論文・報告

基礎試錐「金沢沖」の中新世火山岩類について

—背弧海盆拡大期の火成活動—

伊藤 康人*・山下 透**・檀原 徹**・長崎 康彦*

渡辺 真人***・荒戸 裕之****

(Received June 9, 1994; accepted November 9, 1994)

Miocene volcanic rocks in MITI “Kanazawa-Oki” well:
A description of syn-rifting volcanism

Yasuto Itoh, Tohru Yamashita, Tohru Danhara, Yasuhiko Nagasaki,
Mahito Watanabe and Hiroyuki Arato

Abstract: Thick Miocene basaltic pile has been confirmed in the MITI “Kanazawa-Oki” well which was drilled in the Hokuriku Basin upon the eastern part of Southwest Japan back-arc shelf. Utilizing refractive index of plagioclase and lithology, the upper part (500m thick) of the volcanics is correlated with the Kurokabe Pyroclastic Rocks near Kanazawa City. Seismic data estimates the volume of the Miocene basalts around the well to be ca. 100km³. Major constituent of the basaltic body is inferred to be porous hyaloclastite on the basis of two dimensional gravity modeling which shows a subtle positive Bouguer anomaly on the mound. Magneto- and biostratigraphy elucidates that the basalts rapidly erupted at around 16Ma, when Southwest Japan was rotating clockwise associated with formation of the Sea of Japan back-arc basin. The specific volcanism is attributed to tensional thinning of lithosphere considering paleoenvironment of the Hokuriku Province and geochemical data of volcanic rocks. Higher temperatures in the rift stage and subsequent gradual cooling is inferred from maturation level at the bottom of the well.

1. はじめに

基礎試錐「金沢沖」は、昭和60年度の海上基礎試錐として、石川県金沢市の北西沖合約58kmの地点に掘削された(図1)。試錐構造は、グリーンタフ堆積盆地の1つである北陸沖堆積盆地(岩崎, 1992)の北部に位置する。企業による物理探査の結果、本構造周辺で貯留岩として好適な中新世の火山砕屑岩層が発達すると予想されたので、周辺海域の石油地質学的検討に資するため、試錐対象として選定された。坑井位置は、震探測線上で火

山砕屑岩層の構造極隆部にあたる。

本稿では、「金沢沖」坑井で確認された火山岩類の分析を行い、周辺の陸域に分布する火山岩類との対比を試みる。あわせて、調査海域で取得された物理探査データに基づいて、北陸沖堆積盆地における火成活動の規模を推定する。さらに、北陸地方で得られている古地磁気学的データとの比較により、中新世の火成活動に関わる広域テクトニクスについて考察を行う。堆積盆地形成時の温度状態については、火山岩の化学組成分析および坑井の熟成度指標データを用いて議論する。

2. 地質概説

2.1 坑井層序

基礎試錐「金沢沖」掘削地点の水深は436mであり、水面からの深度3,007mで掘り止められた。確認された

* 石油公団技術部

** ㈱京都フィッシュン・トラック

*** 地質調査所燃料資源部

**** 帝国石油㈱技術研究所

図1 基礎試錐「金沢沖」坑井位置と震探解釈・重力モデリング測線(点線)。網掛部は震探で確認された玄武岩類の分布範囲を示す

層序を図2に示す。詳細は以下のとおり(地層名は岩崎, 1992を一部改変して採用)。

水見層(上部); 591–1,113 m

オリブ色を帯びた灰色の砂質～シルト質粘土岩を主とし、部分的に泥灰岩を挟在する。上部には、部分的に極粗粒の石英粒を含む。

水見層(下部); 1,113–1,332 m

オリブ色を帯びた灰色および稀に黒色を呈するシルト質粘土岩からなり、一部に泥灰岩を挟在する。

音川層; 1,332–1,532 m

オリブ色を帯びた灰色ないし黒色の軟質シルト質粘土岩を主体とし、部分的に泥灰岩を挟在する。最下部には、暗緑灰色を呈するワックス状凝灰岩が挟まれる。また1,330–1,410 m間の粘土岩には、海緑石が含まれる。

黒瀬谷層(火山岩類); 1,532–2,587 m

上部(1,532–2,090 m)は、暗緑灰色ないし黒緑色の玄武岩質ハイアロクラスタイトを主とし、1,800 m以深にカンラン石輝石玄武岩溶岩を挟在する。中部(2,090–2,403 m)は、黒色両輝石玄武岩質安山岩溶岩を主とし、同質ハイアロクラスタイト・ガラス質凝灰岩および黒灰色シルト質泥岩の薄層を挟在する。下部(2,403–2,587 m)は黒緑色を呈し、完晶質に近い安山岩を主とする。

