

# 湯島に分布する湯島層から産出した珪藻化石による 古環境復元

須藤 斎<sup>1</sup>・鵜飼 宏明<sup>2</sup>・香取 祥人<sup>2</sup>・長谷 義隆<sup>2</sup>

(1 名古屋大学環境学研究科 〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町名古屋大学環境学研究科  
地質・地球生物学講座生物圏進化学研究室 E430 室)

(2 天草市立御所浦白亜紀資料館 〒866-0313 熊本県天草市御所浦町御所浦4310-5)

## Paleoenvironmental reconstruction by fossil diatom assemblages from the Yushima Formation in Yushima Island

Itsuki Suto<sup>1</sup>, Hiroaki Ugai<sup>2</sup>, Yoshito Kandori<sup>2</sup>, Yoshitaka Hase<sup>2</sup>

(1 Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Environmental Studies, Nagoya  
University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya City, Aichi 464-8601, Japan)

(2 Goshoura Cretaceous Museum, 4310-5 Goshoura, Goshoura Town, Amakusa City, Kumamoto 866-0313,  
Japan)

### Abstract

Several fossil diatoms including paleoenvironmental indicators were found from the Yushima Formation distributed in the Yushima Island, Kumamoto Prefecture, Japan. The diatom assemblages mainly consists of freshwater, brackish, littoral and neritic species with fluctuation of the component ratio. The sedimentary environments of the Yushima Formation are assumed that it was under intertidal area.

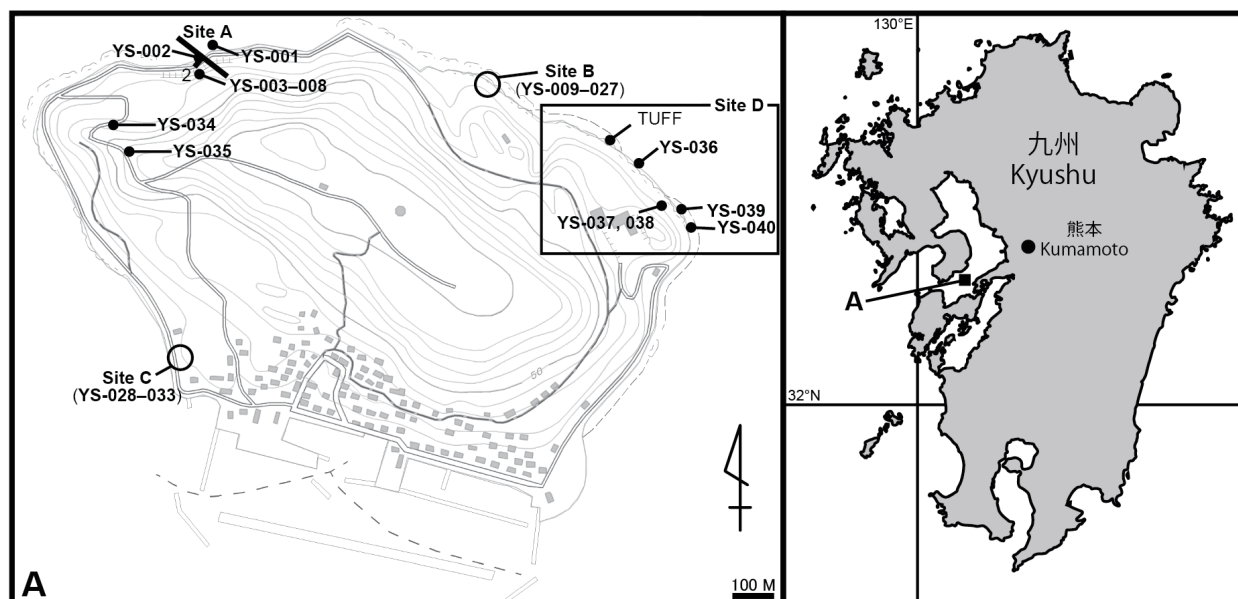
キーワード: 珪藻化石, 湯島層, diatoms, Yushima Formation

### はじめに

有明海を挟む島原半島と大矢野島のほぼ中間地点に湯島は存在する(図1)。湯島には、下位より西部から北部海岸に海生貝類化石を含む青灰色砂質シルト(中尾, 2011; 鵜飼・香取, 2016)が、北東から東海岸、島中央部には泥層、礫質砂岩、礫層が分布している。これらの堆積岩の中に含まれる花粉化石の分析(大塚, 1970)や、最上部を覆う玄武岩溶岩の年代測定(山本ほか, 1993; 横瀬ほか, 1999)などが行われているが、堆積層そのものの年代測定や古環境復元はほとんど行われておらず、この湯島に分布する堆積層が周辺の地層のどれに対比されるのかは明らかになっていなかった。そのため、いわゆる“湯島層”として扱われてきた(長谷・岩内, 1993)。

2011年3月に湯島層から産出する貝化石群集を明ら

かにするために鵜飼らにより予備調査が行われ、そこで得られた堆積物試料から保存の良い珪藻化石が確認された。これを受け、2015年4月に行われた調査では、珪藻化石が含まれることが多いシルト・泥質堆積物の採集を行った。その結果、いくつかの層準から当時の堆積環境をうかがい知ることができる示相化石を含む保存の良い珪藻化石群集が確認されたので、古環境復元の結果とともにここに報告する。また、本研究と並行して行われた地質調査および凝灰岩の年代測定により、長谷ほか(2018)は今西茂・林行敏(1963)が提示していた“湯島層”を再定義し、湯島層中部層に挟在する凝灰岩のフィッション・トラック年代を報告している。



**Figure 1.** Location of the Yushima Island, Kumamoto Prefecture, Kyushu, Japan (right) and A: sampling sites and sample numbers for diatom analysis (left).

### 珪藻化石の採集と観察・計数，古環境復元の方法

本研究では，熊本県上天草市の湯島北西部（Site A）で8個，北東部（Site BとD）でそれぞれ19個と5個，北東部内陸部の道沿いの露頭で2個，南西部（Site C）で6個の計40試料を採取した（図1）。これらの試料はその分布からみて，長谷ほか（2018）による湯島層下部層から中部層にあたる。

試料の処理は，Akiba (1986) のスライド作成方法に，有機物と炭酸塩除去のための薬品処理を加えて行った。まず乾燥試料を新聞紙にくるんでハンマーで砕き，約1 gを200 ml ビーカーに入れ，塩酸（30%）と過酸化水素水（15%）をそれぞれ約25 ml 加える。その後，バーナーで反応が収まるまで純水を加えながら熱する。次にビーカーに純水を加えて，約200 ml の懸濁液とし，一晩静置する。さらに，酸を抜くために，沈殿した堆積物を流さないように注意しながら上澄みを捨てたのち，また純水を加えて8時間ほど静置する作業を計6回繰り返した。

ビーカー内の上澄みを静かに捨てた後，純水を加えて約200 ml の懸濁液とし，約20秒間放置して粗粒物が底に沈むのを待つ。懸濁液の上部約1 cm の位置からマイクロピペットで0.7 ml を取り出し，18×18 mm のカバーガラスに滴下する。これをホットプレート上で約50–60°C で加熱・乾燥した後，エタノールで薄めた封入剤 Mountmedia（和光純薬工業）を2滴ほどカバーガラス上に滴下する。さらに120°C で5–6時間加熱・乾燥させて，封入剤中のエタノール・フェノール分を蒸発させる。最後に，このカバーガラスをアルコールランプで温めたスライドガラスに貼付する。

珪藻化石の算定は，生物顕微鏡400倍の倍率下で行った。珪藻殻の算定は，*Chaetoceros* 属の休眠胞子を除いて，観察された全ての種の蓋殻が100になるまで行い，その後，さらにカバーガラスの幅5 mm の範囲を走査する過程で新たに認められた種は present（+）として産出表に記録した。また，破片としてのみ認められた種も同様に present（+）とした。珪藻殻の計数は，中心目では殻がおおよそ2/3以上保存されていた場合は1，それ以下の場合は0，羽状目では末端部が両方残っていた場合は1，片方が残っていた場合は0.5として行った。なお，休眠胞子については，上記100蓋殻算定時に認められた総数を別途記録した。

