

愛媛県西条市の工業用水源確保に関する考察

野間 泰二* 村下 敏夫*

Hydro-geological Study on the Water-source for Industrial Use, in Saijō City, Ehime Prefecture

by

Yasuji Noma & Toshio Murashita

Abstract

Saijō city is in the eastern part of Ehime prefecture. The alluvial plain, including the city area, is formed by Kamo river and Muro river. And Kamo river has the narrow alluvial fan at the foot of the hill.

There are about 20 springs and about 2,000 artesian-flow wells in this plain. The spring water is used for irrigation and water of the wells is used for irrigation and drinking.

Except the flood period, we cannot see the stream flow at the lower course of the river. The ordinary water-discharge of the river is about 5.4 cubic meters per second and the droughty water-discharge is about 2.5 cubic meters per second.

The ground-water in the plain is recharged mainly by the stream. The rate of influent seepage of stream is about 4.1 cubic meters, the discharge of springs is about 1.9 cubic meters, that of artesian flow is about 1.0 cubic meters, and at the river-mouth is 1.3 cubic meters per second, respectively.

In this plain, it is necessary to keep the ordinary water-discharge (about 5.4 cubic meters per second). New water source for industrial use is the spring flow in the city. If it is possible to construct the public water-supply works, the artesian water will be also utilized as other water sources.

要 旨

西条市は、加茂川ならびに室川によつて形成された南北数 km、東西 10 km ならずの、低平な海岸平野に立地している。

加茂川は、山麓付近に小規模な沖積扇状地を形成し、この付近では天井川となつている。この川の表流水は、豊水時をのぞき、国道加茂川橋から下流側ではみられない。

当市の標高 4.0~4.5 m 付近に、約 20 の湧泉群が弧を画いて分布している。これより下流側には、約 2,000 本の自噴井が分布し、飲料用ならびにかんがい用に利用さ

* 地質部

れている。そしてこれらは、おおむね加茂川によつて涵養されている。また臨海部には、潮汐の干満の差による自噴井が多数分布している。

住友共電兎之山発電所の発電流量を基として計算すると、加茂川の平水量は約 5.4 m³/sec、また湧水量は約 2.5 m³/sec である。平水時におけるこの川の河床浸透量は約 4.1 m³/sec であり、湧泉群による流出量は約 1.9 m³/sec、また自噴井による排出量は約 1.0 m³/sec である。またこの川の河口における河川流出量は約 1.3 m³/sec である。

したがつてこの表流流量の約 5.4 m³/sec は、この川の水利権（農業用および工業用）ならびに内水面漁業権を確保し、また自噴井の現状を維持するための最低の水量

である。

当市の工業用水源としては、湧泉群に求めるべきである。また自噴井の停止を考慮して、全市街地に上水道を完備するならば、加茂川水系の被圧地下水の取水も可能であろう。しかしこの場合、加茂川の表流流量を平水量に維持することが必要である。

1. 緒言

西条市は、愛媛県の東部に位置し、東側は新居浜市、西側は小松町・壬生川町と接している。また西条市の北側は、灘灘に面し、南側には石槌山をひかえている。

西条市街地を流れる加茂川は、石槌山に源を發し、表流流量は東の国領川、西の中山川に比較して多い。そして市街地およびその周辺の沖積低地には、自噴井が多数存在し、興味ある地下水学的環境と地下水の利用が盛んなために、同市は多くの地下水学者によつて調査・研究されている。

西条市にある大きな工場は、倉敷レイヨンK. K. 西条工場と四国電力K. K. 西条火力発電所の2つであるが、新居浜市には別子鉱山を母胎として發展した化学・機械などの工業が立地している。また最近西側の壬生川町では工場誘致の気運がたかまり、西条市および壬生川町を包含する臨海工業地帯の構想がおしすすめられている。この工場地帯に対する工業用水あるいは新居浜市の工場群に対する工業用水は、表流水に比較的恵まれた加茂川に依存しようという計画がある。

地質調査所は、このような諸情勢にかんがみ、西条市の地下水のあり方を再検討する目的で、昭和36年度の特別研究費をもつて、5月に調査を行なつた。しかしこの時期は、平水量のときであつて、夏季の水利用最盛時における調査は西条市の御好意によつて行なわれ、その報告を頂いている。本文は、それらの結果をとりまとめたものである。

