

# 延岡平野の大貫低地における完新世中期以降の古環境変化

－完新世堆積物の<sup>14</sup>C年代測定と珪藻分析の結果－

大平明夫

**Holocene Paleoenvironmental Changes of the Onuki Lowland**

**in Nobeoka Plain, East Kyusyu**

**- Results of Radiocarbon Dating and Diatom Analysis of the Holocene Sediments -**

**Akio OHIRA**

## 1. はじめに

日向灘に面する宮崎県の沖積低地・沖積層に関しては、宮崎平野を調査対象とした研究が多数行われてきた(外山, 1982; 中山・豊島, 1989; 長岡ほか, 1991; 生田ほか, 2014; Niwa et al., 2020; 栗畑ほか, 2021a, 2021b; 七山ほか, 2021; 大平, 2023). とくに長岡ほか(1991)は、露頭観察、掘削調査、空中写真判読、貝化石による古環境分析、<sup>14</sup>C(放射性炭素)年代測定などの方法を用いて、宮崎平野南部の完新世地形発達史・相対的海水準変動・地殻変動を詳細に明らかにしたものであり、九州における沖積低地の地形発達史・沖積層研究の中でも重要な成果となっている。

一方、宮崎県北部に位置する延岡平野とその周辺地域の沖積低地・沖積層に関しては、既存研究が少ない。大平・松島(2003)は、延岡平野の南側に位置する沖田川低地を対象として、ハンドボーリング調査を実施し、堆積物の層相観察、<sup>14</sup>C年代測定、貝類化石の分析結果に基づき、完新世中期以降の古環境と相対的海水準について検討した。さらに大平(2005)は、延岡平野北部の稲葉崎低地(祝子川と北川の間にのびた丘陵に囲まれた低地)において、ハンドボーリング調査を実施し、堆積物の層相観察、<sup>14</sup>C年代測定、貝類化石・珪藻化石の分析結果に基づき、完新世中期の古環境と相対的海水準について検討した。これらの結果として、約6500～6000 cal BPに相対的海水準が上昇し現海面を若干上回る位置まで達したこと、その時期には沖積低地の最奥部まで潮間帯貝類化石を産出する干潟が拡大していたことなどを明らかにした。以上のように、延岡平野周辺における沖積低地・沖積層に関する研究が若干あるものの、延岡平野中央部(大瀬川・五ヶ瀬川下流低地)における沖積低地・沖積層に関してはほとんど研究が行われていない。

また、古地震・古津波研究の観点からも延岡平野における沖積層に関する研究は重要である。日向灘地震に関する最近の研究では、1662年(寛文二年)に発生した地震(外所地震:安井・田辺, 1961)の規模が、従来の推定(地震の規模M7.6)よりも大きかった可能性が指摘されている(Ioki et al., 2022; 地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2022)。過去に発生した南海トラフ地震

(1707年宝永地震)の際に発生した津波が、延岡平野を流れる河川を遡上し、五ヶ瀬川では河口から7km上流の延岡市松山町まで達している(羽鳥, 1985)。こうした過去の日向灘地震・南海トラフ地震による津波の痕跡(津波堆積物)が、延岡平野とその周辺の沖積低地・沖積層に残されている可能性がある。

以上のことから、本研究では延岡平野の大貫低地においてハンドボーリング調査を実施し、堆積物の層相観察、<sup>14</sup>C年代測定、珪藻分析の結果に基づいて、完新世中期以降の古環境変化を検討した。

## 2. 調査地域の地形・地質概観

宮崎県北部に位置する延岡平野は、大瀬川、五ヶ瀬川、祝子川および北川が形成した沖積平野である(図1)。治水地形分類図で延岡平野の微地形を確認すると、海岸部には砂丘が発達し、砂丘の背後は氾濫平野となっており、河川近辺には自然堤防と旧河道が分布している。

延岡平野中央部の沖積層に関する学術的な報告が存在しないため、筆者が建設省九州地方建設局延岡工事事務所(調査当時)から提供された機械式ボーリングの地質柱状図を資料として、

