2012 年伊万里湾で発生した有害渦鞭毛藻 Karenia mikimotoi 赤潮の環境 特性と養殖トラフグの大量斃死

山砥稔文1*·石田直也15·平江想1·杉原志貴1·鎌田正幸26·西山嘉乃37·青木一弘4

「長崎県総合水産試験場(〒851-2213 長崎県長崎市多以良町1551-4)
²長崎県県北水産業普及指導センター(〒857-0043 長崎県佐世保市天満町1-27)
³佐賀県玄海水産振興センター(〒847-0122 佐賀県唐津市唐房 6-4948-9)
⁴国立研究開発法人水産研究・教育機構中央水産研究所(〒236-8648 神奈川県横浜市金沢区福浦2-12-14)
⁵現在:長崎県対馬水産業普及指導センター(〒817-0324 長崎県対馬市美津島町久須保 668)
⁶現在:長崎県水産部(〒850-8570 長崎県長崎市江戸町2-13)
⁷現在:佐賀県農林水産部水産課(〒840-8570 佐賀県佐賀市城内1-1-59)

Toshifumi Yamatogi^{1*}, Naoya Ishida^{1,5}, Sou Hirae¹, Yukitaka Sugihara¹, Masayuki Kamada^{2,6}, Kano Nishiyama^{3,7} and Kazuhiro Aoki⁴: Environmental features and mass mortality of cultured fish during *Karenia mikimotoi* bloom in the Imari Bay, Japan, in 2012. Jpn. J. Phycol. (Sôrui) 64: 94-101, July 10, 2016

A red tide of noxious unarmored dinoflagellate *Karenia mikimotoi* (Miyake & Kominami ex Oda) Hansen & Ø. Moestrup occurred in the Imari Bay in July–August 2012. The maximum density of *K. mikimotoi* reached 15,000 cells mL⁻¹ with water temperature of 28.4°C. The red tide caused mass mortalities of cultured tiger puffer *Takifugu rubripes*, with loss of more than 92 million yen. In order to identify the particular cause of the red tide and huge fisheries damage, time series data of temperature, salinity, wind and cell density of *K. mikimotoi* were analyzed. These data of environmental condition suggest that the mass mortality of tiger puffer was caused by exposure to the dense bloom of *K. mikimotoi* and environmental stress of sudden water temperature change (ca. 3°C).

Key Index Words: Imari Bay, Karenia mikimotoi, mass mortalities, red tide, Takifugu rubripes, temperature change

1Nagasaki Prefectural Institute of Fisheries, 1551-4 Taira, Nagasaki, Nagasaki 851-2213, Japan

2Nagasaki Prefectural Northern District Fisheries Extension Advisory Center, 1-27 Tenma, Sasebo, Nagasaki 857-0043, Japan

3Saga Prefectural Genkai Fisheries Research and Development Center, 6-4948-9 Tobou, Karatsu, Saga 840-8570, Japan

4National Research Institute of Fisheries Science, Japan Fisheries Research and Education Agency, 2-12-4 Fukuura, Kanazawa, Yokohama, Kanagawa 236-8648, Japan

5Nagasaki Prefectural Tsushima District Fisheries Extension Advisory Center, 668 Kusubo, Mitsushima, Tsushima, Nagasaki 817-0324, Japan

6Nagasaki Prefectural Government, Fisheries Division, 2-13 Edo, Nagasaki, Nagasaki 850-8570, Japan 7Saga Prefectural Fisheries Division, 1-1-59 Jonai, Saga, Saga 840-8570, Japan

