

関東山地東縁部, 白亜系高岡層の石灰質砂岩から得られた碎屑性ジルコン U-Pb 年代

原 英俊^{1,*}

HARA Hidetoshi (2020) Detrital zircon U-Pb age estimated from calcareous sandstone of the Cretaceous Takaoka Formation in eastern margin of the Kanto Mountains. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, vol. 71 (6), p. 509-516, 5 figs, 2 tables.

Abstract: U-Pb dating of detrital zircons were analyzed from a calcareous sandstone of the Lower Cretaceous Takaoka Formation, distributed in the eastern margin of the Kanto Mountains. The youngest single grain age and the youngest cluster age were estimated to be 109.7 ± 0.8 Ma and 110.0 ± 1.0 Ma, respectively. Both ages represent the early Albian, suggesting that the Takaoka Formation deposited after the early Albian. In addition, the calcareous sandstone of the Takaoka Formation is characterized by abundant content of Permian to Triassic zircons (276-240 Ma). Based on detrital zircon U-Pb age and sandstone lithology, the Permian to Triassic granitic rocks and the Chichibu accretionary complex were widely distributed in provenance of the Takaoka Formation. The Takaoka Formation corresponds to the Sanyama Formation in the Sanchu Cretaceous System. However, both formations present different peak spectra of detrital zircon U-Pb ages, and are characterized by different provenances.

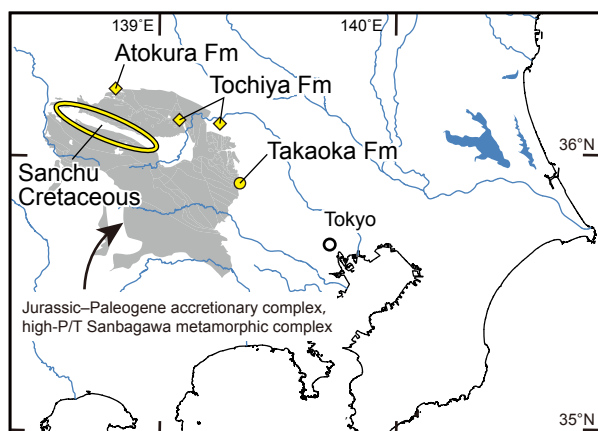
Keywords: detrital zircon, U-Pb dating, calcareous sandstone, Takaoka Formation, Cretaceous, Kanto Mountains

要 旨

関東山地東縁部に分布する下部白亜系高岡層の石灰質砂岩より, 碎屑性ジルコンのU-Pb年代測定を行った. U-Pb年代の最若粒子年代及び最若ピーク年代は, 109.7 ± 0.8 Ma及び 110.0 ± 1.0 Maが得られた. これらはともにアルビアン期前半を示し, 高岡層がアルビアン期前半以降に堆積したことを示唆する. また高岡層の石灰質砂岩は, ペルム紀~三畳紀(276~240 Ma)のジルコンを多く含むことを特徴とする. 碎屑性ジルコン年代及び砂岩の岩相より, 高岡層の後背地には, ペルム紀~三畳紀の花崗岩類と秩父帯付加コンプレックスが分布していたと考えられる. 堆積年代より高岡層は, 山中白亜系の三山層^{さんちゆうさんやま}に対比される. しかし両層は, ジルコンのピーク年代スペクトルの特徴に違いが認められ, 異なる後背地によって特徴づけられる.

1. はじめに

関東山地には山中地溝帯の白亜系(以後, 山中白亜系)を始めとし, 下部白亜系の浅海成~汽水成堆積物が点在して分布する(第1図). 山中白亜系は, その大部分が物部川層群に対比され, 秩父帯付加コンプレックスを不整合で覆い, 下位より白井層・石堂層・瀬林層・三山層



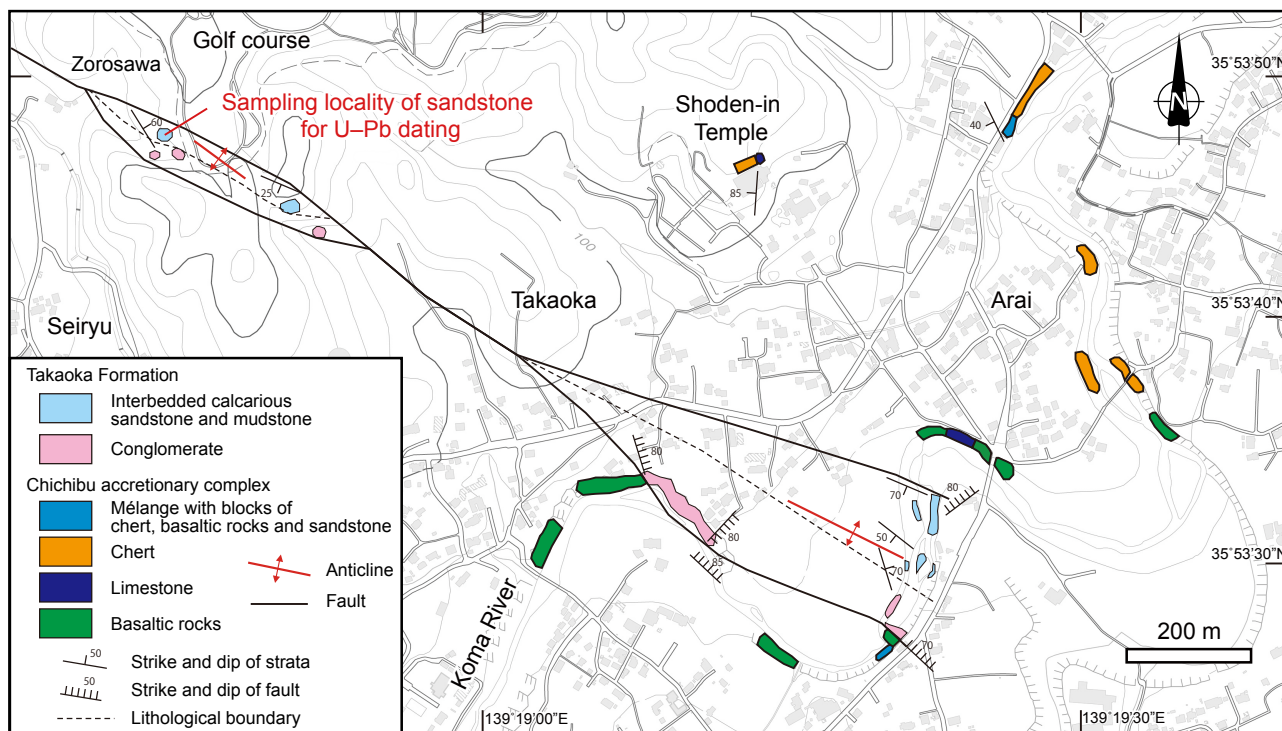
第1図 関東山地における白亜系の分布位置.
灰色の範囲は, ジュラ紀~古第三紀付加コンプレックス及び低温高压型三波川変成コンプレックスの分布域を示す.

