

ハイパースペクトル画像解析による 農地植生の地理情報化システムに関する研究

学位論文内容の要旨

1. はじめに

農地にある作物生育量、植物種および土壌肥沃度などの多様な情報を取得・解析して作物生産へフィードバックすることは、農作業の最適化および農業由来の環境負荷の軽減が図れるため、国内生産基盤の強化および農業生産環境の保全に有益である。そのため、今後、高性能な農地情報計測技術の開発は重要となる。マクロからミクロまでの様々スケールで、対象の形状や性質が非接触で調査できるリモートセンシング、その中でも画像解析の利用は、農地情報の面的な変動の検出または定量化に有用である。特に、グラウンドベースのハイパースペクトル画像解析では、高空間分解能の分光情報を扱うため、対象の詳細な分光スペクトル分布の把握が期待できる。また、車両を利用した画像撮影システムより広大な農地の情報取得への展開も可能となる。そのため、従来の手法よりも精緻な分析が実行可能となる。しかし、この手法により農地情報を計測するためにはソフトウェアおよびハードウェア環境の整備が必要不可欠となる。

本研究ではグラウンドベースのハイパースペクトル画像解析による農地植生情報の計測技術の構築を目的とし、ハイパースペクトル画像から農地植生の面的な変動を捉えるための地理情報化システムを開発した。このシステムは多様な農地で多目的に利用することを想定しているため、異なる4つの農地に適用し、その性能および有用性を評価した。

2. ハイパースペクトル画像解析による地理情報化システム

グラウンドベースのハイパースペクトル画像から農地植生の面的な変動を捉えるため、統一的な地理情報化システムを開発した。このシステムは、画像を取得する画像撮影システムと植生情報マップを生成する画像解析システムの2つの基盤技術から成る一連の技術体系である。

画像撮影システムは、広域画像撮影サブシステムと局所画像撮影サブシステムから成り立つ。広域画像撮影サブシステムではマップ生成のための農地全面画像を取得し、局所画像撮影サブシステムでは植生情報の推定モデル開発のための高解像度画像を取得した。このシステムは、様々な農地で多目的に利用できる仕様となっている。また、カメラ以外のシステム構成機器は全て民生品であり、その構造は簡略である。よって、低コストで実用性の高いシステムといえる。

画像解析システムは、フィールドスケール画像生成サブシステム、画素推定サブシステム、空間処理サブシステムから成り立つ。フィールドスケール画像生成サブシステムでは、画像取得条件や画像解像度に影響されず、取得した画像から自動的に農地全体を表すフィールドスケールの画像を生成する。画素推定サブシステムでは、フィールドスケール画像の各画素の植生情報を推定し、初期マップを生成する。ここでは、高精度で植生情報を推定するために推定モデル自動生成システムを設計した。これは、多様なモデル開発アルゴリズムから最適な手法を自由に選択で

きるため、頑健で高性能なモデルの開発に役立つ。空間処理サブシステムでは、対象となる植生情報やマップの使用用途により空間処理手法が異なるため、ノイズ除去や個体認識など複数の処理が実行可能な仕様となっている。

以上のことから、開発した地理情報化システムは汎用性に優れ、応用範囲が広いと考えられた。

3. ダイズ圃場における作物と雑草の個体認識

畑作物生産での重要な管理作業の一つである除草作業に着目し、地理情報化システムによりダイズ圃場の作物と雑草の個体認識を試みた。

ダイズと雑草の個体を認識するため、NDVI しきい値法による植物領域画素抽出モデル、ステップワイズ変数選択を用いた線形判別分析による作物雑草画素判別モデルおよび個体認識のための空間処理をフィールドスケール画像に適用した。その結果、93.6%のダイズ個体は正確に認識でき、開発した手法により大部分の作物と雑草が正確に認識できた。この手法は0.13~0.18 m/sまでの車両走行速度に対応可能であった。現行のうね間除草機の走行速度に対応するため、処理アルゴリズムの最適化や並列処理の実行により処理時間の短縮を図ることが必要となる。

