2017年春季に長崎県浅茅湾で発生した養殖クロマグロ幼魚の斃死要因

山本佳奈,^{1*} 杉原志貴,¹ 吉田政彦,² 平江 想,² 山砥稔文¹

(2020年10月5日受付, 2021年2月17日受理, 2021年5月13日J-STAGE 早期公開)

¹長崎県総合水産試験場, ²長崎県対馬水産業普及指導センターFactors causing mass mortality of cultured young bluefin tuna *Thunnus orientalis*
during the spring of 2017 in Asou bay, Nagasaki, JapanKANA YAMAMOTO,^{1*} YUKITAKA SUGIHARA,¹ MASAHIKO YOSHIDA,²
SOU HIRAE² AND TOSHIFUMI YAMATOI¹¹Nagasaki Prefectural Institute of Fisheries, Taira, Nagasaki 851-2213, ²Nagasaki Prefectural Fisheries
Tsushima District Fisheries Extension Advisory Center, Tsushima, Nagasaki 817-8520, Japan

Mass mortality of cultured young bluefin tuna *Thunnus orientalis*, with the loss of approximately 2,400 individuals, occurred in Asou bay, Tsushima, Nagasaki, Japan in April 2017. Blood fluke eggs were observed in the gills of dead fish, but fish without severe infection also died. At the time, a noxious red tide of *Heterosigma akashiwo* was also detected (13–90 cells mL⁻¹). However, the density of blood fluke eggs in the fish gills, or concentration of *H. akashiwo* cells in the area alone, was not high enough to have caused the mortality. Since both blood fluke eggs and *H. akashiwo* are known to have deleterious effects on the respiratory function of fish, the mass mortality was most likely caused by their synergistic effects.

キーワード: bluefin tuna culture, blood fluke, *Heterosigma akashiwo*, 赤潮, 魚類住血吸虫症

クロマグロ *Thunnus orientalis* は、長崎県では1994年頃から対馬などの離島地区において養殖が開始され、成長が早く高単価であることから有望な養殖魚種と認識されており、長崎県における養殖生産量は2014年以降日本一を誇っている(2020年現在)。本種はブリやトラフグなど他の養殖魚種と比べて環境変化に弱く、台風や有害赤潮の他、濁りによる透明度の低下時にも大量斃死が発生することが報告されている。¹⁻³⁾ 疾病では幼魚期に発生する住血吸虫症や、^{4,5)} 夏季の高水温期に発生し大型魚も罹患するラクトコッカス感染症(通称、 α 溶血性レンサ球菌症)等が確認されている。^{6,7)} 栄養性疾病ではカタクチイワシなどのチアミナーゼを多く含む生餌を長期間給餌することにより発生するビタミンB1欠乏症等があるが、幼魚期には生簀網に衝突して斃死することも多い。^{6,8,9)}

2017年4月下旬に長崎県の北西に位置する対馬市浅茅湾内の尾崎漁場(Fig. 1)において、養殖クロマグロの幼魚約2,400尾が14日の内に斃死する事例が発生し

た。斃死魚が発見される前日には有害ラフィド藻 *Heterosigma akashiwo* が最高で90 cells mL⁻¹の細胞密度で出現していたが、一般的にクロマグロが斃死すると考えられている細胞密度(長崎県総合水産試験場の警戒基準1,000 cells mL⁻¹)に達していなかった。¹⁰⁾ 尾崎漁場では2014年5月下旬にも約1,200尾の養殖クロマグロ幼魚が斃死しており(Table 1)、この際も *H. akashiwo* の出現が確認されていたが、クロマグロの警戒基準に達しておらず魚病検査も実施していなかったことから、斃死原因は特定できなかった。

本報では今後の養殖クロマグロ幼魚の斃死防止を目的として、2017年4月下旬の当該漁場における有害プランクトンの出現状況、海況および魚病の発生状況等を総合的に考察し、斃死原因の究明を行うとともに斃死防止対策についても検討した。

材料と方法

斃死状況聞き取り 養殖クロマグロの斃死状況、斃死

Fig. 1 Environmental monitoring stations (solid circles) in Asou Bay, Tsushima, Nagasaki, Japan. Oceanographic survey telemeter set at St. 4. The numbers in the figure indicate the number of dead fish.