Fig. 1 Location of distribution of the Cretaceous System in the Kanto Mountains.

Grey areas present distribution area of the Jurassic to Paleogene accretionary complex and the high-P/T Sanbagawa metamorphic complex.

¹ 産業技術総合研究所 地質調査総合センター 地質情報研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Research Institute of Geology and Geoinformation)

* Corresponding author: HARA, H., Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan. Email: hara-hide@aist.go.jp



第2図 高岡層分布域のルートマップ。

基図は国土地理院地図 (<https://maps.gsi.go.jp/#18/35.893822/139.318952>) を使用した。

Fig. 2 Route map around distributed area of the Takaoka Formation.

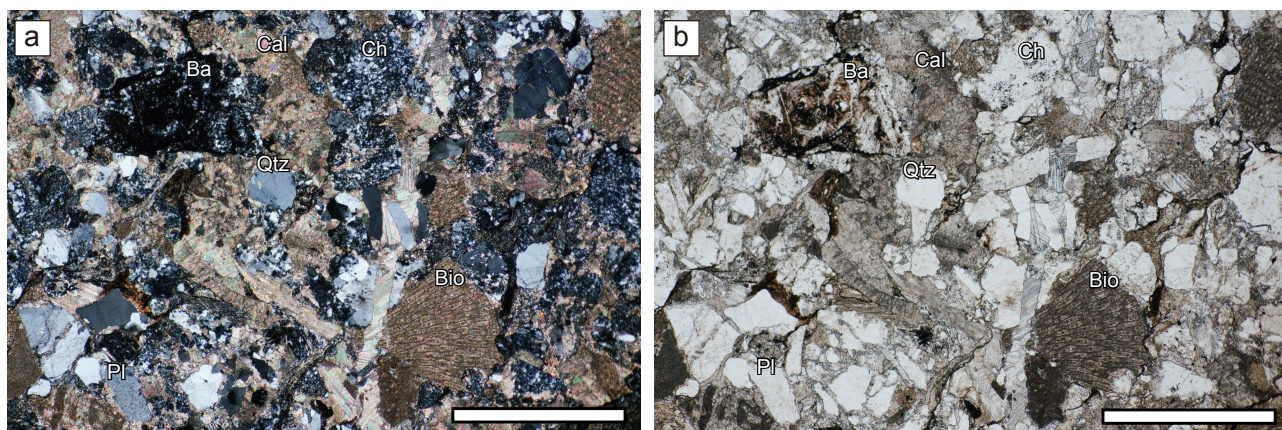
Topographic map is based on the GSI Maps (<https://maps.gsi.go.jp/#18/35.893822/139.318952>).

に区分されている(例えば, Matsukawa, 1983; 松川・富島, 2009)。また関東山地の北縁部においては, 三波川変成コンプレックスと秩父帯付加コンプレックスに対してクリッペで重なる跡倉層(例えば, 新井・高木, 1998), 北東縁部には跡倉層に対比される栃谷層(例えば, 小坂, 1979)が知られている。そして近年, 碎屑性ジルコン年代による後背地解析により, 山中白亜系は前弧海盆及び島弧内盆地, 跡倉層・栃谷層は背弧海盆及び島弧内盆地に堆積場をもつ地質体として議論されている(中畑ほか, 2015, 2016)。また関東山地東縁部には, 山中白亜系に対比されている高岡層が分布する(石井・田口, 1986)。高岡層は, 石灰藻や有孔虫化石を多産するが, その分布範囲は狭く, 約80 mの層厚をなすのみで, その層序や堆積場などの情報が欠如している。本報告では, 高岡層の石灰質砂岩を対象に碎屑性ジルコン年代を測定し, 堆積年代の推定を行うとともに, 年代スペクトルより後背地について考察を行う。

2. 高岡層

関東山地東縁部, 埼玉県日高市の高麗川河床における白亜系の存在は, 渋谷・堀口(1967)によって示された。この白亜系は, 岩相や砂岩に含有される石灰藻化石の構成や産状から, 山中白亜系に対比される可能性が指

摘された(渋谷・堀口, 1967)。さらに松丸ほか(1976)は, 石灰質砂岩より大型有孔虫のオルビトリナ化石を見出し, 高麗川河床の白亜系の堆積年代は, アプチアン期～アルビアン期を示すことを明らかにした。また松丸ほか(1979)では, この白亜系に対して, 高麗オルビトリナ層の名称を与えた。一方, 石井・田口(1983, 1986)は, 日高市高岡付近の高麗川流域及び北西の高岡沢・ゾロ沢で, 礫岩と砂岩泥岩互層が分布することを明らかにし, この白亜系を新たに高岡層と命名・定義した。また石井・田口(1988)は, 高岡層の礫岩についてとりまとめ, さらに基盤である秩父帯付加コンプレックスと不整合の関係であることを指摘している。本報告では, 石井・田口(1986)に従い, 日高市高岡付近に分布する白亜系について高岡層の名称を用いる。高岡層は, 礫岩から構成される下部層と, これに整合で重なる砂岩泥岩互層からなる上部層に区分される(石井・田口, 1986)。高岡層分布域のルートマップを第2図に示す。下部の礫岩は, チャート・玄武岩・砂岩・石灰岩の礫から構成され, 一般に礫支持である。礫種構成比として, チャート(40%)・砂岩(20%)・泥岩(5%)・火山岩(3%)・生物化石片(32%)の報告がある(松岡, 2020)。これらの礫の多くは, 垂円～垂角の円摩度を示し, 細礫～大礫の大きさである。上部の砂岩泥岩互層は, 石灰質砂岩及び石灰質泥岩より構成され礫



第3図 高岡層の石灰質砂岩の顕微鏡写真。

(a) クロスニコル。(b) オープンニコル。Ba: 玄武岩岩片, Bio: 石灰藻, Cal: 方解石, Ch: チャート岩片, Pl: 斜長石, Qtz: 石英。スケールバーの長さは1 mm。

Fig. 3 Photomicrograph of calcareous sandstone from the Takaoka Formation.

