

論文

## 紀伊半島西部の白亜紀四万十帯付加コンプレックスの FT 年代

大平 寛人\*・笠井 美里\*・山本 大輔\*\*・高須 晃\*

### Fission track ages from accretionary complexes of Cretaceous Shimanto Belt in the Kii Peninsula, SW Japan.

Hiroto Ohira\*, Misato Kasai\*, Daisuke Yamamoto\*\* and Akira Takasu\*

#### Abstract

Zircon fission track ages were measured for sandstones from the Hanazono, Yukawa, Miyama and Ryujin complexes of the Cretaceous Shimanto belt in the western part of the Kii region. The obtained FT age and frequency distribution show various patterns for each complex, probably due to a variety of thermal affect during accretion and exhumation process. Individual zircon grains from the Yukawa complex (YK-2) retain FT ages older than the depositional age, probably reflecting their provenance ages. This indicates that the Yukawa complex has not been heated above zircon partial annealing zone (PAZ) after deposition. The sample from the Hanazono complex (HZ-8) shows a peak of age slightly younger than the depositional period with small number of grains retaining older ages, reflecting age resetting caused by thermal affect during accretion process. This type of age spectrum is similar to those of samples from the Miyama (MY-24) and the Ryujin complex (RJ-7). FT age frequency distribution of the Ryujin complex showing bimodal, suggesting a variety of degree of age resetting and heating up to temperature around upper limit of partial annealing zone (PAZ) of FT in zircon.

**Key words:** fission track, FT, age, Shimanto Belt, Kii peninsula, Kii regieon

#### はじめに

四万十帯層群は白亜紀～前期中新世の付加コンプレックスと、それに随伴する前弧盆堆積物からなり粗粒砕屑物に富む特徴がある(木村ほか, 1996)。このうち紀伊半島の四万十帯はスラストで分断されながらも、初成的な層序をよく保存している特徴があるとされる(鈴木・中屋, 2012)。紀伊半島の四万十帯や三波川帯の FT 法に基づいた熱史や堆積年代についての研究はすでに報告されている。Hasebe and Tagami (2001) は、九州、四国および紀伊半島の四万十帯や三波川帯を対象に、砕屑物の堆積年代よりも明らかに若い FT 年代を示す試料について、埋没などによる被熱により FT 年代がリセットしたものと解釈した。また試料ごとの被熱の程度についても詳細に議論した。FT 法に基づく紀伊半島の四万十帯の年代論については、上部白亜系竜神層群に含まれる酸性凝灰岩の堆積年代および砕屑物の供給源となった火山体に関する議論もなされている(木村ほか, 1996)。なお四万十帯と三波川帯(別子ユニット)との関連については、四国中央部における両帯の全岩化学組成の検討から、四万十帯と三波川

帯(別子ユニット)の原岩は同一のものである可能性が高く、現在みられる両者の違いは、沈み込みによる変成作用の受け方の違いに起因することが指摘され、他の地域においても両帯の関連についての検討が必要とされている(Kiminami and Ishihara, 2003)。近年、紀伊半島の四万十帯の地質や放散虫化石群集の詳細な研究に基づいて新たな層序構造ユニットが提示されている(紀州四万十帯団体研究グループ, 2012a)。そこで今回、新たなユニット区分に基づいてジルコンの FT 年代を測定し、粒子年代のもつ意味について吟味し、試料の被熱や堆積年代との関連について検討したので報告する。

#### 地質概要および試料

四万十帯は白亜紀から新第三紀にアジア大陸南東縁の収束型プレート境界に発達した付加体で、これまで白亜系からなる北帯の日高川帯、古第三系からなる南帯の音無川帯(暁新統から始新統)および牟婁帯(中部始新統から下部中新統)に区分されてきた(山本・鈴木, 2012)。このうち日高川帯北縁部の花園コンプレックスについては近年その詳細な地質構造と岩相分布が明らかにされ、さらに放散虫化石群集に基づく年代論から、同コンプレックスが梁瀬断層を南縁境界とする独立した付加コンプレックスであることが提唱され、新たに高野山帯として区分された(山本・鈴木, 2012)。

鈴木(2012)および鈴木・中屋(2012)による地質図を Fig. 1 に、また新たに区分された紀伊半島四万十帯のユニット

\* 島根大学大学院総合理工学研究科  
Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Shimane University, 1060 Nishikawatsu, Matsue, Shimane 690-8504, Japan

\*\* 島根大学総合理工学部  
Interdisciplinary Faculty of Science and Engineering, Shimane University, 1060 Nishikawatsu, Matsue, Shimane 690-8504, Japan

