

# 山梨県若手研究者奨励事業 研究成果報告書

所属機関名 山梨大学大学院総合研究部工学域

職名・氏名 助教・松浦 拓哉

## 研究テーマ

甲府盆地における地下水涵養と治水の両立を目指した「ため池」導入の検討

### 1. 背景と目的

令和6年の奥能登豪雨、令和5年の台風第13号、令和4年の台風第14号・第15号をはじめ、近年、全国各地で豪雨に起因する水害が頻発しており、人的・物的被害を含む社会・経済的損失は甚大である。こうした水災害の頻発化・激甚化の背景には、気候変動に伴う極端降雨の頻度及び規模の増加があり、今後さらなる大規模水災害のリスクが現実となりつつある。こうした状況を受け、令和2年7月に社会資本整備審議委員会は「気候変動を踏まえた水災害対策のあり方」に関する答申を公表し、社会全体で水災害に備える「水防災意識社会」から、流域全体で水災害に対応する「流域治水」への方針転換を提唱したり。

流域治水では、「①氾濫をできるだけ防ぐための対策」、「②被害対象を減少させるための対策」、「③被害の軽減・早期復旧のための対策」という三本柱が掲げられており、特に①の柱においては、上流域を含む流域全体での雨水の流出抑制が重要である。そのためには、従来のように下流域で集まった水を受動的に処理するのではなく、水田、ため池、森林といった自然・農業インフラを活用し、雨水の一時貯留を促すハード・ソフト一体型の能動的対策への転換が急務である。

実際にため池の治水効果については、御笠川流域を対象とした分布型流出モデルによる解析によって、本川のピーク流量のカット等の効果が報告されており<sup>2), 3)</sup>、また六角川流域における事例では、ため池の活用により氾濫流量を15万 $\text{m}^3$ 減少でき、事前放流を併用することで最大38.3万 $\text{m}^3$ の減少につながる<sup>4)</sup>とされている。さらに、多くの家屋における浸水深の低減効果も確認されている<sup>4)</sup>。

一方で、ため池は治水機能に加え、地下水涵養を通じた水資源保全機能を有する可能性があるが、その定量的評価は十分に進んでいない。山梨県は、水道水源、農業用水、飲料産業、工業用水においても地下水への依存度が高く、特にミネラルウォーターの生産量は全国シェアの40%以上を占めるなど、地下水は地域経済を支える重要な資源である。そのため、地下水の持続的利用に向けた涵養機構の解明は重要な課題である。そこで、本研究ではため池を単なる農業用インフラとしてではなく、治水機能と地下水保全機能の双方を担う多機能型地域資源として再評価し、流域治水の新たな戦略として活用する可能性を検討する。

以上を鑑み、本研究の目的は、山梨県内に点在するため池が有する雨水貯留機能と地下水涵養メカニズムを定量的に評価し、これらを流域治水の一環として捉えることで、治水計画と持続可能な水資源管理への両立可能性を探ることである。本研究は2ヵ年で実施し、各年度の目的は以下の通りである。

【1年目】釜無川扇状地地下水の涵養域・滞留時間の解明。

【2年目】2025年度(1年目)に得られた地下水涵養域の情報を基に、涵養域周辺に仮想的にため池を設置したシナリオを設定し、その際の洪水緩和に与える影響を評価すること。

