

# 湿地における底質と間隙水の特徴について

木内浩一

## 1 はじめに

我孫子市岡発戸にある手賀沼北岸の約1.6haの湿地に、生態系保全のモデル地区が造成されて約3年が経過し、今ではヨシ、マコモ等の植物が生育している。この湿地は「手賀沼ビオトープ」と呼ばれ、環境教育や調査研究の場として利用されている。この手賀沼ビオトープに流入する約6,000m<sup>3</sup>/日の水は、手賀沼から汲み上げて、湿地内を循環させた後、再び沼に放流している。当センターは当初から、ここに流入する水量、水質の調査を継続している。調査の結果放流水のSSの約20%が除去され、それに伴いTN、TPがそれぞれ20%、31%低下し、手賀沼ビオトープ（以下、「湿地」という。）は湿地全体で栄養塩を除去していることが確認された<sup>1) 2)</sup>。

水中から除去されたSS分は、沈降して湿地に堆積し、そこに含まれる栄養塩を含んだ有機物は酸化、または還元を受けつつ、拡散、あるいは植物に吸収されて減少する。本調査は、湿地に堆積した栄養塩の挙動を把握する目的で、堆積物中の底質および間隙水の採取、分析を行ったものである。

先に、底質と間隙水中の栄養塩濃度について、植生のない水域と植生のある水域に分け、季節的な検討を行い、その結果を<sup>3) 4)</sup>にまとめた。ここでは、鉛直方向の資料が比較的そろっている、平成14年1月の調査結果を中心に、底質の栄養塩含有量と間隙水中のFe、Mn濃度及び態別の窒素、リン濃度の鉛直分布についてまとめた。

## 2 調査の方法

調査地点として、湿地内の図1に示す、植生の無い水域「無植生区」から3地点(St. 1, 3, 5)、ヨシ、マコモ等の植物が生育している水域「植生区」から3地点(St. 2, 4, 6)をそれぞれ選び、各地点の底泥とその間隙水を採取した。調査は平成13年8月8日、11月8日、14年1月17日に行った。(なお、本

文中で特に採取口を明記しない場合は1月17日のものである。)底泥の採取には円筒状の押し込み式の採泥器を使用して、最大50cmまで採取した後、5cmごとの試料に切断した。なお、8月の試料については表層のみ採取し、0~約10cmの試料を1試料として取り扱っている。採取した試料は遠心脱水した後、含水比、強熱減量を測定<sup>5) 6)</sup>した。また、乾燥試料を用いて底質中の窒素、リン、全炭素含有量を測定した。なお、一部の地点で土質が堅牢のため採泥器を深く押し込むことができず、試料数が限られたところがある。定量分析に供した間隙水は底泥を3000回転/分、20分間の条件で遠心分離した後の水成分を、5C濾紙で濾過したろ液である。

各態別の栄養塩量としてPO<sub>4</sub>-P、NH<sub>4</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N及びNO<sub>3</sub>-N濃度を、間隙水中の酸化還元状態の指標としてはFe、Mn濃度及びSO<sub>4</sub>濃度を定量した。分析方法はPO<sub>4</sub>-P、NH<sub>4</sub>-Nを吸光光度法で、NO<sub>2</sub>-N、NO<sub>3</sub>-Nをイオンクロマトグラフ法で、Fe、Mn濃度を原子吸光法で行った。また、間隙水濃度と表流水濃度を比較するために、St. 1より上流部で1地点、St. 6より下流部で1地点採水し、間隙水と同じ水質項目を定量した。

なお、砂質層では十分な間隙水が得られず、定量できなかった項目もある。

## 3 結果

### 3・1 底質の含水率、強熱減量

含水率、強熱減量の結果の概要を、無植生区(St. 1, 3, 5)と植生区(St. 2, 4, 6)に分けて、表1に示した。

#### イ) 含水率

植生区(St. 2, 4, 6)の3地点の表層(0~10cm)は含水率32%から46.5%の砂質土であり、また、これらの値は深さ方向にも均質な性状であった。この3地点の強熱減量をおのおの深さ方向の平均は、3.7

