

|         |  |              |       |
|---------|--|--------------|-------|
| 氏名(本籍)  | 黒田圭介(福岡県)  |              |       |
| 学位の種類   | 博士(学術)   |              |       |
| 学位記番号   | 乙第 25 号  |              |       |
| 学位授与年月日 | 平成 30 年 10 月 31 日                                |              |       |
| 学位授与の要件 | 久留米大学大学院学則第 15 条による                              |              |       |
| 学位論文題目  | デジタル化空中写真と人工衛星データのコンポジットによる<br>地表面環境解析法に関する応用的研究 |              |       |
| 論文審査委員会 | 主査   | 久留米大学経済学部教授  | 浅見 良露 |
|         | 副査   | 久留米大学文学部特任教授 | 堂前 亮平 |
|         | 副査   | 久留米大学経済学部准教授 | 畠中 昌教 |
|         | 副査   | 西南学院大学名誉教授   | 磯 望   |

### 論文内容の要旨

本研究はデジタル化空中写真に人工衛星が観測したリモートセンシングデータ(以後人工衛星データと略す)をコンポジット(Composite, 合成の意)した画像を自動分類することで、ローカルな研究対象地域での地表面環境の定量的な解析に資する高分解能な土地被覆分類図の自動作成法を構築し、その妥当性を地理学的な事例研究を通じて実証することで、市町村単位の狭小なスケールで問題とする地理学的課題解決に利活用できる新たな地表面解析方法を確立することを目的としている。

地表面環境解析は、地表分布現象等を対象とする地理学の中の基本的研究手法の一つであり、二十世紀後半以降、リモートセンシング手法の発達によって飛躍的に発展しつつある分野の一つである。とりわけ衛星データを利用した土地被覆分類の研究は、1982 年以降 LANDSAT などの高解像度衛星データが利用可能になってから、教師付最尤法分類などの手法によって自動分類が容易に可能となったため急速に普及した。

しかし、衛星データが特定の波長帯の反射率特性に依存しているために、季節や水分条件、太陽高度等による地表の反射率変動の影響のほか、1セルのサイズが大きい場合にはミクセル(多様な反射率特性が混合するセル)の影響が生じるなどの課題があり、現実には衛星データのみで依存する土地被覆分類の分類精度はほぼ 70% 台程度にとどまってきた。2009 年に空中写真に匹敵する分解能数十 cm の World View 2 データの利用が可能になって、自動化した土地被覆分類精度は改善されるものと期待されたが、一方で不自然に突出する反射率特性データがノイズとして混在する現象も生じることが判明した。このため近年は反射率特性に依拠するのではなく、地表形態の類似性によるオブジェクト分類などの手法も開発されたが、それらは現段階では分類精度の大きな向上には繋がっていない。衛星データを利用した地表面環境の自動解析は、国家規模や地方規模サイズの縮尺数十万分の 1 スケールより小縮尺の広域的かつ概略的な地表面解析には有力な地理的手法として用いら

れてきたが、フィールドワークなどを基礎とする縮尺数万分の1スケールより大縮尺の詳細な地域の地理的課題については、衛星データのみによる地表面環境解析（土地被覆分類など）の精度は十分とは言えない現状にある。

黒田氏の研究は、これらの衛星データを用いた土地被覆分類の判定精度の問題点の解決などを目的として、デジタル空中写真が1万分の1縮尺で1セル20cm程度の極めて高い分解能を持つことに着目し、GIS(地理情報システム)利用のためのソフトを用いて、通常は衛星データから読み込むRGB（赤・緑・青）の3つの波長帯のDN（デジタルナンバー）値を、空中写真データからもRGBの各波長帯のDN値に変換できることに着目したことに始まる。

空中写真データのDN値と衛星データの近赤外域波長帯のDN値は、GISソフトを利用すれば、その位置を正確に組み合わせ、コンポジットすることが可能である。黒田氏は、この手法の我が国の地理学分野の草分けであり、本論文に示した手法によって、リモートセンシングによる土地被覆分類精度をほぼ全て80%以上までに向上させることに成功した。更にDEM（Digital Elevation Model；三次元標高データ）から取得される傾斜等をコンポジットする手法により、従来の波長帯別のDN値のみによる判定手法では分離が困難であった裸地と崩壊地の区分などについても極めて良好な結果を得ることに成功した。

