

地図情報の新たな整備・更新技術の開発 ーディープラーニングを用いた等高線図化に関する 作業効率化の検討（第3年次）ー

実施期間

令和4年度～令和6年度

基本図情報部地図情報技術開発室

西井 康郎 長野 玄

野口 真弓

1. はじめに

国土地理院では、等高線の取得に写真測量による手法を用いている。木々に覆われた箇所の地表面の等高線は、図化する作業者の知識や技量によって精度にばらつきが生じやすい。そこで、令和4年度から数値標高モデル（以下「DEM」という。）を用いた等高線の自動生成を試みている。令和6年度は、令和5年度にオートエンコーダを用いた手法により発生させた等高線の修正作業省力化のための補助ファイルの作成、微小領域の等高線の削除及び隣接メッシュ間の不整合の解消の方法の検討を行った。

2. 過年度の実施状況

DEMデータを用いた等高線の自動生成において、一般的な線形補間による手法では微地形が過剰に表現され、不自然な形状になる。令和4年度は、この課題に対して、空間フィルタリングを用いて等高線を滑らかにする試みを行った（高田ほか，2023）が、山頂や谷などの局所的な極値が平均化され、実際の標高とのずれが生じた。そこで令和5年度には、オートエンコーダ（Kingma and Welling, 2014, 2019）というディープラーニング技術を用いて、極値のずれを抑え滑らかな等高線を発生できるようなDEMを出力し、そのDEMから等高線を自動生成することを試行した。また、20万分1や100万分1の小縮尺図の等高線形状が大縮尺図と不整合を起こしているという課題に対処すべく、この手法を適用して等高線の自動生成を行った。その結果、従来の小縮尺図と比較して一定の精度向上が見られる等高線を生成することに成功したが、幾つかの課題点が生じた（西井ほか，2024）。

