短 報 [Note]

宍道湖におけるアオコ発生の環境要因とその事前判別

佐藤紗知子¹⁾・大城 等¹⁾・馬庭 章¹⁾・菅原庄吾²⁾・神谷 宏¹⁾・大谷修司³⁾

Causes and prediction of cyanobacteria bloom (Aoko) in Lake Shinji

Sachiko SATO¹⁾, Hitoshi OHSHIRO¹⁾, Akira MANIWA¹⁾, Shogo SUGAHARA²⁾, Hiroshi KAMIYA¹⁾, Shuji OHTANI³⁾

Abstract

Occasional summer cyanobacteria blooms (Aoko) occur in Lake Shinji which is located in the eastern Shimane Prefecture. To clarify the cause of cyanobacteria bloom occurrence, we conducted discriminant analysis between cyanobacteria bloom occurrence, Cl^- concentration, water temperature, $\text{NO}_3\text{-N}$ concentration, $\text{PO}_4\text{-P}$ concentration, duration of sunshine, and the flow rate from the Hii River from 1984 to 2012. We found that three of the most relevant variables are Cl^- concentration during the index month, Cl^- concentration two months prior to the index month, and water temperature one month prior to the index month. This discrimination is 89.7% correct.

In the present study, “index month” indicates the month in which cyanobacteria blooms occur, and if not, indicates the month of August.

Pearson's correlation coefficient between Cl^- concentration during the index month and Cl^- concentration one month prior to the index month is high (0.78). Next, we conducted discriminant analysis using Cl^- concentration (one month prior), Cl^- concentration (two months prior), and water temperature (one month prior) as variables. This discrimination is 86.2% correct.

Our study determined that the analysis of Cl^- concentration one month prior to the index month yields similar results to the analysis of Cl^- concentration during the index month. Based on our study results, we confirmed that we can predict cyanobacteria bloom occurrence one month prior to bloom occurrence.

Key words: Lake Shinji, cyanobacteria bloom, cause, discriminant analysis, prediction

摘 要

島根県東部に位置し汽水湖である宍道湖では、夏季にアオコが発生することがある。1984年から2012年までのアオコの発生を判別分析することにより、どのような条件の時にアオコが発生するのかを検討した。結果、起点月（アオコ発生の年は発生月、アオコ未発生の年は8月）の1ヶ月前の水温、起点月の塩化物イオン濃度及び起点月の2ヶ月前の塩化物イオン濃度が判別変数に採用され、89.7%が正しく判別

¹⁾ 島根県保健環境科学研究所 島根県松江市西浜佐陀町582-1 Shimane Prefectural Institute of Public Health and Environmental Science, 582-1 Nishihamasada, Matsue

²⁾ 島根大学総合理工学部 島根県松江市西川津町1060 Department of Material Science, Faculty of Science and Engineering, Shimane University, 1060 Nishikawatsu, Matsue

³⁾ 島根大学教育学部 島根県松江市西川津町1060 Faculty of Education, Shimane University, 1060 Nishikawatsu, Matsue

された。

起点月と起点月の1ヶ月前の塩化物イオン濃度のPearsonの相関が高かった ($r=0.78$) ため、起点月の1ヶ月前の水温、塩化物イオン濃度及び起点月の2ヶ月前の塩化物イオン濃度を判別変数に用いて判別分析を行った。その結果、86.2%が正しく判別され、起点月の塩化物イオン濃度を用いて判別した場合とほぼ同様だった。これらの結果から、アオコ発生の有無をアオコの発生の前月までに高確率で判別できることが示された。

キーワード：宍道湖、アオコ、発生要因、判別分析

(2014年9月19日 受付：2015年1月21日 受理)

はじめに

アオコという名称は日本特有のものであるが、この現象は藍藻類による水の華 (Water bloom) の一種であり、*Microcystis* 属、*Dolichospermum* 属 (旧 *Anabaena* 属)、*Anabaenopsis* 属、*Oscillatoria* 属、*Planktothrix* 属などの藍藻類が主体となって主に夏季に発生する現象の名称と位置付けられている。毎年夏季になると、日本各地の湖沼やダム湖等でアオコが発生し景観や水質上の問題となっている。

