花粉分析からみた琉球列島の植生変遷と古気候

黒田 登美雄* 小澤 智生**

Paleoclimatic and Vegetational Changes during the Pleistocene and Holocene in the Ryukyu Islands inferred from Pollen Assemblages

Tomio KURODA* and Tomowo OZAWA**

Abstract

Paleoclimatic and vegetational changes during the Pleistocene and Holocene in the Ryukyu Islands were inferred from pollen assemblages. Pollen analyses of some early Pleistocene to Holocene sections in the Ryukyu Islands show several drastic vegetational changes with climatically meaningful variations.

A mixed pollen assemblage containing the warm and cool temperate trees such as *Cryptomeria*, *Abies* and *Tsuga*, and the tropical-subtropical trees including *Dacrydium*, *Liquidambar*, *Lagerstroemia* and *Sapium* occurred in the upper Pliocene to lower Pleistocene Shinzato Formation and the basal part of the lower Pleistocene Kunigami gravel formation. These pollen assemblages strongly support that there were high mountains over 1,000 to 1,500 m above the sea-level in the Ryukyu Islands in the late Pliocene to early Pleistocene. The warm and cool temperate forests in the mountainous areas were disappeared possibly by the subsidence of the basement rocks of the Islands in relation with the opening of the Okinawa Trough. Invasion of evergreen broad-leaved trees to the Ryukyu Islands in the early Pleistocene was indicated by the first occurrence of evergreen broad-leaved tree pollen in the lower Pleistocene Kunigami Gravel Formation.

The pollen assemblages in the last Glacial period (ca. 22,000 y.B.P) are dominated by the coniferous trees such as *Pinus* and *Podocarpus*, indicating that an arid climate was prevalent in the Ryukyu Islands. This evidence is consistent with the wide development of ancient dunes and paleosol of aeolian sand origin in the islands during the last Glacial period. The pollen sequence of the uppermost Pleistocene to Holocene reveals the change of vegetation and climate from the pine forests of the late Glacial period to the climax forests of evergreen broad-leaved trees of the Climatic Optimum. It is suggested that the climatic condition in subtropical Ryukyu Islands around 20,000 years B.P. was not so much cool but arid than the climate of the present day.

Key words : paleoclimate, vegetational changes, Ryukyu Islands, Izena-jima, Kunigami Gravel formation, *Cryptomeria*, *Liquidambar*, *Lagerstroemia*, evergreen broad-leaved trees, the last Glacial period, arid climate

キーワード : 古気候, 植生変遷, 琉球列島, 伊是名島, 国頭礫層, スギ属花粉, フウ属花粉, サルスベリ属花粉, 照葉樹林, 最終氷期, 乾燥気候

* 琉球大学教養部情報科学教室

** 名古屋大学理学部地球惑星科学科

* Department of Information Science, Division of General Education, University of the Ryukyus

** Department of Earth and Planetary Sciences, School of Science, Nagoya University

I. はじめに

琉球列島は北は種子島から、南は与那国島に至る約1,100 kmの広い範囲にわたって弧状に分布している島々の総称である。また、それらの島々は南西諸島とも呼ばれ、北から南へ順に、薩南諸島、奄美諸島、トカラ列島、沖縄諸島、宮古諸島、八重山諸島と名付けられている。ただし地質学の分野では、これらの島々がつらなる弧状列島を総称して琉球列島または琉球弧と呼び、南西諸島という用語はほとんど使われていない(木崎, 1985)。

琉球列島の島々の特徴については、海底地形図(図1)に示す。島弧の西側には、中国大陸側から東シナ海の大半を占める150 m以浅の大陸棚が張り出して島弧にせまっている。しかし、大陸棚と島弧の間には、水深1,000~2,000 mに達する沖縄トラフ(沖縄舟状海盆)が横たわっている。一方、島弧の東側に沿っては、水深5,000~7,000 mの琉球海溝がある。そのほか、海底地形からみて特に目につくことは、一見連続するように見える島弧が2カ所で分断されていることである。その二つの大きな切れ目は、奄美大島の北にあるトカラ海峡と、沖縄島の南側に位置している慶良間海裂である。特に奄美大島の北にある切れ目(トカラ構造海峡)は、動物地理学の渡瀬線の位置に相当する。

現在の琉球列島は、吉良(1948, 1949)が考案した暖かさの指数(warmth index)からみれば、南から順に、与那国・西表島が220℃(month degree)、石垣島が225℃、沖縄島が208℃、伊是名島が204℃の値を示す。暖かさの指数で植物帯を表わすと、亜熱帯多雨林帯は180~240℃の範囲に区分され、本地域は亜熱帯地域に属するといえる。その植生は、マングローブ林と照葉樹林によって特徴づけられている。マングローブ林は西表島および石垣島などの海岸部に分布し、一方、照葉樹林は主に丘陵部や山地ならびに沖縄島中部以北に広く分布している。

