

豊前海の貧酸素水塊形成と降水量との関係

神菌 真人・江藤 拓也・荒田 敏生
(豊前海研究所)

Relationship between Formation of Oxygen-Deficient Water
and Precipitation at the Buzen Sea in the Suo-Nada

Masato KAMIZONO, Takuya ETOH and Hisao ARATA
(Buzenkai Laboratory)

豊前海は周防灘の西部に位置する海域で、岸から沖に向かって緩やかな海底傾斜をもち、平均水深10.2mの非常に浅い海域である。海底はその大部分をシルト質と粘土質の堆積物で覆われており、底泥の泥分率は90%以上となっている。^{*1} 海域に流入する河川は1級河川の山国川を含め16河川あり、年間流量は約10億トンと推定される。

当該海域では夏季、底層において貧酸素水塊が形成されることが多く、¹⁾ このことは有害赤潮の発生とも関連し、^{2, 3)} 直接、間接に漁業被害をもたらしており、その対策が急務となっている。

このような状況を受け、我々は現在豊前海における貧酸素水塊形成機構を解明し、その発生を予察する数値モデルの開発を目的とした研究をすすめている。貧酸素水塊は下層での酸素濃度の低下によって形成され、上層からの酸素供給速度と下層での酸素消費速度の均衡によって決まると考えられる。上層からの酸素供給速度は海域での成層の強さに支配され、下層での酸素消費速度は下層に供給される有機物質の量によって支配されると考えられる。閉鎖的な海域に降雨による多量の淡

水が供給された場合、それに伴って密度成層が形成されたり多量の栄養塩類や有機物質が海域に供給されることが推察される。ここでは1991年と'92年夏季に行った調査の結果から、豊前海における貧酸素水塊形成と降水量との関係について整理し、豊前海の貧酸素水塊形成に係る降雨の果す役割について考察した。

本論文のご校閲をいただいた南西海区水産研究所赤潮環境部海況動態研究室長、本城凡夫博士に謝意を表します。

調査方法

調査点を図1に示す。'91年と'92年の6月から9月にかけて原則として1週間毎に現地調査を行った。全調査点でSTD(アレック電子株, AST-1000M)を使い0.5m深毎の水温、塩分を測定するとともに、DOメーター(Y S I社, M58)を用いて表層(0.5m深)、中層(5m深)および底層(底上0.5m)の溶存酸素(DO)を測定した。さらに、'91年にはStn. 2, 5, 6, 11, 12の5測点で、'92年にはStn. 4, 10, 12の3測点で表層と底層の2層からバンドーン採水器を使用

*1 水産庁：昭和59年度漁場改良復旧基礎調査報告書 周防灘・大阪湾、1985。

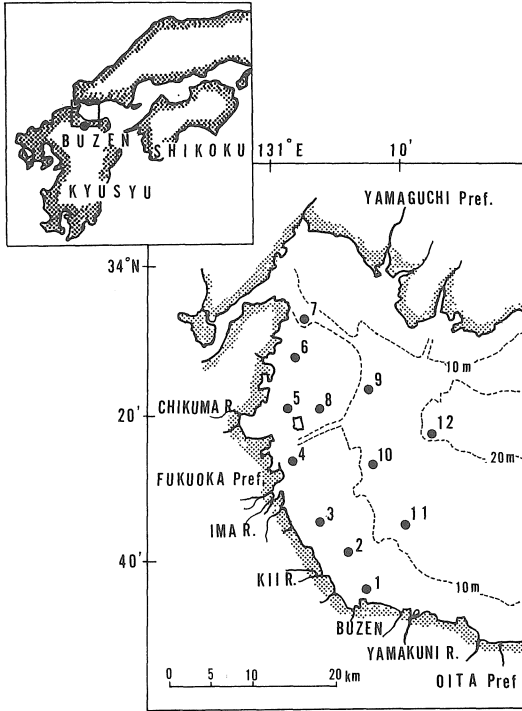


図1 調査海域の概要と調査点、等深線を点線で示す。

して採水を行い、実験室に持ち帰り、磷酸態リン ($\text{PO}_4\text{-P}$) とクロロフィル a (Chl. a) の測定を行った。^{4, 5)} 気象資料は当研究所における観測資料を用いた。

