

他の地物と交差した建物の編集に関する研究

キーワード：大縮尺地図、建物編集、交差

津留 宏介¹

1. はじめに

空中写真測量では、空中から重複して撮影された空中写真を用いて図化機で立体的に地形・地物を描画することにより地図を作成する。このとき計測誤差などにより地形・地物同士の交差が生じるが、現在、これらの交差の除去は作業者の感覚により手作業で行われているのが実態である。

建物に掛かる地形・地物の交差の代表的な状況を図1に示す。

道路に近接した建物では、実際に軒が道路上にはみ出している場合もあるし、図化誤差により道路上にはみ出して描画されることもある（図1（a））。

建物と構囲が近接している場合には、建物と構囲の位置関係を正確に図化できない場合もあるし、実際に建物の軒が構囲の上まで、はみ出していることもある（図1（b））。

ひとつの敷地内の建物群や建物密集地域では、建物の軒同士が重なっている場合もある（図1（c））。

このように、実際に重複していたり、図化精度上、交差が避けられなかったりしても、交差は読図や空間解析の妨げとなるため、取り除く必要がある。

図形の交差を編集する処理は、光学式文字読み取り装置のための研究^{1)、2)}は多く行われているが、文字の下の罫線の除去の注目されており、地図編集には利用できない。地図編集分野では、佐々木ら³⁾が5つのパターン

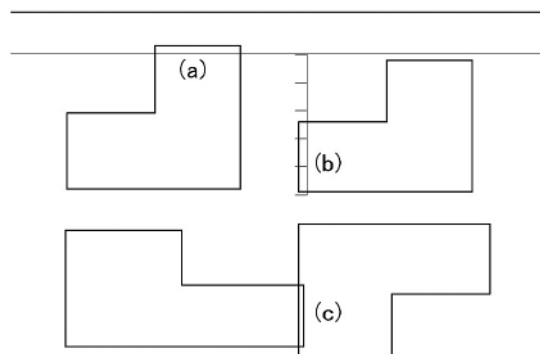


図1 他の地物との交差

に分類して建物ポリゴンと道路リンクの交差を除去する提案を行っているが、移動と削除による方法を採用しており、精度の大幅な劣化や建物の欠落が懸念され、地図としては適切な結果を得ることができていない。

本研究では相対的な形状を確保しながら、建物座標の移動量を最小限に抑え、他の地形・地物からの交差を編集する建物の編集方法について提案する。

2. 建物に掛かる交差の編集の現状

現在、他の地形・地物と交差する建物の編集は、図化時に行われる場合と編集時に行われる場合とがある。

図化時に行う場合には、先に周囲の地形・地物を描画しておき、建物はそれらの地形・地物と交差しないように敢えて実際とは異なる位置に描画する。この方法では、交差部分だけが変形し、建物形状が大きく損なわれる場合がある。これは、次に説明する編集時に行う場合の部分移動に相当する。

編集時に行う場合は、交差部のみを部分移動する方法及び基本的には適用されないが建

¹ 朝日航洋株式会社

物全体を移動させる方法がある。前者は図化の場合と同じで、形状が変形してしまう。後者の場合は、形状の変形は発生しないが、位置精度が低下してしまう。

図2に現状の適用例の問題点を明示した模式図を示す。部分移動の図では、道路にはみ出した建物の出っ張りが極端に小さくなり、実際の建物の形状とは異なってしまっている。全体移動を示した建物では、道路と建物との間が広がって実際の空間的な地物間関係が損なわれている。

数値図化機にはこのような問題を回避する高度な編集機能が臨まれるが、内田⁴⁾の調査では高度な編集機能を製品の特徴として上げているデジタルステレオ図化機はない。デジタルステレオ図化機の開発が、ライン型航空カメラや衛星画像の標定機能に移っているのが原因と考えられる。そのため、デジタル手法においても図化と編集は別工程となっており⁵⁾、デジタルステレオ図化機的能力を充分に引き出せていない。

3. 建物に掛かる交差の分類

建物に掛かる地形・地物の交差を分類すると、図3のように整理できる。なお、ここでは建物同士の交差、あるいは建物内に座標を持って交差する地形・地物であっても、それぞれを個別の線に分解して捉えている。

