富山県内地下水の水質 (II)

庄川左岸平野部の地下水の水質と流速

高 倉 盛 安

Water qualities of the groundwater
in Toyama Prefecture (II)
Water quality and flowing velocity of the groundwater in
the plain area on the left side of the Shô-gawa
By Moriyasu TAKAKURA

1. 緒 言

富山県の西部を北へ向って流下し、富山湾へ注いでいる庄川の左岸扇状地および三角州約 130km² の範囲内に存在する井戸32個について、水質分析をおこない (1968年8~9月)、地下水中の溶存成分の分布状態および流動に伴う水質変化の様相、ならびに、溶存アルゴンの任意時測定法 (高倉 1968, 1969) によって求めた流速について述べる。

2. 地形、地質および水理

地形、地質および水理に関しては、すでに、高岡市地下水調査委員会の調査報告 (1963, 中崎1965) や蔵田延男らの調査研究 (1955) があるので、これらの資料に基づいてその概要を述べる。

2.1. 地 形

当地域は図1にみられるように、北東を除いて新第三系の丘陵に囲繞せられ、これに囲まれた平野は南南西から北北東に延びた長方形を示し、平野の南隅、青島を扇頂とする庄川扇状地が平野の南半を埋めている。扇頂青島の標高は約 100m で、堆積層の流向は北西に延び、標高 40~30m で次第に平野相を呈するようになり、標高 30m 付近が扇端部となり、それより北方には三角州が広がり、標高 10m よりさらに低くなると三角州の中央は低凹地となって北東に向きをかえ、遂に、富山湾へ入る。さらに、三角州の末端は小矢部川に侵食され段丘状を呈している。また、高岡市の中心部には洪積層よりなる小丘陵が存在している (図1の公園)。なお、西側山麓にある小矢部川は、庄川扇状地の発達に伴って山麓へ押しやられた形態を示し、一方、庄川自身は東側へ次第に移行し現在の流路をもつに至ったのである。標高 30m 以北の三角州面は扇端部に発達している湧水によって侵

図 2. 地下水主流動経路と流速測定用井戸地点

食され、その湧水は扇央部のかんがい用水と合して千保川、祖又川、荒又川、岸渡川および石黒川となって小矢部川へ排水されている。

2.2. 地 質

扇状地の堆積物は片麻岩、花崗岩、石英斑岩の他、古生代、中性代の堆積岩類の円礫、亜角礫、砂および泥より成り、特に、扇頂部では巨礫を交える。標高 30m 付近の扇端部より三角州に至るに従って、次第に礫は微細となり、この間に微砂や粘土質のレンズ状の薄層を挟み沖積層下へ入る。しかし、洪積層と沖積層の区分境界は不明瞭である。また、扇状地表層下に溝谷が潜在しており、この溝谷が庄川伏流水の主流動径路と考えられる(図2)。なおこの主流動径路に沿った地質断面の概略を図3に示した。

2.3. 水 理

扇状地の地下水は自由面地下水であり、その水位は扇頂部で地表下 30m 以深にも達するが、扇端部(標高 30m 付近)に至るに従って水量は豊かになり、地下水位は高くなって地表下 6m 以浅となる。

扇端部より三角州へかけて、地表下 20~25m の位置に次第に不透水層が発達し始め、扇状地の地下水は上下に分かれ、その一半は浅層の自由面地下水(第1帯水層)となって三角州へ広がり、他半は被圧面地下水(第2帯水層)に転化し、三角州の主要な地下水源となる。また、図3にみられるように、第2帯水層の深部は不整で変化に富み、複雑な透水層のつながりをもっている。

湧泉は標高 20~30m の扇端部に分布し(図2)、表層自由面地下水が湧出しており、それらは、先に述べたようにかんがい用水と合して小矢部川へ注いでいる。

自噴井は標高 10~20m の地帯に分布しており(図2)、特に、上佐野、蔵野町付近に被圧度が大きく、水位は地上 2~4m にも達する。優勢な湧泉や自噴井は、伏流水の主流動と考えられる径路上に存在している。

ところで、庄川河岸からの浸透量は、高岡市地下水調査委員会の報告書(1963)によれば約 1.5億 m^3/yr である。この浸透量の最も顕著な個所は青島から中野および太田に至る区間である。図2のB地点はその中心を示す。青島合口ダム上流の庄川流路は基盤を浸食しているので地下水をかん養することはできない。また、このダムより下流の右岸では、約 2km にわたって基盤の第三系が露出し、それが河身を径て左岸に傾斜しており、さら

