

原 著

吉田明弘<sup>1</sup>・吉山一輝<sup>2</sup>・森脇 広<sup>3</sup>：  
鹿兒島県国分平野周辺における最終氷期末期以降の植生変遷

Akihiro Yoshida<sup>1</sup>, Kazuki Yoshiyama<sup>2</sup> and Hiroshi Moriwaki<sup>3</sup>：  
Vegetation history from pollen assemblage since the Last Glacial Termination  
in the Kokubu Plain, Kagoshima Prefecture, southwestern Japan

**要 旨** 鹿兒島県国分平野におけるボーリングコア試料の花粉分析結果から、詳細な時間軸に沿った最終氷期末期以降の植生変遷を明らかにした。平野周辺では、約 13,000 ~ 12,500 年前には冷涼な気候環境でコナラ亜属を主体とした冷温帯落葉広葉樹林が分布していた。約 12,500 ~ 7300 年前には温暖化に伴って、冷温帯落葉広葉樹から暖温帯常緑広葉樹へと構成種が変化した。約 7300 年前以降にはアカガシ亜属やシイ属などの暖温帯常緑広葉樹林が形成された。また花粉分析の結果は鬼界アカホヤ火山灰の降灰以前から冷温帯落葉広葉樹の減少と暖温帯常緑広葉樹の増加を示しており、この時期の森林変化は降灰の影響ではなく、気候の温暖化に対応したものである。この結果を九州南部の花粉分析結果と対比し、この地域の最終氷期末期以降の時空間的な植生変遷を考察した。約 14,000 年前の九州南部では亜高山帯針葉樹と冷温帯落葉広葉樹の混交林が分布したとされていたが、国分平野では約 13,000 年前からいち早く冷温帯落葉広葉樹林が形成された。約 10,000 年前以降から暖温帯常緑広葉樹が分布を拡大させ、約 6000 年前以降には各地で暖温帯常緑広葉樹林が成立した。また、国分平野は暖温帯常緑広葉樹林の成立時期が肝属平野より約 1600 年遅れた。その原因は鹿兒島湾内への黒潮流入による気温変化と関係している。

キーワード：花粉分析、九州南部、国分平野、最終氷期末期、植生変遷

**Abstract** The present reconstruction of vegetation since the Last Glacial Termination (LT) from the fossil pollen in the Kokubu Plain, southern Kyushu, advanced our understanding of the vegetation history in southwestern Japan. The pollen profile in the plain indicated: 1) Cool-temperate deciduous broad-leaved (CTDB) woodland mainly of *Quercus* subgen. *Lepidobalanus* developed in ca. 13.0–12.5 ka, 2) the woodland components changed from CTDB to warm-temperate evergreen broad-leaved (WTEB) with warming in ca. 12.5–7.3 ka, 3) WTEB woodland dominated by *Q.* subgen. *Cyclobalanus* and *Castanopsis* developed after 7.3 ka. The pollen data in the plain show that Kikai-Akahoya ash fall had little impact on vegetation. We compiled spatial-temporal distribution of vegetation since the LT, using the pollen data from southern Kyushu. Mixed woodland of boreal conifers and CTDB covered southern Kyushu in ca. 14.0 ka, and CTDB woodland developed firstly in the Kokubu Plain after ca. 13.0 ka. WTEB woodland expanded after ca. 10.0 ka and became the major woodland after ca. 6.0 ka. Furthermore, it is highly possible that the time-lag in the establishment of WTEB woodlands between Kokubu and Kimotsuki Plains was caused by the flow of Kuroshio Warm Current into Kagoshima Bay.

**Keywords:** Kokubu Plain, Last Glacial Termination, pollen analysis, southern Kyushu, vegetation history

はじめに

九州地方では、これまで数多くの花粉分析結果や大型植物化石が報告されており、最終氷期以降における植生変遷やそれに基づく気候変動が議論されている。とくに、九州北部では沖積平野や山地の湿原における堆積物を中心にして花粉分析結果が多数蓄積されている (Hatanaka, 1978; 黒田・太田, 1978; Kuroda & Hatanaka, 1979; 畑中, 1982; 松岡, 1992; 岩内・長谷, 1996; 野井ほか,

2006; 大井ほか, 2009; Shu et al., 2013 など)。しかし、九州南部の大部分では約 30,000 年前に始良カルデラから噴出した入戸火砕流堆積物 (A-Ito) によって水はけの良いシラス台地が形成され、湿原や湖沼などの花粉化石や大型植物遺体の保存に適した堆積物を得ることが難しい。そのため、九州南部は比較的的古植生データの乏しい地域である。

このような中で、九州南部では花粉分析や植物珪酸体

<sup>1</sup> 〒 890-0065 鹿兒島県鹿兒島市郡元 1-21-30 鹿兒島大学法文教育学域法文学系

Institute of Geography, Kagoshima University, Korimoto 1-21-30, Kagoshima, 890-0065, Japan

<sup>2</sup> 〒 890-0008 鹿兒島県鹿兒島市伊敷 5-16-3 株式会社日本地下技術

Nihon Chika-gijutsu Co., Ltd. Ishiki 5-16-3, Kagoshima, 890-0008, Japan

<sup>3</sup> 〒 890-0065 鹿兒島県鹿兒島市郡元 1-21-30 鹿兒島大学

Kagoshima University, Korimoto 1-21-30, Kagoshima, 890-0065, Japan

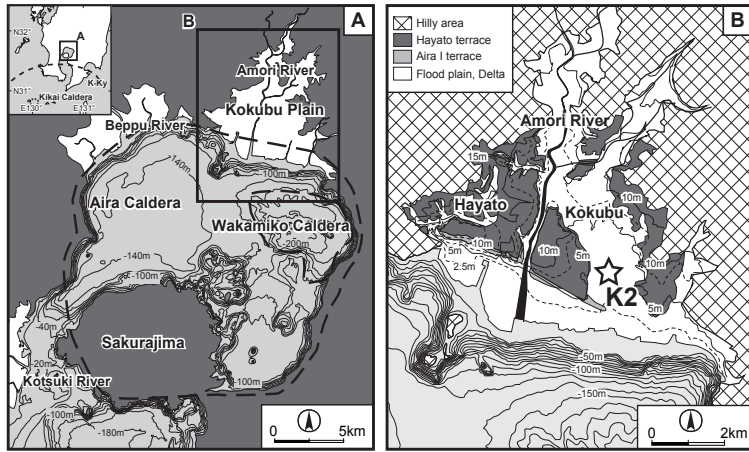


Fig. 1 Index map of Kokubu Plain (A) and the drilling site K2 in the plain. The topographic maps in the terrestrial and marine areas are modified from the 5 m Digital Elevation Model issued by the Geospatial Information Authority of Japan and the Basic Map of the Sea in coastal waters “Northern Part of Kagoshima Wan” and “Southern Part of Kagoshima Wan” issued by the Japan Coastal Guard, respectively.

