

原 著

嶋田美咲¹・高原 光¹・加三千宣²・池原 研³・
入野智久⁴・山本正伸⁴・山田圭太郎⁵・竹村恵二⁶：
別府湾堆積物の花粉および微粒炭分析に基づく
後期完新世における照葉樹林の衰退過程

Misaki Shimada¹, Hikaru Takahara¹, Michinobu Kuwae², Ken Ikehara³, Tomohisa
Irinou⁴, Masanobu Yamamoto⁴, Keitaro Yamada⁵ and Keiji Takemura⁶：
Late Holocene decline process of lucidophyll forest based on pollen and charcoal
analyses of a sediment core in Beppu Bay, Kyushu Island, Japan

要 旨 別府湾最深部から採取され、ウイグルマッチング法による高精度年代モデルの構築された堆積物コア（BP09-6 コア）の花粉分析と微粒炭分析結果に基づき、別府湾集水域における後期完新世の植生変遷を解明し、さらに九州北部の歴史資料を参照することで、植生に対する人間活動の影響を明らかにした。花粉分析にあたっては、光学顕微鏡下では識別困難なクリ属、シイ属、オニガシ属花粉について、走査電子顕微鏡を用いて、同定、計数を行った。BC600年からAD1200年（弥生時代から平安時代）には、コナラ属アカガシ亜属の樹木やツブラジイの優勢な照葉樹林が分布していた。微粒炭量の急増が示すAD1200年頃に起こった火事以降、照葉樹林は急激に衰退し、引き続き起こった火事や伐採、農耕などの人間活動の影響で、別府湾集水域では大半の森林が消失した。AD1200年から江戸時代前半のAD1750年頃までの期間に残った植生はマツ類、ナラ類、クリなどからなる二次林とイネ科、ヨモギ属、ワラビ属などの陽生草原であった。江戸時代後半のAD1750年頃以降、荒廃した立地に植林や天然の更新によりマツ林が増加し、その後さらに造林が行われスギ人工林が広がった。

キーワード：ウイグルマッチング、花粉分析、照葉樹林、走査電子顕微鏡、別府湾

Abstract Pollen and charcoal analyses were performed in a sediment core (BP09-6) collected from the deepest area of Beppu Bay, Japan. An accurate age-depth model for the core was constructed using the wiggle-matching method. Pollen grains of *Castanea*, *Castanopsis*, and *Lithocarpus* that are difficult to identify with an optical microscope were identified using a scanning electron microscope. The analyses indicated that lucidophyll forests composed mainly of *Quercus* subgenus *Cyclobalanopsis* trees and *Castanopsis cuspidata* were predominant from 600 BC to AD 1200. These forests declined sharply after a fire event that occurred at AD 1200, indicated by a peak in the amount of macroscopic charcoal fragments in the core, and afterwards most forests in the catchment area of Beppu Bay disappeared due to increased human activities such as fires, logging, and farming. Until the first half of the Edo period, the remaining vegetation was a secondary forest comprising pine, oak, and chestnut trees, as well as light-demanding herbaceous vegetation such as grasses, moxa, and bracken. After approximately AD 1750, i.e., the latter half of the Edo period, pine forests formed in locations devastated by afforestation and natural regeneration. Then, *Cryptomeria japonica* plantations increased by further forestation.

Keywords: Beppu Bay, lucidophyll forests, pollen analysis, scanning electron microscope, wiggle-matching

¹ 〒606-8522 京都市左京区下鴨半木町 1-5 京都府立大学大学院生命環境科学研究科

Graduate School of Life and Environmental Sciences, Kyoto Prefectural University, Kyoto 606-8522, Japan

² 〒790-8577 松山市文京町 2-5 愛媛大学沿岸環境科学研究センター

Center for Marine Environmental Studies, Ehime University, Matsuyama 790-8577, Japan

³ 〒305-8567 つくば市東 1-1-1 中央第7 産業技術総合研究所地質情報研究部門

Geological Survey of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Tsukuba 305-8567, Japan

⁴ 〒060-0810 札幌市北区北 10 条西 5 丁目 北海道大学大学院地球環境科学研究院地球圏科学部門

Faculty of Environmental Earth Science, Hokkaido University, Sapporo, 060-0810, Japan

⁵ 〒525-8577 立命館大学古気候学研究センター 草津市野路東 1-1-1 立命館大学古気候学研究センター

Research Centre for Palaeoclimatology, Ritsumeikan University, Kusatsu, 525-8577, Japan

⁶ 〒606-8501 京都市左京区吉田本町 京都大学

Kyoto University, Kyoto, 606-8501, Japan

はじめに

これまで日本列島の多くの地点で、植生変遷を解明することを目的として花粉分析が行われてきた。特に歴史時代においては、活発化する人間活動が植生変遷にどのように影響を与えてきたかについて研究が進められてきた。Tsukada (1963) は、日本列島で、マツ属花粉が急増し始める年代以降を RIIIb 帯として花粉帯を設定し、さらに、Tsukada (1966) は、その開始期を野尻湖堆積物の花粉分析結果に基づき、1500 年前とした。その後、塚田 (1981) では、RIIIb 帯の年代は、九州から東北まで、地域によってずれていることを認めている。このような花粉帯に基づく植生史の把握は、年代測定技術の進展などによって、地域ごとの詳細な時間軸に従って再検討されるようになってきた。近年では、年縞堆積物による高精度の年代モデルが構築された堆積物の花粉分析により、歴史年代と植生変遷の詳細な対比も行われている (Kitagawa et al., 2016)。また、京都盆地では、古生態学的データと考古、歴史資料が対比され、瓦窯の操業や荘園の成立といった人間活動が植生に及ぼした影響も明らかにされている (Sasaki & Takahara, 2012)。

本研究の対象地域である九州北東部では、小田野池 (畑中, 1982; 竹岡, 1986)、長行遺跡 (畑中, 1983)、別府湾堆積物 (岩内・長谷, 1996) など、歴史時代の植生変遷に関する研究成果が報告されている。これらの研究では、コナラ属アカガシ亜属やシイ属/クリ属花粉の優占から、マツ属花粉の優占へと変化することが報告されているが、植生変遷と歴史時代とを対比するには年代軸の精度が十分でなかった。

本研究で用いた分析試料は、九州北東部に位置する大分県別府湾の湾奥南部の最深水深部において 2009 年に Kuwae et al. (2013) によって採取された堆積物コア (BP09-6 コア) である。このコアリングで採取された一連のコアについて、各コアのイベント層の対比、各種年代測定が行われ、ウイグルマッチング法を用いた高精度の年代モデルが構築された (Kuwae et al., 2013)。これまで、これらのコアを用いて、海底に堆積した魚鱗による魚種変遷の研究 (Kuwae et al., 2017) や、粒子サイズと鉱物組成の測定と分析によるイベント層の識別や火山灰の認定と堆積年代推定 (Yamada et al., 2017) などが行われてきた。詳細な年代モデルが構築された同コアの花粉分析を行うことにより、年間花粉堆積量の変化を示すことができ、それによって、花粉の比率では示すことが難しい植生の量的な変化を捉えることも可能となる (Tsukada, 1963; Sasaki & Takahara, 2012; Kitagawa et al., 2016 など)。そこで本研究では、これらのコアのうち BP09-6 コアを用いて、花粉分析、微粒炭分析を行い、高精度の年代モデルを適用して、

