

秋季の東京湾の栄養塩収支における谷津干潟の機能評価に関する現地観測

Field Observation to evaluate Function of Yatsu Tidal Flat in Nutrients Budget of Tokyo Bay in Autumn

和田麻美¹・大城亨太²・鯉渕幸生³・佐藤慎司⁴・磯部雅彦⁵

Asami WADA, Ryota OSHIRO, Yukio KOIBUCHI, Shinji SATO and Masahiko ISOBE

In order to estimate nutrients budget of a tidal flat, a field observation was conducted in autumn in Yatsu tidal flat which is connected to Tokyo Bay only through two rivers. Measured water level showed asymmetric variation with relatively longer duration for low tide, due to nonlinear effect of the semi-enclosed water body connected to the open sea by narrow and shallow rivers. It was also found that the Yatsu tidal flat was the source of nutrients for Tokyo Bay in autumn, owing to the overgrowth of ulva in spring and summer. Thus, Yatsu tidal flat is considered to be a temporal buffer for storing nutrients. The outflow of SS exceeds the inflow, resulting in the change of surface sediments from mud to sand.

1. はじめに

干潟では、底質中での脱窒作用や生物の採餌活動などによって栄養塩が除去されるため、これを通じた水質浄化機能が注目を集めている。また、生物多様性の保持や、潮間帯・沿岸域の環境保全の面からも大変重要であると考えられるが、近年わが国の自然干潟は年々減少してきている。失われつつある干潟域の重要性を適切に把握するためにも、その水質浄化機能を定量的に評価していくことが必要である。この試みとしては、底質のコアサンプルの脱窒速度の測定(原田ら, 2002)や底生生物量と浄化量の測定(陸田ら, 2003)など、個々の構成過程の計測などが行われている。しかし、干潟全体の場合を1つの系として、物質収支を計測することは通常は困難であり例が少ない。

本研究では、谷津干潟が2つの河川のみによって外部(東京湾)と接続していることに着目し、2河川での栄養塩のフラックスを計測することによって、干潟全体の栄養塩収支の定量的評価を行うとともに、これを通じて干潟一般における物質収支の測定手法を開発することを目的とした。特に、場全体の評価では、一次生産を始めとして季節変動が重要な要素であると考えられるが、ここでは光合成のピークを過ぎた秋季を対象として観測を行った。

2. 観測概要

1 学生会員	東京大学大学院 工学系研究科社会基盤学専攻
2 学生会員	東京大学大学院 新領域創成科学研究科社会文化環境学専攻
3 正 会 員 博(工)	東京大学講師 同上
4 フェロー 工博	東京大学教授 大学院工学系研究科社会基盤学専攻
5 フェロー 工博	東京大学教授 大学院新領域創成科学研究科社会文化環境学専攻

(1) 観測地の概要

本研究で対象とした谷津干潟は、千葉県習志野市に所在する東京湾最奥部に残された干潟である。図-1のように、形状は四方を埋立地によって囲まれた矩形であり、その面積は約40haである。谷津川、高瀬川の2河川を通じて東京湾と水の交換が行われることによって干潟の機能を保持している。しかしながら、近年では、周辺の公共下水道が整備されたことにより淡水流入が減少し、塩分が増加した。それに伴って底質の砂質化、アオサの異常繁茂が起きており、生態系の劣化が危惧されている。



図-1 谷津干潟と二つの河川

(2) 観測方法

谷津干潟での栄養塩収支を算出するために、2007年10月10日に谷津干潟と東京湾を結ぶ図-1に示した谷津川・高瀬川の2河川の干潟に接続する地点において、一潮汐間にわたり流量と水質の同時観測を行った。また、地上30mから干潟の写真を連続撮影することによって、干