なお調査にあつては、四国通商産業局商工課・愛媛県公営事業局をはじめ西条市の関係各位から絶大な御協力を頂いた。ここに厚く謝意を表する。

2. 環境

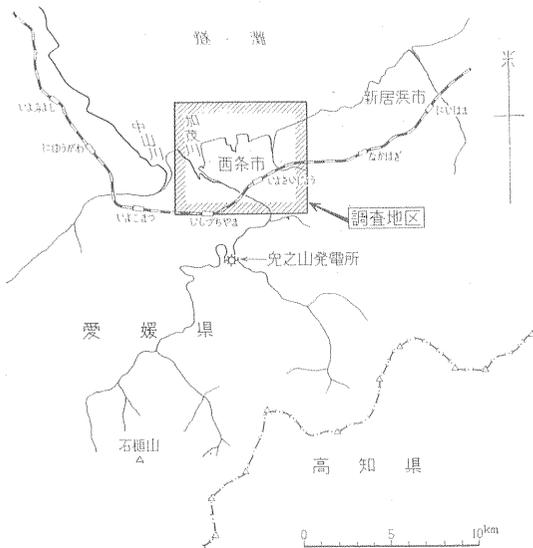
西条市を流れる加茂川は、石槌山天狗岳(標高1,981m)を主峯とする石槌山系に源を發し、山地を開析してV字谷を作り、多くの支川を合し、曲流しながら北上し、北部山麓の釜ノ口下流付近で急にその流路を北西方にかえ、灘灘に注いでいる。そして東方山地から流れ、市街地東部において海に注ぐ室川水系とともに、西条市を中心として、南北数km、東西10kmたらずの低平な沖積平野を形成している。この平野の西部は中山川水系によつて形成された道前平野に接している。

加茂川の上流部の晩壯年期地形を示す山岳地帯の地質は、いわゆる三波川系の変成岩類からなつている。その北部の丘陵性の低山岳地帯は、緑灰色砂岩および黒色頁岩の互層からなるいわゆる和泉層群に属している。そしてこの兩者の関係は、西南日本中央構造線によつて画されている。

北部の山麓には、おそらく更新統に属する段丘が所々に残存している。また加茂川が山地から急に平地に開ける付近には、小規模な沖積扇状地が形成されている。

加茂川は洪水時などの豊水期をのぞき、国道の加茂川橋付近から下流側には、常時表流水をみる事ができない。これはとくに扇状地付近では天井川となり、またこの川の河床堆積物が、おもに結晶片岩ならびに和泉砂岩の円礫を多く含む粗粒な砂礫で構成されているためと、表流流量が渇水期にはきわめて少量となるためである。

地形勾配が1/200~1/250程度から1/600内外に急に遷移する付近、すなわち標高4.0~4.5m付近に、観音・天皇泉などをはじめとする大小約20の扇端泉が、ほぼ東西に弧を描いたような分布を示している。これらの湧泉群のうち、加茂川の右岸側に分布するもの多くはそれぞれ合流して、西条市街地を北流する本陣川および御舟川の源となつている。また左岸側に分布するものは、ふたたび加茂川に流入するか、または妹背川などに流入



第1図 調査位置図

している。

標高 3.0~3.5 m 付近から以北の地帯は、市街地を含めて南北 600~900 m の幅で東西に細長い、また左岸側では 2 km 程度の中の範囲 (第 2 図参照) に、約 2,000 本の自噴井が分布し、飲料用およびかんがい用にあてられている。これらの自噴井のほとんどは、口径 1 1/4~1 1/2 吋、深度 18.0~26.0 m であつて、まれに 2~3 吋あるいは 8 吋、深度 30 m を超えるものがある。

臨海部には、潮汐の干満の差による自噴井が多数分布している。これらの自噴井のうち加茂川右岸に分布するものの多くは、かんがい用であつて、口径 1~2 吋、深度 15.0~18.0 m 程度であるが、干拓地には口径 3 m、深度 11.0~13.0 m のかんがい用井戸がある。左岸側の掘抜井戸の深度は、18.0~22.0 m と右岸よりも若干深くなっている。

3. 水 文

加茂川の流域面積は、229 km² であつて、山地部はその 85% を、平野部は 15% を占めている。

西条市の気象は、日野要¹⁾ の努力によつて明らかにされているが、1926 年から 1960 年までの間における年降水量は、平均 1456.7 mm (うち 10 年間は欠測) である。これの月別降水量をみると、降雨量が 100 mm を超える月は 3 月~10 月であつて、9 月は 500 mm にも及ぶ。このうち 5・6・7 月の 3 カ月はおもに梅雨であり、9 月は台風によるものと考えられる。降水量がもつとも少ない月は、11~2 月であつて、とくに 2 月は 10 mm をわることもある。一般に 3~10 月が豊水、11~2 月が渇水とみることができる。なお山地における降水量は、東の川量水所において 2,500 mm である。

