氏　　　名	アシュラフ エルクトブ ムーサ **Ashraf El-kutb Mousa**
学位(専攻分野)	博　士（理　学）
学位記番号	理　博　第 1814 号
学位授与の日付	平成 9 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専攻	理学研究科地球惑星科学専攻
学位論文題目	Characteristics of Wet Tropospheric Delay Deduced from Water Vapor Radiometer Data and Their Implications for GPS Baseline Solution Accuracy （水蒸気ラジオメータによる観測資料から得られた対流圏における水蒸気遅延の特性とその GPS による基線解精度への関連性）
論文調査委員	（主 査） 教 授 田中寅夫　教 授 竹本修三　教 授 古澤　保

論　文　内　容　の　要　旨

GPS（Global Positioning System），VLBI（Very Long Baseline Interferometry）など宇宙技術による測地測量は地球表面上での距離を数 mm の精度で測定することを可能にしつつある。しかしながら，GPS 衛星あるいは電波星から到達するマイクロ波の地球大気層における伝播遅延はこの精度を得る上での大きな障害である。とくに対流圏下部に多く存在する水蒸気によって生じる遅延（wet delay：真空中における伝播の場合と比較した遅れを距離で表す）は，地表で観測されたデータを利用するなどの簡単な手段によって 1 ～ 2 cm 以上の精度で推定することが困難なことから，宇宙技術による測位精度の限界を越える誤差要因として，その補正方法の開発が重要な研究課題となっている。

以上の測地学的な現状をふまえ，申請者は大気中における水蒸気分布の特性を明らかにし，それに基づいて GPS 測位の精度を向上させることを目的として，wet delay の時間的空間的変動について調べた。使用したデータは，主として和歌山県串本町潮岬および宇治市に設置した水蒸気ラジオメータ（Radiometrics Corporation：WVR-1000）の連続観測結果と，同じく潮岬における気象庁のラジオゾンデによる観測結果である。また，GPS については宇治，潮岬および茨城県つくば市における観測結果を使用している。

まず，潮岬で観測された wet delay には冬季にも夏季にも振幅が約1.5 cm で夜間に極大となり，正午頃に極小となる日周変化があることを見いだした。この日周変化のパターンは長期的な wet delay の変化と気温との間に見られる正の相関とは逆位相であるが，wet delay の日周変化がラジオメータの器械的原因に由来するものでないこと，地表における気温および相対湿度から計算される refractivity の日周変化も wet delay と同様のパターンを示すことから，申請者は wet delay の日周変化が実在するものであると結論している。この結論をふまえて，短時間の GPS 測位を必要とする場合は wet delay の影響を小さく

するために昼間に実施することを提唱している。さらに，潮岬における wet delay は，高度角が50～10°の範囲では北方向（紀伊半島側）の遅延が南（太平洋側）に比べて全般的に1～5 cm 小さいことを見いだした。この結果により，特定の場所においては定常的な水蒸気分布の方位依存性が無視できず，これが精密測位の誤差となることを実際の観測値からはじめて示した。

次に，申請者は天頂方向の遅延を任意の斜め方向の遅延に換算するための mapping 関数について研究を行った。これまで Chao（1972），Moffet（1973），Davis et al.（1985），Niell（1996）ほかによって提案されてきた mapping 関数について，潮岬におけるラジオメータのデータを使ってその適用限界を調べた。その結果，これらの mapping 関数は高度角が15°では実際の観測値に比べ最小でも20 cm を超える誤差を与えることを明らかにし，これより低い高度角ではさらに誤差が大きくなることから，申請者は観測データに基づいた新しい mapping 関数を提案した。dry term についても mapping 関数を与え，気象庁による潮岬のラジオゾンデのデータを用い ray tracing によってその精度を確かめた。この mapping 関数を実際の宇治―潮岬―つくばの測位解析に適用して，現在わが国において GPS 基線解析で一般的に使われている Bernese 解析ソフトウェアに組み込まれている Moffet による mapping 関数に比べて，より精度の高い基線解を得ることができることを示した。

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

対流圏中の水蒸気によって生ずるマイクロ波の wet delay は，GPS および VLBI による測位精度の向上を図るために，正確にこれを推定して観測値を補正することが必要である。

申請者は水蒸気ラジオメータによる観測を宇治市および潮岬において1年間以上にわたって実施し，得られたデータに基づいて wet delay に関する時間的空間的な特性の解析を行った。その結果，日周変化を見いだしたが，これは wet delay の特性に関する新しい知見であり，単に昼間に wet delay が小さくなることを明らかにしただけではなく，今後 wet delay に関するモデリングを進める上での重要な貢献であって，その意義は大きい。

潮岬における解析から明らかにされた wet delay の定常的な方位依存性は，ラジオメータによる観測に基づいて申請者によってはじめて定量的に示されたものであり，これは他の場所でもさらに詳しく調査研究されるべき課題である。wet delay の方位依存性を正確に評価し，これを基線解析に組み込むことによって GPS および VLBI によるさらに高精度の測位が可能となり，測地学およびジオダイナミックスの研究に一段と貢献できることになる。

これまで提案されてきた多くの mapping 関数は，そのほとんどが北米および北ヨーロッパ地域における気象観測データに基づいて導かれたものであり，それらがわが国でもそのまま利用されてきている。申請者の研究はこれらの mapping 関数が，高度角が30°以上と高い場合にはほとんど問題を生じないものの，15°とかそれより低い場合には20 cm を越える推定誤差を生じることを明らかにした。multi-path（多重反射）による誤差は宇宙技術による測位のもう一つの大きな誤差要因であるが，高度角の低い GPS 衛星を観測することは multi-path の影響を軽減することにつながり，これはとくに高さの決定精度を大きく改善させることになると考えられる。この点からいって，申請者による高度角3°までよい近似値を与え

る mapping 関数の提案は非常に有意義である。実際に測位結果が向上することは主論文中で示されているが，対象としている地域の気象条件を正確に組み込んだ mapping 関数を使用することの重要性を示したことは高く評価できるとともに，今後この mapping 関数が利用されることによってわが国における測位精度の向上が期待される。

以上のように，ラジオメータの観測に基づいた wet delay に関する本研究の成果は GPS 測位の精度向上につながるものであり，今後の宇宙技術の測地学への応用に大きく貢献していくものと評価でき，この点で本論文の学術的意義が大きい。さらに，申請者によって得られた大気中における水蒸気分布の特性に関する基本的な知見は，GPS を利用して大気中の水蒸気分布，可降水量を精度よく推定しようとする観点から気象学的な意義も大きいと判断される。

参考論文はいずれも，本論文の研究に関連した研究成果であり，wet delay の日周変化，方位依存性および mapping 関数の評価に関連する研究成果を与えている。

よって本論文は，博士（理学）の学位論文としての価値があることを認めた。また，平成９年１月８日論文の内容とそれに関連した口頭試問を行った結果，合格と認めた。