古地磁気解析からみた釜石鉾山・栗橋カコウ閃緑岩体の回転運動

Rotational motion of the Kurihashi Granodiorite distributed in the Kamaishi Mine, Northeast Japan, inferred from paleomagnetic analyses

Abstract

伊藤康人* 天野健治**
檀原 徹***

Yasuto Itoh*, Kenji Amano**
and Tohru Danhara***

1997年5月1日受付.

1997年9月19日受理.

* 大阪府立大学総合科学部自然環境科学科.
Department of Earth Sciences, CIAS, Osaka
Prefecture University, Gakuencho-1-1, Sakai,
Osaka 599, Japan

** 動力炉・核燃料開発事業団釜石事務所.
Power Reactor & Nuclear Fuel Development
Corporation, 1-80 Kassi, Kamaishi, Iwate 026,
Japan

*** (株)京都フィッション・トラック.
Kyoto Fission-Track Co., Ltd., 44-4
Minamitajiri-cho, Omiya, Kita-ku, Kyoto 603,
Japan

Paleomagnetic directions have been determined on the Cretaceous Kurihashi Granodiorite exposed along a horizontal drift in the Kamaishi Mine in the eastern part of Northeast Japan (Hayachine Tectonic Zone). Single characteristic magnetic components are recognized in nineteen sites in the study interval through progressive demagnetization tests using thermal and alternating field methods. In-situ paleomagnetic mean direction is $D = -79.0^\circ$, $I = 41.5^\circ$, and $\alpha_{95} = 3.1^\circ$. Rotation relative to eastern Eurasian margin exceeds 100° since the Cretaceous, a part of which is attributed to the Miocene back-arc opening of the Sea of Japan and counter-clockwise rotation of Northeast Japan. Another probable cause of the rotation is wrench deformation of Northeast Japan by sinistral motion along NNW-SSE faults during the Cretaceous and Paleogene time. In the study interval, E-W trending 404 visible fractures are mapped and three faults are identified. Since paleomagnetic directions are tightly grouped throughout the faulted interval, differential rotation brought about by these faults is not significant.

Key words: Kurihashi Granodiorite, Kamaishi Mine, paleomagnetism, counter-clockwise rotation, fracture mapping, Northeast Japan

はじめに

近年の古地磁気学的研究により、中新世に日本海が拡大して、西南日本と東北日本がアジア大陸の東縁から移動してきたことが指摘されている(例えば、Otofujii and Matsuda, 1983; Otofujii et al., 1985). このうち西南日本については、韓半島との地体構造の連続性や日本海に分布する大陸地殻片の古地理復元(林田・鳥居, 1988)に基づいてブロックの移動・回転モードが検討され、背弧拡大に伴って現在の対馬海峡付近を pivot とした時計回り回転を起こしたことが明らかである(Fig. 1). これに対して、東北日本は古地理復元の手がかりとなる地体構造の連続性が乏しく、背弧拡大前の状況については、不明瞭な部分が多い. Otofujii et al. (1985)は棚倉構造線(Fig. 1)を、剛体として反時計回り回転した東北日本ブロックの南限と定義したが、同様の走向を持つ構造線あるいは断層は東北日本内部にも多数存在しており、それらの横ずれ活動によって日本海の拡大が生じたとする意見もある(Lallemand and Jolivet, 1986).

現在の北海道南部から東北地方前弧にかけて、南北性の強い地磁気アノマリーが観察される(Okubo et al., 1994; Fig. 1). その連続性やパターンから共通の起源を持つことは、Segawa and Oshima (1975)などが指摘している. 本稿で

は、この地磁気アノマリー帯の範囲(北海道苫小牧周辺～北上山地の太平洋側陸棚)およびそれに隣接した陸上の中・古生界を、便宜上1つのブロックと認定できる「東北日本」として、議論の対象とする. 近年、石油ガス資源探査を目的とした坑井掘削が東北日本前弧で行われ、アノマリー位置の基盤岩コアが回収された. Itoh et al. (1996)は、コア試料の分析(組成・年代・岩石磁気)と地磁気・重力モデリングを行い、基盤岩が東北日本の白亜紀カコウ岩に類似した深成岩であること、上述の地磁気アノマリー帯は大きく西偏するカコウ岩の残留磁化で説明できることを示した. 陸上に分布する白亜紀深成岩類については、Ito and Tokieda (1974)などが古地磁気方位を報告しているが、詳細な段階消磁実験を行って残留磁化の安定性を検討したデータは、棚倉構造線以北では未だ公表されていない.

