

有明海佐賀県海域における ノリ漁期の植物プランクトンの出現動向 (1989-2010)

松原 賢・吉田幸史*・首藤俊雄

Trends in Occurrence of Phytoplankton in the Ariake Sea off Saga Prefecture during a *Porphyra* (Nori) Cultivation Period (1989-2010)

Tadashi MATSUBARA, Yukifumi YOSHIDA and Toshio SHUTO

To understand the trends in occurrence of phytoplankton in the Ariake Sea off Saga Prefecture during a Nori cultivation period (during October to March), we made out the phytoplankton calendar based on phytoplankton composition data obtained from October 1989 to March 2010. We found that : 1) the dominant phytoplankton during a Nori cultivation period were *Skeletonema* spp., *Chaetoceros* spp., *Eucampia zodiacus*, *Asteroplanus karianus*, *Thalassiosira* spp., *Dactyliosolen fragilissimus* and *Pseudo-nitzschia* spp. ; 2) during January to March, most of above dominant phytoplankton tended to grow more densely than during October to December ; 3) in the sea area ranging from Rokkaku river estuary to Shiota river estuary, phytoplankton tended to grow more densely than other sea area of Ariake Sea off Saga Prefecture ; 4) during the Nori cultivation period from October 1997 to March 2005, phytoplankton tended to grow more densely than other thirteen years.

はじめに

珪藻類は一般的には「海の牧草」と呼ばれ、海域の基礎生産者として非常に重要な植物プランクトンである。しかしながら、ノリ漁期に増殖して海水中の栄養塩類を消費し、ノリの品質低下を引き起こして漁業被害を与えるものは「珪藻赤潮」と呼ばれ、Harmful algal bloom = HAB (有害有毒藻類ブルーム) の一つとして分類される¹⁾。有明海中北部を中心に2000年12月に発生した *Rhizosolenia imbricata* を優占種とする大規模珪藻赤潮²⁾はこの「珪藻赤潮」の最たるものであり、養殖ノリ産業に大きな経済的打撃を与え、このことを契機に有明海における赤潮に関心が向けられるようになった³⁾。HABの発生機構を解明し漁業被害を防止するためには、現場海域における海洋観測調査から、海域の物理・化学的環境要因と原因植物プランクトンの出現動向を把握することが重要である⁴⁾。特に、植物プランクトンの複数年にわたる出現動向を把握することは、HABの発生予察に有効であると考えられるが、これまで有明海における植物プランクトンの出現動向については、単年ご

との報告⁵⁻⁹⁾はあるものの複数年にわたる報告はまだない。そこで今回は、有明海佐賀県海域のノリ漁期における「珪藻赤潮」の発生予察のための基礎資料として、1989年度から2009年度までの植物プランクトン出現カレンダーを作成し、ノリ漁期の主要植物プランクトンの出現動向を整理したので報告する。

方 法

1989年度から2009年度までのノリ漁期(10~3月)において、Fig. 1に示す有明海佐賀県海域(以降、当海域と称す)における8定点の表層で採取・検鏡されたプランクトン組成データから主要植物プランクトンを定点ごとに抽出した。主要植物プランクトンは、平川ら¹⁰⁾の方法を参考に、全プランクトン合計細胞密度の日平均値以上の細胞密度が確認された観測日において、その日の細胞密度の60%以上を占めた植物プランクトンとして複数回該当したものとした。なお、各年度において、調査回数が、最多であった定点の8割以上であった定点のデータを用いて主要植物プランクトンの抽出作業を行い、微細藻類は除外して整理した。植物プランクトン出

* : 現在、佐賀県玄海水産振興センター

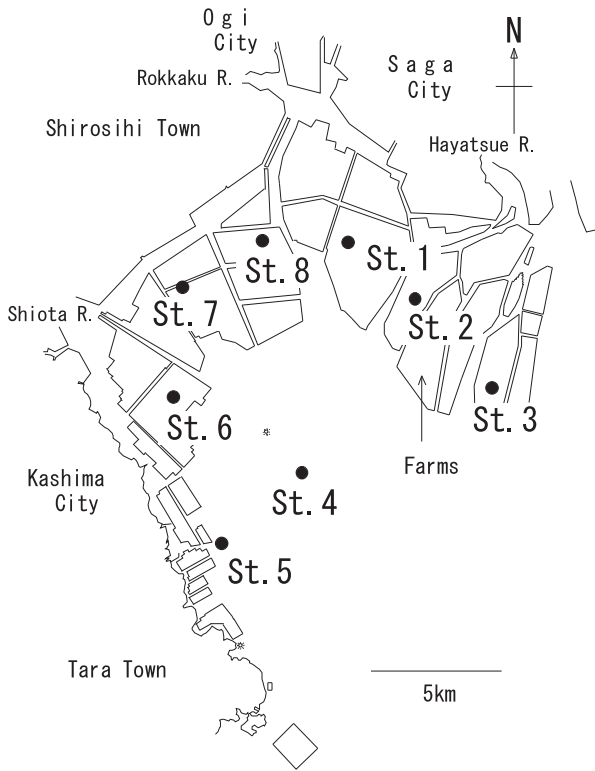


Fig.1 Map of the Ariake Sea off Saga Prefecture, showing station of sampling. □ indicate Nori culture farms at Saga Prefecture.

現カレンダーは、全珪藻類の合計（以降、全珪藻類と称す）および各主要植物プランクトンについて、各年度・定点ごとに10月上旬から3月下旬までの各旬に確認された最高細胞密度をもとに作成した。なお、主要植物プランクトンとしては抽出されなかったが、ノリ養殖に悪影響を与えるとされる渦鞭毛藻 *Akashiwo sanguinea* およびラフィド藻 *Fibrocapsa japonica*¹¹⁾ についても同様に出現カレンダーを作成した。

結 果

1989年度から2009年度までの当海域のノリ漁期における主要植物プランクトンはすべて珪藻類で、*Skeletonema* spp., *Chaetoceros* spp., *Eucampia zodiacus*, *Asteroplanus karianus*, *Thalassiosira* spp., *Dactyliosolen fragilissimus* および *Pseudo-nitzschia* spp. の7種類であった。

以下に全珪藻類および各植物プランクトンの、多くの年度および定点に共通する出現動向である「全体傾向」、他の定点に比べて高密度化する傾向を示した「高密度化定点」、他の年度に比べて高密度化する傾向を示した「高密度化年度」および「その他の動向」について述べる。

1. 全珪藻類 (Fig. 2)

1) 「全体傾向」 1991年度、2005年度および2006年度など例外もあるが、1月から3月の期間に1,000 cells/ml 以上となることが多い傾向が確認された。

2) 「高密度化定点」 St. 6~8 は5,000~9,999 cells/ml および10,000 cells/ml 以上となることが多く、他の定点に比べ高密度化する傾向が確認された。

3) 「高密度化年度」 1997年度から2004年度は多くの定点で5,000~9,999 cells/ml および10,000 cells/ml 以上となることが多く、他の年度に比べ高密度化する傾向が確認された。

4) 「その他の動向」 St. 5では他の定点と異なり、2001年度以降、10月から12月の期間にも1,000 cells/ml 以上となることが多い傾向が確認された。

2. *Skeletonema* spp. (Fig. 3)

1) 「全体傾向」 全珪藻類と同様に、1月から3月の期間に1,000 cells/ml 以上となることが多い傾向が確認された。

2) 「高密度化定点」 全珪藻類と同様に、St. 6~8 は5,000~9,999 cells/ml および10,000 cells/ml 以上となることが多く、他の定点に比べ高密度化する傾向が確認された。

3) 「高密度化年度」 1997年度から2004年度は多くの定点で5,000~9,999 cells/ml および10,000 cells/ml 以上となることが多く、他の年度に比べ高密度化する傾向が確認された。

3. *Chaetoceros* spp. (Fig. 4)

