

東京湾奥部に位置する潟湖化干潟の遷移特性

村上和仁*・石井裕一**・瀧 和 夫***・長谷川昭仁****

1. 緒 言

かつて前浜干潟であった谷津干潟（千葉県習志野市）は、周囲の浚渫・埋立造成から取り残され、今や潟湖的な特徴の強い干潟を形成している。また、周囲の埋立に伴い、生活排水の流入負荷の増大と淡水化を引き起こし、本来の砂質干潟から泥質干潟へと変化してきた（高橋, 1993; 田中ら, 1999）。しかし、再び砂質化へと揺れ戻しの現象が観察されるようになってきている。同時に、潮汐作用の影響により干潟内砂質が流失している可能性が危惧されている。本研究では、揺れ戻しの現象を伴う干潟の特徴を把握することを目的として、特に潮汐作用と干潟の植物プランクトン動態および底質変化に着目して検討を行った。

2. 谷津干潟の概要

干潟はその形状により前浜干潟・河口干潟・潟湖干潟・沿岸砂州の 4 つに分類される（栗原, 1988; 杉山, 2000）。写真-1 および 2 に示すように、谷津干潟は本来、東京湾の海岸線の前面に発達した前浜干潟であったが、1971 年頃から始まった周囲の埋め立てにより孤立化し、現在では地形学的に潟湖的の形状となっている。1993 年 6 月にはラムサール条約登録湿地に指定された谷津干潟は、都市域に残された干潟として極めて希少であるが、周辺が埋め立てられてから 20 年以上が経過している。公共下水道整備による干潟への淡水供給の減少、干潟東部の砂質化や潮流による滞り周辺の底質の流出など、干潟をとりまく環境は大きく変化してきている。

谷津川（習志野市側）と高瀬川（船橋市側）の 2 本の水路により東京湾と結ばれており、干潟内の水の交換はこの 2 河川を通じて行われている。また、干潟東側奥部の谷津船溜から習志野市の、西側から船橋市の生活雑排水が流入している。



写真-1 1967 年の谷津干潟（前浜干潟的）



写真-2 1998 年の谷津干潟（潟湖的）

3. 調査・解析方法

本報では、谷津干潟環境調査報告書（第 1 回調査 1984 年, 第 2 回調査 1995 年）に基づく文献調査および現地調査（第 3 回調査 1999 年）を通して、谷津干潟における水質・底質・生物の変遷について考察を行うこととした。ここで、現地調査では、水質の COD, T-N, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, T-P, $\text{PO}_4\text{-P}$, pH, Chl.a について定点について月 1 回の頻度で採水, 分析を行った。また、採取したサンプルはポリ容器にて持ち帰り、ただちに光学顕微鏡にて検鏡し、植物プランクトンの種類と個体数を計測した。さらに、植物プランクトンの種類数と個体数

* 正 会 員 理博 千葉工業大学助手 工学部土木工学科
** 学生会員 千葉工業大学工学部土木工学科
*** 正 会 員 工博 千葉工業大学教授 工学部土木工学科
**** 谷津干潟自然観察センター

からなる多様性指数 (Shannon Index) を水の健全度を示す指数として、次式で求めることとした。

$$H' = - \sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $P_i = N_i/N$, N は総個体数, N_i は種類 i の個体数である。またさらに, Shannon Index の値が小さくなるほどその水域の有機汚濁や富栄養化が進行したことを表し, 生物が1種類になった場合には0となる (須藤, 1988)。

4. 結果および考察

都市域に残された潟湖化干潟の代表例として谷津干潟における潮汐作用と水塊の動き, 周辺環境の変遷に伴う水質・底質の変化, および干潟の一次生産を担う植物プランクトンの動態について解析・検討した結果を以下に述べることとする。

