

論 説

北海道士別市北西，湖南から産出する中期中新世植物化石群

成田敦史*・植村和彦**・松本みどり***・矢部 淳**

*北海道札幌藻岩高等学校・**国立科学博物館地学研究所・***千葉大学理学研究科地球科学コース

Middle Miocene megafossil flora from Konan, northwestern part of Shibetsu City, Hokkaido, Japan

Atsufumi Narita*, Kazuhiko Uemura**, Midori Matsumoto*** and Atsushi Yabe**

*Hokkaido Sapporo Moiwa High School, 1-1, Kawazoe 3-jo 2, Minami-ku, Sapporo City, Hokkaido 005-0803, Japan (creta90ma@yahoo.co.jp); **Natural Museum of Nature and Science, Tsukuba 305-0005, Japan; ***Department of Earth Sciences, Graduate School of Science, Chiba University, Chiba 263-8522, Japan.

Abstract. A late Middle Miocene megafossil flora (Konan Flora) is preserved in lacustrine deposits in the Konan Tuffaceous Sandstone and Mudstone Member of the Bifuka Formation in Shibetsu City, Hokkaido, the northernmost island in Japan. The Konan Flora is composed of 38 taxa in 17 families and 24 genera and includes 4 evergreen conifers, 1 monocotyledonous perennial herb, 33 deciduous dicots, and 2 seeds of unknown affinity. The most dominant species in the flora is *Fagus palaeojaponica*, followed by *Acer subcarpinifolium*, *A. protojaponicum*, *Picea* sp., *Salix* sp., *Cercidiphyllum crenatum*, *Betula protoglobispica*, and *Cladrastis chaneyi*. The vegetation inferred from the Konan Flora is broad-leaved deciduous or mixed northern hardwood forest which is typical in northern Japan at the Middle Miocene. The composition and components of the Konan flora are similar to those of the Late Miocene Mitoku-type floras in Hokkaido. The leaf physiognomy and quantitative climate analysis based on the CLAMP (Climate Leaf Analysis Multivariate Program) revealed that the prevailing climate was a wet cool temperate climate similar to modern Hokkaido or northern Honshu. Compared with Sakipenpetsu flora (early Middle Miocene), Shanabuchi flora (Late Miocene) and Rubeshibe flora (Early Pliocene), there were no great differences between the Konan flora and those three floras in terms of climatic conditions.

Key words: Konan Flora, megafossil flora, paleoclimate, late Middle Miocene, Hokkaido, Japan

はじめに

新第三紀における本邦の植生変化は、本邦全域から豊富に産出する植物化石に基づいて詳しく研究されてきた (Tanai, 1961 など)。この中で中期中新世は、日本海の拡大ともなう地理的変化と広域的・地域的な気候変化を背景に、ユーラシア大陸との共通性を次第に減じ、現在の日本列島の植生へとつながる過渡期ととらえられ、日本列島の現生植生を特徴づける温帯性落葉広葉樹種の系統進化や地理的変遷を議論する上で重要と考えられてきた (植村, 1991; 棚井ほか, 1992)。しかしながら、中期中新世には本邦全域にわたって海成層が発達するため、当時の植生を議論するための情報が少なく、その過程については十分に明らかにされていない。

北海道北部の歌登地域から、名寄、士別の周辺地域には陸成の火山岩、火山砕屑岩、夾亜炭堆積岩から構成される中期中新世中頃～後期中新世の地層が広く分布し

(今西, 1956 など)、本邦としては例外的に多数の植物化石を含むことが知られている (棚井ほか, 1981, 1992; 植村, 1991; Matsumoto *et al.*, 1994, 1995, 1997a, b; Matsumoto and Nishida, 2003)。これらのうち、棚井ほか (1981) は大型化石および花粉・孢子化石から植物化石群の概要を述べ、中期中新世植物群を時代的に三分する植物化石層位を提案した。さらに、本地域の中期中新世植物群が本州や北海道の後期中新世植物群と組成的に共通する特徴を有することと、北海道からサハリン、カムチャツカなどのアジア北東部の新第三紀植物群との関係を考察するのに重要であることを指摘している。その後、Tanai (1983) は *Acer* 化石のモノグラフの中で、名寄地域の材料を検討した。また、名寄東方、下川の珪化岩中の鉱化植物化石については、筆者らの一人松本が共同研究者とともに *Picea* (Matsumoto *et al.*, 1994), *Tsuga* (Matsumoto *et al.*, 1995), *Glyptostrobus* (Matsumoto *et al.*, 1997b), *Decodon* (Matsumoto *et al.*, 1997a), *Osmunda*

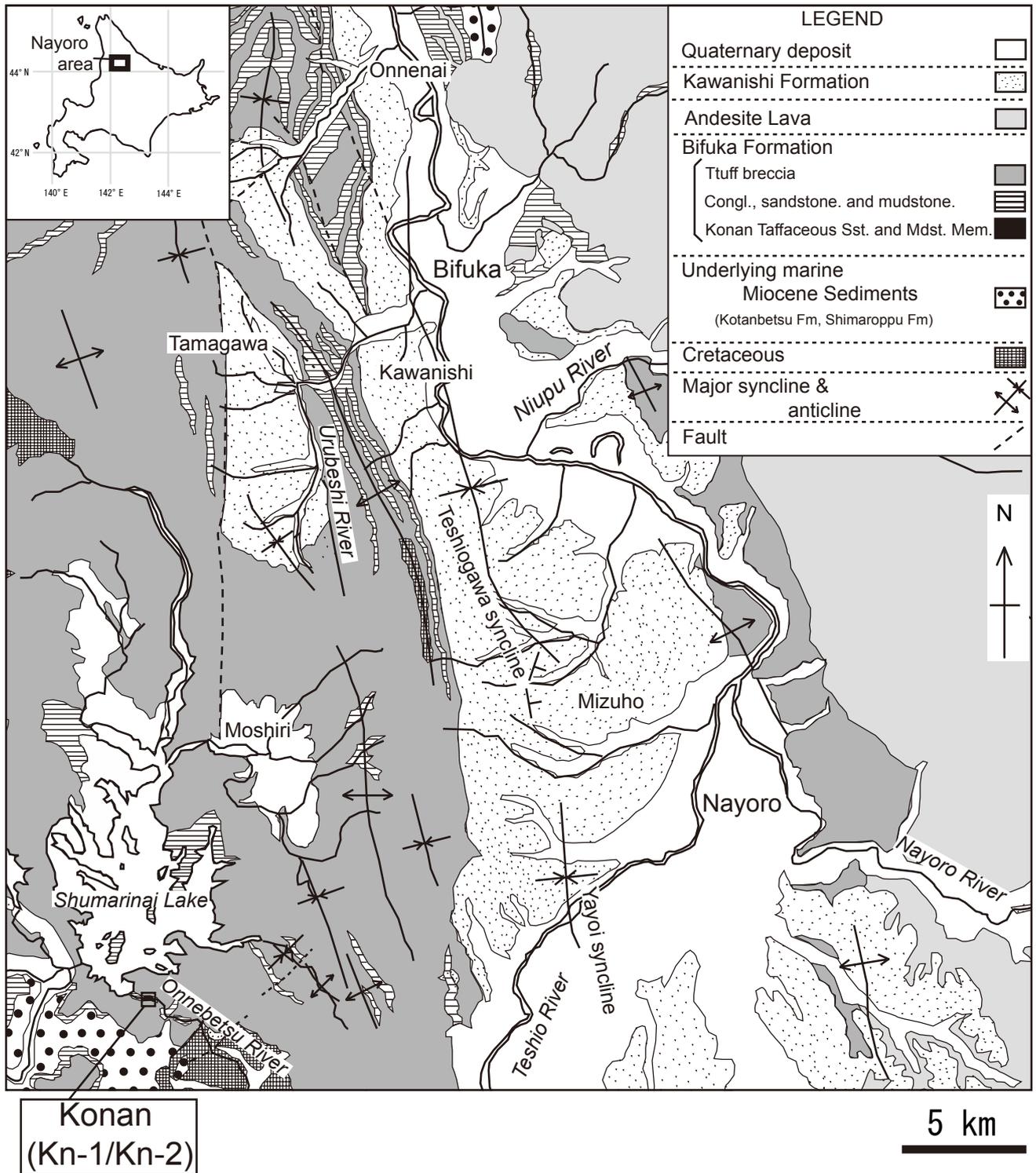


図1. 名寄地域の地質図。酒匂・小山内 (1955), 小山内・庄谷 (1965), 橋本ほか (1965), 小山内ほか (1970), 高橋ほか (1971), 山口・渡辺 (1990), 岡 (1994) を参考に作成。

