

海産珪藻 *Cocconeis stauroneiformis* (Rabenhorst) Okuno の殻微細構造と分類学的検討

鈴木秀和¹・南雲 保²

¹ 青山学院高等部 (150-8366 東京都渋谷区渋谷 4-4-25)

² 日本歯科大学生物学教室 (102-8159 東京都千代田区富士見 1-9-20)

Hidekazu Suzuki¹ and Tamotsu Nagumo²: Fine valve structure and taxonomical observation of marine diatom *Cocconeis stauroneiformis* (Rabenhorst) Okuno. Jpn. J. Phycol. (Sôru) 51: 159-166, Nov. 10, 2003

Fine valve structure and taxonomical observation of a marine attached diatom *Cocconeis stauroneiformis* (Rabenhorst) Okuno have been investigated. The internal and external structures of the raphid and araphid valves (RV and ARV) and complete cingulum are described using the light microscope and scanning and transmission electron microscope. The valve face of the RV is slightly concave and that of the ARV is complementary to the RV and convex. The raphe is straight externally and terminates in a small helictoglossa internally. The striae are consisted of several reniform or oval areolae. The areolae on the RV have hymenes with radial linear perforations. The areolae on the ARV display a very sophisticated structure; internally they are subquadrangular or round are separated by stout ribs less robust than the interstriae; externally they are occluded by less robust anastomosing ribs bearing hymenes at the outer surface of the valve. They are occluded by hymenes with short radial linear perforations around the margin and circular perforations in the central part. The mature cingula of both valves consist of at least of three girdle bands; a valvocopula (VC) that is open at both poles of the cell and two bands (the second and the third bands). The VC of ARV is furnished with fimbriae, that of RV is not.

Key Index Words: *Cocconeis*, *Cocconeis stauroneiformis*, fine valve structure, taxonomy

¹Aoyama Gakuin Senior High School, 4-4-25 Shibuya, Shibuya-ku, Tokyo, 150-8366 Japan

²Department of Biology, The Nippon Dental University, 1-9-20 Fujimi, Chiyoda-ku, Tokyo, 102-8159 Japan

筆者らは本邦における海産着生珪藻の分類学的研究を行っており、特に着生珪藻として代表的な *Cocconeis* 属の分類学的検討を進めている (Suzuki *et al.* 2001a, b, c, d)。*Cocconeis* 属のような単縦溝珪藻の形態学的研究においては、一つの被殻を構成する縦溝殻と無縦溝殻をセットで観察することが必要不可欠である (Suzuki *et al.* 2001d)。このことは海産 *Cocconeis* 属 3 種をブリーチ法 (Nagumo & Kobayasi 1990) によって詳細な電子顕微鏡観察を行った Kobayasi & Nagumo (1985) から始まり、筆者らの一連の研究 (Suzuki *et al.* 2001a, b, c, d) においても継続中である。

本研究で扱った *C. stauroneiformis* (Rabenhorst) Okuno は世界各地の沿岸で着生種として出現する汎布種とされているが (Rivera 1973, Poulin *et al.* 1984, Lange-Bertalot & Krammer 1989, Riaux-Gobin 1991, De Stefano *et al.* 2000 等)、本邦では報告例が少なく、筆者ら (鈴木他 2000) が富山県水産試験場内の海洋深層水利用施設で優占的に出現したことをすでに報告したにすぎない。

本分類群は Rabenhorst (1864) により、本属のタイプ種である *C. scutellum* Ehrenberg の新変種として記載されたが、Okuno (1957) が透過電子顕微鏡観察により、微細構造の差異から独立した種としてランクアップした。その後 Romero (1996) により *C. scutellum* var. *scutellum* との殻構造の比較検討が行われたが、縦溝殻と無縦溝殻をセットにして観察しておらず、微細構造の詳細も十分に解明されてはいない。そこで筆者らは本邦産試料をもとにさらに詳細な殻構造の観察を

行ったのでその結果を報告する。

材料と方法

観察に用いた試料は次の 3 つの標本から得た。

標本番号 S-0228。富山県水産試験場内の海洋深層水利用施設エゾアワビ *Nordotis discus hannai* Ino 稚貝飼育水槽の稚貝飼育板から採集 (2000 年 7 月 25 日, 鈴木秀和採集)。

