

和歌山市工業用水源小規模地域調査報告

尾崎 次男* 村下 敏夫* 森 和准* 岸 和男* 比留川 貴**

Industrial Water of Wakayama City

by

Tsugio Ozaki, Toshio Murashita, Kazuo Mori,
Kazuo Kishi, & Takashi Hirukawa

Abstract

Wakayama city situated at the estuary of Kino river has two industrial centres, one of which is inside (along the riverside of Kino river) and the other is outside (along the seaside of Kii-suidō). The inside centre is widely known as the place producing cotton flannel.

The ground water is fed by the influent seepage of surface water of Kino river, and three water-bearing formations are known. The confined water in the 3rd formation fit for dyeing has been utilized mostly in the inside centre, but it is contaminated with the salt water in a large part of Wakayama city by the collective pumping. The contamination of aquifer gave rise to a serious ground water problem in the industrial centres, so that the municipal industrial water-supply fed by the ground water for the inside centre was constructed in 1954. Moreover, the industrial water-supply fed by the surface water of Kino river for the outside centre is being planned. This region requires the water in a good quality for the inside centre and in a large quantity for outside centre.

要 旨

紀ノ川の河口に位置する和歌山市には、古くから知られている染色工業のほかに、製鋼・化学などの工業があつて、それぞれ内陸側と臨海部に立地している。

和歌山市内で最もよく利用されてきた井戸の深度は55mまでで、その間に砂礫からなる帯水層が3層あり、調査結果によるとこれらの地下水はおもに紀ノ川の表流によつて養われており、流量測定の結果によると、調査当時その涵養量は約 $5\text{m}^3/\text{sec}$ であつた。

当地区の染色工業には、それに最も適した第3帯水層がもつぱら利用されてきた。しかし臨海部の当層には、すでに Cl^- に富む地下水が存在していたが、第2帯水層は昭和9年頃から開始された和歌山港築港工事のために、塩水によつて汚染された。したがつて臨海部の工場では、大量に使用する冷却水が、海水のほかに Cl^- に富むこれらの地下水あるいは専用工業用水道(淡水)によつてまかなわれてきた。

しかし染色工業地帯における第3帯水層の集団揚水により、 Cl^- 含有量の高い地下水が漸次内陸部に移行し、

とくに昭和24~27年における過剰揚水のために、工業用井戸は完全に Cl^- によつて汚染された。なお化学分析の結果によると、表流および自由面地下水が Carbonate hardness の水質組成を示すのに対して、 Cl^- に富む被圧面地下水は Noncarbonate hardness~Noncarbonate alkali の組成を示す。またおもな成分についてみると、被圧面地下水中の Ca^{2+} , Mg^{2+} は標準海水に比較して Cl^- 量の割には著しく過剰であり、これに対して Na^+ , K^+ は著しく少ない。

このような現象と第2帯水層が染色用水としては適さないことから、応急的に地下水を水源とする市営工業用水道が布設され、内陸部に対し昭和29年から給水が開始された。昭和32年には給水区域の拡張とともに、紀ノ川表流 $30,000\text{m}^3/\text{day}$ の送水工事が進められている。また臨海部の工場群に対しても、同じく表流を水源とする工業用水道の計画がある。工業の種類および用水の用途からみて、内陸部に対しては質を、臨海部には量を必要とする。

1. 緒 言

工業用水法の施行に伴ない、地盤沈下・水位の異常低下、塩水の混入などの災害を誘起している地区として、

* 地質部

** 技術部

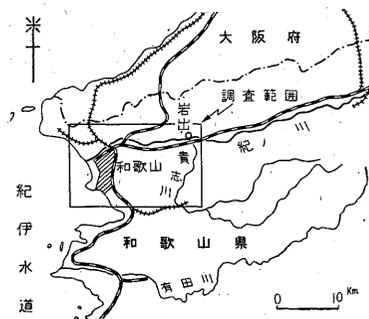
初年度においては川崎市・四日市市・尼ヶ崎市がそれぞれ地域指定され、地下水の取得を一部制限するとともに、その代替としての工業用水道の設置が進められている。

しかし地下水の取得によつて、上述のような顕著な災害が生じなくとも、自然的・人為的な原因により、工業用水が質・量の面でかなり制約を受けるようになった工業地帯が、全国的には相当箇所存在する。このような地帯の用水事情が悪化した原因と、その対策の基礎的資料をうるため和歌山を昭和32年度の調査地の一つとしてとりあげた。

紀ノ川の河口に位置する和歌山は、紀ノ川べりにおける良質の地下水を用いて加工された「紀州ネル」の産地として、古くから知られており、またこれと別に化学工業、あるいは皮革工業も盛んで、これらはいずれも和歌川の周辺に集中している。

しかるに昭和24、25年頃地下水の過剰揚水・南海道地震に伴う地盤沈下などの影響を受けて、海岸寄りの工業用井戸のCl⁻が急増加し、その後2、3年の間に内陸側の大半の工場が、地下水塩水化の被害を蒙るに至つた。そのために昭和29年に応急的に地下水を水源とする市営工業用水道を完成し、まず良質を必要とする和歌山北東部の染色工場群に対して給水を開始した。昭和32年7月には水源を紀ノ川表流に切替え、給水範囲を和歌川一帯に拡張し、また臨海部に対しては冷却用水を大量に使用している諸工場のために、工業用水道による給水を計画している。

この報告には昭和32年7月および8月に実施した、紀ノ川下流平野の小規模水地域調査の結果が記述してある。なお本調査の関係所員は、次の通りであるが、調査現地においては、大阪通商産業局商工課を初め和歌山県土木部計画課・和歌山市水道局の協力を得て、能率的に調査を行なうことができた。これら各位に厚く謝意を表する。



第1図 調査範囲図

調査範囲

和歌山県那賀郡岩出町から下流の紀ノ川沖積平野一円

調査担当

村下敏夫・森 和雄 水理地質

比留川貴 化学分析

尾崎次男・岸 和男 水文測量

2. 水理の概観

わが国の最多雨量地帯である大台ヶ原に源を發し、流域面積約 1,600km² (岩出町より上流側) を有する紀ノ川は、奈良県側では吉野川と呼ばれ、同県上市町附近から下流側ではほぼ中央構造線に沿つて西流するが、一般に荒れ川の河状を呈し、岩出町から下流でも河川敷内の低水路は幾條にも分かれている。また紀ノ川は右岸側に和泉山脈、左岸側に長峰山脈を控え、流域の形状はこれらの山脈に挟まれた羽毛状を呈し、右岸側よりも左岸側に流域面積の大きい支流が集まっている。流域の幅は一般に狭く、なかでも和歌山市街地から岩出町附近までは、最大幅が僅かに 8km 程度となつている。なお岩出町地先で紀ノ川の左岸に合流する貴志川は、平行状流域をなし、その流域面積は約 300km² である。

