

東北日本第三紀火山活動についての最近の問題

土谷信之¹⁾

1. はじめに

現在の日本列島には100以上の活火山があって、世界有数の火山国であるが、第三紀の後半にはもっと活発で多様な火山活動が行われていた。つまり漸新世-中期中新世の火山活動期(3,200万-1,400万年前)の噴出量(150,000 km³: 杉村, 1974)は伊豆-小笠原弧も含めた第四紀の火山噴出量(約3,900 km³: Aramaki and Ui, 1978)に比べてけた違いに大きく、時間当りの噴出量でも約4倍である。また、第四紀の東北及び西南日本弧の火山は主として安山岩からなり、陸上で噴出している。しかし、第三紀にはソレライトからアルカリ岩系列の、玄武岩から流紋岩までの多様な火山岩が陸上から半深海までの多様な環境下で噴出していた。

現在、第三紀の火山活動はいくつかの意味で注目されている。第一に日本列島が大陸から離れ、島弧として成立した時期の火山活動であり、日本海と島弧の成立過程を明らかにする上で、その本質解明が不可欠であること。第二に現在の島弧火山活動の起源を知る上でも歴史的視点からの研究が重要であること。第三に海底から陸上までの多様な環境でできた火山噴出物の産状を観察することができることである。筆者はこれまで、東北日本の第三紀層の火山岩を中心に地質図を作ってきたが、図幅調査を始めた当初は第三紀火山岩が今日のように重要視されるとは考えていなかった。しかし、現在は野外調査及び岩石化学的研究により、これらの課題に少しでも貢献できるものと考えている。本文では東北日本の第三紀火山活動史全般について述べることは出来ないで、筆者が研究すべきと思っている課題を指摘することにしたい。それは、1) 漸新世-中期中新世火山岩の岩石学的性質とその時間変化、2) 中期中

新世玄武岩岩床と堆積物との複合岩体(Sill sediment complex; Einsele, 1985), 3) 後期中新世-前期鮮新世火山活動の帯状配列, である。

2. 漸新世-中期中新世火山岩の岩石学的性質とその時代変化

100万分の1日本地質図(第3版)では、第三紀層をPG1, PG2, PG3, PG4, N1, N2, N3の7つに区分している(鹿野ほか, 1991)。これらの区分は日本列島が大陸から離れて島弧になっていった過程での広域的で重要な地質現象に基づいていて、火山活動の変遷とも次のように対応している。

PG1-PG3(65-32 Ma: 大陸の時代)

白亜紀後期からの中-酸性火山の陸上活動域が縮小

PG4(32-22 Ma: リフト形成期)

日本海側から活動域が拡大
カルクアルカリ安山岩主体の火山活動が活発化
アルカリ火山岩, 高HFSE玄武岩などの噴出開始
後期にアノソクレス流紋岩や酸性火砕流が噴出

N1(22-15 Ma: リフト拡大期)

酸性-中性火山岩の噴出域が太平洋側へ拡大
日本海側のリフト内でソレライト玄武岩噴出
火山岩の液相濃集元素や同位体組成が枯渇型へ変化(起源マントルの変化)

N2(15-7 Ma: 遷移期)