図 3. 地 質 断 面 図

表 1. 地 下 水 の 化 学 成 分

採 点 地 点	採 水 地 点 名					揚水 方法	収水層の位置 または井戸の深度 m	採水期 (1968) 月, 日	水日 採水時 気 温 °C	水温 °C	pH	比導電率 (20°C) μV/cm	MR- BCG アルカリ度 meq/l	COD (O) mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	酸可溶性鉄 mg/l	Fe ²⁺ mg/l	Mn ²⁺ mg/l	全炭酸 (CO ₂) ml/l	遊離炭酸 (CO ₂) ml/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	CO ₃ ²⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	溶解性 ケイ酸 (SiO ₂) mg/l	NH ₄ ⁺ -N mg/l	NO ₂ ⁻ -N mg/l	NO ₃ ⁻ -N mg/l	溶 存 気 体											
																																O ₂		N ₂		Ar	CH ₄	H ₂					
																																ml/l	飽和%	ml/l	飽和%	ml/l	ml/l	ml/l					
1	立	山	酒	造	K	K	P	15	8,24	26.7	12.8	6.2	138	0.80	0.00	6.9	1.1	16.5	1.7	0.04	<0.01	0.08	32.9	21.0	32.4	0.00	4.2	8.8	10.8	0.00	0.000	0.71	5.77	69.5	15.12	98.6	0.38	0.000	0.000				
2	若	鶴	酒	造	K	K (1号井)	P	22	8,27	28.5	14.0	6.1	158	0.94	0.05	6.3	1.2	19.6	2.1	0.11	0.03	0.00	42.6	29.2	36.3	0.00	2.1	8.2	15.1	0.00	0.000	1.01	4.34	48.7	16.84	103.	0.41	0.000	0.002				
3	戸	出	物	産	K	K	P	9	8,28	22.0	14.3	6.0	110	0.63	0.08	4.4	1.0	13.6	1.2	0.04	<0.01	0.00	26.9	19.6	19.8	0.00	5.4	5.6	10.3	0.06	0.000	0.72	5.27	66.1	15.43	105.	0.37	0.000	0.001				
4	穂	毛	義	了	宅		P	5	9,5	26.9	16.6	5.8	126	0.75	0.11	5.8	1.3	15.8	1.3	0.00	0.00	0.00	54.9	44.2	29.0	0.00	4.8	10.5	13.4	0.00	0.000	0.65	1.29	20.7	12.54	107.	0.29	0.000	0.000				
5	K	K	富	山	製	鍊	所	P	45	9,5	26.4	14.6	6.5	242	1.84	0.08	7.9	1.3	29.7	5.1	0.04	0.02	0.00	63.4	29.0	92.1	0.00	6.4	7.2	19.9	0.00	0.000	1.03	4.26	49.1	16.45	103.	0.40	0.025	0.001			
6	石	山	恒	雄	宅		S	25	9,5	28.6	13.6	6.2	181	1.23	0.05	6.2	1.1	21.6	3.2	0.08	<0.01	0.00	38.5	24.4	38.3	0.00	6.4	7.2	16.3	0.02	0.000	0.83	4.77	55.8	16.71	106.	0.39	0.000	0.000				
7	市	野	瀬	保	育	園	P	8	8,27	28.7	12.7	6.1	94	0.70	0.31	5.1	1.1	15.6	1.5	0.07	<0.01	0.00	40.1	27.6	33.8	0.00	5.4	7.8	11.5	0.00	0.000	0.41	1.51	17.5	14.43	91.2	0.40	0.000	0.003				
8	砺	波	製	紙	K	K 二塚工場	P	7	8,2	29.5	13.8	6.4	90	0.69	0.47	3.6	1.0	11.4	1.6	0.10	<0.01	0.00	26.1	13.5	34.2	0.00	2.8	5.8	7.8	0.00	0.000	0.28	4.37	56.2	14.72	102.	0.36	0.017	0.000				
9	藤	牧	芳	郎	宅		P	18~20	8,6	31.3	13.5	7.0	78	0.60	0.00	3.6	0.6	8.8	2.0	0.04	<0.01	0.00	15.9	3.42	34.0	0.00	2.7	6.8	12.0	0.00	0.000	0.24	5.56	61.1	15.44	92.6	0.42	0.13	0.000				
10	永	森	康	弘	宅		S	30	8,7	29.1	13.4	6.4	110	0.74	0.24	3.8	0.9	11.9	2.2	0.08	<0.01	0.00	19.0	9.93	24.7	0.00	3.4	6.2	15.4	0.00	0.000	0.56	4.66	55.5	15.81	102.	0.39	0.026	0.000				
11	梅	田	達	造	宅		S	28	9,5	27.0	13.1	6.8	150	1.41	0.03	6.7	1.1	22.1	4.0	0.00	0.00	0.00	41.7	12.7	78.9	0.00	5.2	6.2	16.6	0.06	0.000	0.45	4.23	47.6	16.41	101.	0.41	0.056	0.001				
12	北	陸	コ	カ	コー	ラ	K	K (2号井)	P	47~67	8,23	28.7	13.0	7.7	171	1.22	0.05	5.3	0.9	19.8	2.4	0.28	<0.01	0.00	24.1	1.25	62.2	0.06	3.2	5.1	16.4	0.00	0.000	0.41	4.41	48.5	16.58	99.4	0.42	0.000	0.001		
