

特集

広がる 「地図」の世界

「milsil(ミルシル)」について
「milsil(ミルシル)」の「mil(ミル)」は「見てみる」「聞いてみる」「やってみる」の「ミル」。そのような「ミル」から、新たな、そして豊かな「sil(シル=知る)」が得られるでしょう。この雑誌とともに、皆様楽しい「ミルシル」体験をされることを願っています。

C O N T E N T S

3 【特集】 広がる「地図」の世界
[全体監修] 宇根 寛 (国土地理院地理地殻活動研究センター長)

3 地図と私たち
— 正確な地図の作り方
大木 章一 (国土地理院応用地理部長)

7 多様な地図を楽しむ
— 「地理院地図」で新たな発見を
山後 公二 (国土地理院地理空間情報企画調査課長)

10 明日を確かめ、未来を図る地図
— 主題図で地域の特性を理解しよう
永山 透 (国土地理院防災企画調整官)

14 進化する地図
— 超スマート社会の実現を支える地理空間情報
宇根 寛 (国土地理院地理地殻活動研究センター長)

17 Focus 科学者の探究心にせまる
カタツムリを左巻きに進化させた、右利きのヘビ!
ふとしたひらめきを出発点に、驚きの「共進化」を発見
細 将貴 (東京大学大学院理学系研究科特任助教)

20 標本の世界
棘皮動物クモヒトデ類の入村精一コレクション
藤田 敏彦 (国立科学博物館動物研究部海生無脊椎動物研究グループ長)

22 日本の国立公園 第7回
伊勢志摩国立公園 ～人々の営みと自然が融合する景観美～
内田 清隆 (環境省中部地方環境事務所志摩自然保護官事務所国立公園保護管理企画官) 取材協力
半田 俊彦 (環境省中部地方環境事務所志摩自然保護官事務所アクティブ・レンジャー(自然保護官補佐)) 取材協力
石原 義剛 (鳥羽市立海の博物館館長) 取材協力
岡山 五津雄 (鳥羽磯部漁業協同組合石鏡支所長) 取材協力
中山 祐助 (鳥羽磯部漁業協同組合石鏡支所職員) 取材協力
三谷 よのゑ、河村 さん子、里中 徳子 (鳥羽磯部漁業協同組合石鏡支所 海女の皆さま) 取材協力

26 親子で遊ぼう! 科学冒険隊
#63 磯へ行って貝を観察! 貝の標本をつくらう!
齋藤 寛 (国立科学博物館動物研究部海生無脊椎動物研究グループ研究主幹) 監修

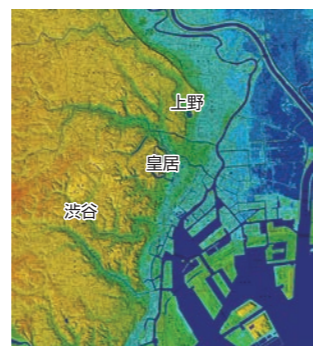
30 DNAを知る 第4回
DNAの塩基配列を調べる ～進化するシークエンシングの技術～

32 NEWS&TOPICS
世界の科学ニュース & おもしろニュースを10分で

34 milsil カフェ / 編集後記 / 定期購読のお知らせ / 次号予告



日本国の測位衛星である準天頂衛星「みちびき」のCG画像。4機の測位衛星からの電波信号を受信することで緯度、経度、高さを割り出すことができます。画像提供：内閣府宇宙開発戦略推進事務局



表紙写真
デジタル標高地形図「東京都区部」。「航空レーザー測量」(p.14 参照)により得られた詳細なデータで立体的に描かれた東京の地形。江戸城が周囲を低地に囲まれ、守りやすい台地の先端に築かれたこと、外堀が谷を活かして造られたこと、上野や渋谷の地名の由来など、普段は意識しない東京の自然の地形が浮かび上がってきます。画像提供：国土地理院

特集 広がる「地図」の世界

[全体監修] 宇根 寛 (国土地理院地理地殻活動研究センター長)

いまや、地図は、私たちの生活から切り離せないものになっています。人工衛星やインターネット、3Dなどの最新技術で、ますます地図は進化し、多様化しています。また、ハザードマップなどを通じて災害を防ぐことも地図の大切な役割です。今回の特集では、そうした地図の「これまで」と「これから」についての情報を提供します。

