

# 瀬戸内海の富栄養化とクラゲ類の増大について

誌名	日本プランクトン学会報
ISSN	03878961
著者名	永井,達樹
発行元	日本プランクトン学会
巻/号	52巻1号
掲載ページ	p. 27-31
発行年月	2005年2月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター  
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council  
Secretariat



## 瀬戸内海の富栄養化とクラゲ類の増大について

永井達樹

独立行政法人 水産総合研究センター 瀬戸内海区水産研究所 〒739-0452 広島県佐伯郡大野町丸石 2-17-5

### **Eutrophication and the increase of jellyfish population in the Seto Inland Sea**

TATSUKI NAGAI

*National Research Institute of Fisheries and Environment of Inland Sea, Fisheries Research Agency (FRA), 2-17-5 Maruishi, Ohno, Hiroshima 739-0452, Japan*

*E-mail: nagai@fra.affrc.go.jp*

---

**Abstract** Changes of eutrophication levels and plankton community structure in the Seto Inland Sea and the mechanism inducing dominance of the jellyfishes were outlined. Furthermore, various damages of the fishery

by jellyfishes were described and the suggestions were made to transform the Seto Inland Sea back to sea of anchovy from the sea of jellyfishes by decreasing eutrophication, because fish production was reduced in the sea of jellyfishes.

**Key words:** jellyfishes, eutrophication, fish production, ecosystem

## 1. はじめに

瀬戸内海は我が国で最大の閉鎖性水域であり、漁業法では紀伊水道から伊予灘又は周防灘までを、一方、瀬戸内海環境保全特別措置法では前述の範囲に豊後水道と響灘の一部を加えた21,827 km<sup>2</sup> (東京湾の16倍)の面積と定められている。

この報告では瀬戸内海の富栄養化や栄養塩構成比の推移、クラゲが増える機構およびクラゲ被害の現状を総括し、富栄養化に関し改善すべき方向を述べる。

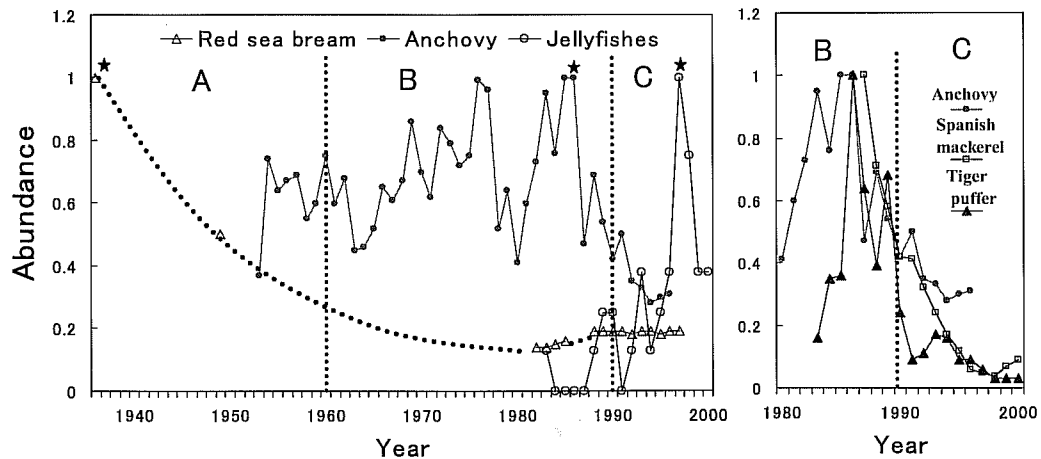
## 2. 瀬戸内海の富栄養化と指標生物種の推移

多々良(1981)は漁獲量の経年推移から瀬戸内海の富栄養化を時代区分し、1960年頃までを富栄養化以前、それ以降を富栄養化時代とした。これに続いてNagai(2003)は富栄養化時代を1990年頃までとし、その後を富栄養化が過ぎた(栄養塩構成比がバランスを欠いたとするのがより適切)時代とした。そして各時代の指標生物種として、それぞれマダイ、カタクチイワシ、クラゲ類をとりあげ、それらの豊度の経年推移を調べた。つまりマダイとカタクチイワシでは既往の報告から年別の資源量推定値を調べた。またクラゲ類では各関係府県水産試験場の漁海況情報に記載されたユウレイクラゲ、オキクラゲ、ミズクラゲ、アカクラゲ、ウリクラゲおよびクラゲ類(前述の種以外の種および種名が報告されない場合)の出現状況を瀬・年・月別に調べた。そして出現期間が2か月以上に及ぶ場合で