4.1 干潟における水塊の動き

海水の流動は底質の土壌構造を決定する上できわめて重要な因子である (李ら, 1999)。当干潟は谷津川と高瀬川とで東京湾とつながっており, これらの河川によって干潟の干満および生態系が維持されている。そこで, いま, これらの2河川における潮位の経時変化の代表例を図-1に示す。図より潮汐作用による干潟内の海水は高瀬川 ($3.3 \times 10^6 \text{ t/日}$) から谷津川 ($2.4 \times 10^6 \text{ t/日}$) へと移動していることがわかる。満ち潮に伴い高瀬川から流入した水は干潟内部を西側から東側に移動し, 引き潮に伴って谷津川から流出していること, すなわち, 干潟内部では潮汐作用による時計回りの水塊の動きが存在しているのが明らかとなった。この高瀬川から谷津川への水塊の受け渡しは, 図-2の干潟内部の流速と流向の観測結果に示されるように, 泥質の東縁 (St 3-2の東側) にあり, 底質の泥質と砂泥質の境界と考えられ, また, 谷津船溜からの有機物供給の減少による底質の砂質化との関連性からも推察される。

波の底質表面に対するせん断応力は人工干潟では自然干潟よりも数倍大きく, また, 土壌中の細菌現存量, 有機物含有量, シルト含有量が小さい干潟では底質の流失が生じやすい (李ら, 1999) とされている。谷津干潟では流域下水道整備に伴う干潟東側からの有機物・栄養塩類の供給量が減少しており, 高瀬川より干潟の奥深く流入し, 潮汐作用による時計回りの流れとなった。水塊には有機物の含有量は少なくなり, そのために砂質化した底泥の流失が加速化させていると考えられる。

4.2 干潟の水質および底質の特徴

図-3に示すように, 流域から干潟内への流入量は1983年からの12年間に16.8%の減少を, また, 図-4に示すように, 干潟最奥部に位置する谷津船溜での電気伝

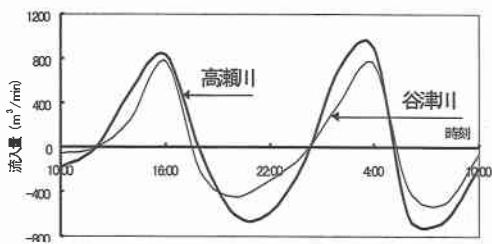


図-1 流入河川の潮位変動 (1995年8月)

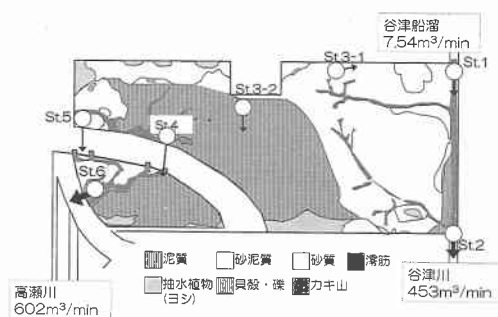


図-2 干潟内部の水の流れと底質の性状 (1995年8月25日20:00)

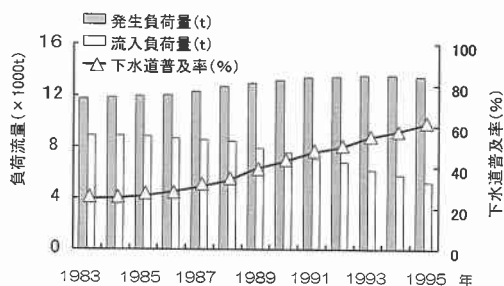


図-3 下水道普及率と負荷流量の経年変化

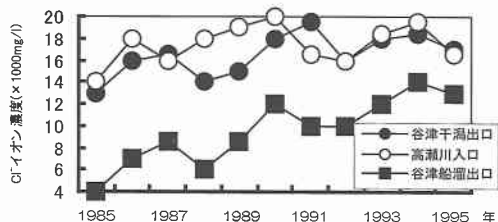


図-4 塩素イオン濃度の経年変化

導度は上昇しつづけ, 塩分濃度の増大を示す結果を得た。一方, 表-1から, 干潟 (面積 40.1 ha) における砂・泥質の割合は泥質面積が 20 ha から 15 ha に減少, 砂泥質面積が 10 ha から 18 ha に増加しているのがわかる。