そのほか、琉球列島は東洋のガラパゴスといわれるように、特異な動植物の宝庫である。イリオモテヤマネコをはじめ、アマミノクロウサギ、ト

ゲネズミ、リュウキュウヤマガメ、ハブ、オキナワウラジロガシなどの固有種をはじめとして特異な進化をとげた動植物が多数知られている。これら動植物の特異な分布や、進化の過程を明らかにするためには、琉球列島の成り立ちと、その環境変遷について知る必要がある。

植物の伝播と進化の一例として、オキナワウラジロガシがあげられる。オキナワウラジロガシやスダジイなどの仲間は、一般に大きなドングリの実をつくる重力散布型種子の典型的な植物である。オキナワウラジロガシなどのブナ科植物は陸続きでないと、分布域を拡大し、伝播することができないといわれている。このことは、琉球列島の島々の成り立ちならびに植生史を明らかにする上で、重要な鍵となる(新納・宮城, 1988)。たとえば琉球列島の島々が、ある時は中国大陸や日本列島と陸続きになったり分断されたり、またある時は海底に没した時代があったか否かが、植物の分布を説明する上で重要となる。こういった地質変動を受けることにより、そこに棲息していた動植物は、それぞれの島々または諸島ごとに隔離され、独自の進化をとげたことが考えられる。また、リュウキュウジカの例で示されるように、動植物の絶滅は古地理・環境の変遷に大きく依存している。ここでは、琉球列島の動植物相の成り立ちを考える上で重要な、植生と古気候の変遷について花粉分析結果から明らかになったことを紹介する。

II. 花粉記録からみた鮮新世~更新世における地殻変動

現在、沖縄島をはじめ琉球列島には、1,000 mクラスの高い山は、屋久島(宮之浦岳1,935 m)を除き存在しない。沖縄島における最高峰は、海抜わずか498 mの与那覇岳である。450 mを超える山は、与那覇岳のほかに牛首岳(457 m)、八重岳(453 m)、嘉津宇岳(451 m)を数えるのみである。

しかし、古植生からみて鮮新世から更新世前期(200万~80万年前)にかけて、沖縄島にも現在の台湾に匹敵する1,500 mクラス以上の山地が存在していたことが推定できる。

図1 琉球列島周辺の地形概略.

Fig. 1 Map showing the outline of topography around the Ryukyu Islands.

沖縄島南部の知念半島新里，馬天港付近の丘陵地斜面に露出する島尻層群新里層の凝灰岩と泥岩互層からは，直径 30 cm を超えるスギ・ヒノキの材化石が多産する（沖縄地学会，1982）。ところで現在の沖縄島には，スギ・ヒノキの類は自生していない。その理由は，図2に示すように沖縄島の年平均気温は約 22.5℃ と鹿児島に比べて約 5℃ 高く，スギ・ヒノキの自生限界を超えているためである。塚田（1980），Tsukada（1986）による

と，日本のスギは東北地方から屋久島（緯度差で 10 度以上）の範囲に天然分布をするとされ，気温に対して非常に広い適応域をもつ植物とされている。すなわち，分布密度が高く良好な生育を示す地域としては，1 月の平均気温が $-7 \sim 7^{\circ}\text{C}$ ，8 月の平均気温が $19.4 \sim 26.8^{\circ}\text{C}$ の範囲にあり，これを前述の暖かさの指数で示すと， $90 \sim 180^{\circ}\text{C}$ の範囲としている。つまり，冷温帯下部にその分布の中心があるとした。

図2 鹿児島と那覇における月別平均気温の比較。

Fig. 2 Graph showing the comparison of the mean monthly temperatures in Kagoshima and Naha cities.

一方、那覇よりもさらに南方にある台湾には、現在でもタイワンスギ (*Taiwania cryptomerioides*) やタイワンヒノキ (*Calocedrus formosana*) が自生しているが、それらは標高 1,500~2,000 m 以上の高地でしか生育しない。気候条件が現在とほぼ同じ状態であったと仮定すると、スギが生育するためには沖縄島にも台湾と同じような高い山の存在が要求される。沖縄島でスギの生育を可能にするためには、最低限鹿児島市の年平均気温に相当する 17.3°C の生育環境を確保する必要がある。気温減率が 0.5°C/100 m と想定すると、少なくとも標高約 1,000 m 以上ある“高い山”の存在が必要とされる。

もしも、スギなどの生育環境として高い山の存在を考慮しない場合は、当時の気温が現在に比べて低く、ずっと涼しい気候であったという事実を提示する必要がある。しかしながら、新里層の堆積時期には西南日本の太平洋岸では暖流系の掛川動物群が発展しており、現在の八重山諸島以南のマングローブ沼に生息する巻貝の一種であるキバウミニナ (*Terebralia paustris*) や、熱帯-亜熱帯性軟体動物のダイミヨウイモガイ (*Cleobula betulina*)、ヤコウガイ (*Turbo (Lunatica) marmoratus*) などが四国~東海地域にかけて産出している (小澤ほか, 1995)。また琉球列島に

