

群馬県大間々扇状地における湧水の水質形成プロセスについて

岩崎 博道* 青山 夏海** 田部井 裕之*** 河野 忠****

キーワード：大間々扇状地, 湧水, 水質形成プロセス

1. はじめに

山地丘陵の多い日本において平野部と山間部における境界部には数多くの扇状地が形成されている。一般的に扇状地は河川によって運搬された山間部の岩砕などが堆積することで礫層が発達し高い透水性を持つことが知られている(豊島, 1994; 肥田, 2007)。また, 周辺の山体斜面や扇状地内において浸透した地下水が扇端部などで湧出しており, 六郷扇状地や黒部川扇状地のように現在でも地域住民に親しまれ保全が行われている地域も少なくない(肥田, 1988)。

群馬県太田市の大間々扇状地(図1)では地下水の水質特性(山中・坂本, 2016)や湧水群の水文学的研究(田部井, 2014; 青山, 2016)が行われている。中でも青山(2016)は, 季節的に湧水の涸渇が生じているものや恒常的に湧出しているものがあることを報告している(図2)。しかし, その湧水の涸渇現象や水質形成プロセスは明らかにされていない。

そこで本研究では大間々扇状地における湧水の水質形成プロセスを地質構造や降水量と湧出有無の関係によって明らかにすることを目的とする。

2. 地域概要

大間々扇状地は群馬県南東部の太田市・伊勢崎市・みどり市にかけて位置し, 南北16km, 扇端の幅約13km, 面積約125km²を有し, 一様に南方へ扇形を呈している(図1)。扇状地は古東京湾の海退に伴い利根川・渡良瀬川の流路延長が行われ, 砂礫の運搬が活発になり, 大間々町から伊勢崎方面に流れていた渡良瀬川によって桐原面の形成が行われた。その後, 新たな流路形成がなされ鹿田山と琴平山の間を笠懸町から新田町, 境町を南下

し何度も流路が変化することで既存の台地を浸食し藪塚面を形成していった。

主な地質は段丘堆積物となっている。大間々扇状地は五つの地形面で構成される合成扇状地であり, 桐原面, 藪塚面が多くを占めている。また, 八王子丘陵の周辺に相生面が存在している。その他岩宿面に相当する木崎台地や由良台地がある。藪塚面は, 笠懸町から藪塚本町を扇央とし, 太田市北西部~新田町北部~境町北部に至る標高60m付近を扇端とする。藪塚面は藪塚礫層と呼ばれる礫層の上に上部ローム層が分布している範囲を指す(藪塚面A)。また藪塚面は桐原面と比べ上部ローム層が1m前後しか堆積していないという特徴を有している。一部藪塚面Bと分類される上部ローム層の一部もしくは二次堆積の上部ローム層が見られ沖積層とは区別される。沖積低地は藪塚礫層の分布がなされ扇状地として形成されたのちに, 火山灰降下による上部ローム層が流下し再堆積した地域である。この再堆積した火山灰が粘土化することで沖積層になったと考えられる。他の地形面とは異なり岩宿礫層は層厚1~3mの薄層で径が1~2cm程度の小礫混じり粗砂からなる。岩宿礫層は厚さ2m余の関東ローム層に覆われている(澤口, 1996)(図3)。扇端部はみどり市市街地があるため建物用地が多

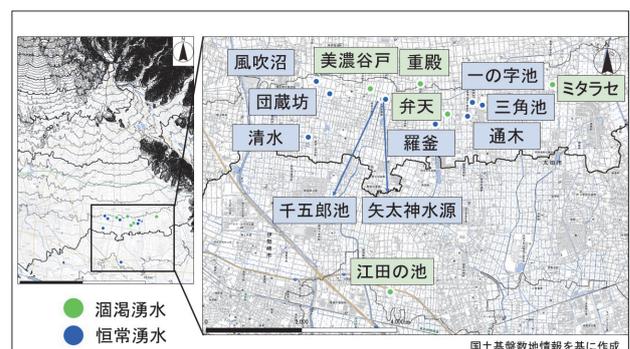


図1 大間々扇状地と湧水調査地点

* 立正大学大学院地球環境科学研究科修士前期課程
 ** アジア航測株式会社
 *** 立正大学地球環境科学部卒業生
 **** 立正大学地球環境科学部

く、扇端部にかけて農用地が増え、扇端部の小金井、市野井、以南から水田の面積が増加していく (図4)。

3. 調査方法

調査地点は太田市環境部環境政策課 (2008)、田部井 (2013)、青山 (2016) を参考にミタラセ、三角池、一の字池、通木、弁天、羅釜、重殿、千五郎池、矢太神水源、美濃谷戸、風吹沼、団蔵坊、清水、江田の池の14地点選出した (図1)。現地調査は2019年6月8日、7月24日、8月26日、9月27日、10月24日、11月30日に行った。なお6月8日に関しては一部の湧水の涸渇などによる水質データの欠測がある。また弁天では7月30日から11月30日の期間、水位ロガーによる1時間ごとの水位観測を行った。pHはHORIBA社製コンパクトpHメーターB-712を用いて、電気伝導度 (以下EC) は東亜DKK社製ポータブル電気伝導計CM-31P型を用いて観測を行った。水位観測はHOBO社製CO-U20L-04を使用した。

各地点のサンプルは100mlのポリビンに採水し、フィルタリング (Millex-GP, 0.22 μ m) による懸濁物除去をしたのちイオンクロマトグラフ (Thermo Science™ Dionex™社製ICS-1600) によって主要無機成分 (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}) を測定した。また、サンプル20ml に対しMR-BCG指示薬を3滴滴下し、pH4.8アルカリ度滴定法で HCO_3^- を測定した。 SiO_2 濃度の分析はモリブデン黄法 (セントラル科学株式会社 photoLab 6100 VIS) で測定した。降水量は気象庁伊勢崎観測所のデータを使用し、弁天周辺の土中調査を11月30日に検土杖を用いて行った。

4. 結果及び考察

湧水は大きく分けて、恒常湧出する湧水と季節的に涸渇する湧水に分けられる。ここではそれぞれ恒常湧水、涸渇湧水と便宜的に定義する (図2)。

恒常湧水は一の字池、通木、羅釜、千五郎池、矢太神水源、風吹沼、団蔵坊、清水となり、これらの湧水は調査期間中の湧出量変化がわずかで、水質の季節変化が少なかった。涸渇湧水はミタラセ、弁天、重殿、美濃谷戸、江田の池となる。ただし三角池は池の水位維持のために水の汲み上げを行っている可能性があるため恒常的な湧出の確認ができなかったが、水質により便宜的に恒常湧水に分類した。恒常湧水の中には一の字、通木、矢太神水源、清水で湧水底から噴砂が確認できた。

水質についてみると、全体的にpHの季節変化や地域差はあまり見られないが、一部美濃谷戸と千五郎池は季節的にpHの上昇を示し、これは流入量が少ないことと、植物プランクトンが関係していると考えられる。この現象は美濃谷戸や千五郎池同様に流入量の少ない江田の池で確認されており、植物プランクトンの増殖に伴う光合成により溶存酸素が過飽和になることでpHが上昇したと青山 (2016) によって示唆されている。反対に冬季の日射量と気温低下に伴ってpHは低下したのであろう (図5)。ECは、ミタラセにおける18.2mS/mから弁天の71.1mS/mまでの値をとり、同時期でも地点ごとに大きな差がみられる。恒常湧水の三角池や風吹沼のようにあまり変化しないものが大部分を占め一定の地下水流入によってECの値が保たれている。対して涸渇湧水は季節・地点ごとに変動している。すべての涸渇湧水は6月上旬から7月下旬にかけてECが低くなり、これは渇水期後の降雨による希釈効果であると考えられる。その後ミタラセを除き値が上昇し恒常湧水に近くなることから地下水が流入していると考えられる (図6)。

