

基盤地図情報のための画像情報の整備

キーワード：基盤地図情報
GPS／IMU
デジタルカメラ
5mメッシュ標高
20cm解像度オルソ

画像調査課長

田 村 栄 一

基盤地図情報のための画像情報の整備

1. はじめに

基準点、海岸線、行政界など、国土の基盤となる地理空間情報を基盤地図情報と定義している。この基盤地図情報は、国内の地理空間情報の共通基盤となり、データ共有による効率化、データが存在しない地域においては新たにデータを利用できることになる利便性の向上などが期待される。

データを整備するに当たり、測図部画像調査課においては、標高データを作成するとともに、その標高データを利用したオルソ画像の作成を行うこととしている。

2. アナログ情報からデジタル情報へ

基準点測量では、トランシット及び光波測距儀を用いて測定した数値を手簿に記載し、電卓によって計算していたものが、トータルステーションやGPSを用いた測量に推移してきた。地形測量においては、ポジフィルムを図化機にセットしてハンドルを操作して図化していたが、デジタル画像をデジタルステレオ図化機に読み込んで図化する測量になってきた。地図編集においてもコンピュータ上で編集するのは、もはや通常の業務形態となっている。

このような中、測量用写真の撮影においては、数十年前からほとんど変わらず、測量用のフィルムカメラを用いて撮影を行ってきており、デジタル化が最も遅れた分野となっている。しかしながら、撮影分野において、GPS/IMU、デジタルカメラ等の新技術が登場し始めた。これら新技術は、調査研究部門では従来から行われてきたが、実用化の目処が立ち、実際の測量への利用を促進するため、画像調査課として撮影部門を統合し、一括して扱うこととした。これにより、最後のアナログ情報である測量用写真についても、ようやくデジタル化へ向かうこととなった。

3. 新技術

3.1 GPS/IMU

3.1.1 GPS/IMUの概要

GPSによって飛行機の位置を測定し、これを用いて空中三角測量を支援することは、GPSが本格運用された十数年前より考えられており、国土地理院の飛行機「くにかぜII」においてもGPSを搭載して撮影を行って研究を行ってきた。

しかし、GPSでは飛行機の位置はわかるが、写真測量では、カメラの向きを求めることも重要である。そこで、カメラの向きを記録することができる「IMU（慣性航法装置）」とGPSを組み合わせ、GPS/IMUとして運用することが考えられるようになった。

IMUとは、ジャイロ（角加速度計測装置）と加速度計を搭載し、ロケットやミサイルなどの飛翔体の姿勢制御に用いる技術であり、国産のH-IIロケットにも搭載されている。センサーは、力を加速度に変換できるので、ジャイロのデータを積分してカメラの姿勢角（ κ , ϕ , ω ）《図-1》を計算し、加速度計の積分データをGPSデータと総合してカメラの位置を計算している。ただし、積分による誤差が蓄積するため、1コースの撮影は15分以内が望ましいとされている。

図-1に示すように、作業規程ではGPSの位置精度を0.3m、IMUの角度精度を0.015度と定めているため、例えば、高度2,000mで撮影した場合、IMUによる角度精度を変換した位置精度は0.5mとなり、角度精度がGPSの位置精度より重要であることがわかる。

また、 ϕ や ω が例えば1.5度傾いていた場合、写真中心位置は50mずれるということを意味するため、GPSだけでは位置を把握することが困難であることもわかる。

