

横手盆地東縁断層帯の後期鮮新統～更新統の フィッション・トラック年代

小坂英輝* 楮原京子** 三輪敦志***
今泉俊文**** 黒澤英樹** 野原 壯**

Fission-track Ages of Late Pliocene to Pleistocene Strata around the Eastern Margin of the Yokote Basin Active Fault Zone, Northeast Japan

Hideki KOSAKA*, Kyoko KAGOHARA**, Atsushi MIWA***,
Toshifumi IMAIZUMI****, Hideki KUROSAWA** and Tsuyoshi NOHARA**

Abstract

We reconstruct the evolution of the active fault zone at Yokote Basin in northeast Japan based on new fission-track ages. The active fault zone consists of Obonai, Shiraiwa, and Senya faults. Fission-track dating was carried out from the late Pliocene to Pleistocene strata, developing along the active fault zone consisting of these faults. The number of samples was five. (1) Fission-track age of 1.5 ± 0.1 Ma (OB-03) was obtained from welded tuff in the Tazawa Formation around the Obonai fault. (2) Fission-track age of 1.85 ± 0.13 Ma (YG-01) was obtained from tuff in the Tazawa Formation around the south of the Obonai fault. (3) Fission-track age of 1.6 ± 0.3 Ma (FT-01) was obtained from the Kurisawa Formation around the Shiraiwa fault. (4, 5) Fission-track ages of 0.93 ± 0.14 Ma (FT-02) and 2.7 ± 0.4 Ma (FT-03) were obtained from tuffs in the Senya Formation around the Senya fault. YG-01 and FT-03 are likely to be young because of the possibility of reworked zircon crystals. As a result of making balanced and restored cross-sections across the active fault zone, the western boundary fault of the Mahiru mountains moves in the active fault zone after the frontal fault movements. Obonai and Shiraiwa faults were moved by the western boundary fault of the Mahiru mountains when the Senya fault began movement of the frontal fault.

Key words : fission-track dating, Obonai fault, Shiraiwa fault, Senya fault, frontal fault
キーワード : フィッション・トラック年代測定, 生保内断層, 白岩断層, 千屋断層, 前縁断層

I. はじめに

奥羽脊梁山脈およびその周辺に分布する後期鮮

新統～更新統は、東北日本弧の短縮変形ステージ
(佐藤, 1992) に、堆積した地層であり、その分布は、現在の盆地とほぼ一致する。東北日本弧の

* 株式会社環境地質
** 独立行政法人 日本原子力研究開発機構
*** 応用地質株式会社
**** 東北大学大学院理学研究科
* Kankyo Chishitsu, Co., Ltd.
** Japan Atomic Energy Agency
*** OYO Corporation
**** Graduate School of Science, Tohoku University

活断層の多くは、盆地と山地の境界に位置し、逆断層帯の発達に伴い、盆地縁辺部の丘陵にこれらの後期鮮新統～更新統の地層が露出している。奥羽脊梁山脈西縁に位置する横手盆地東縁断層帯（図1）では、逆断層帯の活動開始から現在までの形成過程を解明するために、それらの地質構造と変動地形をあわせた解析が進められている（楳原ほか, 2006）。筆者らは、横手盆地東縁断層帯ならびに周辺の地質構造の形成過程の検討のために、楳原ほか（2006）による解析断面付近に分布する露頭から凝灰岩等の試料を採取し、FT法による年代測定を行った。

調査対象地域の横手盆地に分布する後期鮮新統～更新統は、地表付近では横手盆地東縁断層帯周辺のみ分布し、北側より田沢層・栗沢層および千屋層からなる（臼田ほか, 1976, 1980, 1985; 図1b）。これらの地層は、断層の下盤側の盆地に堆積した地層の一部が、断層運動の前進（thrust-front migration）に伴う丘陵の形成によって地表に現れたものであり、田沢層は生保内断層周辺の丘陵部に、栗沢層は白岩断層周辺の丘陵部に、千屋層は千屋断層周辺の丘陵部にそれぞれ分布している（図1b）。これらの地層の年代を求めることは、バランス断面法を用いた解析の精度向上ならびに断層活動の開始年代やその変遷を解明するために、貴重なデータとなる。

本報告では、新たに田沢層で得たFT年代および楳原ほか（2006）のFT年代と横手盆地東縁断層帯の形成過程について述べる。

II. 横手盆地東縁断層帯付近に分布する後期鮮新統～更新統の概要

横手盆地東縁断層帯は、真昼山地西縁に沿って、北から生保内断層、白岩断層、および千屋断層等からなる総延長約70 kmの東側隆起の活断層帯である（図1b; 活断層研究会, 1991; 池田ほか2002）。

横手盆地東縁断層帯のthrust-front migrationにより隆起した丘陵地に後期鮮新統～更新統が分布しており、北から生保内断層周辺で田沢層（臼田ほか, 1980, 1985）、白岩断層周辺で栗沢層

（臼田ほか, 1980）、および千屋断層周辺で千屋層（臼田ほか, 1976）と命名されている。このうち、田沢層は玉川溶結凝灰岩類と礫岩、砂岩、泥岩および亜炭などの堆積岩からなるとされ、玉川溶結凝灰岩類とは、指交関係とされている。千屋層および栗沢層は、凝灰岩、砂岩、泥岩、亜炭、および礫岩からなり、上位ほど礫岩の割合が高く、中部付近以降凝灰岩と亜炭の分布がなくなる（楳原ほか, 2006）。

III. FT年代

横手盆地東縁断層帯の形成過程を明らかにすることを目的として、地質年代測定を実施したうち、本稿では楳原ほか（2006）で報告した試料と、未報告の2試料をあわせた5試料について報告する。FT年代測定は、（株）京都フィッション・トラックに依頼した。FT年代測定結果を表1に示す。

1) OB-03 地点

採取地は秋田県仙北市田沢湖生保内石神である（北緯39°44′8″，東経140°43′5″）。

生保内断層付近に分布する田沢層を対象として、図2aに示す位置で試料を採取した。試料は溶結凝灰岩からなり、臼田ほか（1985）では田沢層の玉川溶結凝灰岩類とされている。断層の背後側翼部で地形面と平行に段丘堆積物が傾斜していることから（図2のLoc.OB4）、この露頭は、真昼山地縁の断層の活動から前縁断層へ活動が移行したことにより露出した田沢層と推定される（図2b）。

