東アジアにおける第三紀森林植生の変遷*

棚 井 敏 雅**

Tertiary vegetational history of East Asia

Toshimasa Tanai**

(Abstract)

The recent accumulation of radiometric ages of intercalating pyroclastic rocks and age evaluation of marine microfossils of interbedding marine formations in the plant-bearing sections of Japanese Islands have made possible to discuss Tertiary floristic sequence more precisely than ever done in Japan. Paleogene floral sequence of Japan is divided into 6 stages ranging from Middle Eocene to Oligocene time, and Neogene sequence is into 4 stages of Early Miocene to Pliocene time. Although there were latitudinal differences in floristic composition between North and Southwest Japan, the physiognomic analyses of leaf asemblages indicate that warm and cool intervals during the Tertiary are consistent with floristic changes in the both regions.

Middle Eocene floras of Japan are composed commonly of broadleaved evergreen taxa including tropical genera, except in a cool interval (about 44 Ma). Palms are abundant even in North Japan during the warmest interval of the late-Middle Eocene (about 41 Ma). Broadleaved deciduous taxa with high diversity, accompanying with taxodiaceous conifers, characterize Late Eocene floras, but they include tropical genera of Icacinaceae, Sterculiaceae, Euphorbiaceae and Menispermaceae. These tropical genera gradually decreased toward the end of the Eocene. Oligocene and early-Early Miocene floras show temperate aspect and low diversity. They are composed mainly of broadleaved deciduous taxa and conifers (Pinaceae and Taxodiaceae), although Oligocene floras contain some Eocene relicts. Most of Oligocene dicot are closely similar to Miocene species, distinguished from Eocene dicots.

Late-Early to early-Middle Miocene floras (mostly 16–18 Ma), are composed of the broadleaved evergreen taxa (common in Fagaceae, Lauraceae, Theaceae) and warm-temperate deciduous taxa, although the evergreens are less in Hokkaido. The floras of this age are usually characterized by increased diversity of families and genera. In late-Middle to Late Miocene floras (mostly 13 to 7 Ma) broadleaved deciduous taxa are dominant again, especially in North Japan, and mixed with broadleaved evergreens on the lowland of central and southwest Japan. Most dicots of these ages are closely similar to the extant species of Japan. Pliocene floras are different from Late Miocene floras in having less evergreens and relict genera.

---

* 第三紀層序学・古生物学および古環境学研究に多大の業績をあげられ，わが国のこれらの分野の発展に寄与された糸魚川淳二教授を記念してこの小論をまとめた。

** 静岡県函南町ダイヤランド 23-546
（北海道大学名誉教授）

1992年9月1日受理

Based on comparison with the floristic sequence of Japan, Tertiary floras reported from Sakhalin, Kamchatka, Sikhote-Alin, Siberia, China and northeastern Kazakhstan by various authours are reevaluated in age, and the distribution of major vegetation types during the Tertiary in East Asia is discussed.

Paleocene floras are known only from Northwest China, Mongolia, Siberia and Kazakhstan; all the floras were known poleward from paleolatitude 40°N. They are dominant in older taxa of Trochodendroids, Hamamelids and Platanoids, associated with taxodiaceous conifers, and the vegetation probably corresponds with the Polar Broadleaved Deciduous forest. During the warmest interval of the late-Middle Eocene broad-leaved evegreen dominant forest extended up to paleolatitude about 50°N; the Notophyllous Broadleaved Evergreen forest occupied the area between 40-50°, the Paratropical Rain forest in the coastal area of the continent between 40-30°, and the Tropical Rain forest at 30° and southward. The semiarid, seasonally dry forest developed in inland region between 30-35°, including *Palibinia* and legumes.

Due to considerably cooling during the Late Eocene to Oligocene, broadleaved deciduous forest including tropical genera occupied wide area of middle and southern high paleolatitudes during the Late Eocene. This Late Eocene vegetation was probably the descendant of the Polar Broadleaved Deciduous forest. It is confirmed in Japan, Sakhalin, Kamchatka and eastern Siberia, but poorly known in China. By the Middle Oligocene the Mixed Northern Hardwood forest was distributed at paleolatitudes 35-70°. This forest was composed mostly of temperate broadleaved taxa and conifers, although some Eocene relicts were included. The Notophyllous Broadleaved Evergreen forest was southward from paleolatitutde 35°.

Early-Ealy Miocene floras are known only from Japan, Korea, Kamchatka and Siberia; these represent the typical Mixed Northern Hardwood forest, which was derived directly from Oligocene temperate vegetation. Due to "mid-Miocene" warming, the Notophyllous Broadleaved Evegreen forest pushed up the Mixed Northern Hardwood forest to paleolatitude 40°-45° and northward during the late-Early to early-Middle Miocene. Many warm-temperate broadleaved deciduous taxa invaded into southern part of the deciduous forest. The Paratropical Rain forest is confirmed to have been at 30° and southward. The late-Early Miocene warming is well documented in Japan, China, Sakhalin, Kamchatka and Siberia.

Climate became gradually cooler since the middle-Middle Miocene toward the end of the Pliocene, although temperatures somewhat fluctuated. Broadleaved deciduous forest extended southward again to paleolatitude about 40°; the Mixed Northern Hardwood forest occupied North Japan, Sikhote-Alin and North China, while northern limit of the Notophyllous Broadleaved Evergreen forest retreated to paleolatitude 35°. Mixed broadleaved evergreen and deciduous forest developed on the coastal plain and lower slopes of central and southwest Honshu, Japan. This forest includes many dicots and conifers which are now monotypic or bitypic genera, and it may indicate the first appearance of the Mixed Mesophytic forest at middle paleolatitude of East Asia. The Microphyllous Evergreen forest developed locally on somwhat higher northern slopes of Xizang region; it may indicate that the Himalaya Mountains and the Xizang Plateau were already at moderate height by the Late Miocene.

Pliocene floras of East Asia except Japan are too poorly known to discuss the vegetational distribution. In Japanese Islands Pliocene floras based on macrofossils and pollen assemblages

indicate that the vegetation was so much different in distribution from that of the Late Miocene, although some broadleaved evergreen taxa disappeared in North Japan. Most members of the Mixed Mesophytic forest still survived until the end of Pliocene in western Honshu and Kyushu. The Mixed Coniferous forest occupied the polar region since the Middle Eocene did not extend beyond paleolatitude 65° until the Late Miocene. Pliocene floras of Kamchatka and Hokkaido indicate that the Coniferous forest crossed paleolatitude 60° by the end of the Pliocene, but it did not yet reach lowland of North Japan.

I. はじめに

東アジアの現在の冷温帯～暖温帯広葉樹林は，北半球の中緯度地域の広葉樹林の中で最も豊富な植物からなり，とくに monotypic または bitypic な第三紀残存植物を多く含むことでよく知られている。また，形態学的に原始的と考えられる被子植物の多くは，中国西南部～インド北部・マレーシア・西太平洋諸島に分布する（Takhtajan, 1969）。このアジアの広葉樹林は，北アメリカ東部の広葉樹林と多くの共通植物を含むことが古くから知られ（Gray, 1846），この隔離分布する植物の比較研究は多くの植物学者によって注目され（たとえば，Li, 1952; Hara, 1949, 1952），また，新しい視点から最近さらに詳細に論じられている（たとえば，Davidse, 1983）。

現生の森林植生の分布や植物相の組成は，被子植物が地球上に出現して以来の大陸と海洋分布の変化及び気候変化によるイベントの結果である。また，それぞれの植物グループの種分化・分布の速度に相違があったことや，東アジア－北アメリカ東部の隔離分布パターンは幾回かの歴史的イベントの重なりの結果であることなどが，第三紀植物の系統学的および植物地理学的な研究によって近年しだいに明らかにされつつある（Tiffney, 1985；Wolfe, 1985；Wolfe and Tanai, 1987）。

東アジアの森林は，構成植物の系統学的研究が重要であるばかりでなく，豊富な組成をもった森林植生の起源を明らかにするために，第三紀に遡って歴史的に解析しなければならない。東アジアでは被子植物が出現した初期の白亜紀後期～暁新世の含植物化石層の発達は北アメリカに比して必ずしもよくないが，始新世以降の含化石層が広く発達し，多くの研究者によって研究が進められてきた。日本の第三紀植物相については Tanai (1967a,b, 1972)，中国の第三紀植物相または植物区系について Hsü (1983)，Guo (1985)，陶 (1992) によって総括された。しかし，広域にわたる植生分布の考察には各植物相の詳細な年代考証が不可欠であるが，これまでの多くの研究には近年の国際対比に対応しうるような含化石層の年代論が欠けていることが多い。

日本では暁新世の植物化石層は欠けているが，始新世以降の植物化石群はよく知られ，第三紀含化石層の放射年代値資料も近年ようやく多く得られるようになって，植物相層序を国際的な年代の枠組みで論ずることが可能になりつつある。そこで，これまでの多くの研究を総括して日本列島における第三紀植物相層序を確立し，その結果に基づいてアジアの他地域における植物相層序を再検討して，東アジアの第三紀植生変遷と気候変動についての考察を試みることにした。

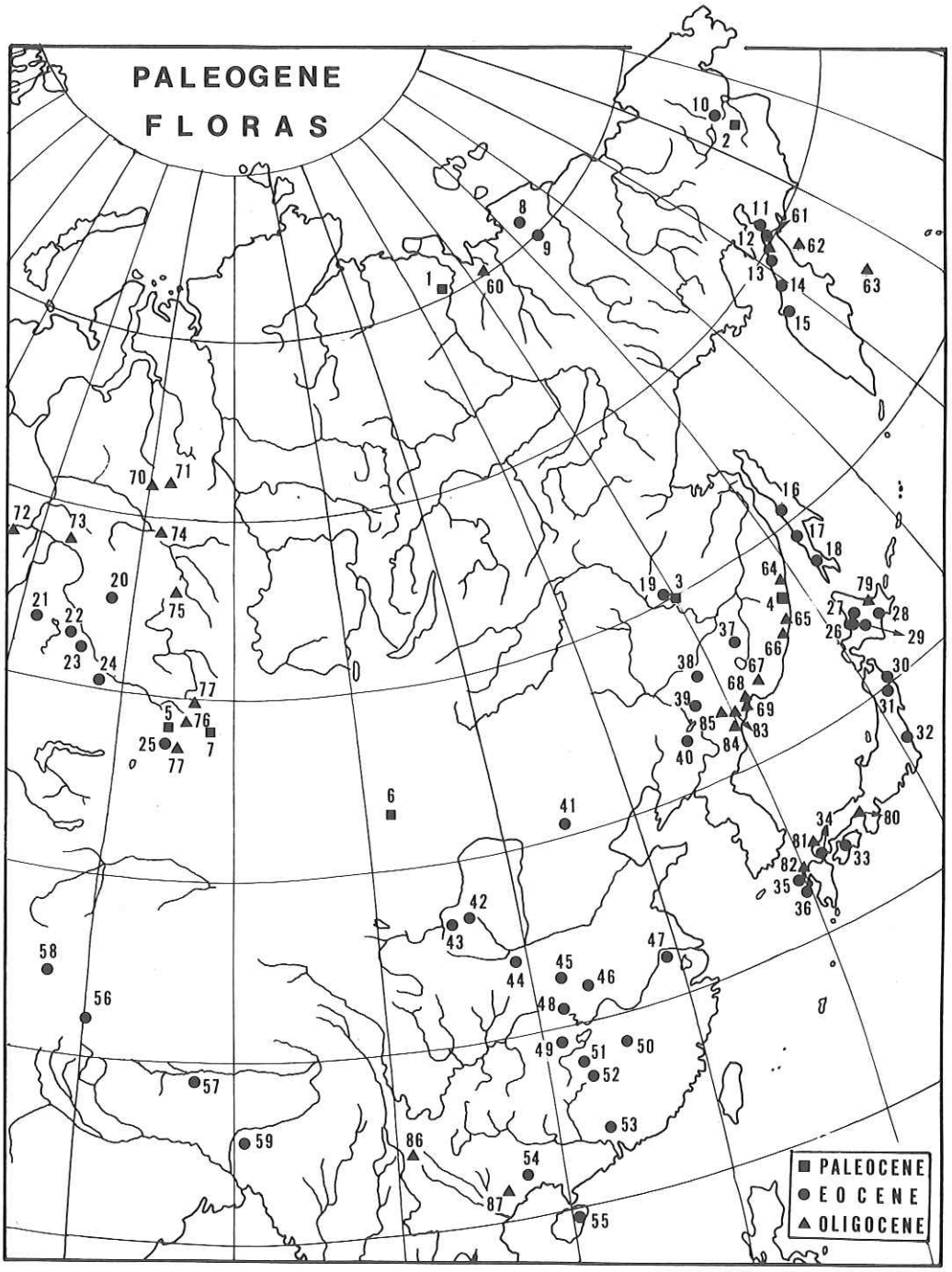
II. 東アジアの古第三紀植生

東アジアの古第三紀植物相は葉・種子・花粉などの化石の基づいて，日本・中国・サハリン・カムチャッカ・シホタリンなどの各地から広く知られ，さらにその分布はシベリヤ・北極地域・

カザック東部に及んでいる。しかし，古第三紀化石の分類学的研究が遅れているために，植物相組成が必ずしも明らかでないものや，年代論に問題のあるものなどが少なくない。

1．暁新世の植生

東アジアでは暁新世の植物相の報告は多くないが，中国吉林省琿春 (Guo, 1985)・新疆北部



のアルタイ(郭ほか, 1984)，モンゴル南西部の Gobi (Makulbekov, 1988)，ロシアのアムール地域 Bureya 盆地 (Baikovskaya, 1955；Krasilov, 1976)・シベリア北極地域のレナ河下流 (Budantsev, 1983)・カザック最東部の Zaisan 盆地 (Romanova, 1970) など (第1図)、古緯度50°以北の地域から主として知られている。これらの中ではモンゴルの植物相は哺乳動物化石と共産するので，暁新世後期という年代はほぼ確実である。この他に，Anadyr 盆地の後期白亜紀とされた植物相(Kryshtofovich, 1958)の一部は，暁新世に属する可能性がある。カムチャッカやサハリンから暁新世と報告された植物相は，その組成から見ると始新世と考えられる。これらの暁新世植物相は，スギ科の落葉針葉樹と Trochodendroids, Platanoids, Hamamelids に属する広葉樹が優占し，クルミ科？・カバノキ科？・ブドウ科？及び所属不明の全縁及び歯状葉をもつ広葉樹を伴うが，植物相組成の多様性は低い。広葉樹種は分類学的に問題が多いが，中緯度地域の植物相では全縁葉が多く，一方，シベリア北部やアナディル盆地の極地の植物相では歯状縁の大型葉が多く含まれ，暁新世には高～中緯度地域で植物相の組成に相違があったと思われる。Platanoids, Hamamelids, Trochodendroids の葉化石は各研究者によっていろいろの属に同定されているが，大半は後期白亜紀の系統に属する古型の分類群である。中緯度以南の地域からは，花粉化石群以外は暁新世の葉化石群は未だ知られていない。

北アメリカの中緯度地域やヨーロッパ中部の暁新世植物相が多くの常緑広葉樹を含むのに比べて，これまでの資料によると東アジアでは落葉広葉樹が多いことが特徴的である。これは，温暖な層準が未発見であるのか，東アジア中～北部に特有な組成であるのか，今後の研究課題である。カザック西部のアラル海北部・カスピ海北部などに知られる暁新世植物相は(Baikovskaya, 1984；Makulbekov, 1977)，極めて多様な常緑樹種からなり，組成・構成種ともヨーロッパ中部の暁新世植物相に近縁である。したがって，第三紀初期には Turgai Depression を挟んで，ユーラシアの中緯度地域の植物相が東西で異なっていた可能性が指摘できる。

第1図　東アジアにおける古第三紀植物相の分布

Fig. 1.　The Distribution of Paleogene floras in East Asia.

PALEOCENE: 1. Kharaulakh 2. Gornaja 3. Bureja 4. Sobolevka 5. Kiin-Kerish 6. Gobi 7. Altai (阿勒泰) EOCENE: 8. Tastakh 9. Dzilon-Sise 10. Raritikin 11. Chemurnaut 12. Rebro 13. Bozhedemova 14. Palana 15. Napana 16. Aleksandrovsk-Sakhalinskii 17. Uglegorsk 18. Kostromskoe 19. Raichikha 20. Aleksevka 21. Selty 22. Karasor 23. Takyrsor 24. Zhamantys 25. Kerishy 26. Uryu (雨龍) 27. Kabato (樺戸) 28. Ishikari (石狩) 29. Kushiro (釧路) 30. Kuji (久慈) 31. Kokawa (小川) 32. Joban (常磐) 33. Ishizuchi (石槌) 34. Ube (宇部) 35. Sakito-Kishima (崎戸－杵島) 36. Takashima (高島) 37. Hulin (虎林) 38. Yilan (依蘭) 39. Shulan (舒蘭) 40. Fushun (撫順) 41. Zhangiakou (張家口) 42. Huanxian (环県) 43. Zhangyi (張掖) 44. Weinan (渭南) 45. Nanyang (南陽) 46. Wucheng (呉城) 47. Yizheng (儀征) 48. Dangyang (当陽) 49. Taoyuan (桃源) 50. Quingjiang (清江) 51. Xiangxiang (湘郷) 52. Hengyang (衡陽) 53. Sanshui (三水) 54. Shangssu (上思) 55. Haikou (海口) 56. Gar 57. Lhaza (拉孜) 58. Hemis 59. Garo Hill OLIGOCENE: 60. Sergeja 61. Irvajan 62. Karaginski 63. Beringa 64. Dembi 65. Amgu 66. Velikaja Kema 67. Rettikhovka 68. Kraskino 69. Shakhtersk 70. Dunaevskii cliff 71. Velyi cliff 72. Anthropova 73. Korolenko 74. Kozflino 75. Lagerno Garden 76. Kalmakpai 77. Ashutas 78. Bukhtarma 79. Wakamatsuzawa (若松沢) 80. Kobe (神戸) 81. Yuyawan (油谷湾) 82. Ainoura (相ノ浦) 83. Kogeonweong (古乾原) 84. Kungshim (弓心) 85. Sanhe (三合) 86. Jiggu (景谷) 87. Na-kio

2．始新世～漸新世の植物相

日本・中国・サハリン・カムチャッカ・アムール地域およびカザック東北部などから始新世～漸新世の植物相がよく知られ，暁新世植物相に比べて多様な組成からなり，とくに始新世には熱帯要素が多く含まれる。カムチャッカから日本は，当時のアジア大陸の一部でその辺縁に属し，海水準の変動に伴って陸成含炭層～瀕海成層が累重して形成され，数層準にわたって含植物化石層が発達するので，古第三紀の植物相層序を確立する上で最も適した地域である。

2．1．日本の始新世～漸新世の植物相

日本の古第三紀の主要な含植物化石層は北海道と北九州に分布し，石炭層を多く挟有する湖沼～沿岸成堆積層からなり，海生動物化石をしばしば伴っている。この他に，岩手県久慈炭田－小川含炭地・福島－茨城県にわたる常磐炭田・山口県宇部炭田と油谷湾地域・四国の久万含炭地などからも知られる。海生浮遊性微化石による日本の古第三系の生層序学的研究が近年漸く進められてきたが(斉藤ほか, 1984；Kaiho, 1984；Okada, 1992；など)，上記の地域では国際対比に有効な微化石が必ずしも未だ十分ではない。一方，放射年代測定に適した火山岩・凝灰岩が日本の古第三系に少ないことが問題解決を困難にしていたが，測定値資料は近年漸く集まりつつある（木村，1991 など)。最近，尾崎（1992）は含化石層の放射年代値･海生微化石の示す年代などを整理し，日本の古第三紀植物化石群の層位的な位置づけと古気候変化を論じたが，植物相組成の検討は全くなされていない。古第三紀には日本の南北で植生がすでに異なっていたので(Tanai, 1967 a, 1972；棚井, 1991)，最近の筆者の研究結果を加えて北日本と西日本に分けて植物相層序を概括することにする。