図3に示した分類は、それぞれ次のように定義する。

横断交差とは、交差する地形・地物の辺が、建物内を横断しているものである。

線上交差とは、交差する地形・地物の辺の端点が、建物辺あるいは角のいずれかの上に重なっているものである。

重複交差とは、交差する地形・地物の辺の一部が、建物辺のいずれかの一部あるいは全部と一致しているものである。

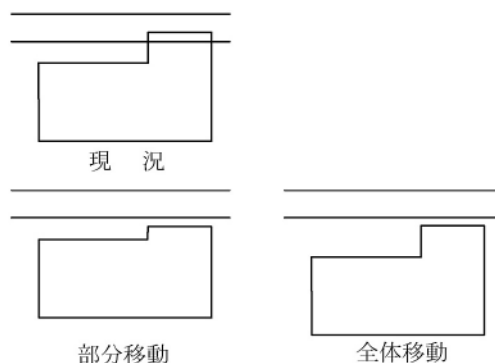


図2 現状の適用例

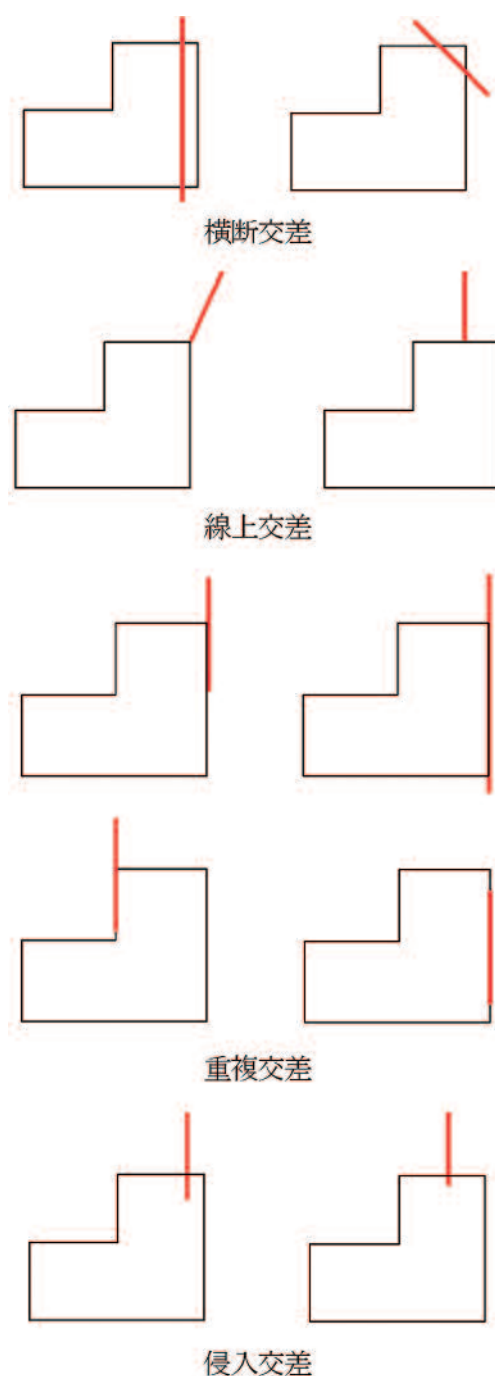


図3 建物に掛かる交差の分類

侵入交差とは、交差する地形・地物の辺が、建物内に入り込んでいるものである。

4. 建物に掛かる交差の編集

提案する方法は、建物に掛かる他の地形・地物の交差に対し、建物を構成する座標を最小限の移動で編集できる方向へ、その方向の最も遠い建物の座標を動かないものとし、移動方向に沿った距離に比例した距離だけ圧縮するように移動させる方法である。このとき、最も移動量が大きな点を「最大移動点」、圧縮する方向を「圧縮方向」、動かない点を「不動点」と呼ぶ。

