

## 伊那領家変成帯に産する変成岩の微量元素ならびに希土類元素組成

Trace and Rare Earth Elements Compositions of Metamorphic Rocks from the Ina District of the Ryoke Metamorphic Belt, Southwest Japan Arc

柚原雅樹\*

Masaki Yuhara\*

平成 22 年 11 月 30 日受理

\* 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, 8-19-1  
Nanakuma, Jonan-ku, Fukuoka 814-0180, Japan

Corresponding author: M. Yuhara,  
yuhara@fukuoka-u.ac.jp

### Abstract

Seven trace elements (As, Cr, Ga, Pb, S, Th, V) compositions of metamorphic rocks from the Ina district of the Ryoke Metamorphic Belt were determined using X-ray fluorescence spectrometer at Fukuoka University. Rare earth elements compositions also were determined by inductive coupled plasma emission spectrometer at Ehime University. Although these metamorphic rocks collected from wide area covering low to high grade metamorphic zone, they indicate a series of chemical change trend. Arsenic tends to be rich in low-grade metamorphic rocks.

Keywords: metamorphic rock, trace element, rare earth element, Ryoke metamorphic belt

### はじめに

柚原・加々美 (1999) は、伊那地方の領家変成帯に分布する高遠<sup>たかとお</sup>花崗岩のマグマの分化を検討するために、領家変成岩類の主成分ならびに微量元素組成の SiO<sub>2</sub> 含有量の変化に対する変化傾向との比較をおこなった。これと Sr 同位体比組成から、高遠花崗岩体を構成する 2 種の岩相が異なるマグマから形成されたことを明らかにした。その後、柚原・加々美 (1999) で報告した元素数よりも多くの微量元素の測定が可能になった (柚原・田口, 2003a, 2003b; 柚原ほか, 2004a; 高本ほか, 2005)。花崗岩体の貫入母岩となる変成岩の化学組成は、花崗岩質マグマの定置後の母岩との相互作用を解析するのに非常に重要である。また、柚原ほか (1992) でも検討されているように、変成岩を源岩とするミグマタイトなどの成因関係の考察にも不可欠なデータである。さらに、堆積岩の起源物質の性質、堆積環境、テクトニックセッティングなどの検討にも大きく貢献し (Roser, 2000)、これらのデータと Sr, Nd 同位体比を用いた西南日本内帯の各地質帯の特徴付けもなされている (Kawano et al., 2006; Kagami et al., 2006)。我々の研究室で進めている地球化学図による地圏環境評価にもこれらのデータは欠かせない。以上の検討には、より多くの試料と、より多くの指標元素を用いるのが有効である。このため、過去に分析値を報告した試料の蛍光 X 線分析装置による再測定作業を進めている。

本論文では、柚原・加々美 (1999) で分析値を報告した試料について新たに測定した微量元素 (As, Cr, Ga, Pb, S, Th, V) 組成、新たに採取した試料の主成分ならびに微量元素組成、ならびに一部試料の希土類元素組成を報告する。

### 試料および分析方法

試料採取位置を Appendixes 1-7 に示す。試料採取範囲は、領家変成帯の弱変成部から高変成部の広い範囲におよび、これは Morikiyo (1986) の II 帯 (泥質岩に緑泥石・白雲母・曹長石が出現) から VII 帯 (ざくろ石 + 堇青石 + カリ長石の組み合わせが出現) にあたる。このため、試料は泥質～砂質変成岩であるが、粘板岩、結晶片岩、片麻岩が含まれる。試料採取地点周辺の変成岩の詳細については、柚原 (1994, 2008)、柚原・加々美 (1995, 1999, 2006)、柚原ほか (2004b) を参照されたい。

変成岩に含まれる主成分 10 元素 (Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, P) および微量成分 16 元素 (As, Ba, Cr, Cu, Ga, Nb, Ni, Pb, Rb, S, Sr, V, Th, Y, Zn, Zr) を、福岡大学理学部に設置の理学電機工業社製蛍光 X 線分析装置 ZSX100e により測定した。試料調整および測定方法は、柚原・田口 (2003a, b)、柚原ほか (2004a)、高本ほか (2005) に従った。測定結果を Tables 1, 2 に示す。

希土類元素 (La, Ce, Pr, Eu, Gd, Dy, Ho, Er,

Table 1. Trace element concentrations of metamorphic rocks in the Ina district of the Ryoke Metamorphic Belt.

| Sample No.               | MI(T)-57<br>Pelitic | SN-48<br>Pelitic | MI(T)-44<br>Pelitic | SN-13<br>Pelitic | MI-14<br>Pelitic | KU-27<br>Pelitic | OS-01<br>Pelitic | OT-32<br>Pelitic | JI-10<br>Pelitic |
|--------------------------|---------------------|------------------|---------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| SiO <sub>2</sub> (wt.%)* | 60.72               | 62.65            | 62.81               | 63.14            | 63.27            | 63.63            | 63.74            | 64.94            | 65.50            |
| As(ppm)                  | n.d.                | <4               | n.d.                | n.d.             | n.d.             | <4               | <4               | n.d.             | n.d.             |
| Ba                       |                     |                  |                     |                  |                  |                  |                  |                  | 762              |
| Cr                       | 114                 | 77               | 60                  | 80               | 70               |                  | 73               | 68               | 69               |
| Cu                       |                     |                  |                     |                  |                  |                  | 49               |                  |                  |
| Ga                       | 25                  | 22               | 20                  | 22               | 21               | 23               | 21               | 20               | 21               |
| Pb                       | 11                  | 14               | 37                  | 22               | 23               | 20               |                  | 32               | 26               |
| S                        | 2088                | 3358             | 20                  | 1136             | 591              |                  | 5140             | 1287             | 4587             |
| Th                       | 21                  | 17               | 14                  | 18               | 18               | 15               | 15               | 14               | 15               |
| V                        | 154                 | 128              | 98                  | 96               | 110              |                  | 114              | 83               | 115              |
| Zn                       |                     |                  |                     |                  |                  |                  | 116              |                  |                  |