%~10.1%となり、有機物の少ない底質であった。

無植生区 (St. 1, 3, 5) の3地点の表層は含水率69~70%の粘性土で、粘性土の層厚は3地点共、約10cmであった。その下層は、3地点共含水率が40%未満の砂層となっていた。

#### ロ) 強熱減量等

無植生区の3地点で表層5cmの強熱減量は15.5~17.5%で一様に有機質に富んでいた。この3地点とも10cm深までは強熱減量が高いが、その下は砂層(10~15cm)となっており、ここでの強熱減量は2~7%に低下して、有機質が乏しいことを示していた。

図2及び表2に示すとおり、無植生区の水底表面の含水率、強熱減量が深さ方向に同様なことから、表層の10cmはピオトープを造成後に有機物が沈降して堆積したものであり、その下の深さ10~15cmの層は造成時の施工によるものと推定された。

さらにその深層部については、St. 5では15cm以深で粘性土であった。だが、St. 3では15~30cmまで粘性土であったものの、30cm以深では再び砂質土が続き、複雑な様相を見せていた。

植生区の表層では有機質が少なく、無植生区で有機質が富む傾向は、全炭素量でも確認している。同日、同地点の全炭素量は、植生区では12.9~21.9mg/gと低い値をとっているが、無植生区では68.4~74.2mg/gと高い値となっていた。

#### 3・2 間隙水中の鉄、マンガン濃度

1月17日の調査で6地点の間隙水中Fe濃度は平均0.51mg/l(試料数n=18の単純平均)、Mn濃度は1.28mg/l(同じくn=19)であった。また、Fe濃度が1mg/lを越えたものは18試料中3試料のみであり、Mn濃度が高い傾向にあった。

濃度の最大値は図3に示すとおり、Fe、Mn共に、St. 3の5~10cm層で、それぞれ、1.9mg/l、3.9mg/lであり、各地点とも、Fe濃度は表層から10cm付近が比較的高く、深層部では低い傾向であった。

季節的にみると、1月にはMn濃度が14地点(同じくn=17)で、Fe濃度を上回っていたが、11月6日の調査(St. 3, St. 5)では、全ての試料(n=6)でFe濃度がMnより高かった。

図4にSt. 3, St. 5(0~15cm深)でのFe、Mn濃度の推移を、8月から1月にかけて示した。Fe濃度は両地点とも11月に増加したが、1月には減少している。一方、Mn濃度は11月から1月にかけて増加傾向であった。

MnはFeよりも還元されやすく、土壌間隙水に存在しやすい傾向にある。しかしながら、今回の調査で11月から1月にかけてFe濃度減少し、Mn濃度を下回ったことで、土壌間隙水中のFe、Mn濃度は時間の経過と共に変化し、必ずしも土壌間隙水中の濃度の順位は固定されていないことが確認された。

#### 3・3 間隙水中窒素の態別濃度

間隙水中のNH<sub>4</sub>-N濃度は表2のとおり、3.20~60.5mg/l(表層)と幅があり、地点により変動しやすい特徴があった。濃度が高い地点は、St. 3, St. 5で、それぞれ平均は23.5mg/l、40.2mg/lであった。

St. 5は鉛直方向に濃度変化がみられた。図5のとおり、10~20cm層(砂層)のNH<sub>4</sub>-N濃度が、その上下の層に比べて約1/2になり、また、NO<sub>3</sub>-N濃度が上下の層に比べて高く、NH<sub>4</sub>からNO<sub>3</sub>への酸化反応が行なわれたものと推察された。

表層間隙水中のNH<sub>4</sub>-N濃度は、表2に示すとおり、土中のTN含有量を反映する傾向があり、TN含有量が6~8mg/g地点ではNH<sub>4</sub>-N濃度が高く、TN含有量が2mg/g未満の地点では、表層のNH<sub>4</sub>-N濃度が低い傾向がみられた。ただし、St. 1は例外でNH<sub>4</sub>-N濃度は低かった。