2.1 1．北日本

北海道の古第三紀の含植物化石層は，岩相層序的関係・挟在する海生動物化石群・放射年代値を考慮すると，第 2 図に示すように始新世中期から漸新世前期にわたるⅠ～Ⅵの 6 層準に分けられる(Tanai, 1990)。含化石層は石炭層を頻繁に挟み，炭田形成の古地理的関係から考えると，これらの植物相は当時の海岸低地とそれに隣接した山腹低斜面の植生を示し，また，それぞれの植物相組成も矛盾はない。

Ⅰ層準：石狩炭田登川層の化石群によって代表され，27 科 34 属の双子葉類を主とし，スギ科の針葉樹を伴い，暁新世よりも植物相組成は多様である。ブナ科（常緑カシ），クス科（*Cinnamomophyllum, Litseaphyllum, Lindera*），ヤマモモ科(*Myrica*)，フトモモ科(*Myrtophyllum*)などの常緑広葉樹が多く，ヤシ科（*Sabalites*）を伴う。一方，落葉広葉樹も豊富で，クルミ科（*Pterocarya*），ヤナギ科（*Populus*），カバノキ科（*Alnus*），ニレ科（*Zelkova, Ulmus*），マンサク科（*Corylopsis, Disanthus, Hamamelis, Liquidambar, Mytilaria* など），アオギリ科（*Pterygota*），ミソハギ科（*Lagerstroemia*），シナノキ科（*Plafkeria, Actinovena*），ミカン科（*Euodia*）などが多い。この時期の植生は現生の中型広葉常緑樹林 Notophyllous Broad-leaved Evergreen Forest（Wolfe, 1979）にほぼ相当し，化石群の全縁葉率が 50％を示すことと矛盾しない。

Ⅱ層準：石狩炭田夕張層の化石群（藤岡･小林, 1961；棚井 MS）によって代表され，25 科 39 属の双子葉類とスギ科などからなり，Ⅰ層準と構成種は大きく異なることはないが，常緑広葉樹種が少なく *Sabalites* も含まれない。カバノキ科，クルミ科などが著しく，多裂型葉のカエデが始めて含まれる。夕張植物相の植生は常緑・落葉広葉樹－針葉樹混交林で，全縁葉率は 35％で登川植物相よりも低い。

Ⅲ層準：石狩炭田の *Sabalites* を多産する美唄層の化石群によって代表されるが，広葉樹類は

I，II層準と大差ないが，ブナ科(*Cyclobalanopsis, Fagopsis*)，マンサク科，スズカケノキ科，クス科，ツヅラフジ科，アオギリ科（*Kleinhovia, Byttneria*)，ウルシ科（*Melanorrhoea*)，トウダイグサ科（*Mallotus, Hura*）などが特徴的である。雨龍炭田の雨龍層の化石群もほぼ同じ組成を示すが，*Sabalites* はまれである。この層準にヤシ科植物が多いことは，この時期に北日本では最も暖かい気候であったことを示すが，広葉樹の組成から見ると中型広葉常緑樹林の植生であったと考えられる。

IV層準：この層準の化石群は石狩(幾春別層)，樺戸(樺戸層)，大和田(大和田層)，留萌("右大股層")及び釧路（春採層）炭田など、北海道に広く認められる。これらの植物相は極めて多様な広葉樹類からなり、スギ科(*Metasequoia, Glyptostrobus* など)の針葉樹とシダ類(*Woodwardia, Onoclea, Dennstaedtia* など）を豊富に伴う組成である。たとえば、双子葉類は幾春別植物相で37科68属、春採植物相で33科44属からなり、この時代になって双子葉類が著しく分化したことを示している。とくに、ヤナギ科(*Populus, Salix*)，カバ科(*Alnus, Carpinus, Corylus*)，クルミ科（*Carya, Cyclocarya, Ezocarya, Juglans, Pterocarya*)，ブナ科（*Fagopsis, Quercus, Ishikaria*)，ニレ科（*Aphananthe, Ulmus, Zelkova*)，マンサク科（*Corylopsis, Disanthus, Hamamelis, Liquidambar*)，スズカケノキ科（*Platanus*),バラ科（*Rosa, Prunus, Sorbus, Sorbaria*)などの落葉広葉樹の分化が特徴的である。またトウダイグサ科(*Acalypha, Alchornea, Mallotus*)，アオギリ科（*Byttneria, Kleinhovia, Pterygota*)，クロタキカズラ科（*Huziokaea, Merrilliodendron, Phytocrene, Pyrenacantha*),ツツズラフジ科（*Cocculus, Limacia, Pericamphylus*)などの熱帯～亜熱帯属を含んでいるが常緑カシ類やクス科をほとんど含んでいない。単子葉類ではバショウ科（*Musophyllum*）を多く伴うがヤシ類は極めてまれである。この時代の植物相は熱帯属を含むけれども，各化石種の産出個体数から見ると針葉樹と落葉広葉樹が卓越した植生であった。しかし，Wolfe (1975) が"Boreotropical flora"と呼んだように多くの熱帯属と温帯属とが混在し，この落葉広葉樹林に相当する現生植生はない。第三紀初期に高緯度地域を占めていた極地落葉広葉樹林 Polar Broad-leaved Forest（Wolfe, 1989）が，始新世中期に中緯度地域に南下して発達したものである。

V層準：石狩炭田の芦別層や釧路炭田の尺別層の化石群によって代表される後期始新世末の植物相は，ヤナギ科，クルミ科，カバノキ科，ニレ科，スズカケノキ科，カツラ科などの落葉広葉樹からなり，スギ科を多く伴っている。こららの植物はいずれもIV層準から続いた種であるが，しかしIV層準の温暖植物の大半は含まれていない。*Liquidambar, Mallotus, Cocculus, Plafkeria* などは僅かに含まれるが，常緑広葉樹はほとんど含まれていない。この時代の植生は，熱帯属がほとんど失われた極地落葉広葉樹林であったと考えられる。

植物化石を豊富に含む石狩・浦幌・雨龍層群をそれぞれ不整合に覆う幌内・音別・達布層群は厚い海成泥質岩層からなり底生有孔虫や軟体動物化石を豊富に含んでいる。この海成泥岩には陸域から漂移した植物の化石がまれに含まれるがスギ科とマツ科の枝条や球果，ブナ科の葉（*Quercus, Fagus?*)，カエデ属の翼果，*Engelhardia* 属の苞，カバノキ科の葉(*Alnus, Carpinus*)所属不明の常緑広葉などとともに，*MacClintockia*（水生～水辺？の双子葉類）の葉が多い。これらは当時の陸域から選択的に運ばれた植物遺体であるので，これらからこの時代の植物相を推定することは難しい。しかし，幌内層群及びその相当層の花粉組成(佐藤, 1972；佐藤, 1981)がマツ科，クルミ科，カバノキ科，ブナ科，ニレ科を主体としていることと考えあわせると，この海成層堆積時の陸域の植生はV層準と大差なかったとも考えられる。

VI層準：北海道中央部や東南部では漸新統が海成層で占められるのに対して，東北部の北見地域に植物化石を多産する陸成層（若松沢層）が認められ，層序的関係と放射年代値から音別

層群上部に対比される。若松沢植物相（Tanai & Uemura, 1983）は，クルミ科，カバノキ科，ブナ科(特有な葉形態をもった *Quercus* を含む)，ニレ科，カエデ科，バラ科などの落葉広葉樹類とスギ科，マツ科，ヒノキ科などの針葉樹類が優占した組成である。双子葉類は16科20属で，Ⅰ～Ⅴ層準の始新世植物相に比して多様性が低く，始新世に繁栄した温暖植物はほとんど消滅し，*Liquidambar* と *Platanus* が認められるに過ぎない。僅かに含まれる常緑広葉樹種はツツジ科のような北方樹種である。この植物相は，広葉樹種種の多くが新第三紀の種に近縁であること，また，中新世以降に多産する多様なマツ科(*Abies, Picea, Larix, Keteleeria, Pseudolarix, Tsuga*)を含んでいることなどで，始新世植物相とは明らかに異なっている。この漸新世の植生は，現生の北方落葉広葉樹・針葉樹混交林 Mixed Northern hardwood Forest（Wang, 1961；Wolfe, 1979）にほぼ相当する。

第2図に示す植物相層序の年代は，ⅤとⅥ層準の間を占める幌内・音別層群の海生微化石による年代論（Kaiho, 1984；Okada *et al*, 1992）と一致していない。後述する北九州では植物相層序と挟在する海成層の海生微化石との年代論に矛盾がないことを考えれば，低緯度で立てられた古第三紀微化石の生層序を，北海道のような中緯度北部では水塊が異なっていたために適用できないことによるのかもしれない。

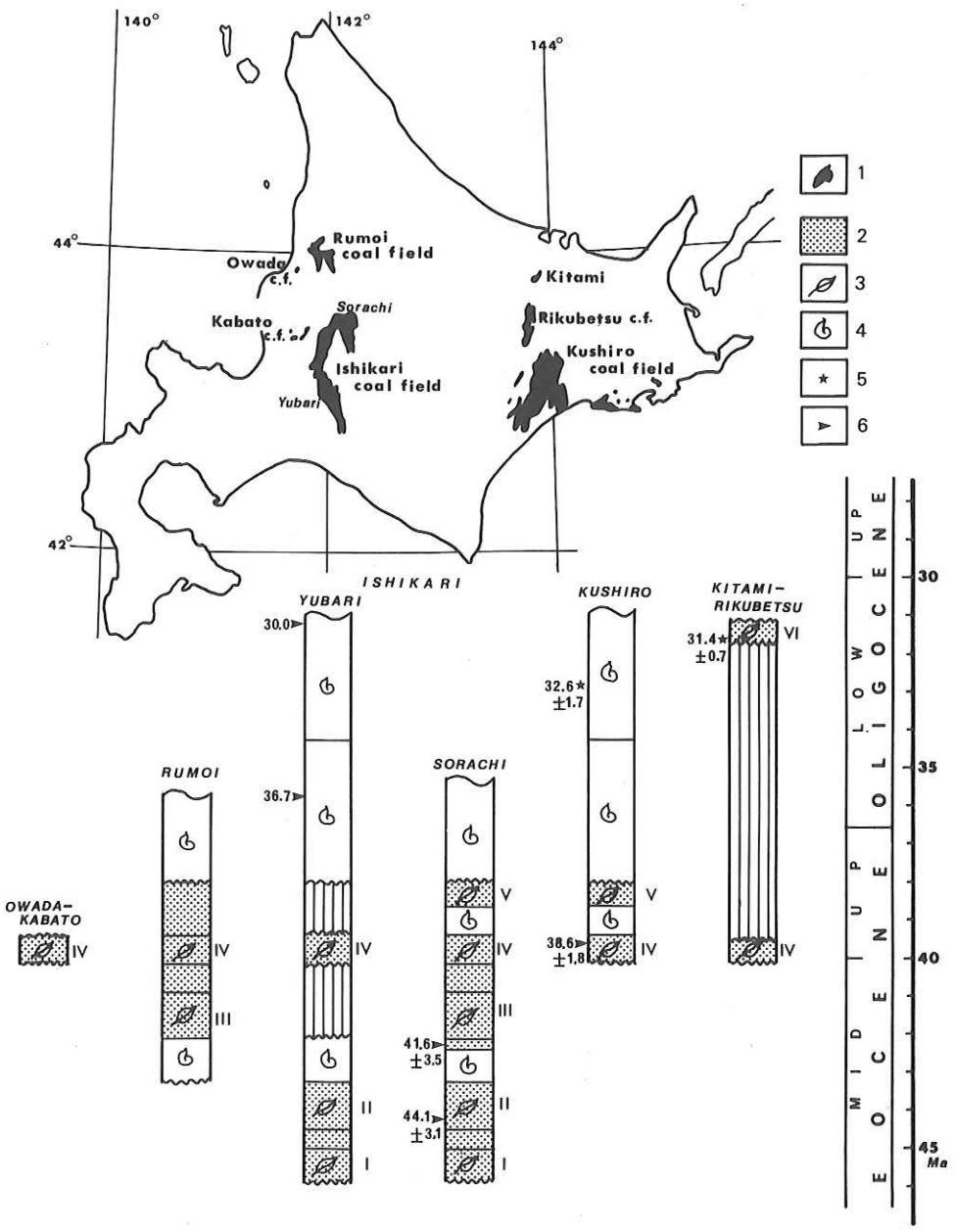
本州北部の久慈・小川・常磐炭田の化石群は資料が未だ不十分で筆者の研究も未完であるので，北海道のどの層準に対比しうるかは明らかではない。久慈の含植物化石層（港層）中の凝灰岩・火山岩礫の放射年代値（K/Ar 62.0；F.T. 58.5 Ma)が報告されているが（木村, 1988)，落葉広葉樹種の大半は石狩層群のものと共通し，古型の Platanoid を含まないので，久慈・小川化石群は暁新世のものではない。しかし，北海道の古第三系には認められないような熱帯広葉樹種の存在（村井, 1977）は注目される。

2．1．2．西日本

北九州・山口県西部・四国の古第三紀含炭層からの化石群は，資料が不十分なことと層序対比に未解決の問題が多いために，植物相層序を未だ確立するに至っていない。これらの地域の古第三紀石炭層を中心とした花粉層序学的研究が多くなされたが(Takahashi, 1961, 1963)，花粉同定に形態属が用いられたので現生植物の分類系との関係が必ずしも明らかではなく，詳細な植生の解析や古気候の推定には有効ではない。

西日本の古第三紀植物相の中で最下位層準のものは，高嶋炭田の端島層(Matsuo, 1967)，宇部炭田の沖山層（Huzioka & Takahashi, 1970)，石槌含炭地の明神層（Nagai, 1957)からの化石群である。*Sabalites* および常緑広葉樹が多く，*Acrostichum*, *Osmunda* (*Plenasium*) のような常緑シダ類を伴っている。たとえば，最もよく研究された宇部植物相でみると，双子葉類は25科49属と多様性が高く，とくにヤマモモ科，ブナ科(常緑カシ，*Castanopsis, Lithocarpus*)，クス科（*Cinnamomum, Litsea, Persea* など)，トベラ科，ツバキ科，フトモモ科，ヤブコウジ科，キョウチクトウ科などの常緑広葉樹種は，全双子葉樹種の60%以上を占める。一方，落葉広葉樹の大半は温暖樹種で，カバノキ科，クルミ科，ニレ科などは極めて少ない。また，多様なマメ科の小葉やさや化石が含まれる。これらの組成から見ると宇部植物相は中型広葉常緑樹林よりも準熱帯雨林 Paratropical Rain forest（Wolfe, 1979）の植生であったと考えられる。この層準の植物相の全縁葉率が約60%を示すことは，組成から推定される植生を裏づけている。この時代は始新世の最暖期に当たり，北海道のⅢ層準に対比できる。

崎戸－松島炭田の崎戸（松島）層と唐津炭田の芳谷層の化石群は，含炭層の放射年代値36.4 Ma(FT)(木村・辻, 1989）や上位の西彼杵層群の海生微化石資料（岡田, 1992）から判断すると，漸新世最初期～始新世最後期と考えられ，北海道におけるⅤ層準の植物相に対比される。Mat-



第2図.　北海道における古第三紀植物化石層の分布とその層序学的関係.

Fig. 2　The areal distribution and stratigraphic relationships of the Paleogene plant-bearing formations in Hokkaido. Geologic time scale after Berggren *et al.*(1985).

1. Areal distribution of the Paleogene.　2. Terrestrial sediments.　3. Plant-bearing sediments.　4. Marine sediments.　5. Radiometric age (K/Ar dating).　6. Radiometric age (Fisshion track dating).

I～VI: Plant assemblage zone.

suo (1970) の崎戸植物相は保存不良の標本が多くて同定に問題もあるが，筆者の採集標本を加えて再検討すると，カバノキ科，ニレ科，マンサク科，ムクロジ科，バラ科，アワブキ科，トウダイグサ科などの落葉広葉樹とブナ科，クス科，ツバキ科などの常緑樹が多く，まれに *Sabalites* を含んでいる。植物相の全縁葉率は41%を示し，組成から見ても中型広葉常緑樹林の植生であったと思われる。

佐世保炭田の相浦層の化石群は中新世最下位の植物相とかつて考えたが(Tanai, 1961)，日本の新第三系の放射年代値が多く報告されるにしたがって，初期中新世を代表する阿仁合型植物相の年代が20～24 Maに集中するということ(植村, 1989)を考えると，相浦植物相の年代を漸新世後期とすることが妥当である（Tanai & Uemura, 1991 b)。相浦層中上部の凝灰岩の放射年代値がF.T. 29.4 Ma(木村・辻，1990）を示すことは，これをほぼ裏づけるものであろう。相浦植物相は常緑広葉樹を欠き，クルミ科，カバノキ科（*Alnus, Betula, Carpinus, Corylus*)，ニレ科，マンサク科（*Hamamelis, Liquidambar*)，マメ科（*Sophora, Cercis*)，バラ科（*Rosa, Spiraea*)，カエデ科，シナノキ科などの落葉広葉樹から主としてなり，スギ科（*Metasequoia, Sequoia, Glyptostrobus, Taxodium*）を多く伴う。これらの大半は中新世初期の種またはその近縁種であるが，始新世の遺存種（*Nelumbo endoana, "Acer" arcticum, Plafkeria basiobliqua*）が多少含まれる。このような組成をもった植物相を筆者は相浦型と呼んだが(Tanai, 1961)，落葉広葉樹・針葉樹混交林の植生を示し，西日本における漸新世後期の植生を代表するものである。

山口県西部の油谷湾地域において芦屋動物群を含む瀕海成の日置層群には，3層準にわたって植物化石が含まれている（岡本・今村, 1964)。その基底部の陸成の十楽層から *Engelhardia* を含む化石群が知られ，北海道の前期漸新世のVI層準の植物相に対比される（Tanai & Uemura, 1983)。これまでの不十分な採集から知られる限りでは，マツ科(*Pinus, Pseudotsuga*)，ヒノキ科(*Thuja*)，スギ科(*Sequoia, Taiwania*)などの針葉樹を伴い，ヤマモモ科(*Comptonia*)，カバノキ科，クルミ科，ニレ科，カエデ科，マメ科などの落葉広葉樹と，常緑カシ類，クス科，ツバキ科の常緑広葉樹を混交した化石群である。北海道の同時代の植物相に比して常緑樹が多いが，多様な針葉樹を含むことと落葉広葉樹種が新第三紀の種に近縁であることの特徴は，北海道の若松沢植物相と共通している。この十楽化石群は，現生の常緑広葉樹－針葉樹混交林 Mixed Broad-leaved Evergreen and Coniferous Forest（Wolfe, 1979）の植生に相当するかも知れない。

日置層群中部の黄波戸層からの野田植物相は，放射年代値や共産する芦屋動物群の年代から漸新世後期を示すと考えられる（Tanai & Uemura, 1991 b)。メギ科（*Berberis*)，マンサク科（*Hamamelis, Liquidambar*)，カバノキ科（*Alnus, Carpinus*)，ブナ科（落葉 *Quercus*)，クルミ科（*Carya, Pterocarya*)，ヤナギ科（*Populus, Salix*)，バラ科（*Rosa*)，カエデ科などの落葉広葉樹が多く，常緑樹は極めて少ない。これらの化石の多くは不完全葉または小型葉から成り，水流淘汰の強い影響を示唆しているが，化石種の層序学的意義は重要である。すなわち，化石種の大半は中新世の種またはそれに近縁であり，わずかに古第三紀種（*Populus eowightiana, Populus yubariensis*）が含まれる。また，北日本の初期中新世には認められない *Alnus prenepalensis* や *Berberis saseboensis* が多産することは，相浦植物相と共通した特徴である。

