

基盤地図情報について

キーワード：GISアクションプログラム2010

地理空間情報活用推進基本法

位置の基準

絶対位置と相対位置

図葉間平均計算

業務課長

鎌 田 高 造

基盤地図情報について

1. はじめに

1995年の阪神・淡路大震災では、GISが未整備だったため、施設や交通の状況などが効率的に管理できず、被害の抑制や復旧・復興に際して阻害要因となった。政府は、この時のことを教訓として、関係省庁連絡会議等を通じてGISの整備及び普及に務めてきた。

あれから12年が過ぎようとしているが、GISは依然普及したとは言い難い。これにはいくつか理由があるが、まず、GISの構築費用においてデータ調達費用、具体的にはデジタル地図の調達費用が高いこと、ついで、GISで管理・解析するための地図データが複数ある場合に、それらの地図が完全には重なり合わないため、せっかくのGISがそのポテンシャルを完全には発揮できないこと、この2点が大きい。

このことは大縮尺地図をGIS等で使用する際の問題点として早くから指摘されてきていたが、このような現象が発生することは測量学的に不思議ではなかったためか、これまで有効な回避策が提唱されることはなかった。しかし、測量学的には不思議ではなくても、必ずしも測量学に明るい者とは限らない大多数のGIS利用者にとっては深刻な問題であり、GISの市場規模が大きくなるに従って無視し得ない問題となりつつある。

今年3月に制定されたGISアクションプログラム2010(以下「AP2010」と称する)では、これらの問題を重視して、「地理空間情報の相互利用や重ね合わせを容易に行うためには、地理空間情報を電子地図上で正確な位置に配置するための位置の基準となり、広く供用される地図情報が必要である」とした上で、そのような地図情報を「基盤地図情報」と呼んで、その整備、供用、相互活用、円滑な流通を促進するための施策を提唱している。

ところで、この基盤地図情報のコンセプトは、もともとは国会で審議中の法律「地理空間情報活用推進基本法」(以下「基本法」と称する)で提唱されたものである。同法はこの原稿の執筆時点ではまだ成立していないが、AP2010は法律の趣旨を先取りして制定されたものである。国土院では、AP2010や基本法に規定されている基盤地図情報を早急に整備するべく、昨年度より整備に要する経費及び組織を要求するとともに、地方公共団体との連携方策その他の必要な施策について検討を進めてきた。本稿では、これら基盤地図情報の整備に関することを述べる。

なお、基本法に加えて測量法改正案も国会で審議中であるが、本稿は入稿の都合上、4月20日現在の状況に基づいて記述していることをあらかじめお断りしておく。

2. 基盤地図情報のコンセプト

2.1 基盤地図情報の法制的な要件

基盤地図情報の定義は、AP2010や基本法で示されているが、まだよく知られていないと思われるので、改めてここで述べておく。なお、基本法がまだ成立していないため、基本法の成立後に制定される予定の省令の内容とは必ずしも一致しないことがあり得ることを予め断っておく。

基盤地図情報の要件は、AP2010による定義「地理空間情報の相互利用や重ね合わせを容易に行うためには、地理空間情報を電子地図上で正確な位置に配置するための位置の基準となり、広く供用される地図情報であること」や、基本法第2条第3項による定義「(この法律における)基盤地図情報とは、地理空間情報のうち、電子地図上における地理空間情報の位置を定めるための基準となるものの位置情報であって電磁的方式により記録されたものをいう」(一部修飾語を省略)などで規定される。これらの定義は、本質的には同一の要件を規定している。

2.2 基盤地図情報の実質的な要件

基盤地図情報が満たすべき要件を実質的に規定するために、基盤的地図情報に含まれる項目が満たすべき要件と、それらの項目が満たすべき品質要件を記すと、次のようになる。

2.2.1 基盤地図情報に含まれる項目が満たすべき構成要件

基盤地図情報に含まれる項目は、原則として、次のような条件を満たす必要がある。

測量可能であること

基盤地図情報に含まれる項目自体が測量可能でなければ、他の地理空間情報との相対位置、ひいては他の地理空間情報の絶対位置を定めることができないため、位置の基準とならない。

このため、基盤地図情報に含まれる項目は、現地で容易に視認できる識別性の高いものでなければならない。

不変不動であること

基盤地図情報に含まれる項目自体の位置が容易に変わりうる場合は、その項目の位置について再現性が確保できないため、位置の基準となることは難しい。

このため、基盤地図情報に含まれる項目は、原則として、半永久的に固定されているような目標物でなければならない。

2.2.2 基盤地図情報に含まれる項目が満たすべき品質要件

基盤地図情報に含まれる項目が実際に基盤地図情報としての品質を満たすためには、原則として、さらに次のような条件を満たす必要がある。

精度としては相対位置にも配慮すべきこと

基盤地図情報を利用するユーザの大半は、測量とは縁遠い人たちであるか、あるいは局所的な測量しか行わない人たちである。これらの人々は、相対位置については正確な値を必要とすることが多いが、絶対位置については必ずしも正確な値を必要とはしない。このような人にとっては、座標値を持つ恒久的な目印があれば十分である。その一方で、それら目印同士の間での相対位置精度については比較的高い水準の品質を要求する。

(例1)水路を作成する農夫は、水路の比高は気にするが、水路の標高は気にしない。

(例2)家を新築する人は、基礎杭と道路の距離は cm 単位で気にするが、基礎杭の経緯度は気にしない。

(例3)地下埋設物のメンテナンス工事のためにパワーショベルを扱う者は、『道路縁から何 cm の所を掘るのか』しか数字が頭に入っていない。

基盤地図情報は、こういう人たちにも役に立つデータでなければならない。従って、地物の絶対位置だけではなく、地物間の相対位置についても配慮しなければならない。

位置の基準として、基準点に準ずる信頼度の保証(与信)がなされるべきこと

この春の能登半島地震においては、石川県の3市4町について基準点の成果を停止した。これは、地震に伴う地殻変動により、基準点の成果値が実際の値とずれてしまい、測量の基準としての用をなさなくなったためである。