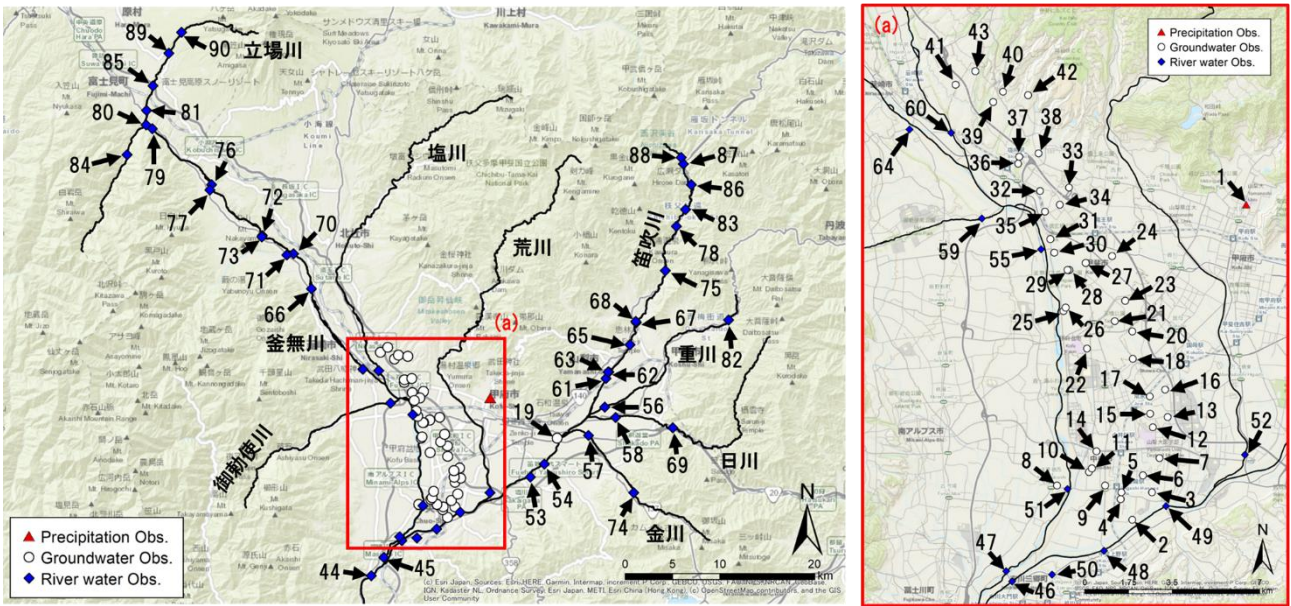


図-1 調査対象流域と観測地点

表-1 採水地点と観測地点概要

No	地点名	分類	緯度	経度	標高
1	山梨大学	降水	35.677	138.5736	302.4
2	一町畑	地下水	35.585	138.5326	247.8
3	町之田	地下水	35.593	138.5397	248
4	東花輪①	地下水	35.591	138.5284	248.7
5	東花輪②	地下水	35.593	138.5287	248.7
6	玉穂南	地下水	35.598	138.5364	249.9
7	下河東①	地下水	35.603	138.5424	250.7
8	浅原	地下水	35.595	138.5055	251.1
9	布施①	地下水	35.595	138.5228	251.1
10	白井阿原	地下水	35.599	138.5170	252.8
11	伊勢神社	地下水	35.600	138.5180	252.9
12	若宮	地下水	35.612	138.5400	254
13	西新居	地下水	35.615	138.5453	254.2
14	布施②	地下水	35.605	138.5197	254.3
15	井之口	地下水	35.616	138.5390	255.6
16	紙漕阿原	地下水	35.623	138.5444	256.8
17	押越ふれあい広場	地下水	35.621	138.5389	257.4
18	竜王2号	地下水	35.632	138.5328	264.9
19	石和	地下水	35.646	138.6370	266.4
20	風土伝承館	地下水	35.640	138.5326	267.9
21	第13水源	地下水	35.643	138.5263	271.1
22	第17水源	地下水	35.635	138.5163	271.3
23	第7水源	地下水	35.649	138.5300	273.7
24	第9水源	地下水	35.662	138.5253	280.7
25	第6水源	地下水	35.646	138.5078	281
26	第14水源	地下水	35.647	138.5086	281.3
27	第8水源	地下水	35.660	138.5158	284.8
28	第12水源	地下水	35.658	138.5100	287.4
29	第15水源	地下水	35.658	138.5093	288.3
30	第11水源	地下水	35.663	138.5045	292.9
31	第10水源	地下水	35.667	138.5031	295.7
32	下今井水源	地下水	35.681	138.4994	327
33	二ツ溜水源	地下水	35.682	138.5098	339.7
34	第2水源	地下水	35.677	138.5065	343.5
35	第5水源	地下水	35.675	138.5012	345
36	双葉中学校第2水源	地下水	35.689	138.4915	351.6
37	双葉中学校第1水源	地下水	35.691	138.4919	355.4
38	双葉小学校水源	地下水	35.692	138.4989	369.1
39	笠石水源	地下水	35.707	138.4825	397.2
40	菖蒲澤水源	地下水	35.710	138.4861	403.4
41	駒沢水源	地下水	35.712	138.4690	409.6
42	新田水源	地下水	35.709	138.4951	446.2
43	三島水源	地下水	35.716	138.4761	453.3
44	富士橋	河川水	35.540	138.4604	235.4
45	長沢川	河川水	35.554	138.4723	237.8
46	三郎東橋	河川水	35.567	138.4893	242
47	三郎西橋	河川水	35.570	138.4872	243
48	桃林橋	河川水	35.576	138.5224	248
49	豊積橋	河川水	35.589	138.5447	249
50	芦川	河川水	35.569	138.5037	251
51	浅原橋	河川水	35.594	138.5093	251.5
52	荒川	河川水	35.604	138.5731	252
53	浅川	河川水	35.616	138.6114	257.3
54	釜見橋	河川水	35.626	138.6246	259
55	信玄橋	河川水	35.664	138.4998	293.6
56	重川	河川水	35.670	138.6821	301.7
57	金川	河川水	35.648	138.6667	301.9
58	日川	河川水	35.662	138.6924	311
59	御勅使川	河川水	35.673	138.4785	319.7
60	塩川	河川水	35.698	138.4674	332.1
61	万力大橋	河川水	35.692	138.6832	338
62	亀甲橋	河川水	35.697	138.6861	345
63	弗川	河川水	35.697	138.6853	348.6
64	船山橋	河川水	35.699	138.4524	348.9
65	富士見橋	河川水	35.718	138.7062	405.5
66	穴山橋	河川水	35.761	138.4035	439.5
67	鍛冶屋橋	河川水	35.735	138.7120	446
68	鯉川	河川水	35.736	138.7116	447.9
69	勝沼堰堤	河川水	35.654	138.7468	456.4
70	釜無川橋	河川水	35.788	138.3866	489
71	大武川	河川水	35.787	138.3803	503
72	花木坂橋	河川水	35.802	138.3570	531
73	尾白川	河川水	35.801	138.3564	532.7
74	相澤橋	河川水	35.604	138.7095	556.9
75	馬込橋	河川水	35.775	138.7396	614.4
76	鳳来橋	河川水	35.841	138.3089	640.7
77	流川	河川水	35.837	138.3073	649.8
78	釜口橋	河川水	35.809	138.7502	770
79	大武川橋	河川水	35.884	138.2524	771
80	新立場川橋	河川水	35.887	138.2465	793.7
81	小川橋	河川水	35.898	138.2470	841
82	祝橋	河川水	35.737	138.7996	859.3
83	芦澤橋	河川水	35.822	138.7588	867
84	釜無川上流	河川水	35.864	138.2285	874.2
85	立場橋	河川水	35.917	138.2532	953
86	広川	河川水	35.841	138.7643	1047.5
87	新久渡の沢橋	河川水	35.857	138.7568	1072.6
88	西沢大橋	河川水	35.862	138.7547	1073
89	立場橋	河川水	35.942	138.2682	1140.7
90	立場川上流	河川水	35.958	138.2802	1290.4

## 2. 研究対象領域

本研究対象領域は山梨県に位置する甲府盆地である。甲府盆地には、北方から流入する釜無川、北東から流入する笛吹川がある。釜無川には、御勅使川、塩川、笛吹川には金川、日川、重川、荒川などが合流しながら、流下する。その後、南西部で両河川が合流し、富士川となり駿河湾に注ぐ。盆地はこれらの河川の搬入土砂により形成された5つの主要な扇状地からなり、面積は約230 km<sup>2</sup>である。

甲府盆地の周辺の山地は、四万十層群とこれを貫く新第三紀の酸性深成岩を基盤とし、これを覆う鮮新世以降の火山噴出物を主とした地質から構成されている。甲府盆地の主な帯水層は、扇状地堆積層であり、深度約70 mまで砂礫を主体として形成されている。一部地域では、不透水性の粘土層を挟在する礫質の被圧帯水層から地下水が自噴している地域があるが、概ね不圧地下水である。

