

# 三浦半島沿岸での赤潮の発生と久里浜湾周辺での水塊移動

日比野忠史\*・細川 恭史\*\*・鶴谷 広一\*\*\*

## 1. はじめに

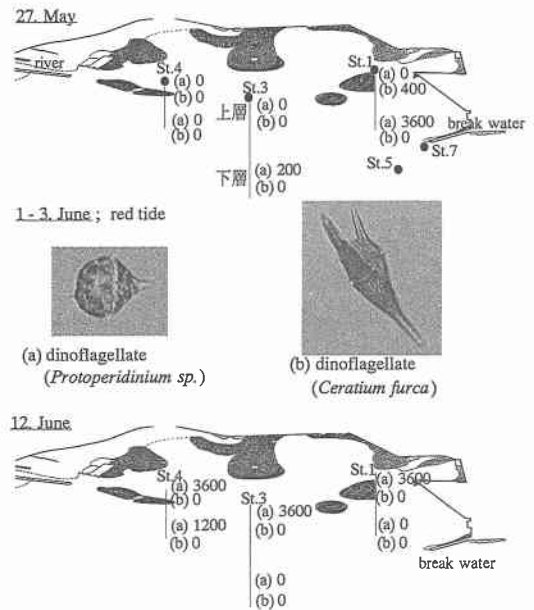
久里浜湾周辺の水塊移動および生物の分布と水質の変化の特性を検討することによって、湾内にある生態活動によってつくられる物質と湾外から輸送されてくる物質とを特定し、それらの湾内での循環を明らかにする。赤潮発生時期の久里浜湾付近での流れおよび水質分布・プランクトンの変化から湾内の生態活動について検討が行われた。久里浜湾は北東方向に長く約 1.1 km, 南東方向に約 0.7 km であり、湾口幅は約 25 m である。北西方向から平作川が流れ込み、河口右岸には導流堤がある。水深は湾口～湾南西部で深く (7～8 m), 湾北西部～北東部に向かって浅くなっている。また、平作川と湾口を結んだ線の北東側では岩礁が発達し、アラメ・アカモク等の大型海藻類が多く生息している。平作川南西側海岸には砂浜が形成されており、南西側には大型海藻類の生息は確認されていない。

1996 年 9 月～1997 年 10 月の約 1 年間に久里浜湾で行われた 15 日間にわたる 4 回の流動・水質および生物調査、東京湾水質調査結果および約 2 年間の久里浜湾周辺での水温・塩分・溶存酸素・潮位の連続観測結果から解析が行われた。1997 年 5～6 月に行われた観測期間に赤潮が発生しており、この赤潮の発生状況と久里浜湾周辺の観測結果との比較から流れ～物質移動～生態活動の関連について検討が行われた。採水(プランクトン, 水質)資料の分析は平作川河口, 湾北東側中央, 湾北東側奥(海藻直上)の 3 地点で水面下 1 m と海底上 0.5 m でバンドーン採水器によって採水された 2 l の海水(採水法)について行われている。その他の点での水質の鉛直プロフィールの測定にはクロロテックが用いられている。