分析の結果を基にして、最終氷期末期以降の植生変遷や火山噴火の影響について議論されている（宮井，1935，1938；竹岡，1970a，1970b，1971；外山，1982；野井ほか，1990；安田，1990；岩内・長谷，1995，1996；杉山，1999；松下，2002など）。例えば、杉山（1999，2002）は九州南部の植物珪酸体分析の結果から、最終氷期以降のシイ属 *Castanopsis* やクスノキ科 *Lauraceae* などの暖温帯常緑広葉樹林の変遷を明らかにした。また、約7300年前の鬼界アカホヤ噴火による幸屋火砕流（K-Ky）が及んだ地域では森林植生が破壊され、その後の回復には約900年間かかったとした。松下（2002）は鹿児島県肝属平野における沖積層の花粉分析結果から、約11,000年前以降の連続的な植生変遷を明らかにした。とくに、肝属川流域の暖温帯常緑広葉樹林は鬼界アカホヤ噴火による影響を受けたものの、約100～300年と比較的早く回復したと推測している。しかしながら、九州南部ではテフラ年代や $^{14}\text{C}$ 年代に基づく詳細な時間軸に沿った古植生データは少なく、最終氷期以降における時空間的な植生変遷の議論は十分に行われていない。

近年、森脇ほか（2015）は鹿児島湾奥に広がる国分平野で採取したボーリングコア試料の $^{14}\text{C}$ 年代とテフラ層序を基に詳細な時間軸を構築するとともに、珪藻分析や有孔虫分析、貝化石分析の結果から地形発達史や古環境変遷を明らかにしている。ここでは約13,000年前まで遡ることのできる連続的な堆積物が報告されており、九州南部における最終氷期以降の植生変遷や気候変動を解明する上で重要な試料となる。

そこで、本研究では九州南部における最終氷期以降の植生変遷の解明を目指し、森脇ほか（2015）で報告された鹿児島県国分平野におけるボーリングコア試料を用いて詳細な時系列に沿った花粉分析を行う。この結果から、平野周辺における最終氷期末期以降の植生変遷と気候変動を明

らかにする。さらに、九州南部における最終氷期以降の花粉分析や大型植物遺体などの古植生データと比較して、この地域における大規模な火山噴火に伴う森林植生への影響や時空間的な森林植生の変化について考察する。

#### 調査地域の概要

鹿児島県国分平野は、鹿児島湾奥に広がる沖積平野である。鹿児島湾は、鹿児島地溝と呼ばれる火山構造的陥没地であり、湾口南側から阿多南と阿多北、始良の3つのカルデラが連なって形成されている（町田ほか，2001）。国分平野が面する湾奥の始良カルデラは水深150mと深く、始良カルデラ北東部に形成された若尊カルデラ<sup>わかみこ</sup>では水深200mにも達する（Fig. 1）。国分平野の地形発達史は、森脇ほか（2015）によってまとめられており、その後大きな変更は認められない。ここでは森脇ほか（2015）に従って記載する。

国分平野は天降川<sup>あもり</sup>の下流域に形成されており、その中・上流域が主要な土砂の供給源である。天降川の中・上流域には、中期更新世以降に形成された霧島火山、前期更新世・鮮新世の火山岩で構成される丘陵地が広がっており、これらの谷間は第四紀の火山噴出物である火砕流堆積物が埋められている。とくに、約30,000年前の始良カルデラの噴火によってもたらされた入戸火砕流堆積物は地表付近に広く分布しており、大部分が非溶結となっている。そのため、国分平野の主要な堆積物は、入戸火砕流堆積物の二次堆積物によって構成されている。また、国分平野では始良カルデラの隆起活動によって形成された完新世の海成段丘が平野の西側から東側へと延びる（Fig. 1）。天降川はこの段丘を開析しながら、北西から南東へと流れ、鹿児島湾へと注いでいた。現在の天降川は、西暦1666年（寛文6年）の流路の付け替え事業によって段丘を掘削した流路に沿って湾へ注いでいる。

国分平野周辺の森林植生の垂直分布は、標高 500 m 以下の丘陵ではツブラジイ *Castanopsis cuspidata* (Thunb.) Schottky や スダジイ *Castanopsis sieboldii* (Makino) Hatus. ex T. Yamaz. et Mashiba, ミミズバイ *Symplocos glauca* (Thunb) Koidz. などのシイ類を主体にした常緑広葉樹林が覆う (文化庁, 1975; 宮脇, 1981)。標高 500 ~ 1100 m の山地になると, アカガシ *Quercus acuta* Thunb., ウラジロガシ *Quercus salicina* Blume, イチイガシ *Quercus gilva* Blume, イスノキ *Distylium racemosum* Siebold et Zucc., モクタチバナ *Ardisia sieboldii* Miq., ヤブツバキ *Camellia japonica* L. などからなるカシ類を主体とした常緑広葉樹林になり, 標高 900 m 以上ではモミ *Abies firma* Siebold et Zucc. やツガ *Tsuga sieboldii* Carrière, アカマツ *Pinus densiflora* Siebold et Zucc. などの温帯針葉樹が混交するようになる。標高 1100 m 以上ではミズナラ *Quercus crispula* Blume やブナ *Fagus crenata* Blume の落葉広葉樹林が広がる。なお, 国分平野周辺はブナの分布域の南限付近に当たり, ブナは霧島連山や高隈山, 紫尾山の山頂付近に分布が限定される。

## 試料と方法

### 1. K2 コアの記載と年代

本研究では, 森脇ほか (2015) が鹿児島県国分平野の K2 地点で機械ボーリングによって採取し (Fig. 1), 鹿児島大学に保管されていたボーリングコア試料 (以降, 「コア試料」または「K2 コア」と略す) を用いた。K2 コアは全長約 59 m であり, 砂礫や粘土を主とした堆積物で構成されている (Fig. 2)。K2 コアの堆積物は, おおまかに深度 0 ~ 3 m は礫層であり, 深度 3 ~ 19 m は円磨された軽石を含む暗灰色のシルト質粗粒砂層, 深度 19 ~ 40 m は粗粒砂, 中粒砂, 細粒砂による互層となる。深度 40 ~ 42 m は粗粒な礫層が挟在し, 深度 42 m には非軽石礫が確認される。深度 42 ~ 50 m は礫質からシルト質への逆級化構造を持つ堆積物となる。深度 50 ~ 59 m は粗粒砂や細粒の互層となる。

K2 コアの堆積物には, 一次堆積した 3 層のテフラが確認されており, これらは化学組成と火山ガラス屈折率測定の結果から, 下位より桜島薩摩テフラ (Sz-S, 約 12,800 cal BP; 奥野, 2002), 桜島高峠テフラ (Sz-Tk3, 約 10,600 cal BP; 奥野, 2002), 鬼界アカホヤテフラ (K-Ah, 約 7300 cal BP; Kitagawa & van der Plicht, 1998; Smith et al., 2013) と同定されている (森脇ほか, 2015)。また, このコア試料では堆積物に含まれる貝殻片や植物片の 6 試料について  $^{14}\text{C}$  年代測定が行われている (Table 1)。本研究ではこれらの  $^{14}\text{C}$  年代を陸生起源の試料は IntCal20 (Reimer et al., 2020), 海生起源の試料は Marine20 (Heaton et

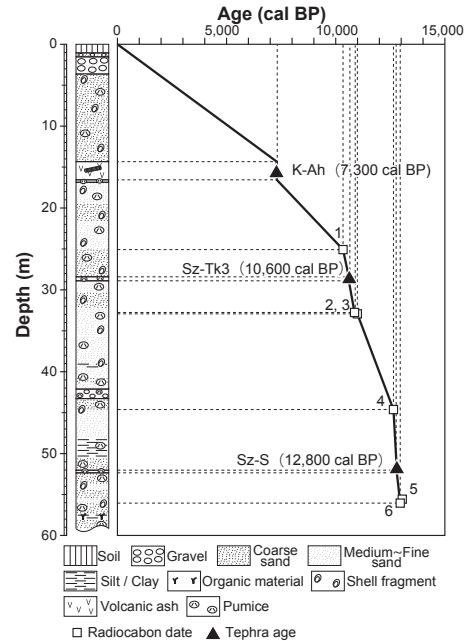


Fig. 2 Age-depth model from radiocarbon dates and tephra ages of the K2 core. Lithological column was from Moriwaki et al. (2015). Refer to Table 1 for radiocarbon dates.

