

新技術の活用による基盤情報整備力向上のための研究（第3年次）

実施期間

令和元年度～令和5年度

地理地殻活動研究センター

地理情報解析研究室 大野 裕幸

1. はじめに

本研究は、10年後の地理空間情報整備環境を睨んで、正確さを保持しつつ、低コスト、高生産性で基盤情報を整備可能な技術開発につなげる観点に立って基礎研究を実施するものである。本年度は、空中写真から地物を抽出する技術開発の進展に伴い、図化における生産性を大幅に向上させることを目的とした自動図化機構の構築をテーマとした。

平成30年度から実施しているAIを活用した地物自動抽出に関する研究（以下「AI特研」という。）では、畳み込みニューラルネットワーク（CNN）と深層学習を用いた画像処理技術（以下総称して「AI」という。）を用いて空中写真に写った地物を項目毎に見分けて抽出する技術の開発を行っており、すでに道路縁、水涯線、普通建物といった主要地物を含むいくつかの項目において抽出性能（F値）が0.8を上回る学習済モデルを得ている（大野ほか, 2021）。しかし、空中写真上で地物を抽出した段階では、画像座標上のピクセルで範囲を特定したに過ぎず、地理座標を持たないため地理空間情報とはならない。これを地理空間情報とするには、抽出結果に対し標定と正射変換を行い、かつベクトル情報に変換しなければならない。また、生産性の「大幅な」向上を実現するには、可能な限り人間が介在する余地を排除して、自動的に処理をすることができる機構とすることが望ましい。そこで、完全自動処理（いわゆる自動図化）の実現を目指して自動図化機構の構築に取り組んだ。さらに、それを用いて変化情報の抽出についても自動的に実施する機構を構築することができたので、併せて報告する。

2. 研究内容と得られた成果

2.1 研究開発の概要

空中写真上でAIによって地物を抽出した結果は、地物ごとに特定の色に色付けされた画像に過ぎない。本研究では、これを地理空間情報とするため、「ラスタベクタ変換」「形状補正処理」「正射変換」「マージ処理」「後処理」の5工程の処理を順番に行い、最終的に地理院地図で地図と重畳して表示可能なkml形式のポリゴンデータに変換する機構を構築した。ここでは、道路を例として示す。

2.2 ラスタベクタ変換の工程

AIによる抽出直後は、図-1の最も左の図のように、道路と判断された範囲が赤色（RGB: #FF0000）に着色された画像となっている。ここから、RGB指定値から一定の許容範囲内の値のピクセルを白色に、その他を黒色とした画像が図-1の左から2番目の図である。ここまではAIによって処理するケースが一般的であるが、AI特研では学習データ作成の生産性を考慮してこの部分の処理をAIに含めていない。次に、誤抽出や抽出漏れによって生じたノイズを消去するため、画素塊のサイズに閾値を設定してそれ以下のサイズの画素塊を削除し（図-1の左から3番目の図）、さらに、画素塊を拡大及び縮小して画素塊中に抽出漏れによって生じた穴や細線状の欠落部を除去する（図-1の最も右の図）処理を加えた。残った画素塊の外周部の境界線を画素が右側となる向きで輪郭線として抽出することによって、画像座標系の座標を持ったポリゴン形式のベクトルデータとすることができる。

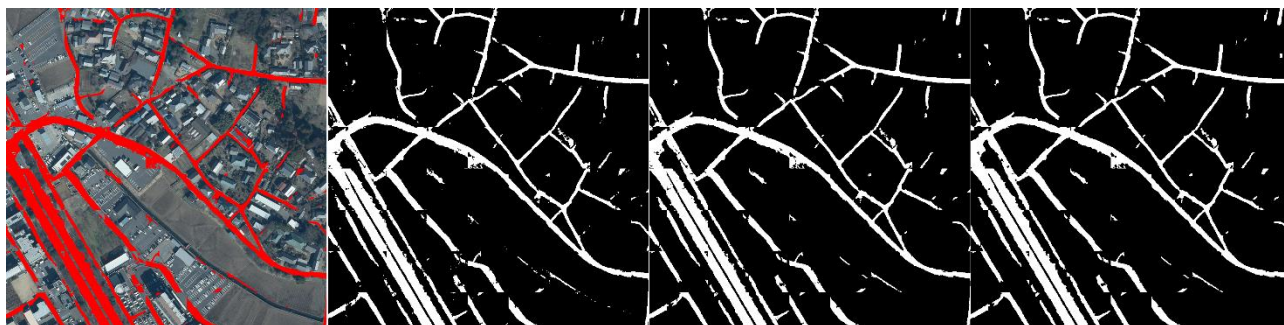


図-1 ラスタベクタ変換のための前処理（空中写真 CKT-2015-17-E-C01_0007 の一部の抽出事例）

2.3 形状補正処理

ラスタベクタ変換によって取得したベクトルデータは、ピクセルを正方形とみなしてその縁をデータ化しているため、90 度に折れ曲がった形状をしている。そのままでは図化データとして好ましくないため、直線化補正による形状補正処理を加える。まず機械的に点を間引き、次に点数と始点からなす角の 2 つの閾値によって直線化すべきか否かを決定し、直線化すべき範囲の補間点を全て削除して直線化する。これらの処理は、いずれも画像座標系上で行われる。

