

有害珪藻 Eucampia zodiacus による養殖ノリ色落ち発生予察

誌名	日本水産學會誌
ISSN	00215392
著者名	西川, 哲也 今井, 一郎
発行元	日本水産學會
巻/号	77巻5号
掲載ページ	p. 876-880
発行年月	2011年9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



有害珪藻 *Eucampia zodiacus* による養殖ノリ色落ち発生予察西川 哲也,^{1*} 今井 一郎²

(2011年1月14日受付, 2011年6月9日受理)

¹兵庫県立農林水産技術総合センター 但馬水産技術センター,²北海道大学大学院水産科学研究所Prediction of the occurrence of bleaching in aquacultured
“nori” by the harmful diatom *Eucampia zodiacus*TETSUYA NISHIKAWA^{1*} AND ICHIRO IMAI²

¹Tajima Fisheries Technology Institute, Hyogo Prefectural Technology Center for Agriculture, Forestry and Fisheries, Mikata, Hyogo 669–6541, ²Plankton Laboratory, Division of Marine Bioresource and Environmental Science, Graduate School of Fisheries Sciences, Hokkaido University, Hakodate, Hokkaido 041–8611, Japan

The seasonal changes in cell density and cell size of the harmful diatom *Eucampia zodiacus* were investigated for seven years (April 2002–March 2009) in Harima-Nada, the eastern part of the Seto Inland Sea, Japan. Vegetative cells of *E. zodiacus* were detected year-round in water columns, and the restoration of cell size occurred once in autumn every year just after reaching the minimum cell size. Average cell densities of the *E. zodiacus* population in autumn had a significant negative correlation with the integrated number of days during the period from restoration cell size to peak of the bloom. It was considered that vegetative cells of *E. zodiacus* observed in autumn play an important role as seed populations in winter and early spring blooms. Therefore, it is proposed that the time of “nori” bleaching occurrence can be predicted by monitoring the cell size restoration and the mean cell density of *E. zodiacus* in autumn in Harima-Nada.

キーワード : *Eucampia zodiacus*, 色落ち, 珪藻, ノリ, 発生予察, 播磨灘

瀬戸内海東部海域では播磨灘を中心にノリ養殖が盛んに行われており, ノリ養殖は兵庫県瀬戸内海域における漁業生産量の約半分, 生産金額では約4割を占める重要な漁業種類となっている。¹⁾当海域におけるノリ養殖は, 養殖技術の進歩と共に1960年代半ば頃から右肩上がりに発展した。特に浮き流し養殖の普及は, 埋め立て等によって消失した沿岸の支柱式のノリ漁場に代わって, 播磨灘沿岸域の広範な海域にノリ漁場が拡大する契機となり, 1990年代前半には生産量がピークに達した。²⁾一方1980年代後半以降, 播磨灘のノリ漁場では珪藻の大量発生によって養殖ノリに色調低下, いわゆる「色落ち」が発生するようになり, 価格の低下による深刻な漁業被害が起こるようになった。³⁾

本海域では当初, *Coscinodiscus wailesii* がノリに色落ち被害を引き起こす原因藻であった。³⁾しかし1990年代後半以降, 本海域では *C. wailesii* に加え, *Eucampia*

zodiacus が毎年のように大量発生するようになった。⁴⁾ *E. zodiacus* がブルームを形成するようになった海域では, 深刻な色落ち被害が頻発するようになり, 本種の大量発生は, 播磨灘における水産業の振興上たいへん大きな問題となっている。

有害赤潮藻による漁業被害防止対策は, 発生予察技術と被害防除技術に大別される。⁵⁾発生予察には長期, 中期および短期予察技術があり, 被害防除には対症療法的技術と根本治療技術がある。⁶⁾瀬戸内海と並んでノリの一大生産地である有明海では, 珪藻の大量発生によって栄養塩が低下したノリ漁場に, 硫酸などを窒素肥料として人為的に添加(施肥)し, 養殖ノリの色落ち防止を図っている。⁷⁾本方法は, 栄養塩濃度の低下したノリ漁場において降雨等により河川から再び栄養塩が供給されるまでの間, 栄養塩濃度を一定レベル以上に保つのが目的である。⁷⁾本方法では, 海域全体の栄養塩レベルを上昇

