

## 2003年大分県臼杵湾沿岸に発生した有害渦鞭毛藻 *Karenia mikimotoi*赤潮の出現特性

宮村和良<sup>†1</sup>, 三ヶ尻孝文<sup>2</sup>, 金澤 健<sup>3</sup>

### Characteristics of a Red Tide due to the Harmful Dinoflagellate *Karenia mikimotoi* Occurred in Usuki Bay, Oita Prefecture, in 2003

Kazuyoshi MIYAMURA<sup>†1</sup>, Takafumi MIKAJIRI<sup>2</sup> and Ken KANAZAWA<sup>3</sup>

The dinoflagellate *Karenia mikimotoi* (Miyake et Kominami ex Oda) Hansen is responsible for extensive red tides in western Japan. In order to clarify the mechanism of occurrence of *K. mikimotoi* red tides in Usuki Bay which is located in the north-western part of Bungo Channel, Japan, field surveys were made in Usuki Bay and adjacent areas during May through September 2003. The initial appearance of *K. mikimotoi* red tide was observed in Suo-Nada, then the red tide was observed Iyo-Nada, Beppu Bay, and Usuki Bay. The distribution of it extended southward gradually. From result of analysis of the surface water temperature by satellite, the distribution of the red tide area corresponded with the warmer water mass (>25°C). Red tide outbreak in Usuki Bay, accompanied the warmer water mass intrusion into Usuki Bay from Beppu Bay and Iyo-Nada. Furthermore, the red tide of *K. mikimotoi* in Usuki Bay in August 2003 may have originated from Suo-Nada and warmer water mass with the red tide intrusion in Usuki Bay.

**Key words:** *Karenia mikimotoi*, red tide, intrusion, satellite, Usuki Bay, Suo-Nada

#### はじめに

大分県臼杵湾(面積約8.4万km<sup>2</sup>, 平均水深32.5m<sup>i)</sup>, 最大潮位差265cm<sup>ii)</sup>)は豊後水道の北西に位置し, 湾口幅約15.8km, 湾長約12.9kmの比較的開放的な湾であり, 別府湾, 伊予灘に接し, 別府湾, 伊予灘系水の影響を強く受ける。湾奥には臼杵川(渇水流量0.16m<sup>3</sup>/S<sup>iii)</sup>, 低水流量0.39m<sup>3</sup>/S<sup>iv)</sup>)が注ぎ, 湾の西側沿岸には魚類養殖・真珠養

殖場があり, 漁業生産が盛んに行われている。しかし, この湾では1985年から渦鞭毛藻*Karenia mikimotoi* (Miyake et Kominami ex Oda) G.Hansen and Moestrup (これまで*Gymnodinium mikimotoi*あるいは*G. nagasakiense*と称されていた。)による赤潮が度々発生している(水産庁瀬戸内海漁業調整事務所, 1986, 1998, 2002, 2003)。1985年には周防灘を中心に豊後水道西岸を含む瀬戸内海西部の極めて広域な海域に赤潮が発生し, 本湾を含め約10億円を超える漁業被害が報告された(水産庁瀬戸内海漁業調整事務所, 1986)。近年では2001年に魚類・アワビ養殖を中心に約1億7000万円(大分県海洋水産研究センター, 2002), 2003年には魚類養殖を中心に約2800万円を超える漁業被害(大分県海洋水産研究センター, 2005)が報告されている。

沿岸性赤潮が潮流に乗って広範囲に移動することは古くから知られている(例えば今田・本城, 2001)。*K. mikimotoi*に関しても赤潮が移動して被害を拡大させた事例が西部瀬戸内海, 田辺湾, 熊野灘で報告されている(水産庁ほか, 1986; 竹内ほか, 1995)。*K. mikimotoi*遊泳細胞の分布域の拡大について, 小泉ほか(1994)は初期増殖域からの移流・拡散による遊泳細胞の移送が極めて重要な役割を果たしていると報告している。1984年に熊野灘沿岸で発生