黒瀬谷層; 2,587–3,007 m

黒褐色～黒灰色を呈する硬質泥岩を主体とする。上部では黒緑色玄武岩質安山岩および同質ハイアロクラスタイトを多数挟在する。中・下部においても凝灰岩

図2 基礎試錐「金沢沖」の層序および検層データ。柱状図右側の番号は屈折率測定用試料の採取層準

(酸性/塩基性)や玄武岩を挟む。

2.2 陸域との対比および地層形成年代(図3)

本坑井の水見層上部はOkada and Bukry (1980)のCN 13, CN 14a帯に対比される石灰質ナノ化石を含み、時代は更新世である。金沢周辺の陸域では、大桑層がこれに相当する(土, 1979)。水見層下部は、*Globigerina pachyderma* (dextral)や*Globorotalia inflata* (s.l.)などの有孔虫化石群集より、鮮新世に対比される。

本坑井の音川層下部からは、*Globigerina praeuloides*が産出している。したがって、下位層の年代を考慮すると中期中新世に対比される。陸上の北陸地域では広域不整合が発達する時期であるが(早川・竹村, 1987)、金沢市近郊の丘陵に分布する朝屋層・高窪層(伊東, 1986)に対比される可能性がある。

「金沢沖」坑井の火山岩類上部を構成するカンラン石輝石玄武岩は、岩相的に金沢市周辺に分布する黒壁火砕岩類に対比される。これは、主として中～酸性凝灰岩からなる七曲層の下部に挟まれている(杉本, 1983)。伊

MITI KANAZAWA-OKI

KANAZAWA

図3 層序対比図。黒丸は基礎試錐「金沢沖」における屈折率測定用試料の採取層準

東 (1986) によれば、黒壁火砕岩類より上位の七曲層は珪藻化石層序の Koizumi (1985) の *Actinocyclus ingens* 帯 (16.0–17.9 Ma) に対比される。

「金沢沖」における黒瀬谷層硬質泥岩の浮遊性有孔虫群集は *Globigerinoides sicanus* を含み、Blow (1969) の N8 に対比される。石灰質ナノ化石では CN3 に対比され、いずれも前期中新世末期を示唆している。陸域では、凝灰質砂岩よりなる砂子坂層が北陸新第三系の N8 層準に特徴的な大型有孔虫を含んでおり (*Operculina complanata japonica*; 杉本・坂口, 1984), 「金沢沖」の黒瀬谷層に対比される可能性が高い。

金沢市周辺から得られた七曲層・砂子坂層の古地磁気極性はすべて逆帯磁であり (Itoh and Ito, 1989; 中島ほか, 1990), 伊藤・早川 (1988, 1989) が古地磁気層序学的研究を行った富山県八尾地域との地層対比から, Berggren *et al.* (1985) の標準古地磁気層序で Chron C5BR (16.22–15.27 Ma; N8 中・上部にあたる) に相当する。

以上の結果から、「金沢沖」で確認された層厚 1,000 m に達する火山岩類は 16 Ma 頃に短期間で噴出したものと考えられる。坑井で確認された層序でも、ほとんど堆積岩を挟みせず、活動休止期がなかったことを物語っている。火山岩類下部 (2,422.4–2,422.6 m; 玄武岩質安山岩) の、比較的新鮮なコア (No. 7) 試料の全岩 K-Ar 年代は 15.2 ± 0.6 Ma であり、今回の結果と矛盾するものではない。

3. 屈折率測定

基礎試錐「金沢沖」坑井の火山岩類は、中・下部 (層厚 500 m) が安山岩ないし玄武岩質安山岩よりなる。陸域でこれに相当するものが存在するかどうかを確認するために、コア試料と地表岩石試料について、斜長石の屈折率測定を行った (試料の層準・地点は図 2, 4 を、岩相は表 1 を参照)。なお測定には、温度変化型屈折率測定装置 (RIMS; 檀原, 1991) を使用した。

3.1 原理

火山岩を粉砕して得られる斜長石斑晶の粒子表面は、ほとんどすべてが (001) 面または (010) 面に平行な劈開面である。両者はそれぞれ、固有の n_1 および n_2 の屈折率を持つ。このうち n_1 については、斜長石の場合どちらの劈開面についてもほとんど相等しいという関係が成り立っている (坪井ほか, 1977)。屈折率は斜長石の化学組成のみの関数 (An のモル%が増すにしたがって屈折率が高くなる) であり、結晶が低温型であるか高温型であるかには依存しない。すなわち、岩石試料の斜長石斑晶 1 つ 1 つについて、 n_1 測定により迅速に化学組成を知ることができる。