おいても、現在より勢力の強い暖流の支配下にあったことが、温暖種である *Rhabdosphaera clavigena*, *Syracosphaera* spp. などの石灰質ナanno化石が多産することによって示されている (田中, 1993; 田中ほか, 1995)。つまり、鮮新世末~更新世初頭にかけての琉球列島は、現在より温暖な熱帯~亜熱帯の気候下にあったといえる。したがって、スギ・ヒノキ類の低地での生育は困難であったと考えられる。

ではつぎに、花粉化石について見てみよう。沖縄島からスギ属花粉が産出することを報告した事例としては、松岡・西田 (1978) による新里層・仲尾次層・喜瀬武原層・許田層ならびに、黒田 (1993) による国頭礫層からの報告がある (図3参照)。

新里層の花粉分析の結果によると、本層からは現在では台湾などの沖縄以南に生育している南方系のダクリディウム属 (*Dacrydium*)、フウ属 (*Liquidambar*) などと共に、現在屋久島以北に限って自生するスギ属 (*Cryptomeria*)・モミ属 (*Abies*)・ツガ属 (*Tsuga*) および九州以北に分布するニレ属 (*Ulmus*)・ケヤキ属 (*Zelkova*)、ブナ属 (*Fagus*)、コナラ属 (*Quercus*) などの植物の花粉が報告されている (松岡・西田, 1978)。

新里層の花粉分析結果が示すように、ダクリディウム・フウ・ナンキンハゼ属 (*Sapium*) などのような熱帯から亜熱帯に分布する樹種に伴って、頻度は少ないがスギ属・モミ属・ツガ属に代表される、現在の暖温带~冷温带に分布する植物の花粉が産出する。石灰質ナanno化石と花粉分析結果を考え合わせると、つぎのような古環境が推定できる。

今から 200 万~150 万年前の新里層の堆積時、低地 (海岸平野) には熱帯・亜熱帯の植物が分布し、その海岸線に沿っては暖流 (黒潮) が流れていた。そして、海岸平野の背後にはスギ・モミ・ツガなどの暖温带~冷温带の植物の生育に適した高い山並みが存在し、そこから、これらの植物の花粉が飛来したと考えられる。このような環境を想定しない限り、熱帯・亜熱帯を示す植物や石灰質ナanno化石と共に、現在の暖温带~冷温带に分

図3 沖縄県宜野座村漢那ダム周辺地域における国頭礫岩層および伊是名島の更新～完新統の花粉試料採集地点の位置図。

A: 漢那ダムサイト, B: 伊是名村内花千原低地

Fig. 3 Index and locality maps showing the locations of sampling points of pollen analysis.

A: Kanna Dam site, B: Uchihana, Senbaru lowland, Izena-jima Island

布するスギ・モミ・ツガ等の花粉が同一の地層から産出することの説明ができない。

鮮新世末～更新世前期（約200万～150万年前）には標高1,000～1,500 mクラス以上の高山をもつ

た陸地が存在していたことを、新里層からの材化石（沖縄地学会, 1982）および花粉分析結果（松岡・西田, 1978）は裏付けている。

沖縄島南部に分布する島尻層群は、岩相ならび

にそれに含まれる化石群集から判断して、一般的には琉球近海の浅海相から深海相への堆積相が発達し、それらは海進と海退を繰り返した一連の堆積物から構成されるとしている（野原，1976；木村，1996）。それらによると、初期の頃は豊見城層最下部で観察されるように浅海相を示し、つぎに豊見城層～与那原粘土層においては急激な海進を示す漸深海相が観察される。そして再び海退して、浅海相への移り変わりを示す化石群集が新里凝灰岩層から報告されている（野原，1976）。

新里凝灰岩層の時代以降、琉球列島の背骨にあたる主軸部は隆起をつづけて、鮮新世末～更新世前期頃（約200万～150万年前）には、少なくとも標高1,000～1,500 mクラス以上の高い山を出現させていたと考えられる。この時期には陸地の西側に沖縄トラフ（沖縄舟状海盆）が急速に開き始めており、当時の久米島や粟国島地域においては活発な火山活動があり、火山灰や溶岩流を噴出していた。島尻層群新里層の凝灰岩は、これらの火山灰に由来している（沖縄地学会編，1982）。またこの頃は、ちょうど中国大陆から台湾・沖縄島を経てトカラ構造海峡に至るまでの陸橋（木崎・高安，1975；木村，1995，1996）が存在したとしている時期に相当し、よくマッチしている。

当時の古地理を考えると、沖縄島から久米島・粟国島あたりまで続く幅約100 kmほどの陸地が想定される。この時代の陸地の輪郭は、琉球列島周辺の水深約1,000 m近辺に海底地形（図1参照）として残されている平坦面に相当し、これらの平坦面は鮮新世末～更新世前期にかけて形成された侵食平坦面と考えられる。

琉球列島の山地がどのような過程を経て現在のそのようなレベルの標高へと低平化したかに関しては、まだ明らかにされていない。その時期に関しては、後述する国頭礫層中に挟まれる堆積物の花粉分析結果からスギ属花粉の占める頻度が激減する時期に相当し、琉球石灰岩が堆積を始める今から約120万～80万年前（Furukawa, 1979；木崎，1985；木村，1991，1995）と考えられる。ちょうどこの頃は、琉球石灰岩の形成が行なわれた琉球サンゴ海（木崎・大城，1977）の拡大する大海進期に

図4 更新世前期（約80万年前）における琉球列島周辺の古地理復元図。

Fig. 4 Reconstructed paleogeographic map in the early Pleistocene around the Ryukyu Islands.

