

近年の東京湾における赤潮の発生状況について

草野 朱音

Recent outbreaks of red tide in Tokyo Bay

AKANE KUSANO*

はじめに

東京湾は神奈川県、東京都、千葉県に面する閉鎖性の湾で、水域面積に占める港湾区域の割合は高く、海上交通の要衝となっている¹⁾。一方で、東京湾は古くから漁場としての利用も盛んで、現在も小型機船底曳網漁業やアナゴ筒のほか、二枚貝やノリの養殖も行われている。

東京湾で赤潮が発生すると海水が変色し、時には表層水が酸欠状態に陥ること等による魚介類のへい死や、悪臭の発生が起り、漁業や人々の生活環境に影響が及ぶ^{2, 3)}。これまで東京湾の水質改善を図るために、陸域から流入する窒素やリンの水質総量規制等負荷削減の取組みが行われてきたが、依然として夏季を中心に赤潮の発生が続いている⁴⁾。

神奈川県水産技術センターでは毎月1回の水質調査に加え、夏季を中心とした貧酸素水塊調査を行っている。このような中で、近年、これまで県内で確認されなかった種類の赤潮の出現や、赤潮の種組成の変化が見られるようになった。そこで、本報告では、近年の東京湾における赤潮の発生状況について、本県の調査結果と関係機関の資料からその傾向を明らかにした。

材料及び方法

神奈川県については、職員や漁業者、関係機関から提供された情報を集計した、神奈川県水産総合研究所業務概要⁵⁾及び神奈川県水産技術センター業務概要⁶⁾の赤潮に関する情報(以下、神奈川県と記す)から、2000～2017年度の赤潮発生回数と赤潮発生時の優占プランクトンの調査結果を用いた。

2017年6月下旬に、神奈川県の広い範囲で発生した赤潮については、プランクトンの種の同定及び細胞数の計数を行った。採水は港内の岸壁または船上でバケ

ツを用いて行い、同定は光学顕微鏡を用いて「日本の海産プランクトン図鑑第2版」⁷⁾に従って行った。また、生きた状態でプランクトン計数板を用いて計数した。

東京都については、東京都環境局の東京湾調査結果報告書⁸⁾(以下、東京都と記す)から、2000～2017年度の調査結果を用いた。東京都は夏季を中心に赤潮の調査及び月1回の水質測定調査を行い、赤潮状態であると判断した場合には上層を採水し分析を行った。千葉県については、千葉県環境研究センター年報⁹⁾(以下、千葉県と略す)から、2001～2017年度の赤潮発生回数と、2005～2017年度の赤潮発生時の優占プランクトン(種までの分類は2008年度以降)の調査結果を用いた。千葉県は公共用水域水質測定計画に基づく調査、環境研究センターによる水質調査及び水質調査船の巡視等による観測から赤潮の発生状況を把握した。

なお、各都県の赤潮判定の目安¹⁰⁾については表1に、調査海域については図1に示した。また、漁業被害の可能性が高い種について、文献調査により赤潮の発生時期やその被害状況等を取りまとめた。

結果

(1) 神奈川県で確認された赤潮

東京湾における各都県の赤潮発生回数の経年変化を図2に、月別の赤潮の発生割合を図3に示した。神奈川県で最も多く赤潮が確認されたのは2005年度の13回だった(図2)。月別では、6月に最も赤潮の発生割合が高く、11月以降は比較的低かった(図3)。出現した赤潮の割合は、調査期間の平均で渦鞭毛藻類が最も高い54%であり、ラフィド藻類が26%、珪藻類が12%、繊毛虫類が3%、不明種を含むその他が5%であった。各年の赤潮の出現割合を図4に、出現種を表2に示した。渦鞭毛藻類及びラフィド藻類による赤潮の割合が高く(図4)、種別では、渦鞭毛藻類の*Noctiluca scintillans*が最も多く確認された(表

