イルメナイト砂鉱床形成の背景をなす造構運動について

—宮城県蒲沢鉱山周辺の地質鉱床—

ON THE REGIONAL TECTONIC MOVEMENT HAVING INFLUENCE UPON THE DEPOSITION OF THE KABASAWA ILMENITE PLACER DEPOSITS

斎 藤 洋 彦 (Hirohiko Saitoh)*

The Kabasawa placer deposit is categorized as one of the Pliocene ilmenite placer deposit and its sedimentary and conservative environment is controlled by warping movement of the Okubushi line.

The purpose of this paper lies in the research of such elements which influenced the deposition of the Kabasawa placer deposit characteristics relating to type of movement, behavior and development stage of the Okubushi line made during the Pliocene era.

The Okubushi line consists of combinations of cross structure of NW and NE branches meeting at tangent angles to each other which reflects the tectonics in the basement of this area. Of these, the NW branch plays a main role in the tectonic movement.

The NW branch of Okubushi line controlled the deposition in Pliocene Sendai Group as well as Pliocene sedimentary basin after making warping movement and bringing about an upheaval on its southwestern side and tilting subsidence on its northeastern side.

In other words, the NW branch brought about a differential movement of upheaval and subsidence through the depositional stage of Kameoka and Tatsunokuchi formation and the central part of the past upheaval changed into a depressional tilting subsidence at the depositional stage of Kitayama formation. Finally, the NW branch terminated its geologic movement with the eruption of tuff (acidic volcanic deposits) at the depositional stage of Hirosegawa tuff.

The Kabasawa sandstone and conglomerate member intercalating Kabasawa ilmenite placer deposit, is a deltaic deposit which was piled up upon the region of depressional tilting subsidence during the depositional stage of Kitayama formation. It forms a circle of 2 km diameter and has an extraordinary thick stratum.

It is generally believed that the movement in the NW branch of Okubushi line is the result of a tectonic movement, referred to as "Green Tuff Crustal Movement", in full activity during the Miocene era and succeeded to the Pliocene era in the northeastern part of Japan.

I. まえがき

蒲沢鉱山は、宮城県宮城郡宮城村にあり、仙台市西北方 12km に位置する。本鉱山の鉱床は、鮮新統化石イルメナイト砂鉱床に属し、学界および鉱山業界において、次の観点からひとしく注目されてきた。すなわち、鉱床を形成するイルメナイト砂の起源は、どこにあるのか、あるいは、なぜイルメナイト砂が、蒲沢鉱山付近に

しか、濃集していないのかなどの関心からである。

筆者（斎藤 1965）は、さきに青森県七戸地方における、天間林鉱山の鮮新統底田砂鉄鉱床を研究した結果、本鉱床が、後背地の撓曲運動に規定されて堆積していることを報告した。その後、国内における各地の先第四紀化石砂鉄鉱床を吟味検討した結果、この種の鉱床は、いずれも何等かの点で造構運動と密接な関連性があるこ

* 川崎製鉄(株)原料部資源調査室

(昭和 47 年 1 月 13 日受理)

第1図 浦沢鉾山周辺地質図

1. Alluvial deposits 2. Terrace deposits 3. Kamishinden formation 4. Doyabara formation 5. Imozawagawa shell bed 6. Kitayama form., Kabasawa member and Hirosegawa tuff 7. Tatsunokuchi formation 8. Kameoka formation 9. Shirasawa formation 10. Mitaki basalt 11. Dip and strike 12. Anticlinal axis 13. Synclinal axis 14. Fault 15. Plant fossil 16. Shell fossil 17. Kabasawa mine 18. Outcrop of ilmenite sand