また分解能の異なるデータ間のコンポジット作業では、セルサイズを1m×1mに統一する手法を適用することにより、フォーカル統計処理の手法を用いて突出したデータを除去するとともに、分解能の高い空中写真データと、やや分解能の劣る衛星写真データの整合性を図り分類精度を80%以上に引き上げ、より現実の土地利用に近い土地被覆分類イメージを作成することに成功した。また、この手法は高精度の解像度を持つ衛星データでしばしば出現する突出した値を除去することに繋がり、土地被覆分類結果をより現実に近づけ、分類精度を飛躍的に向上させる効果を生じた。このフォーカル統計処理手法を衛星データと空中写真データとのコンポジット画像に適用した事例は、黒田氏独自のアイデアによる研究であり、世界的にも注目されてよい成果である。

更に本研究では、ラスタ型データであるピクセルの集合を一度ベクター化し、再度内挿法でラスタ化するリサンプル化の手法により、分解能のかなり異なるデータを利用したデータ間のコンポジットでも、分類精度が飛躍的に向上することも示した。また、より微細な範囲の研究では、デジタルカメラ画像とフィルター付きカメラ画像から、近赤外域相当の画像を作成できるため、これらの画像をコンポジットしても、衛星データを利用した場合のコンポジットと同様手法を適用して、狭い範囲ではあるが高精度の植生区分等についても、自動化が可能であることも示した。

本論文は、黒田氏が考案・研究した様々なデータコンポジットの手法を明らかにするとともに、それらの実際の土地被覆分類自動化への適用事例を示している。デジタル空中写真データと近赤外域の衛星データのコンポジットのほか、DEMデータ等の地理的データとのコンポジットによって、教師付き最尤法分類の手法で、目的に合わせた土地被覆分類の

分類精度を飛躍的に向上させた成果を明らかにしたものである。

また、フォーカル統計処理などの手法やデータの内挿法によるリサンプル化手法によって、コンポジットするセルサイズの統一処理を行うことにより、セルサイズの大きく異なる衛星データと空中写真のコンポジット画像から、より現実的な土地利用に近いイメージを抽出することに成功したことは、今後の災害区域の抽出、ササ等の植生の分類とその領域の変化、ミクセルの多くなる都市地域の土地利用変化の抽出、防災のための災害危険地域の抽出など、時系列的な変化を伴う広範囲な地理的課題に対しても、土地被覆分類の自動処理への応用ができることを示している。これらの応用研究は、今後更に広がりが見込まれ、自動処理の発展に重要な研究成果を示したものである。

本論文は、第 1 章の序論で、衛星データや空中写真などのリモートセンシングの従来の手法と応用研究について、その方法の問題点について解説した。また、地理学分野で利用されて来た空中写真を利用して土地被覆の自動分類を行い、更に衛星データや DEM データを GIS ソフトでコンポジットすることにより、より精度の高い地表面環境解析（土地被覆分類など）を可能にすることが、本研究の目的であり、また成果であることを解説した。また地理学分野でフィールド調査の対象としやすい縮尺数万分の 1 以上の大縮尺の地表面環境解析（土地被覆分類とその経年的変化など）へのコンポジット手法の応用事例を示すことを述べた。

第 2 章の研究方法では、多様なセルサイズを持ついくつかの高解像度衛星データと空中写真データについて説明し、セルサイズを  $1\text{m} \times 1\text{m}$  に統一して表示するフォーカル統計処理の手法や、DEM データなどをコンポジットする手法等について説明した。また、教師付最尤法分類の手法や、分類精度の判定手法についての説明を行った。

第 3 章では、地表面解析を多様なコンポジット手法で実施した事例として、2012 年北部九州豪雨災害地の阿蘇市を対象として報告した。ここでは、人工衛星 THEOS データ、THEOS データと空中写真のコンポジット、THEOS データと DEM（傾斜）データのコンポジット、THEOS データと DEM データと空中写真のコンポジットを実施し、4 種類の地表面解析結果を比較した。また、フォーカル統計処理を行った THEOS データでも、同様に地表面解析を行い、さらに同様の三種類のコンポジット解析を行い、これらの分類精度を比較した。フォーカル統計処理後に分類精度が格段に向上することなどを明らかにした。

第 4 章では、平尾台の植生と地形等の関係を明らかにする目的で、デジタル空中写真 RGB データ、ALOS(地球観測衛星「だいち」)の近赤外域観測データ、DEM データのコンポジットと、ラスターデータのベクターデータへの変換と再ラスター化処理により、ネザサ・ススキ・セイタカアワダチソウ・その他の草本等の分布を、教師付き土地被覆分類の手法で高精度に区分できることを、地表踏査結果と比較して検証した。