今回報告する古地磁気/割れ目解析は、岩手県釜石市の釜石鉾山の地下数百 m に位置する既存坑道を利用して行った. ここに動力炉・核燃料開発事業団が原位置試験場を設置し、岩盤・地下水系に関する各種の調査を行っている. ここでは、表層風化を受けていないと考えられる基盤岩試料を連続して採取でき、岩石磁気や構造運動の解析を進めるうえで貴重な基礎データが得られるものと期待できる. 本研究の実施対象としたのは、海拔 250 m に掘削された幅 3 m 高さ 2 m の

Fig. 1. Regional index maps around the study area. Dotted lines are faults and tectonic lines simplified from Oide et al. (1989).

水平坑道である。以下、これを 250 m レベル坑道 (EL. 250 m drift) と呼ぶ。

地質概説

釜石鉾山は、早池峰構造帯南部に位置している (Fig. 1; 生出ほか, 1989)。鉾山周辺の地表地質に関しては、浜辺・野納 (1976) の詳細な報告がある。堆積岩類は中・古生層で、古生層は一般に南北走向を示し、西または東に急傾斜する。中生層は鉾山西部に地溝状に分布するほか、古生層を不整合に覆って点在している。これらを貫く火成岩類としては、底盤～岩株状の形態を持つカコウ閃緑岩、閃緑岩などのほか、小岩株～岩脈としてアプライト、ペグマタイト、ランプロファイアーなどが分布している。これまでに、釜石鉾山を含む北上帯から報告された火成岩類の放射年代は、大半が 110～120 Ma の範囲である (例えば、河野・植田, 1965; Suzuki et al., 1996)。

250 m レベル坑道の水平断面においては、主にカコウ閃緑岩、閃緑岩、粘板岩、石灰岩、スカルンが分布する (Fig. 2)。カコウ閃緑岩は、250 m レベル坑道にあらわれるものが栗橋カコウ閃緑岩、より東部に分布するものが蟹岳カコウ閃緑岩として区別されている (笹本ほか, 1993)。

調査・試料採取を行った N13°W 走向の坑道では、第 2 試験座と呼ばれている地点 (東経 140°35'19" ; 北緯 39°19'50") を起点 (0 m) とし、坑道奥 (北北西) 向きの距離で位置を表す (Figs. 2 and 3)。栗橋カコウ閃緑岩が連続して分布するの

は 0～440 m の区間で、多数の閃緑岩・ホルンフェルスの捕獲岩 (数 cm～数 m) を含む。閃緑岩の捕獲岩は、坑道奥に向かって増加する傾向がある。貫入岩としてはアプライトが数カ所で脈状に貫入するほか、96～98 m 付近には幅 2 m 程度のランプロファイアー岩脈が見られる。440～600 m 区間ではホルンフェルスとカコウ閃緑岩が交互に出現し、坑道奥に向かって、ホルンフェルスが連続する区間が長くなる。

試料採取

試料採取は、坑道壁面の状態がよい N13°W 走向の 250 m レベル坑道東壁で実施した。古地磁気試料は、採取間隔や割れ目からの距離を考慮して 45 地点で、1 地点につき 3～4 個の定方位試料を直径 3 m 以内から磁気コンパスを用いて採取した。Figure 4 に、割れ目系と古地磁気試料採取地点の位置関係を例示する。KM 42～KM 45 地点は水平断面図上で堆積岩分布域にあたる (Fig. 2) が、坑道ではカコウ閃緑岩と堆積岩が混在しており、試料採取はそのうちカコウ閃緑岩の部分から行った。なお、地点の選定にあたっては坑道走向と磁針方位を比較して、局地的な磁気異常が無視できることを確認している。

岩石磁気/古地磁気測定

採取した定方位試料から、ダイヤモンド・ドリルで直径 25 mm のコアを 1～5 本抜き取り、カッターで約 22 mm 長に切り揃えて測定用試料片を作成した。1 地点あたりの試料片数

Fig. 2. Horizontal geological section at 250 m above sea level around the Kamaishi Mine after Sasamoto et al. (1993).