| Sample No.               | SN-26<br>Pelitic | OTK-15<br>Pelitic | KU-41<br>Pelitic | KU-36<br>Pelitic | KU-72<br>Pelitic | OT-07'<br>Psammitic | OT-55<br>Pelitic | OS-16<br>Pelitic | NE-32<br>Pelitic |
|--------------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------|------------------|------------------|------------------|
| SiO <sub>2</sub> (wt.%)* | 65.55            | 65.81             | 65.82            | 67.38            | 67.93            | 68.56               | 69.12            | 69.40            | 69.97            |
| As(ppm)                  | <4               | <4                | <4               | n.d.             | 6                | n.d.                | n.d.             | n.d.             | n.d.             |
| Ba                       |                  |                   |                  |                  |                  |                     |                  | 650              |                  |
| Cr                       | 72               | 67                | 72               | 66               | 61               | 52                  |                  | 57               |                  |
| Ga                       | 22               | 22                | 20               | 20               | 19               | 19                  | 20               | 18               | 19               |
| Pb                       | 16               | 20                | 16               | 13               | 34               | 14                  | 19               | 22               | 15               |
| S                        | 3304             | 1980              | 997              | 1014             | 5                | 671                 |                  | 1325             |                  |
| Th                       | 14               | 16                | 14               | 13               | 15               | 10                  | 14               | 13               | 11               |
| V                        | 104              | 100               | 96               | 91               | 79               | 79                  |                  | 89               |                  |

| Sample No.               | OT-45<br>Pelitic | NE-21<br>Pelitic | OT-39<br>Pelitic | 6<br>Psammitic | 2<br>Psammitic | NE-60<br>Pelitic | TN-07<br>Pelitic | 4<br>Psammitic |
|--------------------------|------------------|------------------|------------------|----------------|----------------|------------------|------------------|----------------|
| SiO <sub>2</sub> (wt.%)* | 70.40            | 70.41            | 72.15            | 73.43          | 75.61          | 77.23            | 77.26            | 78.57          |
| As(ppm)                  | <4               | n.d.             | n.d.             | <4             | n.d.           | n.d.             | <4               | n.d.           |
| Ba                       |                  |                  | 566              |                |                |                  |                  |                |
| Cr                       | 47               | 44               | 55               | 49             | 41             | 50               | 42               | 16             |
| Cu                       |                  |                  | 5                | 15             | 6              |                  | 19               | 7              |
| Ga                       | 19               | 15               | 17               | 19             | 14             | 15               | 14               | 11             |
| Pb                       | 17               | 31               | 18               | 11             | 18             | 20               | 8                | 23             |
| S                        | 1689             | 1486             | 393              | 24             | 341            | 47               | 922              | 886            |
| Th                       | 14               | 7                | 12               | 14             | 9              | 8                | 10               | 5              |
| V                        | 78               | 61               | 56               | 71             | 49             | 85               | 58               | 23             |
| Zn                       |                  |                  |                  | 67             | 52             |                  | 80               | 32             |

\*: reported by Yuhara and Kagami(1999), n.d.: not detected.

Yb, Lu) および Sc は、愛媛大学理学部に設置の島津 ICP-50 型高周波 Ar プラズマ発光分光分析装置により測定した。測定結果を Table 3 に示す。

### 微量元素組成ならびに希土類元素組成の特徴

SiO<sub>2</sub> 含有量の増加とともに、Cr, Ga, Th, V は減少する傾向がある (Fig. 1)。Pb はばらつきが大きいものの、ほぼ一定である。S はさらにばらつきが大きい、SiO<sub>2</sub> 含有量の比較的低いものは幅広い含有量を示し、高いものはやや低い含有量でほぼ一定である。これらは、他の元素同様 (柚原・加々美, 1999)、変成度の違いによる差異は認められず、一連の変化傾向を示す。As は多くの試料で検出限界以下であるが、変成度の低い地域で採取された試料で高い含有量を示す (Tables 1, 2)。この傾向が変成度の違いによるものなのか、さらなる検討が必要である。

C-1 コンドライト (Anders and Grevesse, 1989) で規格化した希土類元素パターン (Fig. 2) は、軽希土

類元素に富み重希土類元素に乏しい右下がりのパターンで、負の Eu 異常が認められる。希土類元素の含有量は、泥質変成岩が砂質変成岩より高い傾向にあり、特に軽希土類元素で顕著である。これらのパターンは、源岩の堆積岩の特徴を残していると考えられる (柚原ほか, 1992)。

