庄内湖の環境と付着珪藻相について*

広松和親**・平野礼次郎***

(昭和 56 年 6 月 27 日受理)

On the Environment and the Flora of Attaching Diatoms in Shonai Estuary, the Bay of Hamana-ko

Kazuchika HIROMATSU

*Division of the General Evaluation of Environment,
Toden Environmental Engineering, Co. Ltd.,
Minato-ku, Tokyo 108*

and

Reijiro HIRANO

*Department of Fisheries, Faculty of Agriculture,
University of Tokyo, Bunkyo-ku, Tokyo 118*

(Received June 27, 1981)

Seasonal changes of attaching diatom flora were observed by means of the slide glasses immersed at intervals of about one month during the period from August 1978 to August 1979 at 7 stations in Shonai Estuary, the Bay of Hamana-ko, Shizuoka Prefecture. At the same time, the measurements of water temperature, chlorinity, DO, chlorophyll-a and COD were made.

Shonai Estuary was found to be divided into four areas; one was mainly influenced by river water (Type I), another weakly by river water (Type II), another by coastal sea water (Type IV) and another was the middle area between Type II and IV (Type III).

The species compositions of attaching diatoms on slide glasses changed gradually from Type I to Type IV, and in each area several dominant species were observed which represent the environmental conditions of it. The combination of dominant species in each area was as follows; *Nitzschia* sp.-A—*Navicula* sp.-C, D—*Fragilaria* sp.-B in Type I, *Nitzschia* sp.-A—*Nitzschia closterium*—*Navicula* sp.-C, D in Type II, *Nitzschia* sp.-A—*Nitzschia closterium*—*Navicula* sp.-A, D in Type III and *Navicula* sp.-A—*Nitzschia* sp.-B—*Cocconeis scutellum* in Type IV.

付着珪藻の付着量を定量的に把握する目的で人工基盤を用いた例としては、高橋 (1934) および SMITH (1955) のスライドグラス、佐藤 (1958) の竹およびスレート、飯塚・梶原 (1959) の漁網、そして McINTIRE and OVERTON (1971) のポリ塩化ビニルなどがある。このうち、佐藤 (1958) は 23 種の珪藻について 1 年間の経時の変化を調査しており、高橋 (1934)、SMITH (1955) お

よび飯塚・梶原 (1959) も大まかな分類によって経時的变化を調べている。一方、McINTIRE and OVERTON (1971) は河口域における分布パターンについて報告している。

本研究は、多少の変動を伴ないながらも常時環境勾配を有する汽水域として静岡県浜名湖の一支湾である庄内湖を選定し、そこにおける付着珪藻相の経時の変化を調査するとともに、環境条件との関連性について検討し、河川において付着珪藻が環境指標として用いられているように、海域においても環境を指標する可能性を認め得たので報告する。

本研究を実施するにあたり、数々の便宜を与えられた

* 本報の大要は、1979 年 10 月 5 日の昭和 54 年度日本水産学会秋季大会で口頭発表した。

** 東電環境エンジニアリング株式会社環境総合評価部

*** 東京大学農学部水産学科

図 1. 庄内湖における採集定点.

Fig. 1. Location of sampling stations in Shonai Estuary, Hamana-ko.

東京大学農学部附属水産実験所の職員各位に心から感謝の意を表する。

材料と方法

1. 採集地点および採集方法

庄内湖の湖奥から湖口にかけて図 1 に示す 7 定点を設け、1978 年 8 月より 1979 年 8 月まで毎月 1 回、合計 13 回の採集を行なった。採集には市販のスライドガラスを付着基盤として用いた。洗剤で洗滌した後、70% アルコールに 1 昼夜浸漬して脱脂処理したスライドガラスを透明アクリル樹脂性の枠に水平に 4 枚並べて収容し、各定点において牡蠣棚等を利用して水面下約 30 cm に水平に浸漬した。ただし、潮汐による流れの大きい定点では下流側に傾くため、必ずしも水面下 30 cm の水深と水平の位置が保たれていたとはいえない。スライドガラスは 3 日 (約 72 時間) 後に回収して実験室へ持ち帰った。

なお、スライドガラス浸漬時および回収時にそれぞれ、水温、塩分、DO、COD およびクロロフィル a 量の測定を行なった。

2. 試料の処理および計数

珪藻はスライドガラスの両面に付着するが沈降物の混入による誤差および計数の困難性をさけるため、浸漬時の下面に付着したもののみを試料とした。回収したスライドガラスは、水道水、次いで蒸留水によって脱塩し、