3. オートエンコーダにより出力したDEMから自動生成した等高線に対する課題

令和5年度に、オートエンコーダにより出力したDEMから自動生成した20万分1及び100万分1地図情報の等高線に対して、下記のような課題を確認している。

①水涯線との不整合（図-1）

水涯線と等高線の屈曲部の中心の位置が整合していない。

②等高線の分割（図-2）

本来は一つの領域として表現されるべき等高線が、複数の領域に分割されている。

③等高線の結合（図-3）

本来は複数の領域として表現されるべき等高線が、一つの領域に結合している。

④微小領域の等高線の発生（図-4）

等高線の表現としては不適当な微小な標高領域の等高線が発生している。

⑤隣接メッシュ間の不整合（図-5）

隣り合う一次メッシュ図郭の境界で、等高線形状の不整合が見られる。

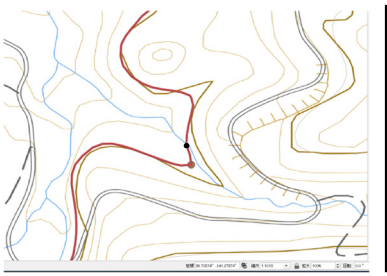


図-1 水涯線と等高線との不整合

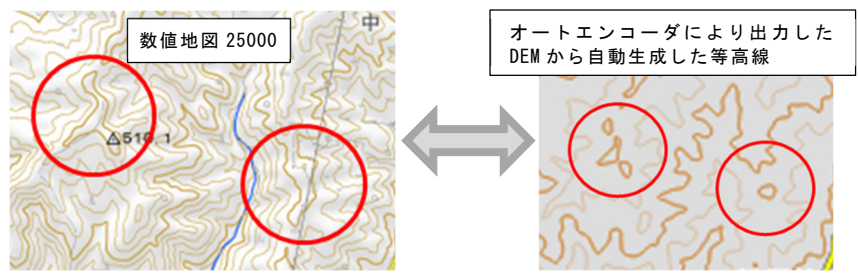


図-2 一つの領域として表現されるべき等高線複数領域への分割

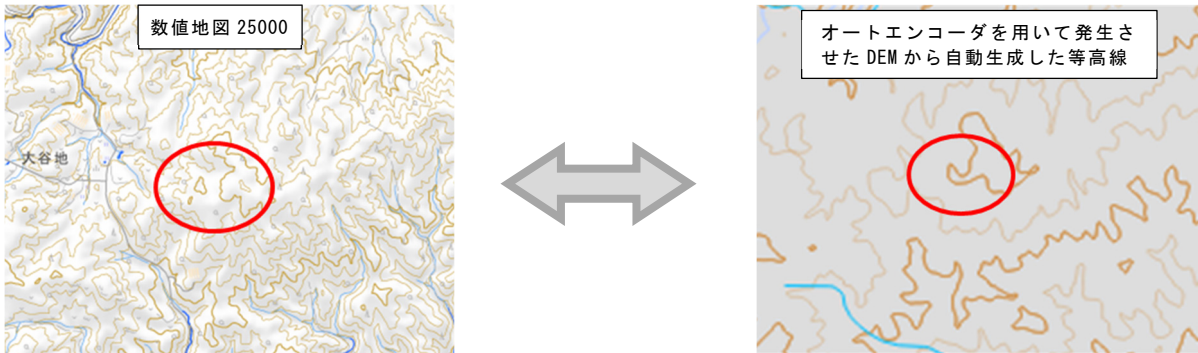


図-3 複数の領域として表現されるべき等高線の一つの領域への結合

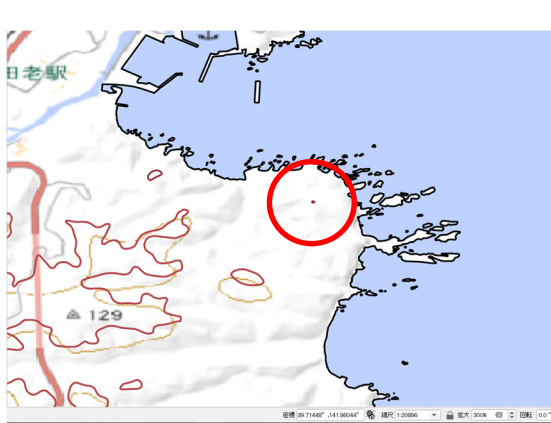


図-4 微小な標高領域の等高線の発生

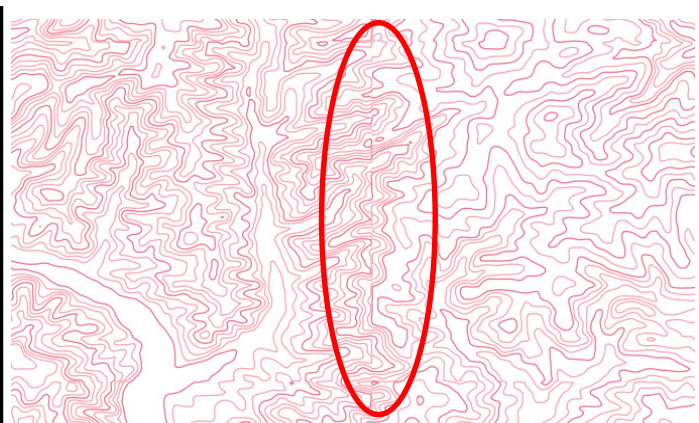


図-5 図郭の境界部分での不整合

ここで、図-2、3において左側の図は数値地図25000であり、右側の図はオートエンコーダによるDEMから発生させた等高線である。左側の図と右側の図の等高線の地図表現が整合することが技術開発の理想であるが、差異が生じている。

4. 課題の改善

3.で述べた①～③の課題に対して、修正作業を効率的に実施するために問題箇所を強調した補助ファイル（シェープファイル形式）（以下単に「補助ファイル」という。）を生成した。補助ファイルの作成方法及び課題の改善方法を4.1～4.3に示す。なお、オートエンコーダによって平滑化されたDEMデータに対して補助ファイルを作成しているが、このDEMデータを平滑化する手法は令和5年度に開発したものである（西井ほか，2024）。

