

Spatial and Structural Classification Analysis for Advanced Remotely Sensed Imagery

江田, 智尊

<https://hdl.handle.net/2324/1959077>

出版情報 : Kyushu University, 2018, 博士 (機能数理学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

氏 名	江田 智尊			
論 文 名	Spatial and Structural Classification Analysis for Advanced Remotely Sensed Imagery (高度リモートセンシング画像に対する空間的・構造的判別分析に関する研究)			
論文調査委員	主 査	九州大学	教授	西井 龍映
	副 査	九州大学	訪問教授 / 富士通研究所	穴井 宏和
	副 査	九州大学	教授	前園 宜彦
	副 査	九州大学	教授	増田 弘毅

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

本博士論文では、リモートセンシング分野と植物科学分野の課題に対し、機械学習や統計学に基づく課題解決手法を提案している。

論文の前半ではリモートセンシング分野における土地被覆画像解析について論じている。土地被覆画像解析は、空撮画像の解析に基づいて土地利用状況を認識することを目的としており、気候変動調査、自然資源運用、都市計画などに応用される。近年はドローンに代表される **Unmanned Aerial Vehicle** と呼ばれる高度センシングプラットフォームの台頭やセンサー技術の進化により、従来と比較して空間解像度が非常に高い画像が取得できるようになった。このような新技術及び超高解像度土地画像は、更に実用的な応用研究を活性化する一方で、従来型解析手法を直接適用することが困難な画像特性をしばしば有している。とりわけ土地被覆画像解析においては、従来型の各画素を一つのクラスに判別するマルチクラス判別に替わり、タイルと呼ばれる小領域に含まれる複数のクラスを検出するマルチラベル判別手法を用いた解析が適切なアプローチであるという認識が広まりつつある [Karalas et al. (2016) *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*]. 即ち有効なマルチラベル判別器の開発は、近年のリモートセンシング研究において大きな意義を持つ研究課題である。

本博士論文では、上述のマルチラベル判別について新たな判別モデルを提案し、実データを用いた評価実験を行っている。マルチラベル判別は、入力 $\mathbf{x} \in \mathcal{X}$ に対し、 $\mathbf{y} \in \mathcal{Y}$ ($\mathcal{Y} = \{0,1\}^c$, c : クラス数) を出力する関数 $g: \mathcal{X} \rightarrow \mathcal{Y}$ を学習することを目的とする。機械学習分野では、出力構造を考慮したマルチラベル判別器が有効であるとされており、その代表的な手法が Tsochantaridis et al. (2005) [*Journal of Machine Learning Research*] による structural Support Vector Machine (SVM) である。本論文では structural SVM に改良を加え、予測画像の空間的従属性を取り込んだモデルを提案した。つまり土地被覆画像解析においては、隣接するタイルが同じクラスラベルを共有することは自然であるため、近接タイルでの出力に空間従属性を持たせる必要があった。そこで、出力の元となるスコアの差を近接タイル間で小さくするように判別器の重みを決定する方式を提案した。提案手法は structural SVM の扱いやすい特徴（カーネルトリック、二次計画問題による定式化）を保持する自然な拡張となっている。本手法は、出力空間の構造を反映し、かつ空間従属性を持つマルチラベル判別器を、一段階の最適化プロセスによって行うことが可能であるという利点を有する。

またマルチラベル判別に限らず，マルチクラス判別にも対応可能である．実データを用いた数値実験では，提案手法が従来手法を有意に上回る結果を得た．

本研究は，近年のリモートセンシングの技術発展により，新たに求められる画像解析に対して有効なアプローチを提供しており，同分野の発展に貢献している．なお成果は同分野におけるトップジャーナルである *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* (IF: 4.942) に掲載された [Koda et al. (2018), doi: 10.1109/TGRS.2018.2828862]．

論文の後半は，植物科学の問題に対する統計的アプローチについての考察である．環境問題が非常に大きな問題となっている昨今，再生可能エネルギーであるバイオ燃料への期待は世界中で高まっている．バイオ燃料は地球環境に優しい燃料であるため，多くの国がバイオ燃料の増産に取り組んでいるが，現状は植物資源を安定的に大量生産できてはいない．これを実現する解決策の一つが，3 倍以上の遺伝子組を持つ倍数体植物の有する強勢性の利用である．強勢植物はバイオマス量，生長速度，環境ストレス耐性といった面で通常の植物よりも優れた性質を持っている．もし強勢現象を人工的に植物に付与することができれば，植物資源の安定的な大量生産を可能にする技術開発に繋がる．本研究は，植物の強勢現象を分子機構レベルで解明することで，人工強勢技術開発の一翼を担う．

ここでの目標は，遺伝子発現の時系列データに基づいて遺伝子ネットワークを推定することであり，強勢現象に関わる遺伝子群を特定する統計的解析アプローチを提案している．遺伝子ネットワークは，遺伝子を表すノードと遺伝子間の関係を記述する有向辺から成り，遺伝子間の制御関係を模式化する．ネットワークにおいて他の多くの遺伝子を制御しているハブ遺伝子は，植物の生命活動に大きな役割を果たしていることが考えられる．植物学における統計学への期待は，高精度の遺伝子ネットワーク推定手法を開発することである．本研究では統計的スパース推定法に基づく遺伝子ネットワーク推定法を提案した．具体的には，各遺伝子発現を回帰モデルで予測するために有用な遺伝子を **Group SCAD (Smoothly Clipped Absolute Deviation)** を用いて選択し，モデル推定を行った．またデータのノイズや，時系列データの観測時点数の少なさに起因する解析不安定性を解消するために，一日単位のデータのランダムな入れ替えに基づく有向辺の信頼度評価法を提案した．実データへの適用によって，3 万個以上の遺伝子の中から 76 個の重要遺伝子を選択し，先行研究や植物の育成実験により，選択された遺伝子が植物における重要な成長因子であることが検証された．

本研究の貢献は，強勢植物の分子機構を解明する試みである点，及びそれに対するアプローチを統計学的視点から提供したことである．学術的な視点のみならず，環境問題・低炭素社会実現へ貢献する研究である．成果は植物科学におけるトップジャーナルの一つである *Frontiers in Plant Science* (IF: 3.678) に掲載された [Koda et al. (2017), doi: 10.3389/fpls.2017.02055]．

以上 2 つの結果は，リモートセンシング分野及び植物科学分野の課題に対し，機械学習や統計学の理論に基づいた有効な課題解決手法を提供しており，数理学分野において価値ある業績と認められる．

よって，本研究者は博士（機能数理学）の学位を受ける資格があるものと認める．