結 果

1. 1991年と'92年における貧酸素水塊形成状況

'91年の各観測日における底層水DO濃度の水平分布を図2に示した。貧酸素水塊は6月25日から7月23日にかけて10m以浅の沿岸域を中心として形成されていた。分布の特徴として岸に近いほど底層水のDO濃度が低下しており、この時期に貧酸素水塊が岸近くで発達したことが分かる。同時期における沖合での底層水DO濃度は高い状態で維持されていた。8月以降には10m以深の沖合でも底層水DO濃度は低下したが、7月の沿岸域での底層水DO濃度と比べて高い値を示しており、沿岸域と比べて沖合での貧酸素化の程度は低いといえる。'92年の底層水DO濃度の水平分布を図3に示す。底層水DO濃度は7月の各観測

日と8月11日に極めて狭い範囲で 4 mg/l 以下の値がみられるほかは高い値で推移しており、観測期間中顕著な貧酸素水塊形成は観察されなかった。

以上の結果から、'91年は貧酸素水塊形成年、'92年は非形成年であったといえる。

2. 観測時の水塊構造

(1) 水温・塩分

'91年の観測で貧酸素水塊は主に沿岸域に形成されていた。そこで、沿岸域に位置するStn. 4における'91年と'92年の観測期間の水温と塩分の鉛直分布図を図4に示した。

'91年では6月中旬から7月中旬にかけ水温、塩分とも成層を形成しており、躍層は水温、塩分とも約5m深に位置していた。7月29日に対馬海峡を通過した台風9号により鉛直混合が起こり、7月30日の観測で躍層は消滅していた。一方、'92年では7月中旬の水温に成層構造がわずかにみられるだけで、塩分成層はほとんど形成されなかった。両年の観測期間の鉛直安定度の時系列変化を図5に示した。鉛直安定度は底層の密度差を水深(m)で除した値であり、値が大きいくほど密度成層が発達していることを示す。'91年における鉛直安定度は特に7月の値が大きく、密度成層が発達していたことを示す。一方、'92年には観測期間中それほど大きな値にならず、'91年と比較すると密度成層は弱かった。'91年の場合は、いわゆる成層構造の強化という貧酸素水塊形成のための物理的条件が強く、'92年には弱かったといえる。

(2) 栄養塩・クロロフィル

'91年と'92年の沿岸域での夏季の栄養塩濃度や一次生産力について検討するため、 $\text{PO}_4\text{-P}$ を6~7月の観測における表層と底層の測定値で、Chl.aを6~7月の観測における表層の測定値からそれぞれ平均値を求め、図6に示した。但し、両年の $\text{PO}_4\text{-P}$ とChl.aの測点が異なるため、'91年の値はStn. 5、'92年の値はStn. 4における値を使用した。Stn. 4とStn. 5は共に沿岸域に位置し、隣接した観測点であり、過去の海洋観測の結果からも栄養塩やChl.aの夏季の測定値

