

## 日本における古第三紀植物群の変遷と古気候変化

尾崎 正 紀\*

OZAKI, Masanori (1992) Paleogene floral and climatic changes of Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 43 (1/2), p. 69-85, 6 fig., 2 tab.

**Abstract:** This paper discusses Paleogene climatic fluctuations in Japan based on the floral changes in time and space.

Major cooling events occurred in the middle Middle Eocene (latest Lutetian), latest Middle Eocene (late Bartonian), earliest Early Oligocene and late Late Oligocene. Major warming events took place in the late Middle Eocene (earliest Bartonian), earliest Late Eocene and latest Early Oligocene.

Climates had undergone a net cooling and meanannual temperature had fallen to about 14°C from the Middle Eocene through the Late Oligocene.

Latitudinal temperature difference between north Japan (Hokkaido area) and south Japan (Kyushu and surrounding area) was probably 6-8°C throughout Paleogene time. The difference is slightly smaller than the present one in Japan.

The Paleogene warming and cooling events in Japan are almost synchronous with those inferred from the oxygen isotopic data of benthic foraminifers in the world and the leaf-margin percentages of the floras in western North America and Alaska.

### 要 旨

浮遊性微化石年代と放射年代に基づき古第三紀植物群の時代的位置づけの再検討を行い、そこから日本の始新世中期-漸新世の古気候変化を求め、世界的な古気候変化との対応関係を考察した。44-43 Ma (始新世中期前半末)・41-39 Ma (始新世中期後半末)・37-34 Ma (始新世後期後半-漸新世前期初頭)・27-25 Ma (漸新世後期後半) 頃に寒冷化した時期が、42 Ma (始新世中期後半の初頭)・38 Ma (始新世後期初頭)・31 Ma (漸新世前期末) 頃に温暖化した時期が認められる。特に 41-39 Ma, 37-34 Ma, 27-25 Ma の寒冷化は著しい。寒暖の繰り返しがあるものの、全体としては始新世中期から漸新世後期末にかけて気候は寒冷化し、年間平均気温は約 14 度低下した。熱帯-亜熱帯気候が主体なのは 41 Ma までで、40 Ma 以降は暖温帯-温帯気候が主体となる。九州と北海道の年間平均気温の差は始新世中期-漸新世末を通じて 6-8°C 程度と推定でき、現在の気温差と同じかやや小さい。求められた古気候変化は石灰質底生有孔虫殻の  $\delta^{18}O$  の変化などから求められた世界的

\* 地質部

な古気候変化とはほぼ一致する。

### 1. はじめに

植物化石群の変遷は古地理の変化の他に、世界的な古気候変化に対応すると考えられ、その変遷から地質時代の古気候変化が幾つか推定されてきた (Dorf, 1964; Wolfe and Hopkins, 1967; Wolfe, 1971, 1978; 棚井, 1984 など)。これらは大枠において一致し、海生微化石から推定された古海水温変化ともよく対応する (Wolfe and Poore, 1982 など)。このことは、植物化石群の変遷から求められた古気候変化が、海生微化石の産出しない陸成層の地質年代の決定や広域対比に有効な指標になることを意味する。

一方、同時代の植物化石群の地域変化は古地理を考える上で重要な資料となる。例えば、棚井・植村 (1988) は台島型植物群の広葉樹葉全縁率の緯度変化から当時の東北日本や北海道の相対的な緯度関係を、また藤岡 (1972) は阿仁合型植物群から台島型植物群への変遷の原因を日本海の生成による古地理の変化に求めている。

Keywords: Japan, Paleogene, fossil flora, floral change, climatic change, paleoclimatology

第三紀の植物化石群の変遷と古気候変化の研究は、日本では Tanai and Huzioka (1967) や松尾 (1975) などによって行われてきた。しかし、当時の各植物群の時代的位置づけは、主として貝類化石群を中心とした時代論や対比に基づいていたため、その後の浮遊性微化石年代や放射年代とは一致しない点も多い。

第三紀植物群のうち、新第三紀植物群については、Tanai (1961) の植物化石層序区分<sup>1)</sup>がほぼ踏襲されつつ、新たな年代資料によって年代論を中心に修正が行われてきた(山野井, 1978; 木村, 1986; 鈴木, 1989; 鹿野・柳沢, 1989 など)。しかし、古第三紀植物群についていえば、新第三紀植物群に比べ研究が遅れており、植村・棚井 (1981), 棚井 (1986), Tanai (1990) で北海道の古第三紀植物群の年代論が一部修正されたにすぎない。また、放射年代や海生微化石年代から古第三紀に位置づけられる植物化石群の中にかつて中新世の台島型植物群に対比されていた植物化石群が存在したり、これまで漸新世前期と考えられてきた植物化石群の多くが始新世に位置づけられることなど、これまでの修正では十分とはいえなかった。

小論では、従来の植物化石層序や植物化石群の対比に基づく年代論にとらわれず、浮遊性微化石年代と放射年代に基づき日本における古第三紀植物群の時代的位置づけの再検討を試みた。そして、そこから求められる古気候変化を汎世界的な古気候変化と比較検討した。

なお、植物化石群の地質年代は、100 万分の 1 日本地質図第 3 版作成のために既存の年代資料をまとめた「新生代年代層序に関する基礎資料」(鹿野ほか編, 1991) の対比試案と、その後、新たに報告された年代資料に基づき推定した。

## 2. 葉化石群の時空分布と古気候

以下、古第三紀の葉化石群について、時代別にその概要を述べる。化石群の分布を第 1 図に、産出層、地質年代、推定される古気候及び文献を第 1 表に示す。なお、葉化石群から推定できる古気候は低地を基準とする。

葉化石群による古気候の推定は既存の研究報告に従ったが、気候区分は研究者によってその定義が異なるため、

1) 中新世植物群は下位より相浦型(中新世最前期)、阿仁合型(前期中新世)、台島型(中期中新世)、三徳型(後期中新世)植物群に分けられていた(Tanai, 1961)。その後、台島型植物群の産出下限は中新世前期の後半(木村, 1986; 鈴木, 1989 など)、22 Ma 頃(鹿野・柳沢, 1989)と異なる考えが出された。また、阿仁合型植物群は東北日本では漸新世後期まで及ぶ(木村, 1986; 鹿野・柳沢, 1989 など)など、放射年代や微化石層序の資料によって従来とは異なる時代論が展開されつつある。相浦型植物群に関しては、Tanai (1961) 以降研究成果はない。

日本で一般的に使用されている熱帯、亜熱帯、暖温帯、温帯、冷温帯、冷涼温帯(亜寒帯)の名称を使用し統一した。なお、これらの区分は、Wolfe (1979) の現在東アジアに分布する中湿-多湿林の調査の結果求められた年間平均気温と植生区分との関係に対応させた<sup>2)</sup>(第 2 図)。

以下の説明では、Harland *et al* (1990) の地質年代尺度を用い、地質時代区分は以下の記号で示す<sup>3)</sup>。

P: 暁新世 (Danian-Thanelian) (65.0-56.5 Ma)

E1: 始新世前期 (Ypresian) (56.5-50.0 Ma)

(これまで植物化石群の産出の報告はない)

E2a: 始新世中期前半 (Lutetian) (50.0-42.1 Ma)

E2b: 始新世中期後半 (Bartonian) (42.1-38.6 Ma)

E3: 始新世後期 (Priabonian) (38.6-35.4 Ma)

O1: 漸新世前期 (Rupelian) (35.4-29.3 Ma)

O2: 漸新世後期 (Chattian) (29.3-23.3 Ma)

### 2.1 暁新世 (P)

大洗植物群: 産出層である大洗層に時代を示す資料がなく、また、近接する上部白亜系那珂珂濁層群との層序関係も不明であるため、大洗植物群の地質年代は明らかでない。葉化石群(松尾, 1964)や花粉化石群(徳永ほか, 1972)は何れも白亜紀型のもの数が少なく、多くは古第三紀型に属するものから構成されていることから、本論では P に位置づける。暖温帯-温帯性の植物化石群からなる。

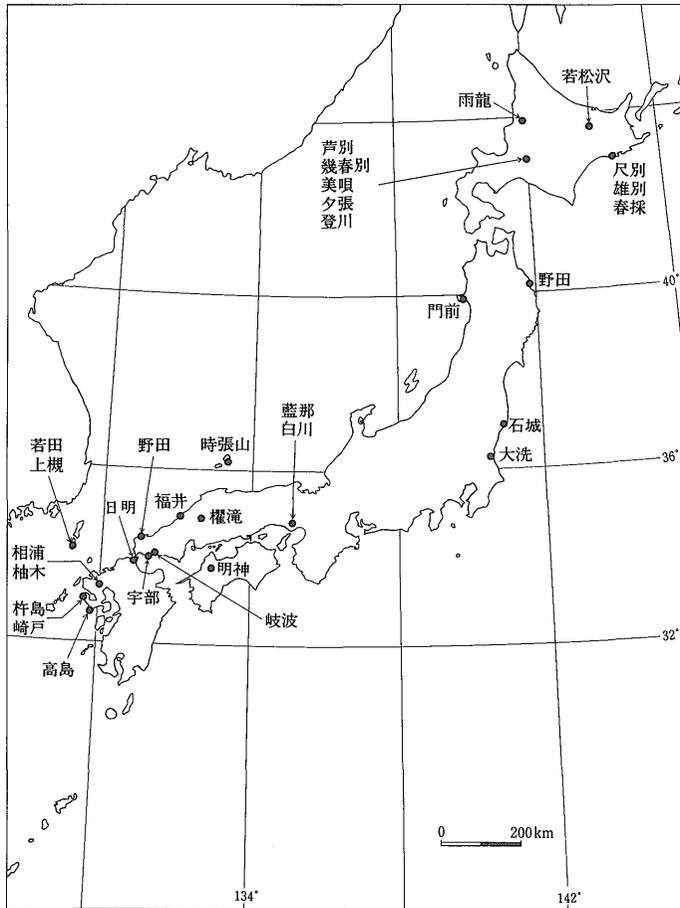
野田植物群: 久慈の野田植物群は暖温帯を示し、後述の幾春別植物群や春採植物群に対比されている(佐々, 1932; 島津・寺岡, 1962; 棚井, 1986)。しかし、港層からは 58.5, 62.0 Ma のフィッシュン・トラック年代(以降, FT 年代と略記)(木村, 1988)が得られており、上記の対比とは明らかに矛盾する。ここでは、放射年代から P に位置づけるが、産出する属種から考えるとこの地質年代の位置づけには問題が残る。

