

古気候はどのように変わったか

①

徳永重元

1. 暑さ・寒さということ

東京にも寒い冬がやって来た。年によっては暑さ・寒さの程度には差があるが東京における昭和6年から35年までの間の月平均気温をみると1月は3.7℃で最低8月は26.4℃で最高となっている。

このように暑さ・寒さが著しい場合には人体にもかなりはっきりとその気温の変化が感じられるものだが春や秋の季節になると人によっては感覚的に気候そのものの受け取り方がことなることが多くその表現もすこぶる微妙となってくる。

こうした気候に対する私達の感じ方をそのまま地球の過去の歴史の中で気候の変化にもちこむといろいろはっきりしない点が出てくる。「その時代は暖かった」「その時代は寒かった」という表現は漠然としておりわかっているようでもありしかしその実内容がはっきりしないということに陥りやすい。

長い地質時代の間における気候変化というものは私達が現在見ているような四季の気候のちがい夜と昼との気温のちがい雪氷台風大雨ひでりなどの細かい気象の異常として捉えられることが少ないだけにそこには表現の限界があるのは止むをえないことである。しかしこのハンディキャップをうめるために数々の地質学的・地球物理的・地球化学的・古生物学的のデータが吟味されさらに人類学的社会学的歴史学的データさえもその目で眺められている。以下にこれらのデータをあつめてみて地質時代における気候つまり古気候(paleoclimate)がどのように考えられているのかま

とめてみることにしよう。

気候の変化という言葉をこれまで使ってきたがこの気候というものの持つ意味は複雑である。それは毎日の天気の変化つまり気象の長年の間の平均状態であるという定義もあり気象はまた大気物理学であるという人もいる。

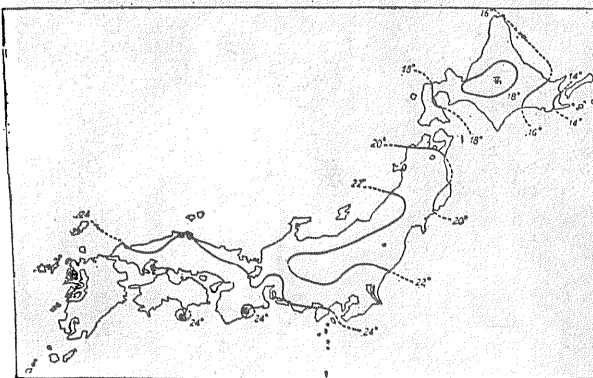
要するに地球の歴史の中では気象現象のような刻々の変化はとらえようもないのでいわば現在の気候に相当する古気候がその研究対象となっている。

古生物学を学ぶ者はまた古生物の古生態つまりその生物が生きていた当時はどんな生活形式をとっていたかに興味がある。この古生態を規制するものは古環境でありその中には古気候も含まれる。こう考えて行くと気候要素である温度・降水量・風・日照・蒸発量なども明らかにしなければならぬがその手掛りは現在の私達には得られるのだろうか？

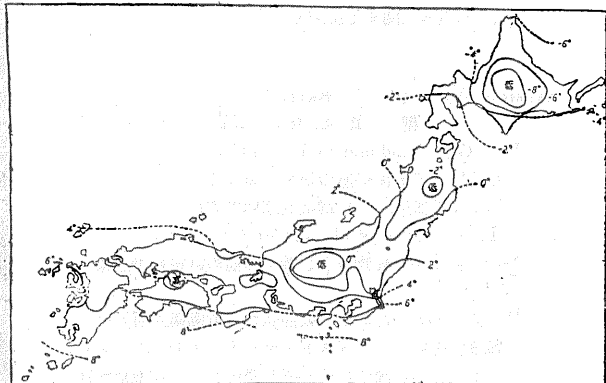
この気候変化ということは古生物の生活環境という問題だけでなく地層の形成やひろくみれば有用な鉱床の形成にまで関連するだけに興味のある点が多い。

2. 古気候を指示するもの

私達が現在みる地質現象のうち火成活動・地殻変動などは一先ずおき(広義には古気候の変化には影響があるが)二次的に行なわれた削剝および堆積作用をはじめいわゆる地形を作る作用(geomorphic agent)などを考えてみると古気候の変化に多かれ少なかれ関連している。また地層の中に含まれている化石や特殊な岩



第1図 わが国の夏の平均気温(°C)(中原 1949)