1) 「全体傾向」 全珪藻類や *Skeletonema* spp. のように1月以降の増加傾向は確認されず、10月から12月の期間に5,000~9,999 cells/ml および10,000 cells/ml 以上となることが多い傾向が確認された。

2) 「高密度化定点」 特に高密度化する傾向がある定点は確認されなかった。

3) 「高密度化年度」 1997年度および1998年度は多くの定点で5,000~9,999 cells/ml および10,000 cells/ml 以上となることが多く、他の年度に比べ高密度化する傾向が確認された。

4) 「その他の動向」 2001年度から2003年度は多くの定点で10月から3月までを通して100 cells/ml 以上となることが多い傾向が確認された。

4. *Eucampia zodiacus* (Fig. 5)

1) 「全体傾向」 2002年度および2003年度など例外もあるが、2月から3月の期間に100 cells/ml以上となることが多い傾向が確認された。

2) 「高密度化定点」 St. 2, 4, 7および8で1998年度および1999年度に10,000 cells/ml以上となったが、他の定点で未調査が多かったことから、高密度化する傾向にある定点は明確には確認できなかった。

3) 「高密度化年度」 1998年度から2001年度は多くの定点で1,000 cells/ml以上となることが多く、他の年度に比べ高密度化する傾向が確認された。

4) 「その他の動向」 2008年度および2009年度は多くの定点で2月以降に100 cells/ml以上となることが多い傾向が確認された。

5. *Asteroplanus karianus* (Fig. 6)

1) 「全体傾向」 全珪藻類および *Skeletonema* spp. よりも細胞密度は全体に低いものの、出現動向は同様の傾向を示し、1月から3月の期間に100 cells/ml以上となることが多い傾向が確認された。一方、他の主要植物プランクトンと異なり、10月から12月の期間に100 cells/ml以上となることは非常に稀であった。

2) 「高密度化定点」 全珪藻類および *Skeletonema* spp. と同様に、St. 6~8は1,000 cells/ml以上となることが多く、他の定点に比べ高密度化する傾向が確認された。

3) 「高密度化年度」 2007年度から2009年度はSt. 6~8を中心に5,000 cells/ml以上となることが多く、他の年度に比べ高密度化する傾向が確認された。

4) 「その他の動向」 2000年度から2003年度はSt. 6~8を中心に1月から3月の期間に1,000 cells/ml以上となることが多かった。

6. *Thalassiosira* spp. (Fig. 7)

1) 「全体傾向」 *A. karianus* と同様に、1月から3月の期間に100 cells/ml以上となることが多い傾向が確認された。

2) 「高密度化定点」 St. 7および8は1,000 cells/ml以上となることが多く、他の定点に比べ高密度化する傾向が確認された。

3) 「高密度化年度」 2000年度から2002年度はSt. 7および8を中心に1,000 cells/ml以上となることが多く、他の年度に比べ高密度化する傾向が確認された。

7. *Dactyliosolen fragilissimus* (Fig. 8)

1) 「全体傾向」 *A. karianus* および *Thalassiosira* spp. と同様に、1月から3月の期間に100 cells/ml以上となることが多い傾向が確認された。

2) 「高密度化定点」 特に高密度する傾向にある定点は確認できなかった。

3) 「高密度化年度」 1992年度は多くの定点で1,000 cells/ml以上となり、他の年度に比べ高密度化する傾向が確認された。

8. *Pseudo-nitzschia* spp. (Fig. 9)

多くの年度および定点に共通する出現動向や明確な「高密度化定点」および「高密度化年度」は確認されなかった。

9. *Akashiwo sanguinea* (Fig. 10)

1) 「全体傾向」 10月から12月の期間に100 cells/ml以上となることが多い傾向が確認された。

2) 「高密度化定点」 St. 5~7は1,000 cells/ml以上となることが多く、他の定点に比べ高密度化する傾向が確認された。

3) 「高密度化年度」 2002年度および2003年度はSt. 5~7を中心に1,000 cells/ml以上、また、その他の定点でも100 cells/ml以上となることが多く、他の年度に比べ高密度化する傾向が確認された。

10. *Fibrocapsa japonica* (Fig. 11)

1) 「全体傾向」 10月から12月の期間に出現し、1月から3月の期間は全く確認されなかった。

2) 「高密度化定点」 St. 7および8で1,000 cells/ml以上となり、他の定点に比べ高密度化する傾向が確認された。

3) 「高密度化年度」 2000年度はSt. 7および8で1,000 cells/ml以上となり、他の年度に比べ高密度化する傾向が確認された。

なお、*A. sanguinea* および *F. japonica* はパッチ状に高密度化することもあり、パッチが定点になかった場合は今回の出現カレンダーにその動向が反映されないケースもある。また、2000年度に養殖ノリ産業に大打撃を与えた *Rhizosolenia imbricata* は2001年度以降、100 cells/ml以上で出現していない（データ未記載）。

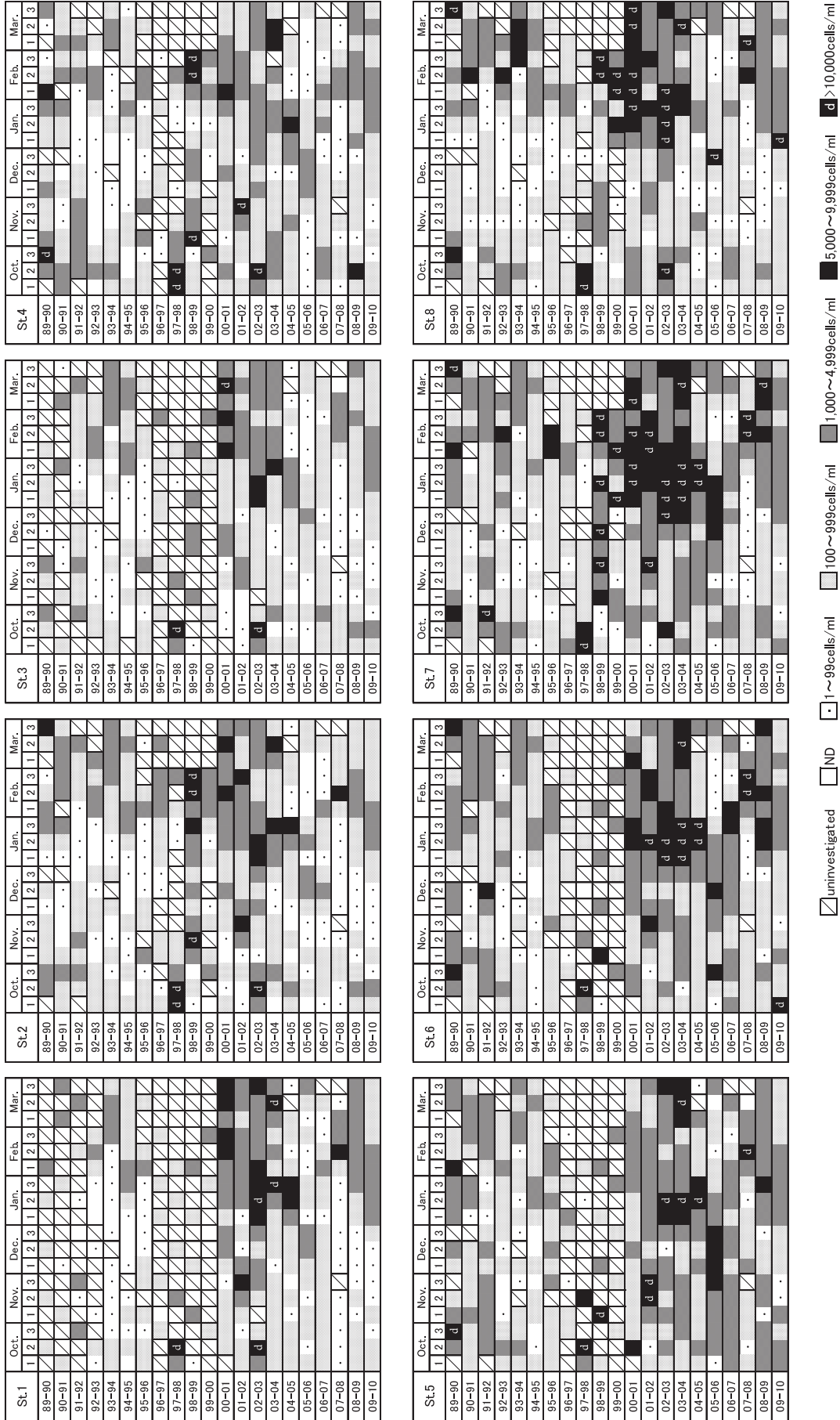


Fig. 2 Trends in occurrence of total diatoms in the Ariake Sea off Saga Prefecture during a Nori cultivation period from 1989 to 2010. Abbreviation in the figure: "1": first 10 days of the month, "2": second 10 days of the month and "3": third 10 days of the month.