13	飯	沢	商	事	石	油	ス	タ	ン	D	P	60	8,20	31.0	13.0	7.5	125	0.87	0.02	4.8	0.8	13.8	1.8	0.06	<0.01	0.00	17.8	1.44	44.6	0.05	3.5	6.6	15.9	0.00	0.000	0.17	5.31	60.3	16.14	99.6	0.40	0.035	0.000
14	滝	の					S	36	8,19	31.8	12.5	7.2	137	1.05	0.00	4.8	0.9	16.2	2.8	0.05	<0.01	0.00	22.3	3.37	51.6	0.00	3.8	6.6	17.2	0.00	0.000	0.40	5.20	68.1	15.58	109.	0.35	0.067	0.003				
15	高	岡	青	果	物	調	整	連	合	会	S	25	8,7	28.9	13.6	7.2	131	0.91	0.05	4.7	0.7	13.7	2.6	0.07	0.04	0.00	24.7	3.65	57.3	0.00	3.4	6.0	15.2	0.00	0.000	0.41	5.02	58.5	15.72	99.3	0.39	0.032	0.000
16	茂	住	鋳	造	所		P	35~40	8,7	27.6	13.1	7.2	86	0.60	0.19	4.6	0.6	8.7	1.5	0.12	0.07	0.00	14.6	2.18	33.8	0.00	2.7	6.0	16.2	0.00	0.000	0.16	6.10	72.8	15.02	97.3	0.39	0.12	0.002				
17	本	保	製	作	所	(1号井)	P	30	8,19	31.4	14.4	7.1	144	1.24	0.19	8.1	0.8	10.6	6.0	0.12	0.04	0.18	29.8	5.36	66.5	0.00	3.3	6.2	25.6	0.04	0.000	0.00	0.14	1.7	16.18	106.	0.38	0.14	0.002				
18	中	野	乳	業			P	50	9,24	21.0	13.4	7.2	80	0.60	0.61	5.0	0.8	9.0	1.7	0.02	<0.01	0.00	16.1	2.43	37.3	0.00	2.8	5.6	16.4	0.00	0.000	0.21	5.80	74.8	14.94	104.	0.36	0.024	0.000				
19	大	同	捺	染	K	K	P	55~60	8,20	32.3	13.0	7.6	114	0.76	0.05	4.7	0.7	12.4	1.4	0.02	<0.01	0.00	16.0	1.05	40.8	0.04	2.9	5.8	15.1	0.00	0.000	0.24	5.67	70.0	14.49	96.6	0.37	0.032	0.003				
20	三	和	製	作	所		P	14	8,23	27.4	14.2	7.5	153	1.07	0.02	5.6	0.8	15.8	2.7	0.04	<0.01	0.00	18.7	1.48	46.9	0.05	4.2	5.1	18.3	0.03	0.000	0.31	3.83	39.3	18.36	103.	0.44	0.000	0.002				
21	三	協	アル	ミ	工	業	K	K (1号井)	P	60	8,23	27.9	17.0	7.0	339	2.54	0.00	17.0	1.7	33.4	7.0	0.17	<0.01	0.00	61.2	12.6	133.	0.00	23.7	8.4	25.8	0.05	0.000	0.00	0.21	2.3	17.70	105.	0.42	0.000	0.001		
22	ホ	ク	セ	イ	アル	ミ	K	K 第一工場(F号井)	P	40	9,20	28.4	14.6	7.4	133	0.93	0.11	7.2	0.8	14.1	2.3	0.03	0.01	0.00	24.1	2.29	59.4	0.00	3.4	5.6	17.0	0.00	0.000	0.24	3.72	61.0	11.13	91.1	0.29	0.000	0.002		
23	ワ	シ	アル	ミ	K	K 金屋工場(2号井)	P	45~55	9,19	24.3	15.0	7.4	327	2.40	0.08	15.5	2.9	38.8	5.4	0.18	0.17	0.00	60.3	5.72	149.	0.02	17.3	6.8	31.4	0.09	0.000	0.00	2.78	33.4	16.09	105.	0.38	0.020	0.004				
24	ワ	シ	アル	ミ	K	K 金属工場(2号井)	P	40	9,20	28.2	15.3	7.3	174	1.35	0.05	9.2	1.1	19.3	3.6	0.08	0.06	0.00	33.0	3.96	79.0	0.00	5.8	6.0	20.5	0.00	0.002	0.13	2.70	33.3	16.42	110.	0.37	0.000	0.021				
25	島	一	石	油	店		P	25	9,24	24.4	16.8	7.3	252	2.11	0.20	29.0	1.8	18.6	4.5	0.54	0.50	0.25	34.4	4.02	82.6	0.00	14.3	4.5	20.2	0.04	0.000	0.00	0.18	2.0	17.97	111.	0.40	0.029	0.001				
26	清	光	学	園			P	40	9,24	23.0	15.3	7.2	143	0.95	0.08	8.2	0.7	12.8	3.6	0.10	0.07	0.00	13.1	1.88	30.5	0.00	7.0	5.8	18.1	0.00	0.000	0.10	4.47	57.4	14.79	102.	0.36	0.013	0.001				
27	炭	谷	宗	一	郎	宅	P	38	9,24	22.1	14.6	7.1	89	0.63	0.09	6.3	0.9	8.5	2.2																								

