

京都大学吉田キャンパス北部構内に存在する 2つの絶対重力基準点について

京都大学 大学院 理学研究科 地球惑星科学専攻
地球物理学教室 測地学研究室 助教

風間 卓仁 (かざま たかひと)
takujin@kugi.kyoto-u.ac.jp

(2020年4月1日初版公開)

1 はじめに

京都大学吉田キャンパス北部構内には、現在「京都 A」「京都 C」という2つの絶対重力基準点が存在している(図1)。これらの重力点は国際重力基準網 IGSN71 の基準点として Morelli et al. (1972) に登録されており、それぞれ以下のような絶対重力値が記載されている。

$$g_A = 979\,707.27 \pm 0.032 \text{ [mGal]} \quad (1)$$

$$g_C = 979\,707.75 \pm 0.030 \text{ [mGal]} \quad (2)$$

これらの重力点では、現在も自由落下式絶対重力計や可搬型バネ式相対重力計を用いた重力測定が定期的に行われている。本稿では、これら2つの絶対重力点の現状について説明するとともに、これらの重力点で重力測定を実施するための手続き方法を詳述する。

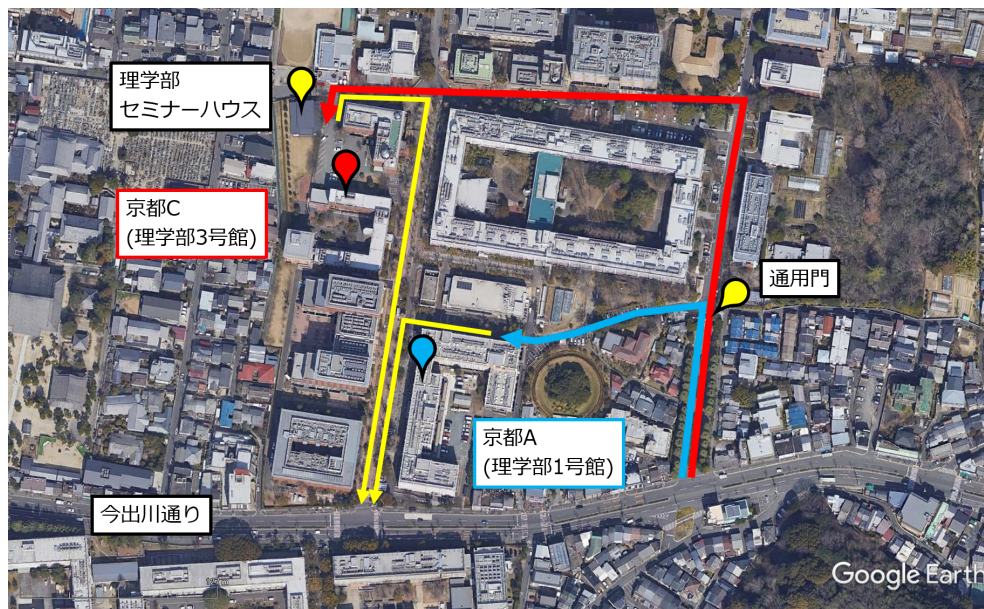


図1: 京都大学吉田キャンパス北部構内の衛星写真 (Google Earth Pro より)。青色ピンが京都 A 重力点、赤色ピンが京都 C 重力点の位置を示している。青線および赤線は各重力点に至るまでの車の経路を、黄色線は車の帰路を意味している。

2 京都 A 絶対重力点

京都 A は 1942 年に京都大学理学部 1 号館地下に設置された基台であり、現在の 039 号室の中に位置している (図 2a)。この基台上には現時点で金属標などは設置されていないものの、各重力計の設置箇所が基台表面上にマーカで記されており、このマーキング自身が基準点としての機能を果たしている。近年では自由落下式絶対重力計 (FG5 および A10) による絶対重力測定が定期的に行われており、その測定においては以下のようなパラメーターが用いられている。