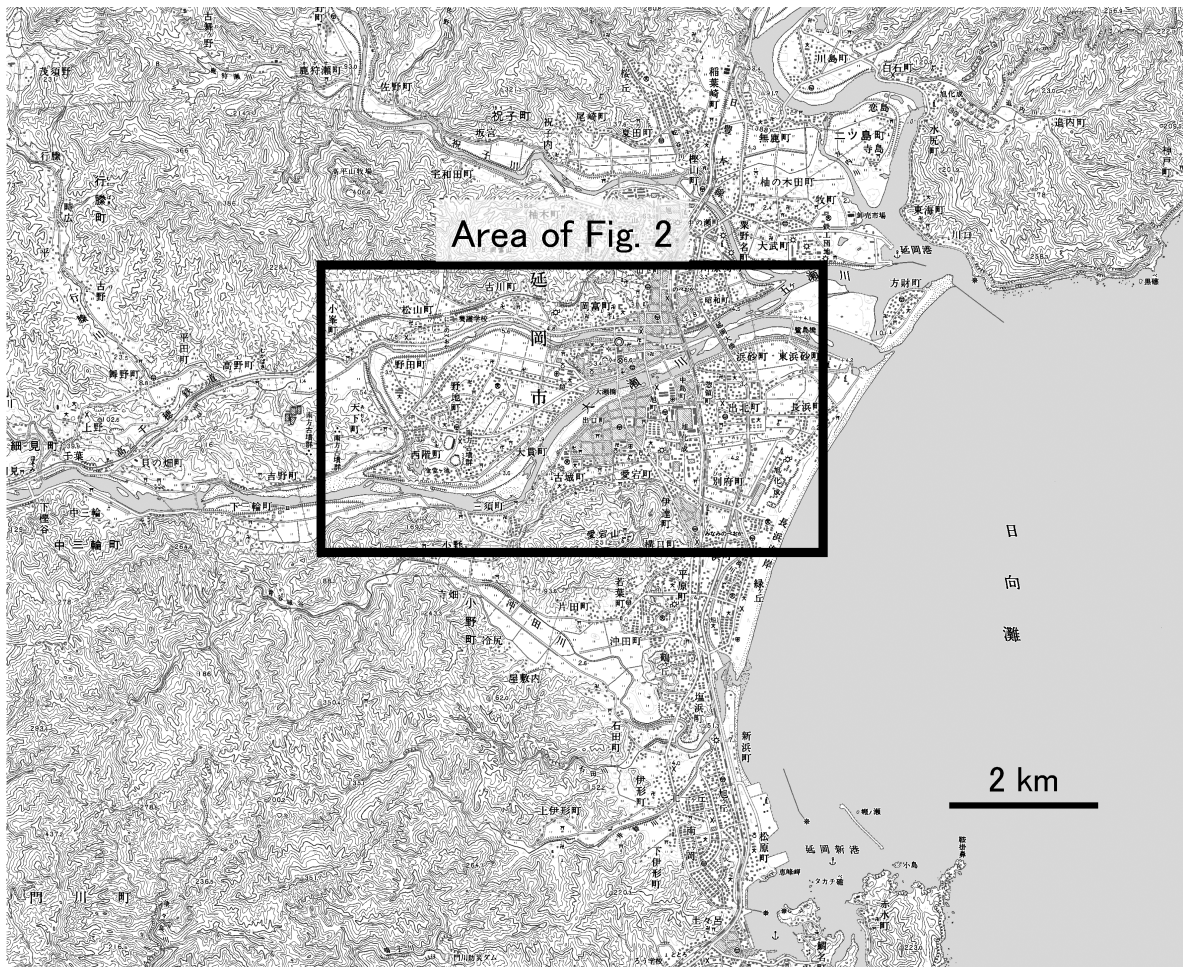


図1 延岡平野とその周辺の5万分の1地形図  
数値地図(1/50,000地形図画像)「延岡」の一部を使用。黒枠は図2の範囲。

大瀬川と五ヶ瀬川の合流部付近の沖積層の概要を記載する。

国道 10 号線延岡大橋(延岡市昭和町～浜砂町)付近の沖積層(N 値 50 以下の地層)の厚さは約 40 m(基底深度は標高約 -35 m)である。沖積層の基盤は、固結度の低い礫岩・砂岩・泥岩である。沖積層下部(標高約 -35 ~ -15 m)は、砂礫・砂・シルト質砂・砂質シルトの互層からなり、砂質シルトは貝殻片を多く含む。沖積層上部(標高約 -15 ~ -5 m)は、主に、貝殻片を含む砂層(一部は砂礫層)からなる。沖積層最上部(標高約 -5 m 以上)は、砂礫・砂・砂質シルト・粘土の互層からなり、シルト・粘土は腐植物を多く含む。

上述した延岡大橋付近の沖積層の構造は、下位から、下部砂層、中部シルト・粘土層(三角州底置層)、上部砂層(三角州前置層)、沖積陸成層からなるデルタ平野の沖積層の層序・層相(海津, 1994)の特徴を有している。ただし、河川の土砂供給力を反映して、延岡大橋付近の沖積層は、砂礫質・砂質の部分が多い。沖積層下部の砂層・砂質シルト層は、凝灰質細砂や細粒砂を主体とする火山灰を挟んでおり、鬼界アカホヤ火山灰 K-Ah(町田・新井, 1978)が含まれている可能性がある。沖積層下部の砂質シルトは貝殻片を多く含むことから、縄文海進期の内湾堆積物(海成層)であると推定される。

本研究の調査地域である大貫低地は、南北を大瀬川と五ヶ瀬川に挟まれた延岡平野中央部の西に位置している(図 2)。大貫低地は、東側を除いて、標高 20 ~ 40 m 程度の山地・丘陵に囲まれているため、大瀬川・五ヶ瀬川による氾濫時の土砂供給の影響を受けにくい地形条件となっている。大貫低地の地盤高度は標高約 5 ~ 6 m であり、五ヶ瀬川河口(日向灘)までの直線距離は約 6.6km である。

