

古地図の幾何補正に関する研究*

A Study on Geometric Correction of Old Maps

布施孝志**・清水英範***・森地茂****

By Takashi FUSE**・Eihan SHIMIZU***・Shigeru MORICHI****

1.はじめに

江戸時代の絵図に代表される古地図は、その図が作成された当時の土地利用や交通路の様子を空間的に捉える上において、さらにはその背後にある当時の都市整備に対する計画思想を考察する上において、きわめて貴重な資料となる。これまでに、都市史・地域史・土木史・建築史・都市計画史などの分野において、古地図が研究史料の重要な位置を占めてきたことは周知の通りである。

古地図を分析の対象とする上で最も基本的なアプローチは、現代図との対比を明確にすることである。なぜなら、古地図が示す、あるいは示唆する都市の様子や都市整備思想は、現代のそれとの対比の上で初めて有用な意味をもたらすからである。このために考えられる方法は両地図を直接重ね合わせることである。しかし、古地図の幾何的精度は一般に著しく低く、透明紙などに複写して現代図と重ね合わせても比較対照することが困難であることが多い。そのため、従来は古地図と現代図とを目視により注意深く対比する方法がとられ、古地図の有用性がいかしきれていない状況にあった。それでも現代図との対照を強く希望する場合には、古地図に描かれる地物の特徴を丹念に追ひ、それを現代の地形図などの上に描いていくという方法がとられていた。しかし、この方法では、古地図の一次資料性の欠落や作

業の非効率性といった問題は避けられない。

ところで、近年の地理情報システム (GIS) の技術的な進展と操作性の向上には目覚ましいものがある。もはや、計算機の処理に詳しい一部の専門家の道具という域を脱しており、近い将来には、これまで GIS とは無縁と考えられてきた専門領域の研究者・技術者・実務家までもが GIS を駆使できる状況となることが確実に予想される。このような情勢下において、古地図を扱う史的分析においても GIS が有用な道具となっていくことであろう。

本研究の目的は、GIS 上で古地図の幾何学的歪みを補正し、現代図と重ね合わせる手法を開発することにある。

2.幾何補正の一般的手法

画像をある特定の座標系に位置合わせしたいときなどに用いられる一般的な手法は、地上基準点による方法である。画像の座標系を x - y 座標系、位置合わせを行いたい座標系を u - v 座標系とする。基準点を対応させるように x - y 座標系から u - v 座標系への座標変換式 ($u=f(x,y), v=g(x,y)$) を同定すればよい。通常、座標変換式には、ハルマート変換、アフィン変換、射影変換、多項変換などが選ばれる。

この一般的な手順を古地図の幾何補正に適用するとしよう。この場合、古地図を x - y 座標系、現代図を u - v 座標系とする。基準点には、当時から現在に至るまで位置が変化していないと思われる地点 (寺社・仏閣、城郭の一部など) をとる。これらの基準点をあわせるように座標変換式を最小二乗法により同定すればよい。しかし、この方法で古地図の変換を行っても一般には十分な精度は得られない¹⁾。また、精度の向上を図るために座標変換式を

*キーワード：土木史

**学生員、東京大学大学院工学系研究科

***正員、工博、同上

****フェロー員、工博、同上

(東京都文京区本郷7丁目3番地1号、

TEL03-3812-2111、FAX03-5689-7290)

複雑にすると、直線的な街路やお堀が直線形状を保たなくなり、また、場合によっては古地図の位相関係が壊されることもあり得る。

そこで古地図の幾何補正のための座標変換は、次の条件を満足することが期待される。(1)古地図と現代図の基準点(寺社・仏閣、城郭の一部)をあわせる。(2)位相(連続的な1対1対応)を保持した変換である。(3)古地図と現代図の基準線(お堀・街道の直線形状)をあわせる。

3. TINモデルを利用した幾何補正

(1) TINモデルの概要

TIN(Triangulated Irregular Network)モデルとは、平面上に不規則に分布した点を結び三角網を形成する方法である²⁾。このモデルは、例えば地形データを表現するのに使われている。この場合、三角形の頂点をなす不規則に分布した点には、 x, y 座標と z 座標が与えられている。TINモデルは、その構造上の特徴から、各三角形平面の傾斜度や傾斜の方向などが容易に求められ、複雑な地形を忠実に表現することが可能である。与えられた点の集合に対し、三角形分割の方法は幾通りも存在する。このような場合、できるだけ正三角形に近く、つぶれた三角形を含まないような分割法が望ましいとされている。このことに応える方法はいくつか考えられるが、その中でも、分割した三角形群の最小の角が他の分割の仕方よりも大きくなるようにする、いわゆる最小角最大原理に基づいた三角形分割が一般的である³⁾。これにより、一意に三角形分割することが可能である。