* Tel : 81-796-36-0395. Fax : 81-796-36-3684. Email : tetsuya_nishikawa@pref.hyogo.lg.jp

させ、それを維持する必要があることから、潮流が緩やかで、水深が浅い海域で有効である。したがって、水深の浅い海域において支柱式のノリ養殖が主流である有明海では、本方法が有効な色落ち対策となっている。これに対して、播磨灘では海岸線のほとんどが埋め立てられており、有明海に比べて水深の大きい海域において、浮き流し式による養殖が行われている。特に、当海域の主要なノリ漁場は、潮流の速い明石海峡周辺海域であることから、⁸⁾ 本海域では施肥によるノリ漁場の栄養塩濃度の維持、上昇の効果は期待できないであろう（反田未発表）。以上のことから、播磨灘における色落ち被害対策としては、まず原因珪藻の発生予察技術を確立することが急務である。

有害赤潮藻に対する発生予察手法に関しては、各海域の環境特性と原因生物の生物学的特性を考慮した様々な試みが検討されている。例えば三重県五ヶ所湾では、冬季の平均水温と *Karenia mikimotoi* の栄養細胞が、その後 1 細胞 ml^{-1} に達するまでの期間に高い相関関係があることを利用した予察手法が確立されている。⁹⁾ また、播磨灘におけるノリ色落ち原因藻については、長井¹⁰⁾ が *C. wailesii* の秋季発生量を予察する手法を確立している。しかしながら、当海域において現在ノリの色落ち原因藻として最も問題視されている *E. zodiacus* を対象とした予察手法は皆無である。本研究では、播磨灘における *E. zodiacus* の周年を通じた生活環の解明を基本として、本種の生態学的特性を利用した発生予察の可能性について検討した。

試料および方法

E. zodiacus の採集は、兵庫県立農林水産技術総合センター水産技術センター地先（兵庫県明石市二見町）に設けた二見定点（ $34^{\circ}41.2'N$, $134^{\circ}52.8'E$ ）において、2002年4月～2006年3月までの間は、原則として週に1回、2006年4月～2009年3月は、1～9月および12月は月に1回、10～11月は月3回の頻度で実施した。海水サンプルは、岸壁からバケツを用いて表層海水を5～30 L 採水し、板倉らの方法¹¹⁾に従い5または8 μm のミリポアフィルターを使った緩やかな吸引濾過により、10～30 ml に濃縮した。濃縮した海水サンプルは、1 ml を光学顕微鏡下で観察し、その中に含まれる *E. zodiacus* の細胞数を計数するとともに、画像解析装置（オリンパス社製、model VM-50）を用いて、300 細胞を上限に細胞のサイズとして頂軸長（ μm ）を測定した。また、兵庫県水産技術センターが毎年度11～4月上旬にかけて月3回の頻度で実施している珪藻赤潮調査結果（珪藻赤潮情報等：http://www.hyogo-suigi.jp/ka/ka_top.htm（兵庫県立農林水産技術総合センター水産技術センター））から、各年の *E. zodiacus* の出現細胞密度がピークに達した時期を特定した。細胞密度のデータからピークに達した時期の判断が難しい場合は、無機態窒素（DIN）濃度の値を併せて検討し、DIN 濃度が低下しほぼ枯渇した状態のまま横ばいで推移し始めた時期を、その年の *E. zodiacus* の出現がピークに達した時期とした。

