

## 秦野盆地地下水の水収支シミュレーション\*

横山尚秀, 大木靖衛, 荻野喜作, 長瀬和雄

神奈川県温泉研究所\*\*

Two Aquifers Model of the Hadano Groundwater System

by

Takahide YOKOYAMA, Yasue ŌKI, Kisaku OGINO and Kazuo NAGASE

Hot Spring Research Institute of Kanagawa Prefecture

Hakone, Kanagawa

(Abstract)

Hydrology of the Hadano basin is divided into two systems, the shallow groundwater system and the deep groundwater system. The shallow groundwater, restricted in the "Kanto loam formation" widely covers the fan deposits of the Hadano basin, is mostly recharged by rain. The deep groundwater, restricted in the fan gravels underlies the Kanto loam formation, is mostly recharged by the leakage from the shallow groundwater system. The deep groundwater is the major water resources for the municipal water supply.

A two-aquifers model is applied for the numerical analysis of the water budget of the Hadano systems. The basal part of the Kanto loam formation is weakly consolidated, relatively low in the permeability of the order of  $10^{-5}$  cm/sec, and can be referred to as an aquitard which divides the water systems into two.

Aquifer parameters such as the transmissibilities of each node are modified so as to fit with observed groundwater-level fluctuations in computation of the two-aquifer model. The most preferable permeability for the shallow groundwater is 4 m/day to 20 m/day and transmissibility for the deep groundwater system is 200 m<sup>2</sup>/day to 500 m<sup>2</sup>/day. The leakage coefficient is 0.01 to 0.005 /day. The groundwater-level fluctuation is well explained by the 50,000 m<sup>3</sup>/day discharge of the deep groundwater, including pumping discharge and groundwater runoff.

\*この報告書を故橋本善彦保健教育センター所長に捧げます。

\*\*神奈川県箱根町湯本997 〒250-03

神奈川県温泉研究所報告 第5巻, 第3号, 121—132, 1974

## はじめに

昭和44年から始められた秦野盆地の地下水調査により、盆地および周辺の地質や地下水の状況が明らかになってきた。

秦野盆地の地下水は水文地質学的に、盆地の大部分を構成する火山灰（古期ローム層）混り砂礫層から成る扇状地堆積物中の深層地下水と、扇状地堆積物を被い、礫を挟む新期ローム層中の浅層地下水に区分されている（大木ほか，1971）。また、水質の上から深層地下水と浅層地下水とに明瞭な差違がある（横山ほか，1971）。

厚く堆積する扇状地礫層は所々に固結した火山灰を挟むが、扇状地礫層を更に細区分することは難かしい。

浅層地下水を胚たいしている新期ローム層の下部はかなり固結しているが、顕著な不透水層ではなく、浅層地下水は下方に浸透し、深層地下水を涵養している。

秦野盆地では深層地下水は公共水道水源や工場水源として利用されている。表流水源の乏しい秦野では地下水資源の保全に努める必要があり、地下水の利用について一層の検討が急がれている。

