

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

日比野忠史*・鶴谷広一**・西守男雄***

1. はじめに

内湾域では地形形状、風系、水温や塩分濃度による密度状態、天文や地球の自転効果等の影響によって様々な時空間スケールの流れ場が形成されている。これらの地形・気象等の影響を考慮して流れ場を広域に、かつ、長期にわたって詳細に観測することは困難なことである。このため、長期のポイント観測や数日間の多点での観測によって流れ場が検討されることが多い。しかしながら、湾域での全体的な流れ場はグローバルな条件で決まる境界からの流れに依るところが大きく、特定の地点や短期的に観測される現象のみから明らかにすることは難しい。例えば、湾内は外湾の潮位変動を直接受けており、外湾水位の変動に応じた流れ場が形成される。外湾水位は潮汐による日単位の変動のみではなく、天気や季節の変化によっても変動していることから (TSURUYA and HIBINO, 1998), 数 km～数 10 km スケールの小規模な閉鎖性の湾域内での流れの場を論じる場合においても大規模な時空間スケールでの境界条件を考慮することが必要である。本研究は、小規模湾における生態系モデルを確立することを目的としており、このため湾内外での物質循環の実体を明らかにする。具体的には、①久里浜湾 (東京湾入口) に流入する外洋水の特性とそのメカニズムを明らかにすること、②海藻、プランクトン、水質等の季節変化特性を明らかにすること、③現段階で久里浜湾での栄養塩の収支への寄与が大きいと考えられる大型海藻 (アラメ、カジメ、アカモク等) に焦点を当てた物質循環について明らかにすることを行う。

2. 久里浜湾の地形と観測位置

久里浜湾の最大の特徴は、東京内湾と東京外湾の境界付近に位置していることであり、東京湾内湾および外湾の両方の影響を受けていることである。したがって、久里浜湾での生態活動を明らかにするためには、東京湾で起こっている水理現象を的確に捉えた上で、久里浜湾内

の流れ場と生態系の関係を明らかにすることが重要となる。

図-1 に久里浜湾の地形を示している。図中の St. 1～4 は水質・生物調査を行った観測地点を表しており、等深線が破線で示されている。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 250 m である。北西方向から平作川が流れ込んでいる。水深は湾口～湾南西部で深く、湾北西部～北東部に向かって浅くなっている。久里浜湾での最大水深は湾口部で約 7 m であるが、数 km 沖の浦賀水道の水深は 200 m を越えている。また、平作川と湾口を結んだ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 (図-1 参照)。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。

3. 久里浜湾への湾外水の流入 (東京湾との関係)

図-2(a) に 1997 年 8 月 10 日～98 年 2 月 28 日に観測された久里浜湾口 (観測位置は図-1 の St. 4, 水深約 6 m, 海底上 1 m) での水温と塩分、図-2(b) には潮汐表

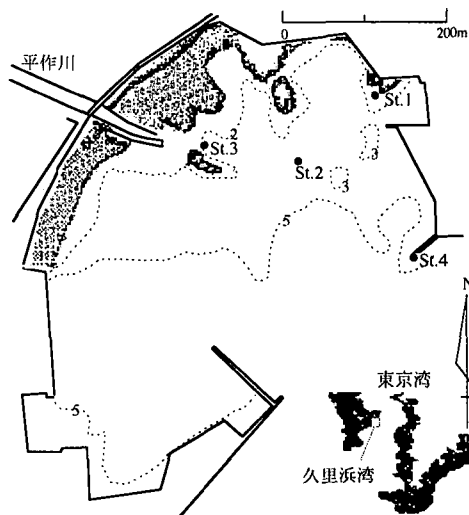


図-1 久里浜湾の地形と観測位置 (破線は等深線)

* 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 工博 運輸省港湾技術研究所海洋環境部 部長
*** 正会員 運輸省港湾技術研究所海洋環境部環境評価研究室 研究員