さらに, 夏季の干潟内におけるアオサ (*Ulva pertusa*) の異常繁茂が確認され始めたのもこの頃であり, その発生面積は1983年には未確認, 1995年の6.8 ha, 1999年

表一 底泥の性状の変化

	1984 年	1995 年
泥の長さ (cm)	25~200	0~50
強熱減量 (%)	3.6~11	2.1~6.9
窒素 (mg/g)	0.35~2.2	0.35~1.34
リン (mg/g)	0.28~0.79	0.20~0.81
ORP (mV)	-55~-198	-99~-340
砂質 (ha)	4	4
砂泥質 (ca)	10	18
泥質 (ha)	20	15
沼筋 (ha)	6	2
アオサ発生面積 (ha)	0	6.8

の 13 ha へと増加の一途をたどっている。ここで、谷津干潟における $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は冬季平均値で 0.16 mg/l, $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度は 0.066 mg/l であり、アオサの繁殖に十分な栄養塩が冬季においても存在しているといえる。

アオサは泥質底層よりも砂泥質あるいは砂質底層を好む海産性大型緑藻である(能登谷, 1999)。すなわち、近年のアオサの急激な繁殖は、十分な栄養塩の存在、干潟の海水化の進行、そして干潟内底泥層の砂質化によるものと考えられる。すなわち、アオサの繁殖の増大から(海水/淡水) 比および(砂質/泥質) 比の増大を知ることができる。

4.3 谷津干潟における植物プランクトン相

谷津干潟に出現した主な植物プランクトンは、海産性珪藻類 *Cheateceros* sp., *Skeletonema costatum*, *Thalassiosira* spp., *Lcerataulina dentata*, *Leptocylindrus* sp., *Rhizosolenia fragilissima*, 淡水性珪藻類 *Cyclotella* sp., *Aapedinella spinifera*, *Ebria tripartita*, *Nitzschia* sp., *Melosira nummuloides*, *Coscinodiscus* spp., *Fragilaria* sp., *Synedra alata*, *Amphora* spp., *Caloneis* sp., *Cymbella* sp., *Diploneis* spp., *Gyrosigma* spp., *Pleurosigma* sp., *Stauroneis* sp., *Surirella* sp., 淡水性鞭毛藻類 *Cryptomonas* spp., 淡水性緑藻類 *Gymnodinium* spp., *Ankistrodesmus* sp., 淡水性渦鞭毛藻類 *Prorocentrum* spp., *Protoperidinium* sp., *Ceratium* spp., *Scrippsiaella* sp.をはじめとする 36 属 59 種であった。谷津干潟では優

占種として海産性珪藻類、淡水産性珪藻類および淡水産性鞭毛藻類が共存していたことから、谷津干潟は潮汐作用により東京湾と連絡しているものの、東京湾とは異なる独自のプランクトン相を構成していることが明らかとなった。

4.4 干潟と外湾の相互作用

図一5に潮位の変動と植物プランクトンの多様性指数との関係を示す。図より夏季の多様性指数の変動は谷津川と高瀬川では異なっているのが認められる。谷津川では干満サイクルに同調するように変動しているのに対して、高瀬川では干満サイクルの影響をほとんど受けていないか、むしろ逆相関に近い変動を示した。このことは、谷津川では東京湾から多様なプランクトンが供給されているのに対し、高瀬川では干潟内部からのプランクトンの流失が生じている可能性が示唆される。

冬季の多様性指数は、2 河川共に潮汐作用とは逆相関に近い変動を示し、流入時に低い値となり、流出時に高い値となった。これは、単純なプランクトン相が流入し、多様なプランクトン相が流出していることを示しており、干潟内部の植物プランクトン相の単純化が生じている可能性を示しているものと考えられる。