も1回の出現として、6種類に関する灘別の出現回数を合計し、瀬戸内海におけるクラゲ類の出現頻度とした。このように指標種ごとに求めた年別の資源量推定値又は出現頻度の最大値に対する相対的豊度とした。同様にサワラとトラフグの豊度が既往の報告から調べられた(Fig. 1)。マダイ豊度は1936年が最大で、1980年代には1/6に減少した。カタクチイワシは変動しながら徐々に増加し、1985年に最大となり、その後急速に減少し、1990年代前半に最大時の約1/3の水準になった。カタクチイワシの減少は後述するように珪藻が減って(海がやせて)きたことと、一方でシラスをとり過ぎているためとされた。クラゲ類は1980年代に周防灘・豊後水道および紀伊水道など瀬戸内海の入り口付近に出現し、1990年代後半に瀬戸内海全体に出現するようになった。

Nagai(2003)は前述した各時代を特徴づけ、マダイの豊度が高かった1960年頃までを「マダイの海」、それ以降カタクチイワシの豊度が高かった1990年頃までを「イワシの海」、クラゲ類の出現が増加した1990年以降を「クラゲの海」と呼んだ。イワシの海では捕食者のサワラやトラフグが多かった(Fig. 1)。これら2種はカタクチイワシに比べ近年減少の程度が大きい。サワラやトラフグは高価格魚であり、過剰漁獲による減少が大きいと考えられた。

上述した富栄養化以前、富栄養化時代およびその後の時代はそれぞれ生物の種類が豊かであったり、カタクチイワシなどの



**Fig. 1.** Trend on the abundance of indicator species by periods in the Seto Inland Sea (Left) and the decrease of two predator species (Spanish mackerel and tiger puffer) in the sea of anchovy (Right).

★: Maximum value of each abundance index

A (before 1960); the sea of red sea bream, B (from 1960 to 1990); the sea of anchovy, C (after 1990); the sea of jellyfishes.

表層魚の生物量が多かったり、クラゲ類が異常に出現するなど生態系に異変が見られた時代と特徴づけられた。

### 3. 瀬戸内海における栄養塩構成比の推移と植物プランクトン群集

瀬戸内海での窒素(N)とリン(P)の比、いわゆるN/P比の推移とそれによる変化について、大阪湾と広島湾の事例を述べる。大阪湾では城(1991)が1957~1987年を対象に調べ、1975年頃からPが減少、表層のDIN/DIP比で、1970年代の25~35から1980年代には30~40に10年間に5程度増大したと報告している。また大阪湾では1979~1991年を対象とした観測から珪藻の*Skeletonema costatum* CLEVEが植物プランクトンに占める出現割合の増減とP濃度の増減とが一致した(矢持1993)という。広島湾では山本ほか(2002)が太田川河川水について1976~1998年の期間を調べ、1980年頃からN/P比が増大して1995年に約35で最大となり、その後減少したとした。さらに山本ほか(2002)はDIPが植物プランクトンの制限要因であると指摘している。また山本ほか(2002)は赤潮を形成する生物が1980年代初頭までは主に珪藻で、1990年代は渦鞭毛藻に替わったと述べ、水域におけるP負荷の削減が優占種をPプールの大きい種、或いは溶存態有機磷(DOP)を利用できる種へ推移させたとみている。

大阪湾は瀬戸内海でもNやPの負荷水準が最も高く、負荷の程度は東京湾並みであり、かつN/P比の増大が広島湾に比べて5年程度早いという違いはあるが、大阪湾と広島湾のいずれの水域でもPが植物プランクトンの制限要因と考えられている。

前述したように広島湾で赤潮を形成する植物プランクトン群集が1990年代に珪藻から渦鞭毛藻へ替わったという山本ほか(2002)の報告はある。しかし瀬戸内海全体において珪藻類が減って、鞭毛藻が実際に増えたと言えるのであろうか。残念ながらこれに関する答えは簡単には見つからない。というのは瀬戸内海では植物プランクトンを対象とする比較可能な定量的調査がほとんどなされていないからである。

