

中部九州，今市火砕流堆積物の磁化方位の簡易測定による識別

坂本房江¹⁾・奥野 充^{1)*}・木戸道男²⁾・角縁 進³⁾・松村秀喜⁴⁾
 熊本智之⁵⁾・伊勢戸和広⁶⁾・英彦山団研グループ
 (令和2年11月24日受理)

Identification of the Imaichi pyroclastic-flow deposit in central Kyushu by simple measurement of paleomagnetic direction

Fusae SAKAMOTO¹⁾, Mitsuru OKUNO¹⁾, Michio KIDO²⁾, Susumu KAKUBUCHI³⁾,
 Hideki MATSUMURA⁴⁾, Tomoyuki KUMAMOTO⁵⁾, Kazuhiro ISEDO⁶⁾,
 Hikosan Collaborative Research Group

(Received November 24, 2020)

Abstract

Many pyroclastic-flow deposits are distributed in central Kyushu. One of these, the Imaichi pyroclastic-flow, which erupted during the Matuyama Chron (reverse polarity), can be difficult to distinguish from the Aso-1 and Aso-4 pyroclastic-flow deposits because the lithologies of the strongly welded parts of these deposits are very similar. To distinguish among the deposits, we measured the paleomagnetic orientation of the Imaichi pyroclastic-flow and similar strongly welded tuffs in the field. It was confirmed that the paleomagnetic direction is an effective tool for identification, in addition to the chemical composition and the phenocryst assemblage.

Keywords: Imaichi pyroclastic-flow deposit, Aso-4 pyroclastic-flow deposit, paleomagnetic direction

1. はじめに

中部九州には、数多くの火砕流堆積物（以下、堆積物を略）が分布している^[1-4]。そのうちの1つである今市火砕流^[1,2]はマツヤマ逆磁極期に噴出し、 0.83 ± 0.02 Maの⁴⁰Ar/³⁹Ar年代が得られている^[5]。今市火砕流は、その分布から猪牟田カルデラ^[6]が噴出源であると推定され^[7]、大阪層群アズキ火山灰および上総層群Ku6C火山灰が今市火砕流のco-ignimbrite ashであることも示されている^[8]。このような広域分布と産状から、今市火砕流は大規模火砕噴火の産物であると推

定されるが、九州での分布は限られており（Fig. 1）、大部分は埋積または削剥されていると推測される。また、玖珠盆地周辺では、感度法によるK-Ar年代が 0.089 ± 0.007 Ma^[9]であるAso-4火砕流^[3]の強溶結部の岩相が今市火砕流と酷似していることから、一部で誤認されている可能性が考えられる。なお、Aso-4火砕流には角閃石が斑晶鉱物として特徴的に含まれるが、今市火砕流にも稀に含まれることが指摘されている^[10]。

筆者らは、今市火砕流の正確な分布を把握するため、強溶結部の黒曜石レンズの化学組成にもとづいてAso-4火砕流との識別を試みている^[11]。広域マップ

1) 福岡大学理学部地球圏科学科 〒814-0180 福岡市城南区七隈8-19-1

Department of Earth System Science, Faculty of Science, Fukuoka University, Nanakuma 8-19-1, Jonan-ku, Fukuoka 814-0180, Japan.

2) 福岡県立三池高等学校 〒837-0917 大牟田市大字草木245

Fukuoka Miike High School, 245 Kusagi, Omuta 837-0917, Japan

3) 佐賀大学教育学部 〒840-8502 佐賀市本庄町1

Faculty of Education, Saga University, 1 Honjo-machi, Saga 840-8502, Japan

4) 福岡県田川郡在住

Resident of Tagawa-gun, Fukuoka Prefecture

5) 微動探査普及研究所 〒874-0849 別府市扇山12組

Institute of Microtremor Survey, 12kumi Ogiyama, Beppu 874-0849, Japan

6) 協同エンジニアリング株式会社 〒874-0876 大分市三芳1238-1

Kyodo Engineering Corp., 1238-1 Miyoshi, Oita, 870-0876, Japan

*Corresponding author: M. Okuno (e-mail: okuno@fukuoka-u.ac.jp)