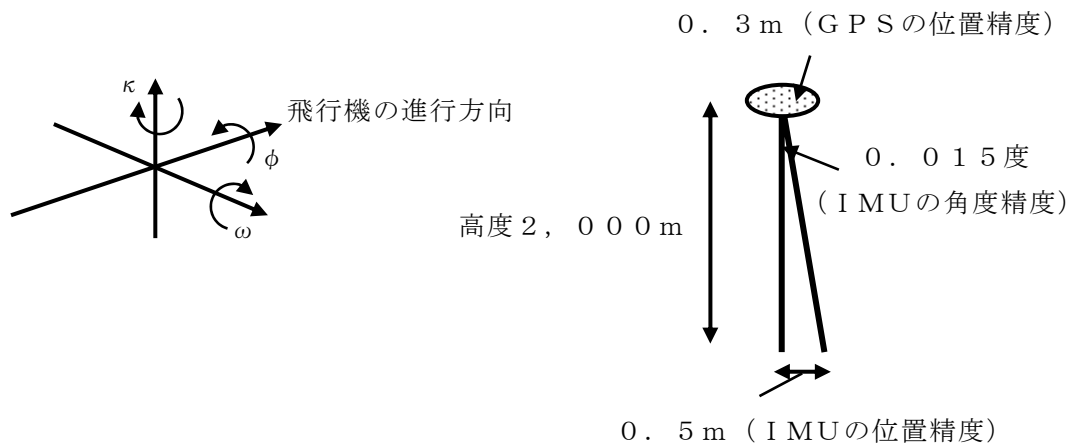


図-1 GPS/IMUの精度

3.1.2 空中三角測量への応用

空中三角測量を行う場合、パスポイント（隣接画像の対応点）やタイポイント（コース間画像の対応点）を写真から取得し、写真を接続していく。これを、地上標定点で補正して全体のモデルを作成していくわけであるが、地上標定点を全ての写真に取得するわけではない。このため、図-2の矢印の位置に地上標定点を取った場合でも、それ以外の場所は点線のように実際とずれている可能性がある。

しかし、GPS/IMUを用いることにより、全ての撮影画像の外部標定要素（カメラ位置・回転角）が計算によりわかるため、地上標定点が無い画像でも写真の接続を精度良く求めることが可能になる。

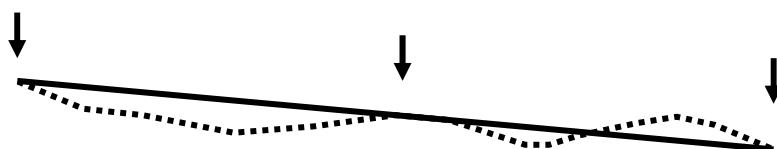


図-2 GPS/IMUの有無による標定の状況

現在、国土地理院が所有している「くにかぜⅡ」には、平成7年よりライカ・ジオシステムズ社のフィルムカメラRC30を搭載している。平成15年には、このカメラにGPS/IMUを取り付け、精度検証の後、運用を行っている。

3.2 デジタルカメラ

現在、インターグラフ社のDMC、バクセル社のUltraCamD及びUltraCamX、ライカ・ジオシステムズ社のADS40の3種類の航空測量用デジタルカメラが開発されている。それぞれの機種は、国内において既に導入され、大手の航空測量会社を中心に使用を開始している。

このうち、DMCとUltraCamは、通常の写真と同じようにシャッターを切って四角い画像を撮影するフレームセンサーであり、ADS40はコピー機のように直線のセンサーで途切れない画像を合成するラインセンサーである。

これらの測量用デジタルカメラと従来から使用しているフィルムカメラ、通常のカメラ店で販売さ

れているデジタルカメラの画素数を比較すると、表-1のようになっている。測量用デジタルカメラは画素数が多くなっているが、複数の画像を合成して1枚の画像を作成しているためであり、合成前の画像については、市販のデジタルカメラとそれほど違いはない。

表-1 各種カメラの画素数

名称	分類	画素数
DMC	フレームセンサー	13,824 × 7,680
UltraCamD	フレームセンサー	11,500 × 7,500
UltraCamX	フレームセンサー	14,430 × 9,420
A D S 4 0	ラインセンサー	12,000 (前方, 直下, 後方)
R C 3 0	フィルムカメラ	11,500 × 11,500 (20 μmでスキャン)
EOS 1Ds Mark II	一般デジカメ	4,992 × 3,328
D 2 X s	一般デジカメ	4,288 × 2,848

デジタルカメラの画像は、画素数が縦横で異なり、図-3のように長方形であることも特徴である。デジタルカメラの場合には、多くの枚数を撮影した場合でも費用がほとんど変わらないため、フィルムカメラと比較すると短い間隔でシャッターを切ることができることから、飛行機の左右方向の画素数は多くし、進行方向の画素数を少なくするようにしている。