年間あたりの花粉、微粒炭堆積量を求め、後期完新世における植生変遷を考察した。

また、暖温帯域における完新世の花粉分析結果をみると、コナラ属アカガシ亜属やクリ属/シイ属/オニガシ属として同定された花粉型が高い出現率を示すことが多い。しかし、クリ属、シイ属、オニガシ属の花粉は外部形態がよく似ており、光学顕微鏡下では識別が困難である。また、これらの粒径による区別は不可能とされている (片岡・守田, 1998)。そのため、*Castanea/Castanopsis* あるいは *Castanea/Castanopsis/Lithocarpus* などとして同定され、ダイヤグラムに表示されることが多い。クリは落葉広葉樹で、暖温帯から冷温帯まで分布するが、シイ属とオニガシ属の樹木は、常緑広葉樹で暖温帯に分布している。また、シイ属とオニガシ属を構成する種の間でも、分布が異なっている。このように生活形も生態学的な性格も異なることから、花粉分析を行う際に、これらの属や種を識別することによって、より詳細な植生復元を行うことが可能となる。三好 (1982) は、走査電子顕微鏡 (SEM) を用いて、クリ属、シイ属、マテバシイ属花粉の種レベルあるいはグループレベルでの識別の可能性を提示した。Miyoshi (1983) では、これを化石花粉に適用してスダジイとツブラジイを同定している。竹岡・高原 (1991)、Takahara & Takeoka (1992)、内山・江上 (2013) も、SEM によるスダジイ、ツブラジイ、クリなどの同定を行った。しかし、これらの研究では、それぞれの花粉型の存在比を量的に把握はできていない。本研究においては、SEM を用いて、クリ属/シイ属/オニガシ属型花粉の属あるいは種レベルでの同定と計数を行い、より詳細な植生変遷を明らかにした。

調査地域の概要

別府湾は九州の北東部に位置し、北側の国東半島、南東岸の大分平野、南西の佐賀関半島に囲まれ、北東方向が瀬戸内海に開かれている (Fig. 1)。西側の湾奥には由布岳 (標高 1583 m) や鶴見岳 (標高 1375 m)、伽藍岳 (標高 1045 m) が位置している。湾の面積は約 475 km² である。大分平野には、大野川と大分川の 2 本の河川があり、扇状地と三角州が形成されている (長岡・千田, 2001)。また、別府湾は、九州を横断する火山地域を中心とした別府—島原地溝帯 (松本, 1979) の東端に位置しており、その周辺地域では火山活動が活発である (長岡ほか, 2001)。別府湾の海底の地形をみると、西端にあたる高崎山沖に最深部があり、その水深は 74 m である (長岡・千田, 2001)。また、湾口には水深 50 m の鞍部があり、上記最深部は貧酸素となり、擾乱の少ない地層が形成されている (Kuwae et al., 2013; 山田, 2019)。

別府湾周辺の気候を、別府湾の南に位置する大分地方

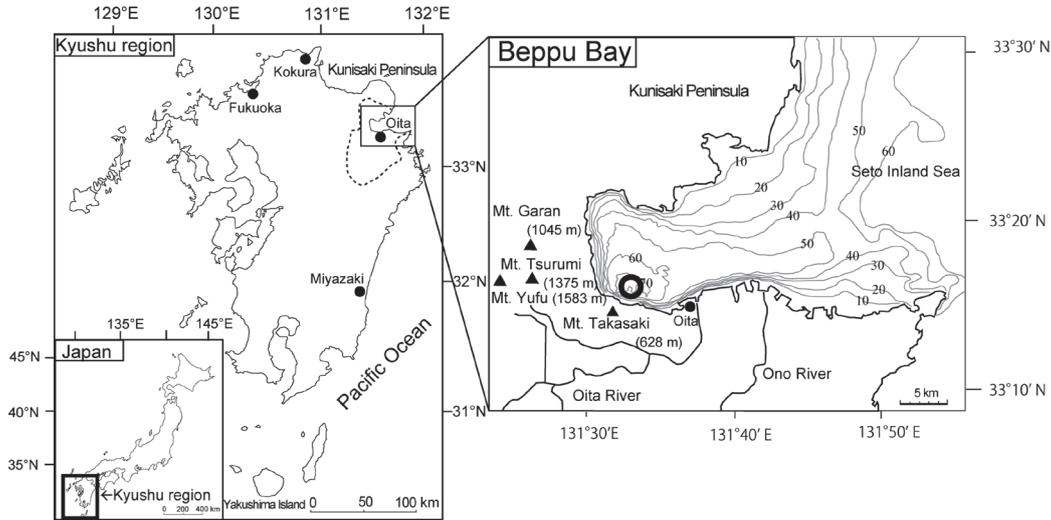


Fig. 1 Location of Beppu Bay and the coring site. The bathymetric map of Beppu Bay (Kuwaie et al., 2013) is based on the Japan Coast Map generated by the Japan Coast Guard. The black open circle indicates the location of the coring site in Beppu Bay. Dotted line on the map of the Kyushu region indicates the Beppu Bay catchment area.

気象台における気象観測値の平年値 (1991～2020年; 気象庁, 2021) でみると, 年平均気温は 16.8 度, 年降水量は 1727 mm である。暖かさの指数 (吉良, 1976) は $140.9^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$ であり, 本調査地域は暖温帯に位置している。大分県では, 標高 400 m まではシイ林やイチイガシ林, 500～700 m ではウラジロガシ林やアカガシ林, 700～1200 m ではモミ林, ツガ林, 1200 m 以上ではブナ林がみられる (須股, 2001)。由布, 鶴見火山群など若い火山地域の標高 700 m 以上の地域には, ブナ林, コナラ林, シデ林などの落葉広葉樹林やツクシヤブウツギ低木林もみられる (荒金, 1997)。別府湾周辺の沿岸地域にはスダジイ林が, 内陸部にはコジイ (ツブラジイ) 林が分布している (須股, 2001)。沿岸には, 暴風保安林として植栽されたクロマツ林が, または海食崖や風衝地には, 自然植生としてのクロマツ林もみられる (荒金, 1996)。現在では, 別府湾周辺の林野面積の大部分はスギ・ヒノキ植林や, シイ・カシ二次林, アカマツ二次林などの人為的影響を受けた植生で広く覆われており, シイ林などの自然植生は局所的に残存しているのみである。また, 伽藍岳や由布岳北部の斜面では, 毎年の火入れによって維持されているススキ群落も多くみられる (自然環境調査 Web-GIS; 環境省自然環境局生物多様性センター)。

試料

本研究で用いた堆積物コアは別府湾の西南部で採取された (Fig. 1)。このコアは, Kuwaie et al. (2013) によって, 別府湾海底最深部において採取された計 14 本の堆積物コ

アのうちの BP09-6 コア (北緯 33 度 16 分 25.734 秒, 東経 131 度 32 分 11.754 秒, 水深 70.6 m) である。これらの堆積物試料は, 層序や岩層の特徴によって層序対比がなされ, 14 本の堆積物試料間で統一された共通深度が設定されている (Kuwaie et al., 2013)。また, 14 本のコアに含まれる計 42 個の貝から得られた放射性炭素年代値のウィグルマッキング法を用いた暦年較正結果と, 表層部における鉛 210 (^{210}Pb) とセシウム 137 (^{137}Cs) 年代測定結果に基づき, 共通深度と年代の関係を示した年代モデルが確立された (Kuwaie et al., 2013)。BP09-6 コアは, そのほとんどがシルト質粘土で構成されており, 粘土質シルトや微粒砂で構成される厚さ 1 cm 以上のイベント層が 17 枚存在している (Kuwaie et al., 2013)。深度 17～837 cm の, これらのイベント層以外の部分において 2～43 cm の間隔で分析用に試料分取された 1 cm 厚 (一部 0.7 cm, 1.7 cm 厚) の 60 層準について花粉分析を行った。深度 17 cm より浅い堆積物は液状であったため分析に用いなかった。なお, 本研究に用いた試料の番号, BP09-6 コアの深度, Kuwaie et al. (2013) の年代モデルによる年代, および試料厚は Appendix Table に示した。

方法

1. 花粉分析

単位体積当たりの花粉量を測定するために, 化学処理前に, 花粉分析試料 (1 cm^3) に一定濃度 ($127,400\text{ 粒}/\text{cm}^3$) に調整した直径 $15\text{ }\mu\text{m}$ のマイクロスフィア懸濁液 (Ogden, 1986) を添加した。その後, 標準的な花粉分析

