関東山地北東縁部寄居溶結凝灰岩類の熱水変質 K-Ar 年代

K-Ar dating of hydrothermal alteration of the Yorii welded tuffs in the northeastern Kanto Mountains

近重史朗* 小坂和夫**

Shiro Chikashige* and Kazuo Kosaka*

1999年8月17日受付.

2000年3月14日受理.

* 日本大学大学院理工学研究科地理学専攻
Geography Major, Graduate School of Science and Technology, Nihon University, 3-25-40 Sakurajosui, Setagaya-ku, Tokyo 156-8550, Japan

** 日本大学文理学部地球システム科学科
Department of Geosystem Sciences, College of Humanities and Sciences, Nihon University, 3-25-40 Sakurajosui, Setagaya-ku, Tokyo 156-8550, Japan

Abstract: Yorii welded tuffs in the northeastern Kanto Mountains are penetratively crushed and strongly hydrothermally altered. They are younger constituents of the Atokura Nappe and their ages indicate the lower limit of the time when the Atokura Nappe thrust up on the Sanbagawa belt.

The whole rock K-Ar ages of the altered Yorii welded tuffs give 58.0 ± 2.9 Ma which is consistent with zircon FT age (59.6 Ma). This suggests that the hydrothermal alteration followed the formation of welded tuffs at the last stage of cooling process. After this hydrothermal alteration, the Yorii welded tuffs thrust up on the Sanbagawa belt.

Key words: K-Ar dating, hydrothermal alteration, Yorii welded tuffs, Atokura Nappe

はじめに

関東山地北縁部の群馬県下仁田・埼玉県寄居地域には、西南日本内帯の白亜紀後期・古第三紀の火成活動を起源とする溶結凝灰岩類が分布する(山田ほか, 1982; 牧本・竹内, 1992). 寄居地域の溶結凝灰岩類(寄居溶結凝灰岩類)は、破碎と熱水変質を受けた後に北方から三波川帯の上に移動してきたクリッペであるとされている(小坂, 1979, 1987). 寄居溶結凝灰岩類については竹内・牧本(1991)によりジルコンの FT 年代 59.6 ± 2.8 Ma が得られており、他の年代値を含めてこれらの酸性火成岩類が西南日本内帯の白亜紀後期・古第三紀の火成活動の産物であるという従来の見解を裏づけている。

寄居溶結凝灰岩類は、跡倉ナップ構成岩体のなかで最も若

い地質体の可能性があり、その地質年代は跡倉衝上断層の活動時期の下限を制約する意義をもつとされている(竹内・牧本, 1991). したがって、寄居溶結凝灰岩類の熱水変質の年代が分れば、三波川帯に移動した時期はそれ以降と考えることにより跡倉ナップ形成時期の下限をさらに上げることができるものと考えられる。そこで、熱水変質の履歴を明確にするために寄居溶結凝灰岩類の産状、熱水により生成した変質鉱物の同定および熱水温度の推定を行い、さらに熱水変質による K-Ar 年代の若返りから熱水変質年代を推定するため寄居溶結凝灰岩類の K-Ar 年代を測定した。本稿では、その結果の解釈とテクトニックな意義について考察を行う。

地質概説

当地域には、およそ北から寄居溶結凝灰岩類、寄居層、金勝山石英閃緑岩、跡倉層(栃谷層)が分布している(第1図)。これらの岩石・地層は御荷鉾緑色岩類の上にナップとして移動してきた異地性岩体であり、下仁田地域、神山-金沢地域と同様に跡倉ナップを構成している(牧本・竹内, 1992)。

金勝山石英閃緑岩の放射年代は、251 Ma (小野, 1983) と 252 Ma (端山ほか, 1990) で二畳紀を示す。跡倉層は、礫岩層、砂岩層および砂岩泥岩互層からなり、泥岩から白亜紀後期のアンモナイト化石や放散虫化石を産する(竹内ほか, 1990; 渡辺ほか, 1990)。寄居溶結凝灰岩類は流紋岩質溶結凝灰岩であり、そのジルコンの FT 年代は 59.6 ± 2.8 Ma を示す(竹内・牧本, 1991)。寄居層は、海成層であり、下部に挟在する凝灰岩中のジルコンの FT 年代は 65.4 ± 3.3 Ma を示す(牧本・竹内, 1992)。寄居層は寄居溶結凝灰岩類の礫を含むことから溶結凝灰岩類の上位に位置すると考えられる。

