瀬戸内海主要海域の生物学的富栄養階級図*¹

山田真知子・鶴田新生・吉田陽一

(1981 年 12 月 9 日受理)

Map Illustrating Biological Classification of Eutrophic Level
in Several Areas in the Inland Sea of SetoMachiko YAMADA*², Arazo TSURUTA*³, and Yoichi YOSHIDA*⁴

The map of biological classification of eutrophic level in several areas of the Inland Sea of Seto was made to illustrate a difference of the water quality in these areas, using phytoplankton indicator system proposed by the authors.

The data on phytoplankton in Osaka Bay, Harima Nada, Hiuchi Nada, Hiroshima Bay, and Suho Nada and its adjacent areas were mainly quoted from the report on "Investigation on the forecasting of red tide in the Inland Sea of Seto in 1978".

In the areas studied, it was found to be classified in four eutrophic regions, such as the region between oligotrophic and eutrophic ones, the eutrophic region, the region between eutrophic and extremely eutrophic ones, and the extremely eutrophic region. The coast of Hiuchi Nada alone was illustrated as the region between oligotrophic and eutrophic ones. The largest parts in these areas were illustrated as the eutrophic region. The inner parts of Osaka Bay and Hiroshima Bay, the inshore part near Hofu City in Suho Nada, and Dokai Bay were illustrated as the extremely eutrophic region. These results indicated that the water quality on biological condition in these areas studied was comparable to or more eutrophic than that of Harima Nada where the red tide consisting of *Chattonella* sp. often occurred.

瀬戸内海では、近年富栄養化が進み、赤潮の発生件数¹⁾は 1968 年には 61 件であったものがその後 8 年の間に増し 1976 年には 326 件にも及んだ。このピークを境にして現在は赤潮の発生件数はやや減少してはいるものの、養殖ハマチの *Chattonella* (ホルネリア) 赤潮による被害²⁾は、東部瀬戸内海において、1978 年には 283 万尾の斃死、被害総額は 31 億円にも達して 1972 年に次いで 2 番目のものとなった。

富栄養化防止の対策を進める上で重要な研究事項の 1 つとして、沿岸海域の富栄養化の程度を生物指標などを用いて的確に表現することがあげられる。³⁾ そこで、大阪湾や播磨灘など瀬戸内海主要海域について、主として植物プランクトン指標を用いる方法^{3,4)}で調査地点の富栄養度を判定して、富栄養階級図の作成を試みた。また、

比較のために、瀬戸内海と関門海峡を通じて接続する北九州市周辺海域の富栄養階級図もあわせて作成した。

方 法

富栄養度の判定を試みた海域は、Fig. 1 に示す大阪湾や播磨灘などである。判定に用いた資料は、瀬戸内海赤潮予察調査 (水産庁) の中で、1978 年 7 月から 9 月の成層期に 4~8 回調査されたデータを、また大阪湾の判定に際してはこれに大阪湾漁場水質監視調査結果⁵⁾を併用し、北九州市周辺海域については同市資料を使用させていただいた。

植物プランクトンは、採水法で採集し、同定・計数されたものである。各調査地点の富栄養度の判定は、プランクトン指標種のほかに植物プランクトン総細胞数、透

*¹ 本報の一部は 1980 年 4 月の日本水産学会春季大会 (東京) で発表した。

*² 北九州市環境衛生研究所 (The Kitakyushu Municipal Institute of Environmental Health Sciences, Kitakyushu 804, Japan).

*³ 水産大学校増殖学科 (Department of Aquaculture and Biology, Shimonomaki University of Fisheries, Shimonomaki 759-65, Japan).

*⁴ 京都大学大学院農学研究科熱帯農学専攻 (Division of Tropical Agriculture, Graduate School of Agriculture, Kyoto University, Kyoto 606, Japan).

*⁵ 瀬戸内海漁業調整事務所: 昭和 53 年度赤潮予察調査報告書 (瀬戸内海ブロック), 水産庁, 85 (1979).

*⁶ 矢持 進・安倍恒之・城 久・植田正勝: 昭和 53 年度大阪府水産試験場報告, 大阪府水産試験場, 31-48 (45)-(46) (1980).

