

底泥間隙水中の溶存態窒素および溶存態有機窒素の変動と 底生藻類からみた藤前干潟の浄化能力の推定

寺野 ひろ実⁽¹⁾ 登 めぐみ⁽¹⁾ 大八木 麻希⁽²⁾
田中 正明⁽²⁾ 八木 明彦⁽¹⁾

⁽¹⁾ 愛知工業大学 〒470-0392 愛知県豊田市八草町八千草1247

⁽²⁾ 四日市大学 〒512-8512 三重県四日市市萱生町1200

Purification ability of Fujimae Tidal Flat estimated from changes of dissolved nitrogen and dissolved organic carbon in interstitial water and benthic algal production

Hiromi TERANO⁽¹⁾ Megumi NOBORI⁽¹⁾ Maki OYAGI⁽²⁾
Masaaki TANAKA⁽²⁾ Akihiko YAGI⁽¹⁾

⁽¹⁾ Aichi Institute of Technology, 1247 Yachikusa, Yakusa-cho Toyota, Aichi 470-0392, Japan

⁽²⁾ Yokkaichi University, 1200 Kayou-cho, Yokkaichi, Mie 512-8512, Japan

Correspondence:

Hiromi TERANO E-mail: sweetfrog224@gmail.com

要旨

藤前干潟は、愛知県名古屋市港区の伊勢湾北部沿岸に広がる前浜干潟である。河川や海から供給される栄養塩、干潟堆積物中の有機物分解や栄養塩消費を把握するため、本研究では干潮前後の無機態窒素濃度の変化を分析した。また、底泥間隙水中の全溶存態窒素 (TDN) および溶存態有機炭素 (DOC) の変化や、底生藻類の光合成量から炭素及び窒素の浄化能力を推定した。

干潮時には、全溶存態窒素 (TDN)、アンモニア態窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$)、硝酸態窒素 ($\text{NO}_3\text{-N}$)、溶存態有機炭素 (DOC) が減少していた。

底生藻類については、計数した種を種類別の割合で示すと、珪藻が全出現種の97.2%を占めており、干潟の底生藻類は珪藻が主体であることが分かった。底生藻類の純生産量から干潟 (238ha) の炭素固定量を推定すると1日あたり928~4,069kgであった。また干潮時のDOCの減少量より452kg C day⁻¹が得られた。藤前干潟の間隙水中 (0~5cm) の炭素の浄化能力は、11-49%に相当すると見積もられ、1日あたり20,800人分であると推定された。

Abstract

Fujimae Tidal Flat is located in the northern part of Ise Bay, on the western side of the Port of Nagoya in Aichi Prefecture. To know the organic matter decomposition and nutrient consumption caused by river, sea inflow, and the tidal flat sediment, we analyzed the change in the concentration of inorganic nitrogen before and after low tide. The carbon and nitrogen purification capacities were estimated using changes in the concentrations of Total Dissolved Nitrogen (TDN) and Dissolved

Organic Carbon (DOC), respectively, in the interstitial sediment waters during the low-tide periods, and the levels of benthic algal photosynthesis.

Concentrations of Total Dissolved Nitrogen (TDN), ammonium nitrogen ($\text{NH}_4\text{-N}$), nitrate nitrogen ($\text{NO}_3\text{-N}$), and Dissolved Organic Carbon (DOC) were found to decrease during low-tide periods. Species composition analysis of the benthic algae revealed that Bacillariophyceae (diatoms) accounted for 97.2% of the overall benthic community. The amount of benthic algal net production ranged between 928 to 4,069 kg C ($238 \text{ ha}^{-1} \text{ day}^{-1}$). The decrement in carbon content was estimated as 452 kg C day^{-1} , based on DOC measured during the maximum low tide. Fujimae Tidal Flat purification capacity of interstitial water (0-5 cm) in surface sediments was estimated at 11-49%, and estimated to be equivalent to 20,800 persons as carbon for one day.

序文

内湾は閉鎖的な環境のため、河川から供給される家庭排水や工場排水由来の窒素やリンが蓄積し易い。その結果、内湾では赤潮が発生し水産生物に甚大な被害をもたらすことがあるが、干潟はそれを未然に防ぐ役割を担っている。干潟は、有機物を分解する生物の生息場所を提供することから自然環境に欠かせない存在である（日本陸水学会東海支部会，2011）。また、引き潮時には、干出した底泥に酸素が溶け込む現象（エアレーション効果）が起きるため、水質浄化能力が高い場所でもある（佐々木，1989；栗原，1991；細川，1991；菊池，1993；長谷川ほか，2007）。さらに、生物多様性の点からみても、干潟は海水と淡水が常時接する複雑な環境が多様な生物を育む貴重な場所である。しかし、日本における干潟の総面積は1945年で82,621haであったが、1994年には51,443haと約38%減少している。その原因の62%は、埋め立てによる消滅とされている（環境庁自然保護局・（財）海中公園センター，1994）。

愛知県には、名古屋市港区の伊勢湾北部沿岸に広がる藤前干潟がある。藤前干潟は、日光川、庄内川、新川の3本の河川が流入する伊勢湾に現存する最大の前浜干潟で、かつては廃棄物処理場建設に伴う埋め立ての計画があった（名古屋港管理組合・名古屋市，1998）。しかし、日本における有数の渡り鳥の飛来地でもあったことから埋め立て計画は中止され、2002年11月1日に鳥獣保護区に指定、11月18日にはラムサール条約登録地に指定され、現在に至っている。

藤前干潟で行われた環境改変については、1959年の伊勢湾台風後の復興事業の際に利用する土砂を採取する

ため、干潟の一部を広さ約300m×150m、深さ約5mまで掘り下げたことが挙げられる。しかし、その後深掘りした場所では貧酸素水塊が形成され水質が悪化し、青潮が発生するようになった。このことに関しては、2000年の東海豪雨で甚大な被害を受けた庄内川・新川流域は防災のため一部の河床を下げたが、その際に出た土砂の有効活用と干潟の水質改善を図るため5mの深掘りは順次埋め戻され、現在は深さ約2m（T. P. -3m）（国土交通省中部地方整備局庄内川河川事務所・愛知県河川工事事務所，2006）になっている。