このように跡倉ナップを構成する最も新しい地層が寄居層であり、また同ナップが中部中新統松山層群により不整合に覆われることからナップの形成時期は暁新世(60 Ma 前後)から中期中新世のはじめ(約 16 Ma)の間であるとされている(牧本・竹内, 1992)。

寄居溶結凝灰岩類の産状

寄居溶結凝灰岩類は破碎が著しく、熱水変質を受けた流紋岩質の溶結凝灰岩である。新鮮な断面は青灰色である。幅 10 mm 以下長さ 2 m 以下の大小の断裂に白色の鉱物が充填した産状を呈する(第2図 a)。偏光顕微鏡下でさらに微細な鉱脈が観察できる。原岩の造岩鉱物は、斜長石、カリ長石、石英、黒雲母、普通角閃石、単斜輝石、その他不透明鉱物であるが、鉱物のかなりの部分は他の変質鉱物に置き換えられている(牧本・竹内, 1992)。ただし、ユータキシチック構造が、いずれの薄片にもみられる(小坂, 1987)。斜長石は、細かい

第1図. 寄居-小川地域の地質概略図 (牧本・竹内 (1992) を一部改変).

くさび石や緑簾石, イライトに置換され, ソシュライト化している. カリ長石もその内部が細粒の緑簾石, イライトに置換されている. 石英は, 細片化したものが多い. 方解石, 緑簾石は脈状を呈し, その中に濁沸石 (ローモンタイト) の存在が観察される (第2図 b, c). 黒雲母は, 緑泥石・イライト化し仮像になっているものが多いが, 変質を免れているものもある (第2図 d, e, f). また, 以上のような組織の変化は微小割れ目と変質によるものであり, マイロナイト化の徴候は認められない.

熱水変質鉱物と熱水温度

第3図に示す荒川・深沢川の15地点から採取した試料について, 偏光顕微鏡観察と粉末X線回折によって構成鉱物を検討した. 溶結凝灰岩中の初生鉱物としては, 石英, 斜長石, カリ長石, 黒雲母が観察できる. また, 変質鉱物としては, イライト・緑泥石・緑簾石・方解石・濁沸石・くさび石が同定された. 井澤 (1996) の温度依存性の変質分帯に基づいて, 寄居溶結凝灰岩類は中性からアルカリ性の210~220°Cの熱水変質を受けていると推定される. 初生鉱物のうち, K濃度の高いのはカリ長石, 黒雲母であるが, それらは熱水変質を強く受け, 緑簾石, 緑泥石やイライトによって, ほぼ完全に置換されている. 熱水変質によって生成された鉱物のうち, Kを濃集するのはイライトである.

熱水変質年代

K-Ar 法によって変質年代を求めるには, イライトを濃集して測定試料とするのが通例である. しかし熱水変質によって生成したイライトは微粒であり, 断層ガウジのK-Ar年代

測定で行われるような2μm以下の細粒のイライトを濃集するためには, 岩石試料を200メッシュ程度以下に粉砕する必要がある. その際には粉砕による細粒化で表面積が増大することによるArの消失が懸念されたためイライトの抽出による年代測定を断念した.

熱水変質を受けていなければ, 閉鎖温度が低くカリウム濃度の高いカリ長石 (150±30°C, (Harrison and McDougall, 1980)) と黒雲母 (280±40°C (Harland et al., 1989)) が全岩のK-Ar年代を規制すると思われる. しかし, 寄居溶結凝灰岩類は熱水変質を受けて全体に著しく変質しカリ長石は緑簾石, イライトに置換され原形をほとんど失い, 黒雲母は大部分が緑泥石・イライト化し仮像になっていてわずかに変質を免れている産状を呈していることを考慮すると, わずかに変質を免れた初生の黒雲母と熱水により生成した変質鉱物のイライトが全岩のK-Ar年代を規制すると思われる. 黒雲母のモード組成は, 偏光顕微鏡観察により変質を免れた黒雲母を多色性, 形状, へき開, 干渉色で判定し, 仮像は緑泥石・イライト化している黒雲母の形状から判定してポイントカウンター (1000ポイント測定) で測定した. その結果, 黒雲母のモードは仮像を含めて1%程度である. 黒雲母中のKは5wt.%程度であることから判断すると, 全岩中のKは最大0.05wt.%にすぎず, 残存する黒雲母は全岩のK-Ar年代にはほとんど寄与しないと考えられる. 全岩のK-Ar年代をTELEDYNE BROWN ENGINEERING社に依頼して測定した. 試料は, 熱水変質鉱物の同定を行った第3図に示す荒川・深沢川の15地点のなかの3箇所から採取した. 測定結果を第1表に示す. 3個の試料の年代は, ほとんど差がなく平均して58.0±2.9Ma [(58.3~57.5) ±2.9Ma] である.

