

近年の東アジア沿岸域におけるクラゲ類の大量出現：その原因と結果*

上 真 一**

Causes and Consequences of the Recent Jellyfish Bloom in East Asian Coastal Waters

Shin-ichi Uye

世界各地の海域でクラゲ類の大量出現や現存量の増加が報告されているが、日本、韓国、中国を含む東アジアの沿岸海域でも同様なクラゲ類の増加現象が起こっている。瀬戸内海における最近20年間のミズクラゲの現存量増加と環境や漁獲量の経年変動を、漁業者からの聞き取りなどにより調査した結果、特に最近10年間のミズクラゲの増加が顕著で、それに伴い漁業被害が急増したとのことであった。魚類資源の乱獲、温暖化、埋立などによる海岸地形の改変、富栄養化などが複合して、クラゲ類の増加、即ち「クラゲスパイラル」を引き起こしている可能性がある。また、近年日本海沿岸ではエチゼンクラゲが大量出現し、大きな漁業被害をもたらしている。本種の本来の生息域である渤海、黄海、東シナ海でも、瀬戸内海と同様な環境変化が進行しており、同海域も「クラゲスパイラル」現象が起こっている可能性が高い。海域がひとたび「クラゲスパイラル」に陥ると、そこからの回復は容易ではないだろう。

There is concern that gelatinous zooplankton such as cnidarians and ctenophores are becoming more prevalent in various regions around the world, including the coastal waters of East Asia. In the Inland Sea of Japan, poll results from 1152 fishermen with >20-year-experience demonstrate that the common jellyfish *Aurelia aurita* population has increased in the last 20 years, extensively so in the last 10 years, and during the same time the period as medusa has been elongated (in extreme cases, there are even over-wintering medusae). The combined effects of factors such as overfishing, global warming, waterfront construction and eutrophication may be responsible for the increase of the *A. aurita* population, i. e. the so-called jellyfish spiral process. A similar mechanism may also be responsible for the recent blooms of Echizen jellyfish *Nemopilema nomurai* in extended East Asian coastal waters (i. e. the Bohai, Yellow, East China and Japan Seas). Should the ecosystem fall into a jellyfish spiral, the recovery of finfish populations would not be easy.

キーワード：ミズクラゲ、エチゼンクラゲ、クラゲスパイラル、東アジア沿岸域、沿岸環境

1. はじめに

人間活動の過度の高まりは、富栄養化、赤潮の頻発、貧酸素水塊の形成、漁獲量の低下などの沿岸海域における様々な環境悪化や生態系劣化を引き起こす。海洋生態系の劣化の典型的事例として、近年クラゲ類（刺胞動物門と有櫛動物門に属する肉食性ゼラチン質動物プランクトンを指す）の大量出現や現存量の増加が目目されるようになった（Arai, 1988¹⁾, 2001²⁾; Parsons and Lalli, 2002³⁾; Purcell, 1997⁴⁾; Schneider and Behrends, 1998⁵⁾）。

本邦でのクラゲ類の生態的役割に関する研究は、一部の研究者によって以前から行われてきたものの（安田, 1988⁶⁾）、クラゲ類の現存量の経年変動などは全く

調査されたことはない。本邦で最も早期に富栄養化が進行した東京湾では、1960年代にミズクラゲ (*Aurelia aurita*) が大量出現し、臨海発電所の取水口を塞いで首都圏を停電に陥れる事態を引き起こした（桑原他, 1969⁷⁾）。東京湾ではそれ以降、ミズクラゲは動物プランクトン群集中の主要構成者となって居座っている（Omori et al., 1995⁸⁾）。一方、瀬戸内海では1990年代前半から漁業者により「クラゲによる漁業被害が増えた。クラゲが増加したのではないか」との声が聞かれるようになった。私達はその頃からクラゲ類の研究に着手し、それらの生理・生態的特性を解明するとともに、クラゲ類の増加原因を瀬戸内海的环境変化と関連させて追求してきた。また、クラゲ類増加の結果としてもたらされる漁業被害の実態を漁業者に聞き取り調査し、カイアシ類などの中型動物プランクトンや魚類に及ぼすインパクトなどを推定した（上, 2002⁹⁾; 上・上田, 2004¹⁰⁾）。さらに、日本海では2002, 2003年と連続して巨大なエチゼン