大貫低地周辺の山地・丘陵の地質は、上部四万十層群(日向亜層群)渡川層に属する古第三

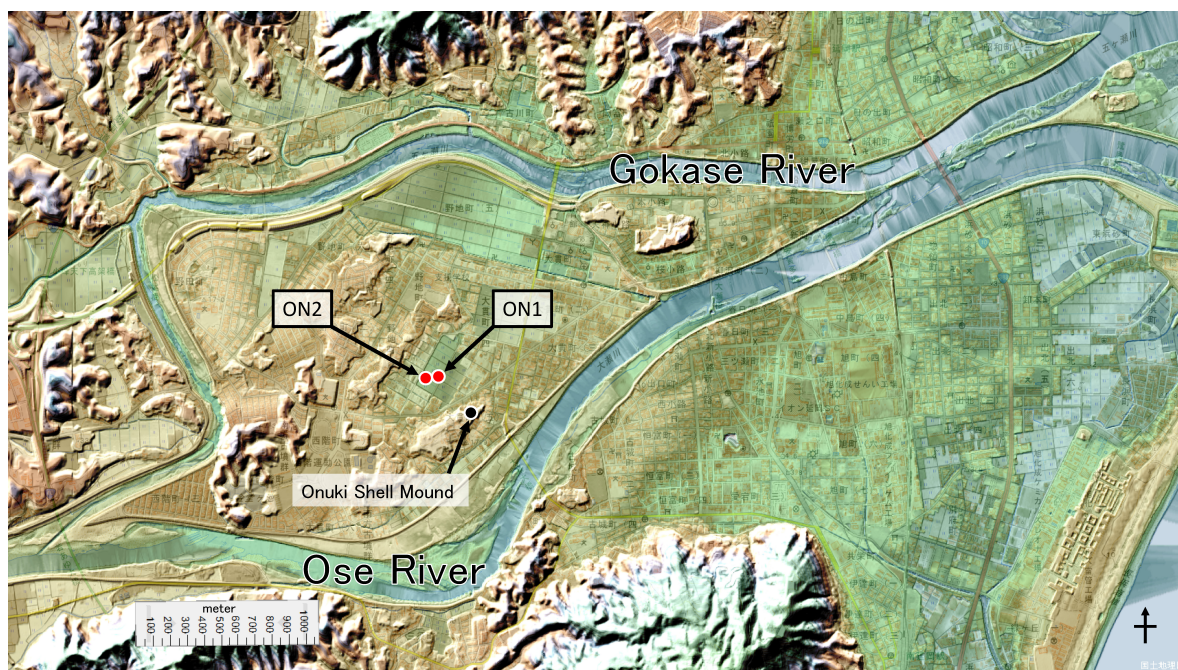


図 2 延岡平野(大貫低地とその周辺)の陰影起伏図

陰影起伏図はカシミール 3D で作成。数値標高モデル (DEM) は基盤地図情報数値標高モデル 5m メッシュ (国土地理院) を使用。地図データは地理院地図 (国土地理院) を使用。ハンドボーリング調査地点 (ON1, ON2) の位置を赤丸、縄文時代早期の大貫貝塚の位置を黒丸で記入。

紀始新世から漸新世の泥岩・泥岩砂岩互層，第四紀後期更新世の中位段丘堆積物である（奥村ほか，2010）。大貫低地南側の標高約 20 m の丘陵の東部の斜面には，縄文時代早期の大貫貝塚がある（図 2）。大貫貝塚からは，ハマグリ，カキなどの貝類化石が出土している（延岡市教育委員会，2015）。

### 3. 大貫低地におけるハンドボーリング調査

ハンドボーリング調査は，2 地点（ON1 地点：2022 年 4 月 18 日，ON2 地点：2022 年 10 月 29 日）で実施した（図 2）。ボーリング地点の緯度・経度（世界測地系）は，ON1 地点が北緯 32° 34 分 25.2 秒・東経 131° 38 分 51.7 秒で，ON2 地点が北緯 32° 34 分 25.6 秒・東経 131° 38 分 49.9 秒である。緯度・経度の測位には，携帯型 GPS 受信機 GARMIN eTrex を使用した。ボーリング地点の標高は，ON1 地点が 5.0 m，ON2 地点が 4.9 m である。両地点間の直線距離は約 60 m である。ハンドボーリングの機材は，試料採取部の穴径 3cm・長さ 50cm の半円形刃先タイプのハンドオーガー（大起理化工業株式会社製：DIK-100A-H2）を使用した（図 3）。ハンドボーリングは，掘削可能な深度まで実施し，両地点ともに全長 5.30 m の堆積物を採取できた。

大貫低地の堆積物は，下位から，砂層，砂泥層（砂質シルト・シルト質砂層），泥質泥炭層・泥炭層，シルト・粘土層，表土（耕作土）から構成される（図 4）。最下部の砂層は，硬質な極細粒～細粒砂からなり，貝殻は認められない。深度約 5.0～3.0 m の砂泥層には，シルトと極細砂の薄層が積み重なる縞状の堆積構造が認められる。ON2 地点の深度約 4.5～4.3 m は，この特徴が明瞭であり，植物片を含んでいる。深度約 2.7～1.9 m には，泥質泥炭層・泥炭層が存在する。ON1 地点の深度 2.75～2.51 m は，黒灰色の泥質泥炭である。ON2 地点の深度 2.53～1.95 m には，未分解の植物遺体で構成される，黒色の繊維質の泥炭が確認された（図 3）。この泥炭は圧密を受けて，植物遺体が締まった状態であった。深度約 1.9～1.4 m は，植物片を多く含むシルト・粘土層である。深度約 1.4 m より上位は，表土（耕作土）の部分を除いて，植物片をほとんど含まないシルト・粘土層である。なお，今回採取した堆積物には，目視で判別できる火山灰層は確認されなかった。