測定年代は 1.5 ± 0.1 Ma である。

2) YG-01 地点

採取地は、秋田県仙北市田沢湖生保内の南方である（北緯39°38′38″，東経140°44′9″）。

生保内断層南方の田沢層を対象として、図3aに示す位置で試料を採取した。試料は、凝灰岩で（図3b）、臼田ほか（1980）では田沢層とされている。向斜翼部で田沢層が中新統と比較して若干緩く傾斜していることから、この露頭は、真昼山地西縁の向斜が形成される以前に堆積した田沢層と推定される（図3c）。

測定年代は 1.85 ± 0.13 Ma である。ただし、

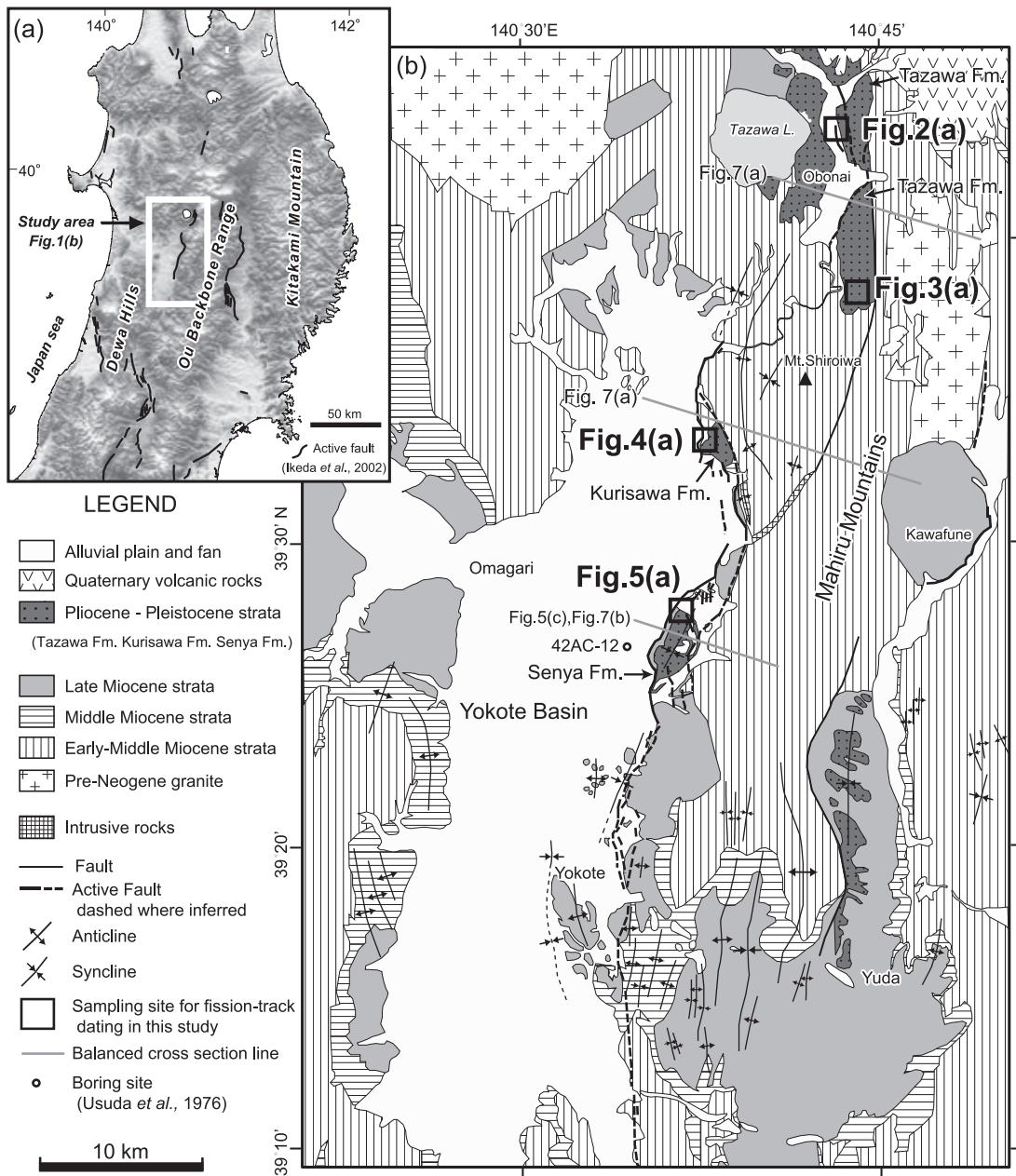


図 1 (a) 東北地方の 250 m-mesh DEM 陰影図および主な活断層分布。 (b) 調査地域の地質図および試料採取位置図。活断層は活断層研究会 (1991) および池田ほか (2002) による。地質図は大沢・須田 (1980), 大沢ほか (1988), 白田ほか (1976, 1977, 1980, 1985) を簡略化。

Fig. 1 (a) Shaded relief map based on 250 m-mesh DEM showing the locations of active thrusts in the Tohoku district. (b) Geological map and location map of sampling sites. Active faults are after The Research Group for Active Faults of Japan (1991) and Ikeda *et al.* (2002). Surface geology is compiled from Osawa and Suda (1980), Osawa *et al.* (1988) and Usuda *et al.* (1976, 1977, 1980, 1985).

表 1 調査地域のフィッシュョン・トラック年代.

Table 1 Fission track ages in this study.

(1)		(2), (3)		(4)		(5)		(6), (7), (8), (9)					
Samples	Mineral	Method	No. of grains	Spontaneous		Induced		Dosimeter		χ^2 test Pr(χ^2) (%)	U- content (ppm)	Age Ma $\pm 1\sigma$	
				ρ_s (cm ⁻²)	N_s	ρ_i (cm ⁻²)	N_i	ρ_d ($\times 10^4$ cm ⁻²)	N_d				
OB-03	Zircon	ED1	30	1.63×10^5	184	1.47×10^6	1654	7.233	3472	0.966	29	190	1.5 $\pm$ 0.1
YG-01	Zircon	ED2	108	1.46×10^5	254	2.26×10^6	3923	8.122	3898	0.681	7	260	1.85 $\pm$ 0.13
FT-01	Zircon	ED2	30	9.02×10^4	45	1.40×10^6	698	7.264	3487	0.758	85	180	1.6 $\pm$ 0.3 (Kagohara <i>et al.</i> , 2006)
FT-02	Zircon	ED2	30	4.39×10^4	49	1.18×10^6	1318	7.231	3471	0.708	33	150	0.93 $\pm$ 0.14 (Kagohara <i>et al.</i> , 2006)
FT-03	Zircon	ED2	26	1.17×10^5	57	1.10×10^6	538	7.262	3486	0.438	7	140	2.7 $\pm$ 0.4 (Kagohara <i>et al.</i> , 2006)

The results of the fission track dating from the Kyoto Fission track Co., Ltd.