豊前海の貧酸素水塊形成と降水量の関係

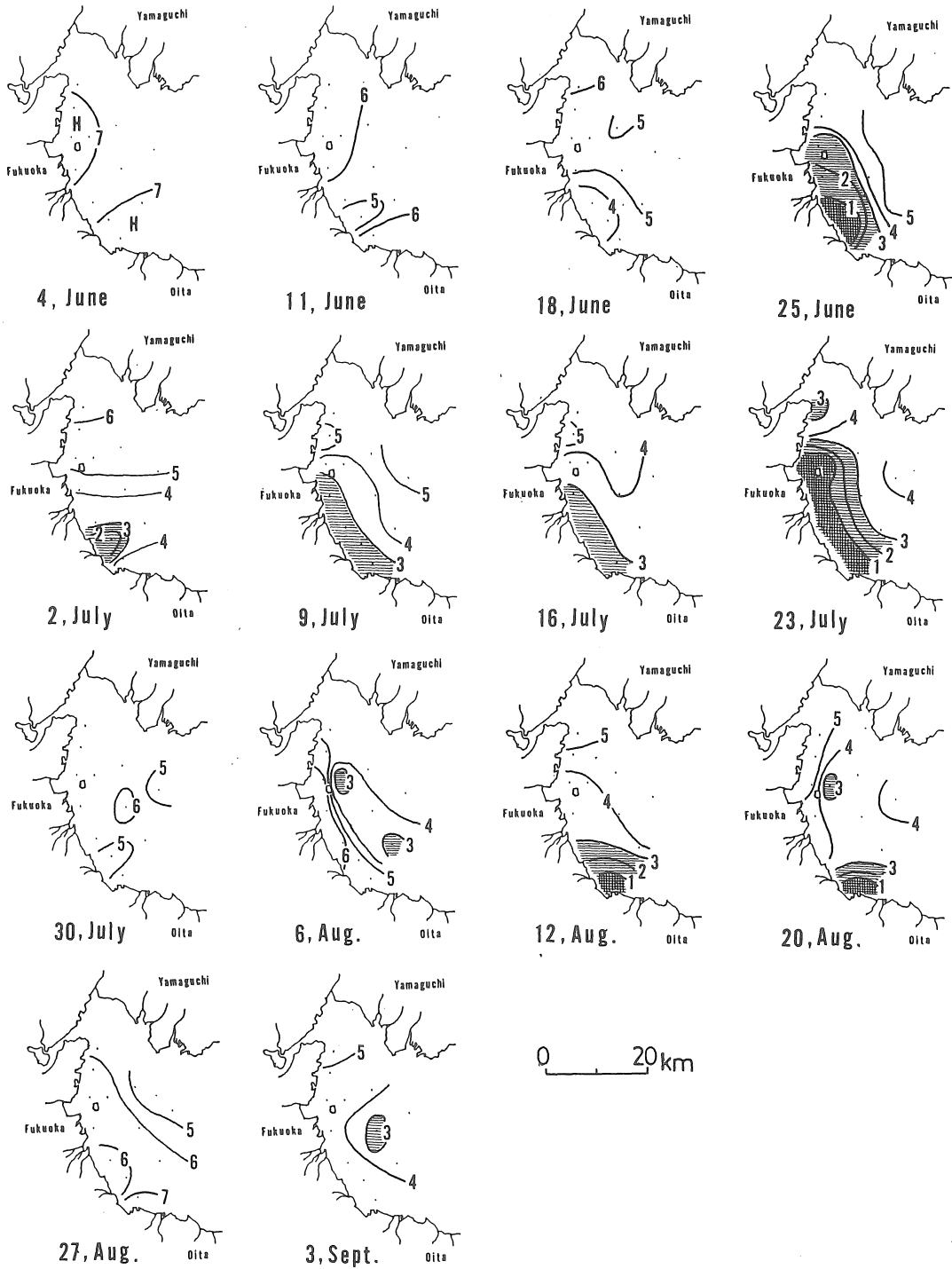


図2 1991年の各観測日における底層DO (mg/l)の水平分布。3 mg/l以下の海域を縞模様で示す。

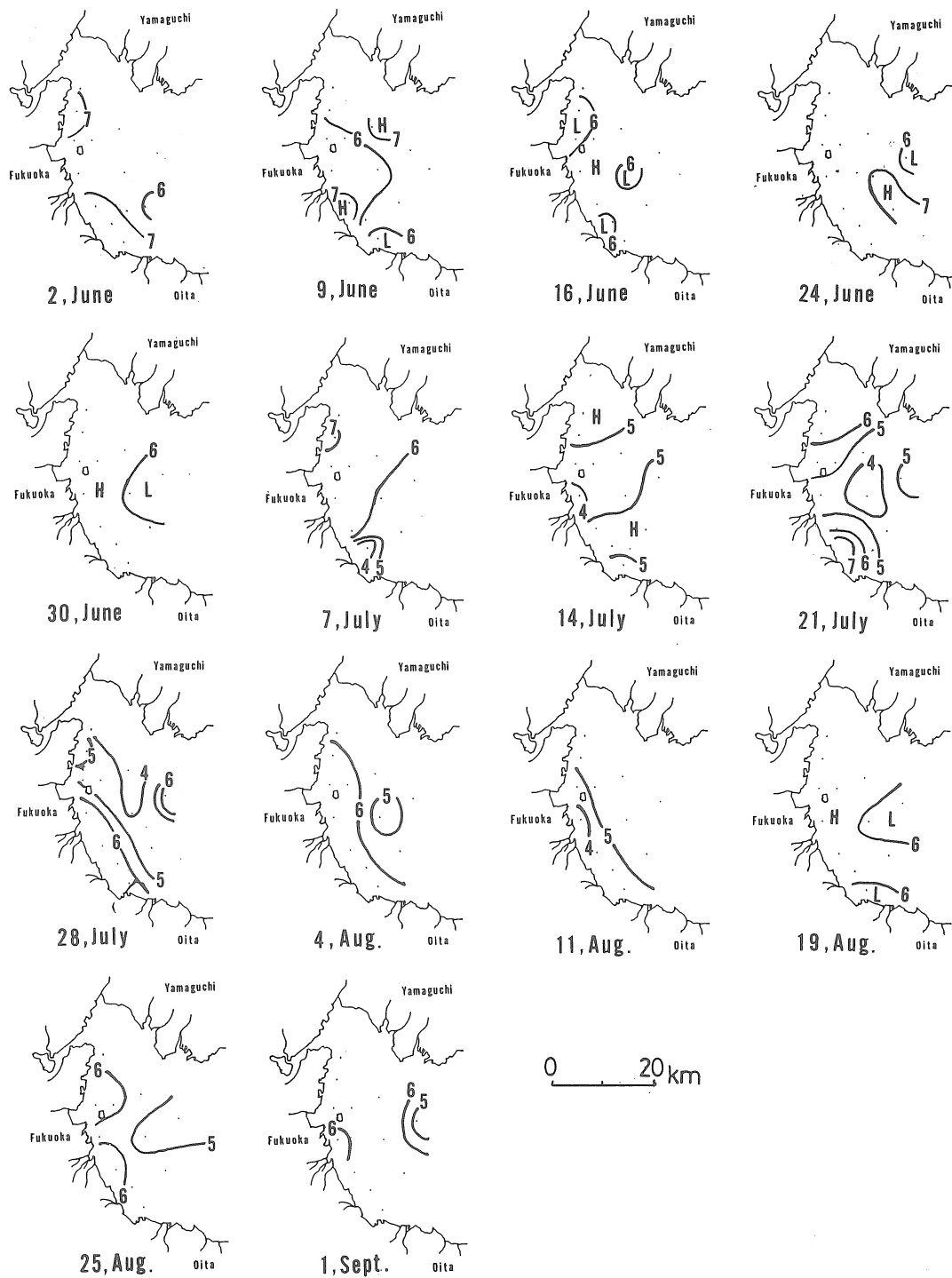


図3 1992年の各観測日における底層DO (mg/l) の水平分布。

に大きな差異は認められないことから⁶⁾、Stn. 4とStn. 5の測定値を用いて、'91年と'92年における沿岸域での栄養塩濃度や一次生産力の比較を行っても差し支えないと考えた。PO₄-Pの値をみると'91年の0.18 μg·at/lに対して'92年の値は0.08 μg·at/lで、'91年の値の約半分であった。一方、Chl.aについてみると'91年の10.8 μg/lに対して'92年の値は4.2 μg/lで、同様に'91年の値と比較すると低かった。'92年と比較して'91年は沿岸域において栄養塩量が多く、

