



JCSS
重力加速度値の使用に関する技術指針
(第2版)

改正：2022年4月25日

独立行政法人製品評価技術基盤機構
認定センター

この指針に関する全ての著作権は、独立行政法人製品評価技術基盤機構に属します。この指針の全部又は一部転用は、電子的・機械的(転写)な方法を含め独立行政法人製品評価技術基盤機構認定センターの許可なしに利用することは出来ません。

発行所 独立行政法人製品評価技術基盤機構 認定センター
住所 〒151-0066 東京都渋谷区西原2丁目49-10
TEL 03-3481-8242
FAX 03-3481-1937
E-mail jcoss@nite.go.jp
Home page <https://www.nite.go.jp/iajapan/jcss/index.html>

目 次

序文	4
1. 適用範囲	4
2. 関連文書	4
3. 用語	4
4. 既知の重力加速度値に関する注意事項	7
5. 補間推定による重力加速度値の推定	7
6. 相対測定による重力加速度値の推定	8
7. 参考文献	10

JCSS 重力加速度値の使用に関する技術指針

序文

JCSS 登録事業者(以下、事業者)が実施する校正において、重力加速度値が不確かさの主要な要因である場合、事業者は本指針を参考にして重力加速度値を評価、使用する。

本指針の使用者は校正実施場所における重力加速度値の基準となる地点(これを「校正実施場所の重力基点」と呼ぶ)を設定することが求められる。重力加速度値はこの重力基点に対して推定または測定される。

1. 適用範囲

一般的な重力加速度値の評価方法として補間推定、相対測定及び絶対測定がある。この技術指針では、補間推定と相対測定に関してその実現方法を概説する。絶対測定はこの技術指針の対象とはしない。また、この技術指針は事業者が必要とする重力加速度値の相対拡張不確かさとして、 10^{-6} ~ 10^{-4} 程度を対象とする。

1.1 使用者の責任

本指針を用いて評価した重力加速度値の使用に関わる責任は使用者にあるものとする。そのため事業者は次の要件を満たすことが求められる。

- ①校正実施場所の重力基点の設定
- ②上記、校正実施場所の重力基点とその使用に起因する不確かさの評価
- ③恒久的施設の場合は、重力基点の管理

1.2 校正実施場所の重力基点の要件

校正実施場所の重力基点は重力加速度値や位置情報に関する検証を可能とするため以下の条件を満たす恒久的な場所であること。

- ①校正実施場所の重力基点は、安定な地盤上に設置され、相対測定が可能な 30 cm 四方以上のスペースを有する堅牢な水平面であり、十分な耐荷重強度を備えていること。
- ②校正実施場所の重力基点の位置情報である緯度・経度・標高(地表の標高+地表からの高さ)が必要な不確かさで求められていること。
- ③校正実施場所の重力基点の振動は、必要とする範囲で重力加速度値に影響を及ぼさないこと。
- ④校正実施場所の重力基点の環境は充分良好であり、風、塵埃(じんあい)、有害な雰囲気等があれば適切な方法により防護措置を講じること。

1.3 重力加速度値の評価と管理

重力加速度値の評価と不確かさの推定内容が適切に文書化されていることが望ましい。得られた重力加速度値を使用するに当たっては、時間や環境変化に起因する影響も考慮しなければならない。また、校正の実施場所がこの重力基点と異なる場合は、必要に応じ、これを別の重力適用点としてその重力加速度値を評価しなければならない。

2. 関連文書

JCSS 重力加速度値の使用に関する不確かさガイド(JCG23002)

3. 用語

本指針では次の用語を定義し、使用する。

(1)重力加速度

地球上の任意の静止点において地球の質量による引力と地球の自転による遠心力との合力(F)によって生ずる加速度(g)。物体の質量を m とすると $F=m \cdot g$ である。実際の重力加速度は、月と太陽からの引力による周期的現象(地球潮汐、海洋潮汐)と大気の変化による現象(大気引力と大気荷重)を受けて変動している。