日置層群最上部の海成人丸層からの大坊植物相（Huzioka, 1974）は，カバノキ科，ニレ科（*Celtis, Ulmus, Zelkova*)，マンサク科（*Liquidambar, "Parrotia"*)，マメ科，ウルシ科，ニシキギ科（*Celastrus, Euonymus*)，カエデ科，ウコギ科などの落葉広葉樹を主とし，わずかに常緑樹（*Ficus, Camellia* など）を伴う組成で，大半は中新世種またはその近縁種から成る。

Huzioka（1974）は中新世初期の台島型植物相に属すると考えたが，この植物相に多産する常緑および落葉 *Quercus*，常緑クス科などをほとんど含まないことは，野田植物相とともに相浦型植物相に含められるであろう。また，下関付近の幡生植物相（坊城・尾上，1973；Huzioka & Takahashi, 1973）もほぼ同様な組成で，漸新世後期と考えられる。日本の第三紀の植物相層序は北日本の資料を中心として研究されてきたが，北日本では相浦型植物相を含むような漸新世後期の陸成層は未だ知られていない。したがって，西日本における十楽－野田（相浦）－大坊（幡生）の植物相層序は，漸新世の植生変遷を考察する上で重要な意義をもっている。

ここで問題になるのは神戸市から三田市に広く分布する神戸層群（または同層準の三田層群）から知られる白川および藍那植物相（鹿間，1936；堀，1976,1987；松尾裕司, 1987）の年代である。この2つの植物相はヤナギ科（*Populus*），クルミ科（*Carya, Cyclocarya*），カバノキ科（*Alnus, Betula, Carpinus* など），ブナ科（*Fagus,* 常緑および落葉 *Quercus*），ニレ科，クスノキ科（*Cinnamomum, Lindera, Parabenzoin, Persea, Sassafras*），マンサク科（*Corylopsis, Hamamelis, Liquidambar, Parrotia*），バラ科，マメ科，カエデ科，ムクロジ科（*Koelreuteria*）・ウリノキ科（*"Alangium"*）・ヌマミズキ科（*Nyssa*）・ウコギ科（*Hedera*），ツツジ科などを始めとし，常緑～落葉広葉樹の多彩な組成からなり，マツ科・スギ科などの針葉樹，ヤシ科が豊富に伴われる。落葉広葉樹の多くは新第三紀の種に近縁で，組成の特徴は台島型植物相に似ている（Tanai, 1961；堀, 1976）ので，中新世初期～中期の植物相と考えられてきた。最近，三田層群に挟在する3層の凝灰岩の放射年代値として31～36 Maが得られ，（松尾，1987；尾崎・松浦, 1988），尾崎（1992）は白川植物相を始新世後期，藍那植物相を漸新世初期のものと考えたが，古植物学的な裏付けは何ら提示されていない。これまでに図示された化石（堀, 1976,1987；松尾, 1987）から判断する限りでは，その多くは始新世よりも中新世の種に近縁である。しかし，北半球の古第三紀に特有な *MacClintockia* が多いこと，アジアの漸新世に特有な深裂状葉の *Quercus*（*Q. kobatakei, Q. kodairae*）を含むこと，*Populus, Alnus, Corylopsis, "Alangium", Nelumbo* などには古第三紀の種に近縁なものが含まれることなどによって，相浦型植物相よりはやや古く，これまで日本では知られていなかった初期漸新世前半の植物相である可能性が高い。神戸層群の化石植物について，分類学的な検討が進められることが重要である。

2.1.3. 日本における古第三紀の植生と気温変化

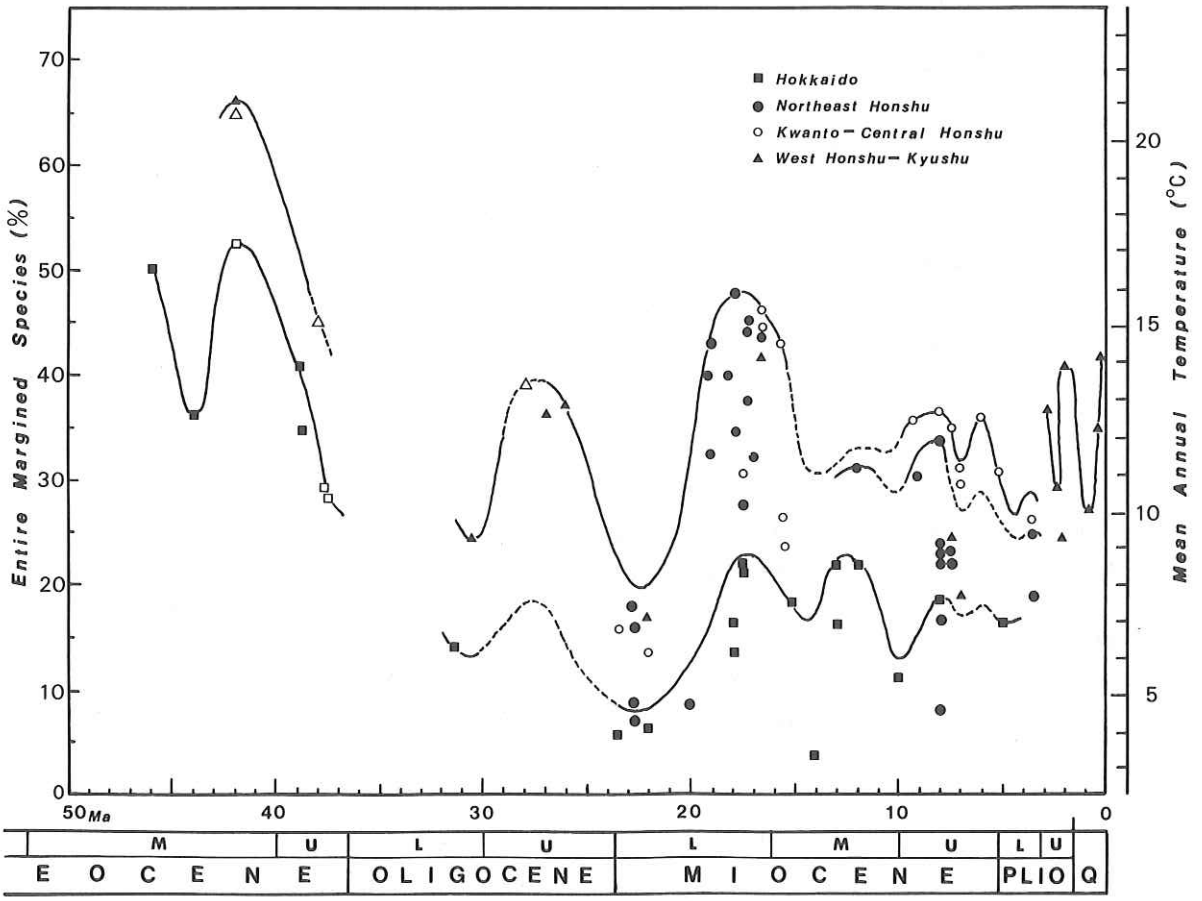
北海道の中期始新世から前期漸新世に至る植物相層序によって明らかなことは，北日本では始新世中期～後期に中型広葉常緑樹林～"極地落葉広葉樹林"の植生が占めていたが，始新世末から常緑樹や熱帯属がしだいに減少し，漸新世にはマツ科の多くの属を伴う北方落葉広葉樹・針葉樹混交林の植生に変わったことである。各層準の植物相の全縁葉率から気温変化を検討すると（第3図），年平均気温 14～18℃の間を変動し，始新世中期の最暖期（III層準）から漸新世前期（VI層準）への気候悪化は年平均気温約8℃の低下であったことを示している（棚井, 1991）。この始新世末～漸新世初期における著しい気温低下は，いわゆる "Terminal Eocene Event"（Wolfe, 1978）に当たり，北日本の植生を大きく変えるとともに，落葉広葉樹種の大半が新第三紀種へ進化する原因の1つになったと考えられる。本州西部・四国・北九州の始新世の植物相層序は不完全ではあるが，始新世中期には準熱帯雨林の植生が西日本を占め，始新世末には中型広葉常緑広葉樹林～常緑・落葉広葉樹－針葉樹混交林に変わったことを示している。さらに，漸新世には常緑広葉樹混交林の植生から，常緑広葉樹種の消失によって主として温暖性の落葉広葉樹から成る植生にしだいに変わっていった。漸新世の間には急激な植生変化はなく，植物相組成および構成種の著しい変化は，始新世最後期～漸新世最初期の崎戸・杵島植物相と漸新世初期後半の十楽植物相との間に認められる。北九州における大辻層群と相の浦層群

の花粉群組成の相違（Takahashi, 1961,1963）は，ほぼこれに当たるであろう。

かつて指摘したように（Tanai, 1967,1972）古第三紀には日本の南北で植生をやや異にし，最も暖かった始新世中期には西日本では準熱帯雨林，北海道では中型広葉常緑樹林で，落葉広葉樹が優勢になった漸新世でも西日本では北日本よりも常緑広葉樹が多く含まれる。このような日本の南北での相違は，各時代の植物相の全縁葉率の比較からも明らかに認められ，北海道と北九州における当時の年平均気温差は約 2.5～3℃であった（第3図）。両地域の現在の緯度差は約 10°であるので，古第三紀にも両地域の相対的な地理関係が同じであったとすれば，気温／緯度勾配は 0.3℃であったと推定され，現在よりもやや小さい値である。また，もし神戸層群の放射年代値が正しければ，第3図における古気温変化の空白を埋めて，漸新世初期に温暖な時期があったことになるであろう。

2.2. サハリンおよびカムチャツカの古第三紀植生

サハリンとカムチャツカでは，とくにその西部に含炭古第三系がよく発達し，植物化石の産出は古くから知られているが，それらの多くは断片的な化石記載か，または化石リストのみが



第3図. 植物相の全縁葉率から推定される日本の第三紀気温変化.

Fig. 3. Paleotemperature changes during the Tertiary of Japan, inferred from the percentages of dicot species with entire-margined leaves in the flora. The values of open triangle and square are estimated only by the floristic composition, because the assemblages are poor in specific composition with less than 20 species.

示され，植物相の特徴を比較検討できるような研究は必ずしも多くない。

サハリン中部の西海岸域の Aleksandrovskaya-Sakhalinskogo 南方の Agnevo 付近の炭田（Kryshtofovich, 1936；Borsuk, 1956），南部の Uglegorsk 付近の炭田（Sycheva, 1977；Akhmetjev *et al.*, 1978）と，旧内淵炭田（Oishi & Huzioka, 1943）から断片的に知られる。ソ連の研究者はこの含炭古第三系を暁新世（"礫岩層"）から始新世（"下部ヅエ層"）の一連の地層と考えているが（たとえば，Synitsyn, 1963；Takhtajan, 1982）。かつて日本で採掘された名好・川上炭鉱の内淵夾炭層は石狩層群の上半部に対比されると日本の研究者は考えていた。アレクサンドロフスクとウグレゴルスク付近の古第三紀植物相は，図示された化石を再検討した限りでは，ヤナギ科（*Populus*），カバノキ科（*Alnus, Corylus*），ブナ科（落葉 *Quercus, Fagopsis*），ニレ科（*Ulmus, Zelkova*），カツラ科，マンサク科（*Hamamelis, Liquidambar*），スズカケノキ科，バラ科（*Sorbus, Sorbaria?*），シナノキ科（*Plafkeria*）などの落葉広葉樹を主とし，スギ科，シダ類（*Osmunda, Lygodium*）などを伴う。広葉樹種の大半は石狩層群のものと共通または近縁種からなり，常緑広葉樹をほとんど含んでいないので，緯度的に北方にあることを考慮したとしても，北海道のIV～V層準の植物相にほぼ対比され，最暖期のIII層準は含まれていない。

カムチャツカ半島でも古第三系は西岸地域に主として分布し，半島中部の海岸付近とその内陸部（Chelebaeva, 1971, 1991）や，北西部の Penzhinsk 湾南岸域（Kryshtofovich, 1956；Chelebaeva, 1984；Fotjanova, 1984；Ablaev, 1985）から始新世後期の植物相が知られている。これらの多くはサハリンの始新世後期や北海道のIV～V層準の植物相と組成および構成種がほぼ共通し，落葉広葉樹を主体として常緑広葉樹はわずかに含まれるに過ぎない。しかし，ペンジン湾南岸のレブロ（Rebro）岬およびその北方の Chemurnaut の始新世植物相には *Sabalites* が含まれ（Budantsev, 1979, 1983），モクレン科，カツラ科，クス科，カバノキ科，マンサク科，スズカケノキ科，ツヅラフジ科，クルミ科，ヤマモモ科，マメ科などからなるので，北海道のIII層準が発達している可能性がある。また，現在まで知られる限りでは，この Chemurnaut が東アジアにおける古第三紀ヤシ類の北限である。

西海岸の Tigil から Palana に沿って分布する Snatol および Kabachina 層群は海生微化石によって始新世中期～後期に位置付けられている（Gladenkov *et al.*, 1991）。この両層群からの植物相は3層準にわけられているが（Chelebaeva, 1991），陸成の Snatol 層群下部の植物相は主として落葉広葉樹（*Cocculus, Cericidiphyllum, Liquidambar, Platanus, Alnus, Carpinus, Comptonia, Populus, Tilia, Acer, "Alangium", Vitis* など）とスギ科から成り，北海道のV層準の組成に近い。Snatol 層群上部～Kabachina 層群は海成層であるが植物化石を産し，Snatol 層群上部には北海道の幌内層に多い *MacClintockia* が含まれ，Kabachina 層群の化石群は *Abies, Picea, Larix, Pinus* などのマツ科や *Fagus* を含むことで，北海道のVI層準の組成に似ている。すなわち，Snatol～Kabachina 層群の植物相層序は，北海道のV層準－幌内層－VI層準の植物相層序にほぼ対比でき，始新世後期から漸新世前期の年代を示すと考えられる。樺太・カムチャツカでは，これまで漸新世植物相として報告されたものはないが，この他にも，ペンジン湾南岸地域の Irvajam で *Fagus* を含む化石群（Chelebaeva, 1980），*MacClintockia* を含む東部海域の Beringia 島と Karaginsk 島の化石群（Chelebaeva & Akhmetjev, 1983）は，いずれも漸新世前期のものであろう。サハリンとカムチャツカの古第三紀植物相は組成や層序に不明な点が未だ多く，今後の研究の進展が待たれるが，少なくとも北海道とほぼ対比が可能な植物相層序が発達し，組成・構成種ともに多くの近縁性が認められる。とくに，カムチャツカのペンジン湾岸地域には，古第三紀の植物相層序が最もよく揃っているように思われる。中期始

新世後半から漸新世前期には北海道－サハリン－カムチャツカはほぼ同一植生によって占められ，極地落葉広葉樹～北方落葉広葉樹・針葉樹混交林の植生が広く発達し，北方になるにしたがって常緑樹種が少なくなっていた。

2.3．ロシヤ極東大陸地域の始新世～漸新世植生

シホタリン・アムール地方・北極地域およびカザックスタン北東部には，古第三紀植物相が古くから知られ(Palibin, 1904, 1915；Konstantov, 1914；Kryshtofovich, 1921 a-c)，層序的にも近年再検討が進められているが（Biske, 1975；Baranova & Biske, 1978)，未だ個々の植物相の記載が不十分であり，また植物相層序や年代については研究者によって意見が一致していない。ベーリング海峡南部に注ぐ Anadyr 河下流の Raritikin(Kryshtofovich, 1958 b)，北極海に注ぐ Omoloi 河下流の Tastakh (Kryshtofovich, 1958 b) および Dzhiloon-Sise (Biske, 1975) の植物相は，始新世中期とされているが（Biske, 1975)，前2者は古型の Platanoids, Trochodendroids を含んでいるのでそれよりも古いかも知れない。Dzhiloon-Sise 植物相はクルミ科，カバノキ科，ニレ科，モクレン科などの落葉広葉樹，マツ科(*Picea, Tsuga, Larix, Pinus*)とスギ科の針葉樹からなり，始新世中期には高緯度地域を針葉樹・落葉広葉樹混交林が占めていたことを示している。

アムール地域やシホターリンから報告された始新世植物相の中で，その内容が分かるのは Bureja 盆地の Raichikha 層のものである(Baikovskaya, 1950, 1959；Fedetov, 1975)。この植物相が同一層準の化石に基づくものであるかはやや疑わしいが，落葉・常緑広葉樹の混交からなる組成で，カバ科・クルミ科などを含まず，クス科・マメ科・フトモモ科などの常緑樹を多く含んでいることから考えると，北海道のIV層準よりも古く，始新世中期の可能性がある。

シホタリンの各地域には，漸新世～初期中新世（Akhmetjev *et al*., 1973）または中新世前期（Ablaev, 1978)として近年報告された，ほぼ同一組成を示す植物相がある。すなわち，南樺太の対岸の Denmbi (Akhmetjev & Bratseva, 1973)，北海道天北地域の対岸の Vellikaya Kema (Akhmetjev & Bratseva, 1973) と Amgu (Kryshtofovich, 1921 b)，ウラジオストック周辺地域の Rettikhovka および Shaktersk (Kryshtofovich, 1937；Ablaev, 1978)などの植物相である。クルミ科 (*Juglans, Carya, Pterocarya, Engelhardia*)，カバノキ科 (*Alnus, Carpinus*)，ブナ科(*Fagus,* 落葉 *Quercus*)，ニレ科(*Ulmus, Zelkova*)，カエデ科，マンサク科(*Hamamelis, Liquidambar*) などの落葉広葉樹を主とし，マツ科 (*Abies, Picea, Pinus*) やヒノキ科などの多くの針葉樹を伴う組成である。とくに，多様な形状をもつ落葉カシ類が豊富で，深裂状葉 (*Quercus ussuriensis*) を伴うこと，針葉樹が多様であることなどが特徴的である。この組成や構成種は北海道のVI層準の若松沢植物相に極めて近似し，前期漸新世後半を示すと考えられる（Tanai & Uemura, 1983)。北極海沿岸部（Omoloi 河下流）に漸新世の Sergeja 種子化石群 (Dorofeev, 1972)が知られている。ヒルムシロ(*Potamogenton*)，コウホネ (*Nuphar*)，多種類のイネ科，ミクリ(*Sparganium*)などの水性～水辺植物が多いが，*Pinus, Picea, Metasequoia, Betula, Andromeda, Myrica, Decodon, Aralia* などの樹木種も認められる。組成も貧弱であり，種子化石群であるので葉化石群と同一に論じられないが，当時の針葉樹・落葉広葉樹混交林の植生を示すものであろう。

西シベリアとカザック東北部には多くの始新世～漸新世植物相が発達し，オビ河上流に沿って始新世中期の Karasor (Makhulbekov, 1972)・Selty (Kornilova, 1966)，始新世後期の Takyrsor (Budantsev, 1957)・Zamnantys (Korniloba, 1966)・Kersh (Romanova, 1974)の植物相が知られる。これらはいずれも，クス科 (*Cinnamomum, Litsea, Persea* など)，ブナ科 (*Casatanopsis, Lithocarpus,Cyclobalanopsis, Dryophyllum*)，マメ科，フトモモ科，オオギリ

科，ツツジ科(*Leucothe*)などの常緑広葉樹から主としてなり，ヤシ科(*Sabalites, Trachycarpus*)を伴う。これらの資料による限りでは，始新世中期から後期の植物相は中型広葉常緑樹林の植生を示し，ほぼ同緯度にあった極東地域の同時代の植生が常緑・落葉樹混交林であったことと異なっている。これは，テーチス海につながるTurgai Depressionの海洋の影響であったかも知れない。

