

# 湖沼への地下水を介した流入フラックスの定量化に関する研究(第1報)

水環境部

佐々木 貞幸<sup>1</sup> 人見 敬一 中尾 歩美<sup>2</sup> 福田 悦子  
 国立研究開発法人国立環境研究所 高津 文人  
 (<sup>1</sup>現大気環境部) (<sup>2</sup>現栃木健康福祉センター)

## 1 はじめに

著者らは、湯ノ湖では流入水量における地下水の割合が大きいため、地下水の栄養塩類等の濃度が低くても湖沼水質に与える影響が相対的に大きい<sup>1),2)</sup>と試算した。また、地下水と湖水との水温差が水温躍層の形成や酸素循環など湖内環境の形成に大きな影響を及ぼすと考えている。

しかし、流入位置が水中であること、流入範囲が広範と想定されること等から、その水質や量の正確な把握は難しく、従前から湖岸に露出している湧水を調べ、全ての湧出している水質を把握するという方法をとってきた。

近年は湖の水質が改善していることもあり、地下水を詳細に把握することが、湖の水質形成を知る上でさらに重要な意味を持つようになってきている。

そこで、今回、湯ノ湖を対象に湧水(地下水)の流入位置を推定するためのデータを収集したので、報告する。

## 2 調査内容及び方法等

### 2.1 湧水位置調査(水温) 令和2(2020)年3月31日

地点:湯ノ湖 St.2、St.4、St.5及びSt.6

項目:水温

### 2.2 湧水位置調査(水質) 令和2(2020)年6月24日及び9月9日

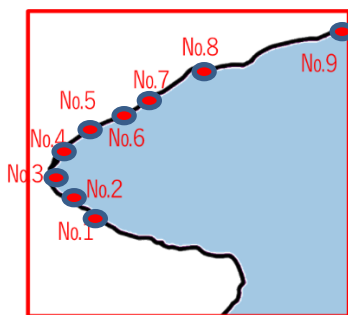
地点:湖北西部湧水 No.1~No.9

項目:pH、EC、溶存イオン成分、金属成分等

### 2.3 湖水調査(水質) 令和2(2020)年9月9日

地点:湯ノ湖 St.4、St.5、St.6及びSt.8

項目:水温、水深、pH、溶存イオン成分、金属成分等



(湖北西部拡大図)

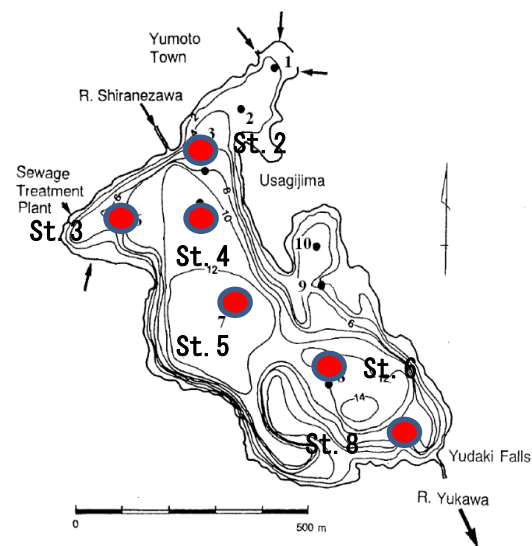


図1 湧水及び湖水調査における採水地点

## 3 結果と考察

### 3.1 湧水位置調査(水温)

ドローンによる湧水位置調査<sup>3)</sup>では、湖の北部に流入する白根沢の流入部(St.2北側付近)に、表流水の地下に冷たい伏流水があり、湖水温に影響を与えていることが視覚的に把握されている。