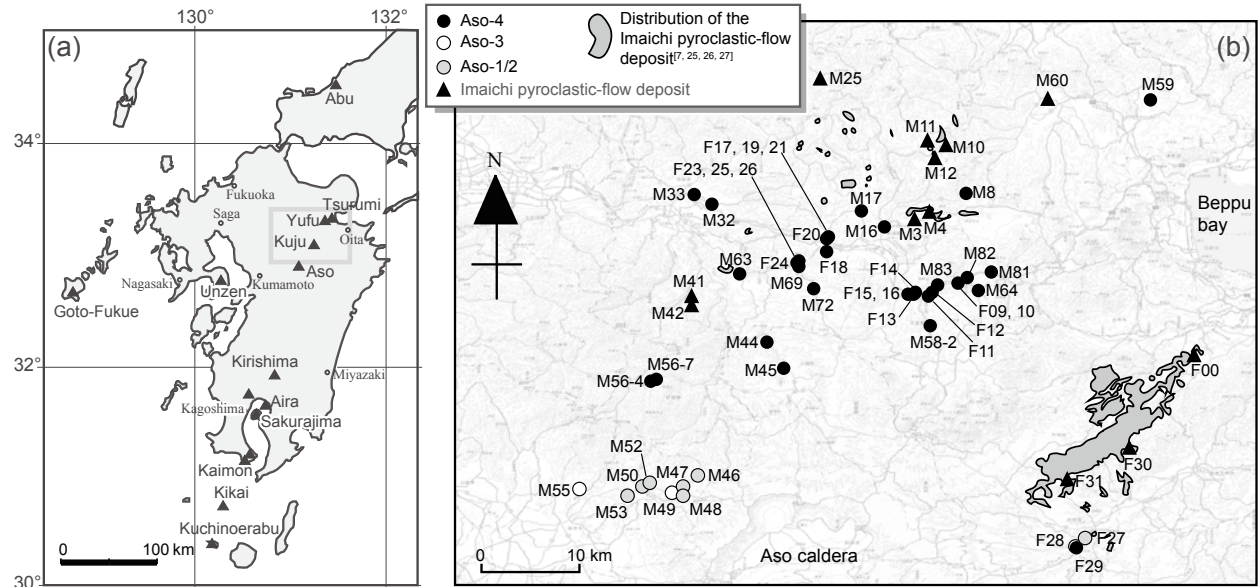


Fig. 1 Index maps. (a) Distribution of active volcanoes in and around Kyushu Island. The rectangle indicates the location of map (b). (b) Map showing distribution of the Imaichi pyroclastic-flow deposit and sampling sites (see Table 1). Point M77 is outside of this map. Point F00 corresponds to Loc. B^[11] A topographic map published by the Geospatial Information Authority of Japan (GSI) was used as the base map.

グの効率化の観点から、現地調査のときにある程度識別できる方法の確立が求められ、磁化方位も火砕流堆積物を識別する方法のひとつである。阿蘇カルデラ^[12]起源の火砕流堆積物の磁化方位は、すべて正帯磁を示しており^[13]、今市火砕流の磁化方位は逆帯磁であるため^[1, 14]、残留磁気測定によって識別することができる。この研究では、今市火砕流とそれに類似する火砕流の強溶結部について、野外での簡易測定によって磁化方位を求めた。本稿では、その結果を報告する。

2. 今市火砕流と阿蘇カルデラ起源の火砕流の地質学および古地磁気研究

今市火砕流は、近接して分布する阿蘇カルデラ起源の火砕流の強溶結部と類似した岩相を示し、それらを野外で識別することが困難になることがある。以下では、それらの火砕流に関する地質学研究と磁化方位の概略を記述する。

2.1 阿蘇カルデラ起源の火砕流と今市火砕流

阿蘇カルデラ起源の火砕流については、Matumoto^[15]が mud lava として記載するなど先駆的研究を行い、火砕流噴火とカルデラ形成の関係を示した。これらの火砕流は Aso-I, -II, -III に区分され^[2]、その後、Aso-1, -2, -3, -4 の4回の噴火エピソードに改められた^[16]。また、それらの中から、今市火砕流は、強溶結で脱ガラス化した岩相が Aso-1 火砕流と酷似するものの、逆帯磁を示すことから識別され、その分布から阿蘇カルデラ起源ではないと考えられた^[1, 3, 14]。このように野

外で今市火砕流を対比・追跡するためには、強溶結部の層相が酷似する Aso-1 や Aso-4 と混同している可能性を考慮する必要がある。なお、同じ猪牟田カルデラから噴出した耶馬溪火砕流^[6, 17]は、今市火砕流に覆われているが、ハラミヨ正磁極亜期(サブクロン)に噴出^[18]したため正帯磁を示す。

