古地図の幾何補正に関する研究

清水英範[1]・布施孝志[2]・森地茂[3]

[1]正会員　工博　東京大学大学院教授　工学系研究科社会基盤工学専攻
(〒113-8656　東京都文京区本郷 7-3-1)
[2]学生会員　東京大学大学院工学系研究科社会基盤工学専攻
[3]フェロー会員　工博　東京大学大学院教授　工学系研究科社会基盤工学専攻

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状況を空間的に把握するための数少ない貴重な資料である．都市史や土木史の研究で古地図を分析対象とする際には，現代図と比較対照する必要が生じるが，古地図の幾何的精度は一般に著しく低く，その作業は容易なことではない．本研究は，地理情報システムの利用環境を想定し，古地図の幾何的歪みを可能な限り自動的に補正し現代図と重ね合わせる手法を開発することを目的としている．論文では，まず古地図の幾何補正に必要な要件を整理し，その要件を満たす手法としてTINモデルとアフィン変換を組み合わせた幾何補正手法を提案する．また，いくつかの実際の応用を通して古地図の幾何補正ならびに提案する手法の意義を例示する．

Key Words: *historical maps, geometric correction, GIS, TIN, Affine transformation*

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都市整備に対する当時の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．これまでにも，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ろう．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の思想は，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最も原始的かつ分かりやすい方法は古地図と現代図と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し，古地図に描かれる地物の特徴を丹念に追うことによって，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きた[1)]．このような接近法による史的研究の事例としては，都市設計手法の分析[2)]，大火による被害の分析[3)]，当時の町割の復元[4)]などが挙げられる．しかしながら，目視による描写という方法では，古地図の一次資料性の欠落，作業の非効率性，作業の客観性の欠如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(Geographic Information System: GIS)の技術的な進展と操作性の向上には目を見張るものがある．GIS はもはや，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，きわめて近い将来において，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・実務者が GIS を駆使できる状況となることが確実に予想される．このような状況において，古地図を扱う史的研究の分野においても 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 の利用環境下を想定し，古地図の幾何的歪みを可能な限り自動的に補正し，現代図と重ね合わせる手法を開発することにある．この手法が開発できれば，古地図が作成された当時の都市形態を現代のそれと比較することがきわめて容易になるだけでなく，一般には方位や縮尺の概念のない古地図にそれを付与することが可能になる．さらに，当時から

現代までの地形起伏の変化を敢えて無視すれば，古地図に等高線を記載することも可能になる．これらにより，古地図を用いる史的研究に定量分析の視点を持ち込むことが容易になり，古地図の史料としての意義を飛躍的に向上させることが期待できるのである．

２.古地図の幾何補正手法の要件

(1)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．この手法は，例えば，投影方式の異なる地図同士の重ね合わせや衛星画像・航空写真と地図との重ね合わせのときなどに用いられてきた．地上基準点による幾何補正により，幾何的歪みを持つ画像からその歪みを除去し，歪みのない画像(位置合わせを行いたい座標系)に変換する．その際，幾何的歪みの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 座標系とし，両画像内において対応関係が明確に認識でき，かつ座標が既知である点を基準点とする．その後, 対応する基準点を合致させるように x-y 座標系から u-v 座標系への座標変換式($u=f(x,y)$, $v=g(x,y)$)を同定することになる．通常，座標変換式には，アフィン変換，射影変換，多項変換などが選ばれる．

(2)古地図の幾何補正に求められる要件

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(神社・仏閣，城郭の一部など)をとる. そしてこれらの基準点をあわせるように座標変換式の未知のパラメータを最小二乗法等により同定すればよい．

しかし，アフィン変換，射影変換を用いて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ことが筆者らの予備研究で分かっている[5]．また，精度の向上を図るために，高次の多項変換，ニューラルネットワークなどの自己組織化アプローチ[6]，スプライン変換[7]，弾性体モデルによる幾何補正手法[8), 9), 10]などを用いて座標変換式を同定する手法も考えられるが，これらの方法は強い非線形性により基準点を合致させるものであり，古地図の幾何補正に適用する場合には，直線的な街路や掘割が直線形状を保たなくなったり，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．古地図の幾何的精度は低いが，直線形状のものを直線として描く，隣り合ったものを隣り合ったものとして描く，連続したものを連続したものとして描くといった地図作製の基本については，一般には正しく守られている．したがって，直線形状をいたずらに屈曲させるような変換や古地図の絵柄の位相関係を損ねるような変換は，古地図が有する正しい情報を歪めることになりかねないのである．

そこで古地図の幾何補正のための座標変換は，次の要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(神社・仏閣，城郭の一部)を必ず一致させる変換である．