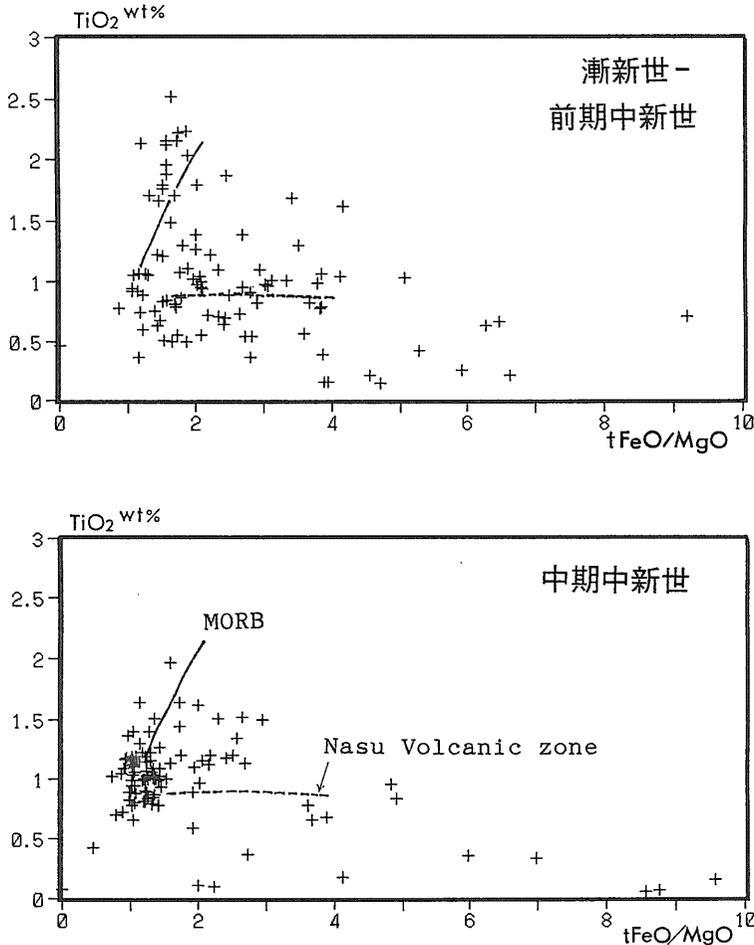
日本海側で堆積物中にドレライト岩床貫入
脊梁沿いで酸性-中性火山岩噴出

N3(7 Ma以降: 短縮期)

脊梁沿いでカルデラ火山の噴出活動
火山岩組成の島弧横断変化が第四紀とほぼ同じ

1) 地質調査所 地質部

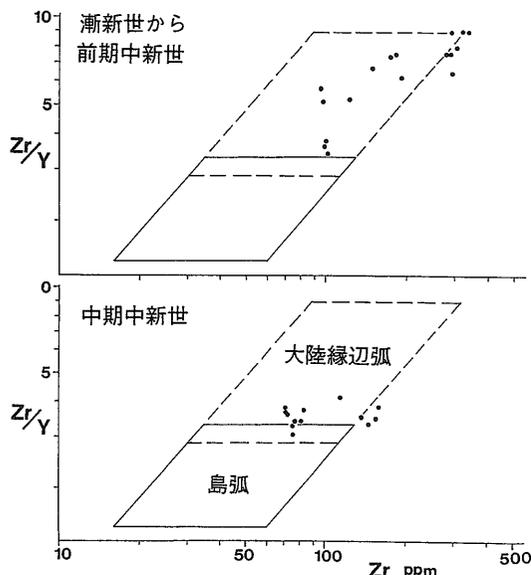
キーワード: 大陸縁辺, 高 HFSE 玄武岩, シル-セディメント
複合岩体, 後期中新世, 安山岩



第2図 秋田県出羽丘陵地域の漸新世-中期中新世火山岩分析値の FeO/MgO-TiO₂ 図
 中央海嶺玄武岩 (MORB) と那須火山帯玄武岩-安山岩の分化トレンドも示す。

TiO₂ や Zr をはじめ, Nb, Hf, Ta などの液相濃集元素は HFSE (High-Field Strength Element) と呼ばれ, イオンの電価が大きい元素で, 熱水変質等の影響を受けにくく, 変質した火山岩の初生的特徴を議論するうえで重要である. 漸新世-前期中新世の高 HFSE 玄武岩は通常島弧の火山岩にはない岩石で, 大陸や海洋島などのプレート内部 (Within-plate) で噴出する岩石である. つぎに, 第3図にこの時期の玄武岩-安山岩の Zr-Zr/Y 図を示す. Zr/Y 比はマグマの分化作用の影響を受けにくく, 部分溶融度の低いアルカリ火山岩以外なら起源物質の Zr/Y をかなり反映している可能性が高い (Pearse and Norry, 1979). 大陸縁辺弧の火山岩は海洋性島弧の火山岩に比べて液相濃集元素全体に富んだマントルからもたらされたと考えられ, Zr/Y 比が高い