恒常湧水の水温は多少の変動はあるものの17 $^{\circ}$ C前後で安定しており、夏季・冬季においてもほぼ一定の温度を示す。それに対し、涸渇湧水の水温は大きな変化を示しており、湧水の湧出量が少ないことで外気温の影響を受けやすいのであろう (図7)。弁天の降水量と水位は7月31日を始めとし8月14日、8月20日、10月12日、10月18日、10月21日において顕著に対応しているが、一部8月10日のように降水に対応しない上昇のピークがみられる (図8)。

ヘキサダイアグラムは6月の一部を除き、大きく分けて恒常湧水が Ca-HCO_3 (+ NO_3) 型、涸渇湧水のミタラセ・弁天・羅釜・江田の池で Ca-HCO_3 型となった (図9)。恒常湧水は調査期間中の季節変化があまり認められなかった。これは、扇状地の地下水は硫酸アンモニウムの酸化による NO_3^- の付加が示唆されており (山中・坂本, 2016; 小島ほか, 2017)、本研究においても同様のプロセスが生じていると考えられる。一方、涸渇湧水は季節変化や地点毎の変化が激しい結果となった。弁天は6月の Ca-SO_4 型から Ca-HCO_3 型へ変化し、その後 NO_3^- が徐々に付加され Ca-HCO_3 (+ NO_3) 型になっている。弁天の水位は降水量と対応しているのにも関わらず、降水による希釈効果がみられないことから透水性が高くかつ浅い地下水であると考えられる。本研究地域における降雨後の井戸における水位伝達速度は0.23~0.57m/secであることから (太田市, 2005) この地域の透水性は非常に高

いと言える。また、湧水期にかけてNO₃⁻が徐々に付加されていることから周辺の農用地からの施肥による影響が大きくなり(図4)、脱窒反応が生じることでCa-SO₄型になったと考えられる。重殿や美濃谷戸の水質は7月を除きCa-HCO₃(+NO₃)型であり、降水量の変化による水位変動や希釈はあるものの、恒常湧水と同様の水質であると考えられる。江田の池や羅釜では徐々にNO₃⁻濃度が上昇することから冬にかけて周辺地下水が他の湧水と同様に流入してくると考えられる。

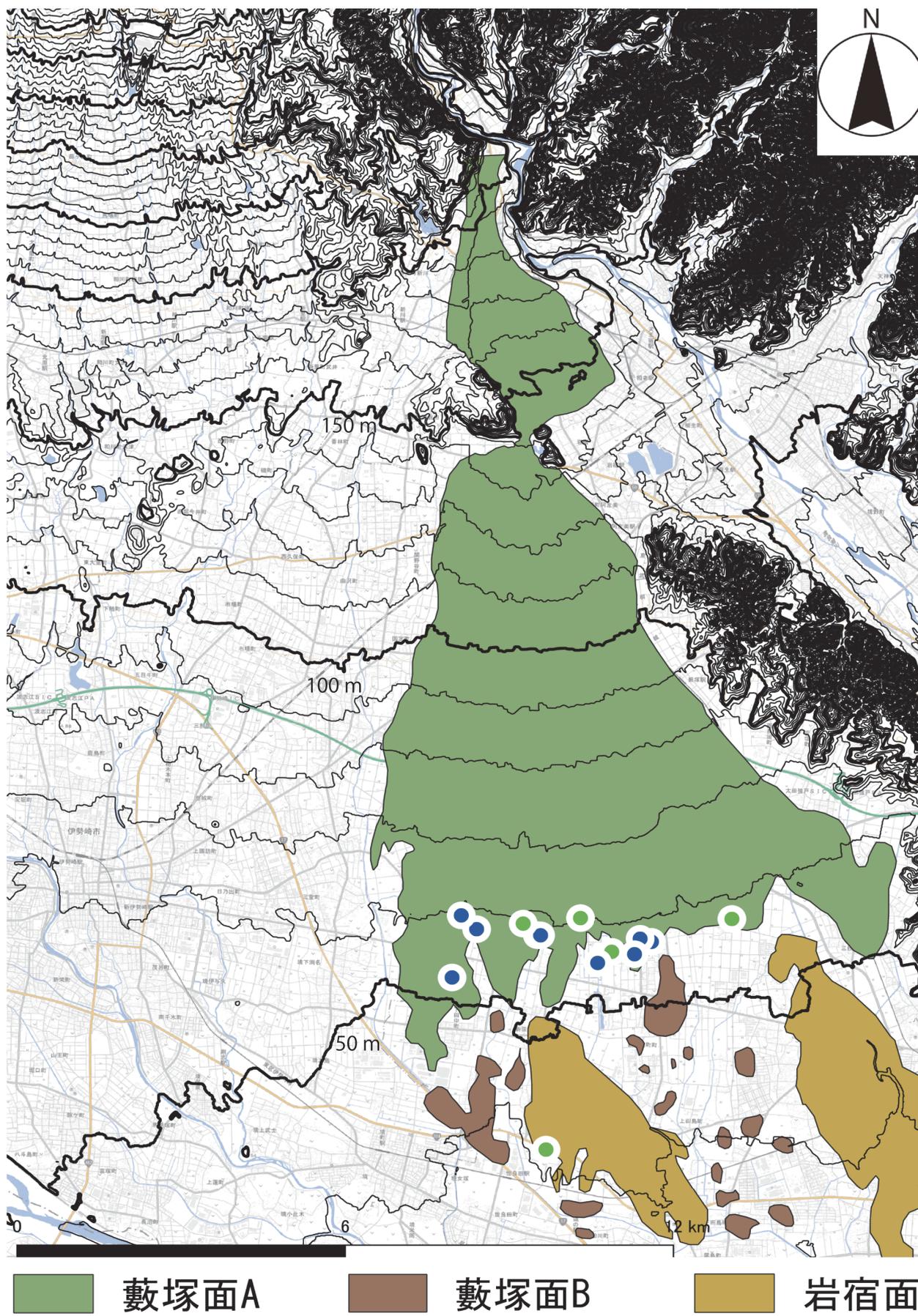
トリリニアダイアグラム(図10)をみると、恒常湧水と涸渇湧水での差が顕著にみられた。恒常湧水はⅢ型が多く、風吹沼、団蔵坊、清水の三か所はHCO₃⁻の割合が10%程小さくCO₂の脱ガス反応によるHCO₃⁻消費過程の地下水が湧出しているものであると考えられる。また、阿由葉(1970)ではCl濃度から扇端部の大原以南では地下水の流動は北北西から南南東へと向っていることを指摘しており、この三ヶ所が最も西部に位置することから他の恒常湧水よりも地下水の上流部に位置し流動の違いが説明できる。涸渇湧水は地点毎に差が見られ、ミタラセは6月のみⅢ型であるが以降Ⅰ型にプロットされる。同

様に弁天はⅢ型とⅠ型に分類される結果となった。

SiO₂濃度はミタラセ、弁天、江田の池を除き冬季にかけて30-40mg/Lに収束する。恒常湧水は、多くが30-40mg/Lであった。例外的に一の字池が6月に低濃度を示し千五郎池では季節的変化がみられた。ミタラセは他の湧水に比べ濃度が低いが変化は少ない。弁天、重殿、美濃谷戸、江田の池は季節によって比較的大きく変動している(図11)。これは湧水群の位置する地域が上部ローム層の分布する藪塚面A、上部ローム層の一部もしくは二次堆積の上部ローム層が見られる藪塚面B、上部ローム層の流下再堆積地域の沖積低地および岩宿面が混在している地域であるためであると考えられる。SiO₂濃度が安定している湧水は藪塚面Aにおける上部ローム層が粘土層に変質したものの下に被圧され湧出していると考えられる。ミタラセが低濃度を示すのはローム層が薄い、もしくは流動時間が短いと考えられる。一部の恒常湧水および涸渇湧水におけるSiO₂濃度の変動は、藪塚面Bや沖積低地のようなローム層の分布が不均一な地下を流下していると考えられ水位の変動にもとづく接触の変化によって生じると考えられる(図3)。