和歌山市背面の水田をかんがいする井堰は、岩出町と和歌山市船渡地先 (これは新六個井堰と呼ばれ、事実上紀ノ川の防潮堰となつている) とにあつて、前者は左岸側を、後者は右岸側をかんがいでいる。

和歌山市の立地する沖積低地は、北方に畿南平野と画する和泉山脈、南方に名勝和歌浦湾にのぞむ章魚頭窠山・名草山とを控え、市街地の中央部には基盤岩が細長く露出する。市街地の東側にある和歌川は (上流は出水川となる)、現在では都市排水路となつているが、これはおそらく前述の市街地中央に横たわる城山の基盤に遮ぎられて南流した紀ノ川の旧河道と考えられる。

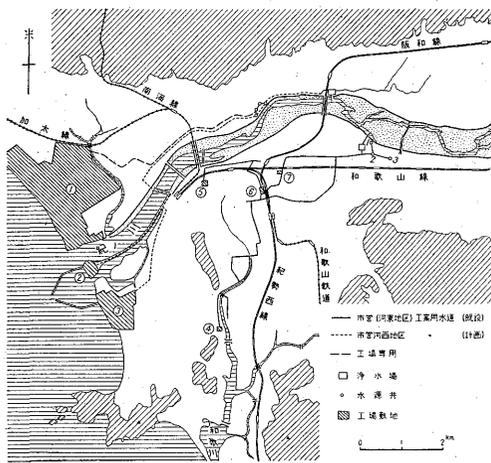
和歌山市附近は、南海地震以後地盤が沈下したといわれているが、近接の大阪市・尼ヶ崎市などで認められるような海岸線の顕著な後退はほとんどなく、出水川流域の浸水状況から推して、むしろ内陸側が沈下し、浸水の度合から推察すると、全体として約 0.6m 程度の沈下が認められることになる。

3. 工業用水取得の現況

和歌山市が紀州ネルの産地となつた一つの要素としては、良質の水が手易く得られたことがあげられる。そして染色用水は、かつては自由面地下水あるいは紀ノ川の表流であつたものと推察されるが、大正10年頃すでに

一部の工場では被圧面地下水が使用され、染色に最も適した第3帯水層が利用されていた。爾後大半の工場がこれを単独利用してきたが、昭和24、25年頃海岸寄りの工業用井戸に徴候を認めた第3帯水層の塩水汚染が急速に内陸部に及んでからは、第2帯水層が利用されるようになり、現存の深井戸は大半これから収水している。しかしこの地下水はFeイオンに富み、染色用水としては適していない。

工業用水の用途は、臨海部に立地する製鋼・化学工場ではおもに冷却、内陸部の染色・皮革工場ではおもに洗滌となっている。臨海部の地下水は砂丘地の自由面地下水を除いては塩水であるから、これは低い水温を得る目的のためには適しているが、大量に冷却水を必要とする場合にはむしろ海水が利用されている。たゞ住友金属工業 K. K. 和歌山製造所は、紀ノ川新六個井堰の下流右岸にある口径3m、深度30mの大口径の井戸4本から日量30,000m³の被圧面地下水を取水している。



1. 住友金属工業 K. K. 和歌山製造所
2. 南海化学工業 K. K. 硫酸課
3. 花王石鹼 K. K. 和歌山工場
4. 菅井化学工業 K. K.
5. 日之出染工 K. K.
6. 和染工業 K. K.
7. 岡市染工 K. K.

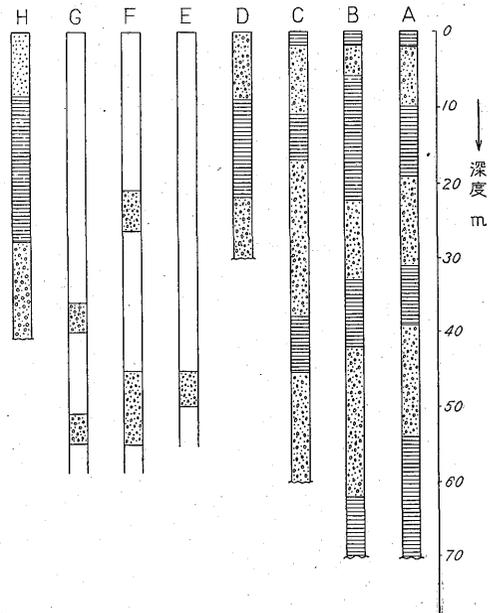
第2図 和歌山市における既存および計画中の工業用水源と給水区域を示す図

和歌山市営工業用水道は、工業用地下水が塩水の汚染を蒙つたために、それが製品に直接影響を及ぼす内陸部の染色工場を対象として、応急的に昭和29年5月1日から給水を始めたものである。水源は同市出島にあつて地下水を水源とし、送水量は3本の井戸から10,000m³/dayであつた。しかしこの工業用水道水の水質はFeイオンに富み、染色用水としては必ずしも適していないので、各工場は自家構内で除鉄装置などによつて水質を改善してきた。

一方塩水の浸入はますます内陸側に及び、そのため工業用水道水を当初必要としなかつた工場は、やむなく地下水から上水道水に水源を切替えた。しかるに新六個井堰の上流側で伏流を水源とする上水道は、大正15年完成当時の送水管を使用しているので、送水量は最大36,000m³/dayに制約されるうえに、工業用水への使用量が嵩み、夏季には上水道は時間給水によつて窮場を凌いでいる。このような変則的な上水道の運営を是正するためには、現在の工業用水をさらに増加する必要がある。たまたま十津川総合開発によつて約束された紀ノ川表流の余剰水120,000m³/dayがあるので、市営工業用水道はそのうち30,000m³/dayの水利権を得て、昭和32年7月22日にはその一部の送水を開始した。表流を主水源とする工業用水道に切替えられると、こゝに質・量ともに完備した工業用水道が誕生し、給水区域は和歌山流域一帯に及ぶ。

なお臨海部に立地する製鋼・化学工場および紀ノ川右岸の染色工場群に対しては、紀ノ川表流70,000m³/dayを水源(取水地点は市営工業用水道取水地点の下流、阪和線鉄橋附近の右岸)とする「河西地区工業用水道」の