藤前干潟に関する研究例は多く、炭素・窒素除去（八木ほか，2014）、脱窒速度（黒田，1997；野原編，2003）、一次生産量と栄養塩の挙動（八木ほか，1996；Yagi and Terai，2001c）、溶存態有機炭素分子量分画の変化（八木，2001a）、鉄・マンガンの挙動（八木，2001b）、溶存態有機炭素とメタンの動態（梅村，2010）など枚挙にいとまがない。しかし、有機物や栄養塩の挙動から水質浄化機能に言及した報告は少なく、浄化能力についても一次消費者である二枚貝類による炭素・窒素除去（川瀬ほか，2009）のみで、生態系の中で一次生産者としての役割を担う底生藻類に関するものはない。干潟は生物多様性を維持する貴重な場所であることから、本研究では、その基礎情報を蓄積するため、有機物の分解過程と干潮前後の無機態窒素濃度について、干出している間の濃度の変化を分析した。また、干潟が有する浄化能力を推定するため、底生藻類の炭素固定量を推定し、実際の調査で得られた干潮時の炭素減少量とその何割にあたるかを見積もった。さらに、人間一人・一日あたりに排出する有機物の何人分に相当するかを算出した。

材料及び方法

1. 調査地点

調査地点を図1に示した。地点は、St.①～St.⑭の14箇所とした。St.①の位置は、護岸から150m、新川右岸から115mで、St.②は護岸から230m、新川右岸から120mである。St.③～⑭は、2地点ずつが幅約100m間隔

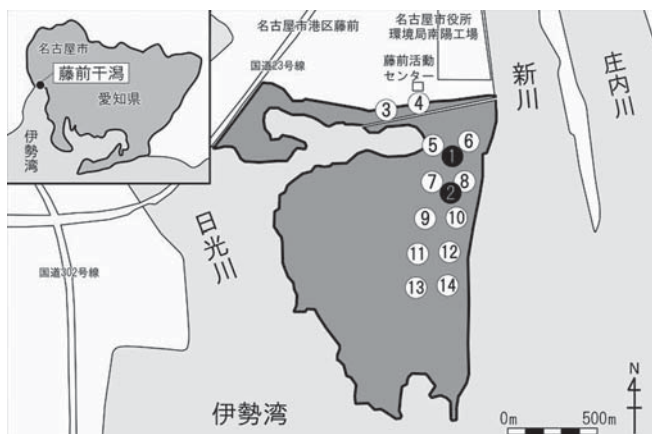


図1. 調査地点

①は護岸から150m、新川右岸から115mの位置、②は護岸から230m、新川右岸から120mの位置、St.③～⑭は2地点ずつが約100m間隔に並ぶ。

Fig.1 Location of study site.

St.① is located 150 m from the bulkhead and 115 m from the right bank of Shinkawa-river. St.② is located 230 m from the bulkhead and 120 m from the right bank of the Shinkawa-river. St.③～⑭ are located by two spots that form a line about 100 m apart.

になるよう設定した。

干潟の面積は最大干潮時で238haと報告されている(名古屋自然保護官事務所, 2009)。

2. 調査月及び調査項目

調査月及び調査項目を表1に示した。

3. 調査方法

底泥表面は、プラスチック製の容器(内径5.8cm、深さ2cm)を用いて採泥した。

底泥間隙水は、八木(2001a, 2001b)が行った採集方法と同様に、0～25cmを5cm間隔で、最大干潮時の約2時間前と約2時間後にセラミック・ポーラスカップ(大起理化製ミズツール:孔径約1 μ m)を用いて採水した。間隙水は全て溶存態として測定した。

4. 分析方法・項目

(1) 底泥表面

粒度分析

マイクロ形電磁振動ふるい器(筒井理化機械製M-2形)を用いて、細粒礫(>2mm)、粗粒砂(2mm～500 μ m)、中粒砂(500～250 μ m)、細粒砂(250～125 μ m)、極細粒砂(125～75 μ m)、シルト・粘土(<75 μ m)に分け(西條・三田村, 2000)、その比率を求めた。

表1. 調査月及び調査項目

Table.1 Investigation month and investigation item.

調査項目	調査方法等	調査月	地点
粒度分布	底泥表面を採集	平成26年6月, 10月	St.③～⑭
・溶存態有機炭素(DOC)	底泥間隙水 (0～5cmのみ)	平成26年6月, 10月	St.③～⑭
・全溶存態窒素(TDN)			
・全溶存態リン(TDP)			
・亜硝酸態窒素(NO ₂ -N)	底泥間隙水 (0～25cm)	平成26年4月, 5月, 7月, 9月, 11月, 12月	St.①, ②
・硝酸態窒素(NO ₃ -N)			
・アンモニア態窒素(NH ₄ -N)			
・無機態窒素(Inor-N)			
・溶存態有機窒素(DON)			
・全溶存態窒素(TDN)			
・リン酸態リン(PO ₄ -P)			
・全溶存態リン(TDP)			
・溶存態有機炭素(DOC)			
底生藻類	底泥表面を採集	平成25年5月	St.①

(2) 底泥間隙水

無機態窒素

亜硝酸態窒素 ($\text{NO}_2\text{-N}$) は、試水にスルファニルアミド 0.3ml, ナフチルアミン 0.3ml を加え、分光光度計により 5cm ガラスセル, 543nm の波長で測定した。硝酸態窒素 ($\text{NO}_3\text{-N}$) は、試水に Tillmans 試薬 5ml を加え、分光光度計により 1cm ガラスセル, 610nm の波長で測定した。アンモニア態窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$) は、インドフェノール法を用いて分光光度計により 5cm セル, 630nm の波長で測定した (日本工業標準調査会, 1998)。

無機態窒素 (Inorganic-N) は、亜硝酸態窒素 ($\text{NO}_2\text{-N}$), 硝酸態窒素 ($\text{NO}_3\text{-N}$), アンモニア態窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$) の和により算出した。

溶存態有機炭素 (DOC)・全溶存態窒素 (TDN)・溶存態有機窒素 (DON)

溶存態有機炭素 (DOC) と全溶存態窒素 (TDN) は TOC メーター (TOC-VE SHIMADZU; 窒素同時測定) により測定した。溶存態有機窒素 (DON) は、全溶存態窒素 (TDN) から無機態窒素 (Inorganic-N) を減じて算出した。

リン酸態リン ($\text{PO}_4\text{-P}$)・全溶存態リン (TDP)