表1 各都県の赤潮判定の目安

	神奈川県	東京都	千葉県
色	茶褐色、黄褐色、緑褐色等 通常と異なる色	茶褐色、黄褐色、緑褐色等	オリーブ系～ブラウン系
透明度	おおむね1.5m以下	おおむね1.5m以下	1.5m以下
クロロフィルまたはクロロフィルa	蛍光法 50 μ g/L以上	吸光度法及び LORENZEN法に準ずる方法 50mg/m ³ 以上	50 μ g/L以上
溶存酸素飽和度	-	-	150%以上
pH	-	-	8.5以上
赤潮プランクトン	顕微鏡で多量に存在している ことが確認できる	顕微鏡で多量に存在している ことが確認できる	-

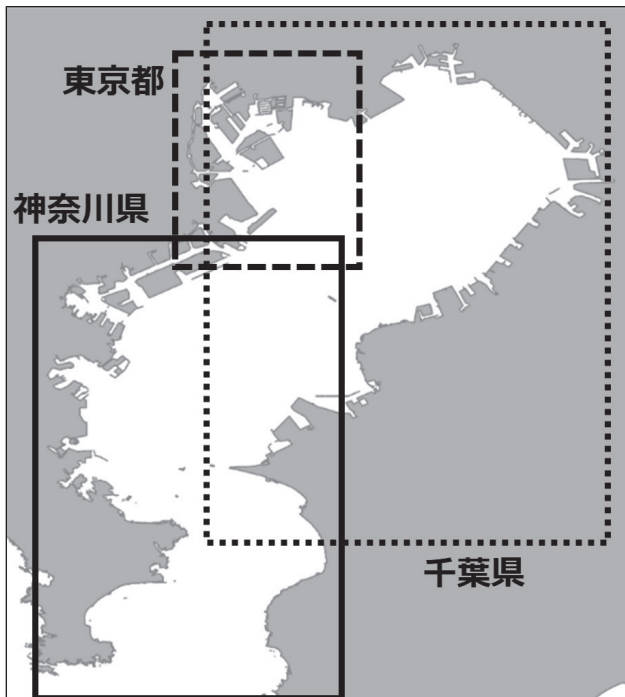
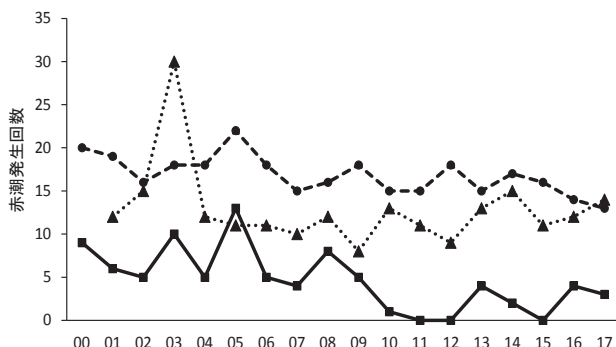


図1 神奈川県、東京都、千葉県の赤潮及び水質調査海域

図2 神奈川県、東京都、千葉県の赤潮発生回数の経年変化
(西暦の下2桁を図に示した。例：2000年度→00)

—■— 神奈川県 —●— 東京都 ……▲… 千葉県

2)。また、2008年12月末から2009年1月初旬にかけて、有害種であるラフィド藻類の*Chattonella*属のプ

ランクトン（特に*C. marina*）及び*Pseudochattonella verruculosa*による赤潮（表2）が、東京湾の一支湾である金田湾等横須賀市から三浦市で確認され、カタクチイワシやスズキがへい死した⁶⁾。なお、同時期に千葉県でも*C. marina*が確認された⁹⁾。

(2) 2017年に神奈川県で発生した*Prorocentrum micans*の赤潮

2017年6月下旬から7月中旬にかけて、川崎市から横須賀市沿岸（東京湾側）の広い範囲で赤潮が発生した。赤潮の原因種は渦鞭毛藻類の*Prorocentrum micans*であった。7月5日に横浜市の柴漁港内において最高密度95,000cells/mlを記録した後、7月中旬以降規模が縮小し、7月20日には横浜市のごく沿岸域の一部を除きほぼ終息した。また、同時期に東京都や千葉県の沿岸域、さらには東京湾に隣接する相模湾の一部でも、本種による赤潮が確認された。なお、過去に横須賀港（1974～1975年）¹¹⁾や横浜市¹²⁾で発生した事例が報告されている。