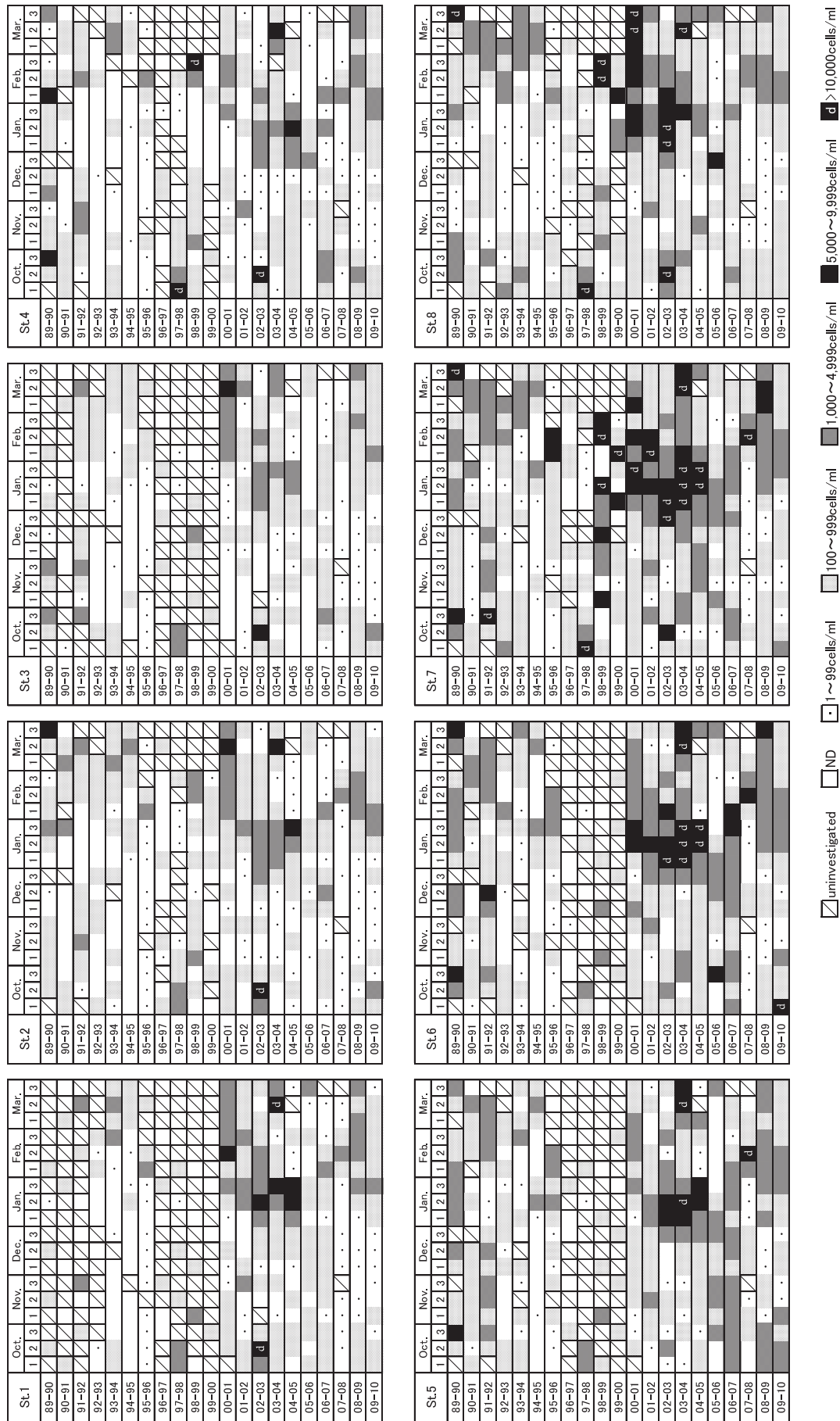


Fig. 3 Trends in occurrence of *Skeltonema* spp. in the Ariake Sea off Saga Prefecture during a Nori cultivation period from 1989 to 2010. “1”, “2” and “3”: see Fig. 2.

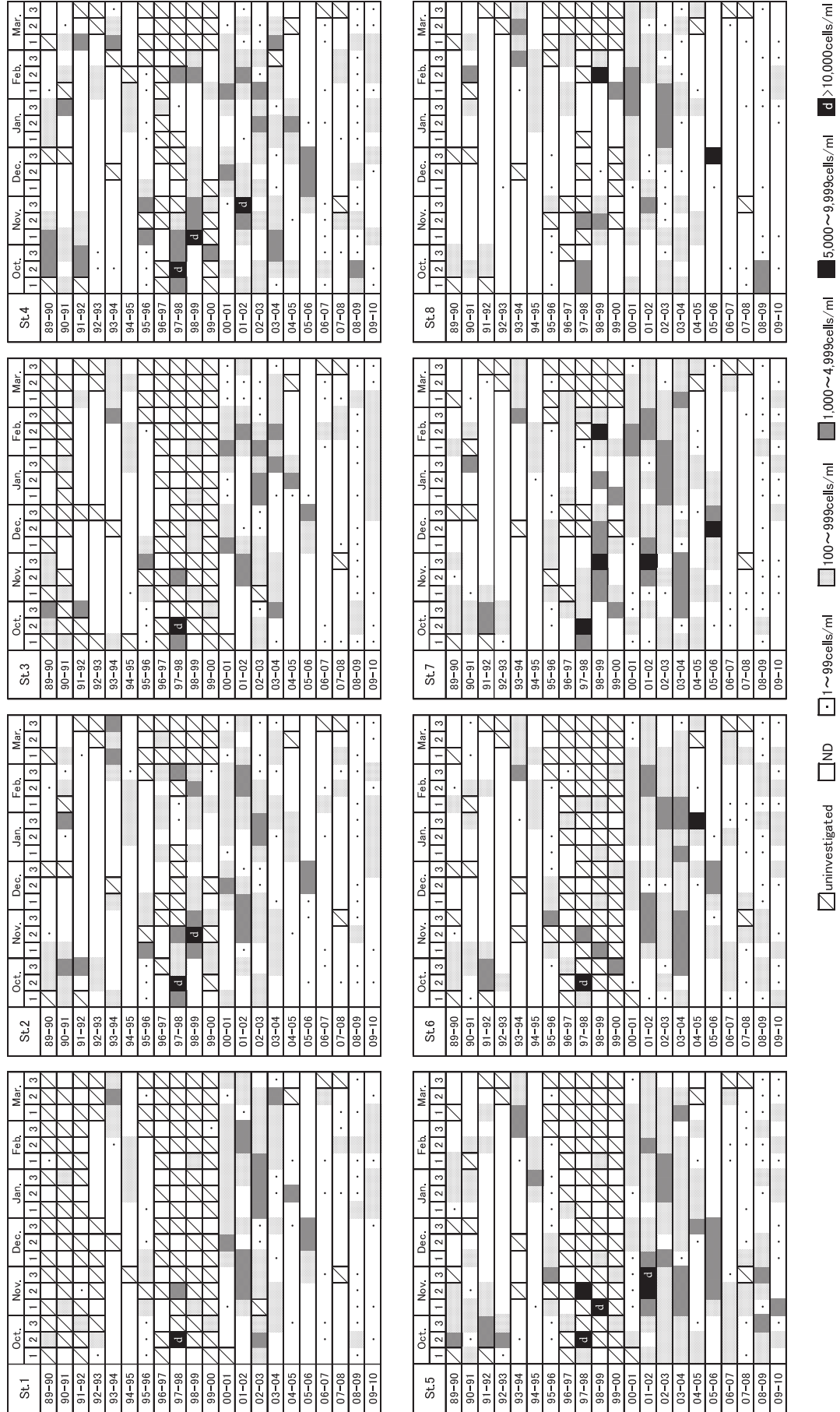


Fig. 4 Trends in occurrence of *Chaetoceros* spp. in the Ariake Sea off Saga Prefecture during a Nori cultivation period from 1989 to 2010. "1", "2" and "3": see Fig. 2.

