

山中湖平野ワンドにおける 底泥及び間隙水、底層水の栄養塩類の相互関係について

長谷川裕弥

Relationship Observed between nutrient in Sediment, Interstitial Water and Bottom Water in the Cove of Lake Yamanakako

Yuya HASEGAWA

キーワード：山中湖、底泥、間隙水、底層水、TN、TP

前報において山中湖の北東部に位置する平野ワンドには、有機物や窒素、リンに富む底泥が広範囲に存在すること、底泥からの栄養塩類（窒素及びリン）の回帰は少ないことを報告した¹⁾。しかし、前報では調査回数や時期が単発であり、底泥からの栄養塩類の回帰を検証するには不十分であった。そこで本研究では、底泥に起因する内部負荷（栄養塩類）の実態を詳細に把握することを目的として、2016年度に測定した平野ワンドの底泥及び間隙水、底層水の栄養塩類の結果をまとめたので報告する。

水質調査は底泥調査と同日に実施した。調査地点は平野ワンドの湖心（地点1）とした。表層水は船上から水深約30 cmの湖水を採取した。底層水はバンドーン採水器で湖底直上50 cmの湖水を採取した。表層水と底層水の測定項目は浮遊物質（SS）、クロロフィルa（Chl-a）、TN、DTN、NO₃-N、NO₂-N、NH₄-N、TP、DTPとし、JIS K 0102に従って測定した。また、東亜DKK社製の多項目水質計を用いて、水深1 m毎に水温と溶存酸素量（DO）を測定した。

方法

1 底泥調査

調査は平野ワンドが結氷する時期を避け、2016年4月から12月まで毎月1回の頻度で月末に実施した。調査地点は図1に示す平野ワンドの代表3地点とした（地点1：水深3 m、地点2：水深1 m、地点3：水深5 m）。底泥はエクマンバーズ採泥器で表層（0～10 cm）を採取し、密封容器で冷蔵保存した。底泥の測定項目は乾燥減量、全窒素（TN）、全リン（TP）とし、底質調査法²⁾に従って測定した。間隙水は遠心分離法で底泥から抽出し、孔径0.45 μmのメンブレンフィルター（ミリポアHAWP0045）でろ過してから測定した。間隙水の測定項目は溶存態全窒素（DTN）、硝酸性窒素（NO₃-N）、亜硝酸性窒素（NO₂-N）、アンモニア性窒素（NH₄-N）、溶存態全リン（DTP）とし、JIS K 0102³⁾に従って測定した。溶存態有機窒素（DON）は、DTNからNO₃-N、NO₂-N、NH₄-Nを差し引いて算出した。

2 水質調査

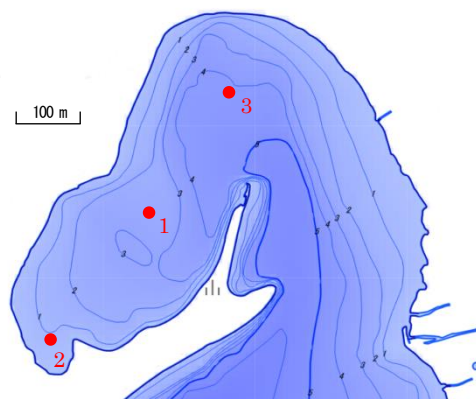


図1 平野ワンドの調査地点⁴⁾

結果と考察

1 底泥の測定結果

表1及び図2、図3に底泥の乾燥減量、TNとTP濃度の測定結果を示す。地点間の年平均値を比較すると、TNは地点2>地点1>地点3の順に高く、TPは地点2>地点1=地点3の順に高い傾向がみられた。特に地点2のTNは、地点1や地点3より2～2.7倍高かった。前報より、