この報告では今までの調査結果をもとに盆地の水文地質構造を、難透水層を挟む上下二帯水層と考

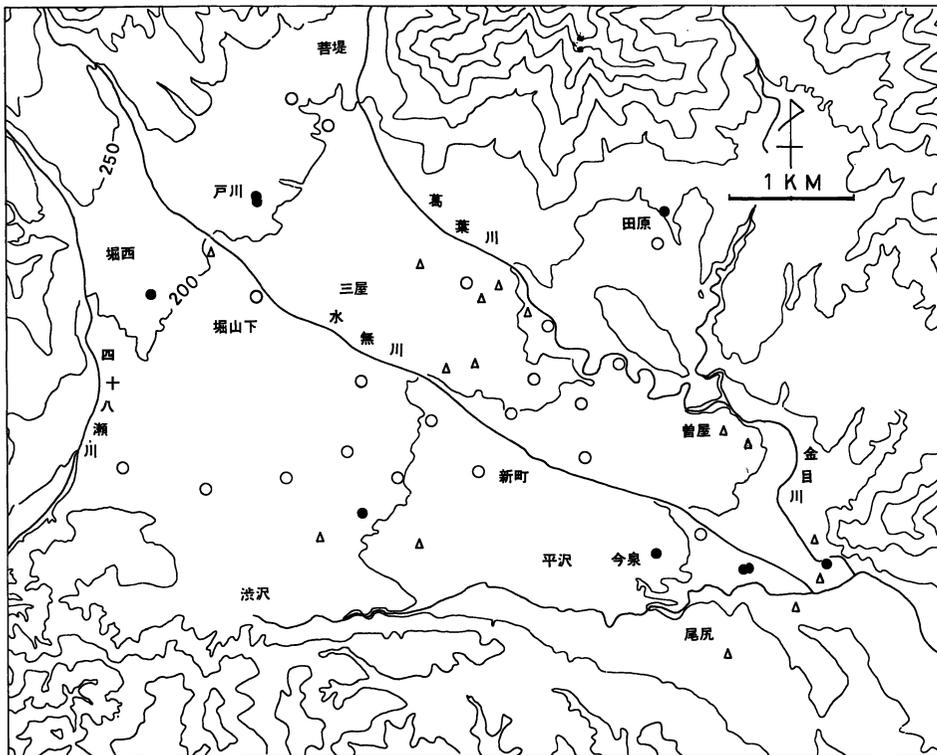


図1 観測井分布図  
(白丸は深井戸，黒丸は浅井戸，三角は非観測井)

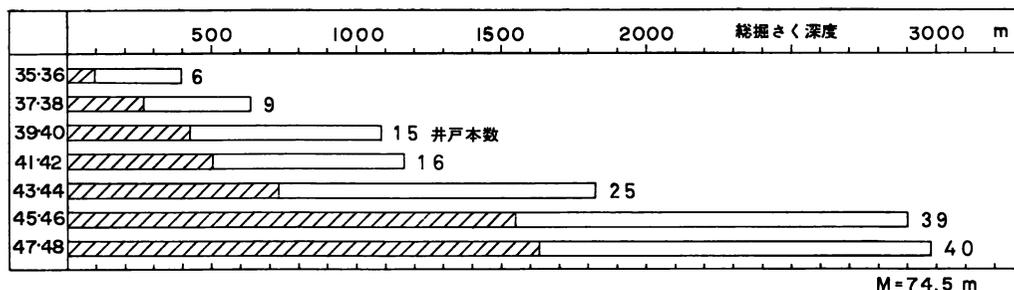


図2 水源井掘さく状況  
(斜線は市水源井掘さく深度を示す)

え、降水が浅層地下水を涵養し、更に浅層地下水が深層地下水を涵養するというモデルについて水収支を検討した。

### 深層地下水の開発

深井戸の掘さくは盆地中央部に集中している。水源井の分布を図1に、毎年の井戸掘さく状況を図2に示す。なお、図2は比較的揚水量の多い(100 $m^3$ /日以上)市水道水源井と工場水源井に限った。

図2に示されているように、昭和48年には井戸総本数40本、掘さく総深度は約3,000 $m$ に達した。また、水源別の増加状況をみると、昭和45年頃までは工場水源井の方が多いが、昭和45~46年には市水道水源井の増加が著しくなっている。

### 深層地下水の地下水位について

秦野地下水盆の水収支の状況は地下水位の変動として観測することができる。とくに、厚く堆積する扇状地堆積物中の深層地下水の地下水位観測は地下水資源の状況を把握するために重要である。

しかし、盆地内の地下水位は井戸構造上観測\*が難しく、地下水位は毎年低下していると言われながら観測記録が乏しく、掘さく時の水位記録が残るだけであった。そこで、地下水位変動の様子をみるために、秦野市水道局並びに工場の協力を得て、昭和47年9月から毎月1回以上、盆地内15箇所地下水位観測を行なった。図3は1年余の各水源井水位記録の一部である。

昭和47年9月には大雨があり、たび重なる雨によって、毎年低下傾向にあった地下水位は一気に回復し、どの井戸も水源井掘さく当初の水位に近づいた。しかし、その後1年5ヶ月の間地下水位は低下をつづけた。これは多量の揚水に加えて、年間降水量が例年に比べて1割強も少なかったため、地下水位の低下が促進されているのであろう。

