

14. 早月川扇状地における冬季の地下水と 河川水の水質特性

松浦 拓哉^{1*}・堀内 雄介¹・山川 夏葵²・手計 太一³

¹ 学生会員 富山県立大学大学院 工学研究科環境工学専攻 (〒939-0398 富山県射水市黒河 5180)

² 学生会員 富山県立大学 工学部 環境・社会基盤工学科 (〒939-0398 富山県射水市黒河 5180)

³ 正会員 富山県立大学大学院准教授 工学研究科 (〒939-0398 富山県射水市黒河 5180)

* E-mail: t877002@st.pu-toyama.ac.jp

本研究の目的は平時の早月川扇状地の河川水、湖水、地下水の水質特徴を明らかにすることであり、2019年1月から5月に毎月1回、河川水4地点、湖水1地点、自噴井3地点、地下水4地点、湧水1地点で水質調査を実施した。調査項目は、pH、水温、EC、溶存イオンである。その結果、地下水の水温は扇状地全域で14~16℃で一定であり、pHは早月川から離れるにつれ低下し、EC、溶存イオンは増加することが観測された。これは、帯水層と地下水との接触時間が長くなり、岩石由来のCaCO₃が地下水に溶出したからであることが分かった。早月川扇状地の河川水、地下水の水質の特徴は既往研究結果と概ね同様な結果であり、約60年間で大きな地下水環境に変化がないことが明らかになった。

Key Words: groundwater, river water, water quality, dissolved ion, Hayatsuki River alluvial fan

1. はじめに

地下水の水質観測、分析は地下水障害が発生した地域で監視と実態調査や地下水の涵養域と流動を明らかにするために実施されており、平時の地下水環境の調査を実施している地域は少ない。しかし、定期的に平時の地下水の水質を観測、分析することは地下水障害が発生した際や将来の地下水環境への影響評価する際に有益なバックグラウンドデータとなる。

松浦らは2011年から2016年までの5年間、1カ月に1度の頻度で黒部川扇状地の地下水を連続的かつ長期的な観測を実施し、平時の地下水の水質の季節変化と中長期変化を明らかにしている¹⁾。諸泉は最終処分場での汚染物質漏洩の未然防止および早期発見するために、2005年から2008年までの3年間の地下水位、pH、電気伝導率(EC)、水温を測定し、平時の地下水環境を観測している²⁾。バトルらはGCMによる現在(1979~2003年)、近未来(2015~2039年)、21世紀末(2075~2099年)の3時期の降水データを用いて地下水解析実施し、1987年から2002年までのT-N濃度、地下水位の観測値と比較することで気候変動が地下水環境に及ぼす影響評価を実施している³⁾。

本研究の目的は平時の早月川扇状地の地下水、河川水

の水質特徴を明らかにすることである。これまで、早月川扇状地の河川水、地下水の水質に関する研究は、菅野ら(1968)⁴⁾と水谷・佐竹(1997)⁵⁾が実施されている。

菅原らは1965~1966年に早月川扇状地の河川水、地下水の水質、水量を空間的に調査し、量的、質的な観点から地下水環境を検討している。量的な観点からは河川からの伏没・湧水量機構について検討した結果、検討期間を通して収支では伏没量が支配的であることを明らかにしている。質的な観点では、早月川扇状地の地下水はCa-HCO₃型であり、河川から離れるにつれ、堆積物の溶解の影響により、ナトリウムイオンと炭酸イオンが増加することを明らかにしている⁶⁾。

水谷・佐竹は1980~1983年、1986年、1989年、1994~1995年に富山県の主要7河川と5中小河川の河川水の水素・酸素同位体比を測定し、その変動と要因を明らかにしている。その結果、神通川や庄川は流域面積が広く、大型ダムが多いため水素・酸素同位体比が均一化し、年間を通して変化が少ないと明らかにしている。一方、それ以外の河川では春から夏にかけて、小さい同位体比をもっている融雪水の流出により、夏季に小さくなる季節変化があることを明らかにしている⁷⁾。しかしながら、近年の早月川扇状地の地下水の水温、pH、EC、溶存イ