* 2004年10月18日受領, 2005年4月11日受理

** 広島大学大学院生物圏科学研究科

連絡先：上 真一, 広島大学大学院生物圏科学研究科
〒739-8528 東広島市鏡山1丁目4-4

E-mail: suye@hiroshima-u.ac.jp

クラゲ (*Nemopilema nomurai*) が大量出現し、日本海や三陸地方の沿岸漁業に甚大な被害をもたらした。漁業被害の軽減化のためには、本種の大量出現の原因究明が急務であるが、生活史を含めた本種の基礎生物学的知見はほとんど皆無の状態である。

本稿では、瀬戸内海における近年のミズクラゲの出現動向、漁業被害の実態、ミズクラゲの増加を引き起こした原因などについて述べ、次に現在解明が進みつつあるエチゼンクラゲの生活史や輸送経路、大量発生の原因などについて予報的に述べる。

2. 瀬戸内海のミズクラゲの出現動向

ミズクラゲの経年的な増加傾向を示す科学的調査が行われていない状態で、近年のミズクラゲの出現動向を推定するには、日常的に海に出て海の変化を敏感に感じ取っている漁業者や海事関係者から直接クラゲの情報を聞き取ることが最上の方法である。2002年に161漁業協同組合への郵送によるアンケート調査、さらに瀬戸内海全域の漁村を訪問しての聞き取り調査を行い、漁業（あるいは海事）経験20年以上の回答者1,152人から回答を得た。それらを解析した結果、下記のことが明らかとなった（上・上田, 2004¹⁰⁾。

「最近20年間にミズクラゲが減少した」との回答はほぼ皆無であった。「いつ頃からミズクラゲが増加したか」を質問した結果、Fig. 1 に示すように35%の回答者が「20年（すなわち1982年）前も現在（すなわち2002年）と同量のミズクラゲが出現しており、増加したとは思わない」あるいは「ミズクラゲの出現量は年によって大きく異なるだけで、増加したとは思わない」と回答した。しかし、65%は「最近20年間に増加した」と回答し、その

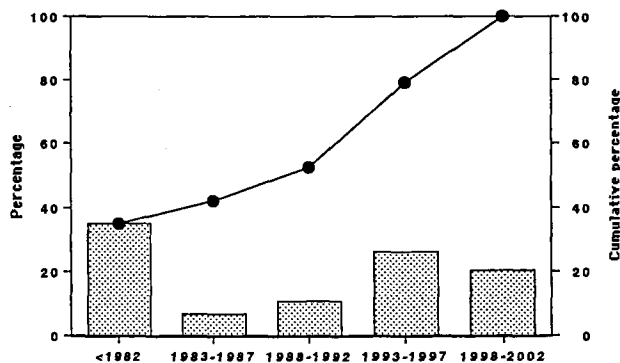


Fig. 1 Poll results showing the periods (<1982, 1983-1987, 1988-1992, 1993-1997 and 1998-2002) when *Aurelia aurita* began to increase in the Inland Sea of Japan. <1982 means that the occurrence of *A. aurita* was the same before 1982 as at present. Columns show percentages of respondents for the respective periods. A line indicates the cumulative percentage (from Uye and Ueta, 2004¹⁰⁾).

うち72%が「最近10年間に増加した」と回答した。以上の結果から、瀬戸内海ではミズクラゲの出現量は約20年前頃から次第に増加し始め、最近10年間に顕著に増加したと推定される。

ミズクラゲの増加の経年変動には海域により大きな違いがあった。例えば瀬戸内海中央部の芸予諸島、燧灘、備後灘、備讃瀬戸では、現在の出現量は20年前とほとんど変化なく、最近20年間の増加は軽微であった。一方、瀬戸内海西部の豊後水道、周防灘、伊予灘ではこの10年間の増加が非常に顕著であった。

瀬戸内海ではミズクラゲは晩冬にエフィラとして出現し、晩春・初夏に傘径約10 cm、盛夏には傘径約30 cmに成長し、そして秋季には消失する季節的消長を示すのが一般的である。ほとんどの回答者は、「ミズクラゲの出現開始時期は早期化し、消失時期は遅延化した」と答えた。すなわち、クラゲとして出現する期間が近年長期化したことを示しており、これまで見られることのない越冬ミズクラゲの存在も確認されている。一方、瀬戸内海中央部では季節的な出現時期は今も昔も変わらないと答える回答者が大半であった。年間最低水温がこの20年間に約1.5℃上昇したことが (Fig. 2), ミズクラゲの出現期間の長期化と越冬クラゲの出現を引き起こしたものと推定される。水温が最も低下する瀬戸内海中央部での最低水温は現在でも11℃以下であり、ミズクラゲの出現量も季節的消長も20年前と比較して大きな変化はない。しかし、水温上昇傾向が今後も継続し、最低水温