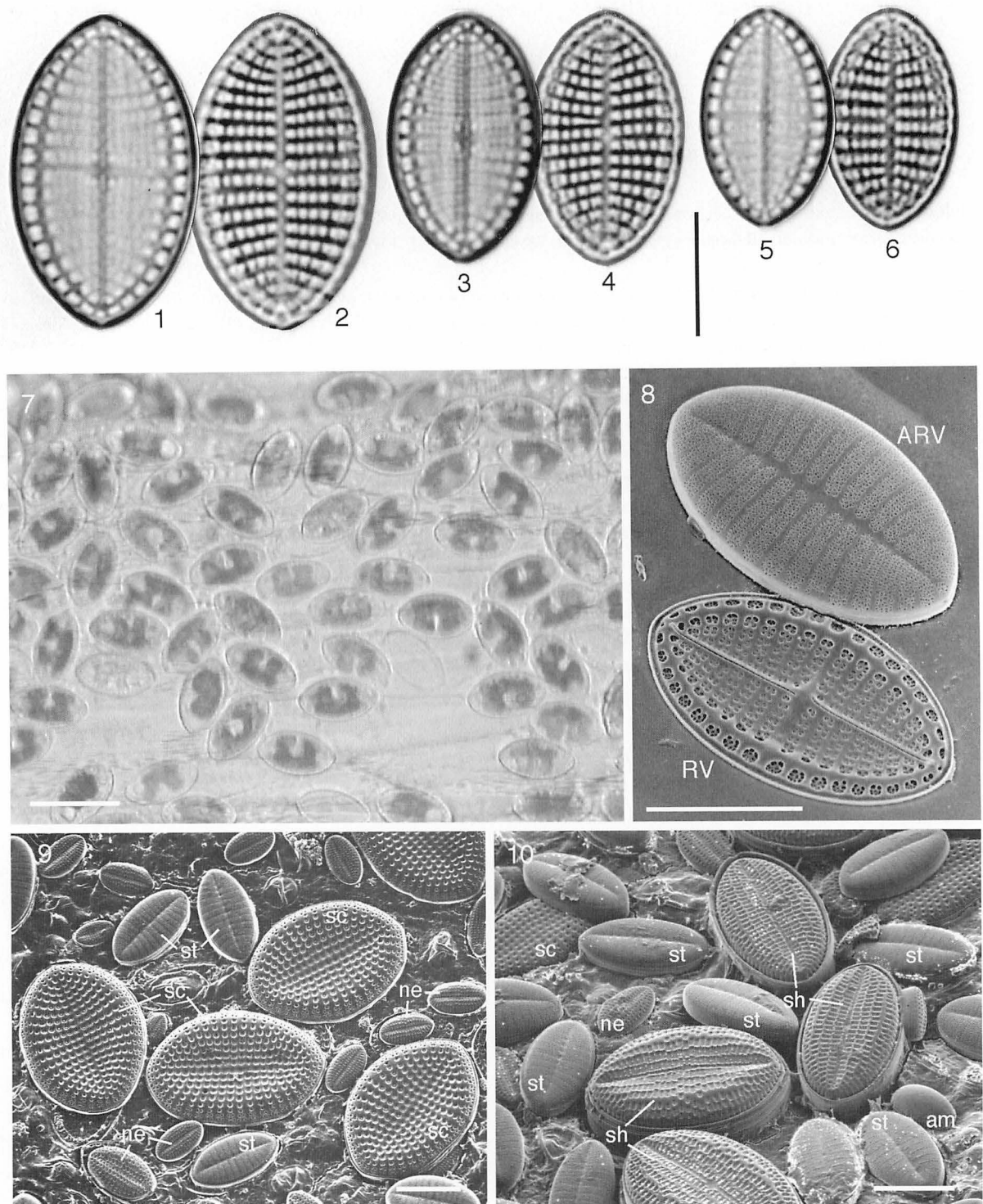
標本番号 S-0420。徳島県阿南市椿川河口で採集したアナアオサ *Ulva pertusa* Kjellman の藻体表面から採集 (2002 年 11 月 20 日, 南雲保採集)。

標本番号 S-0436。富山県水産試験場内の屋外マコンブ *Laminaria japonica* Areschoug 栽培水槽の壁面から採集 (2002 年 12 月 13 日, 長田敬五採集)。

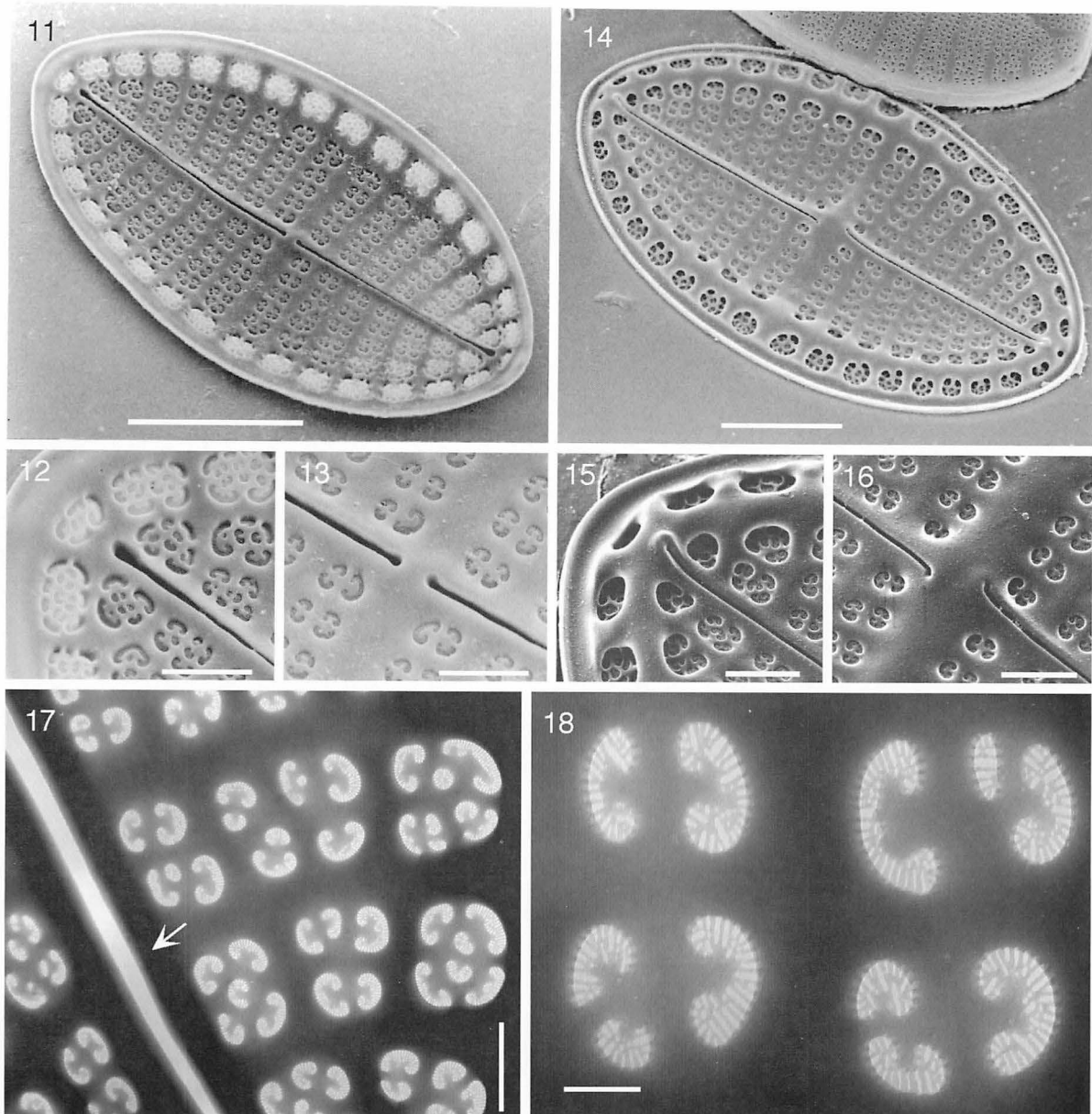
これらの試料を定法 (長田・南雲 2001) に従って処理した後、光学顕微鏡 (LM)、走査電子顕微鏡 (SEM; HITACHI S-4000 と S-5000) および透過電子顕微鏡 (TEM; JEOL-2000EX) で観察した。さらに 1 被殻の縦溝殻と無縦溝殻を含む各々の半被殻を損傷することなく完全な状態で得るため、ブリーチ法 (Nagumo & Kobayasi 1990) を用いた (ex. Fig. 8)。また本研究で用いた用語は Anonymous (1975), Suzuki *et al.* (2001a, b, c, d), 出井・南雲 (2002) および長田 (2002) に準拠した。