第2図. 方解石脈の露頭写真, および変質鉱物の鏡下写真.

(a) 方解石脈 (b) 方解石脈とローモンタイト (直交ニコル). 右上から左下に走る方解石脈の中央にローモンタイトが観察される. (c) 緑簾石脈 (直交ニコル). 左上から右下に緑簾石脈が走り, 右上に緑簾石化しているが比較的原形をとどめている斜長石が観察される. (d), (e), (f) 黒雲母 (直交ニコル). (d) から (f) の順に変質が進み (f) ではほとんど仮像になっている.

考 察

測定結果から全岩の K の含有量は 2.27~2.48 wt.% であり, 前述の黒雲母にかかわる全岩中の K の含有量 0.05 wt.% は, 全岩での K-Ar 年代にはほとんど寄与しないことは明らかである. したがって, イライトがほとんど全岩の K の含有

量を占め全岩での K-Ar 年代はイライトが出現した熱水変質年代を示すと考えられる. さらに, イライトの閉鎖温度は $260 \pm 30^\circ\text{C}$ (Hunziker et al., 1986) であり推定される $210 \sim 220^\circ\text{C}$ の熱水変質温度では閉鎖系を形成しているので全岩の K-Ar 年代はほぼ変質年代を示すと思われる.

また, 全岩の K-Ar 年代 $58.0 \pm 2.9 \text{ Ma}$ は, ジルコンの FT

第3図. 試料採取場所.

第1表. 寄居溶結凝灰岩類の K-Ar 年代.

試料名	採取場所	試料の種類	放射年代 (Ma)	Rad. ^{40}Ar ($\text{cc/gm} \times 10^{-5}$)	% Rad. ^{40}Ar	% K
YW-01	NO. 5	全岩	57.5 $\pm$ 2.9	0.557	83.7	2.48
				0.568	87.5	2.47
YW-02	NO. 11	全岩	58.3 $\pm$ 2.9	0.546	84.4	2.32
				0.523	82.6	2.32
YW-03	NO. 13	全岩	58.1 $\pm$ 2.9	0.528	87.6	2.28
				0.517	89.7	2.27

定数: $\lambda_{\text{K}} = 4.982 \times 10^{-10} / \text{y}$ $\lambda_{\text{Ar}} = 0.581 \times 10^{-10} / \text{y}$

$^{40}\text{K} / \text{K} = 1.167 \times 10^{-2} \text{ atom\%}$

年代 $59.6 \pm 2.8 \text{ Ma}$ (竹内・牧本, 1991) とほぼ一致する。したがって、全岩の K-Ar 年代 $58.0 \pm 2.9 \text{ Ma}$ で示される変質年代から、溶結凝灰岩類形成の最終段階で熱水変質を受けたものと推定され、さらにそれ以降は K-Ar 年代が若返るほどの熱(水)事変を受けていないと考えられる。

従来、寄居溶結凝灰岩類は岩相・放射年代の一致から西南日本内帯の後期白亜紀-古第三紀酸性火成活動の一員として濃飛流紋岩類や奥日光流紋岩類に対比されてきた(山田ほか, 1982; 牧本・竹内, 1992; 埼玉総会中・古生界シンポジウム世話人会, 1995)。濃飛流紋岩類や奥日光流紋岩類は一般的に苦鉄質鉱物の緑泥石化や炭酸塩鉱物、緑簾石の形成を伴う二次的な変質作用が著しく(河田・大森, 1961; 河田, 1966)、その点でも対比することができる。また、当地域から約 25 km 北東方向(群馬県東部金山地域)に分布する $58.5 \pm 3.2 \text{ Ma}$ および $56.8 \pm 3.4 \text{ Ma}$ の K-Ar 年代を示す金山流紋岩類(高橋ほか, 1991)が現地性であるか異地性であるかは跡倉ナップ形成の視点からも注目される。