蒸発量は、西条農業高等学校の蒸発計による観測では、年間 730~860 mm (たゞし 1951 年および 1952 年) である。

加茂川の表流流量について、住友共電兎之山発電所の発電流量の資料 (1954 年から 1960 年までの 7 年間) に基づいて算定すると、次表のとおりである。

この発電所は、加茂川東宮合流点の上流 50 m 付近にあるので、加茂川の表流流量は、右表の流量のほかに残流域の流量を考慮しなければならない。日野要は、平水時における残流域流量を測定して約 1 m³/sec と報告している。そして加茂川の平水流量は 5.4 m³/sec と考えられている。

また日野要は、加茂川の表流流量・湧泉の流量などについて綿密な測定を行ない、平水流量 5.4 m³/sec のときにおける河床浸透量は 4.12 m³/sec、河口付近における

昭 和	豊 水 量	平 水 量	低 水 量	渇 水 量
29年	11.2	5.7	3.2	1.2
30年	6.9	3.9	2.1	1.3
31年	8.2	4.4	2.2	1.3
32年	8.0	4.0	2.4	1.4
33年	7.6	4.4	2.6	1.8
34年	7.7	4.8	2.9	1.8
35年	5.5	3.9	2.5	1.7
平均	7.9	4.4	2.5	1.5

単位: m³/sec

流出量は 1.37 m³/sec としている。河床浸透量 4.12 m³/sec のなかには、地下水となつて海に排出されるもの、湧泉として流出するもの (1.9 m³/sec 土)、自噴井によつて排出されるもの (1.0 m³/sec 土) および倉敷レイオン工場の伏流取水流量が含まれている。そして多くの測定資料から、河床浸透量は表流流量の 70% に相当し、浸透量の内訳は湧出量がその 50%、自噴井の総排出量 25%、海への流出量 25% という一応の割合である。すなわち豊水量のときには、加茂川の全河道に流水がみられ、低水量・渇水量のときには河口付近における流量はまつたくみられないことになる。