図3には盆地内の各地域を代表する7箇所の水位記録を示した。すなわち、ハウス、政谷戸は扇頂部、No. 8、舟道、不二家は扇中部、No. 5、近江屋は扇端部を代表させた。

\*盆地内の地下水を監視するために、井戸掘さく時に側管を入れたりして、地下水位測定を容易に出来るようにする必要がある。

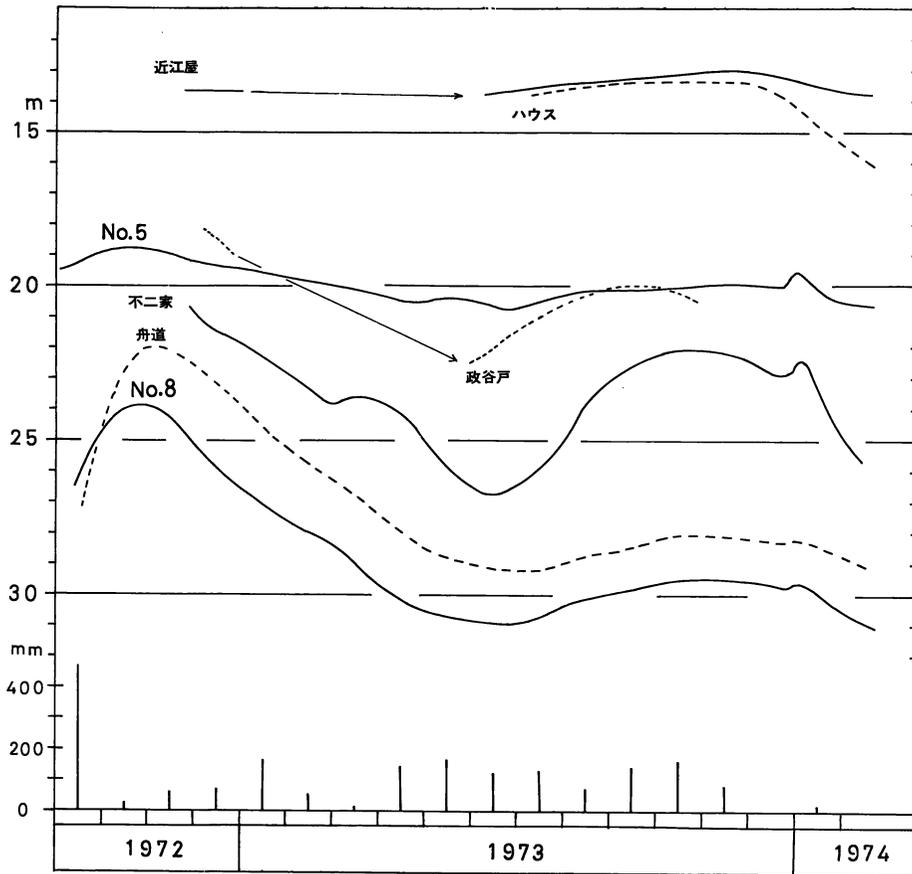


図3 水源井の地下水位観測結果  
(下段は月降水量を示す。地下水位は毎月1回以上測定)

### 地下水位の計算方法

秦野盆地の地下水位変動を再現し、将来の地下水位を予測するための水収支モデルとして、秦野盆地の浅層地下水と深層地下水との二帯水層モデルを採用するのが適当である。浅層地下水帯水層から深層地下水帯水層に向う上から下への地下水の流出を制限するが、かなり大きな漏水係数をもつ一つの難透水層を上下帯水層の間に仮定する。この部分は実際には新期ローム層下部の固結したローム層に相当するといえよう。

二帯水層モデルにおいて、地下水の流動量、降水量などの涵養量及び井戸の揚水量との関係から地下水位の変動を計算し、地下水位観測値に近似するように水理常数を改良する。このモデルを用いれば降水量と揚水量の変化に応じた盆地地下水位の変動をシミュレートすることが出来、将来の水収支も予測できる。