Table 1 Number of dead cultured bluefin tuna from different size classes in two mass mortality events in Osaki, Nagasaki, Japan

Body weight (kg)	Number of fish	
	28-30 May 2014	28-29 April 2017
1.5-5	1,261	2,326
10		64
15	2	
35	1	1
Total	1,264	2,391

確認時期, 魚体サイズおよび斃死尾数について美津島町漁業協同組合尾崎支所および近隣の養殖業者に聞き取り調査を行った。

出現プランクトンおよび海洋環境 2017年4月27日から4月30日の9-13時の間に Fig. 1 の St. 1-9 において SY 式採水筒 (吉野計器製作所製 SY-H 式採水筒付水温計) により 0.5, 2.5, 5 m 層の海水を各層 1 L

ずつ 1 回採取し, 固定は行わず当日中に光学顕微鏡による直接計数法にて 1 mL 当たりの有害プランクトン細胞数を 1 回ずつ計数した。また, 地元養殖業者による当該養殖場海水のプランクトン検鏡結果を補足使用した。採水の際に水温, 塩分, 溶存酸素飽和度 (以後 DO) および濁度を多項目水質計 (JFE advantech Rinko-Profiler) を使用して観測した。また, 斃死発生日以前の水質データは Fig. 1 内 St. 4 のクロマグロ養殖筏の生簀網外側に設置した水質自動観測テレメーターシステム (西村商会 NI-TEBN, 以後テレメーター) にて 30 分間に 1 回の頻度で連続観測していた 1 m 層の水温, DO, 塩分, クロロフィル蛍光値, 濁度, 5 m 層の水温および DO を使用した。その他, 浅茅湾内における 2017 年 2-6 月の水温データとして当該湾内の大山漁場 (St. Oyama: Fig. 1) で月 1 回の頻度で実施している観測結果を使用した。潮汐については気象庁による潮位値を, 風向風速は気象庁アメダス美津島のデータを使用した。

魚病検査 尾崎漁場において養殖され, 2017 年 4 月 28 日および 29 日に取り上げられ, 養殖業者により対馬

水産業普及指導センターへ持ち込まれたクロマグロ斃死魚 6 尾 (1.2–2.0 kg) について魚病検査を行った。採取した鰓を光学顕微鏡下で観察し、心臓については摘出・切開後に住血吸虫の出現状況を確認した。住血吸虫の寄生の程度は、虫体は心臓から得た虫体数、虫卵は鰓の虫卵蓄積部位 (*Cardicola opisthorchis* は小入鰓静脈, *C. orientalis* は二次鰓弁) 当たりの虫卵が占める面積の割合について 3 段階で評価した。則ち、1 尾当たりの虫体数が 1–5 虫体もしくは虫卵の蓄積割合が部位当たり 1 割未満のものを「+」、6–10 虫体もしくは虫卵が 1–5 割のものを「++」、11 虫体以上もしくは虫卵が 5 割以上のものを「+++」、虫体や虫卵が確認されなかったものを「-」として寄生の程度を半定量的に調べた。さらに、腎臓からの細菌分離を行い、細菌性疾病感染の有無を確認するとともに、脊椎骨の骨折の有無を確認した。

結 果

クロマグロ斃死状況 2017 年 4 月 28–29 日に取り上げられた斃死魚の状況について、地元漁業協同組合および養殖業者に行った聞き取り結果を Table 1 に示す。4 月 28 日に尾崎漁場全体で養殖クロマグロの大量斃死が確認された。斃死魚は翌 29 日にも確認されたが、4 月 28 日に採取した斃死魚はまだ新しく腐敗していなかったのに対し、4 月 29 日に採取した斃死魚は腐敗が進んでいた。斃死魚は前年秋に導入した当歳魚が主で、魚体重は 1.5–5 kg サイズが 2,326 尾、10 kg サイズが 64 尾、30 kg サイズが 1 尾であった。当該漁場にてクロマグロ養殖を営む養殖業者は 12 業者存在するが、斃死が発生

した養殖業者は内 10 業者で、各養殖業者の斃死尾数は 13–450 尾であった。斃死魚発見前日の 4 月 27 日の給餌作業時に魚群の異常は認められず、それ以前および 4 月 30 日以後にも養殖クロマグロの目立った斃死は確認されなかった。