Fig. 1. Geological map of the Nayoro area. Referred to Sako and Osanai (1955), Hashimoto *et al.* (1965), Osanai and Shoya (1965), Osanai *et al.* (1970), Takahashi *et al.* (1971), Yamaguchi and Watanabe (1990), and Oka (1994).

(Matsumoto and Nishida, 2003) の各属を取り上げ、詳細な解剖学的分類学的検討を行っている。しかし、植物化石群について、植物化石の分類学的な検討にもとづいた考察は、植村 (1991) の土別北西部の湖南と名寄北方

の仁宇布の植物化石群を除いて十分になされていない。

小論は、植村 (1991) が当時の極相林組成を示す可能性を示唆した湖南の植物化石群 (湖南植物群) について新たに野外調査と化石収集を行い、堆積環境や種類組成

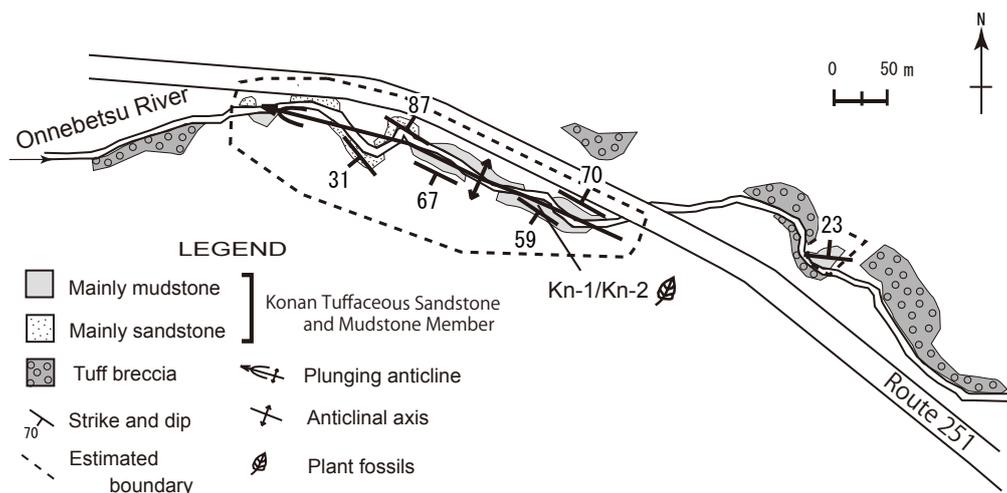


図2. 美深層湖南凝灰質砂岩泥岩部層を中心とした温根別川沿いのルートマップ。
Fig. 2. Route map along the Onnebetsu River (Bifuka Formation, Konan Tuffaceous Sandstone and Mudstone Member).

の特徴を再検討することで北海道北部の中期中新世後期植物群の特徴を明らかにすることを目的とした。さらに、植物化石を用いた定量的な解析手法を使い、当時の気候条件の復元も行い、中期中新世の植生変遷と気候との関連性についても考察する。

地質概要と年代

北海道北部に位置する名寄地域には、名寄盆地を中心に陸成の中新統が広く分布する（今西, 1956; 橋本ほか, 1965; 高橋ほか, 1971; 棚井ほか, 1981, 1992; 岡, 1994）。これらは北北西-南南東方向の軸をもつ多数の小規模な背斜や向斜構造を示しながらも、全体としては盆地を中心とした向斜構造（天塩川向斜および弥生向斜：図1）を示している。

今回調査を行ったのは、名寄の西方、^{しゅまりない}朱鞠内湖の南部に位置する湖南地域である（図1, 2）。植物化石を含む美深層（今西, 1956; 岡, 1994）は、白亜系蝦夷層群、海成中部中新統の古丹別層を不整合に覆い、陸成中新統の川西層に整合に覆われる。美深層はその大部分が角閃石安山岩を主な本質礫とする凝灰角礫岩からなるが、一部に凝灰質砂岩・泥岩・礫岩からなる堆積岩と指交する（図1）。植物化石はこれらのうち凝灰質砂岩・泥岩から産出する（橋本ほか, 1965; 植村, 1991）。本層は橋本ほか（1965）のピッシリ岳層（=美深層）の湖南凝灰質砂岩泥岩部層に分布や岩相が一致するため、小論でもこの部層名を用いる。

湖南凝灰質砂岩泥岩部層は温根別川上流の概ね東西200m、南北80mの範囲に局所的に分布し、周囲を美深層の凝灰角礫岩相に囲まれている（図2）。本部層には小規模な背斜構造が認められるが（図2）、凝灰角礫岩の構造は不明であるため、大規模な土石流などで変形した可

能性がある。本部層の層厚は下限が不明であるが、少なくとも50mほどと推測される。本部層の下部は主に平行葉理のよく発達した泥岩よりなり（図3）、上部に向かって粗粒相へと漸移し、トラフ型斜交層理が発達した砂岩・礫岩層となる（図3）。保存状態の良い植物化石は下部の平行葉理泥岩から多産する。橋本ほか（1965）は本部層の泥岩中から *Viviparus* sp. などの淡水性貝化石を報告しているが、本調査では確認できなかった。

美深層の凝灰角礫岩や安山岩溶岩からいくつかの放射年代値が報告されている。柴田・棚井（1982）は調査地域北方に分布する本層の凝灰角礫岩に含まれる安山岩角礫から 13.3 ± 0.9 Ma の K-Ar 年代を報告した。同じ岩体からは、後藤ほか（1995）も 11.8 ± 0.6 Ma の K-Ar 年代を報告している。これらの値は、美深層と同時異相と考えられるタチカラウシナイ層（ 13.7 ± 0.7 Ma, 13.8 ± 0.9 Ma：柴田ほか, 1981）およびチェポツナイ層基底の火砕岩（ 12.4 ± 0.7 Ma：柴田・棚井, 1982）の K-Ar 年代とも大きな矛盾はない。一方、美深層と不整合関係にある下位の古丹別層最上部からは珪藻化石帯の NPD4A（ 14.9 – 15.9 Ma：Yanagisawa and Akiba, 1998）を示唆する示準種の *Denticulopsis lauta* が多産する（高橋ほか, 1984）。美深層と古丹別層とが構造的に明らかな違いを持つことも考えあわせると、湖南凝灰質砂岩泥岩部層の年代は中期中新世後期にあたと判断される。