②位相を保持する変換である．すなわち，平面間の連続的な１対１の変換である．

③古地図において正確に描かれていると考えられる街道や掘割の直線分をそのまま直線分として現代図の座標系に写像させる変換である．換言すれば，古地図と現代図に指定した基準線分(街道・掘割の直線形状)を一致させる変換である．

３.TIN を利用した古地図の幾何補正手法

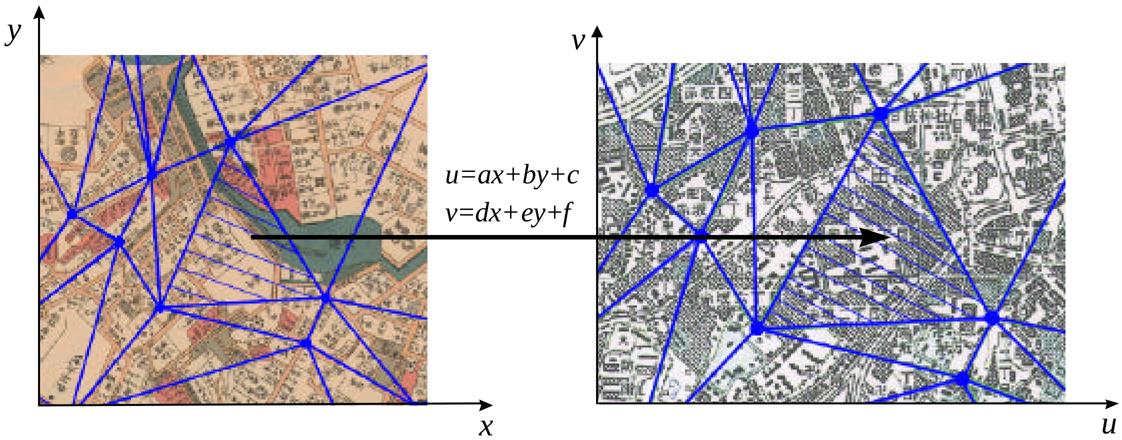
本研究では，２.で述べた要件を満たす幾何補正手法として，コンピュータ・グラフィクスの分野などにおいてテクスチャ・マッピングの手法としてしばしば利用される TIN(Triangulated Irregular Network)とアフィン変換を組み合わせた手法を応用することを提案する．具体的な方法を以下に示す．

(1)TIN の概要

TIN は三角網を作成する方法を総称するもので，GIS の分野では，従来，一般に地形データの３次元表現に用いられてきたものである．

x, y 座標(平面位置)と z 座標(標高)が与えられている点群が平面上に分布しているとしよう．TIN モデルでは，まずこれらの点群をそれぞれ頂点とするように，平面上において三角網を形成する．そして，各三角形に対して３次元平面式 $z=h(x, y)$を定義する．$z=h(x, y)$ に１次式，あるいは５次式を用い，任意の地点での標高が推定できる[11), 12), 13]．

ところで，与えられた点の集合に対し，三角形分割を行う方法は幾通りも存在する．そのため，分割法を特定する具体的なアルゴリズムが存在しなくてはならない．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に分割する方法がその後の分析の精度を一様とする意味で有効であろう．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による最小角よりも大きくなるようにする，いわゆる



図－１　TIN とアフィン変換を統合した幾何補正

最小角最大原理に基づいた三角形分割が一般的である．これにより，一般に一意に三角形分割を行うことが可能になる．なお，この方法により作成された三角網は，計算幾何学の分野においては，Delaunay 三角網と呼ばれている．

(2)TIN の作成方法 [14)]

最小角最大原理に基づく TIN の作成手順は以下の通りである．

①平面内の点群の中から任意の３点を選ぶ．

②この３点が一直線上にあれば何もせず①に戻る．

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，その円内に他の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．外接円内に他の点があれば①に戻る．なお，外接円上にある点は円外の点とみなす．

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．

(3)古地図の幾何補正への応用

TIN を古地図の幾何補正に応用する方法は以下の通りである．

①古地図と現代図の双方に，相互に一致させたい基準点を与える．幾何補正において基準線分を導入する場合は，その両端を必ず基準点に選ぶようにする．

②古地図と現代図のそれぞれにおいて，選定した基準点を対象に最小角最大化原理によって TIN の形成(三角形分割)を行う．簡単のために，ここでは古地図と現代図の三角形網は同相関係，すなわち，反転のない１対１対応関係にあり，かつ基準線分は三角形の辺を構成するように形成されたものとする．