地図と私たち — 正確な地図の作り方

手の中にはスマートフォンの地図アプリ、自動車にはカーナビ、街角には道案内の地図、学校では地図帳、旅行雑誌には街々の地図。いまでは当たり前のことですが、当たり前になったのはそれほど昔のことではありません。正確な地図はどのようにつくられてきたのか、紹介します。



文・図版・写真
大木 章一 おおき しょういち
国土地理院応用地理部長
1989年東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻修士課程修了。同年国土地理院入省。ドイツ・ミュンヘン工科大学客員研究員、国土交通省土地局、国土地理院技術開発室長、同地理空間情報企画室長などを経て、2016年より現職。防災地理調査および環境地理調査を担当。

私たちが取り巻く地図

私たちの身の回りはさまざまな目的の地図で満ちあふれています。表現される内容はそれぞれ異なっていますが、背景となる地上の建物や道路はどれでも同じなので、一つ一つを一からつくることは非効率です。そのため、多くの地図は、基となる地図(基図)をコピーして色を塗ったり、簡略化やデザイン化したり、追加の情報を加えたりすることで効率的、経済的につくられています。現在では、ほとんどの場合、地図はデジタル情報としてつくられ、加工されるので、カーナビの画面で表示したり、インターネット上に配信したり、配信された地図をスマートフォンで見たりすることができるのです(図1)。道路の線情報に距離やつながり方の情報を追加して到達時間や最適な経路を表示することも難しいことはありません。

日本では全国を覆う基本図を国土地理院が作成し、多くの地図の基図となっています。地図作成の素材として、市町村

がつくる詳しい白地図(都市計画基図)なども取り込んでいます。どのくらいの縮尺までを国が担うのかは国によって少しずつ異なりますが、どこの国にも日本の国土地理院に相当する地図作成機関が存在し、自国の領土を地図でカバーしています。ここでは、正確な基本図がどのようにつくられているのか、つくられてきたのかを紹介します。

宇宙測地技術でつくられる緯度、経度

正確な地図は正確な経緯度の基準に基づいてつくられています。まず、経緯度の決め方からみていきましょう。2002年に経緯度の基準が日本測地系から世界測地系に変わり、いまの地図は世界測地系の経緯度に基づいてつくられています(日本測地系については後述)。世界測地系は、電波望遠鏡や人工衛星の観測によって地球の重心を求め、経緯度を決めていくものです。これに使う技術は宇宙測地技術とよばれ、VLBI(Very Long Baseline Interferometry 超長基線電波干