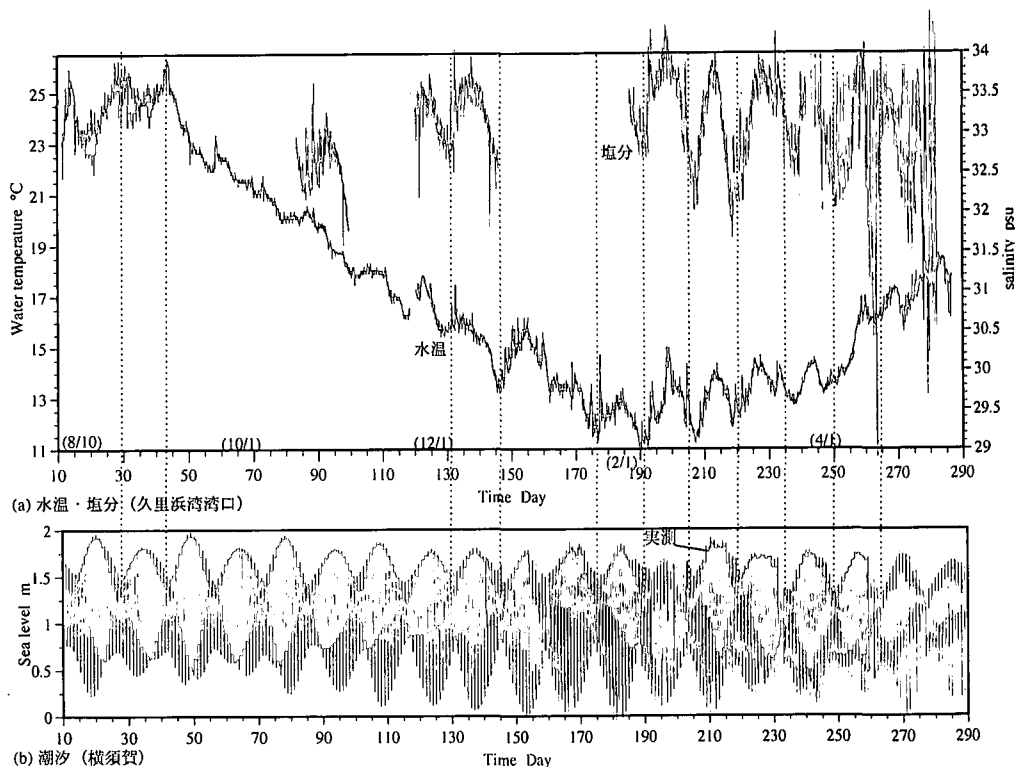


図-2 大潮に伴った外洋水の久里浜湾への流入状況 (1997.8.10-1998.5.18)

から作成した横須賀での潮位変化が示されている。水温・塩分とも年周期および朔望周期 (15 日) の変化が卓越している。水温は 9 月頃最大で約 26°C, 2 月頃最小で約 11°C の 1 年周期で変化している。塩分は冬季に高くなる傾向にあるが、年周期の変動より朔望周期での変化が大きくなっている。塩分の増大は湾外からの影響と考えられ、朔望周期での水温・塩分の変化は、大潮に伴って湾外水が久里浜湾へ流入していることによっている。さらに、湾外からの流入水 (水温・塩分) は季節的に変化している。大潮に伴った流入水の水温は 10 月までは低く、11 月中旬から 4 月頃まで高くなっている。塩分の変化量は冬季に大きくなる傾向にあり、10 月には約 1 psu, 2 月には約 3 psu 高くなっている。

図-3 は 1997 年 12 月 15-17 日 (大潮) に第三管区海上保安本部によって測定された東京湾の塩分分布を示したものである。図-3(a) には水深 10 m の水平断面図、図-3(b) には湾奥から湾外までの鉛直断面図が示されている。図-4 には 1997 年 12 月の久里浜湾湾口部での水温・塩分と潮汐が示されている (図-2 の一部)。塩分は東京湾口と湾奥で約 3 psu の差があり、湾口で高く、湾奥で低くなっている。小潮時 (12/9) の久里浜湾口での塩分は約 32.5 psu であったが (図-4), 大潮に伴った外洋 (東京湾外) 水の東京湾への流入によって小潮期に東

