

大山北麓における湧水、渓流水及び海底湧水に関する調査

【水環境室】

奥田 知佳、森 明寛、盛山 哲郎、政井 咲更美、成岡 朋弘*1

要旨

鳥取県では水道水源の約99%を地下水に依存しているが、地球温暖化の影響により地下水を含む水循環の変化が懸念される。本研究では大山北麓における湧水や渓流水及び海底湧水に関するデータ収集を目的とした。その結果、大山北麓の海岸線付近では、海底湧水や海岸湧水が確認され、これらの湧水の平均涵養標高は概ね110～400m程度と推定された。また、大山の主要な湧水及び渓流水の酸素・水素安定同位体比は2010年度の調査結果と比較して夏側へシフトしたことが確認された。この変化は近年の降雪量の減少が地下水涵養に影響を与え、これらの湧水及び渓流水の平均涵養標高の低下等に繋がったものと考えられた。

1 はじめに

地球温暖化の影響により将来の強雨や豪雨の発生頻度の増加及び積雪量の減少が予想されており、これらの水循環の変化は、人間活動に甚大な影響を及ぼすことが懸念される¹⁾。鳥取県では水道水源の約99%を地下水に依存²⁾し、さらに、飲料水の生産などの工業的な用途として大量の地下水が使用されている³⁾。このため鳥取県内の地下水に関するデータを蓄積し、水循環の変化を分析することは重要である。

大山山麓の湧水や渓流水については、過去にも酸素・水素安定同位体比等を調査することにより、地下水の涵養域の推定が行われている⁴⁾ところだが、西麓の調査が主であり、ほかの地域についての知見は十分でない。

そのため、本研究では大山北麓の湧水や渓流水及び海底湧水の酸素・水素安定同位体比等を確認することにより、涵養域の推定に資する情報等を収集した。また、過去の調査結果との比較を行った。

2 方法

2.1 分析方法

2.1.1 一般水質

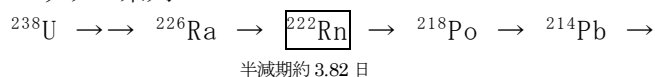
- ①採水した湧水及び渓流水は、現地でガラス電極法によってpHを測定し、導電率計によってECを測定した。
- ②イオンクロマトグラフ法によって、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^- を測定した。
- ③滴定法によって HCO_3^- を測定した。
- ④吸光光度法によって PO_4^{3-} を測定した。
- ⑤ICP発光分析法によってSiを測定した。

2.1.2 ラドン ^{222}Rn 及びトロン ^{220}Rn

湧水の起源を確認するためにシリコン半導体アルファ線検出器RAD7 (DrRidge社) で ^{222}Rn (ラドン)、 ^{220}Rn (トロン) 濃度を測定した。

ラドンは元素番号86番の元素でウラン系列、トリウム系列、アクチニウム系列の一つであり、34種類の放射性同位体がある。このうち最も安定な同位体である ^{222}Rn (ラドン) の半減期は約3.82日であり、 ^{220}Rn (トロン) の半減期は約55.6秒である。短時間で放射線を出しながら異なる元素に変わっていく特徴があることからラドンを調査することで水の動きを把握することができる⁵⁾。

<ウラン系列>



<トリウム系列>

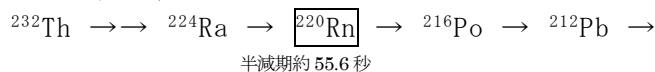


図1 ラドン ^{222}Rn ・トロン ^{220}Rn の崩壊系列 (ウラン系列、トリウム系列)

2.1.3 酸素・水素安定同位体比

湧水及び渓流水の起源を確認するために酸素・水素安定同位体比を確認した。(同位体分析方法: 近赤外線半導体レーザーを用いたキャビティリングダウン吸収分光法 (CRDS: Cavity Ring Down Spectroscopy)、分析精度: $\delta^{18}\text{O}$ ($\pm 0.1\text{‰}$)、 δD ($\pm 1\text{‰}$))

<酸素・水素安定同位体比の特性⁴⁾ ⁶⁾>

水分子(H_2O)の構成元素である酸素、水素には、質

*1 現 鳥取県生活環境部循環型社会推進課

量数（原子量）の異なる「安定同位体」が存在し、数種の質量の水分子が自然界の水を構成している。

各同位体比は以下の式で表現する。

・酸素同位体比: $\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$

$$= [(^{18}\text{O}/^{16}\text{O}(\text{試料})) / (^{18}\text{O}/^{16}\text{O}(\text{VSMOW})) - 1] \times 1000$$

・水素同位体比: $\delta \text{D}(\text{‰})$

$$= [(D/H(\text{試料})) / (D/H(\text{VSMOW})) - 1] \times 1000$$

※標準平均海水 (VSMOW: Vienna Standard Mean Ocean Water)

酸素・水素安定同位体比には以下の特徴がある。

- ① 低緯度地域から高緯度地域に向かって同位体比が低下する。(緯度効果・温度効果)
- ② 雲(水蒸気団)が連続的に雨を降らせて移動する場合、初期の雨の同位体比は高く、その後は継続的に同位体比が低くなり、海岸部から内陸部に向かって同位体比が低下する。(内陸効果)
- ③ 山間部では、低標高域から高標高域に向かって同位体比が低下する。(高度効果)

④同一地点でも季節変動する(夏季に高く冬季に低くなる傾向)。

2.2 甲川及び加勢蛇川流域の湧水・渓流水の水質調査

地下水の涵養標高の推定のために大山北麓を流れる甲川流域及び加勢蛇川流域の渓流水について概ね標高 100m 毎に調査地点を設け(図 2)、一般水質及び酸素・水素安定同位体比を分析した。

