

飛騨山脈の深成岩マグマの貫入時期とテクトニクス— LA-ICP-MS によるジルコンの U-Pb 年代測定法の適用 —

Timing of some plutonic intrusions and tectonics in the Hida Mountain Range: An application of LA-ICP-MS U-Pb dating on zircons

Abstract

伊藤久敏* 田村明弘**
森下知晃** 荒井章司***

*Hisatoshi Ito**, *Akihiro Tamura***,
*Tomoaki Morishita*** and *Shoji Arai****

2011年7月25日受付.

2012年2月28日受理.

* 電力中央研究所地圏科学領域

Geosphere Science Sector, Central Research
Institute of Electric Power Industry, 1646
Abiko, Abiko, Chiba 270-1194, Japan

** 金沢大学フロンティアサイエンス機構

Frontier Science Organization, Kanazawa
Univ., Kakuma, Kanazawa, Ishikawa 920-
1192, Japan

*** 金沢大学理工学域自然システム学系(地球科学
教室)

Department of Earth Sciences, Kanazawa
Univ., Kakuma, Kanazawa, Ishikawa 920-
1192, Japan

Corresponding author; H. Ito, ito_hisa@criepi.denken.or.jp

Laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry was used to perform U-Pb dating on zircons from granitic rocks in the Hida Mountain Range, central Japan. Samples were targeted for dating that showed a marked difference in cooling age across the Takasegawa Fault (Ito and Tanaka, 1999). The Okukurobe granite to the west of the fault, and the Oshirasawa granite to the east of the fault, yielded ages of 65.1 ± 1.6 Ma and 64.7 ± 2.3 Ma, respectively. These ages imply that both granites were intruded at the same time (ca. 65 Ma). The Oshirasawa granite has a mylonitic texture, which probably reflects rapid uplift and erosion by faulting in the past 2 Myr. The Kanazawa granodiorite to the east of the Takasegawa Fault was dated as 2.15 ± 0.15 Ma, indicating that this pluton was intruded in the Quaternary. In addition to the Takidani granodiorite, this is the second confirmed occurrence of an outcropping Quaternary pluton in the Hida Mountain Range.

Keywords: U-Pb dating, LA-ICP-MS, zircon, Hida Mountain Range, Takasegawa Fault, Quaternary pluton, Kanazawa granodiorite

はじめに

ジルコンの U-Pb 法は、地球最古の岩石の年代測定に用いられる (Froude et al., 1983; Compston and Pidgeon, 1986) など、古い試料の年代測定例が多かったが、最近では数 10 Ma より若い試料に対しても広く適用されている (新正ほか, 2003; Tani et al., 2010)。また、ジルコンの U-Pb 法の閉鎖温度は 1000 °C 程度である (Mezger and Krogsstad, 1997) ことから、マグマの貫入・固結年代を推定可能であり、K-Ar 法や FT 法などの閉鎖温度の低い年代測定法と併用することにより、深成岩体の誕生から現在に至るまでの全ヒストリを明らかにする上で重要である。

Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (LA-ICP-MS) によるジルコンの U-Pb 法は、従来からの手法である TIMS や SHRIMP に比べ、低コストでかつ簡便な手順で U-Pb 年代が得られることから、急速に進展している。また、最近では、同手法により、TIMS や SHRIMP と同程度の信頼性の高い年代値が得られることが報告されている (Cocherie et al., 2009)。

既に筆者らは淡路島北端部の花崗岩質岩のジルコンについ

て LA-ICP-MS による U-Pb 年代を報告し、閉鎖温度の異なる他の年代測定法による年代値と合わせ、同花崗岩質岩の生成から現在に至る冷却史を報告した (伊藤ほか, 2010)。今回、新たに、飛騨山脈の花崗岩質岩についてジルコンの U-Pb 年代値を得た。その結果、第四紀の露出プルトンである滝谷花崗閃緑岩 (ジルコンの U-Pb 年代は 1.36 ± 0.23 Ma; Sano et al., 2002) より古いものの、第四紀の深成岩を生成したマグマ活動が高瀬川断層の東側にも存在したことが推定されたことなどの新知見を報告する。

地質概説および年代測定用試料

飛騨山脈は幅 40 km、長さ 120 km、最高点 3190 m (奥穂高岳)、隣接した富山湾底からの比高が 4 km の日本で最も高い隆起山脈である (及川, 2003)。飛騨山脈の隆起には、山脈直下のマグマが大きな役割を果たしており、2.7~1.5 Ma 頃のマグマの貫入による隆起と、1.3 Ma 以降の東西圧縮場での飛騨山脈東半部における傾動・隆起の 2 段階の隆起があったとされている (原山ほか, 2003)。また、同様の見解として、山田 (1999) はフィッション・トラック (FT) 年代とトラック長解析により、4~1 Ma の 1.5 mm/yr のドーム

