

1990-2009 年における徳島県北灘沿岸における水質 およびプランクトン相の変化

住友寿明*1

Changes of water quality and phytoplankton flora off Kitanada in Tokushima Prefecture during 1990-2009

Toshiaki SUMITOMO*1

Changes of water quality and phytoplankton flora off Kitanada in Tokushima Prefecture during 1990-2009 were studied. Sea water temperature increased at a rate of 1.6 in 20 years in phase with the change of the air-temperature. Salinity increased at a rate of 0.6psu in 20 years, and recently interval of seasonal fluctuation decreased. Water transparency increased at a rate of 1.3m in 20 years. Nutrients have shown a trend to decrease, and DIN concentration has decreased more rapidly than DIP. Red tide blooms and the amount of phytoplankton have shown a trend to decrease. The most dominant species that caused red-tides in this region was *Noctiluca scintillans*, and dominant species in general in the phytoplankton flora were genus *Coscinodiscus* in winter, *Noctiluca scintillans* in spring, genus *Chaetoceros* in summer respectively.

キーワード:水温,塩分,透明度,栄養塩,赤潮,プランクトン相

播磨灘の南東部に位置する徳島県の北灘沿岸海域は底びき網,定置網漁業等が営まれる重要な漁場である。また,外海に面していない比較的穏やかな海域のため,ブリ *Seriola quinqueradiata* を中心に魚類養殖,ワカメ *Undaria pinnatifida* およびクロノリ *Porphyra okamurae* の藻類養殖が盛んである。

この海域では昭和40年代後半に有害種であるラフィド藻の *Chattonella marina* や *Chattonella antiqua* による赤潮によって養殖されていたブリが大量に斃死し,莫大な被害をもたらした(徳島県漁業史編さん協議会 1996)。しかし,2004年以降,*Chattonella* 赤潮の発生はみられず,養殖魚の大量死もみられなくなっている。

一方,近年には栄養塩の減少により,クロノリだけでなくワカメの色落ちの発生頻度が増加している。さらに,近年は水温が高く,クロノリやワカメの養殖の開始時期が遅くなる傾向にある。また,原因は明らかでないが漁船漁業による魚介類の漁獲量が著しく減少傾向にある。

これまで当水産研究所は水温や塩分,プランクトン等の調査結果を漁業関係者に迅速に情報提供してきたが,長期的な変動傾向について報告をしていない。そこで本研究では北灘沿岸における1990年から2009年の20年間の水温,塩分,栄養塩,およびプランクトンの出現動向等の変化についてとりまとめ,漁場環境の変化について解析し,赤潮やノリワカメの色落ちの発生要因および漁獲量の減少について論じた。

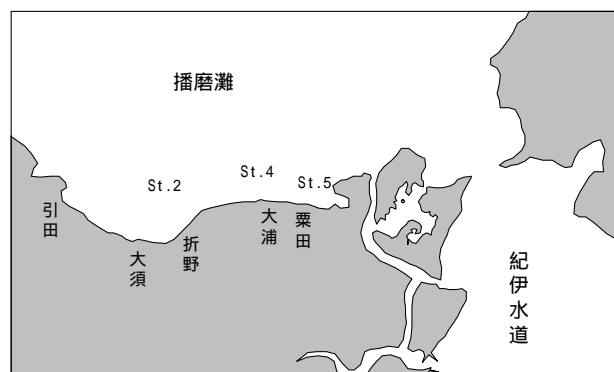


図1 北灘沿岸における調査定点の位置

材料と方法

水産研究所は昭和57年から播磨灘北灘沿岸の調査定点(図1)で,毎月1~2回の観測を実施している。本研究では,今日まで同様の連続性のあるデータが存在するSt. 2, 4, 5における1990年から2009年の20年間の水温,塩分,透明度,栄養塩(溶存無機態窒素(以下DINとする),リン酸態リン(以下 PO_4 -Pとする))およびプランクトンネットの鉛直曳き(0~20m)によって採取されたプランクトンの沈殿量と優占種の出現頻度を解析に用いた。水温と塩分については各定点の水深1m層(以下表層とする)と海底から1m直上の層(以下底層とする)のデータをそれぞれ平均化して変動を把握するとともに,1990年~1999年の10年間(以下1990年代とする)と2000年~2009年の10年間(以下2000年代とする)の月別平均値を比較した。さらに,気象庁のホームページ(<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>)から調査

