

## 新潟地域の地下に分布するグリーンタフのフィッション・トラック年代

加藤 進<sup>1</sup>・檀原 徹<sup>2</sup>・松井良一<sup>3</sup>・小田 浩<sup>4</sup>

Susumu Kato, Toru Danhara, Ryoichi Matsui and Hiroshi Oda (2007) Fission-track ages of the "Green Tuff" in the subsurface of Niigata Prefecture, central Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 58(11/12), p.371 - 388, 14 figs, 4 tables.

**Abstract:** Fission-track age determinations using both internal and external surfaces of zircons for 23 core samples of the "Green Tuff" were carried out. These samples were collected from 21 wells drilled for the petroleum exploration in Niigata Prefecture.

After the detail examinations for grain ages of each sample using histograms and age spectra, fission-track ages are interpreted. Fission-track ages of the "Green Tuff" are divided into two age groups (15.5 to 17.1 Ma and 13.5 to 13.8 Ma). The older group is recognized in all three districts (Kita-kambaro, Mitsuke and Yoshii districts) and corresponds to the Tsugawa stage or the lowest part of the Nanatani stage. The younger group, corresponding to the uppermost part of the Nanatani stage, is relatively restricted.

Grain ages show the presence of zircons derived from basements in the Kita-kambaro and Yoshii districts. No basement zircons and younger fission-track ages of some wells such as Sanjyo SK-1 indicate that volcanism was active for a long period in the Mitsuke district.

An analysis of grain ages in the Mitsuke oil field using Brandon (2002) show felsic volcanism was active around 23 Ma, same as the Sado Island and Asahi Mountains.

Reset of fission-track ages of both surfaces and distribution of grain ages give us some information on past thermal conditions. For example, the thermal alteration in the Yoshii district occurred around Yoshii SK-10D and started just after the eruption of rhyolite can be inferred.

**Keywords:** fission-track age, age-spectra, grain age, zircon, "Green Tuff", core sample, subsurface, Niigata Prefecture

### 要 旨

新潟地域の石油探鉱で掘削された坑井から採取されたグリーンタフのコア試料を用いてフィッション・トラック年代を測定した。グリーンタフの年代は15.5～17.1 Maと13.5～13.8 Maの2つの年代グループに分かれ、前者は津川階に、後者は七谷階最上部に対比される。

基盤岩に由来するジルコンは北蒲原地区と吉井地区に認められるが、見附地区には認められない。三条などの坑井では七谷層よりも若い年代を示しており、見附地区では火成活動が活発で長期間続いたと推定される。

見附油田の試料をBrandon (2002) の方法で解析すると、約23 Maのピーク年代値が得られ、佐渡や朝日山地と同様な珪長質火山活動の存在が推定される。

内部面・外部面年代値のリセットや粒子年代値の分布から、定性的な熱史を推定できる。吉井地区では熱水変質は吉井SK-10D付近に中心があり、流紋岩の噴出直後から始まったと推定される。

### 1. はじめに

新潟県は国内第一位の産油・産ガス県であり、同県ではこれまでに数多くの油・ガス田が発見・開発されてきた。その中で、グリーンタフと呼ばれる七谷期の火山岩・火砕岩類を貯留岩とする見附油田、吉井・東柏崎ガス田及び南長岡・片貝ガス田は生産性が良く、可採鉱量も大きい国内の代表的な油・ガス田である。

1978年に南長岡・片貝ガス田が発見されて以来、グリーンタフをより深く探鉱することや大深度にあるグリーンタフの探鉱を目的とした“深部グリーンタフの探鉱”が国及び企業によって精力的に推進された。その結果、地下におけるグリーンタフの発達状況や岩質・岩相はかなり明らかになってきた(例えば、津田, 1992)。グリーンタフの年代については、その上位やグリーンタフ中に発達する泥岩から産出する微化石に基づいて主に検討されてきた(佐藤・佐藤, 1992; 加藤ほか, 1992など)。しかしながら、グリーンタフの層序

<sup>1</sup>株式会社地球科学総合研究所 (JGI, Inc., Meikei Building, 1-5-21 Otsuka, Bunkyo-ku, Tokyo, 112-0012 Japan)

<sup>2</sup>京都フィッション・トラック株式会社 (Kyoto Fission-track Co., Ltd., 44-4 Minami-Tajiricho, Kita-ku, Kyoto, 603-8832, Japan)

<sup>3</sup>国際石油開発株式会社 (INPEX Corporation, 4-1-18 Ebisu, Shibuya-ku, Tokyo 150-0013 Japan)

<sup>4</sup>地圏資源環境研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Institute for Geo-Resources and Environment)

学的な細分、火成活動の時空間的な変遷、更には貯留岩性状に影響を及ぼす熱水変質などグリーンタフを石油地質学的な観点からより詳細に検討するためには、グリーンタフそれ自体の年代が不可欠である。

新潟地域の地下に発達するグリーンタフは珪長質の火山岩・火砕岩類と玄武岩類からなり、これらはかなり変質している(周藤ほか, 1997)。この点を考慮して、著者の一人加藤は変質に強いジルコンを用いたフィッシュン・トラック年代の測定(檀原, 1997)を坑井試料に対し実施してきた(加藤, 1994; 加藤・井嶋, 1997)が、予想外に古い年代値や短縮したトラックの存在が十分説明できなかつた。その後、通常行われている結晶外部面での測定に加え、結晶内部面での測定やトラック長の測定を石油公団石油開発技術センター(現独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構: JOGMEC)の経常研究として実施し、年代値の検討を行ってきた(小田ほか, 2000)。その結果、フィッシュン・トラック年代測定からグリーンタフの噴出年代だけでなく、熱イベントやそれ以前の火成活動などについての情報を読み取ることが可能であることが分かってきた。

本稿では、坑井で採取したコア試料のフィッシュン・トラック年代及びトラック長の測定結果を報告し、これに基づいて新潟地域のグリーンタフの噴出年代及び変質年代について考察する。

## 2. 七谷層

新潟地域の新第三系では、年代層序単位として標準的な時階が設定されており、下位から三川階、津川階、七谷階、寺泊階、椎谷階、西山階、灰爪階に区分され(第1図)、三川階と津川階の火山岩・火砕岩類がグリーンタフと呼ばれている(新潟県, 2000)。しかし、津川階と七谷階は少なくとも一部は重複することが指摘されており(例えば、米谷, 1978)、坑井においては変質が著しく、微化石から七谷階と津川階あるいは三川階を区別できないため、これらを一括して七谷階としている(津田, 1992)。本稿でもこれを踏襲する。したがって、坑井における七谷層は、一般に下部の主に珪長質の火山岩・火砕岩類や玄武岩類からなるグリーンタフと、上部の主に黒色・暗灰色泥岩(狭義の七谷層)からなる。

七谷層からは浮遊性有孔虫化石、底生有孔虫化石、石灰質ナンノ化石などの微化石が産出し、3帯の浮遊性有孔虫化石帯(PF 1, PF 2, PF 3)と石灰質ナンノ化石帯(CN 3, CN 4, CN 5a)、及び1帯の底生有孔虫化石帯(BF 1)が認められている(新潟県, 2000)。BF 1は石灰質種と砂質種の混合群集で特徴づけられるが、*Martinottiella communis*, *Spirosigmoilinella*

*compressa*, *Sigmoilopsis schlumbergeri*などの砂質種のみから構成される群集も認められる。

## 3. 試料

七谷層から採取されたコア試料のうち、21坑井23試料にはフィッシュン・トラック年代測定に必要な量のジルコン結晶が含まれていた。これらの坑井は北蒲原地区、見附地区及び吉井地区に位置している(第2図)。各坑井の試料採取深度と七谷層の岩相を第3図に示す。グリーンタフの岩質は坑井掘削時に採取される掘り屑(カッティングス)及びコアの岩質調査、薄片鑑定結果及び物理検層に基づいて解釈した。また、確認されている有孔虫化石も第3図に示した。

### 3.1 北蒲原地区

紫雲寺SK-21(坑井番号1, 紫雲寺と略する)では、先第三系の基盤岩(ホルンフェルス)の上位に約600 mの流紋岩類(一部デイサイト質)が発達しており、試料はその中部から採取した。

天王SK-1(2, 天王)では、PF 1に相当する有孔虫化石を含む泥岩の下位に流紋岩類(流紋岩質溶岩と同質の凝灰岩や火山礫凝灰岩など)が発達しており、その下部から試料を採取した。

七石SK-1(3, 七石)はグリーンタフを約300 m掘削しており、試料は掘止付近から採取した流紋岩質凝灰岩である。

新南水原TS-1(4, 新南水原)では、主に流紋岩からなるグリーンタフが約600 m掘削されており、試料はグリーンタフ上限から約200 m(1)と掘止付近(2)の2層準から採取した。

南郷SK-2(5, 南郷)で確認されている約450 mのグリーンタフはその上部が流紋岩質、下部が安山岩質であり、試料は掘止付近の砂岩である。

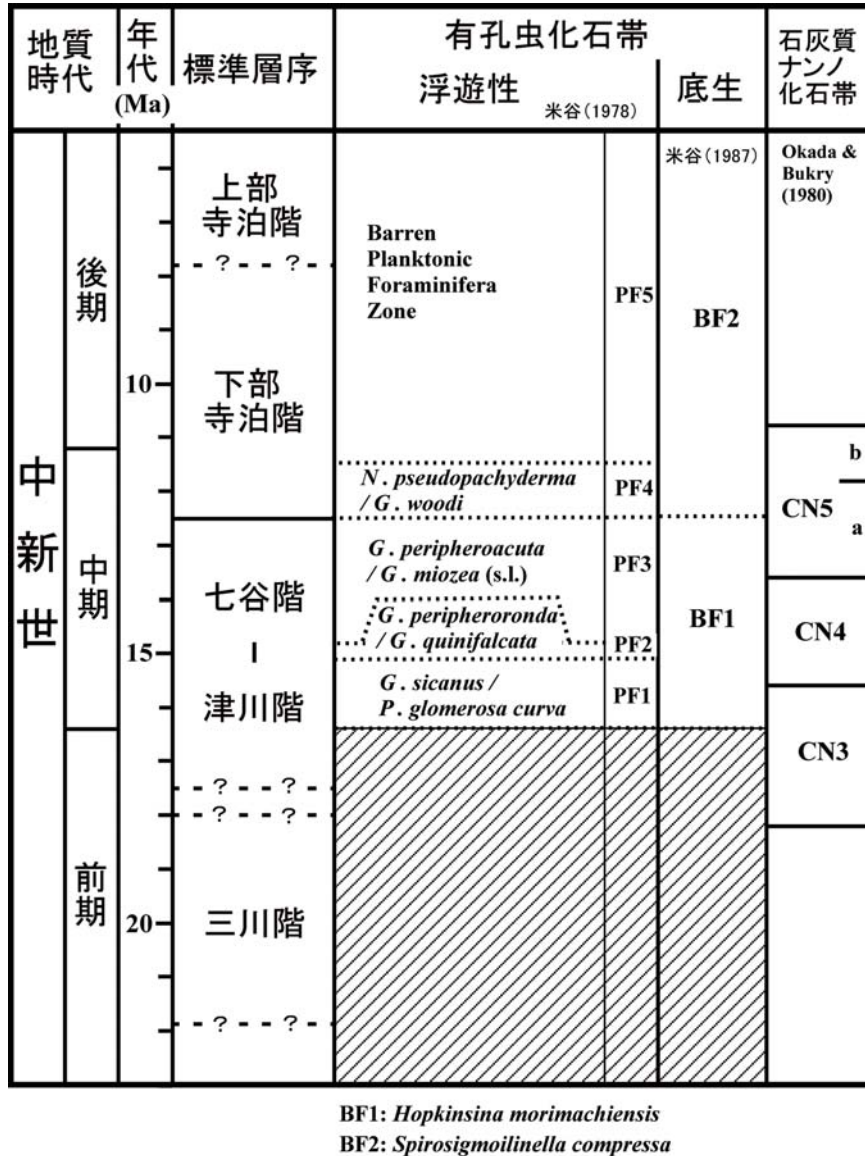
東五泉SK-1(6, 東五泉)では約600 mのグリーンタフを確認しており、その下部に発達するデイサイトから試料を採取した。

天王を除くと、北蒲原地区のこれらの坑井では七谷層の有孔虫化石群集はいずれも砂質群集で特徴づけられている。

### 3.2 見附地区

鹿嶋SK-1D(7, 鹿嶋)で確認した約1,300 mのグリーンタフは主に流紋岩からなり、その上部には安山岩質凝灰岩、少量のドレライトや泥岩の薄層が発達している。試料は上限から約1,150 m掘り込んだ深度から採取された変質した流紋岩である。

人面SK-1(8, 人面)の試料はグリーンタフ最上部の流紋岩質凝灰岩である。この下位にはPF 3及びPF 2



第1図 新潟地域の標準層序(新潟県, 2000)。

Fig. 1 Standard stratigraphy of the Miocene sequences in Niigata Prefecture after Niigata Prefecture (2000).