結果と考察

Cocconeis stauroneiformis (Rabenhorst) Okuno, 1957, Bot. Mag. Tokyo 70: 217-221, Text-figs 2, 3, Plate VI, Figs



Figs 1-10. *Cocconeis stauroneiformis*. Figs 1-7. LM. Figs 8-10. SEM. Figs 1-6. Three pairs of raphid valves (RV) and araphid valves (ARV) of the same frustules. Note that the valves are variable in shape and length. Fig. 7. Living cells, attached on the plastic plate used for rearing the young abalones, showing a C-shaped plastid. Fig. 8. Araphid valve (ARV) and raphid valve (RV) of the same frustule treated using the bleaching method. Figs 9, 10. *C. scutellum* var. *scutellum* (sc), *C. stauroneiformis* (st), *C. shikinenesis* (sh), *C. neothumentis* var. *marina* (ne) and *Amphora* sp. (am) attached on the plastic plate used for rearing the young abalones. Scale bars = 20 μ m (Fig. 7), 10 μ m (Figs 1-6, 8-10).



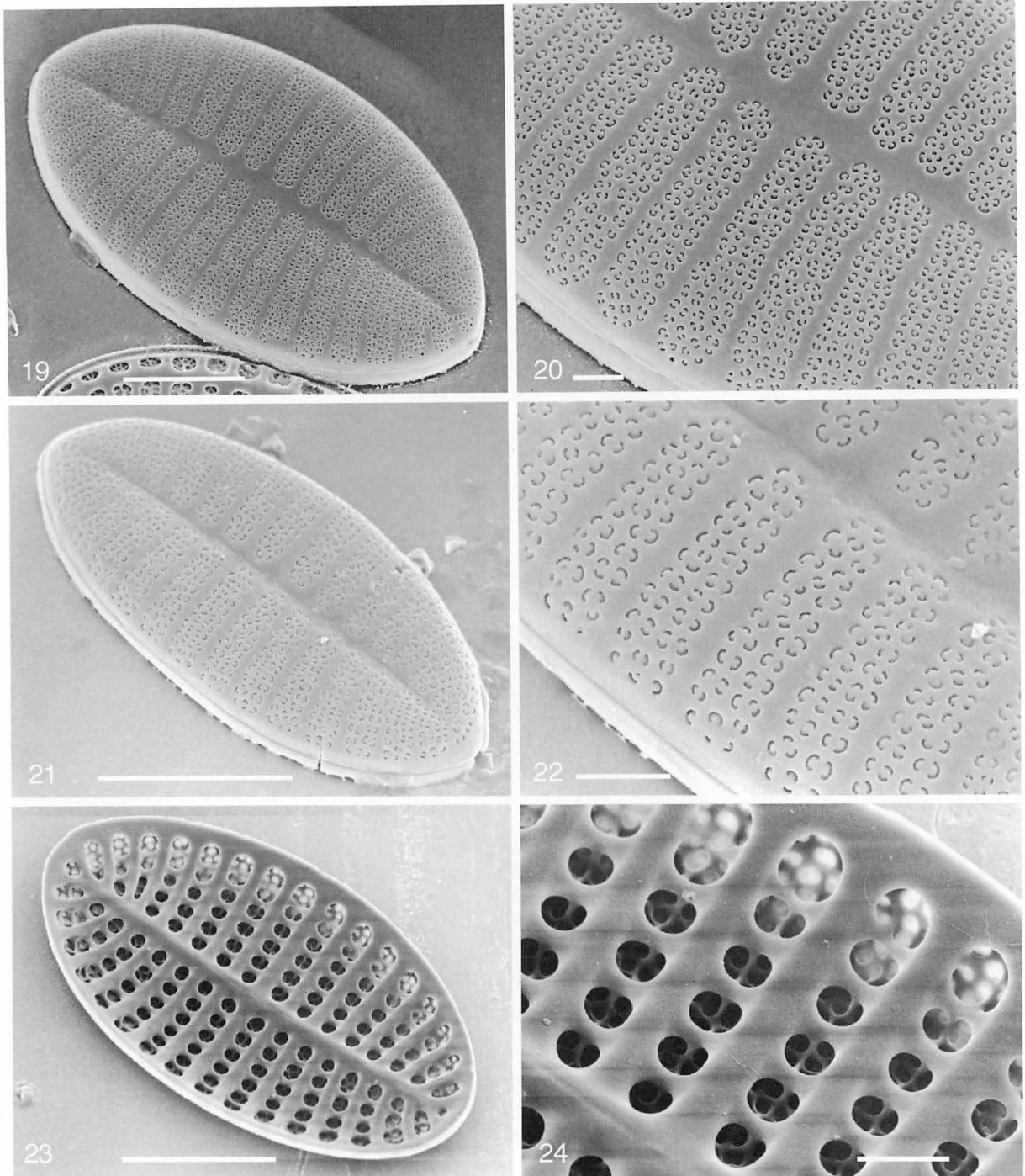
Figs 11-18. Raphid valves of *Cocconeis stauroneiformis*. Figs 11-16. SEM. Figs 17, 18. TEM. Fig. 11. External view of the raphid valve. Fig. 12. External view of the raphid valve showing the terminal raphe end and the terminal area. Fig. 13. External view of the raphid valve showing the central raphe ends and the central area. Fig. 14. Internal view of the raphid valve of the same frustule as a raphid valve of Fig. 19. Fig. 15. Internal view of the raphid valve showing the diminutive helictoglossa and the terminal area. Fig. 16. Internal view of the raphid valve showing the proximal raphe ends and the central area. Fig. 17. Areolae occlusion and the raphe (arrow) of the raphid valve. Fig. 18. Areolae occlusion. Note the hymenes with linear perforations in a central array. Scale bars = 5 μ m (Figs 11, 14), 1 μ m (Figs 12, 13, 15, 16), 0.5 μ m (Fig. 17), 0.1 μ m (Fig. 18).

2a-2c.

殻は楕円形で、時に殻端がとがることがある (Figs 1-6, 8)。殻長 15.0-25.5 μ m, 殻幅 7.5-15.5 μ m。色素体は本属に典型的なC字形 (Fig. 7)。

縦溝殻 (raphid valve): 殻は薄く、少し凹状となり、殻縁近くに明瞭な無紋域があり、内面で肥厚する (Figs 11, 14)。縦溝 (raphe) は直線状で、軸域は狭く、わずかに盛り上がる (Figs 8, 11, 14)。外裂溝は中央および極末端ともに丸く広がって終わる (Figs 12, 13)。内裂溝の中央末端はそれぞれ

反対方向に向かって曲がり、極末端では短く狭い蝸牛舌 (helictoglossa) で終わる (Figs 15, 16)。中心域は条線1列分の幅で横に広がり (Figs 11, 13)、特に殻の内面では肥厚し、殻縁近くまで達する十字節 (stauros) を形成する (Figs 14, 16)。 *Cocconeis* 属における同様の構造は *C. dirupta* Gregory (Kobayasi & Nagumo 1985) や *C. costata* Gregory (Romero & Rivera 1996) に見られる。条線は 10 μ m に 8-9 本で、2列の胞紋 (areola) からなり、殻の中心では平行に、殻縁近くでは放射状に配列する (Figs 1, 3, 5)。各胞紋は腎臓