またChl.a濃度も高いことから、一次生産力が大きかった。

当研究所において観測した'91年と'92年の6～7月の積算降水量と積算日照時間を図7に示した。'91年の6～7月の積算降水量は約680 mmであるのに対して'92年のそれは約300 mmで、'91年の降水量の半分以下であった。ちなみに過去30年間(1958～1987年)の6～7月の積算降水量を平均した値は約470 mmである。日照時間は'91年の384時間に対して'92年の値は487時間

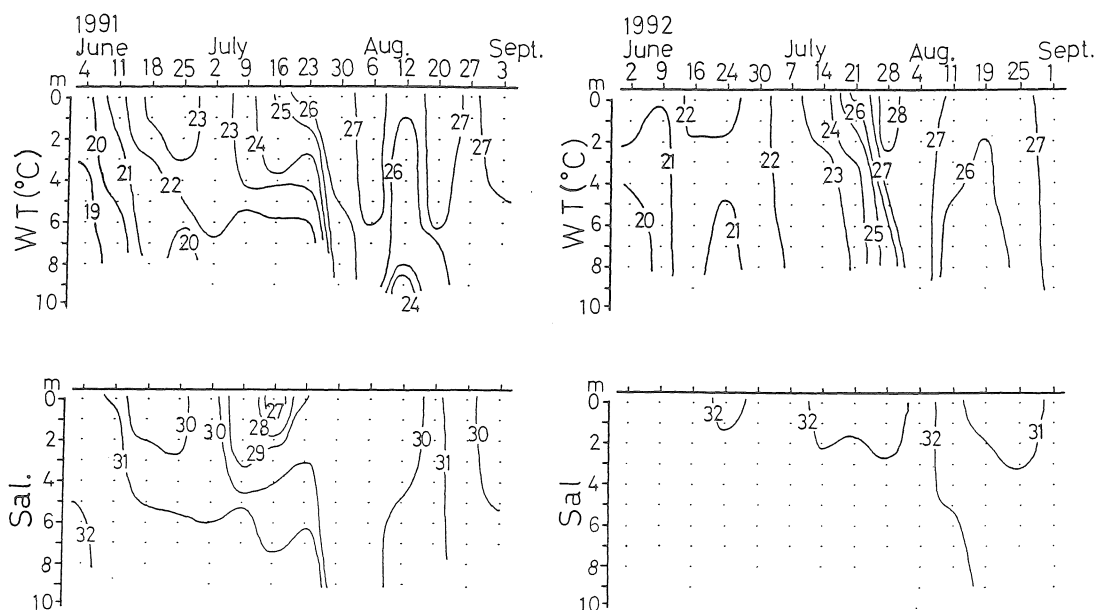


図4 Stn. 4における水温と塩分の鉛直分布

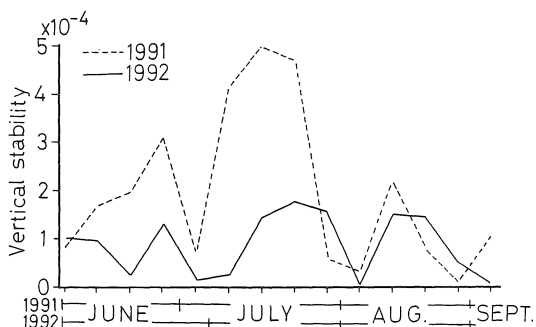


図5 Stn. 4における鉛直安定度の時系列図。
鉛直安定度 = $10^{-3} \times (\text{下層と上層の密度差} ; \sigma_t) / (\text{水深の差} ; m)$

