

論文審査の結果の要旨

氏名 シン デユン

SHIN Dae yun

GPSに代表される測位衛星システム（GNSS：Global Navigation Satellite System）は地球をくまなく周回しながら、測位信号を絶えず地球表面に向けて発信している。地球表面で反射される測位信号を受信・解析することで地球表面に関する情報を得ることができる。GPSに代表されるように測位信号はLバンドを利用しているため土壌水分の変化などについて反射波強度の感度が比較的高いことが知られており、土壌水分計測などに使える可能性があるほか、センシングシステムがGPS受信機のみで済むため非常に安価であり、軽量化・小型化しやすいこと、能動的なマイクロ波リモートセンシングシステムと異なり自ら信号を発信しないため、観測のステルス性に優れているなどの長所がある。しかも今後10年間で準天頂衛星、Galileo、コンパス、IRNSSなど多くの測位衛星システムが本格運用されGPSと併せて120機程度の測位衛星が測位信号を発信する予定であり、利用可能性は大きく膨らむと期待される。

その一方で、測位衛星を利用したバイスタティックリモートセンシングは反射電波の強度が非常に低いこともあり定量的な計測モデルの構築は進んでいない。すなわち、地上タワーからの観測、飛行機からの観測、小型衛星からの観測などが行われているが、タワー観測のように地上のほぼ同一の場所を継続的に観測する場合を除き、既存の研究では信号強度などと土地の被覆状況や土壌水分量などの相関関係が示される程度であり、定量的な計測手法は確立されていない。

そこで本論文では、水面と陸面の分類を題材としてGPS信号の反射を利用したリモートセンシング手法（バイスタティックリモートセンシング手法）の開発をめざし、実証的・定量的な分類手法を行うことを目的としている。本論文は7章からなっている。

第1章は序論であり、研究の背景や目的を述べている。

第2章は既存研究のレビューである。測位衛星からの反射信号を受信して反射面（地球表面）に関する情報を得る方法には、Altimetry（高度計測）とReflectometry（反射計測）があるが、Altimetryは反射面の相対的な高さ計測を主な目的としており、Reflectometryに比べ研究の蓄積が進み、高い精度の計測を安定的に実現できるレベルに達している。一方、Reflectometryはタワーなどに設置された受信機を用いて地表面や水面などから反射を計測する実験、航空機や衛星などの移動プラットフォームを用いて反射波を計測する実験などが行われており、前者については土壌水分量の計測などについて定量的な精度評価がなされている。一方、移動プラットフォームからの計測については、反射地表面や水面の状況と反射強度データなどに関する統計的な関連性が得られているだけであり、定量的な分類精度評価などは進んでいない。

第3章は計測システムの開発と動作確認の地上実験について述べている。GPSの測位信号は右回りの円偏波（RHCP）であるが、反射することで左回りの円偏波（LHCP）となることから、反射波用の下向きのLHCPアンテナと、GPSからの信号を直接受信する校正用（上向き）RHCPアンテナを両方

用いて、両者の相関ピーク高さ（信号強度）と疑似距離を同時に計測する受信システムが必要となる。本論文では既存のソフトウェア受信機を改良して計測システムを構築し、地上実験により動作確認を行っている。

第4章は既存の研究を基にGPS信号の反射モデルを整理し、陸域・水域の判別に利用可能な反射信号特性を検討している。GPS受信機は測位信号の疑似距離（反射波の場合には反射による疑似距離の拡大あるいは到達時間の遅れ（Delay））と信号強度を同時に計測している。そのため反射による信号強度の減衰だけでなく反射場所の違いによる疑似距離の分布も明らかにすることができる。こうしたGPS信号特有の反射モデルを既存研究を基に整理し、陸域や水域の判別に利用可能な反射信号特性を検討している。

第5章は、反射波の特性分析のためのGPS信号の処理方法を構築している。すなわち信号強度の計測だけでなく反射による疑似距離の拡大量分布を求める処理手順を、既存研究を基に構築している。

第6章はデータ取得実験と実験データの解析であり、実験データを基に陸面と水面の判別を行う方法を開発・検証している。実験データは第3章で開発された受信システムを航空機に搭載して得られた神戸西部の陸面・海面データと、英国のDisaster Monitoring Constellation (DMC)を構成する衛星（高度680km）から得られた陸面・海面の衛星データを利用している。航空機データから、反射強度では陸面・海面の確実な識別は困難であること、陸面からの反射信号強度の短周期変動は海面に比べほぼ一貫して大きく識別に有効であることなどが示された。衛星データからも同様の結果が得られ、短周期変動がより頑健な識別指標であるという結論が得られた。また表面の粗度が大きくなると疑似距離の分布が広がる傾向があることがシミュレーションに基づく既存研究から示されていたが、そうした傾向は明確ではないことも示された。

第7章は結論と今後の課題であり、上述のような結論に加えて、より多様な海面状態に対して検証実験を行うこと、GPS信号の反射モデルを精緻化することなどが今後の課題として挙げられた。

以上をまとめると、本論文はGPS衛星からの測位信号を利用して地球表面に関する情報を得るバイスタティックリモートセンシング技術の開発を目的として、陸面・海面の判別にどのような信号特性が有効であるかを実験的に明らかにしており、先駆的・基礎的な研究成果として高く評価できる。また特に我が国では検討例のほとんどないリモートセンシングを目的とした受信システムも構築しており、リモートセンシング工学の進歩に大きく貢献したと考えられる。

なお、本論文の成果は柴崎亮介やDinesh Manandharらと共著で公表されているが、論文提出者が主体となって研究を実施しており、論文提出者の寄与は十分である。したがって、博士（環境学）の学位を授与できると認める。