al., 2020) の較正曲線に基づいて, OxCal 4.4 (Bronk Ramsey, 2009) を用いて  $2\sigma$  の範囲で較正年代を再計算した。これらの  $^{14}\text{C}$  年代とテフラ年代から堆積曲線を構築し, 堆積年代を推測した (Fig. 2)。試料 5 は試料 6 と近似した年代になるものの, その年代はわずかながら逆転する。両試料の  $^{14}\text{C}$  年代は誤差の範囲内で重なっており, どちらの年代を堆積曲線に用いたとしても堆積年代の推定に影響はない。そのため, 上位の区間にあたる試料 4 と Sz-S の区間の堆積速度に近似する試料の  $^{14}\text{C}$  年代を本研究の堆積曲線に用いた。なお, 森脇ほか (2015) による国分平野の古環境分析の結果によれば, K2 地点は Sz-S の堆積以前である約 12,800 年前までは陸域であり, その後は海域になったと推測されている。

### 2. 花粉分析

花粉分析の試料は, K2 コアの深度 3.8 ~ 58.5 m の細粒堆積物から約 0.7 ~ 1.3 m 間隔で, 厚さ 5 cm の計 53 試料を採取した。試料の処理は, 10% 水酸化カリウム溶液による堆積物の泥化とフミン酸の除去を行い, 傾斜法と 250  $\mu\text{m}$  メッシュの金網による物理的ふるいを施した。その後, 比重 1.70 に調整した塩化亜鉛溶液によって試料の比重分離を行ない, 花粉・胞子化石を抽出した。抽出した花粉・胞子化石はアセトリシス混合液 (濃硫酸 1 : 無水酢酸 9) によってセルロースを除去した。これらの処理によつ

Table 1 Recalculated radiocarbon dates of samples from the K2 core, Kokubu Plain

Sample No.	Lab. Code	Depth (m)	Material	Method*	$\delta^{13}\text{C}^{**}$ (‰)	Conventional age*** ( $^{14}\text{C}$ yrs BP)	Calibrated age**** (2 $\sigma$ , cal BP)
1	PLD-12207	25.08	Shell	AMS	3.30	9,610 $\pm$ 40	10,165–10,505
2	PLD-12208	32.76	Shell	AMS	0.24	9,975 $\pm$ 30	10,655–11,070
3	IAAA-92770	32.93	Shell	AMS	1.91	10,110 $\pm$ 50	10,780–11,200
4	IAAA-92768	44.62	Shell	AMS	1.18	11,310 $\pm$ 50	12,490–12,800
5	IAAA-102465	55.57	Plant	AMS	-26.96	11,150 $\pm$ 40	12,930–13,165
6	PLD-20186	56.05	Plant	AMS	-27.32	11,020 $\pm$ 35	12,835–13,075

\* AMS, accelerator mass spectrometry.

\*\*  $\delta^{13}\text{C}$  values of AMS.

\*\*\* Conventional age were from Moriwaki et al. (2015).

\*\*\*\* Calibrated age were based on the IntCal20 (Reimer et al., 2020) and Marine20 (Heaton et al., 2020) using OxCal4.4 (Bronk Ramsey, 2009).

て得られた残渣は1%塩基性フクシンによって赤色に染色した後、グリセリンゼリーを封入剤にしてプレパラートを作成した。

花粉・孢子化石の同定と計数は、250～400倍の光学顕微鏡下で行った。各試料の計数作業は木本花粉が200個以上に達するまで行い、その間に産出した草本花粉とシダ類孢子と同定した。花粉・孢子化石の出現率は、木本花粉はこれらの総和を基数として、草本花粉とシダ類孢子は産出したすべての花粉・孢子化石の総和を基数にして、それぞれを百分率で表した。なお、光学顕微鏡下で識別が困難な花粉分類群をハイフン(–)で結び、同定した上で類似した花粉分類群を合計したものをプラス(+)で結んで示した。

## 結 果

花粉分析の結果、検出された花粉・孢子化石は木本花粉が43分類群、草本花粉およびシダ類孢子は27分類群であった (Table 2)。国分平野のK2コアにおける花粉組成図をFig. 3に示す。高木花粉の出現率の変化によって、下位よりK2-I～IIIの3つの局地花粉帯 (以降、「花粉帯」または「帯」と略す) に区分した。以下では、各花粉帯の特徴について述べる。

### K2-I帯 (試料番号 53～40, 深度 58.50～43.45 m)

落葉広葉樹のコナラ亜属 *Quercus* subgen. *Lepidobalanus* とクマシデ属–アサダ属 *Carpinus-Ostrya* の優占で特徴づけられる。ブナ *Fagus crenata* やニレ属–ケヤキ属 *Ulmus-Zelkova* が低率ながら連続的に出現する。一方、常緑広葉樹のアカガシ亜属 *Q.* subgen. *Cyclobalanus* は最大で4%と低率である。シナノキ属 *Tilia* は中部で84%と一時的に高率となる。草本花粉とシダ類孢子的割合は最大で13%と18%であり、イネ科 Gramineae が4～14%出現する。

### K2-II帯 (試料番号 39～13, 深度 42.60～16.90 m)

落葉広葉樹のコナラ亜属とクマシデ属–アサダ属が高率であるが、コナラ亜属は上部に向かって減少する。常緑広

葉樹のアカガシ亜属は中部から上部に向かって増加し、上部でエノキ属–ムクノキ属 *Celtis-Aphananthe* が増加する。また、低率ながらもクリ属–シイ属–マテバシイ属 *Castanea-Castanopsis-Lithocarpus* は中部から連続的に出現するようになる。低木花粉では、ハンノキ属 *Alnus* が最大で23%出現する。一方、草本花粉は最大で15%で出現し、イネ科が38%と高率である。シダ類孢子では単条型孢子 *Monolete fern spore* が最大で72%と高率となる。

### K2-III帯 (試料番号 14～1, 深度 14.10～3.85 m)

常緑広葉樹のアカガシ亜属やクリ属–シイ属–マテバシイ属が最大で57%と20%と優占する。前帯まで優勢であった落葉広葉樹のコナラ亜属とクマシデ属–アサダ属は数%と低率となる。マツ属複維管束亜属 *Pinus* subgen. *Diploxylon* が最下部で30%と高率となる。また、マキ属 *Podocarpus* が最大で13%と連続して出現する。草本花粉は低率であるが、シダ類孢子では単条型孢子 *Monolete fern spore* が7～49%と高率となる。

Table 2 List of pollen and spore fossil found in the sediments at K2 core, Kokubu Plain

<b>Trees:</b>
<i>Abies, Picea, Tsuga, Pinus</i> subgen. <i>Haploxylon, P.</i> subgen. <i>Diploxylon, Cupressaceae-Taxaceae, Podocarpus, Cryptomeria, Juglans+Pterocarya, Carpinus-Ostrya, Carpinus tschmoskii, Betula, Quercus</i> subgen. <i>Lepidobalanus, Q.</i> subgen. <i>Cyclobalanopsis, Fagus crenata, F. japonica, Castanea-Castanopsis-Lithocarpus, Celtis-Aphananthe, Ulmus-Zelkova, Acer, Aesculus, Cercidiphyllum, Tilia</i>
<b>Shrubs:</b>
<i>Alnus, Corylus, Salix, Myrica, Phellodendron, Rhus, Ilex, Araliaceae, Ericaceae, Styrax, Ligustrum, Fraxinus, Viburnum, Symplocos, Ephedra, Elaeagnus, Sapium, Weigela, Mallotus, Lonicera</i>
<b>Herbs:</b>
Gramineae, Cyperaceae, <i>Lysichiton, Typha, Rumex, Reynoutria, Chenopodiaceae, Thalictrum, Ranunculaceae, Sanguisorba, Leguminosae, Haloragaceae, Umbelliferae, Valerianaceae, Campanulaceae, Polygonum, Persicaria, Labiatae, Rosaceae, Vitis, Geranium, Menyanthes, Artemisia, Carduoideae, Cichorioideae</i>
<b>Ferns:</b>
<i>Monolete fern spore, Trilete fern spore</i>