2.2 各火砕流の磁化方位

阿蘇カルデラ起源の火砕流については、中島・藤井^[13]、Fujii *et al.*^[19]、Takai *et al.*^[20]、Mochizuki *et al.*^[21]などの古地磁気学研究がある。中島・藤井^[13]によると、Aso-1 は偏角 3.4° E、伏角 49.0°、Aso-4 (4A と 4B の平均) は偏角 5.2° W、伏角 42.0° であり、現在の平均磁場方位(偏角 6° W、伏角 45°)と似ている。Aso-2A は、偏角 2.5° W、伏角 72.7° と非常に深い伏角をもつ。Aso-3 (3A と 3B の平均) は、偏角 35.7° E、伏角 51.2° で、大きく東偏する偏角をもつ。今市火砕流の磁化方位は、小野^[1]や荒井・小野^[14]が逆帯磁であることを報告しており、偏角 158.5° E、伏角 -54.7° (試料数 10 点) である^[13]。なお、Hayashida *et al.*^[22]も今市火砕流や耶馬溪火砕流の co-ignimbrite ash の磁化方位を報告している。

3. 測定試料と測定方法

今市火砕流とそれに類似する火砕流の強溶結部の残留磁気を Handheld Digital Magnetometer μ MAG-01N (MEDA 製) を用い現地で測定して磁化方位を求めた。以下にその手順を記述する。なお、野外での簡便な測

定なので試料は消磁していないため, 測定結果には二次的残留磁化(二次磁化)が加わっている^[23].

3.1 定方位サンプルの採取

試料採取地点を Fig. 1 に, 測定結果を Table 1 に示す. Aso-4 火砕流を 37 地点, Aso-3 火砕流を 3 地点, Aso-1, -2 火砕流を 7 地点, 今市火砕流を 12 地点の合計 59 地点で残留磁気を測定した. なお, 採取地点の地質区分は, 20 万分の 1 地質図幅「福岡」^[24], 「熊本」^[25], 「中津」^[26], 「大分」^[27] および 5 万分の 1 地質図幅「豊岡地域」^[28] を参照した. Aso-4 火砕流のうち 4 地点 (F17, F18, F19, F21) は, 沖積層と区分されているが^s, その下位の岩体が川沿いに露出しており, これを Aso-4 として扱った. また, 今回サンプリングした今市火砕流のうち 4 地点 (M3, M4, M41, M42) では, 耶馬溪火砕流を覆う火砕流堆積物であることから今市火砕流として扱う. 地点 F00 は, 坂本ほか^[11] が黒曜石レンズの化学組成を測定した Loc. B に相当する. なお, 20 万分の 1 地質図幅「熊本」^[25] では, Aso-1 と Aso-2 がまとめて扱われている.



Fig. 2 Photograph of an oriented hand specimen for measurement of paleomagnetic direction. Horizontal lines on two planes and an arrow indicating the magnetic north were drawn before sampling.

Table 1 List showing sampling location and results of paleomagnetic direction measurement

