

作物生産ほ場の情報センシングと活用技術に関する研究

学位論文内容の要旨

本研究の目的は、作物生産ほ場の土壌及び作物生育情報に着目し、これらの情報を計測、分析してマップ化することで、ほ場や作物生育の状態を視覚的に把握し、その後の作物栽培管理へ効果的に反映させるシステムを開発することである。ほ場情報の内、土壌の化学成分をマップ化するには土壌採取と土壌分析を行なう必要がある。しかしながら、現在、その殆どの作業が手作業で行なわれている。そこで本研究では、まず土壌採取作業の自動化システムの開発を試みた。次いで、作物の生育情報に関して、作物生育量(草高)を自動センシングするシステムの開発を行なった。そして、土壌の化学成分マップ、ロータリ耕うん抵抗(土壌の硬さ)マップ、作物生育量(草高)マップを作成した。それぞれのマップを比較することで、効果的な作物栽培管理作業を構築するための判断ツールとして活用することが可能とされた。

1.ロータリカルチ式自動連続土壌サンプリングシステムの開発

自動的、連続的に土壌をサンプリングできるロータリカルチ式自動連続土壌サンプリングシステムを開発した。本システムは耕うん幅 22.5cm で土壌を耕うん・砕土し、後方へ投てきされた土壌を、採土缶に採取・保管する機構を持つ。採土缶に土壌を保管することで実験室等での精密な化学成分測定に対応できる。土壌の採取間隔(設定距離)は予め決めておく。GPS(全地球測位システム, Global Positioning System)からの位置データに基づいて、土壌採取開始地点からの直線移動距離をリアルタイムで算出し、設定距離と移動距離が一致した時、採土缶に土壌が採取される。本システムのGPSには公称精度 1m のデファレンシャルGPS(D-GPS)を使用した。本システムの距離測定には、GPSデータの誤差、タイヤの滑り、機械的な作動タイミングのズレ等の精度を下げる要因があるが、実用上十分な精度で土壌採取が可能であった。また、採土缶に充填された土壌は手作業で採取された場合の物理状態と有意な差が無かった。走行速度の 1.0m/s において、土壌採取の一連の工程を終えるのに少なくとも 5 秒は必要であるが、この条件で土壌分析に供するに十分な土量 220g/m を確保することができた。

2.自動連続土壌サンプリングシステムの開発

ロータリカルチ式自動連続土壌サンプリングシステムを改良して、ロータリ耕うん機に取付け可能で、ロータリ耕うん作業と同時に土壌採取できる自動連続土壌サンプリングシステムを開発した。土壌採取の位置制御システムは、ロータリカルチ式自動連続土壌サンプリングシステムと同様である。ロータリ耕うん作業と同時に土壌採取を行なっても採取位置精度に問題は無かった。さらに、本システムに土壌水分の測定機構を組み込み、リアルタイム計測を行える構造とした。本システムにおいて、

土壤が採取缶へ充填される時間は1秒以内、土壤を採取缶に充填した後に土壤水分計での水分測定にかかる時間は2秒であった。手作業での土壤採取と比較して大幅な効率化、迅速化を成し得た。本システムの土壤採取作業の能率は、ロータリ耕うん作業速度 0.3m/s で供試ほ場の長辺方向 170m を走行するのに約 10 分必要であるが、土壤サンプリング回数を増やしてもその作業性能は、ロータリ耕うん作業の作業速度に依存するため変わらない。

3. 土壤水分、水素イオン濃度 (pH)、電気伝導率 (EC) のリアルタイム測定

供試した TDR 式の土壤水分計は、連続測定が可能で、測定時間も 0.5 秒以下である。測定値は、従来の炉乾燥法で測定した含水比と殆ど変わらなかった。開発した土壤サンプリングシステムに土壤水分計を実装することで、土壤水分のリアルタイム計測が可能となった。