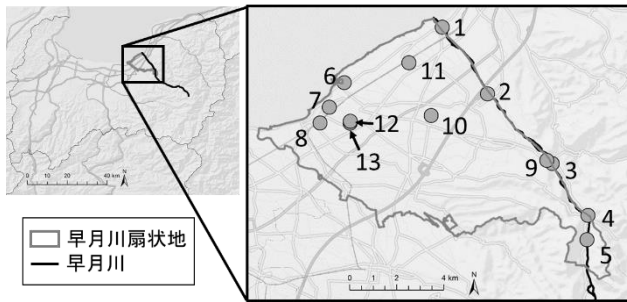


図-1 早月川扇状地と観測地点

表-1 観測地点の概要と観測期間

No	観測地点	種類	深度(m)	採水深度(m)	観測期間
1	早月川下流	河川水			2019年2月
2	新月片橋	河川水			2019年2月
3	早月川	河川水			2019年2月
4	早月川ダム湖	湖水			2019年2月
5	早月川上流	河川水			2019年2月
6	漁民センター	自噴井	不明	不明	2019年3月～5月
7	伊東宅	自噴井	不明	不明	2019年3月～5月
8	健康センター	自噴井	不明	不明	2019年3月～5月
9	第一水源地	地下水	20	14.5 ~ 18.1	2019年3月～4月
10	中野島	地下水	150	50.7 ~ 67.0 78.0 ~ 83.5 100.0 ~ 111.0 127.5 ~ 138.5	2019年3月～4月
11	追分	地下水	101	18	2019年3月～4月
12	上小泉	地下水	50	3	2019年3月～4月
13	行田の清水	湧水			2019年1月～2月

オンの観測、分析、研究は1965～1966年から現在までの約 60 年間行われてなく、土地利用変化、揚水量の変化といった社会的変化により水質等に変化が生じている可能性がある。

以上を鑑み、本稿では2019年1月から5月で早月川扇状地の河川水、湖水、地下水の水質観測を実施し、菅原ら⁴⁾の観測結果と比較し、地下水の水質に変化が生じているか明らかにした。

2. 早月川扇状地の概要と調査概要

早月川扇状地は、立山連峰の劔岳に源を発する早月川が作り出した扇状地である。本扇状地は、扇頂から早月川河口までの距離が約 10 km、面積は 55 km²、頂角は約 70°である。

早月川扇状地は後期更新世以降の扇状地堆積物で形成された扇状地である。早月川扇状地の扇頂部から扇中央部の堆積物は厚さ深度 100 m まで玉石、砂利、砂が一様に堆積している。扇中央部から扇端部の堆積物は粘土層と砂、砂利層が互層状に堆積しており、不圧地下水および被圧地下水が存在する。

図-1 は研究対象地域である早月川扇状地と採水地点であり、表-1 は観測日と各井戸の概要を示した。観測地点は河川水 4 地点、湖水 1 地点、自噴井 3 地点、地下水 4 地点、湧水 1 地点である。観測期間は河川水、湖水

表-2 2019年1月から5月の早月川扇状地における河川水、湖水、地下水の pH, EC, 水温

No	観測日	pH	EC (mS/m)	Water temperature(°C)
1	2019/2/15	7.84	11.1	5.95
2	2019/2/15	8.03	7.69	5.5
3	2019/2/15	7.93	8.32	5.8
4	2019/2/15	8.03	8.3	4.35
5	2019/2/15	7.95	9	5.5
6	2019/3/19	6.67	17.65	14.2
	2019/4/23	6.38	20.7	15.1
	2019/5/31	6.36	21.2	14.75
7	2019/3/19	6.73	17.59	14.1
	2019/4/23	6.31	20.8	14.9
	2019/5/31	6.4	20.8	14.65
8	2019/3/19	7.27	14.09	15.25
	2019/4/23	7.2	16.8	16
	2019/5/31	7.16	16.89	15.6
9	2019/4/23	7.04	9.93	10.4
	2019/5/31	7.54	9.89	10.45
10	2019/4/23	6.87	18.78	14.65
	2019/5/31	6.94	17.98	14.55
11	2019/4/23	7.05	12.99	14.7
	2019/5/31	7.03	13.3	14.35
12	2019/4/23	8.2	8.95	15.3
	2019/5/31	8.26	9.2	16.2
13	2019/1/22	6.84	15.5	10.65
	2019/2/15	7.4	13.82	10.15