第2図 わが国の冬の平均気温(°C)(中原 1949)

第1表 古気候を指示するもの

岩 石	泥炭・石炭……………湿潤・温暖期の存在
	レッドソイル・ラテライト……………温暖・多雨
	石灰岩……………温暖環境
	蒸発岩(岩塩・石膏)……………乾燥・高温
	氷縞粘土……………氷河の存在
	氷堆石……………氷河の存在
氷礫土……………氷河の存在	
その他	
地質現象	風紋・偽層……………風の強さ方向を示す
	三稜石の形成……………強い風
	層面の割目(サンクラック)……………乾期の存在
	層面の雨滴痕……………降雨の現象
	火山灰層の分布……………風の方向
	その他
古生物	動物化石……………多くのものが関連・現生のもので特定の気候条件の下に生息する動物と類縁する 祖先型古生物 ・古水温を示すものなどがよく引用される。…マンモス・有孔虫・珊瑚等
	植物化石……………多くのもの・とくに気候に敏感に影響される種類および特殊環境に生育する種類—針葉樹 ヤシ科植物等々
遺物	建築物……………水面変動・気候変化を記録しているもの
	古文書……………寒暑の記録

石 さらに現生の生物 歴史時代の古文書に至るまで古気候解析の手掛はおびただしいものであろう。それでここであげようとするのはとくに目立って関連の深いもので それあるがゆえに古気候がわかるというものに限ることにする。それらを概観したのが第1表である。この中の対象物は鉱物・植物・動物等々はなほ雑然としているが 古気候そのものの反映としては当然で まだ他にもあげるべきものはあるかもしれない。

またこれらとは別に最近とくに発達してきた地球物理・地球化学的手法による古気候の解析法がある。また古気候の変化を起こさせる要因となっている宇宙 天文学のデータもありこの範囲はすこぶる広がってきた。

これらについては回を改めてまとめることにしたい。まず気候変化によって起こされる種々の現象のうち 地質層序的な面について見ると 堆積物の中にも特色のあるものがみられる。

堆積物があるということは そこにすでに原岩の削刻・風化などが行なわれたことを意味しており また化学的沈澱岩が生じたということも湿潤気候などに関連している場合が多い。いうまでもなく 現在地表にみられる特殊の岩石は その形成の時期の特有な気象現象を推測させる。

よく例に出されている 氷縞粘土(varved clay) など

は 氷河作用の存在を明らかに示している。粗と細の縞状の細い成層 時としては黑白二様の縞模様を示すのは 夏季粗粒の層がたまり 冬季細粒の層がたまるという現象の結果であるが わが国ではその典型的なものはほとんどみられない。

アラスカの地方にあちこち小山のように残っている堆石(moraine)などは 氷河地形の代表的なものだが わが国では 北部の山岳地帯の一部にみられるだけなので 広範囲の寒冷期の存在の推定にはデータが少ない。また関東山地の一部 群馬県上野村には 亀甲石とよばれる寒冷気候によりできる風化残留堆積物がある。冬季の夜間 気温が下るために岩石の割れ目に入った水が凍り岩石が割れるということで 細かい岩石が内側に粗いものが外側にと配列し 互に亀甲状を呈するというので天然記念物となっている。これなども気候と岩相との直接的関連の産物といえるだろう。

非金属 および 燃料 鉱床のうちでも 石炭・岩塩・石膏・ラテライトなど さらに広く解釈すれば 石灰岩その他もその成因の中に少なからず古気候が重要な役割を演じていると考えられている。

石炭の場合は 現在の地球上における泥炭層の分布から やや寒冷な湿潤の環境の下で形成されたと考えられているが くわしく見るときは必ずしもこうした環境の時ばかりではない。構成植物の点からみても また堆積の形式からみても 比較的温暖の環境下にも初成の堆積が行なわれたと考えられるものもある。