(Pearce, 1983). 東北地方日本海側の漸新世-前期中新世の時期の火山岩は高 HFSE 玄武岩の Zr/Y 比が非常に高く, それ以外の火山岩でも Zr/Y が 5 以上の岩石が多く, 大陸内部や大陸縁辺火山弧の火山岩に類似した特徴を持っているといえるだろう. また, この時期の火山岩には従来から粗面岩等のアルカリ火山岩も知られていた. このように, 漸新世-前期中新世の時期の火山岩には高 HFSE 玄武岩の存在や, Zr/Y が高いといった大陸内部や大陸縁辺部に噴出する火山岩に類似した特徴を持っている. これに対し, 油田地帯の青沢玄武岩をふくめて中期中新世の玄武岩-安山岩には Zr/Y が 5 以上の高い火山岩や高 HFS 玄武岩は消滅している. この事実, 前期中新世までの大陸的な性格をもつ火山岩が中期中新世の海洋性島弧により近い性格の火山岩に



第3図 秋田県出羽丘陵地域の漸新世-中期中新世火山岩分析値の Zr-Y 図

とって変わったことを示しているらしい。

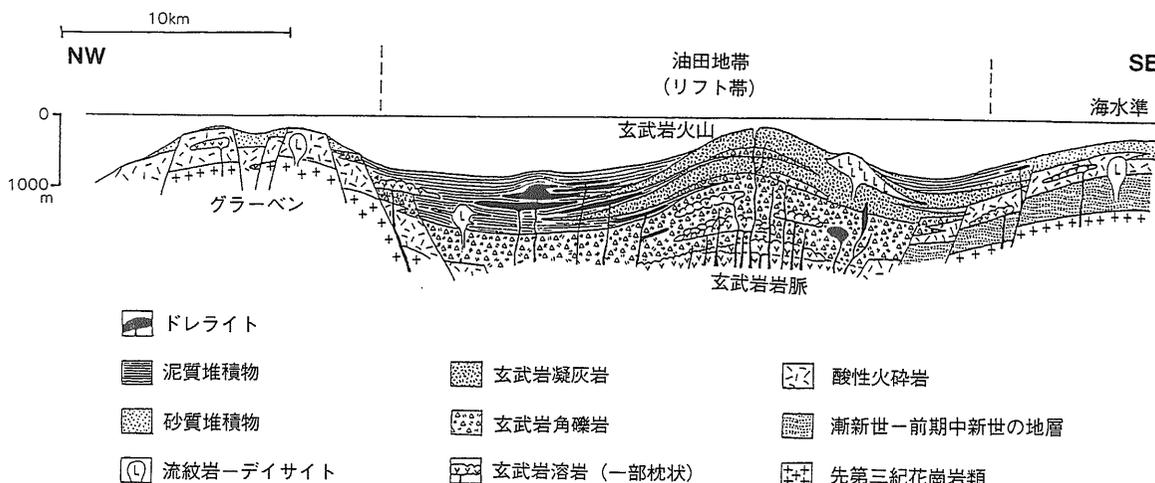
前期中新世と中期中新世との間での高 HFSE 玄武岩の消滅や Zr/Y の時間変化は、そのほかの HFS 元素についても検討すべきだが、東北地方日本海側の地下のマグマ起源マントルに大きな変化があったことを示唆する。Sr や Nd 同位体比の研究からも 16 Ma 頃に同位体比が急変したことが示され、日本海拡大と東北日本弧の東進に伴うマントルダイアピルまたはアセノスフェアの迸入、あるいは大陸下マントルの破断によって説明されている

(倉沢・今田, 1986; 氏家・土谷, 1990; 周藤ほか, 1992). 高 HFS 玄武岩の消滅や Zr/Y の時間変化も上記の推論で説明できるかもしれない。