ところで、これら3市4町以外の地域においては、地殻変動が皆無だったわけではなく、成果を停止する必要がないような微小な地殻変動があった。各基準点の成果値は変更されないが、実際の値とはごく僅かながら相違が生じているはずである。しかし、この相違は通常の測量では検出できないレベルであり、実質的に影響を及ぼすものではないため、成果の更新等を行わないこ

ととしている。

すなわち、基準点の成果値は、行政的には、公表値が真の値であると見なして取り扱われるものである。

基盤地図情報に含まれる項目の位置も同様である。位置の基準として不特定多数の利用者が利用するのであるから、その座標値については、相応の信頼度の保証(与信)が必要である。

この与信は、「公証性」という性質で表現されるべきものである。

3. 地図の精度に関する考察

3.1 地図の精度に対する誤解

大縮尺地図を整備し或いは利用する場面では、複数の地図が必ずしも整合的に重なり合うとは限らない。しかし、そのような場合においては、

- 1) 地図の精度が元々悪かったのではないか(地図作成工程のエラーではないか)
- 2) 地図作成時の要求精度を上げれば片づく問題なのではないか。

というような誤解がしばしば発生している。実はこれらはいずれも正しくない。

まず、公共測量で作成される地図の精度であるが、公共測量の場合は、よく知られているように、予め精度や作業方法などを規定した作業規程を作成し、それに基づいて実施することになっている。ファーストフードチェーンでキッチンとした調理マニュアルが用意されているのとある意味で似ており、十分な能力を持つ技術者が手順をキッチンと守れば(工程の諸所で確認行為が必要だが)、十分な精度の測量成果が確実に得られる。

しかし、測量には必ず誤差が含まれる。精密な測量とは、観測時における誤差をできるだけ少なくすることであるが、同時に、数学的には決してゼロにならない観測誤差の存在を承知した上で、できるだけ小さな分散で真の値を推定するための技術でもある。

今、同一エリアを二度に分けて別々に地図作成する場合、空撮、標定、図化、製図の全ての工程において、1回目と2回目とで独立に誤差が発生する。それらの誤差は、作業規程で規定されている制限値(最終的に図上 0.7mm 以内)よりは小さい値であろうが、数学的にはゼロにはならない。従って、これら(広義の)観測値から得られる個々の地物の位置(真値の推定値)が1回目と2回目とで僅かに異なるのは当然である。この節の議論は要求精度の多寡には影響されないから、結局、地図作成時の要求精度を少々上げた位では問題は片づかないことがわかる。

では、なぜ、GIS での利用に際してこの問題が強調されるのだろうか？ それは、GIS でデジタル地図を表示させた場合に、見かけ上はいくらでも拡大表示が可能であることによる。すなわち、デジタル地図では縮尺の概念が希薄になる。このため、誤差の範囲内のズレが紙地図に比較して顕在化しやすいのである。なお、デジタル地図では縮尺の概念が薄れるのは事実であるが、ピンぼけの写真をいくら引き伸ばしても判読できないように、デジタル地図には縮尺に変わって解像度の概念が厳然と存在する。解像度を超えて拡大しても、単なる信頼性のない絵でしかない。そして、デジタル地図の解像度は、現行の作業規程では、縮尺に対応した位置精度と連動して、個々の工程で定められているのである。

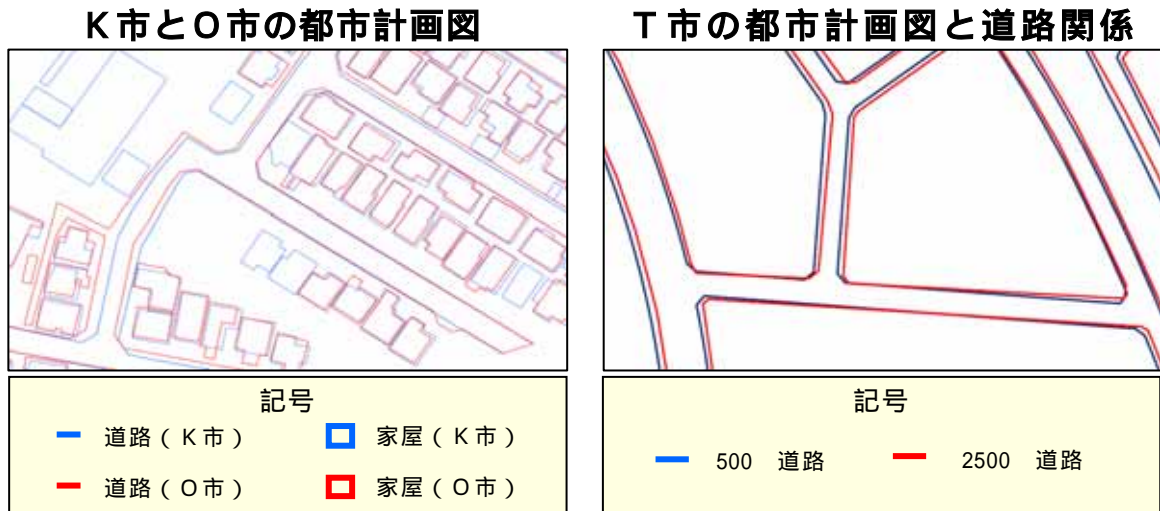


図 - 1 ぴったり重なり合わない「正確な地図」の例

地図自体が持つ僅かな誤差のために、本来はぴったり重なり合うべき道路や建物の線が二重に見えてしまう。右側の図の場合、建物をそのまま他の地図に転記すると、道路にはみ出す恐れもある。