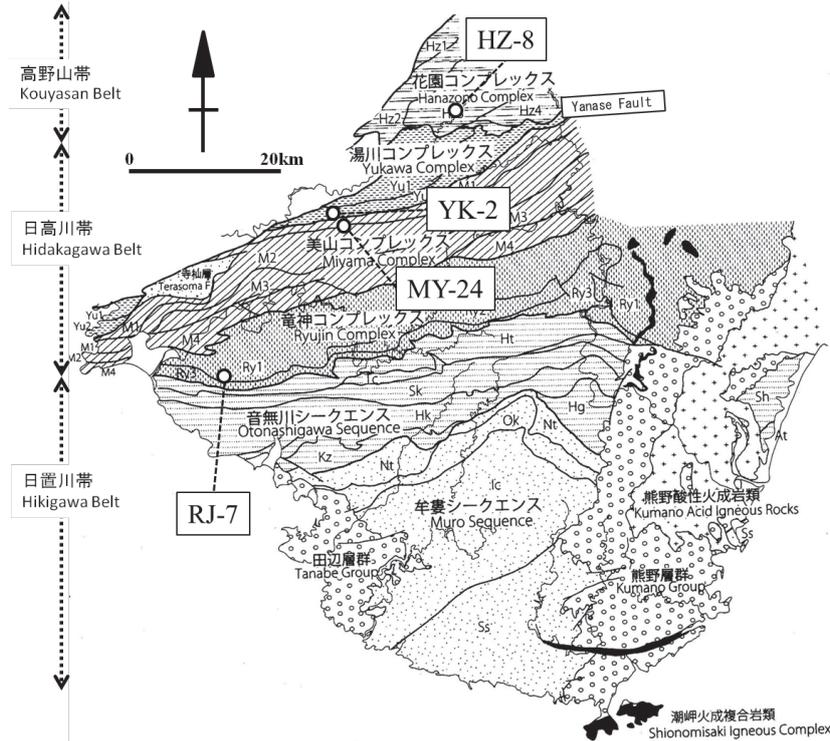


Fig. 1. Geological map of western part of the Kii peninsula (Suzuki, 2012; Suzuki and Nakaya, 2012), and sampling localities.

区分と各岩相の堆積年代（紀州四万十帯団体研究グループ, 2012a; 鈴木・中屋, 2012）を Fig. 2 に示す。この地域の白亜系付加体の層序構造ユニットは北部の高野山帯と南部の日高川帯に区分され、両帯は梁瀬断層によって区分される。山本・鈴木（2012）によれば高野山帯の花園コンプレックスはスラストによって複数のユニットに細分され、北部から南部に向かってそれらの堆積年代が若くなる（Fig. 2）。また梁瀬断層よりも南部の日高川帯は、湯川、美山および竜神の各コンプレックスに区分される。それらはさらに複数のユニットに細分され、堆積年代は北部から南部に向かって若くなる（Fig. 2）。なお山本・鈴木（2012）および鈴木（2012）は、高野山帯の花園コンプレックス主要部の変形が特に強いことと堆積年代の類似性から、同コンプレックスが南部の日高川帯の美山コンプレックスあるいは竜神コンプレックスの深部層に対比され、順序外スラストである梁瀬断層によってもち上げられたものと解釈した。

本研究対象は紀伊半島西部の白亜系付加体である高野山帯の花園コンプレックス、日高川帯の湯川、美山および竜神の各コンプレックスである。試料は各コンプレックスの典型的な砂岩から1試料ずつ採取した。採取位置を Fig. 1 に示した。採取試料の概要を以下に述べる。

**[HZ-8]** 和歌山県伊都郡高野町相ノ浦一ノ枝川沿いの露頭から採取した。暗灰色で細粒・塊状の砂岩である。花園コンプレックスの Hz3（御殿川ユニット）に相当する。

**[YK-2]** 和歌山県有田郡有田町栗生付近の有田川沿いの河床の砂岩泥岩互層から、暗灰色の中細粒砂岩を採取した。

湯川コンプレックスの Yu2（北股ユニット）に相当する。

**[MY-24]** 和歌山県有田郡有田町川合南占谷川沿いの露頭から採取した。暗灰色の細粒砂岩で層厚は4 m 以上である。美山コンプレックスの M1（近井ユニット）に相当する。

**[RJ-7]** 和歌山県御坊市印南原、御坊市から美里地域に至る県道から約250 m 北方の露頭から採取した。比較的硬質の細粒砂岩で風化が進行している。竜神コンプレックスの Ry1（寒川ユニット）に相当する。

#### フィッシュン・トラック年代測定

岩石を粉砕後、重液分離と磁力選鉱を経て重鉱物を抽出した。以下に抽出された重鉱物の特徴を試料ごとに述べる。

**[HZ-8]** ジルコンは重鉱物の約50% を占め、淡紅色から淡黄色で色調が比較的濃い。柱状から短柱状でサイズが最大100 $\mu\text{m}$  と小さい。他の重鉱物として粒状のチタナイト、フランボイダル黄鉄鉱およびアパタイトを含む。

**[YK-2]** ジルコンは重鉱物の約90% を占める。淡紅色～淡褐色でまれに透明なジルコンを含む。柱状～短柱状あるいは粒状で、サイズは多様で最大250 $\mu\text{m}$  である。錐の部分が円磨された粒子を含むが柱面は比較的明瞭である。他の重鉱物としてチタナイトやフランボイダルの黄鉄鉱を含む。

**[MY-24]** ジルコンが重鉱物の60% を占める。淡紅色から淡褐色で色調が濃い。短柱状～長柱状でサイズは最大300 $\mu\text{m}$  と比較的大きい。錘面および柱面が円磨された粒子も含まれる。他の重鉱物はフランボイダル構造を呈する黄鉄鉱である。

