

尾張丘陵東部の段丘崖に見られる湧水と 小河川源頭部の水質の季節変化

——豊田市梅坪町および八草町における事例研究——

Seasonal changes in water quality of springs and headwaters gushing from the terrace cliff of eastern part of the Owari Hills: A case study carried out at Umetsubo and Yakusa, Toyota City, Aichi, Japan

野崎健太郎

Kentaro NOZAKI

要 約

地下水が湧出する湧水は、陸水環境の始まりである。したがって地域の陸水環境の現状を理解するためには、それらの水源となる湧水や源頭部の流量や水質情報を得ることが欠かせない。本研究は、東海地域の湧水に関する自然史情報を得るために、豊田市梅坪町の湧水と八草町的小河川の源頭部で2016年3月から2017年6月にかけて17回の調査を行い水質の季節変化を調べた。測定結果の平均値と標準偏差は、電気伝導度が梅坪町で 7.78 ± 0.52 、八草町で $2.81 \pm 0.59 \text{ mS m}^{-1}$ 、水温が 15.8 ± 4.66 および $13.0 \pm 5.95^\circ\text{C}$ 、pHが 6.1 ± 0.2 および 6.2 ± 0.3 、濁度が 2.4 ± 4.3 および 0.4 ± 0.4 度、色度が 6.7 ± 4.0 および 3.5 ± 2.4 度、アンモニウム態窒素 (NH_4^+-N) が 25.8 ± 28.1 および $10.2 \pm 9.6 \mu\text{gN L}^{-1}$ 、硝酸態窒素 (NO_3^--N) が 940.6 ± 276.9 および $24.1 \pm 9.8 \mu\text{gN L}^{-1}$ 、リン酸態リン ($\text{PO}_4^{3--}\text{P}$) が 3.3 ± 3.5 および $2.2 \pm 2.0 \mu\text{gP L}^{-1}$ 、珪酸 (SiO_2) が 9.7 ± 0.7 および $8.6 \pm 1.6 \text{ mgSiO}_2 \text{ L}^{-1}$ であった。梅坪町の湧水は、人間活動の影響を強く受け、八草町に比べ、電気伝導度が3倍、硝酸態窒素は40倍であった。一方で、八草町の源頭部の水質は、この地域の自然の状態を示していると判断された。

キーワード：湧水、小河川源頭部、水質、季節変化

背景と目的

河川、湖沼や湿地といった陸水環境の始まりは、地下水が湧出する湧水である。したがって地域の陸水環境の現状を理解するためには、それらの水源となる湧水や源頭部の流量や水質情報を得ることが欠かせない(野崎・倉澤, 2010; Rossi et al., 2015; 柴田, 2015)。加えて湧水は、表流水に比べて水温の季節変化が小さい等、その起源となる地下水を含め周囲とは異なった陸水環境となり、地域の生物多様性の創出に寄与している(Gibert et al., 2009; Virtanen et al., 2009; Cantonati et al., 2012; 坂本ほか, 2014)。

東海地域の丘陵や台地の崖線、源頭には多くの湧水が見られ、それに涵養された泥炭の堆積を伴わない鉱質土壌湿原(富田, 2010)には、シラタマホシクサ(*Eriocaulon nudicuspa*)、トウカイコモウセンゴケ(*Drosera tokaiensis*)、シデコブシ(*Magnolia stellata*)等の東海丘陵要素(植田, 1989)を構成する植物が見られる(瀬

沼, 1998; 富田, 2008)。これらの植物を育む湧水の水質は、pH 4 ~ 6の弱酸性、電気伝導度 $1 \sim 5 \text{ mS m}^{-1}$ の貧栄養であることが特徴とされている(波田ほか, 1999; 森山, 2000; 辻村ほか, 2001; 富田, 2008; 富田, 2010)。しかしながら、これらの報告では、記載が断片的、あるいは栄養度を窒素・リン濃度ではなく電気伝導度から判断する等の問題があり、湧水の湧出量と水質の季節変化を詳細に記載した報告は、野崎・各務(2014)に限られている。東海地域の現状とは対照的に、東京では1970年代から湧水の湧出量、水温、水質の長期観測結果が蓄積され、湧水と都市化や気候変動との関係が議論されている(吉田・小倉, 1978; Ogura and Morikawa, 1985; Kato and Ogura, 1992; 小倉, 2000; 国分・土屋, 2003; 新井, 2004; 成宮ほか, 2006; 対馬ほか, 2008; 成宮ほか, 2009; 宮野ほか, 2013)。本研究は、野崎・各務(2014)に引き続き、東海地域の湧水に関する自然史情報の空白を埋めていく1つの試みとして行った。

方 法

調査地

調査を行った7地点の位置を図1に示した。6地点は、矢作川右岸、籠川～伊保川右岸、逢妻女川源流に広がる藤岡面と呼ばれる丘陵および三好面・挙母面と呼ばれる台地(町田ほか, 1962; 中根, 1991)の段丘崖に、1地点は、矢作川左岸の六所山(標高611 m)中腹に位置する。7地点の内、豊田市梅坪町の湧水と八草町の小河川源頭部で2016年3月から2017年6月にかけて月1回の頻度で季節変化を調べた。梅坪町の調査地点は、挙母面の段丘崖から湧出しており、段丘上には梅坪神社と安長寺の墓地があり、その周囲は住宅地に囲まれている。八草町の調査地点は、藤岡面から流出して伊保川に流入する小河川の源頭部で集水域はアベマキ(*Quercus variabilis*)を中心とした雑木林である。これら2地点を中心的な調査地として選択した理由は、人間活動の影響を検出するためである。表1に各調査地点の地理的情報をまとめた。人間活動の影響の強さは、現地を歩き、住宅地と農地の多寡から判断した。他の地点は、2017年1月から6月にかけて行った調査に、それ以前に測定していた断片的な結果を加えた。

図2に向山を除く6地点の写真を示した。梅坪町(A, B)では、調査期間中の8月から11月にかけて路面の改修工事が行われた。湧水は、竹林と雑木林が背後にある崩落面に見られ砂が多い砂礫層から湧出していた。湧水と段丘平面部との標高差は20 m程度であった。八草町(C, D)は典型的な谷津田とその源頭である。小河川は、白色が強い砂礫帯の上を流れている。背後の丘陵

との標高差は40 m程度であった。周辺の湿った場所には、東海丘陵要素の1つであるトウカイコモウセンゴケが見られた。梅坪駅(E)は、駅西口に設置された親水公園である。水源は東梅坪町5～6丁目付近の地下8 mから取水している挙母用水である(豊田市役所土木部, 横田博昭氏 私信)。陶磁資料館南駅は、伊保川、すなわち矢作川水系と香流川水系の分水嶺にあたり、調査地点(F)は八草町と同じく伊保川に流入している。河床は八草と同じ特徴を持った砂礫で水源はため池が陸化した湿地である。背後の丘陵との標高差は30 m程度であった。逢妻女川の源頭部(G)は、伊保原の台地を深く浸食し、名古屋鉄道浄水駅付近まで達している。河岸と河床は赤～灰白色の砂層であり、河床には礫がまばらに見られる。段丘平面部は畑と住宅地である。平面部との標高差は10 m程度であった。六所山は、基岩である花崗岩で構成されている(中根, 1991)。調査地点は、豊田市総合野外センターA広場に位置している。向山の調査地は、伊保川にかかる向山橋の右岸側に新しく造成された宅地の段丘崖である。崖の斜面は赤色を帯びた砂層が主で白っぽい砂利が混入していた。この湧水は、2017年4月には湧出が観察されたが、5月には水枯れしてしまった。よって一時的な湧水であると判断した。段丘平面部との標高差は30 m程度であった。

調査項目と方法

現地では、電気伝導度を伝導度計で(東亜DDK, CM-21P)、水温をアルコール棒温度計で、pHをパックテスト(共立理科, WAK-pH測定範囲5.0～9.5およびWAK-BCG測定範囲3.6～6.2)でそれぞれ測定した。

表1 調査地点の形状、緯度、経度、標高および人間活動の規模。緯度、経度、標高の値は地理院地図(<https://maps.gsi.go.jp>)から引用した。梅坪駅は名古屋鉄道、陶磁資料館南駅はLinimoの駅である。

Table 1 Type of water environment, north latitude, east longitude, altitude and human activities in each sampling station in this study. Values of latitude, longitude and altitude were cited from GSI map (<https://maps.gsi.go.jp>).

Sampling stations	Type	North latitude degree	East longitude degree	Altitude (m)	Geology	Human activities
Umetsubo-cho	Spring water	35°06'05	137°09'25	58	Sand and gravel	Large
Yakusa	Headwater of stream	35°10'30	137°06'13	128	Sand and gravel	Small
Umetsubo Station*	Infiltration water	35°06'02	137°09'45	37	Sand and gravel	Large
Mukaiyama	Spring water	35°07'25	137°09'11	61	Sand and gravel	Small
Touji-Shiryokan Minami Station**	Headwater of stream	35°10'44	137°06'04	138	Sand and gravel	Small
Aidumamegawa River	Headwater of stream	35°07'08	137°08'39	74	Sand and gravel	Large
Mount Rokushosan	Spring water	35°03'33	137°17'06	421	Granite	Small

*Umetsubo Station of the Nagoya Railroad Company (Meitetsu)