3. 青沢玄武岩とシル-セディメント複合岩体

前述のように日本海側地域では西黒沢期(16-13 Ma)に急速な海進と共に秋田-山形油田地帯にリフトが形成され、そこで急速な沈降開始と同時に大規模な青沢玄武岩の噴出が行われた(Tsuchiya, 1990; 土谷, 1992). この玄武岩は青沢玄武岩と呼ばれていて、南北200 km, 幅30-40 km にわたって分布し、その噴出量は約6,000 km³ であり、日本列島の第四紀火山の全噴出量を越える。青沢玄武岩の火山活動はほとんど海底で行われ、溶岩、火砕岩、それらの再堆積物を厚く累積させた(第4図)。玄武岩はほぼ北東-南西方向のフィーダー岩脈群から噴出し、リッジ状の海底火山体を多数形成していた。噴出口から離れた火山体周辺部では半深海域の環境下で泥岩が堆積していて、玄武岩の噴出物と互層をなしている。青沢玄武岩は油田地帯の地下に広く分布しているが、岩石化学的にはかなり均質な組成をもっていて、SiO₂=50-52 wt%, K₂O=0.2-0.8 wt%, TiO₂=0.8-1.3 wt%程度である。主成分及び微量成分組成の特徴は背弧海盆玄武岩に類似し、そのマグマは沈み込み帯起源物質の軽微な汚染を受けたマントルから発生したと推定される(Tsuchiya, 1990).

玄武岩の噴出活動は西黒沢期だけでなく女川期に

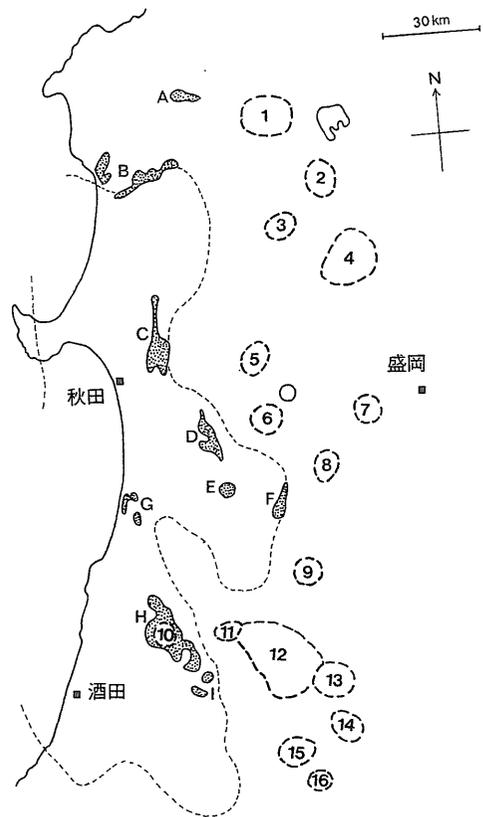


第4図 中新生世中期の青沢リフトにおける玄武岩の火成活動の模式断面図(Tsuchiya, 1990)

も続いていたが、そのマグマの供給は次第に弱まり、その火山活動場である青沢リフトの中は次第に厚い海成泥質堆積物によって埋め立てられるようになった。ところで、玄武岩マグマが供給されている場所で未固結の泥質堆積物が厚く累積すると、マグマは堆積物を突き破って噴出しにくくなる。通常玄武岩マグマは泥質堆積物より比重が大きいため、軟らかい堆積物中に留まって水平に広がりシル(岩床)をつくりやすい。碎屑物の堆積が続き、マグマの供給が断続的に繰り返されるとその度にシルや岩脈が堆積物中に形成され、堆積物と玄武岩質岩床とが複雑に重なり合った複合岩体(Sill sediment complex; Einsele, 1985)が形成される。青沢リフトの中にはこれに似た複合岩体があって、泥岩層と粗粒玄武岩シルに玄武岩噴出物もさらに加わって複雑に重なり合った岩体が女川層堆積の時代までに形成された。このような複合岩体は青沢リフトの中だけでなく、他の西黒沢層から女川層の層準にしばしば認められ、山形県の温海、新潟県の弥彦、津軽半島中央部、函館東方の亀田半島などに分布している。このような岩相は中期中新世に東北日本の日本海側が一斉に沈降して堆積盆を形成し、その中で碎屑物の供給を受けながら玄武岩の活発な火成活動が行われたことを示している。

