

## 東南アジアにおける魚類斃死を伴う赤潮の記録とその傾向 Reports and Trends of Harmful Algal Blooms with Fish Kills in the Southeast Asia

脇田 和美\*・岩滝 光儀\*\*

Kazumi WAKITA and Mitsunori IWATAKI

**要旨:** 人々のタンパク供給源として魚の占める割合が高い東南アジアでは、漁獲量が伸び悩む中で養殖魚の安定供給がますます重要な課題となってきた。本研究では、東南アジアにおける赤潮による魚類斃死の軽減に資する有害微細藻類研究に有用な基礎情報の提供を目的とし、同地域における魚類斃死を伴う赤潮の発生、原因生物、被害等の記録を把握し、その傾向を検討した。文献調査およびASEAN地域研修での情報収集の結果、東南アジアにおける魚類斃死を伴う赤潮は1976年から2016年3月までに少なくとも50件発生したことが明らかとなった。赤潮に伴う魚類斃死の記録は、同地域の養殖漁業の発展に伴い具体的な被害金額や斃死魚の重量が明記される傾向にあった。50件の原因生物の内訳は、分類群別に渦鞭毛藻35件、藍藻6件、ラフィド藻2件、ハプト藻1件、珪藻2件、繊毛虫1件、原因生物不明が5件であり(2件に複数分類群の記載あり)、13の原因属が確認できた。

**キーワード:** 赤潮, 記録, 傾向, 魚類斃死, 東南アジア

### 1. 背景と目的

赤潮(有害微細藻類)の世界的な頻発化・広域化が続いている。Hallegraeff(1993)<sup>1)</sup>や岡市(1997)<sup>2)</sup>が赤潮の多発化・広域化を指摘してから約20年が経過した現在でもその傾向は続き、それに伴う赤潮による社会経済への影響は世界各地に及んでいる。例えば、1989年から2013年の日本の赤潮による漁業被害は瀬戸内海だけでも132億円にのぼり<sup>3)</sup>、韓国でも赤潮による魚介類の斃死により1981年から2012年までの間に1億2,100万USDの経済的被害を被っている<sup>4)</sup>。全世界で赤潮による魚類斃死や貝の毒化による社会経済的被害が発生しており<sup>5)-8)</sup>、アラビア海沿岸では2008~2009

年に発生した渦鞭毛藻 *Cochlodinium polykrikoides* の赤潮により大量の魚類が斃死し、観光業への影響だけでなく海水淡水化施設の操業にまで支障をきたした<sup>9)</sup>。このような現状を受け、赤潮による社会経済的影響を最小限に食い止めることは世界共通の課題である。

東南アジアでは、タンパク供給源として魚の占める割合が15.2%と世界平均6.5%に比して2倍以上高く<sup>10)</sup>、漁獲量が伸び悩む中で同地域の魚類養殖量も1980年の704,789トンから2005年の5,028,363トンへと年々増加してきている<sup>11)</sup>。今後、人口増加が予測される同地域では、タンパク供給源としてさらなる養殖漁業の増大が見込まれてお

\* 正会員 東海大学 海洋学部海洋文明学科, \*\* 非会員 東京大学 アジア生物資源環境研究センター

り、養殖施設数や養魚量の増加の結果として起こる沿岸域の富栄養化や滞留域の増加による赤潮発生の頻発・広域化が懸念されている。そのため、水域富栄養化と赤潮の防除、並びに赤潮による養殖漁業への被害の軽減による養殖魚の安定的な供給が、同地域においてますます重要な課題となってきた。しかし、これまでに東南アジアを対象とした有害微細藻類に関する分類や生態などの生物学的知見は蓄積されてきているものの<sup>12)15)</sup>、同地域全体の魚類斃死を伴う赤潮の発生履歴や被害の程度に関する知見はきわめて少ない。赤潮がアジア太平洋地域の養殖に与える影響をレビューした研究としては Corrales and Maclean (1995)<sup>16)</sup>があるが、赤潮の発生頻度や原因生物の変化は分析していない。赤潮の発生海域の変化と海洋環境との関連等を分析した研究に Wang et al. (2008)<sup>17)</sup>があるが、対象海域は南シナ海に限られている。

そこで本研究では、東南アジアにおける魚類斃死を伴う赤潮の発生とその原因生物や被害等の記録を把握し、それらの傾向を検討することにより、同地域の赤潮による魚類斃死の軽減に資する有害微細藻類研究に有用な基礎情報の提供を目的とする。東南アジアの対象国は、インドネシア、カンボジア、シンガポール、タイ、フィリピン、ブルネイ、ベトナム、マレーシア、ミャンマー、ラオスの ASEAN10 カ国である。

## 2. 手法

東南アジア沿岸諸国における魚類斃死を伴う赤潮の発生、原因生物、被害等の記録を把握するため、文献調査および ASEAN 地域研修への参加による情報収集を行った。文献調査では、赤潮に関する国際雑誌のうち有害微細藻類に関する科学雑誌「Harmful Algae」と、ユネスコの発行するニュースレター「Harmful Algae News」を対象とした。同2誌以外にも東南アジアの赤潮に関する報告が