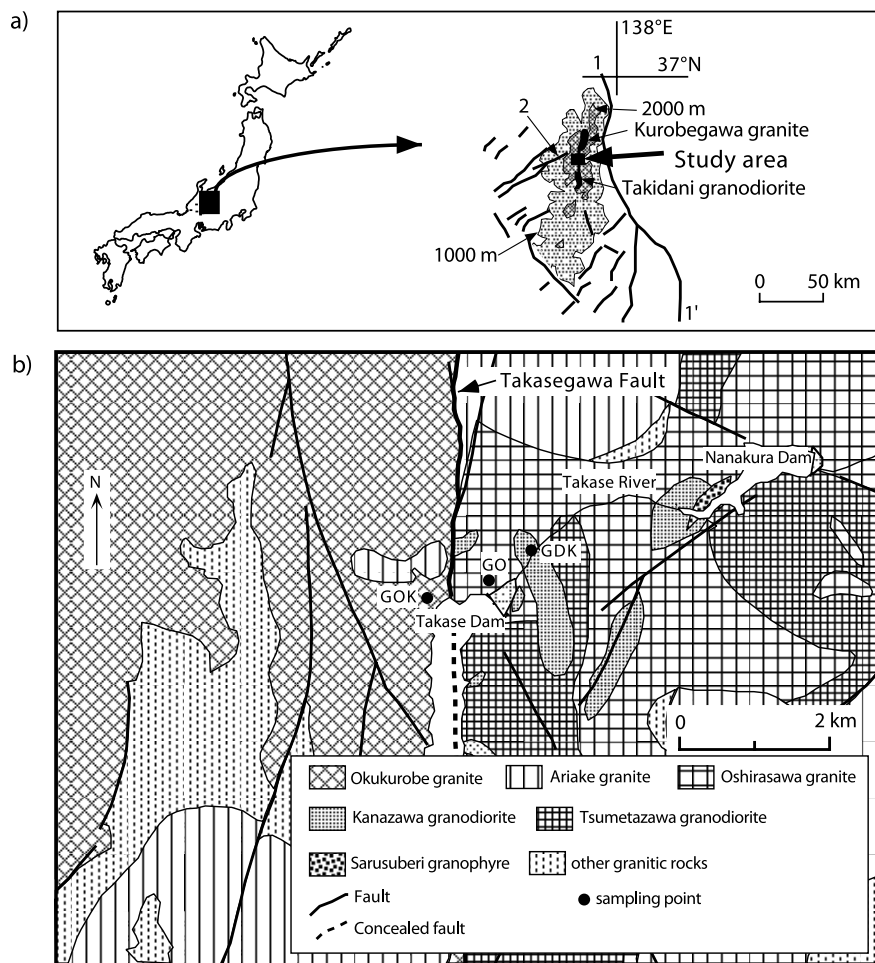


Fig. 1. (a) Location map of the study area showing faults and the granitic rocks considered in this study, in the region of the Hida Mountain Range. Dotted areas are >1000 m (coarsely stippled) and >2000 m (densely stippled) in elevation. 1–1': Itoigawa–Shizuoka Tectonic Line, 2: Atotsugawa Fault. (b) Geological map showing the distribution of granitic rocks and sampling sites (modified after Ito and Tanaka, 1999).

状隆起と1~0.5 Maの東西圧縮場での6 mm/yrの隆起を推定している。

このように飛騨山脈の形成には、花崗岩質マグマの貫入が深く関わっていると解釈されているが、Sano et al. (2002)の滝谷花崗閃緑岩のジルコンU-Pb年代を除き、花崗岩質岩の貫入・固結年代を直接的に推定可能な放射年代データは少なく、これまでに報告された放射年代は、閉鎖温度が500~600°C程度よりも低い、K-Ar法やFT法による年代が大半を占めている(原山ほか, 2000, 2010)。

このような事情から、今回、飛騨山脈の深成岩についてジルコンのU-Pb年代測定を実施し、マグマの貫入・固結に関する情報を得ることとした。ジルコンのU-Pb年代測定は、Ito and Tanaka (1999)でK-ArおよびFT年代測定を行った試料のうち、高瀬川断層(原山ほか, 1991)の西側に分布する奥黒部花崗岩1試料、および同断層の東側に分布する、大白沢花崗岩、金沢花崗閃緑岩(唐沢岩体; 原山ほか, 1991)の各1試料について実施した(Fig. 1)。試料の岩石記載については、Ito and Tanaka (1999)を参照されたい。

Ito and Tanaka (1999)は、高瀬川断層の西側の奥黒部花崗岩が600°Cから240°Cまで冷却した時期は60~55 Maであり、同断層の東側の金沢花崗閃緑岩が600°Cから240°Cまで冷却した時期は5~1 Maであるとし、高瀬川

断層を挟んで花崗岩質岩の冷却年代に顕著な差があるとした。

高瀬川断層は、飛騨山脈の中軸を南北に走る、ほぼ鉛直の断層であり、長さ30 km以上で、最大幅200 mの破碎帯を有する(緒方ほか, 1983)。同断層は顕著なりニアメントとして地形で確認できるが、活断層とはされておらず(活断層研究会編, 1991)、緒方ほか(1983)では、黒部・高瀬川破碎帯と呼称されている。飛騨山脈には、高瀬川断層の南に第四紀の滝谷花崗閃緑岩が分布し、北には黒部川花崗岩(原山ほか, 2000, 2010)が分布する(Fig. 1)。黒部川花崗岩は、2 Ma以降に活動した火山岩(爺ヶ岳火山岩類)に貫入することなどから、2~1 Maに貫入したと推定されている(及川・和田, 2004)。なお、原山ほか(2010)は、爺ヶ岳火山岩類について新たに得られたK-Ar年代などに基づき、黒部川花崗岩の定置した年代(貫入・固結年代)を1.7~0.9 Maと推定している。

U-Pb年代測定

1. 年代測定手順

各試料について、ジルコン100~200粒をPFAテフロンシート(サイズ: 15 mm × 15 mm × 0.5 mm)に埋め込み、研磨紙(1200番)とダイヤモンドペースト(粒径: 6 μm)を

Table 1. LA-ICP-MS operating conditions used for U-Pb zircon dating at Kanazawa University.

Laser Ablation:	MicroLas GeoLas Q plus
Laser type	193 nm (Excimer ArF)
Crater size	50µm
Repetition rate	5 Hz for age standard 10 Hz for unknown
Preablation	2 sec
Energy density	8 J/cm ²
Data acquisition	20 sec
ICP-MS:	
Acquisition mode	Agilent 7500s Time resolved analysis
Scanning mode	Peak jumping
Forward power	1200 W
Gas flow rate	plasma) 15 l/min (Ar) auxiliary) 1 l/min (Ar) carrier) 1.3 l/min (Ar), 0.3 l/min (He)
Measured isotopes	²⁹ Si, ⁸⁸ Sr, ²⁰² Hg, ²⁰⁴ Pb, ²⁰⁶ Pb, ²⁰⁷ Pb, ²⁰⁸ Pb, ²³² Th, ²³⁵ U, ²³⁸ U
Dwell time	40 ms for Pb and U
Standard glass	NIST SRM 610