とをつきとめた。蒲沢鈺床は、鮮新統化石イルメナイト砂鈺床であって、奥武士線の撓曲運動に規定されて堆積し、かつ保存されていることは、底田鈺床と極めて類似する。

本論文は、蒲沢イルメナイト砂鈺床形成の背景をなした、本地域の鮮新世における造構運動の特異性、すなわち一主要構造の運動形態、挙動および造構運動の発展段階における位置づけと堆積作用との関連性一などの造構要素の究明を意図したものである。

本論文を公表するにあたって、終始ご懇篤なるご指導と心からのご鞭達を賜わった、東北大学理学部竹内常彦教授ならびに選鈺製錬研究所長南部松夫教授に深謝の意を表します。

II. 地質および地質構造

1. 地質 (第1図)

地域の層序は、第1表のとおりである。

第1表 蒲沢鈺山周辺地域層序

地質時代		地 層		層 厚 (m)
第 四 紀	完 新 世	平 野 堆 積 物		5
	更 新 世	上 新 田 層		+20
新 第 三 紀	鮮 新 世	仙 台 層 群	銅 谷 原 層	+43
			芋沢川貝化石層	16~28
			広瀬川凝灰岩	6~52
			北山層	2~37
			蒲沢砂礫岩部層	
			竜 口 層	6~20
	龜 岡 層	5~22		
中 新 世		白 沢 層	三滝玄武岩	+60

本地域の東西両側山地は、それぞれ中新世に属する三滝玄武岩および白沢層により構成される。仙台層群は、これら両山地の間を占め、地域の中央部に分布する。

仙台層群には、亀岡層から竜ノ口層；北山層、蒲沢砂礫岩部層および広瀬川凝灰岩から芋沢川貝化石層の如く、陸成から海成または汽成へと移る堆積輪廻が発達する。ただし、最上部の銅谷原層だけは、陸成層で終わっている。これら各地層の特徴は、次のとおりである。

竜ノ口層は、*Fortipecten Takahashii* (Yokoyama) な

ど、多数の浅海性貝化石を産し、芋沢川貝化石層は、汽水性現世種貝化石を産する (谷・斎藤 1961)。亀岡層および銅谷原層は、亜炭あるいは亜炭質流木を挟在する陸成層である。なお、銅谷原層中の亜炭層は、地域中央部の已春炭鈺を始めとして、計8個所で採掘されたことがある。

北山層は、主として粗粒ないし細粒砂岩および礫岩からなる。地域的に、凝灰岩質泥岩または豆石質泥岩質凝灰岩、亜炭質泥岩および亜炭質流木を挟むことがある。蒲沢砂礫岩部層は、蒲沢鈺山坑内を標式地として、本鈺山附近の地域に発達する。岩質は、北山層とほとんど同じであるが、一般に、より粗粒であり、イルメナイト砂鈺層を挟むことが特徴である。本部層は、異常に厚い層厚を示し、最大層厚は、37 m に達する。北山層と下位竜ノ口層との関係は整合で接する。しかし、蒲沢砂礫岩部層は、竜ノ口層の上に不整合に乗っている。すなわち、蒲沢鈺山坑内で、これを観察すれば、本層の基底部には、大きさ 0.5~3 cm の珪化黒色頁岩・珪化凝灰岩および流紋岩などからなる、稜角のある基底礫岩が存在する。また、本層と北山層および上位の広瀬川凝灰岩とは、漸移関係にある。

芋沢川貝化石層および銅谷原層は、それぞれ地域南東方に隣接する。仙台市附近の大年寺層および八木山層に対比される。ここで注目すべき事実は、谷・斎藤 (1961) が既に指摘した如く、本地域と仙台市附近における両地域の堆積順序が、逆になっていることである (第2表)。

第2表 本地域と仙台市付近における上部仙台層群の対比

蒲沢鈺山周辺地域	仙台市近郊地域
銅谷原層	大年寺層
芋沢川貝化石層	八木山層

2. 地質構造 (第2図)