掲載された雑誌はあるが、本論文では特に魚類斃死を伴う赤潮の被害記録に着目したため、有害赤潮というテーマを明確に掲げている上述の2誌を対象として選択し、研究の第一歩とした。「Harmful Algae」については、Science Direct を用いて創刊号（2002年3月）から57号（2016年7月）に掲載された科学論文を検索し、ASEAN10 カ国で漁業被害を伴った赤潮に関する論文を抽出した。「魚類斃死」を表す英単語として、“fish kill”あるいは“mortality of fish”が多く用いられることから、「“fish” AND “kill” AND “国名 (ex. Brunei)”」および「“fish” AND “mortality” AND “国名”」のキーワードで論文を検索した。なお、論文検索はタイトルだけでなく参考文献を含めた全文を対象とした。これにより該当した論文内容を確認し、上記10カ国の魚類斃死を伴う赤潮情報が記載された論文を抽出して、有害微細藻類の発生日月、原因生物、最大密度、漁業被害の程度、発生場所をとりまとめた。また、ニュースレター「Harmful Algae News」については、創刊号（1992年）から52号（2016年1月）までの掲載内容を調査し、上記10カ国における魚類斃死を伴う赤潮発生に関する記事を抽出した。

次に、2016年7月18日から22日に東南アジア漁業開発センター (SEAFDEC) およびシンガポール国立大学により共催された「ASEAN における有害微細藻類の同定に関する地域研修」に参加し、各国の参加者による発表および追加の聞き取りに基づき、魚類斃死を伴う赤潮発生情報を収集した。同研修には ASEAN10 カ国の水産関連部局職員が一堂に会するため、魚類斃死を伴う赤潮発生に関し、国レベルで把握している情報を統一的に収集できる点に価値がある。以上の文献および聞き取り調査により、東南アジアにおける魚類斃死を伴う赤潮発生情報がすべて把握できるわけではないが、少なくとも国レベルで取りまとめられた情報

と、有害な赤潮という社会への影響に関するテーマを持つ雑誌での情報を網羅しており、魚類斃死を伴う赤潮の発生記録とその傾向を把握する研究の第一歩として一定の価値は認められると判断した。以上より、東南アジアにおける魚類斃死を伴う赤潮の発生とその原因生物、被害の程度等を取りまとめ、その傾向を検討した。

### 3. 結果

#### 3.1 文献検索結果

国際科学雑誌「Harmful Algae」を検索した結果、44編の論文が抽出された。同44編の内容を確認した結果、東南アジアにおける魚類斃死を伴う赤潮の発生様態を記述した論文は5編だった<sup>18)-22)</sup>。内訳はマレーシア2編、フィリピン2編、ベトナム1編だった。他の39編は論文中に上述の検索キーワードは含まれているものの、有害微細藻類の温度耐性や遺伝子型等の生物学的研究であるものや、他地域を扱った論文中に例として東南アジアにおける魚類斃死を伴う赤潮情報が引用されたもの、また、遺伝子型の名称として国名が用いられているために（例：American/Malaysian ribotype）検索結果として検出されたものであった。一方、国際ニュースレター「Harmful Algae News」には6報の記事が5つの号に掲載されていることが確認された<sup>23)-28)</sup>。内訳は、インドネシア4報、マレーシア1報、フィリピン1報であった。なお、同誌19号にベトナムにおける赤潮関連記事が掲載されているが、魚類斃死を伴った赤潮発生年代が特定されていないため対象から除外した。

#### 3.2 東南アジアにおける魚類斃死を伴う赤潮発生履歴

3.1で該当した論文および記事の内容と、上述のASEAN地域研修で入手した情報<sup>29)-46)</sup>に基づき、東南アジアにおける魚類斃死を伴う赤潮発生履歴

を整理した結果を表1に示す。1976年から2016年3月までの間に、東南アジアで少なくとも50件の魚類斃死を伴う赤潮の発生が明らかとなった。50件の原因生物の内訳を分類群（門あるいは綱）別にみると、渦鞭毛藻35件、藍藻6件、ラフィド藻2件、ハプト藻1件、珪藻2件、繊毛虫1件、原因生物不明が5件であった（2件に複数分類群の記載あり）。このうち被害金額が明記された赤潮は5件で、それぞれ1989年にタイ、1991年にインドネシア、2002年にフィリピンおよびベトナム、2005～2006年にマレーシアで発生したものであった（表中灰色部分）。一方、養殖（あるいは蓄養）魚介類が斃死したと明記された赤潮は15件で、それぞれ1983年および1985年にマレーシア、2002年にフィリピン、2005年および2005～2006年にマレーシア、2009年にシンガポール、2012年にインドネシア（2件）、2013年にインドネシアおよびシンガポール、2014年と2015年にマレーシアおよびシンガポール、2016年にカンボジアで発生したものであった（表中太字下線部分）。

表1を原因生物別に年表形式に再整理したものが表2である。1976年～2016年3月までに東南アジアで発生した魚類斃死を伴う赤潮の原因生物は、13属あることが確認できた。また、同期間内の赤潮による魚類斃死が記録されていた国は、ブルネイ、カンボジア、インドネシア、マレーシア、フィリピン、シンガポール、タイ、ベトナムの8カ国であった。魚類斃死を伴う赤潮の発生履歴を年代別にみると、1970年代はブルネイの1件、1980年代はタイ6件、マレーシア2件、インドネシア1件の計9件、1990年代はタイ13件およびインドネシア3件の計16件だった。2000年代になると、フィリピン4件、インドネシア3件、タイ2件、シンガポール1件、ベトナム1件の計11件に加え、マレーシアにおける2005～2006年の通年にわたる多数の赤潮発生が記録されている。

表1 東南アジアにおける魚類斃死を伴う赤潮発生履歴 (1/3)