*1 徳島県立農林水産総合技術支援センター水産研究所鳴門庁舎(Fisheries Research Institute Naruto Branch, Tokushima Agriculture, Forestry, and Fisheries Technology Support Center, Seto, Naruto, Tokushima 771-0361, Japan)

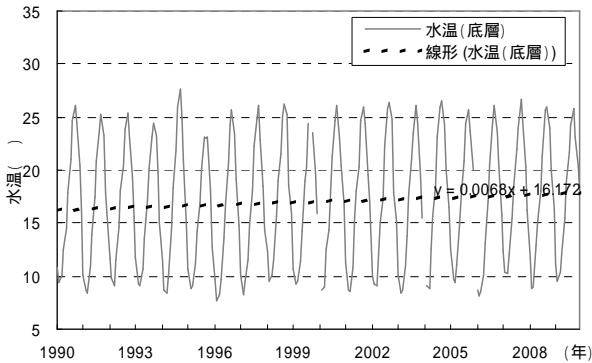
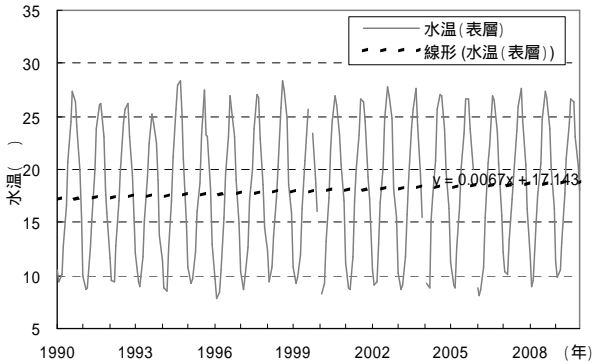


図2 北灘沿岸における月平均水温の推移

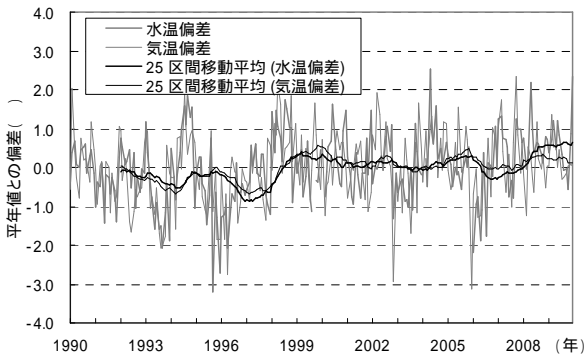


図3 月平均気温と月平均水温の平年偏差の推移

定点に近い香川県東かがわ市引田の月平均気温の変動を調べ、水温と気温の月平均値との偏差からこれらの関連性を調べた。

透明度については各定点の値を平均して変動を把握するとともに、1990年代と2000年代の月別平均値を比較した。栄養塩は各定点における表層のデータを平均したもので変動を把握し、1990年代と2000年代の月別平均値を比較した。

プランクトンについては、北灘沿岸で確認された赤潮について、年間の発生件数、構成種等を把握した。さらに、プランクトンの月別沈殿量と月別優占種を1990年代と2000年代で比較した。

結果

水温および気温 1990年以降、水温は上昇傾向にあり、表層と底層で同様の傾向を示した(図2)。水温の経月変化に適用された近似直線からみて20年間で表層では1.61