オビ河最上流のZaisan盆地東縁地域に，漸新世中期のAshutus植物相（Kryshtofovich, 1956），漸新世後期のKakmankpai (Rayushkina, 1974)。Bukhtarma (Schmalhausen, 1887；Kornilova, 1966)などの植物相が知られる。ヤナギ科，クルミ科，ブナ科，ニレ科，カツラ科，モクレン科，マンサク科，バラ科，カエデ科，ブドウ科などの多様な落葉広葉樹と，スギ科，マツ科の針葉樹を伴った組成である。上述のシホタリンの漸新世植物相に組成と構成種が近縁で，*Cyclocarya, Carya, Comptonia, Sassafras, Liquidambar, Parrotia, Nyssa*などが含まれるが，常緑広葉樹や*Platanus*はない。オビ河中流地域のTomskからOmsk周辺には漸新世の種子化石群が多数知られている（Dorofeev, 1963；Nikitin, 1965)。これらは種子化石であるので湿地生の単子葉類を含むが，樹木はオビ河上流地域の葉化石群とほぼ同様な落葉広葉樹からなっている。アムール・シベリアから中央アジア東部の中緯度～高緯度南部地域では，始新世には常緑広葉樹林が広く発達していたが，漸新世中期以降に落葉広葉樹・針葉樹混交林に変わったことは，始新世末～漸新世初期の気温低下の結果である。

2.5．朝鮮半島の始新世～漸新世植生

朝鮮半島の第三系は，平壌と海州付近の小地域の分布を除けば大半は東海岸地域に分布しているが，これまで確実な古第三系の発達は知られていなかった。かつて中新世とされていた植物相の中で(遠藤, 1938；Huzioka, 1972)，北朝鮮の咸鏡北道の古乾原および弓心植物相は，組成と構成種や*Engelhardia*の羽果を伴うことなどによって北海道のVI層準の植物相に対比され，前期漸新世後半と考えられる（Tanai & Uemura, 1983)。したがって，シホターリン中部～南部，北朝鮮にかけての日本海沿岸部にほぼ同一組成の漸新世前期の植生が広く占めていたことを示している。咸鏡北道会寧地域において古乾原植物相を含む地層の下に非整合で発達する含炭層から，*Metasequoia occidentalis, Fagus antipofi, Platanus aceroides, Platanus guillelmae, Acer arcticum, MacClintockia* sp.などの産出が報告された（遠藤, 1938)。これが事実であればこの地域に上部始新統の発達が考えられるが，化石リストのみであるので詳細は不明である。

2.6．中国の古第三紀植物相

中国の各地には古第三系が点在して分布するが，ヒマラヤ山脈地域・塔里木盆地西部・台湾の海成層の分布を除けば大半は陸成層からなる（王, 1985)。古第三紀植物相の知識はかつてはごくわずかであったが(Palibin, 1906；Florin, 1920, 1922など)，1970年代後半から漸く研究が進められてその知識は著しく増大した。多くの第三紀要素が現在も残存している中国は，被子植物の初期発達史を考察する上で重要な位置を占めている。しかし，中国の広大な面積に比して古第三紀植物相の資料は未だ散点的であり，また，個々の植物相の構成種の一部が報告されたのみで，組成内容は未だ十分には明らかにされていない。

始新世植物相は東北部（旧満州）から南部の広西～雲南省，内陸部では甘粛－西康省に及ぶ各地に広く点在している。組成と構成種の地域的な相違がかなり認められ，これらの植物相を総括してHsü (1982)・Guo (1985) は始新世の植生分布を論じている。しかし，それぞれが始新世のどの時代であるかについては明らかではない。

東北部では遼寧省の撫順，吉林省の依林および舒蘭，黒龍江省の虎林などから始新世植物相

が知られているがこれらの中で組成内容がよく分かっているのは撫順のみである。撫順炭田の含炭古第三系は3累層（老虎組，栗子組，古城子組）に分けられているが，主要含炭層の古城子組から豊富な組成をもった化石群が知られる（Florin, 1922；遠藤, 1942；中国科学院, 1978）。しかし，同定にやや問題が多いので植物相の特徴を把握することがやや難しい。これまでに図示されたものから判断すると，落葉および常緑広葉樹の混交（落葉樹が多い）にヤシ科，マツ科，スギ科，イチョウ，シダ類（*Lygodium*，常緑 *Osmunda, Salvinia*）などを伴っている。広葉樹類の属の同定には疑問のあるものが多いが，カバノキ科（*Alnus, Carpinus*），ヤマモモ科（*Comptonia*），ブナ科（*Quercus, Fagopsis,Dryophyllum*），カツラ科，マンサク科（*"Teshimaria", Hamamelis*），カエデ科などの存在は確実である。しかし，これまで考えられていたような北海道の幾春別植物相（IV層準）との組成上の近縁性（Tanai, 1970）はむしろ小さく，ブナ科の常緑樹（*"Dryophyllum"*）や古型のマンサク科を多く含んでいることにおいてIV層準よりも古く，むしろIまたはIII層準に近似しているので始新世中期と考えられる。撫順植物相の広葉樹化石の分類学的研究が今後進むことによって，この対比の問題は明らかになるであろう。揚子江以南の陝西－河南省から湖南－江西－浙江省には，ほぼ同一組成をもった始新世の植物相が点在する。河南の呉城（劉・孔, 1978），湖南の湘郷（斯・李, 1954），陝西の渭南（陶, 1965）などの化石群で代表されるように，ヤナギ科，ニレ科，マメ科，バラ科などの一般に小型葉からなり，ヤマモガシ科またはヤマモモ科と考えられている絶滅属 *Palibinia* を含むことで特徴づけられる。*Palibinia* は中国中部の各地の始新統中部に広く知られ，*Palibinia* を含む植物相は始新世中期と考えられている（李, 1979）。これらの植物相は，組成が簡単であることと，大半が小型～狭小な葉からなることなどの特徴から乾生的な植生を示し，当時の亜熱帯地域の季節的な乾燥気候下の植生であったと考えられる（Guo, 1985；陶, 1992）。このような乾燥気候の発達は，含化石層に岩塩・石膏・赤色岩層を伴うこと（Guo, 1985）によっても裏づけられる。

中国南部～南西部の始新世植物相は広東の三水盆地（郭, 1979），広西の上思盆地（郭, 1979），海南島の長昌盆地（郭, 1979），チベットのヒマラヤ山脈北側のラッサ Lhaza 付近（陶, 1988）およびガルトク Gar 付近（Hsü, 1978）などから知られ，これらは始新世中期と考えられている。ほとんど予察的な報告なので植物相の組成は未だ十分に明らかではないが，常緑樹の多い常緑・落葉広葉樹の混交にヤシ科（*Sabalites, Livistona*）を常に伴っている。広葉樹類の分類にはやや問題があるが，図示されたものから判断するとヤマモモ科，ブナ科（*Lithocarpus*），クワ科（*Ficus*），クス科（*Litseaphyllum, Laurophyllum* など），フトモモ科（*Eucalyoptophyllum*），ミカン科などの常緑樹と，モクレン科，マメ科，ウルシ科，クロウメモドキ科，アワブキ科などの落葉樹からなる。これらの植物相は海岸に近い熱帯雨林の植生を示すものであろう。なお，広東の三水植物相には *Palibinia* が含まれているので，この地域が上述の乾燥植生との漸移的な地域であったと思われる。上に述べた始新世植物相がすべて厳密に同層準であるか否かという問題は残るが，少なくとも中期始新世という年代単位にあることはほぼ間違いないであろう。したがって，Guo（1985）が指摘したような中国における始新世植生の南北での相違は，始新世中期の植生と理解される。すなわち，北部では中型広葉常緑樹林が，南部では熱帯～準熱帯雨林が占め，両者の間の地域には季節的に乾燥性の常緑・落葉樹混交林が発達していたと考えられる。なお，インド北部において，インダス河上流の Hemis Gompa 付近の始新統上部からヤシ科（*Livistona*）の化石葉が知られ（Lakhanpal *et al*., 1983），またアッサムの Garo Hill から *Trema, Neolitsea, Grewia, Bombacites* などを含む始新世中期？の化石群が知られる（Lakhanpal, 1954）ので，中国南部の始新世熱帯雨林はインド北部まで延び，ヒマラヤ山脈は始新世には未だ高い山地を形成していなかったことが示唆される。

漸新世植物相は中国ではほとんど知られていない。唯一の報告は雲南省の景谷植物相で（中国科学院, 1978），ブナ科（*Dryophyllum, Lithocarpus, Quercus*），クワ科（*Ficus*），クス科（*Persea, Phoebe, Oreopanax*），バンレイシ科（*Uvaria, Annona*），ヤマモモ科（*Myrica*）などの常緑広葉樹が多く，マメ科，バラ科，ニレ科などを混交し，*Calocedrus, Cephalotaxus* などの針葉樹を伴う組成で，この植物相は中型広葉常緑樹林の植生を示している。北ベトナムの中国国境近くの Na-Giao から知られた漸新世植物相は（Colani, 1920）同一の組成を示しているので，雲南からマレーシア北部にかけて常緑ブナ科・クス科・バンレイシ科などが優占した常緑樹林の植生が広く発達していたと考えられる。雲南地域では始新世中期には熱帯雨林が発達していたので，漸新世には気温が低下したことを明らかに示している。

東北部の吉林省延吉において中新世と考えられた化石群（遠藤, 1942；Song *et al.*, 1981）は，詳しい組成の報告はないが *Dryophyllum, Comptonia, Engelhardia* を含むことが知られている。この含植物化石層は北朝鮮の古乾原の“*Engelhardia* beds”の北方延長に当たり，おそらく同一層準の漸新世前期のものであろう。したがって，延吉から古乾原－弓心，ウラヂオストック南西部にかけて，一連の漸新世前期の陸成堆積盆が発達していたと考えられる。

III.　東アジアの新第三紀の植生

新第三紀の植物相は東アジアの各地から広く知られ，日本・サハリン・カムチャツカ・シホタリンなどでよく研究されている。とくに日本の植物相層序は中新世初期から鮮新世末に至るまでほぼ完全に揃っており，海成層との層位的関係も一般に明らかであるので，東アジアでの標準となってきた。日本列島の新第三系についての年代層序学の著しい発展と放射年代値の蓄積によって，国際的な年代スケールの枠組みで日本の新第三紀植物相層序や古気候解析が論じられるようになった（棚井, 1991）。また，新第三紀の植物化石は形態学的に現生種に近似し，繁殖器官の共産も稀ではないのでその系統分類や分布変遷の検討は，東アジアの新第三紀植物地理の研究に貢献できるようになった。

大型化石の大半が陸成層に限られるのに対して，花粉層序学的研究は新第三紀海成・陸成層について広く進められ，詳細な花粉群変化が捉えられている。しかし，属レベルでの花粉群組成（花粉ダイアグラム）から植物相の組成を推定し，さらに当時の植生を復元するための基本的問題の検討については著しい遅れがある。日本における大型化石の多くの研究に基づいて植生の変化を概括し，アジアの他地域との関係を述べることにする。

1.　日本の新第三紀植生

古第三紀植物相の限られた分布に対して，新第三紀植物相は日本の南北を通じて広く知られているが，日本全域に及ぶ植物相層序が確立されたのは 1960 年代以降のことである。Tanai（1961）は組成の特徴によって，中新世植物相を下位から相浦・阿仁合・台島・三徳の 4 型に，鮮新世植物相を新庄・明石の 2 型に分け，それぞれの層位的関係・地理的分布・植物相変遷史を詳細に論じた。これらの 6 型の区分は，組成の異なる植物相が層位的にある年代幅をもって上下関係にあることを示したものであったが，一部の研究者には生層序学的単位と理解され，また各型の構成特徴種としてあげた種が生層序学的意義をもつかのように用いられる誤解もあった。近年の層序学的研究の発展によってそれぞれの各型に属する植物相の層位的位置がより詳細に捉えられるようになり，とくに最下位の相浦型はすでに述べたように漸新世後期の植物相を代表すると考えられる。

1．1．中新世初期の植生

中新世初期の植物相は年代的に上下の関係が明らかな阿仁合型・台島型の2型に分けられ，前者が落葉広葉樹・針葉樹の混交からなるのに対して，後者は常緑と落葉広葉樹混交からなり，植物相組成の相違は画然としている（Tanai, 1961；藤岡, 1974）。含化石層またはそれに近い層準の岩石の放射年代値が近年多く得られ，両型植物相の年代についての考察も試みられるようになった（植村, 1989；鹿野・柳沢, 1989）。すべての年代値が信頼にたりる値ではないが（植村, 1989），確実に両型に含められる植物相の年代値を検討すると，阿仁合型は20～24 Maに，台島型は16～18 Maに集中し，前者は初期中新世前半，後者は初期中新世後半～中期中新世始めの年代と考えることが現在では妥当である。

阿仁合型植物相は北海道西南部から九州北部にわたって知られ，とくに古日本海湖水盆地域東縁に沿った陸成層から最もよく知られている。この植物相は，ヤナギ科（*Populus, Salix*），クルミ科（*Juglans, Pterocarya*），カバノキ科（*Alnus, Betula, Carpinus, Corylus, Ostrya*），ブナ科（*Fagus*），ニレ科（*Ulmus, Zelkova*），カツラ科，カエデ科，シナノキ科（*Tilia*），ウリノキ科（*"Alangium"*），スイカヅラ科（*Viburnum*）などを主とする落葉広葉樹と，マツ科（*Abies, Picea, Tsuga*），スギ科（*Glyptostrobus, Metasequoia*）やヒノキ科（*Thuja, Thujopsis*）などの針葉樹との混交からなり，常緑広葉樹をほとんど含まないことが特徴である。植物相としての多様性は低く，十分に採集された化石群でも双子葉類樹木の種数は33～46に過ぎず，それらは12～19科，19～24属である（第1表）。漸新世からの気候の冷温化によって温暖植物がしだいに日本列島から除かれて，中新世初期には北方落葉広葉樹・針葉樹混交林の植生が広く日本を覆ったことを示している。植物相の全縁葉率は13～18，北海道ではそれよりややや低い値を示す。この時代の植物相の組成は南北の緯度的な相違がほとんど認められないが，表日本側の常磐地域の紫竹・美濃亜炭田の日吉植物相などでは裏日本側に認められない温暖種が多少含まれる。これは，裏日本側の内陸湖盆に沿った地域に比して，表日本側の植物相は海洋の影響があったからであろう（Tanai, 1967 a, b）。

台島型植物相は北海道北部から九州北部までほぼ日本の全域にわたって豊富に知られている。含化石層は多くの場合陸成～瀕海成層で，*Vicarya, Vicaryella* などを含むArcid-Potamid貝類群集や *Miogypsina-Operculina* を特徴とする有孔虫化石群を含む浅海成層に覆われる。この海成層はBlowのN 7～8に対比され，初期中新世後半～中期中新世始めの年代とされている（Tsuchi, 1981；千地ほか, 1989）。この浅海成層にも植物化石がしばしば含まれ，これらの化石群は下位の陸成層の植物相と組成が共通しているので台島型に含められる（Tanai, 1961）。台島型の組成の特徴は，ブナ科（*Castanea, Castanopsis, Cyclobalanopsis, Quercus*），クス科（*Actinodaphne, Cinamomum, Lindera, Persea*），マンサク科（*Hamamelis, Liquidambar, Parrotia*），マメ科（*Albizzia, Cladrastis, Gleditsia, Maackia, Pueraria, Wisteria*），ウルシ科（*Pistacia, Rhus*），ムクロジ科（*Koelreuteria, Sapindus*），ツバキ科（*Camellia*），クロウメモドキ科（*Paliurus, Zizyphus*），モチノキ科（*Ilex*）などの常緑または落葉広葉樹種が多く，ヤマモモ科（*Comptonia*），クルミ科（*Cyclocarya, Juglans, Pterocarya*），カバノキ科（*Alnus, Carpinus, Ostrya*），ニレ科（*Ulmus, Zelkova*），カエデ科，カキノキ科（*Diospyros*），ミズキ科（*Cornus*）などの落葉樹とスギ科（*Cunninghamia, Glyptostrobus, Metasequoia, Sequoia*），マツ科（*Keteleeria, Picea, Pinus, Pseudolarix*）などの針葉樹を伴う。常緑樹を多く含み，また，植物相組成の多様性が高く，たとえば十分に採集された化石群では双子葉類樹木が70～110種以上，22～33科，40～70属以上に及ぶ（第1表）。台島型植物相は構成種が多様なこととに加えて，常緑広葉樹種が多いことにによって阿仁合型とは対蹠的な特徴を示している。この時代

の植物相は日本列島の南北では組成の特徴をやや異にし，とくに北海道では常緑広葉樹をほとんど欠いている（Tanai, 1967 a；藤岡・植村, 1979）。また，中部地方～九州では東北地方には見られない常緑 *Ficus*（クワ科），*Helicia*（ヤマモガシ科），*Mucuna*（マメ科），*Perrotettia*（ニシキギ科），*Elaeocarpus*（ホルトノキ科）などの温暖樹種が含まれる（Ishida, 1970；林, 1975）。このような南北での組成の相違は植物相の全縁葉率の比較によっても明らかに示され，北海道の台島型が20%前後を示すのに対して本州では40%以上の値を示している（棚井・植村, 1988）。植物相組成や全縁葉率から見ると，この時代の植生は北海道では北方落葉広葉樹・針葉樹混交林，本州から九州にかけては中型広葉常緑樹林であった。

台島型植物相の組成は緯度による違いばかりでなく，また含化石層の堆積環境や堆積地の高度の違いによっても異なっている。たとえば，堆積地の高度差による例は北海道西南部のアブラー久遠－吉岡植物相の比較によって示される（棚井, 1963；棚井・植村, 1988）。また，瑞浪層群上部（伊奈, 1981）の例で示されるように，海成層や瀕海成層の化石群は当時の集水域や植物遺体の運搬－淘汰過程の違いによって化石群の見かけの組成がやや異なることもあるが，それから推定される植生は中型広葉常緑樹林で，下位の陸成層のものと変わりはない。古瀬戸内海から富山付近に至る *Geloina-Telescopium* を含む中期中新世始め（N 8）の浅海成層からのマングローブ植物を含む花粉群（Tsuda *et al.*, 1984）は，化石として残り難いクス科・ツバキ科などの花粉を欠いているが，属レベルでの植物相組成は台島型とほとんど相違はない。

阿仁合型植物相の組成としての示準性にかつて否定的であった鈴木（1963）は，その後東北地方南部の中～下部中新統の植物化石層位を論じ，阿仁合・台島両型フローラの層位的意義は認めたが，両型植物相の間に“阿仁合・台島混合型”植物相が層位的に存在すると主張した（鈴木, 1989）。中新世初期において温帯性の落葉広葉樹樹林の植生から暖帯性の常緑・落葉混交林の植生に移行する過程で，中間的な組成をもった化石植物相が存在することは論理的には考えられる。しかし，阿仁合型と台島型植物相を含む地層は一般に不整合関係にあって連続的ではなく，また，植村（1989）がすでに指摘したように両型の中間的な組成をもった植物相は現在まで認められていない。両型植物相はヤナギ科，クルミ科，カバノキ科，ニレ科，カエデ科などの温帯属の樹種が多く共通しているので，属のみで代表される花粉化石群・化石採集量の不足や海成層のために樹種に偏りがある大型化石群の場合には，両型を判定する上での誤りの原

第1表　日本の代表的な阿仁合型及び台島型植物相（初期中新世）における広葉樹林の科・属の多様性の比較

Table 1.　Familial and generic diversities of boradleaved trees in the selected Early Miocene Aniai- and Daijima-type floras of Japan.

