仙台南西部に分布する東北日本太平洋側標準層序としての中・上部中新統および鮮新統*

Middle to Upper Miocene and Pliocene sequences of southwest Sendai, as a standard referential stratigraphy in the Pacific side of NE Japan

藤原 治¹ 鈴木紀毅²
林 広樹³ 入月俊明³

Osamu Fujiwara¹, Noritoshi Suzuki²,
Hiroki Hayashi³ and Toshiaki Irizuki³

2013年3月6日受付.

2013年6月21日受理.

* 日本地質学会第120年学術大会(2013年・仙台)
巡険(G班)案内書

¹ 産業技術総合研究所活断層・地震研究センター

Active Fault and Earthquake Research Center,
National Institute of Advanced Industrial Science
and Technology (AIST), Tsukuba Central 7, 1-1-1
Higashi, Tsukuba 305-8567, Japan

² 東北大学大学院理学研究科地学専攻
Department of Earth Science, Graduate School of
Science, Tohoku University, 6-3 Aoba, Aramaki,
Aoba-ku, Sendai 980-8578, Japan

³ 島根大学大学院総合理工学研究科
Interdisciplinary Graduate School of Science and
Engineering, Shimane University, 1060,
Nishikawatsucho, Matsue City, Shimane 690-
8504, Japan

Corresponding author: O. Fujiwara,
o.fujiwara@aist.go.jp

概要

本巡検では、東北日本の太平洋側新第三系の標準地域としての宮城県仙台市から名取市にかけて分布する新第三系を見学する。見学の要点は、シーケンス層序と奥羽山脈発達史などの研究成果を念頭においた観察にある。最下位の茂庭層では、同時期の地層では例の少ない岩礁性動物群化石を見る。時間が許せば、茂庭層-旗立層境界に見られる海緑石層を見学し、東北日本で同時期に海緑石層が形成されていた一端を紹介する。名取川下流の露頭が本巡検の主要な見学地で、これまでの巡検で詳細には紹介されなかったことがない、旗立層と綱木層の不整合と堆積サイクルを見学する。この見学地は、フィッシュン・トラック年代の測定用試料を採集した露頭でもあるため、旗立層・綱木層の見学地としては模式地に匹敵する重要地点である。青葉山丘陵の見学地点では、綱木層と梨野層の境界を見学する。梨野層は白沢カルデラの東縁を構成する地層とされるが、綱木層との層序関係については不整合か整合か決着していない。最後に、仙台層群を観察する。下位の名取層群とは対照的に水平層となっていることが分かるほか、竜の口層から向山層への層相変化を見ることができる。

Key Words

秋保層群, 名取層群, 仙台層群, 東北日本, 新第三系
Akiu Group, Natori Group, Neogene, Northeast Japan, Sendai Group

地形図

1:25,000「仙台南西部」(詳細な地形図を望む場合, Stop 1を除き, 1:10,000「西多賀」, 「長町」, 「青葉山」, 「仙台駅」)

見学コース

8:30 仙台駅1F・西口・観光バスターミナル出発(バス)→赤石橋→名取川流域→青葉山丘陵(東北工業大学総合グラウンド付近)→竜の口溪谷入り口→16:30 仙台駅解散

見学地点

- Stop 1 (38°12′55.4″N, 140°45′18.0″E) 茂庭層と茂庭動物群化石
Stop 2 (38°12′26.3″N, 140°50′46.1″E) 旗立層, 綱木層のシーケンス
Stop 3 (38°14′40.0″N, 140°49′29.7″E) 綱木層上部・梨野層・青葉山東断層
Stop 4 (38°15′4.1″N, 140°51′29.1″E) 竜の口層・向山層

はじめに

東北日本の新第三系は、日本海側から奥羽山脈を経て、太平洋側にまで広く露出する (Figs. 1A, B). この新第三系を対象とした層序や古生物に関する多数の研究が古くから行われてきた (Hanzawa et al., 1953; 土ほか, 1979, 1981; 生出ほか, 1989; 鹿野ほか, 1991). これらの地層の分布パターンは、中新世後期以降に東北日本弧が被った東西方向の短縮変形と関係が深い (天野・佐藤, 1989; 佐藤, 1989; Sato, 1994; Nakajima et al., 2006). 短縮変形が大きな (20%以上) 背弧側では、新第三系の多くが地下に分布している (北村, 1986). 脊梁山地では隆起にともなう侵食が激しく、また中新世後期～鮮新世のカルデラ群形成 (伊藤ほか, 1989) に関連して失われ、あるいは火砕物で埋もれた地層も多い. そのため背弧側では第四系が広く露出し、脊梁山地では主に中新統下部や第四系火山岩類が露出する. 一方、前弧側は短縮変形が2%以下と少なく (佐藤, 1989), 侵食が比較的少ないため、地表露頭で中新統中部から鮮新統にわたる比較的連続した層序を得ることができる. そうした意味で、仙台平野周辺の新第三系は東北日本の模式的な地層群といえよう.

仙台周辺の新第三系については、岩相層序、古生物、微化石層序、放射年代測定、古地磁気層序、堆積環境推定などが研究されてきた (半澤, 1935; 浅野, 1937; Nomura, 1938, 1940; Takayanagi, 1952; Hanzawa et al., 1953; 生出, 1955; 高橋・松野, 1969; 生出・藤田, 1975; 尾田・酒井, 1977; 北村ほか, 1981, 1986; 石井ほか, 1982, 1983). 1980年代までの主な成果は北村 (1986) と北村ほか (1989) にまとめられている. 1990年代以降もたとえば、軟体動物化石や底生有孔虫にもとづく古環境推定 (Ogasawara et al., 1990; Sato, 1991; Nomura and Maeda, 2008), 浮遊性有孔虫化石層序 (島本ほか, 2001; Fujiwara et al., 2008; 出原ほか, 印刷中) や珪藻化石層序 (柳沢, 1990, 1998, 1999c; 柳沢・秋葉, 1999; 柳沢・林, 2003; Fujiwara et al., 2008) の再検討、凝灰岩層序や広域テフラの識別 (久保ほか, 1990, 1994, 2002; 柳沢ほか, 1996, 2003; 遅沢, 2002; 高橋ほか, 2003; 長橋ほか, 2004), 放射年代測定 (Fujiwara et al., 2008), 構造地質学的研究 (遅沢, 2002, 2004a, b, 2005) が行われた. これらの成果を総合的に解釈し、東北日本弧の古気候や海水準の復元 (Ogasawara, 1994) や、テクトニクス史の研究 (Sato, 1994; Nakajima et al., 2006) がまとめられてきた.

このように、仙台周辺地域は東北日本太平洋側の中新世以降の地史編纂に重要であり、国際会議等の巡検地として繰り返し選ばれてきた (例えば、Ogasawara et al., 1990; 鈴木ほか, 2006). また、仙台周辺は、東北大学理学部地質学古生物学教室 (現地圏環境科学科・地質コース) の戦前からの野外実習地域であり、教育上も重要であり続けている.

今回の巡検では、仙台地域南西部に分布する主に海成の中部中新統から鮮新統の代表的な層相を観察する (Fig. 2). 年代測定や化石層序の基礎となった露頭でこれらの層相や挟在する凝灰岩層を観察し、堆積相解析を通じて復元された相対的海面変動や堆積環境推定の根拠を現場で確認したい. この

巡検を通じて東北日本弧の新第三紀の地史や、そこに展開した生物相の変遷をより深く理解することを目指す.

岩相と地質構造の概要

1. 地理的位置

仙台平野周辺地域は北東の北上山地、南東の阿武隈山地と、西方で東北地方の脊梁をなす奥羽山脈に挟まれる. この地域は、奥羽山脈が隆起するまでは太平洋と日本海を繋ぐ海域であった. この海で堆積した中新統は、太平洋岸の松島から仙台を経て奥羽山脈を越え、内陸の山形盆地や新庄盆地、出羽山地南部とその南方の月山^{がつさん}、日本海側の庄内平野^{うづ}から羽越^{えつ}地域にまで分布する (北村, 1986; 生出ほか, 1989 など) (Fig. 1A). 仙台付近の中新統は、南側を割山隆起帯、北側を北上山地から続く先新第三系基盤岩類が作る高まりに挟まれた海峡部を埋めて堆積した (Fig. 1B). 鮮新統は岩手県北部から仙台平野を経て、阿武隈山地の東縁を区切る双葉断層群の東方 (福島県浜通り) にまで分布する (Fig. 1B).

2. 層序と分布

仙台南西部に分布する新第三系は下位から、名取層群^{なとり}、秋保層群^{あき}、仙台層群に区分されている (Hanzawa et al., 1953; 北村ほか, 1986, 1989) (Figs. 2, 3). 名取層群は中新世前期から後期にかけての主に海成層である. 秋保層群は中新世最後期に仙台平野周辺が広く陸化した時期の堆積物で、火砕流やカルデラ湖の堆積物を主体とする. 仙台層群は中新世末から鮮新世にかけての海進・海退サイクルを記録している (Chinzei and Iwasaki, 1967; 大槻ほか, 1994 など). 巡検地はこれらの地層が堆積した海峡や内湾の南縁付近にあたる. 名取層群の茂庭層^もより上位の地層は、広瀬川と名取川の間に広がる茂庭丘陵と青葉山丘陵 (北村ほか, 1986) のほか、仙台市富田付近の名取川下流部の河床 (以下、名取川下流河床露頭^{たかだて}) にもよく露出する (Figs. 2, 4, 5). これらの地層は高館丘陵を取り巻くように分布しており、全体として北西-南東方向の走向を持って北東へ傾斜しているため、高館丘陵から北方へと順に上位の地層が分布する. 巡検地周辺では、秋保層群は北西部の丘陵部などに、仙台層群は名取層群・秋保層群の東縁に沿って分布する.

3. 主要な地質構造

この地域の新第三系を変形させる主要な地質構造としては、北西～南東方向の鈎取-愛子撓曲帯^{かぎとり あやし}、北北東～南南西方向の愛子-奥武士撓曲帯^{おくぶし}、長町-利府線、青葉山断層帯がある (Fig. 1C). 鈎取-愛子撓曲帯は、名取川北岸の鈎取から北西の青葉山を経て愛子へ至る幅1km程度の相対的に急傾斜となっている地帯で、愛子-奥武士撓曲帯は仙台市西部の仙台層群西縁部にある幅2kmほどの相対的に急傾斜となっている地帯である (遅沢, 2002, 2004a). この2つの撓曲帯は一部で重複し、かつては一つの鈎取-奥武士線 (生出, 1955) と言われていた. 名取層群上部はこの撓曲帯の西側 (隆起側) に露出し、撓曲帯へ向かって傾斜が急になり撓曲部では東へ50度以上の急傾斜を示す (Fig. 2).

仙台市街地付近の地形は、名取川北岸の長町から北東へ伸びる直線状の崖地形が顕著で、南東側の仙台平野と北西側の

Fig. 1. Simplified geological map showing outcrops of Neogene units in the Tohoku area of Japan. A and B: modified from the Geological Survey of Japan, AIST, 1:200,000 Seamless Digital Geological Map of Japan. C: locations of geological structures in the southwestern Sendai area (modified from Osozawa, 2002). © Geological Society of Japan.

Fig. 2. Geological map of the SW Sendai area showing field excursion stop points. Map modified from Fujiwara et al. (2008) with the approval of the Geological Survey of Japan (GSI) (60635130-A-20130509-001). The base map is modified from the Digital Japan Portal Web Site of the Geospatial Information Authority of Japan.

