

## 金沢・医王山地域に分布する中新統の古地磁気とフィッション・トラック年代

伊藤康人<sup>1</sup> 山本朗子<sup>2</sup> 岩野英樹<sup>3</sup> 檀原 徹<sup>3</sup> 渡辺真人<sup>4</sup>

Yasuto ITOH, Akiko YAMAMOTO, Hideki IWANO, Tohru DANHARA and Mahito WATANABE (2000) Paleomagnetism and fission-track ages of the Miocene sequence in the Kanazawa and Iozen areas, central Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 51 (10), p. 495-504, 7 figs., 2 tables.

**Abstract:** Miocene sequences in the Kanazawa and Iozen areas, central Japan, have been subjected to a magnetostratigraphic study and fission-track (FT) dating. Characteristic mean paleomagnetic directions have been determined for six sites in the Iozen Formation (Iozen area) and one site in the Nanamagari Formation (Kanazawa area). All show reversed magnetic polarity. Although mean directions of samples from the Sunagozaka and Shimoaraya Formations have not been determined because of secondary magnetization, progressive thermal demagnetization tests suggest that they have reversed primary component. Together with diatom biostratigraphic data, the reversed polarity interval in the Kanazawa-Iozen area is assigned to the Chron C5Br of the standard geomagnetic polarity time-scale. Three zircon FT ages in the upper part of Iozen Formation range between 15.0 and 15.4 Ma, which is concordant with the magnetostratigraphic correlation. In the Kanazawa-Iozen area, the Nanamagari Formation, correlated with the *Crucidenticula kanayae* Zone (NPD 3A) of diatom biostratigraphy, and older formations yield tilt-corrected mean paleomagnetic direction with significant easterly deflection in declination. Coeval paleomagnetic data along the Japan Sea coast of central Japan have similar directions, whereas most of the units correlated with the *Denticulopsis lauta* Zone (NPD 4A) indicate smaller or insignificant easterly deflections. Therefore paleomagnetic studies imply that the clockwise rotation of southwest Japan associated with back-arc opening occurred around the latest Early Miocene.

### 要 旨

金沢・医王山地域の中新統について、古地磁気学的研究とフィッション・トラック (FT) 年代測定を行った。医王山層 (医王山地域) の6地点と七曲層 (金沢地域) の1地点について決定された平均古地磁気方位は、すべて逆帯磁を示す。砂子坂層と下荒屋層の試料については、二次磁化のため方位は決定できなかったが、段階熱消磁によって初生磁化極性は逆帯磁と考えられる。珪藻生層序データに基づき、金沢・医王山地域の逆磁極期は、地磁気極性年代尺度のChron C5Brに対比される。医王山

層上部の3つのジルコンFT年代は15.0~15.4 Maの範囲であり、古地磁気層序と調和的である。金沢・医王山地域では、珪藻生層序の*Crucidenticula kanayae*帯 (NPD 3A) に対比される七曲層と下位層の傾動補正後の平均古地磁気方位が有意な東偏を示す。中部日本の日本海沿岸では、同時期の古地磁気データがこれと似通った方向を持つものに対し、*Denticulopsis lauta*帯 (NPD 4A) に対比される地層の多くは顕著な東偏を示さない。したがって、古地磁気学的研究は、背弧拡大に伴う西南日本の時計回り回転が、前期中新世の末に起こったことを示唆している。

### 1. はじめに

石川県金沢市近郊と石川・富山県境の医王山地域 (第1図) には、下部の火山岩と上部の堆積岩からなる新第三系が広く分布している。金沢地域については、今井 (1959) や杉本ほか (1980)、杉本・平林 (1982) などによって詳細な岩相層序が確立している。医王山地域については、井上ほか (1964) や杉本・豊島 (1984) などの層序学的研究がある。最近、柳沢 (1999a, b) は両地域

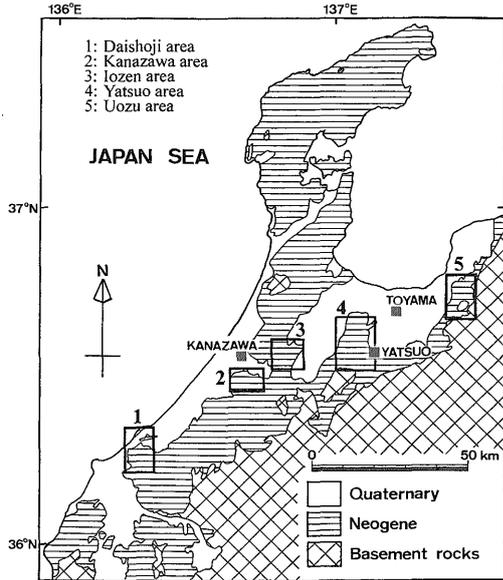
<sup>1</sup> 大阪府立大学総合科学部自然環境科学科; 地質調査所資源エネルギー地質部非常勤職員 (Department of Earth Sciences, College of Integrated Arts and Sciences, Osaka Prefecture University, Gakuencho 1-1, Sakai, Osaka 599-8531, Japan; Fellow of Mineral and Fuel Resources Department, GSJ)

<sup>2</sup> 金沢大学理学部地球学教室 (Department of Earth Sciences, Faculty of Science, Kanazawa University, Kakuma, Kanazawa 920-1192, Japan)

<sup>3</sup> 株式会社フィッション・トラック (Kyoto Fission-Track Co., Ltd., 44-4 Minami-tajiricho, Omiya, Kita-ku, Kyoto 603-8832, Japan)

<sup>4</sup> 地質調査所資源エネルギー地質部 (Mineral and Fuel Resources Department, GSJ)