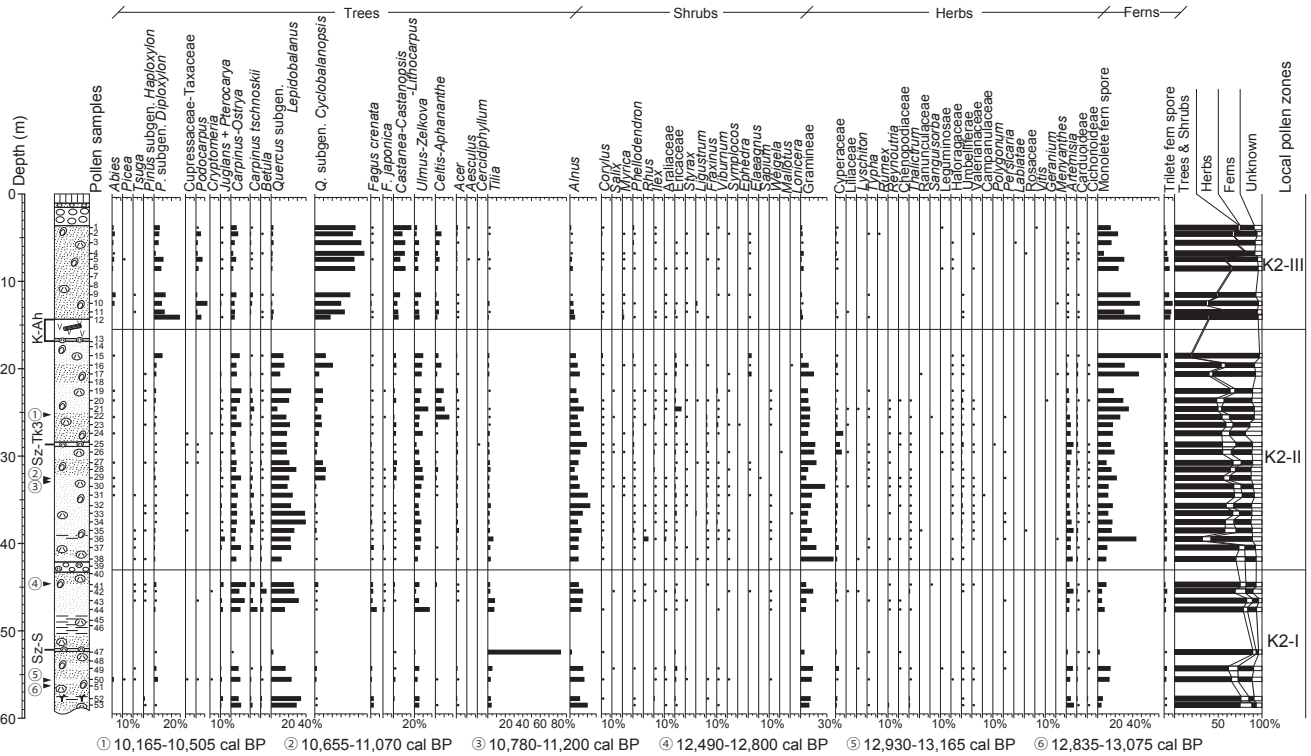


Fig. 3 Conventional pollen diagram from the K2 core, Kokubu Plain. Refer to Fig. 2 for the symbols of the lithological column.

考 察

1. 国分平野周辺における最終氷期末期以降の植生変遷と気候変動

本研究の結果から、K2 コアは国分平野周辺における約13,000年間の植生変遷を記録していた。K2 コアの花粉組成から、下位よりK2-I～K2-III帯の3つの局地花粉帯に区分した (Fig. 3)。<sup>14</sup>C年代とテフラ年代から構築した堆積曲線を基に各花粉帯の年代を推定すると (Fig. 2)、K2-I帯期は約13,000～12,500年前、K2-II帯期は約12,500～7300年前、K2-III帯期は約7300～2000年前となる。森脇ほか (2015) によれば、国分平野のK2地点はSz-Sの堆積以前の約12,800年前までは陸域であり、その後は約1500年前まで海域であった。このことから、K2 コアに含まれる花粉・孢子化石のほとんどが、国分平野を取り囲むように分布する丘陵地や山地から供給されたものと考えられる。ここではK2 コアの花粉分析結果を基にして、各花粉帯期における国分平野周辺の植生変遷と気候変動を考察する。

K2-I帯期 (約13,000～12,500年前) では、コナラ亜属とクマシデ属-アサダ属の落葉広葉樹の花粉化石が高率で出現する (Fig. 3)。現在の九州南部では標高1000～1300 m付近の山地上部にミズナラやコナラ *Quercus serrata* Murray を主とした冷温帯落葉広葉樹林が分布

している。鹿児島県の薩摩半島南部に位置する水迫遺跡 (標高126 m) では、出土した石器の残存デンプン粒分析から、縄文時代草創期 (約15,000～11,000年前) から縄文時代早期 (約11,000～6000年前) にかけてクリ *Castanea crenata* Siebold et Zucc. やコナラ亜属、オニグルミ *Juglans mandshurica* Maxim. var. *sachalinensis* (Komatsu) Kitam. などの堅果が食料として利用されていたことが報告されている (渋谷, 2012)。この時期の国分平野周辺における丘陵地や山地下部には、コナラ亜属やクマシデ属から構成される冷温帯落葉広葉樹林が分布していたと考えられ、冷涼な気候環境であったと推測される。一方、草本花粉とシダ類孢子は比較的低率である。K2地点は、約12,800年前以降は海域であった (森脇ほか, 2015)。すなわち、この時期は最終氷期の終焉に伴う急激な海水準の上昇によって、現在の国分平野は海没したことで、陸域が少なくなり平野部に生育する草本類やシダ類が減少したと推測される。

K2-II帯期 (約12,500～7300年前) では、コナラ亜属やクマシデ属-アサダ属が高率であるが、この時期の後半に向かって減少する (Fig. 3)。一方、アカガシ亜属やエノキ属-ムクノキ属、クリ属-シイ属-マテバシイ属などの常緑広葉樹の花粉化石が出現するようになる。アカガシ亜属の花粉化石は、現在の九州南部の平野部から

標高 1000 m 付近まで広く分布するアカガシやアラカシ *Quercus glauca* Thunb, シラカシ *Quercus myrsinifolia* Blume, ウラジログシなどに由来するものと考えられる。エノキ属—ムクノキ属については、現在も九州南部に広く分布する落葉広葉樹のエノキ *Celtis sinensis* Pers., ムクノキ *Aphananthe aspera* (Thunb.) Planch. に由来する可能性が高い。

完新世前半におけるエノキ属—ムクノキ属の増加については、関東平野 (辻, 1997) や相模平野 (清永, 1993), 大阪平野 (北川ほか, 2009) など各地で報告されている。現在のエノキやムクノキの立地環境は、河川砂礫堆や人為的な攪乱の受けやすい場所である (達・大沢, 1992; 松岡・佐野, 2003; 比嘉ほか, 2006)。この時期の国分平野では河川の土砂運搬によって陸域が拡大されたことが示されている (森脇ほか, 2015)。また、平野に隣接するシラス台地上では、縄文時代早期の上野原遺跡が立地しており、この時期における活発な人間活動があったことが示されている (新東, 2006)。したがって、約 10,000 年前以降におけるエノキやムクノキの増加原因を特定することは難しいが、国分平野の周辺でも自然的もしくは人為的な攪乱が頻繁に生じた可能性がある。