シル-セディメント複合岩体はカリフォルニア湾の中軸や北大西洋のジェットランド島付近の白亜紀から古第三紀にかけて形成されたリフトの中などで見いだされ、多量の堆積物の供給を受けている海嶺やリフト海盆内で形成されたことが知られている(Einsele, 1985; Gibb et al., 1988)。さらにODPの掘削によって、大和海盆内の前期中新統からも多数の玄武岩シルが見いだされ(Tamaki et al., 1990)、このような複合岩体が日本海の海底にも広く伏在している可能性がある。

ところで、青沢玄武岩の模式地は山形県北部の出羽山地である。この山地は幅15 km程の南北性の隆起帯をなし、中軸に青沢玄武岩が広く露出している。隆起帯の西側には垂直変位量2,000-3,000 mで西方へ衝上した断層群があって、第四紀に活発化した活断層である。この隆起帯の地質構造や活動時期は日本海北東縁に発達する奥尻海嶺とよく似ている。このように青沢玄武岩の岩石やその分布域の地質構造の特徴は日本海海底の玄武岩の特徴と類似点



第5図 東北地方北部における脊梁地域の後期中新世-前期鮮新世のカルデラと油田地域の安山岩質火山体の分布

カルデラ 1: 碓ヶ崎, 2: 大湯, 3: 湯瀬, 4: 田山, 5: 宮田, 6: 山谷, 7: 男助, 8: 川舟, 9: 滝ノ沢, 10: 上玉田川, 11: 院内, 12: 三途川, 13: 小野松沢, 14: 花山, 15: 赤倉, 16: 永志田

安山岩質火山体 A: 相馬, B: 素波里, C: 俎山, D: 米ヶ森, E: 姫神山, F: 荒川, G: 新山及び福山, H: 百宅, I: 春木
短破線の内側は油田地域海成層の分布域。

が多く、興味深い。

4. 東北地方の後期中新世-前期鮮新世の火山岩の带状配列

中期中新世の後半、すなわちN2の時期に玄武岩の活動が弱まると、東北地方日本海側地域はしばらく火山活動の少ない平穏な時代が続いたらしい。しかし後期中新世(N3)になると一旦おさまっていた火山活動がやや活発化した。秋田-山形油田地帯では火山岩の放射年代値が多く公表されるにつれて、

8 Ma ぐらい前から安山岩-デイサイトの火山活動が各地で起こったことが明らかになってきた(第5図)。例えば、米ヶ森(8.0-7.0 Ma)、姫神山(6.4 Ma)、福山(7.6 Ma)、新山(7.8 Ma)などの各火山体などが船川層堆積時の火山噴出物であることが明確にされた(臼田・岡本, 1986)。また、これまで中期中新世の女川期の噴出物とみられていた俎山火山岩(7.8-4.4 Ma)や院内の加無山安山岩(4.9 Ma)、及び時代未詳だった百宅火山岩(5.2-3.4 Ma)の放射年代がそれぞれ後期中新世から前期鮮新世を示している。素波里安山岩(6.6 Ma: 未公表資料)も、ほぼ後期中新世頃に形成されたとみられる(第5図)。このため臼田・岡本(1984)が指摘したように後期中新世に日本海側の油田地帯においてひとつの火山活動期を設定できるだろう。これらの火山体は主として安山岩からなり海成層の中で溶岩と火砕岩が繰り返し噴出し、成層した火山体をなすもの(例えば素波里)、主としてデイサイトの溶岩ドーム群をなし、周辺に火砕流をもたらしたもの(米ヶ森)、および安山岩と酸性火砕岩からなりカルデラを形成したものがある(院内)。