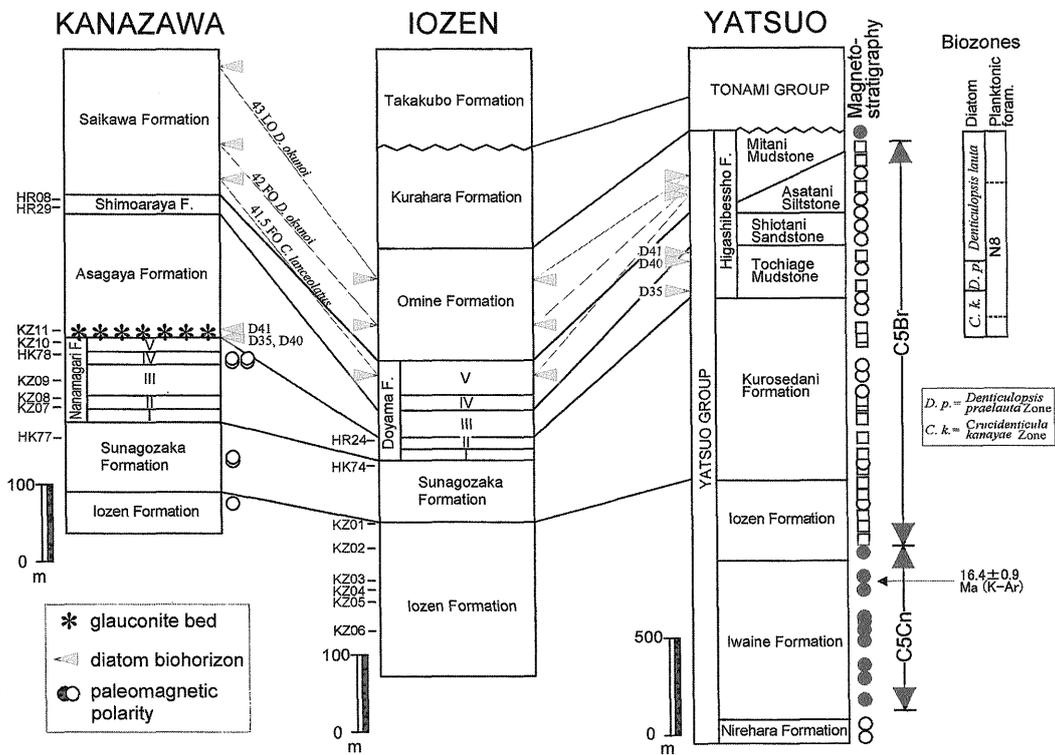
Keywords: Kanazawa, Iozen, Japan, Miocene, paleomagnetism, fission-track age



第1図 北陸地方の新第三系分布と古地磁気学的研究の対象地域。  
 Fig. 1 Distribution of Neogene sequence in the Hokuriku district and areas of paleomagnetic studies.

で詳細な珪藻化石層序の検討を行い、化石帯区分を確立した(第2図)。一方、古地磁気学的研究としては、Itoh and Ito (1989)が金沢地域のデータを報告しているが、その層準は限られている(第2図)。医王山地域については、報告例はない。北陸の海成中新統は、日本海の拡大に伴って形成されたと考えられているが(早川・竹村, 1987など)、拡大イベントに伴う構造運動の実態を解明するためには、古地磁気データは極めて有効である。本研究では、金沢・医王山地域における古地磁気測定結果を報告し、北陸地方の他地域(第1図)から得られているデータと比較することで、日本海拡大前後の回転運動について考察する。

北陸の中新統は、新鮮な連続セクションが保存され、柳沢(1999a, b, c)などの研究によって地域間の生層序学的対比が明らかにされているので、複合層序学的研究の面からも重要である。伊藤ほか(1999)や伊藤・渡辺(2000)は、富山県の八尾地域で地磁気層序の検討を行い、標準地磁気層序への対比案を示した(第2図)。し



第2図 金沢・医王山・八尾地域の珪藻化石層序と古地磁気層序学的データ。珪藻生層準と珪藻化石帯(Yanagisawa and Akiba, 1998)の対比は、柳沢(1999a, b, c)に基づく。金沢と八尾の古地磁気層序は、それぞれItoh and Ito (1989)と伊藤・渡辺(2000)に基づき、黒印が正帯磁、白印が逆帯磁である。八尾地域に関しては、平均方位の決定に至らず、古地磁気極性のみのデータを四角印で示している。放射年代は柴田(1973)に基づく。柱状図の左に今回の古地磁気試料採取層準を付す。  
 Fig. 2 Diatom biostratigraphy and magnetostratigraphy reported from the Kanazawa, Iozen and Yatsuo areas. Correlation of diatom biohorizons and diatom zones (Yanagisawa and Akiba, 1998) is after Yanagisawa (1999a, b, c). Magnetostratigraphy of the Kanazawa area and Yatsuo area are after Itoh and Ito (1989) and Itoh and Watanabe (2000), respectively. Solid and open symbols correspond to normal and reversed polarities, respectively. As for the Yatsuo area, magnetic polarity data without numerical mean directions are shown by square symbols. K-Ar age in the Yatsuo area is after Shibata (1973). Paleomagnetic sampling horizons of the present study are attached on the left side of columnar sections.

かし、同地域から報告されている放射年代データは少なく、対比には不確かさが残されている。医王山地域の火成岩については、雁沢 (1983) がフィッシュン・トラック (FT) 年代を測定し、 $16.5 \pm 1.4$  Maと $15.0 \pm 2.1$  Maというジルコン年代値を報告している。これは、Hurford (1990) によるFT年代測定の標準化勧告以前の研究なので、現在では参考値にとどまる。そこで本研究では、医王山地域の火成岩についてFT年代測定を行い、北陸中新統の地磁気層序の精密化を試みる。

## 2. 地質概説と試料採取

金沢地域の新第三系層序は、杉本の一連の研究 (杉本ほか, 1980など) によって確立され、柳沢 (1999a) によって医王山地域との生層序対比を勘案して整理された。中新統は、下位より医王山層、砂子坂層、七曲層、朝ヶ屋層、下荒屋層、犀川層からなる (第2図)。医王山層は流紋岩質火砕岩及び溶岩を主体とし、砂子坂層は砂岩・泥岩及び凝灰岩からなる海進期の地層である。七曲層は砂子坂層を整合に覆い、珪長質凝灰岩を主体とする。杉本・平林 (1982) は、これを下位よりI~Vの5部層に区分した。朝ヶ屋層は主として泥岩からなり、最下部に海緑石濃集層が発達する (第2図)。金沢地域の一部では、朝ヶ屋層の基底が七曲層のより下位の部層を次々に覆う。杉本・馬淵 (1982) は、これを地殻変動による不整合と考え、“朝ヶ屋変動”と呼んだ。下荒屋層は、朝ヶ屋層を整合に覆い、凝灰岩及び斜交層理の発達する凝灰質砂岩からなる。犀川層は、下荒屋層を整合に覆う主として泥岩からなる地層である。