処理法 (Faegri & Iversen, 1989) にしたがった。すなわち、10%水酸化カリウム水溶液による処理後、180 μm の篩いによる大型物の除去、フッ化水素酸処理、アセトリシス処理を行った。これらの処理による残渣を2分して、シリコンオイルと70%エタノールに浸漬保存した。光学顕微鏡による花粉の同定、計数には、シリコンオイルに保存した試料を用いて作成したプレパラートを用いた。検鏡は、400倍または600倍で行い、1試料について、高木花粉が300個以上になるまで、花粉、胞子を分類群ごとに計数し、各々の花粉、胞子の出現頻度を花粉と胞子の総数を基数として算出した。花粉、胞子の同定、計数の際に、同時に出現したマイクロスフィアの粒数も数えた。これらの花粉分析結果から、Kuwa et al. (2013) の年代モデルに基づいて算出された各層準の堆積速度をもとに、検出した花粉分類群ごとの花粉年間堆積量を算出した。本研究で示す深度は、採取されたコア間で統一された共通深度ではなく、BP09-6コアの深度を用いた。

検出した化石花粉のうち、光学顕微鏡観察による区別が困難な分類群は、クリ属/シイ属/オニガシ属 *Castanea/Castanopsis/Lithocarpus* のようにスラッシュ「/」でつないで表示した。すべての花粉胞子の出現率の変化を CONISS (Grimm, 1987) でクラスター分析し、それに基づき地域花粉帯を設定した。

2. クリ属/シイ属/オニガシ属型花粉の SEM 観察

クリ属と、シイ属、オニガシ属の花粉外壁の表面構造（外壁彫紋）は、これまでレプリカ法による透過電子顕微鏡像（竹岡, 1965）や SEM 像（三好, 1981, 1982; Miyoshi, 1983）によって記載が進められてきた。三好（1982）は、用いた標本は各1個体であるが、外壁彫紋の観察によって、クリ *Castanea crenata* と、ツブラジイ *Castanopsis cuspidata*、スタジイ *C. sieboldii*、マテバシイ属 *Pasania*、オニガシ属 *Lithocarpus* の同定が可能であることを示した。高原ほか（未発表）は、各地域の複数個体を対象にクリ属、シイ属、オニガシ属花粉の SEM 観察を行い、三好（1982）の記載を基に、同定基準を作成した。その詳細は別途報告するが、概要を以下に示す。

クリ：糸状の線が交叉した模様。糸の幅は 0.20 ~ 0.40 μm 。

スタジイ：糸状の線がてまり状に交叉した模様。糸の幅はほとんどが 0.25 ~ 0.40 μm で、0.1 μm 程の細いものも含む。

ツブラジイ：繊細な糸状の線が密に交叉したてまり状模様。糸の幅は 0.1 μm 前後。

オニガシ属：糸状の線がてまり状に交叉した模様。糸の幅は 0.25 ~ 0.40 μm 。線が平行に流れていることが多い。

花粉分析に用いた 60 試料のうち、上層から下層にわたって、17 試料について、SEM（日本電子 JSM-IT200）を用いて、上記の基準にしたがって花粉の同定を行った。70%エタノールに保存した花粉分析処理後の残渣を 90%、100%エタノールに置き換え、その一部を合成ゴムシート上に滴下し、風乾した。これを、直径 1 cm の真鍮製試料台に貼り付けたカーボン両面テープに移し、10 nm の厚さで、Au のイオンコーティングを行い走査電子顕微鏡用の試料とした。通常生物細胞の SEM 観察に用いられる固定処理は行っていないが、花粉外壁彫紋を観察するには影響はなかった。各試料について、400 倍で試料台を全面走査して、少なくとも 20 粒のクリ属/シイ属/オニガシ属型花粉を見だし、5000 倍から 15,000 倍の倍率で写真撮影を行い同定した。

3. 微粒炭分析

花粉分析を行ったのと同じ層準から、微粒炭分析用試料 1 cm^3 を取り出し、井上（2007）の篩い分け法にしたがって、5%ヘキサメタリン酸ナトリウム水溶液による粒子分散と 1%過酸化水素水による有機物除去を行った後、篩別し、篩上に残った微粒炭を実体顕微鏡下で観察し、計数した。微粒炭の同定基準は、井上ほか（2005）に基づき、黒色不透明で植物組織と光反射が認められるものとした。紛らわしいものについては、ピンセットで壊れ方を観察して同定した。上述の方法で求めた単位体積当たりの微粒炭量に、年代モデルに基づいて算出した堆積速度を乗じて、微粒炭の単位面積あたりの年間堆積量を算出した。

結 果

1. 花粉分析

BP09-6 コアの花粉分析の結果、BP-1 帯（深度 837 ~ 233 cm）と BP-2 帯（深度 227 ~ 17 cm）の2つの地域花粉帯を設定し、各花粉帯を a 亜帯と b 亜帯に細分した（Fig. 2）。クリ属/シイ属/オニガシ属型花粉の SEM による同定と計数結果を Fig. 3 に、SEM 像を Fig. 4 に示した。また、シイ属 *Castanopsis* 花粉とクリ *Castanea crenata* 花粉の出現率とモンテカルロ法による 95%信頼区間と、主要な分類群の花粉の年間堆積量の変化を Fig. 5 に示した。

BP-1 帯（深度 837 ~ 233 cm: BC600 年 ~ AD1250 年）
コナラ属アカガシ亜属 *Quercus* subgen. *Cyclobalanopsis* (30 ~ 55%)、クリ属/シイ属/オニガシ属 *Castanea/Castanopsis/Lithocarpus* (20 ~ 35%)、コナラ属コナラ亜属 *Q.* subgen. *Lepidobalanus* (5 ~ 15%) 花粉の出現率が高いことで特徴づけられる。これらにマツ属複雑管束亜属 *Pinus* subgen. *Diploxylon*、スギ属 *Cryptomeria*、ヒ

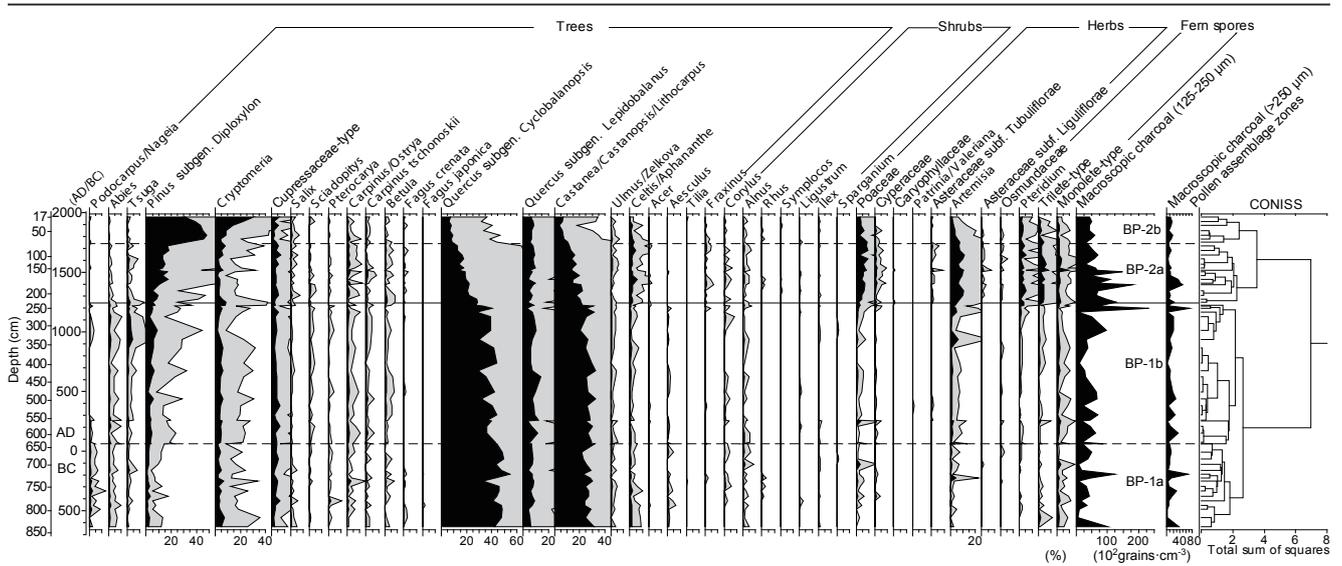


Fig. 2 Diagrams of pollen percentages and macroscopic charcoal concentration of the BP09-6 core from Beppu Bay, Kyushu, Japan. Pollen and spore percentages are based on the sum of pollen grain and fern spore counts in each sample.