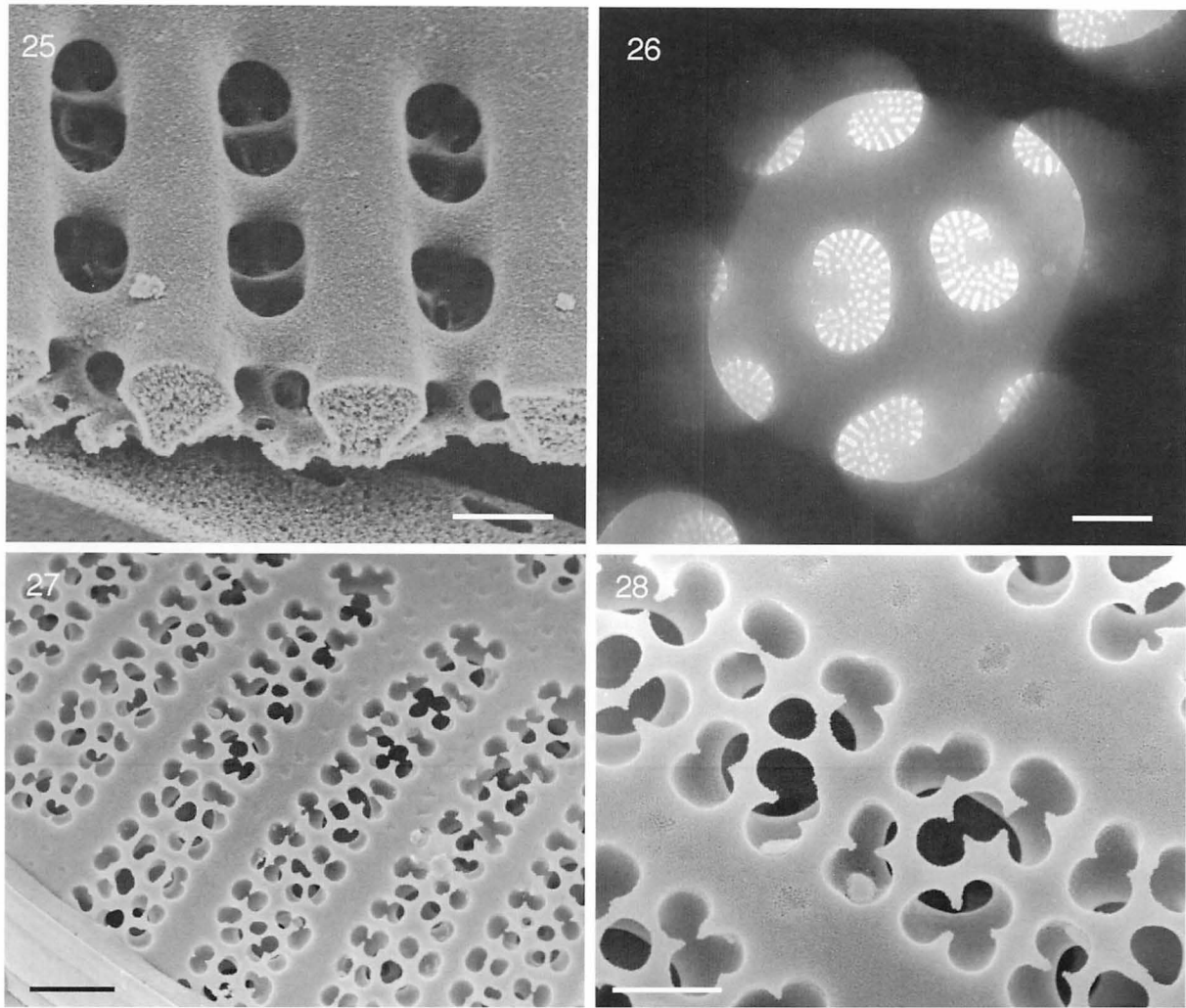


Figs 19-24. Araphid valves of *Cocconeis stauroneiformis*. SEM. Fig. 19. External view of the araphid valve of the same frustule as the raphid valve of Fig. 14. Fig. 20. External view of the araphid valve showing the central and marginal areas of the same individual as Fig. 19. Fig. 21. External view of the araphid valve. Fig. 22. External view of the araphid valve showing the central and marginal areas of the same individual as Fig. 21. Fig. 23. Internal view of the araphid valve. Fig. 24. Internal view of the araphid valve showing the central and marginal areas of the same individual as Fig. 23. Scale bars = 5 μ m (Figs 19, 21, 23), 1 μ m (Figs 20, 22, 24).

形(reniform)または楕円形で、縦溝近くでは2-3個で対をなすが、殻縁部では同心円状に数個が集まり、肉趾状となる(Figs 12, 17)。胞紋は線状の穿孔(linear perforation)が放射状に配列した薄皮(hymen)によって閉塞される(Figs 17, 18)。

無縦溝殻(araphid valve): 殻は厚く、やや凸状にふくら

む(Figs 8, 19, 21)。軸域は真っ直ぐで狭く、やや窪む。中心域は非常に狭いが、時にひし形を呈することもある。中肋(sternum)と横走肋(costa)はともに発達し、特に殻の内面で強く肥厚する(Figs 24, 25)。横走肋の発達は *C. costata*, *C. pseudocostata* Romero (Romero 1996) や *C. fasciolata* (Ehrenberg) Brown (Romero 1996) でも著しい。条線はLMで