相当し、琉球列島に架かっていた陸橋が跡形もなく海底に没している。図4には、国頭礫層と同時異層の関係にある、琉球石灰岩が堆積し始めた頃の古地理図を示す。

このような現象は、氷河制約説に基づく単純な海水準変動のみからでは説明できない。琉球列島に広く分布する“琉球石灰岩”を形成したような大規模なサンゴ礁が発達するためには、確かに海水準の上昇を伴う間氷期の暖かいサンゴ海の出現が必要とされる。しかしながら、地殻変動を抜きにして相対的な海水準の変動のみからでは、スギの自生が困難となるような約1,000 mにも及ぶ標高の低下は説明できない。

このような、地殻変動を考える上での一つの重要な手掛かりとして、国頭礫層の存在がクローズアップされる。国頭礫層とはほぼ同じ時期に対比される礫岩層としては、房総半島上総層群東日笠礫岩層、掛川地域の小笠礫層、四国の唐の浜礫層、南九州宮崎の通り山浜礫層、台湾の火炎山礫層

(林・周, 1975) などが知られている。これら礫層が分布する場所は、すべて太平洋プレートならびにフィリピン海プレートがユーラシアプレートと衝突して沈み込む大陸の縁に位置し、西南日本から琉球列島を経て台湾に至る弧状列島に沿って、北から南へと横一線に並んでいる点が注目される。約 120 万年から 80 万年前のこの時期には、それまで南北性のプレートの応力場が東西性の応力場に転じ南北性の高角逆断層が形成され、急速に上昇した地塁状の山地と、その間に落ち込んだ盆地状の地形が中部地方から近畿地方にかけて広域にでき上がっている(藤田, 1983 の六甲変動に相当)。トカラ海峡の裂線を境界とする断層により、種子島や屋久島を含む南九州が約 30° 反時計回りのブロック回転運動を行なったのも、恐らくこの時期に相当するものと思われる(小玉, 1995)。

以上の点を総合すると、沖縄島における約 1,000 m にも達する地塊の陥没、基盤の沈下といった断層運動を伴う地殻運動は、沖縄トラフの形成ならびに太平洋・フィリピン海両プレート運動と密接に関連したものといえよう。そして、琉球サンゴ海の拡大する大海進期ならびに国頭礫層の成因は、前述の断層運動を伴う地殻運動と調和しているといえよう。

III. 照葉樹林の起源について

琉球列島の植生は、マングローブ林と照葉樹林によって特徴づけられている。マングローブ林は、主に西表島および石垣島などの海岸部に分布する。一方、照葉樹林は内陸部の山地や、潮風の影響の少ない湿潤な谷部に分布している。

このような植生は、いつの時代に成立したのだろうか。とりわけ琉球列島における照葉樹林の起源は、ボルネオ山地・中国南部をルーツとし、どのようなルートを経て、いつ頃日本に北上してきたかを解明する上からも重要である。ここでは照葉樹林の起源について、花粉分析結果を基に考察を行なう。

これまで、亜熱帯地域における花粉分析による植生変遷史の解明を目的とした研究例は、わずかに Tsukada (1967) による台湾中央部の日月潭

(標高 745.5 m) での例が知られているのみであった。

黒田 (1993) は琉球列島における植生変遷史を明らかにするために、沖縄県宜野座村漢那に建設された漢那ダムの建設工事の掘削現場(図 3 参照)において、国頭礫層中の泥炭質堆積物より花粉分析のための連続柱状試料を採集し、花粉分析を行なった。国頭礫層は第四紀更新世初期～中期に対比される非石灰質堆積物からなり、層序的には琉球石灰岩と同時に異層の関係にあるとされている(Furukawa, 1979)。

花粉分析結果については、図 5 の花粉ダイアグラムに示す。最下部の約 5.0 m から 7.0 m 区間の層準においては、マツ属 (*Pinus*)・スギ属などの針葉樹花粉が卓越する。針葉樹の中では、スギ属花粉の頻度が 20 % を超える高い頻度で出現するのが特徴である。針葉樹以外の木本花粉では、フウ属・サルスベリ属 (*Lagerstroemia*)・ハイノキ属 (*Symplocos*)・モチノキ属 (*Ilex*) などが、全層準をとおして比較的高い頻度で検出される。そのほか、フウ属同様に現在の日本・琉球列島に自生しない樹種で、台湾ならびに中国南部に分布するナンキンハゼなどの南方系植物花粉化石が、低頻度ではあるが検出されるのも特徴の一つである(図 5 参照)。