潟の水没面積の変化を追った。流量の時系列の計測においては、2007年11月の観測において RD Instruments 社製 WorkHorse Sentinel ADCP を使用し2河川の流速を計測し、さらに別の日に検定を行った上で、写真から算出した干潟の水没面積の平均に水位変化を乗じ、それを時間差で割ることによって流量を算出するという手法を併用した。水位計測には、HOBO 製ウォーターレベルロガーを使用した。また、水質の計測については、水サンプルを採取し、冷蔵保存して実験室に持ち帰り、栄養塩（無機態窒素：NO₃-N, NO₂-N, NH₄-N, リン酸態リン：PO₄-P, ケイ酸態ケイ素：SiO₂-Si, 全窒素：TN, 全リン：TP）, SS（懸濁物質）について分析を行った。栄養塩濃度は、BRAN+LUEBEE 社製 AACSⅢを用いて定量化した。また、Alec 社製多項目水質計 AAQ1183を用いて、谷津川での溶存酸素（DO）濃度、クロロフィル *a*（chl-*a*）濃度の時間変化を観測した。

さらに、干潟の水質浄化機能と関連が深いと考えられる底質の現状調査を2007年12月10日に干潟内7箇所におけるコアサンプリングにより行った。採取したコアサンプルは冷蔵保存して実験室に持ち帰り、島津製 SALD-3000S を用いて粒度分析を、またヤナコ製 MT-700を用いて CN 測定を行った。

3. 観測結果と考察

(1) 流量の時系列変化

2007年10月10日の谷津川の水位変化は図-2のようであった。谷津、高瀬の両河川において計測した流速と、干潟の写真をもとに変換して算出した水没面積と水位変化から求める方法とを併用して算出した流量 *Q* を図-3に示す。東京湾から干潟への流入を正とする。高瀬川の流量は谷津川の約0.8倍となっていることが分かった。また2河川とも幅が狭く水深が小さいので非線形性が強いいため、水位変化は外側境界の正弦波形状からは大きくずれて非対称となり、干出時間がより長くなる干潟であるという特徴が捉えられた。

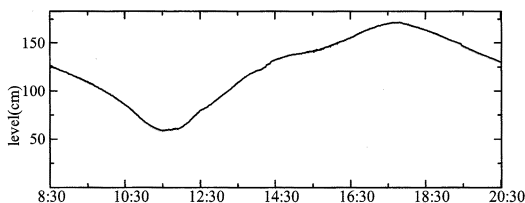


図-2 谷津川の水位変化

(2) 水質の時系列変化

a) 谷津川

谷津川の栄養塩濃度と SS の時系列変化を図-4に示した。まず栄養塩の濃度変化については、硝酸態窒素の濃度は他の時間帯の平均値が約0.42mg/L であるのに対し、高濃度では1.8mg/L にまでなるといように、無機態窒

素、全窒素、無機態リン、全リン、ケイ酸態ケイ素の全てについて、昼過ぎの下げ潮から上げ潮への変化時にパルス的な高濃度が生じていることが分かった。そこで栄養塩収支を算出する際には、この現象が、採水を行った10月10日に偶然に起こったものか否かを確認すべきであると考え、2007年11月26日と27日に同様の観測を行った。その結果10月10日と同様に下げ潮から上げ潮への変化時に高濃度のピークが得られた。下げ潮から上げ潮への変化時には水位が低く、流速の減速のために渦による乱れが発生しやすくなることで底質の巻き上げが起りやすく、栄養塩の濃度が高くなり、その水が谷津川から東京湾に出ることなく上げ潮で干潟に戻ってくるということが考えられる。しかしながら全体としては、下げ潮時の栄養塩濃度が上げ潮時に比べて平均的にやや高いという結果が得られた。

次に SS については、干潮時に濃度が高くなっているものの、栄養塩の濃度変化に共通に見られた傾向とは異なりばらついた値を示していた。そこで SS と TN、TP についての相関を図-5に示す。一潮汐間で見ると双方ともに相関が低かったが、時間帯別に見ると、午前の下げ潮時のみ SS と TN、TP ともに高い相関が得られ、それ以外の時間帯は相関が低いことが分かった。このことから、午前中の下げ潮時は観測点が干潮に近い水位が低いので、干潟から流出する水には沈降していた懸濁物質が多く含まれるために、窒素やリンも多くは懸濁態として存在していると考えられる。さらに、クロロフィル *a* の時系列変化を図-6に示した。栄養塩の濃度変化とは異なり、上げ潮時が下げ潮時よりも濃度が高く、さらに16時頃の、流速が速く流量が最も多いときに濃度も最も高くなった。また、下げ潮に変化するのと濃度が急激に低くなる時点が一致している。この濃度変化は、クロロフィル *a* が多く含まれる海水が干潟からより離れた地点から運ばれた水であることに由来する。