2.3 海底湧水・海岸湧水の探査

2.3.1 海底湧水の潜水調査

漁業者からの情報に基づき、大山北麓エリアの沿岸域で海底湧水の探査を行った。御崎漁港(図 3)近傍において、潜水調査により、目視で湧出を確認した場所について、多項目水質計(Hydrolab社, DS5)を用いて塩分濃度が周辺より低い場所を湧出場所として特定した。また、湧出場所の海底に塩ビ管($\phi 13\text{mm}$)を差し込み、上端にテドラーバックを接続して、海底湧水を採取した(図 4 及び 5)。

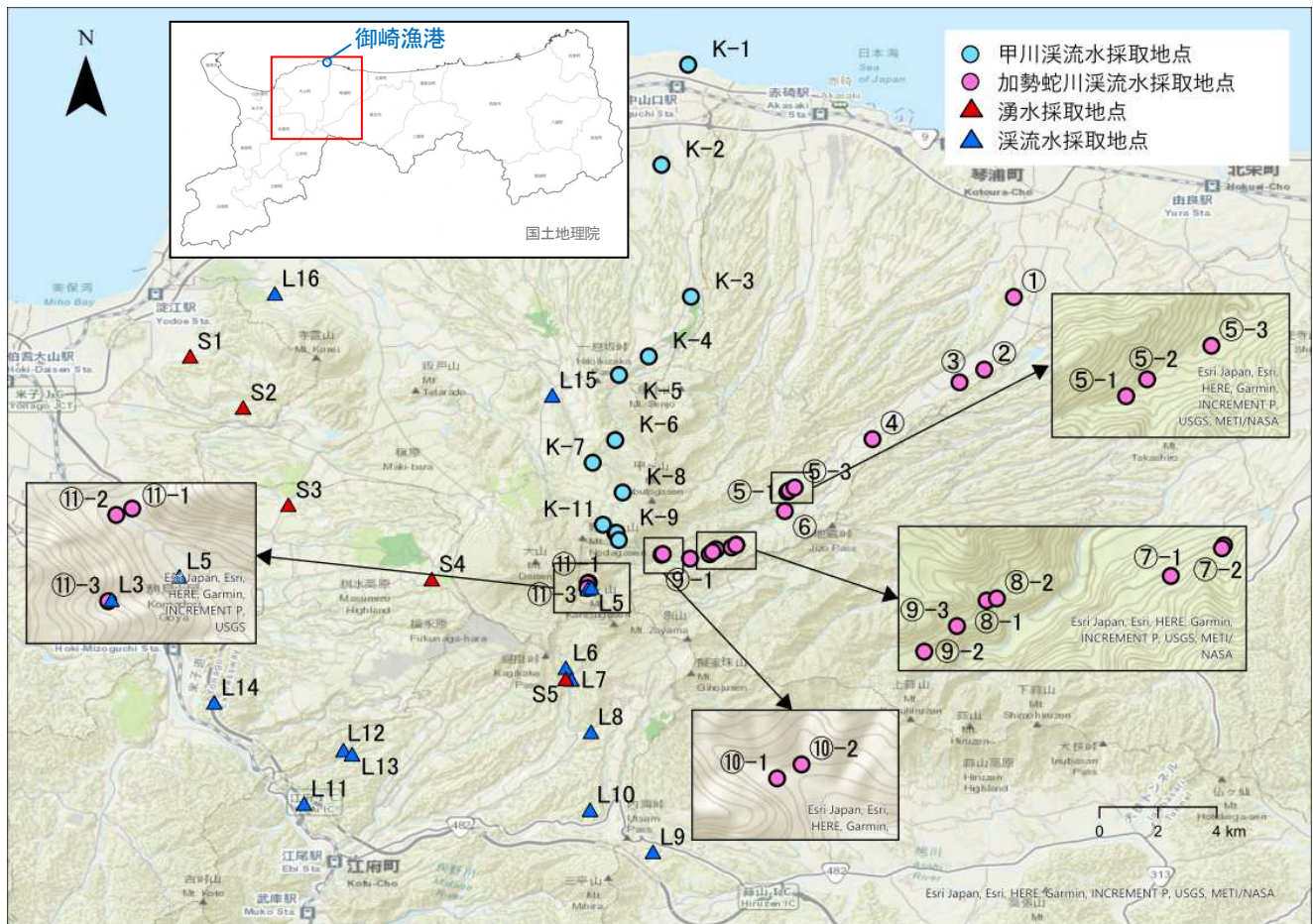


図 2 湧水・渓流水の調査地点

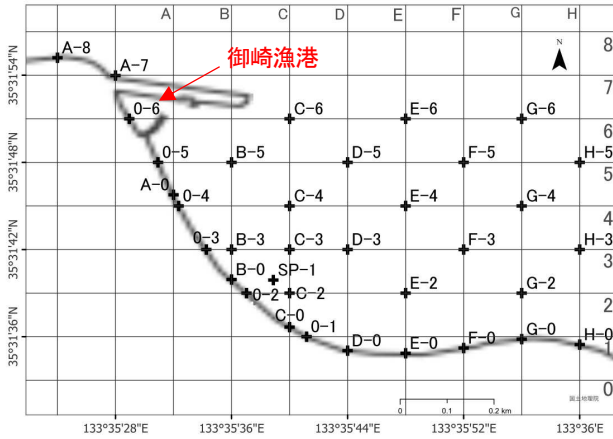


図3 御崎漁港近傍の海底湧水調査地点(+は採水地点を示す。)