本地域における主なる地質構造は、奥武士線および花輪山向斜軸である。

本地域西縁部における、中新統の白沢層と仙台層群との境界線は、南部の広瀬川附近の大堀から蒲沢鈺山へ、NW 方向に延び、ここで一旦直角に曲折し、奥武士を経てNE方向に延び、藤沢にいたっている。本線沿いの仙台層群は、地域の一般傾斜 5°~10° よりも急傾斜を示している。すなわち走向傾斜を整理してみると、大堀~蒲沢鈺山の間は、走向 NW 方向を示し、東 15°~40° 傾斜、蒲沢鈺山~奥武士~藤沢間は、走向 NE 方向、東 10°~20° 傾斜と、前者よりも緩傾斜を示している。このように、鮮新統の仙台層群と下位の中新統白沢層の間におい

第2図 蒲沢鉱山周辺地域地質構造図

1. Kabasawa sandstone and conglomerate member
2. Shirasawa formation
3. Mitaki basalt
4. Dip and strike
5. Okubushi line
6. Fault
7. Anticlinal axis
8. Synclinal axis
9. Kabasawa ilmenite placer deposit

て、地層の傾斜が急変している一連の構造は、生出(1955)の定義した、いわゆる「鉤取-奥武士線」*に該当する。しかしながら、本地域では、本線の北半分だけがよぎっているだけであって、鉤取を通る本線の南半分は、直接本地域とは無関係である。したがって、本論文では、本線の北半分だけを、略して「奥武士線」と呼ぶことにする。

次に奥武士線とともに、地域の主要構造としては「花輪山向斜軸」がある。本軸は、奥武士線に平行して、地域中心部を南北に、くの字型に縦断している。

III. 本地域における造構運動

1. 造構運動の性格および特徴(第2図)

本地域は、東北地方を太平洋側から日本海へと、斜に縦断する構造区である陸羽区の中の「松島一本荘」帯内に位する。松島一本荘帯は、造山性隆起帯の性格をもつ地質構造上の異常帯であり、その中にはNWとNE方向の直角に交わる二構造が発達している(生出, 大沼1960)。これら二構造方向は、中期中新世から活動を開始し(仙台研研グループ1966)、その運動は、鮮新世ま

で引きつがれて、奥武士線および花輪山向斜軸の活動をうながし、鮮新世堆積盆の分化および発展を規定した。

奥武士線は、潜在する基盤構造を反映する撓曲軸であって、直角に交わるNWおよびNE両軸方向**の組合わせからなる。本線は、撓曲運動を行なったが、その運動形態は、差別的昇降運動である。奥武士線をつくる両線のうち、NW線の撓曲運動が活動の主役を演じ、鮮新世堆積盆地の分化および仙台層群の堆積を規定するとともに、間接的に蒲沢イルメナイト砂鉱床の形成を規定した。

花輪山向斜軸も、奥武士線と同様に、NWとNE両構造方向の組合わせからなり、潜在基盤構造を反映した構造である。本向斜軸は、仙台層群堆積盆地の盆地軸であって、Pettijohn F. J. (1962)の定義した構造軸であり、かつ沈降軸に相当する。また本軸は、堆積盆地の構造軸と沈降軸との一致する好例である。

2. 仙台層群の堆積を規定する造構運動(第3図)

過去の地質時代に起った地殻の昇降運動は、堆積岩の層相分布と層厚に反映するという概念は、造構運動を解析する有力な手段となっている(ペロウソフ1954)。しかし、この概念は、比較的大きな層序単位、すなわち階あるいは系を2~3分した層序単位の解析に適用され、さらにこの場合の層厚は、広い地域の長期にわたる、昇降運動の平均的な値を示すものである。井尻(1950, 1956)は、この考えをより拡大し、短時間かつ局所的な昇降運動にも適用し得るとして「平均して沈降量は、単層の厚さにほぼ等しい」という作業仮説を提案している。

