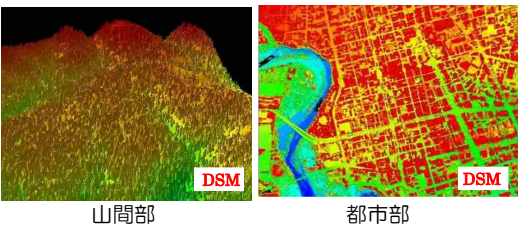


航空レーザー測量

航空レーザー測量とは、航空レーザースカナを使用して広範囲に高密度・高精度の標高データを取得する測量方法です。

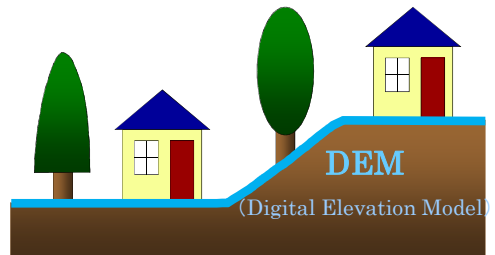
航空レーザー測量の概要

航空機から地上にレーザー光を照射し、地上から反射したレーザー光により地上までの距離を計測、これとGNSS測量機、IMU(慣性計測装置)から得られる航空機の位置情報から標高を取得します。

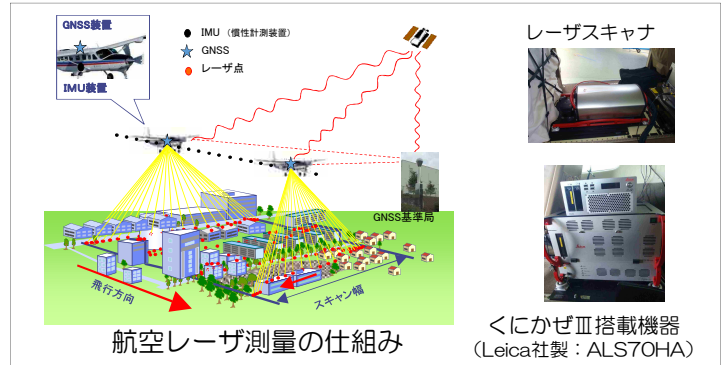
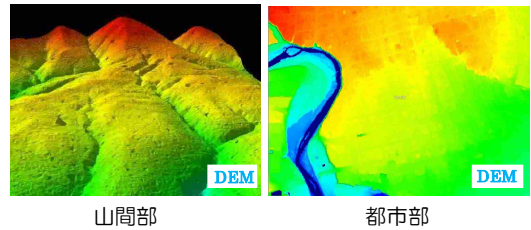


自動及び手動により
地表面以外のデータを取り除く

フィルタリング処理

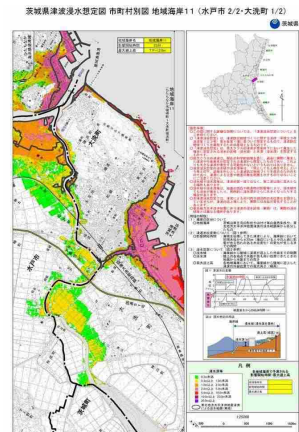
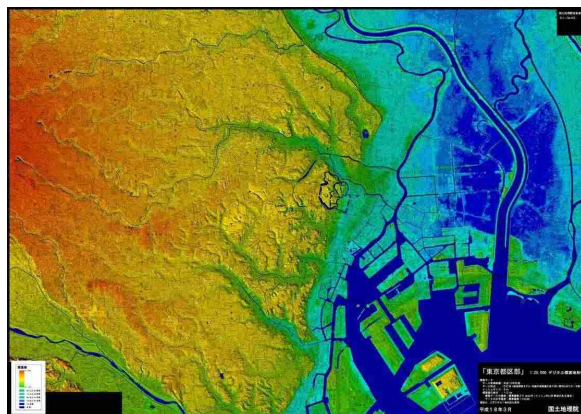


