

2万5千分1地形図ベクトルデータ作成のためのラスタベクタ変換 Raster-Vector Conversion for Vector Data of 1:25,000 Topographic Map

測図部 中南清晃・大野裕幸
Topographic Department
Kiyooki NAKAMINAMI and Hiroyuki OHNO

要 旨

測図部では、平成14年度より2万5千分1地形図データをベクトル形式での管理方式に変更することとなった。そのベクトル形式の初期データを作成する手段についての検討と変換用ソフトウェアの作成を行い、大分県全域と都市部である名古屋地区において試験的にベクトル形式の初期データの作成を実施した。その結果、コスト的にも耐えうる効率的なデータ変換手法を確立することができたので、現在、その手法を用いて全国の地形図からベクトルデータを取得する作業が行われている。

1. はじめに

現在、2万5千分1地形図（以下「地形図」という。）データはラスタ形式で管理を行っているが、平成14年度よりすべてをベクトル形式のデータに変更し、かつデータベース化して管理する方式に転換することとなった。

地形図データのベクトル化については、以前から多くの研究が行われ、個別の変換技術については研究レベルでの変換に成功している事例もあった（国土地理院，1994）。平成11年度に事業化を念頭においてそれらの事例を参考にラスタベクタ変換と手作業による補完を併用して地形図のデータをベクトル化する研究作業（国土地理院，1999a）を行ったほか、地形図2面分のすべての情報を手作業で取得し、ベクトルデータ化に関する検討作業（国土地理院，1999b）も行っている。ところが、それらの検討の中で、完全な手作業によるベクトル化については、点検等も含めて100人日以上を必要とし、手作業による地形図ベクトルデータの取得は事業ベースでは不可能であることが示されるとともに、ラスタベクタ変換と併用のケースでも総描建物や独立建物記号の道路縁からの分離が困難なことや、植生界記号を含む植生記号の自動取得が困難等の理由から、ラスタベクタ変換を行ったとしてもかえって補完に手間がかかることが判明し、ベクトルデータの取得に要する時間は完全な手作業での取得と比較してさほど変わらないという結果が示された。

一方、ベクトル形式の地理情報に対する高度な要求も存在した。GISで使用されるベクトル形式の地理情報は、

現実世界をモデル化し、そのモデルに基づいたデータが整備され、かつ、ネットワークなどのトポロジー構造を持たなければならないとされていた。これは、たとえ地形図から効率的にベクトルの形状データを取得したとしても、属性付与やトポロジー情報の付与に関するコストが増大することを意味していた。

そこで、本作業では、手作業による補完量を可能な限り減らすためのラスタベクタ変換のアルゴリズムを工夫するとともに、ラスタデータの状態で、形状、サイズ及びパラメータ等に注目して、できるだけ詳細にデータを分離し、属性値も含めた自動ラスタベクタ変換によって、属性が付与された状態の地形図ベクトルデータを取得する方法を考案し、（株）インテージ（旧社名：社会調査研究所）のWit/Map Proの基本機能及び本作業用に一部改良した機能を適宜組み合わせることで一連のラスタベクタ変換を行うバッチファイルを作成した。

以下、本作業で採用したラスタベクタ変換の方針及び概要について述べる。

2. ラスタベクタ変換の方針

ラスタベクタ変換によって地形図のラスタデータからベクトル形式のデータを取得する対象は、墨、藍、褐、藍マスク、墨マスクの5版に描画されている地図記号とし、既に取得が完了している注記版、属性化するため変換を必要としない褐マスク版は対象から除外した。なお、対象とするいずれの版も2値のビットマップデータである。

ラスタベクタ変換のアルゴリズムの検討にあたって、ラスタベクタ変換に関する基本的な方針を最初に決定し、その方針に基づいて作業を行った。基本的な方針は以下の4点である。

1) 100%の自動変換は求めない

ラスタベクタ変換は、概ね90%までは特別な工夫をしなくても可能なものが多い。ところが、特に95%を超えると1%変換率を上げるために必要なアルゴリズムの工夫や、プログラムの実装のための工数が級数的に増加してくるため、100%の自動変換を目指すことは現実的でない。そこで、変換残の処理に必要な手作業による補完時間を考慮し、アルゴリズム構築の工数と手作業による

補完の工数のバランスが取れるところでアルゴリズムを確定することとした。

2) 出現数が少ない地図記号は無視する

地形図には、やし科樹林、はい松地等の植生記号や採石地記号など、少数しか存在しない地図記号が含まれる。また、これらの地図記号の多くは複雑な形状をしており、ラスタベクタ変換での取得は非常に困難である。そこで、出現数が少ない地図記号は当初から手作業によって取得することとし、ラスタベクタ変換の自動取得の対象から除外した。

一方、地形図1面あたりの出現数が平均でも3万に達する植生界記号や、6,000~1万の建物(小)記号などは高い変換率が得られるよう、アルゴリズムを工夫する工数を集中することとした。表-1は、「八日市」(20万分1地勢図名:名古屋)に出現する地図記号のいくつかを示したものである。