No.	year	month	reported causative organism	group	country	impact/economic loss	place	ref. No.
1	1976	3-5	<i>Pyrodinium</i> sp.	Dinoflagellate	Brunei	Several hundred dead fish, demersal and pelagic	Brunei waters	29, 30
2	1981	-	<i>Noctiluca</i>	Dinoflagellate	Thailand	Dead fish	Tha Chin River mouth, Samut Sakhon (タイ湾北部沿岸)	31
3	1982	5-6	*	-	Thailand	Dead fish	タイ湾東沿岸	31
4	1983	5-6	*	-	Thailand	Dead fish	タイ湾東沿岸	31
5	1983	3-11	<i>Chattonella marina</i>	Raphidophyte	Malaysia	<b>Shrimp farms</b> suffered heavy losses	Johor Straits	32, 33
6	1985	-	<i>Noctiluca</i>	Dinoflagellate	Thailand	Dead fish	Sriracha, Chonburi	31
7	1985	1-2	<i>Chattonella marina</i>	Raphidophyte	Malaysia	<b>Shrimp farms</b> suffered heavy losses	Johor Straits	32, 33
8	1986	7	<i>Noctiluca scintillans</i> 6.0×10 <sup>2</sup> cells/L	Dinoflagellate	Indonesia	Mass mortality of demersal fish and benthic organisms	Jakarta Bay	34
9	1989	-	<i>Trichodesmium</i> sp.	Cyanobacteria	Thailand	<b>1,160,000 USD</b> fish affected	タイ湾沿岸	16
10	1989	-	<i>Mesodinium</i>	Ciliate	Thailand	Dead fish	-	31
11	1991	7-8	<i>Trichodesmium erythraeum</i> 3.0×10 <sup>8</sup> cells/L	Cyanobacteria	Indonesia	<b>1,750,000 USD</b> shrimps and fishes dead	Lampung Bay	35, 36
12	1991	8	<i>Noctiluca</i>	Dinoflagellate	Thailand	Demersal fish dead	タイ湾沿岸	31
13	1991	1-9	<i>Noctiluca scintillans</i>	Dinoflagellate	Thailand	Many dead fish	Cha (タイ湾北西沿岸)	31
14	1991	6	<i>Noctiluca scintillans</i>	Dinoflagellate	Thailand	Many dead fish	Prachuap Khiri Khan (タイ湾西沿岸)	31
15	1991	7	<i>Noctiluca scintillans</i>	Dinoflagellate	Thailand	Many dead fish	Ban Laem Hin (タイ湾北西沿岸)	31
16	1991	7	<i>Noctiluca scintillans</i>	Dinoflagellate	Thailand	Many dead fish	Yang Phetchaburi (タイ湾北西沿岸)	31
17	1991	8	<i>Noctiluca scintillans</i>	Dinoflagellate	Thailand	Many dead fish	Angsila to Laem Chabang (タイ湾北東沿岸)	31
18	1991	8	<i>Noctiluca scintillans</i>	Dinoflagellate	Thailand	Many dead fish	Sriracha, Koh Si Chang (タイ湾北東沿岸)	31
19	1992	1	<i>Noctiluca scintillans</i>	Dinoflagellate	Thailand	Many dead fish	Yang Phetchaburi (タイ湾北西沿岸)	31
20	1992	2	<i>Noctiluca scintillans</i>	Dinoflagellate	Thailand	Many dead fish	Hua Hin (タイ湾北西沿岸)	31
21	1992	3	<i>Noctiluca scintillans</i>	Dinoflagellate	Thailand	Many dead fish	-	31
22	1992	3	<i>Noctiluca scintillans</i>	Dinoflagellate	Thailand	Many dead fish	タイ湾北東沿岸	31
23	1992	4	<i>Noctiluca scintillans</i>	Dinoflagellate	Thailand	Many dead fish	Banglamung Police (タイ湾北東沿岸)	31
24	1992	5	<i>Noctiluca scintillans</i>	Dinoflagellate	Thailand	Many dead fish	Yang Phetchaburi (タイ湾北西沿岸)	31

表1 東南アジアにおける魚類斃死を伴う赤潮発生履歴 (2/3)

