

伊能大図の幾何補正と補正結果の利用

Experiment of geometric correction for large scale Ino Maps
and usage of the rectified maps

黒 木 貴 一

Takahito KUROKI

社会科教育講座

(平成22年9月30日受理)

要 旨

GISにより伊能大図を現代の地形図を基準として幾何補正することを試みた。その結果、幾何補正のためのGCPは経路の屈曲点、交差点、曲がり角、地形変化の少ない岬など地形的な凸点に設定しやすかった。地形図に記載された史跡などの歴史的場所や神社などの地物、幅員3.0~5.5mの二条道路の道路形状、人工地形と自然地形の地形境界線はGCP設定を容易にした。また旧版地形図の地図情報はGCP設定の参考となるが、現代の地形図とは投影法や作成方法の相違による元々のずれが想定されるため、旧版地形図の地図情報の使用には注意が必要である。なお多数のGCPを用い高次の多項式変換で幾何補正した時、RMSエラーは5m程度まで低減できると予想される。幾何補正結果を用いた経路の現状確認を通じて、それらは、当該地の景観変遷に関わる現地調査の手がかりを得やすくすること、様々な景観変遷型のある場所では良い教材となることが分かった。今日、都市化や地方衰退の影響により、GCP設定可能な道や橋の消失、道の直線化や拡幅、海岸線の変化など、幾何補正の障害が増加すると考えられ、伊能大図にあるGCP座標の早期確定が望まれる。

キーワード：伊能大図, 幾何補正, GCP, RMS エラー

I. はじめに

2001年にアメリカの議会図書館で伊能大図(縮尺約3万6千分の1)が発見され¹⁾, 2006年には伊能大図総覧²⁾が出版された。既存の伊能図に関しては地図内容や伊能忠敬に注目する研究^{3)~6)}, 小学校教材への利用実践⁷⁾があり, 伊能大図に関しては大学の地歴教材への利用実践⁸⁾も見られる。これらの研究過程では, 伊能図を現代の地図に手作業で重ね合わせることが一般的である。これは古い地理情報をもつ伊能図などの古い地図と, 現代の地図とを比較することで, 地域理解を深められる理由による。しかし近年は伊能図などの絵地図を現代の地図にパソコンで重ね合わせる作業を伴う研究が見られる。たとえば, 水越・村上(1997)⁹⁾では, 1次式(アフィン変換)を用いて幾何補正した古い地図を現在の地図に重ね, 磐梯

山の山体崩壊に伴う高度変化を推定した。佐藤(2000)¹⁰⁾では, 伊能図をヘルマート変換(アフィン変換の一種)で幾何補正し20万分の1帝国図と比較し, 江戸~明治の海岸線の変化量を推定した。長谷川ほか(2006)¹¹⁾では, 多面体図法の旧版地形図を現在のUTM図法の地形図にアフィン変換で幾何補正し, 土地利用変化の面積を計算した。高橋ほか(2006)¹²⁾では, アフィン変換により伊能図などの古地図の幾何補正を行い, 海岸線の変化を明示し土砂堆積速度を求め, また古地形を確認した。清水ほか(1997)¹³⁾では, 古地図を三角形の領域に分割し, それぞれをアフィン変換で幾何補正し, 現代の地図と重ね, 土地利用の地形条件を示し, さらに火災被災あるいは土地利用の面積を求めた。

