広島湾の赤潮予察システムについて

誌名	広島県水産試験場研究報告
ISSN	03876039
著者名	大内,晟
発行元	広島県水産試験場
巻/号	14号
掲載ページ	p. 31-38
発行年月	1984年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council Secretariat

広水試研報　第14号（1984）

広島湾の赤潮予察システムについて

大内　晟

Forecast System of Red Tide in the Hiroshima Bay

Akira ŌUCHI

広島湾での赤潮研究は，1969年8月に *Chattonella* 赤潮による大きな漁業被害を蒙ったことを契機として開始された。当初，当場の赤潮研究の主体は赤潮の発生・分布調査と栄養塩を含む環境調査とであり，赤潮の発生と環境との関連についても考察されてきた。その後，水産庁の赤潮予察調査事業が1976年から開始されるに及んで，赤潮の発生を予知するということが重要な研究テーマの一つとして取り上げられるようになった。

これまでに赤潮予察が試みられている海域は，播磨灘と鹿児島湾との *Chattonella* 赤潮，広島湾の *Gymnodinium* '65年型種についてである。ここでは，1976年から実施している「赤潮予察調査事業」の環境調査データを使用し，広島湾奥部における赤潮発生の予察を赤潮図，重回帰分析法，判別分析法，フーリエ解析により行っているので，その概略について報告する。

資　　料

赤潮調査は1976年から1983年にかけて図1に示した広島湾奥部の6～9調査点で，毎年5月から9月にかけて実施した。ここで得られた測定値のうち解析に使用したのは，表層水の水温（WT），塩分（SAL），溶存態リン（TDP＝DIP＋DOP），溶存態無機窒素（DIN＝アンモニア態窒素＋亜硝酸態窒素＋硝酸態窒素），溶存態有機窒素（DON），懸濁態有機窒素（PON）の6項目である。これらのデータのほか，広島湾のかくま島の北に設置されているブイロボットのデータ，気象データ，地球探査衛星ランドサットの地上撮像データ（CCT，Computer Compatible Tape）等を用いて，赤潮の発生予察を試みている。

赤潮予察システム

1979年以降，広島湾において，8月の赤潮（主として *Gymnodinium* '65年型種）の予察を図2に示したシステムで行っている[1～2]。

まず，毎年8月上旬の観測結果が出ると，データバンク（主に，赤潮ファイル）を更新して，赤潮図の作製，判別分析，赤潮（PONで表わし，250μg/ℓ以上を赤潮とする）シミュレーションを行い，これらの結果を総合的に判定して赤潮予察を行っている。以下，各手法の概略につい