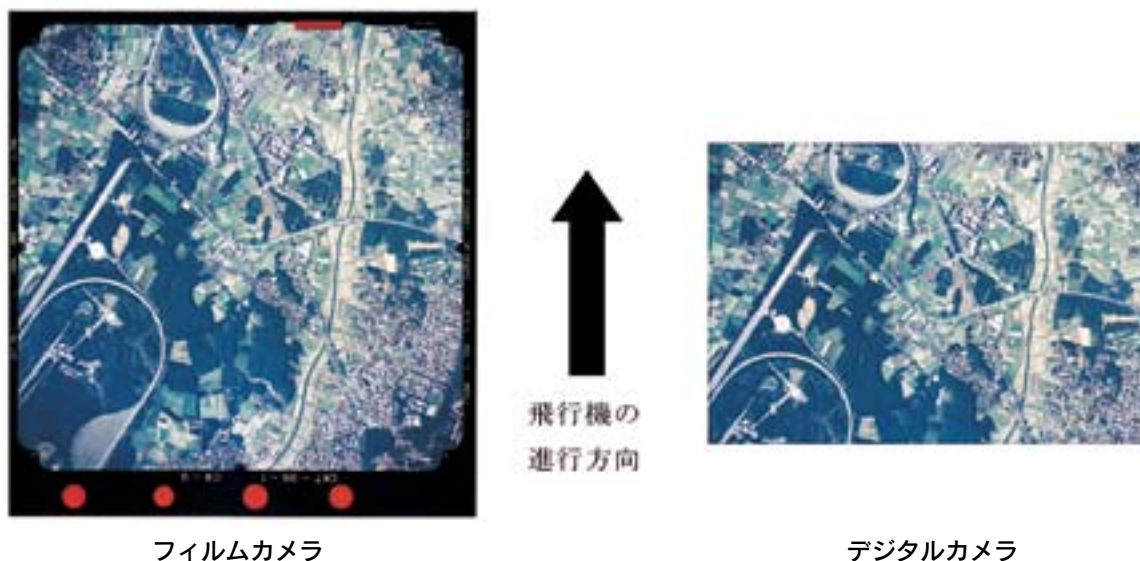


図-3 フィルムカメラとデジタルカメラの撮影画像

また、カラーフィルムは、青、緑、赤の順で感光層が並び、青と緑の間には青色を吸収する層があるなど何層にも重なっている。このため、各層を透過して次の層に感光させる際に、像がボケてしまうことから、シャープな画像が得られない。しかし、測量用のフレームセンサー型のデジタルカメラでは、基本となる画像を白黒で撮影し、色ごとに別のレンズで撮影した画像を合成したパンシャープン画像となるため、シャープな画像を得ることができる。これは、この後に説明するステレオマッチングにおいて大変有効である。

国土地理院においても、デジタルカメラによる撮影を開始することとし、入札の結果、UltraCamD

を導入することとなった。現在、飛行機への搭載に向けた改修を行っており、本年秋より運用を開始する。外注撮影においても今年度からデジタルカメラの使用を開始しているため、刊行している空中写真の一部は、今年度よりデジタルデータになる予定である。

3.3 画像データベース

測量用写真が最後のアナログ情報となった理由として、データ量が非常に大きいということがある。例えば、23cm×23cmのカラー写真を20 μm 間隔でスキャンし、1,670万色（各色8ビット）フルカラーでデータ化した場合、1枚の写真のデータは400MB（メガバイト）となる。これは、CD 1枚に写真1枚しか入らないことを意味する。

縮尺1/10,000で撮影して全国のデータを作成した場合、解像度は20cmであるから、各ピクセルの面積は0.04㎡となる。全国で38万km²であるから、全国のピクセル数は10兆となり、総データ量は30TB（テラバイト＝ギガバイトの約1,000倍）となる。

30TBというデータ量は、安価な大容量ハードディスクが普及してきた現在では、それほど大きなデータ量と感じない。しかし、数年前にサーバーを構築する場合には、バックアップ、データ転送速度の問題などもあって大規模なシステムになるため、数億円を準備しておく必要があった。