4.1 処理の流れ

建物に掛かる地形・地物の交差を取り除く編集の流れは、図4のとおりである。

建物及び線あるいは線の集合として構成される地形・地物を編集の対象とする。このとき地形・地物には、建物自身も含まれる。

次に対象とする建物は、自分を除く地形・地物との交差状況を検索し、交差する地形・地物があれば処理の対象とする。このとき地形・地物は線分として分解し、対象とする建物に対して交差した地形・地物の辺を「交差線」と呼ぶこととする。(図4「交差地形・地

物の検索と交差景況の分類」)

交差線が存在した建物から、交差状況に応じて最大移動点、不動点及び圧縮方向を決定する。(図4「不動点、最大移動点と圧縮方向の決定」)

建物を圧縮するための原点を不動点とし、交差する地形・地物が建物以外の場合には、最大移動点の座標を圧縮方向に対して交差線から図上換算で0.2mmの白部（これを「微量の白部」と呼ぶ）が得られる距離まで移動させる。交差する地形・地物が建物の場合には、最大移動点の座標を圧縮方向に対して交差線から微量の白部が得られる距離を加えた距離の半分を移動させる。それ以外の建物座標は、圧縮方向に対する不動点から移動前の最大移動点と移動後の最大移動点の距離の比と同じ割合だけ圧縮方向に移動させる。(図4「建物座標の移動」)

以上により交差線がひとつであった場合の交差の編集は終了するが、交差線が複数あった場合を想定し、交差線が存在しなくなるまでこれらの処理を繰り返す。

4.2 交差地形・地物の検索と交差景況の分類

建物に交差する地形・地物を検索するため、当該建物を含む全ての地形・地物を線分として分解する。次に、分解した線分は、座標の順番で昇順に並べ替え、さらに線自体も

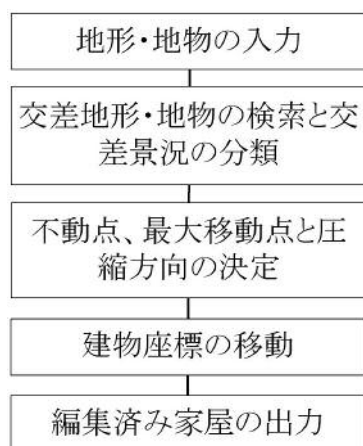


図4 建物に掛かる交差編集の流れ

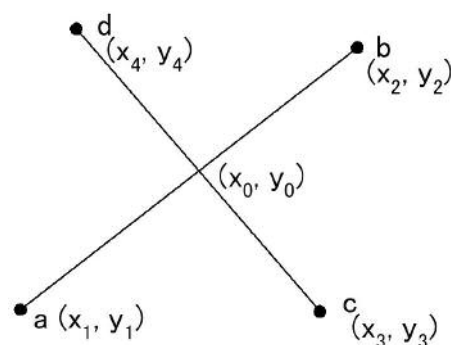


図5 ふたつの線の交差

小さい方の座標を基準に昇順に並べ変えるなどの処理により、検索が速く行えるようにする。

次に、2つの線分をX軸とY軸に投影し、どちらの軸上でも重複しているものに絞り込み、次の手順で交点を求める。

当該建物の辺を $\overline{ab}$ とし、a点の座標を (x_1, y_1) 、b点の座標を (x_2, y_2) とする。当該建物を除く地形・地物の辺を $\overline{cd}$ とし、c点の座標を (x_3, y_3) 、d点の座標を (x_4, y_4) とする。

これらの4点から構成される4つの三角形の面積を用いて式(1)により2つの線が交差しているか否かを判定する。なお、片方の線の端点がある一方の線の上にある場合には、片方の線の端点ともう一方の線で構成される三角形は、面積がゼロとなる。

$\Delta abc \times \Delta abd \times \Delta cda \times \Delta cdb > 0$ なら交差

$\Delta abc \times \Delta abd \times \Delta cda \times \Delta cdb = 0$ なら線上 式(1)

$\Delta abc \times \Delta abd \times \Delta cda \times \Delta cdb < 0$ なら非交差

ここでa、b、cは、三角形の頂点と座標の順番を表す。

なお、三角形 $\{(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3)\}$ の面積Sは、式(2)で求められ、頂点の順番で値が負やゼロになる。

$$S = \frac{1}{2}[(x_2 - x_1)(y_3 - y_1) - (x_3 - x_1)(y_2 - y_1)] \quad \text{式(2)}$$

