

学 位 論 文 要 旨	
氏 名	石 川 大 太 郎
題 目	近接リモートセンシング手法を用いた農作物の生育・品質推定手法に関する研究 (Study on growth and quality estimation method for crops using proximal remote sensing.)
<p>農作物の生育状況を常時把握することは肥培管理を行う上で、極めて重要であり、従来は経験に基づいて行われてきたところが多い。しかし、近年の地球温暖化に伴う急激な気象変化は、従来の勘や経験に頼った肥培管理方法では対応が困難となっている。しかも、持続的農業の必要性から、肥培管理の再構築の重要性は益々高まっている。これらを背景として、鹿児島県の主要な農作物である茶、サツマイモと水稲に対して、非破壊・非接触の特徴を有するリモートセンシング手法を用いて生育・品質推定手法の開発を行い、新しい肥培管理方法の構築に供することを目的として研究を行った。</p> <p>研究は、気象条件、肥培管理等が各作物の生育に及ぼす影響について、作物の葉の分光反射特性を計測し、葉面積、葉成分(葉緑素、アミノ酸、窒素含有率等)との関係を検討する基礎実験と、得られた指標を基に分光画像の解析を行い、リモートセンシングの実用化に向けての実証実験よりなる。</p> <p>茶樹の新芽の生育量と葉内窒素含有率に対しては 770nm と 660nm の波長を用いた正規化指標、$ND_{770,660}=(R_{770}-R_{660})/(R_{770}+R_{660})$ が有効であり、一方、荒茶品質判定の基準となっている AF 値 (アミノ酸と繊維の割合) に対しては 710nm と 520nm の $ND_{710,520}$ を用いると推定は可能であった。この $ND_{710,520}$ は、摘採期付近になると減少し、それ以後は上昇する傾向にあるため品質面からの荒茶の摘採期の推定がリモートセンシングにより可能であることを定量的に示した。さらに、710nm と 520nm の分光画像を合成した $ND_{710,520}$ 画像のヒストグラム変化から圃場における最適摘採日を決定できることを明らかにした。</p> <p>一等米・二等米圃場を判定するため、各圃場の草丈・分けつ数、葉緑素濃度、分光反射特性の経時変化を調査した。葉緑素値 (SPAD) は生育初期から等級間に差異を生じることを明らかにした。また、770nm と 660nm の反射率を用いた正規化指標、$ND_{770,660}$ 値は SPAD 値と高い正の相関関係が認められ、非接触状態で広範囲に測定できるリモートセンシングの有効性を見いだした。770nm と 660nm の分光画像による $ND_{770,660}$ 画像の解析により、ヒストグラムの最頻値と分散分析により一等米圃場と二等米圃場を出穂期以後より判別できることが示された。</p> <p>葉が匍匐型に展開するサツマイモでは、葉面積、葉内窒素含有率のいずれも塊根部重量と相関関係を有することを明らかにした。また、710nm と 510nm の反射率を用いた正規化指標、$ND_{710,510}$ は葉面積と有意な負の相関関係を示し、$ND_{770,660}$ と $ND_{530,510}$ は葉内窒素含有率の推定に有効であることを明らかにした。</p> <p>以上、農作物の生育ならびに品質推定を非破壊・非接触で行う近接リモートセンシング手法の開発とその実用化を目指した本研究は、作物の生育段階や生育状況に応じて作物体からの反射光の特異性を抽出できることを明らかにし、品質を重視した茶の摘採時期の決定や一等米・二等米圃場の出穂期以降の非破壊的な判定は、肥培管理面への有効な情報を与えるものである。またサツマイモの葉面積・葉内窒素含有率をリモートセンシングで測定することによる塊根部重量の推定は、本研究の匍匐型作物や地下茎作物への応用の可能性を導くものと考えられる。</p>	

学 位 論 文 要 旨

氏 名

Daitaro ISHIKAWA

題 目

Study on growth and quality estimation method for crops using proximal remote sensing.

(近接リモートセンシング手法を用いた農作物の生育・品質推定手法に関する研究)

It is important to understand the growth situation of crops for the manuring practice. However, a rapid weather change according to the global warming in recent years is difficult in the method of the manuring practice of dependence on the experience. Moreover, the importance of the reconstruction of the manuring practice has risen more and more because of the necessity of the sustainable agriculture.

