

## 東北地方中部日本海側地域の漸新世～中期中新世火成活動の変遷

Temporal change in Oligocene-middle Miocene magmatism on the Japan Sea side of northern Honshu

## Abstract

土谷信之\*

Nobuyuki Tsuchiya\*

1994年10月27日受付.

1995年5月10日受理.

\* 地質調査所地質部.

Geology Department, Geological Survey of  
Japan, Higashi 1-1-3, Tsukuba 305, Japan

Oligocene to middle Miocene volcanism took place in the Akita-Yamagata region on the back-arc side of the NE Japan arc, coeval with opening of the Japan Sea. Volcanism, which is well developed in the northern Uetsu, northern Dewa, and Aniai districts, can be divided into 6 time periods, based on regional volcano-tectonic phenomena in the NE Japan arc.

Stage 1 (30-25 Ma) volcanic rocks occur in the northern Dewa and Aniai districts. These volcanic rocks consist of low-alkali andesite and basalt typical of continental arcs, and may have been erupted close to the Oligocene volcanic front of the NE Japan arc. Stage 2 volcanism involved widespread eruption of acid volcanic rocks (mainly welded tuff) from 22-24 Ma. Stage 3 (20-18 Ma) volcanic rocks occur mainly in grabens formed about 20 Ma, contemporaneous with the early stages of Japan Sea opening. These volcanic rocks consist of high-Ti basalt and low-Ti andesite and dacite, as found in continental arcs. The high-Ti basalt in the Aniai district formed sills and lavas dated at 19.4 and 19.6 Ma, which nearly are contemporaneous with dolerite sills at site 796 of ODP Leg 128 in the Japan Sea. Stage 4 (18-16 Ma) volcanism was bi-modal, consisting of acid and basaltic rocks, the latter corresponding within plate high-Ti and high MgO low-Ti basalt types. Stage 5 and 6 (16-10 Ma) volcanism involved extrusion of voluminous basaltic rocks in the Akita-Yamagata Oil Field, adjacent to these three districts. These low K<sub>2</sub>O basaltic rocks are intermediate in character between island arc tholeiites and back-arc basin basalts.

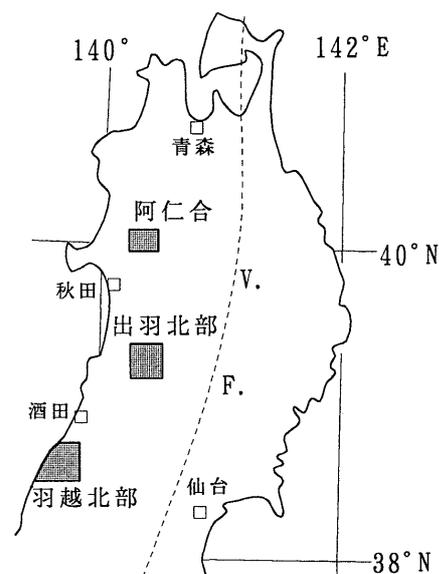
Key words: graben, continental arc, dolerite sill, high-Ti basalt, Akita, Yamagata, Oligocene, early Miocene

## はじめに

東北日本弧の日本海側地域は、第三紀後期に日本海が拡大して日本列島が島弧として成立した時期の火山岩が時空的に広く分布していて、日本海拡大前後のテクトニクスや火成活動の歴史と意義を考える上で重要な地域である。筆者はこれまでこの地域で中期中新世という時代に重点をおき、玄武岩火山活動の空間的広がりや日本海拡大との関連や意義について研究してきた。しかし、第三紀火山活動の実態をさらに明らかにするためには、中期中新世に至るまでの火成活動やテクトニクスの歴史を明確にさせる必要がある。本報告では秋田-山形油田地帯周辺の羽越北部、出羽北部、阿仁合の3つの層序の明確な地域において、漸新世から中期中新世までの火成活動の変遷をいくつかのステージに分けて示す。そして火山岩の岩石学的特徴及びテクトニックセッティングを時期ごとに示し、その時代変遷を構造運動と関連づけて考察したい。

## 層序とステージ区分の概略

本研究は羽越北部、出羽北部及び阿仁合の3つの地域（第



第1図. 東北地方の3研究地域の位置図。  
V. F. は第四紀の火山フロント。

第1表. 第三系下部火山岩のフィッシュン・トラック放射年代表.

試料番号	測定法	岩石	年代値 (Ma)	自発核分裂飛跡 $\Sigma N_s$ (個)	$\rho_s$ ( $10^9/cm$ )	誘導核分裂飛跡 $\Sigma N_i$ (個)	$\rho_i$ ( $10^9/cm$ )	P( $\chi^2$ ) (%)	熱中性子フルエンス $\Sigma N\phi$ (個)	$\rho_d$ ( $10^4/cm$ )	結晶数 (個)	ウラン 濃度 (ppm)
U21:SZ3008	Zircon ED2	黒雲母流紋岩質 溶結凝灰岩	21.8±1.1	1245	2.34	1791	2.94	21	1137	7.38	30	320
A22:AN3005	Zircon ED2	変質デイサイト 溶結凝灰岩	21.7±1.4	566	9.36	720	1.19	72	1145	7.44	30	130
A21:AN4112	Zircon ED2	変質デイサイト 溶結凝灰岩	23.2±2.0	290	1.16	349	1.40	12	1158	7.52	30	150
A23:AN4123	Zircon ED2	変質デイサイト 溶結凝灰岩	24.0±2.0	303	1.04	381	1.31	94	1253	8.13	30	130

測定者：(株)京都フィッシュン・トラック 檀原 徹， 原子炉：立教大学原子炉 TRIGA MARK II， 熱中性子線量測定用標準ガラス：NBS SRM612

$\zeta_{ED2} = 372 \pm 5$ ，  $^{238}\text{U}$ の全壊変定数： $\lambda_D = 1.480 \times 10^{-10}/\text{yr}$  エッチング条件：KOH:NaOH=1:1(mol) エッチング液，225℃，28時間(SZ3008)，  
年代値  $T = \frac{1}{\lambda_D} \ln \left[ 1 + \lambda_D \cdot \zeta \cdot \frac{\rho_s}{\rho_i} \cdot \rho_d \right]$  36時間(AN3005)，30時間(AN4112，AN4123)

試料番号と採集地点は第3と第5図に示す。

第2表. 第三系下部火山岩のカリウムアルゴン放射年代表.

試料番号	測定方法	岩石	放射年代値 (Ma)	$^{40}\text{Ar}$ rad ( $10^{-5}\text{cm}^3\text{STP/g}$ )	$^{40}\text{Ar}$ rad (%)	K (wt%)
U6:AT3007	全岩	無斑晶粗面岩質 デイサイト (温海層)	16.3 ± 0.8(平均)	0.120	77.1	1.90
			16.3 ± 0.8	0.121	78.9	1.87
			16.4 ± 0.8	0.119	77.2	
			16.2 ± 0.8			
A9:AN3007	全岩	かんらん石普通輝石 ドレライト (比立内玄武岩)	19.4 ± 1.0(平均)	0.70	61.2	0.93
			19.3 ± 1.0	0.71	54.7	0.93
			19.5 ± 1.0			
A10:AN3018	全岩	かんらん石普通輝石 玄武岩 (比立内玄武岩)	19.6 ± 4.8(平均)	0.85	7.6	1.10
			19.8 ± 7.2	0.84	8.7	1.10
			19.5 ± 6.2			

測定：Teledyne Isotopes社

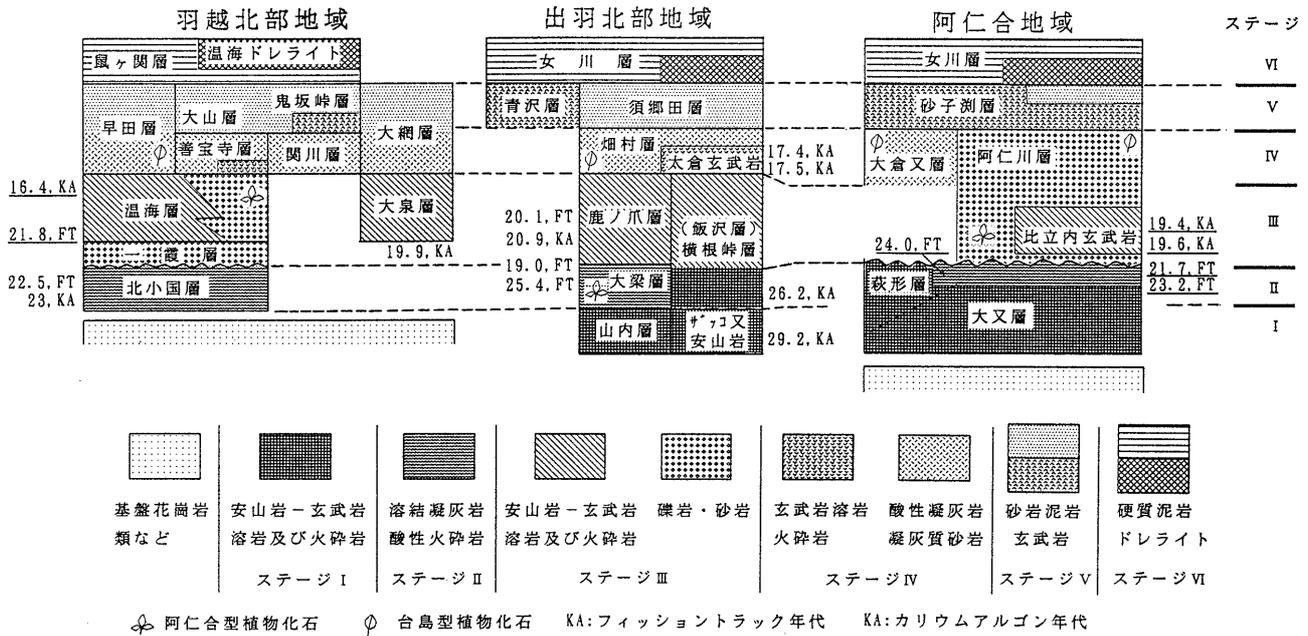
$\lambda_K = 4.962 \times 10^{-10}/\text{yr}$   $\lambda_e = 0.581 \times 10^{-10}/\text{yr}$   $^{40}\text{K}/\text{K} = 1.167 \times 10^{-4} \text{atom}$

試料番号と採集地点は第3と第5図に示す。

1図)の第三系下部の火山岩について研究したものである。この3つの地域については1970年代以降、地質調査所の地質図幅(大沢ほか, 1977, 1979, 1988a, 1988b; 土谷ほか, 1984)やOhguchi (1983), 臼田・岡本(1986), 通商産業省資源エネルギー庁(1977・1982)などによって詳しく研究され、それぞれ層序が立てられた。また、多くの放射年代値も公表された(臼田・岡本, 1986; 木村, 1986)。筆者はこれらの研究をもとに補足的な野外調査と放射年代の測定を行って(第1, 2表)層序表を作り、この中から3つの地域に共通する時間を示すとみられる現象に基づいてステージ区分を行った(第2図)。これら3つの研究地域での火成活動

やテクトニックな運動には雁沢(1987), Ohguchi(1983), 鹿野ほか(1991)等が指摘した東北日本弧の広域的な地質現象が見いだされる。

第三紀系下部に共通する広域的な現象をもとに、上記の3地域の火山活動を6つのステージに分けた。すなわち、ステージIの漸新世(およそ33Ma-25Ma)の安山岩火山活動期、ステージIIの前期中新世前半(およそ25-22Ma)の広域的な酸性火砕流の噴出期、ステージIIIのグラーベン形成と安山岩-玄武岩火山活動期(22-18Ma), ステージIVの安山岩からバイモータル火山活動(今田, 1974)への移行期(18-16Ma), ステージVの油田堆積盆内での広域玄武岩の火山活動期



第2図. 3研究地域の層序, 岩相, 年代値及びステージ区分.