乾燥した後に小久保 (1960) の簡便法によって pleulax で封入した。

計数は、光学顕微鏡下で方眼接眼マイクロメーターを用いて種別に行ない、倍率 100 倍でプレパラート上の $0.1\text{ cm} \times 0.1\text{ cm}$ の範囲を 1 視野として付着密度に応じて 10~100 視野を任意に選定し、総細胞数がおおむね 200 以上となるまで計数した。

種の同定は光学顕微鏡により、HUSTEDT (1927~59, 1930), HENDEY (1964), 元田 (1966) および小久保 (1960) に基づいて行なったが、出現した種のうちで優占した種の多くが種のレベルでは同定が不能であったので属までの同定にとどめ、同属内で複数の種が出現したものについては、便宜上 A, B, C... の記号を付して区別した。

結 果

1. 庄内湖の環境要因の変化

採集器具の浸漬開始時および回収時に測定した環境要因のうちの水温、塩分および COD について、測点間の変化を採集回ごとに図 2 に示した。

水温は、庄内湖全体が水深 2~3 m と浅いため、夏季には外海の影響を受ける湖口域より湖奥の方が高温となり、31°C にも達するが両者の差はあまり大きくない。一方、冬季には逆に湖奥より湖口の方が高い水温を示し、1 月に見られるように湖奥で約 5°C であるのに対して湖口では約 10°C を示し、両者の差は夏季に較べて大きい。

塩素量は、外海と連絡する汽水湖の特徴を典型的に表わしており、湖口から湖奥に向かって順次低くなっている。季節別には、雨量の多い夏季に湖奥の塩素量が大幅に低下し、湖口との差が大きく、秋から冬にかけては差が小さくなっている。

COD は春から夏にかけて定点 5 を境として定点 4 より奥で高くなっており、冬季には各定点ともほぼ 2 ppm 以下で湖口から湖奥までほとんど差がない。

図 2 に示した水温、塩素量および COD の変化から見ると、定点 1 と定点 2 の間では特に塩素量と COD の変化が非常に大きい場合がみられるが、定点 2 から定点 4 にかけてはほとんどの場合大きな変化は認められない。また、定点 6 と定点 7 との間についてもほとんど変化は認められない。しかし、定点 4 と定点 6 との間には各項目とも大きな変化が認められ、定点 5 はこの中間に位置し、環境条件も中間的特徴を示した。

定点 1, 3, 5 および 6 の各点についてそれぞれ各月

図 2. 各月の採集時における水温 (上), 塩素量 (中) および COD (下) の水平的変化 (図中の数字は月を示す).

図 3. 定点 1, 3, 5 および 6 における T-Cl ダイアグラム.

Fig. 3. T-Cl diagrams at stations 1, 3, 5 and 6.

の値を結んで描いた T-Cl ダイアグラムを図 3 に示した。定点 1 と定点 3 のダイアグラムは重複する部分が多く、いずれも湖奥の特徴を示しているが、定点 3 は塩素量が 13‰ を下まわることがほとんどないのに比べて定点 1 は 10‰ を下まわることもあり 13‰ 以下の場合が多くみられ、河口付近の特徴が強い。一方、定点 6 は塩素量は 18‰ を中心に変動しており、17‰ を下まわることはほとんどなく、水温の変動幅も他の定点に比べて小さく、湖口の特徴を示している。定点 5 は、定点 3 と定点 6 の中間的特徴を示し、この図からも中間的位置を占めることが示された。

以上から、庄内湖は主に水温と塩分の環境要因によってほぼ 4 水域に分けられた。

2. 珪藻の付着数および組成の変化

7 定点の 1 cm² 当りの総付着細胞数を表 1 に示した。本研究においては、総付着細胞数は 3 日間の浸漬期間中に付着したものと、それらが付着後に増殖したものと

Fig. 2. Changes of water temperature (upper), chlorinity (middle) and COD (lower) between stations at each sampling time (number at the left end of each line shows the month observed).

表 1. 各定点における付着珪藻の総細胞数 (10^3 細胞/cm²)Table 1. Total cell number of attaching diatom (10^3 cells/cm²) at each station.