また、④及び⑤の課題に対し、微小領域の等高線の削除及び隣接メッシュ間の不整合の解消のための改善方法を4.4及び4.5のとおり示す。

4.1 水涯線と等高線が整合していない箇所の抽出（図-6）（①水涯線との不整合）

- i. オートエンコーダによって出力したDEMデータを基に、等高線と谷線を生成する（左の図）
- ii. 生成した等高線と谷線の交点を抽出する（中央の図）
- iii. 数値地図25000の水涯線と生成した等高線との交点を抽出する（中央の図）
- iv. iiとiiiの点が一定の距離の範囲（10 m以上100m以内）にあるとき、iiの点を補助ファイルに出力する（iiとiiiの点の間が100 mよりも離れている場合も出力すると、問題箇所の範囲外の点を対象としてしまうため、それらを出力しないよう100 m以内の点だけを抽出）（右の図）



図-6 水涯線と等高線が整合していない箇所の抽出方法のイメージ図

4.2 一つの領域として表現されるべき等高線が複数の領域に分割されている箇所の抽出（図-7）（②等高線の分割）

- i. オートエンコーダで生成した等高線の中で、閉曲線になっている等高線を閉合ポリゴン化（左の図）
- ii. 生成した閉合ポリゴンの外周に幅25 mのバッファを生成（中央の図）
- iii. バッファポリゴン（黄色で塗られているポリゴン）と数値地図25000の等高線（赤色のライン）が交わるか判定（中央の図）
- iv. 交わっていた場合、該当の数値地図25000の等高線全体の長さ（図郭内で連続する部分全部を計算、右の図の赤太線）が閉合ポリゴンの外周（右の図の黄太線）の長さの3倍以上（分割されているポリゴンを十分に抽出できる値であり、2倍以上とした場合と比べて誤抽出を比較的防ぐことができたため）のとき、閉合ポリゴンを抽出し、補助ファイルに出力（右の図）
- v. 交わっている数値地図25000の等高線がない場合も、閉合ポリゴンを補助ファイルに出力

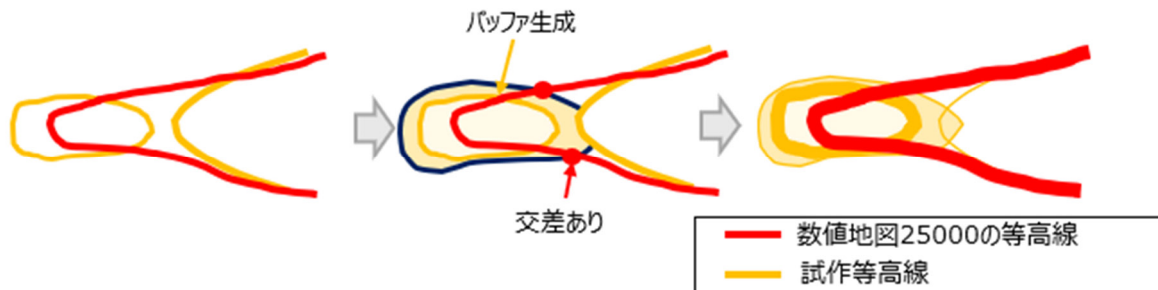


図-7 一つの領域として表現されるべき等高線が複数の領域に分割されている箇所の抽出方法のイメージ図

この手法を図-2と同じ箇所で適用し、補助ファイルを出力した結果を図-8に示す。図-8の左側の図は数値地図25000（図-2の左側の図と同じ）で、中央の図はオートエンコーダによる自動処理後のDEMから発生させた等高線、右側の図は中央の図に補助ファイルを重ね合わせた図である。