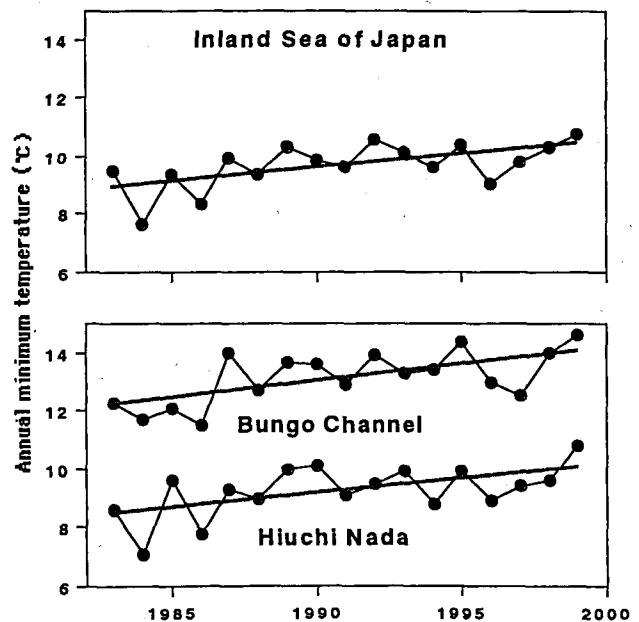


Fig. 2 Temporal variations in annual minimum water temperature in the whole Inland Sea of Japan area (top), the Bungo Channel (western Inland Sea of Japan) and Hiuchi Nada (central Inland Sea of Japan) (bottom) (from Uye and Ueta, 2004¹⁰⁾).

が12℃を下回ることがなければ、ミズクラゲの出現量や季節的消長に変化が起こることが予測される。

今回の調査ではクラゲ類による漁業被害の実態を漁業者から直接聞き取りした。クラゲ害は定置網、船曳網、底曳網、刺網などの網漁業で深刻で、釣漁業ではそれほど問題視されていなかった。漁業者からの情報を基準にして各海域のクラゲ害の深刻さの違いを Fig. 3 に示す。瀬戸内海中央部の備後灘と燧灘東部ではクラゲ害が最も軽微であり、大阪湾、播磨灘北部、周防灘南部、豊後水道では最も重大である。クラゲ害の深刻さの違いはミズクラゲの大まかな相対量を示しているものと思われる。

3. 2000年に宇和海で発生したミズクラゲの大量出現

2000年夏季、宇和島湾から由良半島に至る宇和海に面する内湾域にミズクラゲの大群集が押し寄せた。このようなことは全く記録がなく、前代未聞の現象であった。その時セスナ機から海面を撮影した写真を見ると、ミズクラゲが集群している場所は雲のような白い塊として写っている。白い部分の面積を求め、漁船をチャーターして集群中のミズクラゲの密度を調査した。その結果、この時出現していたミズクラゲの平均傘径は約15 cmで、総個体数は少なく見積もっても約6億個体、総湿重量では9万トン余りになると推定された (Uye et al., 2003¹¹⁾)。ミズクラゲ集群の中でプランクトンネットによる動物プランクトンの採集を行ったが、ほとんど採集されなかった。このことは動物プランクトンのほとんどがミズクラゲに捕食されていたことを示している。もし、ミズクラゲが内湾に集積される前に南部宇和海に均一に分布していたと仮定すると、その密度は1平方メートル当たりわずか0.85個体である。この密度で瀬戸内海全体に分布すると仮定すると、瀬戸内海全体での湿重量は317万トンにもなり、現在の年間漁獲量の13倍に相当する莫大な現存量になる。

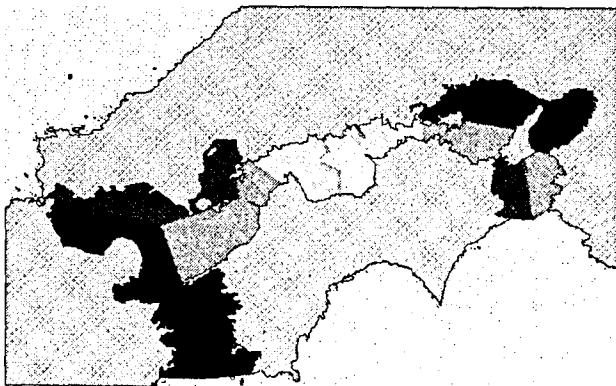


Fig. 3 Geographical variations in the intensity of the jellyfish nuisance to fisheries in the Inland Sea of Japan. The nuisance is least intense in white area, and most intense in the dark area.