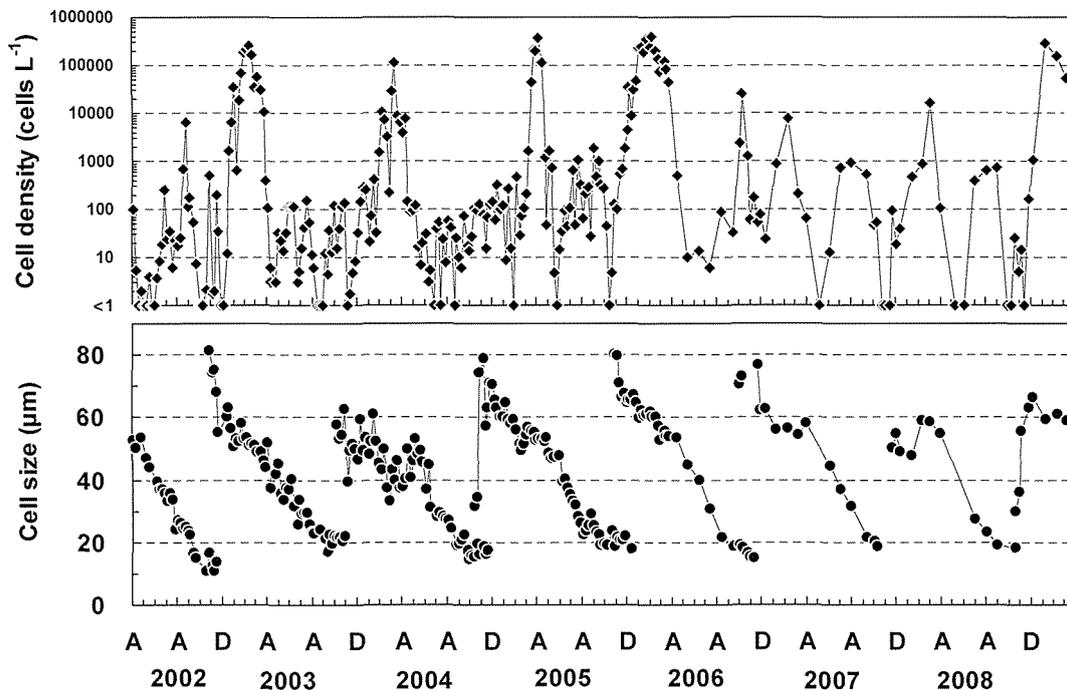


Fig. 1 Seasonal changes in cell density and cell size of *Eucampia zodiacus* at Stn. Futami from April 2002 to March 2009.

結 果

E. zodiacus の栄養細胞は、春季の成層期と秋季を中心に検出限界以下の場合が散見されたものの、ほぼ周年を通して出現が観察された (Fig. 1)。栄養細胞の密度は、鉛直混合期の1~4月上旬に高くなる傾向が見られた。また *E. zodiacus* の細胞サイズ (頂軸長) の平均値は、 $10.8 \pm 0.7 \sim 81.2 \pm 1.4 \mu\text{m}$ の範囲で変動した (Fig. 1)。本種は周期的に細胞サイズの減少と回復を繰り返

し、細胞サイズの変動には連続性と季節性が認められた。すなわち本種個体群は、毎年1回、秋季に細胞サイズが最小値を示し、その後最大値にまでサイズを回復した。*E. zodiacus* の秋季個体群は、細胞サイズを回復した細胞が出現し始めてから約10~30日後に全ての出現細胞が細胞サイズを回復した (Fig. 2)。各年において、細胞サイズを回復した細胞の割合が全体の50%に達したと推定される日を求めた結果、最も早かったのが2008年度漁期の9月29日、最も遅い時期が2006年度漁期の11月16日であった (Table 1, Fig. 2)。サイズを回復した細胞の割合が50%に達したと推定される日の前後1か月の平均細胞密度は、最大で654.3細胞 mL^{-1} (2005年)、最小で75.6細胞 mL^{-1} (2007年)であった (Table 1)。また、11~4月上旬にかけて兵庫県水産技術センターが実施している珪藻赤潮調査から、2002~2008年度において *E. zodiacus* の細胞密度がピークに達した時期をそれぞれ求めた。*E. zodiacus* の細胞密度は、1月中旬~4月上旬の間にピークを示し、サイズを回復した細胞が全体の50%に達したと推定される日から細胞密度がピークに達するまでに要した積算日数は、73~152日の範囲で変動した (Table 1)。秋季の細胞サイズ回復期における *E. zodiacus* の平均細胞密度 (X ; 細胞 L^{-1}) と、細胞密度がピークに達するまでに要した積算日数 (Y) の関係を検討したところ、両者には以下に示す負の相関が見られた (Fig. 3)。

$$Y = -0.117X + 143.7 \quad (r^2 = 0.73)$$

すなわち、秋季の細胞サイズ回復期に *E. zodiacus* の細胞密度が高い年は、本種がサイズ回復後ブルームを形成するまでに要する日数が短いことが明らかとなった。