ところで伊能大図は約200年前の地形や土地利

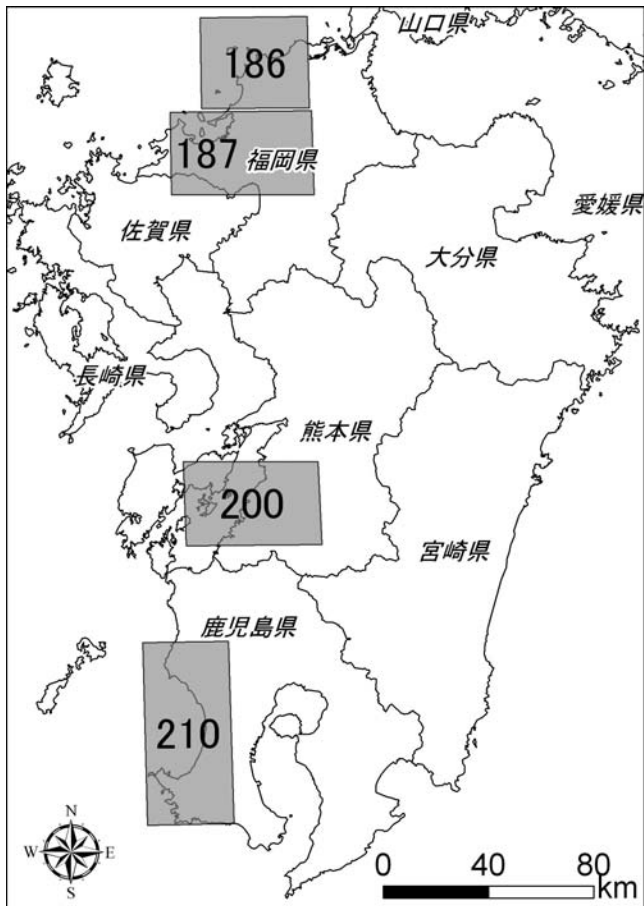


図1 幾何補正対象図副

用を良く理解できるため、それを現代の地図に精度良く重ね合わせることで、学術研究に止まらず行政、土木分野でのより一層の応用を期待できる。しかし伊能大図発見からの年数経過は短く、まだ伊能大図の現代の地図への精度良い幾何補正（重ね合わせ）方法の検討と、幾何補正結果の利用に関する検討が十分ではない。そこで本研究ではGISにより伊能大図の多項式変換を中心に幾何補正を試行した結果と、幾何補正結果を大学教育で活用した事例を報告し、今後伊能大図を活用する際の課題をまとめる。

なお、金澤（2000）^{14）}は、伊能図の図法がサンソン図法であることを確認した上で、サンソン図法による日本形状と伊能中図の日本形状を比較し、伊能中図の全体的なずれが測量当時の偏角に起因することを明らかにした。ただ、この時点ではアメリカの伊能大図が発見されておらず、狭い範囲での幾何補正に関する検討はなされていない。

II. 研究方法

1. 幾何補正手順

伊能大図総覧^{2）}に掲載された伊能大図をスキャンし画像データ化する。ESRI社のArcView 9のジオリファレンス機能を用い、福岡県宗像市を含む伊能大図186番、福岡市を含む187番、鹿児島県出水市を含む200番、鹿児島県日置市を含む210番

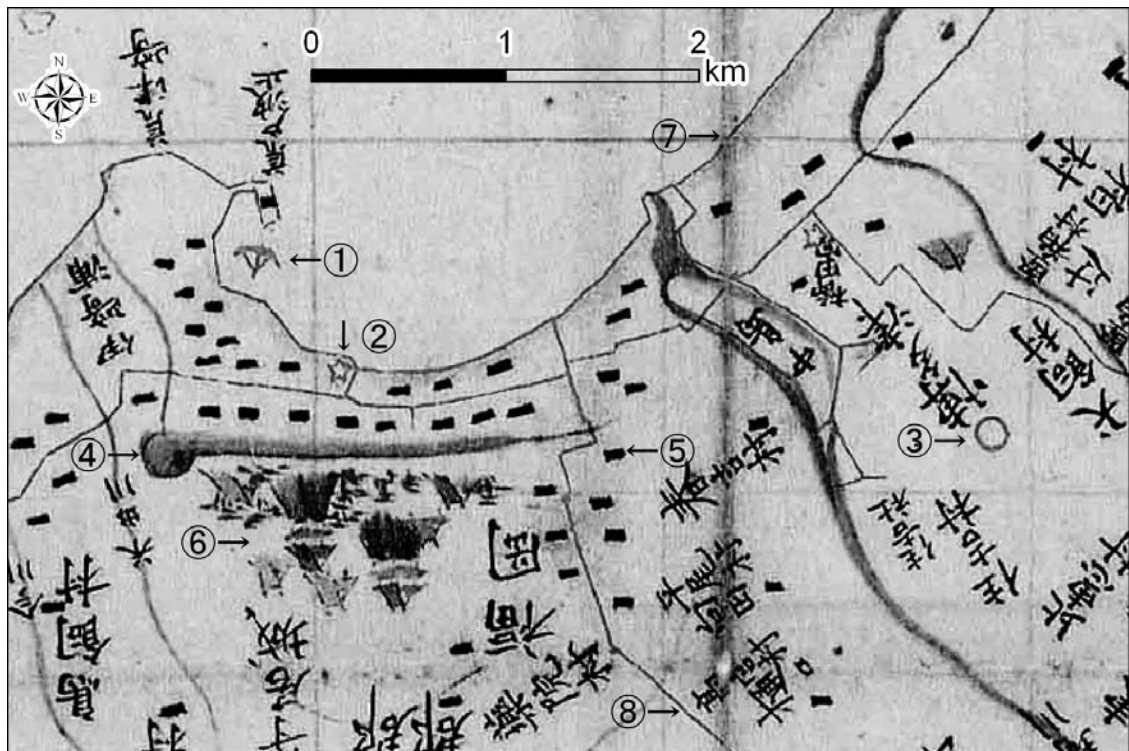


図2 伊能大図187番の北部

の画像データの一部を幾何補正する（図1）。幾何補正とは、回転や拡大などの変形により画像データを目的とする形状に変換することである¹⁵⁾。

幾何補正は、UTM 座標に幾何補正済み20万分の1地勢図や2万5千分の1地形図の地図記号で表される地物を GCP : Ground Control Point (地上基準点) に使用し、伊能大図の経路上の GCP 対応点を関連付け (GCP 設定)、伊能大図を変形する。