表 1 底泥の測定結果

調査日	乾燥減量 (%)			TN (mg/g)			TP (mg/g)		
	地点1	地点2	地点3	地点1	地点2	地点3	地点1	地点2	地点3
2016年4月	80.5	84.4	—	6.4	10	—	1.3	1.5	—
2016年5月	66.7	83.1	70.7	2.7	8.8	3.3	0.66	1.3	1.0
2016年6月	78.9	83.1	70.2	4.2	9.0	3.4	1.1	1.4	1.1
2016年7月	76.1	87.3	73.5	4.3	12	3.5	1.1	1.9	1.2
2016年8月	80.2	83.3	72.7	6.6	11	5.2	1.3	1.4	1.1
2016年9月	80.4	83.3	73.0	3.9	10	3.9	1.2	1.3	1.2
2016年10月	81.1	86.4	71.8	6.4	10	4.3	1.2	1.6	1.1
2016年11月	80.2	84.2	71.3	5.0	10	2.6	1.2	1.4	1.0
2016年12月	81.6	85.8	73.1	5.5	10	3.6	1.2	1.5	1.1
平均値	78.4±4.7	84.5±1.6	72.0±1.2	5.0±1.3	10±1.0	3.7±0.8	1.1±0.2	1.5±0.2	1.1±0.1

平野ワンドの TN と TP の水平分布は平野ワンドの奥（地点 2>地点 1>地点 3）ほどその存在量が多いことが明らかになっており、矛盾しない結果であった。また、底泥中の TN と TP に明瞭な季節変動はみられなかった。ただし、地点 1 の 5 月は TN と TP が他の測定月より低かった。これは同月の乾燥減量が他の測定月より小さいことから、底泥の性状が異なっていたことを反映していると考えられた。

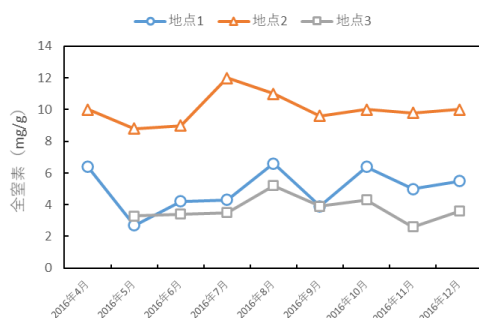


図 2 TN 量の季節変動（底泥）

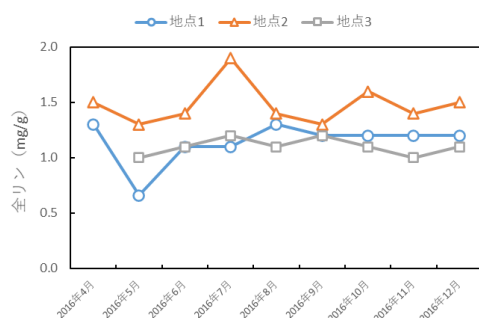


図 3 TP 量の季節変動（底泥）

2 間隙水の測定結果

(1) 間隙水の水質

表 2 に間隙水の水質測定結果を示し、図 4、図 5 に間隙水中の DTN、DTP 濃度の季節変動を示した。表 2 には記載していないが、NO₂-N は全地点で定量下限値未満 (<0.01 mg/L) だった。地点間の年平均した間隙水の DTN を比較すると、地点 2>地点 3>地点 1 の順に高濃度であり、間隙水の DTN 最大値は地点 2 で 9.0 mg/L だった。調査期間中の全地点における間隙水の DTN と底泥中の TN の間には正の相関関係が得られ ($r=0.59$, $n=27$)、間隙水の DTN は底泥中の TN 量に依存していると考えられた。次に間隙水中の DTN の季節変動をみると、全地点で明瞭な季節変動はみられなかったが、地点 2 は地点 1 や地点 3 と比べて 7 月から 12 月に高濃度の DTN を検出した。同月の地点間で濃度差がみられたことから、今後は底泥の窒素溶出機構を明らかにする必要がある。