以上から、寄居溶結凝灰岩類は西南日本内帯の後期白亜

紀・古第三紀酸性火成活動により形成され熱水変質を受け、 $58.0 \pm 2.9 \text{ Ma}$ までは形成地に存在したと考えられる。熱水変質の時期が原岩形成の時期より大幅に新しい場合には、原岩の形成場所と現在の場所との間のどこで熱水変質を受けたかという問題が生じるが、今回の測定結果により、原岩形成直後に熱水変質を受けたことが明らかになった。前述したように、寄居溶結凝灰岩類を礫として取り込んでいる寄居層の年代が寄居溶結凝灰岩類とほぼ同じ年代である。したがって、両者はそれらの形成地から同一の時期に移動し三波川帯に到達した可能性が考えられる。その時期は少なくとも $58.0 \pm 2.9 \text{ Ma}$ 以降、寄居層が堆積・固化した以降ということになる。両者は現在三波川帯に隣接して存在するに至るまでの間、同一の構造運動を受けてきたものと推定される。

謝辞 査読を通して岡山理科大学自然科学研究所板谷徹丸教授、匿名の査読者、および担当委員から多くの有益、貴重なアドバイスを戴いた。多くのご教示に感謝いたします。

文 献

- Harland, W. B., Armstrong, R. L., Cox, A. V., Craig, L. E., Smith, A. G. and Smith, D. G., 1989, *A geologic time scale 1989*. Cambridge University Press, London.
- Harrison, T. M. and McDougall, I., 1980, Investigation of an intrusive contact, northwest Nelson, New Zealand—I, Thermal, chronological and isotopic constraints. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **44**, 1985-2003.
- 端山好和・柴田 賢・内海 茂, 1990, 関東山地北縁の 2, 3 の放射年代. 地質雑, **96**, 319-322.
- Hunziker, J. C., Freg, M., Clauer, N., Dallmeyer, R. D., Friedrichsen, H., Flehmig, W., Hochstrasser, K., Roggwiler, P. and Schwander, H., 1986, The evolution of illite to muscovite: mineralogical and isotopic data from Glarus Alps, Switzerland. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **92**, 157-180.
- 井澤英二, 1996, 資源の探究, 岩波講座 地球惑星科学地球の観測, 岩波書店, 東京, 311 p.
- 河田清雄, 1966, 奥日光流紋岩類—足尾山地北方における白亜紀火山活動一. 地球科学, no. 84, 6-13.
- 河田清雄・大森貞子, 1961, 飛騨川上流の濃飛岩体西縁部における流紋岩類の化学組成とその考察. 地調月報, **22**, 661-668.
- 小坂和夫, 1979, 関東山地北東縁部付近の白亜紀以降の断層運動史. 地質雑, **85**, 157-176.
- 小坂和夫, 1987, 寄居溶結凝灰岩類—埼玉県寄居町に分布する“寄居石英斑岩”の再検討一. 日大文理自然科学紀要, **22**, 41-46.
- 牧本 博・竹内圭史, 1992, 寄居地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 136 p.
- 小野 晃, 1983, 関東山地, 金勝山石英閃緑岩の K-Ar 年齢. 岩鉱, **78**, 38-39.
- 埼玉総会中・古生界シンポジウム世話人会, 1995, 関東山地の中・古生界研究の現状と課題. 地球科学, no. 49, 271-291.
- 高橋雅紀・大友育也・斎藤和男, 1991, 群馬県東部金山地域に分布する溶結凝灰岩の K-Ar 年代. 地調月報, **42**, 167-173.
- 竹内圭史・牧本 博, 1991, 関東山地北縁の溶結凝灰岩・花崗斑岩およびホルンフェルス放射年代. 地質雑, **97**, 315-318.
- 竹内圭史・牧本 博・酒井 彰, 1990, 関東山地における西南日本内帯-外帯境界領域の新生代テクトニクス研究(演旨). 地調月報, **41**, 480.
- 渡辺嘉士・浅野浩正・伊能正行・北村恵美子・高橋 修・益子進一・宮地竜彦・石井 醇, 1990, 関東山地北東部の栃谷層から後期白亜紀化石の産出. 地質雑, **96**, 683-685.
- 山田直利・須藤定久・河田清雄, 1982, 濃飛流紋岩の東方延長. 月刊地球, **4**, 159-165.