

## ノート

# 兵庫県のマガキ養殖漁場周辺海域における表層クロロフィル *a* 濃度の統計学的分布特性と平年値

宮原一隆<sup>1\*</sup>・原田和弘<sup>1</sup>・岡本繁好<sup>2</sup>・西川哲也<sup>2</sup>

Statistical analyses and normalized indices of chlorophyll *a* concentration in surface seawater around culture grounds of the giant Pacific oyster *Crassostrea gigas* in Hyogo Prefecture

Kazutaka MIYAHARA<sup>1\*</sup>, Kazuhiro HARADA<sup>1</sup>, Shigeyoshi OKAMOTO<sup>2</sup> and Tetsuya NISHIKAWA<sup>2</sup>

キーワード：マガキ，クロロフィル *a*，平年値

兵庫県の西播磨海域では，1980年代後半以降マガキ *Crassostrea gigas* の養殖業が盛んになり，1990年代後半には生産量 4,000 t（殻付き重量），生産額 10 億円を上回るようになった。その後も生産規模は拡大し，2012年には生産量は 7,804 t，生産額は 21 億円に達している（兵庫農林統計協会 2014）。生産の増大のみならず，この海域で収穫される養殖マガキは品質面でも大粒で身入りが良いとの高評価を受けており，2014年には兵庫県産プライドフィッシュ（全国漁業協同組合連合会 2015）にも選定されている。

マガキなど濾過食性二枚貝は海水中の植物プランクトン等を餌料としており，養殖漁場の餌料環境の指標としては，懸濁物量（本間 1998）のほか，すべての植物に存在する光合成色素であるクロロフィル *a* (Chl.*a*) の濃度が用いられている（森 2005）。増田・杉野（2006）は，兵庫県の主要なマガキ養殖海域である相生市沖合の漁場において Chl.*a* 濃度がマガキの成育，特に身入りや品質と関係していることを示した。兵庫県西播磨海域のマガキ養殖業の順調な発展

や収穫物の品質の良さは，この海域の高い一次生産力を基礎としていることが強く示唆される。

今後も養殖マガキの持続的な生産を確保するためには，適切な養殖管理に加えて，養殖漁場を取りまく生息，餌料，底質等の環境を定期的に監視・評価し，必要に応じて漁場改善対策等を講じていくことが重要になってくる。マガキ養殖業の先行県である広島県や岡山県では，漁場環境調査の一環として養殖漁場周辺の Chl.*a* 濃度が定期的に測定されており，濃度基準（少ない，普通，多い等）と併せて生産者に情報提供がなされている（例えば，岡山県 2015）。しかしながら，本県のマガキ養殖漁場周辺海域における餌料生物の発生量や頻度分布特性については整理がなされておらず，観測結果を評価するための判断基準も検討されていない。また，Chl.*a* 濃度は植物プランクトン現存量と対応する指標であるため（江口 2006），赤潮発生時等には極端に高濃度な値がしばしば観測される。水温等の場合とは異なり，単純な算術平均値では極大値によるバイアスを受ける恐れ

\*Tel: 078-941-8601. Fax: 078-941-8604. Email: kazutaka\_miyahara@pref.hyogo.lg.jp

<sup>1</sup>兵庫県立農林水産技術総合センター水産技術センター（674-0093 兵庫県明石市二見町南二見 22-2）

<sup>2</sup>兵庫県立農林水産技術総合センター但馬水産技術センター（669-6541 兵庫県美方郡香美町香住区境 1126-5）

があり、平年値等の指標としては不適當な場合も想定される。

本報告では、過去の海洋観測結果からマガキ養殖漁場に近接する定点の Chl.a 濃度データを抽出し、統計学的な解析を加えることにより、測定値の頻度分布特性を明らかにした。加えて、平年値や濃度指標を作成し、今後の漁場環境把握のための目安を提案する。