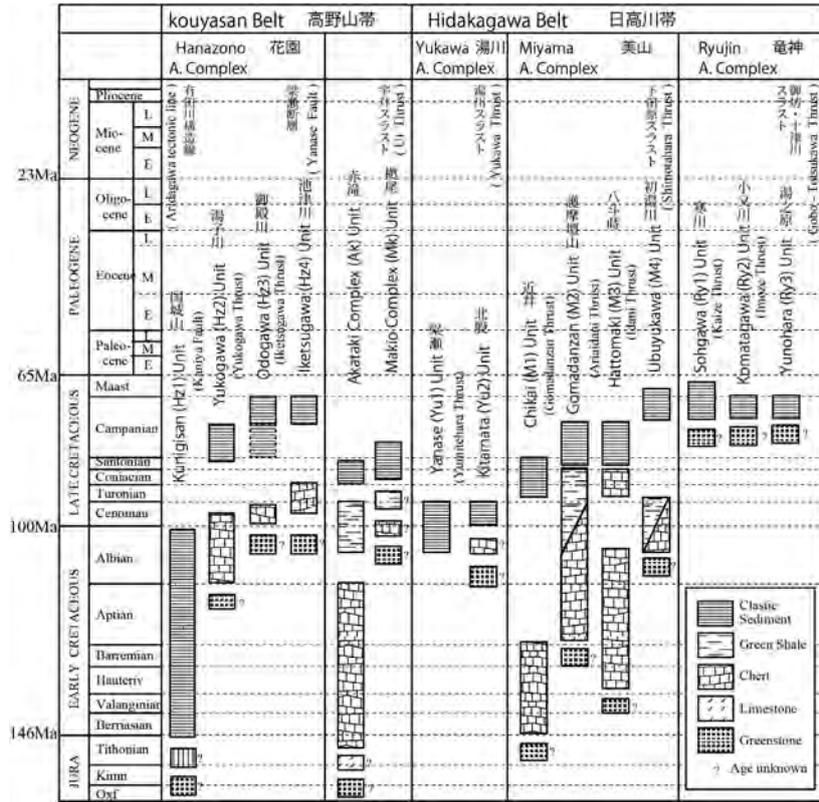


Fig. 2. Correlation of geological units and depositional periods of Cretaceous accretionary complexes in the Kii peninsula (Suzuki and Nakaya, 2012; Kishu Shimanto Research group, 2012a).

[RJ-7] 重鉱物の約 90% を占める。淡紅色～淡黄色でまれに透明なジルコンも含む。柱状から粒状までジルコンの形態は多様である。円磨された淡紫色の粒子を比較的多く含む。他の重鉱物として黄鉄鉱を含む。

年代測定実験は結晶内部面（研磨面）を用いた外部ディテクター法を採用し、実験は大平・永井（2004）および大平（2004）の方法に従った。実験に際しては結晶内部の包有物が少なく、柱面の稜が明瞭に残されているジルコンをハンドピックにより取り出したが、わずかに稜が円磨されたジルコンも含まれる（Fig.3）。エッチングは NaOH-KOH 共融体（225℃）（Gleadow *et al.*, 1976）で、ジルコン結晶の C 軸に平行な FT が明瞭に観察されるまで段階的に行った。エッチング時間は RJ-7 と YK-2 が 19 時間、MY-24 と HZ-8 は 18 時間である。中性子照射は京都大学原子炉実験所の黒鉛設備圧気輸送管（Tc-pn；1MW）で 5 時間行った。試料および線量ガラスに貼り付けた白雲母は 46%HF（25℃）で 6 分 30 秒間エッチングした。ゼータ値として 367.1±4.1（大平，2004）を用い、粒子年代の計算およびヒストグラムの解析には年代解析プログラム Trackkey（Dunkle, 2002）を使用した。FT の計測はエッチング後のジルコン表面（研磨面）が清浄で自発 FT が比較的明瞭な粒子について行った。典型的な粒子を Fig.4 に示す。これらのほかに、実験に供したジルコン粒子には、自発 FT 密度が高すぎて計測できない粒子、顕著な累帯構造あるいはジルコン中の α-ダメージの蓄積のために、エッチング

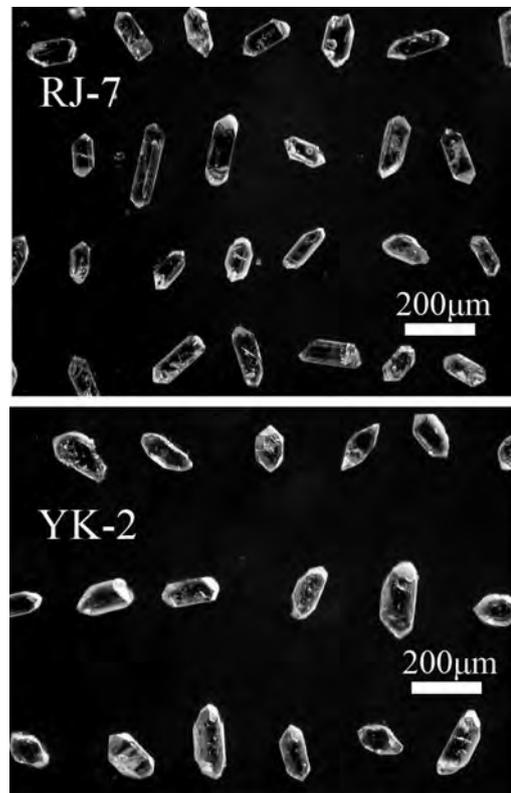


Fig. 3. Representative zircon crystals mounted on PFA teflon (YK-2 and RJ-7).