2つの線が交差していると判定された場合には、式(3)を用い、ふたつの線の交点 (x_0, y_0) を算出する。

$$x_0 = \frac{adx_3 - bcx_1 + acy_1 - acy_3}{(ad - bc)} \quad \text{式(3)}$$

$$y_0 = \frac{ady_3 - bcy_1 + bdx_1 - bdx_3}{(ad - bc)}$$

ここで、aを $(x_2 - x_1)$ 、bを $(y_2 - y_1)$ 、cを $(x_4 - x_3)$ 、dを $(y_4 - y_3)$ とする。

これらの結果に基づいて、交差状況を横断、線上、重複、挿入の4つに分類する(図3)。

4.3 不動点、最大移動点と圧縮方向の決定

他の地形・地物と交差する建物は、移動させない座標を不動点とし、最大移動点が交差を避けられ、微量の白部が設定できる地点まで移動させる。ここで不動点と最大移動点の決定を、分類された交差状況に応じて実施する。

1) 横断交差

横断交差では、検出された他の地形・地物と交差する建物に対し、その建物の全座標を式(4)により交差線の座標の進行方向に対し右側、左側、あるいは線上であるかを判定する。ここで、交差線の座標の内、X座標が昇順に並んでいるとし、交差線のX軸へ投影した距離を L_x 、Y軸への投影した距離を L_y とする。また、交差線のX座標が小さい方の点と建物のいずれかの座標で構成される線のX軸へ投影した距離を P_x 、Y軸への投影した距離を P_y とする。

$$L_x P_y - P_x L_y = 0 \quad \text{線上}$$

$$L_x P_y - P_x L_y < 0 \quad \text{右側}$$

$$L_x P_y - P_x L_y > 0 \quad \text{左側}$$

式(4)

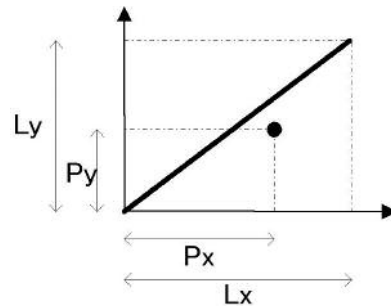


図6 左右判定

交差線上の座標を便宜的に右側か左側かのどちらかに組み込み、右側あるいは左側に分類された建物の各座標は、それぞれの座標から交差線に対する垂線端の座標 (X_p, Y_p) を式(5)により求める。

$$\begin{aligned} x_f &= x_0 - k (y_2 - y_1) \\ y_f &= y_0 - k (x_2 - x_1) \\ k &= \frac{(y_2 - y_1) x_0 + (x_2 - x_1) y_0 - x_1 y_2 + x_2 y_1}{(y_2 - y_1)^2 + (x_2 - x_1)^2} \end{aligned} \quad \text{式 (5)}$$

ここで、 $\{(x_1, y_1), (x_2, y_2)\}$ は、交差線の座標をいう。 (x_0, y_0) は、建物座標のいずれかをいう。

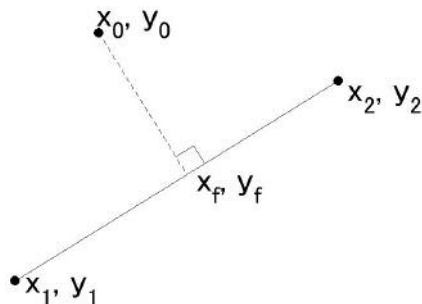


図7 垂線

さらに建物座標とこれに対応する垂線の長さを求め、右側、左側のそれぞれで最も長い垂線を検出する。

右側、左側のそれぞれで最も長い垂線を比較し、長い方の垂線端と一致する建物座標を不動点、短い方の垂線端と一致する建物座標を最大移動点とする。交差線に直交で、最大移動点から不動点へ向かう方向が圧縮方向となる（図8）。