2004年11月10日受付, 2005年4月4日受理

<sup>1</sup> 大分県東国東地方振興局 水産課 〒873-0504 大分県東国東郡国東町大字安国寺786-1

<sup>2</sup> 大分県宇佐両院地方振興局 林業水産課 〒879-0454 大分県宇佐市大字法鏡寺235-1

<sup>3</sup> 大分県庁 漁業管理課 〒870-8501 大分県大分市大手町3丁目1-1

<sup>†</sup> miyamura-kazuyoshi@pref.oita.lg.jp

<sup>i)</sup> 平均水深は湾軸上の水深を湾奥から湾口に1kmづつ測定し平均したものを用いた。

<sup>ii)</sup> 最大潮位差は2003年の最高潮位から最低潮位を引いた値を用いた。

<sup>iii)</sup> 1984~2001年の平均値を示す。渇水流量は年間を通じて下回らない流量を示す。

<sup>iv)</sup> 1984~2001年の平均値を示す。低水流量は年間の275日が下回らない流量を示す。

した *K. mikimotoi* 赤潮は当初熊野灘北部の伊勢志摩海域で発生し、徐々に赤潮水塊の南下と拡大を引き起こしながら和歌山県側にまで達した(水産庁ほか, 1986)。この赤潮の拡大は伊勢湾起源の低塩分水塊および伊勢志摩海域で発生していた赤潮の南下を窺わせるが、報告書では地場発生の可能性も示唆されており、*K. mikimotoi* 赤潮の移動の可能性については必ずしも明確にされていない。また、田辺湾における *K. mikimotoi* の赤潮は常に海水交換が最も低い南部海域から始まり、同湾で夏場卓越する反時計回りの潮流に乗って遊泳細胞の拡散および集積が引き起こされ、大規模な赤潮まで発展するという(竹内ほか, 1995)。また過去の臼杵湾における本種の赤潮発生は、隣接している別府湾で発生した後に確認され、急激に細胞密度が増加することから、別府湾からの移流の可能性が指摘されている(大分県海洋水産研究センター, 2002)が、本種の赤潮が初期発生域からの移流を具体的に捉えた例はこれまでにない。

本種の赤潮発生時は赤潮海域からの養殖筏の避難、早期出荷および餌止め等の処置が行われるが、これらの処置は赤潮確認後となるため対応が遅れがちになり、養殖魚を中心に漁業被害が発生してきた。赤潮による漁業被害軽減のためには、赤潮発生機構の解明による発生予察が重要課題であり、現場におけるプランクトンのモニタリングからの短期的な発生予察を行う必要がある。

本論文では2003年に臼杵湾で発生した *K. mikimotoi* 赤潮が初期発生海域からの移流によって発生したことを明らかにし、臼杵湾における本種赤潮の発生予察に関して有用な

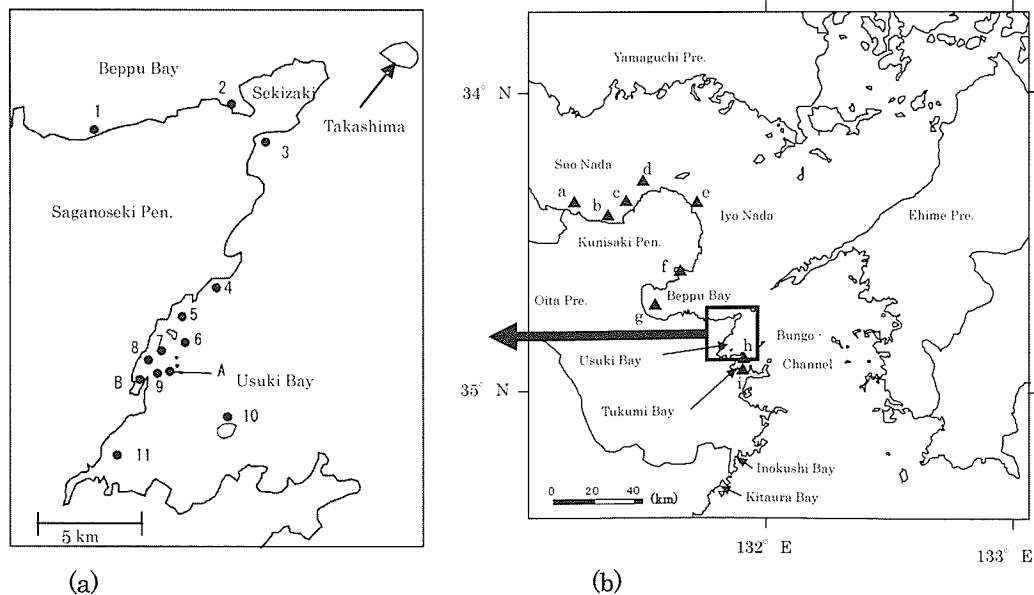
知見を得たので報告する。

### 材料と方法

2003年5月~9月に毎月1~4回、計12回の調査を別府湾から臼杵湾にかけて Fig. 1-a に示した調査点13点(●)で実施した。別府湾の St. 1, St. 2 および豊後水道佐賀関沿岸の St. 3 では表層はバケツを用いて、水深2m層は減圧吸引式採水器を用いて陸上から採水した。臼杵湾(St. 4~St. 11, St. A, St. B)ではリゴーB号透明採水器(離合社)を用いて船上から採水した。St. 4~St. 11では表層、水深2m層、5m層の各層を、St. A, St. B は、表層、水深2m層、5m層、10m層および底上1m層を採水した。中層でクロロフィル a 濃度が高い時には、その層についても採水を行った。採水した海水は100 ml および250 ml のポリ容器に入れた後、急激な温度変化を避けるためクーラーボックスに収容して持ち帰り、調査当日に光学顕微鏡下で *Karenia mikimotoi* の遊泳細胞を計数し、1 ml 当たりの細胞密度とした。

また St. 4~St. 11 は水深0.5m層から水深12mまで、St. A, St. B では水深0.5m層から海底まで0.1m毎に水温、塩分、*in vivo* クロロフィル蛍光値の測定を行った。測定には STD (アレック電子(株)製 ACL1180-DK) を用いた。STD で得られた *in vivo* クロロフィル蛍光値は現場海水のろ過法によるクロロフィル a の測定(Suzuki and Ishimaru, 1990)結果を用いて補正し、クロロフィル a 濃度とした。

本調査点以外で周防灘、伊予灘、別府湾、津久見湾で *K. mikimotoi* の赤潮が見られた7月31日~8月6日には、これらの湾に調査点9点(Fig. 1-b ▲)を設置し、表層、水深2m層



**Figure 1.** Location of sampling stations at coastal areas of Usuki bay (a) and Oita prefecture (b). Closed circle (●) and closed triangles (▲) indicate stations for the observations of water temperature, salinity, and cell density of *Karenia mikimotoi*.