クリ属—シイ属—マテバシイ属については光学顕微鏡による花粉形態の観察だけでは区分することは難しい (片岡・守田, 1998)。K2-II 帯期に産出したクリ属—シイ属—マテバシイ属の花粉化石は、現在も九州南部に分布する落葉広葉樹のクリ、平野部や丘陵部に広く分布する常緑広葉樹のツブラジイやスタジイ、マテバシイ、シリブカガシなどに由来する可能性がある。杉山 (1999, 2002) は九州南部における K-Ky 直下層からクスノキ科やシイ属の植物珪酸体が増加することを指摘している。したがって、この時期になると国分平野周辺の丘陵地や山地下部では、前帯と同様に冷温帯落葉広葉樹を主体とした森林が広く分布していたものの、次第にカシ類やシイ類を主とする暖温帯常緑広葉樹林へと、その構成種を変化させたと考えられる。

K2-II 帯期の堆積物には貝化石が多く含まれていることから、内湾環境であったと考えられている (森脇ほか, 2015)。草本花粉とシダ類胞子の出現率を見ると、この時期の前半では全体に占める割合が依然として低率であるが、後半では増加傾向を示している。このことは国分平野を形成した天降川の土砂運搬によって、草本やシダ類が繁茂する陸域が拡大した過程を反映したものと推測できる。K2-II 帯期の開始時期はグリーンランド (Rasmussen et al., 2008) や水月湖 (Nakagawa et al., 2003, 2005, 2006) に記録されるヤンガー・ドリラス期の終焉とその後の急激な温暖化の開始時期ともほぼ一致する。しかし、この時期の九州南部では大きな植生変化はなかったものと考えられ

る。

K2-III 帯期 (約 7300 ~ 2000 年前) ではアカガシ亜属やクリ属—シイ属—マテバシイ属などの常緑広葉樹の花粉化石が優占する。また、マツ属複雑管束亜属やマキ属、モミ属などの針葉樹の花粉化石も増加する。これらは暖温帯常緑広葉樹林に混交できるアカマツやクロマツ *Pinus thunbergii* Parl., イヌマキ *Podocarpus macrophyllus* (Thunb.) Sweet f. *angustifolius* (Blume) Pilg., モミなどの温帯針葉樹に由来するものと考えられる。したがって、この時期には暖温帯常緑広葉樹林が国分平野周辺の丘陵地や山地下部に広がり、その森林には温帯針葉樹が混交していたと考えられる。K2-III 帯期は、現在と同様の森林植生が形成されていることから、少なくともこの時期から現在と同様の気候環境になったと考えられる。

## 2. 鬼界カルデラの噴火による影響

約 7300 年前の鬼界カルデラの噴火は、幸屋降下軽石 (K-KyP) の噴出に始まり、その後は薩摩半島や大隅半島に到達するほどの大規模な幸屋火砕流 (K-Ky) を噴出した (Fig. 1)。この火砕流と共に、大気中に放出された噴煙柱は、鬼界アカホヤ火山灰 (K-Ah) として東北地方南部まで降灰した (町田・新井, 2003)。この一連の噴火は、給源地からの距離や地形などによって違いはあるものの、九州南部における当時の森林植生に大きな影響を与えたことが指摘されている (杉山, 1999, 2002; 松下, 2002; 金原, 2008)。例えば、杉山 (1999) は大隅半島や薩摩半島の植物珪酸体分析の結果から、K-Ky の到達地域は 900 年間に渡って森林植生は回復せず、草原植生になっていたと推測している。松下 (2002) は K-Ky 北限付近の肝属平野の花粉分析結果から、K-Ah が降下した地域の森林植生には火砕流の到達地域に比べて、壊滅的なダメージはなかったとした。一方、金原 (2008) は大分県横尾貝塚の花粉分析結果から、九州北部では K-Ah 降下の影響によって落葉広葉樹が減少し、常緑広葉樹が増加したと指摘している。このように鬼界カルデラの噴火による森林植生への影響についてはいくつかの見解が示されている。

鬼界カルデラの噴火に伴って壊滅的な被害をもたらした K-Ky は、国分平野には到達していない。しかし、この地域は K-Ah が厚く降下・堆積した地域であり、少なからず森林植生へ影響を与えたと推測される。一方、国分平野における花粉出現率をみると、暖温帯常緑広葉樹林の成立は K2-II 帯期と K2-III 帯期の境界にあたる K-Ah の降灰時期と一致する (Fig. 3)。また、国分平野における温帯針葉樹と落葉広葉樹、常緑広葉樹を代表する花粉分類群の総出現率を見ると、冷温帯落葉広葉樹の総出現率は約 11,000 年前から減少傾向を示している (Fig. 4)。一方、暖温帯常緑

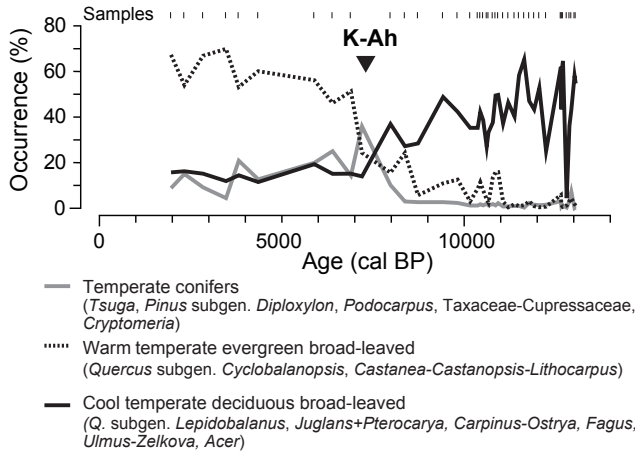


Fig. 4 Occurrence of major pollen fossil from the K2 core, Kokubu Plain.

広葉樹の総出現率については、約 8000 年前から急増している。松下 (1992) によれば約 7000 年前には西南日本の太平洋沿岸部には暖温帯常緑広葉樹林が成立していたことが推測されている。すなわち、冷温帯落葉広葉樹林から暖温帯常緑広葉樹林への森林植生の变化は、K-Ah の降下による影響であるとは考え難く、後氷期における継続的な温暖気候の下で、暖温帯常緑広葉樹が徐々に個体数を増加させたと考えられる。

ところで、K-Ah 降下前には低率であった温帯針葉樹が降灰後には急激に増加する (Fig. 4)。とくに、温帯針葉樹の中でもマツ属複雑管束亜属の増加が目立つ (Fig. 3)。例えば、桜島における大正噴火や昭和噴火の溶岩流跡にはクロマツがいち早く侵入し、低木林を形成している (内嶋ほか, 1995)。すなわち、K-Ah 降灰後における温帯針葉樹の急増は、先駆的な樹種とされるクロマツやアカマツが一時的に増加したものと考えられる。先駆的なクロマツやアカマツが増加していることから、K-Ah の降灰は国分平野周辺の森林植生を大きく変化させるほどの影響を与えなかったにせよ、多少なりとも森林植生へダメージを与えた可能性がある。

