

# 房総丘陵における植生変遷に関する花粉分析学的研究

内山 隆・江上 邦博・齋藤 崇人

## A Palynological Study of the Vegetation History of the Boso Hill, Chiba, Japan.

Takashi UCHIYAMA, Kunihiro EGAMI, Takahito SAITO

### Abstract

In comparison with other areas, the forest vegetation of the South Chiba Boso Hill is sequentially compressed vertically, and the flora of the Boso area is characterized by a mixture of species derived from a warm temperate zone and a cool temperate zone. In order to examine the historic background of the characteristic vegetation, dating, pollen analysis, and tephra analysis were performed using sediment from the Holocene epoch. In particular, classification focused on *Castanopsis* - *Castanea* pollen under SEM and a close inspection of *Tsuga* pollen under LM. As a result, three phases of change in the forest were determined from ca. 9,000 cal BP to ca. 6,000 cal BP. The first phase was dominated by Pinaceae coniferous and a broad-leaved mixed forest mainly involving the *Ulmus*, *Zelkova* and was maintained to ca. 8,500 cal BP. In the second phase, subarctic coniferous trees including *Picea* and the *Tsuga diversifolia* were distributed to ca. 7,000 cal BP. In the third phase, there was a decrease in *Tsuga diversifolia*, and an increase in temperate *T. sieboldii* after ca. 6,300 cal BP. At the same time, a *Castanopsis* forest mainly involving *C. cuspidata* developed. After that, over ca. 6,000 cal BP, *Castanea* and evergreen oak increased, and *Cryptomeria*, a middle temperate forest including *T. sieboldii*, was established. On the other hand, the local herbaceous vegetation which adapted to the back marsh of the Obitsu River was established intermittently. It was speculated that the geographical conditions of dense valleys among low elevation hills and the accompanying low temperature environment in this area, led to favorable conditions for the growth of a coniferous forest, and led to a stagnation of the distribution expansion of deciduous and evergreen broad-leaved forests and formed the characteristic vegetation compression.

### Key-Words

Holocene, Vegetation change, Pollen analysis, Boso hill

### はじめに

房総半島における完新世の植生変遷は、これまで約30カ所の花粉分析によってその概要が示されてきた。なかでも、約3万年前から現在に連続する八千代市における研究<sup>(1)</sup>は、約1.3万年前を境として針葉樹の優占する植生から落葉樹を加えた混交林が成立し、約1.1万年前を境にして針葉樹が急減しコナラ亜属を主とする落葉広葉樹林に変化したことを示している。ただし、植生変遷の起点となる最終氷期最盛期（Last Glacial Maximum以下「LGM」と記す）から現在に連続する分

析例が少ないこと、また花粉形態の識別の多くが属レベルであるために、常緑広葉樹林の構成樹種や冷温帯性樹種のLGM以降における分布範囲の消長は十分に解明されているとはいえない。一方、房総半島南部、なかでも清澄山系にはシイ林のほかカシ林、モミ林が多く分布し、イヌブナ *Fagus japonica* やツガ *Tsuga sieboldii*、ヒメコマツ *Pinus parviflora* など冷温帯性樹種が低標高域に分布している。このような、圧縮された垂直分布は「寸詰まり現象」<sup>(2)</sup>として氷期の遺存種とされてきた。また、低標高の谷筋には落葉広葉樹の分布

域の下降が認められ、沢の冷却効果が示唆されている<sup>(3)</sup>。さらに、稜線部におけるヒメコマツの遺存分布に関しては、急峻な地形要因を背景として考察されており<sup>(4)</sup>、ヒメコマツを含めた冷温帯性樹種の分布に対しては多様な局地的環境要因を検討する必要がある。

本研究は、房総半島の植生変遷の解明を目的として、南部丘陵地域のほぼ中央に位置する君津市久留里大和田周辺において完新世堆積物を採取し、放射性炭素年代測定、花粉分析、テフラ分析を実施した。花粉分析では、ブナ属、ツガ属について光学顕微鏡による精査、シイ属については走査型電子顕微鏡（以下「SEM」と記す）観察によって、それぞれの属に含まれる種の識別を検討した。また、気候変動とはかならずしも連動しない森林帯移動の地形的要因を検討するために、別

報<sup>(5)</sup>において清澄山系を対象に日射量を解析対象として、谷密度に起因する冷却効果について検討を加えた。

## 試料と方法

### 1) 調査地の概要と堆積物

調査地は房総半島南部の清澄山系から北西部に流出する小櫃川によって開析された、北緯35.29、東経140.06にある標高約20mの君津市久留里大和田周辺の旧河道内にある。君津市全域の年平均気温は14~16℃の範囲にあるが、清澄山系を主とする上総地域は激しい隆起と浸食谷によって深い谷地形が卓越し、内陸部の坂畑は13.5℃となり県内で最も低い地域にある。また、年降水量も2,500mmに及び東京湾沿いのほぼ2倍の多雨地域でもある<sup>(6)</sup>。

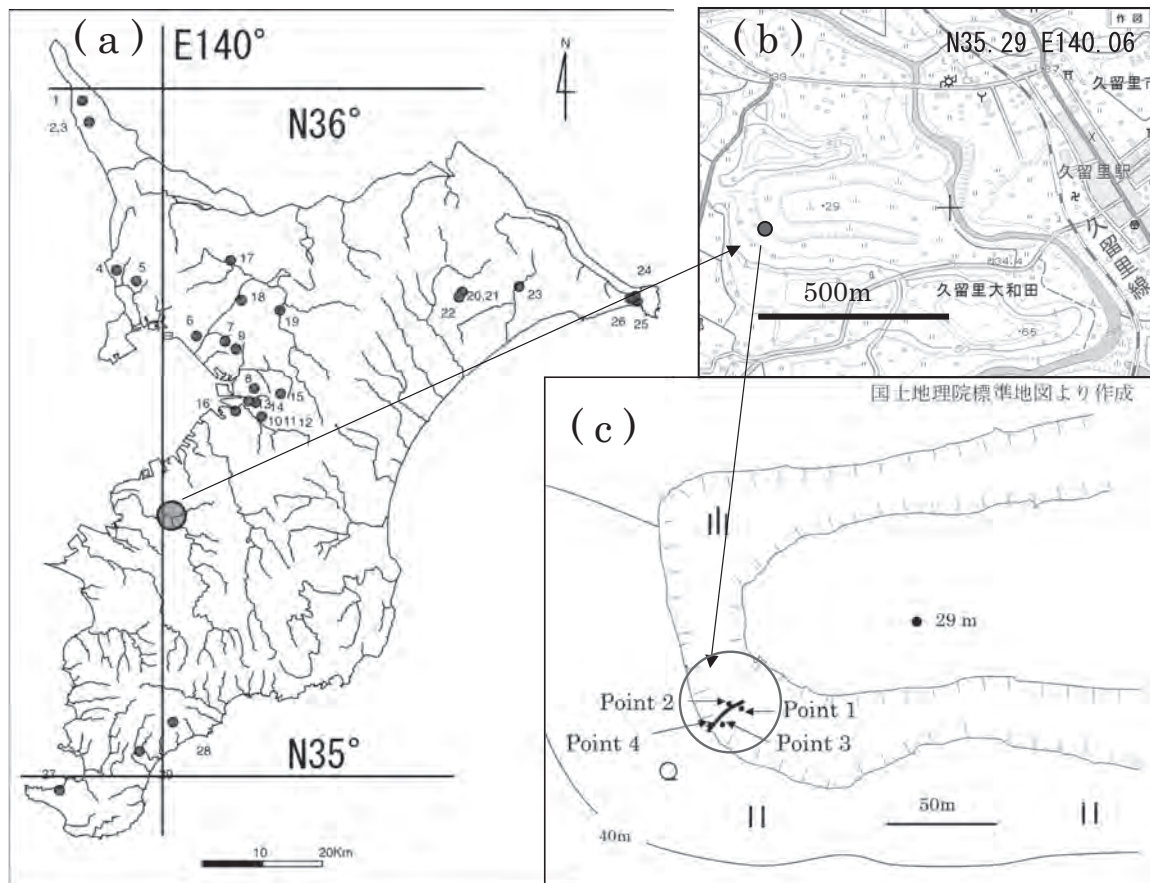


図1：調査位置 (a)、地形図 (b) および試料採取地点 (c) (a および c は国土地理院標準地図2.5万分の1「久留里」より作成)

Fig.1 : Location (a) , topography (b) , sampling points (c) of the study area.