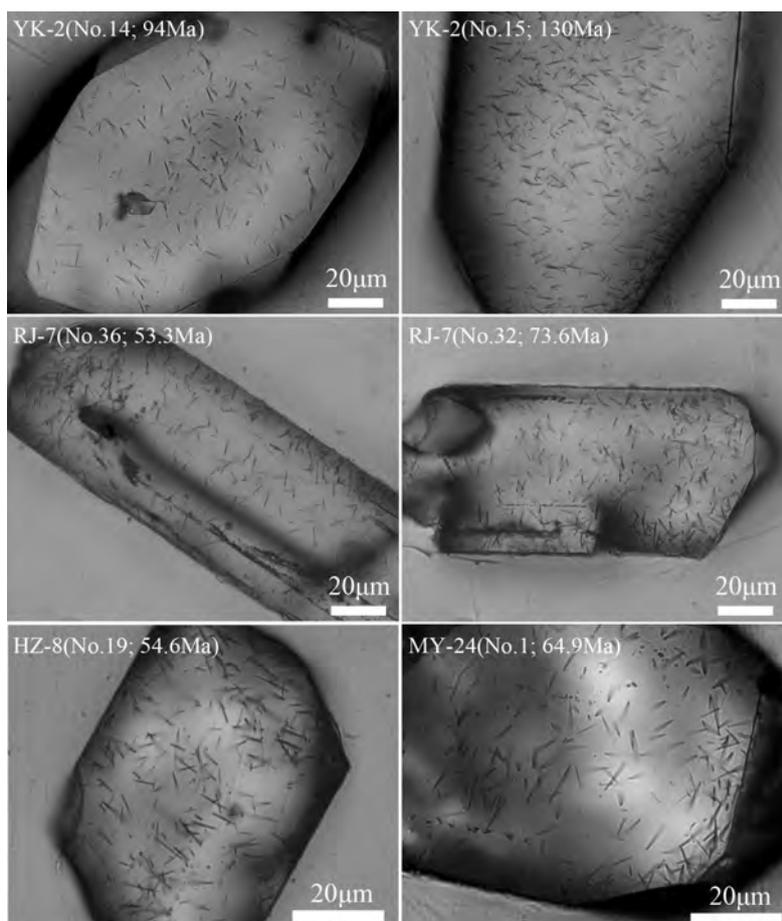


Fig. 4. Representative zircon crystals after etching used for age dating (YK-2, RJ-7, HZ-8 and MY-24).

時にジルコン表面が陥没してしまう粒子も多数含まれる。今回測定されたFT年代データは、多様な年代を示す碎屑ジルコンのなかから、計測できない粒子が除外されているという意味でバイアスのかかった年代データといえる。これら計測できない粒子は被熱に対するFTのアニーリング特性が大きく異なることが予想されることから、被熱に対する熱安定性が類似したジルコン粒子群を測定しているともいえる。

#### 年代測定結果

得られた年代値を Table 1 に、粒子年代ヒストグラムおよび年代頻度分布曲線（粒子年代の確率密度分布曲線）を Fig. 5 に示した。年代ヒストグラムの階級幅は4Maとし、放散虫化石群集から推定される堆積年代（鈴木・中屋, 2012；紀州四万十帯団体研究グループ, 2012a）を灰色の網掛で示した。なお Table 1 および Fig. 5 における年代頻度分布曲線のピーク（Frequency）は、曲線の解像度（s.d. 値）によってその位置が変化する（Hurford *et al.*, 1984）。Table 1 には解像度を上げた場合（s.d.=0.5）と、解像度を低くした場合（s.d.=1）のピーク年代を示し、Fig. 5 では解像度の高い頻度分布（s.d.=0.5）を採用している。曲線の解像度を上げると給源の年代推定に役立つが、ピークが複雑になり解釈が困難になる場合もある

（Hurford *et al.*, 1984）。

【HZ-8】 23 粒子について計測した。粒子年代の範囲は 54.4Ma ~ 140.1Ma であり、全粒子から得られる見かけ FT 年代は 75.2Ma である。 $\chi^2$  検定には合格する（ $P(\chi^2) \% > 5$ ）。年代頻度分布は 67.5Ma にピークを有する。

【YK-2】 30 粒子について計測した。粒子年代の範囲は 94.1Ma ~ 299.6Ma であり、全粒子から得られる見かけ FT 年代は 134.5Ma である。年代頻度分布は 130Ma に大きなピークを持つが 100Ma 付近にも小さな肩がみられる。なおこの試料については他のヒストグラムとの比較を容易にするため 200Ma よりも古い範囲を割愛して表示している。年代幅が広く複数の母集団からなり  $\chi^2$  検定には失格する（ $P(\chi^2) \% < 5$ ）。

【MY-24】 計測されたのは 8 粒子のみである。粒子年代の範囲は 56.5 ~ 196.4Ma であり、全粒子年代から得られる見かけ FT 年代は 76.6Ma である。197Ma の 1 粒子を含むため年代幅が広く  $\chi^2$  検定に失格する（ $P(\chi^2) \% < 5$ ）。年代頻度分布のピークは 72.5, 197Ma（1 粒子のみ）である。

【RJ-7】 37 粒子について計測した。粒子年代の範囲は 41.7 ~ 92.4Ma であり、全粒子から得られる見かけ年代は  $63.3 \pm 2.0$ Ma である。 $\chi^2$  検定には合格するが  $P(\chi^2) \%$  は 16.5

Table 1. Fission track analytical data for zircon.