試料と方法

化石群集と採集層準

植物化石は平行葉理泥岩層 Kn-1 と、その直上の平行葉理砂質泥岩層 Kn-2 の連続した2層準からそれぞれ採集した（図2, 3）。

両層準から得られた植物化石の多くは葉であるが、生

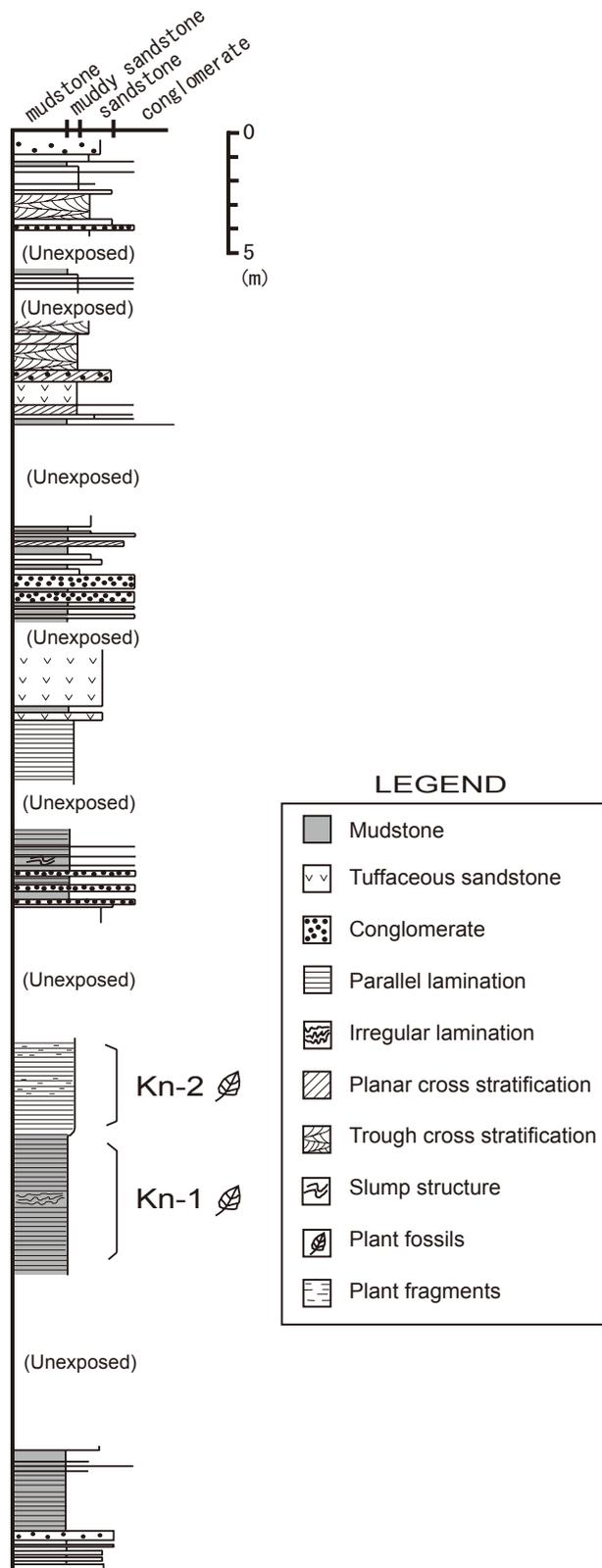


図3. 湖南凝灰質砂岩泥岩部層の地質柱状図および植物化石産出層準.

Fig. 3. Columnar section of the Konan Tuffaceous Sandstone and Mudstone Member, showing stratigraphic horizons of plant megafossils.

殖器官も数種確認された。下部のKn-1では葉や翼果の化石が散在して産出し、化石の保存状態は良好であった。一方、上部のやや砂質なKn-2では圧縮され炭化した葉、小枝や果実が密集して産出した。葉は重なっており単離が困難な場合も多く、また破片化していることも多いために保存状態はKn-1よりも悪かった。これらの葉化石はいずれもWolfe (1993)の葉面積型のmicrophyll III以上の大型葉が多かった。なお、Kn-2よりも上位のいくつかの層準においても植物化石が採集できたが、Kn-1やKn-2に比べ、産出量は少なく、保存状態も良くなかったため、本研究の対象とはしなかった。

Kn-1から640点、Kn-2から1,481点、計2,121点の植物化石について分類学的な検討を行った。なお、被子植物の分類体系はAPG III (2009)に従った(表1)。今回検討を行った化石標本はすべて国立科学博物館(NSM-PP)で登録・保管されている。

古気候解析

湖南植物群が生育した古気候条件を定量的に明らかにするため、本研究では気候と葉の多変量解析プログラム(CLAMP; Climate Leaf Analysis Multivariate Program)による解析(Wolfe, 1995; Wolfe and Spicer, 1999)を行った。CLAMPは広葉樹葉の外形上の特徴(葉相観)を用いた古気候解析法の一つである。つまり、現在の植生から得られた葉相観データとその地域の気候データをもとに、多変量解析の一手法である正準対応分析(Canonical Correspondence Analysis: CCA)を用いて化石群集の葉相観が示す過去の気候条件を求める手法である(Wolfe, 1995; 矢部, 2002)。

CLAMPでは、北米や中米、日本などの現生植生と気候データを含めたデータセット(Physg3arcAZ/brcAZおよびMET3arcAZ/brcAZ)が使われてきたが、地域によって解析の信頼度に違いがあるなどの問題(Gregory-Widzicki, 2000)から現生データセットの拡充が各地で進められている(Hinojosa and Villagran, 2005; Jacques *et al.*, 2011など)。前者のバージョンには日本国内のデータが十分に含まれているため、Wolfe (1995)やWolfe and Spicer (1999)に従い、“alpine nest”と呼ばれる寒冷地のデータを除いた144カ所のデータからなる葉相観データ(Physg3brcAZ)と気候データ(MET3brcAZ)を用い、年平均気温(MAT)、最暖月の平均気温(WMMT)、最寒月の平均気温(CMMT)、月平均気温が10°Cを超える月の長さ(GROWSEA)、それらの月の降水量(GSP)、それらの月の月間平均降水量(MMGSP)、最も湿度の高い3ヶ月間における降水量(3-WET)、最も湿度の低い3ヶ月間における降水量(3-DRY)、相対湿度(RH)の9項目について解析した。

湖南植物群が生育した気候条件と比較するため、北海道芦別市から産出した中期中新世前期のサキペンベツ植

表1. 湖南植物群の構成種.

Table 1. Composition of the Konan Flora.