環境要因および出現プランクトン Figure 1 の St. 4 に設置しているテレメーターによって観測した 4 月 22–30 日の 1 m 層の塩分、DO、クロロフィル蛍光値および 5 m 層の DO を Fig. 2 に示す、1 m および 5 m の水温は、斃死発見時前後で大きな変化はみられず、1 m 層は 16.5–17.9°C、5 m 層は 16.5–17.4°C の範囲で推移した。DO は 1 m 層が 94.2–124.2%，5 m 層は 90.6–115.9% と通常観測される範囲で推移し、26 日および 27 日の午後に 1 m 層の DO が上昇することがあった。1 m 層の塩分は 34.2–34.6 で推移し、26 日の夕方から 27 日の朝にかけて塩分が 0.1–0.2 低下する時間帯があった。1 m 層のクロロフィル蛍光値は 0.5–5.6 で推移し、斃死魚発見前の 4 月 26 日と 27 日の午後に他の日より大幅な上昇が観測された。1 m 層の濁度は 0.2–5.7 FTU で推移した。なお、漁業者への聞き取りとテレメーターの値では、期間を通して海色の異常や濁りは確認されなかった。また、多項目水質計を使用した調査においては、斃死魚発見前日である 4 月 27 日の尾崎漁場 (St. 1) では、低水温や貧酸素、濁りは観測されなかったが、St. 7–9 (竹敷地区) の水深 8–18 m においてクロロフィル蛍光値 3–6 の層が観測された。

Figure 3 に St. Oyama の 2017 年 2–6 月における水温の変化を示す。3 月には 14°C 程度で推移した水温は

Fig. 2 TOP: Temporal changes in chlorophyll (broken line) and salinity (black solid line) at 1 m during April 22–30, 2017. Bottom: Changes in dissolved oxygen (DO) at 1 m (black solid line) and 5 m (gray solid line) during April 22–30, 2017. Arrows indicate time of dead fish.

Fig. 3 Monthly changes of water temperature at Oyama during February–June, 2017.

Fig. 4 Temporal changes in cell density of *Heterosigma akashiwo* at St. 1–9 (Fig. 1) during April 27–29, 2017.

4月以降 15°C 以上になり, 5月以降は 17°C を上回って推移した。

4月27–29日における有害プランクトンの最高細胞密度を Fig. 4 に示す。斃死魚発見前日である4月27日の尾崎漁場では *H. akashiwo* が St. 6 にて 90 cells mL^{-1} , St. 5 にて 66 cells mL^{-1} 出現し, 尾崎漁場に隣接する竹敷地区では St. 7, 8, 9 にてそれぞれ 252 cells mL^{-1} , 11 cells mL^{-1} , 22 cells mL^{-1} の *H. akashiwo* が出現していた。斃死魚発見日には St. 1 において 13 cells mL^{-1} , St. 7 にて 9 cells mL^{-1} , St. 8 にて 2 cells mL^{-1} , St. 9 にて 1 cells mL^{-1} 出現していたが, その他の観測点では確認されなかった。

調査期間中(4月26–28日)は大潮であり, その潮汐は4月26日が干潮2時(1 cm)と15時(−15 cm), 満潮9時(162 cm)と21時(172 cm)。4月27日が干潮3時(−1 cm)と15時半(−20 cm), 満潮9時(166 cm)と22時(175 cm)であった。4月28日が干潮4時(1 cm)と16時(−17 cm), 満潮10時(164 cm)と23時(171 cm)であった。4月27日は終日 $0.9\text{--}5.4\text{ ms}^{-1}$ の, 4月28日の1–5時は $1.4\text{--}3.7\text{ ms}^{-1}$ の湾口から斃死が発生した尾崎漁場へ向かう北西の風が観測された (Fig. 5)。

魚病検査 4月28日に取り上げられた死亡魚は腐敗していなかった (Fig. 6) のに対し, 4月29日に取り上げられた5尾 (FL 43.0–46.0 cm, BW 1,500–2,030 g) のうち3尾は内臓の溶解が認められ, 腐敗が進行していた。斃死魚の心臓から住血吸虫 (*C. opisthorchis*) の虫体, 鰓からは住血吸虫2種 (*C. opisthorchis*, *C. orientalis*) の虫卵が検出された (Table 2)。鰓の虫卵は全ての検体で確認され, その程度は「+」が1検体, 「++」が2検体, 「+++」が3検体であった。腎臓からの細菌分離の結果, 斃死の原因となるような細菌は検出されなかった。また, 衝突死の際に確認される脊椎骨の骨折が見られる個体も確認されなかった。その他の所見として胃内に未消化の餌が残っている個体が3検体あった。