Fig. 1. Areas where samples were taken in the Inland Sea of Seto and adjacent sea.

明度、および海水の着色の有無などを補助的に用いた山田^{3,4)}の方法で行った。そして、地図上には各調査地点の富栄養度を丸や三角などの記号で表示した（貧栄養域は□、弱富栄養域は△、富栄養域は▲、弱過富栄養域は○、過富栄養域は●、腐水域は×で記し、判定結果が貧栄養から弱富栄養域などと2階級にわたる場合は□△のように両階級の記号を2つ並べて表示した）。さらに、それらの記号を地図の等高線を描く要領でつないで、海

域を富栄養度別に区分けして、富栄養階級地図を作成した。

結 果

各海域での判定結果を Fig. 2a および Fig. 2b に示した。

大阪湾 湾奥部から湾の東側一帯の 16 調査地点についてみたところ、*Skeletonema costatum* と *Thalassiosira* sp. による赤潮が湾奥部から貝塚にいたる沿岸部で発生していることが多かった。そして、この海域から遠ざかるのにしたがって赤潮の発生回数が減少し、一方 *Nitzschia seriata*, *Chaetoceros decipiens*, および *Chattonella* sp. (*Hornellia* sp.) など富栄養性種とされるものの混在度が高くなった。これらのことおよび植物プランクトン総細胞数や透明度などから、湾奥部から貝塚にいたる沿岸海域は過富栄養域で、それを取り囲むように弱過富栄養域がみられ、湾口部の付近では富栄養域に移行していることが示された。

播磨灘 灘の全域にわたる 30 地点について調べたところ、*Skeletonema costatum* (8~22,000 cells/ml), *Lepto-*

Fig. 2a. Map of biological classification of eutrophic level in Osaka Bay, Harima Nada, Hiuchi Nada, and Hiroshima Bay in 1978.

- (□), [diagonal lines], Oligotrophic region;
- (△), [cross-hatch], region between oligotrophic and eutrophic ones;
- (▲), [horizontal lines], eutrophic region;
- (○), [vertical lines], region between eutrophic and extremely eutrophic ones;
- (●), [dense cross-hatch], extremely eutrophic region;
- (×), [solid black], saprobic region.

Fig. 2b. Map of biological classification of eutrophic level in Suho Nada, Kanmon Strait, Hibiki Nada, and Dokai Bay in 1978. Symbols are the same as those in Fig. 2a.

Leptocylindrus danicus, *Leptocylindrus minimus* などの *Leptocylindrus* 属、および *Chattonella* sp. の富栄養性種や過栄養性種が灘の全域にわたって優勢に出現していた。兵庫・岡山両県の沿岸域では、調査日によってはこれらの出現細胞数が多くなり、透明度も 3 m を下回り、水色も黄褐色味をおびることがあったことから弱過栄養域に階級付けられた。一方、この本州沿岸海域を除く灘の全域にわたっては、植物プランクトン総細胞数と透明度は富栄養を指標することが多かった。そして、灘の北部から南部海域に近づくにつれて、*S. costatum* の出現頻度と出現量が減少し、かわって *Chattonella* sp., *Ceratium furca*, *Ceratium fusus*, *Corethron pelagicum*, および *Guinardia flaccida* など富栄養性種の出現度が高くなる傾向がみられた。したがって、これらの水域は富栄養域と判定された。

燧灘 今治から西条そして新居浜にいたる沿岸部の海域および伊予三島地先海域では、*S. costatum* (120~1,860 cells/ml) や *L. danicus* など富栄養性種が優占的に出現した。また、植物プランクトン総細胞数や透明度などの補助的判定項目も富栄養を指標していることが多く、これらの海域は富栄養域に階級付けられた。一方、土居沿岸海域では、*L. danicus* や *Asterionella japonica* など

富栄養性種が優占して出現していたが、補助的判定項目は富栄養または貧栄養の 2 階級を指標した。そこで、この土居沿岸海域は弱富栄養域と判定した。灘西部の沖合海域では、0~80 cells/ml とプランクトン密度が低く、そして出現プランクトンの種類も少なく、富栄養度を指標できる優占種がみられなかった。そこで、補助的な判定項目から、この海域は弱富栄養域とした。