表-1 「八日市」に出現する主な地図記号

地図記号	出現数	取得方法
植生界	27343	自動
独立建物(小)	17216	自動
水田	14826	自動
道路	8244	自動
送電線	93	手動
茶畑	2	手動
ダム	1	手動

注：独立建物(小)は総描建物(小)を含む。
送電線は両側の点を含まない。

3) 可能な限りラスタ上で処理を行う

一つの版には複数の地図記号が描かれている。特に墨版には数十種類の地図記号が描かれているため、特定の種別毎にベクトルデータ化するには、着目した種別のみを抽出する必要がある。その一手法として、ラスタデータをベクトルデータに変換した後、ベクトルの長さや形状に着目して抽出する方法が考えられるが、ベクトルデータへの変換直後のデータが断線していたり、ラスタデータ上の線の端部がやや大きく膨らんでいたりすると、生成されるベクトルデータの形状が乱れ、認識率の低下を招く要因となる。地形図のラスタデータは、面によって画線の太さが異なったり線の端がギザついていたりベクトルの形状が乱れやすいため、ベクトル化後の分版処理は可能な限り行わず、ベクトル変換前のラスタデータ上で、地図記号毎に分版処理を行った後に、各版ごとにベクトル化を行うことで認識率を高めることとした。

4) 構造化を行わない

大野ほか(2002)で述べられているように、地形図ベクトルデータは、トポロジーを持たないデータ構造を採用している。この方針は、本作業着手時に決定していた

ことから、面データの場合は、その輪郭線抽出にとどめ、通常その後に行っていた構造化作業を全面的に排除した。

3. ラスタデータ操作の基本的機能

上記に述べたように、可能な限りラスタデータ上での分版処理を行った後でベクトル化を行っているが、ここでは分版処理を含めたラスタベクタ変換の際に用いた基本的なラスタデータ操作機能について述べる。

3. 1 ラスタ膨張機能

ラスタ膨張機能は、図-1のように、既存のラスタデータの周辺最大8方向に新たなデータを付加し、ラスタ塊を大きくする機能である。パラメータにより、膨張方向を指定することができ、膨張方向と膨張回数を制御することで、任意方向、形状に膨張させることができる。この機能は、画線削除、広葉樹林記号と果樹園記号の分離等で使用した。

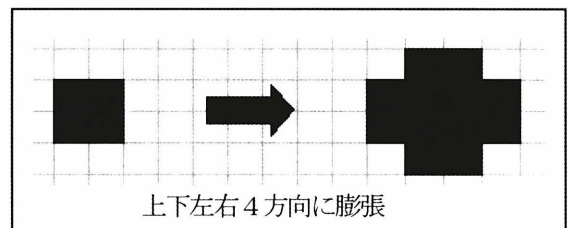


図-1 ラスタ膨張機能

3. 2 ラスタ収縮機能

ラスタ収縮機能は、ラスタ膨張機能の逆で、図-2に示すように、最大8方向にラスタ塊のサイズを減じる機能である。パラメータにより、収縮方向の指定が可能で、収縮方向と収縮回数を指定することで任意方向、形状に収縮させることができる。主に、特定の線号の画線を消去する際に使用した。

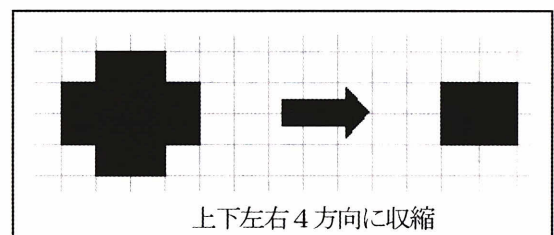


図-2 ラスタ収縮機能

3. 3 フィルタリング機能

フィルタリング機能は、ラスタ塊サイズの閾値を設定し、その閾値以下のラスタ塊を消去する機能である。一定のラスタ塊サイズを有する地図記号は、本機能を用いることにより、その記号を抜き出すことができる。フィルタリング機能は黒部だけでなく白部にも適用することができる。本機能を利用する場合は、対象データのラスタ塊サイズの分布状態を予め調査しておく必要がある。

黒部を対象とした植生界記号の抽出や、白部を対象とした建物（大）記号の抽出等に使用した。

なお、ベクトルデータを対象に、長さ等を条件値としてフィルタリングを行うこともできるが、本作業では基本的にベクトルデータのフィルタリング機能は使用しておらず、一部の短いベクトルデータを消去する際に使用したのみである。

