

# 広島湾における夏季の河川流量変化の 栄養塩分布への影響\*

湯浅一郎\*\*・上嶋英機\*\*・宝田盛康\*\*・橋本英資\*\*

## Effect of river discharge variation in summer on the distribution and behavior of nutrients in Hiroshima Bay

Ichiro YUASA\*\*, Hideki UESHIMA\*\*, Moriyasu TAKARADA\*\*  
and Eisuke HASHIMOTO\*\*

### Abstract

Observation of distributions of temperature, salinity and nutrients was carried out once a week from June to August 1980 in Hiroshima Bay in order to investigate the response behavior of nutrients to river discharge in summer.

It was found that as river discharge increased, nutrient content of surface water rapidly increased whereas that of lower layer decreased within a short period of time. The latter behavior is presumably due to uptake by phytoplankton. Looking throughout the period of observation, however, nutrient content in the lower layer gradually increased.

Average residence time of the nutrients is 30 to 40 days, appreciably longer than that of fresh water, i. e. 14.4 days. Chemical and biological processes are believed to be the cause of this difference.

### 1. はじめに

梅雨期などにみられる河川出水時には、一時的に大量の河川水が海域に流入するが、それによる塩分分布の変動や河川系水に含まれて流入した栄養塩の分布と挙動について詳細に扱った報告は少ない(八木ほか, 1978; 鈴木・湯浅, 1980)。そこで著者らは、広島湾奥部に位置する太田川と湾北部海域に着目し、出水が連続して起こる梅雨期を対象とした現地観測を行った。湯浅ほか。

(1990)では、河川水流出量と湾内淡水保存量との対応関係について報告した。本報では、それをふまえて栄養塩の分布や存在量の変化及び挙動について報告する。

### 2. 方 法

#### 2-1. 観 測

測点を Fig. 1 に示す。観測は1980年6月12日から8

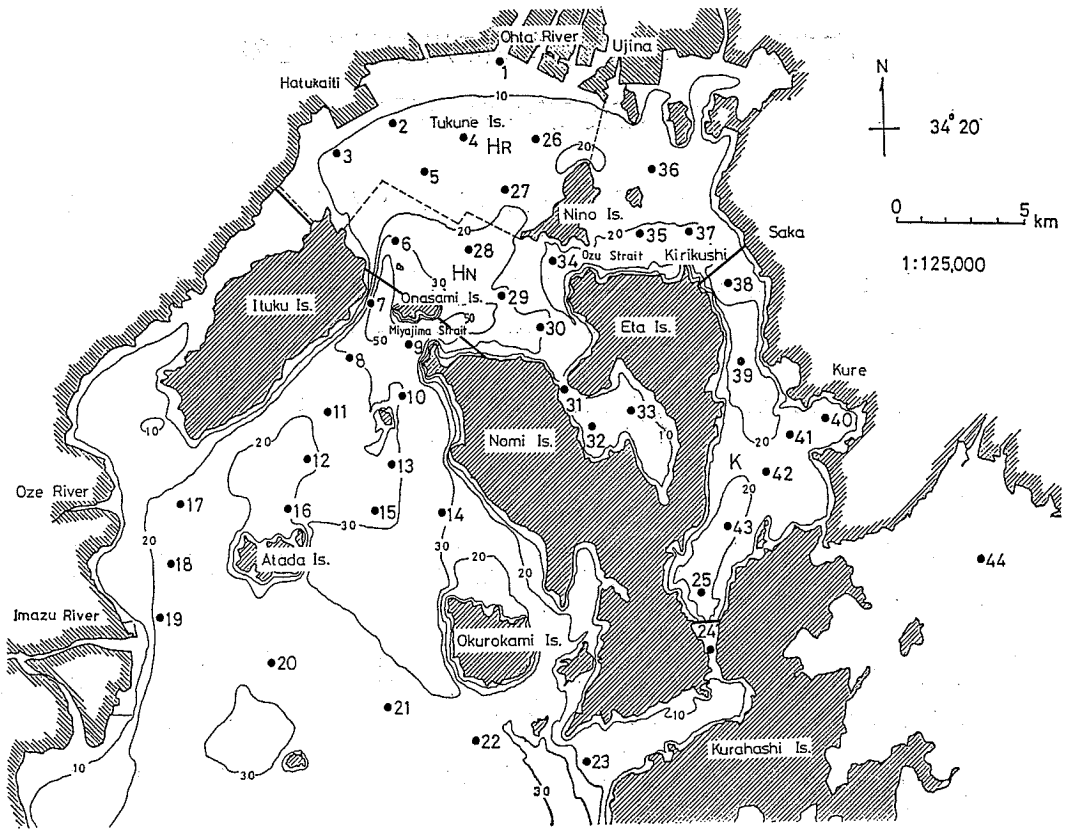
月21日まで、おおむね週1回の割合で計10回行った。本文中の観測番号 No. 1~10 は、Table. 1 のとおりである。