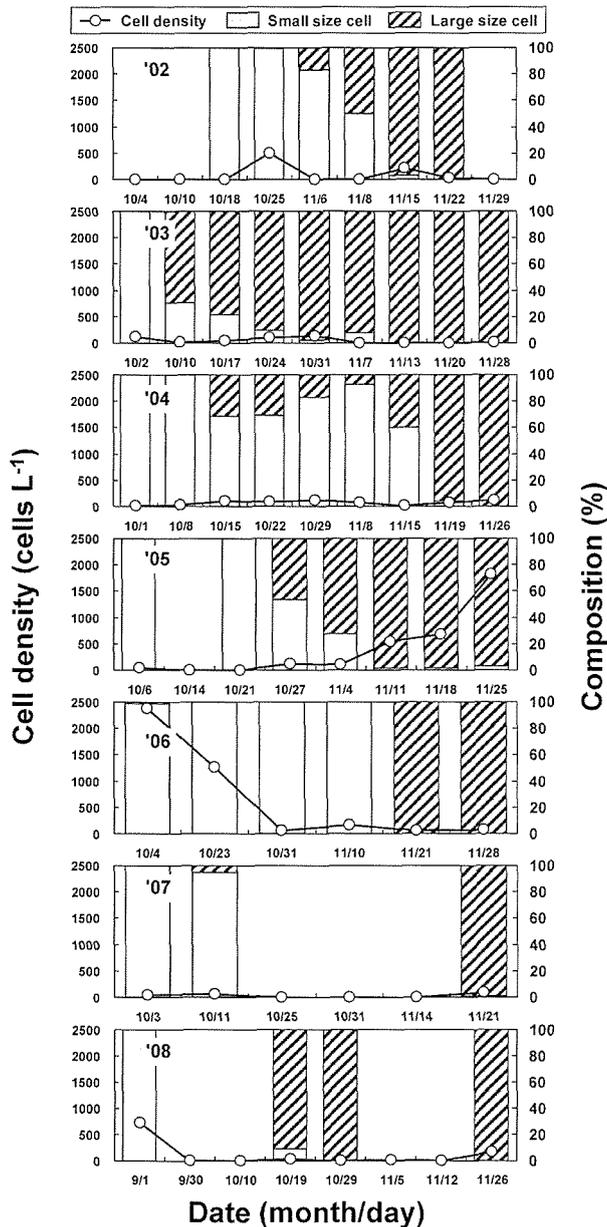


Fig. 2 Changes in cell density and ratio of small-size and size-restored large cells of *Eucampia zodiacus* from October to November in each year of 2002–2007 and from September to November of 2008.

Table 1 Parameters to predict the time when *Eucampia zodiacus* blooms reached the peak in each year (2002–2008). Average cell densities were the mean values during the period from first detection of size-restored large cells to when all the cells became large size in each year. The total number of days from the starting point to the peak of *E. zodiacus* blooms was defined to be the integrated days. The starting point of integrated days was the day when the assumed ratio of small-size cell : size-restored large cell was 1 : 1

Fiscal year	Average cell density (cells L^{-1})	Starting (Small : Large = 1 : 1)	Peak of bloom	Integrated days (d)
2002	174.7	8 Oct. 2002	14 Feb. 2003	96
2003	97.9	10 Oct. 2003	11 Mar. 2004	152
2004	81.8	15 Nov. 2004	7 Apr. 2005	143
2005	654.3	30 Oct. 2005	11 Jan. 2006	73
2006	324.0	16 Nov. 2006	1st Mar. 2007	105
2007	75.6	31 Oct 2007	15 Mar 2008	136
2008	187.4	29 Sep. 2008	22 Jan. 2009	115