以上の結果より、ダイズと雑草の個体認識速度には改善が必要であったが、高精度で大部分の個体が認識できた。よって、ダイズ圃場での地理情報化システムの有用性が示された。

4. 放牧草地における構成草種および草量の分布推定

飼料コストの低下や飼料自給率の向上などの利点から再評価され始めている放牧草地に着目し、地理情報化システムにより放牧草地の構成草種および優先草種の草量の分布を推定した。

構成草種の画素判別では、ステップワイズ変数選択を用いた線形判別分析によりモデルを開発した。モデルの判別率は82.7%で、シロクローバと雑草との間で多少の誤判別が生じたが、概ね正確に判別できた。優先草種の草量推定ではPLS回帰分析によりモデルを開発した。モデルの決定係数は0.601~0.620で、概ね推定が可能と判断できた。これらのモデルをフィールドスケール画像に適用することで生成された構成草種および草量マップは実際の草地の状態を反映していた。

以上の結果より、放牧草地の構成草種および草量の分布が良好な精度で推定できた。よって、放牧草地での地理情報化システムの有用性が示された。

5. 採草地における牧草の収量および成分の分布推定

飼料自給率の向上および自給飼料を基盤とした畜産経営への転換に重要となる採草地に着目し、地理情報化システムにより採草地の刈取り時の収量および成分7種の分布を推定した。

PLS回帰分析により開発した収量推定モデルの決定係数は0.418、成分推定モデルでは0.389~0.705で、良好な精度であった。これらのモデルをフィールドスケール画像に適用することで生成された収量マップは、実際の収量分布を相対的に把握できると考えられた。また、成分マップからは成分の面的変動が把握できたが、今後はマップレベルで検証が必要となる。

以上の結果より、採草地の牧草収量および成分の分布が良好な精度で推定できた。よって、採草地での地理情報化システムの有用性が示された。

6. カバークロップ試験圃場における構成草種および草種別草量の分布推定

化学資材投入量の削減、土壌環境の改善などの多様な利点があるカバークロップ圃場に着目し、地理情報化システムによりカバークロップ圃場の構成草種および草種別草量の分布を推定した。

構成草種の画素判別では、ステップワイズ変数選択を用いた線形判別分析によりモデルを開発した。モデルの判別率は85.9%で、概ね正確に判別が可能と考えられた。草種別の草量推定では、

画素単位の情報である分光スペクトルと区画単位の情報すなわち面的な情報である草種植被率を説明変数とし、PLS 回帰分析によりモデルを開発した。モデルの決定係数は 0.724～0.930 で、概ね推定が可能と判断できた。これらのモデルをフィールドスケール画像に適用することで生成された構成草種および草種別草量推定マップは、実際の圃場の状態を概ね反映していた。

以上の結果より、カバークロップ圃場の構成草種および草量の分布の概略が把握できた。よって、カバークロップ圃場での地理情報化システムの有用性が示された。

学位論文審査の要旨

主査	准教授	片岡	崇
副査	教授	柴田	洋一
副査	教授	野口	伸
副査	教授	田中	勝千 (北里大学獣医学部)
副査	助教	岡本	博史

学位論文題名

ハイパースペクトル画像解析による 農地植生の地理情報化システムに関する研究

本論文は、全7章からなる総頁数148の和文論文である。論文には、図90、表23、引用文献108が含まれている。別に参考論文5編が添えられている。

農地の多様な情報を取得・解析して、作物生産へフィードバックすることは、農業の生産性向上や生産環境の保全に有益である。そのため、高性能な農地情報計測技術が重要となる。グランドベースのハイパースペクトル画像解析は、高い空間分解能の分光情報を扱うため、詳細な農地情報の検出・定量化に有用である。

本研究では、ハイパースペクトル画像から農地植生の面的な変動を捉えるための地理情報化システムを開発し、多様な農地の植生情報へ適用することでその性能および有用性を評価した。