Division Pinophyta (Coniferophyta) 裸子植物門	<i>Alnus</i> cf. <i>protomaximowiczii</i> Tanai
Family Pinaceae マツ科	<i>Betula onbaraensis</i> Tanai et Onoe
<i>Abies protofirma</i> Tanai	<i>Betula protoglobispica</i> Tanai et Onoe
<i>Abies</i> sp.	<i>Carpinus heigunensis</i> Huzioka
<i>Picea kaneharai</i> Tanai et Onoe	<i>Carpinus subcordata</i> Nathorst
<i>Picea</i> sp.	<i>Corylus</i> sp.
Division Magnoliophyta (Angiospermae) 被子植物門	Family Salicaceae ヤナギ科
Family Zingiberaceae? ショウガ科?	<i>Populus sanzugawaensis</i> Huzioka et Uemura
<i>Zingiberites</i> sp.	<i>Salix hokkaidoensis</i> Tanai et N. Suzuki
Family Cercidiphyllaceae カツラ科	<i>Salix misaotatewakii</i> Tanai et N. Suzuki
<i>Cercidiphyllum crenatum</i> (Unger) Brown	<i>Salix</i> cf. <i>parasachalinensis</i> Tanai et N. Suzuki
Family Vitaceae ブドウ科	<i>Salix</i> sp.
<i>Vitis</i> sp.	Family Sapindaceae ムクロジ科
Family Fabaceae マメ科	<i>Acer protojaponicum</i> Tanai et Onoe
<i>Cladrastis chaneyi</i> Tanai et N. Suzuki	<i>Acer rotundatum</i> Huzioka
Family Rosaceae バラ科	<i>Acer</i> cf. <i>rotundatum</i> Huzioka
<i>Prunus protossiori</i> Tanai et Onoe	<i>Acer subcarpinifolium</i> Tanai
<i>Sorbaria</i> sp.	Family Rutaceae ミカン科
Family Ulmaceae ニレ科	<i>Phellodendron</i> sp.
<i>Ulmus</i> cf. <i>appendiculata</i> Heer	Family Malvaceae アオイ科
<i>Ulmus</i> sp.	<i>Tilia</i> cf. <i>subnobilis</i> Huzioka
Family Fagaceae ブナ科	Family Hydrangeaceae アジサイ科
<i>Fagus palaeojaponica</i> Tanai et Onoe	<i>Hydrangea</i> sp.
<i>Quercus miocrispula</i> Huzioka	Family Actinidaceae マタタビ科
Family Juglandaceae クルミ科	<i>Actinidia</i> sp.
<i>Pterocarya japonica</i> (Tanai) Uemura	Taxon undetermined 所属不明
<i>Pterocarya</i> sp.	<i>Carpolithes</i> sp. 1
Family Betulaceae カバノキ科	<i>Carpolithes</i> sp. 2
<i>Alnus protohirsuta</i> Endo ex Uemura	

物群 (Tanai, 1971), 北海道遠軽町から産出した後期中新世の社名淵植物群 (Tanai and Suzuki, 1965), 北海道北見市から産出した前期鮮新世の留辺蘂植物群 (Tanai and Suzuki, 1965) についても CLAMP により上記の9項目の条件について解析した。

結果

湖南植物群の組成

Kn-1, Kn-2の両層準から，合わせて17科24属38種を確認した(表1, 図4, 5)。この両層準間には大きな組成差は認められなかったので以下の議論では湖南植物群として一括する。確認された分類群は全て種子植物であり，



図4. 美深層湖南凝灰質砂岩泥岩部層から産出した植物化石。

Fig. 4. Plant fossils collected from the Konan Tuffaceous Sandstone and Mudstone Member of the Bifuka Formation. 1, *Fagus palaeojaponica* Tanai et Onoe, NSM-PP-12204 (lf). 2, 3, *Acer subcarpinifolium* Tanai, NSM-PP-12207, 12208 (2: lf, 3: sd). 4, *Cercidiphyllum crenatum* (Unger) Brown, NSM-PP-12205 (lf). 5, 6, *Picea* sp., NSM-PP-12198, 12197 (5: sd, 6: sh). 7, *Pterocarya japonica* (Tanai) Uemura, NSM-PP-12201 (sh). 8, *Pterocarya* sp. NSM-PP-12201 (sd). lf; leaf. sd; seed. sh; shoot.



図5. 美深層湖南凝灰質砂岩泥岩部層から産出した植物化石.

Fig. 5. Plant fossils collected from the Konan Tuffaceous Sandstone and Mudstone Member of the Bifuka Formation. 1, *Acer protojaponicum* Tanai et Onoe, NSM-PP-12209 (lf). 2, *Zingiberites* sp., NSM-PP-12210 (lf). 3, *Corylus* sp., NSM-PP-12203 (lf). 4, *Betula protoglobispica* Tanai et Onoe, NSM-PP-12202 (lf). 5, *Cladrastis chaneyi* Tanai et N. Suzuki, NSM-PP-12206 (lf). 6, *Salix* sp., NSM-PP-12199 (lf). lf; leaf. sd; seed. sh; shoot.

裸子植物が1科2属4種，被子植物は16科22属34種で，このうち単子葉類は1種のみであった。また，所属不明の種子とみられる化石が2種 (*Carpolithes* sp. 1, *C.* sp. 2) 含まれていた。常緑広葉樹を一切欠くものの，南方系と考えられるショウガ科様の葉化石を1種含んでいた。

最も多くの分類群を含んでいたのはカバノキ科の4属

(*Alnus*, *Betula*, *Carpinus*, *Corylus*) 7種で，次がヤナギ科の2属 (*Populus*, *Salix*) 5種である。他にブナ科が2属 (*Fagus*, *Quercus*) 2種，ムクロジ科が1属 (*Acer*) 4種，バラ科が2属 (*Prunus*, *Sorbaria*) 2種などである (表1)。最も多産したのは *Fagus palaeojaponica* (葉) であり，化石の産出総数の約48%を占めた。これに続いて

表2. 湖南植物群多産種の構成割合.

Table 2. Numerical abundance and ratio of abundant and common species in the Konan Flora.

Taxa	Horizon		Total	Ratio
	Kn-1	Kn-2		
<i>Fagus palaeojaponica</i> (lf.)	261	763	1024	48.3%
<i>Acer subcarpinifolium</i> (lf., sam.)	21	100	121	5.7%
<i>Acer protojaponicum</i> (lf., sam.)	33	80	113	5.3%
<i>Salix</i> sp. (lf.)	39	67	106	5.0%
<i>Picea</i> sp. (lf., sh.)	21	76	97	4.6%
<i>Picea</i> sp. (sd.)	10	66	76	3.6%
<i>Cercidiphyllum crenatum</i> (lf.)	24	46	70	3.3%
<i>Betula protoglobispica</i> (lf.)	35	33	68	3.2%
<i>Cladrastis chaneyi</i> (lf.)	50	13	63	3.0%
<i>Populus sanzugawaensis</i> (lf.)	17	39	56	2.6%
<i>Acer rotundatum</i> (lf.)	12	33	45	2.1%
<i>Alnus</i> cf. <i>protomaximowiczii</i> (lf.)	20	24	44	2.1%
<i>Pterocarya japonica</i> (lf.)	21	19	40	1.9%
<i>Corylus</i> sp. (lf.)	14	22	36	1.7%
<i>Carpinus subcordata</i> (lf.)	6	27	33	1.5%
<i>Alnus protohirsuta</i> (lf.)	15	11	26	1.2%
All others	41	62	103	4.9%
Total	640	1481	2121	100 %

lf.: leaf, sam.:samara, sd.:seed, sh.:shoot

多産もしくは普通に産するのは、*Acer subcarpinifolium* (葉・翼果)が5.7%、*A. protojaponicum* (葉・翼果)が5.3%、*Salix* sp. (葉)が5.0%、*Picea* sp. (葉・シュート)が4.6%、*Picea* sp. (種子)が3.6%、*Cercidiphyllum crenatum* (葉)が3.3%、そして*Cladrastis chaneyi* (葉)が3.0%であった(表2)。また、*Betula protoglobispica* (葉)や*Alnus* cf. *protomaximowiczii* (葉)、*Corylus* sp. (葉)などのカバノキ科もそれらに続いて産出量が多かった(表2)。*Acer*の翼果2種と*Picea* sp.の種子を除き、これら多産種のほとんどが葉器官で代表されていた。なお、これら3種の果実および種子はいずれも翼を有し、堆積時に葉と同様の挙動を示すと考えられるため、表2に含めている。

所属不明の属種を除く23属のうち、*Zingiberites*を除く各属は本邦の温帯林を構成する要素で、東北地方や北海道、西南日本の高山地域などに普通に見られる。*Zingiberites* sp.については今後の分類学的検討が必要で

はあるが、多年生のショウガ科草本植物に極めて類似した形態であり、この化石と同じ形態の葉をもつ植物は少なくとも現在の北海道には存在しない。

なお、植物化石層の堆積環境の詳細を知るために、珪藻化石の検出を試みたが、Kn-1、Kn-2ともに母岩中から珪藻化石は発見されなかった。

古気候解析

CLAMP解析を行う際に用いる葉形態の計測結果は表3の通りである。表3のデータをもとにした湖南植物群の解析結果は表4の通りとなった。すなわち、年平均気温(MAT)が8.2°C、最暖月の平均気温(WMMT)が20.3°C、最寒月の平均気温(CMMT)は-3.1°C、月平均気温が10°Cを越える月(GROWSEA)が5.4ヶ月、それらの月の降水量(GSP)が616mm、月間平均降水量(MMGSP)が148mm、最も湿度の高い3ヶ月間(3-WET)と最も低い3ヶ月間(3-DRY)における降水量がそれぞれ463mm

表3. 湖南, サキペンベツ, 社名淵, 留辺蕊の各植物群標本の葉相観計測結果. 数値は, それぞれの形質が湖南植物群の全構成種の何%を占めているかを示す.