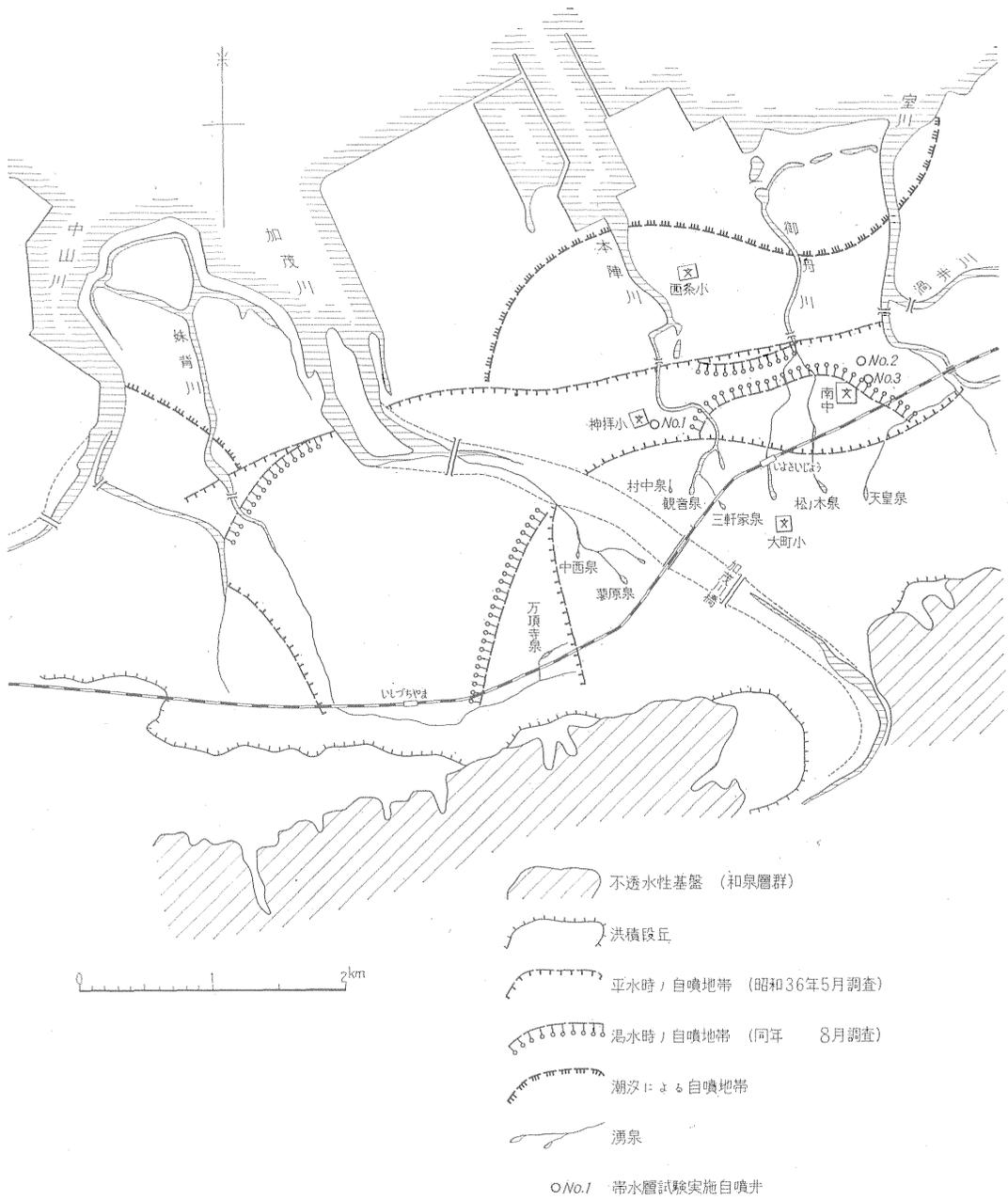
なお加茂川の水利権は、つぎのとおりである。

神戸橋一部土地改良区	1.703 m ³ /sec
大町土地改良区	0.992 //
倉敷レイオンK. K. 西条工場	1.111 //
計	3.806 //

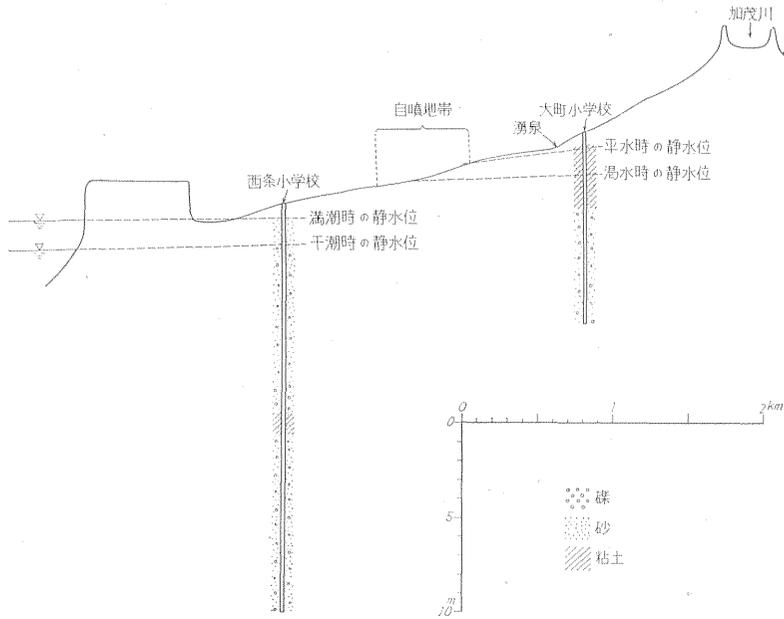
4. 地 下 水

西条市の地下水に関する調査・研究は、最初 1951 年村下²⁾ らによつて行なわれ、平野における地下水が加茂川の表流によつて養われていることを明らかにした。翌 52 年鈴木好一³⁾ らは、地下水のあり方と工場用水の取得に関する諸問題を考察する目的で地下水調査を行ない、市瀬由自⁴⁾ は自噴帯の規模を明らかにするとともに地下水補給量および水質について論じている。そして 1955 年鈴木⁵⁾ は、これらの総括的報告を行なっている。また同年蔵田延男⁷⁾ らは、加茂川の表流と地下水との関係を明らかにする目的で、薬品投入による大規模な実験を行ない、その関係がきわめて密なことを証明している。

今回行なつた被圧地下水の水頭・水比抵抗の測定などから判断すると、加茂川沖積平野における地下水は従来考えられていたような加茂川によつて涵養されている—という単純な地下水系統のものではないことが、わかつた。



第2図 自噴井の分布地帯(自噴地帯)を表わす図



第3図 地形および地下水位断面図

ほぼ同一深度の水温は、第4図に示してあるように山地から海岸の方に向かって増温する傾向にある。

しかし被圧地下水の水頭は、潮汐による自噴帯を含む海岸寄りの非自噴帯と市街地を含む自噴帯とは明瞭に相違し、第3図に示したように2~3m程度自噴帯の方が高い。またこの水頭差の生じる境界は、きわめて画然としており、市役所の前を東西に通ずる県道にほぼ沿っている。この事実を、さらに愛媛県が本年4月実施した揚水試験の揚水井および観測井によつて証明されている。すなわち、非自噴帯内にある揚水井・観測井の水頭は、地表面下にあつて潮汐の影響をうけて変化するが、自噴帯内にある観測井の水頭は、地表面上2.6mにあり潮汐の影響はもちろん揚水井の水位降下をもほとんど受けないことが観測されている。