珪藻の保存状態は，殻の破損・溶解の程度や，頑丈な殻を持つ珪藻の頻度などを総合的に判断して，G (good), M (moderate), P (poor) の3段階に分けて表示した。珪藻殻の産出量の評価は，生物顕微鏡400倍のもとで，カバーガラス上で100蓋殻に至るまでの走査線の数によって次の4段階に分けた。A (abundant) = 走査線1以下，C (common) = 走査線1–3，F (frequent) = 走査線3–6，R (rare) = 走査線7以上。また，カバーガラス上の全てを走査して珪藻殻が確認できなかった場合を B (barren) とした。

本研究では，古環境復元のため，淡水棲とされる珪藻種の化石を陸域，沿岸域または汽水域および砂質・泥質の干潟に生息する珪藻種の化石を沿岸域，浅海棲珪藻種の化石を浅海域，外洋棲珪藻種の化石を外洋域の要素であると仮定し（表1），全珪藻化石群集中におけるそれぞれの割合を求めた（図2，表2）。

### 珪藻化石産出地点および堆積物の特徴

堆積物層である湯島層は主に湯島縁辺部に分布し、島中心部には玄武岩溶岩が存在している（長谷ほか、2018）。そのため、本調査では堆積層がより広く観察できる干潮時に試料の採取を行った（図1）。本層は長谷ほか（2018）が示した湯島層下部層・中部層にあたり、その走向はおおよそN40°Wであるが、緩く数度南向きに傾斜している程度で、連続した堆積を確認できる露頭以外では各露頭間の上下判定は困難であった。採取試料の珪藻群集解析用の試料は、柱状図を作成しながら、シルト・泥質堆積物を中心に約50 cm または25 cm おきに採集した（図2）。

Site A は上部の珪藻化石の産出頻度が低く、下部は高い傾向がある（表2）。堆積相は、中部で急激に粗粒砂質に変化した後、再び泥質に変化しているため、Site A は長谷ほか（2018）の湯島層の下部層から中部層にかかる部分にあたる（図2）。

Site B は上部の産出頻度は低いものの、保存の良い珪藻化石が確認された。下部から2.8 m ほどのところに火山灰層が存在し、約7 m のところでSite A と同様に泥質から急激に粒径が大きくなり、1 m ほどで再び泥質へとなる。層相が急激に変わる部分から上位は湯島層の中部層にあたる。

Site C からは珪藻化石が確認されなかった。下部は泥質、上部で急激に礫質砂岩から粗粒砂岩へと変化している。

Site D では連続的な2つの堆積層を確認できたが、玄武岩の巨礫などにより、双方の上下判定はできなかった。しかし、堆積層の傾斜から、試料採取地点のYS-36, YS-37, YS-38 がYS-39, YS-40 よりも上位にあると考えられる。両層とも主に有機物を含む粗粒砂岩から構成され、散点的に泥質堆積物から珪藻化石が確認された。両層の中部付近で、生痕化石が豊富な細粒砂岩層から礫質粗粒砂岩層へ変化するため、この変化により両層は対比できる可能性がある。また、最上部と考えられる位置に2枚の火山灰層が存在する。本火山灰層は、Site B下部2.8 m で確認される火山灰層と対比できるかもしれない。Site D は湯島層下部層にあたると考えられる。

内陸部にある露頭から採取した試料YS-34 とYS-35からは、頻度は低いが珪藻化石の含有が確認された。

### 産出珪藻化石と生態

本調査において採集された泥岩および泥質砂岩から、浅海域から沿岸域に生息する海棲種や陸域淡水棲種か

**Table 1.** Classification of diatom assemblages as the indicator of paleoenvironments.

生息環境 Habitat	陸域 Land	沿岸域 Littoral	浅海域 Neritic	外洋域 Pelagic
産出した 珪藻化石の 生態	淡水棲	沿岸棲 定期浮遊〜時性 プランクトン +汽水棲 +海水砂泥質干潟指標種	浅海〜沿岸棲 終生〜定期性 浮遊プランクトン	外洋棲 終生浮遊 プランクトン +海棲
Ecology of diatoms	Freshwater	L-Mp~Tp + Brackish + mud/sand flat in saline	N~L-Hp~Mp	O-Hp + marine

L-Mp~Tp: Littoral Meroplanktonic-Tychoplagic species  
N~L-Hp-Mp: Neritic-Littoral Holoplanktonic-Meroplanktonic species  
O-Hp: Oceanic holoplanktonic species

ら成る珪藻化石群集が確認された（図版1-10）。産出珪藻化石種の生態情報は、小杉（1988）、Krammer and Lange-Bertalot（1988）、Round *et al.*（1990）、千原・村野（1997）、Koizumi *et al.*（2004）、田中ほか（2005）、Barron *et al.*（2009）、Jüttner *et al.*（2010）、小澤ほか（2012）、田中（2014）、田中・南雲（2015）などを基にした（表2）。産出した珪藻化石は以下のとおりである。

*Achnanthes brevipes* C.Agardh (Plate 2, Figs. 22a, 22b)

河口などの汽水域や塩分の低い内湾に着生して生息。  
*Actinocyclus octonarius* (Ehrenberg) Kützing (Plate 9, Figs. 1a, 1b)

汎世界種で沿岸域に広く分布。

*Actinocyclus* spp. (Plate 8, Figs. 5a-6b)

生態不明。

*Actinocyclus annulatus* (Wallich) Grunow (Plate 7, Figs. 8a-9b)

浅海棲種。

*Actinocyclus senarius* (Ehrenberg) Ehrenberg (Plate 7, Figs. 6a-7b)

汎世界種で沿岸域に広く分布。

*Amphipleura* sp. (Plate 2, Figs. 6a-7b)

本属は全て淡水棲。

*Amphora copulata* (Kützing) Schoeman *et* Archibald (Plate 1, Figs. 12a, 12b)

淡水棲種。

*Aulacoseira* sp. (Plate 7, Figs. 1a-2b)

本属は全て淡水棲種。

*Auliscus* sp. (Plate 8, Figs. 8a, 8b)

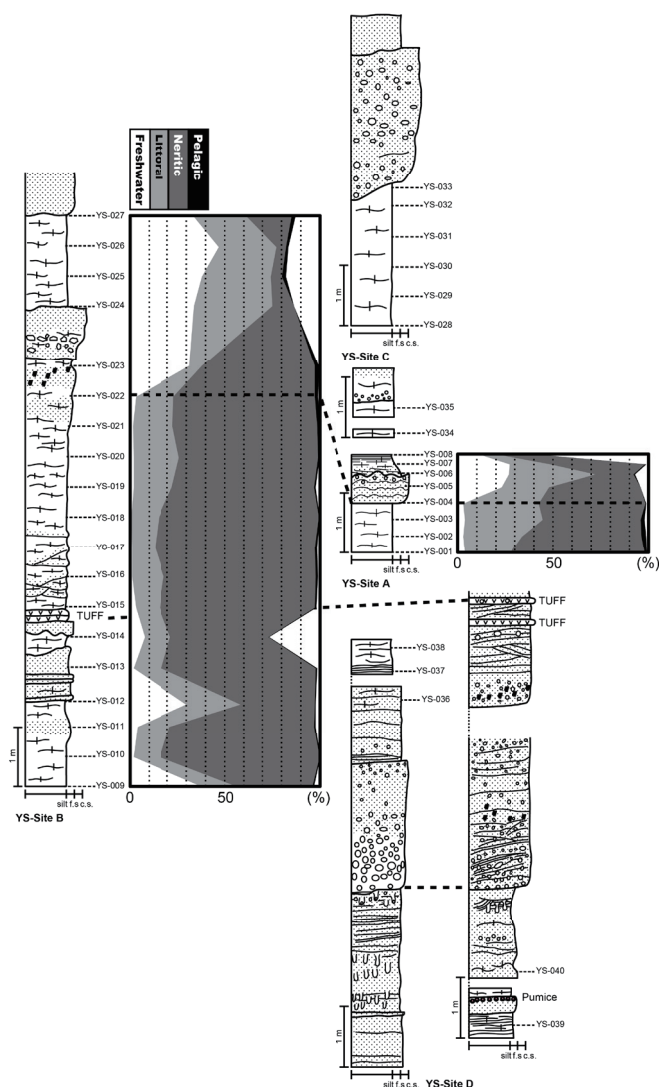
沿岸域に生息。

*Azpeitia nodulifera* (Schmidt) G.Fryxell *et* P.A.Sims in Fryxell *et al.* (Plate 9, Figs. 2a, 2b)