段丘・丘陵地の境界をなしている。これは長町-利府線 (Yabe, 1926) と呼ばれる撓曲帯である。この撓曲帯は仙台市街を経て北東の利府にかけて西側隆起の変形を示し、新第三系が露出する東縁をなす。この撓曲帯に関連して、名取川と広瀬川間の丘陵部には鹿落坂断層や大年寺断層と言った小規模な活断層がある。青葉山断層帯は、青葉山丘陵の西部を通る南北走向の小規模な垂直断層で、青葉山東断層と青葉山西断層の2条の断層からなり、阿武隈山塊東縁を区切る双葉断層帯の北方延長とされる (遅沢, 2004b)。青葉山西断層は仙台層群堆積後に双葉断層帯の再活動で生じた右横ずれ断層で、青葉山東断層は第四紀以降に活動が始まった左横ずれ断層である (遅沢, 2002)。

岩相と化石

名取層群は主に浅海～中深海で堆積した砂岩やシルト岩などからなり、凝灰岩や礫岩を伴う。また、下部に安山岩～玄武岩を挟む。秋保層群は多数の火砕流堆積物と、湖沼堆積物などの陸成層からなる。仙台層群は内湾～陸成の砂岩やシルト岩のほか亜炭層を挟むのが特徴で、凝灰岩や礫岩層も伴う。これらの3層群はそれぞれ不整合関係にあると考えられるが、名取層群と秋保層群の関係には議論がある。これら中新統から鮮新統を覆って、丘陵地には青葉山層などの更新統が、平野部には段丘堆積物や沖積層が分布する。

1. 名取層群 (稲井, 1939 : 命名. 北村, 1967 : 再定義)

名取層群は下位から、^{つきのき}榎木層、^{はたて}高館層、茂庭層、旗立層、^{つな}綱木層からなる (Fig. 3)。榎木層と高館層は下部中新統、茂庭層と旗立層は下部中新統の上部から中部中新統、綱木層は主に上部中新統である。茂庭層と旗立層は整合に重なる。旗立層と綱木層は一部で不整合関係にある。榎木層は陸成-浅海成の堆積岩を主体とし、高館層は安山岩質-玄武岩質の火山岩類を主体とする (北村ほか, 1986)。これらは名取川南岸で高館丘陵を形成しているが、露出が限られ、年代、地質構造、堆積環境などはよく分かっていない。ここでは巡検で観察する茂庭層、旗立層、ならびに綱木層について記述する。

(1) 茂庭層 (Yabe and Aoki, 1923 : 命名. Hanzawa et al., 1953 : 再定義) 基底部の礫岩とそれを覆う砂岩からなる。高館層を不整合に覆い、層厚は20～80mである。模式地は名取川沿いの東北電力茂庭水力発電所付近の崖である。分布は狭く、高館丘陵北縁部周辺に限られる。茂庭層の凝灰岩層にはHt1～Ht7の鍵層番号が付けられている (尾田・酒井, 1977)。

茂庭層は豊富な貝類化石を含み、それらは主に潮間帯から外浜以浅の岩礁とその周辺に棲む種からなる (Nomura, 1940; 増田, 1969; みちのく古生物研究会, 1990, 1991; Sato, 1991)。大型のイタヤガイ科 (*Nanaochlamys notoensis*, *Chlamys arakawai* など) などが卓越する。この動物群は亜熱帯から暖温帯性の生物を主とし、茂庭動物化石群 (増田, 1987) あるいは茂庭型貝化石群 (Sato, 1991) と呼ばれる。時代的には、亜熱帯性干潟群集の門ノ沢 (型) 動物群 (Otuka, 1939; 鎮西, 1963) よりもやや新しい (栗原ほか, 2003)。保存良好な腕足類化石を豊富に産出することも本層

の特徴である (Hatai, 1940)。

本層の浮遊性有孔虫群集は熱帯～亜熱帯性の *Praeorbulina* 属および *Globigerinoides* 属を含む (Saito, 1963; 尾田・酒井, 1977; 北村ほか, 1986)。また、大型有孔虫化石 (Hanzawa et al., 1953 など) や貝形虫化石 (Ishizaki, 1966; 石崎, 1987) も報告されている。仙台市太白区北赤石の名取川河床からはオウムガイ化石 *Aturia cubensis* が報告されており (永広ほか, 2001)、これは現時点で日本列島では最北の *Aturia* の産出記録である。そのほか、海綿、サンゴ、コケ虫、フジツボなど岩礁を特徴づける化石が含まれる (北村ほか, 1986; みちのく古生物研究会, 1999)。茂庭層基底礫岩と上位の砂質層との境界に、絶滅したフジツボ類、*Concavus sendaicus* が現地性でみられ、高海水準期の外洋に開けた沿岸であったことを示す (Nomura and Maeda, 2008)。茂庭発電所付近の岩の沢からは、束柱類 (*Desmostylia*) の *Paleoparadoxia tabatai* が見つかつている (犬塚・村井, 1980)。

(2) 旗立層 (稲井, 1939 : 命名. 岩井, 1949 : 再定義. 北村ほか, 1986 : 基底を再定義) 均質で淘汰の良い細～中粒砂岩を主体とし、層厚は180～200mである (Figs. 6, 7)。本層に挟まる凝灰岩層のうち、広く追跡できるものにはHt8～Ht31の鍵層番号が付けられている (尾田・酒井, 1977; 島本ほか, 2001)。遅沢 (2002) は独自に鍵層を1から31まで設定した (以下 Oso- * と表記) が、鈴木ほか (2006) が従来の Ht 鍵層との対応表を示している。旗立層は茂庭層を整合に覆い、その基底は鍵層 Ht8 (層厚 80 cm の青みがかった軽石凝灰岩) である (北村ほか, 1986; 島本ほか, 2001)。模式地は北村ほか (1986) によって、「仙台市水道局茂庭浄水場付近から仙台市佐保山北方にいたる東北自動車道路沿いの地域」と再設定された。

旗立層は岩相により最下部 (層厚数 m)、下部 (層厚 30～40 m)、中部 (層厚 100～120 m)、上部 (層厚 20 m) に細分される (島本ほか, 2001; 鈴木ほか, 2006)。最下部 (Ht8 から Ht9 の直下まで) には海緑石に富み貝殻片や軽石片を含む細～中粒砂岩 (層厚 1.5 m 程度) がみられる。下部 (Ht9～Ht11 の層準, Oso-3 より下位) は、火山ガラスに富む中粒砂岩や塊状無層理の灰色～青灰色細粒砂岩からなり、中部 (Ht11～Ht28 あるいは Oso-3～Oso-28 の層準) は、凝灰質の細粒～極細粒砂岩を主とし、頻繁に凝灰岩の薄層を挟在する。上部 (Ht28 より上位; Oso-23～Oso-32 の直下) は、黒雲母片に富む中粒砂岩を主とし、上方へ粗粒化する。本層上部の最上部では軽石やスコリアに富む淘汰の良い細礫混じりの粗粒砂岩となり、海綿、貝類、ウニの棘などの化石を散点的に含む。

旗立層は全層を通じて貝類化石を含むが含有密度が低く、印象化石であることが多い (北村ほか, 1986; 増田, 1986; 大槻ほか, 1994)。*Lucinoma actilineata* や *Macoma* sp. が卓越し、“*Dentalium*” sp. やエゾバイ科の巻貝が伴う。*Chlamys miyatokoensis*, *Miyagipecten matsumoriensis* も少ないながら報告がある。これらの貝類化石は下浅海帯ないし亜浅海帯の環境を示唆する。これは、大型で厚い殻を持つマルスグレガイ科や大型のイタヤガイ科の貝類化石をほとんど含まないこと

Age		Formation name		Lithofacies	Description
Pliocene	Pia	Sendai G.	Upper	Dainenji F.	Sandstone, alternation of sandstone and siltstone with lignite beds (90 m thick)
	Zan			Mukaiyama F.	Sandstone, pumice tuff, lignite beds, and partly granular sandstone (< 20 m)
	Mes	Lower		Tatsunokuchi F.	Fine-grained, muddy sandstone and bluish grey siltstone with marine fossils (40 - 60 m thick)
				Kameoka F.	Roundstone, conglomerate with lignite beds, tuff (30 - 40 m thick)
Miocene	Tor	Akiu G.		Mitaki F.	Andesitic to basaltic lava and comagmatic volcanoclastic rocks (> 200 m)
				Shirasawa F. / Nashino F.	Nashino F.: Pyroclastic flow deposits in association with high-quartz rich tuffaceous sandstone. Shirasawa F.: Lacustrine deposits. Total thickness of these two formations reaches 200 m.
				Tsunaki F.	Upper part (100 m): An upward coarsening sequence from black siltstone. Its base is the alternation of tuffaceous sandstone, conglomerate and tuff. Middle part (90 - 100 m): Tuffaceous fine- to medium-grained sandstone, intercalated with fine tuff and pumice tuff. Conglomerates at the basal part. Molluscan fossils included. Lower part (< 145 m): Coarse-grained tuffaceous sandstone with pumice tuff, fine tuff and lapilli tuff. Base (60 cm): andesitic lapilli tuff
				Hatatate F.	Upper part (20 m): An upward coarsening, medium- to coarse-grained sandstone sequence. Middle part (100 - 120 m): Fine- to very fine-grained sandstone with tuff beds. Lower part (30 - 40 m): Fine- to medium-grained sandstone. Lowermost part (~8 m): Glauconite-rich medium- to coarse-grained sandstone and tuff.
	Ser	Natori G.		Moniwa F.	Conglomerates and overlying sandstone (20-80 m thick)
	Lan			Takadate F.	Andesitic-basaltic volcanic rocks (250 m thick)
	Bur			Tsukinoki F.	Terrestrial to shallow marine sedimentary rocks (150 m thick)
	Bur-Aqu				

Fig. 3. Generalized stratigraphic column for Neogene units in the SW Sendai area.

とも調和する。旗立層に含まれる貝類化石群集は、いわゆる塩原-耶麻動物群（大塚, 1941; Chinzei, 1986）に相当するが、相対的に深い海を代表する耶麻動物群が主体である。詳しく見ると、暖温帯を示す古期塩原-耶麻動物群（Ogasawara et al., 1985, 2008; Ogasawara, 1994）に該当する。珪藻化石（柳沢, 1999c など）、放散虫化石（尾田・酒井, 1977）、浮遊性有孔虫化石（尾田・酒井, 1977; 島本ほか, 2001; 出原ほか, 印刷中）は典型的な温暖種は少なく、むしろ中・高緯度で多産する種が多い。底生有孔虫化石は旗立層下部と上部では外部浅海帯、中部は漸深海帯上部を示唆する（北村ほか, 1986）。貝形虫化石は、旗立層中部では外海に連なった暖かい浅海を指示し、上部では海域がやや寒冷化したことを示す（Ishizaki, 1966; 石崎, 1987）。

(3) 綱木層（稲井, 1939：命名。北村ほか, 1986：再定義）

本層は旗立層に比べ粗粒な火山噴出物が急増し、火山礫凝灰岩、軽石凝灰岩、砂岩、礫岩などの互層からなる（Figs. 6, 7）。層厚は模式地周辺では 350 m 以上に達する。模式地は、仙台市綱木を通る県道 31 号線に沿って北流する沢の崖および河床である。遅沢（2002）は本層に 38 層準の鍵層（Oso-32 から 70）を認定した。模式地付近では旗立層を整合的に覆い、基底は層厚約 60 cm の“三枚組の安山岩質凝灰角礫岩”（Oso-32）である（稲井, 1939）。

綱木層は層相によって下部、中部、上部に区分される。綱木層下部（Oso-32 から Oso-57 の下まで）は凝灰質粗粒砂岩を主体とし、軽石凝灰岩、細粒凝灰岩、火山礫凝灰岩を頻繁に挟む。一部の層準で斜交葉理が発達する。層厚は模式地で

は約145mであるが、南東の青葉山では綱木層中部基底(Oso-57)での侵食のために90m程度に減少し、さらに南方の名取川では完全に剝離されている。

綱木層中部はOso-57からOso-67直下までで、模式地周辺で90～100mの層厚がある。Oso-57は層厚が2～4mで、主に安山岩の中～巨礫サイズの円礫からなる礫岩とその上位の凝灰岩からなる。Oso-57は名取層群中部以上において顕著な花崗岩礫(最大で巨礫サイズ)が初めて確認される層準であり、その形成は後背地の隆起と関係があると思われる。Oso-57から上位へ礫岩・粗粒砂岩・軽石凝灰岩の互層をへて、淘汰が良く均質で貝類化石を含むミガキズナ状の凝灰質中～細粒砂岩(層厚35～50m)が重なる。このミガキズナ状砂岩は角閃石が目立つ軽石凝灰岩や白色細粒凝灰岩を多く挟むことや、多重級化構造を持ち海底土石流堆積物と考えられる中礫岩(層厚1m前後)を繰り返し挟む特徴がある。その上位は平行葉理や斜交層理が発達する細礫質の凝灰質粗粒砂岩が重なる。

綱木層上部は、Oso-67(黒灰色のシルト岩)から始まり、全体としては上方粗粒化を示す。模式地での層厚は確認できる部分だけで約100mである。最下部の約8～10mの間は、黒灰色のシルト岩・凝灰質砂岩・火山礫凝灰岩の細互層からなる。その上位は急激に粗粒化し、角礫岩、凝灰質砂岩、軽石凝灰岩などの互層が重なる。礫はデイサイト、流紋岩、黒曜石などからなる。シルト岩や凝灰質砂岩の一部には生痕化石を含む。

軟体動物化石は綱木層下部と中部から知られている(増田, 1986; 大槻ほか, 1994)。綱木層下部のうち最上部の礫岩層から *Chlamys miyatokoensis*, *Solen* spp. など主に外浜に浅に生息する貝類の化石が見つかる。綱木層中部のOso-57とそれを覆う礫質粗粒砂岩には大型のイタヤガイ科やマルスグレガイ科など、主に30m程度より浅い水深を示唆する種が含まれる。その上位のミガキズナ状砂岩には、*Lucinoma annulata*, *Serripes* spp., *Clinocardium* spp. などの貝類化石が含まれるが、多くが印象化石である。これらの化石は100m前後の水深を示唆する。ミガキズナ状細粒砂岩中の多重級化礫岩には、*Kaneharaia kaneharai*, *Glycymeris* sp., *Umbonium* sp. など主に30m以浅の水深を示唆する種を含むが、大半が破片である。これらは浅海域から海底土石流として流下したものと考えられる。