## 2. 三浦半島沿岸での赤潮の発生状況

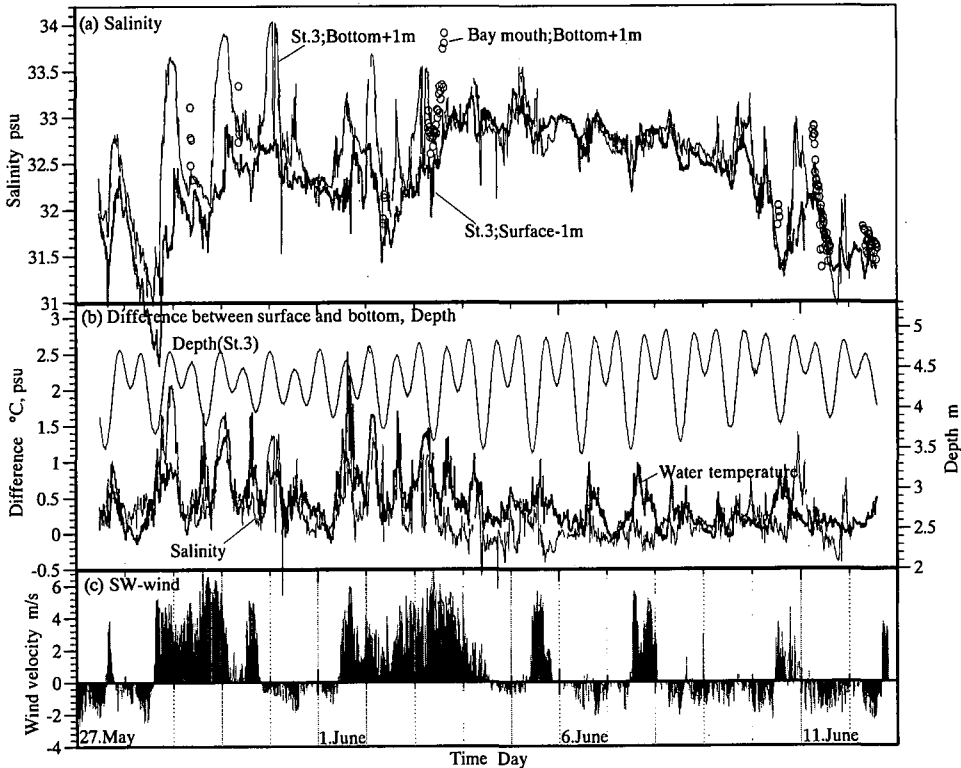
1997 年 6 月 1～3 日頃まで久里浜湾付近から三浦半島沿岸域では赤潮が発生した。6 月 1 日に久里浜湾奥(河口)で採取した赤潮プランクトンおよび赤潮発生前後に

観測された赤潮プランクトンの細胞数が図一に示されている。St. 1 は湾北東側奥(水深約 3 m), St. 3 は湾北東側中央(水深約 5 m), St. 4 は河口(水深約 2 m), St. 5 は湾口中央(水深約 7 m), St. 7 は湾口北東側(水深約 5.5 m)に位置する。図中央に発生した赤潮プランクトン(渦鞭毛藻 (a) *Protoperidinium* sp., (b) *Ceratium furca*) が示されている。上下図は久里浜湾の南西方向からの鳥瞰図に赤潮プランクトン (a) と (b) の細胞数(上段は上層, 下段は下層の観測値)が示されている。鳥瞰図のハッチされた場所には大型海藻が生息している。5 月 27 日の採水調査(図一上図)では, *Protoperidinium* sp. は St. 1 下層で 3600 細胞/l, St. 3 下層で 200 細胞/l, *Ceratium furca* は St. 1 上層で 400 細胞/l が採取され, St. 4 ではどちらも採取されていない。6 月 12 日の採水調査(図一下図)では, *Protoperidinium* sp. が St. 1, 3, 4 の上層で 3600 細胞/l, St. 4 下層で 1200 細胞/l が採取され,



図一 赤潮プランクトンと赤潮発生前後の細胞数 (上図は久里浜湾の南西方向からの鳥瞰図に赤潮プランクトン (a) と (b) の細胞数/l が示されている, 上段は上層, 下段は下層の観測値が示されている。)

\* 正 会 員 工 博 運輸省港湾技術研究所 海洋環境部 主任研究官  
\*\* 正 会 員 工 修 運輸省港湾技術研究所 海洋環境部 環境評価研究  
室 室長  
\*\*\* フェロー 工 博 運輸省港湾技術研究所 海洋環境部 部長



図一 水温、塩分変化と風 (SW)、潮位との関係 (27. May-12 June. 1997)

*Ceratium furca* はどの地点でも採取されていない。5月27日は湾外の影響が強い(日比野ら(1999)参照)久里浜湾下層で *Protoperdinium sp.* が生存し、河口付近には存在しておらず、6月12日には湾上層全体に *Protoperdinium sp.* が生存している。ちなみに、他期の観測では *Ceratium furca* は1, 2月に St. 1, 3, 4 で200~3600細胞/l, *Protoperdinium sp.* は河口 (St. 4) を除く地点で9月と1, 2月に200~2400細胞/lが観測されている。

渦鞭毛藻の増殖速度は、約0.5分裂回数/日であり、1日で約4倍になる。赤潮と判断されるためには、渦鞭毛藻が108細胞以上になることが必要である。5月27日から約4000細胞/lの渦鞭毛藻が増殖し始めたこととすると、赤潮になるまで約7日必要である。久里浜湾での赤潮の発生は6月1日で赤潮に至るまでの渦鞭毛藻の増殖速度とオーダー的に一致している。

### 3. 赤潮発生前後の水質変化

#### 3.1 久里浜湾内への外湾水の流入

図一は St. 3 における (a) 表層(水面下1m)と底層(底上1m)の塩分, (b) 水温・塩分の表層と底層との差, (c) 湾北東部(地上約10m)での南西風速を示したものである。ここで、南西風のみ示したのは、観測期間中、南西風が主たる風向であったためで、南東風は2m/s以