は8~12個である。総計428個の試料片は、すべて乾燥重量を測定しクラックの有無および岩相を記載した。

(1) 磁化率

全試料片について、Bartington Susceptibility Meterを用いて、磁化率を測定した。測定センサーは容積10 cm³の試料用に較正されているので、栗橋カコウ閃緑岩の平均比重を2.70と仮定して、測定値を正規化した (Fig. 5)。結果は、45地点で2桁以上のばらつきを示し、250 m レベル坑道の対象区間中央で磁化率が高い傾向が見られる。これは、強磁性鉱物の含有量を反映している。一般にカコウ閃緑岩などの深成岩では、酸素分圧の変化などを反映して、鉄が濃集する鉱物が変化する。したがって、全鉄含有量と磁化率に明瞭な相関がないことも多く、今回の試料でも肉眼では際立った有色鉱物量の変化は認められない。

(2) 自然残留磁化・Qn 比

残留磁化測定には、フラックスゲート型スピナー磁力計 (夏原技研製, SMD-88) を用いた。測定された磁化方位に対して、坑道で定方位採取の基準とした現在の地磁気方位の偏角 (8°W) を補正した。磁化率の低い250 m レベル坑道の対象区間北部・南部では、自然残留磁化方位は大きな西偏を示し、ばらつきが小さい。これに対し、対象区間中央部 (栗橋カコウ閃緑岩の中心部とは一致しない) では、磁化方位は

Fig. 3. Sampling sites for paleomagnetic study along the EL. 250 m drift. Fracture azimuths and number (N) within 100 m interval are shown as rose diagrams.

ば現在の地球磁場に平行で、ばらつきが大きいという傾向が認められる。

残留磁化の安定性を定量的に評価するため、全試料片のケーニヒスベルガー (Qn) 比を計算した。これは $J/\chi H$ (J は残留磁化, χ は磁化率, H は地球磁場) で定義され、分母は誘導磁化である。一般に Qn 比が1を超える試料は安定な残留磁化を保持しており、250 m レベル坑道での Qn 比分布 (Fig. 5) から、対象区間北部・南部の西偏する磁化方位が安定な残留磁化である可能性が示唆される。

(3) 消磁実験

消磁実験によって、二次的な磁化成分を除去し、栗橋カコウ閃緑岩形成時に獲得した磁化の分離を試みた。各地点から平均的な自然残留磁化方位・強度を持つ試料片を1個選び、2.5 mT から60 mT まで段階的 (10 mT までは2.5 mT 間隔, 10~30 mT は5 mT 間隔, 以後10 mT 間隔) に交流消磁を実施した。同様に各地点から1試料片を選び、無誘導に電熱線を巻いた炉を用いて段階熱消磁を行った。基本的には最高温度は600°Cとし、その時点で磁化強度が初期値の10%を超える場合にはさらに高温で消磁を続行した。ただし、今回扱った試料は加熱冷却の繰り返しで破壊することがあり、そ

Fig. 4. A part of sketch map (roof and both walls) of the EL. 250 m drift showing fracture pattern.

Fig. 5. Magnetic susceptibility in SI unit (open square) and Königsberger ratios (Q_n ; solid circle) along the EL. 250 m drift.

の場合には消磁を打ち切った。これらの消磁実験は、試料片を高透磁率合金の多重シールドで覆い、10 nT 未満の無磁場に近い空間で行われている。

段階消磁実験の結果、今回対象とした45地点は3つのグループに分けられる。対象区間北部・南部の多くの地点では、低い消磁レベルを除いて段階消磁でほとんど磁化方位が変化せず、ベクトル投影図上では原点に収束する直線の単成分磁化が、段階交流消磁でも段階熱消磁でも同様に認められ

る (Fig. 6)。本稿ではこれを rank A とし、安定な残留磁化が分離できたものとみなす。これらの地点では熱消磁の結果、500°C 前後まで磁化強度がほとんど減衰せず、600°C で激減する傾向が例外なく認められた。したがって、強磁性鉱物はチタン含有量の低いチタノマグネタイトと考えられる。段階交流消磁では、磁化強度が半減する交流磁場強度が20 mT を超える場合が多く、細粒 (単磁区サイズ) のチタノマグネタイトが多いことを示唆している。今回は45地点中19地点

Fig. 6. Zijdeveld diagrams of progressive alternating field and progressive thermal demagnetization (PAFD/PThD) results; stable thermoremanent magnetization (rank A). Solid and open circles are horizontal and N-S vertical projections of vector end-points, respectively.

Fig. 7. Zijdeveld diagrams of progressive alternating field and progressive thermal demagnetization (PAFD/PThD) results; multi-component remanent magnetization (rank B). Solid and open circles are horizontal and N-S vertical projections of vector end-points, respectively.