No.	year	month	reported causative organism	group	country	impact/economic loss	place	ref. No.
25	1999	-	<i>Trichodesmium erythraeum</i>	Cyanobacteria	Indonesia	Mass mortality of fish	Kep Seribu	35
26	1999	-	<i>Trichodesmium thiebautii</i>	Cyanobacteria	Indonesia	Mass mortality of fish	Papua	35
27	2000	-	<i>Trichodesmium thiebautii</i>	Cyanobacteria	Indonesia	Mass mortality of fish	North Sulawesi	35
28	2000	10	<i>Noctiluca scintillans</i> , <i>Ceratium furca</i>	Dinoflagellate	Thailand	Dead fish	Sriracha and Koh Si Chang, Chonburi (タイ湾北東沿岸)	31
29	2002	2	<i>Prorocentrum minimum</i> 4.7×10 <sup>5</sup> cells/L	Dinoflagellate	Philippines	<b>USD 120,000 cultivated fish killed</b>	Bolinao, Pangasinan	18
30	2002	7	<i>Phaeocystis globosa</i>	Haptophyte	Vietnam	Over <b>USD 650,000 estimated loss</b>	Phan Ri Bay, Southern Vietnam	21
31	2002	3	<i>Cochlodinium polykrikoides</i>	Dinoflagellate	Philippines	Fish kill	Illgay Bay, Cagayan de Oro	37
32	2003	-	<i>Cochlodinium polykrikoides</i>	Dinoflagellate	Philippines	Fish kill	Balayan Bay, Batangas	37
33	2004	5	<i>Noctiluca scintillans</i> , <i>Trichodesmium erythraeum</i>	Dinoflagellate Cyanobacteria	Indonesia	Mass mortality of fish	Jakarta Bay	23
34	2004	-	<i>Pyrodinium bahamense</i> var. <i>compressum</i>	Dinoflagellate	Indonesia	Mass mortality of fish	Lampung Bay	35
35	2005	2-3	<i>Cochlodinium polykrikoides</i> 3.2×10 <sup>6</sup> cells/L	Dinoflagellate	Philippines	Massive fish kill	Puerto Princesa, Palawan	20, 25, 37
36	2005	1-6	<i>Cochlodinium polykrikoides</i> 6.0×10 <sup>6</sup> cells/L	Dinoflagellate	Malaysia	Fish mortalities in <b>cage-cultures</b>	Sepanggar Bay, off Kota Kinabalu, Sabah	19, 38
37	2005-2006	All Year	<i>Cochlodinium polykrikoides</i> **	Dinoflagellate	Malaysia	At least <b>6,000,000 USD loss of caged finfish</b>	Penang (マレー半島北部アンダマン海沿岸)	39
38	2007	3	***	-	Thailand	Dead fish	Krabi (アンダマン海沿岸)	31
39	2009	12	-	-	Singapore	<b>Both cultured and wild fish killed</b>	East Johor Strait	40, 41
40	2012	-	<i>Pyrodinium bahamense</i> var. <i>compressum</i> , <i>Cochlodinium polykrikoides</i>	Dinoflagellate Dinoflagellate	Brunei	Mass mortality of wild fish at offshore	-	42
41	2012	7	<i>Pyrodinium bahamense</i> var. <i>compressum</i> 2.0×10 <sup>6</sup> cells/L, <i>Chaetoceros</i> sp. 1.2×10 <sup>6</sup> cells/L	Dinoflagellate Diatom	Indonesia	Thousands of <b>cultured fish</b>	Ambon Bay	25, 28

表 1 東南アジアにおける魚類斃死を伴う赤潮発生履歴 (3/3)

No.	year	mo nth	reported causative organism	group	country	impact/economic loss	place	ref. No.
42	2012	10 -11	<i>Cochlodinium polykrikoides</i> 7.4×10 <sup>5</sup> cells/L	Dinoflagellate	Indonesia	Mass mortality of <b>cultured fish</b>	Lampung Bay	26
43	2013	-	<i>Pyrodinium bahamense</i>	Dinoflagellate	Indonesia	Death of <b>cultured fish</b>	Lampung Bay	35
44	2013	6	-	-	Singapore	90 tons of <b>farmed fish</b> killed	West Strait	Johor 41
45	2014	2	<i>Karlodinium australe</i> 2.3×10 <sup>6</sup> cells/L	Dinoflagellate	Malaysia	Around 50,000 <b>cage-cultured fish</b> killed. Some small wild fish as well dead.	West Strait	Johor 22, 27, 38
46	2014	2	<i>Karlodinium australe</i> , <i>Karlodinium veneficum</i> , <i>Takayama xiamenensis</i>	Dinoflagellate Dinoflagellate Dinoflagellate	Singapore	160 tons of both <b>cultured</b> and wild fish killed.	East and West Johor Strait	40, 41
47	2015	2	<i>Karlodinium australe</i> 2.0×10 <sup>8</sup> cells/L ****	Dinoflagellate	Malaysia	Mass mortality of <b>cultured</b> and wild fish.	West Strait	Johor 27, 38
48	2015	2	<i>Karlodinium australe</i>	Dinoflagellate	Singapore	500-600 tons of <b>cultured</b> and wild fish killed	East Strait	Johor 40, 43
49	2016	4	<i>Noctiluca scintillans</i>	Dinoflagellate	Cambodia	<b>Dead crabs</b> and fish *****	Kep coast	44, 45
50	2016	3	<i>Skeletonema</i> 2.5×10 <sup>7</sup> cells/L	Diatom	Thailand	fish kill	Rayong (タイ 湾東沿岸)	46

\* 原因生物は不明だが、海水が茶色に変色していたことが確認されている。

\*\* 原因と疑われている生物。

\*\*\* 原因生物は不明だが、海水が赤（紅）色に変色していたことが確認されている。

\*\*\*\* *Karlodinium* のような細胞という表現で報告されている。

\*\*\*\*\* 資料原文中に養殖（蓄養）という語はないが ASEAN 地域研修で蓄養カニの斃死が確認されている。

2010年代は2016年3月までの間に11件の記録があり、内訳はインドネシア3件、シンガポール3件、マレーシア2件、タイ1件、ブルネイ1件、カンボジア1件であった。

#### 4. 考察

まず、東南アジアにおける魚類斃死を伴う赤潮発生履歴の結果について、同地域における養殖の発展との比較を通じた傾向の検討を試みる。東南アジアでは、1980年代後半に台湾資本によるウシエビの養殖技術の持ち込みによりエビ類の養殖が

発展したといわれており<sup>47)</sup>、あわせて海面魚類養殖も発展してきた。例えば、タイでは1970年代に行われていた半集約的エビ養殖に代わり、1980年代後半に台湾から集約的養殖が導入され、これにより、エビの年ヘクタール当たり生産量が平均2,000 kg/ha/year (1987~1999年平均)と半集約的養殖の2倍に上昇し、年間生産量も急激に増加した<sup>48)</sup>。マレーシアでの海面養殖は1970年代に導入され、続く1980~1990年代の海面エビ養殖への私企業の参入により急成長を遂げたといわれている<sup>49)</sup>。インドネシアでランブン海面養殖センター