Sample Name	No. crys. ( $\times 10^6/\text{cm}^2$ )	$\rho_s$ (Ns) ( $\times 10^6/\text{cm}^2$ )	$\rho_i$ (Ni) ( $\times 10^6/\text{cm}^2$ )	$P(\chi^2)$ %	$\rho_d$ (Nd) ( $\times 10^5/\text{cm}^2$ )	r	U ppm	Apparent age (Ma)( $\pm 1\sigma$ )	Age frequency (Ma) s.d.=0.5	Age frequency (Ma) s.d.=1.0
HZ-8	23	7.266(1693)	3.661(853)	37.5	2.077(8232)	0.87	228	75.2 $\pm$ 3.4	67.5	68
YK-2	30	6.750(5204)	1.938(1494)	0.26	2.117(8388)	0.9	117	134.5 $\pm$ 4.5	130, 260	126.3
MY-24	8	7.566(855)	3.743(423)	0.11	2.076(8235)	0.85	236	76.6 $\pm$ 4.8	72.5, 197	69.5, 197
RJ-7	37	8.214(4107)	5.008(2504)	16.5	2.117(8363)	0.84	303	63.3 $\pm$ 2.0	56.0, 70.8	58.5

Dating was carried out by the external detector method and internal crystal surface was used. Ages were calculated using dosimeter glass NIST-SRM612 and samples were irradiated at pneumatic tube of graphite facility (Tc-pn) of Kyoto University Reactor (KUR). Zeta value 367.1 $\pm$ 4.1 (Ohira, 2004) was used.  $\rho$ =track density; N=total number of tracks counted; s for spontaneous, i for induced and d for dosimeter;  $P(\chi^2)$ =probability of obtaining  $\chi^2$  value for  $\nu$  degrees of freedom (where  $\nu$ =number of crystals-1) (Galbraith 1981); r=correlation coefficient between  $\rho_s$  and  $\rho_i$ ; U=average uranium content. Age frequency are peaks identified on probability distribution of grain-age histograms, for the cases of s.d.=0.5 and s.d.=1.0 (Hurford, et al, 1984).

であり HZ-8 に比較すると低い。年代頻度分布は 56.0Ma と 71.0Ma にピークを有する。近接するバイモーダルな年代粒子群が  $\chi^2$  検定に合格する例は Brandon (1992) に示されている。

#### FT のアニーリングと FT 年代頻度分布

FT 年代の幅や年代頻度分布のピークと堆積年代との関連はコンプレックスごとに異なる結果が得られた (Fig. 5)。堆積物の付加に際して埋没などによる被熱を受けない場合、碎屑ジルコンから得られる FT 年代は堆積時代よりも古い値を示し、給源が多様な場合にはその年代幅は広がる (例えば Fig. 5 : YK-2)。しかし付加に際して試料が被熱する場合には、FT がアニーリング (焼きなましによって消滅) するため、年代の若返り (rejuvenation) が起こり、粒子年代のピークが堆積年代よりも若くなる (例えば Fig. 5 : HZ-8 や RJ-7)。