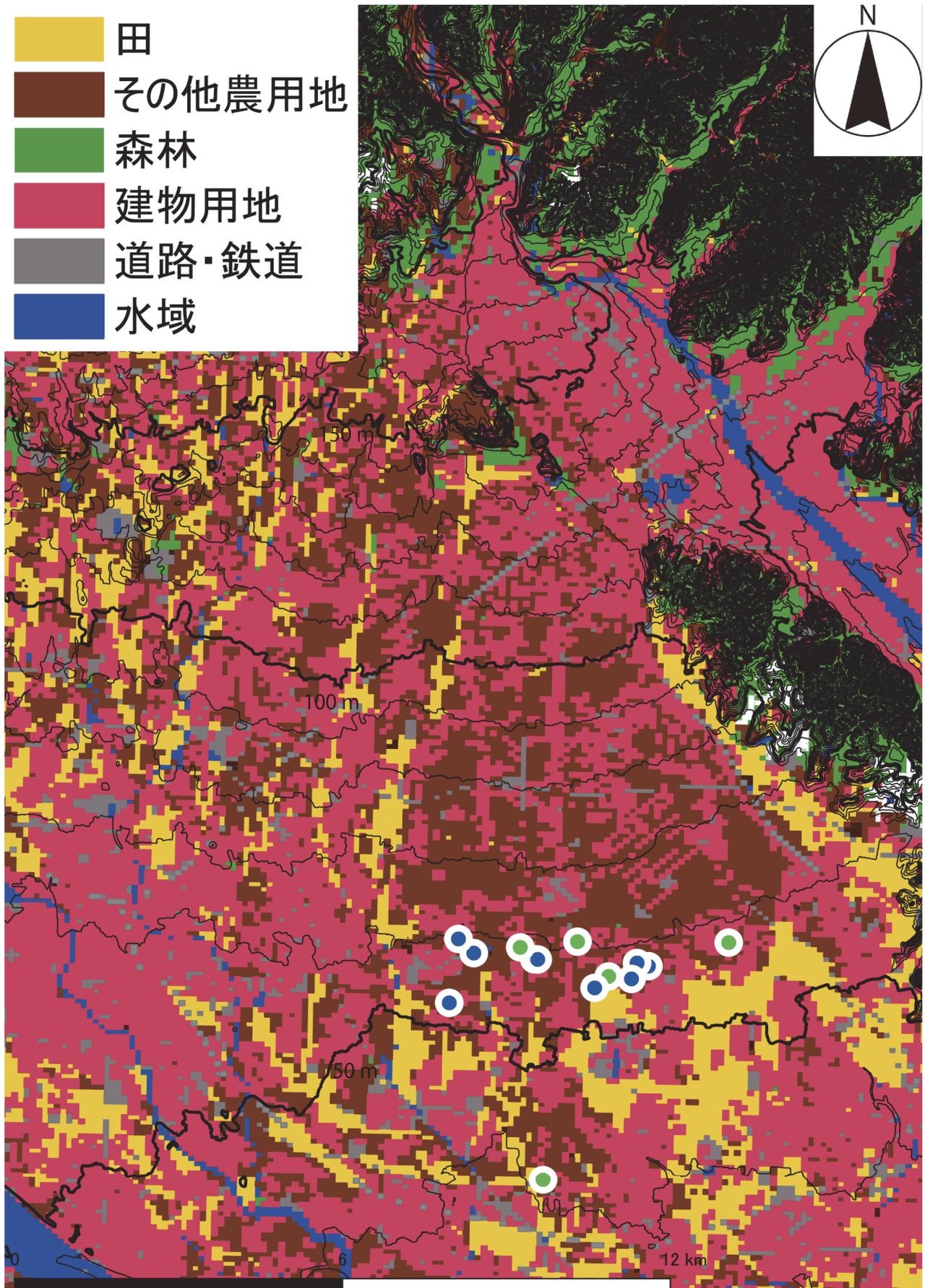


図2 大間々扇状地における湧水の湧出状況と観測月の降水量



太田市史 大間々扇状地の地形分類図を基に作成

図3 大間々扇状地における地形分類図



国土数値情報より作成

図4 大間々扇状地における土地利用図