地点間の年平均した間隙水の DTP を比較すると、地点 3>地点 1>地点 2 の順に高濃度となったが、地点間の濃度差は小さく、間隙水の DTP 最大値は地点 3 で 0.060 mg/L だった。次に間隙水中の DTP の季節変動をみると、全地点で夏季に DTP が低くなる傾向がみられた。一般に底質からのリン溶出は底層水が嫌氣的であると酸化鉄とリン酸イオンの結合が弱くなり、リン溶出が盛んになる。このことから、間隙水の DTP が低いときは底泥表面のリンが底層水側に溶出し、その結果間隙水に溶解するリンが減少していたと考えられた。

表 2 間隙水の測定結果

調査日	DTN (mg/L)			NH ₄ -N (mg/L)			NO ₃ -N (mg/L)			DON (mg/L)			DTP (mg/L)		
	地点1	地点2	地点3	地点1	地点2	地点3	地点1	地点2	地点3	地点1	地点2	地点3	地点1	地点2	地点3
2016年4月	0.26	1.0	—	0.13	0.53	—	0.09	0.06	—	0.04	0.45	—	0.048	0.060	—
2016年5月	0.46	1.4	1.2	0.13	0.60	0.26	<0.01	<0.01	<0.01	0.33	0.76	0.96	0.031	0.022	0.038
2016年6月	1.5	0.67	2.0	0.25	0.06	0.56	0.02	0.02	0.02	1.2	0.61	1.5	0.014	0.014	0.026
2016年7月	1.1	5.9	2.1	0.72	2.5	0.68	0.03	0.03	0.03	0.33	3.3	1.4	0.014	0.012	0.022
2016年8月	2.4	9.0	2.0	1.4	5.9	1.2	<0.01	<0.01	<0.01	1.0	3.1	0.81	0.010	0.010	0.014
2016年9月	1.4	3.5	2.7	0.73	2.0	1.2	<0.01	<0.01	<0.01	0.68	1.5	1.5	0.007	0.010	0.010
2016年10月	2.6	5.3	3.7	0.86	2.4	1.5	0.01	0.01	0.01	1.8	2.9	2.2	0.019	0.012	0.022
2016年11月	1.9	8.2	2.7	0.86	3.7	0.90	<0.01	<0.01	<0.01	1.1	4.5	1.8	0.024	0.012	0.050
2016年12月	1.6	4.4	2.3	0.43	2.5	0.47	0.01	<0.01	0.07	1.2	1.9	1.7	0.041	0.014	0.060
平均値	1.5±0.8	4.4±3.0	2.4±0.7	0.61±0.41	2.2±1.8	0.85±0.42	—	—	—	0.84±0.54	2.1±1.4	1.5±0.46	0.023±0.014	0.018±0.016	0.030±0.018

*NO₂-Nは全地点で<0.01 mg/L

(2) 間隙水の溶存態窒素組成

図 6～図 8 に間隙水の形態別溶存態窒素の結果を示す。地点 1 の 4 月以外の溶存態窒素の形態は DON と NH₄-N が 94～100% を占めた。前報より、湖底直上水の溶存態窒素は主に DON と NH₄-N で存在していることが明らかになっており矛盾しない結果であった。このことから、底泥中の DON は間隙水に溶解し、微生物により DON の一部が NH₄-N に無機化され、湖底直上水に DON と NH₄-N の形態で拡散していると考えられた。

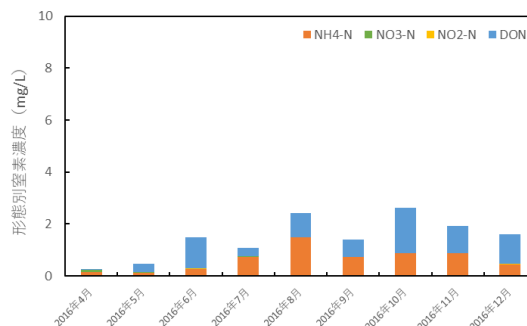


図 6 間隙水の形態別溶存態窒素の経月変化 (地点 1)