- Latitude: 35.02667 deg
- Longitude: 135.78667 deg
- Elevation: 60.82 m
- Transfer Height: 72.00 cm (※ A10 の落体位置に合わせている)
- Gravity Gradient: $-2.800 \mu\text{Gal}/\text{cm}$

直近の絶対重力測定は 2018 年 8 月に FG5-210 によってなされ、基台上 72 cm の絶対重力値として以下の値が得られている。ただし、誤差表記の 1 個目は set scatter (いわゆる偶然誤差)、誤差表記の 2 個目は total uncertainty (いわゆる系統誤差) を意味している。

$$g_A(2018/08) = 979\,706\,940.41 \pm 1.46 \pm 2.51 [\mu\text{Gal}] (@ 72.00 \text{ cm}) \quad (3)$$

また、2010–2018 年の絶対重力測定値は $979\,706\,930 \sim 945 \mu\text{Gal}$ 以内に収まっており (図 2b)、京都 A の絶対重力値はこの範囲内で安定している (i.e., 重力時間変化は小さい) と言える。

京都 A では可搬型バネ式相対重力計による相対重力測定も実施されている。例えば、2014 年 10 月および 2015 年 11 月には、京都大学防災研究所桜島火山観測所が LaCoste 重力計による相対重力キャンペーン測定を実施し、そこで得られた重力値は LaCoste 重力計のスケールファクターの検定に用いられた。また、火山地域における相対重力連続観測 (e.g., 風間ほか, 2016) の拡充を目指して、現在京都 A では LaCoste 重力計を用いた重力連続観測が試行されている (風間, 2020; 本稿の図 4 も参照)。その他、京都 A は学生の演習・実習等にも使用されており、(測地学研究室が理学部 1 号館に所在している関係もあって) 京都 C よりも頻りに重力測定に利活用されている。

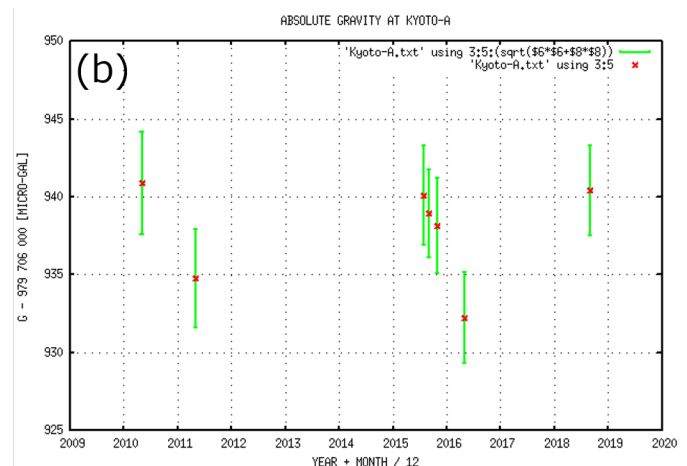


図 2: (a) 重力点「京都 A」の基台。(b) 2010–2018 年の京都 A における絶対重力測定値。赤印は各測定における絶対重力の平均値、緑線は set scatter (偶然誤差) と total uncertainty (系統誤差) の二乗和平方根。縦軸は $979\,706\,000 \mu\text{Gal}$ を差し引いた値を示しており、 $5 \mu\text{Gal}$ ごとに目盛線が引かれている。

3 京都 C 絶対重力点

京都 C は 1957 年に京都大学理学部 3 号館地下に設置された重力点である。現在この重力点は理学部数学教室図書室¹の貴重書庫の奥にあり、部屋に入ると基台が 2 台並んでいる。部屋の奥側の基台には金属標が 2 個設置されていて、このうち基台中央に設置されている金属標が「京都 C」、基台の隅に設置されている金属標が「京都 FGS」である (図 3a)。両者の金属標は国土地理院の基準重力点として登録されていて、国土地理院ウェブサイトの基準点成果等閲覧サービス²から点の記を閲覧することができる。さらに、基台中央の金属標「京都 C」は国際絶対重力基準点網 (IAGBN: International Absolute Gravity Basestation Network) にも登録されている (Boedecker and Fritzer, 1986)。なお、1 つの基台に 2 つの金属標が設置されている理由としては、京都 C で大型の重力計 (例えば絶対重力計 FG5 など) が稼動している場合に、京都 FGS をキャンペーン相対重力観測の起点として利用するためと考えられる。

