

富山県黒部市の自噴域と水環境

岸 和 央*

キーワード：自噴域、自噴高、地下水、扇状地、水質、同位体

1. はじめに

地下水は農業・工業・生活用水・飲用水等に広く利用される主要な水資源の一つである。日本には地形・地質・水文学的な特徴で全国には自噴帯湧水が数多くあった。しかし、高度経済成長期、主要産業地帯である都市部において地下水の過剰揚水により急激な地下水位の低下や地盤沈下が発生した（嶋田，2012）。同時に全国的に上下水道の整備が急速に広がったことにより水の安全性の観点から上水道利用へとシフトが進んだ。

そのため、国内で地下水利用やそれらのコミュニティーが残る地域は自噴帯湧水の衰退・消滅によりわずかとなっている。名水百選・新名水百選に認定されている自噴帯湧水は富山県黒部川扇状地などが代表的である。これまで地下水流動系や地下水と地表水の交流関係に関する研究は数多く行われてきた（例えば 吉岡ほか，2018；土原ほか，2018）。そのなかでも、地下水位変動の把握は重要な情報となることが知られている（安西ほか，2013）。また、酸素・水素安定同位体比（ $\delta^{18}\text{O}$ ・ $\delta^2\text{H}$ ）は、自然界において他の物質と反応して変化することがほとんどなく、起源となる水の情報を保持している、水循環研究における代表的なトレーサーとして広く利用されている（中山ほか，2000）。特に黒部川扇状地の地下水に関する研究は多く行われている（樫根，1991；後藤ほか，2002；徳永ほか，2003；入善町，2003）。

地下水や河川水は昔から広く利用されてきているが、一般細菌や大腸菌群が含まれることがある。そのため、一般細菌数や大腸菌群数は環境基準に定められている。一般細菌や大腸菌群は採水地点の上流域からの畜産系排泄物による流入や下水からの流入等による影響が生じることが知られている。

本研究の目的は、自噴帯湧水が現存する地域の一つ富山県黒部市を対象に、測量による自噴高測定など自噴調査や水質、酸素・水素安定同位体比、細菌類調査等のトレーサーを用い、自噴湧水がある地域の自噴環境や水質

環境を明らかにすることである。本論文では2021年11月の富山県黒部市の自噴調査について報告する。

2. 研究対象地域

富山県黒部市は富山県北東部に位置し、黒部川下流域にあり日本海に面している。直線距離約40km南東の黒部川上流に黒部ダムが鎮座している。黒部市は426.3km²の面積を持ち、黒部市北西部の平地に市街地があり、南東部の山地は飛騨山脈の端にあたり、2000m級の駒ヶ岳、3000m級の白馬岳や鹿島槍ヶ岳などが連なっている。黒部川の南西部には布施川が並行し上流には布施川ダムがある。黒部市は名水の里として黒部川扇状地の湧水群を有し、共同の洗い場や酒造仕込み水等に利用されている。黒部市の上水道普及率は2020年度（令和2年度）末時点で72.0%と富山県内の平均を下回っている（黒部市，2024）。

気候については、冬期における寒冷積雪と夏期の高温多湿であり、四季が明確な日本海型気候である。高標高域は多雨多雪地帯となっている。気温および降水量データは気象庁ウェブサイトの過去の気象データより魚津観測所におけるアメダスデータを使用した。富山県黒部市の西側に隣接する魚津市における魚津観測所におけるアメダスデータによれば、1991–2020年の約30年間の年平均気温は13.9℃、年平均降水量は2588.3mmである。図1に魚津市における雨温図を示す。1991–2020年における最暖月（8月）と最寒月（1月）の月平均気温は、それぞれ25.9℃および2.7℃である。

3. 現地調査と分析方法

3.1 現地調査

図2に本研究における各調査地の調査地点を示した。採水地点の座標及び地盤標高はGNSSによる測位データを使用した河川の座標についてはGPS（eTrex 30x、

* 立正大学環境科学研究所

GARMIN)を用いた。調査および試料採取は2021年11月に富山県黒部市(KB01-20)および周辺の自噴井と河川水(KB18, KB20)を現地で実施した。採水時には、現地でポータブル電気伝導率計・pH計、ポータブルORP計、水温計、溶存酸素計を用い測定した。試料は① 100mL ポリビン(未処理)、② 10mL ppチューブ(0.45 μ m フィルター濾)、③ 50mL ポリビン(0.45 μ m フィルター濾過