京湾口付近にあった約 32.5 psu の海水は約 20 km 湾奥方向に流入している (図-3(a), (b))。さらに、久里浜湾に小潮期に流入する海水の溶存酸素量は大潮期のものに比較して 1 mg/l 以上多く含まれており (後述の図-10 参照), 大潮期と小潮期では流入海水の性質が異なっている。東京湾では朔望周期に伴った海水塊の往復があり、久里浜湾へは大潮期には外洋水、小潮期には東京湾奥方向からの海水が流入していると考えられる。

4. 久里浜湾での生態系の季節変動

4.1 久里浜湾の流れの構造

久里浜湾北東部では上げ、下げ期間を通して図-5 に示す I (反時計廻り) と II (時計廻り) の循環がある (浮子 (水深 3 m, 1 m) 観測結果)。これら 2 つの循環の大きさは、潮汐によって変化している。下げ潮期には II の循環が小さくなり (□), 河口方向から II の循環の北東側を通過して湾外に向かう流れ (△, ▼) が生じている。上げ潮期には II の循環が大きくなり、I と II の循環が交わる付近では II の循環から I の循環に移る流れも生じている (×)。

4.2 生物の分布と季節変動

採水 (生物, 水質) 調査は 1996/9/26, 1997/1/24, 2/6, 3/18, 4/1, 5/27, 6/12 に行われており, 分析は St. 1



図-3(a) 水深 10 m の水平分布 (塩分)

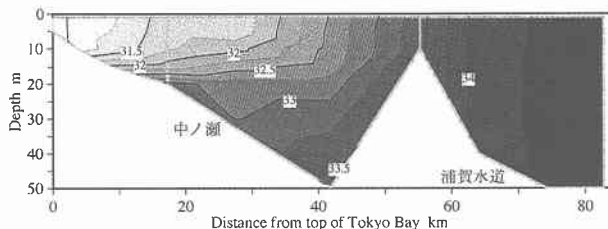
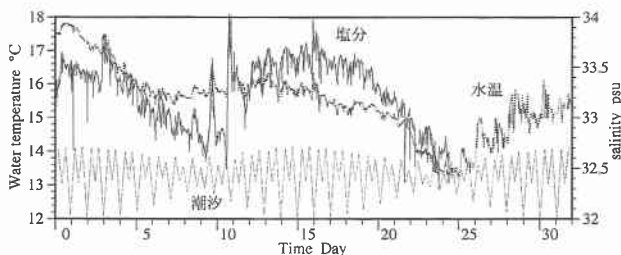
図-3(b) 東京湾での塩分縦断分布
(1997 年 12 月 15-17 日 (大潮), 第三管区海上保安本部による観測結果)

図-4 久里浜湾湾口部での水温・塩分の経時変化 (1997 年 12 月, 図-2 の一部)

(海藻上), 2, 3 (河口) の 3 地点で水面下 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)で行われている。動物プランクトンの採取は採水の他北原式定量ネットによる鉛直曳き (ネット法) によっても行っている。

図-5 には 97 年 2 月に目視によって観測された大型海藻 (アラメ, カジメ) の生息域も併せて示している (ハッチされた部分)。図-6 は図-5 と同様の方法で 96 年 9 月～97 年 6 月に観測された 4 回の被度の変化 (2 週間隔で行った 2 回の平均値), 図-7 には動物プランクトン個体数の季節変動が示されている。動物プランクトンは種を分けずに個体数のみを示しており, 観測月の左棒には採水法, 右棒にはネット法による結果を示した。図-8 には植物プランクトンの個体数 (採水法) が示されている。植物プランクトンは綱によって分類されており, 各綱毎に季節変化が示されている。

図-6 から海藻類は季節的な変動をしており, 冬季に成長し, 5～6 月頃最盛期を迎え, 9 月には海藻被度が半減していることがわかる。

動物プランクトンは繊毛虫, 節足動物が多い。表層での個体数は 9 月に多く, 3 月には 2 桁のオーダーで減少し, 4～6 月に向かって増加している。大型の動物プランクトンは冬季に減少し, 夏季に向かって増加している。なお, 観測期を通じて *Mesodinium rubrum* (繊毛虫) と Copepda (カイアシ類のノープリウス期幼生, 節足動物) が優占しており, 6～9 月には *Oithona davisae* (カイアシ類, 節足動物) が優占していた (図-7)。植物プラン