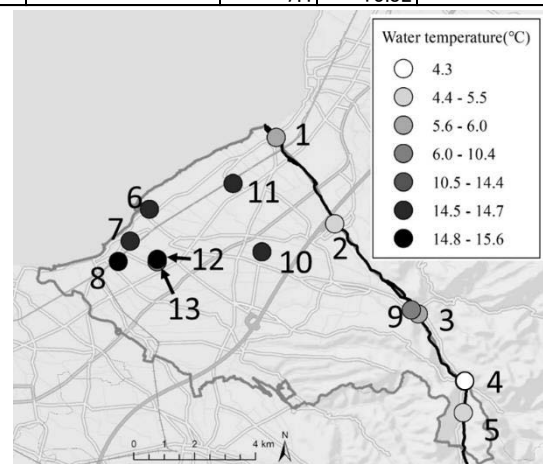


図-2 早月川扇状地の地下水、湖水、河川水の水温の空間分布(2019年1月から2019年5月までの平均値)

は2019年の2月に観測を実施し、地下水と自噴井は2019年1月から2019年5月で観測を実施した。

調査項目は、pH、EC、水温、溶存イオンである。pH、EC、水温は現地観測の際に測定した。本観測には、ポータブル型水質系(HORIBA 社製 LAQUAactD-70/ES-70)を用いた。溶存イオンは、現地観測の際に 250 ml のポリ瓶に採水し、実験室で分析を行った。溶存イオンの分析項

目は Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- の9項目である。 HCO_3^- は滴定法, それ以外の溶存イオンは孔径 $0.45\ \mu\text{m}$ のメンブレンフィルターでろ過した後, イオンクロマトグラフ法(DIONEX 製 ICS-2000)により分析した。

3. 観測結果

表-2は2019年1月から5月までに観測した早月川扇状地の河川水, 湖水, 地下水の観測・分析結果である。図-2は2019年1月から5月までに観測した早月川扇状地の河川水, 湖水, 地下水の水温の平均値の空間分布を示す。河川水, 湖水の水温は $4.3\sim 5.9\ ^\circ\text{C}$ であった。河川水の水温は $5.5\sim 5.9\ ^\circ\text{C}$ であり, 上流から下流の河川水温の変化は少ない。湖水の水温は $4.3\ ^\circ\text{C}$ であり, 河川水より $1.2\sim 1.6\ ^\circ\text{C}$ 低い結果が得られた。これは, 湖水は河川と比較して流動が遅く, 冬季は水表面が冷却され, 河川水より水温が低くなる。一方, 夏季は水表面が温められ, 河川水より水温が上昇する。以上より, 河川水と湖水の水温差は水の流動の違いによって生じたと考えられる。地下水の水温は $10.4\sim 15.6\ ^\circ\text{C}$ であった。「9.第一水源地」と「13.行田の清水」以外の地下水は $14.1\sim 16.2\ ^\circ\text{C}$ であり, 魚津($14.1\ ^\circ\text{C}$)の2018年の年平均気温と同様な値であった。一方, 「13.行田の清水」は湧き水であり, 外気温の影響を強く受けやすい地点であると考えられる。

図-3は2019年1月から5月までに観測した早月川扇状地の河川水, 湖水, 地下水の pH の平均値の空間分布を示す。河川水の pH は 7.84 から 8.03 であり, 上流から下流の pH の変化は少ない。一方, 地下水の pH は 6.52 から 8.2 と変化が大きい結果が得られた。「8.健康センター」, 「12.上小泉」を除いた地下水は河川から離れるにつれ pH が低くなる結果が得られた。早月川から離れるにしたがって, 地下水に占める早月川の涵養水の割合が減少し, 早月川扇状地内の降水の割合が増加した結果 pH が低下したと考えられる。

図-4は2019年1月から5月までに観測した早月川扇状地の河川水, 湖水, 地下水の EC の平均値の空間分布を示す。河川水の EC は $7.69\sim 11.1\ \text{mS/m}$ であった。扇頂部から扇央部までの河川水の EC の変化は少ない。一方, 扇央部から扇端部までは上昇傾向であった。地下水の EC は $6.31\sim 8.26\ \text{mS/m}$ であり, 「13.行田の清水」以外の地下水は河川から離れるにつれ, 上昇する傾向であった。これは, 帯水層と地下水との接触時間がながくなり, 岩石由来の溶存イオンが地下水に溶出したからである。一方, 「13.行田の清水」の場合採水深度が $3\ \text{m}$ と他の地下水と比較すると浅いため, EC が小さくなったと考えられる。