一方、同じころ東北地方の脊梁側でも酸性火山活動が活発化し(北村, 1959)、7-5 Ma 頃に大湯、宮田、男助、三途川などの多くのカルデラが形成された(伊藤, 1989)(第5図)。とくに、宮城県北西部から秋田県南東部にかけては後期中新世から更新世までおそらく8個以上のカルデラが形成されている。カルデラ内及びその周辺には少量の安山岩も分布しているが、酸性火砕岩が圧倒的で、しばしば溶結凝灰岩を伴う。また、これらのカルデラの内にはたいいてい湖成層が挟在し、後期中新世頃は日本海側はまだ海成層の堆積盆だったが、脊梁地帯はすでに陸化していたことを示している(天野・佐藤, 1989)。同様に会津地域でも8 Ma以降酸性火山活動が活発化し、カルデラ群が形成されていて、その火山活動は大量の珪長質のマグマが同時発生したことに起因すると考えられている(山元, 1992)。つまり、後期中新世-鮮新世の東北地方では、日本海側で海成堆積盆内で安山岩主体の海底火山活動があったのに対し、脊梁地域では陸化して酸性火山活動が活発であったことになる。このことは100万分の1地質図において東北地方脊梁部にN3の珪長質火山岩が圧倒的に多いことから読み取れる。

第四紀の東北日本弧の火山岩は安山岩を主体とし(Aramaki and Ui, 1978)、岩石の化学組成は前弧側から背弧側に向かって K_2O やRb成分が増大するなどの規則的な帯状配列があり、沈み込み帯のモデルでよく説明されている。北海道東部の後期中新世から鮮新世にかけての火山岩も安山岩主体であり、岩石化学的帯状配列が認められる(Okamura, 1987)。後期中新世の東北地方でもこれと同様の岩石化学的帯状配列がすでに成立し、基本的なマグマの発生機構が似ていたと考えられている(Tamura and Shuto, 1989)。また、鮮新世後期から更新世にかけて東北地方南部に噴出したデイサイト質火砕岩にも第四紀のカルクアルカリ安山岩と同様の岩石化学的帯状配列が認められている(青木・吉田, 1986)。すなわち後期中新世のN3の時期には現在と同様の沈み込み帯に伴う島弧火山活動がほぼ成立していたことを示しているらしい。しかし、東北地方の後期中新世-鮮新世の火山活動は日本海側の安山岩活動に対し脊梁側は酸性火山活動が優勢で多くのカルデラが形成されたという点で、後期中新世の北海道東部や第四紀の東北地方とやや違っているといえるだろう。この違いは地域的な地殻構造やテクトニクスの違いなどで説明できるのか今後の検討を要すると思う。さらに、日本海側の院内や百宅火山岩の一部に K_2O やRbが前弧側の火山岩と同程度に少ない玄武岩が噴出していて(土谷・中野, 1992)、岩石化学的帯状配列が一部地域で成立していなかった可能性もあり、東北地方の後期中新世から鮮新世にかけての火山岩についても研究課題が多い。

5. あとがき

従来、西黒沢層相当層以下の火山噴出物は一括してグリーンタフと呼ばれ、石油探査の専門家達はこれが出てくると、もう石油の出ない地層として相手にしなかった。また、緑色に変質した凝灰岩というイメージが70年代まで火山岩の研究者から嫌われ、その岩石学的研究停滞の一因となったと筆者は思う。しかし、その実態は多様な組成のマグマが多様な環境で噴出し、無数の火山体を累積させたものであり、凝灰岩層というより火山の集合体である。80年代以降、これらの火山岩から石油や天然ガス

が相次いで発見されると、一躍これらの火山岩も盛んに探鉱されるようになった。その貴重な探鉱成果をもとに、第三紀火山岩についての多くの新しい研究成果が得られた。同時に火山学的・岩石学的研究も急増し、日本海の成因解明への重要な貢献がなされている。いま嫌われている分野も別の視点から注目することで、新たな研究の道が開けるかもしれない。

