旧版地図を利用した時空間データセットの試作

An Experimental Development of Spatio-Temporal Dataset from Old Edition Maps

地 理 情 報 部　　明野和彦・星野秀和・安藤暁史

Geoinformation Department

Kazuhiko AKENO, Hidekazu HOSHINO and Akifumi ANDO

要　旨

陸地測量部及び国土地理院作成の旧版地図は，長期間にわたり近代的な測量により国土を正確に記録した貴重な情報資源である。本報告では，これらの旧版地図を利用した時空間データ作成の留意点を整理するとともに，約100年間に作成された20万分1の地図を利用して，東本州の道路ネットワーク時空間データセットを試作した。この試作データから時代ごとの時間距離図などを作成し，その有効性を示した。

1．はじめに

地理情報システム（GIS）の利用が，さまざまな分野で展開されている。GISの応用では，利用できるデータ及びシステムの制約から現在（実際には過去のある時点）の空間情報だけを利用したものが多い。一方，環境・防災などの分野では，時間的な変化の分析が重要である。また，国土の変貌・都市の成り立ちなどの地理的な検証，インフラ整備の経済効果の再検証など多くの分野で，時系列情報の分析は有効であると考えられる。

ここ数年，時空間情報を地物単位に発生・消滅の時間属性を持たせ，位相構造を動的に算出する方式による時空間情報システムが開発されており（畑山ほか，1999；大沢・長島，2001；大野ほか，2002），このようなシステムが普及すれば，現在を起点にした変化情報が蓄積されていくものと考えられる。しかしながら，過去の長期スパンの時空間データは，利用可能な情報源が限られており，また，データ作成手法も確立されていないため，利用可能なデータはほとんどない。

本報告では，国土地理院（前身である陸地測量部を含む）作成の旧版地図を利用した時空間データ作成の留意点についてまとめるとともに，道路ネットワークを対象に，試験的に時空間データを作成したので，その作成手法・データの仕様について報告する。

2．蓄積されている時系列の空間情報

2.1　時空間情報のデータソース

時空間データとなりうるデータソースとしては，一定の期間にわたり，地物の存在，位置，形状，性質などについて，測量，観測，調査などが行われている情報でなければならない。広範囲かつ長期的なものとしては，人工衛星画像，空中写真，地図（旧版地図を含む）がある。これらは，すべて，ある空間において，ある時点を記録した情報（以下，タイムスライスデータという）である。この記録された情報を利用し，地物ごとに時間軸に沿って整理することで時空間データとして再構築できる。このデータを使用することで，何時，何処が，どのように変化したのかを定量的に把握することが可能となる。ただし，時間精度については，タイムスライスデータであるため，本当にいつ地物が変化したかという情報は，地物が変化する前後の情報取得間隔の精度しかない。

ここで，3種類のデータソースを，時空間データとして見た場合の特徴について整理すると表－1のようになる。

表－1　時空間データソースとして見た場合の特徴の比較

データソース	データの存在期間	長　　所	短　　所
衛星画像	・1972年に資源探査衛星であるLandsat 1号が打ち上げられて以降，本格的な観測開始。	・広範囲な地域を含む。 ・情報取得周期が短い。 ・情報量が豊富。 ・ディジタルデータとして整備。	・正確な位置情報を取得するためには幾何補正などの前処理が必要となる。 ・判読技術が必要となる。 ・解像度が地図，空中写真に比べて低い。
空中写真	・1946年頃からの空中写真の全国的な撮影が開始。	・数年間隔でのデータ取得。 ・情報量が豊富。 ・ステレオモデルの作成が可能。	・正確な位置情報を取得するためには幾何補正などの前処理が必要となる。 ・判読技術が必要となる。 ・一部を除き，アナログ情報のみしか存在しない。
地　　図	・縮尺によって整備年次は変わるが明治時代からの情報が蓄積されている。	・数年間隔でのデータが整備。 ・図式により地物が整理されている。 ・空中写真等から得られない現地調査にもとづく情報も付加されている。	・一部のベクター情報を除き，紙地図として又は画像情報で存在。 ・情報の取捨選択が既に終わっており，情報量が限定されている。

地図では，既に情報の取捨選択・補正が終わっているため情報の取得は容易であるというメリットはあるが，逆に取得できる情報は限定されている。地図では，現地調査，資料収集による情報も含まれているため，空中写真・衛星画像だけからはわかりにくい樹木で覆われた道路の存在，幅員（道路の幅）などの情報も取得し記述されている。また，国道番号・行政界・地名・公共施設など空中写真・衛星画像では得られない情報も記述されている。作業の容易さ，データの存在期間の長さから，地図に既にある情報については，可能な限り地図を利用するとよいことがわかる。

2.2 旧版地図

地図は，道路・鉄道・空港などの交通施設，海岸・湖沼・河川などの水涯線，植生・土地利用，地形，行政界・地名のほか多くの情報を含んでいる。一定の精度を持ち，現在も継続的に更新されている地図としては，国土地理院の地図がある。全国を対象とした地図の整備開始と全国整備の時期は次のとおりである（国土地理院，1970；国土地理院，2001）。

（1）2万5千分1

1891年（明治24年）に開始。1924年（大正13年）まで続けられたが，1949年（昭和24年）まで中止され，1950年（昭和25年)から再開。北方領土及び小さな離島部を除いて全国が整備されたのは1983年（昭和58年）。なお，全面的な写真測量方式への移行は，1960年（昭和35年）以降。

（2）5万分1

実質的な整備は，1895年（明治28年）に開始。1924年（大正13年）に全国の整備が完了。

（3）20万分1

伊能図を基礎として，1886年（明治19年）より作成された輯製（しゅうせい）20万分1が最初。その後，5万分1を基礎とした20万分1帝国図が1901年（明治34年）より整備開始。1928年（昭和3年）に全国整備。

（4）50万分1

戦前から不定期に作成はされていたが，内容的に十分ではなく，現在の「地方図」が計画的に作成され始めたのは，1947年（昭和22）年からである。

そのほか，全国整備ではないが，重要地域（都市部及び防衛上重要な地域）では，明治中期から昭和の初期にかけて，1万分1も整備している（例えば，東京では，1908年（明治41年）～1936年（昭和11年）にかけて整備)。また，近代的測量方法により広範囲な地域を測量した日本で最初の地形図としては，2万分1（迅速図）がある。1880年（明治13年）から1912年（大正元年）までに，62153㎢，1228面を整備（ただし，グリニッジからの経緯度が標示されたのは，1885年（明治18年）以降)。

2.3 旧版地形図を使った研究のレビュー

旧版地図を利用すれば，森林・湿地の消失などの植生変化，海岸線の埋立・浸食，都市化などの土地利用変化，開発・噴火などの地形の変化を把握することができる。

旧版地図を使ったデータ作成・研究はこれまでも行われており，国土地理院の整備した旧版地図の計測による最近の研究には次のようなものがある。

（1）湿地

関口ほか（2001）及び山川（1998）は，全国の5万分1の地形図を対象に，明治・大正時代及び現在の2時期の地形図にある湿地（地図上の湿地記号のある地域）の面積を計測・集計し，湿地消失の変遷を調査している。地形図の湿地には境界線がなく，湿地記号から計測基図を作成することになるが，旧版地形図では，湿地記号に幅があるため境界線を書くことが難しいことが報告されている。また，湿地増減の分類には，土地利用の変化による増減，土砂の流入による減少，河川の低下による増加，ダム・河川改修による水位上昇による増加のほかに，増加として「山間地等で明治・大正時代には確認できなかったが，航空測量による地形図作成の方法の変更等で新たに確認されたもの」という分類もあり，地図作成工程の改良による「地物の変化」があることが報告されている。なお，湿地境界の座標値データについては，今後，公開を予定とされている。なお，報告では，旧版地図作成当時使用されていた測量機器の精度についての記述があるが，5万分1の旧版地形図そのものの精度の検証はしていない。

