
Original

中海における繊毛虫の種組成とその季節変化

石田秀樹, 石橋将之

島根大学生物資源科学部生物科学科
〒690-8504 松江市西川津町1060**Seasonal changes in species composition of ciliate in the Lake Nakaumi**

Hideki ISHIDA* and Masayuki ISHIBASHI

*Faculty of life and environmental science, Shimane University, Matsue 690-8504, Japan***SUMMARY**

It is known that various species of organisms inhabit the brackish-water Lake Nakaumi. Lake Nakaumi has been subjected to the influence of reclamation and desalination projects. Consequently, its ecosystem has been modified to a great extent, but investigations on protozoan biota have not been conducted so far. In this research, the species diversity and occurrence of ciliate protozoans were examined at 12 fixed points over the course of a year. As a result, spatial distribution of ciliates, species compositions, and their seasonal changes became clear in the whole region of the lake. The species of frequent occurrence were divided to 5 assemblages. Among the environmental factors examined (water temperature, salinity, and pH), salinity showed the strongest influence on the species composition of ciliates. In the Honjo area that is artificially isolated from the main stream of seawater by a system of dikes, some species of ciliates, which normally appears in the inner bay or at high salinity, were seen.

序論

中海は日本を代表する汽水湖のひとつである。汽水域では淡水と海水が入り交じり、特有の塩分環境が形成され、特有の生物相が維持されている。汽水環境においては多種多様な生物が生息するが、特定

の塩分環境ではむしろ出現種減少等の多様性の低下が起こることも知られている (Schallenberg et al, 2003; 宮本, 2004)。このような多様性の低下は生物群ごとに閾値が異なるとされており、動物プランクトンではおよそ 5-7 psu の塩分環境であるとされている (Remane and Schlieper, 1971)。中海においては、塩分濃度が年間を通じて大きく変化し、生物相の季節的な変動が大きいことが知られている (秋山, 1982; Grindley, 1981)。

中海では、本来宍道湖から流入した水は中海の北西部を流れ、大根島北部を経て境水道へ向かう流れが本流であった。しかし、淡水化および干拓事業のための堤防建設により、中海の流れは南西部から中

***Corresponding author**

Tel: +852-32-6442

Fax: +852-32-6449

e-mail: h-ishida@life.shimane-u.ac.jp

(Received: 25 Dec 2006; Accepted: 10 Jan 2006)

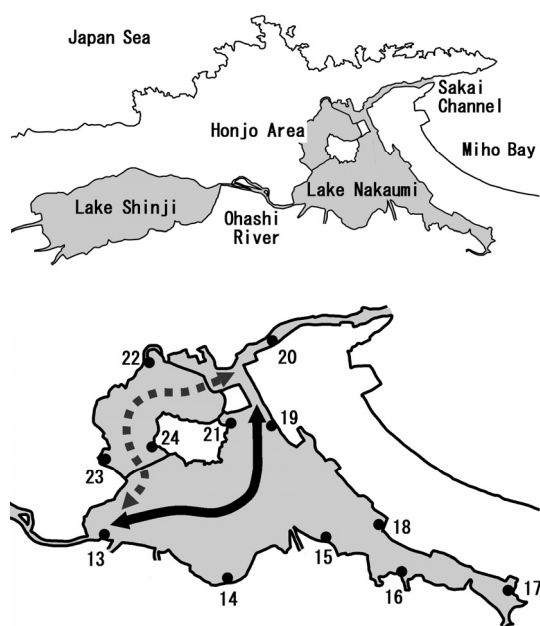


図1 中海における織毛虫の採集地点 (St.13~St.24)
最も上流に位置する大橋川河口の地点をSt.13とし、中海湖岸沿いに反時計回りを基本に連番とした。図内の実線矢印は中海本流の流れを示し、点線矢印は潮止め堤防工事前の本流の流れを示す。各採水地点の緯度・経度は以下の通りである。

St.13	北緯35.27081	東経133.08023
St.14	北緯35.25576	東経133.11255
St.15	北緯35.26565	東経133.14141
St.16	北緯35.26027	東経133.06094
St.17	北緯35.25348	東経133.19124
St.18	北緯35.27267	東経133.15430
St.19	北緯35.29561	東経133.12556
St.20	北緯35.32206	東経133.12435
St.21	北緯35.30101	東経133.11155
St.22	北緯35.31546	東経133.09150
St.23	北緯35.29189	東経133.07564
St.24	北緯35.29334	東経133.09349