GCP 設定の目安となる伊能大図の地図記号に関し、現在の福岡市市街地を事例に説明する。図2は伊能大図187番の北部を拡大した。文献¹⁶⁾によると、船の記号①で示される港湾、星印②で示



図3 福岡市南部の幾何補正結果

される緯度を求める天体観測を行った天測地点、丸印③で示される宿場、藍色④で示される川・堀・池などの水域、黒四角⑤で示される家屋、描画⑥で示される城・寺・山などの大きな目標物の記載が見られる。そして伊能測量隊が測量した経路は赤線で示され、それらは海岸線⑦や内陸の集落を結ぶ道路⑧に対し示されている。そのほか経路上には地名が多数示されている。

2. 幾何補正作業の課題検討

伊能大図187番の幾何補正は、福岡市を中心とする約1000 km² について ArcView 9 のエクステンションの Image Analysis を使用し、幾何補正した福岡市に関する2万5千分の1地形図画像（平成12年発行）に対して実施した。この過程で幾何補正に有効な GCP 設定方法と、GCP 数と多項式の次数による補正精度（トータル RMS (Root Mean Square) エラー（残差））の相違を確認し、幾何補正作業の課題を明らかにする。



図4 福岡市中心部の幾何補正結果

3. 幾何補正地図の利活用検討

幾何補正で位置の確定された伊能大図の道路情報を基準とし、薩摩街道に沿う出水市の武家屋敷

の周辺景観や日置市の道路現状を示した。また唐津街道に関わる幾何補正結果を用いて福岡教育大学周辺の景観を実習で学生に観察させた。これら

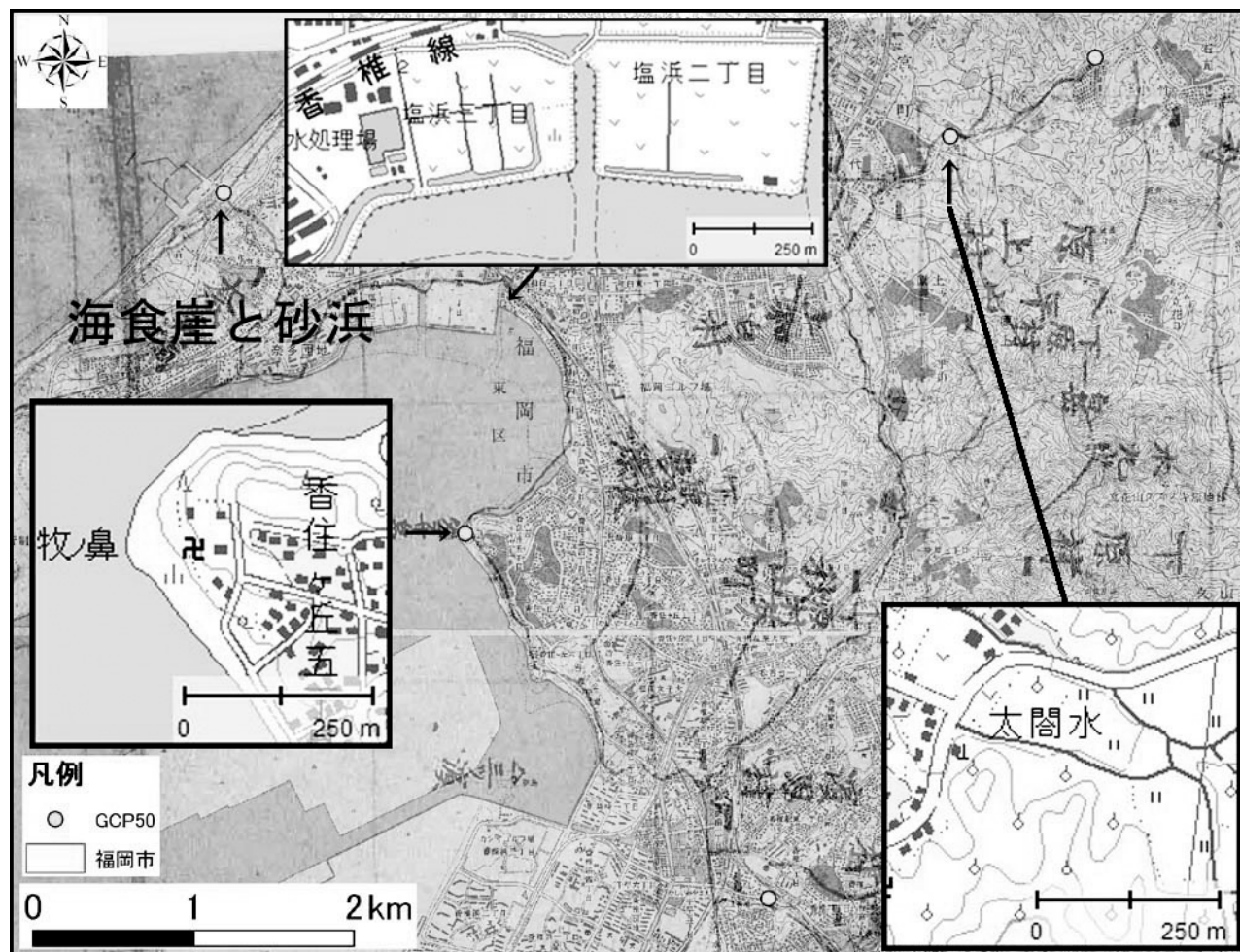


図5 福岡市北部の幾何補正結果

図中の小区画の地形図は、国土地理院HPの地図閲覧サービスを利用した。

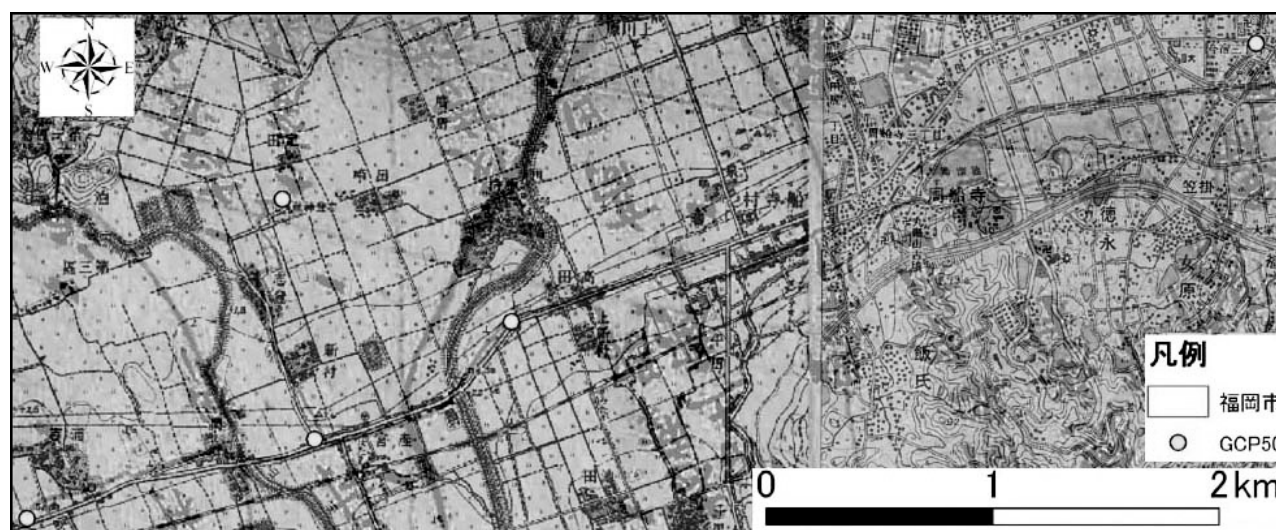


図6 福岡市西部の幾何補正結果

の観察や実習を通じて幾何補正した伊能大図の利活用の注意点をまとめる。

Ⅲ. 幾何補正の GCP と精度