考 察

斃死した養殖クロマグロの状況は, 4月28日に採取した個体は腐敗しておらず新しかったのに対し, 29日に採取した個体は腐敗していたことから, 4月27–28日に斃死した可能性が高いと考えられる。また, 斃死魚発見前日である4月27日以前および4月30日以降に当該漁場での斃死は確認されていないこと, 検査した斃死魚の胃に内容物が残っていたことから, 4月27日12時

Fig. 5 Wind direction and wind speed at Mitsushima, Tsushima, Nagasaki, Japan during April 26–29, 2017. Data obtained from the Japan Meteorological Agency.

Fig. 6 Dead cultured bluefin tuna in Osaki, Tsushima, Nagasaki, Japan. Sampled on April 28, 2017. This specimen had a high level of blood fluke infection, categorized as “+++” for both adults and eggs.

Table 2 Fork length (FL), body weight (BW), degree of presence of blood fluke adults and eggs, spinal fracture, and stomach content of dead fish sampled in April 2017

Date	FL (cm)	BW (g)	Blood flukes		Stomach content
			Adults in heart	Eggs in gills	
28	41.0	1,220	+++	+++	Full
29	43.3	1,575	–	++	Full
29	43.1	1,670	–	+	Full
29	43.0	1,500	–	+++	Empty
29	45.2	1,800	+++	+++	Empty
29	46.0	2,030	+	++	Empty

の給餌作業終了以降、翌 28 日 7 時の斃死発見時までの短期間の間に大量斃死が発生する程の海況の変化が起こったと推察された。

クロマグロ幼魚は低水温に弱く、15℃以下の水温で斃死することがあるが、¹¹⁾ 4 月 21 日から 4 月 28 日までの St. 5 におけるテレメーターおよび St. 1–7 における多項目水質計を用いた観測結果では、水温 16.5–17.9℃とクロマグロ幼魚が斃死する可能性がある 15℃を下回る水温は観測されず、また DO は 90.6–124.2% であ

り、魚類に影響を与えると考えられる溶存酸素飽和度 60% の負酸素¹²⁾ もなかった。本種は 3 FTU 以上の継続した濁りがある場合は、網地等に接触し骨折やスレを起こすことにより斃死することがあるが、²⁾ 斃死魚発見前の 27–28 日の午前にかけての濁度は 0.25–0.56 FTU で 3 FTU 以上の継続した濁りも観測されず、濁りや波浪により斃死した際に観察される体表のスレや骨折も認められなかった。本種は赤潮にも弱く、ブリやマダイ等他の養殖魚の 1/10 程度の細胞密度でも斃死すると言われているが、^{2,10,13,14)} 赤潮の可能性のある海色の異常は認められず、斃死前後で発生していた有害プランクトンは低密度の *H. akashiwo* のみであった。尾崎漁場における *H. akashiwo* の最高観察細胞密度は 4 月 27 日の 90 cells mL⁻¹、4 月 28 日の 13 cells mL⁻¹ であり、長崎県の養殖クロマグロを対象とした有害赤潮の警戒基準（クロマグロの斃死が発生する可能性がある有害プランクトンの細胞密度）の 1,000 cells mL⁻¹ におよばず、注意基準（餌止め・モニタリングの強化等の準備が必要な有害プランクトンの細胞密度）の 100 cells mL⁻¹ と同程度であった。¹⁰⁾ 他魚種における *H. akashiwo* による斃死事例のほとんどは 10,000 cells mL⁻¹ 以上で確認されており、1,480 cells mL⁻¹ 以下の細胞密度で斃死が発生した報告はない（Table 3）。^{15–18)} また、大型魚ほど酸素要求量が多く有害プランクトンに弱いとされているが、^{2,19–21)} 当該漁場では 30 kg 以上の大型魚の斃死はほとんど見られず、斃死の主体が 1.5–5 kg サイズであった。斃死尾数に差はあるものの、当該漁場のクロマグロ養殖業者のほとんどで小型魚の斃死が認められており、*H. akashiwo* の高密度水塊が多数の業者の生け簀内に侵入していたとしても、大型魚の斃死を引き起こすことなく小型魚のみを斃死に至らしめることは難しいと考えられる。したがって、低密度で発生していた *H. akashiwo* が魚体に何らかの影響を与えた可能性はあるが、斃死の単独要因とは考えにくい。