水質を判断するに便利な水比抵抗の測定によると、自噴帯における被圧地下水は、加茂川の表流水と類似の水質であつて、このような地下水は自噴帯に限られて分布するようである。海岸部における非自噴帯内の被圧地下水は、自噴帯のそれとは全く異なつた水質を示している。そして自噴帯内の被圧地下水が、東から西の方向に向かって流動する傾向にあり、非自噴帯のそれも東から西に向かって流動する傾向にある。

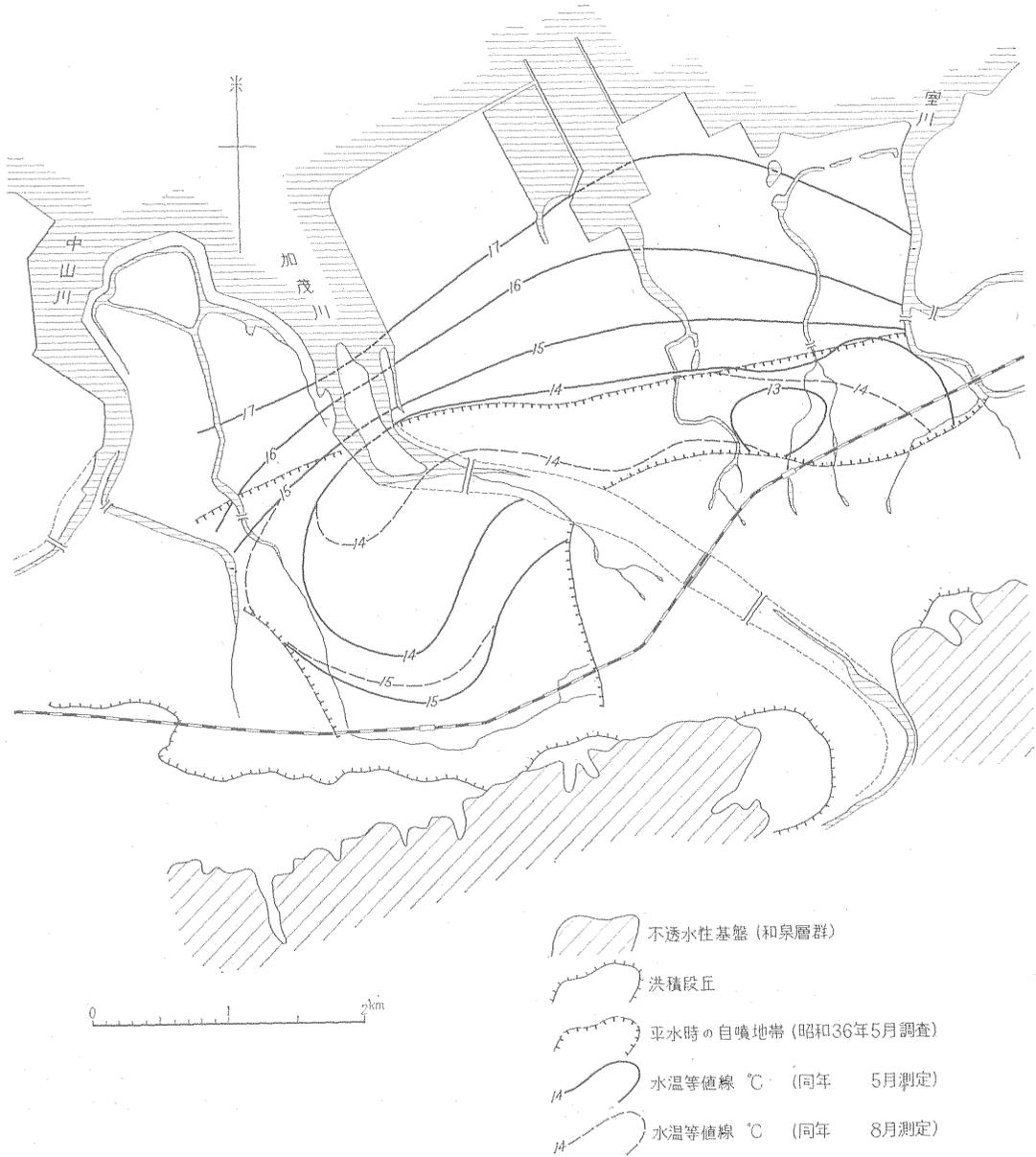
海岸部において土地造成のために行なわれたボーリング・データによつても、堆積物は東側ほど粗粒であり、