に相当する有孔虫化石を産出する泥岩が発達している。

塩谷SK-1 (9, 塩谷) では、約650 mのグリーンタフが確認されており、その下部は安山岩類からなる。試料は掘止付近の変質デイサイトである。

荷頃SK-1 (10, 荷頃) では約1,500 mの七谷層が確認されている。その最上部は凝灰岩であり、中上部は泥岩が主体であり、下部は主にドレライトからなる。試料はドレライトに挟まれた流紋岩であり、ほぼ同深度から2試料を採取した。

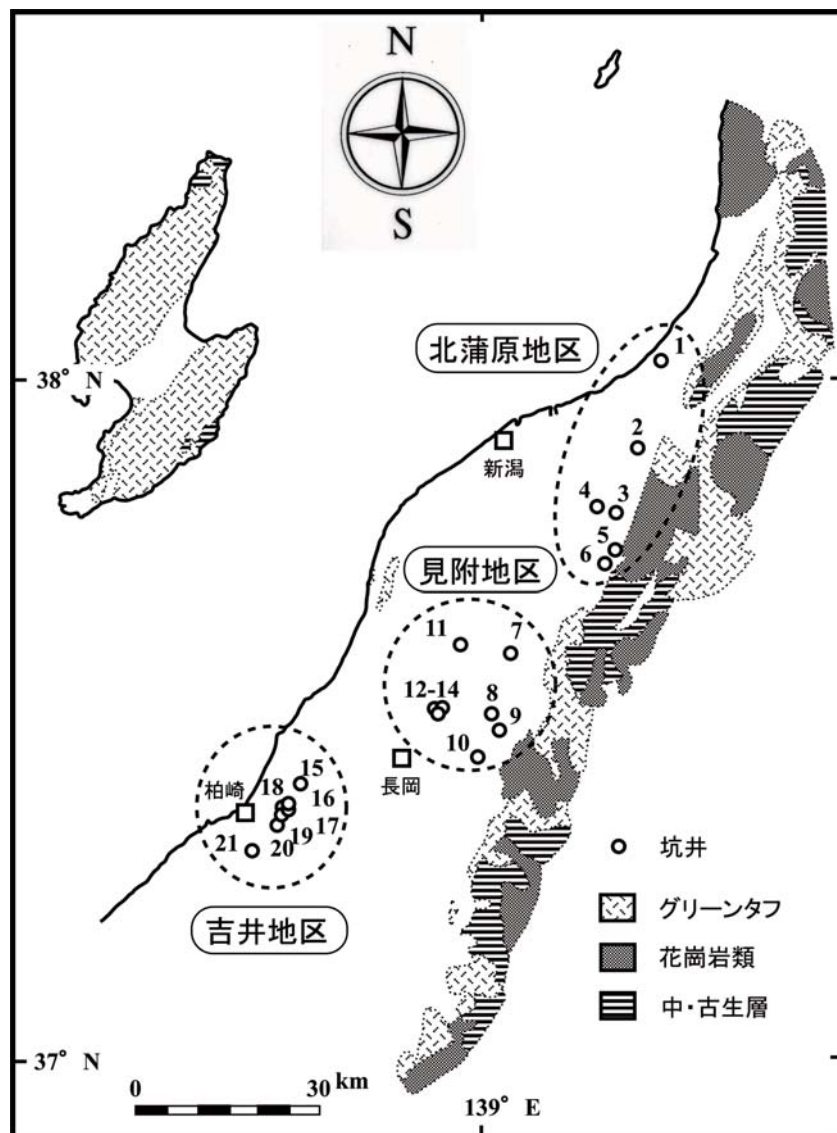
三条SK-1 (11, 三条) で確認した約550 mのグリーンタフは流紋岩類(流紋岩と凝灰岩) からなり、試料は掘止で採取された流紋岩である。

見附油田における最深井は見附SK-36であり、グ

リーンタフを約1,300 m探鉱している。グリーンタフは下部の無斑晶質流紋岩、中部の約600 mの玄武岩類、そして上部の石英斑晶を含む流紋岩類からなる。見附SK-9 (12, 見附9), SK-14 (13, 見附14), SK-16 (14, 見附16) で試料を採取した上部の流紋岩類は、長さ約500 m, 幅200~300 mの小規模なドーム状を示す幾つかの溶岩部からなる(西島, 1971)。

### 3.3 吉井地区

吉井ガス田では基盤岩(花崗岩・超塩基性岩) が確認されており、七谷層は南部で薄く、北方に向かって厚くなっている。一般に、上部は主に泥岩からなり、下部は流紋岩類や厚いドレライトなどの玄武岩類で特徴



第2図 坑井位置図及び地質概略図（新潟県，2000を簡略化）。

Fig. 2 Map showing well locations and simplified geological map after Niigata Prefecture (2000).

づけられるグリーンタフである。泥岩からはPF 3～PF 1に相当する浮遊性有孔虫化石が産出している。

妙法寺SK-10 (15, 妙法寺), 吉井SK-10D (16, 吉井10), 吉井SK-2D (17, 吉井2), 中通-2 (19, 中通) 及び堀SK-1 (21, 堀) では、グリーンタフの最上部 - 上部に相当する流紋岩あるいは同質凝灰岩から試料を採取した。一方、吉井SK-9D (18, 吉井9) と安田SK-4D

(20, 安田) はグリーンタフよりも上位の泥岩中の凝灰岩から試料を採取した。

#### 4. フィッション・トラック年代測定及び結果

測定は立教大学原子炉 (TRIGA MARK II) を用いて、zeta 較正による外部ディテクター法で行った (檀原,

第3図 坑井岩相柱状図及びコア試料採取層準。

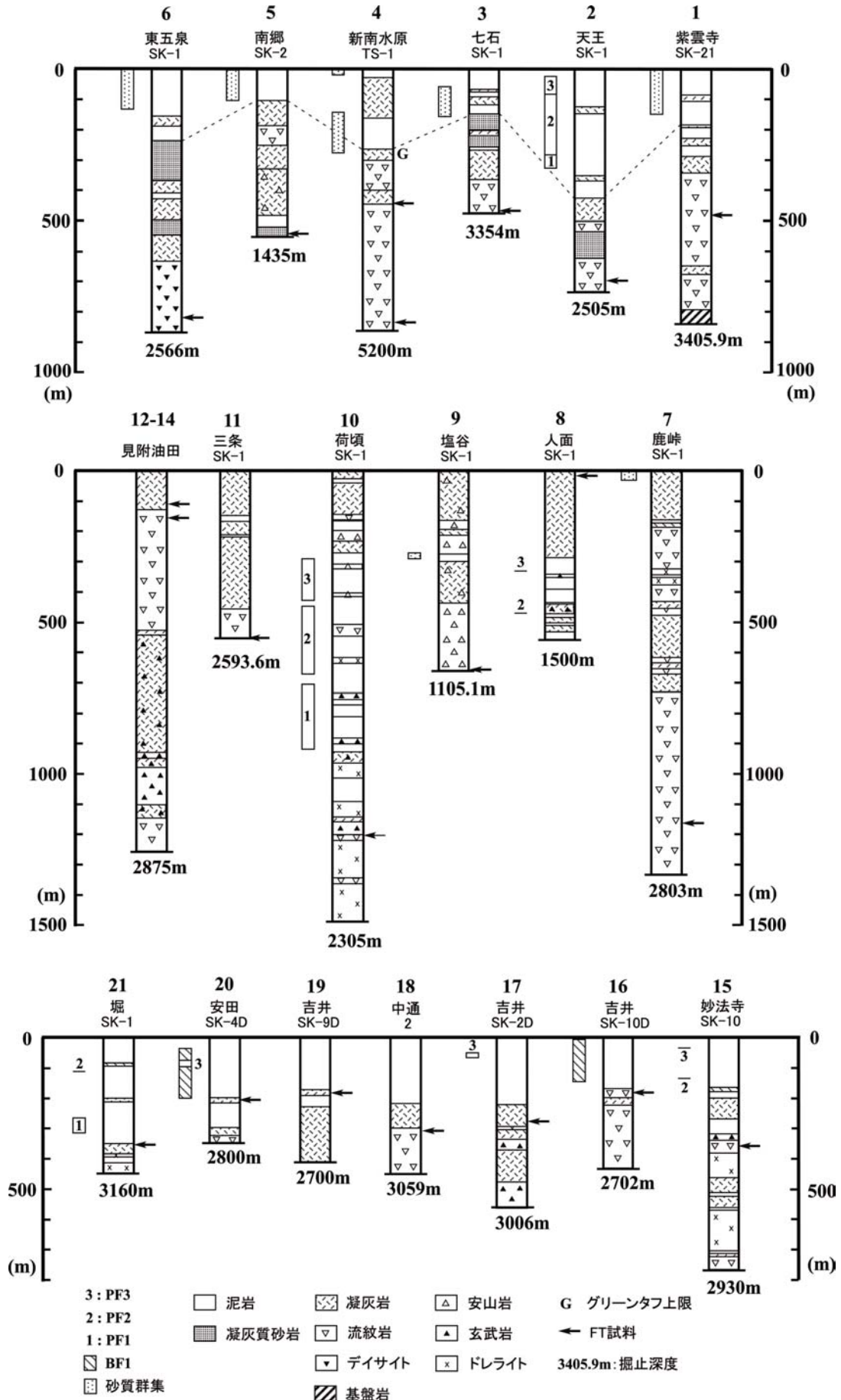
縦軸は七谷層上限からの掘削深度を示す。見附油田は模式柱状図であり、コア試料はSK-9とSK-14は上位の層準から、SK-16は下位の層準から採取。

Fig. 3 Well columnar sections with sampling horizons of cores and foraminiferal assemblages.

The vertical axis shows drilling depth below the top of the Nanatani Formation. A schematic columnar section is shown in the Mitsuke oil field. Cores in SK-9 and SK-14 were taken from the upper horizon and a core in SK-16 was taken from the lower horizon.



新潟地域グリーンタフのフィッショントラック年代(加藤ほか)



第1表 試料一覧.

Table 1 List of core samples for fission-track dating.

地区	番号	坑井名	深度 (m)	岩質	ジルコン数 /処理量(kg)	含有量	本質結晶 (%)	短縮化	測定面		トラック長解析	
									内部面	外部面	C	S
北蒲原地区												
	1	紫雲寺SK-21	3,051	alt Rh	25/0.25	R	70	?		★		
	2	天王SK-1	2,471	Rh	300/0.80	C	100		★	★	★	★
	3	七石SK-1	3,352	rh Tf	300/0.70	C	95	●	★	★	★	★
	4	新南水原TS-1(1)	4,783	Rh	500/0.70	C	90	●	★	★	★	★
		(2)	5,177	Rh	200/0.25	C	40	○	★	★		
	5	南郷SK-2	1,431	Sst	800/0.20	A	5	○	★	★		
	6	東五泉SK-1	2,526	Dc	200/0.65	C	20		★	★	★	★
見附地区												
	7	鹿峠SK-1	2,639	alt Rh	60/1.00	R	85			★		
	8	人面SK-1	962	rh Tf	80/0.65	R	70	▲		★		
	9	塩谷SK-1	1,104	alt Dc ?	60/1.00	R	60	?		★		
	10	荷頃SK-1	2,018	Rh	1000/2.2	C	98	○	★	★	★	
				Rh	1000/2.1	C	95	○	★	★		
	11	三条SK-1	2,593	Rh	200/0.70	C	60		★	★	★	
	12	見附SK-9	1,836	Rh	400/0.10	A	100		★	★	★	
	13	見附SK-14	1,897	Rh	500/0.45	A	90	▲	★	★		
	14	見附SK-16	2,020	Rh	300/0.60	C	100	▲	★	★	★	★
吉井地区												
	15	妙法寺SK-10	2,546	rh Tf/Tf Bc	200/0.65	C	95	○	★	★		
	16	吉井SK-10D	2,459	alt Rh	500/0.50	A	100	●	★	★	★	
	17	吉井SK-2D	2,733	rh Tf	250/0.20	A	90	●	★	★	★	★
	18	中通-2	2,932	rh Tf	500/0.20	A	90	▲	★	★		
	19	吉井SK-9D	2,477	rh Tf	500/0.50	A	99	●	★	★		
	20	安田SK-4D	2,661	rh Tf	40/0.70	R	100	○	★	★		
	21	堀SK-1	3,063	rh Tf	200/0.80	C	90	△	★	★	★	

Rh: 流紋岩, Dc: デイサイト

Tf Bc: 凝灰角礫岩, Tf: 凝灰岩, Sst: 砂岩

rh: 流紋岩質, alt: 変質

A ≥ 100個/0.1kg

100個/0.1kg > C ≥ 15個/0.1kg

R < 15個/0.1kg

●: 明瞭, ○: 普遍的

▲: 一部, △: 無色

★: 測定

C: コンファインド・トラック長測定

S: セミトラック長測定

1995). 結晶外部面を用いた年代測定 (ED 2) は23試料すべてに実施したが, 結晶内部面での年代測定 (ED 1) は試料に含まれていたジルコン結晶数が不十分な試料を除いた19試料で行った(第1表). また, 外部面でトラックの一端が露出したセミトラックの短縮を定性的に判定した上で, セミトラック長測定を6試料で, 結晶内部に存在し両端が容易に観察できるコンファインド・トラック長の測定を11試料で実施した(岩野・檀原, 1997).