従来屈折率測定による火山岩類 (テフラなど) の対比・同定は、主に火山ガラス・斜方輝石・角閃石を対象に行われてきた。しかし、今回陸上で採取した黒壁火砕岩類は強度の風化を受けたスコリア〜角礫岩相を主体としており、わずかに残存する火山ガラスも脱ガラス化によって屈折率が変化していると考えられる。また、斜方輝石・角閃石は、一般に玄武岩質の火山岩には少ない。これに

表 1 屈折率測定用試料

坑井コア試料		
番号	深度(m) (コア No.)	岩 質 記 載
MKD1	1601.88～1602.00 (4)	玄武岩質ハイアロクラスタイト, 方解石充填, 角礫径=2-10mm
MKD2	1901.06～1901.17 (5)	玄武岩質ハイアロクラスタイト, 角礫径=5-40mm
MKD3	1905.16～1905.24 (5)	カンラン石輝石玄武岩 (溶岩)
MKD4	2155.12～2155.23 (6)	黒色複輝石玄武岩質安山岩 (溶岩)
MKD5	2421.22～2421.37 (7)	安山岩, ポーフィライト状を呈する

地表露頭試料		
番号	地 層 名	岩 質 記 載
KKD1	黒壁火砕岩類	カンラン石輝石玄武岩 (火山角礫岩中の角礫)
KKD2	黒壁火砕岩類	カンラン石輝石玄武岩
KKD3	黒壁火砕岩類	カンラン石輝石玄武岩 (貫入岩)
KKD4	医王山層	安山岩質火山角礫岩
KKD5	医王山層	デイサイト (凝灰角礫岩中の角礫)
KKD6	黒壁火砕岩類	カンラン石玄武岩 (火山礫凝灰岩中の角礫), 風化
KKD7	七曲層 (I 部層)	安山岩 (凝灰角礫岩中の角礫)
KKD8	七曲層 (I 部層)	安山岩 (凝灰角礫岩中の角礫), 岩片を多量に含む

図 4 屈折率測定用試料の採取地点 (国土地理院発行 5 万分の 1 地形図「鶴来」「金沢」)

対し, 斜長石は普遍的に火山岩に含まれるため, 異質物混入を統計的に排除できる。また, 風化に対しても抵抗性が高く, 火山岩をもたらしたマグマの組成を反映していると考えられる。

これまで斜長石については, 屈折率の範囲がデータとして示されるにとどまり, 火山岩対比への有効性はほとんど検証されていなかった。しかし山下ほか (1993) は, 大山系の数多くのテフラについて 1×10^{-3} の精度で斜長石屈折率 (n_1) の頻度分布を求め, 広域対比が行えることを明らかにしている。

図 5 斜長石屈折率 (n_1) の頻度分布

3.2 結果と解釈

測定を行った試料の屈折率頻度分布を図 5 に示す。「金沢沖」坑井の No. 4, 5 コア (図 2; 玄武岩) から採取した MKD 1～3 では, 同様の平均値を持つ単一のピー

クが見られる。この傾向は、陸域の黒壁火砕岩類 (KKD 1~3, 6) でも同様であり、多様な岩相・風化状況には関係なく、原岩の特徴を保存していると解釈される。試料調整の際に形成される新鮮な劈開面について測定しているため、風化の影響は無視できるとも言えよう。

鉱物の累帯構造による組成変化の影響は、測定に際して無作為に斜長石片を選んでいることから、ヒストグラムの幅が示す屈折率のばらつきに含まれていると考えられる。なお、顕微鏡下の観察では、測定した斜長石試料に顕著な続成作用の影響は認められなかった。このように、斜長石の屈折率はグリーンタフにおける火山碎屑岩対比に利用できる可能性があり、今後データを蓄積していくことが望まれる。

一方、No. 6, 7 コア (図2; 玄武岩質安山岩, 安山岩) から採取した MKD 4, 5 の屈折率は、やや低い平均値と幅広い分布で特徴づけられる。ことに MKD 4 のデータはマグマ混合を示唆するバイモーダルな分布を持つ。陸上では、七曲層基底の凝灰角礫岩 (KKD 7, 8) や医王山層の火砕岩類 (KKD 4, 5) など黒壁火砕岩類の下位層準で測定を行ったが、いずれも坑井の No. 6, 7 コアとは全く異なる屈折率が得られた。KKD 4 は、医王

山層の代表的岩相である火山角礫岩を粉碎して試料を調製しており、多様な火山岩片を反映して幅広い分布を示している。

砂子坂層からは試料を採取していないが、同層に挟まれる凝灰岩は軽石質の酸性凝灰岩であり、坑井の火山岩類には対比されない。杉本 (1979) や杉本・豊島 (1984) は詳細な岩相対比によって、金沢近郊で観察される七曲層・砂子坂層の火砕岩類を石川・富山県境の医王山周辺まで部層単位で追跡し、富山県側でも同様の層序からなることを明らかにした。したがって、「金沢沖」坑井で発達する玄武岩質安山岩は、周辺の陸域には分布していないと考えられる。