(3) 東京都及び千葉県で確認された赤潮

東京都における赤潮の発生は、最も多い年で2005年度の22回、最も少ない年で2017年度の13回であった（図2）。月別では7月に最も赤潮の発生割合が高く、11月以降は低かった（図3）。出現した赤潮の割合は、珪藻類が最も高く62%を占めた。続いて渦鞭毛藻類が15%、ラフィド藻類が12%、繊毛虫類が6%、不明種を含むその他が5%であった。珪藻類及びラフィド藻類の赤潮は、毎年発生が確認されたが、渦鞭毛藻類や繊毛虫類の赤潮は、発生が確認されない年もあった（図4）。種別では、珪藻類の*Skeletonema costatum*や*Thalassiosira*科及び*Thalassiosira*属、ラフィド藻類では*Heterosigma akashiwo*、繊毛虫類では*Mesodinium rubrum*、渦鞭毛藻類では*N. scintillans*等が確認された（表2）。また、2017年度には有害種である渦鞭毛藻類*Karenia mikimotoi*による赤潮が発生した。

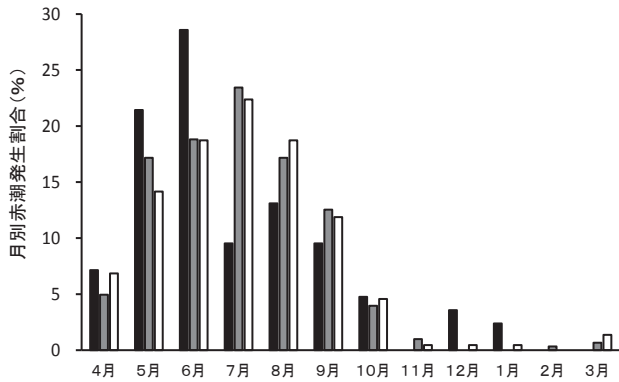


図3 神奈川県、東京都、千葉県の月別赤潮発生割合
 ■神奈川県 ■東京都 □千葉県

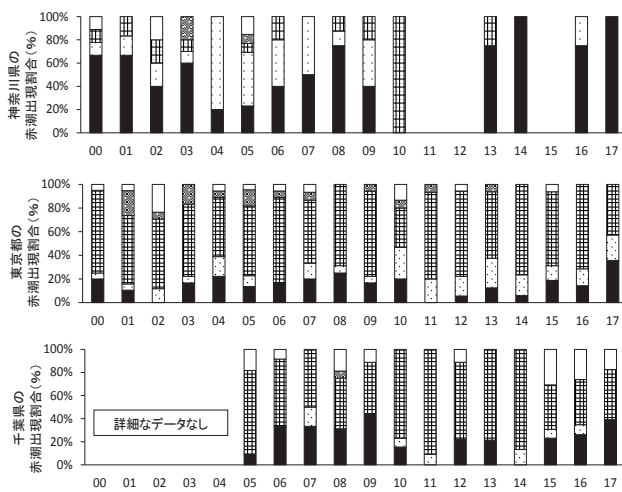


図4 神奈川県（上段）、東京都（中段）、千葉県（下段）の赤潮出現割合の経年変化

□その他(不明等) ■繊毛虫類 ■珪藻類 ■ラフィド藻類 ■渦鞭毛藻

千葉県における赤潮の発生は、最も多い年で2003年度の30回、最も少ない年で2009年度の8回であった(図2)。月別では7月に最も赤潮の発生割合が高く、11月以降は低かった(図3)。出現した赤潮の割合は、珪藻類が最も高く59%を占めた。続いて渦鞭毛藻類が23%、ラフィド藻類が5%、繊毛虫類が1%、不明種を含むその他が12%であった。珪藻類、ラフィド藻類及び渦鞭毛藻類の赤潮はほぼ毎年発生したが、繊毛虫類の赤潮は確認されない年もあった(図4)。種別では、珪藻類の*S. costatum*、*Cylindrotheca closterium*、*Eucampia zodiacus*、ラフィド藻類では*H. akashiwo*等が確認された(表2)。また、2015年度及び2017年度に渦鞭毛藻類*Karenia mikimotoi*による赤潮が発生した。さらに、赤潮判定の目安(表1)を満たさなかったものの、2008年12月には有害種であるラフィド藻類

