

## 勝山市皿川－坂東島地域の三畳紀深成岩及び変成岩

The Triassic plutonic and metamorphic rocks in the Saragawa–Bandojima area,  
Katsuyama City, Fukui Prefecture, central Japan

小泉 早千穂・大藤 茂（富山大学大学院理工学教育部地球科学専攻）

Sachiho Koizumi and Shigeru Otoh (Graduate School of Science and Engineering, University of Toyama)

### Abstract

Various studies have been conducted of the Early Cretaceous Totori Group that yield many dinosaur fossils in the Dinosaur Valley Fukui Katsuyama Geopark. On the other hand, many pre-Cretaceous small granitoid and gneiss bodies that sporadically occur in the western part of the Geopark, the Saragawa–Bandojima area, remain unstudied. Here we present the results of petrographical and geochronological studies that help to characterize the granitoid and gneiss. Granite, gabbro, orthogneiss, and greenish gneiss crop out in the Saragawa–Bandojima and are covered by the Upper Cretaceous sedimentary rock and felsic tuff or Miocene andesite. We conducted the modal analysis and the zircon U–Pb dating by the LA–ICPMS. The granitoid of the Saragawa area was tonalite, whereas that of the Bandojima area was syeno-granite. The zircon U–Pb age of the Saragawa granite was  $230.7 \pm 4.1$  Ma, and that of the Bandojima gneiss was  $231.8 \pm 1.8$  Ma. The low Th/U ratio of the zircons of the Bandojima gneiss suggests that the zircon age is metamorphic. A local metamorphic event probably took place in the Saragawa–Bandojima area around 231 Ma. The granite and gneiss can be correlated with the Hida older granite and the Hida gneiss, although the age of zircons from the Saragawa granite and the Bandojima gneiss is slightly younger than those.

## 1. はじめに

福井県勝山市をフィールドとする「恐竜渓谷ふくい勝山ジオパーク」では、前期白亜紀の手取層群北谷層から多数の恐竜化石が産出し、古生物学、層序学、年代学など様々な面で研究がなされてきた。一方で、手取層群や新生界に覆われる基盤岩は、これまでほとんど研究されていない。基盤岩である深成岩及び変成岩は、ジオパークの北西部に位置する皿川流域や坂東島地域に露出し、20万分の1地質図幅「金沢」(鹿野ほか, 1999) や福井県地質図(福井県, 2010)などの図幅において、飛騨花崗岩類及び飛騨変成岩とされる。

北陸地方の大部分は飛騨帶に区分され、飛騨花崗岩類と飛騨片麻岩は飛騨帶の基盤をなす構成要素とされる。飛騨花崗岩類は、主に富山県北東部から南部、石川県、岐阜県北部に広く分布し(図1), Takahashi et al. (2010, 2018) や Takehara and Horie (2019)などにより、形成年代が三畳紀の古期花崗岩類と、ジュラ紀の新期花崗岩類の2種類があることが分かっている。また、飛騨帶北東部の宇奈月地域に狭長に分布する花崗岩類には、形成年代が後期ペルム紀のものや、先カンブリア時代の外来ジルコンを含むものも知られ、宇奈月帯の花崗岩として区分される(Horie et al., 2010, 2018)。飛騨変成岩は、正片麻岩と準片麻岩から成り、ともに三畳紀に変成作用を受けており、正片麻岩については原岩がペルム紀のものであることまで判明している(e.g., Takahashi et al., 2018)。

一方で、勝山市をはじめ福井県嶺北部に点在する先白亜紀深成岩の小岩体については先行研究が乏しい。特に年代学的研究は、越前市村国山地域の花崗岩(図2)についての、柴田・内海(1992)のカリ長石K-Ar年代( $178 \pm 5$  Ma; 前期ジュラ紀)と、中島ほか(1988)のジルコンフィッショントラック年代( $154.8 \pm 7.0$  Ma; 後期ジュラ紀)のみである。これより福井県嶺北の先白亜紀の花崗岩類は、飛騨帶の新期花崗岩類とする認識があった。勝山市の皿川ー坂東島地域についての研究は、小西(1954)が古生代の石灰岩と堆積岩起源の変成岩の存在を指摘した後、服部(2010, 2018)が野外調査と肉眼鑑定による岩石の分布を報告したに過ぎない。服部(2018)は、肉眼鑑定の不確定さを危惧しながらも、その地域の岩石の視覚的特徴とその分布を報告し、深成岩としては角閃石斑レイ岩と花崗岩、変成岩として準片麻岩と緑色片麻岩の存在を明らかにした。しかし、現時点では構成鉱物に関する詳細な記載や、岩石の形成年代についての議論が不足している。そこで本研究では、皿川ー坂東島地域に分布する深成岩と片麻岩について、詳細な岩石記載及び年代測定を行い、他地域の飛騨花崗岩類や飛騨変成岩と比較することを目的とした。

## 2. 地質概説及び地質調査結果

研究対象とする深成岩や片麻岩は、勝山市の北西部を南北に流れる皿川流域、及びそこから西方約5.5 kmに位置する坂東島地域で露出が確認されている(服部, 2018)。今回は両地

域で林道沿いの露頭から試料を採取した。

皿川流域（図 3-a）では、主に中流域で深成岩と片麻岩が露出し、上流域では上部白亜系とみられる砂岩と珪長質凝灰岩の互層や、中新世の安山岩類に被覆される。深成岩は主に斑レイ岩と花崗岩、片麻岩は正片麻岩と緑色を帶びた片麻岩が見られた。まず斑レイ岩は、皿川中流域の南方に広く分布し、平均粒径が 6 mm 程度の角閃石と斜長石で構成される粗粒なものと、全体的に黒色を呈する細粒なものが露出する。また一部地域では細粒な斑レイ岩に挟まり、粗粒斜長石が大半を占める優白質斑レイ岩も見られる。次に花崗岩は、一部地域でしか見られないが、主に斜長石と透明度の高い石英から成り、カリ長石は認められない。また正片麻岩は、皿川上流域と、皿川下流域の細野地域の林道沿いでも見られ、石英もしくは長石類から成る幅 1–6 mm の縞と、有色鉱物から成る幅 1 mm 程度の縞が片麻状構造をなす。一方、皿川中流域の北方では緑色を帶びた片麻岩が広く分布する。その片麻岩は服部（2018）の緑色片麻岩に相当するとみられ、肉眼上では黒色の鉱物を含まず、石英や長石類と、緑色の鉱物から成る。一部岩体では濃い紅色の鉱物も含む。

坂東島地域（図 3-b）では、花崗岩及び片麻岩が露出し、中新世の安山岩類に覆われる。この地域の大部分の花崗岩は、主にカリ長石、斜長石、石英から成り、緑泥石も少量含まれるが、有色鉱物をほとんど含まない優白質なものである。片麻岩は、全体的に緑色もしくは桃色を呈するものが多く、片麻状組織も幅 1 cm 以上あり粗粒である。

本研究では、皿川流域で見られる花崗岩を皿川花崗岩、片麻岩類を皿川変成岩、坂東島地域で見られる花崗岩を坂東島花崗岩、片麻岩を坂東島片麻岩と呼ぶ。

### 3. 研究手法

本研究では、薄片観察及び花崗岩のモード測定と、皿川花崗岩及び坂東島片麻岩から抽出したジルコン U–Pb 同位体年代測定を行った。

#### 3-1. 花崗岩のモード測定

モード測定は、オートマチックポイントカウンターを用いたポイントカウント法による。測定間隔は 0.2 mm で、花崗岩 1 試料につき 2000 ポイントをカウントした。モード測定の結果は、石英・斜長石・カリ長石を端成分にもつ三角ダイアグラム上にプロットし、国際地質科学連合の火成岩分類図に基づいて岩石名を決定した。

#### 3-2. ジルコン U–Pb 同位体年代測定

花崗岩や片麻岩に含まれるジルコンの抽出は以下の手順で行う。採取した岩石試料を洗浄し乾燥させた後、ジョークラッシャーとスタンプミルにより粉碎する。250 μm メッシュの篩（ふるい用メッシュクロース、株式会社ニチカ）を通るものについて、水簸、パンニン

グ, ジョードメタンによる重液分離, ネオジム磁石による磁選を施し, 実体顕微鏡下で残渣からジルコン粒子を拾い出す. 拾い出したジルコンはアクリル樹脂(アクリル・ワン #1320N, マルト一株式会社)に埋め, #2400と#10000の紙やすり(ラッピングフィルムシート0.5ミクロン, 住友スリーエム株式会社)で結晶の研磨面を出し, 顕微鏡で透過像と反射像を確認・撮影する. 年代を測定するスポットの選定には, 福井県立恐竜博物館設置の走査型電子顕微鏡(日本電子社製 JSM-IT500HR)を用いてカソードルミネッセンス(CL)像を撮影し, ジルコン中の包有物やクラックや変成リムを確認した. 今回はジルコンの晶出年代を知るため, それらを避けてレーザー照射位置を決めるべきであったが, 走査型電子顕微鏡の不具合のため皿川花崗岩は年代測定前にCL像を確認できず, 一部変成リムにレーザーの照射スポットがかかつってしまったものがある.