辺海域及び海岸沿いについても湧水の起源を確認するために、周辺海域(図3)では北原式採水器を用いて海底直上水を採取し、海岸沿い(図6)では水際で手付きビーカーにて海水を採取し、ラドン調査を行った。

また、鳴り石の浜及び甲川河口東側の海岸湧水の酸素・水素安定同位体比を確認した(図7)。

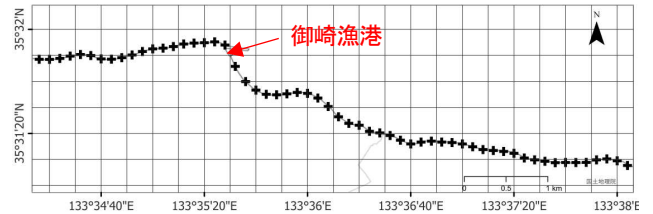


図6 海岸湧水の調査地点(+は採水地点を示す。)



図4 海底湧水を採取している様子



図7 鳴り石の浜及び甲川河口東側の位置図

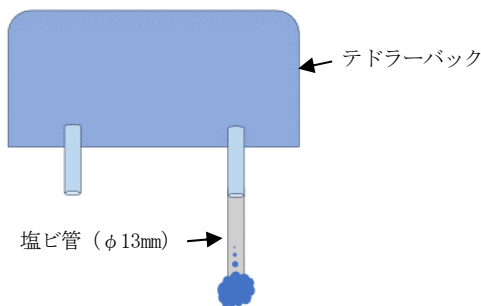


図5 海底湧水採取装置の構造図

2.3.2 海底湧水の水質調査

海底湧水の起源を確認するために 2.3.1 で採取した水の一般水質、ラドン濃度及び酸素・水素安定同位体比を確認した。

2.3.3 海岸湧水の水質調査

2.3.2 において海底湧水の水質調査を実施したが、周辺にも湧水が存在することが考えられたため、周

2.4 湧水・渓流水の気候変動影響の調査

2010年に大山山麓の湧水・渓流水の酸素・水素安定同位体比を分析している⁴⁾が、気候変動による影響を確認するために同一地点で水を採取し、酸素・水素安定同位体比を分析した(図2)。

3. 結果及び考察

3.1 甲川及び加勢蛇川流域の湧水・渓流水の水質調査結果

甲川及び加勢蛇川流域の湧水・渓流水の一般水質の分析結果については付録1及び2のとおりであった。酸素・水素安定同位体比の調査結果については図8及び9のとおりであった。標高が高いほど酸素・水素安定同位体比が低いという高度効果が確認され、海底湧水や海岸湧水等の平均涵養標高の推定に資する情報を得た。

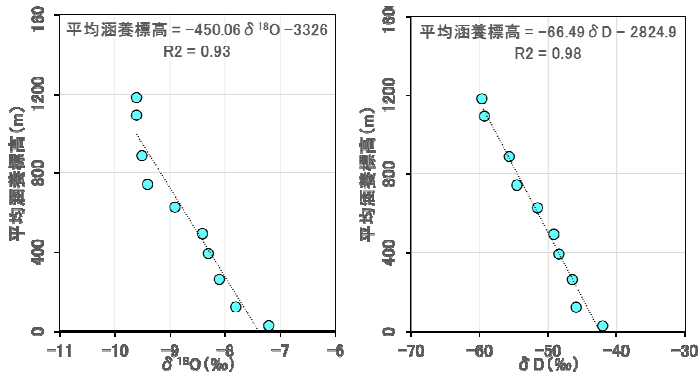


図8 甲川流域の酸素・水素安定同位体比

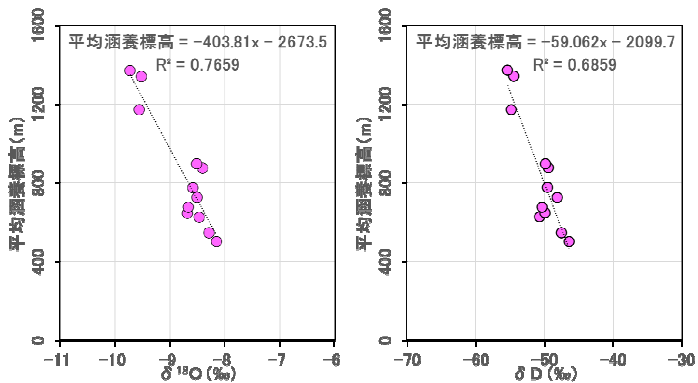


図9 加勢蛇川流域の酸素・水素安定同位体比

3.2 海底湧水・海岸湧水の調査

3.2.1 海底湧水の一般水質

御崎漁港近傍の海底湧水の湧出箇所は北緯 35° 31′ 39.9″ 東経 133° 35′ 38.88″ であった (図 10、地点番号 SP-1)。水質を分析した結果、水質は淡水と考えられた (EC 176 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 、 Cl^- 8.9 mg/L)。このことから陸域起源の地下水が海底で湧出しているものと考えられた。(県内沿岸域の海水: EC 46,000 ~ 50,000 $\mu\text{S}/\text{cm}^7$ 、 Cl^- 19,000mg/L⁷⁾)