下の風速であった。

水温・塩分差は6月4日頃(関東梅雨入り)までは日周期の変動の他に南西風速と類似の変動があり、水温・塩分とも上下層で約2(°C, psu)以上の差が生じていることがわかる。この現象(湾内に34psuを越える外湾水が流入していることから急潮として扱う)は日比野ら(1999)によって報告されている大潮期に外洋からの低水温高塩分水塊が久里浜湾に流入する現象とは異なっている。大潮期に久里浜湾へ外洋水が流入する場合には、久里浜湾中央(St. 3)の上下層で塩分が上昇しているのに対し、観測期前半では上げ潮に伴って下層のみに低温・高塩分水塊(外湾水)が流入し、かつ、この時の流入水の塩分は大潮期に流入する塩分よりも高い傾向にある。これらのことから風系(気圧配置)による影響で久里浜湾に外湾水が流入する現象は大潮期に流入する外湾水よりも深層の海水が流入すると思われる。

#### 3.2 朔望周期のクロロフィル(chl-a)変化

図一には小潮(5月27日, St. 5), 大潮(6月3日, 図一に示す●~○の期間, St. 7), 小潮(6月11日, St. 7)時の久里浜湾湾口での(a)chl-aと(b)DOプロファイルの経時変化, 図一には久里浜湾(St. 1と3)で1997年6月2~4日の大潮期に観測された潮汐, 濁度, 光量子, 塩分の経時変化が示されている。以下に示す東京湾

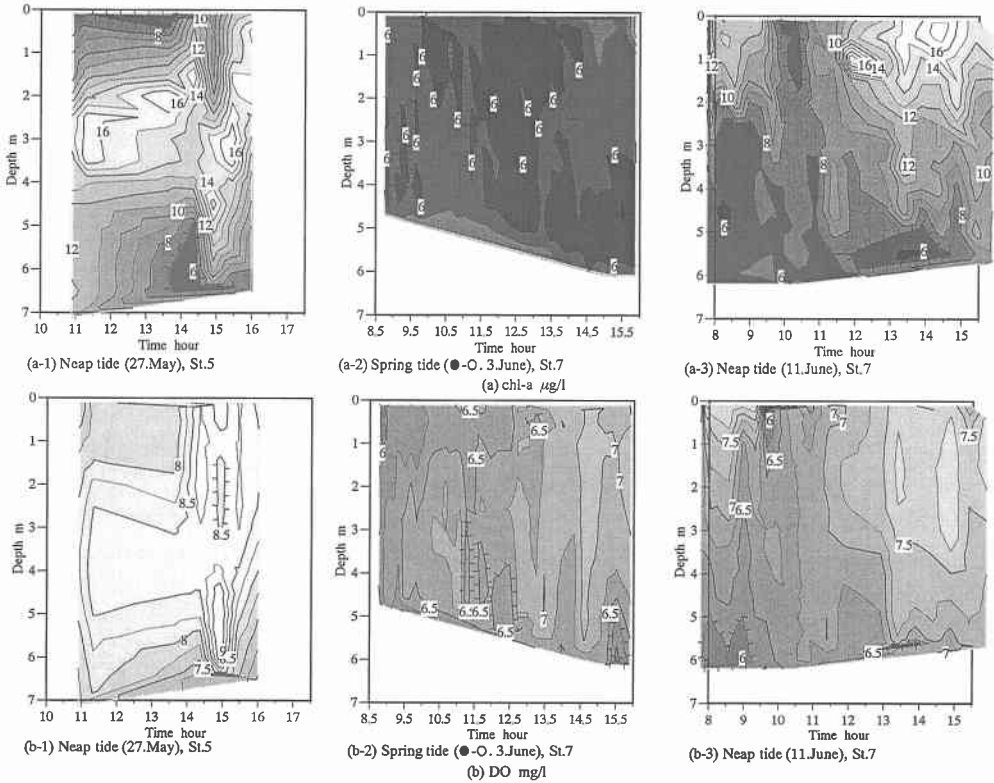


図-3 小潮、大潮期のChl-aとDOプロファイルの比較 (1997年の観測結果)