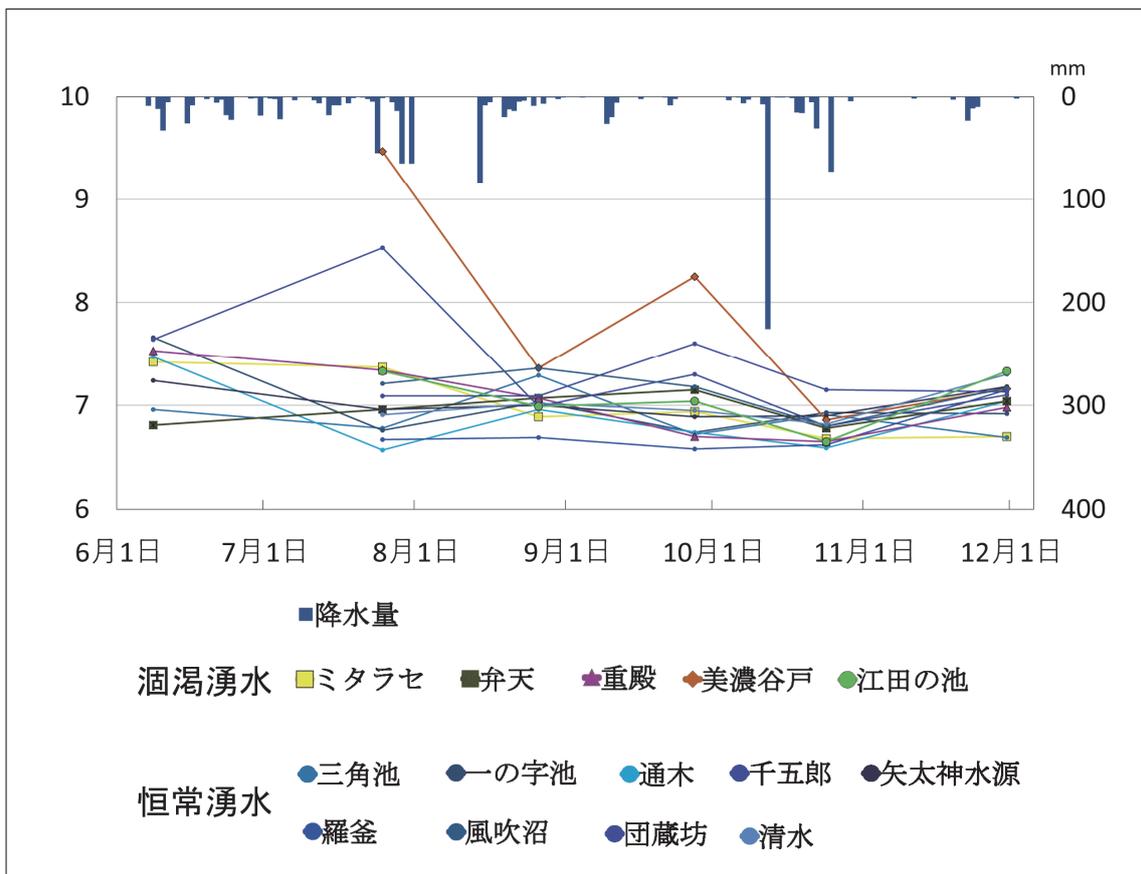


図5 各地点におけるpHの変化と降水量

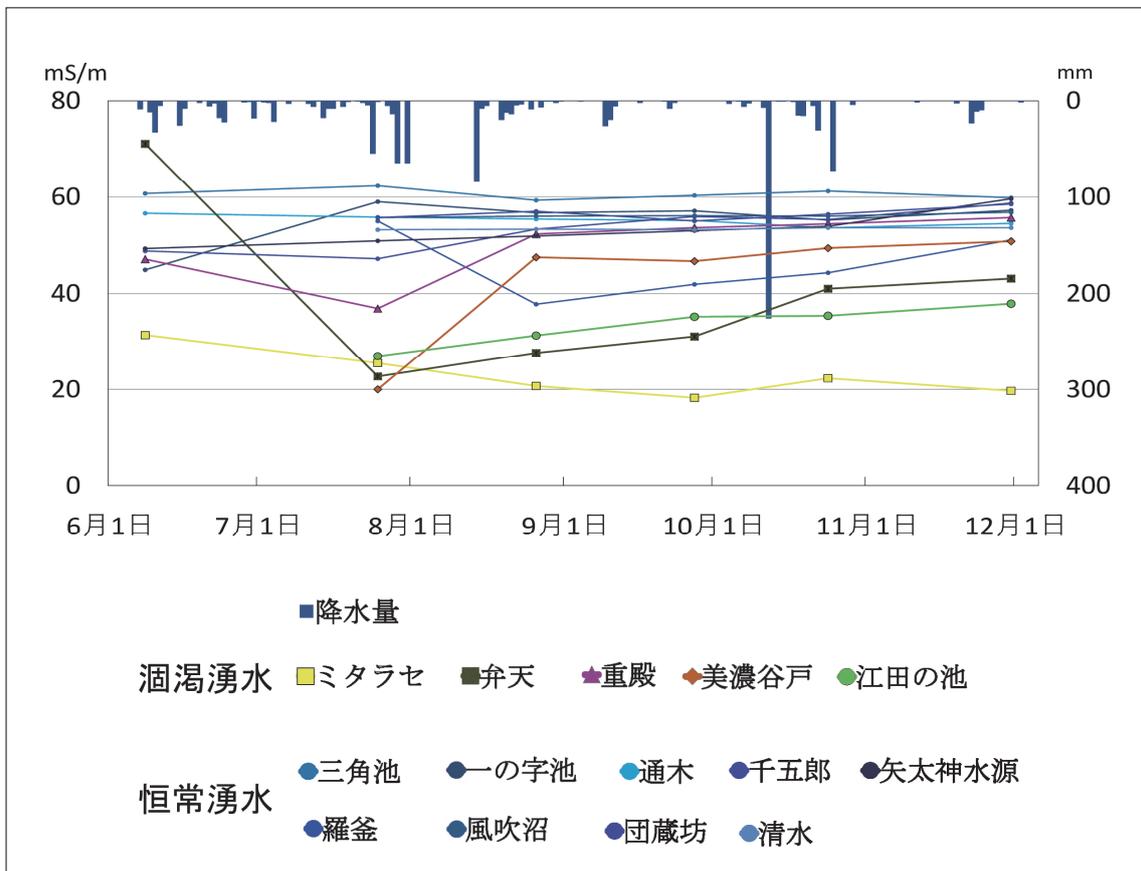


図6 各地点における電気伝導度の変化と降水量

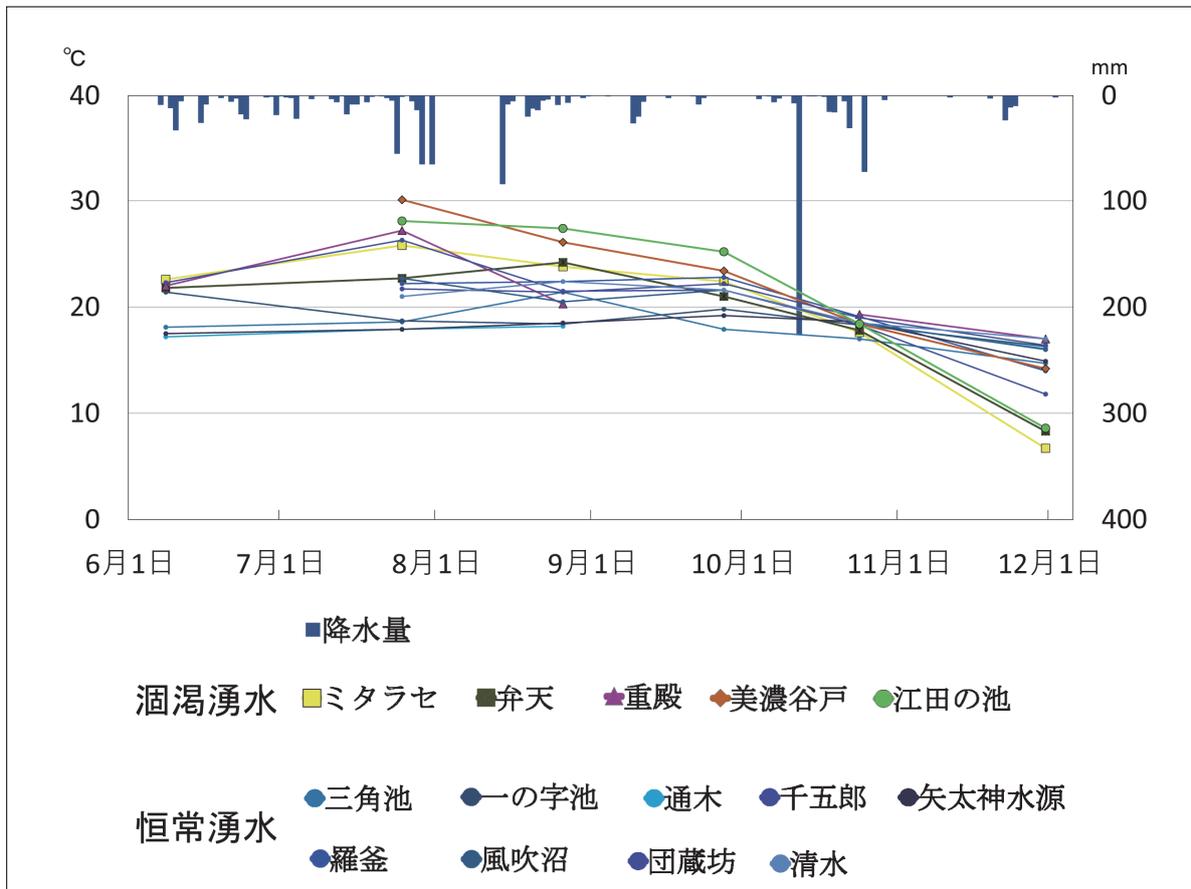


図7 各地点における水温の変化と降水量

