

[別紙2]

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 小林 豪毅

人工衛星からのリモートセンシングはグローバルな観測に最も有効な手段である。特に海洋のように計測機器の設置が困難で、かつ自然条件の厳しい広大な領域に対しては唯一ともいえる観測方法である。リモートセンシングにはさまざまな波長の電磁波が用いられるが、雲を透過する性質があるため、昼夜・天候を問わず観測可能な波長数 cm から数十 cm のマイクロ波を用いた観測が注目されている。能動型マイクロ波センサによる海洋観測は海面にマイクロ波を照射し、そのエコーから海面状態を推定することを基本的な原理とする。海面からのエコーに含まれている情報を抽出するアルゴリズムは、海面におけるマイクロ波散乱特性をもとに構築される。しかし、たえず不規則に変動しつづける海面での散乱現象は複雑多様であり、この現象を明確に説明するのは非常に困難である。必然的に過去の現地観測データへの依存度が高いアルゴリズムにとどまっているのが現状である。

本研究は能動型マイクロ波センサによる海洋観測技術の発展に資することを目的として、海面におけるマイクロ波散乱メカニズムを実験、理論および数値計算により詳細に調査し、その結果を風・流れ・波浪に複合的な作用による海面の形成とその海面におけるマイクロ波散乱の2つの物理現象にまとめている。本論文は6章から構成されている。

第1章では、これまで提案されている能動型マイクロ波センサによる海洋観測について概略を説明し、研究の意義と目的を明確にしている。また、海面におけるマイクロ波散乱について、現時点で定説とされている考え方について述べている。

第2章では、電磁気学的な現象について述べている。海面状態とマイクロ波散乱の関係を明確にするには、それぞれの現象を正確に把握する必要がある。電磁波は目に見えないため、その特性のほとんどが数式から理解される。ここでは既存の電磁波散乱理論についても説明している。なかでも Bragg 散乱理論は現在のところ海洋リモートセンシングにおいて最も重要な理論であるため、その導出を詳細に記している。

第3章では、マイクロ波散乱メカニズムを解明するためのもう一つの重要な要素である海面状態について述べている。特にマイクロ波散乱に対して影響の大きい高周波数成分に着目し、代表的なスペクトルの標準形を紹介している。また、これまで無視されることの多かった吹走流の影響を定量的に評価するために、それを考慮した分散関係式についても述べている。

第4章では、これまでアンテナ解析に適用されてきた表面電流法について説明している。表面電流法は海面におけるマイクロ波散乱の解析に対して有用なツールである。さまざま

な不規則表面に対してモンテカルロシミュレーションを適用し、散乱に寄与する形状について検討している。また、既存の理論とモンテカルロシミュレーションによる結果との比較も行っている。

第5章では、実験水槽におけるマイクロ波散乱実験について述べている。ここでは、まず実験で使用したマイクロ波散乱計について詳しく説明している。実験に際しては、可能な限り詳細に水面状態を計測し、理論との比較を行っている。風路付造波回流水槽においては風および流れを発生させ、その影響を検討している。これまで、マイクロ波散乱に対する流れの影響に関する研究はほとんど行われていない。水面状態とマイクロ波散乱の関係を調べるためには、ドップラースペクトルによる解析が非常に有効であると述べている。また、実験水面に対してモンテカルロシミュレーションを適用し、散乱に寄与する成分を調べるとともに、既存の理論とに比較を行っている。海洋工学水槽においては、方位角および重力波の影響についても検討を行っている。実験水槽において、これほど大規模なマイクロ波散乱実験を行った例はなく、その意義はきわめて大きい。

第6章は結論で、本論文の成果を総括している。研究により得られたマイクロ波散乱特性は、風・流れ・波浪の影響ごとにまとめられている。風はマイクロ波散乱の強さに対して、最も支配的な現象であり、ある程度の時間的または空間的な平均であれば、散乱係数には風の影響だけが表れる。散乱係数に対する流れの影響は小さいが、主要な散乱体である波長数 cm の波は流れに流されるので、流れは散乱するマイクロ波のドップラースペクトルの平均を変化させる。波浪は散乱係数を時間的または場所的に変化させる。また、水粒子運動により、マイクロ波のドップラースペクトルの幅を広げるとマイクロ波散乱の基本特性をまとめている。

以上要するに、本研究は能動型マイクロ波センサによる海面のリモートセンシングにおいて最も重要な、海面におけるマイクロ波散乱の詳細なメカニズムを、実験及び数値シミュレーション手法を用い明らかにし、複合環境下における海面でのマイクロ波散乱を評価する新たなモデルを提案している。海洋観測分野の発展に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。