この最下部の層準の上位では、マツ属・スギ属などの針葉樹花粉の急激な減少に伴い、これらに代わってアカガシ亜属 (*Cyclobalanopsis*)・シイノキ属 (*Shiia*) などの、いわゆる照葉樹林構成樹種花粉の占める頻度が急増する。あたかもスギ花粉の急激な減少に連動するように、つぎの 7.9 m, 9.9 m, 14.3 m および 15.3 m の各層準から海成プランクトン化石 (*Cymatiosphera*) が検出され、注目に値する(図 5 参照)。

スギ属花粉は前述した新里層同様、ここでもフウ属およびナンキンハゼなどと一緒に混在して、しかも多量に検出されている。国頭礫層の最下部(図 5 参照)で認められるような急激なスギ花粉の減少が、いかなる生態的な要因によって引き起こされたかについても定かではない。現在のところ、先に述べたような急激な地殻変動(急激な陥

図 5 沖縄県宜野座村漢那ダム周辺地域における国頭礫岩層の主要花粉ダイアグラム。
 Fig. 5 Pollen diagram of the Kunigami gravel formation, near Kanna Dam site, showing the occurrence of main pollen and spores.

没・沈降)を考える以外に、このような事実をうまく説明できない。

琉球列島における照葉樹林の成立の時期については、花粉分析例が少ないため今のところ断定できないが、その出現した時期としては、ほぼ琉球石灰岩が堆積を開始した頃とするのが妥当と思われる。琉球石灰岩の生成した時期が、今から約120万～80万年前(Furukawa, 1979; 木崎, 1985; 木村, 1991, 1995)と考えられているので、照葉樹林が成立した時期も、ほぼ同じ時期に相当するものと考えられる。

IV. 最終氷期から完新世にかけての古環境と植生の変遷

緯度的には亜熱帯地域に位置していて、そのうえ大陸側に東シナ海のような内海をもつ琉球列島では、ほぼ同緯度のフロリダ半島などに比べて冬季でも雨が多い。また、気温の年較差も小さくて安定しているため、琉球列島には緑豊かな亜熱帯降雨林が繁茂している。

ところで、今から1万5,000～2万5,000年前の最終氷期最盛期には、海面は現在と比べて相対的に140 m近く低下していたと考えられ、大陸側にある東シナ海の大半は干出し、大陸縁の一部となり、内海の占める面積は大幅に減少していたと思われる(図6)。このような環境下では内海からの蒸発量が減少し、高い山地の少ない琉球列島では、現在と比べて冬季の降水量が減などの著しい気候変化が予想される。

最終氷期から後氷期における環境と植生の変遷を解明するため、洪積層と沖積層の境界を含む伊是名島のボーリング・コア試料を用いて花粉分析を行なった。花粉分析地点の位置図は図3に示す。

花粉化石の抽出には、KOH-ZnCl₂ アセトリシス法を用いた。花粉・胞子の同定に際しては300倍または600倍で検鏡し、1試料につき木本花粉の合計が200粒以上になるまで同定した。花粉分析結果は、木本花粉を基数として花粉・胞子の種類ごとに百分率で示した。

図7に示す花粉ダイアグラムには、主要な樹種の分析結果ならびに¹⁴C年代測定結果を示す。伊

図6 更新世末期ウルム氷期(約2.5万年前)における琉球列島周辺の古地理復元図。(木村, 1996による)

Fig. 6 Reconstructed paleogeographic map in the Würm Glacial Epoch in the latest Pleistocene around the Ryukyu Islands. (from Kimura, 1996)

是名島におけるボーリング・コア試料の花粉分析は、標高-18.0～-11.0 m区間の、主にシルト質堆積物を用いて行なった。

¹⁴C年代測定値は、深度(標高)-17.7 mおよび-12.7 mの層準から採取した貝殻片を用いて行なったところ、それぞれ22,860 ± 2,300 y.B.P. (GaK-15266), 6,970 ± 100 y.B.P. (GaK-16528)の値を示し、更新世(洪積層)ならびに完新世(沖積層)に対比された。花粉分析結果ならびに¹⁴C年代測定に用いた貝殻片等などが混在する点から判断して、海水準が大幅に低下していたと考えられる最終氷期最盛期(22,860 ± 2,300 y.B.P.)においても、伊是名島周辺域は現在同様、依然として海域であったといえる(図6参照)。

1) 更新世最末期の古環境と植生

¹⁴C年代測定ならびに花粉分析の結果、更新世最末期の地層に対比される層準は-14.0 m以深で

図7 伊是名島内花千原低地の更新～完新統の主要花粉ダイアグラム。

Fig. 7 Pollen diagram of the uppermost Pleistocene to Holocene section, showing the occurrence of main pollen and spores.