(a) Crossed polarized light. (b) Plane polarized light. Ba: Rock fragment of basalt, Bio: Bioclast of calcareous algae, Cal: Calcite, Ch: Rock fragment of chert, Pl: Plagioclase, Qtz: Quartz. Length of scale bar is 1 mm.

岩を挟在する。石灰質砂岩は、方解石粒子ないし基質や生物片が50%以上の割合を占め、中粒～粗粒な碎屑粒子を伴う砂岩である。碎屑粒子として、チャートの岩片を多く含み、石英、長石、堆積岩の岩片、まれに玄武岩の岩片も認められる。碎屑性ジルコンU-Pb年代測定のために、石灰質砂岩の鏡下観察を基に、方解石及び生物片の含有量が比較的少ないゾロ沢の上流に分布する石灰質砂岩を採取試料の中から選択した(第3図)。

なお高岡層は、秩父帯付加コンプレックスを不整合で覆うとされている(石井・田口, 1986)。一方、高岡層と秩父帯付加コンプレックスの境界において、断層関係を示唆する破碎帯の存在も指摘されている(指田, 1992)。本報告では、これら既存研究と観察された断層を基に、高岡層と秩父帯付加コンプレックスの関係は不整合だけでなく断層で接していると判断した。

3. 碎屑性ジルコンの U-Pb 年代

3.1 測定手法

U-Pb年代測定で用いた結合誘導プラズマ質量分析装置(Inductively coupled plasma - mass spectrometry, ICP-MS)及びレーザーアブレーション(Laser ablation, LA)は、東京大学大学院理学系研究科地殻化学実験施設のNu Plasma II (Nu Instruments社製)及びAnalyte Excite (Photon Machines社製)を用いて行った。分析条件は、波長を193 nm, レーザー密度を3.0 J/m², 周波数を4 Hz, 照射時間を20秒, クレーター径を20 μmとした。なお分析条件の詳細は、第1表に記した。1次標準試料として、91500ジルコン(Wiedenbeck *et al.*, 1995)を用い、年代測定結果の評価のため、2次標準試料として337.1 ± 0.4 Maの

Plešovice (Sláma *et al.*, 2008)及び33 ± 0.41MaのOD-3 (岩野ほか, 2012, Iwano *et al.*, 2013)の分析を行った。2次標準試料の²³⁸U-²⁰⁶Pb年代の変動幅と加重平均値はそれぞれ348 ~ 333 Ma (339.1 ± 8.2 Ma)及び34 ~ 32 (32.8 ± 0.7 Ma)を示し、文献値から2.5%の誤差範囲以内に収まっている。

3.2 年代測定結果

ジルコン年代測定は、石灰質砂岩から抽出したジルコン60粒子に対して行った。測定で得られたジルコンの同位体比、²³⁸U-²⁰⁶Pb年代、²³⁵U-²⁰⁷Pb年代を第2表に示す。²³⁸U-²⁰⁶Pb年代及び²³⁵U-²⁰⁷Pb年代が2σの誤差範囲で重複する場合をコンコールドなデータとした。なおディスコンコールドなデータは、²³⁵U-²⁰⁷Pb年代が1763 Maを示す1粒子のみであった。本報告では、コンコールドデータを示す59粒子の²³⁸U-²⁰⁶Pb年代を採用し、Isoplot/Ex4.15 (Ludwig, 2012)を用いてデータ解析を行った。そして、コンコルディア図、相対確率分布図及びヒストグラムを第4図に示した。なお年代値の測定誤差は、すべて2σで表した。

高岡層の石灰質砂岩より得られた²³⁸U-²⁰⁶Pb年代は、400 Maより若い年代から構成される。ペルム紀～三畳紀の276 ~ 240 Maを示すジルコンが多く、その割合は全体の73%に達する。その他に、デボン紀～前期石炭紀の388 Ma ~ 334 Ma, 最後期三畳紀～中期ジュラ紀の210 ~ 170 Maを示すジルコンが、それぞれ7%と15%含まれる。白亜紀の年代が3粒子から求められ、これらは126.0 ± 0.9, 112.3 ± 2.2, 109.7 ± 0.8 Maを示す。このうち年代値の若い2粒子は、測定誤差1σの範囲で重なり、最若

第1表 LA-ICPMSによるU-Pb年代の測定条件.

Table 1 Operating condition of U-Pb dating by LA-ICPMS.