(2)標準重力加速度

地上における基準値として定めた重力加速度値で 1901 年の国際度量衡総会において 9.80665 m/s^2 と定められた。

(3)重力加速度値

特定の地点における重力加速度の大きさ。

(4)校正実施場所の重力基点

重力加速度値を用いる事業者がその校正実施場所で設置を求められる基点となる場所のこと。本指針ではこの校正実施場所の重力基点における重力加速度値を推定もしくは測定する方法、また得られた値の使用についての指針を示す。本指針の中では簡単に重力基点と呼ぶ。

(5)ガル(Gal)

測地学及び地球物理学において重力加速度を表わすために使う単位。国際単位系(SI)との関係は次のとおりである。

$1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm/s}^2 = 10^{-2} \text{ m/s}^2$ 、 $1 \text{ mGal} = 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 、標準重力加速度は 980.665 Gal である。

(6)地球潮汐

月と太陽からの引力とそれによる固体地球の変形による現象。重力加速度の変化量は最大で 0.2 mGal 程度であり、その周期は半日、1日、半月などである。

(7)海洋潮汐

月と太陽からの引力に起因した海水の移動による現象。重力加速度の変化量は、沿岸地域を除くと、最大で 0.01 mGal 程度であり、その周期は半日、1日、半月などである。

(8)大気引力と大気荷重

大気の質量による引力と大気の荷重によって生じる地球の変形による現象。重力加速度の変化量の大きさは、大気圧と標準大気圧の差に、係数($3 \times 10^{-4} \text{ mGal/hPa}$)を掛けて推定できる。

(9)絶対測定

高い信頼性で測定できる長さと時間を基にして重力加速度値を決定する方法である。自由落体の落下加速度や振子の振れ周期などの精密測定によって重力加速度を得るものであるが、真空中での落下加速度をレーザ干渉計と原子時計で精密に測定する方法(落体法)が現在もっとも小さな不確かさで重力加速度値を得られる。

(10)相対測定

既に重力加速度値が求められている地点との重力加速度値の比較により任意の地点の重力加速度値を決定する方法である。測定にラコスト重力計などの相対重力計を用い、一般に両地点の間を行き来して複数回測定し、結果の信頼性を確保する。

(11)補間推定

正規重力式を基にして対象地点の位置情報や重力情報を用いて重力加速度値を算定する方法である。高さ補正(フリーエア補正)と重力異常(ブーゲー異常)に対する補正などを加えることで精度が上がる。対象地点の近くに重力点がある場合、地質的特性が共通であることを前提として、対象地点の重力加速度値を精度良く推定することもできる。その場合は一般に対象地点を囲む複数地点の重力加速度値を基にして対象地点の異常補正值を推定し、更に標高と地表からの高さを補正

して重力加速度値を算定する。

(参考)国土地理院の重力加速度値推定サービスでは、地質的特性が一様であること、対象地点及びこれを囲む3つの重力点周辺を前提として、対象地点を囲む3つの重力点から対象地点の重力異常(ブーゲー異常)を推定し、正規重力加速度値に補正を加えている。

(12)重力点

国土交通省国土地理院(以下「国土地理院」とする。)が重力測定を実施して重力加速度値が決められ、測量標識が設置されている地点。重力点には、絶対重力測定により重力加速度値を決定した「基準重力点」や、基準重力点から相対測定を実施して重力加速度値を決定した「一等重力点」がある。その他、相対測定により重力加速度値を決定した「三角点」、「水準点」、「電子基準点付属金属標」などが重力点としてある。

(13)三角点

測量によって測地経緯度及び標高の値が決められた地点であり、地上等に埋設された測量標識で示される。

(14)水準点

水準測量によって標高が決められた地点であり、地上等に埋設された測量標で示される。

(15)電子基準点付属標

国土地理院が全国に設置した地点であり、電子基準点の基礎部に埋設してある金属標で示される。この付属標は、測地経緯度及び標高の値をもって、測量に利用できるようになっている。

(16)日本重力基準網(JGSN)