（2）海岸線

田中ほか（1993）は，全国5万分1の地形図を対象に，明治・大正時代，1978年（昭和53年）の時点で最新のもの，及び1992年（平成4年）の時点で最新のもの，の3時期の地形図にある海岸線を対象に計測・集計し，浸食・埋め立て，堆積，浚渫（しゅんせつ）及び河口部に分類して海岸線の変化を調査している。基準点又は不動点を基に位置あわせを行い，差分を計測している。河口部については，河川からの排出土砂による季節的・一時的変化が大きいことから計測対象からは除いている（浚渫も除外)。なお，論文には，計測の誤差については言及してあるが，地図そのものの精度についての言及はない。

（3）地形

水越・村上（1997）は，1889年に農商務省地質局によって作成された磐梯山・小磐梯崩壊前の5万分1の地形図（当時，当該地域の陸地測量部の地形図は未整備）と1926年の陸地測量部の5万分1地形図の等高線を数値化し，崩壊量を推定している。なお，農商務省地質局による地図は，かなりの歪みがあり，精度が不明であるため，1993年の5万分1の地形図との対応点を求めて水平位置を補正している。また，1926年の地形図も，1918年に行われた地図の座標修正（3.1(4)参照）の影響を検証するため，1993年の地形図の基準点を使って精度を検定し

ている。基準点については，いわゆる地形図の誤差（標準偏差で図上0.7mm）に収まることが報告されている。地形変化がないと考えられるところの標高を比較し，1926年と1993年の地形図の標高差の標準偏差は，12.40mと報告されている。この報告から，旧版地図では，現在，地形図で規定している誤差（等高線間隔20mの1/2のため5万分1では，10m）を越えている可能性が高いことが分かる。

（4）都市化

小池・荒井（2001）は，2万分1の迅速図に記載されている集落描画の情報（面積）を主情報，注記の文字の大きさ，公共施設数などを補正情報として，当時の人口分布を推定する方法を提案している。一部，字単位で残っていた明治時代の人口統計の資料をもとに，人口と地図情報から計測したパラメータの回帰式を求め，17図葉について，一図葉を8×8にメッシュした人口の空間分布を実験的に求めている。地図の表現が図葉によって統一的でないことが問題点とされている。

3．旧版地図を使ったデータの作成

3.1 旧版地図の利用の留意点

2.3のレビュー，実験的にデータの作成を行った結果（星野ほか，2001）及び経験則から，時系列な分析に旧版地図を利用するという観点から留意点をまとめると，次のとおりである。

（1）測量精度

現在の地図は，作業規程により，測量の精度などが規定されているが，旧版地図の測量精度に関する情報は不明である。特に空中写真測量以前のものは，現地測量によるものであるため，局所的には精度が高いことがあっても，広域の精度は現在のものよりは低い可能性が高い。例えば，水越・村上（1997）によると，古い地形図の標高精度が，現在の規程を満たしていないことが分かる。また，関口ほか（2001）によると，航空測量によって新たに確認されたと考えられる湿地が存在するなど，地上測量では完全にくまなく調査することは困難であったことが想像できる。

また，測量精度のわかっている戦後の地図でも，新しく地図を測量して作成（以下，改測という。）するときは，許容誤差内（標準偏差，図上0.7mm以下）で，位置には揺らぎを生じる（例えば，改測前後では，同じ道路も完全に同じラインにならない）。これは，ある縮尺の地図からより小縮尺の地図を新しく編集して作成（以下，編集という）するときの前後の図面でも同様である。ただし，編集して作成した地図は，厳密な位置に関する測量精度の規程はない。より大縮尺の地図を下地にした編集作業であることから，総描・転位がない場合には，測量図と同等程度の許容誤差であろうと想像できる。

（2）地物の図式の一貫性

地図は，不定期に図式が変更になっている。このため，例えば，植生，道路の幅員，表記する公共施設などの分類が一定していない。特に，戦前は軍事地図としての性格が強いため，これらに関連する施設・植生の分類などが詳しい。時空間データを作成するときには，当該地物の表記の有無，基準の変更などについて確認・考察する必要がある。

なお，地形図の図式の変遷については，地図センター（1994）に詳しくまとめられている。

（3）総描・転位

地図では，例えば，市街地の建物をすべて個別に描画できないため面的にまとめて表現するなど，総描が行われる。小縮尺図においてその傾向は顕著である。総描の基準は，「恒久性のある道路はすべて表示の対象とするが，とくに道路の発達した地域において比較的要度の低いと認められるものは省略することができる」のように曖昧さをかなり含んでいるため，その地図を作成した技術者の主観にかなり依存することになる。特に，改測・編集の地図を基にした修正作業では，新たな取捨選択の対象は，変化部分に限定されるが，新たに地図を全面的に作り直す改測・編集作業では，技術者の地物の取捨選択の判断のゆらぎにより，実際の地物の変化が無くても，存在はしていたが描画されていなかった地物が新しく描画されたり，引き続き存在する地物が描画されなかったりすることがある。

転位とは，例えば，道路と河川が並行して存在し，そのままの正しい位置で紙の地図に特定の縮尺に表現すると記号が重なりあうため，わざと位置をずらして描画する行為をいう。地図から数値化する空間データの作成では，不要な精度の低下として問題点とされることがある。時系列情報という観点からは，地物属性の変化による転位の問題がある。例えば，１条線の道路記号の場合は転位が必要なかったが，拡幅されて２条線の道路記号になったために転位された場合，地図だけからは，実際に位置の変化が転位によるものか，位置の変更はなく単なる属性の変化によるものかは厳密には区別できない。

（4）座標系・投影法の変更

2001年4月1日より，日本の測量の基準は，日本測地系から世界測地系になった。今後，これらの前後に作成された地図を時系列で数値化する場合は，これに注意しなければならない。同様に，1918年（大正7年）10月7日の東京天文台の経度改訂（+10秒4050）にともない，1919年4月以降の地形図の経度（図郭線の表記）も10秒4改訂になっているので，これ以前に発行された地図を利用するときには注意が必要である（1918年10月以降かつ1919年4月以前の極短い期間のものには，誤算により+10秒8となっているものもある）。

また，一部の離島については，個別の天文観測により測量の基準が定められていたものもあり，その後，測量技術の進歩で位置の基準が修正されているものがある。

そのほか，2万5千分1から20万分1の地図の図法は，

1955年以前は多面体図法だったが，昭和30年以降UTMに改められている。ただし，改測・編集があったものからUTMに変更になっているため，20万分1の一部には未だに多面体図法のものも残っている。

（5）修正

修正でも，部分修正（変化部分の一部のみを修正すること），要部修正（鉄道、道路、埋め立て地など、大きな変化ではあるが面積的には狭い範囲を修正すること）などの場合は，大きな改変があった地物についてのみ修正が行われたものであるため，時系列情報の取得には，限定的にしか利用できない。