リン酸態リン ($\text{PO}_4\text{-P}$) は、試水をモリブデン酸アンモニウム・アスコルビン酸還元青法を用いて定量した。全溶存態リン (TDP) は、過硫酸カリウム分解後にリン酸態リン ($\text{PO}_4\text{-P}$) として定量した (日本工業標準調査会, 1998)。

(3) 光合成活性及び底生藻類

クロロフィル量は、採取した泥と 92% のアセトン 20ml を共栓試験管に入れ、それを Whatman GF/C グラスファイバーフィルター (平均孔径: $1.2\mu\text{m}$, あらかじめ 450°C , 1 時間加熱のもの) でろ過し、砂粒とクロロフィルが抽出されたアセトンとを分け、抽出されたクロロフィルを蛍光法 (Holm-Hansen et al., 1965) を用いて測定、定量した。

溶存酸素は、アクリル製パイプ (内径 5.5cm, 長さ 50cm) を干潮約 2 時間前に底泥に約 5cm 埋め込んで採取し、あらかじめ GF/C でろ過しておいた海水を満たし

て上端と下端をゴム栓で蓋をし、明暗ビン法に基づいて測定した。干潮時間と同じ時間にするために、光のあたる水の中で 3 時間放置した後に溶存酸素を測定した。

底生藻類は、掻き取った底泥表面の一部を取り精製水を加えて攪拌し、光学顕微鏡下で同定・計数し、種類別の出現割合を算出した。さらに、試料の一部は珪藻の種類を確認するため、市販のパイプユニッシュ (ユニ・チャーム株式会社製) を用いてクリーニングした後に同定・計数し、種別の出現割合を算出した。

結果及び考察

1. 粒度分布

St.③～St.⑭の粒度分布を図2に示した。St.⑤～St.⑭はシルト・粘土の平均値が 26.9% と 3 割程度占めたことから、藤前干潟は泥質の特性を持つ干潟であることが分かった。また、St.③, ④はシルト・粘土が平均で 71.4% と他の地点と比べて特にかかったことから、有機物量が多く堆積し嫌気状態になりやすいことが推察された。これについては、名古屋港管理組合・名古屋市 (1998) が、St.③, ④周辺は新川河口から滞りが形成されるため、潮汐の影響を受けにくく有機物が堆積しやすい地形であると述べている。

2. St.①, ②における底泥間隙水中栄養塩類の干潮前後の変化

底泥間隙水中 (0～25cm) の亜硝酸態窒素 ($\text{NO}_2\text{-N}$),

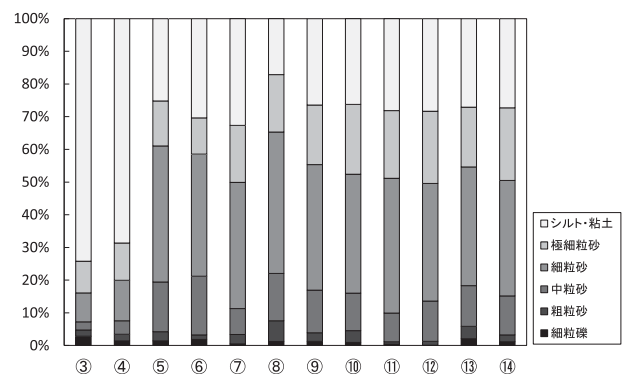


図2. 各地点の粒度分布

St.③からSt.⑭の表面泥 (0～5cm) の粒度分布を6月と10月の平均値で示す。

Fig.2 Grain size distribution at each location.

Grain size with mean value in June and October at surface mud (0-5 cm) from St.③ to St.⑭.

硝酸態窒素 (NO₃-N), アンモニア態窒素 (NH₄-N), 全無機態窒素 (T. in. N), 溶存態有機窒素 (DON), 全溶存態窒素 (TDN), リン酸態リン (PO₄-P), 全溶存態リン (TDP), 溶存態有機炭素 (DOC) について, 干潮の前と後の増減量を表2に示した. そのうち, アンモニア態窒素 (NH₄-N)・硝酸態窒素 (NO₃-N)・溶存態有機炭素 (DOC) の増減量を図3に示した.

点で大きく減少した. 7月はSt.①で減少したが, 調査期間中では7月の減少量が最も大きかった. また, 9月はSt.①で増加し, 11月には両地点ともあまり変化がみられなかったが, 12月には両地点とも増加した. 5月の両地点, 7月のSt.①における減少については, 干潮時に底泥が干上がり酸素が供給されて好気的環境になったことで底泥に生息する硝化細菌の活動が活発になり, アンモニア態窒素 (NH₄-N) が亜硝酸態窒素 (NO₂-N) を経て硝酸態窒素 (NO₃-N) へと変化したことや, 底生藻類による取り込みによって減少したと考えられた. 7月

アンモニア態窒素 (NH₄-N)

4月はあまり変化がみられなかったが, 5月では両地

表2. St.①, ②における干潮前後の栄養塩類とDOCの底泥間隙水中 (0~25cm) の月別増減量

Table.2 Increase and decrease of nitrogen and phosphorus and DOC by month in interstitial water of bottom sediment (0-25cm depth) before and after maximum low tide at St.① and St.②.

St.	月	NH ₄ -N	NO ₃ -N	NO ₂ -N	T.in.N	DON	TDN	PO ₄ -P	TDP	DOC
①	4	0.2	0.0	-0.1	0.0	-1.9	-1.9	0.6	0.6	-41.1
	5	-3.3	-2.1	-1.5	-7.0	-4.8	-11.8	0.2	3.3	-18.8
	7	-3.8	4.1	4.4	4.7	-12.8	-8.1	-1.3	0.1	-24.7
	9	1.9	-1.2	-0.1	0.6	-4.6	-4.0	1.6	0.3	13.8
	11	-0.3	-4.6	-0.2	-5.2	-5.0	-10.2	0.5	1.0	-69.9
	12	1.7	-1.3	-0.4	0.1	-3.3	-3.2	1.5	3.5	-25.0
②	4	-0.4	0.2	-0.1	-0.3	3.0	2.7	0.3	0.1	-32.3
	5	-2.9	-2.1	-2.1	-7.1	-7.1	-14.2	1.1	0.8	-19.8
	7	1.0	-3.3	-4.4	-6.7	0.6	-6.1	-1.5	-0.1	-11.3
	9	0.2	-3.5	-0.1	-3.4	-1.3	-4.8	1.0	-0.9	-16.9
	11	0.1	-9.0	-0.2	-9.1	0.0	-9.2	0.8	1.0	-80.2
	12	1.4	-0.6	-0.3	0.5	-6.2	-5.7	0.1	-1.6	-54.3

各月の調査における干潮前後の全層平均値の濃度差 (干潮後-干潮前) を示し, -は減少を示す.