京都 C では 1970 年代以降相対重力計の比較観測点として利用されてきたほか (中川ほか, 1977)、複数の絶対重力計によって絶対重力測定が定期的に行われている (東ほか, 2002)。直近の絶対重力測定は 2011 年 4 月に FG5-210 によって実施されており (図 5)、この際に用いられた設定パラメーター、および得られた絶対重力値は以下の通りである。

- Latitude: 35.02670 deg
- Longitude: 135.78670 deg
- Elevation: 59.86 m
- Transfer Height: 100.00 cm
- Gravity Gradient: $-2.720 \mu\text{Gal}/\text{cm}$

$$g_C(2011/04) = 979\,707\,385.38 \pm 2.12 \pm 2.03 [\mu\text{Gal}] (@ 100.00 \text{ cm}) \quad (4)$$

この値を金属標上 0 cm に化成すると $979\,707\,657 \mu\text{Gal}$ となり、国土地理院の基準点成果等閲覧サービス²や吉田ほか (2018) に掲載されている絶対重力値 ($979\,707\,676 \mu\text{Gal}$; 2003 年 5 月の FG5 絶対重力測定による) と $20 \mu\text{Gal}$ 程度の差で良く一致している。

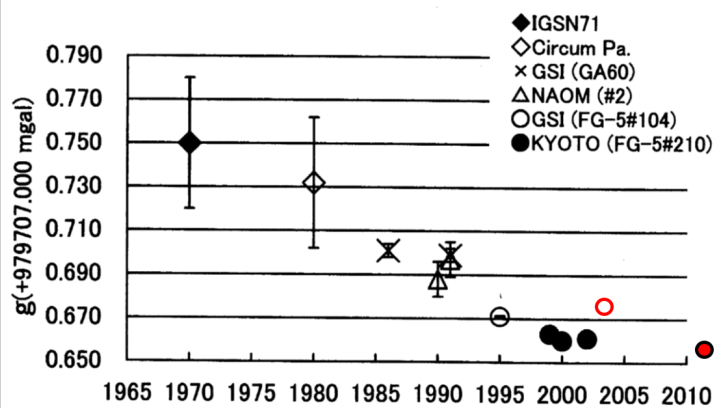


図 3: (a) 基台中央にある金属標が重力点「京都 C」、基台手前側にある金属標が重力点「京都 FGS」。 (b) 京都 C で得られた絶対重力値 (東ほか, 2002 に加筆)。白塗り赤線の丸は国土地理院によって 2003 年 5 月に得られた絶対重力値、赤塗り黒線の丸は京都大学測地学研究室によって 2011 年 4 月に得られた絶対重力値である。

¹ <https://www.math.kyoto-u.ac.jp/library/>

² <https://sokuseikagis1.gsi.go.jp/>

ところで、東ほか (2002) の Figure 1 には 1970 年代以降に京都 C で測定された絶対重力値が示されている (本稿の図 3b)。東ほか (2002) は 1970 年代から 2000 年代にかけて京都 C の絶対重力値が約 $-3 \mu\text{Gal}/\text{yr}$ の速度で減少していると指摘し、その原因として地下水位の低下や地面隆起の可能性を挙げた。その一方で、1990 年代以前は FG5 (本稿執筆時点における実質的な世界標準の絶対重力計) と異なる絶対重力計が使用され、特に 1970 年代の絶対重力値は誤差が非常に大きい。また、1995 年以降の FG5 による絶対重力値にだけ注目すると、京都 C の絶対重力値は $979\ 707\ 650 \sim 680 \mu\text{Gal}$ の範囲内でよく一致しており、絶対重力値の経年変化は非常に小さいとみなすこともできる。このように、京都 C の重力時間変化についてはその大小や原因について結論が得られているわけではなく、今後の定期的な絶対重力測定によって重力時間変化を追跡することが必要である。