### 謝 辞

地質調査の際には、長野県駒ヶ根市の佐野 栄氏にお世話になった。高周波 Ar プラズマ発光分光分析装置による希土類元素測定は、著者が愛媛大学大学院の修士課程において行ったものである。その際、川辺岩夫助教授 (当時) には、希土類元素の抽出ならびに分析の指導をしていただいた。福岡大学理学部地球圏科学科の鮎沢 潤博士には査読をしていただき、有益な助言をいただいた。以上の方々に記して感謝の意を表します。

**Table 2.** Whole-rock chemical compositions of metamorphic rocks in the Ina district of the Ryoke Metamorphic Belt.

| Sample No.                       | KYK-02  | SAW-27  | NAR-02  | SAW-30  | TAN-22  |
|----------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                                  | Pelitic | Pelitic | Pelitic | Pelitic | Pelitic |
| SiO <sub>2</sub> (wt.%)          | 66.16   | 66.92   | 67.41   | 68.60   | 71.30   |
| TiO <sub>2</sub>                 | 0.77    | 0.72    | 0.73    | 0.72    | 0.62    |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   | 16.06   | 15.49   | 15.56   | 15.35   | 13.62   |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> * | 5.51    | 4.95    | 4.76    | 4.53    | 3.98    |
| MnO                              | 0.02    | 0.04    | 0.02    | 0.04    | 0.04    |
| MgO                              | 2.09    | 1.87    | 1.79    | 1.88    | 1.55    |
| CaO                              | 0.19    | 0.82    | 0.36    | 0.54    | 1.19    |
| Na <sub>2</sub> O                | 2.03    | 1.97    | 1.54    | 1.07    | 2.06    |
| K <sub>2</sub> O                 | 3.71    | 3.94    | 3.69    | 4.14    | 3.27    |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>    | 0.11    | 0.13    | 0.16    | 0.11    | 0.14    |
| L.O.I.                           | 3.41    | 2.08    | 4.23    | 2.37    | 1.72    |
| Total                            | 100.06  | 98.93   | 100.25  | 99.35   | 99.49   |
| As(ppm)                          | 15      | 32      | 11      | <4      | <4      |
| Ba                               | 626     | 589     | 700     | 679     | 560     |
| Cr                               | 75      | 65      | 75      | 63      | 54      |
| Cu                               | 17      | <4      | 11      | 14      | <4      |
| Ga                               | 23      | 21      | 20      | 20      | 16      |
| Nb                               | 18      | 18      | 16      | 17      | 15      |
| Ni                               | 22      | 26      | 20      | 25      | 24      |
| Pb                               | 15      | 16      | 10      | 11      | 19      |
| Rb                               | 169     | 167     | 170     | 154     | 136     |
| S                                | 55      | 260     | 5       | 522     | 285     |
| Sr                               | 104     | 132     | 85      | 86      | 143     |
| Th                               | 18      | 18      | 16      | 14      | 21      |
| V                                | 103     | 93      | 93      | 78      | 68      |
| Y                                | 29      | 28      | 30      | 30      | 29      |
| Zn                               | 76      | 87      | 63      | 80      | 72      |
| Zr                               | 237     | 288     | 252     | 273     | 350     |

\*: total iron as Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, L.O.I.: loss on ignition.**Table 3.** Whole-rock rare earth element composition of metamorphic rocks in the Ina district of the Ryoke Metamorphic Belt.

| Sample No. | KU-28   | MI(T)-57 | MI-14   | 2         | 4         |
|------------|---------|----------|---------|-----------|-----------|
|            | pelitic | pelitic  | pelitic | psammitic | psammitic |
| La(ppm)    | 32.46   | 63.19    | 44.24   | 22.46     | 20.13     |
| Ce         | 69.65   | 136.58   | 93.19   | 47.95     | 41.36     |
| Pr         | 7.66    | 15.06    | 10.41   | 6.01      | 5.16      |
| Nd         | 30.35*  | 61.63*   | 41.13*  | 17.44     | 15.04     |
| Sm         | 5.73*   | 11.55*   | 7.69*   | 3.47      | 3.93      |
| Eu         | 1.08    | 1.07     | 1.39    | 0.90      | 0.98      |
| Gd         | 4.71    | 8.36     | 6.43    | 3.58      | 3.40      |
| Dy         | 3.97    | 5.78     | 4.71    | 2.93      | 3.61      |
| Ho         | 0.84    | 1.32     | 1.03    | 0.62      | 0.81      |
| Er         | 2.15    | 2.96     | 2.54    | 1.53      | 2.19      |
| Yb         | 2.15    | 2.33     | 2.21    | 1.47      | 1.94      |
| Lu         | 0.34    | 0.43     | 0.36    | 0.25      | 0.33      |
| Sc         | 9.67    | 14.93    | 9.35    | 7.59      | 2.04      |

\*: reported by Yuhara and Kagami (1995).