### 2.2 始新世中期前半 (E2a)

高島植物群: シュロや常緑広葉樹からなり亜熱帯気候を示す(Matsuo, 1967)。貝化石群によって高島層群

2) 年間平均気温による森林区分は更に冬や夏の平均気温や年格差から細分され、中新世植物群では全緑率とともにそれらの詳細な森林区分との対応関係が求められ古気候が推定されている(棚井, 1989 など)。しかし、古第三紀植物群は産出する化石種数が少ないものが多く、全緑率によって年間平均気温を求めたり、化石群の内容から詳細な森林区分との対応関係を求めることはできない。

3) 微化石年代は尺度が変化しても地質年代区分での位置づけは変化しないが、放射年代は影響を大きく受ける。例えば、Berggren *et al.* (1985) と比較すると、Harland *et al.* (1990) は、始新世で 1.2-2.0 Ma、漸新世で 1.2-0.4 Ma ほど、地質区分の年代が若くなる。そのため、放射年代のみによってその地質年代が決められている植物化石群については、従来の位置づけとは若干異なるものがある。



第1図 主な古第三紀葉化石群の分布

Fig. 1 Map showing distribution of main Paleogene leaf floras in Japan.

に対比されている下島層群の微化石層序 (田代ほか, 1980; 安田, 1984) から, 高島植物群は E2a 後半に位置づけられる。

**登川 (のぼりかわ)・夕張植物群:** 石狩層群の登川層, 夕張層に産する植物群 (遠藤, 1931; 藤岡・小林, 1961) は, 夕張層の FT 年代  $44.1 \pm 3.1$  Ma (棚井, 1986) から, E2a 後半に位置づけられる。登川植物群は常緑と落葉広葉樹で特徴づけられ, 夕張植物群は登川植物群より常緑広葉樹が少なく落葉広葉樹主体となり, それぞれ亜熱帯-暖温帯と暖温帯気候を示す (棚井, 1986)。

### 2.3 始新世中期後半 (E2b)

**宇部植物群:** 低地性の熱帯-亜熱帯性の常緑広葉樹を主体とする。葉化石群からは明神植物群や高島植物群

(高橋, 1959; Huzioka and Takahashi, 1970; 藤岡・高橋, 1971) に, 花粉化石群からは後述の直方花粉群 (Takahashi, 1961) に対比される。宇部層群に産する *Amyrnodon watanabei* から宇部層群の地質年代は始新世後期とされてきた (Takai, 1950) が, 後述のように *Amyrnodon watanabei* を産する雨龍層群大刀別 (たちべつ) 層 (Takai, 1950) は石狩層群との対比から E2b 後半に, 崎戸層 (高井, 1962) は E3 後半に位置づけられ, *Amyrnodon watanabei* の産出層準は必ずしも限定された時代を示さない。同様に, 後述の直方花粉群が産出するとされている地層もやはり E2a-E3 に位置づけられ明確な時代を示さない。しかし, 崎戸植物群とは著しく組成が異なることから, 本論ではとりあ

森林気候区	熱帯 Tropical	準熱帯 Paratropical	亜熱帯 Subtropical	温帯 Temperate	準温帯 Paratemperate	亜温帯 Subtemperate
北半球の理想化された森林区分(東アジアを基本とする)	熱帯雨林 Tropical Rain Forest	準熱帯雨林 Paratropical Rain Forest	常緑広葉樹林 Notophyllous Broad-leaved Evergreen Forest など	常緑落葉混交林 Mixed Mesophytic Forest など	落葉広葉樹林 Mixed Northern Hardwood Forest など	針葉樹林 Simple Broad-leaved Deciduous Forest など
年間平均気温	25	20	13	10	3	(°C)
全縁率	80	60	40	25	10	(%)
一般的な気候区分の名称	熱帯	亜熱帯	暖温帯	温帯	冷温帯	冷涼温帯(亜寒帯)

第2図 東アジアに分布する現世の森林気候区分(Wolfe, 1979)(上段)と本論で使用する気候区分(下段)との関係  
全縁率はおおよその値を示す。

Fig. 2 Relationship between classification of forestes of Eastern Asia (Wolfe, 1979) and climatic division of this paper.

えず宇部植物群を E2a-E2b に位置づける。

**明神(みょうじん)植物群**: 久万層群下部の二名層に始新世中期-後期の大型有孔虫化石が産出するが、久万層群上部の本植物群を産する明神層はほかに年代を示す資料はない(Nagai, 1957; 永井, 1972)。本植物化石群は、前述のように宇部植物群に対比されることから、本論では E2a-E2b に位置づける。

**美唄(びばい)・雨龍(うりゅう)植物群**: 石狩層群中部の美唄層や雨龍層群雨龍層に産する植物化石群は保存不良で未同定のものが多いが、Sabalites が多産することから古気候は亜熱帯-暖温帯が推定されている(棚井, 1986など)。美唄層直下の若鍋層から 41.6±3.5 Ma の FT 年代が得られている(棚井, 1986)ことから、これらの植物群は E2b 前半に位置づけられる。

**幾春別(いくしゅんべつ)・芦別(あしべつ)植物群**: 微化石層序から石狩層群上位の幌内層が E3 に位置づけられる(岡田, 1981; Kaiho, 1984)ことと前述の若鍋層の FT 年代から、石狩層群上部に産する幾春別・芦別植物群は E2b の後半に位置づけられる。幾春別植物群は主に落葉性広葉樹(Endo, 1968)、芦別植物群は主に温帯性落葉広葉樹と針葉樹からなり暖温林やシダ類を伴う(棚井, 1986)。幾春別植物群から芦別植物群へ、暖温帯から温帯へと寒冷化する。

#### 2.4 始新世後期(E3)

**崎戸(さきど)・杵島(きしま)植物群**: 九州では温帯性落葉広葉樹に一部亜熱帯性常緑広葉樹を含む崎戸植物群(Matsuo, 1970)や杵島植物群(Matsuo, 1971a)が産出する。これら植物化石群はこれまで九州の漸

第1表 古第三紀の葉化石群の地質年代と推定される古気候

(地質年代) P: 暁新世(Danian-Thanelian) (65-56.5 Ma), E2a: 始新世中期前半(Lutetian) (50-42.1 Ma), E2b: 始新世中期後半(Bartonian) (42.1-38.6 Ma), E3: (Priabonian) (38.6-35.4 Ma), O1: 漸新世前期(Rupelian) (35.4-29.3 Ma), O2: 漸新世後期(Chattian) (29.3-23.3 Ma)。地質年代の尺度は, Harland *et al.* (1990) による。地質年代で、△は浮遊性微化石年代と放射年代によって地質年代が推定されている地層との層序関係によって地質年代が推定される植物化石群及び浮遊性微化石年代と放射年代の年代資料はあるもののそれらの年代に疑問がある植物化石群を示す。×は植物化石群のみによって地質年代が推定されるもの。  
〔年代資料〕 F: フィッシュントラック年代, K: K-Ar 年代, Mo: 貝化石群, L: 葉植物化石, P: 花粉化石, Ma: 哺乳類化石, Pf: 浮遊性有孔虫化石, Bf: 底生有孔虫化石, C: 石灰質ナノ化石, D: 珪藻化石, S: 珪質鞭毛藻化石。

Table 1 Inferred geological ages and paleoclimate of Paleogene leaf floras in Japan.