4. 帯水層とその性質



- A: 和歌山市営工業用水道水源井 3号井
- B: " " 2号井
- C: " " 1号井
- D: 住友金属工業 K. K. 和歌山製造所水源井
- E: 岡市染工 K. K.
- F: 和染工業 K. K.
- G: 日之出染工 K. K.
- H: 南海化学工業 K. K. 硫酸課

第3図 さく井地質柱状図

第 1 表 和 歌 山 県 紀 ノ 川

No	試料の種類および採取地点	ストレーナ 深 (m)	Tw (°C)	pH	RpH	Dis.O ₂ (cc/l)	Free CO ₂ (ppm)	HCO ₃ ⁻ (ppm)
1	表流 (貴志川) 丸栖村北丸栖地先	—	25.8	6.8	7.1	—	5.5	69.3
2	“ (紀ノ川) 岩出町岩出大橋	—	23.0	7.0	7.2	—	2.2	52.3
3	“ (“) 和歌山市八軒家地先	—	—	7.1	7.3	—	1.7	56.5
4	自由面地下水 和歌山線たいのせ駅	—	15.0	6.2	7.2	2.07	47.3	89.4
5	“ 市営工業用水道松島水源	—	21.0	6.2	6.7	4.21	18.9	68.3
6	伏流 和歌山市上水道源地	—	22.8	6.7	7.2	2.47	7.7	63.9
7	自由面地下水 岡市染工K. K.	—	17.2	6.5	7.1	tr.	93.5	218.0
8	同 花王石鹼K. K. 和歌山工場	—	20.0	6.6	7.3	0.65	27.5	220.0
9	被圧面地下水 市営工業用水道水源2号井	42~62	18.3	6.8	7.3	0.21	73.7	214.0
10	“ “ 1号井	26~38, 46~54	17.6	6.8	7.4	0.63	34.1	159.3
11	“ 岡市染工K. K.	45~49	18.4	6.7	7.3	—	—	177.6
12	“ 和染工業K. K.	21~24	18.9	6.8	7.2	1.98	24.2	156.2
13	“ 日之出染工K. K.	36.4	18.5	6.6	7.2	0.10	85.8	113.3
14	“ 花王石鹼K. K. 和歌山工場	30~33	19.7	6.6	7.2	0.29	42.9	245.0
15	“ 住友金属工業K. K. 和歌山製造所4号井	22~30	17.4	6.4	7.1	0.17	49.5	172.6
16	“ “ “ 2号井	22~30	17.8	6.4	7.1	0.43	23.1	101.1

註 Fe³⁺ の項*は Total Fe を示す

計画がある。

紀ノ川がほぼ中央構造線に沿っているので、調査範囲内における不透水性基盤岩は右岸側では和泉砂岩、左岸側では結晶片岩類によつて構成されている。

また岩出町から上流右岸にかけては、比高差数mの河成段丘が発達しているが、調査範囲内では顕著な段丘崖は認められない。

4.1 帯水層

和歌山市内で最もよく利用されてきた井戸の深度は55mまでで、その間に砂礫からなる帯水層が3層存在する。紀ノ川の河口にはかつて深度180mまで掘きくされた井戸があるが、その記録によると基盤には達せず、かつ55m以深には質・量ともに優れた帯水層は存在しなかつたようである。

和歌山市内にあるさく井地質試料および地質柱状図を基にして考察される紀ノ川左岸沿いの地下地質は、ほゞ次のように説明される。第1帯水層は表層の粘土の下位にあり、層厚は8~10m程度であつて、河口付近では帯水層は砂礫から砂に移行している。その下位の粘土は緑

色を呈し、層厚は数m~20mに達し、下流側に向かい発達している。第2帯水層は臨海部でも玉石混り砂礫であつて、和歌山市出島付近ではほゞ20m以深、河口では28m以深に存在し、層厚は最大20mとなり、3帯水層中最も厚く発達している。第3帯水層は第2帯水層と層厚10m程度の粘土層で隔離され、出島付近では深度40~60mの間に発達するが、中央部から臨海部にかけても、不確かながらほゞ同深度に分布している。これらの地層の勾配はおよそ $\frac{1}{1,000}$ で、紀ノ川の河川勾配とほゞ同じである。

4.2 湧出量

和歌山市営工業用水道水源井のストレーナは、1号井および3号井が第2、第3帯水層に、2号井が第3帯水層に位置している。さく井当時これらの水源井について、市水道局が実施した揚水試験の結果によると、1号井は水位降下8.7mに対して揚水量4,000m³/day、2号井は18mで4,000m³/day、3号井は17.8mで2,500m³/dayの成績を収めている。しかし2号井は過剰揚水の傾向が認められるので、水位降下5mの時に於ける揚水量から水