## 文 献

- Anders, E. and Grevesse, N., 1989, Abundances of the elements: Meteoritic and solar. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **53**, 197-214.
- Kagami, H., Kawano, Y., Akiyama, M., Ikawa, T., Imaoka, T., Ishioka, J., Toyoshima, T., Hamamoto, T., Hayasaka, Y., Ikeda, Y., Yuhara, M. and Tainosho, Y., 2006, Provenance of Paleozoic-Mesozoic sedimentary rocks in the Inner Zone of Southwest Japan: An evaluation based on Nd model ages. *Gondwana Res.*, **9**, 142-151.
- Kawano, Y., Akiyama, M., Ikawa, T., Roser, B. P., Imaoka, T., Ishioka, J., Yuhara, M., Hamamoto, T., Hayasaka, Y. and Kagami, H., 2006, Whole rock geochemistry and Sr isotopic compositions of Phanerozoic sedimentary rocks in the Inner Zone of the Southwest Japan Arc. *Gondwana Res.*, **9**, 126-141.
- Morikiyo, T., 1986, Hydrogen and carbon isotopic studies on the graphite-bearing metapelites in the northern Kiso district of central Japan. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **94**, 165-177.
- Roser, B. P., 2000, Whole-rock geochemistry studies of clastic sedimentary suites. *Mem. Geol. Soc. Japan*, no. 57, 73-89.
- 高本のぞみ・柚原雅樹・古川直道, 2005, 福岡県東部, 今川・祓川流域の元素濃度分布. 福岡大学理学集報, **35** (2), 41-66.
- 柚原雅樹, 1994, 伊那地方領家帯における太田切花崗岩の貫入時期と領家変形-変成作用: Rb-Sr 全岩アイソクロン年代による検討. 岩鉱, **89**, 269-284.
- 柚原雅樹, 2008, 伊那領家変成帯, 日曾利花崗岩の岩石化学的特徴: 領家変成帯におけるアダカイト質花崗岩. 地球科学, **62**, 221-232.
- 柚原雅樹・古川直道・田口幸洋, 2004a, 粉末ベレット法による珪酸塩・炭酸塩岩石の微量元素の蛍光 X線分析. 福岡大学理学集報, **34** (1), 43-49.
- 柚原雅樹・加々美寛雄, 1995, 勝間石英閃緑岩体の冷却史. 地質雑, **101**, 434-442.
- 柚原雅樹・加々美寛雄, 1999, 伊那領家帯, 高遠花崗岩の年代学的, 同位体岩石学的研究. 地質雑, **105**, 181-192.
- 柚原雅樹・加々美寛雄, 2006, 伊那領家変成帯, 木曾駒花崗閃緑岩および市田花崗岩の年代学的, 同位体岩石学的研究. 福岡大学理学集報, **36** (2), 37-61.

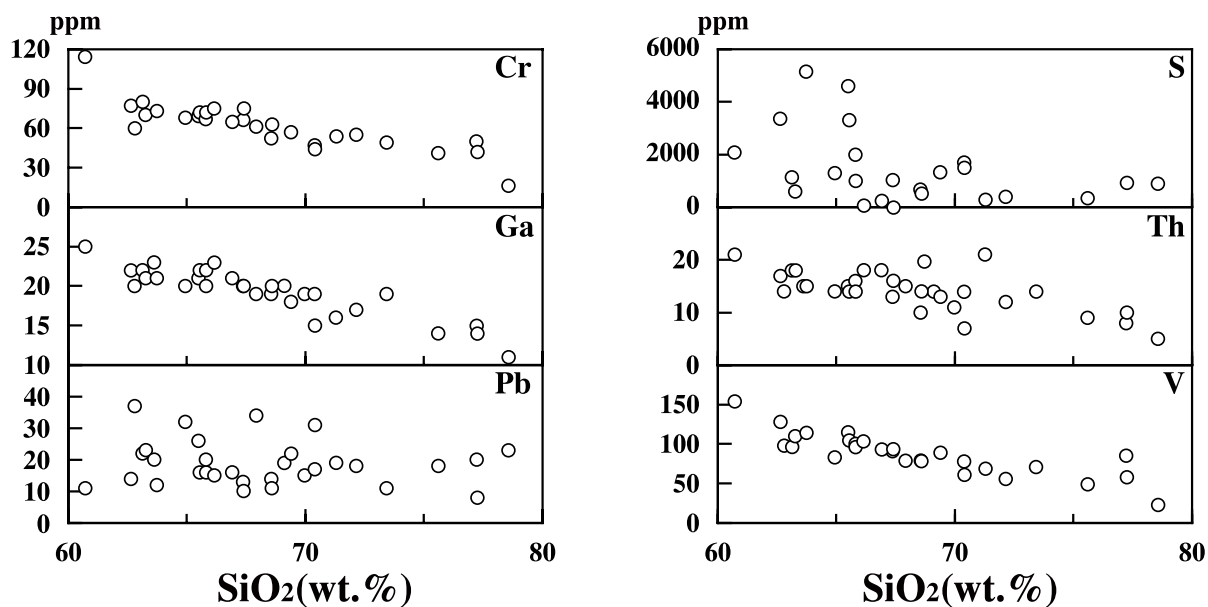


Fig. 1. SiO<sub>2</sub>-trace elements diagrams of metamorphic rocks in the Ina district of the Ryoke Metamorphic Belt.