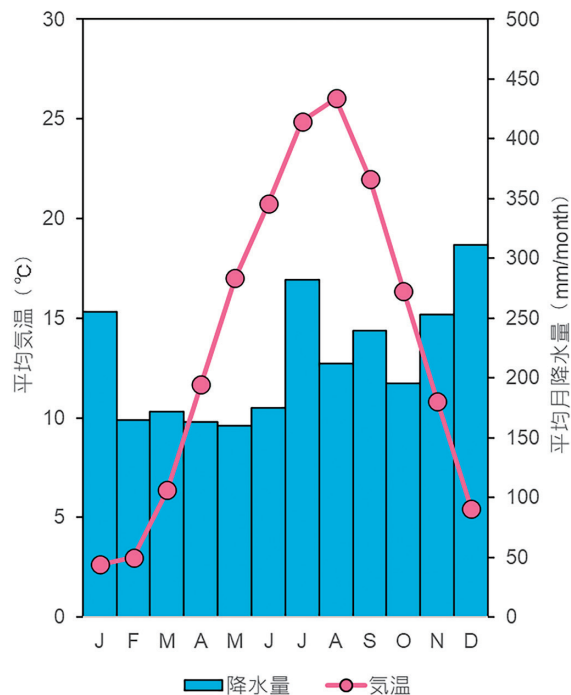


図1 富山県黒津市における雨温図 (1991–2020年の魚津観測所データを用い作成)

+酸添加)の方法で採水時に処理を行った。採水試料中の菌類については、一般細菌と大腸菌について試験紙を用いて測定した。自噴井では自噴高を測定するためオリジナルパッカー(パイプやチューブ等)を用いて吐出口を密閉し、ビニールチューブを接続して立ち上げ、チューブ内を上昇する水位が停止する垂直方向の高さを測定し、地盤標高から自噴標高を算出した。なお、吐出口(内径10~150mm、もしくは不定形)は様々なためケースごとに個別に対応し、水漏れが生じていないことを確認した。

3.2 分析方法

採取した水試料は実験室に持ち帰り、重炭酸イオン濃度(HCO_3^-)測定のためpH4.8アルカリ度滴定を行った。濾過処理済の水試料は項目ごとに以下の手法を用いて分析を行った。 HCO_3^- を除く無機溶存イオン濃度(Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NH_4^+ , Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , SO_4^{2-})の分析はイオンクロマトグラフを用いた。陽イオンを中心とする金属イオン類はICPを用いた。水の酸素・水素安定同位体比($\delta^{18}\text{O}$ ・ $\delta^2\text{H}$)は、軽元素質量分析装置(VG(現Micromass)製PRISM)により行った。軽元素質量分析計に試料ガスを導入するための前処理は、酸素同位体比については、温度25℃における炭酸ガス平衡法、水素安定同位体比については、温度40℃における白金触媒を用いた水素ガス平衡法で行った。標準試料は温泉地学研究所で作成した蒸留水($\delta^{18}\text{O} = -8.52\text{‰}$, $\delta^2\text{H} = -54.1\text{‰}$)を用いた。質量分析による同位体比の