4. 瀬戸内海の漁獲量低下とクラゲスパイラル

ミズクラゲの主要な餌はカイアシ類を中心とする中型動物プランクトンである。イワシ類、アジ類、サバ類、イカナゴなどのプランクトン食性魚類もこれらの動物プランクトンを餌とするので、ミズクラゲは餌を巡ってこれらの魚種と競合している。瀬戸内海におけるプランクトン食性魚類の年間漁獲量は1980年代中頃には35万トンを超していたが、以後急激に減少し、1995年には13万トンにまで低下した (Fig. 4)。漁船の馬力の上昇や漁具の効率化に伴い、魚類資源に対する漁獲圧力は格段に高

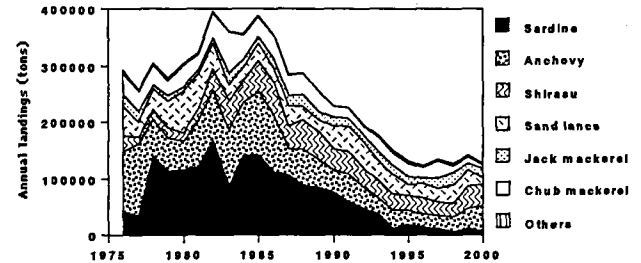


Fig. 4 Temporal variations in annual landings of zooplanktivorous fish in the Inland Sea of Japan (from Uye and Ueta, 2004¹⁰⁾). Data are from the Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, 1976-2000).

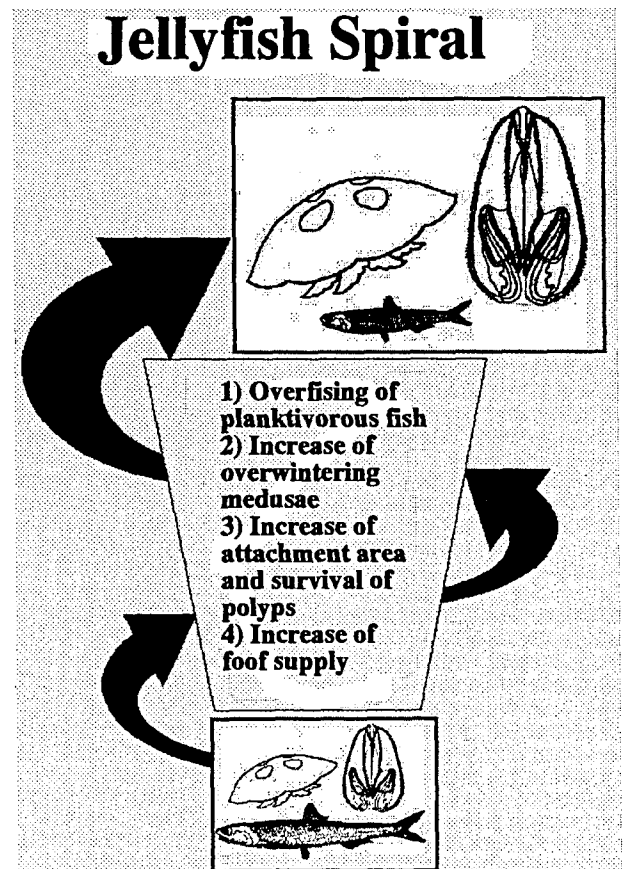


Fig. 5 Schematic representation of the jellyfish spiral.

まり、魚類資源は乱獲状態に追い込まれている。そうなれば餌の動物プランクトンは余った状態となり、ミズクラゲが余剰の餌を利用できることとなる。またミズクラゲは魚類の卵や稚仔をも捕食するので、一旦クラゲ類が増加すると魚類の資源回復は益々困難となる。このようにクラゲ類が次第に魚類を凌駕して優勢になるプロセスを「クラゲスパイラル」と名付けた (Fig.5)。ある海域がひとたび「クラゲスパイラル」に陥ると、魚類の資源回復は困難になると予測される。

ミズクラゲの大量出現は瀬戸内海のみならず近年韓国沿岸においても頻発している。クラゲ類による漁業被害により漁業での生計が不可能となり、漁村を捨てて都会に移住するケースが多発するなどの社会問題が起こっている (Young Shil Kang 博士, 私信)。クラゲ害は日本よりも深刻な状況である。