表1 海底湧水の水質

項目	実測値	項目	実測値
pH	7.6	Cl^-	8.9 mg/L
EC	176 $\mu\text{S}/\text{cm}$	NO_3^-	0.6 mg/L
Na^+	12.7 mg/L	SO_4^{2-}	2.1 mg/L
K^+	3.5 mg/L	PO_4^{3-}	0.4 mg/L
Ca^{2+}	7.7 mg/L	HCO_3^-	76.4 mg/L
Mg^{2+}	5.6 mg/L	Si	32.4 mg/L

また、 NO_3^- 、 PO_4^{3-} 、Si を含有していたことからこれらの陸域由来の成分が海藻・海草や植物プランクトンの栄養塩として重要な役割を果たしている可能性があることがわかった。(県内沿岸域の海水: NO_3^-

< 0.22mg/L⁷⁾、 PO_4^{3-} < 0.09~0.27mg/L⁷⁾、Si 0.017~0.18mg/L⁸⁾)

3.2.2 ラドン分析

御崎漁港の海底湧水及びその周辺の海水のラドン濃度については図 10 のとおりであった。周辺の海水に比べ海底湧水のラドン濃度が高かったことから、海水由来ではなく、陸域由来の地下水が海底で湧出しているものと考えられた。

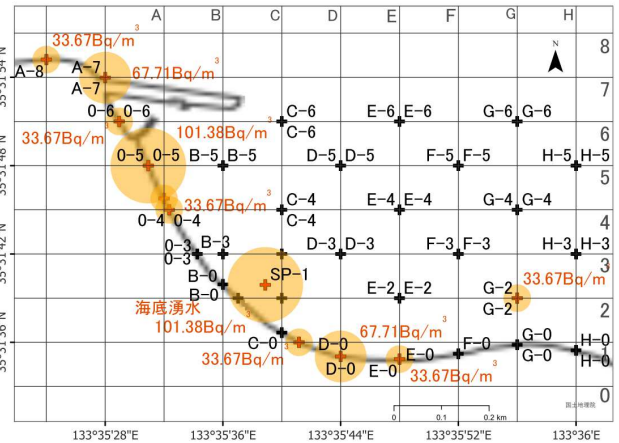


図10 海底湧水湧出場所 (円の大きさはラドン濃度の大きさを示す。)

御崎漁港の海岸湧水のラドン濃度については図 11 のとおりであった。海岸湧水は河川水の流入などの影響も考えられることから陸域由来の地下水が湧出しているものか特定することは困難だが、ラドンが検出されていることから陸域由来の地下水が河川水等と混ざったものが湧出している可能性がある。

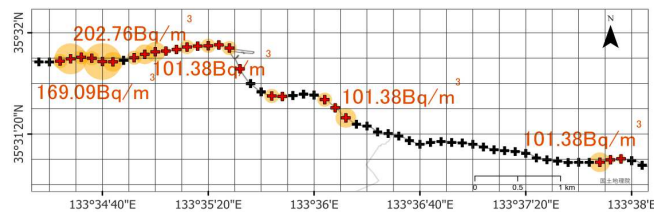


図11 海岸湧水ラドン濃度 (円の大きさはラドン濃度の大きさを示す。)

3.2.3 酸素・水素安定同位体比

御崎漁港の海底湧水、鳴り石の浜及び甲川河口東側の海岸湧水の酸素・水素安定同位体比については表 2 のとおりであった。これらの値を図 8 の回帰直線に代入した結果、御崎漁港の海底湧水は平均涵養標高 227m~319mと推定された。また、同様に計算し

た結果、鳴り石の浜の海岸湧水は平均涵養標高が120m～229mと推定され、甲川河口東側の海岸湧水は平均涵養標高が114m～405mと推定された。

表2 海底湧水・海岸湧水の酸素・水素安定同位体比

	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	δD (‰)	平均涵養標高 (m)
御崎漁港	-8.1	-45.9	227～319
鳴り石の浜	-7.9	-44.3	120～229
甲川河口東側	-8.3	-44.2	114～405

3.3 湧水・渓流水の気候変動影響の調査結果

大山の湧水及び渓流水の水質については付録3及び4のとおりであった。2010年度の調査結果⁴⁾と比較したところ、酸素・水素安定同位体比が夏側へシフトしたことが確認された(図12)。