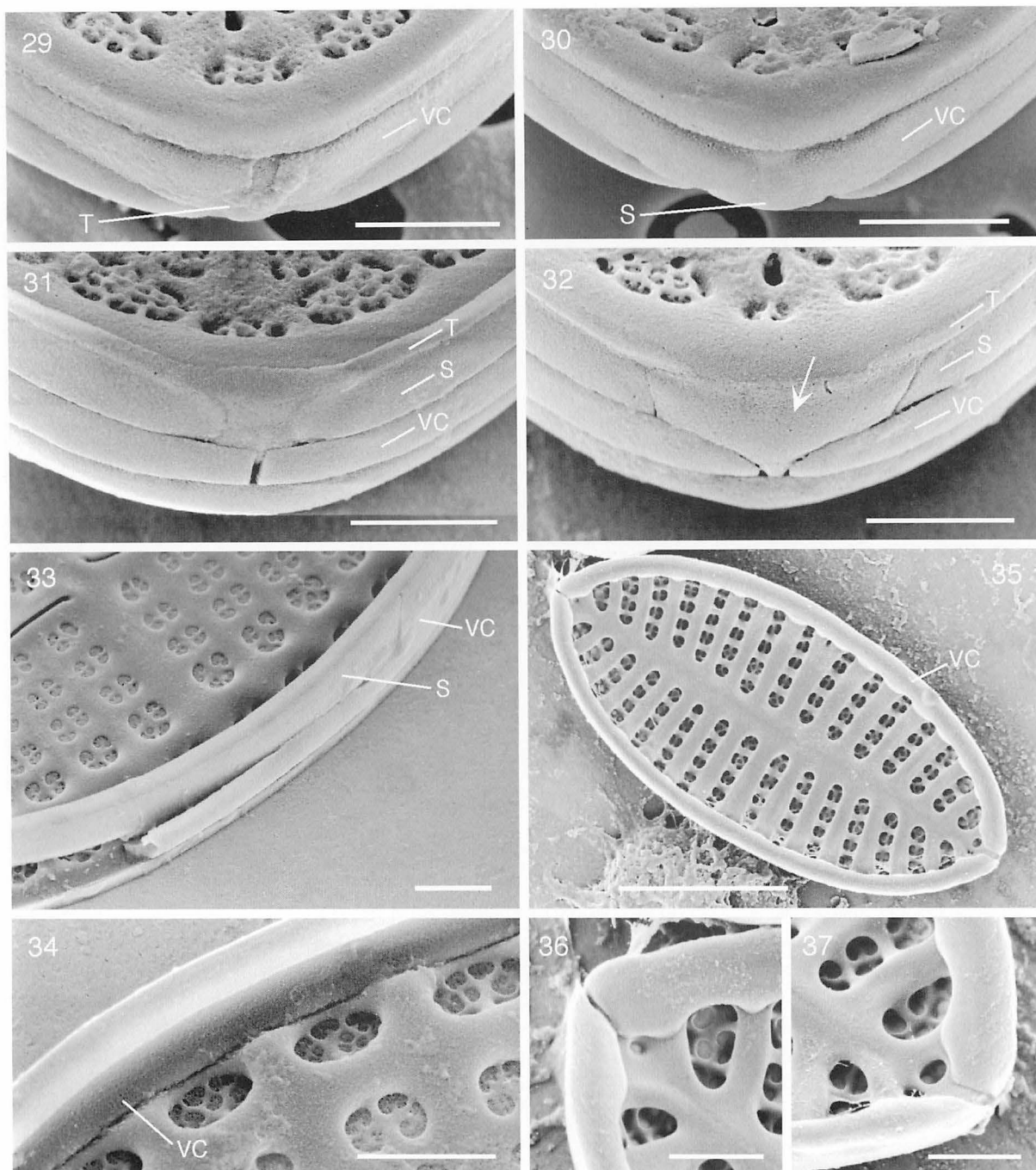
Figs 25-28. Areolae of the araphid valve of *Cocconeis stauroneiformis*. Figs 25, 27, 28. SEM. Fig. 26. TEM. Fig. 25. Internal view of the broken araphid valve showing the pore occlusions. Fig. 26. Areolae occlusion. Note that the areolae are occluded by hymenes with short radial perforations around the margin and tiny circular perforations in the central part. Fig. 27. External view of the immature araphid valve showing the central and marginal areas. Fig. 28. Areolae of the immature araphid valve of the same individual as Fig. 27. Scale bars = 1 μ m (Fig. 27), 0.5 μ m (Figs 25, 28), 0.1 μ m (Fig. 26).

は1列の四角形の胞紋からなり、殻の中心では平行に、殻頂にいくに従い放射状に配列する(Figs 2, 4, 6)。密度は縦溝殻とほとんど違いがなく10 μ mに8-9本である。各胞紋は、殻の外面に4-6個の腎臓形あるいは三日月形の開口を持ち(Figs 20, 22)、一方、殻の内面では横走肋や縦小肋(vimen; cf. Cox & Ross 1981)により縁どられた1個の四角形あるいは円形の開口がある(Figs 23, 24)。この構造はRVの胞紋に比べ、より複雑で立体的であり、形成途中の殻で確認される(Figs 27, 28)。また胞紋は外側の開口部近くにある薄皮により閉塞される(Fig. 25)。薄皮には縁に沿って放射状に配列する細長い穿孔とその中央部に不規則に配列する小さい円形の穿孔を持つ(Fig. 26)。

半殻帯(cingulum): 両殻とも少なくとも3枚の帯片(band)からなる(Figs 29-32)。殻の内面に接する第1帯片の接殻帯片(valvocopula)は、両殻で形態が異なる。縦溝殻では両殻端において開放(open band)する(Figs 29, 30)。帯片内接部(pars

interior)は横走肋にあわせて波打つ程度で鋸歯状突起はない(Fig. 34)。殻の内面に接する部分は幅が狭いが厚く、殻面に垂直に立ち上がる部分は幅が広いが薄い(Fig. 33)。一方無縦溝殻では、縦溝殻の接殻帯片に比べて薄く幅が広い(Fig. 35)。両殻端開放型で緩やかな鋸歯状突起を持つ(Figs 35-37)。第2帯片(the second band)は両殻とも接殻帯片に比べ薄く幅も狭く、片端開放型で閉鎖側端に小舌(ligula)を持つ(Figs 31, 32)。無縦溝殻に付く第2帯片は、長い断片2枚と、その間をつなぐ短い帯片(short band)1枚から構成されている(Fig. 32, 矢印)。殻端部に見られるこのような短い帯片構造は *Pinnularia* 属等で知られているが(Idei & Mayama 2001)、*Cocconeis* 属では初めて発見された。第3帯片(the third band)は第2帯片よりさらに細く、片端開放型で第2帯片と同様に小舌を有する。

Cocconeis 属における接殻帯片の構造は多様であり(Holmes *et al.* 1982)、内接縁の鋸歯状突起が著しく発達したもの(C.