観測方法は湯浅ほか(1990)とほぼ同じで、0, 2, 5, 10, 底上1mの5層について採水を行い、冷蔵庫に入れてもちかえった試料を0.45 $\mu$ m ミリポアフィルターでろ過し、ろ水を分析に供した。測定項目はアンモニア態窒素(NH<sub>4</sub>-N)、硝酸態窒素と亜硝酸態窒素の和{(NO<sub>2</sub>-N)+(NO<sub>3</sub>-N)}、及びリン酸態リン(PO<sub>4</sub>-P)であり、分析法は順にインドフェノール法、カドミウム銅還元法、アスコルビン酸法で、無機3態窒素 DIN は、アンモニア態窒素と硝酸態窒素、亜硝酸態窒素の和として求めた。また溶存酸素飽和度を EIL 7135 により測定した。水温、塩分、透明度の観測法については湯浅ほか(1990)で述べた通りである。

更に夏季との比較を行うため、1980年12月17日、1981年2月10日の冬季にも同様の観測を行った。なお No. 6 で DIN が、No. 7 では PO<sub>4</sub>-P がそれぞれ欠測となっている。

\* 1990年2月13日受理

\*\* 中国工業技術試験所 Government Industrial Research Institute, Chugoku, Kure City, Hiroshima 737-01, Japan.



Fsg. 1. Observation stations in Hiroshima Bay. Thin line shows the contour of depth in meter. Thick solid line shows the boundary of HN(Northern part of Hiroshima Bay or K(Kure Bay)). Dotted line shows the boundary of HR(River effluent area).

### 2-2. 栄養塩現存量の推算法

対象水域における栄養塩現存量を求めるため、湯浅ほか(1990)の Fig. 3 と同様に各測定点を代表点とするボックスをとり(ただし栄養塩は宮島瀬戸より沖側では毎回は測定していない)、各ボックスごとに水深を3層(0~5m, 5~10m, 10m~海底面)にわけ、各層別に栄養塩現存量を求めた。更に地形的要素を考慮して、湾北部 HN、呉湾K及び太田川河川水影響域 HR の3水域について現存量を求めた。各水域の境界は Fig. 1 に示した。

1, 2) は太田川河口付近に  $1\mu\text{g-at/l}$  以上の海域が若干みられたが、全域的には  $0.3\sim 0.5\mu\text{g-at/l}$  の範囲にあっ

Table 1. Date of observations.

No.	observation date
No. 1	12 June 1980
2	18 June 1980
3	25 June 1980
4	3 July 1980
5	10 July 1980
6	16 July 1980
7	22 July 1980
8	1 Aug. 1980
9	11 Aug. 1980
10	21 Aug. 1980

### 3. 観測結果

#### 3-1. 栄養塩の水平分布

Fig. 2 に、観測日ごとの表層における  $\text{PO}_4\text{-P}$  の水平分布図の代表的なもの3例を示した。6月12, 18日(No.