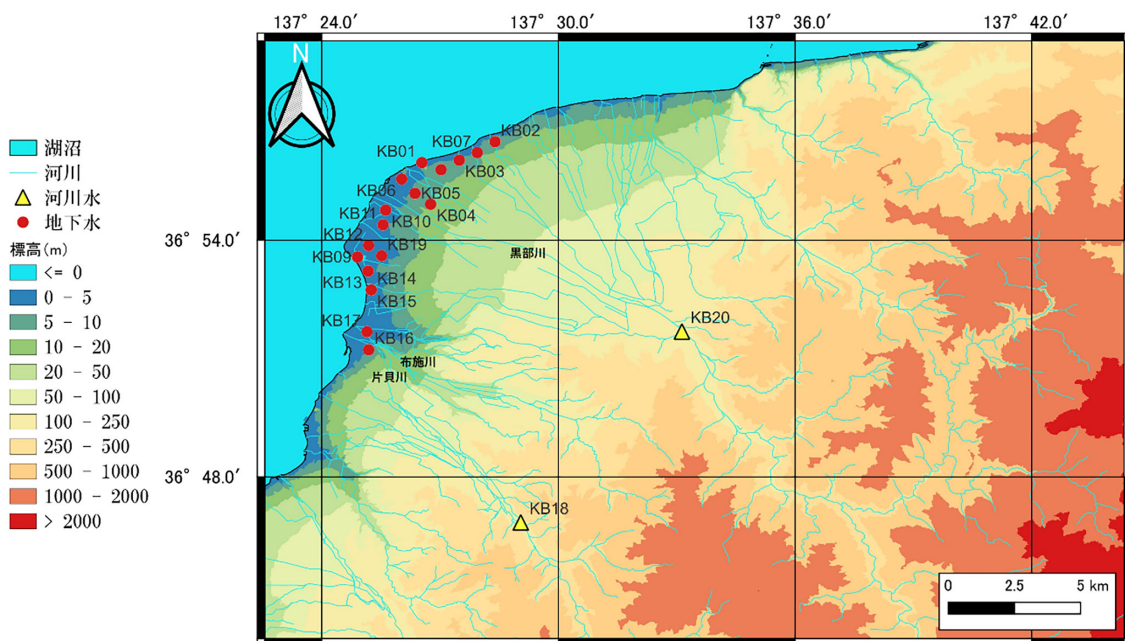


図2 富山県黒部扇状地の標高と調査地点 (DEMデータ(国土地理院)をもとに著者作成)

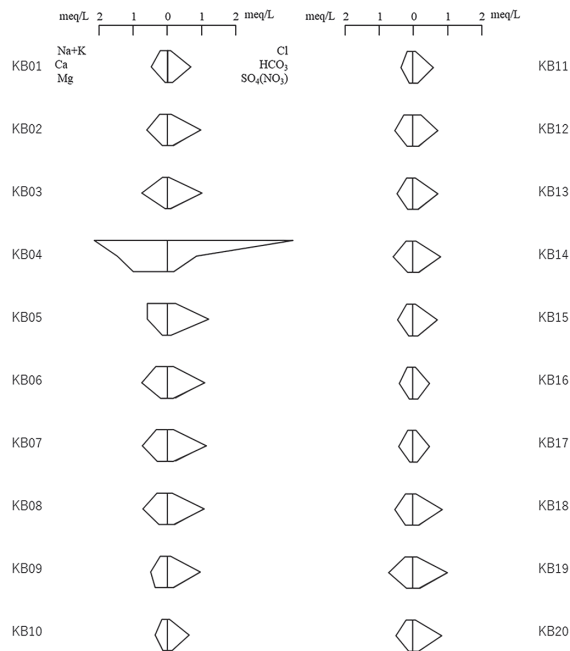


図3 黒部扇状地周辺の地下水と河川水のヘキサダイアグラム

測定精度は、酸素 $\pm 0.1\%$ 、水素 $\pm 1\%$ である（板寺・代田，2014）。

4. 結果

各地域で採水をした地下水・河川水の主要無機溶存イオンの分析結果をヘキサダイアグラムとトリリニアダイアグラムとして図3と図4に示す。その結果、図3の黒部川流域の河川水（KB18, KB20）と地下水（KB17以外）はCa-HCO₃型の水質組成を示し、KB17の地下水のみNa-Cl型であった。図4で示すように、KB16の地下水についてはNa⁺が多い傾向が示された。KB02, 09, 13, 14, 15, 16, 17の電気伝導度は河川水よりも高く、100 μ S/cm以上の地点であり、KB17は486 μ S/cmであった。これらの地点はNaCl濃度も他の地点とくらべ高く、特にKB16, 17は高いことが示された。

各地域で採水をした地下水・河川水の酸素・水素安定同位体比の関係を表したデルタダイアグラムを図5に示す。図5の破線は一般的な日本の降水の天水線である。地下水、河川水の酸素・水素安定同位体比のすべての結果は、日本の天水線付近にプロットされた。各地域の酸素・水素安定同位体比は、富山県黒部市の地下水が $\delta^{18}\text{O}$ が -11.9% から -9.2% 、 $\delta^2\text{H}$ が -78% から -55% の範囲を示した。一方、河川水は $\delta^{18}\text{O}$ が -11.8% から -9.8% 、 $\delta^2\text{H}$ が -78% から -60% を示した。