NO<sub>3</sub>-N濃度は測定試料数の単純平均(n=24)で0.10mg/lであった。濃度が高い部分が2ヶ所あり、ひとつはSt. 2の15~20cm層(粘性層)で0.38mg/l、もうひとつはSt. 5の10~20cm層(砂層)で0.35mg/lであった。

NO<sub>2</sub>-Nは全試料(n=22)のうちSt. 2(0~5cm層)の0.16mg/lが最高値であったが、残りは全て0.05mg/l以下であった。

St. 5の全6試料でNO<sub>2</sub>-NとNO<sub>3</sub>-Nの関係を図6のようにプロットしたところR=0.95の高い相関が得られた。土壌中の酸化反応はNH<sub>4</sub>→NO<sub>2</sub>→NO<sub>3</sub>の経路をとることが知られている<sup>7)</sup>。最終物質のNO

3. 中間生成物の $\text{NO}_2$ が比例していることから、この反応の進行が窺われた。

### 3・4 間隙水中の硫酸イオン濃度

間隙水中の硫酸イオン濃度は測定試料の単純平均 ( $n=24$ ) で $41.5\text{mg/l}$ であった。当日の表流水の濃度が $36\text{mg/l}$ で、これに近い値であった。

図3にSt. 3の $\text{SO}_4$ の鉛直分布を示した。St. 3では深さ方向で濃度が増加傾向にあった。表3にその他の地点の濃度の概略を示したが、地点、深さ方向ともにばらつきがみられた。

また、 $\text{SO}_4$ 濃度は季節的にも変動がみられ、11月は $0\sim 15\text{cm}$ の平均でSt. 3で $13.6\text{mg/l}$ 、St. 5で $7.4\text{mg/l}$ であったが、1月にはそれぞれ $19.4\text{mg/l}$ 、 $34.7\text{mg/l}$ に変化していた。酸化状態の土壌間隙水中に存在する $\text{SO}_4$ と $\text{NO}_3\text{-N}$ の関係を、図7にSt. 3、St. 5について示した。ほとんどの点が図中の右下の部分に分布していた。

### 3・5 間隙水中のリン酸イオン濃度

$\text{PO}_4\text{-P}$ は20試料4地点のうち6試料のみで検出され、図3に示す、St. 3 ( $0\sim 5\text{cm}$ ) の $0.42\text{mg/l}$ が最大値であった。濃度が $0.2\text{mg/l}$ を越えたものは3試料あり、いずれ $0\sim 10\text{cm}$ 深の表層部分であった。試料中ほとんどでリン酸濃度は $0.03$ 未満であり流域の河川より低かった

$\text{PO}_4\text{-P}$ は底泥のリン含有量が高いSt. 1、St. 3の地点 (それぞれ $1.48\text{mg/g}$ 、 $1.55\text{mg/g}$ ) で検出されたが、ほぼ同量の含有量 ( $1.82\text{mg/g}$ ) であるSt. 5では検出されず、リン含有量が高ければ必ず間隙水中にリン酸イオンが存在するわけではなかった。

また、濃度が $0.2\text{mg/l}$ を越えた3試料は、溶存Fe濃度が $1\text{mg/l}$ を越えた3地点でもある。酸化還元電位の低下と共にリン酸、Fe (II) の増大する傾向が知られているが<sup>7)</sup>、この調査でも両者の同様な傾向が認められた。

### 3・6 St. 3での間隙水中の成分比較

St. 3では、還元状態の土壌中で増加するといわれているFe、Mn、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度が表層で高く、酸化状

態で増加するといわれている $\text{SO}_4$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ が深層部で高かった。これは、典型的な湿地の状態と逆の現象であるが<sup>7)</sup>、手賀沼の水を導入したことにより、従来の土壌の上に有機性の浮泥が表面に急速に堆積したため、表層が強い還元状態に置かれたものと思われる。

## 4 まとめ

湿地に堆積した栄養塩の挙動を把握するために、手賀沼の北岸にある、手賀沼ビオトープで、平成13年8月8日、11月8日、14年1月17日に、湿地内の植生区3地点、無植生区3地点について、堆積物中の底質および間隙水の採取、分析を行った。底泥は円筒状の押し込み式の採泥器を使用し、深さ $5\text{cm}$ ごとに、最大 $50\text{cm}$ まで採取した。