医王山地域の新第三系層序は、井上ほか (1964) などによって明らかにされ、柳沢 (1999b) によって金沢地域との対比の再検討に基づいて修正された。中新統は、下位より医王山層、砂子坂層、土山層、御峰層、蔵原層、高窪層からなる (第2図)。医王山層は、流紋岩及びその火砕岩からなり、層厚は最大1,000 mに達する。松尾・中西 (1967) は、本層の岩相・構造を研究し、火砕流堆積物の一部が溶結していることから、陸上噴火の時期があったと推定した。砂子坂層は、医王山層を整合に覆い、凝灰質砂岩・泥岩からなる。土山層は、砂子坂層に整合に重なる凝灰岩を主とする地層である。杉本・豊島 (1984) は、岩相に基づいて本層をI~Vの5部層に区分した。御峰層は、塊状の砂質泥岩または泥岩からなり、最下部に砂岩が発達する。杉本・豊島 (1984) は、本層の基底に不整合の存在を想定している。蔵原層は御峰層を整合に覆い、安山岩質細~中粒砂岩からなる。高窪層は砂岩層を挟む砂質泥岩であり、蔵原層とは不整合関係にある。以上で述べた地層及び富山県八尾地域の中新統の、珪藻化石層序に基づく対比 (柳沢, 1999a, b, c) を、第2図に示した。

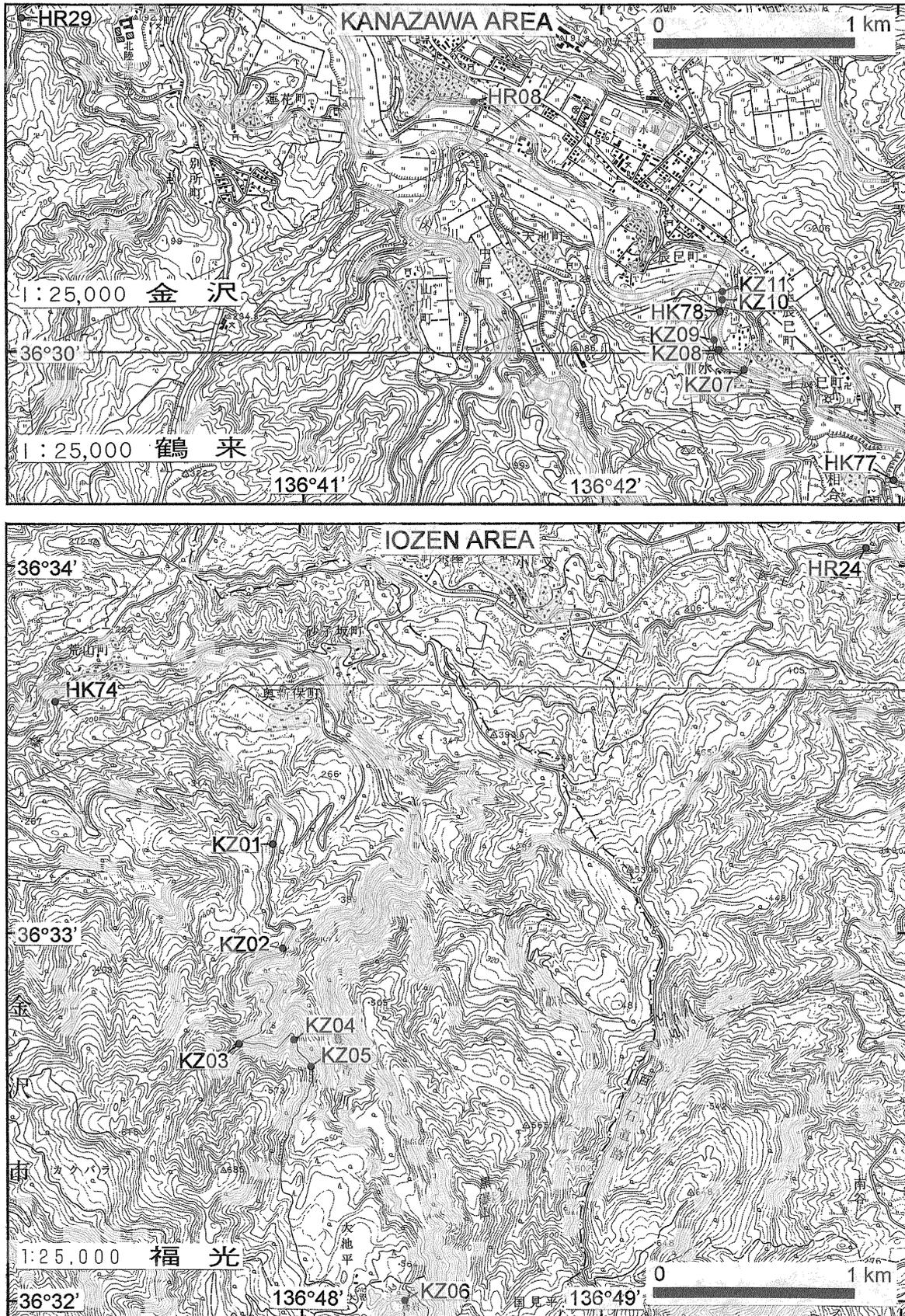
古地磁気測定用試料採取は、第2, 3図に示す層準・地点で行った。金沢・医王山地域とも、調査対象範囲は概ね北傾斜の同斜構造を持つが、医王山層のKZ03~06は溶岩 (KZ03, 04, 06は流紋岩, KZ05は真珠岩) であり、それらの詳しい層位関係には曖昧さが残る。金沢地域では、柳沢 (1999a) によって珪藻化石帯区分が明らかにされた、犀川セクションと野田山セクションを研究対象とした。試料は、コアもしくはブロックを採取した。コア試料は、携帯型エンジンドリルを用いて1地点につき4~8本抜き取り、磁気コンパスで方位付けした。ブロック試料は、拳大のものを1地点につき5~6個採取し、磁気コンパスで方位付けした。

## 3. 古地磁気測定結果

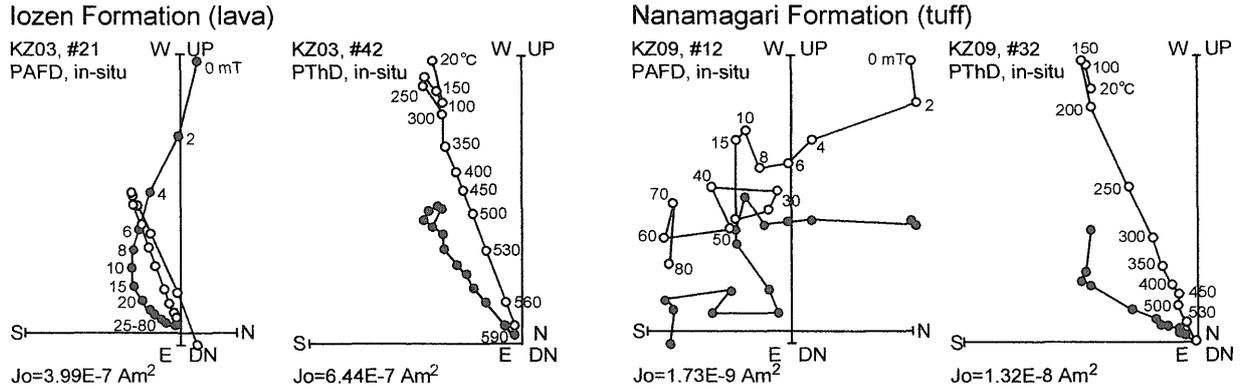
実験室に持ち帰った試料から、直径25mm高さ22mmの円筒形測定用試料片を切り出した。自然残留磁化の測定には、地質調査所と京都大学 (総合人間学部) の2-G Enterprise製超伝導磁力計を用いた。作成した全試料片 (1地点につき8~13個) について自然残留磁化と磁化率を測定した後、各地点の平均的な残留磁化強度・方位・磁化率を持つパイロット試料片を選び、段階交流消磁・段階熱消磁実験によって磁化の安定性を検討した。段階交流消磁は、最高80mTまで14段階で行った。段階熱消磁は10nT以下の無磁場に近い空気中で、最高640℃まで12~16段階で行った。熱消磁によって破裂する試料 (流紋岩溶岩など) は、修復不能になった時点で実験を打ち切った。