Loc. No.	Measurement value (mG)	Longitude (North)	Latitude (East)	Remarks and reference	Loc. No.	Measurement value (mG)	Longitude (North)	Latitude (East)	Remarks and reference
M8	+2 +2	33.33916	131.25225	Aso-4 [28]	F25	0	33.26611	131.06950	Aso-4 [27]
M16	0 +1	33.30204	131.16214	Aso-4 [27]	F26	+1	33.26474	131.06738	Aso-4 [27]
M17	0 +1	33.32118	131.13758	Aso-4 [27]	F29	0 0 +1 +2	32.95348	131.37284	Aso-4 [27]
M32	0 +1	33.32797	130.97424	Aso-4 [25]	F17	+1	33.27875	131.10094	Aso-4* [27]
M33	0 +1	33.33868	130.95671	Aso-4 [24]	F18	0	33.27949	131.10096	Aso-4* [27]
M44	0 0	33.17877	131.03473	Aso-4 [27]	F19	+1	33.27852	131.10175	Aso-4* [27]
M45	0 -1	33.14998	131.05466	Aso-4 [25]	F21	0	33.29052	131.10152	Aso-4* [27]
M56-4	+2 +6	33.13519	130.90805	Aso-4 [25]	M49	+5 +4	33.01324	130.93255	Aso-3 [25]
M56-7	0 0	33.13639	130.91376	Aso-4 [25]	M55	+7 +10	33.01753	130.83013	Aso-3 [25]
M58-2	0 +1	33.19590	131.21387	Aso-4 [27]	F28	+8	32.95584	131.37174	Aso-3 [27]
M59	0 0	33.44466	131.45734	Aso-4 [28]	F27	+5 +10	32.96427	131.38130	Aso-1 [27]
M63	+4 +1	33.25370	131.00534	Aso-4 [27]	M46	+1	33.03275	130.96097	Aso-1, -2 [25]
M64	0 +1	33.23252	131.26642	Aso-4 [27]	M47	+5 +2	33.02019	130.94570	Aso-1, -2 [25]
M69	0 0	33.25836	131.06891	Aso-4 [27]	M48	+4 +12 +10	33.01029	130.94472	Aso-1, -2 [25]
M72	0 0	33.23609	131.08698	Aso-4 [27]	M50	+7 +6	33.02038	130.90109	Aso-1, -2 [25]
M77	+3	33.04023	130.61669	Aso-4 [25]	M52	+5 +7	33.02448	130.90855	Aso-1, -2 [25]
M81	0 0	33.25244	131.27984	Aso-4 [27]	M53	+10 +14	33.01035	130.88347	Aso-1, -2 [25]
M82	+2 +5	33.24689	131.25205	Aso-4 [27]	M10	-10	33.39177	131.23053	Imaichi [26]
M83	+5 +2	33.23949	131.22215	Aso-4 [27]	M11	-8	33.39635	131.21133	Imaichi [26]
F09	+2	33.24172	131.24135	Aso-4 [27]	M12	-8	33.37714	131.21811	Imaichi [26]
F10	+4	33.24128	131.24215	Aso-4 [27]	M25	+3 0 0	33.46556	131.09399	Imaichi [26]
F11	0	33.22822	131.21117	Aso-4 [27]	M60	0 0	33.44374	131.34045	Imaichi [26]
F12	+1	33.23093	131.21345	Aso-4 [27]	F00	-2	33.16294	131.50151	Imaichi [27]
F13	+2	33.22963	131.18769	Aso-4 [27]	F30	-8 -9	33.06270	131.43000	Imaichi [27]
F14	0	33.23216	131.19456	Aso-4 [27]	F31	-1 -4	33.02880	131.36300	Imaichi [27]
F15	0	33.22939	131.19382	Aso-4 [27]	M3	-7 -8	33.31148	131.19669	Imaichi** [27]
F16	0	33.22852	131.19382	Aso-4 [27]	M4	-10 -7	33.31956	131.21337	Imaichi** [27]
F20	0	33.29306	131.10177	Aso-4 [27]	M41	-4 -2 -5 -5	33.22536	130.95268	Imaichi** [25]
F23	+1	33.26511	131.06868	Aso-4 [27]	M42	-7 -8 -6	33.21816	130.95268	Imaichi** [25]
F24	+1	33.26466	131.06857	Aso-4 [27]					

* Below alluvial along river, **Above the Yabakei pyroclastic-flow

試料は、定方位ブロック法^[23]で採取した。まず、クリノメーターを用いて、磁北方位と水平線（2面）を岩石上に記した後（Fig. 2）、大型ハンマー（3.5kg）を使用して露頭から分離した。1地点につき1～4個のサンプルを採取した。露頭の岩石に北方位と水平線2本を記すために、露頭の上面と側面の2面が必要である。つまり、露頭の中でも少し岩石が飛びだした形の場所を選ぶ必要がある。岩石表面に線を記すにあたり、採取岩石が暗灰色のため黒色マジックでは見づらいため、不透明油性の白色マーカーを使用した。

3.2 マグネトメーターでの測定

磁化方位の測定は、試料採取地点の近くで鉄などの磁性体（例えば、ガードレールや橋、自動車）から3 m以上離れた場所で行い、測定者は携帯電話や金属製の装身具も外した。非磁性体であるプラスチックケースを水平に設置し、その上に Handheld Digital Magnetometer のプローブを置いた（Fig. 3）。クリノメーターで方位を確認し、プローブの先端を北方位に向け、その長辺を南北方位に平行に設置する。以後、センサーを動かさないように注意する。上記のように定方位で採取した試料を南北方位に合わせてプローブに近づけ、磁場ベクトルが増加するか減少するかを測定した。以下に測定手順を記述する。