クトン量 (細胞数) は 2 月頃と 5 月頃に 2 回ピークを迎える傾向にある。珪藻類が年間を通じて優占しており, 珪藻数は総細胞数の 6 割以上を占めている (図-8)。Cryptophyceae (クリプト藻), Dinophyceae (渦鞭毛藻) は夏季にピークを迎え, Euglenophyceae (ミドリムシ) は春季にピークがある。Chlorophyceae (緑藻) は 9 月に多く, Chrysophyceae (ハプト藻) は 1～3 月には観測されていない。Cyanophyceae (藍藻) は淡水に生息する (平作川が起源) 植物プランクトンであるが, 2 月のみ観測されている。

4.3 水質の季節変動

観測期間に行った水質調査では DINP (溶存態無機) 存在比は 35 : 1, PINP (懸濁態無機) 存在比は 11 : 1, 全 NP 存在比は 24 : 1 であった。Redfield 比 (C : N : P = 106 : 16 : 1) と比較すれば久里浜湾はリンが制限要素となっている。図-9 には St. 1 の上下層 (水深 3 m, 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。どの観測結果とも SS～POC～PON～POP～クロロフィル, フェオ色素の順で大きく, 各々 1 オーダーづつ小さくなっている。図から CNP, SS は夏に向かって増加していること, SS および懸濁体 CNP は下層で多く, クロロフィルは上層で多いことがわかる。クロロフィル量は植物プランクトンに比較して季節変動幅が小さい。珪藻には細胞の小さいものが多い, 珪藻数がクロロフィル量とは直接結びつかない (例えば, *Coscinodiscus* spp. (珪藻))

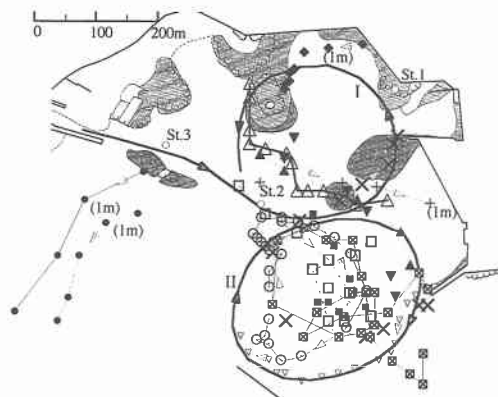


図-5 久里浜湾での流れの構造と大型海藻の生息域 (1997.2)
(I と II の循環は浮子観測の結果から推定した。浮子の浮遊位置は水深 3 m (1 m), O, □等は浮子の奇跡)

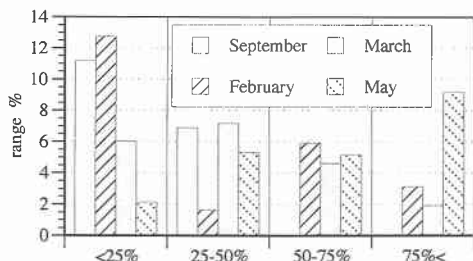


図-6 大型海藻被度の季節変動

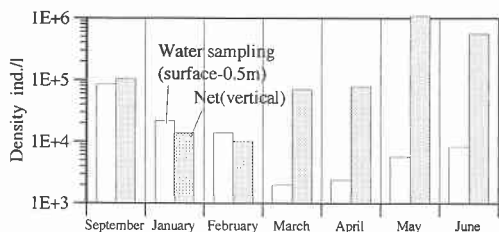


図-7 動物プランクトンの季節変動

は 100 μm 以上, *Scenedesus* sp. (緑藻) は 40-50 μm).