Table 3 Mass mortality events caused by red tide outbreaks of *Heterosigma akashiwo* in Kyushu, Japan during 2000–2018

Date	Fish species	Cell density (cells mL ⁻¹)	Locality	Number of mortalities
4 June 2005	<i>Trachurus japonicus</i>	10,450	Kazusa, Nagasaki	18 (kg) ¹⁵⁾
13 June 2009	<i>Seriola lalandi</i> , <i>Trachurus japonicus</i>	12,800	Doinoura, Nagasaki	210 ¹⁶⁾
28 June 2010	<i>Pseudocaranx dentex</i>	160,000	Urashiro bay, Miyazaki	15 ¹⁶⁾
25–26 June 2010	<i>Seriola dumerili</i> , <i>Seriola lalandi</i>	186,500	Kitaura bay, Miyazaki	29,561 ¹⁶⁾
9–22 March 2011	<i>Seriola quinqueradiata</i> , <i>Seriola dumerili</i>	18,570	Yamagawa bay, Kagoshima	6,930 ¹⁶⁾
29 April–3 May 2014	<i>Konosirus punctatus</i>	30,950	Isahaya bay, Nagasaki	32 (kg) ¹⁷⁾
25–28 May 2015	<i>Seriola dumerili</i>	1,480	Kagoshima bay, Kagoshima	3,700 ¹⁷⁾
8 July 2017	<i>Seriola quinqueradiata</i>	22,700	Shinnagasaki Port, Nagasaki	10 ¹⁸⁾

* Data obtained from *Kyusyukaiiki no akashio 2001 to 2019*.^{15–18)}

その他、斃死に繋がるような要因として、検査した斃死魚全検体の鰓から2種の住血吸虫の虫卵が観察されており、虫卵の蓄積の程度は1割未満から5割以上と様々であった。住血吸虫症は鰓の血管に虫卵が蓄積することによって血行障害を引き起こし、重篤な場合は酸欠により斃死に至る疾病である。今回の斃死魚には、直ちに斃死する程ではなかったものの、ある程度重度の虫卵の蓄積が見られたことから、4月28日以前から住血吸虫症に罹患していたと判断されるが、4月28日以前の斃死はなく、また、4月30日以降投薬による駆虫は行っていないにも関わらず大きな斃死が起こっていない。さらに、鰓への住血吸虫卵の蓄積が比較的軽度の個体も斃死していたことから、今回の斃死については住血吸虫症単体が主要因である可能性は低いと考えられた。