で、'92年の方が約100時間長かった。

考 察

水温と塩分の鉛直分布図を図4に示したが、降水量の多かった'91年には顕著な塩分成層がみられ、表層と底層の塩分差は最大で4.3であった。一方、降水量の少なかった'92年にはほとんど塩分成層はみられず、表、底層間の塩分差も最大で1.5程度であった。一方、水温をみると'91年の観測期間の表、底層間の水温差は最大で4.8℃、'92年のそれは2.9℃であった。密度計算を行う場合、この時期の水温範囲では、塩分1の違いに

よる密度の違いは水温 3℃ の違いによる密度の違いに相応する。'91 年の鉛直的な最大水温差 4.8℃ に対して塩分差は 4.2 であり、'91 年の密度成層に塩分値が大きく寄与していたことがわかる。'91 年には夏季の降水量が多く、結果として多量の淡水が海域に流入し、顕著な密度躍層が形成され、貧酸素水塊形成のための物理的条件が強化されたことが、'91 年夏季に顕著な貧酸素水塊が形成された一つの条件になったものと考えられる。

ところで、貧酸素水塊が形成されるためには物理的側面からの成層構造の強化とともにその他の条件による下層での酸素消費速度の増加が必要であると思われる。表 1 に '91 年と '92 年の 6 ~ 7 月の降水量から推定した河川由来の栄養塩類の流入負荷量を示している。表 1 から貧酸素水塊が発達し、かつ降水量の多かった '91 年には流入負荷量も多いことが認められる。ここで、以下のような貧酸素水塊形成に係わる一連の過程が推察された。多量の降雨があれば、①河川流量が多くなり、それに伴って海域に流入する栄養塩量や有機物質も多くなる。②流入した栄養塩は海域の栄養塩濃度を高め、その結果、一次生産力を高める(図 6)。③海域での流れが弱い場合、河川由来の多量の有機物質や一次生産に由来するデトリタスの

大部分は沿岸域の下層に沈降する。④沿岸域は水深が浅いため大部分のデトリタスが未分解のまま沈降し、下層で分解され、酸素を消費する。'91 年にはこの過程の進行が強く、顕著な貧酸素水塊が形成されたものと考えられる。

以上のように夏季における多量の降雨は貧酸素水塊形成のための物理的条件を強化しただけでなく、下層での酸素消費速度の増加という、生物・化学的条件をも強化し、貧酸素水塊形成を促進したと考える。

表 1 '91年と'92年の6月と7月の降水量から推定した河川由来の栄養塩負荷量(トン)

| | TN | DIN | TP | PO ₄ -P |
|------|-------|-----|------|--------------------|
| 1991 | 1,685 | 354 | 54.3 | 29.7 |
| 1992 | 731 | 153 | 23.6 | 12.9 |

次に、どの程度の降雨があれば豊前海での貧酸素水塊形成の条件が強化されるのかを推定するために、'75年から'92年の夏季の降水量と底層水の DO 濃度との関係を図 8 に示す。横軸の値は各年における 6 ~ 7 月の積算降水量である。縦軸の値は毎月行っている図 1 に示す 12 測点での観測に基づく底層 DO 測定値のうち、7 月に最も低い値を示した測点での値と 8 月に最も低い値を示した測点での値を平均したものである。7 月と 8 月の値を選択したのは、7 月に降った雨が翌月の底層水の DO 濃度に影響すると考えたからである。DO 濃度 2 ml/l 以下を貧酸素水塊と定義すると 1979, '80, '84, '85, '86, '87 および '91 年の DO 濃度がこれに該当する。このうち '84 年を除く他の年では、6, 7 月の積算降水量が 500 mm 以上となっている。このように、6, 7 月の積算降水量が 500 mm を越えることが豊前海での貧酸素水塊形成の物理的条件および生物・化学的条件を強化する一つの目安になると考えられる。