以下に解像度によるデータ量の比較を示すが、解像度1mであればパソコンでも扱うことができるデータ量になっていることがわかる。

表-2 解像度による総データ量の比較

解像度	ピクセル面積	ピクセル数 (全国)	総データ量 (8ビット3色)
20cm	0.04㎡	10兆	30テラバイト
40cm	0.16㎡	2.5兆	7.5テラバイト
1m	1㎡	0.4兆	1.2テラバイト

データ量の理由から、個別の写真を高解像度にスキャンして写真図を作成するような業務は行われてきたが、全国のデータを格納し、自在に取り出すような業務は行われてこなかった。しかし、大容量データを格納する環境が整ったため、オルソ画像の整備を行うことができるようになった。

今回は、国土地理院の内部のためのサーバーの構築であるため、通常データサーバーで対応することとするが、今後は電子国土等により公開・提供を行うことが考えられるため、必要なサーバーの規格等について、今後検討していく予定である。

4. 基盤地図情報

4.1 概要

基準点、海岸線等の基盤地図情報として定められている項目のうち、画像調査課においては、標高データを空中写真から作成するとともに、その標高データを利用したオルソ画像の作成を行う。

整備は、都市部を中心に行うことになっているため、従来から国土地理院が作成している2万5千分の1地形図と比較すると高精度なデータとなっている。

4.2 標高データ

4.2.1 標高データの作成

縮尺 1/10,000 で撮影した写真を元に、ステレオマッチング等によって標高データを作成する。ここでいう縮尺 1/10,000 とは、地上解像度 20cm 相当のことを意味し、1 枚の写真の幅は、フィルムカメラでは 2.3km、デジタルカメラ (DMC) では 2.8km、デジタルカメラ (UltraCamD) では 2.3km となる。

ステレオマッチングとは、図-4 のようにステレオペアの画像に写った情報を比較して 2 つの画像から同じ地物を抽出し、画像上の位置から地物の標高を自動的に計算する作業のことをいい、図化作業を自動的に行うということである。ただし、グラウンドや農地のように同じ模様が続く地域などではマッチングに失敗する可能性があるため、完全自動処理にはならず、手作業による編集処理を多少行う必要がある。

また、標高データは地面の高さであるのに対し、ステレオマッチングでは建物等の屋上高が得られるため、建物を除去した標高にするためのフィルタリング等の作業も行う必要がある。

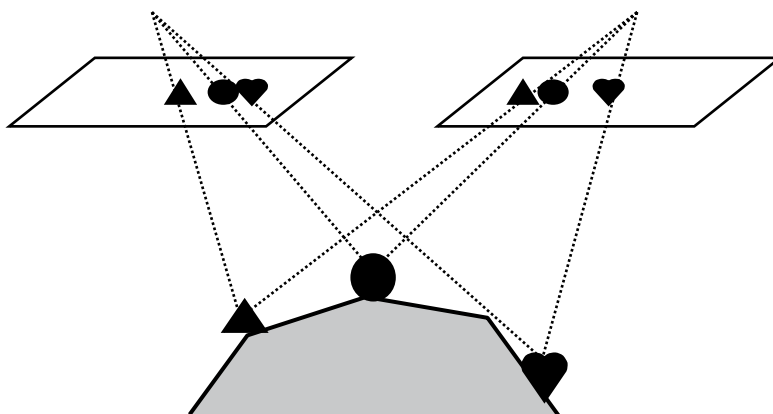


図-4 ステレオマッチング

国土地理院において、いくつかのソフトでステレオマッチングを行ったところ、90%以上の割合で精度を満たす標高を自動的に抽出することができることが確認できた。マッチングできる割合は、フィルムカメラよりもデジタルカメラの方が高く、95%を超える場合もあった。

しかし、市街地などでビルがある場合には、屋上高が急変するため、その屋上高の急変を認識できず、エラーが生じることが多い。このため、市街地では、あらかじめ屋上高が急変する箇所を目視により指示し、指示した箇所の標高を固定するブレイクライン法と呼ばれる方法を用い、精度を保つことが重要となる。