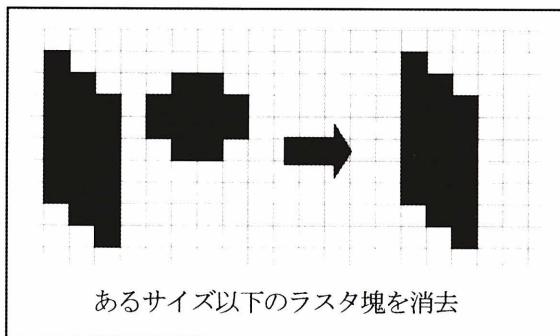


図-3 ラスタデータのフィルタリング機能

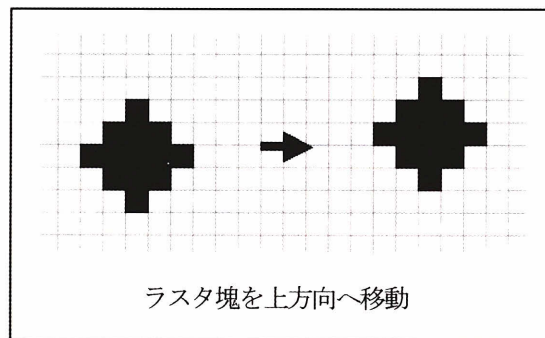


図-5 ラスタデータの移動機能

3. 4 ラスタ演算機能

ラスタ演算機能は、画像サイズが同じ二つの2値ラスタデータの間で、ピクセル間の論理演算を行った結果を出力する機能である。論理演算には、論理和（OR）、論理差（SUB）、論理積（AND）、排他的論理和（XOR）の4種類があり、本作業では、排他的論理和以外はすべて使用した。これらは、GISでポリゴンデータを用いたオーバーレイ分析の際に用いられるものと同じで、その演算方法は、図-4のとおりである。

①論理和	
■と■の場合■	■と□の場合■
□と■の場合■	□と□の場合□
②論理差	
■と■の場合□	■と□の場合■
□と■の場合□	□と□の場合□
③論理積	
■と■の場合■	■と□の場合□
□と■の場合□	□と□の場合□
④排他的論理和	
■と■の場合□	■と□の場合■
□と■の場合■	□と□の場合□

図-4 ラスタデータの論理演算

3. 5 ラスタ移動機能

ラスタ移動機能は、ラスタ塊を8方向の任意の方向に任意のピクセル数だけ移動させる機能である。図-5は上方向に1ピクセル分移動させた例である。この機能は、果樹園と広葉樹記号の分離に使用した。

3. 6 画線削除機能

ラスタ膨張機能とラスタ収縮機能を組み合わせることで、特定の太さの画線を消去することができる。図-6は、細線消去の過程を示したものである。収縮方向を指定せずに1回のラスタ収縮を行うと、周囲をとりまく1ピクセル幅のデータが消滅する。線幅方向では、両側から1ピクセルずつ消滅するため、一度に2ピクセル幅だけ狭くなる。したがって、1回のラスタ収縮によって2ピクセル幅の線が消滅する。それに対して、収縮させた回数だけラスタ膨張操作を行えば、残存している線を元の線幅に戻すことができる。

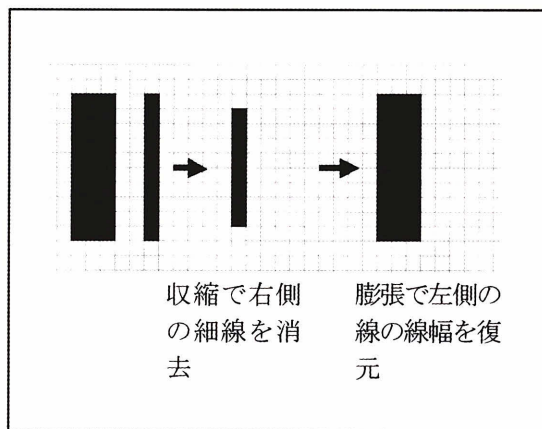


図-6 収縮膨張による線削除

3. 7 線号別のデータ抽出

ラスタ収縮、ラスタ膨張そしてラスタ演算機能を組み合わせることで、特定の線号のみのデータを抽出したラスタデータを作成することができる。ここでは、図式における1号線以下、2号線以上の2種類にデータを分類する方法を例として紹介する。特1号線がどちらに分類されるか不定となるが、墨版ではほとんど使用されていないこと、褐版ではベクトル化の過程で線幅を認識することができることから、特にラスタ処理の段階で特1号線のみを抽出する必要は少ないため、無視することと

した。

これまで使用してきたラスタ型地形図編集システムであるVRCのラスタデータは、1ピクセルが約25 μ mなので、1号線(0.1mm)の線幅は、理論上4ピクセルとなる。そこで、2回収縮を行うと、1号線以下の細い線が消滅する。ここで得られた1号線の無いデータを、論理演算によって元のデータとの論理差を取ることで、1号線以下のみが存在するラスタデータを作成することができる。

ただし、実際には、線のにじみやカスレ等のためにラスタデータの線の太さは一定ではない。2回収縮を行っても削除できない1号線も存在する。そこで、実際の作業では、理論値の収縮回数よりも1回多く収縮させた3回収縮処理を行ったラスタデータもあわせて利用した。

4. ラスタベクタ変換

ラスタデータ上でできる限り分版したデータに対して、ラスタベクタ変換処理を加える。ラスタベクタ変換には、主に、細線化もしくは芯線化という2種類の手法があるが、ここでは芯線化を採用している。以下に輪郭線抽出及び芯線化の考え方を紹介する。