フィルタリング処理により、地表面だけの高さのデータを作成



航空レーザー測量の成果と利用

洪水や津波浸水予測、避難経路選定、ハザードマップなどの防災業務で広く活用



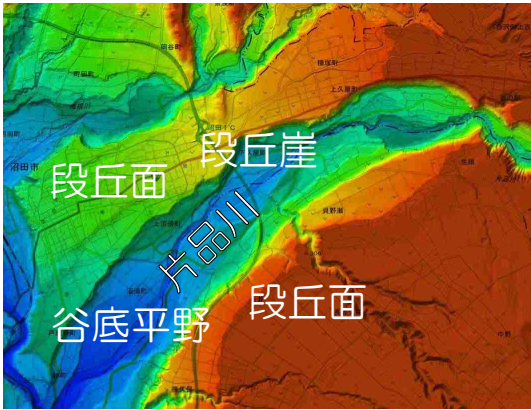
標高データで見る地形の凸凹

航空レーザ測量で得られた標高データを使うと、地形の凸凹が直感的にわかる地図が作れます。

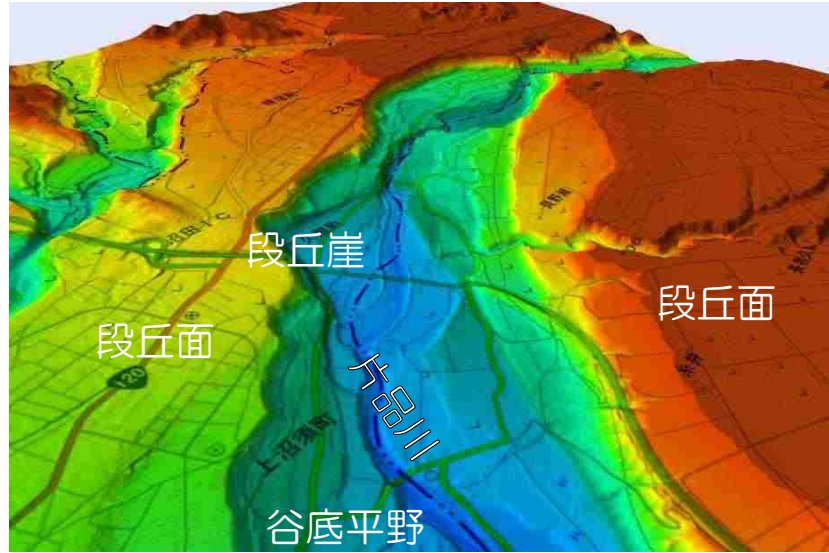
標高を色分けしたり影で地形を表現したりすると、地形が立体的に見えます。

河岸段丘がよく分かる地図

群馬県の片品川周辺を例に色別標高図を見てみると、どこが高くどこが低いか一目瞭然。



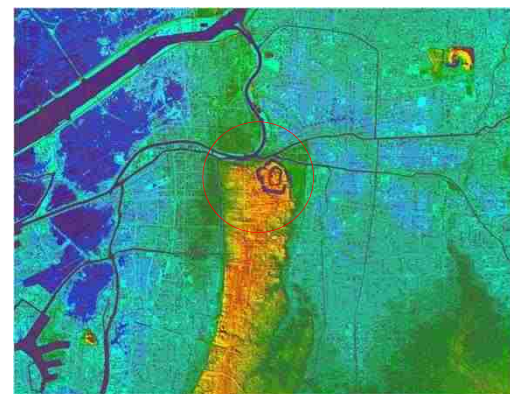
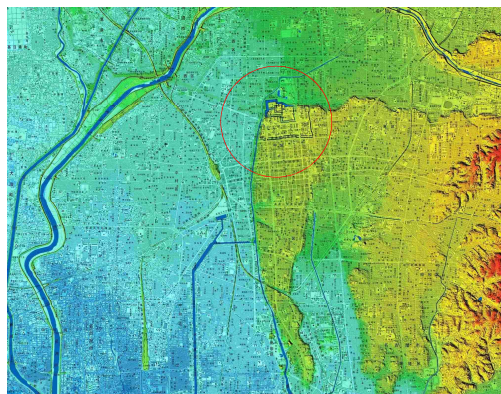
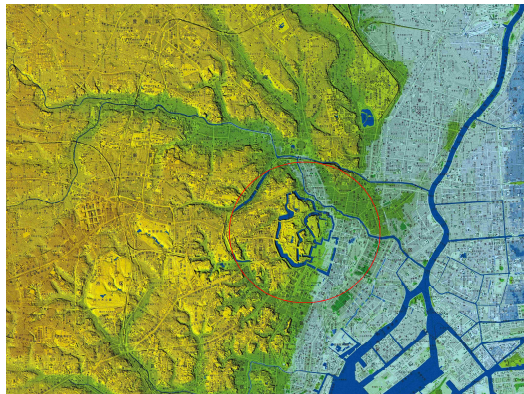
3次元表示



城郭の立地がよく分かる地図

城郭はどんな場所に立地しているでしょう。

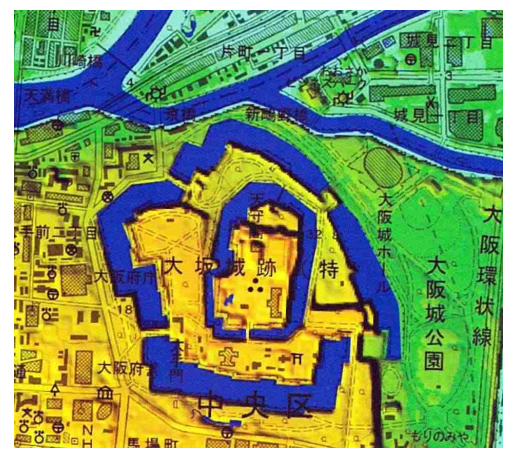
標高データを使うと、台地の縁に立地している城郭があることが分かります。



江戸城：武蔵野台地の東端

名古屋城：熱田台地の北西端

大阪城：上町台地の北端



航空機SARとは

航空機SAR(航空機搭載型合成開口レーダ)は、航空機に搭載した装置から電波(マイクロ波)を地上にむけて照射し、水蒸気(噴煙や雲)を透過させて、地表の様子や地形を観測(計測)する技術です。