筆者は、仙台層群の堆積状態を示す層相変化と層厚とを手掛りとして、本地域の造構運動の解析を試みた。その結果、奥武士線の運動機構、挙動および運動の時間的変遷、花輪山向斜軸の形成過程、鮮新世堆積盆地の分化過程ならびに仙台層群の堆積と造構運動との関連性などを明らかにすることができた。仙台層群の堆積を規定する要因として、奥武士線の撓曲運動が関与していることは、既に生出(1955)により指摘されていた。しかしながら、仙台層群の堆積を規定した造構要素としては、奥武士線の撓曲運動のほかに、花輪山向斜軸の沈降運動がある。これら二運動の性格は異質のものであり、前者は仙台層群の堆積の前半を、後者は、その後半を規定したものである。

鮮新世における、本地域の造構運動の主役は、奥武士線の撓曲運動である。しかし、奥武士NWおよびNE

* 本線の定義については、藤田・小林・青木(1960)らの修正意見がある。しかし、本論文とは直接関係がないので、生出の定義を、そのまま採用することにする。

** 以後本論文では、奥武士線NW軸を、奥武士NW線または単にNW線、NE軸を、奥武士NE線またはNE線と略称する。

第3図 仙台層群等層厚線図および岩相図

1. Sirasawa formation, Mitaki basalt and others 2. Coarse sandstone and conglomerate
3. Fine sandstone, siltstone and mudstone 4. Pumice tuff and compact tuff. 5. Anticlinal axis
6. Synclinal axis 7. Ilmenite placer deposit 8. Thickness of formation (m)

両線が、同一の運動形態をとったわけではない。これら両線の挙動および運動時期は、それぞれ異なっており、終始 NW 線が、運動の指導権をとって活発に活動し、著しい差別的昇降運動を行なった。

亀岡層形成期に入ると、奥武士 NW 線が活動し始め、仙台層群堆積盆地の分化が開始され、南西端広瀬川沿いの大堀附近に、急激な沈降が起った。一方、本形成期における隆起は、蒲沢鉾山地域（鉄砲沢）を中心とした一帯に起った。なお、亀岡層の層相が、その下部に砂岩又は礫岩、上部に泥岩あるいは凝灰岩が発達することは、白沢層の占める後背地が、最初一旦急激に隆起したものの、その後は極めて穏かな上昇運動に転じたことを物語っている。

竜ノ口層形成期においては、隆起の中心が、亀岡層形成期の鉄砲沢から、南部の蒲沢へと移動し、その隆起範囲も、栗生沢とおごき沢間の一帯に拡大した。この際興味ある事実、亀岡層形成期における隆起の中心であった鉄砲沢附近が、反転して比較的大きく沈降し、しか

も、この後背地が急激な隆起相を反映した砂岩相を示すことである。また、竜ノ口層形成期の末期には、栗生沢から奥武士間の西縁地域だけが異常隆起を行ない、一旦陸化していることは、注目に値する事実である。

なお奥武士 NE 線の運動は、亀岡層および竜ノ口層両形成期においては、比較的穏かであった。すなわち NE 線を境として、その南東側の水盆は、ゆるやかに沈降し、一方北西側の白沢層のつくる陸域は、緩慢なる隆起を続けていた。

北山層形成期に入ると、奥武士 NW 線の撓曲運動は急激に活発になった。すなわち、この運動は、竜ノ口層形成期の末期に異常隆起を行った鉾背後地に絞られてきて、白沢層のつくる後背地が全面的に激しい隆起に転じ、前縁水盆が急速に、かつ大きく傾動沈降した。この際竜ノ口層形成期に、隆起の中心をなした蒲沢附近が、反転して沈降の中心に転じていることは、NW 線の運動性格の本質を示唆するものではあるまいか。また蒲沢鉾山地域は、奥武士 NW 線と NE 線との交又する前

面に位し、地質構造上の異常部にあたっている。従って北山層形成期における、蒲沢鉱山背後地の奥武士 NW 線の撓曲運動は、特殊な異常運動と考えられるので、特別に「蒲沢撓曲」と呼ぶことにする。

