

審査の結果の要旨

氏名 郭直霊

都市や農村等の環境における人間居住の状況は、持続的開発目標（SDGs）等を考慮した地域や経済開発、人的資源開発、公衆衛生や健康維持・増進政策、貧困対策、災害対応など、人々に関わる非常に多くの局面で重要な情報である。これまで現地調査や衛星画像・空撮画像の解析などを通じて、人間居住に関する空間的なデータ（典型的には地図）は作成されてきた。現在でも政府・企業・NPO など多くの主体がそれぞれの目的に応じてデータ作成・更新を続けている。デジタル画像情報等は非常に豊富になり、より短い時間間隔で得られるようになっていくにもかかわらず、画像等から建物、道路、その他の施設など抽出しマッピングする作業の多くは手作業によっており、作業効率は低い。そのため広域をより高い頻度でカバーし、居住の状況変化等を把握するためには大きな困難がある。本論文は居住環境のマッピングのうち、様々な環境・景観状況における家屋や建物のマッピング作業を自動化することを目的として、Convolutional Neural Networks（CNN）を中心とする深層学習手法に関連する理論・技術を開発するものである。本論文は6章からなっている。

第1章は序章であり、背景と目的が述べられている。また関連する既存研究が整理されている。

第2章はCNNを利用した農村マッピングであり、農業的土地景観地域において散在する建物・家屋の自動抽出・マッピングを対象としている。ここではAlexNetなどの既存のCNNをさらに改良し、さらに異なるCNNを特徴量の抽出の段階で組み合わせ、アンサンブル化することで精度を向上できることを示している。また精度向上をケニヤやラオスと言った開発途上国で実証している。

第3章はFCN（Fully convolutional networks）に基づく建物・家屋抽出・分類手法を、都市域を対象に開発した内容を述べている。具体的にはFCNを改良してCFCN（Concatenate Feature Pyramid Network）とし、それによる家屋抽出精度の向上を確認している。この実験においては東京における高分解能空撮画像（地上分解能16cm）を利用している。

第4章は超解像（Super Resolution）を組み合わせた建物の抽出・分類手法の開発である。一般にCNN等の深層学習手法は適応対象となる画像の分解能や対象スペクトル（色合い等）が異なると、同一モデルによる抽出・分類精度は大きく低下することが多い。そのため、異なる画像を利用するたびに学習データを取得し、モデルをトレーニングすることが必要になる。これは作業効率を向上させる上で大きな障害である。そこで、超解像（画像の分解能をデータ処理により向上させる方法）を適用して、ほぼ同じレベルにそろえ、モデルをそのまま適用する方法を開発した。具体的には東京を対象に、分解能が3~4倍異なる空撮画像、衛星画像を利用し、超解像手法には深層学習を利用したESPCN、建物の抽出・分類手法にはUNetを組

合せることで、様々な建物（形状・大きさ）、密度環境の下でも安定的に高い建物・家屋の抽出精度を達成できることが示された。

第5章は、ここまで開発されてきた手法群の適用であり、建物の変化検出や都市域におけるスラム地域（インフォーマルな開発がなされている貧困地域）の抽出が試みられている。建物変化検出については十分な検証データを得ることが困難であったが、手法の組み合わせ・パラメータの最適などにより、異なる画像を組み合わせた建物変化検出の精度が改善できることなどが示された。また、スラム地域の抽出は貧困調査や対策、コミュニティや環境に配慮した都市開発などを推進する上で非常に注目が集まっている。本研究では比較的分解能の低い衛星画像からスラム地域を精度よく抽出できることを、バングラデシュ・ダッカ地域を対象に示した。

第6章は結論と今後の課題が述べられている。

以上まとめると、本研究はCNN技術の中核として、多様な衛星画像・空撮画像からの建物・家屋マッピングを自動化する手法を開発・改良し、その適用範囲を大きく広げることに成功している。これは空間情報科学の社会・人間環境学への大きな貢献である。よって本論文は博士（環境学）の学位請求論文として合格と認められる。

以上 1789 字