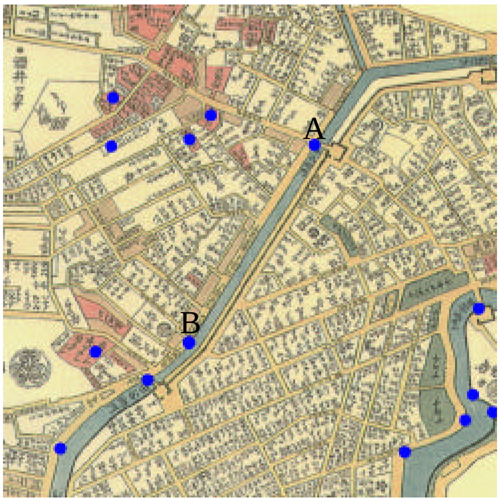
③古地図と現代図の対応する三角形ごとにアフィン変換を施し，座標変換を行う．(図－１)

アフィン変換は拡大・縮小，平行移動，回転，せん断変形を表現し，線形性・位相関係を保持する性質をもつ．したがって，古地図と現代図の対応する三角形ごとにアフィン変換を適用すれば，対応する三角形間において，２.で示した３つの要件を満たす補正法となることは明らかである．さらに，アフィン変換は，線分内の比を保つという特徴を有する．これにより，三角形の辺を構成する画素は，その辺を共有する２つの三角形に適用されるアフィン変換が異なる関数型であっても，必ず同じ画素に変換されることになり，三角形境界において座標変換の連続性が保たれることになる．すなわち，対応する三角形間に順次アフィン変換を施していけば，結果として，古地図から現代図への幾何補正は２.の要件をすべて満足する．

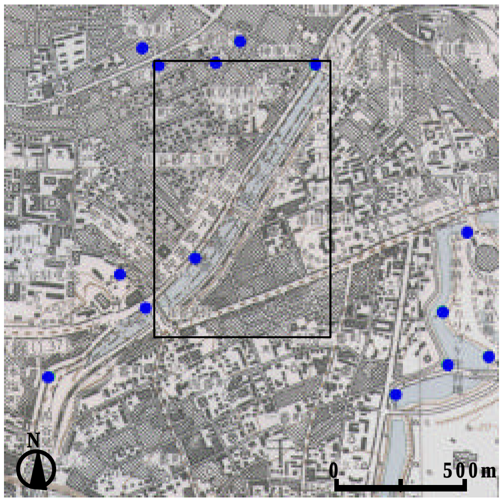
問題は，上記の仮定に反し，古地図と現代図の三角形網が同相とならなかった場合，あるいは，設定した基準線分が三角形の辺を構成しなかった場合である．現在のところ，このような問題に対しては，古地図と現代図でそれぞれ TIN を作成し，同相性を満足しない部分を自動検索した後，マニュアル作業で三角形の辺を組み替える方法をとっている．しかし，筆者らの作業経験では，この作業のほとんどは，隣接する三角形からなる凸四角形の１つの対角線をもう１つの対角線に組み替える，いわゆる対角変形程度の作業で終了し，分析者に負担を与えるものではない．

(4)基準点設定の妥当性の確認

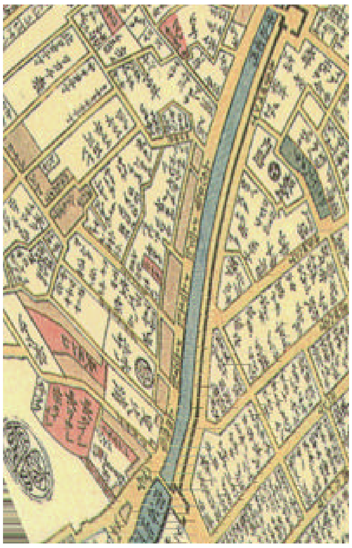
古地図と現代図の基準点は，古地図の作成当時から現代まで位置が変化していないと思われる神社・仏閣，城壁の角部などを選定するが，神社・仏閣の場合は，比較的近所に移転している場合がある．このようなものを誤って基準点として選定すると古地図と現代図の



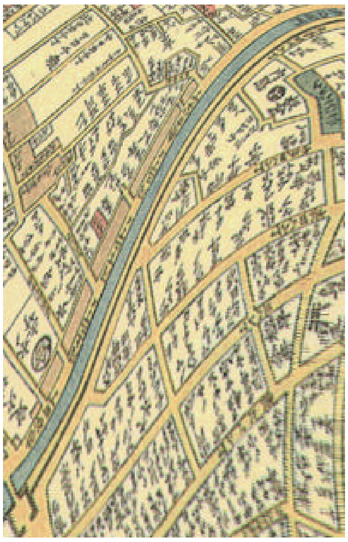
(a)天保御江戸絵図(天保 14 年(1843))



