

課題名	炭素吸収量の認証と排出量取引に向けた高精度リモートセンシング手法の開発に関する研究		
担当研究機関	独立行政法人国立環境研究所 地球温暖化研究プロジェクト 山形与志樹 小熊宏之		
研究期間	平成13-15年度	合計予算額 (当初予算額 ベース)	141,814千円 (うち15年度 38,060千円)
研究体制	(1) 炭素吸収量の認証と排出量取引に向けた高精度リモートセンシング手法の開発に関する研究		
研究概要	<p>1. 序 (研究背景等)</p> <p>地球温暖化対策として認められた森林による吸収源活動に伴う不確実性が国際的に議論されている中、透明かつ検証可能な活動監視の情報と提供できるリモートセンシング手法の活用が大変重要となっている。ここでリモートセンシングに期待される項目としては、森林の光合成活性の評価や環境変動に対する植物ストレスの評価のための情報と、森林全体の炭素固定量(現存量)を計測するための手法開発が要求されており、本研究課題では、炭素吸収量の認証において要求される植生化学情報の把握とバイオマス計測の二つのアプローチから研究を展開した。</p> <p>2. 研究目的</p> <p>本課題では、森林植生の光合成活性をリモートセンシングで評価する手法と、地上バイオマスの計測精度を向上させる手法の研究を展開している。森林光合成活性の評価に関しては、従来から植生活性評価手法として最も頻繁に用いられてきた正規化差分植生指数 (NDVI) が、直接的に光合成活性を示すものではないことを示した上で、光合成速度を推定する上で重要なパラメータである光利用効率の日変動を、リモートセンシング指標である PRI (Photochemical Reflectance Index) によって観測可能であることが 14 年度までの基礎的な実験で明らかにされたため、15 年度は生育期間を通しての PRI の有効性を確認することを目的として観測を行った。次に、森林の地上バイオマス推定に関しては、地上部における高精度の計測手法の開発を目指し、樹冠から林床までの葉面積密度の空間分布、すなわち森林の三次元構造を把握するための手法の開発と、複雑な前処理や材積表や樹高曲線・形状比率等のパラメータを用意すること無しに地上レーザ計測のみ林分の材積やバイオマスを求める手法を開発することを目的として研究を行った。</p> <p>3. 研究の内容・成果</p> <p>1) 森林の光合成活性評価のためのリモートセンシング手法の開発</p> <p>近年、NDVI よりも短い時間スケールでの光合成活性を評価する指標として、葉内のキサントフィルサイクル活性や光合成の光利用効率を反映した PRI (Photochemical Reflectance Index) が提案されている。この指標は、531nm と 570nm の分光反射をもとにして計算される。本研究では、北方林の CO₂ 吸収量のモニタリングにリモートセンシングを実用化するための基礎研究として、PRI とカラマツの光合成活性の関係が夏から秋にかけてどのように季節変化するのかについて調査を行った。</p> <p>研究対象には、北方林の主要造林樹種であるニホンカラマツ (<i>Larix kaempferi</i>) を選び、葉内色素の光応答を反映したリモートセンシング指標である PRI と、光合成における光利用効率の関係を7月から11月まで、国立環境研究所実験圃場内にて定期的に調査した。晴天日である7月26日、9月25日、10月29日および11月19日において、4年生カラマツ林の樹冠部位の分光反射率、光合成有効光量子密度 (PPFD) および針葉の純光合成速度 (P_n) を1時間ごとに連続測定し、解析を行った。純光</p>		

合成速度における光利用効率 (LUE) を Pn と PPFD の除算値として算出し、531nm および 570nm における樹冠反射率 (R) から、以下の式にしたがって、PRI を算合成速度における光利用効率 (LUE) を Pn と PPFD の除算値として算出し、531nm および 570nm における樹冠反射率 (R) から、以下の式にしたがって、PRI を算出した。

$$PRI = (R_{531} - R_{570}) / (R_{531} + R_{570})$$

図 1 に測定月ごとの PPFD と PRI の日変化を示す。PRI は日中の PPFD の変動と共に日変動し、そのパターンは、黄葉が認められた 11 月では、PPFD と共に日中に増加する傾向にあったが、それ以前の観測月では、PPFD の増加に伴い、日中に低下した。PRI の日中平均値は、夏から秋にかけて低下する季節変化を示した。