4. 物理探査

4.1 地震探査解釈

基礎試錐「金沢沖」周辺では、約5kmの測線間隔で物理探査が実施されている。今回、坑井で確認された層序に基づいて地震探査データを再解釈し、中新世の玄武岩体の規模を推定した。図6に玄武岩に交差する測線 (図1参照) の解釈震探断面図を示す。「金沢沖」坑井は、正断層 (SP. No. 750 付近) を伴う基盤の凹みに位置

図6 地震探査解釈断面図および重力モデリング結果。測線位置は図1を参照のこと

している。この断層は鮮新統までを変位させているが、主として前期～中期中新世に急速に形成されたものである。一方、坑井の周辺では16 Ma 前後の火山岩類のマウンドに、音川層の堆積物がオンラップしている。火山岩類が埋積された後、上位の堆積物は小規模な断層以外にはほとんど変形を受けていない。

坑井物理検層(図2)によると、玄武岩類の密度は上位の堆積岩と大差なく、ハイアロクラスタイトなど空隙の多い岩相を反映したものと考えられる。一方、弾性波伝播速度は玄武岩上面で顕著な増加を示す。このため音響インピーダンスのコントラストが大きく、強い反射で玄武岩体を追跡することができる。この結果、「金沢沖」周辺の岩体は、容積100km³に及ぶことが明らかになった。

4.2 重力モデリング

調査海域の重力異常図(コンター間隔1mgal)を用い、震探断面の解釈に基づいて、重力モデル計算を行った。火山岩隆起帯におおむね直交する測線(図1)で、地質構造を二次元多層構造として近似し、各層準の密度を坑井地質データから仮定して、計算値と観測値(ブーゲー異常値)がほぼ一致するまで密度/構造を修正しながら計算を繰り返した。「金沢沖」坑井は泥岩中で掘り止めており、新第三紀堆積盆地の基盤岩については情報が得られていないが、周辺陸域の地質に基づいて流紋岩質の火砕岩類が分布するものと仮定した。最終的な二次元多層構造モデルを図6に示す。

この結果、以下の点が明らかになった。「金沢沖」で掘り抜いた玄武岩類は、顕著な重力異常を示さず、モデリングによって与えられる密度は玄武岩としてはかなり低い値となる。前述のように、密度検層でも周囲の堆積岩と大差ない値が得られており、全体にハイアロクラスタイト相が卓越した岩体と考えられる。坑井では火山岩類下部が比較的緻密な岩相よりなるが、重力モデリングからは上部と下部とで顕著な密度差は認められず、溶岩相は坑井周辺の火山岩体極隆部のみに分布すると考えられる。

測線南半部の音響基盤は、流紋岩質火砕岩としては高すぎる密度を示す(図6)。この周辺では、広域磁気異常図でも今回対象にした測線に直交する帯状のパターンが観察されており(岩崎, 1992)、北陸沖堆積盆地の基盤の一部が玄武岩質であることを示唆している。測線北半部では、音響基盤の落差に起因する重力異常が卓越する。これに調和する密度は、仮定したように前期中新世の火砕岩類(医王山層など)と調和的なものになる。

図7 珪藻化石分析試料の採取地点(国土地理院発行2万5000分の1地形図「越中大浦」)

5. 考 察

5.1 玄武岩類の分布と性格

金沢市近郊の黒壁火砕岩類は、別所町(図4)南方で最大層厚60~80mになり、玄武岩岩脈群を伴う火山礫凝灰岩～スコリア凝灰岩を主体とする(杉本, 1987)。一方、岩相や屈折率によってこれと対比された「金沢沖」の火山岩類はハイアロクラスタイト相を主としており、水中で形成されたものと考えられる。坑井の黒瀬谷層と音川層の底生有孔虫群集(*Uvigerina* spp.-*Gyroidina* cf. *orbicularis* Zonule, *Martinottiella communis*-*Spirosigmolinitella compressa* Zonule)はいずれも中部半深海帯を示唆しており、産状から推定される形成環境と調和的である。

北陸一円では、富山県魚津市南東の丘陵にも中新世の玄武岩が露出している(角・野沢, 1972)。これは集塊岩相を主とし、従来は輝石安山岩溶岩として記載されていたもので、福平凝灰岩礫岩火山円礫岩層に含まれる。これを整合に覆う釈泉寺泥岩層から得られた珪藻化石(試料採取位置は図7参照)を同定した結果、各試料は *Denticulopsis lauta* 帯(Koizumi, 1985)にあたり、さらに最上位のUZ-10は *Cavitatus lanceolatus* および *Denticulopsis okunoii* が産出することにより *D. lauta* 帯の中部付近(Akiba *et al.*, 1993; Yanagisawa,