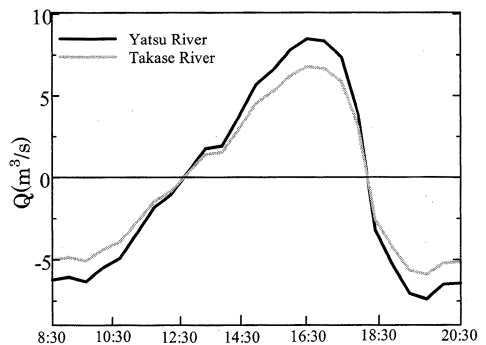


図-3 谷津川と高瀬川の流量時系列変化

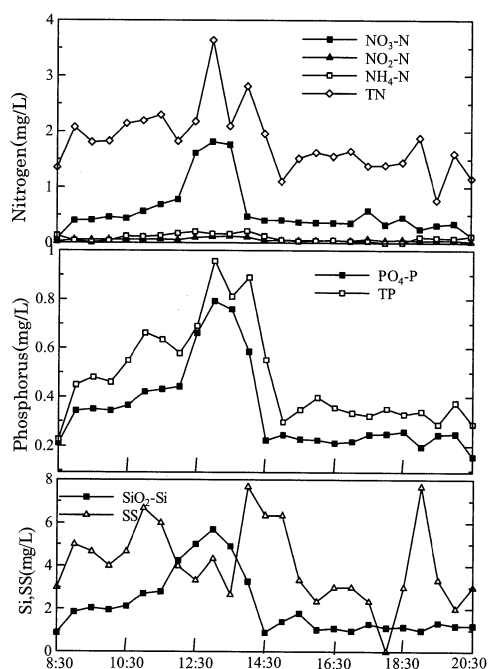


図-4 谷津川の N, P, Si, SS の時系列変化

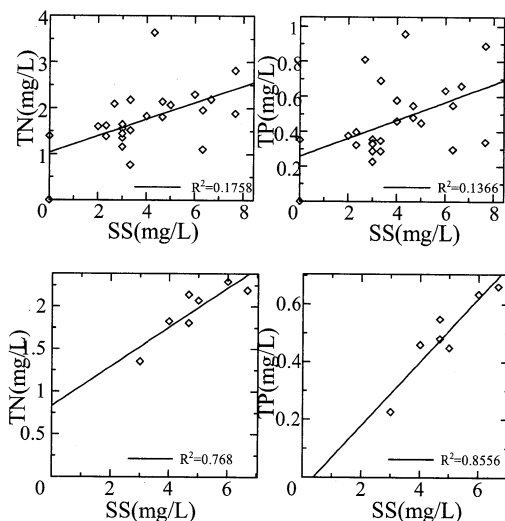


図-5 SS と TN, TP の相関(上:一潮汐間 下:午前の下げ潮)

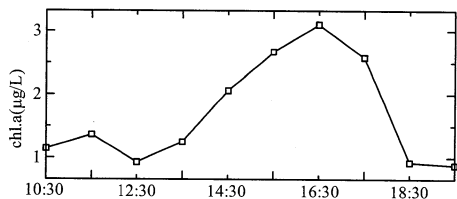


図-6 クロロフィル a の濃度変化

b)高瀬川

高瀬川の栄養塩濃度と SS の時系列変化を図-7に示した。まず栄養塩の濃度変化に関しては、全てにおいて、下げ潮時が上げ潮時に比べて平均的に濃度が高いという結果が得られた。これは谷津川よりも顕著な傾向として表れた。SS は、谷津川と同様に干潮時に高い値を示すものの、ばらついた値を示した。そこで SS と TN, TP についての相関を見ると(図-8)、一潮汐間でも時間帯別でも双方ともに相関が低かった。