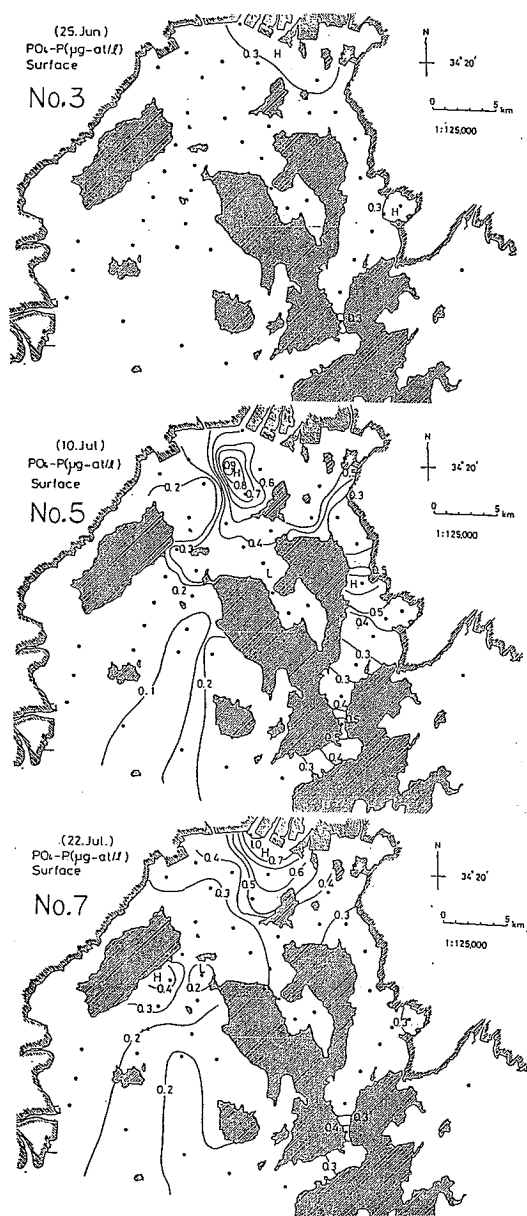


Fig. 2. Distribution of surface phosphorus ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ) from 12 June to 21 Aug. 1980 in Hiroshima Bay.

た。6月25日 (No. 3) になると全体的にやや減少し、その後、降雨に伴う河川流量の増加にもかかわらず、湾奥部を除けば高濃度域の範囲は必ずしも拡大していない (No. 5, 7 など)。特に No. 5 は、観測期間中最も低塩分化した時で、湾全域に塩分20以下の低塩分水が分布し

ていたが、 $\text{PO}_4\text{-P}$  が  $0.5 \mu\text{g-at/l}$  以上の海域は湾奥部の中央付近と呉水道から呉湾に分布しているだけで、それ以外は  $0.2 \mu\text{g-at/l}$  前後とかなり低濃度を示した。ちなみに宮島瀬戸以南では全期間を通して  $0.3 \mu\text{g-at/l}$  以下と比較的低い濃度しかみられなかった。

分布の経時変化をより見易くするために、Fig. 2 をもとに窒素  $3 \mu\text{g-at/l}$ 、リン  $0.5 \mu\text{g-at/l}$  の等値線の変動状況を見たのが Fig. 3 である。6月中は窒素、リンとも陸岸より  $4\sim 5 \text{ km}$  沖合に等値線がある。この線より陸岸側は、赤潮の慢性的発生海域となっている (広島県, 1981)。

7月3~10日、河川流量の増加に伴って等値線はやや沖へ移動するが、宮島瀬戸をこえるところまでは行かない。

### 3-2. 栄養塩の鉛直分布

観測期間を通しての栄養塩の鉛直分布を Fig. 4 に示す。a) Stn. 4 (津久根島)、b) Stn. 38 (天応沖) は、それぞれ対象水域で最も富栄養化が著しい湾奥及び呉湾を代表するものとして選ばれた。

Stn. 4 では表面からの加熱のため、6月には表底層に  $6^\circ\text{C}$  の水温差ができたが、7月初めの天候悪化で海面が冷却され、10日には一時的に表底層の温度差は約  $3^\circ\text{C}$  まで小さくなった。表層の塩分は6月末から7月一杯、10~20と低く、湾奥では塩分が密度成層の主要な因子となっている。

これらに対して、6月末から7月10日の期間を除いて、表層の  $\text{PO}_4\text{-P}$  は  $0.2 \mu\text{g-at/l}$  台と、測点が河口近くに位置するにもかかわらず低い値のまま推移している。しかしながら下層 (10m以深) には  $0.5 \mu\text{g-at/l}$  以上の高濃度水が分布し、この濃度は7月を通じて徐々に増加している。DIN についても同様の变化傾向がみられ、特に7月16日以後、下層において急激に高濃度化している。

一方、呉水道の天応沖 (Fig 4 b)) でも、5m層までに急激な水温・塩分躍層がみられた。特に7月10~22日には表層に塩分25以下の呉湾としては低塩分水塊がみられ、密度成層にとって塩分が支配的な要因となっている。

窒素、リン共に表層では観測期間を通して濃度が一貫して低いのに対し、下層は徐々に増加している。特に7月3日に表層塩分が低下し、その約2~3週間後に、下層に高濃度の栄養塩が認められる点は注目される。