Aniai-type flora（阿仁合型）

	Kaminokuni 上ノ国	Aniai 阿仁合	Seki 関	Shichiku 紫竹	Aburato 油戸	Hiyoshi 日吉	Yosa 与謝
Family	14	16	14	13	15	12	14
Genus	21	26	22	21	23	19	23

Daijima-type flora（台島型）

	Yoshioka 吉岡	Abura 虻羅	Utto 打当	Oguni 小国	Noroshi 狼煙	Hiramaki 平牧	Iki 壱岐
Family	22	19	25	33	25	29	32
Genus	41	26	42	76	50	55	58

因となる。たとえば，初期中新世の花粉群は大半が温帯属または科によって識別されているので，特定の属によって両型の判定をするよりも(佐藤, 1989；山野井, 1978)，構成属の多様性に注目すべきであろう。

1．2．中新世中期～後期の植生

中新統中部は日本の各地で海成層が卓越し，大型植物化石をほとんど産しないので台島型植物相の上限は明らかではない。瑞浪盆地の海成生俵層や設楽盆地の設楽火山岩類からの化石群は，常緑カシ類・クス科を多く伴って台島型と考えられ（伊奈, 1981；柴田・伊奈, 1983)，この含化石層がＮ９層準とされているので（千地ほか, 1989)，台島型植物相は現在のところ 15 Ma 近くまで知られていることになる。北海道の石狩炭田北部のサキペンペツ層は川端層の基底部に（Tanai, 1971)，天北炭田の宗谷層は築別層下部の夾炭部に（佐藤, 1970）にそれぞれ対比されるとすれば，この２植物相の年代は中期中新世下部(15～14 Ma)に訂正される。宗谷層中の凝灰岩の放射年代値 (K/Ar) が 15～16 Ma を示すことは（新エネルギー総合開発機構未公表資料, 1992)，これを裏づけるものかも知れない。サキペンペツおよび宗谷植物相はかつて阿仁合型と考えられたように(Tanai,1961)，ヤナギ科，クルミ科，カバ科，ニレ科，カツラ科，カエデ科，バラ科などの落葉広葉樹を主とし，構成種の大半は中新世初期の種からなるので，阿仁合型に似た組成を示している。したがって，吉岡（Tanai, 1963）や滝ノ上（棚井・植村, 1988）植物相で示される台島型の組成から中新世中期後半に入って温暖要素が消失し，落葉広葉樹を主とする植生に変わったと考えられる。

中新世後期の植物相は北海道北部から九州南部に至る各地に広く分布し，とくに東北地方や中部地方の内陸部に最もよく知られている。この時代の植物相は落葉広葉樹を主とするが多くの針葉樹を混交し，さらにところによって常緑広葉樹を伴い，組成上の特徴から三徳型と呼ばれた。落葉広葉樹はヤナギ科（*Salix, Populus*)，クルミ科（*Juglans, Pterocarya*)，カバノキ科（*Alnus, Betula, Carpinus, Corylus*)，ブナ科(*Castanea, Fagus,* 落葉 *Quercus*)，ニレ科(*Celtis, Ulmus, Zelkova*)，カツラ科，モクレン科(*Liriodendron, Magnolia*)，マンサク科(*Hamamelis, Liquidambar*)，クス科（*Lindera, Parabenzoin, Sassafras*)，バラ科（*Prunus, Sorbus*)，マメ科（*Cladrastis, Sophora, Wisteria, Gleditsia*)，カエデ科，ウコギ科（*Aralia, Kalopanax*)，ツバキ科（*Stewartia*)，シナノキ科（*Tilia*)，エゴノキ科（*Styrax*)，ツツジ科（*Rhododendron, Tripetaleia*)，クロウメモドキ科（*Berchemia, Hovenia, Paliurus*）などが多く，針葉樹ではマツ科（*Abies, Picea, Pinus, Tsuga*)，スギ科（*Cryptomeria, Cunninghamia, Glyptostrobus, Metaseqioia, Pseudolarix, Taiwania*)，ヒノキ科（*Thuja, Thujopsis*）などがところによって多く含まれる。常緑広葉樹は産出地域や堆積高度の違いによってその多寡が異なるが，*Cinnamomum, Camellia, Buxus, Cyclobalanopsis* などである。三徳型は双子葉類の属レベルの組成では台島型とそれほど著しい相違はないが，種レベルでの相違は画然としている。多くの落葉広葉樹とくにヤナギ科，カバ科，ブナ科，バラ科，カエデ科などでの種の交代が著しい。かつて筆者が植物相の現代化と称したように(Tanai, 1967 a)，これらの化石に近縁な現生種の大半は日本の現生森林の中に求められる。

三徳型植物相は近年の層序学の発展や含化石層の放射年代値の増加によって検討すると，本州では９～６ Ma に(とくに７～８ Ma に最も多い)，北海道では 13～５ Ma の年代にわたっている。三徳型は主として中新世後期を特徴づけるものであるが，北海道北部の名寄～上徳志別盆地の報徳・大手植物相（棚井ほか, 1981）やタチカラウシナイ植物相（Tanai,1961；棚井ほか, 1981）で示されるように中期中新世後半から出現した。したがって，北海道の資料によると，温帯落葉広葉樹木種が 14-13 Ma の間に変わったことが認められる。

中新統には海成層が卓越するが，この海成層を対象として花粉層序学的研究が多くの研究者によって広く進められ，北海道(佐藤, 1970, 1989 など)，東北地方の日本海沿岸地域(嶋崎ほか, 1972；山野井, 1978 など)，北陸地域（藤・河合, 1983 など)，常磐炭田北部（佐藤, 1989）などにおいて，連続的な資料によって花粉群の組成変化から花粉帯区分や古気候推定がされるようになった。しかし，これらの研究は，ある限られた特定の属または科の単位の頻度変化によっているので，地域的な層序対比には有効であっても，それらの変化が後背地の陸域の植生変化をどの程度反映しているか疑問である。花粉同定に困難な問題はあろうが，多産する属のみでなく稀産の属も加えて植物相組成を検討し，花粉群から植生の変化を考察することが必要である。たとえば，山野井（1978）による男鹿半島の新第三系についての多産属ダイヤグラムと累層単位での稀少属の産出表とを合わせて考えると，1)女川層以降に新しい属が多く出現して植物相組成が変化し始め，2)船川層（とくに山野井の船川遷移面以降）では新しい安定した植生になり，スギ科・落葉広葉樹の優勢な低地森林とブナの優占する山地斜面の森林が花粉群の主供給源となったこと，3)女川層の花粉群は西黒沢層に特有な属も含むので，新旧植生の過渡的な植物相であること，などが示唆される。したがって，船川遷移面以降が三徳型植物相に相当するという山野井（1978）の解釈はほぼ当を得ていると考えられる。

三徳型植物相はブナ（*Fagus stuxbergii*）を多産することが一般的な特徴であるが，その産出頻度は50%を越えるものから数%以下の化石群まで多様である。前者では *Betula, Alnus*(山岳地生)，*Picea, Abies, Tsuga* など，後者では *Glyptostrobus, Populus, Salix, Alnus*（低湿地生)，*Pterocarya, Liquidambar* などがそれぞれ多く伴われ，後者では常緑広葉樹が高い頻度で含まれることが多い。たとえば，東北地方の 6 ～ 8 Ma(中新世後期) の植物相は，海退に伴う海岸低湿地で形成された含亜炭層では海岸平野から山地斜面の要素が個体数で多く，脊梁山地の火山性陥没盆地の湖成層では山腹斜面から山岳地の要素が個体数で多く含まれ，中新世後期には高度によって異なる森林植生であった(Uemura,1988)。北海道から東北地方の中新世後期の植物相は主として北方落葉広葉樹・針葉樹混交林の植生を示すが，海岸平野～低山地には常緑・落葉広葉樹混交林の植生がわずかに発達していたことが知られる。

関東地方北部～中部地方では 9 ～ 5 Ma にわたる海岸低地～低山地の植物相変化が明らかにされたが（Ozaki,1991）これらはいずれも常緑広葉樹を多く伴った落葉広葉樹を主とする組成で，ブナは数%以下かまったく含まれない。北日本の植物相に比べて，常緑広葉樹は種類が多く産出頻度も高く，*Cyclobalanopsis,* クス科（*Cinnamomum, Persea, Neolitsea, Benzoin*)，*Pittosporum, Elaeocarpus* などが含まれる。したがって，関東以西では海岸平野～低山地の植生は常緑広葉・落葉樹混交林～常緑広葉樹・針葉樹林であったと推定される。しかし，三徳型のタイプとされた中国地方の三徳植物相は山間盆地の陸成層から知られ，ブナを 25%以上も含んで落葉広葉樹からほとんどなっているので，西日本でも山地には北方落葉広葉樹林の植生であった。本州中部の中新世後期の常緑広葉樹の多い植物相（Ozaki, 1991）には，しばしば第三紀遺存属(たとえば，*Carya, Liriodendron, Sassafras, Liquidambar, Teteracentron, Trochodendron, Ailanthus, Cercis, Nyssa, Fortunearia, Eucommia, Chaerospondias, Meliodendron, Catalpa* など）を含み，適湿落葉･常緑広葉樹混交林 Mixed Mesophytic Forest (Wang, 1961；Wolfe, 1979）の植生に近似している。

三徳型植物相は 13～ 5 Ma のやや長い年代にわたっているが，また同時代と考えられる植物相でもその含化石層の堆積環境や堆積地高度の相違によって組成（とくに多産種の頻度）が異なっている。中新世後期の含植物化石層の大半は当時の海域から離れた淡水堆積盆で形成され，海成層との層位的関係を把握し難いので，化石層について信頼しうる放射年代値資料が蓄積さ

れれば，中新世中期から後期における植物相の変化はさらに詳細に明らかになるであろう。この時代の落葉広葉樹種の多くは日本の現生種に近縁であり，現在の日本列島の温帯林の原型は中新世後期まで遡ることができるので，この時代の植生発達史を詳細に検討することが重要である。

1．3．鮮新世の植生

鮮新世の含植物化石層の大半は非海成の内陸盆地に分布するので，日本全域にわたる詳細な対比は，放射年代値の蓄積によらなければ近年の国際年代スケールに対応することが難しい。鮮新世植物相を新庄型と明石型との2型にかつて分けたが(Tanai, 1961)，タイプの明石植物相は更新世前期のものであることがその後確かめられた (Itihara,1961；Itihara *et al*., 1973)。また中新世に認められた緯度や高度による森林分布の違いが鮮新世以降とくに著しいことが明らかになりつつあって，新庄型というような単一の組成で鮮新世植物相の特徴を論ずることは難しくなった。

北日本の鮮新世前期の植物相は東北地方の内陸盆地の含亜炭層からよく知られ，ヤナギ科，クルミ科，カバノキ科，ブナ科，モクレン科，ツバキ科，エゴノキ科，マメ科，カエデ科などの落葉広葉樹を主とし，*Buxus, Ilex cornuta, Cinnamomum, Osmantus* などの常緑広葉樹を僅かに伴い，多くのマツ科やスギ科の針葉樹が混交する。組成や構成種では中新世後期の植物相と大きな相違はないが，常緑広葉樹の産出頻度が低いことと，いわゆる第三紀遺存属が少ないことで区別される。とくに第三紀遺存属は，広葉樹では *Liquidambar, Comptonia*(*C. kidoi*)，*Nyssa*，針葉樹では *Pseudolarix, Glyptostrobus, Metasequoia, Sequoia* などが認められるにすぎないが，これらも北海道ではほとんど認められない。鮮新世後期の植物相は福島県会津(鈴木, 1959, 1987)・岩手県花巻 (Miki,1938)・仙台付近 (Okutu, 1955)・新潟県魚沼地域 (新潟古植物グループ・新潟花粉グループ, 1983) などで知られるように，落葉広葉樹は前期とほとんど変わりはないが，常緑広葉樹がほとんど含まれない。また，第三紀遺存属も *Metasequoia, Glyptostrobus, Nyssa* 以外は認められない。一方，ヒメバラモミ(*Picea maximowiczii*)，ミツガシワ (*Menyanthes trifoliata*) などの寒冷要素が多産し始め，ブナ属 (*Fagus "microcarpa"*)，クルミ属 (*Juglans megacinerea*) などの新しい種が出現し始める。

関東以西の本州および九州における鮮新世植物相の大半はガウス正磁極期以降の鮮新世後期から知られ，とくに大阪周辺の大阪層群下部 (三木, 1948；Itihara *et al*., 1973)・滋賀県琵琶湖東岸地域の古琵琶湖層群下部 (古琵琶湖団体研究グループ, 1977, 1980)・九州南部 (長谷, 1988) などでは，詳細な層位学的研究に裏づけられた化石種の消長が検討されている。これらの鮮新世後期植物相は北日本の同時代の植物相に比べて構成種が豊富で，また常緑広葉樹もはるかに多様なものが含まれている。落葉広葉樹としてはクルミ科，カバノキ科，ブナ科，ニレ科，クワ科，メギ科，モクレン科，マンサク科，バラ科，マメ科，ウルシ科，カエデ科，クロウメモドキ科，シナノキ科，ツツジ科，エゴノキ科，ハイノキ科，モクセイ科，センダン科，スイカヅラ科，ウコギ科などの多様な属からなり，アカガシ亜属，クス科，モチノキ科，ツゲ科，フトモモ科などに属する多くの常緑広葉樹や，マツ科 (*Keteleeria, Pinus, Pseudolarix, Picea, Tsuga*)，スギ科 (*Cunninghamia, Glyptostrobus, Metasequoia, Sequoia, Taiwania*)，ヒノキ科 (*Chamaecyparis, Thuja*) などの針葉樹を混交する。第三紀遺存属も中新世後期から続いて豊富に含まれるが，後期鮮新世後半になると中部日本では (那須, 1972；百原, 1989) *Ginkgo, Keteleeria, Pseudolarix, Glyptostrobus, Sequoia, Taiwania, Liquidambar, Fortunearia, Chaerospondias, Melliodendron, Reevesia* などが消滅した。しかし，九州南部では *Glyptostrobus, Taiwania, Pseudolarix, Liquidambar* などは更新世初期まで生きのびている。　鮮新世植物相

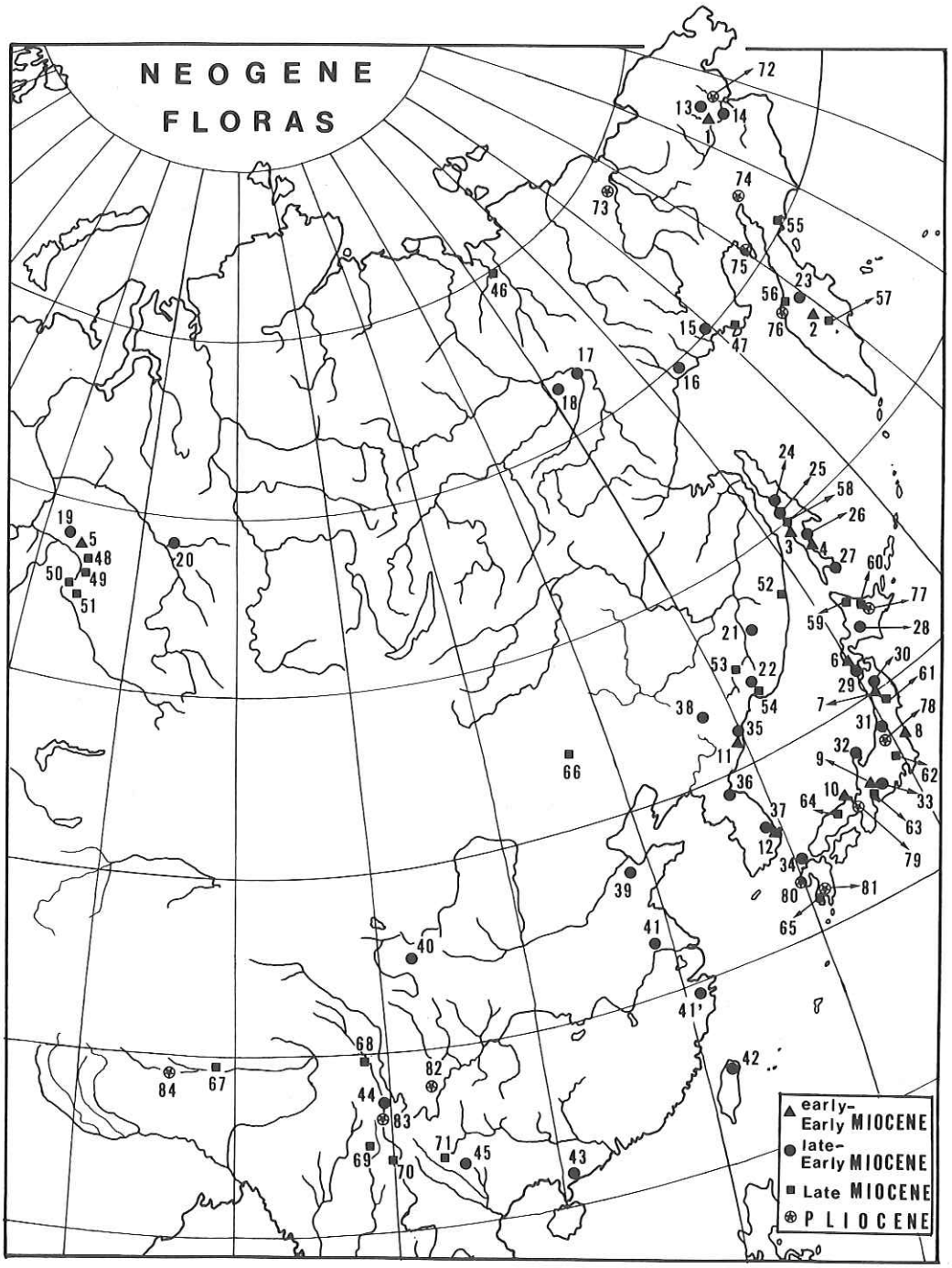
は多くの種子・核果・球果を含む化石群からなり，堆積盆近くの植物からもたらされた遺体で主として代表される。とくに，スギ科・マツ科の多量な球果や枝条が低地性広葉樹類としばしば混在することは，これらの針葉樹類の生育地が堆積盆から著しい高度にはなかったことを示している。北日本の鮮新世植物相の示す植生は落葉広葉樹・針葉樹混交林であるが，北海道では鮮新世末にはむしろ北方落葉広葉樹林になった。関東以西では中新世後期から引き続いて適湿落葉・常緑広葉樹混交林であったが，中新世後期に比べて第三紀遺存属はしだいに減少し，後期鮮新世後半には広葉樹・針葉樹混交林の植生に変わった。古第三紀以降，日本列島における南北の緯度的な植生分布の相違は新第三紀を通じて認められ，とくに鮮新世末期における第三紀遺存属の消滅・寒冷種の出現の時期が日本の南北で異なることが確かめられている（鈴木・那須, 1988；百原, 1989)。

2．サハリンとカムチャッカの新第三紀植生

サハリンおよびカムチャッカの新第三系，とくに含炭または含亜炭層から多くの植物化石を産することは古くから知られていたが（Heer,1878)，層序的な混乱もあって全域を通じての植物相層序は未だ確立されていない。しかし，層序的な検討に基づいた研究が近年進められ，サハリンでは中新世初期の植物相が，カムチャッカでは中新世後期～鮮新世前期の植物相の組成が漸く明らかにされている（第4図)。

中新世初期の植物相は，サハリンでは中部西海岸の Aleksandrovsk-Uglegorsk 地域（Fotjanova,1988)・Nadezhdinsk-Shaktersk 地域（旧恵須取・名好町付近）(Oishi & Huzioka,1943；Fotjanova,1988)，東海岸域中部の Korsakovsk-Poronaisk（Fotjanova, 1988）などからよく知られ，大半はヤナギ科，ヤマモモ科，クルミ科，カバノキ科，ブナ科，マンサク科，マメ科，ウルシ科，バラ科，カエデ科，シナノキ科などの落葉広葉樹とマツ科，スギ科，ヒノキ科の針葉樹との混交からなる組成で，常緑広葉樹を全く含んでいない。構成種は日本の中新世初期の種と共通または近似し，明らかに北海道の台島型の組成を示している。これらの含植物化石層は上部ヅエ（Upper Dui）層群（＝恵須取夾炭層）であるが，その最下部ではマンサク科（*Liquidambar, Parrotia, Hamamelis*)，*Quercus*，マメ科，ウルシ科などを欠き，冷温性の落葉広葉樹と針葉樹のみからなるので，上部ヅエ層群の最下部に阿仁合型植物相を含む Shakhtersk 層が設けられた（Fotjanova, 1988)。Shakhtersk 層-Upper Due 層の一連の地層に阿仁合型－台島型の sequence が認められることは興味深いが，採集化石の不十分なことも考えられるので今後さらに検討が必要である。カムチャッカでは中部の Tigil 河中流～下流地域 (Chelebaeva, 1968, 1976）と Kavavlya 河上流地域（Chelebaeva, 1971；Fotjanova, 1988）から知られるが，前者は台島型，後者は阿仁合型の組成である。

中新世中期の植物相は樺太中部西岸の Nadezhdino 付近(Fotjanova, 1964)，カムチャツカ北東部の Korf 湾岸の Korf 層群下部 (Chelebaeva, 1976) から知られ，とくに Korf 湾岸の植物相は豊富な落葉広葉樹と針葉樹の混交からなり，北海道北部の中期中新世後半の大手植物相と組成・構成種とも極めて共通し，ほぼ同一の植生であったと考えられる。中新世後期の植物相はカムチャッカでは Korf 層群中～上部（Chelebaeva, 1976)・中部西海岸の Etolona 河口付近（Fotjanova, 1976)・内陸部の Schapin 河上流（Chelebaeva, 1971）などがあるが，樺太では知られていない。中新世後期には植物相組成の多様性は低くなり，*Populus,Salix, Myrica, Betula, Alnus, Prunus, Crataegus* などの広葉樹を主とし，*Picea, Larix* などの針葉樹を伴い，現在の寒帯の針葉樹・落葉広葉樹混交林の植生を示している。鮮新世初期の植物相はカムチャッカから知られる限りでは（Sinelnikova *et al*., 1967；Chelebaeva, 1971)，*Salix, Populus, Betula,*


NEOGENE
FLORAS
early-Early MIOCENE
late-Early MIOCENE
Late MIOCENE
PLIOCENE

Alnus などからなり，植物相組成はさらに簡単になっている。

樺太およびカムチャッカでは中新世初期～中期の植生は，北海道と多くの共通種をもった北方落葉広葉樹・針葉樹混交林であったが，初期末～中期始めの温暖期には温暖要素は北海道よりもさらに貧弱であった。中新世後期には多くの広葉樹種が現代化し，とくにヤナギ科・クルミ科・カバ科・バラ科・ガマズミ科などでいちじるしい。中新世後期末～鮮新世初期には広葉樹林の組成は単純化して寒帯林の特徴を示すようになった。この地域では *Cyclocarya, Comptonia, Zelokova, Liquidambar* などは中新世中期までに，また *Metasequoia, Glyptostrobus* などのスギ科やブナは中新世末で消滅し，いずれも北海道での消滅期よりも早いことが指摘される。

3．東アジア大陸の新第三紀植生

東アジア大陸おける新第三紀植物相は，朝鮮半島東岸から沿海州にかけての地域，東シベリヤのアナディル河下流地域，レナ河中流地域，オビ河中流地域から主として知られ，中国ではほぼその全土に散点している(第4図)。これらの大半は非海成層に含まれので年代論には問題も多いが，日本の植物相序層序と比較して大陸地域における植生分布の変化を述べることにする。

第4図．　東アジアにおける新第三紀植物相の分布

Fig. 4.　The distribution of Neogene floras in East Asia.
Neogene floras of Japan are selected because of short spaced map. See fully illustrated locations of Japanese Neogene floras in Tanai (1961) and Huzioka (1974).