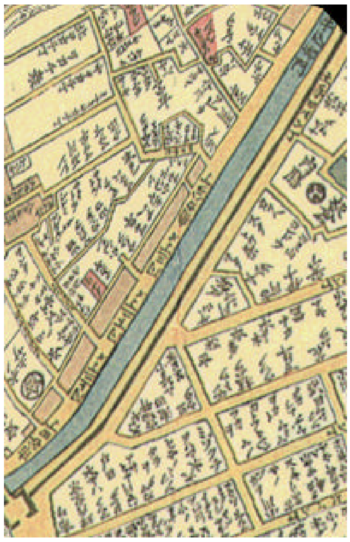
(b)国土地理院発行 1:25,000 地形図(1996)



(c)2次多項式を用いた幾何補正



(d)3次多項式を用いた幾何補正



(e)TIN を利用した幾何補正

図－２　TIN モデルを利用した幾何補正手法の有効性

三角網の同相性を破壊する危険性が大きくなる．そのため，本研究で作成した古地図分析支援システムでは，基準点の選定後に古地図全体にアフィン変換や射影変換を適用し，残差の著しい基準点を抽出し，基準点の信頼性を確認できるようにしている．

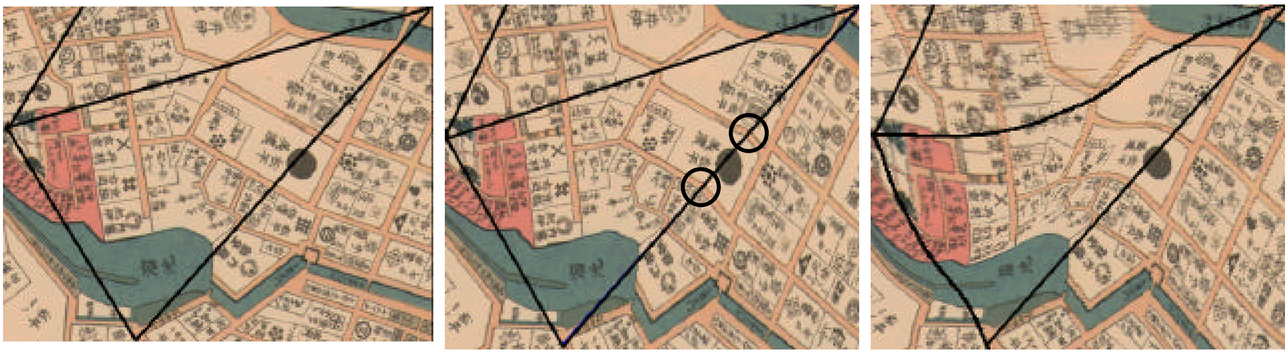
(5)画像の再配列・内挿

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，一般に古地図と現代図との配列の並びは異なる．そのため，現代図の配列における各画素に対し，古地図の配列での対応する画素を座標変換式の逆変換により求め，その位置における画素データを求めることになる．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．最近隣法では，求める画素データは逆変換により求められた点に最も近い画素データとする．この方法では，位置の誤差は最大 1/2 画素である．画像のオリジナルなデータを壊さず，またアルゴリズムが簡単であるという利点がある．

４.TIN を利用した幾何補正手法の有効性と限界

(1)提案手法の有効性

図－２(a)に示す 14 の基準点を用いて，現在の飯田橋・市ヶ谷付近(新宿区・千代田区)にあたる天保御江戸絵図(天保 14 年(1843))(古地図資料出版発行)を図－２(b)に示す現代図(国土地理院発行 25,000 分の 1 地形



(a)元絵図　　(b)TIN とアフィン変換による幾何補正　　(c)TIN と５次多項変換による幾何補正

図－３　TIN とアフィン変換を組み合わせた幾何補正手法の限界

図(1996))に幾何補正することを試みた．

用いた手法は，①全体を１つの２次多項式で幾何補正する方法，②同じく全体を１つの３次多項式で幾何補正する方法，そして③TIN とアフィン変換を統合して幾何補正する方法である．２次多項式による補正精度は標準誤差にして約 41m，３次多項式では約 39m であった．このように多項式により基準点を完全に一致させるのは容易ではない．

しかし，より問題となるのは，線形性の破壊である．図－２(c)，図－２(d)は各々，２次と３次の多項式により補正した結果の一部(図－２(b)において実線によって囲んだ部分)を示している．これから明らかなように，変換の多項式が高次になると，古地図において正しく直線形状が描写されていたと想像される掘割や街路などが屈曲して表現されることになる．このことは，当時の都市の基盤整備思想を考察する上で重要な問題となるであろうし，また補正した古地図を用いて距離や面積などを測定することの信頼性を損ねる危険性が大きくなる．