有害プランクトンによる斃死機構としては、鰓に付着したプランクトンが産生する活性酸素が、鰓の二次鰓弁を損傷させることにより上皮組織の剥離を引き起こしたり、刺激によって分泌された粘液により鰓が詰まり、酸素交換が阻害されることによって斃死することが知られている。^{22,23)} *H. akashiwo* も他の有害プランクトンと同様に活性酸素を産出するとされており、²⁴⁾ *H. akashiwo* と同じ有害ラフィド藻 *Chattonella* spp. が産生する活性酸素によりクロマグロの鰓が異常をきたし斃死したという報告もある。²⁵⁾ 前述のとおり魚類の住血吸虫症は鰓の血管に虫卵が蓄積し、血行障害を引き起こすことで酸欠により斃死を招く疾病であるが、長崎県内の養殖場においては魚体重が5 kg以上に成長すると斃死が減少することが知られている。²⁶⁾ 今回斃死が発生したクロマグロは1.5–5 kg サイズが主体であり、住血吸虫症が発生する魚体サイズと概ね一致しており、検査した以外の斃死魚も住血吸虫症に罹患していた可能性が高い。住血吸虫症・*H. akashiwo* 共に鰓に作用し酸欠による斃死を招くという特徴があることから、今回は斃死を引き起こす程度ではないものの住血吸虫の虫卵が鰓の血管に蓄積し酸素運搬能が低下しているところに、単独で斃死を引き起こす程ではない密度ながら鰓の二次鰓弁上皮組織にダメージを与え呼吸を阻害する *H. akashiwo* が同時に作用したことで、著しく酸素交換が阻害され大量斃死が引き起こされたと考えられる。住血吸虫症が複合的に発生させる疾病の事例では、プリで住血吸虫卵が鰓の血管に詰まり酸素運搬能が低下することにより、ラクトコッカス感染症に罹患しやすくなるという報告がある。²⁷⁾ クロマグロは他の魚種と比べ高い酸素濃度を必要とすることからも、²⁸⁾ 鰓がダメージを受け酸素運搬能が低下した場合には斃死しやすいと考えられる。また、二枚貝においては、病原体に罹患している場合に有害プランクトンの毒性が相乗的に影響する場合と、その逆のケースがあることが示唆されているが、²⁹⁾ 魚類においては同様の知見はあまり報告されていない。今回、住血吸虫と *H. akashiwo* が相乗的にクロマグロの斃死に作用した可能性が高く、これまで単独で影響が検討されてきた病原体と有害プランクトンについて、今後は相互作用についても検討する必要があると考えられる。

斃死が発生したと考えられる4月27–28日にかけて尾崎漁場のテレメーターのDOとクロロフィル蛍光値が上昇し塩分が低下している。一方、竹敷地区における4月27日の観測では *H. akashiwo* が252 cells mL⁻¹ 観測されており、中層にもやや高いクロロフィル蛍光値が観測されていることから、尾崎漁場より高密度の *H. akashiwo* が竹敷地区に存在していたと考えられる。その後、竹敷地区に分布していた *H. akashiwo* が沿岸に分布する低塩分の水塊と共に引き潮の際に湾口に移送され、その後の上げ潮と4月26日午後の北風による吹送流により湾口から南部である尾崎漁場へ移送されたと推測される。また、4月25–26日には降雨による栄養塩の供給もあったと考えられ、プランクトンが増殖しやすい条件が整っていた。以上から、斃死が起こった時間帯には少なくとも4月27日の最高細胞密度である90 cells mL⁻¹ より高密度の *H. akashiwo* が尾崎漁場に存在していた可能性が高い。尾崎漁場において有害プランクトン

に弱い大型魚がほとんど斃死していないことから、*H. akashiwo* は単独で斃死を引き起こす程の密度ではなかったが、住血吸虫症によって酸欠状態になっている小型のクロマグロを斃死させるのに十分であったと推察される。テレメーターの観測結果では4月26日にもDOとクロロフィル蛍光値の上昇が観測されており、この日も同様に竹敷地区から潮汐の影響により湾口に移送された*H. akashiwo* が北風による吹送流により尾崎漁場に移送された可能性があるが、この時にはクロマグロの斃死は確認されていない。4月26-27日には*H. akashiwo* が連続して尾崎漁場に出現していたと考えられ、4月27-28日のクロマグロの斃死につながった可能性がある。特に湾口に生簀が密集している尾崎漁場では北風により有害プランクトン等が漁場に流入しやすく、今回のように湾口部での被害を拡大させやすい。2014年5月下旬にも同漁場においてクロマグロ1,264尾が短期間のうちに斃死した。その際も斃死魚の主体は1.5-5 kgサイズであり、*H. akashiwo* が最高細胞密度760 cells mL⁻¹で出現していた。2014年は住血吸虫検査を実施していなかったが、この年にも同様の事例が発生していた可能性があり、今後大量斃死が発生した際には魚病検査を行う必要がある。