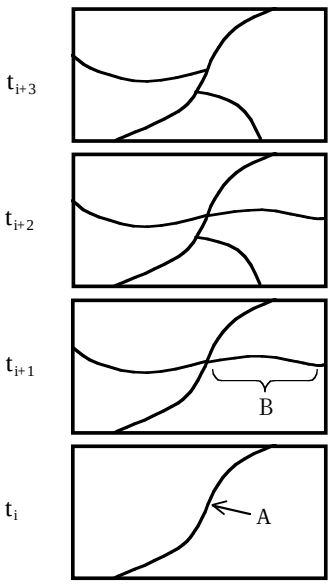
（6）その他

1939年（昭和14年）以降から1945年（昭和20年）までに印刷された地図には，軍機保護のために地図上に虚偽の記載があるものがある（戦時改描という）。例えば，重要施設の注記が抹消されていたり，飛行場，工場，発電所，貯水池の存在自体が抹消されて荒れ地などになっていたりすることがある。なお，戦時改描の有無は，地図の定価の金額が括弧書の有無で判断できるものもある（国土地理院，2001）。

そのほか，地図作成時の誤りもある。前後の旧版地図との比較などから誤りであることが断定できない限り，時系列上の分析からは変化と見なされることになる。

3.2 時空間データの管理手法

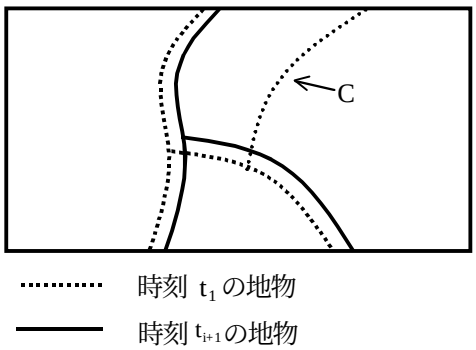
旧版地図を使って，時空間データセットを整備する最も単純な方法は，図－1のように，図面ごと・測量年ごとのタイムスライスデータとして整備する方法である。ただし，この方法では，例えば，図－1の時刻（測量年）t_iのAの地物のように，時刻t_{i+1}，t_{i+2}及びt_{i+3}でも同じデータをもつことになり，データ量が大きくなる。



図－1　タイムスライスデータ

データの重複を避けるには，基準とする測量年tiの全データと，t_iとt_{i+1}のデータの差分データ，t_{i+1}とt_{i+2}の差分データなど，基準時刻の全データと変化データからなるデータセットを整備する方法がある。この場合，重複するデータはなくなるため，データ量は小さくなる。

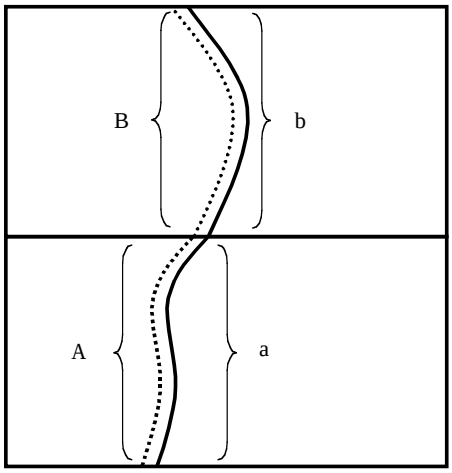
ただし，基準となる地図を基に地図が修正されているときは，地物の変化箇所の抽出は比較的容易であるが，改測・編集など新しく地図を作り直すときは，測量精度，取捨選択基準の作成者による揺らぎなどにより，地物の変化箇所の抽出，つまり差分データの計測は容易ではない。例えば，図－2のような場合には，Cの地物だけを抽出して差分データとして計測しなければならない。



図－2　二つの時刻の地物の差分
（二つの時刻（測量年）で変化のない地物でも，測量・計測誤差などで位置は完全に一致しない。実際の差分はCだけである。）

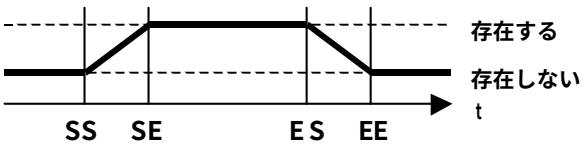
しかしながら，時空間データの分析では，複数の時刻間における地物の変化を抽出することが1つの重要な点であり，差分データとしてデータを整備するというのは，この抽出作業を事前にしておくことと同じことになる。また，複数の図葉を扱う場合，図－3のように，改測・修正などを挟んだ地図の修正時に，実際の地物の変化が無くても，測量精度の影響で，同じラインにならないことがある。この場合，時刻t_i・t_j間及び時刻t_k・t_l間では，それぞれ点線及び実線で地物は接合するが，時刻t_j・t_k間では接合しない。差分データ方式にしておけば，図－3のような場合は，差分は計測されず変化無しとして扱うので，接合は常に取れることになる。したがって，図葉や時間を越えて分析をするような場合は，差分データ方式の方がよい。

差分データ方式で，時空間データセットを整備するときは，図－4のように，地物単位に発生・消滅の時間属性を付与する手法を採るとデータの作成・管理が容易になる。この方式は，畑山ほか（1999）及び大沢・長島（2001）らの時空間情報システムで採用されており，地物の生存期間を，発生開始：SS，発生確定：SE，消滅開始：ES，消滅確定：EEの4つの要素により時間管理



A：時刻 t_i の地物　B：時刻 t_j の地物
a：時刻 t_k の地物　b：時刻 t_l の地物
ただし，$t_i < t_j < t_k < t_l$

図－３　二つの時刻の図葉間を跨ぐ地物
（Aとa，Bとbは，同じ地物でも測量・計測誤差などの影響で一致しない．したがって，単純なタイムスライスとして管理したデータは，地物に変化がなくても接合しないことがある。）



図－４　旧版地図の地物の時間管理

している。例えば，建築中の建物は，建築中にSS-SE，解体中にES-EEを使って表わすことができる。また，地物の発生・消滅に時間的曖昧さのあるものもこれによって表わすことができる。これを旧版地図からの地物の数値化に当てはめると，2時期の更新の間に実際の地物の変化が起きているので，次のようになる。ある図葉内のある地物について，1～N回目の更新（改測又は編集，修正）が行われたとする。着目している地物が，n回目の更新で初めて地図に存在し，m回目の更新で地図から存在しなくなったとする。k回目の更新のときの測量年を f(k)とすると，発生消滅の属性は，それぞれ，SS=f(n-1)，SE=f(n)，ES=f(m-1)，EE=f(m)となる。例えば，図－１のBのアークは，f(i)＝t_iとすると，SS= t_i，SE= t_{i+1}，ES= t_{i+2}，EE= t_{i+3}となる。なお，地物の形状が変化した場合も，元の地物は消滅し，新たに形状が変化した地物が発生したものとして扱う。

データ作成は，作業量は多くなるが個別に図面を計測するタイムスライス方式の方が独立して作業できるため容易である。したがって，２.３(1)のように，ある時期と別の時期で，集計された統計量の比較を行うような場合には，タイムスライス方式を採用した方がよい。一方，地物の変化を分析したり，任意の時間でネットワーク構造を復元するような場合は，データ作成は大変でも差分データ方式を採用した方がよいと考えられる。

３.３　旧版地図を利用した差分データ作成

ここでは，差分データの作成方法について考察する。差分データの作成には，次の二つの方法がある。

（１－１）差分を直接計測する方法

発生・消滅が明瞭な人工の地物の場合には，重ね合わせた二時期の地図から，目視により差分箇所を抽出し，地物発生時には新たに計測し，消滅時には消滅の属性を付与する方法が効率的であると考えられる。

（１－２）タイムスライスデータを一旦作成してから差分を抽出する方法

海岸線のような自然地物の場合，地図更新前後の変化が埋め立てなどの人工改変のときは，発生・消滅が明瞭となり，(1-1) が適用できるが，海岸浸食のような自然の変化のときは，測量の誤差かどうか区別が付きにくく，(1-1) のように差分を直接計測するのは不向きである。このような場合は，タイムスライスデータとして一旦整備し，適当な基準を当てはめて差分を抽出する方法が効率的であると考えられる。