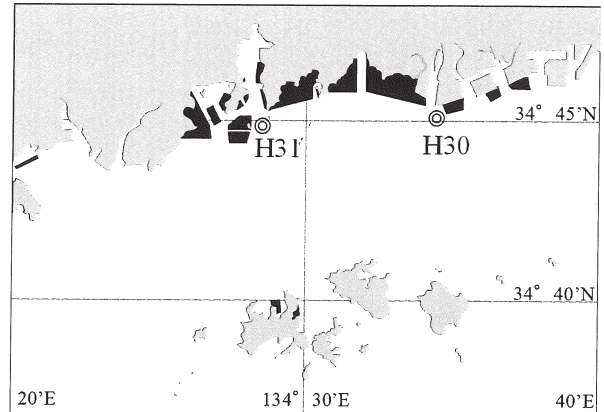
### 材料および方法

**解析対象観測地点** 兵庫県立農林水産技術総合センター水産技術センターが毎月上旬に実施している浅海定線調査の定点のうち、マガキ養殖漁場に近い定点 H30 (網干沖, 34°45.2' N, 134°34.2' E) と H31 (相生沖, 34°44.9' N, 134°28.2' E) の各表層を対象とした (第 1 図)。定点 H30 は、垂下式貝類養殖の漁業権区画 (2013 年 9 月更新) である区第 504 号, 523 号に、H31 は同 506 号, 509 号, 510 号, 511 号, 512 号, 522 号にそれぞれ隣接している。

**解析対象期間** 定点 H30 は 1995～2014 年度までの 20 年間分、H31 は同定点の観測が開始された 2003 年度以降 2014 年度までの 12 年間分とし、筏沖出し後の生産期にあたる 10～3 月までの測定値 (各月上旬実施) を用いた。

**クロロフィル分析** Chl.a 濃度を、アセトン抽出後の試料を用いて Holm-Hansen 蛍光法によって算出した (齊藤 2007)。同法用の蛍光光度計は、1995～2011 年度分までは日立製作所製 F-2000 を、2012 年度以降はターナーデザインズ社製 10-AU をそれぞれ用いた。両機器を比較した結果では、後者が数%程度高い値を示すことがあったが (宮原 未発表)、本報告では両機器間の誤差は無視して解析した。

**統計学的解析** Chl.a 濃度測定値の正規性検定 (測定値が正規母集団から得られたものかどうか) は



第 1 図 解析に用いた観測定点 (定点 H30 および H31) 。黒塗り部は兵庫県西播磨海域における垂下式貝類養殖の区画漁業権の概要を示す (区画漁業権は、2013 年 9 月に改変されたものを使用) 。

Shapiro-Wilk 検定を、測定値群の母平均の多重検定は Tukey 法を、二群間の平均値の差の検定は  $t$  検定をそれぞれ用いた。

### 結果

**Chl.a 濃度測定値の統計学的分布特性** 第 1, 2 表に Chl.a 濃度の測定結果と正規性検定の結果を整理した。定点 H30 では 1.4～27.8  $\mu\text{g/L}$  の範囲で変動し、月別平均値 (算術平均値) は 4.9～9.5  $\mu\text{g/L}$  であった。H31 では 1.3～24.9  $\mu\text{g/L}$  の範囲で変動し、月別平均値は 3.9～8.4  $\mu\text{g/L}$  であった。両定点とも、10～11 月 (特に 10 月) に高い値を示す年が多かった。

月別測定値は、定点 H30 の 10 月, 1 月, 2 月, H31 の 11 月, 2 月の分布に正規性が確認されなかった。そこで、各測定値を常用対数化により変数変換したところ、両定点の全月で正規分布とみなすことが可能となった (第 1 表, 第 2 表)。以降の検討は、変数変換後の値を用いることとした。

月別測定値の母平均は、定点 H30 の (10 月と 1 月), (10 月と 3 月), また、H31 の (10 月と 3 月) の各組み合わせで有意差 ( $p < 0.05$ ) が確認されたが、その他の組み合わせでは確認されなかった。この結果が

マガキ養殖漁場のクロロフィル *a*

第1表 解析に用いたクロロフィル*a*濃度 (μg/L) の観測値と正規性検定結果 (定点H30)