または水深5m層の採水を行った。さらにこれらの調査点以外の着色海域でも表層水の採水を行ない、本種の遊泳細胞を計数した。解析には、前述の調査結果と併せて現場の県水産改良普及員、現場漁業者の検鏡計数結果および目視による赤潮着色海域確認の情報も解析に用いた。また、水塊の移動を確認するために、大分県水産海洋研究センターで受信しているNOAA (12, 15, 16号)の熱赤外画像(以後表層水温)のデータも解析に用いた。なおNOAAの画像は標準時を基準とする1日の合成画像を用いた。

## 結果

### 臼杵湾および周辺海域での *Karenia mikimotoi* の出現状況

2003年5月から9月の別府湾、臼杵湾における各調査点の *K. mikimotoi* の最高細胞密度の推移を Fig. 2 に示した。臼杵湾では7月上旬~中旬に1 cells/ml 確認され、その後7月下旬に約100 cells/ml まで増加した後、4日後の8月6日に急激に細胞密度の増加が確認され40,000 cells/ml に達した。その後、速やかに細胞密度が減少し、8月下旬には遊泳細胞は確認されなくなった。別府湾では7月下旬に1 cells/ml 確認された後、急激に細胞密度の増加が確認され1,000 cells/ml を超えて赤潮状態になった。その3日後には減少し、8月上旬から中旬の期間に100 cells/ml 未満でしばらく推移した。8月下旬に1 cells/ml 確認された後、遊泳細胞は確認されなくなった。両湾での最高細胞密度は、まず別府湾でピークに達した後、約6日間遅れて臼杵湾でピークに達した。

次に、臼杵湾および別府湾における7月24日~8月26日の *K. mikimotoi* による着色域および各調査点における細胞密度分布の推移を Fig. 3 に示した。臼杵湾における本種の着色海域は別府湾で確認された後、豊後水道の水道部(関崎付近)を経て臼杵湾で認められ、南下する傾向がみられた。7月24日には臼杵湾・別府湾で遊泳細胞は確認されなかった。7月29日には遊泳細胞が別府湾で1 cell/ml、臼杵湾で最高74 cells/ml 確認され、臼杵湾では大部分の調査点で50 cells/ml 以下で分布していた。7月31日には別府湾の St. 2 で本種による着色(赤潮)が確認され3,400 cells/ml の遊泳細胞が出現した。一方、同日の臼杵湾では大部分の調査点で、10 cells/ml 以下の低密度で分布していた。8月1日、2日には引き続き別府湾で着色域が認められ、着色域では1,000 cells/ml 以上の遊泳細胞が確認された。臼杵湾では N.D. (検出限界1 cells/ml 未満を示す)~40 cells/ml の密度で遊泳細胞が出現した。8月3日には別府湾と豊後水道の水道部(関崎~高島)にかけて帯状の本種による着色域が確認され、臼杵湾では遊泳細胞密度が急激に増加し最高742 cells/ml に達した。その後8月5日には、臼杵湾で広範囲に着色が認められ、着色域では遊泳細胞が3,200 cells/ml 確認された。翌日6日には着色域は南下して臼杵湾南部沿岸で認められ、遊泳細胞は最高40,000 cells/ml 確認された。

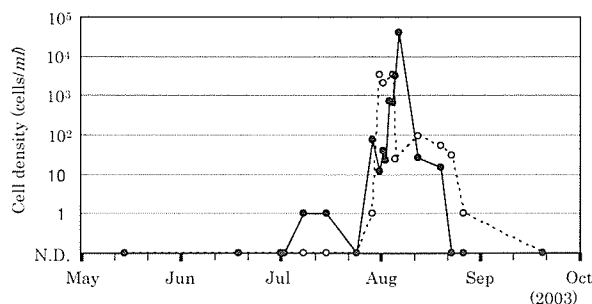


Figure 2. Temporal changes in maximum cell density of *Karenia mikimotoi* in Beppu Bay (—○—) and Usuki Bay (—●—) in May–September 2003.

その後8月7日には臼杵湾の着色域は台風接近時の南西の風により、湾の西側に吹き付けられた。台風通過後の8月11日には着色域は消滅し、遊泳細胞は臼杵湾全域で低密度になった。8月12日には別府湾の St. 1 で再び遊泳細胞が増加し100 cells/ml が確認され、臼杵湾では St. 11 で26 cells/ml が確認されたが、その他の調査点では20 cells/ml 以下であった。その後8月16日には再び別府湾と豊後水道の水道部(関崎~高島)に着色域が確認され、翌日の8月17日には臼杵湾北部の沿岸に着色域が確認された。8月20日には臼杵湾北部の St. 3 の周辺で、翌日の8月21日には St. 4 周辺で本種による着色が確認された。その後8月26日には別府湾、臼杵湾のすべての調査点で10 cells/ml 以下の低密度となり、赤潮は終息した。