Difference of concentration (after low tide - before low tide) in all layers average in each month, "-" means decrease.

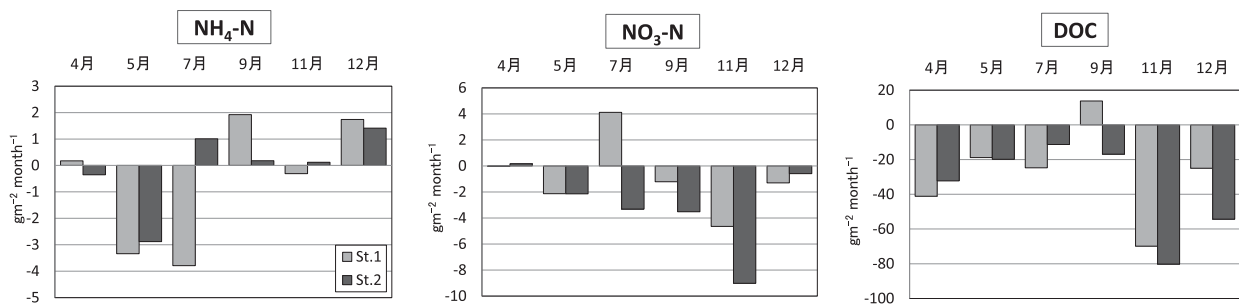


図3. St.①, ②における底泥間隙水中のアンモニア態窒素 (NH₄-N)・硝酸態窒素 (NO₃-N)・溶存態有機炭素 (DOC) の最大干潮前後の増減量

St.①, ②における底泥間隙水中のアンモニア態窒素 (NH₄-N) (左), 硝酸態窒素 (NO₃-N) (中央), 溶存態有機炭素 (DOC) (右) の干潮前後の濃度変化 (干潮後-干潮前) を示す. また, 各図は各月の全深度層の平均値を示す.

Fig.3 The increase and decrease of Ammonium Nitrogen (NH₄-N)・Nitrate Nitrogen (NO₃-N)・Dissolved Organic Carbon (DOC) in interstitial water of bottom sediment before and after maximum low tide at St.① and St.②.

Concentration changes (after low tide - before low tide) of Ammonium Nitrogen (NH₄-N) (left), Nitrate Nitrogen (NO₃-N) (center), and Dissolved Organic Carbon (DOC) (right) in interstitial water at St. ① and St. ②. Figure shows the average of all layers in each month.

のSt.②における増加については、有機物分解による添加や系外からの供給が一因であると考えられた。また、9月と12月は干潮後に増加したが、これは、底生生物や好気性細菌によるデトリタスの分解過程でアンモニア態窒素(NH₄-N)が生じたことによる増加、底生生物から排出された糞の添加、何らかの理由で干潮時に好気的環境にならず嫌気的環境が維持されたことによる底泥からの回帰など、様々な要因により増加したことが考えられた。

硝酸態窒素 (NO₃-N)

4月はあまり変化がみられなかったが、5月には両地点とも減少した。7月にはSt.①で増加したが、St.②では減少した。9月、11月、12月は両地点ともに減少しており、特に11月のSt.②が最も大きく減少した。これらの減少は、干潮時に底生藻類によって取り込まれたためと考えられた。

亜硝酸態窒素 (NO₂-N)

St.①では7月のみ増加した以外はどの月も減少し、St.②ではどの月も減少したが、両地点ともに増減量は小さかった。

溶存態有機窒素 (DON)

St.①ではどの月も減少し、7月の減少量が最も大きかった。St.②では、4月、7月に増加した以外はどの月も減少し、5月の減少量が最も大きかった。これは、干潮時に底泥に酸素が入り活動が活発になった好気性細菌によって消費されたためと考えられる。

リン酸態リン (PO₄-P)

どの月においても、両地点ともに顕著な増減はみられなかった。これは、リンは細菌に吸収されて減少するが、それと同時に吸収・分解が非常に速いため(西條・三田村, 2000)と考えられる。

全溶存態リン (TDP)

St.①の5月、12月で増加した以外は顕著な増減はみられなかった。前述のように、細菌による吸収・分解が速いためであったと考えられる。

溶存態有機炭素 (DOC)

St.①で9月に増加した以外は両地点ともにどの月も減少し、特に11月の減少量が大きかった。干潮時に底泥に酸素が入り活動が活発になった好気性細菌によって消費されたためと考えられる。

3. St. ③~⑭における底泥間隙水中栄養塩類の干潮前後の変化

底泥間隙水中(0~5cm)のSt.③から⑭における溶存態有機炭素(DOC)、全溶存態窒素(TDN)、全溶存態リン(TDP)の干潮前後の濃度(6, 10月の平均値)を表3に示した。そのうち、溶存態有機炭素(DOC)、全溶存態窒素(TDN)について図4に示した。

溶存態有機炭素 (DOC)

全地点を平均して干潮の3時間あたりに換算すると、 $-2.64 \pm 5.16 \text{mgCL}^{-1}(3\text{h})^{-1}$ となった。また、干潮後の濃度が特に低かったSt.⑤、⑥のみの減少を3時間あたりに換算すると、 $-9.39 \pm 0.14 \text{mgCL}^{-1}(3\text{h})^{-1}$ となり、大きく減少していた。このことから、殆どの地点において干潮という一定期間で好気性細菌による有機物分解が盛んに行われていることが考えられた。

全溶存態窒素 (TDN)

全ての地点において、干潮前より後の方が濃度が低く、干潮後に減少していた。全地点の減少を平均して干潮の3時間あたりに換算すると、 $-1.50 \pm 1.05 \text{mgNL}^{-1}(3\text{h})^{-1}$ となった。また、干潮後に濃度が特に低かったSt.⑤、⑥のみの減少を3時間あたりに換算すると、 $-3.55 \pm 0.17 \text{mgNL}^{-1}(3\text{h})^{-1}$ となり、大きく減少していた。これは、地点は異なるが、St.①及び②の変化をみると、全無機態窒素(T. in. N)及び溶存態有機窒素(DON)は減少している月が多いことから(表2, 前出)、全溶存態窒素(TDN)は、無機態窒素及び溶存態有機炭素の減少によることが一因であると考えられた。