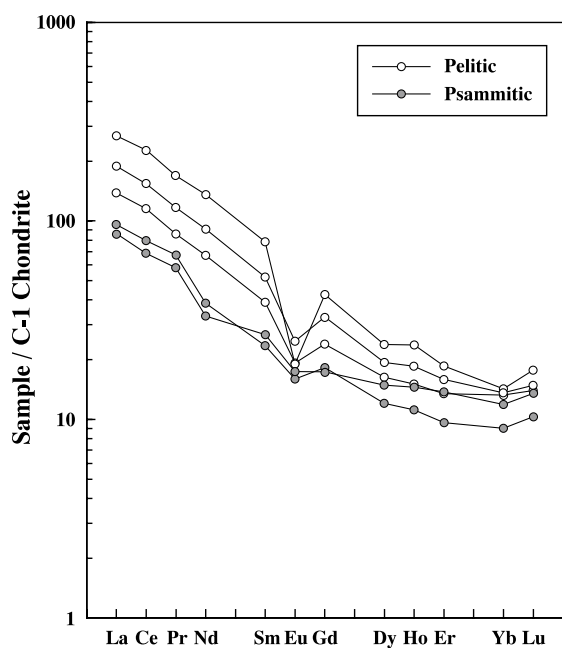


Fig. 2. Chondrite normalized REE abundances of metamorphic rocks in the Ina district of the Ryoke Metamorphic Belt. Normalization value by Anders and Grevesse (1989).

柚原雅樹・宮崎 隆・加々美寛雄, 2004b, 伊那領家帯, 吉瀬花崗閃緑岩の年代学的, 同位体岩石学的研究. 福岡大学理学集報, 34 (1), 51-65.

柚原雅樹・川辺岩夫・小松正幸, 1992, 伊那領家帯の変成岩および花崗岩質岩の希土類元素組成: 花崗岩化作用の検討. 月刊地球, 14 (11), 700-705.

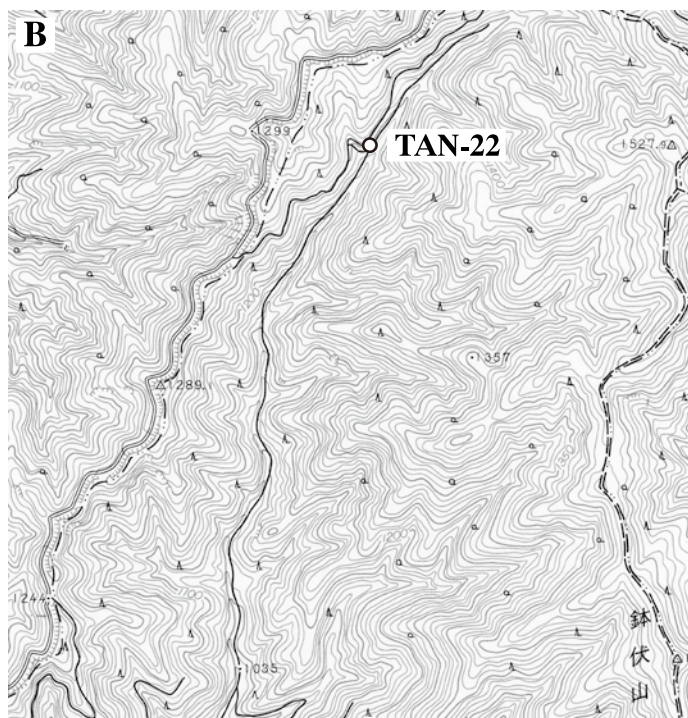
柚原雅樹・田口幸洋, 2003a, 蛍光X線分析装置 ZSX100e による珪酸塩岩石の主成分および微量元素の定量分析. 福岡大学理学集報, 33 (1), 25-34.

柚原雅樹・田口幸洋, 2003b, ガラスビード法による珪酸塩岩石の Co および S の蛍光X線分析. 福岡大学理学集報, 33 (2), 77-81.