Parameters	Value/Description
Laser ablation	
Model	Analyte Excite (Photon Machines)
Laser type	Excimer laser
Pulse duration	< 4 ns
Wave length	193 nm
Laser power	39%
Energy density	3 J/cm ²
Spot size	20 μm
Repetition rate	4 Hz
Duration of laser ablation	20 s
Flow rate of carrier gas (He)	0.80 L min ⁻¹
ICP-MS	
Model	Nu Plasma II (Nu Instruments)
ICPMS type	Multi-collector
Forward power	1300 W
Flow rate of carrier gas (Ar)	0.98 L min ⁻¹
ThO ⁺ /Th (oxide ratio)	< 1%
Data acquisition protocol	Time-resolved analysis
Data acquisition	~30 s (~15 s gas blank, ~15 s ablation)
Monitor isotopes	²⁰² Hg, ²⁰⁴ Pb, ²⁰⁶ Pb, ²⁰⁷ Pb, ²⁰⁸ Pb, ²³² Th, ²³⁸ U
Standards	
Primary standard	Nancy 91500 (610.0 ± 0.9 Ma, Wiedenbeck <i>et al.</i> , 1995)
Secondary standard	Plešovice (337.1 ± 0.4 Ma, Sláma <i>et al.</i> , 2008) OD-3 (33.0 ± 0.1 Ma, Iwano <i>et al.</i> , 2012, 2013)

粒子集団とみなすことができ、これら粒子の加重平均値として110.0 ± 1.0 Maを得た。

4. 堆積年代の解釈

高岡層の石灰質砂岩は、石灰藻化石を多産し、有孔虫化石を含み、またサング・ウニ・二枚貝などの生物片を含むことが知られている(渋谷・堀口, 1967; 松丸ほか, 1976; 石井・田口, 1986)。特に、大型有孔虫のオルビトリナ化石の産出年代により、高岡層の堆積年代はアプチアン期~アルビアン期とされた(松丸ほか, 1976)。一方、石井・田口(1986)は、アンモナイト化石による生層序が進んだ東北及び西南日本に分布する下部白亜系との対比を行い、高岡層の堆積年代はアプチアン期後半~アルビアン期前半になるとした。高岡層の石灰質砂岩より得られた碎屑性ジルコンの最若粒子年代は109.7 ± 0.8 Ma、最若ピーク年代は110.0 ± 1.0 Maで、ともにアルビアン期前半を示す。碎屑性ジルコンU-Pb年代は堆積年代の下限についての情報をもたらすため、高岡層の堆積

年代はアルビアン期前半以降と考えられる。この年代は、オルビトリナ化石の産出年代の範囲であり、かつ石井・田口(1986)による白亜系の対比から考察した堆積年代ともほぼ一致する。したがって本報告では、高岡層の堆積年代をアルビアン期前半とする。

5. 山中白亜系との対比

高岡層は、山中白亜系の南東延長部に分布することから、山中白亜系と層序学的関係があることが指摘されていた(松丸ほか, 1976)。渋谷・堀口(1967)は、石灰藻化石の種構成と産状の類似性から、高岡層は宮古統に対比されることを指摘した。さらに松丸ほか(1976)は、オルビトリナ化石の産出も含め山中白亜系の石堂層下部に対比されるとした。一方、石井・田口(1986)によれば、白亜系の対比により、高岡層は山中白亜系の瀬林層上部ないし三山層下部に相当する。ただし瀬林層は淡水~汽水成堆積物であるので、海成堆積物である高岡層は三山層下部のみに対比される。三山層は、産出するアンモナイ

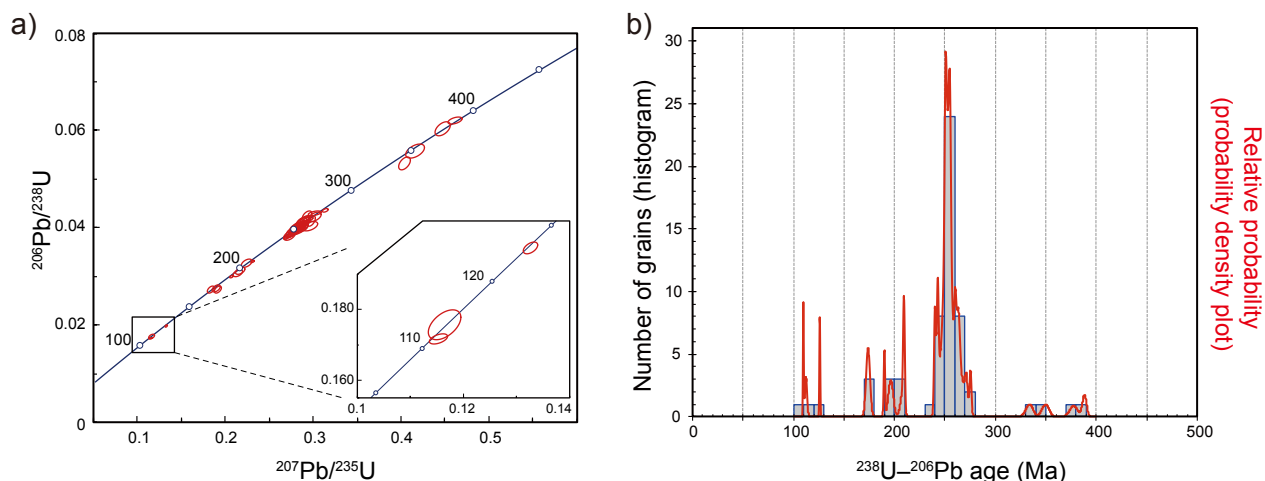
関東山地，高岡層の碎屑性ジルコン年代（原）

第2表 LA-ICPMSによる石灰質砂岩におけるジルコン粒子のU-Pb同位体データ。

Table 2 U-Pb isotope data for zircon crystals of calcareous sandstone determined by LA-ICPMS.

