

学 位 論 文 題 名

リモートセンシングと GIS を融合した  
農地空間の情報化と利用に関する研究

学位論文内容の要旨

1 はじめに

農業経営は、気象、土地条件、土壌、作物生育、市況、栽培技術、経営情報など多くの情報を利用して行われている。また、その情報の中でも気象、土地条件、土壌、作物生育は空間情報であるため、位置情報を持ったデータが多い。農業経営はこれら大量の空間情報を効率的に収集、蓄積して、収量増加や品質向上に資するように利活用すべきである。しかし、農業分野は他分野に比べ情報化が進んでおらず、農業経営はいまだ経験と勘に頼っているのが現状である。その理由として、刻々と変化する作物生育情報を取得・利用できるシステムの開発が立ち後れていることがあげられる。

作物生育情報を効率的に取得する手段として、リモートセンシングシステムがあげられる。衛星リモートセンシング(以下、衛星 RS)と低空リモートセンシング(以下、低空 RS)を併用し、数値情報として GIS に一元化することで、観測空間がシームレスでタイムリーな圃場環境の精密モニタリングシステムの構築が可能となる。しかし、衛星 RS は天候に左右されるため、必要なときの画像が得られない危険性がある。また、低空 RS は撮影に時間とコストを要する。すなわち、圃場レベルから広域レベルまで作物生育情報や土壌情報を確実にかつ効率的に取得するためには、これら短所を補完する技術が必要である。このような背景から本研究では、リモートセンシングと GIS を融合し、圃場レベルから広域レベルまで有用な営農情報を提供できるシステムの構築を目的とした。

2 低空 RS と GIS を利用した馬鈴薯生育のばらつきの要因解析と対策

低空 RS のプラットフォームとして、リアルタイム性の高い産業用無人ヘリコプタによるリモートセンシングを採用し、前作の違いにより施肥体系が極端に異なる馬鈴薯圃場を供試圃場とした。また、馬鈴薯生育、有機物含量情報、および前作情報を GIS により統合することで、馬鈴薯生育のばらつきに及ぼす要因解析を試みた。

その結果、馬鈴薯生育のばらつきは、前作の施肥体系の違いに比べ、有機物含量の大小に影響を受けており、特に有機物含量が高い区域では窒素過剰による品質低下を受けていることが明らかになった。このことから、この圃場における作物生育のばらつきを解消するための対策は、土壌有機物含量情報に基づいた、局所的な窒素肥培管理であることが明確となった。また、産業用無人ヘリコプタで、圃場の標高データを取得し、そのデータを GIS に導入した結果、有機物含量が高い区域は圃場の凹部に分布することが明瞭になった。したがって、有機物含

量が高い区域の馬鈴薯に対する適切な窒素肥培管理のためには、局所的管理以外に排水改良の必要性が示唆された。

### 3 低空 RS による作物生育の効率的 GIS マッピング

産業用無人ヘリコプタによるリモートセンシングの所要時間と画像データ数の低減を計った。そのため、圃場全体を1枚の画像に撮影するようにカメラに俯角をつけた画像取得方法に着目し、その幾何補正法を考案した。

その結果、カメラに俯角をつけた画像取得について幾何補正法として圃場4隅点を利用した2次元射影変換が有効であり、その精度は画像の1ピクセル以内の誤差であった。また、空間分解能は従来の直下撮影式が約0.03~0.15mであったのに対し、俯角撮影式は約0.06~4.80mと、直下撮影式の分解能が高かった。幾何補正精度は直下撮影式が約0.41mであったのに対し、俯角撮影式は約2.70mと、直下撮影式の幾何補正精度が高かった。しかし、画像撮影枚数は直下撮影式が約100枚/haと膨大になるのに対して、俯角撮影式は圃場の大きさによらず1枚ですみ、取得すべき画像枚数の低減が可能である。また、機械の準備等も含めた圃場全体のセンシング時間は従来の1圃場約60分から約20分と約1/3に低減された。さらに、俯角撮影式による幾何補正手法を利用した小麦倒伏判別モデルの正判別率は98.0%であり、そのモデルから作成された小麦倒伏図は実際の倒伏の状況を的確に捉えていた。