表2 釈泉寺泥岩層の珪藻化石分析結果

Diatom species	UZ-7	UZ-8	UZ-10
<i>Actinocyclus ingens</i> f. <i>ingens</i> (Rattray) Whiting et Schrader	2	*	*
<i>A. ingens</i> f. <i>nodus</i> (Baldauf) Whiting et Schrader			*
<i>A. ingens</i> f. <i>planus</i> Whiting et Schrader	6	2	3
<i>Actinopterychus senarius</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	1	1	6
<i>Cavitatus exiguus</i> Yanagisawa et Akiba	14	1	1
<i>C. jouseanus</i> (Sheshukova) Williams	2	3	7
<i>C. lanceolatus</i> Akiba et Hiramatsu			9
<i>C. linearis</i> (Sheshukova) Akiba et Yanagisawa			*
<i>C. miocenicus</i> (Schrader) Akiba et Yanagisawa	2	1	
<i>Cocconeis antiqua</i> Tempère et Brun	1	1	
<i>Coscinodiscus marginatus</i> Ehrenberg	2		
<i>Delphineis miocenica</i> (Schrader) Andrews	4	1	
<i>Denticulopsis ichikawae</i> Yanagisawa et Akiba	3	15	7
<i>D. lauta</i> (Bailey) Simonsen	14	38	11
<i>D. okunoi</i> Yanagisawa et Akiba			7
Girdle view of <i>D. lauta</i> group	9	7	3
<i>Diploneis smithii</i> (Brébisson) Cleve	1		1
<i>Kisseleviella carina</i> Sheshukova-Poretzkaya	1	*	
<i>Mediaria magna</i> Yanagisawa	1		
<i>M. splendida</i> Sheshukova	*		
<i>Nitzschia challengerii</i> Schrader			2
<i>Paralia sulcata</i> (Ehrenberg) Cleve	3	1	
<i>Thalassionema nitzschioides</i> (Grunow) H. et M. Peragallo	34	29	43
TOTAL NUMBER OF VALVES COUNTED	100	100	100

珪藻殻 100 個体を同定し各種別にカウントし、さらに時代決定に有効な種の有無を判定するために 200 個程度の珪藻殻を観察した。*印はこの追加観察により産出が確認された種であることを示す。

1994), 他の 2 試料は両種を産出せず同帯の下部に当たることが明らかになった (表 2)。また, この地域で下位に広く分布する岩稲稜層の安山岩からは, 16.4Ma の K-Ar 年代が得られている (柴田, 1973)。したがって, 魚津の玄武岩類も基礎試錐「金沢沖」・金沢市周辺の玄武岩とほぼ同時に形成されたと考えられる。

前期中新世火山岩類は, 富山～石川県にかけて広く存在している。富山県八尾地域では, 安山岩質および流紋岩質の厚い火山砕屑岩が新第三紀堆積盆地の基底礫岩層を覆う (早川・竹村, 1987)。これはピソライト凝灰岩や溶結凝灰岩を挟在し, 瀬海～陸成と考えられる。石川県側では, 流紋岩質・デイサイト質の医王山層が主体となっている (井上ほか, 1964)。能登半島には陸成火砕岩 (柳田累層) が分布し, 安山岩が多い (Shimazu *et al.*, 1993)。これらの火山岩類を覆う中期中新世堆積岩は, 珪藻土質泥岩などからなり, 火山源物質をほとんど含まない。したがって, 北陸における中新世玄武岩類は限られた期間に特異な活動で噴出したものである。

5.2 火成活動期の構造運動

北陸地方の新第三系から報告されている古地磁気データ (Itoh, 1989; Itoh and Ito, 1989; 伊藤・早川,

1988) によれば, 「金沢沖」などで見られる玄武岩類の活動は, 西南日本弧の時計回り回転時に起こっている。「金沢沖」坑井では, バイオマーカー分析から TD 直上 (3,003 m) の黒瀬谷層が外洋性環境にあったことが示されており (町原, 1986), N 8 には背弧海盆の一部が形成されていたと考えられる。したがって, この回転運動は日本海西部の背弧海盆拡大と密接に関連したものであり, 玄武岩類の噴出は syn-rift 期の火成活動と解釈される。