浦水門を経て境水道へ向かうように大きく変化した。これに伴って中海の北部は本庄工区と呼ばれる非常に閉鎖性の高い区域となった。このように中海は干拓・淡水化計画に伴う中浦水門の建設や本庄工区周囲の堰堤の建設など人為的な影響を多く受けて水質等が変化しており、それに伴って生物相が影響を受けていることが明らかとなってきた(高安ほか, 1990; 田中ほか, 1998; 大塚ほか, 1999)。

自然状態あるいは人為的な影響による環境変化に伴う様々な生物相の変化が報告される中、中海における原生動物に関する調査はほとんどおこなわれておらず、種組成やその生息密度などについてはほとんど知見が無い。原生動物は生態系ピラミッドの底辺の一角を支えており、中海の生物相全体を解明するためにも、原生動物の質的・量的な変化を把握する必要があると考えられる。本研究では、原生動物の中でも水質環境指標生物として有用であると考えられている織毛虫に着目し、中海に生息する織毛虫の種組成を調査することによって、環境変化が原生動物織毛虫の種組成にどのような影響を与えるかを明らかにするための基礎資料とすることを目的とした。

材料と方法

中海に 12 箇所調査地点を設定した(図 1)。調

査地点は、流入河川の状況、調査地点間の距離、湖岸の構造や形状、周囲からの人為的な影響などを考慮しながら、おおよそ付近の環境を代表すると思われる場所を選定した。最も上流に位置する大橋川河口の地点を起点とし、中海湖岸沿いに反時計回りを基本に連番を割り振った。さらに、本庄工区と呼ばれる中海の本流から隔離された水域についても調査地点に加えた。同時期に、隣接する汽水湖である宍道湖の調査も行ったため、宍道湖に調査地点番号(St.) 1 から 12 を、本研究の中海には調査地点番号 13 から 24 までを割り振った。

調査は、2003 年 2 月～2004 年 1 月の 1 年間で、すべての調査地点で毎月一回行い、水温、塩分濃度、pH について現地で測定を行った。塩分濃度は導電率計(HORIBA B-174)を用いて導電率換算法によって求めた。採水は、200ml のポリビンで表層水を採取し、採取した湖水は生のまま直ちに実験室に持ち帰って種の同定を行った。さらに試料水の一部を最終濃度で 1% になるようにグルタルアルデヒド固定を行って、同定の補助試料とした。