4. 1 輪郭線抽出

0と1、白と黒などの二つの値しか存在しないラスタデータの輪郭線を抽出する場合、値が異なる箇所を探し、右側が特定の値となる向きに構成点を探索して順次線分を生成し、連続する線分を構成して出発点に戻ってきたところで処理を終え、一つの輪郭線を作成する。地形図ラスタデータの輪郭線抽出では、右側が黒部となる方向に輪郭線を生成している(図-7)。

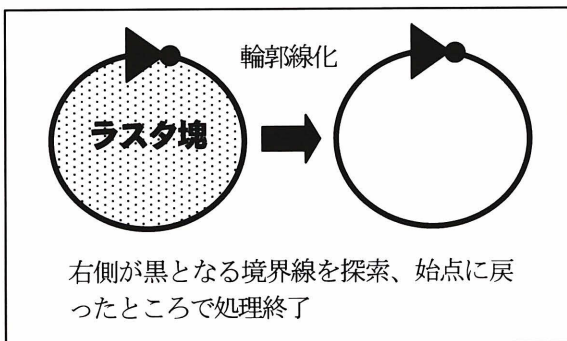


図-7 境界線抽出による輪郭線生成

生成された輪郭線データは、その生成方法の幾何学的性質から、断線することがなく、必ず始終点が一致する1本の線分列が得られる。また、穴あき部分は自動的に反対方向の輪郭線が得られる。

4. 2 芯線化

線状のラスタ塊から得られた輪郭線を芯線化する手法を図-8に示す。

輪郭線内で、一定の距離以内の幅で自らの線が対向している部分を探索し、対向する線同士の間中点を順次結んだ線分列を生成する。このとき、対向する線分を探索する距離を調べることで、その輪郭線が得られた元の線状ラスタ塊の線幅を決定することができる。ここで得られた線幅は、当該芯線ベクトルの幅属性とすることができる。

また、破線や鎖線についても、芯線の長さとお断部(分断部)の長さを指定することにより認識を行うことが可能である。

芯線化の手法は、一般的な線状地図記号のベクトル化に使用した。

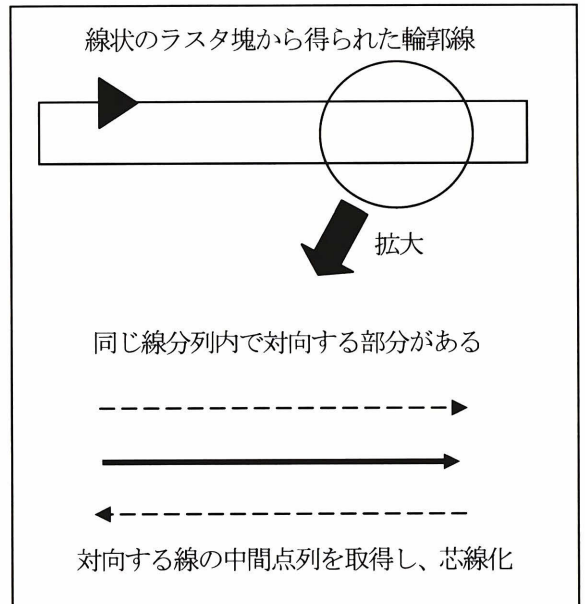


図-8 輪郭線から芯線化する手法

4. 3 平行線認識

平行線認識は、芯線化の手法を他の輪郭線に対して適用したもので、その考え方は図-9に示すとおりである。

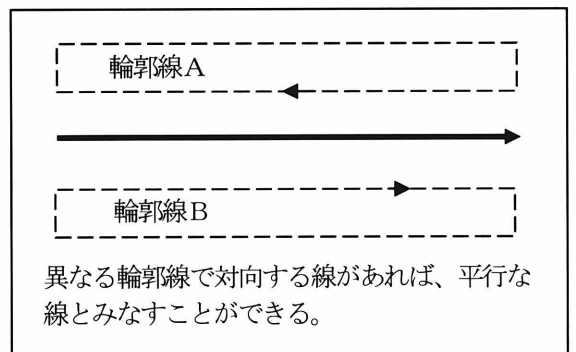


図-9 平行線認識の考え方

自らの輪郭線以外の輪郭線ベクトルが対向する部分を探索し、その中間点を結ぶ線分列を平行線の中心線ベクトルとして生成することができる。

この手法は、2条道路の中心線を抽出するのに使用した。

5. 正規化処理

ラスタベクタ変換の処理を行う前に、VRCのラスタデータの正規化処理を行った。地形図図郭は、UTM投影されているため、中央がややたわんだ台形に近い形をしている。また、VRCのラスタデータは図郭外に整飾のデータが含まれている。そこで、図郭4隅の座標を用いて整飾部分を除いた図郭内のラスタデータの正規化を行った。VRC画像（SRF及びBRL形式）のヘッダ部分にはラスタデータの左上隅を原点（0，0）とし、右（x）及び下（y）方向に正の座標系（VRC座標系）上での図郭4隅の座標がピクセル単位で記述されているので、図-10に示すように各x，y方向について図郭4隅の最大値から最小値を引いた値を計算し、正規化座標枠とした。この手法では、図面によって正規化座標枠は異なる。これらの地形図図郭と正規化座標枠との間でラスタデータのリサンプリングを行い、ラスタベクタ変換に用いる原ラスタデータを作成した。