「くにかぜⅢ」にSARを搭載した状況

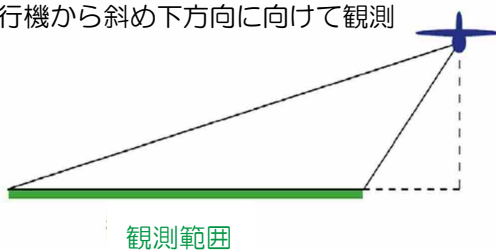


電波を透過するドア



アンテナ部

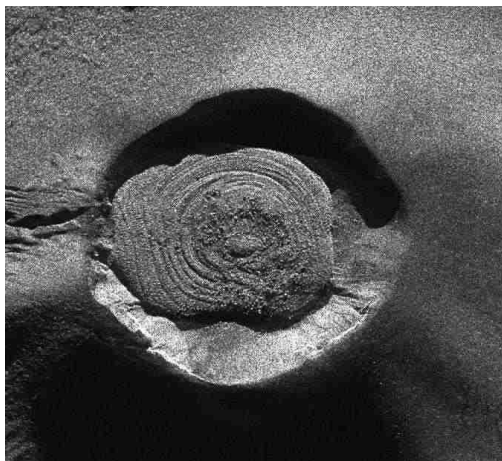
飛行機から斜め下方向に向けて観測



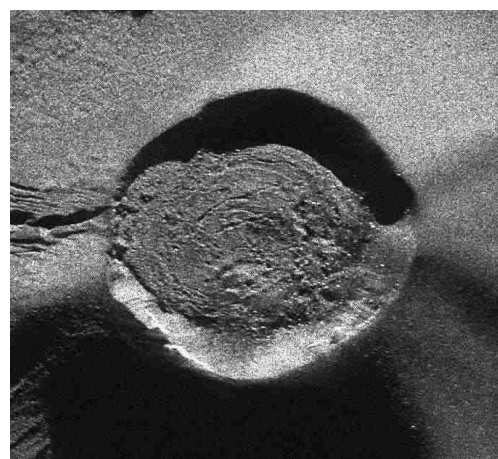
SARの観測イメージ図

新燃岳火口

2011/02/01観測



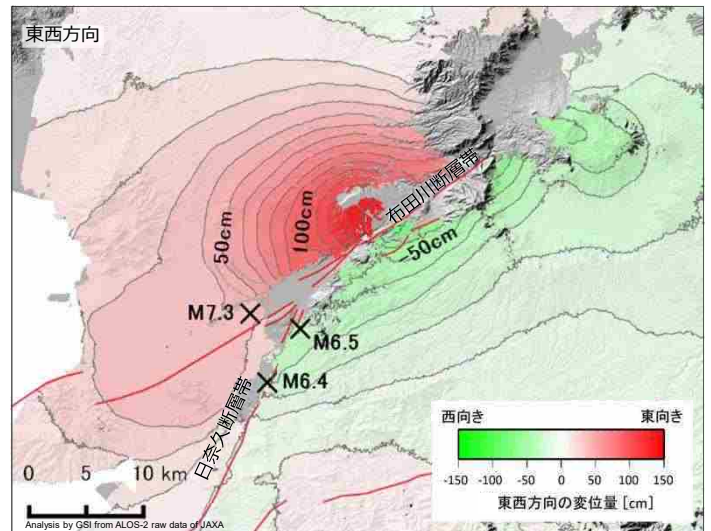
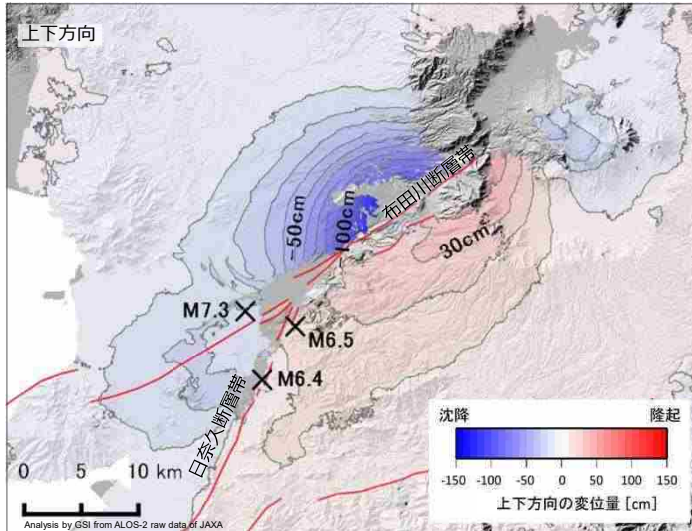
2011/02/07観測



宇宙から地表変動を把握(干渉SAR)

干渉SARとは、地上で観測を行わなくても、宇宙から地球表面の変動を監視できる技術です。陸域観測技術衛星2号「だいち2号 (ALOS-2)」のデータから地表の変動が手に取るようにわかります。

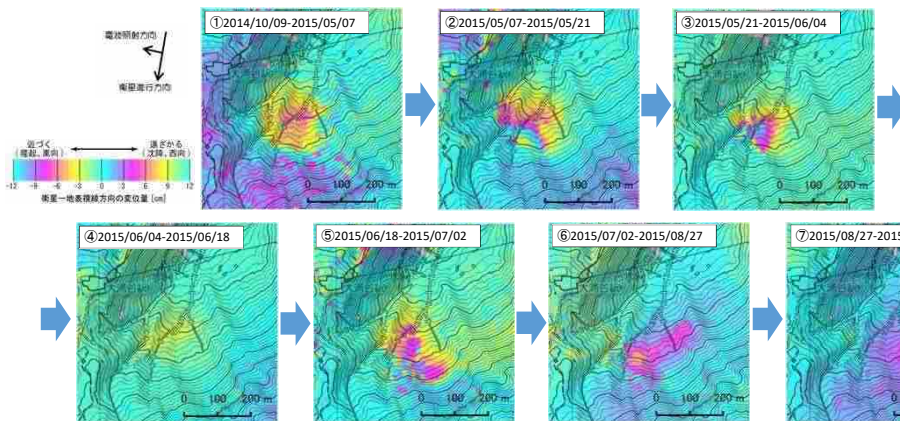
平成28年(2016年)熊本地震



平成28年(2016年)熊本地震の前後の観測から得られた変動量 左:上下方向 右:東西方向
 ×は震央 (M6.5: 2016/04/14 21:26, M6.4: 2016/04/15 00:03, M7.3: 2016/04/16 01:25) (気象庁, 2016) 赤線は主要活断層 (地震調査研究推進本部)

平成28年(2016年)熊本地震前後の観測により、日奈久断層、布田川断層を境に1mを超える水平変動や隆起・沈降を捉えました。この結果は、地震活動の評価等に活用されました。

平成27年(2015年)箱根山大涌谷の火山活動



平成27年(2015年)の箱根山大涌谷の火山活動では、マグマの活動による山体の膨張、収縮の推移を捉えました。

左の図では観測毎に地面の変動量が変化していることがわかります。

この結果は、噴火警戒レベルの判断に活用されたほか、立入規制範囲の決定に重要な情報となりました。



国土地理院の干渉SAR



本資料で使用した「だいち2号」データの所有権は、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) にあります。これらのデータは、「陸域観測技術衛星2号に関する国土地理院と宇宙航空研究開発機構の間の協定」、地震予知連絡会SAR解析ワーキンググループ (地震SAR解析WG) 及び火山噴火予知連絡会衛星解析グループ (火山WG) を通じて、JAXAから提供されたものです。数値気象モデルは、「国土地理院と気象庁とのオンラインによる防災情報の相互交換に関する協定」に基づき、気象庁から提供されたものです。数値積円体高モデルは、GSI10mDEHMJapan (飛田, 2015) を使用しました。