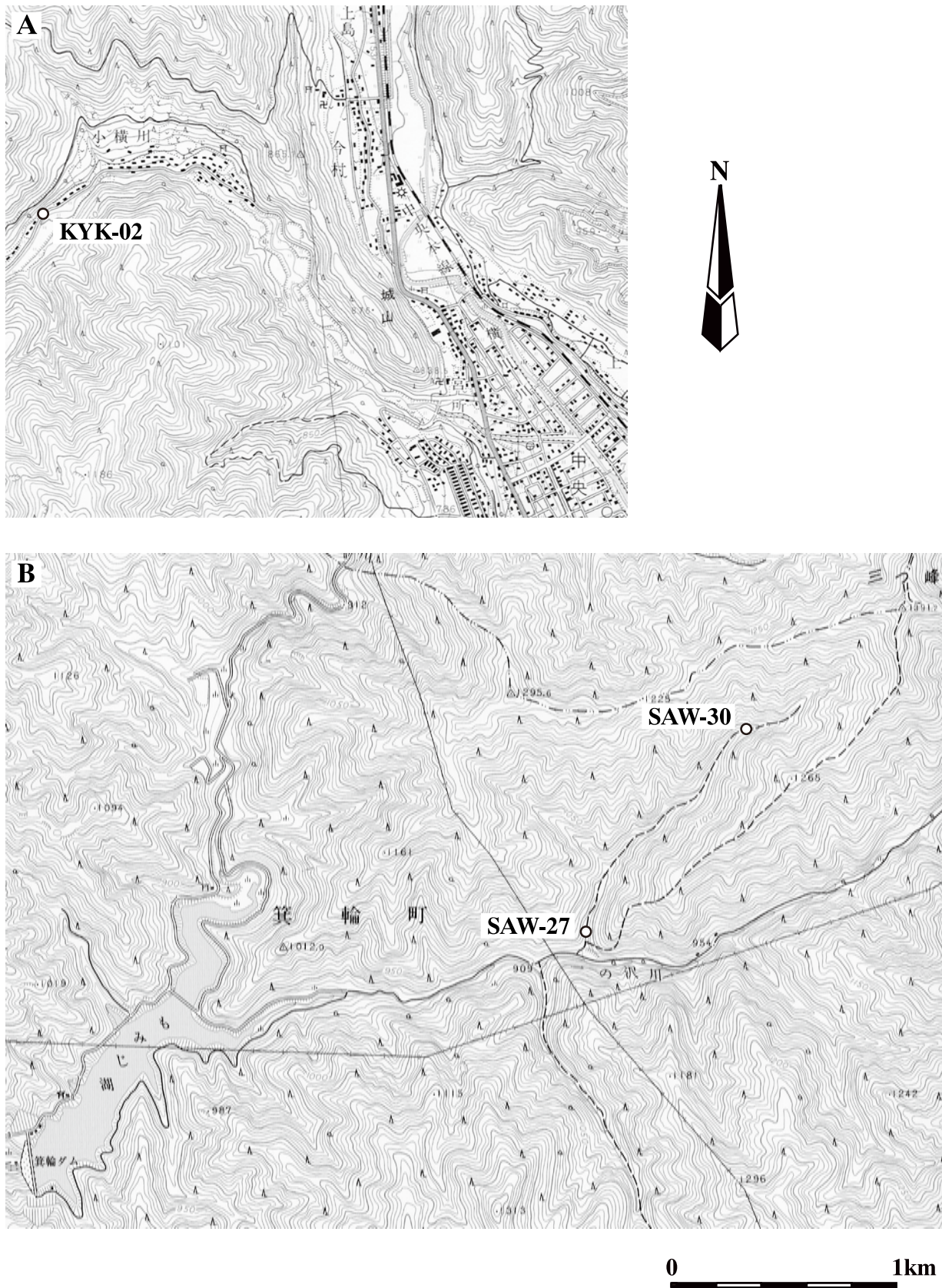
(要 旨)

柚原雅樹, 2011, 伊那領家変成帯に産する変成岩の微量元素ならびに希土類元素組成. 福岡大学理学集報, 41, 39-50. (Yuhara, M., 2011, Trace and rare earth elements compositions of metamorphic rocks from the Ina district of the Ryoke Metamorphic Belt, Southwest Japan *Arc. Fukuoka Univ. Sci. Rep.*, 41, 39-50.)