(Topographic map and sampling map is made from 1:25000 map “Kururi” by the Geographical Survey Institute of Japan.)

調査地の上位の段丘面は水田化されており崖地斜面にかけてスギ植林地となっている。斜面内にはマダケ *Phyllostachys bambusoides* が密生しており竹林内にはアラカシ *Quereus glauca*、ハリギリ *Kalopanax septemlobus*、シロダモ *Neolitsea sericea*、ケヤキ *Zelkova serrata* が混在している。斜面上部の林縁にはムクノキ *Aphananthe aspera*、丘陵の尾根にはモミ *Abies firma* が分布している。

試料採取地点の旧河道の両端は高さ約10m程度の崖地になっている (図1)。崖地では複数の路頭を確認し、その中で適当と思われる沢から、ルート上で連続性が確認された路頭4箇所を観察及び試料採取を実施した。なお、調査地点のPoint1~Point4は、下位から上位への

順番である。以下、地点ごとに層相観察結果を記す (図2)。

・ Point 1 (層厚147cm)

最下位は塊状無層理の青灰色シルトからなる。その上位は褐色粘土で、層理方向に灰色粘土の薄層~レンズ、黒褐色粘土の薄層などを含む。その上位は、腐植質な暗褐色粘土と青灰~灰~暗灰色の粘土が互層状に累重する。腐植質な粘土には、黒色粘土の薄層や、青灰色粘土の偽礫 (Pseudoconglomerate) などを含む層準がある。

・ Point 2 (層厚58cm)

下部は灰褐色粘土、中~上部は青灰色粘土質シルトからなる。青灰色粘土質シルトには青灰色粘土の薄

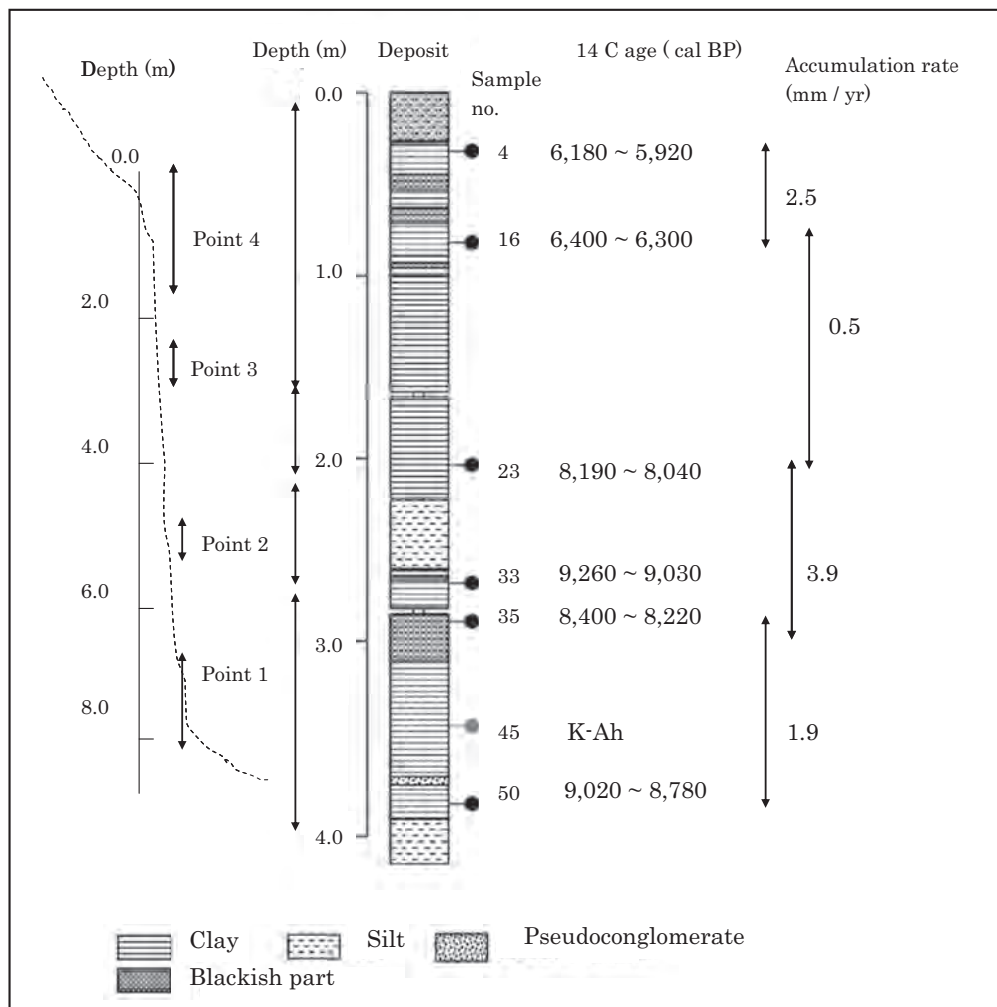


図2：露頭堆積物の層序と年代値、堆積速度との関連

Fig.2: Correlation table showing the stratigraphy of the out-crops and dates, accumulation rates.

層が含まれ、特に下部に多く認められる。

・ Point 3 (層厚46cm)

塊状の青灰色粘土からなり、特に構造等は認められなかった。

・ Point 4 (層厚159cm)

最下位は青灰色粘土～シルト質粘土からなり、上方細粒化が認められる。上部は褐灰色になり、灰白色の粘土がパッチ状に認められる。その上位は暗褐色粘土、灰～褐灰色粘土からなり、いずれも白～灰白色粘土の薄層が含まれる。その上位の青灰色シルト質粘土は、層厚が横方向で大きく変化する。その上位は、白色粘土の薄層を含む暗灰色粘土と、褐灰～褐色粘土が互層状になる。水平方向に不連続な灰白色粘土を挟んで褐灰色粘土が累重する。なお、褐灰色粘土の下位境界は乱れている。最上位は暗灰色シルトからなり、現生の根が多く認められて、根痕に酸化鉄の沈着が顕著である。なお、その上位に40cm以上の表土が累重しているが、今回の調査対象外のため、層厚に含めていない。

全層準から採取した53試料から、層相等を考慮して、花粉分析に30試料を選択した。なお、放射性炭素年代測定(6層準)は(株)加速器分析研究所に依頼し、テフラ分析・屈折率測定(1試料)は(株)パリオ・サーヴェイに依頼した。さらに、検出したシイ型化石花粉のSEM撮影は(株)花市電子顕微鏡技術研究所に依頼した。

## 2) 放射性炭素年代測定とテフラ分析・屈折率測定

堆積物の<sup>14</sup>C年代測定は、混入している根などを除去した後に、炭酸塩など酸可溶成分を塩酸処理により除去し、化学処理後の二酸化炭素を加熱しグラフィットを生成する。測定器は、3MV小型タンデム加速器をベースとした<sup>14</sup>C-AMS専用装置を使用した。

測定された補正年代値に対する暦年較正は、RADIO-CARBON CALIBRATION PROGRAM CALIB REV6.0 (Copyright 1986-2010 M Stuiver and PJ Reimer) と RADIOCARBON CALIBRATION PROGRAM CALIB REV7.01 (Copyright 1986-2014 M Stuiver and PJ Reimer) を用い、テフラの年代値に合わせて誤差とし

て標準偏差(2σ)を用いた。

テフラ分析試料を約20g秤量し、蒸発皿に入れる。水を加え泥水にした状態で超音波洗浄装置により粒子を分散し、上澄みを流し去る。この操作を繰り返すことにより得られた砂分を乾燥させた後、実体顕微鏡下にて観察する。試料の観察は、テフラの本質物質であるスコリア・火山ガラス・軽石を対象とし、その特徴や含有量の多少を定性的に調べる。分析結果を一覧表にて示す。火山ガラスの屈折率を測定することにより、テフラを特定するための指標とする。屈折率の測定は、古澤<sup>7)</sup>のMAIOTを使用した温度変化法を用いた。