- (1) Method: External detector method
(ED1: internal surface, ED2: external surface)
- (2) Dosimeter glass: NIST-SRM612
- (3) Irradiation facility: Pneumatic tube of the JRR-4 reactor at Japan Atomic Energy Agency (JAEA)
- (4) r: correlation efficient between ρ_s and ρ_i
- (5) $\text{Pr}(\chi^2)$: χ^2 value for ν degrees of freedom
(where ν is number of crystals-1) (Galbraith, 1981)
- (6) Age: $T = (1/\lambda_D) \cdot \ln[1 + \lambda_D + \zeta + (\rho_d/\rho_i) \cdot \rho_d]$ (EDI: $\rho_s \times 1/2$)
- (7) Error: $\sigma_T = T \times [1/\Sigma N_s + 1/\Sigma N_i + 1/\Sigma N_d + (\sigma_d/\zeta)^2]^{1/2}$
- (8) ^{238}U Decay constant: $\lambda_D = 1.55125 \times 10^{-10} \text{ yr}^{-1}$
- (9) YG-01; Age calibration factor Iwano: $\zeta_{\text{ED1}} = 385 \pm 3$; $\zeta_{\text{ED2}} = 352 \pm 3$
(Danbara *et al.*, 2007)
OB-03, FT-01, FT-02, FT-03; Danbara: $\zeta_{\text{ED1}} = 390 \pm 3$; $\zeta_{\text{ED2}} = 350 \pm 3$
(Danbara *et al.*, 2003)

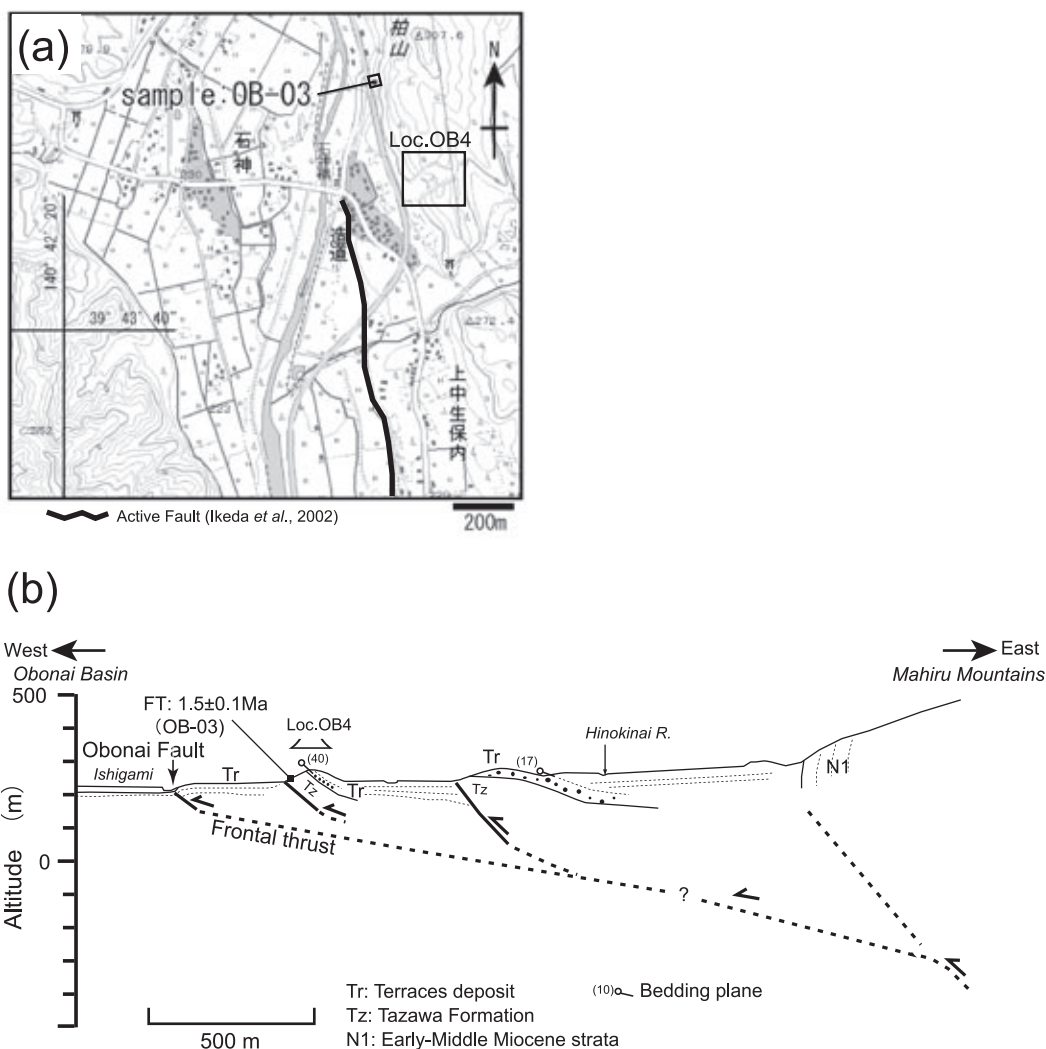


図 2 生保内地区の位置図 (a) と生保内断層の模式地質断面図 (b; 試料名: OB-03). 田沢層の溶結凝灰岩から試料を採取した。

Fig. 2 (a) Location of sampling site in the Obonai area. (b) Schematic geologic cross-section across the Obonai fault (sample: OB-03). The sample was collected welded tuff in the Tazawa Formation.