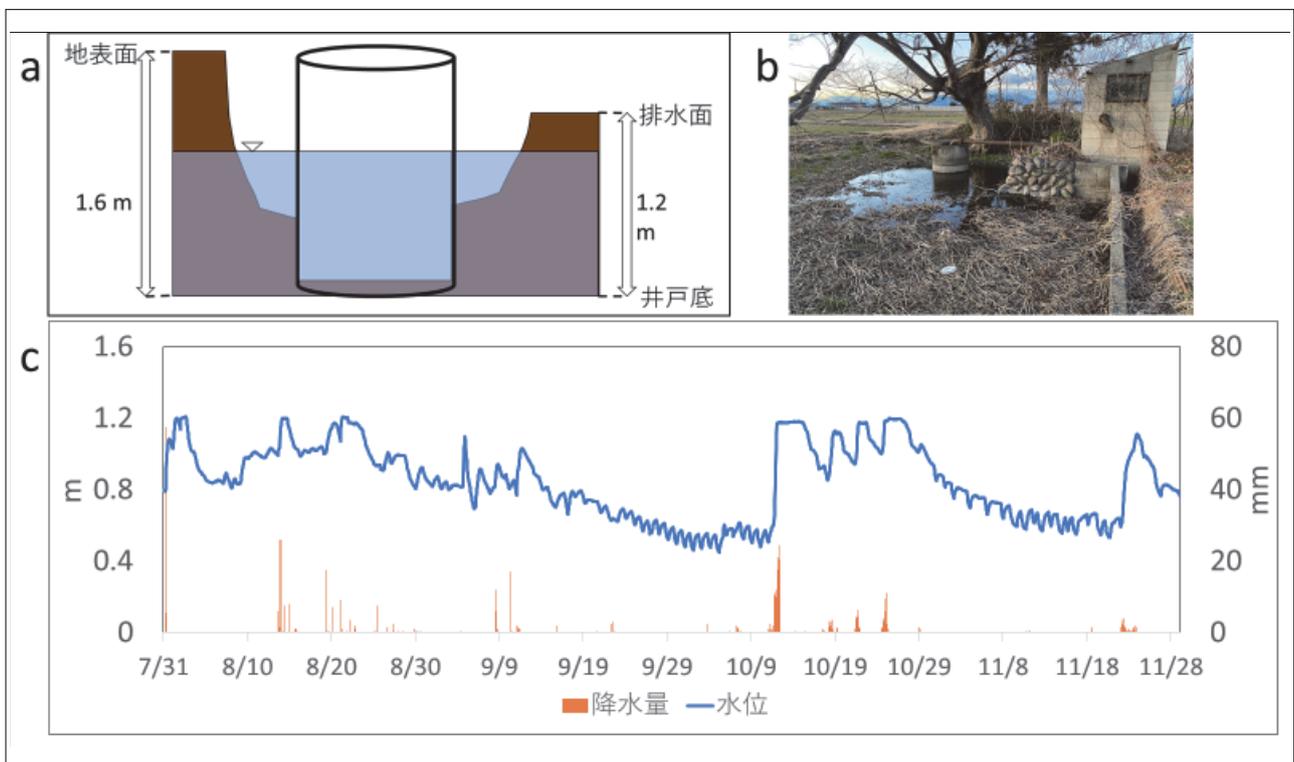


図8 弁天の見取り図 (a) と写真 (b) および水位変動 (c)

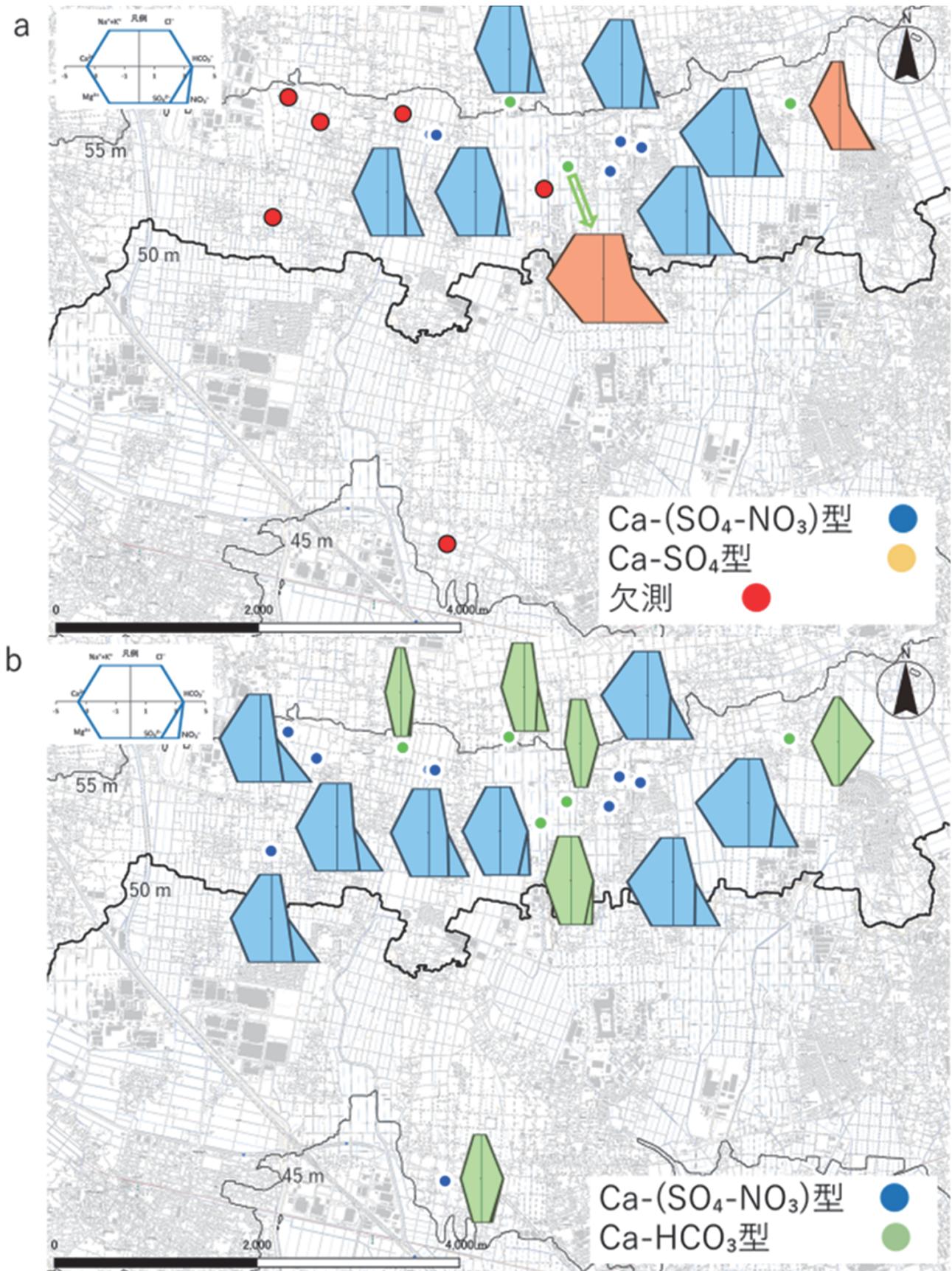


図9 大間々扇状地における湧水の水質形成プロセスについて (岩崎・青山・田部井・河野)