綱木層の貝類群集は、塩原-耶麻動物群のうちでも中間温帯から冷温帯の環境を示す新期塩原-耶麻動物群(Ogasawara et al., 1985, 2008)に該当する。より詳しく見ると、Oso-57付近の砂岩や礫岩中の化石は相対的に浅い海を代表する塩原(型)動物群、ミガキズナ状砂岩中の化石は相対的に深い海を代表する耶麻(型)動物群にそれぞれ該当する。微化石は珪藻化石、有孔虫化石が極わずかに知られているのみである(北村ほか, 1986)。

2. 秋保層群(Yabe and Aoki, 1923: 命名. 北村ほか, 1986: 再定義)

秋保層群は下位から湯元層、梨野層、白沢層、三滝層からなる(Fig. 3)。秋保層群全体の層厚は200m以上に達する

(北村ほか, 1986)。巡検地域で主に観察できるのは梨野層である。

(1) 梨野層(北村, 1967: 命名. 北村ほか, 1986: 再定義)

高温石英が目立つ砂質の軽石凝灰岩などからなる火砕流堆積物を主とし、下位の地層群から大小のブロックを取り込んでいる。個々の凝灰岩層は側方連続性が悪く、乱堆積構造やスランプ褶曲、斜交層理が見られる。本層の分布域は中新世後期に形成期された白沢コールドロンの東限に当たる(天野・佐藤, 1989; 伊藤ほか, 1989; 遅沢, 2005)。模式地は仙台市梨野東方から太白山西麓にいたる林道である。青葉山丘陵の東北工業大学総合グラウンドの崖では、梨野層基底を構成する葉理や斜交層理を持つ円礫岩層が、綱木層最上部の軽石凝灰岩(Oso-70)を覆うのが観察される(遅沢, 2002)。下位層との関係は、湯元層および茂庭層から綱木層までの地層を不整合に覆うとする考え(北村ほか, 1986)と、綱木層と整合関係にあるとする考え(遅沢, 2002)がある。

梨野層の分布範囲は太白団地近辺や蕃山丘陵などに限られる。層厚は西風蕃山の南西側で120mほどあるが、東方へ薄くなり東北工業大学総合グラウンド付近では層厚10～30mとなり、その東方で尖滅する。梨野層には、珪化木化石を含む(大槻ほか, 1994; 遅沢, 2005)。

(2) 岩頸状貫入岩体 円錐形の孤立峰である太白山(標高320.7m)は、三滝層の堆積と同時期に貫入した安山岩類からなり、旗立層、綱木層、湯元層、梨野層を貫いている(北村ほか, 1986; 大槻ほか, 1994; 遅沢, 2005)。三滝層は、安山岩～玄武岩の溶岩ならびに同質の火山砕屑岩類からなり、蕃山丘陵(標高373m)と権現森(標高313.7m)の主体を構成する成層火山の一部である(北村ほか, 1986; 遅沢, 2005)。

3. 仙台層群(岩井, 1949: 命名)

仙台層群は、北は岩手県南部から南は阿武隈山地東縁の福島県原町～大甕地域を経て川前～井出地域まで広く分布する(Fig. 1B)。下位から亀岡層、竜の口層、向山層、大年寺層で構成される(Fig. 3)。本層群は仙台付近では名取層群・秋保層群が作る西に凸型に張り出した鈎取-愛子撓曲帯と愛子-奥武土撓曲帯の東側に分布し、東は長町-利府線で露出が区切られる(Figs. 1B, 1C)。竜の口層と向山層の間の不整合(Hanzawa et al., 1953)により、仙台層群は下部と上部に分けられる(Okutsu, 1955)。

(1) 亀岡層(岩井, 1949: 命名. 北村ほか, 1986 再定義)

厚さ数mの基底礫岩と、その上位の挟亜炭層からなり、凝灰岩を伴う(Fig. 6)。模式地は北村ほか(1986)によって、仙台市水の森公園の西にある三共堤(池)と再設定された。亀岡層は仙台付近から北方の一関にかけて広く分布し、厚いところで層厚は30～40mに達する。巡検地を含む仙台南西部では分布が限られ層厚も薄い。挟亜炭層は何層かに分かれており、それぞれが砂岩から始まって泥質の亜炭層へと岩相変化を示している。

本層から報告がある化石は植物化石が殆どであるが、塩竈地域に分布する亀岡層最上部からは、カキ(*Crassostrea gigas*)などの貝化石も知られている(石井ほか, 1983)。植物化石群は「仙台フローラ」(Okutsu, 1955)と呼ばれ、温帯性

Fig. 4A. Route map showing outcropping Neogene units along the lower reaches of the Natori River. Modified from Fujiwara et al. (2008) with the approval of the GSJ (60635130-A-20130509-001).

Fig. 4B.

Fig. 5. Satellite image showing the locations of outcrops along the Natori River. A: Overall view of exposed Neogene units along the lower reaches of the Natori River. B: Detailed image of the unconformable contact between the Tsunaki and Hatatate Formations. Images obtained on 19 August 2012. © Google.

でかなり温和な気候を示している（鈴木, 1987）。塩竈地域の本層からはメタセコイアは未発見であるが、ヒノキ科スィショウ属（*Glyptostrobus*）が見つかったことから、石井ほか（1983）は、メタセコイア植物群の消滅期より以前の植物群に相当すると判断している。

(2) 竜の口層（Yabe and Aoki, 1923：命名）本層は均質な青灰色シルト岩や泥質細粒砂岩を主体とし、細粒凝灰岩層を挟む（Fig. 6）。模式地は仙台市青葉区の竜の口溪谷である。本層は下位の亀岡層（またはその相当層）とは一般に整合関係にあるが、分布の北部にあたる若柳～涌谷地域では一部で指交関係にある（松野, 1967; 高橋・松野, 1969）。仙台付近では亀岡層と竜の口層の境界は、竜の口溪谷上流（才田, 2011）と竜の口溪谷の約 2km 北方の広瀬川河畔（地学団体研究会仙台支部, 1980 など）で確認されている。そこでは亜炭を含む砂質シルト岩とその上位の粗粒砂岩（永広, 1987 による Ts 層）との間が竜の口層と亀岡層の境界となる。

竜の口層の分布は、現在の北上市の和賀川流域を北限として（岩手の地質教材研究会, 1986; 大石ほか, 1996）、阿武隈山地東縁の海岸沿いを経て、南限は福島県原町～大甕地域（久保ほか, 1990）にまで及ぶ。竜の口層が堆積した海は、現

在の仙台湾の海岸から北方の地域では細長い湾であった（Chinzei and Iwasaki, 1967; Hatai and Noda, 1968; 大槻ほか, 1994）。層厚は古川付近で最大 120m 以上に達する（北村ほか, 1981）が、仙台地域では 40～60m、南方の岩沼では 15～30m である。名取川下流部の河床では分布の西縁をなす撓曲崖に近いところごく薄く、数 m である。

本層からは浅海性の貝類化石を多産し、それらは竜の口動物群（Nomura, 1938）と呼ばれる。仙台地域からは約 50 種の軟体動物化石が知られている（Nomura, 1938; Masuda, 1962; Noda, 1966; みちのく古生物研究会, 2002）。竜の口溪谷や広瀬川沿いでは顕著な貝化石密集層が見られ、上位から第 1～第 8 化石層と呼ばれている（地学団体研究会仙台支部, 1980, 1993, 2011; 北村ほか, 1986; 永広, 1987）。*Fortipecten takahashii* や *Anadara tatunokutiensis* などが代表種で、全体として現在よりやや寒冷な海洋環境を示す（Masuda, 1962; Noda, 1966; Ogasawara, 1986）。貝類群集が示唆する古水深は一般に 20～30m 以浅であるが、本層上部では 50m を超えることもある（大槻ほか, 1994 など）。本層からはクジラなどの大型海生哺乳類（北村ほか, 1983; Oishi and Hasegawa, 1995a, b; 才田ほか, 2011 など）や、サメ・エイなどの化石も知られている

(*Metasequoia*) などを含み、比較的温暖な気候を示す。

(4) 大年寺層 (Yabe, 1926:「大年寺貝層」として命名。岩井, 1949: 名称変更。北村ほか, 1986 再定義) 本層は仙台地域では砂岩主体の下部と、シルト岩・砂岩互層で亜炭を挟む上部からなる (北村ほか, 1986)。大年寺層は仙台付近を分布の北限とし、福島県の大葉断層の東側に沿って、南は川前～井出地域まで確認されている (久保ほか, 2002)。層厚は模式地では約 90 m であるが、南方へ厚くなり、福島県では最大で 350～430 m に達する。大年寺層はテフラ層を時折挟み、本層が厚く分布する福島県浜通りでは 101 層準のテフラが確認されている (高橋ほか, 2003; 柳沢ほか, 2003)。模式地は、北村ほか (1986) によって、仙台市塩ノ沢から芋沢にかけての丘陵帯に変更された。

下位の向山層との関係は、不整合 (岩井, 1949; Fujiwara et al., 2008) あるいは整合 (北村ほか, 1986; 柳沢ほか, 1996) と解釈が分かっている。不整合を支持する証拠としては、大年寺層基底から向山層中に延びる穿孔貝の巣穴化石 (Masuda and Takezawa, 1961; 北村ほか, 1986) や、名取川下流河床露頭で大年寺層基底に見られる侵食面がある。北村ほか (1986) は大年寺層基底の侵食面は、局所的ないし同時侵食と考えた。しかし、大年寺層基底の侵食面は相馬中村地域でも確認されており (柳沢ほか, 1996)、本層は向山層を一部では傾斜不整合で覆うと考えるのが適当であろう。

大年寺層からは浅海生の貝類化石を豊富に産出する。*Callithaca adamsi* や *Mizuhopecten yessoensis* など冷温な環境を好む種が多いが、*Crassostrea gigas*, *Solen grandisi* などやや温暖性の種も含まれ (Masuda et al., 1990)、全体的に見ると竜の口層に比べて温暖な環境を示唆する。また、*Anadara amacula elongata* など、同時代に日本海側で栄えた大桑・満願寺動物群と共通の種も見られる (Ogasawara et al., 1988)。特殊な例として、福島県の井出～川前地域で、*Acharax tokunagai*, *Lucinoma acutilineata*, *Conchocele disjuncta* などからなる化学合成貝類群集が報告されている (久保ほか, 2002)。

珪藻群集は暖流系種を交えつつも寒流系種が卓越する (Koizumi, 1972; 柳沢, 1990) が、浪江～磐城富岡地域で報告された放散虫化石群集は少量ながら熱帯～亜熱帯性種を含む (長谷川ほか, 1993)。底生有孔虫化石は仙台地域では内部浅海帯を指示する群集 (北村ほか, 1986) が、福島県浜通りでは中部漸深海帯を示す群集 (竹谷ほか, 1986) の報告がある。福島県浜通りの大年寺層最下部～下部からは、鰐脚類、板鰐類、鯨類など脊ついで動物化石の報告がある (久保ほか, 1990, 1994)。

大型植物化石 (鈴木, 1987) や花粉化石 (竹内・吉田, 2012) は主に仙台地域から報告があり、ハンノキ属、セコイア属、ブナ属、トウヒ属 (*Picea*) が生育する、比較的温暖な気候が推定されている。また、仙台地域ではゾウ (*Stegodon zdanskyi*; Shikama, 1963 が *Stegodon insignis* と記載した標本) (Saegusa et al., 2005) の臼歯の化石が見つかる。

年代層序

ここでは名取層群、秋保層群、仙台層群から得られている

年代に関するデータ (微化石、放射年代、古地磁気など) を、名取川下流河床露頭の柱状図を使って整理する (Fig. 8)。数値年代のうち間接的に見積もられたものについては、最新の地質年代尺度 (GTS2012: Hilgen et al., 2012) にあわせて補正した。

1. 名取層群下・中部

高館層からは、22.0 Ma から 12.6 Ma までの K-Ar 年代が得られている (宇都ほか, 1989)。茂庭層は、浮遊性有孔虫から少なくとも 16.3 Ma の堆積物があることは確実である (尾田・酒井, 1977; 北村ほか, 1986)。茂庭層と旗立層の境界にある“海緑石層”は、複合微化石層序からえた堆積速度曲線 (柳沢, 1999c; 島本ほか, 2001) によって、約 15 Ma から約 13 Ma にかけて形成された堆積速度低下層準とされる。

海緑石層より上位の旗立層は、ほぼ全層準に連続的に含まれる浮遊性有孔虫化石 (Saito, 1963; 尾田・酒井, 1977; 島本ほか, 2001; 出原ほか, 印刷中)、珪藻化石 (Maruyama, 1984 a, b; 柳沢, 1999c; 柳沢・林, 2003)、放散虫 (尾田・酒井, 1977)、石灰質ナンノ化石 (柳沢, 1999c; 島本ほか, 2001) から、13 Ma から 11.5 Ma 頃までの堆積物と考えられる。