本研究では、甲府盆地に分布する地下水、河川水を対象として水質観測・分析を実施した。図-1は調査対象流域及び観測地点である。表-1は採水地点と観測概要である。河川水の観測は釜無川、笛吹川お

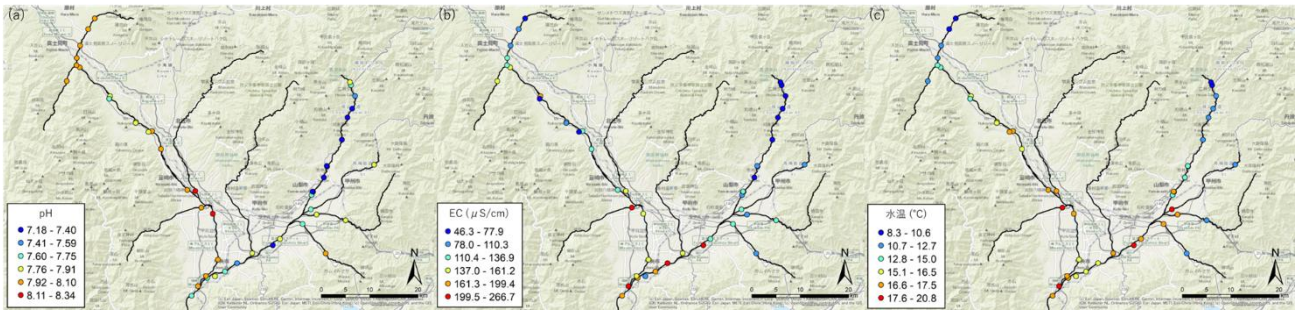


図-2 河川水の pH (a), EC (b), 水温(c)の空間分布

よびその支川に沿って 47 地点で実施した。地下水観測は主に釜無川扇状地を中心として盆地内に高密度に配置し、42 地点で実施した。また、降水観測地点を 1 地点設置し、降水の水質も併せて観測した。

### 3. 観測概要

観測期間は 2025 年 4 月～2026 年 2 月であり、観測頻度は毎月である。観測項目は pH、電気伝導率 (EC)、水温、溶存イオン、水素同位体比 ( $\delta D$ )、酸素同位体比 ( $\delta^{18}O$ )、トリチウム ( $^3H$ ) である。地下水のトリチウムの分析は、2025 年 10 月と 2025 年 12 月に実施した。

pH、EC、水温はポータブル型水質計を用いた。pH の測定方法はガラス電極法である。内部液は 3.33 mol の KCl を用いた。pH 電極は、観測日の前日に pH4 フタル酸塩、pH7 中性リン酸塩、pH9 ホウ酸塩を用いて校正した。EC の測定方法は交流 2 極法である。溶存イオンは、現地観測の際、ポリ瓶 (250 ml) に採水し、実験室に持ち帰り分析した。溶存イオンの分析項目は、Cl<sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、Na<sup>+</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Ca<sup>2+</sup> の 9 項目である。HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> は 0.01N 硫酸による pH4.8 滴定法を用いて分析した。その他の溶存イオンは、孔径 0.22 $\mu$ m のメンブレンフィルターでろ過した後、IC を用いて測定した。 $\delta D$ 、 $\delta^{18}O$  は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、 $^3H$  は、電解濃縮-液体シンチレーション計数法で分析した。

## 4. 釜無川扇状地地下水の涵養域に適した水質トレーサーの解明

### 4.1 pH、EC、水温の観測結果

地下水涵養域の推定には、涵養源である河川水の水質に空間的な差異が認められない場合、地下水涵養域の特定は困難となる。甲府盆地においては、空間的に差異を有する複数の水質トレーサーを用いた包括的な調査・解析が必要であるが、現時点では十分に明らかにされていない。そこで本研究では、釜無川と笛吹川における水質トレーサーの空間的分布を明らかにした。

図-2 は河川水の pH、EC、水温の空間分布である。釜無川本川では上流域において顕著な空間変化は認められなかったが、約 20 km 地点において塩川と御勅使川が合流することにより、一時的な上昇が確認された。一方、笛吹川本川では約 30 km 地点を境として pH が変化し、上流域では 7.45 前後で推移するのに対し、下流域では 7.64 前後の値を示した。これは、盆地流入後に山王川、鎌田川、荒川、新五割川、濁川、平等川、渋川などの市街地を流下する支川が多数合流することによる影響と考えられる。これらの支川は上流域の支川よりも高い pH を示す傾向があると推測され、例えば荒川では 7.87、平等川では 7.66 であった。

河川水の EC は、釜無川本川では全域にわたり約 150  $\mu$ S/cm でほぼ一定の値を示し、支川流入の影響も小さい結果となった。一方、笛吹川本川では流下に伴って EC が上昇する傾向が認められ、特に金川、重川、日川、荒川の合流地点において顕著であった。これは流下に伴う溶存イオン量の増加や支川の影

響を反映したものと考えられる。

河川水の水温は、釜無川水系、笛吹川水系のいずれにおいても、流下に伴って上昇する傾向が認められた。釜無川本川では富士橋と最上流地点との水温差が4.2℃、笛吹川本川では、7.1℃であった。これらの結果は、下流域ほど気温が高くなることに起因すると考えられる。

以上の結果から、pH、釜無川のECは空間的な差異が小さく、地下水涵養域の推定に適さないことが明らかになった。一方で、笛吹川のEC、水温は明瞭な空間変化を示しており、地下水涵養域の推定に有効な水質トレーサーであると判断された。

