

氏名(本籍)		楊	帆	(中	国)
学位の種類		博士(理学)			
学位記番号		博甲第6106号			
学位授与年月日		平成24年3月23日			
学位授与の要件		学位規則第4条第1項該当			
審査研究科		生命環境科学研究科			
学位論文題目		<b>Monitoring Impervious Surface Area by Remote Sensing: Algorithm Development and Application</b> (リモートセンシングによる不浸透面積のモニタリング：手法開発と応用)			
主査	査	筑波大学教授	工学博士	福島	武彦
副査	査	筑波大学教授	理学博士	恩田	裕一
副査	査	筑波大学准教授	博士(地球環境学)	松下	文経
副査	査	筑波大学准教授	博士(農学)	奈佐原	顕郎

### 論文の内容の要旨

世界中で都市化が進んでいて、環境、生態系などへの都市化の影響を定量することが重要な課題になっている。不浸透面 (Impervious Surface Area, ISA) は水が浸透できない人工地表面 (例えば、屋上、道、駐車場など) と定義されるが、定量化できる都市環境の重要なインデックスとして都市リモートセンシングと都市環境科学分野において注目されている。従来の研究によって、ISA が流域の水循環および熱循環に大きな影響を及ぼしていることが報告されている。また、流域環境が健康であるか非健康であるかを評価する観点で、不浸透面が流域面積の 1-10% ではストレスを与えている、10-25% では悪影響を与えている、25% 以上は損害が生じている、という三つのレベルがあるという提案もなされている。このような観点で、不浸透率の推算は流域管理において重要であると認められつつある。

衛星リモートセンシングは地表面に関する広域情報を定期的に観測しているため、土地被覆および土地利用の変化をモニタリングするのに最適な技術だと考えられる。本論文は以下の三つの内容から構成されている：(1) Landsat 衛星データを用いて、流域スケールの ISA を推定するための PNMESMA (Pre-screened and Normalized Multiple Endmember Spectral Mixture Analysis) 法の開発；(2) MODIS 衛星データを用いて、国スケールの ISA を推定するための TMA (Temporal Mixture Analysis) 法の開発；(3) ISA 空間情報により、霞ヶ浦流域の水環境の評価。

#### (1) 中空間解像度衛星のための手法開発

ISA を推定する SMA (Spectral Mixture Analysis) 法は都市スケールで開発されたものであり、より複雑な土地被覆を持つ流域に対応できるかは検証されていない。SMA 法は V-I-S (V: vegetation; I: impervious surface; S: soil) モデルに基づいて、三つのエンドメンバー (endmember) のスペクトル情報を利用してエンドメンバーの比率を推定する方法である。推定精度を上げるためには、地表面にある成分のスペクトルの複雑さに応じて、エンドメンバーの数を増やすことが必要になる。例えば、ISA エンドメンバーを low albedo と high albedo に分けることをはじめ、植生と土も種類、含水量、地形などによって、エンドメンバーのスペクトルも変わる。本研究では霞ヶ浦流域を例として、流域の多くのエンドメンバーの特徴を考慮して、PNMESMA

法を開発した。まず、条件付きで純粋な植生ピクセル (pixel) を判断し (pre-screen)、誤差を抑える方式とした。次に、正規化 (normalization) プロセスを含めることで、エンドメンバーの代表性を高める方式とした。また、多くのエンドメンバー (multiple endmember) を利用し、最適なエンドメンバーの組み合わせを推定する方式とした。この結果、PNMESMA 法は従来の手法 (RMSE = 0.091 - 0.117) と比べて、より高い精度 (RMSE = 0.052) で ISA を推定することができた。

### (2) 低空間解像度衛星のための手法開発

各分野から国スケールでの ISA 推定が求められる中、そうした観点での ISA の推定法はほとんど行われていないのが現状である。MODIS の時間シリーズ (time series) データを解析することは国または世界 (global) スケールで ISA を推定する際の可能な選択肢の一つと考えられるので、そうした検討を行った。本研究では、MODIS データを用いて国スケールの ISA するため、TMA (temporal mixture analysis) 法を提案した。SMA 法と違って、スペクトルデータの代わりに、植生指数 NDVI の時間シリーズデータを解析した。整列 (sort) および選択 (refinement) という、二つの追加プロセスがエンドメンバーのばらつきを抑えることがわかった。Landsat から推定した ISA の分布図を用いて検証した結果、TMA は過大、過小推定がほとんどなく、従来の世界 ISA 図 (global ISA map, RMSE = 0.176) と比べて高精度 (RMSE = 0.087) で広域の ISA を推定できることがわかった。

### (3) ISA による水環境の評価

ISA が霞ヶ浦流域の水質および流量に及ぼす影響を調べた。22 の流入河川で測定された水質データと ISA の変化を解析した。ISA は BOD (biological oxygen demand) 濃度と有意な線形関係 ( $p < 0.05$ ) を示し、水質解析の際にも有効な指標であることがわかった。次に、ISA が流量に及ぼす影響を流域面積が近い二つの大きな川 (小野川と恋瀬川) で評価した。小野川は 1987 年頃から ISA が増える例をとって、恋瀬川は ISA 変わっていない例とした。小野川では ISA の増加と共に、反応時間 (response time、最大流量と最大降雨量の時間差) が短くなった。恋瀬川では ISA の変化が少ないため、反応時間がほとんど変わってないことがわかった。ISA の経年変化により、霞ヶ浦流域は 1987 年頃には ISA の影響を受け始め、近年まで悪くなる傾向にあることがわかった。その傾向がこのまま続くと、10 年後には、半分以上の河川流域が ISA の評価で劣化のランクに至ることが予測された。

## 審査の結果の要旨

本論文は、衛星画像を用いて、流域、国スケールで精度よく不浸透面積率を推定する手法を提案し、また、不浸透面積率が流域河川の水質、水流出特性に大きな影響を及ぼしていることを明らかにした。こうした手法は河川、湖沼、海域の流域管理にあたって、定量性のある指標を簡易かつ、精度よく推定できるものなので、極めて有用と考えられる。また、そうした流域情報の取得が難しい国々にも、本手法の適用が大いに期待される。

平成 24 年 1 月 30 日、学位論文審査委員会において、審査委員全員出席のもとに論文の審査及び最終試験を行い、本論文について著者に説明を求め、関連事項について質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって合格と判定された。

よって、著者は博士 (理学) の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。