ジルコンの年代測定は, 名古屋大学大学院環境学研究科設置の, レーザーアブレーシヨン・誘導結合プラズマ質量分析装置(LA-ICPMS)を用いて, 以下の手順で測定を行った. ESI社製のNd-YAGのレーザーシステムNWR-213でレーザーを照射し, エアロゾル化したジルコン試料を, Agilent 7700x 四重極型ICPMSに導入し測定した. 分析条件は高地ほか(2015)に従い, レーザーエネルギー11.7 J/cm<sup>2</sup>, 周波数が10 Hz, プレアブレーション時間8秒, 積算時間10秒, スポット径25 μmとし, <sup>202</sup>Hg, <sup>204</sup>(Hg+Pb), <sup>206</sup>Pb, <sup>207</sup>Pb, <sup>208</sup>Pb, <sup>232</sup>Th, <sup>238</sup>Uの同位体をモニターした. 標準試料として, Nancy 91500ジルコン(<sup>238</sup>U-<sup>206</sup>Pb年代: 1062.4 ± 0.8 Ma; Wiedenbeck et al., 1995), 標準ガラスNIST SRM 610(Horn and von Blankenburg, 2007), OD-3ジルコン(岩野ほか, 2012)を用いて同位体分別補正をする. 1サイクルあたりの測定は, ガスブランク5回, NIST SRM 610を4スポット, Nancy 91500ジルコンとOD-3ジルコンをそれぞれ1スポット, unknownジルコンを8スポット, NIST SRM 610を4スポット, ガスブランクを5回とした.

測定によって得られたデータのうち, 包有物やクラックを巻き込み打ったもの, ジルコン粒子にレーザーが貫通してしまったもの, 初期鉛<sup>206</sup>PbCが5%以上のものは除外する. 初期鉛の補正は行っていない. Ludwig(2012)のIsoplot 4.15を用いて, 同位体比とその誤差2σからコンコーディア図を作成し, 誤差楕円がコンコーディア曲線に重なるものをコンコードント粒子, 重ならないものをディスコードント粒子と解釈する.

今回測定した試料は, 皿川花崗岩と坂東島片麻岩の各1試料である. 皿川変成岩と坂東島花崗岩が未測定なのは, 測定に十分な数のジルコンを抽出できなかつたため, もしくはマシンタイムの制約があつたためである. 年代測定結果のデータは表1にまとめた.

#### 4. 岩石記載・モード測定結果

皿川流域で露出する花崗岩・斑レイ岩・片麻岩と, 坂東島地域で露出する花崗岩・片麻岩についての薄片観察の結果を述べる.

#### 4-1. 皿川花崗岩類・変成岩

- ・ 花崗岩（サンプル KAD02；図 4-a, b）

主に斜長石、石英、大部分が緑泥石化した黒雲母、及び白雲母から成る非変形な花崗岩で、カリ長石を含まない。モード測定に基づくと、色指数は 9 で、三角図上での石英・斜長石・カリ長石の量比は、石英が 48.0 %、斜長石が 52.0 %、カリ長石が 0.0 % であり、トーナル岩に区分された。副成分鉱物としてジルコン、方鉛鉱などが含まれ、磁鉄鉱には乏しい。

- ・ 優黒質斑レイ岩（サンプル KAD01-1, 06；図 4-c, d）

主に角閃石、斜長石、緑泥石、黒雲母、及び白雲母から成り、平均粒径 6 mm 程度の粗粒なものと、0.1 mm 程度の細粒なものがある。ジルコンに乏しく、磁鉄鉱に富むほか、黄鉄鉱などの硫化鉱物も少量含まれる。

- ・ 優白質斑レイ岩（サンプル KAD01-2）

斜長石主体で、角閃石や緑泥石を少量含み、全体的に白色を呈する。平均粒径が 5 mm 程度で比較的粗粒である。石英やカリ長石を含まないことから、花崗岩とは区別した。

- ・ 正片麻岩（サンプル KAD12；図 5-a, b）

石英、斜長石、カリ長石、黒雲母、緑泥石、及び白雲母から成る。幅 1–6 mm の片麻状組織を持ち、構成鉱物から花崗岩が原岩とみられる。不透明鉱物は稀にしか含まれない。皿川地域ではこの正片麻岩の露出は小規模である。

- ・ 緑泥石片麻岩（サンプル KAD16；図 5-c, d）

主に石英、変質した斜長石、緑泥石、チタン石から成り、全体的に緑色を呈する。幅 1 mm 以下の片麻状組織が見られ、所によってカリ長石と思われる濃い紅色の鉱物が含まれている。石英は強い波動消光を示す。破断面を方解石が充填し脈状になっている。磁鉄鉱に富み、わずかながらジルコンと緑簾石も含む。

#### 4-2. 坂東花崗岩・片麻岩

- ・ 花崗岩（サンプル KBD03；図 4-e, f）

主にカリ長石、石英、斜長石、緑泥石、及び白雲母から成る非変形な花崗岩であり、カリ長石に富む。モード測定に基づくと、色指数は 2.05 で、三角図上での石英・斜長石・カリ長石の量比は、石英が 21.1 %、斜長石が 18.9 %、カリ長石が 60.0 % であり、閃長花崗岩に区分された。ジルコンを多く含み、有色鉱物や不透明鉱物に乏しい。

- ・ 片麻岩（サンプル KBD04；図 5-e, f）

石英長石類から成る幅約 2 cm の縞と、緑泥石もしくは黒雲母から成る幅約 1.5 cm の縞が片麻状構造をなした岩石。主に石英、カリ長石、変質した斜長石、緑泥石及び黒雲母から成り、副成分鉱物として緑簾石、ルチル、チタン石、ザクロ石などが見られる。磁鐵鉱には乏しい。

## 5. ジルコン U-Pb 同位体年代測定結果

### 5-1. 皿川花崗岩（サンプル KAD02；図 6；36°07'24.65"N, 136°28'44.47"E）

本試料から分離したジルコンのほとんどは、カソードルミネッセンス (CL) 像で幅 10–30  $\mu\text{m}$  の変成リムが識別される（図 6-c）。80 粒のジルコンを分析し、71 粒のコンコーダント粒子を得た（図 6-b）。コンコーダント粒子の  $^{238}\text{U}-^{206}\text{Pb}$  年代は、最も若いもので  $225.0 \pm 5.7$  Ma、最も古いもので  $266.5 \pm 8.6$  Ma で、225–266 Ma という年代幅があるが、大多数のジルコンは 245 Ma 付近に集中し、最大ピーク値は 243.8 Ma である（図 6-a）。最も若いジルコンと、その  $^{238}\text{U}-^{206}\text{Pb}$  年代（誤差  $2\sigma$  付き）に誤差範囲  $2\sigma$  が重なる 6 粒子のコンコーディア年代は  $230.6 \pm 2.2$  Ma ( $n=7$ , MSWD = 0.053；図 6-d)，加重平均値は  $230.7 \pm 4.1$  Ma (MSWD = 2.2；図 6-e) となった。コンコーダント粒子の Th/U は 0.15–0.37 で、すべて 0.1 以上である。

### 5-2. 坂東島片麻岩（サンプル KBD04；図 7；36°05'17.94"N, 136°24'19.72"E）

本試料から分離したジルコンは、CL 像で明瞭なオシラトリー累帯構造を示す（図 7-c）。40 粒のジルコンを分析し、うち 26 粒をコンコーダント粒子と判定した（図 7-b）。コンコーダント粒子の  $^{238}\text{U}-^{206}\text{Pb}$  年代は、最も若いもので  $225.3 \pm 5.5$  Ma、最も古いもので  $251.5 \pm 4.5$  Ma で、225–251 Ma という年代幅があるが、大多数のジルコンは 235 Ma 付近に集中し、ピーク値は 234.9 Ma である（図 7-a）。最も若いジルコンと、その  $^{238}\text{U}-^{206}\text{Pb}$  年代（誤差  $2\sigma$  付き）に誤差範囲  $2\sigma$  が重なる 11 粒子のコンコーディア年代は  $231.9 \pm 2.0$  Ma ( $n=12$ , MSWD = 5.9；図 7-d)，加重平均値は  $231.8 \pm 1.8$  Ma (MSWD = 1.4；図 7-e) となった。コンコーダント粒子の Th/U は 0.01–0.41 で、26 粒子中 22 粒が 0.1 未満である。