3.2 写真測量の絶対位置精度と相対位置精度

地図の精度が図上 0.7 mm であるという事実はよく知られているが、これは絶対位置に関する精度である。現行測量法の体系では、最終成果の精度に関する規定は絶対位置に関して記述し、相対位置精度については観測時の規定として記述するのが一般的である。これは測地測量においても同様で、与点の絶対位置精度と、観測精度に直接起因する与点新点間の相対位置精度とから、新点の絶対位置精度が決まる。要求精度とコストのバランスをうまくとることが、良い測量計画というわけである。

ところで、1/2,500 地図の場合、図上 0.7mm といえば実寸では 1.75m であるが、図化に用いた空中写真には横断歩道やブロック塀がしっかり写っている。すなわち、空間分解能は地図の精度よりも一桁上である。図化の段階における地物の相対位置までは写真の解像度にほぼ匹敵すると考えられるから、結局、写真測量においては、相対位置精度は絶対位置精度よりもずっと高いことを示している。空中写真や衛星画像は、そのままでは(対地標定を行わない限りは)絶対位置の正しさを一切保障しない代わりに、相対位置、特に局所的な相対位置を一様に高い精度で保障する。標定及び図化の各工程においては、写真が持つ本来の相対位置精度よりも絶対位置精度が低下してしまうことが多いが、局所的な相対位置精度は殆どの場合維持されているし、製図工程では局所的な相対位置精度を向上させる方向で修正が入る(建物の形状や道路幅などを修正するなど)。従って、写真測量で作成された地図は、作業規程に示された絶対位置精度よりも高い相対位置精度を内包している場合が多いのである。

実際に、写真測量では、標定に使用した基準点について、写真座標から計測される位置と実際の位置の誤差が撮影縮尺の 0.08% を上回った場合に再測すべきと記述している文献がある。1/2,500 地図(撮影縮尺 1/10,000)に換算すると、この許容誤差は 1.8m となり、図上 0.7mm と良い対応を示す。その一方で、コンレータで計測した写真座標の誤差は高々 15 μm (実寸 15cm) であるから、相対位置精度は遙かに高いのである。

3.3 相対位置精度の重要性とその意味

既に2.2.2のでも述べたが、相対位置精度の重要性を再度整理しておきたい。

測量法の本旨は、対象となった地物の三次元的な位置を明確にすることである(法第11条第1項第1号による)ので、最終成果は必ず絶対位置が得られるものでなくてはならない。

しかし、現実には2.2.2のを見てきたように、相対位置さえ判れば済む場合も少なくない。

これは、測量の立場を離れて考えると、少しも不思議ではない。現実に行われている工事その他の社会活動では、設計図に基づいて行われることが多いが、設計図に絶対位置が記載されていることは稀で、相対位置(寸法)が書かれているだけであることが多い。なによりも、地球上の位置を表示する上で、広域を統一的に表示するためには経度緯度のような座標系が必要だが、局所的な位置の表示であれば、わざわざ取扱が面倒な経度緯度ではなく、平面直角座標系(及び比高)に代表される局所座標系を使う方が遙かに便利である。経度緯度及び標高による位置の表示は、二点間の距離や方位角を計算するのが煩雑なため、設計図との整合性を確保する上では、コスト、時間、技術等全ての面で平面直角座標に劣るのである。これは、地表面が大域的には曲面であるが、局所的には二次元平面とみなすことができ、かつ、実用的には二次元平面として取り扱う方が便利であることを意味している。

4. 誤差を最小化するための方策 - 図葉間平均計算 -

4.1 消去対象となる誤差とは

公共測量で作成されている地図に存在する誤差は、その大半が写真の定位に関する偶然誤差であって、系統誤差ではない。これは当然であって、作業規程は系統誤差が生じないように規定されているし、正しく作業すれば系統誤差はかなりのレベルで抑制できる。従って、地図の整合性を取るために消去すべき誤差とは、偶然誤差になる。(なお、写真の定位に偶然誤差が存在していると、その写真から取得した地物の位置は、写真の定位における偶然誤差に相当した量だけ、一律に位置が変位する。これは見方によっては系統誤差とも言えるが、これは偶然誤差に起因している誤差であるから、本稿ではこれも全て偶然誤差として取り扱う。ここで「一律に位置が変位」というのは、写真に写っている地物の相対位置精度が高いことの表れであると見ることもできる。)

一般的に、偶然誤差は、平均計算を行うことによって、ある程度までは除去可能である。偶然誤差を除去することで、地図の精度は若干向上すると考えられる。その目安は、絶対位置精度と相対位置精度で根拠が異なる。

絶対位置精度は、地図を作成する際に用いた標定点の精度に規定される。すなわち、基準点の精度に相当する。

一方、相対位置精度は、地図を作成する際に用いた空中写真の精度に規定される。写真に写っている地物相互の位置関係は、一様に同程度の精度を持ち、それは写真の撮影縮尺にほぼ規定される。たとえば、撮影縮尺が1/10,000の場合、地上解像度は15cm程度で、判読限界は50cm程度と推定される。