の*Chattonella marina*が検出され、これが原因と思われる魚類のへい死が発生した¹³⁾。これを機に2009～2012年にかけて追跡調査がなされ、2011年及び2012年に*C. marina*の栄養細胞がわずかに検出された¹³⁾。

(4) 東京湾の赤潮で確認された主な有害プランクトン

東京湾で発生した赤潮の中で、漁業被害を引き起こす可能性の高い種(属)についてまとめると、次のとおりであった。

(i) *Heterosigma akashiwo*

本種は河口から沖合までの広い範囲に出現し、春から秋に赤潮を形成する⁷⁾。増殖する際に酸素を大量に消費するため、養殖魚が酸欠になることがある他、活性酸素を生成することが知られている⁷⁾。東京湾では目立った被害の報告がないものの、本種の赤潮が水産業に及ぼす被害は大きく、豊後水道や紀伊水道、周防灘や大阪湾での魚類へい死の事例が報告されている¹⁴⁾。しかし、近年はかつてほど大きな被害の報告はない。

(ii) *Chattonella*属

本属には現在3種あるとされ、そのうち日本沿岸でよく見られる*C. marina*には3変種が含まれる⁷⁾。本種は西日本を中心に夏季に大規模な赤潮を引き起こすことや活性酸素を生成することで知られ、2010年には八代海で*Chattonella antiqua*の赤潮によって養殖魚がへい死し、深刻な被害が発生した¹⁵⁾。水温の低下する秋季以降はシストを形成することが報告されている⁷⁾。ところが、東京湾では冬季に赤潮の発生が確認されており、神奈川県では2008年冬季に、いけすや定置網で魚類のへい死が発生した。また、同時期に千葉県でも*Chattonella*属が確認された⁹⁾。また、赤潮には至らなかったものの、2013年11月に横浜市の調査において横浜港・鶴見航路で*Chattonella*属が検出された¹⁶⁾。

(iii) *Prorocentrum micans*

本種は6～7月に内湾で赤潮を引き起こすとされ、特徴的な漁業被害としてカキの食用部位の変色が挙げられる⁷⁾。宮城県気仙沼市では1970年代に本種による赤潮が発生し、養殖カキの被害をもたらした¹⁷⁾。また、魚介類への直接的な害はないとされるものの、増殖する際に酸素を大量に消費するため、結果として魚介類を弱らせることがある⁷⁾。本県が実施している調査では2017年に赤潮の発生が初めて確認された。

(iv) *Karenia mikimotoi*

本種は西日本を中心に夏の終わりごろに赤潮を引き起こすことで知られている⁷⁾。暖かい曇りの日に大発生する傾

表2 神奈川県、東京都、千葉県で確認された赤潮原因プランクトンの種類
(西暦の下2桁を表に示した。例：2006年度→06)