多田ほか(2004)は播磨灘と広島湾で海底堆積物の柱状試料中の生物起源珪素含量を測定したほか、鞭毛藻類のシストを年別別に計数した。これによると、播磨灘における鞭毛藻類のシストは1960~1980年にかけて最も多かったという。これに対し珪藻の生物量は鞭毛藻ほど大きく変化していないという。とはいうものの珪藻の生物量がどの程度変化したのか大変興味深い。この研究では生物起源珪素含量のみの測定が難しいほかにも問題はあがるが、今後の展開が期待される。

### 4. クラゲ類が増えた理由

人間活動により海域が富栄養化されると、植物プランクトン

のなかでは非珪藻類の鞭毛藻が増える。というのは富栄養化では硝酸やリン酸は増えるが、珪酸は増えないので、珪素で殻の骨格部分をつくる珪藻と違って、タンパク質系の殻をつくる鞭毛藻が有利となるからである。鞭毛藻が増えると、次にこれを利用する小型の動物プランクトンが増える。小型の動物プランクトンは利用されずに枯死し、海底でバクテリアに分解されるか、餌料に大小の選択性がないクラゲに捕食されるので、クラゲが増える(Fig. 2)。つまり珪藻から大型で主要な動物プランクトンであるカイアシ類を経て魚類にいくエネルギーの流れが細くなり、魚類生産が縮小する(高橋1977)。一方バクテリアやクラゲにいくエネルギーの流れが太くなる。これは恐らく新生代から中生代へ生態系が後退することとみられている(角皆1994)。

瀬戸内海において出現頻度が最も高いクラゲはミズクラゲであるが、上(2002)は瀬戸内海におけるミズクラゲの増加は動物プランクトン食性魚類の乱獲で余った餌がミズクラゲに利用されたこと、年間最低水温の上昇による越冬クラゲの出現、海岸線のコンクリート化によるポリプの付着面積の増大、富栄養化や栄養塩構成比の変化によりミズクラゲの餌となる小形の動物プランクトンが相対的に増加したことなどが複合して起こったと指摘した。さらにミズクラゲは魚類の卵や仔稚魚を捕食するので、一旦クラゲ類が優勢になると魚類個体群の回復が困難になり、ますますクラゲ類が優勢となる「クラゲスパイラル」に陥るといふ仮説を提唱した。

### 5. クラゲ類による漁業被害

クラゲ類の増大により近年水産業では様々な被害を受けている。小型底曳網や小型定置網、建網などで、(1)クラゲが入網するため揚網・選別に労力を要す、(2)魚が入らない、(3)捕れた魚が傷み商品にならない、(4)クラゲの刺胞毒で作業する人が目や皮膚を傷める、(5)時に操業を休まざるをえないなどの漁業被害がある(上・上田2004)。クラゲ類による漁業被害を避けることはなかなか困難であるが、漁業種類によっては被害を軽減する工夫をして実行している。例えば、香川県庵治では袋待ち網(込網)で網にクラゲ抜きを工夫している。また広島県走島の船曳網ではドブ抜きと呼び、クラゲと網を破るタチウオを逃がす工夫をしている。

### 6. 瀬戸内海における最近年の異常現象

広島県宮島町の厳島神社では2001年8~10月に回廊が10回ほど冠水した。海面が20~40cm高くなって被害が出た。これは数百年に及ぶ厳島神社の歴史のなかでも異常な現象である。今後も被害が懸念されるため、国土交通省は検討委員会を立ちあげた。同委員会の暫定的な見解によれば、この40年間に広島では海面が相対的に20cm高くなったが、これが純然