Figs 29–37. Cingulum of *Cocconeis stauroneiformis*. SEM. Fig. 29. Valvocopula (VC) and the third band (T) of the raphid valve of the same frustule as Fig. 30. Fig. 30. Valvocopula (VC) and the second band (S) of the raphid valve of the same frustule as Fig. 29 (opposite pole). Fig. 31. Valvocopula (VC), the second band (S) and the third band (T) of the araphid valve of the same frustule as Fig. 32. Fig. 32. Valvocopula (VC), the second band (S) and the third band (T) of the araphid valve of the same frustule as Fig. 31 (opposite pole). Note the short band (arrow) of the second band. Fig. 33. Internal view of the raphid valve showing a broken valvocopula (VC) and the second band (S). Fig. 34. Internal view of the raphid valve showing a valvocopula (VC). Fig. 35. Internal view of the araphid valve showing a valvocopula (VC). Figs 36, 37. Both open parts of valvocopula of the same specimens as Fig. 35. Scale bars = 5 μm (Fig. 35), 1 μm (Figs 29–34, 36, 37).

pediculus Ehrenberg; cf. Gerloff & Rivera 1979, *C. scutellum* var. *scutellum*; cf. Romero 1996)から、突起がなくなめらかなもの(*C. heteroidea* Hantzsch; cf. Suzuki *et al.* 2001a, *C. convexa* Giffen; cf. Suzuki *et al.*

2001c)まで様々である。また本種のように両端開放型(他に *C. costata*; cf. Romero & Rivera 1996), 片端開放型(*C. heteroidea*; cf. Suzuki *et al.* 2001a), そして閉鎖型(*C. scutellum* var. *scutellum*の無縦溝殻; cf. Holmes *et al.*

1982, Romero 1996)と基本的構造も多様である。今後はさらに多くの種から帯片構造のデータを集積することで、他形質との関連性も考慮した分類形質としての重要性が明らかになるであろう。

本種は世界各地の沿岸に生育する汎布種である(Rivera 1973, Poulin *et al.* 1984, Lange-Bertalot & Krammer 1989, Riaux-Gobin 1991, De Stefano *et al.* 2000)。本邦近海ではウラジオストック(Skvortzow 1929)や静岡県伊東(Takano 1963)からの報告がある。筆者等は富山県水産試験場海洋深層水利用施設のエゾアワビ稚貝飼育装置内に優占的に繁茂しているのを観察した(鈴木他 2000)。今回の観察でも同施設内の珪藻培養装置や稚貝飼育用の塩化ビニール板上に *C. scutellum* var. *scutellum*, *C. shikinensis* Hid. Suzuki (Suzuki *et al.* 2001b), *C. neothumensis* Krammer var. *marina* De Stefano, Marino *et al.* (De Stefano *et al.* 2000)とともに多量に着生するのが観察された(Figs 9, 10)。

Okuno (1957) が透過電子顕微鏡を用いて研究した胞紋の微細構造に関する記述は、残念ながらすべて正しいものではないが、主に胞紋構造における *C. scutellum* var. *scutellum* との相違点を見だし、*C. stauroneiformis* として変種から種のレベルに組み替えた。しかしその後の分類学的扱いは研究者により異なったままで(VanLandingham 1968), より詳細な観察は行われなかった。近年Romero (1996)はこの組み替えに関する検討を行い、Okuno (1957) の妥当性を示唆した。本研究でも次の微細構造の差異から、本分類群を *C. scutellum* var. *stauroneiformis* として扱うのではなく、*C. stauroneiformis* として扱うべきと考える。(1)本分類群の縦溝殻の中心域は十字節になるが、*C. scutellum* var. *scutellum* は小さい円形。(2)本分類群の胞紋は、複数個の腎臓形あるいは楕円形の開口部を持つが、*C. scutellum* var. *scutellum* は1個の円形の開口部を持つ。(3)*C. scutellum* var. *scutellum* の接殻帯片の鋸歯状突起は良く発達し、顕著であるが、本分類群は緩やかに波打つ程度である。(4)本分類群の無縦溝殻の横走肋はよく発達するが、*C. scutellum* var. *scutellum* のそれは顕著ではない。さらにこれら(1)~(4)の特徴から *C. stauroneiformis* はRomero (1996)の報告した *C. fasciolata* と近縁な分類群と考えられる。

謝辞

本研究において試料を提供していただいた日本歯科大学新潟歯学部の長田敬五助教授と富山県水産試験場海洋深層水利用施設からの試料の採集や提供に多大の便宜をはかっていただいた同県食品研究所の小善圭一氏に感謝する。本研究は日本学術振興会平成14年度科学研究費補助金奨励研究(課題番号14917005)と公益信託ミキモト海洋生態研究助成基金平成14年度研究助成による研究の一部である。