流域水質分析結果

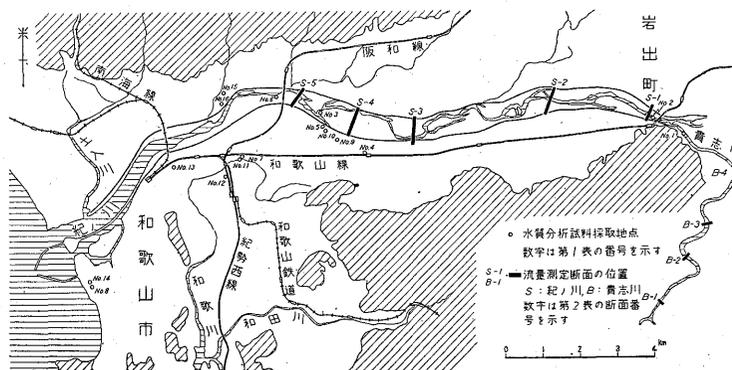
Cl ⁻ (ppm)	NO ₂ ⁻ (ppm)	SO ₄ ²⁻ (ppm)	NH ₄ ⁺ (ppm)	K ⁺ (ppm)	Na ⁺ (ppm)	Fe ²⁺ (ppm)	Fe ³⁺ (ppm)	Ca ²⁺ (ppm)	Mg ²⁺ (ppm)	Total Hardness (dH)	Total SiO ₂ (ppm)	KMnO ₄ cons. (ppm)	P (ppm)	備 考
8.9	tr.	6	tr.	1.5	7.3	0.00	0.02	13.4	5.5	3.14	12.8	8.2	0.00	
8.3	tr.	1	tr.	1.0	5.3	0.00	0.04	10.1	3.9	2.31	8.8	7.0	0.01	
7.6	0.00	4	tr.	1.2	6.6	0.00	0.10	11.6	3.4	2.41	12.0	4.4	0.00	
15.3	tr.	42	tr.	2.0	13.8	0.09	0.03	22.4	11.5	5.78	18.0	3.8	0.00	
12.9	0.12	27	tr.	1.8	12.1	0.02	0.04	18.7	6.1	4.02	10.7	7.0	0.00	
8.9	tr.	6	0.0	1.7	7.1	0.00	0.03	12.5	5.2	2.95	9.6	5.7	0.00	
94.4	0.00	74	0.3	3.6	56.0	20.12	0.18	54.7	21.5	12.61	18.0	7.0	0.03	
3,900.0	1.45	321	0.1	19.3	1,390.0	0.84	0.20	655.0	350.0	172.29	68.0	5.1	0.00	I ⁻ 0.0 ppm Br ⁻ 13.2ppm
148.0	0.00	tr.	tr.	2.1	126.0	0.81	0.11	17.3	13.9	5.62	31.3	3.8	0.18	I ⁻ 0.0 ppm Br ⁻ 0.0 ppm
36.9	0.00	5	tr.	1.0	49.6	0.12	0.08	10.1	14.1	4.66	39.3	12.6	0.44	
1,520.0	0.00	90	0.4	5.2	372.0	—	8.19*	345.0	165.0	86.29	38.0	7.6	0.12	I ⁻ 0.0ppm Br ⁻ 5.0ppm
39.5	0.00	22	tr.	2.3	46.4	1.69	2.60	21.3	11.1	5.54	12.0	3.8	0.18	休止井
1,450.0	0.00	82	0.1	8.1	315.0	11.00	0.71	340.0	155.0	83.29	22.0	4.4	0.00	I ⁻ 0.0 ppm Br ⁻ 4.6ppm
11,250.0	1.35	1,030	0.3	59.4	4,050.0	0.84	0.33	1,600.0	1,045.0	464.62	54.0	92.9	0.00	I ⁻ 0.0 ppm Br ⁻ 38.0ppm
24.5	0.00	6	1.8	2.8	30.0	4.97	1.18	21.3	12.4	5.84	29.3	5.7	0.18	
12.5	0.00	18	tr.	2.2	15.8	0.98	0.04	14.9	9.8	4.34	24.7	3.2	0.06	

位降下 1m 当りの揚水量を計算すると、各井戸はそれぞれ 600m³/day, 580m³/day, 300m³/day となり、同一帯水層から収水する 1号井と 3号井とでは、紀ノ川に近接した 1号井が 3号井の約 2 倍の揚水能力を有することとなる。

5. 地下水の化学的性質とその変化

5.1 地下水の化学的性質

調査地域内で採取した水試料 16 についての化学分析の結果は、第 1 表に示してあるが、水質の概要は次に述べる通りである。



第 4 図 水質分析試料採取地点および流量測定断面の位置

pH, R_pH および Free CO₂ pHの値は表流 6.8~7.1, 地下水 6.2~6.8で, 上流側の自由面地下水および紀ノ川右岸の被圧面地下水が, 6.2~6.5のやゝ酸性を示す以外には, 特徴ある分布は示さない。R_pHは6.7~7.4を示し, pHとの差が表流では0.2~0.3, 地下水では0.5~1.0となる。Free CO₂は紀ノ川の表流および伏流で10ppm以下, 地下水で20~100ppmであつて, Feイオン含有量の多い試料には, Free CO₂が多い傾向がある。

Dis. O₂ 紀ノ川の伏流, 左岸の自由面地下水の Dis. O₂は, 2.0~4.2cc/l, そのほかの試料は0.7cc/l以下であつて, とくに Fe²⁺の多い No.7, No.13 などでは0.1cc/l以下となつている (なお No.12は休止井であるから, 参考程度に止めることとする)。

HCO₃⁻ 自由面地下水の HCO₃⁻は52~220ppmで, 上流から下流に向かつて増加し, とくに紀勢西線以西の試料に顕著な傾向が認められる。被圧面地下水の HCO₃⁻は100~250ppmで臨海部に多く, また Feイオンの多い試料に多量に溶存する傾向がある。

Cl⁻ 表流および伏流の Cl⁻は10ppm以下, 自由面地下水は7.6~3,900ppmであつて, 紀勢西線以西では急激に増加する。また被圧面地下水の Cl⁻は12.5~11,250ppmであつて, 自由面地下水の場合と同様の傾向を示す。なお調査地域内では垂直方向に対して Cl⁻は深度の増大とともに増加する (例えば No.7とNo.11, No.9とNo.10, No.8とNo.14など)。

もし Cl⁻の増加が海水の混入によつて起るものと考えると, K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺などの各成分は, Cl⁻の量に比例して増加するはずであるが, 後述のように当地域ではその増加がきわめて不規則である。なお Cl⁻に対する各成分の比率 (ppmの比で示す)は, 第2表のように表わされる。

NO₂⁻ 一般に NO₂は0.00~1.45ppmで, 自由面

地下水および臨海部の被圧面地下水中に検出される。

SO₄²⁻ SO₄²⁻は自由面地下水で1~321ppm, 被圧面地下水でtr.~1,030ppmであつて, Cl⁻の量に比例して増加する。しかし Cl⁻が1,500ppm以上の試料では海水の組成に較べて SO₄²⁻が125~545ppmも不足しており, この不足量は Cl⁻が多いほど著しい。また Cl⁻が150ppm以下の場合には海水の組成に比較して SO₄²⁻が過剰となり, 一応都市あるいは工場などの排水による汚染などが考えられる。

NH₄⁺ NH₄⁺は0.0~1.8ppmで, 和歌山市街地の自由面・被圧面両地下水に検出される。

K⁺ K⁺は自由面地下水で1.0~19.3ppm, 被圧面地下水で1.0~59.4ppmで, その増加はほぼ Cl⁻量に比例する。Cl⁻が1,500ppm以上の試料では, 海水の組成に較べて K⁺の不足が著しく, 試料の K⁺/Cl⁻と海水の K⁺/Cl⁻との比は0.17~0.28にすぎず, これから算出すると K⁺の不足量は20~165ppmとなる。

Na⁺ 自由面地下水および被圧面地下水の Na⁺は, それぞれ5.3~1,390ppmおよび15.8~4,050ppmであつて, その増加の傾向は K⁺の場合と同様に Cl⁻の量に比例する。また Cl⁻が1,500ppm以上の場合には, 海水の組成に較べて Na⁺の不足が著しく, その不足量は470~2,200ppmであつて, Cl⁻の多い試料ほどその差が著しい。