### 3-3. 栄養塩現存量の推移と平均滞留日数

2-2 で定めた方法にもとづいて求めた水域別、層別の

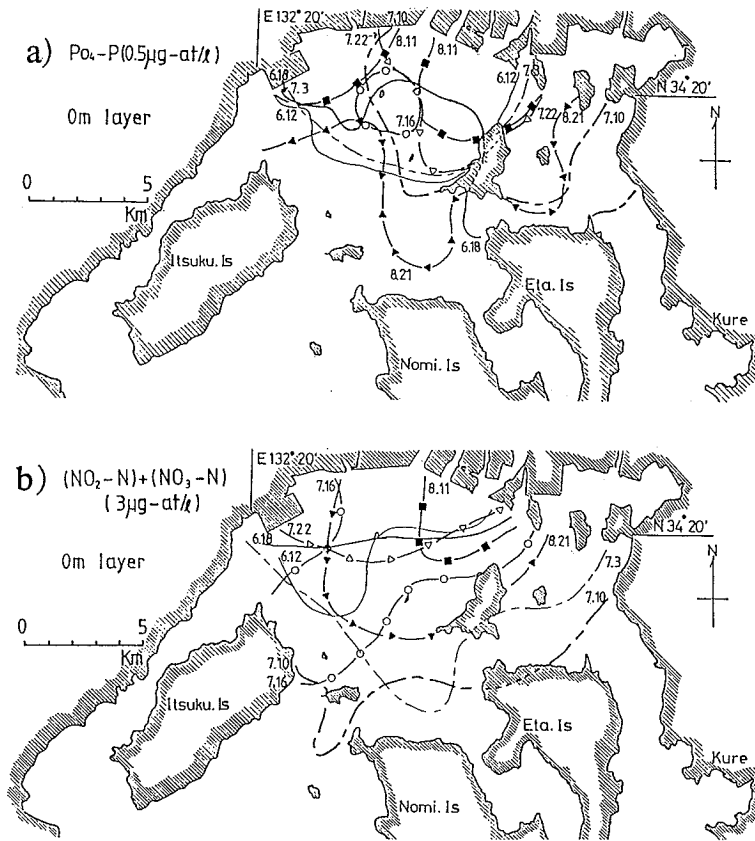


Fig. 3. Variation of nutrient contour on surface water. a) PO<sub>4</sub>-P, 0.5 µg-at/l. b) (NO<sub>2</sub>-N)+(NO<sub>3</sub>-N), 3 µg-at/l.

窒素, リン現存量の推移を Fig 5 に示した。まず DIN について述べると, H<sub>N</sub>, H<sub>R</sub> の表層では, 6月25日 (No. 3) から7月3日 (No. 4) に急増し, それが10日まで持続した後, 2週間後の7月22日 (No. 7) には6月末の量にまで減少している。これに対し5~10m, 10m~海底面では, 7月10日 (No. 5) に現存量の極大があらわれた後一旦減るが, 8月に入り再び増加している。呉湾Kでは, DIN の表層のピークは7月10日と H<sub>N</sub> よりやや遅れて出現する。10m以深では, 6月には20トン程度なのが, 8月末の No. 10ではその約4倍にまで増え, 下層に栄養塩が蓄積されている。

一方 PO<sub>4</sub>-P は, 各水域とも表層の現存量が少なく, 太田川の影響をうける H<sub>R</sub> でも DIN にみられた7月上旬の出水による増加はあまり顕著ではない。しかし10m以深の現存量は DIN と同様順次増加し, 8月末には観測当初の3倍になっている。

海域ごとの全層現存量を Fig. 6 に示した。DIN は各海域とも前報 (湯浅ほか, 1990) の Fig. 9 に示した淡水保存量の変動と同様の変化を示している。すなわち, H<sub>N</sub>+K でみると6月末 (No. 3) 130トン程度なのが, 7月10日 (No. 5) には極大値310トンに増加し, 更に2週間後の7月22日 (No. 7) には200トンまで減少している。8月末の No. 10 にあらわれた最大値は6月下旬 (No. 3) の約2.5倍になる。

PO<sub>4</sub>-P は, H<sub>R</sub> では DIN の場合とほぼ同様7月10日 (No. 5) に極大を示したが, 全体としては7月上旬の降水による影響は顕著にはみられなかった。むしろ降水後2~3週間遅れて7月22日 (No. 7) あたりから急増し, 8月末の No. 10 には6月中旬の約2.6倍になった。この比率は DIN の場合とほぼ一致している。