	赤潮原因種	神奈川県 (2000~2017年度)	東京都 (2000~2017年度)	千葉県 (2008~2017年度)
珪藻類	<i>Cerataulina denata</i>		06,09	
	<i>Chaetoceros debile</i>	01		11
	<i>Chaetoceros radicans</i>			12
	<i>Chaetoceros cf. salsugineum</i>		07,08,10	
	<i>Chaetoceros sociale</i>		01	15
	<i>Chaetoceros sp./ spp.</i>		02,14,16,17	08,15
	<i>Coscinodiscus sp.</i>	05		
	<i>Cyclotella sp./ spp.</i>		00,06,10	16
	<i>Cylindrotheca closterium</i>		06	10,11,13,14,15,17
	<i>Eucampia zodiacus</i>	08	05,06,11,13,16	08,09,12,13
	<i>Lauderia annulata</i>			10
	<i>Leptocylindrus danicus</i>			09,13,15
	<i>Leptocylindrus minimus</i>			16
	<i>Nitzschia sp.</i>			08,13,14,16,17
	<i>Pleurosigma sp.</i>			13
	<i>Pseudo-nitzschia multistriata</i>		01,02,03,05,06,09	
	<i>Pseudo-nitzschia cf. multistriata</i>			09
	<i>Pseudo-nitzschia pungens</i>			08,14
	<i>Rhizosolenia fragilissima</i>		16,17	11,15,17
	<i>Rhizosolenia setigera</i>	10		
<i>Skeletonema costatum</i>	00,02,03,06,08,09	00,01,02,03,04,05,06,07,08,09 ,10,11,12,13,14,15,16,17	08,10,11,12,13,14,15,16,17	
<i>Skeletonema sp./ spp.</i>	05	15		
<i>Thalassiosira binata</i>		07,16	11,12,15,17	
<i>Thalassiosira sp./ spp.</i>	13	00,02,03,04,05,06,07,08,12,14 ,16,17	11,13,14,16,17	
Thalassiosiraceae		01,02,05,06,08,09,11,13,14,15 ,16	11,13,15,16	
渦鞭毛藻類	<i>Ceratium furca</i>	01,08,13	04,08,13	08,13,15,16
	<i>Ceratium fusus</i>			16
	<i>Ceratium sp.</i>	00		
	Gymnodiniales		09	
	<i>Gymnodinium sp./ spp.</i>	01,06		
	<i>Gyrodinium dominans</i>			12,16
	<i>Gyrodinium instratum</i>		01	12
	<i>Heterocapsa lanceolata</i>		04,05,07,09,15,16,17	
	<i>Heterocapsa triquetra</i>			17
	<i>Karenia mikimotoi</i>		17	15,17
	<i>Noctiluca scintillans</i>	00,01,02,03,04,05,07,08,09,13 ,14,16,17	00,01,03,04,05,08,10,13,16	08,10,13,16
	<i>Prorocentrum micans</i>	17	07,15,17	09,15,16,17
	<i>Prorocentrum minimum</i>	06,14	05,06,09,12,14,15,17	10,12,17
	<i>Prorocentrum triestinum</i>	09,13	07,08,17	09,13
	<i>Prorocentrum sp.</i>	00		
ラフィド藻類	<i>Fibrocapsa japonica</i>	03,04	02,03,04	
	<i>Heterosigma akashiwo</i>	00,01,02,04,05,06,07,08,09,16	00,01,02,04,05,07,08,09,10,11 ,12,13,14,15,16,17	10,11,14,15,16
	<i>Chattonella globosa</i>	08		
	<i>Chattonella marina</i>	08		
	<i>Chattonella ovata</i>	08		
	<i>Pseudochattonella verruculosa</i>	08		
繊毛虫類	<i>Mesodinium rubrum</i>	03,05	01,02,03,04,05,06,07,09,10,11 ,13	08

向があるが、まれに冬季に大発生することもある⁷⁾。
2015年に筑前海で発生した赤潮では、蓄養中のアワビ
やサザエ等の貝類やアジ等の魚類がへい死した¹⁸⁾。ま
た、2018年には香川県で養殖トラフグがへい死した¹⁹⁾。
東京湾では2015年及び2017年に千葉県で、2017年に東
京都で赤潮が確認された。

考 察

各都県における赤潮判定の目安(表1)が異なることや、
神奈川県の記録には、漁業者による情報提供が含まれるこ
とに留意する必要があるが、近年の赤潮の発生回数は東京
都が最も多く、次いで千葉県、神奈川県の順であった。ま

た各都県で、同時期に同種のプランクトンによる赤潮（2017年度、*P. micans*）が確認された。赤潮の発生回数は、近年各都県で減少～横ばい傾向であることが伺われた。