Fe²⁺, Fe³⁺ Fe²⁺は表流および伏流, 自由面地下水・被圧面地下水ではそれぞれ0.00ppm, 0.02~20ppm, 0.12~11ppm, また Fe³⁺は自由面地下水および被圧面地下水では0.02~0.20ppm, 0.04~1.20ppmであつて, Feイオンの含有量はほかの地域に比較して多い。

Ca²⁺ Ca²⁺は表流および伏流・自由面地下水・被圧面地下水ではそれぞれ10.1~13.4ppm, 18.7~655ppm, 10.1~1,600ppmであつて, Cl⁻の量に比例して増加し, とくに Cl⁻が1,500ppm以上に達するとその傾向が著

第 2 表

試料No	Cl ⁻ (ppm)	K ⁺ /Cl ⁻ (×10 ²)	試料比/ 海水比	Na ⁺ /Cl ⁻ (×10 ²)	試料比/ 海水比	Ca ²⁺ /Cl ⁻ (×10 ²)	試料比/ 海水比	Mg ²⁺ /Cl ⁻ (×10 ²)	試料比/ 海水比
9	148	1.4	0.70	85.1	1.53	11.7	5.6	9.4	1.4
13	1,450	0.56	0.28	21.7	0.39	23.5	11.2	10.7	1.6
11	1,520	0.34	0.17	24.5	0.44	22.7	10.8	10.8	1.6
8	3,900	0.50	0.25	35.6	0.64	16.8	8.0	9.0	1.3
14	11,250	0.53	0.27	36.0	0.65	14.2	6.8	9.3	1.4
標準海水	19,000	2.00	—	55.6	—	2.1	—	6.7	—

しい。また試料の Ca^{2+}/Cl^{-} と海水のそれとの比は 6.8 ~11.2 であつて、地下水中の Ca^{2+} が海水のそれに比較して著しく過剰となる。たゞしその過剰になる量は Cl^{-} の量にはゞ比例している。

なお Cl^{-} に対して Ca^{2+} がきわめて多い場合として、工場用水では東洋レーヨン K. K. 愛媛工場、帝国人造絹糸 K. K. 三原工場の各深井戸の例、またガス附随水では静岡県焼津、同清水(高部)などのガス田の例が、地質調査所における既往の調査結果のなかにあげられている。

Mg^{2+} 表流および伏流、自由面地下水・被圧面地下水の Mg^{2+} は、それぞれ 3.4~5.5ppm, 6.1~350ppm, 11.1~1,045ppm で、 Ca^{2+} の場合と同様に Cl^{-} の量に応じて増加する。また Cl^{-} が 1,500ppm 以上の試料では、その Mg^{2+}/Cl^{-} と海水の Mg^{2+}/Cl^{-} との比は、1.3~1.6 であつて、 Mg^{2+} は海水に比較して 60~290ppm の過剰となる。

Total Hardness 表流および伏流、自由面地下水・被圧面地下水の Total hardness は、それぞれ 2.3~3.1 dH, 4.0~173 dH, 4.3~465 dH であつて、 Cl^{-} の量に応じて大きくなるが、その度合は海水に比較して著しく大きい。なお Cl^{-} が 150ppm 以下の場合には、Total hardness は HCO_3^{-} の量にはゞ比例している。

Total SiO_2 一般に Total SiO_2 は 8.8~68 ppm で、不規則な分布ながら被圧面地下水にやゝ高い傾向が認められる。

$KMnO_4$ 消費量 一般に $KMnO_4$ cons. は 3.2~92.9 ppm で、不規則な分布を示すが、他の地域に較べて高い値を示し、とくに No. 14 の 92.9 ppm のような例は海水の混入ばかりでなく(この試料の Cl^{-} は 11,250ppm)、接触する地層とのイオンの吸着・溶出・交換などの現象を考慮しなくては説明できない。

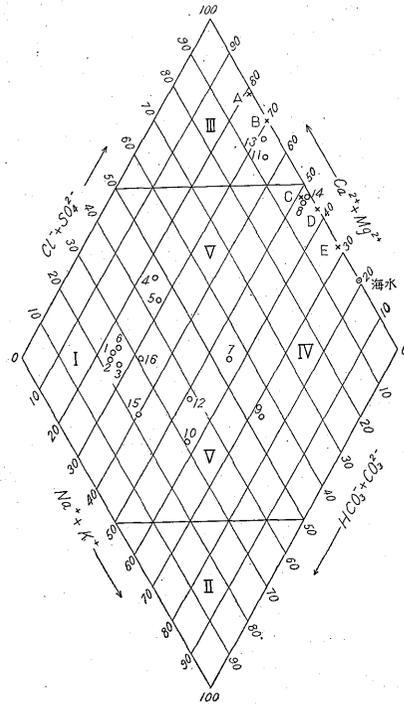
P 一般に P は 0.00~0.44 ppm で、試料の大半に検出され、とくに市営工業用水道水源一和染工業 K. K. 間の被圧面地下水に多く含有されている。

以上要約すると、地下水の pH はいずれも酸性であり、一般に Fe^{2+} , Fe^{3+} が多い。また紀ノ川左岸、阪和線以西の和歌山市街地における地下水には、 Cl^{-} が多く、それに比例して他の成分にも増加の傾向が認められる。

微生物 和歌山市営工業用水道水源井からは、硫黄バクテリア(Baggiatoa)が検出されたが、大阪市水道局の資料¹⁾によると、鉄バクテリア(Leptothrix ochracea)が同井から検出されている。

5. 2 水質の組成

調査地域内における試料の水質組成を ($Cl^{-}+SO_4^{2-}$), ($HCO_3^{-}+CO_3^{2-}$), ($K^{+}+Na^{+}$), ($Ca^{2+}+Mg^{2+}$) の4成分



- A 東洋レーヨン K. K. 愛媛工場 6 号井
- B 清水ガス田高部 17 号井
- C 日清紡績 K. K. 名古屋工場
- D 焼津ガス田 39 号井
- E 帝国人造絹糸 K. K. 三原工場

- I Carbonate hardness
- II Carbonate alkali
- III Noncarbonate hardness
- IV Noncarbonate alkali
- V No one of the preceding four characteristics