**Touji-Shiryokan (Aichi Prefectural Ceramic Museum) Minami Station of the Linimo (Aichi Rapid Transit Company)

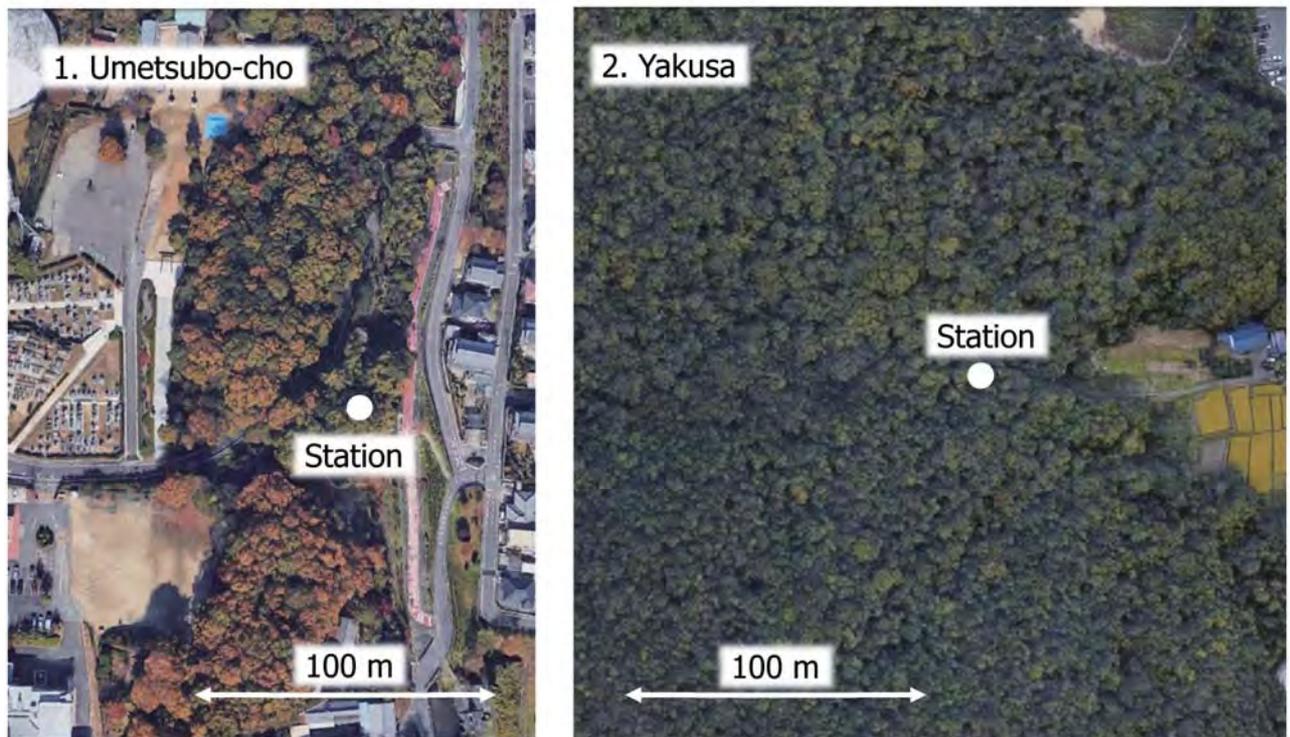
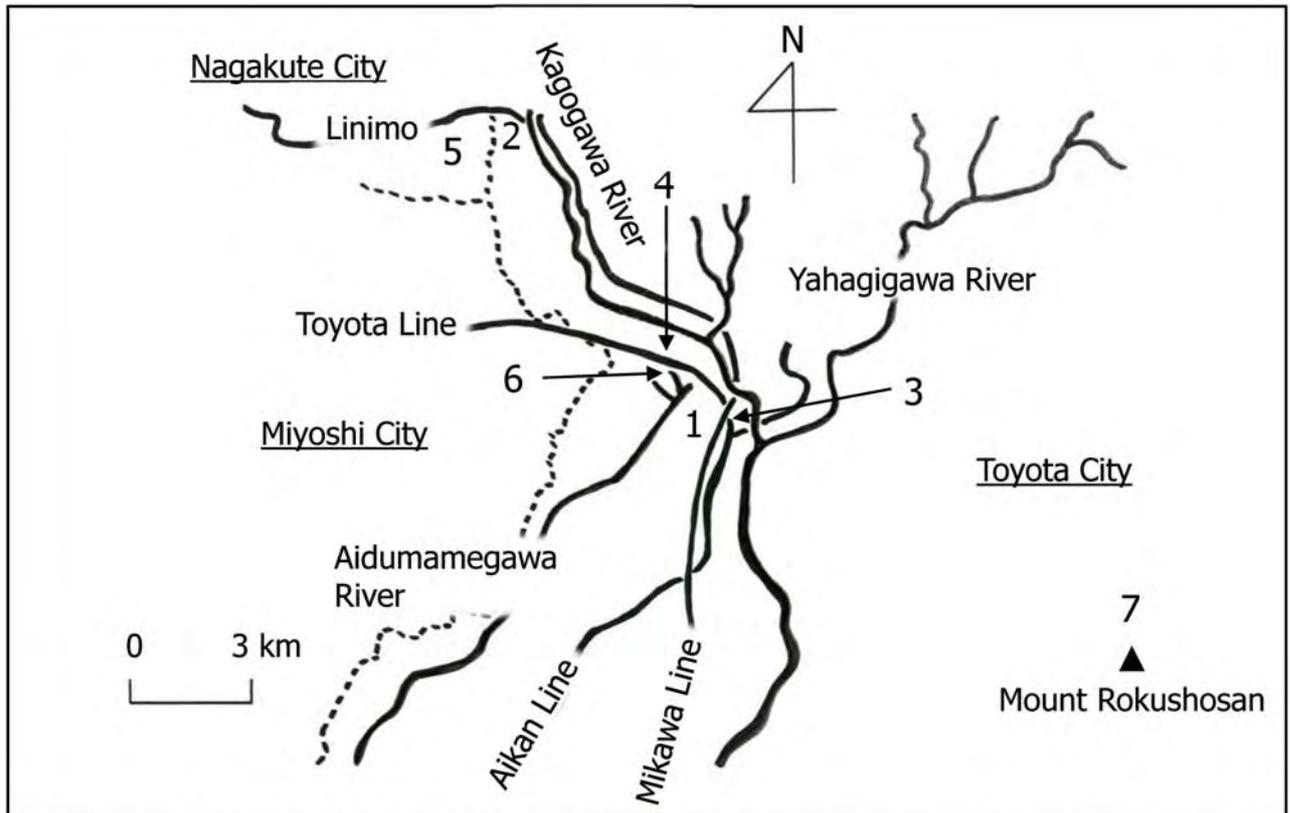


図1 調査地点の位置。図中の番号は、1 梅坪町、2 八草、3 梅坪駅、4 向山、5 陶磁資料館南駅、6 逢妻女川、7 六所山をそれぞれ示している。Aikan Lineは愛知環状鉄道、Mikawa LineとToyota Lineは名古屋鉄道三河線と豊田線、Linimoは愛知高速鉄道である。梅坪町と八草の画像はGoogle Earthから2017年7月24日に取得した。

Fig. 1 Location of sampling stations. Each number show 1 Umetsubo-cho, 2 Yakusa, 3 Umetsubo Station, 4 Mukaiyama, 5 Touji-Shiryoukan Minami Station, 6 Aidumamegawa River and 7 Mount Rokushosan, respectively. Aikan Line is Aichi Loop Line, Mikawa and Toyota Line are Nagoya Railroad and Linimo is Aichi Rapid Transit. Pictures of Umetsubo-cho and Yakusa were taken from Google Earth in 24 July 2017.

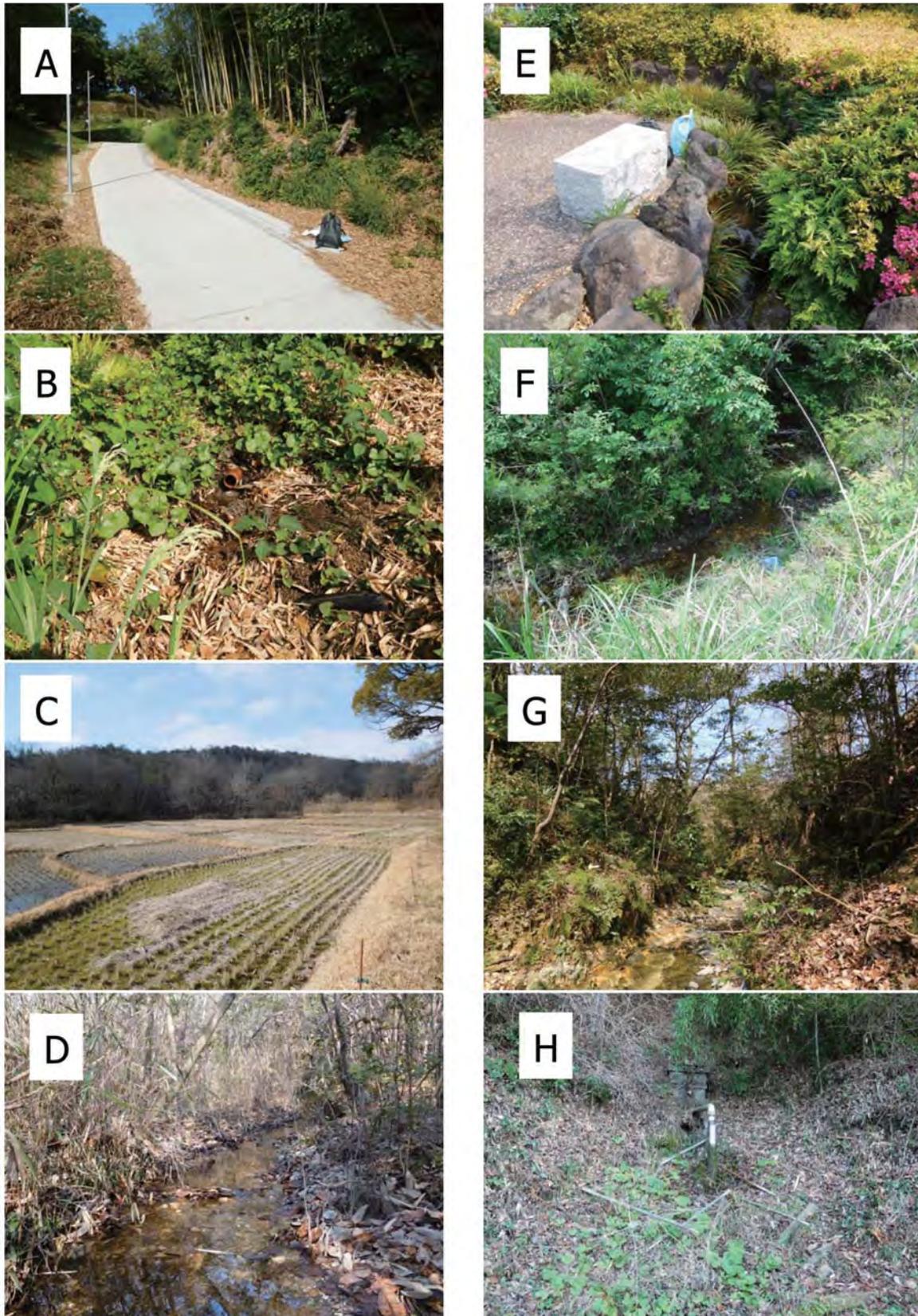


図2 調査地点の写真. A 梅坪町 (2017年5月22日), B 梅坪町の採水場所 (2017年5月22日), C 八草 (2017年3月10日), D 八草の採水場所 (2017年3月10日), E 梅坪駅 (2017年5月29日), F 陶磁資料館南駅 (2017年5月29日), G 逢妻女川 (2016年3月28日), H 六所山 (2017年1月7日).