沿岸から外洋域に生息。熱帯や温帯の各地から報告されている。

*Bacillaria paxillifer* (O.F.Müller) T.Marsson (Plate 2, Figs. 24a, 24b)





**Figure 2.** Columnar section of the Yushima Formation.  
Lithology, f.s.: fine sand, c.s.: coarse sand.

高塩性で温帯の海岸や汽水域で増殖。

*Bacillaria* sp. (Plate 2, Figs. 25a, 25b)

*Biddulphia* sp. (Plate 7, Figs. 11a, 11b)

主に沿岸から浅海に生息。

*Caloneis permagna* (Bailey) Cleve (Plate 5, Figs. 10a, 10b)

汽水域・沿岸域に生息。

*Cocconeis placentula* Ehrenberg (Plate 4, Figs. 4a–8b)

砂・泥・水草などに付着する淡水底棲種。

*Cocconeis scutellum* Ehrenberg (Plate 4, Figs. 9a–13b)

汎世界種で、海藻や海草に付着する沿岸種。

*Cocconeis tenuis* Hustedt (Plate 4, Figs. 1a–3b)

沿岸に生息。

*Cocconeis vitrea* Brun (Plate 4, Figs. 14a, 14b)

沿岸に生息。

*Coscinodiscus asteromphalus* Ehrenberg (Plate 9, Figs. 4a, 4b)

外洋に生息する汎世界種。

*Coscinodiscus marginatus* Ehrenberg (Plate 9, Figs. 3a, 3b)

外洋に生息する汎世界種。

*Craticula* sp. (Plate 6, Figs. 1a–3b)

淡水棲種。

*Cyclotella stylorum* Brightwell (Plate 8, Figs. 1a–3b)

淡水域から汽水域に生息。

*Cyclotella* sp. (Plate 8, Figs. 4a, 4b)

本属の多くが淡水棲。

*Cymbella cuspidata* Kützing (Plate 4, Figs. 16a, 16b)

淡水棲種。

*Cymbella* sp. 1 (Plate 2, Figs. 1a–2c)

本属の多くが淡水棲。

*Cymbella* sp. 2 (Plate 4, Figs. 15a, 15b)

本属の多くが淡水棲。

*Delphineis surirella* var. *australis* (P.Petit) P.M.Tsarenko  
(Plate 3, Figs. 18a–19b)

沿岸域に生息。

*Diploneis bombus* Ehrenberg (Plate 5, Figs. 7a, 7b)

沿岸域から汽水域に生息。

*Diploneis* cf. *bombus* Ehrenberg (Plate 5, Figs. 8a, 8b)

*Diploneis bombus* に似るが、殻側面のへこみが弱い  
ため、*Diploneis* cf. *bombus* として別途計数し、*Diploneis*  
*bombus* と同じく沿岸域から汽水域に生息するとして  
扱った。

*Diploneis finnica* (Ehrenberg) Cleve (Plate 5, Figs. 1a, 1b,  
3a, 3b)

主に淡水域に生息。

*Encyonema minutum* (Hilse) D.G.Mann in Round *et al.* (= *Cymbella minuta* Hilse) (Plate 1, Figs. 13a, 13b)

淡水棲種。

*Epithemia smithii* Carruthers (Plate 1, Figs. 3a, 3b)

主に淡水域に生息するが、汽水域からも報告がある。

*Eunotia arcus* Ehrenberg (Plate 1, Figs. 11a, 11b)

淡水棲種。

*Eunotia* spp. (Plate 1, Figs. 9a–10b)

多くが淡水棲種。

*Fallacia* sp. (Plate 5, Figs. 4a, 4b)

本属は海水から淡水環境まで広く生息するため、古  
環境復元には用いなかった。

*Fragilaria rumpens* var. *fragilarioides* (Grunow) A.Cleve  
(Plate 3, Figs. 6a–7b)

淡水棲種。

*Glyphodesmis williamsonii* (W.Smith) Grunow (Plate 1,  
Figs. 27a–28b)

海水砂質干潟指標種。

*Grammatophora* sp. (Plate 2, Figs. 8a, 8b)

沿岸域に生息。



*Halamphora normanii* (Rabenhorst) Levkov (Plate 1, Figs. 14a, 14b)  
淡水棲種.

*Halamphora* sp. (Plate 1, Figs. 15a–17b)  
淡水棲種.

*Hyalodiscus scoticus* (Kützing) Grunow (Plate 7, Figs. 12a–13c)  
沿岸棲種.

*Hyalodiscus* sp. 1 (Plate 7, Figs. 14a, 14b)  
多くが沿岸棲種.

*Hyalodiscus* sp. 2 (Plate 7, Figs. 15a, 15b)  
多くが沿岸棲種.

*Lancineis fatula* (K.E.Lohman) G.W.Andrews (Plate 3, Figs. 15a–17b)  
海棲・汽水棲種.

*Lyrella lyroides* (Hendey) D.G.Mann (Plate 5, Figs. 9a, 9b)  
海棲・汽水棲種. 砂上に多く生息する.

*Martyana martyi* (Héribaud-Joseph) Round (= *Opephora martyi* Héribaud-Joseph) (Plate 2, Figs. 26a–28b)  
沿岸・汽水棲種.

*Mastogloia minutissima* Voigt (Plate 2, Figs. 30a–33b)  
アマモ場から報告があるため, 沿岸棲種として扱った.

*Navicula alpha* Cleve (Plate 5, Figs. 5a, 5b)  
汽水砂質干潟指標種.

*Navicula beta* Cleve (Plate 5, Figs. 2a, 2b)  
沿岸棲種.

*Navicula* sp. (Plate 2, Figs. 3a–5b)  
沿岸棲種.

*Nitzschia amphibia* Grunow (Plate 2, Figs. 13a, 13b)  
河口浮遊棲種. 淡水棲種として扱った.

*Nitzschia clausii* Hantzsch (Plate 2, Figs. 17a–19b)  
淡水棲種.

*Nitzschia cocconeiformis* Grunow (Plate 2, Figs. 23a, 23b)  
海水泥質干潟指標種.

*Nitzschia frustulum* (Kützing) Grunow (Plate 2, Figs. 14a, 14b)  
淡水棲種

*Nitzschia panduriformis* W.Gregory (Plate 2, Figs. 29a, 29b)  
汽水泥質干潟指標種.

*Nitzschia* sp. 1 (Plate 2, Figs. 15a–16b)  
生態不明.

*Oricymba* sp. (Plate 3, Figs. 20a, 20b)  
本属の全てが淡水棲種.

*Paralia sulcata* (Ehrenberg) Cleve (Plate 7, Figs. 3a–5b)

沿岸域から浅海域に生息する海棲種.

*Petroneis deltoides* (Hustedt) D.G.Mann (= *Navicula deltoides* Hustedt) (Plate 5, Figs. 6a, 6b)  
沿岸域に生息.

*Petroneis marina* (Ralfs in Pritchard) D.G.Mann in Round *et al.* (Plate 6, Figs. 4a–5b)  
汽水域から沿岸域に生息. 海水泥質干潟指標種.

*Pinnularia* sp. (Plate 6, Figs. 6a, 6b)  
本属の全てが淡水棲種.

*Plagiogramma pulchellum* var. *pygmaea* (Greville) H.Peragallo *et* M.Peragallo (Plate 1, Figs. 24a–26b)  
海水砂質干潟指標種.