2. 名取層群上部

綱木層からは年代指標となる微化石は未発見であるが、東北工業大学総合グラウンド周辺と名取川下流河床露頭の軽石凝灰岩から FT 年代値が得られている (Figs. 6, 7)。模式地周辺の綱木層下部からは下位から順に、 8.3 ± 0.4 Ma (TS-2 = Oso-35), 9.7 ± 0.6 Ma (TS-3 = Oso-39), 9.8 ± 0.7 Ma (TS-4 = Oso-56), 8.7 ± 0.6 Ma (TS-5 = Oso-57 の直下) の値が得られている (Fujiwara et al., 2008)。層序と明らかに矛盾する TS-2 を除くと、綱木層の基底から 50～90 m の層序区間は 10 Ma から 9 Ma にかけて堆積したと考えられる。

綱木層中部については、名取川下流河床露頭のミガキズナ状砂岩に挟まる軽石凝灰岩から、8.5 Ma 前後の値が得られている (Fig. 6)。綱木層上部については、東北工業大学総合グラウンド周辺に露出する凝灰岩から、 8.3 ± 0.7 Ma (TS-7) と 8.3 ± 0.5 Ma (TS-8 = Oso-70) の値が得られている (Fig. 7)。このことから、綱木層中部と上部は 200 m 程ある厚い堆積体ではあるが、8.5～8.3 Ma 頃にかけての短い期間に堆積したことになる。

なお、名取川下流河床露頭で綱木層上部とした地層からは 6.4 Ma 前後の値が得られている (Fig. 6)。この値は直下のミガキズナ状砂岩からの年代値よりも 200 万年ほど若く、両者の間に不整合の存在が推定される。この点については Stop 2 の解説で触れる。

3. 秋保層群

青葉山丘陵で梨野層下部に挟まれる高温石英に富む凝灰岩からは、6.4 Ma 前後の FT 年代が得られている (Fujiwara et al., 2008) (Fig. 7)。また、梨野層と指交関係にある三滝層からは 8.21～7.68 Ma の範囲の K-Ar 年代が得られている (宇都ほか, 1989)。これらの放射年代値と下位の綱木層、上位の仙台層群との層序関係を考慮すると、秋保層群は 8～6 Ma 頃の期間に堆積した。

4. 仙台層群

Fig. 7. Stratigraphic columns for exposed Neogene units within the Aobayama Hills. These locations are named the Tsunaki and Aoba sections in Fig. 2. Modified from Fujiwara et al. (2008) with the approval of the GSI (60635130-A-20130509-001).

亀岡層の年代は、Manabe (1979, 1980) による古地磁気層序が唯一のデータであったが、中村・天野 (1994) の再検討によって安定した残留磁気を保持していないことがわかり、直接的な年代根拠はなくなった (大石ほか, 1996; 柳沢ほか, 1996)。

竜の口層の堆積年代については、古地磁気層序や珪藻化石層序を巡る変遷があった (Manabe, 1979, 1980; 柳沢, 1990, 1998; 大石ほか, 1996, 2012; 才田ほか, 2011)。議論の焦点は、中新世・鮮新世境界にほぼ相当する *Thalassiosira temperei* の最終産出層準 (5.4 Ma) が竜の口層に存在するか否かにあった。この問題は、竜の口溪谷と北上市において本層最下部に *T. temperei* の最終産出層準が確認され (柳沢, 1998; 才田ほか, 2011)、北上市の竜の口層の中上部の凝灰岩層から 5.3 ± 0.4 Ma の FT 年代が得られたこと (大石ほか, 2012) で、ほぼ決着がついた。竜の口層は、*Thalassiosira oestrupi* 亜帯 (NPD 7 Bb) と対比され、中新世最末期 (メッシニアン期最末期) から前期鮮新世 (ザンクレアン期前期) にかけて堆積したことになる。向山層に挟まる広瀬川凝灰岩については詳細な FT 年代測定が行われ、 3.5 ± 0.4 Ma を中心とした値が得られている (檀原・岩野, 1995)。

大年寺層については、福島県浜通り地域で得られた珪藻化石と広域テフラの年代から、下限は少なくとも 4.18 Ma より若く、上限は 2.4 ~ 2.6 Ma の範囲とされる (柳沢ほか, 2003)。また、浜通り地域では大年寺層の SF4.5, SF8.3 のテフラが、それぞれ広域テフラの Znp-Ohta テフラ層 (約 3.95 Ma) と新潟地域の Ymp テフラ層 (3.6 ~ 3.8 Ma) と対比された (長橋ほか, 2004)。この年代は広瀬川凝灰岩部層の FT 値 (3.5 ± 0.4 Ma) より明らかに古く、福島県浜通り地域で言う大年寺層は仙台地域の向山層と同時異相である可能性も残る (柳沢ほか, 2003)。大年寺層上限は新第三紀・第四紀境界の年代 (2.59 Ma; Hilgen et al., 2012) と近いが、第四紀の始まりに起きた急激な寒冷化の証拠は未発見である。このため大年寺層の堆積時期は第四紀以前と思われる。

名取川下流河床露頭と東北日本弧の地史

巡検ルートの一つである名取川下流河床露頭には、川岸にはほぼ直交する走向をもって旗立層から大年寺層までが約 1 km にわたって連続的に露出している (Figs. 4, 5)。この露頭で見られる地層の層相と年代は Fujiwara et al. (2008) が解説しており、浮遊性有孔虫化石に基づく生層序の見直しも行われた (出原ほか, 印刷中)。また、この大露頭の北側では、活断層調査を目的として宮城県による反射法探査が行われている (宮城県, 1996: <http://www.hpl039.jishin.go.jp/danso/Miyagi3frm.htm>)。その側線は大露頭とほぼ並行して延びており (Fig. 5)、地層の走向・傾斜を元に、探査結果と露頭で見られる地層との対比が可能である。こうした好条件によって、この大露頭からは中期中新世から鮮新世までの地史が読み取れる可能性がある。

1. 露頭に見られる相対的海水準変動と不整合

露頭の層相が示す最大の特徴は、層厚 10 ~ 60 m ごとに上方細粒化-粗粒化のサイクルが見られることである。このサイクルは Stop 2 で問題提起するように、相対的海水準変動を

記録していると考えられる。また、旗立層上部以上を見ると、全体として浅海化が進んでいることが分かる。このような傾向はユースタティックな海水準変動には認められない。これには堆積作用が進んで堆積場が海側へ移動したこともあるが、仙台付近におけるローカルな地殻変動も関与していると解釈される。

また、Fig. 8 に示した層相や年代値からは、何箇所かで不整合が確認できる。それらは下位から順に、旗立層と綱木層の境界 (不整合 1)、綱木層最上部 (不整合 2)、亀岡層の基底 (不整合 3)、竜の口層と向山層の境界 (不整合 4) である。大年寺層基底の侵食面は外浜侵食による海進面と考えられるので、ここでの議論からは除く。

不整合 3 (6 Ma よりやや後) と 4 (4 Ma 頃) はそれぞれ、従来から知られている秋保層群と仙台層群の境界、および仙台層群の上部と下部を分ける不整合である。名取層群と秋保層群の間の不整合はこの露頭でどこに当たるかは未確定であるが、不整合 2 (8 ~ 7 Ma 頃) がそれに当たる可能性がある。その場合は、ここで綱木層上部とした地層が実際には梨野層の延長部に当たることになる。

不整合 1 は Fujiwara et al. (2008) が報告したものである。この露頭では旗立層の最上部は細礫質の砂岩となり、その上面は中~大礫よりなる亜円礫岩 (層厚約 1 m) で削られている (Fig. 9)。この礫岩が綱木層の基底に当たる。この礫岩を境界に旗立層に対して綱木層は走向がより東寄りになり傾斜も増加する (Figs. 4, 5) とともに、下位の旗立層を削り込んでいるので、ここに不整合があることが分かる。基底の礫岩の上位には、模式地周辺の綱木層下部に相当する地層は見られず、綱木層中部に相当するミガキズナ状の細粒砂岩が直ぐに重なる。つまりこの不整合で、模式地周辺における綱木層下部にあたる 11 Ma ~ 9 Ma 頃にかけての地層が欠如している。旗立層にどの程度剝削が及んでいるかは分かっていない。不整合 1 による地層の剝削量は、綱木層下部に挟まる凝灰岩鍵層の追跡結果から、綱木層の模式地から南へ名取川河床に向けて大きくなるとされる (Fujiwara et al., 2008)。この理由については、東北日本弧の隆起だけでなく、名取川下流河床露頭の近傍から北西へ延びる鈎取-愛子撓曲帯 (遅沢, 2002) の活動とも関連付けて解釈していく必要がある。

名取川下流河床露頭で見られる不整合は、その形成時期が中嶋ほか (2002) や Nakajima et al. (2006) が奥羽山脈西部から報告した不整合と良く対応しており、東北日本弧の隆起と関連すると考えられる。Nakajima et al. (2006) は、脊梁山地とその周辺において新第三系の系統的な放射年代測定を行ない、地層の堆積年代と主要な不整合の形成時期を明らかにし、脊梁山地が 3 回に分けて段階的に隆起したことを示した。その時期はおおよそ 12 ~ 9 Ma (主要な不整合は 10 Ma 頃)、6.5 ~ 3 Ma、3 Ma 頃とされている。この 3 回の隆起イベントは、名取川下流河床露頭では不整合 1, 2 または 3、不整合 4 にそれぞれ対応すると解釈される。

2. 反射断面との比較

Fig. 10 は宮城県による反射法探査の結果を改めて解釈したものである。図に見られる多数の反射面は、露頭で見られる

Fig. 8. Age-depth diagram and depositional cycle of Neogene units exposed along the lower reaches of the Natori River.

成層した地層と調和している。図の左下の反射面が乱れたように見える部分は、周辺の地質と比較すると高館層などの基盤岩である。その上面に当たる強い反射面が茂庭層基底の侵食面と思われる。探査断面半ばあたりの強い反射面が、地層の走向・傾斜から判断して、旗立層と綱木層中部との間の不整合に当たる。この反射面は、下位の地層にみられる反射面を何箇所も切っており、不整合面と判断した。同様に、侵食面や地層の傾斜変換位置を考慮して、綱木層、仙台層群下部、仙台層群上部、第四系を区分した。

綱木層とした地層の上部では、上位に見られる反射面ほど画面右側（海側）へ前進（プログラデーション）しており、

海岸が前進していた（海退期にあった）ことを示す。仙台層群下部を見ると、基底に見られる反射面は綱木層との不整合面に対して上位ほど画面左（内陸側）へ前進するオンラップ構造を示し、海進期の特徴を示している。一方、その上部では明瞭なプログラデーションを示し、反射断面からも大きく1回の海進-海退のサイクルが読み取れる。第四系とした表層の地層に見られる反射面は、仙台層群上部との間の不整合面に対してオンラップ構造を持ち、海進期の特徴を示している。

この反射面で見られるもう一つの特徴は、地層の傾斜が第四系では水平に近いが、下位の地層ほど急傾斜となり、傾斜

Fig. 9. Boundary between the Hatatate and Tsunaki formations along the lower reaches of the Natori River. Here, the Tsunaki Formation unconformably overlies the Hatatate Formation. The contact is marked by a conglomerate with multiple graded layers.