結果及び考察

今回の調査では中海全体で合計 86 種の織毛虫が観察された。中海全域における織毛虫の各月ごとの出現種を表 1 に示した。また、各調査地点での水質

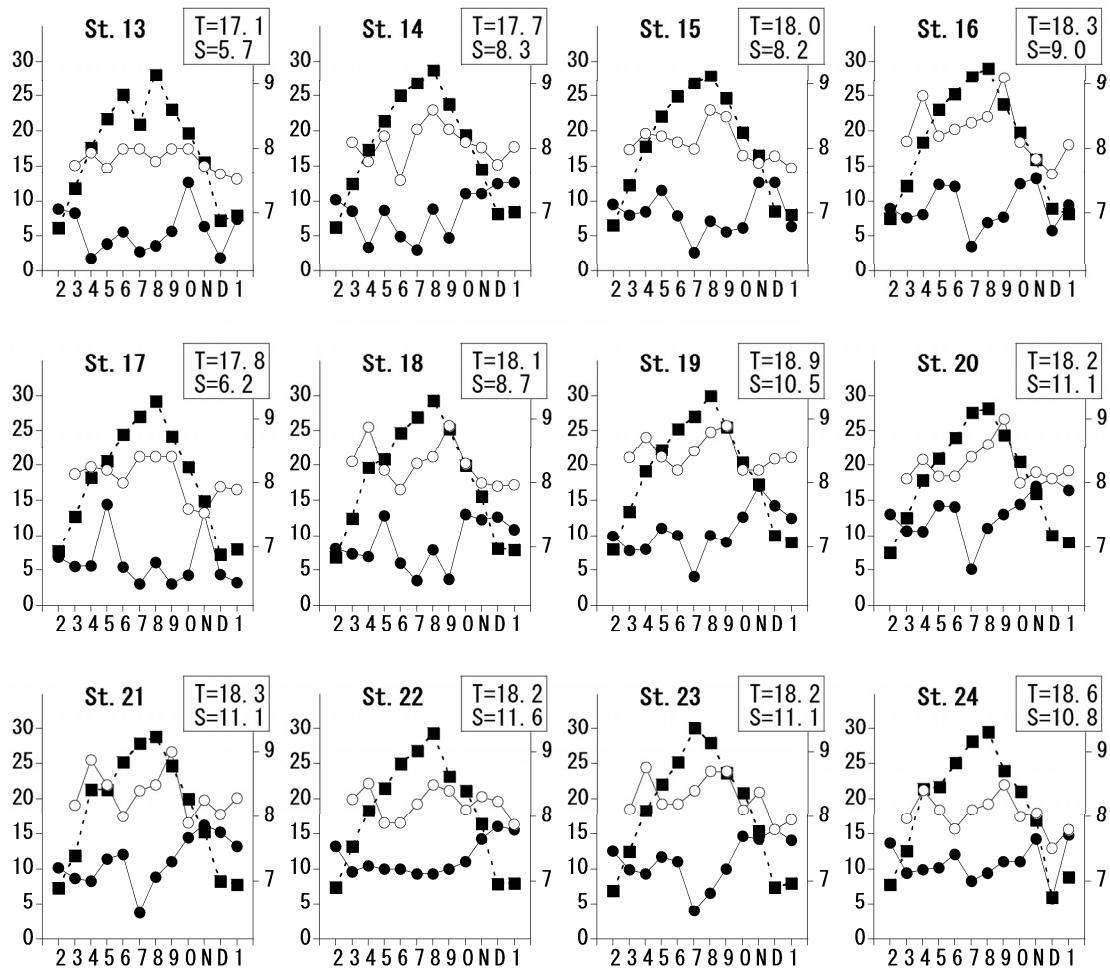


図2 各定點 (St.13 ~ St.24) における、2003年2月から2004年1月までの塩分濃度 (‰)、水温 (°C)、pHの月別変化

各グラフの右肩の数値は年平均水温 (T) と年平均塩分濃度 (S) を示す。グラフの横軸は観測月 (O:10月, N:11月, D:12月) を示し、左縦軸は水温 (°C : ■) と塩分濃度 (‰ : ●) を、右縦軸は pH (○) を示す。

データを図2に示した。

塩分濃度

地中海の塩分濃度は、大橋川から流れ込む低塩分汽水および湖岸の河川からの淡水の流入と境水道から流れ込む海水の量比によって決定されている。塩分濃度は、雨の多い夏季に低く、雨の少ない冬季に高い傾向にあった。また、大橋川河口部に近い湖西部では塩分濃度が低く、日本海への導水路となる境水道のある湖西部に向かって塩分濃度が高くなる傾向にあった。

調査期間内で地中海では、塩分濃度が 1.8‰ (St.13 の4月) から 18.0‰ (St.20 の12月) の間で変動した。宍道湖からの汽水の流入口である St.13 では年間を通じて塩分濃度が低い傾向にあり、美保湾からの海水の流入口である St.20 で高く、それに次いで St.20 から距離が近い St.19, St.21 で塩分濃度が高い傾向にあった。年間を通じて塩分濃度が高い St.20 では、*Cinetochilum* sp. が頻繁に確認された。また St.17 (米子湾) は、最も塩分濃度の低い St.13 および最も塩分濃度の高い St.20 の両地点から最も距離が離れているが、塩分濃度が低い傾向にあった。米子湾には

表 1 (続き)