旧版地図を使って差分データを作成する場合，次の点に特に留意する必要がある。

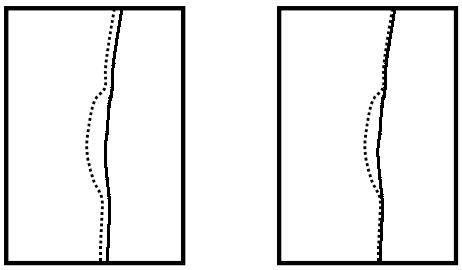
（２－１）総描・転位

中・小縮尺図の場合，地図は記号で表される。このため，3.1(3)の道路の例で述べたように，地図以外の補足資料がない限り，最終的には人間の目視で判断するしか方法はない。また，作成者による取捨選択の揺らぎは，データの信頼性を低下させるが，これについては基本的に避ける方法がない。

（２－２）地図の精度

(1-2) を適用する場合，現在の地図であれば，変化抽出手法として，地図の許容誤差（標準偏差図上0.7mm）を考慮して，特定の値以上の差が検出できれば，変化があるとみなし，それ未満であれば，変化なしとみなす方法が考えられるが，古い地図では誤差が不明であるため，現在の地図のような明確な閾値（しきいち）を使うことはできない。また，図－５のように，時間とともに漸次変化する地物の差分の定義などには，難しい問題を含んでいる。図－５(a) のように，測量精度に従属する範囲内で二時期の海岸線で変化があっても，本当に (a) のような変化があるのか，実は (b) のように補正して差分を求めるべきか判断が困難である。

このため，データの利用にあたっては，データソースの情報とともにデータの作成手法及び品質について情報を付けることが重要である。また，すべての地物について、測量精度の関係上，可能であれば，写真測量によって作



図－５　海岸線の差分データの抽出
（(a) は２時期の地図から計測した新旧の海岸線。(b) は，２時期の海岸線を揃えるように平行移動。）

成された1960年以降の２万５千分１又はそれから編集された地図を，差分抽出の基準とすべきである。

以上を踏まえて，地物ごとの差分抽出方法を整理すると以下のとおりである。

（３－１）交通網

道路・鉄道のような人工の地物の場合，地物の発生・消滅は，明瞭である。また，一旦整備されたものが廃止されることは少ない。このため，道路では，現在の道路網を基準として，連続する二時期の地図を目視により参照し，道路の発生時期を調べることによって差分データを作成することができる（詳細は，４.を参照）。記号道路が意味する幅員は，同じ記号であっても時代によって変わることがある。これについては，おおむね同じ幅員の道路記号にマッピングして，変化を求めざるを得ない。鉄道は，近年は廃止されたものもの多いため，国鉄がJRになる直前のものを基準にしたほうが効率的であろう。

（３－２）水涯線

水涯線の場合，上記 (2-2) で述べた理由から，改測・編集時には，差分を求めることは難しい。また，単なる差分を求めることは可能であるが，自然による変化は漸次変わるものであることから，改測・編集時に図葉を越えた接合を確保することは極めて難しい。また，内陸の水涯線は，調査時の水位に依存する。これらのことから，人工改変のような変化が明瞭な場合以外，水涯線の差分を求めることは困難であり，その取り扱いについては，今後の研究課題である。参考までに，図－６を示す。

（３－３）土地利用

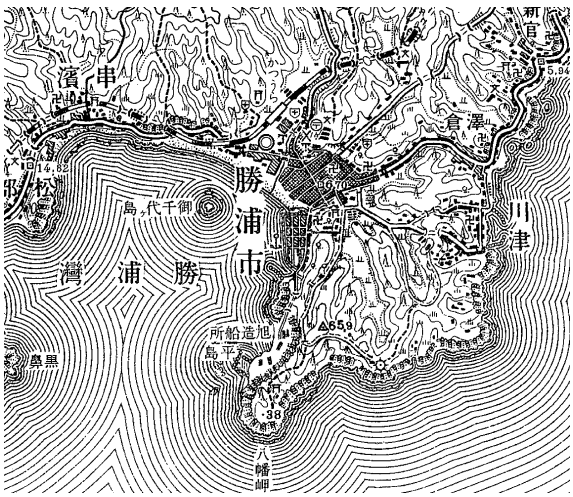
土地利用は，明瞭な境界線をもつ植生は比較的地物が小さく位置誤差の影響を受けやすいこと，明瞭な境界線をもたない植生も多いこと，近年の植生は厳密に更新されていない，都市部の表現は主観によるところが大きいことなどから，集計量の差を求めることはできても，地物単位の差分によるデータ取得にはなじみにくいと考えられる。

（３－４）資料調査によるもの

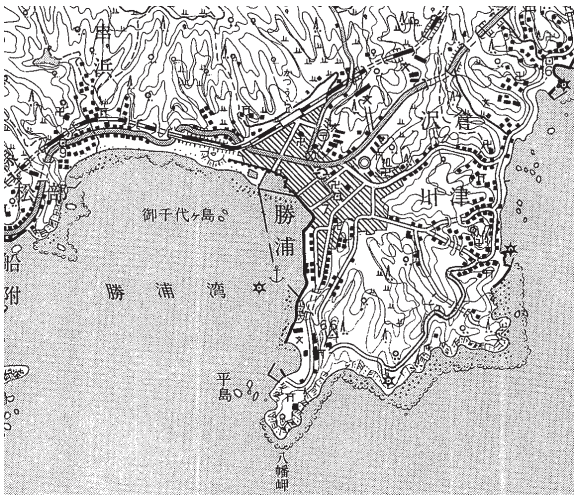
行政界などは，人為的な境界であるため，旧版地図同士の差分を取ることは無意味であることに気を付ける必要がある。行政界については，官報，市町村の資料などの補助資料を利用して，変化部分の当たりを付けて計測することが望ましい。

（３－５）地形

改測・編集を跨ぐ場合は，等高線の形状はかなり変わるので，そのまま扱うのは無理である。水越・村上 (1997) のようにDEMにしてから差分を求めることは可能であるが，古い地図ほど誤差も大きいと考えられるため，かなり大きな地形の変化のみ意味のある変化として抽出することができる。



(a)　1952年（昭和27年）応急修正



(b)　1963年（昭和38年）測量

図－６　５万分１の地形図「勝浦」の一部
（海岸線の形状がかなり異なる）

4．道路ネットワークを対象にした時空間データセットの試作

4.1 道路の差分データの作成の考え方

道路データについて，３.３ (3-1) を適用し，旧版地図を用いて，具体的な時間属性付与の実装方法を含め，道路ネットワークデータを試作した。廃止される道路は少ないという特性を考慮し，20万分1の地図を利用して，

① 最新の道路ネットワークのデータを作成

② そのデータを変化の基準データとして，新しい旧版地図から時間的に遡って順次比較し，道路が存在しなくなった時点で，その道路データ（アーク）に消滅年次の属性を付与という簡便法を用いてデータを作成した。ただし，

③ 現在は存在しないが，過去には存在した道路（以下，廃止道路という）もいくらかは存在しているため，道路ネットワーク構造を大きく変えるような廃止道路のデータは新たに計測して取得することとした。このような方法を採用することによって，差分情報の抽出は，現在の道路データのアーク単位に消滅の時間属性を付与するということが作業の大部分となり，旧版地形図上で位置を計測するという手間のかかる作業を最小限に留めることが可能となる。