第 5 章では、平尾台のドリーネ底付近の  $13\text{m} \times 19\text{m}$  程度の微細な範囲を、デジタルカメラ画像の RGB データに複数のフィルター付デジタルカメラ画像から作成した近赤外域データをコンポジットすることにより、微細な植生分布を解明できることを示した。またその

分類精度が実用に耐えることも示した。また土地被覆分類図に示される特定植生の好適地を、衛星データを用いた環境指標（NDVI;正規化植生指数・NDWI;正規化水指数・NDSI;正微地形規化土壌指数）などのオーバーレイによって総合的に検討できることを示した。

第6章では、大分川近傍の微地形と土地被覆との関係解析を検討するため、大分川の沿岸で高精度の土地被覆分布図を詳細に作成し、また、地形分類図とのオーバーレイを試みた。この研究では、幾何補正したデジタル空中写真 RGB（分解能 20cm）と ASTER VNIR データ（近赤外域分解能 15m）の、同年だが季節の異なる反射率データのコンポジットを実施し、竹林が段丘と低地の境界付近に卓越して分布することなどを明らかにした。

第7章では、熊本県白川沿岸でも同様手法で、1975年の空中写真 RGB と LANDSAT MSS(地上分解能 83m)をコンポジットしたデータと、同一範囲を 2007年空中写真 RGB と ALOS AVNIR2 データ（地上分解能 10m）をコンポジットした土地被覆分類図を作成し、土地被覆の経年変化を検討した。1975年の土地被覆分類では市街地の分類精度が著しく低かったが、2007年の土地被覆分類では衛星データの地上分解能の向上により分類精度が改善された。また、白川沿岸に市街地が拡大している状況なども定量化して示した。

第8章では、土地被覆経年変化を都市化の進展状況の解析を行う目的で、福岡空港とその隣接地を調査地点とし、25年を隔てた2時期の土地被覆分類図の作成を行った。この際多少撮影年次がずれてもデータの取得季節を合わせることを優先した。2組の年次を多少異にする LANDSAT と ALOS データに空中写真データをコンポジットしてはいるが、結果としてかなり分類精度の良い2組の土地被覆分類データが作成された。ただし25年以前の過去の土地被覆を示す教師データは現地調査からは得ることができないため、空中写真の目視判読によるポリゴン型ベクターデータを利用した。この方法は土地被覆の変化状況も自動的に抽出できるため、竹林の侵入状況などの土地被覆分類の定量的解析を実施した結果を明らかにできた。また、衛星データ NDWI(土壌水分指数)の解析も行い、竹林拡大条件の検討などにも応用できることを示した。

第9章の考察では、国内外の研究者による各種衛星データによる土地被覆分類の研究結果のうち分類精度の評価を実施した研究結果と、本論文で実施した衛星データと空中写真データのコンポジットによる土地被覆分類の精度を比較した。その結果、本論文の分類精度は、最近の高解像度衛星による分類精度に匹敵ないしはそれ以上に良好であることを明らかにした。また、これらの土地被覆分類手法のなかで、分解能の異なるデータ間のコンポジットでは、フォーカル統計処理や、ベクターデータからラスターデータへの変換に用いられる内挿法の変換によるセルサイズの統一手法が極めて有効であることも示すことができた。

衛星データを用いた土地被覆解析が過去どこまで検討できるかについても、国内外の事例で検討した。古い時期の衛星データと空中写真のコンポジット及び最近の高解像度衛星データの土地被覆分類をほぼ同精度で比較できることも示した。また、土地被覆分類から別の主題図に変換する事例を作成して示した。事例としては第6章で扱った大分川沿岸のデ

ータでは、得られた土地被覆区分のラスター型データを、 $20\text{m} \times 20\text{m}$  のポリゴン形式ベクターデータへ変換し、土地被覆分類を流出係数に変換した後に再度ラスターデータに変換して流出係数分布図に表示する事例、及び第8章で扱った土地被覆分類図をリサンプリング化して、セルサイズを  $1\text{m} \times 1\text{m}$  から  $100\text{m} \times 100\text{m}$  に拡大して既存の土地利用メッシュマップと比較し、土地利用図としての利用可能性を検討した。