かつ西に向かつてシルト・粘土などの細粒物質が厚くなり、全体として西傾斜の傾向にある。

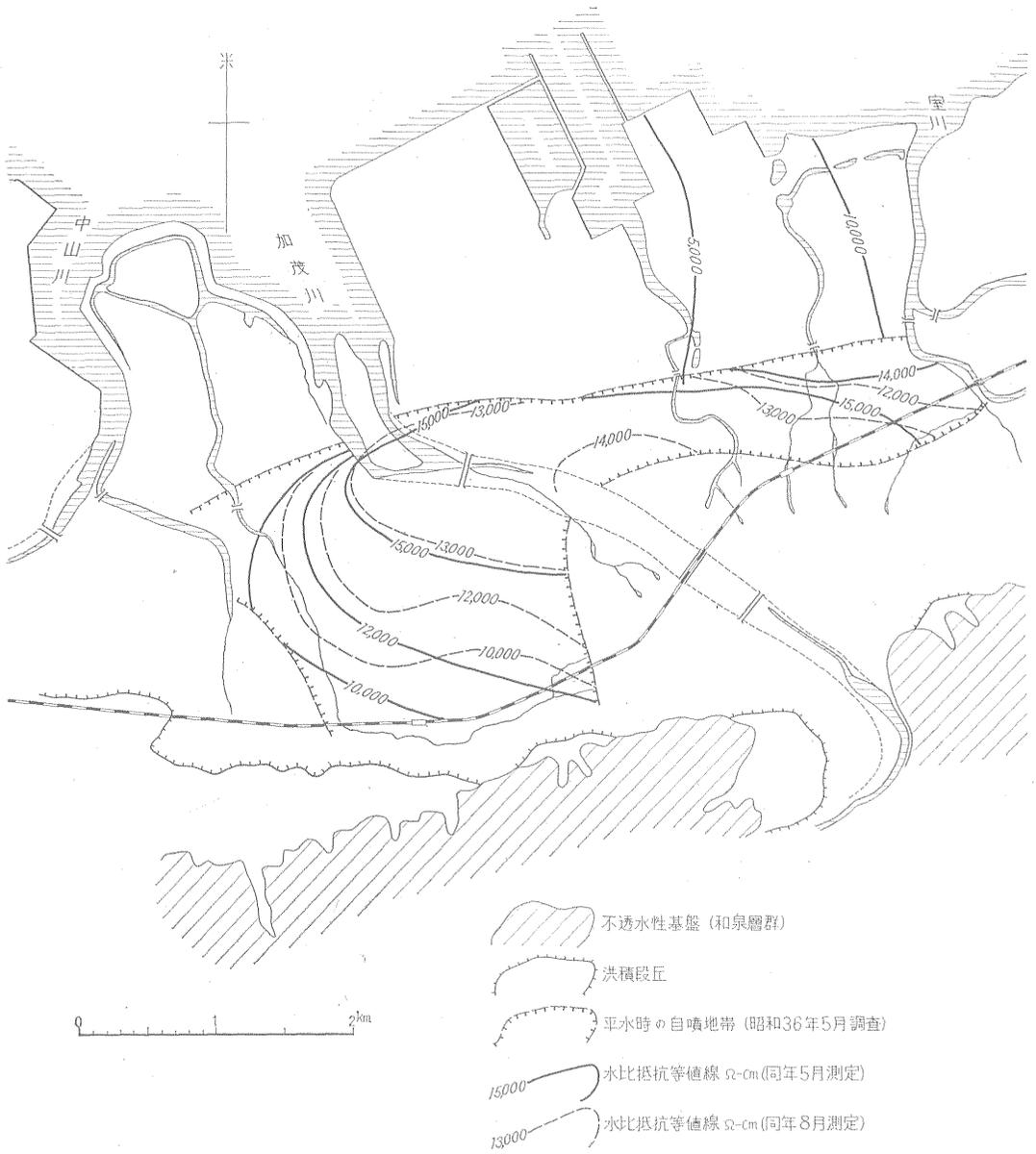
臨海部にある深井戸の揚水記録および水質試験によると、東側の井戸ほど揚水量が多く、かつ良質である。

これらの事実から、沖積平野における地下水は、大別して2つの地下水系統に分けることができる。1つは加茂川によつておもに養われている地下水系、1つはその涵養源がおそらく室川水系であろうと考えられる地下水系である。沖積平野におけるボーリング・データからは、自噴帯・非自噴帯の区分を行なうことが困難であるが、上述のようにこの2地区における地下水が示す相違は、おそらく帯水層を包含する堆積物・堆積環境の相違を示すものであろう。そして自噴帯を含む上流側の堆積物は、加茂川によつて生成されたものであり、海岸部の堆積物は室川あるいは他に起源をもつものと考えられる。そして加茂川水系の自噴機構は、内陸部と海岸部における堆積物——地下水理的性質の顕著な相違によつて、加茂川によつて涵養され流動する地下水があたかも堰上げられたような形で自噴するものと考えられる。