次に、光合成速度を推定する上で重要な指標である LUE と PRI の関係を図 2 に示す。いずれの観測月でも LUE と PRI の相関は、危険率 1% 未満で有意であったが、その回帰直線の傾きと切片は観測月によって変動した。回帰直線の X 軸切片の値は、黄葉が認められる前にあたる 9 月から低下した。これに対して、回帰直線の傾きは、黄葉時期にあたる 11 月になって大きく変動し、正負が逆転した。

これらの結果は、リモートセンシングで得られる PRI によって、カラマツの光合成速度を推定する上で重要な指標である LUE の日変動を推定できることを示している。また、その関係は季節によって変化することも明らかになったため、この季節変動を考慮した推定モデル式を作成することで、今後、リモートセンシングによる PRI から年間を通じた光合成活性の推定が可能になるとと思われる。

(2) 森林バイオマス推定手法の研究

レーザ樹高計を用いた計測では、樹冠最上部の三次元的な形状は得られるものの、樹冠内の葉の空間的な密度、更には中層木の分布や林床植生の葉の面積といった、森林を縦方向の断面、すなわち森林群落内の立体的な構造を求めることは不可能であった。そこで、従前のレーザによる樹高計測時に新たな計測パラメータを加えることにより、森林内の葉面積分布と三次元構造の把握することを試みた。苫小牧フラックスリサーチサイトにおいて、地上設置型の

レーザ距離センサを用い 4 月から 12 まで毎月レーザ計測を行い、森林内の葉の空間的な分布の季節変動と林内照度を推定し、精度検証を行った。林床での測定は、林内に設定した 50m×50m の測定エ

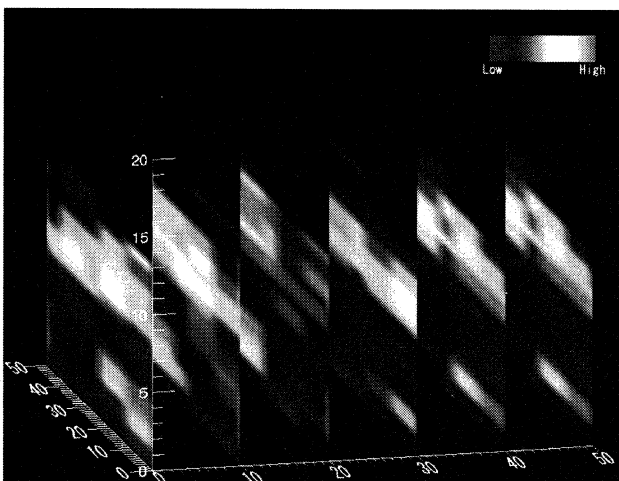


図 3 カラマツ林の PAD の三次元分布

リアにおいて、水平面積が 10m×10m、高さ方向に 1m の層で分割した各ボリュームに対して PAD (Plant Area Density; 単位面積あたりの植物の密度) を計算した。図 3 は、2003 年の 8 月に測定したカラマツ林の PAD の三次元分布である。図 3 から、高さ約 12m に上層木の葉や枝が集中している様子が分かるが、水平方向に様に分布しているのではなく、葉の密度が小さい場所が存在している様子も再現できている。また、高さ約 4m に下層木の葉や枝が分布している様子も再現できている。