*Pleurosigma* sp. (Plate 8, Figs. 7a, 7b)  
本属の多くが汽水または沿岸種.

*Psammodiscus nitidus* (Gregoy) Round *et* D.G.Mann (= *Coscinodiscus nitidus* W.Gregory) (Plate 9, Figs. 5a–5c)  
亜潮間帯から沿岸域に生息.

*Pseudostaurosira brevistriata* (Grunow) D.M.Williams *et* Round (= *Fragilaria brevistriata* Grunow) (Plate 3, Figs. 3a–4b)  
多くの論文で淡水環境から報告されているが, 汽水泥質干潟指標種との議論もある. 本稿では淡水棲種として扱った.

*Rhizosolenia hebetata* J.W. Bailey (no figure)  
外洋棲種.

*Rhoicosphenia abbreviata* (C.Agardh) Lange-Bertalot (= *Gomphonema abbreviatum* C.Agardh) (Plate 3, Figs. 8a–9c)  
主に淡水域に生息するが, 汽水域からも報告がある.

*Rhoicosphenia* sp. (Plate 2, Figs. 20a–21b)  
本属には淡水棲種から沿岸棲種まで含まれている. 本稿では沿岸種として扱った.

*Rhopalodia* sp. 1 (Plate 1, Figs. 7a–8b)  
本属には淡水棲種から海棲種まで含まれている. 本稿では沿岸種として扱った.

*Rhopalodia* sp. 2 (Plate 1, Figs. 4a–6b)  
本属には淡水棲種から海棲種まで含まれている. 本稿では沿岸種として扱った.

*Rhopalodia* sp. 3 (Plate 1, Figs. 1a–2c)  
本属には淡水棲種から海棲種まで含まれている. 本稿では沿岸種として扱った.

*Staurosira construens* var. *binoides* (Ehrenberg) Hamilton in Hamilton *et al.* (Plate 2, Figs. 11a–12b)  
淡水棲種.

**Table 2.** Occurrence chart, and ecology and its references of diatoms from the Yushima Formation, Kumamoto Prefecture. + indicates species encountered after the routine count, or species found as fragment. Preservation, G: good, M: moderate, P: poor. Abundance, A: abundant, C: common, F: frequent, R: rare, B: barren.

VS-Site D	Taxa	Ecology	References
VS-040	<i>Achnanthes brevipes</i>	L-Mp-Tp	Koizumi <i>et al.</i> (2004)
VS-039	<i>Actinocyclus octonarius</i>	N-L-Hp-Mp	Koizumi <i>et al.</i> (2004)
VS-038	<i>Actinocyclus</i> spp.	unknown	
VS-037	<i>Actinopterychus annulatus</i>	Shallow marine (shelf)	Barron <i>et al.</i> (2009)
VS-036	<i>Actinopterychus senarius</i>	N-L-Hp-Mp	Koizumi <i>et al.</i> (2004)
VS-035	<i>Amphipleura</i> sp.	Freshwater	Round <i>et al.</i> (1990)
VS-034	<i>Amphora copulata</i>	Freshwater	Round <i>et al.</i> (1990)
VS-033	<i>Aulacoseira</i> sp.	Freshwater	Koizumi <i>et al.</i> (2004)
VS-032	<i>Auliscus</i> sp.	Littoral	Chihara & Murano (1997)
VS-031	<i>Azpeitia nodulifera</i>	O-Hp, tropical	Koizumi <i>et al.</i> (2004)
VS-030	<i>Bacillaria paxillifer</i>	L-Mp-Tp	Chihara & Murano (1997)
VS-029	<i>Bacillaria</i> sp.	L-Mp-Tp	Koizumi <i>et al.</i> (2004)
VS-028	<i>Biddulphia</i> sp.	N-L-Hp-Mp	Chihara & Murano (1997)
VS-027	<i>Caloneis permagna</i>	L-Mp-Tp	Koizumi <i>et al.</i> (2004)
VS-026	<i>Cocconeis placentula</i>	Freshwater	Kosugi (1988)
VS-025	<i>Cocconeis scutellum</i>	L-Mp-Tp	Koizumi <i>et al.</i> (2004)
VS-024	<i>Cocconeis tenuis</i>	L-Mp-Tp	Koizumi <i>et al.</i> (2004)
VS-023	<i>Cocconeis vitrea</i>	L-Mp-Tp	Koizumi <i>et al.</i> (2004)
VS-022	<i>Coscinodiscus asteromphalus</i>	Outerbay	Kosugi (1988)
VS-021	<i>Coscinodiscus marginatus</i>	O-Hp, north temperate	Koizumi <i>et al.</i> (2004)
VS-020	<i>Craticula</i> sp.	Freshwater	Tanaka (2014)
VS-019	<i>Cyclotella stylorum</i>	N-L-Hp-Mp	Koizumi <i>et al.</i> (2004)
VS-018	<i>Cyclotella</i> sp.	Freshwater	Tanaka <i>et al.</i> (2005)
VS-017	<i>Cymbella cuspidata</i>	Freshwater	Tanaka (2014)
VS-016	<i>Cymbella</i> sp.1	Freshwater	Koizumi <i>et al.</i> (2004)
VS-015	<i>Cymbella</i> sp.2	Freshwater	Koizumi <i>et al.</i> (2004)
VS-014	<i>Delphineis surella</i>	L-Mp-Tp	Koizumi <i>et al.</i> (2004)
VS-013	<i>Delphineis surella</i> var. <i>australis</i>	L-Mp-Tp	Koizumi <i>et al.</i> (2004)
VS-012	<i>Diploneis bombus</i>	L-Mp-Tp	Koizumi <i>et al.</i> (2004)
VS-011	<i>Diploneis cf. bombus</i>	L-Mp-Tp	Koizumi <i>et al.</i> (2004)
VS-010	<i>Diploneis finnica</i>	Freshwater	Tanaka (2014)
VS-009	<i>Encyonema minutum</i>	Benthic in freshwater	Kosugi (1988)
VS-008	<i>Epithemia smithii</i>	Freshwater	Koizumi <i>et al.</i> (2004)
VS-007	<i>Eunotia arcus</i>	Freshwater	Koizumi <i>et al.</i> (2004)
VS-006	<i>Eunotia</i> spp.	Freshwater	Koizumi <i>et al.</i> (2004)
VS-005	<i>Fallacia</i> sp.	Mud in marine-freshwater	Round <i>et al.</i> (1990)
VS-004	<i>Fragilaria rumpens</i> var. <i>fragilarioides</i>	Freshwater	Koizumi <i>et al.</i> (2004)
VS-003	<i>Glyphodesmis williamsonii</i>	Sand flat in saline water	Kosugi (1988)
VS-002	<i>Glyphodesmis cf. williamsonii</i>	Sand flat in saline water	Kosugi (1988)
VS-001	<i>Grammatophora</i> sp.	L-Mp-Tp	Koizumi <i>et al.</i> (2004)
	<i>Halamphora normanii</i>	Freshwater	Tanaka (2014)
	<i>Halamphora</i> sp.	Freshwater	Tanaka (2014)
	<i>Hyalodiscus scoticus</i>	L-Mp-Tp	Koizumi <i>et al.</i> (2004)
	<i>Hyalodiscus</i> sp.1	L-Mp-Tp	Koizumi <i>et al.</i> (2004)
	<i>Hyalodiscus</i> sp.2	L-Mp-Tp	Koizumi <i>et al.</i> (2004)
	<i>Lancineis fatula</i>	Marine (Brackish)	Tanaka & Nagumo (2015)
	<i>Lyrella lyroides</i>	Marine (Brackish)	Tanaka & Nagumo (2015)
	<i>Martyana martyi</i>	L-Mp-Tp	Koizumi <i>et al.</i> (2004)
	<i>Mastogloia minutissima</i>	Marine, plant vegetation benthic	Ozawa <i>et al.</i> (2011)

Table 2. Continued.