国土地理院が構築した全国をカバーする重力の基準網のことで、JGSN75、JGSN96 及び JGSN2016 がある。詳細は参考文献(2)を参照。

(17)重力測定点

国土地理院以外の機関が設置した重力加速度値をもつ地点。

(18)重力適用点

事業者等がその作業を行い、重力加速度値を適用する地点。

(19)ブーゲー異常

測定重力加速度値にブーゲー補正、地形補正、フリーエア補正などの重力補正を施した後の重力加速度値と正規重力加速度値との差をいう。これはジオイド上方に存在する物質をすべて除去したときのジオイド上の重力加速度値の異常を表す値で、地下の物質分布の異常に対応する。

(20)ブーゲー補正

測定点とジオイド間の物質の重力加速度への影響を取り除く補正のこと。

(21)地形補正

地形の起伏の重力加速度への影響をなくして平坦な地表面と仮定する補正のこと。

(22)フリーエア補正

測定点のジオイドからの高さ(標高)の重力加速度への影響を取り除く補正のこと。

(23)ジオイド

平均海面を陸地にまで延長したと仮定し、全地球を覆う仮想的海面のこと。標高の基準面(標高 0 m の水準面)。

(24)相対重力計

2点間の重力加速度差を測定する器械。近年の相対重力計は、そのセンサー部が「ばね一錘系」からなるスプリング式重力計が主流となっている。ラコスト重力計などがある。

(25)重力鉛直勾配

重力加速度値の鉛直線に沿った勾配。単位は mGal/m などで表わす。

(26)重力鉛直勾配異常

実際の重力鉛直勾配の正規重力場の鉛直勾配からのずれ。

(27)スケール定数

相対重力計のばね定数に相当する各相対重力計に固有の定数。

4. 既知の重力加速度値に関する注意事項

- 4.1 基準となる重力加速度値や既知の重力加速度値を知りたい場合には、国土地理院の日本重力基準網を構成している重力点を利用することができる。日本重力基準網の詳細については参考文献(2)を参照のこと。
- 4.2 重力点の重力加速度値は、国土地理院のホームページ等から得ることができる。
- 4.3 重力点を使用する場合は、重力加速度測定当時とは状況が異なる場合(亡失、移転、再設、改埋、廃点等)がある。そのときは重力点を相対測定の基準として使用できない。よって、相対測定時には、国土地理院から重力点の最新の情報を得ること。
- 4.4 重力基点の上下に大きな質量変化(地下室の設置、増築した等)がないか注意すること。
(参考)重力基点の直下か直上 2 m に 600 t の質量変化があった場合、およそ 10^{-6} (1 mGal)の重力変化が生じる。
- 4.5 日常的な地殻変動により重力加速度値が大きく変化することは考えにくいですが、地震や火山噴火により大規模な地殻変動が生じた場合には、関係機関の発表する情報に注意すること。
- 4.6 校正において使用する重力加速度値は、その作業を行う場所(重力適用点)の値でなければならないが、その重力適用点と重力基点が離れている場合、特に高さが異なる場合は、その補正の大きさに応じて不確かさを評価する必要がある。
- 4.7 時間また環境の変化によって重力加速度は影響を受ける。一般に潮汐力(地球潮汐、海洋潮汐)、大気の引力や地盤振動の影響が考えられるが、必要な不確かさに応じて評価する必要がある。

(注) 重力加速度値に対する要求が本項に記載した種々の影響に比べて厳しくない場合は、上記のような補正に伴う作業を省くために、予め可能性のある全ての重力適用点での重力加速度値を評価し、これらを全て含むより大きな不確かさを持った代表的な重力加速度値を用いることもあり得る。

5. 補間推定による重力加速度値の推定

任意の地点(地表)の重力加速度値を推定する場合は、国土地理院ホームページの重力加速度値推定計算サービスを利用することができる。本指針においては任意地点として、校正実施場所の重力基点を想定している。