4 京都 A・京都 C で重力測定をするには

京都大学以外の機関が京都 A または京都 C で重力測定を実施する場合、以下の流れに沿って手続き・準備・本測定を行う。なお、京都 C が数学教室図書室の中に位置している関係上、京都 C で重力測定を実施する場合には特別な対応が必要である。特に、数学図書の開室時間は平日の 9-12 時および 13-17 時であり、12-13 時には京都 C での測定ができないことに注意を要する。京都 C における特別対応については、これ以降赤色文字で記述する。

4.1 重力測定を行う前に

- 測定代表者は以下の情報を京都大学測地学研究室³の窓口担当者に伝える。本稿執筆時点における窓口担当者は助教・風間卓仁⁴である。
 - 測定代表者の所属・氏名・メールアドレス・携帯電話番号
 - 訪問予定日時 (訪問可能性の高い順に複数日を列挙; 基本的に土日祝日は不可; 京都 C で測定する場合には 12-13 時に入室できないことを考慮する必要あり)
 - 当日の訪問予定人数 (測定代表者を含む)
 - 測定予定装置 (重力計の形式および型番)
 - 測定する重力点 (京都 A または京都 C)
 - (車で京大構内に入構する場合) 自動車登録番号・入構証送付先の住所および氏名
- 測地学研究室の窓口担当者は研究室内で相談し、重力測定当日の対応者を決定する。その後、窓口担当者は測定代表者に当日対応者の氏名・メールアドレス・携帯電話番号を伝える。
- 測定者が京都 C での測定を希望している場合、窓口担当者は数学教室図書室に問い合わせ、訪問予定日時に図書室に入室することが可能かどうかを問い合わせる。その後、窓口担当者は上記の連絡事項に加えて、測定代表者に数学図書からの回答結果を伝える。
- 測定者が車で入構を希望している場合、窓口担当者は地球物理学教室事務室に入構証の発行を申請する。入構証が発行されたら、窓口担当者は測定代表者に入構証を郵送する。

4.2 重力測定当日の流れ

- 京都 C で重力測定する場合、測定者は事前に国土地理院の基準点成果等閲覧サービス²を確認し、点の記を入手したり、最新の絶対重力値などの情報を確認したりしておく。

³ <http://www-geod.kugi.kyoto-u.ac.jp/>

⁴ <http://www-geod.kugi.kyoto-u.ac.jp/~takujin/>

- 測定者は京都大学吉田キャンパス北部構内を訪問する。車で入構する場合、通用門で守衛に入構証を提示する。京都 A で測定する場合、車は理学部 1 号館の北側に停車させる。京都 C で測定する場合、車は理学部セミナーハウスの東側に停車させる。(車の移動経路は図 1 を参照。)
- 北部構内に入構したら、測定代表者は測地学研究室の当日対応者に電話する。当日対応者は重力計室の鍵を持参し、測定者と合流する。
- 京都 C の場合には貴重書庫に入室するための鍵が別途必要なので、当日対応者は数学教室図書室の受付で貴重書庫の鍵を別途借用する。
- 当日対応者と測定者は重力計室に移動し、当日対応者が重力計室の鍵を開ける。その後、測定者は目的の重力点で重力測定を実施する。
- 重力測定が終了したら、当日対応者は重力計室の鍵を閉め、測定者とともに退出する。京都 C の場合、当日対応者は貴重書庫の鍵を図書室の受付に返却する。