の流れについての詳細な観測結果は日比野ら (1999) を参照されたい。図-3から小潮期に高クロロフィルの水塊が久里浜湾に流入していることがわかる。これは東京湾では朔望周期の海水交換があるためで、小潮期になると、東京湾内湾上層水の東京湾外湾への流出によって、東京湾外湾には東京湾内湾起源の高クロロフィル・高溶存酸素水塊が移動してきている。湾外水は湾口南西側から流入、北東側から流出している。St.7でのクロロフィルのピークが上層に現れている (図-3(a-3)) のは、外湾水が直接、湾口北東側には流れず、湾口南西側から流入した外湾水は湾口付近の時計廻りの環流によって湾内北東側を経由した後に湾口北東側を流出しているためである (日比野ら, 1998)。

3.3 流れ場と生態系に関わる現象

図-5には久里浜湾北東側で観測 (採水位置: 水面-1 m)された窒素, リン, 炭素, クロロフィル, 動物プランクトン, 植物プランクトンの分布が示されている。溶存体無機窒素 (DIN) と溶存体無機リン (DIP) については湾内での濃度は河口付近の1/2~1/3になっており、この傾向は3~6月の観測で顕著である。海藻や植物プランクトンは窒素, リンをDIN, DIPの形で体内に取り込んでおり、これらの生物活動によって窒素, リンが除去さ

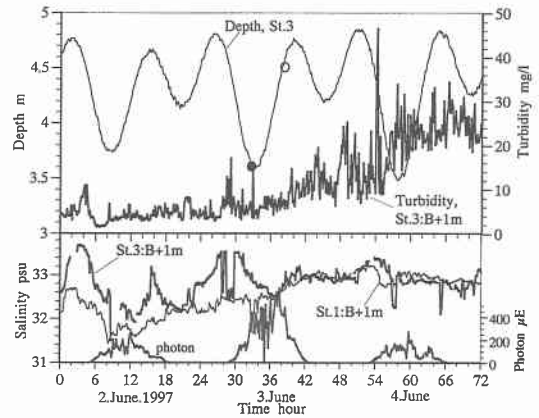


図-4 久里浜湾での潮位, 濁度, 塩分および光量変化 (●, ○は図-3(b)に示す観測が行われた期間を表す)

れていると考えられる。久里浜湾北東側ではSt.4→St.3→St.1廻りの流れが生じており、河川水は藻場周りを循環している。湾内には河川から流入した栄養塩が藻場に運び、海藻によって栄養塩を除去しつつ、湾外に放出する流れ場が存在しており、この流れによって大型海藻の活性が上がる春頃には1~3.5 mg/lのDIN, 0.07~0.2 mg/lのDIPが除去されている (図-5)。

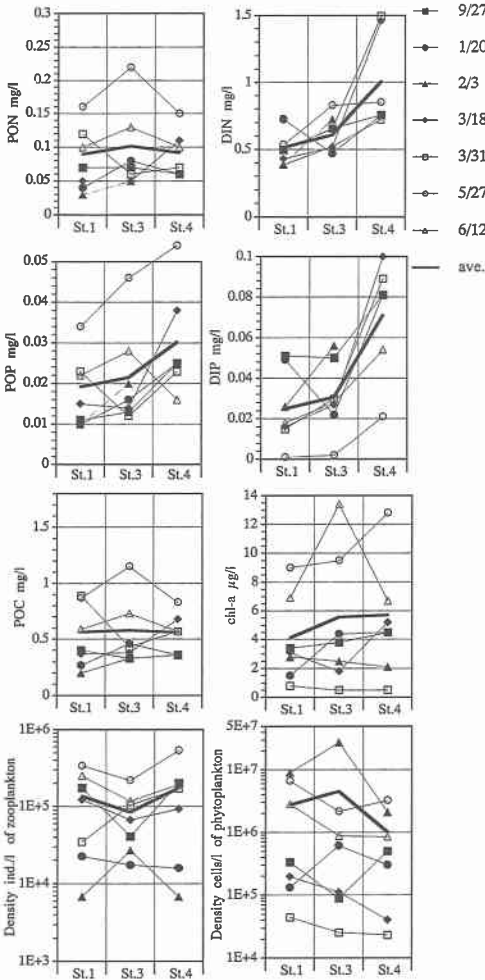


図-5 水質・プランクトン分布 (St.1; 湾北東部, アラメ直上, St. 湾央, St.4; 河口)