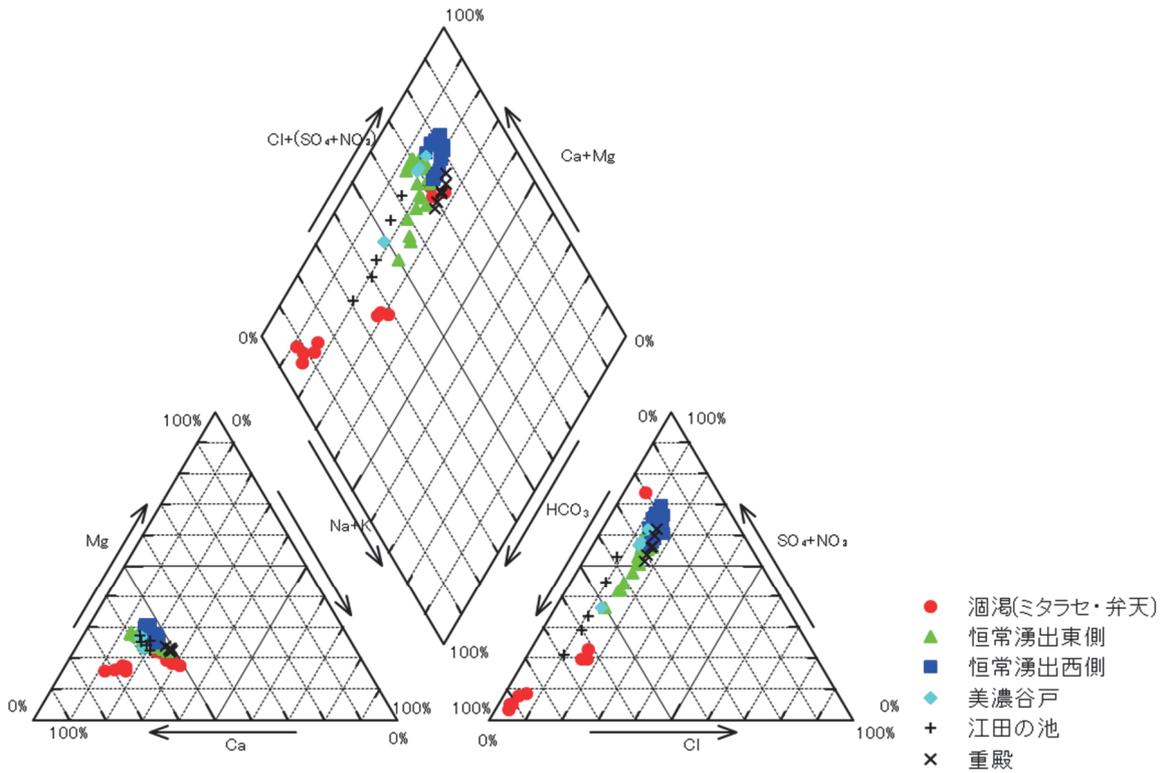


図10 大間々扇状地における湧水のトリリニアダイアグラム

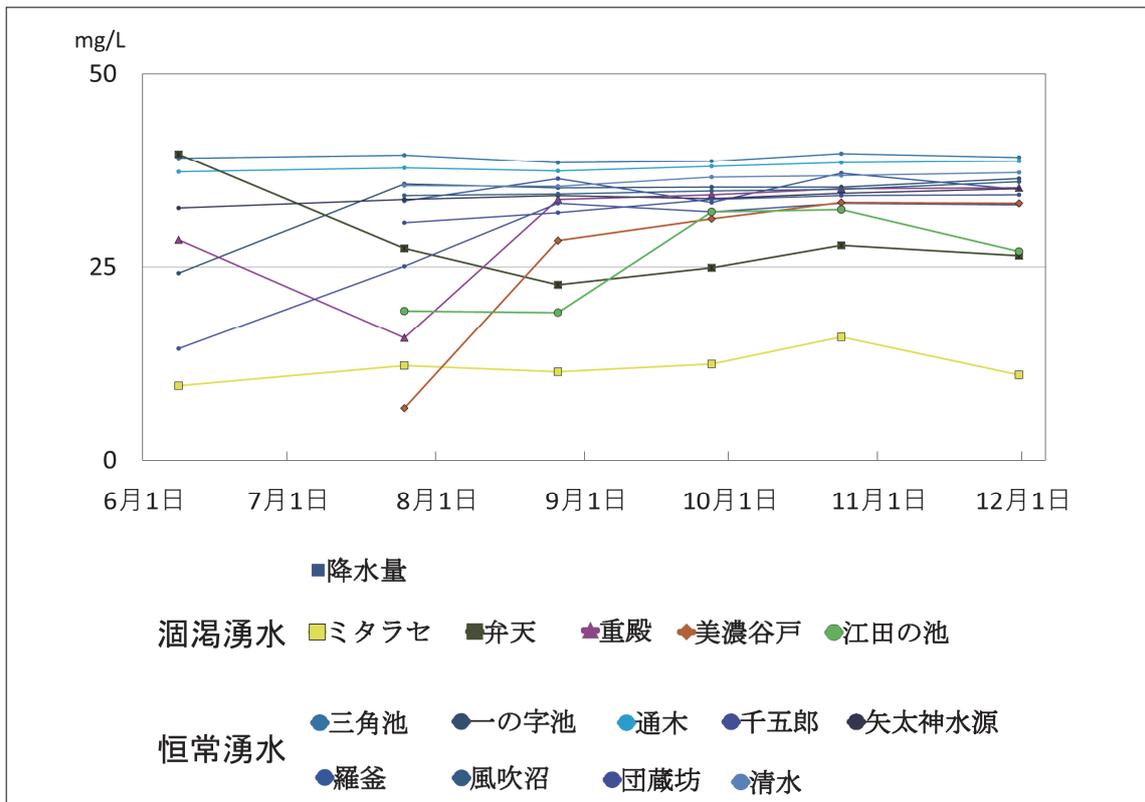


図11 各地点におけるSiO₂濃度の変化と降水量

表1 現地調査結果

	6月8日	7月25日	8月26日	9月27日	10月24日	11月30日
(pH)						
ミタラセ	7.42	7.37	6.89	6.94	6.68	6.7
三角池	6.96	6.78	7.29	6.72	6.91	6.69
一の字池	7.66	6.76	7.03	6.74	6.93	6.92
通木	7.47	6.57	6.96	6.74	6.59	7.04
弁天	6.81	6.96	7.07	7.15	6.78	7.04
羅釜	n.d.	6.67	6.69	6.58	6.62	7.15
重殿	7.53	7.34	7.07	6.7	6.65	6.98
千五郎	7.64	8.53	6.99	7.3	6.8	7.1
矢太神水源	7.24	6.96	7	6.89	6.9	7.18
美濃谷戸	n.d.	9.47	7.36	8.25	6.86	7.16
風吹沼	n.d.	7.21	7.36	7.18	6.8	7.17
団蔵坊	n.d.	7.09	7.09	7.6	7.15	7.13
清水	n.d.	6.91	7.02	6.95	6.82	7.3
江田の池	n.d.	7.33	6.99	7.04	6.65	7.33
(EC)	(mS/m)					
ミタラセ	31.4	25.5	20.7	18.24	22.3	19.69
三角池	60.7	62.3	59.3	60.3	61.2	59.8
一の字池	44.9	59	56.7	57.1	55.2	57.2
通木	56.6	55.8	55.4	55.1	53.6	54.5
弁天	71.1	22.7	27.7	31.1	41	43.1
羅釜	n.d.	55	37.8	41.9	44.3	51.1
重殿	47.1	36.9	52.3	53.6	54.4	55.7
千五郎	48.8	47.2	53.3	55.9	55.3	58.7
矢太神水源	49.3	50.9	51.9	53	53.9	59.6
美濃谷戸	n.d.	20	47.5	46.7	49.4	50.8
風吹沼	n.d.	55.7	56	56.1	56	56.8
団蔵坊	n.d.	55.7	57	55	56.4	58.5
清水	n.d.	53.2	53.3	53.2	53.6	53.6
江田の池	n.d.	27	31.3	35.2	35.4	37.9
(水温)	(°C)					
ミタラセ	22.6	25.8	23.8	22.4	17.6	6.7
三角池	18.1	18.6	21.4	17.9	17	14.7
一の字池	21.4	18.7	18.4	19.8	18.3	16.3
通木	17.2	17.9	18.2	n.d.	18.4	16.1
弁天	21.8	22.7	24.2	21	17.8	8.3
羅釜	n.d.	22.2	22.4	22.8	19.1	14
重殿	22	27.2	20.3	n.d.	19.3	17
千五郎	22.3	26.3	21.5	21.6	18.3	11.8
矢太神水源	17.5	17.9	18.5	19.2	18.6	14.9
美濃谷戸	n.d.	30.1	26.1	23.4	18.4	14.2
風吹沼	n.d.	22.7	20.5	21.6	18.5	16
団蔵坊	n.d.	21.7	21.4	22.2	19	16.4
清水	n.d.	21	22.4	21.6	18.5	17
江田の池	n.d.	28.1	27.4	25.2	18.4	8.6