測定年代は、 $\rho_s - \rho_i$ 相関係数および χ^2 検定の値が共に低く (表 1), 外来結晶の影響を受けている可能性がある。

3) FT-01 地点

採取地は、秋田県大仙市豊岡である (北緯 $39^{\circ}33'38''$, 東経 $140^{\circ}37'34''$)。

白岩断層付近に分布する栗沢層を対象として、

図 4a に示す位置で試料を採取した。試料は、軽石凝灰岩からなり、白田ほか (1980) では栗沢層とされている。この露頭は、変動地形がある白岩断層より古い低角度の逆断層の変位を受けているため (図 4b), 白岩断層の活動前に堆積した栗沢層と推定される (図 4c)。

測定年代は 1.6 ± 0.3 Ma である (楮原ほか,

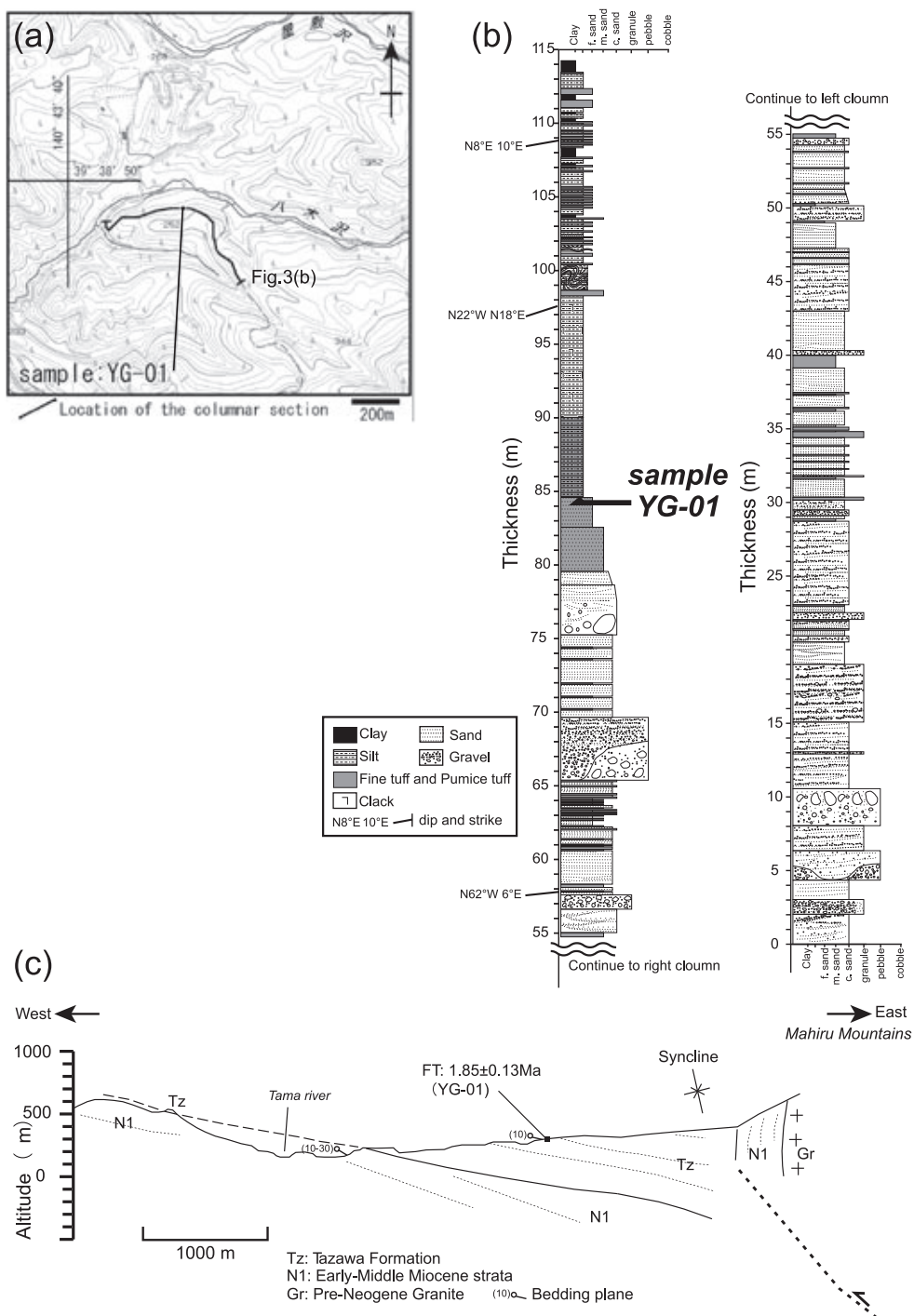


図 3 八木沢地区の位置図 (a) と露頭柱状図 (b; 試料名: YG-01) ならびに生保内断層南方の模式地質断面図 (c).

Fig. 3 (a) Location of sampling site in the Yagisawa area. (b) Columnar section at the sampling site (sample: YG-01). (c) Schematic geologic cross-section across the syncline at the foot of the Mahiru Mountains.