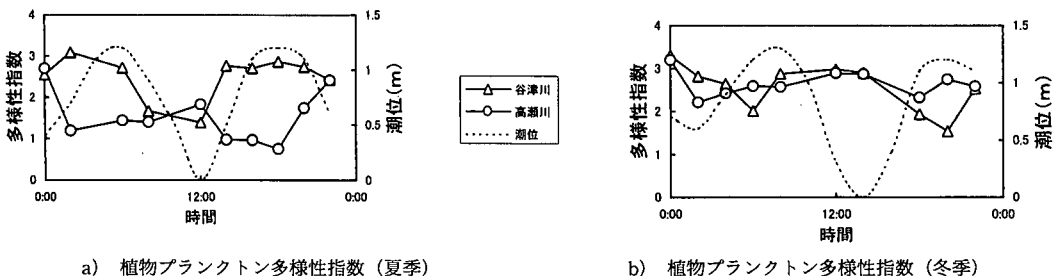
また、pH は平均 8 程度で、海水と大差なく変動幅も小さいため、植物プランクトンの生産量はそれほど高くないものと考えられた。

次に谷津川、高瀬川および干潟内部での植物プランクトンの動態について検討を行うこととする。

(1) 谷津川における植物プランクトン動態

夏季の出現種類数は 58 種であり、優占種は海産性珪藻類 *Chaetoceros* sp.と淡水産性珪藻類 *Cyclotella* sp.であった。種類数については経時的な変化はみられなかったが、細胞数では潮の流れのある時間帯に多くなる傾向が認められた。収支としては 2.7×10^7 cells/ml 流入となっている。

冬季の出現種類数は 51 種であり、優占種は海産性珪藻類 *Skeletonema costatum*と淡水産性鞭毛藻類 *Cryptomonas* spp.であった。種類数には経時的変化はみられなかったが、細胞数では流入時に流出時よりも多く



図一5 潮位変動と植物プランクトン多様性指数の関係

っており、 1.2×10^6 cells/ml が流入していた。

これより、谷津川においては植物プランクトンの種類数の年変動は小さく、植物プランクトンが東京湾から干潟に流入していることがわかった。また、植物プランクトン現存量の指標となる Chl.a は夏季は平均 $28 \mu\text{g/l}$ 、冬季は平均 $6.5 \mu\text{g/l}$ であった。

(2) 高瀬川における植物プランクトン動態

夏季の出現種類数は 54 種であり、優占種は海産性珪藻類 *Chaetoceros* sp. と淡水産性鞭毛藻類 *Cryptomonas* spp. であった。種類数については時間的な変化はみられなかったが、細胞数については流入時は流出時よりも多くなっており、 1.3×10^6 cells/ml が流入していた。

冬季の出現種類数は 59 種であり、優占種は海産性珪藻類 *Skeletonema costatum* と淡水産性鞭毛藻類 *Cryptomonas* spp. であった。種類数については時間的な変化はみられず、細胞数は流入時に流出時よりも多くなっており、 8.4×10^5 cells/ml が流入していた。

これより、高瀬川においては植物プランクトンの種類数の年変動は小さく、植物プランクトンが東京湾から干潟に流入していることがわかった。

また、植物プランクトン現存量の指標となる Chl.a は夏季では平均 $57 \mu\text{g/l}$ 、冬季では平均 $12.6 \mu\text{g/l}$ の結果を得ている。夏季に比べ冬季が少なく、夏季、冬季ともに谷津川の 2 倍程度の値を示した。これは谷津干潟の西部から流入する生活排水により栄養塩類が供給されるためと考えられる。

(3) 谷津干潟内部における植物プランクトン動態

現場調査の結果、谷津干潟における植物プランクトンは、図-6 に示すように、生物膜を形成し、満ち潮時に水面へと浮上、次の引き潮時に干潟表面に茶色を呈した潮とともに東京湾へ流出していく現象が明らかとなった。

また、谷津干潟近郊の風配図より、夏季に南西の風が強く、東京湾から干潟内へ高瀬川を通して満潮時の海水

流入が増大し、陸域からの流入水（淡水）を滞留する傾向をもっていると考えられる。この結果は現在の谷津干潟の塩分濃度が夏季で 2.3% であることから知ることができる。