表2 水質分析結果

	meq/L													
	Na ⁺	Ca ₂ ⁺	Mg ₂ ⁺	Li ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	F ⁻	Br ⁻	PO ₄ ³⁻
6月														
ミタラセ	0.16	1.98	0.51	0.00	0.34	0.01	0.19	0.63	2.23	0.08	0.00	0.00	0.00	0.01
三角池	0.70	3.50	1.64	0.00	0.06	0.00	0.80	1.72	1.40	1.86	0.00	0.00	0.00	0.00
一の字	0.77	2.62	1.14	0.00	0.06	0.00	0.65	1.46	1.22	1.15	0.02	0.00	0.00	0.00
通木	0.72	3.21	1.51	0.00	0.09	0.00	0.74	1.44	1.42	1.81	0.00	0.00	0.00	0.00
弁天	0.94	3.77	1.36	0.00	0.96	0.24	1.21	1.95	4.18	0.03	0.00	0.00	0.00	0.16
重殿	1.12	2.29	1.02	0.00	0.09	0.00	0.75	1.40	1.18	1.11	0.00	0.00	0.00	0.00
千五郎	0.98	2.63	1.16	0.00	0.09	0.00	0.74	1.73	1.32	0.93	0.02	0.00	0.00	0.00
矢太神水源	0.94	2.48	1.17	0.00	0.07	0.00	0.71	1.24	1.26	1.29	0.00	0.00	0.00	0.00
7月														
ミタラセ	0.07	1.76	0.39	0.00	0.22	0.00	0.08	2.26	0.10	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01
三角池	0.71	3.48	1.62	0.00	0.06	0.00	0.80	1.75	1.40	1.80	0.00	0.00	0.00	0.00
一の字	0.86	3.06	1.37	0.00	0.05	0.00	0.74	1.49	1.37	1.60	0.00	0.00	0.00	0.00
通木	0.72	3.03	1.42	0.00	0.09	0.00	0.68	1.43	1.39	1.65	0.00	0.00	0.00	0.00
弁天	0.40	1.03	0.35	0.00	0.23	0.04	0.30	1.19	0.40	0.04	0.01	0.01	0.00	0.03
羅釜	0.81	1.78	0.75	0.00	0.06	0.00	0.47	1.42	0.86	0.49	0.00	0.00	0.00	0.00
重殿	0.73	1.53	0.65	0.00	0.06	0.00	0.47	0.86	0.73	0.82	0.00	0.00	0.00	0.00
千五郎	0.87	2.50	1.05	0.00	0.08	0.01	0.64	1.78	1.16	0.77	0.01	0.00	0.00	0.00
矢太神水源	0.96	2.50	1.17	0.00	0.07	0.00	0.70	1.24	1.29	1.33	0.00	0.00	0.00	0.00
美濃谷戸	0.29	1.03	0.41	0.00	0.04	0.00	0.22	0.87	0.46	0.15	0.01	0.00	0.00	0.00
風吹沼	0.78	2.71	1.53	0.00	0.06	0.00	0.61	1.03	1.47	1.85	0.00	0.00	0.00	0.00
団蔵坊	1.00	2.71	1.40	0.00	0.07	0.00	0.86	1.08	1.47	1.51	0.00	0.00	0.00	0.00
清水	0.72	2.68	1.48	0.00	0.04	0.00	0.57	1.07	1.46	1.67	0.02	0.00	0.00	0.00
江田の池	0.42	1.36	0.54	0.00	0.07	0.01	0.26	1.43	0.55	0.13	0.01	0.00	0.00	0.00
8月														
ミタラセ	0.04	1.17	0.27	0.00	0.20	0.02	0.06	1.52	0.07	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00
三角池	0.72	3.51	1.68	0.00	0.05	0.00	0.85	1.90	1.32	1.60	0.02	0.00	0.00	0.00
一の字	0.88	3.02	1.38	0.00	0.05	0.00	0.78	1.46	1.28	1.59	0.00	0.00	0.00	0.00
通木	0.72	2.98	1.43	0.00	0.09	0.00	0.69	1.40	1.31	1.59	0.00	0.02	0.00	0.00
弁天	0.57	1.36	0.50	0.00	0.18	0.03	0.39	1.62	0.46	0.03	0.00	0.02	0.00	0.02
羅釜	0.83	1.83	0.80	0.00	0.05	0.00	0.45	1.66	0.79	0.42	0.00	0.01	0.00	0.00
重殿	1.17	2.45	1.11	0.00	0.09	0.00	0.77	1.27	1.20	1.39	0.01	0.00	0.00	0.00
千五郎	1.01	2.76	1.21	0.00	0.08	0.00	0.77	1.62	1.19	1.25	0.01	0.01	0.00	0.00
矢太神水源	0.98	2.55	1.22	0.00	0.07	0.00	0.74	1.21	1.25	1.42	0.01	0.01	0.00	0.00
美濃谷戸	0.64	2.56	1.16	0.00	0.07	0.00	0.55	1.24	1.23	1.22	0.01	0.01	0.00	0.00
風吹沼	0.80	2.80	1.62	0.00	0.06	0.00	0.65	0.97	1.45	1.99	0.00	0.00	0.00	0.00
団蔵坊	0.96	2.78	1.47	0.00	0.07	0.00	0.81	1.06	1.46	1.71	0.00	0.02	0.00	0.00
清水	0.74	2.76	1.55	0.00	0.04	0.01	0.63	1.21	1.41	1.62	0.03	0.02	0.00	0.00
江田の池	0.51	1.71	0.73	0.00	0.06	0.01	0.30	1.61	0.77	0.18	0.01	0.02	0.00	0.00
9月														
ミタラセ	0.04	1.15	0.31	0.00	0.23	0.02	0.06	1.58	0.05	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00
三角池	0.70	3.45	1.64	0.00	0.05	0.00	0.82	1.68	1.32	1.75	0.02	0.00	0.00	0.00
一の字	0.88	3.07	1.40	0.00	0.05	0.00	0.79	1.44	1.29	1.62	0.00	0.00	0.00	0.00
通木	0.73	3.02	1.44	0.00	0.09	0.00	0.69	1.39	1.32	1.61	0.00	0.02	0.00	0.00