*Author for correspondence: yamatogi011143@pref.nagasaki.lg.jp

緒言

無 殻 渦 鞭 毛 藻 Karenia mikimotoi (Miyake & Kominami ex Oda) G. Hansen & Ø. Moestrup による赤 潮は1965年に長崎県大村湾で発生し,魚介類の斃死による 約7億円の漁業被害を出した(塩川・入江 1966,飯塚・入 江 1972)。K. mikimotoi 赤潮は,その後も西日本沿岸海域 を中心に多発しており,2012年には豊後水道などの西日本各 地で赤潮を形成して 13億円を超える漁業被害をもたらすな ど,魚介類に甚大な斃死被害を及ぼすことから水産振興上の 大きな障害となっている。(水産庁九州漁業調整事務所 1982 - 2015,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 1999 - 2015,水産庁瀬戸内海漁業調整事務所 2000)。K. mikimotoi の赤潮は広域に出現する傾向が見られ (例えば小泉ら 1994, 宮村ら 2005), 2012 年夏季には伊万 里湾にも出現し, トラフグ (*Takifugu rubripes*) 等養殖魚 類に約9,200万円 (佐賀県;約6,000万円, 長崎県;3,187 万円)の漁業被害を及ぼした (長崎県総合水産試験場 2013, 西山ら 2013)。この赤潮のうち, 佐賀県海域における発生状 況は西山ら (2013) に詳述されている。本研究では, 2012 年に発生した伊万里湾海域における K. mikimotoi 赤潮発生 状況と環境特性を調べ, 赤潮水塊の移動や養殖トラフグの斃 死に及ぼす K. mikimotoi 遊泳細胞密度の影響に関する知見 を得たので報告する。

材料と方法

伊万里湾内を6海域に区分し、長崎県海域調査は福島と鷹



Fig. 1. Monitoring stations (\bullet ; Nagasaki Pref., \blacktriangle ; Saga Pref.) in Imari Bay, western Kyushu, Japan. Areas separated by dotted lines indicate important areas for tiger puffer culture, western coast of Saga Pref. (A), Fukushima Is. northern coast (B), Takashima Is. southern coast (C), Takashima Is. east bank (D), Fukushima Is. southern coast (E) and Fukushima Is. east bank (F).



Fig. 2. Temporal changes in cell density of *Karenia mikimotoi* during 14–27 July 2012. Closed circles indicate maximum cell densities at A area, closed triangles at B area, open squares at C area, open circles at D area and crosses at E area, respectively.

島周辺の養殖漁場に設置した12定点(B, C, D, E海域) で2012年7月17-27日の昼間に行った(Fig. 1)。海水は 着色海域を中心にほぼ毎日, 概ね0.5-1, 5, 10 m層から 採取し,水温測定(吉野計器製作所製SY-H式採水筒付水 温計)とK. mikimotoi 遊泳細胞(cells mL⁻¹)の計数を行っ た。鷹島南岸域(C)の浦下漁場(St. 2)では,水深2 m 層に設置したメモリー式温度記録計(ティアンドデイ社製お んどとりJr. TR-51i)で20分毎の水温を連続記録した。K. mikimotoi 赤潮の発生状況と養殖トラフグの斃死に関わる環 境特性を検討するにあたり,長崎県県北水産業普及指導セン ターおよび佐賀県玄海水産振興センターによる本湾現場調査 で得られたデータの一部を利用した(長崎県総合水産試験場 2013, 佐賀県玄海水産振興センター 2014)。佐賀県海域調 査における福島東岸域(F)のSt.1および佐賀西岸域(A) のSt.3を含む3点では、7月6-27日の間、1-3日に1回 の頻度で9-13時に得られた表層(0-1m)、2、5、10m、 海底上1m(B-1m)の水温と塩分の観測値(多項目水質計, YSI 社製 MODEL 600XLM)とK. mikimotoi 遊泳細胞密 度(cells mL⁻¹)を使用した。気象庁アメダス松浦局の日合 計降雨量、国土交通省の玄海町仮屋における潮位データおよ び松浦市志佐における風向・風速データを使用した。