用い、ジルコン表面を数 µm 研磨し、U-Pb 年代測定用試料とした。さらに、年代値の補正と得られた年代値の評価に用いるために、FT 法の年代標準試料である、Fish Canyon Tuff (Schmitz and Bowring, 2001) と Tardree Rhyolite (Chew et al., 2008) についても同様の試料を準備した。なお、伊藤ほか(2010)では FT 年代測定用にエッチングを施したジルコンを使用した。今回の試料は未エッチングの状態です。

U-Pb 年代測定は、金沢大学の所有する LA-ICP-MS 装置を用いて行った。実験システムの概要を Table 1 に示す。レーザーアブレーションとして、エキシマレーザー(波長 193 nm)を使用し、アブレーションを He ガスの雰囲気中で実施し、その He ガス流を Ar ガス流に混合させ、ICP-MS 装置に導入させた。レーザー径は 50 µm である。1 回の測定で、ブランク測定(30 秒)→レーザー照射(30 秒)→ブランク測定(40 秒)、の合計 100 秒で終了とした(ただし、実験の途中で、ブランク測定(30 秒)→レーザー照射(40 秒)→ブランク照射(30 秒)に変更した)。レーザー照射時間のうち、最初の 2 秒はデータとして採用せず(Preablation)、その後の 20 秒区間をデータとして採用した(Table 1)。

データ取得は、標準ガラス(NIST SRM 610)を挟みながら、奥黒部花崗岩、大白沢花崗岩、金沢花崗閃緑岩、Fish Canyon Tuff、Tardree Rhyolite の順で実施した(Fig. 2)。U-Pb 年代は、伊藤ほか(2009)に従い、²³⁸U-²⁰⁶Pb 年代を求めた。²⁰⁶Pb/²³⁸U 比は、Fish Canyon Tuff(推奨年代は 28.402 ± 0.012 Ma で ²⁰⁶Pb/²³⁸U 比は 0.004421; Schmitz and Bowring, 2001) による補正を行った。さらに、今回の場合、Fig. 2 に示した検出感度の変化を考慮し、GOK, GO,

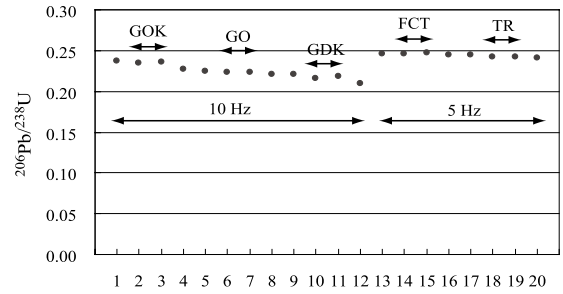


Fig. 2. Time-series variations of ²⁰⁶Pb/²³⁸U ratios obtained during laser ablation of the NIST SRM 610 glass. In the first part of this study, laser ablation was performed with a repetition rate of 10 Hz, and in the latter parts of the study at a repetition rate of 5 Hz. GOK: Okukurobe granite, GO: Oshirasawa granite, GDK: Kanazawa granodiorite, FCT: Fish Canyon Tuff, TR: Tardree Rhyolite.

GDK, TR の ²⁰⁶Pb/²³⁸U 比に対し、それぞれ、1.05, 1.10, 1.14, 1.02 を乗じることにより補正を行った。

U-Pb 年代測定結果を Table 2 に示す。各試料 10 粒のジルコンに対して年代値(T)を求めた。なお、Table 2 に示す各粒子の年代値誤差(σT)は、伊藤ほか(2010)では、²⁰⁶Pb と ²³⁸U のカウント数を用いたが、その際、総カウント数ではなく、1 秒当りのカウント数(cps)を用いた。cps を用いることで、誤差を反映させることは可能であると思われるが、数学的な根拠に乏しいこと、また総カウント数で誤差を表現すると誤差が小さくなり過ぎ、実態を反映していないと考えられることから、ここでは、²⁰⁶Pb/²³⁸U 比の経時変化の標準誤差を ²⁰⁶Pb/²³⁸U 比の誤差とし、その値を用いて年代値誤差を求めた。

各試料の年代は、個々の粒子年代とその誤差から得られる加重平均年代として求めた。なお、Fish Canyon Tuff を除く最終的な年代の誤差(σT*)は Schmitz and Bowring (2001) により得られた Fish Canyon Tuff の年代(28.402 ± 0.012 Ma; 1σ) と今回得られた Fish Canyon Tuff の年代(28.5 ± 0.1 Ma : 1σ) の誤差を含め、以下で計算した。

$$\sigma T^* = T_w \sqrt{\left(\frac{\sigma T_w}{T_w}\right)^2 + \left(\frac{0.012}{28.402}\right)^2 + \left(\frac{0.1}{28.5}\right)^2} \quad (1)$$

ここで、 T_w と σT_w は、それぞれ Fish Canyon Tuff の年代値誤差を含める前の加重平均年代とその誤差である。

今回、加重平均年代と Tera-Wasserburg plot (Tera and Wasserburg, 1972) から得られる年代(ここでは T-W 年代と呼称する)を示し、両者を比較した(Table 2)。また、Fig. 3 に今回測定した試料の Tera-Wasserburg plot を示す。

2. 年代測定結果と評価

今回得られた Fish Canyon Tuff による補正後の加重平均年代として、Tardree Rhyolite では 62.2 ± 0.6 Ma (年代値の誤差は 2σ で、以下も同様) が得られた(Table 2)。この年代は推奨年代(61.23 ± 0.11 Ma; Chew et al., 2008) とほぼ整合し、信頼性は高いと考えられるが、2σ の誤差の範囲をわずかに超えている。T-W 年代は 62.5 ± 3.7 Ma であり、

Table 2. U-Pb zircon dating results obtained by LA-ICP-MS.