1) 植生区の表層は砂質性で、強熱減量 $3.7\sim 10.5\%$ の、有機質の少ない土壌であった。無植生区の表層では含水比 $69\sim 70\%$ の粘性土で、強熱減量 $15.5\sim 17.5\%$ の有機質に富む堆積物が一様に約 $10\text{cm}$ 堆積していた。

2) 1月の調査で17試料中14試料でMn濃度が、Fe濃度を上回ったが、11月の調査では全ての試料 ( $n=6$ ) でFe濃度がMnより高かった。間隙水中のFe、Mn濃度が時間の経過と共に変化し、濃度の順位は固定されていないことが確認された。

3) 間隙水中の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は5地点で $3.2\sim 60.5\text{mg/l}$  (表層 $5\text{cm}$ ) と幅があり、地点により変動しやすい特徴があった。一般にTN含有量が $6\sim 8\text{mg/g}$ と高い地点では表層の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が高く、TN含有量が $2\text{mg/g}$ 未満の低い地点では、表層の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が低い傾向がみられた。

4)  $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は単純平均 ( $n=24$ ) で $0.10\text{mg/l}$ であり、 $\text{NO}_2\text{-N}$ は全試料 ( $n=22$ ) のうちSt. 2 ( $0\sim 5\text{cm}$ 層) の $0.16\text{mg/l}$ が最高値であったが、残りは全て $0.05\text{mg/l}$ 以下であった。また、St. 5の全6試料で $\text{NO}_2\text{-N}$ と $\text{NO}_3\text{-N}$ に $R=0.95$ の高い相関が得られた。

5) 間隙水中の硫酸イオン濃度は全試料の単純平均 ( $n=24$ ) で $41.5\text{mg/l}$ であった。これは当日の表流水の濃度 $36\text{mg/l}$ に近い値であった。

6)  $\text{PO}_4\text{-P}$ の最大値はSt. 3 ( $0\sim 5\text{cm}$ ) の $0.42$

mg/lで、0.2mg/lを越えたものは3試料あり、いずれも0～10cm深の表層部分であった。

PO<sub>4</sub>-Pはリン含有量が高い地点で検出されたが、リン含有量が高ければ間隙水中に必ずリン酸イオンが存在するわけではなかった。

また、この3地点は間隙水中の溶存鉄濃度が1mg/lを越えた3地点であった。酸化還元電位の低下と共にリン酸、Fe(II)の増大する傾向が知られているが、この調査で両者の同様な傾向が認められた。

7) St. 3では還元状態の土壤中で増加するFe、Mn、PO<sub>4</sub>-P濃度が表層で高く、酸化状態で増加するSO<sub>4</sub>、NO<sub>3</sub>-Nが深層部で高かった。この原因は手賀沼の水を導入したことにより、従来の土壌の上に有機性の浮泥が表面に急速に堆積したため、表層が強い還元状態に置かれたものと思われる。

#### 参考文献

1) 手賀沼ビオトープパンフレット、東葛飾土木事務所 (平成13年12月)

2) 平成12年度 手賀沼ビオトープ調査報告書 (平成14年3月) 東葛飾土木事務所、我孫子市

3) 木内浩一、本橋敬之助、手賀沼ビオトープにおける植生が底質に及ぼす影響 (平成14年2月) 第40回千葉県公衆衛生学会

4) 平成13年度 手賀沼ビオトープ調査報告書 (平成14年3月) 東葛飾土木事務所、我孫子市

5) 環境庁、底質調査方法、昭和63年9月8日環水管127号 (1988)

6) 土壌養分分析法測定委員会、土壌養分分析法、養賢堂 (1978)

7) Mitsch, W. J and J. G. Gosselink, Wetlands (3rd) Wiley and Sons (2000), pp171-173

8) Reddy, K. R., and E. M. D'Angelo. 1994. Soil processes regulating water quality in wetlands. In W. J. Mitsch, ed. Global Wetlands: Old World and New. Elsevier, Amsterdam, pp. 309-324