(2) TINの作成方法

TINの作成手順は以下の通りである。

- ① 基準点の中の任意の3点を選ぶ
- ② この3点が一直線上にあるならば何もしない
- ③ 一直線上にないならば、この3点を結んでできる三角形の外接円をつくり、その中に他の基準点がないならばこの3点による三角形を最小角最大原理による三角形分割の一つの要素とみなす(ここで、外接円上に基準点がある

ことが理論的には考えられるが、基準点の分布がランダムであることからこのような状況は生じないものとする。)

- ④ これを全ての3点について繰り返す。

この手順によれば三角網は一意に作成できる。また、次のような最適性の定理が成り立つ。

<最適性の定理>

手順によって得られた閉三角形板の集合 $\{T(k)\}$ 、並びに他の任意の方法で得られた閉三角形板の集合 $\{T'(k')\}$ が、どちらも同一の点集合 P_n を頂点としてその凸包を三角形分割をしていたとする。このとき、閉三角形板の集合 $\{T(k)\}$ から選んだ任意の閉三角形板の一つを $T(k)$ とし、その閉三角形板 $T(k)$ の勝手な角を α とする。さらにもう一方の閉三角形板の集合 $\{T'(k')\}$ の中から $T(k)$ と部分的に重なる閉三角形板 $T'(k')$ をすべて選び、そのうちの最小の角を β とし、角 β を有する閉三角形板を $T'(k')$ とする。ただし、そのような β 、あるいは $T'(k')$ がいくつもあるならば、その中の任意の一つをそれぞれ β 、 $T'(k')$ とする。

このとき、

$$\alpha \geq \beta$$

なる式が成り立つ。ただし、等号が成り立つための一つの必要条件は、二つの閉三角形板 $T(k)$ と $T'(k')$ とがまったく重なることである。

(3) 古地図の幾何補正への応用

このTINモデルを古地図の幾何補正に応用する。まず、古地図と現代図とに最小角最大原理によってTINモデルを形成する。そして、それぞれ対応する三角形ごとに座標変換式を求めていく。このような幾何補正手法を用いれば、古地図の不規則かつ複雑な幾何学的歪みに対応した幾何補正をおこなうことができる。座標変換式はアフィン変換とする。アフィン変換は拡大・縮小、平行移動、回転、せん断変形を表現する。この変換式は1次式であることから、線形性・位相関係を保持し、線分内の比を保つという性質を持つ。したがって、①古地図と現代図の三角網が同位相であること、②基準線とする線が三角形の辺を構成する、という2つの前提が満たさ

れれば、結果として上記2で示した古地図の幾何補正条件を満足することになる。

ここで問題となるのは、T I Nを形成したときに、古地図と現代図の三角網が必ずしも同位相にならず、また基準線も三角網の辺を構成する保証はないことである。この問題については、現在検討中である。

(4)画像の再配列

本研究で提案した方法を実行するには、まず古地図と現代図とをスキャナー等により数値画像データ化することから始める。すなわち、座標系は画素単位の配列として記述される。同定された座標変換式により、古地図の配列が現代図の配列に変換されるが、その際必ずしも整数の配列要素とはならない。そこで、データの内挿が必要になる。本研究では最近隣法により内挿した。この方法では、位置の誤差は最大 $1/2$ ピクセル。オリジナルな画像データを壊さず、アルゴリズムが簡単であるという利点がある。

4.幾何補正の適用例

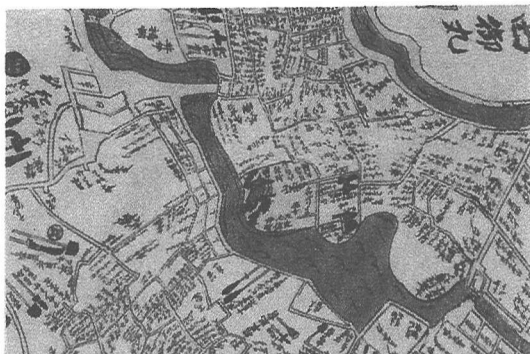
(1)土地利用変化の表現

上記3で述べた、T I Nモデルとアフィン変換を統合した幾何補正手法をさまざまな時代の古地図に適用する。今回は、国土地理院発行 25,000 分の1地形図に幾何補正した。扱った地図は(a)佐藤四郎石衛版元禄江戸図(元禄6年(1693))、(b)天保御江戸絵図(天保14年(1843))、(c)実測東京全図(明治25年(1892))、(d)国土地理院発行 25,000 分の1地形図である。

基準点を選ぶ際に、次の3点を考慮した。

- ① 寺社・仏閣、城郭の一部といった江戸から現在まで位置が変化していないと思われる地点であること。
- ② 両地図で簡単に対応がつく地点であること。
- ③ 適度に地図全体に基準点をちりばめること。