なお、赤潮発生海域で優占していたプランクトンは *K. mikimotoi* がほとんどで、若干 *Cochlodinium polykrikoides* や *Chaetoceros* spp. が混在していた。赤潮衰退期には従属栄養性渦鞭毛藻 *Gyrodinium dominans* の増殖が観察された。

### 暖水塊の南下と *K. mikimotoi* 赤潮の出現

*K. mikimotoi* 遊泳細胞の濃密度分布は、7月31日~8月1日には周防灘南部から別府湾にかけて確認され、8月4日~6日には別府湾から豊後水道の臼杵湾、津久見湾にかけて確認された。この時期の周辺海域における水塊移動と赤潮との関係を見るために、大分県沿岸の周防灘、伊予灘、別府湾、豊後水道の臼杵湾と津久見湾の *K. mikimotoi* 遊泳細胞の分布の推移と NOAA による表層水温の分布の推移を Fig. 4 に示した。

NOAA の表層水温は、7月31日(標準時)には周防灘、伊予灘、別府湾にかけて25~28°C で分布し、北部の海域で水温が高い傾向が確認された。別府湾、伊予灘と豊後水道を結ぶ速吸瀬戸では、愛媛県沿岸側から豊後水道の25°C 未満の比較的水温の低い水塊が北へ張り出し、大分県沿岸側から別府湾の25°C 以上の暖水塊の一部が豊後水道へ南下している傾向が見られた。一方、8月4日(標準時)の NOAA の表層水温には、伊予灘、別府湾で26~30°C と別府湾南部を中心に水温が高い傾向が確認さ

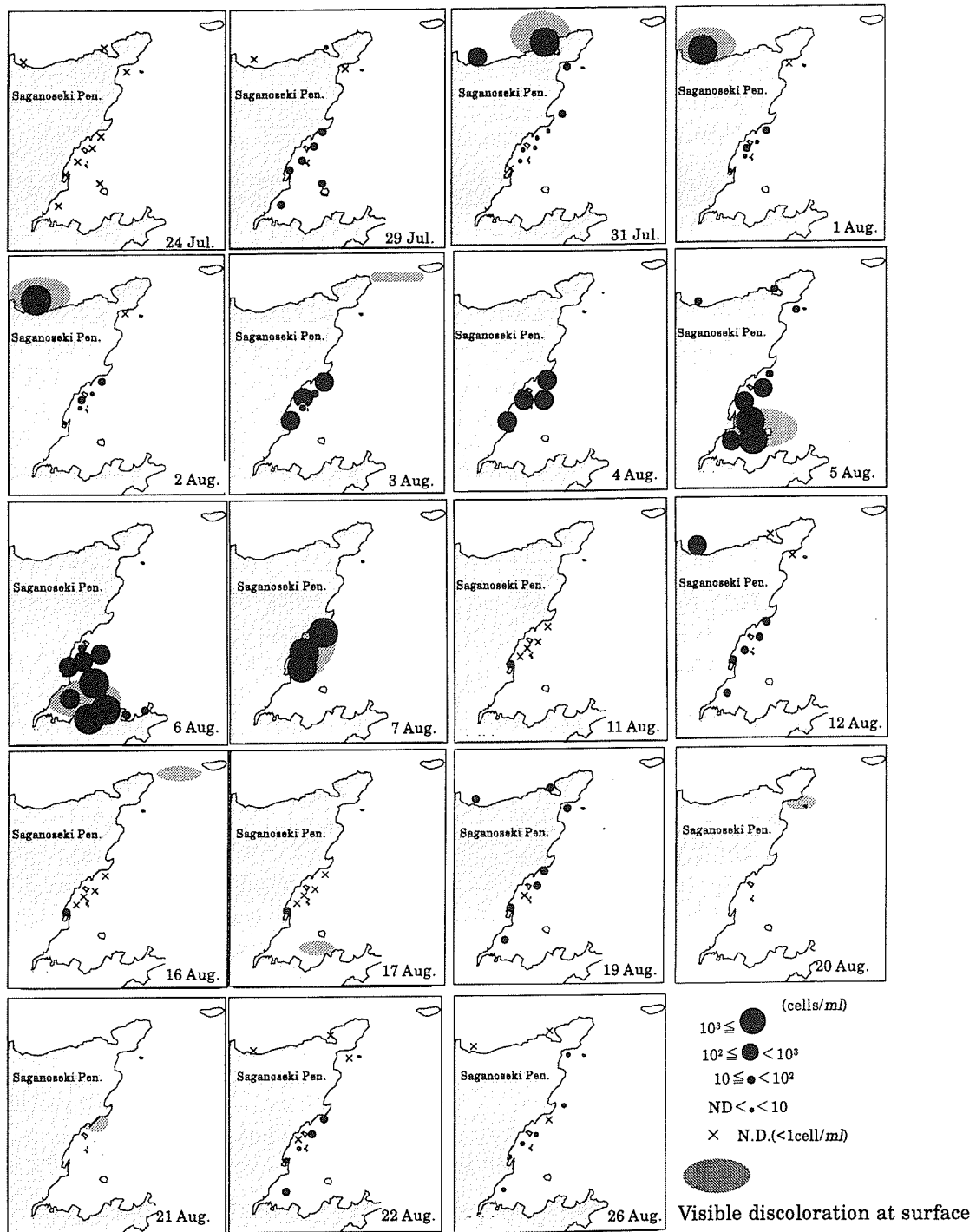


Figure 3. Horizontal distribution of *Karenia mikimotoi* in coastal waters of Usuki Bay from 24 July to 26 August 2003.