なお，多くの道路は，実際には長期間に改修などで，形状・位置が同じものは少ないが，20万1の地図（仮に図上精度0.7mmとして，標準偏差140m）という縮尺の地図を使うことによって，道路ネットワークには影響しない，小さな位置・形状の変化のゆらぎを無視できる。一方で，小縮尺図は作成者による取捨選択のゆらぎの影響を受ける可能性は高くなる。

4.2 道路ネットワークデータの概要

（1）データソース

最新の道路ネットワークは，20万分の1の地勢図から道路種別など属性を付与して数値化し，補助的な資料から2001年で更新したデータを利用した（山本・市木，2001）。

時間的な属性付与には，国土地理院の20万分1の地勢図及び陸地測量部作成の20万分1の帝国図（それより古いものもあるが，伊能図からの編集図であるため利用しない）を用いる。また，道路ネットワークが対象なので，鉄道だけが修正された図面は対象外としている。

対象とする道路は，自動車が通行可能な道路に限定している。これは，道路記号では2条線で表現されているものにあたる。このため，1条線の道路が存在しても，道路は存在しないこととして扱う。また，時間を遡って，地図記号で2条線の道路が，1条線の道路になったときには，道路は消滅したこととして扱っている。なお，2条線の道路記号の対象は，1987年に道路幅員が2.5m以上から3.0m以上に変更となっているが，ここでは同じ2条線の道路として扱い区別をしていない。

（2）空間的範囲

作業量の関係から今回は，名古屋より東の本州（島嶼部を除く）に限定している。対象とした42図葉の20万分1の図葉名を表－２に示す。

表－２　データを作成した図葉名と旧版図面数

20万分1地勢図名	旧版地勢図面数	20万分1地勢図名	旧版地勢図面数
尻屋崎	8	日　光	10
函　館	9	高　田	9
野辺地	8	富　山	12
青　森	11	七　尾	11
八　戸	11	水　戸	11
弘　前	9	宇都宮	13
深　浦	7	長　野	11
盛　岡	9	高　山	12
秋　田	9	金　沢	13
男　鹿	7	千　葉	14
一　関	8	東　京	13
新　庄	8	甲　府	11
酒　田	9	飯　田	11
石　巻	10	岐　阜	11
仙　台	11	大多喜	12
村　上	9	横須賀	12
福　島	10	静　岡	10
新　潟	10	豊　橋	10
長　岡	9	名古屋	14
輪　島	10	御前崎	9
白　河	11	伊良湖岬	8
		計	430

（3）時間的範囲

図葉によって異なるが，数値化の対象地域の図葉内で最も古いものは，1905年（明治38年）である。また，対象図葉内の最も古いもので，一番新しい（つまり，全図葉のデータが揃う）のは，1925年（大正14年）である。図の更新は，多少のバラツキはあるが，第2次世界大戦の前後の時期を除き概ね，10年程度で1回は更新されている（図葉ごとの更新回数は表－２のとおり）。変化抽出には，全部で430面を使用した。なお，前述のとおり，地図の最終修正が1990年代であっても，2001年にあわせてデータを更新したものを使用している。

（4）属性

属性には，表－３のような国道，高速道路などの道路種別，4車線，2車線などの幅員，国道番号，道路名称，道路の発生・消滅の時間がある（発生・消滅の考え方は，４.３参照）。

なお，発生・消滅などの時間属性を除き，属性は，最新のデータでの属性である。廃止道路の場合は，時間属性以外の属性は原則として取得していないため不定となる。

表－3　属性内容一覧

属性種別	属性
道路種別	一般道，国道，有料道路，高速道路，有料国道，廃止道路
幅　　員	４車線以上，２車線，１車線
国道番号	国道番号
道路名称	有料道路などの名称
発生開始	測量年(SS)
発生確定	測量年(SE)
消滅開始	測量年(ES)：廃止道路のみに付与
消滅確定	測量年(EE)：廃止道路のみに付与

4.3 時間属性の付与の考え方

3.2で説明したように，道路アークごとに，発生開始：SS，発生確定：SE，消滅開始：ES，消滅確定：EEの時間属性を付与した。実際の作成作業では，最新のデータの道路データから消滅の有無を確認していくため，時間的には遡りながら旧版地図と比較して時間属性の付与を行う。また，旧版地図上で新たに見つかった廃止道路を除き，ES，EEは存在しない（つまり，ほとんどの道路は，消滅属性をもたない）。なお，当初から存在している道路は，SE=f(1)となり，SSは不定となるが，データでは仮の値としてSS=1800とした。

4.4 データの形式

データの形式は，便宜的にESRI社製GISソフトウェアで使用されているものと同一の形式（shapeファイル形式）を使用したが，地物単位に時間属性を付与していることから位相構造算出型の時空間情報システムに対応したフォーマットへの変換が容易になっている。このため，一般のGISでは，時間属性を固定してデータセットを抽出し，GISの機能を使ってトポロジーを生成することによりタイムスライスのデータとして利用することができる。位相構造算出型をサポートする時空間情報システムでは，データを専用のフォーマットに変換して取り込むことによりダイナミックに任意の時点のデータセットを生成し，分析に利用することができる。

5．道路ネットワークを対象にした時空間データの応用例

図－7に20万分1の「静岡」の道路網の変化を示す。これらの時空間データを利用すると，図葉単位の時間精度は地図の修正周期に依存はするが，年単位の任意の時刻を指定して複数の図葉から成る道路ネットワークを復元することができる。1925年，1950年，1975年及び2000年の道路ネットワークを復元して分析した例を示す。

（1）道路延長に関する集計

道路の整備状況の変化を図－8に，道路総延長の変化を図－9に示す。ほぼ25年ごと3000kmずつ増加していることがわかる。ただし，20万分1に記載された道路であるため，必要に応じて道路が取捨選択されており，実際の道路延長はもっと長い。このデータを使ってより精緻な延長を求めるには，例えば，同時期の2万5千分1などの道路データと比較し，補正係数を求めることなどが考えられる。

なお，新たに計測した廃止道路は，2001年の道路ネットワークの総延長の8.2%に当たり，開発などで廃止された道路もかなり存在している。

（2）時間距離の変化

道路ネットワークの最短時間解析をすることにより，図－10，11のような時間距離地図を作成することができる。これらの図は，日本橋付近及び新潟市中心部までの時間距離を，一般道・40km/h，有料道路・60 km/h，高速道路80 km/hで一律に計算して求めたものである。したがって，都市部の道路の渋滞・混雑などの情報，山岳部での走行スピードの低下，一般道の車線幅の違いなどは考慮されていない。より精緻な分析をするためには，外部条件の設定や標高などの諸情報を追加する必要がある。

6．考　　察

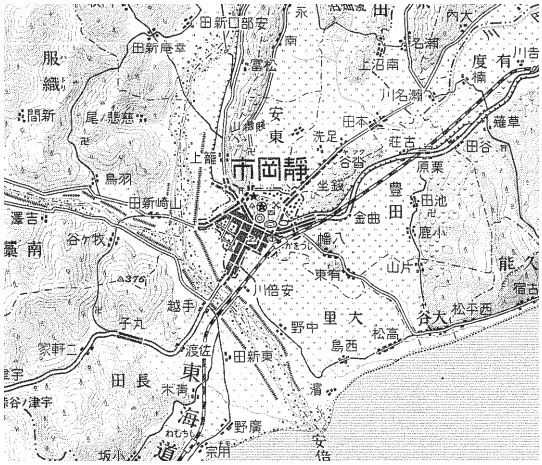
応用例で示したとおり，20万分1の旧版地図を用いた道路ネットワークの時空間データは，日本国土の長期的な変化を分析するには有効なことが分かる。しかし，このデータ作成・利用には，次のような種々の問題もある。