地下水の流れを表わす偏微分方程式は自由地下水（浅層地下水）と被圧地下水（深層地下水）につ

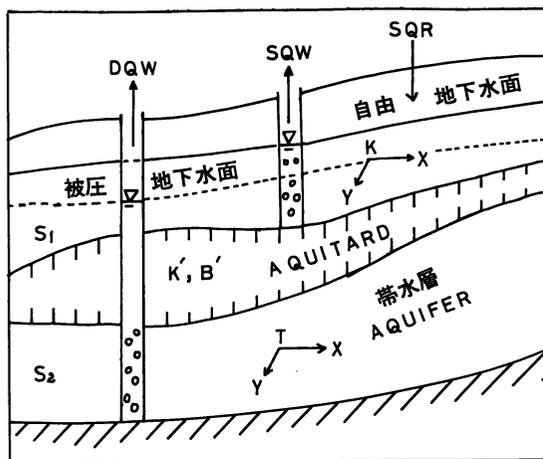


図 4 二帯水層モデル説明図

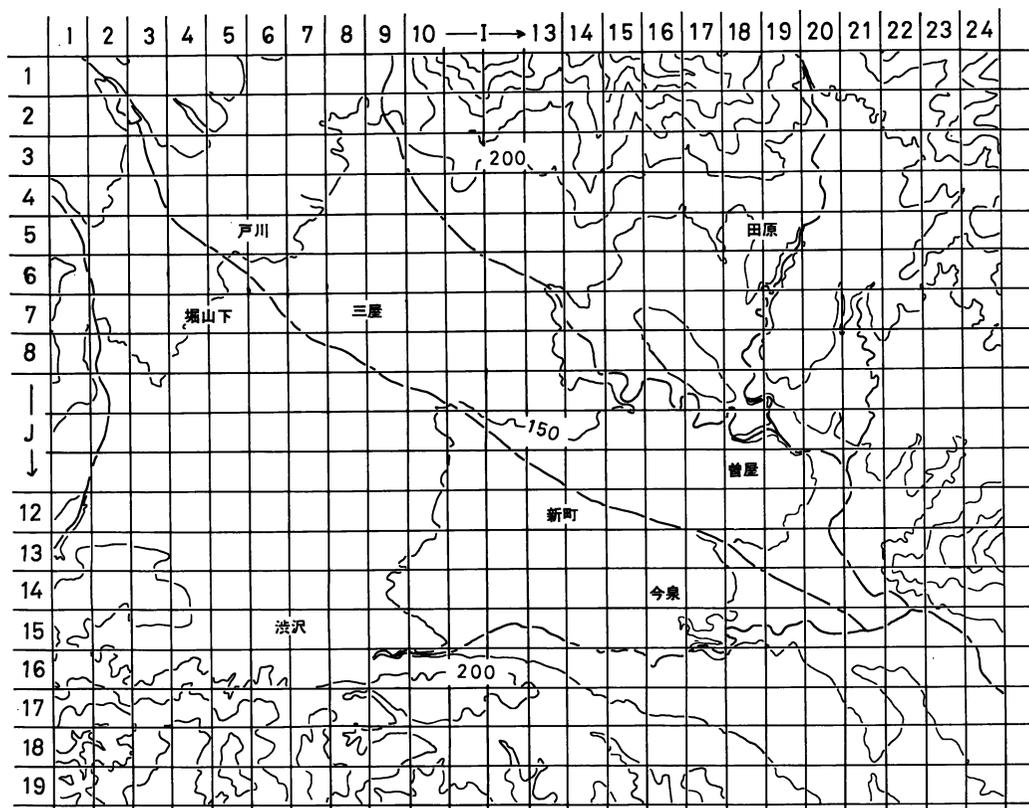


図 5 グリッド説明図  
(グリッド間隔は300m)