の累積が確認できることである。傾斜の累積は綱木層（中部）の基底あたりまでみられるが、茂庭層・旗立層では確認できない。つまり、この反射断面に見られる傾斜は、綱木層中部の堆積が始まるころから形成が開始されたと言える。このことは、Fig. 5で旗立層と綱木層中部との間で地層の走向が変わることとも調和する。また、仙台層群下部より上部の方が傾斜が緩くなる様子は露頭でも確認できる（Fig. 11）。この変形がどのようなテクトニクスと関連しているかはよく分かっていない。この露頭の近くには長町-利府線と鉤取-愛子線があり、地層の変形が何れか（あるいは両方）の活動と関係していることは間違いない。地理的な位置関係からは、鉤取-愛子線の活動と関連しているように見えるが、詳細の解明は今後の課題である。

巡検地周辺の地層の広域的な位置づけ

東北日本には名取層群、秋保層群、仙台層群と同時代に堆積した地層が広く分布しているが、時代と場所によって厚さや層相が大きく異なる。この違いは堆積の中心が何処にあったかを反映しており、地形的な低まりの部分に厚い堆積層が保存されやすいことを考えると地殻変動とも関連が深い。ここでは巡検地周辺の地層が、東北日本全体で見るとどのような位置づけにあるかを、東北日本のテクトニクス史との関連で整理してみる。

1. 名取層群

名取層群と秋保層群の堆積時期は、日本海の拡大が終わって東北日本に海域が広がり、さらにその海が奥羽山脈の隆起によって日本海側と太平洋側に分断されていく過程にあたる。この時期の地層を、島弧を横断する断面で対比したのがFig. 12である。茂庭層は岩礁とその周辺の浅海の堆積物であるが、その沖合相にあたる地層が仙台市街を隔てて東方の塩竈・松島湾地域に露出する。松島湾層群上部の大塚層、根古層がそれで、海生珪藻が産出する（石井ほか, 1982, 1983）。

旗立層は茂庭層の時代から海進が進んだ時期の堆積物である。この時代の手成層の堆積中心は、現在の脊梁山地がある

場所やさらに日本海側であった。茂庭層と旗立層の境界にある海緑石層は、わずか1.5 m程の層厚の地層の堆積に約200万年を要しており、堆積速度が非常に低下したことを示す（柳沢, 1999c; 島本ほか, 2001）。同時期の海緑石層は日本海側で広く見られ（島田, 1986; 小泉・的場, 1989; 柳沢, 1999a, b, c）、その原因として、東北日本が急激に沈降して深い海になったためと考えられる。この沈降は、日本海拡大時に形成された海洋性プレートの冷却・密度の増加と関連があるとされる（山路・佐藤, 1989）。

綱木層の堆積時期になると脊梁山地の前身となった火山弧からの物質供給が急増し、海域の埋積と浅化が進行した。綱木層は当時の太平洋と日本海を結んでいた海峡の南岸に当たる場所で堆積した。同時代の地層は仙台市街地を挟んで北方の吉岡地域（北村ほか, 1981, 1983）や松島地域（石井ほか, 1982）に露出するが、そこでは海生微化石が多産するなど、相対的に深い海の環境が示唆され、海峡の中央部であったと推定される。

2. 秋保層群

中新世最後期になると、奥羽山脈を中心に珪長質火山活動が活発になった。仙台西方では7 Ma頃から陸上でのカルデラ形成が始まり、7～5 Maには脊梁域に多数の大規模陥没カルデラが生じた（吉田ほか, 2005）。その数は80以上に及ぶ（吉田ほか, 1999）。この時期の隆起によって奥羽山脈が東北日本を東西に分断する結果となった。火山活動で放出された火砕流などが秋保層群の主な供給源となった。秋保層群は火砕流の発生源に近い脊梁山地に近いほど厚く、巡検地周辺に分布するものは火砕流の縁辺部で堆積したものが多い。また一部は、カルデラの跡に出来た湖沼で堆積したものもあると考えられる。

3. 仙台層群

仙台層群は前弧側で南北方向に広い分布を示し、南方方向に堆積中心の変化や地殻変動の影響が見られる（Fig. 13）。亀岡層はほとんどが陸成層であるが、宮城県北部の若柳では巨礫を伴う基底礫岩（松野, 1967）を伴い約40 mの層厚があ

Fig. 10. Seismic reflection profile along the lower reaches of the Natori River (modified from Miyagi Prefecture, 1996). The location of the surveyed line is shown in Fig. 5.

る。分布域東部の塩竈地域では基盤（中新統～鮮新統）の凹地を埋めて分布しており、カキの化石が産出する（石井ほか, 1983）。ここでは亀岡層の堆積時に凹地に海が入り込んだと考えられる。竜の口層は宮城県北部の古川で層厚が120 mもある（北村ほか, 1981）が、仙台市西部や岩手県北上市では薄く汽水環境も一部で認められる（Chinzei and Iwasaki, 1967; Hatai and Noda, 1968; 大槻ほか, 1994; 柳沢, 1998）。

仙台層群上部では、堆積の中心は南下して福島県浜通り地域に位置するようになる。向山層は福島県浜通り北部の原町～大甕地域で層厚220 mと最も厚く（久保ほか, 1990）、大年寺層は福島県浜通り南部で350～430 mに達する（久保ほか, 1994）。仙台層群の現在の分布高度は地域差が大きい。これには堆積後の地殻変動の影響もあるが、層相や化石の特徴からは、北上低地から福島県浜通り地域まで南北に沿って、相対的な隆起場と沈降場がいくつか並んでいるようにも見える。地殻変動と堆積場の変遷については、今後の研究に期待したい。

見学地説明

本巡検では、これまで解説してきた仙台市南西部に分布する新第三系の岩相層序、化石相などを見学し、年代や古環境の情報とシーケンス層序の解釈について、以下の4地点で参加者と議論を行いたい。全体の案内図はFig. 2に示す。

Stop 1 仙台市西部赤石橋付近

〔地形図〕 1:25,000「仙台南西部」

〔位置〕 38°12′55.4″ N, 140°45′18.0″ E

〔説明〕 この露頭は、地学団体研究会仙台支部（1980, 2011）と増田（1987）が詳しく解説している。茂庭層は高館層を不整合に覆い、高館層の窪みを埋める貝殻質砂岩・礫岩に巻貝や二枚貝の化石を含む（Fig. 14A）。高館層や茂庭層中の礫には穿孔貝の巣穴化石が見られる（Fig. 14B）。穿孔貝の一つは当初、Hatai et al. (1974) によって海蛇の卵として記載されたが、Haga et al. (2010) によれば Mytilidae 科の *Gastrochaenolites japonicus* である。北赤石では、*Paleoparadoxia tabatai* の右上

Fig. 11. Photograph showing outcropping Sendai Group units along the lower reaches of the Natori River. Here, the shallowly dipping Upper Sendai Group of the Mukaiyama Formation unconformably overlies the steeply dipping Lower Sendai Group of the Tatsunokuchi Formation.

第4小白歯が見つかった（みちのく古生物研究会, 1999）。

茂庭層の堆積時期は従来から Climatic Optimum 1 など温暖期イベントにあたると言われているが、岩の沢で *Paleoparadoxia tabatai* が発見された層準は約 14.7 Ma 前後で Miller et al. (1996) の Mi3a イベントの頃にあたる（柳沢, 2012 の Fig. 10：この図では Mi2a と書いているが誤植）。

Stop 2 名取川下流河床露頭

〔地形図〕 1：25,000「仙台南西部」

〔位置〕 38°12'26.3" N, 140°50'46.1" E（綱木層基底礫）

〔説明〕 旗立層、綱木層と不整合とシーケンス、凝灰岩。

Figs. 4, 5 に示す大露頭で、旗立層から大年寺層までが見学できる。地層は下流側へ 30～40 度傾斜しており、下流ほど上位の地層が現れる。露頭に挟まる多数の凝灰岩層のうち、比較的厚いものには番号を付してある。これらの凝灰岩層は、模式地の旗立層や綱木層や、福島県浜通り地域の仙台南群に挟まる凝灰岩鍵層との直接の対比はついていない。

これらの地層では、上方細粒化～粗粒化が繰り返す堆積サイクルを示すのが特徴である（Figs. 6, 7）。旗立層の典型的な堆積サイクルでは、下部は海進ラグ堆積物と考えられる砂岩や礫質砂岩から始まり、その上位は生痕化石を含む泥質砂岩などからなる細粒部を経て、さらに上部の粗粒で斜交層理が発達する貝殻質砂岩（主にフジツボ、*Chlamys* sp., 腕足類、ウニの棘などの破片からなる）へと重なる。堆積サイクル中部を構成する細粒層には上下の地層に比べ相対的に深い水深を示す貝化石を含むことが多い。顕著な上方細粒化とそれに続く粗粒化を一括りとして、その一つ一つを堆積サイクルと見なせば、個々の堆積サイクルは相対的海水準の上昇と下降のサイクルを示している可能性が高い。旗立層には 7 回程度、綱木層には 2 回の堆積サイクルを認定できそうである。亀岡層と竜の口層、向山層と大年寺層もそれぞれ陸成層から海成層への海面変動サイクルを示していると考えられる。しかしそれを論証するには、さらに多くの堆積構造、化石、堆積年代についてのデータが必要である。また、相対的海水準変動に占めるユースタティックな海面変動と地殻変動成分の

分離抽出にも限界があつて、十分に整理しきれていない。この見学ポイントでは、このような観点を踏まえて、とくに堆積相の解釈やシーケンス境界の認定について、現場で活発に議論していただきたい。

もう一つこの露頭で未解決の問題は、Fujiwara et al. (2008) が綱木層の上部とした層準の層序上の扱いである。この層準から得られた約 6.4 Ma の FT 年代は、上述のように模式地周辺の綱木層上部と比べて 200 万年ほど若く、むしろ梨野層下部の年代 (6.4 ± 0.5 Ma) に近い。名取川河床で綱木層上部とした地層は、梨野層の延長である可能性もあるが、今後の検討を要する。

Stop 3 東北工業大学総合グラウンド

〔地形図〕 1：25,000「仙台南西部」

〔位置〕 38°14'40.0" N, 140°49'29.7" E

〔説明〕 綱木層上部、梨野層、青葉山東断層。

綱木層上部から梨野層にかけての層相がグラウンド脇の連続露頭で観察できる。この露頭については地学団体研究会仙台北支部（1980）などにも解説がある。グラウンドの南側では青葉山東断層が綱木層上部を切る様子が見られる。断層ガウジは 1 cm 程度で、断層の両側ではほぼ同質な細粒～中粒砂岩が接する。鍵層 Oso-68 を基準に 130 m の左横ずれ水平距離を確認できる（遅沢ほか, 2006）。この Oso-68 は、平行葉理が発達する厚さ 60 cm 程度の火山角礫凝灰岩層で、風化すると顕著な茶色に変色する地層で、広域対比に用いられる主要な鍵層の一つである。青葉山東断層は規模が小さく見えるが南北の連続性は良く、少なくとも広瀬川流域から仙台北道路の青葉山トンネルを横切り、東北工業大学総合グラウンドを通して南部の名取川流域まで確実に追跡できる。遅沢（2004a）によれば、双葉断層までつながるといふ。

Stop 4 竜の口溪谷入口の崖

〔地形図〕 1：25,000「仙台南西部」

〔位置〕 38°15'4.1" N, 140°51'29.1" E

〔説明〕 竜の口層・向山層。

竜の口層の模式地。竜の口溪谷の地層の解説書は数多い

Fig. 12. East-west trending stratigraphic correlation cross-section for Neogene sedimentary rocks between Sendai and Yudonosan areas, the southern Tohoku area.

(永広, 1987; 地学団体研究会仙台支部, 2011 など). 溪谷にそって竜の口層と向山層がほぼ連続して分布し, 上流では竜の口層と亀岡層の境界まで見ることができる (才田ほか, 2011).

2011 年東北地方太平洋沖地震などによる斜面崩壊で溪谷内では観察に危険が伴うため, 今回は溪谷入口の崖を観察する (Fig. 15). ここでは竜の口層最上部から向山層までが観察できる. 大年寺層は崖の最上部に分布するが, 木立などで隠れている. 竜の口層は貝化石片を含む砂質シルト岩からなる. 向山層下部は斜交層理の発達する礫混じりの砂岩で, 基底礫岩をもって竜の口層を覆う. 向山層中には亜炭層が何層も見られる. 広瀬川凝灰岩部層基底には火山豆石を含む細粒凝灰

岩があり, その下位に亜炭層や“立木の化石”がある. 広瀬川凝灰岩部層には, 数 cm から数十 cm 径の軽石が入っている. 大年寺層は竜の口溪谷を少し入ったところから観察出来るが, 崖の高い位置に基底があるので, 直接触れることは難しい. 仙台層群に挟まる亜炭層は, 第二次大戦後まで燃料として掘り出されていた. また, 青葉山丘陵, 八木山一帯の亜炭層に含まれる埋もれ木は“埋もれ木細工”の材料としても使われてきた (地学団体研究会仙台市支部, 1993 など).

謝 辞

東北大の遅沢壮一博士, 佐々木 理博士, 高嶋礼詩博士には, 実習担当を通して現地で仙台地域の地質について議論し

Fig. 13. North-south profile for the Sendai Group in the Pacific side of NE Japan, compiled from 1:50,000 scale geological sheet maps published by the Geological Survey of Japan (Matsuno, 1967; Takahashi and Matsuno, 1969; Oide and Fujita, 1975; Kitamura et al., 1981, 1983, 1986; Ishii et al., 1982, 1983; Fujita et al., 1988; Kubo et al., 1990, 1994, 2002; Yanagisawa et al., 1996) and the Fundamental Land Classification Survey by prefectures (Miyagi Pref., 1987, 1994).

Fig. 14. Exposed Takadate and Moniwa Formations at stop 1. A: Basaltic agglomerates and andesite dikes of the Takadate Formation unconformably overlain by the Moniwa Formation. B: The Moniwa Formation is characterized by fossils of marine organisms that lived along this rocky coast, including trace fossils of shells that bored into boulders.