全溶存態リン (TDP)

全ての地点において、干潮前後の濃度に顕著な差はなかった。全地点の減少を平均して干潮の3時間あたりに換算すると、 $0.07 \pm 0.36 \text{mgPL}^{-1}(3\text{h})^{-1}$ となった。リン

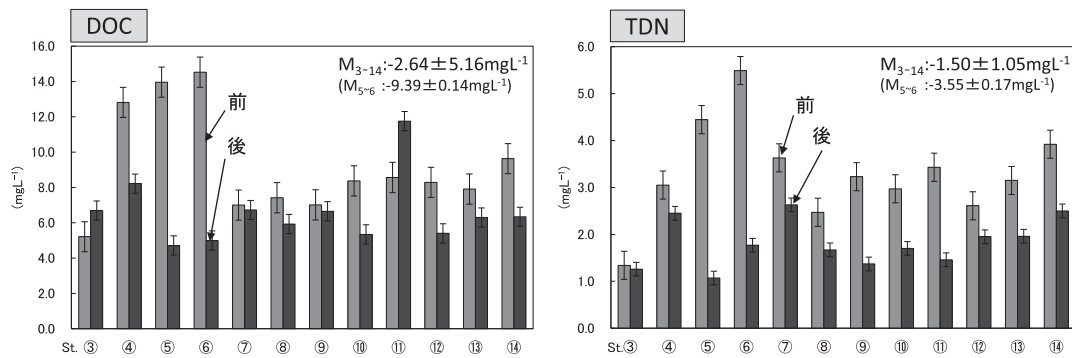


図4. St.③~⑭の底泥最表層 (0~5cm) 間隙水中の溶存態有機炭素 (DOC), 全溶存態窒素 (TDN) の干潮前後の濃度
干潮前と干潮後の濃度の6, 10月の平均値を示す.

Fig.4 Dissolved Organic Carbon (DOC) and Total Dissolved Nitrogen (TDN) concentrations in interstitial water of upper surface sediment (0-5cm) before and after low tide at St.③~⑭. Concentrations before and after maximum low tide are shown as average values of June and October at St.③~⑭.

表3. St.③~⑭の干潮前後の表層間隙水中の溶存態有機炭素 (DOC), 全溶存態窒素 (TDN), 全溶存態リン (TDP) 濃度の変化 (6, 10月平均値)

Table.3 Concentrations of Dissolved Organic Carbon (DOC), Total Dissolved Nitrogen (TDN), and Total Dissolved Phosphorus (TDP) in the upper surface sediment before and after low tide at St.③~⑭.

干潮	St.	(mgL ⁻¹)		
		DOC	TDN	TDP
前	③	5.21	1.34	0.33
	④	12.82	3.05	0.58
	⑤	13.96	4.45	0.35
	⑥	14.53	5.49	0.27
	⑦	7.00	3.63	1.47
	⑧	7.42	2.47	0.26
	⑨	7.02	3.23	0.22
	⑩	8.37	2.97	0.51
	⑪	8.57	3.43	0.22
	⑫	8.29	2.61	0.40
	⑬	7.91	3.15	0.27
	⑭	9.63	3.92	0.58
後	③	6.70	1.26	0.26
	④	8.22	2.45	0.54
	⑤	4.72	1.07	0.28
	⑥	5.00	1.77	0.29
	⑦	6.73	2.63	0.43
	⑧	5.93	1.67	0.23
	⑨	6.65	1.37	0.31
	⑩	5.34	1.70	0.49
	⑪	11.76	1.46	0.31
	⑫	5.41	1.95	0.60
	⑬	6.30	1.96	0.37
	⑭	6.34	2.50	0.54

は微生物による吸収が速いため (西條・三田村, 2000), 差が確認できなかったと考えられた.

4. 底生藻類

本研究の結果に1994年, 2000年の結果 (ともに未発表) についても取り入れて考察した. なお, 1994年の調査地点は本調査のSt.③, ④, ⑤に, 2000年の調査地点は本調査のSt.③, ④に相当する.

主体となる藻類の推定

1994年に採集したSt.③~⑤の底生藻類成分をクロロフィルa, b, cに分けて表4に示した. クロロフィルbが約5~6%であったのに対し, クロロフィルcは約15~19%と多かったことから, この干潟に生息する藻類の主体はクロロフィルcを有する種類であると考えられた. クロロフィルcは珪藻, 黄色鞭毛藻, 渦鞭毛藻に含まれるとされているが, 一日に二回干満を繰り返す干潟という環境を考慮すると, 浮遊性の黄色鞭毛藻・渦鞭毛藻は主に止水域で生息するため干潟に生息しているとは考えにくい. 珪藻は, 浮遊性, 付着性, 底生性など, 生活様式が様々であるが, 干潟という特性を考慮すると, 藤前干潟の藻類は底生性の珪藻類が主体であると考えられた.

炭素, 窒素及びC/N

1994年に採集したSt.③~⑤の底生藻類成分の炭素, 窒素及びその比C/Nを表5に示した. 底生藻類のみのC/N比は通常4~7程度であるが, どの地点においても10以上であったことから, 外来性の有機物が多く含まれると考えられた.

表4. 底生藻類のクロロフィルa, b, c成分と割合
Table.4 Components of chlorophyll-a, b, c of benthic algae. (mgm⁻²)

St.	Total Chl.	Chl-a	Chl-b	Chl-c
③	27.5	20.7 (75.3%)	1.7 (6.2%)	5.1 (18.5%)
④	29.0	23.1 (79.6%)	1.5 (5.2%)	4.4 (15.2%)
⑤	56.2	42.7 (76.0%)	3.5 (6.2%)	10.0 (17.8%)

1994年に採集した底生藻類成分をクロロフィルa, b, cの値と割合を示す。
Concentrations and ratio of chlorophyll-a, b, and c of benthic algae collected in 1994.