図-6 には St.3 の上下層 (水面-1 m と海底+0.5 m) に 1, 3, 5 月に約 2 週間設置されたセディメントトラップの分析結果が示されている。図の上段は上層, 下段は下層と上層の比が示されている。図-5 と 6 から①溶解態の CNP 存在比はどの季節においても懸濁態の存在比と同程度であるが, 無機態の NP 量が多い傾向にあること, ② DINP (溶解態無機) 存在比は 35 : 1, PONP (懸濁態無機) 存在比は 11 : 1, 全 NP 存在比は 24 : 1 であり, Redfield 比 (C : N : P = 106 : 16 : 1) と比較すれば久里浜湾ではリンが制限要素となっていること, ③ CNP, SS は夏に向かって増加していること, ④ 5/27-6/12 に観測された St.3 での SS および懸濁態 CNP の上下層の存在比は他期の傾向と逆になっており, 下層での懸濁態が上層の 1/2 以下になっていることがわかる。

クロロフィル量は植物プランクトンの細胞数に比較し

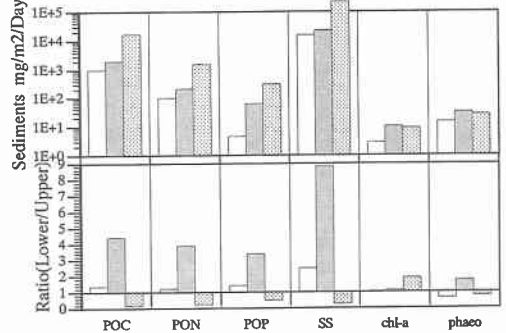


図-6 湾内 (St.3) 水質の季節変動 (セディメントトラップの分析結果; 左から 20. Jan. -3. Feb., 17-31. Feb., 27. May-12. Jun.)

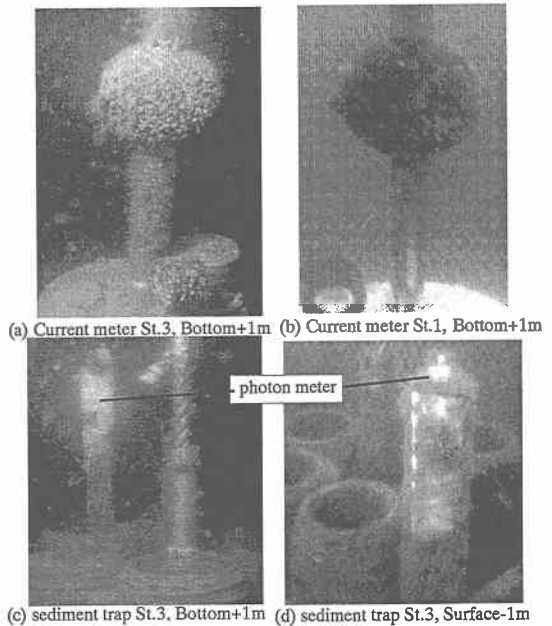


写真-1 機器に付着したデトリス (27. May. 12. June. 1997)

て季節変動幅が大きい。珪藻には幅広いサイズのものが存在し, 珪藻の細胞数がクロロフィル量とは直接結びつかないためである (例えば, *Coscinodiscus* spp. (珪藻) は 100  $\mu\text{m}$  以上, *Scenedesmus* sp. (緑藻) は 40-50  $\mu\text{m}$ )。2 月の植物プランクトン数が多いのは珪藻が優占種となっているためである。動物プランクトンは夏季に向かって増加する傾向がある (日比野ら 1998)。

写真-1 には 1997 年 5 月 27 日~6 月 12 日まで St.3 と 1 の海底上 1 m に設置された流速計, 水面下 1 m と海底上 0.5 m に設置されたセジメントトラップの回収時の状態が示されている。1~2 月と 3 月の調査では同位置に設置したいずれの計測器にも生物の付着はなかつ

た。St. 3 下層に設置された流速計センサー (海底+1m) にフジツボが付着し、5mm 程度まで成長している (写真-1(a))。St. 3 上層と St. 1 下層に設置された流速計センサーにはフジツボの付着はない。

照度計・セジメントトラップにはデトライタス (珪藻類) の付着が見られる (写真-1(b))。St. 3, St. 1 ともデトライタスの付着は上層で多く、下層では少ない。セジメントは5~6月が他期の3~5倍程度トラップされ、St. 3 では下層で少なくなっている (図-4)。