EARLY MIOCENE: 1. North Pekulypeiveem (Lower beds) 2. Kavavlya 3. Nadezhdinski River-Shakterskoe 4. Korallovska River 5. Ekaterninsk 6. Kaminokuni (上ノ国) 7. Aniai (阿仁合) 8. Shichiku (紫竹) 9. Hiyosi (日吉) 10. Yosa (与謝) 11. Yongdong(龍洞) 12. Changgi (長耆) Late-EARLY MIOCENE ～early MIDDLE MIOCENE: 13. North Pekulypeiveem (Upper beds) 14. Osinova 15. Kavinsk 16. Marekan 17. Mamantov Mountain 18. Namsk 19. Shish 20. Kireevsk 21. Bikin 22. Bolotnaja 23. Pirozhnikova 24. Sernyi (Due) 25. Makarkevka 26. Vakhrushev 27. Novikov 28. Takinoue (滝ノ上) 29. Yoshioka (吉岡) 30. Utto (打当) 31. Oguni (小国) 32. Noroshi (狼煙) 33. Hiramaki-Mizunami (平牧－瑞浪) 34. Iki (壱岐) 35. Hamjindong (咸鎭洞) 36. Tongcheon (通川) 37. Yeonil (延日) 38. Qiuligou (秋梨溝) 39. Shanwang (山旺) 40. Zeko (沢庫) 41. Lube (六合) 41'. Ninghai (寧海) 42. Shihting (石底) 43. Maoming (茂名) 44. Jianchuan (剣川) 45. Duotang (多塘) LATE MIOCENE (partly including middle-Middle Miocene): 46. Khaplan-Khaia 47. Nagaeva 48. Kartshev 49. Isakovka 50. Lezhanka 51. Botchi 53. Khanka 54. Suifina-Bahabachevka 55. Korf 56. Tigil (Erman) 57. Levaya- Schapin 58. Nadezhdino 59. Bihuka, Hotoku-Ote Formation (美深, 報徳－大手層) 60. Shanabuchi (社名淵) 61. Miyata (宮田) 62. Itahana (板鼻) 63. Toki (土岐, 陶土層) 64. Mitoku-Onbara (三徳－恩原) 65. Nakayama (中山) 66. Weichang (圍場) 67. Namling (南木林) 68. Markam (芒康) 69. Tengchong (騰沖) 70. Lingzan (臨滄) 71. Xiaolongtan (小龍潭) PLIOCENE: 72. Graphite Creek 73. Begunovsk 74. Gusinsk 75. Impoveemsk 76. Sopochna 77. Rubeshibe (留辺蘂) 78. Aizu (会津) 79. Osaka (大阪層群下部) 80. Mogi (茂木) 81. Kagoshima, Shigehira-Mizuno (鹿児島, 重平－水野) 82. Dechang (徳昌) 83. Eryuan (洱源) 84. Xiabangma (希夏邦馬峰)

3．1．中新世初期～中期の植生

東アジアには中新世初期の植物相は広い分布を示すが，阿仁合型に属するのは朝鮮半島の迎日湾の長髦（Huzioka, 1972）・北部の龍洞（Huzioka, 1972）植物相である。中新世初期には日本海生成以前に，日本の内陸側から大陸縁辺部にかけての中緯度地域には北方落葉広葉樹林が広がり，ほぼ同一の植物相組成をもっていた。大陸内部地域には資料は少ないが，アナディル盆地の North-Pekulineiveemsk 下部（Biske, 1975；Nikitin, 1978）とオビ河中流の Ekaterninsk（Kryshtofovich & Borsk, 1936；Dorofeev, 1963）の植物相は，初期中新世前期の組成である。マツ科（*Abies, Picea, Pinus, Tsuga, Larix*），スギ科（*Metasequoia, Glyptostrobus*）の多様な針葉樹とヤナギ科，クルミ科（*Pterocarya*），カバノキ科（*Alnus, Betula, Corylus*），バラ科（*Crataegus, Prunus, Rubus, Spiraea*），ブドウ科（*Ampelopsis, Vitis*），ミソハギ科（*Decodon*），ミズキ科（*Cornus*），ヌマミズキ科（*Nyssa*），ツツジ科（*Andromeda, Vaccinium*），スイカズラ科（*Diervilla, Sambucus, Weigella*）などの落葉広葉樹が混交し，またイネ科やその他の多くの湿地性草本類を多く伴っている。しかし，*Fagus, Quercus* などのブナ科はまったく含まれていない。したがって，高緯度地域では Mixed Coniferous forest が発達し，また湿原が広がっていたと考えられる。一方，中緯度以南の地域にはこの時代の植物相資料は，現在まで知られていないので今後の研究課題である。

中新世初期末～中期始めの植物相は，中緯度地域ではよく知られている。朝鮮半島の延日（Huzioka, 1972），中国山東省の山旺（Hu & Chaney, 1938；中国科学院, 19782）・南京付近の六合（李, 1987）と浙江省の寧海（郭・李, 1982）植物相は，常緑・落葉広葉樹の混交した典型的な台島型の組成で，また種レベルでもほとんど共通している。これらから北方では，朝鮮半島の通川（Huzioka, 1972）・咸鎭洞（Huzioka, 1972）・中国吉林省の秋梨溝（李・楊, 1984），シホタリンの Bolotnaja（Ablaev, 1978）・Bikin（Koshman, 1964）などの植物相が知られ，落葉広葉樹が優勢で常緑樹をほとんど含まず，日本の東北地方北部から北海道の台島型の組成とほぼ同様である。大陸における中型広葉常緑樹林と北方落葉広葉樹林の境界は古緯度約 45°付近で，日本での境界とほぼ対応している。

高緯度地域には中新世初期～中期とされる植物相が散点して知られるが，西シベリヤのオビ河中流の Kireevska（Dorovfeev, 1963；Gorbunov, 1962）と Shish（Sikhov, 1954），中部シベリヤのレナ河中流の Mamontov Gora（Dorofeev, 1969；Iljinskaja *et al*., 1976）と Namsk（Biske *et al*., 1975），アナディル盆地の Osinova（Nikitin, 1979）・North-Pekulineiveemsk 上部（Nikitin, 1979）とオホーツク海岸の Markan（Nikitin, 1979）の各植物相は，組成や構成種から中新世初期末～中期始めのものと考えられる。ヤナギ科，ヤマモモ科，クルミ科，カバノキ科，ブナ科，ニレ科，クワ科，モクレン科，バラ科，カエデ科，マメ科，ウコギ科，ミズキ科などの多様な落葉広葉樹からなり，マツ科やスギ科などの針葉樹を伴っている。科レベルでは中緯度地域の中新世初期前半の植物相と大差ないが，この時代には *Comptonia, Fagus*,落葉 *Quercus*, *Liquidambar, Liriodendron, Ailanthus, Firmiana* などが含まれることが特徴的である。しかし，ツツジ科以外の常緑広葉樹は含まれない。以上の事実は，中期中新世始め頃までは東アジアの中緯度から高緯度地域に第三紀遺存属を含む北方落葉広葉樹・針葉樹混交林の植生が広く分布したことを示している。オビ河中流の植物相には多種類の *Abies, Larix, Picea, Pinus, Tsuga* の球果化石が含まれるので，この近くの後背地には針葉樹林に覆われた山岳地の存在が推定される。

中緯度以南の地域における中新世初期末の植物相資料は極めて少なく，年代的に確実なものは台湾北部の石底植物相（Chaney & Chang, 1968）であるが，雲南省の多塘（Colani, 1922）

や剣川（中国科学院, 1978）などもこの時代であろう。ブナ科（*Cyclobalanopsis, Castanopsis, Pasania*），クス科（*Actinodaphne, Cinnamomum, Neolitsea, Persea*），ツバキ科（*Cleyera*），ヤブコウジ科（*Ardisia*）などの常緑広葉樹を主とし，カエデ科，ウリノキ科，トウダイグサ科（*Mallotus*），ニシキギ科（*Celastrus, Perrottetia*），ウルシ科（*Pistacia, Rhus*）などの落葉広葉樹を主としヤシ科（*Rhapis*）やマダケ属をともない，明らかに準熱帯雨林の植生を示している。

3．2．中新世後期～鮮新世の植生

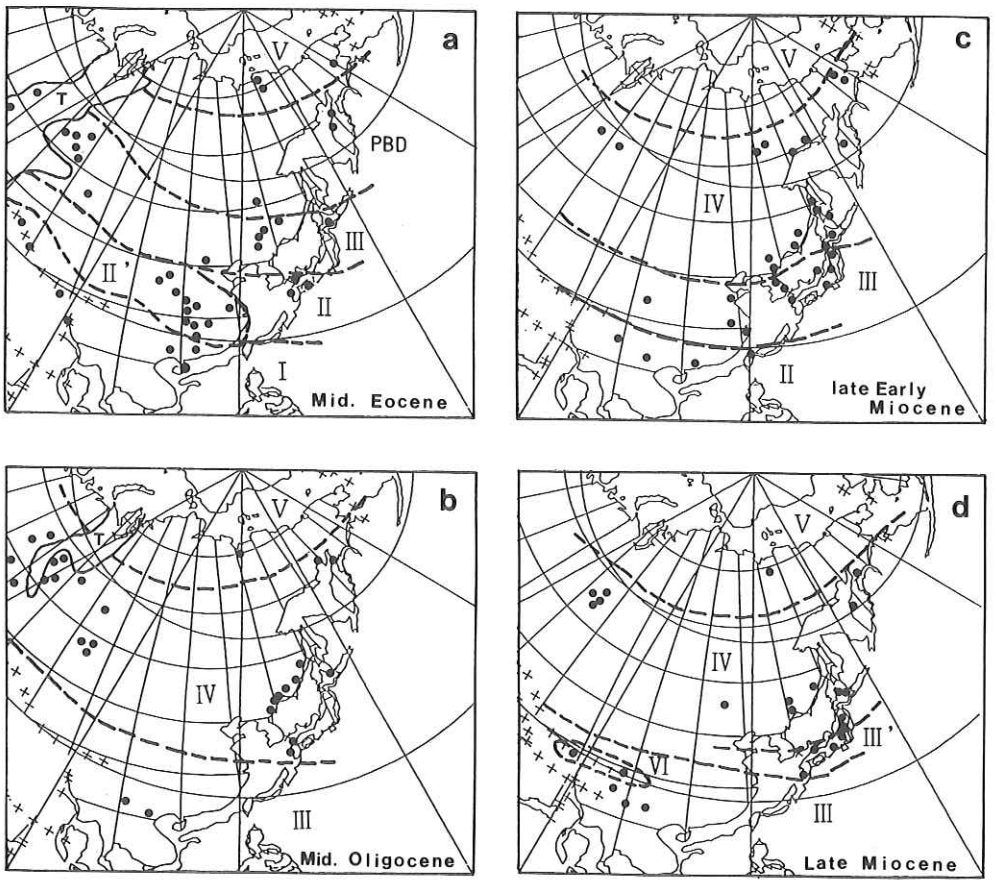
中新世後期の植物相はシホタリン・ウスリー・シベリヤ東部・オビ河上流・雲南～チベットなどから知られるが，年代的に不確実のものが多い。また，鮮新世植物相はシベリヤ東部・中国中部～南部に点在するが，植生分布を検討するには資料が不十分である。

ウスリー地域のKhanka（Ablaev *et al.*, 1979），ウラジオストック周辺（Klimova, 1973；Baikovskaya, 1974），中国河北省のWei-chang（DePape, 1932）の植物相は，多様な落葉広葉樹と針葉樹の混交で，組成と構成種ともに北日本の中新世後期（三徳型）の植物相に近似している。とくに，ヤナギ科，カバノキ科，ブナ科，バラ科などの種が現代化したことは，日本の場合と同様な特徴である。これらより北方では，沿海州のBotchi（Akhmetjev, 1973）や南サハリン対岸のマガダン付近のNagaeva（Chelebaeva, 1979）植物相では，組成（とくに広葉樹種）が簡単化するとともに針葉樹（とくにマツ科）が多様となるが，スギ科では僅かに*Glyptostrobus*が残ったのみである。西シベリヤのオビ河上流（Dorofeev, 1963）でもほぼ似た組成である。さらに高緯度では，北極海へ注ぐOmoloi川下流地域のKhapchan- Khaia植物相（Dorofeev, 1963）で知られるように，*Picea, Pinus, Larix, Salix, Myrica, Alnus, Betula*などの樹木種に，化石の多くは湿地性草本類が大半を占める。これと同じような組成の植物相は鮮新世には，アナディル河流域からペンジン湾周辺に（Biske, 1975；Nikitin, 1979）やKolyma河上流地域（Nikitin, 1978）の古緯度60°付近まで知られている。したがって，中新世後期～鮮新世には高緯度地域は明らかに針葉樹・落葉広葉樹混交林の植生によってすでに占められた。

中国の中緯度地域には中新世後期の大型化石群はほとんど知られていな。しかし，キク科，アカザ科などを豊富に含む花粉化石群の産出によって，中国西北部が中新世中期～後期には草原～ステップ化したことが指摘されている（Song *et al.*, 1981；Liu, 1988）。雲南省南部～南西部に，臨滄（陶・陳, 1984）・騰沖（陶・杜, 1982）・小龍潭（中国科学院編, 1978）などの植物相は，中新世後期のものであろう。これらはヤマモモ科（*Myrica*），ブナ科（*Castanopsis, Lithocarpus, Cyclobalanopsis*），クス科（*Cinnamomum, Lindera, Nothaphoebe*），アワブキ科（*Meliosma*），モクセイ科（*Ligustrum, Osmanthus*），Strychnaceae（*Strychnos*），フトモモ科との混交からなり，とくにマメ科は多様な属が含まれる。針葉樹は*Pinus*や*Picea*が僅かにあるにすぎない。これらの植物相は中型広葉常緑樹林～準熱帯林の植生を示すと考えられる。これらから西北方のチベットには南木林（李・郭, 1976）および芒康（陶・杜, 1987）植物相が知られ，ヤナギ科，カバノキ科，ニレ科，バラ科などの落葉樹に，*Rhododendron*，小型葉の*Quercus*属などの常緑広葉樹を含んでいる。したがって，中新世後期にはヒマラヤ山脈はすでに形成されつつあって，その北側の隆起した高原地域には小型広葉常緑樹林Microphyllous Broad-leaved Evergreen Forest（Wolfe, 1979）が発達し始めたと推定される。

ヒマラヤ山脈のシシャパングマ高峰の北麓（海抜約5700 m）（徐ほか, 1973）や雲南南西部の洱源（海抜約2000 m）の鮮新統（陶・孔, 1973）から，小型葉の常緑*Quercus*属（*Q. semicarpifolia, Q. pannosa, Q. spathulata, Q. monimitricha*など）を主とし，*Celtis, Acer, Populus*などを伴う植物相が知られ，さらに花粉化石ではこれらの他に*Abies, Picea, Tsuga, Cedrus, Pinus*な

どの針葉樹が知られている。したがって，鮮新世にはヒマラヤ山脈は 3000 m 以下の高度で（Hsü, 1978），その北斜面から雲南の高地にかけては小型広葉常緑樹林の植生が広がっていたと考えられている。洱源の北東，四川省南西端の揚子江沿いの徳昌の鮮新世植物相（郭, 1978）は，資料は不十分であるがブナ科（*Castanopsis, Cyclobalanopsis*），クス科（*Actinodaphne*），*Acer*, *Sorbus* などから成り，現在のこの地域と同様に中型広葉常緑樹林の植生にあったことを示唆している。揚子江から北方の地域では僅かな資料しかなく（Chaney, 1933, 1935）とくに揚子江に沿った地域の現在の Mixed Mesophytic Forest の歴史をたどるに必要な化石資料の発見が望まれる。



第 5 図.　東アジアにおける第三紀の主要植生型の分布変遷.

Fig. 5.　The distributional changes of major vegetational types during the Tertiary (late-Middle Eocene to Late Miocene) in East Asia. The paleocontinental maps after Smith *et al.* (1981). Most of Japanese geologists claimed that the Japan Sea opened since the late-Early Miocene. For instance, see Iijima and Tada (1990).

a. late-Middle Eocene.　b. Middle Oligocene.　c. late-Early Miocene.　d. Late Miocene.　I : Tropical Rain forest.　II : Paratropical Rain forest.　II': Semiarid Paratropical forest.　III : Notophyllous Broadleaved Evergreen forest.　III': Mixed Mesophytic forest.　PBD : "Polar Broadleaved Decidous forest".　IV : Mixed Northern Hardwood forest.　V : Mixed Coniferous forest.　VI. Microphyllous Broadleaved Evergreen forest.　T: Turgai Depression.　Solid circles: Selected fossil floras.