## 6. 考察

### 6-1. 皿川花崗岩の形成年代と坂東島片麻岩の変成年代

まず、皿川花崗岩のジルコンの Th/U はすべて 0.1 以上であることから、得られた年代は晶出年代と考えられる。皿川花崗岩中のジルコン年代分布より、ジルコンの晶出は少なくともおよそ 266 Ma には開始し、245 Ma ごろにピークを迎える、225 Ma ごろには収束していたと考えられ、花崗岩の形成は加重平均値より  $230.7 \pm 4.1$  Ma と解釈する。しかし CL 像では厚い変成リムが確認されたことから、後期三畳紀までに花崗岩が形成されたのち、再加熱を受けた可能性がある。

一方坂東島片麻岩は、大半のジルコンの Th/U が 0.1 未満であったことから、得られた年代は変成作用を受けた年代と考えられる。251 Ma から 225 Ma の年代のジルコンを含んでおり、皿川花崗岩よりも比較的若い年代に偏った分布となつたため、坂東島片麻岩の変成作用は皿川花崗岩よりもやや遅れて始まるが、およそ同時期のイベントとみなすことができる。

これまで福井県嶺北に散在する花崗岩類は、柴田・内海（1992）などを基にジュラ紀に形成された飛騨新期花崗岩類とみなされてきたが、今回の結果から、それよりも古い三畳紀の花崗岩類も存在することが示された。

### 6-2. 飛騨花崗岩類と飛騨片麻岩との年代比較

ジルコン年代測定の結果より、皿川花崗岩の形成年代は  $230.7 \pm 4.1$  Ma であることが分かった。一方飛騨古期花崗岩類は、ジルコンの U-Pb 年代としては 240–250 Ma のものの報告が多く（e.g., Takahashi et al., 2010 ; Zhao et al., 2013），いずれもマイロナイト化したものや、やや片麻状になったものである。後期三畳紀に近い年代が報告されている花崗岩は、富山県南砺市にある水無山のホルンブレンド含有黒雲母花崗岩（CHIME モナザイト年代： $236.8 \pm 4.7$  Ma ; Khan et al., 1995）や、灰色花崗岩（CHIME ジルコン： $230 \pm 10$  Ma ; Suzuki and Adachi, 1991）などがある。皿川花崗岩は形成年代のみでみると、飛騨古期花崗岩類の中では比較的若い花崗岩と同時期のものと対比できる。

勝山市以外の福井県嶺北に分布する先白亜紀の花崗岩類について、Koizumi and Otoh (2020 in press) がジルコン U-Pb 年代に基づき形成年代を報告している。それによると、越前市の大平山モンゾニ岩が  $243.0 \pm 1.6$  Ma，村国山トーナル岩が  $250.9 \pm 2.5$  Ma，大野市の宝慶寺花崗閃緑岩が  $256.1 \pm 1.9$  Ma，銀杏峰トーナル岩が  $271.9 \pm 1.9$  Ma であり、いずれも皿川花崗岩よりも 1000–4000 万年ほど古いという傾向がある。しかし、皿川花崗岩は 245 Ma ごろのジルコンが大多数を占め、それ以降から 225 Ma にかけてジルコンは急激に減少することから、花崗岩が冷え固まる時期は福井県の他の花崗岩や飛騨古期花崗岩類とほぼ同じだが、すぐには温度が下がりきらず、坂東島片麻岩を形成する程度の高温の環境が、他地域よりも長

く続く状況だったと推測される。

一方、坂東島片麻岩の変成年代は  $231.8 \pm 1.8$  Ma であることが分かった。この年代に近い片麻岩が Takahashi et al., (2018) により報告されているが、ジルコン年代分布を比較すると、坂東島片麻岩の方が若い年代に偏るという違いも見られる。また、測定した大半のジルコンの Th/U が 0.1 未満であることは珍しく、他の飛騨片麻岩では報告の無い特徴である。

以上のことから、皿川—坂東島地域の花崗岩類は飛騨帶の古期花崗岩類に、片麻岩は飛騨片麻岩に年代的には対比可能であるが、局所的に形成時期の温度条件が異なった可能性があると考える。これを検証するには、造岩鉱物の鉱物温度計からマグマの温度を推定するか、ジルコンとは閉鎖温度が異なる鉱物の年代測定を行い、ジルコン U-Pb 年代と比較するとよいと考えられる。

## 7. まとめ

本研究により、長らく未解明であった勝山市の基盤岩が、後期三畳紀に形成された花崗岩・斑レイ岩・片麻岩から成ることが分かった。福井県嶺北に分布する先白亜紀の花崗岩類はこれまでジュラ紀とされる認識があり、その認識を改める結果となった。飛騨帶の古期花崗岩類や片麻岩に対比可能であるが、他地域よりも比較的若いジルコンが含まれるため、形成環境の温度条件が異なる可能性がある。

## 8. 謝辞

本研究にあたり、名古屋大学の山本鋼志教授、福井県立恐竜博物館の今井拓哉博士には、機械の借用を許していただき、格別の便宜を図っていただいた。また、令和元年度勝山市ジオパーク学術研究等奨励補助金を使用して本研究を進めるにあたり、勝山市ジオパークまちづくり課の町澄秋様には、申請や実績報告書類提出など、事務的手続きをご対応いただいた。皆さまに深く御礼申し上げる。

## 引用文献

- 福井県, 2010, 福井県地質図及び同説明書(2010年版). 財団法人福井県建設技術公社, 173p.
- 服部 勇, 2010, 福井県内のいくつかの地域の地質—その1: 巢原—水海地域, 冠山—金草岳地域, 桧山地域—. 福井大学地域環境研究教育センター研究紀要「日本海地域の自然と環境」, **19**, 1–12.

服部 勇, 2018, 福井県内のいくつかの地域の地質—その 10：勝山市西部の地域地質（概報）－. 福井大学地域環境研究教育センター研究紀要「日本海地域の自然と環境」, **25**, 1–22.

Horie, K., Yamashita, M., Hayasaka, Y., Katoh, Y., Tsutsumi, Y., Katsume, A., Hidaka, H., Kim, H., and Cho, M., 2010, Eoarchean–Paleoproterozoic zircon inheritance in Japanese Permo-Triassic granites (Unazuki area, Hida Metamorphic Complex): Unearthing more old crust and identifying source terranes. *Precambrian Research*, **183**, 145–157.

Horie, K., Tsutsumi, Y., Takehara, M., and Hidaka, H., 2018, Timing and duration of regional metamorphism in the Kagasawa and Unazuki areas, Hida metamorphic complex, southwest Japan. *Chemical Geology*, **484**, 148–167.

Horn, I., and von Blanckenburg, F., 2007, Investigation on elemental and isotopic fractionation during 196 nm femtosecond laser ablation multiple collector inductively coupled plasma mass spectrometry. *Spectrochim. Acta, Part B*, **62**, 410–422.

岩野英樹・折橋裕二・檀原 徹・平田岳史・小笠原正継, 2012, 同一ジルコン結晶を用いた フィッショントラックと U-Pb ダブル年代測定法の評価—島根県川本花崗閃緑岩中の 均質ジルコンを用いて—. 地質学雑誌, **118**, 365–375.

鹿野和彦・原山 智・山本博文・竹内 誠・宇都浩三・駒澤正夫・広島俊男・須藤定久, 1999, 20万分の1地質図幅「金沢」. 地質調査所.

Khan, I. H., Suzuki, K., Shibata, K., and Adachi, M., 1995, Late Permian CHIME ages of the Hida Gneiss and early Triassic age of the Mizunashi Granite in the Amo area of the Hida terrane, central Japan. *The Journal of Earth and Planetary Sciences, Nagoya University*, **42**, 31–43.

Koizumi, S., and Otoh, S., 2020 (in press), The Permian–Triassic granitoid and gneiss in the Dinosaur Valley Fukui Katsuyama Geopark and other areas, Fukui Prefecture, Central Japan. *JpGU2020*.

小西健二, 1954, 福井県石徹白村の古生層. 地質学雑誌, **60**, 7–17.

高地吉一・折橋裕二・小原北士・藤本辰弥・春田泰宏・山本鋼志, 2015, 213 nm Nd: YAG レーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析計を用いたジルコンの U-Pb 年代測定 : Pb/U 分別補正に NIST SRM 610 を用いるための分析条件最適化. 地球化学, **49**, 19–35.

Ludwig, K. R., 2012, Isoplot 3.75-4.15: A geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley, CA: Berkeley Geochronology Center Special Publication, 76p.

中島正志・岩野英樹・広岡公男, 1988, フィッショントラック年代測定のための補正定数 ZETA の測定結果. 福井大学教育学部紀要Ⅱ, **38**, 87–100.