に、青島、中野および太田付近は河身がすべて左岸に接し、表流水のよどんでいるところであるから、伏流量が最も多い地点とみられる。なお、下流の二塚（図2のC地点）および上伏間江（図2のD地点）付近にも浸透箇所が認められる。

3. 試料水の採取法および分析法

前報（高倉，1969）と同様の方法によった。

4. 結果および考察

各井戸水の水質分析値を表1に示した。

4.1. 水 温

水温は $12.5 \sim 14.5^{\circ}\text{C}$ であり、自噴井は一般に低く $12.5 \sim 13.5^{\circ}\text{C}$ を示している。しかし、小矢部川流域に存在する No. 21, No. 29 および No. 31 は、それぞれ、 $17.0, 18.8$ および 18.0°C と高い。また、長江地内にある長江温泉は過去において 20.9°C （高倉，1961）と高い値を示していた（現在は自噴が停止し、使用されていない）。これらの熱源は何に由来するかは、いまのところ判然としない。

4.2. 水 質

4.2.1. pH およびアルカリ度：pH は、No. 1～No. 11 は $5.8 \sim 7.0$ ，No. 12～No. 32 は $7.1 \sim 7.9$ ，アルカリ度は、前者は $0.63 \sim 1.84$ ，後者は $0.60 \sim 2.54 \text{ meq/l}$ を示し、流動に伴う上昇の傾向がみられる。

4.2.2. 主化学成分の分布と変動：主化学成分の key diagram を図4に示した。殆んど大部分の井戸水は $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 型である。

ところで、この $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 型の井戸水について、流動に伴って水質がどのように変化していくかを知るために、庄川伏流水の主流動径路上に存在する井戸のうち、深さ $25 \sim 60 \text{ m}$ ， Cl^- 量 $2.9 \sim 6.4 \text{ mg/l}$ のものを、地表からの汚染が少ない井戸とみて、 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 型の各井戸水中より選り出し、さらに、それらを流動径路の上流部（自噴井）と下流部（被圧性非自噴井戸）の2群に分け、それぞれの化学成分の平均値を求めた。その結果を表2に示した。