Handheld Digital Magnetometer 本体の電源スイッチを入れて、レンジ選択スイッチを2000 mG（ミリガウス）に設定し、0点調整を極性スイッチとオフセット調整ダイヤルで行った。極性スイッチをプラスに設

定したうえで、表示値が0になるようにオフセットツマミを調整した後、ツマミが動かないようにロックをかける。定方位サンプルに記載した北方位とプローブの向きを合わせてプローブに近づけ、磁場ベクトルが増加・減少を測定した。試料を傾けてプローブに近づけるときの角度を少しずつ変えながら繰り返し近づけ、1試料について3回以上測定し、その最大値を測定値として記録した。

4. 測定結果および考察

測定結果を Table 1 に示す。Aso-4 火砕流の37地点中、0～+2 mGを示したものが30地点、+3～+6 mGを示したものが6地点であった。つまり測定地点の約80%が0～+2 mGの測定値を示した。Aso-3も比較のために3地点で測定したが、+4～+10 mGの大きな測定値を示した。M46以外では+4～+14 mGの高い値を示す。阿蘇カルデラ起源のいずれの火砕流も、試料をプローブに近づけることによって北方位の磁場ベクトルが増加しており、磁化方位は正帯磁である。Aso-4 火砕流を近づけたときの磁場ベクトルの増加は、Aso-1、-2、-3のそれより弱い傾向があった。

一方、今市火砕流とした試料は、8地点中6地点で-2～-10 mGの測定値が得られ、逆帯磁を示している。すなわち、これらは今市火砕流との対比に矛盾はない。しかし、2地点（M25とM60）はそれぞれ0と+3 mGの値を示し、この2つは今市火砕流とは対比できない可能性が高い。ただし、野外測定のために試料の消磁は困難であり、二次磁化の強い影響も排除で



Fig. 3 Photographs showing a device (left) and its setting (right) for measuring paleomagnetic direction in the field.

きないことから, 今後, 室内での消磁実験との比較や, 化学組成なども検討する必要がある.

5. まとめ

マグネトメーターを用いた野外での磁化方位測定は, 今市火砕流と阿蘇カルデラ起源の火砕流の簡易識別に有効な方法と確認された. なお, 当初, 今市火砕流であると想定していた2地点 (M25 と M60) の試料は, 逆帯磁を示さなかったことから, 今市火砕流には対比できない可能性があり, 今後, 磁化方位測定への適性や化学組成などによりその原因を検討する必要がある.

謝辞

この論文は, 筆頭著者の坂本が, 福岡大学大学院理学研究科に2020年1月に提出した修士論文の一部を加筆・修正したものである. 鳥井真之特任准教授 (熊本大学) には, 中部九州の火砕流についてご教示いただいた他に原稿の不備を指摘いただいた. 渋谷秀敏教授 (熊本大学) にマグネトメーターの使用方を教えていただいた. この研究の一部に, 福岡大学研究推進部・推奨研究プロジェクト「斜面崩壊とその災害に関するアーカイブの構築に関する複合研究」(課題番号: 167002, 研究代表者: 奥野 充) を使用した. 以上を記して感謝の意を表します.

引用文献

- [1] 小野晃司 (1963) 5万分の1地質図幅「久住」及び同説明書, 地質調査所, 124p.
- [2] 小野晃司 (1965) 阿蘇カルデラ東部の地質. 地質学雑誌, **71**, 541-553.
- [3] 小野晃司・松本徭夫・宮久三千年・寺岡易司・神戸信和 (1977) 竹田地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 145p.
- [4] 星住英夫・小野晃司・三村弘二・野田徹郎 (1988) 別府地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 131p.
- [5] 宇都浩三・石塚 治・内海 茂・鎌田浩毅・檀原 徹 (1999) 大規模火砕流堆積物および広域テフラのレーザ加熱⁴⁰Ar/³⁹Ar年代測定: 北東九州耶馬溪火砕流 (ピンク火山灰) および今市火砕流. 地球惑星科学関連学会合同大会予稿集 (CD-ROM), Vc-015.
- [6] Kamata, H. (1989) Shishimuta caldera, the buried source of the Yabakei pyroclastic flow in the Hohi volcanic zone, Japan. *Bulletin of Volcanology*, **51**, 41-50.
- [7] 鎌田浩毅・檀原 徹・林田 明・星住英夫・山下 透