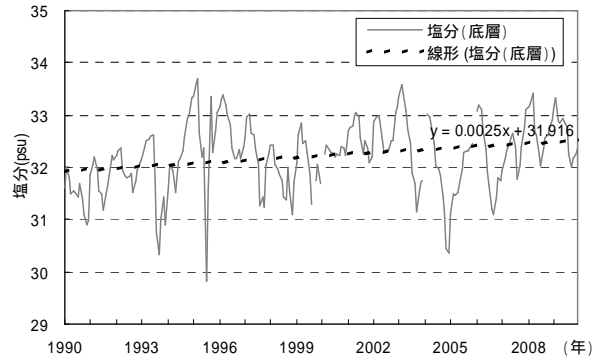
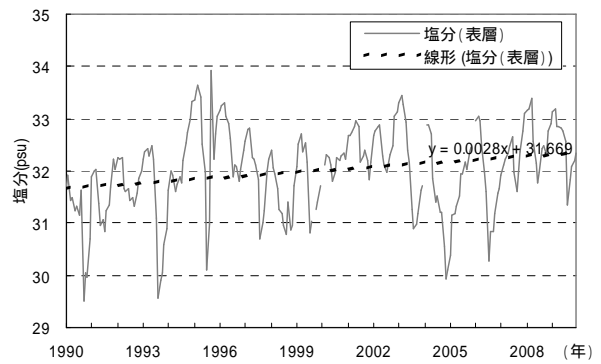


図4 北灘沿岸における月平均塩分の推移

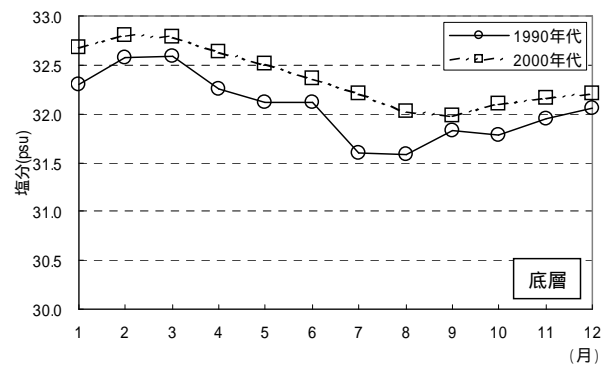
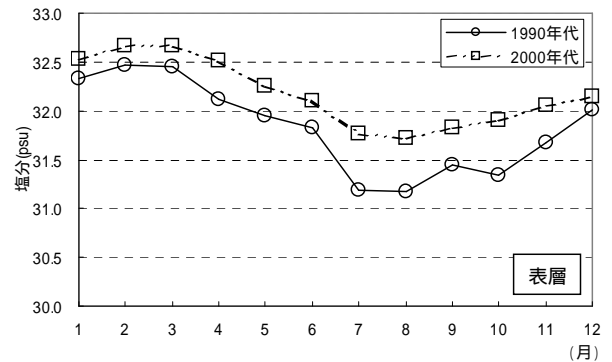


図5 北灘沿岸における月平均塩分の年代別比較

、底層では1.63 上昇した。気温も水温同様に上昇傾向にあり、月平均水温と月平均気温の平年偏差の移動平均を比較すると、同調傾向を示した(図3)。また、水温、気温ともに1999年頃から顕著に上昇傾向に転じた。