建物と他の地形・地物との交差は、図化誤差や建物の軒のはみ出しなどによって生じるものであるため、交差箇所は建物の周辺部のみに存在する。したがって、左右の最も長い垂線の長さの比は極端に大きくなるか小さくなるかであり、そうでない場合には予期せぬ

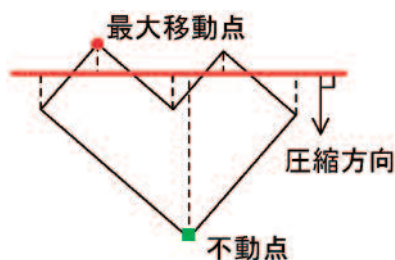


図8 交差の圧縮諸元の基本概念

事象が発生していると断定できる。そこで圧縮の割合（P）を式（6）により定め、この値が一定以上を超える場合には処理を中断させる。

$$P = \frac{F_s}{F_r + F_l} \quad \text{式 (6)}$$

ここで、 F_r は左側の最も長い垂線の長さ、 F_l は右側の最も長い垂線の長さ、 F_s は F_r と F_l のどちらか短い方の長さとする。

2) 線上交差

線上交差では、建物辺の上に出現した交差線の端点を最大移動点とする。

また、交差線が線上となった建物辺に向かう方向で、最も遠い位置にある建物座標を不動点とする。

この処理は式（7）により交差線と建物を、交差線がX軸あるいはY軸に平行となるように回転させると、回転後の最も大きなあるいは最も小さな座標として獲得することができる。

線分 $\{(x_1, y_1), (x_2, y_2)\}$ を原点に対して反時計回りに角度 θ だけ回転して得られる回転

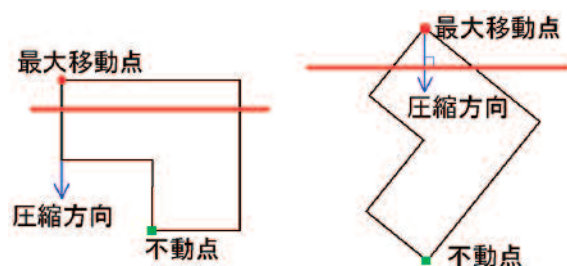


図9 横断交差の圧縮諸元

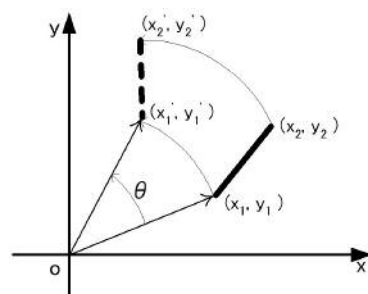


図10 座標の回転

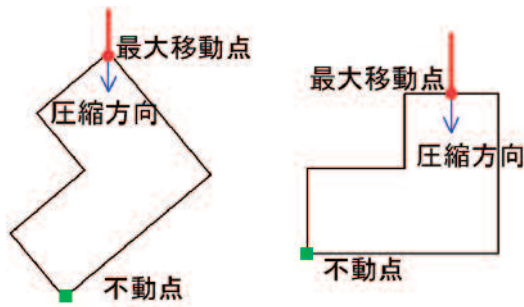


図11 線上交差の圧縮諸元

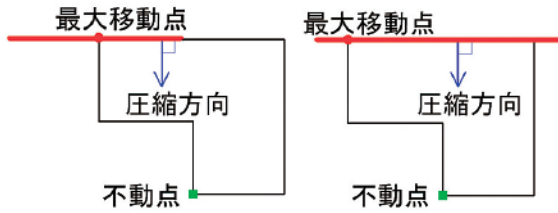


図12 重複交差の圧縮諸元

後の線分 $\{(x'_1, y'_1), (x'_2, y'_2)\}$ は、式 (7) で求められる。

$$\begin{aligned} x' &= x \cos \theta - y \sin \theta \\ y' &= x \sin \theta + y \cos \theta \end{aligned} \quad \text{式 (7)}$$