基盤地図情報の技術的要素とは、これらの精度にどれだけ近づけることができるか、ということになる。以下、その概要を示す。

4.2 測地測量における平均計算の意義

国土地理院が基本測量として行っている基準点測量の場合、実は、平均計算を二度実施している。

一度目は、観測直後に行うもので、残差が小さいことはすなわち観測精度が十分であることを意味する。しかし、この時得られる成果は、そのまま成果表の値にはならない。なぜならば、観測対象に選んだ基準点は、国家基準点の一部分でしかなく、観測地域の直ぐ外側との整合性はそのままで確保されないからである。ちなみに、地震の直後に公表する『電子基準点の位置変化図』は、この段階の平均計算の結果である。(だから、固定点をどこに置かへ変動ベクトルの向きや大きさが変わってくる)

一方、実際の基準点成果は、一回目の平均計算によって個々の観測精度の正当性を確認した後に、日本全域の網で解き直して得られる座標値を採用している。VLBI 等を用いた網の規正も、この段階の平均計算で初めて取り込まれる。

ところで、公共測量においては、この『二度目の平均計算』に相当する工程は存在しない。これは、公共測量の場合は、上位の基準点が存在するので、網の規正であるとか、観測区域外の基準点との整合性などを心配する必要がないことが理由である。国家基準点においても、電子基準点の位置が一旦定めれば、GPS 測量を行う限り、標石基準点の位置に関しては全国網平均を行う必要性が低下している。網全体の規正や、他地域との整合性は、より上位の基準点が引き受けてくれるからである。

一般の公共測量においては、この『2回目の網平均』を行うためのコストを掛ける余裕がないことが多い。このことは、我が国における測量の精度を担保する上で電子基準点を持つ威力の本質的な性質であり、国家基準点(ならびにそれを維持している国土地理院)の重要性を示している証拠である。

4.3 地図の場合における平均計算

前節の議論を地図に当てはめてみよう。

地図においても平均計算は行っている。空中三角測量におけるブロック調整がそれである。これは、既に見てきたように、基準点測量における一回目の平均計算に相当する。すなわち、標定点の位置精度、刺針の精度、写真の撮影精度などが適正であれば、ブロック調整は必ず成功する。

さて、この地域でもう一組、同一の作業計画で別途空撮、刺針、ブロック調整を行ったとしよう。個々の作業を十分丁寧に実施していれば、二回目のブロック調整も十分残差を抑制することは可能である。しかし、一回目のモデルから得られる地物の位置と、二回目のモデルから得られる地物の位置は、許容誤差の範囲内で異なる値を示すはずであり、それらの差はそれぞれのブロック調整における偶然誤差のベクトル和として得られるはずである。個々の偶然誤差は、もちろんその向きや大きさを知ることができない。しかし、二度のブロック調整の結果を図化して得られる2枚の地図上に表現される地物の位置がそれぞれ十分正確であって、かつ、僅かな偶然誤差を持つのであれば、それらの偶然誤差は、二枚の地図に描かれた地物を対象に平均計算を行うことで、理論上は小さくすることが可能である。

また、互いに隣接する市町村でそれぞれ都市計画図を作成している場合、空撮エリアは重なり合っている場合が多い。この場合、空撮エリアが十分に重なっているならば、空三を一括して行うことは可能であり、その場合は両市にまたがるシームレスな地図が得られるであろう。現実には空撮、空三、図化などの工程は独立に行われており、新たに空三からやり直すのは経費面から困難であるが、図化エリアが十分重なっていれば(例えば、図郭が重なっていて、かつ、両方の図葉で市町村境界を超えて図郭まで図化されていれば)、重複エリアにおける地物の位置を2枚の地図から調整計算で求め直すことにより、空三をやり直すレベルの精度は得られないにしても、ある程度整合性のあるシームレスな地図が得られると考えられる。

基盤地図情報は、コストを勘案して、このような考え方で作成することとする。また、この計算(平均計算あるいは調整計算)を、図葉間平均計算と呼ぶことにする。

4.4 地物の位置をどうやって整合させるか

よく知られているように、地図に描かれている地物の位置は、基準点を足場に、空撮及び空中三角測量により決定されている。この「空撮 + 空三」を、測量の素人になったつもりで、ブラックボックスに見立ててみよう。

ある人が、優秀な測量技術者に、地物の位置を求めてもらったとしよう。測量技術者は、写真測量によって地物の位置を求めたかもしれないが、依頼者が測量の素人だった場合は、単に『何か高い精度の観測を行って地物の位置を求めた』ように見える筈である。この場合、この『観測』は、公共測量作業規程に基づいて精度管理をしているのであるから、実現精度を明示することが可能である。

こういう『観測』を2人の測量技術者に独立に依頼すると、それぞれ十分確からしい値が帰ってくるだろう。そこで、それら地物の座標値を個々の観測値とみて平均計算を行えば、地物の位置に関してより確からしい値が得られる筈である。こうして得られる値は、地物の座標値として得られる最も確からしい値である。

基盤地図情報は、こうして得られる「最も確からしい」座標値を持つような地物で構成されるのである。その意味では、「精度が高い」というよりも「最も確からしい」という部分が重要である。

4.5 地物の位置をどうやって整合させるか(2)

前節で、地物の位置に関する最確値の求め方を紹介したが、実際にはもう少しやっかいである。というのは、個々の地物の座標を平均しただけでは、地物同士の相対的な位置関係が崩れる恐れがあるからである。基盤地図情報においては、絶対位置だけではなく相対位置も極めて重要であるので、このままでは良くない。