漁期年	10月	11月	12月	1月	2月	3月
1995	19.3	1.4	3.4	6.8	4.3	7.1
1996	3.7	2.6	3.4	5.0	5.8	5.7
1997	10.8	13.5	1.5	7.8	14.3	5.5
1998	11.5	8.1	2.3	4.7	7.9	6.9
1999	9.0	6.0	2.6	4.8	4.8	2.2
2000	3.7	14.8	3.2	3.5	1.6	8.3
2001	7.1	1.6	8.2	2.8	4.0	5.4
2002	2.1	2.5	—*1	3.2	2.6	3.0
2003	6.0	8.5	2.3	5.2	4.3	1.9
2004	13.1	5.1	3.4	4.2	3.1	3.2
2005	5.7	3.1	6.7	6.6	4.3	2.5
2006	4.9	3.9	7.0	4.1	6.7	5.0
2007	6.8	4.6	4.1	6.4	2.9	3.4
2008	9.8	9.1	6.2	2.6	3.5	4.6
2009	27.8	8.6	8.1	7.6	7.7	5.0
2010	4.6	10.2	3.2	6.1	3.7	4.0
2011	15.6	2.0	7.2	8.4	7.7	3.6
2012	6.1	14.2	5.7	2.6	5.4	3.0
2013	16.7	7.5	8.9	5.6	5.4	10.3
2014	6.1	1.7	8.5	16.4	10.2	7.3
標本数	20	20	19	20	20	20
平均	9.5	6.5	5.0	5.7	5.5	4.9
標準偏差	6.36	4.34	2.46	3.06	2.96	2.21
正規性 (観測値) *2	<i>p</i> <0.05	<i>p</i> >0.05	<i>p</i> >0.05	<i>p</i> <0.05	<i>p</i> <0.05	<i>p</i> >0.05
正規性 (変数変換後) *3	<i>p</i> >0.05	<i>p</i> >0.05	<i>p</i> >0.05	<i>p</i> >0.05	<i>p</i> >0.05	<i>p</i> >0.05

\*1 異常値 (0.0μg/L) であったので今回の解析からは除外した。

\*2 Shapiro-Wilk検定 (*p*>0.05で正規性ありと判断)

\*3 変数変換は観測値の常用対数値を用いた。Shapiro-Wilk検定 (*p*>0.05で正規性ありと判断)

第2表 解析に用いたクロロフィル*a*濃度 (μg/L) の観測値と正規性検定結果 (定点H31)

漁期年	10月	11月	12月	1月	2月	3月
2003	7.2	1.9	3.4	4.2	3.0	2.0
2004	5.5	2.9	2.2	3.1	3.8	3.7
2005	4.9	3.5	3.8	4.3	2.9	2.6
2006	3.4	5.2	5.2	5.9	3.5	2.9
2007	8.2	24.9	2.9	4.8	4.2	2.6
2008	6.8	6.9	4.8	1.7	2.5	5.2
2009	14.2	4.9	5.9	8.4	7.0	4.3
2010	4.3	6.4	4.4	5.5	4.0	5.1
2011	13.5	1.3	3.6	8.8	8.2	3.1
2012	10.3	14.2	10.3	6.0	2.7	3.8
2013	8.7	8.7	9.4	4.8	3.4	5.3
2014	13.7	2.3	8.4	10.0	8.6	6.6
標本数	12	12	12	12	12	12
平均	8.4	6.9	5.4	5.6	4.5	3.9
標準偏差	3.79	6.69	2.65	2.41	2.17	1.39
正規性 (観測値) *1	<i>p</i> >0.05	<i>p</i> <0.05	<i>p</i> >0.05	<i>p</i> >0.05	<i>p</i> <0.05	<i>p</i> >0.05
正規性 (変数変換後) *2	<i>p</i> >0.05	<i>p</i> >0.05	<i>p</i> >0.05	<i>p</i> >0.05	<i>p</i> >0.05	<i>p</i> >0.05

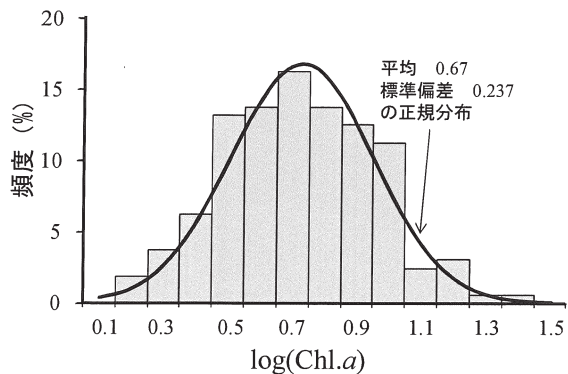
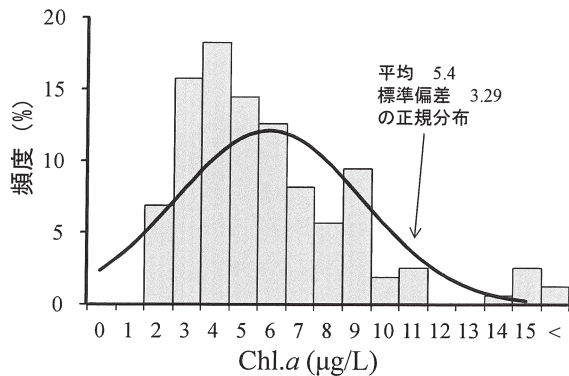
\*1 Shapiro-Wilk検定 (*p*>0.05で正規性ありと判断)