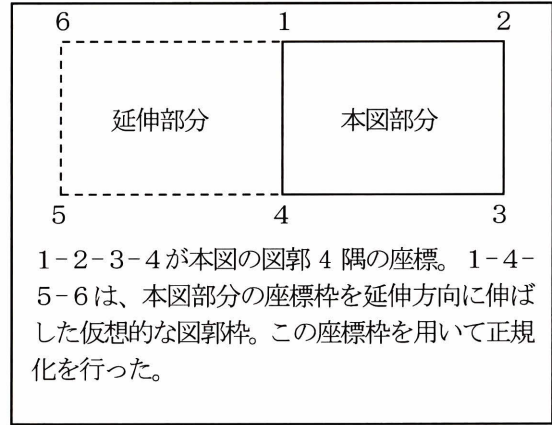


図-11 延伸部分の正規化

6. 各地図記号の処理方法

ラスタデータ操作の基本的機能及びラスタベクタ変換機能を適宜組み合わせ、適当なパラメータを与えることでラスタデータ上の各地図記号を分版し、その後ベクトル型のデータに変換する手法を検討した。

ラスタベクタ変換の対象としたのは、前述したとおり、墨、藍、褐、藍マスク、墨マスクの5版である。基本的には各版別にラスタベクタ変換を行っているが、藍版や墨版の変換には藍マスク版を利用した。WIT/MAP Pro上で作成したベクトルデータは、独自の構造化フォーマットで出力される。このままでは扱いにくいので、後に補完作業を行うソフトウェアとの互換性を考慮し、最終的に日本コンピュータグラフィック社製の地理情報入力編集システムであるNIGMAS2000のNIF2フォーマットに変換した。他のCADソフトの汎用的なフォーマットも複数検討したが、仕様が開示されていない、バージョンによってフォーマットが異なるためにソフトウェアによっては読み込みができない等の理由で、NIF2フォーマットを採用した。

以下に、取得した地図記号の種類と各地図記号の分版処理方法について概要を述べる。詳細については、中南・大野（2002）を参照されたい。

6. 1 藍版、藍マスク版の変換

藍版および藍マスク版を用いて取得したデータは、1条河川、2条河川、湖・池等、海、田、湿地及び水涯線である。田記号については、記号中心の点座標を、その他は線データを取得した。

ここで抽出する水涯線は、2条河川や湖・池などの周囲に存在する水際の線のことであり、水涯線には1条河川は含まない。湿地に関しては全国的にみるとそれほど出現数は多くないが、釧路湿原など一部の地域で大規模に出現するため、今回の自動変換の対象とした。

分版フローを図-12に示す。藍版から225ピクセル以下のラスタ塊を抽出すると、田記号のラスタデータを取

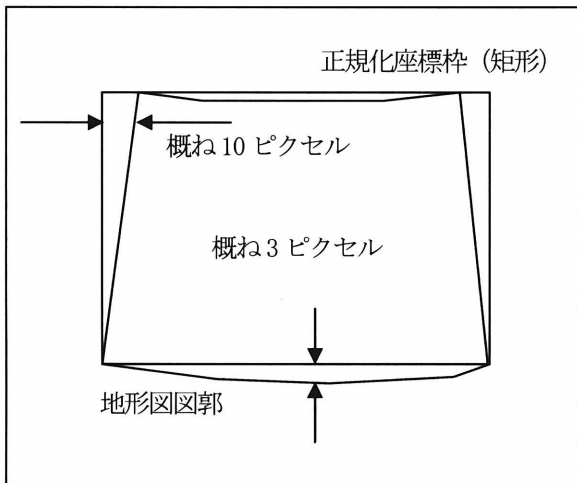


図-10 正規図郭における正規化座標枠の設定

延伸部分に関しては、図郭が存在しないので正規化を行うための図郭4隅の情報がない。そのため、本図部分の図郭4隅の座標から計算した正規化座標枠を、延伸方向に合わせて経度方向に7分30秒もしくは緯度方向に5分ずらして正規化を行った（図-11）。

インセット部分に関しては、インセット部の4隅の座標がVRCのラスタデータに記録されていないため、自動的に処理を行うことができない。そのため、インセットに関しては、手動で正規化処理を行った。

得ることができる。水涯線は藍マスク版の周りに存在するので、藍マスク版を膨張させて藍版との論理積を取ると水涯線を分版できる。藍版から水涯線を取り除いたあとに1500ピクセル以下のラスタ塊を抽出し、田記号を取り除くと湿地記号が分版できる。藍版から田記号、水涯線、湿地記号を取り除くと一条河川のラスタが得られる。