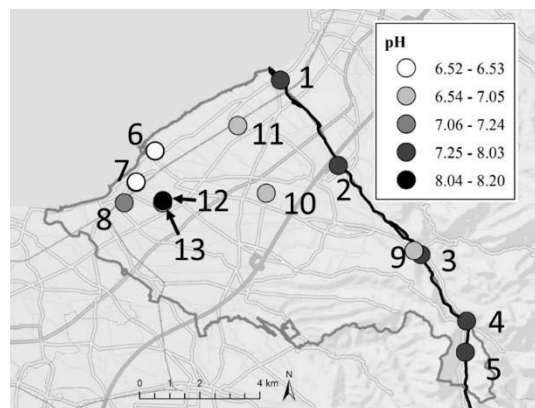


図-3 早月川扇状地の地下水, 湖水, 河川水の pH の空間分布(2019年1月から2019年5月までの平均値)

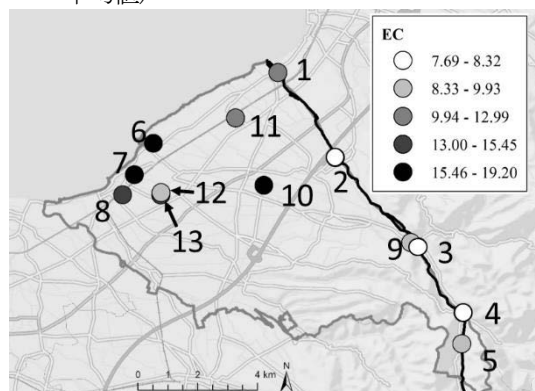


図-4 早月川扇状地の地下水, 湖水, 河川水の EC の空間分布(2019年1月から2019年5月までの平均値)

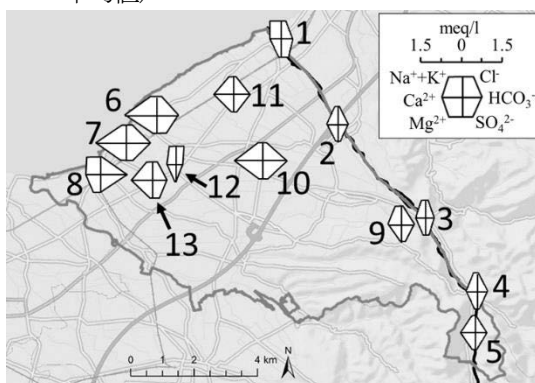
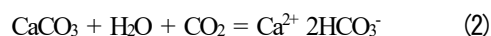
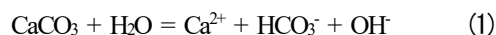


図-5 早月川扇状地の地下水, 湖水, 河川水のヘキサダイアグラムの空間分布(2019年1月から2019年5月までの平均値)

図-5は2019年1月から5月の早月川扇状地の河川水, 湖水, 地下水の溶存イオンの分析結果を平均した値を用いたヘキサダイアグラムの分布図を示す。「8.健康センター」, 「12.上小泉」を除いた地下水は早月川から離れるにつれ, Ca^{2+} と HCO_3^- が増加しており, Ca-HCO_3 型の地下水である。これは堆積物と地下水の炭酸カルシウムの溶解反応が要因である。二酸化炭素を含まない地下水(式-1)と含む地下水(式-2)の CaCO_3 の溶解反応は次式に示した。