1. GCP に使用可能な地図記号の特性

幾何補正では、伊能大図の経路を現在の道路や地形に対応させる。しかし伊能大図作成以降の約200年間に、道路、海岸線、河岸線の変化が生じたため、地理的及び歴史的に変化しがたい場所の認定には工夫が必要である。そこで50点のGCPを設定し伊能大図187番を2万5千分の1地形図に対し幾何補正した結果を用いて、GCPに使用可能な地図記号の特性を述べる。

図3は福岡市南部の幾何補正結果に2点のGCPを示した。室見川右岸に沿って次郎丸から四箇(しか)に続く南北の経路があり、それらは現在の幅員3.0m～5.5mの道路及び幅員5.5m～13.0mの道路に形状が一致する。また田村七丁目には天測地点が記載されている。伊能大図の経路の屈曲点は現在の道路屈曲点と対応付けしやすく、そこにGCPを設定できた。図3のように伊能大図の経路は基本的には地形図の幅員3.0m～5.5mの道路と一致することが多いが、道路拡幅やバイパス設置などにより、GCP設定は次第に難しくなる。なお、図3範囲外のGCPの影響を受け、室見川の渡河地点より南部の経路は、経路形状から想定される実際の位置から北に約50mずれた。

図4は福岡市中心部の幾何補正結果に博多駅付近と箱崎宮付近の2点のGCPを示した。図3と同様に、伊能大図の経路は現在の幅員3.0m～5.5mの道路及び幅員5.5m～13.0mの道路に一致する。福岡市街地では、約200年前は既に城下町の直線的な道路網が存在した。つまり経路は屈曲が少なく直線的で、直交する交差点や曲がり角の存在を示しており、GCP設定が可能となる。博多駅北側では、当時の幅員のまま現在に継承されたと考えられる御笠川(当時は石堂川)に向かう細い道があり、川に至る地点で南東に折れるため、現在の丁字路交点にGCPを設定できる。箱崎宮の北側では、建物密集地に北に伸びる細い道があり、それが渡河する東方向に折れるため現在の十字路中心にGCPを設定できる。ただこのGCPの設定では、道路拡幅により正確さを欠き幾何補正精度を低下させる。