No.	Isotopic ratios			Th/U	Age (Ma)			Remarks	
	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	2σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		2σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	2σ		
1	0.0510 ± 0.0007		0.0418 ± 0.0004		0.2942 ± 0.0044	0.85	264.1 ± 2.7	261.9 ± 4.4	
2	0.0539 ± 0.0007		0.0621 ± 0.0006		0.4615 ± 0.0066	0.78	388.3 ± 4.0	385.3 ± 6.7	
3	0.0505 ± 0.0007		0.0416 ± 0.0004		0.2899 ± 0.0048	0.47	262.7 ± 2.7	258.5 ± 4.9	
4	0.0509 ± 0.0008		0.0430 ± 0.0004		0.3016 ± 0.0057	0.64	271.2 ± 2.8	267.6 ± 5.8	
5	0.0508 ± 0.0013		0.0399 ± 0.0008		0.2792 ± 0.0046	0.60	252.0 ± 5.3	250.0 ± 4.7	
6	0.0509 ± 0.0013		0.0396 ± 0.0008		0.2780 ± 0.0043	0.63	250.5 ± 5.2	249.1 ± 4.4	
7	0.0523 ± 0.0013		0.0413 ± 0.0008		0.2979 ± 0.0042	0.49	261.0 ± 5.5	264.7 ± 4.2	
8	0.0513 ± 0.0013		0.0403 ± 0.0008		0.2856 ± 0.0039	0.64	254.9 ± 5.3	255.1 ± 4.0	
9	0.0508 ± 0.0013		0.0273 ± 0.0006		0.1915 ± 0.0030	0.59	173.8 ± 3.6	177.9 ± 3.0	
10	0.0508 ± 0.0013		0.0410 ± 0.0008		0.2874 ± 0.0046	0.35	259.2 ± 5.4	256.5 ± 4.7	
11	0.0538 ± 0.0014		0.0603 ± 0.0012		0.4476 ± 0.0068	0.50	377.6 ± 8.0	375.6 ± 6.9	
12	0.0516 ± 0.0013		0.0397 ± 0.0008		0.2822 ± 0.0040	0.44	250.9 ± 5.2	252.4 ± 4.0	
13	0.0514 ± 0.0013		0.0404 ± 0.0008		0.2863 ± 0.0044	0.69	255.4 ± 5.3	255.7 ± 4.5	
14	0.0512 ± 0.0013		0.0391 ± 0.0008		0.2762 ± 0.0039	0.50	247.2 ± 5.2	247.6 ± 4.0	
15	0.0489 ± 0.0013		0.0272 ± 0.0006		0.1837 ± 0.0029	0.33	173.0 ± 3.6	171.2 ± 2.9	
16	0.0512 ± 0.0013		0.0388 ± 0.0008		0.2738 ± 0.0039	0.26	245.4 ± 5.1	245.7 ± 4.0	
17	0.0510 ± 0.0013		0.0399 ± 0.0008		0.2806 ± 0.0040	0.42	252.3 ± 5.3	251.1 ± 4.0	
18	0.0501 ± 0.0013		0.0425 ± 0.0009		0.2936 ± 0.0045	0.27	268.2 ± 5.6	261.4 ± 4.6	
19	0.0515 ± 0.0013		0.0393 ± 0.0008		0.2792 ± 0.0040	0.29	248.6 ± 5.2	250.0 ± 4.1	
20	0.0551 ± 0.0014		0.0531 ± 0.0011		0.4035 ± 0.0055	0.64	333.7 ± 7.0	344.2 ± 5.6	
21	0.0509 ± 0.0013		0.0415 ± 0.0009		0.2910 ± 0.0046	0.40	262.1 ± 5.5	259.4 ± 4.7	
22	0.0514 ± 0.0013		0.0401 ± 0.0008		0.2839 ± 0.0041	0.37	253.2 ± 5.3	253.7 ± 4.2	
23	0.0541 ± 0.0004		0.0558 ± 0.0011		0.4161 ± 0.0086	0.29	349.7 ± 7.0	353.2 ± 8.7	
24	0.0498 ± 0.0005		0.0327 ± 0.0006		0.2249 ± 0.0050	0.97	207.6 ± 4.1	205.9 ± 5.0	
25	0.0481 ± 0.0005		0.0176 ± 0.0003		0.1164 ± 0.0025	0.86	112.3 ± 2.2	111.8 ± 2.5	YC
26	0.0515 ± 0.0004		0.0402 ± 0.0008		0.2851 ± 0.0058	0.80	253.8 ± 5.1	254.7 ± 5.9	
27	0.0515 ± 0.0005		0.0404 ± 0.0008		0.2869 ± 0.0062	0.76	255.2 ± 5.1	256.1 ± 6.3	
28	0.0518 ± 0.0004		0.0422 ± 0.0008		0.3017 ± 0.0061	0.76	266.7 ± 5.3	267.7 ± 6.2	
29	0.1220 ± 0.0009		0.2779 ± 0.0054		4.6762 ± 0.0927	0.20	1580.8 ± 34.9	1763.0 ± 90.1	Disc