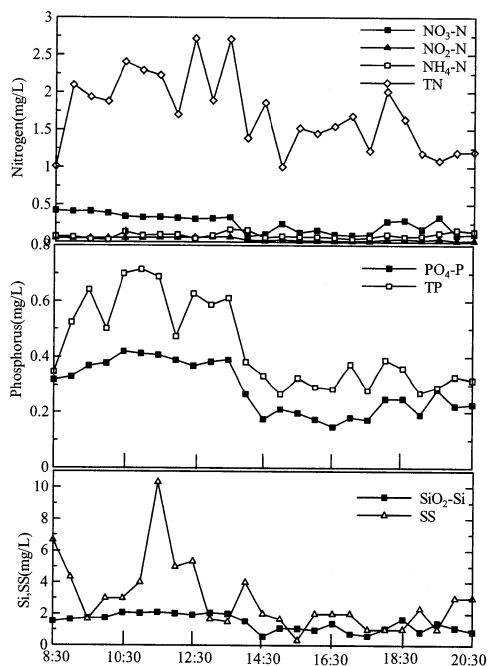


図-7 高瀬川の N, P, Si, SS の濃度変化

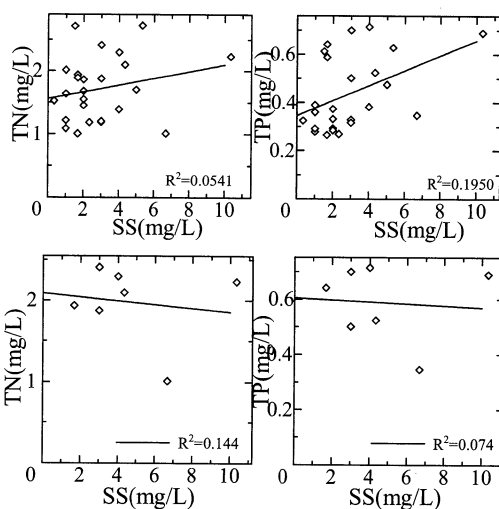


図-8 SS と TN, TP の相関(上:一潮汐間 下:午前の下げ潮)

(3) 栄養塩収支の計算結果

観測により求めた流量と栄養塩濃度、SS、クロロフィル *a* の値からそれぞれの物質収支を算出したところ、図-9の結果を得た。谷津川の溶存無機態窒素と懸濁態リン、クロロフィル *a* 以外は全ての物質について両河川とも、一潮汐間では干潟から東京湾への流出が超過しているという結果が得られた。また高瀬川は谷津川よりも流量が小さいにも関わらず、物質の流出量が多いという特徴が見られ、特に溶存無機態の栄養塩には顕著に谷津川との違いが表れた。またクロロフィル *a* は流入量が超過していた。これは植物プランクトンが豊富に含まれた東京湾由来の海水が上げ潮時に干潟に流入し、干潟内での分解や沈降により下げ潮時には上げ潮時よりも低濃度となって流出しているということである。また、C/chl. *a* を大きく見積もって50とし、Redfield 比から植物プランクトンに含まれる窒素、リンを推定すると、全体の物質収支の約10分の1程度であった。つまり、植物プランクトンに関しては干潟での固定が起きているものの、もともと干潟に堆積していた懸濁態の栄養塩が底質の巻き上げ等によって東京湾へ流出する量のほうが上回っていると考えられる。以上のことから、見かけ上、秋季の谷津干潟は東京湾に対して栄養塩の発生源となっていることが分かった。表-1に記載した他の干潟の10月の物質収支の特徴と比較すると、クロロフィル *a* を固定するが DIN も PN も放出するという現象は特異的であることが分かる。

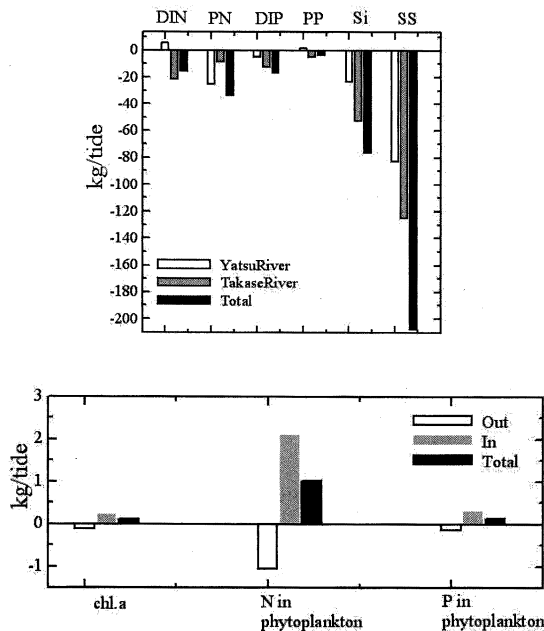


図-9 栄養塩, SS, chl. *a* の収支(干潟への流入为正)