## 3) 花粉分析

試料約10gについて、10%水酸化カリウム水溶液による泥化、篩別、重液(臭化亜鉛、比重2.3)による有機物の分離、フッ化水素酸による鉱物質の除去、アセトリシス(無水酢酸9:濃硫酸1の混合液)処理による植物遺体中のセルロースの分解を行い、物理・化学的処理を施して花粉を濃集する。抽出した花粉はグリセリンジェリーで封入した。花粉・胞子の同定は400倍の光学顕微鏡を用いて、二次堆積花粉を除いた花粉胞子総数300個以上になるまで計数をおこなった。ただし、全層準を通じて樹木花粉が少なく、草本花粉、シダ胞子、二次堆積花粉の卓越する層準があることから、二次堆積花粉(写真1)以外の花粉胞子総数を母数として各分類群の出現率を円化した。また、ツガ属花粉の形態<sup>8)</sup>を検討するために9層準で検出されたツガ属花粉の粒径と気嚢部分の幅を光学顕微鏡1000倍の倍率で計測した。シイ・クリ型花粉のSEM観察は抽出処理後に精製水に保存した試料(2層準)からガラス細管で選別収集した花粉を対象とした。

## 結果と考察

### 1) 放射性炭素年代測定とテフラ分析

6層準の年代測定結果(表1)には、一部年代値に逆転があるものの、約9,000～6,000cal BPの堆積物と想定される。年代値の逆転の中で、試料番号33は最も古い年代値を示しており、土壌中に含まれる古い時代の炭

表1: 分析試料(久留里)の放射性炭素年代測定結果

Table 1: Radiocarbon dating of sample (Kururi sites)

試料番号 (深さcm)	補正年代 (yr. BP)	暦年較正年代 (cal. BP) 2σ	Code No.	Radiocarbon calibration program
4 (17)	5,240 ± 30	6,180~5,920	IAAA-130265	CALIB REV 6.0
16 (98)	5,570 ± 30	6,400~6,300	IAAA-130266	CALIB REV 6.0
23 (188)	7,330 ± 30	8,190~8,040	IAAA-133920	CALIB REV 7.01
33 (253)	8,190 ± 30	9,260~9,030	IAAA-133919	CALIB REV 7.01
35 (266)	7,530 ± 30	8,400~8,220	IAAA-130267	CALIB REV 6.0
50 (359)	8,030 ± 30	9,020~8,780	IAAA-130268	CALIB REV 6.0

表2: 火山灰分析結果

Table 2: Mineral composition of the tephra.

試料番号	スコリア			火山ガラス		軽石		
	量	色調・発砲度	最大粒径	量	色調・形態	量	色調・発砲度	最大粒径
4 5	-	-	-	+	cl・bw>br・bw	-	-	-

1) - : 含まれない, + : 微量、2) cl : 無色透明、br : 褐色、bw : バブル型

表3: 火山ガラスの屈折率

Table 3: Reflective index of the excavated volcanic glass.

試料番号	屈折率					対比されるテフラ
	火山ガラスの形態	平均値	最小値	最大値	合計	
4 5	bw	1.501	1.496	1.511	30	K-Ah

素を測定している可能性がある。また、この試料は灰褐色を呈する粘土であり腐植や有機質がほとんど見られない。したがって回収された炭素量が少なかった可能性も考えられる。

一方、試料45に含まれるテフラについて、鬼界アカホヤテフラ(以下「K-Ah」と記す)の屈折率や7300cal BPとされる噴出年代<sup>9)</sup>と比較すると、K-Ahの火山ガラ

ス屈折率<sup>10)</sup>は、一般には、n1.508~1.516の広いレンジをもち、このほかに、水和していないガラスの継ぎ目など、n1.500前後のものまである。また、n1.520に達する高屈折率のものもわずかながらある。これに対して、試料番号45から検出された火山ガラスは、一般的なK-Ahの火山ガラス屈折率より低いレンジを示している。火山ガラスを対象とした屈折率測定の結果を表3、図3に示す。火山ガラスの屈折率は、n1.496~1.506のレンジおよびn1.512を示し、1.497および1.505に弱いピークをもち、屈折率および年代測定値ともわずかな差異がある(表2、表3、図3)。ただし、年代測定試料が腐植および泥炭であるために誤差を含む可能性や、火山ガラスの検出量が微量であったこと、火山ガラスを含む試料が粘土である点などを考慮すると、K-Ah降下後の再堆積により拡散し、より古い堆積物に混入したものと推定され、試料採取地点の地理的環境、火山ガラスの形態や屈折率測定、および本試料採取層準の上下の層準から得られた放射性炭素年代測定結果も考慮す

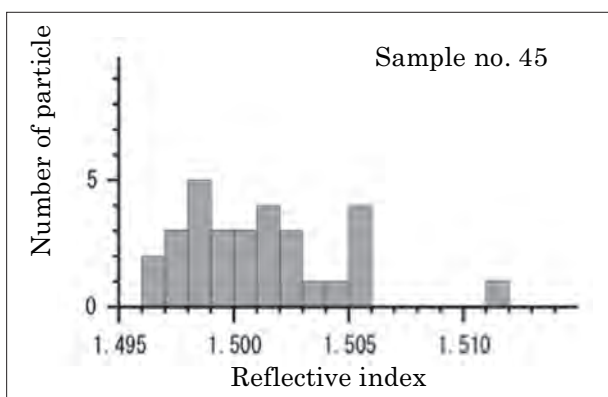


図3: 火山ガラスの屈折率とサイズ分布

Fig. 3: Reflective index and the size distribution of Volcanic glass.