蒲沢撓曲により、傾動沈降した前縁水盆には、激しく隆起する後背地からの侵蝕産物である碎屑物が流れこみ、蒲沢砂礫岩部層が堆積した。本部層は、三角洲堆積物であって、直径 2km の円形をなして広がり、また、岩質が極めて粗いこと、異常に厚い層厚 *をなすことから、沈降の激しさがうかがわれる。

本形成期においては、今まで比較的緩慢な運動を行っていた奥武士 NE 線も、活発に活動している。しかしながら、この NE 線の運動は、飽くまで NW 線の激しい蒲沢撓曲に引き摺られた附随的な運動であり、NE 線それ自身が、積極的に活動に参加したものではない。この事実は、NE 線に沿う北山層の層厚および岩相変化に反映している。すなわち、奥武士 NW 線と NE 両線の交又するおごき沢附近から、NE 線に沿い、北東方向におもむくにしたがって、漸次北山層の層厚が少くなる。同時に、本層の層相も粗粒砂岩質から泥岩質へと変化している。これらの事実は、NE 線沿いに、おごき沢から北東方向に離れるにしたがい、水盆の傾動沈降の度合いが小さくなるとともに、後背地の隆起度も次第に小さくなり、NE 線の撓曲運動が、徐々におだやかになっていったことを物語っている。

広瀬川凝灰岩形成期に入ると、蒲沢撓曲は、すっかり終熄した。NW 線の活動は、差別的昇降運動の性質を反映し、傾動沈降運動は、再び旧の広瀬川地域に戻っている。本形成期における NW 線沿いの滯水盆は、全般的にゆっくりと傾動沈降していき、後背地の白沢層が占める地域も、緩慢なる隆起を続けていた。

芋沢川貝化石層および銅谷原層の両形成期には、本地域における造構運動の性格が、すっかり一変した。前形成期までの奥武士線の撓曲運動にかわって、花輪山向斜軸の形成にともなう沈降運動が、緩かに進行していった。

芋沢川貝化石層形成期における奥武士 NW 線の活動は、わずかに地域南部の広瀬川附近に、傾動沈降の名残りをとどめるだけで、ほかに目立った運動は、ほとんどみられない。後背地の白沢層分布地域の、全面的な隆起が始まり、その隆起範囲も奥武線を越えて、ともすれば、東側の仙台層群堆積盆地にまで、拡大する傾向にあった。一方東南側の三滝玄武岩構成山地も隆起した。すなわち、本山地周辺に分布する、芋沢川貝化石層中に介在する砂

岩は、三滝玄武岩の反映である。このように、東西両側の山地が隆起した結果、その中間に挟まれた堆積盆には、相対的に下向きの沈降しようとする力が働いた。このような下向きの力とそれまで盆内に堆積した地層の重みとが荷重となり、基盤中に潜在する NW および NE 方向断層を刺戟することになった。かくして、堆積盆中央部に存在する沈降部が形成されたものであって、次の銅谷原層形成期に出現する、花輪山向斜軸形成の前触れを示す徴候とみる事が出来る。

最後の銅谷原層形成期になると、芋沢川貝化石層形成期から継続した、地域中央部の潜在断層は益々不安定になって、ゆるやかに沈降してゆき、花輪山向斜軸が形成された。本軸は、前述したように、構造軸であり、また軸部が地層中で最大層厚を示すことから、沈降軸をなすことは明らかである。

3. 造構運動の意義

いままで、奥武士線および花輪山向斜軸の性格、その挙動およびこれら両線の活動と仙台層群の堆積との関連性について、解析してきた。次に本節では、これら両軸の活動を主体とした、本地域の造構運動の特質を、主として造構史的な観点から考察することにする。