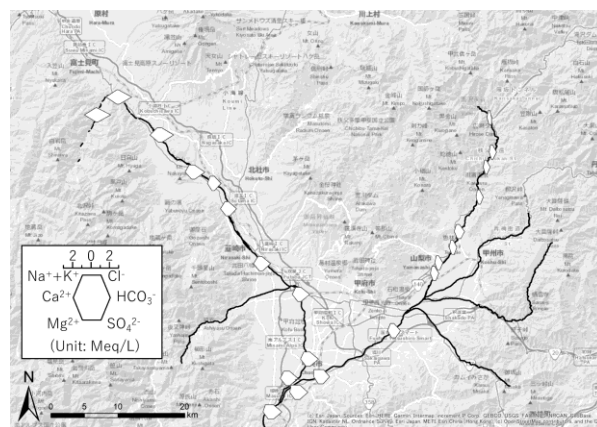


図-3 釜無川本川と笛吹川本川のヘキサダイアグラム

## 4.2 溶存イオンの観測結果

図-3は釜無川本川と笛吹川本川のヘキサダイアグラムである。笛吹川の下流域に位置する三郡東橋と桃林橋を除く全地点において、 $\text{Ca}^{2+}$ と $\text{HCO}_3^-$ が卓越したCa- $\text{HCO}_3$ 型の水質を示した。釜無川に着目すると、上流域では $\text{Ca}^{2+}$ と $\text{HCO}_3^-$ が高く、流下するにつれ、減少する傾向が認められた。しかし、釜無川橋を境として、流下に伴って $\text{Ca}^{2+}$ と $\text{HCO}_3^-$ が増加する空間変化が確認された。また、 $\text{SO}_4^{2-}$ は上流から下流にかけて徐々に増加する傾向を示した。笛吹川では流下するにつれ、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ が増加する明瞭な空間変化が認められた。三郡東橋と桃林橋では、他の地点と比較し $\text{Na}^+$ と $\text{K}^+$ が高い結果が得られた。これらの地点の近傍には下水処理場からの処理水が河川に排出されており、その流入が河川水の水質組成に影響を与えていると考えられる。

以上のことから、溶存イオンは両河川において顕著な空間変化を示しており、既往研究で用いられている主成分分析やクラスター分析などの多変量解析手法と組み合わせることで<sup>5)</sup>、<sup>6)</sup>、地下水涵養源を推定することが可能であると考えられる。このことから、溶存イオンは有効な水質トレーサーである。

## 4.3 $\delta\text{D}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ の観測結果

図-4は河川水の $\delta\text{D}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ の空間分布である。釜無川では、標高の上昇に伴い、 $\delta\text{D}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ が小さくなる明瞭な空間変化が認められた。これは、降水同位体比が標高の増加に伴って低下する高度効果によるものである。笛吹川は最上流部を除き、 $\delta^{18}\text{O}$ は-10.18～-10.58‰の狭い範囲に分布していた。この要因として、扇状地上流部では河床勾配が急であり、流域内の降水や支川からの流入水が短距離で混合するため、 $\delta\text{D}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ が比較的均質化されやすいと考えられる。さらに盆地内では、山王川、鎌田川、荒川、新五割川、濁川、平等川、渋川などの盆地内河川が下流域で合流することにより、河川水の同位体組成が流域内で混合・平均化されることも影響していると考えられる。

以上のことから、 $\delta\text{D}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ は釜無川水系において涵養源の推定に有効な水質トレーサーである一方、笛吹川水系では流域内で混合・平均化しているため、水質トレーサーとしては不適であることが明らかになった。

## 5. 涵養域の推定結果

本年度は、甲府盆地内の釜無川扇状地において高密度観測を実施し、地下水涵養域の推定を行った。

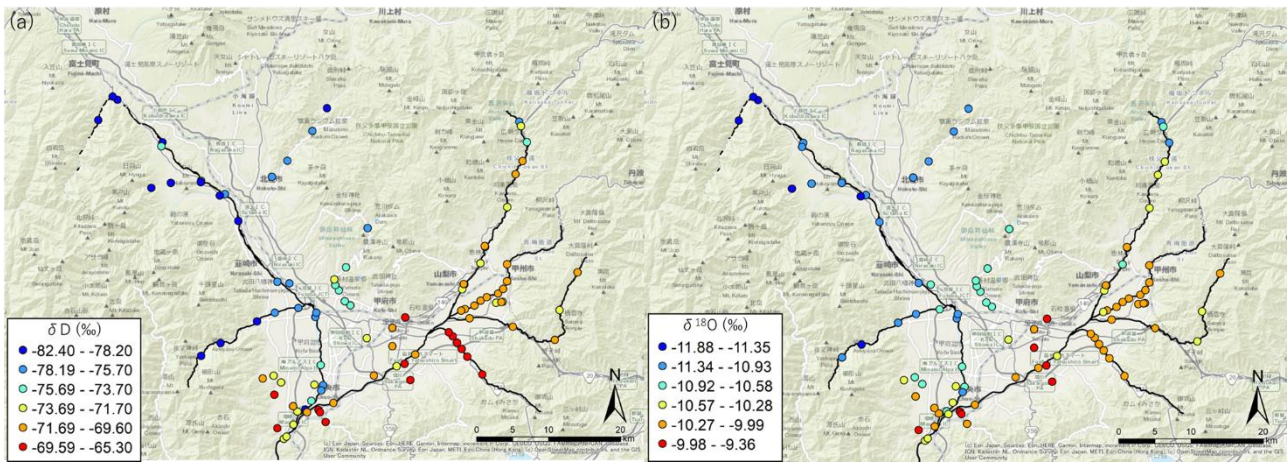


図-4 河川水の  $\delta D$  (a),  $\delta^{18}O$  (b)の空間分布

上述した結果より、水温、溶存イオン、 $\delta D$ 、 $\delta^{18}O$  が涵養域推定に有効であることが示された。そこで、これら 3 つの水質トレーサーを用いて、釜無川扇状地地下水の涵養域の推定した。

### 5.1 水温を用いた釜無川扇状地地下水の涵養域の推定結果

地下水温、河川水温は気温の季節変化に対応して夏季に上昇し、冬季に低下する季節変化が確認された。本研究では河川水温を用いて地下水涵養標高を推定するにあたり、季節変化の影響を除去した補正水温を用いて解析を行った。ここで、補正水温とは、観測水温から季節変動成分を除いた値を指す。地下水温、河川水温に含まれる季節変化は年間周期をもつと改定し、以下の正弦波関数により表現した。

$$T(t) = x + y \sin\left(\frac{2\pi t}{365}\right) + z \cos\left(\frac{2\pi t}{365}\right) \quad \text{式-1}$$