圧縮方向は、交差線に平行で、最大移動点から不動点へ向かう方向となる。

3) 重複交差

重複交差では、重複した範囲にある座標を最大移動点とする。

また、面積計算などから建物の座標列方向を把握し、交差線に直交し、かつ建物内部に向かう方向で最も遠い位置にある建物座標を不動点とする。

この処理も式 (7) を使用して交差線と建物を、交差線がX軸あるいはY軸と平行になるように回転させると、容易となる。

圧縮方向は、交差線に直交し、最大移動点から不動点へ向かう方向となる。

なお、重複交差では交差線と平行方向に建物を移動させることも考えられるが、移動量が重複量に微量の白部を加えた分となり交差線に直交かつ建物内部に向かう方向より大きくなる。そのためこの方法の採用は適切ではない。

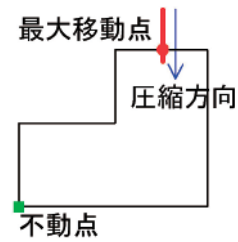


図13 侵入交差の圧縮諸元 (交差線)

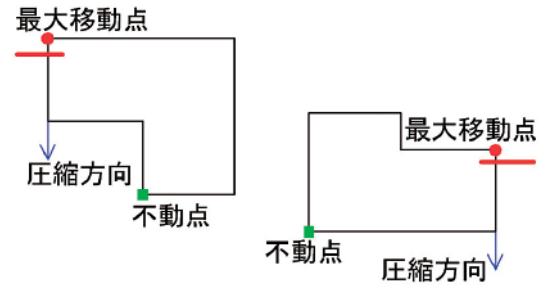


図14 侵入交差の圧縮諸元 (建物辺)

4) 侵入交差

侵入交差では、交差線が建物内部に侵入するところの交点を最大移動点とする。

つぎに、最大移動点から次の3つの点までの長さを算出する。

- ・建物内部に侵入した交差線の端点
- ・交差する建物辺の片方の端点
- ・交差する建物辺のもう一方の端点

これらの3つの長さの違いにしたがって次の処理を行う。

建物内部の交差線の端点までの長さが最も短い場合には、交差線の建物内部に向かう方向でも最も遠い位置にある建物座標を不動点とする。圧縮方向は、交差線に平行で、最大移動点から不動点へ向かう方向とする (図13)。

交差する建物辺のいずれかの端点までの長さが最も短い場合には、最大移動点を短い方の建物辺座標位置とする。交差する建物辺の最大移動点に対して反対方向で、最も遠い位置にある建物座標を不動点とする。圧縮方向は、交差線に直交し、最大移動点から不動点へ向かう方向となる (図14)。