### 3. 最終氷期末期以降における九州南部の時空間的な植生変遷

本研究では、国分平野の花粉分析結果から、鹿児島湾奥における最終氷期末期以降の植生変遷を連続的に明らかにすることができた。前述のように、九州南部では詳細時間軸に沿った古植生データは少なく、今後も継続的なデータの蓄積とそれに基づいた時空間的な植生変遷を議論する必要がある。ここでは時間軸が得られている宮崎平野 (外山, 1982) と肝属平野 (松下, 2002) の花粉分析結果と対比

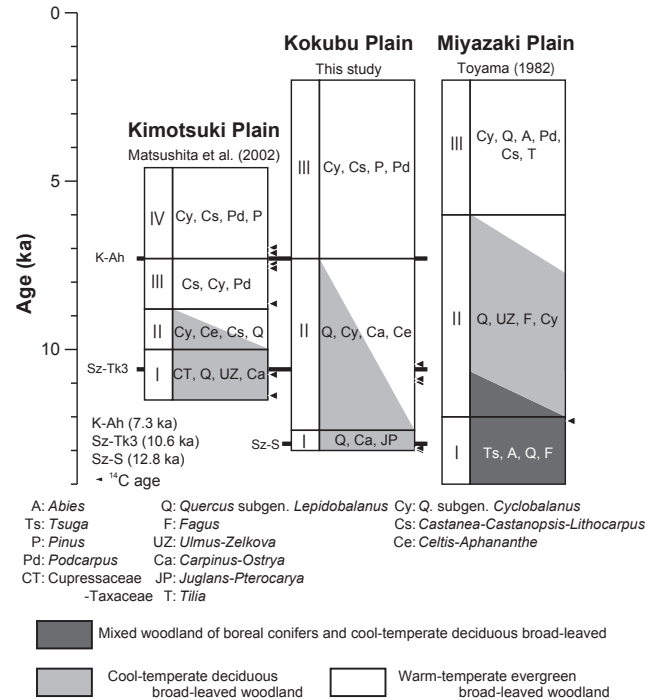


Fig. 5 Spatial-temporal comparison of pollen data in the southern Kyushu.

して、九州南部における最終氷期末期以降の時空間的な植生変遷について検討する (Fig. 5)。なお、外山 (1982) は宮崎平野の堆積物の最下部で 1 試料のみの  $^{14}\text{C}$  年代を報告しているが、そこから堆積年代を高精度に推測することは難しい。そのため、本研究では五反田・福澤 (2006) に従って外山 (1982) の花粉分析結果を約 14,000 ~ 2000 年前の年代範囲として、内挿法と外挿法を用いて堆積年代を算出した。また、外山 (1982) はクリ属とシイ属を区分し、松下 (2002) はクリ属-マテバシイ属として花粉分類群を同定している。前述のようにクリ属、シイ属、マテバシイ属は光学顕微鏡下での花粉形態だけでは区分が難しい (片岡・守田, 1998)。そのため、本研究では各地の花粉分析結果をクリ属-シイ属-マテバシイ属と一括して扱った。

最終氷期末期にあたる約 14,000 年前まで遡る花粉分析結果は宮崎平野のみである (Fig. 5)。この時期の宮崎平野ではツガ属やモミ属のマツ科針葉樹、コナラ亜属やブナ属などの落葉広葉樹の花粉化石が高率であり、かつ安定的に出現する。Momohara et al. (2016) や百原 (2017) は、茨城県花室川流域における大型植物遺体分析の結果から、最終氷期最盛期には標高による気温変化よりも、地形に伴う土壌の水分条件の変化が植生分布に大きく影響を与えたことを指摘している。また、西内ほか (2017) は島根県白坏高津における花粉分析と大型植物遺体分析の結果から、最終氷期最盛期には標高によって優占種が変化するの

ではなく、同じ標高域内でも温帯性樹種と亜高山帯針葉樹が地形に応じて棲み分けをしていた可能性を示唆した。したがって、この時期における九州南部の古植生データの蓄積は少ないため詳細な議論はできないものの、九州南部の低標高域でも針葉樹と落葉広葉樹が分布しており、地形条件や水分条件に応じて棲み分けていた可能性がある。

約12,500年前になると、国分平野ではコナラ亜属やクマシデ属-アサダ属などの落葉広葉樹の花粉化石が優占することから、九州南部でもいち早く冷温帯落葉広葉樹が拡大している (Fig. 5)。一方、宮崎平野ではマツ科針葉樹の花粉化石は低率となり、これに代わって落葉広葉樹の花粉化石が高率となる。国分平野よりも北部に位置する宮崎平野はやや遅れて冷温帯落葉広葉樹林が拡大したものと考えられる。

最終氷期の終焉後の約10,000～6000年前には、肝属平野や国分平野、宮崎平野では落葉広葉樹の花粉化石が優占するようになる (Fig. 5)。すなわち、後氷期の温暖な気候に伴って、九州南部の各地では冷温帯落葉広葉樹林が分布するようになったと考えられる。一方、この時期の後半になると、各地でアカガシ亜属やクリ属-シイ属-マテバシイ属などの常緑広葉樹の花粉化石の増加が示される。すなわち、気候の温暖化が進むことによって植生遷移が進み、冷温帯落葉広葉樹林は縮小、もしくは高標高域へと分布範囲を移動させ、これに代わって低標高域の平野部では暖温帯常緑広葉樹林が拡大したと推測される。

暖温帯常緑広葉樹林の成立時期は、肝属平野では約8900年前以降、国分平野では約7300年前以降、宮崎平野では約6800年前となる (Fig. 5)。前述のように、宮崎平野では最下部の1試料のみの<sup>14</sup>C年代だけで詳細な比較をすることは難しい。国分平野と肝属平野における主要な花粉分類群やその出現率を比較してみると、肝属平野では約8900年前にはクリ属-シイ属-マテバシイ属が約50～60%を占め、その後アカガシ亜属が約7300年前に約16～40%に達する (松下, 2002)。一方、国分平野では約7300年前からアカガシ亜属は高率であり、これと同時にクリ属-シイ属-マテバシイ属も増加する (Figs. 3, 4)。また、両地点における暖温帯常緑広葉樹林の成立時期には約1600年間の時間差があり、肝属平野は国分平野に比べて先行する。

松下 (1992) や杉山 (1999) は、西南日本の太平洋沿岸における花粉分析や植物珪酸体分析の結果からクリ属-シイ属-マテバシイ属がアカガシ亜属よりも先行して増加しており、その原因が太平洋沿岸に流れる暖流の黒潮の影響を受けた温暖な気候環境であったと推測している。国分平野は鹿児島湾奥に位置しており、黒潮の直接的な影響は受けておらず、現在でも太平洋沿岸に比べて、やや冷涼な

気候環境となっている (文化庁, 1975)。また、これまでいくつかの研究によって、最終氷期以降における鹿児島湾の古環境変遷が明らかにされており、黒潮の影響について述べられている。例えば、森脇ほか (2017) は新島 (燃島) の燃島貝層では外洋性暖流種が多くみられることから、約8000年前から鹿児島湾奥まで外洋水が強く及んだ可能性を示している。前浜ほか (2021) は鹿児島湾の新島の石灰質燻化石から、約8000年前から黒潮の分流が鹿児島湾奥のカルデラ底に深く入り込むようになったことを指摘している。この黒潮の分流が流入を開始する時期は、国分平野におけるアカガシ亜属やクリ属-シイ属-マテバシイ属の増加時期の直前に一致する。すなわち、黒潮の分流が流入する以前の鹿児島湾奥は冷涼な気候環境であったため、暖温帯常緑広葉樹林の成立が遅れたと考えられる。一方、約8000年前には分流の流入によって温暖な気候環境となり、国分平野周辺でも暖温帯常緑広葉樹林が短期間で拡大した可能性が高い。