#### 4.1 ジルコン結晶数

試料の処理量は試料毎に異なるが, 測定時期がやや古いため処理量が多い荷頃を除けば0.1~1.0 kgである. 比較のために, 試料0.1 kg当りのジルコン結晶数を15未満 (R), 15以上100未満 (C) 及び100以上 (A) に分類した(第1表).

ジルコン結晶数は鹿峠, 人面, 塩谷の見附地区3坑井と紫雲寺及び安田で少なく, 吉井の3坑井と中通, 見附の2坑井及び南郷で多い. この中で南郷は岩質(砂岩)が異なる.

#### 4.2 本質結晶

ジルコン結晶は, 色, 透明度, 自形性, 晶癖(結晶形態), 円磨度, エッチング後の自発トラック密度, エッチング速度, 異方性, トラック長などにより定性的に本質結晶と外来結晶を1粒毎に区別することが可能である(檀原, 1995). 本質結晶の割合は吉井ガス田や見附油田の坑井で90%以上と高いが, 見附地区の北部の坑井や北蒲原地区の南部の坑井では低い. 特に南郷は凝灰質な砂岩であり, 本質結晶の割合が5%と最も低い.

#### 4.3 トラック長

外部面ではセミトラック長の短縮が比較的容易に判定できる. 短縮の程度を定性的に4段階に分け表示した(第1表). ほとんどの試料でトラック長に何らかの短縮が認められる. 6試料で行ったセミトラック長の測定結果は定性的な分類を支持している. 標準年代試料(Hurford, 1990)であるFish Canyon Tuff (FCT) のセミトラック長の平均値は7.24 μmであるのに対し, 短縮化が明瞭である新南水原(1), 東五泉, 七石そして吉井

第2表 トラック長解析結果.

Table 2 Result of fission-track length analysis.

番号	坑井名	コンファインド・トラック長				セミトラック長			
		本数	平均値±1σ (μm)	最大 (μm)	最小 (μm)	本数	平均値±1σ (μm)	最大 (μm)	最小 (μm)
	標準試料(FCTZ)	50	10.68±0.57	11.85	9.55	508	7.24±1.46	11.99	3.82
北蒲原地区									
2	天王SK-1	30	10.30±0.90	11.52	7.40	600	7.06±1.48	11.19	3.34
3	七石SK-1	57	10.68±0.59	11.99	9.08	578	5.69±1.99	11.05	0.81
4	新南水原TS-1 (1)	9	10.47±0.50	11.48	9.91	565	5.60±2.04	10.53	1.19
6	東五泉SK-1	14	10.48±0.57	11.49	9.38	469	6.49±1.83	11.08	1.32
見附地区									
10	荷頃SK-1	4	10.81±0.91	11.95	9.91				
11	三条SK-1	2	9.83±0.60	10.26	9.41				
12	見附SK-9	6	10.53±0.58	11.52	9.81				
14	見附SK-16	7	10.68±0.56	11.41	9.65	276	6.56±1.95	12.06	2.16
吉井地区									
16	吉井SK-10D	10	10.55±0.66	11.23	9.24				
17	吉井SK-2D	50	10.86±0.69	11.96	9.20	500	5.03±1.79	10.85	1.28
21	堀SK-1	1	9.82						

2ではセミトラック長の平均値はそれぞれ5.60 μm, 6.49 μm, 5.69 μm, 5.03 μmと明らかに短い(第2表).

トラック長測定に用いるコンファインド・トラックの本数が一般に少ないため, 十分な本数(30本以上)の測定は11試料のうち3試料(天王, 七石, 吉井2)のみで可能であった(第2表). 標準年代試料の平均値は10.68 μmであるが, 3試料のそれは10.30 μm, 10.68 μm, 10.86 μmとほぼ同じであり, 天王にやや短いトラックが認められるが特に短縮傾向は認められない. 残りの8試料で測定されたトラック長にも特に明瞭な短縮を示すものは認められない.

#### 4.4 測定年代結果

坑井毎の年代測定結果を第3表に示す. 内部面及び外部面の42測定のうち,  $\chi^2$ 検定に合格(5%以上)していないのは7測定であり, 外部面での測定が5と多い. 南郷のみが内部面・外部面の両方で不合格であり, 天王, 南水原(1), 吉井2, 吉井9は外部面で, 堀は内部面で不合格である.

年代値は9.5~36.0 Maの広範囲に及んでおり, 微化石から推定される七谷層の年代(12.5~16.4 Ma: 新潟県, 2000)より古いものは18測定と比較的多い. 同じ試料で内部面と外部面の両方で年代が測定された19試料のうち, 誤差(±2σ)の範囲内で両者の年代値が一致するのは10試料であり, 残り9試料は外部面年代値が古い. このことは多くの試料で外部面にトラック長の短縮化が認められることと関係していると考えられ, 年代値の検討を行った.

平均のウラン濃度は天王が1,000 ppmを超える以外は70~440 ppmの範囲にある(第3表). 地区毎では, 北

蒲原地区の試料では200 ppmを超えているのに対し, 見附地区や吉井地区ではほとんどの試料が200 ppm以下である(第4図).

## 5. 年代値の検討

### 5.1 検討方法

第5図に示す単純化したモデルを考えてみる. 火山岩類の場合, 岩石が生成される(噴出)時にマグマから晶出したジルコン結晶(本質結晶:E)と外部から取り込まれた結晶(外来結晶:A)が混在している可能性がある. 外来結晶のうち, 十分な熱(十分に高い温度と長い被熱時間)を受けた結晶はトラックが消滅し, 年代値がリセットされる(A-1). また, 噴出後に熱水変質などの熱イベントにより熱を受けると, その程度に応じて本質結晶や外来結晶の一部あるいは全部の年代値がリセットされる(A-2, E-1). 実際の試料にはこれら5種類の結晶(粒子グループ)が混在している可能性がある. 噴出年代を求めるためにはEとA-1の粒子グループ(以下本質粒子)を選び出す必要があり, Aの粒子グループ(以下異質粒子)が混入すれば年代値は見掛け上古くなり, A-2やE-1の粒子グループが混入すれば年代値は見掛け上若くなる. 熱イベントによる年代値のリセットを受けていなければ, 最も若い年代値を示す粒子グループが噴出年代を示している可能性が高い.

年代値を求める際に, 各粒子の粒子年代値と計数誤差(2σ)から正規分布を仮定し, 全粒子について積算した確率密度分布図である粒子年代スペクトル(Hurford *et al.*, 1984)を作成し, ピーク年代値を計算した. 更に, 粒子年代スペクトルに類似している2 Ma

第3表 フィッション・トラック年代測定結果.  
Table 3 Result of fission-track dating.

番号 坑井名	結晶数	自発核分裂片飛跡		誘発核分裂片飛跡		$\chi^2$ 検定 <sup>(1)</sup> P( $\chi^2$ )	熱中性子線量 <sup>(2,3)</sup>		相関係数 <sup>(4)</sup> r	ウラン 濃度 (ppm)	年代値 <sup>(5,6,7,8)</sup> Age $\pm 1\sigma$ (Ma)	測定方法 <sup>(9)</sup>
		$\rho_s$ ( $\times 10^6\text{cm}^{-2}$ )	(Ns)	$\rho_i$ ( $\times 10^6\text{cm}^{-2}$ )	(Ni)		$\rho_d$ ( $\times 10^6\text{cm}^{-2}$ )	(Nd)				
北蒲原地区												
1 紫雲寺SK-21	18	2.10	(108)	3.98	(205)	99	7.33	(1129)	0.847	440	14.3 $\pm$ 1.8	ED 2
2 天王SK-1	30	13.0	(3606)	11.6	(3220)	99	7.69	(2363)	0.667	1,210	15.9 $\pm$ 0.5	ED 1
	30	8.97	(3259)	1.44	(5237)	0	7.39	(1139)	0.153	1,560	17.1 $\pm$ 0.7	ED 2
3 七石SK-1	30	3.49	(2312)	2.93	(1945)	38	7.69	(2363)	0.848	310	16.9 $\pm$ 0.7	ED 1
	29	3.36	(1157)	3.97	(1367)	29	7.31	(1126)	0.574	440	23.0 $\pm$ 1.2	ED 2
4 新南水原TS-1 (1)	30	1.92	(671)	2.20	(766)	99	8.36	(2567)	0.838	210	13.5 $\pm$ 0.8	ED 1
	30	1.95	(856)	2.11	(926)	0	7.41	(1142)	0.401	230	25.4 $\pm$ 1.5	ED 2
(2)	30	2.13	(547)	2.41	(618)	69	8.37	(2570)	0.812	230	13.7 $\pm$ 0.9	ED 1
	25	1.75	(309)	2.15	(378)	32	8.05	(1239)	0.653	210	24.4 $\pm$ 2.0	ED 2
5 南郷SK-2	20	2.65	(1327)	2.32	(1162)	0	8.33	(2559)	0.805	220	17.6 $\pm$ 0.8	ED 1
	30	1.54	(821)	2.32	(1233)	4	7.30	(1124)	0.570	250	18.1 $\pm$ 1.0	ED 2
6 東五泉SK-1	20	3.33	(895)	3.03	(813)	71	8.34	(2561)	0.957	290	17.0 $\pm$ 0.9	ED 1
	25	1.80	(604)	2.87	(961)	9	7.42	(1143)	0.854	310	17.3 $\pm$ 1.1	ED 2
見附地区												
7 鹿峠SK-1	30	1.78	(222)	4.01	(1140)	93	7.40	(1140)	0.876	430	12.2 $\pm$ 1.1	ED 2
8 人面SK-1	30	0.663	(181)	1.27	(346)	75	7.23	(1113)	0.887	140	14.1 $\pm$ 1.4	ED 2
9 塩谷SK-1	30	0.508	(112)	1.16	(255)	98	7.32	(1127)	0.410	130	11.9 $\pm$ 1.4	ED 2
10 荷頃SK-1	60	1.360	(1237)	1.58	(1437)	94	8.34	(2563)	0.848	150	13.3 $\pm$ 0.6	ED 1
(1)	30	1.60	(437)	1.92	(522)	70	8.33	(2560)	0.799	180	12.9 $\pm$ 0.9	ED 1
(2)	30	1.25	(800)	1.43	(915)	95	8.35	(2566)	0.918	140	13.5 $\pm$ 0.7	ED 1
	60	0.870	(794)	1.46	(1328)	94	7.71	(1141)	0.814	150	17.1 $\pm$ 0.9	ED 2
(1)	30	8.32	(394)	1.43	(685)	68	7.71	(1139)	0.771	150	16.5 $\pm$ 1.1	ED 2
(2)	30	9.23	(400)	1.48	(643)	95	7.72	(1142)	0.878	150	17.8 $\pm$ 1.3	ED 2
11 三条SK-1	30	1.31	(565)	1.95	(843)	98	7.69	(2363)	0.901	200	9.5 $\pm$ 0.6	ED 1
	30	0.498	(216)	1.04	(452)	32	7.34	(1131)	0.337	110	13.0 $\pm$ 1.2	ED 2
12 見附SK-9	30	0.885	(495)	0.963	(539)	99	7.69	(2363)	0.915	100	13.1 $\pm$ 0.9	ED 1
	30	0.612	(301)	1.16	(571)	19	7.26	(1118)	0.538	130	14.2 $\pm$ 1.1	ED 2
13 見附SK-14	30	0.630	(654)	0.67	(699)	82	7.69	(2363)	0.796	70	13.3 $\pm$ 0.8	ED 1
	27	0.703	(395)	1.19	(666)	23	7.27	(1119)	0.477	130	16.0 $\pm$ 1.1	ED 2
14 見附SK-16	30	0.816	(555)	0.731	(497)	80	7.69	(2363)	0.865	80	15.9 $\pm$ 1.0	ED 1
	30	0.638	(383)	1.14	(638)	49	7.28	(1121)	0.795	130	16.2 $\pm$ 1.2	ED 2
吉井地区												
15 妙法寺SK-10	30	1.08	(422)	1.24	(484)	30	8.37	(2575)	0.858	120	13.5 $\pm$ 0.9	ED 1
	27	0.812	(337)	1.18	(488)	39	7.25	(1116)	0.825	130	18.6 $\pm$ 1.5	ED 2
16 吉井SK-10D	30	1.48	(805)	1.37	(747)	98	7.69	(2363)	0.842	140	15.3 $\pm$ 0.9	ED 1
	30	0.834	(420)	1.22	(615)	6	7.37	(1135)	0.488	130	18.7 $\pm$ 1.3	ED 2
17 吉井SK-2D	30	1.75	(1119)	1.60	(1024)	75	7.69	(2363)	0.835	170	15.5 $\pm$ 0.8	ED 1
	28	1.50	(997)	1.13	(755)	0	7.35	(1132)	0.404	120	36.0 $\pm$ 2.1	ED 2
18 中通-2	30	1.74	(619)	1.92	(683)	16	8.35	(2564)	0.805	180	14.0 $\pm$ 0.8	ED 1
	30	1.00	(265)	0.994	(263)	28	8.22	(1266)	0.372	100	30.7 $\pm$ 2.8	ED 2
19 吉井SK-9D	21	1.90	(407)	1.73	(371)	63	7.69	(2363)	0.899	180	15.6 $\pm$ 1.2	ED 1
	30	1.07	(406)	1.22	(465)	2	7.36	(1134)	0.571	130	23.9 $\pm$ 1.8	ED 2
20 安田SK-4D	30	1.52	(379)	1.74	(434)	20	8.38	(2575)	0.895	170	13.5 $\pm$ 1.0	ED 1
	30	0.954	(236)	0.998	(247)	62	7.38	(1137)	0.620	110	26.2 $\pm$ 2.5	ED 2
21 堀SK-1	30	2.01	(341)	1.96	(340)	2	8.39	(2578)	0.590	190	15.9 $\pm$ 1.3	ED 1
	30	0.934	(135)	1.98	(286)	78	7.21	(1111)	0.568	220	12.6 $\pm$ 1.4	ED 2