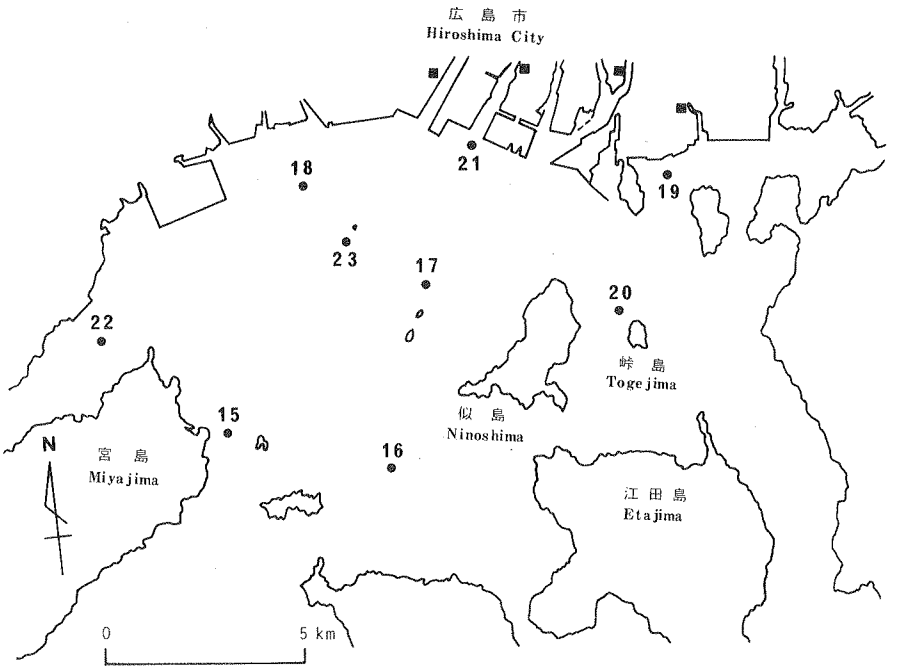

図1. 調 査 点（■：下水処理場）

Fig. 1. Location of sampling stations in the northern part of Hiroshima Bay(■：Sewage disposal plant).

て説明する。

判別分析　WT，SAL，TDP，DIN，DON，PONを一組とする全観測点データを，PON値が250 μg/ℓ 以上になっているデータ組を赤潮群に，それ以外を非赤潮群にした。これら2つの群は重複する部分を持つので，判別分析[3~4]によって，2群の境界を求めた。そして，8月上旬の観測結果が出ると，各調査点が境界のどちら側（赤潮群あるいは非赤潮群）にあるかを判定する。ある調査点を，赤潮群，非赤潮群のどちらかに判別する場合，重複する部分においては，元来赤潮群に属すべきものを非赤潮群と判別され，非赤潮群に属すべきものを赤潮群と判別されることが起る。このときの誤判別される確率に注目して，赤潮の予察を行っている。すなわち，ある調査点において，非赤潮群に判別されて，誤判別確率が，10%から30%になったとすると，かなりの確かさで非赤潮群と判別出来ていたものが，30%になるとかなり不確かな状態になっている。言い換えると，赤潮群に近付いていることを示している。したがって，誤判別確率の経時変化から，赤潮を予察することが出来る。

赤潮図　*Gymnodinium* '65年型種（*Gymnodinium*）の発生を予察することに重点を置いているが，その発生機構は今なお十分に解明されていない。したがって，発生機構が不明である以上，過去に発生した時の直前における観測時の海況を手掛りとして，予報をするしか方法がない。また，赤潮生物の多くは毎年，ほぼ決った時期に，同じ海域で発生しているので，それぞれ固有