葉化石群名及び産出層	古気候	地質年代	年代資料	従来の中新世植物群との対比
<p>暁新世(P) 大洗(松尾,1964)(大洗層:千葉県) 野田(佐々,1932など)(野田層群港層:岩手県)</p>	<p>暖温帯~温帯 暖温帯</p>	<p>P× P△</p>	<p>L(松尾,1964)P(徳永ほか,1972) F(木村,1988)</p>	
<p>始新世中期前半(E2a) 高島(Matsuo,1967)(高島層群端島層:長崎県) 登川(棚井,1986など)(石狩層群登川層:北海道) 夕張(棚井,1986など)(石狩層群夕張層:北海道)</p>	<p>亜熱帯 亜熱帯~暖温帯 暖温帯</p>	<p>E2a後半△ E2a後半 E2a後半</p>	<p>Mo(水野,1963) F(棚井,1986) F(棚井,1986)</p>	
<p>始新世中期後半(E2b) 宇部(Huzioka・Takahashi,1970)(宇部層群沖の山層:山口県) 明神(Nagai,1957など)(久万層群明神層:愛媛県) 美唄(棚井,1986など)(石狩層群美唄層:北海道) 雨龍(棚井,1986など)(雨龍層群雨龍層:北海道) 幾春別(Endo,1968)(石狩層群幾春別層:北海道) 戸別(棚井,1986など)(石狩層群戸別層:北海道)</p>	<p>熱帯~亜熱帯 熱帯~亜熱帯 亜熱帯~暖温帯 亜熱帯~暖温帯 暖温帯 温帯~暖温帯</p>	<p>E2a~E2b× E2b~E2b× E2b前半 E2b前半△ E2b後半 E2b後半</p>	<p>P(Takahashi,1961) L(Huzioka and Takahashi,1970など) L・Pf(Nagai,1957;永井,1972) F(棚井,1986) F(棚井,1986) F(棚井,1986) F(棚井,1986)</p>	
<p>始新世後期(E3) 崎戸(Matsuo,1970)(松島層群崎戸層:長崎県) 杵島(Matsuo,1971a)(相知層群芳ノ谷層:長崎県) 樺滝(松尾,1975)(作木火山岩類:広島県) 福井(Imamura,1957)(国府層群:島根県) 白川(鹿岡,1938;堀,1976など)(神戸層群白川層:兵庫県) 春採(Tanai,1970)(浦幌層群春採層:北海道) 雄別(Tanai,1970)(浦幌層群雄別層:北海道) 尺別(Tanai,1970)(浦幌層群尺別層:北海道)</p>	<p>暖温帯~亜熱帯 暖温帯 温帯~暖温帯 暖温帯 暖温帯~亜熱帯 暖温帯 温帯 温帯</p>	<p>E3後半 E3後半 E3前半△ E3 E3末 E3前半 E3後半 E3後半</p>	<p>C(岡田,1990) F(宮地・酒井,1990) F(木村・辻,1989;宮地・酒井,1990) C(岡田,1990) K(松浦,1989) K(今岡ほか,1990) F・K(尾崎・松浦,1988) Bf(Kaiho,1984) Bf(Kaiho,1984) Bf(Kaiho,1984)</p>	<p>台島型(Imamura,1957) 台島型(Tanai,1961;堀,1976)</p>
<p>漸新世前期(01) 上槻(Matsuo,1971b)(対州層群下部中位:長崎県) 相浦(棚井・尾上,1956)(相浦層群:長崎県) 日明(斎藤,1957)(大辻層群遠賀層:福岡県) 岐波(松尾,1984)(岐波層:山口県) 藍那(堀,1976など)(神戸層群藍那層:兵庫県) 石城(遠藤,1950)(白水層群石城層:福島・茨城県) 若松沢(棚井・福沢,1981)(栄森層(若松沢層):北海道)</p>	<p>暖温帯 暖温帯~温帯 温帯 暖温帯 温帯 暖温帯 温帯~(暖温帯)</p>	<p>01△ 01末 01中頃△ 01末 01前半 01初頭 01末</p>	<p>F(高橋・林,1985・1987) F(木村・辻,1989;宮地・酒井,1990) C(岡田,1990) P(高橋,1962) F(尾崎・濱崎,1991) F(木村・辻,1990) F(松尾,1987) F・K(尾崎・松浦,1988) Ma(Tomida,1986) D・S(柳沢・鈴木,1987;柳沢ほか,1989) K(柴田・棚井,1982) F(木村・辻,1990)</p>	<p>阿仁合型(斎藤,1957) 三徳型(Tanai,1961;堀,1976) 台島型(鈴木ほか,1974)</p>
<p>漸新世後期(02) 若田(Matsuo,1971b)(対州層群下部中上位:長崎県) 野田(Tanai and Uemura,1991)(白置層群黄波戸層:山口県) 柚木(棚井・尾上,1956)(佐世保層群柚木層:長崎県) 時張山(梅原,1983)(時張山層:島根県) 門前(藤岡,1959)(門前層:秋田県)</p>	<p>暖温帯 暖温帯 温帯 温帯 温帯~冷温帯</p>	<p>02中頃△ 02初頭 02後半 02後半 02後半</p>	<p>F(高橋・林,1985・1987) F(村上ほか,1987;木村・辻,1990) L(Tanai and Uemura,1983) F(木村・辻,1989) Pf・C(Sakai et al.,1990) F(鹿野・中野,1985) F(鈴木,1980;雁沢,1987)</p>	<p>阿仁合型(棚井・尾上,1956) 阿仁合型(梅原,1983) 阿仁合型(藤岡,1959)</p>

新世前期を代表する植物群とされていた(棚井, 1986など)が, 産出層及びその上下の地層の FT 年代(木村・辻, 1989; 宮地・酒井, 1990)と石灰質ナノ化石(岡田, 1990)から, 両植物化石群は E3 後半に位置づけられる。崎戸植物群は暖温帯-亜熱帯を, 杵島植物群は暖温帯を示す。

**榎滝(すりたき)植物群:** 中国地方に分布する作木火山岩類に産する榎滝植物群は, 温帯性落葉樹が多く(全縁率は 30-40%), その当時始新世-漸新世と考えられていた植物群とは異なることから暁新世と位置付けられた(松尾, 1975)。その後, 54 Ma の FT 年代(Matsuda, 1982)と  $38.3 \pm 1.9$  Ma の K-Ar 年代(松浦, 1989)の時代の大きく異なる放射年代が得られている。本論ではとりあえず後者の年代に従い E3 末に位置づけるが, 本植物群の時代については問題が残る。

**福井植物群:** 国府火山岩類から産出する福井植物群は台島型植物群に対比されていた(Imamura, 1957; 高橋, 1959)が, K-Ar 年代は E2b-O1 が得られている(今岡ほか, 1990)。本論では, E3 に位置づける。

**白川植物群:** 神戸層群の植物化石群の下部(白川植物群)は台島型植物群, 上部(藍那植物群)は三徳型植物群に対比されていた(鹿間, 1938; 堀, 1976)が, K-Ar 年代と FT 年代からはそれぞれ E3 末と O1 前半に位置づけられる(松尾, 1987; 尾崎・松浦, 1988)。白川植物群は常緑広葉樹と落葉広葉樹からなるのに対して, 藍那植物群は落葉広葉樹が卓越し, 下部と上部との間で暖温帯-亜熱帯から温帯気候へと寒冷化が認められる(堀, 1976; 小島, 1983)。

**春採(はるとり)・雄別(ゆうべつ)・尺別(しゃくべつ)植物群:** 北海道東部の浦幌層群の植物化石群は, 組成が類似するため石狩層群上部の植物化石群と対比されていた(棚井, 1986)が, 夾炭層上位の海生微化石層序(海保, 1983; Kaiho, 1984)と FT 年代(38.0 Ma)(木村・辻, 1990)から春採植物群はほぼ E3 前半に, 他は E3 後半に位置づけられる。温帯性落葉広葉樹に常緑広葉樹を伴う春採植物群から, 温帯性落葉広葉樹に針葉樹を伴い常緑広葉樹は極めて少ない雄別・尺別植物群へ, 暖温帯から温帯気候へと寒冷化が認められる(Tanai, 1970)。

## 2.5 漸新世前期(O1)

**上槻(こつき)植物群:** 対州層群の植物化石群は, 下位から上槻, 若田(わかた), 美津島, 檜植物群が知られている(Matsuo, 1971 b)。上槻植物群は通産省(1972・1973・1974)による層序区分の下部の中位, 若田植物群は下部の中・上位, 美津島と檜植物群は中部の

中位の層準に位置する。全体として温帯的要素が強いが上槻, 若田植物群は亜熱帯要素も含む暖温帯の属種で特徴づけられ, 下位から上位へ暖温帯から温帯へと寒冷化が認められる。

対州層群上部の最下部から E3-O1 前半の生存期間を持つ *Globigerina ampliatura* Bolli の産出が報告され, 対州層群の地質年代は始新世後期-漸新世前期と推定された(Sakai *et al.*, 1990)。しかし, この微化石は 1 試料で保存も悪いことから誘導化石の可能性はある。また, 対州層群下部の層準も含め対州層群全体には, O1 後半-中新世前期の西彼杵貝化石群(芦屋動物群)や門ノ沢貝化石群に対比される化石群のみが産出し(Masuda, 1970; 高橋・西田, 1974; 佐藤, 1988など), 九州北部の E2a-O1 前半の貝化石群に対比できるものは発見されていない。更に, 対州層群の中部と下部の境界付近に多く挟まれるデイサイト火山礫凝灰岩及び凝灰岩と, その産状から堆積時の活動によってもたらされたものと考えられるデイサイト(いわゆる斜長岩)(山田・佐藤, 1989)の FT 年代(高橋・林, 1985, 1987)は中新世前期の前半の値を示す。以上のことから, 本論ではとりあえず対州層群を漸新世-中新世前期の地層と考え, 層準から上槻植物群を O1, 若田植物群を O2 中頃に位置づける。

**相浦植物群:** 温帯性落葉広葉樹を主体とし針葉樹を伴い一部始新世植物群に含まれる種をレリックとして含む相浦植物群(棚井・尾上, 1956; Tanai, 1961)は, かつて阿仁合型植物群より下位に位置する中新世初頭の植物化石群と考えられていた。しかし, FT 年代(木村・辻, 1989; 宮地・酒井, 1990)と微化石層序(岡田, 1990)から O1 末に位置づけられる。暖温帯-温帯気候を示す。

**日明(ひあがり)植物群:** 北九州市の小倉炭田に産出する日明植物群は, 産出化石種数は少ないが何れも温帯性植物の葉化石からなり阿仁合型植物群に対比されていた(斎藤, 1957)。岩相からは大辻層群出山層上部(Tomita, 1970; 富田, 1974)に対比されているが, 日明植物群産出の下位の地層は遠賀花粉群に対比されることから, 日明植物群の層準はほぼ芦屋層群最下部ないし遠賀層上部に相当し(高橋, 1962), 芦屋層群と遠賀層の地質年代(斎藤・岡田, 1984; Tsuchi *et al.* 1987; 村上ほか, 1989; 尾崎・濱崎, 1991)から間接的に日明植物群は O1 中頃に位置づけられる。

**岐波(きわ)植物群(仮称):** 宇部市常盤池北東の宇部層群下部の厚東川礫岩層に対比されていた宇部市常盤池東北に分布する岐波層の凝灰岩は, 漸新世前期末を示

第2表 古第三紀の花粉化石群の地質年代と推定される古気候

九州及び周辺地域以外で産出する花粉化石群の名称は産出層の名称で代表させている。地質年代尺度と年代資料の凡例は、第1表と同じ。

Table 2 Inferred geological ages and paleoclimate of Paleogene pollen floras in Japan.