令和2(2020)年3月の各地点の水温を図2に、水温5.5℃となる水深を図3にそれぞれ示す。

各測定地点で温かい表層は約6℃で、冷たい水層は約5℃であった。St.2(上流)からSt.6(下流)にかけ

て温かい水層が薄くなる傾向がみられ、St. 2側に熱源となる湧水の流入がある可能性が示唆された。

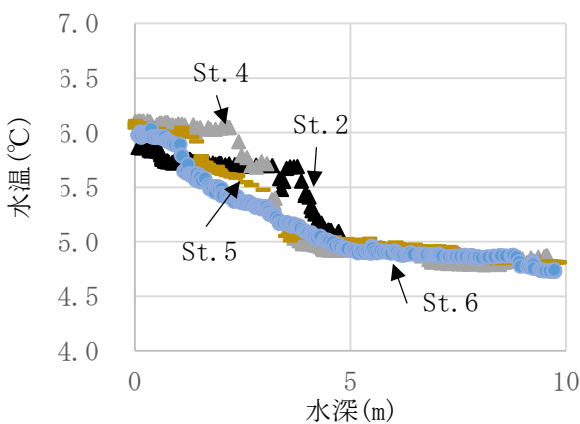


図2 水質測定地点の水温(3月)

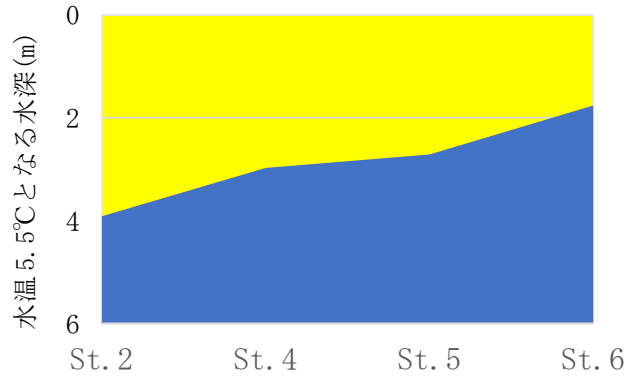


図3 水温5.5℃となる水深(3月)

### 3.2 湧水位置調査(水質)

令和2(2020)年9月の湖のSt. 4から8の表層水、湖北西部の湧水(No. 3)及びSt. 6の4つの深度の水質測定結果を表1に示す。各表層水の値を平均で除して比率(以下、「評価値」という。)を求めたものを図4に示す。表層水はTOCを除き0.9~1.1の範囲内であったため、St. 6の水質が湖内の水質を代表していると考えられた。

次に、湧水や湖水の状況を大まかに捉えるため、湧水及びSt. 6の4つの深度の水質と表層水と比較した。表1に示した湧水(No. 3)、St. 6の4つの深度の湖水及び表層水について前述の評価値を求め図5に示す。

令和2(2020)年9月の表層と深度3mの水質はほぼ同等、水温跳層より深い6m以深では深度が増すほどNH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P、Fe、Mnの濃度が高くなっており、湖底の嫌気状況の影響があると推察された。また、湧水(No. 3)は表層水よりNO<sub>3</sub><sup>-</sup>-Nが6.5倍、PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-Pが3倍と高く、これらの成分が湖岸の山を経て湖水へ流入している可能性が示唆された。

さらに、令和2(2020)年6月、湧水を確認した湖北西部を踏査し、湖岸の湧水を採取した。水質を測定した結果を表2に、その結果を表層水の平均で除した評価値を図6に示す。No. 3は6月及び9月で差はなく季節により変わらない値であった。他の地点も総じて湧水の窒素成分は湖水より高い値で、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-Nについてはどの地点でも湖水の5倍程度の濃度となっており、湖岸の山を経て湖水へ流入している可能性が示唆された。NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-Nについては地点により異なりNo. 3が最も低い値であり、底質の影響も考える必要があると考えられた。

最後に、湯ノ湖の流入負荷を知るために、真の湧水の水質と底泥の影響を区別して把握することは重要であるためNo. 3とその他の地点を比較し考察する。No. 3はほとんどの成分で最低濃度を示し、Cl<sup>-</sup>は特に低かった。No. 3以外の地点は泥状の湖底からの湧水で底質の影響もあったと推測する。現地調査ではNo. 3は砂地に湧出し、湖水との混合がない採取地点を選択しており、水質結果からNo. 3は湧水を特定できたのではないかと考える。

湧水は背後の山を浸透してきており窒素が浸出していて、その一方で湖底湧水の場合、湖底の泥の影響を無視できないため、複数地点採取し最低濃度の地点を選び取り湧水の水質を把握する手法と併せて、湖底から湧水だけを採取方法を工夫する必要がある。