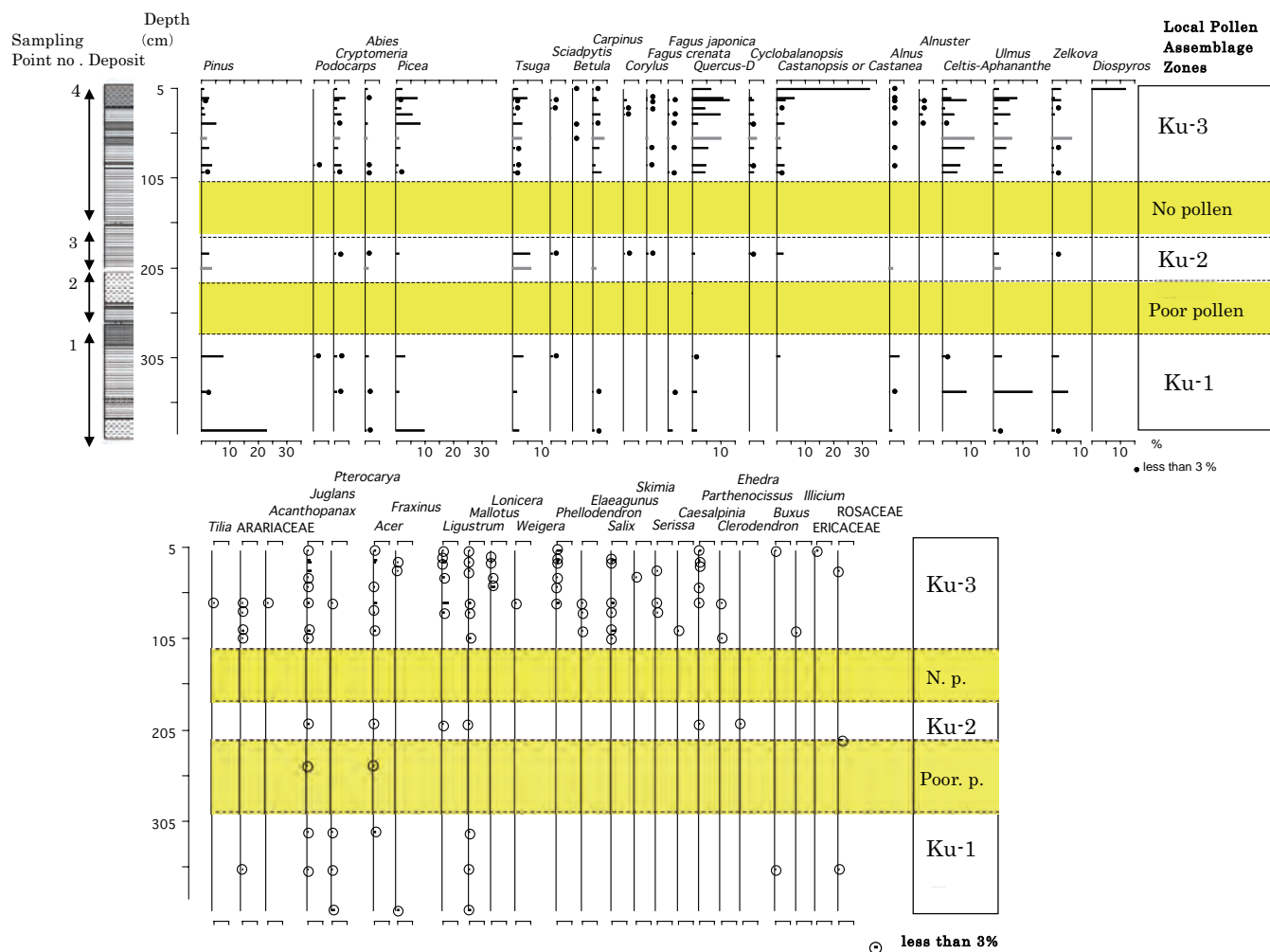


図4：花粉孢子総数（300個以上）を基数とした樹木花粉ダイアグラム  
（灰色棒：出現率の基数が基準以下の層準）

Fig. 4 : Pollen diagrams from the study site ( trees ): the % based on all pollen and spore sum more than 300 grains.  
(Grey bar indicates the % based on less than 200 grains)

ると、試料番号45に含まれるテフラは、南九州の鬼界カルデラを給源とするK-Ah<sup>(9)</sup>と推定される。

放射性年代測定結果を詳細に検討すると、K-Ahが検出された試料番号45の上位にあたる試料番号35の放射性炭素年代は、8,400~8,220cal BP、下位にあたる試料番号50の放射性炭素年代は、9,020~8,780cal BPの暦年較正年代値を示す。町田・新井<sup>(8)</sup>が呈示するK-Ahの噴出年代値（7,300cal BP）は、上位の試料番号35が示す放射性炭素年代より若い。しかし、今回の放射性炭素年代の測定結果は、腐植や泥炭を用いた値であることから、それぞれ1,000年程度の誤差をもつこともあり、検出さ

れた火山ガラスがK-Ahであるものを否定するものとはいえない。また、火山ガラス検出量が微量程度であったことや、採取試料が粘土である点を考慮すると、試料番号45はK-Ahの降下層準ではなく、K-Ahが再堆積により拡散した堆積物と推定される。

さらに、各露頭面の放射性炭素年代測定層準間の堆積速度を一定とした場合、Point 1（試料番号50~35間）では約1.9mm/年となり、この値を最下部に外挿すると約9,000年前（9,160~8,920 cal BP）となる。同様に、最上部のPoint 4（試料番号16~4）では約2.5mm/年となり、この値を最上位に外挿すると、約6,000年前（6,110~

5,850cal BP)となる。また、異なる露頭面の堆積速度に関しては、より古い有機物の混入や再堆積の可能性を考慮し、試料番号33やK-Ahの降下年代を含めずに、露頭間の層相を連続するものとした場合、Point 1と3(試料番号35~23)で約3.9mm/年となる。同様に、Point 3と4(試料番号23~16)では約0.5mm/年となる。このような堆積速度の変化は流出土砂の粒径がシルトや粘土を主としていることから各時期の洪水の掃流能力による差異と考えられ、約9,000cal BPから約8,000cal BPにかけては、流水の影響が強まり堆積速度が上昇し、その後約6,000cal BPにかけて減少したと考えられる。

小櫃川の流路の総延長は100km未満でありながら、安部他<sup>(11)</sup>によれば、小櫃川の「上~中流域での地質が第三紀の堆積岩から構成されて」いるために、「小規模な出水ごとに生じる掃流あるいは浮流」が、「山間平地には通常、2~3段の段丘面」形成の背景にあったとしている。また、調査地周辺における旧河道が明治前期の湿地分布図<sup>(12)</sup>にも示されており、堆積物層序および堆積速度の変化は最近にいたるまで続いた激しい流路の変動を示したものであろう。ただし、こうした堆積環境の変動は花粉堆積量や分類群の構成にも影響するため、古植生の復元には堆積環境の安定した堆積物と比較することが今後の課題といえる。

## 2) 花粉分析

検出した花粉分類群の数は樹木花粉44、草本花粉25、シダ孢子7であった。全体として樹木花粉が少なく、草本花粉やシダ孢子を多量に含む層準があるため、局地的な植生の変動をとらえるために、二次堆積花粉をのぞく花粉孢子総数約300以上を基準として各分類群の出現率を図化した。その結果、花粉堆積量の少ない層準や無花粉層準を介在しているが、主要な樹木花粉の消長をもとに識別した3つの花粉帯を基に、先行研究<sup>(13)</sup>やより南部の安房丘陵で実施された研究<sup>(14)</sup>との対比から考察する(図4)。

### (1) Ku-1 花粉帯(深さ303cm~386cm) : 約9,000cal BP ~ 約8,500 cal BP

高木種ではマツ属 *Pinus* が最下部で約20%出現し、次いでニレ属 *Ulmus* が10%前後、ケヤキ属 *Zelkova* が5%前後、ツガ属 *Tsuga*、トウヒ属 *Picea*、エノキムクノキ属 *Celtis-Aphananthe* がそれぞれ5%以下を示す他、モミ属 *Abies* が数%の範囲で連続的に出現している。一方、草本花粉ではサナエタデ節 *Persicaria* とイネ科 *Gramineae* が15%前後で連続的に出現する他、カヤツリグサ科 *Cyperaceae* が5%前後出現している。この他、シダ孢子の単条溝型 *Monolete type* が最下部で80%に達する優占的な出現を示し、イノモトソウ属 *Pteris* 6%とともにこの花粉帯の下部を特徴づけている。この花粉帯を通して樹木花粉は約30%、草本花粉は約40%、シダ孢子が30~40%で推移している。本花粉帯は、先行研究<sup>(13)</sup>のニレ-ケヤキ属、イヌシデ属 *Carpinus*、エノキムクノキ属・モミ属の出現と、イネ科、カヤツリグサ科、キク科 *Compositae* が連続的に出現している最下部泥炭層に対比でき、樹冠が空いた落葉広葉樹林域の草本が卓越する湿地の植生が想定される。特にニレ科の落葉広葉樹の生育地が沖積地の河川沿いの自然堤防や後背湿地等、河川による地表攪乱が高頻度におきる環境と関連することから、洪水等を背景とする植生が成立していたものと考えられる。この植生を指標する花粉組成は、約8,000 yr BPの同時期の房総半島東端部(銚子)や博多湾岸、宮城県沿岸の花粉分析結果に共通しており<sup>(14)</sup>、全国的に降雨量の増加を背景とした河川の攪乱を示すものであろう。

### (2) Ku-2花粉帯(深さ188cm~205cm) : 約8,000cal BP

本花粉帯下部で5%程度を示したマツ属が上部で約16%に増加し、ツガ属が6%前後、スギ属 *Cryptomeria* 4%、ナギ属 *Podocarps* 2%とともに上部まで出現している。この他、コナラ亜属 *Quercus* とニレ属が約10%やアカガシ亜属 *Cyclobalanopsis*、シノキ属 *Castanopsis*、サワグルミ属 *Pterocarya* が4%で続き、上部にかけて常緑広葉樹を含む針広混交林の成立を示している。一方、草本ではイネ科が5~30%程度

出現する他ヨモギ属が5%以下で推移している。樹木花粉は、この花粉帯の上部にかけて20%前後から70%に増加し森林の発達を示している。同様に草本花粉も30%にまで増加している。一方、シダ孢子は60%程度から急減し上部にかけて安定的な植生に推移したことを示している。シダ孢子の中には、暖地性のイノモトソウ属やシノブ属 *Davallia* などが10%以上出現しており、生育に適した温暖湿潤な気温環境とともに崖地の多い地形環境を示している。

本花粉帯は常緑広葉樹と温帯性針葉樹の混交する中間温帯林の発達を示しているが、先行研究<sup>(13)</sup>ではニレケヤキ属が主要な出現を示す他、モミ属が次いで出現