れ、速吸瀬戸では7月31日にみられた25℃未満の水塊は縮小し、伊予灘および別府湾の暖水塊が関崎～高島の水路部を越えて南下し臼杵湾と津久見湾沿岸に波及していた。

*K. mikimotoi* 遊泳細胞の濃密度分布域は7月31日と8月4日の暖水塊の分布と良く一致しており、暖水塊の南下によ

り臼杵湾と津久見湾へ波及したと考えられる。赤潮が南下し臼杵湾へ波及した8月5日のSt. 11, St. A, St. 6, St. 5, St. 4の水温、塩分、密度( $\sigma_t$ )、クロロフィルa濃度、*K. mikimotoi* 遊泳細胞密度の鉛直分布をFig. 5に示した。St. 11とSt. Aの間の表層～水深2mではクロロフィルa濃度が高く、同

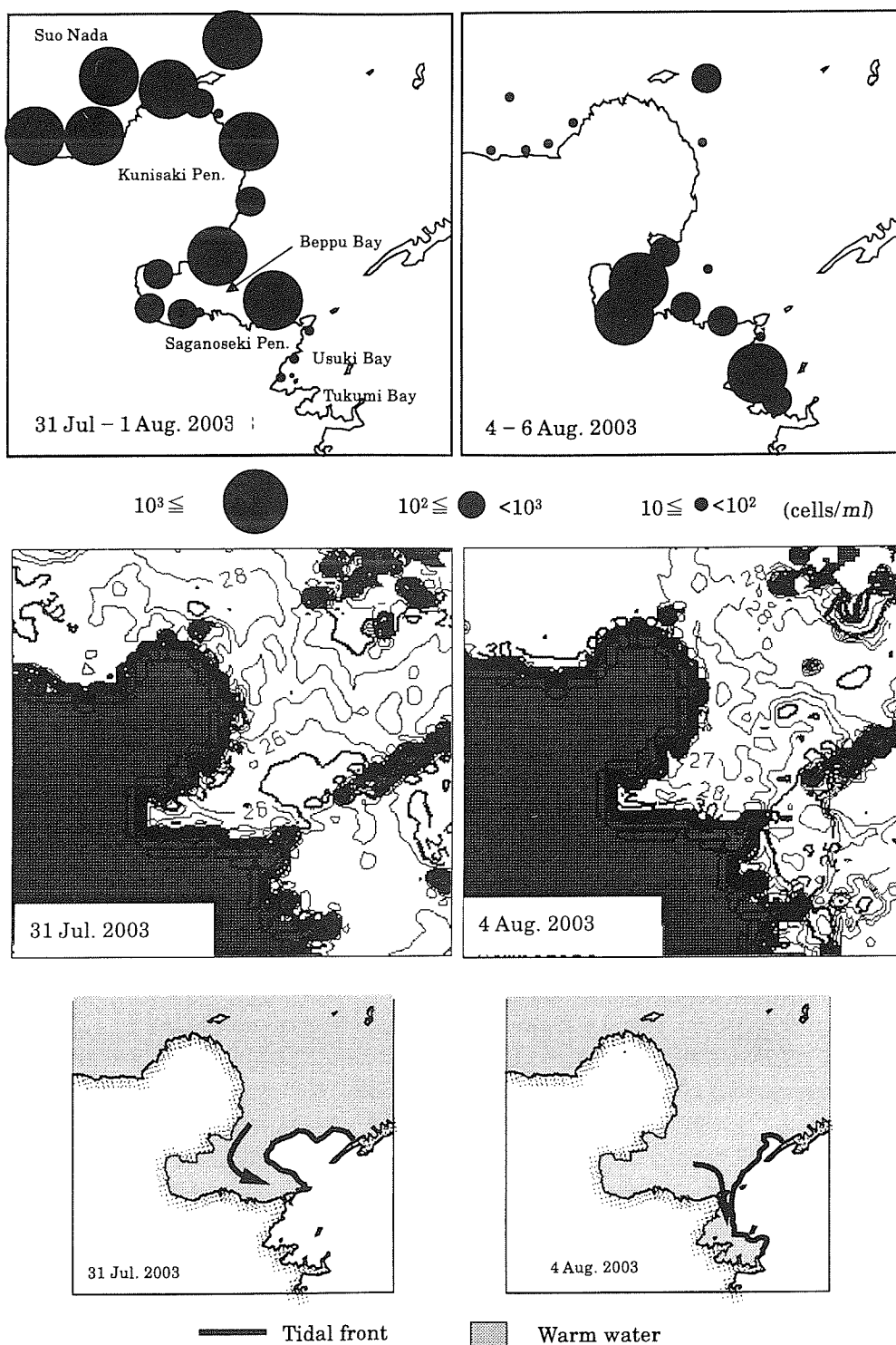


Figure 4. Cell density of *Karenia mikimotoi* (upper), horizontal distribution of surface water temperature from satellite image of NOAA (middle) and schematic view of warm water intrusion into Usuki Bay (lower).