ノキ科型 Cupressaceae type (スギ属を除くヒノキ科, イヌガヤ科, イチイ科を含む)の針葉樹花粉が数~5%の出現率で伴っている。マツ属複雑管束亜属花粉の出現率は, BP-1a 亜帯 (深度 837~566 cm) では, 1~3%であるが, BP-1b 亜帯 (深度 554~233 cm) には, 3~7%に増加した。また, BP-1a 亜帯では, イヌマキ属/ナギ属 *Podocarpus/Nageia* 花粉が, 低率ながら連続して出現した。年間堆積量は平均で 11,500 粒/cm²・年で, 深度 400 cm よりも上層で減少傾向にあった。SEM 観察によると, この花粉帯では, クリ属/シイ属/オニガシ属花粉のうち, ツブラジイ *Castanopsis cuspidata* 型が約 80%, スダジイ *Castanopsis sieboldii* 型が約 10%を占めていた (Fig. 3)。

BP-2 帯 (深度 227~17 cm : AD1250 年~1960 年)

コナラ属アカガシ亜属とクリ属/シイ属/オニガシ属花粉がそれぞれ約 10%まで減少する一方, マツ属複雑管束亜属のほか, イネ科 Poaceae, ヨモギ属 *Artemisia* などの草本花粉, ワラビ属 *Pteridium* などのシダ胞子 Fern spore の出現率が増加することが特徴である。BP-2a 亜帯 (深度 227~77 cm) ではマツ属複雑管束亜属花粉は 6~20%であるが, BP-2b 亜帯 (深度 71~17 cm) では最大 50%まで増加する。スギ花粉も, BP-2b 亜帯の最上層では 32%にまで増加した。花粉年間堆積量は, 下部の BP-2a 亜帯では約 2400 粒/cm²・年となり, BP-1 帯における堆積量の 20%にまで急減し, BP-2b 亜帯では増加に転じ, 約 3300 粒/cm²・年を示した。マツ属複雑管束亜属花粉が BP-2 a 亜帯で急増し, 最大で 1610 個/cm²・年に, またスギ花粉

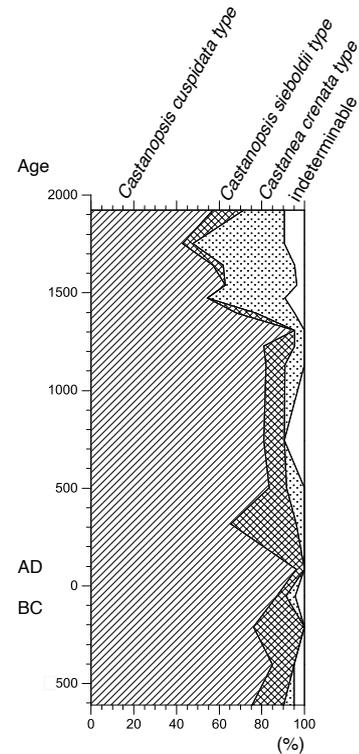


Fig. 3 Pollen percentage diagram for *Castanopsis cuspidata*, *Castanopsis sieboldii*, *Castanea crenata*, and indeterminate pollen grains identified using a scanning electron microscope (SEM). Percentages are based on the sum of *Castanea/Castanopsis/Lithocarpus* type pollen grain counts.

が本花粉帯を通して次第に増加し, 最上部では 1420 個/cm²・年を示した。SEM による同定では, クリ花粉は本花粉帯下部で増加し始め, 深度 174 cm (AD1395 年) より

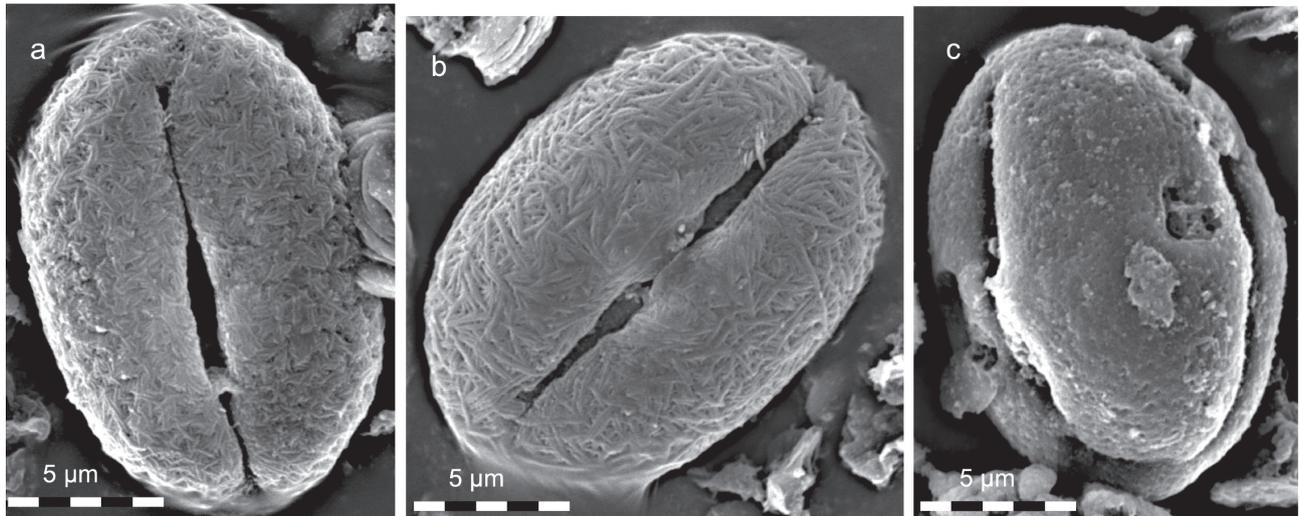


Fig. 4 Scanning electron micrographs of fossil pollen grains from the BP09-6 core. a: *Castanopsis cuspidata* type (BP09-6, sample No. 7-75, 517 cm deep), b: *Castanopsis sieboldii* type (BP09-6, sample No. 7-75, 517 cm deep), c: *Castanea crenata* type (BP09-6, sample No. 10-75, 837 cm deep).

も上層でクリ属/シイ属/オニガシ属花粉のうちの約30%を占めた (Fig. 3)。

2. 微粒炭分析

微粒炭量分析の結果を Fig. 2 に示した。BP09-6 コアでは、長さ 250 µmm 以上の微粒炭も長さ 250 ~ 125 µm の微粒炭も、BP-1 帯と BP-2 帯で増減が認められるが、BP-1 帯の最上部の深度 250 cm (AD1200 年) において急増し、微粒炭量の合計は最高値を示した。また、BP-2a 亜帯では、高い微粒炭の急増が 2 回認められた。

考 察

花粉分析と微粒炭分析の結果に基づいて後期完新世における植生変遷を考察し、さらに歴史資料を参照して植生に対する人間活動の影響を検討する。別府湾への花粉の堆積は空中からの飛来に加えて、河川からの流入もあり、別府湾堆積物の花粉分析結果は少なくとも別府湾集水域全体の植生変遷を表していると考えられる。各花粉帯の境界年代は、上述のコアの年代モデル (Kuwaie et al., 2013) に基づいている。

1. 花粉分析と微粒炭分析の結果に基づく植生復元

BP-1 帯 (BC600 年 ~ AD1230 年)

コナラ属アカガシ亜属とクリ属/シイ属/オニガシ属花粉を合わせると、60 ~ 80% の出現率を示し、クリ属/シイ属/オニガシ属花粉のうち大半がツブラジイ型で、スタジイ型も含んでいた。これらのことから、この時代の、別