4.2.2 基盤地図情報の標高データ

基盤地図情報として作成する標高データは、経度・緯度の間隔が 0.2 秒のグリッドデータである。国土地理院では、従来から 50 m メッシュデータを刊行しているが、日本測地系版では経度 2.25 秒 × 緯度 1.5 秒、世界測地系版では 2 秒 × 2 秒であり、経度・緯度のグリッドとしていて、北海道と沖縄ではグリッドの大きさが異なっている。今回作成する 0.2 秒間隔の標高データは 5 m に相当するため、5 m メッシュと表現することもできる。

標高データの精度は、垂直方向に 0.7 m 以内としている。通常の縮尺 1/10,000 の撮影から作成する 1/2,500 地形図の場合には、等高線間隔が 2 m であるため、標高点精度が 1/3 の 0.67 m、等高線精度

が1/2の1.0 mである。このため、今回作成する標高データは、地域全体で標高点と同じデータ精度で作成されるということになる。

4.3 オルソ画像

オルソ画像とは、写真に写り込んでいる情報の大きさ及び位置を正しい場所に移動させた画像のことであり、正射画像ともいう。本業務では、作成した標高データを利用し、オルソ画像を作成する。

連続して撮影した空中写真は、簡単につながりそうなイメージがあるが、視点の違いがあるため、そのままではつなげることができない。例えば、壇上から客席を見た場合、図-5のように視点によって見え方が違ってくる。本来、前後に見えなければならないものが左右にずれることに加え、近くのは大きく、遠くのは小さく見える。空中写真の場合でいえば、標高が高い地域は飛行機に近いので大きく写り、標高が低い地域は小さく写るため、ビルや山などでは、傾いて写ってしまう。

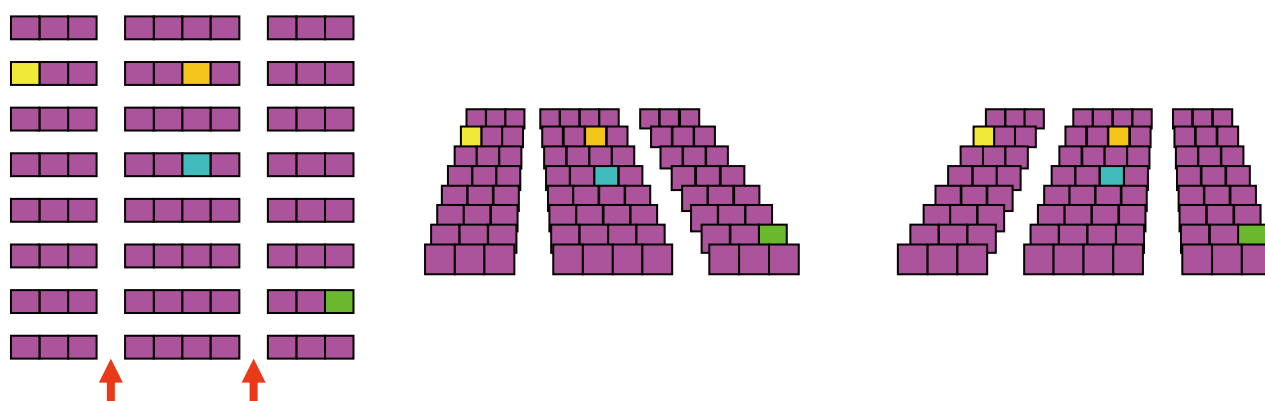


図-5 視点による見え方の違い

このように、視点によって違う見え方になっている状態を複数の写真から計算し、図-6のように正しい位置に正しい大きさで並べることをオルソ化という。この変換に必要な標高は、ステレオマッチングで用いた標高を使用する。



図-6 オルソ化による見え方の違い

基盤地図情報として作成するオルソ画像は、経度・緯度の幅が0.008秒のピクセルデータである。このため、北海道と沖縄ではグリッドの大きさが異なっているが、概ね20cmに相当するため、20cm

解像度と表現することになっている。

オルソ画像の水平位置精度は、1 mとしており、1/2,500 地形図の1.75 mより高精度であることから、1/2,500 地形図や基盤地図情報の作成が期待できる。