宍道湖は大橋川によって中海とつながっている (Fig. 1)。中海と日本海の潮位の変動にともなって湖水位が変化し、大橋川で往復流を生じ塩化物イオン濃度の高い水が宍道湖へと流入する。宍道湖に流入する河川のうち最も大きな斐伊川が宍道湖の西側に位置し、淡水流入量の75%を占めている。宍道湖の塩化物イオン濃度は大橋川からの流入量と斐伊川からの流入量によって大きく変化するが、平均すると塩化物イオン濃度が 2000 mg L^{-1} (塩

分 3.6‰) 程度の汽水湖である。以後、塩化物イオン濃度に続く括弧内には、海洋観測指針 (気象庁, 2000) に従って塩化物イオン濃度から計算した塩分値を記載する。

アオコを形成する藍藻類は元々淡水性の藻類であるが、福井県三方湖や宍道湖等の汽水湖でも発生している。宍道湖では1964年からアオコの報告があり、その原因種は年によって異なるが、*Microcystis aeruginosa*、*M. ichthyoblabe* が主で、同時に *Dolichospermum*、*Oscillatoria* などが見られる。近年では2010年から2012年の3年間、*M. ichthyoblabe* と未同定の *Microcystis* 属の一種によるアオコの大量発生が見られた (島根県環境生活部環境政策課, 2014)。

青木ら (1991) は、三方湖ではアオコは塩化物イオン濃度 1150 mg L^{-1} (2.1‰) では発生せず、 200 mg L^{-1} (0.36‰) 以下のときに発生しており、*Microcystis* は $25 \sim 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ の $7 \sim 8$ 月の盛夏に発生しやすいと報告している。一方、南條ら (1998) は、湖山池では *Microcystis* spp. は塩化物イオン濃度 1200 mg L^{-1} (2.2‰) 以下で水温 $23 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上でアオコを形成すると報告している。そして南條ら (1992) は湖山池の夏期の塩化物イオン濃度は $41 \sim 370 \text{ mg L}^{-1}$ ($0.074 \sim 0.67\text{‰}$) であり、この程度の塩化物イオン濃度はアオコ発生の制限因子となっておらず、むしろ低水温が制限因子となっていると報告している。また、東郷池では夏期の水温は $18 \sim 28.8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ と *Microcystis* には適しているがアオコはあまり発生していないこと、この原因として夏期の湖水の塩化物イオン濃度が 1700 mg L^{-1} (3.1‰) と高いことと変動幅が $270 \sim 6200 \text{ mg L}^{-1}$ ($0.49 \sim 11\text{‰}$) と大きいことが考えられ、アオコは塩化物イオン濃度が $330 \sim 870 \text{ mg L}^{-1}$ ($0.60 \sim 1.6\text{‰}$) と低く安定している時に発生していると報告している。このように、水域によりアオコ発生の制限因子は異なる。

アオコと栄養塩濃度との関係について、本間ら (2005) は諏訪湖の湖水中の硝酸態窒素とリン酸態リン濃度

Fig.1. Study area showing the location of Lake Shinji and sampling stations.

図1. 研究対象地域と採水地点。

が *Microcystis* 種の組成にどのような影響を与えるか調べ、リン酸態リン濃度が $10 \mu\text{g L}^{-1}$ 以上に達すると *M. aeruginosa* と *M. viridis* の優占が促進され、 $10 \mu\text{g L}^{-1}$ 以下では *M. ichthyoblabe* が優占すると報告している。

宍道湖でのアオコ発生については、伊達 (1988) や菅井 (1988) が、宍道湖でアオコが発生した年ごとに塩化物イオン濃度や日照時間などの状況をまとめ、共通して「夏期に塩化物イオン濃度が低下し、日照により水温が高くなるとアオコが発生する」と報告している。しかしながら、アオコが発生する具体的な塩化物イオン濃度、水温、日照条件等は明確にされていない。また、栄養塩濃度との関係についても詳しく調べられていない。そこで本研究では、過去のアオコの発生状況と塩化物イオン濃度、水温、栄養塩濃度、日照時間、斐伊川流量との関係を解析することにより、どのような条件の時に宍道湖でアオコが発生するのかを明らかにすることとした。また、近隣住民や漁業関係者への情報提供や行政の迅速な対応に活かすべく、アオコ発生の事前判別を試みた。