30	0.0516 ± 0.0004		0.0384 ± 0.0007		0.2733 ± 0.0055	0.35	242.7 ± 4.8	245.3 ± 5.6	
31	0.0512 ± 0.0005		0.0400 ± 0.0008		0.2825 ± 0.0059	0.77	252.8 ± 5.0	252.7 ± 6.0	
32	0.0531 ± 0.0007		0.0404 ± 0.0008		0.2961 ± 0.0072	0.50	255.3 ± 5.1	263.4 ± 7.3	
33	0.0507 ± 0.0004		0.0307 ± 0.0006		0.2147 ± 0.0044	0.61	195.1 ± 3.9	197.5 ± 4.5	
34	0.0506 ± 0.0005		0.0311 ± 0.0006		0.2172 ± 0.0045	0.33	197.6 ± 3.9	199.6 ± 4.6	
35	0.0512 ± 0.0004		0.0398 ± 0.0008		0.2812 ± 0.0058	0.77	251.7 ± 5.0	251.6 ± 5.9	
36	0.0514 ± 0.0004		0.0400 ± 0.0008		0.2835 ± 0.0058	0.93	252.7 ± 5.0	253.4 ± 5.9	
37	0.0514 ± 0.0004		0.0395 ± 0.0008		0.2802 ± 0.0056	0.34	249.9 ± 5.0	250.8 ± 5.7	
38	0.0508 ± 0.0005		0.0412 ± 0.0008		0.2888 ± 0.0064	0.66	260.3 ± 5.2	257.6 ± 6.5	
39	0.0521 ± 0.0004		0.0401 ± 0.0008		0.2879 ± 0.0058	0.43	253.5 ± 5.1	256.9 ± 5.9	
40	0.0517 ± 0.0005		0.0396 ± 0.0008		0.2825 ± 0.0061	0.43	250.4 ± 5.0	252.7 ± 6.1	
41	0.0501 ± 0.0004		0.0275 ± 0.0005		0.1898 ± 0.0038	0.24	174.6 ± 3.5	176.4 ± 3.9	
42	0.0517 ± 0.0003		0.0396 ± 0.0003		0.2826 ± 0.0021	0.44	250.4 ± 1.7	252.7 ± 2.1	
43	0.0515 ± 0.0004		0.0399 ± 0.0003		0.2833 ± 0.0027	0.55	252.0 ± 1.8	253.3 ± 2.7	
44	0.0513 ± 0.0003		0.0396 ± 0.0003		0.2804 ± 0.0024	0.46	250.4 ± 1.8	251.0 ± 2.4	
45	0.0519 ± 0.0003		0.0403 ± 0.0003		0.2883 ± 0.0024	0.55	254.7 ± 1.8	257.3 ± 2.4	
46	0.0513 ± 0.0003		0.0384 ± 0.0003		0.2718 ± 0.0020	0.19	242.8 ± 1.7	244.1 ± 2.1	
47	0.0517 ± 0.0003		0.0412 ± 0.0003		0.2938 ± 0.0024	0.52	260.2 ± 1.8	261.5 ± 2.4	
48	0.0520 ± 0.0003		0.0397 ± 0.0003		0.2848 ± 0.0022	0.67	250.9 ± 1.7	254.5 ± 2.3	
49	0.0516 ± 0.0003		0.0403 ± 0.0003		0.2871 ± 0.0024	0.50	255.0 ± 1.8	256.3 ± 2.4	
50	0.0513 ± 0.0003		0.0401 ± 0.0003		0.2839 ± 0.0025	0.51	253.7 ± 1.8	253.8 ± 2.5	
51	0.0514 ± 0.0005		0.0404 ± 0.0003		0.2863 ± 0.0036	0.52	255.5 ± 1.8	255.7 ± 3.7	
52	0.0521 ± 0.0003		0.0436 ± 0.0003		0.3136 ± 0.0027	0.46	275.3 ± 1.9	277.0 ± 2.7	
53	0.0487 ± 0.0005		0.0172 ± 0.0001		0.1153 ± 0.0014	0.77	109.7 ± 0.8	110.8 ± 1.4	YC
54	0.0514 ± 0.0002		0.0380 ± 0.0003		0.2694 ± 0.0018	0.35	240.5 ± 1.7	242.2 ± 1.8	
55	0.0501 ± 0.0003		0.0299 ± 0.0002		0.2065 ± 0.0016	0.38	190.0 ± 1.3	190.6 ± 1.6	
56	0.0487 ± 0.0003		0.0197 ± 0.0001		0.1326 ± 0.0011	1.64	126.0 ± 0.9	126.5 ± 1.1	
57	0.0508 ± 0.0002		0.0331 ± 0.0002		0.2316 ± 0.0016	0.26	209.8 ± 1.5	211.5 ± 1.6	
58	0.0518 ± 0.0002		0.0384 ± 0.0003		0.2743 ± 0.0019	0.48	242.9 ± 1.7	246.1 ± 1.9	
59	0.0515 ± 0.0003		0.0379 ± 0.0003		0.2694 ± 0.0020	0.38	239.8 ± 1.7	242.2 ± 2.0	
60	0.0505 ± 0.0002		0.0330 ± 0.0002		0.2296 ± 0.0016	1.11	209.0 ± 1.4	209.9 ± 1.6	