府湾集水域の植生は、常緑樹であるアカガシ亜属とシイ属が優占する照葉樹林であったと考えられる。シイ属の中では、ツブラジイが多く、スタジイも混生する森林であった。

現在、別府湾周辺の沿岸地域にはスタジイ林が、内陸部にはコジイ林が分布している (須股, 2001)。また、南九州において、葉の表皮組織の違いに注目してツブラジイとスタジイを判別しそれらの分布を調べた研究によると、海岸部ではスタジイが卓越し、内陸部の標高の低い地域ではツブラジイが優勢で、標高が高くなるにしたがい再びスタジイが増加する (小林, 2008)。日本各地で採取されたシイ属の葉の表皮組織の観察と DNA 解析の結果によると、南九州では主にスタジイ型、別府湾沿岸から瀬戸内海沿岸にかけてはほとんどがツブラジイ型であった (Aoki et al., 2014)。本研究において、ツブラジイ型花粉が多産したことは、別府湾の集水域からの花粉の供給を反映して、内陸のツブラジイ林の分布を強く反映していると考えられ、また、Aoki et al. (2014) の示した別府湾沿岸の結果とも調和的である。今後、各地の照葉樹林の植生史を検討する際に、SEM によるクリ属/シイ属/オニガシ属型花粉の同定を進めることによって、照葉樹林、特にシイ林のさらに詳細な変遷が明らかになるであろう。

さらに、スギ属花粉とヒノキ科型花粉も低率ながら連続的に認められた。後期完新世におけるスギ属花粉は九州北部の各地において低率である (畑中, 1982; 竹岡 1986; 岩内・長谷, 1996 など)。一方、中国山地ではスギ属花粉は高率で出現するため (畑中・三好, 1980; 杉田・塚田, 1983)、中国山地からスギ属花粉が飛来した可能性も考え

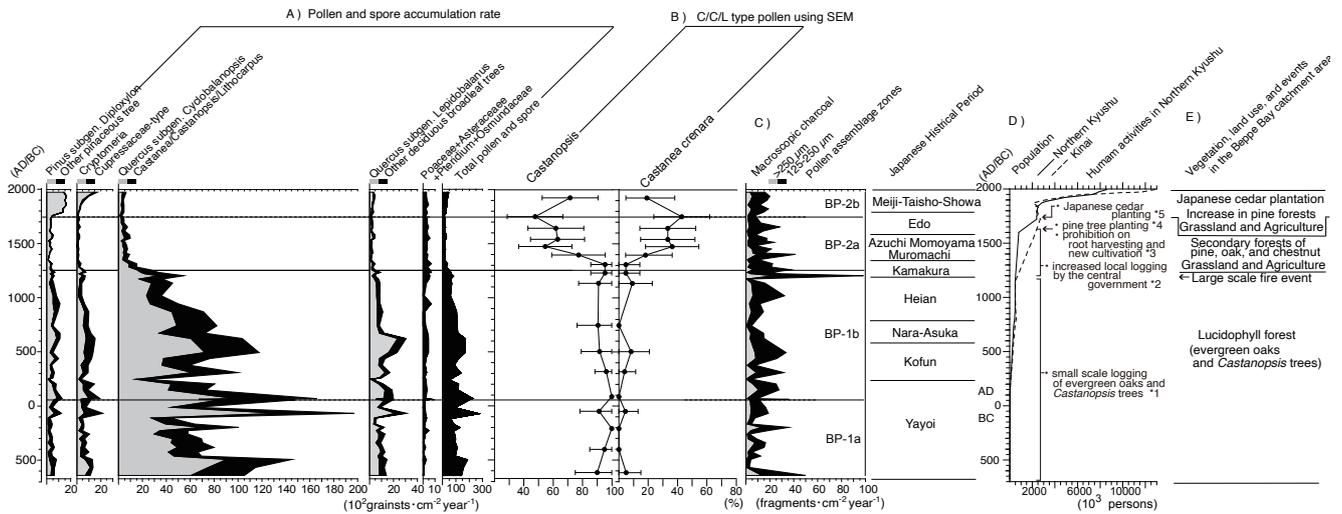


Fig. 5 Comparison between vegetation changes and human activities. A: Pollen accumulation rate diagram of selected pollen and spore. B: Percentage diagram for *Castanopsis* and *Castanea crenata* pollen grains obtained by counting with SEM (Fig. 3). Horizontal lines indicate 95% confidential intervals calculated using Monte Carlo simulations (software by S. Sugita). C: Accumulation rate diagram for macroscopic charcoal. D: Estimated populations of northern Kyushu and Kinai (the Kinki region) (Kito, 2000), and human activities on the vegetation based on historical documents. *1: Yamaguchi (2012), *2: Takahashi (2015), *3: Tsukamoto (1979), Goto (1985), and Handa (1985), *4: Kono (1932), Toyota (1985), *5: Tahara (2012), and Sato & Miyajima (1955). E: Reconstructed vegetation, land use, and events in the Beppu Bay catchment area.

られ、別府湾集水域にスギが自生していたかは不明である。

本花粉帯の最上層の深度 250 cm (AD1200 年) における微粒炭量の極大層準は、別府湾集水域で広く火が入ったことを示唆する。

BP-2 帯 (AD1250 ~ 1960 年)

本花粉帯の前半である BP-2 a 亜帯 (AD1250 ~ 1750 年) では、BP-1 帯末の AD1200 年に起こった火事の後に、これまで優勢であった常緑広葉樹花粉の出現率が低下し、マツ属複雑管束亜属、イネ科やヨモギ属の草本花粉、ワラビ属などのシダ胞子の出現率が増加した。また、クリ属/シイ属/オニガシ属型花粉の中ではクリ型花粉が 30% を占めた。さらに、年間花粉堆積量は BP-1 帯の 20% にまで急減した。

年間花粉堆積量の急減は、別府湾集水域の植生の大半が消失したことを意味している。また、残った植生の構成も大きく変化し、花粉組成はアカマツあるいはクロマツや、クリ、ナラ類などからなる二次林とイネ科やヨモギ属、ワラビなどの陽生植物からなる草原が形成されたことを示している。九州北西部の佐賀県東松浦郡に位置する檜原湿原堆積物の花粉分析でも、AD1200 年頃にコナラ属アカガシ亜属の優占する森林から、マツ属、イネ科、ヨモギ属などの陽生の植生へ変化したことが報告されている (奥野ほ

か, 2005)。このことと九州北東部における本研究結果から、九州北部域で、AD1200 年頃に、これまで安定していた照葉樹林が衰退し、二次林や草原に変化したと考えられる。

深度 250 cm (AD1200 年) 以降の BP-2 a 亜帯 (AD1250 ~ 1750 年) では、高いピークをもつ微粒炭量の急増が度々認められ、植生の量と構成にも大きな変化が起こったことは、別府湾集水域において、植生に大きな影響を与えうる規模の火事が度々発生したことを示唆している。このような火事の原因を特定することは困難であるが、人間活動や気象条件も含めた複合的な原因による火事の発生の可能性もある。近年、樹木年輪の同位体分析によって詳細な気候変化が解明されている (Nakatsuka et al., 2020)。今後、微粒炭分析の時間分解能を高めて、気候変化と火事発生の関係について検討する必要がある。

BP-2a 亜帯に対応する BP09-3 コアの層準 (深度 200 ~ 75 cm) における色相は、これ以深の層準よりも b^* 、 C^* が低い値を示しており、堆積物は青みがかっており、彩度が低くなっている (Kuwaie et al., 2013)。さらに、イベント層の頻度もやや高い傾向にあり (BP-2a 亜帯では 100 年あたり 0.98 回, BP-1b 帯では, 0.77 回)、特にイベント層の Ev.3 や Ev.5 は厚く、微粒砂 (3 ~ 4 ϕ (粒径 1/8 ~ 1/16 mm) sand content) の含有量が高い (Yamada et al., 2017)。これらのイベント層はタービダイト層であり、堆

積時に直ちに陸上から供給されたものではないが、森林植生の消失による表層土壌の浸食と流出は、海底の微粒砂量を増加させる一因であったと考えられる。

BP-2b 亜帯 (AD1750 年～1960 年) では、マツ属複維管束亜属とスギ属花粉の出現率と年間花粉堆積量がともに増加し、最大値を示した。草本ではイネ科とヨモギ属花粉の出現率がやや減少した。これらの花粉の出現傾向は、これまで植生が消失していた立地にマツ林やスギ林が回復してきたことを示している。

2. 植生に対する人間活動の影響

BP-1 帯 (BC600 年～AD1230 年)