Sample name	²⁰² Hg	²⁰⁴ Pb	²⁰⁶ Pb	²⁰⁷ Pb	²³⁸ U	Uncorrected	Corrected	Age	2σ
	[cps]	[cps]	[cps]	[cps]	[cps]	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U		
<i>Fish Canyon Tuff</i>									
FCT08-1-1	-7	27	14109	929	2612746	0.00540	0.00470	30.2	0.7
FCT08-1-2	0	10	3263	220	669016	0.00488	0.00424	27.3	0.7
FCT08-1-3	25	-2	7813	422	1592921	0.00491	0.00427	27.4	0.6
FCT08-1-4	23	15	11857	744	2220466	0.00534	0.00464	29.9	0.6
FCT08-1-5	8	20	14626	688	2891980	0.00506	0.00440	28.3	0.6
FCT08-1-6	13	3	11979	602	2339946	0.00512	0.00445	28.6	0.6
FCT08-1-7	35	34	11985	939	2285493	0.00524	0.00456	29.3	0.7
FCT08-1-8	39	-11	5772	309	1184183	0.00487	0.00424	27.3	0.9
FCT08-1-9	81	5	9401	448	1900072	0.00495	0.00430	27.7	0.6
FCT08-1-10	13	21	10097	656	1990218	0.00507	0.00441	28.4	0.7
						<u>Weighted mean</u>		28.5	0.2
<i>Tardree Rhyolite</i>									
TR08-1-1	-2	16	7427	397	707083	0.01050	0.00932	59.8	1.4
TR08-1-2	289	41	146462	7465	10902032	0.01343	0.01192	76.4	2.2
TR08-1-3	-3	13	4773	230	455337	0.01048	0.00930	59.7	1.5
TR08-1-4	15	12	7951	455	748174	0.01063	0.00943	60.5	1.3
TR08-1-5	2	-20	10450	514	898396	0.01163	0.01032	66.2	2.0
TR08-1-6	-5	19	12579	755	1131328	0.01112	0.00986	63.3	1.4
TR08-1-7	-2	4	5774	356	532162	0.01085	0.00962	61.7	1.4
TR08-1-8	-20	-2	27224	1325	2535719	0.01074	0.00952	61.1	1.3
TR08-1-9	83	32	20401	1406	1897026	0.01075	0.00954	61.2	1.1
TR08-1-10	146	6	13388	805	1195861	0.01120	0.00993	63.7	1.3
						<u>Weighted mean</u>		62.2	0.6
						<u>T-W age</u>		62.5	3.7
<i>Okukurobe granite</i>									
GOK07-1	209	52	9286	526	848519	0.01094	0.00999	64.1	1.1
GOK07-2	131	56	13553	799	1146321	0.01182	0.01080	69.2	1.4
GOK07-3	90	44	56698	3067	5139289	0.01103	0.01007	64.6	0.8
GOK07-4	31	23	15228	858	1387303	0.01098	0.01002	64.3	1.6
GOK07-5	53	43	14942	1081	1349431	0.01107	0.01011	64.8	1.3
GOK07-6	85	31	69518	3461	6411199	0.01084	0.00990	63.5	1.0
GOK07-7	48	54	112903	5878	10607754	0.01064	0.00972	62.3	0.9
GOK07-8	55	4	44861	2177	4054404	0.01106	0.01010	64.8	1.9
GOK07-9	20	-2	51930	2534	4826435	0.01076	0.00982	63.0	1.5
GOK07-10	10	21	37977	1865	3507447	0.01083	0.00989	63.4	1.1
						<u>Weighted mean</u>		64.2	0.6
						<u>T-W age</u>		65.1	1.6
<i>Oshirasawa granite</i>									
GO07-1	141	52	12056	785	1070977	0.01126	0.01077	69.0	1.7
GO07-2	84	22	15427	816	1414362	0.01091	0.01043	66.9	1.7
GO07-3	115	25	23750	1216	2242568	0.01059	0.01013	65.0	2.1
GO07-4	90	32	37298	1912	3731298	0.01000	0.00956	61.3	2.0
GO07-5	56	23	27844	945	2717765	0.01025	0.00980	62.9	1.1
GO07-6	65	74	19184	1644	1756591	0.01092	0.01045	67.0	2.9
GO07-7	81	22	15885	1041	1471943	0.01079	0.01032	66.2	1.5
GO07-8	79	20	31641	1528	3129435	0.01011	0.00967	62.0	1.0
GO07-9	62	43	37183	2398	3622117	0.01027	0.00982	63.0	2.7
GO07-10	50	17	26338	1671	2630484	0.01001	0.00958	61.4	1.3
						<u>Weighted mean</u>		63.8	0.7
						<u>T-W age</u>		64.7	2.3
<i>Kanazawa granodiorite</i>									
GDK07-1	220	36	385	205	378680	0.00102	0.00101	6.5	0.6
GDK07-2	181	86	1102	695	590850	0.00187	0.00185	11.9	0.9
GDK07-3	120	86	1243	876	566314	0.00219	0.00218	14.0	8.8
GDK07-4	174	79	1226	674	1066169	0.00115	0.00114	7.3	1.4
GDK07-5	374	164	1026	472	1349261	0.00076	0.00075	4.9	0.8
GDK07-6	327	81	521	175	862235	0.00060	0.00060	3.9	0.3
GDK07-7	156	33	559	85	1404532	0.00040	0.00039	2.5	0.2
GDK07-8	183	31	324	110	631029	0.00051	0.00051	3.3	0.3
GDK07-9	61	27	380	83	915469	0.00042	0.00041	2.7	0.3
GDK07-10	41	7	252	168	586771	0.00043	0.00043	2.7	0.3
						<u>Weighted mean</u>		3.2	0.1
						<u>T-W age</u>		2.15	0.15

²⁰⁴Pb counts include both ²⁰⁴Pb and ²⁰⁴Hg because of instrumental difficulty to separate these isotopes.