表1 底質の含水率、強熱減量  
含水率 (%)

地点	2試料の平均		各層の		2試料の平均		各層の		水深
	(0-10cm層)	10-15cm層	平均	試料数	(0-10cm層)	10-15cm層	平均	試料数	
St. 1	70.5	33	51.2	4	15.5	3	9.2	4	0.78
St. 3	70.5	35	51	8	17.5	7	9.2	8	1.36
St. 5	69	28	57.5	6	15.5	2	11.8	5	1.34
平均	70	32	53.2	-	16.2	4	10.1	-	1.16
St. 2	46.5	-	48.7	4	8.5	-	10	4	0.72
St. 4	32.5	-	32.5	2	4	-	4	2	1.16
St. 6	32	-	33	4	3.5	-	3.7	4	0.51
平均	37	-	38.1	-	5.3	-	5.9	-	0.8

表2 間隙水中のアンモニア濃度(mg/L)

地点	0-10cm		最小~最大	試料数	(mg/g) TN含有量
	表層	平均			
St. 1	3.2	5.47	3.2~6.71	4	7.17
St. 3	23.6	23.5	18.1~29.1	7	6.45
St. 5	60.5	40.2	30.1~63.3	6	8.93
St. 2	3.42	2.45	1.72~3.42	3	1.9
St. 4	3.84	-	-	1	1.4

表3 間隙水中のSO<sub>4</sub>濃度(mg/L)

地点	0-10cm		最小~最大	試料数
	表層	平均		
St. 1	96.4	72.1	48.1~138	4
St. 3	15.7	38.1	11.8~61.6	9
St. 5	27.9	46.4	27.5~84.8	6
St. 2	19.7	16.4	7.4~28.6	3
St. 6	43.3	28.8	14.3~43.3	2

表4 間隙水中のPO<sub>4</sub>-P濃度(mg/L)

地点	0-10cm		最小~最大	試料数	(mg/g) TP含有量
	表層	平均			
St. 1	0.15	0.1	0.02~0.27	4	1.48
St. 3	0.35	0.104	0.02~0.43	8	1.55
St. 5	0.02	0.02	0.02	6	1.82
St. 2	0.03	0.025	0.02~0.04	4	0.8
St. 6	0.02	0.02	0.02	2	0.54