図5は福岡市北部の幾何補正結果に5点のGCPを示した。特に道路の屈曲点で形状変化の少ない点として、侵食に抗する岩石海岸の岬(牧ノ鼻)を選定できた。また唐津街道起源の道路の屈曲点

の中で、街道を通過した豊臣秀吉にちなむ太閤水の記載は地形図にある点に対するGCP設定を容易にした。その他のGCP設定では、過去に塩田の存在が地名(塩浜)から推定される土地の境界線(当時の海岸線)や、海食崖と砂浜海岸の境界線など地形の特徴を参考にできた。

図6は福岡市西部の幾何補正結果に5点のGCPを示した。道路拡幅などを伴う都市化以外に、耕地整備に伴う古い道路形状の損失があり、現代の地形図上でGCP設定が困難だった。そこで、幾何補正した2万5千分の1旧版地形図(昭和15年「前原」)を参照したところ、道路屈曲点と交差点にGCPを設定できた。さらに、図6の西方に志登神社があり水田中で際立っている点に注目した。神社が移転することはまれで、神社に至る経路と旧版地形図の道路形状が近似したため、志登神社に天測地点を位置づけられた。

まとめると、伊能大図を幾何補正するためのGCPは、経路の屈曲点、交差点、曲がり角、地形変化の少ない岬など地形的な凸点に設定しやすい。またGCP設定を容易にする地形図の点情報として、移動の少ない史跡などの歴史的場所や神社などの地物がある。さらに線情報として地形図の幅員3.0～5.5mの二条道路の道路形状や人工地形と自然地形の地形境界線がある。加えて歴史的に経路の重要性が変化し、道路拡幅、道路縮小などで経路との一致が認め難くなる場合、旧版地形図がGCP設定に役立つ。

後述するその他地域での幾何補正作業を通じて、海岸の急崖を避け若干内陸に経路があること、離島の位置は顕著にずれる場合が多いこと、海岸線が直線的に描かれる傾向など伊能大図の描画特性や、200年余りの時間経過による海岸線形状の著しい変化などが幾何補正のGCP設定を困難にする要因となることが分かった。