第4図に、流紋岩溶岩 (左) と凝灰岩 (右) の段階消磁実験結果を示す。この例では、双方とも段階熱消磁によって、ベクトル投影図の原点に収束する安定残留磁化成分が確認された。その方位は、傾動補正前の状態 (in-situ) で現在の地球磁場方向と大きく異なっており、それぞれマグマが冷却する過程で獲得した熱残留磁化と火山灰が沈積する際に獲得した堆積残留磁化と考えられる。すなわち、これらの試料は初生的な残留磁化を保持している。今回測定を行った試料では、交流消磁より熱消磁の方が磁化成分の分離に有効だったので、パイロット試料片で初生磁化が確認された地点では試料片を追加して段階熱消磁を行い、Kirschvink (1980) の方法で磁化方位を決定して地点毎の平均磁化方位を計算した。第1表に、今回得られた古地磁気データを示す。医王山層の溶岩 (KZ03~06) については、地質構造に関する情報がないので、傾動補正は行っていない。KZ04とKZ06については、比較的低温で消磁される磁化成分が確認された。その方位は、傾動補正前の状態で現在の地球磁場方向に近く、二次的に獲得した磁化と考えられる。

第5図で例示した等積投影図では、段階熱消磁の進行とともに、残留磁化方位が現在の地球磁場方向から遠ざ



第3図 古地磁気試料採取地点位置図. 2万5千分の1地形図「金沢」「鶴来」「福光」の一部を使用.  
Fig. 3 Paleomagnetic sampling sites plotted on parts of topographic maps "Kanazawa", "Tsurugi" and "Fukumitsu" at 1:25,000 scale.



第4図 段階交流消磁 (PAFD) と段階熱消磁 (PThD) の結果. 傾動補正前の磁化方位を vector-demagnetization 図に示す. 黒丸は水平面, 白丸は南北方向の垂直面への磁化ベクトル終点の投影.

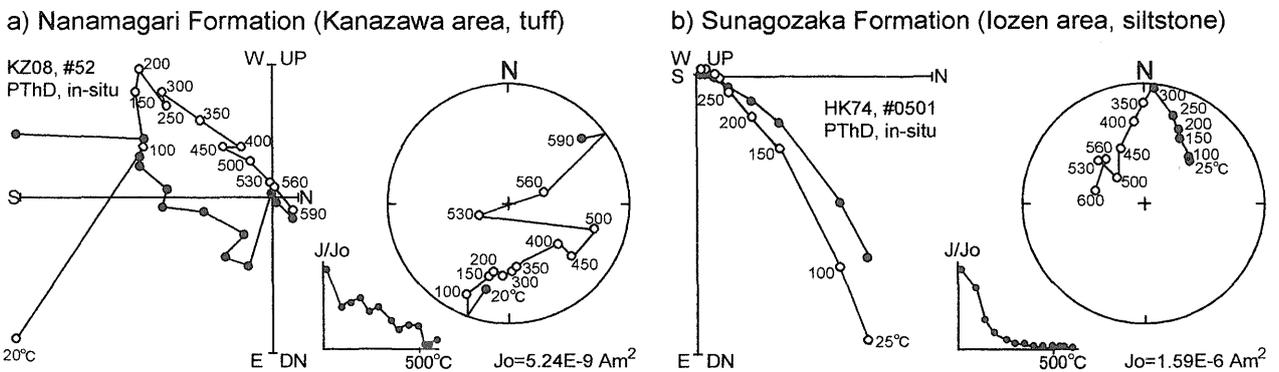
Fig. 4 Results of progressive alternating-field demagnetization (PAFD) and progressive thermal demagnetization (PThD). The vector-demagnetization diagrams are drawn in in-situ coordinates. Unit of the coordinates is bulk remanent intensity. Solid and open circles are projections of vector end-points on horizontal and N-S vertical planes, respectively.

第1表 金沢-医王山地域から得られたサイト平均磁化方位.

Table 1 Site-mean magnetic direction obtained from the Kanazawa-Iozen area.

| Site | Formation  | Facies | Primary component |        |       |        |       |               |       |   |        |           | Secondary component |       |      |               |       |   |  |
|------|------------|--------|-------------------|--------|-------|--------|-------|---------------|-------|---|--------|-----------|---------------------|-------|------|---------------|-------|---|--|
|      |            |        | DMG (°C)          | D      | I     | Dc     | Ic    | $\alpha_{95}$ | k     | N | $\phi$ | $\lambda$ | DMG (°C)            | D     | I    | $\alpha_{95}$ | k     | N |  |
| KZ01 | lozen      | tuff   | 520 - 620         | -73.5  | -71.1 | -114.6 | -66.6 | 2.7           | 410.4 | 8 | 42.0   | -170.0    |                     |       |      |               |       |   |  |
| KZ02 | lozen      | tuff   | 500 - 640         | -135.5 | -67.7 | -145.3 | -54.7 | 6.2           | 95.9  | 7 | 62.0   | -141.0    |                     |       |      |               |       |   |  |
| KZ03 | lozen      | lava   | 200 - 590         | -125.2 | -56.8 |        |       | 6.0           | 163.3 | 5 |        |           |                     |       |      |               |       |   |  |
| KZ04 | lozen      | lava   | 300 - 600         | -128.6 | -55.1 |        |       | 5.1           | 174.4 | 6 |        |           | 100 - 300           | -28.6 | 47.1 | 8.1           | 56.6  | 7 |  |
| KZ05 | lozen      | lava   | 100 - 600         | -131.9 | -43.1 |        |       | 4.8           | 158.7 | 7 |        |           |                     |       |      |               |       |   |  |
| KZ06 | lozen      | lava   | 250 - 600         | -142.4 | -50.6 |        |       | 2.3           | 665.9 | 7 |        |           | 100 - 200           | -8.5  | 62.7 | 5.8           | 108.6 | 7 |  |
| KZ09 | Nanamagari | tuff   | 150 - 590         | -150.1 | -60.6 | -168.5 | -54.5 | 6.0           | 101.9 | 7 | 80.6   | -127.7    |                     |       |      |               |       |   |  |