5. 2003年のエチゼンクラゲの大量出現

2003年8月以降、日本海沿岸に傘径1m、体重100kgを超える巨大なエチゼンクラゲが大量出現し、定置網や底曳網に入網して大きな漁業被害をもたらした。定置網では1日の間に数千個体に及ぶエチゼンクラゲが来襲し、魚類の水揚げ量は激減した。本種の大量出現はこれまで1938, 1958, 1995, 2002年に起こっており、近年は大量出現の頻度が高まるとともに出現量が增大しているとも言われている。特に2003年の大量出現はこれまでで最大規模であったとされ、漁業被害は山陰沿岸などの日本海南部から次第に北部に移動し、津軽海峡を通過したクラゲは三陸沖や常磐沖にまで及び、一部のクラゲは2004年3月まで生残した (Fig.6)。

6. エチゼンクラゲの生活史と輸送経路

エチゼンクラゲは体が巨大であるために、大量出現すると大きな漁業被害をもたらす。本種の大量発生を予測し漁業被害を最小限に押さえるために、現在、大量出現の原因解明を目的とするプロジェクト研究が日本海区水産研究所を中心に行われている。その中で最も重要な研究課題の一つが本種の生活史の解明、種場の確定、輸送経路の解明である。私達は2003年10月、鳥根県隠岐島の沿岸で成熟したエチゼンクラゲから卵巣と精巣を取り出し、人工受精に成功した。受精卵はプラヌラを経てポリプへ変態したので、市販のアルテミアのノープリウスを給餌することにより実験室内で飼育した。ポリプは水温9℃でも生存可能であったことから、少なくとも日本海南部では越冬可能である。2004年7月、飼育水温を13℃から23℃へ上昇させたところ、数日でポリプからストロビラへ変態し、エフィラを放出した。エフィラ放出から

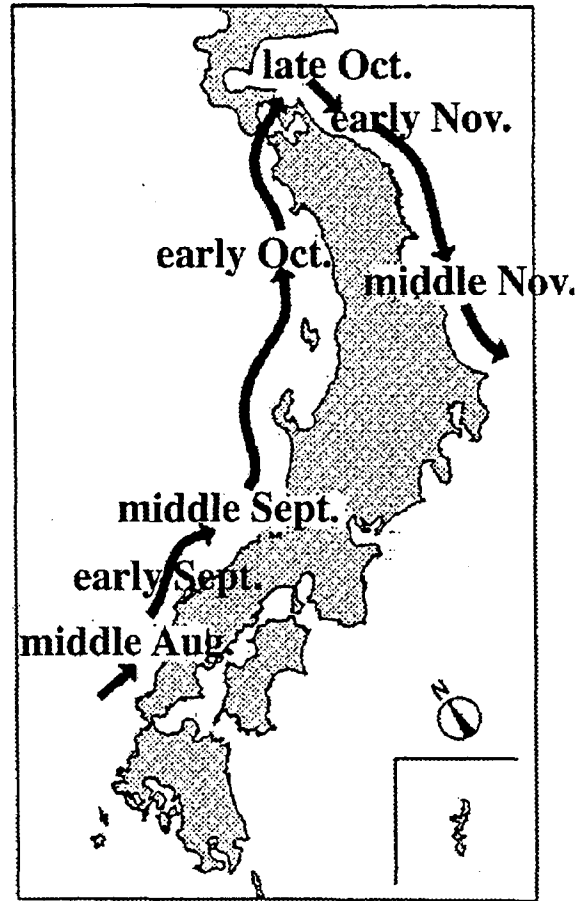


Fig.6 Geographical and temporal shifts of mass occurrences of *Nemopilema nomurai* in 2003 along the Japanese coast (from Asahi Newspaper, December 13, 2003).