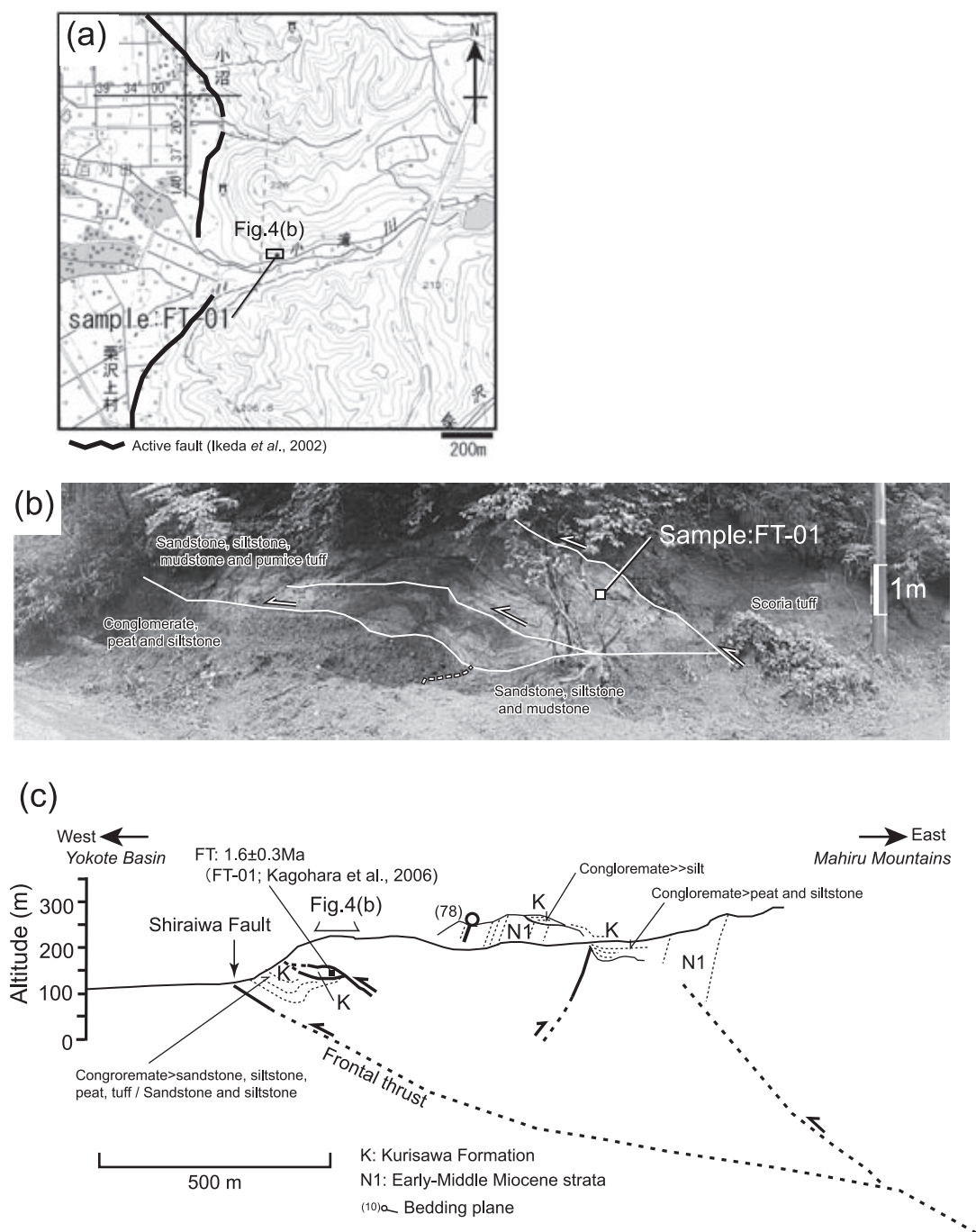


図 4 豊岡地区の位置図 (a) と試料採取露頭写真 (b; 試料名: FT-01) ならびに白岩断層の模式地質断面図 (c)。

Fig. 4 (a) Location of sampling site in the Toyooka area. (b) Photograph of outcrop (sample: FT-01). (c) Schematic geologic cross-section across the Shiraiwa Fault.

2006)。

4) FT-02 地点

採取地は、秋田県仙北郡美郷町浪花一丈木である(北緯 39°27'54", 東経 140°36'26")。

千屋断層付近に分布する千屋層を対象として、図 5a に示す位置で試料を採取した。試料は、凝灰岩からなり、楮原ほか(2006)により千屋層の中部層とされている。この露頭は、千屋断層の活動時期に背後側翼部に堆積した千屋層と推定される(図 5b, c)。

測定年代は、 0.93 ± 0.14 Ma である(楮原ほか, 2006)。

5) FT-03 地点

採取地は、秋田県仙北郡美郷町浪花一丈木である(北緯 39°27'55", 東経 140°36'22")。

千屋断層付近に分布する千屋層を対象として、図 5a に示す位置で試料を採取した。試料は、凝灰岩であり、楮原ほか(2006)により千屋層の下部層とされている。楮原ほか(2006)は、本試料を千屋断層の活動開始前に堆積した千屋層と推定している(図 5b, c)。

測定年代は、 2.7 ± 0.4 Ma である(楮原ほか, 2006)。ただし、測定年代は、 $\rho_s - \rho_i$ 相関係数および χ^2 検定の値が共に低く(表 1)、外来結晶の影響を受けている可能性がある。

IV. 年代の考察

田沢層、栗沢層、および千屋層の模式柱状図および今回報告した FT 年代を図 6 に示す。

田沢層の玉川溶結凝灰岩類は、須藤(1987)により玉川溶結凝灰岩である流紋岩溶結凝灰岩 R4 の分布が示され、その後、鹿野・大口(2004)により、須藤(1987)による玉川溶結凝灰岩中に田沢湖を給源とする可能性をもつ火山碎屑堆積物が発見されている。本報告による田沢層溶結凝灰岩の FT 年代(1.5 ± 0.1 Ma) および田沢層堆積岩中の凝灰岩試料の FT 年代(1.85 ± 0.13 Ma) は、OB03 採取地より約 1.5 km 西方の、鹿野・大口(2004)の火山碎屑堆積物の FT 年代(1.7 ± 0.2 Ma) とほぼ一致する。

栗沢層と千屋層は、横手盆地の試すい柱状図と

の比較から、臼田ほか(1980)により連続する一連のものであるとされている。FT 年代試料を採取した白岩丘陵に分布する栗沢層は、千屋層中部層以降と同じ特徴をもつことから、千屋層中部層以降に対比できる。栗沢層の FT 年代(1.6 ± 0.3 Ma) は、千屋層中部層の FT 年代(0.93 ± 0.14 Ma) と千屋層下部層の FT 年代(2.7 ± 0.4 Ma) の範囲内であり、千屋層と栗沢層が連続する考えを支持する。

田沢層、栗沢層、および千屋層の上下関係は、今まで明らかにされていないが、田沢層の FT 年代(1.4 ± 0.2 Ma ~ 1.85 ± 0.13 Ma) が、栗沢層および千屋層中部層~下部層の FT 年代(0.93 ± 0.14 Ma ~ 2.7 ± 0.4 Ma) の範囲内であり、田沢層は、栗沢層および千屋層の一部と、ほぼ同時期の堆積物であると推定される。

V. 議 論

千屋断層では、反射法地震探査により、真昼山地西縁の境界断層や、前縁断層など地下深部から地表に至る断層構造とその形成過程が示されている(佐藤・平田, 1998, 楮原ほか, 2006)。筆者らは、すでに解明されている千屋断層の形成過程と他の断層の形成過程を比較するために白岩断層などの模式断面図(今泉・佐藤, 2005)をバランス断面法により復元し、横手盆地東縁断層帯全体の形成過程を検討した。ただし、復元図の年代は、平均変位速度を一定と仮定して短縮量から見積もられた値であり、現実的ではない。しかし、この仮定は、復元図が示す年代に FT 年代を外挿したとき矛盾がなく(図 7b)、形成過程の検討結果に重要な影響を及ぼしていない。

復元図(図 7a)によると、横手盆地東縁断層帯では、最初に真昼山地西縁の境界断層が活動し、真昼山地と地表付近の断層先端部付近に隆起帯が形成され、次に前縁断層が活動し、丘陵地が形成される(図 7a)。断層先端部が前縁断層へ移動すると、断層形状の変化とともに、向斜構造が形成される位置が変化するなど断層先端部の隆起帯の形状も変化する(図 7a の 1.1 Ma ~ re-gent)。また、白岩断層では、短縮量が増加する