Fig. 2 Photographs of sampling stations. A. Umetsubo-cho (22 May 2017), B. Sampling site of Umetsubo-cho (22 May 2017), C. Yakusa (10 March 2017), D. Sampling site of Yakusa (10 March 2017), E. Umetsubo Station (29 May 2017), F. Touji-Shiryoukan Minami Station (29 May 2017), G. Aidumamegawa River (28 March 2016), H. Mount Rokushosan (7 January 2017).

梅坪町では、湧出量を野崎・各務 (2014)、野崎 (2014) の方法で、八草町では河川断面積を加藤 (2014) の方法で測定した。湧水は、100 mL のポリびんに入れて冷暗状態で研究室に持ち帰った。溶存酸素濃度は、2017 年 4 月から 6 月の間に蛍光式酸素電極 (セントラル科学, FDO925) を接続した溶存酸素計 (セントラル科学, MonoLine Oxi 3310 IDS) を用いて逢妻女川を除く全ての調査地点で測定を行った。

湧水試料は、まず原水の状態で濁度、続いてガラス繊維ろ紙 (ADVANTEC, GF-75, 孔径 0.3 μ m) を用いてろ過し、ろ過水で色度を測定した (日本電色工業濁色度計 WA1)。栄養塩は、アンモニウム態窒素 (NH_4^+ -N)、亜硝酸態窒素 (NO_2^- -N)、硝酸態窒素 (NO_3^- -N)、リン酸態リン (PO_4^{3-} -P)、珪酸 (SiO_2) を松本・野崎 (2014) に従って測定した。

結果と考察

物理化学指標

表 2 に梅坪町、表 3 に八草町、表 4 にその他の地点の調査結果を示した。梅坪町と八草町では 17 回の結果を用いて平均値と標準偏差を算出すると、電気伝導度が 7.78 ± 0.52 および $2.81 \pm 0.59 \text{ mS m}^{-1}$ 、水温が 15.8 ± 4.66 および $13.0 \pm 5.95 \text{ }^\circ\text{C}$ 、pH が 6.1 ± 0.2 および 6.2 ± 0.3 、濁度が 2.4 ± 4.3 および 0.4 ± 0.4 度、色度が 6.7 ± 4.0 お

よび 3.5 ± 2.4 度であった。両地点を比較すると、pH は平均 6、変動係数が 0.04 程度であるため、どちらも 1 年を通じて弱酸性の環境が安定的に維持されていることがわかった。一方で、他の指標には明確な違いが見られ、梅坪町は八草町に比べて電気伝導度がおよそ 3 倍高く、溶存態の無機イオンが多く含まれていることがわかった。水温は梅坪町の平均値が八草町に比べ 3°C 高くなったが、これについては気温との関係で後述する。濁度・色度から見ると八草町の水は梅坪町に比べ、濁りと着色が少なく清澄であることがわかる。他の地点では、梅坪町と逢妻女川が $10 \sim 20 \text{ mS m}^{-1}$ の高い電気伝導度、pH 7 程度の中性的水質であることがわかった。向山は pH 5 程度で酸性が強く、六所山は夏期 (6, 7 月) と冬期 (1 月) の水温差が 2°C と小さく、電気伝導度が八草に次いで低いことが特徴的であった。

図 3 は、梅坪町の湧出量と八草町の河川断面積に豊田市の日降水量を加えた季節変化である。両地点ともに降水量に同調した変化を示している。梅坪町の湧出量の平均値と標準偏差は、 $37.3 \pm 25.3 \text{ L hour}^{-1}$ であり、同じ方法で測定された日進市の $76 \pm 41 \text{ L hour}^{-1}$ (野崎・各務, 2014) のおよそ半分であった。図 4 は、梅坪町と八草町の水温に、調査日を含めた過去 7 日間の豊田市の平均気温を加えた季節変化である。両地点ともに、ほぼ気温に同調した変化を示した。水温の最高と最低の差は、梅坪町で 17°C 、八草町で 19°C であり、これらは日進市の湧

表 2 豊田市梅坪町の湧水における物理化学指標の測定結果。濁度は原水を、色度はろ過水 (孔径 0.3 μ m のガラス繊維ろ紙使用) を用いて測定し、単位は度である。濁色度の 1 度は、標準物質の 1 mg L^{-1} を示す。

Table 2 Physical and chemical indicators in a spring water at Umetsubo-cho, Toyota, Aichi, Japan.

Date	Weather	Time	E.C. mS m^{-1}	W.T. $^\circ\text{C}$	pH	Turbidity* mg L^{-1}	Color** mg L^{-1}	Discharge L hour^{-1}
28 March 2016	fine	8:30	7.65	12.5	6.0	0.36	3.07	10.9
22 April 2016	fine	8:30	7.24	17.1	6.3	0.33	5.76	32.4
23 May 2016	fine	7:10	7.14	17.0	6.3	0.45	4.15	38.8
21 June 2016	fine	16:39	7.20	18.9	6.0	0.50	8.35	110.8
30 June 2016	cloud	8:25	7.38	19.8	6.2	0.48	6.01	37.2
22 July 2016	cloud	7:30	7.64	22.0	6.8	1.39	12.71	14.0
8 August 2016	fine	8:00	9.20	24.0	6.3	8.41	18.39	21.2
28 September 2016	cloud	7:20	8.10	20.9	6.0	1.49	10.65	40.4
23 October 2016	fine	7:00	8.21	17.4	6.3	0.61	4.50	24.4
17 November 2016	fine	7:20	8.06	12.6	6.3	1.69	5.01	63.2
19 December 2016	fine	7:50	7.86	10.1	5.8	1.97	3.64	72.0
27 January 2017	fine	8:20	8.16	7.4	6.0	17.47	7.98	11.6
21 February 2017	fine	16:45	7.89	9.1	6.0	0.80	3.14	36.0
9 March 2017	fine	10:45	7.86	12.6	6.0	2.77	3.64	37.2
25 April 2017	fine	17:36	7.07	14.2	6.0	0.88	4.75	20.4
22 May 2017	fine	7:40	7.75	16.6	6.3	1.09	6.94	44.0
18 June 2017	cloud	17:05	7.90	17.0	6.0	0.71	5.53	20.4

*Turbidity measured using raw water.

**Water color measured using filtered water (pore size 0.3 μ m).

表 3 豊田市八草町の小河川源頭部における物理化学指標の測定結果. 濁度は原水を, 色度はろ過水 (孔径 0.3 μm のガラス繊維ろ紙使用) を用いて測定し, 単位は度である. 濁色度の 1 度は, 標準物質の 1 mg L^{-1} を示す.

Table 3 Physical and chemical indicators in a headwater of stream at Yakusa, Toyota, Aichi, Japan.

Date	Weather	Time	E.C. mS m^{-1}	W.T. $^{\circ}\text{C}$	pH	Turbidity* mg L^{-1}	Color** mg L^{-1}	Cross sectional area cm^2
25 March 2016	fine	8:50	2.42	7.4	6.2	0.22	1.06	no data
22 April 2016	fine	9:15	3.46	13.5	6.3	0.22	3.77	no data
23 May 2016	fine	7:55	2.74	14.2	6.3	0.08	2.86	no data
23 June 2016	rain	8:12	2.38	17.8	5.9	1.75	12.19	483.0
24 June 2016	cloud	8:00	2.33	17.0	5.9	0.25	3.78	373.0
22 July 2016	cloud	8:15	2.71	19.8	6.0	0.10	3.59	238.0
9 August 2016	fine	8:12	2.64	22.0	6.0	0.19	3.76	225.0
29 September 2016	rain	7:25	4.47	21.3	6.5	0.95	4.23	554.0
25 October 2016	cloud	7:15	2.61	13.4	6.3	0.28	2.75	no data
17 November 2016	fine	8:15	2.77	10.0	6.3	0.40	2.75	340.0
16 December 2016	snow	8:00	2.21	7.5	5.6	0.15	2.32	752.0
27 January 2017	fine	9:00	2.53	3.6	6.3	0.18	1.66	470.0
22 February 2017	fine	7:30	2.58	3.1	6.3	0.18	1.87	480.0
10 March 2017	fine	8:45	2.44	5.6	6.0	0.15	1.95	563.0
27 April 2017	cloud	7:37	3.68	12.3	6.5	0.21	3.05	355.0
22 May 2017	fine	8:30	2.52	15.8	6.5	0.43	4.27	220.0
20 June 2017	fine	7:20	3.33	16.2	6.5	0.16	3.53	194.0

*Turbidity measured using raw water.

**Water color measured using filtered water (pore size 0.3 μm).

表 4 他の調査地点における物理化学指標の測定結果. 濁度は原水を, 色度はろ過水 (孔径 0.3 μm のガラス繊維ろ紙使用) を用いて測定し, 単位は度である. 濁色度の 1 度は, 標準物質の 1 mg L^{-1} を示す.

Table 4 Physical and chemical indicators at other sampling stations.

Date	Weather	Time	E.C. mS m^{-1}	W.T. $^{\circ}\text{C}$	pH	Turbidity* mg L^{-1}	Color** mg L^{-1}
<i>Umetsubo Station</i>							
6 August 2012	fine	17:25	13.11	24.1	6.5	0.66	0.77
9 March 2017	fine	10:50	13.47	10.0	6.5	0.21	0.67
25 April 2017	fine	17:48	12.30	12.8	6.5	no data	no data
29 May 2017	fine	9:07	12.66	17.1	7.0	0.27	1.14
18 June 2017	cloud	16:55	12.81	18.7	7.3	0.48	1.35
<i>Mukaiyama</i>							
16 April 2017	fine	10:00	5.08	12.0	5.0	0.31	0.29
28 April 2017	fine	9:30	6.62	11.8	5.2	0.82	0.40
<i>Touji-Shiryokan Minami Station</i>							
25 March 2016	fine	9:57	5.03	8.4	6.3	0.39	0.65
16 April 2017	fine	12:51	5.11	15.9	6.3	0.46	3.11
29 May 2017	fine	10:15	5.92	15.9	6.5	0.35	3.06
<i>Aidumamegawa River</i>							
28 April 2016	fine	10:10	24.70	13.5	7.0	1.16	2.57
16 April 2017	fine	16:20	16.02	16.3	7.0	1.74	6.32
<i>Mount Rokushosan</i>							
26 June 2016	fine	14:10	3.44	13.3	6.3	0.13	0.30
7 January 2017	fine	12:40	3.44	11.7	6.8	0.28	0.19
3 June 2017	fine	14:10	3.45	12.9	6.3	0.82	0.04

*Turbidity measured using raw water.