下線のある年代値は本研究による年代値 (第1, 2表), 他の年代値は木村 (1986), 植田ほか (1973), 白田・岡本 (1986), 通商産業省資源エネルギー庁 (1982), 天然ガス鉱業会・大陸棚石油開発協会 (1992) による.

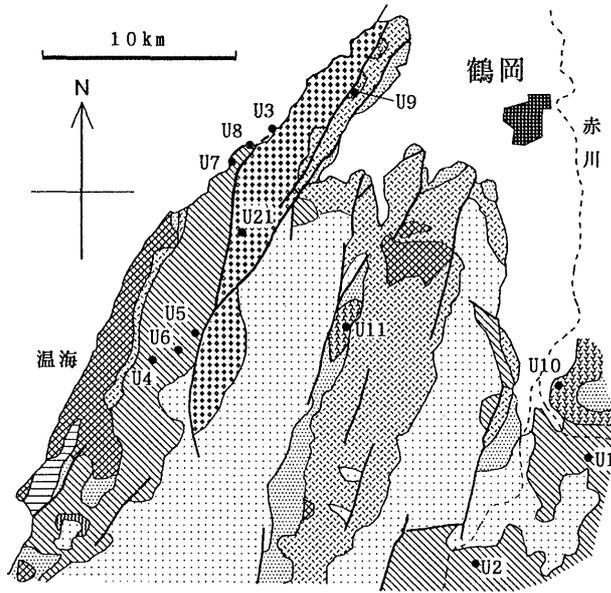
(16-14Ma), およびステージVI (14-10Ma) の珪質泥岩の堆積とドレライトの形成期に区分した. 3地域に共通する広域的な現象としては, まずステージIIの羽越地域の北小国層の溶結凝灰岩噴出 (22.4-23Ma: 植田ほか, 1973; 雁沢, 1987) が挙げられる. これは中新世初期に噴出した代表的な広域酸性火山岩で, 出羽地域北部の溶結凝灰岩を含む大築層 (25.4Ma, 19.0Ma: 木村, 1986, 天然ガス鉱業会大陸棚石油協会, 1992) 及び阿仁合地域の大又層最上部の溶結凝灰岩 (23.2Ma, 21.7Ma: 第1表) も広域的にほぼ同じ時期に噴出した凝灰岩とみられ, 火成活動期の対比を行なう上で鍵層となるものである. ステージIIIとステージIVの火成活動期の境界は明確ではないが, 阿仁合型植物群化石と台島型植物群化石との産出層準の境界付近で, 羽越北部の善宝寺層基底, 出羽北部の畑村層基底, 阿仁合地域付近の大倉又層基底のおよそ18Maと考えた. ステージIVとVの境界は急速な海進の始まったN8 (Blow, 1969) の16Ma頃であり, 羽越北部地域では大山層の基底, 出羽北部地域では須郷田層及び油田地帯に伏在する青沢層玄武岩の基底, 及び阿仁合地域では砂子淵層の基底とした. ステージVとVIの境界は女川層の基底, およそ14Maとした.

なお, このステージ区分は土谷 (1992) で用いたステージ区分と異なる. 本論文のステージI及びIIが土谷 (1992) のI期にほぼ相当し, ステージIIIが土谷 (1992) のII期前半, ステージIVがII期後半, ステージVがIII期, ステージVIがIV期にそれぞれ相当する.

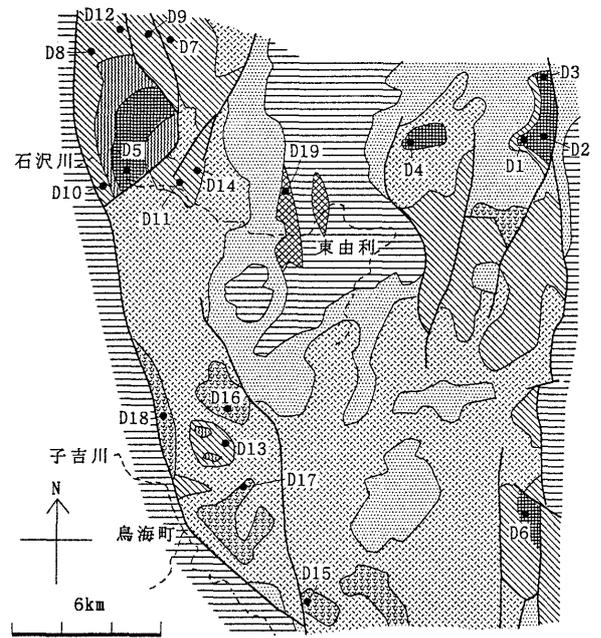
## 各地域の地質構造と火山岩

### 1. 羽越北部地域

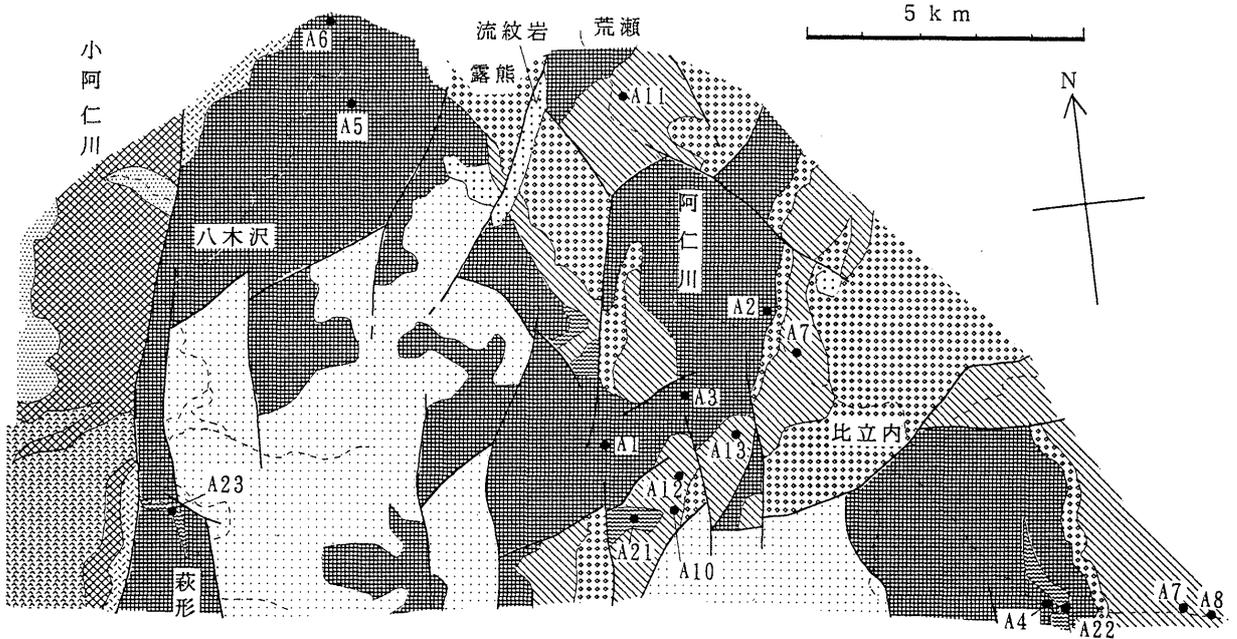
羽越北部地域 (第3図) の第三系は基盤の白亜紀後期-第三紀初期の花崗岩類及び田川酸性岩を覆って, ステージIIの22.4-23Maの溶結凝灰岩からなる北小国層が南部にわずかに分布する. ステージIの地層は知られていない. ステージIII移降の新第三紀層はNE-SWないしNNE-SSW方向の3つのグラベン内に分布し, 西から温海, 関川, 大泉地区と呼ばれ (通商産業省資源エネルギー庁, 1982), それぞれ異なった層序が立てられているが, 岩相の時代変遷は共通点もある. ステージIIIの地層は北小国層噴出後に形成されたもので, 海岸沿いの温海地区のグラベンのなかでは一霞層や温海層の砂礫岩層や安山岩主体の火山岩層が分布する (山路, 1989). ただし, 温海層の火山岩は21.8Ma, 16.4Maの放射年代を示し (第1, 2表), その一部はステージIVの火山岩を含む可能性がある. 赤川上流の大泉地区では厚い安山岩を主とする大泉層 (19.9Ma: 通商産業省資源エネルギー庁, 1982) が分布する. 温海層の火山岩にはトラキテック組織をもつ安山岩-デイサイトと少量の玄武岩が挟在し, 砂礫岩からは阿仁合型 (油戸) 植物化石を産する. ステージIVの善宝寺層などは主として酸性凝灰岩からなり玄武岩-安山岩を挟む陸成層で台島型 (草井谷) 植物化石を産する. ステージVの大山層や鬼坂峠層などは海成の砂岩・シルト岩のなかに少量の玄武岩を挟有するが, 庄内平野の地下では膨大な青沢層の玄武岩が伏在している. ステージVIの鼠ヶ関層は海岸沿いに分布し温海ドレライトに貫かれている.



第3図. 羽越北部地域の地質概略図 (大沢ほか, 1988a; 通産省資源エネルギー庁, 1982; 山路, 1989及び土谷ほか, 1984に基づく).  
地紋の凡例は第2図と同じ. 図中のポイントと番号は第3, 4表の標本採集地点番号と同じ.



第4図. 出羽北部地域の地質概略図 (大沢ほか, 1977, 1979, 1988bに基づく).  
地紋の凡例は第2図と同じ. 図中のポイントと番号は第3, 4表の地点番号と同じ.



第5図. 阿仁合地域の地質概略図 (通産省資源エネルギー庁, 1977; 大沢・須田, 1980; 土谷, 1986に基づく).  
地紋の凡例は第2図と同じ. 図中のポイントと番号は第3, 4表の地点番号と同じ.