長崎県のクロマグロ養殖場においては、住血吸虫症は周年確認されているが、*C. opisthorchis* の感染報告が増加するのは9-3月と5,6月、*C. orientalis* の感染報告が増加するのは12-3月というデータがある。²⁶⁾ 一方、*H. akashiwo* はシストを形成し、底層水温15°C以上で活発に発芽し、^{30,31)} 増殖適水温は15-32.5°Cである。³²⁾ Figure 5のとおり当該海域の底層水温が15°Cを超えるのは4月以降である。クロマグロの住血吸虫症に関してはブラジカンテル製剤の投与が有効とされている。³³⁾ 今回、斃死直前に投薬していた業者もあり、検査した全ての個体から虫卵は検出されたが、虫体が検出されない個体もあった。ブラジカンテルは虫体には有効だが、虫卵には効果がないことが知られている。³³⁾ 虫卵が孵化して仔虫が鰓から脱出するまでの詳細な期間はまだ明らかにされていないが、2-3週間程かかると推測されている。³³⁾ したがって、*H. akashiwo* が出現し始める4月の1か月程前から住血吸虫の寄生状況に注意し、寄生が確認されれば早急にブラジカンテルの投与を行うとともに、4-6月の間は有害プランクトンの調査範囲を拡大したモニタリングを定期的に行い、低密度でも有害プランクトンが発生している場合は餌止めを行うことにより、本事例のような斃死を防止することが可能であると考えられる。

謝 辞

本研究を行うにあたりデータの提供をいただいた金子産業株式会社および観測等に協力いただいた美津島町漁

業協同組合尾崎支所、美津島町西海漁業協同組合の方々にお礼申し上げる。

文 献

- 1) 原田輝雄, 熊井英水, 岡本 茂. クロマグロおよびハガツオの3年飼育. 近畿大学農学部紀要, 和歌山. 1976; **9**: 21-28.
- 2) Ishida N, Yamatogi T, Ura K, Hirae S, Aoki K, Koike K. Mortality factors of cultured bluefin tuna *Thunnus orientalis* in the coastal area of Tsushima, Nagasaki Prefecture, Japan. *Nippon Suisan Gakkaishi* 2017; **83**: 41-51.
- 3) 山砥稔文. 長崎県沿岸に分布する有害赤潮鞭毛藻カレンニアミキモトイの出現状況と漁業被害について. 水産開発 2014; **116**: 10-18.
- 4) Ogawa K, Tanaka S, Sugihara Y, Takami I. A new blood fluke of the genus *Cardicola* (Trematoda: Sanguinicolidae) from Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis* (Temminck & Schlegel, 1844) cultured in Japan. *Parasitol. Int.* 2010; **59**: 44-48.
- 5) Ogawa K, Ishimaru K, Shirakashi S, Takami I, Grabner D. *Cardicola opisthorchis* n. sp. (Trematoda: Aporocotylidae) from the Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis* (Temminck & Schlegel, 1844) cultured in Japan. *Parasitol. Int.* 2011; **60**: 307-312.
- 6) 杉原志貴. クロマグロ. よくわかる! 魚病対策と水産用医薬品. 養殖ビジネス臨時増刊号 緑書房, 東京. 2018; 23-26.
- 7) 吉田照豊. レンサ球菌感染症およびラクトコッカス感染症. 魚病研究 2016; **51**: 44-48.
- 8) 平成24-28年度魚病対策技術開発事業. 長崎県総合水産試験場事業報告. 長崎県総合水産試験場, 長崎. 2013-2017.
- 9) 平成29年度養殖魚の安定生産技術開発事業. 長崎県総合水産試験場事業報告. 長崎県総合水産試験場, 長崎. 2018.
- 10) 山砥稔文, 石田直也. 島嶼海域での低密度赤潮による新たな漁業被害の発生. 「有害有毒プランクトンの科学」(今井一郎, 山口峰生, 松岡寛充編) 恒星社厚生閣, 東京. 2016; 131-138.
- 11) Tsuda Y, Sakamoto W, Yamamoto S, Murata O. Effect of environmental fluctuations on mortality of juvenile Pacific bluefin tuna, *Thunnus orientalis*, in closed life-cycle aquaculture. *Aquaculture* 2012; **330-333**: 142-147.
- 12) 日本水産資源保護協会. 水産用水基準 第8版 日本水産資源保護協会, 東京. 2018.
- 13) Matsuyama Y, Oda T. Toxic effects of harmful algal blooms on finfish and shellfish. In: Konur O (ed). Handbook of algal science, technology and medicine. Elsevier, Amsterdam. 2020; 543-560.
- 14) Munday BL, Hallegraeff GM. Mass mortality of captive southern bluefin tuna (*Thunnus maccoyii*) in April/May 1996 in Boston Bay, South Australia: a complex diagnostic problem. *Fish Pathol.* 1998; **33**: 343-350.
- 15) 九州海域の赤潮 (2005). 水産庁漁業調整事務所, 福岡. 2006.
- 16) 九州海域の赤潮 (2009-2011). 水産庁漁業調整事務所, 福岡. 2010-2012.
- 17) 九州海域の赤潮 (2014-2015). 水産庁漁業調整事務所, 福岡. 2015-2016.
- 18) 九州海域の赤潮 (2017). 水産庁漁業調整事務所, 福岡. 2018.
- 19) 赤潮による養殖ハマチの被害について. 指定調査研究総