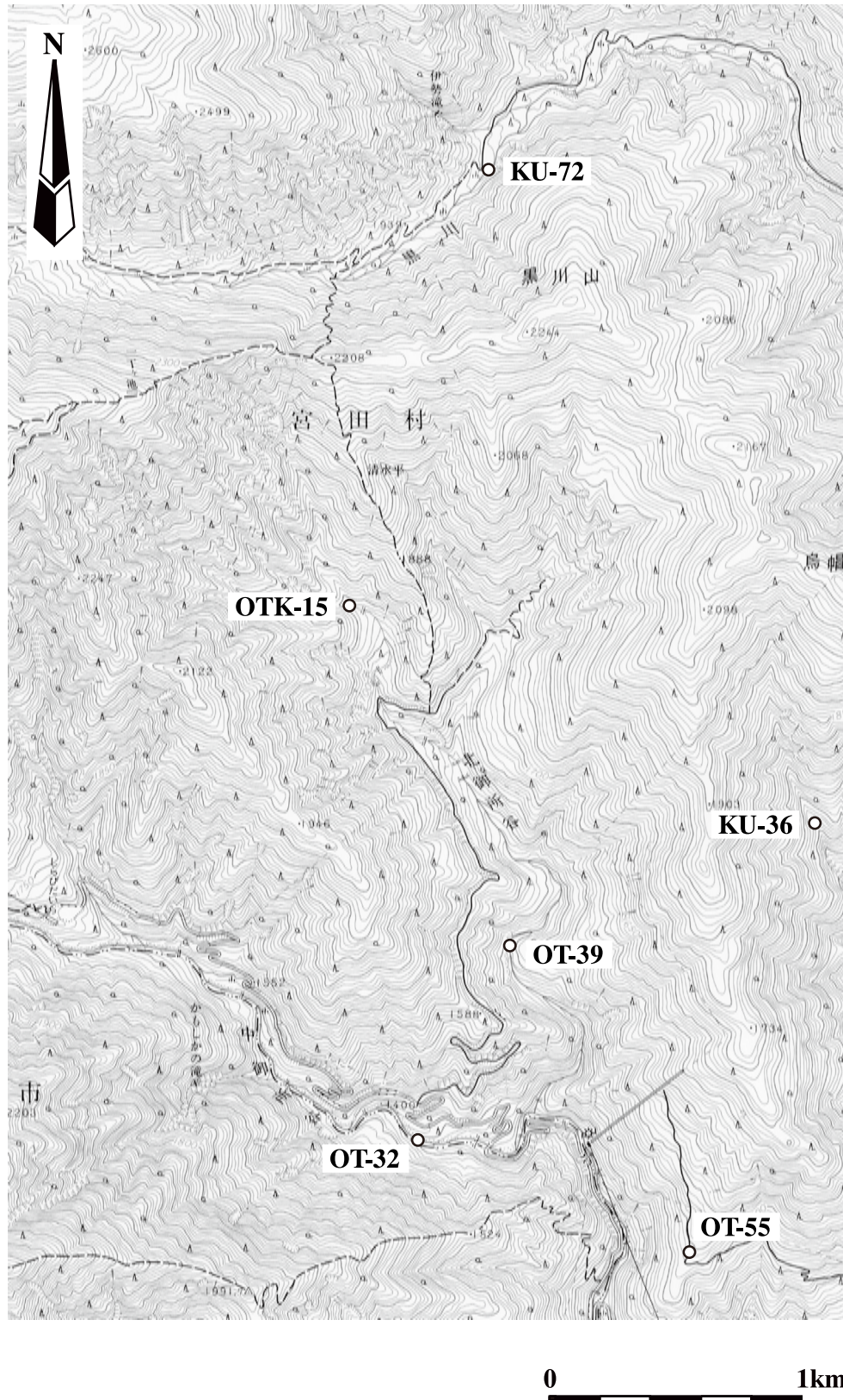
蛍光 X 線分析装置を用いて, 伊那領家変成帯の変成岩の 7 微量元素組成 (As, Cr, Ga, Pb, S, Th, V) を分析した. さらに, 高周波 Ar プラズマ発光分光分析装置を用いて, 希土類元素組成も分析した. これらの変成岩は弱変成部から高変成部の広範囲から採取したにもかかわらず, 一連の変化傾向を示す. As 含有量は弱変成岩で高い傾向にある.