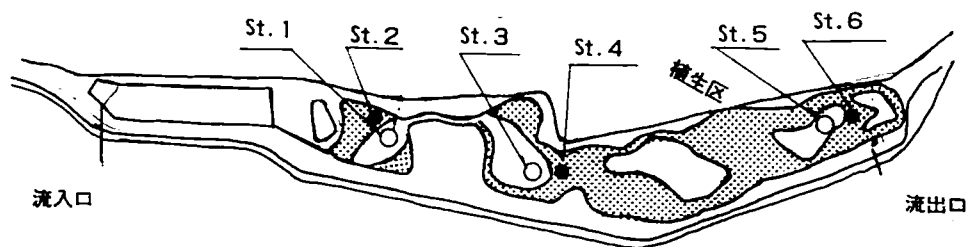


図1 手賀沼ピオトープ位置図

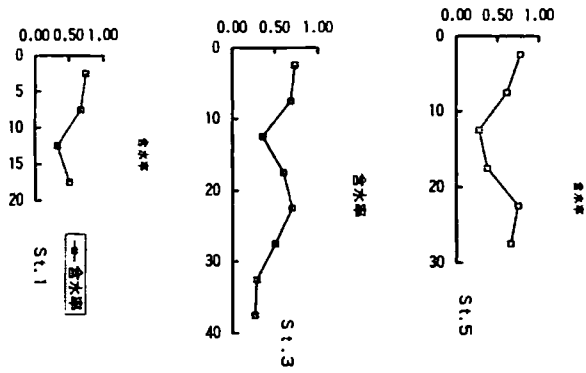


図2 無植生区における鉛直方向の含水率変化

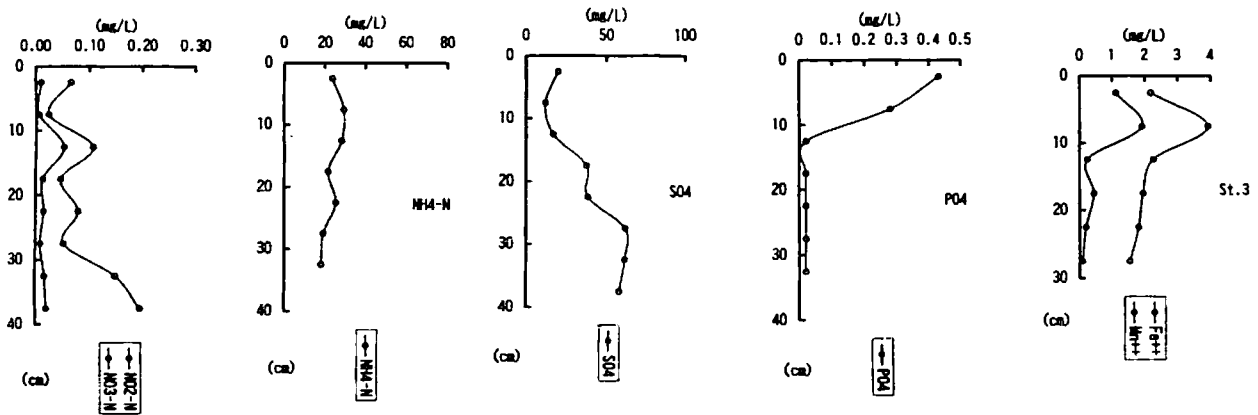


図3 St. 3における間隙水中の鉛直濃度分布

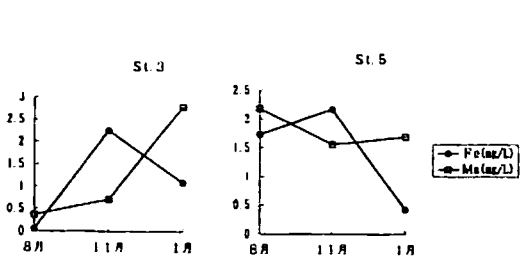


図4 間隙水中の鉄、マンガン濃度の季節変化

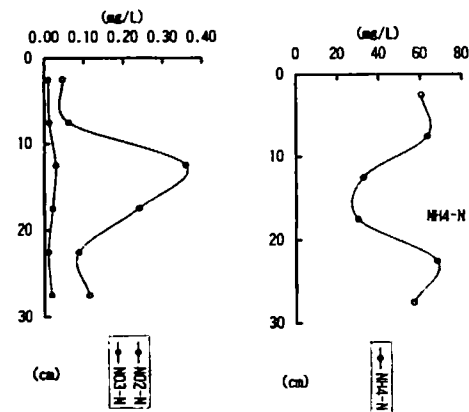


図5 間隙水中の態別窒素の鉛直濃度分布 (St. 5)

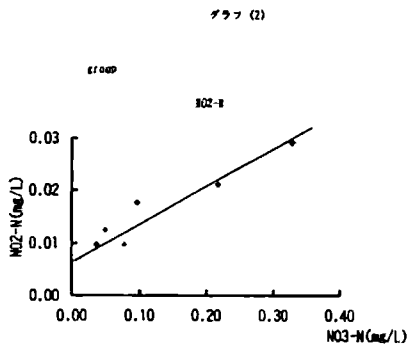


図6 間隙水中のNO<sub>3</sub>-NとNO<sub>2</sub>-Nの関係

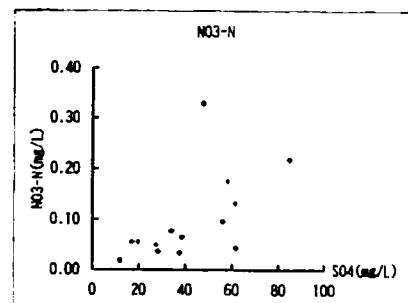


図7 間隙水中のSO<sub>4</sub>とNO<sub>3</sub>-Nの関係 (St. 3, St. 5)