塩分 1990年以降、上昇傾向にあり、近年は塩分の季節変化の幅が小さくなる傾向がみられた(図4)。塩分の

北灘沿岸の水質およびプランクトン相の変化

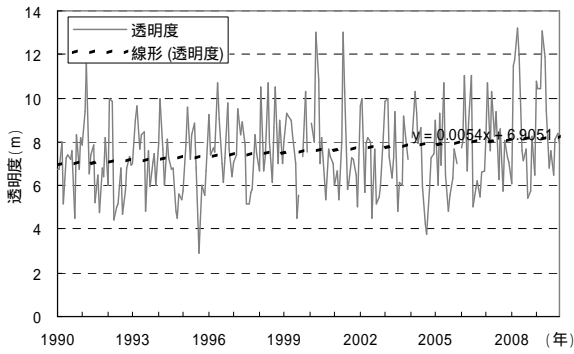


図6 北灘沿岸における月平均透明度の推移

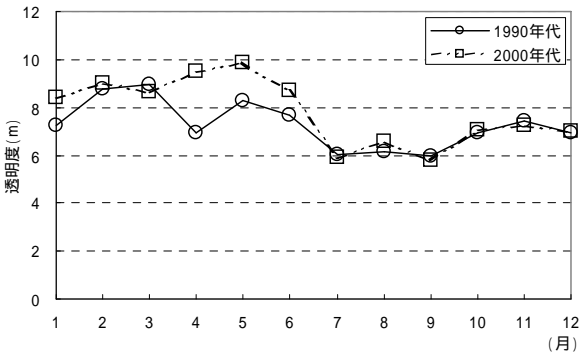


図7 北灘沿岸における月平均透明度の年代別比較

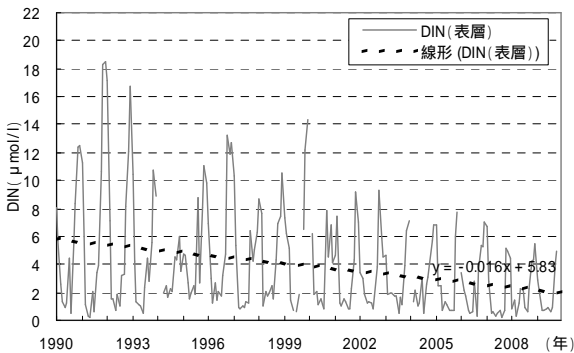


図8 北灘沿岸における月平均栄養塩濃度の推移

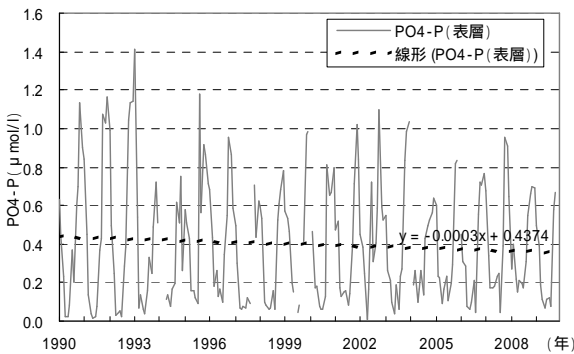


図9 北灘沿岸における月平均栄養塩濃度の年代別比較

経月変化に適用された近似直線からみて20年間で表層では0.672psu,底層では0.6psu上昇した。また,1990,2000年代の表層および底層ともにほぼ同様の値を示し,周年を通して1990年代より2000年代の方が高く,とくに夏季でその傾向が顕著であった(図5)。