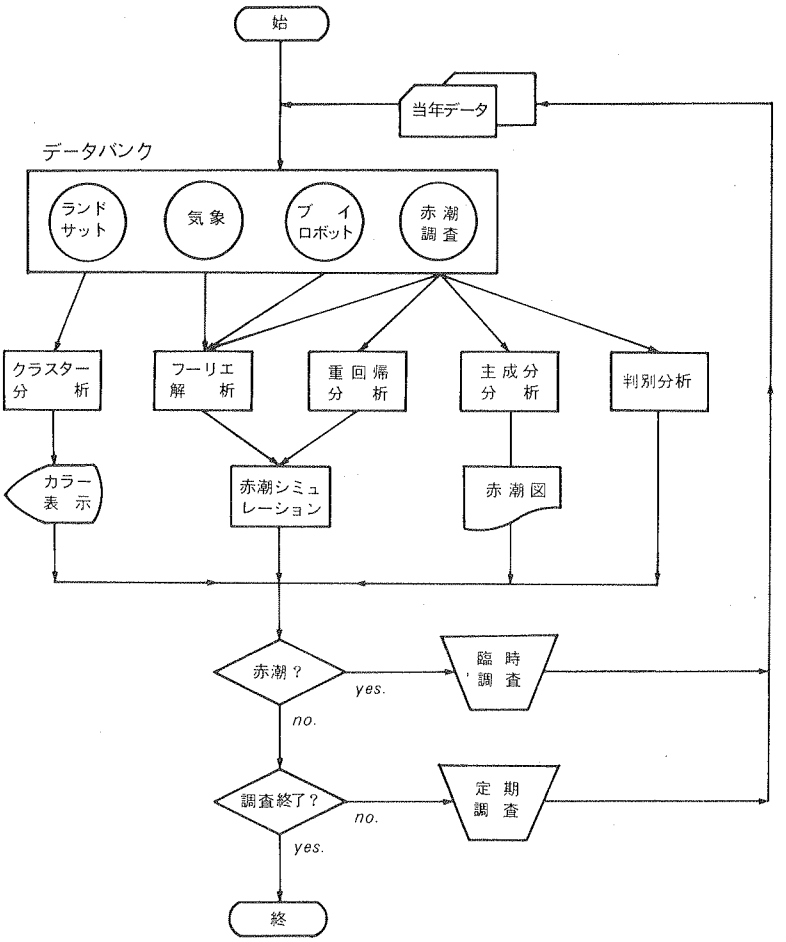

図2. 赤潮予察の流れ図

Fig. 2. The general flow of red tide prediction.

の栄養要求を持っていると考えられる。それゆえ，多年にわたって海況のデータを蓄積し，これを図示出来れば，赤潮時，赤潮前駆時，非赤潮時でぞれぞれ異なった領域に分布していると考えられる。ところで，水温，塩分などの6項目の海況データの相互関係を，一度に同じ図に示すことは出来ない。それで，6項目にそれぞれ固有の値を乗じて，その和（スコア）を求める。[5~6] このようにして，3個のスコアを求めると，これは立体的（三次元）な図として示すことができ，海況データの分布域を比較できるようになる。過去において，赤潮が発生した時の海況データを，この方法で図示したものを“赤潮図”[7~8] と呼んでいる。そして，8月に観測した海況データを上の方法で図示し，その分布位置をみる。これが，*Gymnodinium* 赤潮の前駆海況の赤潮図と比較して，同じような位置に分布しておれば，*Gymnodinium* 赤潮になる可能性があり，別な位置に分布しておれば，*Gymnodinium* 赤潮にはならないと判断出来る。

重回帰分析　赤潮のシミュレーションを行うためには，赤潮現象を数式化することが必要である。しかし，発生機構が解明されていないので，数式化することは難かしい。このような場合に

は，よく重回帰モデルが利用されている[9~10]ので，これを赤潮現象に応用してみた。

すなわち，調査項目のうちから，植物プランクトン量を代表すると考えられるPON を目的変数として，WT，SAL，TDP，DIN，DON をそれぞれ説明変数として選択した。そして，1982年8月と1983年8月1日のデータ（N＝36）により重回帰分析[11~12]を行い，8月の赤潮（PON）の関係式（重回帰式）を求めた。

フーリエ解析　赤潮の関係式を求めるために使用しているWT，SAL，TDP，DIN，DON の未来予測が出来れば，8月の重回帰式にそれぞれ代入することによって赤潮（PON）の未来予測を行うことが出来る。

解析には1983年の五日市沖（St.18）におけるWT，SAL，TDP，DIN，DONのデータを使用した。そして，これら5変数は1年を周期として変動する関数とみなし，フーリエ級数[13]に近似して解を求めた。この解を使用してSt.18における5変数それぞれの8月1日から31日までの毎日の値を推定した。そして，求められた値を8月の重回帰式に代入して，赤潮（PON）のシミュレーションを行った。