・道路ネットワーク構造を大きく変えるような廃止道路のデータは新たに計測して取得することとしたが，厳密な基準を作ることが困難であったため，人の目で見た定性的な判断となっており，必ずしも一貫性がない。

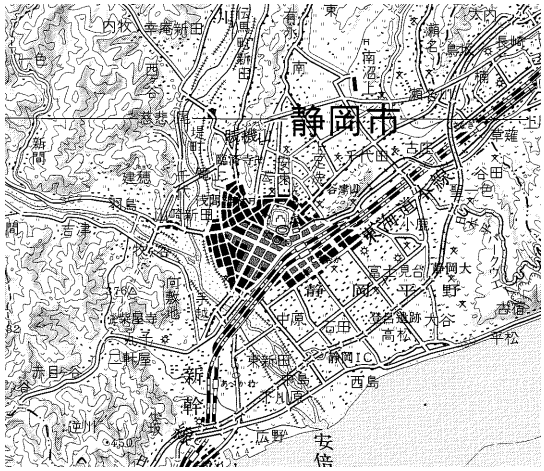
・また，廃止道路の計測は，旧版地図に存在する厳密な位置より道路ネットワークの連続性を優先して数値化することとしたが，実際のはめ込み方は作業者の判断にゆだねており，明確な基準を作成していない。

・基本的に，現在の道路ネットワークを基準として，道路アーク単位に時間を遡って，存在・廃止の属性を付与したため，古い年代のデータでは誤りが累積し，ネットワークが切れているところがある。

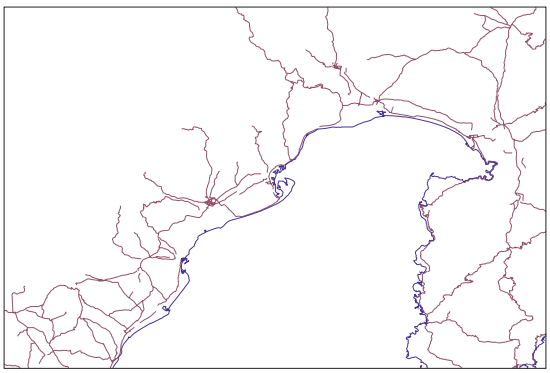
・取捨選択の基準が地図の作成者によって変わるため，特に新たに地図を編集する前後では，実際の道路の廃止・存在を反映しない「変化」が抽出されることがある。このため，廃止・存在の判断が正しくできないことがある。また，時間を遡ると一旦地図上に記載されなくなった同じ道路と思われる道路が再び記載されることもある。