5. 生物活動と水質の変化

5.1 光合成による栄養塩の除荷

図-10 に 1997/12/18 から 1998/4/19 に観測された (a) 溶存酸素 (溶存酸素 (DO), 実線; 図-5 中に示した St.1 海藻 (アラメ) 直上, 濃い線; 湾口, 海藻直上での水深の経時変化を示した。DO は 1 月頃に大きくなり, 春に向かって小さくなっている。アラメ直上と湾口での DO は変化の傾向は等しく, 日周期の DO の変化はアラメによる光合成・呼吸によって起こっていることがわかる (最大で約 5 mg/l の変化)。また, DO の変化は小潮期に大きくなる傾向がある。図-11 は図-10 の 1997/12/18-25 を拡大し, 光量子 (アラメ直上) を併せて示したも

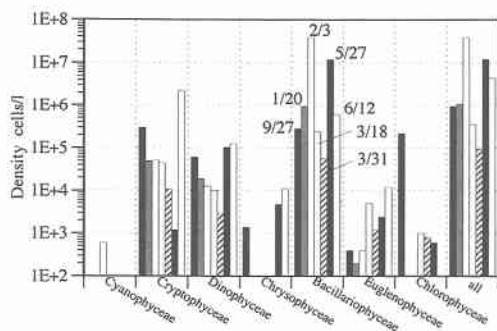


図-8 植物プランクトンの季節変動

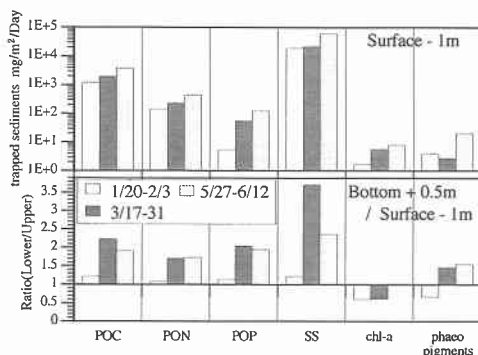


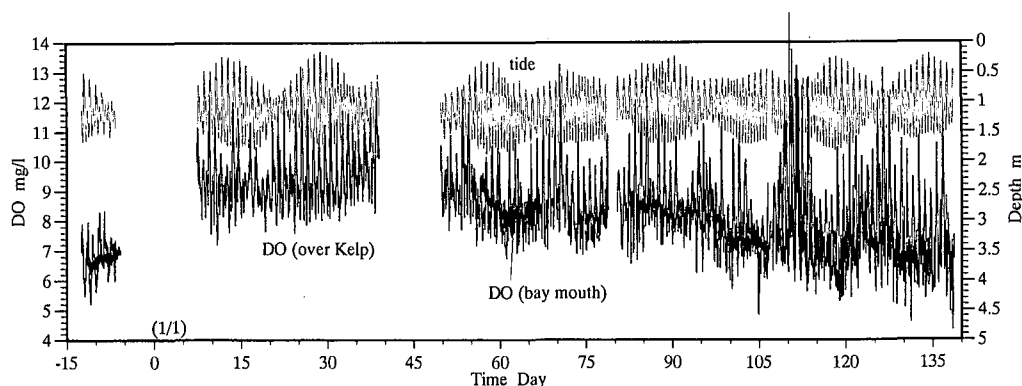
図-9 水質の季節変動 (St.1 (水深 3 m) でのセディメントトラップによる観測結果, 下図は下層と上層の比)

のである。海藻直上の DO の変化は光量子と良い対応をしており, 海藻の影響がないと考えられる湾口部では DO の変化は小さく, 海藻によって酸素が生産されていることがわかる。光量子が 200 μmol (μE) を越えた 12/18~23 は 2 mg 程度の酸素の増加, 150 μmol 以下であった 12/23 には 0.5 mg 程度の増加が観測されている。12/18~21 までは夜間に DO の減少が観測されているが, これは河川流入水の影響が大きい。光量子量が十分に河川水の影響が小さいと考えられる 12/22 の観測結果から光合成速度は 0.32 mg/l/h (5 時間で 1.6 mgO₂/l の生産) と計算される。