今回, 栄養塩は無機態しか測定しておらず, 全窒素 (T-N), 全リン (T-P) について議論することはできない

広島湾における夏季の河川流量変化の栄養塩分布への影響

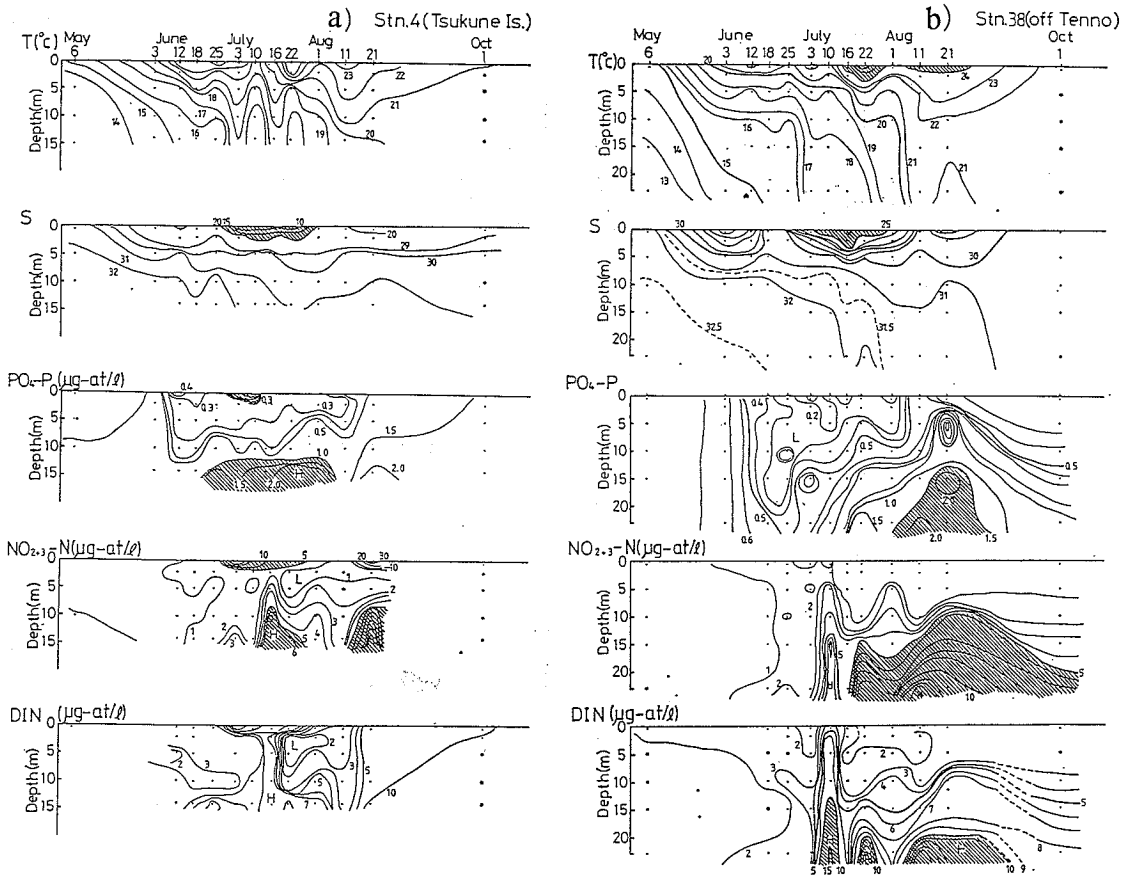


Fig. 4. Isopleths of temperature, salinity,  $PO_4\text{-P}$ ,  $(NO_2\text{-N}) + (NO_3\text{-N})$  at Stn. 4(a) and Stn. 38(b).

い。伊達ほか (1982) が、1978年4月から1981年3月にかけて同じ海域の4点で行った栄養塩調査資料によれば、 $DIN/T\text{-N}$ 、 $PO_4\text{-P}/T\text{-P}$ の全層の3年間平均値は、各々0.29、0.41となる。そこで、この比率を用いて本報

での無機栄養塩の現存量から  $T\text{-N}$ 、 $T\text{-P}$  を求め、その値を栄養塩の平均滞留日数の試算に用いた。

この計算に必要な栄養塩の負荷量については、1980年7月の水質年表 (1982) のデータから、太田川河川水の

Table 2. Nutrient content, nutrient load and average residence time for northern part of Hiroshima Bay.