結果および考察

赤潮予察システムによって，1983年8月上旬に行った *Gymnodinium* '65年型種の予察について述べる。

判別分析　五日市沖（St.18）における誤判別確率の推移を図3に示した。これまでの解析で

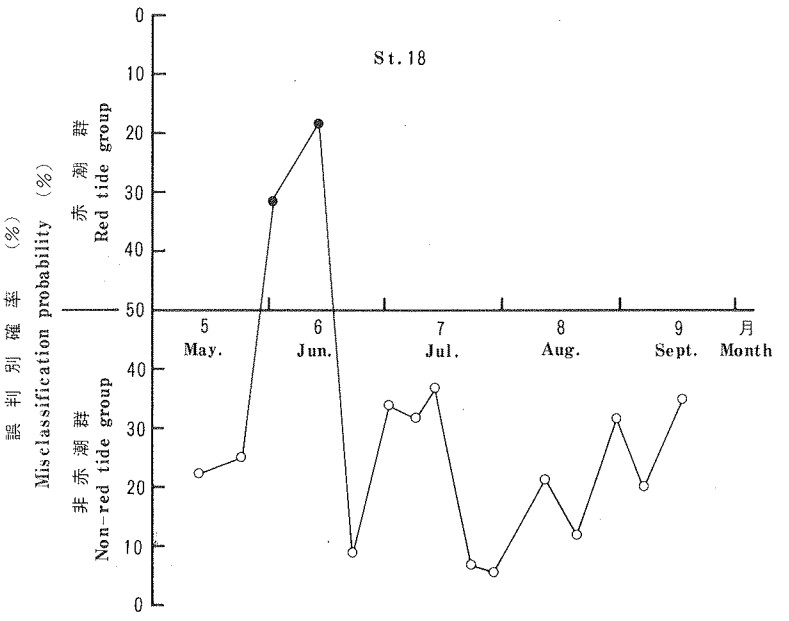

図3.　誤判別確率の推移（○：非赤潮群，●：赤潮群）

Fig. 3.　Changes in misclassification probabilities (○: non-red tide group, ●: red tide group).

非赤潮群に判別され，誤判別確率が増加傾向にあって25%を越えると赤潮になる傾向が認められている。これに該当したのは，5月23日，7月1日，8月29日，9月16日であった。5月23日の場合は6月に *Chaetoceros* 赤潮が発生しており適合していた。7月1日の場合は適合していなかった。8月29日の場合は8月24日に降雨があり，8月26日に小規模な *Skeletonema* 赤潮が発生しており，これは実際には赤潮群から非赤潮群に変化して来たものである。9月16日の場合は10月上旬に広島湾奥部一帯に珪藻赤潮が発生していたことが確認されており，適合していた。

8月1日の時点では，非赤潮群に判別され，誤判別確率は減少傾向にあって10%以下だったので赤潮は発生しないと判定した。

このように，6環境要因（WT，SAL，TDP，DIN，DON，PON）を誤判別確率という1変数に要約して海況の変動を把握することは，赤潮予察を行う際の一つの判断資料となる。

赤潮図　*Gymnodinium* 赤潮が発生しかけているときの赤潮図を図4に示した。これは1977年8月7日と1979年8月20日のデータを同時に示したものである。このことから *Gymnodinium* 赤潮の発生前の海況（前駆海況）は類似した位置にあることがわかった。したがって，観測した海況データの分布が，この前駆海況の分布域に入った後に，栄養塩等の負荷（主に底層から）があれば *Gymnodinium* 赤潮が大発生する好環境になることが推定出来る。これを根拠にして *Gymnodinium* 赤潮の発生予察を行っている。

1983年8月1日の赤潮図を図5に示した。これは明らかに *Gymnodinium* 赤潮の前駆海況（図4参照）と異なっていた。大村湾ではこの種が増殖し始めて赤潮になるのに10日間を要している。このことを考慮して，広島湾では8月11日頃までは大発生しないものと予察した。実際には，8月11日に2調査点の5m層で1,200 cells/mℓ 位まで増殖したが表層では増えず，その後の強風により減少した。この手法による予察は，1980年以降うまく

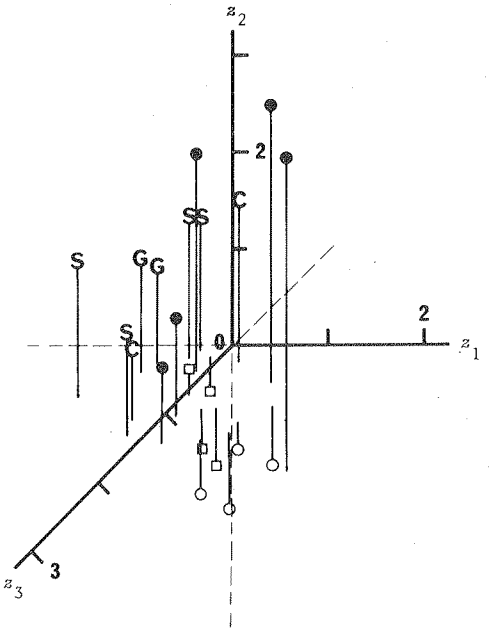

図4.　*Gymnodinium* 赤潮の赤潮図上における前駆スコア（○：1977年8月2日，□：1979年8月20日，**C**：キートセロス，**G**：ギムノディニウム，**L**：レプトシリンダラス＋スケレトネマ，**S**：スケレトネマ，●：PON>250 μg/ℓ）