IV. む す び

日本の第三紀植物相層序についての筆者の近年の結果に基づいて，東アジアの各地域及びそれに関連する中央アジア東部の第三紀植物相層序を整理し，各地域における森林植生の時代的な変化を推定した。植物相の年代の不正確なために検討すべき多くの問題が含まれているが，第三紀を通じての植生分布の概要は次のように要約することができる。

1．暁新世植物相は大陸の中緯度以北に知られ，落葉広葉樹と針葉樹（スギ科）との混交であるが，植物相の組成は高～中緯度地域における南北での相違が認められる。

2．始新世中～後期には，低～高緯度に南北で異なる植生分布が明らかに捉えられる。とくに中期の最暖期には，熱帯雨林は中国南部からヒマラヤ地域に沿ってインド北部までの古緯度約30°を北限とし，その北方には準熱帯雨林と中型広葉常緑樹林が日本・中国北部・アムール地域やオビ河上流地域に広がり，その北限は古緯度約50°にまで及んでいた。また，中国中部から南部（古緯度30～40°）を占めて，季節的に乾燥する気候に適応した特有な準熱帯植生が発達した（第5図a）。古緯度50°以北の植生は，植物相の年代が不明確なために明らかではないが，北海道中北部の資料から判断する限りでは落葉広葉樹と針葉樹の混交する“極地落葉広葉樹林”の植生であったようである。サハリンとカムチャツカにおけるこの時代の植物相の検討が必要である。さらに，北極海に沿った高緯度地域には，針葉樹・落葉広葉樹混交林の植生があった。

3．始新世中期末以降に気温が著しく低下したために，東アジアの高～中緯度地域は“極地落葉広葉樹林”の植生によって広く被われた。この落葉広葉樹林には北海道では多くの熱帯属や僅かな常緑広葉樹が含まれるが，サハリンやカムチャツカ北部では次第に少なくなる。一方，その南部の中型広葉常緑樹林は日本では北九州以南（古緯度約40°）に限られたが，この時代の中国の植物相が未発見であるので大陸での植生分布は明らかでない。中央アジア北東部ではオビ川上流地域（古緯度約55°）に始新世後期にも中型広葉常緑樹林が引き続いて認められるが，テーチス海に連なるTurgai Depressionの海洋の影響と考えられる。

4．始新世後期～漸新世初期に“極地落葉広葉樹林”は多くの温暖属を失いつつ南下し，前期漸新世後半までに北方落葉広葉樹・針葉樹混交林の植生として中～高緯度地域（古緯度40～70°）に広く発達した（第5図b）。ここで著しいことは，落葉広葉樹の大半が中新世に繁栄する種に近縁となったことと，針葉樹にマツ科やヒノキ科の多くの属が中緯度中～南部に始めて出現したことである。北海道，カムチャツカ，シホタリン，朝鮮半島北東部とオビ川中～上流地域では構成種が極めて近似し，漸新世には東アジアの中緯度～高緯度南部をほぼ似た組成をもった植物相が占めたことが知られる。しかし，西部本州～九州ではやや常緑樹が多く含まれ，さらに中国南部では中型広葉常緑樹林であった。一方，北極地では組成の貧弱な落葉広葉樹・針葉樹の混交林である。

5．中新世初期には落葉広葉樹と針葉樹が混交する植生が中緯度から高緯度地域に広がり，この植生は漸新世の落葉広葉樹・針葉樹混交林から発達したものであるが，古第三紀の残存植物は全く認められない。日本列島・朝鮮半島からサハリン・カムチャツカ中部までの地域（古緯度約35～60°）は北方落葉広葉樹・針葉樹混交林，それから北方の高緯度地域では針葉樹の優先する針葉樹・落葉広葉樹混交林であった。この時代の植物相は中国では確かめられていないので，中緯度以南の植生は明らかでない。

6．中新世初期末～中期始めに汎世界的に気候が一時的に温暖化したので，常緑広葉樹の優勢な植生が再び北方に広がった。中型広葉常緑樹林は中国中部（古緯度約30°）から本州北部・

朝鮮半島南部（古緯度約45°）を占め（第5図c），ブナ科，クス科，ツバキ科などの常緑広葉樹に多様な落葉広葉樹や針葉樹を混交する植生である。これは，現在中国中部において第三紀残存属を多く含むMixed Mesophytic Forestの原型である。古緯度約45°から北方では常緑広葉樹がしだいに少なくなり，北海道からサハリン・カムチャツカ・シホタリン・シベリアでは落葉広葉樹と針葉樹の混交からなる北方落葉広葉樹・針葉樹混交林の植生である。しかし，多くの温暖な落葉広葉樹が含まれることで，中新世初期の植物相とは明らかに異なっている。古緯度30°以南の資料は少ないが，中国南部～台湾では準熱帯雨林であった。

7．中新世中期の中頃から気温が再び低下したために落葉広葉樹林がやや南下し，中新世後期には日本列島では北海道から東北地方，大陸ではシホタリンから中国北部に，豊かな組成をもった北方落葉広葉樹・針葉樹混交林が広がった（第5図d）。それから北方のカムチャツカ・シベリアでは落葉広葉樹種が少なくなるとともに，多様な針葉樹が含まれる。日本列島では，関東以西には常緑樹が多く混交し，多くの第三紀残存属を含む適湿常緑・落葉広葉樹混交林が海岸平野や低山地を占めるようになった。中国南部には中型常緑広葉樹林が分布したが，ヒマラヤ山脈がしだいに隆起し始め，雲南南西部～チベット南部の一部には小型常緑広葉樹林が発達し始めた。中新世中～後期の植物相は植生としては初期と大きく変わることはないが，落葉広葉樹の大半が種レベルで現生種に近縁になったことが特徴的である。

8．鮮新世の植生変化を考察するには，日本を除いては植物相の資料は余りにも貧弱である。日本列島では鮮新世の植生分布は中新世後期と大きくは変わらないが，鮮新世末に向かって第三紀残存属がしだいに減少し，また北方型の針葉樹が出現し始めて南に分布を広げた。

東アジアの第三紀植物相の研究がHeer（1878），Nathorst（1883）によって始めて公刊されてから今日までの約110年の間に，化石植物相及び化石分類に関する研究は膨大な数に上る。しかし，広大な東アジア大陸おける森林の変化を植生図を描いて論ずるには，未だ資料は十分ではない。とくに，1）孤立した陸成堆積盆から知られた大陸内部の化石植物相の年代が必ずしも明らかではないこと，2）日本－中国－ロシア極東地域における化石の分類学的な比較研究が遅れていることは，詳細な植生分布を論ずる場合の障害になっている。今後は国際的な共同研究によってこれらの障害を取り除きつつ，第三紀植物相層序を確立し，東アジアにおける第三紀植生変化及び現生植生の成立過程を明らかにしたいと考えている。

引用文献

Ablaev, A. G. (1978), *Geology and floral history in the coastal region of Japan Sea* (*Late Cretaceous and Tertiary times*). Izdat Nauka USSR, Moscow, 191 p. *

——— (1985). *Flora of Koreasko-Kamchatschokoy region and stratigraphic problem of the continental Cenozoic.* Far-Eastern Science Center, Nauka USSR, Vladivostok, 57 p. *

———, Iljinskaya, I. A. and Schmidt, I. N. (1979), On the Miocene Khankaiskoi flora of western Primorya. *In* Vakhrameev, V. A., ed., *Stratigraphy and floras of the continental Neogene in the Far East.* Izdat. Nauka USSR, Moscow, 8-29. *

Akhmetyev, M. A. (1973), Sikhote-Alin Miocene flora (R. Botchi). *Akad. Nauk, USSR, Geol. Inst. Trans.*, **247**, 1-123. *

——— and Bratzeva, G. M. (1973), Fossil remains of the genus *Engelhardtia* from Cenozoic deposits of Sichote-Alin and southern Primorye. *Rev. Palaeobot. Palynol.*, **16**, 123-132.

Baikovskaya, T. N. (1950), Paleocene flora of the Zeya-Bureya Plain. *Probl. Bot.*, 1, 348-381. *

——— (1959), Materials of the Tsagaian flora of Zeya-Bureya Plain. *Probl. Bot.*, 4, 253-275. *

——— (1974), *Late Miocene floras from southern Primorye.* Izdat. Nauka, Leningrad, 143 p. *

——— (1984). *Paleocene flora from Romankulis (Southern Ural).* Izdat. Nauka USSR, Leningrad, 79 p. *

Baranova, Ju. P. and Biske, S. F. (1978), Paleogene and Neogene climates of Northeast Asia. *In* Shilo, N. A., ed., *Continental Tertiary deposits of Northeast Asia.* Izdat.Nauka, Siberian Branch, Novosibirsk, 186-204. *

Berggren, W. A., Kent, D. V., Flynn, J. J. and Van Couvering, J. A. (1985), Cenozoic Geochronology. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 96, 1407-1418.

Biske, S. F. (1975), *Paleogene and Neogene in the Far Northeast of USSR.* Izdat. Nauka, Siberian Branch, Novosibirsk, 278 p. *

坊城俊厚・尾上　亨 (1966), 山口県下関市の第三系について. 地調月報, 17, 253-268.

Borsuk, M. O. (1956), Paleogene flora of Sakhalin. *Trans. All-Union Prosp. Invest., Geol. Inst., n. ser.*, 12, 1- 131. *

Budantsev, L. Yu. (1957), The Eocene flora of Pavlodar Priirtyshie. *In* Dorofeev, P. I., ed., *Memorial volume of A. N. Kryshtofovich.* Izdat. Nauka USSR, Leningrad, 177-198. *

——— (1979), Discovery of Sabal palm in the Eocene beds in northwestern Kamchatka. *Bot. Zhur.*, 64, 1771-1781. *

——— (1983), *History of Arctic flora of Early Cenozoic time.* Izdat. Nauka USSR, Leningrad, 152 p. *

Chaney, R. W. (1933), A Pliocene flora from Shansi province. *Bull. Geol. Soc. China,* 12, 129-142.

——— and Chuang, C-C. (1968), An oak-laurel forest in the Miocene of Taiwan. *Proc. Geol. Soc. China*, no. 11, 1-18.

千地万造・IGCP-246 国内ワーキンググループ (1979), 日本海形成に伴う古地理・古環境の復元. 日本海の形成とそれに伴う新第三紀地史的事件. IGCP-246 事務局, 静岡, 57-70.

Chelebaeva, A. I. (1968), The Neogene flora of the River Pirzhnikova (Kamchatka). *Bot. Zhur.*, 53, 737-748.+

——— (1971), *Problems on stratigraphy of the continental Cenozoic in Kamchatka.* Izdat. Nauka USSR, Leningrad, 104 p *

——— (1976), Subdivision of Neogene continental deposits at the mouth of the Tigil River (West Kamchatka). *Akad. Nauk USSR, Geol Inst. Trans.*, 294, 147-198. *

——— (1978), *Miocene floras of Eastern Kamchatka.* Izdat. Nauka USSR, Moscow, 154 p. *

——— (1979), Miocene floras from Nagaeva Bay and several unsolved relationships of the continental deposits between Kamchatka and Northeastern USSR. *In* Vachrameev, V. A., ed., *Stratigraphy and floras of the continental Neogene in the Far East.* Izdat. Nauka, USSR, Moscow, 30-82. *

——— (1991), Floristic characteristics of the Snatol and Kavachinsk horizons. *In* Gladenkov, Yu. B., ed., The Eocene of western Kamchatka. *Akad. Nauk USSR, Geol. Inst. Trans.*, 467, 69-119, 153-172. *

——— and Akhmetyev, M. I. (1883), Angiosperms of Pittosporaceae and Melastomaceae from

the Eocene of Kamchatka and Bering Island. *Paleont. Zhur.*, 1983(1), 120-127.*

中国科学院編 (1978), 中国植物化石. 3. 中国新生代植物. 科学出版社, 232 p.

Colani, M. M. (1920), E'tude sur les flores tertiares du quelques gisments de lignit de l'Indochine et du Yunnan. *Bull. Serv. Geol. Indochine,* 8, 1-260.

Davidse, G., ed. (1983), Biogeographical relationships between temperate Eastern Asia and temperate North America. *Ann. Missouri Bot. Gard.,* 70, 421-575, 577-749.

Depape, G. (1932), La Flore tertiaire du Wei-Tch'ang (Province de Jehol, China). *Publ. Mus. Hoangho Paiho*, no. 6, 1-26.

Dorofeev, P. I (1963), *The Tertiary floras of western Siberia.* Izdat. Nauka USSR, Moscow, 346 p.+

———— (1969), *The Miocene flora of the Mammoth-mountain on the Aldan River.* Izdat. Nauka USSR, Leningrad, 124 p.+

———— (1972), Tertiary flora from Basseina, Omoloi River. *In* Vassilichenko, I. I., ed., *The history of the flora and vegetation of Eurasia.* All Union Bot. Soc., Nauk, Leningrad, 41-112. *

遠藤誠道 (1938), 朝鮮半島産新生代化石植物, I, II. 地質雑, 45, 84-90; 326-328.

———— (1942), 吉林省舒蘭炭田及び奉天省撫順炭田産化石. 満州国立博論叢, no. 3, 33-43.

Florin, R. (1920), Einige chinesiche tertiarpflanzen. *Svens. Bot. Tidsk,* 14, 239-243.

———— (1922), Zur alttertiaren Flora der sudlichen Mandschurei. *Paleont. Sinica, ser A,* 1, 1-47.

Fotjanova, L. I. (1964), An Upper Miocene flora of the western coast of Sakhalin. *Bot. Zhur.*, 49 (5), 649-670.+

———— (1976), The floristic complex of the Erman site and its position among similar by age complex of the Northern Pacific. *Akad. Nauk. USSR, Geol. Inst. Trans.* 294, 67-108.*

———— (1984), Late Eocene Preturgaian flora from Old Beringia. *Bot. Zhur.,* 69, 425-430+

———— (1988), Northeastern flora in the boundary between the Paleogene and Neogene (for Saghaline and Kamchatka). *Akad. Nauk USSR, Palaeont. Inst. Trans.,* 231, 1-189.+

Fedetov, V. V. (1975), On several thermophilic generic types from the Eocene Raichikhi flora, Amur region. *In* Ablaev, A. G. et al., ed., *Records on paleobotany and stratigraphy of continental deposits of Soviet Far East.* Far Eastern Sci. Center, Vladivosok, 36-48. *

藤 則雄・河合明博 (1983), 能登半島中新世法住寺層及び飯塚層からの花粉化石. 金沢大教育紀要, 自然科学, no. 31, 63-79.

Gladenkov, Yu. B., Bratseva, G. M., Sinelynikova, V. N., Chelebaeva, A. I. and Shantser, A. E. (1989), The stratigraphic scheme of the Paleogene of Kamchatka. *In* Krasilov, V. A. and Klimova, R. S., ed., *The Cenozoic of the Far East.* Akad. Nauk. Far-East Branch, Vladivostok, 161-167. *

Gorbunov, M. G. (1972), Outline of the development of Tertiary floras in western Siberia. *Trud. Siberian Sci. Res. Inst.,* 22, 312-360. *

Gray, A. (1846), Analogy between the flora of Japan and that of the United States. *Amer. J. Sci., Arts* 2, 2, 135-136.

Guo Shuang-xing(郭双興)(1965), 両広第三紀几種棕櫚化石的発現及其意義. 古生物学報, 13, 598-605.

———— (1975), 珠穆朗瑪峰地区日喀則群的植物化石. 中国科学院編, 珠穆朗瑪峰地区科学考察報告

(1966-1968). 1, 411-423.

———— (1978), 四川西部高原上新世植物群. 古生物学報, 17, 343-350.

———— (1979), 両広南部晩白亜世早第三紀植物群及其地層意義. 中国科学院編, 華南, 中・新生代紅層, 233-230.

———— (1980), 青海沢庫中新世植物群. 古生物学報, 19, 406-411.

———— (1985), Preliminary interpretation of Tertiary climate by using megafossil floras in China. *Palaeont. Cathaya,* no. 2, 169-176.

————, Shun Zhe-hua, Li Hao-min and Dou Ya-wei (1984), 新疆阿勒泰古新世植物群. 南京地質古生物研究所集刊, no. 8, 119-146.

Hara, H. (1949,1952), Contributions to the study of variations in the Japanese plants closely related to Europe or North America. *Jour. Fac. Sci., Univ. Tokyo, sec. Bot.* , 6, 29-96, 343-391.

長谷義隆 (1988), 南部九州後期新生代の地史と古環境. 熊本大教養紀要, 自然科学, no.23, 37-82.

林 徳衛 (1975), 壱岐島長者原産化石誌. 島の科学研究所, 壱岐, 120 p.

Heer, O. (1878), Primitiae Florae fossilis Sachalinensis. *Mem. Acad. Imp. Sci. St.-Petersb., ser.* 7, 25, 1-61.

堀 治三朗(1976), 神戸層群産植物化石. 後期中新世神戸植物群の研究. 日本地学会館, 京都, 293 p.

———— (1987), 神戸層群産植物化石集. 兵庫県生物学会, 福崎町, 215 pls.

Hsü, Jen (1978), On the paleobotanical evidence for continental drift and Himalaya uplift. *Palaeobotanists,* 25, 131-142.

————(1983), Late Cretaceous and Cenozoic vegetation in China, emphasizing their connections with North America. *Ann. Missouri Bot. Gard.,* 70, 490-508.

———— et al. (徐仁・陶君容・称湘君) (1973), 希夏邦馬峰高山櫟化石層的発現及其在植物学和地質上的意義. 植物学報, 15, 104-114.

Hu, H. H. and Chaney, R. W. (1938), A Miocene flora from Shantung province, China. *Palaeont. Sin., new ser. A,* no. 1, 1-147.

Huzioka, K. (1963), The Utto flora of northern Honshu. *Tertiary floras of Japan.* Collab. Assoc. Commem. 80 th Anniv., Geol. Surv. Japan, Tokyo, 153-216.

———— (1964), The Aniai flora of Akita Prefecture, and the Aniai-type floras in Honshu, Japan. *J. Min. Coll., Akita Univ.*, 3(4), 1-105.

———— (1972), The Tertiary floras of Korea. *ditto,* 5(1), 1-83.

———— (1974), The Miocene Daibo flora from the western end of Honshu, Japan. *ditto, ser. A,* 5(2), 1-24.

藤岡一男 (1974), 日本の中新世植物群. 植物化石研究会誌, no.5, 1-20.

————・小林政雄 (1961), 石狩炭田夕張地区清水沢炭砿における夕張層の植物化石の産状. 鉱山地質, 11, 245-252.

Huzioka, K. and Takahashi, E. (1970), The Eocene flora of the Ube coal-field, southwest Honshu, Japan. *J. Min. Coll. , Akita Univ., ser. A,* 4(5), 1-88.

————&———— (1973), The Miocene flora of Shimonoseki, southwest Honshu, Japan. *Bull. Nat'n. Sci. Mus.,* 16(1), 115-148.

藤岡一男・植村和彦 (1979), 中新世中期, 台島階における*Comptonia-Liquidambar* forest. 秋田大鉱山学部地質研報, no. 45, 37-52.

Iijima, A. and Tada, R. (1990), Evolution of Tertiary sedimentary basins of Japan in reference to opening of the Japan Sea. *Jour. Fac. Sci., Univ. Tokyo, Sec.* 2, **22**, 121-171.

Iljinskaya, I. A., Pneva, G. P. and Schvareva, N. Ya. (1976), The Mamontova Gora flora through leaf impressions. *Trans. Inst. Geol. Geophy., Akad. Nauk Siberian Branch*, **233**, 66-130. *

伊奈治行 (1981), 瑞浪層群上部の植物化石. 1.可児・瑞浪盆地の化石 . 瑞浪市化石博専報, no. 2), 1-20.

Ishida, S. (1970), The Noroshi flora of Noto Peninsula, central Japan. *Mem. Fac. Sci., Kyoto Univ., ser. Geol. Min.*, **37**, 1-112.

Itihara, M. (1961), Some problems of the Quaternary sedimentaries in the Osaka and Akashi areas, Japan. *Jour. Inst. Polytech., Osaka City Univ., ser. G*, **5**,13-30.

———— Kamei, T., Mitunashi, T., Suzuki, K. and Kuwano, Y. (1973), The basis of the Plio-Pleistocene boundary in Japan. *Jour. Geosci., Osaka City Univ.*, **16**, 25-49.