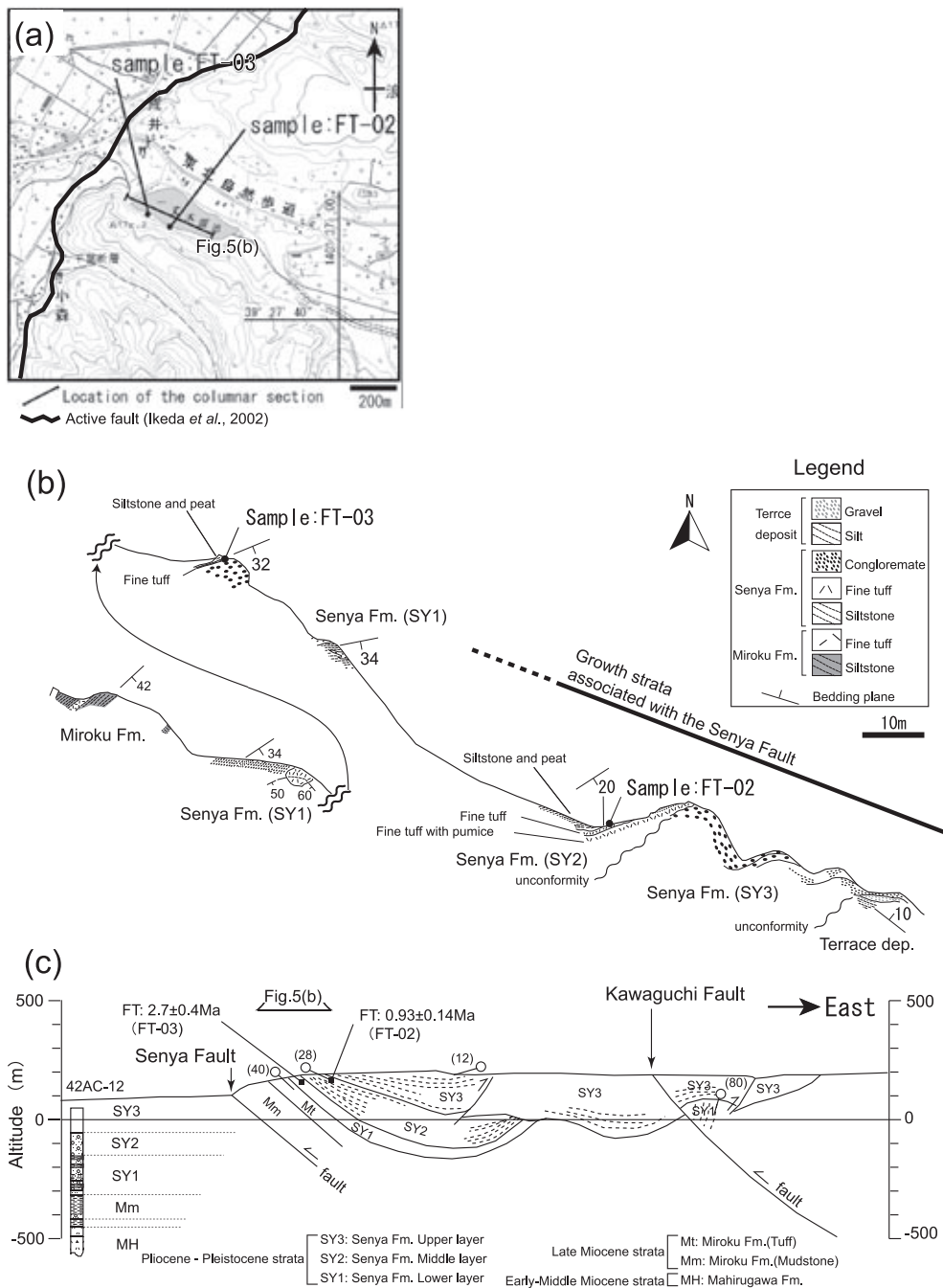


図 5 一丈木地区の位置図 (a) と試料採取露頭のスケッチ (b; 試料名: FT-02, FT-03) ならびに千屋丘陵を横切る地質断面図 (c: 楮原ほか, 2006). 42AC-12 は金属鉱床探査ボーリング資料 (白田ほか, 1976). 42AC-12 のボーリング位置を図 1b に示す.

Fig. 5 (a) Location of sampling site in the Ichijogi area. (b) Sketch of outcrop where samples FT-02 and FT-03 were collected. (c) Geologic profile across the Senya Hills (Kagohara *et al.*, 2006). 42AC-12 is boring data (Usuda *et al.*, 1976). Location of boring of 42AC-12.