This study was carried out to develop growth and quality estimation methods using proximal remote sensing that had the feature of nondestructive and noncontact, finally to contribute of the manuring practice method for tea, the sweet potato, and paddy rice that was the main crop in Kagoshima prefecture.

It was shown to be able to estimate the nitrogen content and growth quantity per leaves with $ND_{770,660}$ index that used the wavelength of 770 nm and 660 nm. Moreover, it was shown the change of the AF value was to prospect with $ND_{710,520}$. Especially, the $ND_{710,520}$ index value has decreased during harvest period, and after increase of the value was confirmed.

Mode of the $ND_{770,660}$ image ($ND_{770,660}MAX$) indicated the possibility that nitrogen content on the field was able to be presumed. The result was suggested that the ND_{ij} index was effective for the manuring practice of the tea plant. Moreover, it was shown that the $ND_{710,520}MAX$ and the kurtosis of $ND_{710,520}$ image becomes an effective indicator for the decision of optimum harvest period.

To judge the paddy rice field such as the 1st and 2nd grade, a change of the plant length, the tiller number, the density of chlorophyll and the spectral reflectance of each field were investigated with growing period. SPAD value was difference from the first stage of growth between grades. Between SPAD value and $ND_{770,660}$ index was confirmed positive correlation, $ND_{770,660}MAX$ of the $ND_{770,660}$ image of the 1st grade field rose to heading, and it was decreased afterwards. The distribution of the $ND_{770,660}MAX$ in the field was examined by RMSE, the RMSE of 2nd grade field was more widely than first grad field. These result were shown that it was able to estimate the grade from the heading by $ND_{770,660}MAX$ and RMSE of the field.

The result of the sweet potato with the creeping type leaves, it was clarified to have correlation among weight of the tuberous root, the leaf area and the nitrogen content in leaves. Moreover, it was confirmed that $ND_{710,510}$ derived from spectral reflectance of 710 nm and 510 nm showed a significant negative correlation to the leaf area, and $ND_{770,660}$ and $ND_{530,510}$ were effective for the estimate of the nitrogen content in the leaves.

Therefore, the decision of optimum harvest period for tea plant and judgment of grade after the heading derived from proximal remote sensing method is given the effective information on reconstruction of manuring practice. Moreover, it is shown nondestructive estimation of weight of the tuberous root for the sweet potato is able to apply to the other crops of the creeping and tuber type.

学位論文審査結果の要旨	
学位申請者 氏名	石川 大太郎
審査委員	主査 鹿児島大学教授 石黒 悦爾
	副査 鹿児島大学教授 岩崎 浩一
	副査 琉球大学教授 川満 芳信
	副査 佐賀大学教授 野瀬 昭博
	副査 琉球大学教授 上野 正実
審査協力者	鹿児島大学教授 箱山 晋
題目	近接リモートセンシング手法を用いた農作物の生育・品質推定手法に関する研究 (Study on Growth and Quality Estimation Method for Crops Using Proximal Remote Sensing)
<p>肥培管理上、農作物の生育状況を常時把握することは極めて重要であり、従来は経験に基づいて行われてきたところが多い。しかし、近年の地球温暖化に伴う急激な気象変動は、従来の勘や経験に頼った肥培管理方法では対応が困難となっている。しかも、持続的農業の必要性から、肥培管理の再構築の重要性は益々高まっている。これらを背景として、鹿児島県の主要な農作物である茶、サツマイモと水稲に対して、非破壊・非接触の特徴を有するリモートセンシング手法を用いて生育・品質推定手法の開発を行い、新しい肥培管理方法の構築に供することを目的として研究を行った。</p> <p>本研究は、気象条件、肥培管理等が各作物の生育に及ぼす影響について、作物の葉の分光反射特性を計測し、葉面積、葉内成分(葉緑素濃度、アミノ酸、窒素含有率等)との関係を検討する基礎実験と、得られた指標を基に分光画像の解析を行い、肥培管理へのリモートセンシングの実用化に向けての実証実験よりなる。</p> <p>茶樹の新芽の生育量と葉内窒素含有率に対しては770nmと660nmの波長を用いた正規化指標、$ND_{770,660}=(R_{770}-R_{660})/(R_{770}+R_{660})$が有効であり、荒茶品質判定の基準</p>	