産総研地質調査総合センター, 20万分の1日本シームレス地質図V2(データ更新日:2019年6月5日, <https://gbank.gsj.jp/seamless/>)

柴田 賢・内海 茂, 1992, K-Ar 年代測定結果—4—地質調査所未公開資料—. 地質調査所月報, **43**, 359–367.

- Suzuki, K., and Adachi, M., 1991, The chemical Th-U-Total Pb Isochron ages of zircon and monazite from the gray granite of the Hida terrane, Japan. *Journal of Earth and Planetary Sciences, Nagoya University*, **38**, 11–37.
- Takahashi, Y., Cho, D., and Kee, W., 2010, Timing of mylonitization in the Funatsu Shear Zone within Hida Belt of southwest Japan: Implications for correlation with the shear zones around the Ogcheon Belt in the Korean Peninsula, *Gondwana Research*, **17**, 102–115.
- Takahashi, Y., Cho, D. L., Mao, J., Zhao. X., and Yi, K., 2018, SHRIMP U–Pb zircon ages of the Hida metamorphic and plutonic rocks, Japan: Implications for late Paleozoic to Mesozoic tectonics around the Korean Peninsula. *Island Arc*, **27**(1), 1–20.
- Takehara, M., and Horie, K., 2019, U–Pb zircon geochronology of the Hida gneiss and granites in the Kamioka area, Hida Belt. *Island Arc*, **28**, 1–10.
- Wiedenbeck, M., Allé, P., Corfu, F., Griffin, W. L., Meier, M., Oberli, F., Quadt, A. V., Roddick, J. C. and Speigel, W., 1995, Three natural zircon standards for U–Th–Pb, Lu–Hf, trace element and REE analyses. *Geostandards Newsletter*, **19**, 1–23.
- Zhao, X., Mao, Y., Ye, H., Liu, K., and Takahashi, Y., 2013, New SHRIMP U–Pb zircon ages of granitic rocks in the Hida Belt, Japan: Implications for tectonic correlation with Jiamushi massif. *Island Arc*, **22**, 508–521.