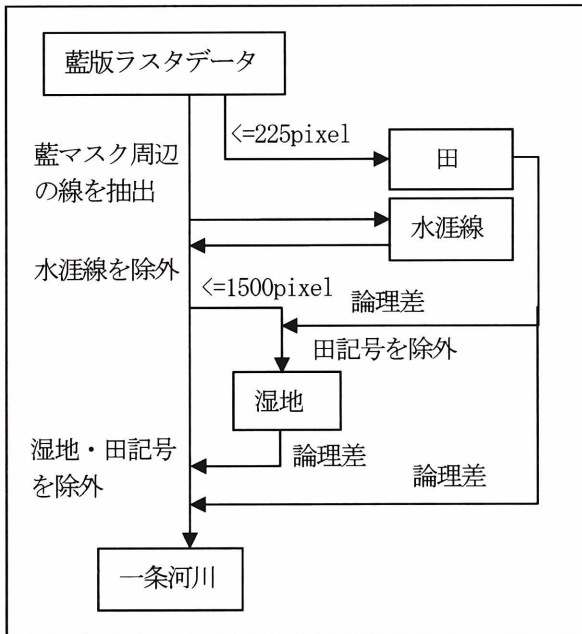


図-12 藍版分版フロー

分版した田記号のラスタデータから各記号の中心座標を求め、田記号の点座標とした。水涯線と一条河川についてはラスタデータを輪郭線化し、その中心線のベクトルデータを取得した。湿地記号のラスタデータは、図-13の②に示すように膨張・収縮機能を用いて塊状にし、そのラスタ塊の輪郭線を線データとして取得した。

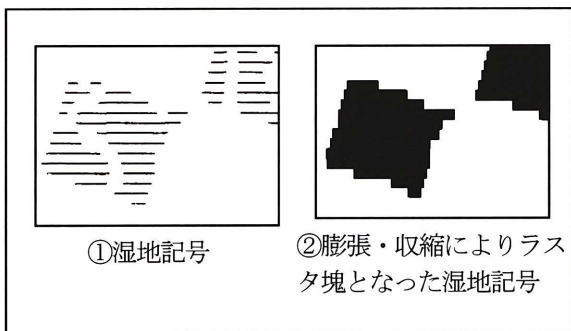


図-13 湿地記号の抽出

6. 2 墨版の変換

墨版から取得したデータは、鉄道、道路中心線、独立建物 (小)・総描建物 (小)、独立建物 (大)、総描建物

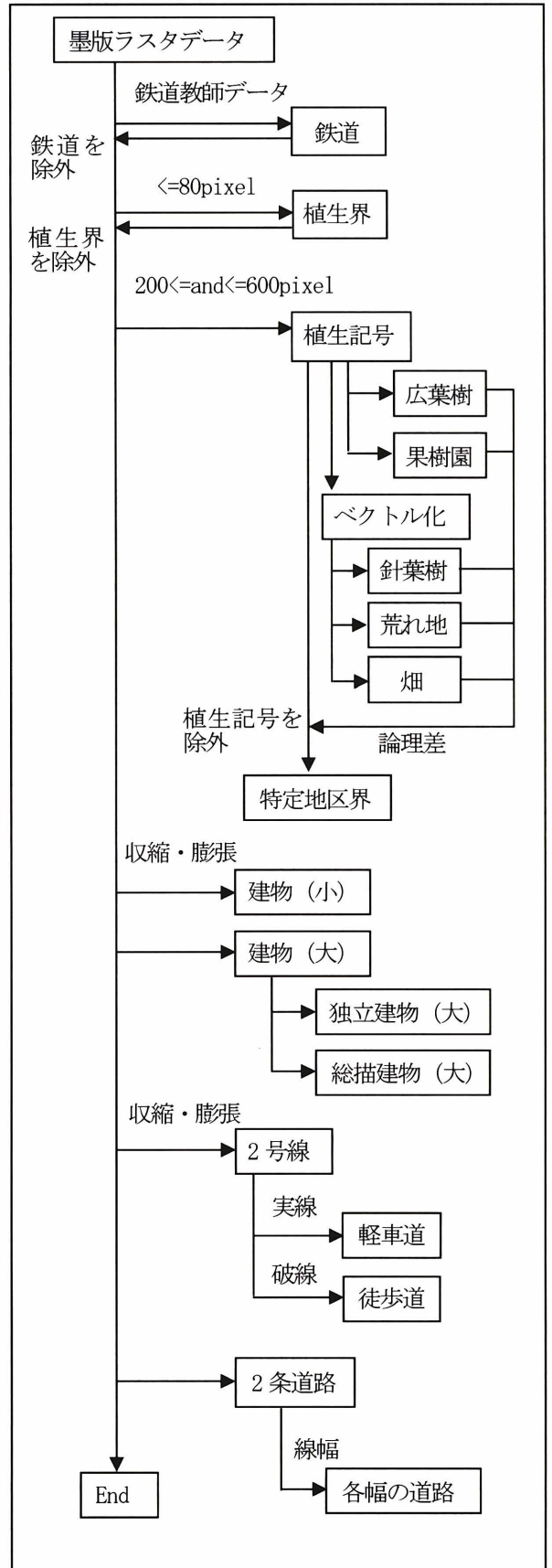


図-14 墨版分版フロー

(大)、植生界、畑、果樹園、広葉樹、針葉樹、荒地、特定地区界である。鉄道、道路中心線、建物類、特定地区界については線データを取得し、植生界記号及び植生記号については点データを取得するため、各ラスタの中心座標を求めた。