## 2. 出羽北部地域

出羽丘陵地域（第4図）の第三系のステージⅠの地層は漸新世の湯ノ沢川層（33.0Ma：Ohguchi, 1983），横根峠層下部のザッコ又安山岩部層（29.2Ma：臼田・岡本，1986），法内安山岩，及び山内層からなる。また羽後町七曲峠付近の飯沢層（横根峠層）下部の安山岩（26.2Ma：木村，1986）もステージⅠ～Ⅱとみられる。いずれも主として変質安山岩の溶岩及び火砕岩からなり，その一部は粗面安山岩質である。山内層を覆うステージⅡの大築層（21.9, 25.4, 25.6Ma：木村，1986）は酸性火砕岩を主とし，溶結凝灰岩を挟み阿仁合型植物化石を産する。大沢ほか（1988b）の八塩沢川層下部の19.0Maの溶結凝灰岩も20.1Maの鹿ノ爪層相当の安山岩に覆われる（天然ガス鉱業会・大陸棚石油開発協会，1992）ので，ステージⅡと考えた。ステージⅢの鹿ノ爪層（20.9, 19.0Ma：木村，1986）はやや変質した安山岩の溶岩及び火砕岩からなる。ステージⅣの地層は畑村層の酸性火砕岩とそこに挟在する太倉玄武岩部層（17.4-18.0Ma：木村，1986）からなり，台島型植物化石やフジツボ化石を産し，陸上から浅海底での火山噴出物である。畑村層を覆うステージⅤの地層は須郷田層であり，砂岩，礫岩，シルト岩からなり，浅海貝化石とBlow（1969）のN8-13の浮遊性有孔虫化石を産する。須郷田層とほぼ同時層の青沢層は西側の油田地帯の地下に伏在し，膨大な玄武岩の海底火山噴出物からなり，NN4-6の石灰質ナンノ化石（佐藤，1991）やN10の浮遊性有孔虫化石を産する海成泥岩を挟む。ステージⅥの女川層（山形県内では草薙層）は主に海成珪質泥岩からなり，ドレライトに貫かれる（大沢ほか，1979，1988b）。

## 3. 阿仁合地域

阿仁合地域（第5図）の第三系は後期白亜紀太平山深成変成岩類を不整合に覆って，漸新世から中期中新世の火山岩及び堆積岩からなる。最下部はステージⅠ～Ⅱの大又層及び萩形層からなり，主として変質した安山岩溶岩及び火砕岩からなり，上部に流紋岩や溶結凝灰岩（21.7, 23.2Ma：第1表）を挟んでいる。萩形層は従来，大又層を不整合に覆うとされていた。しかし，本地域西部の萩形層の溶結凝灰岩の年代が24.0Ma（第1表）であり，さらに太平山南西麓地域の萩形層上部に挟在する溶結凝灰岩も21.9及び24.3Ma（雁沢，1987）という大又層上部の溶結凝灰岩とほぼ同じ放射年代を示すので，両層はほぼ同時代層であろう。ステージⅢ～Ⅳの阿仁川層は阿仁川沿いのグラベン内に分布し（通商産業省資源エネルギー庁，1977），陸成の礫・砂・泥岩層（ステージⅢ～Ⅳ）とその下部にある比立内玄武岩（ステージⅢ）からなる。比立内玄武岩は碎屑岩中に貫入しドレライト岩床をなすが，一部は溶岩であり，19.4及び19.6MaのK-Ar年代を示す（第2表）。阿仁川層の下部は阿仁合型植物化石を産出し，上部は台島（打当）型植物化石を産する。Ⅴ期の砂子淵層は本地域東部に分布し，油田地帯東縁の当時の海底で噴出した玄武岩からなる。これを整合に覆って，さらに西側の油田地帯にⅥ期の硬質泥岩主体の女川層が分布し，それらをドレライトが貫いている。

## 火山岩の岩石学的特徴

### 1. 岩石記載

各地域で検討した火山岩の岩石記載をⅠ～Ⅱ，Ⅲ，Ⅳ，Ⅴ～Ⅵの各ステージ（第2図）ごとに分けて述べる（第3表）。本研究で分析した岩石はある程度変質作用を受けていて，含まれるかんらん石はすべて緑泥石や粘土鉱物に変質している。紫蘇輝石斑晶の一部と石基の斜方輝石は変質していることが多いが，炭酸塩鉱物をほとんど含まず，普通輝石や斜長石の斑晶の変質が進んでいないものを分析用に選んだ。

ステージⅠ～Ⅱの火山岩は出羽北部地域と阿仁合地域に分布する。出羽北部地域のステージⅠ～Ⅱの火山岩は斜長石及び紫蘇輝石の斑晶に富む安山岩（D1-D3, D5）と，斑晶がやや少なく細粒の安山岩（D4），及び無斑晶でトラキティック組織をもつ安山岩（D6）からなる。これらの岩石の石基を構成する苦鉄質鉱物は変質していることが多い。阿仁合地域のステージⅠ～Ⅱの火山岩はいずれも斜長石斑晶に富む玄武岩～安山岩で，玄武岩（A2-A5）はたいてい変質したかんらん石を含み安山岩（A1）は紫蘇輝石斑晶を含む。ステージⅢの火山岩は羽越北部地域では斜長石などの斑晶に富む安山岩（U1, U2, U5）と斑晶にやや乏しい細粒の安山岩～玄武岩（U3, U8, U7）及びトラキティック組織をもち斑晶の乏しい安山岩～デイサイト（U4, U6）からなる。出羽北部地域では斜長石・輝石斑晶に富む安山岩～玄武岩質安山岩（D8, D12, D14），斑晶のやや乏しい安山岩（D7, D9）及び玄武岩（D10, D11, D13）からなる。阿仁合地域ではいずれも玄武岩質で，斑晶に富むもの（A6）は少なく，ほとんど斑晶に乏しいかんらん石普通輝石玄武岩ないしドレライトである（A7-A13）。ステージⅣ～Ⅴの岩石は，羽越地域のものが斑晶にやや富む玄武岩及び玄武岩質安山岩（U10, U11）と斑晶に乏しいかんらん石玄武岩（U9）である。出羽北部地域の岩石は粗粒のかんらん石普通輝石玄武岩ないしドレライト（D15-D18）で一部紫蘇輝石を含む。ステージⅥの出羽北部地域の岩石もかんらん石普通輝石玄武岩ドレライト（D19）である。

### 2. 岩石化学的特徴とテクトニックセッティング

上記に述べた各地域・各時期の火山岩類の岩石学的特徴やテクトニックセッティングを明らかにするため，各種の判別図を使って検討する。検討した火山岩の蛍光X線で分析した主成分組成と微量成分組成は第3表に，中性子放射化分析結果を第4表に示す。主成分組成による判別図（第6～10図）には，第3表の分析値から灼熱減量を引いて，全FeO，100%に再計算した値を用いた。

$\text{SiO}_2\text{-Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 図（第6図）ではほとんどの火山岩が非アルカリ岩の領域を占めている。ステージごとの傾向をみると，ステージⅠ～Ⅱは出羽北部地域の安山岩～デイサイト及び阿仁合地域の玄武岩～安山岩が共に高アルミナ玄武岩（高アルカリソレライト）と低アルカリソレライトとの境界付近の領域を占めている。ステージⅢは玄武岩質岩がややアルカリに富み，阿仁合地域の一部の玄武岩はアルカリ玄武岩の領域にある。しかし羽越北部及び出羽北部地域の安山岩～デイ

第3表. 第三系下部火山岩の主成分及び微量成分組成 (蛍光X線分析).

Loc. no.	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9	U10	U11	D1	D2	D3	D4
Sp. no.	YD3004	YD3016	SZ3010	AT3005	AT3002	AT3007	SZ3002	SZ3004	SZ6003	YD3031	AT011A	OM1012	OM1013	OM011A	Honai
GSJ-R	61771	61772	61773	61774	61775	61776	61777	61778	37784	61779	61780	61781	61782	61783	35236
Stage	III	IV	IV-V	V	I	I	I	I							
Occurrence	lava?	lava	brec	lava	lava	lava?	lava?	dike	lava	lava	lava	lava	lava	lava	lava
Phenocryst	PAHI	QPI	-	PAIM	PAI	P	P	P	POAI	PAI	PAI	PAHOI	PH	PAHI	PAH
Groundmass	PH	PH	PM	PM	PA	PHM	PM	PAM	PA	PAM	PA	PAH	PM	PM	PM
Texture	ig	pt-tr	pt	tr	pt	tr	pt	pt	is	pt-tr	ho	hp	hp	hp	hp-pt
SiO <sub>2</sub> wt%	56.34	56.95	56.03	60.54	49.72	69.22	48.90	54.29	51.57	54.20	48.54	63.52	56.19	61.91	61.83
TiO <sub>2</sub>	0.77	0.93	0.89	0.90	1.44	0.47	2.10	0.91	0.92	1.07	1.33	0.84	0.96	0.79	0.94
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.68	17.75	16.46	16.71	18.22	15.48	17.13	15.96	16.00	15.70	17.32	16.44	18.54	16.57	15.29
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	6.66	6.32	9.29	4.93	10.25	2.88	10.25	9.20	9.44	10.74	8.18	5.45	6.48	5.07	6.98
FeO*	5.99	5.69	8.36	4.44	9.23	2.59	9.23	8.28	8.50	9.67	7.36	4.91	5.83	4.66	6.28
MnO	0.09	0.13	0.16	0.07	0.21	0.03	0.12	0.16	0.21	0.18	0.12	0.10	0.08	0.09	0.14
MgO	3.20	3.18	3.96	2.25	4.65	1.07	5.03	4.96	7.80	3.68	6.16	1.78	3.81	2.21	1.15
CaO	7.81	7.11	7.76	5.59	8.89	2.87	7.30	8.11	9.50	7.52	9.72	4.53	7.39	5.57	4.41
Na <sub>2</sub> O	3.08	3.13	3.11	4.05	2.97	4.24	2.88	2.67	2.36	3.04	2.78	4.60	3.93	3.94	4.58
K <sub>2</sub> O	1.35	1.35	0.97	2.16	0.59	2.27	1.08	0.75	0.39	1.01	0.27	1.69	1.12	1.84	2.08
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.19	0.23	0.12	0.30	0.29	0.13	0.54	0.13	0.20	0.13	0.37	0.25	0.23	0.25	0.37
SUM(Fe <sup>2+</sup> )	97.16	97.09	98.74	97.51	97.24	98.65	95.32	97.12	98.39	97.27	94.78	99.20	98.73	98.24	97.77
Ig. loss	2.49	1.64	1.15	2.51	2.12	1.71	3.97	2.41	1.09	1.95	5.28	2.64	2.07	1.95	3.06
Reference															
Ba PPM	243	323	236	445	240	479	443		119		137	384	298	394	453
Rb	16.9	12.9	25.2	72.4	14.7	75.4	35.7		4.2			39.2	24.1	41.9	63.4
Sr	763	1033	250	456	487	256	439		286		422	355	463	450	318
Zr	136	158	86	160	151	94	150		95		143	188	146	158	289
Y	13.6	16.7	23.0	23.3	28.7	16.6	42.8		23.5		28.6	30.5	21.9	27.3	44.6
Nb	4.2	5.8	4.9	12.8	7.2	6.7	11.8		5.7		10.6	8.1	6.8	11.2	13

