

## 学位論文の要旨

氏名

南竹力

学位論文題目

低高度地球周回衛星電波を用いた大気水蒸気分布観測システム  
の研究

本論文は、大気水蒸気の測定を目的として、低高度地球周回衛星（LEO衛星）のビーコン電波を利用した観測システムの性能について評価し、観測データと気象データとの比較から本観測システムの大気水蒸気観測への適用について検討している。観測システムは、ビーコン電波を地上に設置した2基のアンテナで受信する電波干渉計であり、受信信号間の位相差が大気水蒸気に影響されることを利用したものである。大気中の水蒸気を測定するための新たな手法の開発は大気科学における基幹的な研究分野として認識されてきており、本論文の観測システムの開発研究は大気科学研究への貢献をなすものである。

第1章では序論として、本研究の目的と意義及び本論文の概要について述べる。

第2章は、本論文の基礎的知識としての大気水蒸気と屈折率との関係及び大気水蒸気分布のいくつかの観測法等を述べている。

第3章は、本観測システムの構成を述べ、受信感度や観測誤差について考察している。本観測システムが、大気水蒸気の観測を行うのに十分な感度を有していることを示している。

第4章は、大気等に起因する相関位相の変動を抽出する方法について述べ、抽出された位相変動の統計処理手法について検討している。本研究で用いている位相変動の統計的処理法が大気水蒸気分布の変動特性を評価するのに有効であることを示している。

第5章では、観測結果を示し、考察を行っている。観測結果と気象観測データとの比較より、本観測システムが大気水蒸気密度の空間分布およびその時間変動を観測するのに十分な性能を有しているという結果を得ている。また、観測データと高層及び地上気象データとの相関関係について解析し、気象観測への応用について検討している。第6章では、本論文の観測システムについて総括している。また、今後の研究の展開を述べている。

## 論文審査の要旨

報告番号	理工研 第287号	氏名	南竹力
審査委員	主査	西尾 正則	
	副査	鍵山 茂徳	根建 心具
		柚木 謙一	
<p>学位論文題目 低高度地球周回衛星電波を用いた大気水蒸気分布観測システムの研究 (Development of Observation System for Atmospheric Water Vapor Distributions Using LEO Satellite Beacons)</p> <p>審査要旨</p> <p>提出された学位論文及び論文目録等をもとに学位論文審査を実施した。本論文は、大気水蒸気分布の高感度観測を目指して開発されたシステムの性能評価とその応用方法について述べたものであり、全文は6章より構成されている。</p> <p>第1章は序章であり、大気水蒸気観測システムの開発に至った背景、本研究の目的と意義及び本論文の概要について述べている。</p> <p>第2章では、本観測システムの観測原理である大気水蒸気による伝搬遅延の理論、及び伝搬遅延量の気象パラメータ依存性について述べている。また、従来の大気水蒸気分布の観測法を紹介し、分解能や精度について述べている。</p> <p>第3章では、大気水蒸気分布の高感度観測を目指して開発を進めてきた観測システムの全体構成及びシステム各部の機能と動作特性について述べている。本観測システムは、低高度地球周回衛星(LEO衛星)の電波を観測するように構成された結合型電波干渉計であり、LEO衛星から放射されたマイクロ波帯の電波が各アンテナに到達するまでの時間差を位相差として測定する。LEO衛星の電波の伝搬行路上の水蒸気密度の揺らぎがあるとき、位相差からこの密度揺らぎを高感度で測れること、また衛星が天球上を移動することから密度ゆらぎの空間分布も測ることができることを示している。</p> <p>第4章では、本観測システムの観測に影響を及ぼす様々な要因を挙げ、これらについて定量的な評価を行っている。また、2002年より収集を続けてきた膨大な観測データをもとに本システムの大気水蒸気分布の検出感度について定量的評価を行なっている。これらの評価結果をもとに、本システムが大気水蒸気の空間的及び時間的変動等に起因する微小な位相変動量を検出できる十分な感度を有していることを述べている。また、本観測システムにより得られた大気に起因する位相揺らぎの統計的性質について調べ、アラン標準偏差、時間構造関数及び平均周波数が気象観測データとの相関関係を解析する上で有効であると述べている。</p> <p>第5章では、気象観測への応用の試みとして、本観測システムにより得られた大気に起因する位相揺らぎと気象データとの比較検討を行い、高層及び地上気象データと観測された位相変動との相関について検討している。明確な結論までには至っていないが、本観測システムが対流圏下層部の水蒸気分布及びその時間変動の新たな観測法となる可能性を示している。</p> <p>第6章は結論である。</p> <p>以上、本論文は大気水蒸気の高感度観測を目指して開発されたシステムの性能とその応用方法に関する研究であり、開発されたシステムに含まれる誤差について詳細に検討・評価するとともに、長期間のデータをもとにした感度評価を行い、このシステムが大気水蒸気の変化に起因する現象を確実に捉えていること、及び従来の手法に比べて非常に高い検出感度を有していることを明らかにしている。大気中の水蒸気を測定するための新たな手法の開発は大気科学における基幹的な研究分野のひとつであり、本論文の成果は大気科学研究へ大きく寄与するものである。</p> <p>よって、審査委員会は博士(工学)の学位論文として合格と判断した。</p>			