水域及び方法

水域

島根県東部に位置する宍道湖 (Fig. 1) を対象とした。宍道湖は湖面積 79.8 km^2 、平均水深 4.5 m の汽水湖である。大橋川を介して流入する中海の高塩分水も考慮した滞留日数は 59.4 日 (神谷ら投稿中) である。塩分供給はそのほとんどが下流に位置する中海から大橋川を経由して行われ、気象等に大きく影響されている (Ishitobi et al., 1989)。そのため、宍道湖の塩分は年により大きく変動する。中海の高塩分水は、密度流となって宍道湖へ流入し、成層する (山室ら, 2011)。夏季においては水温及び生物活性が高いため、塩分成層した場合、塩分躍層下は貧酸素化しやすく栄養塩濃度が著しく上昇する (神谷ら, 1996)。

解析に利用したデータの入手方法

当研究所では1984年より毎月1回、宍道湖7地点 (Fig. 1) において採水を行っている。採水は概ね月の第1週に行っている。表層水をステンレス製バケツでくみ上げ、水温をサーミスタ温度計により測定した後、ポリエチレン製容器に移し研究所に持ち帰った。表層水をガラス繊維ろ紙 (Whatman, GF/C) でろ過し、このろ液を用いて塩化物イオン濃度 (Cl⁻)、硝酸態窒素 (NO₃-N)、リン酸態リン (PO₄-P) を測定した。塩化物イオン濃度はモル法

によって分析した。NO₃-Nは、銅 カドミウム還元 (Wood et al., 1967) した試料をスルファニル酸とN-1ナフチルエチレンジアミン法 (Bendschneider and Robinson, 1952) によって分析した。PO₄-Pはアスコルビン酸モリブデン青法 (日本分析化学会北海道支部, 1981) によって分析した。測定は流れ分析法 (TRAACS-2000, Bran Luebbe) で行った。各地点の測定値を平均し、その月の値とした。日照時間は気象庁のホームページの月別値をその月の日数で割り、1日あたりの日照時間とした。斐伊川からの流量は、国土交通省出雲河川事務所のデータを用いて1ヶ月あたりの流量を算出した。斐伊川流量は2012年までしか公表されていないため、1984～2012年までを解析の対象とした。アオコの発生については、「アオコ」と判断するのにクロロフィルなどの数値による明確な基準はなく、1984年から1997年は研究所の過去のアオコの発生状況の記録から、宍道湖広域にアオコが発生した月を「発生月」とした。1998年から2012年は、全地点において見た目アオコ指標がレベル4 (国立環境研究所, 1998) 以上の状態になった時をアオコ発生とした。アオコは数か月継続することがあるが、本研究ではアオコが発生した月のみを「発生月」として解析した。

統計解析

アオコの発生の関連要因を明らかにする目的で判別分析を行った。判別分析の対象期間は1984年から2012年とした。栄養塩濃度は一般的には全窒素、全リンで代表されるが、宍道湖は富栄養湖であり、全窒素・全リン濃度変動がアオコの発生に関与している可能性は低い。また、渡辺ら (1994) は、*Microcystis* は湖水中のリン酸を急速に取り込み、藻類の要求する窒素はおもに硝酸イオンであると報告していることから、解析には水温、塩化物イオン濃度、NO₃-N、PO₄-P、日照時間及び斐伊川流量を用いた。

同一年内にアオコの発生が複数回観察された例はなかったため、発生の有無で2群に分けた。アオコの発生は8月に集中していたため、アオコが発生した年はその発生月、発生しなかった年は8月を「起点月」とした。起点月以前4ヶ月の各月の水温、塩化物イオン濃度、NO₃-N、PO₄-P、日照時間及び斐伊川流量を独立変数としてアオコ発生の判別分析を行った。判別分析には統計パッケージSPSS (ver.11, IBM社) を用い、変数選択はステップワイズ法、変数選択の指標には、独立変数の平均値がグループ間で異なっているかどうかを表す統計量であるWilksのラムダを用いた。