4.3 日程変更が生じた場合

- 悪天候などによって予定日に重力測定することが難しい場合、測定代表者は測地学研究室の窓口担当者および当日対応者にメールで連絡する。その際、測定代表者は当初伝えていた訪問予定期間の範囲内で重力測定の代替実施日を決定し、窓口担当者および当日対応者に伝える。京都 C での測定を予定していた場合、当日担当者は数学図書に予定変更の旨を伝える。
- 重力測定を予定日に実施したものの京都大学への到着が遅れそうな場合 (例えば京都近隣の重力点からキャンパス重力測定を開始したが測定に時間を要したため延着しそうな場合など) には、測定代表者は当日対応者に延着の可能性のある旨を携帯電話で連絡する。京都 C での測定を予定していた場合、当日担当者は数学図書に延着の旨を伝える。特に、京都 C における午前中の測定が 12 時までには終了できそうもない場合、京都 C での全ての測定を 13 時以降に遅らせる措置を取ることがある。

5 おわりに

本稿では京都大学吉田キャンパス北部構内に存在する 2 つの絶対重力基準点 (京都 A および京都 C) を紹介し、これらの重力点で重力測定を実施するためのガイドラインを示した。これらの重力点は誰でも利用可能なので、本稿を参考に京都大学の重力基準点をぜひ有効活用してほしいと願っている。

なお、京都大学には京都 A・京都 C の他にも、以下の 2 つの重力基準点が存在していた記録が残っている。本稿では現状使用可能な絶対重力点 (京都 A および京都 C) のみを紹介したが、下記の重力点を含め、京都大学における重力点の歴史については中川 (1988) に詳しく記載されている。

- 京都 B：1908 年、本部構内の京都大学附属図書館 (現在) の地下に設置。重力振子を用いた重力測定が実施されていた。1983 年の図書館改築の際には保存されていた記録が残っているものの (中川, 1988)、それ以降の状況は不明。
- 京都 J7900：1980 年、北部構内の理学部 4 号館 (図 1 で理学部 3 号館の北側、セミナーハウスの東側にある建物) の地下に設置。超伝導重力計による重力連続測定 (竹本ほか, 1998) が実施されていたが、その後の理学部 4 号館改修の際に亡失。



図 4: 京都 A における相対重力連続観測 (風間, 2020)。2017 年 10 月撮影。



図 5: 京都 C における絶対重力測定。2011 年 4 月撮影。

参考文献

- Boedecker and Fritzer (1986): International Absolute Gravity Basestation Network: Status Report March 1986. 68 pp. ★
- 東ほか (2002): 京都大学重力基準点 (京都 C) における絶対重力変化. 測地学会誌, 48, 149–152.
- 風間ほか (2016): 2015 年 8 月 15 日桜島膨張イベント時に CG-3M 重力計で観測された相対重力および傾斜の連続的な時間変化. 火山, 61, 593–604.
- 風間 (2020): 可搬型相対重力計を用いた重力連続観測: システムの概要およびラコスト重力計 G680 による観測例. 北海道大学地球物理学研究報告, 83, 9–23.
- Morelli et al. (1972): The International Gravity Standardization Net 1971 (I.G.S.N. 71). 194 pp. ★
- 中川ほか (1977): ラコスト重力計 (G 型) の定数検定. 測地学会誌, 23, 63–73.
- 中川 (1988): 京都大学における重力基準点について. 57 pp. ★
- 竹本ほか (1998): 超伝導重力計を用いた京都における重力の時間的変化の精密観測 (1988～1997). 京都大学防災研究所年報, 41 (B-1), 77–85.
- 吉田ほか (2018): 日本重力基準網 2016 (JGSN2016) の構築. 国土地理院時報, 131, 53–93.
- 注記: ★は京都大学・地球惑星科学専攻図書室に蔵書が存在していることを意味している。

更新履歴

- 2020 年 4 月 1 日 (初版): 本稿を京都大学学術情報リポジトリ (KURENAI) 上で公開。
- 2020 年 12 月 1 日 (第 2 版): 体裁に関して本稿を微修正。
- 2022 年 9 月 21 日 (第 3 版): 体裁に関して本稿を微修正。
- 2023 年 5 月 12 日 (第 4 版): 参考文献として Boedecker and Fritzer (1986) を追加。京都大学・地球惑星科学専攻図書室における蔵書状態を追記。