YS-Site	Taxa	Ecology	References
YS-040	<i>Navicula alpha</i>	Sand flat in blackish water	Kosugi (1988)
YS-039	<i>Navicula beta</i>	L-Mp~Tp	Koizumi <i>et al.</i> (2004)
YS-038	<i>Navicula</i> sp.	L-Mp~Tp	Koizumi <i>et al.</i> (2004)
YS-037	<i>Nitzschia amphibia</i>	River mouth (Freshwater)	Kosugi (1988)
YS-036	<i>Nitzschia clausii</i> Hantzsch	Freshwater	Krammer & Lange-Bertalot (1988)
YS-Site (Inlar)	<i>Nitzschia cocconeiformis</i>	Mud flat in saline water	Kosugi (1988)
YS-035	<i>Nitzschia frustulum</i>	Freshwater	Kosugi (1988)
YS-034	<i>Nitzschia panduriformis</i>	Mud flat in brackish water	Kosugi (1988) Koizumi <i>et al.</i> (2004)
YS-Site C	<i>Nitzschia</i> sp. 1	unknown	
YS-033	<i>Onicymba</i> sp.	Freshwater	Jüttner <i>et al.</i> (2010)
YS-032	<i>Paralia sulcata</i>	innerbay N~L-Hp~Mp	Kosugi (1988) Koizumi <i>et al.</i> (2004)
YS-031	<i>Petronis deltoides</i>	Temperate or tropical seas	Round <i>et al.</i> (1990) Koizumi <i>et al.</i> (2004)
YS-030	<i>Petronis marina</i>	Mud flat in saline water L-Mp~Tp Marine (Brackish)	Kosugi (1988) Koizumi <i>et al.</i> (2004) Tanaka & Nagumo (2015)
YS-029	<i>Pinnularia</i> sp.	Freshwater	Koizumi <i>et al.</i> (2004)
YS-028	<i>Plagiogramma pulchellum</i> var. <i>pygmaea</i>	Sand flat in saline water L-Mp~Tp	Kosugi (1988) Koizumi <i>et al.</i> (2004)
YS-Site B	<i>Pleurosigma</i> sp.	L-Mp~Tp	Koizumi <i>et al.</i> (2004)
YS-027	<i>Psammmodiscus nitidus</i>	L-Mp~Tp	Koizumi <i>et al.</i> (2004)
YS-026	<i>Pseudostaurosira brevistriata</i>	Mud flat in brackish water	Kosugi (1988) Koizumi <i>et al.</i> (2004)
YS-025	<i>Rhizosolenia hebetata</i>	O-Hp	Koizumi <i>et al.</i> (2004)
YS-024	<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>	Freshwater	Koizumi <i>et al.</i> (2004)
YS-023	<i>Rhoicosphenia</i> sp.	Freshwater~littoral	Round <i>et al.</i> (1990)
YS-022	<i>Rhopalodia</i> sp. 1	L-Mp~Tp	Koizumi <i>et al.</i> (2004)
YS-021	<i>Rhopalodia</i> sp. 2	L-Mp~Tp	Koizumi <i>et al.</i> (2004)
YS-020	<i>Rhopalodia</i> sp. 3	L-Mp~Tp	Koizumi <i>et al.</i> (2004)
YS-019	<i>Staurosira construens</i> var. <i>binoides</i>	Freshwater	Round <i>et al.</i> (1990)
YS-018	<i>Staurosira construens</i> var. <i>construens</i>	Benthic in fresh water Freshwater	Kosugi (1988) Round <i>et al.</i> (1990)
YS-017	<i>Suriella</i> sp.	L-Mp~Tp	Koizumi <i>et al.</i> (2004)
YS-016	<i>Terpsinoe</i> sp.	Brackish/freshwater	Round <i>et al.</i> (1990)
YS-015	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	N~L-Hp~Mp	Koizumi <i>et al.</i> (2004)
YS-014	<i>Thalassionema</i> ? sp.	unknown	
YS-013	<i>Thalassiosira</i> spp.	unknown	
YS-012	<i>Triceratium</i> sp. 1	L-Mp~Tp	Koizumi <i>et al.</i> (2004)
YS-011	<i>Triceratium</i> sp. 2	L-Mp~Tp	Koizumi <i>et al.</i> (2004)
YS-010	<i>Tryblionella granulata</i>	Mud flat in saline water L-Mp~Tp Marine (Brackish)	Kosugi (1988) Koizumi <i>et al.</i> (2004) Tanaka & Nagumo (2015)
YS-009	<i>Tryblionella punctata</i>	Marine/brackish	Round <i>et al.</i> (1990)
YS-Site A	Gen. <i>et</i> sp. indet. 1	unknown	
YS-008	Gen. <i>et</i> sp. indet. 2	unknown	
YS-007	Total of diatoms		
YS-006	Preservation		
YS-005	Abundance		
YS-004	<i>Chaetoceros</i> spp. and similar spores	Inner Bay	Kosugi (1988)
YS-003	Hyaline type		
YS-002	<i>Xanthiopyxis</i> type A (knobby type)		
YS-001	<i>Xanthiopyxis</i> type B (short spiny type)		



*Staurosira construens* var. *construens* Ehrenberg (= *Fragilaria construens* (Ehrenberg) Grunow) (Plate 2, Figs. 9a–10b)

淡水棲種.

*Surirella* sp. (Plate 8, Fig. 9)

本属には淡水棲種から海棲種まで含まれている. 本稿では沿岸種として扱った.

*Terpsinoe* sp. (Plate 6, Figs. 7a, 7b)

本属は汽水または淡水棲種.

*Thalassionema nitzschioides* (Grunow) Mereschkowsky (Plate 3, Figs. 1a–2b)

沿岸から浅海域に生息.

*Thalassionema* ? sp. (Plate 3, Figs. 5a, 5b)

生態不明.

*Thalassiosira* spp. (Plate 9, Figs. 6a–6c)

本属の多くが沿岸から外洋に生息する海棲種であるが, 様々な環境に生息しているため, 本稿では古環境復元には用いなかった.

*Triceratium* sp. 1 (Plate 9, Figs. 7a, 7b)

本属のほとんどが沿岸棲種.

*Triceratium* sp. 2 (Plate 10, Figs. 1a–4c)

本属のほとんどが沿岸棲種.

*Tryblionella granulata* (Grunow) D.G.Mann in Round *et al.* (= *Nitzschia granulata* Grunow) (Plate 3, Figs. 10a–12b)

海水泥質干潟指標種.

*Tryblionella punctata* W.Smith (= *Nitzschia punctata* (W.Smith) Grunow) (Plate 3, Figs. 13a–14b)

汽水棲種.

Gen. *et* sp. indet. 1 (Plate 1, Figs. 18a–19b)

生態不明.

Gen. *et* sp. indet. 2 (Plate 1, Figs. 20a–23b)

生態不明.

*Chaetoceros* spp. and similar spores (Plate 7, Figs. 10a, 10b)

本属の多くは沿岸域に生息し, 栄養塩が枯渇した環境で休眠胞子を形成する種がおり, それらが堆積物中に化石として保存される (Suto *et al.*, 2012). 本研究での分析では, Suto (2004) と Suto *et al.* (2013) などで報告されている Hyaline type, *Xanthiopyxis* type A (knobby type), *Xanthiopyxis* type B (short spiny type) の3形態の休眠胞子化石が確認され, 上記の珪藻栄養細胞殻数とは別途カウントした (表2).

## 古環境復元

本稿では, 連続的に珪藻化石が確認された Site A と Site B の古環境変動について簡単に議論する (図2).

Site A 下部の泥層では浅海域に生息する珪藻が群集の半分以上を占めるが, 粗粒砂層中の泥やその上位の泥層からは, 陸域および沿岸域の珪藻化石が多く産出する. 一方で, Site B の下部では, 陸域および沿岸域の珪藻が増減を繰り返すが, 火山灰層付近で減少し, 泥質堆積物になると, 浅海域を指標する珪藻化石種群が産出数のうち約 60–80% を占めるようになる. その後, 砂質堆積物になる層準付近から, 再び陸域・沿岸域指標珪藻種群が増加し, 約 7 割を占めるようになる.