北陸地方では中部中新統が不整合で欠如するため, 島弧の回転量は正確に求められない。Otofuji *et al.* (1991) は, 山陰地方に分布する中新世火山岩類について詳細な古地磁気実験・放射年代測定を行い, 16～14 Ma の間に 37° の時計回り回転が起こったと主張した。これは, 同地域のアジア大陸に対する回転量 (白亜紀以降) の 80% 以上に相当する。西南日本の場合, 領家帯など古期岩類の配列が連続して保存されているので, このデータは小さい断層ブロックの回転ではなく島弧全体の運動を表している。すなわち, 西南日本では前期中新世に背弧リフトが形成された (多田・玉木, 1992) 後, 16Ma 頃に急速に大陸からの分離が生じた。

背弧の拡大を引き起こした回転運動のオイラー極は、西南日本西端(対馬付近)にあったと考えられる(Otofuji *et al.*, 1991)。北陸地方は西南日本弧の東部に位置しているので、回転角速度から移動速度を求めると 20 cm/year を超え、通常のプレート相対運動の10倍近い速さになっている。前述のように、1,000 m に及ぶ火山岩類の上下で底生有孔虫の示す古水深は変化しておらず、堆積盆地が大幅に沈降したことを示している。周辺の陸域でも、同時期に灘浦・八尾(図1参照)などで急速な海進が起こったとされており(伊東, 1986; 早川・竹村, 1987), リソスフェアが薄化することによって、広域的沈降が生じた可能性がある。

伊藤(1994)は金沢・魚津に分布する中新世玄武岩類の化学組成を分析し、高温高压実験の結果に基づいて、これらの玄武岩類の初生マグマが深度 30 km でマントルから分離したと推定した。これは、背弧側での通常深度の約半分である。マグマの分離は、マントルダイアビルが粘性増加によって上昇できなくなった時点で起こると考えられており(Tatsumi *et al.*, 1989), 第一近似的にはリソスフェアの厚さを表している。したがって、北陸に分布する 16 Ma 前後の玄武岩は、背弧海盆拡大の最も活発な時期に、顕著な伸長場のもとで形成された

ものである。

5.3 「金沢沖」坑井周辺の古環境変遷

火山岩類の平面分布を見ると、内陸側の金沢周辺では酸性火成活動によって玄武岩噴出と同時に軽石質凝灰岩が堆積しており、いわゆるパイモーダル火山活動(今田, 1974)が起こっている。一方、「金沢沖」坑井周辺では酸性火山岩は分布せず、陸域にはない層厚 500 m の玄武岩質安山岩が発達している。Tsuchiya (1990) は、東北日本背弧地域に分布する中期中新世火成活動に同様な傾向を見だし、玄武岩の活動域を日本海の failed rift と解釈した。北陸の場合、日本海側に突き出した能登半島には顕著な玄武岩活動がなく、北陸沖堆積盆地から富山県八尾地域(図1)に連なる沈降域は、背弧海盆周辺に形成されたリフト帯の1つと考えられる。

坑井での最下部層である黒瀬谷層はビトリナイトを含んでおらず、熟成度指標としては T_{max} , SCI (花粉色度) を利用する必要がある。 T_{max} は 440–450°C と熟成帯にあたり、SCI 値はほとんどが 7–8 の範囲で熟成帯中・後期と考えられる。実測に基づく補正温度値と調和的な熱流量を一次元モデリング(Basin Mod; 図8)で求めたところ、67 mW/m² と比較的高い値を示した。これは広域的な熱流量分布とも矛盾しない。過去この値が

図8 基礎試錐「金沢沖」における一次モデリング. 十字=Horner Plotによる補正温度, 点線=岩石熱伝導率に基づき計算した温度, 実線=熱流量一定と仮定した場合の熟成度

一定であったとして現在の熟成度を計算したところ、図8に示すように黒瀬谷層全体が熟成帯前期になり、中期中新世の熱流量値を現在の2倍程度に設定しなければならないことが分かった。「金沢沖」周辺では、背弧拡大に伴う急速な埋没により初期に熟成が進行したことがモデリングから示されており、厚い火山岩体の残熱の影響を受けたのかもしれない。しかし、火山岩に挟在する泥岩(2,304m; CST試料)の熟成度は下位の黒瀬谷層と大差なく、深度が増すにつれて熟成が進む傾向も見られることから、海盆形成前後にリフト帯内で地殻熱流量が高くなった可能性がある。坑井地質試料の観察から黒瀬谷層の泥岩はあまり変質を受けておらず、局所的な熱水循環の影響は小さいものと考えられる。