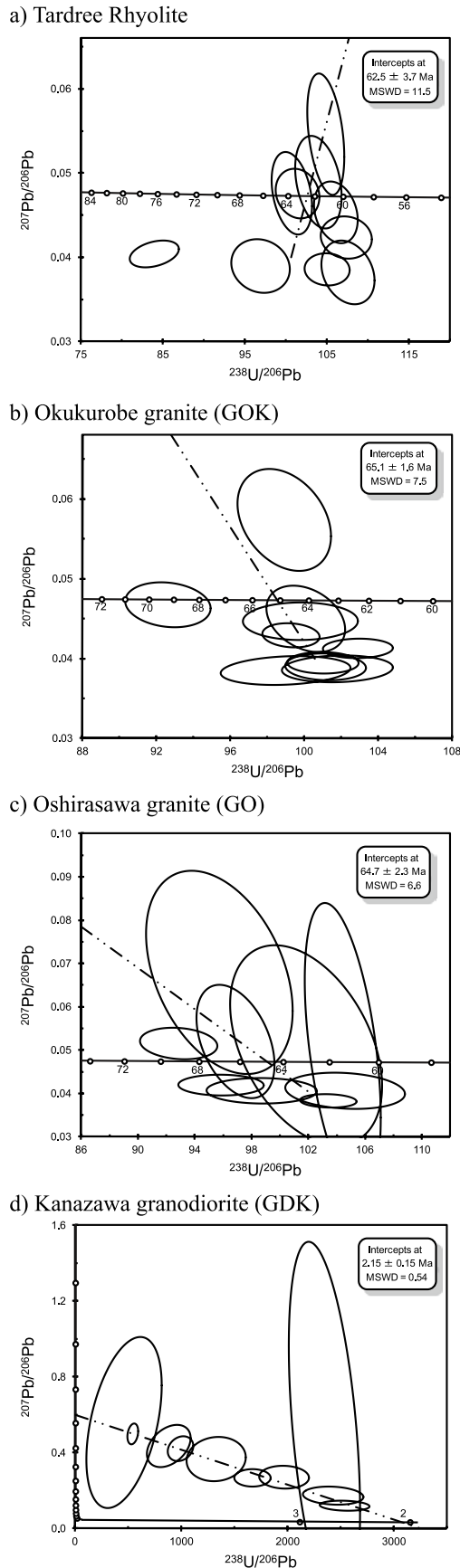


Fig. 3. Tera-Wasserburg plots for all zircon grains analyzed in this study, apart from those from the Fish Canyon Tuff.

誤差は大きくなるが、加重平均年代や推奨年代と誤差の範囲内で一致する。

奥黒部花崗岩と大白沢花崗岩はそれぞれ、加重平均年代と T-W 年代が誤差の範囲内で一致し、T-W 年代で、 65.1 ± 1.6 Ma、 64.7 ± 2.3 Ma が得られた。誤差を考慮するとこれらは約 65 Ma で一致する年代を示す。

金沢花崗閃緑岩の T-W 年代として、測定した 10 個すべての粒子を用いた場合、 2.15 ± 0.15 Ma が得られた。この試料の個々の粒子年代は 2.5~14.0 Ma とばらつきが大きく、T-W 年代よりも古い。したがって、加重平均年代 (3.2 ± 0.1 Ma) も T-W 年代よりも古い。Tera-Wasserburg plot (Fig. 3) から、年代値が古い方にばらつくのは、個々の粒子が様々な程度に Pb 汚染を被っているためであることが明瞭に示されている。したがって、加重平均年代 (3.2 ± 0.1 Ma) は、このことが考慮されておらず、不正確であり、この場合、T-W 年代を採用すべきであると判断される。なお、伊藤ほか (2010) では、 ^{204}Pb 値で Pb 汚染の程度を評価した。この方法は、ある程度の目安にはなる (例えば、Table 2 で ^{204}Pb 値の低い GDK07-9 や GDK07-10 は若い年代を示す) が、Pb 汚染の影響が視覚的に判断でき、その影響を考慮した年代が得られる Tera-Wasserburg plot (Fig. 3) による評価の方が優れていると判断される。

考 察

今回得られた U-Pb 年代と既存の年代測定結果等から、高瀬川断層周辺に分布する花崗岩質岩の生成・冷却史に関して、以下の考察を行った。なお、以下では、Pb 汚染の影響を除いた年代値である T-W 年代で議論を行う。

1. 奥黒部花崗岩

奥黒部花崗岩から、今回、ジルコンの U-Pb 年代として 65.1 ± 1.6 Ma が得られた。同じ試料から、角閃石 K-Ar 年代、黒雲母 K-Ar 年代、ジルコン FT 年代として、それぞれ 59.2 ± 6.0 Ma、 61.7 ± 6.2 Ma、 54.1 ± 7.4 Ma が得られている (Ito and Tanaka, 1999)。また、山田 (1999) によると、本試料採取地点付近の奥黒部花崗岩のアパタイト FT 年代は 0 Ma であるとのことであり、これを採用する。以上から、奥黒部花崗岩の冷却曲線は Fig. 4 のように求まる。同花崗岩は 65 Ma 頃に貫入し、50 Ma 頃までにジルコンの閉鎖温度である 240 °C 程度まで冷却後、恐らく 1 Ma 頃までは徐冷したものと判断される。閉鎖温度が約 100 °C のアパタイト FT 年代がゼロであることから、ごく最近 (1 Ma 程度) に地温 100 °C 以上の状態から地表面温度まで急冷したものである。Ito and Tanaka (1999) では、奥黒部花崗岩の 200 °C 以下の冷却パターンとして A パターン (100 °C 付近から急冷) と B パターン (200 °C 以下は徐冷) を示したが、アパタイト FT 年代は A パターンを支持している。

2. 大白沢花崗岩

大白沢花崗岩から、今回、ジルコンの U-Pb 年代として 64.7 ± 2.3 Ma が得られた。同じ試料から、黒雲母 K-Ar 年代、ジルコン FT 年代として、それぞれ 2.13 ± 0.68 Ma、 1.6 ± 0.4 Ma が得られている (Ito and Tanaka, 1999)。ま