### 4 低空 RS による土壌マップに基づいた可変施肥

俯角撮影式により作成した窒素施肥図に基づいたてんさい可変施肥の有効性を検証した。そのため、2種類の肥料を同時に可変散布できる施肥機を利用して、土壌マップに基づいた可変施肥を行った。また、慣行区と可変施肥区において収量および品質調査を行った。

その結果、俯角をつけた撮影画像から有機物含量を推定したモデルの決定係数は0.76であり、有機物含量を極めて高精度に推定することが可能であった。また、有機物含量と熱水抽出窒素には0.93と高い正の相関関係が認められた。その関係と有機物含量推定モデルから熱水抽出窒素図を作成し、窒素施肥量に読み替えた。可変施肥区は慣行施肥区に比べ窒素量を約31%減量したが、根収量、糖分、糖量において差はなく、可変施肥を行うことによる糖分と糖量の均一化が可能になった。

### 5 衛星 RS と GIS を利用した地域の小麦穂水分の推定

広域的な作物情報を確実に取得するために、衛星画像が撮影されない場合の地域の小麦穂水分地図の作成手法を確立した。そのため、GISにデータベースとして整理可能な播種月日・標高・土壌の母材・有機物含量に着目し、それらの項目から小麦成熟早晚を相対的に示す小麦穂水分推定モデルを構築し、小麦穂水分地図の作成を試みた。また、標高および有機物含量の地理情報に加え、施肥管理情報および融雪直後の衛星画像に着目し、それらの項目から小麦穂水分地図の作成を試みた。

その結果、GISデータベースのみを用いた小麦穂水分モデルは年次に関係なく、標高および有機物含量実測値から決定係数0.65~0.75、RMS誤差1.04~1.20%の精度で小麦穂水分を推定できた。また、衛星画像から推定した有機物含量を用いた場合でも、小麦穂水分は年次に関係なく、標高および有機物含量から決定係数0.58~0.72、RMS誤差1.10~1.32%の精度で推定できた。このことから、有機物含量を衛星画像から推定した値に置き換えた場合においても、

小麦穂水分推定の精度劣化の程度は小さいと判断した。すなわち、GIS データベースのみを用いた小麦穂水分モデルは衛星画像が全く撮影されない場合の補完方法として有用と判断した。また、標高、有機物含量、融雪直後(4月下旬～5月中旬)の衛星画像のNDVIを説明変数とした衛星データベース型小麦穂水分推定モデルは決定係数 0.66, RMS 誤差 1.08%の精度で穂水分を推定できた。また、適期の衛星画像のNDVIから推定した適期衛星型小麦穂水分推定モデルは決定係数 0.78, RMS 誤差 0.92%の精度で穂水分を推定できた。すなわち、衛星データベース型による小麦穂水分地図の精度はデータベース型よりも高く、適期衛星型と同程度であった。融雪直後の衛星画像は7月上旬～下旬に比べ取得頻度が高いことから、衛星データベース型穂水分地図は適期の衛星画像が撮影されない場合の代替手段として十分利用できると判断した。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 野 口 伸  
副 査 教 授 波 多 野 隆 介  
副 査 教 授 平 野 高 司  
副 査 准 教 授 石 井 一 暢

学 位 論 文 題 名

## リモートセンシングと GIS を融合した 農地空間の情報化と利用に関する研究

本論文は、全6章からなる総頁数113の和文論文である。論文には図43、表16、引用文献118が含まれ、別に参考論文2編が添えられている。

作物生育情報を効率的に取得する手段としてリモートセンシングが有効である。本研究では、衛星リモートセンシング（以下、衛星RS）、低空リモートセンシング（以下、低空RS）とGISを融合し、圃場レベルから広域レベルまで有用な営農情報を提供できるシステムの構築を目的とした。以下に、論文内容と審査結果について述べる。