地下へ浸透する以前の庄川表流水にくらべて2群とも、 $\text{Na}^+, \text{K}^+, \text{Ca}^{2+}, \text{HCO}_3^-, \text{Cl}^-$ および SiO_2 はいずれも増加しており、地層成分の溶出がみられる。特に、 $\text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}$ および SiO_2 の溶出が顕著である。それに対し、 SO_4^{2-} や溶存酸素は減少しており、流動につれて還元的环境が次第に形成されていく状態がよく現われている。しかし、溶存酸素がまだ50%以上もあり、鉄分の溶出は殆んどなく、さらに、表1にみられるように窒素、メタン、水素の生成は極く僅かであり、また、 NH_4^+-N 、 NO_2^--N も殆んど含まれていないことなどから、流動径路上の地層中には還元性物質があまり含まれていないことと、流動期間の短かい（流速の大きい）地下水であるということがわかる。

図 4. 主化学成分の key diagram

表 2 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 水質型井戸水の化学成分の平均値

採 水 地 点	深 度	pH	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
	m		meq/l	meq/l	meq/l	meq/l
庄川表流水 (A地点)		7.2	0.162	0.018	0.456	0.108
上 流 部 (6, 10, 11, 14, 15)	25~35	6.8	0.226	0.024	0.855	0.244
下 流 部 (12, 13, 19, 22, 24)	40~60	7.5	0.271	0.022	0.794	0.189

HCO_3^- ($+\text{CO}_3^{2-}$)	Cl^-	SO_4^{2-}	酸可溶 性鉄	SiO_2	溶存酸素	水 質 組 成
meq/l	meq/l	meq/l	mg/l	mg/l	飽和%	
0.784	0.071	0.163	0.06	6.4	97.5	$\text{Ca} > \text{Na} > \text{Mg} > \text{K}, \text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$
0.822	0.125	0.134	0.06	16.1	57.1	$\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Na} > \text{K}, \text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$
0.938	0.106	0.121	0.09	17.0	54.6	$\text{Ca} > \text{Na} > \text{Mg} > \text{K}, \text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$

次に、上流部と下流部の2群の井戸水を比較してみると、 Na^+ は上流部より下流部の方が大きな値を示しているのに対し、 Ca^{2+} や Mg^{2+} は逆に小さな値を示している。この現象は、一般に知られているように、地層中の Na^+ と地下水中の Ca^{2+} や Mg^{2+} とのイオン交換反応の結果と考えられる。

従って、主陽イオンについて総括すれば次のようになる。すなわち、表流水 ($\text{Ca} > \text{Na} > \text{Mg} > \text{K}$) が地下へ浸透後、流動に伴って陽イオンが次第に増加していくが ($\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Na} > \text{K}$)、地下水中の陽イオンがある濃度に達すると、地層中に吸着されている陽イオンとの間にイオン交換がおこなわれるようになるため、地下水中の Na^+ が増加し、 Ca^{2+} や Mg^{2+} が減少するという結果を生ずるのである ($\text{Ca} > \text{Na} > \text{Mg} > \text{K}$)。

4.2.3. 海水の影響を受けている井戸水：地表からの汚染ができるだけ少いと考えられる井戸水の Cl^- 量を表 1 から 6.4mg/l 以下とみた場合、小矢部川下流域に存在する No. 21, No. 23 および No. 29 の井戸水は上記の値を相当上まわっている。

No. 21 および No. 23 は $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 型で Cl^- 量は 23.7 および 17.3mg/l 、No. 29 は NaCl 型で Cl^- 量は 160mg/l である。この Cl^- 増加の原因として先ず考えられるのは小矢部川表流水の浸透である。ところで、小矢部川表流水の底層部における Cl^- 量は図 1 の F, G, H, I および J の各地点で、それぞれ $24.8, 24.6, 25.2, 29.2$ および 33.3mg/l (1969 年 2 月 3 日測定) で、No. 21 および No. 23 と類似しているから、一応、表流水の浸透が考えられる。しかし、長江温泉の Cl^- 量は 827mg/l (高倉, 1961)、No. 29 は 160mg/l と極めて大きな値を示していることから、 Cl^- 増加の原因は小矢部川表流水の浸透ではなく、海水が地中を浸透してくる結果であると考えられる。なお、これら 3 者の井戸水は、陽イオンおよび全炭酸が平野中央部の井戸水にくらべ相当多く、逆に溶存酸素量が極めて少くかなり還元的状態になっている。

4.3. 流 速

地下水中に溶存しているアルゴン量を任意の時期に測定し、その量と、表流水が地下へ浸透する地点およびその地点における表流水の年間水温分布値から地下水の流速を求めることが可能であることを前報 (高倉, 1969) に報告した。ここでは、この方法に従って当平野の地下水の流速を求めてみる。