一方、冬季は北風が強く、干潟から東京湾へ、すなわち、干潟内の水（淡水）の流出・交換が容易に行われ、そのため、東京湾の水質の影響を強く受ける。冬季の塩分濃度は夏季より高く 3% 程度であった。このような流れ場において、植物プランクトンの種と数は夏季に珪藻類の *Cheateoceros* spp. を代表種とする 58 種、冬季に同類の *Skeletonema costatum* を代表種とする 51 種が出現し、それらの植物プランクトン数は夏季に 10^7 N/ml 程度、冬季に 10^6 N/ml 程度であった。これを多様性指数 (Shannon Index) で示すと、夏季が 2.0、冬季が 2.5 となり、冬季の方が多様性に富んだ生態系の形成されていることがわかる。

4.5 植物プランクトン動態に及ぼす潮汐作用の影響

干潟内部では夏季に潮汐による干潟水の滞留作用の影響を受け、流入河川水に含まれる単純なプランクトン相が多数個供給されること、また、冬季に干潟水と東京湾水との交換が増大することから、干潟内の種の多様性を高める機会が増大するものと考えられる。しかしながら、冬季は生産された複雑なプランクトン相が干潟と東京湾との潮汐作用によって流出し易くなっている可能性が考えられる。

また、底泥表面の付着藻類に摂取される栄養塩類の供給源としては、上層海水よりも底泥間隙水からの無機窒素供給の役割が大き（須藤，2000）とされている。谷津干潟と同じく東京湾に位置する盤州干潟では底泥表層のフラックスは底泥間隙水から上層海水の約 2.5 倍の無機窒素が付着藻類に取り込まれている (Kuwae *et al.*, 1998)。このことは「干潟の底質から溶出した栄養塩類が植物プランクトンに摂取され、増殖した植物プランクトンが茶色を呈した生物膜となり東京湾へと流出する」と

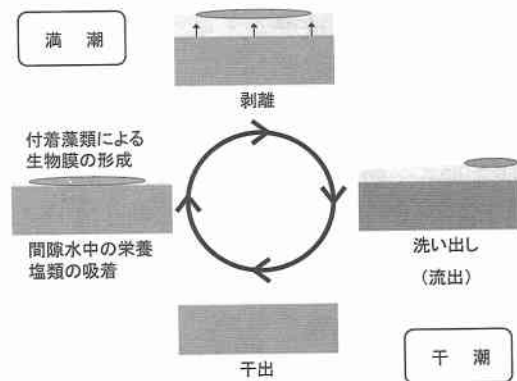


図-6 底泥表面における生物膜の形成と潮汐作用による洗い出し

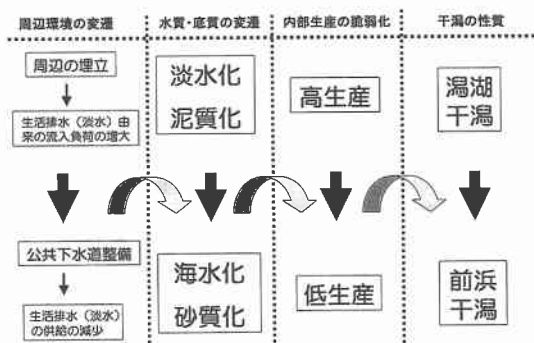


図-7 谷津干潟の変遷に影響を及ぼす各種環境因子

するいわゆる「干潟における内部生産性の脆弱化」へとつながるものである。ここでいう内部生産、すなわち生物が水中の窒素・リンを摂取することで、水の浄化が行われており、一般に多種多様な生物が共存している複雑な生態系は生産性が高く、高い浄化能力を示す(栗原, 1988)とされている。また、干潟生態系における高次捕食者として重要な地位を占めるマクロベントスのなかでも特に有機物浄化に貢献している環形動物は、底質の砂質化に伴い種類数・個体数共に減少する傾向にある(村上ら, 1998)。これらのことより、谷津干潟における底質の砂質化は、内部生産の脆弱化のみならず浄化機能の脆弱化をも意味するものであると考えられる。