以上を踏まえて，図－２(e)をみてみよう．これは，基準点 A と B を結ぶ直線分を基準線分として TIN とアフィン変換を組み合わせた手法を適用した結果である．図は一部を示しているだけであるが，言うまでもなく全ての基準点は完全に一致する．しかも，基準線分を採り入れることにより，この地域の都市骨格を規定すると考えられる掘割や沿道街路の直線性が正しく保たれていることが分かる．

(2)提案手法の限界

図－３(a)に示すように元絵図において三角網の辺が存在したとしよう．アフィン変換は線形性を保持する変換であるために，三角形内の直線分は必ず直線分へ変換されるという特性がある．これにより，三角形内の掘割や城郭などの直線形状が幾何補正後も必ず保持されるという利点があるが，逆に隣接三角形にまたがる直線形状は，三角形辺上において屈曲する可能性を有する．図－３(b)はアフィン変換による幾何補正の結果であるが，図中において円で囲んだ部分に街路の不自然な屈曲が見られる．

本研究では，直線形状を必ず保持したい場合は，それを基準線分として指定することによりこの問題を回避するようにしているが，基準線分を指定するにはその両端点として基準点を与えることが必要であり，全ての場合において基準線分で対応することは現実的ではない．この隣接三角形にまたがる直線形状の屈曲は提案する手法では避けることができず，本手法の限界である．

なお，TIN(Delaunay 三角網)と座標変換を組み合わせて滑らかに空間内挿を行う研究がなされており，その成果を古地図の幾何補正に応用することも考えられる．例えば，三角形辺上の属性データ(標高データなど)の連続性に加え，連続の滑らかさに関する幾つかの仮定を設ければ，三角形ごとに変換式を一意に決定できる変換は，アフィン変換以外にも５次多項式があることが知られている(証明および適用例は参考文献 12), 13)に詳しい)．

したがって，この方法を用いれば三角形の辺上において街路が不自然に屈曲するような問題を回避できるであろうと期待される．しかし，５次多項変換であるために，幾何補正前の三角形の辺が補正後においても直線分となる保証がなく，基準線分を指定して直線形状を完全に保つという方法がとれない．また，滑らかな連続性を重視するために，三角形内の直線形状を大きく歪めるであろうということが想像される．ちなみに，図－３(c)は５次多項変換による幾何補正の結果である．三角形内の街路の直線形状を著しく歪めていることがわかる．筆者らの開発した古地図分析支援システムは，ここで示した５次多項変換を利用する機能も備えているが，これまでの作業経験からの判断では，直線街路の多い城下町における幾何補正手法としては

アフィン変換を用いるのが望ましいと考えている．

以上一連の作業は 240dpi で読み込んだ画像に対して行っている．基準点の選定および結果の出力には GIS ソフトである Arc View，および画像処理ソフトである Adobe Photoshop を一般的なパーソナルコンピュータ(CPU: PentiumⅡ 266kHz，RAM: 256MB)上において用い，幾何補正は独自の C 言語プログラムにより UNIX 上において行った．以下の適用事例も同様である．

５.幾何補正の適用例

(1)同一地域の時代別比較

上記３.で述べた,TIN モデルとアフィン変換を統合した手法を，同一地域のさまざまな時代の古地図の幾何補正に適用する．今回は国土地理院発行 25,000 分の 1 地形図(1996)に幾何補正した．扱った地図は(a)佐藤四郎右衛門版元禄江戸図(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((a)，(c)古地図資料出版発行，(b)人文社発行)．

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ものが図－４であり，溜池周辺の地域(港区)の出力例である．

このように古地図を現代図に幾何補正することにより，古地図に描かれる地物の現代における位置特定がきわめて容易になる．この例においても，特許庁や溜池交差点(首都高速都心環状線と外堀通りとの交差点)が当時の溜池の中心部であったことなどが容易に確認できる(図－５)．また，天保御江戸絵図(図－４(b))，実測東京全図(図－４(c)), 現代図(図－４(d))を比較することにより溜池の埋め立てられていく歴史的変化の概略をみることができる．

なお, 図－５は東京都 GIS データの中から建物の一部(図中の赤), 一般道路(青), 高速道路(緑)のデータを, 幾何補正した天保御江戸絵図上に重ね合わせたものである．

(2)古地図からの面積の算出

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，古地図の定量的分析(面積や距離の算出，地物の現代地図座標系での位置算出など)をきわめて容易に行なうことが可能になる．

図－６(a)は慶応 4 年(1868)の彰義隊の戦い(上野戦争・東叡山戦争)による戦災地域をあらわした江戸大火図(東京大学附属図書館所蔵)である．江戸時代には，大規模火災などの速報として，市販の地図で被災地域を朱塗りしたものが配られていた．江戸大火図はその一種である．