オルソ化した画像は、視点によるずれがないため、シームレスに結合することができ、データベース管理をした場合には、全国をスクロールして見ることも可能になる。

4.4 整備計画

4.4.1 整備計画

基盤地図情報の整備に当たっては、費用対効果を考え、都市計画区域のうちの線引き区域について、標高データ及びオルソ画像を平成19年度から平成23年度までの5箇年で整備することとした。

4.4.2 線引き区域

測量・地図の世界では、線引き区域という名称になじみが薄いため、どのような区域なのかを図-7を用いて最初に説明する。

我が国の国土のうち、中心市街地と一体の都市として総合的な開発等を行う区域を都市計画区域として指定している。都市計画区域は、全国38万km²のうち、10万km²の面積を占める。

都市計画区域は、線引き区域と非線引き区域とに分けられる。このうちの線引き区域は、都市計画区域の約半分の51,600km²となり、全国の14%の面積を占める。

線引き区域とは、計画的な市街地を形成するために用途地域を定めた市街化区域、用途地域を定めずに開発を抑制する市街化調整区域の2種類に線を引いて分けた地区を合わせた区域を指す。この2種類に線を引くことを線引きと呼ぶことから、線引き区域と通称されており、51,600km²のうち、市街化区域は14,300km²の面積を占める。

なお、市街化区域を定めるためには、中心市街地が一定の人口及び人口密度であることが必要であるため、地方の小都市において線引きをした場合、全ての地域が市街化調整区域となってしまう、開発ができなくなってしまう。このため、あえて線引きを行っていない場合もあるが、区域を分ける線が引かれてないだけなので、中心部には用途地域が設定され、適当な開発が行われている。このため、非線引き区域においても4,000km²の面積には用途地域が指定され、事実上の市街化区域ともいえるが、今回は整備対象となっていない。

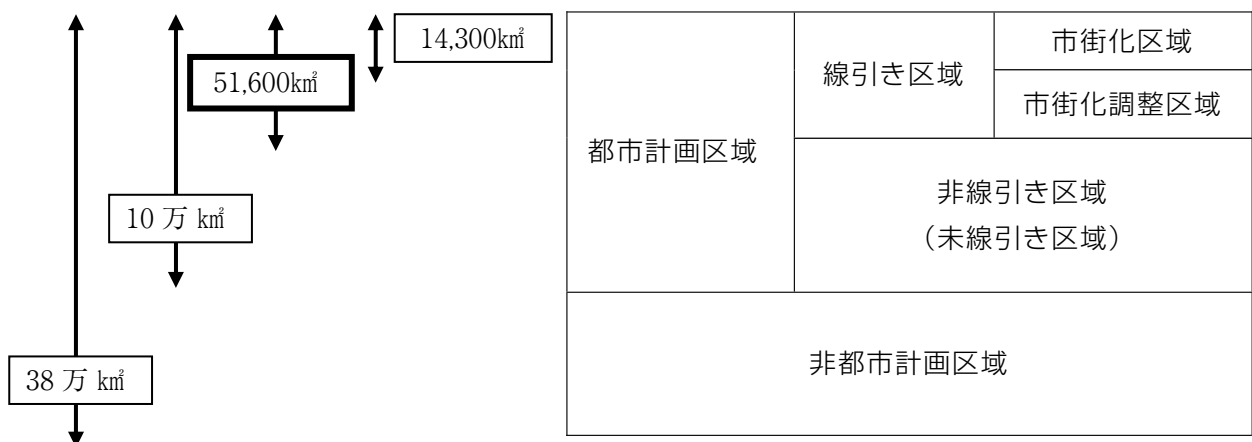


図-7 各区域の面積

4.4.3 線引き区域の人口

基盤地図情報の整備対象である線引き区域が全国の14%の面積というのは、非常に少ない印象がある。しかし、人口で考えた場合には、図-8に示すように線引き区域に9,700万人が住んでおり、76%の人口を占めることとなり、経済活動の多くがこの地域で行われていることを考えると、国土の多くの部分に基盤地図情報を整備することになる。