表 2 : 東南アジアにおける魚類斃死を伴う赤潮の原因生物別の発生履歴 (1976 年~2016 年 3 月)

	1*	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1976	B													
1981		T												
1982														T
1983									M					T
1985		T							M					
1986		I												
1989								T		T				
1991		T7						I						
1992		T6												
1999								I2						
2000		T'	T'					I						
2002				P	P						V			
2003					P									
2004	I	I'						I'						
2005					Mm, P									
2006					Mm									
2007														T
2009														S
2012	B', I'				B', I							I'		
2013	I													S
2014						M, S'	S'							
2015						M, S								
2016		C												T

\* 1. *Pyrodinium bahamense* var. *compressum*/sp., 2. *Noctiluca scintillans*/Noctiluca, 3. *Ceratium furca*, 4. *Prorocentrum minimum*, 5. *Cochlodinium polykrikoides*, 6. *Karlodinium australe*/veneficum, 7. *Takayama xiamenensis*, 8. *Trichodesmium erythraeum*/thiebautii/sp., 9. *Chattonella marina*, 10. *Mesodinium*, 11. *Phaeocystis globosa*, 12. *Chaetoceros* sp., 13. *Skeletonema*, 14. 不明.

B:ブルネイ, C:カンボジア, I:インドネシア, M:マレーシア, P:フィリピン, S:シンガポール, T:タイ, V:ベトナム. (注1) T', I', B', S'はそれぞれ, 複数属の原因生物が同一赤潮内で確認された場合であり, 発生件数はそれぞれ1件となる。(注2) T6, T7, I2などの数字は年間の発生回数を表す(それぞれ6回, 7回, 2回)。(注3) Mmのmは年間を通した複数回の発生を意味する(回数不明)。

が設立されたのは1986年であり<sup>50)</sup>, ベトナムで国家経済の重要な分野として養殖が注目されるようになったのは1990年頃である<sup>51)</sup>。これらを踏まえると, 1980年代にはタイとマレーシアの魚類斃死を伴う赤潮発生履歴が目立っているが, これは両国のエビの集約的養殖および海面養殖発展の時期が他の東南アジア諸国に比して早期であったことをある程度反映していると考えられる。2000年までの赤潮による魚介類斃死発生記録はブルネイ, インドネシア, マレーシア, タイに限られていたが, 2002年以降はフィリピン, ベトナム, シンガポール, カンボジアでの魚類斃死記録が出現している。このことも, 養殖の発展と関連がある

ことを示唆している。また, 東南アジアにおける赤潮に伴う魚介類斃死による経済的損失の最初の報告は, 1989年にタイで発生した藍藻 *Trichodesmium* sp.赤潮による116万USD相当の魚類斃死である。その後1991年の *Trichodesmium erythraeum* 赤潮によるインドネシアの魚介類斃死報告(175万USD相当)が続き, さらに2002年以降は多数の国で赤潮による養殖魚介類の斃死金額や重量が明確に報告されている。こうした情報の蓄積は, 東南アジアにおける養殖の発展に伴い, より多くの国で赤潮に伴う魚類斃死による経済的影響や社会的関心が高まってきていることを反映していると考えられる。

次に、東南アジアにおける魚類斃死を伴う赤潮の原因生物について、その傾向の検討を試みる。渦鞭毛藻の *Pyrodinium* 属および *Noctiluca* 属は1980年前後から断続的に複数国で発生しており、同地域における魚類斃死を伴う赤潮原因生物の代表的なものといえる。一方、渦鞭毛藻 *Cochlodinium polykrikoides* は2002年にフィリピンでの魚類斃死が報告されて以降、マレーシア、インドネシアからも報告があり、今後、同種による魚類斃死の広域化に留意する必要がある。また、*Karlodinium australe* による魚類斃死はマレーシアとシンガポールで2014年に同地域で初めて確認されて以降2015年にも再発しており、今後の再発や広域化にも注意が必要だといえよう。逆に、ラフィド藻 *Chattonella marina* はマレーシアで1985年に発生して以来、同地域での魚類斃死記録がない。藍藻 *Trichodesmium erythraeum* および *Trichodesmium thiebautii* も2000年前後にインドネシアで発生して以来、魚類斃死の記録がない。以上のような魚類斃死を伴う赤潮原因生物の変遷には、人為的影響を含めた海域の富栄養化が影響している可能性も否定できないが<sup>2), 52)</sup>、東南アジアにおける栄養塩濃度等のデータは限られており、関連性を明らかにすることは困難である。例えば、インドネシアのランブン湾では無機態窒素が1998~2004年の間に増加傾向にあることは確認されているが<sup>53)</sup>、測定期間が6年と短く測点も限られていることから、赤潮と富栄養化との関連を判断するには不十分である。微細藻類の生理生態は複雑であり、養殖の発展と赤潮原因生物の傾向との関係を理解するためには、赤潮のさらなる生態学的研究とそのために必要なモニタリングの継続や充実が望まれる。

なお、魚類斃死を伴う赤潮原因生物について、2000年までは *Pyrodinium*, *Noctiluca*, *Ceratium*, *Trichodesmium*, *Chattonella*, および *Mesodinium* の