Kaiho, K. (1984), Paleogene foraminifera from Hokkaido, Japan. Part 1. Lithostratigraphy and biostratigraphy including description of new species. *Sci. Rep.Tohoku Univ., 2 nd ser.*, **54** (2), 95-139.

木村勝弘 (1991), 堆積盆の生成発展過程の研究. 石油開発技術センター年報, 平成2 年度, 12-15.

————・辻 喜弘 (1989, 1990), 同上, 昭和63年度, 10-13；平成元年度, 10-11.

Klimova, R. S. (1973), A new species of *Periploca* from the Miocene of Primorya. *In* Krasilov, V. A., ed., *Fossil floras and phytostratigraphy of the Far East*. Far East Sci. Center, Akad. Nauk, Vladivostok, 105-108. *

Krasilov, V. A. (1976), *The Tsagayan flora of Amur region.* Izdat. Nauka, USSR, Moscow., 92 p. *

古琵琶湖団体研究グループ (1977), 水口丘陵西部の古琵琶湖層群. 地球科学, **31**, 115-129.

———— (1980), 瀬田・石部地域の古琵琶湖層群. 地球科学, **33**, 26-40.

Konstantow, S. W. (1914), Die tertiare Flora des Bjelogorje Aufschlusse am Unter lauf des Fl. Bureja. *Mem. Comité Geol. n. ser. Lib.*, 113, 1-27. (in Russian with German Summary).

Kornilova, V. S. (1966), Outline of floral history and vegetation of Kazakhstan. *In Plant cover of Kazakhstan.* Izdat. Nauka Kazak., **1**, 37-137. *

Koshman, M. M. (1964), Tertiary flora from Bikinskogo Birouglino Mestorozhdeniya. *Bot. Zhur.*, **49**, 265-271.+

Kryshtofovich, A. N. (1921 a), Some Tertiary plants of Possiet-Bay, southern Ussuri district, collected by Mr. Ahnert in 1919, *Records Geol. Useful Minerals Far East*, no. 11, 1-31. *

———— (1921 b), Tertiary plants from Amagu River Primorskaya province, discovered by Mr. A. Kuznetsoff. *ditto,* no. 15, 1-15. *

———— (1936), Contribution to Tertiary Lower Dui flora of Sakhalin *Izvest. Akad. Nauk, USSR* (1936), 697-727. *

———— (1937), New Data of Tertiary floras from Novokievskaya and Drugikh of Ussuriland region. *Ann. Russ. Palaeont. Soc.*, **11**, 49-58.+

———— (1955), Development of phytogeographical regions in the northern hemisphere since Early Tertiary time. *Problems on geology of Asia,* vol. 2, 824-844.*

——— (1956), Oligocene flora from the Ashutas Mountain of Kazakhstan. *Inst. Bot. Komarov, Akad. Nauk USSR, Acta ser.* 8, Palaeobotanica, 1, 1-180.*

——— (1958 a), The Cretaceous flora of the Anadyrland. *ditto,* 3, 7-70. *

——— (1958 b), The fossil floras of Penjin Bay, Lake Tastakh and Rarytkin range. *ditto,* 74-121.+

——— and Borsuk, M. I. (1936), Contribution to the Miocene flora from the western Siberia. *Probl. Palaeobot.,* 5, 375-396.+

Lakhanpal, R. N. (1954), Recognizable species of Tertiary plants from Damalgiri in the Garo Hill, Assam. *Palaeobotanist,* 3, 27-31.

———, Sah, S. C. D., Sharma, K. K. and Guleria, J. S. (1983), Occurrence of *Livistona* in the Hemis conglomerate horizon of Ladakh. *In* Thakur V. C. and Sharma, K. K., ed., *Geology of Indus Suture zone of Ladakh.* 179-185.

Li Hao-min (李浩敏) (1965), 湖南衡陽盆地茶山幻早第三紀植物化石. 古生物学報, 13, 540-547.

———(1979), 我国下第三系楊梅科一些化石及其地層意義. 中国科学院編, 華南, 中·新生代紅層. 科学出版社, 北京, 234-239.

——— (1987), 江蘇南京地区晩第三紀植物. 古生物学報, 26, 563-575.

——— and Guo, S., (———·郭双興) (1976), 西蔵南木林中新世植物群. 古生物学報, 15, 1-18.

——— and ———(1982), 新生代植物. 南京地質鉱産研究所編, 華東地区古生物図冊, 3. 中·新生代分冊. 地質出版社, 北京, 280-284, 294-316.

——— and Yang Gui-ying (楊桂英) (1984), 吉林敦化秋梨溝中新世植物群. 古生物学報, 23, 204-213.

Li Hui-lin (1952), Floristic relationships between Eastern Asia and Eastern North America. *Trans. Amer. Philos. Soc., new ser.,* 42, 371-429.

Liu, Geng-wu (1988), Neogene climatic features and events of northern China. 新第三紀における生物の進化・変遷とそれに関するイベント. 大阪市立自然史博, 大阪, 21-30.

Liu Yong-an and Kong Zhao-chan (劉永安・孔昭宸) (1978), 河南呉城晩始新世的植物化石及其在植物学, 古気候学上的意義. 植物学報. 20, 50-65.

Makhulbekov, N. M. (1972), *Eocene flora of the North Kazakhstan.* Izdat. Nauka Kazakhstan, Alam-Ata, 179 p. +

——— (1977), *Paleogene floras of the western Kazakhstan and the lower reaches of the Volga River.* Izdat. Nauka Kazakhstan, Alma-Ata, 235 p.+

——— (1988), Paleogene flora of South Mongolia. *Trud. Palaeont. Inst., Akad, Nauk USSR,* 32, 1-96.+

Matsuo, H. (1967), Paleogene floras of northwestern Kyushu. part. 1. The Takashima flora. *Ann. Sci. Kanazawa Univ.* 4, 15-90.

——— (1970), *ditto.* part 2, The Sakito flora. *ditto,* 7, 13-62.

——— (1971), *ditto,* part 3, The Kishima flora. *ditto,* 8, 21-47.

松尾裕司 (1987), 神戸層群の化石を掘る. 神戸市教育研究所, 神戸, 138 p.

Miki, S. (1938), On the change of flora, Japan since the Upper Pliocene and floral composition at the present. *Jap. Jour. Bot.,* 9, 213-251.

三木 茂 (1948), 鮮新世以来の近畿並に近接地域の遺体フローラ. 鉱物と地質, no. 9, 105-144.

百原 新 (1989), 鮮新・前期更新世の大型植物化石相. 植生史研究, no. 4, 11-18.

村井貞允（1977），岩手県岩泉町小川岩手粘土鉱山産化石植物群．藤岡教授記念論文集，315-324．

Nagai, K.（1957），The Upper Eocene flora of the Kuma Group, in the Ishizuchi range, Shikoku, Japan. *Mem. Ehime Univ., sec.* 2，2，73-82.

那須孝悌（1972），第四紀の日本列島生物相．生物科学，24，1-10．

Nathorst, A. G.（1883），Contributions a la Flora fossile du Japon. *Kgl. Svensk. Vet.-Akad. Handl.*, 20，1-92.

新潟古植物グループ・新潟花粉グループ（1983），魚沼相群産出の大型植物化石と花粉化石．地球科学，no. 26，103-126．

Nikitin, P. A.（1965），*Akvintanskaya seed flora from Lagerno Garden (Tomsk).* Izdat. Tomsk Nat'l. Univ., 119 p. *

Nikitin, V. P.（1979），Neogene floras of Northeast USSR (Material of paleocarpological investigation). *In* Shilo, N, A., ed., *Continental Tertiary deposits of Northeast Asia.* Izdat. Nauka USSR, Siberian Branch, Novosibirsk, 130-149. *

Oishi, S. and Huzioka, K.（1943），On the Tertiary *Platanus* from Hokkaido and Karahuto. *Jour. Fac. Sci., Hokkaido Univ. ser.* 4，7，103-115．

Okada. H.（1992），Calcareous nannofossils and biostratigraphy of the Paleogene sequences of the northern Kyushu, Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan,* 98，509-528．

———— and Kaiho, K.（1992），Paleogene calcareous nanno-fossils from Hokkaido, Japan. *In* Ishizaki, K. and T. Saito (eds), *Centenary of Japanese Micropaleontology*. Terra Publ. Tokyo, 461-471.

岡本和夫・今村外治（1964），山口県油谷湾付近の第三系．広島大地学研報，no. 13，1-47．

Okutu, H.（1955），On the stratigraphy and paleobotany of the Cenozoic plant beds of the Sendai area. *Sci. Rep. Tohoku Univ., 2 nd ser.,* 26，1-114．

Ozaki, K.（1991），Late Miocene and Pliocene floras in central Honshu, Japan. *Bull. Kanagawa Pref. Mus., Nat. Sci., Spec. Issue,* 244 p.

尾崎正紀（1992），日本における古第三紀植物群の変遷と古気候変化．地調月報，43，69-85．

————・松浦浩久（1988），三田地域の地質．地域地質研究報告．地質調査所，93 p.

Palibin, J.（1904），Pflanzenreste von Sichota-Alin Gebirge. *Verh. Russ. Kais., Miner. Ges., ser.* 2，42，31-49.

———— (1906), Fossile Pflanzen aus den Kohlenlagern von Fuschun in der sudlichen Mandshurei. *ditto,* 44, 419-434.

———— (1915), Tertiary flora from the environs of Vladivostok. *Trav. Mus. Geol. Miner. Emp. Pierre Grand, Acad. Sci. Russ.,* 1, 43-51.

Rayushkina, G. S. (1974), Late Oligocene flora from Kalmakpaya (Zaisan basin). *Materials for the history of fauna and flora of Kazakhstan,* 6，142-151. *

———— (1979), *Oligocene flora from Mugodzhar and southern Altai.* Izdat. Nauka Kazakhstan, Alma-Ata, 123 p. *

Romanova, Z. V.（1970），A characteristic Paleocene flora from Kiin-kerish Mountain (eastern Kazakhstan). *Palaeont. Abhandl., Abt. B,* 3，657-667.+

———— (1974), Paleogene flora of Kershi (Zaisan region). *Material for the History of fauna and flora of Kazakhstan.* 6，130-138. *

斉藤常正・岡田尚武・海保邦夫，編（1984），日本の古第三系の生層序と国際対比．山形大理，山形，

137 p.
佐藤誠司 (1970), 北海道中軸部の中新統の対比. 地質雑, 76, 283-301.
———— (1984), 釧路炭田西部地域の上部古第三系海成層の花粉分析. 斉藤常正編, 日本の古第三系の生層序と国際対比. 山形大理, 山形, 55-57.
———— (1989), 常磐炭田第三系の花粉層序学的研究. 地質雑, 95(3), 171-187.
Sato, S. (1989), Palynological study of the Miocene Kawabata-Kotanbetsu-Masuporo Formations in central Hokkaido. *Jour. Fac. Sci., Hokkaido Univ., ser.* 4, 22, 387-398.
Schmalhausen, J. (1887), Ueber tertiare Pflanzen aus dem Thale des Flusses Buchtorma am Fusse des Altaigebirges. *Palaeontogr.*, 32, 182-216.
柴田 博・伊奈治行 (1983), 愛知県設楽層群の貝類および植物化石. 瑞浪市化石博専報, no. 4, 1-89.
鹿間時夫 (1938), 神戸層群と其の植物群. 地質雑, 45, 621-640.
鹿野和彦・柳沢幸夫 (1989), 阿仁合型植物群と台島型植物群の年代. 地調月報, 40, 647-653.
Sikhov, S. V. (1954), Miocene plants from the Kizak and Shish rivers of western Siberia. *Trud. Tomsk Univ., ser. Geol.*, 132, 131-154. *
嶋崎統五・徳永重元・尾上 亨 (1972), 裏日本油田地域における花粉層序学的考察. 石油技協誌, 37, 391-393.
Sinelnikova, V. N., Skiva, L. A. and Fotjanova, L. I. (1967), On the Pliocene(Enemtensky) flora of western Kamchatka. *Izvest. Nauka USSR, ser. Geol.* (1967-8), 114-124. *
Smith, A. G., Hurley, A. M. and Briden, J. C. (1981), *Phanerozoic paleocontinental world maps*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 102 p.
鈴木敬治 (1959), 東北日本における新第三系産植物化石群の時代的遷移について. 新生代の研究, no. 30, 714-737.
———— (1963), 植物化石より見た東北日本の第三系. 化石, no. 5, 63-77.
———— (1987), 会津盆地周辺の鮮新～更新統と古植生の時代的変遷. 第四紀研究, 26, 163-168.
———— (1989), 東北本州弧南部における中～下部中新統の植物化石層位について. 地質学論集, no. 32, 197-205.
鈴木敬治・那須孝悌 (1988), 日本の鮮新－更新統の植物化石による分帯. 地質学論集, no. 30, 169-180.
Song, Zhi-chen, Li Hao-min, Zheng Ya-hui and Liu Geng-wu (1981), Miocene floristic region of China. *Geol. Soc. Amer., Spec. Paper,* 187, 247-254.
Sycheva, O. A. (1977), Early Paleogene flora from Uglegorsk region of Saghaline and stratigraphic significance. *in* Ilbsv, A. Ya., ed. *Cenozoic fauna and flora of the northeastern Pacific region (South Saghaline)*. Akad. Nauk, Far-eastern Sci. Center, Vladivostok, 3-91. *
Synitsyn, V. M., ed. (1963), *History of Paleogene coal accumulation in Sakhalin territories*.Izdat. Nauka, USSR, Leningrad, 164 p. *
Sze, H. C. and Lee Homer (斯行健・李洪謨) (1954), 湖南第三紀晩期植物群. 古生物学報, 2, 189-206.
Takahashi, K. (1961), Pollen und Sporen des westjapanischen Alttertiars und Miozäns. I, II. *Mem. Fac. Sci., Kyushu Univ., ser. D,* 11, 151-255, 279-345.
———— (1963), Sporenpaläontologische Untersuchungen der Hioki-Schichtengruppe von Waku und Kiwado. *ditto,* 14, 143-157.
Takhtajan, A. (1969), *Flowering plants, origin and dispersal*. Oliver & Boyd, Edinburgh, 310 p.
————, ed. (1982), *Fossil flowering plants of the USSR*. Izdat. Nauka USSR, Leningrad, 2, 216 p. *

Tanai, T. (1961), Neogene floral changes in Japan. *J. Fac. Sci. Hokkaido Univ., ser. 4*, 11(2), 119-398.

——— (1963), Miocene floras of southwestern Hokkaido, Japan. I. Composition and interpretation. *Tetiary floras of Japan, Miocene floras*. Collab. Assoc. Comm. 80 th Anniv. Geol. Surv. Japan, 9-96.

——— (1967 a), Tertiary floral changes of Japan. *Jubil. Publ. Comm. Prof. Sasa*, 317-334.

——— (1967 b), Miocene floras and climate in East Asia. *Abh. zentr. geol. Inst. Berlin*, no. 10, 195-205.

——— (1970), The Oligocene floras from the Kushiro coal field, Hokkaido, Japan. *J. Fac. Sci., Hokkaido Univ., ser. 4*, 14(4), 383-514.

——— (1971), The Miocene Sakipenpetsu flora from Ashibetsu area, central Hokkaido, Japan. *Mem. Nat'n. Sci. Mus. Tokyo*, no. 4, 127-172.

——— (1972), Tertiary history of vegetation in Japan. *In* Graham, A., ed., *Floristics and paleofloristics of Asia and Eastern North America*. Elsevier, Amsterdam, 235-255

——— (1990), Euphorbiaceae and Icacinaceae from the Paleogene of Hokkaido, Japan. *Bull. Nat'n. Sci. Mus., ser. C*, 16, 91-118.

棚井敏雅 (1991), 北半球における第三紀の気候変動と植生変化. 地学雑, 100(6), 951-966.

———・佐藤誠司・中筋治雄 (1981), 美深－歌登地域の新第三紀後期フローラ層序. 棚井敏雅編, 北海道の新第三系の生層序. no. 1, 38-43.

Tanai, T. and Uemura, K. (1983), *Engelhardia* fruits from the Tertiary of Japan. *Jour. Fac. Sci., Hokkaido Univ., ser. 4*, 20, 249-260.

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). 国立科博専報, no. 21, 7-16.

Tanai, T. and Uemura, K. (1991), The Oligocene Noda flora from the Yuya-wan area of the western end of Honshu, Japan. Part 1, 2. *Bull. Natn. Sci. Mus. Tokyo, ser. C.*, 17, 57-80, 81-90.

Tao Jung-rong(陶君容) (1965), 陝西渭南晚始新世小植物群. 植物学報. 13, 272-278.

——— (1988), 西蔵拉孜県柳区組植物化石組合及古気候意義. 中国科学院地質研究所集刊, no. 3, 223-238.

——— (1992), 中国第三紀植被和植物区系. 植物学報, 30, 25-43.

——— and Chen Ming-hong (———・陳明洪) (1984), 横断山南部—雲南臨滄地区新生代植物群. 中国科学院編, 青蔵高原—横断山脈考察論集. 科学出版社, 北京, 74-89.

——— and Du Nai-qui (———・杜乃秋) (1982), 雲南騰沖第三紀植物群及其時代. 植物学報, 24, 273-281.

——— and ——— (1987), 芒康中新世植物及樺木科植物的分布歷史. 植物学報, 29, 639-655.

——— and Kong Zhao-chen (———・孔昭宸) (1973), 雲南泪源三笕煤系的植物化石群和胞粉組合. 植物学報, 15, 120-126.

——— and Wang Qing-zhi (———・王慶乃) (19833), 河北来源県的古油松化石. 植物分類学報, 21, 106-109.

Tiffney, B. H. (1985), Perspectives on the origin of the floristic similarity between easten Asia and North America. *Jour. Arnold Arbor.*, 66, 73-94.

Tsuchi, R., ed. (1981), *Neogene of Japan. its biostratigraphy* and chronology. IGCP-114 Nat'l

Working Group Japan, Shizuoka, 140 p.

Tsuda, K., Itoigawa, J. and Yamanoi, T. (1984), On the Middle Miocene palaeoenvironment of Japan with special reference to the ancient mangrove swamps. In Whyte, R. O., ed., *The evolution of East Asian environment*. vol. 1, Center Asian Studies, Univ. Hong Kong, 388-396.

Uemura, K. (1988), *Late Miocene floras in Northeast Honshu, Japan*. Natn. Sci. Mus., Tokyo, 174 p.

植村和彦 (1989), 環日本海地域のグリンタフ下部層の比較層序・古植物と古地理学的意味. 昭63年度科研費研究成果報告書, 国立科学博物館, 41 p.

Wang, Chi-wu (1961), The forest of China. *Maria Moor Cabot Found. Publ.* no. 5, 313 p.

王鴻禎 (Wang Hong-zhen) 編, 中国古地理図集. 地図出版社, 北京, 64 p.

Wolfe, J. A. (1975), Some Aspects of plant geography of the Northern Hemisphere during the Late Cretaceous and Tertiary. *Ann. Missouri Bot. Gard.*, 62, 264-279.

——— (1978), A paleobotanical interpretation of Tertiary climates in the Northern Hemisphere. *Amer. Sci.*, 66, 694-703.

——— (1979), Termperature parameters of the humid to mesic forests of Eastern Asia and relation to forests of the Northern Hemisphere and Australasia. *U.S. Geol. Surv. Prof. Paper,* 1106, 37 p.

——— (1985), Distribution of major vegetational types during the Tertiary. *Geophy. Monogr.*, no. 32, 357-375.

——— (1987), Late Cretaceous-Cenozoic history of deciduousness and the terminal Cretaceous event. *Paleobiology,* 13, 215-226.

——— and Tanai, T. (1987), Systematics, Phylogeny and distribution of Acer (maples) in the Cenozoic of western North America. *Jour. Fac. Sci. Hokkaido Univ., ser. 4*, 22, 1-246.

山野井 徹 (1978), 男鹿半島における新第三系の花粉層序. 地質雑, 84, 69-86.

* in Russian. + in Russian with English summary.