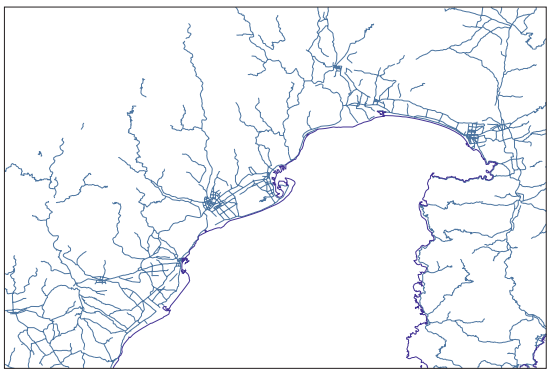
（a-1）1918年（大正７年）修正20万分１帝国図の一部



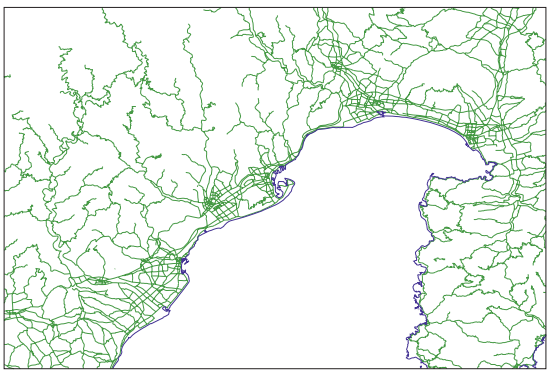
（a-2）1997年（平成９年）要部修正20万分１地勢図の一部



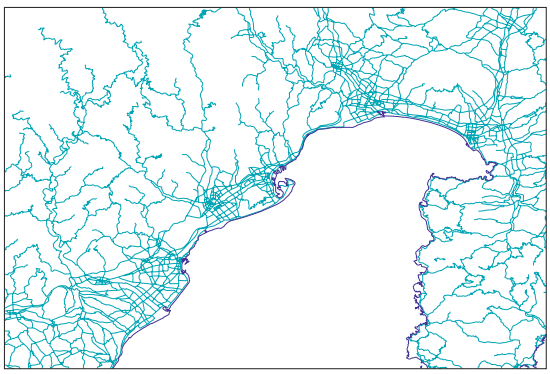
（b-1）1918年



（b-2）1953年

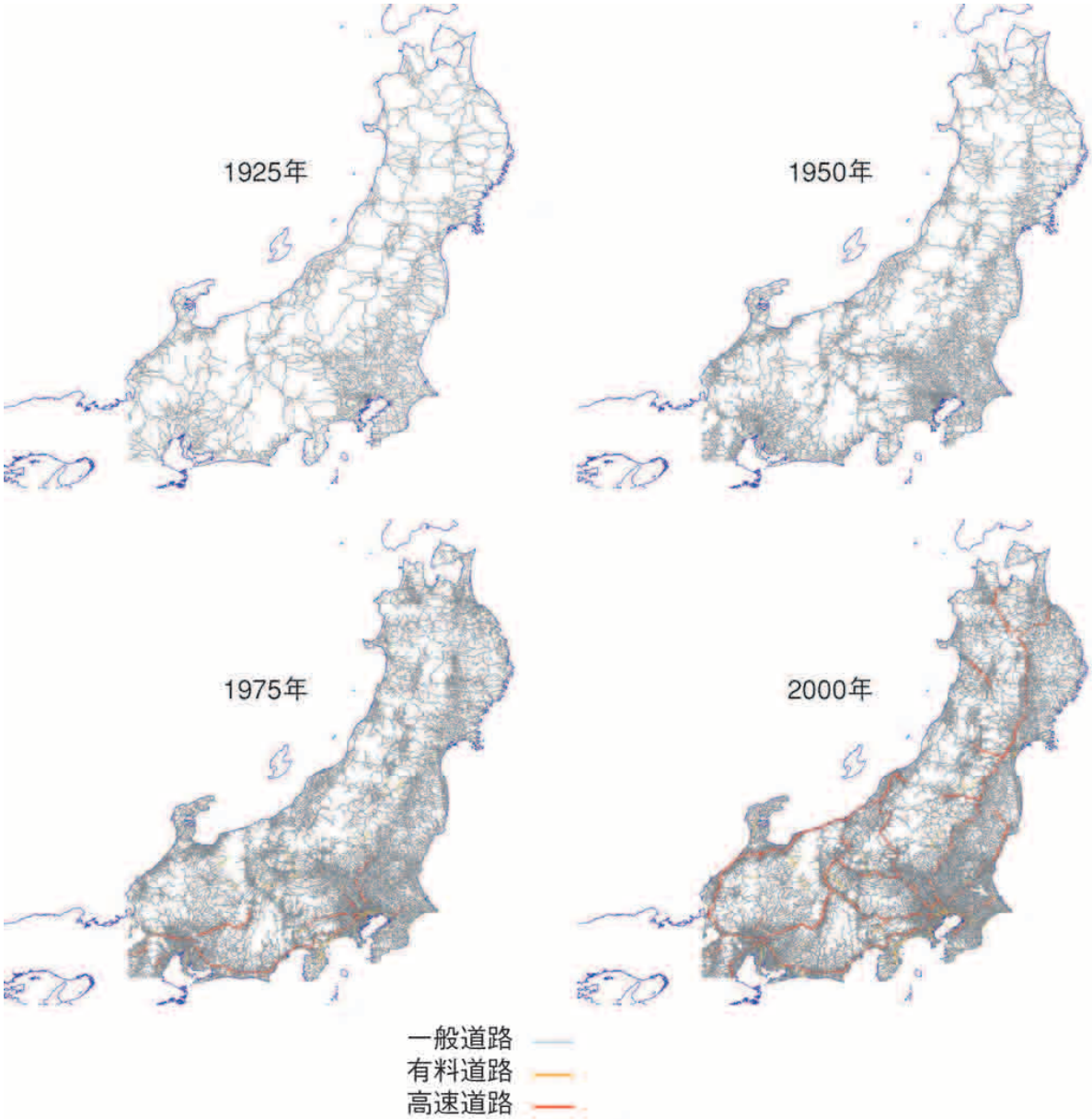


（b-3）1980年

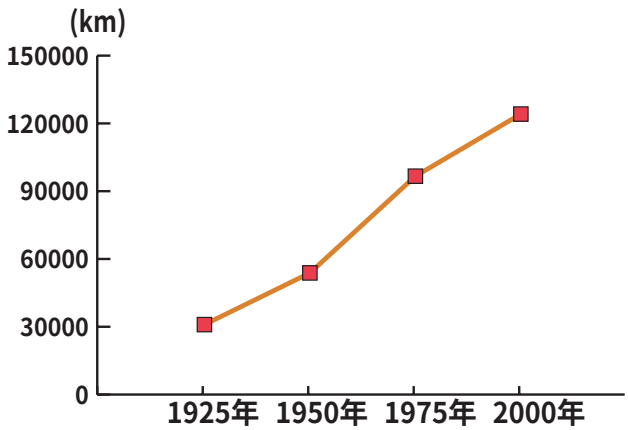


（b-4）1997年

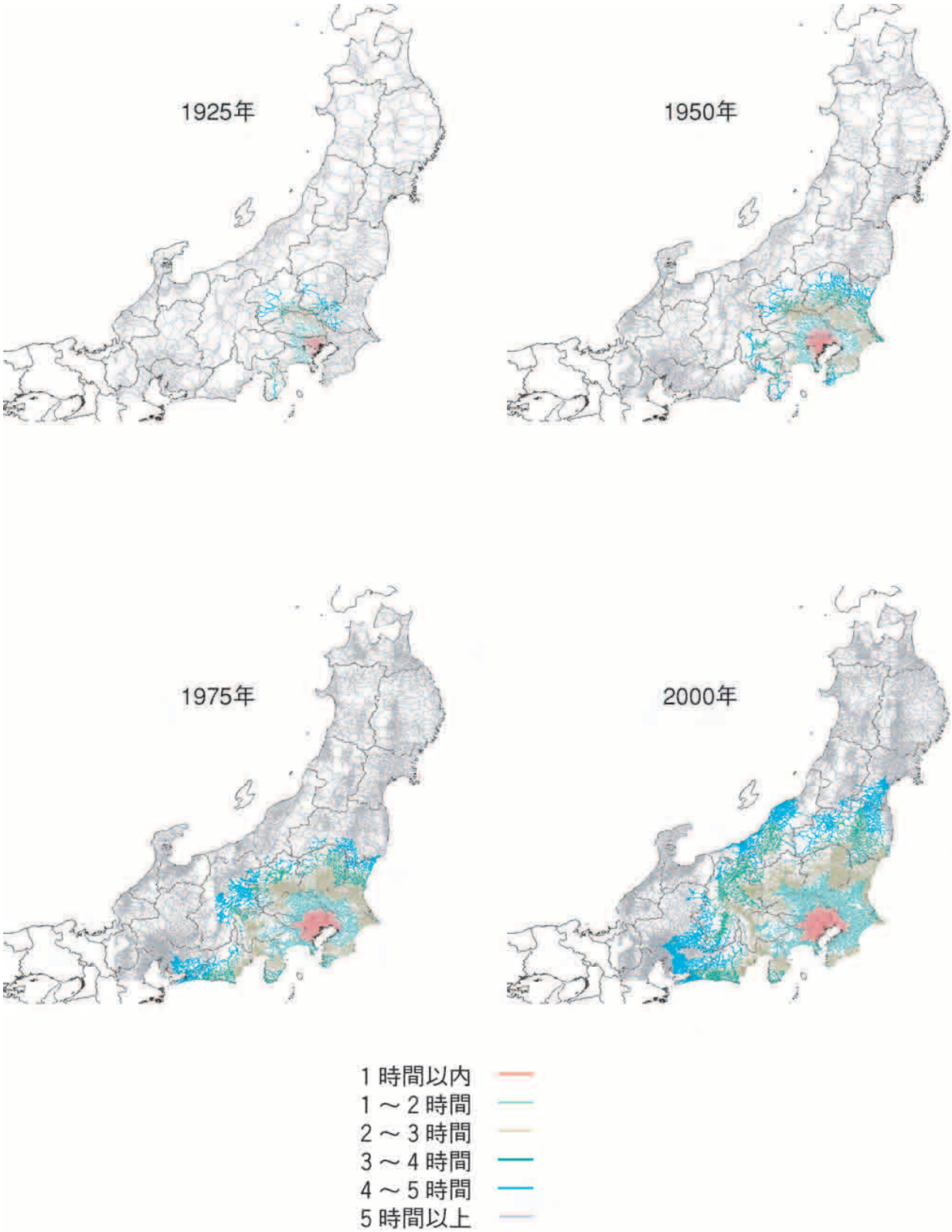
図－７　20万分の１「静岡」の道路網の変化



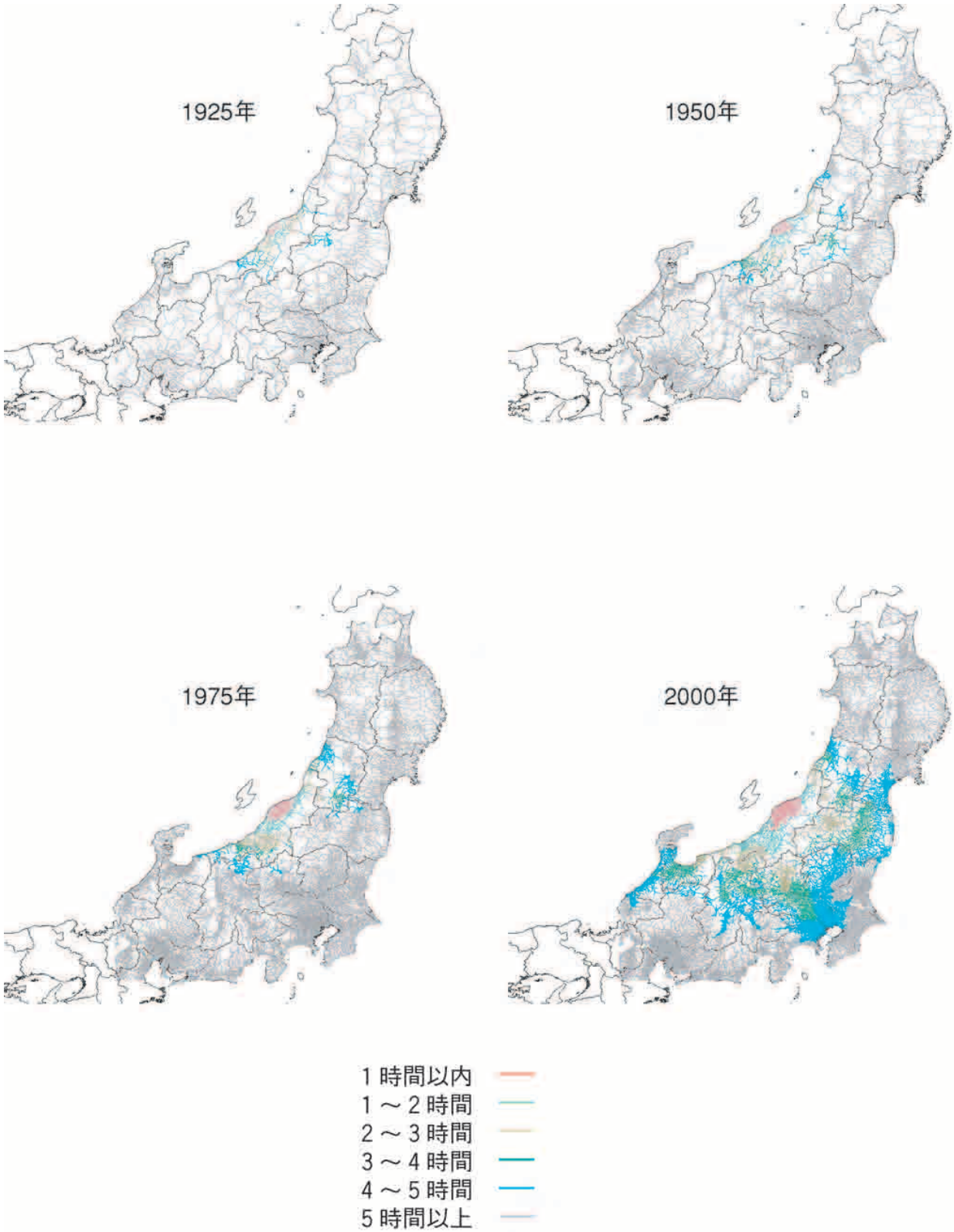
図－８　道路網の整備



図－９　道路総延長距離の変化

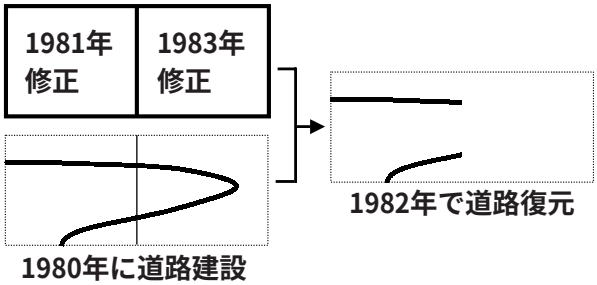


図－10　東京都心からの所要時間の変化



図－11　新潟からの所要時間の変化

・図葉単位のデータであるため図－12のように，修正時期が異なる図葉では，復元する時間のタイミングによって道路ネットワークに不整合が生じることがある（ただし，これは時空間データだけではなく，一般に複数図葉の地図からデータを作成する場合には避けられない問題である）。



図－12　修正時期の違いによる図葉間の接合
（1980年に建設された道路は，実際には図葉ごとに修正されたときの発生時間属性を持つため，復元するタイミングによっては，道路ネットワークは接続しないことがある）

これらのデータの品質を向上させるためには，次のような対応が考えられる。

・道路ネットワークが変化したとする，より明確な作業方法の指定，判断基準の作成及び廃止道路の取得基準の作成（特にディスプレイ上にネットワークを表示して確認しながら道路を削除・追加していけば，ネットワークが不用意に切れることは少なくなると考えられる）。

・補助的な情報の利用（高速道路の開通，国道の供用開始，指定区間替え等の情報）による一部重要な道路についての時間精度の向上。

・道路幅員・種別の属性は，2001年の時点のものとし，属性の変化は扱っていない（したがって，高速道路のない1950年当時で復元しても高速道路の属性のものもある）。しかし，地図からは幅員・種別の変化情報はある程度取得することは可能であり，これらを利用する。

7．おわりに

旧版地図を使った時空間データ作成の留意点をまとめるとともに，実際に約100年間の20万分１の旧版地図を使って，道路ネットワークの時空間データセットを試作した。測量年の区間でしか時間精度をもたないこと，図葉ごとに修正年次が異なるため，図葉間不整合は避けられず，ネットワークの復元を完全に行うことはできないことなどから，完全な時空間データとはいえないが，大局的な分析には十分用いることができることを示した。古い地図の測量精度，図式の変化，取捨選択基準の曖昧さ・個人差などから，精緻に変化を求めることは困難であり，旧版地図を使ったデータ作成・分析ではある程度の割り切りは避けされないことを認識しておくことも大事である。