しており、マツ属とツガ属を主とする本花粉帯と相違する。また、草本ではイネ科やカヤツリグサ科の出現率の高い点も相違点である。ただし、主要な花粉分類群は共通しており、常緑広葉樹の分布拡大も想定することができる。一方、ブナ *Fagus crenata* の出現(3%程度)は1層準のみでブナを含む森林を想定することはできない。この他、ツガ属に関してはコメツガ型が多く検出され亜寒帯林が想定されるが、コメツガの分布に関しては森林帯の移動の項で論述する。一方、通常の花粉形態に比べ圧縮により扁平に変形した花粉化石を、二次堆積花粉として識別したが、マツ科針葉樹としてまとめた分類群 *Re-Pinaceae* は、この花粉帯で

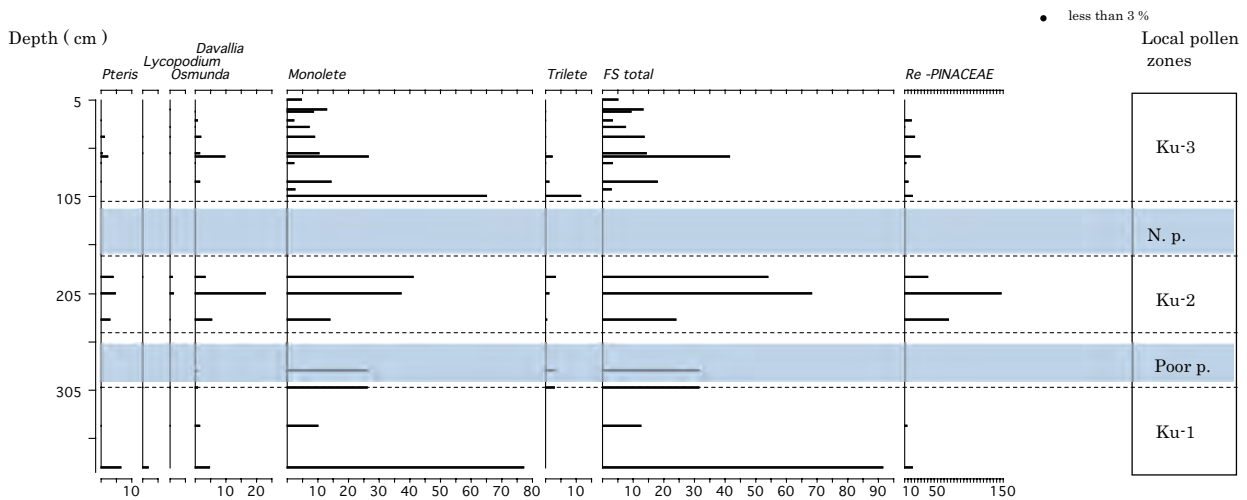
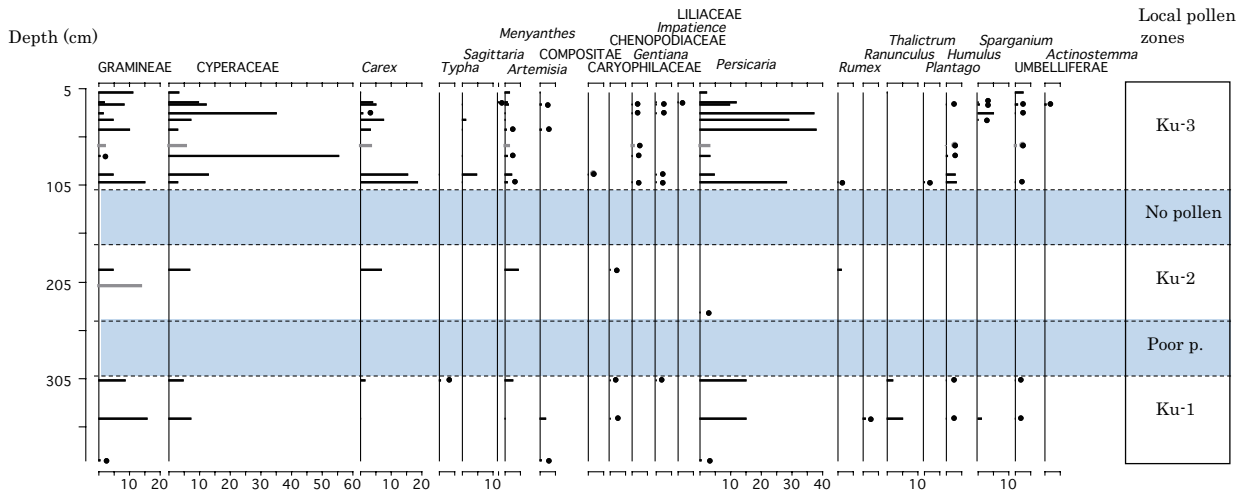


図5：花粉孢子総数(300個以上)を基数とした非樹木花粉ダイアグラム(草本およびシダ孢子、二次堆積花粉を含む)(灰色棒：出現率の基数が基準以下の層準)

Fig. 5 : Non arboreal pollen diagram from the study site (including re-worked pollen and spore) . (Grey bar indicates the % based on less than 200 grains) .



100%を越える出現率を示している。この花粉帯（深さ2m～1.5m）は最も堆積速度が増加した部分であり、増大した流水によって、より古い堆積物が浸食され運搬された可能性を示している。

(3) Ku-3花粉帯（深さ5cm～105cm）：約6,500cal BP～約6,000cal BP

全層準の中で識別された分類群が最も多く、樹木ではコナラ亜属の他、多様な広葉樹が出現する。本帯下部から上部にかけて連続的に約5%で出現するものとしてマツ属、スギ属、ツガ属などがあるがブナおよびイヌブナ *F. japonica* は5%以下である。一方、コナラ亜属、トウヒ属は上部にかけてそれぞれ10%から15%程度に増加する。中でもシイ-クリ型は最上部の層準で30%に達しており、アカガシ亜属の連続的な出現とともに当地域の常緑広葉樹林の成立を示している。ツガ属の類別では、ツガ型の多い傾向にあり、温帯針葉樹林の拡大を示しているが、両種の類別結果に対する考察は、森林帯の移動として後述する。また、本花粉帯の最上

部の層準から、カキ属 *Diospyros* が12%出現しており、「清澄山系では土壌の深い谷沿いに生える」<sup>(16)</sup> リュウキユウマメガキ *D. japonica* Siebold et Zucc が相当するが、1層準に限られている出現などから、森林構成種としての可能性は不明である。また、本花粉帯は最も多くの分類群から構成されており、より多様化した森林の成立を示している。草本花粉においてもサナエタデ節 *Persicaria* が、連続的に出現し上部では40%に達しており、同節のミゾソバ *P. thunbergii* の繁茂する湿地植生を想定できる。

この他、本花粉帯の上部と下部の層準から収集した約30粒のシイ-クリ型花粉のSEM観察した結果、下部ではツブラジイ型が多く上部はクリ型が多い傾向を確認した。この結果をふまえた照葉樹林の成立についても後述する。