弁天	0.62	1.45	0.50	0.00	0.18	0.11	0.47	1.73	0.50	0.04	0.01	0.02	0.00	0.01
羅釜	0.89	2.05	0.88	0.00	0.06	0.00	0.55	1.58	0.88	0.68	0.01	0.01	0.00	0.00
重殿	1.20	2.53	1.14	0.00	0.09	0.00	0.79	1.27	1.23	1.43	0.00	0.01	0.00	0.00
千五郎	1.03	3.00	1.29	0.00	0.08	0.00	0.79	1.75	1.26	1.38	0.00	0.01	0.00	0.00
矢太神水源	1.01	2.64	1.26	0.00	0.08	0.00	0.76	1.21	1.27	1.57	0.01	0.01	0.00	0.00
美濃谷戸	0.65	2.58	1.22	0.00	0.08	0.00	0.55	1.31	1.24	1.21	0.02	0.01	0.00	0.00
風吹沼	0.80	2.81	1.62	0.00	0.06	0.00	0.64	0.93	1.46	2.03	0.00	0.02	0.00	0.00
団蔵坊	0.97	2.70	1.42	0.00	0.07	0.00	0.77	1.05	1.42	1.62	0.00	0.02	0.00	0.00
清水	0.75	2.73	1.57	0.00	0.04	0.00	0.62	1.10	1.40	1.70	0.02	0.09	0.00	0.00
江田の池	0.61	1.96	0.91	0.00	0.08	0.01	0.33	2.32	0.67	0.04	0.01	0.02	0.00	0.00
10月														
ミタラセ	0.08	1.41	0.34	0.00	0.29	0.00	0.09	1.75	0.16	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
三角池	0.71	3.53	1.65	0.00	0.04	0.00	0.81	1.81	1.33	1.72	0.00	0.02	0.00	0.00
一の字	0.88	2.97	1.35	0.00	0.05	0.00	0.74	1.40	1.26	1.66	0.00	0.02	0.00	0.00
通木	0.74	2.94	1.39	0.00	0.09	0.00	0.65	1.35	1.31	1.63	0.00	0.02	0.00	0.00
弁天	0.77	2.02	0.81	0.00	0.14	0.00	0.53	1.08	1.06	0.89	0.02	0.01	0.00	0.00
羅釜	0.92	2.18	0.94	0.00	0.07	0.00	0.62	1.31	0.97	1.01	0.01	0.01	0.00	0.00
重殿	1.21	2.60	1.15	0.00	0.10	0.00	0.76	1.22	1.28	1.68	0.01	0.01	0.00	0.00
千五郎	1.04	2.84	1.25	0.00	0.08	0.00	0.80	1.46	1.26	1.53	0.00	0.01	0.00	0.00
矢太神水源	1.02	2.68	1.24	0.00	0.08	0.00	0.77	1.18	1.33	1.65	0.01	0.01	0.00	0.00
美濃谷戸	0.65	2.63	1.24	0.00	0.09	0.00	0.56	1.13	1.26	1.49	0.00	0.01	0.00	0.00
風吹沼	0.81	2.79	1.57	0.00	0.06	0.00	0.63	0.92	1.46	2.08	0.00	0.02	0.00	0.00
団蔵坊	0.99	2.77	1.45	0.00	0.07	0.00	0.74	1.01	1.46	1.88	0.02	0.02	0.00	0.00
清水	0.75	2.71	1.54	0.00	0.04	0.00	0.60	1.00	1.42	1.82	0.02	0.02	0.00	0.00
江田の池	0.52	1.94	0.84	0.00	0.04	0.00	0.31	1.46	0.95	0.47	0.02	0.01	0.00	0.00
11月														
ミタラセ	0.06	1.25	0.31	0.00	0.25	0.00	0.11	1.56	0.14	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
三角池	0.68	3.38	1.62	0.00	0.05	0.00	0.81	1.70	1.36	1.80	0.00	0.01	0.00	0.00
一の字	0.88	3.01	1.36	0.00	0.05	0.00	0.77	1.43	1.27	1.85	0.00	0.01	0.00	0.00
通木	0.69	2.85	1.36	0.00	0.09	0.00	0.63	1.39	1.31	1.67	0.00	0.01	0.00	0.00
弁天	0.81	2.24	0.97	0.00	0.16	0.00	0.64	1.15	1.27	1.09	0.00	0.01	0.00	0.00
羅釜	0.98	2.56	1.11	0.00	0.06	0.00	0.79	1.28	1.10	1.52	0.00	0.01	0.00	0.00
重殿	1.17	2.71	1.24	0.00	0.09	0.00	0.79	1.20	1.33	1.93	0.00	0.00	0.00	0.00
千五郎	1.00	3.00	1.30	0.00	0.08	0.00	0.84	1.54	1.35	1.65	0.00	0.01	0.00	0.02
矢太神水源	1.01	2.91	1.39	0.00	0.08	0.00	0.83	1.13	1.38	1.80	0.00	0.01	0.00	0.01
美濃谷戸	0.65	2.74	1.31	0.00	0.08	0.00	0.64	1.13	1.39	1.62	0.00	0.01	0.00	0.00
風吹沼	0.79	2.71	1.59	0.00	0.06	0.00	0.64	0.93	1.50	2.07	0.00	0.01	0.00	0.00
団蔵坊	0.95	2.84	1.50	0.00	0.07	0.00	0.78	1.02	1.56	2.00	0.00	0.01	0.00	0.00
清水	0.71	2.62	1.51	0.00	0.04	0.00	0.60	1.09	1.43	1.78	0.00	0.01	0.00	0.00
江田の池	0.50	1.93	0.92	0.00	0.03	0.00	0.29	1.29	1.12	0.66	0.00	0.01	0.00	0.00

5. まとめ

恒常湧水の降水による水質変化は非常に少ないことから一年を通して安定した流動プロセスが生じていると考えられる。一部の湧水は粘土層へと変質した上部ローム層の下を流動することで被圧され湧出している（図3）。

風吹沼、団蔵坊、清水は流動時間や経路が東側の一の字池や通木とは若干異なり、硫酸アンモニウムの酸化に伴う HCO_3^- 濃度の低下が確認できる。

涸渇湧水に分類される弁天は降水量の変化による水位変動が大きい湧水であるが、その水質変化は少ないことから透水性の高い、もしくは非常に浅い地下水である

と考えられる。また、涸渇湧水における6月の高濃度 SO_4^{2-} 濃度は施肥による影響が大きくなりその後脱窒反応が生じた結果であると考えられる。ミトラセは弁天同様のプロセスで Ca-SO_4 型を示すと考えられるが、11月時点で NO_3 の付加がなかったため今後検討が必要である。しかし、 SiO_2 濃度が低いことから、ほかの湧水と異なり、滞留時間が短いもしくはローム層が薄い場所を流動してきた湧水であると考えられる。重殿と美濃谷戸は7月を除いた水質が Ca-HCO_3 (+ NO_3) 型となることから、恒常湧水と同一の地下水と考えられる。江田の池は地形区分では木崎台地にあたるものの、水質は Ca-HCO_3 (+ NO_3) 型を示し SiO_2 濃度の変化に富むことから、涸渇湧水の関係性を示す湧水であるといえる。

大間々扇状地の湧水群は周辺の土地利用が大きく変わらないのにも関わらず恒常湧水や涸渇湧水などの種類に分けられる。これは扇状地の詳細な地質構造の把握が必要であるものの、湧水群地域が藪塚面A、藪塚面B、沖積低地が混在する地域であると考えられることから地下水の流入量が安定もしくは不安定となることで生じている現状であると考えられる。また、涸渇湧水が比較高位に分布することから、扇状地の比較的高位にある湧水では降水量の現象に伴い地下水位が低下することで高位に位置する湧水が涸渇すると考えられる。

今後の課題として、大間々扇状地北東部に位置する桐原面の湧水群を含めて安定同位体を用いた涵養源の特定や扇状地の堆積構造把握を行い、詳細な流動経路を明らかにしたいと考えている。

謝辞

本研究を行うにあたり太田市役所環境部環境政策課の皆様とNPO法人新田環境みらいの会様のデータ提供などの助力を頂き心から御礼申し上げます。

参考文献

- 青山夏海 (2016) : 大間々扇状地新田湧水群における水文学的研究. 立正大学卒業論文, 1-48.
- 阿由葉 元 (1970) : 群馬県大間々扇状地における自由地下水について. 駒沢地理 (駒沢大学地理学研究報告), 6・7, 117-142.
- 肥田 登 (1988) : 名水を訪ねて (2) 秋田県六郷町の湧水群. 地下水学会誌, 第30巻, 第2号, 109-112.
- 肥田 登 (2007) : 六郷扇状地における地下水人工涵養の実施と成果. 地学雑誌, 116(1), 23-30.
- 小島千鶴・小寺浩二・濱 侃・斎藤 圭 (2017) : 群馬県大間々扇状地における地下水水質の空間分布および季節変化特性—硝酸態窒素に着目して—. 日本水文科学会誌, 第47巻, 第2号, 61-70.
- 太田市 (2005) : 新田地域湧水地保全整備事業調査・分析業務報告書. 太田市, 1-90.
- 太田市環境部環境政策課 (2008) : 歴史を秘めた新田の湧水地. 太田市, 1-16.
- 澤口 宏 (1996) : 『太田市史 通史編 自然』. 太田市, 31-110.
- 田部井裕之 (2013) : 群馬県太田市新田地域の湧水について. 立正大学卒業論文, 1-26.
- 豊島正幸 (1994) : 地形分析による扇状地堆積層の透水性予測法. 地理学評論, 67A-2, 126-136.
- 山中 勝・坂本圭之祐 (2016) : 群馬県大間々扇状地における地下水の水質形成機構. 地下水学会誌, 第58巻, 第2号, 165-181.

Hydrochemical Processes of Springwater in the Ohmama Alluvial Fan in Gunma Prefecture

IWASAKI Hiromichi*, AOYAMA Natsumi**, Tabei Hiroyuki***, KONO Tadashi****

* Graduate School of Geo-Environmental Science, Rissho University

** Asia Air Survey Co., Ltd.

*** Graduate of Faculty of Geo-Environmental Science, Rissho University

**** Faculty of Geo-Environmental Science, Rissho University

Key words : Ohmama Alluvial Fan, Springwater, Hydrochemical Processes