図 3 調査風景写真

（左）大貫低地の休耕田において調査補助者とともにハンドボーリング調査を実施（2022 年 10 月 29 日）。

（右）ハンドボーリングで採取した堆積物（深度 2.00～2.50 m）。未分解の植物遺体からなる泥炭層を採取（ON2 地点）。

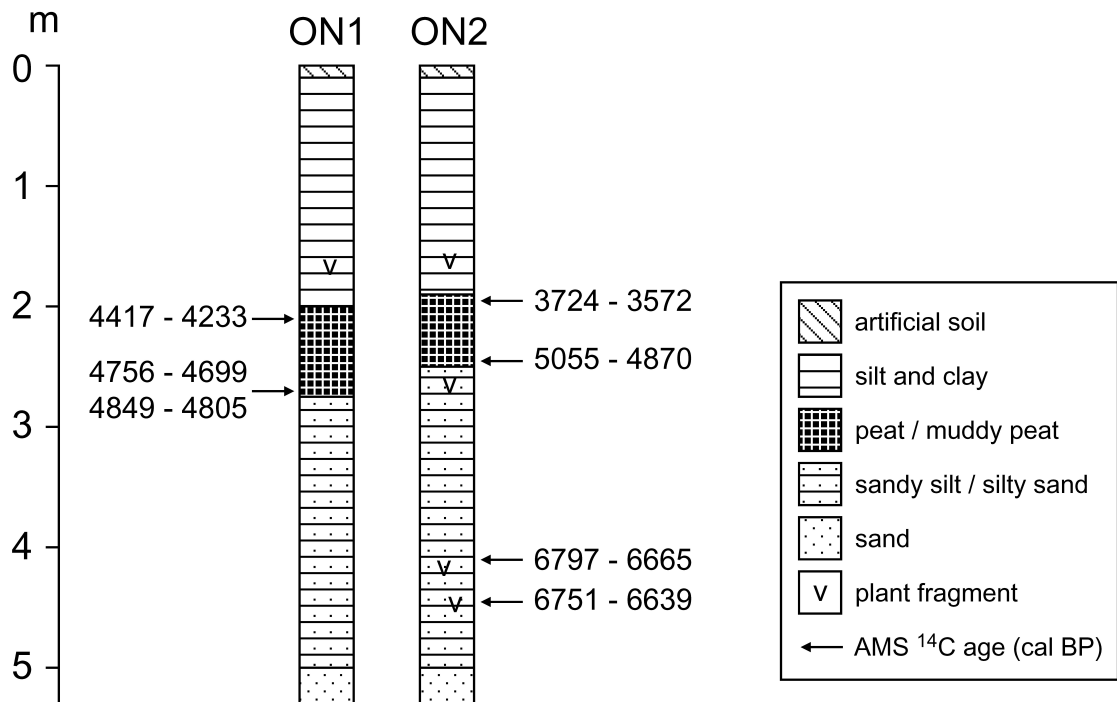


図4 ON1 地点と ON2 地点の地質柱状図

地表面からの深度で表示。標高は ON1 地点が 5.0 m, ON2 地点が 4.9 m。較正年代は Probability Distribution が最大の年代範囲を表示。サンプル番号 ON1-267 は、上位 2 つの Probability Distribution の較正年代の範囲を表示 (表 1 参照)。

#### 4. $^{14}\text{C}$ 年代測定

ハンドボーリングで採取した堆積物から取り出した植物片を試料として、6 件の加速器質量分析法 (AMS : Accelerator Mass Spectrometry) による  $^{14}\text{C}$  年代測定を行った。 $^{14}\text{C}$  年代測定は、株式会社加速器分析研究所において実施した。同位体分別効果を補正した  $^{14}\text{C}$  年代を、オンライン (<https://c14.arch.ox.ac.uk/oxcal.html>) で利用可能な較正プログラム OxCal4.4 (Bronk Ramsey, 2009) を使用して、暦年較正 (calibration) した。較正データは、IntCal20 (Reimer et al., 2020) を使用した。較正年代 (cal BP) は  $2\sigma$  (95.4% 確率) の年代範囲 (OxCal4.4 の計算結果で Probability Distribution の合計 1.000 の範囲) を記載した (表 1)。

全長 5.30 m の堆積物の下部から得られた年代は、ON2 地点の深度 4.44 m の植物片 (サンプル番号 : ON2-444) が 6751 - 6639 cal BP、深度 4.13 m の植物片 (ON2-413) が 6797 - 6665 cal BP であった (図 4)。31cm 上位の植物片が約 30 ~ 40 年古い値を示したが、2 つの年代はほぼ同時期を示していることから、深度約 4.5 ~ 4.1 m の堆積物が約 6800 ~ 6600 cal BP に堆積したことが明らかとなった。

深度約 2.7 ~ 1.9 m 付近の泥質泥炭層・泥炭層の基底 (最下部) の年代は、ON1 地点 (ON1-267) で 4756 - 4699 cal BP (4849 - 4805 cal BP)、ON2 地点 (ON2-246) で 5055 - 4870 cal BP であった (図 4)。泥質泥炭層・泥炭層の上部の年代は、ON1 地点 (ON1-208) で 4417 - 4233 cal BP、ON2 地点 (ON2-195) で 3724 - 3572 cal BP であった。

深度 2.7 ~ 1.9 m の泥質泥炭層・泥炭層の堆積速度を、泥炭層の層厚と  $^{14}\text{C}$  年代値から計算

表1 大貫低地の堆積物から得られた<sup>14</sup>C年代測定値

Sample No.	Depth (m)	Elevation (m a.s.l.)	Material	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	<sup>14</sup> C age (BP)	Probability Distribution	cal BP (2 $\sigma$ )	Laboratory Code
ON1-208	2.08	2.92	plant frag.	$-28.54 \pm 0.25$	$3890 \pm 30$	0.982	4417 - 4233	IAAA-220648
						0.015	4198 - 4184	"
						0.003	4166 - 4163	"
ON1-267	2.67	2.33	plant frag.	$-28.96 \pm 0.24$	$4220 \pm 30$	0.424	4849 - 4805	IAAA-220649
						0.456	4756 - 4699	"
						0.121	4673 - 4649	"
ON2-195	1.95	2.95	plant frag.	$-28.97 \pm 0.25$	$3420 \pm 30$	0.085	3821 - 3795	IAAA-221070
						0.017	3765 - 3753	"
						0.899	3724 - 3572	"
ON2-246	2.46	2.44	plant frag.	$-26.72 \pm 0.23$	$4420 \pm 30$	0.152	5270 - 5186	IAAA-221071
						0.019	5125 - 5109	"
						0.829	5055 - 4870	"
ON2-413	4.13	0.77	plant frag.	$-29.85 \pm 0.22$	$5920 \pm 30$	0.030	6835 - 6819	IAAA-221072
						0.970	6797 - 6665	"
ON2-444	4.44	0.46	plant frag.	$-34.08 \pm 0.22$	$5880 \pm 30$	0.052	6783 - 6762	IAAA-221073
						0.948	6751 - 6639	"