約2ヶ月が経過すると、傘径約10cmの本種の成体の形態の特徴を示すクラゲに成長した。これらの一連の室内飼育により、エチゼンクラゲの生活史はほぼ解明されたことになる。本邦の領海内でエチゼンクラゲの最小個体(傘径:約30cm)が観察されるのは長崎県対馬であることから、本種の種場は対馬暖流の上流側にある。またエチゼンクラゲの出現を記載した過去の文献などから(大森, 1981¹²⁾、本種の固有の生息域は中国と朝鮮半島に囲まれた渤海、黄海、東シナ海と推定される。この海域のどこかに存在するポリプから晩春-初夏にエフィラが放出され、幼若クラゲは東シナ海において南方から北上する対馬暖流に取り込まれることにより、対馬(あるいは朝鮮)海峡を経て日本海へと輸送されるものと推定される。

7. おわりに

瀬戸内海では、人間活動に由来する様々な環境変化がミズクラゲの増加に結びつく有利な条件を提供してきた。その結果、この20年間に瀬戸内海では「クラゲスパ

イラル」が進行し、魚類資源量は低下し、替わってクラゲ類がより優占する生態系に向かいつつある。エチゼンクラゲが1995年以降頻りに大量出現し始めた原因は、本種の種場と推定される渤海、黄海、東シナ海の環境変化に由来していることは間違いのないであろう。他国の領海であるのでどのような環境変化が起こっているのかについての情報は多くない。渤海での単位努力量当りの漁獲量の変遷を調査した結果によれば、1998年の漁獲量は1959年の約1/20に、1992年の約1/10に低下している(Tang et al., 2003¹³⁾)。また韓国水産科学院が発表している魚類年間漁獲量によれば、1980年代中頃の漁獲量は約130万トンであったが、1990年以降減少が顕著となり、最近では約70万トンに減少している。このような事実からも、エチゼンクラゲの種場海域でも瀬戸内海と同様の「クラゲスパイラル」が進行しており、その結果としてエチゼンクラゲの大量出現が頻発しているものと推測される。

クラゲ類の大量出現や個体群増加の原因を、今後は日本、韓国、中国の国際共同研究として解明する必要がある。瀬戸内海を含む東アジアの沿岸域は世界トップレベルの漁業生産を誇る海域である。クラゲ類増加現象は現在の漁業活動や沿岸環境管理に対する警告と見なすことができよう。漁業生産量を将来に亘って持続させるには、この辺りで現在の漁業活動や沿岸開発のあり方について見直すべきである。

謝 辞

本研究の一部は、科学研究費補助金(12NP9201, 16405001)並びに中国電力技術研究財団試験研究助成金により行われた。

参 考 文 献

- 1) Arai, M. N. (1988): Interactions of fish and pelagic coelenterates. *Can J Zool.*, **66**, 1913-1927.
- 2) Arai, M. N. (2001): Pelagic coelenterates and eutrophication: a review. *Hydrobiologia*, **451**, 69-87.
- 3) Parsons, T. R. and C. M. Lalli (2002): Jellyfish population explosions: Revisiting a hypothesis of possible causes. *Lar mer*, **40**, 111-121.
- 4) Purcell, J. E. (1997): Pelagic cnidarians and ctenophores as predators: selective predation, feeding rates and effects on prey populations. *Ann Inst Oceanogr.*, **73**, 125-137.
- 5) Brodeur, R. D., C. D. Mills, J. E. Overland, G. E. Walters and J. D. Schumacher (1999): Evidence for a substantial increase in gelatinous zooplankton in the Bering Sea, with possible links to climate change. *Fish Oceanogr.*, **8**, 296-306.
- 6) 安田 徹 (1988): ミズクラゲの研究. 日本水産資源保護協会, 東京, 136 pp.
- 7) 桑原 連・佐藤修一・野口信彦 (1969): ミズクラゲの生態学的研究-1. 1966, 1967年夏季の東京湾北東部における分布状態について. *日水誌*, **35**, 156-162.
- 8) Omori, M., H. Ishii and A. Fujinaga (1995): Life history strategy of *Aurelia aurita* (Cnidaria, Scyphomedusae) and its impact on the zooplankton community of Tokyo Bay. *ICES J. Mar. Sci.*, **52**, 597-603.
- 9) 上 真一 (2002): 沿岸表層の連鎖系. *月刊海洋*, 号外29, 137-142.
- 10) 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.
- 11) Uye, S., N. Fujii and H. Takeoka (2003): Unusual aggregations of the scyphomedusa *Aurelia aurita* in coastal waters along western Shikoku, Japan. *Plankton Biol. Ecol.*, **50**, 17-21.
- 12) 大森 信 (1981): 食用クラゲの生物学と漁業(総説). *日本プランクトン学会報*, **28**, 1-11.
- 13) Tang, Q., X. Jin, J. Wang, Z. Zhuang, Y. Cui and T. Meng (2003): Decadal-scale variations of ecosystem productivity and control mechanisms in the Bohai Sea. *Fish. Oceanogr.*, **12**, 223-233.