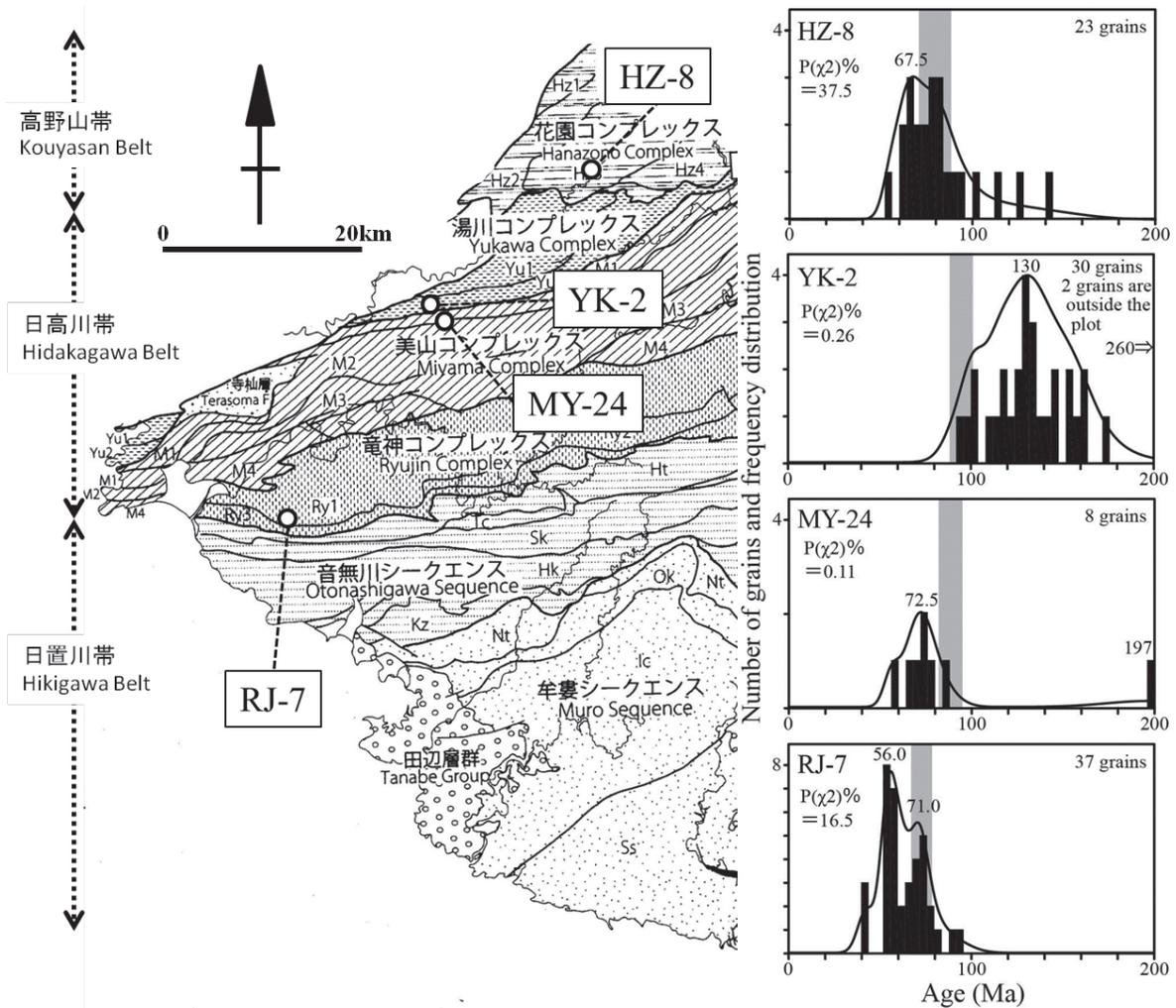
FT のアニーリングは被熱温度と被熱時間の関数であり、その条件は室内における多様な温度域での加熱実験データや、天然のポーリング試料から得られたデータへ外挿することによって得られ、例えば数 Ma から 10Ma の被熱時間に対して 230-315°C のアニーリング温度が推定される (Hasebe and Tagami, 2001; Tagami *et al.*, 1995, 1998; Yamada *et al.*, 1995)。この温度範囲は部分安定領域 (partial annealing zone ; PAZ) と呼ばれ、PAZ の上限温度を超える高温の被熱を受けた場合、鉱物中の FT が完全にアニーリングし粒子年代の若返りがおこる可能性がある。上述したような数 Ma から 10Ma の被熱時間に対する FT のアニーリング温度域は、付加体の堆積物の埋没・上昇などの時代幅のある地質イベントに対して適用可能であり、Hasebe and Tagami (2001) は紀伊半島に分布する三波川帯や四万十帯について、FT 年代と堆積年代との関連や試料ごとの被熱様式の違いについて研究を行った。そのなかで FT 年代が堆積年代よりも有意に若い値を示す三波川帯 (本研究地域の北側) の試料については、ジルコンの FT の部分安定領域 (PAZ ; 230-315°C) を超える高温の被熱により年代がリセットし、その後 PAZ 以下に冷却した年代を示すと解釈した。またこのような高温の (PAZ の上限温度を超える) 被熱を受けた場合、年代の若返りにともない年代粒子群のまとまりが改善され、カイ二乗確率;  $P(\chi^2)$  % が高くなることを示した。堆積岩については本研究地域よりも北東部に

分布する白亜紀四万十帯 (高野山帯の花園コンプレックスに相当すると思われる) の堆積岩 16 試料の FT 年代と堆積年代との関連を調べた。それによれば、多くの試料では PAZ (230-315°C) の上限温度を完全に超えるような証拠はないが、一部の試料では、FT 年代が堆積年代よりも有意に若い値を示すことから、PAZ の上限付近 (315°C) あるいはそれ以上の高温の被熱があったと述べた。このような研究手法は新たに区分された本研究地域の白亜紀四万十帯の各コンプレックスについても適用が可能と思われる。

#### 各コンプレックスの FT 年代と堆積年代との関連

粒子年代頻度分布と堆積年代との関連を詳しく見ると YK-2 (日高川帯の湯川コンプレックス) の個々の粒子年代は堆積年代よりも有意に古い値を示す (Fig. 5)。湯川コンプレックスはスラストにより北股および梁瀬ユニットに区分され、北股ユニットの陸源碎屑岩の堆積年代はセノマニアン (70.6~83.5Ma) とされる (紀州四万十帯団体研究グループ, 2012b)。ジルコンの FT 年代範囲は幅広く、年代頻度分布の主要なピークは 130Ma である (Fig. 5)。100Ma 付近に小さな肩があり 200Ma よりも古い粒子を 2 粒含むため、 $\chi^2$  検定に失格する ( $P(\chi^2)$  % < 5)。堆積年代よりも若い粒子は全く含まれない。詳細な FT の長さの測定はしていないが、ジルコン表面の FT を見る限り熱により顕著に短縮した FT は認められないので、YK-2 (湯川コンプレックス) では被熱による FT 年代の若返りの影響はないか少なく、年代頻度分布のピークは碎屑粒子の年代を示している可能性が高い。少なくとも同コンプレックスの北股ユニットにおいては碎屑物が海溝に堆積後、埋没・付加・上昇する過程で、PAZ (230-315°C) の温度域の被熱を受けなかったことを示す。