ここで、 $T(t)$ は観測日における水温 (°C)、 $x$ は平均水温 (°C)、 $y$ 、 $z$ は季節変動の振幅に関する係数である。 $y$ 、 $z$ は最小二乗法による回帰分析によって求め、得られた季節変動成分を除去することで補正水温を算出した。

図-5 は河川水の補正水温と採水標高の関係図である。河川水の補正水温は標高の増加に伴い低下する傾向が認められた。この関係について近似直線を求めた結果、補正水温と採水標高の間には以下の関係式が得られた。

$$z = -123.3T + 2426 \quad \text{式-2}$$

ここで、 $T$ は河川水の補正水温 (°C)、 $z$ は採水地点の標高 (m)である。地下水涵養標高は、地下水温が涵養域における河川水温を反映していると仮定し、式-2 の $T$ に地下水温を代入することで推定した。

表-2 は補正水温と採水標高の関係式から算出した釜無川扇状地地下水の涵養標高の推定結果である。一町畑、竜王 2 号では、推定された涵養標高が負の値を示した。一町畑では、ストレーナーの設置深度が 121 m と 251 m と他の深度 100 m 以浅の浅層地下水と比較して深く、地温の影響を受けて地下水温が高くなっている可能性がある。また、竜王 2 号は夏季のみの観測であり冬季のデータが不足しているため、年間の水温変動を十分に反映していない可能性がある。これらの要因により地下水温が河川水温

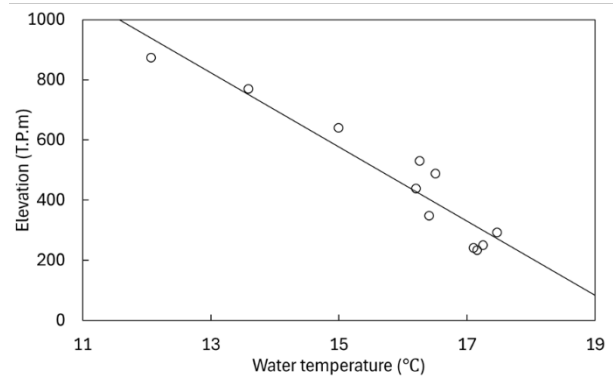


図-5 河川水の補正水温と採水標高の関係

より高くなり、本研究で用いた補正河川水温と標高の回帰式の適用範囲外となったと考えられる。そのため、これらの地点は本手法による涵養標高推定の対象から除外した。

地下水涵養域を推定した結果、本研究対象地域の地下水の涵養標高は概ね標高 400 m 付近に分布することが明らかとなった。この標高帯は釜無川扇状地の扇頂部～中流域（船山橋～穴山橋の区間）に相当しており、当該区間において河川水が伏流し、地下水涵養に重要な役割を果たしている可能性が示唆された。

## 5.2 溶存イオンを用いた釜無川扇状地地下水の涵養域の推定結果

地下水と河川水の水質の類似性を評価することにより、甲府盆地地下水の涵養源を推定することが可能である。本研究では、地下水と河川水の水質特性を比較するため、主成分分析を用いた。

解析に使用したデータは、主要溶存イオンである  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  の 8 項目である。現地観測の結果、地下水の EC は年間を通して大きな変動は認められなかった。これは、釜無川扇状地地下水が涵養域から地下へ浸透し湧出する過程において、地下水の混合や岩石と水の反応により水質が時間的に均質化されているためと考えられる。以上のことから、本研究では主成分分析で用いるデータについて、各地点の平均値を用いて解析を実施した。

表-3 は相関係数行列を用いた主成分分析によって算出された各主成分の固有値、寄与率、累計寄与率である。第 1 主成分～第 3 主成分までの固有値はそれぞれ 1 以上であり、これらの主成分は各変数と同程度以上の情報を有していることを示している。一方、第 4 主成分以降では固有値が 1 未満であり、説明力は相対的に小さい。以上より、本研究では累積寄与率が 68.75 % と高い説明力を有する第 1 主成分～第 2 主成分までを採用し、これ以降の解析に用いた。

図-6 は第 1 主成分得点 (PC1) と第 2 主成分得点 (PC2) の関係である。本図には、第 1 主成分と第 2 主成分の固有ベクトルも併記した。第 1 主成分では、すべての溶存イオンの固有ベクトルが正の値を示しており、溶存イオン全体の濃度を反映する成分であると解釈される。第 2 主成分では、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  の間で対比的な関係が認められ、地下水中における陽イオン交換反応を反映した成分であると考えられる。

表-2 水温を用いた釜無川扇状地地下水の涵養標高の推定結果

No.	地点名	市町村	涵養標高 (m)
2	一町畑	中央市	-143
3	町之田	中央市	409
4	東花輪①	中央市	439
5	東花輪②	中央市	478
6	玉穂南	中央市	422
7	下河東①	中央市	483
8	浅原	南アルプス市	409
9	布施①	中央市	436
10	白井阿原	中央市	582
11	伊勢神社	中央市	497
12	若宮	中央市	429
13	西新居	中央市	523
14	布施②	中央市	523
15	井之口	中央市	496
16	紙漉阿原	昭和町	676
17	押越ふれあい広場	昭和町	438
18	竜王2号	甲斐市竜王地区	-180
20	風土伝承館	昭和町	143
中央市平均			429
昭和町平均			133

表-3 主成分分析によって算出された各主成分の固有値、寄与率、累計寄与率

	固有値	寄与率(%)	累積寄与率 (%)
第1主成分	3.73	46.62	46.62
第2主成分	1.77	22.13	68.75
第3主成分	1.08	13.56	82.31
第4主成分	0.74	9.27	91.58
第5主成分	0.29	3.6	95.18
第6主成分	0.2	2.48	97.66
第7主成分	0.17	2.16	99.82
第8主成分	0.01	0.18	100

河川水の PC1 は-2.2~0 の比較的狭い範囲に集中していた。ただし、富士橋では PC1 が 1.2 と他の河川水よりも大きく、異なる位置に分布した。富士橋は釜無川と笛吹川が合流した後の富士川本川に位置することから、上流域からの河川水に加え、盆地内の地下水や支川からの流入水が混合し、溶存イオン濃度が増加した結果と考えられる。河川水の PC2 は-1~1 の範囲に分布し、大きなばらつきは認められなかった。これは河川水が流下過程で短時間に混合されるため、陽イオン交換反応の影響をほとんど受けていないことを示していると考えられる。