以上、谷津干潟は1990年の流域下水道の整備に伴い、谷津干潟東側最奥部の谷津船溜から流入する生活排水(淡水)が減少し、その結果、谷津干潟東部の砂質化と水の海水化が進行し、アオサの繁茂を引き起こしたと考えられる。すなわち、図-7に示すように、谷津干潟の変遷初期においては、周辺の埋立・開発に伴い有機物を多量に含んだ生活排水が大量に流入し、水質の淡水化・底質の泥質化が進行し、生産性の高く、有機汚濁が進行した潟湖の干潟が形成された。しかし、現在では流域の公共下水道の整備により陸域からの淡水および有機物の供給が減少したため、水質の海水化・底質の砂質化が進行し、生産性の低い前浜干潟的な潟湖干潟を形成していることが明らかとなった。

5. 結 言

東京湾奥部に位置する潟湖化干潟の遷移特性について、特に、基本的地形学的性質を前浜干潟とする潟湖(谷津干潟)の潮汐作用と干潟の植物プランクトン動態および底質変化に着目して調査解析を行った。得られた成果は以下のようにまとめられる。

- 1) 谷津干潟では高瀬川から流入し谷津川から流出するという時計回りの流れが存在し、底質性状との関連性が示唆された。
- 2) 干潟内では下水道整備などによる生活排水の流入負荷減少により(海水/淡水)比および(砂質/泥質)比の増大が進行していることが明らかとなった。

3) 谷津干潟で観察された植物プランクトンは海産性珪藻類、淡水産性珪藻類および淡水産性鞭毛藻類であったことから、谷津干潟は東京湾とは異なる独自の生態系を構築していることが明らかとなった。

4) 季節風の影響により夏季は陸域からの流入水(淡水)を滞留する傾向を示し、冬季には干潟内の水(淡水)の流出・交換が容易に行われる傾向が認められた。

5) 植物プランクトンは潮汐作用により、引き潮時に干潟表面に茶色を呈した生物膜を形成し、満ち潮時に水面に浮上し、引き潮とともに東京湾へと流出していることが明らかとなった。

6) 干潟の底質から溶出した栄養塩類は植物プランクトンに摂取され、増殖した植物プランクトンが茶色を呈した生物膜となり東京湾へ流出する、という「干潟における内部生産性の脆弱化」の機構を知る手掛かりを得た。

参 考 文 献

- 環境庁・千葉県・習志野市 (1996): 谷津干潟環境調査報告書, 153 p.
- 栗原 康編 (1988): 河口・沿岸域の生態学とエコテクノロジー, 東海大学出版会, 337 p.
- 杉山恵一(2000): 海辺ビオトープ入門: 基礎編, 信山社サイテック, 146 p.
- 須藤隆一編(1988): 環境微生物実験法, 講談社サイエンティフィク, 294 p.
- 須藤隆一編 (2000): 環境修復のための生態工学, 講談社サイエンティフィク, 238 p.
- 高橋在久編 (1993): 東京湾の歴史, 築地書館, 237 p.
- 田中佑紀彦・高橋寛紀・村上和仁・瀧 和夫・長谷川昭仁 (1999): 谷津干潟(前浜干潟)における周辺環境および生物の変遷, 水処理生物学会誌別巻19号, p. 33.
- 能登谷正浩編 (1999): アオサの利用と環境修復, 成山堂書店, 171 p.
- 沼田 眞, 風呂田利夫編 (1997): 東京湾の生物誌, 築地書館, 411 p.
- 村上和仁, 今富幸也, 駒井幸雄, 永淵 修, 滑木 徹, 小山武信 (1998): 瀬戸内海における環形動物の生息状況と底質環境の関係, 水環境学会誌, 21 巻, pp. 757-764.
- 李 正奎, 西嶋 渉, 岡田光正, 馬場栄一 (1999): 干潟の土壌構造に及ぼす海水の流動の影響, 水環境学会誌, 22 巻, pp. 677-682.
- Kuwae, T., Y. Hosokawa, N. Eguchi (1998): Mangroves and Salt Marshes, 2, Kluwer Academic Publishers, 171 p.