ポータブル電気伝導率 (EC)・pH 計は、その使用方法の簡便性からほ場における EC、pH の分布マップを作成する手段としては有効である。しかしながら、土壤の EC や pH を測定するためには採取した土壤の水溶液を作成しなければならず、本システムへ搭載するには複雑で大きかりな装備が必要であった。

4. ほ場マップの作成

ほ場マップについて、ロータリ耕うん抵抗マップ、作物生育量 (草高) マップ、土壤の化学成分マップの作成を試みた。

トラクタの PTO 軸とユニバーサルジョイントの間にトルクメータを装着し、GPS で位置情報を得ながら、ロータリ耕うん機の所要トルクを測定した。ロータリ耕うんトルクをマップ化することで、ほ場内の耕うん抵抗、すなわち土壤の硬さのパラッキを可視化することが可能であった。

タイヤ幅が狭く、最低地上高の高い乗用管理機に超音波センサと GPS を装着し、作物列に沿って、超音波センサで作物の草高を測定した。個々の作物の草高を厳密に測定することはできないが、作物列としての草高の生育傾向やほ場全体の生育量をマップ化できた。

開発した自動連続土壤サンプリングシステムで、土壤採取と同時に土壤水分を測定した。さらに、その土壤の化学成分を分析し、土壤の化学成分マップを作成した。土壤化学成分の分析には養分測定装置と栄養塩分析システムを使用した。分析方法の違いから、それぞれの装置による分析結果に相関関係は認められなかった。そのため、分析結果の使用目的と求められる測定精度によって、分析装置を選択しなければならないことが分かった。

5. ほ場マップの活用

いくつかのほ場マップを互いに組み合わせることで、その後の効果的な作物栽培管理作業を構築することが可能になる。土壤の採取間隔を変化させ、土壤の化学成分毎のマップの精度への影響を考察した。例えば、硝酸態窒素分布のマップについて、10m×5m の採取間隔を 10m×10m、20m×5m、20m×10m に変化させたところ、10m×10m では同じ分布傾向が維持できることが分かった。土壤採取個数が多くなれば、当然土壤の化学成分マップの精度は高くなる。しかしながら、そのマップの利用目的に合わせて土壤採取間隔を決定することで能率的な土壤評価が行える。また、窒素を施用する際の可変制御施肥システムの要求分解能が決められる。

作物生育量(草高)と土壤中窒素成分とを比較し、窒素成分から作物生育量が推定できるか検討した。作物の初期生育は播種前の窒素量によって決定されるが、対象作物の大豆の場合、根粒菌によって土

壤中の窒素成分を固定させるため、初期生育では生育速度に差があるものの、根粒菌や施肥肥料によってその後の生育には差が無くなった。豆類の作物生育量は、使用窒素量や播種前の窒素量の他に根粒菌による窒素固定量も考慮していく必要があることが示された。

学位論文審査の要旨

主査	准教授	片岡	崇
副査	教授	松田	従三
副査	教授	野口	伸
副査	准教授	近江谷	和彦

学位論文題名

作物生産ほ場の情報センシングと活用技術に関する研究

本論文は、全7章からなる総頁数166の和文論文である。論文には、図59、表15、引用文献81が含まれている。

作物生産ほ場の情報を視覚的に把握し、作物栽培管理に反映するための有効な手段のひとつにはほ場のマップ化がある。土壌の化学成分や物理状態を表す土壌マップは、施肥計画や収量予測等に重要な意義を持つ。ただし、土壌の化学成分マップにおいて、土壌採取作業の自動化が課題とされてきた。

本研究は、土壌マップの効率的な作成のために、自動連続土壌サンプリングシステムを開発した。さらに、土壌の硬さや水分、そして、作物生育量を自動計測できるシステムを構築し、これらの情報をマップ化した。そして、作成したほ場マップのほ場情報を比較、分析し、ほ場マップの情報が作物生産管理作業に有効に活用できることを明らかにした。