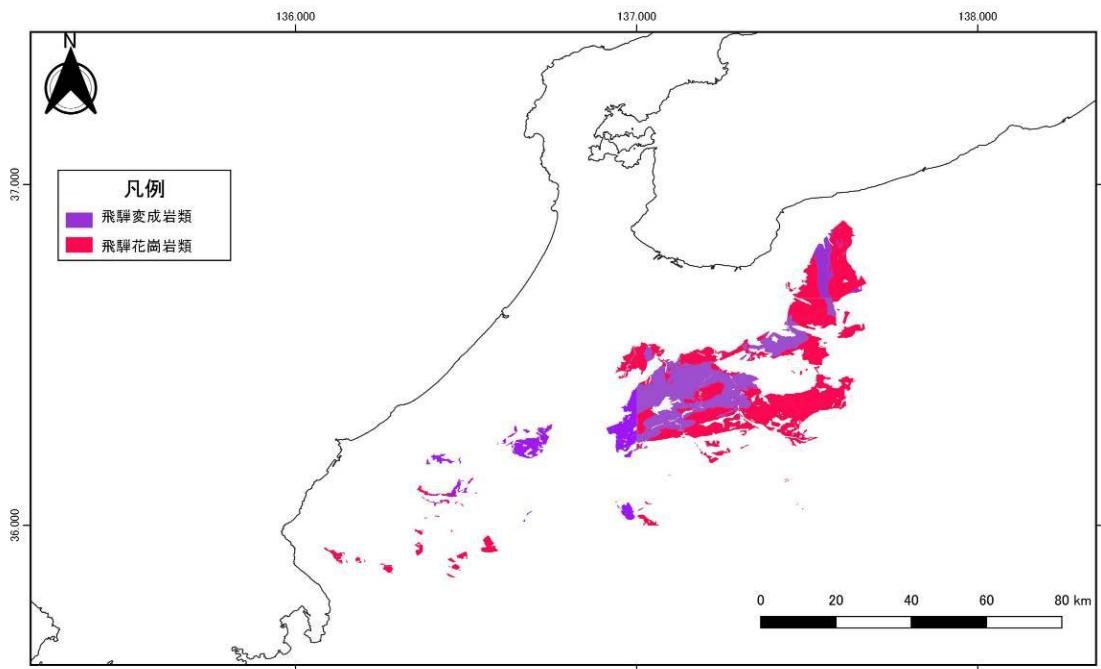


図1 飛驒花崗岩類及び飛驒變成岩類（宇奈月帶も含む）の分布図。シームレス地質図を基に、福井県内については筆者の調査結果を踏まえて加筆修正している。

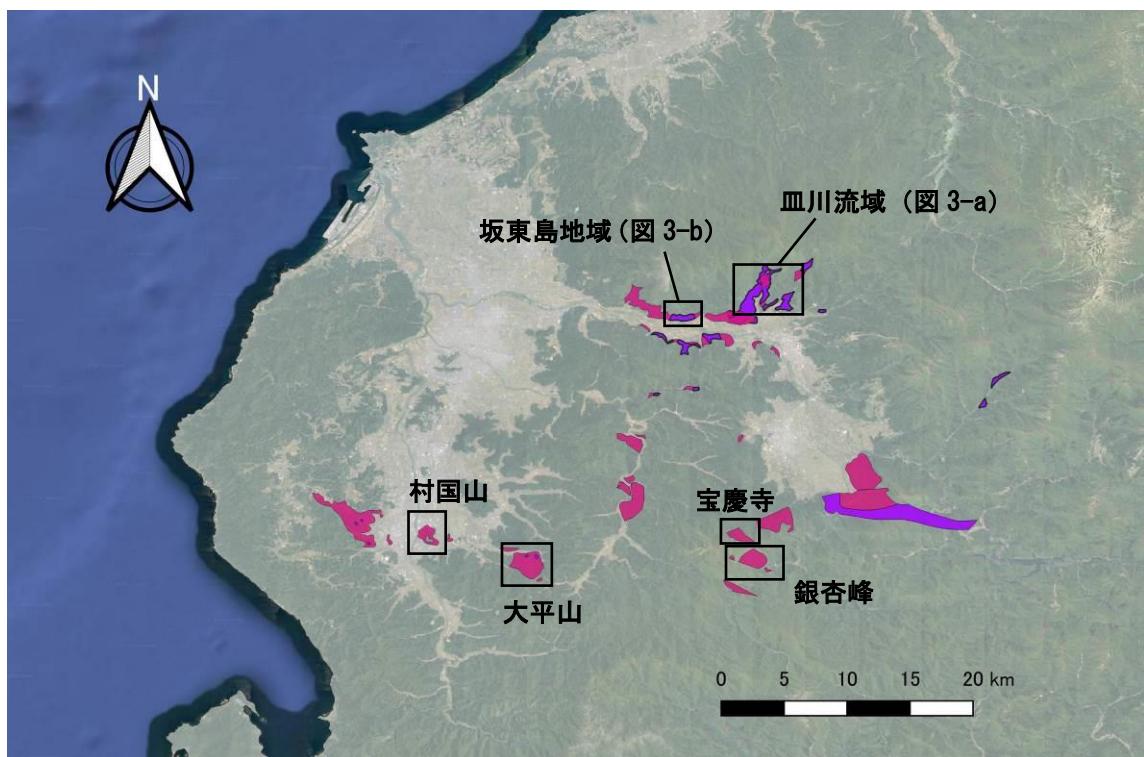


図2 福井県嶺北の先白亜紀花崗岩類の分布図。凡例は図1に準ずる。

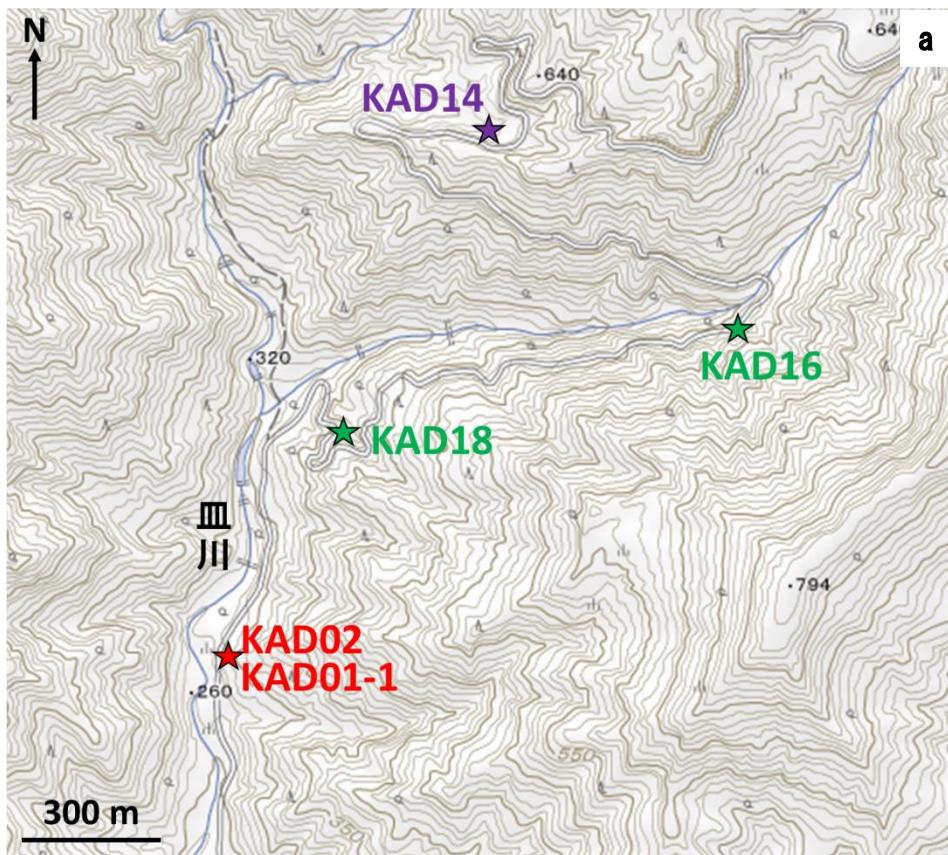


図3 試料採取地点. a) 皿川流域, b) 坂東島地域. 赤字が深成岩, 紫字が正片麻岩, 緑字が緑色片麻岩であることを示す.

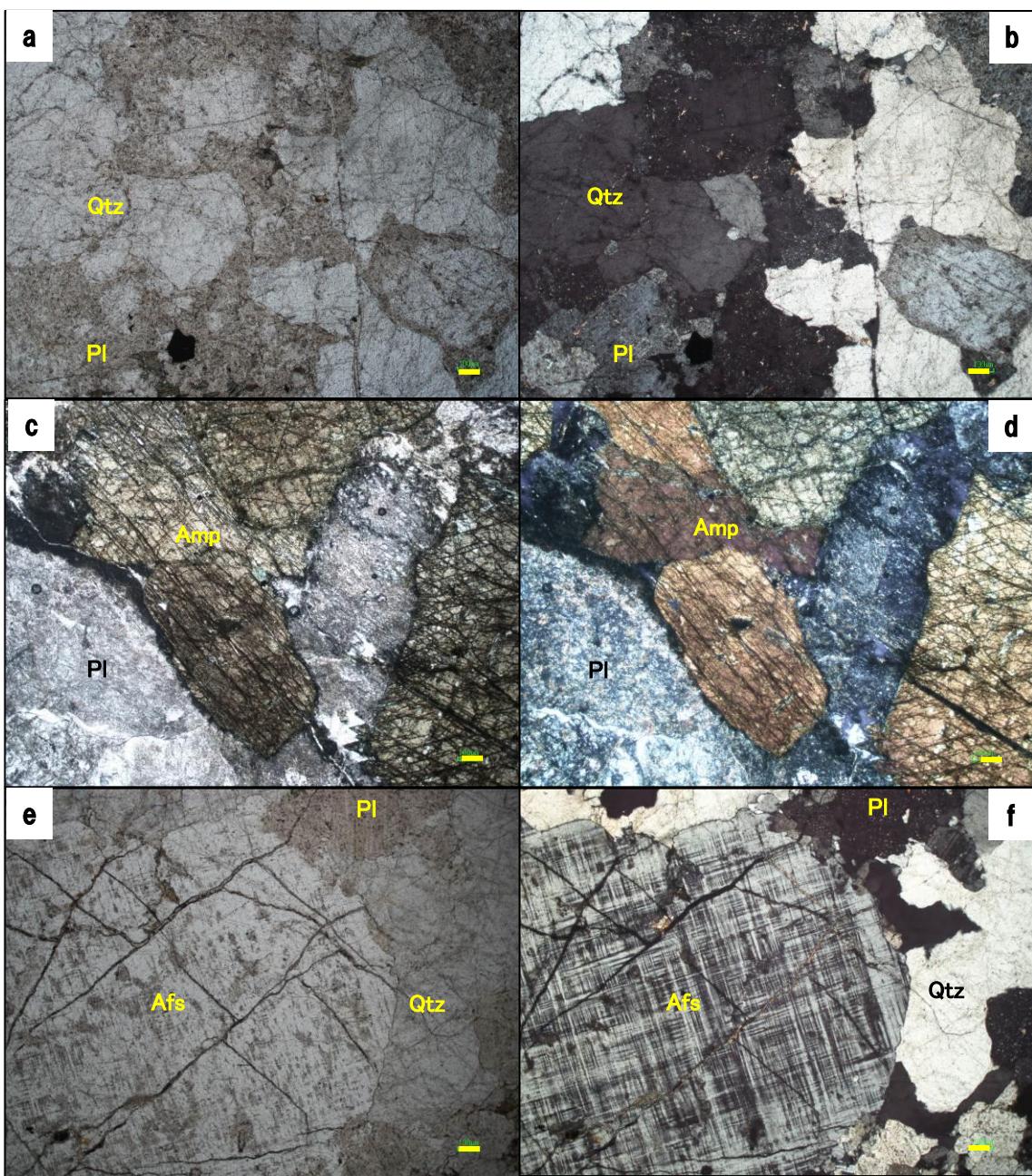


図4 深成岩の薄片写真. 皿川流域の花崗岩の開放ニコル (a) と直方ニコル (b), 斑レイ岩の開放ニコル (c) と直方ニコル (d), 坂東島地域の花崗岩の開放ニコル (e) と直方ニコル (f). それぞれ写真右下の黄色いバーが 100  $\mu\text{m}$  を示す. 略記は以下の通り.