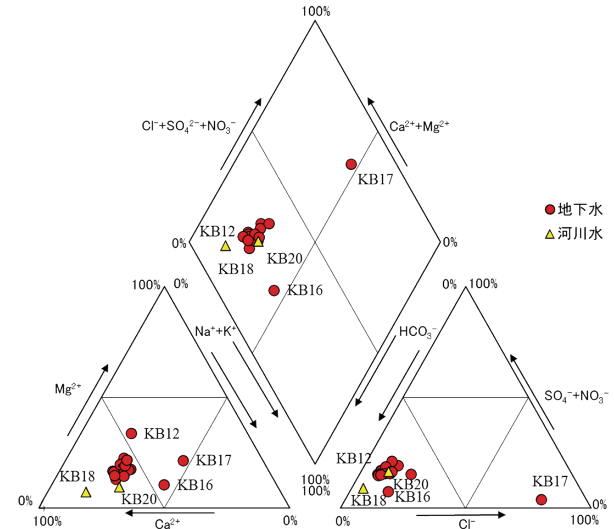


図4 黒部扇状地周辺の地下水と河川水のトリリニアダイアグラム

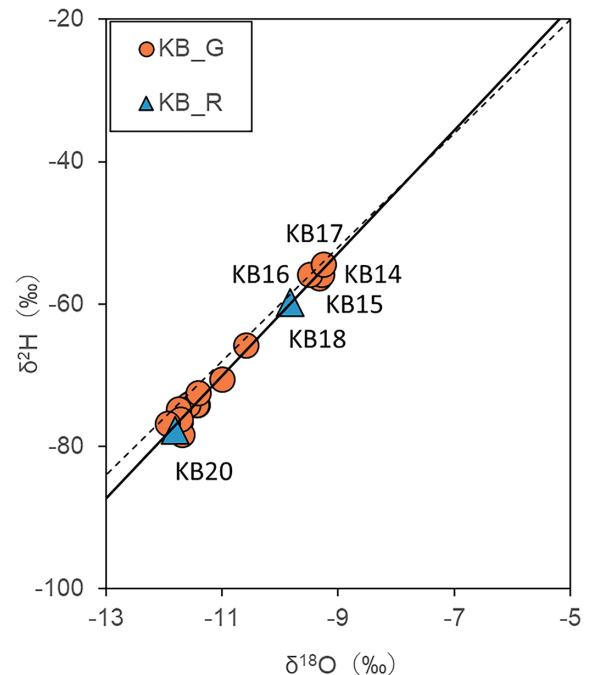


図5 黒部扇状地周辺のデルタダイアグラム

表1 黒部扇状地周辺の細菌検出地点数

	全地点数	検査数	一般細菌	大腸菌群
			検出地点数	検出地点数
KB	20	18	1	0
内河川	2	0	0	0

調査地域における地下水の一般細菌および大腸菌群の検出試験を行った結果を表1に示す。なお、河川水の一般細菌および大腸菌群の検出試験は行っていない。地下水調査18地点のうち1地点で一般細菌が検出されたが、