表1 St. 4からSt. 8の表層水、湖北西部の湧水(No. 3)及びSt. 6の各深度と表層水の溶存成分等(9月)  
(単位 pHは無単位、ECはmS/m、左記以外はmg/l)

	pH	アルカリ度	EC	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	Si	TOC	Fe	Mn	As
St. 4表層水	7.7	32.3	16	11	1.8	<0.02	2.0	13	6.4	<0.02	0.07	29	<0.003	13.1	0.8	0.01	<0.01	0.009
St. 5表層水	7.7	32.2	16	11	1.7	<0.02	2.0	13	6.2	<0.02	0.07	28	<0.003	13.2	0.8	0.01	<0.01	0.009
St. 6表層水	7.7	31.7	15	10	1.7	<0.02	2.0	13	6.0	<0.02	0.07	28	<0.003	13.1	0.9	0.01	<0.01	0.009
St. 8表層水	7.7	31.0	15	10	1.6	<0.02	2.0	13	5.9	<0.02	0.07	27	<0.003	12.7	1.1	0.01	<0.01	0.009
湧水(No. 3)	6.9	30.3	13	6.7	0.95	<0.02	2.7	12	1.3	<0.02	0.45	27	0.009	13.2	0.2	<0.01	<0.01	0.001
St. 6(水深3m)	7.5	30.4	14	9.6	1.5	<0.02	1.9	12	5.2	<0.02	0.08	24	<0.003	13.4	1.0	0.01	<0.01	0.007
St. 6(水深6m)	6.9	39.0	17	12	1.8	0.43	2.3	15	7.9	<0.02	0.10	27	<0.003	13.8	0.9	0.02	0.15	0.005
St. 6(水深9m)	7.0	49.9	18	13	2.2	1.3	2.3	15	8.3	<0.02	<0.02	22	<0.003	12.7	1.1	0.08	0.80	0.009
St. 6(水深12m)	7.1	58.0	19	12	2.5	2.2	2.2	15	7.9	<0.02	<0.02	17	0.058	13.3	1.7	2.77	1.01	0.098

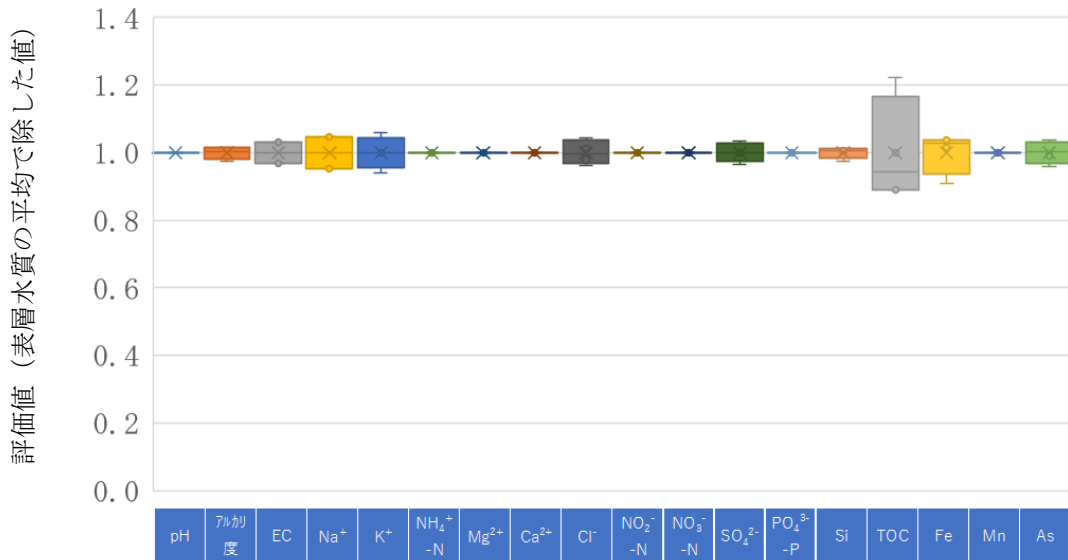


図4 表層水の溶存成分等(9月)