(1) P( $\chi^2$ ):  $\chi^2$ 値の自由度n-1の $\chi^2$ 分布荷重ける上側確率 (Galbraith, 1981) (5) 年代値:  $T = \ln(1 + \lambda_D \cdot \zeta \cdot \rho_d \cdot \rho_s / \rho_i) / \lambda_D$  (ED 1は $\rho_s \cdot 1/2$ ) (9) 測定方法: 外部ディテクター法(内部面: ED 1, 外部面: ED 2)  
(2) 熱中性子線量測定用標準ガラス: NBS-SRM612 (6) 誤差:  $\sigma_t = T \cdot [1 / \sum Ns + 1 / \sum Ni + 1 / \sum Nd + (\sigma_\zeta / \zeta)^2]^{1/2}$   
(3) 照射場所: 立教大学原子炉 TRIGA MARK II 回転槽 (7)  $^{238}\text{U}$ の全壊変定数:  $\lambda_D = 1.480 \times 10^{-10}/\text{yr}$   
(4) r:  $\rho_s$ と $\rho_i$ の相関係数 (8)  $\zeta$  ED 1=370 $\pm$ 4;  $\zeta$  ED 2=372 $\pm$ 5 (Danbara et al., 1991)

毎の粒子年代ヒストグラムを作成し、ピーク年代値や粒子年代スペクトルを参考にしながら、原則30粒子について本質粒子と異質粒子の区別を行った。異質粒子の混入が無ければ、内部面及び外部面のピーク年代値はそれぞれ内部面年代値及び外部面年代値に一致する (Kowallis et al., 1986) か、あるいは若くなる (檀原ほか, 2004)。

## 5.2 検討結果(第4表)

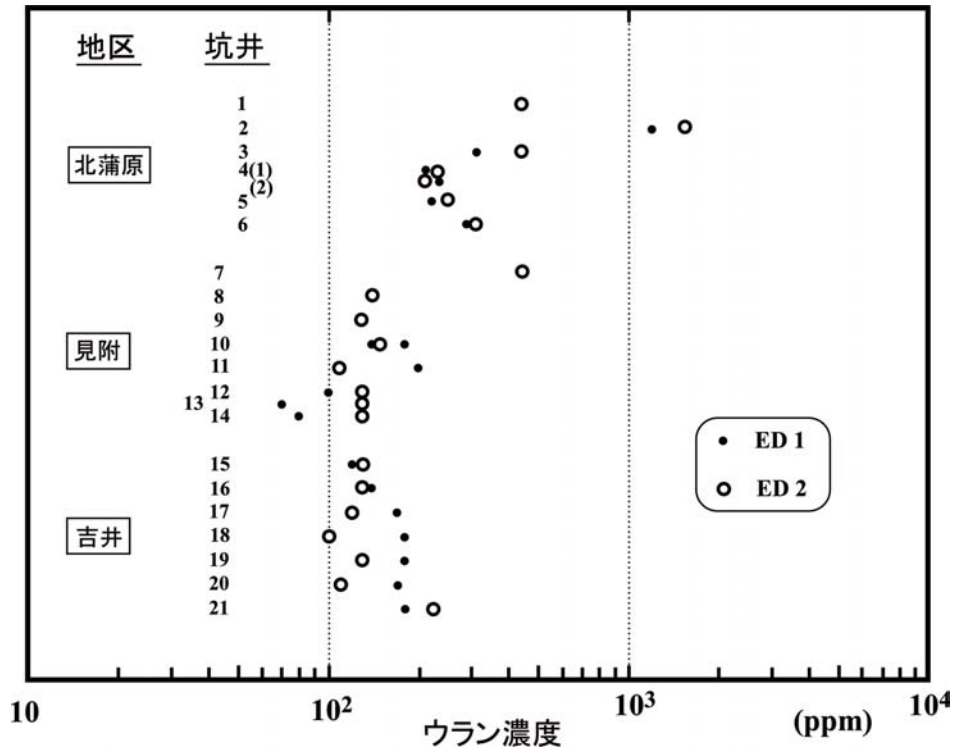
### 5.2.1 北蒲原地区(第6図)

紫雲寺の外部面年代値14.3 $\pm$ 1.8 Maは測定した18粒

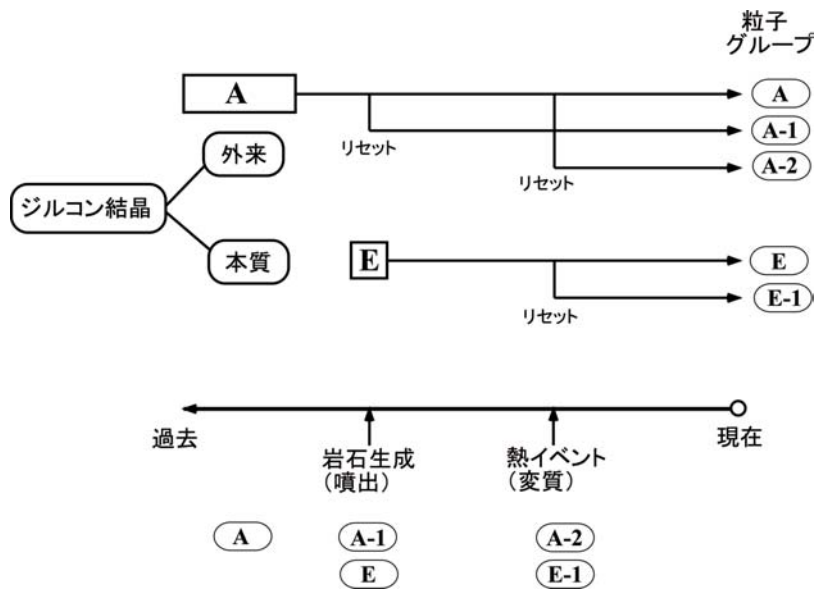
子すべてから求めた年代値であり、 $\chi^2$ 検定にも合格しており、ピーク年代値12.9 Maとも整合的である。しかし、粒子年代ヒストグラムから21 Maより古い2粒子は異質粒子と判断され、16粒子から計算した年代値は13.8 $\pm$ 1.7 Maとなる。

天王の内部面では粒子年代値のまとまりが大変良く、30粒子から求めた年代値15.9 $\pm$ 0.5 Maはピーク年代値15.8 Maと一致しており、非常に信頼性が高い年代値である。外部面年代値17.1 $\pm$ 0.7 Maは $\chi^2$ 検定で不合格であり、年代スペクトルでは23 Ma付近に肩が認められる。22 Maより古い5粒子を異質粒子として除いた25





第4図 コア試料の平均ウラン濃度.  
Fig. 4 Average uranium contents of each core samples.



第5図 ジルコン結晶の単純化したモデル.  
Fig. 5 Simplified model for classification of zircon crystals.

粒子から求めた年代値は  $15.7 \pm 0.6$  Ma であり、内部面年代値と一致し、ピーク年代値  $14.2$  Ma とも整合的であるが、 $\chi^2$  検定には不合格である。

七石の内部面年代値  $16.9 \pm 0.7$  Ma は  $\chi^2$  検定に合格し、ピーク年代値  $15.7$  Ma とも整合的である。外部面年

代値  $23.0 \pm 1.2$  Ma は  $100$  Ma より古い1粒子を除いた29粒子から計算しており、ピーク年代値  $18.7$  Ma より古い。粒子年代値のまとまりが良くないので、異質粒子として  $25$  Ma より古い9粒子を除いて年代値を計算すると  $19.2 \pm 1.1$  Ma となり、ピーク年代値とは整合的であ

第4表 年代検討結果.

Table 4 Summary of the study on fission-track ages.

番号 坑井名	内部面					外部面				
	結晶数	年代値 (Ma)	P ( $\chi^2$ ) (%)	ピーク年代値 (Ma)	異質 粒子	結晶数	年代値 (Ma)	P ( $\chi^2$ ) (%)	ピーク年代値 (Ma)	異質 粒子
北蒲原地区										
1 紫雲寺SK-21						16/18	13.8±1.7	99	12.9	▲
2 天王SK-1	30	15.9±0.5	99	15.8		25/30	15.7±0.6	0	14.2	
3 七石SK-1	30	16.9±0.7	38	15.7		21/30	19.2±1.1	49	18.7	●
						14/30	16.5±1.2	91	16.3	
4 新南水原TS-1 (1)	30	13.5±0.8	99	12.8		18/30	16.7±1.3	18	15.6	●
(2)	30	13.7±0.9	69	11.8		14/30	16.6±2.0	14	15.0	●
5 南郷SK-2	20/28	17.6±0.8	0	19.3	●	27/30	17.3±1.0	29	15.4	▲
						20/30	15.4±1.0	82	14.6	
6 東五泉SK-1	20/28	17.0±0.9	71	16.0	●	25/30	17.3±1.1	9	15.4	●
						22/30	16.3±1.0	46		
見附地区										
7 鹿峠SK-1						30	12.2±1.1	93	9.7	
8 人面SK-1						21/30	10.3±1.3	99	8.9	△
9 塩谷SK-1						24/30	10.4±1.3	99	8.6	△
10 荷塚SK-1	54/60	12.8±0.6	99	11.9		60	17.1±0.9	94	14.6	
11 三条SK-1	27/30	9.2±0.6	99	8.7		25/30	10.9±1.1	95	8.5	△
12 見附SK-9	30	13.1±0.9	99	11.9		30	14.2±1.1	19	11.4	
13 見附SK-14	30	13.3±0.8	82	11.3		27/30	16.0±1.1	23	14.0	▲
14 見附SK-16	30	15.9±1.0	80	14.3		30	16.2±1.2	49	12.9	
	24/30	14.9±1.1	99	14.3		22/30	13.6±1.1	99	12.9	
吉井地区										
15 妙法寺SK-10	25/30	12.4±0.9	85	8.9		21/30	16.9±1.4	84	13.4	●
16 吉井SK-10D	30	15.3±0.9	98	14.3		25/30	16.4±1.3	63	13.8	△
17 吉井SK-2D	30	15.5±0.8	75	13.4		6/30	16.7±2.4	85	29.8	●
18 中通-2	30	14.0±0.8	16	11.5		10/30	15.9±2.9	99	18.9	●
19 吉井SK-9D	21/21	15.6±1.2	63	12.5		19/30	16.7±1.6	74	12.9	▲
20 安田SK-4D	27/30	12.7±1.0	60	11.9	△	21/30	19.6±2.3	99	18.1	●
21 堀SK-1	27/30	13.8±1.2	46	9.8	▲	30	12.6±1.4	30	7.9	△