結果

Karenia mikimotoi 赤潮の発生状況と漁業被害

K. mikimotoi は 2012 年 7 月 12 – 8 月 9 日の期間(29 日 間)に佐賀と長崎の 2 県に跨がる海域で赤潮を形成し, Fig. 1 に示す長崎県海域の福島北岸域(B), 鷹島南岸域(C), 鷹島東岸域(D)では,7 月 17 – 23 日に高密度化した(Figs 2, 3)。K. mikimotoi の遊泳細胞密度(以下密度)の最高値の 経日変化を Fig. 2 に,7 月 16 – 23 日の K. mikimotoi 密度 の水平分布変化を Fig. 3 に示した。K. mikimotoi の高密度 水塊は,佐賀西岸域(A)では7月 15 日と 16 日にそれぞれ 3,780 と 104,200 cells mL⁻¹,福島北岸域(B)では7月 17 日と 18 日にそれぞれ 7,750 と 2,980 cells mL⁻¹,鷹島南岸域 (C)では7月 19 日に 13,000 cells mL⁻¹が確認された。そ の後,K. mikimotoi 密度は佐賀西岸域(A)では7月 21 日



Fig. 3. Spatio-temporal variation of the maximum cell density of Karenia mikimotoi, in July 2012.



Fig. 4. Vertical distribution of cell density in *Karenia mikimotoi* (A) and salinity (B) at St. 1 from 6 to 15 July, 2012.

と 22 日にそれぞれ 64,000 と 13,000 cells mL⁻¹, 鷹島東岸 域 (D) では 7 月 22 日と 23 日にそれぞれ 4,340 と 15,300 cells mL⁻¹ と推移した (Figs 2, 3)。2,000 cells mL⁻¹ 以上で の出現が確認されたのはいずれも水深 2 m 以浅であった。福 島南岸域 (E) では 2,000 cells mL⁻¹ を超える *K. mikimotoi* の出現は確認されなかった (Fig. 2)。*K. mikimotoi* の最高 密度は, 7 月 23 日までは 10,000 cells mL⁻¹ を超えていたが, 7 月 24 日に 3,500 cells mL⁻¹, 7 月 25 日以降は 1,000 cells mL⁻¹ 以下となり, 8 月 9 日に赤潮は消滅した。

この赤潮により長崎県海域では7月19-22日の間に養殖 トラフグが約15万尾斃死した。トラフグの斃死は7月19日 に鷹島南岸域(C)の神崎地先(密度13,000 cells mL⁻¹)で 約12万尾,被害率(斃死尾数/養殖尾数×100)は約60%, 7月22日に鷹島東岸域(D)の小浦地先(密度4,340 cells mL⁻¹)で約3万尾(被害率約9%)であった。

Karenia mikimotoi 密度と塩分の鉛直分布

K. mikimotoi 赤潮が7月12日に発生した福島東岸域(F)の唐津市肥前町大浦地先と7月16日に100,000 cells mL⁻¹を超える高密度分布が確認された佐賀西岸域(A)の高串地先の中間に位置する福島東岸域(F)の阿漕地先(Fig. 1, St. 1)における*K. mikimotoi* 密度と塩分の鉛直分布をFig. 4 に示した。7月6-15日の塩分の範囲は表層で17.2-30.2,2 m層で22.4-31.5,中層(5-10 m)で31.5-32.8 であった。*K. mikimotoi* は7月9日には10 m層で104 cells mL⁻¹出現しており,7月12日までは中層(5 m)で1,000 cells mL⁻¹程



Fig. 5. Temporal changes in water temperature at St. 2 and St. 3 at 2 m depth from July 17 to 24, 2012. Broken line indicates 25-hour moving average.