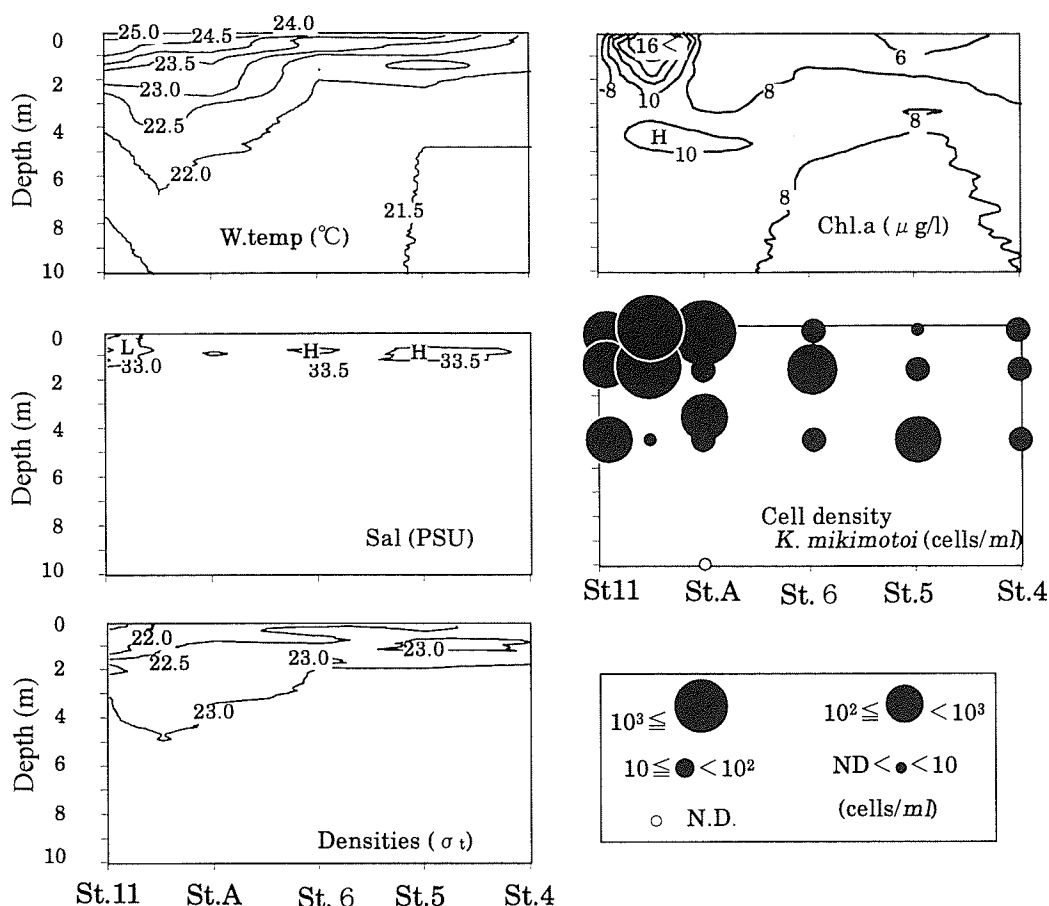


Figure 5. Vertical profile of water temperature, salinity, density ( $\sigma_t$ ), chlorophyll *a*, and cell density of *Karenia mikimotoi* in Usuki Bay on 5 August 2003.

じ位置に *K. mikimotoi* の濃密度分布域 (赤潮) が形成されていた。また、この部分の水温は 24~25°C の範囲にあり、他と比較して水温が明らかに高かった。これは別府湾から南下した暖水塊に相当すると考えられた。現場での 8 月 5 日の目視観測では *K. mikimotoi* 赤潮は表層でパッチ状に分布し、南方向に移動していることが確認され、Fig. 5 で示した表層~水深 2m に見られた高クロロフィル *a* 濃度、高水温の水塊の発生海域と一致した。

### 考察

#### 臼杵湾における *K. mikimotoi* の増殖速度

2003 年臼杵湾で発生した *K. mikimotoi* 赤潮は、別府湾で発生した赤潮が、その後臼杵湾へ南下することで現れた。NOAA の表層水温画像はこの時期に伊予灘と別府湾の暖水塊が南下して、臼杵湾へ流入していたことを示し、臼杵湾での *K. mikimotoi* 赤潮が伊予灘と別府湾からの暖水塊の流入に伴って発生したことを示唆している。しかし、臼杵湾に元々分布していた本種の初期出現細胞が分裂増殖を繰り返すことで赤潮が形成される、すなわち地場発生の可能性

も残されている。ここでは、臼杵湾の現場観測から得られた水温、塩分から *K. mikimotoi* の増殖速度を推定し、地場発生の可能性について検討した。

臼杵湾内で本種が地場発生によって赤潮を形成するには、湾内で初期発生した遊泳細胞が好適環境下において無性的な分裂増殖を活発に行うことが必要である。水温 ( $T$ , °C)、塩分 ( $S$ ) から得られる増殖速度  $\mu$  (divisions/day) は

$$\begin{aligned} \mu = & 1.05753 - 0.30220 \cdot T \\ & + 0.01777 \cdot T^2 - 0.00035 \cdot T^3 \\ & + 0.00515 \cdot T \cdot S - 0.00010 \cdot T \cdot S^2 \end{aligned}$$