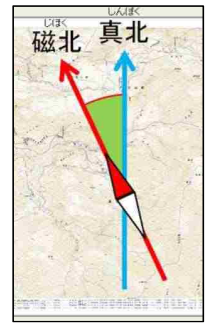
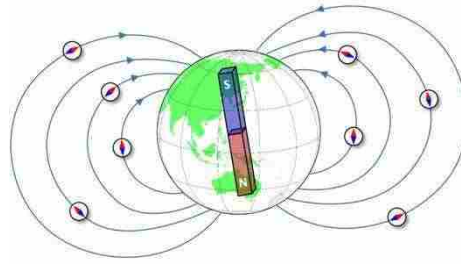
空から地球の磁場を測る

-航空磁気測量 1-

地磁気とは

地球は、磁石の性質をもっており、コンパスによって南北の方位を知ることができます。この地球の固有の磁場を『地磁気』と呼んでいます。

地球の磁石が指す北（磁北）は、地図の北（真北）とはズれており、さらに時間や場所によって変化するため、全国で地磁気の観測をしています。



日本周辺では西向きにズれる！

▲ 地磁気とは

地上で地磁気を測る

地磁気測量の目的は、地磁気各成分の地理的分布とその時間変化を把握することです。

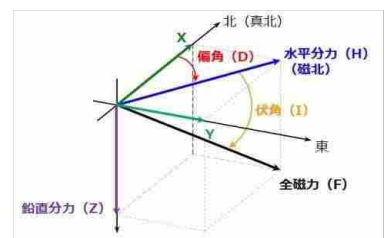
国土地理院では1949年に全国地磁気測量を開始してから60年以上にわたり全国の地磁気を観測してきました。

地磁気の観測では、自然の磁場を観測するため、自動車から離れるなど、人工的な影響を及ぼさないように、比較的人里から離れた環境で観測をしています。

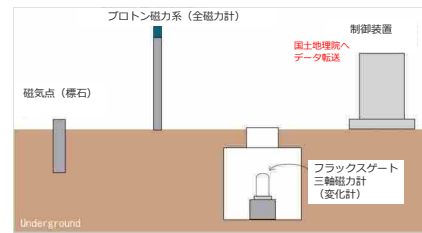
また、「地球電磁気連続観測装置」を全国に設置し、リアルタイムの連続観測を行っており、得られたデータは、通信回線を通じて取得され、データのクリーニング・計算処理などが行われ国土地理院のホームページから公開されています。



▲ 地磁気測量の風景



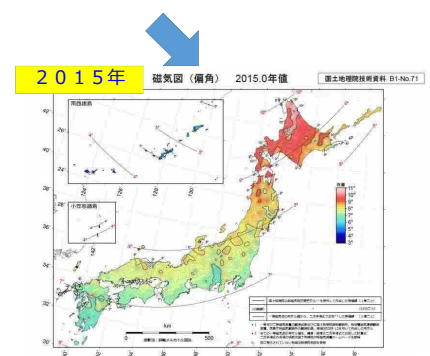
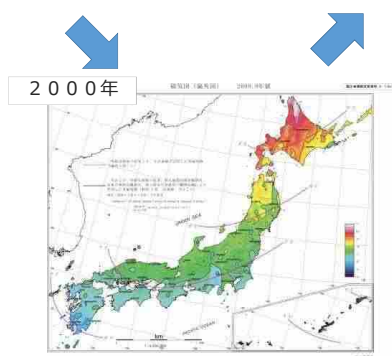
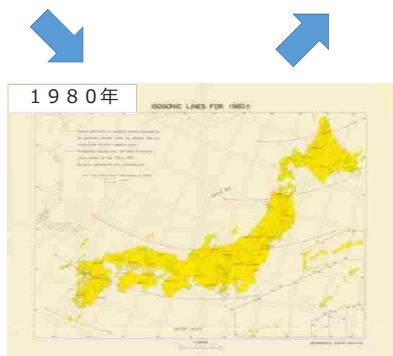
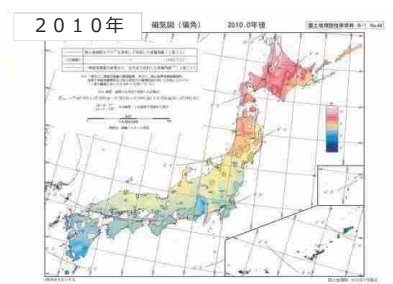
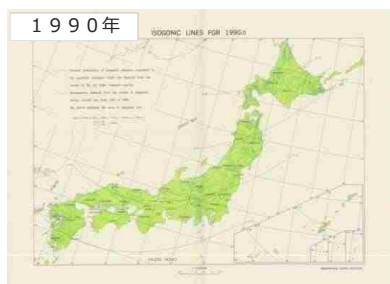
▲ 地磁気各成分



▲ 地球電磁気連続観測装置

磁気図を公開

地磁気の値は、時間変化があることから、日本全国の地磁気の値を表す「磁気図」を5年毎に作成しています。特に、真北と磁北のずれを表す「偏角」は、コンパスなど、私たちの生活でも多く利用されています。



▲ 磁気図公開の推移

2010年までは10年毎に更新してきたが、2015年より5年毎の更新。

国土地理院地磁気測量



空から地球の磁場を測る

-航空磁気測量2-

航空磁気測量とは

地磁気測量とは、飛行機（くにかぜ）に磁気センサーを搭載し、上空から地上及び海域部分の地磁気データを面的に取得することで、広域の磁場分布を明らかにするための測量です。

国土地理院では、昭和36年（1961）から平成14年（2001）まで、「世界磁気図の作成」や「国内の地磁気異常分布の把握」、「火山活動の監視」のため航空磁気測量を実施しました。