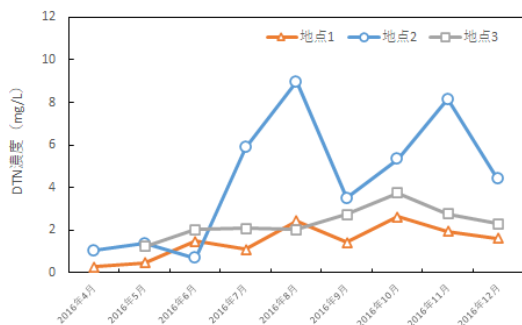


図 4 間隙水中の DTN の季節変動

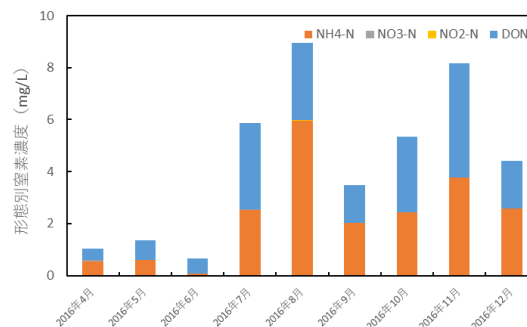


図 7 間隙水の形態別溶存態窒素の経月変化 (地点 2)

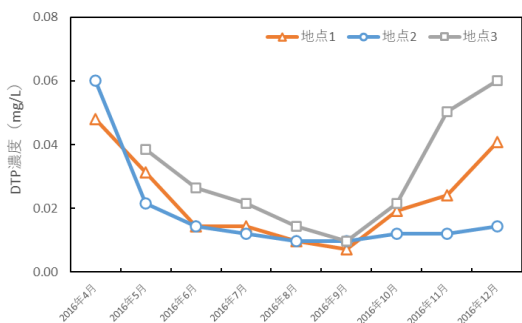


図 5 間隙水中の DTP の季節変動

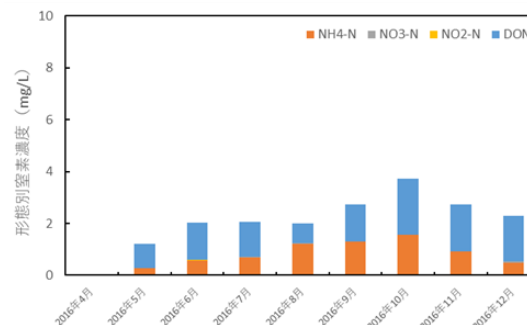


図 8 間隙水の形態別溶存態窒素の経月変化 (地点 3)

表 3 表層水と底層水の測定結果 (mg/L)

表層水	2016年4月	2016年5月	2016年6月	2016年7月	2016年8月	2016年9月	2016年10月	2016年11月	2016年12月
SS	10.6	3.0	5.8	6.3	3.2	1.7	5.4	2.8	6.7
TN	0.16	0.07	0.22	0.24	0.14	0.12	0.13	0.13	0.13
DTN	0.02	<0.02	0.04	0.02	0.04	0.07	<0.02	0.02	<0.02
NO ₃ -N	<0.01	<0.01	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
NO ₂ -N	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
NH ₄ -N	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.02	<0.01
TP	0.044	0.013	0.017	0.022	0.014	0.008	0.017	0.014	0.028
DTP	0.006	0.004	0.002	0.004	0.001	0.001	0.004	0.004	0.004
Chl-a	0.005	0.002	0.009	0.008	0.003	0.002	0.007	0.006	0.002

底層水	2016年4月	2016年5月	2016年6月	2016年7月	2016年8月	2016年9月	2016年10月	2016年11月	2016年12月
SS	14.9	3.1	6.7	6.2	4.6	5.9	5.7	-	6.6
TN	0.19	0.10	0.21	0.20	0.16	0.13	0.12	-	0.11
DTN	0.02	<0.02	0.04	0.03	0.06	<0.02	<0.02	-	0.03
NO ₃ -N	<0.01	<0.01	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	0.02	-	<0.01
NO ₂ -N	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	-	<0.01
NH ₄ -N	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	-	<0.01
TP	0.053	0.016	0.019	0.022	0.017	0.020	0.018	-	0.026
DTP	0.005	0.002	0.004	0.004	0.002	0.002	0.002	-	0.005
Chl-a	0.006	0.002	0.010	0.009	0.004	0.007	0.007	-	0.004