約6000年前以降には、九州南部における各地の花粉分析結果でアカガシ亜属やクリ属-シイ属-マテバシイ属などの花粉化石が優占する。このことから、各地でアカガシやアラカシ、スダジイやツブラジイなどの暖温帯常緑広葉樹林が成立し、現在まで継続的に分布したと推測される。

## 結 論

本研究は、鹿児島県国分平野のK2コアの花粉分析を行い、平野周辺における約13,000年前以降の植生変遷と気候変動を明らかにした。また、約7300年前の鬼界カルデラの噴火に伴う当時の植生への影響について検討した。さらに、最終氷期末期以降における九州南部の広域的な植生変遷についても考察した。

国分平野の周辺地域では、約13,000～12,500年前(K2-I帯期)に冷涼な気候環境でコナラ亜属を主とした冷温帯落葉広葉樹林が分布していた。約12,500～7300年前(K2-II帯期)になると、気温の温暖化に伴って、国分平野周辺の森林では冷温帯落葉広葉樹から暖温帯常緑広葉樹へと、その構成種を変化させた。その後、約7300年前以降にはアカガシ亜属やシイ属が優占する暖温帯常緑広葉樹林が形成され、現在とほぼ同様の気候環境になった。

国分平野では冷温帯落葉広葉樹の花粉化石は約11,000年前から減少傾向を示しており、アカガシ亜属やクリ属-シイ属-マテバシイ属など常緑広葉樹林の花粉化石はK-Ah降灰以前から増加を開始している。このことから、九州南部における冷温帯落葉広葉樹林から暖温帯常緑広葉樹林への移行は、鬼界カルデラの噴火による影響ではなく、急激な気候の温暖化に対応したものである。しかし、K-Ah降灰後にマツ属複雑管束亜属が急増することから、



K-Ah 降灰に伴って植生は局所的にダメージを受け、そこにクロマツやアカマツなどが先駆的な樹種が一時的に分布を拡大させた。

九州南部では、約 13,000 年前から国分平野でいち早く冷温帯落葉広葉樹林が形成され、北部の宮崎平野ではこれよりやや遅れて拡大した。約 10,000 年前以降から低標高域の平野部を中心にして、暖温帯常緑広葉樹林が拡大し、約 6000 年前以降には現在と同様の暖温帯常緑広葉樹林が成立した。一方、国分平野と肝属平野では暖温帯常緑広葉樹林の成立時期に約 1600 年間の時間差が生じていた。これは国分平野が約 8000 年前まで黒潮の影響を受けず、肝属平野に比べて冷涼な環境であったことが大きな原因である。

以上のように、本研究は鹿兒島湾北部周辺における最終氷期末期以降の植生変遷や気候変動を明らかにした。さらに、大規模な火山噴火に伴う森林植生へ影響や時空間的な森林植生の変化の一端を明らかにすることができた。しかし、時空間的な植生分布を復元するためには、九州南部の各地で詳細時系列に沿った古植生データの蓄積が必要であり、これらのデータを基にした水平・垂直的な植生変化や森林構成種を詳細に議論する必要がある。

#### 謝 辞

本研究を進めるにあたって、鹿兒島大学教育学部の永迫俊郎准教授、深瀬浩三准教授 (現立正大学地球環境科学部) にはボーリングコア試料の調査においてご協力を頂きました。以上の方々に、深く感謝をいたします。本研究は JSPS 科研費 18K01122 「南九州・南西諸島におけるテフラ編年に基づく過去 3 万年間の古環境変化の高精度編年」(研究代表者: 森脇 広)、19K01159 「最終氷期最盛期以降の中部高地における森林限界高度の復元と森林発達プロセスの解明」(研究代表者: 吉田明弘) による助成を受けた。

#### 引用文献

- Bronk Ramsey, C. 2009. Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon* 51: 337–360.
- 文化庁. 1975. 天然記念物緊急調査, 植生図・主要動植物地図 46. 鹿兒島県, 71 pp. 国土地理協会, 東京.
- 達 良俊・大沢雅彦. 1992. 都市景観域における放棄アカマツ植林の二次遷移とアカマツの一斉枯死による影響. *日本生態学会誌* 42: 81–93.
- 五反田克也・福澤仁之. 2006. バイオマイゼーション (Biomization) 法を用いた日本列島の過去 2 万年間のバイオーム分布復元— (I) 九州—. *地学雑誌* 115: 125–135.
- Hatanaka, K. 1978. Pollen analytical study on the vegetation history since the Late-Glacial age in Kyushu, Japan—I. Peat bed of “Jomon transgression” stage exposed on the present shore-line in northern Kyushu. *Journal of the Faculty of Literature Kitakyushu University (Series B)* 10: 1–12.
- 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.
- Heaton, T. J., Köhler, P., Butzin, M., Bard, E., Reimer, R. W., Austin, W. E. N., Bronk Ramsey, C., Grootes, P. M., Hughen, K. A., Kromer, B., Reimer, P. J., Adkins, J., Burke, A., Cook, M. S., Olsen, J. & Skinner, L. C. 2020. Marine20—The marine radiocarbon age calibration curve (0–55,000 cal BP). *Radiocarbon* 62: 779–820.
- 比嘉智紀・石川慎吾・三宅 尚. 2006. 河川砂礫堆上の高燥立地への侵入・定着過程にかかわるアキニレ・エノキ・ムクノキの生態学的特性. *植生学会誌* 23: 89–103.
- 岩内明子・長谷義隆. 1995. 南部九州加久藤盆地後期更新世溝園層の花粉分析. *熊本大学教養部紀要 (自然科学編)* 30: 155–169.
- 岩内明子・長谷義隆. 1996. 九州の別府湾堆積物および鹿兒島平野沖積層の花粉分析. *熊本大学教養部紀要 (自然科学編)* 30: 119–130.
- 金原正明. 2008. 横尾貝塚における環境考古学分析. 「横尾貝塚: 大分市埋蔵文化財発掘調査報告書 83」(大分市教育委員会編), 206–213.
- 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.
- Kitagawa, H. & van der Plicht, J. 1998. A 40,000-Year Varve Chronology from Lake Suigetsu, Japan: Extension of the  $^{14}\text{C}$  Calibration Curve. *Radiocarbon* 40: 505–515.
- 北川陽一郎・吉川周作・高原 光. 2009. 夢州沖コアの花粉分析に基づく大阪湾集水域における完新世の植生変遷. *第四紀研究* 48: 351–363.
- 清永丈太. 1993. 花粉分析からみた相模平野西部, 歌川低地周辺域における完新世後半の植生変遷. *第四紀研究* 32: 31–40.
- 黒田登美雄・太田辰夫. 1978. 福岡市天神地域の後期更新世—完新世堆積物の花粉分析学研究, その 1. *第四紀研究* 17: 1–14.
- Kuroda, T. & Hatanaka, K. 1979. Palynological study of the Late Quaternary in the coastal plain along Hakata Bay, in Fukuoka city, northern Kyushu, Japan. *The Quaternary Research* 18: 53–68.
- 前浜悠太・鹿野和彦・大木公彦・入月俊明・林 広木. 2021. 新島 (燃島) の後期更新世末期—完新世の石灰質微化石群集と鹿兒島湾奥の古環境復元. *地質学雑誌* 127: 363–376.
- 町田 洋・太田陽子・河名俊男・森脇 広・長岡信治, 編. 2001. 日本の地形 7, 九州・南西諸島. 355 pp. 東京大学出版会, 東京.
- 町田 洋・新井房夫. 2003. 新編火山灰アトラス—日本列島とその周辺. 360 pp. 東京大学出版会, 東京.
- 松岡 敦・佐野淳之. 2003. 鳥取市域における千代川の氾濫とエノキ・ムクノキ林の成立. *植生学会誌* 20: 119–128.
- 松岡數充. 1992. 西九州・平戸島における約 6,000 年前以降の古環境変遷. *日本花粉学会誌* 38: 1–11.
- 松下まり子. 1992. 日本列島太平洋岸における完新世の照葉樹林発達史. *第四紀研究* 31: 375–387.