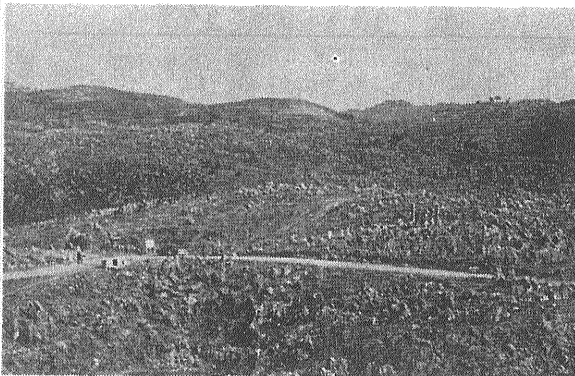
赤色土・ラテライトなどについては 南方に行かれた方はすぐに気付かれるように 台湾以南の土壤がまず赤色をおびていることが多いのに興味をひかれることが多い。これらは湿潤な亜熱帯の常緑広葉樹林帯にできるものといわれているが 古くはアメリカ南西部の三疊系



写真① 塩湖の遠望(トルコ)(井上英二技官提供)



写真② 石炭層(北海道)



写真③ 石灰岩台地(九州平尾台)

の赤色砂岩など 岩相上気候と関係ありと考えられるものも少なくない。

わが国の九州の第三系中にみられる紫焦土とよばれるものも古気候との関係で調べられているが 気候との関係については未だ結論がでないようである。

次に気候の一要素として 先にあげた風についてみれば 時として堆積物の中にその方向が示されていることがある。わが国では現在の砂丘堆積物・関東ローム層などより古い地層の中では大規模な風成堆積層(aeolian deposits)として確実視されるものが少ない。そのためよくみられる斜交層理や偽層はほとんど水中における形成と考えられている。アメリカの例では大規模な交斜層理は しばしば古気候の一要素であるこの風の方向などを示すという。

堆積物が水中から何等かの変動で空中にさらされると 細粒の場合はしばしば割れ目を生じがちである。時が

経つと他の堆積物が その割れ目をうめ みごとな乾痕(sun crack)ができる。これもわが国では顕著なもの少ないように思う。また大雨のあったことを示す雨滴が そのまま地層面上に跡をのこしている 雨痕(rainprint)は 大雨の結果形成した礫層などと共に過去の降水量をおしはかる手がかりともなる。わが国の中部地方の瀬戸礫層は非常に厚く広い分布を示しているので 大雨の結果 形成されたものではないかといわれている。その下底からはフウその他暖帯性の植物化石も多産する所から 礫層は気候変化を示す一証左ともいえるだろう。火山活動の多かったわが国の第三紀の凝灰岩の中に しばしば丸い豆のような大きさの凝灰質の小球をたくさんみることがある。いわゆる豆灰石(pisolite)といわれるもので 一説によれば宇宙塵がその核となって それを中心に火山灰が固ったものといわれている。しかし断面をみても中心物は見当らず 雨滴で凝灰質物が固まったものではないかとも考えられる。

このように気温・風・雨・日照・蒸発量など気候の要素と地質現象とのむすびつきのいくつかを取り上げてみた。このほかにもその関連度のいかんによっては ずいぶん多くあろう。

3. 古植物からみた気候変化

まえに古生物を使って古気候とその変化を考えるということをおいてきたが ここでは古植物を使って古気候を考える道すちを追ってみよう。

地質時代における古気候の環境の下で 生きていた動植物は 当然のことながらそれらの生態つまり生活



写真④ 風紋(地層中の偽層の一部も風成のものがある)(米国・アリゾナ)

の場所・生活の様式などについて気候の制約を受け そのため古生物の生態をよく分析すれば 古気候についてのデータもえられようというものである。 その考察の根底にあるのは 現在地球上においてみられる それらの子孫または類縁のものの生き方であって 古生物学と生態学の両者の研究がすすめばすすむ程 古生態の実体が現生動植物を素材として明瞭となってくる。

ことに生物の食物連鎖の元となっている植物は気候に敏感である。 このため古気候をこの古植物の群・種類そして産量などから研究することによって明らかにされることがたくさんある。 ただしそれらの産出が 地質時代的に連続しては捉えられていないので 現状ではどうしてもある古植物群をもってある限られた地質時代の一時期（大きな環境変化がないと考えられる期間）を代表させるということになっている。

「暖かさの指数」

いままで「暖い」とか「寒い」とかいう表現で 地質時代の一時期の古気候をあらわしてきた。 しかし前にものべたようにこれに何等かの数値を与えなければ 相対的な関係がわからないという結果になってしまう。 そこで現生の植物について用いられている 「暖かさの指数」 「寒さの指数」という表現が古植物群の上でも適用できないかということになる。