Table 3. Leaf physiognomy measurement results of the Konan, Sakipenpetsu, Shanabuchi, and Rubeshibe Flora. The numbers indicate percentage of each character within same category.

Flora	Margin			Size										Apex			Base			[Length to Width Ratio]				Shape							
	Lobed	No Teeth	Teeth Regular	Teeth Close	Teeth Round	Teeth Acute	Teeth Compound	Namophyll	Leplophyll 1	Leplophyll 2	Microphyll 1	Microphyll 2	Microphyll 3	Mesophyll 1	Mesophyll 2	Mesophyll 3	Apex Emarginate	Apex Round	Apex Acute	Apex Attenuate	Base Cordate	Base Round	Base Acute	L:W <1:1	L:W <1:2:1	L:W <2:3:1	L:W <3:4:1	L:W >4:1	Obovate	Elliptic	Ovate
Konan	17	16	82	79	16	66	29	0	0	0	0	19	38	31	8	4	0	21	60	19	31	48	21	12	39	31	9	9	7	76	16
Sakipen.	26	19	72	72	22	59	17	0	0	0	5	23	49	20	0	4	4	19	65	13	19	48	33	11	22	49	12	6	25	60	15
Shanab.	8	30	63	68	8	62	35	0	0	2	3	32	35	22	4	1	2	7	65	28	27	41	32	4	51	28	11	7	12	62	25
Rubesh.	13	27	63	73	15	58	47	0	0	3	1	18	35	34	8	1	3	4	76	21	32	40	28	0	59	32	5	4	13	63	23

Sakipen.: Sakipenpetsu. Shanab.: Shanabuchi. Rubesh.: Rubeshibe.

表4. 湖南植物群およびサキペンベツ, 社名淵, 留辺蕊の各植物群のCLAMP解析から推定される各気候データ. 比較対象に現在の北海道洞爺湖, 天塩, 鉛川, 秋田県田沢湖の植生の示す各数値の実測値を付した. 各植物群におけるMARTとMAP(※)はCLAMP解析を基に算定された値である.

Table 4. Predicted climate parameters of the Konan Flora, Sakipenpetsu Flora, Shanabuchi Flora, and Rubeshibe Flora. Modern climate variables in Hokkaido (Toya, Teshio, Namarikawa) and northern Honshu (Tazawa) are indicated for comparison.

Climate parameter investigated by CLAMP	Age	E.M.Mioc.	L.M.Mioc.	L.Mioc.	E.Plioc.	Present	Present	Present	Present
	STDEV R.	Sakipenp.	Konan	Shanab.	Rubesh.	Toya	Teshio	Namarik.	Tazawa
MAT (Mean Annual Temperature)[°C]	1.72	8.4	8.2	10.6	10.0	7.7	4.7	6.8	9.2
WMMT(Warm Month Mean Temperature)[°C]	1.80	20.2	20.3	23.4	21.6	21.5	19.0	20.2	22.9
CMMT(Cold Month Mean Temperature)[°C]	2.54	-2.6	-3.1	-1.6	-0.9	-5.2	-10.3	-5.0	-2.9
MART(Mean Annual Range of Temperature)[°C]	—	22.8	23.5	25.5	22.5	26.7	29.3	25.3	25.8
GROWSEA(Length of the Growing Season)[month]	0.85	5.6	5.4	6.6	6.2	5.5	4.5	5.6	5.7
GSP(Growing Season Precipitation)[mm]	318.0	868	616	776	511	710	590	680	1130
MMGSP(Mean Monthly Growing Season Precipitation)[mm]	36.7	151	148	171	138	129	131	136	198
3-WET(Precipitation during the three Wettest months)[mm]	138.1	531	463	548	419	470	460	490	790
3-DRY(Precipitation during the three Driest months)[mm]	89.9	395	453	529	433	260	340	370	560
MAP(Mean Annual Precipitation)[mm]	—	—	※1830	—	—	1280	1380	1450	2230
RH(Relative humidity)[%]	8.17	70.4	76.8	75.0	78.9	75.0	77.0	75.0	75.0

Note. STDEV R.: standard deviations of residuals. Sakipenp.: Sakipenpetsu Flora (Tanai, 1971). Konan: Konan Flora (This study). Shanab.: Shanabuchi Flora (Tanai and Suzuki, 1965). Rubesh.: Rubeshibe Flora (Tanai and Suzuki, 1965). Toya: Toya-Ko, Hokkaido. Teshio: Teshio, Hokkaido. Namarik.: Namarikawa, Hokkaido. Tazawa: Tazawa-Ko, Akita.

と453mm, 相対湿度 (RH) が76.8%となった (表4). 3-WETと3-DRYの解析結果にほぼ差がないことから年間を通じて同様の降水量があったと仮定すると, 年平均降水量 (MAP) は1,830mmとなる. また, WMMTとCMMTの差から年較差 (MART) は23.5°Cと推測される.

考察

堆積環境と湖南植物群

湖南凝灰質砂岩泥岩部層の下部は湖成堆積物に特徴的な平行葉泥岩相で, まれにスランプ構造が確認される (図2, 3). 上部ではより粗粒な砂岩・礫岩相に漸移しており, それらにトラフ型斜交層理や平板状斜交層理が確認される (図3). これらは本部層の堆積環境が, 湖の静水環境から次第に河川環境へと変化していったことを示

唆している. このような堆積環境の変化は山地からの河川流入によって生じたデルタの前進, すなわち湖岸線の前進を意味すると解釈される (図3). 本部層が凝灰角礫岩相に取り囲まれたような分布を示すことは, 本部層が堆積した湖が土石流に伴って形成された可能性を示唆すると考えられる. 美深層は全体に火山性堆積物に富み, 本部層にもパミス粒や火山灰がしばしば含まれる. このことから本部層の堆積場が火山活動の影響を大きく受けていたことは明らかであり, 本部層中に認められるスランプ構造なども, こうした火山活動などの影響かもしれない.