度まで増殖を続け、7月14日には表層(1 m)で4,670 cells mL⁻¹に達したが、翌日の7月15日には高密度水塊は確認されなくなった。*K. mikimotoi*が表層で高密度化した7月14日と出現が確認されなかった7月15日の表層-2 m層の塩分はそれぞれ19.5-26.8と17.2-22.4であった。St. 1の北側に位置する佐賀西岸域(A)の高串地先での7月14日と15日の表層-2 m層の塩分は、それぞれ23.3-28.3と22.4-22.8であった。また、St. 1の南側に位置する湯野浦地先での7月14日の表層-2 m層の塩分は17.0-25.4であった。

水温変化

トラフグの斃死が確認された日前後の当該漁場に近い St. 2 と St. 3 の水温推移を Fig. 5 に示した。St. 2 では 7 月 17 日 (10 時)の 24.6° C から 7 月 18 日 (16 時)に 27.7° C へ と 3.1° C 上昇し,7 月 19 日 0 時までの 8 時間は 27° C 以上 で推移した。その後,7 月 19 日 (17 時)に 24.8° C へと 2.9 ° C 低下し,わずか 3 日間に 3° C の急激な水温の上下変化が 確認された。その後,St. 2 では急激な水温変化はなく,7 月 19–23 日には水温はゆるやかに上昇した。一方,St. 3 の 2 m 層では7月 17 – 23 日に水温は徐々に上昇したが,顕著な 水温変化は確認されなかった。

増殖に及ぼす水温と塩分の影響

室内実験(山砥 2006)による各水温・塩分条件における K. mikimotoiの比増殖速度と、調査期間中にK. mikimotoi が 1,000 cells mL⁻¹以上出現した際の水温・塩分値を Fig. 6 に示した。K. mikimotoi が 1,000 cells mL⁻¹以上出現した 時の水温は 23.4 – 28.1°C,塩分は 22.0 – 31.7 であり、比 増殖速度が 0.50 day⁻¹以上となる水温・塩分条件に一致した。 また、K. mikimotoi が 10,000 cells mL⁻¹以上出現した時の 水温は 25.4 – 26.4°C,塩分は 23.7 – 30.2 であり、比増殖 速度が 0.55 day⁻¹以上となる水温・塩分条件に一致した。 気象・海象(降水量、日照時間、潮位、風向・風速)の推移

松浦における7月12日-8月9日の降水量と日照時間の 経日変化を平年値とともに Fig. 7 に示した。降水量は7月 13-15日の3日間に計191mmと平年値の5.5倍の大量 降雨があったが、その後7月16日-8月9日までは計24.5 mm(日平均1.0 mm)と少なかった。日照時間は,7月12 - 22 日には、平年値を下回ることが多かったが、7 月 23 日-8月9日の平均値は10.2時間であり、同時期の平年平均値の 6.1 時間を大きく上回った。Fig. 8 に 7 月 11 - 22 日 (A), 7 月18-19日(B),7月21-22日(C)の仮屋地先におけ る潮位の変化を示した。7月18-19日,7月21-22日は大 潮にあたり、昼間(9-17時)の潮位は、下げ潮と憩流時に ほぼ一致していた。Fig. 9に7月13-23日の志佐における 風向・風速の変化を示した。7月14-16日の3日間に南南 西から南寄りの風(日最大風速 5.1 - 8.9 m s⁻¹,日平均風速 2.1 - 4.2 m s⁻¹)が連吹した後,7月17-18日には北西と南南 東寄りの風(日最大風速 3.5 - 6.2 m s⁻¹,日平均風速 1.3 - 2.8 m s⁻¹)となった。7月19-22日の4日間には再度,最多風 向として南南西から南の一定方向の風(最大風速2.9-4.8 m s⁻¹, 平均風速 1.3 - 3.0 m s⁻¹) が吹いた。

考察

斃死被害海域での Karenia mikimotoi 赤潮の出現

渦鞭毛藻 Karenia mikimotoi は福島東岸域 (F) の大浦 および湯野浦地先で6月25日に初認 (最高密度, 36 cells mL⁻¹) され,小潮時期にあたる7月12-14日の昼間に表層 (水深0-1m) で高密度赤潮 (11,840-17,850 cells mL⁻¹) を形成した (西山ら 2013,佐賀県玄海水産振興センター 2014)。この期間, St. 1では, K. mikimotoi は中層で増殖



Fig. 6. Relationship among water temperature, salinity and cell density (>1,000 cells mL⁻¹) of *Karenia mikimotoi* during 15–23 July 2012. Broken lines indicate contour lines of specific growth rates of *Karenia mikimotoi* in 0.50 and 0.55 day⁻¹ at each temperature and salinity (Yamatogi 2006).