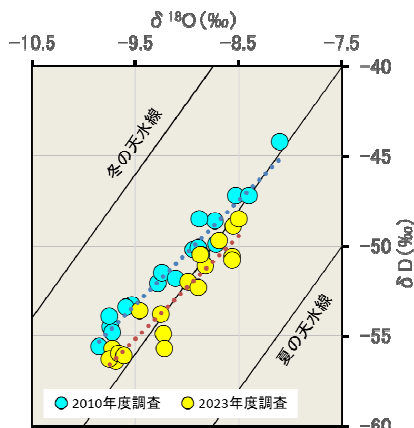


図12 湧水・渓流水の気候変動による酸素・水素安定同位体比の変化

湧水について、平均標高涵養が70～100m程度低下したこと、水温が0.5～0.7℃上昇したことが確認された(図13及び14)。

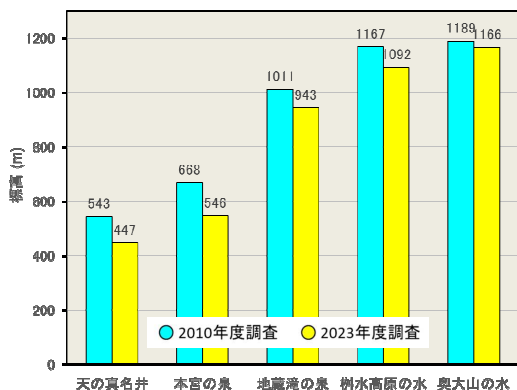


図13 湧水の気候変動による平均涵養標高の変化

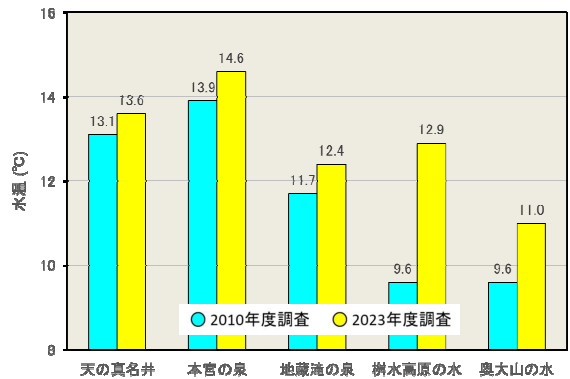


図14 湧水の気候変動による水温の変化

これらの変化については、近年の高標高域の降雪量の減少が影響していると考えられる(図15)。

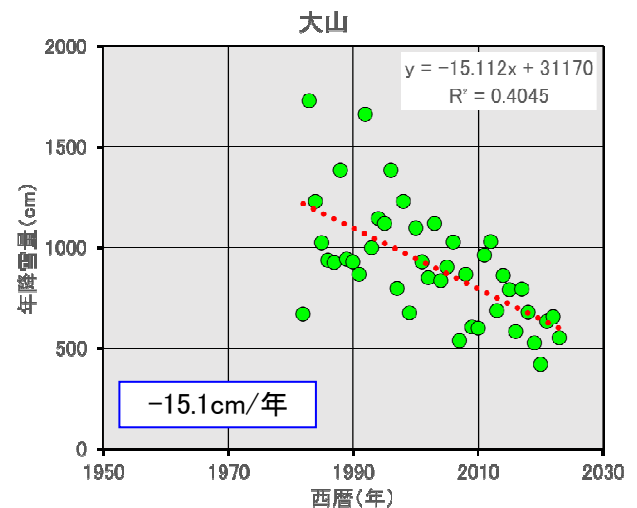


図15 年間降雪量の推移(アメダス大山観測所)

4 まとめ

甲川及び加勢蛇川において酸素・水素安定同位体比の高度効果を確認し、大山北麓における地下水の涵養標高の推定に資する情報を得た。

海底湧水・海岸湧水の水質、ラドン濃度及び酸素・水素安定同位体比の調査により大山北麓の陸域から海域へ地下水が流動していることが推察された。

大山の湧水及び渓流水の酸素・水素安定同位体比について、2010年度の調査結果と比較して夏側へシフトしたことが確認された。

また、近年の降雪量の減少は地下水の涵養に変化をもたらし、主要な湧水の平均涵養標高の低下や水温の上昇に繋がったものと示唆された。

今後も県内の湧水や渓流水等の情報を集め、過去のデータと比較することで地下水の保全につなげていきたい。

5 謝辞

海底湧水の調査にあたり御協力いただいた鳥取県栽培漁業センターの皆様に変更して御礼申し上げます。

6 参考文献

- (1) 文部科学省, 気象庁: IPCC 第6次評価報告書第1作業部会報告書 政策決定者向け要約 暫定訳.
- (2) 鳥取県生活環境部自然共生社会局水環境保全課: 鳥取県の水道の現況(令和4年3月末現在), 5.
- (3) 九鬼貴弘, 丁田充: 鳥取県での地下水保全への取組について, 地下水学会誌, 第60巻, 第2号, 131-138 (2018) .
- (4) 九鬼貴弘, 畠山恵介, 森明寛, 浅井和由: 大山周辺の地下水・湧水の水質と代表的な湧水の涵養域について, 鳥取県衛生環境研究所報, 第51号, 26-32

(2010) .

- (5) 吉川昌志, 小野寺真一, 齋藤光代, 小野昌彦: 沿岸域地下水におけるトロン、ラドン濃度特性, 広島大学大学院総合科学研究科紀要, II, 環境科学研究, 7巻, 111-115 (2012) .
- (6) 山中勤: 環境同位体による水循環トレーシング, 2-3 (2020) .
- (7) 鳥取県水環境保全課: 令和3年度 公共用水域及び地下水の水質測定結果, https://www.pref.tottori.lg.jp/secure/1247232/R3_koukyou_houkoku.pdf (2024年11月27日確認)
- (8) 児玉武稔: 東シナ海の影響を受ける日本海対馬暖流域の栄養塩環境, 日本海リサーチ & トピックス, 第21号, 6-8 (2017) .

Survey on spring water, mountain stream water, and submarine groundwater discharge (SGD) at the northern foot of Mt. Daisen.

Chika OKUDA, Akihiro MORI, Tetsurou SEIYAMA, Sasami MASAI, Tomohiro NARUOKA

Abstract

Tottori Prefecture relies on groundwater for approximately 99% of its tap water sources. However, there are concerns about changes in the water cycle, including groundwater, due to global warming. This study aimed to collect data on spring water, mountain stream water, and submarine groundwater discharge (SGD) at the northern foot of Mt. Daisen. As a result, SGD and coastal groundwater discharge (CGD) were confirmed near the northern coastline of Mt. Daisen. The mean recharge elevation of these springs was estimated to range from approximately 110 to 400 meters. In addition, it was confirmed that the stable isotopic ratios of oxygen ($\delta^{18}\text{O}$) and hydrogen (δD) in the main spring water and mountain stream water of Mt. Daisen have shifted towards values typically observed in summer compared to the 2010 survey results. This shift is likely due to decreased snowfall in recent years, which has affected groundwater recharge and led to a decline in the mean recharge elevation of these springs and mountain streams.