4.3.1. 流速測定用井戸の選定：水理地質と水質の両面から、庄川伏流水の主流動径路上に存在している井戸のうち、地表からの浸透水の影響が少いと考えられる第 2 帯水層に属する井戸、すなわち、自噴井 No. 10, No. 11 および No. 14 を選んだ。

4.3.2. 地下水流動径路：図 2 にみられるように、表流水の浸透状況から流動径路を次のように設定した。

(i) B (浸透地点) → No. 10 → No. 14

(ii) B → No. 11

4.3.3. 流速算出法およびその結果：地下水の流速を求めるのに必要な資料およびその結果を表 3 (i) および (ii) に示した。

〔表 3 (i)〕

推定浸透時水温：水が地表にあって大気と接しておれば、その水温に対する飽和量のアルゴンを溶存しているはずである。その水が地中へ潜り大気と遮断されても、あまり長期

表 3 溶存アルゴンの任意時測定による地下水の流速算出法

採水 地点	採 水 期 日 (昭, 年, 月, 日)	溶存Ar (ml/l)	推定浸透 時水温(°C)	推定浸透時期 (昭, 年, 月, 日)	地下流動期間 (day)	距 離 (km)	流 速 (m/day)
----------	-------------------------	----------------	-----------------	------------------------	-----------------	-------------	----------------

(i) B → No. 10 → No. 14

10	43, 8, 7	0.39	6.9	42, 12, 10 43, 4, 10	B→ No. 10 235 (115)	B→ No. 10 13	B→ No. 10 55
14	43, 8, 19	0.35	11.8	42, 11, 10 43, 5, 23	B→ No. 14 280 (85)	No. 10→ No. 14 45	No. 10→ No. 14 2.0 44

(ii) B → No. 11

11	43, 9, 5	0.41	4.7	43, 1, 5 43, 3, 10	B→ No. 11 240 (165)	B→ No. 11 14	B→ No. 11 58
----	----------	------	-----	-----------------------	------------------------------	--------------------	--------------------

〔備考〕 地下流動期間欄中 () を付したものは流速の算出には使用できないことを示す
(本文4.3.3. 参照)

間でなく流速がかなり速いところでは、アルゴンは化学的に不活性であるからその量はそのまま保持される。従って、逆に地下水中のアルゴン量を測定し、その量が飽和された状態にあるときの水温を求めれば、その水温が表流水の浸透時における推定水温となる。

推定浸透時期：浸透地点における表流水の1年間の各月日における水温をあらかじめ測定しておき、推定浸透時水温が表流水の水温に最も近い値をとっているときの月日を推定浸透時期とする。

従って、B地点（図2）における庄川表流水の年間水温分布がわかればよい。しかし、実測値がないので次のようにした。B地点より約2km上流のA地点（青島合口ダム）において、富山県耕地課の要請で関西電力が表流水の水温測定をおこなっているの、その資料から1965, 1966, 1967年の3年間の各月の10日, 20日, 30日の日平均値を求め、これより年間水温分布（図5）をつくり、B地点に転用した。——A地点の水温資料によれば、3年間を通じ1昼夜間の最高最低水温差が0.5°C以内に入るものが全測定値の85%も占めており、1昼夜間における水温変動は極めて小さく、また、3年間の日平均値に対する各年の日平均値の偏差が±1.0°C以内のものが80%も占め、殆んど一定した年間水温分布を示している。——ところで、転用できる理由は次のようである。すなわち、A地点より約15km下流のD地点の表流水について、著者が1968年5月より11月にかけて約20日間隔で水温測定（午前10時）をおこなったところ、図5にみられるように、これら2つの水温分布曲線は5月下旬から11月上旬までは気温の影響を受けて差があるが、それ以外は大体一致した傾向を示すようである。このことは、庄川は水量も豊富であり、さらに、急流河川であることから理解できる。従って、B地点の表流水の水温実測値がなくても、推定

浸透時水温が5月下旬から11月上旬以外の表流水の水温（ $4 \sim 11^{\circ}\text{C}$ ）にあてはまるならば、A地点の水温を用いて浸透時期を推定しても差し支えないものと考えられる。