	Nutrient content (ton)		Nutrient load (ton/day)	Average residence time (day)	
DIN	216		20.9	① 35.7	② 23.5
T-N	① 745	② 491			
$PO_4\text{-P}$	72.3		4.7	① 37.8	② 31.1
T-P	① 176.3	② 146.4			

Case ①:  $DIN/T\text{-N}=0.29$ ,  $PO_4\text{-P}/T\text{-P}=0.41$  (Date, 1982)

Case ②:  $DIN/T\text{-N}=0.44$ ,  $PO_4\text{-P}/T\text{-P}=0.49$  (Jo, 1987)

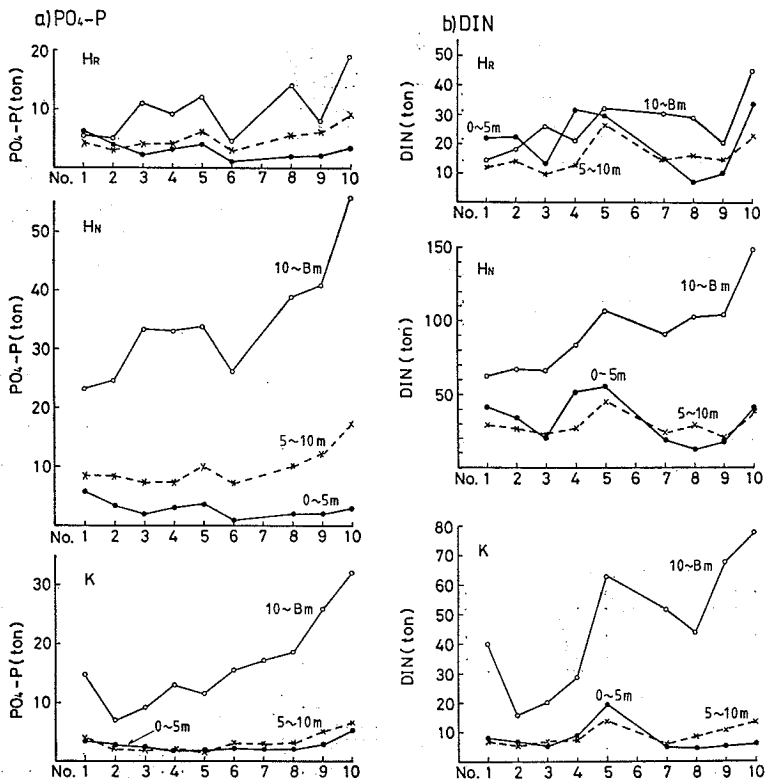


Fig. 5. Nutrient contents for Hiroshima Bay. a)  $PO_4\text{-P}$ (ton), b) DIN (ton)  
 Hr: (River effluent area), H<sub>N</sub>: (Northern part of Hiroshima Bay), K: (Kure Bay).

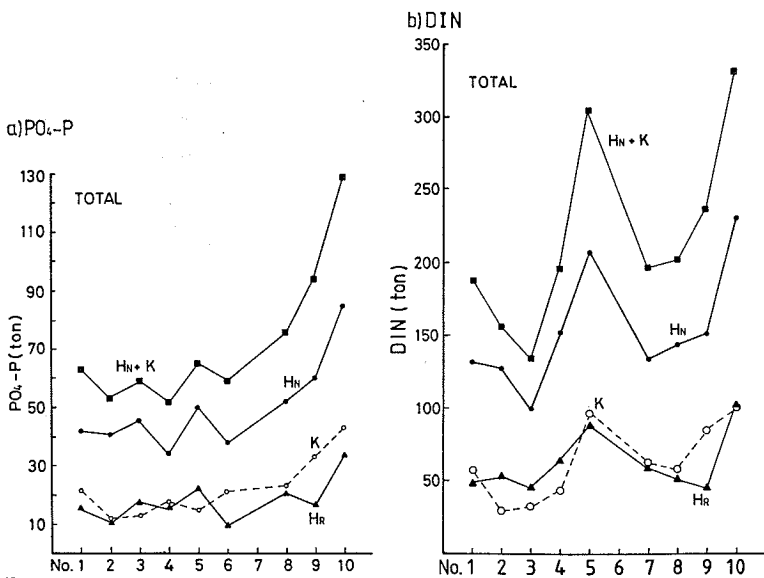


Fig. 6. Change of contents of nutrients [a]  $PO_4\text{-P}$ , b) DIN] for each water area. Hr: River effluent area, H<sub>N</sub>: Northern part of Hiroshima Bay, K: Kure Bay.