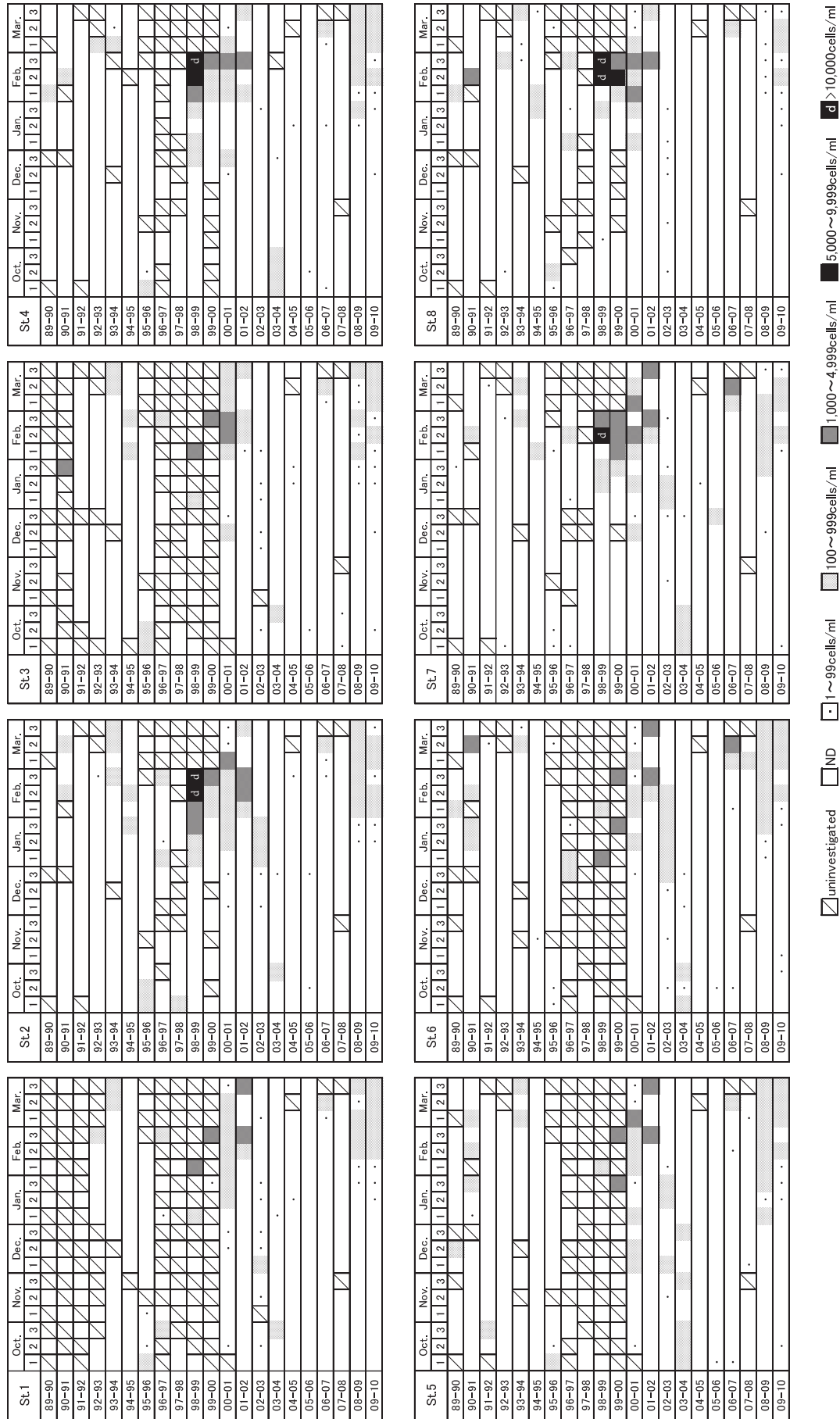


Fig. 5 Trends in occurrence of *Eucampia zodiacus* in the Ariake Sea off Saga Prefecture during a Nori cultivation period from 1989 to 2010. "1", "2" and "3": see Fig. 2.

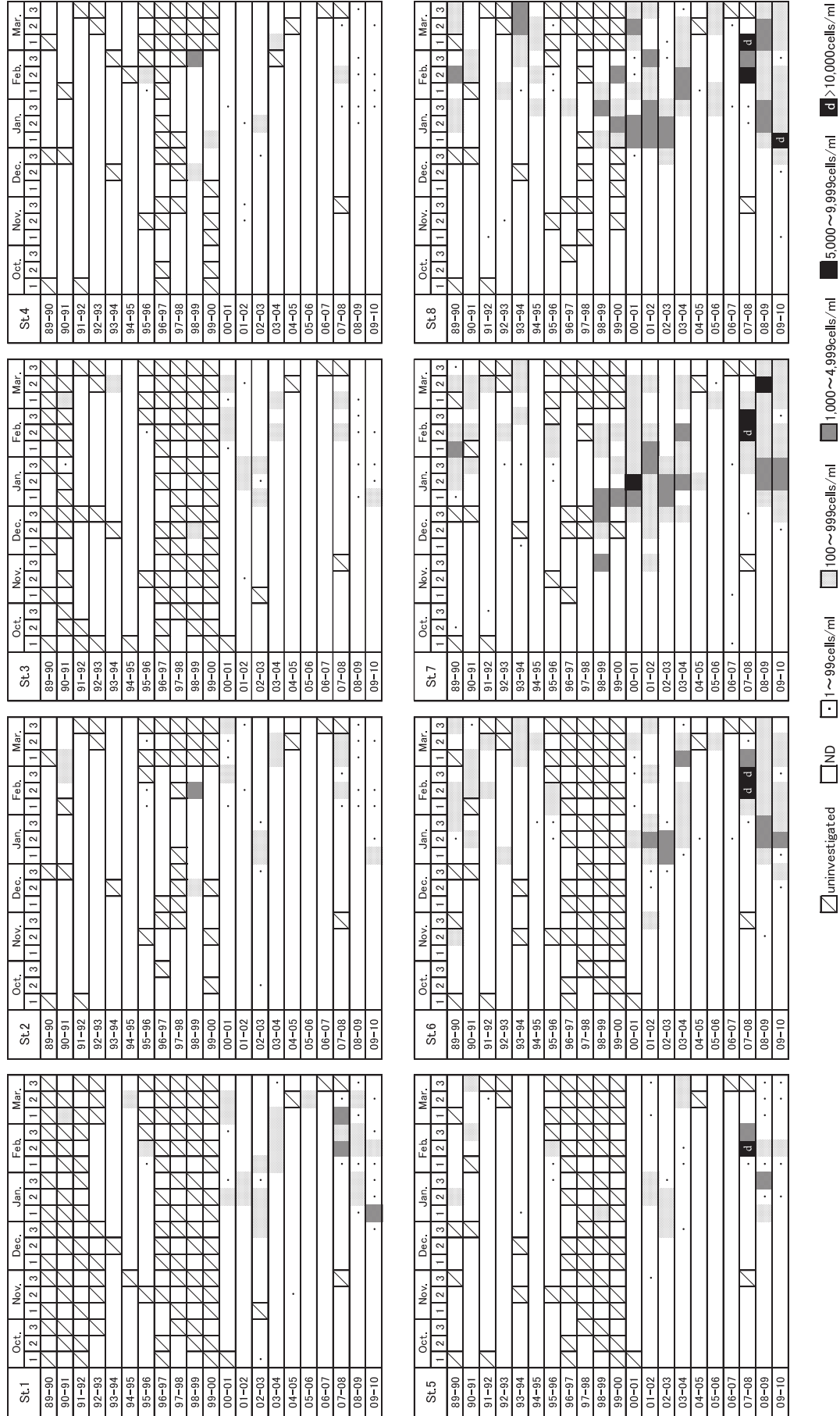


Fig. 6 Trends in occurrence of *Asteroplanus karianus* in the Ariake Sea off Saga Prefecture during a Nori cultivation period from 1989 to 2010. "1", "2" and "3": see Fig. 2.