- 松下まり子. 2002. 大隅半島における鬼界アカホヤ噴火の植生への影響. *第四紀研究* 41: 301–310.
- 宮井嘉一郎. 1935. 霧島山の湿原とその花粉分析. *生態学研究* 1: 295–301.
- 宮井嘉一郎. 1938. 屋久島湿原の花分析. *日本林学会誌* 20: 20–30.
- 宮脇 昭, 編. 1981. *日本植生誌* 2, 九州. 484 pp. 至文堂, 東京.
- 百原 新. 2017. 鮮新・更新世の日本列島の地形発達と植生・植物相の変遷. *第四紀研究* 56: 251–264.
- Momohara, A., Yoshida, A., Kudo, Y., Nishiuchi, R. & Okitsu, S. 2016. Paleovegetation and climatic conditions in a refugium of temperate plants in central Japan in the Last Glacial Maximum. *Quaternary International* 425: 38–48.
- 森脇 広・松島義章・杉原重夫・大平昭夫・大木公彦・増淵和夫・弦巻賢介. 2015. 鹿児島湾北岸, 国分平野における過去 15,000 年間の海面変化と古環境変化. *第四紀研究* 54: 149–171.
- 森脇 広・永迫俊郎・西澤文勝・松島義章・鈴木毅彦・田中源吾. 2017. テフラ編年と  $^{14}\text{C}$  年代に基づく鹿児島湾奥, 新島(燃島)の海成堆積物の編年とその意義. *地学雑誌* 126: 557–579.
- Nakagawa, T., Kitagawa, H., Yasuda, Y., Tarasov, P. E., Nishida, K., Gotanda, K., Sawai, Y. & Members Yangtze River Civilization Program. 2003. Asynchronous climate changes in the North Atlantic and Japan during the last termination. *Science* 299: 688–691.
- Nakagawa, T., Kitagawa, H., Yasuda, Y., Tarasov, P. E., Gotanda, K. & Sawai, Y. 2005. Pollen/event stratigraphy of the varved sediment of Lake Suigetsu, central Japan from 15,701 to 10,217 SG vyrBP (Suigetsu varve years before present): description, interpretation, and correlation with other region. *Quaternary Science Review* 24: 691–1701.
- Nakagawa, T., Tarasov, P. E., Kitagawa, H., Yasuda, Y. & Gotanda, K. 2006. Seasonally specific responses of the East Asian monsoon to deglacial climate changes. *Geology* 34: 521–524.
- 西内李佳・百原 新・塚腰 実. 2017. 三木茂標本の大型植物化石と花粉化石から復元した 最終氷期最寒冷期の中国地方北西部の針葉樹林. *植生史研究* 26: 41–52.
- 野井英明・佐藤善男・畑中健一. 1990. 宮崎県浮田地域における沖積層の花分析と古環境変遷. *北九州大学文学部紀要 (B 系列)* 22: 73–80.
- 野井英明・太田泰弘・梅崎恵司. 2006. 福岡県北九州市黒崎城跡における完新世の環境変遷—特に縄文人の環境適応についての考察. *北九州市立大学文学部紀要 (人間関係学科)* 13: 79–88.
- 奥野 充. 2002. 南九州に分布する最近約 3 万年間のテフラの年代学的研究. *第四紀研究* 41: 225–236.
- 大井信夫・佐々木 章・佐々木尚子. 2009. 大分県九重町千町無田における過去 8000 年間の環境変遷. *植生史研究* 17: 65–74.
- Rasmussen, S. O., Seierstad, I. K., Anderson, K. K., Bigler, M. & Dahl-Jansen, S. J. 2008. Synchronization of the NGRIP, GRIP, and GISP2 ice core across MIS 2 and palaeoclimatic implication. *Quaternary Science Review* 27: 18–28.
- Reimer, P. J., Austin, W. E. N., Bard, E., Bayliss, A., Blackwell, P. G., Bronk Ramsey, C., Butzin, M., Cheng, H., Edwards, R. L., Friedrich, M., Grootes, P. M., Guilderson, T. P., Hajdas, I., Heaton, T. J., Hogg, A. G., Hughen, K. A., Kromer, B., Manning, S. W., Muscheler, R., Palmer, J. G., Pearson, C., Plicht, J. V. D., Reimer, R. W., Richards, D. A. Scott, E. M., Southon, J. R., Turney, C. S. M., Wacker, L., Adolphi, F., Büntgen, U., Capano, M., Fahrni, S. M., Fogtmann-Schulz, A., Friedrich, R., Köhler, P., Kudsk, S., Miyake, M., Olsen, J., Reinig, F., Sakamoto, M., Sookdeo, A. & Talamo, S. 2020. The IntCal20 northern hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP). *Radiocarbon* 62: 725–757.
- 渋谷綾子. 2012. 鹿児島県水迫遺跡出土石器の残存デンブレン粒と縄文時代草創期・早期における植物利用. *植生史研究* 21: 55–66.
- 新東晃一. 2006. 南九州に栄えた縄文文化・上野原遺跡. 93 pp. 新泉社, 東京.
- Shu, J. W., Sasaki, N., Takahara, H. & Hase, Y. 2013. Vegetation and fire history with their implication for climatic change and fire events since the last deglacial in the Aso Valley, central Kyushu, southwestern Japan: new pollen and charcoal data. *Vegetation History and Archaeobotany* 22: 285–298.
- Smith, V. C., Staff, R. A., Blockley, S. P. E., Bronk Ramsey, C., Nakagawa, T., Mark, D. F., Takemura, K., Danhara, T. & Suigetsu 2006 Project Members. 2013. Identification and correlation of visible tephra in the Lake Suigetsu SG06 sedimentary archive, Japan: chronostratigraphic markers for synchronizing of east Asian/west Pacific palaeoclimatic records across the last 150 ka. *Quaternary Science Reviews* 67: 121–137.
- 杉山真二. 1999. 植物珪酸体分析からみた最終氷期以降の九州南部における照葉樹林発達史. *第四紀研究* 38: 109–123.
- 杉山真二. 2002. 鬼界アカホヤ噴火が南九州の植生に与えた影響—植物珪酸体分析による検討—. *第四紀研究* 41: 311–316.
- 竹岡政治. 1970a. 九州地方における天然スギの分布に関する研究 (I). *京都府立大学農学部演習林報告* 14: 45–51.
- 竹岡政治. 1970b. 九州地方における天然スギの分布に関する研究 (II). *京都府立大学農学部演習林報告* 15: 50–55.
- 竹岡政治. 1971. 九州地方における天然スギの分布に関する研究 (III). *京都府立大学農学部演習林報告* 16: 29–33.
- 辻 誠一郎. 1997. 縄文時代の移行期における陸上生態系. *第四紀研究* 36: 309–318.
- 外山秀一. 1982. 大淀川下流域における古環境の復原. *立命館文学* No. 446–447: 190–219.
- 内嶋善兵衛・勘米良亀齡・田川日出夫・小林 茂, 編. 1995. *日本の自然地域編* 7, 九州. 198 pp. 岩波書店, 東京.
- 安田喜憲. 1990. スギと日本人. *日本研究* No. 4: 41–112.

(2022年2月17日受理)