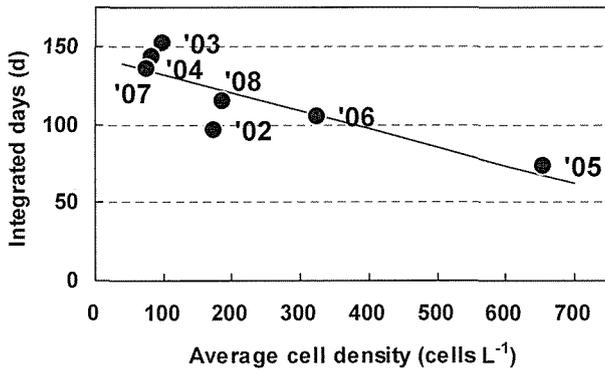


Fig. 3 Relationship between average cell densities of *Eucampia zodiacus* and integrated days during the period from restoration of cell size to the peak of blooms in each year (2002–2008). Average cell densities were the mean values during the period from first detection of size-restored large cells to when all the cells became large size in each year. The starting point of integrated days was the day when the assumed ratio of small-size cell : size-restored large cell was 1 : 1.

考 察

播磨灘では、養殖ノリに色落ち被害を引き起こす有害珪藻の発生予察として、*C. wailesii*の秋季発生量を予察する手法が確立されている。¹⁰⁾本種は、増殖に不適な4～8月を海底泥中で休眠細胞として生残し、鉛直混合の始まりとともに栄養細胞へ復活し増殖を繰り返す。¹²⁾長井¹⁰⁾は、培養条件下において*C. wailesii*休眠細胞の生残率が水温の上昇と共に低下することに注目し、播磨灘19定点における3～8月の3層平均水温の積算値と9～11月の*C. wailesii*細胞密度の積算値に負の相関があることを見出した。この両者の関係から、長井¹⁰⁾は成層期の水温をモニターすることによって、*C. wailesii*の秋季発生量を予察できることを示した。一方、*E. zodiacus*は播磨灘において*C. wailesii*とは異なった生活環を持つことが明らかとなった。すなわち*E. zodiacus*の場合は、播磨灘において周年栄養細胞が観察されること、細胞サイズの減少と回復に連続性と周期性が見られることから、本種は播磨灘において休眠期細胞を形成しない、または他種に比べて休眠期細胞を形成する期間が極めて短い種であると考えられる。¹³⁾*E. zodiacus*の細胞サイズは調査を実施した7年間を通して、毎年1回、秋季にサイズ回復が見られ (Fig. 1)、サイズ回復期の平均細胞密度が高い年は、その後本種のブルームがピークに達するまでに要する日数が短かった (Table 1, Fig. 3)。そこで*E. zodiacus*の発生予察を考える場合、秋季に細胞サイズを回復した個体群を、翌年1～4月にブルームを形成する個体群の“seed population”と見なし、秋季の平均細胞密度と細胞サイズ回復時期を把握することに