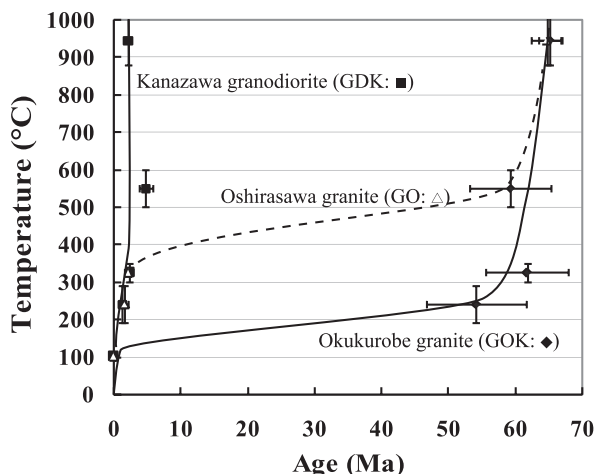


Fig. 4. Inferred cooling curves for plutonic rocks in the Hida Mountain Range. Each horizontal bar represents the $\pm 2\sigma$ error. Closure temperatures adopted are as follows: U-Pb zircon ($880\text{--}1010^\circ\text{C}$) from Sano et al. (2002), K-Ar hornblende ($550 \pm 50^\circ\text{C}$) from Villa et al. (1996), K-Ar biotite ($325 \pm 25^\circ\text{C}$) from Harrison et al. (1985), FT zircon ($240 \pm 50^\circ\text{C}$) from Hurford (1986), and FT apatite (ca. 100°C) from Naeser (1981).

た、山田(1999)を参考にアパタイト FT 年代を 0 Ma と仮定する。以上から、大白沢花崗岩の冷却曲線を Fig. 4 のように推定した。同花崗岩は、奥黒部花崗岩と同時期の 65 Ma 頃に貫入したが、その後の冷却過程は大きく異なる。すなわち、黒雲母 K-Ar 年代とジルコン FT 年代は、それぞれ誤差は大きいものの 2 Ma 程度の年代を示し、これらの閉鎖温度から、大白沢花崗岩が 300°C 程度に冷却した時期は約 2 Ma である。なお、大白沢花崗岩の角閃石 K-Ar 年代は得られていないため、同花崗岩が $500\text{--}600^\circ\text{C}$ 程度に冷却した時期は不明であるが、同花崗岩は、貫入直後は、奥黒部花崗岩と同様の冷却を被ったと推定した(この推定は根拠に乏しいため、Fig. 4 では破線で示した)。

U-Pb 年代測定を行った大白沢花崗岩は、高瀬川断層の東側で採取したものであり、石英の流動変形を伴うマイロナイト構造を示す(Fig. 5a)ことから、高瀬川断層の東側で、地下深部の花崗岩が断層運動により、約 2 Ma 以降に急激な隆起・削剝を受けたことを強く示唆する。約 2 Ma 以降の地温 300°C 付近からの急激な冷却は、1.3 Ma 以降の飛騨山脈東半部における傾動・隆起説(原山ほか, 2003)と調和的である。本調査地域の南に位置する第四紀の滝谷花崗閃緑岩においてもマイロナイト構造が認められている(原山ほか, 2003)ことも併せて考えると、大白沢花崗岩のマイロナイトの形成は約 2 Ma 以降と考えられる。また、高瀬川断層は、2 Ma 以降に活動し、現在は活動を終えた断層であることを示すものと考えられる。

3. 金沢花崗閃緑岩

金沢花崗閃緑岩(唐沢岩体)から、今回、ジルコンの U-Pb 年代として 2.15 ± 0.15 Ma が得られた。同じ試料から、角閃石 K-Ar 年代、黒雲母 K-Ar 年代、ジルコン FT 年代とし

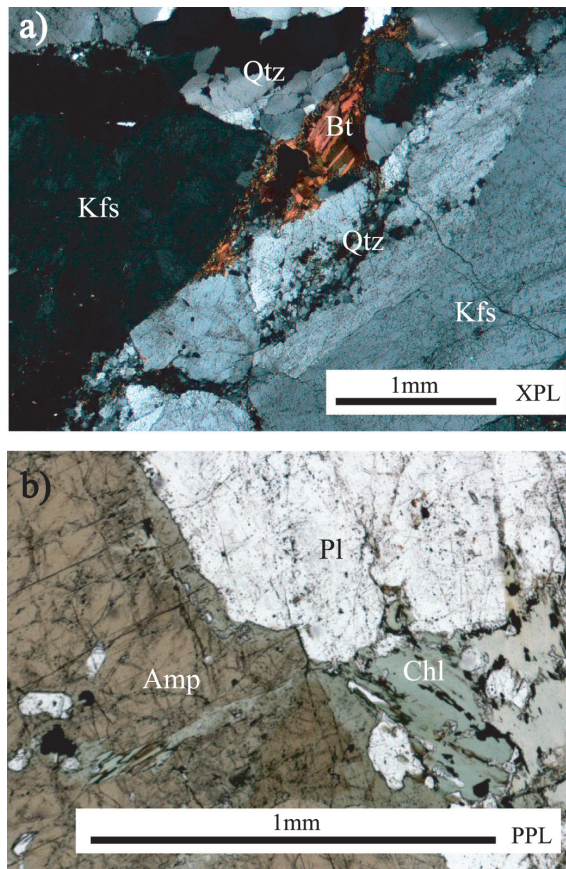


Fig. 5. Photomicrographs of plutonic rocks from the Hida Mountain Range. (a) Oshirasawa granite: Quartz crystals are recrystallized and fluidized, and biotite crystals have an elongate habit, due to mylonitization. (b) Kanazawa granodiorite: Biotite crystals show near complete chloritization. PPL and XPL indicate whether the images were taken in plane- or cross-polarized light, respectively. Qtz: quartz, Kfs: K-feldspar, Pl: plagioclase, Bt: biotite, Amp: amphibole, Chl: chlorite.