今回は，最も簡単な地物である道路ネットワークを対象としたが，今後，道路以外の他の地物についても，差分情報の取得手法などの研究が必要である。このためには，旧版地図の品質・精度についての検証も不可欠である。

国土地理院では，地形図の修正は，定期的な図葉単位の修正ではなく，地物を単位とした常時修正が導入されることとなっている。これにともないデータは，現在を起点とした時空間データとして整備・蓄積されることになる。一方，旧版地形図をうまく活用すれば，現在から過去の時空間データを作成することができる。さらに，例えば，インフラの整備計画などのデータを作成すれば，未来も含めた時空間分析が可能となる。

なお，旧版地図は，国土地理院から謄抄本交付として，複製を入手することができる。図歴（過去の測量・修正年次など）についても，国土地理院のホームページから調べることができる。旧版地図は，国土の変貌を正確に記録した貴重な資産であり，その有効な活用が望まれる。

参考文献

大沢　裕・長島　敦（2001）：トポロジー暗示型時空間情報システム：STIMS，第12回機能図形情報シンポジウム講演論文集，27-36.

大野裕幸・水田良幸・中南清晃・石井　武（2002）：新地形図情報システム（NTIS）について，国土地理院時報，No.98，71-86.

小池司朗・荒井良雄（2001）：明治地形図からのメッシュ人口データ推定，GIS-理論と応用，Vol.9，No.1，1-8.

国土地理院（1970）：測量・地図百年史，測量・地図百年史編集委員会.

国土地理院（2001）：地図部のあゆみ，国土地理院技術資料E1-No.264.

関口辰夫・石井　武・関口民雄（2001）：全国の湿地面積の変遷，国土地理院技術資料D5-No.18（地理調査部技術ノート第18号），86-94.（http://www1.gsi.go.jp/ch2www/marsh/index.htmlに同様の報告あり）

田中茂信・小荒井衛・深沢　満（1993）：地形図の比較による全国の海岸線変化，海岸工学論文集，第40巻（1），

416-420.
日本地図センター（1994）：地図記号のうつりかわり　ー地形図図式・記号の変遷ー，日本地図センター.
畑山満則・松野文俊・角本　繁・亀田弘行（1999）：時空間情報システムDiMSISの開発，GIS-理論と応用，Vol.7，No.2，25-33.
星野秀和・明野和彦・石山信郎・小清水寛（2001）：空間情報と時系列情報の統合化に関する研究開発，国土地理院技術資料E3-No.8（地図部技術報告第8号），26-29.
水越博子・村上広史（1997）：「磐梯山之図」を用いた小磐梯崩壊前後高度差分量の推定，地形，第18巻，第1号，21-36.
山川　修（1998）：北海道の湿地編成調査報告書，国土地理院技術資料D5-No.15（地理調査部技術ノート第15号），59-67.
山本洋一・市木文康（2001）：20万レベルベクトルデータ（道路・鉄道・水系）の整備について，国土地理院技術資料E3-No.8（地図部技術報告第8号），30-31.