すると、ON1地点で約1.7 mm/年、ON2地点で約0.5 mm/年となる。ON1地点とON2地点の堆積速度の違いは、泥質泥炭層・泥炭層に対する圧密の影響が掘削地点によって異なることに起因していると考えられる。

## 5. 珪藻分析

### ①分析方法

大貫低地における完新世中期以降の古環境を復元する目的で珪藻分析を実施した。試料は、ON1地点の深度0.20～5.30 mの堆積物を対象として0.2 mの間隔で採取した。全26層準を分析対象とし、プレパラートの作成を行った。試料の処理は、過酸化水素水を使用した一般的な方法(小杉, 1993)で行い、マウントメディア(封入剤)を使用し、各層準3枚のプレパラートを作成した。検鏡は、光学顕微鏡(OLYMPUS CX21)を使用し、倍率400倍で行った。珪藻種・属の同定は、既存研究の写真図版を参考にした。一層準あたり200殻以上の珪藻を計数した。産出が少ない層準では、150殻以上の珪藻を計数した。

珪藻の生態については、環境指標種群に関する既存研究(鹿島, 1986; 小杉, 1988; 安藤, 1990; 千葉・澤井, 2014)を参考にした。全26層準の主要な珪藻種・属別の出現率(各層準の全殻数に占める主要な珪藻種・属別の殻数の百分率)を珪藻ダイアグラムにまとめた(図5)。

### ②珪藻化石群集の特徴

深度5.20～2.80 m(砂層・砂泥層)からは、海水泥質干潟指標種群の*Nitzschia (Tryblionella) granulata*が多数産出した。また、海水泥質干潟指標種群の*Nitzschia (Giffenia) cocconeiformis*、海水砂質干潟指標種群の*Achnanthes (Planothidium) delicatula*, *Achnanthes hauckiana (Planothidium hauckianum)*も産出した。深度4.40 m以下では、海水藻場指標種群の*Cocconeis scutellum*、内湾

指標種群の *Thalassiosira* 属も産出した。

深度 2.60 m (泥質泥炭層)からは、沼沢湿地付着生種群の *Pinnularia* 属 (*Pinnularia gibba* など)、F・B 種群 (低鹹汽水域から淡水域の環境に生息) の *Rhopalodia gibberula*、海水泥質干潟指標種群の *Nitzschia* (*Tryblionella*) *granulata* などが産出した。

深度 2.40 ~ 2.00 m (泥炭層)からは、沼沢湿地付着生種群の *Pinnularia* 属が多数産出した。また、沼沢湿地付着生種群の *Eunotia* 属 (*Eunotia pectinalis* など) や *Gomphonema* 属 (*Gomphonema acuminatum* など)、F・B 種群の *Rhopalodia gibberula* が産出した。下位の堆積物でみられた海～汽水生の珪藻は産出しなかった。

深度 1.80 ~ 0.20 m (シルト・粘土層)からは、下位の泥炭層と同様の出現傾向があり、沼沢湿地付着生種群の *Pinnularia* 属が多数産出した。また、淡水底生種群の *Cymbella* 属 (*Cymbella tumida* など)、*Stauroneis anceps* も連続的に産出した。深度 0.2 m では、陸域指標種群の *Hantzschia amphioxys* もみられた。