#### 3.4 赤潮発生前後の久里浜湾および周辺海域での流れと水質・生物活動についての顕著な現象

観測期間の5月27~31日まで急潮に伴って久里浜湾に東京湾外湾の深層水が浸入している (図-2)。

- ① 急潮が起こった期間は小潮期 (5月31日小潮) で、久里浜湾周辺域には東京湾内湾上層水が流入していた (図-3)。
- ② 5月27日には久里浜湾内で、POC, PON, POPが高く、DIPは他の調査平均と比べて1/20以下であった (図-3)。
- ③ 6月3日から濁度の急激な上昇が起こっている (図-4)。ここでは示していないが、濁度のピークは6月6日、下げ潮時 (満潮: 04:30) の06:30に現れ、ピーク後、約17時間で低下している。
- ④ 6月2日に St. 3 上層の光量が1/2以下に低下し、濁度が上昇している (図-4)。
- ⑤ 観測終了後 (観測期間5/27-6/12)、計測器に多くの生物が付着していた (写真-1)。

## 4. おわりに

### 4.1 東京湾外湾での赤潮の発生メカニズム

久里浜湾周辺海域の観測結果から三浦半島沿岸域における赤潮の発生に関して以下の機構が考えられる。

①小潮期に植物プランクトン (chl-a) を多く含む東京湾内湾上層水が三浦半島沿岸域に流出してくる。この時、②急潮が起こると東京湾外湾深層水が三浦半島沿岸域に湧昇する。③外湾深層水には栄養塩が多く含まれているという報告 (藤原ら (1997)) がなされており、急潮によって栄養塩が湧昇することによって東京湾内湾から流出した植物プランクトンが爆発的に増殖し、赤潮に至った可能性がある。

### 4.2 赤潮の発生機構に関する今後の課題

赤潮発生の前後に久里浜湾および周辺海域での水塊移動と水質・生物活動と赤潮の発生の関係について考えると、赤潮の発生以前に久里浜湾周辺海域では上記①、②

の現象はこれまでに述べた本観測結果から明らかである。

③の東京湾外湾深層水には栄養塩が多く含まれるかどうかについては、明確な観測結果がない。懸濁有機態CNPの5月27日の増加から植物プランクトンの増殖が始まったと考えられ、その後の溶存態無機リンの減少は植物プランクトンの増殖によるものと考えられる。急潮時の塩分変動から33.5 psu以上の深層水が久里浜湾に侵入したのは5月28日からであり、外湾深層水に栄養塩が多く含まれるとすれば、植物プランクトンのが急激に増殖したのは28日以降と考えられる。

急潮は6月3日 (5月31日頃がピーク) まで続いており、この頃まで栄養塩の補給が続いたと考えられる。栄養塩の補給が少なくなった6月3日頃 (赤潮の終了) から植物プランクトンの増殖・枯死に起因して、湾内での濁度が上昇し始めたと考えられる。

赤潮が発生した6月の観測後には他期間の観測と異なり、計測器に多くの生物が付着した。このフジツボの付着は季節的な環境によるものか、赤潮に関連するものかは明らかではないが、デトライタスの付着は赤潮との関連が強いと思われる。

赤潮の発生は様々な要因が重なって起こると考えられるが、発生前後の流れ場、水質変化等からその原因を推定できると考えられる。久里浜湾での一連の現象から、急潮によって東京湾外湾深層水が湧昇し、三浦半島沿岸に栄養塩を運ぶ可能性は高いと考える。今後、三浦半島沿岸での赤潮の発生機構を明らかにするためには、急潮時に東京湾外湾のどこにある海水が湧昇し、どの程度の栄養塩を含んでいるかを明らかにすることが必要である。

## 参考文献

- 気象年鑑 1988年版~1998年版, 気象庁監修, 日本気象協会編。  
 港湾技術研究所 環境評価研究室 (1996, 1997): 久里浜湾における藻場生態系に関する現地調査 (1), (2)。  
 高橋正征, 古谷 研, 石丸隆監訳 (1996): 生物海洋学1, 東海大学出版会。  
 日比野忠史, 豊田政史, 西守男雄, 細川恭史, 鶴谷広一 (1999): 久里浜湾の流れ場特性と生態系に関する研究, 港湾技術研究所報告, Vol. 39, No. 2。  
 日比野忠史, 鶴谷広一, 西森男雄 (1998): 小規模湾における生態系の季節変化特性と流れ場の生態系への影響, 海岸工学論文集第45巻 (2), pp. 1081-1085。  
 藤原建紀, 宇野奈津子, 多田光男, 中辻啓二, 笠井亮秀, 坂本亘 (1997): 外洋からの瀬戸内海に流入する窒素・リンの負荷量, 海岸工学論文集第44巻 (2), pp. 1061-1065。