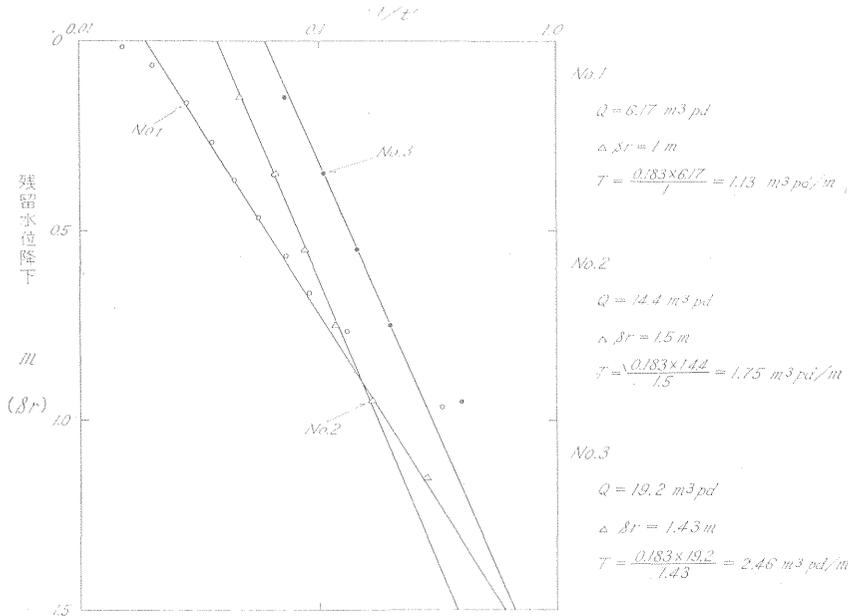
加茂川によつて涵養される自噴帯は、季節的に面積の消長(第2図参照)がみとめられるが、それが堆積物——とくに帯水層の圧縮によつて生じるというものではなく、むしろ涵養量の増減に支配されるものであるが、海岸部のそれは潮汐荷重・揚水の影響などによつて水頭



第4図 地下水水温等値線図



第5図 地下水水比抵抗等値線図



第6図 帯水層試験による透水量係数の算定グラフ

圧の低下が著しくあらわれる堆積物である。したがって内陸の自噴帯は村下⁸⁾の分類による落差型、すなわち扇状地型自噴帯、また海岸部の自噴帯は荷重型自噴帯にそれぞれ相当する。

自噴帯の帯水層の常数を測定する目的で、自噴井3本について帯水層試験を行なった。これは自噴井にパイプを接合して、水位上昇を測定したもので、つぎの非平衡式を応用した。

$$T = \frac{0.183 Q}{s_r} \log \frac{t}{t'}$$

T: 透水量係数

Q: 揚水量 (自噴量)

s_r: 残留水位降下 (静水位と上昇水位との差)

t: 揚水開始後の時間

t': 揚水停止後の時間 (水位上昇の時間)

この公式は片対数グラフによって解くことができる。すなわち t/t' を対数目盛に、s_r を算術目盛にとり、plot されて求められる直線部分から

$$T = \frac{0.183 Q}{\Delta s_r}$$

Δs_r: log t/t' の 1 cycle における水位差

(第6図)

これらの結果は次のとおりである。

No.1 T=1.13 m³pd/m

No.2 T=1.75 m³pd/m

No.3 T=2.46 m³pd/m

平均 T=1.78 m³pd/m

透水係数の算定基礎となる帯水層の厚さ (ストレーナの長さ) が明らかでないが、一応1mと考えると、透水係数

$$k = 0.002 \text{ cm/sec}$$

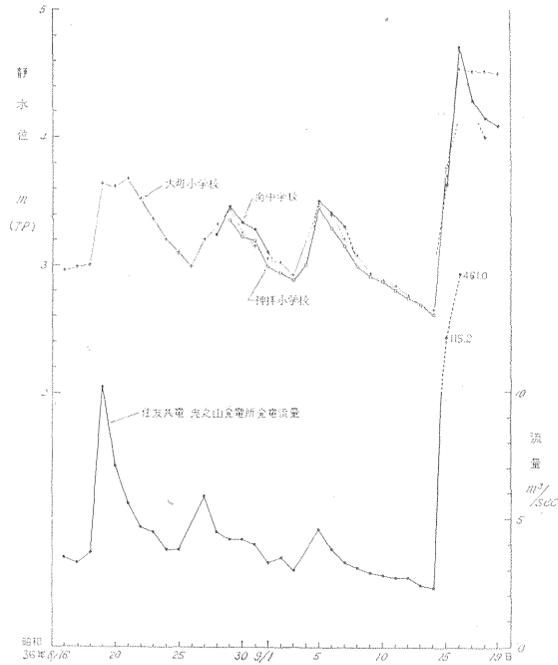
をうる。このような透水係数はおおむね細砂に対比される値である。

5. 水位変化

沖積平野における地下水の水位変化を観測する目的で、井戸が選定されかつ観測が継続されている。観測井の配置は、自噴帯の上流側にあたる大町小学校、自噴帯の南中学校・神拝小学校とその南側非自噴帯にある西条小学校である。井戸の深度および観測方法はつぎのとおりである。