上記のような湖南凝灰質砂岩泥岩部層の堆積環境から, 湖南植物群は, 湖のすぐ近くに存在する山地から植物が流れ込んで堆積してできたものと考えられる. Kn-1およびKn-2から産出した植物化石の大多数が葉や翼果といった特定の器官からなることは, 本群集が運搬される過程

で選別を受けたことを強く示唆する。一般に堆積場に近い植生からなる群集は葉化石のサイズが正規分布を示し、葉先の方向が特定の方向に偏らず、葉の表面または裏面ばかりに偏って堆積しないと特徴を持つことが知られている (Gastaldo *et al.*, 1996)。本群集は先に述べた特徴に加え、葉の大きさがほぼそろっていることから異地性の程度が高い群集と判断される。本群集に含まれる種には近似現生種が河畔・溪畔の要素と考えられる *Pterocarya japonica*, *Populus sanzugawaensis*, *Salix misaotawakii*, *S. hokkaidoensis*, *Ulmus cf. appendiculata*, *Acer subcarpinifolium* などが認められる一方, *Fagus palaeojaponica*, *Betula protoglobispica*, *Picea* sp. など山地斜面に生育したと考えられる種も大量に含まれる。本層の堆積環境とあわせて考えると, このことは, 湖南植物群が湖盆背後の河畔・溪畔・山地の植生に由来する群集であることを示唆する。

古植生

植村 (1991) は, 湖南から産出する植物化石 58 点のうち, *Fagus palaeojaponica* が産出量の 84% を占める優占種であることを指摘した。本研究で計 2,121 点の標本を検討したところ, *Fagus palaeojaponica* が産出個体数の 48% を占め, 植村 (1991) の示したデータとは差異があるが, 本群集の優占種であることを確認した。また, *Acer subcarpinifolium*, *A. protojaponicum*, *Populus sanzugawaensis* など, 多数の落葉広葉樹に *Picea*, *Abies* のマツ科常葉針葉樹が随伴することも明らかとなった。*Fagus palaeojaponica* をはじめ, 比較的多産する化石種の近似現生種はいずれも冷温帯を中心に分布する。*Zingiberites* sp. は温暖な要素の可能性はあるが, 産出数は多くない。湖南植物群は落葉広葉樹の優占した植生を示し, 冷温帯林の植生を代表していると結論づけられる。ブナ属をはじめとする落葉広葉樹に針葉樹を交え, 常緑広葉樹を含まない特徴は, 東アジアの植生区分 (Wang, 1961; Wolfe, 1979) で北方落葉広葉樹混交林 (Mixed northern hardwood forest) に含まれる。

日本の中期中新世植物群

湖南植物群と同様な植物化石群は, 美深周辺的美深層, さらに北方の歌登地域や上徳士別地域の中部中新統から知られている。棚井ほか (1981) はこれら植物化石群の概要と, 植物化石層位を示した。それらは, 堆積地や後背地の状況を反映し, *Salix* あるいは *Alnus* などを優占種とする原地性の強いものから, 湖南植物群のように *Fagus* を多く含む異地性のものまで含んでいる (棚井ほか, 1981)。棚井ほか (1981) では各植物化石群の詳細は述べられていないが, 後期中新世の三徳型植物群 (Tanai, 1961) との組成的な類似を指摘し, 後に (棚井ほか, 1992; 棚井, 1992), それらを中期中新世後期の植物群として位

置づけた。

前期中新世後期から中期中新世初期の温暖期の植物群 (台島型植物群; Tanai, 1961 など) は日本各地から知られている。この時代には緯度的な気温差が顕著となり (棚井・植村, 1988), 北海道中央部の滝ノ上植物群 (棚井・植村, 1988), サキペンペツ植物群 (Tanai, 1971), 北海道北部の宗谷植物群 (Tanai, 1961; 棚井, 1992) では暖温帯の落葉広葉樹を含むものの常緑広葉樹は稀か欠如している。これら北海道の台島型植物群と湖南植物群は温帯性落葉広葉樹を主とする点で類似しているが, それぞれの構成種は大きく異なっている (図6)。すなわち, 湖南植物群は現生種により近い, 現代化した構成種からなっている。

北海道の後期中新世植物群には社名淵植物群 (Tanai and Suzuki, 1965), 糠平植物群 (Tanai, 1961; 鈴木, 1967) が, 前期鮮新世には留辺蘂植物群 (Tanai and Suzuki, 1965) が知られている。このうち, 社名淵および留辺蘂植物群は詳細な植物化石群組成と分類学的な検討がなされている, 特に, 湖南植物群の優占種, *Fagus palaeojaponica* (Tanai and Suzuki (1965) では *F. protojaponica*) が両植物群でも優占する点が注目される。湖南植物群と, 社名淵植物群, 留辺蘂植物群とは, 落葉広葉樹が優勢でマツ科などの針葉樹を交えることや, 多くの共通種 (図6) からなることから, 三徳型植物群として一括できる。その出現は棚井 (1992) が指摘したように中期中新世後期と言える。

三徳型植物群は一般に *Fagus* の多産によって特徴づけられることが多いが, 本州では *F. stuxbergii* が優占種であるのに対し, 北海道では *F. palaeojaponica* である (植村, 1977)。このことは, それぞれの近似現生種, *Fagus crenata* (ブナ) と *F. japonica* (イヌブナ) の分布状況とは異なり, *F. palaeojaponica* がより北方に適応した種であることを示している。

日本の中期中新世植物群は, 台島型植物群の時代を除くと, 一般に海成層が卓越するため多くない。西南日本の瀬戸内火山岩類には植物化石を含む陸成堆積物を含むことがあり, 山口県平群島^{ひらぐら}などから植物化石群が知られている (植村, 2000)。また, 本州中部のオオミツバマツ植物群 (Miki, 1941) は, 最近の研究によると中期中新世末から後期中新世と考えられるようになった (Tsukagoshi, 2011)。さらに, 福島県只見の海成中新統には比較的豊富な植物化石群が知られている (植村, 2004)。これら本州の中期中新世植物群には, 常緑のカシ類やクスノキ科植物をしばしば伴い, 落葉広葉樹も暖温帯性のものが多い。構成種は, 北海道の中期中新世植物群と同様, 台島型植物群のそれよりも現生種により近い, 現代化した種類からなる。湖南植物群はこれら本州の中期中新世植物群と異なり, この時代の北方域の落葉広葉樹林の組成を有した代表的植物群とみなすことができる。

Species	Macrofossil flora			
	Sakipenpetsu (early Middle Miocene)	Konan (late Middle Miocene)	Shanabuchi (Late Miocene)	Rubeshibe (Early Pliocene?)
	Tanai (1971)	This study	Tanai and Suzuki (1965)	Tanai and Suzuki (1965)
<i>Glyptostrobus europaeus</i>				
<i>Metasequoia occidentalis</i>				
<i>Comptonia naumanni</i>				
<i>Nelumbo endoana</i>				
<i>Hovenia miodulcis</i>				
<i>Hemitrapa hokkaidoensis</i>				
<i>Hemitrapa yokoyamae</i>				
<i>Vaccinium ezoense</i>				
<i>Betula mioluminifera</i>				
<i>Betula uzenensis</i>				
<i>Zelkova ungeri</i>				
<i>Alnus (cf.) protomaximowiczii</i>				
<i>Abies protofirma</i>				
<i>Picea kaneharai</i>				
<i>Cladrastis chaneyi</i>				
<i>Fagus palaeojaponica</i>				
<i>Alnus protohirsuta</i>				
<i>Betula protoglobispica</i>				
<i>Betula onbaraensis</i>				
<i>Corylus sp.</i>				
<i>Salix misaotatawakii</i>				
<i>Populus sanzugawaensis</i>				
<i>Pterocarya japonica</i>				
<i>Acer protojaponicum</i>				
<i>Acer subcarpinifolium</i>				
<i>Cercidiphyllum crenatum</i>				
<i>Prunus protossiori</i>				
<i>Carpinus subcordata</i>				

図6. 北海道の中期中新世～前期鮮新世の植物群構成種の層位的分布。
Fig. 6. The stratigraphic distribution of species in the Middle Miocene to Early Pliocene flora of Hokkaido.