YC indicates the data composed of youngest cluster. Disc shows the discordant data.



第4図 高岡層の石灰質砂岩から求めた碎屑性ジルコンのU-Pb年代。
 (a) ジルコン年代値のコンコルディア図。(b) ジルコン年代値の相対確率分布曲線及びヒストグラム。
 Fig. 4 U-Pb age of detrital zircon estimated from calcareous sandstone of the Takaoka Formation.
 (a) Concordia diagram of zircons ages. (b) Probability density plot and histogram of zircon age.

ト化石年代及び瀬林層を整合で覆うことから、その堆積年代はアプチアン期後半～チューロニアン期中頃とされる(松川・富島, 2009)。以上のことより、アルビアン期前半の堆積年代を示す高岡層は、三山層と同時期に堆積していた可能性が高い。しかし三山層は、黒色泥岩を主体とする岩相からなり(松川・富島, 2009)、高岡層で認められる石灰質な堆積物や礫岩を含まない。そのため高岡層と三山層は、同時異相の関係、もしくは異なる堆積盆で堆積したことを考慮する必要がある。

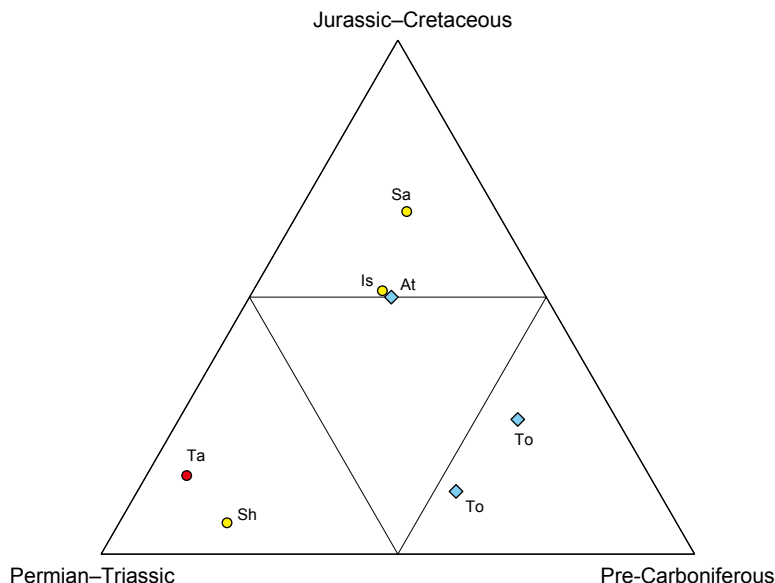
6. 碎屑性ジルコン U-Pb 年代を基にした後背地の推定

高岡層の碎屑性ジルコン年代は、ペルム紀～三畳紀(276～240 Ma)の明瞭なピークを示す。関東山地の北東縁部には、クリップと考えられている内帯ないし古領家帯起源として考えられているペルム紀金勝山石英閃緑岩の分布が知られている(小坂, 1979; 磯崎・板谷, 1990; 高木・柴田, 2000)。Ogasawara *et al.* (2016) は、この石英閃緑岩からジルコンU-Pb年代を求め、17粒子のジルコンより $289 \pm 3 \sim 275 \pm 3$ Ma (加重平均値は 281.5 ± 1.8 Ma) の年代を得た。この他、内帯には飛騨帯及び舞鶴帯のペルム紀～三畳紀の花崗岩からは、260～240 Maのジルコン年代が得られている(Herzig *et al.*, 1997, Takahashi *et al.*, 2010, Zhao *et al.*, 2013, Tsutsumi *et al.*, 2014)。高岡層で認められた年代ピークは、飛騨帯及び舞鶴帯の花崗岩年代に近く、金勝山石英閃緑岩より若い年代を示す。一方、砂岩や礫岩に含まれる碎屑粒子はチャートや堆積岩及び玄武岩からなり、近接する秩父帯付加コンプレックスを由来とすると考えられている(松岡, 2020)。そのため、高岡層の後背地は、近接する秩父帯付加コンプレ

ックスの他に、金勝山石英閃緑岩よりやや若い内帯起源のペルム紀～三畳紀の花崗岩が分布していたことが示唆される。

このようなピーク年代スペクトラムの特徴を様々な地層から見出すことで、後背地の時空間変遷の議論が可能である(例えば, Hara *et al.*, 2017)。本報告では、ピーク年代スペクトラムの変化をみるために、ジュラ紀～白亜紀、ペルム紀～三畳紀、石炭紀以前のジルコン含有率を三角ダイアグラムで表現した(第5図)。また第5図には、高岡層とともに跡倉層・栃谷層(中畑ほか, 2015)及び山中白亜系の白井層・石堂層・三山層(中畑ほか, 2016)のジルコン年代データも合わせてプロットした。

中畑ほか(2015, 2016)によれば、跡倉層・栃谷層は、背弧海盆及び島弧内盆地に堆積されたと考えられ、原生代のジルコンを多く含む特徴を持つ。このうち跡倉層は、ジュラ紀のジルコンの含有率も上がる特徴もある。一方、山中白亜系の白井層・石堂層・三山層は原生代のジルコンが少なく、前弧海盆及び島弧内盆地の堆積物と考えられている。これらのデータと比較すると、高岡層で認められたペルム紀～三畳紀に強いピークを持つ碎屑性ジルコン年代の特徴は、山中白亜系の白井層で確認される。白井層の堆積年代は、オーテリビアン期以前と考えられているため(松川・富島, 2009)、高岡層より古い年代を示す。一方、高岡層に対比される三山層は、ジュラ紀～前期白亜紀(180～100 Ma)のジルコンを多く含み、ペルム紀～三畳紀のジルコンは少ない特徴を持つ(中畑ほか, 2016)。すなわち高岡層と三山層は同時代の堆積物でありながら、全く異なる年代ピークスペクトラムを示す。すなわち両層は、後背地に分布する地質体に相違があり、堆積盆が異なっていた可能性が高い。



第5図 関東山地に分布する白亜系砂岩中の碎屑性ジルコン年代構成を示した三角ダイアグラム。

ジルコン年代は，ジュラ紀～白亜紀，ペルム紀～三畳紀，石炭紀以前の3成分を用い，三角ダイアグラムにプロットした。跡倉層・栃谷層のデータは中畑ほか(2015)，山中地溝帯(山中白亜系)の白井層・石堂層・三山層のデータは中畑ほか(2016)より求めた。白亜系の分布位置については，第1図を参照。Ta：高岡層，Sh：白井層，Is：石堂層，Sa：三山層，At：跡倉層，To：栃谷層。

Fig. 5 Ternary diagram showing detrital zircon age composition of Cretaceous sandstones in the Kanto Mountains.

Zircon ages were plotted on the ternary diagram, using three elements of the Jurassic-Cretaceous, the Permian-Triassic and the Pre-Carboniferous. Data of the Atokura and Tochiya formations are based on Nakahata *et al.* (2015), and data of the Shiroyi, Ishido and Sanyama formations in the Sanchu graben (Sanchu Cretaceous system) are from Nakahata *et al.* (2016). Locations of distribution of the Cretaceous system are referred in Fig. 1. Ta: Takaoka Formation, Sh: Shiroyi Formation, Is: Ishido Formation, Sa: Sanyama Formation, At: Atokura Formation, To: Tochiya Formation.

中畑ほか(2016)は，山中白亜系の白井層(オーテリビアン期)・石堂層(パーレミアン期)・三山層(アプチアン期～アルビアン期)との間で，ジルコン年代のピークがペルム紀～三畳紀からジュラ紀～前期白亜紀に変化したことを後背地に露出した花崗岩の違いにより説明した。そして，オーテリビアン期以降に大規模なペルム紀～三畳紀花崗岩類の削剥が起きたことを指摘し，その要因として東アジア東縁で生じた構造侵食を挙げた。しかしながら高岡層で認められるペルム紀～三畳紀の明瞭なピークは，アルビアン期以降もペルム紀～三畳紀花崗岩類が分布していたことを示唆し，中畑ほか(2016)の見解とは異なる現象である。中畑ほか(2016)が示した前期白亜紀における大規模な構造侵食は，ジルコン年代スペクトラムの相違について時間変遷のみにより説明された。しかしながら山中白亜系では，この相違について，空間変遷についても検討する必要があること意味する。

謝辞：本研究は，産業技術総合研究所地質調査総合センターが発行する5万分の1地質図幅「川越」の研究成果の一部である。株式会社京都フィッション・トラックの檀

原 徹氏及び岩野英樹氏には，ジルコンのU-Pb年代を測定して頂いた。地質情報基盤センター地質標本館室地質試料調製グループの諸氏には薄片を作成して頂いた。宮崎一博博士には，査読を通じて有益なコメントを頂いた。以上の方々に，厚く御礼を申し上げます。

文献

- 新井宏嘉・高木秀雄(1998)関東山地，跡倉ナップの構造発達：押被せ褶曲の復元。地質学雑誌，**104**，861-876。
- Hara, H., Nakamura, Y., Hara, K., Kurihara, T., Mori, H., Iwano, H., Danhara, T., Sakata, S. and Hirata, T. (2017) Detrital zircon multi-chronology, provenance, and low-grade metamorphism of the Cretaceous Shimanto accretionary complex, eastern Shikoku, Southwest Japan: Tectonic evolution in response to igneous activity within a subduction zone. *Island Arc*, **26**, e12218.
- Herzig, C., Kimbrough, D.L. and Hayasaka, Y. (1997) Early Permian zircon uranium-lead ages for plagiogranites in the Yakuno ophiolite, Asago district, Southwest Japan.