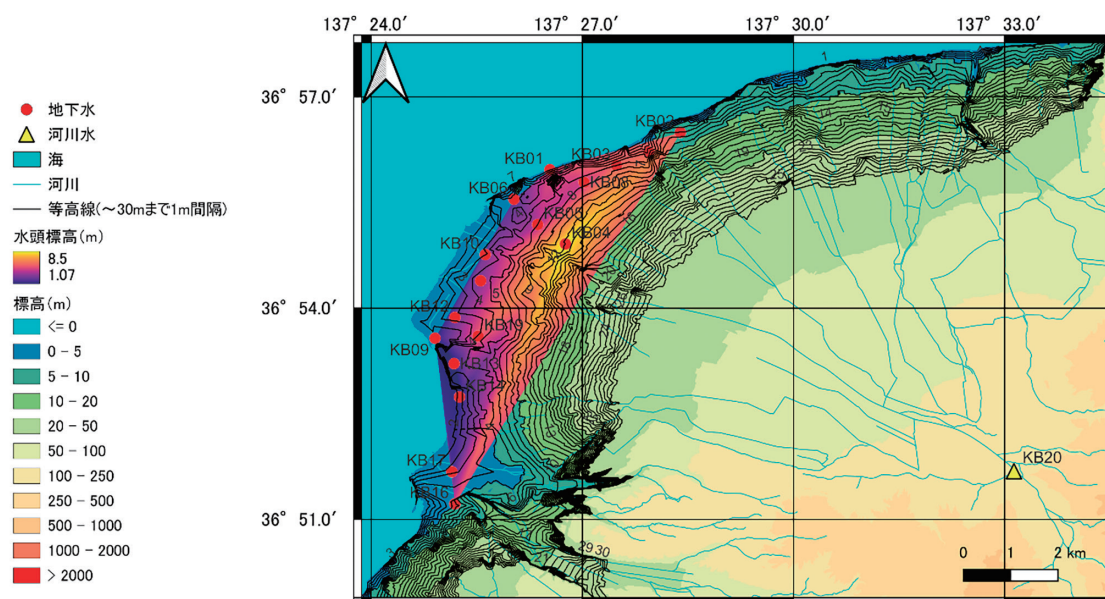


図6 黒部扇状地周辺の自噴域（DEMデータ（国土地理院）をもとに著者作成）

ほかの地点では検出されなかった。検出された一般細菌は基準値を下回っていた。地点等詳細については個人情報等の観点から秘匿とする。

最後に、各調査地点で測量を実施し自噴高を地盤標高に換算したものを図6に示す。なお、本論では「自噴高」は、自噴井のある場所の地表から、自噴井を立ち上げて水位が停止するまでの高さである。「自噴標高」は、自噴高に地盤標高を加えた、自噴井に現れる水頭標高をそれぞれ示す。図6で示す富山県黒部市のKB04は今回の調査の上流に位置する。そのためもっとも自噴標高が高い9.7mであった。一方で、下流に位置するもっとも地盤標高が低いKB13の自噴頭標高が1.9mの自噴がみられ、その差は約7.8mであった。黒部扇状地の北部にくらべ南部の自噴標高が高い傾向がみられた。

5. 考察

ナトリウムイオンが多く含まれた地下水KB16やNa-Cl型を示した地下水KB17の地盤標高はそれぞれ、4.8m、1.9mであり低地ではあるが、海岸線までおよそ600mである。本研究対象地域では地盤標高がおよそ1.0m程度の地点もあること、また、他の地点ではおよそ海岸線から30mや70mと海岸付近にあることから、必ずしも海水浸水による影響ではないと推察される。しかし、潮位の周期変動にともなう海水侵入の可能性や潮風による影響については今後、検討が必要である。潮位の水位（潮位）は半日程度の周期で変化する潮汐があり、季節変化

もあるため潮位変動による海水侵入の可能性がある。実際、富山県の調査によると、黒部地域の沿岸部では2004年以降、地下水の塩水化が進んでいることが確認されている（富山県，2014）。KB17では多地点に比べ塩水化が認められ、それ以外では目立った値を示さなかった。KB17に近いKB16においても他の地点と比較してやや高い程度であり、顕著な値を示さなかった。局所的に塩水化がみられる原因については今後詳細な調査と検証が必要であると考えられる。

酸素・水素安定同位体比は黒部市および周辺の河川KB18はKB20に比べ酸素同位体比で17.9%、水素同位体比で2%重い結果を示した。そのため、調査地域南部のKB14～17はKB20より西部を流れるKB18の同位体比の影響を受け同様に重い結果となったと考えられる。黒部市の地下水の大部分はKB20によって涵養されていると推察される。北・手計（2015）によると、富山県黒部市の黒部川は扇央部付近から右岸側へ浸透している地下水流動系を明らかにしている。また、扇央から扇端にかけてのかなりの範囲にわたり、地下水は黒部川河川水の影響を顕著に受けており、さらに浅層地下水だけでなく深層地下水に対しても河川水の質および量について強い影響が及んでいる（丸山，2003；丸山，2006）ことが報告されている。同様に、松浦・手計・北・溝口（2017）では、黒部川扇状地地下水は下流域もしくは中流域の黒部川の水質と類似していることから下流域もしくは中流域の黒部川が涵養域であると考えられるとしている。実際、本研究においても黒部川の河川水KB20を含めすべての

地下水で $\delta D = 8\delta^{18}O + 20$ の直線状付近にプロットされた。このことは、佐竹・向井・水谷 (1984) においても黒部川の同位体比は $\delta D = 8\delta^{18}O + 20$ の直線状に集中することが報告されており、支持するものであり天水起源であると考えられる。KB14~17は蒸発の影響を受けている可能性が示されたことから、海水浸透と合わせ今後の調査と検証が必要であると考えられる。