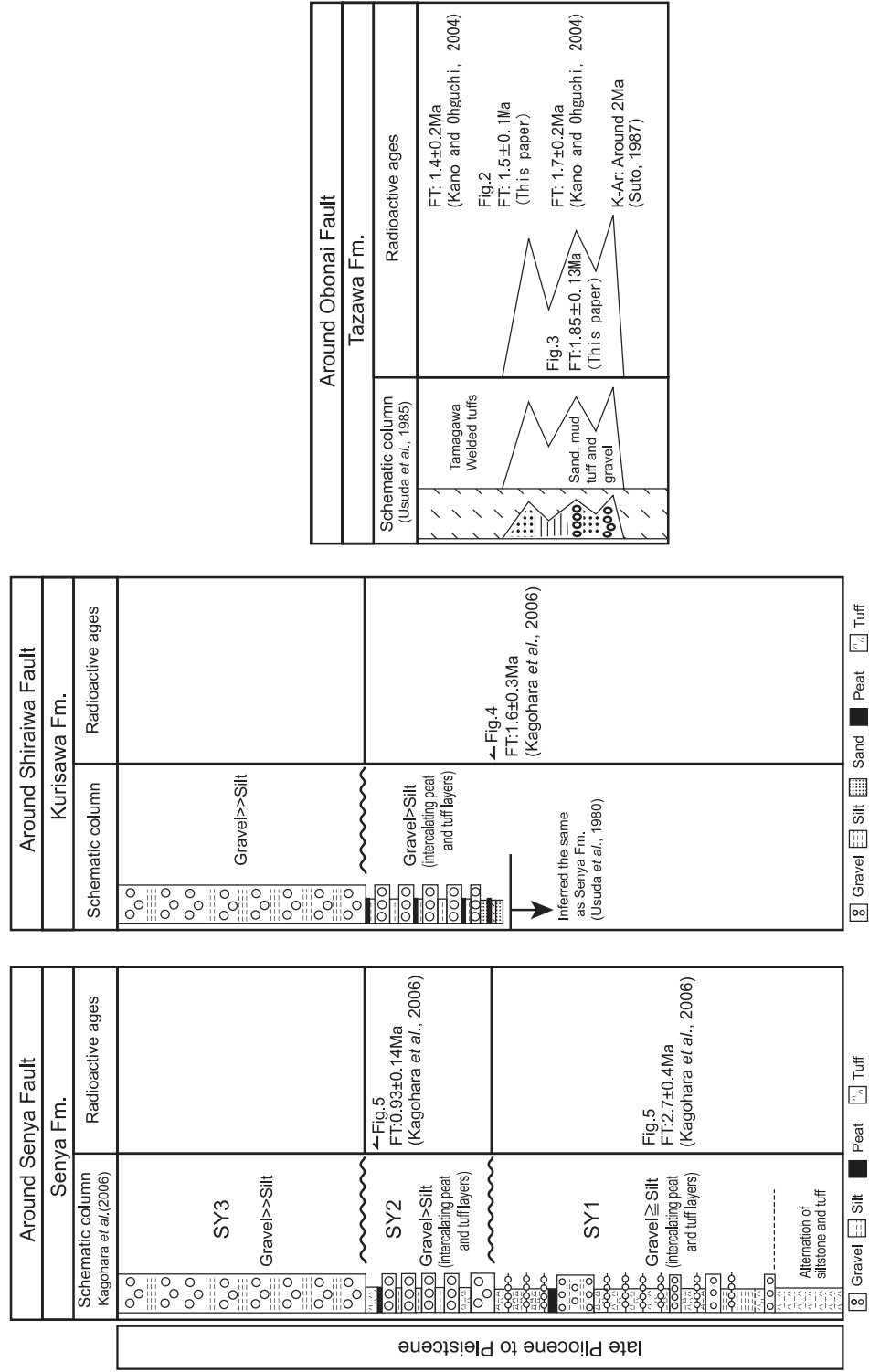


図 6 横手盆地東縁断層帯周辺の後期鮮新統～更新統の模式柱状図と放射性年代。

Fig. 6 Schematic Radioactive ages of late Pliocene to Pleistocene strata around the active fault zone in the Eastern Margin of the Yokote Basin.

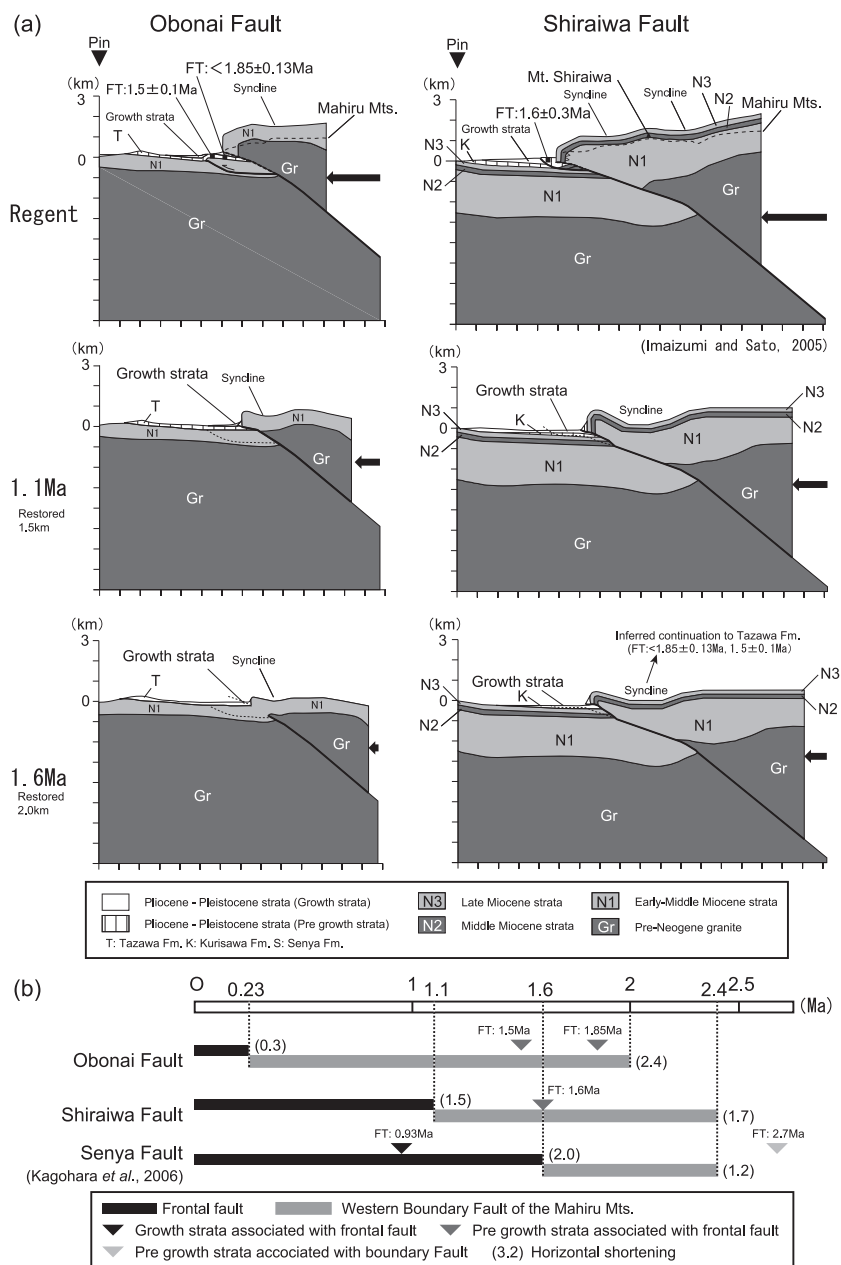


図 7 生保内断層および白岩断層のバランス断面法による復元図 (a) と横手盆地東縁断層帯の形成過程と FT 年代の比較図 (b). 断面位置を図 1b に示す. 白岩断層の模式断面図は今泉・佐藤 (2005) による. 千屋断層の形成過程は楢原ほか (2006) による. 復元図の年代は, 平均変位速度による見積もり.