年代値の誤差: ±1σ

最も古い異質粒子 ●: >50 Ma ▲: >40 Ma △: >30 Ma

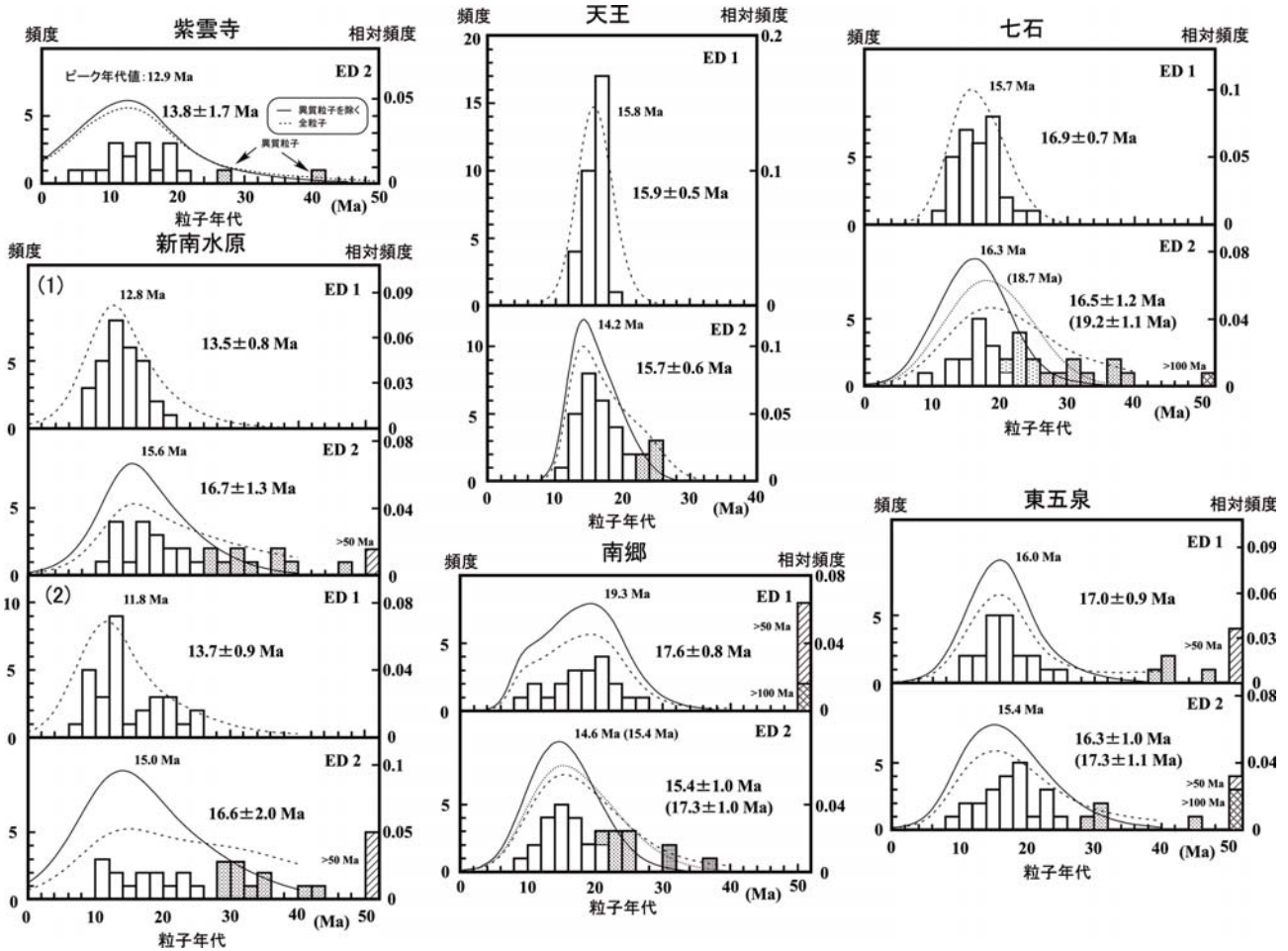
るが、内部面年代値よりやや古い。最も若い年代グループの21 Maより若い14粒子から計算した年代値は16.5±1.2 Maとなり、ピーク年代値16.3 Maや内部面年代値と一致する。

新南水原(1)の内部面では粒子年代値のまとまりが良く、30粒子から計算した年代値13.5±0.8 Maはピーク年代値12.8 Maとも整合的である。外部面年代値25.4±1.5 Maは $\chi^2$ 検定に不合格であり、50 Maより古い粒子も含んでおり、異質粒子の存在が粒子年代スペクトルで明瞭である。26 Maより古い12粒子を異質粒子と見做して得られる年代値16.7±1.3 Maはピーク年代値15.6 Maとも整合的である。

新南水原(2)の内部面年代値13.7±0.9 Maはピーク年代値11.8 Maよりやや古い。 (1)の試料の内部面年代値と一致している。外部面年代値24.4±2.0 Maは50 Maより古い粒子を除いて求めた年代であるが、 $\chi^2$ 検定に不合格である。粒子年代スペクトルでは2つのピークが認められ、(1)と同様に異質粒子の存在が明らかである。26 Maより古い粒子を除いた14粒子で求めた年代値は16.6±2.0 Maはピーク年代値15.0 Maとも整合的であり、(1)の外部面年代値とも一致している。

南郷の内部面年代値17.6±0.8 Maは異質粒子として明瞭に区別できる50 Maより古い8粒子を除いた20粒子から求めた年代値であるが、 $\chi^2$ 検定に不合格である。この年代値はピーク年代値19.3 Maよりも若く、粒子年代スペクトルでは約8 Maに明瞭な肩が認められる。外部面年代値18.1±1.0 Maは $\chi^2$ 検定に不合格であり、ピーク年代値15.4 Maより古い。30 Maより古い3粒子を除いた27粒子で求めた年代値は17.3±1.0 Maであり、内部面年代値とほぼ一致し、ピーク年代値とも整合的である。更に21 Maより古い粒子を除いた最も若い年代グループの20粒子から計算される年代値は15.4±1.0 Maとなり、ピーク年代値14.6 Maとも整合的である。

東五泉の内部面年代値17.0±0.9 Maは異質粒子として明瞭に区別できる30 Maより古い粒子を除いた20粒子で求めた年代値であり、ピーク年代値16.0 Maとも整合的である。外部面年代値17.3±1.1 Maは異質粒子として容易に区別できる40 Maより古い粒子を除いた25粒子から求めており、内部面年代値と一致するが、ピーク年代値15.4 Maよりやや古い。更に29 Maより古い3粒子を除いた22粒子で計算される年代値は16.3±1.0 Maであり、ピーク年代値とも整合的である。



第6図 試料毎の年代ヒストグラムと年代スペクトル (北蒲原地区).

Fig. 6 Age histograms and age spectra for each sample in the Kita-kambara district.

### 5.2.2 見附地区(第7図)

鹿峠の外部面年代値 $12.2 \pm 1.1$  Maは $\chi^2$ 検定に合格しているが、ピーク年代値9.7 Maよりやや古い。

人面の外部面年代値 $14.1 \pm 1.4$  Maは $\chi^2$ 検定に合格しているが、粒子年代ヒストグラムはバイモーダルな分布を示し、粒子年代スペクトルでも20 Ma付近に肩が認められる。19 Maより古い9粒子を異質粒子として除いた21粒子で計算した年代値は $10.3 \pm 1.3$  Maであり、ピーク年代値8.6 Maとも整合的である。

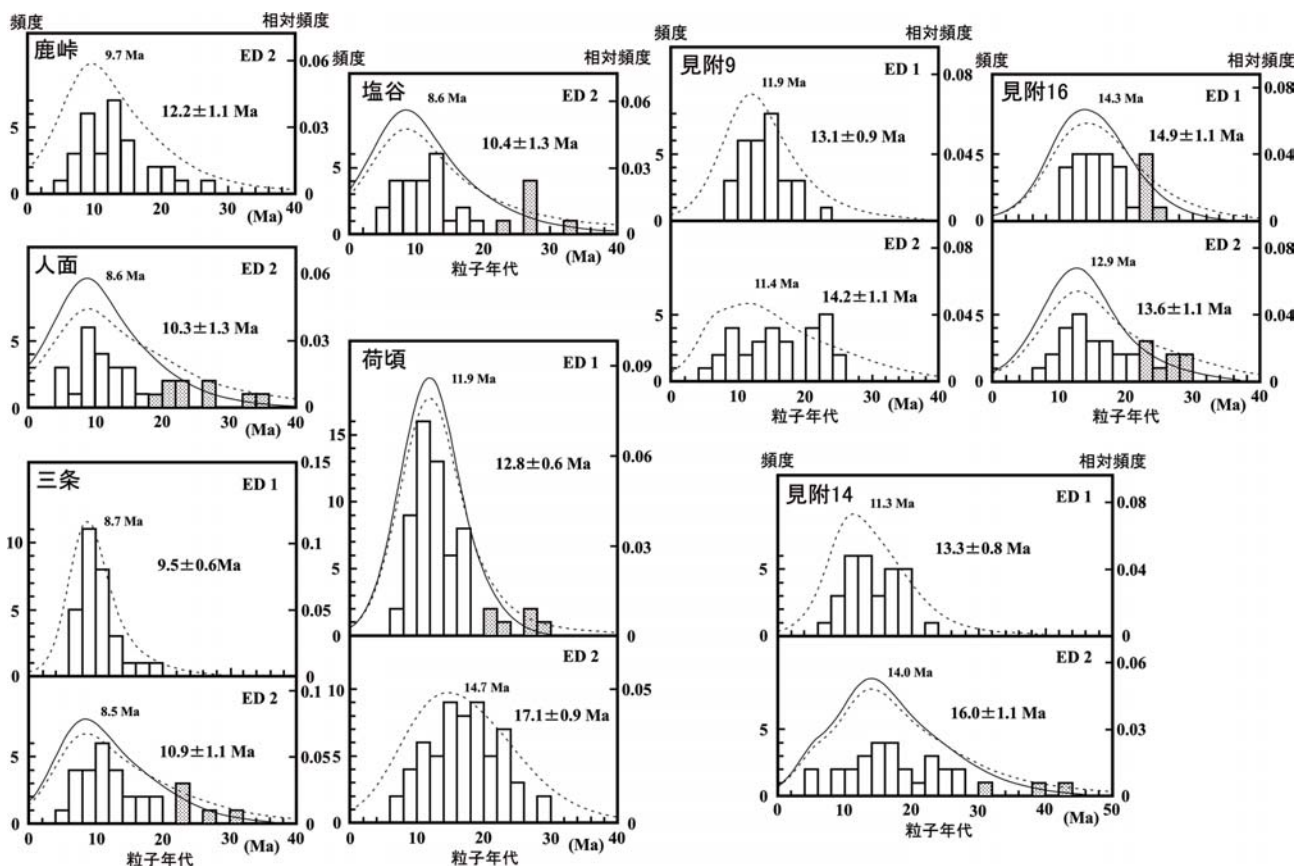
塩谷の外部面年代値 $11.9 \pm 1.4$  Maは $\chi^2$ 検定に合格しているが、粒子年代ヒストグラムは人面と同様にバイモーダルな分布を示している。19 Maより若い24粒子で求めた年代値 $10.4 \pm 1.3$  Maやピーク年代値8.6 Maは人面と一致している。

荷頃では近接した深度の2試料で測定が行われており、内部面年代値も外部面年代値も一致している(第3表)ことから、1試料として取り扱うことにする。内部面では粒子年代値のまとまりが非常に良く、20 Maより古い6粒子を除いた54粒子から求めた年代値は

$12.8 \pm 0.6$  Maであり、ピーク年代値11.9 Maとも整合的である。外部面では粒子年代値のまとまりが良く、60粒子から得られる年代値 $17.1 \pm 0.9$  Maは信頼性が高いが、ピーク年代値は14.7 Maとやや若い。

三条の内部面では粒子年代値のまとまりが良く、30粒子から計算した年代値 $9.5 \pm 0.6$  Maは $\chi^2$ 検定に合格し、ピーク年代値8.7 Maとも整合的である。外部面年代値 $13.0 \pm 1.2$  Maも $\chi^2$ 検定に合格しているが、粒子年代スペクトルでは20 Maより古い方に少し張り出している。20 Maより古い5粒子を除いた25粒子の年代値は $10.9 \pm 1.1$  Maであり、ピーク年代値8.5 Maよりやや古い。内部面及び外部面のピーク年代値はほぼ一致している。

見附9では粒子年代値の分布は内部面と外部面で比較的類似しているが、粒子年代スペクトルは内部面の方が良好である。30粒子から計算した年代値は、内部面が $13.1 \pm 0.9$  Maでピーク年代値11.9 Maと整合的であるのに対し、外部面が $14.2 \pm 1.1$  Maとピーク年代値11.4 Maよりやや古い。外部面の粒子年代スペクトルに



第7図 試料毎の年代ヒストグラムと年代スペクトル (見附地区)。

Fig. 7 Age histograms and age spectra for each sample in the Mitsuke district.