DMG is range of PThD levels adopted for calculation of characteristic direction by principal component analysis; D and I are in-situ site-mean declination and inclination in degrees, respectively; Dc and Ic are tilt-corrected site-mean declination and inclination in degrees, respectively;  $\alpha_{95}$  is radius of 95 % confidence circle in degrees; k is the Fisherian precision parameter; N is number of specimens;  $\phi$  and  $\lambda$  are latitude (N) and longitude (E) of virtual geomagnetic pole for tilt-corrected site-mean direction, respectively.



第5図 段階熱消磁 (PThD) により, 古地磁気方位が連続的に変化する例. 傾動補正前の磁化方位を vector-demagnetization 図にプロットしたものを左側に示す. 黒丸は水平面, 白丸は南北方向の垂直面への投影. 右側には等積投影図 (黒丸は下半球, 白丸は上半球投影) と磁化強度減衰曲線を示す.

Fig. 5 Examples of successive changes in magnetic directions in the course of progressive thermal demagnetization (PThD) test. Vector-demagnetization diagrams (left) are drawn in in-situ coordinates. Unit of the coordinates is bulk remanent intensity. Solid and open circles are projections of vector end-points on horizontal and N-S vertical planes, respectively. Equal-area projections and normalized intensity decay curves are shown on the right. Solid and open circles are on the lower and upper hemispheres of the equal-area nets, respectively.

第2表 金沢-医王山地域から得られたジルコンのフィッション・トラック年代.  
Table 2 Zircon fission-track ages obtained from the Kanazawa-Iozen area.

| Site | Formation | No. of crystals | Spontaneous track            |       | Induced track                |       | P( $\chi^2$ ) (%) | Dosimeter                    |       | r     | U-content (ppm) | Age $\pm 1\sigma$ (Ma) | Method |
|------|-----------|-----------------|------------------------------|-------|------------------------------|-------|-------------------|------------------------------|-------|-------|-----------------|------------------------|--------|
|      |           |                 | $\rho_s$ (cm <sup>-2</sup> ) | $N_s$ | $\rho_i$ (cm <sup>-2</sup> ) | $N_i$ |                   | $\rho_d$ (cm <sup>-2</sup> ) | $N_d$ |       |                 |                        |        |
| KZ03 | Iozen     | 30              | 2.51 $\times 10^6$           | 1169  | 2.46 $\times 10^6$           | 1144  | 1                 | 8.145 $\times 10^4$          | 2502  | 0.861 | 240             | 15.4 $\pm 0.7$         | ED1    |
| KZ04 | Iozen     | 30              | 2.13 $\times 10^6$           | 1591  | 2.11 $\times 10^6$           | 1577  | 10                | 8.151 $\times 10^4$          | 2504  | 0.761 | 210             | 15.2 $\pm 0.6$         | ED1    |
| KZ06 | Iozen     | 30              | 2.44 $\times 10^6$           | 1501  | 2.34 $\times 10^6$           | 1440  | 12                | 7.776 $\times 10^4$          | 2389  | 0.858 | 240             | 15.0 $\pm 0.7$         | ED1    |

$\rho$  and  $N$  are the density and total number of fission-tracks counted, respectively. Ages were calculated using a dosimeter glass SRM612 and age calibration factor  $\zeta$  (ED1)=370 $\pm 4$  (Danbara *et al.*, 1991).  $P(\chi^2)$  is the probability of obtaining  $\chi^2$ -value for  $\nu$  degrees of freedom (where  $\nu$ =No. of crystals-1).  $r$  is the correlation coefficient between  $\rho_s$  and  $\rho_i$ . Samples were irradiated using TRIGA MARK II nuclear reactor of St. Paul's University (Rikkyo Daigaku), Japan.

り、二次磁化が除去される傾向が認められる。しかし、ベクトル投影図上では明瞭な原点収束成分が見られず、消磁温度が高くなると磁化方位が不安定になる。段階交流消磁でも、安定磁化成分を分離することはできない。このような地点では、試料片を追加して段階熱消磁実験を行い、すべてのコアもしくはブロックについて同様の傾向が得られた場合について、磁化方位の変化傾向から初生磁化極性を判定した。平均磁化方位の計算は行っていない。

#### 4. FT年代測定結果

医王山地域の医王山層(流紋岩溶岩; KZ03,04,06)について、古地磁気測定試料片を抜き取ったブロック試料を粉碎し、ジルコンを抽出した。いずれの地点についても十分な自形ジルコン粒子数が得られたので、ゼータ較正法に基づき (Danbara *et al.*, 1991), 結晶内部面を用いた外部ディテクター法 (ED1; Gleadow, 1981; 檀原, 1995) によって測定を実施した。ジルコン中の自発FTのエッチングは、KOH-NaOH共融液(1:1)を用い、225℃の条件で30時間行った。第2表に、医王山層のジルコンFT年代値を示す。

### 5. 考 察

#### 5.1 地磁気層序

第6図に、今回金沢・医王山地域から得られた古地磁気・FT年代データを、Itoh and Ito (1989)の古地磁気データとともに示す。金沢地域の下荒屋層については、犀川セクション(HR08)と野田山セクション(HR29)の両方で、残留磁化方位が段階熱消磁によって現在の地球磁場方向から連続的に遠ざかり、伏角が負になる傾向が見られた。平均磁化方位の決定には至らなかったが、本層の試料は逆帯磁と判断される。同様の傾向が、金沢地域の七曲層(HK78, KZ08)と砂子坂層(HK77), 医王山地域の砂子坂層(HK74)でも認められ、逆帯磁と判断された。これらを含め、これまでに金沢・医王山地域か