1. ロータリカルチ式自動連続土壌サンプリングシステムの開発

ロータリカルチで碎土した土壌を採土缶に採取する機構を持つ土壌サンプリングシステムを開発した。採取された土壌は、化学分析に使用される。土壌の採取位置は、GPS（全地球測位システム; Global Positioning System）に基づく緯度・経度の位置情報で制御される。供試GPSは、ディファレンシャルGPSである。開発した制御システムは、走行速度1.0 m/sで、最小土壌採取間隔5 mを達成し、実用上十分な精度で土壌を採取できた。また、採取された土壌は、手作業の採取とほぼ同じ固相率であり、その採取土量は走行距離1 m当たり200 g以上で、土壌分析に十分な量であった。

2. 自動連続土壌サンプリングシステムの開発

ロータリカルチ式土壌サンプリングシステムをベースに、ロータリ耕うん作業と同時に土壌を採取できる自動連続土壌サンプリングシステムを開発した。本システムは、土壌耕うん部、土壌搬送部、土壌採取部を基本構造とする。土壌採取位置は、ロータリカルチ式システムと同様にGPS位置情報に基づいて決定され、十分な位置精度で制御されていることを確認した。長さ170 m×幅30 mのほ場において、長辺方向10 m、短辺方向5 m間隔で計68点の土壌採取に約50分を要した。手作業によ

る土壤採取と比べて、大幅な作業能率の向上を成し得た。

3. 土壤水分、水素イオン濃度 (pH)、電気伝導率 (EC) のリアルタイム測定

自動連続土壤サンプリングシステムに土壤水分計を搭載した。供試土壤水分計は、測定時間が 0.5 s 以下で、採取した土壤の水分をリアルタイムで測定することができる。その測定精度は、従来の炉乾燥法と変わらなかった。ポータブルの電気伝導率・pH 計の搭載も検討した。これらは、測定のために土壤溶液を作る必要があるため、リアルタイム計測に課題が残された。

4. ほ場マップの作成

土壤の硬さマップ、土壤の化学成分マップ、土壤水分マップ等の土壤マップと、作物生育量マップの各ほ場マップを作成した。ロータリ耕うんの所要軸トルクと耕深を GPS 位置情報とともに計測し、土壤の硬さマップを作成した。自動連続土壤サンプリングシステムで採取した土壤を養液測定装置と栄養塩分析システムの 2 つの分析装置で窒素成分、カリウム成分、リン酸成分を中心に含有量を測定し、土壤の化学成分マップを作成した。土壤サンプリングシステムに搭載した水分計で計測し、含水比で表した土壤水分マップを作成した。発振周波数 80kHz の超音波センサーと GPS を乗用管理機に搭載し、ほ場を走行しながら作物の草高を計測し、作物生育量マップを作成した。

5. ほ場マップの活用

土壤の硬さマップと土壤水分マップを比べると、含水比の高い場所では土壤が硬く、土壤水分と土壤強度の関係を説明していた。これは、播種時の適正な土壤水分、土壤の硬さの判断材料になり得る。土壤の化学成分マップの内、硝酸態窒素マップを使用して、その分析精度と土壤の採取間隔（採取数）について考察した。土壤採取グリッド 10m×5m を基準に、採取間隔を 2 倍～3 倍程度に広げても、マップの視覚的情報に問題がない可能性が示された。土壤分析数の適正化を図るということは、土壤の化学成分マップ作成の作業能率を向上させることになる。土壤の化学成分マップと作物生育量マップを比較して、硝酸態窒素消費量と草高伸長量に相関傾向が見出された。

開発した自動連続土壤サンプリングシステムは、土壤マップ作成の迅速化に寄与するとともに、土壤採取位置、採取数の適正化の検討にも応用される。新しい機能を持つ農業機械に位置づけられる。さらに、様々なほ場情報をマップ化し、相互に比較することで、作物生育に及ぼす要因の特定が可能とされ、作物生産管理作業の指標になり得る事が示された。

よって、審査員一同は、齋藤正博が博士（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。