

1997年12月に京都で開催された気候変動枠組み条約締約国会議（COP-3）において、地球温暖化問題に向けた各国の一致した対策として京都議定書が採択された。この議定書においては、先進国が削減すべき温暖化ガスの排出量が定められたが、加えて、その削減量に、植林等による植物量増加による二酸化炭素の吸収量増加を加えて良いことが認められた。

二酸化炭素は、温室効果ガスの中で唯一、光合成生物（植物等）によって吸収され、大気中から除去される。植物が二酸化炭素の削減に寄与する率が大きいことから、削減目標達成のために、植林を行うことが各国で始められた。しかしながら、陸域生態系（植生、土壌）においてどれだけの二酸化炭素が吸収されまた放出されるか、その評価は定まっておらず、また、陸域生態系による二酸化炭素吸収量の計測手法も標準化されていないのが実情である。

本研究は、航空機、人工衛星などからの電磁波計測により、植物の二酸化炭素吸収量を広域にわたって計測するリモートセンシング手法を開発することを目的としたものである。リモートセンシングは、人工衛星や航空機を利用することにより、対象に非接触で広域の地表面状況を計測する技術で、計測の広域同時性、精度の均一性などの特徴を有している。このために、広い範囲に及ぶ植林地などにおいて樹木の分布、組成などの計測が可能となると期待されている。特に、スペクトル分解能が高いハイパースペクトルリモートセンシングでは、葉中のクロロフィルやリグニンなど、従来の方法では計測できない生物化学的なパラメータも計測できるものと期待されている。

以上を背景に、本研究では、ハイパースペクトル計測を利用して植物によって吸収される二酸化炭素量を推定する手法を開発することを目的とした。本目的を達成するために、実験室においてポット植え植物のスペクトル計測実験を行うとともに、実験農場（トウモロコシ圃場）において、航空機搭載型ハイパースペクトルイメージャ（CASI: Compact Airborne Spectrographic Imager）による観測を行い、ハイパースペクトル計測によるクロロフィル等の定量、光合成能の評価、さらには二酸化炭素吸収量の推定が可能であることを示した。

本研究の特色は、実験室レベルでの生化学量、生理学量の推定手法を航空機レベルまでスケールアップして、より広域において、植物の生化学、生理学的な機能を計測する方法を開発したことにある。

本論文は以下の6章から構成されている。

第1章では、本研究の背景と目的をまとめた。

第2章では、温暖化問題をサーベイするとともに、二酸化炭素の吸収源モニタリングへのリモートセンシングの有効性について述べた。

第 3 章では、ハイパースペクトルリモートセンシングについて、その特長、ならびに植物の生化学量を推定する原理について説明した。また、ハイパースペクトルセンサを利用することで、葉中のクロロフィル、窒素、リグニン、セルロースなどの生化学量や生理学量の推定が可能であることを示した。

第 4 章では、植物の生化学量から、光合成能、二酸化炭素吸収量を推定するフローを説明し、本研究で使用した計測機器の説明および実測する生化学量、生理学量、物理量の定量方法についてまとめた。

第 5 章では、ハイパースペクトル計測に適した植物の光合成速度曲線モデルの検討を行い、非直角双曲線である Blackman 型と呼ばれる光合成速度曲線モデルがリモートセンシングによる光合成能の推定に最適であることを実測値から示した。また、このモデルでは、葉の単位面積当たりのクロロフィル a 量がキーパラメータであることを示した。

第 6 章では、スペクトルから単位面積当たりのクロロフィル a 量を定量する手法について述べた。葉の形状や計測の分解能等によりクロロフィル推定の方式は異なるものの、計測されたスペクトルにおける特定 2 波長の反射率を用いて、クロロフィル量を推定できることを実験により示した。

第 7 章では、航空機から得られた低空間分解能画像において、線形ミクセルモデルによる画素内面積率から、クロロフィル a 量や光合成量を推定する手法を検討し、植物 1 株（1 群落）の分光反射率と物質量を、1 枚の葉として取り扱う Big Leaf モデル（Enhanced Big Leaf モデル）を提案した。

第 8 章では、トウモロコシ圃場を撮影した CASI 画像に対して、本研究が提案する線形ミクセルモデルと Enhanced Big Leaf モデルとの併用手法を適用し、一日に吸収される二酸化炭素量を推定した。この結果、生育が良いと判断した区画では、一日の二酸化炭素吸収量を $5.55 \text{ (gCO}_2\text{/m}^2\text{/day)}$ と推定した。推定精度の検証として、実測値に基づく乾燥重量から算出した 1 日当たりの炭素吸収量と比較した結果、本手法は、乾燥重量から推定した値よりも約 1.4 倍の過大評価であったが、この原因としては、二酸化炭素吸収速度推定の際に、光合成有効光量子密度に気象タワーのデータをそのまま用いた事、ストレスの影響を考慮していない事などが考えられる。

以上、本研究は、

- ・ リモートセンシングにより植物の光合成能、二酸化炭素吸収量を推定するモデルと計測手法を提案し、
- ・ 実際の航空機レベルのハイパースペクトル計測に適用して、トウモロコシの二酸化炭素吸収量を推定する手法を開発した

ことに独創性を有する。本手法は、他の植物群落にも適応可能な推定手法であり、これにより、炭素吸収源のモニタリングや炭素蓄積量の算定手法の一つとして貢献が期待される。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。