

## 審査の結果の要旨

氏名 山下 恵

太陽放射に含まれる可視光域 ( $0.4-0.7\mu\text{m}$ ) の光放射は、光合成有効放射 (Photosynthetic Active Radiation: PAR) と呼ばれる。PAR は、陸域植生の光合成活動において不可欠な環境因子の一つであり、局所から全球レベルまでの陸域生態系における  $\text{CO}_2$  などの物質循環モデルの重要な入力パラメータである。地表を覆う樹木や建物等の上端 (地上) において、太陽面から直接届く直達 PAR と大気中の雲などが存在する天空方向から届く散乱 PAR があり、この 2 成分が地上の光環境を構成している。直達 PAR と散乱 PAR の観測には、放射計に加えて太陽の動きを自動追尾する装置を備えた高額機器を使用し、機器の取扱いや設置は容易でない。そのため、一般には全天日射量や日照時間、雲量などの気象観測データから間接推定した値が使われているが、その推定精度や時間分解能、観測点数については十分ではない。特に、空の状態変化による地上の光環境の空間的・時間的不均一性が、推定誤差の大きな要因と言われており、充実した地上観測・検証が求められている。本論文は、直達・散乱 2 成分で構成される地上の光環境に直接影響する空の状態に着目し、1) これまで目視で行われてきた空の観測に代替すべく全天カメラを用いた効率的な空の状態自動観測手法を開発し、2) 本観測手法を応用した直達・散乱 PAR の特性把握や PAR 推定のための地上の光環境解析を通して、温暖化予測や地球環境問題解決に対する新たな地上観測手法の 1 つとして提案するものである。

全天カメラによる画像撮影では、露光条件を固定した撮影によって画像処理において輝度値への変換を必要しない、DN 値を用いた画像処理を可能にした。撮影時の画質は、画像処理において RAW や Tiff 形式で記録した画像と比べて影響の少ない 1/4 圧縮程度の JPEG 形式で、2 分間隔で多量な全天画像を記録し、JPEG のような汎用ファイルを用いた画像活用の有効性を示した。ここで提案する全天画像撮影方法は、各種カメラを用いた類似の観測にも適用可能である。

全天画像から空の状態を識別する手法では、画像上の空の青さと雲の白さを表す指標 Sky Index (SI) を開発し、明るさを示す指標 Brightness Index (BI) と組み合わせることで、太陽・雲・青空領域の区分を可能にした。また、空の

状態を説明するために、太陽の有無・雲量・天空全体の明るさの程度・空の青さの程度を指標化した天空パラメータを導出し、これらを用いて最大 27 クラスの空の状態分類を行った。このような直達 PAR と散乱 PAR に影響する空の状態の特徴を考慮した分類により、地上の光環境解析への応用可能性を広げた。さらに、異なるカメラ機種を用いて撮影した全天画像に対する空の状態識別手法の再現性を確認した。

開発した空の状態観測手法の実用性の検討として、京都市内で実施した約 1 年間の空の状態観測結果を用いて、観測地点から数 km 離れた気象台観測データとの比較を行った。空の状態の季節変化の特徴は、気象台の年間気象観測データおよび年報と類似した傾向を示していることが確認できた。また、雲の変動の激しい日を対象とした空の状態の日変化解析では、気象台観測の天気概況をほぼ忠実に再現していた。空の状態観測結果の太陽出現率と気象台観測の日照率と比較した結果では、太陽出現率と日照率が近い値を示す時間帯もあれば、10%以上の差がみられる時間帯もあった。両者の差が大きい時間帯は、空の状態の変動も激しかったことが確認でき、空の状態自動観測の有用性を示した。

空の状態自動観測手法の応用として、南中時頃に撮影した全天画像および同期観測した全天・散乱 PAR の年間データを用いて、全天画像から識別・分類した空の状態と大気上端水平面 PAR で正規化した全天・散乱・直達 PAR 指標の特性を調べた。その結果、分類した空の状態クラス別に見られる全天・散乱・直達 PAR 指標との関係から、空の状態クラス毎の地上の光環境特性を明らかにした。この空の状態クラス毎の全天および散乱 PAR 指標の特性を利用して、雲の変動が激しい日中サンプル画像を対象に全天および散乱 PAR 瞬間値の推定を試みた。瞬間値では空の状態の変動による推定値のバラつきが目立つものの、10分、20分、30分で移動平均し比較したところ、20分平均推定値では、空の状態の変動による値のバラつきはほとんど見られなかった。これらの解析を通して、従来手法よりも短時間でかつ精度の高い PAR 推定を実現した。

以上、本論文では、全天カメラを用いた効率的な空の状態自動観測手法を開発し、本観測手法を応用した地上の光環境解析を行った。これにより、陸域生態系における物質循環モデルの重要パラメータである直達散乱成分を含めた PAR の推定を可能にした。また、開発した空の状態自動観測の広域展開および既存の地上観測ネットワークとの連携によって、雲の発生・変動などの特性解明や植物群落内の光環境評価、都市空間での光エネルギー利用など、大気や光エネルギーに関連した幅広い分野への応用可能性も持つ。さらに、陸域生態系モデルへのデータ提供や衛星観測とのリンクおよび地上検証を通して、温暖化予測や地球環境問題解決に対する貢献が期待される。

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。