- (1994) 中部九州の今市火砕流堆積物と類似火砕流堆積物の対比および噴出源の推定. 地質学雑誌, **100**, 279-291.
- [8] 鎌田浩毅・檀原 徹・山下 透・星住英夫・林田 明・竹村恵二 (1994) 大阪層群アズキ火山灰および上総層群Ku6C火山灰と中部九州の今市火砕流堆積物との対比: 猪牟田カルデラから噴出したco-ignimbrite ash. 地質学雑誌, **100**, 848-866.
- [9] 松本哲一 (1996) 若い火山岩のK-Ar年代測定: 初生比補正とその応用例. 地調ニュース, 501, 12-17.
- [10] 木戸道男・英彦山団研グループ (2015) ピンクタフの噴出源. 大分地質学会誌, no. 21, 1-16.
- [11] 坂本房江・角縁 進・木戸道男・松村秀喜・熊本智之・澤田武美・奥野 充・英彦山団研グループ (2019) 中部九州, 今市火砕流堆積物中の黒曜石レンズの化学組成: 阿蘇-4火砕流との識別. 福岡大学理学集報, **49** (2), 79-88.
- [12] 小野晃司・渡辺一徳 (1985) 阿蘇火山地質図. 火山地質図4, 地質調査所.
- [13] 中島正志・藤井純子 (1998) 阿蘇4火山灰および阿蘇火砕流堆積物の古地磁気方位. 第四紀研究, **37**, 371-383.
- [14] 荒井 綏・小野晃司 (1965) フィールドで岩石の磁化方位を測る. 地質ニュース, 128, 27-31.
- [15] Matumoto, T. (1943) The four gigantic caldera volcanoes of Kyushu. *Japanese Journal of Geology and Geography*, **19**, Special number, 1-57.
- [16] 渡辺一徳・小野晃司 (1969) 阿蘇カルデラ西側, 大峰付近の地質. 地質学雑誌, **75**, 365-374.
- [17] 石井清彦・谷田勝俊・青木謙一郎 (1956) 耶馬溪 welded tuffについて (予報). 岩石鉱物鉱床学会誌, **40**, 131-136.
- [18] 宇都浩三・須藤 茂 (1985) 豊肥地熱地域の火山岩のK-Ar年代. 地質調査所報告, No. 264, 67-83.
- [19] Fujii, J., Nakajima, T. and Kamata, H. (2001) Paleomagnetic directions of the Aso pyroclastic-flow and the Aso-4 co-ignimbrite ash-fall deposits in Japan. *Earth Planets Space*, **53**, 1137-1150.
- [20] Takai, A., Shibuya, H., Yoshihara, A., Hamano, Y. (2002) Paleointensity measurements of pyroclastic flow deposits co-born with widespread tephra in Kyushu Island, Japan. *Phys. Earth Planet. Inter.*, **133**, 159-179.
- [21] Mochizuki, N., Maruuchi, T., Yamamoto, Y., Shibuya, H., 2013, Multi-level consistency tests in paleointensity determinations from the welded tuffs of the Aso pyroclastic-flow deposits. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, **223**, 40-54.

- [22] Hayashida, A., Kamata, H. and Danhara, T. (1996) Correlation of widespread tephra deposits based on paleomagnetic directions: link between a volcanic field and sedimentary sequences in Japan. *Quaternary International*, **34-36**, 89-98.
- [23] 小玉一人 (1999) 古地磁気学. 東京大学出版会, 248p.
- [24] 久保和也・松浦浩久・尾崎正紀・牧本 博・星住英夫・鎌田耕太郎・広島俊男 (1993) 20万分の1地質図幅「福岡」. 産業技術総合研究所 地質調査総合センター.
- [25] 星住英夫・尾崎正紀・宮崎一博・松浦浩久・利光誠一・宇都浩三・内海 茂・駒澤正夫・広島俊男・須藤定久 (2004) 20万分の1地質図幅「熊本」. 産業技術総合研究所 地質調査総合センター.
- [26] 石塚吉浩・尾崎正紀・星住英夫・松浦浩久・宮崎一博・名和一成・実松健造・駒澤正夫 (2009) 20万分の1地質図幅「中津」. 産業技術総合研究所 地質調査総合センター.
- [27] 星住英夫・斎藤 眞・水野清秀・宮崎一博・利光誠一・松本哲一・大野哲二・宮川歩夢 (2015) 20万分の1地質図幅「大分」(第2版). 産業技術総合研究所 地質調査総合センター.
- [28] 星住英夫・森下祐一 (1993) 豊岡地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 75p.