Otofujii *et al.* (1991)によると、14Ma頃には背弧拡大は停止する。それに伴い富山県八尾地域では、基盤の上昇によって顕著な不整合が形成された。不整合面上位の砂礫岩に挟在する凝灰岩のフィッシュ・トラック年代は、 12.3 ± 1.9 Ma(早川, 1983)となっている。同様な現象は北陸の新第三紀堆積盆地で広く認められており(伊東, 1986)、中～後期中新世は多くの不整合やハイエイトスで特徴づけられる。「金沢沖」においても、玄武岩類上位の薄い中部中新統(音川層)は海緑石を含んでおり、沈降が止まったことによって堆積速度が低下したことをうかがわせる。バイオマーカー分析(町原, 1986)からは、音川層で陸源有機物が増加する傾向が指摘されている。

6. ま と め

基礎試錐「金沢沖」で確認された中新世玄武岩類は、岩相・屈折率測定によって金沢市周辺の黒壁火砕岩類に対比される。また、富山県魚津市近郊でも、同時代の玄武岩活動が見られる。生層序・古地磁気層序データに基づいて、これらの玄武岩類は16Ma前後に形成されたことが分かった。また、物理探査データに基づいて「金沢沖」坑井周辺の玄武岩・玄武岩質安山岩体が100 km³の規模を持つことを明らかにした。この火成活動期には、背弧海盆拡大によって西南日本が急速に時計回り回転を行っていたことが、古地磁気データによって示されている。北陸周辺の顕著な海進・沈降や玄武岩類の化学組成変化から、拡大に伴って背弧側のリソスフェアが引き伸ばされ、薄くなっていたと考えられる。また坑底付近の高い熟成度から、地温勾配上昇が推定される。早川(1993)は北部フォッサマグナで近似計算を行い、活発な火成活動の起こった地域ではマグマの潜熱と冷却による熱供給のため、10 m.y.以内に地殻熱流量が有意に上昇することを示した。北陸沖のリフトを埋積した下

部中新統の熟成度は、中新世後期まで同様な熱供給を受けたことを示唆している。

東北日本も、前期中新世の背弧拡大によってアジア大陸から分離した島弧であり、化学組成・同位体分析の結果に基づき、リソスフェアが薄化したと考えられている(Tatsumi *et al.*, 1989)。ただし、伊豆弧の衝突による変形(Itoh, 1988)を補正してから西南日本を背弧拡大前の位置に復元すると、東北日本の復元位置はシホテアリン以北になり、単純な拡大というよりは横ずれを伴う運動で大陸から引き離されたように見える。また、古地磁気データのばらつきが大きく、一体となって移動したブロックの大きさも不確定な部分が多い。新潟・秋田の油田地帯で、グリーンタフの性格と構造運動を結びつける際には、こういった問題点を意識する必要があるかもしれない。

謝 辞

本稿を草するにあたり、坑井並びに物理探査データの公表を許可していただいた通商産業省資源エネルギー庁および帝国石油株式会社に御礼申し上げます。

帝国石油株式会社新潟鉱業所探鉱課長の中野幸平氏には、コア試料の採取に際して便宜をはかっていただいた。帝国石油株式会社探鉱部主査の佐藤 修氏には、有益なご助言・討論をいただいた。ここに記して、厚く感謝の意を表します。

文 献

- Akiba, F., Hiramatsu, C. and Yanagisawa, Y., 1993: A Cenozoic diatom genus *Cavitatus* Williams; an emended description and two new biostratigraphically useful species, *C. lanceolatus* and *C. rectus* from Japan. *Bull. Nat. Sci. Museum (Tokyo)*, Ser. C (Geol. & Paleontol.), 19, 11-39.
- Berggren, W.A., Kent, D.V. and Van Couvering, J.A., 1985: Neogene geochronology and chronostratigraphy. In Snelling, N.J. (ed.), *The Chronology of the Geological Record*. Geol. Soc. London, Memoir no. 10, 211-260.
- Blow, W.H., 1969: Late Middle Eocene to Recent planktonic foraminiferal biostratigraphy. In Bronnimann, P. and Renz, H.H. (eds.), *Proc., 1st Int. Conf. Planktonic Microfossils*, 1, E.J. Brill, Leiden, 199-422.
- 檀原 徹, 1991: RIMSによる屈折率測定とその応用。月刊地球, 13, 193-200.
- 早川秀樹, 1983: 富山県八尾地域西部の新第三系の層序と年代。大阪微化石研究会誌(NOM), 10, 1-13.
- 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.