実施年度	実施内容	目的
昭和36年(1961)~昭和39年(1964)	世界磁気測量 (WMS)	世界磁気図の作成
昭和40年(1965)~昭和57年(1982)	航空磁気測量 (高度：3,000m)	国内の地磁気極地異常分布の把握
昭和58年(1983)~平成10年(1998)	航空磁気測量 (高度：5,000m)	国内の地磁気局地異常分布の把握 (高度3,000mの観測をカバー)
平成11年(1999)~平成14年(2001)	火山地域における航空磁気測量	活火山及び周辺地域の磁気図作成

■世界磁気測量(WMS)時に使用した機器 昭和36年(1961)~昭和39年(1964)

三成分用磁気儀 (GSI型)



全磁力、偏角、水平分力を測定。全磁力検出部（プロトン磁力計センサー）は機体尾部に装置。



記録用装置 (テープレコーダー)

検出部の信号を自動で記録する装置。全磁力と2成分(偏角、水平分力)に別れて記録。



太陽観測用経緯儀



機体軸と真北の角度を算出するため、太陽観測を行う機器。

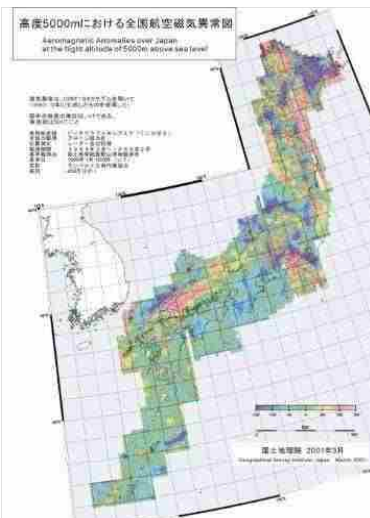


位置撮影用カメラ

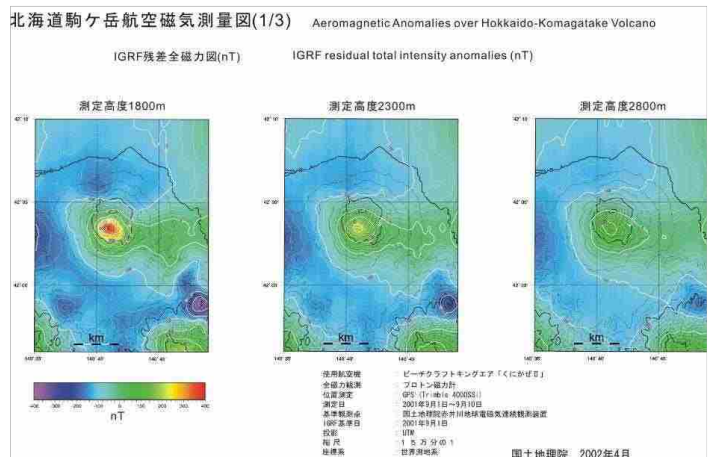
1分毎に自動で地上を撮影し、航空機の位置確認のため使用。

■航空磁気測量によって得られた成果

高度5,000mから実施した航空磁気測量の結果をもとに、標準的な地球磁場（千葉県鹿野山測地観測所の記録を準拠）を取り除くことで、日本全国の局地的な磁気異常をあらわす。



▲高度5,000mにおける全国航空磁気異常図 (観測：1984年~1999年)



▲北海道駒ヶ岳 航空磁気測量図(観測：2001年)

火山活動に伴いマグマ等の温度変化で生じる岩石中の磁性変化を利用し、複数の高度から航空磁気測量を実施し、火山構造物やマグマの深さを調査。



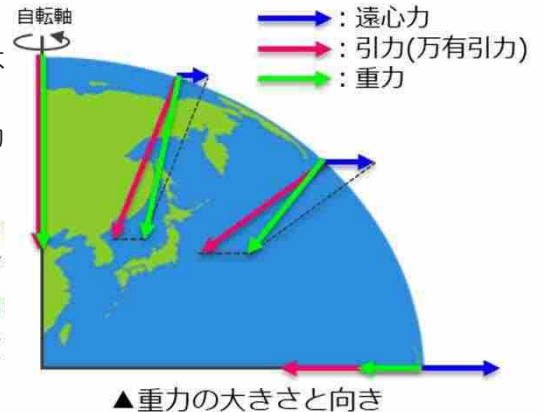
空から地球の重力を測る

— 航空重力測量1 —

重力とは

ニュートンの万有引力の法則でよく知られるように、すべての物体は「**引力**」で互いに引き合っています。地球上では地球の**引力**が働きますが、同時に地球の自転による**遠心力**も働いており、この地球の**引力**と**遠心力**の合力が**重力**の正体です。**重力**の大きさは時間や場所によって異なります。

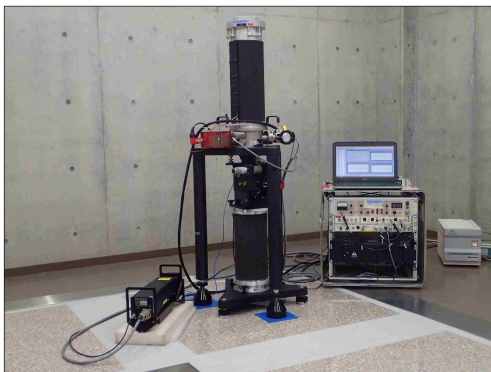
自転により地球が赤道方向に少し膨らんだ形をしていること、また、**遠心力**が赤道に近いほど大きくなることから、赤道上では北極や南極よりも**重力**が約0.5%小さくなります。また、地下の密度分布や計測する高さによっても**重力**は変化します。さらに、同じ場所であっても、月や太陽の引力（潮汐）、地殻変動や火山のマグマ活動によって時間的に変化します。



地上で重力を測る

重力測定は、絶対的な重力値（重力加速度）を測定する「絶対重力測量」と、相対的な重力の差を求める「相対重力測量」があります。

「絶対重力測量」は、絶対的な重力値を求める方法です。真空中で物体を静かに落とすと、物体は地球の重力に従って自由落下します。その落下距離と落下に要した時間を測って、重力値を測定します。



▲絶対重力計
(Migro-g LaCoste社製 FG5)