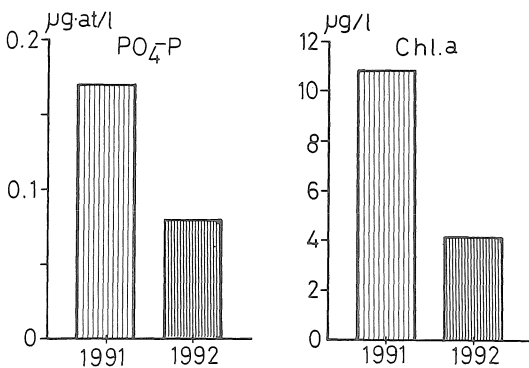


図 6 '91年と'92年の夏季沿岸域における PO₄-P と Chl.a の平均値の比較。

PO₄-P は 6 ~ 7 月の観測における表層と底層の測定値を、Chl.a は 6 ~ 7 月の観測における表層の測定値からそれぞれ平均値を求めた。但し、'91 年は Stn. 5、'92 年は Stn. 4 における値を使用した。

要 約

豊前海における貧酸素水塊形成と降水量との関係について整理し、貧酸素水塊形成にかかる降雨

豊前海の貧酸素水塊形成と降水量の関係

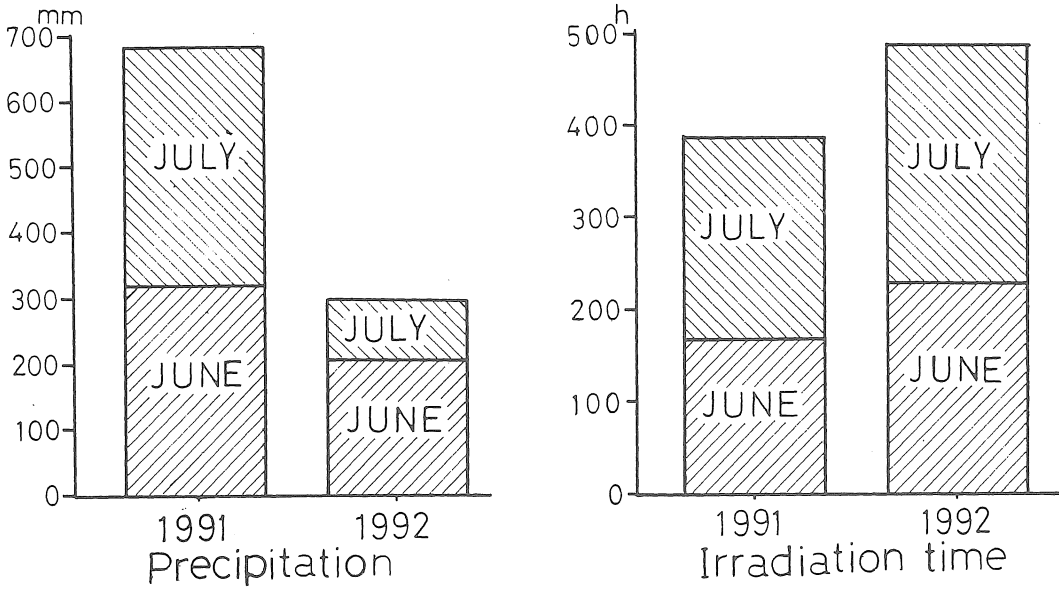


図7 豊前海研究所で測定した1991年と'92年の6～7月の積算降水量と日照時間の比較。

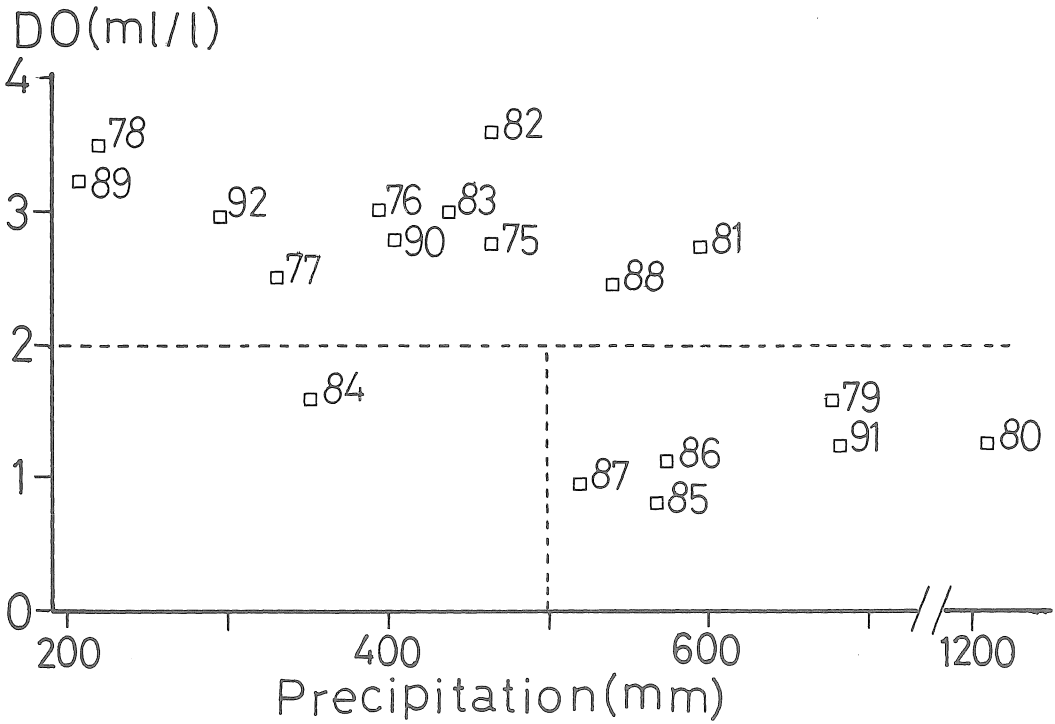


図8 1975～'92年の豊前海の夏季における底層DO濃度と降水量との関係。
降水量は6～7月の積算降水量、底層DO値は毎月行っている図1に示す12測点での観測に基づく底層DO測定値のうち、7月に最も低い値を示した測点での値と8月に最も低い値を示した測点での値を平均したものである。

の果たす役割について考察を行った。

夏季に多量の降雨があった場合

- 1) 淡水流入に伴う密度成層が強化され、貧酸素水塊形成のための物理的条件が強くなる。
- 2) 河川から多量の栄養塩が負荷され、結果として海域の一次生産力を高める。河川由来の有機物質を含め、一次生産に由来するデトリタスなどの大量の有機物質が下層に沈降し、下層での酸素消費速度を高める。