次に「暖かさの指数」について解説してみよう

この数値は吉良竜夫博士によって提唱されているもので「温量指数」とも云っている。

植物の生育環境にもいろいろ因子があるが 森林の樹種についてみれば 最後に安定した形（クライマックス）

第 四 紀	●
第 三 紀	
白 垩 紀	
ジュラ紀	
三 畳 紀	
二 畳 紀	●
石 炭 紀	●
デボン紀	
シルリア紀	
オルドビス紀	●
カンブリア紀	●
先カンブリア紀	●

をとるためには気温と降水量が一番重要だと考えられている。

とくに中緯度に位置する日本列島などでは 降水量が年間各地とも1,000~2,000mmで大きな差はなく 限られた地域だけが1,000mmをわり または3,000mmをこすにすぎない。 従って変化の多いのは前に示したように気温だけということになる。

この観点に立ってみると 植物群の生活作用を左右するものは 高い温度でそれが長くつづくほど 比例して作用も活発になるといえるのであって ある期間どれだけの温度がつづくかを積算すると積算温度というのが求められる。

その期間を細かく区切り その間の積算温度をPとすれば植物の生活作用のため必要な温度の全量

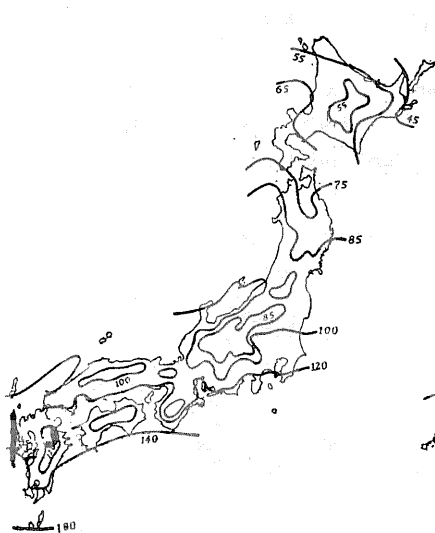
第2表 地質時代における氷河の存在

$Q = KP$ となる。

この区切りは普通1日と毎日の平均気温を加え合わせて積算温度としているが 経験上 月ごとにまとめ5℃以上の値を出し 簡略化した表示が行なわれている。

たとえば 東京では月の平均気温5℃以上は3月~12

$$\begin{aligned} & 3月 \quad 4月 \quad 5月 \quad 6月 \quad 7月 \\ & (7.6-5) + (13.1-5) + (17.6-5) + (21.1-5) + (25.1-5) \\ & 8月 \quad 9月 \quad 10月 \\ & + (26.4-5) + (22.8-5) + (16.7-5) = 118.8 \end{aligned}$$

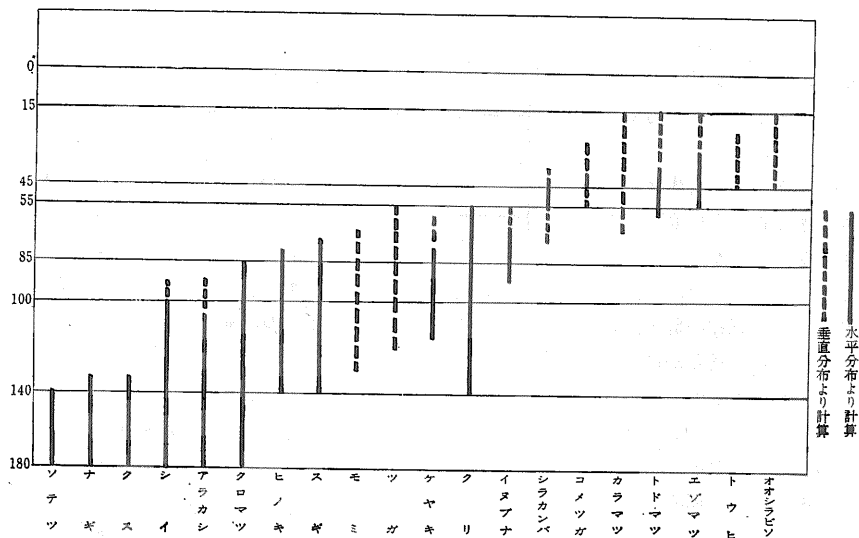


第3図 わが国の暖かさの指数の分布 (吉良竜夫博士による)



第4図 わが国の寒さの指数 (吉良博士による)