は7 Ma付近に肩が認められ、20 Ma付近より古い側にも張り出しが認められる。

見附14では内部面の粒子年代値のまとまりは比較的良いが、30粒子から求めた年代値13.3 ± 0.8 Maはピーク年代値11.3 Maよりやや古い。外部面年代値16.0 ± 1.1 Maは30 Maより古い3粒子を除いた27粒子から計算しており、ピーク年代値14.0 Maとは整合的である。粒子年代スペクトルでは4 Ma付近に肩が認められる。

見附16では内部面年代値及び外部面年代値が一致している(それぞれ15.9 ± 1.0 Ma, 16.2 ± 1.2 Ma)が、ピーク年代値は内部面が14.3 Maと整合的であるが、外部面が12.9 Maと若い。内部面において22 Maより古い6粒子を除いた24粒子から得られる年代値は14.9 ± 1.1 Maであり、ピーク年代値とは一致している。同様に外部面でも22 Maより古い8粒子を除いて計算した年代値は13.6 ± 1.1 Maであり、ピーク年代値と整合的である。

### 5.2.3 吉井地区(第8図)

妙法寺では内部面年代値13.5 ± 0.9 Ma及び外部面年代値18.6 ± 1.5 Maともχ<sup>2</sup>検定に合格しているが、粒子年代値のまとまりは良くなく、それぞれのピーク年代値8.9 Maと13.4 Maよりも古い。そこで、内部面では

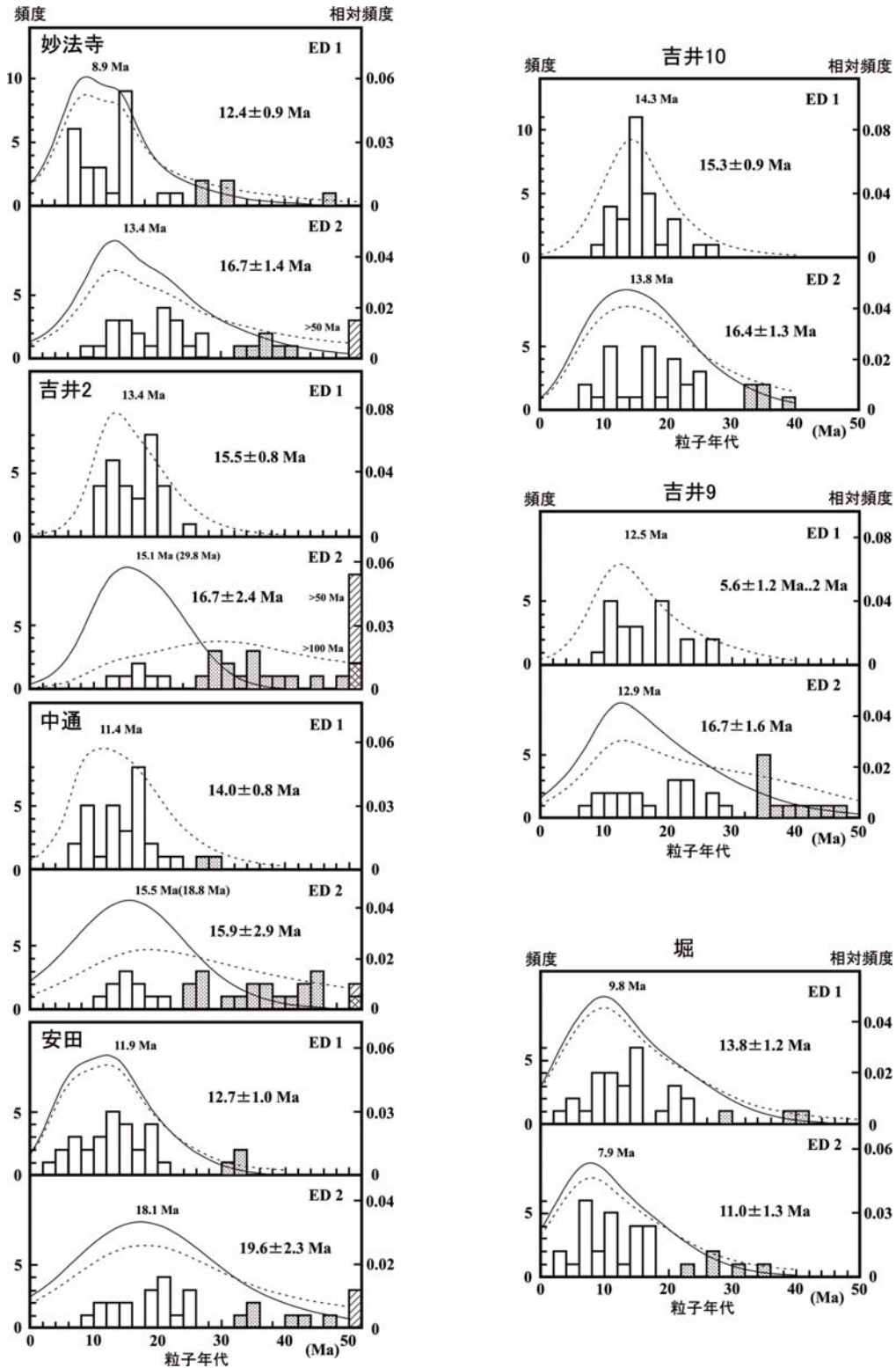
26 Maより古い5粒子を、外部面では32 Maより古い9粒子を除いて年代値を計算すると、それぞれ12.4 ± 0.9 Ma, 16.7 ± 1.4 Maとなる。粒子年代スペクトルでは内部面は15 Ma付近に、外部面は21 Ma付近に肩が認められる。

吉井10の内部面年代値15.3 ± 0.9 Maは粒子年代値のまとまりが良く、ピーク年代値14.3 Maとも整合的である。外部面年代値18.7 ± 1.3 Maはχ<sup>2</sup>検定に合格しているが、32 Maより古い5粒子が粒子年代ヒストグラムや粒子年代スペクトルで異質粒子として区別できる。これらの粒子を除く25粒子から求めた年代値は16.4 ± 1.3 Maであり、ピーク年代値13.8 Maとも整合的である。

吉井2の内部面年代値15.5 ± 0.8 Maは粒子年代値のまとまりが良いが、ピーク年代値13.4 Maよりやや古い。外部面年代値36.0 ± 2.1 Maはχ<sup>2</sup>検定に不合格であり、ピーク年代値29.8 Maより古い。粒子年代値が大きく分散し、50 Maより古い粒子を多く含んでおり、粒子年代スペクトルでは若い側に肩が認められる。最も若い年代グループの21 Maより若い6粒子から計算した年代値は16.7 ± 2.4 Maであり、これらのピーク年代値15.1 Maと整合的である。

中通の内部面年代値14.0 ± 0.8 Maはピーク年代値





第8図 試料毎の年代ヒストグラムと年代スペクトル(吉井地区)。

Fig. 8 Age histograms and age spectra for each sample in the Yoshii district.

11.5 Maより古い。外部面年代値 $30.7 \pm 2.8$  Maは $\chi^2$ 検定に合格しているが、ピーク年代値18.8 Maより古く、粒子年代値も分散している。最も若い年代グループで

ある21 Maより若い10粒子から計算した年代値は $15.9 \pm 2.9$  Maであり、これらのピーク年代値15.5 Maと一致している。

吉井9の内部面年代値 $15.6 \pm 1.2$  Maはピーク年代値 $12.5$  Maより古い。外部面年代値 $23.9 \pm 1.8$  Maは $\chi^2$ 検定に不合格であり、ピーク年代値 $12.9$  Maより明らかに古い。粒子年代スペクトルでは $35$  Ma付近に肩が認められることから、 $34$  Maより古い粒子は異質粒子として区別できる。 $30$  Maより若い $19$ 粒子から求めた年代値 $16.7 \pm 1.6$  Maは $\chi^2$ 検定に合格するが、ピーク年代値 $12.9$  Maより古い。ピーク年代値は内部面と外部面ではほぼ一致している。

安田の内部面年代値 $13.5 \pm 1.0$  Maはピーク年代値 $11.9$  Maと整合的である。しかし、 $30$  Maより古い $3$ 粒子が異質粒子として区別でき、残りの $27$ 粒子から計算した年代値は $12.7 \pm 1.0$  Maである。粒子年代スペクトルには $7$  Ma付近に肩が認められる。外部面年代値 $26.2 \pm 2.5$  Maはピーク年代値 $18.1$  Maより古く、粒子年代値は分散しており、 $50$  Maより古い粒子も含まれている。 $28$  Maより若い $21$ 粒子から計算した年代値は $19.6 \pm 2.3$  Maであり、ピーク年代値に整合的である。

堀の内部面年代値 $15.9 \pm 1.3$  Maは $\chi^2$ 検定に不合格であり、 $29$  Maより古い $3$ 粒子を除いた $27$ 粒子から計算した年代値は $13.8 \pm 1.2$  Maとなり、 $\chi^2$ 検定に合格するが、ピーク年代値 $9.8$  Maより古い。外部面年代値 $12.6 \pm 1.4$  Maは $\chi^2$ 検定に合格するが、ピーク年代値 $7.9$  Maより古い。 $18$  Maより若い $25$ 粒子で求めた年代値は $11.0 \pm 1.3$  Maである。内部面と外部面の粒子年代スペクトルは類似しており、外部面の方がやや若い側にシフトしている。

## 6. 考察

### 6.1 噴出年代

七谷層の浮遊性微化石から推定される年代(第1図:新潟県, 2000)を考慮すると、再検討した各試料のFT年代値(第4表)のうち以下の年代値が噴出年代を示していると考えられる。

#### 6.1.1 北蒲原地区

底生有孔虫化石の砂質群集は多くの場合七谷層最上部に認められ、側方ではPF3に変化している(加藤ほか, 1992)ことから、おそらくPF3に相当していると推定される。

紫雲寺の外部面年代値 $13.8 \pm 1.7$  MaはPF2/PF3の境界付近の年代に相当しており、上位の泥岩で確認されている砂質群集とも矛盾しないことから、噴出年代を示していると考えられる。

天王の内部面年代値 $15.9 \pm 0.5$  Maは外部面年代値 $15.7 \pm 0.6$  Maと一致し、上位の泥岩から産出するPF1の年代とも調和しており、この年代値は噴出年代として信頼性が高い。

七石の内部面年代値 $16.9 \pm 0.7$  Maは外部面の最も若

い粒子年代グループの年代値 $16.5 \pm 1.2$  Maとも一致しており、噴出年代と推定される。

新南水原(1)の内部面年代値 $13.5 \pm 0.8$  Maはピーク年代値や外部面年代値 $13.7 \pm 0.9$  Maと一致しており、上位の泥岩から産出する砂質群集とも矛盾していないことから、噴出年代と推定される。新南水原(2)の外部面の最も若い粒子年代グループの年代値 $16.6 \pm 2.0$  Maはピーク年代値と整合的であり、(1)の外部面の最も若い粒子年代グループの年代値 $16.7 \pm 1.3$  Maとも一致していることから、噴出年代を示している可能性がある。

南郷の外部面の最も若い粒子年代グループの年代値 $15.4 \pm 1.0$  Maはピーク年代値 $14.6$  Maと誤差の範囲内で一致しており、岩質が砂岩であることから、後背地での火成活動の年代を示している可能性がある。