した後に表層で高密度化していた。*K. mikimotoi*は、1,000 cells mL⁻¹ 程度までは 5 – 10 m の中層に分布するが、1,000 – 10,000 cells mL⁻¹ になると、昼間の分布水深は 0 – 2 m 層 になることが五ヶ所湾と田辺湾より報告されており(Honjo *et al.* 1990,竹内ら 1995)、伊万里湾においても同様の赤潮 発生過程を辿ったことが確認された。

7月15-24日には、佐賀西岸域(A),福島北岸域(B), 鷹島南岸域(C)の0-2m層で高密度分布(2,000 cells mL-1以上)が確認された(長崎県総合水産試験場 2013, 西山ら 2013)。7月13-15日には191 mmの大量の降水 があり、St.1の表層が低塩分化(17.2-29.6)した。K. mikimotoi は塩分 16-36 で増殖できる広塩分型の増殖特性 を有しており、高水温条件(25-30°C)ではその特性が顕 著になるとの報告がある(山砥 2006)。加えて,同期間に福 島東岸域 (F) の表層が高栄養塩化 (DIN; 20 µM, PO4-P; 1 μM) しており (西山ら 2013), K. mikimotoi 増殖の半飽 和定数(窒素が0.58-0.78 µM, リンが0.14-0.15 µM)(山 口 1994) を大きく上回っていた。すなわち, K. mikimotoi は福島東岸域(F)で7月12-14日に、低塩分で高栄養な 表層水中に高密度分布していたことになる。福島東岸域 (F) に最も近い佐賀西岸域(A)の高串地先では、K. mikimotoi 密度は7月14日に204 cells mL⁻¹であったが,7月15日 に 3,780 cells mL⁻¹, 7月16日に 104,200 cells mL⁻¹と急 増した(佐賀県玄海水産振興センター 2014)。この急激な密 度の増加は、比増殖速度に換算すると22.6 day-1 となり、実 験室で得られた K. mikimotoi の最大比増殖速度 0.58 day-1 (山砥 2006) や0.73 day-1 (山口・本城 1989) よりも非常 に大きな値であることから、高串地先での増殖のみでは説明 できない。*K. mikimotoi* は密度、時間、天候によって中層



Fig. 7. Temporal changes of the daily rainfall (A) and sunshine hours (B) at Matsuura from 12 July to 9 August, 2012 (closed bars) and the average value during 1991–2011 (open bars).



Fig. 8. Temporal changes in tide level at Kariya, from 11 to 22 July 2012 (A). Enlarged tide level variations are shown during 18–19 July (B) and 21–22 July (C).

で分布水深を変化させることが知られていることから(宮村 2016),7月14日以前に,高串地先の中層に高密度水塊が存 在した可能性は否定できない。しかし,佐賀西岸域(A)の 水平・鉛直多層調査では,7月14日まで確認されなかった *K. mikimotoi*高密度水塊が隣接する福島東岸域(F)のSt. 1の表層に出現していたことを考えると,高串地先における*K. mikimotoi*の急激な増加は福島東岸域(F)からの移流によ り発生したものと推測される。この移流については,次節で 記述する。