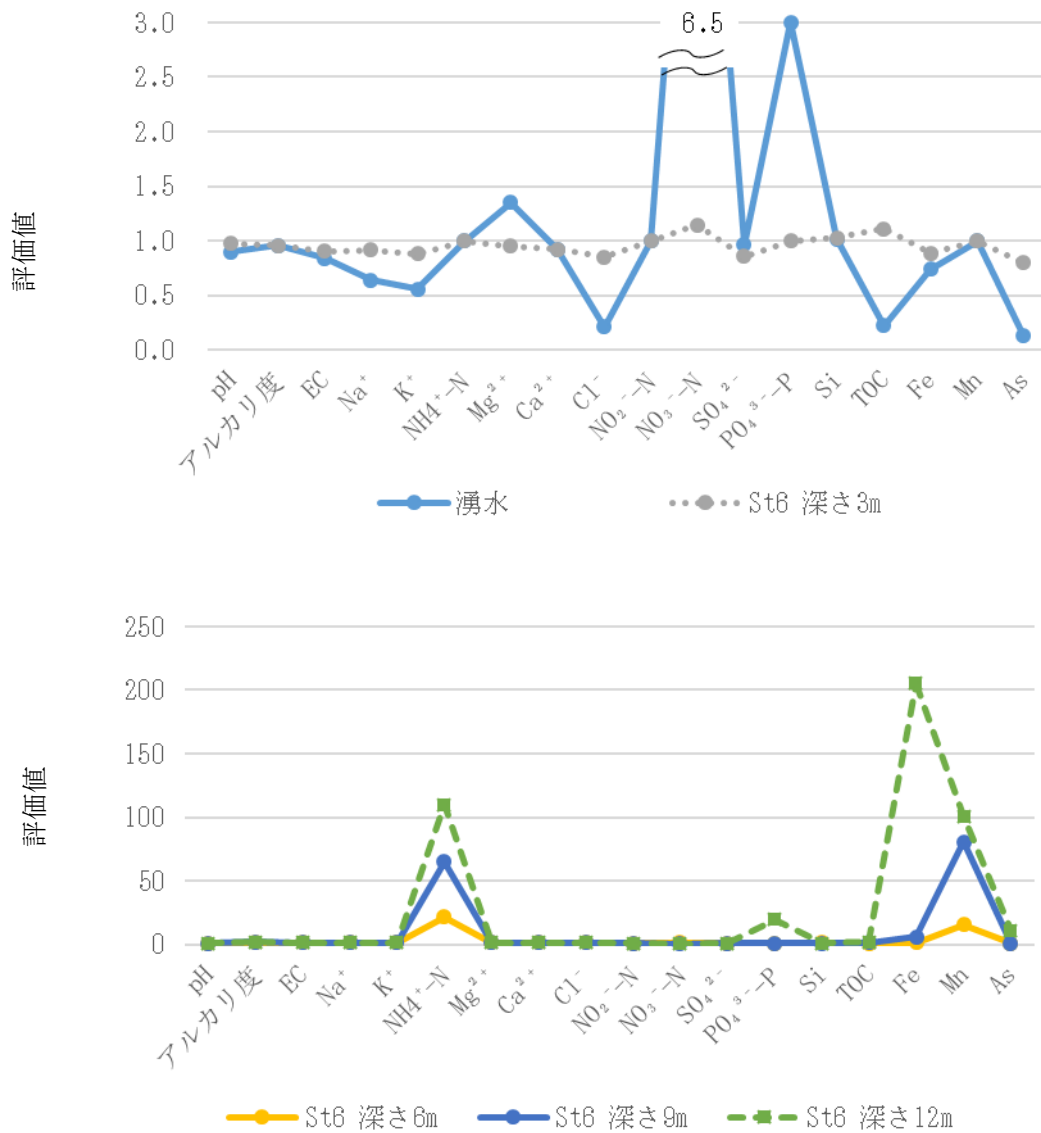


図5 湖北西部の湧水(No. 3)及び St. 6 の各深度と表層水の溶存成分等の比較(9月)

表2 湖北西部の湧水と表層水の溶存成分等(6月)