透明度 上昇傾向にあり,透明度の経月変化に適用された近似直線からみて20年間で1.3m上昇した(図6)。2000年代では4~6月に高い傾向がみられた(図7)。

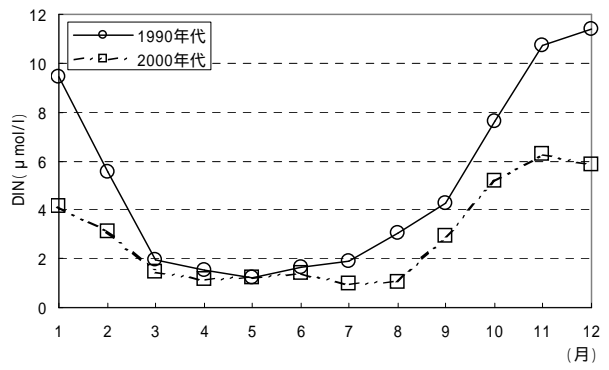


図10 北灘沿岸における月平均プランクトン沈殿量の推移

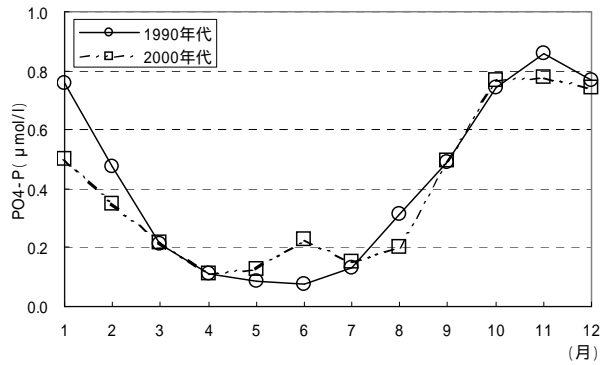


表1 北灘沿岸におけるプランクトンの月別優占種

月	1990年代	2000年代
1	<i>Coscinodiscus</i> spp.	<i>Coscinodiscus</i> spp.
2	<i>Coscinodiscus</i> spp.	<i>Coscinodiscus</i> spp.
3	<i>Coscinodiscus</i> spp.	<i>Eucampia zodiacus</i>
4	<i>Noctiluca scintillans</i>	<i>Noctiluca scintillans</i>
5	<i>Noctiluca scintillans</i>	<i>Noctiluca scintillans</i>
6	<i>Noctiluca scintillans</i>	<i>Noctiluca scintillans</i>
7	<i>Chaetoceros</i> spp.	<i>Chaetoceros</i> spp.
8	<i>Chaetoceros</i> spp.	<i>Chaetoceros</i> spp.
9	<i>Chaetoceros</i> spp.	<i>Thalassiosira</i> sp.
	<i>Coscinodiscus</i> spp.	
10	<i>Coscinodiscus</i> spp.	<i>Coscinodiscus</i> spp.
	<i>Copepoda</i> spp.	
	<i>Thalassiosira</i> sp.	
11	<i>Coscinodiscus</i> spp.	<i>Coscinodiscus</i> spp.
12	<i>Coscinodiscus</i> spp.	<i>Coscinodiscus</i> spp.
		<i>Chaetoceros</i> spp.

栄養塩 DINが著しい減少傾向であったが PO₄-Pは僅かに減少している程度であった(図8)。DINの経月変化に適用された近似直線からみて20年間で表層のDINでは3.84

$\mu\text{mol/L}$ 減少し、1990年の平均的なDINが $5.83\ \mu\text{mol/L}$ であったのが2010年にはわずかに $1.99\ \mu\text{mol/L}$ まで減少した。また、2000年代のDINは7~2月に1990年代よりかなり低くなっている(図9)。

赤潮 1990年から2009年の間に65件確認され、近年発生件数が減少傾向にある。そのうち漁業被害をもたらしたものは2件に留まった(付表1)。赤潮の原因となったプランクトンのうち最も多く出現したのは渦鞭毛藻の*Noctiluca scintillans*であり、主に春から秋にかけてみられ、発生件数は全発生件数の半数に近い30件であった。これに次いで多かったのは繊毛虫の*Mesodinium rubrum*であり、夏から秋にかけて発生した(付表1)。

プランクトン 沈殿量は夏季に多く、冬季に少ない傾向を示し、大きく変動しながら、減少傾向にある(図10)。北灘沿岸におけるプランクトンの月別優占種プランクトンの月別の優占種を表1に示した。秋季から冬季は珪藻の*Coscinodiscus*属、春季は渦鞭毛藻の*Noctiluca scintillans*、夏季は珪藻の*Chaetoceros*属が多く出現した。

考 察

水温と気温の平年偏差の移動平均の推移(図7)から、両者がほぼ同調して変化していることから、北灘沿岸の水温は気温の影響を大きくうけていると考えられる。また、1999年頃から顕著に上昇傾向に転じていることがわかる。大分県の佐伯湾や豊後水道においても水温と気温の変化が同調したが、上昇傾向に転じた時期は1990年前後であり(木村 2004, 2005)、本研究と異なる様相を呈した。

塩分の上昇傾向の要因として降水量の減少と鳴門海峡及び友ヶ島水道・明石海峡を通じて紀伊水道から黒潮系水の流入量の増加が考えられる。1990年以降黒潮流軸の大蛇行はみられず、概ね接岸傾向で推移していることから、1990年に較べて2000年代に夏季の塩分が高くなった原因として、降雨の減少の影響が大きいと考えられる。