Loc. no.	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17	D18	D19
Sp. no.	YS5103	AS2012	HJ0002	HJ201B	HJ001A	YS6055	YS5105	HJ9102	YS5015	YS5106	YS5112	YS5028	YS5055	YS082	YS5141
GSJ-R	40102	61784	61785	61786	61787	40104	40103	61788	40106	61789	37776	37769	37773	37768	40112
Stage	I	I-II	III	IV	IV	IV	IV	VI							
Occurrence	lava	lava	lava	lava?	lava?	lava	lava	lava?	lava	lava	lava	lava	lava	lava?	sill
Phenocryst	PAH	-	PHA	PAI	PM	O	PO	POAH	P	AH	POAHI	POAI	O	O	-
Groundmass	PAH	PAH	PAH	PA	PAH	PA	PAHO	PA	PA	PA	PA	PA	PAM	PAH	POA
Texture	hp	tr	tr-pt	hp-pt	pt	hp-is	is	pt	pt-hp	is	op	op	is	pt-is	op-is
SiO <sub>2</sub> wt%	59.02	60.40	58.57	58.22	58.28	52.23	51.13	54.33	51.46	59.88	52.90	50.24	50.83	53.50	49.75
TiO <sub>2</sub>	0.89	0.89	0.93	0.99	1.07	1.79	1.62	0.91	1.64	1.02	1.73	2.10	2.06	0.91	0.83
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.67	16.32	17.53	16.94	18.49	16.23	15.86	17.66	16.48	16.36	15.78	16.78	16.52	15.82	16.59
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	6.97	7.43	7.24	7.18	6.31	9.09	8.93	8.34	10.86	6.52	9.70	9.16	9.25	9.08	8.19
FeO*	6.27	6.69	6.52	6.46	5.68	8.18	8.04	7.51	9.77	5.87	8.73	8.24	8.33	8.17	7.37
MnO	0.12	0.15	0.11	0.14	0.10	0.13	0.12	0.16	0.09	0.13	0.14	0.17	0.17	0.18	0.12
MgO	2.24	1.42	3.41	3.28	1.86	3.33	4.78	5.15	3.88	3.13	5.79	5.26	5.27	7.63	7.73
CaO	5.86	4.53	6.53	6.51	8.47	7.67	7.15	8.51	8.01	6.13	7.78	8.53	8.64	8.82	9.66
Na <sub>2</sub> O	3.71	4.67	3.73	3.08	3.28	3.53	3.25	3.08	3.62	3.64	2.96	3.23	3.17	2.32	2.31
K <sub>2</sub> O	1.65	1.34	1.24	1.54	0.99	1.38	1.26	0.73	0.27	1.60	1.15	0.95	0.78	0.77	0.69
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.22	0.45	0.17	0.18	0.22	0.58	0.49	0.15	0.35	0.50	0.68	0.68	0.68	0.12	0.14
SUM(Fe <sup>2+</sup> )	97.35	97.58	99.46	98.06	99.07	98.92	98.57	98.98	96.73	98.72	98.42	97.07	97.37	99.15	96.01
Ig. loss	2.06	1.44	1.44	2.90	1.02	2.96	3.98	1.69	3.73	2.09	2.23	3.55	3.17	1.82	4.04
Reference	2)					2)	2)				2)	2)	2)	2)	2)
Ba PPM	423	383	369	364		385	382	253			374	299	373	225	198
Rb	39.0	19.9	30.6	45.0		24.0	25.4	8.7			22.0	15.5	9.0	18.3	15.9
Sr	366	380	356	315		500	469	361			435	526	538	291	287
Zr	173	143	121	179		334	288	98			317	300	284	99	71
Y	23.6	37.2	23.2	23.9		37.1	32.2	27.4			35.1	37.6	37.7	26.5	19.7
Nb	10	12.8	5	7.5		16	13	6.3			17	17	16	4.1	4.4

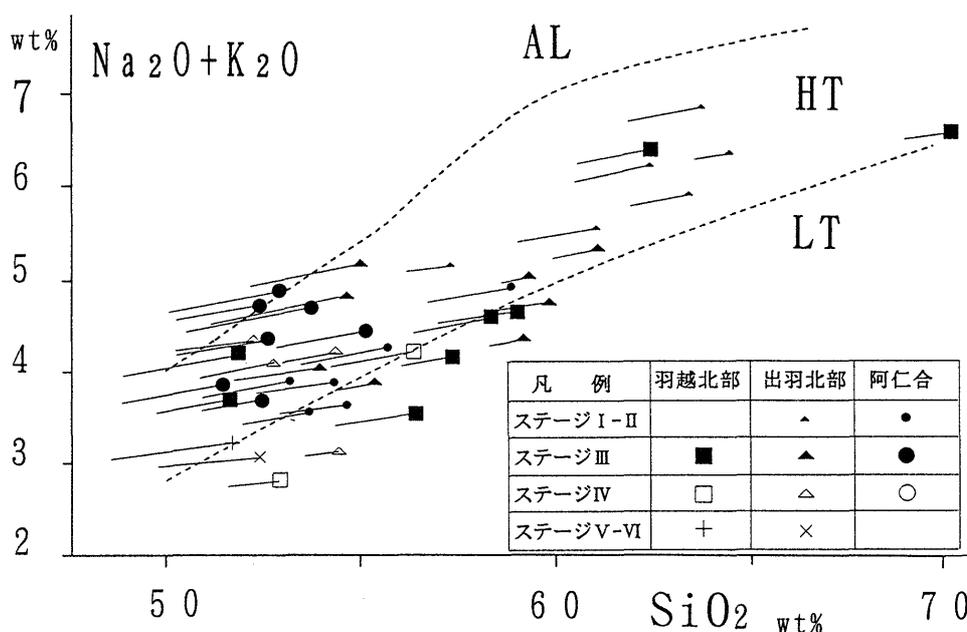
  

Loc. no.	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13
Sp. no.	AN3016	AN3008	AN3017	AN004B	AN3023	AN3027	AN3003	AN001B	AN3007	AN3018	Arase	AN1025	AN1026
GSJ-R	61791	61792	61793	61794	61795	61796	61797	61798	61799	61800	40920	61801	61802
Stage	I-II	I-II	I-II	I-II	I-II	III	III	III	III	III	III	III	III
Occurrence	lava	lava?	dike?	lava?	lava	lava	lava?	lava?	sill	lava	sill	lava	Lava
Phenocryst	POAHI	POA	P	PAO	PO	PAIQ	PAO	-	o	o	o	OP	O
Groundmass	PAH	PA	PAM	PA	PM	PA	PA	PAO	POA	PA	PA	PA	PA
Texture	ho	ho	is	is	is	hp	ig	is	op-is	is	is	ho	ho
SiO <sub>2</sub> wt%	56.79	52.91	50.87	51.92	52.31	53.45	50.86	50.50	50.21	52.78	50.27	48.82	49.93
TiO <sub>2</sub>	0.71	0.90	0.97	0.83	0.96	1.05	0.99	0.76	1.87	1.49	1.96	1.64	1.61
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.28	17.87	19.98	17.52	19.12	17.62	18.10	16.40	17.48	15.74	16.20	16.60	17.20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	6.97	8.42	7.92	8.82	7.79	8.24	8.93	8.38	8.74	8.61	10.34	9.70	8.82
FeO*	6.27	7.58	7.13	7.94	7.01	7.42	8.04	7.54	7.87	7.75	9.31	8.73	7.94
MnO	0.15	0.21	0.15	0.17	0.13	0.12	0.15	0.15	0.18	0.17	0.19	0.22	0.13
MgO	3.28	4.40	3.33	5.31	3.14	3.86	5.12	7.71	4.24	5.56	4.98	5.89	4.61
CaO	7.14	9.29	9.37	9.62	9.66	8.18	9.90	6.25	8.71	7.53	7.91	8.66	7.87
Na <sub>2</sub> O	3.39	2.89	2.81	2.50	2.96	3.08	2.67	3.32	3.46	3.01	3.19	3.08	3.35
K <sub>2</sub> O	1.36	0.63	0.91	0.93	0.81	1.02	0.93	1.12	1.09	1.25	0.95	0.59	1.25
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.16	0.16	0.15	0.14	0.22	0.24	0.16	0.19	0.65	0.50	0.65	0.59	0.50
SUM(Fe <sup>2+</sup> )	97.23	97.68	96.46	97.76	97.09	96.86	97.80	94.79	96.64	96.64	96.63	95.79	95.27
Ig. loss	1.71	1.94	3.35	2.20	1.87	2.17	2.38	4.72	3.02	2.49	2.46	3.92	4.38
Reference													
Ba PPM	416	301	361	382		313		645	292	377	485	388	329
Rb	37.5	31.5	18.3	17.6		24.0		22.8	12.6	20.3	39.2	2.4	19.2
Sr	374	457	411	357		379		371	556	438	507	570	525
Zr	121	143	127	111		123		115	195				

第4表. 第三系下部火山岩の微量成分組成 (中性子放射化分析).

Loc. no. Stage	U1 III	U2 III	U3 III	U4 III	U5 III	U6 III	U9 IV	U11 V	D2 I	D3 I	D6 I-II	D10 III	D11 III	D12 III	A1 I-II	A2 I-II	A3 I-II	A8 III	A9 III	A10 III	A11 III
Sc ppm	12.7	12.9	29.0	12.7	31.1	4.4	31.8	24.0	18.8	10.3	12.4	21.6	21.8	26.1	18.9	26.7	27.0	27.1	22.8	21.0	22.0
Cr	5.7	22.9		22.5	39.9	2.3	367	127	61.9	13.5	4.4	136	114	54.8	28.6	57.7	14.3	107	108	156	86.3
Co	15.5	10.9	23.0	14.1	22.8	4.9		26.6	23.6	12.8	10.6			29.8	18.2	20.6	20.2	26.6	30.4	26.2	28.3
Zn	84.2	96.0	67.1	84.8	88.9	59.7	76.4	77.7	89.6	96.5	164	132.0	125	94.5	90.4	75.8	93.7	77.9	127	114	136
Rb	17	12	21	65	19	59	24		16	34	23	22	23	12	31	26	19	16	14	20	16
Sr	766	986	163	440	392	244	244	410	447	409	412	462	480	359	274	520	402	297	487	374	476
Cs	0.28	0.46	0.31	4.43	1.35	2.98	0.73		0.71	0.66	0.30	0.40	1.99	0.30	0.64	6.10	0.65	0.49		0.33	0.50
Ba	207	301	164	413	192	438		132	232	367	380	353	371	219	363	282	333	448	229	308	340
La	8.9	11.7	10.0	28.4	9.7	18.4	8.2	12.6	13.8	21.1	23.2	27.6	28.7	10.4	12.1	9.5	8.1	8.2	28.1	26.6	28.6
Ce	20.6	27.6	21.0	52.5	23.1	32.8	20.1	29.2	31.2	45.3	53.5	64.8	64.6	22.8	26.7	21.4	18.8	18.7	61.0	58.8	67.4
Nd		15		26		15		18		22	28	31	27						31	35	28
Sm	2.40	3.22	2.75	4.24	3.70	3.14	2.98	4.03	3.48	4.42	6.71	7.31	7.00	3.21	3.00	2.83	2.87	2.48	6.49	6.30	7.54
Eu	0.89	1.33	0.90	1.33	1.38	0.93	1.05	1.44	1.14	1.11	2.15	2.11	2.02	1.06	0.89	0.98	0.98	0.79	2.01	1.78	2.20
Tb	0.39	0.54	0.61	0.62	0.82	0.52	0.63	0.76	0.73	0.71	1.49	1.07	1.04	0.79	0.54	0.73	0.57	0.61	1.22	1.05	1.19
Yb	0.98	1.3	2.1	1.6	2.6	1.2	2.5	2.7	1.8	2.3	3.8	2.9	2.7	2.6	2.1	1.9	2.1	1.3	2.8	2.8	3.2
Lu	0.14	0.20	0.31	0.23	0.39	0.17	0.33	0.39	0.24	0.29	0.52	0.44	0.41	0.39	0.30	0.26	0.32	0.20	0.38	0.41	0.46
Hf	2.31	2.07	2.20	4.75	2.33	3.38	2.25	2.89	3.20	4.56	5.64	6.02	5.96	2.38	2.64	2.05	1.87	1.66	5.14	5.47	5.98
Ta	0.21	0.26	0.23	0.83	0.35	0.27		0.65	0.44	0.51	0.64			0.26	0.32	0.24	0.22		0.85	0.74	0.88
Th	1.59	2.96	2.30	5.67	0.46	5.84	0.91	1.47	2.04	3.53	1.91	2.65	2.72	1.76	2.63	1.73	1.54	1.71	1.61	2.32	1.95
U		0.9		1.4		1.8				0.8				1.0							