墨版の分版フローを図-14に示す。鉄道記号は、地図部（現：地理情報部）で作成されていたベクトル形式の鉄道データを教師データとして使用してラスタデータの抽出を行った。墨版から80ピクセル以下のラスタ塊を抽出すると植生記号を分版できる。植生記号の抽出には、墨版から200ピクセル以上600ピクセル以下のラスタ塊を抽出して植生記号版として利用した。この植生記号版から、記号の中心に穴があいていることに着目して広葉樹と果樹園記号の分版を行った。針葉樹、荒地、畑の各記号はラスタ上での分版が困難であったため、ベクトル化したあとに形状認識を行い、中心座標を取得した。建物（小）記号は、道路縁に接している記号を抽出するため、収縮・膨張機能を用いて分版処理を行った。軽車道と歩道は、最初に収縮・膨張機能を利用して2号線のみを抽出してから実線と破線で分版した。2条道路は墨版から100万ピクセル以下の白部を塗りつぶし、平行線認識を行って中心線を取得した。

建物（小）記号は輪郭線をベクトル化し、建物（大）記号は内部の白部を塗りつぶしたあとに輪郭線をベクトル化して線データを得た。

6. 3 墨マスク版の変換

墨マスク版には樹木に囲まれた居住地記号のみが描画されているので、墨マスク版の黒部の輪郭線を取得することにより樹木に囲まれた居住地記号の線データを取得した。

6. 4 褐版の変換

褐版から取得したデータは、砂礫地と等高線である。分版フローを図-15に示す。褐版から125ピクセル以下のラスタ塊を取得すると砂礫地記号が取得できる。この各記号の中心座標を取得し、砂礫地の点座標とした。等高線は、砂礫地記号を取り除いたあと、輪郭線を取得し、芯線化して線データを得た。輪郭線の太さを2分割することにより、計曲線と主曲線を区分した。

7. 北方領土の5万分1地形図の変換

北方領土については、2万5千分1地形図が存在しないので、5万分1地形図を対象に変換を行った。取得したデータは昭和63年12月のSPOT1号衛星画像を用いて更新された墨版のデータと、藍マスク版から取得した海岸線・湖岸線のデータである。墨版のデータは、水面、道路中心線（明瞭なもの、その他）、建物、飛行場である。藍マスク版を輪郭線化して取得した線データが海岸線・湖岸線のデータである。

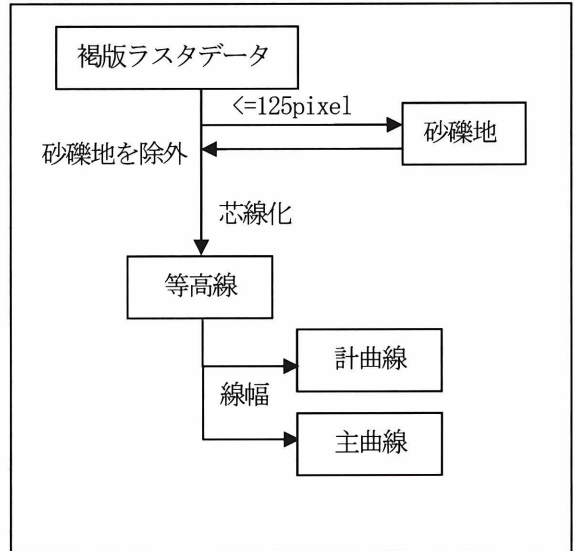


図-15 褐版分版フロー

墨版の分版フローを図-16に示す。墨版から350ピクセル以下のラスタ塊を取り出すと飛行場が分版できるので、破線認識を行い線ベクトルを得た。飛行場を取り除いた後、収縮・膨張処理を行い、3000ピクセル以下のラスタ塊を抽出すると建物が分版できる。この建物ラスタの輪郭線を取得し、建物の線データとした。墨版から飛行場と建物を取り除くと、道路と水面のラスタデータが