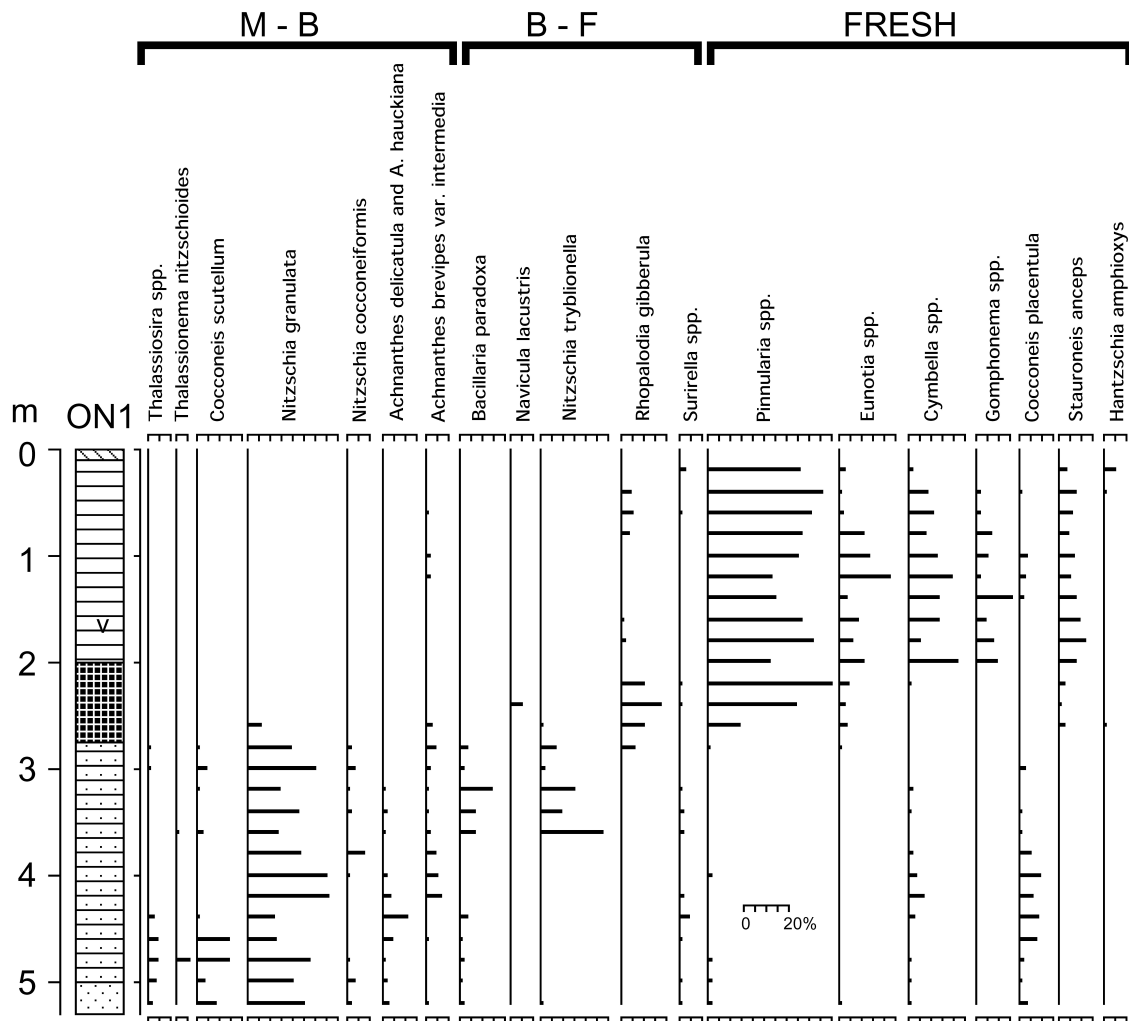


図5 ON1地点の珪藻ダイアグラム

地質柱状図の凡例は図4参照。ON1地点の標高は5.0m。

M-B (MARINE-BRACKISH)：海～汽水生珪藻，B-F (BRACKISH-FRESH)：汽水～淡水生珪藻，FRESH：淡水生珪藻。

## 6. 考察

### ①完新世中期以降の古環境変化

珪藻化石群集の特徴から、大貫低地の古環境は以下のように推定される。深度 5.20 ~ 2.80 m (砂層・砂泥層) では、海水泥質干潟指標種群の珪藻が多数産出し、深度 4.40 m 以下で海水藻場指標種群の珪藻と内湾指標種群の珪藻もみられることから、縄文海進で拡大した内湾の最奥部に位置し、海水の影響を強く受ける砂泥干潟の環境が推定される。深度 2.60 m (泥質泥炭層) では、淡水生・汽水～淡水生・海～汽水生の珪藻が混合して産出したことから、干潟の陸側に位置する塩性湿地(海水と淡水の両方の影響を受ける湿地)の環境が推定される。深度 2.40 ~ 2.00 m (泥炭層) では、淡水生(沼沢湿地付着生種群)の珪藻が多数産出し、海～汽水生の珪藻が産出しなかったことから、海水の影響を受けない湿原(泥炭地)の環境が推定される。深度 1.80 ~ 0.20 m (シルト・粘土層) では、淡水生(沼沢湿地付着生種群・淡水底生種群)の珪藻が多数産出したことから、沼沢地・後背湿地の環境が推定される。

珪藻化石群集の特徴から推定した古環境は、大貫低地の堆積物から得られた  $^{14}\text{C}$  年代により以下のように編年される。ON2 地点の深度約 4.5 ~ 4.1 m の堆積物の年代が約 6800 ~ 6600 cal BP であることから、約 7000 年前には、大貫低地の付近は海水の影響を強く受ける砂泥干潟が形成されていたと推定される。深度約 2.7 ~ 1.9 m 付近の泥質泥炭層・泥炭層の基底(最下部)の年代から、約 4800 cal BP に砂泥干潟から塩性湿地に変化したと推定される。塩性湿地は、