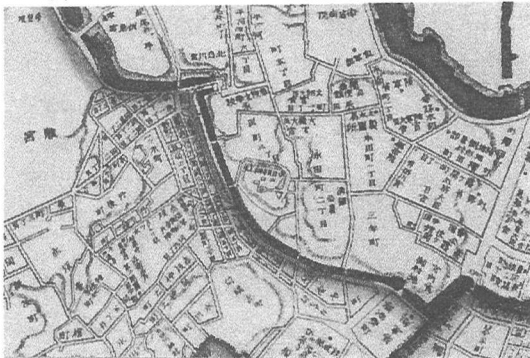
基準点に25点を選定し、幾何補正を行った。その結果の一部を示したのが図-1であり、四谷から溜池までの地域(新宿区・港区)の出力例である。なお、図はすべて同一地域を示したものである。



(a) 佐藤四郎石衛版元禄江戸図(元禄6年(1693))



(b) 天保御江戸絵図(天保14年(1843))



(c) 実測東京全図(明治25年(1892))



(d) 現代図

図-1 時代の異なる古地図の幾何補正

このように古地図を幾何補正することにより、従来まで困難であった、古地図と現代図との比較対照が容易に行えるようになり、さまざまな時代の地図同士をも比較することが可能になった。例えば、溜池周辺部では、明治15年に現在の特許庁付近に工部大学（実測東京全図では宮内省御料地）を建設するために堰提上部を削ったところ溜池の水量が減り干上がってしまう。その変化も天保大絵図（図-1(b)）と実測東京全図（図-1(c)）とを比較すると一目瞭然である。

また、幾何補正した古地図を現代図に重ねあわせれば、より効果的に古地図の分析を行うことが期待される。

なお、広範囲のカラー画像および現代図との重ねあわせた画像は、インターネット上のホームページ（URL:<http://planner.t.u-tokyo.ac.jp/index/thesis/fuse.html>）で紹介する。

(2)土地利用と地形の関係の表現

古地図に幾何補正を施すことにより、古地図に縮尺・方位を付与できる。それにより、より正確な古地図の定量的分析（面積算出・地物の位置確認など）が可能になる。また、江戸時代の地図にはどの地図をみても等高線が示されていない。そこで等高線の記載された現代図と古地図とを重ね合わせれば、概略的にはあるが、地形を考慮した古地図の分析も可能になる。

提案した方法を用い、岡田屋版萬延江戸図（萬延元年（1860））を東京都発行2,500分の1東京地形図に幾何補正することを試みた。図-2はその結果の一部であり、目白台・小日向の地域（文京区）の出力例である。ただし、白黒画像では地形図の全内容の重ね合わせ表示は煩雑になるため、地形図上の標高点から自動作成した5m間隔の等高線のみを重ね合わせ表示している。

図-2を見ると、水戸家・一橋家・細川家などの大名が南向きの斜面に屋敷を構えていることがわかる。また、斜面を利用した大名屋敷や寺社地の多いこともわかる。図中央を南北に走る街道（現音羽通り）や図左下の河川（神田川）の北側を東西に走る街道（現目白通り）などの幹線道路は、いずれも等

高線沿いに走っている。また、音羽通りは谷街道であることも確認できる。

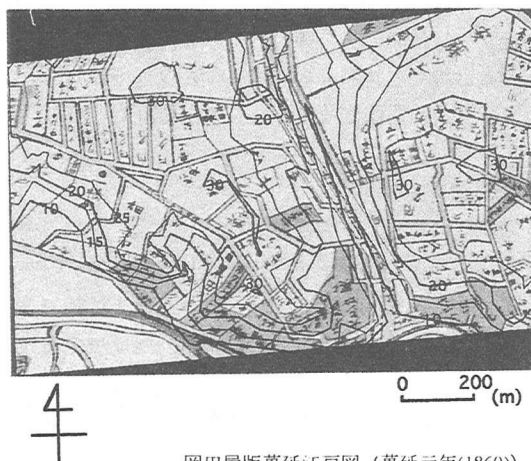


図-2 古地図と等高線との重ね合わせ

5.おわりに

古地図を現代図に幾何補正することにより古地図の資料的価値は一層高まる。さらにTINモデルを応用した幾何補正手法の同定は一意的であり、GISの機能として利用するにも汎用性が高い。古地図の分析支援システムとして、GISが利用できるようになり、GISの諸機能も古地図分析に利用できるようになった。

今回示した適用・応用例のみならず、交通路（街路・運河）や土地利用の変遷の分析、河川・湿地・崖地の位置確認、埋蔵文化財の位置推定、CGを利用した当時の街景観の再現などといった多くの魅力的な応用が考えられる。

参考文献

- 1) 梁東輝：古地図の精度に関する基礎的研究、東京大学大学院修士論文、1996。
- 2) Aronoff, S : Geographic Information Systems : A Management Perspective, WDL Publications, pp.177-180, 1989.
- 3) 岸本一男：領域の最適三角形群への分割アルゴリズム、情報処理、Vol.19, No.3, pp.211-218, 1978.