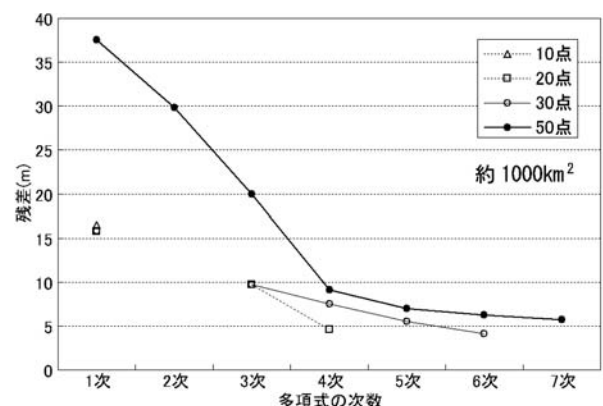


図7 GCP点数と多項式次数による残差の変化

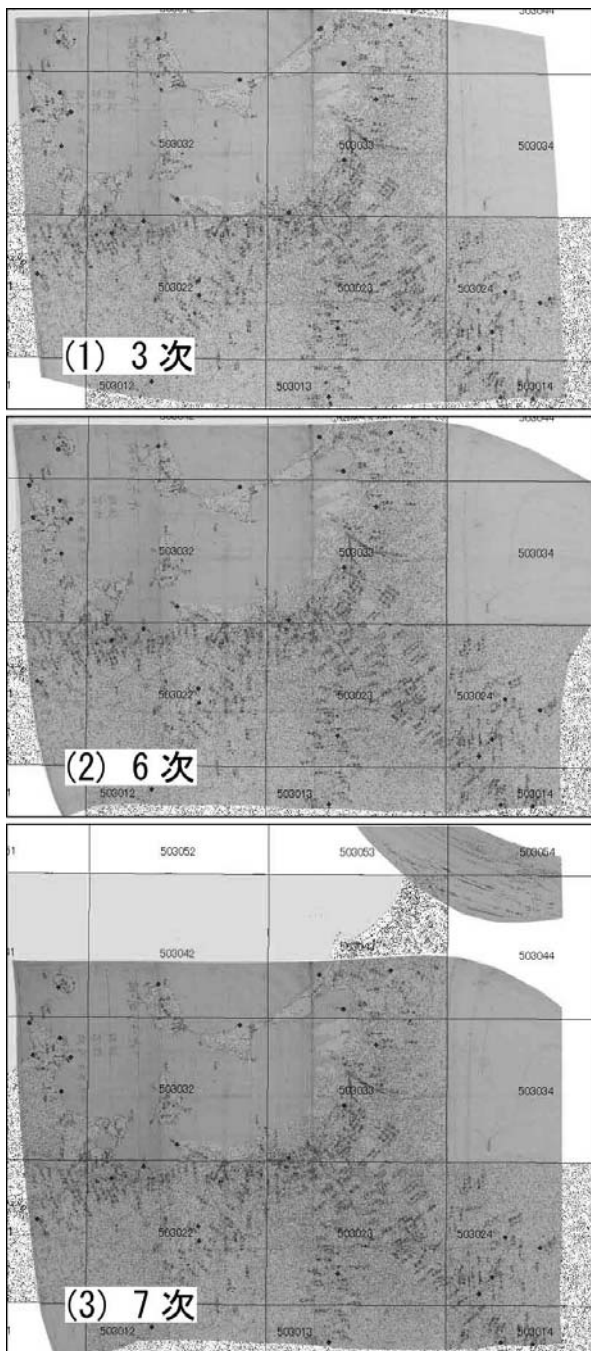


図8 幾何補正後の画像例

2. 幾何補正の精度と手法の限界

図7はGCPが10点、20点、30点、50点時の、多項式の次数の違いによる残差の相違を示す。GCPが10点～30点で1次多項式では残差は約16mであり、50点では37.5mもあり大きい。全体的にGCPが少ないと残差は小さいが、補正画像を見るとGCP以外の場所で地形図とのずれが大きくなり違和感を生じる。このためGCPが少ない時点では次のGCPの設定に間違いを招きやすい。逆

にGCPが多いと残差は大きくなり、作業時間は長くなる。しかし多項式を高次にすれば残差が縮小し、幾何補正の確実度は高まる。特にGCPが50点の時、4次より高次の多項式による幾何補正では、残差は10m未満に低下し次第に5mに近づく傾向が見える。ただ次数が過度に高いと画像変形が極端となり違和感が生じるため、適切な次数選択が必要と考える。ちなみに幾何補正後の画像は、GCPが50点の時の6次多項式による補正結果が残差は小さく、違和感も少なかった。図8に比較として、3次、6次、7次多項式による結果を示す。

したがってGCPはできるだけ多く用意し、高次の多項式で幾何補正することで残差を5m程度まで低減させられる。

IV. 幾何補正地図の利用例

1. 薩摩街道

2007年に実施した出水市の旧薩摩街道（出水筋）の調査結果を元に、伊能大図の経路の現況を述べる（図9、図10）。図9をみると、出水市街地北西部では区画整理や工場設置によりその経路は消滅した。麓集落の一つ出水麓の野町（武家以外の居住地）を起源とする商店街はその経路沿いに発達するが、現在そこは活気が低下し、シャッターの閉じた商店が散見され、また全国の街道筋と同様に町屋造の建物の減少も見られた。武家屋敷は、居住者の高齢化や市外居住の問題が生じており、維持・管理が難しくなっている。一方、野田麓は経路に沿って武家屋敷が続く、石垣や生垣の構成

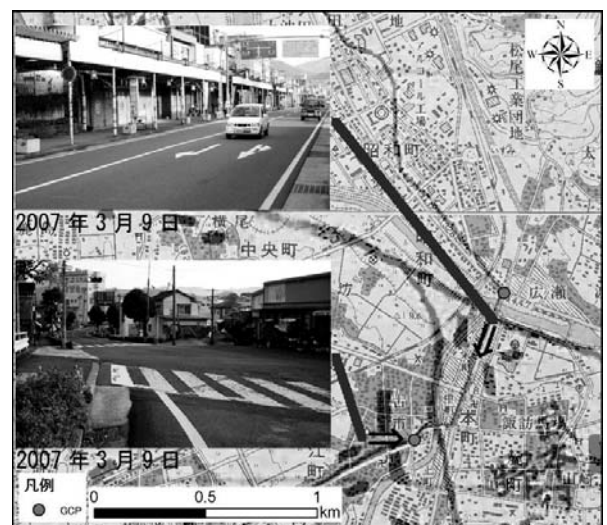


図9 出水市出水麓の状況

背景は2万5千分の1地形図「出水、米ノ津」（平成14年発行）



図10 出水市野田麓の状況

背景は2万5千分の1地形図「出水」(平成14年発行)

する街路景観が良く保存されている(図10)。日置市伊集院町では、自動車通行に適するバイパス道路や高速道路の設置で、使用頻度の低下した経路が1.5m~3.0mの一条道路の地図記号で表現されており(図11)、今後の経路消滅への推移が懸



図11 日置市伊集院町の状況

背景は2万5千分の1地形図「伊集院」(平成14年発行)

念される。

このように、伊能図を現代の地形図に重ねると、当該地の景観変遷に関わる現地調査のための手がかりを容易に得られる。

2. 唐津街道

20万分の1地勢図(平成14年の数値地図)と2万5千分の1地形図(平成13年の数値地図)を段階的に用いて伊能大図186番を幾何補正した。福岡教育大学付近の補正結果を示す(図12)。平成13年の2万5千分の1地形図と補正結果とを重ねると、南北方向の道は現存する道路とよく一致した。北部では国道や幅員1.5m未満の道路と、南部では幅員3.0m以上の道路とよく一致した。しかし、中部では福岡教育大学キャンパスにより道路が途絶える。一方、東西方向の道路と川(釣川)は現存のものと約100mずれた。明治33年の5万分の