6属であったのに対し、2002年以降は *Prorocentrum*, *Cochlodinium*, *Karlodinium*, *Takayama*, *Phaeocystis*, *Chaetoceros*, および *Skeletonema* の7属が加わっている。しかし、これをもって東南アジアの有害微細藻類発生種が拡大傾向にあるとは断定できない。新たな原因生物の報告は、東南アジアの赤潮研究者の充実度やモニタリングの箇所数・頻度等によっても左右される。これは、より多くの赤潮による魚類斃死記録がある国において、必ずしも有害赤潮が他国より多く発生しているとは限らないのと同様である。

最後に、本調査結果の妥当性と含意を検討する。本調査ではASEAN地域研修での情報収集により、表1に示した魚類斃死を伴う赤潮発生全50件のうち、30件の学術雑誌に非掲載の情報が入手できたことから、結果に一定の価値はあるといえよう。同結果は、魚類斃死を伴う赤潮発生の多くが国際的な学術雑誌に掲載されるわけではなく、むしろ各国でその情報が適切に収集・整理されていることを意味していると考えられる。これは赤潮発生情報そのものが、場合によっては安全な魚介類であっても消費者の買い控えを招き<sup>54)</sup>、養殖漁業者や漁業者等へ経済的悪影響を与えかねないという難しい側面を有していることを考慮すれば当然の結果ともいえる。上述のASEAN地域研修でも、赤潮発生情報の発信における社会経済的影響への十分な配慮の必要性が指摘された。しかし、本研究の文献調査対象は上述の2誌のみであり、十分とは言いがたい。東南アジアの魚類斃死を伴う赤潮の発生傾向と養殖の発展や富栄養化との関係を論ずるには材料不足である。今後、東南アジアの魚類斃死を伴う赤潮発生履歴の全容を把握するためには、赤潮に関する国際会議の記録や、各国の新聞やウェブサイト等のより幅広い情報源へ拡充する必要があると考えられる。以上より、今後、東南アジアにおける魚類斃死を伴う赤潮発生履歴の全



容把握のためには各国の情報を丁寧に入手していく必要があり、その結果の公開方法についても深慮が必要と考えられる。

## 5. 結論

東南アジアにおける魚類斃死を伴う赤潮は、1976年から2016年3月までの間に少なくとも50件発生したことが明らかとなった。赤潮に伴う魚類斃死の記録は、同地域における養殖の発展に伴い、具体的な被害金額や斃死魚の重量が明記されるようになってきた傾向が把握できた。一方、本研究で対象とした国際雑誌およびニュースレターにおいて、全50件の魚類斃死を伴う赤潮のうち被害金額が明記されたのは5件にとどまっていた。50件の原因生物の内訳は、分類群別に渦鞭毛藻35件、藍藻6件、ラフィド藻2件、ハプト藻1件、珪藻2件、絨毛虫1件、原因生物不明が5件であった(2件に複数分類群の記載あり)。これらの魚類斃死を伴った赤潮の原因生物は、13属あることが確認できた。

## 謝辞

本研究は日本沿岸域学会平成26年度研究グループ助成金と、日本財団助成東京大学海洋アライアンス・イニシャティブ事業No. OAI-15-10、日本学術振興会科学研究費補助金No. 25304029、同No. 15H04533、科学技術振興機構平成28年度研究拠点形成事業の一部支援を得て実施した。東京大学の福代康夫氏、黒倉壽氏、八木信行氏と、ご協力いただいた関係各位に深謝する。

## 引用・参考文献

- 1) Hallegraeff G.M.: A review of harmful algal blooms and their apparent global increase, *Phycologia*, 32, pp. 79-99, 1993.
- 2) 岡市友利: 赤潮の科学(第二版), 恒星社厚

生閣, 東京, pp. 5-41, 1997.

- 3) 瀬戸内海漁業調整事務所: 「赤潮による漁業被害」瀬戸内海(S53~H25) ページ, <http://www.jfa.maff.go.jp/setouti/akasio/gepou/>, 2016. 8
- 4) Park T.G. et al.: Economic impact, management and mitigation of red tides in Korea, *Harmful Algae*, 30S, pp. 131-43, 2013.
- 5) Hoagland P. et al.: The economic effects of harmful algal blooms in the United States: estimates, assessment issues, and information needs, *Estuaries*, 25, pp. 819-37, 2002.
- 6) Mendez S.M. et al.: High sea surface temperature, the potential trigger of mass mortality of fish, exceptional toxin producing HABs, and other socio-economic impacts in Uruguay, *Harmful Algae News (HAN)*, 51, pp. 1-2, p. 9, 2015.
- 7) Kudela R.M. et al.: Harmful Algal Blooms. A Scientific Summary for Policy Makers, IOC/UNESCO, Paris, pp. 10-13, 2015.
- 8) Shumway S.E.: A review of the effects of algal blooms on shellfish and aquaculture, *Journal of the World Aquaculture Society*, 21, pp. 65-104, 1990.
- 9) Richlen M.L. et al.: The catastrophic 2008–2009 red tide in the Arabian gulf region, with observations on the identification and phylogeny of the fish-killing dinoflagellate *Cochlodinium polykrikoides*. *Harmful Algae*, 9, pp. 163-172, 2010.
- 10) Chan C.Y. et al.: Fish to 2050 in the ASEAN Region, WorldFish and International Food Policy Research Institute (IFPRI) working paper 2017-01, p. 13, 2017.
- 11) Hishamunda N. et al.: Analysis of Aquaculture Development in Southeast Asia: A Policy Perspective, FAO fisheries and aquaculture