- 5.1 国土地理院ホームページの重力加速度値推定計算サービスで推定される重力加速度値には、地形補正の省略やブーゲー異常の推定に起因する偏差が含まれる。実際の偏差は重力基点の重力特性情報の確度によって決まるが、特別の評価を行わない場合は、一般に $2 \times 10^{-6} \sim 3 \times 10^{-6}$ (2 mGal \sim 3 mGal)程度以内であると考えられる。ただし、以下のような場合は、偏差が大きくなる($1 \times 10^{-5} \sim 3 \times 10^{-5}$ (10 mGal \sim 30 mGal))可能性があるため注意が必要である。
 - ①重力基点、または、計算に使用した重力点の周辺の地形の起伏が大きい。
(参考)高度角(俯角)が約 5° 以上、勾配にして約 9 %以上。
 - ②推定のために参照した重力点が重力基点(地表)から遠く、重力異常の勾配が大きい。

③重力異常図から読み取った、推定のために参照した3点の重力点のブーゲー異常値の(加重)平均と重力加速度値を知りたい点のブーゲー異常値が大きく異なる場合。

5.2 重力基点の標高は、目的とする重力加速度値の不確かさに応じた値を用いること。

(参考) 10^{-6} (1 mGal)の重力差に相当する標高差は約±3 mである。次の各図の標高の精度は以下のとおりである。

- ・2万5千分1地形図の等高線: ±5 m
- ・基盤地図情報: 都市計画区域内±0.5 m、都市計画区域外±2.5 m
- ・都市計画図: 地方公共団体の規定による。

5.3 重力基点が地表ではなく、建造物の中などにある場合は、重力加速度値推定計算サービスで推定された重力加速度値(地表での値)に地表からの高さ起因する重力勾配を補正すること。その際には、正規重力場の鉛直勾配を利用すること。

5.4 補間推定により重力加速度値を求める場合、次の不確かさ要因が考えられる。

- ①基準重力点の重力加速度値の不確かさ
- ②地質学的な重力特性の均一度に伴う不確かさ(異常値の幅など)
- ③標高と地表からの高さの不確かさ
- ④近辺にある重量物体の影響
- ⑤計算の不確かさ

不確かさを考慮した推定事例及び正規重力場の鉛直勾配を利用した事例は「JCSS 重力加速度値の使用に関する不確かさガイド」(注)を参照のこと。

(注)不確かさガイドの適用対象としては、校正事業に限らずより一般の利用を想定しているため、「重力基点」の表記を避け「重力加速度値を知りたい点」を用いている。

6. 相対測定による重力加速度値の推定

本項では、重力加速度の使用者が外部測定者に 10^{-6} (1 mGal)より少ない不確かさで相対測定を依頼する際の注意事項等を示す。

(参考)地表からの高さが1 m 違えば、約 3×10^{-7} (0.3 mGal)変動する。

(注)相対重力計としては、例えば、ラコスト重力計、シントレックス重力計などがある。外部測定者が使用する相対重力計は、点検された一定の性能(分解能と精度)をもつ必要がある。

6.1 重力基点の指定

重力加速度の使用者は 1.2 項で規定する重力基点を設定し、これを外部測定者に示さなければならない。この重力基点に付随する重力適用点はその近傍にななければならない。

6.2 外部測定者に対する依頼事項

(1) 基準となる重力点の選定

重力測定を依頼する際、重力基点に要求される精度(不確かさ)を指定すること。基準となる重力点は、国土地理院が設定している日本重力基準網に登録されている重力点の中から重力基点の最寄りものを選定すること。

重力点において相対測定を行なう際は、土地所有者及び管理者へ事前に連絡の上、許可を得てから作業を行なうこと。

(2) 使用する相対重力計

使用する相対重力計は、国土地理院が設定している日本重力基準網など、精度が確認されている重力計検定線を利用して、基準となる重力点と重力基点との重力加速度差に応じた十分な精度(10^{-3} のオーダーよりも良い精度)で「相対重力計のスケール定数」が点検されていること。

相対重力計に異状があった場合や相対重力計の修理後等には、スケール定数を再確認しているものを使用すること。

(3) 相対測定

測定方法は、往復測定を原則とする。各測定点での測定値には潮汐補正、器械高補正、ドリフト補正を施すこと。

(注)往復測定は、相対重力計のドリフト量を適切に見積もることができる方法とする。例えば、往復測定は1日以内実施し、各測定点では往路・復路とも2回以上測定する。なお、測定点は重力基点のほか、重力測定が正しく実施されたか否かを確認するため、基準となる重力点を2点以上選定することが望ましい。