現存量と光合成活性

2000年に採集した底生藻類の現存量を図5に示した。また、調査時の日射量を表6に示した。

St.③は8月が最も多く0.36g Chl-am⁻²であった。5月から10月の6回を平均すると0.23g Chl-am⁻²であった。また、St.④は8月が最も多く0.19g Chl-am⁻²であった。7月, 8月, 10月の3回を平均すると0.12g Chl-am⁻²であった。

2000年に採集した底生藻類の光合成活性を図6に示した。St.③は5月5日と7月31日に大きく、それぞれ3.2, 2.9mg O₂mg Chl-am⁻² 3h⁻¹であり、8月29日には0.2mg O₂ mg Chl-am⁻² 3h⁻¹と最も低かった。St.④は7月31日に6.1mg O₂mg Chl-am⁻² 3h⁻¹と最も高い値を示し、10月26日が1.1mg O₂mg Chl-am⁻² 3h⁻¹で最小値を示した。この光合成活性は、現存量が多い月は活性が低く、現存量が少ない時は活性が高い値であった。7月31日、8月29

表5. 底生藻類の炭素, 窒素, およびC/N比

Table.5 Carbon, Nitrogen and C/N ratio of benthic algae.

St.	C (mgm ⁻²)	N (mgm ⁻²)	C/N
③	1610 ± 489	131 ± 63	13.3 ± 2.5
④	1570 ± 641	139 ± 63	11.5 ± 0.6
⑤	3780 ± 2320	422 ± 299	10.4 ± 2.3

1994年に採集した底生藻類成分の炭素, 窒素及びその比C/Nを示す。
Carbon, nitrogen and C/N ratio of benthic algae collected in 1994.

日, 10月26日の平均の活性を2地点間で比較してみるとSt.④は3.13mg O₂mg Chl-am⁻² 3h⁻¹, St.③は1.35mg O₂ mg Chl-am⁻² 3h⁻¹となり、St.④はSt.③の2倍以上の活性があったことから、St.④に活性の高い底生藻類が存在していたと思われる。これは、循環が悪い場所のため川から流れてきた物質が滞留し易く、活性の低いものや遺骸の底生藻類が多く存在しているのではないかと考えられた。

主たる底生藻類の比率

本調査で採集した底生藻類について、計数した種を種類別の割合で示した(表7)。珪藻類は97.2%、藍藻類は1.4%、緑藻類は1.4%であり、確認された藻類はほぼ全てが珪藻類であった。前述の1994年のクロロフィルa, b, c成分の構成から干潟に生息している藻類の主体は珪藻であると推定されており、この種類別比率からみても藻類の主体が珪藻である傾向が確認された。

珪藻の種類

同定・計数の結果、本調査で得られた珪藻は15種類であった。確認された主な珪藻の種類と割合を表8に示した。また、主要種の写真を図7に示した。

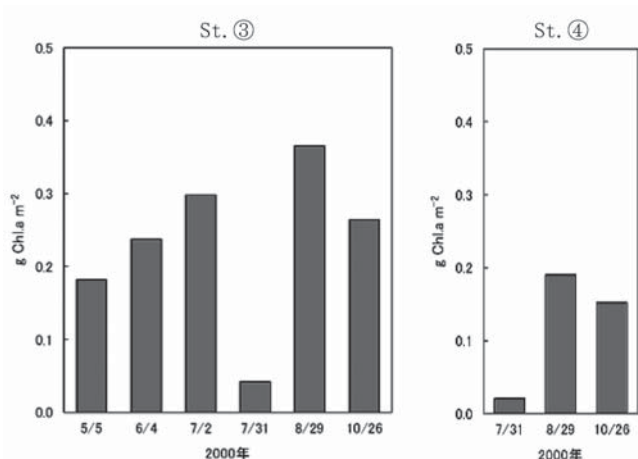


図5. 底生藻類現存量
2000年におけるSt.③とSt.④の底生藻類現存量を示す。
Fig.5 Standing crop of benthic algae.
The standing crop of benthic algae at St.③ and St.④ in 2000.

表6. 調査日の日射時間と日射量

Table.6 Sunshine hours and solar irradiance in observation day.

調査日	日照時間 (h)	全天日射量 (MJ/m ²)
2000年5月5日	12.0	26.58
2000年6月4日	7.9	20.85
2000年7月2日	12.2	26.88
2000年7月31日	6.1	18.60
2000年8月29日	11.1	22.03
2000年10月26日	1.0	8.43

日照時間, 全天日射量ともに一日の合計値を示す。気象庁のHPより抜粋。観測地点は名古屋 (北緯35度10.0分, 東経136度57.9分, 標高51.1m)。

Value of sunshine hours and solar irradiance are total of the day. Data from HP of the Meteorological Agency, the observation spot in Nagoya (35° 10.0' North Latitude, 136° 57.9' East Longitude, 51.1m above sea level).

表7. 出現した底生藻類の種類別の出現割合
Table.7 Type ratio of benthic algae observed.

class	(%)
Bacillariophyceae	97.2
Cyanophyceae	1.4
Chlorophyceae	1.4

St.①で採集した底生藻類を種別 (珪藻綱, 藍藻綱, 緑藻綱) に分けて示す。Class (Bacillariophyceae, Cyanophyceae, and Chlorophyceae) ratio of benthic algae at St.①.

表8 珪藻類の主な出現種一覧
Table.8 List of Bacillariophyceae mainly observed.

Species taxonomic name	ratio (%)	Living forms	Ecology
<i>Gyrosigma fasciola</i>	35.6	b	B~M
<i>Achnanthes</i> sp.	22.2	-	-
<i>Amphora</i> sp.	17.8	a	M
Naviculaceae (others)	5.6	b	B~F
<i>Entomoneis alata</i>	5.6	b	B
others	13.2	-	-

a: 付着性の藻類, b: 底生性の藻類, M: 海産, B: 汽水産, F: 淡水産
a: attached algae; b: benthic algae; M: marine species; B: brackish water species; F: fresh water species

種類については, *Gyrosigma fasciola* が35.6%と最も多く出現し, *Achnanthes* sp.が22.2%と次いだ。さらに, *Amphora* sp.が17.8%, Naviculaceae (others)と*Entomoneis alata*がそれぞれ5.6%であった。その他, 5%以下の10種類が合わせて13.2%得られた。

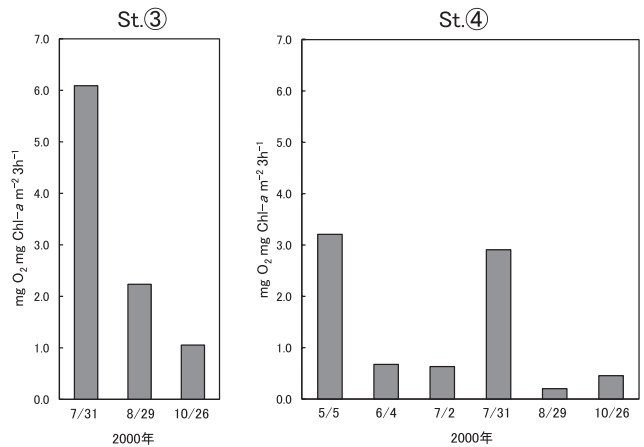


図6. 底生藻類の光合成活性
2000年におけるSt.③とSt.④との底生藻類光合成活性を示す。
Fig.6 Photosynthetic activity of benthic algae.
Photosynthetic activity of benthic algae at St.③ and St.④ in 2000.