透明度は変動しながらも上昇傾向にあるが、1990年代に較べて2000年代には4~6月の春季ブルーム時期に上昇が顕著である。石田・上田(2008)および鎌田ほか(2009)は紀伊水道および徳島県太平洋岸の透明度が著しく低下傾向にあることを報告しているが、播磨灘においても同様の傾向がみられた。透明度は、海中のプランクトン量の増減や、陸水や河川水の濁水の流入の影響により変化することが報告されている(平野ほか1999)。その中でも特に植物プランクトンの現存量の多寡と透明度の変動が密接に関係することが報告されている(長田ほか1996)。本海域においてもプランクトンの沈殿量が減少傾向にあることから、植物プランクトンの減少に起因しているものと考えられる。また、近年播磨灘では*Coscinodiscus wailesii*が大増殖することで透明度が増大することが報告されており(西川

ほか2005)、2000年代の4~6月の透明度の上昇については*Coscinodiscus wailesii*等珪藻の増加の影響が大きいと考えられる。

栄養塩ではDINが顕著な減少傾向を示したが、紀伊水道(石田・上田2008、鎌田ほか2009)および福岡県の有明海(熊谷ら2007)においても同様の傾向がみられた。しかし、神奈川県は江奈湾や福岡県の福岡湾ではリンの減少が顕著であり、福岡湾のリン不足は下水等の処理や小雨、河川からの流入が減少したことが原因とされている(矢沢ら1987、佐藤ら2006)。香川県の沿岸においてもノリ生産の盛期である1月に表層のDINが減少傾向にある(藤原ら2009)。北灘沿岸には大きな河川がないため、陸水による直接的な栄養塩の供給は少ない。橋本ら(2004)によると瀬戸内海の窒素やリンは外洋起源のものが多く、播磨灘では全窒素の80%近くと全リンの40%程度が外洋起源とされている。このことから、北灘沿岸におけるDINの顕著な減少は外洋からの供給が減少したことが主な原因と考えられる。

赤潮の発生件数の減少傾向は、DINの減少が影響している可能性が高い。プランクトンの沈殿量は2000年代の夏季に増加しているが、この時季の優占種である*Chaetoceros*属が増加傾向にあると推測される。*Chaetoceros*属等の珪藻は窒素とリンの比率が低いとよく増殖し、*C. marina*や*C. antiqua*等のラフィド藻は窒素とリンの比率が高いとよく増殖する傾向にある(深見2004)。近年はDINが減少して窒素とリンの比率が低い傾向にあるため、*Chaetoceros*属等の珪藻が優占し、*C. marina*や*C. antiqua*等が増殖しづらい環境にあり、有害赤潮の減少に関与していると考えられる。

北灘沿岸の海洋環境のうち、水温や塩分は気象の影響を受け、栄養塩については外洋から運ばれるものの影響が大きい。北灘沿岸はワカメやクロノリの養殖漁場として利用されているが、冬季のDINが減少傾向にあり、秋季から冬季にかけて水温の低下が緩やかになりつつあるため、この傾向が顕著になると藻類養殖にとって厳しい環境になる。この問題に対応するためには、環境に適した養殖品種の選定、養殖漁場や施設の見直し、施肥等を検討する必要がある。

現在、栄養塩は低いレベルにあるものの、台風等による攪拌で一時的に底層の栄養塩が表層に供給されることもある。また、養殖漁場による環境負荷で局所的な富栄養化が発生する可能性もある。富栄養化は赤潮の増加をもたらすだけでなく、魚類の疾病を増加させることもある。さらに、近年、有害種である渦鞭毛藻の*Cochlodinium polykrikoides*の赤潮がみられるようになった。また、珪藻の様な無害種であっても高密度に赤潮を形成した場合、魚介類に悪影響を与えるおそれがある。したがって、栄養塩が減少し、赤潮の発生頻度が減少した今日においても

北灘沿岸をはじめとする重要な養殖漁場では十分な環境監視を継続する必要がある。さらにデータを蓄積することで環境の特徴や傾向をより正確に把握でき、赤潮の対策や効率の良い養殖漁業経営に役立てることが可能である。