花粉化石群名	古気候	地質年代	年代資料
九州および周辺地域			
有明花粉化石群(Takahashi, 1962・1963; 高橋, 1962)	亜熱帯	E2a	
直方花粉化石群(Takahashi, 1962・1963; 高橋, 1962)	亜熱帯	E2a末~E2b	C(岡田, 1990) F(尾崎・濱崎, 1991)
唐津花粉化石群(Takahashi, 1962・1963; 高橋, 1962)	亜熱帯	E3	C(岡田, 1990) F(木村・辻, 1989)
遠賀花粉化石群(Takahashi, 1962・1963; 高橋, 1962)	亜熱帯	O1前半	F(木村・辻, 1988; 宮地・酒井, 1990; 尾崎・濱崎, 1991)
佐世保花粉化石群(Takahashi, 1962・1963; 高橋, 1962)	暖温帯~温帯	O1後半~O2	C(岡田, 1990) F(木村・辻, 1989; 村上ほか, 1989) Pf・C(斎藤・岡田, 1984; Tsuchi et al., 1987)
常盤地域			
白水層群石城層(佐藤, 1989)	暖温帯	O1初頭	Ma(Tomida, 1986) D・S(柳沢・鈴木, 1987; 柳沢ほか, 1989)
白水層群浅貝・白坂層(佐藤, 1989)	温帯~冷温帯	O1中頃	Ma(Tomida, 1986) D・S(柳沢・鈴木, 1987; 柳沢ほか, 1989)
北海道西部地域			
石狩層群中・下部(徳永, 1958)	暖温帯	E2a後半	F(棚井, 1986)
石狩層群上部(徳永, 1958)	温帯	E2b	F(棚井, 1986)
幌内層中・下部(岡崎, 1962; 佐藤, 1970・1981)	温帯	E3	Pf(海保, 1983; Kaiho, 1984) C(岡田, 1981)
幌内層上部(岡崎, 1962; 佐藤, 1970・1981)	冷温帯	E3末	Pf(海保, 1983; Kaiho, 1984) C(岡田, 1981)
紅葉山層(岡崎, 1962; 佐藤, 1970・1981)	冷温帯	O1	Bf(Kaiho, 1984)
下知念層(佐藤, 1976)	暖温帯	E2b末	
達布層(佐藤, 1976)	温帯	E3	
北海道東部地域			
茶路層(岡崎, 1962; 佐藤, 1970・1981)	温帯→冷温帯	O1初頭	K(柴田・棚井, 1982)
縫別層(岡崎, 1962; 佐藤, 1970・1981)	冷温帯	O1後半	K(柴田・棚井, 1982)
上茶路層(佐藤, 1984)	温帯	O1末	Pf(田中ほか, 1984)
若松沢層(佐藤, 1984)	温帯	O1末	K(柴田・棚井, 1982) F(木村・辻, 1990)
達姫層(佐藤, 1976)	冷温帯	O2	F・K(松井・雁沢, 1987)
袋池層(佐藤, 1976)	冷温帯	O2	

す 30.4 Ma (木村・辻, 1990) と 30.3±1.7 Ma (著者の未公表資料による) の FT 年代が得られている。詳細は未報告であるが、宇部植物群とは明かに異なる広葉樹にメタセコイアなどの針葉樹を含む植物化石が産出し(松尾, 1984; 河田ほか, 1987), 暖温帯気候を示す。

藍那植物群: 白川植物群を参照。

石城(いわき)植物群: 白水層群石城層の植物化石群は、温帯性落葉広葉樹に常緑広葉樹を伴い、暖温帯気候を示す(遠藤, 1950)。花粉化石群からは E2b の石狩層群上部に対比されていた(佐藤, 1989)が、始新世の可能性はあるものの石城層直上の地層の浮遊性微化石などから石城植物群は O1 初頭に位置づけられている(Tomida, 1986; 柳沢・鈴木, 1987; 柳沢ほか, 1989)。

若松沢植物群: 北海道東部では O1 末(柴田・棚井, 1982; 木村・辻, 1990)に、古第三紀要素を含む中新世型の温帯性落葉広葉樹と針葉樹の混合林からなる若松沢植物群(棚井・福沢, 1981; 植村・棚井, 1981)が産出する。温帯-暖温帯)気候を示し、かつて北方型台島型植物群に対比されていた(鈴木ほか, 1974)。

## 2.6 漸新世後期 (O2)

若田植物群: 前述の上槻植物群を参照。

野田植物群: 温帯性落葉広葉樹を主体とし始新世要素を含む野田植物群(今村ほか, 1958; 高橋, 1959; Tanai and Uemura, 1983, 1991)は暖温帯気候を示し、FT 年代(村上ほか, 1989; 木村・辻, 1990)から O2 に位置づけられる<sup>4)</sup>。

柚木(ゆのき)・時張山(ときばりやま)・門前植物群: 柚木(棚井・尾上, 1956), 時張山(梅原, 1983), 門前植物群(藤岡, 1959)は阿仁合型植物群に対比されているが、何れも FT 年代などから漸新世後期の後半に位置づけられる(第1表)。山地植生の温帯性落葉広葉樹林を主体とし、日本の南部では温帯-暖温帯、北部では温帯-冷温帯の古気候を示す。各地の放射年代資料から阿仁合型植物群の下限は不確かであるが約 26 Ma と

4) 日置層群入丸層に産する大坊植物群(岡本・今村, 1964; Huzioka, 1974)は、入丸層が日置層群に含まれると考えられていた(岡本・今村, 1964)ため、漸新世と考えられていた。しかし、放射年代は中新世前期末を示す(木村・辻, 1990)こと、従来から日置層群峠山層との層序関係が明確ではないことから、本論では古第三紀植物群として扱わない。

推測されている(鹿野・柳沢, 1989)

### 3. 花粉化石群の時空分布と古気候

以下、地域別に古第三紀花粉群の概要を述べる。花粉化石群が報告されている地層の分布を第3図に、地質年代、古気候を第2表に示す。なお、花粉化石群による古気候の推定は、第三紀においても葉化石群とよく一致することが報告されている(徳永, 1957; 佐藤, 1962など)が、花粉化石群はその集積過程が葉化石群と異なるため、葉化石群に比べ寒冷になる傾向がある(徳永ほか, 1977など)。

#### 3.1 九州及びその周辺地域

北部九州及び周辺地域に分布する始新統-中新統の花粉化石群は、下位から有明、直方、唐津、遠賀、佐世保

花粉群に区分され(Takahashi, 1961, 1963 a, b), それぞれ同地域の高島、沖ノ島、船津、間瀬、西彼杵、佐世保貝化石群集(水野, 1962, 1963; Mizuno, 1964)に対比されていた。しかし、これらの対比は放射年代や海生微化石層序と必ずしも整合的でない。

有明花粉群は、後述の直方花粉群の地質年代からその地質年代は E2a 末以前と考えられる。直方花粉群を産する直方層群は  $44.2 \pm 3.4$  Ma の FT 年代が得られている(尾崎・濱崎, 1991)が、一方で直方花粉群に対比されている万田層群の地質年代は石灰質ナノ化石から E3 に位置づけられる(岡田, 1990)。しかし、唐津花粉群に対比されている松島層群や相知層群が石灰質ナノ化石や放射年代(木村・辻, 1989; 岡田, 1990)から E3 に位置づけられることから、本論では直方花粉群を



第3図 主な古第三紀花粉群の分布

九州北部及び周辺地域以外で産出する花粉化石群については固有の名称が与えられていないので産出層の名称で表す。

Fig. 3 Map showing distribution of main Paleogene pollen floras in Japan.