そこで、地物の位置だけではなく、地物間の相対位置も平均計算に含めることとする。具体的には、

地物相互の相対位置は、2次元の「基線ベクトル」であるかのような取り扱いとする

地物の位置及び地物間の相対位置を用いて「2次元 XY 網平均」に相当する計算を行う

これにより、地物間の相対位置を保ったまま、地物位置の最確値を得ることが可能となる。

なお、こうして平均計算を行う際に用いる地図は、その全てが同一の位置精度を持っているとは限らない。実際に、1/2,500 都市計画基図と 1/500 道路台帳図とを組み合わせた場合、直感的には道路台帳図の方が5倍精度が高いという期待がある筈である。このような地図を組み合わせる場合は、平均計算にあたって『観測』精度が5倍異なるものと考えればよい。角測量と距離測量の組み合わせのように、観測精度に合わせた重み付き網平均を行うことになるのである。

5. 基盤地図情報作成の実際

5.1 もとになる地図

基盤地図情報は、都市計画基図をベースに、その他の公共測量成果もできるだけ広範囲に収集して作成することとしている。これらの地図は、公共測量として、一定の要求精度で作成されている限り、原資料として使用できると考えられる。資料とする地図が多いほど、いわゆる『観測』回数が多いことになり、基盤地図情報を構成する項目の位置に関する信頼度が向上するものとする。

以下、ここでは2枚以上の地図(N枚とする)をもとに、基盤地図情報を作成する標準的な手順について説明する。なお、以下の作業方針は、従来の地図編集において、1/25,000 地形図を縮小して1/50,000 地形図を編集する場合、工事竣工図等の大縮尺地図を縮小して1/25,000 地形図を編集する場合等において、資料図を修正対象となる図に位置合わせを行う作業や、2枚の紙地図をつな

ぎ合わせる場合の作業方針と本質的には同じである。筆者は、それらの作業を「手動図葉間平均計算」と勝手に称していたことがある(図 - 2)が、今回の基盤地図情報においては、アナログ地図における手動図葉間平均計算をデジタル地図上の自動処理で行った場合について記述しているに過ぎないのである。

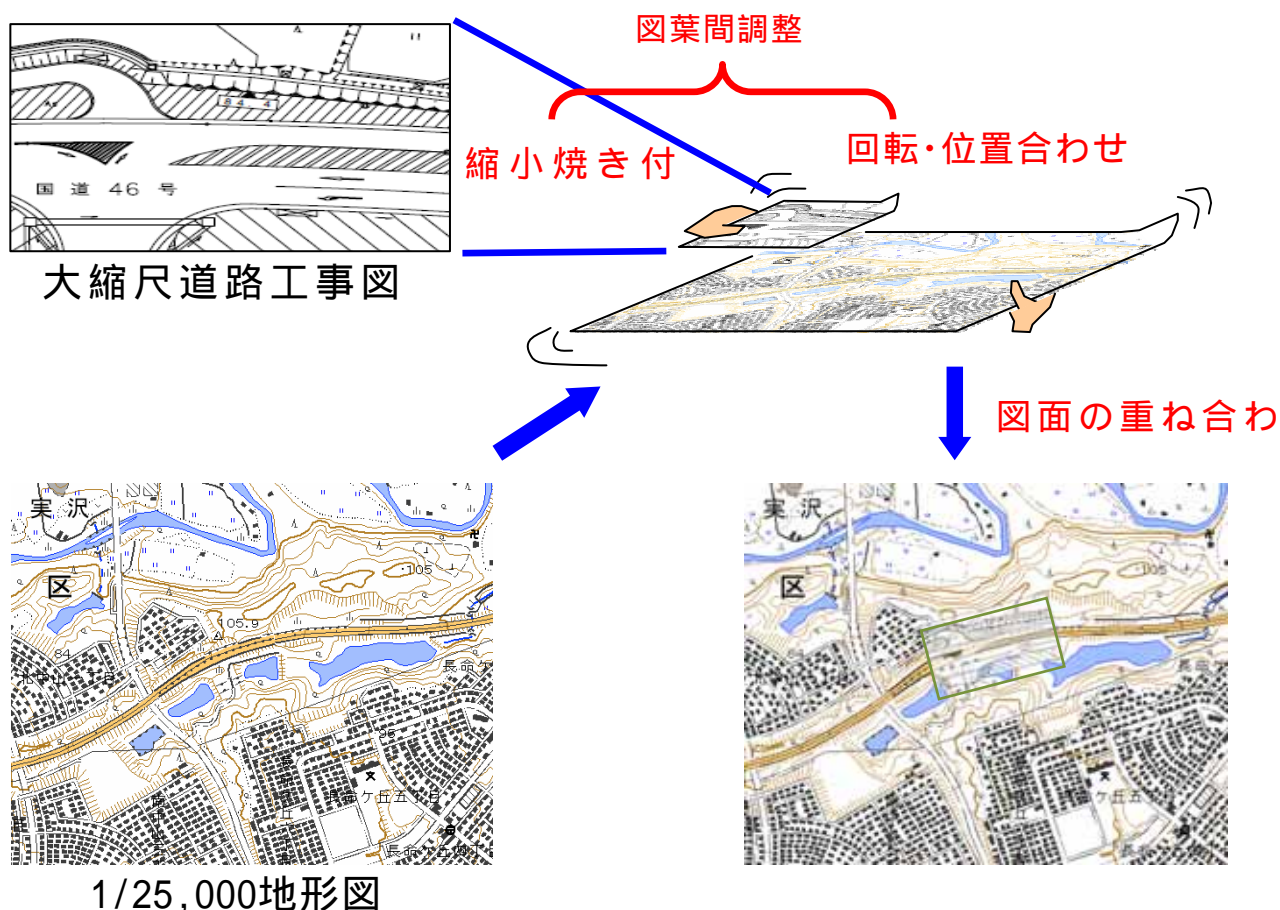


図 - 2 地図の編集イメージ

縮小編集方式による地図編集(一部修正)の場合に代表されるように、資料図を用いて地図を修正する場合は、資料図の縮尺を修正対象の地図に合わせて、位置合わせをおこなって修正する。その際の位置合わせは、手動で行っているが、これもある種の「平均計算」と言える。図葉間平均計算は、このような従来は手動で行っていた地図間の位置合わせを、GIS等の画面を見ながら自動で処理することを念頭に考えている。