地図上の濃く塗られている部分が被災地域である．この古地図からは，直接被災面積を算出することが困難であるばかりでなく，当時の被災地と現在の位置との対応関係を見るのも容易ではない．提案した手法により，この古地図を国土地理院発行 10,000 分の 1 地形図(1995)に幾何補正した．図－６(b)はその結果の出力図であり，描かれていた地域は現在の浅草から小石川(台東区・文京区)である. この幾何補正した古地図から, 被災面積を計測することが容易となり，試算では被災面積は約 470ha となる．

(3)古地図上への地形(等高線)表現

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．地図上に等高線が表現されるようになったのは明治時代になってからである．そこで等高線の記載された現代図と幾何補正された古地図とを重ね合わせれば，概略的にではあるが地形を考慮した古地図の分析も可能になる．

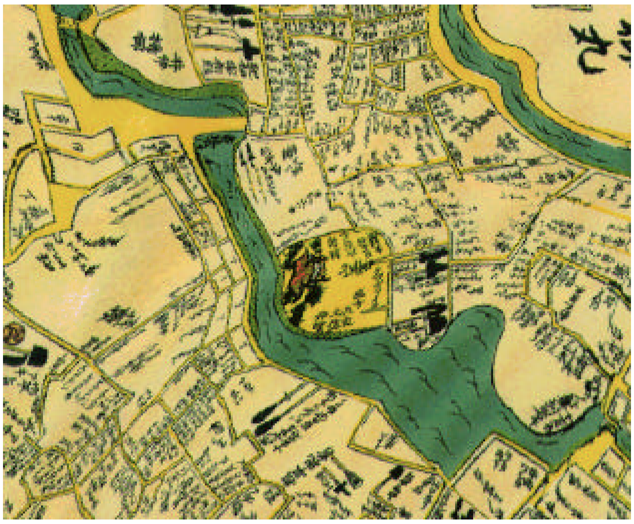
提案した方法を用い，岡田屋版萬延江戸図(萬延元年(1860))(古地図資料出版発行)を東京都発行 2,500 分の１東京地形図(1996)に幾何補正することを試みた．図－７はその結果の一部であり，目白台・小日向の地域(文京区)の出力例である．ただし，地形図の全内容の重ね合わせ表示は煩雑になるため，東京都 GIS データの標高点から自動作成した 5m 間隔の等高線のみを重ね合わせ表示している．

図－７を見ると，水戸家・一橋家・細川家などの大大名が環境の良い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(図中の青・赤色の部分)の多いこともわかる．特に，この地域の寺社地はほとんどが傾斜地につくられている. 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．

(4)幾何補正した古地図を利用した土地利用の分析

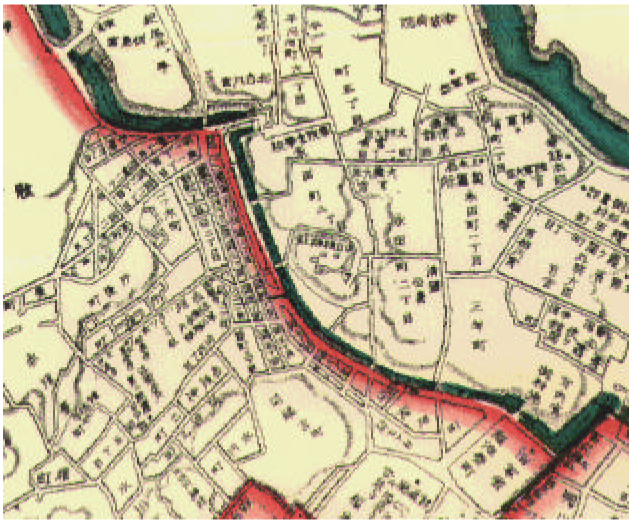
図－８は幾何補正した古地図から地物をポリゴン化して作成した土地利用図の一部であり，表示範囲は図－７と同じである．これにより，土地利用状況を視覚的に把握することだけではなく，面積計測などの定量分析が容易に行なえる．