湯川コンプレックスの北側に位置する花園コンプレックスの試料 HZ-8 (御殿川ユニット ; Hz3) の陸源碎屑岩の堆積年代はカンパニアン (83.5~70.6Ma) とされる (山本・鈴木, 2012)。FT 年代頻度分布のピークは 67.5Ma であり堆積年代よりもやや若い。堆積年代よりも古い粒子もわずかに含まれるが  $\chi^2$  検定には合格する ( $P(\chi^2)$  % < 5)。また堆積年代よりも古い値を示す粒子数は YK-2 (湯川コンプレックス) に比べて圧倒的に少ない。Hasebe and Tagami (2001) は HZ-8 採取地点よりも北東部の三波川帯近傍の四万十帯の砂岩について、FT 年代



**Fig. 5.** FT age histograms and frequency distribution for each complex. Width of columns of histograms are 4Ma and frequency distribution curve (probability distributions for each zircon grain age over the total number of zircons) are multiplied by  $s.d=0.5$  (Hurford *et al.*, 1984). Depositional period for each complex estimated by age diagnostic fossils (Suzuki and Nakaya, 2012) are shown by shaded zone.

が堆積年代よりも若い値を示しかつ $\chi^2$ 検定に合格する試料について、PAZ (230~315°C) の上限付近あるいはそれ以上の温度の加熱を受けた可能性があるとして解釈した。本試料 (HZ-8) も同様の被熱を経験した可能性が高い。

美山コンプレックスの MY-24 (近井ユニット; M1) の陸源碎屑岩の堆積年代は、チューロニアン中期~サントニアン (91.4~83.5Ma) とされる (紀州四万十帯団体研究グループ, 2012c)。この試料 (MY-24) の年代頻度分布のピーク (72.5Ma) は堆積年代よりも若いという点で、花園コンプレックスの試料 (HZ-8) と類似する。197Ma の粒子が一粒含まれるため $\chi^2$ 検定に失格する ( $P(\chi^2)\% < 5$ )。ただし計測できたのは 8 粒子のみでありこれ以上の議論は困難である。

竜神コンプレックスの試料 RJ-7 (寒川ユニット; Ry1) の堆積年代は、カンパニアン後期からマーストリヒチアン中期 (77~68Ma) とされる (紀州四万十帯団体研究グループ, 2012d)。このユニットからは堆積岩に挟在する凝灰岩の FT 年代が 67.5~69.8Ma と報告されている (木村ほか,

1996)。本試料 (RJ-7) の全粒子から得られる見かけ FT 年代は  $63.3\text{Ma} \pm 2.0\text{Ma}$  であり (Table 1), その年代中央値は堆積年代の上限よりも約 5Ma 若い。また年代頻度分布では 56Ma と 71Ma に主要なピークを示し、若い年代ピーク (56Ma) と堆積年代の上限との間には 10Ma 以上の差異がある (Fig. 5)。年代頻度分布の解像度を下げると 58.5Ma の単一ピークとなるが (Table 1), それでも堆積年代との差異は約 10Ma である。本試料では 3 粒子を除いてほとんどの粒子が堆積年代と同じかそれよりも若い値を示し、 $\chi^2$  検定にも合格する ( $P(\chi^2)\% < 5$ )。このことから、本試料は PAZ の上限付近 (315°C) あるいはそれ以上の温度の加熱を受けた可能性がある。年代頻度分布が 56Ma と 71Ma のバイモーダルを示す理由について、一般には、粒子群ごとに FT の熱安定性が異なる (被熱に対するアニーリングの程度が異なっている) ことや、自発 FT のエッチングが不十分であることなどが考えられるが、FT が比較的明瞭に出現していることから後者の可能性は低い (Fig. 4)。表面の FT の長さ (Semi-track 長) の測

定は行っていないが、鏡下で見ると若い年代の粒子群に比較して、古い年代の粒子群には短い FT がやや多い印象を受ける (Fig. 4 の RJ-7: 53.3Ma と 73.6Ma の粒子)。このことから、56Ma にピークを有する粒子群は被熱により FT 年代が概ねリセットしその後の冷却年代を示すのに対し、71Ma の粒子群は被熱による FT 年代のリセットが完全ではないことを示している可能性がある。

粒子年代頻度分布の主要なピークは、大局的には南部の竜神コンプレックス (RJ-7) から北部の湯川コンプレックス (YK-2) へと層序構造の下位に向かって次第に古くなり、花園コンプレックス (Hz-8) で再び若くなる (Fig. 5)。このような南北方向の FT 年代の変化傾向は、放散虫化石群集から推定される堆積年代の変化傾向 (鈴木・中屋, 2012) と調和的にも見える。特に梁瀬断層を境に接する高野山帯の花園コンプレックス (HZ-8) と日高川帯の湯川コンプレックス (YK-2) との被熱様式の違いは大きく、梁瀬断層がこの地域の順序外スラストとして白亜紀四万十帯付加体の南北方向の時代極性を乱していること (山本・鈴木, 2012) と調和的である。

