

【学位論文審査の要旨】

フェノロジー（生物季節）とは物理的、生物的要因によって引き起こされる様々な生物学的タイミングであり、地球温暖化などの環境問題において、多くの研究者が注目している現象の一つである。特に、植物の開花、結実、落葉に代表される植物のフェノロジーは私たちの社会現象にも関連し、自然ツーリズムにおける重要な観光資源にもなっている。例えば、春には日本各地でお花見が催され、桜の開花を楽しむために、極めて多くの人々が花見に訪れ、秋には多くの人々が紅葉を楽しむために観光地へ出かけることから、植物フェノロジーは生態学的に重要なだけでなく、観光現象にとっても極めて重要である。一方で、都市部における植物フェノロジーは、近年地球規模における気候変動や都市化による温暖化に起因してその内容が変化していることが報告されるようになり、都市生態系における植物フェノロジーモニタリングの重要性が高まりつつある。しかし、フェノロジーのモニタリングは一般に目視による観察によって行われており、その精度やコストが課題となっている。そこで、衛星リモートセンシングを用いた植物フェノロジー評価技術に期待が集まっており、その実用化が切望されている。衛星リモートセンシングとは人工衛星等に搭載したセンサーを用いて対象物から反射された電磁波を観測する技術であり、地上踏査と比べて広範囲を一度にモニタリングできるという利点がある。しかし、都市生態系は不均質性が高く、さらには植物の器官によって反射スペクトルは異なり、花の分光反射シグナルは葉と比べて弱いなど、衛星リモートセンシングによる植物フェノロジーモニタリングにおいてはいくつかの技術的課題がある。そこで、本論文では、都市公園や都市緑地に生育するサクラの開花を対象として、リモートセンシング技術を利用した開花フェノロジー評価技術の検討を行った。

第一に、開花するサクラの個体を景観レベルで同定するための技術開発を行うため、都市公園に生育するサクラを対象として、画像分類法の検討を行った。ここでは、サクラ開花時期に撮影された高解像度データである IKONOS 画像に対して、ハード分類法（ML: maximum likelihood）とソフト分類法（MTMF: mixture tuned matched filtering）を用いてサクラ開花木の推定評価を行い、地上踏査データの比較を行うことで、開花個体の識別における精度試験を実施した。その結果、いずれの分類法を用いてもある程度の識別精度が得られたが、ソフト分類法の識別精度はハード分類法よりも高いことが示された。しかしながら、ソフト分類法の **Producer's accuracy** はハード分類法よりも低かったため、IKONOS 画像の限られたエンドメンバー（端成分）数や反射シグナルが強い一部のエンドメンバーがソフト分類法における識別精度の制限要因になっていると結論された。

次に、サクラの開花木の分光スペクトル特性は、花卉の色や形態、そして葉や枝などの他器官の量的組み合わせによって決定するため、品種間で異なるものと考えられるが、分光特性の種間変異や植物器官のスペクトル特性が個体レベルの分光特性に対して与える影響は明らかでない。そこで、多摩森林科学園（東京都八王子市）に生育するサクラ 45 品種の開花枝を対象に花卉及び枝（含む花）の分光スペクトルライブラリを構築し、サクラ花

弁の形態的、系統的特性が開花している枝の分光特性に与える影響について 3 つの植生指標（ピンク、緑、黄色色素）を算出して評価した。その結果、花卉と枝の分光スペクトル特性は、可視波長で大きな変異がみられ、これらの品種間の差異は花卉の視覚的色分類と関連していた。それぞれの視覚的色分類に基づき、花卉における 3 つの植生指標値を比較したところ、視覚的色分類と花卉の植生指標値の傾向は矛盾しなかったが、枝の植生指標値とは緑色を除き、傾向が一致しなかった。そのため、異なる品種における開花フェノロジー評価を行うためには花卉の分光スペクトル特性をエンドメンバーとして利用できること、そして枝レベルの分光スペクトル特性の利用においては開花規模や葉の有無に加えて、系統的な情報も含めた総合評価が必要であると結論づけられた。

本論文では都市景観のように非常に不均質な環境における弱い反射シグナルであっても、エンドメンバー情報を取得し、ライブラリ構築を進めることで植物の開花フェノロジーが観測可能になることを示した。このようなリモートセンシング手法を用いることで、様々な植物のフェノロジーを正確に簡便に観測するための技術は観光を含む経済・社会的利益へとつながるものと期待される。以上のように、本論文は観光における生物資源利用における重要な技術開発に貢献しただけでなく、環境リモートセンシングにおける技術開発、そして現在は未知である生物資源のハイパースペクトル情報利用への道筋をつけるものとして、高く評価できる。よって、本論文は博士（観光科学）の学位授与に十分値するものと判断される。