	Lake Nakaumi									Honjo Area			Sakai Channel
	St.13	St.14	St.15	St.16	St.17	St.18	St.19	St.21	St.22	St.23	St.24	St.20	
<i>Loxophyllum lanceolatum</i>	12							1		12, 1			
<i>Loxophyllum setigerum</i>		12											
<i>Loxophyllum</i> sp.							11						
<i>Loxophyllum uninucleatum</i>				8,10		5					8	4	
<i>Mesodinium pulex</i>	10, 11, 1	5	5, 1		12			3, 7, 11, 1	1	7	5, 10, 11, 1	4	
<i>Mesodinium</i> sp.	5, 7, 8, 12, 1	8, 10, 11, 12, 1	8, 10, 1	5, 8, 12, 1	8, 12	7, 8, 12, 1	7, 1	4, 12	5, 7, 9, 11, 12, 1	4, 7, 1	4, 8, 9, 1	7, 8	
<i>Nassophoria</i> sp.	7	7	8		4, 7	7, 8			7		5	9	
<i>Ophryocephalus</i> sp.												12	
<i>Orthodon</i> sp.											1		
<i>Oxytricha</i> sp.							8		9		6, 10	9, 11	
<i>Paraisotricha</i> sp.			1										
<i>Paramecium aurelia</i>	8		4, 5							4			
<i>Placus socialis</i>	1												
<i>Pleuronema</i> sp.	10, 12		1		12, 1			12	1	11	4	4	
<i>Pleurotricha</i> sp.		12					10		7	1	8		
<i>Podophrya fixa</i>									3				
<i>Prorodon</i> sp.								4					
<i>Prorodon teres</i>	8	8			12, 1			12					
<i>Pseudocohnilembus</i> sp.					8		4		3, 4	4		5	
<i>Pseudomicrothorax</i> sp.	1		10										
<i>Spathidium</i> sp.							2						
<i>Sphaerophrya magna</i>										3, 4			
<i>Spirostomum teres</i>								2					
<i>Stentor auriculatus</i>	5, 7					5						11	
<i>Stichotricha</i> sp.	4	3				4					1		
<i>Strombidium</i> sp. 1							5				4, 1		
<i>Strombidium</i> sp. 2							12	7	7,10				
<i>Strombidium sulcatum</i>	10						3, 4, 5, 7, 10, 12, 1	7				5, 7, 10, 12, 1	
<i>Stylonychia</i> sp.			12										
<i>Trachelius</i> sp.												3	
<i>Trachelophyllum clavatum</i>										4	5	3, 4	
<i>Trichopelma sphagnetorum</i>							3	6	3		6		
<i>Uroleptopsis</i> sp.	10		10, 11										
<i>Uroleptus</i> sp.							12						
<i>Uronema marinum</i>	3, 4, 5, 6, 7, 8	3, 4, 6, 7, 8	3, 4, 6, 7	4, 5, 6, 8	3, 4, 5, 6, 8, 11	4, 5, 6, 8	3, 4, 5, 6, 8	4, 8, 1	4, 6, 1	3, 4, 5, 6	3, 4, 5, 6	3, 4, 5, 8	
<i>Uronychia transfuga</i>	12, 1	3		12, 1	1					3, 12			
<i>Urostyla</i> sp.	5	7	10	5, 8, 10, 12	5, 7, 12, 1			4	5	6	1	4	
<i>Urotricha</i> sp.	8	7		4, 7	8		4	3		4, 6		6	
<i>Vorticella campanula</i>	7, 1	6, 7	7		8, 10		5, 12			3, 7	6	7	
<i>Vorticella minima</i>	12									12			
<i>Vorticella</i> sp.		2, 1	10		1		1	1				4, 1	
<i>Zoothamnium adamsi</i>							10						
<i>Zoothamnium arbuscula</i>										6, 10,		10, 12	

大規模な河川は流入していないため、河川からの淡水が大量に流入するとは考えにくい。しかし、St.17が中海から奥まった地点に位置するため、中海の本流の影響を受けにくくなっていると考えられる。St.13, St.17では *Euplotes eurystomus* が多く観察された。

本庄工区は潮止め堤防で中海本体から仕切られた閉鎖水域であり、西部承水路堤防の一部のみで中海と接続している。本庄工区には数本の流入河川があるのみであるため、塩分濃度は低いことが予想された。しかし、西部承水路に近い St.13 や中海全域の塩分濃度の平均値にくらべて、年間を通じて比較的高い塩分濃度が保たれていた。この区域では *Mesodinium* sp. や *Helicostoma* sp. が頻繁に確認された。

St.14, St.15, St.16, St.18 はほぼ同等な塩分環境であり、*Amphisiella* sp.1, *Euplotes dogieli*, *Uronema marinum* が頻繁に確認された。

採水月別で見ると、7月に大幅な塩分濃度の低下がみられた。これは採水日の数日前までの大雨による影響が大きいものと考えられるが、前月まで観察された *Aspidisca costata*, *Cinetochilum* sp., *Actinophrys* sp. 1 が観察されなくなり、*Halteria grandinella*, *Nassophoria* sp. が数多く確認されるなど、塩分濃度の急速な低下と関連すると思われる種組成の変化があった。