Loc. no. は第3-5図の地点番号と同じ.



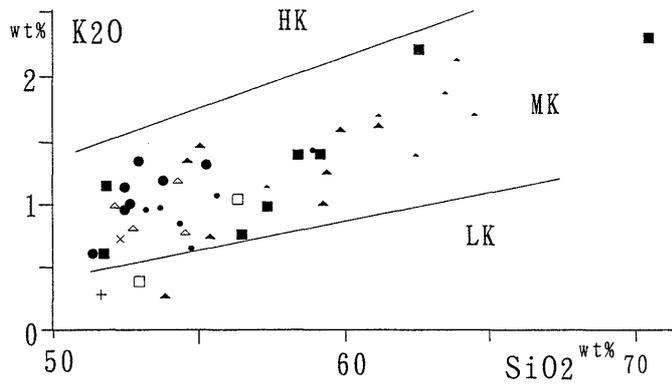
第6図. 3つの地域の第三系下部火山岩のSiO<sub>2</sub>-Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O図.

各試料は地域・時代別に図の右下の記号に示す. 記号は第3表の分析値を灼熱減量を除いて, 全FeO, 100%に再計算した値で表示した. 各記号から左方向へ伸びた線の先端が第3表のオリジナルの分析値を示す. AL, HT, LTの領域は, 上からそれぞれアルカリ玄武岩, 高アルカリソレライト (高アルミナ玄武岩), 低アルカリソレライトの領域 (Kuno, 1966).

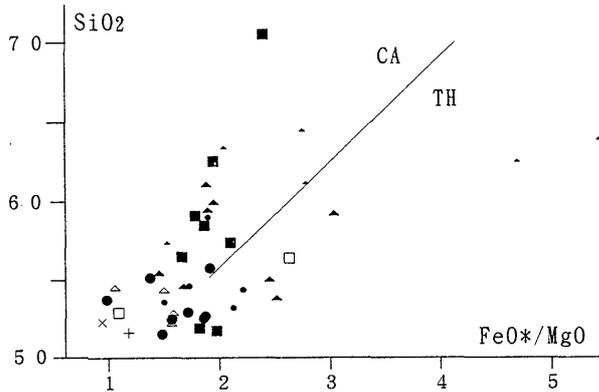
サイトはかなり低アルカリで, トラキティック組織を持つデイサイトも高アルカリソレライトの領域に入る. すなわち玄武岩質の岩石と安山岩-デイサイトは異なる分化トレンドを持っているらしい. ステージIVは, 出羽北部地域の玄武岩質岩もかなりばらつくが, ややアルカリとTiO<sub>2</sub>の多い岩石と両成分が少ない岩石に分かれる傾向があり, 大沢ほか (1988b) の主成分分析値にもその傾向が認められる. 羽越北部地域の玄武岩-安山岩はアルカリに乏しく, 土谷 (1988)

の善宝寺層火山岩の資料でも同様である. ステージV-VIの火山岩はほとんど油田地帯内で活動し, 低アルカリソレライトないし高アルカリソレライト系列の玄武岩である (土谷, 1988).

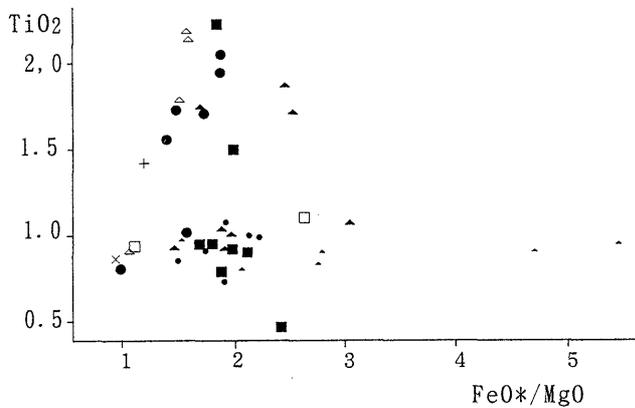
SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O図 (第7図) でも, SiO<sub>2</sub>-Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O図と似た傾向があつて, 各時代のほとんどの岩石が中間K<sub>2</sub>O系列のなかにあり, 高K<sub>2</sub>O系列の岩石はない. ステージI-IIの玄武岩-安山岩は中間K<sub>2</sub>O系列内のやや低K<sub>2</sub>O側にプロットされ



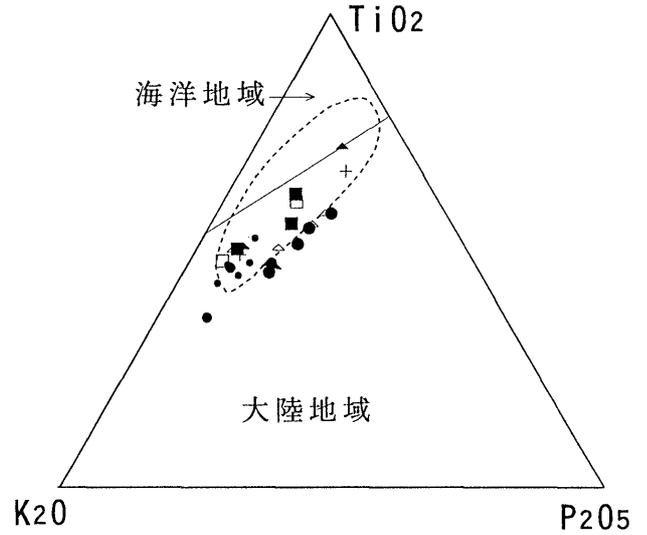
第7図. 第三系下部火山岩のSiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O図.  
記号は第6図と同じ  
HK, MK, LKの領域は, 上からそれぞれ高K<sub>2</sub>O安山岩, 中間K<sub>2</sub>O安山岩, 及び低K<sub>2</sub>O安山岩の領域 (Gill, 1981).



第8図. 第三系下部火山岩のFeO\*/MgO-SiO<sub>2</sub>図.  
記号は第6図と同じ, FeO\*は全鉄をFeOに換算  
CA: カルクアルカリ岩系の領域, TH: ソレイト岩系の領域 (Miyashiro, 1975).



第9図. 第三系下部火山岩のFeO\*/MgO-TiO<sub>2</sub>図.  
記号は第6図と同じ.



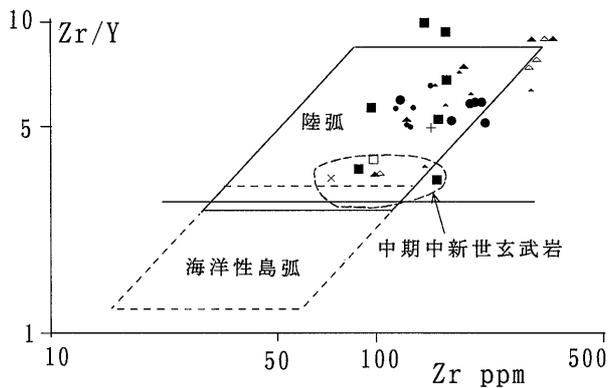
第10図. 第三系下部火山岩 (玄武岩) の K<sub>2</sub>O-TiO<sub>2</sub>-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 図 (Pearceほか, 1975).  
記号は第6図と同じ, 点線の範囲内は油田地帯の中期中新世玄武岩の領域 (土谷, 1988).

ているが, デイサイト質の岩石はわずかにK<sub>2</sub>Oが高い. ステージIIIの岩石は, ややK<sub>2</sub>Oに富むものとかかなり低K<sub>2</sub>O側に寄ったものに分かれる傾向があり, トラキティック組織を持つデイサイトはK<sub>2</sub>Oがやや多い. ステージIVの玄武岩-安山岩はやや低K<sub>2</sub>O側にあり, ばらついている. なお, ステージV-VIの油田地帯の中期中新世玄武岩は低K<sub>2</sub>O系列と中間K<sub>2</sub>O系列の境界付近を占める (土谷, 1988).

FeO\*/MgO-SiO<sub>2</sub>図上 (第8図: 全鉄をFeO\*で表す) では, ほとんどの玄武岩はFeO\*/MgOが2以下で, 判別困難だが安山岩ないしデイサイトは主としてカルクアルカリ岩系の領域にある. しかし出羽北部地域のI-IIIステージの岩石にはソレイト系列の安山岩が含まれ, FeO\*/MgO比の高いソレイト安山岩, いわゆるアイスランド岩も小数存在する.

FeO\*/MgO-TiO<sub>2</sub>図上 (第9図) では一部の玄武岩質岩がTiO<sub>2</sub>組成1.4wt%以上の高TiO<sub>2</sub>火山岩であり, MORB (中央海嶺玄武岩) やプレート内玄武岩の分化トレンドと同様の領域を占めている. これらはステージIIIとステージIVの岩石であり, 第6図ではアルカリ岩系列と非アルカリ岩系列との境界付近を占める. これらのアルカリやTiO<sub>2</sub>組成に富む玄武岩質岩はWinchester and Floyd (1976) のZr/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-TiO<sub>2</sub>によるアルカリ玄武岩と非アルカリ玄武岩との判別図でもアルカリ玄武岩の領域を占めるものが多い.