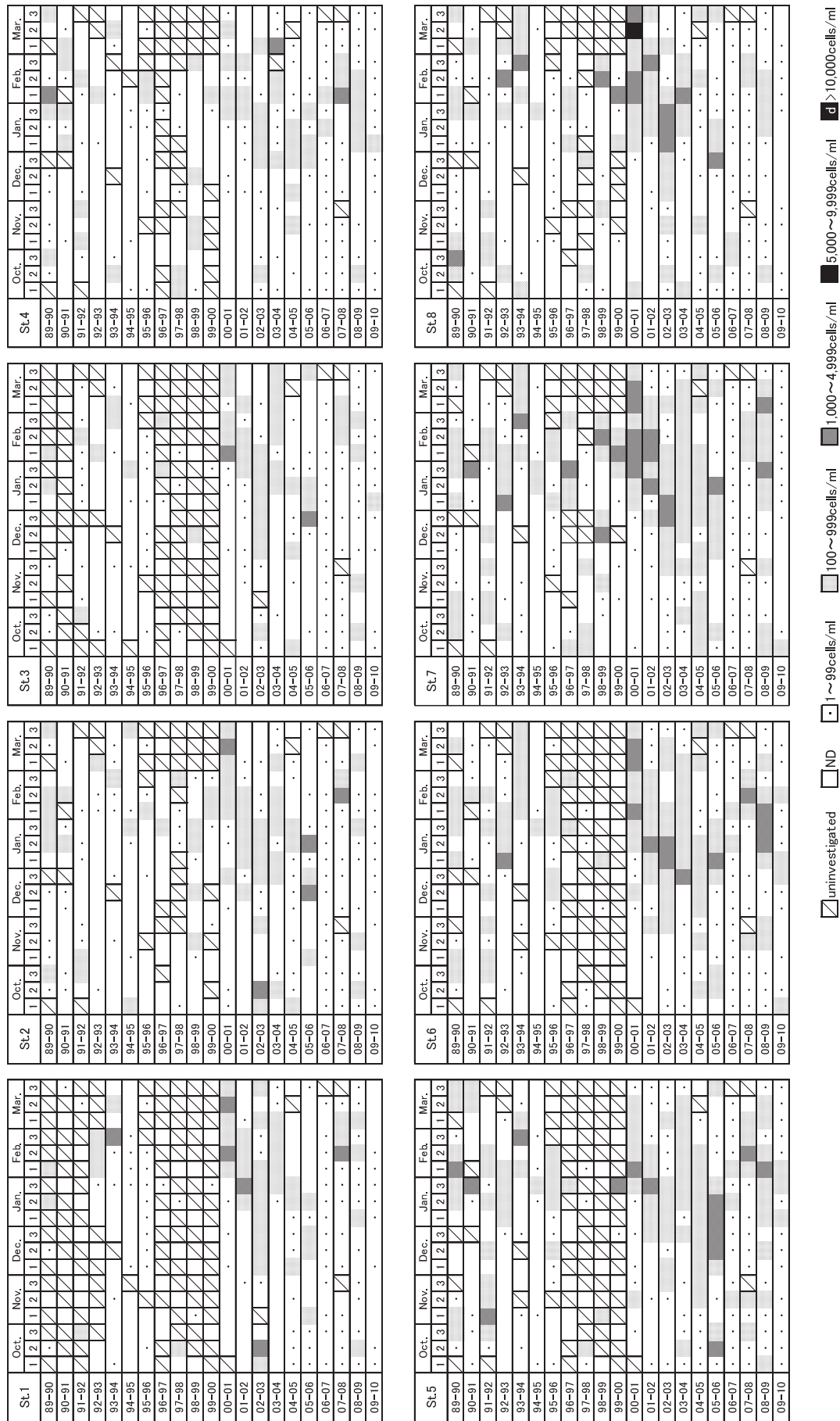


Fig. 7 Trends in occurrence of *Thalassiosira* spp. in the Ariake Sea off Saga Prefecture during a Nori cultivation period from 1989 to 2010. "1", "2" and "3": see Fig. 2.