広島湾 湾内 7 地点について調査されたところ、*S. costatum* による赤潮が湾奥部の太田川河口付近を中心に慢性的（長期的）に形成されていた。そこで、湾の北部海域一帯は過栄養域と判定された。一方、湾の南部では *S. costatum* の密度が北部に比べてやや減少していたものの、8 月は赤潮を形成していることが多かった。また、*L. danicus* や *Chaetoceros affinis* などの富栄養性種も優占的に出現しており、これらの出現量も多く植物プランクトン総細胞数は過栄養と富栄養の 2 階級を指標した。透明度も 2.8~8.0 m で過栄養と富栄養の両階級を指標した。以上のことから、南部海域一帯は弱過栄養域と階級付けられた。

周防灘 山口県沿岸の小野田港や徳山湾では、プランクトン優占種はいずれも *S. costatum* (50~24,700 cells/ml), *L. danicus*, *Nitzschia seriata*, *Chaetoceros affinis*, および *Chaetoceros lorenzianus* などの富栄養性種と過栄養性種であった。また、他の補助的な判定項目も富栄養または過栄養の両階級を指標した。そこで、これらの海域は弱過栄養域と判定された。防府沖は、*S. costatum* による赤潮が発生していることが多く、過栄養域と階級付けられた。

福岡県から大分県にわたる九州沿岸海域、12 調査地点では、*S. costatum* (30~18,000 cells/ml), *Leptocylindrus* 属, *Chaetoceros curvisetus*, *Chaetoceros compressus*, *Chaetoceros lorenzianus*, および *Nitzschia seriata* などの富栄養性種や過栄養性種が優占的に出現した。福岡県の沿岸海域では、植物プランクトン総細胞数や透明度などもプランクトン優占種と同様富栄養を指標することが多かったが、時には過栄養も指標した。これらのことから、この海域は富栄養から弱過栄養域の階級に判定された。一方、大分県の沿岸海域では、プランクトン優占種およびプランクトン総細胞数や透明度などの補助的な判定項目がともに富栄養を指標したことからこの海域は富栄養域と判定できた。

灘の中央部 3 地点では、優占的に出現したプランクトンは灘沿岸海域の優占種と同一種であり、富栄養域を指標した。しかし、この海域では *S. costatum* の出現量が沿岸部よりも少なくなっていたことが特徴的であった。また、補助的な判定項目は沿岸部よりも貧栄養に近い富栄養、あるいは貧栄養を指標した。これらのことから、

瀬中央海域の1地点は弱富栄養から富栄養域、2地点は富栄養域と判定された。

北九州市周辺海域 周防灘に接続する関門海峡、そしてこれに連なる響灘では、周防灘の福岡県沿岸部と同じ種類の富栄養性種などが優占的に出現した。関門海峡に開口する戸畑・境川両泊地のプランクトン優占種は、*S. costatum* (6,100~7,400 cells/ml) であった。洞海湾では、*S. costatum* や *Cyclotella striata* var. *subsalina* などによる赤潮が慢性的に発生していた。以上のプランクトン優占種および補助的判定項目から、関門海峡の周防灘入口は富栄養から弱過栄養域、関門海峡から響灘にわたっては富栄養域、戸畑泊地、境川泊地、および響灘の洞海湾入口は弱過栄養域、そして洞海湾は湾口部を除く湾内全域にわたって過栄養域であることが示された。

考 察

瀬戸内海主要海域に出現したプランクトン優占種は、ほとんどのものが富栄養性種および過栄養性種とされるものであった。その中でも、*S. costatum* は出現頻度および出現量ともに卓越していたと言える。この *S. costatum* の出現の認められなかった海域は、燧灘沖合のわずか1海域のみであった。また、富栄養域において、1調査地点での植物プランクトン総細胞数の少ないところでは *S. costatum* の出現頻度も低かったことが特徴的であった。次に出現頻度の高かった優占種は、*Leptocylindrus danicus* や *Leptocylindrus minimus* などの *Leptocylindrus* 属であった。また、*Chattonella* sp. (*Hornellia* sp.) の出現が、播磨灘や大阪湾など東部瀬戸内海に共通して認められた。