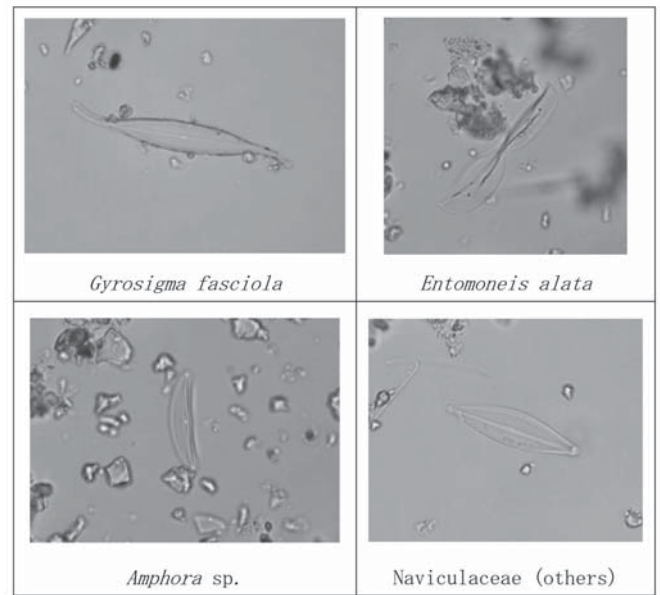


図7. 藤前干潟で得られた主要な珪藻類
Fig.7 Diatoms of Fujimae Tidal Flat.

Amphora sp. は付着性で海域に生息する種である。また, *Achnanthes* sp.を除く3種はいずれも汽水域もしくは海域で生息する種類で, 付着性や底生性であることから, 定常的に藤前干潟に生息している藻類と考えられる。八木ほか (1996) の研究では, 種数は述べられていないが, *Amphiprora* sp., *Pleurosigma salinarum*, *Navicula* sp.の3種が大部分を占めたと報告されている。その3種のうち*Pleurosigma salinarum* (底生性, 汽水か

ら海域に生息)が多くはないが、本調査でも得られている。また、名古屋港管理組合・名古屋市(1998)は、年4回の底生藻類の調査のうち春季(平成6年5月)の調査で18種類が得られたと述べており、主要種として *Navicula* sp.が36.2%、PENNALES(属種不明の羽状目)が22.4%と述べている。種類構成の比較は難しいが、種数については、同時期の本調査の出現種数(15種)と比較しても顕著な変化はなかった。藻類は、干潟の生物多様性を維持する一次生産者としての役割を担っていることから、藻類の基礎情報を蓄積することは重要であると思われる。

5. 浄化能力の推定

ここでは、干潟面積238haを用いて推定した。

底生藻類による炭素固定量の推定

干潟の底生藻類は、水鳥がゴカイやカニ等の底生動物を餌とし、それら底生動物は底生藻類を餌としていることから干潟に生息する生物の食物源としての役割を担っている。また、底生藻類は一次生産者であることから、栄養塩を利用して光合成により水中の炭素を固定することが知られている。

藤前干潟の底生藻類の現存量は、八木ほか(1996)の研究で97~263mg Chl-am⁻²と報告されており、また、2000年の調査では現存量が120~230mg Chl-am⁻²、純生産量が平均1.04~4.56g O₂ m⁻² day⁻¹と報告されている。種類については、2000年においては珪藻が主体であり(前出、表4)、本調査においても珪藻が主体(前出、表7)と構成が殆ど変わっていなかったことから、2000年に算出した純生産量を用いて、底生藻類が固定する炭素量を推定することとした。

2000年の結果を用いて純生産量を化学当量より炭素換算すると0.39~1.71g C m⁻² day⁻¹が得られた。この値を元に、干潟表面(0~5cm)の炭素固定量を仮定すると、928~4,069kg(238ha)⁻¹ day⁻¹が得られた。

表層(0~5cm)間隙水の炭素・窒素浄化能力の推定

干潮前後における炭素および窒素の減少量と浄化能力を以下のように計算した。

まず、堆積物中の間隙率(ϕ)は、以下の式で示される。

$$\phi = \frac{W}{W_c + \frac{1 - W_c}{d_s}}$$

W_c は含水率、 d_s は固体の堆積密度を示す。 d_s はMasuzawa(1987)より、2.65を代入した。

本研究において0~5cmにおける含水率は 0.307 ± 0.048 ($n=36$)が得られているため、 $W_c=0.30$ とすると、 $\phi=0.54$ が得られた。

干潟(238ha)の1日当たりの炭素減少量の算出方法は、前述のSt.③~⑭で得られた溶存態有機炭素(DOC)3時間当たりの減少量の平均(-2.64mgL^{-1})を用いて、 $\{2.64\text{gm}^{-3} (3\text{h})^{-1} \times \text{干潟面積} (238 \times 10^4 \text{m}^2) \times \text{深さ} (0.05\text{m})\} \times \{ \text{間隙率} (0.54) \} \times \{ (4\text{h} \div 3\text{h}) \text{1日の干潮時間} 4\text{時間} \} \times 2 \{ \text{1日の干潮回数} \} \div 452\text{kg C} (238\text{ha})^{-1} \text{day}^{-1}$ となった。

さらに、前述のとおり底生藻類(干潟表面(0~5cm))の炭素固定量が $928 \sim 4,069\text{kg} (238\text{ha})^{-1} \text{day}^{-1}$ と推定されたことから、炭素の減少量 $452\text{kg C} (238\text{ha})^{-1} \text{day}^{-1}$ を元に、実際に藤前干潟の食物連鎖から除去される炭素の約11~49%に相当する浄化能力を有していると推定された。