\*2 変数変換は観測値の常用対数値を用いた。Shapiro-Wilk検定 (*p*>0.05で正規性ありと判断)

第3表 変数変換後のクロロフィルa濃度の平均値と標準偏差 (11~3月)

	定点H30	定点H31	全定点
標本数	99	60	159
平均*	0.68	0.65	0.67
標準偏差	0.239	0.236	0.237

\* 両定点間の母平均には有意差はなかった (*t*検定,  $p>0.05$ )



第2図 解析に用いた観測地点 (定点 H30 および H31) の11~3月のクロロフィルa濃度の頻度分布. 上: 観測データをそのまま使用, 下: 常用対数で変数変換. 標本数 = 159

ら, 各定点の11~3月の各測定値については同質的に扱うことが可能であると判断できたため, 各定点について11~3月の値を一群とみなして両定点の母平均の差を検定した(第3表)。両群に有意な差は検出されず ( $p>0.05$ ), 一括して一群として取り扱うことが可能と判断し, 全データ(11~3月, 標本数 = 159)の変数変換後のChl.a濃度 (=  $\log(\text{Chl.a 濃度})$ )の母平均0.67 (=  $10^{0.67} \mu\text{g/L} = 4.7 \mu\text{g/L}$ ), 標準偏差0.237を得た(第3表)。

**平年値と指標** 変数変換の有効性を視覚的に検証するため, 第2図に変数変換前後の観測データの頻度分布図, およびそれぞれの平均値と標準偏差から求めた正規分布曲線を示した。変数変換しない場合は, 変数変換した場合よりも平均値が高めに算出された。一方, 変数変換後の分布は正規分布への近似性が高く, 平均値0.67 (=  $4.7 \mu\text{g/L}$ ), 標準偏差0.237の正規分布に従った(Shapiro-Wilk 検定,  $p>0.05$ )。

## 考 察

両定点とも, 10~11月(特に10月)に高いChl.a濃度を示す年が多かった。これは, 同時期に増殖が活発化する大型珪藻 *Coscinodiscus wailesii* (西川ほか2002)の影響であると考えられた。また, Chl.a濃度の月別測定値は, 定点H30の10月, 1月, 2月, H31の11月, 2月の分布に正規性が確認されなかった。これは, 極大値の発生による分布の歪みが原因と考えられ, 単純平均値による指標では, 特にChl.a濃度が低い場合の評価が不正確になることが示唆された。本海域のChl.a濃度の測定データを解析する場合, 極大値の発生に留意しつつ, 基本的には常用対数による変数変換後の値を用いることが望ましいと考えられた。

月別測定値の母平均は, 10月と他の観測月との組み合わせで有意差が確認されたが, 11~3月の各月間の組み合わせでは確認されなかった。このことは, マガキ養殖の初期にあたる10月のChl.a濃度は他の月とは異なる発生頻度特性を有するものの, 養殖盛

第4表 定点H30およびH31におけるクロロフィル*a*濃度の評価指標

Chl <i>a</i> ( $\mu\text{g/L}$ )	指標*	正規確率	(参考) 広島県・岡山県の指標 ( $\mu\text{g/L}$ )
13.9～	はなはだ高い	0.02	10～: 赤潮状態
9.5～13.9	かなり高い	0.07	5～10: かなり高い
6.5～9.5	やや高い	0.18	3～5: 高い
3.4～6.5	平年並み	0.45	1～3: 普通
2.3～3.4	やや低い	0.18	～1: 少ない
1.6～2.3	かなり低い	0.07	
～1.6	はなはだ低い	0.02	
計		1.00	

\* 11月～翌年3月の期間に適用可能

期にあたる11月～3月の測定値の発生頻度は同質的に取り扱うことが可能であることを示唆する。また、定点間での母平均に有意な差が検出されなかったことから、定点H30およびH31における11～3月の平年値(H30は1995～2014年度の20年間、H31は2003～2014年度の12年間を使用)としては、統一的な値(4.7  $\mu\text{g/L}$ )が適用可能であると考えられた。両定点を結ぶ海域および周辺には、複数のマガキ養殖漁場が設定されていることから、この統一的平年値は、ある程度広い海域における餌料環境の指標として適用可能であろう。