1. ハイパースペクトル画像解析による地理情報化システム

ハイパースペクトル画像から農地植生の面的な変動を捉えるための地理情報化システムは、画像を取得する画像撮影システムと植生分布マップを生成する画像解析システムの2つの基盤技術から成る。

画像撮影システムは、農地全面の画像を取得する広域画像撮影サブシステムと植生推定モデル開発のための高解像度画像を取得する局所画像撮影サブシステムから成り立つ。このシステムは多目的に利用でき、汎用的で実用性の高いシステムと考えられる。画像解析システムは、フィールドスケール画像生成サブシステム、画素推定サブシステム、空間処理サブシステムから成り立つ。フィールドスケール画像生成サブシステムでは、撮影画像から農地全体を表す画像を生成する。画素推定サブシステムでは、農地全体の画像から植生情報を推定し、初期マップを生成する。ここでは、高精度で植生情報を推定するために、多様なアルゴリズムを備えるモデル自動生成システムを設計した。空間処理サブシステムは、ノイズ除去や個体認識など複数の処理が実行可能な仕様となっている。

以上のことから、開発した地理情報化システムは汎用性に優れ、応用範囲が広いと考えられた。

2. 畑作における作物と雑草の個体認識

畑作物生産での重要な管理作業の一つである除草作業に着目し、ダイズ圃場を対象に作物と雑草の個体認識を試みた。作物と雑草の個体判別では、93.6%の個体を正しく認識できた。この手法は0.13~0.18 m/sまでの車両走行速度に対応可能と推定できた。個体認識速度は現行のうね間除草機の走行速度より劣るが、コンピュータ性能の向上や並列処理の活用により処理時間の短縮が期待できる。現状では処理速度の改善が必要であったが、大部分の個体が認識できたため、畑作圃場の作物雑草の個体認識における本システムの有用性が示された。

3. 放牧草地における構成草種および草量の分布推定

飼料コストの低減などの利点から再評価され始めている放牧草地に着目し、放牧草地の管理で重要な情報となる草地の構成草種および草種草量の分布を推定した。構成草種の分布推定ではモデル検証時の判別率が80.3%で、草量推定ではモデル検証時の決定係数が0.601~0.620であった。生成した構成草種および草量の分布マップは実際の草地の特徴を反映していた。そのため、放牧草地での構成草種および草量分布推定における本システムの有用性が示された。

4. 採草地における牧草の収量および成分の分布推定

自給飼料を基盤とした畜産経営への転換に重要となる採草地に着目し、採草地生産性の決定要因となる牧草の収量および成分の分布を推定した。収量分布推定ではモデル検証時の決定係数が0.418で、生成した収量マップから相対的な収量のバラツキを捉えることができた。成分分布推定ではモデル検証時の決定係数が0.375~0.705で、牧草の栄養評価や等級マップ生成への展開が期待できた。よって、採草地での収量および成分の分布推定における本システムの有用性が示された。

5. カバークロップ試験圃場における構成草種および草種別草量の分布推定

化学資材投入量の削減などの多様な利点があるカバークロップ圃場に着目し、カバークロップ機能性の評価基準となる構成草種および草種別草量の分布を推定した。構成草種分布推定ではモデル検証時の判別率が85.9%で、草種別草量推定ではモデル検証時の決定係数が0.866~0.930であった。生成した構成草種および草種別草量推定マップは、実際の圃場の状態を概ね反映していたため、カバークロップ圃場での構成草種および草種別草量の分布推定における本システムの有用性が示された。

本研究で開発した地理情報化システムは、多くの情報を持つハイパースペクトル画像の画像解析を基本にして構築したものである。そして、対象とする農地の植生情報ごとに推定モデルの最適な組み合わせについて言及した。多様な農地植生解析に汎用的に応用できること、農作業の自動化や作物生産管理に必要な情報取得の指針を示した。

よって、審査員一同は、鈴木由美子が博士（農学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと認めた。