

氏名(本国籍)	田中真哉(長野県)		
学位の種類	博士(農学)		
学位記番号	農博甲第492号		
学位授与年月日	平成20年3月13日		
学位授与の要件	学位規則第3条第1項該当		
研究科及び専攻	連合農学研究科 生物環境科学専攻		
研究指導を受けた大学	岐阜大学		
学位論文題目	リモートセンシング情報による水田転換畑作小麦の生育診断		
審査委員会	主査	岐阜大学 教授	秋山 侃
	副査	岐阜大学 教授	宮川 修一
	副査	信州大学 教授	加藤 正人
	副査	静岡大学 教授	澤田 均

論文の内容の要旨

近年のリモートセンシング技術の向上により、作物の生育診断、特にバイオマスや葉面積などの推定技術は実用の域に達している。今、リモートセンシングで最も期待される診断技術は品質の早期推定である。わが国では小麦 (*Triticum aestivum* L.) の消費量は増加傾向にあり、また、水稻の生産調整を受けて栽培面積も増加していることからその重要性が増している。しかし、日本の温暖で雨量の多い気候条件や排水性の悪い水田における生育環境は、小麦の栽培環境として劣悪なため、その子実品質は諸外国産と比べて劣る。とりわけ子実タンパク含有率は多くの栽培圃場で不足しているが、これは出穂後の追肥によって向上させることが可能なため、低タンパクと予想される圃場を事前に把握し、適切な追肥を行うことが子実の品質向上にとって有効である。

小麦の出穂期から開花期における葉身クロロフィル濃度 ($\cdot \text{g cm}^{-2} \text{ leaf}$) は子実タンパク含有率と高い相関がある。このため、リモートセンシング技術によって小麦畑のクロロフィル濃度を見積もることで、小麦の子実タンパク含有率を広域にわたって面的に評価し、栽培管理への情報を提供することが可能になる。そこで本論文では、リモートセンシング技術を用いて、出穂から開花期における小麦の葉身クロロフィル濃度を推定する手法を開発することを目的として研究を行った。

1) クロロフィル濃度推定手法の開発

出穂直後の小麦の葉身クロロフィル濃度を推定する手法を開発するために、岐阜県農業技術センターの精密試験圃場における地上での可視・近赤外ハイパースペクトル反射

計測実験と葉緑素計 SPAD・502 による計測を行った。葉身クロロフィル濃度はサブサンプルの分析から得られた検量線によって SPAD 値から換算した。

5nm 間隔に変換した分光反射係数は、利用可能なすべての波長における反射係数を式 $(R_{.1} \cdot R_{.2}) / (R_{.1} \cdot R_{.2})$ に代入し、クロロフィル濃度に対する線形回帰モデルをあてはめた場合の決定係数を比較した結果、赤及び青波長帯の組み合わせ rbNDVI によってクロロフィル濃度との間に高い決定係数 ($r^2 = 0.6$) を得た。これを既存の植生指数 NDVI、TCARI/OSAVI と比較したところ、クロロフィル濃度に対して rbNDVI によって最も高い決定係数を得られたこと (2006 年: $r^2 = 0.701$, 2007 年: $r^2 = 0.802$)、また、2 年分の計測データ間で二乗平均平方根誤差 (RMSE) が最も小さかったことから、本研究で開発した植生指数 rbNDVI は小麦クロロフィル濃度の推定に有効であることが明らかになった。

本手法を衛星観測へと拡張することを考え、地上での計測で得られた分光反射係数を ALOS/AVNIR・2 での広い帯域幅に合わせ、シミュレーション比較した。その結果、広帯域幅で計算した場合においてもクロロフィル濃度との間に高い決定係数を得たことから ($r^2 = 0.789$)、衛星観測においても本手法を適用できる可能性が示された。

2) クロロフィル濃度推定手法の検証と航空機ハイパースペクトルデータへの適用

rbNDVI のクロロフィル濃度推定における有効性について検証を行うため、栽培条件の大きく異なる岐阜県海津市の農家栽培圃場において得られた地上超多波長分光反射係数データ及び航空機ハイパースペクトルデータを解析した。