文 献

- 天野一男・佐藤比呂志(1989)：東北日本弧中部地域の新生代テクトニクス。地質学論集, no. 32, 81-96.
- 青木謙一郎・吉田武義(1986)：東北地方南部、鮮新-更新世デイサイト質火砕岩マグマの成因。東北大学核理研報告, 19, no. 2, 300-306.
- Aramaki, S. and Ui, T. (1978): Major element frequency distribution of the Japanese Quaternary Volcanic rocks. Bull. Volcanol., 41, 390-407.
- Einsele, G. (1985): Basaltic sill-sediment complexes in young spreading centers: Genesis and significance. Geology, 13, 249-252.
- Gibb, F. G. F. and Kanaris-Sotiriou, R. (1988): The Geochemistry and origin of the Faeroe-Shetland sill complex. Geol. Soc. Spec. pub., 39, 241-252.
- 伊藤谷生(1989)：東北日本脊梁地域に分布する中期中新世-鮮新世のカルデラ群について。地質学論集, no. 32, 409-429.
- 鹿野和彦・加藤碩一・柳沢幸夫・吉田史郎編(1991)：日本の新生界と地史。地質調査所報告, no. 274, 114p.
- 鹿野和彦・土谷信之(1993)：新生界研究の進歩と100万分の1日本地質図改訂。地質図に表現された日本列島の素顔, 第5回地質調査所研究講演会資料。日本産業技術振興協会。19-35.
- 北村 信(1959)：東北地方における第三紀造山運動について(奥羽脊梁山脈を中心として)。東北大学理学部地質学古生物学教室報文報告。no. 49, 1-98p.
- 倉沢 一・今田 正(1986)：東北日本第三紀火山活動のストロンチウム同位体比。地質雑, 92, 205-217.
- 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.
- Okamura S. (1987): Geochemical variation with time in the Cenozoic volcanic rocks of southwest Hokkaido, Japan. Jour. Volc. Geotherm. Res., 32, 161-171.
- 大沢 稯(1963)：東北地方中部における新第三紀造山運動・火成活動及び鉱化作用(第1報 新第三紀の火成活動について), 岩鉱, 50, 167-184.
- Pearce, J. A. (1983): Role of sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In: C. J. Hawkesworth and M. J. Norry (eds.) Continental basalt and mantle xenolith, Shiva Publishing, Nantwith, 230-249.
- Pearce, J. A. and Norry, M. J. (1979): Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y, and Nb variations in volcanic rocks. Contr. Min. Petrol., 69, 33-47.
- 周藤賢治・大木淳一・渡部直喜・安斎憲夫・山本和広・牧野淳史・猪俣恵理・滝本俊明・桑原通泰・板谷徹丸(1992)：東北日本弧の中期中新世(16-12 Ma)火山活動とテクトニクス。松本徂夫教授記念論集, 333-346.
- 杉村 新(1974)：弧状列島。地球の物理, 日本物理学会編, 丸善, 190-222.
- Tamaki, K., Pisciotto, K., Allan, J., et al. (1990) : Proc. ODP Int. Repts.127, College Station TX (Ocean Drilling Program).
- Tamura, S., and Shuto, K. (1989): Lateral variation of major and trace elements in the late Miocene volcanic rocks from central part of Northeast Japan. Jour. Petr. Econ. Geol. 84, 444-459.
- 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・中野 俊(1992)：鳥海山東方地域の後期中新世-前期鮮新世の火山活動。日本地質学会99年大会講演要旨, 425.
- 氏家 治・土谷信之(1990)：東北日本中新世“背弧海盆”玄武岩の単斜輝石のSr-Nd 同位体組成。日本地質学会97年大会講演要旨, 411.
- 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のK-Ar年代と新第三系の対比。北村 信教授記念論文集, 598-608.
- Yamaji, A. (1990): Rapid intra-arc rifting in Miocene Northeast Japan. Tectonics, 9, 365-378.
- 山元孝広(1992)：会津地域の後期中新世-更新世カルデラ火山群。地質雑, 98, 21-38.

TSUCHIYA Nobuyuki (1994): Recent problems of the Tertiary volcanism in northeast Honshu.

〈受付：1994年3月1日〉