結果及び考察

フィールドデータからの解析

1984～2012年までの29年間にアオコの発生は11回確認され、不連続に複数の月で発生した年はなかった。発生した月は、8月が8回、7月が1回、9月は2回で、8月に集中していた。Fig. 2(a)～(f)に水温、塩化物イオン濃度、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、日照時間及び流量の経月変化を示す。アオコ発生月を黒丸(●)で示した。アオコが発生した月の水温は概ね27℃以上であった(Fig. 2(a))。1984年から2012年までの塩化物イオン濃度は190～5500 mg L^{-1} (0.34～9.9‰)の間で変化しており、アオコ発生月は塩化物イオン濃度が概ね低いときであった(Fig. 2(b))。アオコ発生月の $\text{NO}_3\text{-N}$ は0～243 $\mu\text{g L}^{-1}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ は0～100 $\mu\text{g L}^{-1}$ の範囲にあり、発生月の栄養塩濃度が非常に低い年もあった(Fig. 2(c), (d))。これは、発生月に栄養塩を消費し尽くしていることが考えられるので、発生前月についても考慮した。発生前月の $\text{NO}_3\text{-N}$ は0～160 $\mu\text{g L}^{-1}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ は0～19 $\mu\text{g L}^{-1}$ の範囲にあり、前月に無機態栄養塩がなくても翌月に発生している年もあった。日照時間については、アオコ発生月は3.6～9.3 hours day^{-1} 、発生前月は2.4～9.0 hours day^{-1} の範囲にあり(Fig. 2(e))、流量については、アオコ発生月は15～76 $\text{m}^3 \text{day}^{-1}$ 、発生前月は22～170 $\text{m}^3 \text{day}^{-1}$ 範囲にあった(Fig. 2(f))。日照時間及び流量には栄養塩と同様に、アオコ発生月及び発生前月において共通する明確な特徴はみられなかった。これらの結果からアオコの発生には水温と塩化物イオン濃度が密接に関係していると考えられた。

Fig. 3にアオコ発生月及び発生しなかった年の8月の水温と塩化物イオン濃度の関係を示す。アオコが発生した年の発生月を黒丸(●)、アオコが発生しなかった年の8月を白三角(△)で示した。アオコは高水温で低塩分のときに発生が多く見られ、塩化物イオン濃度が2800 mg L^{-1} (5.1‰)以下でかつ水温が27℃以上の条件の時に発生していた。

統計解析1

アオコ発生に塩化物イオン濃度、水温、栄養塩濃度、日照時間、斐伊川流量のどの因子がどのように関与するのかを判別分析により解析した。抽出された変数は、起点月(アオコ発生のは発生月、アオコ未発生のは8月)の塩化物イオン濃度(CI_0)、起点月の2ヶ月前の塩化物イオン濃度(CI_2)及び起点月の1ヶ月前の水温(WT_1)であった(Table 1)。標準化された正準判別関数係数は

判別への貢献度の大きいものから順に、起点月の1ヶ月前の水温が0.677、起点月の塩化物イオン濃度が-0.676、起点月の2ヶ月前の塩化物イオン濃度が-0.619であり、起点月の1ヶ月前の水温及び起点月の塩化物イオン濃度がアオコの発生の判別に同程度寄与していた(Table 1)。 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、日照時間及び流量は判別に有意な貢献はなかった(有意水準0.05)。標準化されていない正準判別関数係数はTable 1のとおりで、アオコの発生の有無は次の判別式の正負によって判別された(判別得点>0であるとアオコは発生、判別得点<0であるとアオコは発生しない)。

$$\begin{aligned} \text{判別得点 } Z1 = & -0.000784 (\text{CI}_0) - 0.000733 (\text{CI}_2) \\ & + 0.338 (\text{WT}_1) - 5.91 \end{aligned}$$

この結果、起点月の1ヶ月前の水温が高く、起点月及び起点月の2ヶ月前の塩化物イオン濃度が低いとアオコが発生する傾向が見出された。各年の起点月の塩化物イオン濃度、1か月前の水温及び2か月前の塩化物イオン濃度のデータを判別式に代入した判別結果をTable 2に示す。判別結果と観測結果が一致したのは29年中26回であり、89.7%が正しく判別された。

判別分析に2013及び2014年のデータは使用していないので、今回得られた判別式を用いて2013年及び2014年の7～9月のアオコの発生を判別した。結果はTable 3のとおりであった。2014年の9月を除いたすべての判別得点は $Z1 < 0$ で、アオコは発生しないと判別された。宍道湖では、2013年及び2014年にアオコは発生していないので判別結果とほぼ一致し、83.3%が正しく判別された。

統計解析2

事前判別という観点からは、アオコ発生に先立つデータを用いることが望ましく、起点月の1ヶ月前の塩化

Table 1. Standardized discriminant and discriminant function.

表1.