E2a末-E2b に、唐津花粉群を E3 に位置づける。遠賀花粉群は遠賀層や杵島層群中上部の放射年代 (木村・辻, 1989; 村上ほか, 1989; 宮地・酒井, 1990; 尾崎・濱崎, 1991) や浮遊性微化石年代 (斎藤・岡田, 1984; Tsuchi et al., 1987; 岡田, 1990) から O1 前半に、佐世保花粉群は芦屋層群や佐世保層群の地質年代 (木村・辻, 1989, 1990; 岡田, 1990; 宮地・酒井, 1990) から O1 後半-中新世前期に位置づけることができる。

有明・直方・唐津・遠賀の各花粉化石群は、亜熱帯-暖温帯性植物の花粉化石群で特徴づけられる。その中で唐津花粉群は、やや落葉広葉樹の増加が認められ気温低下を示す。一方、佐世保花粉群は温帯-暖温帯性の花粉化石群で特徴づけられ、遠賀花粉群と佐世保花粉群との間に著しい気温低下が推定されている。

### 3.2 常磐地域

前述のように O1 前半に位置づけられる白水層群は、下部の石城層が暖温帯、中・上部の浅貝・白坂層が温帯-冷温帯性の花粉組成を示す (佐藤, 1989)。

### 3.3 北海道西部地域

E2a後半-E2b の石狩層群の中・下部は暖温帯性、上

部は温帯性の花粉化石群で特徴づけられる (徳永, 1958)。

E2b末-E3初頭の下知念層は暖温帯性の花粉化石群で特徴づけられ (佐藤, 1976)、一時的に温暖化した可能性がある。

E3 の幌内層中下部と達布層の花粉化石群は温帯性花粉群、O1 の幌内層上部と紅葉山層群は温帯性で特徴づけられ (岡崎, 1962; 佐藤, 1970, 1981)、E3 から O1 にかけて著しく寒冷化する。

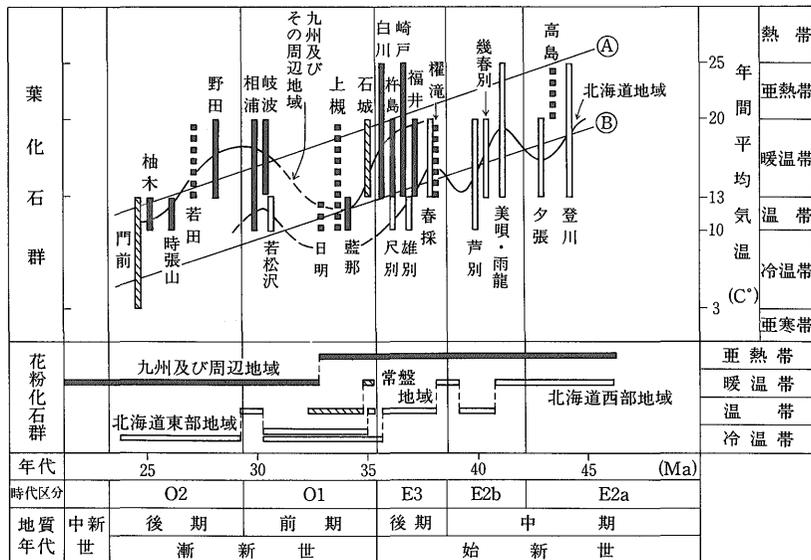
### 3.4 北海道東部地域

O1 の茶路から縫別層への花粉化石群は、温帯から冷温帯への寒冷化が求められている (岡崎, 1962; 佐藤, 1970, 1981) が、O1 末には上茶路層や若松沢層で温帯性花粉化石群が産出し (佐藤, 1984)、一時的に温暖化する。しかし、O2 の達娯層、袋池層の花粉化石群は冷温性を示し (佐藤, 1976)、再び寒冷化する。

## 4. 古第三紀植物群の変遷と古気候変化

以上の植物化石群の時代的位置づけから、古第三紀の古気候は以下のように推定できる (第4図)。

暁新世-始新世前期: 植物化石群の資料に乏しく詳細



第4図 日本古第三紀植物化石群から求められる古気候変化

地質年代の尺度は第1表と同じ。P-E 1 は省略。黒の太実線は九州及びその周辺地域、二重実線は北海道地域、二重実線の上に斜線を引いたものは東北地方に産出する植物化石群を示す。太虚線は、九州及びその周辺地域に産出する植物化石群の中で、浮遊性微化石年代と放射年代によって地質年代が推定されている地層との層序関係によって地質年代が推定される植物化石群と浮遊性微化石年代と放射年代の年代資料はあるもののそれらの年代に疑問があるものを示す。ライン A と B は、九州及びその周辺地域と北海道地域における、始新世中期から漸新世後期末までの年間平均気温の変化の平均を示す (ライン A は、本図には示されていないが、E2 a-E2 b に位置づけられ熱帯-亜熱帯の古気候を示す宇部植物群と明神植物群を考慮して引いている)。

Fig. 4 Inferred paleogene climatic changes based on floras in Japan.

は分からないが、E2a, E2b より気温は低く暖温帯-温帯気候を示す植物化石群が認められる。

**始新世中期前半 (E2a):** E2a 前半に産出する植物化石群の報告はない。後半は、北海道地域では登川植物群から夕張植物群への変遷から亜熱帯から暖温帯気候へとE2a後半末に向かって弱い寒冷化が認められる。九州では、亜熱帯気候を示す高島植物群が E2a 後半に位置づけられる可能性が高い。

**始新世中期後半 (E2b):** E2b前半は北海道地域では亜熱帯気候を示し E2a末に比べ弱い温暖化が認められるが、E2b後半に入ると暖温帯から温帯気候へ変化し寒冷化する。宇部植物群と明神植物群の時代的な位置づけは明確ではないが、これらの植物化石群は古第三紀を通じて九州及びその周辺地域で最も温暖な気候が推定される植物化石群であることから、E2b 前半前後の時代に位置づけられる可能性が高い。

**始新世後期 (E3):** 九州及び周辺地域では暖温帯-亜熱帯気候を示す。北海道西部では E3初頭は E2b後半に比べ温暖化し暖温帯気候を示すが、E3 後半に入ると再び寒冷化して温帯気候となる。

**漸新世前期 (O1):** E3 後半から O1 前半にかけて、九州から常磐地域の白川植物群から藍那植物群、白水層群の花粉化石群、遠賀花粉群から佐世保花粉群、幌内層から茶路層への花粉化石群集の変化は、何れも亜熱帯-暖温帯気候から温帯気候へと寒冷化を示す。同様に、北海道地域でも花粉化石群からみると温帯から冷温帯気候へと寒冷化した。

O1 末になると、資料は少ないものの九州及び周辺地域では暖温帯、北海道では温帯へと O1 中頃に比べ温暖化した可能性がある。

**漸新世後期 (O2):** O2 の前半は O1 末と同様、九州地域では暖温帯気候を示すが、北海道では花粉化石群を見る限り O1 末と比較し冷温帯気候を示し寒冷化が認められる。O2 後半に入ると北海道以外の地域でも温帯-冷温帯気候となり、O2 前半に比べ寒冷化する。

以上のように、寒冷化した時期(寒冷化の始まりから温暖化の始まりまでの期間)は44-43 Ma (始新世中期前半末)・41-39 Ma (始新世中期後半末)・37-34 Ma (始新世後期後半-漸新世前期初頭)・27-25 Ma (漸新世後期後半)に、温暖化した時期(温暖化の始まりから寒冷化の始まりまでの期間)は 42 Ma (始新世中期後半の初頭)・38 Ma (始新世後期初頭)・31 Ma (頃漸新世前期末)頃に認められる。寒冷化した時期の44-43 Ma と、温暖化した時期の 42 Ma・38 Ma・31 Ma は資料不足もあり明確なイベントとはいえず、また寒暖の変化

も著しいものではない。このように寒冷化と温暖化は1.5-5 m.y. の間隔で繰り返されるが、全体としては始新世中期から中新世に向かって寒冷化し、年間平均気温約14度の低下が推定できる(第4図のライン A と B)。

日本において既知の第三系の中で最も温暖な時代は、始新世後期 (E3) と考えられていた (Tanai and Huzioka, 1967; 棚井, 1986) が、上述のように始新世中期の後半 (E2b 前半) ないしその前後の時期に位置づけられる。また、これまで漸新世は寒冷化する時期として温暖化は示されていなかった (Tanai and Huzioka, 1967 など) が、O1 末に弱く温暖化した可能性がある。

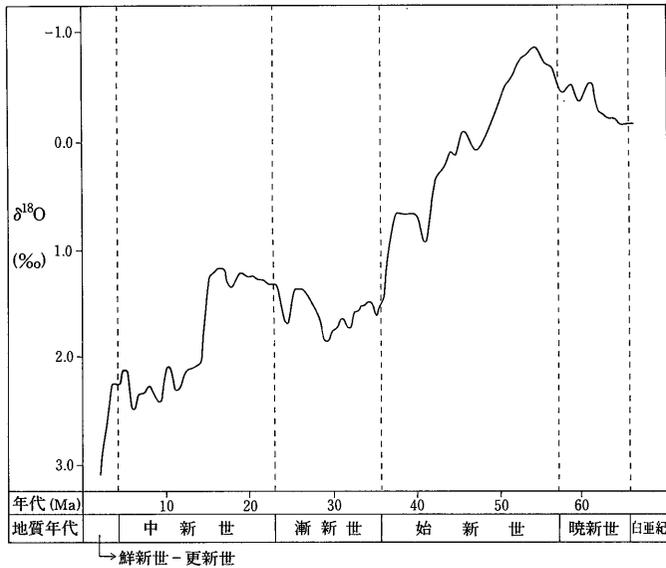
始新世後期には北海道地域と九州地域間の森林組成に著しい相違があったが、漸新世にはその差は少なくなったと考えられていた (棚井, 1984・1986など)。しかし、全体として両地域の E2a後半-O1 の気温差は6-8°C の範囲にあると考えられ (第4図)、気温差に大きな変化はなかったと推定できる。また、現在の北海道 (年間平均気温は6-8°C) と九州及びその周辺地域 (15-17°C) の間には約9°Cの気温差があることから、古第三紀の両地域の気温差は全体として現在と同じかやや小さかったと推定できる。

ところで、本論で扱った古第三紀植物群の中には、かつて新第三紀の植物群に対比されていたものがいくつかある。E3 の福井・白川植物群と O1末-O2前半の野田・若松沢植物群は台島型植物群、O1 前半の藍那・日明植物群はそれぞれ三徳型植物群と阿仁合型植物群とみなされ、新第三紀植物群と考えられてきた。このことは、始新世後期以降、特に漸新世から中新世中期にかけて、寒暖に伴い植生は変化するものの類似した植生が繰り返し出現したことを意味する。このことから、漸新世の植生及び気候は中新世前期-中期のそれらと大きな差はなかったと推定できる。