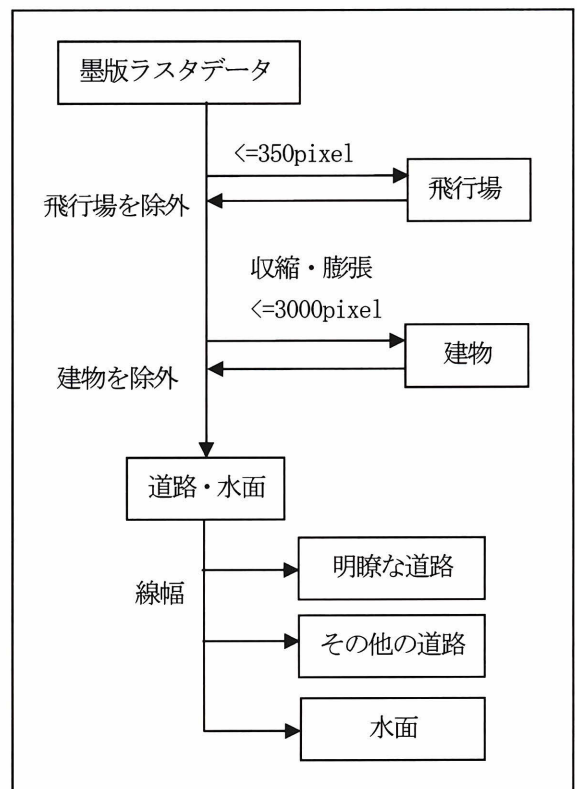


図-16 北方領土の墨版分版フロー

得られる。これを輪郭線化し、芯線化する際に線幅で明瞭な道路、その他の道路、水面に分版した。

8. バッチファイルの作成

今回のラスタベクタ変換に使用したソフトウェアのWIT/MAP Proは、コマンドラインからのプログラム使用が可能である。また、約4,300面の地形図ラスタデータに対してラスタベクタ変換を行う必要があるため、できる限りの自動処理化が不可欠である。そこで、上述した地図記号ごとのラスタベクタ変換アルゴリズムを順次実行する作業用バッチファイルを直営で構築した。これにより、夜間等を利用したラスタベクタ変換のバッチ処理が可能になり、ラスタデータの正規化から各地図記号のベクトル化まで自動で行うことができる。なお、褐版と北方領土の5万分1地形図のラスタベクタ変換については、手作業による補完作業の都合上、別のバッチファイルとした。

9. ラスタベクタ変換の問題点と変換率について

VRCのラスタデータは、編集者が地図記号を直接描画していたスクライブベースをもとにしたフィルムから作成された経緯があるため、編集者の個人差やフォタクトによるとみられる地図記号の大きさのばらつきや描画されている線号の太さのばらつきが大きい。また、例えば、0.1mmの点で描画されるはずの植生界記号が0.3mmの点で描画されている等、図式から大きく逸脱している図面も存在する。そのため、すべての地形図に対して最適なラスタベクタ変換を行うことは難しい。そこで、基本的には図式に定められた大きさや線号のみを考慮した。また、植生界記号と送電線記号の点のように、ラスタデータ上で分離することができなかった地図記号もあった。上記のような問題があったため、ラスタベクタ変換の変換率を100%とすることを目標にできなかった。今回の作業では、変換率の定量的な数値を求めてはいないが、前述したとおり手作業による補完量を可能な限り減らすためのアルゴリズム構築に努めた。

藍版や北方領土の5万分1地形図を対象としたラスタベクタ変換については、描画されている地図記号の種類が比較的少ないため100%に近い変換率を達成できたが、墨版については地図記号によって変換率のばらつきが認められる。植生界記号においては送電線記号の点が含まれているものの、100%に近い変換率が達成できた。一方、特定地区界記号においては、特に曲線部分での破線認識が悪いため、変換率は良くない。

10. まとめ

VRCのラスタデータから、主にラスタデータの時点地で地図記号ごとの抽出を行い、ラスタベクタ変換の自動処理を行うためのアルゴリズムを構築し、バッチファイルの作成を行った。アルゴリズム構築の際には、褐版を

除く他の版について、手作業による補完作業時間が1面あたり20時間という線アルゴリズム確定の目安とした。研究レベルでの補完作業時間がこの程度の時間におさまらなければ、約4,300面のラスタベクタ変換の事業化はコスト面から困難であったためである。地図記号ごとに変換率のばらつきはあるものの、アルゴリズムを適用したラスタベクタ変換結果を用いて直営で3面の補完作業を行った結果、目標時間を達成することができた。

平成12年度の後半には、大分県全域91面及び都市部である名古屋地区4面において、今回開発したラスタベクタ変換アルゴリズムを実装したバッチファイルによる自動ラスタベクタ変換とその後の手動の補完作業を試験的に行った。その結果、平成12年度に行われていた25000レベルGIS基盤情報作成作業にかかっていた費用とほぼ同額程度の費用で全項目のベクトルデータを作成することができることが裏付けられた。これによって、平成13年度から、全国の2万5千分1地形図の全項目をベクトルデータとして取得する作業が開始されている。

引用文献

- 国土地理院 (1994) : 地図情報の自動認識システムの開発に関する研究報告書, 国土地理院技術資料E・1-No. 235/C・1-No. 225.
- 国土地理院 (1999a) : 2万5千分1レベル基本地理情報に関する研究作業報告書, 国土地理院技術資料C・1-No. 270.
- 国土地理院 (1999b) : 2万5千分1レベル基本地理情報試験データ作成作業報告書.
- 中南清晃・大野裕幸 (2002) : 2万5千分1地形図ベクトルデータ作成のためのラスタベクタ変換, 測図部技術報告, 特集号, p47.
- 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, 測図部技術報告, 特集号, p88.