文 献

- 藤原宗弘,松岡聡,山賀賢一,吉松定昭:香川県におけるノリ養殖生産の現状と問題点.香水試研報,10,17-24(2009).
- 深見公雄:生態系のバランスとインパクト-環境保全の考え方とその問題点-「黒潮圏科学の魅力」(高橋正征,久保田賢,飯國芳明編).ピオシティ,東京,92-101pp.(2007).
- 橋本俊也,奥晋太郎,柳哲雄,林美鶴:瀬戸内海における外洋起源の窒素・リンの重要性. *J.Grad.Sch.Biosp.Sci. Hiroshima Univ.*, **43**, 7-13 (2004).
- 石田鉄兵,上田幸男:徳島県海域の長期変動について~透明度から海の変化をみる~.黒潮の資源海洋研究,**9**, 45-52(2008).
- 鎌田信一郎,吉村晃一,上田幸男:紀伊水道における透明度の長期変動,徳島・和歌山両県観測データを用いた統合解析.黒潮の資源海洋研究,**10**,15-20(2009).
- 木村聡一郎:1967~2002年における豊後水道域の水温の長期変動.大分海水研調研報,**5**,1-10(2004).
- 木村聡一郎:佐伯湾奥における表面水温の長期変動.大分海水研調研報,**6**,1-7(2005).
- 熊谷香,内藤剛:有明海福岡見地先への栄養塩供給量の動向.福岡水海技セ研報,**17**,73-80(2007).
- 佐藤博之,後川龍男:福岡湾における養殖ワカメの収穫量と漁場環境.福岡水海技セ研報,**16**,31-34(2006).
- 徳島県漁業史編さん協議会:徳島県漁業史.徳島県教育印刷株式会社,徳島,712p.(1996).
- 矢沢敬三,池田文雄,水津敏博,笠原定夫:江名湾に於ける栄養塩類の分布の特徴.神水試研報,**8**,31-39(1987).