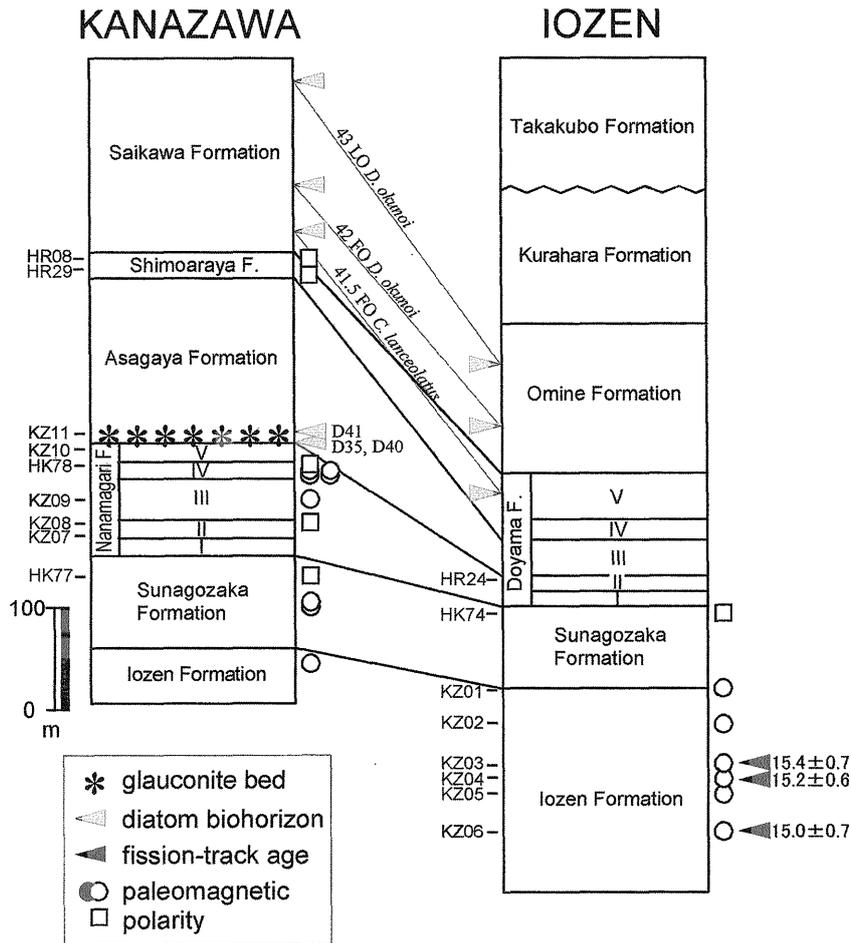
ら得られた初生磁化極性は、すべて逆帯磁である。

第2図の生層序対比を考慮すれば、上記の結果は富山県八尾地域の地磁気層序と調和的である。伊藤・渡辺(2000)は、八尾地域の医王山層~東別所層にあたる逆磁極期を、地磁気極性年代尺度のChron C5Br (15.155~16.014 Ma; Berggren *et al.*, 1995)に対比した。八尾では、Chron C5CnとC5Brの境界は医王山層下部に対比されている。今回、医王山地域の医王山層上部から得られた古地磁気データはすべて逆帯磁であり、そのFT年代は地磁気層序に基づく年代推定に矛盾しない。したがって、金沢・医王山、八尾地域に分布する海進期の中新統は、伊藤・渡辺(2000)の対比案を採用すれば前期中新世末の短期間に形成されたことになる。

Barron and Gladenkov (1995)によれば、珪藻化石層序区分(Yanagisawa and Akiba, 1998)の*Crucidentacula kanayae*帯(NPD 3A)上部は、Chron C5Cnに対比される。したがって、*C. kanayae*帯(NPD 3A)上部に対比される金沢地域の七曲層からは正帯磁が期待されるが、同層から得られた古地磁気データは、すべて逆帯磁である。地磁気極性が得られている層準はいまだに多くはないので、七曲層がChron C5Cn中の短い逆磁極期に対比されるという可能性も否定できないが、下位の砂子坂層を含めて正帯磁のデータが1つも無いのは確率的に不自然であり、Barron and Gladenkov (1995)の結果と整合的ではない。柳沢(1999a)は、この矛盾点を指摘すると同時に、Barron and Gladenkov (1995)が珪藻化石層序と地磁気層序の対比を行ったODP Site 884B, 887では*C. kanayae*帯(NPD 3A)付近の対比に曖昧さが残ると述べている。現時点のデータからは、ODP(北西太平洋)と北陸新第三系における対比案のどちらが妥当であるかを決定することはできず、さらに詳細な複合層序学的研究を行う必要がある。

#### 5.2 平均磁化方位

第7図に古地磁気方位データを示した。金沢・医王山地域のデータ(10地点)は、珪藻化石層序の*C. kanayae*帯(NPD 3A)に対比される七曲層と、その下位の砂子



第6図 金沢・医王山地域における、地磁気層序とFT年代。地磁気極性データの白印は逆帯磁を意味する。平均方位の決定に至らず、極性のみのデータは四角印で示している。珪藻生層準 (Yanagisawa and Akiba, 1998) の対比は、柳沢 (1999a, b) に基づく。

Fig. 6 Magnetostratigraphy and FT ages in the Kanazawa and Iozen areas. Open symbols denote reversed magnetic polarity. Magnetic polarity data without numerical means are presented by squares. Correlation of diatom biohorizons (Yanagisawa and Akiba, 1998) is after Yanagisawa (1999a, b).