K<sub>2</sub>O-TiO<sub>2</sub>-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>図 (第10図) は大陸地域と海洋地域の玄武岩とを判別する図であるが, 研究した3地域の各時代の玄武岩はほとんど大陸地域の岩石と判別され, これらが大陸内部や大陸縁辺で噴出した可能性を示唆する. 一方, この図で中期中新世の秋田-山形油田地帯に噴出した玄武岩は大陸と海洋との境界をまたいだ領域を占めていて, 中期中新世玄武岩



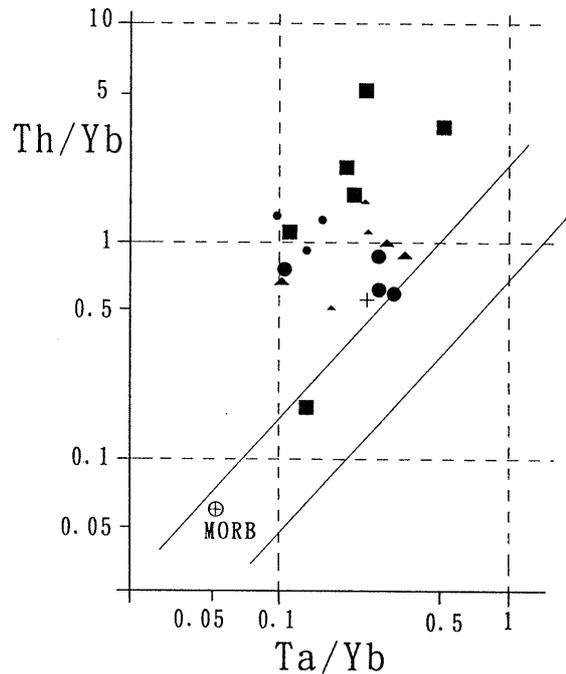
第11図. 第三系下部火山岩のZr-Zr/Y図 (Pearce, 1983).  
記号は第6図と同じ, 点線の範囲内は油田地帯の中期中新世玄武岩の領域 (Ujike and Tsuchiya, 1992と土谷の未公表データによる).

がより海洋地域の玄武岩に近い特徴を持つことを示している.

Zr-Zr/Y図 (第11図: Pearce, 1983) ではステージ I-IVの岩石の大多数が高いZr/Y比を持ち, 陸弧の火山岩ないしプレート内玄武岩の領域にあり,  $K_2O-TiO_2-P_2O_5$ 図 (第10図)の結果も合わせて考えると, これらの火山岩のテクトニックセッティングは大陸縁辺弧ないし大陸内部である可能性が高い. 特に, 出羽北部地域のIII-IV期の玄武岩はZr組成及びZr/Y比ともかなり高く, プレート内玄武岩の特徴を持っている. しかし, 少数ながら温海と出羽北部地域の各時代の火山岩にZr/Y比のやや低いものがあり, 油田地帯の中期中新世玄武岩と同じ領域を占めている. 中期中新世の玄武岩はほとんど海洋性島弧との境界付近を占めていて, 第10図と同様に中期中新世玄武岩のほうがより海洋地域の玄武岩に近い特徴を示している.

Pearce (1983) のTa/Yb-Th/Yb図 (第12図) は島弧火山岩のようなプレート沈み込み帯で噴出した火山岩と, それ以外の中央海嶺などで噴出した火山岩を判別することができる. この図上ではステージIIIの $TiO_2$ に富む玄武岩が沈み込み帯以外の火山岩の領域のすぐ近くにプロットされており, 沈み込み帯起源物質の影響が少なかったことを示唆している.

時代地域別のMORB規格化パターン (第13図: Pearce, 1983) では, ステージ I-IIの出羽北部・阿仁合地域の火山岩 (第13図 b,c) はK, RbなどのLIL元素 (イオン半径が大きくてマグマの液相に濃集する元素) に富み, Ti, ZrなどのHFS元素 (原子価が大きくて液相に濃集する元素) に乏しく, 特にTa-Nbの負異常が認められ, 火山弧の岩石の特徴を呈している. また一部の岩石にZrやTiに負異常があることを除けば, CeからYbまで明らかな下り坂を示す. ステージIIIの火山岩 (第13図 a,d,e,f) もLIL元素が高く, Ta-Nbの負異常を示すという傾向は変わらないが, ステージ I-IIに比べて, HFS元素のレベルが高い玄武岩が出羽北部及び阿仁合地域で認められ (第13図 e,f), ほかの安山岩-デイサイトなどと異なるパターンを示す. これら



第12図. 第三系下部火山岩のTa/Yb-Th/Yb図 (Pearce, 1983).  
記号は第6図と同じ, 細い実線で挟まれた領域は沈み込み帯火山岩以外の火山岩の領域, その上側が沈み込み帯火山岩の領域.

HFS元素に富む玄武岩 (高HFSE玄武岩) は羽越北部地域には少ないが,  $FeO^*/MgO-TiO_2$ 図 (第9図) で高い $TiO_2$ 組成を示し, ほかの漸新世-前期中新世火山岩や第四紀東北日本弧の火山岩とは明らかに異なる特徴を持っている. ステージIVの火山岩 (第13図 g,h) にはTa-Nbの負異常を示さない明らかにプレート内玄武岩の特徴を持つ玄武岩が羽越北部や出羽北部地域に認められる. 第V期には油田地帯で島弧のソレライトと背弧海盆玄武岩 (島弧背後の海盆の地殻を構成する玄武岩) との中間的な主成分組成を持つ青沢玄武岩が噴出したが, これはLIL元素にやや富み, HFS元素にやや乏しく, K-Rbがばらつくが, BaやThに富み, わずかなTa-Nbの負異常を示す (第13図 k: Ujike and Tsuchiya, 1992).

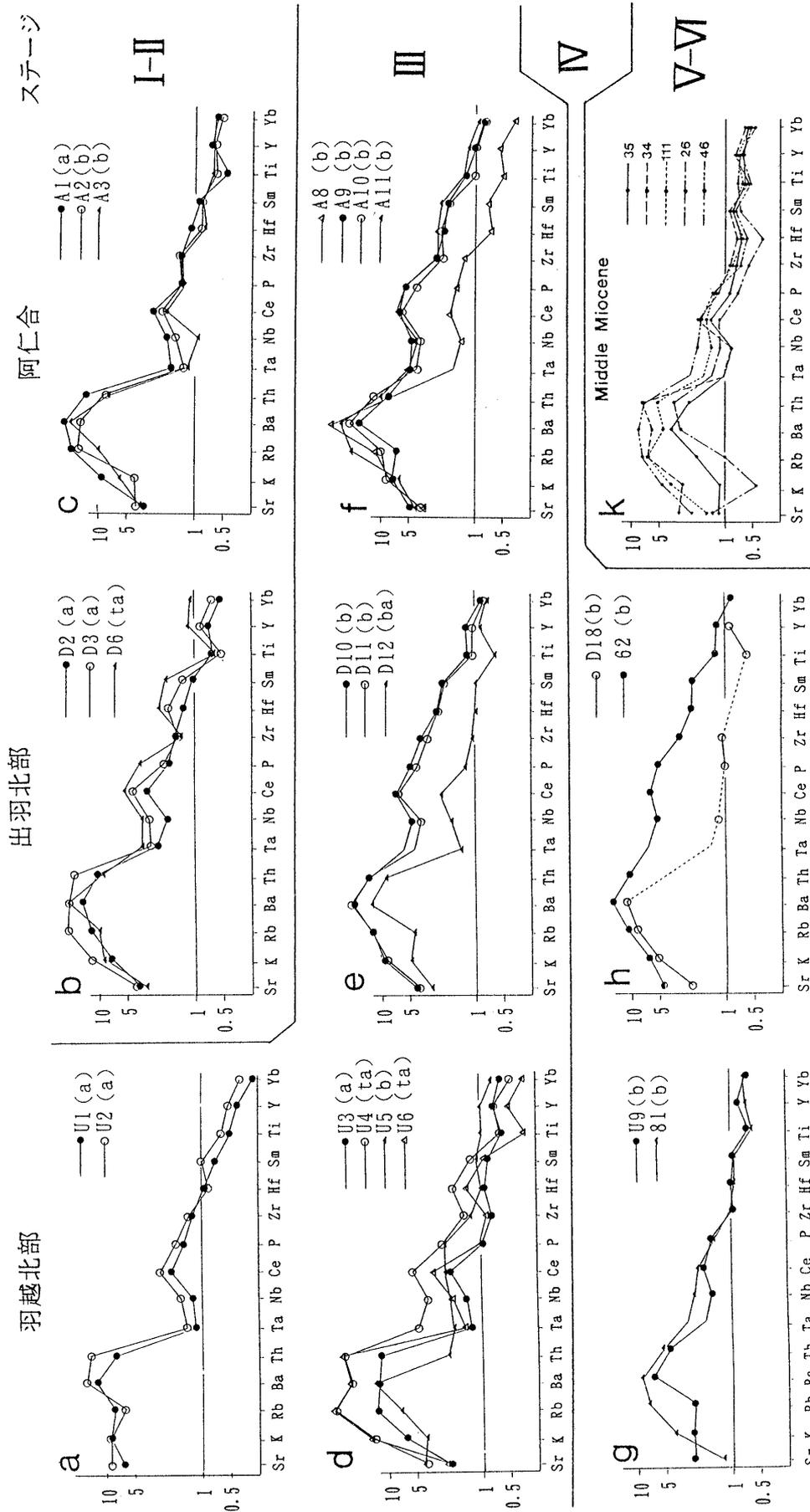
## 議 論

### 1. 3地域のテクトニクスと火成活動及びマグマの変遷

これまで述べてきた3地域の漸新世から中期中新世までのテクトニクスと火成活動の変遷をステージごとに述べる.

#### (1) ステージ I 及び II

出羽北部・阿仁合の両地域における漸新世のステージ I の火成活動は, 出羽北部地域付近ではザッコ又安山岩や湯沢市南方の湯ノ沢川層 (Ohguchi, 1983) の安山岩などが噴出し, 30Ma頃から安山岩質の陸上火山活動が始まっていたらしい. 阿仁合地域では大又層の下限の年代が明らかでないが, 上部に北小国層相当の22-23Maの溶結凝灰岩が確認されたことにより, 漸新世から火成活動が始まっていたことはほぼ間



第13図. 第三系下部火山岩のMORB規格化パターン図 (Pearce, 1983).  
 図中の番号は第3表及び第3-5図の地点番号と同じ. I-VIはステージを示す. V-VIステージの中期中新世玄武岩のパター  
 ンはUjike and Tsuchiya (1992) による.