(4) 測定結果(有効桁、単位)

重力加速度値の測定結果は 10^{-6} (1 mGal)の桁が保証できる必要がある。そのためには、 10^{-7} (0.1 mGal)の桁まで測定することが必要である。

6.3 重力適用点の重力加速度値の推定方法

重力加速度値が与えられている地点から重力適用点の重力加速度値を推定するには、正規重力場の鉛直勾配を利用すること。

重力基点と重力適用点との重力差 Δg [mGal]は、両者の標高差を ΔH [m]として、

$$\Delta g[\text{mGal}] = \beta [\text{mGal/m}] \times \Delta H[\text{m}]$$

から推定することができる。ここで、 β は地表付近の正規重力場の鉛直勾配であり、通常、 $\beta = 0.3086 \text{ mGal/m}$ が使用される。重力鉛直勾配異常は通常10%程度以内であるので、この要因による重力加速度値の相対不確かさを 10^{-6} よりも小さくおさえるためには、 ΔH は30m程度以内である必要がある。重力水平勾配は考慮しなくても実用上問題はない。

6.4 相対測定における不確かさ要因

相対測定による重力加速度値を推定する場合、次の不確かさ要因が考えられる。

- ①基準重力点の重力加速度値の不確かさ
- ②基準重力点における測定に付随する不確かさ要因(地点の変動、重力加速度値の変動、相対重力計の変動)
- ③対象地点における測定に付随する不確かさ要因(地点の変動、重力加速度値の変動、相対重力計の変動)
- ④相対重力計の移動に伴う不確かさ
- ⑤対象地点と使用地点との差に付随する不確かさ(場所の差、状況の差、時間の差)

不確かさを考慮した推定事例は「JCSS 重力加速度値の使用に関する不確かさガイド」注)を参照のこと。

(注)不確かさガイドの適用対象としては、校正事業に限らずより一般の利用を想定しているため、「重力基点」の表記を避け「重力加速度値を知りたい点」を用いている。

7. 参考文献

- (1)日本重力基準網: 国土地理院ホームページ URL: <http://gsi.go.jp/>
- (2)日本重力基準網関連文献
 - ①日本重力基準網 1975 の設定(測地学会誌, 第 22 巻, 第 2 号(1976), 65-76)
 - ②国土地理院 (1997): 新しい日本重力基準網の構築, 国土地理院時報, 87, 13-20.
 - ③国土地理院(2018), 日本重力基準網 2016(JGSN2016)の構築, 国土地理院時報, 131, 53-93
 - ④Nakai, S., et al. (1997): Data processing for the Japan Gravity Standardization Net 1996, IAG Symposia, Vol. 117, Segawa et al. (eds.), Gravity, Geoid and Marine Geodesy, pp. 228 – 233.
 - ⑤Yamaguchi, K., et al. (1997): The establishment of the Japan Gravity Standardization Net 1996, IAG Symposia, Vol. 117, Segawa et al. (eds.), Gravity, Geoid and Marine Geodesy, pp. 241 – 248.
- (3)ブーゲー異常関係
 - ①産総研(2013)日本重力データベース DVD 版、地質調査総合センター編集
※産総研地質調査総合センターのホームページ(<https://www.gsj.jp/Map/JP/geophysics3.html>)よりダウンロード可能。
 - ②重力データベース(GALILEO):産総研ホームページ (<https://gbank.gsj.jp/gravdb/>)
- (4)重力測定一般に関する文献
 - ①日本測地学会 (1994):現代測地学, (重力加速度に関する項 pp.18-31).
 - ②日本測地学会(1974): 測地学の概観, (重力加速度に関する項 pp.135-162).

以上

JCSS 重力加速度値の使用に関する技術指針(第2版) 改正のポイント

- ・日本重力基準網の情報のアップデート(JGSN96、JGSN2016 の追加)。
- ・重力データベースの更新。
- ・その他、字句の修正。

主な変更箇所には下線を付しています。