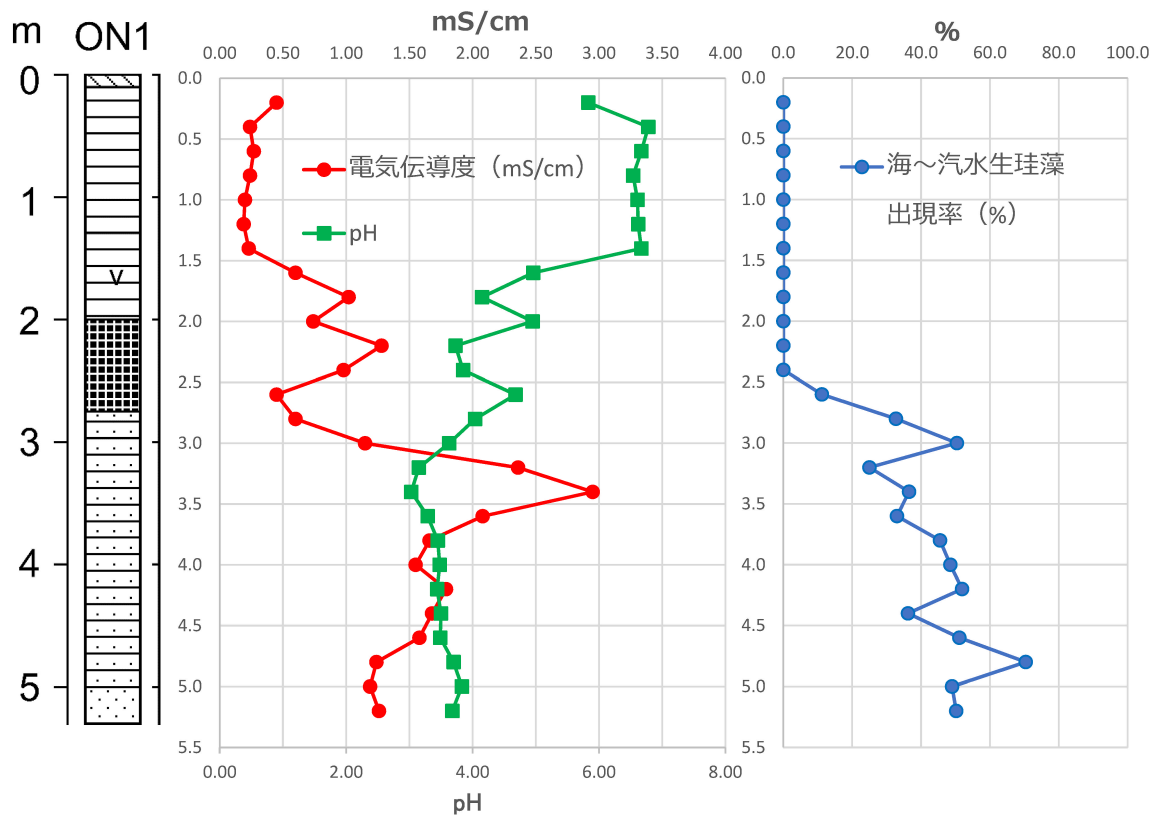


図6 ON1 地点における堆積物混濁水の電気伝導度・pH の測定値と海～汽水生珪藻出現率  
 地質柱状図の凡例は図4参照。ON1 地点の標高は 5.0 m。堆積物混濁水の電気伝導度・pH の測定値は、森本滉生 (2023) 宮崎県の海岸沖積低地における堆積環境の変化：堆積物混濁水の電気伝導度および pH の測定 (宮崎大学卒業論文) による。



その後、海水の影響を受けない湿原(泥炭地)へ変化した。湿原(泥炭地)は、ON1地点の泥炭層上部の年代から、約4300 cal BPまで(ON2地点では約3600 cal BPまで)継続したと推定される。湿原(泥炭地)は、氾濫時の洪水堆積の影響を受けるようになり、沼沢地・後背湿地へと変化したと推定される。

## ②完新世中期の相対的海水準

延岡平野中央部の大貫低地(ON1地点)では、海水泥質干潟指標種群の珪藻が多産する砂泥層の上限高度は、深度2.8 m(標高2.2 m)であった。ON1地点の堆積物を使用した堆積物混濁水の電気伝導度の測定結果では、深度3.2 m(標高1.8 m)以下の層準で海成層と判断される値を示していた(図6)。よって大貫低地(ON1地点)では、深度3 m(標高2 m)付近に海成層上限高度を認定できる。海成層上限の年代は、海成層直上(標高2.33 m)の泥質泥炭中の植物片の<sup>14</sup>C年代(約4800 cal BP)から、約5000年前と推定される。延岡市土々呂港の大潮時の平均潮位差が1.6 m(海上保安庁水路部の潮汐表)であることから、約5000年前の相対的海水準(平均海面)は、海成層上限高度(標高2 m付近)より0.8 m下位の標高1.2 m付近と見積もることができる。延岡平野北部の稲葉崎低地では、約6500～6000 cal BPに相対的海水準が上昇し現海面以上に達したこと、海成層上限高度が標高1.6 m付近に存在することが明らかとされている(大平, 2005)。本研究によって、延岡平野における完新世中期の相対的海水準は、約6000年前以降、約5000年前まで現海面以上に位置していたことが明らかとなった。

宮崎平野の約6000～5000 cal BPの相対的海水準が標高6～7 m(長岡ほか, 1991; 七山ほか, 2021)であるのに対して、延岡平野の同時期の相対的海水準は標高1～2 mとなっている。このことは、隆起が顕著な宮崎平野とは異なり、延岡平野における完新世の地殻変動が比較的穏やかであることを示している。

## 7. まとめ

本研究では、大貫低地の堆積物の層相観察、<sup>14</sup>C年代測定、珪藻分析の結果に基づいて、完新世中期以降の古環境変化を検討した。その結果、以下の古環境変化が推定された。

約6800～6600 cal BPには、縄文海進で拡大した内湾の最奥部に位置し、海水の影響を強く受ける砂泥干潟の環境であった。約4800 cal BPに砂泥干潟から塩性湿地に変化し、その後、海水の影響を受けない湿原(泥炭地)へ変化した。湿原(泥炭地)は、約4300 cal BP(陸側の地点では約3600 cal BP)まで継続した。湿原(泥炭地)は、氾濫時の洪水堆積の影響を受けるようになり、沼沢地・後背湿地へと変化した。

さらに、大貫低地の堆積物の海成層上限高度と年代から、約5000年前の相対的海水準(平均海面)を標高1.2 m付近と見積もることができた。

なお本研究では、大貫低地で採取した堆積物の中から、層相の特徴で判別可能な津波堆積物を発見できなかった。延岡平野とその周辺の海岸低地における津波堆積物の継続的な探索が必要である。

本研究には、科学研究費補助金基盤研究(C)「日向灘沿岸低地における完新世の古津波・古環境の復元に関する研究」(研究代表者：大平明夫、課題番号：21K01017)の一部を使用した。