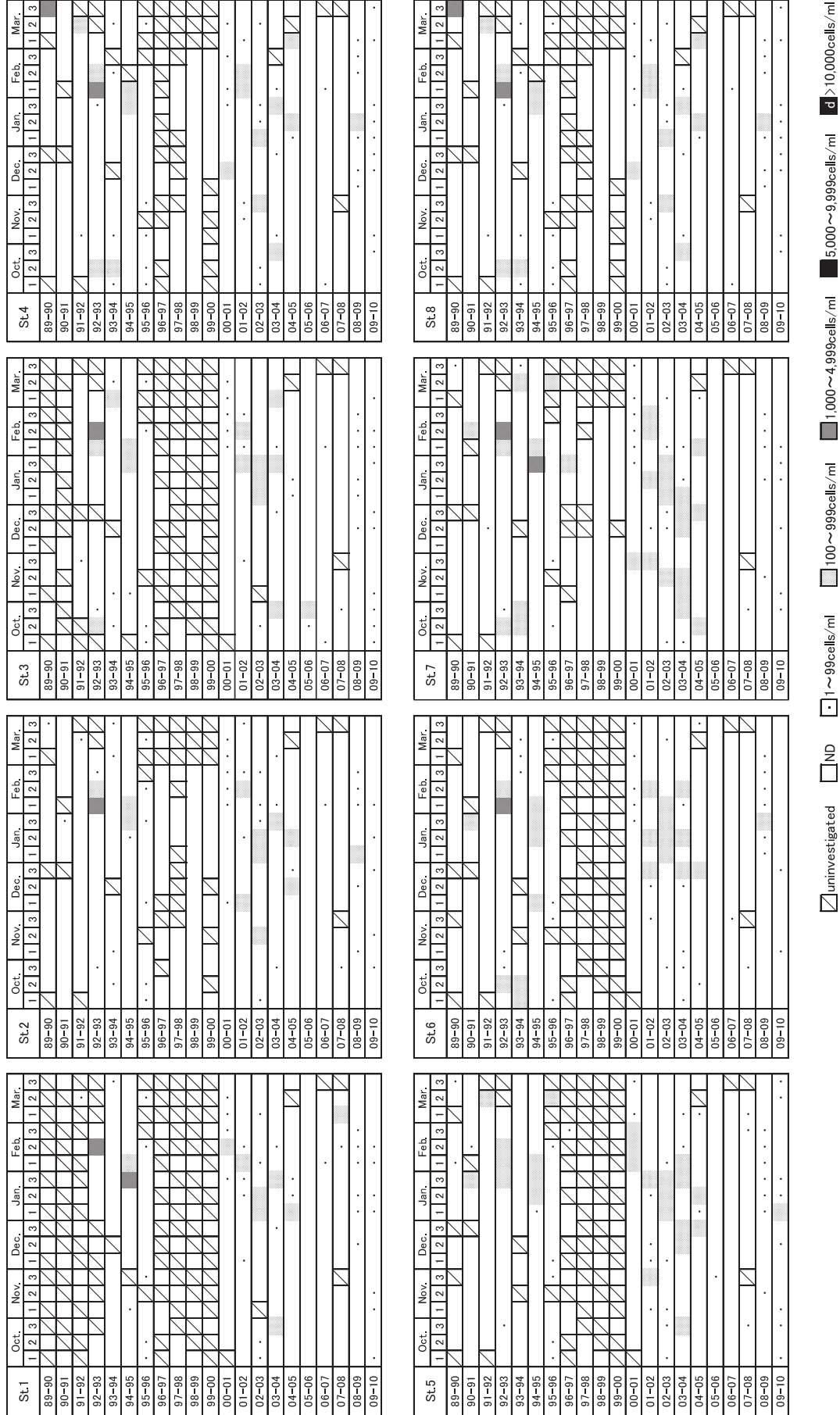


Fig. 8 Trends in occurrence of *Dactyosolen fragilissimus* in the Ariake Sea off Saga Prefecture during a Nori cultivation period from 1989 to 2010. "1", "2" and "3": see Fig. 2.

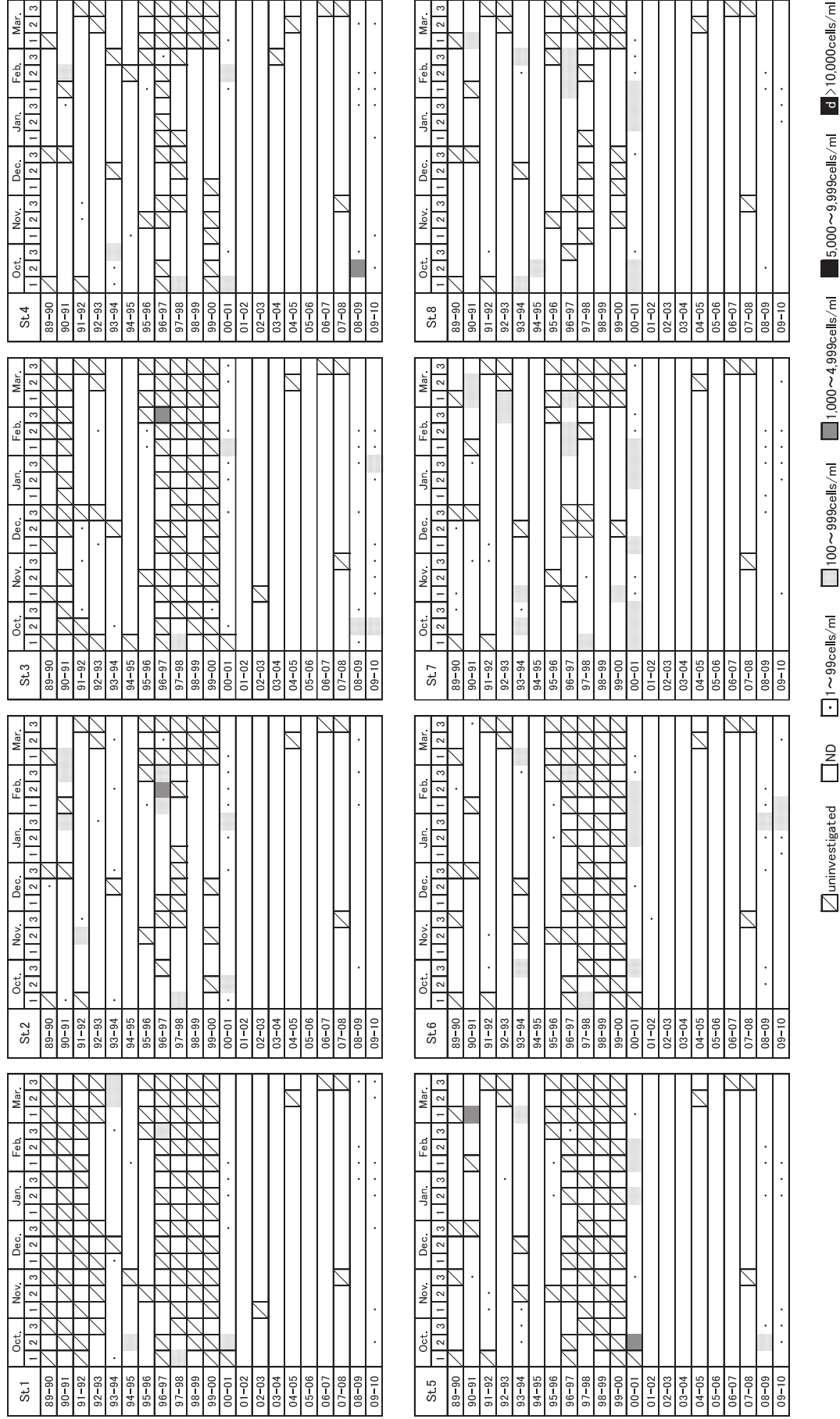


Fig. 9 Trends in occurrence of *Pseudo-nitzschia* spp. in the Ariake Sea off Saga Prefecture during a Nori cultivation period from 1989 to 2010. "1", "2" and "3": see Fig. 2.