Fig. 7 (a) Balanced and restored cross-sections across the Obonai and Shiraiwa faults. (b) Comparison chart of the fission-track ages and evolution of the eastern margin of the Yokote Basin active fault zone. Locations of the cross-sections are shown in Fig. 1b. Schematic geologic cross-section across the Shiraiwa Fault is after Imaizumi and Sato (2005). Evolution of the Senya Fault was based on Kagohara *et al.* (2006). The inserted ages in the schematic diagram on the evolution of the eastern margin of the Yokote Basin were extrapolated from the horizontal slip rate.

に従い、かつて真昼山地直下の ramp 構造の真上にあった厚い地塊が、前方の低角な断層に載りあがり、次第に白岩岳付近の起伏が形成される (図 7a の 1.1 Ma ~ regent)。断層関連褶曲の形状は、断層先端が真昼山地西縁にあるとき断層伝播褶曲、前縁断層にあるとき断層折曲り褶曲となる。このように、断層形状の変化と短縮の進行によって、断層関連褶曲の形状は変化していく。

1.6 Ma 以前の横手盆地東縁断層帯は、復元図によると全体に真昼山地西縁の境界断層で活動している。生保内断層南方の田沢層の試料 (1.85 Ma) は、田沢層が中新統と比較して若干緩く傾斜していることから、真昼山地西縁の向斜形成以前に堆積したと推定され (図 3c)、1.6 Ma 以前に真昼山地西縁の境界断層の活動があったことを支持する。白岩断層では、真昼山地直下の ramp 構造が低角度となり、真昼山地と断層先端部の隆起帯との間に大規模な向斜が形成される (図 7a)。生保内断層南方の向斜形成以前に堆積したと推定される田沢層の試料 (1.85 Ma) が復元図による白岩断層の向斜形成時 (1.6 Ma より前) と同時期であることから、白岩断層の地下深部で ramp 構造が低角化する断層の形状は、生保内断層南方へ連続すると推定される。

1.6 Ma 以降の横手盆地東縁断層帯は、千屋断層で前縁断層の活動が開始し、生保内断層では引き続き真昼山地西縁の境界断層が活動するなど、断層運動に分化が生じている (図 7b)。平均変位速度を一定としたとき、前縁断層の活動開始時期は、白岩断層が 1.1 Ma、生保内断層が 0.23 Ma と見積もられる。白岩断層の栗沢層の試料 (1.6 Ma) は、白岩断層の活動前に堆積したと推定され (図 4c)、復元図による白岩断層の前縁断層の活動開始時期が千屋断層よりも遅いことを支持する。

謝 辞

本研究を進めるにあたり大槻憲四郎教授 (東北大学大学院理学研究科) には、現地調査に同行いただき貴重な助言を賜った。FT 年代測定は (株) 京都フィッシュン・トラックに依頼しました。本稿は、編集委員会の皆様と 2 名の査読者によるご指導により、大幅に改善されました。以上の方々に厚く御礼申し上げます。

文 献

- Danhara, T., Iwano, H., Yoshioka, T. and Tsuruta, T. (2003): Zeta calibration values for fission track dating with a diallyl phthalate detector. *Journal of Geological Society of Japan*, **109**, 665-668.
- Danhara, T., Iwano, H., Kobayashi, H. and Tsuruta, T. (2007): A report on fission-track data of zircon and apatite age-standard for age calibration using diallyl phthalate (DAP) resin detector and a minor revision of zeta values by Danhara et al. (2003). *Journal of Geological Society of Japan*, **113**, 77-81.
- Galbraith, R.F. (1981): On statistical model for fission track counts. *Mathematical Geology*, **13**, 471-488.
- 池田安隆・今泉俊文・東郷正美・平川一臣・宮内崇裕・佐藤比呂志 (2002): 第四紀逆断層アトラス. 東京大学出版会, 254p.
- 今泉俊文・佐藤比呂志 (2005): 東北地方の活断層研究の諸問題. 第四紀研究, **44**, 217-227.
- 楢原京子・今泉俊文・宮内崇裕・佐藤比呂志・内田拓馬・越後智雄・石山達也・松多信尚・岡田真介・池田安隆・戸田 茂・越谷 信・野田 賢・加藤一・野田克也・三輪敦志・黒沢英樹・小坂英輝・野原 壯 (2006): 横手盆地東縁断層帯・千屋断層の形成過程と千屋丘陵の活構造. 地学雑誌, **115**, 691-714.
- 鹿野和彦・大口健志 (2004): 八幡平西方, 玉川溶結凝灰岩中に見出された給源不明の火山碎屑堆積物. 火山, **49**, 283-297.
- 活断層研究会 (1991): 新編日本の活断層—分布図と資料. 東京大学出版会, 360p.
- 大沢 穠・須田芳朗 (1980): 20 万分の 1 地質図「秋田及び男鹿」. 地質調査所.
- 大沢 穠・広島俊男・駒澤正夫・須田芳朗 (1988): 20 万分の 1 地質図「新庄及び酒田」. 地質調査所.
- 佐藤比呂志 (1992): 東北日本中部地域の後期新生代テクトニクス. 地質調査所月報, **43**, 119-139.
- 佐藤比呂志・平田 直 (1998): 活断層の深部構造と日本列島の成立. 科学, **68**, 63-71.
- 須藤 茂 (1987): 仙岩地熱地域の珪長質大規模火砕流堆積物—玉川溶結凝灰岩と古玉川溶結凝灰岩—, 地質調査所報告仙岩地熱地域における研究. 地質調査所報告, **266**, 77-142.
- 白田雅郎・白石建雄・岩山勝男・秋元義人・井上 武・乗富一雄 (1976): 秋田県総合地質図幅「六郷」, 1: 50,000 地質図および説明書. 秋田県.
- 白田雅郎・村山 進・白石建雄・伊里道彦・井上 武・乗富一雄 (1977): 秋田県総合地質図幅「横手」, 1: 50,000 地質図および説明書. 秋田県.
- 白田雅郎・村山 進・白石建雄・高安泰助 (1980): 秋田県総合地質図幅「角館」, 1: 50,000 地質図および説明書. 秋田県.
- 白田雅郎・岡本金一・高安泰助 (1985): 秋田県総合地質図幅「田沢湖」, 1: 50,000 地質図および説明書. 秋田県.

(2008 年 5 月 2 日受付, 2008 年 10 月 6 日受理)