窒素の減少量については、全溶存態窒素(TDN)3時間当たりの減少量の平均(-1.50mgL^{-1})を用いて約 $257\text{kg N} (238\text{ha})^{-1} \text{day}^{-1}$ となった。

さらに、これらの炭素と窒素の一日当たりの減少量は、人間が一人当たり・一日あたりに排出する炭素と窒素を浄化する能力の何人分に相当するかを推定した。家庭下水基本原単位の全国平均(菊池ほか, 2008)の一日・一人当たり窒素11g、炭素21.7gを用いて算出すると、炭素について約20,800人分、窒素については約23,300人分の浄化能力を藤前干潟が有していると見積もられた。

砂質干潟との比較

栗原(1991)は、砂浜の有機物分解能としてCODの除去について、冬季では1潮汐あたり 3.2mgL^{-1} のCODを含んだ流入水は1/4~1/5に相当する 0.8mgL^{-1} が除去されて流出し、夏季では3~ 4mgL^{-1} が70~80%除去されると述べている。CODを炭素換算し1日あたりに換算すると、砂質の干潟では冬季では 0.6mgL^{-1} が除去され、夏季では 1.0mgL^{-1} が除去されると考えられる。泥質の

藤前干潟は、本調査において、溶存態有機炭素(DOC)3時間当たりの減少量の平均値として -2.64mgL^{-1} が得られており、これを1日に換算すると約 5.3mgL^{-1} の減少となることから、砂質の干潟よりも炭素の浄化能力は高いと考えられる。

謝辞

観測にあたっては、愛知工業大学工学部都市環境学科土木工学専攻の学生の皆様にご協力頂きました。また、名古屋女子大学大学院生活学研究科修了生の岡村理恵子さんにはご研究のデータの一部を快くご提供いただきました。観測の休憩時には環境省藤前干潟活動センターを利用させていただきました。皆様にお礼申し上げます。

引用文献

- 長谷川茂・久保添恭之・富士昭・山下和則・中舘史行. 2007. ヤマトシジミによる水質浄化基礎試験 網走湖産ヤマトシジミによる実験. 河川環境総合研究所報告, 6: 27-35.
- Holm-Hansen, O., et al. 1965. Fluorometric determination of Chlorophyll. ICES Journal of Marine Science. 30: 3-15.
- 細川恭史. 1991. 浅海域での生物による水質浄化作用. 沿岸海洋研究ノート, 29: 28-36.
- 環境庁自然保護局・財団法人海中公園センター. 1994. 第4回自然環境保全基礎調査 海域生物環境調査報告書(干潟・藻場・サンゴ礁調査), 第1巻干潟. 環境庁自然保護局, 東京. 291pp.
- 川瀬基弘・梅村麻希・八木明彦. 2009. 干潟に生息する二枚貝類の炭素・窒素除去. 第8回 海環境と生物および沿岸環境修復技術に関するシンポジウム発表論文集, pp.67-72.
- 菊池佐智子・藤田光・望月貴文. 2008. 伊勢湾流域1950-2000年における人間活動と物質負荷に着目した環境変遷の分析. 河川技術論文集, 14: 1-6.
- 菊池泰三. 1993. 干潟生態系の特性とその環境保全の意義. 日本生態学会誌, 43: 223-235.
- 国土交通省中部地方整備局庄内河川事務所・愛知県河川工事事務所. 2006. 庄内川・新川河口干潟調査会報告書. 国土交通省中部地方整備局庄内河川事務所・愛知県河川工事事務所, 名古屋. 326pp.
- 栗原康. 1991. 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, 東京. 335pp.
- 黒田伸郎. 1997. 干潟の脱窒速度の測定について. 愛知県水産試験場研究報告, 4: 49-56.
- Masuzawa, T., Fukui, Y., Hatakeyama, S., Ty Smith, N. 1987. An Optimal Controller for Blood Pressure Regulation during Surgical Operation, Proceedings of 3rd ISBMRE, pp.356-361.
- 名古屋港管理組合・名古屋市. 1998. 名古屋市港区藤前地先における公有水面埋め立て地及び廃棄物最終処分場設置事業に係る環境影響評価書. 797pp.
- 名古屋自然保護官事務所. 2009. 暮らしといのちをつなぐ 翔橋 藤前干潟. 環境省 中部地方環境事務所, 名古屋. 4pp.
- 日本工業標準調査会. 1998. 工業用水試験方法. 日本規格協会, 東京. 324pp.
- 日本陸水学会東海支部会. 2011. 身近な水の環境科学 - 源流から干潟まで -. pp.123-131. 朝倉書店, 東京.
- 野原精一編. 2003. 干潟等湿地生態系の管理に関する国際共同研究(特別研究)平成10~14年度, 国立環境研究所特別研究報告. pp.28-57. 独立行政法人 国立環境研究所, つくば.
- 西條八束・三田村緒佐武. 2000. 新編湖沼調査法. 講談社, 東京. 230pp.
- 佐々木克之. 1989. 干潟域の物質循環. 沿岸海洋研究ノート, 26: 172-190.
- 梅村麻希. 2010. 藤前干潟の潮溜まりにおける溶存有機態炭素とメタンの動態. 陸の水, 43: 83-89.
- 八木明彦. 2001a. 藤前干潟底泥間隙水中の溶存有機態炭素分子量分画とその変動. 水処理技術, 42: 419-426.
- 八木明彦. 2001b. 藤前干潟底泥間隙水中のマンガンの動態と分子量分画による溶存有機態マンガンの挙動. 水処理技術, 42: 9-16.
- Yagi, A. and H. Terai. 2001c. Primary production and water purification in the Fujimae Tidal-Flat. Verhandlungen der Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie, 27: 3394-3403.
- 八木明彦・山田久美子・岡一郎・寺井久慈. 1996. 藤前干

寺野ほか（2017） 底泥間隙水中の溶存態窒素および溶存態有機窒素の変動と底生藻類からみた藤前干潟の浄化能力の推定

潟内の一次生産と栄養塩類の挙動. 陸水学雑誌, 57:
81-82.

八木明彦・大八木麻希・川瀬基弘・横山亜希子. 2014. 藤前干潟の底泥・海水における炭素・窒素の除去. 陸の水, 64: 1-9.