奥武士 NW 線の撓曲運動は、中新世に活潑に活動した、いわゆる「グリーンタフ変動」が、鮮新世に引継れた一連の造構運動とみなされる。例えば、本地域の西側隣接地域を占める白沢層中には、2回にわたる陥没性湖盆の生成が認められ、これは中部中新世から活動してきた、NW~SE 構造方向の運動に起因する(仙台団研 1966)。奥武士 NW 線の運動は、これら中新世の運動の継続と考えられ、奥武士 NW 線の撓曲運動による仙台層群堆積盆地の分化および発展は、白沢層中の陥没性湖盆の生成に対応する運動現象である。このような奥武士 NW 線の運動は、中新世において活発に活動した、いわゆる「グリーンタフ変動」の造構パターンであり、東北日本におけるグリーンタフ変動末期の隆起軸ないし火山帯は、すべて NW~SE 方向を示すという生出、大沼(1960)らの指摘と符合する。次に奥武士 NW 線は、鮮新世の亀岡層、竜ノ口層形成期をととして、差別的昇降運動を行ない、次いで北山層形成期には、それまでの隆起の中心が、反転して沈降の中心となるような、激烈な陥没の傾向沈降に転じ、最後に広瀬川凝灰岩形成期における凝灰岩(酸性火山堆積物)の噴出で、略その活動を終っている。こういう奥武士 NW 線の運動のパターンは、グリーンタフ変動の造構パターン、すなわち地

* 蒲沢砂礫岩部層の層厚は、37 m に達する。なお、仙台市周辺地域における北山層の層厚は、わずか 0~10 m と薄層である。(Hanzawa, S. and Others, 1953)

下深部における物理学的変化—深部裂かの発生と岩漿活動にまつわる物理化学的過程が、地殻表層部へ圧縮力として作用し、高角断裂→重力による陥没盆地の出現、ついでマグマ上昇→火山活動という径路をたどるパターン（藤田 1969）と全く同じである。

このように、奥富士 NW 線の撓曲運動の運動方向および運動のパターンが、グリーンタフ変動の造構運動パターンと一致することから、奥富士 NW 線の運動は、鮮新世におけるグリーンタフ変動造構運動の延長とみなすことができる。換言すれば、少なくとも本地域においては、鮮新世までグリーンタフ変動の造構運動が、引続いて行なわれたことを示している。

一方、花輪山向斜軸の沈降運動は、グリーンタフ変動造構運動パターンとは相異なる、鮮新世後半における別タイプの造構運動パターンと考えられる。大胆に推論を試みれば、花輪山向斜軸の沈降運動は、第四紀における、いわゆる新造構運動（Neo-Tectonics）、の鮮新世における先駆的な運動パターンを示唆するものかも知れない。

最後に、本地域と東南側の隣接地域仙台市附近における仙台層群上部層の層序（本地域における芋沢川貝化石層と銅谷原層、仙台市附近における八木山層と大年寺層）が、逆になっていることについては、既に指摘したとおりである。この原因については、本地域と仙台市附近の堆積盆とは、それぞれ分離した独立堆積盆をなし（生出 1955）、各堆積盆に働いた造構運動のパターンが相異なっていた。したがって、両堆積盆内における沈降度が、それぞれ違っていたためと考えられる。この際本地域に働いた造構運動は、花輪山向斜軸の沈降運動であることは、既述したとおりである。

IV. まとめ

今まで、蒲沢イルメナイト砂鉱床堆積の背景をなした本地域の造構運動——すなわち、奥富士線の撓曲運動を中心として、考察を進めてきた。これらの要点を一括すると、次の如くなる。