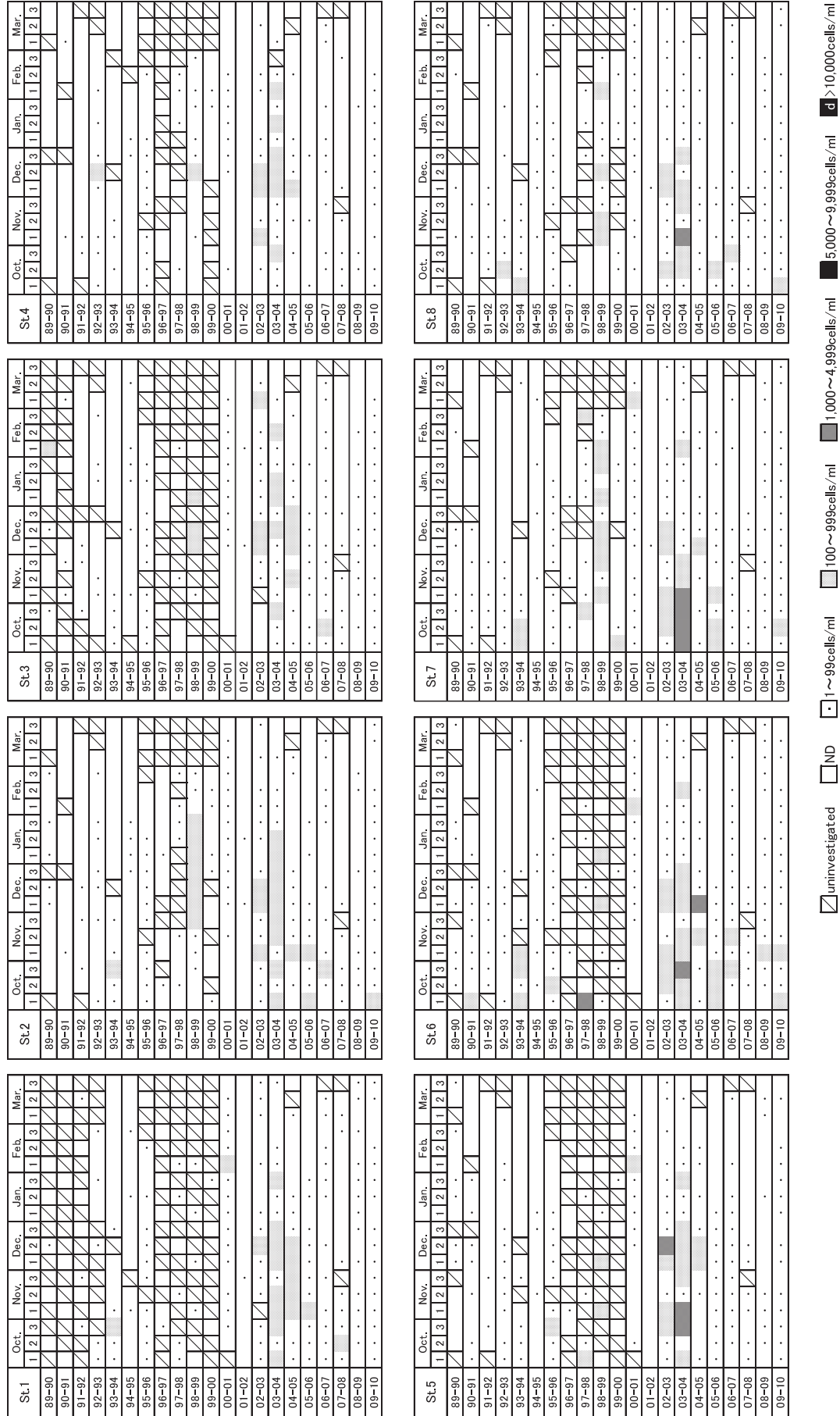


Fig. 10 Trends in occurrence of *Akashiwo sanguinea* in the Ariake Sea off Saga Prefecture during a Nori cultivation period from 1989 to 2010. "1", "2" and "3" : see Fig. 2.

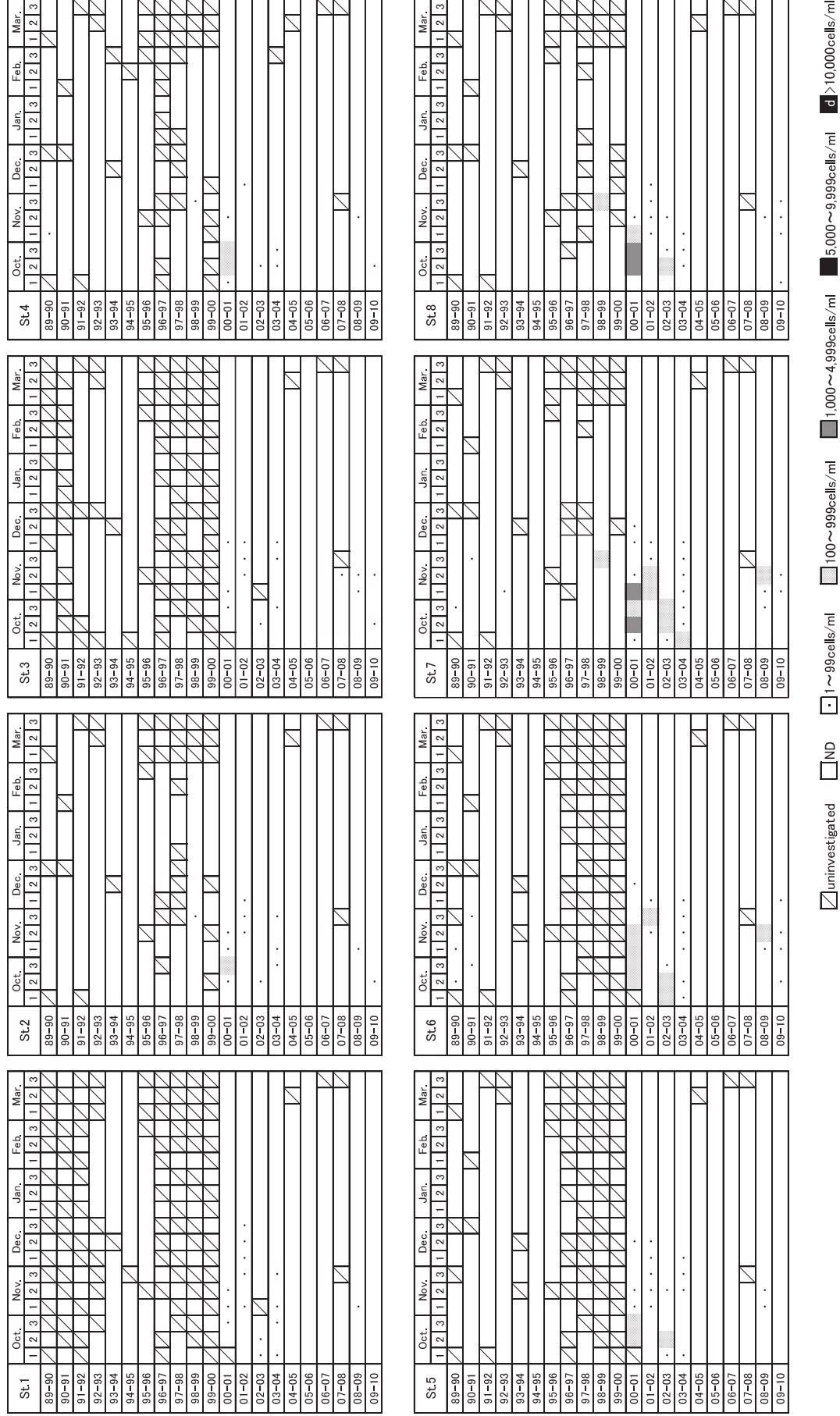


Fig. 11 Trends in occurrence of *Fibrocapsa japonica* in the Ariake Sea off Saga Prefecture during a Nori cultivation period from 1989 to 2010. "1", "2" and "3": see Fig. 2.

考 察

1. 「全体傾向」

Skeletonema spp., *Eucampia zodiacus*, *Asteroplanus karianus*, *Thalassiosira* spp., および *Dactyliosolen fragilissimus* といったほとんどの主要植物プランクトンは、1月から3月の期間に10月から12月の期間よりも高い細胞密度になることが多い傾向が確認され、*Skeletonema* spp., *E. zodiacus* および *A. karianus* は 10,000 cells/ml 以上となることもあった。当海域と同様にノリ養殖が盛んである兵庫県播磨灘では、*Skeletonema* spp. や *Chaetoceros* spp. といった小型珪藻類は主に6月から9月にかけて高密度に出現し、*Coscinodiscus wailesii* や *E. zodiacus* 等の大型珪藻が鉛直混合期である10月から4月に大量発生する¹²⁾。つまり、1月から3月の期間に *Skeletonema* spp. 等の小型珪藻類が高密度で出現する点で、今回示した当海域における植物プランクトンの出現動向は播磨灘と大きく異なるものと考えられる。板倉¹³⁾は、他の水域と比較して有明海は珪藻類が優占しやすい海域であるとし、その原因の一つとして、潮位差が大きいため海水の上下混合が活発で、底泥中の休眠期細胞の巻き上げや栄養細胞の表層の保持が起こりやすいことを挙げている。このうち、「休眠期細胞の巻き上げ」を引き起こすほどの強い上下混合が特に重要であると思われる。つまり、多量の休眠期細胞が水中に頻繁に供給されることで、水温、光条件ともに珪藻の増殖には好適でないと考えられる1月以降でも、当海域では多くの種類の珪藻類が高い細胞密度で出現できるのではないかと推察される。1月から3月の期間に10月から12月の期間よりも高い細胞密度になることが多い原因については、今後検討が必要である。一方、鞭毛藻類の *Akashiwo sanguinea* および *Fibrocapsa japonica* は10月から12月の期間に高い細胞密度になることが多い傾向が確認された。1月以降、*A. sanguinea* は低密度化、*F. japonica* は検出されなくなるが、シストを形成しない *A. sanguinea* は低水温もしくは増加した珪藻類により増殖を抑制され^{14, 15)} 低密度で越冬し、シストを形成する *F. japonica*¹⁶⁾ はシスト化により水中には検出されなくなることが推察される。

2. 「高密度化定点」

Skeletonema spp. および *A. karianus* は St. 6~8 で、*Thalassiosira* spp. および *F. japonica* は St. 7 および 8