東京湾における赤潮の分布について、1986～2010年度のChl-aデータから東京湾全体の赤潮の発生状況を把握した報告によれば²⁰⁾、全期間を通じ東京都における赤潮発生率は、神奈川県や千葉県よりも高かった。特にお台場と中央防波堤の間の海域では、その値が顕著に高く、これは停留性の強い水域では河口から沖合への滞留時間が長く、植物プランクトンが増殖しやすいためと考えられた²⁰⁾。さらに、同報告において東京湾の東側では栄養塩類の濃度分布と赤潮発生率に関連性があることが示唆された。神奈川県においては、2000～2017年度に出現した赤潮の割合は、渦鞭毛藻類が最も高かったのに対し、横浜市が2012～2017年度に横浜港・鶴見航路で行った調査では、主として*S. costatum*をはじめとする珪藻類が優占種であった¹⁶⁾。さらに、赤潮の発生割合が高い月についても、神奈川県が6月であったのに対し、東京都及び千葉県では7月であった。横浜港・鶴見航路では、9月に最も高く、次いで6、7月であった一方で、8月の発生回数は落ち込んだ。これは高水温によって*Skeletonema*属等の増殖が阻害されたためと推察された¹⁶⁾。以上のことから、同じ東京湾内であっても、各海域の特性（流れの速さ・滞留時間・河川水や外洋系水の影響等）によって赤潮の発生回数や発生月、原因となったプランクトン等の状況が異なると考えられた。

次に、赤潮の発生回数の経年変化について、1975～2003年度に神奈川県で最も多く発生した赤潮は*N. scintillans*であり²¹⁾、これは今回明らかとなった近年の傾向と一致した。しかし、1975～2003年度に2番目に多かった*H. akashiwo*による赤潮は、2010年代以降ほとんど確認されなくなった。東京都や千葉県では近年も*H. akashiwo*による赤潮が多く、年で確認されるが、発生回数は減少傾向にあり、神奈川県と同様の傾向が見られているほか^{22, 23)}、*N. scintillans*や*C. furca*といった渦鞭毛藻類の細胞数の増加²⁴⁾等の変化も報告されている。また、*Chattonella*属のような東京湾で新たに確認されたものもあり、東京湾全体で赤潮の原因となるプランクトンの種組成の変化が伺われる。

今後、赤潮の発生やそれらによる漁業被害の監視は、ますます重要と考えられる。例えば、2017年に神奈川

県で*P. micans*による赤潮が発生した海域では、局所的な海水の白濁が観察され、小型のハゼが大量にへい死した。このことから、赤潮により酸欠状態になっただけでなく、青潮が発生した可能性が示唆された²⁵⁾。このような情報をいち早く把握し、漁業者や関係機関と情報共有を行うことも水産試験研究機関として重要な役割であろう。

今後神奈川県が東京湾の漁場環境の保全や修復に貢献するため、そして新たな有害プランクトンの出現等による漁業被害を軽減するためには、情報収集による従来の赤潮調査から一歩踏み込んで、水温や塩分、栄養塩類や溶存酸素等の海況データと、気温や風況、日射量や雨量等の気象データとの関連も考慮し、赤潮の発生予測を含めた、モニタリング体制を強化する必要がある。

まとめ

近年の東京湾における赤潮の発生状況について、神奈川県、東京都、千葉県の記録をもとに検討した結果、赤潮の発生回数や発生月、赤潮の原因となったプランクトン等が各都県において異なる場合があった。また、プランクトンの種組成の変化や、これまで検出されなかった新たな有害プランクトンの出現が確認された。今後、海況及び気象データと赤潮の発生との関係も考慮に入れながら、赤潮のモニタリング体制の強化が望まれる。

参考文献

- 1) 国土交通省関東地方整備局港湾空港部横浜港湾空港技術調査事務所：東京湾環境情報センター—東京湾を取り巻く環境
<http://www.tbeic.go.jp/kankyo/index.asp>
(2019/03/12最終アクセス)
- 2) 神奈川新聞：ハマの海 赤く染め、2017年7月12日付。
- 3) 日本経済新聞：赤潮、千葉市内で悪臭 東京湾ほぼ全域に、2017年7月12日付。
- 4) 神奈川県環境農政局環境部大気水質課：東京湾における化学的酸素要求量等に係る第8次総量削減計画について
<http://www.pref.kanagawa.jp/docs/pf7/suisitu/toukyowann.html> (2019/03/12最終アクセス)
- 5) 神奈川県水産総合研究所（2003～2004）：業務概要。
- 6) 神奈川県水産技術センター（2005～2017）：業務概要。
- 7) 末友靖隆・松山幸彦・上田拓史・上野俊士郎・久保田信・鈴木紀毅・木元克典・佐野明子・副島美和・濱岡秀樹・中島篤巳（2013）：日本の海産プランクトン図