図-8 等高線が複数の領域に分割されている箇所の抽出結果

4.3 複数の領域として表現されるべき等高線が一つの領域に結合している箇所の抽出（図-9）（③等高線の結合）

- i. 数値地図25000の等高線に対して、閉曲線になっている等高線を閉合ポリゴン化（左の図）
- ii. 生成した閉合ポリゴンの外周に幅25 mのバッファを生成（中央の図）
- iii. バッファポリゴン（赤色で塗られているポリゴン）とオートエンコーダにより出力したDEMから生成した等高線（黄色のライン）が交わるか判定（中央の図）
- iv. 交わっていた場合は、オートエンコーダにより出力したDEMから生成した等高線の長さ（4.2と同様の手法で長さを計算、右の図の黄太線）が閉合ポリゴンの外周（右の図の赤太線）の長さの3倍以上のとき、閉合ポリゴンを抽出し、補助ファイルに出力（右の図）
- v. 閉合ポリゴンとオートエンコーダにより出力したDEMから生成した等高線が交わっていない場合も、閉合ポリゴンを抽出し、補助ファイルに出力

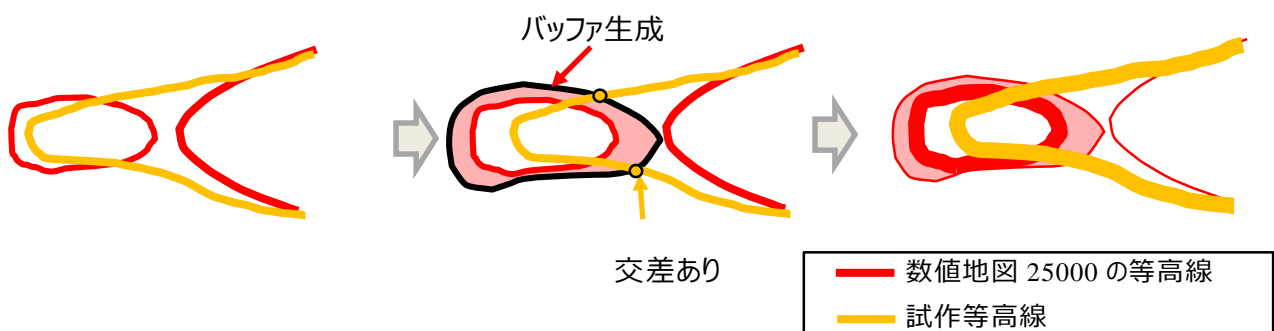


図-9 複数の領域として表現されるべき等高線が一つの領域に結合している箇所の抽出方法のイメージ図

この手法を図-3と同じ箇所で適用し、補助ファイルを出力した結果を図-10に示す。図-10の左側の図は数値地図25000（図-3の左側の図と同じ）で、中央の図はオートエンコーダによる自動処理後のDEMから発生させた等高線、右側の図は中央の図に補助ファイルを重ね合わせた図である。



図-10 等高線が一つの領域に結合している箇所の抽出結果

4.4 微小領域を示している等高線の削除（④微小領域の等高線の発生）

長さが50 m未満の等高線を削除した。電子地形図20万図式で等高線と認識できる長さとして、しきい値は50 mとした。

4.5 図郭境界の等高線形状の不整合の改善（図-11）（⑤隣接メッシュ間の不整合）

- i. DEMを1,500 m × 2,250 mごとの区画（以下「オリジナル区画」という。）（左の図の青い区画）に区切る。次に、オリジナル区画の周囲に、バッファ領域を生成し、2,560 m × 2,560 mの拡張区画（中央の図の青く塗りつぶした区画）を設定する
- ii. 拡張区画ごとに等高線を生成する
- iii. 生成した等高線のうち、オリジナル区画の内部のみ（右の図の網掛け区画）を切り取る
- iv. 以上の操作をそれぞれの区画ごとに行う。