Fig. 4.　The distribution of scores which observed just before *Gymnodinium* type '65 red tide in 1977 and 1979 on the red tide map (○: stations on 2 August 1977, □: stations on 20 August 1979, **C**: *Chaetoceros*, **G**: *Gymnodinium*, **L**: *Leptocylindrus* +*Skletonema*, **S**: *Skeletonema*, ●: PON> 250 μg/ℓ)

適合している。

赤潮のシミュレーション　年によって海の環境は異なるので，当年の海況が反映するように，1982年8月と1983年8月1日のデータによって重回帰式を求めたところ

$$PON = 974.76 - 27.63\,WT - 13.99\,SAL + 2.61\,TDP - 0.23\,DIN + 1.10\,DON$$

が得られた。水温，塩分，TDP，DIN，DONの5説明変数の未来予測が出来れば，先の重回帰式に代入することによって，赤潮（PON）のシミュレーションが可能になってくる。そこで，説明変数の未来予測をフーリエ解析を応用して行い，1983年8月の五日市沖（St. 18）における赤潮のシミュレーション結果を図6に示した。PONの予測値と実測値との差は－19～13 μg/ℓ の範囲にあり，よく適合していた（図6）。この程度の誤差であれば，今後は誤差の比較的大きかった塩分，TDP，DINの予測精度の向上を図ることによって，3～4週間程度の未来予測は可能になってくる。

以上のように，広島

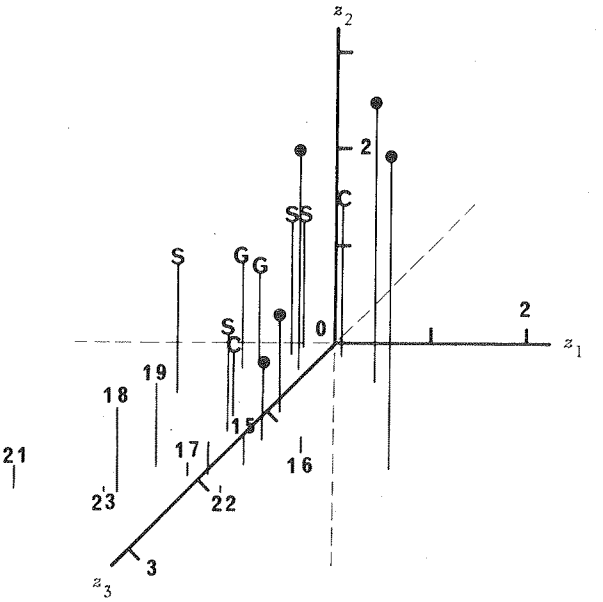

図5.　1983年8月1日の赤潮図（数字は調査点番号，他の記号はFig.4と同じ）

Fig. 5.　Red tide map on 1 August 1983 (Numeric shown station's number, other symbols as in Fig. 4).