一般細菌および大腸菌群数については地下水1地点でのみ検出されたが、基準値を大幅に下回るものであり、特段注視する必要は現時点ではないと考えられる。しかし、自噴地点の場所や井戸深度、周辺状況など多くの環境に影響するため、適切な管理や利用に越したことはないと言える。大腸菌群数は乳糖を分解して酸とガスを生成する菌である総称であり、大腸菌以外にも、環境由来の類似菌も含まれている。本菌類検査は簡易式なものであること、近々の降水の影響によって土壤中から細菌類が混入する可能性があるため、参考としてここに記している。

KB04は今回の調査の上流に位置し、もっとも自噴標高が高い9.7mであった。一方で、下流に位置するもっとも地盤標高が低いKB13の自噴頭標高が1.9mであった。黒部川が南部から北部に流下するため、黒部扇状地の北部にくらべ南部の自噴標高が高い傾向が示されている。今回の調査における地点間の差は約7.8mであった。今回の調査地点ではKB04を中心として自噴最高標高を示し、黒部川の左岸、右岸側に向かって自噴標高は逡減すること、黒部川下流から海岸線に向かって逡減することが示されたことから、上流河川からの安定した供給が沿岸部の自噴帯を形成していると推察できる。手計 (2010) においても、黒部川扇状地における地下水位は統計的に極めて有意に漸減していることが示され、黒部川の扇状部付近を水頭に下流に向かっての地下水流動が示唆されていることから、本研究においても支持される。より詳細な自噴域解析にはさらなる地点追加や小河川を加味した調査・解析が必要であると考えられる。

6. まとめ

本研究は、富山県黒部川周辺における自噴域を明らかにし、水環境の特徴を明らかにすることを目的として、水文観測・水試料の採取を実施した。水文データ解析と各種環境トレーサの定量分析を実施することで、以下のことが明らかになった。

1. 富山県黒部川流域の水質結果より、地下水KB17を除き Ca-HCO_3 型を示し、KB17のみ Na-Cl 型であった。またKB16についても Na^+ が多いことが示された。このことや富山県の調査結果からKB16、KB17は海水侵入の可能性が考えられる。地下水への海水侵入の有無およびプロセスなど詳細については、今後の課題である。黒部川および片貝川の地下水は河川からの涵養によって維持されていると考えられる。
2. 酸素・水素安定同位体比の結果より、 $\delta D = 8\delta^{18}O + 20$ の直線状に集中することが示された。河川KB18はKB20に比べ酸素同位体比で17.9‰、水素同位体比で2‰重い結果を示した。そのため、KB14~17はKB20より西部を流れるKB18の同位体比の影響を受け同様に重い結果となったと考えられる。黒部市の地下水の大部分はKB20によって涵養されていると考えられる。
3. 調査地域における地下水の一般細菌および大腸菌群の検出試験を行った結果、地下水18地点のうち1地点で一般細菌が検出されたが、ほかの地点では検出されなかった。検出された一般細菌についても基準値を大幅に下回るものである。そのため、地下水利用の観点から適切な利用が今後も求められる。
4. 富山県黒部市の地下水KB04は今回の調査の上流に位置し、そのためもっとも自噴標高が高い9.7mであった。一方で、もっとも地盤標高が低いKB13でも自噴標高が1.9mと自噴がみられ、その差は約7.8mであった。黒部扇状地の南部にくらべて北部の方の自噴標高が明らかに高い傾向がみられ、上流河川からの安定した供給が沿岸部の安定的な自噴帯を形成している。

謝辞

本研究を行うにあたり、NPO団体ならびに関係機関・団体には水資源に関する情報提供等をいただきました。特に、自噴用井戸所有者の皆様には大変お世話になりました。ここに記して、御礼申し上げます。

本研究は公益財団法人国土地理協会 2020年度学術研究助成の支援を受けたものである。

参考文献

1. 安西俊彦・清水克之・北村義信・Shakibaev, I. I. (2013): カザフスタン・イリ川下流域灌漑地区における地下水位変動特性とその要因に関する研究. 農業農村工学会論文集, 81(1), 51-56.