- technical paper, 509, Rome, pp. 5-14, 2009.
- 12) Lim P.T. et al.: First report of *Alexandrium taylori* and *Alexandrium peruvianum* (Dinophyceae) in Malaysia waters, *Harmful Algae*, 4, pp. 391-400, 2005.
  - 13) Baula I.U. et al.: Dinoflagellate cyst composition, abundance and horizontal distribution in Bolinao, Pangasinan, Northern Philippines, *Harmful Algae*, 11, pp. 33-44, 2011.
  - 14) Adam A. et al.: Temporal and spatial distribution of harmful algal bloom (HAB) species in coastal waters of Kota Kinabalu, Sabah, Malaysia, *Harmful Algae*, 10, pp. 495-502, 2011.
  - 15) Lim H.C. et al.: Genetic diversity of *Pseudo-nitzschia brasiliensis* (Bacillariophyceae) from Malaysia, *Journal of Applied Phycology*, 24, pp. 1465-75, 2012.
  - 16) Corrales R.A. and Maclean J.L.: Impacts of harmful algae on seafarming in the Asia-Pacific areas, *Journal of applied phycology*, 7, pp. 151-162, 1995.
  - 17) Wang S.F. et al.: Occurrences of harmful algal blooms (HABs) associated with ocean environments in the South China Sea, *Hydrobiologia*, 596, pp. 79-93, 2008.
  - 18) Azanza R.V. et al.: *Prorocentrum minimum* bloom and its possible link to a massive fish kill in Bolinao, Pangasinan, Northern Philippines, *Harmful Algae*, 4, pp. 519-24, 2005.
  - 19) Anton A. et al.: First occurrence of *Cochlodinium* blooms in Sabah, Malaysia, *Harmful Algae*, 7, pp. 331-6, 2008.
  - 20) Azanza R.V. et al.: An extensive *Cochlodinium* bloom along the western coast of Palawan, Philippines, *Harmful Algae*, 7, pp. 324-30, 2008.
  - 21) Dippner J.W. et al.: A model for the prediction of harmful algae blooms in the Vietnamese upwelling area, *Harmful Algae*, 10, pp. 606-11, 2011.
  - 22) Lim H.C. et al.: A bloom of *Karlodinium australe* (Gymnodiniales, Dinophyceae) associated with mass mortality of cage-cultured fishes in West Johor Strait, Malaysia, *Harmful Algae*, 40, pp. 51-62, 2014.
  - 23) Sidharta B.R.: Mass Fish Mortality in Jakarta Bay: HAB organisms as the culprit?, *HAN*, 27, pp. 8-9, 2004.
  - 24) Azanza R.V. and Baula I.U.: Fish kills associated with *Cochlodinium* blooms in Palawan, the “last frontier” of the Philippines, *HAN*, 29, pp. 13-4, 2005.
  - 25) Likumahua S.: Bloom of *Pyrodinium bahamense* var. *compressum* in Ambon Bay, eastern Indonesia, *HAN*, 47, pp. 22-3, 2013.
  - 26) Thoha H. et al.: First record of the harmful dinoflagellate *Cochlodinium polykrikoides* in Lampung Bay, Indonesia, *HAN*, 50, pp. 14-5, 2015.
  - 27) Teng, S.T. and Leaw C.P.: Recurrence of the harmful dinoflagellate *Karlodinium australe* along the Johor Strait, *HAN*, 52, p. 5, 2016.
  - 28) Sidabutar T. et al.: Occurrence of *Pyrodinium bahamense* blooms related to cyst accumulation in the bottom sediments in the bays at Ambon, Lampung and Jakarta, Indonesia, *HAN*, 52, pp. 8-9, 2016.
  - 29) Beales R.W.: A red tide in Brunei's coastal waters, *Brunei Museum J.*, 3 (4), pp. 167-82, 1976.
  - 30) Maclean J.L.: Red tides in Papua New Guinea waters, In Hallegraef and Maclean Ed.: *Biology, Epidemiology and Management of Pyrodinium Red Tides*. ICLARM Contribution No. 585, Manila, pp. 27-38, 1989.