## 5. 世界的な古気候変化との関係

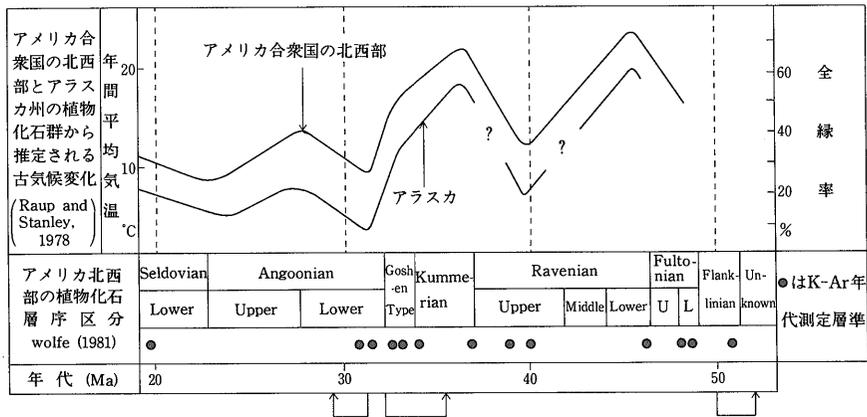
世界の古気候変化は様々な方法によって求められているが、代表的なものとして石灰質底生有孔虫殻の  $\delta^{18}O$  の変化曲線 (Williams, 1988) を第5図に、北米地域における大型植物化石群の全緑率変化から求めた古気候変化 (Wolfe, 1981; Raup and Stanley, 1978) を第6図に示す。

日本の植物化石群から求められた古気候変化のうち、41-39 Ma, 37-34 Ma と 27-25 Ma の寒冷化した時期と 38 Ma と 31 Ma の温暖化した時期は、それぞれ第5図の 42-41 Ma, 37-35 Ma, 26-25 Ma の  $\delta^{18}O$  の上昇 (寒冷化) 期と、下降 (温暖化) 期である 41-40 Ma,



第 5 図 新生代石灰質底生有孔虫殻の酸素同位体比変化 (Williams, 1988 の第 3 図を簡略化)

Fig. 5 Inferred Cenozoic climatic changes based on a composite  $\delta^{18}\text{O}$  record for deep-sea benthic foraminifera from Atlantic and Pacific Deep Sea Drilling Project sites (simplified from Williams, 1988; Fig. 3).



第 6 図 アメリカ合衆国北西部及びアラスカ州の古第三紀植物群の全縁率から求められる古気候変化 (Wolfe, 1981 の第 5 図及び Raup and Stanley, 1978 の 12 章第 14 図より作成)  
 大型植物化石層序区分の地質年代の位置づけは K-Ar 年代で決められているが、海生微化石層序で年代が知られている海成層と植物化石産出層との層序関係から Franklilian が P 9 と P 8 の境界に、Goshen が P 17、Angoonian 下部が P 20 に対比される (Wolfe, 1981)。以上の層準については、矢印で Harland *et al.* (1990) の年代尺度への補正を行った。

Fig. 6 Inferred Paleogene climatic changes based on percent of species with entire-margined leaves of floras in the northwestern United States and Alaska (modified from Wolfe, 1981; Fig. 5 and Raup and Stanley, 1978; Fig. 12-14).

29-28 Ma に対応すると考えられる。Williams (1988) に比較して今回求められた寒冷化と温暖化の時期の方が数 m.y. ほど全体に若くなっているが、これは第4図の年代尺度が Harland *et al.* (1990) を使用しているためと考えられ、地質年代区分上での位置関係はほぼ一致する。

第6図の Ravenian 下部から Ravenian 上部と Kummerian から Angoonian 下部への年間平均気温 10 度前後の著しい寒冷化した時期は第4図の 41-39 Ma, 37-34 Ma, 27-25 Ma の寒冷化した時期に、Ravenian 上部から Kummerian, Angoonian 下部から上部への温暖化した時期は 38 Ma と 31 Ma の温暖化した時期に対応すると考えられる。

日本の植物化石群から求められた古気候の寒暖の変化期の中で不確かであった 44-43 Ma の弱く寒冷化した時期と 42 Ma の弱い温暖化した時期に対応するものは、第5図と第6図には認められないが、31 Ma の温暖化の時期に対応する温暖化はそれぞれ認められる。

第6図の古気候変化では、Ravenian 下部と Kummerian の両期の古気候は何れも亜熱帯気候を示すが、対応する第4図の E2a後半-E2b前半と E3 では前者が亜熱帯を示すのに対して後者は暖温帯主体で、両温暖期には差がある。日本におけるこの関係は、Williams (1988) の  $\delta^{18}O$  の変化曲線の 46-43 Ma と 40-38 Ma 頃の両温暖期の関係に対応する。

Williams (1988) の曲線を見ると、中新世の前半と始新世末-漸新世とは  $\delta^{18}O$  値に大きな差がない。むしろ漸新世の方が中新世の前半より寒冷であったことを示す値が得られている。このことは、前述のように、日本の中新世前期-中期と始新世後期末-漸新世は気候と植生において大きな違いはなかったことと一致する。

以上のように、日本の古第三紀植物群から求められる古気候変化と世界の古気候変化のパターンは良く対応し、それらの寒冷化や温暖化の起こった時期は示準性を持つといえる。今後さらに正確なイベントの時代を把握することによって、地域的な古環境要因を明らかにすることができ、テクトニクスや生物の進化を考える上で重要な資料になると考えられる。

## 6. ま と め

植物化石群の時空分布から、日本における始新世中期-漸新世の古気候変化を求めた。その結果、以下のことが明らかになった。

(1) 寒暖を繰り返すものの、始新世中期から漸新世後期末に向かって全体としては寒冷化し、約 14 度年間平

均気温が低下した。

(2) 寒冷化した時期は 44-43 Ma (始新世中期前半末)・41-39 Ma (始新世中期後半末)・37-34 Ma (始新世後期後半-漸新世前期初頭)・27-25 Ma (漸新世後期後半) 頃に、温暖化した時期は 42 Ma (始新世中期後半の初頭)・38 Ma (始新世後期初頭)・31 Ma (頃漸新世前期末) 頃に認められる。

(3) 漸新世前期中頃と漸新世後期後半は現在の日本よりもやや寒く (主に温帯気候)、始新世後期と漸新世前期末-漸新世後期前半はやや温暖 (主に暖温帯気候)、始新世中期はかなり温暖 (主に亜熱帯気候) であった。また、始新世後期末以降-漸新世 (特に漸新世) の植生と気候は、中新世前・中期のそれらと大きな差はなかった。

(4) 北海道地域と九州及び周辺地域の年間平均気温の差は始新世中期-漸新世末までほぼ 6-8°C の範囲にあり、現在の気温差よりも全体にやや小さい。

(5) 求められた古気候変化は世界的な古気候変化とはほぼ一致する。

謝辞 この小論をまとめるにあたっては、地質調査所地質標本館の尾上 亨氏と国立科学博物館の植村和彦氏には植物化石について、佐藤喜男氏には貝化石について多くの教えを賜った。特に植村和彦氏には論文の問題点について、多くの有益な助言を頂いた。以上の方々に深く感謝の意を表す。

## 文 献

- Berggren, W.A., Kent, D.V., Flynn, J.J. and Van Couvering, J.A. (1985) Cenozoic geochronology. *Geol. Soc. Am. Bull.*, vol. 96, p. 1407-1418.
- Dorf, E. (1964) The use of fossil plants in paleoclimatic interpretations. In Narin, A.E.M. ed., *Problems in Paleoclimatology*, London, Wiley-Interscience. p. 13-31.
- 遠藤誠道 (1931) 新生代の植物化石。岩波講座, 岩波書店, 44 p.
- (1950) 常磐炭田白水層化石植物群。地質雑, vol. 56, p. 277-278.
- Endo, S. (1968) The flora from the Eocene Woodwardia Formation, Ishikari Coal Field, Hokkaido, Japan. *Bull. Nat. Sic. Mus. Tokyo*, vol. 11, p. 411-449.