Variable	Standardized discriminant analysis		Discriminant analysis	
	analysis 1	analysis 2	analysis 1	analysis 2
WT_1	0.677	0.728	0.338	0.346
CI_0	-0.676	—	-0.000784	—
CI_1	—	-0.697	—	-0.000908
CI_2	-0.619	-0.387	-0.000733	-0.000498
Constant	—	—	-5.91	-6.37

(CI_0): CI- concentration of the index month

(CI_1): CI- concentration of one month before the index month

(CI_2): CI- concentration of two months before the index month

(WT_1): water temperature of one month before the index month

宍道湖におけるアオコ発生環境要因とその事前判別

Fig.2. Monthly changes in factors from 1984 to 2012 (a) water temperature, (b) Cl^- concentration, (c) $\text{NO}_3\text{-N}$ concentration, (d) $\text{PO}_4\text{-P}$ concentration, (e) sunshine duration, (f) flow rate from the Hii River.

Data of (d) and (e) were cited from the website of the Japan Meteorological Agency and Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Japan.

図2. (a)水温 (b)塩化物イオン濃度 (c)硝酸態窒素 (d)リン酸態リン (e)日照時間 (f)流量の経月変化。

物イオン濃度 (Cl^-_1) と起点月の塩化物イオン濃度の Pearson の相関係数は高かった ($r = 0.78$)。そこで、起点月の塩化物イオンの代わりに起点月の1ヶ月前の塩化物イオン、起点月の1ヶ月前の水温、及び起点月の2ヶ月前の塩化物イオン濃度を判別変数に用いて判別分析を行った。標準化された正準判別関数係数は判別への貢献度の大きいものから順に、起点月の1ヶ月前の水温が 0.728、起点月の1ヶ月前の塩化物イオン濃度が -0.697、起点月の2ヶ月前の塩化物イオン濃度が -0.387 であり、

起点月の1ヶ月前の水温及び塩化物イオン濃度がアオコの発生の判別に同程度寄与していた (Table 1)。標準化されていない正準判別関数係数は Table 1 のとおりで、アオコの発生の有無は次の判別式の正負によって判別された (統計解析1と同様に判別得点 > 0 であるとアオコは発生、判別得点 < 0 であるとアオコは発生しない)。

$$\begin{aligned} \text{判別得点 Z2} = & -0.000908 (\text{Cl}^-_1) - 0.000498 (\text{Cl}^-_2) \\ & + 0.346 (\text{WT}_1) - 6.37 \end{aligned}$$

Fig.3. Relationship between Cl^- concentration and water temperature of the index month.

The filled circle shows the occurrence month of cyanobacteria bloom, the unfilled triangle shows non-occurrence month of cyanobacteria bloom in August.

図3. 起点月の塩化物イオン濃度と水温の関係。

各年の起点月の1ヶ月前の水温、塩化物イオン濃度及び起点月の2か月前の塩化物イオン濃度のデータを判別式に代入した判別結果をTable. 2に示す。判別結果と観測結果が一致したのは29年中25回で86.2%が正しく判別され、判別変数に起点月の塩化物イオン濃度を用いて判別した場合と同程度だった。

統計解析1と同様に今回得られた判別式を用いて2013年及び2014年の7～9月のアオコの発生を判別した。結果はTable 3のとおりだった。すべての判別得点は $Z2 < 0$ で、アオコは発生しないと判別された。宍道湖では2013年及び2014年にアオコは発生していないので判別結果と一致し、100%が正しく判別された。

以上の結果から、月1回のデータを用いてアオコ発生の有無をアオコの発生の前月までに高確率で判別できることが示された。今後は国土交通省が行っている湖心での水温・塩分の連続測定データの利用や宍道湖での水質調査の頻度を高めることにより、事前判別を正確にすることができると考えられる。また、事前にアオコ発生の有無を予測することでアオコが発生した際の迅速な対応に役立つと考えられる。

文 献

青木啓子・石田敏一・宇都宮高栄・林隆一郎 (1991) : 福井県三方湖で発生したアオコ (1991年の事例). 福

Table 2. Occurrence of cyanobacteria bloom and discriminant score of analysis1-2 from 1984 to 2012.