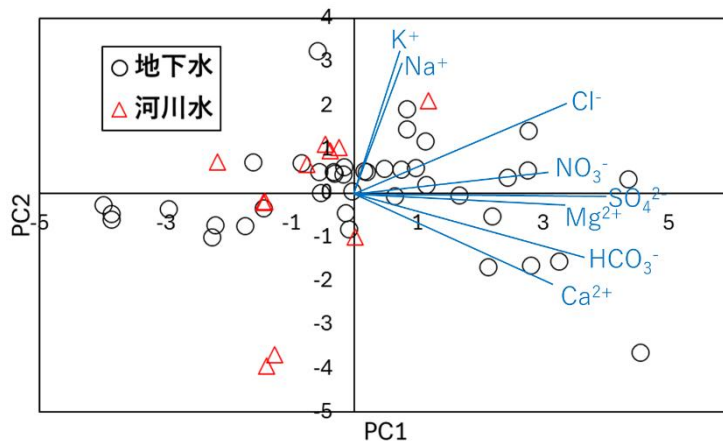


図-6 PC1 と PC2 の関係

地下水の PC1 は-4~4.6 の範囲に広く分布し、河川水と比較して大きなばらつきを示した。PC1 が小さい地下水は主に扇頂部の丘陵地に分布しており、降水の直接浸透による涵養の影響を強く受けている可能性が高い。一方、扇状地の下流方向に向かうにつれて PC1 は増加する傾向が認められた。これは地下水が帯水層内を流動する過程で岩石-水反応が進行し、溶存イオン濃度が増加した結果と考えられる。PC2 は-1.68~1.93 の範囲に分布し、河川水よりも広い範囲を示した。浅原では PC2 が小さく、河川水の伏流水の影響を強く受けた滞留時間の短い地下水である可能性が示唆される。一方、町之田では PC2 が大きく正の値を示し、陽イオン交換反応が進行した滞留時間の長い地下水であると考えられる。

地下水の涵養域を水質の類似性に基づいて推定するため、主成分分析により得られた PC1 と PC2 を用いて、河川水と地下水の距離を評価した。地下水試料  $i$  と河川水試料  $j$  の水質類似度は、PC1 と PC2 の散布図上におけるユークリッド距離として定義した。ユークリッド距離  $D_{ij}$  は次式で表される。

$$D_{ij} = \sqrt{(PC1_i - PC1_j)^2 + (PC2_i - PC2_j)^2} \quad \text{式-3}$$

距離が小さいほど両水試料の水質は類似していると解釈できるため、ユークリッド距離が最も小さい河川水を当該地下水の涵養域と判断した。その結果、釜無川扇状地の地下水は大きく 3 つのタイプに分類されることが明らかとなった。第 1 に、釜無川の河川水と水質的に類似する地下水である。多くの地下水は信玄橋、船山橋、花木坂橋の河川水と近い位置に分布し、これらの河川水とのユークリッド距離が最も小さい結果となった。このことから、これらの地下水は釜無川本川の河川水が扇状地内で浸透した伏流水を起源とする地下水である可能性が高いと考えられる。

第 2 に、扇頂部の丘陵地に分布する降水起源の地下水である。甲斐市双葉地区に位置する二ツ溜水源、新田水源、三島水源などの地下水は第 1 主成分得点が小さい値を示し、溶存イオン濃度が低く降水に近い水質特性を示した。この地域は扇頂部の丘陵地形に位置しており、河川水の伏流水の影響よりも降水の直接浸透による地下水涵養の影響を強く受けていると考えられる。

第 3 に、扇央部から扇端部に分布する滞留時間の長い地下水である。中央市周辺の東花輪①、東花輪②、白井阿原などの地下水は第 1 主成分得点が比較的大きい値を示し、溶存イオン濃度が高い傾向を示した。これは地下水が帯水層内を流動する過程において岩石と水の反応や陽イオン交換反応の影響を受け、水質が進化した結果であると考えられる。

以上の結果から、釜無川扇状地地下水は、①釜無川の伏流水を起源とする地下水、②扇頂部丘陵地に

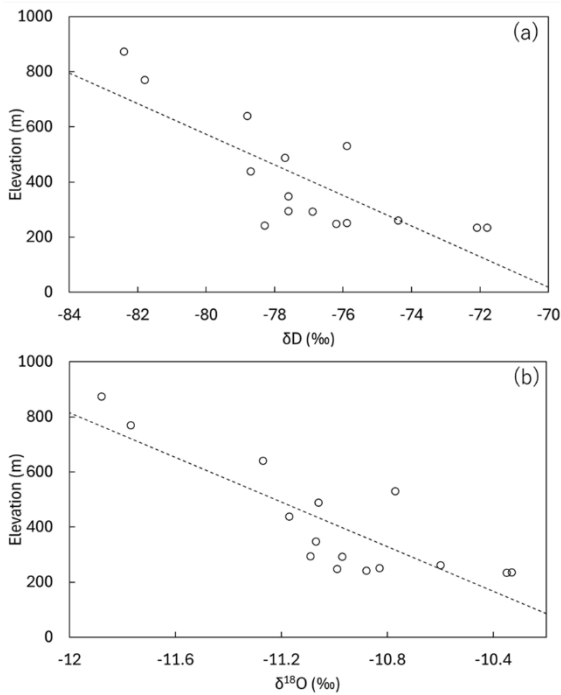


図-7 釜無川における同位体比と採水標高の関係 ((a): $\delta D$ , (b): $\delta^{18}O$ )

