

## 論文の内容の要旨

生物・環境工学 専攻

平成 25 年度博士課程 進学

氏 名 内藤 裕貴

指導教官名 大政 謙次

### 論文題目

リモートセンシングによる植物群落の蒸発散指標とフェノタイピングに関する研究

自然環境や作物の生育環境では、植物と環境の相互作用が、システム全体に大きな影響を及ぼす。そのため、環境・農業・森林分野に関わる諸問題解決のためには、植物の特性を理解し、植物の環境に対する応答を明らかにすることが重要である。環境中の植物の役割を理解するためには、植物群落の状態を広範囲にわたり、継続的に観測する必要がある。植物群落リモートセンシングは、広範囲の植物群落を効率的に計測する手段の一つとして注目され、植物群落の環境応答の調査に広く利用されている。リモートセンシング技術を用いることで、より少ないコストと時間で、広範囲の植物群落を観測し、非接触・非破壊で、群落の分布や量、機能に関する間接的な情報を取得することが可能である。植物群落リモートセンシングが利用される研究分野は多岐に渡る。その中でも本論文では、植物群落の蒸発散指標と、作物群落のフィールドフェノタイピング（表現型計測）、という二つの課題について検討した。

本論文は 4 章で構成されている。第 1 章の序論では、植物群落リモートセンシングに関する研究背景を述べた後、分光反射特性と温度情報を利用した植物群落リモートセンシングの原理を述べた。そして、リモートセンシングによる植物群落の蒸発散指標とフェノタイピングに関する既往の研究をまとめた。

第 2 章では、衛星リモートセンシングによる山岳地植生の蒸発散指標の研究について述べた。本研究では、これまで詳細な解析が行われてこなかった、植物群落の

優占種の違いと蒸発散指標 *i*TVDI (改良温度-植生乾燥指標) の関係を、植生量の指標である NDVI (正規化差分植生指標) とともに明らかにした。研究対象地域は、亜寒帯湿潤気候に属する北海道阿寒国立公園内摩周湖の周辺地域 (394.7km<sup>2</sup>) の山岳地帯を選択した。解析には、衛星画像として Landsat TM 画像 (現地時刻 2006 年 8 月 6 日 10 時 0 分 58.9 秒 撮影)、ASTER GDEM 数値標高モデル (DEM)、現地気象データとして、AMeDAS のデータを使用した。これらのデータから、地表面反射率画像、地表面温度画像、気温画像を作成し、最終的に NDVI 画像、*i*TVDI 画像を導出した。植物群落の優占種による NDVI と *i*TVDI の値の違いを評価するため、環境省生物多様性センターが実施した第 6 回自然環境保全基礎調査成果の植生図を使用し、全 14 種の優占種の間で NDVI と *i*TVDI の平均値を比較した。

植生図を用いて優占種ごとの NDVI の平均値を比較した結果、NDVI は、全ての優占種で値が大きく、NDVI の値の範囲は 0.88~0.91 程度であった。NDVI は、全ての優占種でほぼ同程度であったが、「低木・草本」と「ダケカンバ・高木」との間に、若干の差が見られ、高木の植生量が大きいことが示された。同様に、優占種ごとの *i*TVDI の平均値を比較した結果、NDVI に比べて、優占種の間で値の差が大きかった (0.29 程度から 0.74 程度)。*i*TVDI の値が同程度のグループとして、「低木・ササ (自然植生)」グループ、「ササ (二次草原)・ダケカンバ」グループ、「高木」グループ、という 3 つのグループに分けられ、優占種による蒸散特性の違いが、*i*TVDI の値として示された。これらの結果を踏まえ、*i*TVDI が変動する要因として、1) 植生量 (葉面積指数や植被率、樹冠密度など) や、植物種と生育条件により決まる蒸散特性といった、優占種に由来する変動、2) 水分ストレスに伴う気孔閉口などの、植物の生理的な応答による変動、という 2 つの要因を考察した。そして、*i*TVDI を用いて植物群落の蒸散機能 (またはストレス) 診断を行う際には、植物群落の優占種による蒸散特性の違いを考慮する重要性を示した。

第 3 章では、地上リモートセンシングによる作物群落のフィールドフェノタイプピングに関する研究について述べた。近年、フィールド環境下での作物のフェノタイプピングの重要性が高まる中で、タワー型リモートセンシングシステムによる慣習的な植生指標による計測手法の、フェノタイプピングへの応用が期待されてきた。本研究では、国際熱帯農業センター (CIAT、コロンビア) と共同で、タワー型のフィールドフェノタイプピングシステムを使用し、植生指標によるイネの形質の推定と量的形質座位 (QTL) 解析について検討した。形質の推定については、イネを対象とした 3 年間にわたる栽培実験を実施し、生育途中に取得された植生指標・植被率と収量関連形質との間で単回帰分析を行った。QTL 解析については、染色体断片置換系統群 (CSSLs) を用いて、植生指標による QTL 解析を行い、従来手法により計測された形質による QTL 解析の結果と比較した。