Stn.	Date of sampling						
No.	1978 25, Aug.	22, Sep.	20, Oct.	24, Nov.	19, Dec.	1979 19, Jan.	19, Feb
1	76.0	3.1	0.3	0.3	0.7	0.2	3.1
2	130.4	164.8	0.2	0.8	0.4	0.2	2.2
3	46.9	949.1	+	1.7	0.7	1.4	2.4
4	51.3	23.6	0.2	0.4	0.6	4.2	3.1
5	572.2	31.7	0.3	0.3	0.6	0.8	4.1
6	5.4	1.0	0.8	0.1	+	0.1	0.2
7	0.7	0.2	0.3	0.1	+	0.2	0.2

Stn.	Date of sampling						
No.	1979 22, Mar.	20, Apr.	21, May	22, Jun.	23, Jul.	22, Aug.	
1	0.2	4.6	5.3	0.6	0.8	2.4	
2	0.2	3.1	1.7	0.5	0.2	3.7	
3	0.9	1.4	7.5	1.9	0.5	2.6	
4	1.2	1.3	9.1	0.4	9.5	3.6	
5	0.3	0.8	1.4	1.1	7.7	35.2	
6	0.3	0.3	4.3	16.7	191.9	52.9	
7	+	0.1	1.5	8.2	221.2	11.5	

+: $<0.1 \times 10^3$ cells/cm²

総数である。

1978 年 8, 9 月には湖奥側の地点で付着数が多く 10^3 細胞/cm² にも及ぶほどの付着が見られた点もあったが、10 月から翌年 1 月には全定点とも付着数がほとんど 10^2 細胞/cm² 台と少なく、2 月に定点 1~5 で一時的に付着細胞数が増加するが、3 月には再び付着数が減少した。4 月以降は全体に増加傾向を示すが、6 月以降に湖口側の定点 4~7 で $10^4 \sim 10^5$ 細胞/cm² 台に及ぶ多数の付着が認められ、前年夏季とは異なる傾向を示している。

以上のように定点によって変動はあるが、7, 8 および 9 月の夏季は全体に付着細胞数が多く、各定点とも他の季節の 100~1,000 倍の付着が認められる。

次に各定点における組成の変動についてみると定点 1 から定点 4 にかけては構成種に多少の変化はあるがほぼ類似したパターンを有しており、そのうちから定点 3 の主要種の組成の変化を図 4 に示した。1978 年 8, 9 月および 1979 年 7, 8 月には *Nitzschia closterium* (図版 I の 1), *Nitzschia* sp.-A (図版 I の 2) および *Navicula* sp.-A (図版 I の 3) が大きな割合を占めており、特に 1978 年 9 月には *N. closterium* が

ほとんど 100% を占めた。一方、11 月から翌年 5 月にかけては付着数の少ない時期であるが、*Navicula* sp.-C (図版 I の 4) が優占し、さらに 2, 3 月には *Navicula* sp.-D (図版 I の 5) が加わっている。そして 1978 年 10 月および 1979 年 6 月には、それぞれの前後で組成が著しく変化し、端境期的様相を示した。

一方、定点 5 から定点 7 にかけては他の類似したパターンを有しており、そのうちから定点 6 の主要種の組成の変化を図 4 に示した。この点においては 1978 年の 8, 9 月に 1~2 種が著しく優占することがなく、*Navicula* sp.-B (図版 I の 6) や *Nitzschia* sp.-A などの 10~20% 程度の出現率の数種が出現しており、*Nitzschia closterium* の出現がみられない。また、11 月から翌年 5 月にかけては *Navicula* sp.-C も出現するが、1 月を除いて出現率は低く、新たに *Cocconeis scutellum* (図版 I の 7) が高率で出現しており 12 月には 80% 以上を占めている。この傾向はすでに 1978 年 9 月頃から始まっており、翌年の 6 月まで続いている。1979 年 7, 8 月には前年夏季に優占した種とは異なる種による優占がみられ、定点 3 に較べて前年の種類組成との類似性がより低い様相を示した。

図版 1. 出現した主な種類. 1: *Nitzschia closterium*, 2: *Nitzschia* sp.-A, 3: *Navicula* sp.-A, 4: *Navicula* sp.-C, 5: *Navicula* sp.-D, 6: *Navicula* sp.-B, 7: *Cocconeis scutellum*.

図 4. 定点 3 (上) および 6 (下) における主要種の組成の変化。

Fig. 4. Changes in the relative abundance of some dominant species at stations 3 (upper) and 6 (lower).