違いはない。

出羽北部及び阿仁合地域のステージⅠの火山岩はソレアイト及びカルクアルカリ系列の玄武岩—安山岩で、主としてアルカリに乏しい火山岩である。ステージⅠの火山岩がアルカリに乏しかったことはこの時期に推定された火山フロント（大口ほか，1989）に近いところで噴出した可能性を示している。これらの火山岩の多くはHFS元素に比べてLIL元素に富み（第13図 b,c），Zr/Y比が高く（第11図），陸弧火山岩的な性格をもっている。

ステージⅡの火山活動は北小国層に代表される酸性溶結凝灰岩の噴出が22-24Maの時期に上記の3研究地域で起きている。これとほぼ同時期の溶結凝灰岩は東北日本弧日本海側の各地だけでなく、北上河谷帯の三戸町の仁左平層（木村，1986），花巻市付近の水分層（大上ほか，1990）や三陸沖のDSDPのsite438, 439（Yanagisawa, et al., 1980）にもほぼ同時期の酸性火山岩が分布する。この事実はステージⅡに火山活動域が太平洋側へ大きく拡大したことを示す（大口ほか，1989）。大槻（1993）はこの火山活動域の拡大を四国海盆の拡大軸が東北日本弧の下に沈み込んでいったためと解釈している。なお、本研究ではこの溶結凝灰岩と同じ層準の玄武岩—安山岩質火山岩をはっきり特定することができなかった。

## (2) ステージⅢ

ステージⅢの初頭には羽越北部地域と阿仁合地域でグラーベンが形成された（山路，1989；通商産業省資源エネルギー庁，1977）。羽越北部地域のグラーベンについては、山路（1989）は17-18Ma頃に形成され、2Ma程度の誤差があると述べている。しかし陸成層の温海層下部の安山岩中に少量挟在する溶結凝灰岩が21.7Maであることや大泉層安山岩が19.9Maであることなどからみて、22.5-23Maの北小国層の溶結凝灰岩が噴出した後、それほど時間を置かずグラーベンが形成され、安山岩質の火山活動が始まった可能性が高い。また小島・立石（1994）も、羽越地域のグラーベンの発生は20Ma頃としている。

阿仁合地域のグラーベンの形成は通商産業省資源エネルギー庁（1977）によればステージⅠ—Ⅱの大又層堆積以前とされたが、大又層上部の22-23Maの溶結凝灰岩噴出後で、19.5Ma頃のステージⅢの阿仁川層比立内玄武岩の噴出・貫入以前である可能性が高い。大又層は基盤花崗岩類を覆って、グラーベンの外側にも広く分布し、礫層に乏しい。一方、阿仁川層はほとんどグラーベン内に分布し、大又層起源らしい安山岩巨礫に富む砂礫層を主とし、花崗岩礫は少ない。この事から大又層がグラーベン形成以前の地表を広く覆った後にグラーベンが形成され、阿仁川層の砂礫がグラーベンを埋積したと考えるほうが合理的であろう。比立内玄武岩は阿仁川層下部に貫入・噴出していて、グラーベン形成後の阿仁川層堆積盆内で火成活動を行った。

出羽北部地域の漸新統一前期中新統にはグラーベンが見いだされていないが、ステージⅡの溶結凝灰岩を挟む大梁層の上部に安山岩質の巨礫層が挟在し、これらがステージⅢのTiO<sub>2</sub>に富む玄武岩（D10）に覆われていて、阿仁合地域の

又層から比立内玄武岩までの層序関係に似ている。

ステージⅢの火山岩は出羽北部地域と阿仁合地域では、大きく分けるとTiO<sub>2</sub>などのHFS元素に富むアルカリ玄武岩ないし高アルミナ玄武岩と、それよりアルカリとHFS元素に乏しいカルクアルカリ安山岩という二つのタイプのマグマが活動した。高HFS元素の玄武岩はプレート内玄武岩の特徴を持つものの、MORB規格化パターン（第13図）やTa/Yb-Th/Yb図（第11図）をみると、わずかながら沈み込み帯起源のLIL元素の影響を受けていることがわかる。羽越北部地域でも少数だが高Ti玄武岩（U7）が存在する。

## (3) ステージⅣ

この時期になると玄武岩—安山岩主体の火山活動から、酸性火砕岩と玄武岩のパイモダル火山活動へと移り変わっていった。この頃も引き続きグラーベンが形成されていて（山路，1993），伸張テクトニクス下にあった。この時期の畑村層や善宝寺層中の玄武岩岩体は酸性火砕岩や堆積物中に小岩体として散在することから単成火山群をなしていた可能性がある。また、火山活動は台島植物化石や溶結凝灰岩を挟有する事から主として陸上での火山活動とみられるが、出羽北部地域の畑村層には玄武岩の枕状溶岩が挟まれ（大沢ほか，1988b），フジツボ化石も含まれることから、一部は浅海域にあったらしい。

この時期の火山岩については、阿仁合地域では酸性火山主体で玄武岩—安山岩が乏しいため、検討していないが、羽越北部及び出羽北部の玄武岩質岩について土谷（1988）やUjike and Tsuchiya（1992）の資料も加えて検討した。この時期の玄武岩は引き続きTiO<sub>2</sub>などHFS元素に富むプレート内型の玄武岩と、HFS元素にやや乏しく、MgOに富む玄武岩との二つのタイプの玄武岩があり、いずれも明確なNb-Taの負異常を示していない（第13図 g,h）。

## (4) ステージⅤ及びⅥ

この時期の火山活動についてはTsuchiya（1990）などに詳しく述べたが、概略を述べると、次のとおりである。ステージⅤになるとNE-SW方向の引張応力下で秋田—山形油田地帯が急速に沈降して堆積盆を形成し、この中で膨大な青沢玄武岩が噴出して多数の海底火山体を形成した。この玄武岩は石灰質ナンノ化石帯のNN4-NN5（18.74-13.17Ma）の時期に主として噴出した（佐藤ほか，1991）もので、大部分は16-14Ma頃に噴出したらしい。ステージⅥにも玄武岩マグマが上昇し、その多くはドレライト岩床を形成したが、青沢地域では噴出活動があった（大木，1993）。

青沢玄武岩はK<sub>2</sub>Oに乏しいソレアイト系列の岩石で、主成分組成は背弧海盆玄武岩と島弧のソレアイト玄武岩との中間的な特徴を持ち（土谷，1988），液相濃集元素組成パターンはLIL元素にやや富み、HFS元素に乏しく、弱いTa-Nbの負異常を示す（第13図 k；Tsushiya，1990）。また、この時期の背弧側の火山岩はフロント側の火山岩よりK<sub>2</sub>Oに乏しい（吉田，1993）。この時期の火山岩組成や同位体組成の変化について、枯渇型マントルが背弧側の地下に侵入した（倉沢・今田，1986；Shutoほか，1993），または大陸下マントルリソスフェアが破断したことによって、液相濃集元素に枯渇

したマグマが上昇するようになったため (Ujike and Tsuchiya, 1992) と考えられている。

## 2. 日本海のテクトニクスとの関連

これらの火山活動とテクトニクスの変遷は日本海の拡大形成と密接に関わっている。漸新世にステージ I の火山活動が出羽北部と阿仁合地域で開始され、陸弧型の安山岩が噴出し始めたのは30Ma頃に当時の火山フロントが大陸側から太平洋側へ前進した (雁沢, 1987; 大口ほか, 1989) ことによって開始されたと考えられる。しかし、棚倉破砕帯の南西側にある羽越北部地域では火山活動が始まったのはステージ II の23-24Ma頃の北小国層の溶結凝灰岩からである。この問題はその後日本海拡大による東北日本弧の変形問題と関連させて考えなければならないが、現在の羽越北部地域は出羽北部や阿仁合地域よりも西側に位置しているにもかかわらず、ここではステージ I には火山フロントがまだ達していなかった可能性がある。

中新世初頭のステージ II の広域的な酸性火山活動のあと、ステージ III の20Ma頃に大和海盆の沈降が始まり、日本海拡大が開始された。この時期はちょうど羽越北部と阿仁合地域でのグラーベンが形成された時期に相当している。このグラーベン形成は日本海拡大による伸張テクトニクスが秋田-山形地域にも及んだことを示しているのだらう。またグラーベン形成後、出羽北部地域と阿仁合地域では陸弧型の安山岩-デイサイトに加えてTiO<sub>2</sub>などHFS元素に富む高Ti玄武岩の活動が始まった。阿仁合地域ではグラーベンの中でTiO<sub>2</sub>に富む比立内玄武岩のシルや溶岩が形成されたが、この頃の大和海盆のODPボーリングsite797の中でもアルカリやTiO<sub>2</sub>に富むドレライトシルが貫入して (Allan and Gorton, 1992), 規模は小さいが類似性がある。また、高Ti玄武岩は漸新世のステージ I には奥尻島や男鹿半島で高マグネシア安山岩と共に噴出していた (山本ほか, 1991; 岡本ほか1993) が、ステージ II の広域酸性火山活動の後、ステージ III から前弧側の阿仁合や出羽北部地域で火成活動を行っていたことが明らかになった。このことは高HFSE玄武岩の活動域が漸新世から中新世前期にかけて、火山フロントの太平洋側へ前進と共に前弧側へ拡大または移動したことを示唆している。

ステージ IV の秋田-山形油田付近は引き続き引張場で、東北日本弧が反時計回りに回転しながら南東にドリフトした (山路, 1993) 時期である。火山岩はパイモダルな性格を持ち、この時期も明確なプレート内型の高Ti<sub>2</sub>O玄武岩が噴出していた。

ステージ V は、東北日本弧のドリフトがほぼ終了したが、油田地帯が著しく沈降し、その中でK<sub>2</sub>OとHFS元素に乏しい青沢玄武岩の大量噴出が起こった (Tsuchiya, 1990)。

## ま と め

秋田-山形油田地帯付近の火山活動を6つのステージに区分し、火山岩の岩石学的特徴の変遷を日本海地域のテクトニクスと関連付けて明らかにすることを試みた。

ステージ I : 漸新世に出羽北部及び阿仁合地域でカルクアルカリ安山岩を主とし、高アルミナ玄武岩を伴う陸上火山活

動が始まった。玄武岩-安山岩はアルカリにやや乏しく、Zr/Y比が高く、東進してきた当時の陸弧の火山フロント付近で噴出した可能性がある。

ステージ II : 中新世初頭の22-24Ma頃に東北日本の広域的な酸性火山岩の噴出活動に伴って、3つの地域でも溶結凝灰岩を主とする酸性火山活動が行われた。

ステージ III : ステージ II の酸性火山活動後まもなく羽越北部及び阿仁合地域でグラーベンが形成され、その直後から出羽北部地域も含めた3地域で玄武岩-安山岩主体の火山活動が始まった。この時期の玄武岩-安山岩にはTiO<sub>2</sub>やHFS元素に富むアルカリ玄武岩ないし高アルミナ玄武岩とステージ I と同様のアルカリにやや乏しい陸弧的な安山岩の二つのタイプがある。

ステージ IV : 玄武岩-安山岩主体の活動から酸性火山岩と玄武岩のパイモダルな火山活動に移行していった。玄武岩はHFS元素に富むプレート内玄武岩とHFS元素にやや乏しくMgOに富む玄武岩が噴出していた。

ステージ V 及び VI : 油田地帯が急速に沈降し、大規模な玄武岩噴出活動が行われ、後に貫入活動に移行した。この玄武岩はK<sub>2</sub>OとHFS元素に乏しく、背弧海盆玄武岩と島弧のソレライト玄武岩との中間的な組成を持ち、それ以前の陸弧的な火山岩から、より海洋性島弧火山岩の特徴に近くなった。