さらにそれぞれで、横断交差で定義したの

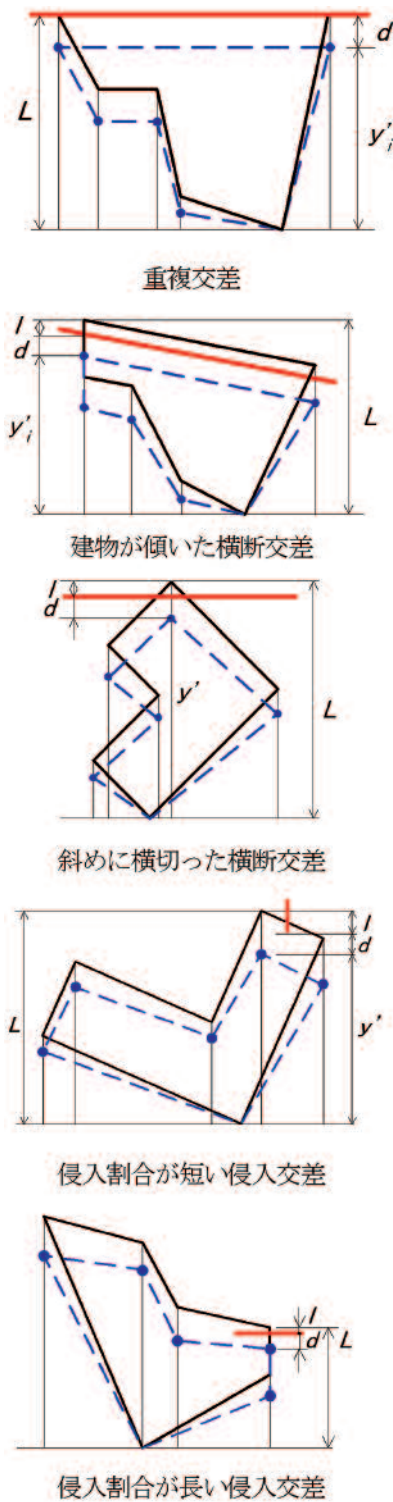


図15 建物座標の移動

と同様に交点あるいは交差線の端点を基準とし、最大移動点及び不動点までの圧縮方向の長さ (F_p , F_l) から式 (6) により圧縮度合いを求めて、異常な交差でないかを確認する。

これらの処理も式 (7) を使用して交差線

と建物を、交差線がX軸あるいはY軸と平行になるように回転させると、容易となる。

4.4 建物座標の移動

建物座標の移動が最大となる最大移動点の移動する距離は、最大移動点から交差する地形・地物の辺までの距離に加え、建物と交差する地形・地物との間に微量の白部が設けられる距離とする。また、建物同士の交差の場合には、移動する距離は半分に減少させる。

最大移動点以外の建物座標の移動する距離は、圧縮方向へ、最大移動点から不動点までの距離と最大移動点から交点までの距離の比によって行う。

圧縮方向をY軸とすると、圧縮後のY座標 y' は式 (8) で表せる。

$$y'_i = y_i \times \left(1 - \frac{l+d}{L} \right) \quad \text{式 (8)}$$

ここで、 y は移動前のY座標、 L はY軸方向の最大移動点から不動点までの距離、 l は最大移動点から交差する地形・地物のまでの鉛直距離、 d は微量の白部に相当する距離をいう。なお、線上交差、重複交差では、 l はゼロとなる。

図15は、交差の分類毎に建物座標の移動例を示したものである。ここでは、移動の状況が理解しやすいように建物の形状を極端に歪めてある。

5. 実証例

建物に掛かる地形・地物の交差の分類及び現実を想定した仮想的なデータを地図縮尺 1/2,500 相当で作成し、実証実験を行った (図16)。このとき、交点あるいは交差線の端点と建物の間に設ける微量の白部を 1m (図上換算で 0.2mm) とした。この他、面積が小さい建物の形状が、相対的に大きく変形するのを

抑止するために、経験的に圧縮の割合（式（5）のP）は0.2、圧縮前後の面積の比率は20%を超えないものとした。

図の上側と右側にある「横断」、「線上」、「重複」、「侵入」と注記したのが、本論文の分類にしたがった建物データである。それ以外の建物データはやや複雑ではあるが現実を想定した地形・地物データである。編集前が赤色で、編集後が青色で表示されている。

相対な形状を維持しながら最小の修正で、他の地形・地物からの交差を避ける編集が行われていることがわかる。

6. まとめ

大縮尺地図データの編集は、数値図化機の発達により図化作業は地図データの取得のみでなく編集も同時に行われるようになった。例えば、建物では取得直後に直角補正が行われたり、道路では平行線として取得されたりできる⁶⁾。このような図化された、かつて図化素図と呼ばれた成果は、地図として後工程での編集を少なくできるものとなった。

このように図化で取得される地図データは

ほぼ図化時に編集できるようになったが、建物に掛かる他の地形・地物との交差については、図化が終了した時点での図形間関係を考慮しなければならないこと、交差部での単純な座標の移動や図形全体の移動では適切な編集とならないことなどから、これまで有効な方法は示されてこなかった。

本研究では、建物に対する他の地形・地物と交差の状況を「横断」、「線上」、「重複」、「侵入」の4種類に分類し、最大移動点、不動点、圧縮方向を定義することにより、地図として重要な形状の相似性を確保するとともに座標の移動をできるだけ抑制した交差の編集方法を提案した。また、これらが客観的、定量的に自動処理できることを示した。

