の気圧に依存する天頂静水圧遅延(ZHD)と観測点上空の水蒸気量に依存する天頂湿潤遅延(ZWD)からなる。後者に比例係数(約0.15)を乗じると、気象学的に重要な情報である可降水量(PWV)に変換できることが知られている。

この観測網から得られる3時間ごとのZTD情報と、JMAの12時間ごとの客観解析値に基づき、夏季の激しい降水を伴う前線通過時のGPS PWVの動態を可視化した結果、前線のまわりに分布する水蒸気の移動する様子が、約50 kmの空間分解能で明らかにされた。こうした情報は、従来のラジオゾンデによる気象観測では不可能であった。しかしながら、JMAの数値予報(NWP)に基づくPWVとGPS PWVを比較すると、GPS PWVに約3 mmの過小評価が存在することも明らかになった。このバイアスの原因が明らかにされれば、今後、この情報を、NWPモデルに取り入れることにより、天気予報、とりわけ降水の予測精度の向上が期待される。

このような前線通過時をはじめ、台風通過時などZTDが系統的な水平勾配構造をもつとき、GPS水平測位解には数cmのドリフト状の変動が見られることが知られている。そこで、GSIのGPS観測網で得られる水平測位解変動とZTD勾配の関係を調査したところ、水平測位解偏差とZTD勾配偏差の間に密接な線形関係があることが明らかにされた。よって、異常な水平測位解変動は水蒸気の方位異方性分布に起因するみかけの変動と考えられる。こうした関係を用いるとによって、異常に大きな水平測位解変動が地震と関連するかどうかを診断可能になる。また、この見かけの測位解変動が除去されれば、ZTDの推定精度向上にもフィードバックされることが期待できる。

さらに、こうした水蒸気センサーとしての優れた能力をもつGSI GPS観測網は、日本列島スケールの山谷風・海陸風などの夏季の熱的局地循環に伴う水蒸気の日変化を詳細にとらえていることも示された。例えば、1996年6月から12月の3時間ごとのZTDについて、コンポジット解析および主成分解析を行ったところ、日の出とともに水蒸気が急速に増加し、夕方からゆるやかに減少する日変化が、日本列島の山岳域を中心とし、列島スケールで卓越していることが明らかになった。このとき、降水量データにも類似した日変化が存在することが確認されることから、GPS PWV情報は、局地循環をはじめとしたメソスケール気象学の研究にも有用であることが示唆される。

以上の研究成果により、地球温暖化と密接に関連する水の役割が測地学的立場から明らかにされた。GSIのGPS観測網と同程度の空間分解能をもつ観測網がグローバルに展開され、現在運用が始まっている低軌道衛星搭載型GPS観測データを併用すると、地球温暖化に起因する水蒸気増加の監視が可能になることが期待される。さらに、これらのデータが長期間蓄積されるとともに、降水量データ・河川流路データが整備されれば、(1)で提唱された水循環の10年変動モデルにおける厳密な水収支の評価が可能になると考えられる。このように、高精度宇宙測地技術に基づく地球温暖化の影響の測地学的監視が、近い将来、大いに期待される。

論文の審査結果の要旨

本論文は、大気水圏システムに及ぼす地球温暖化の影響を検証・監視・予測する上で障害となっていた二つの課題、すなわち、(1)大気水圏の10年スケール変動の成因、および(2)大気中の水蒸気変動の精密推定、に関して、測地学の立場から基礎的な議論を展開したものである。