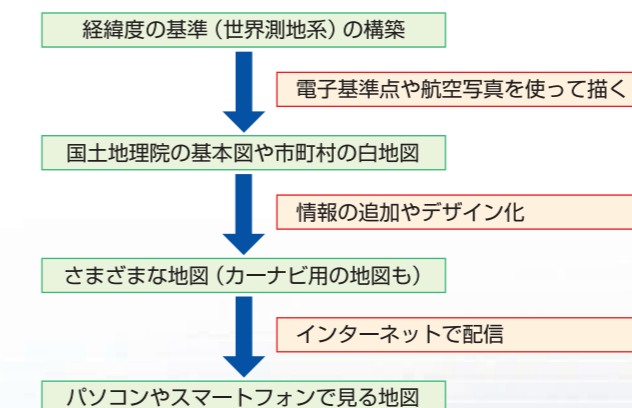


図1 地図作成の流れ



図2 国土地理院石岡測地観測局(茨城県石岡市)の電波望遠鏡

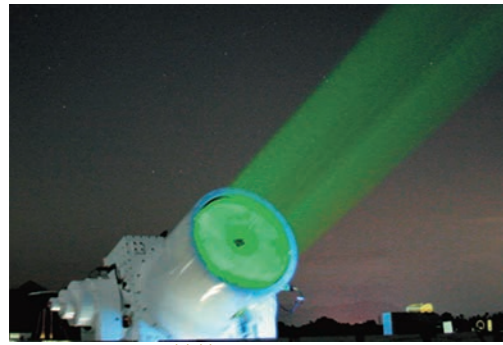


図3 海上保安庁下里水路観測所 (和歌山県東牟婁郡那智勝浦町) のSLR用望遠鏡

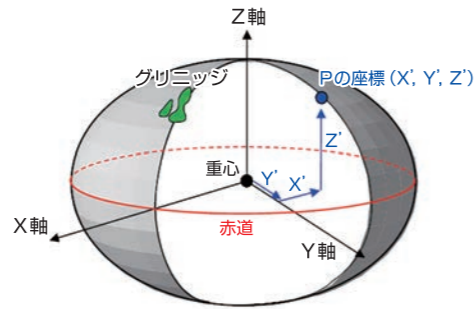


図4 地心直交座標系のイメージ



図5 国土地理院 (茨城県つくば市) 構内にある電子基準点



図6 航空写真の撮影



図7 デジタル図化機



図8 三角点と4つの保護石
三角点上面の十字の中心の経緯度の値が求められている。

渉法)、SLR (Satellite Laser Ranging 衛星レーザー測距)、GNSS (Global Navigation Satellite System 全球測位衛星システム) などがあります。

VLBIは複数の電波望遠鏡 (図2) による国際観測で地球の自転軸の方向と観測点間の正確な距離を求めることができます。電波を出す天体 (クエーサー) からの電波を正確な原子時計^{*1}を備えた電波望遠鏡で観測し、同じ天体から地球上の2つの電波望遠鏡に電波が届くわずかな時間差を計測し、観測点間の距離を求めます。天球に対する地球上の点の相対位置とその動きを求めると、地球の自転軸の正確な方向やそのゆらぎも一緒に求めることができます。

SLRは地球重心を中心とした軌道を描くミラーボールのような人工衛星です。このミラーボールに地上の観測局 (図3) からレーザー光線を当て、反射して戻ってくるまでの時間から、人工衛星と観測局の距離が求められます。レーザー光線を連続して当てることで、人工衛星の軌道がわかり、この軌道から地球重心の位置を求めます。

GNSSは、米国のGPS、ロシアのGLONASS、ヨーロッパのGalileo、日本の準天頂衛星「みちびき」などの人工衛星から発信される電波を用いて地上の位置の計測を行う (衛星測位) システムの総称で、国土地理院のGNSS連続観測点 (電子基準点) を用いた精度の高い測量から、カーナビやスマートフォンの位置決定に至るまで、すでに幅広く私たちの日常生活のなかに使われています。

VLBIの観測局とSLRの観測局を結びつけ (そしてGNSS

などを補完的に用いて)、これらの観測局の位置との相対位置として、地球の回転軸と、地球重心が決まり、逆算して地球重心を原点とする観測局の地心直交座標系^{*2} (Z軸を地球回転軸方向、X軸を赤道面上の経度0度の方向とする直交座標系) におけるXYZ座標が決定されているのです (図4)。XYZ座標を経緯度、高さ (回転楕円体からの高さ、楕円体高) に換算するためには、若干の凸凹をもつ地球の形に最もよく合う回転楕円体 (楕円を短軸の周りに回転させてできる立体) を、その中心を地球重心に、短軸を地球回転軸方向に合わせておいて、計算で求めます。

こうして国際協力で構築された経緯度の基準はITRF (国際地球基準座標系) とよばれ、各国はこのITRFに基づく座標値を国内の三角点などの経緯度の基準点に分け与えて、国内の経緯度の基準を構築しています。現在では世界の各国で、GNSS衛星を連続観測する基準点を整備しつつあります。日本では全国をカバーする約1300点の電子基準点 (図5) を国土地理院が整備して各種測量の基準として用いられています。

現代の地図づくり—世界測地系の時代

電子基準点を用いるGNSS測量では、GNSS測量機を用いて電子基準点とGNSS測量機との相対位置を測り、GNSS測量機の位置の経緯度を求めます。航空機にGNSS測量機を搭載して、同様に電子基準点との相対位置を測ると、航空機の経緯度を求めることができます。航空機はとても速く飛んでいるので、計測と計測の間に動いてしまうために起こる位

置のずれは、航空機に搭載した慣性計測装置^{*3}で補完して求めます。慣性計測装置では航空機の姿勢も併せて計測できます。航空機に搭載されるGNSS測量機と慣性計測装置を合わせてGNSS/IMUとよんでいます。