となっている AF 値(アミノ酸と繊維の比)に対しては 710nm と 520nm の $ND_{710,520}$ を用いると推定は可能であった。この $ND_{710,520}$ 値は、摘採期付近になると減少し、それ以後は上昇する傾向にあるため品質面からの荒茶の摘採期の推定がリモートセンシングにより可能となることを定量的に示した。さらに、710nm と 520nm の分光画像を合成した $ND_{710,520}$ 画像のヒストグラム変化から圃場における最適摘採日を決定できることを明らかにした。これらの研究成果は、日本農業気象学会でも高く評価され、学術奨励賞を受賞している。

一等米・二等米圃場を判定するため、各圃場の草丈・分けつ数、葉緑素濃度と分光反射特性の経時変化を調査した。葉緑素値 (SPAD) は生育初期から等級間に差異が生じることを明らかにした。また、770nm と 660nm の反射率を用いた正規化指標、 $ND_{770,660}$ 値は SPAD 値と高い正の相関関係が認められ、非接触状態で広範囲に測定できるリモートセンシングの有効性を見いだした。770nm と 660nm の分光画像を用いて合成した $ND_{770,660}$ 画像のヒストグラム解析により、画像の最頻値と分散を分析すれば、一等米圃場と二等米圃場を出穂期以後より判別できることが示された。

葉が匍匐型に展開するサツマイモでは、葉面積、葉内窒素含有率のいずれも塊根部重量と相関関係を有することを明らかにした。また、710nm と 510nm の反射率を用いた正規化指標、 $ND_{710,510}$ は葉面積と有意な負の相関関係を示し、 $ND_{770,660}$ と $ND_{530,510}$ は葉内窒素含有率の推定に有効であることを明らかにした。

以上、農作物の生育ならびに品質推定を非破壊・非接触で行う近接リモートセンシング手法の開発とその実用化を目指した本研究は、作物の生育段階や生育状況に応じて作物体からの反射光の特異性を抽出できることを明らかにし、品質を重視した茶の摘採時期の決定、出穂期以後より一等米・二等米圃場の判定を可能とし、一等米圃場に対する肥培管理面からの情報を与えるものであり、またサツマイモの葉面積・葉内窒素含有率をリモートセンシングで測定することによる塊根部重量の推定を非破壊的に可能にするなど、学術的に優れた結果を導き出している。したがって、本論文は、博士(農学)の学位を与えるのに十分な内容・見識を有するものと認められる。

最終試験結果の要旨	
学位申請者 氏名	石川 大太郎
審査委員	主査 鹿児島大学教授 石黒 悦爾
	副査 鹿児島大学教授 岩崎 浩一
	副査 琉球大学教授 川満 芳信
	副査 佐賀大学教授 野瀬 昭博
	副査 琉球大学教授 上野 正実
審査協力者	鹿児島大学教授 箱山 晋
実施年月日	平成21年12月26日
試験方法 (該当のものを○で囲むこと。) <input checked="" type="radio"/> 口答 <input type="radio"/> 筆答	
<p>主査および副査は審査協力者の同席の下に、平成21年12月26日の公開審査会において学位申請者に対して、学位申請論文について説明を求め、その内容および関連事項について試問を行った。具体的には別紙のような質疑応答がなされ、いずれも満足できる回答を得ることができた。</p> <p>以上の結果から、審査委員会は申請者が博士(農学)の学位を受けるに必要な十分の学力ならびに識見を有すると認めた。</p>	