付録1 甲川流域の調査結果

mg/L単位

調査地点	調査日	最低 流域標高 m	最上 流域標高 m	平均 流域標高 m	pH	EC μS/cm	イオン成分							金属成分			同位体		
							Na ⁺ mg/L	K ⁺ mg/L	Ca ²⁺ mg/L	Mg ²⁺ mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	Cl ⁻ mg/L	HCO ₃ ⁻ mg/L	PO ₄ ³⁻ mg/L	Si mg/L	δ ¹⁸ O ‰	δD ‰	d-excess -
K-1	2021/12/9	20	30	25	7.23	244.0	19.13	3.01	12.07	5.58	22.25	24.24	24.36	25.15	0.03	16.93	-7.2	-42	15.7
K-2	2021/11/10	110	130	120	6.71	120.6	10.27	1.05	3.84	3.68	1.35	19.89	11.99	8.34	0.05	6.30	-7.8	-45.9	16.8
K-3	2021/11/10	240	280	260	7.07	100.2	9.13	3.37	5.16	1.72	2.23	0.46	9.78	36.24	0.11	27.12	-8.1	-46.4	18.1
K-4	2021/11/10	360	420	390	6.39	75.6	7.65	3.30	3.11	1.22	4.40	3.33	9.13	16.32	0.14	26.12	-8.3	-48.4	18.2
K-5	2021/11/10	460	520	490	6.59	56.6	6.03	0.55	1.78	1.10	0.90	1.20	8.60	12.72	0.02	8.10	-8.4	-49.1	18.2
K-6	2021/11/10	590	660	625	6.96	49.4	4.39	1.58	2.03	0.79	1.85	0.65	6.26	11.02	0.04	12.95	-8.9	-51.5	19.6
K-7	2021/11/17	670	810	740	7.34	54.1	4.39	1.14	3.33	0.94	1.47	1.45	4.69	16.32	0.10	13.60	-9.4	-54.5	20.9
K-8	2021/11/17	820	950	885	7.22	46.7	3.85	0.75	2.75	0.90	1.66	1.14	4.34	13.21	0.02	8.75	-9.5	-55.6	20.3
K-9	2021/10/29	1060	1120	1090	6.42	29.3	2.96	0.41	0.94	0.36	1.27	1.50	4.44	2.40	<0.01	3.61	-9.6	-59.2	17.6
K-10	2021/10/29	1060	1300	1180	6.56	33.9	3.36	0.59	1.24	0.46	1.52	1.42	4.58	4.80	<0.01	6.24	-9.6	-59.6	17.5
K-11	2021/11/25	1080	1300	1190	5.45	31.9	2.46	0.39	1.01	0.43	1.70	1.65	6.04	1.20	<0.01	1.65	-	-	-
K-12	2021/11/25	1100	1140	1120	7.18	36.3	3.33	0.26	1.72	0.58	1.53	1.21	4.10	10.10	<0.01	6.31	-	-	-

meq/L単位

調査地点	調査日	イオン成分							CATION		ANION	イオンバランス(G/A)	
		Na ⁺ meq/L	K ⁺ meq/L	Ca ²⁺ meq/L	Mg ²⁺ meq/L	SO ₄ ²⁻ meq/L	NO ₃ ⁻ meq/L	Cl ⁻ meq/L	HCO ₃ ⁻ meq/L	PO ₄ ³⁻ meq/L			meq/L
K-1	2021/12/9	0.83	0.08	0.60	0.46	0.46	0.39	0.69	0.41	0.000896	1.97	1.95	1.01
K-2	2021/11/10	0.45	0.03	0.19	0.30	0.03	0.32	0.34	0.14	0.001533	0.97	0.82	1.17
K-3	2021/11/10	0.40	0.09	0.26	0.14	0.05	0.01	0.28	0.59	0.003335	0.88	0.92	0.95
K-4	2021/11/10	0.33	0.08	0.16	0.10	0.09	0.05	0.26	0.27	0.004450	0.67	0.67	1.00
K-5	2021/11/10	0.26	0.01	0.09	0.09	0.02	0.02	0.24	0.21	0.000701	0.46	0.49	0.93
K-6	2021/11/10	0.19	0.04	0.10	0.06	0.04	0.01	0.18	0.18	0.001140	0.40	0.41	0.98
K-7	2021/11/17	0.19	0.03	0.17	0.08	0.03	0.02	0.13	0.27	0.003259	0.46	0.45	1.02
K-8	2021/11/17	0.17	0.02	0.14	0.07	0.03	0.02	0.12	0.22	0.000694	0.40	0.39	1.01
K-9	2021/10/29	0.13	0.01	0.05	0.03	0.03	0.02	0.13	0.04	<0.000003	0.22	0.22	1.00
K-10	2021/10/29	0.15	0.02	0.06	0.04	0.03	0.02	0.13	0.08	<0.000003	0.26	0.26	0.99
K-11	2021/11/25	0.11	0.01	0.05	0.04	0.04	0.03	0.17	0.02	<0.000003	0.21	0.25	0.82
K-12	2021/11/25	0.14	0.01	0.09	0.05	0.03	0.02	0.12	0.17	<0.000003	0.28	0.33	0.86