- 合助成事業病害報告書, 広島県水産試験場, 広島. 1971.
- 20) 北川安彦, 宮原治郎, 轟木重敏, 吉田範秋. シェットネラ赤潮防止対策事業. 長崎県総合水産試験場事業報告書, 長崎県総合水産試験場, 長崎. 1995: 134-178.
- 21) Nakashima H, Murata K, Yano K, Nishi H, Yoshimura N, Kuroki Y, Kawasaki S, Furukawa S, Ura K, Matsuo H, Kitatsuji S, Shikata T, Abe K, Tokunaga T, Okamura K, Aoki K, Onitsuka G. A *Chattonella* bloom in the Yatsushiro Sea, Japan in summer 2016: environmental characteristics during the bloom and mortality of cultured yellowtail *Seriola quinqueradiata*. *Nippon Suisan Gakkaishi* 2019; **85**: 162-172 (in Japanese with English abstract).
- 22) 小林 博. 赤潮現象による魚類斃死の生理学的考察. 水産土木 1973; **9**: 37-47.
- 23) 松里寿彦, 小林 博. 海産ミドリムシ赤潮による魚類の斃死機構解明に関する研究. 南西海区水産研究所研究報告, 南西海区水産研究所, 広島. 1974; **7**: 43-67.
- 24) Oda T, Nakamura A, Shikayama M, Kawano I, Ishimatsu A, Muramatsu T. Generation of reactive oxygen species by raphidophycean phytoplankton. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 1997; **61**: 1658-1662.
- 25) García-Mendoza E, Cáceres-Martínez J, Rivas D, Fimbres-Martínez M, Sánchez-Bravo Y, Vásquez-Yeomans R, Medina-Elizalde J. Mass mortality of cultivated bluefin tuna *Thunnus thynnus orientalis* associated with *Chattonella* species in Baja California, Mexico. *Front. Mar. Sci.* 2018; **5**: 1-16.
- 26) 杉原志貴. クロマグロに寄生する *Cardicola* 属住血吸虫 2 種の養殖場における感染動態に関する研究. 博士論文, 長崎大学, 長崎. 2017.
- 27) Kumon M, Iida T, Fukuda Y, Arimoto M, Shimizu K. Blood fluke promotes mortality of yellowtail caused by *Lactococcus garvieae*. *Fish Pathol.* 2002; **37**: 201-203.
- 28) Brill RW, Bushnell PG. Metabolic and cardiac scope of high energy demand teleosts, the tunas. *Can. J. Zool.* 1991; **69**: 2002-2009.
- 29) Lassudrie M, Hégaret H, Wikfors GH, da Silva PM. Effects of marine harmful algal blooms on bivalve cellular immunity and infectious diseases: A review. *Dev. Comp. Immunol.* 2020; **108**: 103660.
- 30) Imai I, Itakura S, Itoh K. Cysts of the red tide flagellate *Heterosigma akashiwo*, Raphidophyceae, found in bottom sediments of northern Hiroshima Bay, Japan. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1993; **59**: 1669-1673.
- 31) Imai I, Itakura S. Importance of cysts in the population dynamics of the red tide flagellate *Heterosigma akashiwo* (Raphidophyceae). *Mar. Biol.* 1999; **133**: 755-762.
- 32) 山砥稔文. 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. 博士論文, 長崎大学, 長崎. 2006.
- 33) Shirakashi S, Andrews M, Kishimoto Y, Ishimaru K, Okada T, Sawada Y, Ogawa K. Oral treatment of praziquantel as an effective control measure against blood fluke infection in Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis*. *Aquaculture* 2012; **326**: 15-19.