**Water color measured using filtered water (pore size 0.3 μm).

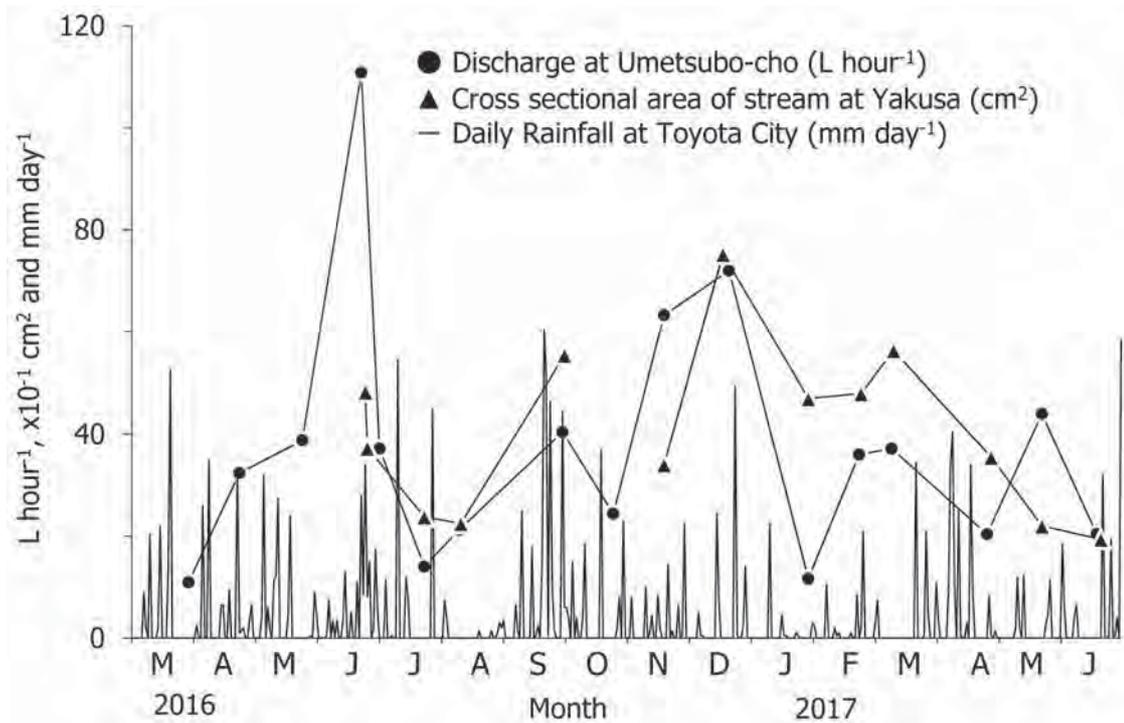


図3 梅坪町の湧出量，八草の河道断面積および豊田市の日降水量の季節変化。日降水量は気象庁の web site から資料を得た。

Fig. 3 Seasonal changes in flow rate at Umetsubo, cross sectional area of stream at Yakusa and daily rainfall at Toyota City. Data of rainfall were taken from the web site of Japan Meteorological Agency.

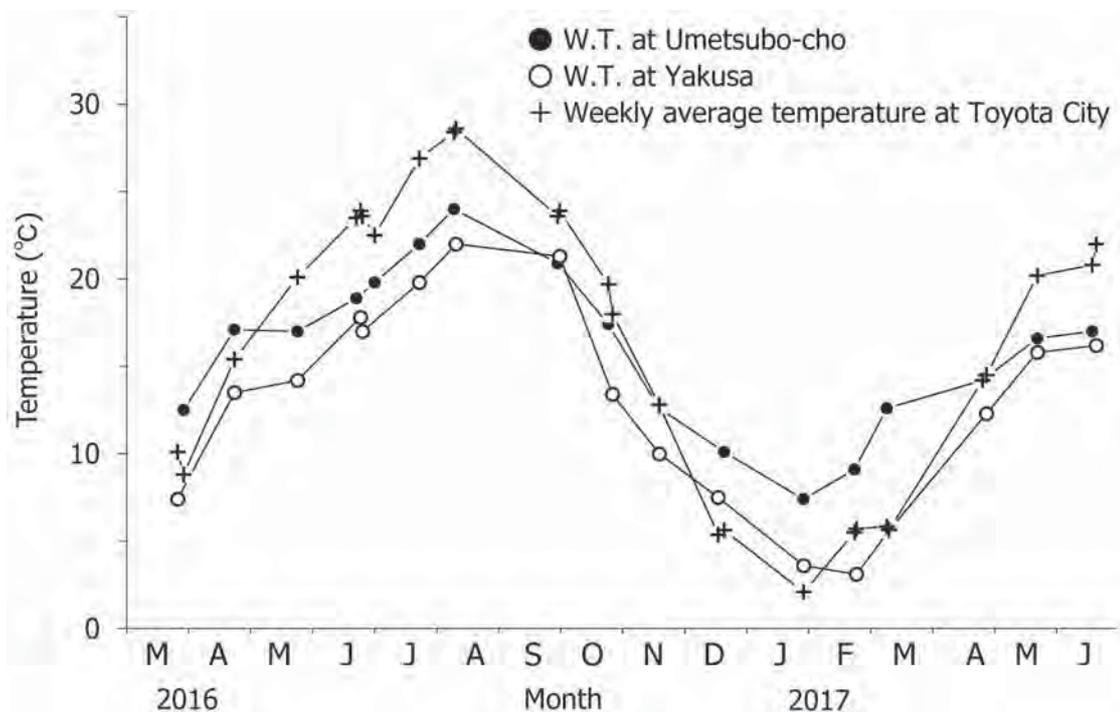


図4 梅坪町と八草の水温および豊田市の週平均気温の季節変化。週平均気温は、気象庁の web site (<http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>) から得た資料を用いて調査日を含む7日間の平均値として算出した。

Fig. 4 Seasonal changes in water temperature at Umetsubo and Yakusa, and weekly average air temperature at Toyota City. Weekly average air temperature was calculated using data of Toyota Meteorological Station obtained from the web site of Japan Meteorological Agency (<http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>).

表5 各調査地点における溶存酸素濃度.
Table 5 Dissolved oxygen concentrations at each sampling station.

Date	Dissolved Oxygen	
	mgO ₂ L ⁻¹	%
<i>Umetsubo-cho</i>		
25 April 2017	8.4	82.6
22 May 2017	7.8	80.7
18 June 2017	7.6	80.9
<i>Yakusa</i>		
27 April 2017	9.8	94.3
22 May 2017	9.3	95.4
20 June 2017	8.8	92.0
<i>Umetsubo Station</i>		
25 April 2017	8.7	82.5
29 May 2017	7.5	78.8
18 June 2017	6.0	65.6
<i>Mukaiyama</i>		
28 April 2017	9.5	89.8
<i>Touji-Shiryoukan Minami Station</i>		
29 May 2017	8.5	88.4
<i>Mount Rokushosan</i>		
3 June 2017	9.6	97.5

水から報告された 10°C (野崎・各務, 2014) のおよそ 2 倍である。八草町は源頭であるため湧出してから流下する際に気温の影響を受けるが、梅坪町は日進と同じく湧出口で測定しているにも関わらず大きな差になっている。先に示した通り、梅坪町の湧出量が小さいことから、気温の影響をより強く受けていると考えられる。

溶存酸素は、濃度 6.8 ~ 9.6 mgO₂ L⁻¹、飽和度 65.6 ~ 97.5% の範囲であり、全ての地点で還元的な環境は見られなかった (表 5)。日進市の湧水は、濃度 1.8 ~ 4.3 mgO₂ L⁻¹、飽和度 20 ~ 40% のやや還元的な環境であった。これは湧出している層が粘土層で、地中に気相が形成されず、かつ大気が浸透しにくい環境が原因であると推定されている (野崎・各務, 2014)。本研究の調査地点では、湧出してから大気と触れる源頭部と伏流水を除き、梅坪町と向山は砂礫層、六所山は花崗岩の大礫が折り重なった場所から湧出しており、いずれも大気が地中に浸透しやすい環境であると思われる。

栄養塩

表 6 に梅坪町、表 7 に八草町、表 8 にその他の地点の調査結果を示した。亜硝酸態窒素 (NO₂⁻-N) は、ほぼ全ての調査で検出することが出来なかった。梅坪町と八草町では 17 回の結果を用いて平均値と標準偏差を算出すると、アンモニウム態窒素 (NH₄⁺-N) が 25.8 ± 28.1 および 10.2 ± 9.6 μgN L⁻¹、硝酸態窒素 (NO₃⁻-N) が

940.6 ± 276.9 および 24.1 ± 9.8 μgN L⁻¹、リン酸態リン (PO₄³⁻-P) が 3.3 ± 3.5 および 2.2 ± 2.0 μgP L⁻¹、珪酸 (SiO₂) が 9.7 ± 0.7 および 8.6 ± 1.6 mgSiO₂ L⁻¹ であった。窒素は梅坪町で高く、硝酸態窒素では 40 倍もの濃度差が見られた。その一方で、リン酸態リンと珪酸濃度には顕著な差は見られなかった。他の地点では、梅坪町で窒素とリン濃度の両方が高いこと、逢妻女川で窒素濃度が高いこと、六所山で珪酸濃度が高いことが特徴的であった。

図 5 は、梅坪町 (5A) と八草町 (5B) における溶存無機態窒素 (DIN) と硝酸態窒素 (NO₃⁻-N) 濃度の季節変化である。梅坪町では溶存無機態窒素の大部分が硝酸態で存在していることがわかった。季節変化は夏期に減少し、冬期に増加する傾向が明瞭であった。八草町では、溶存無機態窒素の半分程度が硝酸態で、半分はアンモニウム態であった。季節変化は夏期に増加し、冬期に低下するように見えるが、濃度が低いため、明瞭な傾向は見られないと判断した。東京都国分寺市の野川の湧水では、1976 年 ~ 1977 年の硝酸態窒素濃度が 7028 ± 602 μgN L⁻¹ で、季節変化は、夏期に高く冬期に低くなる傾向を示した (吉田・小倉, 1978)。逆に東京都北多摩地区の湧水では、1986 年 ~ 1988 年の硝酸態窒素濃度が 7784 ± 540 μgN L⁻¹ で、季節変化は夏に低く、冬に高い傾向を示していた (Kato and Ogura, 1992)。田中ほか (2006) は、埼玉県川越市の入間台地の崖線に見られる湧水で 2002 年 ~ 2004 年にかけて硝酸態窒素濃度の季節変化を調べ、流量の上昇に伴い、濃度も上昇する結果を得た。これは降雨によって台地上の畑から肥料成分が地下に浸透することが原因とされた。同様の結果は、黒田・田淵 (1996) でも報告されている。一方で日進市の湧水では、2009 年 ~ 2011 年の硝酸態窒素濃度が 117 ± 18 μgN L⁻¹ で季節変化は明確ではなかった (野崎・各務, 2014)。硝酸態窒素は、植物による吸収や脱窒といった生物的影響や降雨による希釈を受け、地中で大きく変動すると考えられる (加藤ほか, 1995)。また、木平ほか (1997) は、1995 年 9 月 16 日 ~ 17 日にかけて降雨を挟み渓流水の硝酸態窒素濃度の変動を調べた。濃度は流量に比例して高くなり、流量の低減に伴い低くなった。この原因は、降雨によって形成された飽和帯内で脱窒が生じたためと推定された。このように湧水や源頭部の硝酸態窒素の季節変化を統一的に理解することは困難である。季節変化の仕組みについては今後の研究課題とした。

図 6 は、リン酸態リン (PO₄³⁻-P) 濃度の季節変化で

表 6 豊田市梅坪町の湧水における栄養塩濃度の測定結果。表中の N.D. は、低濃度のため検出できなかったことを示している。溶存無機態窒素 (DIN) 濃度は、アンモニウム態窒素、亜硝酸態窒素および硝酸態窒素濃度の和である。

Table 6 Nutrient concentrations in a spring water at Umetsubo-cho, Toyota, Aichi, Japan. N.D. shows Not Detected.