第10章結論では、本研究で実施した空中写真データと衛星データ等のコンポジット画像の自動分類の方法、および土地被覆分類図の諸元についてまとめた。また、本研究の土地被覆分類図の応用利用を展開した事例についても提示した。これらの事例から、第9章で示したように市町村単位の地域に匹敵ないしはこれより狭い範囲の土地被覆分類が、衛星データと空中写真データのGISソフトを利用し、セルサイズを統一するなどの処理を行った独自のコンポジット手法によって、LANDSAT データなどやや解像度の劣る画像を利用しても、最新の高分解像度衛星による土地被覆分類図とほぼ同精度の分類精度を実現することに成功したことを示した。また、この手法により主として詳細な地表面環境解析の自動化が1978年の過去まで遡及できることを示し、過去の自然災害状況や土地被覆の変化などの地理学的分野の研究に、自動分類された高精度の土地被覆分類図が利活用できる事例を示した。最後に本論文の手法が新たな地表面解析方法として有用であり、今後の応用研究の発展が期待できることを指摘している。

## 論文審査の要旨

土地利用や土地被覆は、地理学における基礎的データのの一つで、それをもとに、自然地理学や人文地理学の分野で、多くの研究がなされてきた。従来は、現地での目視観察や、空中写真の目視による判読によって、手描きによって土地利用図を作成してきたが、20世紀後半から、衛星や飛行機などで撮影されたマルチスペクトル写真からの画像解析による土地利用・土地被覆図の作成が試みられてきたが、これらは、より大きな地域スケールを対象としたものが中心であった。

しかし、市町村単位や字単位での土地被覆の様相を精緻に議論する必要がある研究課題に対してリモートセンシング的手法の利用拡大が見込まれるが、黒田氏の研究は、地理学者にとってより使いやすい、市販の空中写真や人工衛星データ、さらには地上で撮影した写真を、GISソフトを使っての画像解析による土地被覆分類図の作成を試みたもので、さらに地理学的な解析作業のデジタル化が進展する地理学界に対し新たな地理学的解析手法を提供する上でも意義深いものである。

審査委員会では、GISを利用して衛星データと空中写真をコンポジットして土地被覆を自動分類する研究は、従来の衛星データのみによる土地被覆分類と比較して、飛躍的に分類精度の向上を果たしていること。過去の衛星データと最近の衛星データによる土地被覆

分類の変化を明らかにするためには、それぞれの時期に近接した時期の空中写真をコンポジットし、フォーカル統計処理とセルサイズの統一をする手法がきわめて有効で現実的な新しい処理手法であることを確認した。

空中写真のみを利用すれば、目視による実体視で高精度の土地被覆区分が可能であるが、目視と手作業に伴う長時間の判読作業が必要になること、またわずかではあるが主観的な誤判読が避けられないこと、優れた判読者の養成が必要になること等の課題がある。衛星データと空中写真のコンポジット手法は、パソコンによる自動分類による土地被覆分類による手法であるため、客観的で素早い分類が可能である。このため今後更に応用的発展が期待される分野であり、黒田氏の研究はその先駆的な成果を示すものとして博士論文として十分なオリジナリティと応用可能性を示した優れた内容である。

黒田氏の提出した参考論文 4 編は、いずれも本人が筆頭著者として全体を執筆したもので、4 編とも査読付き論文である。

また本論文に直接関連するテーマは、2009（平成 21）年 10 月以降発表しており、特に GIS により空中写真と衛星データのコンポジット画像を用いた研究論文は、2011（平成 23）年 8 月以降発表している。論文の多くは福岡教育大学黒木貴一教授らとの共著であるが、査読付き論文 14 編、査読無し論文 20 編を発表している。なお、コンポジット画像を用いた研究では黒田氏が画像解析の中心的な役割を果たしてきた。

また黒田氏は、2007（平成 19）年 3 月山形大学大学院工学研究科地球共生圏科学専攻後期博士課程退学後、同年 9 月以降、西南学院大学において非常勤講師、2010 年 4 月以降は久留米大学非常勤講師などで、自然地理学等の講義を担当しており、本学位請求論文提出時まで 16 年近くの研究歴を有し、35 編の論文を公表、60 編の口頭発表を行っている。

## 審査結果の要旨

平成 30 年(2018 年)7 月 16 日(月曜日)午後 4 時 40 分から午後 7 時 10 分まで久留米大学御井本館第 4 会議室において開催された口頭試問および審査委員会により、黒田圭介氏の論文が博士(学術)の学位に値する研究であることを審査委員会は全員一致により確認した。