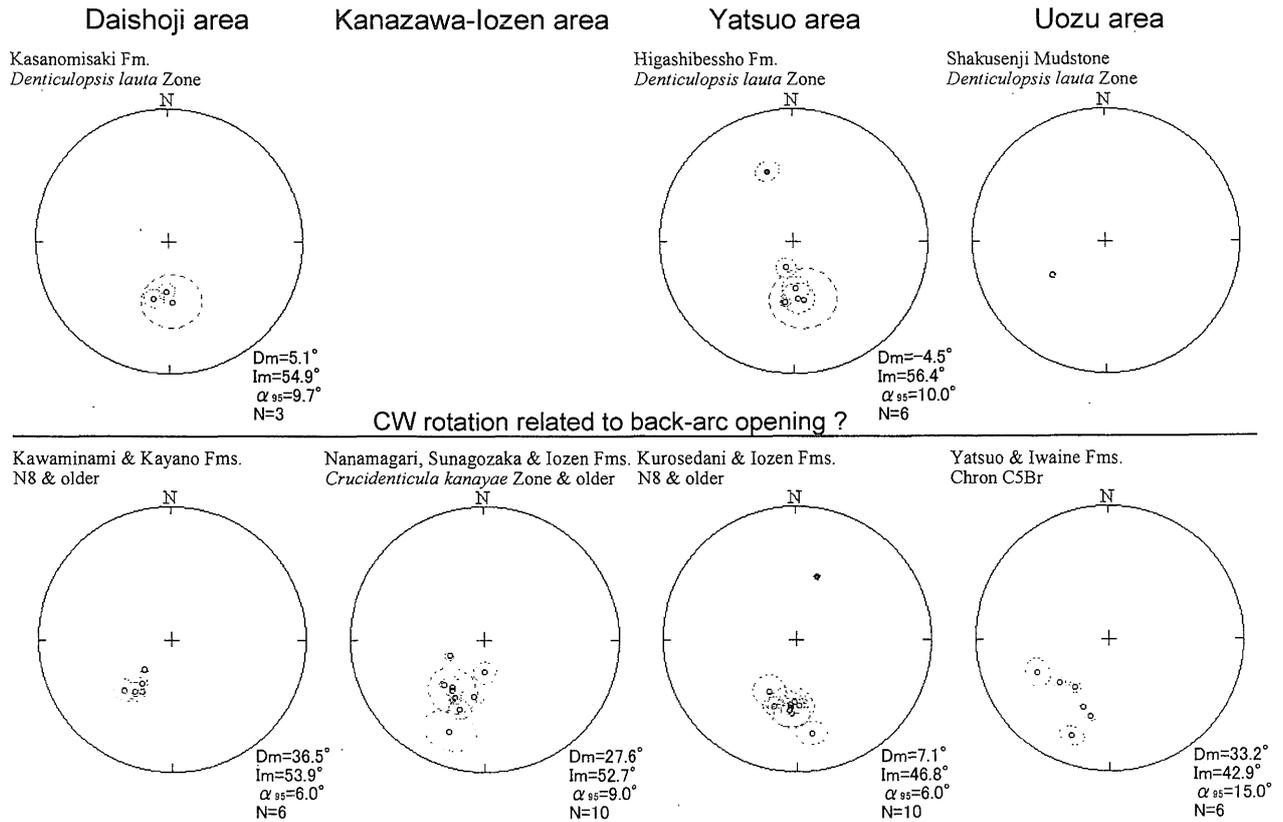
坂層、医王山層から得られている。それらはすべて逆帯磁で、反転した平均方位は有意な東偏を示す。東アジアにおける中新世以降の見かけ地磁気極移動の効果は無視できる量 (Irving and Irving, 1982) なので、金沢・医王山地域の古地磁気方位は、日本海拡大に伴う島弧の回転運動を記録している可能性がある。

### 5.3 北陸地方の中新世古地磁気データの比較

生層序対比に基づき、北陸の中新世古地磁気データの時空分布を考察する。第1図に示した地域から報告されている古地磁気方位を、第7図にまとめた。上段は、珪藻化石の *Denticulopsis lauta* 帯 (NPD 4A) に対比される地層のデータで、北陸全域に外洋性堆積物が分布する層準である。下段は、*C. kanayae* 帯 (NPD 3A) に対比される地層および下位層のデータで、火成岩類とそれを覆う海進性堆積物に相当する。大聖寺地域と八尾地域につい

ては、堆積岩類下部から珪藻化石が産出しない (Itoh and Ito, 1989; 柳沢, 1999c) ため、ほぼ同時期である浮遊性有孔虫化石の N8 帯相当層および下位層のデータを採用した。両化石帯の間にある *Denticulopsis praelauta* 帯 (NPD 3B) に対比される地層に関しては、八尾地域では古水深の増大する層準 (早川・竹村, 1987) であるのに対し、金沢地域では相対的海水準低下に伴うハイエタスの存在 (柳沢, 1999a) が示唆される (第2図) など堆積環境が変化に富んでおり、古地磁気データの比較が困難なので、集計していない。

対象とした全地域について、*C. kanayae* 帯 (NPD 3A) に対比される地層および下位層のデータは東偏を示し、前節で述べたように日本海拡大に伴う回転を示唆している。一方、大聖寺地域と八尾地域の *D. lauta* 帯 (NPD 4A) に対比されるデータは、ほぼ地球磁場方向に平行である。魚津地域から得られている1地点のデータ (岩城・伊



第7図 北陸地方から報告されている，傾動補正を行った中新世の地点平均磁化方位データ．大聖寺地域はItoh and Ito (1989) に，金沢・医王山地域はItoh and Ito (1989) と本研究に，八尾地域は伊藤・早川 (1988,1989) と伊藤・渡辺 (2000) に，魚津地域は岩城・伊藤 (2000) に基づく．黒丸は等積投影図の下半球，白丸は上半球への投影で，点線の楕円は95%の信頼円である．  
 Fig. 7 Miocene tilt-corrected site-mean magnetic directions reported from the Hokuriku district. Data sets obtained from the Daishoji, Kanazawa-lozen, Yatsuo, Uozu areas are after Itoh and Ito (1989), Itoh and Ito (1989) and this study, Itoh and Hayakawa (1988, 1989) and Itoh and Watanabe (2000), Iwaki and Itoh (2000), respectively. Solid and open circles are upon the lower and upper hemispheres of the equal-area projection, respectively. Dotted ovals are 95 % confidence limits.

藤, 2000) は有意に東偏するが，これは凝灰岩試料であり，現時点では短期間の地磁気エクスカッションの影響と解釈している．したがって，北陸地方の古地磁気データを見るかぎり，時計回り回転運動は前期中新世末 (*D. praelauta* 帯 (NPD 3B) に対比される時期) に生じたと考えられる．

Hayashida (1986) は，岐阜県瑞浪地域の中新統について古地磁気学的研究を行い，*D. lauta* 帯 (NPD 4A) に対比される地層の古地磁気偏角の東偏が下位の地層のものより小さいことを見出した．このように，前期中新世末の回転運動は，北陸のみならず西南日本東部の広い範囲で確認されており，同時期には海進が生じている．今後は，生層序学的情報の豊富な連続セクションで，なるべく稠密な古地磁気データを取得し，回転運動の定量化をめざすとともに，背弧拡大に伴う古環境変遷について検討を行いたい．

## 6. ま と め

石川県金沢市近郊と石川・富山県境の医王山地域に分布する新第三系について，古地磁気学的研究とFT年代測定を行った結果，次のような結論を得た．

1) 医王山地域に分布する医王山層の6地点と金沢地域の七曲層の1地点について，初生磁化成分を分離し地点平均方位を決定した．医王山層の4地点については，構造に関する情報がいないため，傾動補正は行っていない．

2) 医王山地域の医王山層上部 (流紋岩溶岩) のジルコンFT年代 (ED1法) は  $15.4 \pm 0.7$ ,  $15.2 \pm 0.6$ ,  $15.0 \pm 0.7$  Ma (誤差は  $1\sigma$ ) となった．