地上を描くには、GNSS/IMUと高精度、高解像度の大きなデジタルカメラを搭載した航空機で撮影した写真を用いています。写真は飛行方向に60%、隣のコースと30%だけばらけて撮影します (図6)。GNSS/IMUで計測した航空機の位置と姿勢、写り込んだ数か所の地上の点をGNSS測量機で別途測量した座標値がわかれば、2枚の写真がどのような位置関係にあるのが厳密に計算できます。2枚の写真を立て体的に見ることができるデジタル図化機 (図7) で写真に写り込んだすべての物の経緯度を計測することが可能になります。皆さんのなかには2枚の写真を立て体的に見るステレオスコープを見た方も多いのではないのでしょうか。精度は異なりますが、立体に見える原理は同じです。こうして立体に見えた家や道路の輪郭や、山々の同一標高の位置を一つ一つ丁寧になぞって現代の基本図はできています。

近代の地図づくり—日本測地系の時代

少し前、宇宙測地技術によって構築される世界測地系を日本が採用する前はどうかだったのでしょうか。わが国では、明治時代に国土地理院の前身である参謀本部陸地測量部が構築した日本測地系を使っていました。当時の技術では、だいたい、1か国から数か国をカバーすることが測地系構築の限界だったともいえます。まず、最初に、原点とよばれる測量の出発点で光学望遠鏡による緯度観測が行われます。星を見れば鉛直方向と天の北極のなす角から、単純に原点の緯度がわかるのです。緯度比べ、経度は少し複雑です。経度は0度であるイギリスのグリニッジ天文台からどれだけ経度方向に離れているかを測定しなければなりません。そのためには、電信と時計が用いられました。グリニッジである星が南中したときに電信で知らせ、同じ星が東京の原点で南中するまでの時間を時計で測るのです。地球は一日で1回転の自転をしますので、6時間早く南中すれば経度で90度、12時間早く南中すれば経度で180度離れていることがわかるのです。

原点の経緯度が決定したら、原点を頂点とする1辺40kmほどの三角形の他の頂点に三角点 (図8) を設置し、三角形の3つの角度を角度目盛りのついた経緯儀 (図9) とよばれる光学望遠鏡で測る三角測量を繰り返すことで、たくさんの三角形 (三角網) で日本をカバーしていきます。あとは、三角形のどこかの辺の長さを決定すれば、すべての三角点の位置を計



図9 カールバンベルヒ一等経緯儀
国土地理院地図と測量の科学館所蔵



図10 アナログ図化機
国土地理院地図と測量の科学館所蔵

算で決定することができます。辺の長さを測る作業を基線測量といいますが、10kmほどの直線を基線尺とよばれる数メートルの物差しを用いて μm (10^{-6}m) 単位で測る大変な作業です。

このように、原点の緯度観測と経度決定、基線の長さの測定、三角網の各角度の観測によって、日本の経緯度の基準が明治時代に構築されたのです。大きな三角形の中にいくつかの三角形をつくり、その三角形の中にまたいくつかの三角形をつくるというようにして、より細かく三角点を設置していきました。こうすることにより、日本のどこでも最寄りの三角点を参照して経緯度を決めることが可能となります。具体的には、三角点の上に平板とよばれる製図板を置き、別の三角点の方向を頼りに、建物や道路を図面上に描いていきました。日本の最初の基本図はこうした平板測量によって長い年月をかけて描かれたのです。

航空機が飛ぶようになると、現在の測量と同じように、重複する写真を撮影し、写真に写った経緯度のわかる点の位置から航空機の位置と姿勢を逆算するという写真測量も行われるようになりました。もちろん当時はアナログカメラに機械式のアナログ図化機 (図10) でした。戦前から大都市の地図修正に用いられていましたが、戦後になって5万分の1や2万5000分の1地形図の作成に大々的に用いられるようになり、昭和の末にはほぼ全国が写真測量による2万5000分の1地形図でカバーされました。

近世以前の地図づくり

さらにその前、江戸時代の地図づくりはどのようなものだったのでしょうか。日本が明治時代になって欧州から学んだ経緯儀を用いる測量は、欧州では1700年ごろに実用化されましたが、鎖国を行っていた日本ではまだ知られていませんでした。近世において、精度の高い日本全図がつくられたのは、いまから200年ほど前、南下してくるロシアや、近海にやって来るようになった欧州列強の艦船が頻繁に出没するようになり、主として沿岸防衛の観点から、正確な海岸線の把握が急務になってきたためです。初めは天文学的な関心から始まっ