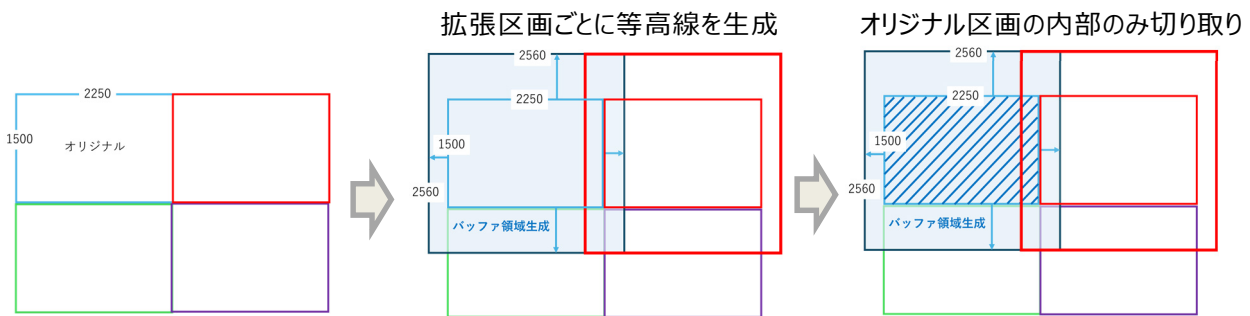


図-11 バッファ生成による隣り合う領域の不整合の改善

この手法を図-5と同じ箇所で適用し、等高線を出力した結果を図-12に示す。図郭境界で発生していた不自然な等高線形状が改善されたことが確認された。

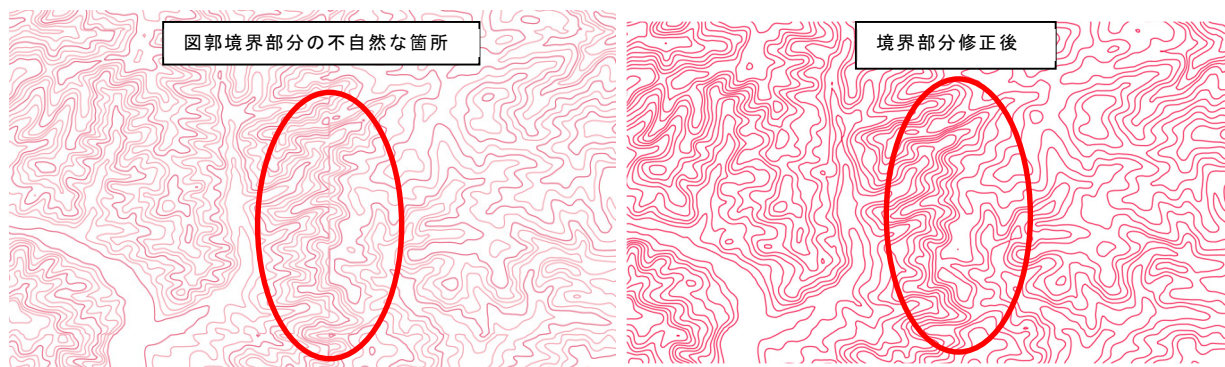


図-12 境界部分が不整合となっていた箇所の改善結果

5. まとめ

等高線の平滑化に当たって、令和4年度に空間フィルタリングなどによるDEMの平滑化手法を検討、令和5年度にオートエンコーダを用いた平滑化手法を検討した。令和6年度には、令和5年度に開発したオートエンコーダを用いた手法により発生させた等高線データを実際の修正作業に効果的に活用できるように、20万分1地図情報の等高線を点検修正するための補助ファイルを作成するとともに、20万分1地図情報の微小等高線の削除並びに20万分1及び100万分1地図情報の等高線の図郭境界部の修正を行った。今回作成した補助ファイルが、今後不適切な等高線の修正作業の効率化に活用されることを期待する。

参考文献

Kingma, D.P. and Welling, M. (2014) : Auto-Encoding Variational Bayes,

<https://arxiv.org/abs/1312.6114> (accessed 31 March 2025).

Kingma, D.P. and Welling, M. (2019) : An Introduction to Variational Autoencoder,

<https://arxiv.org/abs/1906.02691> (accessed 31 March 2025).

西井康郎, 吉高神真利子, 新藤昭彦, 南秀和 (2024) : ディープラーニングを用いたDEMデータからの等高線自動図化, 令和5年度調査研究年報, 42-49.

高田悠太郎, 稲澤保行, 新藤昭彦, 岸本紀子 (2023) : 地図情報の新たな整備・更新技術の開発 -5 mメッシュ DEM から地図情報レベル 25000 の等高線を作成する手法の検討 (第1年次) -, 令和4年度調査研究年報, 40-46.