マツ属複維管束亜属花粉の出現率が BP-1a 亜帯 (BC600～AD75 年) よりも BP-1b 亜帯 (AD75～1250 年) でやや高くなったことから、現在も沿岸部に分布するクロマツか尾根や荒廃地に生育するアカマツがやや増加したと考えられる。BP-1 帯を通じて微粒炭の急増期が度々認められ、BP-1b 亜帯では 125～250 μm の微粒炭がやや増加の傾向を示した (Fig. 2)。陽樹であるマツ属のこうした増加要因の 1 つとして火事の発生を指摘できる。また、九州での遺跡出土木製品の種類をみると、古代から鎌倉時代、室町時代まで、用材として、アカガシ亜属やシイ属の割合が高い (山口, 2012)。古代から中世におけるアカガシ亜属とシイ属の利用のための伐採も、部分的にマツ類の増加を促したであろう。ただし、BP-1 帯を通してコナラ属アカガシ亜属花粉とシイ属が優占することから、火事や木材利用による伐採は、常緑広葉樹を中心として広域を被っていた照葉樹林に大きな影響を及ぼすものではなかったであろう。

BP-2a 亜帯 (AD1250～1750 年)

BP-2a 帯の時代には火事との関連で照葉樹林の大半が消失したと指摘したが、この時代には冷害が原因とされる飢饉 (養和 (1181 年)・寛喜 (1231 年)・正嘉 (1258～1259 年) の飢饉) が度々起き (中塚, 2022)、食糧不足が頻繁に生じていた。したがって、農耕のために、火入れや伐採による森林破壊が行われた可能性は高い。

さらに、様々な目的の用材としての森林伐採も森林衰退の原因として考えられる。鎌倉時代や室町時代でも、農耕土木具などの遺跡出土木製品の種類ではアカガシ亜属やシイ属の割合が高く (山口, 2012)、様々な利用目的で照葉樹林の伐採利用はなされていた。また、建築用材を得るための森林伐採も進んでいたとみることができる。大分県北東部の国東半島の付け根にある宇佐市の宇佐神宮では、33 年に一度新殿を造営する式年遷宮が鎌倉時代を通じて 1193 年から 5 回行われた (芥川, 1982)。同神宮の造営

をはじめ、諸社寺の用材が水運利用の観点から判断して大分川と大野川上流から運び出されたと指摘されている (甲斐, 1989)。また、広域には、都市が地方の山林資源である木材を吸収・消費する動きは 11, 12 世紀から桁違いに拡大し、例えば東大寺の大講堂造営では周防国と近隣国に木材を催促して徴収し、豊後国にも同様の義務が課せられていた (高橋, 2015)。このように、国家的な事業による社寺などの大規模造営のための伐採が、別府湾周辺においても進んでいた。社寺の造営にはヒノキなどの針葉樹の大径材が用いられることが多いが、このような大径材を得るための森林伐採による森林荒廃の促進も、植生量の急減の一因と考えられる。

BP-2a 亜帯の始めに照葉樹林が急減した後、江戸時代の 1750 年頃までは二次林化や草原化した植生が継続した。安土桃山時代から江戸時代にかけては全国的に人口増加が起こり、都のあった畿内と同様に、九州北部においても人口増加の傾向がみられた (鬼頭, 2000, Fig. 5)。このような人口増加とともに、江戸時代には農耕のために柴刈りや火入れによって維持される草山や柴山が全国的に広がった (水本, 2003)。九州北部においても、燃料や農耕に必要な肥料としての森林利用によって、二次林化や草原化が促進され、それらが継続したと考えられる。

BP-2b 亜帯 (AD1750 年以降)

別府湾北部の杵築では、寛永 13 年 (1636 年) に日向国より松苗を取寄せて松並木を植付けた (『豊城世譜』『木付實録』) (河野, 1932)。また、寛延元年 (1748 年) に出された『重き御儉約』 (豊田, 1985) には、杵築では毎年松の植樹が行われていたことが示されている。このように、江戸時代において、杵築ではマツ林が造成されていたことが記録に残っている。

一方で、マツ属複維管束亜属花粉の増加は、植林の影響のみを示しているだけではないと考えられる。寛文 6 年 (1666 年) に江戸幕府から出された「諸国山川掟」 (『御当家令状』二八四号) によって、草木の根の掘り取りが禁止された (塚本, 1979)。別府湾周辺では、承応 4 年 (1655 年) に出された『被仰渡』で農民による自主的な新開田畑が禁止された (後藤, 1985)。また、享保 2 年 (1717 年) には、別府湾の北西に位置する中津藩において樹木の自由伐採の厳禁など種々の規制が言い渡された (半田, 1985)。このような土地開発の禁止により、AD1700 年代以降、荒廃が進んだ場所で森林が回復し、アカマツなどからなる二次林が形成されはじめたことも、マツ属複維管束亜属花粉の増加は示していると考えられる。

スギについてみると、江戸時代の元禄年間 (1688～1704 年) には、福岡領内や小倉領内でスギの挿木造林が

始まり (田原, 2012), 享保年間 (1716 ~ 1735 年前) 以降の 18 世紀中葉から日田では日田林業の起源となる挿杉 (スギの挿木造林) が行われ (佐藤・宮島, 1955), 1850 年代までには九州各地にスギの造林が広がった (松村, 1966)。その後, 明治時代以降には, 国によるスギの造林事業が九州でも進められ (宮嶋, 2000), 第二次世界大戦後にはスギの人工造林がさらに拡大した。約 200 年前以降のスギ属花粉の増加は, このような九州北東部における江戸時代以降のスギ人工林面積の増加を示していると考えられる。

結 論

別府湾最深部から採取され, ウィグルマッキング法による高精度年代モデルの構築された堆積物コア (BP09-6 コア) の花粉分析と, SEM を用いたクリ属・シイ属・オニガシ属花粉の同定と計数, および微粒炭分析を行った。その結果, 別府湾周辺では, BC600 年から AD1200 年まではコナラ属アカガシ亜属の樹木やツブラジイの常緑樹広葉樹の優勢な照葉樹林が広がっていたものの, AD1200 年ごろに火事や伐採, 農耕などの人間活動の影響で大半が消失し, 江戸時代前半まで, マツ類や, ナラ類, クリなどからなる二次林とイネ科や, ヨモギ属, ワラビ属などの陽生草本などの植生がわずかに残っていた状況を解明した。江戸時代の後半の AD1750 年頃からは, 荒廃した立地における植林や天然更新によって, マツ林やスギ林が大規模ではないものの回復した。

謝 辞

東京大学五十嵐千秋氏, 亀尾桂氏, 株式会社マリン・ワーク・ジャパン, 東京大学海洋研究所 (海洋研究開発機構) 淡青丸の乗組員の皆様には, 本研究における海底コア採取に際して, ご尽力いただきました。タリン大学生態学研究所杉田真哉博士には, 統計プログラムを提供いただきました。京都府立大学生命環境科学研究科森林植生学研究室平山貴美子博士, 佐々木尚子博士には, 研究を進める過程を通じて専門的なご意見いただきました。同細胞工学研究室武田征士博士には, 走査電子顕微鏡の使用に際してご指導をいただきました。2 名の査読者にはたいへん有益なご意見ご指摘をいただきました。この研究は, 日本学術振興会科学研究費 (22340155 加三千宣, 21244073 山本正伸), 三井物産環境基金 (R09-B022 山本正伸) による助成金によって行われました。また, 本研究の一部は, 高知大学・海洋コア総合研究センター全国共同利用プログラム (09B043) によって行われました。以上の皆様に, 心から御礼申し上げます。