(単位 pHは無単位、ECはmS/m、左記以外はmg/l)

	pH	EC	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
No.1	-	-	16	2.5	0.43	2.0	23	9.6	<0.02	0.53	49
No.2	7.7	20	16	2.6	0.19	2.0	23	10	<0.02	0.25	49
No.3	7.3	15	7.2	1.0	0.08	2.9	15	1.4	<0.02	0.49	29
No.4	7.6	18	15	2.4	0.33	2.5	20	9.1	<0.02	0.40	40
No.5	7.5	15	11	2.0	0.26	2.8	19	7.5	<0.02	0.25	32
No.6	7.4	15	11	2.0	0.30	2.9	19	7.8	<0.02	0.34	33
No.7	7.3	15	11	2.0	0.38	2.9	20	7.7	<0.02	0.39	33
No.8	7.5	14	11	1.9	0.35	2.7	17	6.3	<0.02	0.33	31
No.9	7.3	15	11	1.9	0.43	2.9	18	6.2	<0.02	0.42	32

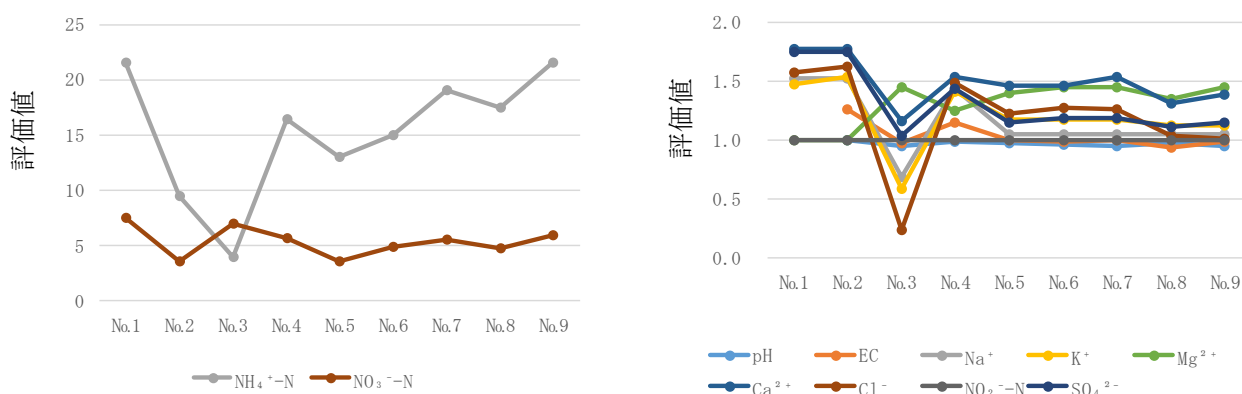


図6 湖北西部の湧水と表層水の溶存成分等の比較(6月)

#### 4 まとめ

湯ノ湖を対象にデータを収集した結果、湖内の表層の水質はSt.6の水質で把握できると考えられた。またSt.6の水質は深度が増すとともに嫌気性となっている底質の影響が見られた。湧水を湖岸9カ所で採取したが、いずれもNO<sub>3</sub><sup>-</sup>が湖の表層水より高濃度であった。湧水そのものの水質をとらえるため、複数の採水地点の水質結果から極端に濃度の低いCl<sup>-</sup>などの成分を指標とすることも考えられた。また、湖北西岸付近の湖底から湧き出ている水は、底質や流域環境の影響を受けていると推測され、その影響は無視しがたく湖への負荷を考える場合に湧水の水質、底質の影響把握にはさらなる調査が必要と考えられた。

今後は、さらにデータを収集し、湧水(地下水)の流入位置の特定、湖水の成層による水質影響の評価に繋げていきたい。

#### 5 参考文献

- 1) 福田悦子他、湯ノ湖水環境保全調査(湯ノ湖流出入水調査編)、栃木県保健環境センター年報第18号、69-73、2013
- 2) 佐々木貞幸他、新環境基準項目(底層D0等)のモニタリング手法および評価手法の構築に関する研究(第3報)、栃木県保健環境センター年報第25号、46-48、2020
- 3) 三浦真吾、高津文人、ドローンが変える湖沼環境、地球環境Vol125No1&2、95-100、2020

#### 6 謝辞

本研究にあたり、御協力をいただきました全国内水面漁業協同組合日光支所、日光湯元レストハウスの皆さまに感謝申し上げます。