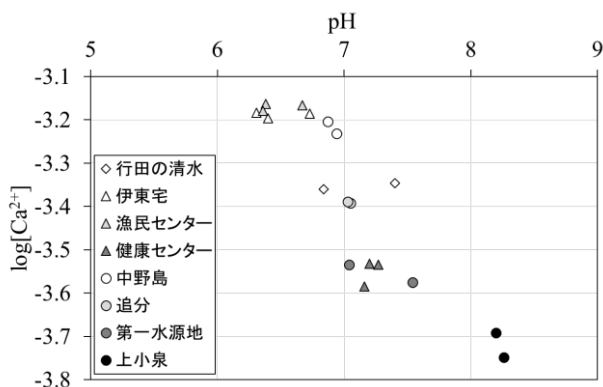


図-6 早月川扇状地の地下水の Ca^{2+} と pH の関係

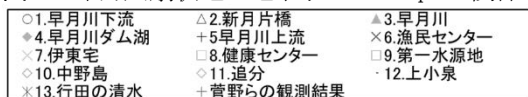


図-7 2019 年 1 月から 5 月までの早月川扇状地の河川水、湖水、地下水のトリリニアダイアグラム

図-6 は早月川扇状地の地下水の pH と Ca^{2+} の関係を示す。 CaCO_3 の溶解反応が進むと地下水は Ca^{2+} が増加し、pH が低下する。早月川扇状地地下水は-3.2 付近で Ca^{2+} が一定になっている。これは、地下水に対して Ca^{2+} が過飽和の状態になったと考えられる。 Ca-CO_3 型の地下水と比較して、「9.第一水源地」、「8.健康センター」は Ca^{2+} が減少し、 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ が増加している。これは、 CaCO_3 の溶解反応がさらに進行し、地下水の陽イオン交換が生じている地下水である。このことから、これらの地下水は流動が遅い、もしくは停滞している地下水であることが明らかになった。

既往研究結果⁴⁾では、扇状地全域の地下水の pH は 5.8 ～ 7.0 を示している。図-7 は 2019 年 1 月から 5 月までの早月川扇状地の河川水、湖水、地下水のトリリニアダイアグラムである。図-7 には菅野⁴⁾が実施した 1965 ～ 1966 年の水質分析結果も表記した。2019 年 1 月から 5 月までの「12.上小泉」を除いた早月川扇状地の地下水は Ca-HCO_3 型に分類され、本稿で明らかになった早月川扇状地の河川水、地下水の水質の特徴は既往研究結果⁴⁾と

概ね同様な結果であった。しかし、早月川扇状地の沿岸部の一部で陽イオン交換反応が生じていることが明らかになったが、約 60 年間で大きな地下水環境に変化がないことが明らかになった。

4. まとめ

本研究では 2019 年 1 月から 5 月において早月川扇状地の河川水、地下水の観測を実施し、扇状地全域の水質特徴を明らかにした。また、60 年前に実施された地下水調査と比較し、地下水環境に変化が生じているか検討を実施した。

その結果、地下水の水温は魚津市の年平均気温と同程度であった。pH は河川から離れるにつれ減少傾向にあり、EC は上昇傾向であった。これは、帯水層と地下水の溶解反応が要因であることがわかった。溶存イオンの分析結果から、河川から離れるにつれ、 CaCO_3 の溶解反応が起きていることが明らかになり、pH、EC と同様な結果が得られた。また、既往研究と比較を行った結果、pH、EC、水温、溶存イオンの 4 項目で同様な結果が得られ、約 60 年間で大きな地下水環境に変化がないことが明らかになった。

最後に、平時の地下水環境の観測、分析は地下水障害の防止や回復、気候変動による地下水環境への影響評価といった地下水研究へのバックグラウンドデータとなり、有益なデータとなる。

謝辞：本研究の一部は滑川市の助成金を受けている。本研究の遂行にあたり、滑川市役所からデータや情報の提供を受けた。合わせてここに謝意を表す。

参考文献

- 1) 松浦拓哉, 手計太一, 北隆平, 溝口俊明: 黒部川扇状地における自噴井の湧水量と水質の特徴, 水文・水資源学会誌, Vol.30, No.6, pp.373-385, 2017.
- 2) 諸泉利嗣: 最終処分場における地下水位・水質指標の特徴と観測井の分類, 地下水学会誌, Vol.53, No.1, pp.73-79, 2011.
- 3) バトルアブドレイム, 栗津進吾, 城戸由能, 中北英一: 気候変動による京都盆地水系地下水環境への影響評価, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.68, No.4, I_577-I_582, 2012.
- 4) 菅野敏夫, 岸和男, 阿部智彦: 富山県早月川扇状地の地下水-扇状地における水の浸透および流動気候について-, 地質調査所月報, Vol.1, No.3, pp.149-166, 1968.
- 5) 水谷義彦, 佐竹洋: 地下水かん養源の指標としての河川水の水素および酸素同位体組成, 地下水学会誌, Vol.39, No.4, pp.287-297, 1997.