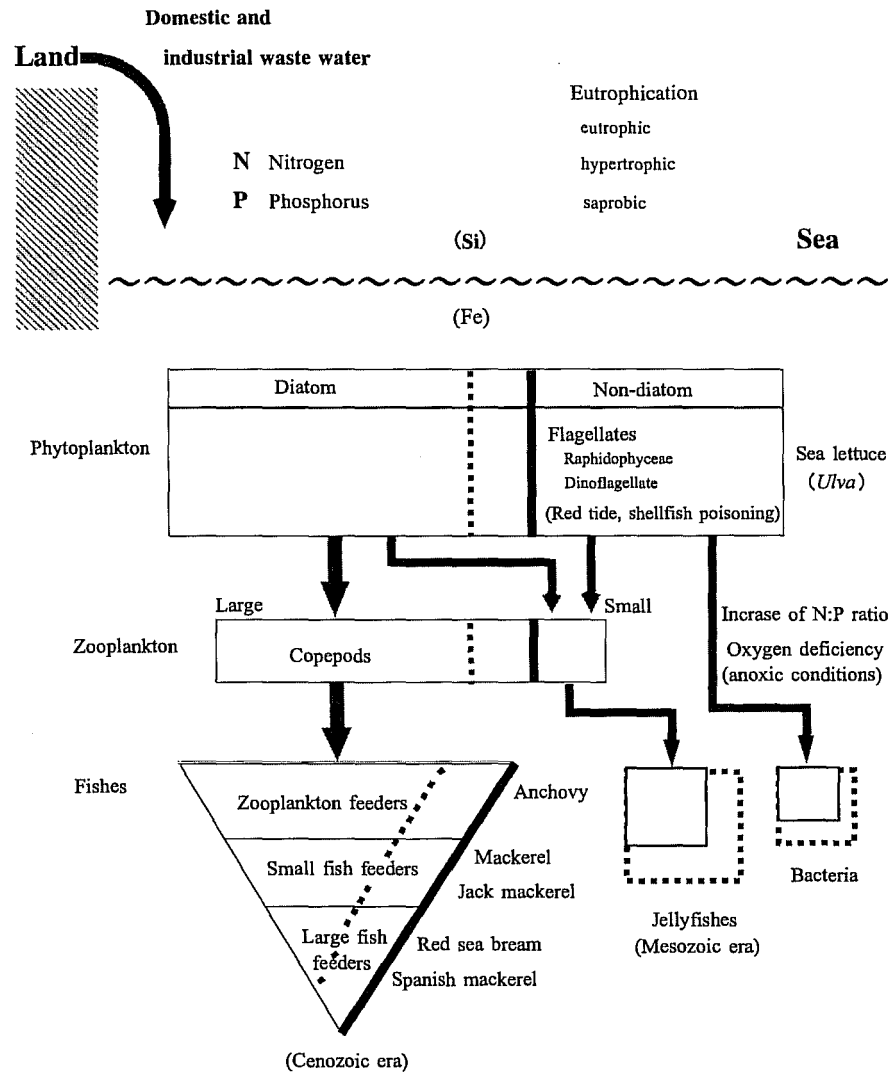


Fig. 2. Schematic figure showing eutrophication and the resulting increase of the bacteria and the jellyfishes (thick lines shift to dotted ones).

たる海面上昇か地盤沈下か現段階では不明で、異常潮位は気圧の低下、黒潮流路の変動、温暖化などが複合して起きると考えられている（平成14年3月6日付け国土交通省主催第1回異常潮位検討委員会議事要旨）。

1999年頃以降の特徴として瀬戸内海では本来外海に多い種であるメジナ、カイワリ、ゴンズイ、アイゴ、カワハギ、タイワンガザミなどの内海への来遊が増えたり、ナルトビエイによるアサリの食害が安芸灘や周防灘で目立ってきた（重田ほか2003）。

2003年の4～5月には大阪湾、播磨灘、燧灘などの広範な海域で「ヌタ」が発生した。ヌタを顕微鏡で観察しても生物由来と思われる「ぬめり」に珪藻などが絡まっているだけである（兵庫県立水産技術センターによる情報）。網がヌタで汚れ、重くなって沈むために、サワラ流し網などの操業が盛漁期にあた

る5月に半月ほどできなかった。これまで経験しなかった広範囲なヌタの発生は何らかの環境の異変を示しているのかもしれない。これに関連し、クラゲは植物プランクトンを体内に一旦取り込んでも一部を粘液質とともに体外に排出する（従って懸濁粒子を大きくさせる）ので、大規模なヌタの発生はクラゲ類の増大と関係してないかと、広海十朗日本大学教授からご指摘いただいた（私信）。興味深いことに、大規模なヌタが発生した2003年春は大阪湾で2月末から7月下旬までミズクラゲ、アカクラゲなどが大量に発生し、例年に比べ成体の出現が早かったし、播磨灘、備讃瀬戸、燧灘でも4～5月にミズクラゲ、アカクラゲが大量に発生したほか、周防灘一帯でも少なくとも10月までミズクラゲを主体とするクラゲ類が大量発生して様々な漁業被害を与えた（平成15年11月26～27日付け瀬戸内海区水産研究所による平成15年度瀬戸内海ブロック水産業関係試

験研究推進会議生産環境・漁業生産合同部会配布資料)。このように2003年春は大阪湾から周防灘までこれまでになく広範かつ大規模、そして早期にクラゲ類の大量発生が見られた。これは前述した広海教授のご指摘を支持する情報と考えられる。いずれにしても今後更に詳細な検討が望まれる。