第 5 図 化学的組成を示す図

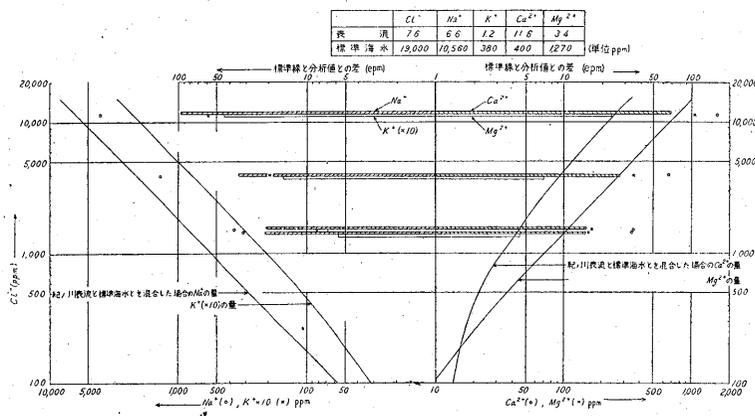
系 Key diagram によつて図示すると、 Cl^{-} 150ppm を境として、水質組成に明らかな相違が認められる。すなわち Cl^{-} が 100~150ppm の試料は、一般の例にみられるように Carbonate hardness の組成を示すが、 Cl^{-} が 1,500ppm にも及ぶ試料は、参考例として記載した東洋レーヨン K. K. 愛媛工場 6 号井、清水ガス田高部 17 号井と同様に、Noncarbonate hardness, また Cl^{-} が 3,900~11,250ppm の試料は、日清紡績 K. K. 名古屋工場、焼津ガス田 39 号井、帝国人造絹糸 K. K. 三原工場 7 号井とともに、Noncarbonate alkali の組成を示している。なお清水および焼津ガス田の試料は化石水であつて、接触する地層との間でイオンの吸着、溶出、交換などによつてできたものと考えられている。なおこれらの参考例の水質組成は第 3 表の通りである。

先述のように、 Cl^{-} が 1,500ppm 以上の地下水の共通の特徴は、 Cl^{-} の起源を海水と考えた場合 Ca^{2+} , Mg^{2+} は過剰であり、 K^{+} , Na^{+} は不足していることである。試みに Cl^{-} が 100ppm 以上の地下水は、その背面で浸透

第 3 表

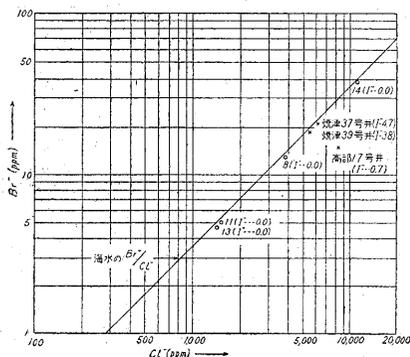
試料名	pH	HCO ₃ ⁻ (ppm)	Cl ⁻ (ppm)	SO ₄ ²⁻ (ppm)	K ⁺ (ppm)	Na ⁺ (ppm)	Ca ²⁺ (ppm)	Mg ²⁺ (ppm)
東洋レーヨン K.K. 愛媛 6号井	6.4	38.7	3,178	293	—	460*	1,023	304
清水ガス田 高部 17号井	6.8	13	8,350	2>	—	1,640*	3,215	45
帝国人造絹糸 K.K. 三原 7号井	6.8	148	15,900	2,135	270	8,080	580	1,710
焼津ガス田 39号井	6.8	26.9	5,500	2>	26.2	2,090	1,368	1.8
日清紡績 K.K. 名古屋工場 6号井	6.7	113.9	1,970	16.9	28.0	650	321	137

* は計算により (K⁺+Na⁺) を Na⁺ として表示してある。



第 6 図 Cl⁻ と Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ との関係

した表流と標準海水との単純な混合と仮定して、Y軸に Cl⁻, X軸の正方向に Ca²⁺, Mg²⁺, 負方向に Na⁺, K⁺ の量をそれぞれとつて、Cl 量に対する 4 成分の量をプロットすると、第 6 図に示すような各成分の標準線が求められる。また同時に分析値をプロットすると、これから各成分の (表流+標準海水) に対する過不足関係が明らかとなる。さらに各成分の過不足量を当量値で表わした棒状グラフによると、その関係がよく示される。



第 7 図 地下水中の Cl⁻ と Br⁻ との関係

採取試料の Br⁻, I⁻ 含有量は、標準海水・ガス附随

水 (Ca²⁺ に富むもののみを対象とした) と比較すると、海水とよく類似しており、ガス附随水とはかなり異なった傾向を示している。

また海水の pH で 8.3~8.4 で、Buffer capacity (緩衝能力) は大なるにもかかわらず、当地域の Cl⁻ が 1,500 ppm 以上の地下水でも pH は 6.6~6.7 である。

以上水質組成について考察したが、要約すれば、当地域における Cl⁻ 含有量の多い地下水は単なる海水の混入によるものではなく、混入の過程で接触する地層と充分反応して、イオンの吸着・溶出・交換などの現象によって Ca²⁺, Mg²⁺ に富む水質を示すに至つたものと解せられる。

5.3 地下水の塩水汚染の傾向

住友金属工業 K.K. と歌山製造所は、昭和 17 年創業当初から、上流側からの専用工業用水道が完成した同 19 年までの間、構内に設けた計 25 本の井戸によつて操業していた。その当時の記録によると、上層部の地下水の Cl⁻ は 100ppm 以下であるが、深度 74~190m (第 3 帯水層以深) の地下水のそれは 3,200~7,500ppm で、深度に比例してその含有量が増加している。またその当時同工場が水源地地先の紀ノ川河床で行なつたボーリング

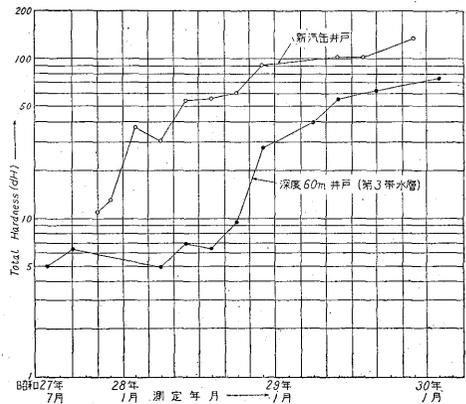
の結果によると、第1帯水層下層部の Cl^- は 10,000~11,000ppm で、その上層部の 3~7 倍の含有量を示している。すなわち紀ノ川河口から 6 km 上流の河床下の第1帯水層に、すでに Cl^- の多い地下水が存在していたことがわかる。

和歌山港にのぞんで立地する南海化学工業 K. K. 和歌山工場硫酸課の資料によると、第2帯水層の地下水は昭和8年頃まで飲料用としても使用していた。しかし翌年から開始された和歌山港の築港工事により、それまで一連の砂丘地帯であった当工場の南側が開さくされてからは、この水質が悪化し、やむなく市内西長町附近から舟によつて搬水した。なおこの井戸の Cl^- は、調査当時 12,080ppm であった。