- 雁沢好博(1987) 東北日本弧内帯の白亜紀-第三紀火山岩のフィッシュントラック年代—奥尻島・男鹿半島・朝日山地一. 地質雑, vol. 93, p. 387-401.
- Harland, W.B., Armstrong, R.L., Cox A.V., Craig, L.F., Smith, A.G. and Smith, D.G.(1990) A geologic time scale 1989. Cambridge Univ. Press, 263 p.
- 堀治三郎(1976) 神戸層群産植物化石—後期中新世神戸層群の研究一. 日本地学研究会館, 293 p.
- 藤岡一男(1959) 5万分の1地質図幅「戸賀・船川」及び同説明書. 地質調査所, 61 p.
- (1972) 日本海の生成期について. 石油技術誌, vol. 37, p. 233-244.
- Huzioka, K.(1974) The Miocene Daibo flora from the western end of Honshu, Japan. *Jour. Min. Coll. Akita Univ.*, ser. A, vol. 5, p. 85-108.
- 藤岡一男・小林政雄(1961) 石狩炭田夕張地区清水沢炭鉱における夕張層の植物化石の産状. 鉱山地質, vol. 11, P. 245-252.
- Huzioka, K. and Takahasi, E.(1970) The Eocene Flora of the Ube Coal-field, Southwest Honshu, Japan. *Jour. Min. Coll. Akita Univ.*, ser. A, no. 5, p. 1-88.
- 藤岡一男・高橋英太郎(1971) 宇部化石植物群. 化石, no. 22, p. 9-18.
- Imamura, S.(1957) A new Miocene Sassafras from Shimane Prefecture, Japan. *Jour. Sci. Hiroshima Univ.*, ser. C, vol. 2, p. 53-61.
- 今村外治・遠藤誠道・岡本和夫(1958) 山口県油谷湾地方芦屋層群の野田化石植物群(講演要旨). 地質学会西日本支部会報, no. 21, p. 1-3.
- 今岡照喜・板谷徹丸・松本俊雄・山崎博史・沢田順弘(1990) 山陰西部国府火山岩類の K-Ar 年代. 地質雑, vol. 96, p. 945-948.
- 海保邦夫(1983) 浮遊性有孔虫化石による北海道の古第三系の地質年代—堆積間隙と海水準変動との関係一. 化石, no. 34, p. 41-49.
- Kaiho, K.(1984) Paleogene Foraminifera from Hokkaido, Japan. part 1. Lithostratigraphy and biostratigraphy including description of new species. *Sci. Rep., Tohoku Univ.*, 2nd ser. (Geol.), vol. 54, p. 95-139.
- 鹿野和彦・加藤碩一・柳沢幸夫・吉田史郎編(1991) 日本の新生界層序と地史. 地調報告, no. 274, 114 p.
- ・中野 俊(1985) 山陰地方の新第三系の放射年代と対比について. 地調月報, vol. 36, p. 427-438.
- ・柳沢幸夫(1989) 阿仁合型植物群及び台島型植物群の年代. 地調月報, vol. 40, p. 647-653.
- 河田道弘・田附治夫・松尾征二(1987) 古第三系(1) 宇部地域. 日本の地質「中国地方」編集委員会編, 共立出版, p. 106-107.
- 木村勝弘(1986) 層位関係と放射年代から見た男鹿, 秋田と本庄-湯沢地域の中・下部第三系の年代層位区分. 北村 信教授退官記念論文集, p. 167-173.
- (1988) 油田地域における基盤の地史的な構造変化の研究. 昭和 62年度石油開発技術センター年報, p. 14-17.
- ・辻 喜弘(1989) 堆積盆の生成発展過程の研究. 昭和 63年度石油開発技術センター年報, p. 10-13.
- ・———(1990) 堆積盆の生成発達過程の研究. 平成元年度石油開発技術センター年報, p. 10-14.
- 小島信夫(1983) 神戸層群の植物化石. 藤田和夫・笠間太郎, 5万分の1地質図幅「神戸」および同説明書, 地質調査所, p. 24-32.
- Masuda, M.(1970) Molluscan fauna from the Taishu Group, Tsushima Islands, Nagasaki Prefecture, Japan. *Mem. Nat. Sci. Mus. Tokyo*, no. 3, p. 25-32.
- Matsuda, T.(1982) Fission-track geochronology of Late Cretaceous to Early Neogene igneous rocks in San'in belt, Southwest Japan. Abstracts for workshop on fission track dating, June 30, 1982, Nikko, Japan, p. 37-41.
- 松井 愈・雁沢好博(1987) 東部北海道の漸新-中

- 新統・川上層群一足寄動物群の産出層と地質時代一. 松井 愈教授記念論文集, p. 137-143.
- 松尾秀邦(1964) 本邦産後期白亜紀植物群について. 金沢大学教養学部論集(自然科学編), vol. 1, p. 39-65.
- Matsuo, H.(1967) Palaeogene flora of north-western Kyushu, Pt. I: The Takashima flora. *Ann. Sci. Coll. Liberal Arts, Kanazawa Univ. (Nat. Sci.)*, vol. 4, p. 15-88.
- (1970) Palaeogene flora of north-western Kyushu, Pt. II: The Sakito flora. *Ann. Sci. Coll. Liberal Arts, Kanazawa Univ. (Nat. Sci.)*, vol. 4, p. 15-88.
- (1971 a) Palaeogene flora of north-western Kyushu, Pt. III: The Kishima flora. *Ann. Sci. Coll. Liberal Arts, Kanazawa Univ. (Nat. Sci.)*, vol. 8, p. 21-47.
- (1971 b) Palaeogene Mega-plant Remains of the Tsushima Island, Japan. *Bull. Nat. Sci. Mus. Tokyo*, vol. 14, p. 671-710.
- 松尾秀邦(1975) 本邦の新植代に見られる二・三の事項について. *Ann. Sic. Col. Liberal Arts, Kanazawa Univ.*, vol. 12, p. 73-90.
- 松尾征二(1984) 宇部市西岐波下片倉. 山口地学会(編), 山口県地学のガイド, コロナ社, p. 167-171.
- 松尾裕司(1987) 神戸層群の化石を掘る(神戸の自然16). 神戸市立教育研究所, 138 p.
- 松浦浩久(1989) 山陰地方中部に分布する白亜紀後期-古第三紀火成岩類の区分と放射年代. 地調月報, vol. 40, p. 479-495.
- 水野篤行(1962) 西日本地域における古第三系および下部新第三系の古生物年代学的研究(第2報西彼杵半島周辺の新第三系の対比と古生物年代学的区分について). 地質雑, vol. 68, p. 687-693.
- (1963) 西日本地域における古第三系および下部新第三系の古生物年代学的研究(第3報貝類化石群の層位的・地理的分布). 地質雑, vol. 69, p. 38-50.
- Mizuno, A.(1964) Paleogene and Neogene Molluscan Faunae in West Japan. *Rept. Geol. Surv. Japan*, no. 204, p. 1-72.
- 宮地六美・酒井治孝(1990) 北西部九州第三紀層中の火砕岩類のフィッシュン・トラック年代. 日本地質学会第97年学術大会講演要旨, p. 203.
- 村上允英・今岡照喜・雁沢好博(1989) 山陰西部における古第三紀火山性陥没体の分布と時代に関する2, 3の問題. 地団研専報, no. 36, p. 41-47.
- Nagai, K.(1957) The Upper Eocene Flora of the Kuma Group, in the Ishizuchi Range, Shikoku, Japan. *Mem. Ehime Univ. (Natu. Sci.)*, ser. D (Earth Sci.), vol. 2, p. 73-82.
- 永井浩二(1972) 四国, 始新統久万層群. 愛媛第紀要自然科学 D シリーズ, vol. 12, p. 1-7.
- 岡田尚武(1981) 石灰質ナンノ化石による三毛別層と幌内層の堆積年代の推定. 棚井敏雅編, 北海道の新第三系の生層序(研究連絡紙 No. 2), p. 12-13.
- (1990) 石灰質ナンノ化石に基づく九州西部古第三系の生層序と対比. 日本地質学会第97年学術大会講演要旨, p. 205.
- 岡本和夫・今村外治(1964) 山口県油谷湾付近の第三系. 広大地研報, no. 13, p. 1-42.
- 岡崎由夫(1962) 釧炭田古第三系の花粉層序と石狩炭田との比較. 化石, no. 3, p. 1-2.
- 尾崎正紀・濱崎聡志(1991) 福岡県北部に分布する古第三系のフィッシュン・トラック年代. 地質雑, vol. 97, p. 251-254.
- ・松浦浩久(1988) 三田地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 93 p.
- Raup, D.M. and Stanley, S.M.(1978) Principles of Paleontology (2nd. Ed.). W.H. Freeman and Company, San Francisco, and Oxford. 481 p.
- 斎藤林次(1957) 小倉炭田の夾炭層の層位に就いて. 九鉱誌, vol. 25, p. 21-22.
- 斎藤常正・岡田尚武(1984) 北九州芦屋層群漸新世石灰質浮遊性微化石層序. 斎藤常正・岡田