2.4 正射変換

形状補正処理を加えた輪郭線ベクトルデータに対し、空中写真撮影時に計測されたカメラパラメータと、既存の基盤地図情報 10 メートルメッシュ DEM を用いて正射変換を行う。この処理自体は、令和 2 年度までに構築済のプログラムを用いて実施するが、本年度からは、カメラパラメータに含まれるわずかな誤差を補正する処理を事前に行うこととした。カメラパラメータの補正は、AI による道路抽出機能を用いることで実現したもので、同時調整後のカメラパラメータにも誤差が含まれる場合があることを確認している（図-2）。この誤差は、同時調整後のカメラパラメータでデジタルステレオ図

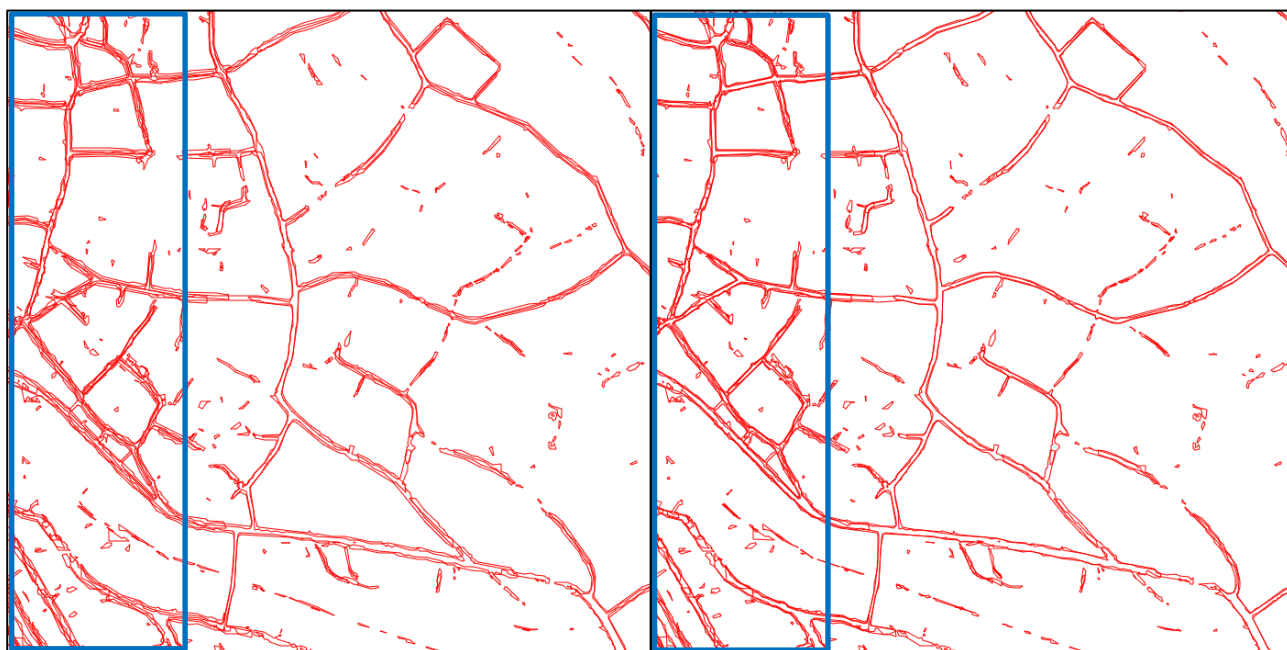


図-2 同時調整後のカメラパラメータの補正（左：補正なし，右：補正済）

化機にセットして図化しようとした際にわずかながら視差が生じることがあるが、その原因となっているものと推測している。図-2 は、隣り合う 3 枚の空中写真（CKT-2015-17-E-C01_0006 から 0008 ま）に対して、同時調整後のカメラパラメータそのまま（左）と本研究で考案した補正を加えたもの（右）を用いて正射変換した結果を重畳して比較したものである。DEM は双方同一のデータを用いた。図-2 の青色の枠で示した部分は、3 枚の空中写真が重畳した範囲であるが、補正なしの方は明らかに道路縁がダブっているが、補正済の図では位置ズレなく重畳されている。この補正を効率的に実施する技術を開発したことによって、2.5 のマージ処理で十分な位置精度を発現できるようになり、AI による自動図化実現につなげることができた。同時調整済であってもこのような誤差が残留している原因は現時点で不明である。