付録2 加勢蛇川流域の調査結果

mg/L単位

調査地点	調査日	最低 流域標高			平均 流域標高	pH	EC	イオン成分							金属成分		同位体	
		m	m	m				Na ⁺ mg/L	K ⁺ mg/L	Ca ²⁺ mg/L	Mg ²⁺ mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	Cl ⁻ mg/L	HCO ₃ ⁻ mg/L	Si mg/L	δ ¹⁸ O ‰	δD ‰
①	2022/10/21	130	150	140	5.96	89.7	9.82	0.84	2.61	2.11	1.89	8.26	10.68	14.45	7.28	-	-	
②	2022/10/21	170	250	210	7.44	96.2	8.99	1.27	4.65	3.17	5.43	3.17	10.90	19.26	11.61	-	-	
③	2022/10/21	200	290	245	7.92	102.1	9.71	0.62	4.69	1.96	2.61	5.75	11.03	24.35	9.49	-	-	
④	2022/10/21	280	430	355	6.79	92.2	7.38	1.63	5.99	1.63	6.87	3.76	9.10	18.30	11.55	-	-	
⑤-1	2022/10/21	440	540	490	7.08	43.4	4.66	0.50	1.28	0.66	1.61	2.49	8.16	1.65	3.56	-	-	
⑤-2	2022/10/21	420	580	500	7.05	62.3	5.38	0.06	2.79	1.15	1.98	0.89	8.34	14.31	9.00	-8.2	-46.4	
⑤-3	2022/10/21	450	640	545	6.80	67.1	6.25	0.00	3.77	1.23	1.70	3.44	7.75	16.51	8.57	-8.3	-47.5	
⑥	2022/10/21	470	640	555	5.91	47.7	4.59	0.00	1.00	0.75	1.99	2.93	8.93	0.69	2.27	-	-	
⑦-1	2022/10/21	600	690	645	6.80	52.2	4.70	1.15	2.16	0.93	2.00	0.37	6.14	12.79	13.90	-8.7	-49.9	
⑦-2	2022/10/21	600	790	695	6.72	45.4	4.56	1.60	1.84	0.68	1.46	2.57	6.61	7.29	8.92	-	-	
⑦-3	2022/10/21	600	650	625	7.01	45.0	4.68	0.38	2.45	1.01	1.21	1.39	5.42	10.32	8.72	-8.5	-50.7	
⑧-1	2022/10/26	600	640	620	6.75	52.6	4.99	1.14	2.53	1.13	2.03	0.79	5.67	15.27	11.77	-	-	
⑧-2	2022/10/26	590	860	725	6.89	45.3	4.08	0.88	1.78	0.42	2.29	1.06	5.54	9.01	6.72	-8.5	-48.1	
⑨-1	2022/10/26	690	750	720	6.60	46.8	3.56	0.87	1.99	0.99	2.06	0.99	5.41	9.05	5.32	-	-	
⑨-2	2022/10/26	600	750	675	6.73	47.9	3.64	1.10	2.68	1.01	1.48	3.12	5.52	10.39	6.82	-8.7	-50.3	
⑨-3	2022/10/26	600	950	775	6.88	49.0	4.45	1.67	2.33	0.97	1.72	2.74	5.05	12.42	12.19	-8.6	-49.5	
⑩-1	2022/10/26	780	970	875	6.63	44.2	3.63	1.02	2.09	0.77	6.31	0.35	4.77	5.26	6.27	-8.4	-49.4	
⑩-2	2022/10/26	780	1010	895	6.80	40.8	3.68	0.53	2.10	0.65	3.85	0.12	4.87	8.50	6.03	-8.5	-49.8	
⑪-1	2022/10/13	1090	1250	1170	7.08	40.8	3.14	0.90	1.74	0.81	3.49	1.22	4.05	6.74	10.53	-9.6	-54.8	
⑪-2	2022/10/13	1050	1630	1340	7.22	40.1	2.98	0.86	1.88	0.90	3.06	1.14	4.01	7.29	10.25	-9.5	-54.4	
⑪-3	2022/10/13	1050	1690	1370	7.53	32.2	2.77	0.57	1.69	0.41	1.93	0.76	3.98	3.85	5.35	-9.7	-55.3	