Date	$\text{NH}_4^+\text{-N}$ $\mu\text{g L}^{-1}$	$\text{NO}_2^-\text{-N}$ $\mu\text{g L}^{-1}$	$\text{NO}_3^-\text{-N}$ $\mu\text{g L}^{-1}$	DIN* $\mu\text{g L}^{-1}$	$\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ $\mu\text{g L}^{-1}$	SiO_2 mg L^{-1}
28 March 2016	8.1	N.D.	926.0	934.1	1.4	9.1
22 April 2016	11.0	N.D.	867.4	878.4	1.4	8.8
23 May 2016	10.9	N.D.	1122.2	1133.1	1.0	8.4
21 June 2016	54.2	N.D.	878.9	933.1	3.1	9.3
30 June 2016	16.6	N.D.	862.4	879.0	0.9	9.8
22 July 2016	3.5	N.D.	453.2	456.7	0.9	10.5
8 August 2016	74.6	1.5	657.4	733.5	14.9	11.1
28 September 2016	105.7	N.D.	519.5	625.2	1.3	10.4
23 October 2016	28.5	N.D.	1014.1	1042.6	2.8	10.0
17 November 2016	21.6	N.D.	972.2	993.8	5.5	9.8
19 December 2016	8.7	N.D.	1494.4	1503.1	4.1	9.4
27 January 2017	25.8	N.D.	1324.9	1350.7	1.2	8.9
21 February 2017	3.9	N.D.	1230.4	1234.3	1.2	10.0
9 March 2017	7.5	N.D.	1216.8	1224.3	1.9	9.8
25 April 2017	16.4	N.D.	916.8	933.2	7.0	9.7
22 May 2017	35.2	N.D.	795.2	830.4	2.6	9.1
18 June 2017	6.2	N.D.	738.5	744.7	4.1	10.7

*Dissolved Inorganic Nitrogen ($\text{NH}_4^+\text{-N} + \text{NO}_2^-\text{-N} + \text{NO}_3^-\text{-N}$).

表 7 豊田市八草町の小河川の源頭部における栄養塩濃度の測定結果。表中の N.D. は、低濃度のため検出できなかったことを示している。溶存無機態窒素 (DIN) 濃度は、アンモニウム態窒素、亜硝酸態窒素および硝酸態窒素濃度の和である。

Table 7 Nutrient concentrations in a headwater of stream at Yakusa, Toyota, Aichi, Japan. N.D. shows Not Detected.

Date	$\text{NH}_4^+\text{-N}$ $\mu\text{g L}^{-1}$	$\text{NO}_2^-\text{-N}$ $\mu\text{g L}^{-1}$	$\text{NO}_3^-\text{-N}$ $\mu\text{g L}^{-1}$	DIN* $\mu\text{g L}^{-1}$	$\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ $\mu\text{g L}^{-1}$	SiO_2 mg L^{-1}
25 March 2016	0.2	N.D.	12.7	12.9	0.7	7.0
22 April 2016	9.4	N.D.	20.4	29.8	1.4	5.7
23 May 2016	13.2	N.D.	45.5	58.7	2.5	7.9
23 June 2016	25.5	N.D.	38.5	64.0	0.2	7.0
24 June 2016	16.7	N.D.	16.2	32.9	2.0	7.6
22 July 2016	31.5	N.D.	38.8	70.3	0.2	9.6
9 August 2016	7.0	N.D.	27.2	34.2	0.2	10.6
29 September 2016	22.2	N.D.	20.7	42.9	1.3	7.0
25 October 2016	8.4	N.D.	16.9	25.3	2.8	10.2
17 November 2016	3.2	N.D.	14.4	17.6	2.6	10.9
16 December 2016	0.0	N.D.	8.6	8.6	5.5	7.7
27 January 2017	10.4	N.D.	27.2	37.6	2.6	9.0
22 February 2017	0.7	N.D.	27.7	28.4	1.2	9.8
10 March 2017	0.0	N.D.	26.6	26.6	6.2	9.5
27 April 2017	17.2	N.D.	21.7	38.9	0.4	7.1
22 May 2017	2.2	N.D.	25.0	27.2	6.2	9.5
20 June 2017	6.2	N.D.	21.7	27.9	1.9	10.0

*Dissolved Inorganic Nitrogen ($\text{NH}_4^+\text{-N} + \text{NO}_2^-\text{-N} + \text{NO}_3^-\text{-N}$).

表 8 他の調査地点における栄養塩濃度の測定結果. 表中の N.D. は, 低濃度のため検出できなかったことを示している. 溶存無機態窒素 (DIN) 濃度は, アンモニウム態窒素, 亜硝酸態窒素および硝酸態窒素濃度の和である.

Table 8 Nutrient concentrations at other sampling stations. N.D. shows Not Detected.

Date	$\text{NH}_4^+\text{-N}$ $\mu\text{g L}^{-1}$	$\text{NO}_2^-\text{-N}$ $\mu\text{g L}^{-1}$	$\text{NO}_3^-\text{-N}$ $\mu\text{g L}^{-1}$	DIN* $\mu\text{g L}^{-1}$	$\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ $\mu\text{g L}^{-1}$	SiO_2 mg L^{-1}
<i>Umetsubo Station</i>						
6 August 2012	10.6	0.5	798.7	809.8	57.4	11.2
9 March 2017	2.7	N.D.	1192.5	1195.2	41.7	11.6
29 May 2017	22.2	N.D.	733.1	755.3	49.0	9.7
18 June 2017	9.6	N.D.	870.9	880.5	56.2	10.8
<i>Mukaiyama</i>						
16 April 2017	1.5	N.D.	29.3	30.8	0.4	5.4
28 April 2017	5.5	N.D.	10.4	15.9	1.9	5.6
<i>Touji-Shiryoukan Minami Station</i>						
25 March 2016	17.1	N.D.	36.6	53.7	6.5	5.1
16 April 2017	21.2	N.D.	43.4	64.6	2.6	5.7
29 May 2017	2.2	N.D.	35.8	38.0	3.3	6.5
<i>Aidumamegawa River</i>						
28 April 2016	9.6	N.D.	887.1	896.7	5.8	3.1
16 April 2017	73.9	4.5	876.3	954.7	4.8	3.1
<i>Mount Rokushosan</i>						
26 June 2016	1.9	N.D.	352.9	354.8	3.5	15.0
7 January 2017	9.6	N.D.	323.4	333.0	7.0	15.8
3 June 2017	10.4	N.D.	353.1	363.5	1.9	15.7

*Dissolved Inorganic Nitrogen ($\text{NH}_4^+\text{-N} + \text{NO}_2^-\text{-N} + \text{NO}_3^-\text{-N}$).

ある。梅坪町で2016年8月に極端に高い値が見られた他は, 明確な季節変化を見いだすことはできなかった。梅坪町の高い値は, 調査地が面した歩道の改修工事が始まった時期に見られ, 濁度も上昇していることから (表2参照), 工事による物理的かく乱の影響と思われる。梅坪町と八草町では溶存態窒素濃度が大きく異なるにも関わらず, リン酸態リン濃度には大きな違いが見られない。同様な現象は, 吉田・小倉 (1978), Ogura and Morikawa (1985) でも報告されている。いずれも, 人間活動からの負荷によって硝酸態窒素濃度が7000 $\mu\text{gN L}^{-1}$ の高濃度を示しても, リン酸態リン濃度は10~20 $\mu\text{gP L}^{-1}$ であり, 自然界ではリンは欠乏しやすい元素であることが確認できる。

図7は, 珪酸 (SiO_2) 濃度の季節変化である。梅坪町は緩やかに夏期に向かって高くなり, 冬期に向かって低くなった。八草町は小刻みに変化を繰り返し, 季節変化は明瞭ではなかった。八草町の珪酸濃度の季節変化を図3の降水量と対比させると, 降水量が少ない時に濃度が上昇し, 降水量が多い時に濃度が低下する傾向が読み取れる。つまり, 珪酸を含まない降雨による希釈効果が作用していると理解できる (島田ほか, 1992; 成宮ほか, 2009)。

人間活動の影響

図8は, 各調査地点の電気伝導度とpHとの関係である。電気伝導度が高い地点でpHが高くなる正の傾向が見られ, 周囲が住宅や畑に囲まれ, 人間活動の影響が大きいと判断した梅坪駅や逢妻女川で明確に高くなった。一方で, 人間活動の影響が小さいと判断したトウカイコモウセンゴケが見られる八草や近接する陶磁資料館南駅では, 電気伝導度は5 mS m^{-1} より低く, pHは6.5以下の弱酸性であった。しかしながら, 集水域の環境から人間活動の影響が大きいと判断した梅坪町は, 中間の位置を示した。

図9は, 溶存無機態窒素 (DIN) 濃度とリン酸態リン ($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$) 濃度との関係である。各調査地点は, 窒素とリンがともに低い八草町, 向山, 陶磁資料館南駅 (NP-low group), 窒素が高くリンが低い梅坪町, 逢妻女川, 六所山 (N-high P-low group), および窒素とリンがともに高い梅坪駅 (NP-high group) の3つに分かれた。特に注目すべきは, 電気伝導度とpHの関係からは不明瞭であった梅坪町での人間活動の影響が, 窒素濃度に明確に表れていることである。湧水, 地下水, 河川水で観察される高い溶存無機態窒素濃度は, 一般的には生活排水や農業の施肥といった人間活動によって窒素が