が rank A に該当する。

自然残留磁化方位が現在の地球磁場方位を中心にばらつく傾向を見せた地点では、段階消磁によって、磁化方位が漸次変化する傾向が認められた。これはベクトル投影図上で、折れ線もしくは曲線として表される (Fig. 7)。これを rank B とし、23 地点が該当した。段階消磁によって先に消去される磁化成分 (すなわち保磁力が低くブロッキング温度が低い成分) は一般に東偏する磁化方位を示し、より安定な成分は rank A と同様に西偏する方位を示す。これらの起源を定量

的に議論するには、すべての測定用試料片につき段階消磁実験を行って多成分磁化を分離する必要がある、詳細は別に報告する予定である。今回は、残留磁化成分のブロッキング温度が重なって完全に分離できないと判断された 6 地点に限り、参考値として平均方位を求めた (後述)。

試料によっては交流消磁中に磁化を獲得したり、加熱によって強磁性鉱物に変化し、実験室内で磁化を獲得して不安定な挙動を示すことがある。この場合、ベクトル投影図上では一定の傾向が見られない (rank C; Fig. 8)。3 地点がこれに該当し、棄却された。

(4) 平均方位

今回 rank A と判断された地点では、段階交流消磁でも段階熱消磁でも同様な磁化方位が認められた。そこで、粘性残留磁化などの弱い二次磁化が消去された磁場レベルで、残りの試料片の交流消磁を行って、平均磁化方位を計算した。

前述のように、rank B の地点中で段階消磁によって初生磁化と二次磁化が完全に分離できないと判断された地点については、すべての試料片について 3 段階以上の交流消磁を行った。消磁レベルが上がるにつれて残留磁化方位の西偏が大きくなり、ばらつきが小さくなる傾向が認められた (Fig. 9) ので、 α_{95} の最も小さくなるレベルでの平均方位を採用し、Table 1 に参考値として示す。

Figure 10 に、250 m レベル坑道での古地磁気測定結果をまとめた。栗橋カコウ閃緑岩の安定な磁化方位は、大きな西偏で特徴づけられる。19 地点の rank A 平均方位は、偏角 -79.0° 、伏角 41.5° となった。500 m に及ぶ区間で採取したこれらの地点の磁化方位は良く集中 ($\alpha_{95}=3.1^\circ$) しており、地表風化の影響などを排除できる地下坑道の試料が、古地磁気解析に適していることを示している。

前述のように、釜石周辺の火成岩類の放射年代は 110~120 Ma の範囲で安定しており、白亜紀の火成活動後には顕著な再加熱を被っていないと考えられる。また、本研究の割れ目解析に伴う観察でも、熱変成や二次的な鉄鉱物の生成は認められない。したがって、消磁実験で分離された安定磁化は、火成岩貫入後に冷却していく過程で獲得した熱残留磁化とみなす。また、今回の結果はすべて正帯磁の単一極性であるが、火成岩体と周辺の岩石の接触面から垂直距離 200 m に及ぶ範囲で試料を採取しており、徐冷して磁化を獲得していく期間が十分長いため、平均磁化方位では地磁気永年変化は相殺されているものとする。

割れ目解析

(1) 調査位置

割れ目および破砕帯調査は、古地磁気測定用試料を採取した栗橋カコウ閃緑岩が連続して分布する 250 m レベル坑道の同区間の約 440 m (Fig. 2) で行った。以下に方法と結果を概説する。詳細は別に報告する予定である。

(2) 調査方法

250 m レベル坑道において、坑道壁面に認められる割れ目や破砕帯を抽出し、それらの分布、構造や充填鉱物についての解析を行うために以下の調査方法を取った。まず、坑道の

Fig. 8. Zijdeveld diagrams of progressive alternating field and progressive thermal demagnetization (PAFD/PThD) results; unstable remanence (rank C). Solid and open circles are horizontal and N-S vertical projections of vector end-points, respectively.

Fig. 9. Estimate of characteristic paleomagnetic direction for rank B sites on the basis of PAFD for all specimens. Ovals (dashed line) in equal-area nets are 95% confidence circles.

東側壁面に床面から高さ1 mのところにスキャンラインを設けた (Fig. 4)。これと交差し、かつ坑道の東西両壁面にわたってトレース可能な連続性の認められる割れ目および破碎帯すべてを抽出した。さらに、破碎帯を伴う割れ目については、その規模や充填鉱物などの詳細な調査を行った。

割れ目および破碎帯の構造解析には、原位置試験坑道の調査区間内での割れ目/破碎帯の頻度分布と、流体移動経路と

しての個々の割れ目/破碎帯の構造と充填物の組織に関する解析が含まれる。後者の解析には、①割れ目や破碎帯の連続性、②割れ目や破碎帯中の充填鉱物の充填状態および充填幅、そして③割れ目や破碎帯沿いの変質状態と変質幅の測定解析が含まれる。これらの観察・測定結果は、調査シートに数値情報として記述し、客観的なデータとして第三者が活用可能な記録として保存した。

Table 1. Site-mean paleomagnetic data for the Kurihashi Granodiorite at EL. 250 m drift of the Kamaishi Mine.