文献

- 安藤一男(1990)淡水産珪藻による環境指標種群の設定と古環境復元への応用. 東北地理, 42, 73-83.
- 生田正文・丹羽正和・高取亮一・鎌滝孝信・黒澤英樹(2014)宮崎平野における完新世堆積物の分析データ. JAEA-Data/Code 2014-002, 日本原子力研究開発機構, 120p.
- 海津正倫(1994)『沖積低地の古環境学』. 古今書院, 270p.
- 大平明夫(2005)九州東岸, 延岡平野北部における完新世中期の相対的海水準に関する資料－貝類・珪藻化石群集分析とAMS<sup>14</sup>C年代測定の結果－. 宮崎大学教育文化学部紀要(自然科学), 12, 9-19.
- 大平明夫(2023)宮崎平野西部の跡江川低地に分布する完新世泥炭層の<sup>14</sup>C年代. 宮崎大学教育学部紀要, 100, 107-115.
- 大平明夫・松島義章(2003)宮崎県北部, 延岡周辺の溺れ谷低地における完新世相対的海水準変動. 日本第四紀学会講演要旨集, 33, 72-73.
- 奥村公男・寺岡易司・今井功・星住英夫・小野晃司・宍戸章(2010)延岡地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅). 産総研地質調査総合センター, 50p.
- 鹿島薫(1986)沖積層中の珪藻遺骸群集の推移と完新世の古環境変遷. 地理学評論, 59, 383-403.
- 栗畑光博・杉山真二・中西利典・足立達朗・田尻義了・下山正一・山口龍彦・大串健一・七山太(2021a)宮崎平野における鬼界アカホヤテフラ降下前後の環境変化－MIK コアの解析結果に基づいて－. 号外地球, 70, 89-99.
- 栗畑光博・大平明夫・杉山真二・金原正子・中西利典・足立達朗(2021b)宮崎平野の跡江地区における鬼界アカホヤテフラ降下前後の環境変化－MIK2 コアの解析結果に基づいて－. 宮崎大学教育学部紀要, 97, 60-84.
- 小杉正人(1988)珪藻の環境指標種群の設定と古環境復元への応用, 第四紀研究, 27, 1-20.
- 小杉正人(1993)珪藻. 日本第四紀学会編『第四紀試料分析法 2 研究対象別分析法』, 245-252. 東京大学出版会
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会(2022)日向灘及び南西諸島海溝周辺の地震活動の長期評価(第二版). 地震調査研究推進本部, 111p.
- 千葉崇・澤井祐紀(2014)環境指標種群の再検討と更新. Diatom, 30, 17-30.
- 外山秀一(1982)大淀川下流域における古環境の復元. 立命館文学, 446・447, 1094-1123.
- 中山正民・豊島吉則(1989)西南日本外帯における平野の配列とその特性. 地理学評論, 62A, 92-107.
- 長岡信治・前杢英明・松島義章(1991)宮崎平野の完新世地形発達史. 第四紀研究, 30, 59-78.
- 七山太・前野深・中西利典・杉山真二・栗畑光博(2021)宮崎平野で認められた7.3ka津波堆積物および鬼界アカホヤ火山灰降灰前後の古環境変化. 号外地球, 70, 76-88.
- 延岡市教育委員会(2015)13. 大貫貝塚(第1・2・3次). 「市内遺跡 平成26年度市内遺跡発掘調査事業に伴う埋蔵文化財発掘調査報告書」(延岡市文化財調査報告書 第53集), 24-28.
- 羽鳥徳太郎(1985)九州東部沿岸における歴史津波の現地調査: 1662年寛文・1769年明和日向灘および1707年宝永・1854年安政南海道津波. 東京大学地震研究所彙報, 60, 439-459.
- 町田洋・新井房夫(1978)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.
- 安井豊・田辺剛(1961)日向灘の外所地震津波調査について. 験震時報, 26, 33-38.
- Bronk Ramsey, C.(2009) Bayesian analysis of radiocarbon dates. Radiocarbon, 51, 337-360.
- Ioki, K., Yamashita, Y., Kase, Y.(2022) Effects of the tsunami generated by the 1662 Hyuga-Nada earthquake off Miyazaki Prefecture, Japan. Pure and Applied Geophysics, 180, 1897-1907.
- Niwa, M., Kamataki, T., Kurosawa, H., Saito-Kokubu, Y., Ikuta, M.(2020) Seismic subsidence near the source region of the 1662 Kanbun Hyuganada Sea earthquake: Geochemical, stratigraphical, chronological, and paleontological evidences in Miyazaki Plain, southwest Japan. Island Arc,

29:e12341, 1-26.

Reimer, P. J., Austin, W. E. N., Bard, E., Bayliss, A., Blackwell, P. G., Bronk Ramsey, C., Butzin, M., Edwards, R. L., Friedrich, M., Grootes, P. M., Guilderson, T. P., Hajdas, I., Heaton, T. J., Hogg, A., Kromer, B., Manning, S. W., Muscheler, R., Palmer, J. G., Pearson, C., van der Plicht, J., Reimer, R. W., Richards, D. A., Scott, E. M., Southon, J. R., Turney, C. S. M., Wacker, L., Adolphi, F., Büntgen, U., Fahrni, S., Fogtmann-Schulz, A., Friedrich, R., Köhler, P., Kudsk, S., Miyake, F., Olsen, J., Sakamoto, M., Sookdeo, A. and Talamo, S. (2020) The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0-55 cal kBP). *Radiocarbon*, 62, 725-757.

(2023年10月17日受付, 2023年11月30日審査終了)