地 点	深 度 (m)	観 測 方 法
大町小学校	10	自記水位計
南中学校	28	手 観 測
神拝小学校	28	手 観 測
西条小学校	30	自記水位計

現在までのわずかな期間における観測記録によると、



第 7 図 水位観測中の静水位および加茂川の流量の日変化を表わすグラフ

加茂川水系の地下水は、若干の時間的ずれはあるにしても加茂川の表流流量の増減によって変化している (第 7 図参照)。すなわち鬼之山発電所の流量が $3 \text{ m}^3/\text{sec}$ のとき、神拝小学校および南中学校の観測井の水位は、 2.9 m (T. P.) および 3.1 m 以下 (測定不能) となり、また大町小学校の水位は約 3.0 m となる。そしてこの流量もしくはこれをわる流量のときには、自噴井の一部が自噴停止の状態となる。これに対して西条小学校の水位は、潮汐による日変化を繰り返して、ほとんど流量変化の影響をうけない。

発電流量が $3 \text{ m}^3/\text{sec}$ ということは、残流域の流量約 $1 \text{ m}^3/\text{sec}$ を加算して表流流量が $4 \text{ m}^3/\text{sec}$ ということになる。これは第 3 章において説明したように、加茂川水系の地下水を十分に涵養する最低の水量である。しかし自噴帯の面積を維持することができても、河口付近の河道には流量が認められないことになる。

なお河口における表流流量の有無は、内水面漁業とも関係する重要なことである。

6. 結 論

加茂川沖積平野における地下水は、2つの系統に分類でき、1つは西条市街地を含む内陸側の地下水であつて

その涵養源は加茂川の表流であり、1つは海岸部にある地下水であつてその涵養源は室川の表流と考えられる。

西条市街地に分布する自噴井は、加茂川の表流によって影響をうけ、表流流量が $4 \text{ m}^3/\text{sec}$ をわるようになると、自噴井の一部が自噴を停止する。また内水面漁業権を考慮すると、河口付近における表流流量が必要であつて、そのためには加茂川の表流流量を平水量 ($5.4 \text{ m}^3/\text{sec}$) に維持することが必要となる。

現在県が計画している加茂川中流部のダムは、加茂川下流平野における地下水涵養という自然的環境を十分に考慮したうえで再検討されるべきであろう。これは、けつしてダムによる貯水が不適当というのではなく、舟形橋付近における加茂川流量がすくなくとも平水量 (かんがい期間にはその取水量を考慮した水量) を維持できるように調節することをのぞむものである。

そして工業用水源として確保する主水源は、湧泉に求める。また市が考えているように全市街地に上水道を普及させるならばそれによって生じる被圧地下水の取水が当然考えられる。

しかしすでに述べたように、沖積平野における地下水系統および帯水層の性質は、内陸側と海岸側とは相違するから、地下水の取水は加茂川の地下水分布地帯――

市街地以南の地帯において行ない、海岸部における取水は極力さけるべきである。もしここで大量の地下水開発を要求するときには、上部の地層が軟弱であるだけに地盤沈下の災害は必然的に起きるものと予想される。

(昭和36年5月調査)

文 献

- 1) 日野 要：西条市の気象 (第II輯), 西条市役所, 1961
- 2) 平山健・蔵田延男・村下敏夫・片田正人：愛媛県新居郡加茂川流域の基盤および水理地質に関する調査報告, 地質調査所月報, Vol. 3, No. 7, 1952
- 3) 鈴木好一：西条市地下水電気探査報告書, 1952
- 4) 市瀬由自：西条平野の地下水 (第1報), 資源科学研究所彙報, No. 27, 1952
- 5) 市瀬由自：西条平野の地下水 (第2報), 資源科学研究所彙報, No. 28, 1952
- 6) 鈴木好一：西条市の水理地質調査報告書, 1955
- 7) 蔵田延男：地下水の流速を求めた大規模な調査, 水道協会誌, No. 260, 1956
- 8) 村下敏夫：地下水学要論, 昭晃堂, 1962