表2.

year	observed	Z 1	Z 2
1984	-	1.05(*)	1.42(*)
1985	+	1.40	1.51
1986	+	2.60	2.58
1987	-	-0.24	-0.44
1988	+	1.40	1.46
1989	+	1.61	1.75
1990	+	1.02	1.74
1991	-	-1.19	-0.85
1992	-	-2.18	-1.42
1993	-	-0.23	-0.09
1994	-	-1.23	-0.81
1995	-	-0.05	-0.21
1996	-	-0.94	-0.96
1997	+	1.74	0.95
1998	+	0.67	0.66
1999	-	-1.78	-1.46
2000	-	-1.55	-0.74
2001	-	-0.05	0.02(*)
2002	-	-0.87	-0.65
2003	-	1.29(*)	0.39(*)
2004	-	-0.75	-0.13
2005	-	-2.18	-1.78
2006	+	1.02	0.28
2007	-	-2.84	-3.82
2008	-	-1.56	-0.77
2009	-	-0.06	-1.12
2010	+	0.96	0.61
2011	+	2.10	1.86
2012	+	-0.08(*)	-0.48(*)
correct probability		89.7%	86.2%

analysis 1 $Z1 = -0.000784 (\text{Cl}_0) - 0.000733 (\text{Cl}_2)$

+ 0.338 (WT_1) - 5.91

analysis 2 $Z2 = -0.000908 (\text{Cl}_1) - 0.000498 (\text{Cl}_2)$

+ 0.346 (WT_1) - 6.37

+: occurrence of cyanobacteria bloom

- : non-occurrence of cyanobacteria bloom

(*): unsuccessfully evaluated

(Cl_0): Cl^- concentration of the index month

(Cl_1): Cl^- concentration of one month before the index month

(Cl_2): Cl^- concentration of two months before the index month

(WT_1): water temperature of one month before the index month

Table 3. Occurrence of cyanobacteria bloom and discriminant score of analysis1-2 from 2013 to 2014.

表3.

year	month	observed	Z1	Z 2
2013	7	-	-3.09	-3.82
	8	-	-2.30	-1.73
	9	-	-0.48	-0.85
2014	7	-	-0.64	-0.72
	8	-	-0.87	-0.62
	9	-	0.73(*)	-0.25
correct probability			83%	100%

Reference to Table 2

- 井県環境センター年報, 21: 78-88.
- Bendschneider, K. and R. J. Robinson (1952): A new spectrophotometric method for the determination of nitrite in sea water. *Journal of Marine Research*, 11: 87-96.
- 伊達善夫 (1988): 宍道湖・中海とアオコ. たたら書房, 米子.
- 本間隆満・朴虎東 (2005): 諏訪湖における *Microcystis* 種組成および藍藻毒素 microcystin 濃度に及ぼす硝酸態窒素・リン酸態リン濃度の影響. *水環境学会誌*, 28: 373-378.
- Ishitobi, Y., H. Kamiya, H. Hayashi and M. Gomyoda (1989): The tidal exchange in Lake Shinji under low discharge conditions. *Japanese Journal of Limnology*, 50: 105-113.
- 神谷宏・石飛裕・井上徹教・中村由行・山室真澄 (1996): 夏季の宍道湖の底層水に蓄積する栄養塩の起源. *陸水学雑誌*, 57: 313-326.
- 国立環境研究所 (1998): 湖沼環境指標の開発と新たな湖沼環境問題の解明に関する研究. 国立環境研究所特別研究報告, 19-21.
- 気象庁 (2000): 海洋観測指針. クライム気象図書出版, 東京.
- 気象庁: <http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php#!table> Accessed 25 April 2014.
- 南條吉之・福田明彦・矢木修身・細井由彦 (1998): 汽水湖沼におけるアオコおよび赤潮発生の制御に関する基礎的研究. *水環境学会誌*, 21: 530-535.
- 南條吉之・田中賢之介・安田満夫 (1992): アオコ増殖と塩素イオン濃度との関係について. *鳥取県衛生研究所*, 32: 60-64.
- 日本分析化学会北海道支部 (1981): 水の分析—第3版—. 化学同人.
- 島根県環境生活部環境政策課 (2014): 宍道湖・中海におけるアオコおよび赤潮の発生状況. 平成25年版島根県環境白書 http://www.pref.shimane.lg.jp/environment/kankyo/kankyo/kankyo_hozen/h25hakusyo.html
- 菅井隆吉 (1988): 汽水湖「宍道湖」におけるアオコの発生状況について. *水*, 30: 61-65.
- 渡辺真利代・原田健一・藤木博太 (1994): アオコ—その出現と毒素—. 東京大学出版会, 東京.
- Wood, E. D., F. A. J. Armstrong and F. A. Richards (1967): Determination of nitrate in seawater by cadmium-copper reduction to nitrite. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 47: 23-31.
- 山室真澄・神谷宏・石飛裕 (2011): 汽水湖沼である宍道湖における成層に伴う貧酸素化とCOD(Mn)との関係. *水環境学会誌*, 34: 57-64.