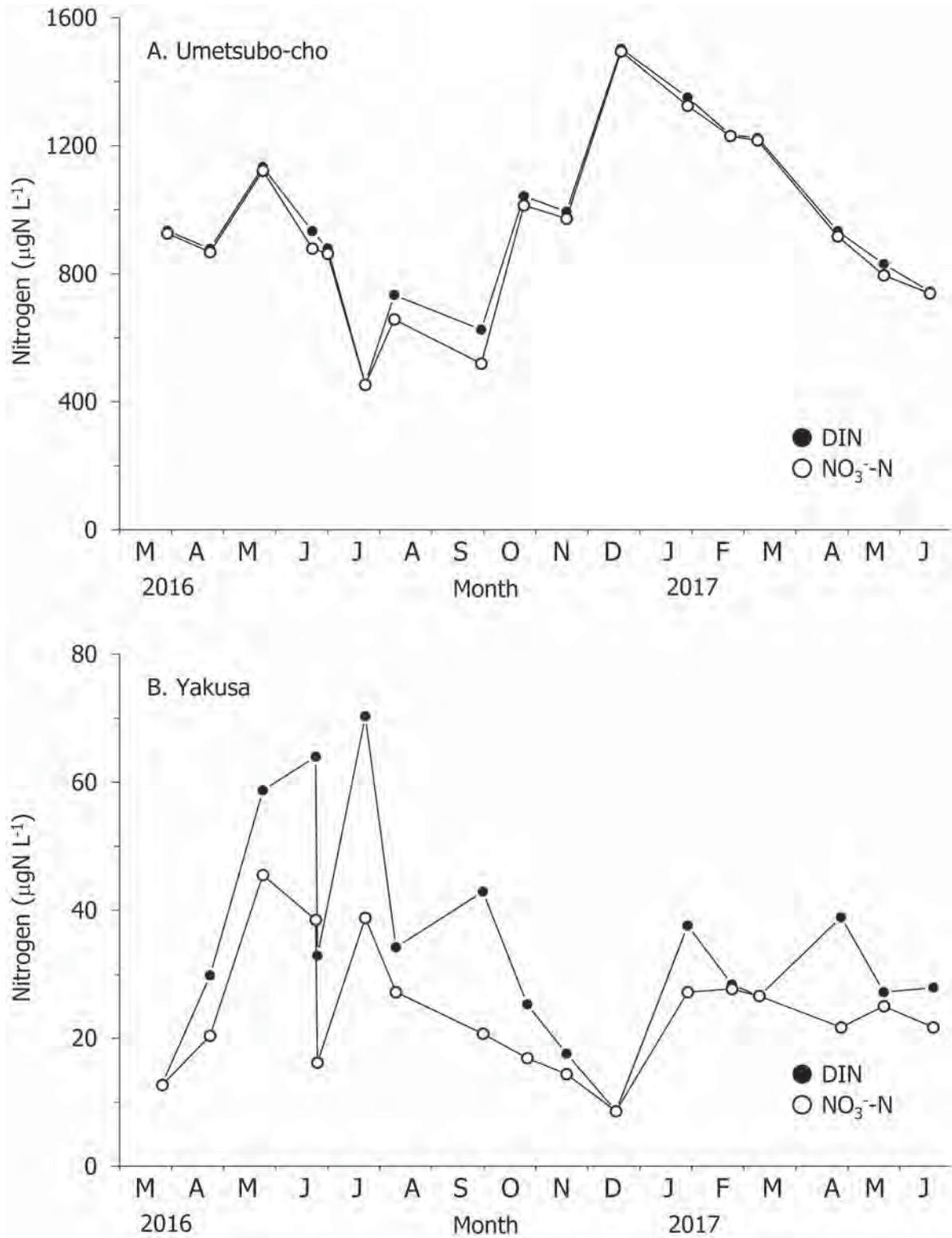


図5 梅坪町 (A) と八草 (B) における溶存無機態窒素 (●DIN) と硝酸態窒素 (○NO₃⁻-N) 濃度の季節変化.
 Fig. 5 Seasonal changes in concentrations of dissolved inorganic nitrogen (●DIN) and nitrate nitrogen (○NO₃⁻-N) at Umetsubo-cho (A) and Yakusa (B).

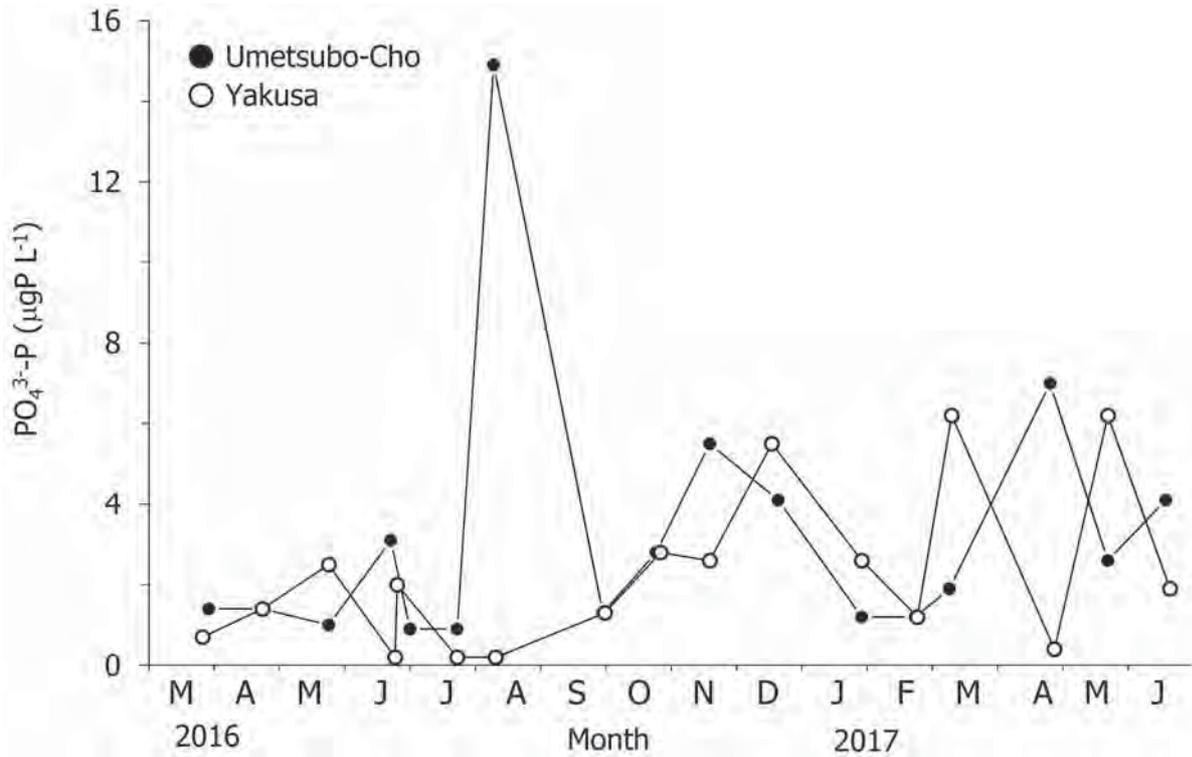


図6 梅坪町 (●) と八草 (○) におけるリン酸態リン (PO₄³⁻-P) 濃度の季節変化.
 Fig. 6 Seasonal changes in concentrations of phosphate phosphorus (PO₄³⁻-P) at Umetsubo-cho (●) and Yakusa (○).

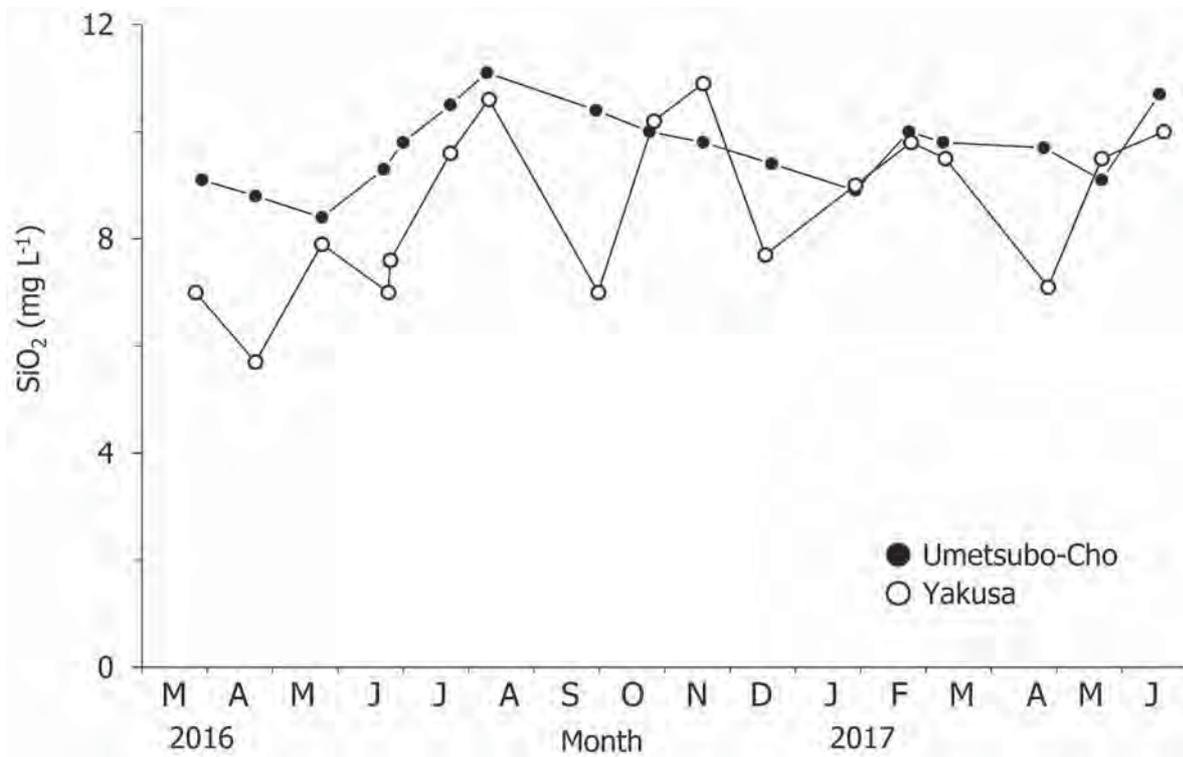


図7 梅坪町 (●) と八草 (○) における珪酸 (SiO₂) 濃度の季節変化.
 Fig. 7 Seasonal changes in concentrations of silica (SiO₂) at Umetsubo-cho (●) and Yakusa (○).