塩分濃度と密接に関係する繊毛虫として以下のようなグループに分けることが出来ると考えられる。

高塩濃度で出現する種

Helicostoma sp., *Mesodinium* sp., *Lacrymaria olor*, *Oxytricha* sp., *Strombidium sulcatum*, *Trichopelma sphagnetorum*, *Zoothamnium arbuscula*

低塩濃度で出現する種

Dysteria sp., *Euplotes eurystomus*, *Nassophoria* sp., *Prorodon teres*, *Vorticella minima*

水温

調査期間中の水温は、最低で 6.0°C (St.24, 12月) から最高で 30.1°C (St.23, 7月) の間で変動した。同一月内では各調査地点間の水温差は小さく、年平均で最大 1.9°C であった。同じ採集月においては調査地点間の温度の違いにより分布が影響を受けていると思われる種は見あたらず、温度によって種組成が限定されているとは考えにくい。一方、年間を通しての温度変化と繊毛虫の種組成を見ると、以下のようなグループに分けることができると考えられる。

低温時に出現する種

Amphisiella sp.1, *Aspidisca costata*, *Diophrys appen-*

diculata, *Diophrys* sp., *Euplotes dogieli*, *Euplotes eurystomus*, *Glaucoma* sp., *Lacrymaria olor*, *Uronychia*

高温時に出現する種

Halteria grandinella, *Nassophoria* sp., *Oxytricha* sp., *Uronema marinum*, *Urotricha* sp., *Vorticella convallaria*

③年間を通じて出現する種

Cohnilembus sp., *Mesodinium* sp., *Pleurotricha* sp., *Strombidium sulcatum*, *Urostyla* sp., *Vorticella campanula*

pH

pH は調査期間中に最低 7.5 (St.14, 6月) から最高 9.1 (St.16, 9月) の間で変動した。調査月との関係は明確ではないが、夏季に高く冬季に低い傾向にあった。また、St.13 では pH が比較的低く、境水道に近い地点では高い傾向にあった。pH と塩分濃度には緩やかな相関関係があるため、pH と特定の種との間で明確な関係性を示すのは難しいが、*Amphisiella* sp.1, *Aspidisca costata*, *Loxophyllum uninucleatum*, *Strombidium sulcatum* の 4 種が、pH の高い地点で観察される傾向にあった。なお、2003 年 2 月の pH データは欠測である。

群集型

今回の調査で出現した繊毛虫を、出現頻度が高く個体数の多い 23 種において、塩分濃度や採水地点などの要因を基に群集区分を行ったところ、5 つの群集型 (A ~ E) に区分することができた。

A: *Diophrys appendiculata*, *Euplotes eurystomus*, *Uronychia transfuga*

B: *Blepharisma* sp., *Strombidium sulcatum*

C: *Cyclidium* sp.

D: *Cohnilembus* sp., *Diophrys* sp., *Euplotes* sp. 1, *Lacrymaria olor*, *Oxytricha* sp., *Pleurotricha* sp., *Trichopelma sphagnetorum*

E: *Amphisiella* sp.1, *Cinetochilum* sp., *Euplotes dogieli*, *Halteria grandinella*, *Helicostoma* sp., *Lacrymaria* sp., *Mesodinium pulex*, *Mesodinium* sp., *Uronema marinum*, *Urostyla* sp.

群集 A は *Diophrys appendiculata*, *Euplotes eurystomus*, *Uronychia transfuga* からなり、これらの種は主に St.13 から St.18 までの比較的塩分濃度の低い地点で観察された。群集 B は *Blepharisma* sp., *Strombidium sulcatum* の 2 種から構成され、St.19 から St.21 までの主に塩分濃度の高い地点で観察された。群集 C は *Cyclidium* sp. の 1 種で構成され、St.22 から St.24 の本庄工区内の調査地点でのみで観察され、いわゆる内湾性の種と考えられる。群集 D は *Cohnilembus* sp.,

Diophrys sp., *Euplotes* sp. 1, *Lacrymaria olor*, *Oxytricha* sp., *Pleurotricha* sp., *Trichopelma sphagnetorum* の7種で、塩分濃度の高い地点と本庄工区の両方 (St.19 ~ 24) で観察された。群集 E は *Amphisiella* sp.1, *Cinetochilum* sp., *Euplotes dogieli*, *Halteria grandinella*, *Helicostome* sp., *Lacrymaria* sp., *Mesodinium pulex*, *Mesodinium* sp., *Uronema marinum*, *Urostyla* sp. の10種で構成され、St.13の大橋川河口から St.24の境水道までのほぼ全ての地点で観察された。群集 E は塩分の大きな変動に適応して生息可能な種と思われる。