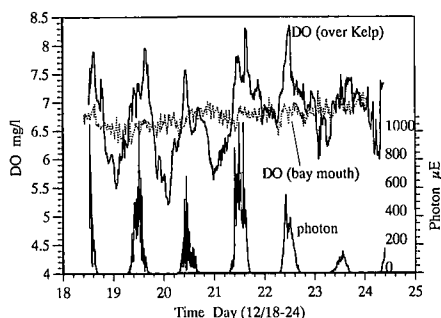
光合成による窒素の除去量は 1.9×10^{-3} mg/l/h, リンの除去量は 1.2×10^{-4} mg/l/h と計算される。ただし, 酸素量から炭素量への換算は光合成商 ($\text{PQ} = \text{O}_2/\text{CO}_2 = 1.25$, 天然の植物プランクトンでの平均値), 炭素量からの窒素, リンへの換算は Redfield 比 ($\text{C}:\text{N}:\text{P} = 106:16:1$) を用いた。

5.2 流れ場と大型海藻による栄養塩の除荷

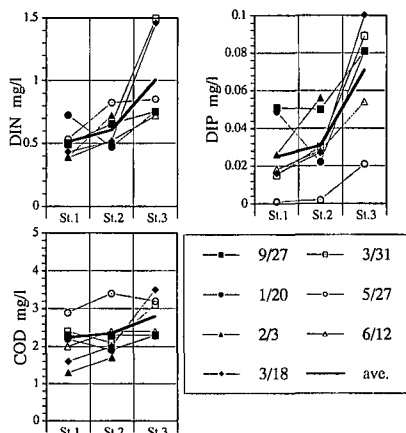
図-12 には久里浜湾で観測 (採水位置: 水面-1 m) された窒素, リン, COD の分布が示されている。ST.1 はアラメ直上, St.2 の半径約 60 m 周辺には海藻は生息していない, St.3 は河口から約 100 m の地点である。溶存体無機窒素 (DIN) と溶存体無機リン (DIP) は湾内での



図一10 アラメ直上と湾口の溶存酸素 (DO) の変化と潮汐 (1997.12.18-1998.4.18)



図一11 アラメによる光合成と呼吸
(溶存酸素 (DO) の変化と光子量の関係)



図一12 アラメによる栄養塩の除荷

濃度が小さくなっている (河口付近の $1/2 \sim 1/3$)。海藻や植物プランクトンは窒素、リンを DIN, DIN 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、リンが除去されていると考えられる。久里浜湾での流れ場は図一5に示したように I の循環 (St. 3 → St. 2 → St. 1) が生じており、河川水は藻場周りを循環している。すなわち、湾内で生じた流れ場は河川からの流入した栄養塩を藻場に運び、海藻によって栄養塩を除去しつつ、湾外に放出するメカニズムが存在していると考えられる。藻場の規模や生育場所は港湾構造物による波や流れ場との関係から決定されるべきものであり、藻場と港湾構造物を組み合わせることによって効率的な海水浄化を行うことが可能となる。

6. おわりに

(1) 大潮に伴った外洋 (東京湾外) 水の東京湾への流入によって小潮期に東京湾口付近にあった海水は約 20 km 湾奥方向に流入している。久里浜湾へは大潮期には外洋水、小潮期には東京湾奥方向からの海水が流入している。(朔望周期での東京湾への外洋水の流入)

(2) 海藻類には季節的な変化がみられ、冬季に成長し、5～6月頃最盛期を迎え、9月には海藻被度が半減

している。動物プランクトンは繊毛虫、節足動物が多い。その表層での個体数は9月に多く、3月には2桁のオーダーで減少し、4～6月に向かって増加している。大型の動物プランクトンは冬季に減少し、夏季に向かって増加している。植物プランクトン量 (細胞数) は2月頃と5月頃に2回ピークを迎える傾向にある。その中では珪藻類が年間を通じて優占しており、珪藻数は総細胞数の6割以上を占めている。

(3) 湾内で生じた流れ場は河川から流入した栄養塩を藻場に運び、海藻によって栄養塩を除去しつつ、湾外に放出するメカニズムが存在している。

参考文献

- 第三管区海上保安本部 (1997): 海洋概観一沿岸海峡調査一, 東京湾, 平成10年12月観測.
TSURUYA, H. and T. HIBINO (1998): A study of anoxic water structures generated in deep bay enclosed by tsunami breakwaters, COASTAL ENVIRONMENT 98 (投稿中).