東五泉の内部面年代値 $17.0 \pm 0.9$  Maはピーク年代値とも整合的であり、外部面の最も若い粒子年代グループの年代値 $16.3 \pm 1.0$  Maとも一致しており、噴出年代であると推定される。

#### 6.1.2 見附地区

鹿峠を除く人面、塩谷、三条の3坑井の外部面年代値及び三条の内部面年代値は約 $10$  Maであり、いずれも微化石から推定される七谷層の年代より若く、噴出年代ではないと考えられる。これらのピーク年代値は $8.6$  Ma前後で一致しており、熱イベントを反映していると推定される。鹿峠の外部面年代値はこの熱イベントの影響を受けて見かけ上若くなっていると推定される。

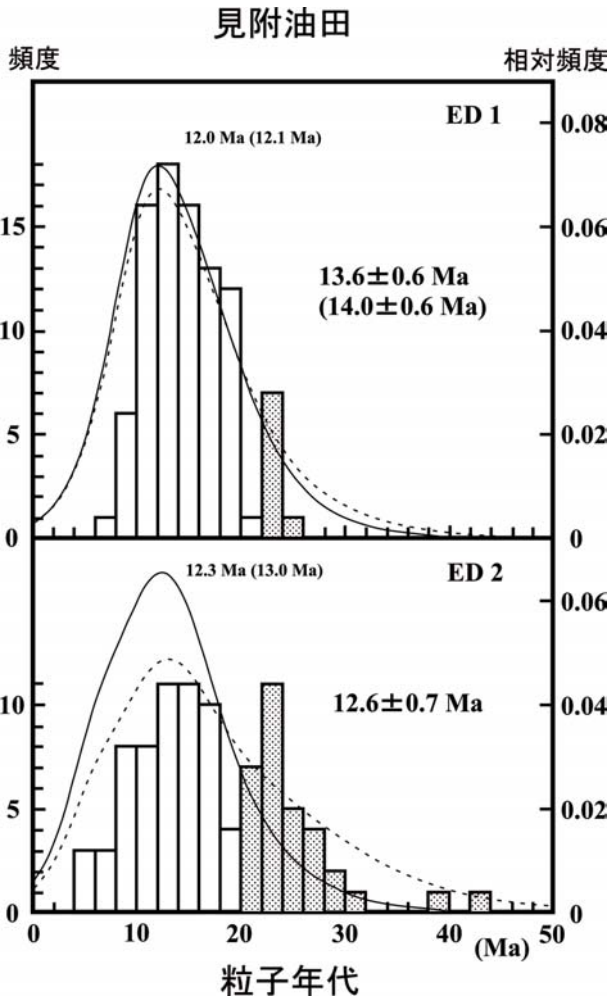
荷頃の2試料から求めた外部面年代値 $17.1 \pm 0.9$  Maは上位の泥岩で確認されているPF1の年代と調和的であり、噴出年代であると考えられる。

見附油田では、見附9と見附14の内部面年代値(それぞれ $13.1 \pm 0.9$  Ma,  $13.3 \pm 0.8$  Ma)、そして見附16の外部面年代値( $13.6 \pm 1.1$  Ma)が一致しており、これらは噴出年代を示すと考えられる。3試料を一緒に取り扱えば、内部面での粒子年代値のまとまりが非常に良くなる(第9図)。 $22$  Maより古い $8$ 粒子を除いて計算した年代値は $13.6 \pm 0.6$  Maであり、ピーク年代値 $12.0$  Maよりやや古い、これが最も信頼性の高い噴出年代と考えられる。

#### 6.1.3 吉井地区

粒子年代値のまとまりが比較的良い吉井10と吉井2の内部面年代値はそれぞれ $15.3 \pm 0.9$  Ma,  $15.5 \pm 0.8$  Maで一致しており、これらが噴出年代と考えられる。しかし、外部面において年代が最も若い粒子グループから計算した年代値は南に位置する安田と堀を除くと $16$  Ma前後であり、これが噴出年代である可能性もある。これらの年代はグリーンタフ上位の泥岩から産出する浮遊性微化石から推定される年代と矛盾しない。

以上述べた噴出年代の年代値は $15.3 \sim 17.1$  MaのPF



第9図 見附油田3坑井の試料を一括した年代ヒストグラムと年代スペクトル。

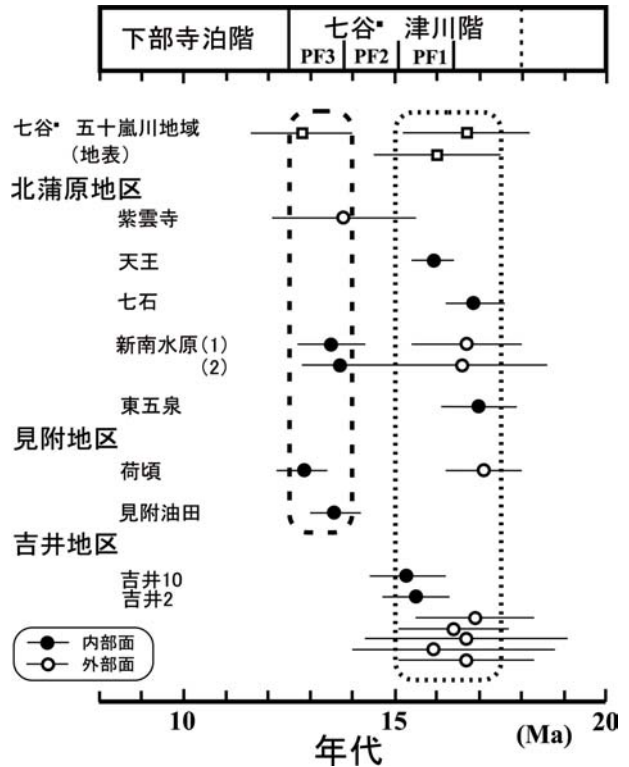
Fig. 9 Age histograms and age spectra for a combination of three samples in the Mitsuke oil filed.

1あるいはそれより少し古い年代に相当するグループと、13.5～13.8 MaのPF3の年代に相当するグループに分かれる(第10図)。前者はいずれの地区でも認められ、津川階大谷川層から報告されているFT年代値(16.0 Ma, 16.7 Ma:村松, 1985;新潟県, 2000)と一致している。一方、後者は北蒲原地区と見附地区の坑井に認められ、七谷階天満層最上部の凝灰岩のFT年代値(13.5 Ma:新潟県, 2000)と一致している。また、五百川凝灰岩のFT年代値は12.8 Maであり(村松, 1985;新潟県, 2000)、荷頃の内部面 $12.8 \pm 0.6$  Maと一致する。

## 6.2 粒子年代値の分布

18試料(荷頃は1試料として扱う)の内部面及び外部面の粒子年代値の分布を比較すると(第4表)、以下の6グループに分けることができる。

- ①内部面・外部面とも30 Maより古い粒子を含まな



第10図 信頼できる年代値のまとめ。

Fig. 10 Summary of reliable fission-track ages.

- い(Aグループ):天王, 荷頃, 見附9, 見附16

②内部面には30 Maより古い粒子を含まないが、外部面には30 Maより古い粒子が含まれる(Bグループ(50 Maより古い粒子を含まないグループ(B1)と含まれるグループ(B2)に細分される)):三条, 見附14, 吉井10, 吉井9(以上B1), 南水原(1)及び(2), 七石, 吉井2, 中通(以上B2)

- ③内部面・外部面とも50 Maより古い粒子を含まない(Cグループ):堀

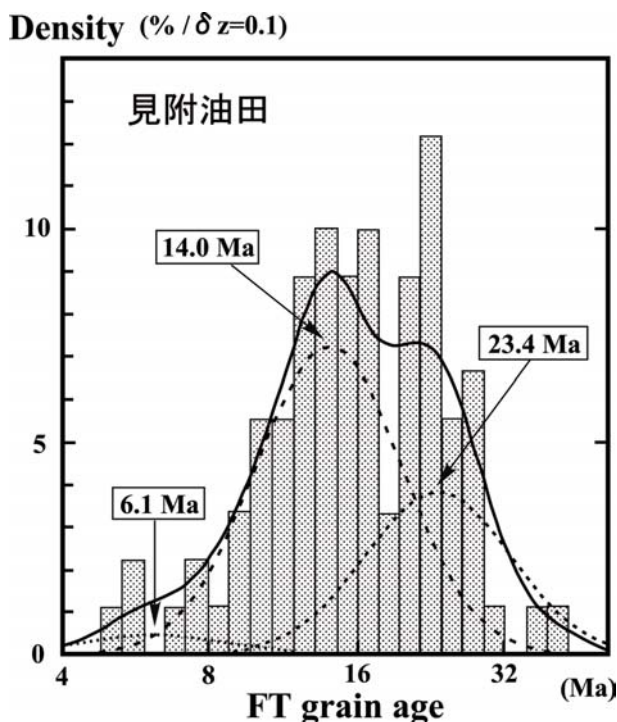
④内部面には50 Maより古い粒子を含まないが、外部面には含まれる(Dグループ):妙法寺, 安田

⑤外部面には50 Maより古い粒子を含まないが、内部面には含まれる(Eグループ):南郷

⑥内部面・外部面とも50 Maより古い粒子を含む(Fグループ):東五泉

50 Maより古い粒子は基盤岩(中・古生層や花崗岩類)起源と推定されるが、これらの粒子は北蒲原地区と吉井地区の坑井試料には含まれているが、見附地区の坑井試料には含まれていない。また、鹿峙, 人面, 塩谷の3坑井の外部面でもこれらの粒子は認められない。これらの3坑井の外部面年代値や三条の内部面・外部面年代値が七谷層の年代よりも若いことを考慮すると、見附地区では火成活動が活発で長期間継続していたと推測される。見附油田の外部面の粒子年代ヒストグラム





第11図 見附油田3坑井外部面における粒子年代解析.  
Fig. 11 Grain age analysis for external surface of three samples in the Mitsuke oil field.

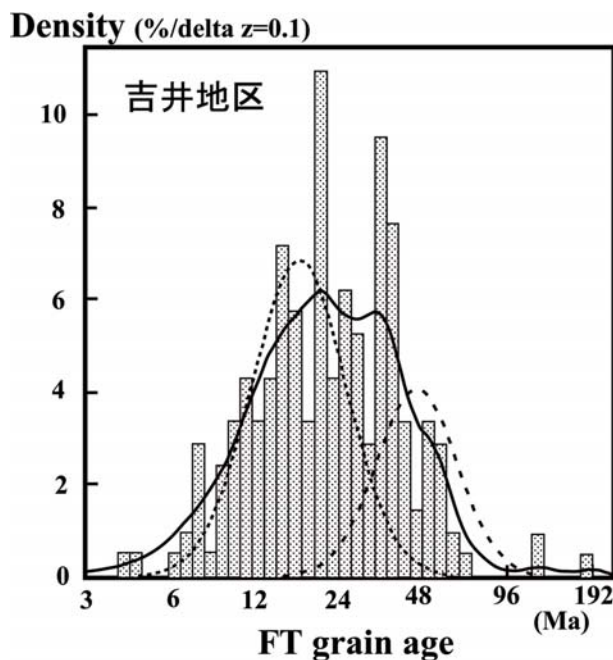
には23 Ma付近にピークが認められ(第9図), Brandon (1996; 2002) に従って解析すると, 約23 Maのピーク年代値が得られる(第11図). この年代は佐渡の金北山層のデイサイトや朝日山地の北小国層の溶結凝灰岩から報告されている放射年代値(約22 Ma: 新潟県, 2000) に一致しており, 見附油田周辺における同様な珪長質火山活動が推測される. 更に, 6 Ma頃の熱イベントも検出されている.

吉井地区の全7坑井の外部面粒子年代値をデータにしてBrandon (2002) で年代スペクトルを作成すると, 幾つかのピーク(約21 Maと35 Ma) や肩(約14 Maと50 Ma) が認められる(第12図). これらは年代値が接近しているため, 残念ながら解析には成功しなかったが, グリーンタフ以前の火成活動を考える材料を提供している.

### 6.3 内部面及び外部面年代値

南郷, 東五泉及び堀の3坑井を除けば古い粒子は明らかに外部面に多く認められ, 年代測定結果(第2表)でも堀以外は外部面年代値が内部面年代値より古い. また, 外部面ではトラック長の短縮が認められる試料が多い(第1表).