で与えられる (山口・本城, 1989)。これは光や栄養塩の制限要因を考慮しない場合の、現場環境下で考えられる最高増殖速度に相当する。臼杵湾における現場の水温、塩分を上式に代入し、臼杵湾で赤潮になる前の 7 月 31 日に確認された初期細胞密度からの細胞密度の変化を算出した (Fig. 6)。本種はこの時期の現場水温、塩分の条件下では平均 1.02 divisions/day で分裂増殖できると算出された。しかし、現場の細胞密度は、計算値よりも速い速度で増加し、

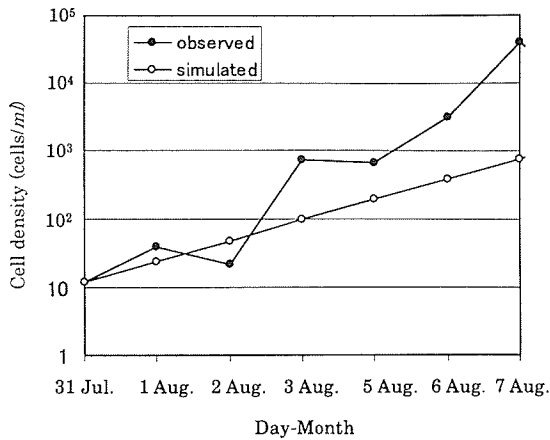


Figure 6. Cell density of *Karenia mikimotoi* observed in Usuki Bay (●—) and a simulated growth curve (○—) calculated by the growth model (Yamaguchi and Honjo, 1989; in Japan).

特に8月3日以降には現場で計数された細胞密度が、算出された細胞密度より3.5~52.0倍とはるかに高く推移した。用いた増殖速度式は光や栄養条件が満たされた培養条件下で得られた最大速度である。現場海域では光や栄養条件が増殖の律速要因となることが多く、現場における *K. mikimotoi* は移流拡散や捕食、あるいは自然死亡などの影響を強く受けていると推察される(飯塚・入江, 1972)。計算結果はあくまで「最大増殖速度」であり、地場発生する個体群の増殖速度はこの計算結果よりもかなり低いと考えられる。

2003年5~9月の臼杵湾の栄養塩はDINが表層で1.4~7.1  $\mu\text{M}$ 、底層で1.3~2.8  $\mu\text{M}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ が表層で0.04~0.38  $\mu\text{M}$ 、底層で0.23~0.68  $\mu\text{M}$  (大分県海洋水産研究センター事業報告 印刷中)である。*K. mikimotoi* は鉛直移動により下層の栄養塩を利用でき(Honjo, 1990)、表層が低濃度の栄養条件でも十分増殖できる特性を有する(Yamaguchi, 1999)ことから、臼杵湾においても、本種は十分に増殖する潜在能力を持つ。しかし、今回臼杵湾で認められた細胞密度の増加は、本種の潜在能力をはるかに越えているため、この海域の赤潮を地場発生のみでは説明することができない。

#### 暖水塊の南下と *K. mikimotoi* 赤潮の出現との関係

2003年の臼杵湾における本種の赤潮発生を地場増殖のみでは説明できないことから、その主な原因は、この時期に別府湾で確認された *K. mikimotoi* 赤潮を含む暖水塊の南下に伴って、別府湾の赤潮が臼杵湾へ移流したことにあって考えられる。沿岸域では地球自転(コリオリ力)の影響により北半球では表層を沿岸から外洋に向かう低密度水は右手方向へ押し付けられることから、別府湾系水は速吸瀬戸の佐賀関沿岸を通過して臼杵湾へ南下すると推定される。このことは、実際の本種赤潮の分布域と良く一致している。

さらに、別府湾で本種の赤潮が確認される前に周防灘で赤潮が確認され、その分布域は、周防灘から伊予灘を経て別府湾へ至るものであった。周防灘から伊予灘への本種の赤潮の伝播については、小泉ほか(1994)は、周防灘の *K. mikimotoi* 遊泳細胞が、周防灘から伊予灘への南下する流れに乗って移流すると報告している。さらに、伊予灘から別府湾へ南下する流れについても報告されている(水産庁, 1980)ことから、今回の別府湾での本種の赤潮は、周防灘の赤潮が伊予灘を通過し、さらに別府湾へ移流したと考えることができる。そして、その一部が暖水塊の南下に伴い臼杵湾へ移流した結果と考えられる。すなわち、臼杵湾で発生した本種の赤潮については周防灘が初期発生海域であると考えられた。