Site (Loc.; m)	Demag. level(mT)	Mean Direction		N	$\alpha_{95}(^{\circ})$	κ	VGP	
		Dec.($^{\circ}$)	Inc.($^{\circ}$)				Lat.($^{\circ}$ N)	Lon.($^{\circ}$ E)
rank A								
KM01 (-5~-6)	15	-84.9	39.3	8	1.2	2073.7	17.7	66.3
KM02 (12-13)	25	-92.9	45.0	8	3.7	230.8	14.4	74.4
KM03 (22-23)	25	-89.6	39.5	8	2.7	433.0	14.3	69.1
KM04 (30-31)	10	-70.3	43.1	8	1.2	2145.8	30.3	60.6
KM05 (42)	25	-78.3	38.1	8	1.6	1162.9	22.2	61.8
KM06 (46-47)	30	-81.1	43.1	7	3.4	319.6	22.1	66.6
KM07 (48)	30	-90.2	45.0	8	5.4	105.4	16.3	72.9
KM12 (100-101)	20	-79.8	37.3	8	2.7	416.3	20.7	62.2
KM13 (113-114)	20	-79.4	37.4	8	5.4	108.0	21.0	62.0
KM14 (119)	15	-84.4	38.1	6	2.5	724.2	17.6	65.3
KM25 (270)	30	-92.9	33.0	8	4.3	170.5	9.1	67.5
KM33 (360-361)	20	-74.8	40.0	8	3.1	313.5	25.6	61.0
KM37 (399-401)	15	-71.5	43.9	9	1.6	976.1	29.7	61.9
KM38 (406-407)	25	-60.2	41.4	8	4.0	188.5	37.4	53.4
KM39 (420-421)	15	-70.1	43.3	8	4.3	165.9	30.5	60.7
KM40 (430-431)	20	-77.2	41.9	9	5.3	95.4	24.6	63.6
KM41 (440-441)	15	-71.4	44.0	8	3.5	255.0	29.8	61.9
KM43 (480-481)	15	-80.0	43.8	8	3.8	213.9	23.3	66.5
KM44 (490-491)	10	-69.2	44.9	9	3.2	252.0	31.9	61.4
rank B								
KM08 (61-62)	10	-69.8	48.7	8	6.6	70.7		
KM20 (185-186)	30	-72.2	46.3	8	6.3	77.8		
KM22 (217-218)	10	-59.4	54.3	8	6.7	68.5		
KM26 (279-280)	15	-83.5	46.1	8	4.8	133.4		
KM28 (309-310)	10	-79.1	53.3	8	6.3	77.6		
KM42 (469-470)	20	-58.6	44.0	8	5.3	108.5		

Northward distance from 0 m point of the EL. 250 m drift (Figs. 2 and 3) is shown in parentheses. N is number of specimens processed; α_{95} is radius of 95 % confidence circle; κ is precision parameter of Fisher (1953).

(3) 調査結果

250 m レベル坑道での 440 m の調査区間内は、調査開始地点 (0 m 地点) から約 200 m ないし 250 m の区間に、栗橋カコウ閃緑岩体の北西側に分布する古生層起源と考えられるホルンフェルス化したゼノリスが卓越して認められるほかは、ほぼカコウ閃緑岩からなる均一な岩相である。ただし、幅約 1 m 規模のアプライト脈が 2 か所で確認された。カコウ閃緑岩内での岩相変化はほとんど認められず、中粒の角閃石黒雲母カコウ閃緑岩にあたる。

割れ目および破碎帯調査の結果、250 m レベル坑道の 440 m 区間内に、404 本の割れ目および破碎帯を抽出することができた。これらの多くは、走向が EW から N 80°W 方向で、試験坑道をほぼ垂直に切る傾向を有する (Fig. 3)。分布状態としては、数か所でネットワーク状に発達している以外は、単一の割れ目あるいは数本の単一割れ目が束状に集中する割れ目帯として約 1 m から数 m 間隔に出現することが明らかになった (Fig. 4)。これらの割れ目のすべてに充填鉱物が確認され、さらにその約半数で割れ目面に沿った赤褐色の変質部が確認された。また、48 m、137 m そして 394 m (Fig. 3) に幅約 50 cm~1 m の明瞭な破碎帯が確認された。この破碎帯の構造は、単一割れ目が束状に集中した割れ目帯として肉眼では観察されるものの、顕微鏡下では破碎された母岩からなる“断層角礫”とモンモリロナイトを主体とする“断層粘

