

論文審査の結果の要旨

氏名 吉田 毅郎

広大な海洋の観測には衛星からのリモートセンシングが最も適している。特に合成開口レーダ (SAR) は空間解像度 10m 前後の観測ができることから、合成開口レーダによる海洋波浪観測への期待が高い。ところが、海面におけるマイクロ波散乱の特性、および合成開口レーダの信号処理手法の特徴により、海面の SAR 画像には海洋波浪に起因する画像変調が生じ、海面 SAR 画像から安定的に波浪情報を得ることは困難だと言われている。本論文では、海面形状の数値生成方法とマイクロ波散乱の物理光学近似法を用いた、海面におけるマイクロ波散乱の時間領域数値シミュレーション方法を開発し、海面形状とマイクロ波散乱との関係、並びに合成開口レーダによる波浪海面の画像生成メカニズム、波浪海面 SAR 画像の特性を明らかにしている。

本論文は6章からなり、第1章は研究の背景、従来の研究との比較、研究目的について述べられている。海面が陸域と最も異なる要素は海面の動きである。合成開口レーダは複数のパルスから受信した信号を合成して、画像を生成する。画像の合成には散乱体である海面と衛星との相対速度が用いられるが、海面の動きによって相対速度にばらつきが生じる。これを **Velocity Bunching** と言い、それによって SAR 画像に変調が生ずる。従来の海面 SAR 画像の生成方法として、海面におけるマイクロ波の局所入射角を用いる方法、海面の波浪スペクトルから変調伝達関数 (MTF) を用いて求める方法が提案されているが、何れも信号の合成処理は行わず、画像を直接生成している。また、陸域の SAR 画像の生成方法として、時間領域の生データを生成し、合成処理を行う方法が提案されているが、レーダの照射面から散乱するマイクロ波の位相はランダム値を与えている。

第2章は合成開口レーダ (SAR) 及び海面でのマイクロ波散乱の基本特性について述べられている。本論文で用いるレンジ方向パルス圧縮及びアジマス圧縮 (合成開口処理) 方法と適用例、移動する散乱体による信号の変調及び **Velocity Bunching** の特徴、波の進行方向と海面 SAR 画像との関係、海面におけるマイクロ波散乱の **Bragg** 共鳴散乱理論、複合散乱モデル、物理光学近似について説明している。

第3章は本論文で提案している海面におけるマイクロ波散乱の時間領域シミュレーション方法について述べられている。物理光学近似に基づく、レーダからのマイクロ波の照射、海面でのマイクロ波の散乱、レーダによるマイクロ波の受信など、マイクロ波の伝搬の定式化とシミュレーションのフローチャートが示され、シミュレーションにおける海面計算格子の大きさ、データサンプリング間隔について考察している。海面計算格子の大きさはマイクロ波の波長の1/5以下、データサンプリング間隔はマイクロ波の波長の整数倍とすることが提案されている。

第4章はシミュレーションにより得られた海面におけるマイクロ波散乱及び海面 SAR 画像の特性について述べられている。海面上の動くターゲットによる、レーダ受信信号のシフト、合成した SAR 画像におけるターゲット位置のアジマスシフトがシミュレーションにより示され、海面におけるマイクロ波散乱の代表理論である Bragg 共鳴散乱現象、並びに海面 SAR 画像で見られるスペックルノイズをシミュレーションにより再現している。波浪による海面 SAR 画像の変調、特に Velocity Bunching 効果は、合成開口レーダの照射面積、海面傾斜による散乱強度の低下により、通常の波浪条件においてそれほど大きくなく、Velocity Bunching 効果が大きいアジマス方向に進行する波においては、散乱強度が小さいため、波そのもののパターンが SAR 画像に現れ難いことが示されている。

第5章ではシミュレーションにより得られた海面 SAR 画像を用いた海洋波浪情報抽出アルゴリズムの評価について述べられている。レンジ方向の入射角の変化と散乱強度との関係を利用して、局所入射角、海面傾斜角を求めて、波浪スペクトルを推定するアルゴリズムの評価を、シミュレーションにより得られた海面 SAR 画像を用いて実施し、シミュレーションの有効性を確認している。

第6章は研究の成果と結論について述べられている。海面形状の変化やその海面からのマイクロ波散乱を時間領域において取り扱うことにより、海洋波による画像変調を含めた SAR 画像の数値生成を可能にしている。合成開口レーダによる波浪海面の画像生成メカニズム及び波浪海面 SAR 画像の特性を明らかにしている。

なお、本論文第4章の一部は、林昌奎との共同研究であるが、論文提出者が主体となって解析及び考察を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（環境学）の学位を授与できると認める。