月の10カ月 (理科年表1967による) であるから各月の平均気温から5℃を引いた数値を加えたものが 東京の「暖さの指数」である。 つまり東京に生育している植物は 118.8℃の値をもつものである。 従ってある植物の生育範囲の北限と南限 あるいは高度分布を



第3表 主要植物の「暖かさの指数」(吉良竜夫博士による)

にしてゆくのは常道
といってもよい。
古植物群の中でも落
葉性のもあり 常
緑のものあり また
高地性のもありと
いうことになると
その要素を分析しつ
つ考察を行なってい
かねばならない。

葉による考察

しかし植物の葉の
性状についてもこれ
を古気候との関連に
おいて眺めようとする
考え方がある。

しらべると その土地の雨量指数からその植物 生存の
「暖さの指数」がわかる。

もし種々の古植物の属名やさらに種名がきまり これ
と類縁関係をもつ現生種の暖さの指数を探せば 植物群
全体の示す環境が ただ漠然とした形でなく現生環境と
関連をもったものとして把握できよう。

しかしまた一方においては植物の生育をさまたげる寒
さというものを重視して 逆に5℃以下の月について
月毎の5℃との間の差を加え計算し「寒さの指数」を求
めることもある。たとえば東京では-2℃の値である。
(暖さの指数と区別するため数値にマイナスをつける)

このような「暖さの指数」によって植物を分類すると
第3表のようになる。

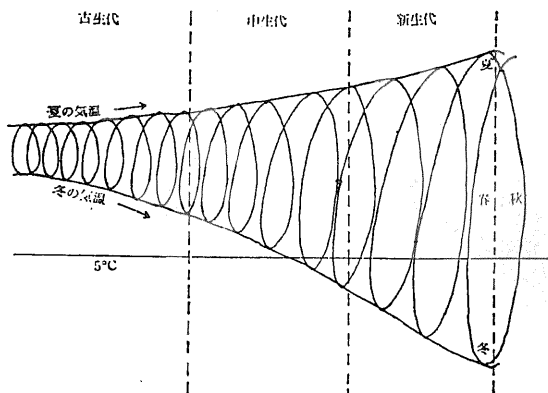
植物化石群そのものの構成をしらべ それと類似の植
物群が現在地球上にどのような場所に繁茂しているか
そしてその場所がどんな気候環境にあるか さらにそこ
の気温は? というような順序をふんで古気候を明らか

遠藤誠道博士は かつて葉の縁辺部の鋸歯の有無が気候
に関係ありと提唱されている。 葉縁に鋸歯のあるのは
温帯以北に多く 亜熱帯・熱帯性のもは少ないとい
うこと また葉肉の厚いものは 亜熱帯以南のものに多い
ことを指摘されている。

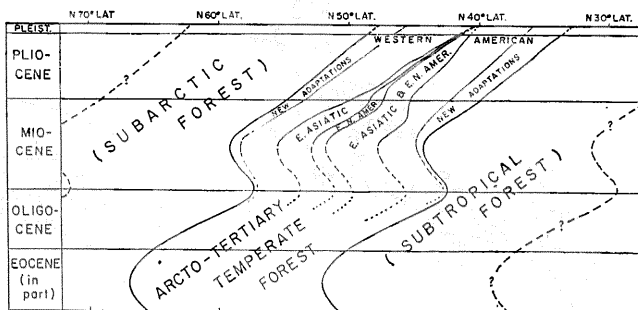
また古生代から現在までの隠花植物羊歯類の研究をし
ておられる浅間一男博士によれば 羊歯類の葉形の基本
は古生代の末期に完成され その後は生長の遅延(GR)
がみられ 生育に好ましくない環境の存在が考えられる
という。 さらにイチョウやその他広葉樹の一部のもの
の葉形にも 時代が新しくなるにつれて GRの傾向が
あると指摘しておられる。 それをもたらしした原因は何
かという おもな影響を与えたものとして古気候が高
温より低温に変わって行ったこと 気温の年較差が大き
くなってきたことなどがあげられている。

geo-flora の変遷

いろいろな地質時代の地層に また現在の地球上での
いろいろな場所に植物化石が発見されているが これら



第5図 葉形変化より考えられる地質時代の気候変化(浅間1967)



第6図 北米大陸を中心として考えられた geo-flora の変せん(Dorf 1964)