本論文では、衛星画像については1日の合成画像を用いた。また、プランクトン調査も高々1日1回の調査結果である。したがって、ここでは1日以上時間スケールで現象を捉えている。しかし、実際には潮汐流が存在するため、上げ潮時には豊後水道の海水が伊予灘や別府湾へ流入し、下げ潮時には逆に伊予灘や別府湾の海水が南下して豊後水道へ流入している。さらに、夏季の速吸瀬戸では潮汐流による鉛直混合によって低水温の水塊が形成され、その冷水塊と別府湾・伊予灘の水塊との間に潮汐フロントが存在する(柳, 1990)。この潮汐フロントが発達している場合、別府湾系水が多量に速吸瀬戸を通過することは困難であると考えられる。しかし、今回赤潮が臼杵湾へ移流する際には、この冷水塊が縮小している現象が確認された。このことから潮汐フロントの位置、冷水塊の規模は別府湾から臼杵湾への暖水塊の流入と密接に関係していると考えられる。速吸瀬戸では小潮・大潮時で潮汐フロントの位置が違い、夏季のフロントの位置と強さの変動は予測できる(柳, 1990)。今後、臼杵湾の赤潮発生予察を行なう上で潮汐フロントと暖水塊流入の関係を解明することが重要な課題である。また、赤潮水塊の流入後における臼杵湾内における *K. mikimotoi* 赤潮の拡大、終息については *K. mikimotoi* の増殖活性の動向も無視することができず、今後これに関する環境要因(栄養塩や光条件等)の調査が必要である。

今回、別府湾から臼杵湾へ赤潮が流入した後、豊後水道の津久見湾、猪串湾、北浦(田牧私信)と豊後水道西岸を次々に南下していく広範囲かつ大規模な赤潮の発生が確認された。これは別府湾からの赤潮水塊の流入が豊後水道西岸全域に影響していることを示唆している。今回の報告は、別府湾から臼杵湾への赤潮水塊流入のみの考察でとどまっているが、今後、豊後水道沿岸の大規模な *K. mikimotoi* 赤潮発生予察を考える際には、赤潮水塊の流入を考慮するとともに、人工衛星によるリモートセンシング技術を用いた周防灘、伊予灘、別府湾の広域な赤潮モニタリングが必要であると考えられる。さらに、潮流調査により別府湾から豊後水道・臼杵湾への水塊流入のメカニズムを解明するこ

とによって、短期的な赤潮発生予察が可能となると思われる。

### 謝 辞

本調査を行うにあたり、現地調査において多大な御支援と御協力をいただいた、重宝水産株式会社代表取締役佐々木兼照氏、河野直道氏に心からお礼を申し上げる。また、この調査研究に対して、終始親切なご指導を賜ると共に草稿の校閲をいただいた水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所研究員松山幸彦博士、同センター養殖研究所研究員阿保勝之博士に深甚なる謝意を表します。

### 参考文献

- 飯塚昭二・入江春彦 (1972) 大村湾における *Gymnodinium* '65年型赤潮の発生機構。日本プランクトン学会報, **19**, 22-33.
- 今田信良・本城凡夫 (2001) 沿岸性赤潮に関するシード個体群の起源。日本プランクトン学会報, **48**, 121-124.
- 小泉善嗣・高島 景・神蘭真人・江藤拓也・馬場俊典・檜山節久・池田武彦・岩男 昂・樋下雄一・内間満明・矢沼 隆・内田卓志・本城凡夫 (1994) 西部瀬戸内海における *Gymnodinium mikimotoi* の増殖域の環境特性と分布拡大機構。海の研究, **3**(2), 99-110.
- 大分県海洋研究センター (2002) 成13年度大分県海洋研究センター事業報告書, p. 126-130.
- 大分県海洋研究センター (2005) 平成15年度大分県海洋研究センター事業報告書.
- 水産庁瀬戸内海漁業調整事務所 (2003) 平成14年瀬戸内海の赤潮,

- 12 pp.
- 水産庁瀬戸内海漁業調整事務所 (2002) 平成13年瀬戸内海の赤潮, 8 pp.
- 水産庁瀬戸内海漁業調整事務所 (1998) 平成9年瀬戸内海の赤潮, 6 pp.
- 水産庁瀬戸内海漁業調整事務所 (1986) 昭和60年夏期西部瀬戸内海ギムノディニウム赤潮の発生状況と被害の概要, 12 pp.
- 水産庁 (1980) 昭和54年度赤潮対策技術開発試験報告書.
- 水産庁・三重県・和歌山県 (1986) 昭和59年熊野灘海域に発生したギムノディニウム・ナガサキエンセ赤潮に関する調査報告書.
- Suzuki, R. and T. Ishimaru (1990) An improved method for the determination of phytoplankton chlorophyll using *N,N*-dimethylformamide. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **46**, 190-194.
- 竹内照文・小久保友義・辻 泰俊・本城凡夫 (1995) 田辺湾における *Gymnodinium mikimotoi* の群成長と流況による赤潮分布域の変化。日本誌, **61**, 494-498.
- Honjo, T., S. Yamamoto, O. Nakamura and M. Yamaguchi (1990) Annual cycle of motile cells of *Gymnodinium nagasakiense* and ecological features during the period of red tide development. In: Toxic Marine Phytoplankton, ed. by E. Granéli, B. Sundström, L. Edler and D. M. Anderson, Elsevier, New York, 165-170.
- 柳 哲雄 (1990) 潮目の科学, 恒星社厚生閣, 東京, 28-36.
- 山口峰生・本城凡夫 (1989) 有害赤潮渦鞭毛藻 *Gymnodinium nagasakiense* の増殖におよぼす水温, 塩分および光強度の影響。日本誌, **55**, 2029-2036.
- Ymaguchi, M and S. Itakura (1999) Nutrition and growth kinetics in nitrogen—or phosphorus—limited cultures of the noxious red tide dinoflagellate *Gymnodinium mikimotoi*. *Fisheries Science*, **65**, 367-373.