古気候

湖南植物群の各広葉樹種の葉化石は小型 (microphyll) ~ 中型 (mesophyll) 葉クラス (Wolfe, 1993) といった大型の葉面積のものが多く (表3)。優占種の *Fagus palaeojaponica* をはじめ、*Acer subcarpinifolium* や *A. rotundatum*, *Pterocarya japonica* などで顕著である。

また、葉面積以外の葉状特性に注目すると、湖南植物群では *Acer* やカバノキ科の諸種に見られるように先端が尾状に尖る葉が多い。葉面積が大きい点も合わせて考えると、湖南植物群の時代にこの地域が適潤または多湿環境であったことを示唆する。

一方、CLAMP解析によって求めた年平均気温などの気温データは、湖南植物群が現在の北海道や東北地方北部と同様に冷温帯の気候下で成立したことを示す (表4, 図7)。

また、CLAMPから求めた降水量や湿度などのデータに注目すると、湖南植物群が示す古気候は、最寒月の平均気温 (CMMT) が現在の道北地方よりも高く、降水量 (3-DRY) が多く、現在の秋田 (1713.2mm) や酒田 (1861.2mm) など東北地方の日本海側地域に近い値をとる (表4)。GROWSEAが5.4ヶ月、その間の降水量 (GSP) が616mmという値をとっているということは、月平均

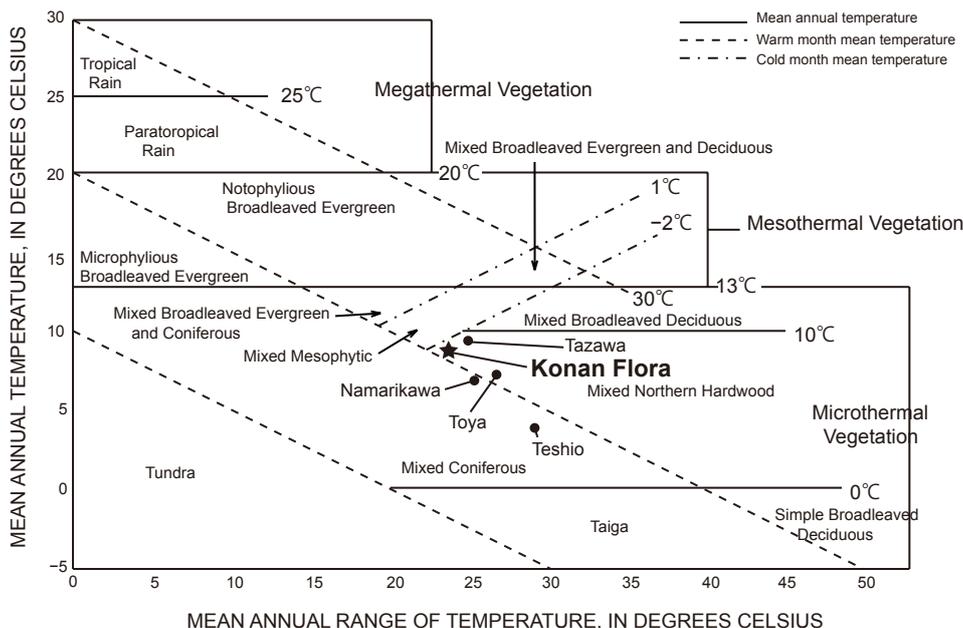


図7. CLAMP解析結果から推測される湖南植物群の植生タイプ. Wolfe (1979) を改変して使用.

Fig. 7. Forest vegetation of the Konan Flora inferred from paleoclimate analysis based on CLAMP technique. Modified of Wolfe (1979).

気温が10°Cを越えない月の降水量も比較的多いこと、すなわち冬季の降水量が多かったことを意味する。CLAMP解析の結果から推測される湖南植物群の古気候はブナ属が優占する現在の冷温帯林のそれと類似したものだったことを示唆する。

湖南植物群とサキベンベツ，社名淵，留辺蘂の各植物群のCLAMPの解析結果を比較すると，降水量や湿度のデータに若干の差が見られたが，大局的には同じ湿潤冷温帯の気候下にあった植物群とみなせる。このことは，本州で台島型植物群の温暖期から冷温化が顕著となる気候変化とは異なっている。CLAMP解析に当たり，湖南植物群以外の植物群は主に論文データに基づいているため，誤差が大きいのかも知れない。一方，北海道でも本州でも，中期中新世に種分化が進んだ事実があり，その気候要因をさらに明らかにすることが今後望まれる。

まとめ

- 1) 名寄地域の中期中新世後期の堆積物である美深層湖南凝灰質砂岩泥岩部層下部の平行葉泥岩層から，湖南植物群が確認された。堆積環境から，湖南植物群は異地性の強い湖盆背後の広範な植生を示していることを明らかにした。
- 2) 湖南植物群は17科24属38種の種子植物より構成され，*Fagus palaeojaponica*が48%を占め，優占種となっている。構成種の近似現生種の多くは冷温帯林を中心に分布しており，落葉広葉樹の優占した冷温帯林の植生を代表していると考えられる。また，そのような組

成的特徴は東アジアの植生区分の北方落葉広葉樹混交林に含められる。

- 3) 湖南植物群は，北海道の台島型植物群よりも現代化した種類から構成されており，後期中新世の社名淵植物群，鮮新世の留辺蘂植物群と共通した種が多く含まれていることから，三徳型植物群であることを明らかにした。また本植物群の存在から，三徳型植物群の出現は中期中新世であると結論付けられる。本州の中期中新世植物群とは組成的に明らかに異なっており，この時代の北方域の落葉広葉樹の組成を有した代表的植物群と見なすことができる。
- 4) 葉相観やCLAMP解析から，湖南植物群が現在の北海道や東北地方北部と同様に湿潤冷温帯気候下で成立したことを明らかとした。北海道の中期中新世前期から鮮新世の各植物群と湖南植物群の古気候条件の比較を行ったが，これらは大局的には同じ湿潤冷温帯気候下で成立したことを示している。これは本州における台島型植物群の温暖期以降の寒冷化が顕著となる気候変化とは異なっている。

謝辞

本研究をまとめるにあたり，北海道大学総合博物館の高橋英樹氏には研究内容の検討や施設利用等に際して便宜を図っていただいた。北海道大学北方生物圏フィールド科学センター・森林圏ステーション雨龍研究林の杉山弘氏をはじめ皆様には，施設利用などに関して便宜を図っていただいた。国立科学博物館地学研究部の斉藤めぐみ

氏には珪藻分析をしていただいた。また、査読者の塚越実氏（大阪市立自然史博物館）と山田敏弘氏（金沢大学）には、懇切丁寧な査読をして頂き、原稿中の多くの不備や内容についてご指摘いただいた。記して謝意を表する。