1. 蒲沢鉱床は、化石イルメナイト砂鉱床であり、第三紀鮮新統の蒲沢砂礫岩部層中に狭在する。砂鉱床の形成は、奥富士 NW 線の造構運動に規定されている。
2. 奥富士線は、「松島一本荘帯」の構造を反映した、直角に交わる NW と NE の二軸（線）からなる。これら両線のうち、活動の主役を演じたものは NW 線であり、差別的昇降性の撓曲運動を行って、鮮新世堆積盆地の分化、発展および仙台層群の堆積を規定した。
3. 北山層形成期において、奥富士 NW 線の活動は、NW と NE 両線の交叉する、蒲沢鉱山附近に集中し、激烈なる「蒲沢撓曲」運動を行なった。すなわち、NW

線の西南側が激しく隆起し、北東側が、陥没性の傾動沈降を行なった。

4. かくして、後背地の激しい隆起によつて生じた、侵蝕産物である碎屑物が、傾動沈降により生じた前縁水盆に流入し、蒲沢砂礫岩部層が堆積した。本部層は、三角洲堆積物であつて、径 2km の円形をなす。また、岩質が極めて粗らく、層厚が異常に厚いことは、特殊堆積物であることを物語っている。

5. 奥富士 NW 線の活動は、広瀬川凝灰岩形成期をもって、略終了した。次の芋沢川貝化石層形成期から銅谷原層形成期には、替って花輪山向斜軸の沈降運動に終始している。

6. 奥富士 NW 線の活動は、中新世における東北日本の「グリーンタフ変動」造構運動の継続とみることができる。すなわち、高角断裂→重力による陥没性盆地の出現→マグマ上昇→火山活動というグリーンタフ変動の典型的な造構パターンを示している。

7. 花輪山向斜軸の沈降運動は、グリーンタフ変動とは相異なる、別タイプの造構運動パターンとみられる。本運動は、第四紀における新造構運動（Neo-Tectonics）の、鮮新世における前駆的兆候を示唆するものかも知れない。

8. 最後に、本地域と仙台市附近における仙台層群上部層の層序とが、逆になっていることは興味深い（本地域の芋沢川貝化石層と銅谷原層、仙台市附近の八木山層と大年寺層）。この事実は、両地域の堆積盆地に働いた造構運動パターンの相違による、沈降度の差異に起因するものではないだろうか。

引用文献

- ペロウソフ, V. V. (1954), 構造地質学 (地学団体研究会訳, 1958), 築地書館
- 藤田 至則 (1969), グリーンタフ変動と島弧, 「グリーンタフに関する諸問題」, 地質学会討論会資料, 23-30.
- 藤田至則・小林 巖・青木直昭 (1960), 東北表日本中央部の後期中新世における堆積盆地分化に関する諸問題, 新生代の研究, **31**, 760-768.
- Hanzawa, S., Hatai, K., Iwai, J., Kitamura, N. and Shibata, T. (1953), The geology of Sendai and its environs, Sci. Rep. Tohoku Univ., 2nd Ser., **25**, 1-50.
- 井尻 正二 (1950), 地質学における化石床の意義と価値について (演旨), 地質雑, **197**, 648-649.
- 井尻 正二 (1950), 堆積学の根本問題, 科学, **20**, 298-362.
- 生出 慶司 (1955), 「鉤取—奥富士線」の意義について, 地球科学, **25**, 12-20
- 生出 慶司・大沼 晃助 (1960), 東北地方を中心とし

- た「グリーンタフ時代の火成活動, 地球科学, **50**-**51**, 36-55.
- Pettijhon, F.J. (1962), Palaeocurrents and palaeogeography, Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol. **46**, 1468-1490.
- 斎藤 洋彦 (1965), 青森県七戸地方の山砂鉄鉱床—砂鉄の堆積環境と撓曲構造—, 岩鉄, **53**, 176-186, 234-240.
- 仙台団研グループ (1966), 東北地方における 後期中新世の火山構造性陥没—仙台西方の白沢層群の地質構造—, 地団研専報, **12**, 112-126.
- 谷 正巳・斎藤 洋彦 (1961), 宮城県蒲沢鉄山周辺地域の含チタン砂鉄鉱床, 地調月報, **12**, 207-220.