引用文献

- Anonymous. 1975. Proposals for a standardization of diatom terminology and diagnoses. *Nova Hedwigia*, Beiheft 53: 323-354.
- Cox, E. J. & Ross, R. 1981. The striae of pennate diatoms. p. 267-278. In: Ross, R. (ed.) Proceedings of the Sixth Symposium on Recent and Fossil Diatoms. Koenigstein. O. Koeltz.
- De Stefano, M., Marino, D. & Mazzella, L. 2000. Marine taxa of *Cocconeis* on leaves of *Posidonia oceanica*, including a new species and two new varieties. *European Journal of Phycology* 35: 225-242.
- Gerloff, J. & Rivera, P. 1979. Der submikroskopische Bau der Schalen von *Cocconeis pediculus* (Bacillariophyceae). *Willdenowia* 9: 99-110.
- Holmes, R. W., Crawford, R. M. & Round, F. E. 1982. Variability in the structure of the genus *Cocconeis* Ehr. (Bacillariophyta) with special reference to the cingulum. *Phycologia* 21: 370-381.
- Idei, M. & Mayama, S. 2001. *Pinnularia acidojaponica* M. Idei *et al.* Kobayasi sp. nov. and *P. valdetolerans* Mayama *et al.* Kobayasi sp. nov. - new diatom taxa from Japanese extreme environments. p. 265-277. In: Jahn, R., Kociolek, J. P., Witkowski, A. & Compère, P. (eds) Lange-Bertalot-Festschrift. A. R. G. Gantner. Ruggell.
- 出井雅彦・南雲保. 2002. 特殊な条線構造をもつ単縦溝珪藻 *Achnanthes simplex* Hust. の微細構造と分類学的検討. 藻類 50: 1-5.
- Kobayasi, H. & Nagumo, T. 1985. Observations on the valve structure of marine species of the diatom genus *Cocconeis* Ehr. *Hydrobiologia* 127: 97-103.
- Lange-Bertalot & Krammer, K. 1989. *Achnanthes*: eine Monographie der Gattung mit Definition der Gattung *Cocconeis* und Nachträgen zu den Naviculaceae. *Bibliotheca Diatomologica* 18: 1-393.
- Nagumo, T. & Kobayasi, H. 1990. The bleaching method for gently loosening and cleaning a single diatom frustule. *Diatom* 5: 45-50.
- Okuno, H. 1957. Electron-microscopical study on fine structures of diatom frustules XVI. *The Botanical Magazine, Tokyo* 70: 216-222 + pl. VI-VII.
- 長田敬五. 2002. 海産羽状珪藻 *Undatella quadrata* (Brébisson ex Kützing) Paddock & Sims の微細構造. 藻類 50: 109-115.
- 長田敬五・南雲保. 2001. 珪藻研究入門. 日本歯科大学紀要(一般教育系) 30: 131-142.
- Poulin, M., Bérard-Therriault, L. & Cardinal, A., 1984. Les diatomées benthiques de substrats durs des eaux marines et sumatres du Québec 1. *Cocconeioideae* (Achnanthes, Achnantheaceae). *Le Naturaliste Canadien* 111: 45-61.
- Rabenhorst, L. 1864. *Flora Europaea Algae aquae dulcis et submarinae*. Sestio I. *Algae diatomaceae complectens, cum figuris generum omnium xylographice impressis*. Apud Eduardum Kummerum. Lipsiae (Leipzig).
- Riaux-Gobin, C. 1991. Diatomées d'une vasière intertidale du Nord Finistère (Dourduff): genres *Cocconeis*, *Campyloneis*, *Delphineis*, *Mastogloia* et *Rhaphoneis*. *Diatom Research* 6: 125-135.
- Rivera, P. 1973. Diatomas epifitas en *Gracilaria verrucosa* (Hudson) Papenfuss recolectada en la costa chilena. *Gayana Botanica* 25: 1-115.
- Romero, O. E. 1996. Ultrastructure of four species of the diatom genus *Cocconeis* with the description of *C. pseudocostata* spec. nov. *Nova Hedwigia* 63: 361-396.
- Romero, O. E. & Rivera, P. 1996. Morphology and taxonomy of three varieties of *Cocconeis costata* and *C. pinnata* (Bacillariophyceae)

- with considerations of *Pleuroneis*. Diatom Research 11: 317-343.
- Skvortzow, B. W. 1929. On some marine diatoms from Siberian shore of Japanese Sea. The Botanical Magazine, Tokyo 43: 57-59.
- 鈴木秀和・南雲保・藤田大介. 2000. 富山湾深層水で自然繁茂する付着珪藻. 富山県水産試験場研究報告 12: 33-42.
- Suzuki, H., Nagumo, T. & Tanaka, J. 2001a. Morphology of the marine epiphytic diatom *Cocconeis heteroidea* (Bacillariophyceae). Phycological Research 49: 129-136.
- Suzuki, H., Nagumo, T. & Tanaka, J. 2001b. A new marine diatom, *Cocconeis shikinensis* sp. nov. (Bacillariophyceae) from Japan. Phycological Research 49: 137-144.
- Suzuki, H., Nagumo, T. & Tanaka, J. 2001c. Morphology of the marine epiphytic diatom *Cocconeis convexa* Giffen (Bacillariophyceae). Diatom 17: 59-68.
- Suzuki, H., Tanaka, J. & Nagumo, T. 2001d. Morphology of the marine diatom *Cocconeis pseudomarginata* Gregory var. *intermedia* Grunow. Diatom Research 16: 93-102.
- Takano, H. 1963. Notes on marine littoral diatoms from Japan-I. Some adherents and cultured species. Bulletin of the Tokai Regional Fisheries Research Laboratory 36: 1-9.
- VanLandingham, S. L. 1968. Catalogue of the Fossil and Recent Genera and Species of Diatoms and their Synonyms. Part II. *Bacteriastrum* through *Coccinodiscus*. J. Cramer. Vaduz.

(Received 20 Mar. 2003, Accepted 25 Sept. 2003)