高い温度の熱を受けると, 結晶内の傷 (FT: fission track) の部分が元の結晶状態に修復されるアニーリング (annealing) 現象が生じる. FTアニーリングには温



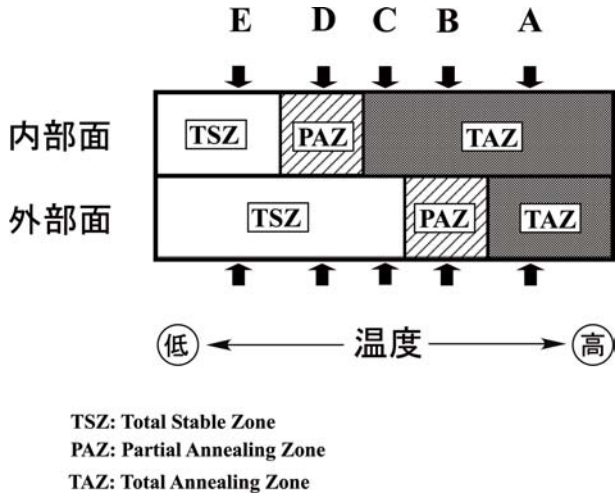
第12図 吉井地区7坑井外部面におけるBrandon(2002)による年代ヒストグラムと年代スペクトル.  
Fig. 12 Age histogram and age spectrum using Brandon (2002) for external surface of seven samples in the Yoshii district.

度以外の要素は関係していない (Fleischer *et al.*, 1965) ので, FTが完全に消滅する温度領域 (TAZ: total annealing zone), FTが短縮するが消滅しない温度領域 (PAZ: partial annealing zone), 及びFTが安定な温度領域 (TSZ: total stability zone) に分けることができる (松田, 1999).

松田 (1999) は変質している火山岩類の外部面年代値が内部面年代値より古くなる理由として, ジルコンの内部面と外部面で閉鎖温度 (FTの50%が保持される温度: Gleadow and Duddy, 1981) が異なり, 外部面の方が約100 °C高いことと, 外部面における熱水による天然でのエッチングを挙げている. 閉鎖温度が内部面と外部面で異なるならば, 年代値のリセットが完全かどうかを利用して受けた熱の温度をある程度定性的に推定することが可能となる(第13図). すなわち, 1) 内部面・外部面ともリセットしている (A), 2) 内部面のみリセットしている (B, C), 3) 内部面・外部面ともリセットしていない (D, E), の少なくとも3段階に分けることができる. PAZの温度幅が内部面と外部面の閉鎖温度の違いよりも十分に小さければ, リセットの程度により更に細分が可能である. 18試料のうち, 1)に近いものとして天王や見附油田が挙げられる. 2) は新南水原 (1), 七石, 荷頃, 吉井10が代表的な例である. 南郷や東五泉は3) の例と考えられる.

吉井地区の全坑井の内部面粒子年代値は全体としてまとまりが非常に良く, ピーク年代値13.0 Maと14.3





第13図 内部面及び外部面におけるFTのアニーリング。  
Fig. 13 Fission-track annealing at the both internal and external surfaces.

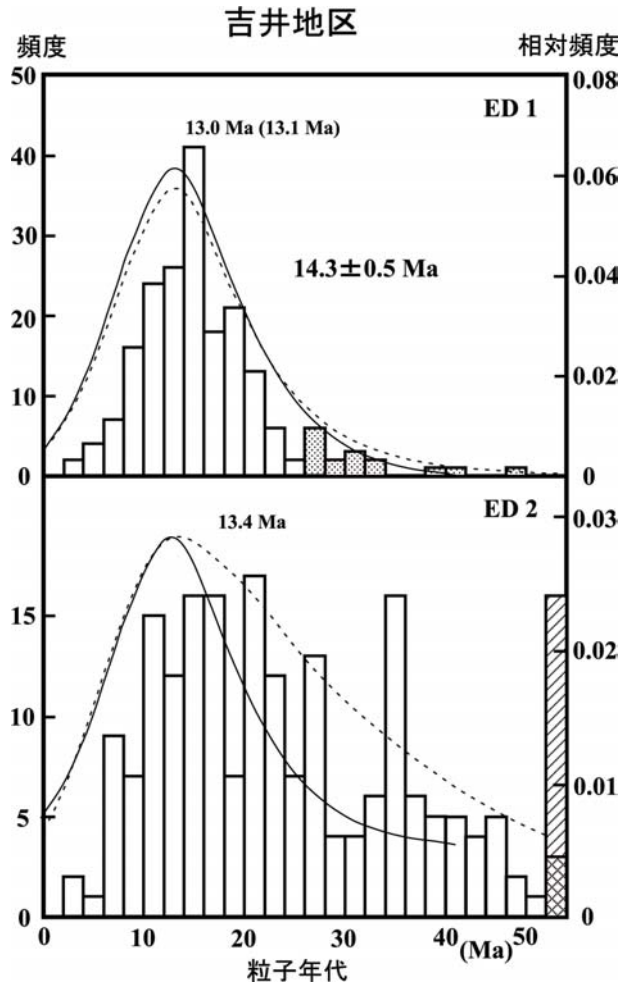
±0.5 Maの年代値が得られる(第14図)。各坑井試料の内部面粒子年代値のまとめやピーク年代値(第8図)に注目すると、吉井10を中心に吉井2, 吉井9そして中通までは内部面がほぼリセットされたのに対し、周辺部の妙法寺, 安田, 堀はやりリセットが不十分であり、より若い粒子年代値も認められる。吉井地区の流紋岩類は珪化や絹雲母化など中-弱程度の熱水変質を受けている(島津・高野, 1986)。このような熱水変質の時期や温度を内部面粒子年代値は反映している可能性があり、吉井10付近が熱水変質の中心で、流紋岩類の噴出直後から熱水変質を受けたと推測される。

## 7. まとめ

石油探鉱で掘削された新潟地域の坑井において、七谷層から採取されたコア23試料についてフィッション・トラック年代測定を実施した。内部面及び外部面における年代測定結果を粒子年代ヒストグラムと粒子年代スペクトルを用いて詳細に検討し、以下に要約する結果が得られた。

1) 噴出年代を示す年代値は15.3~17.1 Maのグループと13.5~13.8 Maのグループに分れる。前者は3地区すべての坑井で確認され、津川階に対比される。後者は北蒲原地区と見附地区の坑井で認められ、七谷階の最上部に対比される。

2) 各試料の粒子年代値の分布をみると、北蒲原地区や吉井地区の坑井には基盤岩起源の粒子(50 Maより古い粒子)が認められるのに対し、見附地区の坑井にはこれらの粒子が認められない。また、見附地区の三条などの坑井は七谷層よりも若い年代値を示していることから、見附地区では火成活動が活発で長期間続い



第14図 吉井地区7坑井の試料を一括した内部面の年代ヒストグラムと年代スペクトル。

Fig. 14 Age histograms and age spectra for a combination of seven samples in the Yoshii district.

ていたと推定される。

3) 見附油田の試料では、外部面の粒子年代値をBrandon (2002)の方法で解析したところ、約23 Maのピーク年代値が得られ、佐渡や朝日山地と同様な酸性火山活動の存在が推測される。

4) 内部面・外部面年代値のリセットや粒子年代値の分布から、受けた熱の温度を定性的に推定可能であり、吉井地区では吉井10付近に熱水変質の中心があり、流紋岩類が噴出した直後から活動したと推測される。

**謝辞:** 本稿の公表を許可された独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構(JOGMEC), 石油資源開発株式会社並びに帝国石油株式会社に深謝します。新潟大学理学部周藤賢治教授にはコアやカッティングス試料の薄片鑑定をお願いした。JOGMECの辻 喜弘博士には本研究を遂行し、公表する際に大変お世話になった。以上の方々に感謝します。

## 文 献

- Brandon, M. T. (1996) Probability density plot for fission-track grain-age samples. *Radiation Measurement*, **26**, 663-676.
- Brandon, M. T. (2002) Decomposition of mixed grain age distribution using BINOMFIT. *On Track*, **24**, 13-18.
- 檀原 徹 (1995) 第四紀テフラの高精度フィッション・トラック (FT) 年代測定—ジルコンとガラスを用いた測定法の確立に向けて—。第四紀研究, **34**, 221-237.
- 檀原 徹 (1997) FT法の最近の成果と石油探鉱へのジルコンの応用。石技誌, **62**, 25-34.
- 檀原 徹・岩野英樹・加藤 進・松井良一 (2004) ジルコンFT年代測定における試料評価と測定値の解釈。石技誌, **68**, 200-213.
- Danhara, T., Kasuya, M., Iwano, H. and Yamashita, T. (1991) Fission-track age calibration using internal and external surface of zircon. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **97**, 977-985.
- Fleischer, R. L., Price, P. B. and Walker, R. M. (1965) Effects of temperature, pressure, and ionization on the formation and stability of fission tracks in minerals and glasses. *J. Geophys. Res.*, **70**, 1497-1502.
- Galbraith, R. F. (1981) On statistical models for fission track counts. *Jour. Math. Geol.*, **13**, 471-478.
- Gleadow, A. J. W. and Duddy, I. R. (1981) A natural long-term track annealing experiment for apatite. *Nucl. Tracks*, **5**, 169-174.
- Hurford, A. J. (1990) Standardization of fission track dating calibration: Recommendation by the fission track working group the I. U. G. S. subcommission on geochronology. *Chem. Geol.*, **80**, 171-178.
- Hurford, A. J., Fitch, F. J. and Clarke, A. (1984) Resolution of the age structure of the detrital zircon populations of two Lower Cretaceous sandstones from the Weald of England by fission track dating. *Geological Magazine*, **121**, 269-277.
- 岩野英樹・檀原 徹 (1997) 高品位モニターを用いたフィッション・トラック年代測定システムのゼータ較正とシステム間比較。フィッション・トラックニュースレター, No.10, 11-20.
- 加藤 進 (1994) 新潟地域グリーンタフのフィッション・トラック年代。平成6年度石油技術境界春季講演会シンポジウム・個人講演要旨集, 57.
- 加藤 進・荒木直也・片平忠實 (1992) 新潟県中越地域の地下に発達する七谷層。瑞浪市化石博物館研究報告, 第19号, 363-372.
- 加藤 進・井嶋伸治 (1997) 新潟地域グリーンタフのフィッション・トラック年代。日本地質学会第104年学術大会講演要旨, 137.
- Kowallis, B. J., Heaton, J. S. and Bringhouse, K. (1986) Fission-track dating of volcanically derived sedimentary rocks. *Geology*, **14**, 19-22.
- 米谷盛壽郎 (1978) 東北日本油田地域における上部新生界の浮遊性有孔虫層序。「日本の新生代地質」(池辺展生教授記念論文集), 169-185.
- 米谷盛壽郎 (1987) 裏日本油田地域における底生有孔虫化石区分の現状と問題。石技誌, **52**, 351.
- 松田高明 (1999) 火山岩類のジルコンのフィッション・トラック年代の評価。月刊 地球, **21**, 816-820.
- 村松敏雄 (1985) 新潟県下に分布する新第三系のフィッション・トラック年代。新潟大学理学部研究生研究業績報告書, 20p.
- 新潟県 (2000) 新潟県地質図説明書, 200p.
- 西島 進 (1971) 火山岩油・ガス層開発についての1考察。石技誌, **36**, 249-255.
- 小田 浩・加藤 進・檀原 徹 (2000) ジルコン結晶の外部面・内部面でのフィッション・トラック年代値とトラック長解析に基づく熟履歴復元。平成12年度石油技術協会春季講演会シンポジウム・個人講演要旨集, 59.
- Okada, H. and Bukry, D. (1980) Supplementary modification and introduction of code numbers to the low-latitude coccolith biostratigraphic zonation (Bukry, 1973, 1975). *Marine Micropaleontol.*, **5**, 321-325.
- 佐藤 修・佐藤時幸 (1992) 秋田および新潟油田地域に発達する西黒沢期玄武岩—基礎誌「仁賀保」・「新潟平野」で認められた玄武岩のもつ意義—。石技誌, **57**, 91-102.
- 島津光夫・高野 肇 (1986) 五十嵐川上流, 七谷層中の酸性火山岩類—グリーンタフ貯留岩のガス田の坑井地質との比較—。田口一雄教授退官記念論文集, 127-135.
- 周藤賢治・加藤 進・大木淳一・加々美寛雄・荒戸裕之・アンドレイ レザノフ (1997) 新潟油・ガス田地域における中新世バイモダル火山活動—背弧海盆拡大との関連—。石技誌, **62**, 45-58.
- 津田宗茂 (1992) 新潟・長野地域。改訂版「日本の石油・天然ガス資源」, 81-127.

(受付: 2007年7月24日; 受理: 2007年12月6日)