よって、当該年度のノリ漁期における*E. zodiacus*発生時期の予察が可能ではないかと考えられた。

近年、播磨灘において深刻な色落ち被害が長期間継続するようになった要因として、*E. zodiacus*の生物学的特性が密接に関わっていることが示唆されている。^{4,13)}室内培養実験の結果、*E. zodiacus*は珪藻の中でも*Skeletonema*や*Chaetoceros*と並ぶ高い増殖速度を持ち、光強度や栄養塩濃度に対するKs値 (最大増殖速度の1/2を与える光強度および栄養塩濃度) や最小細胞内栄養塩含量が低いこと、¹⁴⁻¹⁵⁾低温条件下における窒素取り込み能に優れていること等が明らかとなっている。¹⁶⁾このような増殖生理学的特性から、本種は海域の栄養塩がほぼ枯渇するまで増殖を繰り返すことが可能であり、その結果、本種がブルームを形成したノリ漁場では甚大な色落ち被害が発生することが示唆されている。^{14,16)}本研究の結果から、上述の増殖生理学的特性に加え、*E. zodiacus*の生態学的特性も養殖ノリに甚大な色落ち被害を引き起こす要因となっていることが示唆された。すなわち、低栄養塩環境下では播磨灘で優占する主要な珪藻の大部分が休眠期細胞を形成するのに対し、¹⁷⁻¹⁸⁾*E. zodiacus*は休眠期細胞を形成せず、栄養細胞のまま長期間生残する。¹³⁾そのため、本種がブルームを形成した海域では、他種によるブルーム形成に比べて栄養塩の低下が著しく、そのような状態が長期間継続することが考えられた。このように低栄養塩環境下では、結果的に*E. zodiacus*が単独で優占しやすい状況が生じると想定される。⁴⁾以上のことから、*E. zodiacus*の細胞密度がピークに達し、減少に転じる時期は、ノリ漁場の栄養塩もほぼ枯渇し、養殖ノリに色落ちが発生する時期とよく一致すると見なすことができる。すなわち、*E. zodiacus*ブルームのピークを予察することは、播磨灘における養殖ノリの色落ち発生時期を予察することに繋がると考えられる。

近年、播磨灘ではほぼ毎年、珪藻の大量発生により養殖ノリに色落ち被害が発生し、ある程度色落ち被害が発生することを前提にノリ養殖を行わなければならない。¹⁹⁾播磨灘において、*E. zodiacus*ブルームのピークはノリ漁期後期である1～4月に認められる。⁴⁾兵庫県的主要なノリ漁場では、ノリ養殖 (本張り) は11月下旬頃から前期生産が始まり、1月下旬～2月上旬に一度ノリ網を張り替えて後期生産を行うことから、²⁰⁾*E. zodiacus*の出現のピークはノリ網の張替時期、または後期生産と重なることが多い。本予察手法では、10～11月の観測値を用い、12月の時点でノリ漁期のいつ頃、*E. zodiacus*による色落ちが発生するのかを予察することが可能である。これは予察技術の中では、長期または中期予察技術に該当し、本手法による色落ち発生時期に関する情報は、ノリの刈り取りのタイミングや回数の調整、ノリ

網の張り替え時期の判断材料として活用できると考えられる。すなわち本予察手法は、色落ちが発生した状況下において、生産に係るコストを最小限に抑えるための有用な対策の一つになり得るであろう。今後は、本予察に必要な *E. zodiacus* のデータ収集に関して単純化と簡便化を図ると同時に、予察精度の向上を図り、各地先におけるノリ漁場の海域特性も考慮したよりきめ細かな被害軽減対策を検討していく必要がある。

謝 辞

本稿を取りまとめるにあたり、各海域におけるノリ養殖の状況に関して貴重な情報とご助言を賜りました佐賀県有明水産振興センターの川村嘉応博士に感謝いたします。本研究の一部は、先端技術を活用した農林水産技術高度化事業により実施した。ここに記して感謝の意を表します。