2. 後藤純治・嶋田 純・松井喜治（2002）：黒部川扇状地の地下水流動に関する同位体水文学的研究. 地球惑星科学関連学会2002年合同大会予稿集, H055-001.
3. 板寺一洋・代田 寧（2014）：上湯場新噴気における水蒸気の酸素・水素同位体比. 温地研報告46, 17-20.
4. 梶根 勇（1991）：実例による新しい地下水調査法. 山海堂.
5. 気象庁（2023）：過去の気象・データダウンロード. <https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php> (2023年7月1日閲覧).
6. 北 隆平・手計太一（2015）：地下水位・水質観測データを基にした黒部川扇状地の地下水流動系の推定. 土木学会論文集G（環境）, 71(5), I_111- I_116.
7. 黒部市（2024）：統計黒部, 93.
8. 丸山 響（2003）：扇状地地下水の性状に及ぼす河川水の影響—黒部川下流域の場合—. 地球惑星科学関連学会2003年合同大会予稿集, H060-005.
9. 丸山 響（2006）：黒部川扇状地における地下水涵養源としての河川水の役割. 日本水文科学会誌, 36(1), 23-36.
10. 松浦拓哉・手計太一・北 隆平・溝口敏明（2017）：溶存イオンと放射性同位体を用いた黒部川扇状地地下水の滞留時間と涵養域の推定. 土木学会論文集B1（水工学）, 73(4), I_67- I_72.
11. 中山友栄・谷口真人・嶋田 純（2000）：琵琶湖流域における降水と地下水の安定同位体比特性. 陸水学雑誌, 61(2), 119-128.
12. 入善町（2003）：黒部川扇状地地下水調査報告書.
13. 佐竹 洋・向井利明・水谷義彦（1984）：D, T, 18Oから見た北陸地方の降水と河川水の水文学的特徴. 富山大学トリチウム科学センター研究報告, 3, 45-56.
14. 嶋田 純（2012）：モンスーンアジア地域における可能地下水涵養量を考慮した地下水資源管理. 日本水文科学会誌, 42(2), 33-42.
15. 手計太一（2010）：黒部川扇状地における地下水位の漸減現象に関する基礎的研究. 水工学論文集, 54, 565-570.
16. 徳永朋祥・中田智浩・茂木勝郎・渡辺正晴・嶋田 純・張 勁・蒲生俊敬・谷口真人・浅井和見・三枝博光（2003）：沿岸海底から湧出する淡水性地下水の探査および陸域地下水との関連に関する検討—黒部川扇状地沖合での例—. 地下水学会誌, 45, 133-144.
17. 富山県（2014）：地下水の現状.
18. 土原健雄・吉本周平・皆川裕樹・白旗克志・石田 聡（2018）：環境トレーサーを用いた地表水と地下水の交流研究の現状. 地下水学会誌, 60(2), 169-192.
19. 吉岡有美・伊藤真帆・中村公人・瀧本裕士・土原健雄（2018）：酸素・水素安定同位体比からみた手取川扇状地の河川水—地下水の交流現象と地下水涵養源. 地下水学会誌, 60(2), 205-221.

Artesian area and water environment in Kurobe City, Toyama Prefecture

KISHI Kazuhiro *

* Environmental Science, Rissho University

Abstract :

Hydrological observations and water sample collection were carried out with the aim of clarifying the artesian area around the Kurobe River in Toyama Prefecture and clarifying the characteristics of the water environment. By conducting hydrological data analysis and quantitative analysis of various environmental tracers, the following was clarified. The water quality results of the Kurobe River basin in Toyama Prefecture showed that all groundwater except KB17 was of the Ca-HCO₃ type, and only KB17 was of the Na-Cl type. It was also shown that KB16 has a large amount of Na⁺. Details such as whether or not seawater intrudes into groundwater and the process remain to be determined in the future. The results of stable oxygen/hydrogen isotope ratios showed that they were concentrated in a straight line of $\delta D = 8 \delta^{18}O + 20$. KB18 was 17.9‰ heavier in oxygen isotope ratio and 2‰ heavier in hydrogen isotope ratio than KB20. Most of the groundwater in Kurobe City is thought to be recharged by KB20. As a result of testing to detect common bacteria and coliform bacteria in groundwater in the survey area, common bacteria were detected in one of the 18 groundwater locations, but not in the other locations. The level of general bacteria detected is also significantly below the standard value. Therefore, from the perspective of groundwater utilization, appropriate use will continue to be required. KB04 is located upstream of this survey, and therefore has the highest water head elevation of 9.7m. On the other hand, even in KB13, which has the lowest ground elevation, artesian gushing was observed with a water head elevation of 1.9m, a difference of about 7.8m. There is a clear tendency for the water head elevation in the northern part of the Kurobe fan to be higher than in the southern part, and stable supply from upstream rivers forms a stable artesian belt in the coastal area.

Key words : Artesian area, artesian height, groundwater, alluvial fan, water quality, isotope