- Island Arc*, **6**, 396–403.
- 石井 醇・田口聡史(1983) 関東山地東縁部, 埼玉県日高町の下部白亜系. 東京学芸大学紀要4部門, **35**, 117–131.
- 石井 醇・田口聡史(1986) 関東山地東縁部, 下部白亜系高岡層. 東京学芸大学紀要4部門, **38**, 97–115.
- 石井 醇・田口聡史(1988) 埼玉県日高町, 高麗川北岸の下部白亜系高岡層. 東京学芸大学紀要4部門, **40**, 165–175.
- 磯崎行雄・板谷徹丸(1990) 四国中央部および紀伊半島西部黒瀨川地帯北縁の弱変成岩のK–Ar年代—西南日本における黒瀨川地帯の広がりについて—. 地質学雑誌, **96**, 623–639.
- 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ュョン・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.
- Iwano, H., Orihashi, Y., Hirata, T., Ogasawara, M., Danhara, T., Horie, K., Hasebe, N., Sueoka, S., Tamura, A., Hayasaka, Y., Katsube, A., Ito, H., Tani, K., Kimura, J., Chang, Q., Kouchi, Y., Haruta, Y. and Yamamoto, K. (2013) Inter-laboratory evaluation of OD-3 zircon. *Island Arc*, **22**, 382–394.
- 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. 地質学雑誌, **85**, 157–176.
- Ludwig, K.R. (2012) User's manual for Isoplot 3.75: A geochronological toolkit for Microsoft Excel. *Berkeley Geochronology Center Special Publication No.5*, 75p.
- Matsukawa, M. (1983) Stratigraphy and sedimentary environments of the Sanchu Cretaceous, Japan. *Memoirs of Ehime University, Natural Science, Series D*, **9**, 1–50.
- 松川正樹・富島耕太郎(2009) 山中白亜系の層序と堆積環境に関する Matsukawa (1983)以後の研究の評価. 東京学芸大学紀要自然科学系, **61**, 119–144.
- 松丸国照・須藤和人・瀬名波 任(1976) 埼玉県入間郡日高町高麗川河床からのオルビトリナ化石の発見. 地質学雑誌, **82**, 661–662.
- 松丸国照・須藤和人・大沢今朝男・大附邦夫(1979) 関東山地東部の地質—Part 1. 正丸・吾野周辺の地質—. 埼玉大学紀要教育学部(数学・自然科学), **28**, 91–95.
- 松岡喜久次(2020) 埼玉県日高市高麗付近の地質—白亜系高岡層の礫岩の礫種構成と秩父帯の泥岩から産出したジュラ紀放射虫化石—. 埼玉県立川の博物館紀要, **20**, 25–32.
- 中畑浩基・磯崎行雄・小坂和夫・坂田周平・平田岳史(2015) 関東山地北縁, 上部白亜系跡倉層・柄谷層の碎屑性ジルコン年代パターン—飛騨帯と中央構造線南縁との弧横断方向の関連—. 地学雑誌, **124**, 633–656.
- 中畑浩基・磯崎行雄・堤 之恭・岩本直哉(2016) 関東南部の浅海成白亜系の碎屑性ジルコン年代スペクトル. 地学雑誌, **125**, 353–380.
- 渋谷 紘・堀口万吉(1967) 関東山地東縁部に白亜紀層の発見. 地質学雑誌, **73**, 575–577.
- Ogasawara, M., Fukuyama, M. and Horie, K. (2016) SHRIMP U–Pb zircon dating of the Kinshozan Quartz Diorite from the Kanto Mountains, Japan: Implications for late Paleozoic granitic activity in Japanese Islands. *Island Arc*, **25**, 28–42.
- 指田勝男(1992) 関東山地東縁部の秩父帯北・中帯. 地学雑誌, **101**, 573–593.
- Sláma, J., Košler, J., Condon, D.J., Crowley, J.L., Gerdes, A., Hanchar, J.M., Horstwood, M.S. A., Morris, G.A., Nasdala, L., Norberg, N., Schaltegger, U., Schoene, B., Tubrett, M.N. and Whitehouse, M.J. (2008) Plešovice zircon — A new natural reference material for U–Pb and Hf isotopic microanalysis. *Chemical Geology*, **249**, 1–35.
- 高木秀雄・柴田 賢(2000) 古領家帯の構成要素と古領家—黒瀨川地帯の復元. 地質学論集, no. 56, 1–12.
- Takahashi, Y., Cho, D.L. and Kee W.S. (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.
- Tsutsumi, Y., Yokoyama, K., Kasatkin, S.A. and Golozubov, V. (2014) Zircon U–Pb age of granitoids in the Maizuru Belt, southwest Japan and the southernmost Khanka Massif, Far East Russia. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, **109**, 97–102.
- Wiedenbeck, M., Allé P., Corfu, F., Griffin, W., Meier, M., Oberli, F., Von, Q.A., Roddick, J. and Spiegel, 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, J., Ye, H., Liu, K. and Takahashi, Y. (2013) New SHRIMP U–Pb zircon ages of the granitic rocks in the Hida Belt, Japan: Implications for tectonic correlation with Jiamushi massif. *Island Arc*, **22**, 508–521.

(受付: 2020年5月15日; 受理: 2020年10月6日)