土”が認められている。

考 察

これまでの検討の結果、19 地点で初生的と考えられる古地磁気方位を得、404 本の岩盤割れ目を記載した。

測定を行った 250 m レベル坑道では、Qn 比が 1 を大きく超え、安定で強い残留磁化を保持する地点が多く見いだされた。これは、地表での白亜紀カコウ岩類の Qn 比がほとんどの場合 1 未満である (大熊・金谷, 1990) ことと対照的である。従来、地磁気アノマリーのモデリング時には低い Qn 比を根拠に東北日本に大量に分布するカコウ岩類の残留磁化は考慮されていなかったが、Itoh et al. (1996) が示したように、アノマリー分布域の基盤岩が強い残留磁化と低い密度で特徴づけられる場合には、カコウ岩類の岩石磁気的性質を確認する必要があるだろう。今回研究を行った北上帯周辺でも、白亜紀カコウ岩類の分布と地磁気アノマリーとの間に、明瞭な相関が認められる (Fig. 11)。

今回得られた平均古地磁気方位は、著しい西偏で特徴づけられる。カコウ閃緑岩では傾動補正ができないため、岩体が傾動を被って見かけ上大きな西偏が得られた可能性もある (Ito and Tokieda, 1986) が、東北日本前弧の地磁気アノマリー解析でも同様な傾向が示唆されていること (Itoh et al., 1996) や、最近宮古 (Fig. 1) 周辺の白亜紀溶結凝灰岩から、傾動補正後に西偏 80°前後になる初生磁化が確認されたこと (乙藤洋一郎, 私信) などと考え合わせると、釜石鉱山の古地磁気方位は、後期白亜紀以降に東北日本の一部が反時計回り回転を被ったことを示すと考えられる。白亜紀の韓半島の古地磁気データ (Otofuji et al., 1983; Lee et al., 1987) を考慮すると、釜石鉱山を含むブロックは白亜紀以降、アジア大陸に対して 107°に及ぶ反時計回り回転を行ったことになる。東北日本が中新世の背弧拡大に伴って起こした反時計回り回転は、日本海盆の形状などから見て 50°を超えることはなく、それ以降の大規模な「東北日本」ブロックの再構成は知られていない。したがって、今回得られた結果は、白亜紀~古第三紀の構造運動 (50°以上の反時計回り回転) を示唆している。ただし、Otofuji et al. (1994) は北上帯北縁に分布する仁左平デイサイト (前期中新世) から非常に大きな西偏 (-67.2°, -91.3°) を見いだしている。回転時期については、一体とみなせるブロックの広がりも考慮しつつ、今後検討を加えていく必要がある。

永広 (1982) は、東北日本の北北西-南南東系断層群 (Fig. 1) が、白亜紀なかばに大規模な左横ずれ活動を起こしたと考えた。活動年代の推定は、これらの断層群が下部白亜系を大きく変位させていることと、断層に沿って白亜紀カコウ岩類が貫入していることを根拠としている。しかし、栗橋カコウ閃緑岩から得られた古地磁気方位が断層の動きに伴う地殻変形を表すとすれば、左横ずれの活動はより新しい地質時代に生じたと考えられる。Itoh et al. (1997) によれば、東北日本 (北上帯~阿武隈帯) 前弧の白亜系/第三系境界に左横ずれ変形の兆候が認められ、断層運動は古第三紀に及んでいた可能性がある。したがって、今日「東北日本」に包含されるブロッ

Fig. 10. Results of paleomagnetic study (declinations and equal-area plot) and fracture distribution along the EL. 250 m drift.

クの白亜紀における形状は、現在とはかなり異なっていた可能性があり、地史解釈にあたって注意が必要であろう。本論の冒頭では、地磁気アノマリー帯の分布範囲を一体と仮定した。気仙沼沖に掘削された坑井 (MITI Kesennuma-Oki; Fig. 11) では基盤が北上帯の白亜紀火成岩に類似したカコウ岩であることを確認しているが、八戸沖の坑井 (Offshore Hachinohe 1-x; Fig. 11) では上部白亜系に覆われる厚い塩基性火成岩が出現した (石和田ほか, 1992)。白亜紀以前の古地理復元には、地上のみならず周辺陸棚の岩相分布を考慮しなければならない。

割れ目/破碎帯解析からは、栗橋カコウ閃緑岩体内での構造形態・分布に関する情報が得られた。一般にカコウ閃緑岩などの深成岩中の破碎帯や断層に関しての調査は、岩相による変化を確認することが困難なため、断層のセンスや運動形態を把握することは難しい。今回の岩盤割れ目調査では、約 440 m 区間に 3 本の明確に断層粘土を伴う破碎帯を確認する

Fig. 11. IGRF (International Geomagnetic Reference Field) residual anomaly map around the study area projected on the surface distribution of the Cretaceous plutonic bodies (hatched area). Solid and broken contours represent positive and negative values, respectively, at 50 nT interval (modified from Okuma and Kanaya, 1990).