- 鑑第2版, 共立出版株式会社, 東京, 268p.
- 8) 東京都環境局 (2002~2017) : 東京湾調査結果報告書.
 - 9) 千葉県環境研究センター (2001~2017) : 年報 (水質環境) .
 - 10) 東京湾岸自治体環境保全会議 (2016) : 東京湾水質調査報告書 (平成28年度) , 43pp.
 - 11) 中島敏光・佐々木保徳・豊田孝義・宗山敬 (1977) : 横須賀港における植物プランクトンと海況の季節的変動について, 海洋科学技術センター試験研究報告, **1**, 61-67.
 - 12) 横浜市環境科学研究所: 赤潮について
<http://archive.city.yokohama.lg.jp/kankyo/mamoru/kenkyu/data/sea/akashio/>
(2019/11/21最終アクセス)
 - 13) 千葉県水産総合研究センター (2013) : 東京湾における有害プランクトン (シャットネラ属) の発生状況の監視手法, 平成25年度試験研究成果普及情報 (漁場管理・生産基盤) .
 - 14) 環境省: 赤潮による漁業被害一覧
https://www.env.go.jp/water/heisa/heisa_net/seto_uchiNet/seto/kankyojoho/sizenkankyo/top-data/hyo5-5.htm#20nen
(2019/03/12最終アクセス)
 - 15) 日本経済新聞: 八代海などの赤潮被害54億円漁業打撃、国に支援要請の声, 2010年9月18日付.
 - 16) 市川竜也・渾川直子・村岡麻衣子・堀美智子・浦垣直子 (2018) : 横浜市沿岸域の赤潮発生状況, 横浜市環境科学研究所報, **42**, 46-53.
 - 17) 伊藤博 (2009) : 気仙沼湾の養殖漁場環境の変遷, 日本水産学会誌, **75** (2) , 302-308.
 - 18) 里道菜穂子・恵崎撰・杉野浩二郎・片山幸恵 (2016) : 2015年夏季に筑前海で発生した*Karenia mikimotoi*赤潮, 福岡県水産海洋技術センター研究報告, **26**, 83-92.
 - 19) 香川県: 赤潮による養殖魚類 (トラフグ) の被害状況
https://www.pref.kagawa.lg.jp/content/dir6/dir6_5/dir6_5_6/w5wj5180811175035.shtml
(2019/03/12最終アクセス)
 - 20) 安藤春夫・和波一夫・石井裕一 (2012) : 東京都内湾における赤潮の発生状況について, 東京都環境科学研究所年報, 2012年版, 111-114.
 - 21) 鎌滝裕文 (2005) : 1975~2003年度に東京湾と相模湾で発生した赤潮, 神奈川県水産総合研究所研究報告, **10**, 49-53.
 - 22) 安藤春夫・棚島智恵子・橋本旬也・石井裕一 (2017) : 東京都内湾における赤潮プランクトン出現状況の推移, 東京都環境科学研究所年報, 2017年版, 62-63.
 - 23) 小倉久子・飯村晃 (2010) : 東京湾におけるプランクトン出現状況の長期変動, 千葉県環境研究センター年報, 第4章調査報告編, 122pp.
 - 24) 千葉県環境研究センター: 千葉県環境研究センターニュース, **20**.
 - 25) 自然科学研究機構国立天文台: 理科年表オフィシャルサイト—赤潮・青潮はなぜ発生するの?
https://www.rikanenpyo.jp/FAQ/kankyou/faq_kan_004.html (2019/03/14最終アクセス)