相対重力測定は、相対重力計と呼ばれるバネの伸びを利用した装置を用います。相対重力測定ではその場の絶対的な重力値は分からないので、重力値が既知の地点と重力値を求めたい地点との重力差を測り、その点の重力値を決定します。



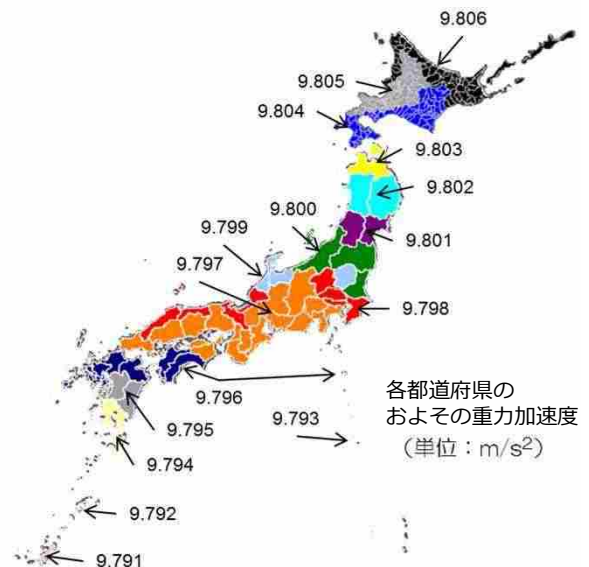
▲相対重力計
(Migro-g LaCoste社製 ラコスト重力計)

重力値によるはかりの校正

体重計には、正確な測定のために、使用する地域を設定して、重力加速度の違いによる影響を補正するものがあります。

(株) タニタ「施設向け機器カタログ」より引用 http://www.tanita.co.jp/cms/common/pdf/catalog/tanita_pro_2016-2017.pdf

地域	重力補正	マークの補正	地域(緯度、経度)により重力が異なるため、質量に誤差が生じてしまいます。そこで、正確にはかるため使用される地域に合わせた重力補正が必要となりますので、ご注文の際は使用区域一覧をご確認のうえ、使用地区番号をご指定ください。
1)	東京都、北海道、埼玉県、千葉県、神奈川県、茨城県、栃木県、群馬県、新潟県、富山県、石川県、福井県、岐阜県、静岡県、愛知県、三重県、滋賀県、京都府、大阪府、兵庫県、奈良県、和歌山県、徳島県、香川県、岡山県、広島県、山口県、福岡県、佐賀県、長門県、熊本県、大分県、宮崎県、鹿児島県、沖縄県	9.804~9.807	
2)	北海道、青森県、岩手県、秋田県、山形県、福島県、茨城県、栃木県、群馬県、新潟県、富山県、石川県、福井県、岐阜県、静岡県、愛知県、三重県、滋賀県、京都府、大阪府、兵庫県、奈良県、和歌山県、徳島県、香川県、岡山県、広島県、山口県、福岡県、佐賀県、長門県、熊本県、大分県、宮崎県、鹿児島県、沖縄県	9.804~9.806	
3)	東京都、千葉県、埼玉県、神奈川県、茨城県、栃木県、群馬県、新潟県、富山県、石川県、福井県、岐阜県、静岡県、愛知県、三重県、滋賀県、京都府、大阪府、兵庫県、奈良県、和歌山県、徳島県、香川県、岡山県、広島県、山口県、福岡県、佐賀県、長門県、熊本県、大分県、宮崎県、鹿児島県、沖縄県	9.803~9.805	



茨城県で体重60kgの人が、北海道・沖縄で体重を測定すると...

地域	体重計表示 [kg]	増減 [kg]	重力加速度 [m/s ²]
北海道(稚内)	60.04	+0.04	9.806
茨城県	60.00	—	9.800
沖縄県	59.94	-0.06	9.791

※ 体重計の地域設定は茨城県のまま変更しない

各都道府県のおよその重力加速度
(単位: m/s²)

空から地球の重力を測る

— 航空重力測量2 —

航空重力測量のねらい

これまで、日本国内の重力データは、主に地上での重力測量で整備されてきました。が、その大部分が30年以上前に取得されたもので、この間に起きた地震や地殻変動の影響や、到達困難な山岳部・沿岸海域の空白域の存在などの課題がありました。一方で、地上での重力測量で全国を稠密に網羅するには膨大な時間と費用がかかってしまいます。

このような課題を解消するため、日本全国の均一で高品質な重力データを空から効率的に整備します。こうして得られた重力データは、ジオイドと呼ばれる日本の標高の基準（標高0mの面）を構築するために使用されます。



▲ 航空機 セスナ208型

航空機から重力を測る仕組み

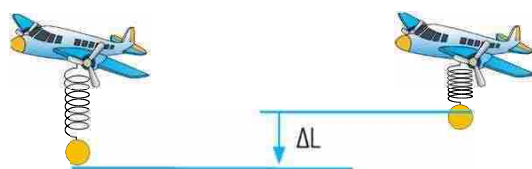
航空重力測量では、航空機に専用の相対重力計（航空重力計）を搭載し、バネの伸びから、各地点の重力値を測定します。ジャイロやジンバルで自動的にセンサー部の水平を保つほか、ダンパー等で機体の振動を軽減します。