meq/L単位

調査地点	調査日	イオン成分							CATION meq/L	ANION meq/L	イオンバランス(C/A)	
		Na ⁺ meq/L	K ⁺ meq/L	Ca ²⁺ meq/L	Mg ²⁺ meq/L	SO ₄ ²⁻ meq/L	NO ₃ ⁻ meq/L	Cl ⁻ meq/L				HCO ₃ ⁻ meq/L
①	2022/10/21	0.43	0.02	0.13	0.17	0.04	0.13	0.30	0.24	0.75	0.71	1.06
②	2022/10/21	0.39	0.03	0.23	0.15	0.11	0.05	0.31	0.32	0.81	0.79	1.03
③	2022/10/21	0.42	0.02	0.23	0.16	0.05	0.09	0.31	0.40	0.83	0.86	0.97
④	2022/10/21	0.32	0.04	0.30	0.13	0.14	0.06	0.26	0.30	0.80	0.76	1.05
⑤-1	2022/10/21	0.20	0.01	0.06	0.05	0.03	0.04	0.23	0.03	0.33	0.33	1.01
⑤-2	2022/10/21	0.23	0.00	0.14	0.09	0.04	0.01	0.24	0.23	0.47	0.53	0.89
⑤-3	2022/10/21	0.27	0.00	0.19	0.10	0.04	0.06	0.22	0.27	0.56	0.58	0.97
⑥	2022/10/21	0.20	0.00	0.05	0.06	0.04	0.05	0.25	0.01	0.31	0.35	0.89
⑦-1	2022/10/21	0.20	0.03	0.11	0.08	0.04	0.01	0.17	0.21	0.42	0.43	0.97
⑦-2	2022/10/21	0.20	0.04	0.09	0.06	0.03	0.04	0.19	0.12	0.39	0.38	1.02
⑦-3	2022/10/21	0.20	0.01	0.12	0.08	0.03	0.02	0.15	0.17	0.42	0.37	1.13
⑧-1	2022/10/26	0.22	0.03	0.13	0.09	0.04	0.01	0.16	0.25	0.47	0.47	1.00
⑧-2	2022/10/26	0.18	0.02	0.09	0.03	0.05	0.02	0.16	0.15	0.32	0.37	0.88
⑨-1	2022/10/26	0.15	0.02	0.10	0.08	0.04	0.02	0.15	0.15	0.36	0.36	0.99
⑨-2	2022/10/26	0.16	0.03	0.13	0.08	0.03	0.05	0.16	0.17	0.40	0.41	0.99
⑨-3	2022/10/26	0.19	0.04	0.12	0.08	0.04	0.04	0.14	0.20	0.43	0.43	1.02
⑩-1	2022/10/26	0.16	0.03	0.10	0.06	0.13	0.01	0.13	0.09	0.35	0.36	0.99
⑩-2	2022/10/26	0.16	0.01	0.10	0.05	0.08	0.00	0.14	0.14	0.33	0.35	0.94
⑪-1	2022/10/13	0.14	0.02	0.09	0.07	0.07	0.02	0.11	0.11	0.31	0.32	0.99
⑪-2	2022/10/13	0.13	0.02	0.09	0.07	0.06	0.02	0.11	0.12	0.32	0.31	1.01
⑪-3	2022/10/13	0.12	0.01	0.08	0.03	0.04	0.01	0.11	0.06	0.25	0.23	1.11

付録3 涵養域の限定された湧水・渓流水の変化

Code	試料名	斜面	採取標高			2010			2023				
			採取標高	最高標高	平均標高	採水日	$\delta^{18}\text{O}$		採水日	$\delta^{18}\text{O}$			
							m	m		%	%	d-excess	
L3	加勢地川源流(駒鳥小屋斜面下)	南	1030	1710	1300	2010/11/05	-9.72	-54.8	+23.0	2023/11/09	-9.72	-55.7	+22.1
L5	駒鳥小屋下斜面湧水	南	1034	1710	1290	2010/11/05	-9.85	-55.6	+23.2	2023/11/09	-9.75	-56.3	+21.7
L6	木谷川源流(船谷川本流F-16)	南	789	1448	1123	2010/11/30	-9.75	-53.9	+24.1	2023/10/31	-9.66	-56.0	+21.3
L7	蛇谷川源流	南	761	1448	1003	2010/11/30	-9.59	-53.4	+23.3	2023/10/31	-9.61	-56.1	+20.8
L8	城山下	南	660	1040	835	2010/11/30	-9.24	-51.5	+22.4	2023/10/31	-9.23	-54.9	+18.9
L9	演習林沢水	南	596	656	623	2010/11/22	-9.11	-51.8	+21.1	2023/10/31	-9.22	-55.7	+18.1
L10	箸建橋上湧流	南	534	710	608	2010/11/30	-8.94	-50.2	+21.3	2023/10/31	-8.99	-52.0	+19.9
L11	江府IC付近湧流(谷山川本流)	南	147	420	300	2010/12/01	-8.72	-49.9	+19.9	2023/10/31	-8.56	-50.6	+17.9
L12	柘原上湧流1(北側)	南	314	470	380	2010/12/01	-8.89	-50.1	+21.0	2023/10/31	-8.82	-51.1	+19.5
L13	柘原上湧流2(東側)	南	313	465	380	2010/11/30	-8.86	-50.5	+20.4	2023/10/31	-8.89	-52.3	+18.8
L14	宮原集落内湧流(宮原谷川)	南	131	511	280	2010/12/01	-8.40	-47.2	+20.0	2023/10/31	-8.56	-50.8	+17.7
L15	草谷原(川手川支流)	北	482	940	680	2010/12/01	-8.88	-48.5	+22.5	2023/11/02	-8.87	-50.5	+20.5
L16	孝霊山(妻木川源流)	北	150	751	410	2010/12/02	-8.10	-44.2	+20.6	2023/10/31	-8.50	-48.5	+19.5

付録4 涵養域不明の湧水の変化

Code	試料名	斜面	採取標高		2010			2023						
			採取標高	m	採水日	$\delta^{18}\text{O}$	δD	水温	採水日	$\delta^{18}\text{O}$				
										%	%	d-excess		
S1	天の真名井	北	35	2010/08/13	-8.53	-47.2	+2.0	2023/10/31	-8.55	-48.9	+19.5	13.6	447	459
S2	本宮の泉	北	115	2010/08/13	-8.73	-48.6	+2.2	2023/10/31	-8.69	-49.7	+19.8	14.6	546	559
S3	地藏滝の泉	北	260	2010/08/13	-9.28	-52.1	+2.2	2023/10/31	-9.25	-53.8	+20.2	12.4	943	1069
S4	樹水高原の水	北	730	2010/08/13	-9.53	-53.3	+2.9	2023/11/01	-9.46	-53.6	+22.1	12.9	1092	1044
S5	奥大山の水	南	760	2010/08/13	-9.74	-54.5	+2.4	2023/10/31	-9.69	-56.4	+21.1	11.0	1166	1122