広島湾における夏季の河川流量変化の栄養塩分布への影響

T-N, T-P 濃度を各々  $90 \mu\text{g-at/l}$ ,  $9 \mu\text{g-at/l}$  と推定し、各観測日ごとの負荷量を、その濃度と河川流量との積として求めた。

負荷量と現存量の計算結果 (10回の観測の平均値) 及び栄養塩の平均滞留日数の表算結果を Table. 2 に一括して示した。平均滞留日数は T-N で36日, T-P 39日と推定された。

4. 考 察

7月上旬, 河川流量の増加ともなつて栄養塩も若干高くなる。しかしながら前報 (湯浅ほか, 1990) Fig. 3 に示したように, 7月上旬, 塩分20以下の水域が急激に拡大し, 7月10日には塩分20の等値線は宮島瀬戸をこえて更に南へのびているのに対して, リンの場合は, その時にも  $\text{PO}_4\text{-P } 0.2 \mu\text{g-at/l}$  の線が宮島瀬戸付近に位置している程度である (Fig. 2)。このことは河川水に含ま

れて海域に流入した栄養塩は, 相当早い時期に無機態から有機態へと形態を変えていることを示唆している。

そこで栄養塩 (DIN) と塩分の関係を見たのが Fig. 7 である。仮に栄養塩が保存物質として挙動しているのであれば, この図で点群は負の傾きをもつ直線上に分布するはずである。図にあわせて示した冬季 (12月, 2月) のデータはほぼ直線に沿っている。しかし, 6月下旬や8月上旬のデータでは, 低塩分の領域でも既に DIN は低濃度となり, 点群は横にはっている (Fig. 7 b)。これらの時期には, おそらく表層栄養塩がかなり消費されているものと推定される。

また7月3日, 16日, 22日は低塩分の領域 (例えば7月16日には塩分15以下) で栄養塩は高くなり, 両者の間にはある程度の直線関係が成立するように見える。しかし高塩分側ではそうした傾向はみられず, この時期でも相当の栄養塩消費が進んでいることを示唆している。

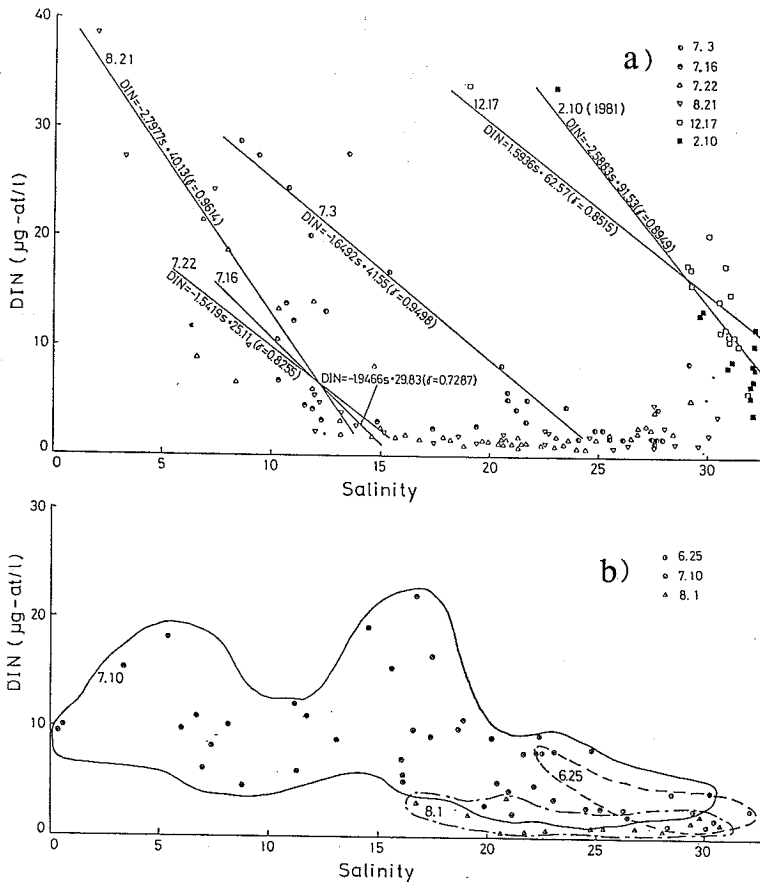


Fig. 7. Relation between DIN and salinity of surface water in Hiroshima Bay.