5.2 どうやって作成するか

5.2.1 対応箇所の特定

基盤地図情報は、2枚以上の地図の位置を整合させられるようなものであった。

位置を整合させるためには、まず、N枚の地図において、互に対応する点を特定する必要がある。1枚目の地図に表現されている地物(の特定の点)は、2枚目、3枚目…の地図ではどの地点に該当するのか、対応を取りやすい地点を数組(M組とする)選んでおく。

この対応点の取得は、基準点測量における選点に相当するレベルの、非常に重要な作業である。作成された基盤地図情報の位置精度及び信頼度は、かなりの部分がこの工程で左右されるものと思

われる。

実際には、GIS 等の画面上で、N枚の地図のそれぞれについて、M個の対応点を指定してやる必要があるので、画面上でどれだけ正確に地点の指定ができるかは当該 GIS の操作性に依存する。このことは、通常の写真測量における刺針の精度と類似の状況となる。

また、地図間の対応精度はどれくらい良好かについては、地図の表現ぶり(取捨選択の度合い)や図式の相互親和性などによっても左右される。

以下、ここで選んだ、N枚の地図において互いに対応する点のことを、単に「対応点」と呼ぶことにする。

5.2.2 対応点の地図座標

対応点を決めたら、それらの位置座標を求める。この場合、M組の各対応点について、最大N組の位置座標が得られることになる。対応点の位置座標は、N枚の地図それぞれについて、地図座標として得られるもので構わない。各地図が、公共測量作業規程に基づいて作成されている等、十分な精度管理のもとで作成されていれば、M組の対応点のN個の位置座標は、互いに十分近い値を示すはずである。

逆に、飛び抜けて離れた位置座標が得られた場合は、対応点の特定で失敗しているか(いわゆる『刺針の失敗』)、あるいは資料とした地図に精度上の不備があるかのいずれかである。地図に精度上の不備があっても、当該地図は当初の作成目的に直ちに合致しなくなるわけではないので、必ずしも公共測量成果として不適切ということにはならないが、少なくとも基盤地図情報の元資料としては不適切なものになる。言い換えれば、ここまでの工程で、地図の精度を一定レベルで確認できるのである。

5.2.3 対応点間の相対位置と各図葉の TIN 分割

基盤地図情報が相対位置精度を高く保つためには、図葉間平均計算を行うにあたって、個々の地図の相対位置精度を保つように留意しなければならない。

そこで、M組の対応点について、各図葉ごとに、対応点間の相対位置を2次元ベクトルの形で求めておく。このようなベクトルは、形式的には ${}_M C_2 \times N = \frac{M \times (M-1) \times N}{2}$ 本得られるが、あまり遠方の対象点を選んでも仕方がない。

そこで、これらの対応点があたかも基準点測量の観測点(与点及び新点)であるかのように考えた場合に観測辺を選ぶ場合と同様の考え方で $\frac{3}{2}M \sim 2M$ 本程度の辺を選ぶ。

このとき、ここで選んだ辺を用いて、対応点による三角形分割(TIN)を形成しておくものとする。TIN を構成する小さい三角形の数は、一般に $(M-2) \sim (2M-5)$ 個程度となるはずである。これらの三角形は、基準点測量の場合と同様に、あまり鋭角三角形にならないように選ぶことが望ましい。この三角形分割は、角度の条件を予め与える等により、一般に自動化可能である。

こうして、N枚の図葉ごとに、M個の対応点を頂点に持つような適当な数の三角形が得られ、各三角形の頂点の位置及び各辺の長さが得られる。ここで、図葉の枚数はいわゆる『観測数』に相当する。

5.2.4 平均計算の実施

前節までで得られたM個の対応点の座標及び $\frac{3}{2}M \sim 2M$ 本程度の対応点間の相対位置ベクトル

に関するN回の観測値を元に XY 網平均計算を行う。その際、元の地図の精度レベルが異なる場合は、その精度レベルに応じて重み付き網平均を行う。

個々の地図の精度が良ければ、この平均計算の残差は多少小さい値(元の地図が全て同一誤差Pを持つ場合、残差の期待値は $\frac{P}{\sqrt{N}}$ 程度)になるものと予想される。残差がこのような値を大きく超えなければ、平均計算の結果として得られた各対応点の座標値を、当該地物の基盤地図情報における座標値とする。

残差が大きい場合は、いずれかの地図が精度不良である可能性が高い。但し、4.2.2である程度までは残差が小さくて済むかどうか予め判断できているため、ここで残差の大きさを心配する必要性は低い。

5.2.5 平均計算の結果に関する考察

前節で見た平均計算の結果、各対応点については、N枚の図葉に共通して唯一の座標値が定まる。

この結果を個々の対応点に注目して見ると、計算前は座標値が各図葉でまちまちの値を持っていたのに対し、計算後は全ての図葉で同一の値を持つようになる。また、この結果を個々の図葉に注目して見ると、計算後は各対応点が極く短いベクトル分だけ移動する。この短いベクトルを変形ベクトルと仮に呼ぶことにしよう。