ていただいた。名取川河床露頭の調査では、布施圭介氏（元（株）大和地質研究所）、檀原 徹氏（（株）京都フィッシュ・トラック）、柳沢幸夫博士（産総研地質情報研究部門）、島本昌憲博士（元東北大）にご協力を頂いた。本稿の作成に当た

り、松原尚志博士（兵庫県立人と自然の博物館）には貝類化石の研究現状についてご教示頂いた。板本拓也博士（産総研地質情報研究部門）と大石雅之博士（岩手県博）には文献収集でご協力頂いた。査読者である永広昌之博士（東北大

Fig. 15. Exposed Tatsunokuchi and Mukaiyama Formations at stop 4. Here, the Tatsunokuchi Formation consists of sandy siltstones with molluscan fossils, whereas the Mukaiyama Formation is dominated by stratified siltstones with lignite beds and intercalates the Hirosegawa Tuff Member (mainly pumice flow deposits) in its middle part.

学)と長橋良隆博士(福島大学), および編集委員の本山功博士からのコメントによって本稿は改善された。

文 献

- 天野一男・佐藤比呂志(Amano, K. and Sato, H.), 1989, 東北本州弧中部地域の新生代テクトニクス. 地質学論集(Mem. Geol. Soc. Japan), no. 32, 81–96.
- 浅野 清(Asano, K.), 1937, 仙台付近茂庭層の有孔虫化石. 付 新種の記載(英文). 地質雑(Jour. Geol. Soc. Japan), 44, 28–35.
- 地学団体研究会仙台支部編(Association for the Geological Collaboration in Japan, Sendai Branch, ed.), 1980, 新編仙台の地学(Field Guide on the Geology of Sendai: new edition)*. きた出版(Kita Publishing), 178p.
- 地学団体研究会仙台支部編(Association for the Geological Collaboration in Japan, Sendai Branch, ed.), 1993, せんだい地学ハイキング. きぶんは宝さがし!(Field Guide on the Geology of Sendai: Hunting Geologic Treasures!)*. 宝文堂(Houbundou Press), 140p.
- 地学団体研究会仙台支部編(Association for the Geological Collaboration in Japan, Sendai Branch, ed.), 2011, きぶんは宝さがし! せんだい地学ハイキング(Hunting Geologic Treasures!: Field Guide on the Geology of Sendai)*. 創文印刷(Soubun Publ.), 190p.
- 鎮西清高(Chinzei, K.), 1963, 東北日本の新第三紀貝類化石群集の変遷. 化石(Fossils), no. 5, 20–26.
- Chinzei, K., 1986, Faunal succession and geographic distribution of the Neogene molluscan faunas in Japan. *Palaeontol. Soc. Japan, Spec. Pap.*, no. 29, 17–32.
- Chinzei, K. and Iwasaki, Y., 1967, Paleocology of shallow sea molluscan faunas in the Neogene deposits of Northeast Honshu, Japan. *Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan, N.S.*, no. 67, 93–113.
- 檀原 徹・岩野英樹(Danhara, T. and Iwano, H.), 1995, 火砕流堆積物のFT年代測定—仙台層群広瀬川凝灰岩の場合—. フィッション・トラック ニュースレタ(Fission Track News Lett.), 8, 25–34.
- 永広昌之(Ehiro, M.), 1987, 竜の口峡谷のルートマップと柱状図. 地学団体研究会仙台支部・仙台市科学館編, 広瀬川流域の地形地質調査報告書(Report on Geography and Geology along the Hirose River: With Explanatory Report for Geographic Division and Geological Maps of Sendai)*, 仙台市科学館(Sendai Sci. Mus.), 29–32.
- 永広昌之・佐藤正道・高泉幸浩(Ehiro, M., Sato, M. and Takaizumi, Y.), 2001, 宮城県仙台市の中新統茂庭層より産出した頭足類化石 *Aturia* とその古環境的意義. 地球科学(Earth Sci. (Chikyū Kagaku)), 55, 183–186.
- 藤田至則・加納 博・滝沢文教・八島隆一(Fujita, Y., Kano, H., Takizawa, F. and Yashima, R.), 1988, 角田地域の地質. 地域地質研究報告(5万分1地質図幅)(Geology of the Kakuda District. With Geological Sheet Map at 1:50,000), 地質調査所(Geol. Surv. Japan), 99p.
- Fujiwara, O., Yanagisawa, Y., Irizuki, T., Shimamoto, M., Hayashi, H., Danhara, T., Fuse, K. and Iwano, H., 2008, Chronological data for the Middle Miocene to Pliocene sequence around the southwestern Sendai Plain, with special reference to the uplift history of the Ou Backbone Range. *Bull. Geol. Surv. Japan*, 59, 423–438.
- Haga, T., Kurihara, Y. and Kase, T., 2010, Reinterpretation of the Miocene sea-snake egg *Moniopterus japonicus* as a boring of rock-boring bivalve *Lithophaga* (Mytilidae: Mollusca). *Jour. Paleontol.*, 84, 848–857.
- 半澤正四郎(Hanzawa, S.), 1935, 仙台市付近より *Lepidocyclus* の発見. 地質雑(Jour. Geol. Soc. Japan), 42, 533–534.
- 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. (Geol.)*, 25, 1–50.
- 長谷川四郎(Hasegawa, S.), 1987, 有孔虫化石(竜の口層). 地学団体研究会仙台支部・仙台市科学館編, 広瀬川流域の地形地質調査報告書(Report on Geography and Geology along the Hirose River: With Explanatory Report for Geographic Division and Geological Maps of Sendai)*, 仙台市科学館(Sendai Sci. Mus.), 86–90.
- 長谷川善和・大石雅之・竹谷陽二郎・丸山俊明(Hasegawa, Y., Oishi, M., Taketani, Y. and Maruyama, T.), 1993, 福島県双葉町より産出した鯨類化石. 福島県博報(Res. Rep. Fukushima Mus.), no. 23, 1–44.
- Hatai, K., 1940, The Cenozoic brachiopod of Japan. *Sci. Rep. Tohoku Imp. Univ., 2nd. Ser. (Geol.)*, 20, 1–413.
- Hatai, K., Hayasaka, S. and Masuda, K., 1963, Some fossil tympanics from the Mizuho period of northern Japan. *Saito Ho-on Kai Mus. Nat. Hist. Res. Bull.*, no. 32, 5–17.
- Hatai, K. and Masuda, K., 1967, The stratigraphic position of *Trilophodon sendaicus* Matsumoto with the Mizuho-To of Sendai City, Miyagi Prefecture. *Saito Ho-on Kai Mus. Nat. Hist. Res. Bull.*, no. 35, 1–10.
- Hatai, K., Masuda, K. and Noda, H., 1974, Marine fossils from the Moniwa Formation along the Natori river, Sendai, northeast Honshu, Japan, part 2: Problematica from the Moniwa Formation. *Trans. Proc. Palaeontol. Soc. Japan, N. S.*, no. 95, 364–371.
- Hatai, K. and Noda, H., 1968, Cylindrical structures from the Tatsunokuchi Formation (Early Miyagian) in Sendai City, Miyagi Prefecture. *Trans. Proc. Palaeontol. Soc. Japan, N. S.*, no. 72, 345–350.
- Hilgen, F. J., Lourens, L. J. and Van Dam, J. A., 2012, Chapter 29 The Neogene Period. In Gradstein, F. M., Ogg, J. G., Schimtz, M. and Ogg, G., eds., *The Geologic Time Scale 2012*, Elsevier, Amsterdam, 932–978.
- 出原祐樹・林 広樹・藤原 治・熊澤大輔・入月俊明(Idehara, Y., Hayashi, H., Fujiwara, O., Kumazawa, D. and Irizuki, T.), in press, 仙台市名取川ルートの中中新統旗立層における浮遊性有孔虫化石群集の層位変化. 化石(Fossils), (印刷中).
- 稲井 豊(Inai, Y.), 1939, 仙台付近新生代層の層序に就きて. 青木廉二郎編, 矢部教授還暦記念論文集(Jubilee Publ. Commem. Prof. H. Yabe, M. I. A. Sixtieth Birthday), 1, 笹 氣 印 刷 所(Sasaki Publ. House), 351–370.
- 犬塚則久・村井武文(Inuzuka, N. and Murai, T.), 1980, 茂庭層産 *Paleoparadoxia tabatai* の下顎左側第3大臼歯について. 地球科学(Earth Sci. (Chikyū Kagaku)), 14, 105–108.
- 石井武政・柳沢幸夫・山口昇一(Ishii, T., Yanagisawa, Y. and Yamaguchi, S.), 1983, 塩竈地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)(Geology of the Shiogama District. With Geological Sheet Map at 1:50,000), 地質調査所(Geol. Surv. Japan), 112p.
- 石井武政・柳沢幸夫・山口昇一・寒川 旭・松野久也(Ishii, T., Yanagisawa, Y., Yamaguchi, S., Sangawa, A. and Matsuno, Y.), 1982,