3 表層水と底層水の水質結果

(1) 水温と DO の鉛直分布

図9に多項目水質計で測定した水温と DO の鉛直分布を月別に示す。なお、5月は機器の不調により欠測とした。地点1は水深が浅く(約3m)、水温躍層は形成しなかった。底層 DO は8月と9月に表層より貧酸素になった。平野ワンドの底泥は有機物に富むため、湖底付近では微生物が有機物を分解する際に DO が消費され嫌気状態になっていると考えられた。

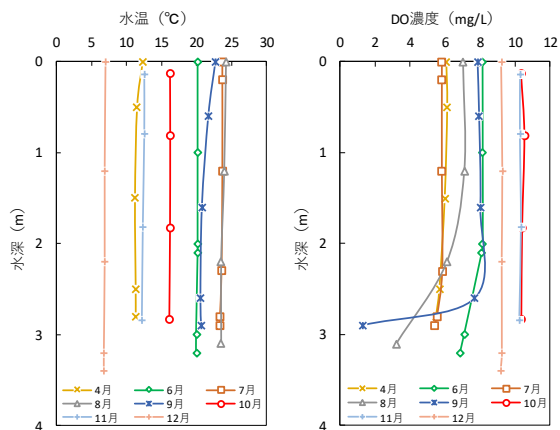


図9 水温及びDOの鉛直分布

また、底層 DO が低い時期は前述したように底泥表面のリンが溶出しやすい水環境であると考えられた。

(2) 表層水と底層水の水質結果

表3に表層水と底層水の水質結果を示す。11月の底層水は欠測とした。底層水の窒素及びリンを形態別にするに DTN の割合は8~40% (平均18%)、DTP の割合は9~19% (平均15%) であった。このことから、底層水の溶存態存在比は20%以下で低かった。また、底層水の DTN と DTP は表層水と濃度差がなく、底泥から溶出した DTN や DTP の影響は確認できなかった。以上より、底層水の水質測定では、底泥からの窒素やリン溶出の影響を確認できなかったが、間隙水には底層水と比べると高濃度の DTN や DTP が溶解しており、底泥は間隙水を通して溶存態窒素やリンの負荷源になり得ると考えられた。

まとめ

本研究では山中湖の平野ワンドにおける底泥、間隙水及び底層水の栄養塩類の測定結果を解析し、以下のことが明らかになった。

- 1) 各地点の底泥中のTNとTPには、明瞭な季節変動はみられなかった。

- 2) 底泥中のDONは間隙水に溶解し、DONの一部は微生物により $\text{NH}_4\text{-N}$ に無機化され、湖底直上水にDONと $\text{NH}_4\text{-N}$ の形態で拡散していると考えられた。
- 3) 各地点の間隙水のDTNに明瞭な季節変動はみられなかったが、地点間では濃度差があった。
- 4) 各地点の間隙水のDTPは夏季に低く冬季に高くなる季節変動がみられた。間隙水のDTPが低いときは底泥表面のリンが溶出し、間隙水に溶解する底泥表面のリンが減少していたと考えられた。
- 5) 間隙水には底層水と比べて高濃度のDTNやDTPが溶解しており、底泥は間隙水を通して底溶存態窒素やリンの負荷源になり得ると考えられた。

参考文献

- 1) 長谷川裕弥：山中湖平野ワンドにおける底質及び湖底直上水の栄養塩類水平分布特性，山梨衛環研年報，**66**，34-37（2022）
- 2) 環境省：底質調査法（2012）
- 3) 日本工業規格：JIS K 0102 工場排水試験方法（2013）
- 4) 地理院地図（国土地理院）を加工して作成