トラフグ斃死に及ぼす赤潮水塊移動の影響

福島東岸域(F)のSt.1と佐賀西岸域(A)高串地先の表 層塩分は、7月14日に19.5と23.3であったが、7月15日 に17.2と22.4以下と低下していた。福島東岸域(F)南部 の湯野浦地先にあった17.0の低塩分水は7月15日には北 部のSt.1で確認されており、7月13-16日の4日間に連 吹した比較的強い南寄りの風(平均風速3ms⁻¹)は、福島 東岸域(F)の表層に高密度集積していた*K.mikimotoi*赤 潮を低塩分・高栄養塩海水とともに、北側に位置する佐賀西 岸域(A)に輸送する吹送流を発生させた可能性がある。高 密度赤潮水塊は7月15-16日に佐賀西岸域(A)で確認 された後、7月17-18日には福島北岸域(B)で確認され た。この3日間は北西から北寄りの風が多く吹いており、吹 送流によって高密度赤潮水塊が佐賀西岸域(A)から南側 に位置する福島北岸域(B)に移送されたと考えられる。7 月18日14時から19日19時には、2.0-4.1 m s⁻¹の南西 から南寄りの強い風が吹き続けており、7月19日にはトラフ グの大量斃死(12万尾)が確認された鷹島南岸域(C)で 魚介類の斃死を起こす恐れのある数千 cells mL-1(松岡ら 2006) を超える 13,000 cells mL⁻¹の高密度水塊が出現し た。K. mikimotoi は日周鉛直移動することが知られており (Koizumi et al. 1996), 概ね9-17時に行った本調査にお いても K. mikimotoi 高密度水塊は表層で確認された。7月 18-19日のこの時間帯の潮流は下げ潮と憩流前後とほぼ一 致していた。下げ潮時の流向は福島北岸域(B)から鷹島南 岸域(C)に向かうことが報告されている(長崎県水産試験 場 1956, 長崎県水産開発協会 1995, 鈴木·西田 2008, 鈴 木ら 2010)。また、風速が 3-5 m s⁻¹ 程度と比較的強く、風 向が潮流の向きと同一の場合は潮流の集積作用に相乗的に作 用して赤潮形成を促進するとされる(吉田・沼田 1982)。こ れらのことから、7月19日の鷹島南岸域(C)での高密度水 塊の出現には風向と潮流が影響した可能性がある。7月20-21日には南西寄りの風が多く、高密度水塊は風下側の佐賀 西岸域(A)に7月21日に再び出現し,7月22日の昼間に は北あるいは北東寄りの風が吹いていた。下げ潮時には佐賀 西岸域(A)から鷹島東岸域(D)に向う潮流がある(長崎



Fig. 9. Temporal changes in wind vector at Matsuura from 13 to 23, July 2012.

県水産試験場 1956, 長崎県水産開発協会 1995, 鈴木・西 田 2008)。したがって, 潮流と吹送流によって高密度水塊 は7月22日に下流と風下側の鷹島東岸域(D)(4,340 cells mL⁻¹)に移流され,トラフグの斃死(3万尾)に影響を与え た可能性がある。赤潮調査時の水温と塩分は23.4 – 28.1°C と22.0 – 31.7 であり,比増殖速度が0.50 day⁻¹以上(山砥 2006)となる水温・塩分条件に一致していた。これらのこと から,トラフグの斃死は, K. mikimotoi が好適増殖環境(水 温・塩分)下で高密度化した時期に吹送風と潮流によって赤 潮水塊が養殖漁場に移流・集積され,致死危険値以上に達し たものがトラフグに曝露されたことで発生したと推察される。 7月24日以降, K. mikimotoi 密度は減少し,8月9日に赤 潮は消滅した。

K. mikimotoi 高密度水塊 (>100,000 cells mL⁻¹) が佐賀 西岸域(A)で7月16日に確認された後,7月16日-8月 9日までの降水量は日平均1.0 mmと非常に少なく、表層で は栄養塩の供給が少ない状態にあったと考えられる。また, 佐賀西岸域(A)と福島東岸域(F)では,日照時間が長くなっ た7月23日の2日後の7月25日にK. mikimotoi から珪藻 類への遷移が確認されている(西山ら 2013)。八代海では, 珪藻類と鞭毛藻の密度の増減は交互に起こり、表層の鞭毛藻 密度が減少して水中深くに強い光が透過した直後に珪藻類が 増加したとの報告がある(紫加田ら 2010)。調査した全海域 での K. mikimotoi の最高密度は,7月23日までは10,000 cells mL⁻¹を超えていたが,7月24日に3,500 cells mL⁻¹, 7月25日以降は1,000 cells mL-1以下に低下しており,光 が透過しやすい環境にあったと推察される。K. mikimotoi 赤潮の消滅には、降水量が少ない状態で、栄養の競合種であ る珪藻類が高い日照を受けて増殖したことが影響していたと 考えられる。