なお、図5にみられるように、表流水の最高および最低水温を示す以外の時期は2時点存在するから推定浸透時期は表3のように2時点存在することになる。

地下流動期間：推定浸透時期と採水期日との差である。表中（ ）を付してあるのは流速の算出に使用できないことを意味している。

図 5. 庄川表流水年間水温分布

その理由は、 $B \rightarrow \text{No. 14}$ の流動期間は $B \rightarrow \text{No. 10}$ の流動期間より、流動径路が $B \rightarrow \text{No. 10} \rightarrow \text{No. 14}$ であることからみて、小さな値をとることはないはずである。従って、 $B \rightarrow \text{No. 14}$ の85日は不適当である。次に、 $B \rightarrow \text{No. 10}$ の115日と $B \rightarrow \text{No. 14}$ の280日とを比較してみると $B \rightarrow \text{No. 10}$ の13kmを流動するのに115日かかるのに対し、 $\text{No. 10} \rightarrow \text{No. 14}$ のわずか2.0kmを流動するのに $280 - 115 = 165$ 日の長期間を要することになるため、 $B \rightarrow \text{No. 10}$ の115日は不適当と考えられる。従って、 $B \rightarrow \text{No. 10}$ の235日および $B \rightarrow \text{No. 14}$ の280日が採用される。

〔表3(ii)〕

B地点より No. 11 までの流動径路中に、地表からの浸透水の影響を受けないとみられる同一帯水層に属する井戸がもう1個所存在するならば、その井戸と No. 11 との地下流動期間を比較対象して、表3(i)に述べたような手段によって1つの流動期間を推定することができるのであるが、そのような井戸が存在しないため2つの異った流動期間が得られる。しかし、いまの場合、B地点からの距離が No. 10 に類似していることからみて240日が適当であると考えられる。

以上の方法によって、扇頂部から平野中央部に至る主流動地下水の流速は 45~60m/day の値が得られた。

一方、建設省高岡工事事務所の報告書（1963）によれば、水理学的方法によって求められた当平野の流速は 50~145m/day、また、高岡市地下水調査委員会の報告書（1963）によれば、放射性同位体 (I^{131}) 投入法によって求められた扇頂部付近の流速は 72m/day であるとしている。

さて、本測定法によって流速が求められるためには次に述べる条件を必要とする。その 1 は、地下水をかん養する表流水の浸透地点がわかっていること。その 2 は、地表や他水系からの浸透水の影響を受けない被圧性の同一帯水層に属する井戸を流速測定用井戸とすること。これらに関しては、水理地質と水質の両面から調査することによって相当明らかにされ得る。その 3 は、浸透地点における表流水の年間水温分布がわかっていること。これは調査者が直接測定するに越したことはないが、それができないときは発電所や農業用水組合等から入手できる場合も少くない。その 4 は、浸透地点から流速測定用井戸までの間を地下水が 1 年以内の期間で流動していること。その理由は浸透地点における表流水の年間水温分布に基づいて浸透時期、さらに、流動期間を推定することになるからである。

5. 結 語

(1) 当平野の地下水の主なるかん養源は扇頂部付近から地下へ浸透する庄川表流水である。その浸透水は、扇端部付近までは自由面地下水として流下していくが、扇端部より三角州へかけて次第に地表下 20~25m の位置に不透水層が発達してくるため地下水は上下に分かれ、その一半は自由面地下水となり、他半は被圧面地下水となって三角州へ広がっていく。なお、扇端部から三角州へかけて自噴井地帯が存在する。

(2) 水温は 12.5~14.5°C である。しかし、小矢部川下流域に存在する井戸は 17.0~18.8°C と高い値を示している。

(3) 殆んど大部分の井戸水は $Ca(HCO_3)_2$ の水質型を示している。さらに、地下水の流動に伴う溶存成分の増加、ならびに、地下水中の Ca^{2+} や Mg^{2+} と地層中の Na^+ との間におけるイオン交換反応が認められる。小矢部川下流域に存在する井戸水は海水の影響を受けている形跡がみられ、溶存成分が多く、還元状態が進んでいる。その他の井戸水は溶存成分も少く、まだ、酸化状態を保持している。このことは、地下水の流動経路上の地層は還元性物質をあまり含まず、また、流動期間の短い地下水であることを意味するものである。

(4) 数地点の井戸水中の溶存アルゴンを任意の時期に測定することによって地下水の流速を求める方法について検討した。その結果、扇頂部から平野中央部に至る主流動地下水の流速は 45~60m/day と算出された。なお、この方法は、表流水の浸透地点と流速測定用井戸間を地下水が 1 年以内で流動していることを条件としている。