引 用 文 献

- 芥川龍男. 1982. 二豊における幕府体制の成立. 「大分県史 中世篇 I」(大分県総務部総務課編), 3-61. 大分県, 大分.
- Aoki, K., Ueno, S., Kamijo, T., Setoguchi, H., Murakami, N., Kato, M. & Tsumura, Y. 2014. Genetic differentiation and genetic diversity of *Castanopsis* (Fagaceae), the dominant tree species in Japanese broadleaved evergreen forests, revealed by analysis of EST-associated microsatellites. *PLOS ONE* 9(1), e87429.
- 荒金正憲. 1996. 大分県北部海岸の植物群落. 別府大学短期大学部紀要 No. 15 : 1-16.
- 荒金正憲. 1997. 九州北東部火山地域における森林植物群落の類似性. 別府大学短期大学部紀要 No. 16: 1-14
- Faegri, K. & Iversen, J. (Faegri, K., Kaland, P. E., & Krzywinski, K., eds.) 1989. *Textbook of Pollen Analysis*, 4th ed. John Wiley & Sons Ltd., New York.
- 後藤重巳. 1985. 日出藩. 「大分県史 近世篇 II」(大分県総務部総務課編), 159-257. 大分. 大分県, 大分.
- Grimm, E. C. 1987. CONISS: a FORTRAN 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares. *Computers & Geosciences* 13: 13-35.
- 畑中健一. 1982. 小田野池湿原の花粉分析. 北九州大学文学部紀要 B 系列 15: 113-119.
- 畑中健一. 1983. IV 長行遺跡の花粉分析. 「長行遺跡 北九州市埋蔵文化財調査報告書第 20 集」, 214-220. 北九州市教育文化事業団埋蔵文化財調査室, 北九州.
- 畑中健一・三好教夫. 1980. 宇生賀盆地 (山口県) における最終氷期最盛期以降の植生変遷. *日本生態学会誌* 30: 239-244.
- 半田隆夫. 1985. 中津藩「大分県史 近世篇 II」(大分県総務部総務課編), 42-600. 大分県, 大分.
- 井上 淳・高原 光・千々和一豊・吉川周作. 2005. 滋賀県曾根沼堆積物の微粒炭分析による約 17,000 年前以降の火事の歴史. *植生史研究* 13: 47-54.
- 井上 淳. 2007. 火災史を考える上での macro-charcoal 研究の重要性と分析方法—日本の火災史研究におけるその役割—. *植生史研究* 15: 77-84.
- 岩内明子・長谷義隆. 1996. 九州の別府湾堆積物および鹿児島野平野沖積層の花粉分析. 熊本大学教養部紀要自然科学編 31: 119-130.
- 甲斐素純. 1989. 由布院六所宮の材木. 「町誌 湯布院〈別巻〉」(湯布院町誌編集委員会), 192-204. 湯布院町誌刊行期成会, 湯布院.
- 片岡裕子・守田益宗. 1998. 日本産シイ属・マテバシイ属・クリ属花粉の粒径について. 加計学園自然植物園研究報告 No. 3: 15-18.
- 環境省自然保護局生物多様性センター. <https://www.biodic.go.jp/> (2022 年 6 月 24 日参照)
- 河野清實. 1932. 國東半島史 下巻. 大分縣東國東郡教育會編纂, 國東.
- 気象庁. 2021. 2020 年平年値 <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/mdrr/normal/index.html> (2022 年 6 月 24 日参照)

- 吉良竜夫. 1976. 大生態系(群系)の類別と分布. 「生態学講座 18巻 2. 陸上生態系—概論—」, 12–47. 共立出版, 東京.
- Kitagawa, J., Morita, Y., Makohonienko, M., Gotanda, K., Yamada, K., Yonenobu, H., Kitaba, I. & Yasuda, Y. 2016. Understanding the human impact on Akita-sugi cedar (*Cryptomeria japonica*) forest in the late Holocene through pollen analysis of annually laminated sediments from Ichi-no-Megata, Akita, Japan. *Vegetation History and Archaeobotany* 25: 525–540.
- 鬼頭 宏. 2000. 人口から読む日本の歴史. 283 pp. 講談社学術文庫, 東京.
- 小林悟志. 2008. 九州南部における葉の表皮組織の形態に基づくツブラジイとスダジイおよび雑種の分布. 植生学会誌 25: 51–61.
- Kuwae M., Yamamoto M., Ikehara K., Irino T., Takemura K., Sagawa T., Sakamoto T., Ikehara M. & Takeoka H. 2013. Stratigraphy and wiggle-matching-based age-depth model of late Holocene marine sediments in Beppu Bay, southwest Japan. *Journal of Asian Earth Sciences* 69: 133–148.
- Kuwae, M., Yamamoto M., Sagawa, T. Ikehara K., Irino T., Takemura K., Takeoka H. & Sugimoto, T. 2017. Multi-decadal, centennial, and millennial variability in sardine and anchovy abundances in the western North Pacific and climate-fish linkages during the late Holocene. *Progress in Oceanography* 159: 86–98.
- 松本徂夫. 1979. 九州における火山活動と陥没構造に関する諸問題. 地質学論集 16: 127–13.
- 松村安一. 1966. スギのさし木林業に関する歴史地理学的考察—スギのさし木林業の研究 3—. 歴史地理学紀要 8: 19–46.
- 宮嶋 寛. 2000. スギの未来について. 鹿児島大学演習林研究報告 No. 28: 1–11.
- 三好教夫. 1981. シイノキ属, マテバシイ属, クリ属 (ブナ科) の花粉の形態. *Hikobia Suppl.* 1: 381–386.
- 三好教夫. 1982. 走査電子顕微鏡による花粉の形態 4. ブナ科 (被子植物) について. 岡山理科大学蒜山研究所研究報告 No. 7: 55–60.
- Miyoshi, N. 1983. Pollen morphology of the genus *Castanopsis* (Fagaceae) in Japan. *Grana* 22:19–21.
- 水本邦彦. 2003. 草山の語る近世. 102 pp. 山川出版, 東京.
- 長岡信治・町田 洋・森脇 広・松田時彦. 2001. 九州の地形・地質の概要と地形区分および研究史. 「日本の地形 7 九州・南西諸島」(町田 洋・太田陽子・河名俊男・森脇 広・長岡信治編), 2–25. 東京大学出版会, 東京.
- 長岡信治・千田 昇. 2001. 大分平野・別府湾・豊予海峡. 「日本の地形 7 九州・南西諸島」(町田 洋・太田陽子・河名俊男・森脇 広・長岡信治編), 118–125. 東京大学出版会, 東京.
- Nakatsuka, T., Sano, M., Li, Z., Xu, C., Tsushima, A., Shigeoka, Y., Sho, K., Ohnishi, K., Sakamoto, M., Ozaki, H., Higami, N., Nakao, N., Yokoyama, M. & Mitsutani, T. 2020. A 2600-year summer climate reconstruction in central Japan by integrating tree-ring stable oxygen and hydrogen isotopes. *Climate of the Past* 16: 2153–2172.
- 中塚 武. 2022. 気候適応の日本史 人新世をのりこえる視点. 246 pp. 吉川弘文館, 東京.
- Ogden III, J. G. 1986. An alternative to exotic spore or pollen addition in quantitative microfossil studies. *Canadian Journal of Earth Sciences* 23: 102–106.
- 奥野 充・中村俊夫・藤木利之・杉山真二・酒井英男・吉田直人・森 勇一・上田恭子・此松昌彦・鮎沢 潤・長岡信治・稲永康平. 2005. 北部九州の檜原湿原におけるポーリング・コア試料 (KS0412-3) の分析結果 (速報). 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書 No. 16: 156–168.
- Sasaki, N. & Takahara, H. 2012. Fire and human impact on the vegetation of the western Tamba Highlands, Kyoto, Japan during the late Holocene. *Quaternary International* 254: 3–11.
- 佐藤敬二・宮島 寛. 1955. 日田の林業. 大日本山林会, 東京.
- 杉田真哉・塚田松雄. 1983. 山陰地方・沼原湿原周辺における過去 1.7 万年間の植生変遷史. 日本生態学会誌 33: 225–230.
- 須股博信. 2001. 大分県の植生. 「レッドデータブックおおいだ」, 13–16. 大分県生活環境部生活環境企画課, 大分.
- 田原 昇. 2002. 幕府造林事業と差杉. 「徳川の歴史再発見 森林の江戸学」(徳川林政研究所編), 142–145. 東京堂出版, 東京.
- Takahara H. & Takeoka, M. 1992. Postglacial vegetation history around Torihama, Fukui Prefecture, Japan. *Ecological Research* 7: 79–85.
- 高橋一樹. 2015. 材木の調達・消費と武家権力—中世前期における構造的変容—. 「考古学と中世史研究 12 木材の中世—利用と調達—」(小野正敏・五味文彦・萩原三雄編), 167–186. 高志書院, 東京.
- 竹岡政治. 1965. 樹木花粉膜の表面構造に関する電子顕微鏡的研究. 京都府立大学学術報告, 農学 No. 17: 43–69, Plate I–X.
- 竹岡政治. 1986. わが国の洪積世以降におけるアカマツ林の成立とその変遷に関する研究 (I) 大分県湯布院小田野池泥炭層の花粉分析結果. 京都府立大学農学部演習林報告 No. 30: 1–16.
- 竹岡政治・高原 光. 1991. 浮島の森の花粉分析. 「新宮藺沢浮島植物群落調査報告書」, 69–82. 新宮藺沢浮島植物群落調査委員会・和歌山県新宮市, 新宮.
- 豊田寛三. 1985. 杵築藩. 「大分県史 近世篇 II」(大分県総務部総務課編), 259–421. 大分.
- Tsukada, M. 1963. Umbrella pine, *Sciadopitys verticillata*: past and present distribution in Japan. *Science* 142: 1680–1681.
- Tsukada, M. 1966. Late postglacial absolute pollen diagram in Lake Nojiri. *The Botanical Magazine, Tokyo* 19: 179–184.
- 塚田松雄. 1981. 過去一万二千年間—日本の植生変遷史 II. 新しい花粉帯. 日本生態学会誌 31: 201–215.
- 塚本 学. 1979. 諸国山川掟について. 人文科学論集 No. 13: 11–24.
- 内山 隆・江上邦博. 2013. シイ・クリ型花粉化石の走査型電