表-1 干潟の物質収支の比較 (10月)

	Chl. <i>a</i>	DIN, DIP	PN, PP
和白干潟(博多湾) (児玉ら, 2002)	放出	固定	固定
大阪南港野鳥園北池 (矢持ら, 2003)	固定	固定	固定
英虞湾人工干潟 (国分ら, 2006)	固定	放出	固定

谷津干潟では春季・夏季のアオサの繁茂面積が年々増加し、2002年の春には全体の面積の約70%を覆った(矢部ら, 2004)。アオサは増殖時には海水中に含まれるDINの取り込み能力に優れPNの形態でストックするものの、一時的に溜め込むだけで枯死・分解後は栄養塩を水域にそのまま回帰してしまう(柳川ら, 2004)。アオサの単位面積当りの重量を1.5kg-wet/m²とし、(環境庁ほか, 1996)その単位重量当りの窒素固定量は31.9mg/g-dry(矢持ら, 2004)であることから干潟内のアオサに含まれる窒素の総量を求めると、1800kgほどであり、これが3ヶ月で放出されるとしても一潮汐で約10kg/tideほどのオーダーで窒素収支に影響するため、谷津干潟でのアオサの消長が干潟内の物質収支に与える影響は大きいと考えられる。よってアオサの繁茂する時期には栄養塩が固定され、腐敗や分解の始まる秋季には栄養塩が干潟から流出するというサイクルが生まれている可能性が示唆された。さらに、SS収支についても同様に流出が超過しているという結果が得られ、底質の流出が示唆された。

(4) 底質

図-10にコアサンプリングを行った7地点を示した。過去からの変化を見るために、環境庁らによる「谷津干潟環境調査報告書」における底質調査の結果と比較した結果を図-11に示した。干潟の中央から東側に位置するSta.1からSta.5においては、もともと砂の割合の多い砂質～砂泥質であったが砂の割合が増加し、砂質化が進行していることが分かった。これに対して干潟の西側に位置するSta.6とSta.7では、もともと砂泥質～泥質であったが粒度組成に大きな変化は見られず、干潟の東側と西側で底質の違いだけでなく、砂質化の進行の違いがあることが分かった。このことは、干潟内の地形の違いに起因していると考えられる。

干潟の水没面積の変化から、谷津干潟の中でも谷津川のある東側は、大きな滞りが発達しており干出面積が大きく長時間干出するのに対して、高瀬川のある西側は、干出面積は小さくほとんどの部分が長時間水没したままという違いを得た。そのため谷津干潟の地形は、東側が浅く西側が深くなっていると考えられ、干潟内東側では流速が速くなりそれが底質の流出を促進すると考察された。また砂質化が進行しているという結果は、SS収支の流出超過から示唆された底質の流出の可能性と整合した。さらに、西側が泥質であるため、これが高瀬川において無機態栄養塩の流出が多くなるという結果につながった。

たと考察された。

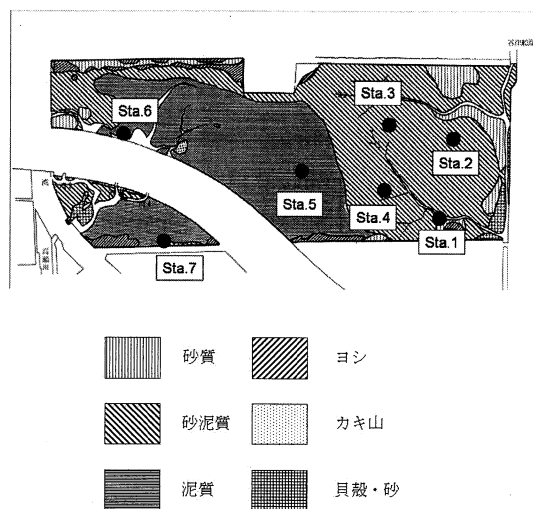


図-10 採泥地点(谷津干潟環境調査報告書(1996)を基に作成)