比は7月中は9~12程度であるが、8月に入ると6~8へと減少していることから、8月にはDIPの溶出も無視できない。しかし全体的に見れば、底層のDINが $PO_4\text{-P}$ と同じように7月を通じて徐々に高くなり、同時に高濃度域が拡大していることからみて、底層栄養塩の高濃度化は、沈降した新生有機物の分解に伴う栄養塩の再生と捉えるのが妥当と思われる。言いかえれば出水期を通して海域に流入した栄養塩は、徐々に中底層での富栄養化に寄与している可能性が高い。

広島湾北部から呉湾( $H_N+K$ )に対する栄養塩の平均滞留日数はT-Nで36日、T-P 39日となったが、これは同じ海域についての河川水の平均滞留日数14.4日(湯浅ほか、(1990)では、20.6日となっているが、これは( $H_N+H_W+K$ )についての値である)と比べ、2.5倍近く大きい。

この原因は明確ではないが、ひとつには無機態の栄養塩からT-N、T-Pへの換算率が大きすぎる点があげられる。例えば城(1987)の大阪湾についてのデータではDIN/T-N、 $PO_4\text{-P}/T\text{-P}$ はそれぞれ0.44、0.49とされており、この比率を用いて滞留日数を求めるとTable. 2②に示したように滞留日数はやや短くなる。

さらに淡水の場合は、多くが表層を密度流的に流出していくのに対し、栄養塩は湾北部を流出する間に植物プランクトンによる取り込みや懸濁粒子への吸着・沈降がおこり、下層に保存される割合が高いため、湾奥部に滞留する日数が多くなっていることも考えられる。

柳(1988)は、大阪湾について現存量に対する負荷量の比から平均滞留日数を求め、淡水45日、T-N 75日、T-P 51日という結果を得た。また大阪湾のT-Nは、非保存的にふるまって淡水より長く湾内にとどまるとしている。著者らの広島湾の結果は、T-Nに加えT-Pも同様に非保存的にふるまうことを示しており、大阪湾と広島湾では化学・生物学的特性が異なることも示唆しているが、その具体的な機構は今後の課題である(MATSUKAWA and SUZUKI (1985)を参照)。

## 5. おわりに

広島湾のような内湾においては、出水に伴う栄養塩の急増は一時的に表層における栄養塩現存量を増大させるが、無機態から有機態への変換が急速に進むために、無機態でみている限り、出水直後顕著な高濃度化が起ると

は限らない。これに対し下層では全体として6~8月には徐々に現存量が増加する(約2~3ヶ月間に2.5~3倍)。このことは河川水の間欠的な出水を通じて海域に入った栄養塩は、その多くが下層での富栄養水塊の形成に寄与していることを示唆している。今後、底泥等からの溶出量も含めて定量的検討が必要である。

またT-N、T-Pについては、広島湾北部から呉湾にかけての滞留日数は、約30~40日と推定された。これは湯浅ほか(1990)で淡水について求めたものの2.5倍に相当する。本報では無機態栄養塩についてしかデータがないため、これ以上の検討は難しい。今後、T-N、T-Pについてのデータを得ると共に、淡水と栄養塩との動態の相違をもたらす具体的な機構について検討を進める必要がある。

## 文 献

- 伊達悦二・星野 響(1982) 広島湾の物質循環機構の解明(第2報)。広島県環境センター研究報告, 3, 72-81.
- 広島県(1981) 昭和55年版広島県環境白書.
- 城 久(1987) 大阪湾におけるリンの循環. 沿岸海洋研究ノート, 24(2), 158-168.
- 城 久(1989) 大阪湾の貧酸素水塊. 沿岸海洋研究ノート, 26(2), 87-97.
- 建設省河川局編(1982) 第21回水質年表1980年版  
MATSUKAWA, Y. and T. SUZUKI (1985) Box model analysis of hydrography and behaviour of nitrogen and phosphorus in a eutrophic estuary. J. Oceanogr. Soc. Japan, 41, 407-426.
- 鈴木輝明・湯浅泰昌(1980) 三河湾における窒素・リン現存量の把握. 1980年度日本海洋学会春季大会講演要旨集, 199-200.
- 八木明彦・西條八東・仁木義郎(1978) 三河湾における栄養塩と植物プランクトンの動態. 愛知県環境部・富栄養化防止技術研究会報告, 63-77.
- 柳 哲雄・高橋 暁(1988) 大阪湾の淡水応答特性. 海と空, 64(2), 1-8.
- 湯浅一郎・上嶋英機・宝田盛康・橋本英資(1985) 太田川河口周辺域における流入栄養塩の挙動 I. 海と空, 61(1), 13-25.
- 湯浅一郎・上嶋英機・宝田盛康・橋本英資(1988) 太田川河口周辺域での浮標追跡と栄養塩の日変動. 中国工業技術試験所報告, 31, 23-36.
- 湯浅一郎・上嶋英機・宝田盛康・橋本英資(1990) 広島湾における夏季の河川流量変化の河川水分散への影響. 水産海洋研究, 54(2), 129-136.