ことができた。それらの分布を坑道に沿う古地磁気方位分布と重ねて見ると (Fig. 10), 断層近傍で古地磁気方位の西偏が若干小さくなる傾向がある。また rank A の古地磁気方位を等面積投影すると、小円に沿っているようにみえる (Fig. 10 等面積投影図中の点線)。今回の結果からは有意差とはいえ、確認された断層は相対的回転をもたらすような構造境界ではないと考えられるが、割れ目系との位置関係を考慮した詳細な古地磁気データの収集によって、断層の運動形態を

推定できる可能性がある。

ま と め

栗橋カコウ閃緑岩体の安定な残留磁化方位は、大きな西偏で特徴づけられる。19地点の平均方位は、偏角 -79.0° 、伏角 41.5° となった。これを岩体冷却時に獲得した熱残留磁化とみなし、白亜紀の韓半島の古地磁気データ (Otofuji et al., 1983; Lee et al., 1987) と比較すると、栗橋カコウ閃緑岩体を含むブロックは、白亜紀以降アジア大陸に対して 107° に及ぶ反時計回り回転を行ったことになる。このうち 50° は、東北日本が中新世の背弧拡大に伴って起こした反時計回り回転で説明される。残る 50° 以上の反時計回り回転は、後期白亜紀から古第三紀の間に生じており、東北日本の北北西-南南東系断層群の左横ずれ活動を示すと考えられる。

割れ目および破碎帯調査の結果、250 m レベル坑道の440 m 区間内に、404本の割れ目を抽出することができた。これらの多くは、走向がEWから $N80^\circ W$ 方向で、試験坑道をほぼ垂直に切る傾向を有する。また、48 m, 137 mそして394 m地点で、幅約50 cm~1 mの明瞭な破碎帯の存在が指摘され、破碎された母岩からなる“断層角礫”とモンモリロナイトを主体とする“断層粘土”を確認した。それらで境されるブロック毎に古地磁気方位が有意に異なる傾向は認められず、今回確認された断層破碎帯は相対的回転をもたらすような構造境界ではないと考えられる。

謝 辞

同志社大学 理工学研究所の林田 明教授には、岩石磁気実験室を使用させていただき、古地磁気学に関してご教示を受けた。動力炉・核燃料開発事業団 東濃地科学センターの湯佐泰久次長ならびに吉田英一主査には、有益なご助言を受け、この仕事をまとめる機会をいただいた。ここに記して厚く感謝申し上げます。