今回調査された海域の富栄養度は、弱富栄養域、富栄養域、弱過栄養域、および過栄養域の4階級に類別され、貧栄養域や腐水域は含まれなかった。この4階級の中で、富栄養化の最も進んでいる過栄養域には、大阪湾奥部、広島湾奥部、周防灘の防府沖合部、および洞海湾が該当した。そして、この過栄養域に隣接して弱過栄養域が広がっていた。また、播磨灘北岸域、周防灘の徳山湾や福岡県沿岸部海域なども弱過栄養域に判定された。富栄養域には、播磨灘、燧灘、周防灘、関門海峡、および響灘などが属し、この階級が調査海域の中で最も広い面積を占めた。一方、弱富栄養域に階級付けることができたのは、わずか燧灘の沖合1海域のみであった。以上のことから、瀬戸内海主要海域はほとんどの水域が富栄養域か、あるいはこれ以上に富栄養化の進行した水域であることがわかった。

生物指標は環境の把握にあたって理化学的手法にはない多くの利点を持っているため、その意義や課題、限界などが論議され、⁷⁻⁹⁾ また行政上での位置付けなども検討されている。¹⁰⁾ 森下⁹⁾ は、日本全国主要河川の生物学的な水質階級地図を水生昆虫などの生物指標を用いて作成した。その結果、各河川の水質階級は、5年の調査期間(1974~'79)の間に、強腐水性と貧腐水性のところが減少し、かわって α 中腐水性や β 中腐水性の水域が増え、水質汚濁の状況が近年平均化してきたことを指摘した。海域においても、生物指標を用いたこのような試みがなされ、環境保全に役立てられることが望ましいと考えられる。

本研究を行うにあたり、瀬戸内海赤潮予察調査の未発表の資料を使わせていただいた南西海区水産研究所赤潮部長の安楽正照博士、前部長の村上彰男博士、大阪府水産試験場の矢持進氏、安倍恒之氏、城久氏、兵庫県水産試験場の安田基氏、真鍋武彦氏、岡山県水産試験場の池田善平氏、安家重材氏、広島県水産試験場の高山晴義氏、大内晟氏、山口県内海水産試験場の池田武彦氏、徳島県水産試験場の佐々木正雄氏、香川県水産試験場の小野知足氏、愛媛県水産試験場東予分場の矢野純氏、福岡県豊前水産試験場の寺田和夫氏、大分県浅海漁業試験場の田染博章氏に感謝の意を表する。また、本研究の実施について厚意あるご配慮を賜った北九州市環境衛生研究所長園田真人博士、宮崎昭夫主査の両氏に深謝する。

文 献

- 1) 赤潮研究編集委員会：赤潮に関する近年の知見と研究の問題点(花岡資編)、水産研究叢書33、日本水産資源保護協会、東京、1980、pp. 263.
- 2) 村上彰男：沿岸の汚染、築地書館、東京、1977、pp. 72-73.
- 3) 山田真知子・鶴田新生・吉田陽一：日水誌、**46**、1435-1438 (1980).
- 4) 山田真知子・鶴田新生・吉田陽一：日水誌、**46**、1439-1444 (1980).
- 5) 森下郁子：生物学的な水質階級地図 1980、山海堂、東京、1980、pp. 22-23.
- 6) 吉田陽一：水圏の富栄養化と水産増殖 1 (日本水産学会編)、恒星社厚生閣、東京、1973、pp. 92-103.
- 7) 盛下 勇：公害と対策、**17**、396-401 (1981).
- 8) 桜井善男：公害と対策、**17**、402-406 (1981).
- 9) A. JAMES: in "Biological Indicators of Water Quality" (ed. by A. JAMES and L. EVISON), John Wiley & Sons, Chichester, 1979, pp. 1-1-1-16.
- 10) 松村 隆：公害と対策、**17**、431-437 (1981).