日本周辺の漁場における観測水温の場合、観測値と平年値(30年平均値)の差(偏差)と標準偏差( $\sigma$ )とを比較することにより評価する手法が提唱されている(長沼1981;  $2.0\sigma$ ～: はなはだ高め,  $1.3\sigma$ ～ $2.0\sigma$ : かなり高め,  $0.6\sigma$ ～ $1.3\sigma$ : やや高め,  $-0.6\sigma$ ～ $0.6\sigma$ : 平年並み,  $-1.3\sigma$ ～ $-0.6\sigma$ : やや低め,  $-2.0\sigma$ ～ $-1.3\sigma$ : かなり低め,  $\sim -2.0\sigma$ : はなはだ低め)。

本報告で解析したとおり、変数変換後のChl*a*濃度測定値には正規分布を仮定できることから、上の基準によりそれぞれの濃度範囲を求めて指標化してみた(第4表)。この基準は、広島県・岡山県海域の基準(10以上: 赤潮状態, 5～10: かなり多い, 3～5: 多い, 1～3: 普通, 1以下: 少ない, 単位は $\mu\text{g/L}$ )と比較すると、全般的に一次生産力の高い本県海域の

海域特性をよく反映している。また、統計学的な出現確率を簡単に算出できる利点もある。例えば、2014年11月には播磨灘北部海域で例年よりも低いChl*a*濃度が観測された(定点H30: 1.7  $\mu\text{g/L}$ (第1表), H31: 2.3  $\mu\text{g/L}$ (第2表))。仮に広島県・岡山県海域の基準を単純にあてはめた場合にはいずれの測定値も「普通」となってしまうが、本報告での指標に対応させると、いずれも「かなり低い」に相当し、その発生頻度は約7%の現象(14～15年に1回程度の発生)であったと推定できる。実際、この漁期の11～12月には本県の養殖マガキの身入りが広い範囲で悪化し、出荷量が低下するという事例が生じた(兵庫県 未発表)。今後は、ここで示された平年値や評価方法を実証的に運用し、検証していくことを提案したい。

本報告では、既存の海洋観測結果を解析することにより、マガキ養殖場周辺海域の餌料環境を、餌料となる植物プランクトンの発生指標であるChl*a*濃度の測定値から評価した。実際の養殖漁場内での餌料環境は、水温、海流、筏や垂下設備の密度、他生物の分布等のほか、懸濁物量等にも大きく影響を受け得るため、定点H30およびH31の値は各漁場との相対的な比較のうえで目安として取り扱うことが望ましい。また、気温や水温と同じく、平年値は定期的に更新する必要があることも指摘しておく。

文 献

- 江口 充 (2006) 水中の植物色素(クロロフィル). 「増補改訂版海洋環境アセスメントのための微生物実験法」(石田祐三郎・杉田治男編), 恒星社厚生閣, 東京, 30-32.
- 本間昭郎 (1998) 養殖環境 無給餌養殖. 「沿岸の環境圏」(平野敏行監修), フジ・テクノシステム, 東京, 651-661.
- 兵庫農林統計協会 (2014) 「平成 26 年度版兵庫県水産業の動き(平成 24 年)」。兵庫農林統計協会, 神戸.
- 増田恵一・杉野雅彦 (2006) 兵庫県相生養殖漁場における漁場環境とマガキの成育. 兵庫県立農林水産技術総合センター研究報告(水産編), 39, 17-22.
- 森 勝義 (2005) マガキ. 「水産増殖システム 3 甲類・甲殻類・ウニ類・藻類」(森 勝義編), 恒星社厚生閣, 東京, 171-267.
- 長沼光亮 (1981) 日本海区における海況の予測方法と検証. 「漁海況予測の手法と検証」, 水産庁研究部, 東京, 139-146.
- 西川哲也・宮原一隆・長井 敏 (2002) 播磨灘産有害珪藻 *Coscinodiscus wailesii* Gran の光強度に対する増殖応答. 日本プランクトン学会報, 49, 1-8.
- 岡山県 (2015) 「H27 クロロフィル a 情報」. <http://www.pref.okayama.jp/page/427134.html> (2015 年 9 月 8 日)
- 齊藤宏明 (2007) 「日本周辺海域における低次生態系モニタリングにおける蛍光法によるクロロフィル a 分析マニュアル Ver.1d」, 東北区水産研究所, 塩釜, 1-11.
- 全国漁業協同組合連合会 (2015) 「播磨灘産一年牡蠣」. <http://www.pride-fish.jp/JPF/pref/detail.php?pk=1400656081> (2015 年 9 月 8 日)