実験は、CIATの水田圃場で、3年間（2012年8月～12月、2013年1月～7月、2014年8月～12月）にわたり実施された。2012年の実験では、6品種と Nerica-4 遺伝子組換え体6系統、2013年の実験では、5品種と Curinga/*Oryza rufipogon* (IRGC 105491)の CSSLs 3系統、2014年の実験では2013年と同じ CSSLs 48系統とその両親を実験に使用した。栽培条件については、窒素施肥の異なる3処理区（基準施肥区 180 kgN ha<sup>-1</sup>、半施肥区 90 kgN ha<sup>-1</sup>、無施肥区 0 kgN ha<sup>-1</sup>）を用意し、それぞれ3反復区を設けた。撮影では、通常の可視カメラ (Nikon D300s) と近赤外カメラ (Nikon D80 を改造) の2種類の一眼レフカメラで撮影し、赤色、緑色、青色、近赤外波長のマルチスペクトル画像を取得した。画像システムを搭載する観測タワーの高さは8 m であり、実験圃場周囲に配置した。撮影した画像は、CIAT と東京大学との間のデータシェアリングシステムにより共有し、東京大学にて画像解析を行った。画像転送後、画像処理を行い、各プロットにおける全24種の植生指標と植被率を算出した。画像の取得時期は、イネの生育期間中の各生育フェーズから選んだ。撮影時点は、2012年の実験では5時期（初期栄養成長期、後期栄養成長期、幼穂形成期、開花期、糊熟期）、2013年の実験では6時期（後期栄養成長期 A、後期栄養成長期 B、開花期、乳熟期、糊熟期、完熟期）、2014年の実験では3時期（幼穂形成期、開花期、糊熟期）である。また、収穫時に6種類の収量関連形質（穂数、粒重、地上部乾物重、不稔歩合、草丈、穂長）を計測した。

2012年と2013年の実験では、主にタワー型のフィールドフェノタイピングシステムを使用し、植生指標による収量関連形質の推定を目的とした。本実験では、イネの収量関連形質の推定に最適な条件を調べるために、生育期間中の植生指標・植被率と収穫時における収量関連形質の間で単回帰分析を行った。分析の結果、以下の結果を得た。第一に、本システムにより得られた植被率は収量関連形質との決定係数が低く、形質推定に適さないことが示された。第二に、収量関連形質のうち粒重、穂数、地上部乾物重に関して、植生指標による形質推定の可能性が示された。第三に、3年間の実験を通して、生殖成長期開花期付近で得られた植生指標が、粒重との間で安定して決定係数が高く、推定に有望であった。第四に、計算した植生指標のうち、6種（SR, NDVI, TVI, CTVI, SAVI, MSAVI）については、粒重との間で、生殖成長期間のうち開花期で最も決定係数が高かった。第五に、生殖生長期中、2012年開花期で得られた SR と粒重との間で、最も高い決定係数を示した ( $R^2 = 0.80$ )。一方、2014年の実験では植生指標による QTL 解析を行った。そして、植生指標による QTL 解析の結果を、従来手法により計測された形質の QTL 解析の結果と比較することで、本システムによる QTL 解析の可能性を検討した。QTL 解析では、スチューデントの t 検定により各 CSSL と反復親である Curinga との間の植生指標・収量関連形質の平均値を比較した。QTL 解析の結果、植生指標を用いて、第4、第7、第8、第9、第11、第12染色体上の8箇所、QTLs を検出した。従

来手法により計測した形質については、収量関連形質のうち、粒重を用いて第3染色体に1箇所、穂数を用いて第12染色体に1箇所、それぞれ検出した。また、開花期のSPAD値と止葉窒素濃度で、第7染色体に1箇所検出した。これらのQTLsの中でも、第12染色体で検出された穂数に関わる領域は、幼穂形成期で得られた植生指標に関わる領域と重複していた。以上のフィールドフェノタイピングシステムを用いた結果から、生育期間の早い時期において、穂数のような収量に関わる形質のQTLを検出できる可能性が示された。

最後に、第4章において、本論文の総括と今後の展望を述べた。

以上、本論文では、山岳地植生とイネ作物群落を対象として、植物群落リモートセンシングの二分野の課題について検討した。その結果、リモートセンシングによる山岳地植生の蒸発散指標評価においては、優占種の違いを考慮する重要性を示した。一方、イネ作物群落のフィールドフェノタイピングでは、リモートセンシングにより、収量関連形質を推定するために有効な植生指標やその時期、また、フィールド環境下でのQTL検出の利用可能性を示した。