### 1. 低空RSとGISを利用した馬鈴薯生育のばらつきの要因解析と対策

低空RSのプラットフォームとして、リアルタイム性の高い産業用無人ヘリコプタを採用し、馬鈴薯生育、有機物含量および前作情報をGISにより統合することで、馬鈴薯生育のばらつきに及ぼす要因解析を試みた。その結果、馬鈴薯生育のばらつきは、前作の施肥体系の違いに比べ、有機物含量の大小に影響を受けており、特に有機物含量が高い区域では窒素過剰による品質低下を受けていることが明らかになった。作物生育のばらつきを解消するための対策は、土壌有機物含量に基づいた局所的な窒素肥培管理であることが明確となった。また、産業用無人ヘリコプタを用いて圃場の標高データを取得し、そのデータをGISに導入した結果、有機物含量が高い区域は圃場の凹部に分布することが明らかになった。したがって、有機物含量が高い区域の馬鈴薯に対する適切な窒素肥培管理には排水改良の必要性が示唆された。

### 2. 低空RSによる作物生育の効率的GISマッピング

産業用無人ヘリコプタによるリモートセンシングの所要時間と画像データ数の削減を計った。圃場全体を1枚の画像に撮影するようにカメラに俯角をつけた画像取得法に着目し、その幾何補正法を考案した。幾何補正法として圃場4隅点を利用した2次元射影変換が有効であり、その精度は画像の1ピクセル以内の誤差であった。画像撮影枚数は従来の撮影

方式である直下撮影式が約 100 枚/ha と膨大になるのに対して、俯角撮影式は圃場の大きさによらず 1 枚ですみ、取得すべき画像枚数の大幅削減が可能となった。さらに、俯角撮影式による幾何補正手法を利用した小麦倒伏判別モデルの正判別率は 98.0%であり、そのモデルから作成された小麦倒伏図は実際の倒伏の状況を的確に捉えていた。

### 3. 低空 RS による土壤マップに基づいた可変施肥

俯角撮影式により作成した窒素施肥図に基づいたてんさい可変施肥の有効性を検証した。そのため、2 種類の肥料を同時に可変散布できる施肥機を利用して、土壤マップに基づいた可変施肥を行った。また、慣行区と可変施肥区において収量および品質調査を行った。その結果、俯角をつけた撮影画像から有機物含量を推定したモデルの決定係数は 0.76 であり、有機物含量を極めて高精度に推定することが可能であった。また、有機物含量と熱水抽出窒素には 0.93 と高い正の相関関係が認められた。その関係と有機物含量推定モデルから熱水抽出窒素図を作成し、窒素施肥量に読み替えた。可変施肥区は慣行施肥区に比べ窒素量を約 31%減量したが、根収量、糖分、糖量において差はなく、可変施肥を行うことによる糖分と糖量の均一化が可能になった。

### 4. 衛星 RS と GIS を利用した地域の小麦穂水分の推定

広域的な作物生育情報を確実に取得するために、衛星画像が撮影されない場合の地域の小麦穂水分地図の作成手法を確立した。GIS データベースのみを用いた穂水分モデルは標高および有機物含量から RMS 誤差 1.20%の精度で穂水分を推定できた。すなわち、データベースのみを用いた小麦穂水分モデル（データベース型）は衛星画像が全く撮影されない場合の補完方法として有用と判断した。また、標高、有機物含量、融雪直後に撮影された衛星画像に着目した小麦初期生育情報とデータベースを併用した穂水分モデル（初期生育データベース型）は RMS 誤差 1.08%の精度で推定できた。また、適期の衛星画像から作成した穂水分モデル（適期衛星型）は RMS 誤差 0.92%の精度であった。すなわち、初期生育データベース型の精度はデータベース型より高く、適期衛星型と同程度であった。融雪直後の衛星画像は、7 月上～下旬に比べ取得確率が高いことから、初期生育データベース型は適期の衛星画像が撮影されない場合の代替手段として十分活用できると判断した。

以上のように本論文はリモートセンシングと GIS を高度に融合し、圃場レベルから地域レベルまで作物生育情報や土壤情報を確実にかつ効率的に取得できる方法論を確立した。さらに、取得した情報を可変施肥や小麦穂水分の情報提供システムなど営農技術に展開したオリジナリティの高い研究である。本人は社会人特別選抜で入学し、今後開発システムを事業化、普及させる予定であり、実際問題とも関わりが大きい。

よって、審査員一同は、横堀 潤が博士（農学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認めた。