Qtz : 石英, Pl : 斜長石, Afs : カリ長石, Bt : 黒雲母, Chl : 緑泥石, Amp : 角閃石, Ep : 緑簾石

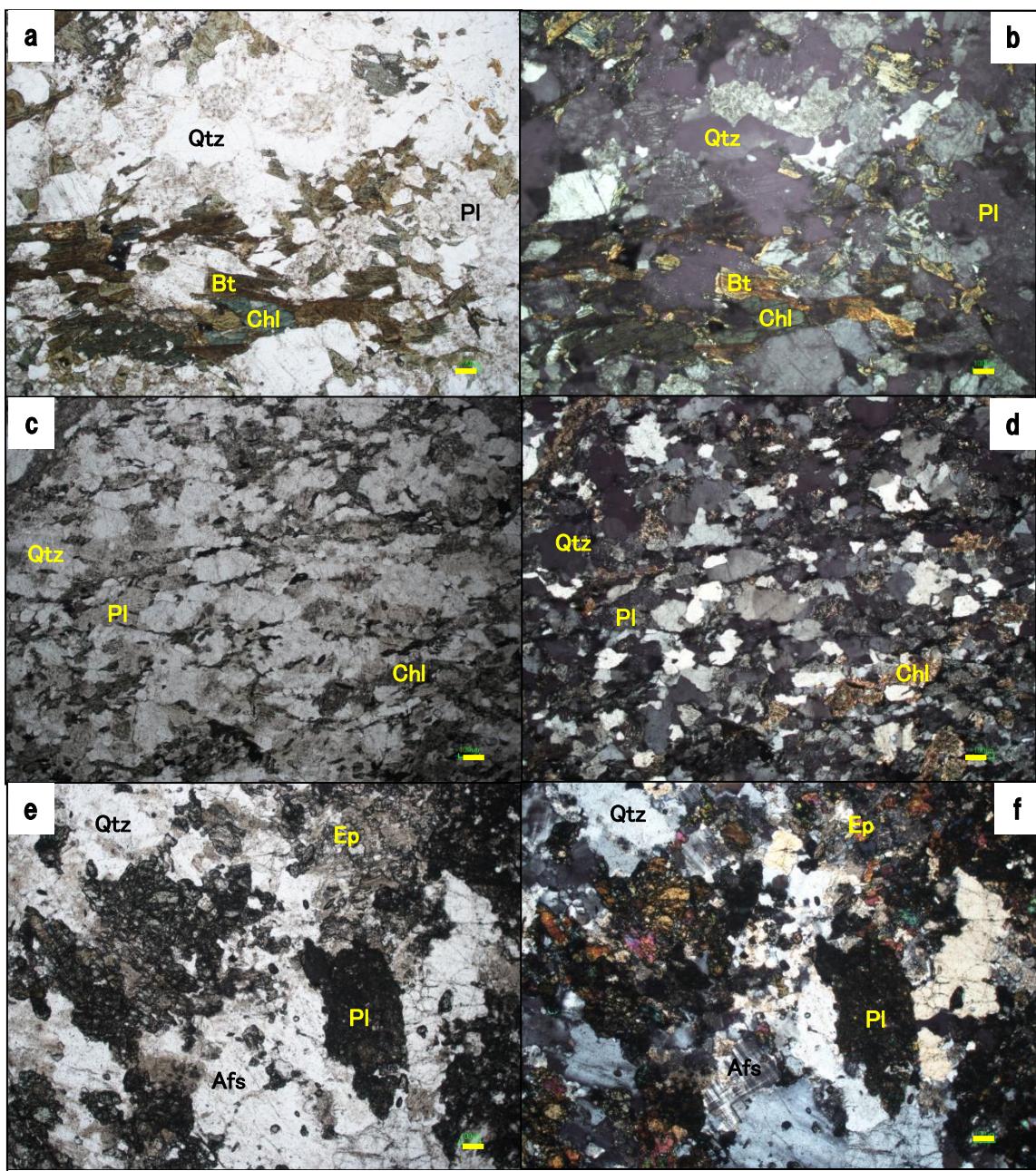


図5 片麻岩の薄片写真. 皿川流域の正片麻岩の開放ニコル (a) と直方ニコル (b), 緑泥石片麻岩の開放ニコル (c) と直方ニコル (d), 坂東島地域の片麻岩の開放ニコル (e) と直方ニコル (f). それぞれ写真右下の黄色いバーが  $100\text{ }\mu\text{m}$  を示す. 略記は図4に準ずる.

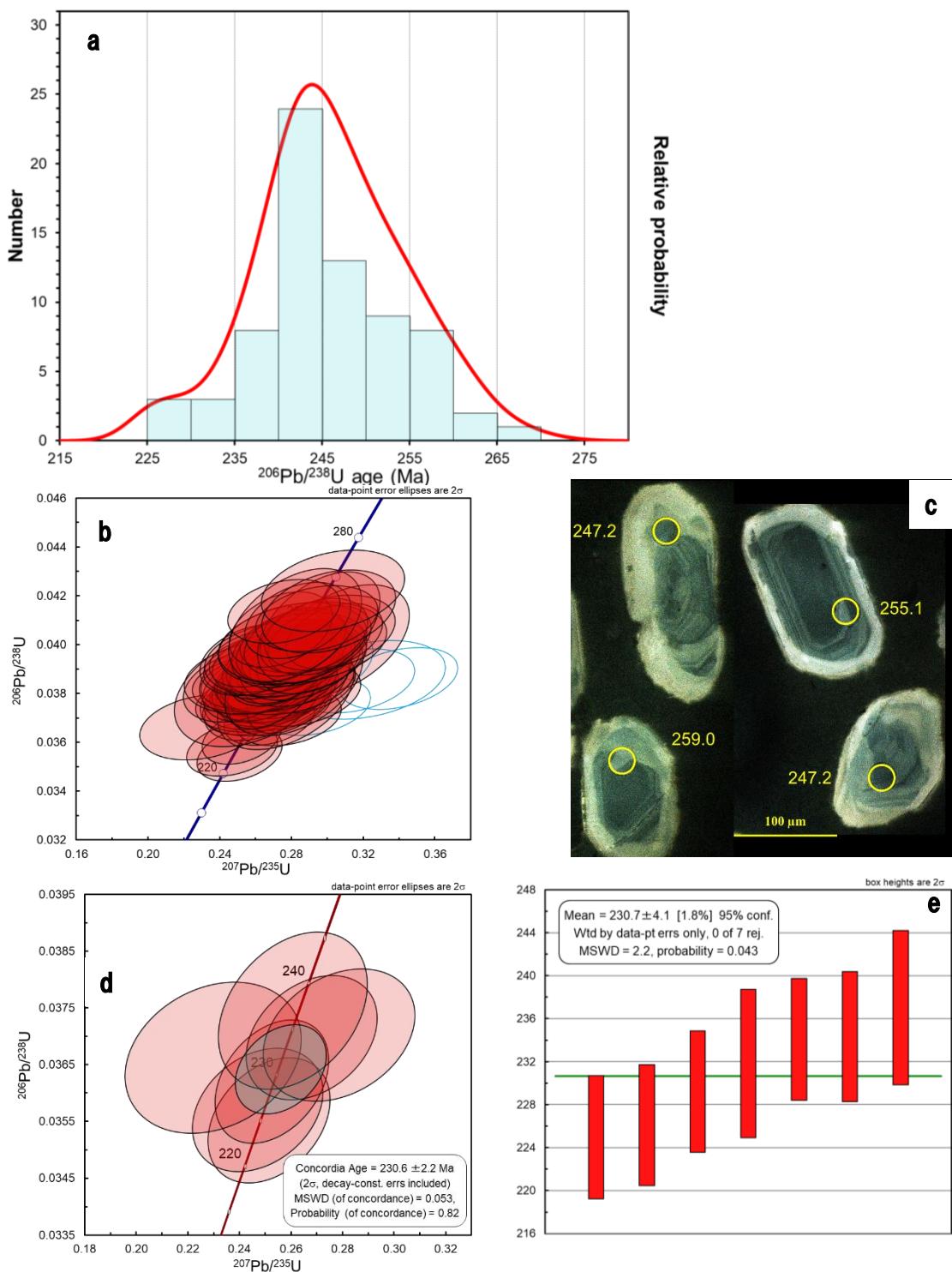


図 6 皿川花崗岩（サンプル KAD02）のジルコン測定結果。a) コンコーダント粒子の相対確率分布図、b) 測定した全粒子のコンコーディア図で、コンコーダント粒子を赤円、ディスコーダント粒子を水色の円で示す、c) ジルコンの CL 像で、黄色円はレーザー照射位置を、横の数値は各測定点の  $^{238}\text{U}-^{206}\text{Pb}$  年代の中心値 (Ma) を示す、d) 最も若いジルコンと誤差  $2\sigma$  で重なる粒子のコンコーディア年代と e) 加重平均値。