地上での計測実験では、rbNDVI が栽培条件や土壌の異なる実際の農家圃場においても精度よくクロロフィル濃度を推定できることが分かった ($r^2 = 0.731$)。また、精密試験圃場での得られた推定式をそのまま農家圃場でも適用することができた。航空機ハイパースペクトルデータに rbNDVI を適用した場合においてもその決定係数は高く (2006 年: $r^2 = 0.424$, 2007 年: $r^2 = 0.447$)、2 年分のデータ間で RMSE が最小であったことから、rbNDVI の有効性が確認された。しかし、生育の著しく不良な場所においては推定誤差が大きくなる可能性があり、今後の検討課題となった。

rbNDVI は可視域の波長を用いることから、大気による散乱・吸収の影響が懸念される。しかし、本研究において大気の放射伝達コード 6S による大気補正と反射率マッチングを適用することで、これらの問題を解決することが分かり、小麦のクロロフィル濃度の推定に利用することが可能であると判断された。

上記の結果を基に、航空機ハイパースペクトルデータから、クロロフィル濃度の空間分布マップを作成した。クロロフィル濃度の空間分布マップによって、対象域全体でのクロロフィル濃度のばらつきと一筆の圃場内における空間的なばらつきを視覚的に強調することができた。このマップによって、低タンパクと予想される圃場や場所を容易に抽出することが可能であると考えられ、圃場での追肥など精密農業への基礎的な情報として提供することができた。

これらのことから、本研究で開発した出穂から開花期におけるクロロフィル濃度の推定手法は、従来の時間と労力のかかる地上での詳細な計測に代わる方法として評価できると結論づけられた。

審 査 結 果 の 要 旨

小麦は本来、冷涼な半乾燥地帯が栽培適地とされているが、日本では水田の転換畑に栽培されることが多い。岐阜県産小麦は高温多湿な栽培条件のため、一般に子実の品質が低く評価されている。しかし、近年、小麦国内生産の必要性が高まり、同時に高品質小麦の生産に期待が寄せられている。小麦の品質は子実中のタンパク含有率や粉色などによってランク付けされているが、水田転作小麦は概して子実のタンパク含有率が低いとされている。小麦の子実タンパク含有率は、出穂から開花期における窒素の実肥によって改善できることが知られている。しかし、施肥すべき畑を検出するためには、化学分析などによるタンパク含有率の調査が必要で、多大な時間と費用・労力がかかる。人工衛星データを使った米の品質(おいしさ)判定は北海道ですでに実用化されているが、実際には登熟期の葉色から判断するため、結果を当該年の栽培管理には反映できない。

そこで本研究では、子実のタンパク含有率に高い相関のある葉身クロロフィル濃度を、出穂から開花期に圃場でリモートセンシング情報によって検出する方法を検討した。まず、岐阜県農業技術センターの水稻収穫後の精密圃場で、施肥条件を変えて栽培した小麦を、出穂から開花期にかけて地上型超多波長分光放射計(Hyperspectral radiometer)で計測し、その時の葉身クロロフィル含有率との関係を調べた。その結果、赤と青色の波長を使った新しい植生指数(rbNDVI)が有効なことを発見した(第2章)。

この結果を実際の農家圃場に適用して広域的に検証するため、2年間にわたって県南部の海津市の水田転換小麦作地帯で航空機を使った圃場観測を行った。航空機搭載センサで得られた結果と、農家圃場の葉身クロロフィル含有率の関係を解析した。従来から用いられている2つの植生指数と比較したところ、rbNDVIが最も安定して良い結果を出したことから、実際の農家で栽培される小麦に対しても適用できると判断した。また、rbNDVI式によって航空機観測地域のクロロフィル分布図も作成することができた(第3章)。

この技術は、小麦品質(子実タンパク含有率)向上に役立てることができるほか、圃場内の生育のばらつきも判るため、精密農業にも利用できる。さらに、森林などの活性識別にも利用できるなど、広い応用が期待できる。また、2年前に打ち上げられたALOS衛星(だいち)のAVNIR-2センサでは、青と赤の波長が計測されていることから、衛星観測への適用にも期待がもてる。

以上について、審査委員全員一致で本論文が岐阜大学大学院連合農学研究科の学位論文として十分価値あるものと認めた。

基礎となる論文は、以下に発表した。

1. 田中真哉・後藤誠二郎・牧 雅康・秋山 侃・村元靖典・吉田一昭, 2007. 新しい植生指数“ r_bNDVI ”による冬小麦の葉身クロロフィル濃度の早期推定, システム農学, 23 巻 4 号, pp. 297-303.
2. 田中真哉・後藤誠二郎・牧 雅康・秋山 侃・村元靖典・吉田一昭. 出穂から開花期における地上及び航空機ハイパースペクトルデータを用いた小麦の葉身クロロフィル濃度の推定とその評価, 写真測量とリモートセンシング, 印刷中.