(4) ツガ属花粉化石の形態と森林帯の移動

Ku-2花粉帯、Ku-3花粉帯の下部と上部から検出したツガ属花粉について、その赤道径（Equatorial diameter）

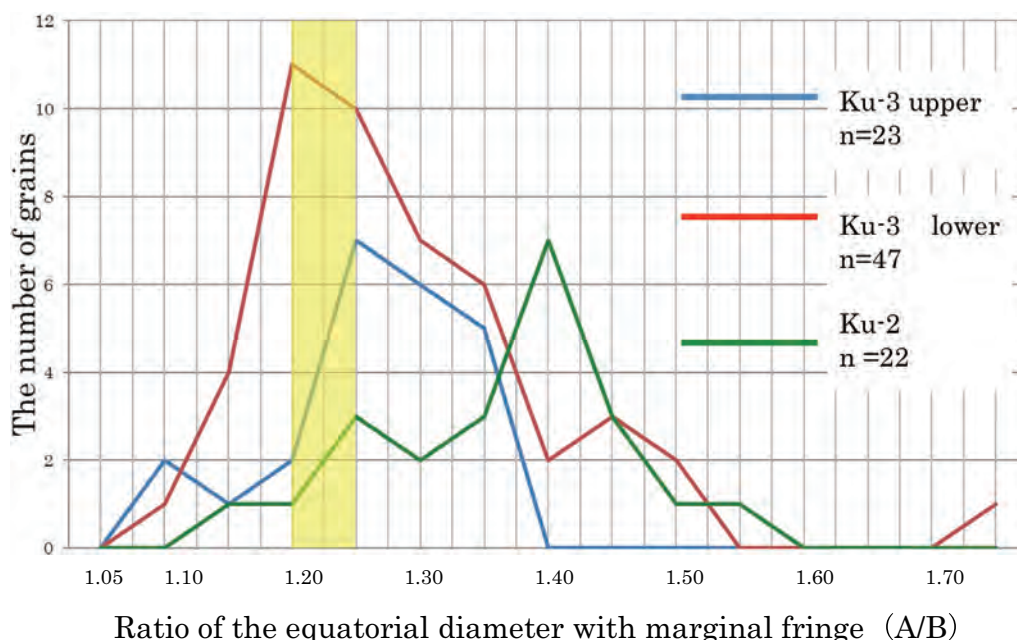


図6：ツガ属花粉の気嚢部分を含めた粒径（A）と本体の粒径（B）のA/B(7)分布図

青線：Ku-3上部の花粉（23粒）、赤線：Ku-3下部の花粉（47粒）、緑線：Ku-2の花粉（22粒）

Fig.6：Distribution diagram of A/B ratio<sup>(8)</sup> on the diameter of *Tsuga* pollen.

Blue line shows the result of the pollen (23 grains) from Ku-3 upper part, Red line: from Ku-3 lower part (47grains), Green line: from Ku-2 (22 grains).

(A) と気嚢部分 (Marginal fringe) を含めた径 (B) を 1000倍の倍率で測定しA/B比率を求めた結果、Ku-2花粉帯の3層準 (深さ233cm, 205cm, 188cm) の計22粒の場合、コメツガ型にピーク (1.40) を持つ一山型の分布を示した。一方、Ku-3下部の9層準 (深さ90cm~33cm) の計47粒では1.20にピークをもつツガ型、さらにKu-3上部の3層準 (深さ5cm~17cm) の計23粒では1.25にピークをもつコメツガ型への移行を示している (図6)。

コメツガの現在の分布域は1500m以上の亜高山帯にあり、関東地方の低地での分布を仮定するならば少なくとも8℃のLGMに匹敵する気温低下が必要となるが、完新世中期にこの規模の気温低下は考えにくく、気温要因以外の要因を検討する必要がある。たとえば、この地域におけるヒメコマツの500m以上の分布域の降下を含めた現存植生に認められる「寸詰まり現象」を、

主に清澄山系の地形的な要因に求めるならば、完新世の異なる時期においても、地形的な要素が亜寒帯性針葉樹種の逃避地として機能していた可能性が想定できる。また、ツガ属花粉のA/B比率から想定される両種の混在状態については、以下の研究から考察する。

東日本のブナおよびイヌブナの詳細な分布地をもとに完新世の移動経路を検討した研究<sup>(17)</sup>は、ブナの北限地以北に認められた垂直分布上の中絶について、気候的には分布可能地域であっても、垂直方向への分布拡大は水平分布の到達の遅れを規定要因として考察している。また、各山岳地の花粉分析結果をもとにした亜高山帯植生の変遷の研究<sup>(18) (19)</sup>は、森林帯の上昇・下降が気候の温暖期にかならずしも同調しないこと、その背景として個々の山岳に特有な要因や気候変化の速度と植物の移動能力などを総合的に考察する必要を示し

Depth (m)	Local pollen zones	Age Ca. cal BP	Vegetation		Local land notes : Accumulation rate (mm/yr)
			Forest	Grass & Herb	
1.0	Ku-3	6,000	Mid temperate mixed forest with <i>Castanea</i> (Upper), <i>Castanopsis cuspidata</i> (Lower)	Gramineae & Cyperaceae and <i>Persicaria</i> .	↑ Marsh Upper : moderate (2.5) ★ Lower : slow (0.5)
		6,300			
	No pollen	(7,000)			
2.0	Ku-2	8,100	Coniferous & deciduous mixed forest consisted with <i>Tsuga diversifolia</i> , <i>Pinus</i> , <i>Abies</i> , and <i>Ulmus</i> .		↓ Flood Fast (3.5)
3.0	Poor pollen			Fern dominant & Reworked Pollen Dominant.	★ Marsh moderate (1.9)
	Ku-1	8,500 9,000	Deciduous broad leaved forest without Beech. <i>Ulmus</i> and <i>Zelkova</i>	<i>Persicaria</i> & Gramineae, Cyperaceae.	↓

図7：花粉帯・年代・植生・堆積速度等の相互関係図

Fig.7 : Correlation table showing the local pollen zone, date, vegetation, and accumulation rate etc.

ている。

こうしたマクロスケールでの植生帯の移動や山岳地の森林帯の差異に関する知見は、本研究における局地的植生分布の説明に直接用いることはできないが、完新世の温暖化以前の寒冷気候の期間は遥かに長期にわたっており、復元されたLGMの植生図<sup>(20)</sup>においても亜寒帯性針葉樹林や温帯性針葉樹林、さらに温帯性針広混交林が西南日本の沿岸地帯にまで分布し、いずれも針葉樹を主とする森林が、列島の地理的背腹性に関わりなく広範囲に分布していたことが想定されている。また、房総半島は、温帯性針葉樹林と温帯性針広混交林の北限域にあり、各森林の分布密度の低い地域からの分布拡大は停滞し混生状態にあったものと想定できる。したがって、約8,000cal BP (Ku-2帯) 以前には低地に分布していたコマツガを主とする亜高山帯植生は温暖化とともに減少したが、約6,500cal BP (Ku-3帯) までは、稜線部に残存し、その後ツガを主とする温帯性針葉樹林に置き換わったものと考えられる。

稜線部の地形的条件は、気候変動に関わらず乾燥や貧栄養になりやすく、ここに適応した針葉樹にとって比較的有利な環境にある。また、房総丘陵の主要部である清澄山系は南北方向に流路をもつ谷密度の高い地形であることから(図1)、年間を通して日射量の少ない地域が多く、とくに冬期における低日射量領域の拡大が明らかになった<sup>(5)</sup>。したがって、冬期の日射量の低さが寒さに結びつくとすれば、谷地形の卓越が温暖種にとって気候的阻害要因になる。既述したように、県内の気温分布<sup>(6)</sup>では、1月の最低平均気温は北部内陸地の八街市(-3.5℃)に次いで上総丘陵の内陸部(-2℃)が低い。また、県内における年平均気温では、君津市坂畑(13.5℃)が最低であり北部内陸部(14.5℃)と比べても冷涼な地域といえる。

このように房総半島沿岸は温暖な地域にありながら、丘陵地域の内部には常緑広葉樹の分布拡大にとって阻害的な低温や地形的に不安定な斜面が多い。一方、丘陵内部は夏の暑さが低減されるために落葉広葉樹の生育適地となるが、地形的に崩壊が起りやすいため常緑広葉樹と同様に安定的な森林は形成されにくい。た

とえば、阿武隈地域では標高700m以下が台地状地形となるが本地域では200m以上が稜線部であるため<sup>(5)</sup>に、丘陵全体が不安定な傾斜地となり落葉広葉樹林の分布が圧縮された「寸づまり」現象を結果したものとえよう。藤平<sup>(21)</sup>は、「房総と西南日本の太平洋側」は、照葉樹林域であると同時に「照葉樹林の上にモミ・ツガがあること」を共通点として指摘し、「房総半島は西南日本の太平洋側から続く植物相の東端」<sup>(22)</sup>とも表現している。この植物相の基盤としては、LGMにあっても暖流による比較的温暖な沿岸部と針葉樹の生育適地となる稜線部が近接していた歴史地理的環境を揚げることができよう。