文 献

- 1) 第 57 次兵庫農林水産統計年報 (近畿農政局兵庫農政事務所編). 兵庫農林統計協会, 神戸. 2009.
- 2) 鷲尾圭司, 島本信夫, 堀 豊, 岡本繁好, 上田隆敏. 兵庫県における栄養環境の変化とノリ養殖漁場の盛衰. 海洋と生物 2005; 158: 238-245.
- 3) 眞鍋武彦, 長井 敏, 堀 豊. 厳しさを増す沿岸漁業. 「水産学シリーズ 103 水産と環境」(清水誠編) 恒星社厚生閣, 東京. 1994; 9-18.
- 4) Nishikawa T, Hori Y, Nagai S, Miyahara K, Nakamura Y, Harada K, Tada K, Imai I. Long time-series observations in population dynamics of the harmful diatom *Eucampia zodiacus* and environmental factors in Harima-Nada, eastern Seto Inland Sea, Japan during 1974-2008. *Plankton Benthos Res.* 2011; 6: 26-34.
- 5) Honjo T. The biology and prediction of representative red tides associated with fish-kills in Japan. *Rev. Fish. Sci.* 1994; 2: 225-253.
- 6) 本城凡夫. 有害プランクトンによる漁業被害の発生状況とその問題点. 「有害・有毒赤潮の発生と予知・防除」(石田祐三郎, 本城凡夫, 福代康夫, 今井一郎編) 日本水産資源保護協会, 東京. 2000; 4-17.
- 7) 川村嘉応. 有明海奥部のノリ養殖. 海洋と生物 2006; 167: 603-610.
- 8) 永田誠一, 名角辰郎, 中谷明泰, 鷲尾圭司, 眞鍋武彦. 近年の播磨灘主要ノリ漁場の環境調査結果. 兵庫水試研報 2001; 36: 59-73.
- 9) Honjo T, Yamaguchi M, Nakamura O, Yamamoto S, Uchi A, Ohwada K. A relationship between winter water temperature and the timing of summer *Gymnodinium nagasakiense* red tides in Gokasho Bay. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1991; 57: 1679-1682.
- 10) 長井 敏. 播磨灘における有害大型珪藻 *Coscinodiscus wailesii* の大量発生機構とその予知. 「有害・有毒赤潮の発生と予知・予防」(石田祐三郎, 本城凡夫, 福代康夫, 今井一郎編) 日本水産資源保護協会, 東京. 2000; 71-100.
- 11) 板倉 茂, 今井一郎, 伊藤克彦. 広島湾における赤潮渦鞭毛藻 *Gymnodinium nagasakiense* 出現密度の季節変化. 南西水研研報 1990; 23: 27-33.
- 12) Nagai S, Hori Y, Miyahara K, Manabe T, Imai I. Population dynamics of *Coscinodiscus wailesii* Gran (Bacillariophyceae) in Harima-Nada, Seto Inland Sea, Japan. In: Yasumoto T, Oshima Y, Fukuyo Y (eds). *Harmful and Toxic Algal Blooms*. IOC of UNESCO, Paris. 1996; 239-242.
- 13) Nishikawa T, Hori Y, Tanida K, Imai I. Population dynamics of the harmful diatom *Eucampia zodiacus* Ehrenberg causing bleaching of *Porphyra* thalli in aquaculture in Harima-Nada, the Seto Inland Sea, Japan. *Harmful Algae* 2007; 6: 763-773.
- 14) 西川哲也, 堀 豊. ノリの色落ち原因藻 *Eucampia zodiacus* の増殖に及ぼす窒素, リンおよび珪素の影響. 日水誌 2004; 70: 31-38.
- 15) Nishikawa T, Yamaguchi M. Effect of temperature on light-limited growth of the harmful diatom *Eucampia zodiacus* Ehrenberg, a causative organism in the discoloration of *Porphyra* thalli. *Harmful Algae* 2006; 5: 141-147.
- 16) Nishikawa T, Tarutani K, Yamamoto T. Nitrate and phosphate uptake kinetics of the harmful diatom *Eucampia zodiacus* Ehrenberg, a causative organism in the bleaching of aquacultured *Porphyra* thalli. *Harmful Algae* 2009; 8: 513-517.
- 17) 今井一郎, 板倉 茂, 伊藤克彦. 播磨灘および北部広島湾の海底泥中における珪藻類の休眠細胞の分布. 沿岸海洋研究ノート 1990; 28: 75-84.
- 18) Itakura S, Imai I, Itoh K. "Seed bank" of coastal planktonic diatoms in bottom sediments of Hiroshima Bay, Seto Inland Sea, Japan. *Mar. Biol.* 1997; 128: 497-508.
- 19) 原田和弘, 堀 豊, 西川哲也, 藤原建紀. 播磨灘の栄養塩環境とノリ養殖. 海洋と生物 2009; 181: 146-149.
- 20) 川村嘉応. ノリ. 「水産増殖システム 3 貝類・甲殻類・ウニ類・海藻」(森勝義編) 恒星社厚生閣, 東京. 2005; 1-22.