さらに、GNSSやIMUを別途搭載し、機体の上下運動や回転運動に伴うノイズを補正することで、観測データから高精度な重力値の算出が可能となります。

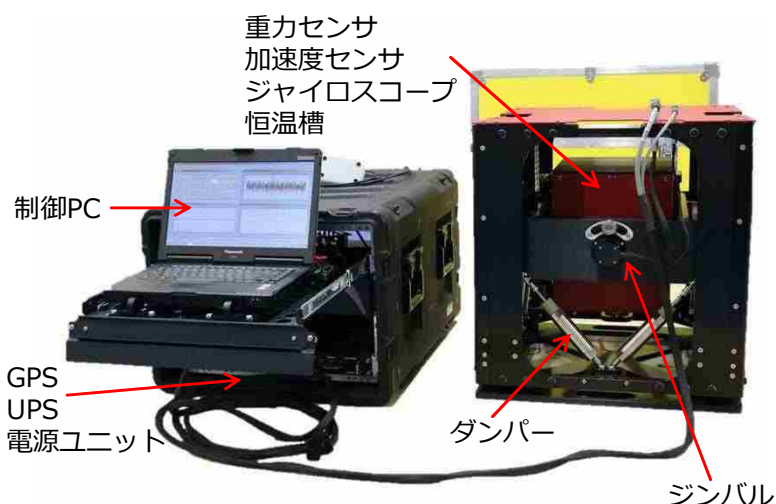
ばねの伸び縮みから
重力の変化量(Δg)を測定します。

$$\Delta g = K \times \Delta L / m$$

K : ばね定数
m : おもりの質量



▲ 航空重力測量の測定イメージ

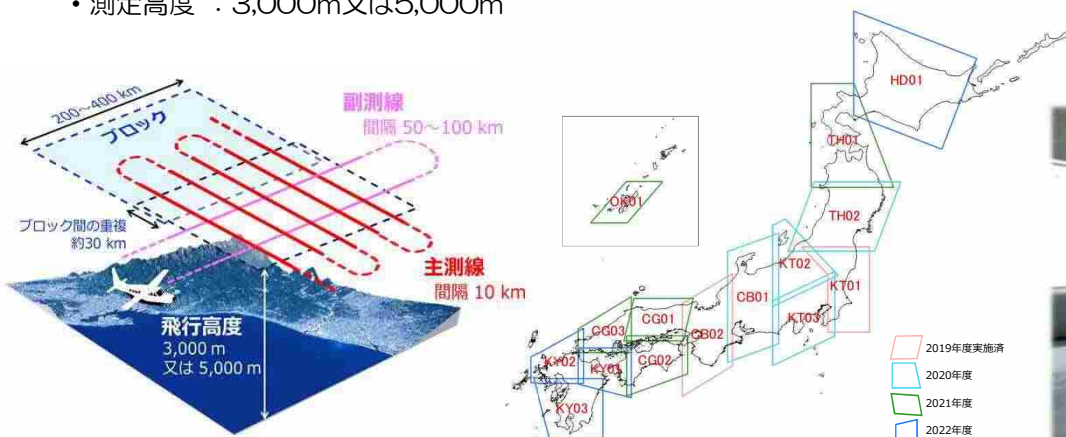


▲ 航空重力計
(Migro-g LaCoste社製 TAGS-7)