主要構成種が浅海指標種群から陸域・沿岸指標種群になる急激な変化は Site A と Site B の双方で共通する. また, Site A と Site B とも, 外洋域を指標する種はほとんど産出しなかった. 堆積相においても, 泥質からより粗粒な砂質・礫質へと変化し, 約 1 m ほどで再び泥質になるという共通点が確認できるため, これらの変化は同層準を示している可能性が高い.

これらのことから, 湯島層は, 陸域から淡水が流れ込むような沿岸・干潟の周辺や, 深海化などによって一時的に陸域から堆積物が供給されない程度に陸から離れた浅海域で形成されたと考えられる. また, 本研究の珪藻化石産出地点とは異なるが, 鶴飼・香取 (2016) によって報告されている貝類化石は現在の潮間帯に普通に見られる種であり, 本古環境復元の結果と矛盾しない.

今回珪藻分析試料の採取は長谷ほか (2018) で明らかにされた湯島層の下部層と中部層の境界付近で行なわれたことから, その境界を跨ぐ Site A および Site B における層相の変化は上述のような珪藻化石による古環境変動と対応している. すなわち, 湯島層下部層から中部層への形成過程で, 堆積環境は基本的に非常に浅い海域であり, 沿岸・干潟化するなどの変化が生じていたことが明らかとなった. また, 長谷ほか (2018) による中部層下部の凝灰岩の年代分析結果から, そのような堆積環境の変化は約 100 万年前に生じたものであったと推測できる.

## 謝辞

珪藻化石の分類に関して, 東京学芸大学教育学部の真山茂樹教授にご助言いただいた. また, 御所浦白亜紀資料館のスタッフの方々には本調査の機会と調査準備に対して様々なご支援をいただいた. 調査中や調査後には御所浦町および湯島の住人の方々にも様々な形でご助力いただいた. これらの方々に感謝いたします.

## 引用文献

- Akiba, F. (1986) : Middle Miocene to Quaternary diatom biostratigraphy in the Nankai Trough and Japan Trench, and modified Lower Miocene through Quaternary diatom zones for middle-to-high latitudes of the North Pacific. In: Kagami, H., Karig, D. E. et al., eds., Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, **87**, p. 393–481. U.S. Government Printing Office, Washington D.C.
- Barron, J. A., Bukry, D., Dean, W. E., Addison, J. A. and Finney, B. (2009) : Paleooceanography of the Gulf of Alaska during the past 15,000 years: Results from diatoms, silicoflagellates, and geochemistry. *Marine Micropaleontology*, **72**, p. 176–195.
- 千原光雄・村野正昭編 (1997) : 日本産海洋プランクトン検索図説. 1574 pp. 東海大学出版会, 神奈川.
- 長谷義隆・岩内明子 (1993) : 内陸堆積層の分布高度から求めた中部九州地溝内沈降域の変位. *地質学論集*, **41**, p. 53–72.
- 長谷義隆・鶴飼宏明・香取祥人・檀原 徹・岩野英樹 (2018) : 熊本県上天草市大矢野町湯島における湯島層の層序とフィッション・トラック年代. 御所浦白亜紀資料館, **19**, p. 1–5.
- 今西茂・林行敏 (1963) 湯島の地質. *日本地質学会西日本支部会報*, **33**, 1.
- Jüttner, I., Krammer, K., Van de Vijver, B., Tuji, A., Simkhada, B., Gurung, S., Sharma, S., Sharma, C. and Cox, E. J. (2010) : *Oricymba* (Cymbellales, Bacillariophyceae), a new cymbelloid genus and three new species from the Nepalese Himalaya. *Phycologia*, **49**, p. 407–423.
- Koizumi, I., Irino, T. and Oba, T. (2004) : Paleooceanography during the last 150kyr off central Japan based on diatom floras. *Marine Micropaleontology*, **53**, p. 293–365.
- 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)**, p. 1–20.
- Krammer, K. and Lange-Bertalot, H. (1988) : *Bacillariophyceae 2. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae*. In: Ettl, H., Gerloff, J., Heinig, H. and Mollrnhauser, D., eds. *Süßwasserflora von Mitteleuropa*, **2/2**. 596 pp. Gustav Fischer Verlag, Jena.
- 中尾賢一 (2011) : 湯島 (上天草市) から産出する内湾性貝化石とその意義. *日本古生物学会第 160 回例会予稿集*, p. 28.
- 大塚裕之 (1970) : 北西部九州有明海南部地域の更新—最新統の層序学的, 堆積学的研究. *鹿児島大学理学部紀要 (地学・生物学)*, **3**, p. 35–65.
- 小澤拓也・鈴木秀和・田中次郎・南雲保 (2012) : 海産底生珪藻 *Mastogloia minutissima* Voigt の形態と分類. *日本歯科大学紀要*, **41**, p. 43–47.
- Round, F. E., Crawford, R. M. and Mann, D. G. (1990) : *The Diatoms. Biology & Morphology of the Genera*. 747 pp. Cambridge University Press, Cambridge.
- Suto, I. (2004). Fossil marine diatom resting spore morpho-genus *Xanthiopyxis* Ehrenberg in the North Pacific and Norwegian Sea. *Paleontological Research*, **8(4)**, p. 283–310.
- Suto, I., Kawamura, K. and Chiyonobu, S. (2013) : Data report: Paleooceanography and taxonomic notes based on Pliocene and Pleistocene diatom floras from the Canterbury Basin (IODP Expedition 317), off New Zealand. In: Fulthorpe, C. S., Honyanagi, K., Blum, P. and the Expedition 317 Scientists, *Proceedings of the Integrated Ocean Drilling Program*, **317**, Tokyo (Integrated Ocean Drilling Program Management International, Inc.). doi:10.2204/iodp.proc.317.202.2013.
- Suto, I., Kawamura, K., Hagimoto, S., Teraishi, A. and Tanaka, Y. (2012) : Changes in upwelling mechanisms drove the evolution of marine organisms. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **339–341**, p. 39–51.
- 田中宏之 (2014) : 日本淡水化石珪藻図説—関連現生種を含む—. 602 pp. 内田老鶴園, 東京.
- 田中宏之・南雲保 (2015) : 仙台市, 竜ノ口溪谷上流の向山層最上部 (鮮新統) から見出された珪藻群集. *Diatom*, **31**, p. 47–55.
- 田中宏之・南雲保・鹿島薫 (2005) : 熊本県益城町に分布する津森層 (中期更新世) の淡水生化石珪藻群集. *Diatom*, **21**, p. 119–130.
- 鶴飼宏明・香取祥人 (2016) : 湯島層に分布するいわゆる“湯島層”から産出する貝類化石の報告. 御所浦白亜紀資料館報, **17**, p. 1–4.
- 山本恭裕・江原幸雄・茂木透・甲斐辰次・渡辺公一郎 (1993) : 湯島 (有明海) の熱構造調査. *九大地熱研究報告*, **2**, p. 69–83.
- 横瀬久芳・梁島達也・菊池航・杉山直史・篠原章・竹内徹・長尾敬介・小玉一人 (1999) : 別府—島原地溝帯西部域の過去 5 百万年間における間欠的火山活動. *岩鉱*, **94**, p. 338–348.

(2018 年 2 月 1 日受理)





图版 1-10

## 図版の説明

**Plate 1.** Fossil diatoms from the Yushima Formation in Yushima Island. Scale bars = 10 µm. Right and left bars for Figs. 1a–2c, 4a–28b and Figs. 3a, 3b, respectively.

