



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Development of a soil compaction management system : Using hyperspectral-based soil properties sensing
Author(s)	AMANOR, Ishmael Nartey
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(農学)
Dissertation Number	甲第16585号
Issue Date	2025-09-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k16585
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/98195
Type	doctoral thesis
File Information	AMANOR_Ishmael_Nartey_review.pdf, 審査の要旨 https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士（農学） 氏 名 AMANOR Ishmael Nartey

審査担当者	主査	教授	野口 伸
	副査	教授	岩渕和則
	副査	助教	オスピナ アラルコン リカルト
	副査	准教授	石井一暢（国際食資源学院）

学位論文題名

Development of a soil compaction management system: Using
hyperspectral-based soil properties sensing
(土壌踏圧管理システムの開発：ハイパースペクトルベース土壌センシング)

本論文は英文 176 頁、図 58、表 28、7 章からなり、参考論文 2 編が付されている。

圃場への人為的操作である耕うん作業を最適化するために面的に均一に耕うんする従来法に代わる圃場の土壌踏圧 (soil compaction) に着目した精密局所耕うん法 (precision tillage) の開発を研究目的とした。本研究では精密局所耕うん法を提案するために 2 段階のアプローチを採用した。ハイパースペクトルカメラ (hyperspectral camera) を用いて、土壌に非接触のもとで土壌踏圧を評価し、そのデータを精密局所耕うんのための処方箋マップに変換するデータ処理法の開発である。

まず、圃場の土壌密度（粗充填密度・密充填密度）の変動範囲内においてハイパースペクトルカメラからの分光データが精密局所耕うんに使用できる推定精度であることを確認した。そして土壌踏圧のレベルが小麦の成長に及ぼす影響を評価するために、踏圧レベルを変化させた圃場試験を実施して、収量を最大化する踏圧範囲を明らかにした。これらの結果に基づいて、小麦成長に関する精密局所耕うん法を考案した。

1. 土壌踏圧評価のためのリモートセンシング手法の開発

本研究では精密局所耕うんのための主要な土壌パラメータを迅速に測定するために、リモートセンシングを利用した。これは、従来の土壌測定とハイパースペクトルカメラデータを組み合わせることで実現した。本研究では土壌踏圧を推定する 6 種類の方法を考案したが、その 6 種類は精密局所耕うんのための土壌特性を決定する方法としては 2 種類に大別できる。1 つ目は、慣行の土壌硬度測定法により測定された値から統計的に算出された値であり、2 つ目は、ハイパースペクトルカメラによるリモートセンシングに基づく方法である。予測モデルパラメータの最適

化を行うことで慣行の土壌踏圧推定法では測定誤差は5%未満であった。一方、ハイパースペクトルカメラによる分光データに基づいて踏圧状態を推定した場合は10%以内の誤差であった。これらの結果からリモートセンシングデータから求められた土壌踏圧でも精密局所耕うんは可能であると判断し、実践的な現場利用法の開発に着手した。

2. 小麦生産性に関する土壌踏圧効果の定量化

土壌踏圧の作物生育に与える影響を定量化し、作物生育の観点から精密局所耕うんに発展させる手法を検討した。小麦を対象にして4段階の踏圧状態と対照区を試験圃場に設置して栽培試験を行った。播種前の土壌かさ密度を 1.30 Mg/m^3 、 1.25 Mg/m^3 、 1.24 Mg/m^3 、 1.19 Mg/m^3 および対照区 (1.17 Mg/m^3) において実施した。この試験によって土壌の物理特性、化学特性、生育データおよび収量への影響を調査した。得られた結果は適度な踏圧状態 (1.24 Mg/m^3) が小麦の栄養素利用を最大化し、高い収量をもたらすことが明らかになった。空間分析ではP-Ca-Mgの複合モデルが収量変動の97.2%を説明できた。空間分析の結果、土壌の締固まり度合と収量の間には非線形関係があったものの、小麦の生産性にとって最適な踏圧レベルがあることが判明し、土壌硬度に基づいた精密局所耕うん戦略が成立する可能性が示唆された。

3. 土壌踏圧情報を基盤とした精密局所耕うん戦略決定法

土壌踏圧に対する小麦の応答から得られた知見を統合して、小麦に特化した精密局所耕うん戦略決定法を考案した。実験的に特定された最適な踏圧レベル ($BD = 1.24 \text{ Mg/m}^3$) は、収量最大化を目的とした場合の基盤データとなる。ハイパースペクトラルによるリモートセンシングにより、土壌踏圧状態の迅速な評価ができる簡易的なワークフローを開発した。この研究成果は局所的に土壌踏圧を管理できる新たな圃場管理法として小麦生産者に提供できる技術になることを意味している。

以上、本研究では土壌踏圧に着目した精密局所耕うん法の開発を行った。土壌踏圧現象をハイパースペクトルカメラを利用して簡易的に把握し、小麦を対象にして生育の観点から最適な土壌踏圧レベルを明らかにした。本研究は空間的に土壌踏圧を制御することで小麦栽培の最適化を図れることを示したオリジナリティの高い成果とともに、本人の母国であるガーナの農業に対しても貢献できる実用技術であり、その意義は大きい。

よって審査員一同は、Amanor Ishmael Nartey 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。