あることが明らかになった。花粉分析は図7に示す深度-17.0~-18.0 m 区間のシルト質堆積物を用いて行なった。

主要花粉組成としては、マツ属・イヌマキ属 (*Podocarpus*) などの針葉樹種花粉が圧倒的に多く検出され、大半を占める。一方、アカガシ亜属 (常緑カシ)・シイノキ属・マテバシイ属 (*Pasania*)・ヤマモモ属 (*Myrica*) などの照葉樹林構成要素についてもかなりの数が検出されたが、針葉樹花粉に比べて全体的にその占める頻度は低かった。草本花粉としては、イネ科 (*Gramineae*)・ヨモギ属 (*Artemisia*)・ガマ属 (*Typha*) などが検出されたが、その頻度は極めて低い。シダ孢子としては、ウラジロ属 (*Gleichenia*)・カニクサ属 (*Lygodium*)・イノモトソウ属 (*Pteris*) なども検出されるが、その頻度は草本花粉同様に低い。

現在の伊是名島における年平均気温は 22.5℃で、ほぼ那覇市と同じである。ところが年間降水量に関しては、約 1,800 mm と那覇市の約 2,100 mm に比べて少ない。そして、その植生は新納 (1965) によると、大きく分けてウバメガシ (*Quercus phillyraeoides*)—ヒトツバ (*Pyrrosia lingua*) 群落およびリュウキュウマツ (*Pinus luchuensis*)—ウバメガシ群落の二つからなるとされている。ウバメガシ—ヒトツバ群落は、珪岩 (チャート) の露出した斜面に発達する。一方、リュウキュウマツ—ウバメガシ群落は、主に地神山 (120 m) の山麓部などの低地部から斜面の勾配が急に大きくなってくるような個所に分布するとされている。

花粉組成からみた場合、現在の植生に比べ、照葉樹林を構成する要素が針葉樹の頻度に比べてかなり少ないといえる。ところが、アカガシ亜属・シイノキ属・ヤマモモ属などの照葉樹林構成樹種に取って代わって、本来増加すべき暖温帯～冷温帯に分布するモミ属・ツガ属などの針葉樹花粉や、ハンノキ属 (*Alnus*)・コナラ亜属 (*Quercus*) などの落葉広葉樹花粉がほとんど検出されない点があげられる。

このような花粉組成からは、照葉樹林構成要素が少ないからといって、ただ単純に気温の低下が

影響しているとの解釈は成り立たない。もしも気温のみが低下したと解釈するならば、本来増加すべき暖温帯～冷温帯に分布するモミ属・ツガ属などの針葉樹花粉をはじめとして、ハンノキ属・コナラ亜属などの落葉広葉樹花粉に関しても増加してしかるべきである。ところが、分析結果は前述のとおりそのようにはなっていない。

以上のような理由から、当時の年平均気温は現在に比べてあまり低くはならなかったとみなされる。モミ属・ツガ属などの針葉樹や、ハンノキ属・コナラ亜属などの落葉広葉樹花粉がほとんど検出されないなどの理由により、気温の低下があったとしても、せいぜい 1.0~2.0℃の範囲と考えられる。一方、降雨量の方は現在に比べてかなり少なく、当時の気候としては現在よりもかなり乾燥していたことが予想される。照葉樹林を構成する花粉の頻度がリュウキュウマツやイヌマキなどの針葉樹に比べて低いことの要因は、気温の低下ではなくて、降水量の大幅な減少にあるといえる。そのため、照葉樹林構成樹種は乾燥気候に対応すべく、ほそぼそと針葉樹と共存していたことを裏付けている。

このような最終氷期に対比される層準の花粉組成からは、琉球列島における当時の乾燥した古気候が読みとれる。現在の東海大陸棚の水深 122 m の海底からは、最終氷期の頃に生息していたと思われる哺乳類化石が数多く発見されている (中村ほか, 1996)。それら化石の多くは“くちみの瀬”と呼ばれる場所に集中して発見される (Otsuka, 1989)。この場所は、当時の旧河川に沿ってできた“水飲み場”と考えられる。また、樹幹や樹根の化石がほとんど発見されないなどの点から考えて、その当時の東シナ海の大陸棚の大半は、乾燥した低平な不毛の大地と化していたことが想像される。表1に示すように、この時期には九州・沖縄などに規模の大きな古砂丘が発達し、琉球列島においては風成塵起源のマージと呼ばれる土壌が広域に発達することも上記の事実と調和的である (古川, 1976; 成瀬・井上, 1982, 1987)。琉球列島の森林に生息していたと考えられるリュウキュウジカ、リュウキュウムカシキョンなどの哺乳動

表1 琉球列島および九州の更新～完新統の堆積相とそれらの対比。(古川, 1976より作成)

^{14}C 年代測定値 (試料採集者: 古川博恭, 年代測定者: 木越邦彦), (P) 𧄾石, (OP) オレンジ色𧄾石.

¹⁴ C sample collected in the surveyed areas by H. Furukawa and measured by K. Kigoshi.

Ⓟ pumice, Ⓢ orange pumice, P.F.: pumice flow.