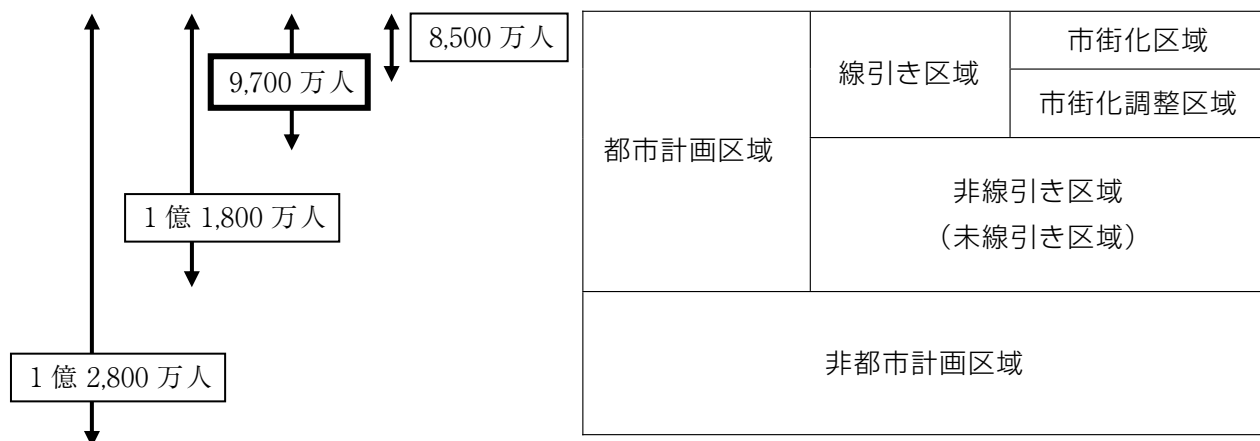


図-8 各区域の人口

5. 今後の予定

5.1 提供・刊行

5mメッシュの標高データについては、基盤地図情報の項目であるため、インターネットによる提供を行うことになっている。20cm解像度のオルソ画像については、データ量が非常に大きいことから、そのままインターネットで提供することは困難である。このため、間引いた画像をインターネットで提供することとし、20cm解像度のデータは、CDやDVDなどの電子媒体での提供になる予定である。

なお、撮影した写真の提供も引き続き行う。ただし、フィルムカメラによる地区とデジタルカメラによる地区が混在しているため、従来と同じネガフィルムから印画紙に焼き付けた場合とデジタルデータによる場合がある。

整備は5年計画で行われるため、全地域が揃うのは5年後となるが、順次提供していく方針である。

5.2 オルソ・標高データからの地図作成

オルソ画像の水平位置精度は、1mとなっている。これは、基本測量や公共測量の作業規程で定められている1/2500地図の水平位置精度1.75mよりも高精度である。このため、オルソ画像を背景にして地図編集を行うことにより、図化機を使わずに地図作成を行うことができるようになると考えられる。

また、標高データの垂直位置精度は、0.7mとなっている。これは、基本測量や公共測量の作業規程で定められている1/2500地図の等高線精度1mよりも高精度である。このため、以下の図のように標高によって色分けした段彩図を背景にして地図編集を行うことにより、図化機を使わなくても等高線作成を行うことができるようになると考えられる。なお、標高データから等高線を発生させるソフトウェアも存在するが、手作業でスムージングをする必要があるため、図-9のように段彩図を背景にして等高線作成をすることも考えられる。



図－9 段彩標高図

今後、精度検証、作業手法の検討などを行い、オルソ・標高データを使った安価な基盤地図情報整備を地方公共団体が行うことができる環境を整え、共通基盤を作るための手助けとする。

6. 終わりに

基盤地図情報の整備は、国土地理院は2万5千分の1地形図などの中縮尺図から小縮尺図、地方公共団体は大縮尺図という従来の分担の垣根をなくし、一体となって一つの基盤を作っていくという国家プロジェクトである。今回作成する標高データが基盤の一部となり、オルソ画像が基盤作成のために有効に活用されることを期待する。