#### (5) SEM観察による照葉樹林の成立について

アカガシ亜属など常緑広葉樹の花粉が連続的に出現するKu-3花粉帯の上下2層準(K1とK14)からシイ型花粉化石を既報<sup>(23)</sup>の手法に従って選別・抽出し、その概形と表面の微細構造をSEMを用いて観察した。その結果(写真2, 3)、Ku-3花粉帯下部からは10粒中、ツブラジイ型を8粒、スタジイ型とクリ型を各1粒検出し、上部からは19粒中、ツブラジイ型とスタジイ型を各1粒とクリ型4粒を判別した。その他、不純物の付着したものが13粒あり、その中の2粒を畝の形状等の特徴をもとに、クリ型に含めると計6粒となる。残り11粒は花粉表面全面が不定形の不純物に被われて類別が困難であるが、粒径はすべてクリ型(極径15 $\mu$ m以下)の範囲に相当する。

全体として30粒程度のSEM観察であるため、森林の構成樹種の定量的な検討は困難であるが、銚子地域<sup>(15)</sup>の場合でも、約8,000cal BPにクリ型を主としてツブラジイ型とスタジイ型の混在を示しており、植生が、約4,000cal BPにはシイ属2種を主とする混在型の植生へ変化したことを示している。本研究では約6,500cal BPまでツブラジイ *Castanopsis cuspidata* を主とする植生が成立しており、約6,000cal BP以降はクリ *Castanea crenata* を主とする植生への変化しており、クリの選択的利用を含む人為の影響が想定される。

したがって、これまでの光学顕微鏡でシイ-クリ型と

された花粉には、ツブラジイ、スタジイ、クリを含んでいる可能性があり、特にクリを含む照葉樹林の分布拡大を推論する必要がある。たとえば、より南部の安房丘陵で実施された先行研究<sup>(14)</sup>によれば、「約4,400～3,000年前に成立していたスタジイ林に常緑カシ類の侵入を認め、約3,000年前頃に常緑カシ類の森林が拡大し、約1,000年前頃まで、モミ属、ツガ属を含む針葉樹と常緑広葉樹の混生した森林の分布を示している」。しかし、本分析結果をふまえればシイ-クリ型花粉をスタジイのみに代表させることは困難であり、縄文期以降の植生変遷に関しては、現在県内に広く分布するスタジイ林に先行したクリ林やツブラジイ林の成立を検証する必要がある。

## 要約

千葉県南部房総丘陵の森林植生は、他地域と比べて垂直的に圧縮された配列を持っており、暖温帯と冷温帯の植物群の混在とともに房総の植物相を特徴づけている。その特徴的な植生の歴史的背景を調べるために、完新世の堆積物を用いて、年代測定、花粉分析、テフラ分析をおこなった。特に、シイ-クリ型花粉のSEM観察、ツガ属花粉の光学顕微鏡での精査によって種の識別を検討した。その結果、約9,000cal BPから約6,000cal BPまでに3段階の森林の変遷と断続的な湿地植生の成立を以下のように認めた(表3)。

- 1) マツ科針葉樹とニレ属、ケヤキ属を主とする針広混交林が約8,500cal BPまで分布していた。
- 2) トウヒ属やコメツガを含む亜寒帯性針葉樹林は約7,000cal BPまで分布していた。
- 3) 約6,300 cal BP以降、コメツガが減少しツガが増加した。同時にツブラジイを主とするシイ林が成立した。その後、約6,000 cal BPにかけて、クリとカシ類が増加し、スギ、ツガを含む中間温帯林が成立した。この他、小櫃川の流路の変動に伴う後背湿地にはサナエタデ節が優占する植生地が断続的に成立した。さらに、この地域の森林の垂直分布における圧縮は、谷密度の高さから推定された低日射量地域と内陸部の低温環境が常緑広葉樹の分布拡大を停滞さ

せ、稜線部の不安定な地形環境が針葉樹に有利に作用したために落葉広葉樹の分布域が制限された結果と考察した。

## 謝辞

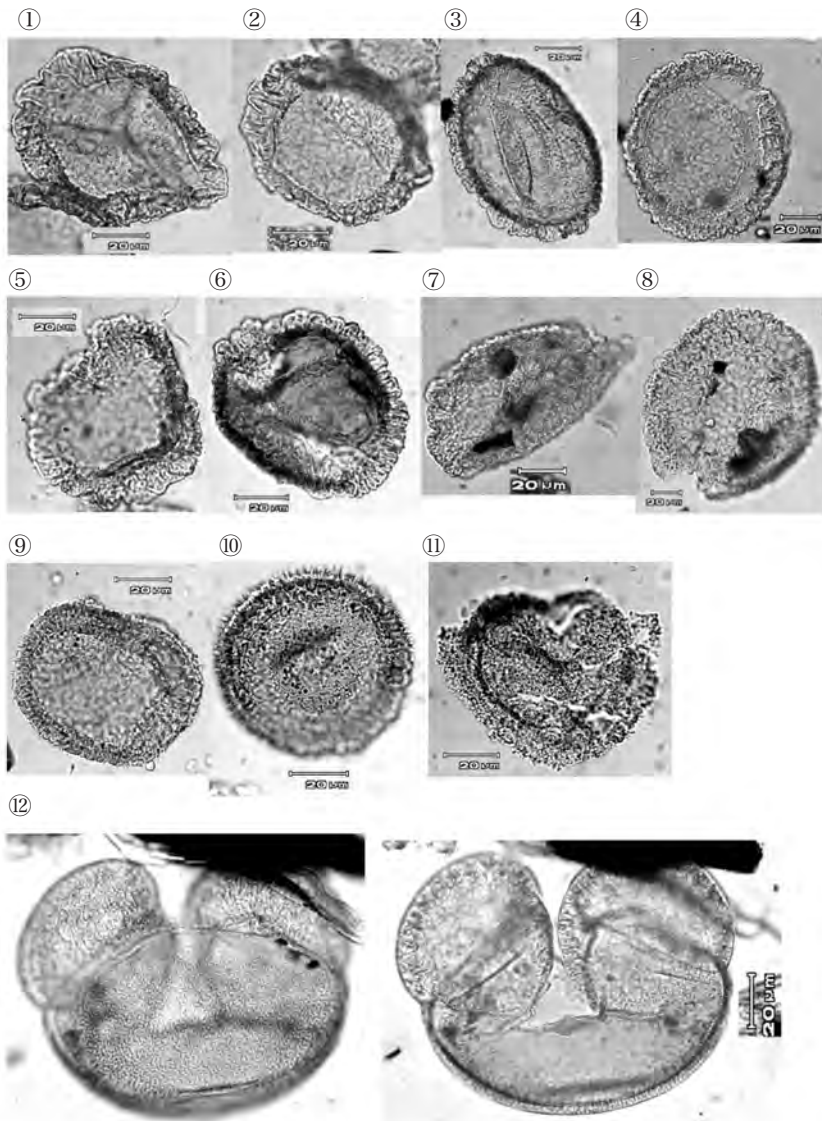
本研究を進めるにあたり、調査地の案内、君津市の植生などご教示いただきました藤平量郎先生に心より感謝申し上げます。また、英文要旨に関して、Kimiye Kawashima氏の協力を得ました。記してお礼申し上げます。尚、本研究は平成25年度千葉経済大学短期大学部の共同研究助成費(代表者 江上邦博)を受けて実施されたものであり、関係された皆様に感謝申し上げます。さらに、年代測定など一部の経費に関しては基盤研究(C)「常緑広葉樹林帯における温帯性樹木の遺存分布と成因に関する保全生物地理学的研究」(代表者 原正利)(研究課題番号25440249)より支出しました。関係された皆様に併せてお礼申し上げます。

## 引用文献

- (1) 稲田晃・大浜和子・島村健二：千葉県八千代市新川低地における最終氷期後期以降の植生変遷。第四紀研究, 37, 283-298 (1998)。
- (2) 沼田真：垂直分布の寸づまり現象。図説日本の植生。朝倉書店、8-9 (1975)
- (3) 藤平量郎：房総の森3 落葉広葉樹林1。「樹の生命」、第9号 30-32 (2011)
- (4) 尾崎煙雄・藤平量郎・池田裕行・遠藤良太・藤林範子：垂直分布下限のヒメコマツ。森林科学, 45, 63-68 (2005)
- (5) 江上邦博・内山隆：房総南部丘陵地域における植生変遷の地理的背景。千葉経済大学短期大学部研究紀要, 第11号, 25-34印刷中 (2015)
- (6) 鈴木欣也：君津市の気象。君津市史自然編, 千葉県君津市, 6-19 (1996)
- (7) 古澤 明：火山ガラスの屈折率測定および形態分類とその統計的な解析に基づくテフラの識別。地質学雑誌, 101, 123-133 (1995)