養殖トラフグの大量斃死(12万尾:被害率60%)があっ た鷹島南岸域(C)のSt.2での7月19日以前の水温変化を みると、7月17日から19日のわずか3日間に3°Cの急激な 水温の上下変化があったことがわかる。温度の急激な上昇、 下降変化は魚類にストレス反応を起こす要因となることが知 られており(石岡1982)、今回の鷹島南岸域(C)での大量 斃死被害は*K. mikimotoi*の高密度曝露に加え,水温の急激 な変化が関与した可能性がある。

まとめ

伊万里湾の福島東岸域(F)で6月25日に初認されたK. mikimotoi は好適水温塩分環境下で降雨による栄養供給を 得て増殖し、小潮による低い海水交換率がもたらす密度維持 効果によって7月中旬に赤潮を形成した後, 高密度水塊とし て低塩分・高栄養塩海水とともに大潮時に吹送流と潮流に よって,7月15日に佐賀西岸域(A),7月18日に福島北岸 域 (B), 7月19日に鷹島南岸域 (C), 7月22日に鷹島東岸 域(D)へと移動したと推察された。この赤潮の移動過程の 中で,鷹島南岸域(C)と東岸域(D)の漁場でそれぞれ12 万尾と3万尾の養殖トラフグの斃死被害が引き起こされたと 考えられる。斃死被害のあったこれらの海域では、被害対策 として餌止めを徹底励行していたが, 鷹島東岸域 (D) では K. mikimotoi 高密度曝露により, 鷹島南岸域 (C) ではK. mikimotoi 高密度曝露に加え、被害発生前3日間に水温の急 激な上下変化(3°C)により養殖トラフグがストレスを受け たことが大量斃死につながったと考えられる。

謝辞

本研究において,取りまとめに際してご助言を頂いた長崎 大学・環東シナ海環境資源研究センターの松岡數充名誉教授 にお礼申し上げます。また,赤潮発生状況に関する情報を提 供して頂きました大分県農林水産研究指導センター水産研究 部の宮村和良博士,国立研究開発法人水産研究・教育機構西 海区水産研究所の松山幸彦博士に感謝します。さらに,調査 研究における現場調査に際してご協力頂いた,佐賀県玄海水 産振興センター,新松浦漁業協同組合,長崎県県北水産業普 及指導センターの皆様、現対馬水産業普及指導センターの浦 賢二郎氏にお礼申し上げます。

引用文献

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 1999– 2015. 水産業関係研究開発推進会議. 漁場環境保全関係研究開 発推進会議.赤潮・貝毒部会議事要録.