Appendix 1. Sample localities of metamorphic rocks in the Ina district of the Ryoke Metamorphic Belt. These maps are adapted from the 1/25000 topographic maps “Shiojiri” (A), “Takato” (B) and “Shinano-mizoguchi” (C) published by the Geographical Survey Institute of Japan.

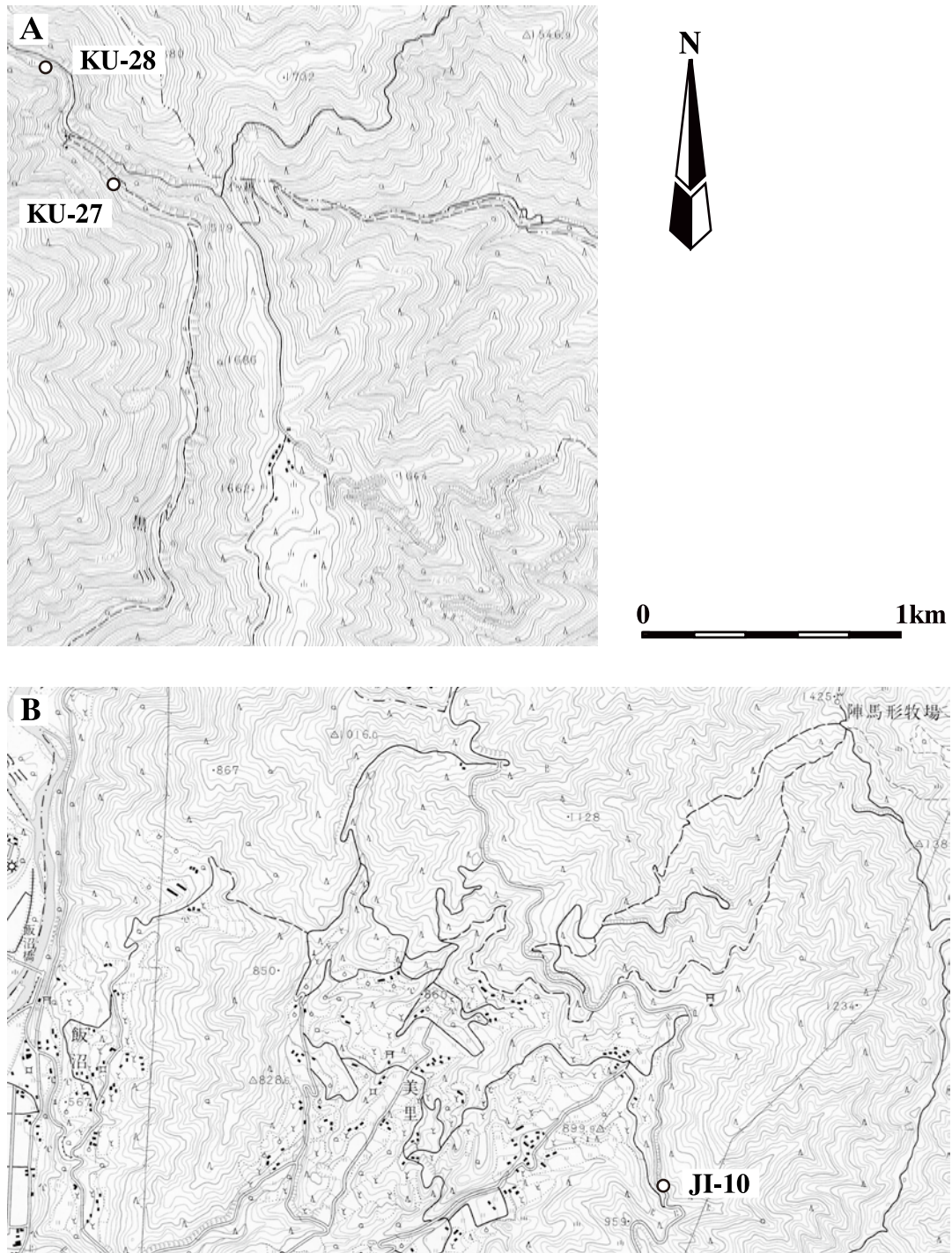


Appendix 2. Sample localities of metamorphic rocks in the Ina district of the Ryoke Metamorphic Belt. These maps are adapted from the 1/25000 topographic maps “Miyaki” (A) and “Tatsuno” (B) published by the Geographical Survey Institute of Japan.

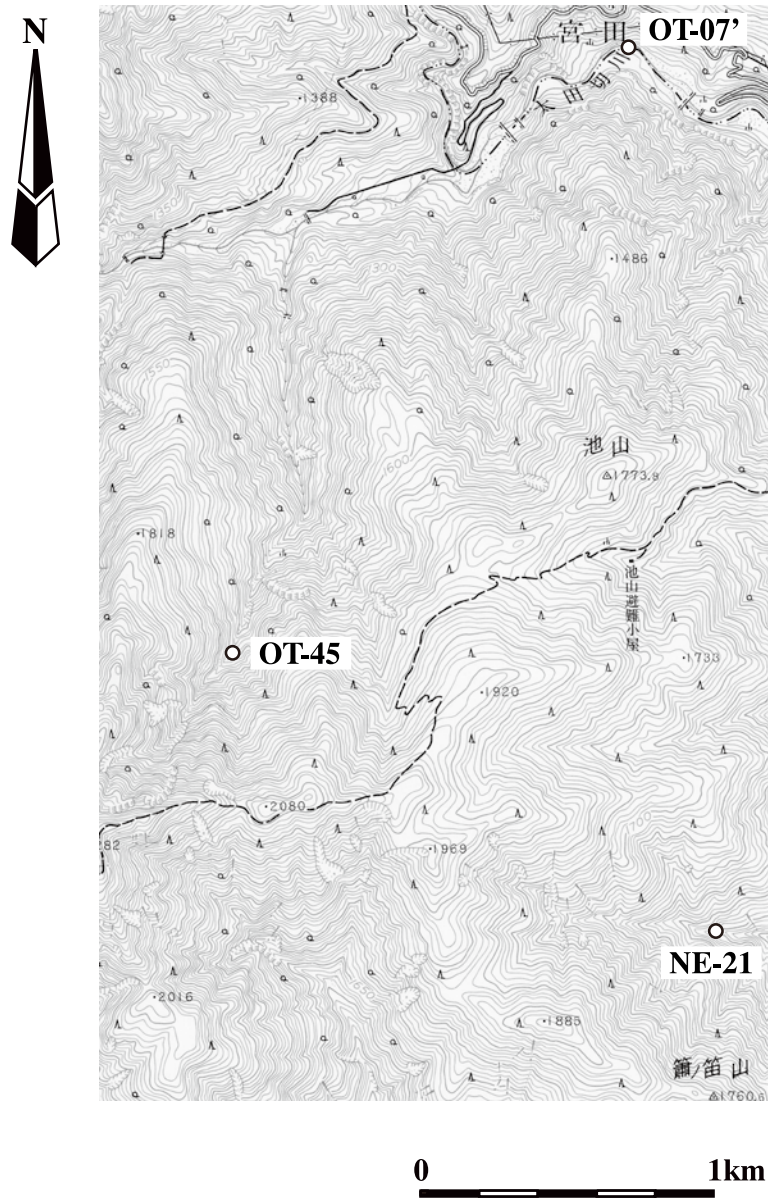


Appendix 3. Sample localities of metamorphic rocks in the Ina district of the Ryoke Metamorphic Belt. This map is adapted from the 1/25000 topographic map “Kiso-komagatake” published by the Geographical Survey Institute of Japan.





Appendix 4. Sample localities of metamorphic rocks in the Ina district of the Ryoke Metamorphic Belt. These maps are adapted from the 1/25000 topographic maps “Ina-miyada”(A) and “Ina-  
ojima”(B) published by the Geographical Survey Institute of Japan.



**Appendix 5.** Sample localities of metamorphic rocks in the Ina district of the Ryoke Metamorphic Belt. This map is adapted from the 1/25000 topographic map “Utsugidake” published by the Geographical Survey Institute of Japan.



**Appendix 6.** Sample localities of metamorphic rocks in the Ina district of the Ryoke Metamorphic Belt. This map is adapted from the 1/25000 topographic map “Akaho” published by the Geographical Survey Institute of Japan.



Appendix 7. Sample localities of metamorphic rocks in the Ina district of the Ryoike Metamorphic Belt. This map is adapted from the 1/25000 topographic map “Ichinose” published by the Geographical Survey Institute of Japan.