今回の調査で、中海に生息する主要な繊毛虫は大きく5つの群集型に区分できることが明らかになった。これらの群集は、塩分濃度や大橋川や境水道などとの距離等が規制要因となっていると考えられる。中海には大橋川を通じて宍道湖から多数の原生動物が流入してくると考えられるため、今後は宍道湖の原生動物の分布 (石田, 2001) との関連性についても検討する必要がある。また、環境要因については、塩分濃度や水温、pH など限られた測定しか行えなかったが、そのなかで繊毛虫の分布には塩分濃度の影響が大きいことが明らかになった。繊毛虫の増殖は塩分濃度や水温に影響を受けることが報告されている (Crosbie and Munday, 1999)。塩分環境は浸透圧の変化による細胞への直接的な影響として増殖速度を変化させ、繊毛虫の種組成の変化を引き起こすと考えられる。一方で、塩分濃度の変化が塩分以外の水質要因を変化させるために、種組成が変化する可能性も考えられる。たとえば、汽水湖においては塩分躍層の形成が生物に与える影響が大きく、中海においても貧酸素状態が栄養塩を増加させるという現象が知られている (Kuwabara, 2001; 三瓶, 2001)。このような栄養塩の増加が繊毛虫の種組成に影響を与えている可能性についても検討する必要がある。今回の調査では表層のみの採水を行ったため、躍層下部との関連は不明である。躍層の上下で繊毛虫の種組成に変化があることが予測され、また、相互に影響を及ぼしあっているものと考えられるため、今後この点についても解析する必要があると思われる。また、塩分濃度が繊毛虫の餌の問題や二枚貝をはじめとする捕食者との関係 (石田・山口, 2005) や繊毛虫種間の相互作用に変化を引き起こしている可能性も考えられる。夏季に繊毛虫の出現種数の減少が見られるなどの結果は、このことを示唆していると考えられる。

参考文献

- Grindley, J. R. (1981) Estuarine plankton. In: Estuarine ecology with particular reference to southern Africa. (ed.) Day, J.H. AA Balkema, Rottwrdam.
- Kuwabara, R. (2001) Long-term changes in the aquatic biota of Lake Abashiri, a meromic lake northeastern Hokkaido, Japan. *Lakes and Reservoirs: Res. and Manag.*, 6, 175-181.
- Schallenberg, M., Hall, C. J. and Burns, C. W. (2003) Consequences of climate-induced salinity increase on zooplankton abundance and diversity in coastal lakes. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 251, 282-289.
- Crosbie, P. B. and Munday, B. L. (1999) Environmental factors and chemical agents affecting the growth of the pathogenic marine ciliate *Uronema nigricans*. *Dis Aquat Organ.* 36, 213-9.
- Remane, A. and Schlieper, C. (1971) *Biology of Brackish Water*. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, p372.
- 秋山優(1982) 中海・宍道湖の藻類. 遺伝, 36,90-94
- 石田秀樹・重中義信(2001) 宍道湖における原生動物の分布調査. 島根大学生物資源科学部研究報告, 6, 1-5.
- 石田秀樹・山口啓子 (2005) 中海生態系における低次消費者の相互作用に関する研究. 島根大学生物資源科学部研究報告 10, 59-60.
- 大塚攻・星名照美・清家泰・大谷修司・國井秀伸 (1999) 中海本庄工区内外における動物プランクトン群集の季節変動. *LAGUNA(汽水域研究)*, 6, 73-87.
- 三瓶良和(2001) 汽水域の底質特性—“ヘドロ”と湖底環境—, In:汽水域の科学. (編)高安克己. pp.38-47. たたら書房, 米子.
- 高安克己・植田和昭・大田久子 (1990) 中海・宍道湖の自然史研究—その12. 中海底質中の介形虫遺骸群集とその変遷—. 島根大学地質学研法, 9, 129-144.
- 田中源吾・瀬戸浩二・高安克己 (1998) 美保湾・中海・宍道湖に至る環境と介形虫群集との関係. *LAGUNA(汽水域研究)*, 5, 81-91.
- 宮本康 (2004) 汽水湖の生物相: 塩分による間接・直接的な生物相の維持. *LAGUNA(汽水域研究)*, 11, 97-107.