これにより自動で行う地図編集の能力が高まるとともに、建物に対する編集から一切の対話編集を排除し、地図作成の効率を向上させることが可能となった。

実利用にあたって、精度や重要性を考慮すると侵入交差は侵入する地形・地物を縮めて交差を取り除くべきである。また、凹凸の多い建物で、凹凸の中間に侵入交差や重複交差

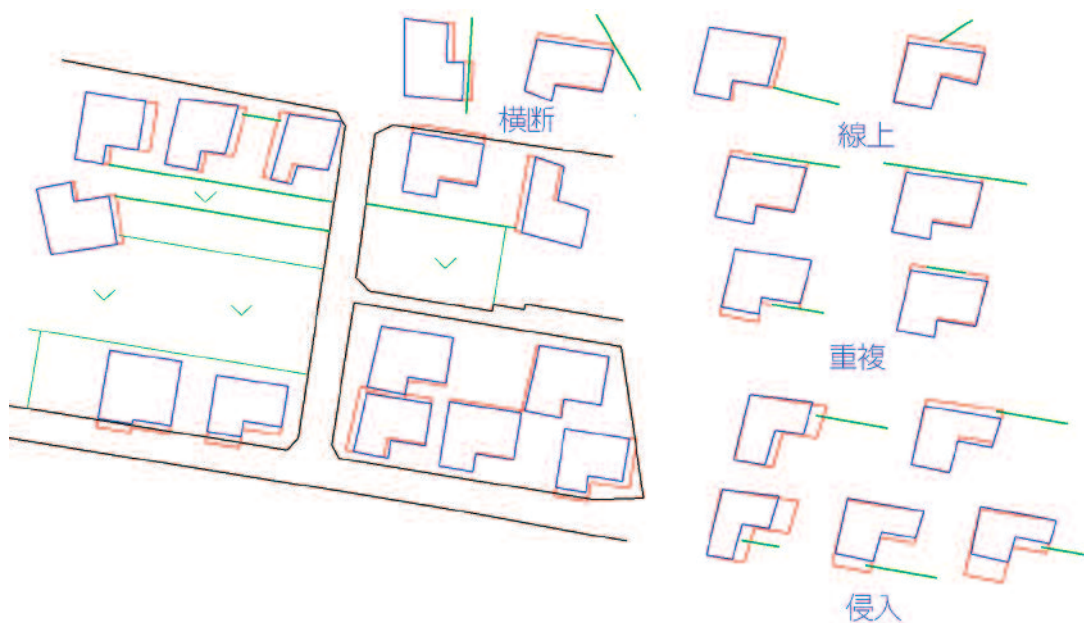


図16 実証例（赤：編集前、青：編集後）

がある場合には、式（6）で示した圧縮の割合（P）は見かけの数値となり、実際にはP以上の圧縮が生じるところが発生する。このような場合も、侵入あるいは重複する地形・地物より建物の方が図化精度は高いため、侵入あるいは重複する地形・地物を編集すべきである。

また、交差はしていないが、近接して見かけ上は接して見える地形・地物についても、地図表現上は修正することが望ましい。このような場合には、一時的に微量の白部の量だけ建物を膨張させるか、地形・地物を延長させるなどによって人為的に交差させ、交差を取り除いた後、膨張させた割合だけ伸縮させることが考えられる。

なお、この手法は特許出願中である⁷⁾。

出願2008-328919（2008年）

■参考文献

- 1) 新庄 広、他：文字と交差した罫線の除去方式の一定案 電子情報通信学会大会講演論文集 p.238（1998年）
- 2) 加藤美治：文字の部分特徴を利用した枠接触文字の認識 電子情報通信学会大会講演論文集 p.188（1995年）
- 3) 佐々木麗子、今井桂子：建物ポリゴンと道路リンクの幾何学的不整合の解消法 地理情報システム学会論文集pp.203-206（2005年）
- 4) 内田 修：デジタルステレオ図化機の機能要件と課題 APA 87 pp.85-90、（2004年）
- 5) 日本測量協会：空中写真測量、「－公共測量－作業規程の準則」、pp.43-64、（2008年）
- 6) 津留宏介、家城 隆：コンピューターによる道路地図の自動整形方法、特許公開2001-273511（2001年）
- 7) 津留宏介：地図データの編集方法、特許