考 察

庄内湖は浜名湖と遠州灘との連絡口である今切口に近い部分でいわゆる本湖と分岐している。そして、この今切口に対して直線的位置関係にあるため、潮汐によって外海水が直接的に流入する。また、奥部には 2~3 の河川が流入しており、さらに水深がほとんど 2~3m であるため、本湖とは異なった環境を形成している。庄内湖は T-CI ダイアグラムからみて、定点 1 の湖奥部、定点 2~4 の湖央内部、定点 5 の湖央外部および定点 6、7 の湖口部の 4 水域に分けることができるように思われる。ここでは、この区分をタイプ I~IV として、各タイプの水域の環境条件を整理すると以下のように言える。

タイプ I: 最も奥部で流入河川水の影響が強い。低塩分と高 COD 値が特徴で、水深が浅いために水温は気温の影響を受けて大きく変動する。降雨による環境変動が著しい。

タイプ II: 河川水の影響は弱まり、外海水の影響も直

図 5. 各定点における *Nitzschia* sp.-A, *Navicula* sp.-D および *Fragilaria* sp.-B の平均付着細胞数。

Fig. 5. Mean cell number of *Nitzschia* sp.-A, *Navicula* sp.-D and *Fragilaria* sp.-B at each station.

接的には受けにくい比較的安定した水域で、夏季の赤潮の主な発生域に相当する。

タイプ III: タイプ II からタイプ IV に移行する中間に位置し、環境要因の各項目とも両者の中間を示す。

タイプ IV: ほぼ外海水と変りない特徴を有する。高塩分、低 COD 値、低クロロフィル a 量および低溶存酸素量を示し、水温の変動幅が他のタイプに較べて小さい。

このような環境条件のもとで、スライドガラス上の付着珪藻相は 2 つのパターンに分けられたが、それぞれの

図 6. 各定点における *Nitzschia closterium* および *Navicula sp.-C* の平均付着細胞数。

Fig. 6. Mean cell number of *Nitzschia closterium* and *Navicula sp.-C* at each station.

パターンはタイプ I および II の水域とタイプ III および IV の水域とで個々に認められた。さらに同一のパターンの中でも定点の位置に応じて変化がみられた。

そこで各定点に出現した種のうちの特徴的なものについて、13 回の採集における付着数の定点別平均値を図示すると図 5~7 のような 3 タイプに分けることができる。

第 1 は図 5 に示したような湖奥側に付着数の多いタイプで、最も顕著なものは *Nitzschia sp.-A* であり、定点 1, 2 に多く、定点 3, 4, 5 にも比較的多いが、定点 6, 7 では大幅に減少している。*Navicula sp.-D* は定点 1~5 で比較的多く付着するが、やはり定点 6, 7 ではほとんど付着がみられない。また、付着の絶対数は

図 7. 各定点における *Navicula sp.-A*, *Nitzschia sp.-B* および *Cocconeis scutellum* の平均付着細胞数。

Fig. 7. Mean cell number of *Navicula sp.-A*, *Nitzschia sp.-B* and *Cocconeis scutellum* at each station.

少ないが、*Fragilaria sp.-B* は定点 1~3 に付着が多く、定点 4~7 にはほとんど付着が認められない。以上の 3 種はいずれも定点 1 で付着数が最も多く、タイプ I によく適応していると考えられるが、前 2 種はタイプ II および III の水域にも適応している。*Fragilaria sp.-B* についてもタイプ II の水域への適応は認められる。

第 2 は図 6 に示したように付着数のピークが湖中央にあるタイプで、*Nitzschia closterium* および *Navicula sp.-C* の 2 種が認められた。前者は定点 3 で最も多くタイプ II の水域に適応していると考えられるが、タイプ III の水域にも適応していると認められる。一方、後者は定点 1~4 に多く、タイプ I および II の水域に適応が認められる。

第3は湖口側に付着数の多いタイプで, *Navicula* sp.-A, *Cocconeis scutellum*, *Nitzschia* sp.-B の3種が認められた。これら3種はいずれもタイプIVに適応していると考えられ, *Navicula* sp.-A はさらにタイプIIIの水域にも適応していると考えられる。