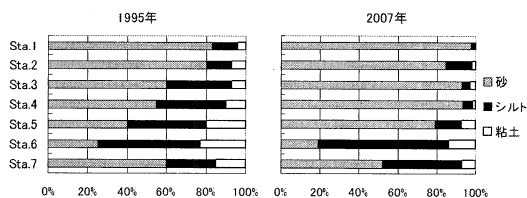


図-11 底質の粒度組成(1995年(左)と2007年(右))

4. まとめ

本研究では、谷津干潟の地形と水質環境に着目して現地観測を行うことによって、干潟全体の栄養塩収支の定量化を行い、以下の結論を得た。

- (1) 潮汐による谷津干潟の水位変動は、低水位の時間帯が相対的に長くなる特徴を有する。これは、幅が狭く水深の浅い河川によって外海とつながっている閉鎖性の干潟における非線形効果によるものである。
- (2) 秋季の谷津干潟は、見かけ上水質浄化機能を持つ場とは反対の、東京湾への栄養塩の供給源となっている。これは、春季・夏季のアオサの大発生によって栄養塩が一時的に固定され、それが分解されながら徐々に流出していることを意味し、東京湾で赤潮や青潮などの水質問題が深刻化する夏

季に栄養塩を一時的に貯蔵するという機能を持っていることが示唆された。

- (3) SSの流出超過とともに、東西で砂質化の進行に違いが見られた。谷津川の流量が高瀬川より大きく、干潟東側での流速が速くなる上に、泥分の供給もないために東側の底質の流出が進み、砂質化が進行すると解釈できる。

今後の課題としては、一年を通じて谷津干潟の物質収支と底質に関する観測を行い、春季と夏季の干潟の栄養塩固定量を定量化し、干潟の環境が今後どのように変化していくかを予測することによって、谷津干潟の生態系機能を保全していくための適切な対策を講じるための知見を得る必要がある。また、本研究では、観測は2河川でそれぞれ干潟に近い地点でのみ実施したが、境界条件をおさえるために、干潟内や東京湾側での同時観測を行うことも必要である。

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, p. 53, p. 118.
- 国分秀樹・奥村宏征・高山百合子・湯浅城之・上野成三(2006): 英虞湾の浚渫ヘドロを用いた人工干潟における潮汐に伴う水質変動の連続観測, 海岸工学論文集, 第53巻, pp. 1231-1235.
- 児玉真史・徳永貴之・松永信博(2002): 干潟における水質の季節変化とその変動要因に関する研究, 海岸工学論文集, 第49巻, pp. 1116-1120.
- 原田浩幸・滝川清(2002): 有明海底泥の水質浄化能力と物理的かく乱による能力強化に関する研究, 海岸工学論文集, 第49巻, pp. 1121-1125.
- 矢内栄二・早見友基・井元辰哉・五明美智男(2006): 谷津干潟におけるアオサの異常繁茂と干潟環境への影響評価, 海岸工学論文集, 第53巻, pp. 1191-1195.
- 柳川竜一・矢持進・橘美典(2004): 潟湖型地形を有した都市型塩性湿地造成における問題点と解決に向けた提案, 海岸工学論文集, 第51巻, pp. 1196-1200.
- 矢部徹・石井裕一・立本英機(2004): 谷津干潟における海藻アオサ類の繁茂とその要因探索, 第51回日本生態学会講演要旨集, 01-X26.
- 矢持進・柳川竜一・橘美典(2003): 大阪南港野鳥園湿地における物質収支と水質浄化機能の評価, 海岸工学論文集, 第50巻, pp. 1241-1245.
- 矢持進・藤原俊介・和田安彦・平井研・濱田のどか・金子健司・杉野信義・重松孝昌・小池敏也(2004): 都市に近接する自然干潟(和歌川河口干潟)の生物生産と窒素収支, 海岸工学論文集, 第51巻, pp. 1021-1025.
- 陸田秀実・中村健一・網谷貴彰・内田誠一郎・土井康明(2003): 自然干潟における環境因子の空間分布特性—広島県賀茂川河口干潟について—, 海岸工学論文集, 第50巻, pp. 1061-1065.