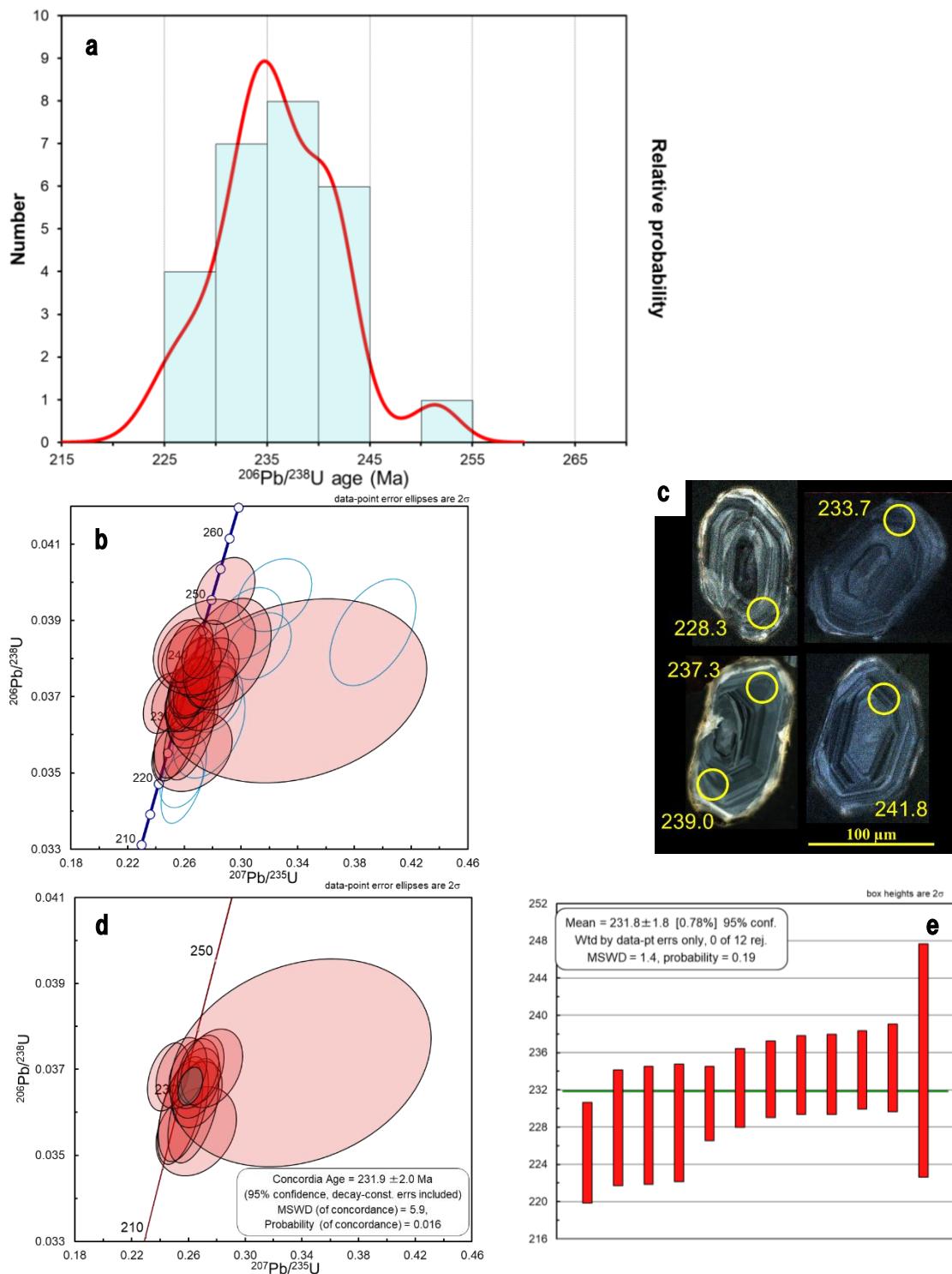


図 7 坂東島片麻岩（サンプル KBD04）のジルコン測定結果。a) コンコーダント粒子の相対確率分布図、b) 測定した全粒子のコンコーディア図で、コンコーダント粒子を赤円、ディスコーダント粒子を水色の円で示す、c) ジルコンの CL 像で、黄色円はレーザー照射位置を、横の数値は各測定点の  $^{238}\text{U}-^{206}\text{Pb}$  年代の中心値 (Ma) を示す、d) 最も若いジルコンと誤差  $2\sigma$  で重なる粒子のコンコーディア年代と e) 加重平均値。

表1 ジルコン U-Pb 同位体年代データ. コンコーダント粒子のみ掲載.

Sample No.	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (2σ)	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ (2σ)	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age (2σ)	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ age (2σ)	$^{206}\text{PbC}$ (%)	Th/U
皿川花崗岩 (Sample KAD02)						
KAD02-01	0.04036 ± 0.00110	0.3040 ± 0.0220	255.1 ± 6.9	269.5 ± 19.5	0.00	0.25
KAD02-02	0.03910 ± 0.00107	0.2665 ± 0.0204	247.2 ± 6.8	239.9 ± 18.4	0.00	0.32
KAD02-03	0.03856 ± 0.00112	0.2672 ± 0.0234	243.9 ± 7.1	240.4 ± 21.1	1.30	0.31
KAD02-04	0.04050 ± 0.00126	0.3016 ± 0.0298	255.9 ± 8.0	267.6 ± 26.4	0.00	0.28
KAD02-05	0.04221 ± 0.00136	0.3035 ± 0.0327	266.5 ± 8.6	269.1 ± 29.0	2.10	0.37
KAD02-06	0.04005 ± 0.00137	0.2809 ± 0.0339	253.1 ± 8.7	251.3 ± 30.3	2.08	0.37
KAD02-07	0.03086 ± 0.00237	0.2296 ± 0.0759	196.0 ± 15.1	209.8 ± 69.4	0.00	0.28
KAD02-08	0.04012 ± 0.00114	0.2821 ± 0.0230	253.6 ± 7.2	252.3 ± 20.6	0.00	0.26
KAD02-09	0.04080 ± 0.00190	0.2823 ± 0.0302	257.8 ± 12.0	252.4 ± 27.0	0.86	0.31
KAD02-10	0.04072 ± 0.00185	0.2954 ± 0.0279	257.3 ± 11.7	262.8 ± 24.9	0.00	0.26
KAD02-11	0.03869 ± 0.00173	0.2724 ± 0.0240	244.7 ± 11.0	244.6 ± 21.6	0.00	0.25
KAD02-12	0.03850 ± 0.00181	0.2823 ± 0.0309	243.5 ± 11.5	252.5 ± 27.6	0.00	0.35
KAD02-13	0.03847 ± 0.00171	0.2846 ± 0.0240	243.3 ± 10.8	254.3 ± 21.5	0.00	0.15
KAD02-14	0.03816 ± 0.00190	0.2575 ± 0.0349	241.4 ± 12.0	232.7 ± 31.5	1.95	0.64
KAD02-15	0.04018 ± 0.00187	0.3072 ± 0.0317	253.9 ± 11.8	272.0 ± 28.1	0.00	0.24
KAD02-16	0.03791 ± 0.00180	0.2769 ± 0.0312	239.8 ± 11.4	248.2 ± 28.0	0.00	0.27
KAD02-18	0.04019 ± 0.00116	0.2959 ± 0.0236	254.0 ± 7.4	263.2 ± 21.0	0.00	0.21
KAD02-19	0.03887 ± 0.00111	0.2719 ± 0.0214	245.8 ± 7.1	244.2 ± 19.3	0.68	0.20
KAD02-20	0.03830 ± 0.00120	0.2506 ± 0.0253	242.3 ± 7.6	227.1 ± 22.9	0.00	0.32
KAD02-21	0.03943 ± 0.00109	0.2811 ± 0.0199	249.3 ± 6.9	251.5 ± 17.8	0.38	0.20
KAD02-22	0.03746 ± 0.00113	0.2605 ± 0.0237	237.1 ± 7.2	235.1 ± 21.3	2.22	0.23
KAD02-23	0.03847 ± 0.00107	0.2663 ± 0.0191	243.4 ± 6.8	239.7 ± 17.2	0.12	0.25
KAD02-24	0.03990 ± 0.00114	0.2760 ± 0.0218	252.2 ± 7.2	247.4 ± 19.5	0.40	0.20
KAD02-25	0.04137 ± 0.00107	0.2759 ± 0.0256	261.3 ± 6.8	247.4 ± 22.9	1.00	0.20
KAD02-26	0.03868 ± 0.00099	0.2824 ± 0.0246	244.7 ± 6.3	252.5 ± 22.0	0.00	0.34
KAD02-27	0.03147 ± 0.00189	0.2450 ± 0.0638	199.7 ± 12.0	222.5 ± 57.9	0.00	0.29
KAD02-28	0.03858 ± 0.00084	0.2741 ± 0.0170	244.0 ± 5.3	246.0 ± 15.3	0.47	0.32
KAD02-29	0.04108 ± 0.00110	0.2943 ± 0.0278	259.5 ± 6.9	261.9 ± 24.7	0.00	0.20
KAD02-30	0.03778 ± 0.00102	0.2630 ± 0.0257	239.0 ± 6.5	237.1 ± 23.2	0.00	0.33
KAD02-31	0.03925 ± 0.00098	0.2633 ± 0.0224	248.2 ± 6.2	237.3 ± 20.2	0.00	0.20
KAD02-32	0.03943 ± 0.00094	0.2595 ± 0.0207	249.3 ± 6.0	234.3 ± 18.7	0.03	0.19
KAD02-33	0.03953 ± 0.00125	0.2915 ± 0.0252	249.9 ± 7.9	259.7 ± 22.4	0.60	0.18
KAD02-34	0.04063 ± 0.00126	0.2742 ± 0.0235	256.7 ± 8.0	246.0 ± 21.1	0.14	0.22
KAD02-35	0.03984 ± 0.00129	0.2794 ± 0.0267	251.8 ± 8.2	250.2 ± 23.9	0.00	0.22
KAD02-36	0.04037 ± 0.00126	0.2927 ± 0.0247	255.1 ± 7.9	260.7 ± 22.0	0.00	0.21
KAD02-37	0.04100 ± 0.00128	0.2837 ± 0.0242	259.0 ± 8.1	253.5 ± 21.7	0.10	0.20
KAD02-38	0.03930 ± 0.00129	0.2851 ± 0.0274	248.5 ± 8.1	254.7 ± 24.5	0.50	0.28
KAD02-39	0.04137 ± 0.00139	0.3009 ± 0.0306	261.3 ± 8.8	267.1 ± 27.1	0.00	0.28
KAD02-40	0.03909 ± 0.00121	0.2744 ± 0.0233	247.2 ± 7.7	246.2 ± 20.9	0.00	0.25
KAD02-41	0.03702 ± 0.00095	0.2785 ± 0.0240	234.4 ± 6.0	249.4 ± 21.5	0.00	0.23
KAD02-42	0.03906 ± 0.00089	0.2725 ± 0.0192	247.0 ± 5.7	244.7 ± 17.3	2.01	0.30
KAD02-43	0.03571 ± 0.00089	0.2469 ± 0.0207	226.2 ± 5.6	224.1 ± 18.8	0.00	0.25
KAD02-44	0.03854 ± 0.00114	0.2777 ± 0.0305	243.8 ± 7.2	248.9 ± 27.3	1.06	0.25
KAD02-45	0.03958 ± 0.00104	0.2840 ± 0.0259	250.3 ± 6.6	253.8 ± 23.1	0.00	0.27
KAD02-47	0.04009 ± 0.00137	0.2862 ± 0.0384	253.4 ± 8.7	255.6 ± 34.3	1.70	0.30
KAD02-48	0.03751 ± 0.00098	0.2592 ± 0.0233	237.4 ± 6.2	234.0 ± 21.0	0.00	0.20
KAD02-49	0.03841 ± 0.00098	0.2890 ± 0.0220	242.9 ± 6.2	257.7 ± 19.6	0.38	0.27
KAD02-51	0.03830 ± 0.00092	0.2619 ± 0.0177	242.3 ± 5.8	236.2 ± 16.0	0.07	0.16
KAD02-52	0.03552 ± 0.00090	0.2513 ± 0.0194	225.0 ± 5.7	227.6 ± 17.6	0.00	0.18