における降水涵養地下水, ③扇央～扇端部において岩石と水の反応の影響を受けた滞留時間の長い地下水の三つのタイプに区分されることが示唆された。

### 5.3 $\delta D$ , $\delta^{18}O$ を用いた釜無川扇状地地下水の涵養域の推定結果

図-7 は釜無川における  $\delta D$ ,  $\delta^{18}O$  と採水標高の関係である。 $\delta D$ ,  $\delta^{18}O$  とともに, 標高の上昇に伴い小さくなる傾向を示した。この関係について近似直線を求めた結果,  $\delta D$ ,  $\delta^{18}O$  と採水標高の間には以下の関係式が得られた。

$$\delta D_{\Gamma} = -0.018H - 69.66 \quad \text{式-4}$$

$$\delta^{18}O_{\Gamma} = -0.025H - 9.99 \quad \text{式-5}$$

ここで,  $\delta D_{\Gamma}$  は涵養される地下水の  $\delta D$  (‰),  $\delta^{18}O_{\Gamma}$  は涵養される地下水の  $\delta^{18}O$  (‰),  $H$  は採水標高 (m) である。その結果, 釜無川流域では, 標高が 100 m 上昇するごとに,  $\delta D$  は 1.8 ‰,  $\delta^{18}O$  は 2.5 ‰ 小さくなる高度効果が認められた。

表-4 は各観測地点における涵養標高を求めた結果である。双葉中学校第 1 水源では推

表-4  $\delta D$ ,  $\delta^{18}O$  を用いた釜無川扇状地地下水の涵養標高の推定結果

No.	地点名	市町村	標高(m)	涵養標高(m)	
				$\delta^{18}O$ (‰)	$\delta D$ (‰)
2	一町畑	中央市	247.8	345	346
3	町之田	中央市	248	386	390
4	東花輪①	中央市	248.7	293	357
5	東花輪②	中央市	248.7	325	357
6	玉徳南	中央市	249.9	365	440
7	下河東①	中央市	250.7	341	335
8	浅原	南アルプス市	251.1	248	246
9	布施①	中央市	251.1	280	290
10	臼井阿原	中央市	252.8	309	318
11	伊勢神社	中央市	252.9	300	306
12	若宮	中央市	254	289	362
13	西新居	中央市	254.2	382	418
14	布施②	中央市	254.3	293	301
15	井之口	中央市	255.6	317	335
16	紙漉阿原	昭和町	256.8	329	351
17	押越ふれあい広場	昭和町	257.4	337	362
18	竜王2号	甲斐市竜王地区	264.9	345	362
20	風土伝承館	昭和町	267.9	171	196
21	第13水源	甲斐市竜王地区	271.1	313	312
22	第17水源	甲斐市竜王地区	271.3	341	335
23	第7水源	甲斐市竜王地区	273.7	289	301
24	第9水源	甲斐市竜王地区	280.7	107	135
25	第6水源	甲斐市竜王地区	281	341	335
26	第14水源	甲斐市竜王地区	281.3	329	335
27	第8水源	甲斐市竜王地区	284.8	280	312
28	第12水源	甲斐市竜王地区	287.4	349	340
29	第15水源	甲斐市竜王地区	288.3	321	324
30	第11水源	甲斐市竜王地区	292.9	305	301
31	第10水源	甲斐市竜王地区	295.7	272	285
32	下今井水源	甲斐市双葉地区	327	86	179
33	二ツ溜水源	甲斐市双葉地区	339.7	232	263
34	第2水源	甲斐市竜王地区	343.5	66	85
35	第5水源	甲斐市竜王地区	345	127	141
36	双葉中学校第2水源	甲斐市双葉地区	351.6	102	202
37	双葉中学校第1水源	甲斐市双葉地区	355.4	-63	74
38	双葉東小学校水源	甲斐市双葉地区	369.1	70	141
39	笠石水源	甲斐市双葉地区	397.2	42	141
40	菖蒲澤水源	甲斐市双葉地区	403.4	167	196
41	駒沢水源	甲斐市双葉地区	409.6	26	102
42	新田水源	甲斐市双葉地区	446.2	317	285
43	三島水源	甲斐市双葉地区	453.3	301	268
中央市平均				319	347
昭和町平均				333	357
甲斐市竜王地区平均				326	327

表-5 釜無川扇状地地下水におけるトリチウムの分析結果

No	地点名	観測日	地区	深度 (m)	トリチウム濃度(T.U.)
3	町之田	2025/12/15	中央市	60	1.23
4	東花輪①	2025/12/15	中央市	80	1.04
11	伊勢神社	2025/12/15	中央市	不明	1.48
13	西新居	2025/12/15	中央市	120	1.04
17	押越ふれあい広場	2025/12/18	昭和町	不明	2.07
18	竜王2号	2025/10/31	甲斐市竜王地区	40	2.14

定涵養標高が負の値を示し、さらに複数地点において推定涵養標高が観測地点の標高より低い結果となった。特に甲斐市双葉地区でこの傾向が顕著であった。これは、これらの地下水が河川水ではなく降水由来であるためと考えられる。降水は一般に河川水より  $\delta D$ ,  $\delta^{18}O$  が高い値を示すことが知られており、本研究対象地域でも同様の傾向が確認された。そのため、本研究で用いた釜無川流域の  $\delta D$ ,  $\delta^{18}O$  と標高の回帰式の適用範囲外となった可能性がある。

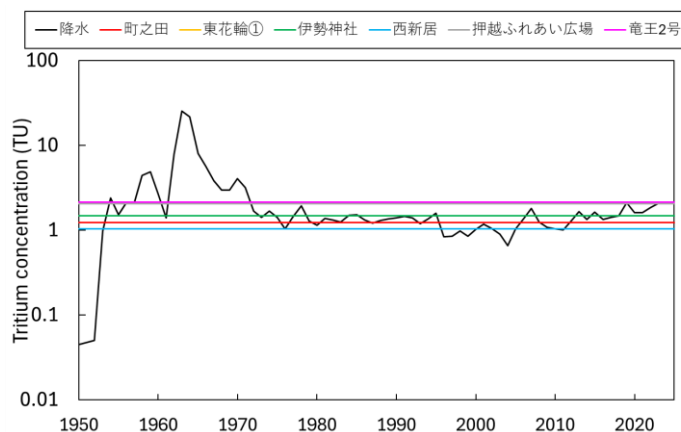


図-8 減衰を考慮した降水中のトリチウム濃度と地下水中のトリチウム濃度の経年変化

地下水涵養域を推定した結果、釜無川扇状地地下水の涵養標高は概ね 320 m 付近に分布することが明らかとなった。この標高帯は釜無川扇状地の扇頂部 (信玄橋～船山橋) に相当しており、釜無川扇頂部からの河川水の伏流水が地下水涵養に重要な役割を果たしている可能性が示唆された。