また第3帯水層を利用している、市内中央部附近にある日之出染工 K. K. では、昭和18年頃、市街地東部の和染工業 K. K. では同28年頃、その上流側の岡市染工 K. K. では、同29年末から Cl^- の増加が認められた。

このように臨海部における被圧面地下水の Cl^- 含有量は、第3帯水層以深ではすでに多く、また第2帯水層は人為的な影響によつて塩水の汚染を受け、南海道地震によりその傾向がさらに助長されたものと解せられる。なお染色用水に最適とされていた内陸部の第3帯水層に Cl^- が浸入した原因の一半には、単一帯水層の集団揚水と、昭和24~27年頃の好景気によつて操業度を高めた工場による過剰揚水の影響があつたことは見逃せない事実であろう。

なお和染工業 K. K. が昭和27年から同30年までの間における正味約1年半にわたつて実測した Total hardness の測定記録は、この間の地下水の水質悪化の傾向を



第8図 被圧面地下水における Total hardness の変化 (和染工業 K. K. の資料による)

よく現わしている。

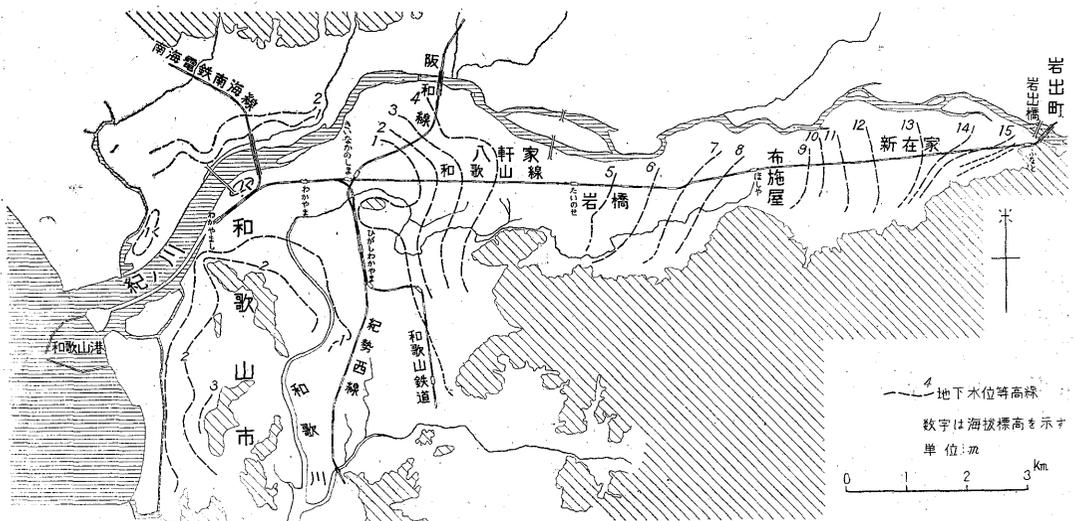
6. 地下水の流動

調査地域内における自由面地下水の流動方向を知るために、地下水位および水比抵抗の測定を行なつたが、調査対象となる自由面井戸の分布から、岩出町から和歌山市背面に至る紀ノ川左岸に主力をおいた。なおその結果は、それぞれ第9図および第10図に示してある。

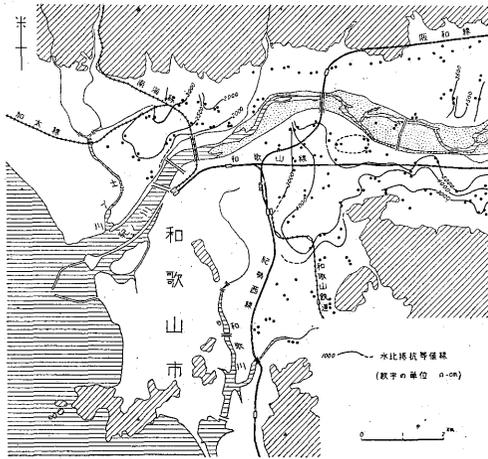
6.1 地下水位

岩出町一和歌山市間の左岸における地下水位は、調査当時 8.00~0.60m で、おむね上流から下流に向かつて浅くなる。砂丘地の地下水位は 1.20~0.40m であった。

地下水位等高線によれば、岩出橋から下流西和佐村岩



第9図 紀ノ川下流平野における地下水水位等高線図



第10図 紀ノ川下流部における自由面地下水の水比抵抗等値線図

橋までの左岸では、地下水が紀ノ川の表流を涵養する傾向が認められるが、市営工業用水道水源地附近、すなわち同市八軒家、松島附近では表流の地下水涵養が認められる。そして市街地における地下水の流動経路には、ほぼ国鉄和歌山線に沿って紀ノ川河口の方向に向かうものと、同紀勢西線に沿って和歌浦の方向に向かうものとの2つがある。なお地下水涵養帯附近における動水勾配は約 $1/250$ と、三角洲地帯におけるほかの例に比較するとかなり大きな勾配を示している。

6.2 水比抵抗

紀ノ川下流一帯における自由面井戸164眼について、水比抵抗を測定した結果によると、地下水の水比抵抗は紀ノ川左岸では $7,200 \sim 1,300 \Omega\text{-cm}$ の範囲にあつて、おおむね上流から下流に向かつて減少し、和歌川左岸一帯の地下水は $2,000 \Omega\text{-cm}$ 以下の値を示している。また紀ノ川右岸の地下水の水比抵抗は、 $4,500 \sim 2,000 \Omega\text{-cm}$ で、こゝでは和泉山脈に源を発する河川の表流に近い水比抵抗を示している。なお紀ノ川表流の水比抵抗は、調査当時 $17,000 \Omega\text{-cm}$ であつた。

水比抵抗の分布から考察すると、右岸の地下水は紀ノ川表流を、左岸では地下水位の場合と同様に、和歌山市街地背面にあつては、地下水が紀ノ川表流を、また同市八軒家附近からは表流が地下水をそれぞれ涵養する傾向が認められる。そして和歌山市街地にあつては、八軒家附近から河道にほぼ直角の方向、すなわち南南西に向かい舌状に水比抵抗の高い地帯が推定される。

地下水位および水比抵抗の測定から、この方向は紀ノ川旧河道の一部にあたっているものと考えられ、この地帯に、現在なお比較的まとまつて地下水が流動しているものと解せられる。