第1章で申請者が言及しているように、20世紀初頭以降の人間活動の急激な増大に起因する地球温暖化は、大気水圏システムの様々な要素に影響を及ぼすことが予測され、それらのいずれも人類の存亡を賭けた大きな問題となっている。例えば、気温上昇は大気中の水蒸気量の増加をもたらして高緯度地方に集中豪雨を伴う大量の雨を降らせ、また、海水の熱膨張による海面上昇は世界の大都市や熱帯の島々に致命的な打撃を与えると予測されている。しかし、こうした現象の検証・監視・予測には二つの大きな障害が立ちはだかっていた。一つは、大気水圏システムに内在する「10年スケールの変動」が温暖化の影響の短期予測を困難にしていること、他の一つは、大気中の最大の温室効果ガスとして知られる「水蒸気量の厳密な観測データの不足」が温暖化予測の不確定要素の一つとなっていることである。これらは、近年の精密宇宙技術による測地計測の誤差の原因また検出対象となっており、その実態の解明と予測モデルの構築が望まれるところでもある。

申請者は、以上の問題を測地学的に解明すべく、極運動の10年スケールの変動の解明(第2章)とGPS(Global Positioning System)による測位点の観測から大気に含まれる水蒸気情報の解析(第3章)を行い、以下のような地球温暖化にかかわる基礎的かつ重要な知見を得、同時に測地計測データの解釈と精度向上に極めて有用であることを示した。

まず、極運動の10年スケール変動の解明(第2章)では、北大西洋における気圧変動のパターンと極運動とが10年スケールで類似した変動を示すことに着目し、それを大気水圏システムの質量再分布効果として説明することを試みた。そこで、NOAAの降水量データに基づいて、土壌水量の指数関数的な減衰を仮定して陸水貯留量モデルを構築し、陸水質量再分布による極運動の励起を評価したところ、土壌水量の減衰時間が3.7ヶ月のとき極運動の10年変動の約37%を説明できること、しかも、観測量と計算量の位相ずれを無視すると、減衰時間を6ヶ月程度とするとき、観測量のほとんどを説明できることを示した。これに関連して、さらに、極運動の10年スケール変動に対応する北大西洋の東西方向のシーソー運動が存在することを見出し、これらを総合的に考察して、北大西洋を作用点にする北半球の水循環の10年スケールの変動モデルを提唱した。この優れた知見は従来の気象学的手法の限界があった大気水圏システムの10年スケール変動のメカニズムの理解に極めて基礎的な情報を提供するものである。

次に、GPS水蒸気情報の解析(第3章)では、地殻変動の監視を目的として国土地理院が展開している600点に及ぶ世界に類を見ない稠密なGPS観測網で得られる大気遅延情報に着目し、日本列島上の前線通過時に水蒸気可降水量を3時間毎に計算し、これまでのラジオゾンデ観測では不可能であった可降水量分布変動の精密な捕捉が可能であることを示した。ここで、特に注目されるのは、このGPS可降水量データが強い降水を伴って移動する前線に沿う帯状の水蒸気分布を世界ではじめて捕らえたことで、これによって、このGPS観測網がラジオゾンデ観測とほぼ同じ精度の可降水量の全天候型のアレイ・セ

ンサーであることを実証した。また、このような前線通過時におけるGPS測位解における水平成分の変動と大気遅延の水平勾配の関係を調査し、両者に密接な関係が存在することを見出した。その一方で、GPS可降水量データに基づく日本列島上空の夏季における可降水量の日変化の検出は、GPS観測網の可降水量情報が地理的・気候的に複雑な日本列島特有の局地循環の解明に極めて貴重な情報となり得ることを示した。

このGPS観測網の全天候型水蒸気センサーとしての能力は、より緻密な観測網としてグローバルに展開されれば、現在行われている低軌道衛星搭載型GPS観測とともに、地球温暖化に伴う水蒸気のグローバルな変動に関する基礎的情報が得られるだけでなく、水循環の10年スケール変動に伴う大気中の水蒸気の輸送パターンも明らかにされることを示唆され、今後のデータの蓄積が待たれる。

以上の研究は地球温暖化と密接な関係にある「水の役割を測地学の立場から明らかにした」もので、極めて学際色豊かな地球温暖化科学にあっても、その独創的な手法と得られた成果は際だって貴重な価値を有し、重要な科学的貢献と認められる。以上を勘案して本審査委員会は本論文が博士（理学）の学位を受けるにふさわしいものと判定した。