ここで、各図葉が十分な精度を持っている場合は、対応点としてどこを選んでも、平均計算の結果得られる対応点の移動量は、極く短いベクトルで得られるはずである。対応点をいろいろ変えて何度も計算すれば、図葉全体において極く短い変形ベクトル場が得られるはずである。実は、各図葉は、この極く短い変形ベクトル場に沿って微少に変形すれば、理論上は互いにぴったり重なり合うのである。

今、ある図葉に着目して、この短い変形ベクトル場を $V(B, L)$ と書いてみよう。図葉の精度が十分高ければ、変形ベクトル場 $V(B, L)$ は緯度Bについても経度Lについても微分可能である。また、この平均計算は、もとの図葉の相対位置を極力保つのであるから、変形ベクトル場 $V(B, L)$ の偏導関数の値は十分小さい値を取るはずである。

実際には、このような平均計算を何度も繰り返すことはコスト的に引き合わないが、あらかじめ変形ベクトル場 $V(B, L)$ の偏導関数の値が十分小さいことが判っていれば、少数の対応点から内挿して得られる $V(B, L)$ の近似値 $V^*(B, L)$ は、もとの $V(B, L)$ に十分近いと考えられる。そこで、この図葉を $V(B, L)$ ではなく、その近似値 $V^*(B, L)$ で変形した場合であっても、各図葉は極めて良い精度で互いに重なり合うはずである。

こうして、図葉間平均計算の結果、各図葉は十分良い精度で互いに重なり合うだろうという見通しが立った。

5.2.6 図葉の微少変形方法

それでは、変形ベクトル場の近似値 $V^*(B, L)$ をどうやって求めたらよいだろうか。

実際には、M個の点 (B_k, L_k) においてのみ変形ベクトル場 $V(B_k, L_k)$ の値が判っているだけである。しかし、前節で見てきたように、偏導関数 $\frac{\partial}{\partial B} V(B, L)$ 及び $\frac{\partial}{\partial L} V(B, L)$ の値はともに十分小さいのである。

るから、任意の経緯度 (B, L) について、一次近似 $V^*(B, L) = V(B_k, L_k) + \frac{\partial V}{\partial B}(B - B_k) + \frac{\partial V}{\partial L}(L - L_k)$ の値は十分 $V(B, L)$ に近いであろう。

実際には、4.2.3で構成した TIN において、各小三角形の内部の点については、その三角形の頂点（これら是对応点であった）の $V(B, L)$ を用いて、バイリニア補間により近似値 $V^*(B, L)$ を求めればよい。図郭周辺は三角形の外側になってしまうため、近傍の対応点数点からバイリニア補間で求めた近似値は小三角形内部より近似精度は下がるが、対応点を十分図郭の近くに取りようにできれば実用上は問題ない。

5.2.7 基盤地図情報の生成

前節までで個々の地図については、相当の精度で互いに重なり合うようになった。

基盤地図情報の生成にあたっては、この段階で新しいレイヤを設けて、各地図から最も適した項目を取り出す（新しいレイヤに移動させる）だけでよい。あらかじめ座標値は合わせてあるので、単純なレイヤ移動のみで済むはずである。この時、元の地図に地物の種類を示すコードが正しく振られてあれば、この工程における項目抽出及びレイヤ間移動は自動処理で簡単にできることになる。

こうして、長い道のりであったが、基盤地図情報ができあがった。

5.2.8 理論と実際の差

さて、ここまで、理論上はシームレスで互いに整合するような基盤地図情報が作成できることを見てきたが、実際にそううまくいくのだろうか。

今年度から整備を開始する基盤地図情報は、十分に実証実験等を行う時間的な余裕がなかった。このため、ここまで紹介してきたような理屈のとおりに行くことは実証されていない。しかし、誤差を大きくする要因、あるいは、作業上注意を要する部分は既に判明している。

元資料として使用する地図の精度

元資料として使用する地図の精度が良好ではない場合は、当然、ここまで見てきた理論のとおりにはいかない。但し、公共測量作業規程に従って通常の注意を払って作成された地図であれば、そのような心配はほぼ必要ないと考えられる。

問題は、元資料として使用する地図はデジタルデータでなければならない点である。一旦紙やマイラに印刷あるいは出力された地図をデジタル化すると、その時点で相応の誤差が混入する恐れがある。一般に、この誤差は、紙あるいはマイラの伸縮による誤差と、数値化に伴う誤差の和であり、それらの合計は地図作成時に発生する誤差の許容限度に近い値となることも考えられる。

このような地図しかない場合は、ある程度誤差が大きくなることを覚悟して基盤地図情報を作成するか、あるいは、地図に記載されている基準点について、地図座標と成果表の値とを比較し、あらかじめ補正すること等の手段を用いて、誤差の抑制に努める必要があると考えられる。

対応点の選び方

対応点の選び方は、実践面で最も大きな問題になると予想される。

まず、種別の異なる図葉間で対応点が正確に取れるとは限らない。具体的には、1/2,500 都市計画基図と 1/500 道路台帳図では、道路縁の取り方が異なるであろう。道路の角が半径 30cm 程度の丸みを帯びている場合、1/500 道路台帳図ならばこの丸みは地図上に表現されるが、1/2,500 都市計画基図ではこの丸みは表現されないと思われる。このため、対応点として取得する地点の実際の位置が 20cm 程度ずれる可能性がある。

一旦紙地図として印刷されたものをデジタル化した地図の場合は、さらに、線幅分程度の誤差が入るため、対応点の位置精度は更に低下する恐れがある。

対応点の取得精度は、基準点測量でいう機械の据え付け精度、写真測量でいう刺針の精度に相当するものであるため、実際の作業においては細心の注意を要すると思われる。

計算量

対応点をどの程度選ぶかにもよるが、数十点程度であれば、平均計算自体の計算量は大したことではない。また、近似変動ベクトル場 $V^*(B, L)$ を求めて地図の地物を移動させること自体は、世界測地系へ移行した際のデジタル地図の変形と同程度の計算量であるため、それほど大変ではないと思われる。