Sample No.	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (2 $\sigma$ )	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ (2 $\sigma$ )	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age (2 $\sigma$ )	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ age (2 $\sigma$ )	$^{206}\text{PbC}$ (%)	Th/U
KAD02-54	0.03798 ± 0.00109	0.2854 ± 0.0274	240.3 ± 6.9	254.9 ± 24.5	0.00	0.22
KAD02-55	0.03827 ± 0.00106	0.2751 ± 0.0254	242.1 ± 6.7	246.8 ± 22.8	2.30	0.20
KAD02-56	0.03620 ± 0.00089	0.2524 ± 0.0180	229.3 ± 5.6	228.5 ± 16.3	0.82	0.32
KAD02-57	0.03785 ± 0.00088	0.2698 ± 0.0243	239.5 ± 5.6	242.5 ± 21.9	3.40	0.23
KAD02-58	0.03813 ± 0.00088	0.2650 ± 0.0240	241.3 ± 5.6	238.7 ± 21.6	0.00	0.19
KAD02-59	0.03767 ± 0.00102	0.2628 ± 0.0296	238.4 ± 6.4	236.9 ± 26.7	0.71	0.33
KAD02-60	0.04009 ± 0.00099	0.2862 ± 0.0284	253.4 ± 6.3	255.5 ± 25.3	0.36	0.22
KAD02-61	0.03843 ± 0.00094	0.2563 ± 0.0257	243.1 ± 5.9	231.7 ± 23.2	0.98	0.24
KAD02-62	0.03910 ± 0.00097	0.2642 ± 0.0269	247.3 ± 6.1	238.0 ± 24.3	0.24	0.18
KAD02-63	0.03847 ± 0.00089	0.2585 ± 0.0236	243.4 ± 5.6	233.5 ± 21.3	1.23	0.18
KAD02-64	0.03755 ± 0.00087	0.2724 ± 0.0243	237.6 ± 5.5	244.6 ± 21.8	0.43	0.20
KAD02-66	0.03662 ± 0.00109	0.2297 ± 0.0279	231.9 ± 6.9	209.9 ± 25.5	0.00	0.32
KAD02-67	0.03910 ± 0.00103	0.2754 ± 0.0258	247.3 ± 6.5	247.0 ± 23.1	0.00	0.21
KAD02-68	0.03856 ± 0.00107	0.2714 ± 0.0279	243.9 ± 6.8	243.8 ± 25.0	0.00	0.21
KAD02-69	0.03698 ± 0.00089	0.2678 ± 0.0207	234.1 ± 5.7	240.9 ± 18.7	0.00	0.18
KAD02-70	0.03947 ± 0.00129	0.2769 ± 0.0369	249.5 ± 8.1	248.2 ± 33.1	0.00	0.24
KAD02-71	0.03814 ± 0.00109	0.2697 ± 0.0288	241.3 ± 6.9	242.4 ± 25.8	0.17	0.27
KAD02-72	0.03867 ± 0.00123	0.2619 ± 0.0340	244.6 ± 7.8	236.2 ± 30.7	0.43	0.21
KAD02-73	0.03782 ± 0.00126	0.2660 ± 0.0301	239.3 ± 8.0	239.5 ± 27.1	2.43	0.36
KAD02-74	0.03828 ± 0.00117	0.2615 ± 0.0252	242.2 ± 7.4	235.8 ± 22.7	0.65	0.35
KAD02-75	0.03863 ± 0.00121	0.2611 ± 0.0264	244.3 ± 7.6	235.6 ± 23.9	0.00	0.23
KAD02-76	0.03830 ± 0.00115	0.2652 ± 0.0241	242.3 ± 7.3	238.9 ± 21.7	0.11	0.22
KAD02-77	0.03939 ± 0.00120	0.2598 ± 0.0252	249.1 ± 7.6	234.5 ± 22.7	0.81	0.15
KAD02-78	0.03810 ± 0.00119	0.2708 ± 0.0268	241.1 ± 7.5	243.3 ± 24.1	0.00	0.28

#### 坂東島片麻岩 (Sample KBD04)

KBD04-01	0.03600 ± 0.00098	0.2541 ± 0.0131	228.0 ± 6.2	229.9 ± 11.8	0.23	0.04
KBD04-02	0.03608 ± 0.00100	0.2565 ± 0.0144	228.5 ± 6.3	231.8 ± 13.0	0.00	0.02
KBD04-04	0.03604 ± 0.00100	0.2637 ± 0.0147	228.3 ± 6.3	237.6 ± 13.3	0.00	0.04
KBD04-05	0.03813 ± 0.00120	0.2903 ± 0.0254	241.2 ± 7.6	258.8 ± 22.6	1.14	0.41
KBD04-07	0.03732 ± 0.00102	0.2635 ± 0.0133	236.2 ± 6.5	237.5 ± 12.0	0.06	0.03
KBD04-09	0.03724 ± 0.00064	0.2669 ± 0.0139	235.7 ± 4.1	240.2 ± 12.5	0.06	0.04
KBD04-12	0.03749 ± 0.00065	0.2788 ± 0.0143	237.3 ± 4.1	249.7 ± 12.8	0.21	0.05
KBD04-13	0.03777 ± 0.00064	0.2700 ± 0.0133	239.0 ± 4.0	242.7 ± 12.0	0.13	0.06
KBD04-15	0.03774 ± 0.00067	0.2799 ± 0.0153	238.8 ± 4.2	250.6 ± 13.7	0.00	0.06
KBD04-17	0.03642 ± 0.00063	0.2664 ± 0.0144	230.6 ± 4.0	239.8 ± 12.9	0.09	0.03
KBD04-18	0.03978 ± 0.00072	0.2890 ± 0.0171	251.5 ± 4.5	257.8 ± 15.3	0.75	0.03
KBD04-20	0.03806 ± 0.00067	0.2629 ± 0.0152	240.8 ± 4.3	237.0 ± 13.7	0.23	0.04
KBD04-22	0.03825 ± 0.00063	0.2747 ± 0.0135	242.0 ± 4.0	246.5 ± 12.1	0.23	0.06
KBD04-25	0.03691 ± 0.00067	0.2639 ± 0.0144	233.6 ± 4.2	237.8 ± 13.0	1.73	0.04
KBD04-26	0.03716 ± 0.00198	0.3392 ± 0.0754	235.2 ± 12.5	296.5 ± 65.9	0.00	0.24
KBD04-29	0.03830 ± 0.00103	0.2743 ± 0.0295	242.3 ± 6.5	246.1 ± 26.5	0.00	0.28
KBD04-31	0.03820 ± 0.00068	0.2585 ± 0.0139	241.7 ± 4.3	233.4 ± 12.6	0.00	0.06
KBD04-32	0.03692 ± 0.00068	0.2552 ± 0.0146	233.7 ± 4.3	230.8 ± 13.2	0.22	0.03
KBD04-33	0.03822 ± 0.00069	0.2641 ± 0.0136	241.8 ± 4.3	238.0 ± 12.2	0.00	0.06
KBD04-34	0.03668 ± 0.00067	0.2655 ± 0.0138	232.2 ± 4.2	239.1 ± 12.5	0.10	0.05
KBD04-35	0.03557 ± 0.00085	0.2656 ± 0.0233	225.3 ± 5.4	239.1 ± 21.0	1.44	0.22
KBD04-36	0.03724 ± 0.00066	0.2650 ± 0.0132	235.7 ± 4.2	238.7 ± 11.9	0.00	0.04
KBD04-37	0.03700 ± 0.00066	0.2687 ± 0.0134	234.2 ± 4.2	241.7 ± 12.1	0.06	0.04
KBD04-38	0.03703 ± 0.00075	0.2765 ± 0.0180	234.4 ± 4.7	247.9 ± 16.1	0.41	0.01
KBD04-39	0.03728 ± 0.00064	0.2669 ± 0.0118	235.9 ± 4.0	240.2 ± 10.6	0.28	0.07
KBD04-40	0.03684 ± 0.00065	0.2458 ± 0.0121	233.2 ± 4.1	223.2 ± 11.0	0.23	0.06