## 6. 釜無川扇状地における地下水滞留時間の推定

トリチウムは検出の有無により 1950 年代以降に涵養された地下水とそれ以前に涵養された地下水を区別する指標として有効な水質トレーサーである。表-5 は釜無川扇状地地下水におけるトリチウムの分析結果である。その結果、全ての地点においてトリチウムが検出され、対象とした地下水は 1950 年代以降に涵養されたものであることが明らかになった。

図-8 は減衰を考慮した降水中のトリチウム濃度と地下水中のトリチウム濃度の経年変化である。トリチウムは時間とともに放射壊変により減衰するため、過去の降水中のトリチウム濃度の変動と現在の地下水中のトリチウム濃度を比較することで、地下水の滞留時間を推定することが可能である。本研究では、減水補正後の降水中のトリチウム濃度と地下水中のトリチウム濃度が一致する年代を滞留時間として評価した。

その結果、複数の年代において両者が一致する可能性が認められ、トリチウム単独では滞留時間の一意的な決定が困難であることが明らかになった。このため、今後は近年の年代に対して高い分解能を有する  $SF_6$  を用いた解析併用し、滞留時間の推定を図る予定である。

## 7. まとめ

本研究では、高密度に観測した釜無川扇状地地下水の涵養域を明らかにした。まず、地下水と河川水の水質特性の空間分布を整理し、地下水涵養域の推定に有効な水質トレーサーについて検討した。その結果、水温および主要溶存イオン、 $\delta D$ 、 $\delta^{18}O$  は明瞭な空間変化が認められ、地下水涵養域を推定する上で有効な水質トレーサーであることが明らかとなった。一方、pH、EC は空間変化が比較的小さく、単独では地下水涵養源を推定するトレーサーとして十分ではないことが示唆された。しかし、pH は地下水において明瞭な空間変化が認められ、地下水流動過程の把握には有効である可能性が示された。

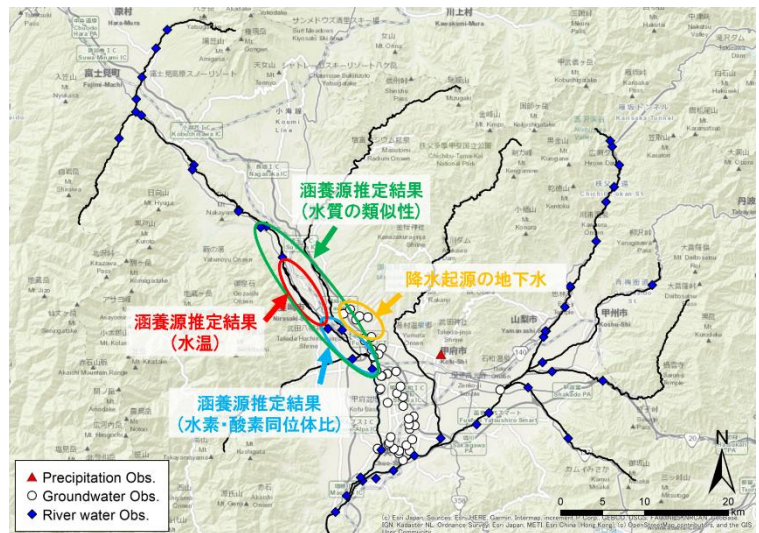


図-9 各種水質トレーサーを用いて推定した地下水涵養域

図-9 は各種水質トレーサーを用いて推定した地下水涵養域である。地下水と河川水の水質類似性を主成分分析により評価した結果、多くの地下水は釜無川本川の河川水と類似した水質特性を示し、釜無川の伏流水が地下水涵養に重要な役割を果たしている可能性が示された。特に信玄橋～花木坂橋にかけての区間では、河川水の浸透による地下水涵養が生じていると考えられる。また、水温トレーサーの解析からも、船山橋～穴山橋にかけての区間で河川水の浸透による地下水涵養が示された。さらに、水素・酸素同位体比の結果からは、信玄橋～船山橋に由来する河川水が地下水涵養に寄与している可能性が示された。

以上の結果を総合すると、釜無川扇状地地下水の主要な涵養源は釜無川の河川水であり、特に中流域～扇頂部における伏流水の浸透が地下水涵養に大きく寄与していると考えられる。また、扇頂部の丘陵地では降水の直接浸透による地下水涵養も局所的に存在する可能性が示された。これらの結果は、水温、主要溶存イオン、 $\delta D$ 、 $\delta^{18}O$  など複数の独立した水質トレーサーを統合することで、甲府盆地地下水の涵養機構をより詳細に把握できることを示している。

## 参考文献

- 1) 国土交通省社会資本整備審議会：気候変動を踏まえた水災害対策のあり方について答申，2020。
- 2) 大八木豊，鳥谷幸宏，杉本知佳子，加藤憲介，朴埼璨：ため池を用いた御笠川流域の治水強化策，水工学論文集，Vol.50，pp.325-330，2006。
- 3) 大槻順朗，大八木豊，鳥谷幸宏，朴埼璨：御笠川流域における貯留施設の治水効果の評価，水工学論文集，Vol.52，pp.361-366，2008。
- 4) 小幡翔吾，鳥谷幸宏，佐藤辰郎：六角川流域におけるため池の内水対策効果の評価，土木学会論文集 B1 (水工学)，Vol.76，No.2，pp.I\_757-I\_762，2020。
- 5) 神谷浩二，眞鍋洋，山崎勲：溶存イオンデータの多変量解析に基づいた広域地下水流動系の評価，地盤工学ジャーナル，Vol.9，No.2，pp.219-231，2014。
- 6) 金澤瑛，正岡直也，小杉賢一朗，勝山正則，中谷洋明：山地源流域における湧水の涵養域の推定，水文・水資源学会誌，Vol.34，No.2，pp.100-114，2021。