- 尚武・海保邦夫(編), 日本の古第三系の生層序と国際対比, 山形大学理学部, p. 85-87.
- Sakai, H., Nishi, H. and Miyachi, M.(1990) Geologic age of the unconformity between the Sasebo and the Nojima Groups, Northwest Kyushu and its tectonic significances. *Jour. Geol. Soc. Japan*, vol. 96, p. 327-330.
- 佐々保雄(1932) 岩手県久慈地方の地質について (1)・(2)・(3), 地質雑, vol. 39, p. 401-430, 481-501, 552-580.
- 佐藤誠司(1962) 北海道中新世炭層の花粉分析的研究. 化石, no. 3, p. 3-8.
- (1970) 北海道中軸部の中新統の対比. 地質雑, vol. 76., p. 283-301
- (1976) 北海道雨龍地域の第三系の層序の花粉分析の面からの検討. 地質雑, vol. 82. p. 517-529.
- (1981) 道東部新第三系の生層序に関する総合研究(総合研究 A), 研究連絡紙, no. 2, p. 32-36.
- (1984) 釧路炭田西部地域の上部古第三系海成層の花粉分析. 日本の古第三系の生層序と国際対比に関する総合研究, 昭和58年度化学研究費補助金(総合研究 A) 研究成果報告書, p. 55-57.
- (1989) 常磐炭田第三系の花粉層序学的研究. 地質雑, vol. 95, p. 171-187.
- 佐藤喜男(1988) 貝化石群の変遷から見た古第三紀・新第三紀の境界について. 地調月報, vol. 39, p. 806.
- 柴田 賢・棚井敏雅(1982) 北海道第三紀火山岩類の K-Ar 年代. 北海道新第三系生層序の諸問題, p. 75-79.
- 鹿間時夫(1938) 神戸層群とその植物群. 地質雑, vol. 49, p. 481-497.
- 島津光夫・寺岡易司(1962) 5万分の1地質図幅「陸中野田」及び同説明書. 地質調査所, 63 p.
- 鈴木敬治(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, p. 197-205.
- 鈴木順雄・成田勝雄・近江孝一・小原則夫(1974) 北見市若松沢層産の植物化石調査(予報). 北見郷土博物館紀要, vol. 4, p. 1-12.
- 鈴木達郎(1980) 男鹿半島第三紀火山岩類に関する Fission track 年代. 地質雑, vol. 86, p. 122-123.
- 高橋英太郎(1959) 西部本州における中生代以降の植物群の変遷. *Rci. Rep. Yamaguchi Univ.*, vol. 10, p. 181-237.
- Takahashi, K.(1961) Pollen und Sporen des westjapanischen Alttertiars und Miozoans. *Mem. Fac. Sci., Kyushu Univ.*, ser. D, (Geology), vol. 11, p. 151-225, 279-345.
- 高橋 清(1962) 小倉炭田のいわゆる「出山層」の層序学的位置. 九鉾誌, vol. 30, p. 351-354.
- Takahashi, K.(1963 a) Pollenformen aus den Hitomaru-Schichten in der Yuyawan Gegend. *Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan, N.S.*, no. 51, p. 120-127.
- (1963 b) Sporenpalaontologische Untersuchungen der Hioki-Schichten-gruppe von Waku und Kiwado. *Mem. Fac. Sci., Kyushu Univ.*, ser. D, (Geology), vol. 14, p. 143-157.
- 高橋 清・林 正雄(1985) 対馬の火成岩類のフィッション・トラック年代(I). 長崎大学教養部紀要(自然科学篇), vol. 25, p. 9-19.
- ・———(1987) 対馬の火成岩類のフィッション・トラック年代(II). 長崎大学教養部紀要(自然科学篇), vol. 27, p. 19-31.
- ・西田民雄(1974) 対馬上県地域の対州層群下部層の軟体動物化石について. 長崎大学教養部紀要(自然科学篇), vol. 15, p. 15-20.
- Takai, F.(1950) *Amynodon watanabei* from the Latest Eocene of Japan with a brief summary of the Latest Eocene mammalian faunule in eastern Asia. *Rept. Geol. Surv. Japan*, no. 131, 15 p.
- 高井冬二(1962) 哺乳類動物から見た本邦古第三系新第三系との境界. 化石, no. 2, p. 30-31.

- Tanai, T.(1961) Neogene floral change in Japan. *Jour. Fac. Sci. Hokkaido Univ.*, ser. 4, vol. 10, p. 119-398.
- (1970) The Oligocene floras from the Kushiro Coal field, Hokkaido, Japan. *Fac. Sci. Hokkaido Univ.*, ser. 4, vol. 14, p. 383-514.
- 棚井敏雅(1984) 被子植物化石研究の最近の進歩. 地学雑誌, vol. 93, p. 488-496.
- (1986) 日本の白亜紀後期-第三紀初期における植物相変遷史の研究. 代表棚井敏雅, 昭和60年度科学研究費補助金(B)研究成果報告書, p. 4-11.
- (1989) 日本における新第三紀気候と植生分布. 日本古生物学学会1989年会予稿集, p. 125.
- Tanai, T.(1990) Euphorbiaceae and Icacinaceae from the Paleogene of Hokkaido, Japan. *Bull. Natn. Sic. Mus., Tokyo*, [C], vol. 16, p. 91-118.
- 棚井敏雅・福沢仁之(1981) 北見-本岐地域調査ルート of 層序概要. 北海道新第三系の生層序(研究連絡誌 No. 2), p. 37-40.
- Tanai, T. and Huzioka, K.(1967) Climatic implications of Tertiary floras in Japan. In *Tertiary Correlation and Climatic Changes in the Pacific-Pacific Sci. Congress, 11th, Tokyo, 1966*, p. 89-94.
- 棚井敏雅・尾上 亨(1956) 佐世保炭田産の化石植物群について(予報). 地調月報, vol. 7, p. 69-74.
- Tanai, T. and Uemura, K.(1983) Engelhardia Fruits from the Tertiary of Japan. *Jour. Fac. Sci., Hokkaido Univ.*, [4], vol. 20, p. 249-260.
- 棚井敏雅・植村和彦(1988) 北海道西南部及び本州北端部の台島型植物群(中新世). 国立科学博専報, no. 21, p. 7-16.
- Tanai, T. and Uemura, K.(1991) The Oligocene Noda Flora from the Yuyawan area of the western end of Honshu, Japan. *Bull. Natn. Sci. Mus., Tokyo*, [C], vol. 17, p. 57-80.
- 田中浩紀・海保邦夫・高橋仁志(1984) 白糖丘陵東翼の古第三系の微化石. 斎藤常正・岡田尚武・海保邦夫(編), 日本の古第三系の生層序と国際対比, 山形大学理学部, p. 51-54.
- 田代正之・岡田尚武・平 雅彦・大塚雅勇(1980) 天草下島古第三系基底から始新世中期の石灰質ナノ化石の発見. 地質雑, vol. 86, p. 139-141.
- 徳永重元(1957) 第三系微化石層序学における花粉・孢子化石の役割. 有孔虫, no. 8, p. 1-19.
- (1958) 本邦炭の花粉学的研究II, 北海道中部諸炭田における花粉層位学的研究. 地調報告, no. 181.
- ・尾上 亨・照沼義夫・川前浩二・中村一夫(1972) 東日本における中生代花粉・孢子化石の研究—その1 銚子・大洗・双葉地域産一. 地調月報, vol. 23, p. 305-311.
- ・大島秀明・伊藤良永(1977) 花粉層序学の現状と問題点. 地質雑, vol. 86, p. 73-79.
- Tomita, S.(1970) Geology under the Kokura Alluvial Plain—with Special Reference to the Tertiary System of the Kokura Coalfield—. *Mem. Fac. Sci., Kyushu Univ.*, ser.D, vol. 20, p. 1-16.
- Tomida, Y.(1986) Recognition of the Genus Entelodon (Artiodactyla, Mammalia) from the Joban Coalfield, Japan and age of the Iwaki Formation. *Bull. Natn. Sci. Mus., Tokyo*, ser. C, vol. 12, p. 165-170.
- 富田幸臣(1974) 関門地域の出山相当相について. 日本地質学会第81年学術大会講演要旨, p. 133.
- Tsuchi, R., Shuto, T. and Ibaraki, M.(1987) Geologic ages of the Ashiya Group, North Kyushu from a viewpoint of planktonic foraminifera. *Rep. Fac., Sci. Shizuoka Univ.*, vol. 21, p. 109-119.
- 通商産業省(1972) 昭和46年度広域調査報告書—対馬上県地域, 29 p.

- (1973) 昭和 47 年度広域調査報告書—対馬上県地域, 34 p.
- 通商産業省(1974) 昭和 48 年度広域調査報告書—対馬上県地域, 52 p.
- 植村和彦・棚井敏雅(1981) 北見市南部若松沢植物群とその地質時代. 棚井敏雅編, 北海道の新第三系の生層序 (研究連絡紙 No. 2), p. 44-48.
- 梅原正敏(1983) 島根県中新世植物化石の研究—特に隠岐島後下部中新統植物化石について—島根大卒論 (MS).
- Williams, D.F.(1988) Evidence for and against sea-level changes from the stable isotopic record of the Cenozoic. In *Sea-Level Changes: S.E.P.M Spec. Publ.*, no. 42, p. 31-36.
- Wolfe, J.A. (1971) Tertiary climatic fluctuations and methods of analysis of Tertiary floras. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol. 9, p. 27-57.
- (1978) A paleobotanical interpretation of Tertiary climates in the Northern Hemisphere. *American Scientist*, vol. 66, p. 694-703.
- (1979) Temperature parameters of humid to mesic forests of Eastern Asia and relation to forests of other regions of the Northern Hemisphere and Australasia. *U.S. Geol. Surv. Prof. Paper*, no. 106. p. 1-37.
- (1981) A chronologic framework for Cenozoic megafossil floras of northwestern North America and its relation to marine geochronology. *G.S.A. Special Paper*, no. 184, p. 39-47.
- and Horkins, D.M.(1967) Climatic changes recorded by Tertiary land floras in Northwestern North American. In Yawata, I. and Sinto, Y. M. eds., *11th Pacific Sci. Congr. Honolulu, Bishop Mus. Press*, p. 67-76.
- and Poore, R.Z.(1982) Tertiary marine and nonmarine climatic trends. In Berger, W. and Crowell, J.C. eds., *Climate in Earth History, Natl. Acad. Sci. Stud. Geophysics*, Washington, D.C. p. 154-158.
- 山田直利・佐藤喜男(1989) 20 万分の 1 地質図幅「巖原」. 地質調査所.
- 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, vol. 84, p. 69-86.
- 柳沢幸夫・鈴木祐一郎(1987) 常磐炭田漸新統白坂層の珪藻及び珪質鞭毛藻化石. 地調月報, vol. 38, p. 81-98.
- ・中村光一・鈴木祐一郎・沢村幸之助・吉田史郎・田中裕一郎・本田 裕・棚橋 学(1989) 常磐炭田北部双葉地域に分布する第三系の生層序と地下地質. 地調月報, vol. 40, p. 405-467.
- 安田尚登(1984) 熊本県天草下島古第三系の微化石層序. 斎藤常正・岡田尚武・海保邦夫 (編), 日本古第三系の生層序と国際対比, 山形大学理学部, p. 89-94.

(受付: 1991 年 6 月 24 日; 受理: 1991 年 10 月 29 日)