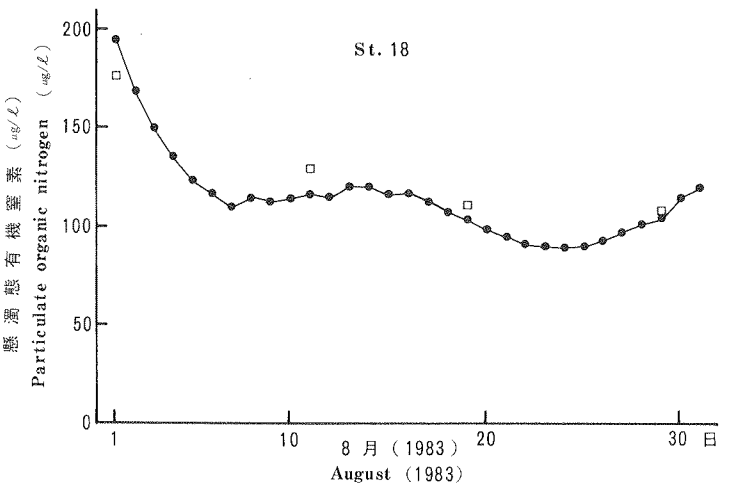

図6.　PONのシミュレーション結果と実測値（●：推定値，□：実測値）

Fig. 6.　Results of PON simulation and observed data (●: estimated PON, □: actual PON).

湾奥部の *Gymnodinium* 赤潮の予察には赤潮図，判別分析，PONのシミュレーションが有効であることが判明した。また，赤潮予察に関して残された問題点は分析時間の短縮化である。海況観測から赤潮予察を行うまでに，4～5日かかっているが，その大部分は分析に要している。さらに，赤潮の発生機構の解明は不可欠であり，これが不明のままでは適切な予察手法の開発は難かしい。また，15年と長期に及ぶプランクトン調査データの有効な利用法を考える必要がある。赤潮プランクトンの“種”は海底で越冬すると思われるが，赤潮時期（5～9月）に浮上してくる量を簡単に把握する手法が開発されれば，予察の精度も向上すると思われる。これまで行われている予察は1例を除くと，すべてが環境データによるもので，一日も早く赤潮プランクトンを用いた予察手法を実用化する必要がある。赤潮は複雑な現象ではあるが，地道にデータを積みあげて一日も早く問題点を解決しなければならない。

要　　約

広島湾奥部で1976年から実施している赤潮予察調査データを使用して，多変量解析法を主体とした赤潮予察システムを開発した。

1. 主成分分析を応用した赤潮図により，*Gymnodinium* 赤潮の前駆海況と当年8月上旬の海況とを比較して赤潮予察を行った。これまでのところ良好な結果を得た。
2. 赤潮（PON）を水温，塩分，窒素，リンで数式化したところ，良好な関係式が得られた。
3. フーリエ解析と重回帰モデルとを組み合わせて赤潮（PON）のシミュレーションを行った。PONの予測値は実測値によく適合していた。

文　　献

1）大内　晟・高山晴義：赤潮予知に関する試み．瀬戸内海赤潮予察調査（昭和51，52年度水産庁研究報告書），133－143（1978）．

2）大内　晟：広島湾奥部における赤潮予報研究の現状，沿岸海洋研究ノート，**20**，33－42（1982）．

3）応用統計ハンドブック編集委員会編：応用統計ハンドブック．養賢堂，東京，1980，pp. 378－390.

4）鈴木久子・大石展緒・荻律好文：需要予測の技法．日刊工業新聞社，東京，1972，pp. 225－240.

5）奥野忠一・久米　均・芳賀敏郎・吉澤　正：多変量解析法，日科技連，東京，1974．pp. 159－257.

6）中村正一：多変量解析入門，日刊工業新聞社，東京，1979，pp. 79－105.

7）大内　晟・高山晴義：主成分分析による赤潮図について．日水誌，**47**，1275－1279（1981）.

8）大内　晟・高山晴義：赤潮図による *Gymnodinium* ’65年型種赤潮の予察について．日水誌

投稿中.

9）大内　晟：重回帰式による赤潮発生予測. 日水誌, **48**, 1245－1250（1982）.

10）大内　晟・楠木　豊・高山晴義：珪藻赤潮の重回帰式と海域区分について. 日水誌, **49**, 867－873（1983）.

11）奥野忠一・芳賀敏郎・矢島敬二・奥野千恵子・橋本茂司・古河陽子：続多変量解析法. 日科技連, 東京, 1976, pp. 17－75.

12）河口至商：多変量解析入門. 森北出版, 東京, 1978, pp. 3－33.

13）E. O. BRIGHAM：高速フーリエ変換（宮川洋・今井秀樹訳）, 科学技術出版社, 東京, 1979, pp. 166－251.