[illegible]

物がこの時期に絶滅したこととも関連し、その要因の一つとしては、乾燥気候に伴う照葉樹林をはじめとした大幅な森林の減少が示唆される。

2) 完新世の古環境と植生

完新世に対比される堆積物は、伊是名島のボーリングコアの-13.9~-11.0 m 区間におけるシルト質堆積物に相当する。-12.7 m (標高) から採取した貝殻の ^{14}C 年代測定結果は $6,970 \pm 100$ y.B.P. (GaK-16528) の値を示している。この時期に対比される主要花粉組成のダイヤグラムは図7に示される。沖積層基底礫 (標高約-14.0~-17.0 m) を境にして、最終氷期最盛期の頃栄えたマツ属などの針葉樹花粉に取って代わってアカガシ亜属 (常緑カシ)・シイノキ属・マテバシイ属・ヤマモモ属などの照葉樹林構成要素が極めて短期間の間に急増している。その他、イヌマキ属をはじめエゴノキ属 (*Styrax*)・ハイノキ属・ウラジロエノキ属 (*Trema*)・ツツジ科 (*Ericaceae*) などの花粉についても普遍的に検出される。

樹木花粉では、照葉樹林構成要素とは対照的に、マツ属などの針葉樹種花粉の占める頻度が著しく低いのが一つの特徴である。草本花粉としては、低頻度ではあるがイネ科・ヨモギ属・アリノトウグサ属 (*Haloragis*)・フサモ属 (*Myriophyllum*) などが検出された。シダ孢子としては、イノモトソウ属・ウラジロ属・カニクサ属なども検出されたが、その頻度は草本同様あまり高くない。

これらの花粉組成は、ウバメガシーヒトツバ群落およびリュウキュウマツーウバメガシ群落からなる伊是名島の現植生よりも、現在の沖縄島北部の山原 (やんばる) 地域のスダジイ (*Shiia sieboldii*)—オキナワウラジロガシ群落からなる照葉樹林に近いといえよう。つぎに、古植生に基づき当時の伊是名島地域における古気候を推定してみよう。気温の方は現在とさほど変わらないが (年平均気温で1~2℃ 高い程度)、降雨量は現在に比べて多く、沖縄島に近い湿潤な気候が考えられる。

汎世界的な海水準の低下をもたらした最終氷期も終わり、高緯度地方をおおっていた氷床の後退に伴って海水準も上昇に転じると、沿岸部などで

は沖積層の基底部を構成する砂礫層などの粗粒堆積物の堆積が始まる。その頃になると、琉球列島においては冬季に支配的であったと考えられる乾燥気候も和らぎ、乾燥した最終氷期を耐えてはそぼそと自生してきた照葉樹林が、気候の湿潤化に呼応して急速に勢力を広げていった。

V. おわりに

平成5年度から始まった「南西諸島におけるマングローブの消長と第四紀後氷期以降の気候変動 (文部省科学研究費補助金、一般研究B、課題番号05454604)」の花分析等の研究成果から、琉球列島における第四紀の古環境と植生の変遷についての多くの知見が得られた。これらを要約すると以下のとおりである。

(1) 沖縄島の鮮新世末~更新世前期の地層からは、スギ・ヒノキの材化石に加えて、スギ属・ツガ属などの冷温帯地域に特徴的に分布する樹種の花分析が、フウ属・ナンキンハゼ・ダクリディウムなどの沖縄島以南の熱帯~亜熱帯に分布する南方系樹種の花分析といっしょに混在して検出されることなどが明らかにされた。これらの事実は、鮮新世末~更新世前期 (約200万~80万年前) には、スギ・ヒノキが自生できる標高1,000~1,500 m クラスの山地が、熱帯~亜熱帯気候の支配していた平野部や丘陵地の背後に存在していたことを示している。

(2) 国頭礫層の最下部 (約80万年前) で認められる急激なスギ花粉の減少は、沖縄トラフの形成と関連した断層運動に伴う地塊の陥没、基盤の沈下といった、地殻運動による山地の急激な低下に起因することが示唆される。

(3) 琉球列島における照葉樹林の成立の時期は、花粉分析結果によると、琉球石灰岩の堆積が開始した更新世前期 (約120万~80万年前) にさかのぼることができる。

(4) 最終氷期の花分析組成からは、琉球列島における当時の乾燥した古気候が読みとれた。当時生息していたと思われる哺乳類化石が当時の河口域と考えられる地点からのみ発見されることや、樹幹や樹根の化石がほとんど発見されないなどの点

から考えて、東シナ海の大陸棚の大半は乾燥した不毛な大地と化していたことが支持される。また、この時期には九州・沖縄などに規模の大きな古砂丘が発達し、琉球列島においては風生塵起源のマージと呼ばれる土壌が広域に発達することも、花粉分析結果から示された乾燥気候と調和的である。また、この時期には琉球列島の森林に生息していたリュウキュウジカ、リュウキュウムカシキョンなどの哺乳動物が絶滅したことも、乾燥気候に伴う大幅な森林の減少との関連が示唆される。

(5) 完新世において、汎世界的な海水準の低下をもたらした氷床の後退に伴って海水準も上昇に転じると、乾燥気候も和らぎ、乾燥した最終氷期を耐えてほそほそと自生してきた照葉樹林は急速に分布域を拡大して、現在の琉球列島の植生を特徴づけているマングローブ・照葉樹林が成立した。