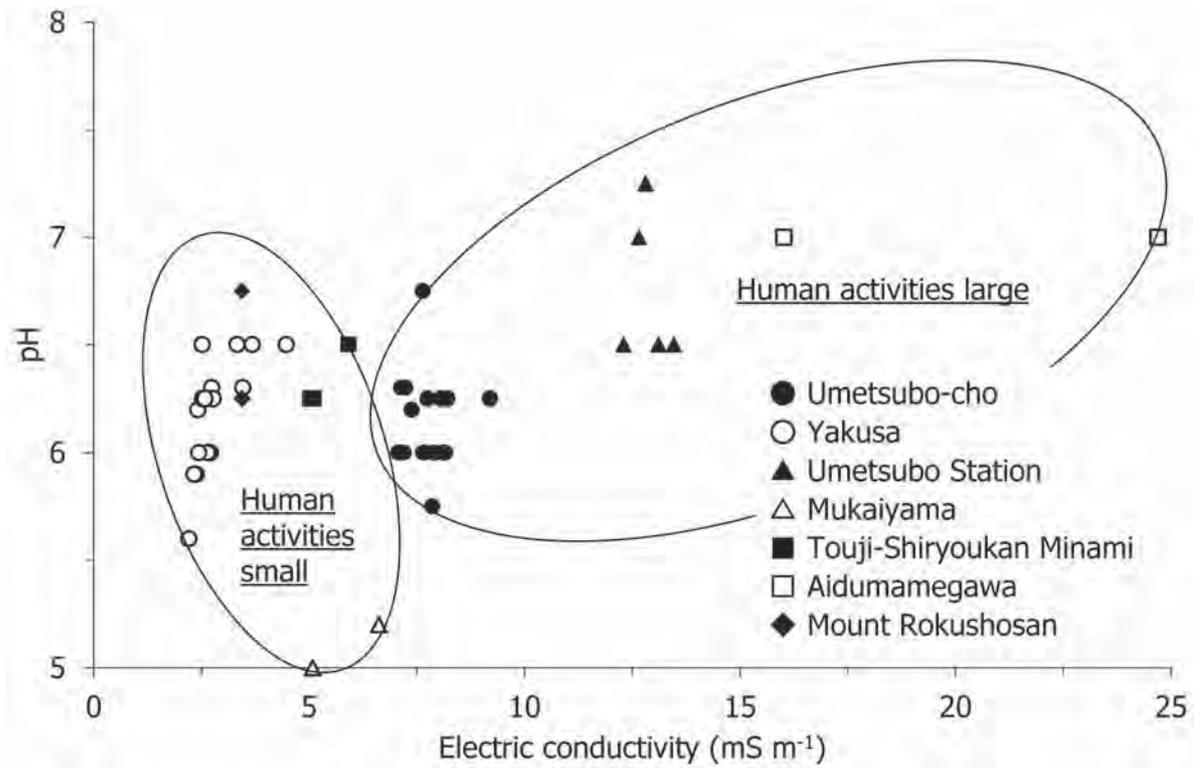


図8 電気伝導度とpHとの関係。

Fig. 8 Relationships between electric conductivity and pH values at each sampling station.

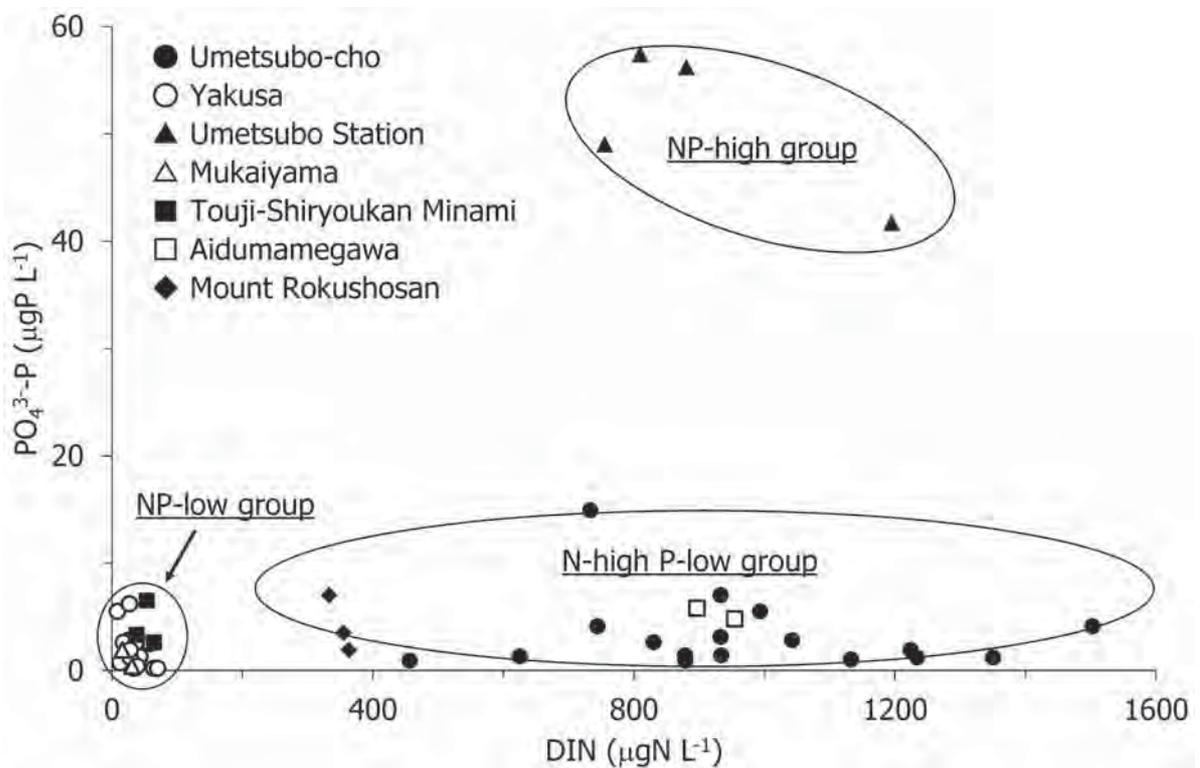


図9 溶存無機態窒素 (DIN) 濃度とリン酸態リン ($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$) 濃度との関係。

Fig. 9 Relationships between dissolved inorganic nitrogen (DIN) and phosphate phosphorus ($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$) concentrations at each sampling station.

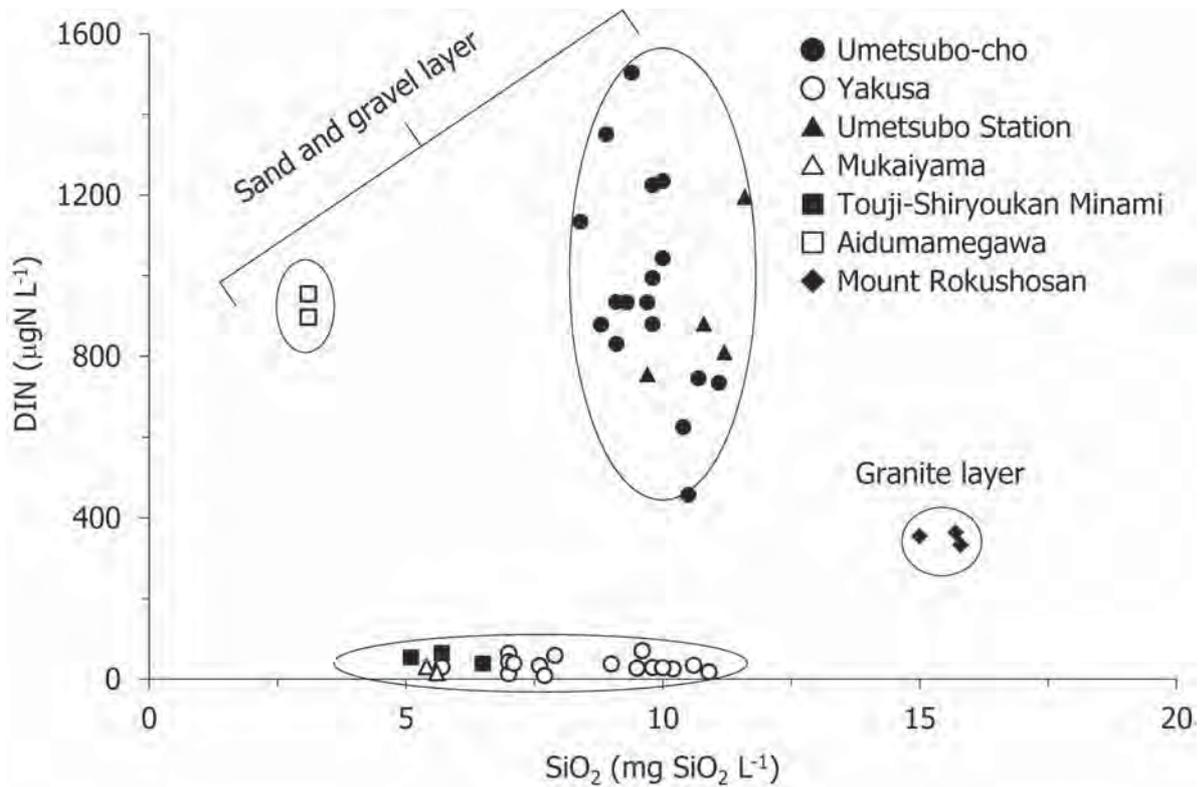


図 10 珪酸 (SiO_2) 濃度と溶存無機態窒素 (DIN) 濃度との関係。

Fig. 10 Relationships between silica (SiO_2) and dissolved inorganic nitrogen (DIN) concentrations at each sampling station.