本研究により、リモートセンシング観測によって森林、葉あるいは枝・幹を含む面積や密度といった物理量の立体分布を面的に捕らえる事が可能となった。

次に、同じく地上設置型のレーザ距離センサを用い、林床植生を含む森林地上部の総バイオマスを求める手法を開発した。これまでの研究事例では、主に

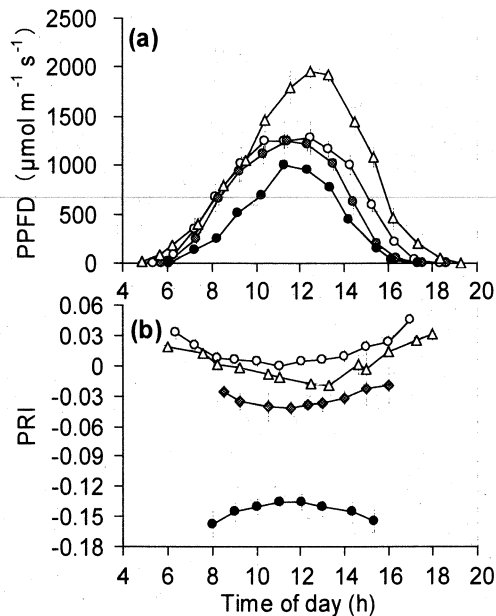


図 1. 各観測月における (a) PPFD、(b) PRI の経時変化 (n=6). 凡例: 7/2 (△), 9/25 (○), 10/29 (●), 11/19 (●).

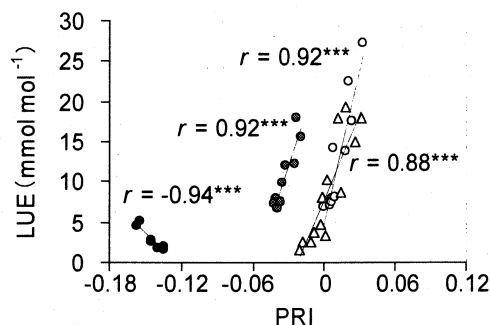


図 2. LUE と PRI の関係。有意水準 *** $p < 0.001$ (Pearson's correlation test). 凡例は図 1 参照。

胸高直径の測定精度や、胸高直径から推定したバイオマス量推定について議論されている。しかし、これらの方法を用いて広範囲に測定を行おうとした場合、樹高曲線作成の必要性や複数点からの測定結果の接合精度の問題等があり容易に計測できないことが予測される。そこで、これらの問題に対応するため、ビッターリッヒ法の発展形である、箕輪の上部直径による林分材積推定法（以下箕輪法）をレーザスキャナ計測に応用する手法を開発し、精度検証を行った。実測値対して平均で1%の精度材積を推定可能であり、林床植物の存在するカラマツ造林地においても有効であることがわかった。

4. 考察

葉群スケールにおいて、リモートセンシング指標であるPRIと、光合成速度を推定する上で重要なパラメータである光利用効率との関係が明らかになり、更に群落上からも同様の傾向が確認できたことから、リモートセンシングを用いた光合成速度の日変動レベルでの評価に対する可能性が見出された。更に光利用効率とPRIとの関係は季節変化することも判明したため、この季節変動を考慮した推定モデル式を作成することで、今後、リモートセンシングによるPRIから年間を通じた光合成活性の推定が可能になると思われる。

次に、レーザ距離センサを用いた森林三次元評価手法の開発により、森林内部における葉、枝等の三次元分布構造を明らかにする事が出来た。本研究は傾斜の無い平坦な人工林で行ったが、今後は傾斜地や、葉面積指数の更に高い場所における適用性を確認する必要がある。更に本手法は、原理的には上空からのレーザ観測に適用可能であることから、航空機やヘリに搭載したレーザ距離センサデータを用いて、広域かつ面的に三次元構造を捉える方式に発展できると考えている。また、同様のレーザ距離センサにより、前処理や補助データ無しに地上部のバイオマスを推定することが可能であった。こちらも傾斜地への適用が課題であると思われる。

最後に、京都議定書で認められた温暖化対策としての森林管理に対し、適切な森林管理の実施を一定の基準にもとづき評価する手法、さらにそのような森林管理の結果もたらされる炭素固定・バイオマス利用による温暖化防止効果、生物多様性、水土保持等を定量的に測定する手法が必要である。そこで、リモートセンシング手法を活用した認証手法を確立する際の予備的な検討を目的として、日本で初めてFSCの森林認証を取得した森林においてケーススタディを実施した。結論としては、FSCの認証システムに、インベントリーからの炭素の推計手法についての審査システムを付加することによって、エコカーボンアカウンティングのシステムを開発することが可能と考えられる。しかし、インベントリーの管理については、よりリモートセンシング技術を活用した定量的な計測手法をFSCの認証システムに加える必要があると判断された。