ここに挙げた以外にも、これまで見てきた理屈のとおりに行かないようなファクターは存在しうると考えられるが、基盤地図情報を整備すべきことは AP2010 で既に規定されており、また、基本法が昨年夏から国会で審議され始めたことなどを受けて、基盤地図情報を作成するための経費も認められており、基盤地図情報は鋭意作成しなければならない情勢にあると言える。

6. 基盤地図情報の利用促進

6.1 基盤地図情報の流通方策

AP2010 では、「政府の保有する地理空間情報についてはインターネットによる無償提供を基本とする」と規定されており、現在審議中の基本法でも、国が整備した基盤地図情報は、原則としてインターネットにより無償で提供すること、と規定される予定となっている。これらの規定を受けて、国土地理院では、作成した基盤地図情報をインターネットにより無償で提供する予定である。

基盤地図情報は、作成して無償で提供すれば直ちに利用が進むとは限らない。国土地理院では、流通を促進するために必要な方策をいくつか講じることとしているが、ここではそのうち主として技術的なものを紹介する。

6.2 電子地図間の地物の転写

これまでも、施設管理分野などで地理空間情報を大量に保有している団体は存在した。それらの団体は、自ら管理している施設に関する情報を、道路その他の汎用的な地理空間情報と組み合わせ管理運用してきた。しかし、現実には GIS の普及は進んだとは言い難い面がある。なぜだろうか。

例えば、施設管理者は業務上の必要に応じて、大量の地図や地理空間情報を保有している。しかしその地図は、他の団体が保有している地図とぴったり整合するとは限らない。この事情は、何も施設管理者に限った話ではなく、地図と地理空間情報を保有している全ての人もしくは団体に該当する。このため、自ら保有する地理空間情報を互いに提供し合い利用しようとしても、新たに入手した地図や地理空間情報がそのままでは使えないことが多く、結局、情報の相互利用がコスト減に直結しなかったのである。

ところで、それらの地図を保有している人もしくは団体が、自ら保有している地図と新たに入手した基盤地図情報との間で図葉間平均計算を行うとどうなるだろうか？

それらの地図が相応の精度を持っているならば、図葉間平均計算は成功する(残差が十分小さいものになる)だろう。基盤地図情報は位置の基準になるので、重みとしては無限大を設定することになるが、結果としてそれらの地図が微少に変形し、基盤地図情報とぴったり整合するのである。一旦基盤地図情報と整合した地図は、その上にある任意の地物を容易にレイヤ間転写できるようになる。こうして、新たに入手した地図及び地理空間情報を、基盤地図情報へ取り込むことは容易に実現でき

る。

このような便宜を図るため、図葉間平均計算を行うツールは、国土地理院で開発した上で、無償で広く配布する予定である。このようなツールの配布は、6年前の世界測地系の導入に際しても行った。世界測地系、基盤地図情報といった新しいパラダイムを世の中に定着させるためには必要な措置であると考えている。ちなみに今回のツールは、GIS に組み込んで使ってもらえるよう、ユーザインターフェースを公表した上で dll の形式でも配布する予定である。

この、地図間の地物の転写は、基盤地図情報を必ずしも経由しなくても良い。例えば、施設管理者の立場で、新たな工事図面が得られたとして、その工事図面に記載されている特定の地物を手持ちのマスター地図 DB に格納したい場合、マスター地図 DB と工事図面との間で図葉間平均計算を行えば、工事図面とマスター地図 DB が一時的にぴったり整合する。その際、マスター地図 DB の重みを無限大に設定しておけば、工事図面がマスター地図 DB に整合するように変形するのであるから、あとは必要な地物をマスター地図 DB に転記すればよい。

また、既に基盤地図情報に整合するような汎用的な地理空間情報が存在して、それを自分のマスター地図 DB に取り込みたくなった場合は、自分のマスター地図 DB 側の重みを無限大に設定して図葉間平均計算を実施すればよい。

図葉間平均計算は、そのままでは必ずしも整合するとは限らない地図同士で地物を無理なく転写するためのツールとしても使えるのである。

6.3 基盤地図情報の更新

さて、基盤地図情報が継続的に使用できるためには、現実社会における地物の変化に応じて、基盤地図情報もメンテナンスされなければならない。このため、国土地理院では、測量法第 40 条第 2 項に基づいて、公共団体が実施した公共測量の成果の写しの提出を今後も求めていく予定である。この成果の写しからは、基盤地図情報との間で図葉間平均計算が行われ、変更のあった地物について、基盤地図情報への転写あるいは修正が行われることになる。

6.4 写真を使用した基盤地図情報の更新

新たに撮影した空中写真も、基盤地図情報のメンテナンスに活用できる。

基盤地図情報の項目(基本的な道路や基準点など)が空中写真に写っている場合、それらの項目の位置座標は既に判明している。従って、それらの項目の写真座標さえ正確に取得できれば、基盤地図情報と非常によく精度で整合するような正射写真画像を作成することが可能になり、基盤地図情報の修正も容易に行うことができる。

7. 終わりに

基盤地図情報について、その必要性、意義、相対位置精度の重要性、実際の作成方法、新たな利用分野などを概観した。基盤地図情報はまだ存在しておらず、現段階ではコンセプトが先行しているに過ぎないが、国土地理院としては、GIS の普及を進め、測量に要するトータルコストを軽減する観点から、基盤地図情報の整備を鋭意進めて参りたいと考えている。