以上のように, 付着珪藻は種によって異なる環境条件下で付着数に差がみられ, 環境条件によりタイプ分けされた水域に, 必ずしも1タイプ1種ではないが, それぞれ適応していると考えられた。Kajihara *et al.* (1976) は, 3カ月間浸漬した塩ビパイプに付着した動物の優占種数種の組合せにより, 庄内湖を4水域に分けている。本研究においては, 浸漬期間は3日間ではあるが, 同様に4水域を代表する付着珪藻の組合せを得ることができた。必ずしも優占種の組合せとは限らないが, 特徴的種の組合せとして, タイプIは *Nitzschia* sp.-A—*Navicula* sp.-C, D—*Fragilaria* sp.-B, タイプIIは *Nitzschia* sp.-A—*N. closterium*—*Navicula* sp.-C, D, タイプIIIは *Nitzschia* sp.-A—*N. closterium*—*Navicula* sp.-A, D およびタイプIVは *Navicula* sp.-A—*Nitzschia* sp.-B—*Cocconeis scutellum* があげられた。

本研究においては, 塩分を主体とする環境を付着珪藻が指標することのできる事が示されたが, 河川においては汚染の程度を珪藻によって指標させることが実用化されており(津田・森下, 1974), 今後は海域においてもこの面での検討が望まれる。

要 約

1. 浜名湖の一支湾である庄内湖においてスライドグラスに付着する珪藻相の季節変化および付着珪藻相と環境条件との関係について調査した。
2. 珪藻の付着数は全体に夏季に多く, 秋季から冬季にかけての付着数の少ない時期の約 100~1,000 倍の付着がみられた。
3. 付着珪藻の組成に, 定点 1~4 にみられるパターンと定点 5~7 にみられるパターンの2パターンが認められた。
4. 庄内湖は, 環境条件と付着珪藻の出現状況から4タイプの水域に分けられた。
5. 3日間のスライドグラスの浸漬により4タイプの水域を特徴づける種の組み合わせは, タイプI (湖奥部, 定点1): *Nitzschia* sp.-A—*Navicula* sp.-C, D—

Fragilaria sp.-B, タイプII (湖央内部, 定点 2~4): *Nitzschia* sp.-A—*N. closterium*—*Navicula* sp.-C, D, タイプIII (湖央外部, 定点5): *Nitzschia* sp.-A—*N. closterium*—*Navicula* sp.-A, D およびタイプIV (湖口部, 定点6, 7): *Navicula* sp.-A—*Nitzschia* sp.-B—*Cocconeis scutellum* であった。

文 献

- HENDEY, N.I. (1964). Bacillariophyceae (Diatoms). Fisheries Investigation Ser. 4, An Introductory Account of the Smaller Algae of British Coastal Waters. Part 5, 317 pp. Her Majesty's Stationary Office, London.
- HUSTEDT, F. (1927~1965). Die Kieselalgen Deutschland, Österreichs und der Schweiz unter Berücksichtigung der übrigen Länder Europas sowie der angrenzenden Meeresgebiete. Rabenhorsts Kryptogamen-Flora, 7, Part 1, 920 pp., Part 2, 845 pp., Part 3, 816 pp. (incomplete). Acad. Verlagsgesellschaft, Leipzig.
- HUSTEDT, F. (1930). Bacillariophyta (Diatomae). Die Süßwasser-Flora Mitteleuropas, 10, 466 pp. Verlag von Gustav Fischer, Jena.
- 飯塚昭二・梶原 武 (1959). 付着泥中の Diatom 群に就いて. 網の付着物に関する研究 1. 長崎大学水産学部研報, No. 8, 51-56.
- Kajihara, T., R. Hirano and K. Chiba (1976). Marine fouling animals in the Bay of Hamana-ko, Japan. *Veliger*, 18(4), 361-366.
- 小久保清治 (1960). 浮遊珪藻類. 330 pp. 恒星社厚生閣, 東京.
- McINTIRE, C.D. and W.S. OVERTON (1971). Distributional patterns in assemblages of attached diatoms from Yaquina estuary, Oregon. *Ecology*, 52, 785-777.
- 元田 茂 (1966). 珪藻類その他. 日本海洋プランクトン図鑑. 第1巻, 69 pp. 蒼洋社, 東京.
- 佐藤重勝 (1958). 附着珪藻の生態学的研究, 特に浮遊・底棲珪藻との関係について. 第1報, 塩釜港における附着珪藻の季節的变化の概況. 東北水研報, No. 11, 94-111.
- SMITH, J.C. (1955). A study of the benthic diatoms of Loch Sween (Argyll). *J. Ecol.*, 43, 149-171.
- 高橋孝吉 (1934). 神奈川県諸磯湾養鰯場における水質並に小型浮及び附着性小型底棲生物の研究. 水産学会報, 6, 114-141.
- 津田松苗・森下郁子 (1974). 生物による水質調査法, 238 pp. 山海堂, 東京.