図－８に示した地域においては，大名屋敷，旗本屋敷，組屋敷，神社･仏閣，町人地の面積は，試算では

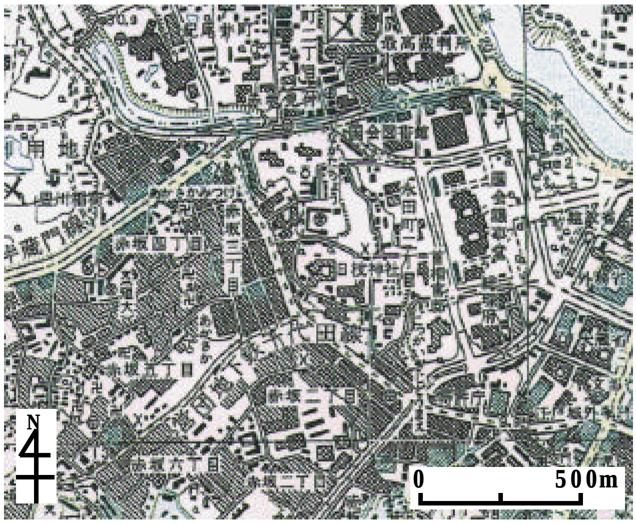


(a)佐藤四郎右衛版元禄江戸図(元禄 6 年(1693))

(b)天保御江戸絵図(天保 14 年(1843))

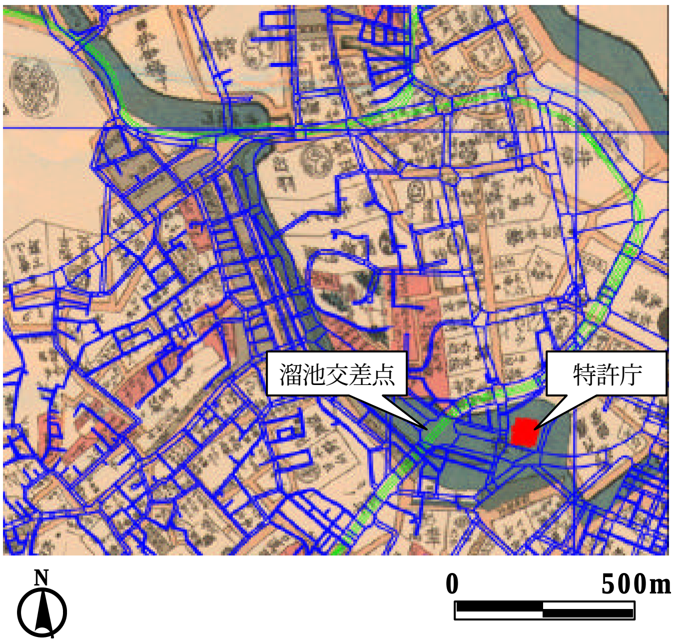


(c)実測東京全図(明治 25 年(1892))



(d)国土地理院発行 1:25,000 地形図(1996)

図－４　時代の異なる古地図の幾何補正(現在の溜池周辺地域)



図－５　天保御江戸絵図と現代図との重ね合わせ

(a)慶応 4 年江戸大火図(元絵図)

(b)幾何補正した江戸大火図

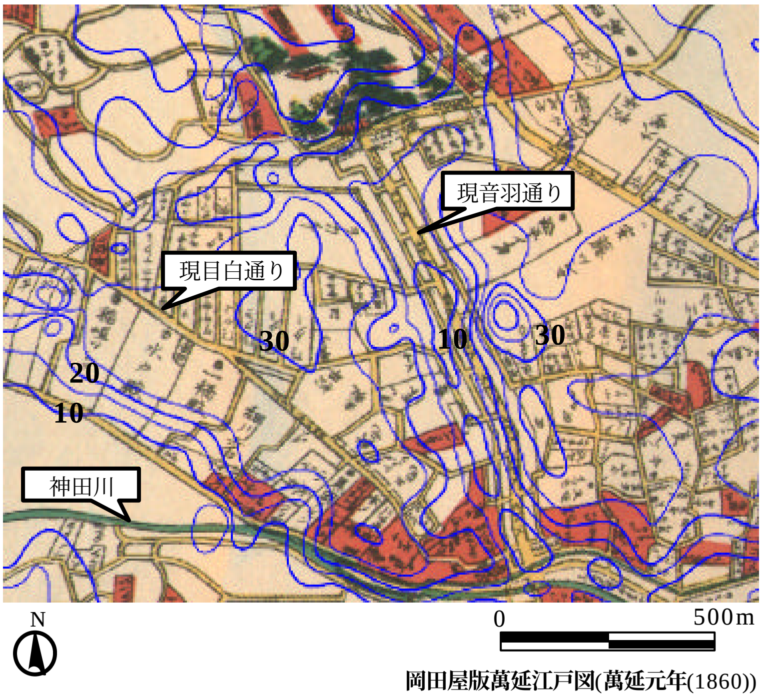
図－6　古地図からの面積の計測

それぞれ約 48ha，39ha，20ha，33ha，9ha という結果を得た．各土地利用の標高別の分布状況を見ることも可能であり，例えば，図－8に示した地域においては図－9のような分布状況になる．この地域においては，旗本屋敷，組屋敷が比較的標高の高い場所に位置し，その下に大名が屋敷を構えていることが分かる．また，町人地の半数が標高 15m 以下の低地帯に位置していること，神社・仏閣の立地については標高との明確な関係がないことなどが読み取れる．