3) 地磁気極性のみ判定が可能な地点や既報告データを加えて，金沢・医王山地域の地磁気層序を構築した．現在までに，医王山層・砂子坂層・七曲層・下荒屋層から得られている古地磁気極性は，すべて逆帯磁である．富山県八尾地域との生層序対比を勘案すると，この逆帯磁極性は地磁気極性年代尺度の Chron C5Br (15.155 ~

16.014 Ma) に対比される可能性が高い。上述のFT年代は、この対比案と整合的である。

4) 金沢・医王山地域を含めて、北陸地方の中新世古地磁気データは、珪藻化石層序の *Crucidenticula kanayae* 帯 (NPD 3A) に対比される地層及び下位層のデータが東偏を示すのに対し、上位の *Denticulopsis lauta* 帯 (NPD 4A) に対比されるデータは、ほぼ地球磁場方向に平行である。これは、日本海拡大に伴う西南日本弧の時計回り回転を記録している可能性がある。

**謝辞** 現地調査にご協力いただいた金沢大学の石渡明助教授と同志社大学の岩城啓美氏に深謝致します。古地磁気実験室の使用に関し、便宜を図っていただいた地質調査所の山崎俊嗣氏ならびに京都大学の石川尚人氏に御礼申し上げます。

## 文 献

- Barron, J. A. and Gladenkov, A. Y. (1995) Early Miocene to Pleistocene diatom stratigraphy of Leg 145. In Rea, D. K., Basov, I. A., Scholl, D. W. and Allan, J. F. eds., *Proc. Ocean Drilling Program, Sci. Results, Vol.145*, Ocean Drilling Program, College Station, Texas, 3-19.
- Berggren, W. A., Kent, D. V., Swisher, III, C. C. and Aubry, M.-P. (1995) A revised Cenozoic geochronology and chronostratigraphy. In Berggren, W. A., Kent, D. V., Aubry, M.-P. and Hardenbol, J. eds., *Geochronology, Time Scales and Global Stratigraphic Correlation, SEPM Special Publication No.54*, Society for Sedimentary Geology, Tulsa, Oklahoma, 129-212.
- 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.
- Danhara, T., Kasuya, M., Iwano, H. and Yamashita, T. (1991) Fission-track age calibration using internal and external surfaces of zircon. *J. Geol. Soc. Japan*, **97**, 977-985.
- 雁沢好博 (1983) フィッショントラック法によるグリーン・タフ変動の年代区分 その2—富山県太美山地域—。地質雑, **89**, 271-286.
- Gleadow, A. J. W. (1981) Fission-track dating methods: What are the real alternatives? *Nucl. Tracks*, **5**, 3-14.
- 早川秀樹・竹村厚司 (1987) 富山県八尾地域の新第三系。地質雑, **93**, 717-732.
- Hayashida, A. (1986) Timing of rotational motion of Southwest Japan inferred from paleomagnetism of the Setouchi Miocene Series. *J. Geomagn. Geoelectr.*, **38**, 295-310.
- Hurford, A. J. (1990) Standardization of fission track dating calibration: Recommendation by the Fission Track Working Group of the I.U.G.S. Subcommittee of Geochronology. *Chem. Geol.*, **80**, 171-178.
- 今井 功 (1959) 5万分の1地質図幅説明書「金沢」。地質調査所, 27p.
- 井上正昭・水野篤行・野沢 保 (1964) 5万分の1地質図幅説明書「城端」。地質調査所, 32p.
- Irving, E. and Irving, G. A. (1982) Apparent polar wander paths Carboniferous through Cenozoic and the assembly of Gondwana. *Geophys. Surv.*, **5**, 141-188.
- 伊藤康人・早川秀樹 (1988) 富山県八尾地域に分布する新第三系の古地磁気層序。地質雑, **94**, 515-525.
- 伊藤康人・早川秀樹 (1989) 富山県八尾地域の新第三系における磁極期 C5B/C5C 境界について。地質雑, **95**, 133-136.
- Itoh, Y. and Ito, Y. (1989) Confined ductile deformation in the Japan arc inferred from paleomagnetic studies. *Tectonophysics*, **167**, 57-73.
- 伊藤康人・渡辺真人 (2000) 八尾地域の前期中新世地磁気層序の精密化。地調月報, **51**, 37-45.
- 伊藤康人・柳沢幸夫・渡辺真人 (1999) 八尾地域に分布する新第三系の古地磁気/珪藻化石層序。地調月報, **50**, 215-223.
- 岩城啓美・伊藤康人 (2000) 富山県東部魚津地域に分布する新第三系の古地磁気学的研究。地調月報, **51**, 229-236.
- Kirschvink, J. L. (1980) The least-squares line and plane and the analysis of palaeomagnetic data. *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, **62**, 699-718.
- 松尾秀邦・中西信弘 (1976) 金沢市医王山北麓部の医王山累層並びに医王山植物群。早坂一郎先生喜寿祝賀記念文集, 287-296.
- 柴田 賢 (1973) 北陸層群中の火山岩類の K-Ar 年代。地質学論集, no.8, 143-149.
- 杉本幹博・平林三代 (1982) 七曲層の標準的岩相層序区分—北陸新第三系七曲層の研究 [I]—。金沢大教育紀要 (自然科学), no.31, 1-15.
- 杉本幹博・馬淵孝一 (1982) “黒壁火砕岩類”の層序的位置について (1)—北陸新第三系七曲層の研究 [II]—。金沢大教育紀要 (自然科学), no.31, 17-29.
- 杉本幹博・中西乃里子・安川純子 (1980) 金沢市

- 浅野川流域の砂子坂層—北陸新第三系砂子坂層の研究[II]—。金沢大教育紀要(自然科学), no.28, 51-67.
- 杉本幹博・豊島真治(1984) 土山凝灰岩層と七曲層の岩相層序学的対比—北陸新第三系七曲層の研究[XII]—。日本海域研究所報告, no.27, 49-67.
- 柳沢幸夫(1999a) 金沢市南部地域に分布する中新統の珪藻化石層序。地調月報, **50**, 49-65.
- 柳沢幸夫(1999b) 富山・石川県境の医王山地域に分布する中新統の珪藻化石層序と対比。地調月報, **50**, 67-81.
- 柳沢幸夫(1999c) 富山県八尾地域の下部—中部中新統の珪藻化石層序。地調月報, **50**, 139-165.
- Yanagisawa, Y. and Akiba, F. (1998) Refined Neogene diatom biostratigraphy for the northwest Pacific around Japan, with an introduction of code numbers for selected diatom biohorizons. *J. Geol. Soc. Japan*, **104**, 395-414.

(受付: 2000年7月7日; 受理: 2000年9月14日)