- (8) 高原光：日本産ツガ属花粉の花粉形態. 京都府立大学農学部演習林報告, 第36号, 45-55 (1992)
- (9) 町田 洋・新井房夫：南九州鬼界カルデラから噴出した広域テフラアカホヤ火山灰. 第四紀研究, 17, 143-163 (1984)
- (10) 町田 洋・新井房夫：新編 火山灰アトラス. 東京大学出版会, 336p. (2003)
- (11) 安部明・岩田博武・石川正夫・西川誠：昭和45年7月1日の集中豪雨による千葉県南部の災害について. 応用地質, 第12巻, 第1号, 29-50 (1971)
- (12) 地理院地図 (電子国土Web) : <http://portal.cyber-japan.jp>
- (13) 藤平量郎 (編集責任者) : 久留里 (大和田地区) 泥炭地花粉分析結果 (田原豊1989). 君津市史 自然編, 136-137 (1996)
- (14) 関口千穂・叶内敦子・杉原重夫：千葉県和田町平塚の泥炭質堆積物の年代と花粉分析. 日本第四紀学会講演要旨集, 30, 70-71 (2000)
- (15) 内山 隆：銚子地域における後水期の植生変遷. 花粉学会会誌, 第59巻, 第1号, 11-26 (2013)
- (16) 大場達之：リュウキュウマメガキ. 千葉県自然誌, 別編4 千葉県植物誌, 445 (2003)
- (17) Hara, M. : Climatic and historical factors controlling horizontal and vertical distribution patterns of two sympatric beech species, *Fagus crenata* Blume and *Fagus japonica* Maxim., in eastern Japan. *Flora* 205, 161-170 (2010)
- (18) 守田益宗・相沢俊二：東北地方北部の亜高山帯の植生史に関する花粉分析的研究. 東北地理, 第38巻, 第1号, 24-31 (1986)
- (19) 守田益宗：最終水期以降における亜高山帯植生の変遷—気候温暖期に森林帯は現在より上昇したか?—, 植生史研究 第9巻, 第1号, 3-20 (2000)
- (20) 塚田松雄：日本列島における約2万年前の植生図. 日生態誌, 34, 203-208 (1984)
- (21) 藤平量郎：1 日本の中の房総の植物. 君津市史自然編, 第3章, 第1節 植物相, 124-137 (1996)
- (22) 藤平量郎：1. 千葉の植生の多様性、房総の植物の種多様性の象徴ともいえるヒメコマツの危機と再生について, 「樹の生命」第9号, 10 (2011)
- (23) 内山隆・江上邦博：シイ-クリ型花粉化石の走査電子顕微鏡観察, 千葉経済大学短期大学部研究紀要 第9号, 103-115 (2013)

## Ku-2 (K-23)



## Ku-2 (K-25)



写真1：約8,000年前 (cal BP) の花粉化石の光学顕微鏡像 (ツガ属、モミ属、二次堆積マツ科花粉)

Photo 1 : Pollen fossil grains of the early Holocene (ca. 8,000 cal BP) taken by LM.

( K-23 ①~⑪ : *Tsuga* , ⑫ : *Abies* , K-25 ⑬ Re-worked Pinaceae )

## Ku-3 upper part (K-1)

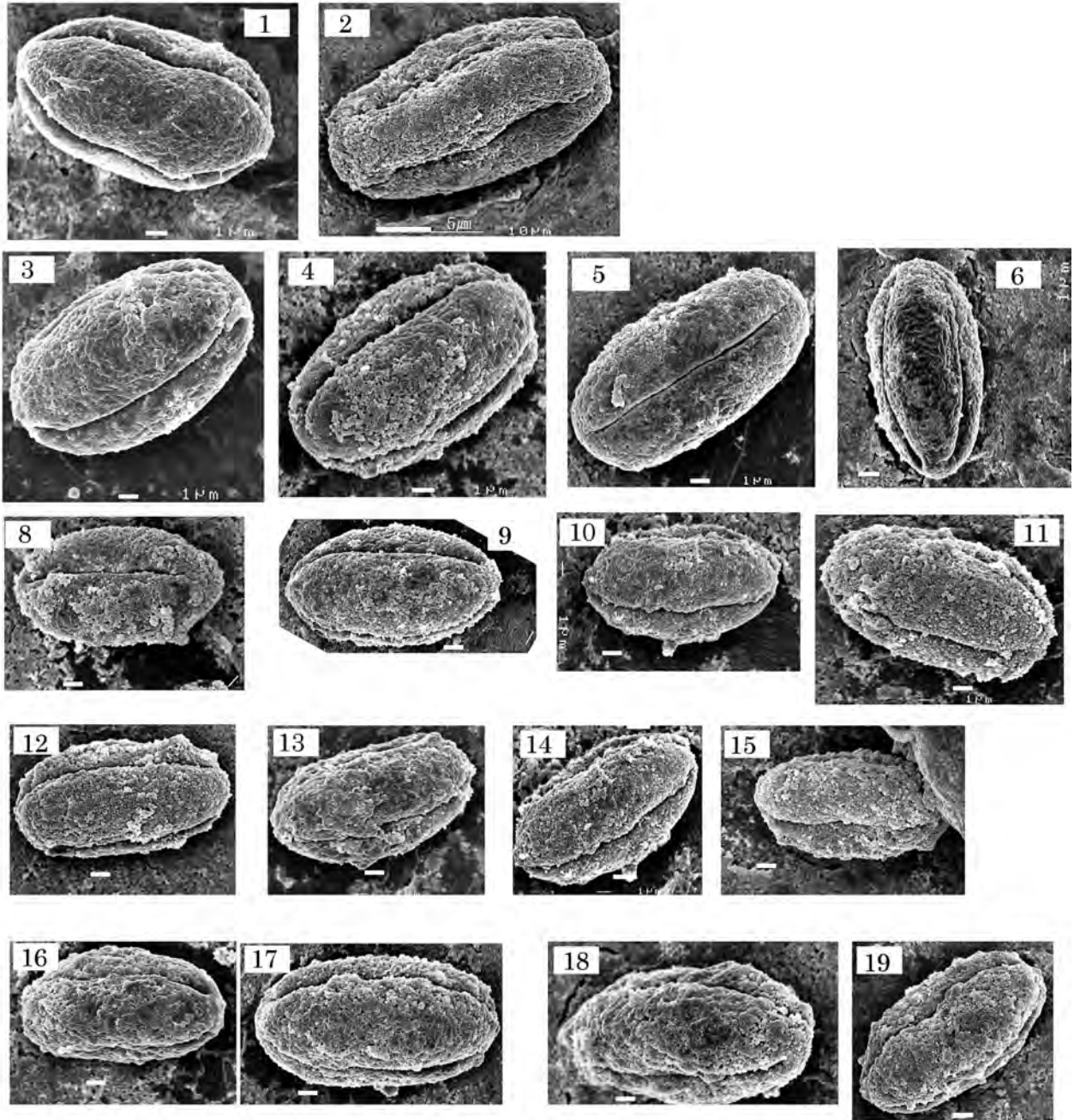


写真2：シイ型花粉化石のSEM像（写真内白線は1 $\mu$ m）Ku-3花粉帯の上部（約6,000年前：K-1）

Photo 2 : Pollen fossil grains of the middle Holocene (ca.6,000 cal BP) taken by SEM. Upper part of Ku-3 pollen zone (K-1)

- ① : *Castanea* type <sup>(22)</sup>,
- ② : *Castanopsis cuspidata* type <sup>(22)</sup>
- ③~⑨ : *Castanea* type <sup>(22)</sup>
- ⑩~⑱ : Obscure type (indefinite granulate type) <sup>(23)</sup>

### Ku-3 lower part (K-14)



写真3 : シイ型花粉化石のSEM像 (写真内白線は1 $\mu$ m) Ku-3花粉帯の下部 (約6,300年前)  
Photo 3 : Pollen fossil grains of the middle Holocene (ca.6,300 cal BP) taken by SEM.

①~⑨ : *Castanopsis cuspidata* type<sup>(22)</sup>

⑩ : *Castanea* type<sup>(22)</sup>