## ま と め

紀伊半島西部の白亜紀の四万十帯付加体の花園、湯川、美山および竜神コンプレックスからジルコン FT 年代を測定した。FT 年代・年代頻度分布と、放散虫化石から推定される堆積年代との関係はコンプレックスごとに異なる結果が得られた。湯川コンプレックスではすべての粒子年代は堆積年代よりも古く、同コンプレックスが付加体の形成過程で FT 年代がリセットするような被熱を受けなかったことを示している。梁瀬断層を挟んで北部の花園コンプレックスでは、FT 年代および年代頻度分布のピークは堆積年代よりもわずかに若く  $\chi^2$  検定に合格することから被熱により FT 年代が概ねリセットしている可能性を示唆する。南部の美山および竜神コンプレックスについても類似した結果が得られた。竜神コンプレックスでは FT 年代の頻度分布がバイモーダルを呈し、粒子群ごとの FT のアニーリングの程度の違いを示している可能性がある。付加体形成過程でジルコンの FT の部分安定領域 (PAZ) の上限付近の温度の加熱を被ったことを示唆する。

## 謝 辞

FT 年代測定の中性子照射は京都大学原子炉実験所の共同利用研究によって行われた。同実験所の高宮幸一先生には中性子照射に協力していただいた。本学地球資源環境学教室の向吉秀樹先生には原稿に目を通していただき不備を指摘していただいた。心より感謝申し上げます。また研究の一部に科研費 (基盤 B: H24-26; 代表 高須 晃) を使用した。

## 参 考 文 献

- Brandon, M.T., 1992, Decomposition of fission track grain-age distributions. *Amer. Jour. Sci.*, **292**, 535-564.
- Dunkle, I., 2002, Trackkey: a windows program for calculation and graphical presentation of fission track data. *Computer & Geosciences*, **28**: 3-12.
- Galbraith, R.F., 1981, On statistical models for fission track count. *Mathematical Geology*, **13**: 471-478.
- Gleadow, A.J.W., Hurford, A.J. and Quaife, R.D., 1976, Fission track dating of zircon: improved etching techniques. *Eart. Planet. Sci. Lett.*, **33**: 273-276.
- Hasebe, N. and Tagami, T., 2001, Exhumation of an accretionary prism -results from fission track thermochronology of the Shimanto Belt, southwest Japan. *Tectonophysics*, **331**, 247-267.
- Hurford, A.J., Fitch, F.J. and Clarke, A., 1984, Resolution of the age structure of the detrital zircon population of two Lower Cretaceous sandstones from the weald of England by fission track dating. *Geological Magazine*, **121**, 269-277.
- 紀州四万十帯団体研究グループ, 2012a, 紀伊半島における四万十帯付加体研究の新展開. *地学団体研究会専報*, **59**, 295p.
- 紀州四万十帯団体研究グループ, 2012b, 湯川付加コンプレックスの提唱 - アルビアン~セノマニアン付加体 -. *地学団体研究会専報*, **59**, 25-34.
- 紀州四万十帯団体研究グループ, 2012c, 美山付加コンプレックスの再定義 - チューロニアン~下部マーストリヒチアンの付加体 -. *地学団体研究会専報*, **59**, 35-41.
- 紀州四万十帯団体研究グループ, 2012d, 竜神付加コンプレックスのユニット区分 - 上部カンパニアン~中部マーストリヒチアンの付加体 -. *地学団体研究会専報*, **59**, 43-50.
- Kiminami, K. and Ishihama, S., 2003, The parentage of low-grade metasediments in the Sanbagawa Metamorphic Belt, Shikoku, Southwest Japan, based on whole-rock geochemistry. *Sedimentary geology*, **159**, 257-274.
- 木村克己・別所孝範・坂本隆彦・公文富士夫・鈴木博之, 1996, 紀伊半島四万十帯層群の上部白亜系竜神累層に挟まれる酸性凝灰岩のフィッション・トラック年代とその意義. *地質学雑誌*, **102**, 116-124.
- 大平寛人・永井淳, 2004, 放射年代 (FT 法) 入門. *地球科学*, **58**, 185-189.
- 大平寛人, 2004, 埼玉県比企丘陵および荒川河岸に分布する第三紀中新世凝灰岩の FT 年代. *地学団体研究会専報*, **52**, 51-65.
- 鈴木博之・中屋志津男, 2012, 紀伊半島における四万十帯付加体の発達史について - 付加体の多様性とその起源 -. *地学団体研究会専報*, **52**, 273-282.
- 鈴木博之, 2012, 紀伊半島四万十帯付加体の地質構造. *地学団体研究会専報*, **59**, 101-110.
- Tagami, T., Hasebe, N. and Shimada, C., 1995, Episodic exhumation of accretionary complexes: fission-track thermochronologic evidence from the Shimanto Belt and its vicinities, south west Japan. *Island Arc*, **4**, 209-230.
- Tagami, T., Galbraith, R.F., Yamada, R. and Laslett, G.M., 1998, Revised annealing kinetics of fission tracks in zircon and geological implications. In: Van den haute, P., De Corte F. (Eds.), *Advances in Fission-Track Geochronology*. Kluwer Academic, Dordrecht, 99-112.
- Yamada, R., Tagami, T. and Nishimura, S., 1995, Annealing kinetics of fission tracks in zircon; an experimental study. *Chemical Geology*, **122**, 249-258.
- 山本俊哉・鈴木博之, 2012, 四万十帯北縁部に分布する花園付加コンプレックスの地質と放散虫化石 - サントニアン~上部カンパニアンの付加体 -. *地学団体研究会専報*, **59**, 1-14.

(受付: 2015 年 12 月 14 日, 受理: 2015 年 12 月 18 日)