豊前海では上記の条件を強化する降水量の目安として、6、7月の積算降水量が500mm以上であると推定された。

文 献

- 1) 神菌真人・吉田幹英・荒田敏生：周防灘の貧酸素水塊，福岡県豊前水産試験場研究報告，第4号，185 - 197 (1991)
- 2) 飯塚昭二・入江晴彦：大村湾における *Gymnodinium* 赤潮発生と海底無酸素化現象との関連，日本プランクトン学会報，16，99 - 115 (1969)
- 3) 田森裕茂・岩男昂・神菌真人・吉田幹英・池田武彦・馬場俊典・小泉喜嗣・内間満明・三浦秀夫・矢沼隆：西部瀬戸内海における *Gymnodinium nagasakiense* の初期出現域とその環境特性，日水誌，57，2179 - 2186 (1991)
- 4) C. J. LORENZEN : Determination of chlorophyll and pheo-pigments : spectrophotometric equations, *Limn. & Oceanogr.*, 12, 343 - 346 (1967)
- 5) STRICKLAND, J. D. H. and PARSONS, T. R., : A Practical Handbook of Seawater Analysis. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, Bulletin No. 167 - 1972
- 6) 神菌真人：周防灘西部の海況 - II，昭和58年度福岡県豊前水産試験場研業報告，201 - 220 (1985)