- 早川正巳, 1993: HF (ヒートフロー) 解析による地下の熱構造 (2) グリーンタフ地域 (黒鉱, 油田を含む) の熱構造. 物探学会第88回学術講演会論文集, 480-485.
- 井上正昭・水野篤行・野沢 保, 1964: 5 万分の 1 地質図幅「城端」説明書. 地質調査所, 32p.
- 伊東佳彦, 1986: 北陸地方新第三系の珪藻化石層序. 大阪微化石研究会誌 (NOM), 14, 1-27.
- Itoh, Y., 1988: Differential rotation of the eastern part of southwest Japan inferred from paleomagnetism of Cretaceous and Neogene rocks. *J. Geophys. Res.*, 93, 3401-3411.
- Itoh, Y., 1989: Rotational motions of the southern Japan arc associated with back-arc opening and arc-arc collision in middle Miocene. *The Compass*, 66, 79-88.
- 伊藤康人, 1994: 火山岩岩石学に基づく堆積盆解析. 石油の開発と備蓄, 27, 106-112.
- 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 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.
- 岩崎哲治, 1992: 北陸～山陰海域の石油地質. 石技誌, 57(1), 59-66.
- Koizumi, I., 1985: Diatom biochronology for late Cenozoic northwest Pacific. *J. Geol. Soc. Jpn.*, 91, 195-211.
- 今田 正, 1974: 東北日本弧における bimodal volcanism. 地質雑, 80, 81-89.
- 町原 勉, 1986: 基礎試錐「金沢沖」堆積物中のステランおよびトリテルパン—起源指標と堆積環境—. 田口一雄教授退官記念論文集, 255-268.
- 中島正志・沢田順弘・中川登美雄・林 昌代・板谷徹丸, 1990: 福井県北部新第三系の K-Ar 年代と古地磁気—西南日本ブロックの回転に関して. 岩鉱, 85, 45-59.
- Okada, H. and Bukry, D., 1980: Supplementary modification and introduction of code numbers to the low-latitude coccolith biostratigraphic zonation (Bukry, 1973; 1975). *Marine Micropal.*, 5, 321-325.
- Otofuji, Y., Itaya, T. and Matsuda, T., 1991: Rapid rotation of southwest Japan—palaeomagnetism and K-Ar ages of Miocene volcanic rocks of southwest Japan. *Geophys. J. Int.*, 105, 397-405.
- 柴田 賢, 1973: 北陸層群中の火山岩類の K-Ar 年代. 地質学論集, 8, 143-149.
- Shimazu, M., Kagami, H., Kawano, Y. and Yamamoto, G., 1993: Geochemistry of Early-Middle Miocene volcanic rocks in the backarc region of Japan: Sado, Noto and Tadami areas. *J. Geol. Soc. Jpn.*, 99, 799-811.
- 杉本幹博, 1979: 医王山南西麓の地質構造—北陸新第三系砂子坂層の研究 (I). 金沢大学教育学部紀要, 27, 27-35.
- 杉本幹博, 1983: 金沢市浅野川流域の七曲層の岩相層序区分—北陸新第三系七曲層の研究 (III). 金沢大学日本海域研究所報告, 15, 33-47.
- 杉本幹博, 1987: “黒壁火砕岩類”の層序的位置について (4)—北陸新第三系七曲層の研究 (VII). 金沢大学日本海域研究所報告, 19, 37-50.
- 杉本幹博・坂口弘昭, 1984: 金沢市南部丘陵の砂子坂層—北陸新第三系砂子坂層の研究 (IV). 金沢大学教育学部紀要, 33, 53-67.
- 杉本幹博・豊島真治, 1984: 土山凝灰質層と七曲層の岩相層位学的対比—北陸新第三系七曲層の研究 (IV)—. 金沢大学日本海域研究所報告, 16, 29-43.
- 角 靖夫・野沢 保, 1972: 5 万分の 1 地質図幅「魚津」説明書. 地質調査所.
- 多田隆治・玉木賢策, 1992: 日本海深海掘削の成果とその層序学的意義. 石技誌, 57(1), 103-111.
- Tatsumi, Y., Otofuji, Y., Matsuda, T. and Nohda, S., 1989: Opening of the Sea of Japan back-arc basin by asthenospheric injection. *Tectonophysics*, 166, 317-329.
- 坪井誠太郎・水谷伸治郎・諏訪兼位・都築芳郎, 1977: 斜長石光学図表. 岩波書店, 175p.
- 土 隆一(編), 1979: 日本の新第三系の生層序及び年代層序に関する基本資料. IGCP-114 国内ワーキンググループ, 156p.
- Tsuchiya, N., 1990: Middle Miocene back-arc rift magmatism of basalt in the NE Japan arc. *Bull. Geol. Surv. Jpn.*, 41, 473-505.
- 山下 透・岩野英樹・檀原 徹, 1993: 大山系テフラの斜長石の屈折率測定. 日本地質学会第100年学術大会講演要旨集, 334.
- Yanagisawa, Y., 1994: *Mediaria magna* Yanagisawa sp. nov., a new fossil raphid diatom species useful for the Middle Miocene diatom biostratigraphy. *Trans. Proc. Paleontol. Soc. Jpn., New Ser.*, no. 174, 411-425.