## 7. 富栄養化の改善に向けて

清水(1993)の予備的な解析によると、東京湾では1960年代初めほぼ15以下であったN/P比が1960年代半ばには35~64の範囲に急激に高まり、その後1976年頃までには13~22程度に下がり、1985年には37~49まで再度高まった。このようなN/P比の増大期と減少期の魚種別漁獲量の推移や1977年以降の底曳網試験漁獲による生物相を考察し、N/P比が増大すると、漁獲物の生物相が貧困化すると指摘した。Pの挙動とN/P比との関係を調べる必要があるが、N/P比は海域の生物相に影響を与える可能性が高い。このように海域におけるNやPおよびN/P比を管理していくことが重要となる。

1993年6月に答申された環境省の環境基準では、富栄養化の改善に向けて水域のNとPを管理して底層の溶存酸素を確保することを目指し、水質の目標基準と水域利用の類型を定めている(中央公害対策審議会1993)。この基準の適用と水域利用の具体化は東京湾、伊勢湾および大阪湾で先行しているが、瀬戸内海各地で具体化されようとしている(永井1996)。

## 8. おわりに

今後は(1)水域利用の具体化に合わせその利用に適正なNとPやN/P比を管理し、生物の組成を貧困化させない、(2)資源管理型漁業を推進し、個々の種の再生産を悪化させずに資源回復を図ることが大切である。瀬戸内海を漁業生産の場として持続的に利用できるよう富栄養化を改善して「クラゲの海」から「イワシの海」へ回復させる必要がある。

なお湖沼生態系では魚類生産を減少させる要因として温暖化のほかに富栄養化などいくつかの要因が指摘されている(花里

2001)。沿岸水域においても富栄養化以外に魚類生産を減少させる要因がいくつか考えられる。本報告ではそれらについて検討しなかったが、クラゲ類が増加する事象を総合的に理解するためにも、今後一層の検討が必要であろう。

## 引用文献

- 中央公害対策審議会 1993. 海域の窒素および磷に係わる環境基準等の設定について(答申), 18pp.
- 花里孝幸 2001. 環境変動が湖沼における動物プランクトン群集の構造と生態系の機能に及ぼす影響. 日本プランクトン学会報 48: 62-65.
- 城久 1991. 大阪湾の開発と海域環境の変遷. 沿岸海洋研究ノート 29: 3-11.
- 永井達樹 1996. “維持したい環境”. 瀬戸内海の生物資源と環境(岡市友利ほか編), pp.100-107. 恒星社厚生閣
- Nagai, T. 2003. Recovery of fish stocks in the Seto Inland Sea. *Mar. Poll. Bull.* 47: 126-131.
- 重田利拓・吉川浩二・薄浩則・石津敏之・徳村守 2003. 広島湾における暖水性魚類の出現とこれに伴う新たな問題, 水産海洋研究, 67: 273-277.
- 清水誠 1993. “東京湾”. 水産学シリーズ 95, 水域の窒素: リン比と水産生物(吉田陽一編), pp. 73-83. 恒星社厚生閣
- 多田邦尚・一見和彦・門谷茂 瀬戸内海の植物プランクトン量の過去と現在—堆積物試料からの推定. 平成16年度日本水産学会中国四国・近畿支部合同大会講演要旨集: 86.
- 高橋正征 1977. 制御実験系を用いた海洋生態系の動態解析. 海洋科学研究ノート No. 4: 15-21.
- 多々良薫 1981. 内海・内湾漁業生物の生産力について, 南西海区水研報 No. 13: 135-169.
- 角皆静男 1994. “海洋科学”. 水産学シリーズ 100, 現代の水産学, pp.218-227. 恒星社厚生閣
- 上真一 2002. 沿岸表層の連鎖系, 月刊海洋号外 29: 137-142.
- 上真一・上田有香 2004. 瀬戸内海におけるクラゲ類の出現動向と漁業被害の実態, 水産海洋研究 68: 9-19.
- 山本民次・石田愛美・清木徹 2002. 太田川河川水中のリンおよび窒素濃度の長期変動—植物プランクトンの種の変化を引き起こす主要因として. 水産海洋研究 66: 102-109.
- 矢持進 1993. “大阪湾”. 水産学シリーズ 95, 水域の窒素: リン比と水産生物(吉田陽一編), pp. 84-95. 恒星社厚生閣

2004年11月24日受付, 2004年12月27日受理