7. 表流の地下水涵養量

前節で述べた地下水と表流との関係から、表流の地下水涵養量を求めるために、紀ノ川および貴志川の縦断方向における表流流量の測定を行なつた。測定断面は紀ノ川に5、貴志川に4を選び、測定方法は初日に2断面を同時測定し、翌日は前日の上流側断面を重複測定して、順次上流側に移動した。断面流量は河川幅を $3 \sim 5 \text{ m}$ に区分し、その区分ごとの平均流速を求めて、 Σ (区分断面積 \times 平均流速) から算出した。流速計はプライス型流速計を使用した。算定式は次の通りである。

$$\text{No. 27 } V = 0.694N + 0.002$$

$$\text{No. 195 } V = 0.693N + 0.002$$

なお測定結果は、第4表に、また各断面間における流量の増減量は第5表にまとめてある。

調査期間前数日および調査期間の初めにあたる8月23日～25日には弱い降雨があつたが、上流地域においては相当量の降雨があつたものと推察され、夏季の紀ノ川流量は例年よりもかなり多いようにみうけられた。したがつて後半には晴天が続いて河水位が低下し、断面2においては、同25日から27日までの間に流量が約 $43 \text{ m}^3/\text{sec}$ 減少している。

貴志川の流量は測定区間内では上流から下流に向かつて漸増する。紀ノ川の流量は断面1～2、2～3においては、それぞれ $10,006 \text{ m}^3/\text{sec}$ 、 $19,123 \text{ m}^3/\text{sec}$ の増加をみるが、断面3～4では $9,925 \text{ m}^3/\text{sec}$ の流量が減少し、断面4～5では $4,923 \text{ m}^3/\text{sec}$ の流量増加が認められた。

断面1～3は前節で述べたように、地下水が表流を涵養し、断面3～4は表流が地下水に転化する地帯に相当している。しかし断面1～3の増加流量 $29,129 \text{ m}^3/\text{sec}$ は、その間の流域規模から推してあまりにも多く、さらに検討の余地がある。また断面3～5にあつては、差引き約 $5 \text{ m}^3/\text{sec}$ の表流がなお伏没しており、その一部は和歌山市街地を涵養する地下水となるものと考えられる。

なお今回の調査は、前半を降雨で見舞われ、紀ノ川の表流が多かつたので、渇水期においてこれらの調査を行ない、表流の地下水涵養量を測定しておく必要がある。

8. 結論

和歌山市に立地する工場は、業種から分けて内陸側では良質の洗滌用水を、また臨海部では大量の冷却用水を必要とする。しかし地下水源は量・質ともにその目的にそわず、この点では阪神工業地帯に類似の水理的環境におかれており、和歌山市には既存の市営工業用水道ほかに、河西工業用水道の計画がある。

この場合利用の面からすれば、後者にあつては質より

第 4 表 紀ノ川および貴志川流量測定結果

河川名	断面番号	測定場所	測定年月日	天候	流量	断面積	水面幅	最大水深	河床状況	備考
紀ノ川	1	和歌山県那賀郡岩出町岩出橋下	昭 32. 8. 27	曇	25.442	25.080	33.00	1.05	礫	測定中10cm水位増加
	2	小倉村新在家			24.012	44.505	68.00	1.32	〃	
					57.448	51.800	60.00	1.40	〃	
					0.962	0.209	8.00	0.32	〃	
					1.050	3.860	32.00	0.20	〃	
〃	2	〃	32. 8. 25	晴	93.604	69.700	69.00	1.70	〃	
〃	〃	0.329			0.761	5.00	0.25	〃		
		2.569			2.468	8.80	0.68	〃		
		5.839			18.200	51.00	0.60	〃		
〃	3	海草郡川永村永穂	32. 8. 24	曇雨	121.464	111.862	81.00	2.85	〃	
〃	〃	106.946			95.600	78.00	2.60	〃		
〃	紀井村中洲	93.929			108.450	129.00	1.15	〃		
〃	4	〃	32. 8. 23	曇	3.092	3.230	14.00	0.40	〃	
〃	〃	88.213			107.620	130.00	1.00	〃		
〃	千手	93.136			123.005	153.00	1.50	〃		
貴志川	支1	和歌山県那賀郡東貴志村井ノ口	32. 8. 28	晴	3.268	6.540	23.50	0.55	〃	
	〃2	調月村北			3.555	8.460	38.00	0.32	〃	
	〃3	丸栖村西垣内			3.599	10.016	56.00	0.37	〃	
	用水	安楽村添田			0.133	0.580	2.90	0.20	コンクリート	
〃	〃2	〃	〃	0.072	0.522	2.90	0.18	〃		
〃	〃3	〃	〃	0.249	0.594	3.50	0.26	〃		
貴志川	支4	安楽村高島	〃	〃	4.332	7.982	20.50	0.50	〃	

第 5 表 紀ノ川および貴志川表流流量の縦断方向における増減

河川名	断面番号	測定場所	測定年月日	流量 (Q) (m ³ /sec)	流量差 (g)		$\frac{g}{Q} \times 100$ (%)
					増量 (m ³ /sec)	減量 (m ³ /sec)	
紀ノ川	1	岩出橋下	32. 8. 27	49.454			20.27
	2	新在家	〃	59.460	10.006		
	2	〃	32. 8. 25	102.341			
	3	永穂		121.464	19.123		
	3	〃	32. 8. 24	106.946			
4	中洲	97.021			9.925	9.28	
〃	4	〃	32. 8. 23	88.213			
〃	5	千手		93.136	4.923		5.58
貴志川	支1	井ノ口	32. 8. 28	3.268			8.78
	〃2	北		3.555	0.287		1.24
	〃3	西垣内		3.599	0.044		
	用水	添田	〃	0.133			
〃	〃2	〃	〃	0.072	0.279		7.75
〃	〃3	〃	〃	0.249			
貴志川	支4	高島	〃	4.322			

も量的に充分にまかなわれることが必要となり、前者にあつては、むしろ質が要求される。しかし浄水施設に主力をおくと、それに応じて水の単価が嵩み、かつ同一工業用水道の給水区域には、必らずしもそのような水を必

要としない工場もあつて、供給する水の水質標準をどの程度に決定すればよいか、非常に難かしい問題となる。またさらに工場が個々に工業用水道水に水質改善を施すとなれば、染色工場群は地下水を水源とする、ほかの染

色工業地帯と、用水経費の面で立打ちできなくなつてしまふ公算が大きい。

このようにみると、この地域における工業用水道には、きわめて根本的な問題が存在するが、ほかの工業地帯において工業用水道が計画される場合にも、これと類似の

問題が起りうるものと考えられる。

(昭和32年7月～9月調査)

文 献

- 1) 大阪市水道局水質試験所：調査報告ならびに試験成績，昭和29年度