- 1a–2c. *Rhopalodia* sp. 3 (YS-012).
- 3a, 3b. *Epithemia smithii* (YS-025).
- 4a–6b. *Rhopalodia* sp. 2 (4a–4c, 6a, 6b, YS-009; 5a, 5b, YS-012).
- 7a–8b. *Rhopalodia* sp. 1 (7a, 7b, YS-002; 8a, 8b, YS-025).
- 9a–10b. *Eunotia* spp. (9a–9c, YS-035; 10a, 10b, YS-026).
- 11a, 11b. *Eunotia arcus* (YS-026).
- 12a, 12b. *Amphora copulata* (YS-025).
- 13a, 13b. *Encyonema minutum* (YS-023).
- 14a, 14b. *Halamphora normanii* (YS-005).
- 15a–17b. *Halamphora* sp. (15a–16b, YS-009; 17a, 17b, YS-007).
- 18a–19b. Gen. et sp. indet. 1 (18a–18c, YS-027; 19a, 19b, YS-003).
- 20a–23b. Gen. et sp. indet. 2 (20a–21b, YS-007; 22a–23b, YS-006).
- 24a–26b. *Plagiogramma pulchellum* var. *pygmaea* (YS-002).
- 27a–28b. *Glyphodesmis williamsonii* (YS-002).

**Plate 2.** Fossil diatoms from the Yushima Formation in Yushima Island. Scale bar = 10 µm.

- 1a–2c. *Cymbella* sp. 1 (YS-007).
- 3a–5b. *Navicula* sp. (3a, 3b, YS-012; 4a–5b, YS-009).
- 6a–7b. *Amphipleura* sp. (YS-009).
- 8a, 8b. *Grammatophora* sp. (YS-002).
- 9a–10b. *Staurosira construens* var. *construens* (YS-002).
- 11a–12b. *Staurosira construens* var. *binoides* (11a, 11b, YS-026; 12a, 12b, YS-025).
- 13a, 13b. *Nitzschia amphibia* (YS-006).
- 14a, 14b. *Nitzschia frustulum* (YS-025).
- 15a–16b. *Nitzschia* sp. 1 (YS-009).
- 17a–19b. *Nitzschia clausii* (YS-009).
- 20a–21b. *Rhoicosphenia* sp. (YS-008).
- 22a, 22b. *Achnanthes brevipes* (YS-038).
- 23a, 23b. *Nitzschia cocconeiformis* (YS-001).
- 24a, 24b. *Bacillaria paxillifer* (YS-005).
- 25a, 25b. *Bacillaria* sp. (YS-005).
- 26a–28b. *Martyana martyi* (YS-024).
- 29a, 29b. *Nitzschia panduriformis* (YS-005).
- 30a–33b. *Mastogloia minutissima* (30a, 30b, YS-009; 31a–33b, YS-012).

**Plate 3.** Fossil diatoms from the Yushima Formation in Yushima Island. Scale bar = 10 µm.

- 1a–2b. *Thalassionema nitzschioides* (1a, 1b, YS-002; 2a, 2b, YS-012).
- 3a–4b. *Pseudostaurosira brevistriata* (YS-027).
- 5a, 5b. *Thalassionema* ? sp. (YS-024).
- 6a–7b. *Fragilaria rumpens* var. *fragilarioides* (6a, 6b, YS-025; 7a, 7b, YS-026).
- 8a–9c. *Rhoicosphenia abbreviata* (YS-008).
- 10a–12b. *Tryblionella granulata* (YS-002).
- 13a–14b. *Tryblionella punctata* (13a, 13b, YS-038; 14a, 14b, YS-002).
- 15a–17b. *Lancineis fatula* (YS-002).
- 18a–19b. *Delphineis surirella* var. *australis* (18a, 18b, YS-014; 19a, 19b, YS-002).
- 20a, 20b. *Oricymba* sp. (YS-004).

**Plate 4.** Fossil diatoms from the Yushima Formation in Yushima Island. Scale bar = 10 µm.

- 1a, 1b. *Cocconeis* cf. *tenuis* (YS-003).
- 2a–3b. *Cocconeis tenuis* (YS-025).
- 4a–7b. *Cocconeis placentula* (4a–5b, YS-007; 6a, 6b, YS-002; 7a, 7b, YS-025).
- 8a, 8b. *Cocconeis* cf. *placentula* (YS-015).
- 9a–13b. *Cocconeis scutellum* (9a–11b, YS-002; 12a–13b, YS-006).
- 14a, 14b. *Cocconeis vitrea* (YS-002).
- 15a, 15b. *Cymbella* sp. 2 (YS-026).
- 16a, 16b. *Cymbella cuspidata* (YS-026).

**Plate 5.** Fossil diatoms from the Yushima Formation in Yushima Island. Scale bars = 10 µm. Right and left bars for Figs. 1a–9b and Figs. 10a, 10b, respectively.

- 1a, 1b, 3a, 3b. *Diploneis finnica* (1a, 1b, YS-002; 3a, 3b, YS-011).
- 2a, 2b. *Navicula beta* (YS-004).
- 4a, 4b. *Fallacia* sp. (YS-024).
- 5a, 5b. *Navicula alpha* (YS-037).
- 6a, 6b. *Petroneis deltoides* (YS-037).
- 7a, 7b. *Diploneis bombus* (YS-002).
- 8a, 8b. *Diploneis* cf. *bombus* (YS-006).
- 9a, 9b. *Lyrella lyroides* (YS-002).
- 10a, 10b. *Caloneis permagna* (YS-037).

**Plate 6.** Fossil diatoms from the Yushima Formation in Yushima Island. Scale bar = 10 µm. Right and left bars for Figs. 1a–5b and Figs. 6a–7b, respectively.

- 1a–3b. *Craticula* sp. (YS-007; 3a, 3b, girdle view of frustules).
- 4a–5b. *Petroneis marina* (4a, 4b, YS-019; 5a, 5b, YS-002).
- 6a, 6b. *Pinnularia* sp. (YS-005).
- 7a, 7b. *Terpsinoe* sp. (YS-001).

**Plate 7.** Fossil diatoms from the Yushima Formation in Yushima Island. Scale bar = 10 µm. Right and left bars for Figs. 1a–5b, 7a–11b, 13a–15b and Figs. 6a, 6b, 12a, 12b, respectively.

- 1a–2b. *Aulacoseira* sp. (1a, 1b, YS-002; 2a, 2b, YS-027; girdle view).
- 3a–5b. *Paralia sulcata* (YS-002; 3a, 3b, girdle view).
- 6a–7b. *Actinoptychus senarius* (YS-002).
- 8a–9b. *Actinoptychus annulatus* (YS-027).
- 10a, 10b. *Xanthiopyxis* type A (knobby type) (*Chaetoceros* resting spore) (YS-002).
- 11a, 11b. *Biddulphia* sp. (YS-002).
- 12a–13c. *Hyalodiscus scoticus* (12a, 12b, YS-001; 13a–13c, YS-010).
- 14a, 14b. *Hyalodiscus* sp. 1 (YS-006).
- 15a, 15b. *Hyalodiscus* sp. 2 (YS-007).

**Plate 8.** Fossil diatoms from the Yushima Formation in Yushima Island. Scale bar = 10 µm.

- 1a–3b. *Cyclotella stylorum* (1a–2b, YS-027; 3a, 3b, YS-002).
- 4a, 4b. *Cyclotella* sp. (YS-027).
- 5a–6b. *Actinocyclus* sp. (5a, 5b, YS-027; 6a, 6b, YS-002).
- 7a, 7b. *Pleurosigma* sp. (YS-009).
- 8a, 8b. *Auliscus* sp. (YS-021).
- 9. *Suriella* sp. (YS-006).