で、*A. sanguinea* は St. 5~7 で高密度化する傾向が確認された。つまり、当海域では六角川河口域から塩田川河口域の海域である St. 6~8 で植物プランクトンが高密度化しやすいといえる。St. 6~8 は、馬場ら¹⁷⁾ が 1975 年度から 1981 年度までのノリ漁期 (10~3月) のデータをもとに主成分分析により解析した、当海域でプランクトンが発生しやすい海域と一致し、当海域において植物プランクトンが増加しやすい海域は 30 年以上前から大きく変化していないものと思われる。

3. 「高密度化年度」

Skeletonema spp. は 1997 年度から 2004 年度に、*Chaetoceros* spp. は 1997 年度および 1998 年度に、*E. zodiacus* は 1998 年度から 2001 年度に、*A. karianus* は 2007 年度から 2009 年度に、*Thalassiosira* spp. は 2000 年度から 2002 年度に、*D. fragilissimus* は 1992 年度に、*A. sanguinea* は 2002 年度および 2003 年度に、*F. japonica* は 2000 年度に高密度化する傾向が確認された。つまり、*A. karianus* および *D. fragilissimus* 以外の種類は *Skeletonema* spp. が高密度化した 1997 年度から 2004 年度までの期間において、*Chaetoceros* spp. ('97~'98) → *E. zodiacus* ('98~'01) → *Thalassiosira* spp. ('00~'02), *F. japonica* ('00) → *A. sanguinea* ('02~'03) の順に、1年から4年の間隔で種交替で高密度化する傾向が確認された。Nishikawa et al.¹⁸⁾ は、1980 年代を境に播磨灘における珪藻類の主要種が *Skeletonema* spp. から *Chaetoceros* spp. へと変化した原因は、DIN および PO₄-P のレベルの低下であることを示唆している。今後、当海域における 1997 年度から 2004 年度における水質の変化、さらには種間競合などの生物学的要因も含めて解析することで、上記の現象の原因究明が期待される。また、上述したように 1997 年度から 2004 年度までの期間に集中して、多くの植物プランクトンが高密度化していることから、この期間は植物プランクトンが増加しやすい環境が整っていたことが推察される。堤ら¹⁹⁾ は 1997 年の諫早湾潮受け堤防締め切りが有明海奥部の水塊の湾外への排出を弱めたために、1998 年以降冬季の赤潮が大規模化したと示唆している。また、川口ら²⁰⁾ は二枚貝現存量の減少が珪藻細胞の損失率の低下の原因であると推察している。今後、このような要因に、気象・水質の要因も含めて、1997 年度から 2004 年度までと、その他の年度の特徴を比較することが重要であると考えられる。

4. 「その他の動向」

St. 5 では他の定点と異なり, 2001 年度以降, 10 月から 12 月の期間にも全珪藻類が 1,000 cells/ml 以上となることが多い傾向が確認された。清本ら²¹⁾は 1975 年 4 月から 2005 年 3 月までの 30 年間で, 当海域では特に St. 5 の海域で 10 月から 3 月の期間の透明度が上昇していることを報告している。透明度の上昇は珪藻類の増殖や休眠期細胞の発芽を促進すると考えられ, 今後も動向を注視する必要がある。

文 献

- 1) 今井一郎 (2009) : 有害有毒赤潮の生物学(1). 海洋と生物, 31(1), 80-84.
- 2) 川村嘉応 (2001) : 平成 12 年度佐賀県有明海のノリ養殖の不作と珪藻の大増殖. 海苔と海藻, (62), 1-12.
- 3) 松岡数充 (2003) : 諫早湾における赤潮原因プランクトンの最近の変化. 月刊海洋, 35(4), 246-251.
- 4) 山口峰生 (1994) : *Gymnodinium nagasakiense* の赤潮発生機構と発生予知に関する生理生態学的研究. 南西水研報, (27), 251-394.
- 5) 山下輝昌 (1982) : 有明海湾奥部におけるプランクトンの季節的消長 - XIV. 昭和 55 年度福岡県有明水産試験場研究業務報告, 125-132.
- 6) 山下輝昌 (1982) : 有明海湾奥部におけるプランクトンの季節的消長 - XV. 昭和 56 年度福岡県有明水産試験場研究業務報告, 83-90.
- 7) 川村嘉応・北嶋博卿・小澄千尋・山下康夫 (1986) : 六角川河口沖定点における微細環境 - I 珪藻類と水温・塩分・栄養塩類との関連について. 佐有水研報, (10), 71-87.
- 8) 古賀秀昭 (1986) : 昭和 59 年度における植物プランクトンの出現状況とその発生予測について. 佐有水研報, (10), 89-99.
- 9) 手崎桂介・岩滝光儀・松岡数充・水島康一郎 (2005) : 有明海に出現した植物プランクトンの種組成と季節変化 (2003 - 2004). 長崎大学水産学部研究報告, (86), 1-10.
- 10) 平川和正・坂見知子・阿保勝之・高柳和史・谷村 篤 (2006) : 五カ所湾マダイおよびアコヤガイ養殖場におけるプランクトン群集構造の季節遷移. 水研センター研報, (17), 37-55.
- 11) 首藤俊雄・吉田賢二・川村嘉応 (2001) : 2000 年佐賀県有明海湾奥部におけるフィロコプサ赤潮の発生とノリ養殖への影響. 佐有水研報, (20), 25-33.
- 12) 西川哲也 (2010) : 養殖ノリ色落ち原因珪藻 *Eucampia zodiacus* の大量発生機構に関する生理生態学的研究. 学位論文, 北海道大学大学院, 北海道函館市, 127pp.
- 13) 板倉 茂 (2002) : 赤潮発生の状況. 日水誌, 68(1), 99-100.
- 14) T. Matsubara, S. Nagasoe, Y. Yamasaki, T. Shikata, Y. Shimasaki, Y. Oshima and T. Honjo (2007) : Effects of temperature, salinity, and irradiance on the growth of the dinoflagellate *Akashiwo sanguinea*. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 342(2), 226-230.
- 15) 松原 賢・長副 聡・山崎康裕・紫加田知幸・島崎洋平・大嶋雄治・本城凡夫 (2008) : 渦鞭毛藻 *Akashiwo sanguinea* に対する中心目珪藻類による増殖抑制作用. 日水誌, 74(4), 598-606.
- 16) 吉松定昭 (1987) : 瀬戸内海播磨灘より見出された *Fibrocapsa japonica* (Raphidophyceae) のシスト. 日本プランクトン学会報, 34(1), 25-31.
- 17) 馬場浴文・川村嘉応・山下康夫 (1990) : ノリ漁場環境とノリ品質からみた漁場の類型化. 佐有水研報, (12), 75-81.
- 18) T. Nishikawa, Y. Hori, S. Nagai, K. Miyahara, Y. Nakamura, K. Harada, M. Tanda, T. Manabe and K. Tada (2010) : Nutrient and Phytoplankton Dynamics in Harima-Nada, Eastern Seto Inland Sea, Japan During a 35-Year Period from 1973 to 2007. Estuaries and Coasts, (33), 417-427.
- 19) 堤 裕昭・木村千寿子・永田紗矢香・佃 政則・山口一岩・高橋 徹・木村成延・立花正生・小松利光・門谷 茂 (2005) : 陸域からの栄養塩負荷量の増加に起因しない有明海奥部における大規模赤潮の発生メカニズム. 海の研究, 15(2), 165-189.
- 20) 川口 修・山本民次・松田 治・橋本俊也 (2005) : 有明海におけるノリと浮遊珪藻の栄養塩競合におよぼす環境諸因子の影響評価. 海の研究, 14(3), 411-427.
- 21) 清本容子・山田一來・中田英昭・石坂丞二・田中勝久・岡村和磨・熊谷 香・梅田智樹・木野世紀 (2008) : 有明海における透明度の長期的上昇傾向及び赤潮発生との関連. 海の研究, 17(5), 337-356.