- Honjo, T., Yamamoto, S., Nakamura, O. & Yamaguchi, M. 1990. Annual cycle of motile cells of *Gymnodinium nagasakiense* and ecological features during the period of red tide development. In Toxic marine phytoplankton, Graneli, E., Sundstrom, B., Edler, L. & Anderson, D. M. (Eds.), 1st ed., Elsevier, New York, pp. 165–170.
- 飯塚昭二・入江春彦 1972.大村湾の赤潮発生と環境と発生要因.水 産研究叢書 23 内湾赤潮の発生機構.pp. 35–57.日本水産資源 保護協会.東京.
- 石岡宏子 1982. ストレス. pp. 52–69. 活魚輸送(日本水産学会編) 水産学シリーズ 39. 恒星社厚生閣. 東京.
- Koizumi, Y., Uchida, T. & Honjo, T. 1996. Diurnal vertical migration of *Gymnodinium mikimotoi* during a red tide in Hoketsu Bay, Japan. J. Plankton Res. 18: 289–294.
- 小泉喜嗣・高島景・神薗真人・江藤拓也・馬場俊典・檜山節久・池 田武彦・岩男昴・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 3:99–110.
- 松岡數充・岩滝光儀・山砥稔文 2006. 長崎周辺海域の有害植物プ ランクトン. 財団法人長崎県産業振興財団・独立行政法人科学 技術振興機構.
- 宮村和良 2016. Karenia mikimotoiの赤潮動態と発生予察・対策. pp. 191–200.「有害有毒プランクトンの科学」(今井一郎,山口 峰生,松岡敷充編)恒星社厚生閣.東京.
- 宮村和良・三ケ尻考文・金澤健 2005. 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.水産 海洋研究 69: 91–98.
- 長崎県水産開発協会 1995. 伊万里湾地区広域型増殖場造成事業調 査業務報告書. pp. 14–15. 財団法人長崎県水産開発協会. 長崎.
- 長崎県水産試験場 1956. 伊万里湾調查. pp. 15–17. 長崎県水産試験場. 長崎.
- 長崎県総合水産試験場 2013. 有害赤潮プランクトン等総合対策事業 報告書-I-長崎県下における赤潮の発生状況-. pp. 248. 長 崎県総合水産試験場. 長崎.

- 西山嘉乃・河口真弓・吉田幸史・野口浩介・寺田雅彦・明田川貴 子・江口泰蔵 2013. 2012 年夏季に伊万里湾佐賀県海域で発生し た Karenia mikimotoi 赤潮.佐賀県玄海水産振興センター研報 6: 31-62.
- 佐賀県玄海水産振興センター 2014. 佐賀県玄海水産振興センター業 務報告, pp. 98–107. 佐賀県玄海水産振興センター, 佐賀,
- 紫加田知幸・櫻田清成・城本祐助・生地鴨・吉田誠・大和田紘一 2010. 八代海における植物プランクトンの増殖に与える水温, 塩分および光強度の影響 日水誌 76: 34-45
- 塩川司・入江春彦 1966. 1965 年夏期大村湾赤潮時の海況とその被 害-VI. 長崎大学水産学部研究報告 21: 115-129.
- 水産庁九州漁業調整事務所 1982–2015. 九州海域の赤潮. 水産庁 九州漁業調整事務所. 福岡.
- 水産庁瀬戸内海漁業調整事務所 2000. 別冊瀬戸内海の赤潮一漁業 被害編一(昭和45-平成10年). 水産庁瀬戸内海漁業調整事務 所,兵庫.
- 鈴木誠二・西田歩 2008. 赤潮発生要因の1つである伊万里湾の流 動構造に及ぼす風の影響に関する研究. 長崎大学工学部研究報 告 38: 16-51.
- 鈴木誠二・多田彰秀・平智樹・坂口誠人・松本健太郎・西田歩 2010. 現地観測および流動水質モデルを用いた伊万里湾におけ る流動・水質特性の把握. 土木学会論文集 B2(海岸工学)66: 1021–1025.
- 竹内照文・小久保友善・辻泰俊・本城凡夫 1995. 田辺湾における Gymnodinium mikimotoiの群成長と流状による赤潮分布域の変 化,日水誌 61: 494–498.
- 山 口 峰 生・本 城 凡 夫 1989. 有 害 赤 潮 鞭 毛 藻 Gymnodinium nagasakiense の増殖に及ぼす水温,塩分および光強度の影響.日 水誌 55: 2029–2036.
- 山砥稔文 2006. 九州沿岸に分布する有害渦鞭毛藻 Cochlodinium polykrikoides の生理生態学的研究. 長崎県水試研報 32: 23-90.
- 吉田陽一・沼田克己 1982. *Chattonella antiqua* (Hada) Ono の集 積に及ぼす風の影響. 日水誌 48: 1277–1280.

(Received Jan. 16, 2016; Accepted Jun. 10, 2016)