このような3研究地域のマグマと東北日本弧のテクトニクスの変遷について、現在の資料だけではその本質的な成因をまだ明らかにできないが、次のような解答例が考えられる。ステージ I に大陸縁辺の火山フロントが前進し、陸弧火山活動が開始した後、ステージ II に四国海盆の拡大軸が沈み込み、広域的な酸性火山活動が起きた (大槻, 1993)。その直後のステージ III から秋田-山形油田地帯付近は引張テクトニクス下になり、グラーベンが形成され、TiO<sub>2</sub>に富む玄武岩が噴出するようになり、陸弧的な安山岩-デイサイトの噴出も続いていた。この状況はステージ IV まで続いたと考えられる。ステージ V になって、引張テクトニクスの最終段階に日本海側地域の地下により枯渇したマンツルの急速な侵入またはリソスフェアの破断が起こり、著しく沈降した油田地帯の堆積盆の中で大量の低K<sub>2</sub>O玄武岩が噴出した。

## 謝 辞

本研究において筆者が蛍光X線分析及び中性子放射化分析を行なう際、地質調査所地殻化学部の富樫茂子同位体地質課長と同地質部の中野 俊主任研究官から援助を頂いた。また本発表の機会を頂いた新潟大学理学部の周藤賢治教授にお礼を申し上げる。

## 文 献

- Allan, J. F. and Gorton, M. P., 1992, Geochemistry of igneous rocks from Legs 127 and 128, Sea of Japan. *Proceedings of Ocean Drilling Program Scientific Results*. 127/128. Pt.2. 905-929.
- Blow, W. H., 1969, Late middle Eocene to Recent planktonic foraminiferal biostratigraphy. In Bronnini, P. and Renz, H.H., eds., *Proc. 1st Internat. Conf. Planktonic Microfossils, Genova 1967*, 1, 199-422.

- 雁沢好博, 1987, 東北日本弧内帯の白亜紀-第三紀火山岩のフィッシュョントラック年代-奥尻島・男鹿半島・朝日山地-. 地質雑, **93**, 387-401.
- Gill, J. B., 1981, *Orogenic andesite and plate tectonics*. Springer-Verlag, Berlin, 390p.
- 鹿野和彦・加藤碩一・柳沢幸夫・吉田史郎(編), 1991, 日本の新生界層序と地史. 地調報告, no.274, 114p.
- 木村勝弘, 1986, 東北地方第三系の放射年代層位. 北村 信教授記念論文集, 163-167.
- 小島玄生・立石雅昭, 1994, 山形県西田川炭田地域のリフト堆積盆の埋積過程(演習), 石油技誌, **59**, 311.
- 今田 正, 1974, 東北日本弧におけるbimodal volcanism. 地質雑, **80**, 81-89.
- Kuno, H., 1966, Lateral variation of basalt magma type across continental margins and island arcs. *Bull. Volcanol.*, **29**, 195-222.
- 倉野 一・今田 正, 1986, 東北日本第三紀火山岩類のストロンチウム同位体比-日本海拡大との関係-. 地質雑, **92**, 205-217.
- Miyashiro, A., 1975, Classification, characteristics, and origin of ophiolites. *Jour. Geol.*, **83**, 249-281.
- Ohguchi, T., 1983, Stratigraphical and petrological study of the late Cenozoic to early Miocene volcanic rocks in northeast inner Japan. *Jour. Min. Coll. Akita Univ.*, Ser. VI, no.3, 189-258.
- 大口健志・吉田武義・大上和良, 1989, 東北本州弧における新生代火山活動域の変遷. 地質学論集, no.32, 431-455.
- 大上和良・松坂裕之・土井宣夫・越谷 信・大口健志, 1990, 脊梁山地盛岡市-花巻市西方に分布する中新統の層序について. 地球科学, **44**, 245-262.
- 大木淳一, 1993, 山形県出羽丘陵地域に分布する青沢火山岩類のK-Ar年代. 総合研究「東北日本の新生代火山岩類の時空分布の変遷とテクトニクス」研究報告, no.2, 104-112.
- 大概憲四郎, 1993, フィリピン海プレートの運動と日本海の拡大. 地団研秋田大会シンポジウム要旨集, 40-41.
- 岡村 聡・吉田武義・加々美寛雄, 1993, 奥尻島漸新世火山岩の岩石学-東北日本漸新世陸弧火山フロントにおける火山活動-. 岩鉱, **88**, 83-99.
- 大沢 穠・広島俊男・駒沢正夫・須田芳朗, 1988a, 20万分の1地質図「新庄及び酒田」. 地質調査所.
- 大沢 穠・片平忠実・中野 俊・土谷信之・栗田泰夫, 1988b, 矢島地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 87p.
- 大沢 穠・大口健志・高安泰助, 1979, 浅舞地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 53p.
- 大沢 穠・須田芳朗, 1980, 20万分の1地質図「秋田及び男鹿」. 地質調査所.
- 大沢 穠・高安泰助・池辺 穠・藤岡一男, 1977, 本荘地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 54p.
- Pearce, J. A., 1983, Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins, In Hawkesworth, C.J. and Norry, M. J., eds. *Continental basalt and mantle xenolith*. Shiva Publishing, Nantwich, 230-249.
- Pearce, T. H., Gorman, B. E. and Birket, T. C., 1975, The  $TiO_2$ - $K_2O$ - $P_2O_5$  diagram; a method of discriminating between oceanic and non-oceanic basalt. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **24**, 419-426.
- 佐藤時幸・馬場 敬・大口健志・高山俊昭, 1991, 日本海側における海成下部中新統の発見と東北日本の台島期-西黒沢期における環境変動. 石油技誌, **56**, 263-279.
- Shuto, K., Ohki, J., Kagami, H., Yamamoto, M., Watanabe, M., Yamamoto, K., Anzai, N. and Itaya, T., 1993, The relationships between drastic changes in Sr isotope ratios of magma sources beneath the NE Japan arc and the spreading of the Japan Sea back-arc basin. *Mineral. Petrol.*, **49**, 71-90.
- 天然ガス鉱業会・大陸棚石油開発協会, 1992, 秋田-山形地域. 日本の石油天然ガス資源, 53-80.
- 土谷信之, 1986, 秋田県中部における中期中新世塩基性岩の海底火成活動. 地調月報, **37**, 353-366.
- 土谷信之, 1988, 秋田-山形油田地帯における中期中新世玄武岩類の分布と化学組成. 地質雑, **94**, 591-608.
- Tsuchiya, N., 1990, Middle Miocene back-arc rift magmatism of basalt in the NE Japan arc. *Bull. Geol. Surv. Japan*, **41**, 473-505.
- 土谷信之, 1992, 中新世背弧リフティングと青沢玄武岩. 地球科学, **46**, 29-37.
- 土谷信之・大沢 穠・池辺 穠, 1984, 鶴岡地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 77p.
- 通商産業省資源エネルギー庁, 1977, 昭和51年度広域調査報告, 北秋地域, 95p.
- 通商産業省資源エネルギー庁, 1982, 昭和56年度広域調査報告, 羽越地域(I), 164p.
- 植田良夫・神保 恵・田宮良一, 1973, 山形県, 新第三紀最下部溶結凝灰岩のK-Ar年代. 岩鉱, **68**, 91.
- Ujike, O. and Tsuchiya, N., 1992, Geochemistry of Miocene basaltic rocks temporally straddling the rifting of lithosphere at the Akita-Yamagata area, northeast Japan. *Chem. Geol.*, **104**, 61-74.
- 臼田雅郎・岡本金一, 1986, 秋田県南部における新第三紀火山岩類のK-Ar年代と新第三紀の対比. 北村 信教授記念地質学論文集, 595-607.
- Winchester, J. A. and Floyd, P. A., 1976, Geochemical magma type discrimination: Application to altered and metamorphosed basic igneous rocks. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **28**, 459-469.
- 山路 敦, 1989, 温海付近の地質と羽越地域における前期中新世のリフティング. 地質学論集, no.32, 305-320.
- 山路 敦, 1993, 日本海形成問題: わかったこと・わからないこと. 地団研秋田大会シンポジウム要旨集, 35-39.
- 山本和広・周藤賢治・渡部直喜・板谷徹丸・加々美寛雄, 1991, 奥尻島の第三紀火山岩のK-Ar年代と東北日本弧周辺の漸新世及び前期中新世火山岩の岩石学的徴. 岩鉱, **86**, 507-521.
- Yanagisawa, K., Takigami, Y., Ozima, M. and Kaneoka, I., 1980,  $^{40}Ar/^{39}Ar$  ages of boulders drilled at site 439. Leg. 57, Deep Sea Drilling project. *Initial Rep. of the DSDP*, **56 & 57**, 1281-1284.
- 吉田武義, 1993, 新生代東北日本弧でのマグマ起源物質の変遷. 地団研秋田大会シンポジウム要旨集, 76-84.

## (要 旨)

土谷信之, 1995, 東北地方中部日本海側地域の漸新世～中期中新世火成活動の変遷. 地質学論集, no.44, 227-240. (Tsuchiya, N., 1995, Temporal change in Oligocene-middle Miocene magmatism on the Japan Sea side of northern Honshu. *Mem. Geol. Soc. Japan*, no.44, 227-240.)

東北日本弧の日本海側地域では日本海拡大に相前後して, 漸新世から中期中新世にかけて火山活動が活発化した. この時代の火山活動は羽越北部, 出羽北部及び阿仁合地域に典型的に発達し, その活動期は火山活動の広域的な変化や構造運動に基づいて6つのステージに分けられる.

ステージ1 (30-25Ma) の火山岩は出羽北部と阿仁合地域に分布する. その火山岩は陸弧型の低アルカリの安山岩～玄武岩で, おそらく漸新世の東北日本弧の火山フロント付近で噴出したらしい. ステージ2の火山活動は22-24Maの溶結凝灰岩を含む酸性火山岩を広域的に噴出した. ステージ3 (20-18Ma) の火山岩は約20Ma, つまり日本海拡大初期に形成されたいくつかのグラーベンの中で主に産する. このステージの火山岩は高Ti玄武岩と陸弧型の低Ti玄武岩～安山岩からなる. 阿仁合地域の高Ti玄武岩はグラーベン中にシルや溶岩を形成し, 19.4Maと19.6Maの年代を示し, 日本海のODPのLeg.128のSite.797のドレライト岩床群とほぼ同時代である. ステージ4 (18-16Ma) の火山活動は玄武岩質岩と酸性岩とのバイモーダル型である. 玄武岩質岩はプレート内型の高Ti玄武岩とMgOに富む低Ti玄武岩からなる. ステージ5と6 (16-10Ma) の火山活動は3つの研究地域に近接した秋田-山形油田地帯に大量の玄武岩質岩を噴出した. その玄武岩質岩は低K<sub>2</sub>Oで, 島弧のソレライトと背弧海盆玄武岩との中間的な特徴を持っている.