学位申請者 氏名	石川 大太郎
<p>[質問 1] 本研究はクロロフィルの変動を解析していると考えられるが、実際の生育等はクロロフィルと生長量(LAI)との積でだされるのではないだろうか？</p> <p>[回答 1] 今回の検討では、まずそれぞれの作物に対する生育・品質推定手法の考案を目的としたため、各変数を個別に解析しましたが、ご指摘のとおり、生長量×クロロフィル量の関係を用いることでより実際の生育変動に近い結果が得られると考えられます。</p> <p>[質問 2] 圃場の分光画像そのものは何を意味しているのか。また品質が高い圃場では輝度値が低いということは何を意味しているのか？</p> <p>[回答 2] 分光画像の輝度値は分光反射エネルギーを整数値として示している。指標を作成するために、白色板の輝度値で対象領域内の輝度値を割ることで分光反射率を算出しています。よって、分光反射特性にて算出した指標を面的に表現することが可能となります。ND_{710,520} と品質(AF 値)には、負の相関があったため、輝度が低いということは、指標値が低いすなわち品質が高いことを意味しています。</p> <p>[質問 3] 第1主成分を品質と仮定した理由は何か？</p> <p>[回答 3] 主成分分析に用いた3つの変数(アミノ酸、タンニン、テアニン)はそれぞれ、茶の品質に大きく関わると考えられる。それらの変数を用いて主成分分析を行った結果、第一主成分の寄与が75%以上となった。このことから、第一主成分は、品質を総合的に表す尺度となると考えました。</p> <p>[質問 4] 窒素利用効率が施肥量 17-20kg で最大になるような曲線を描いた理由は？</p> <p>[回答 4] 施肥量が15kg付近までは利用効率は上昇し、20kg以上になると低下しました。そこで、2本の直線、すなわち2次関数として表示しました。しかし、今回の圃場では、施肥のパターンが2極化していたため、正確には15-20kgの範囲について詳細な検討が必要だと考えられます。</p> <p>[質問 5] 水稻ではRMSEを小さくするような肥培管理として、どのような処理が考えられるか？</p> <p>[回答 5] 出穂期以降はRMSEが小さくなるような肥培管理が必要です。これには、中干しなどの落水処理が有効な方法だと考えられます。</p>	

[質問 6] サツマイモでは葉が重なりあってしまうが、最終的に圃場全体で推定できる可能性はあるのか？

[回答 6] 葉の重なりによって、反射率が低くなり、圃場全体を推定できると考えています。

[質問 7] サツマイモの中心株を測定しているが、測定場所として適当なのか？

[回答 7] サツマイモでは、葉が水平方向に伸びるため測定位置を決定することが困難でした。そこで、今回中心部が最も生育量を反映していると仮定して中心部を連続的に測定した。しかし、ご指摘のとおり、葉の先端等の成分は、変動が大きいと考えられるため、今後部位によって個別に分光反射率の測定を行い、指標を修正したいと考えています。

[質問 8] 近接リモートセンシングと航空機、衛星 RS を組み合わせることが可能か？

[回答 8] 近接リモートセンシングは、簡易安価等の特徴を持っているので、改良普及員や生産者が直接圃場診断等に用いることができます。しかし、本来的には、衛星や航空機の時間分解能を向上させ、農作物の最適時期のデータを補完するという目的があります。近接リモートセンシングによって衛星・航空機データを補完することでより広域な営農支援が可能となると考えられます。

[質問 9] ヒノヒカリを対象作物として用いているが、本研究を一般化することを考えた場合、他の品種(例えばユメヒカリなど)を検討した方がいいのではないか？

[回答 9] 本研究では、鹿児島県で最も盛んに栽培されているヒノヒカリを対象作物としました。しかし、ご指摘のとおり、今後本手法を一般化するために、他の品種における指標の適用性の検証を行う必要があると考えています。

[質問 10] サツマイモにおいては、窒素含有率を推定するため 770nm、660nm を用いた指標に加えて、530nm、510nm を用いた指標も有効であったとの報告であった。660nm 付近に関しては、クロロフィルの吸収帯があることから理解できるが、530nm 付近はキサントフィルサイクルに関連していると考えられる。波長の選定や対象物が異なっていると考えられが？

[回答 10] 今回の結果では、まず非破壊手法による葉内窒素含有率の推定が可能かに焦点をおいた。しかしご指摘のように特性波長として抽出した波長が他の成分にも反応している可能性があります。今後、成分を単離して、特性波長との関係を調査することで、意味づけを行いたいと考えています。