子顕微鏡観察. 千葉経済大学短期大学部研究紀要 No. 9: 103–115.

Yamada, K., Takemura, K., Kuwae M., Yamamoto, M. & Danhara, T. 2017. Revised ages of late Holocene tephras in Beppu Bay, central Kyushu, southwest Japan. *Quaternary International* 452: 33–42.

山田圭太郎. 2019. 大分県別府湾におけるイベント堆積物とその研究史. 第四紀研究 58: 229–236.

山口譲治. 2012. 九州・沖縄 (1) —古代以前—. 「木の考古学 出土木製品用材データベース」(伊東隆夫・山田昌久編), 300–311. 海青社, 大津.

(2022年10月1日受理)

Appendix Table List of samples for pollen and charcoal analyses from the BP09-6 core

Sample No	Depth from top (cm)	Sample thickness (cm)	AD/BC (year)	cal BP (year)
2-17	17	1.0	AD 1962	-12
2-28	28	1.0	1924	26
2-38	38	1.0	1890	60
2-49	49	1.0	1847	103
2-58	58	1.0	1809	141
3-5	65	1.0	1779	171
3-11	71	1.0	1751	199
3-17	77	1.0	1720	230
3-25	85	1.0	1682	268
3-38	98	1.0	1642	308
3-47	107	1.0	1611	339
3-81	141	1.0	1570	380
3-88	148	1.0	1539	411
3-93	153	1.0	1518	432
3-98	158	1.0	1508	442
4-2	163	1.0	1473	477
4-6	167	1.0	1445	505
4-11	172	1.0	1410	540
4-13	174	1.0	1395	555
4-19	180	1.0	1348	602
4-53	214	1.0	1308	642
4-60	221	1.0	1280	670
4-66	227	1.0	1253	697
4-72	233	1.0	1229	721
4-81	242	1.0	1222	728
4-89	250	1.0	1199	751
4-96	257	1.0	1172	778
5-6	266	1.0	1132	818
5-57	317	1.0	1016	934
5-77	337	1.7	943	1007
5-97	356	1.0	872	1078
6-37	397	1.0	745	1205
6-57	417	1.0	681	1269
6-77	437	1.0	630	1320
7-15	477	1.0	503	1447
7-35	497	1.0	446	1504
7-55	517	1.0	389	1561
7-75	537	1.0	317	1633
7-92	554	1.0	269	1681
8-3	566	1.0	262	1688
8-14	577	1.0	218	1732
8-34	597	1.0	162	1788
8-54	617	1.0	85	1865
8-58	621	1.0	74	1876
8-79	643	1.0	71	1879
8-94	658	1.0	2	1948
9-15	677	1.0	BC 51	2001
9-33	695	0.7	95	2045
9-55	717	1.0	149	2099
9-61	723	1.0	181	2131
9-67	729	1.0	211	2161
9-75	737	1.0	238	2188
9-86	748	1.0	280	2230
9-95	757	1.0	320	2270
10-5	767	1.0	363	2313
10-15	777	1.0	402	2352
10-25	787	1.0	437	2387
10-35	797	1.0	472	2422
10-55	817	1.0	543	2493
10-75	837	1.0	618	2568

Age is based on Kuwae et al. (2013).

解説

高原 光¹: 京都市片波川源流域におけるスギ巨木群からなる天然林
 Hikaru Takahara¹: An old growth forest consisting of giant Japanese cedar
 (*Cryptomeria japonica*) trees in the headwaters area of the Katanamigawa River, Kyoto City

日本列島における現植生図では、西日本から関東は暖温帯常緑広葉樹林(照葉樹林)、東北以北は冷温帯落葉広葉樹林として位置付けられているが、スギなどの温帯性針葉樹の植生帯上の位置づけは明確でない。第四紀の気候変動のなかで、スギは寒冷な氷期にも温暖な間氷期にも長期間に渡って優勢な植生を形成していた。特に、近畿地方北部の若狭湾沿岸から琵琶湖北部にかけての地域は、最終氷期最盛期におけるスギの逃避地と認められており、完新世にいち早く、スギが分布を拡げた地域である(Tsukada, 1982; Takahara et al., 2022)。その後、人間活動が活発になるまでは、日本海側地域では、低標高地から山地までスギの優勢な植生が存在していた(Takahara et al., 2022)。このような植生史の研究成果に基づくと、特に暖温帯から冷温帯にかけての本州の日本海側地域において、スギは重要な位置を占めていることは明らかである。

約1000年前まで広く分布していたスギ天然林は人間活動によってその多くが失われているが、東北地方から屋久島まで各地にスギの優勢な天然林が残されている。本稿では、最終氷期最盛期のスギの逃避地に近い京都市片波川源流域におけるスギの巨木が分布する天然林について紹介する。

この源流域では、標高470から860 mの106.63 haが京都府自然環境保全地域に指定されている(京都府, 1999)。この天然林には、尾根に多数のスギ巨木が分布し、ヒノキ、モミ、ツガなどの針葉樹や、イヌブナ、クリ、ミズナラ、テツカエデなどの落葉広葉樹が混生している。また、尾根の岩石地にはヒメコマツやホンシャクナゲの密度が高い植生の分布も認められている(京都府, 1999)。

これらのスギの胸高直径は大きいもので4 mを超え、それらの多くは伏条台杉と呼ばれ特異な樹形をしている。伏条台杉は、かつて、地面から数メートルの

高さで伐採され、そこから多数の太い萌芽枝が幹となって伸長しているスギである(写真1)。また、地面から2 m程度の位置で斜めに斧によると思われる伐り目が入れられ、縦に板状に材を取った跡が残る個体が多数認められる(写真2)。このように、天然林ではあるが、スギの幹の一部を取るという森林と人間活動の関係史を刻んだ痕跡が残っている。これらの伐採や板取りが、いつどのように行われたかについての科学的な調査は未だ行われていない。一部には、台風による倒木も見られ、早急にこのような痕跡の残る個体の調査や保全が望まれる。

引用文献

京都府. 1999. 片波川源流域京都府自然環境保全地域指定書及び保全計画書, 12 pp. 京都府, 京都.

Takahara, H., Ikeda, S., Sasaki, N. & Hayashi, R. 2022. Vegetation history of *Cryptomeria japonica* in Japan since the last interglacial period. *Ecological Research* doi: 10.1111/1440-1703.12357

Tsukada, M. 1982. *Cryptomeria japonica*: Glacial refugia and late-glacial and postglacial migration. *Ecology* 63: 1091–1105.

(¹ 〒606-8522 京都市左京区下鴨半木町1-5 京都府立大学大学院生命環境科学研究科
 Graduate School of Life and Environmental Sciences, Kyoto Prefectural University, Kyoto 606-8522, Japan)



写真1 スギ巨木の樹形.



写真2 板取りされたスギ.