- 松島地域の地質。地域地質研究報告(5万分の1地質図幅) (*Geology of the Matsuushima District. With Geological Sheet Map at 1:50,000*), 地質調査所(Geol. Surv. Japan), 121p.
- Ishizaki, K., 1966, Miocene and Pliocene ostracods from the Sendai area, Japan. *Sci. Rep. Tohoku Univ., 2nd Ser. (Geol.)*, **37**, 131-163.
- 石崎國熙(Ishizaki, K.), 1987, 貝形虫化石(仙台付近の新第三系)。地学団体研究会仙台支部・仙台市科学館編, 広瀬川流域の地形地質調査報告書(*Report on Geography and Geology along the Hirose River: With Explanatory Report for Geographic Division and Geological Maps of Sendai*)*, 仙台市科学館(Sendai Sci. Mus.), 91-92.
- 伊藤谷生・歌田実・奥山俊一(Ito, T., Utada, M. and Okuyama, S.), 1989, 東北日本脊梁地域に分布する中新世後期~鮮新世のカルデラ群について。地質学論集(*Mem. Geol. Soc. Japan*), no. 32, 409-429.
- 岩井淳一(Iwai, J.), 1949, 仙台付近の新生代層。地球科学(*Earth Sci. (Chikyu Kagaku)*), **1**, 23-27.
- 岩手の地質教材研究会編(Collegium for Development of Geological Educational Materials of Iwate, ed.)*, 1986, 紫波郡地域の地質(*Geology of Shiwa County, Iwate, Japan*)*。岩手の地質教材研究会(Collegium for Development of Geological Educational Materials of Iwate)*, 57p.
- 亀井節夫(Kamei, T.), 2000, 「日本の長鼻類化石」とそれ以後。地球科学(*Earth Sci. (Chikyu Kagaku)*), **54**, 211-230.
- 鹿野和彦・加藤碩一・柳沢幸夫・吉田史郎(Kano, K., Kato, H., Yanagisawa, Y. and Yoshida, F.), 1991, 日本の新生界層序と地史。地調報告(*Rep. Geol. Surv. Japan*), no. 274, 1-114.
- 北村信(Kitamura, N.), 1967, 宮城県の地質(*Geology of Miyagi Prefecture*)。宮城県商工労働部中小企業課, 宮城県(Miyagi Pref.), 32p.
- 北村信編(Kitamura, N., ed.), 1986, 新生代東北本州弧地質資料集(*Geological Information Packets on the Cenozoic in Tohoku Honshu Arc*)*, 全3巻, 宝文堂(Hobundo Press)。
- 北村信・石井武政・寒川旭・中川久夫(Kitamura, N., Ishii, T., Sangawa, A. and Nakagawa, H.), 1986, 仙台地域の地質。地域地質研究報告(5万分の1地質図幅) (*Geology of the Sendai District. Quadrangle Series, 1:50,000*), 地質調査所(Geol. Surv. Japan), 134p.
- 北村信・大槻憲四郎・大口健志編(Kitamura, N., Otsuki, K. and Ohguchi, T., eds.), 1989, 新生代東北本州弧のジオテクトニクス(*Cenozoic Geotectonics of Northeast Honshu Arc*)。地質学論集(*Mem. Geol. Soc. Japan*), no. 32, 467p.
- 北村信・大沢穰・石田琢二・中川久夫(Kitamura, N., Ozawa, A., Ishida, T. and Nakagawa, H.), 1981, 古川地域の地質。地域地質研究報告(5万分の1地質図幅) (*Geology of the Furukawa District. With Geological Sheet Map at 1:50,000*), 地質調査所(Geol. Surv. Japan), 32p.
- 北村信・大沢穰・中川久夫(Kitamura, N., Ozawa, A. and Nakagawa, H.), 1983, 吉岡地域の地質。地域地質研究報告(5万分の1地質図幅) (*Geology of the Yoshioka District. With Geological Sheet Map at 1:50,000*), 地質調査所(Geol. Surv. Japan), 50p.
- Koizumi, I., 1972, Marine diatom flora of the Pliocene Tatsunokuchi Formation in Fukushima Prefecture. *Trans. Proc. Palaeontol. Soc. Japan, N. S.*, no. 86, 340-359.
- 小泉格・的場保望(Koizumi, I. and Matoba, Y.), 1989, 西黒沢階の上限について。地質学論集(*Mem. Geol. Soc. Japan*), no. 32, 187-195.
- 久保和也・柳沢幸夫・利光誠一・坂野靖行・兼子尚知・吉岡敏和・高木哲一(Kubo, K., Yanagisawa, Y., Toshimitsu, S., Banno, Y., Kaneko, N., Yoshioka, T. and Takagi, T.), 2002, 川前及び井出地域の地質。地域地質研究報告(5万分の1地質図幅) (*Geology of the Kawamae and Ide District. Quadrangle Series, 1:50,000*)。産総研地質調査総合センター(Geol. Surv. Japan, AIST), 136p.
- 久保和也・柳沢幸夫・吉岡敏和・高橋浩(Kubo, K., Yanagisawa, Y., Yoshioka, T. and Takahashi, Y.), 1994, 浪江及び磐城富岡地域の地質。地域地質研究報告(5万分の1地質図幅) (*Geology of the Namie and Iwaki-Tomioka District. With Geological Sheet Map at 1:50,000*)。地質調査所(Geol. Surv. Japan), 104p.
- 久保和也・柳沢幸夫・吉岡敏和・山元孝広・滝沢文教(Kubo, K., Yanagisawa, Y., Yoshioka, T., Yamamoto, T. and Takizawa, F.), 1990, 原町及び大甕地域の地質。地域地質研究報告(5万分の1地質図幅) (*Geology of the Haramachi and Oomika District. With Geological Sheet Map at 1:50,000*), 地質調査所(Geol. Surv. Japan), 155p.
- 栗原行人・堀内誠示・柳沢幸夫(Kurihara, Y., Horiuchi, S. and Yanagisawa, Y.), 2003, 埼玉県岩殿丘陵地域に分布する中新統の岩相層序と珪藻・石灰質ナノ化石層序。地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **109**, 215-233.
- Manabe, K., 1979, Magnetostratigraphy of the Yamato Group and the Sendai Group, Northeast Honshu, Japan (I). *Sci. Rep. Fukushima Univ.*, no. 29, 51-65.
- Manabe, K., 1980, Magnetostratigraphy of the Yamato Group and the Sendai Group, Northeast Honshu, Japan (II). *Sci. Rep. Fukushima Univ.*, no. 30, 49-71.
- Maruyama, T., 1984a, Miocene diatom biostratigraphy of onshore sequence of the Pacific side of northeast Japan, with reference to DSDP Hole 438A (Part 1). *Sci. Rep. Tohoku Univ., 2nd Ser. (Geol.)*, **54**, 141-164.
- Maruyama, T., 1984b, Miocene diatom biostratigraphy of onshore sequence of the Pacific side of northeast Japan, with reference to DSDP Hole 438A (Part 2). *Sci. Rep. Tohoku Univ., 2nd Ser. (Geol.)*, **55**, 77-140.
- Masuda, K., 1962, Tertiary Pectinidae of Japan. *Sci. Rep. Tohoku Univ., 2nd Ser. (Geol.)*, **33**, 117-238.
- 増田孝一郎(Masuda, K.), 1969, 茂庭層の貝化石群集。化石(*Fossils*), no. 17, 29-40.
- 増田孝一郎(Masuda, K.), 1986, 東北地方新第三系の貝類化石層序。高安泰助教授退官記念会編, 秋田油田地域新第三系・第四系貝類化石図鑑(*Neogene and Quaternary Molluscs from the Akita Oil-field, Japan*), 笹氣出版印刷(Sasaki Publ. House), 78-91.
- 増田孝一郎(Masuda, K.), 1987, 大型動物化石。地学団体研究会仙台支部・仙台市科学館編, 広瀬川流域の地形地質調査報告書(*Report on Geography and Geology along the Hirose River: With Explanatory Report for Geographic Division and Geological Maps of Sendai*)*, 仙台市科学館(Sendai Sci. Mus.), 69-85.
- Masuda, K., Handa, M., Kanno, M., Miyasaka, Y., Nemoto, J., Sasaki, T., Takaizumi, Y. and Wako, K., 1990, Remarks on molluscan fauna from the Dainenji Formation, Sendai, Miyagi Prefecture, Japan. *Saito Ho-on Kai, Mus. Nat. Hist., Res. Bull.*, no. 58, 1-17.
- Masuda, K. and Takezawa, R., 1961, On an interesting sand-pipe from the environs of Sendai, Miyagi Prefecture, northeast Honshu, Japan. *Saito Ho-on Kai Mus. Res. Bull.*, no. 30, 39-46.
- Matsumoto, H., 1926, On two mastodonts and an archetypal *Stegodon* of Japan. *Sci. Rep. Tohoku Imp. Univ., 2nd Ser. (Geol.)*, **10**, 1-11.
- 松野久也(Matsuno, K.), 1967, 若柳地域の地質。地域地質研究報告(5万分の1地質図幅) (*Geology of the Wakayanagi District. With Geological Sheet Map at 1:50,000*), 地質調査所(Geol. Surv. Japan), 24p.
- みちのく古生物研究会編(Michinoku Amateur Paleontologists' Club, ed.), 1990, 宮城の化石図集(1) 茂庭層の化石 I — イタヤガイ科 — (*Atlas of Fossils from Miyagi Prefecture, Japan, Part 1: Fossils from the Moniwa Formation, Part 1*)*。仙台市科学館(Sendai Sci. Mus.), 15p.
- みちのく古生物研究会編(Michinoku Amateur Paleontologists' Club, ed.), 1991, 宮城の化石図集(2) 茂庭層の化石 II — 貝類化石 — (*Atlas of Fossils from Miyagi Prefecture, Japan, Part 2: Fossils from the Moniwa Formation, Part 2*)*。仙台市科学館(Sendai Sci. Mus.), 32p.
- みちのく古生物研究会編(Michinoku Amateur Paleontologists' Club, ed.), 1999, 宮城の化石図集(3) 茂庭層の化石 III (*Atlas of Fossils*

- from Miyagi Prefecture, Japan, Part 3: Fossils from the Moniwa Formation, Part 3)*. 仙台市科学館 (Sendai Sci. Mus.), 53p.
- みちのく古生物研究会編 (Michinoku Amateur Paleontologists' Club, ed.), 2002, 宮城の化石図集(4) 竜の口層の化石 (*Atlas of Fossils from Miyagi Prefecture, Japan, Part 4: Fossils from the Tatsunokuchi Formation*)*. 仙台市科学館 (Sendai Sci. Mus.), 53p.
- Miller, K. G., Mountain, G. S., Leg 150 Shipboard Party and Members of New Jersey Coastal Plain Drilling Project, 1996, Drilling and dating New Jersey Oligocene-Miocene sequences: ice volume, global sea level, and Exxon records. *Science*, **271**, 1092-1095.
- 宮城県 (Miyagi Pref.), 1987, 土地分類基本調査「川崎・山形」 (*Scale 1:50,000 Fundamental Land Classification Survey: Kawasaki and Yamagata*). 宮城県 (Miyagi Pref.), 63p.
- 宮城県 (Miyagi Pref.), 1994, 土地分類基本調査「関山峠」 (*Scale 1:50,000 Fundamental Land Classification Survey: Sekiyama-toge*). 宮城県 (Miyagi Pref.), 64p.
- 宮城県 (Miyagi Pref.), 1996, 長町一利府断層帯に関する調査業務 (物理探査) 成果報告書 (*Report on the Geophysical Prospecting of the Nagamachi-Rifu Fault Zone*)*, 宮城県, 26p.
- 長橋良隆・高橋友啓・柳沢幸夫・黒川勝己・吉田武義 (Nagahashi, Y., Takahashi, T., Yanagisawa, Y., Kurokawa, K. and Yoshida, T.), 2004, 福島県太平洋岸の鮮新統大年寺層に挟在する広域テフラ層. 地球科学 (*Earth Sci. (Chikyu Kagaku)*), **58**, 337-344.
- 中嶋 健・檀原 徹・鎮西清高 (Nakajima, K., Danhara, T. and Chinzei, K.), 2002, 岩手県湯田盆地の堆積盆発達史—新生代後期における奥羽山脈中軸部の地質構造発達史に関連して—. 地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), **106**, 93-111.
- Nakajima, T., Danhara, T., Iwano, H. and Chinzei, K., 2006, Uplift of the Ou Backbone Range in Northeast Japan around 10 Ma and its implication for the tectonic evolution of the eastern margin of Asia. *Paleogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, **241**, 28-48.
- 中村謙治・天野一男 (Nakamura, K. and Amano, K.), 1994, 仙台市周辺に分布する仙台層群の堆積相と海水準変動. 日本地質学会第101年学術大会講演要旨 (*101st Ann. Meet. Geol. Soc. Japan, Abstr.*), 147.
- Noda, H., 1966, Cenozoic Ardidae of Japan. *Sci. Rep. Tohoku Univ., 2nd Ser. (Geol.)*, **38**, 1-161.
- Nomura, S-h., 1938, Molluscan fossils from the Tatsunokuchi shell bed exposed at Goroku cliff in the western border of Sendai. *Sci. Rep. Tohoku Imp. Univ., 2nd Ser. (Geol.)*, **19**, 235-275.
- Nomura, S-h., 1940, Molluscan fauna of the Moniwa shell bed exposed along the Natori-gawa in the vicinity of Sendai, Miyagi Prefecture, Japan. *Sci. Rep. Tohoku Imp. Univ., 2nd Ser. (Geol.)*, **21**, 1-46.
- Nomura, S-i and Maeda, H., 2008, Significance of autochthonous fossil barnacles from the Miocene Natori Group at the Moniwa-Goishi area, northeast Japan. *Paleontol. Res.*, **12**, 63-79.
- 尾田太良・酒井豊三郎 (Oda, M. and Sakai, T.), 1977, 旗立層中・下部の微化石層位—浮遊性有孔虫・放散虫—. 藤岡一男教授退官記念論文集編集委員会編, 藤岡一男教授退官記念論文集 (*Professor Kazuo Huzioka Memorial Volume*), 441-456.
- Ogasawara, K., 1986, Notes on the origin and migration of the Omma-Manganzian fauna, Japan. *Palaeontol. Soc. Japan, Spec. Pap.*, **29**, 227-244.
- Ogasawara, K., 1994, Neogene paleogeography and marine climate of the Japanese Islands based on shallow-marine molluscs. *Paleogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, **108**, 335-351.
- Ogasawara, K., Hasegawa, S. and Maruyama, T., 1990, Neogene marine sequences and benthic foraminifers in Sendai district. In Benthos '90 Organizing Committee, ed., *Fossil and Recent Benthic Foraminifera in Some Selected Regions of Japan, Guidebook for Field Trips organized on the Occasion of Fourth International Symposium on Benthic Foraminifera, Sendai, 1990*, Institute of Geology and Paleontology, Tohoku Univ., C1-C17.
- Ogasawara, K., Saito, T. and Takahashi, S., 1985, Late Miocene molluscs from the northwestern part of the Yamagata Basin, Yamagata Prefecture, Tohoku District, Japan. *Saito Ho-on Kai Mus. Nat. Hist. Res. Bull.*, no. 53, 21-35.
- Ogasawara, K., Sasaki, O. and Chiba, N., 1988, The Dainenjian molluscan association from the environs of Sendai, northeast Honshu and its zoogeographic significance. *Saito Ho-on Kai, Mus. Nat. Hist., Res. Bull.*, no. 56, 1-15.
- Ogasawara, K., Takano, M., Nagato, H. and Nakano, T., 2008, Cenozoic molluscan faunas and climatic changes in the northern Pacific related to Pacific gateways: Review and perspective. *Bull. Geol. Surv. Japan*, **59**, 355-364.
- 生出慶司 (Oide, K.), 1955, 「鉤取—奥武士線」の意義について. 地球科学 (*Earth Sci. (Chikyu Kagaku)*), **25**, 12-20.
- 生出慶司・藤田至則 (Oide, K. and Fujita, Y.), 1975, 岩沼地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅) (*Geology of the Iwanuma District. With Geological Sheet Map at 1:50,000*), 地質調査所 (Geol. Surv. Japan), 27p.
- 生出慶司・中川久夫・蟹澤聡史編 (Oide, K., Nakagawa, H. and Kanisawa, S., eds.), 1989, 日本の地質2「東北地方」 (*Regional Geology of Japan, 2: Tohoku*). 共立出版 (Kyoritsu Shuppan), 338p.
- 大石雅之 (Oishi, M.), 1997, 平泉町における新第三系鮮新統と海生哺乳類化石. 平泉教育委員会編, 平泉町史 (自然・民族編) (*History of Hiraizumi Town: Natural History and Folklore Volume*), 平泉町 (Hiraizumi Town), 17-76.
- Oishi, M. and Hasegawa, Y., 1995a, Diversity of Pliocene mysticetes from eastern Japan. *Island Arc*, **3**, 436-452.
- Oishi, M. and Hasegawa, Y., 1995b, A list of fossil cetacenes in Japan. *Island Arc*, **3**, 493-505.
- 大石雅之・吉田裕生・金 光男・柳沢幸夫・杉山了三 (Oishi, M., Yoshida, H., Kim, K. N., Yanagisawa, Y. and Sugiyama, R.), 1996, 北上低地帯西縁に分布する鮮新・更新統の地質と年代: いわゆる「本畑層」の再検討. 地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), **102**, 330-345.
- 大石雅之・吉田裕生・吉田 充 (Oishi, M., Yoshida, H. and Yoshida, M.), 2012, 一関巖美町の竜の口層のフィッシュン・トラック年代. 岩手県博報 (*Bull. Iwate Pref. Mus.*), no. 29, 1-4.
- Okutsu, H., 1955, On the stratigraphy and paleobotany of the Cenozoic plant beds of the Sendai area. *Sci. Rep. Tohoku Univ., 2nd Ser. (Geol.)*, **26**, 1-114.
- 遅沢壮一 (Osozawa, S.), 2002, 仙台市茂庭・青葉山丘陵の鉤取—愛子線 (単斜) と青葉断層帯の形成過程. 地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), **108**, 781-793.
- 遅沢壮一 (Osozawa, S.), 2004a, 仙台市西部, 愛子断層を含む活スラスト帯を伴う愛子—奥武士撓曲. 地球科学 (*Earth Sci. (Chikyu Kagaku)*), **58**, 149-160.
- 遅沢壮一 (Osozawa, S.), 2004b, 双葉断層帯の北方延長・活断層としての仙台の青葉東断層と, 坪沼断層・長町一利府断層・久の浜—岩沼撓曲について. 地球科学 (*Earth Sci. (Chikyu Kagaku)*), **58**, 229-244.
- 遅沢壮一 (Osozawa, S.), 2005, 仙台市西部の中新統梨野層と基盤との境界にみられるカルデラ崩壊時の円弧すべり. 地球科学 (*Earth Sci. (Chikyu Kagaku)*), **59**, 301-311.
- 遅沢壮一・佐々木 理・蟹澤聡史 (Osozawa, S., Sasaki, O. and Kanisawa, S.), 2006, 仙台市青葉山丘陵, 低位段丘礫層を切る青葉東断層の露頭発見とその意義. 地球科学 (*Earth Sci. (Chikyu Kagaku)*), **60**, 501-506.
- Otuka, Y., 1939, Tertiary crustal deformations in Japan (with short remarks on Tertiary paleogeography). In Aoki, R., ed., *Jubilee Publ. Commem. Prof. H. Yabe, M. I. A. Sixtieth Birthday*, I, Sasaki Publ. House, 481-519.
- 大塚弥之助 (Otuka, Y.), 1941, 本荘・黒沢尻間の新第三紀化石動物群. 石技誌 (*Jour. Japan. Assoc. Pet. Technol.*), **9**, 148-157, 184.
- 大槻憲二郎・根本 潤・長谷川四郎・吉田武義 (Otsuki, K., Nemoto, J., Hasegawa, S. and Yoshida, T.), 1994, 広瀬川流域の地質. 仙台