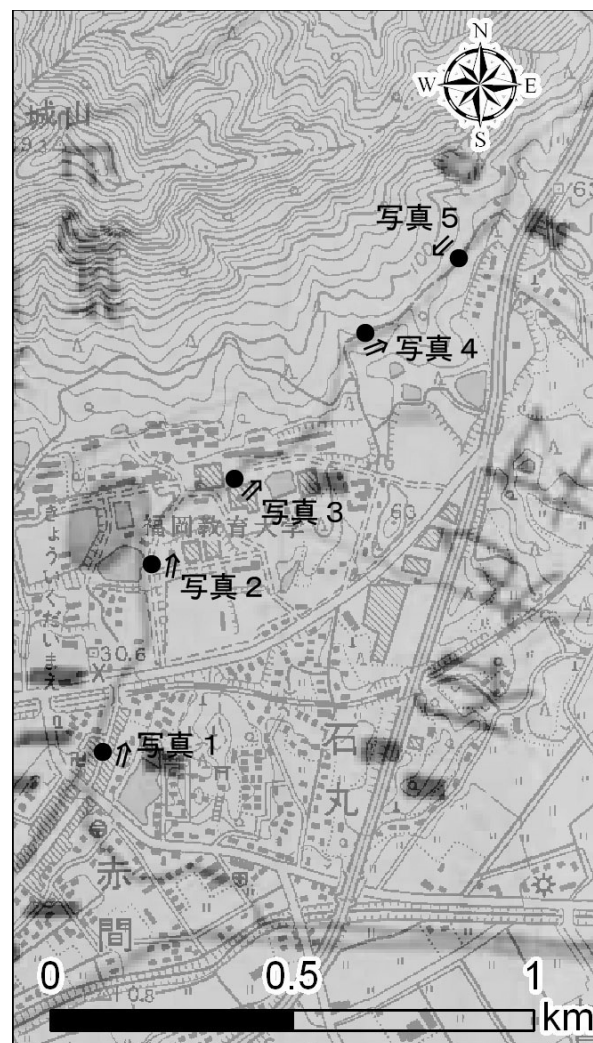


図12 福岡教育大学付近の補正結果1

背景は2万5千分の1地形図「筑前東郷」(平成13年発行)



図13 福岡教育大学付近の補正結果 2
背景は5万分の1地形図「直方」(明治36年製版)

1 地形図と補正結果を重ねる(図13)と、全体的に50m程度ずれている。これはUTM図法の2万5千分の1地形図に、多面体図法の5万分の1地形図が精度良く重ならないことが背景にある。ところが明治時代の大半の主要道路は伊能大図の経路を引き継いでおり、両者の形状が良く一致することは明白である。

つまり、旧版地形図は現在の地形図と投影法や作成方法が異なるため、幾何補正作業では両者のずれに注意を要するが、前述したように現代の地形図と旧版地形図を相互に利用することでより正確な幾何補正を可能とする。

次に2万5千分の1地形図に良く一致する南北方向の道の現況を例示する。写真1は赤間宿の状況(平成20年)である。赤間宿の歴史的価値は既に周知され景観保存はある程度なされている。しかし世代交代の難しい地域特性があり、新しい建



写真1 赤間宿の現況



写真2 福岡教育大学の定年坂



写真3 福岡教育大学の理科教棟入り口

物が増加し街道景観を特徴づける町屋造の建物は急速に姿を消している。最近では赤間小校区の児童に親しまれてきた駄菓子屋が廃業した。昭和41年の福岡教育大学の統合移転に伴うキャンパス造成により、当該地の唐津街道の大半は破壊された。写真2は唐津街道の直線及び屈曲形状を色濃く残

す福岡教育大学の定年坂である。偶然にも高い尾根筋を道路に低い谷筋を運動場に造成した結果、城山山麓の尾根筋を通る唐津街道は、定年坂に当時の経路を残した。キャンパス東部では唐津街道は理科教棟を斜めに貫くが、その南側はまさに理科棟入り口の緩やかな坂道に相当した（写真3）。北部の幅員1.5m未満の道路は、写真4のように竹林中の未舗装の道路となっており人通りは少ない。そのため場所により倒木が見られ藪に覆われ路肩は崩壊しており、さらに竹が進入していた（写真5）ため通行が難しく、現状維持が困難な状況にある。現在は教職員も学生も、キャンパス内のどこが伊能大図に記された唐津街道経路かの認識はほとんど無いと思われるため、平成21～22年度の自然地理学実習ではGISの幾何補正学習の中で経路確認作業を実施させた。