住友寿明

付表1 1990年から2009年にかけて北灘沿岸海域で発生が確認された赤潮の一覧

年	年間発生 件数	発生期間	赤潮構成種	細胞数 (cells/ml)	漁業被害	備考
1990	3	8/2 ~ 8/9	<i>Noctiluca scintillans</i>	-	無	
		8/25 ~ 8/26	<i>Noctiluca scintillans</i>	-	無	
		11/12 ~ 11/19	<i>Noctiluca scintillans</i>	-	無	
1991	5	4/4 ~ 4/5	<i>Noctiluca scintillans</i>	-	無	
		4/17 ~ 4/18	<i>Alexandrium tamarense</i>	4,260	無	
		6/20	<i>Gyrodinium instriatum</i>	-	無	
		7/11	<i>Gyrodinium instriatum</i>	-	無	
		11/22	<i>Mesodinium rubrum</i>	5,900	無	
1992	6	5/12 ~ 5/15	<i>Noctiluca scintillans</i>	-	無	
		5/20 ~ 5/26	<i>Chattonella verruculosa</i>	382	無	
		7/16 ~ 7/20	<i>Noctiluca scintillans</i>	-	無	
		7/17	<i>Mesodinium rubrum</i>	1,570	無	
		10/20 ~ 10/21	<i>Coscinodiscus spp.</i>	-	無	
1993	5	11/4 ~ 11/7	<i>Noctiluca scintillans</i>	-	無	
		4/5 ~ 4/21	<i>Noctiluca scintillans</i>	-	無	
		5/17 ~ 5/21	<i>Noctiluca scintillans</i>	-	無	
		8/12 ~ 8/13	<i>Noctiluca scintillans</i>	-	無	
		10/9 ~ 10/11	<i>Noctiluca scintillans</i>	-	無	
1994	6	11/7 ~ 11/9	<i>Mesodinium rubrum</i>	-	無	
		3/17 ~ 3/20	<i>Noctiluca scintillans</i>	-	無	
		4/4 ~ 4/20	<i>Noctiluca scintillans</i>	-	無	
		4/25 ~ 4/27	<i>Eutreptiella sp.</i>	1,500	無	
		5/2 ~ 5/17	<i>Noctiluca scintillans</i>	-	有	漁獲物の斃死, 被害額19万円
		6/1 ~ 6/5	<i>Noctiluca scintillans</i>	-	無	
1995	6	10/4 ~ 10/11	<i>Mesodinium rubrum</i>	600	無	
		7/25 ~ 7/28	<i>Mesodinium rubrum</i>	550	無	
		8/1 ~ 8/7	<i>Karenia mikimotoi</i>	55,000	無	
		8/14 ~ 8/16	<i>Karenia mikimotoi</i>	9,200	無	
		8/16 ~ 8/20	<i>Noctiluca scintillans</i>	-	無	
		8/21 ~ 8/23	<i>Gyrodinium dominans</i>	15,000	無	
1996	4	8/24 ~ 8/26	<i>Mesodinium rubrum</i>	-	無	
		4/8 ~ 4/12	<i>Noctiluca scintillans</i>	-	無	
		8/8 ~ 8/17	<i>Karenia mikimotoi</i>	23,000	無	
		8/19 ~ 8/20	<i>Gyrodinium dominans</i>	3,200	無	
1997	6	8/21 ~ 8/24	<i>Skeletonema costatum</i>	4,300	無	
		6/17	<i>Noctiluca scintillans</i>	-	無	
		7/8 ~ 7/9	<i>Chattonella marina</i>	389	無	
		7/16 ~ 7/28	<i>Karenia mikimotoi</i>	4,050	無	
		7/30 ~ 7/31	<i>Noctiluca scintillans</i>	-	無	
		9/30 ~ 10/21	<i>Mesodinium rubrum</i>	5,000	無	
1998	1	11/14	<i>Mesodinium rubrum</i>	420	無	
1999	0					
2000	5	3/30 ~ 3/31	<i>Noctiluca scintillans</i>	-	無	
		4/8 ~ 4/30	<i>Noctiluca scintillans</i>	-	無	
		6/13 ~ 6/20	<i>Noctiluca scintillans</i>	-	無	
		7/10 ~ 7/16	<i>Noctiluca scintillans</i>	-	無	
		10/17 ~ 10/20	<i>Mesodinium rubrum</i>	1,350	無	
2001	2	10/24 ~ 10/30	<i>Noctiluca scintillans</i>	-	無	
		7/13 ~ 7/16	<i>Gymnodinium sp.</i>	970	無	
2002	1	11/21 ~ 11/25	<i>Mesodinium rubrum</i>	1,180	無	
		5/23 ~ 5/31	<i>Noctiluca scintillans</i>	-	無	
2003	7	4/10 ~ 4/20	<i>Noctiluca scintillans</i>	-	無	
		7/1	<i>Chattonella verruculosa</i>	1,450	無	
		7/5	<i>Chattonella antiqua</i>	123	無	複合赤潮
			<i>Chattonella verruculosa</i>	350	無	養殖ハマチが291000尾斃死
			<i>Fibrocapsa japonica</i>	430	無	被害額6億6千万円
			<i>Cochlodinium polykrikoides</i>	1,980	無	
		7/12 ~ 7/16	<i>Chattonella antiqua</i>	292	有	
2004	2	8/21	<i>Cochlodinium polykrikoides</i>	10,000	無	
		8/28 ~ 8/31	<i>Mesodinium rubrum</i>	8,000	無	
		11/3 ~ 11/4	<i>Karenia digitata</i>	240	無	
		6/8 ~ 6/22	<i>Noctiluca scintillans</i>	-	無	
		11/7 ~ 11/12	<i>Mesodinium rubrum</i>	5,000	無	
2005	0					
2006	0					
2007	2	4/10 ~ 4/15	<i>Noctiluca scintillans</i>	-	無	
		10/18 ~ 11/5	<i>Mesodinium rubrum</i>	1,880	無	播磨灘から紀伊水道にかけて発生
2008	1	4/15 ~ 5/27	<i>Noctiluca scintillans</i>	-	無	
2009	3	4/7 ~ 4/20	<i>Noctiluca scintillans</i>	655	無	
		7/16 ~ 7/21	<i>Cochlodinium polykrikoides</i>	1,269	無	
		10/19 ~ 10/28	<i>Mesodinium rubrum</i>	915	無	
合計	65					