

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 小林 史 歩

京都議定書におけるわが国の共同実施相手国としてはロシアが想定され、その内容には、ロシアに広大に広がるカラマツ林の植林及び森林管理が考えられる。従って、わが国とすれば、カラマツ林に対するこれらの森林活動によって増加した炭素蓄積量を精度良く算定するための方法を構築していく必要があると考えられる。

本研究は、このような背景において、ハイパースペクトル計測による葉の成分含有量や光利用効率の測定により、簡便な炭素蓄積量の高精度推定及び生育環境推定の可能性を探求したものである。具体的には、カラマツのハイパースペクトル計測による葉の各種成分含有量（クロロフィル a, クロロフィル b, クロロフィル a+b, カロテノイド, リグニン, セルロース）と純光合成速度の測定を通じた樹木の各部位（幹・枝, 葉, 根）における炭素蓄積量及び生育環境の推定可能性について実験的研究を行った。このため、本研究では 160 個体のカラマツ幼木を日長や二酸化炭素濃度, 気温, 湿度を管理可能な人工光チャンバー内で、基準の環境 (Standard), 灌水量の少ない環境 (Less Water), 施肥量の少ない環境 (Less Nitrogen), および光量の少ない環境 (Less Radiation) の 4 群に分け数ヶ月間にわたって生育した。そして、このように生育したカラマツ幼木に対して、その葉の各種成分含有量と生育環境との関係や炭素蓄積量との関係を、各種実験によって計測し、葉の各種成分含有量からの樹木各部位における生育環境及び炭素蓄積量の推定可能性について調査を行った。次いでこれらのカラマツ幼木を用いてその葉のハイパースペクトル計測を行い、そのデータ（葉の擬似無限反射率）と葉の各種成分含有量との関係を、反射率と見かけの吸収率の一次微分を用いて分析を行った。さらに、針葉の放射伝達モデルである LIBERTY Inversion モデルに逆推定過程を追加し、このモデルを用いた葉の擬似無限反射率から各種成分含有量を推定する可能性についても詳細な分析を行った。一方、森林の群落についてはハイパースペクトルデータを用いて、5 種類の植生指標 (NDVI, mNDVI, WI, NDWI, PRI) によるクロロフィル含有量と水分含有量の推定可能性を精査した。また、これらの植生指標が樹木構造から受ける影響を調査し、様々な密度の森林への適用性についても調査を行った。

研究の結果、葉の 4 種類の成分含有量（クロロフィル, 水, リグニン, セルロース）の量によって、ある基準の地域から、その他の地域の生育環境を相対的に判断できる可能性が示された。また、どのような環境で生育したカラマツ幼木に対しても、クロロフィル含有量（及びその他の色素）が樹高伸長度と非常に高い相関を持つことを示し、クロロフィル含有量と光合成放射束密度と樹木の全葉面積との積は、地表上部（幹・枝・葉）の炭素蓄積量と高い相関を持つことを示した。そして、施肥量の同じ環境で生育したカラマツ幼木に対しては、葉のリグニン含有量と根の炭素蓄積量が非常に高い相関を示すことを明らかにした。包括的な提案として、以下の調査フローを新規に提案した。すなわち、葉の 4 種類の成分含有量により、森林の生育環境ごとに地域の区分を行い、各環境地域において、1) LIDER による樹高計測の補佐的

情報として、クロロフィル含有量を用いて推定した樹高伸長度情報を与え、より精度良く樹高の算出を行う。そしてこの樹高を用いて地表上部の炭素蓄積量を推定する。また、2)クロロフィル含有量と光合成放射束密度（もしくは1日の総光量など）と樹木の全葉面積との積により、地表上部の炭素蓄積量を推定する。この際、光利用効率の測定を適宜取り入れることにより、更に精度の良い推定が可能となる。そして、地表下部（根）については、各生育環境において葉のリグニン含有量によって炭素蓄積量を推定する。

一方、カラマツ葉のハイパースペクトルデータ（擬似無限反射率）と各種成分含有量との関係調査から多くの提案も行っている。中でも反射率の一次微分の分析に基づき、クロロフィル含有量と高い相関を示した波長に着目し、 $NDCI = (R_{550} - R_{480}) / (R_{550} + R_{480})$  と、 $CI = R_{550} / R_{480}$  という指標を考案した点が独創的である。更に、LIBERTY Inversion モデルを確立することによってカラマツ葉の擬似無限反射率から各種成分含有量（クロロフィル、水分、リグニン+セルロース）を推定できる可能性を示唆した点も評価できる。

これら一連の研究を通じ、本論文は、群落および葉のスペクトルデータによる森林の生理モニタリング分野における技術的かつ学術的發展に多大な貢献をしたと考えられる。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。