文献

- APG III (The Angiosperm Phylogeny Group), 2009. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society*, **161**, 105–121.
- Gastaldo, R. A., Ferguson, D. K., Walther, H. and Rabold, J. M., 1996. Criteria to distinguish parautochthonous leaves in Tertiary alluvial channel-fills. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **91**, 1–21.
- 後藤芳彦・中川光弘・和田恵治, 1995. 北海道北部の中新世火山活動の活動場：K-Ar年代と主成分化学組成からの推定. 岩石鉱物鉱床学会誌, **90**, 109–123.
- Gregory-Wodzicki, K. M., 2000. Relationships between leaf morphology and climate, Bolivia: implications for estimating paleoclimate from fossil floras. *Paleobiology*, **26**, 668–688.
- 橋本 亘・長尾捨一・菅野三郎, 1965. 5万分の1地質図幅「添牛内」および説明書. 92p., 北海道開発庁, 札幌.
- Hinojosa, L. F. and Villagran, C., 2005. Did South American Mixed Paleofloras evolve under thermal equability or in the absence of an effective Andean barrier during the Cenozoic? *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **217**, 1–23.
- 今西 茂, 1956. 5万分の1地質図幅「名寄」および説明書. 45p., 北海道立地下資源調査所, 札幌.
- Jacques, F. M. B., Su, T., Spicer, R. A., Xing, Y., Huang, Y., Wang, W. and Zhou, Z., 2011. Leaf physiognomy and climate: Are monsoon systems different? *Global and Planetary Change*, **76**, 56–62.
- Matsumoto, M., Momohara, A., Ohsawa, A. T. and Shoya, Y., 1997a. Permineralized *Decodon* (Lythraceae) seeds from the Middle Miocene of Hokkaido, Japan with reference to the biogeographic history of the genus. *Japanese Journal of Historical Botany*, **5**, 53–65.
- Matsumoto, M. and Nishida, H., 2003. *Osmunda shimokawaensis*, sp. nov. and *Osmunda cinnamomea* L. based on permineralized rhizomes from the Middle Miocene of Shimokawa, Hokkaido, Japan. *Paleontological Research*, **7**, 153–165.
- Matsumoto, M., Ohsawa, T. and Nishida, M., 1994. Anatomy and affinities of permineralized *Picea* leaves from the late middle Miocene of Shimokawa Group, Hokkaido, Japan. *Journal of Japanese Botany*, **69**, 387–396.
- Matsumoto, M., Ohsawa, T. and Nishida, M., 1995. *Tsuga shimokawaensis*, a new species of permineralized conifer leaves from the middle Miocene Shimokawa Group, Hokkaido, Japan. *Journal of Plant Research*, **108**, 417–428.
- Matsumoto, M., Ohsawa, A. T., Nishida, M. and Nishida, H., 1997b. *Glyptostrobus rubenosawaensis* sp. nov., a new permineralized conifer species from the Middle Miocene, Central Hokkaido, Japan. *Paleontological Research*, **1**, 81–99.
- Miki, S., 1941. On the change of flora in Eastern Asia since Tertiary period (I). The clay or lignite beds flora in Japan with special reference to the *Pinus trifolia* beds in Central Hondo. *Japanese Journal of Botany*, **11**, 237–303.
- 岡 孝雄, 1994. 名寄市の地質と地下資源. 107p., 北海道立地下資源調査所, 札幌.
- 小山内照・庄谷幸夫, 1965. 5万分の1地質図幅「恩根内」および説明書. 32p., 北海道開発庁, 札幌.
- 小山内照・松下勝秀・長尾捨一, 1970. 5万分の1地質図幅「士別」および説明書. 27p., 北海道立地下資源調査所, 札幌.
- 酒匂純俊・小山内照, 1955. 5万分の1地質図幅「下川」および説明書. 54p., 北海道開発庁, 札幌.
- 柴田 賢・棚井敏雅, 1982. 北海道第三紀火山岩類のK-Ar年代. 棚井敏雅, 北海道の新第三系の諸問題, 81–90, 北海道大学理学部, 札幌.
- 柴田 賢・山口昇一・石田正夫・根本隆文, 1981. 北海道歌登町産 *Desmostylus* 含有層の地質年代. 地質調査所月報, **32**, 545–549.
- 鈴木順雄, 1967. 北海道の新第三紀後期植物群. 佐々保雄教授還暦記念論文集, 291–302.
- 高橋功二・福沢仁之・和田信彦・保柳康一・岡 孝雄, 1984. 北海道北部, 日本海沿岸地域の第三系. 地球科学, **38**, 299–312.
- 高橋功二・小山内照・松下勝秀・三谷勝利・中村耕二, 1971. 5万分の1地質図幅「落の台」および説明書. 36p., 北海道開発庁, 札幌.
- Tanai, T., 1961. Neogene floral change in Japan. *Journal of the Faculty of Science, Hokkaido University, Series IV*, **10**, 119–398.
- Tanai, T., 1971. The Miocene Sakipenpetsu Flora from Ashibetsu Area, Central Hokkaido, Japan. *Memoirs of the National Science Museum, Tokyo*, **4**, 128–172.
- Tanai, T., 1983. Revisions of Tertiary *Acer* from East Asia. *Journal of the Faculty of Science, Hokkaido University, Series IV*, **20**, 291–390.
- 棚井敏雅, 1992. 東アジアにおける第三紀森林植生の変遷. 瑞浪市化石博物館研究報告, **19**, 125–163.
- 棚井敏雅・佐藤誠司・中筋治雄, 1981. 美深—歌登地域の第三紀後期フローラ層序. 北海道の新第三系の生層序, 研究連絡誌, **1**, 34–37.
- 棚井敏雅・佐藤誠司・中筋治雄, 1992. 北海道美深町西部の新第三系の層序. 国立科学博物館専報, **25**, 23–32.
- Tanai, T. and Suzuki, N., 1965. Late Tertiary floras from North—eastern Hokkaido, Japan. *Palaeontological Society of Japan, Special Paper*, **10**, 1–117.
- 棚井敏雅・植村和彦, 1988. 北海道西南部および本州北端部の台島型植物群 (中新世). 国立科学博物館専報, **21**, 7–16.
- Tsukagoshi, M., 2011. Recent progress in paleobotanical and geological studies of *Pinus trifolia* flora. *Japanese Journal of Historical Botany*, **19**, 15–24.
- 植村和彦, 1977. 東北地方日本海側の中新世後期植物群. 藤岡一男教授退官記念論文集, 333–343, 秋田.
- 植村和彦, 1991. 北海道名寄地域の温根別および仁宇布産の中期中新世植物群, 国立科学博物館専報, **24**, 17–26.
- 植村和彦, 2000. 山口県平郡島の中期中新世植物. 国立科学博物館専報, **32**, 39–54.
- 植村和彦, 2004. 只見町野々沢産の中新世の植物化石. 只見町史編さん委員会, 只見町史第1巻, 61–74. 只見町教育委員会.
- Wang, H. Z., 1961. The forest of China. *Maria Moor Cabot Foundation Publication*, **5**, 1–313.
- Wolfe, J. A., 1979. Temperature parameters of humid to mesic forests of Eastern Asia and relation to forests of other regions of Northern Hemisphere and Australasia. *U.S. Geological Survey Professional Paper*, (1106), 1–37.
- Wolfe, J. A., 1993. A method of obtaining climatic parameters from leaf assemblages. 73p., *U.S. Geological Survey Bulletin*, (2040), United States Government Printing Office, Washington.
- Wolfe, J. A., 1995. Paleoclimatic estimates from Tertiary leaf assemblages. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, **23**, 119–142.
- Wolfe, J. A. and Spicer, R. A., 1999. Fossil leaf character states: multivariate analyses. In Jones, T. P. and Powe, N. P., eds., *Fossil Plants and Spores: Modern Techniques*. 233–239, Geological Society, London.
- 矢部 淳, 2002. 大型植物化石から推定されるタイ北部第三紀の古気候. 霊長類研究, **18**, 143–157.
- 山口昇一・渡辺 寧, 1990. 20万分の1地質図「名寄」. 地質調査

所, つくば.

Yanagisawa, Y. and Akiba, F., 1998. Refined Neogene diatom biostratigraphy for the northwest Pacific around Japan, with an introduction of code numbers for selected diatom biohorizons. *Journal of the Geological Society of Japan*, **104**, 395-414.

(2012年3月23日受付, 2012年6月8日受理)