て、それぞれ 4.7 ± 1.0 Ma, 2.28 ± 0.36 Ma, 1.2 ± 0.6 Ma が得られている(Ito and Tanaka, 1999)。また、山田(1999)を参考に金沢花崗閃緑岩のアパタイト FT 年代は 0 Ma と仮定する。このうち、角閃石 K-Ar 年代は、ジルコンの U-Pb 年代よりも古く、閉鎖温度との関係が逆転している。これは、角閃石中に取り込まれた過剰 Ar により、見かけ上古い年代が得られたためであると判断する。以上から、金沢花崗閃緑岩の冷却曲線は Fig. 4 のように求まる。同花崗閃緑岩は、2.2 Ma 頃に貫入後、地表面温度まで急激に冷却したことが明らかになった。

金沢花崗閃緑岩は、角閃石黒雲母花崗閃緑岩を主体とし、そのうち、唐沢岩体はトーナル岩が卓越するとされる(原山ほか, 1991)が、今回 U-Pb 年代測定を行った試料は、黒雲母よりも角閃石を多く含み、閃緑岩の様相を呈する。また、黒雲母の緑泥石化や熱水脈を伴っており、貫入後の地殻変動を反映していると考えられる(Fig. 5b)。今年年代測定を行った試料が、金沢花崗閃緑岩を代表するとは言い難いが、少な

くとも、高瀬川断層の東側で 2.2 Ma 頃に深成岩を生成するマグマ活動があったことは確からしい結果が得られた。

飛騨山脈は鮮新世以降 2 回の隆起イベントがあったとされる(山田, 1999; 原山ほか, 2003)。このうち、原山ほか(2003)は、2.7~1.5 Ma 頃にマグマの貫入があったとしているが、今回の金沢花崗閃緑岩のマグマの貫入時期(2.2 Ma 頃)は、原山ほか(2003)の主張を支持する結果と考えられる。

ま と め

LA-ICP-MS によるジルコンの U-Pb 年代として、個々の粒子年代の加重平均による年代と Tera-Wasserburg plot から得られる年代(T-W 年代)を求めた。その結果、両者は概ね一致する年代を示したが、第四紀の年代を示す金沢花崗閃緑岩では、加重平均年代よりも T-W 年代の方が Pb 汚染の影響を考慮した信頼性の高い年代が得られることが示された。

高瀬川断層を挟んだ奥黒部花崗岩と大白沢花崗岩は、両者ともに約 65 Ma に貫入したことが推定された。同断層の東側に位置する大白沢花崗岩は約 2 Ma 以降に、地温 300 °C 程度の深所から急激に隆起・剝削を受けたこと、この過程で同花崗岩はマイロナイト化作用を受けたこと、さらに、高瀬川断層はこの頃に活動し、現在は活動を終えた断層であることが推定された。

金沢花崗閃緑岩は約 2.2 Ma に貫入したことが推定された。飛騨山脈において、放射年代測定により確認された、地表に露出する第四紀の深成岩は滝谷花崗閃緑岩に次いで二例目となる。金沢花崗閃緑岩は緑泥石化を被っていることから、高瀬川断層の東側で 2.2 Ma 頃に深成岩を生成するマグマ活動があり、その後緑泥石化を及ぼす地殻変動を経て、現在、地表に露出するに至ったことが推定された。

謝 辞

Tera-Wasserburg plot の作成および T-W 年代の計算には、Berkeley Geochronology Center の K. R. Ludwig 博士の開発したプログラムである Isoplot/Ex rev. 2.49 を使用した。本稿を改善する上で、査読者である信州大学の原山智教授および産業技術総合研究所の昆慶明博士から多くの有益なご指摘を頂いた。以上の方々に記してお礼申し上げます。