- 市編, 広瀬川流域の自然環境(*Natural Environments along the Hirosegawa River*)*, 仙台環境局(Sendai Kankyo-kyoku), 1-83.
- Saegusa, H., Thasod, Y. and Ratanasthein, B., 2005, Notes on Asian stegodontids. *Quatern. Internat.*, **126-128**, 31-48.
- 才田直人・小向 英・大石雅之(Saita, N., Komukai, S. and Oishi, M.), 2011, 仙台市の竜の口層(最後期中新世～前期鮮新世)から産出した鯨類化石: 産出層準・産状および産出の意義. 東北大博紀要(*Bull. Tohoku Univ. Mus.*), **10**, 135-146.
- Saito, T., 1963, Miocene planktonic foraminifera from Honshu, Japan. *Sci. Rep. Tohoku Univ., 2nd Ser. (Geol.)*, **35**, 123-209.
- 佐藤比呂志(Sato, H.), 1989, 東北本州弧における後期新生界の変形度について. 地質学論集(*Mem. Geol. Soc. Japan*), no. 32, 257-268.
- Sato, H., 1994, The relationship between late Cenozoic tectonic events and stress field and basin development in northeast Japan. *Jour. Geophys. Res.*, **99-B11**, 22261-22274.
- Sato, Y., 1991, Paleontological study of molluscan assemblages of the Miocene Moniwa Formation, Northeast Japan and description of their pectinidae. *Rep., Geol. Surv. Japan*, no. 272, 1-249.
- 柴田豊吉(Shibata, T.), 1953, “仙台層群”の層序からみた2, 3の問題. 地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **59**, 352.
- Shikama, T., 1963, Note on a *Stegodon* tooth from Sendai. *Sci. Rep. Yokohama Nat. Univ. Sec. II*, **18**, 37-42.
- 島田豊郎(Shimada, I.), 1986, 中新世海緑石の層序とその石油地質学意義. 田口一雄教授退官記念会編, 田口一雄教授退官記念論文集: 石油鉱床学の諸問題(*Dedicated to Professor Kazuo Taguchi. On the Occasion of His Retirement: Contributions to Petroleum Geoscience*), 149-160.
- 島本昌憲・太田 聡・林 広樹・佐々木理・斎藤常正, (Shimamoto, M., Ota, S., Hayashi, H., Sasaki, O. and Saito, T.), 2001, 仙台市南西部に分布する中新統旗立層の浮遊性有孔虫層序. 地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **107**, 258-268.
- 鈴木敬治(Suzuki, K.), 1987, 大型植物化石(仙台付近の新第三系植物化石群). 地学団体研究会仙台支部・仙台市科学館編, 広瀬川流域の地形地質調査報告書(*Report on Geography and Geology along the Hirose River: With Explanatory Report for Geographic Division and Geological Maps of Sendai*)*, 仙台市科学館(Sendai Sci. Mus.), 94-97.
- 鈴木紀毅・尾田太良・千代延俊・野崎莉代(Suzuki, N., Oda, M., Chiyonobu, S. and Nozaki, R.), 2006, 仙台市周辺地質巡検. 第71回石油技術協会定時総会(仙台)地質巡検案内書(*71st Ann. Meet. Japan. Assoc. Pet. Technol., Excursion Guidebook*), 15 p.
- 高橋兵一・松野久也(Takahashi, H. and Matsuno, K.), 1969, 涌谷地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)(*Geology of the Wakuya District. With Geological Sheet Map at 1:50,000*), 地質調査所(Geol. Surv. Japan), 26p.
- 高橋友啓・長橋良隆・柳沢幸夫・吉田武義・黒川勝己(Takahashi, T., Nagahashi, Y., Yanagisawa, Y., Yoshida, T. and Kurokawa, K.), 2003, 福島県太平洋岸に分布する鮮新統大年寺のテフラ層: その2. 記載岩石学の特徴. 地調研報(*Bull. Geol. Surv. Japan*), **54**, 365-393.
- Takayanagi, Y., 1952, Foraminifera from the Hatatate Formation in the Sendai Basin. *Short Pap. Inst. Geol. Paleont., Tohoku Univ.*, no. 4, 52-64.
- 竹谷陽二郎・相田 優・岡田尚武・尾田太良・長谷川四郎・丸山俊明・根本直樹(Taketani, Y., Aita, Y., Okada, H., Oda, M., Hasegawa, S., Maruyama, T. and Nemoto, N.), 1986, 福島県双葉地域の多賀層群より産出する微化石調査報告. 福島県博報(*Res. Rep. Fukushima Mus.*), **12**, 1-53.
- 竹内貞子・吉田明弘(Takeuchi, S. and Yoshida, A.), 2012, 仙台北山地域の仙台層群より産する花粉化石. 地球科学(*Earth Sci. (Chikyū Kagaku)*), **66**, 193-197.
- 土 隆一編(Tsuchi, R., ed.), 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(*Fundamental Data on Japanese Neogene Bio- and Chronostratigraphy*). 黒船出版(Kurofune Printing Co. Ltd.), 156p.
- 土 隆一編(Tsuchi, R., ed.), 1981, 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「続編」(*Fundamental Data on Japanese Neogene Bio- and Chronostratigraphy: Supplement*). 黒船出版(Kurofune Printing Co. Ltd.), 126p.
- 宇都浩三・柴田 賢・内海 茂(Uto, K., Shibata, K. and Uchiumi, S.), 1989, 東北日本新第三紀火山岩のK-Ar年代: その1. 宮城県仙台北地域三滝層および高館層. 地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **95**, 865-872.
- Yabe, H., 1926, C-3. Excursion to Matsushima and Sendai: Geological guide. In National Research Council, Department of Education, ed., *Japan Guide-Books, Excursion, Pan-Pacific Science Congress, 1926*, Government of Japan, Tokyo, 1-18.
- Yabe, H. and Aoki, R., 1923, A summary of the stratigraphical and palaeontological studies of the Cainozoic of Japan, 1920 to 1923. In Lightfoot, G., ed., *Proceedings of the Pan-Pacific Science Congress, Australia, 1923, vol. I*, H. J. Green, Govern. Print., 954-969.
- 山路 敦・佐藤比呂志(Yamaji, A. and Sato, H.), 1989, 中新世における東北本州弧の沈降運動とそのメカニズム. 地質学論集(*Mem. Geol. Soc. Japan*), no. 32, 329-349.
- 柳沢幸夫(Yanagisawa, Y.), 1990, 仙台層群の地質年代—珪藻化石層序による再検討—. 地調月報(*Bull. Geol. Surv. Japan*), **41**, 1-25.
- 柳沢幸夫(Yanagisawa, Y.), 1998, 岩手県北上市西部に分布する新第三系竜の口層の珪藻化石層序. 岩手県博研報(*Bull. Iwate Pref. Mus.*), no. 14, 29-36.
- 柳沢幸夫(Yanagisawa, Y.), 1999a, 金沢市南部地域に分布する中新統の珪藻化石層序. 地調月報(*Bull. Geol. Surv. Japan*), **50**, 49-65.
- 柳沢幸夫(Yanagisawa, Y.), 1999b, 能登半島珠洲地域の中新統の珪藻化石層序. 地調月報(*Bull. Geol. Surv. Japan*), **50**, 167-213.
- 柳沢幸夫(Yanagisawa, Y.), 1999c, 仙台市西部に分布する中部中新統旗立層の珪藻化石層序. 地調月報(*Bull. Geol. Surv. Japan*), **50**, 269-277.
- 柳沢幸夫(Yanagisawa, Y.), 2012, 岩手県, 宮城県及び福島県北部から産出した束柱類化石の地質年代. 地調総研資料集(*Open-File Rep. Geol. Surv. Japan, AIST*), no. 550, 1-25.
- 柳沢幸夫・秋葉文雄(Yanagisawa, Y. and Akiba, F.), 1999, 松島地域の中新世珪藻化石層序の再検討. 地調月報(*Bull. Geol. Surv. Japan*), **50**, 431-448.
- 柳沢幸夫・林 広樹(Yanagisawa, Y. and Hayashi, H.), 2003, 岩手県一関地域に分布する中新統の海生珪藻化石層序と生層準. 地質研報(*Bull. Geol. Surv. Japan*), **54**, 49-61.
- 柳沢幸夫・高橋友啓・長橋良隆・吉田武義・黒川勝己(Yanagisawa, Y., Takahashi, T., Nagahashi, Y., Yoshida, T. and Kurokawa, K.), 2003, 福島県太平洋岸に分布する鮮新統大年寺層のテフラ層: その1. 年代層序. 地調月報(*Bull. Geol. Surv. Japan*), **54**, 351-364.
- 柳沢幸夫・山元孝広・坂野靖行・田沢純一・吉岡敏和・久保和也・滝 沢 文 教(Yanagisawa, Y., Yamamoto, T., Banno, Y., Tazawa, J., Yoshioka, T., Kubo, K. and Takizawa, F.), 1996, 相馬中村地域の地質. 地域地質研究報告(5万分1地質図幅)(*Geology of the Somanakamura District. With Geological Sheet Map at 1:50,000*), 地質調査所(Geol. Surv. Japan), 114p.
- 吉田武義・相澤幸治・長橋良隆・佐藤比呂志・大口健志・木村純一・大 平 寛 人(Yoshida, T., Aizawa, K., Nagahashi, Y., Sato, H., Ohguchi, T., Kimura, J. and Ohira, H.), 1999, 東北本州弧, 島弧火山活動期の地史と後期新生代カルデラ群の形成. 月刊地球号外(*Earth Monthly, Spec. Vol.*), **27**, 123-129.
- 吉田武義・中島淳一・長谷川昭・佐藤比呂志・長橋良隆・木村純一・田中明子・Prima, O.D.A.・大口健志(Yoshida, T., Nakajima, J., Hasegawa, A., Sato, H., Nagahashi, Y., Kimura, J., Tanaka, A., Prima, O.D.A. and Ohguchi, T.), 2005, 後期新生代, 東北本州弧における火成活動史と地殻・マントル構造. 第四紀研究(Quatern. Res. (Daiyonki-Kenkyu)), **44**, 195-216.

* English translation from the original written in Japanese