## 最終試験結果の要旨

報告番号	理工研 第287号	氏名	南竹力
審査委員	主査	西尾 正則	
	副査	鍵山 茂徳	根建 心具
		柚木 謙一	

最終試験は、平成20年1月29日（火）10時30分より、主査並びに副査を含む9名の教員・学生の出席のもとで行った。論文内容に関する1時間の説明の後、質疑応答を行った。以下に、主な質疑と応答の要約を示す。

- (質問) 各衛星は観測点上空で同じ経路をたどるのか。また、各衛星が放射する周波数は同じか。  
(回答) 西側から出現し、東側に移動するが、経路は同じではなく、日によって、また時間によって異なる。周波数はほぼ同じである。
- (質問) 台風時の観測結果において、開発されたシステムの結果と比較としている気象データは何か。  
(回答) 地上観測により得られたデータである。
- (質問) 極端な条件として、地上に設置した2基のアンテナの一方の上空に水蒸気がなく、もう一方のアンテナの上空に一般的な量の水蒸気があったとしたら、どの程度の変動量が測れるのか。  
(回答) 水蒸気が在るときと無いときでは、電波の伝搬経路長に換算して0.2 m程度水蒸気が在るほうが長くなる。本観測システムでは、0.07 mmの変動を検出することができる。
- (質問) GPS（全地球測位システム）を用いた水蒸気量観測法に対するデメリットは何か。  
(回答) GPSでは可降水量（高さ方向に積分した水蒸気量）の絶対値を測ることができるが、本観測システムで測定される値は地上に設置した2基のアンテナ間での相対値（＝水蒸気量の差）である。また、GPSによる観測では複数のアンテナ間の配置が任意であるのに対し、本観測システムはアンテナ間をケーブルで結合していることからアンテナ間の距離が数km以下に限定される。
- (質問) 本観測システムで得られる位相揺らぎとの相関関係を求めた気象パラメータは何か。  
(回答) 相対湿度、気圧、水蒸気分圧、風速である。
- (質問) 高層天気図との比較を行ったらどうか。  
(回答) 高層天気図はラジオゾンデでの観測をもとに作成している。ラジオゾンデによる観測は通常12時間ごとなので、本観測システムのデータと比較する場合、時間分解が不足している。
- (質問) 観測システムのケーブル敷設において、測定誤差の低減のために考慮していることは何か。  
(回答) 高位相安定光ファイバーを用い、且つケーブル長を各アンテナで同じにしている。
- (質問) 測定される“揺らぎ”とは、振幅揺らぎ、周波数揺らぎのどちらに相当するか  
(回答) 周波数揺らぎを解析していることになる。
- (質問) 本観測システムを世界的に拡大するとした時、場所により違いを検出できるのか。  
(回答) 海上での揺らぎや砂漠地帯での揺らぎなど、場所による違いが期待される。
- (質問) アンテナ間の距離が48 mとなっているが、この長さはどうして決まったか。  
(回答) できるだけ長い方が良いが、アンテナを設置している建物により制限されている。
- (質問) ドップラーシフトの影響は観測誤差に影響するか。  
(回答) 本システムの観測方法では、ドップラーシフトが誤差に影響を与えることはない。
- (質問) 受信しているビーコン波の周波数が変えられるとしたら、測定精度はどう変わるか。  
(回答) 現在使用している周波数（6.85 GHz）より高い方が電離層の影響が少なくなり好ましい。

以上の結果から、審査員4名は、申請者が大学院博士後期課程修了者としての学力及び見識を有すると認め、博士（工学）の学位を与えるに足る資格を有するものと認定した。