6.おわりに

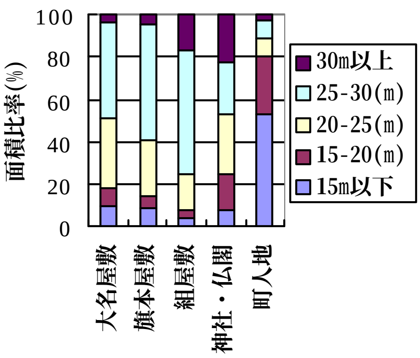
本研究の成果は，古地図の幾何補正に必要な要件をまとめ，その要件を満足する有力な手法として，TIN モデルとアフィン変換を統合した幾何補正手法を提案し，適用例を通してその意義を示したことにある．

古地図を現代図に幾何補正することにより古地図の史料的価値は一層高まる．今回示した適用例のみならず，交通路(街路・運河など)や土地利用の変遷の分析，



図－７　幾何補正した古地図と現代の等高線の重ねあわせ

図－８　幾何補正した古地図を利用した土地利用図の作成



図－９　標高別の土地利用状況(図－８の地域)

河川・湿地・崖地のより正確な位置確認，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，眺望に関する考察，山当て・城当てなどの街路整備思想の考察などといった多くの応用が考えられる．

なお，以下のインターネット上のホームページにおいて，本論文で示した事例を中心にいくつかの適用事例をカラー画像で紹介している．

(URL: http://planner.t.u-tokyo.ac.jp/report/fuse/fuse.html)

謝辞：本研究の実施に際し，文部省科学研究費(基盤研究 B，09555164)ならびに計画・交通研究会の研究助成をいただいた．また，データ処理においては，東京大学工学部土木工学科の白井健太郎君の協力を得た．ここに記して感謝する．

参考文献

1) 例えば，復元江戸情報図 1:6500，朝日新聞社，1994.

2) 例えば，佐藤滋：城下町の都市デザインを読む，造景，No.12, pp.135-158, 1997.

3) 三幣順一，波多野純：江戸の大火と防災政策の成果～町人地を中心に～，日本建築学会関東支部研究報告集，pp.397-400, 1994.

4) 栗原徳郎，嶋村明彦：近世城下町の町割・屋敷割復原について，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.1009-1010, 1991.

5) 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.

6) 清水英範，鈴木崇児：ニューラルネットワークの時間地図作成への応用，第２回ファジィ土木応用シンポジウム講演論文集，pp.61-67, 1994.

7) Bookstein, F. L.: Principal Warps: Thin-Plate Splines and the Decomposition of Deformations, *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.11, No.6, pp.567-585, 1989.

8) Bajcsy, R. and Kovacic, S.: Multiresolution Elastic Matching, *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, Vol.46, pp.1-21, 1989.

9) Hardy, R. L.: Multiquadric Equation of Topography and Other Irregular Surfaces, *Journal of Geophysical Research*, Vol.76, No.8, pp.1905-1915, 1971.

10) Wiemker, R., Rohr, K., Binder, L., Sprengel, R. and Stiehl, H. S.: Application of Elastic Registration to Imagery from Airborne Scanners, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol.31, Part B4, pp.949-954, 1996.

11) Aronoff,S: *Geographic Information Systems: A Management Perspective*, WDL Publications, pp.177-180, 1989.

12) Akima, H.: A New Method of Interpolation and Smooth Curve Fitting Based on Local Procedures, *Journal of the Association for Computing Machinery*, Vol.17, No.4, pp.589-602, 1970.

13) Akima, H.: A Method of Bivariate Interpolation and Smooth Surface Fitting for Irregularly Distributed Data Points, *ACM Transactions on Mathematical Software*, Vol.4, No.2, pp.148-159, 1978.

14) 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.

(1998.5.11 受付)

A STUDY ON GEOMETRIC CORRECTION OF HISTORICAL MAPS

Eihan SHIMIZU, Takashi FUSE and Shigeru MORICHI

Historical maps are precious materials which show spatial distribution of land use, streets and so on at the time when the maps were produced. In analysis of historical maps, the most primitive and comprehensive method is to compare them directly with the present ones by overlaying. However, the low precision, in the geometrical sense, of the historical maps makes the task of comparison very difficult. This paper proposes an effective geometric correction method in which Triangulated Irregular Network (TIN) model and Affine transformation are employed. This paper also shows some applications which illustrate the significance of the geometric correction of historical maps.