- 31) Knowledge Management for National Marine Interests Project, Thailand Research Fund: Top page, <http://goo.gl/FKKhPoq>, 2016. 8
- 32) Khoo E.W.: Occurrences of “red tide” along Johor Straits, Malaysia, resulted in heavy mortality of shrimp, World Mariculture Society Newsletter 16 (1), p. 4, 1985.
- 33) Maclean J.L.: Indo-Pacific red tides, 1985-1988, Marine Pollution Bulletin, 20, pp. 304-10, 1989.
- 34) Adnan Q.: Red tides due to *Noctiluca Scintillans* (Macartney) Ehrenb. and mass mortality of fish in Jakarta Bay, In Okaichi, Anderson, and Nemoto Ed.: Red Tides: Biology, Environmental Science, and Toxicology, Elsevier Science Publishing Co., Inc., New York, pp. 53-5, 1989.
- 35) Pahlevi R.S. and Sasono A.: HABs situation in Indonesia, Presentation at Regional Training Course on Identification of Harmful Algal Bloom Species in ASEAN Region (RTC-ASEAN), 18-22 July 2016, Singapore.
- 36) Adnan Q.: Red tide due to *Trichodesmium Erythraeum* Ehrenberg in the East Coast of Lampung, South Sumatera, West Indonesia, May to September 1991, In Proceedings of the Second IOC/WESTPAC Symposium: Scientific Contributions to the Effective Management of the Marine Environment in the Western Pacific, pp. 234-44, 1991.
- 37) Borja V.M. and Cabella L.M.: Overview of HAB in the Philippines: Its monitoring, management and mitigation, RTC-ASEAN, 18-22 July 2016, Singapore.
- 38) Kasmon E.S.B.: Fisheries Biosecurity Laboratory Kuala Lumpur (PBKL), RTC-ASEAN, 18-22 July 2016, Singapore.
- 39) Lim P.T. et al.: Harmful Algal Blooms in Malaysian Waters (Ledakan Alga Berbahaya di Perairan Malaysia), Sains Malaysiana, 41, pp. 1509-15, 2012.
- 40) Amir M.S.B.: Country status report: Harmful Algal Blooms in Singapore, RTC-ASEAN, 18-22 July 2016, Singapore.
- 41) Leong C.Y.S. et al.: Three new records of dinoflagellates in Singapore’s coastal waters, with observations on environmental conditions associated with microalgal growth in the Johor Straits, Raffles Bulletin of Zoology Supplement, 31, pp. 24-36, 2015.
- 42) Jolkifli Z. and Jair A.: Monitoring and management for harmful algal blooms (HAB) in Brunei Darussalam, RTC-ASEAN, 18-22 July 2016, Singapore.
- 43) The Strait Times: Large number of dead fish near Lim Chu Kang jetty: Lim Chu Kang fish death ‘due to low oxygen levels’, 2016年7月19日朝刊 1, 9面, Singapore.
- 44) Tharith C. and Phearak I.: Chemicals and drug residues in fish and fish products in Southeast Asia, RTC-ASEAN, 18-22 July 2016, Singapore.
- 45) The Phnom Penh Post: Algal blooms off Kep coast lead to swimming and seafood scares, 4 April 2016 page, <http://www.phnompenhpost.com/national/algal-blooms-kep-coast-lead-swimming-and-seafood-scares>, 2016. 8
- 46) Sreesamran P.: EMDEC Rayong, Thailand, RTC-ASEAN, 18-22 July 2016, Singapore.
- 47) 水産庁：平成25年度水産白書ページ, [http://www.jfa.maff.go.jp/kikaku/wpaper/h25\\_h/trend/1/t1\\_1\\_1\\_2.html](http://www.jfa.maff.go.jp/kikaku/wpaper/h25_h/trend/1/t1_1_1_2.html), 2016. 8
- 48) Szuster B.: 7 Coastal shrimp farming in Thailand: Searching for sustainability, In Hoanh et al. Ed.: Environment and Livelihoods in Tropical Coastal

- Zones, CABI, Norfolk, pp. 86-98, 2006.
- 49) Kechik I.A.: Aquaculture in Malaysia, In Bagarinao et al. Eds.: Towards Sustainable Aquaculture in Southeast Asia and Japan: Proceedings of the Seminar-Workshop on Aquaculture Development in Southeast Asia, SEAFDEC Aquaculture Department, Iloilo, pp. 125-35, 1995.
- 50) Balai Besar Perikanan Budidaya Laut (BBPBL): Tope page, <http://bbpbl.djpb.kkp.go.id/>, 2016. 8
- 51) Nguyen, N.L. and Doan N.H.: Harmful Marine Phytoplankton in Vietnam Waters, In Yasumoto et al. Eds.: Harmful and Toxic Algal Blooms, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, Sendai, pp. 45-8, 1996.
- 52) Anderson D.M. et al.: Harmful algal blooms and eutrophication: Examining linkages from selected coastal regions of the United States, *Harmful Algae*, 8, pp. 39-53, 2008.
- 53) Muawanah et al.: Long term variation in water quality and phytoplankton of Hurun Bay (1998-2004). Presented at International workshop on coastal waters environment and fish culture, 8 June 2005, Jakarta.
- 54) Maclean J.L.: Economic aspect of *Pyrodinium* red tides in the Western Pacific. In Hallegraeff and Maclean Ed.: *Biology, Epidemiology and Management of Pyrodinium Red Tides*. ICLARM Contribution No. 585, Manila, pp. 179-85, 1989.

### 著者紹介

脇田 和美 (正会員)

東海大学海洋学部海洋文明学科 (静岡県静岡市清水区折戸 3-20-1) 准教授, 博士 (農学), 日本海洋政策学会会員。

E-mail: kazumiw@tokai-u.jp

岩滝 光儀 (非会員)

東京大学アジア生物資源環境研究センター (東京都文京区 弥生 1-1-1) 准教授, 博士 (農学), 日本藻類学会会員。

E-mail: iwataki@anesc.u-tokyo.ac.jp

## Reports and Trends of Harmful Algal Blooms with Fish Kills in the Southeast Asia

Kazumi WAKITA and Mitsunori IWATAKI

**ABSTRACT:** Stable fish provision from fish farms is more important than ever under limitation of fish catch and heavy dependence on the fish for protein by people in the Southeast Asia. Aiming at providing basic information which could contribute to developing research to mitigate damages by fish kills caused by Harmful Algal Blooms (HABs), this study investigated reports of red tides with fish kills in the Southeast Asia and discusses its trends. Literature review and information gathering through joining at a regional training on HABs clarified that at least fifty red tides with fish kills occurred from 1976 to March, 2016. A trend was identified that more detailed reports describing economic loss and amount of the fish killed have increased in line with development of aquaculture in the region. The fifty red tide cases are composed of thirty five by dinoflagellates, six by cyanobacteria, two by raphidophyte, one by haptophyte, two by diatoms, one by ciliate, and five unknown. Thirteen were identified as causative genera of HABs with fish kills.

**KEYWORDS:** *red tide, report, trend, fish kill, Southeast Asia*