終りにあたり、本研究に対し種々御教示下された名古屋大学理学部小山忠四郎教授、水質分析を分担していただいた本学衛生工学科木沢進氏に厚く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 蔵田延男, 村下敏夫, 森 和雄: 富山湾岸工業用水源地域調査報告, 地質調査所月報 6, 241~246, 1955.
- 建設省高岡工事事務所: 庄川低水流量調査報告書, 1963.
- 高岡市地下水調査委員会: 高岡市地下水調査報告書, 高岡市, 1963.
- 高倉盛安: 富山県における温泉冷鉱泉の化学成分の概観, 理化学会誌, 4, 65~69, 1961.
- 高倉盛安: 地下水中の溶存気体について, 工業用水, 121, 25~31, 1968.
- 高倉盛安: 富山県内地下水の水質 (I), 射水平野の地下水, 陸水学雑誌, 30, 29~43, 1969.
- 中崎一之: 庄川水系地下水調査報告, 水道協会誌, 367, 36~45, 1965.

S U M M A R Y

The writer performed well-water analyses (Aug.—Sept., 1968) for thirty two wells in an area of about 130 km² occupied by the alluvial fan and delta on the left side of the Shô-gawa, flowing northward through the western part of Toyama Pref. and pouring into the Bay of Toyama, and describes in this paper the state of variation of components dissolved in the groundwater, changing aspect of its quality with flowage, and the method of its flowing velocity measurement by means of the arbitrary time determination of argon dissolved in it.

(1) The fostering source of the groundwater in this plain is the surface running water of the Shô-gawa that infiltrates into the ground near the fan apex, about 100m in altitude. This infiltrating water flows down near to the fan margin, about 30m in altitude, as free-surface groundwater, but from this place the groundwater is divided into two parts by an aquifuge that is gradually developing, at a depth of 20-25m below the surface, toward the deltaic area, and the upper of them becomes a free-surface groundwater, and the lower a piestic surface groundwater, both extending to the deltaic area. From the fan margin to the delta there extends an area of artesian wells.

(2) Temperature of the groundwater is 12.5-14.5°C, but that of the well-water in the lower course of the Oyabe-gawa is as high as 17-18.8°C.

(3) Almost all of the well-water is of the $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ type of quality, and the increase of dissolved components and the ion-exchange reaction between Ca^{2+} , Mg^{2+} , etc. in the groundwater and Na^+ in the sediments in the course of flowing are observed. Well-water in the lower course of the Oyabe-gawa show some

effect of sea-water, with much dissolved components and an advanced state of reduction, while the other well-water has less dissolved components and maintains the state of oxidation. Thus, the latter case implies the presence of no plenty reducing substance in the sediments through which the groundwater is flowing, and its short-period passage.

(4) The writer discovered a method of estimating the flowing velocity of the groundwater by means of arbitrary time measurments of the dissolved argon in the well-water at several stations.

This method is briefly explained as faollows. The infiltrating position of the river-water, hydro-geologically detected, and the annual rariation of temperature of the river-water at that position are previously surveyed. Any well that is in the direction of the main subsurface flowing and belongs to the same aquifer and seems to be free from any other infiltrating water is selected through the examination of the well-water. From the amount of dissolved argon in it measured, the temperature of the river-water at the time of its infiltration is estimated. Then, that time is known from that temperature and the annual variation of the river-water temperature. From the time difference between the time of infiltration and the argon measurment, the flowing period of the groundwater from the infiltrating point to the observed well situation is obtained, and hence the flowing velocity (mts/day), the distance between them being known.

This method, however, postulates that the growndwater travels that distance within a year.

The mean flowing velocity in the course of about 15 km, from the fan apex (altitude of about 100m) to the delta (altitude of about 10m), obtained by this method is 45-60mts/day.

(著者：高倉盛安，富山県立大谷技術短期大学衛生工学科，富山県小杉町：Moriyasu TAKAKURA, Department of Sanitary Engineering, Otani College of Technology of Toyama, Kosugi-machi, Toyama Prefecture)

会 報 (3)

昭和36年～41年にかけて建設省の委託により琵琶湖生物資源調査団が、琵琶湖水位低下の生物資源に及ぼす影響の調査を実施しましたが、その中間報告（昭和41年提出）が今回、活版印刷されることになりました。その一部が陸水学会に寄贈される予定です。部数に多少の余裕がありますので、御希望の方は陸水学会本部まで御申込み下さい。

（頒布価格 15,000円）