文 献

- Chew, D., Ganerod, M., Troll, V., Corfu, F. and Meade, F., 2008, U-Pb TIMS zircon age constraints on the Tardree Rhyolite zircon fission track standard. *On Track*, **16**, Issue 31.
- Cocherie, A., Fanning, C. M., Jezequel, P. and Robert, M., 2009, LA-MC-ICPMS and SHRIMP U-Pb dating of complex zircons from Quaternary tephros from the French Massif Central: Magma residence time and geochemical implications. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **73**, 1095–1108.
- Compston, W. and Pidgeon, R. T., 1986, Jack Hills, evidence of more very old detrital zircons in Western Australia. *Nature*, **321**, 766–769.
- Froude, D. O., Ireland, T. R., Kinny, P. D., Williams, I. S. and Compston, W., 1983, Ion microprobe identification of 4,100–4,200 Myr-old terrestrial zircons. *Nature*, **304**, 616–618.
- 原山 智・竹内 誠・中野 俊・佐藤 岱生・滝沢文教(Harayama, S., Takeuchi, M., Nakano, S., Sato, T. and Takizawa, F.), 1991, 槍ヶ岳地域の地質。地域地質研究報告(5 万分の 1 地質図幅) (*Geology of the Yurigatake District. with Geological Sheet Map at 1:50000*), 地質調査所(Geol. Surv. Japan), 190p.
- 原山 智・高橋 浩・中野 俊・苅谷愛彦・駒沢正夫(Harayama, S., Takahashi, Y., Nakano, S., Kariya, Y. and Komazawa, M.), 2000, 立山地域の地質。地域地質研究報告(5 万分の 1 地質図幅) (*Geology of the Tateyama District. with Geological Sheet Map at 1:50000*), 地質調査所(Geol. Surv. Japan), 218p.
- 原山 智・大藪圭一郎・深山裕永・足立英彦・宿輪隆太(Harayama, S., Ohyabu, K., Miyama, Y., Adachi, H. and Shukuwa, R.), 2003, 飛騨山脈東半部における前期更新世後半からの傾動・隆起運動。第四紀研究(*Quatern. Res.*), **42**, 127–140.
- 原山 智・高橋正明・宿輪隆太・板谷徹丸・八木公史(Harayama, S., Takahashi, M., Shukuwa, R., Itaya, T. and Yagi, K.), 2010, 黒部川沿いの高温泉と第四紀黒部川花崗岩。地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **116** 補遺(Supplement), 63–81.
- Harrison, T. M., Duncan, I. and McDougall, I., 1985, Diffusion of ⁴⁰Ar in biotite: Temperature, pressure and compositional effects. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **49**, 2461–2468.
- Hurford, A. J., 1986, Cooling and uplift patterns in the Lepontine Alps South Central Switzerland and an age of vertical movement on the Insubric fault line. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **92**, 413–427.
- Ito, H. and Tanaka, K., 1999, Radiometric age determination on some granitic rocks in the Hida Range, central Japan: Remarkable age difference across a fault. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **105**, 241–246.
- 伊藤久敏・倉橋克聡・田村明弘・千田太詩・荒井章司・森下知見(Ito, H., Kurahashi, K., Tamura, A., Chida, T., Arai, S. and Morishita, T.), 2009, LA-ICP-MS を用いたジルコンの FT 用年代標準試料の U-Pb 年代測定: Nd-YAG レーザーとエキシマレーザーの比較。フィッション・トラックニュースレター(*Fission Track Newslet.*), **22**, 11–19.
- 伊藤久敏・田村明弘・森下知見・荒井章司(Ito, H., Tamura, A., Morishita, T. and Arai, S.), 2010, 野島断層およびその周辺の花崗岩質岩から得られたジルコンの U-Pb および FT 年代: LA-ICP-MS による U-Pb 年代測定法の新たな展望。地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **116**, 544–551.
- 活断層研究会編(The Research Group for Active Faults, ed.), 1991, 新編日本の活断層: 分布図と資料(*Active Faults in Japan, New Edition: distribution map and the related materials*). 東京大学出版会(Univ. Tokyo Press), 437p.
- Mezger, K. and Krogstad, E. J., 1997, Interpretation of discordant U-Pb zircon ages: an evaluation. *Jour. Metam. Geol.*, **15**, 127–140.
- Naeser, C. W., 1981, The fading of fission-tracks in the geological environment: Data from deep drill holes. *Nucl. Tracks Radiation Meas.*, **5**, 248–250.
- 緒方正彦・宮腰勝義・志田原 巧・田中和広(Ogata, S., Miyakoshi, K., Shidahara, T. and Tanaka, K.), 1983, 黒部川中流域地熱帯の地質。電力中央研究所報告(*Central Res. Inst. Electric Power Industry Rep.*), 382032, 27p.
- 及川輝樹(Oikawa, T.), 2003, 飛騨山脈の隆起と火成活動の時空的関連。第四紀研究(*Quatern. Res.*), **42**, 141–156.
- 及川輝樹・和田 肇(Oikawa, T. and Wada, H.), 2004, 飛騨山脈北部における 1 Ma 頃の急激な隆起: 北部フォッサマグナ西縁, 居谷里層の礫組成を指標として。地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **110**, 528–535.
- Sano, Y., Tsutsumi, Y., Terada, K. and Kaneoka, I., 2002, Ion microprobe U-Pb dating of Quaternary zircon: implication for magma cooling and residence time. *Jour. Volcanol. Geo-*

- therm. Res.*, **117**, 285–296.
- Schmitz, M. D. and Bowring, S. A., 2001, U-Pb zircon and titanite systematics of the Fish Canyon Tuff: an assessment of high-precision U-Pb geochronology and its application to young volcanic rocks. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **65**, 2571–2587.
- 新正裕尚・和田穰隆・折橋裕二・角井朝昭・中井俊一 (Shinjoe, H., Wada, Y., Orihashi, Y., Sumii, T. and Nakai, S.), 2003, 岩脈中の花こう岩質包有物のジルコン U-Pb 年代から推定される奈良県吉野地域の中央構造線南方に伏在する中新世花こう岩質岩体. *地質雑* (*Jour. Geol. Soc. Japan*), **109**, 689–696.
- Tani, K., Dunkley, D. J., Kimura, J.-I., Wysoczanski, R. J., Yamada, K. and Tatsumi, Y., 2010, Syncollisional rapid granitic magma formation in an arc-arc collision zone: Evidence from the Tanzawa plutonic complex, Japan. *Geology*, **38**, 215–218.
- Tera, F. and Wasserburg, G. J., 1972, U-Th-Pb systematics in three Apollo 14 basalts and the problem of initial Pb in lunar rocks. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **14**, 281–304.
- Villa, I. M., Grobety, B., Kelley, S. P., Trigila, R. and Wieler, R., 1996, Assessing Ar transport paths and mechanisms for McClure Mountains Hornblende. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **126**, 67–80.
- 山田隆二 (Yamada, R.), 1999, フィッショントラック法による北アルプス花崗岩類の冷却史解析. *月刊地球* (*Chikyū Monthly*), **21**, 803–810.

(要 旨)

伊藤久敏・田村明弘・森下知晃・荒井章司, 2012, 飛騨山脈の深成岩マグマの貫入時期とテクトニクス— LA-ICP-MS によるジルコンの U-Pb 年代測定法の適用—. *地質雑*, **118**, 449–456. (Ito, H., Tamura, A., Morishita, T. and Arai, S., 2012, Timing of some plutonic intrusions and tectonics in the Hida Mountain Range: An application of LA-ICP-MS U-Pb dating on zircons. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **118**, 449–456.)

飛騨山脈のいくつかの深成岩に対し、LA-ICP-MS によるジルコンの U-Pb 年代測定を行った。対象とした試料は Ito and Tanaka (1999) により、高瀬川断層を挟んで冷却年代に顕著な差が見られた試料である。U-Pb 年代測定の結果、高瀬川断層の西側に分布する奥黒部花崗岩で 65.1 ± 1.6 Ma、同断層の東側に分布する大白沢花崗岩で 64.7 ± 2.3 Ma が得られたことから、両者は約 65 Ma のほぼ同時期に貫入したことが分った。大白沢花崗岩にはマイロナイト構造が認められ、2 Ma 以降の急激な断層運動による隆起・削剥を反映したものと推定した。高瀬川断層の東側に分布する金沢花崗閃緑岩の U-Pb 年代として 2.15 ± 0.15 Ma が得られ、同花崗閃緑岩は第四紀に貫入した深成岩であることが分った。飛騨山脈において、放射年代測定により確認された、地表に露出する第四紀の深成岩は、滝谷花崗閃緑岩について二例目となる。