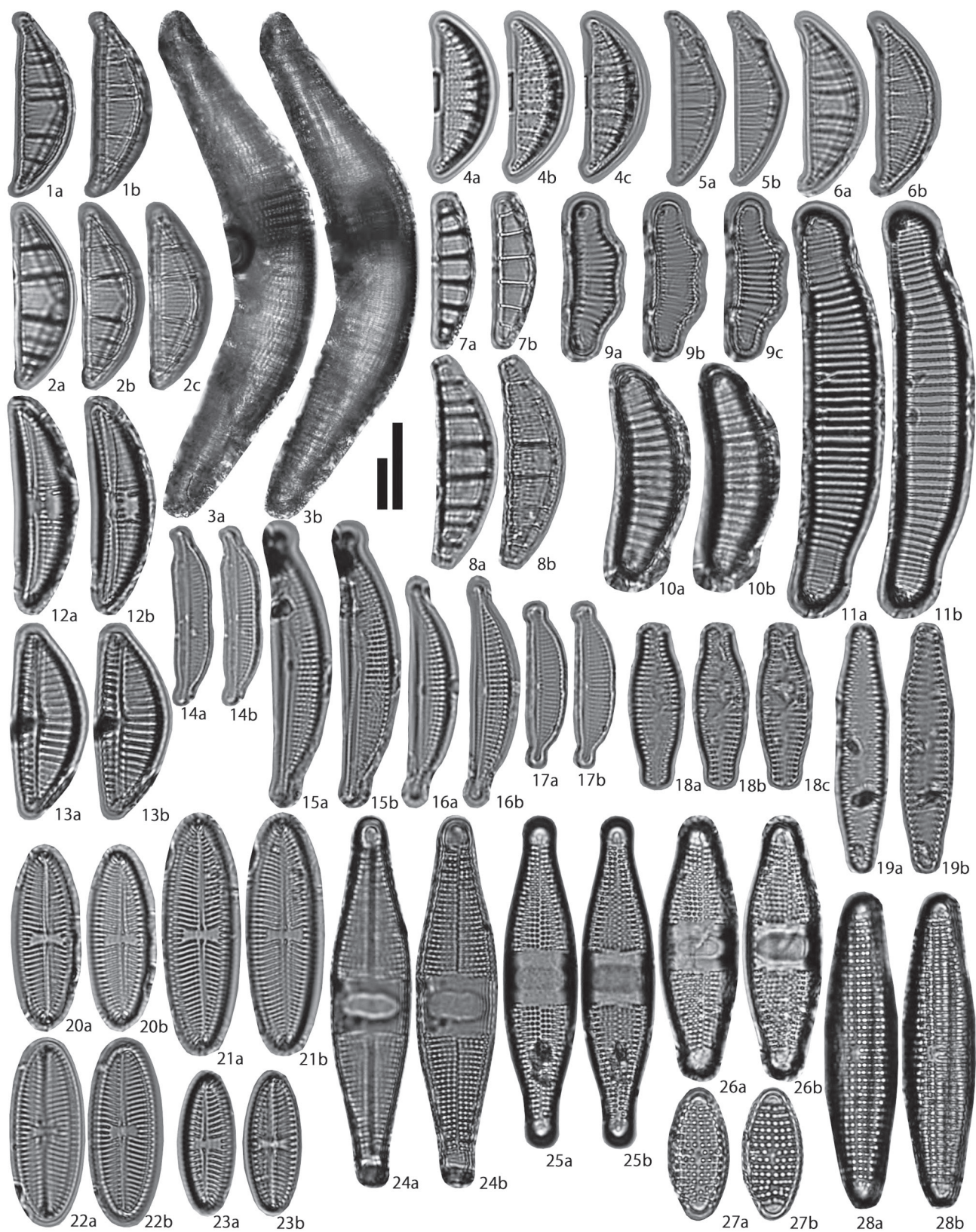
**Plate 9.** Fossil diatoms from the Yushima Formation in Yushima Island. Scale bar = 10 µm. Right, central and left bars for Figs. 2a–3b, 5a–6c, Figs. 1a, 1b and Figs. 4a, 4b, 7a, 7b, respectively.

- 1a, 1b. *Actinocyclus octonarius* (YS-002).
- 2a, 2b. *Azpeitia nodulifera* (YS-038).
- 3a, 3b. *Coscinodiscus marginatus* (YS-002).
- 4a, 4b. *Coscinodiscus asteromphalus* (YS-002).
- 5a–5c. *Psammodiscus nitidus* (YS-002).
- 6a–6c. *Thalassiosira* sp. (YS-002).
- 7a, 7b. *Triceratium* sp. 1 (YS-001).

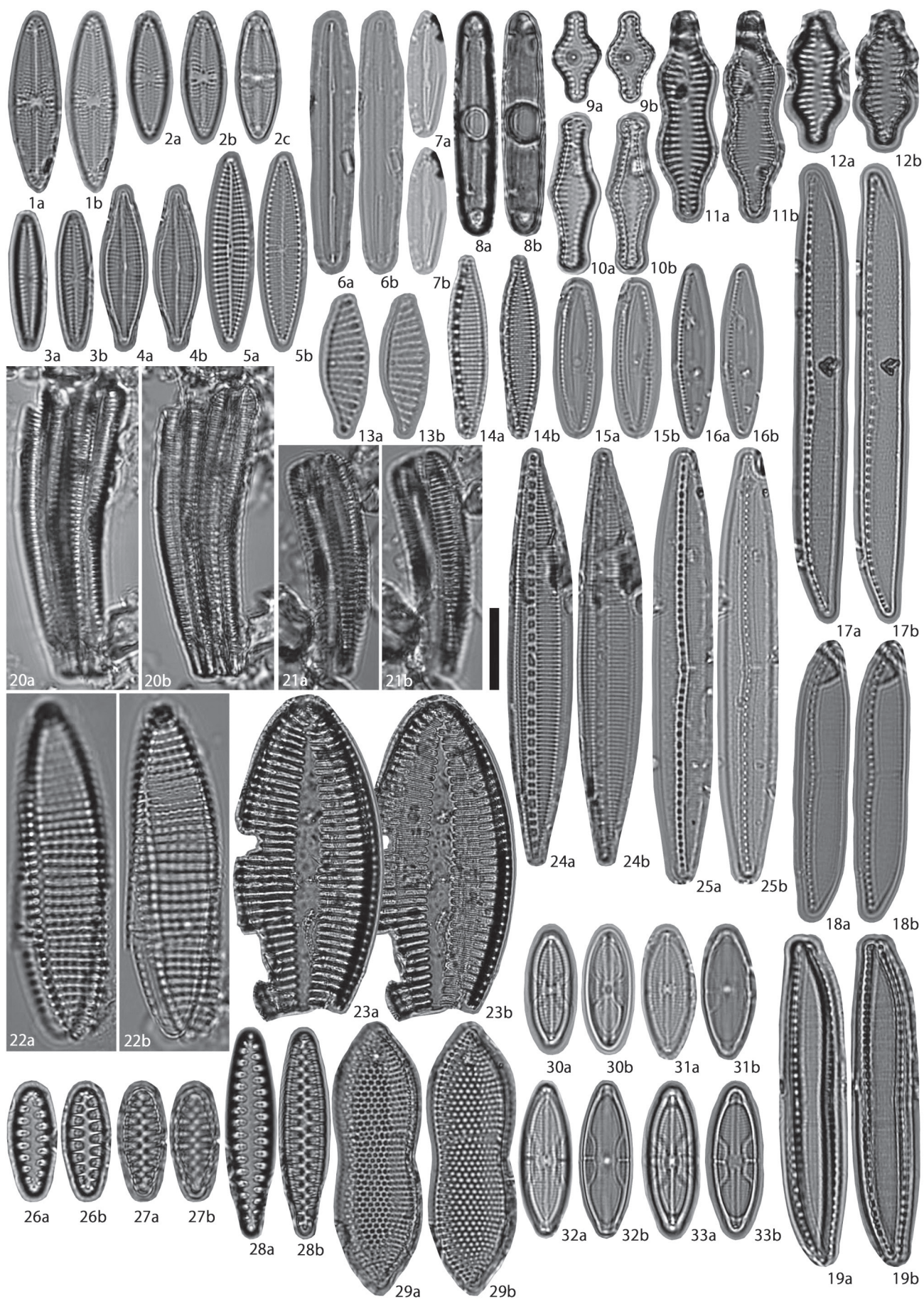
**Plate 10.** Fossil diatoms from the Yushima Formation in Yushima Island. Scale bar = 10 µm. Right and left bars for Figs. 4a, 4b and Figs. 1a–3c, respectively.

- 1a–4c. *Triceratium* sp. 2 (1a–1c, YS-010; 2a, 2b, YS-20; 3a–3c, YS-034; 4a, 4b, YS-011).











图版 3