をまとめて配列してみると 地質時代の古植物群 (geo-flora) が 移動・分化・適応していった姿がわかるものである。こうした古植物群の見方はケイン (Cain) チエネイ (Chaney) アクセルロード (Axerlod) ドルフ (Dorf) らの諸博士が提唱しているもので とくにアメリカ大陸におけるこの方面の研究がすすんでいる。

たとえば Arcto-Tertiary temperate forest は 第三紀始新世では北緯 65° 付近の所から知られているが 中新世に至れば 北緯 60° 以南の所からしか産出していない。このように樹林の後退 変せんが地質時代とともに起こっていることが明らかにされ 第 6 図に示すような図形が示されている。

わが国でも藤岡一男・棚井敏雅両博士により 日本の第三紀植物群について明らかにされている。

第四紀になると氷河作用の存在がより一層こまかく追究できるため 古気候の変せんにたいする研究も macro の段階から micro の面へと移ってくる。氷期と間氷期の区別は全地球的な海面変動でとらえられ そのため海成・淡水成層そのものが 間接的には気候変化の index として用いられるのが常である。その他珊瑚層とか特殊な堆積物も手掛りとなるが この時代別の問題はのちにゆずりたい。

微植物化石による考察

第四紀の気候変化を植物の面から捉えようとする時そこに華々しく登場してくるのは植物の花粉と胞子の化石である。堆積物中に含まれている花粉・胞子の化石をとり出して それらの内容から針葉樹中のトウヒ・カラマツ・モミなど寒冷地に生育する種類を判別し その含まれている割合から 当時の気温を割出そうというところみは 普遍的に行なわれている。これが高緯度の場合は 植生が単純化し樹林クライマックスが安定しているため よくとらえることができる。

中緯度になると堆積物中に高地から飛来したと考えられる針葉樹の花粉が含まれるなど かなり複雑性をおよび単純に花粉構成と気候変化をそのままむすびつけるのには問題がある場合もでてくる。このためこの気候変化と花粉化石との関係を見るには 花粉からもとの植物の属名ばかりでなく種名も明らかにする必要が生じてきている段階にさしかかってきているといえよう。くわしいことは第四紀の気候変化の項にゆずりたい。

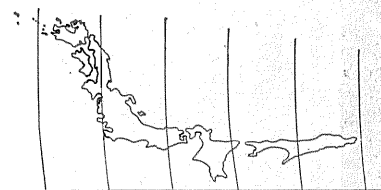
第四紀以後 私たちが身近に感じる時代の気候の変化は 遺物・建築物・古文書や観測値など 気象学の研究範囲に入ってしまう。昔 ホメロスの物語からトロイの遺跡を発見したシュリーマンの例のように 古気候に関する記事ののった古文書もまたその変化を知るに貴重であることを幾多の例が示している。

この回では古気候を考える上での手段と対象の一部についてごく浅くふれたが 次回では古動物による考え方を中心にまとめてみよう。 (筆者は 石炭課長)

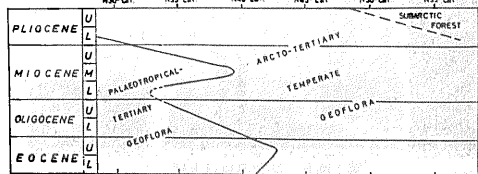
参考文献

(非常に多くあるが今回引用したものだけに止める) (ABC順)

1. 浅間一男: 被子植物の起源に関する諸問題 早坂先生記念論文集 1967
2. 浅間一男: 植物の進化 生物科学 vol. 19, no. 4 vol. 20, no. 2 1968
3. E. Dorf: The use of fossil plants in paleoclimatic interpretation, in Problems in paleoclimatology p. 13—31 1964
4. 遠藤誠道: 植物化石と地質時代の気候について 化石 no.6 1963
5. 吉良竜夫: 日本の森林帯 日本林業技術協会 1951
6. R. Kräusel: Introduction to the palaeoclimatic significance of coal in Problems in paleoclimatology p. 53—56 1964
7. 中原孫吉: 日本の気候 北隆館 1949
8. 土屋 巖: 気候の変動 恒星社 1962
9. 棚井敏雅・藤岡一男: Climatic implications of Tertiary flora in Japan, in Tertiary correlation and climatic change in Pacific p. 89—94 1967



第 7 図
日本における geo-flora の
変せん(藤岡・棚井1967)



写真⑤
花粉・胞子化石(ツガ)
(東京湾堆積物産) ×1,000