観測計画

観測は、各地の空港を基点として、全国をいくつかのブロックに区分して、2019~2022年度に実施しています。

- コース間隔 : 主測線10km、副測線50~100km
- 測定高度 : 3,000m又は5,000m



▲ 観測コース設計

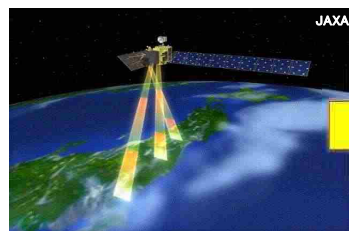
▲ 観測計画



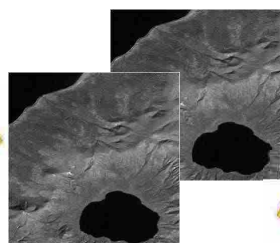
▲ 観測風景

衛星画像を利用した地形図作成

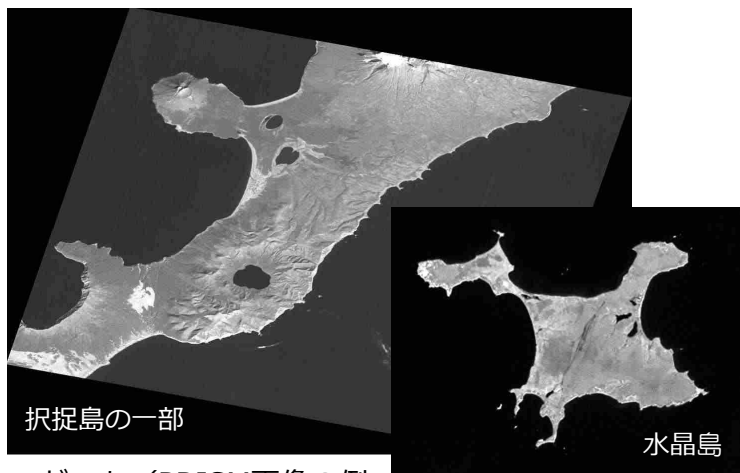
人工衛星画像による地形図作成



ステレオ画像の取得



ステレオペア画像

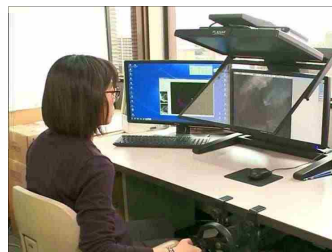


択捉島の一部

水晶島

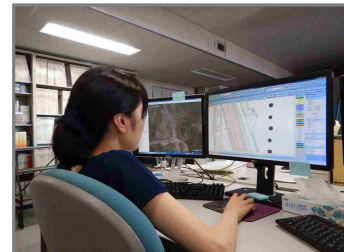
だいち/PRISM画像の例

衛星画像の高解像度化等、人工衛星技術の進展により、衛星画像を用いた写真測量で2万5千分1地形図の作成が可能になりました。



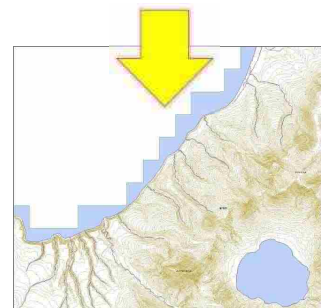
ステレオ図化

↑図化機を用いて衛星画像を立体的に見ながら、海岸線や等高線等の正確な位置・高さのデータを取得します。



地図編集

地図表現等の基準に基づき編集作業を行い、地図を仕上げます。→



数値地形図データ

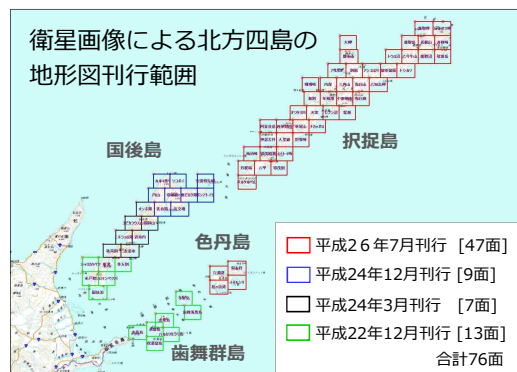
人工衛星技術により成し得た北方四島の2万5千分1地形図作成

北方四島は、それまでに整備されていた地図の最大縮尺は5万分1で、全国の2万5千分1地形図整備において最後の空白地域でした。

平成18年に打ち上げられた陸域観測技術衛星「だいち」の画像を用いて、空中写真撮影が困難なこの地域の2万5千分1地形図をはじめて作成しました。

平成26年までに北方四島の作成を終え、同時に国土全域における2万5千分1地形図の整備が完了しました。→

衛星画像による北方四島の地形図刊行範囲



UAV(ドローン)を利用した地形図作成



- 南鳥島は日本の最東端に位置する離島
- 測量用航空機くにかぜⅢでは航続距離の関係で撮影が不可能
- 現地にてUAV(ドローン)による空中写真撮影、現地調査等により地形図を更新

上陸しての現地作業



固定翼UAVによる
空中写真撮影



回転翼UAVによる
レーザ測量



画像位置検証用の
基準点測量



道路・建物等の
現地調査

計測データを用いた図化編集作業



SfM/MVS※処理による
オルソ画像作成



DSM・潮位データから
海岸線取得



DSM・DEMを参考に
等高線取得



注記等数値編集

※ SfM/MVS : 写真から3次元のモデルやオルソ画像を作成することができる技術



主な更新内容

- ・ 地名訂正申請に基づく岬の自然地名を追加表記
- ・ 特定離島港湾施設等を追加

国土地理院ランドボードの取組

1. 国土地理院ランドボードとは

国土地理院ランドボード

無人航空機 (UAV) の活用のための
国土地理院内の横断的組織

- 平成28年3月16日に発足
- 職員の有志で構成され、操縦者の養成目標は100名以上
- 緊急撮影にも対応できる高度な技術を習得
- 本院(つくば市)のみでなく、全国の地方測量部等に順次展開

平常時: 技術力の確保と向上

- ・ i-Constructionへの対応
- ・ 公共測量への助言

災害時: 緊急撮影と情報提供

- ・ 災害現場の動画や静止画の撮影と提供・公開



2. 国土地理院ランドボードの訓練内容

- 独自の運用マニュアルを作成し、運用と安全管理の方法を具体的に規定
- 独自の操縦ライセンス制を導入し、計画的に操縦訓練を実施

訓練開始

検定合格

B級

検定合格 + 飛行経験

A級



安全管理についての講習会を開催



屋内でシミュレータや200g未満の超小型UAVで操縦訓練を実施。操縦に関する実技講習会も開催



国土地理院グラウンドなどで1.5kg程度の小型UAVによる操縦訓練を実施



熟練者は8kg程度の中型UAVの運用訓練も実施

3. 国土地理院ランドボードの活動内容

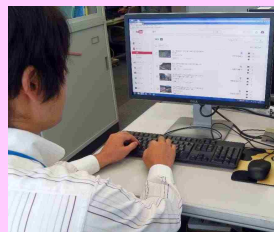
災害時



国土地理院の災害対策本部より指令を受けて出動



直営でマルチコプター型UAVによる緊急撮影を実施



撮影映像は関係者に提供し地理院ホームページでも公開



有人航空機で撮影困難な火山では、固定翼型UAVによる撮影(外注)と情報提供も実施



平常時



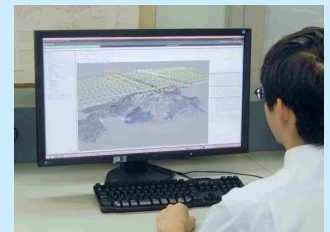
UAVによる公共測量への助言やi-Constructionへの対応を実施



各地の防災訓練に参加(写真は第55回利根川水系連合・総合水防演習)



広報資料の撮影も実施(写真はVLBI石岡測地観測局)



UAVの電子国土基本図の更新への活用(検討中)

国土地理院ランドバードによる緊急撮影事例

平成27年9月関東・東北豪雨

※国土地理院ランドバード結成以前



破堤箇所の対岸から撮影を実施



一面の湖と化した常総市の水田地帯



茨城県常総市の鬼怒川破堤箇所 9月10日の破堤4時間後の様子

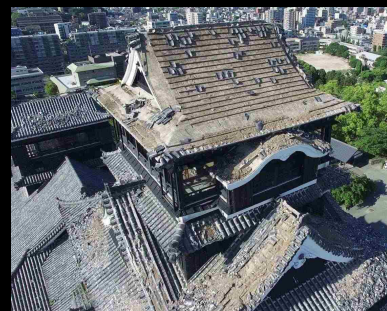
平成28年熊本地震



熊本県南阿蘇村の阿蘇大橋崩落現場 本震直後の4月16日に撮影を実施



熊本市の依頼により被災した熊本城の撮影を実施



撮影は5月11日～13日に実施した

平成28年台風第10号



道の駅いわいずみの西 流出した国道455号の路盤



発災翌日の8月31日から撮影を実施



発災翌日の岩手県岩泉町 震野地区の小本川の様子

平成29年7月九州北部豪雨



氾濫した赤谷川 福岡県朝倉市 杷木星丸地区 7月7日撮影



政府調査団へ作業内容を説明する様子



7月13日の日田市小野地区の斜面崩落現場