負荷された結果である (吉田・小倉, 1978 ; Ogura and Morikawa, 1985 ; Kato and Ogura, 1992 ; 田中ほか, 2006 ; 野崎, 2010). したがって, 人間活動の影響が考えにくい六所山を除き, 梅坪町, 梅坪駅, 逢妻女川の窒素は人間活動によって負荷されていると考えられる。

図 10 は, 珪酸 (SiO_2) 濃度と溶存無機態窒素 (DIN) 濃度との関係である。珪酸は, 地質の影響を強く受け, 花崗岩地域の湧水や源頭部で高い濃度を示す。例えば, 辻村ほか (2001) は, 八草町の調査地点に隣接する愛知県瀬戸市の 4 河川の源頭部で珪酸濃度を測定し, 風化花崗岩地帯を流れる 3 河川では, 平均と標準偏差が $20.2 \pm 3.3 \sim 27.1 \pm 3.9 \text{ mgSiO}_2 \text{ L}^{-1}$ であるのに対し, 礫層の河川では $11.0 \pm 1.0 \text{ mgSiO}_2 \text{ L}^{-1}$ と低い濃度であることを見いだした。さらに珪酸は, 地下水の地中での滞留時間によっても濃度が増加する。Wels et al. (1991) は, 地下水が 3 日間滞留すると, 珪酸濃度は地質との平衡状態に達すると報告している。したがって, 水の浸透能が高い礫層では, 珪酸濃度が飽和しにくいことが推測される (島田ほか, 1992)。このような珪酸の特徴を考慮すると, 花崗岩地帯の六所山を除いた調査地点は, 今回の測定項目においては, 人間活動の影響で窒素が負荷されなければ同じ水質であったと考えられる。つまり, 八草, 陶磁

資料館南駅, 向山の水質は, この地域の水質の自然状態を示しているであろう。

謝 辞

挙母用水の水源について丁寧に教えて下さった豊田市役所の横田博昭氏, 本稿のとりまとめにあたり, 助言をいただいた国立豊田工業高等専門学校准教授の松本嘉孝博士と豊田市矢作川研究所の白金晶子氏に深く感謝いたします。本研究の遂行には, 科学研究費補助金, 基盤研究 C (15K00993 研究代表者, 野崎健太郎) の支援を受けた。

Summary

The spring water from which the groundwater is discharged is the beginning of the inland water environment. Therefore, in order to understand the current state of the regional inland water environment, it is indispensable to obtain the discharge and water quality information of the spring water and the headwater. In this study, seasonal

changes of water quality were investigated 17 times from March 2016 to June 2017 in the spring water at Umetsubo-cho and the headwater at Yakusa of Toyota City to obtain the information of natural history on the inland water in the Tokai region. Mean values \pm SD of each parameter were that electric conductivity was 7.78 ± 0.52 at Umetsubo-cho and 2.81 ± 0.59 mS m^{-1} at Yakusa, water temperature was 15.8 ± 4.66 and 13.0 ± 5.95 °C, pH was 6.1 ± 0.2 and 6.2 ± 0.3 , turbidity was 2.4 ± 4.3 and 0.4 ± 0.4 degree, water color was 6.7 ± 4.0 and 3.5 ± 2.4 degree, NH_4^+-N was 25.8 ± 28.1 and 10.2 ± 9.6 $\mu gN L^{-1}$, $NO_3^- -N$ was 940.6 ± 276.9 and 24.1 ± 9.8 $\mu gN L^{-1}$, $PO_4^{3-} -P$ was 3.3 ± 3.5 and 2.2 ± 2.0 $\mu gP L^{-1}$, and SiO_2 was 9.7 ± 0.7 and 8.6 ± 1.6 $mgSiO_2 L^{-1}$, respectively. The spring water at Umetsubo-cho was strongly influenced by human activities, the electric conductivity was 3 times and the nitrate nitrogen was 40 times higher than the headwater at Yakusa. On the other hand, the water quality at Yakusa was showing to indicate the state of nature in this area.

Key words: spring water, headwater of stream, water quality, seasonal change

引用文献

- 新井正 (2004) 地域分析のための熱・水収支水文学. 309 pp., 古今書院, 東京.
- Cantonati, M. Fureder, L. Gerecke, R. Juttner, I. and E. J. Cox (2012) Crenic habitats, hotspots for freshwater biodiversity conservation: toward an understanding of their ecology. *Freshwater Science*, 31: 463-480.
- Gibert, J. Culver, D. C. Dole-Olivier, M-J. Malard, F. Christman, M. C. and L. Deharveng (2009) Assessing and conserving groundwater biodiversity: synthesis and perspective. *Freshwater Biology*, 54: 930-941.
- 波田善夫・中村康則・能見洋介 (1999) 海上の森の自然: 多様性を支える地質と水. *保全生態学研究*, 4: 113-123.
- Kato, H. and N. Ogura (1992) Nitrate nitrogen in ground waters in the Kitatama area of Tokyo. *Japanese Journal of Limnology*, 53: 265-272.
- 加藤正樹・小野寺真一・小林政広 (1995) 源頭部小流域における土壌溶液と湧水の硝酸態窒素の動態. *日本林学会誌*, 77: 516-526.
- 加藤元海 (2014) 2.3 流速と流量. 身近な水の環境科学 実習・測定編, 日本陸水学会東海支部会 (編): 35-38. 朝倉書店, 東京.
- 国分邦紀・土屋十囀 (2003) 東京の地下水と水循環について. 水文・水資源学会誌, 16: 289-300.
- 黒田清一郎・田淵俊雄 (1996) 湧水中の硝酸態窒素濃度と負荷量の変動. *農業土木学会論文集*, 181: 31-38.
- 木平英一・楊宗興・八木一行・窪田順平 (1997) 降雨に伴う渓流水の $NO_3^- -N$ 窒素安定同位体比の変動. *水文・水資源学会誌*, 10: 360-366.
- 町田貞・太田陽子・田中真吾・白井哲之 (1962) 矢作川下流域の地形発達史. *地理学評論*, 35: 505-524.
- 松本嘉孝・野崎健太郎 (2014) 3 水の化学分析. 身近な水の環境科学 実習・測定編, 日本陸水学会東海支部会 (編): 81-124. 朝倉書店, 東京.
- 宮野浩・泉岳樹・中山大地・松山洋 (2013) 東京都内の湧水温の長期変化に関する研究—土地利用との関係に着目して—. *地学雑誌*, 122: 822-840.
- 森山昭雄 (2000) 瀬戸市南東部, 海上の森の地形・地質と湿地生態系—万博アセスの批判的検討—. *保全生態学研究*, 5: 7-41.
- 中根鉄信 (1991) 豊田の地形と地質. 豊田の自然シリーズ第21巻, 120pp., 豊田市.
- 成宮博之・中山大地・松山洋 (2006) 東京都内の湧水における過去20年間の水温変化について. *地理学評論*, 79: 857-868.
- 成宮博之・中山大地・松山洋 (2009) 湧水温と SiO_2 濃度に着目した地下水循環の推定と環境の変遷に伴う湧水の変化について—東京都日野市を事例として—. *水文・水資源学会誌*, 22: 223-234.
- 野崎健太郎 (2010) 4. 地下水の世界. 身近な水の環境科学, 日本陸水学会東海支部会 (編): 39-56. 朝倉書店, 東京.
- 野崎健太郎 (2014) 2.11 湧水の調査. 身近な水の環境科学 実習・測定編, 日本陸水学会東海支部会 (編): 75-76. 朝倉書店, 東京.
- 野崎健太郎・倉澤美保 (2010) 天白川源流域 (愛知県日進市) の水質環境. *矢作川研究*, 14: 39-44.
- 野崎健太郎・各務佳菜 (2014) 尾張丘陵南端部の崖線に見られる湧水の湧出量, 水温および水質の季節変化—愛知県日進市岩崎町竹の山地区における事例研究—. *陸の水*, 64: 31-37 (<http://rikusui-tokai.sakura.ne.jp/publication/rikunomizu/papers/> で公開).
- 小倉紀雄 (2000) 地球温暖化の陸水水質への影響. *陸水学雑誌*, 61: 51-58.
- Ogura, N. and K. Morikawa (1985) Changes in nitrate concentration in spring water at Nogawa Basin during 1976-1983. *Japanese Journal of Limnology*, 46: 56-60.
- Rossi, P. M. Marttila, H. Jyvasjarvi, J. Ala-aho, P. Isokangas, E. Muotka, T. and B. Klove (2015) Environmental conditions of boreal springs explained by capture zone characteristics. *Journal of Hydrology*, 531: 992-1002.
- 坂本洋典・森照貴・小泉逸郎 (2014) 温泉・地熱地帯は生物多様性のホットスポットか? *生物科学*, 65: 245-255.
- 瀬沼賢一 (1998) 美濃—三河地域の低湿地植生. *植生学会誌*, 15: 47-59.
- 柴田英昭 (2015) 森林集水域の物質循環調査法. 105pp. (引用は pp. 1-5), 共立出版, 東京.
- 島田緑子・大手信人・徳地直子・鈴木雅一 (1992) 山地小流域における地下水・渓流水の SiO_2 濃度形成. *水文・水資源学会誌*, 16: 289-300.

- 源学会誌, 5 : 3-11.
- 田中芳則・中山千栄子・廣瀬寛幸 (2006) 一湧水における水質の経日変化と地域環境要因. 地下水学会誌, 48 : 101-111.
- 富田啓介 (2008) 尾張丘陵および知多丘陵の湧水湿地に見られる植生分布と地形. 地理学評論, 81 : 470-490.
- 富田啓介 (2010) 日本に見られる鉱質土壌湿原の分布・形成・分類. 湿地研究, 1 : 67-86.
- 辻村真貴・恩田裕一・小松陽介・清水卓弘・村松和也・服部重昭・中川有里・松井孝子 (2001) 礫層および風化花崗岩からなる丘陵地源流域における流出・水質特性. 水文・水資源学会誌, 14 : 229-238.
- 対馬孝治・中禰顕治・土橋亨子・竹内陽子・齋藤真理・本間君枝・松永義徳・小倉紀雄 (2008) 真姿の池湧水の 28 年間 (1975-2002 年) の水質変動. 地下水学会誌, 50 : 3-16.
- 植田邦彦 (1989) 東海丘陵要素の植物地理 I 定義. 植物分類・地理, 40 : 190-202.
- Virtanen, R. Ilmonen, J. Paasivirta L. and T. Muotka (2009) Community concordance between bryophyte and insect assemblages in boreal springs: a broad-scale study in isolated habitats. *Freshwater Biology*, 54: 1651-1662.
- Wels, C. Cornett, R. J. and B. D. Lazerte (1991) Hydrograph separation: a comparison of geochemical and isotope tracers. *Journal of Hydrology*, 122: 253-274.
- 吉田和広・小倉紀雄 (1978) 野川湧水中の硝酸塩濃度とその起源. 地球化学, 12 : 44-51.

椋山女学園大学教育学部 :
〒 464-8662 愛知県名古屋市千種区星ヶ丘元町 17 番 3 号
School of Education, Sugiyama Jogakuen University,
Hoshigaoka Moto-machi 17-3, Chikusa-ku, Nagoya,
Aichi 464-8662, Japan
E-mail: ken@sugiyama-u.ac.jp