2.5 マージ処理

2.4 で述べたカメラパラメータ補正技術を得たことで、コース境界をまたいだ空中写真のデータをマージしても位置ズレが生じる機会が著しく減少し、撮影地区全体の正射変換後のデータをマージすることで、撮影地区全体をまとめてひとつのデータとして扱うことが可能となった。また、重複する全ての空中写真をマージする処理を実施することで、1 枚の空中写真では AI による抽出漏れが生じた箇所でも、そこが重複して撮影された隣接画像及びサイドラップが生じている箇所では隣接コースの複数枚の画像の抽出結果によって補完することができるため、撮影地区全体として見た場合の AI による抽出性能を向上させることができる。ただし、誤抽出が多い（Precision が小さい）AI を用いると、マージ処理によって各所に誤抽出が追加されていくため、マージ処理を実施する場合の AI の抽出性能は Precision 優位に誘導する必要がある。

2.6 後処理

AI の抽出性能には限界があることから、図-2 に小さなポリゴンが多数見られるように、マージ後の図化結果には誤抽出によって生じたノイズが残される。これを除去する処理を後処理として実施する。例えば、道路は通常は他の道路と接続され、道路ポリゴンはネットワーク状に広く 1 つの面を構成している。すなわち、地区全体を接続した道路の図化結果では、正常な道路ポリゴンの面積は非常に大きな面積となると推測されることから、比較的大きな面積を閾値とし、それ以下は誤抽出とみなして差し支えないと考えられる。したがって、道路の図化の場合は、一定の面積を閾値としたポリゴン削除処理が有効な後処理となる。このような検討を項目ごとに実施して、後処理内容を決定する。

2.2 からここまでの処理を連続して行うことで、空中写真画像入力から図化結果の取得までを自動的に行うことが可能となり、ある項目の図化が終了したら次の項目へと、次々に図化対象を変更していくことで、AI 特研が対象とする 40 項目の自動図化機構が完成した。ここで得た自動図化結果は、地理院地図上で表示させることで誤抽出や抽出漏れの発見が容易となるため、図化結果を AI 特研に戻して AI の性能向上における学習データ選定の参考資料として用いることで、AI 特研の生産性向上につなげることもできた。

2.7 変化情報抽出

構築した自動図化機構を用いて、空中写真撮影地区 CCB-2020-6（名古屋地区）の空中写真 521 枚を対象として、道路の変化情報を自動抽出した事例を示す。この地区は、UltraCamEagle というデジタル航空カメラで撮影されており、画像 1 枚のサイズは 13,080×20,010 ピクセルである。まず、GPU Quadro RTX8000 8 枚、CPU 合計 48 コアの PC 上で自動図化機構を用いて、この 521 枚全域の道路の自動図化



図-3 マージ後の自動図化結果（左図）を用いた，道路変化情報の自動抽出結果（右図）（CCB-2020-6）

を実施したところ，人間が全く介在することなく 24 時間以内で全域の道路縁ポリゴンを得た．図-3 の左側の図が自動図化された道路縁ポリゴン（青色部分）の一部を地理院地図上に表示したものである．この道路縁ポリゴンデータ（A）に対し，令和 3 年 5 月時点の電子国土基本図の道路縁データから作成した道路縁ポリゴンデータ（B）を比較し，A と B の差分を生成することで，B 以降に出現したと思われる道路縁ポリゴン，すなわち道路の変化情報の抽出を試みた結果が図-3 の右側の図である．この差分生成に要した時間は人間が全く介在することなく約 9 日（ただし，前記 PC で実行可能な 8 並列処理のうち 1 処理分のみを使用）であった．差分生成後に，ある道路の延長方向に対して直角方向にわずかなズレ（例えば 1 ピクセル分のズレが残留すると 20cm 道路幅が異なるポリゴンとして残留する）が残ることがあるため，一定の面積の閾値以下の残留ポリゴンを削除する処理を加えたため，変化情報として残留すべきポリゴンの一部が消去されてしまっている．そのため，現時点では変化情報抽出のツールとしての性能が十分とは言えず，さらに改善を図る必要がある．

道路の変化情報抽出は，2019 年度及び 2020 年度に撮影された空中写真撮影地区のうち，12 地区 9377 枚の空中写真に対して試行し，2020 年 6 月 1 日から 8 月 3 日までの 64 日間で 2 次メッシュ 121 メッシュ分のデータを作成した．なお，抽出された変化情報データから 2 次メッシュ単位のデータに切り出す処理のみは人間が実施した．

3. 結論

AI 特研の研究成果を用いて，AI による自動図化機構を構築した．一方，自動図化機構によって生成される図化データの良否は，AI 部分の抽出性能の良否に大きく依存しており，測量成果として実用に耐える自動図化結果を得るレベルに到達したとまでは言えない．後処理部のパラメータチューニングも含め，さらなる性能向上を図っていく必要がある．また，現状では自動図化機構の性能評価を定量的に行う手段が無いことから，今後，定量的な性能評価を自動的に行う方法を検討する予定である．

参考文献

大野裕幸，遠藤涼，白石喬久，浦郁子（2021）：AI を活用した地物自動抽出に関する研究（第 3 年次），国土地理院令和 2 年度調査研究年報，180-183．