写真4 竹林中に続く街道跡



写真5 竹の進入した街道跡
矢印は街道に進入した竹を示す。

つまり本学近隣および敷地内の唐津街道の経路では、様々な景観変遷型が存在するため、幾何補正された伊能図は様々な目的での良い教材となることが分かった。

V. まとめ

伊能大図を現代の地形図を元に幾何補正する試行を行い、その補正画像を用いて経路の現状を確認した結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) GCPは経路の屈曲点、交差点、曲がり角、地形変化の少ない岬など地形的な凸点に設定しやすい。
 - 2) 現在の地形図の、移動の少ない史跡などの歴史的場所や神社などの地物、幅員3.0～5.5mの二条道路の道路形状、人工地形と自然地形の地形境界の線情報はGCP設定を容易にする。
 - 3) GCPをより多く用意し、高次の多項式変換により幾何補正するとRMSエラーを5m程度まで小さくできる。
 - 4) 旧版地形図の地図情報は、道路拡幅、道路縮小などで現在の地形図情報に経路を一致させ難くなる場合のGCP設定に役立つ。しかしその情報は投影法や作成方法が現在の地形図と異なるため、幾何補正では旧版地形図の元々の位置ずれに注意を要する。
 - 5) 幾何補正された伊能大図は、当該地の景観変遷に関わる現地調査の手がかりを得やすくする。
 - 6) 福岡教育大学および周辺の唐津街道の経路では、様々な景観変遷型が存在するため、幾何補正された伊能大図が様々な目的での良い教材となる。
- 今後は、都市化や地方衰退の影響により、道や橋の消失、道の直線化や拡幅、海岸線の変化など、幾何補正の障害がより増加すると考えられるため、早期のGCP座標の確定が望まれる。

謝 辞

出水市の調査では、平成20年度卒業の慶越君、唐津街道の調査では平成21～22年度の自然地理実習受講生の協力を得た。西南学院大学の磯先生には、福岡市の幾何補正のGCPに関する助言をいただいた。記して謝意を表します。本研究には福岡教育大学の平成19年度教育研究活性化経費「伊能図を用いた地理歴史教材研究」（代表者：黒木貴一）を使用した。ここに記して謝意を表します。本稿は、日本地球惑星科学連合2008年大会¹⁷⁾と2008年度日本国際地図学会地方大会（北九州）で発表した内容に、現地状況の検討を加えて整理した。

参考文献

- 1) 渡辺一郎（2004）：伊能図発見物語．地図中心，380，22-24.
- 2) 財団法人日本地図センター（2006）：伊能大図総覧．河出書房新社，512p.

- 3) 赤木康司 (1993): 「伊能図」に関する若干の考察. 神戸市立博物館研究紀要, 10 (3), 3-22.
- 4) 小西輝夫 (1994): 老年期の創造—伊能忠敬の場合. 教育学部論集, 5 (3), 1-14.
- 5) 小島一仁 (2000): 伊能図をさぐる. 歴史地理教育, 605 (2), 22-27.
- 6) 星埜由尚 (2010): 日本史リブレット人 057 伊能忠敬. 山川出版社, 88p.
- 7) 渡辺伸樹 (2002): 授業実践報告 空間認識を高める地図作業活動の実践—伊能忠敬の地図を活用した地図学習. 新地理, 49 (4), 32-38.
- 8) 黒木貴一 (2008): 伊能図を用いた地理歴史教材研究. 教育実践研究, 16, 9-15.
- 9) 水越博子・村上広史 (1997): 「磐梯山の図」を用いた小磐梯崩壊前後高度差分量の推定. 地形, 18 (1), 21-36.
- 10) 佐藤浩 (2000): 伊能図と帝国図との比較による富山海岸と豊前豊後海岸における江戸～明治の海岸線変化. 地形, 21 (4), 451-467.
- 11) 長谷川均・渡久地健・後藤智哉・鈴木敬子 (2006): 琉球諸島における大正期と昭和・平成期の土地利用変化. 2006年春季学術大会日本地理学会発表要旨集, 69, 154p.
- 12) 高橋元気・田中 仁・松富英夫・泉 典洋 (2006): 古地図を用いた長期海浜変形の評価. 海洋開発論文集, 22, 643-648.
- 13) 清水英範・布施孝志・森地 茂 (1997): 古地図の幾何補正に関する研究. 土木学会論文集, 625, 89-98.
- 14) 金澤敬 (2000): 伊能図中図におけるずれに関する考察. 地図, 38 (1), 13-20.
- 15) 日本地図調整業協会 (1990): コンピュータ・マッピング用語辞典. 129p.
- 16) 渡辺一郎 (2009): 伊能忠敬の全国測量. 伊能忠敬研究会, 48p.
- 17) 黒木貴一 (2008): だいちと伊能図を用いた地図教育の実践. 日本地球惑星科学連合2008年大会予稿集, J166-P001.

参考HP

国土地理院 (2010). 地図閲覧サービス (ウォッチず). <http://watchizu.gsi.go.jp/> (最終閲覧日 2010年8月16日)