文 献

- 永広昌之, 1982, 東北日本のNNW性断層群—棚倉破碎帯の姉妹断層—. 月刊地球, 4, 200-205.
- Fisher, R. A., 1953, Dispersion on a sphere. *Proc. R. Soc., Ser. A*, 217, 295-305.
- 浜辺修二・野納敏展, 1976, 岩手県金石鉱山付近の地質構造. 鉱山地質, 26, 93-104.
- 林田 明・鳥居雅之, 1988, 日本海西南部の拡大過程—古地理復元の試み—. 月刊地球, 20, 685-689.
- 石和田靖章・会田英夫・阿竹宗彦・荒木直也・飯島 東・池田明・奥田義久・菊地芳朗・小島圭二・斎藤 隆・佐藤良夫・田中彰一・戸野 聡・平山次郎・本座栄一・宮崎 浩・森島宏・原田幸雄, 1992, 日本の石油・天然ガス資源. 天然ガス鉱業会/大陸棚石油開発協会, 東京, 520 p.
- Ito, H. and Tokieda, K., 1974, Tilting of Hokkaido island and Kitakami Mountains deduced from the NRM of Cretaceous granitic rocks. *Rock Magn. Paleogeophys.*, 2, 54-58.
- Ito, H. and Tokieda, K., 1986, Tilting movements of the Japanese Islands inferred from Cretaceous and early Tertiary paleomagnetic data. *Jour. Geomagn. Geoelectr.*, 38, 361-386.
- Itoh, Y., Nagasaki, Y. and Matsuda, T., 1996, Geophysical and petrological character of the Cretaceous basement on the fore-arc shelf of Northeast Japan. In Militante-Matias, P. J., ed., *Proceedings of the 3rd Symposium of International Geological Correlation Programme 350*, National Institute of Geological Sciences, Univ. of the Philippines, Diliman, Quezon City, 9-21.
- Itoh, Y., Nagasaki, Y. and Matsuda, T., 1997, Geomagnetic and gravity modeling of the fore-arc shelf of Northeast Japan. *J. Southeast Asian Earth Sci.*, in press.
- 河野義礼・植田良夫, 1965, 本邦産火成岩のK-Ar dating (II) —北上山地の花崗岩類—. 岩鉱, 53, 143-154.
- Lallemand, S. and Jolivet, L., 1986, Japan Sea: a pull-apart basin?. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 76, 375-389.
- Lee, G., Besse, J. and Courtillot, V., 1987, Eastern Asia in the Cretaceous: New paleomagnetic data from South Korea and a new look at Chinese and Japanese data. *Jour. Geophys. Res.*, 92, 3580-3596.
- 生出慶司・中川久夫・蟹沢聰史, 1989, 日本の地質2: 東北地方. 共立出版, 東京, 338 p.
- Okubo, Y., Makino, M., Kasuga, S., Isezaki, N., Yamazaki, T., Ishihara, T. and Nakatsuka, T., 1994, Magnetic anomalies of Japan and adjoining areas. *Jour. Geomagn. Geoelectr.*, 46, 411-421.
- 大熊茂雄・金谷 弘, 1990, 岩石磁気と磁気探査. 地質ニュース, 428, 20-26.
- Otofuji, Y., Kambara, A., Matsuda, T. and Nohda, S., 1994, Counterclockwise rotation of Northeast Japan: Paleomagnetic evidence for regional extent and timing of rotation. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 121, 503-518.
- Otofuji, Y. and Matsuda, T., 1983, Paleomagnetic evidence for the clockwise rotation of Southwest Japan. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 62, 349-359.
- Otofuji, Y., Matsuda, T. and Nohda, S., 1985, Paleomagnetic evidence for the Miocene counter-clockwise rotation of Northeast Japan—rifting process of the Japan Arc. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 75, 265-277.
- Otofuji, Y., Oh, J. Y., Hirajima, T., Min, K. D. and Sasajima, S., 1983, Paleomagnetism and age determination of Cretaceous rocks from Gyongsang Basin, Korean Peninsula. In Hayes, D. E., ed., *The Tectonic and Geologic Evolution of Southeast Asian Sea and Islands, Part 2, Geophys. Monogr.*, 27. American Geophysical Union, Washington, D. C., 388-396.
- 笹本 広・北山 真・佐藤稔紀・吉田英一・太田久仁雄・野原 壯・武田精悦, 1993, 金石鉱山250 m レベル坑道における割れ目特性の予察的調査. 動力炉核燃料開発事業団中部事業所, 土岐, 64 p.
- Segawa, J. and Oshima, S., 1975, Buried Mesozoic volcanic-plutonic fronts of the north-western Pacific island arcs and their tectonic implications. *Nature*, 256, 15-19.
- Suzuki, K., Yoshida, H., Amano, K. and Yogo, S., 1996, CHIME dating of monazite from pelitic hornfels of the Kurihashi Granodiorite, Kitakami Mountains. *Jour. Earth Planet. Sci. Nagoya Univ.*, 43, 17-26.

(要 旨)

伊藤康人・天野健治・檀原 徹, 1998, 古地磁気解析からみた釜石鉱山・栗橋カコウ閃緑岩体の回転運動. 地質雑, 104, 42-51. (Itoh, Y., Amano, K. and Danhara, T., 1998, Rotational motion of the Kurihashi Granodiorite distributed in the Kamaishi Mine, Northeast Japan, inferred from paleomagnetic analyses. *Jour. Geol. Soc. Japan*, 104, 42-51.)

岩手県の釜石鉱山水平坑道に露出する白亜紀の栗橋カコウ閃緑岩体について, 古地磁気測定を行った. 段階熱消磁・段階交流消磁実験に基づき, 19 地点で安定な単成分の残留磁化が見だされ, 平均方位は偏角 = -79.0° , 伏角 = 41.5° , $\alpha_{95} = 3.1^{\circ}$ となった. これを岩体冷却時の熱残留磁化とみなすと, 釜石を含むブロックの白亜紀以降のアジア東縁に対する反時計回り回転は 100° を超えることがわかる. その一部は, 新第三紀の日本海拡大と東北日本の回転に関連している. これに, 北北西-南南東系断層群の左横ずれ運動 (白亜紀~古第三紀) に伴う東北日本内の変形が影響しているものと考えられる. 試料採取区間では 404 本の岩盤割れ目が観察され, 3 か所で断層粘土を持つ明瞭な破碎帯が認定された. 今回の古地磁気方位は, それらを境に有意な変化を示さない.