謝 辞

本論をまとめるにあたり、前琉球大学教授古川博恭博士には、原稿を校閲していただくとともに、討論をしていただいた。琉球大学理学部木村政昭教授には、花粉分析試料の提供をしていただくとともに、琉球列島の古地理の復元に際し、有益な助言をいただいた。沖縄県立北谷高等学校大城逸朗博士には、花粉分析試料の提供をしていただいた。本論は文部省科学研究費補助金、一般研究 B「南西諸島におけるマングローブの消長と第四紀後氷期以降の気候変動、課題番号 05454604」の研究成果を中心にまとめたものである。この場を借りて、上記の方々ならびに当局に深く感謝する。

文 献

- 藤田和夫 (1983): 日本の山地形成論・地質学と地形学の間。蒼樹書房, 466p.
- 古川博恭 (1976): 沖縄および九州地方の完新世地史。琉球列島の地質学的研究, 1, 127-131.
- Furukawa, H. (1979): Quaternary geologic history of the Ryukyu Islands. *Bull. Sci. Eng. Div., Univ. Ryukyus (Math. and Nat. Sci.)*, 27, 99-161.
- 木村政昭 (1991): 音波探査記録からみた琉球弧の第四紀陸橋。中川久夫教授記念地質学論文, 109-117.
- 木村政昭 (1995): 琉球弧の陸橋について—最近の潜水調査結果をふまえて—。南島史学, 44, 38-53.
- 木村政昭 (1996): 琉球弧の第四紀古地理。地学雑誌, 105, 259-285.
- 吉良竜夫 (1948): 温量指数による垂直的なわちかたについて。寒地農学, 2, 143-173.
- 吉良竜夫 (1949): 日本の森林帯 (林業解説シリーズ)。日本林業技術協会, 17p.
- 木崎甲子郎・高安克巳 (1975): 琉球列島の成立。海洋科学, 8, 50-56.
- 木崎甲子郎・大城逸朗 (1977): 琉球列島の古地理。月刊海洋科学, シンポジウム 94-95, 9, 38-45.
- 木崎甲子郎編著 (1985): 琉球弧の地質誌。沖縄タイムス社, 278p.
- 小玉一人 (1995): 南九州の古地磁気とテクトニクス。月刊地球, 17-6, 411-413.
- 黒田登美雄 (1993): 南西諸島の植生変遷史。日本花粉学会第 34 回大会講演要旨, 29-32.
- 松岡数充・西田史朗 (1978): 沖縄本島第四系の化石花粉 (予報)。琉球列島の地質学研究, 3, 123-128.
- 中村俊夫・大塚裕之・奥野 充・太田友子 (1996): 東シナ海の大陸棚および琉球弧の海底から採取されたほ乳類化石の加速器質量分析法による ^{14}C 年代測定。地学雑誌, 105, 306-316.
- 成瀬敏郎・井上克弘 (1982): 北九州および那国島のレス—後期更新世の風成塵の意義—。地学雑誌, 91, 164-180.
- 成瀬敏郎・井上克弘 (1987): 喜界島の石灰質風成砂層の ^{14}C 年代。地球科学, 41, 198-201.
- 新納義馬 (1965): 伊平屋, 伊是名諸島のウバメガシ群落。琉球大学文学部紀要 理学編, 8, 118-124.
- 新納義馬・宮城康一 (1988): やんばるの森, いま昔。池原貞雄・加藤祐三編著: ニライ・カナイの島じま。築地書館, 127-148.
- 野原朝秀 (1976): 貝形虫からみた島尻層群 (予報)。琉球列島の地質学研究, 1, 71-78.
- 沖縄地学会編著 (1982): 沖縄の島じまをめぐって。日曜の地学 14。築地書館, 228p.
- Otsuka, H. (1989): Pleistocene mammalian fauna from the continental shelf of the East China Sea with special reference to the Zhoukoudian Fauna in China. *International Symposium on Paleoanthropology in Commemoration of the 60th anniversary of the discovery of the first skull of Peking Man. Abstracts and Field Excursion Guide*, 107-108.
- 小澤智生・井上恵介・富田 進・田中貴也・延原尊美 (1995): 日本の第三紀暖流系軟体動物群の概要について。化石, 58, 1-6.
- 林 朝繁・周 瑞燦 (1975): 台湾地質。台湾省文献委員会, 450p.
- 田中裕一郎 (1993): 海洋微化石による生物温度計への試み—鮮新世石灰質ナンノ化石を例に—。化石, 55, 65-76.
- 田中貴也・延原尊美・小澤智生 (1995): 静岡県の上部鮮新統大日砂層より産出したダイミヨウイモガイ。貝類学雑誌 (日本貝類学会誌), 54, 57-63.
- Tsukada, M. (1967): Vegetation in subtropical

Formosa during the Pleistocene glaciations and the Holocene. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, **3**, 49-64.
塚田松雄 (1980): 杉の歴史: 過去一万五千年間. 科学, **50-9**, 538-546.

Tsukada, M. (1986): Altitudinal and latitudinal migration of *Cryptomeria japonica* for the past 20,000 years in Japan. *Quatern. Res.*, **26**, 135-152.

(1996年2月19日受付, 1996年4月15日受理)