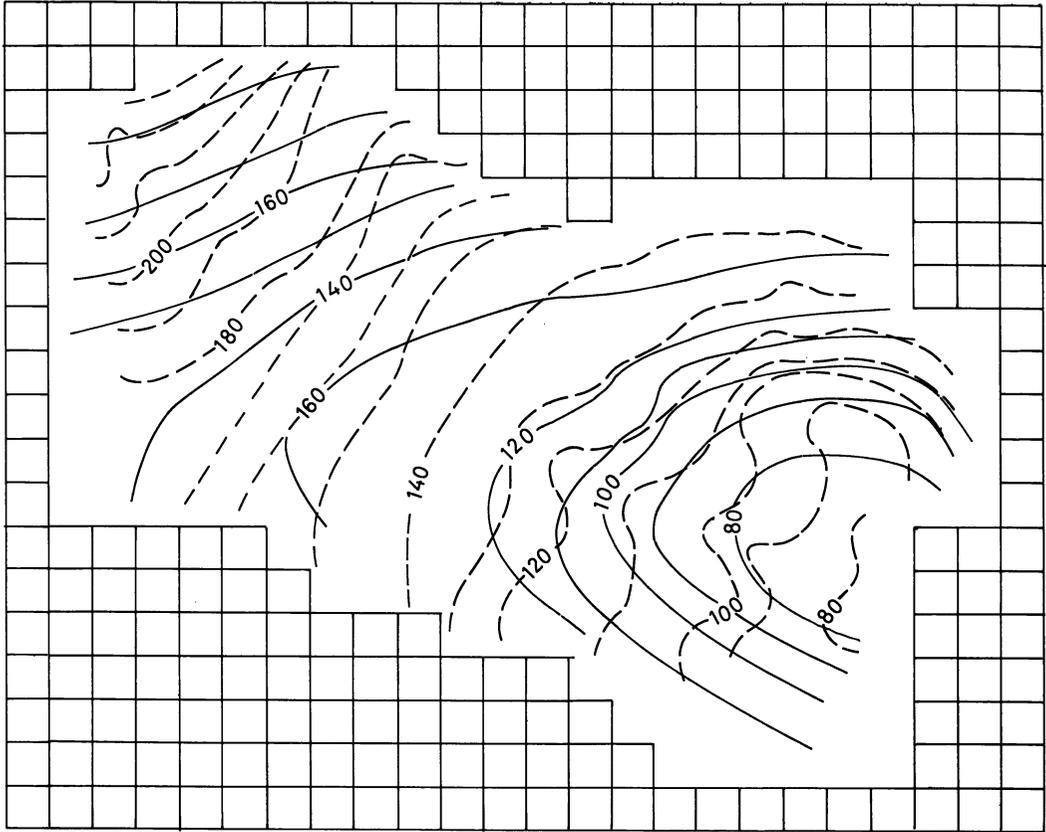


図6 初期水位の地下水面図  
(破線は浅層地下水位，実線は深層地下水位を示す)

いて各々次式で示される。

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_{xx} b \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_{yy} b \frac{\partial h}{\partial y} \right) = S_1 \frac{\partial h}{\partial t} + W_1(x, y, t) \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( T_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( T_{yy} \frac{\partial H}{\partial y} \right) = S_2 \frac{\partial H}{\partial t} + W_2(x, y, t) \quad (2)$$

$K_{xx}$ : X軸方向の透水係数,  $K_{yy}$ : Y軸方向の透水係数,  $T_{xx}$ : X軸方向の透水量係数,  $T_{yy}$ : Y軸方向の透水量係数,  $b$ : 浅層地下水帯水層厚,  $h$ : 浅層地下水位,  $H$ : 深層地下水位,  $S_1$ : 浅層地下水帯水層の貯留係数,  $S_2$ : 深層地下水帯水層の貯留係数,  $Z$ : 浅層地下水帯水層の下限

式(1), (2), はそれぞれ次式のような差分方程式に近似することができる。

$$K_{xx}{}_{i+\frac{1}{2},j} (h-Z)_{i+\frac{1}{2},j} \cdot \frac{h_{i+1,j}^k - h_{i,j}^k}{\Delta x^2} - K_{xx}{}_{i+\frac{1}{2},j} (h-Z)_{i+\frac{1}{2},j} \cdot \frac{h_{i,j}^k - h_{i-1,j}^k}{\Delta x^2}$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
2	00	00	00	00	00	IA	IA	JA	JA	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
3	00	IA	IA	IA	IA	IA	IA	JA	JA	IA	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
4	00	IA	IA	IA	IA	IB	IB	IB	JB	JA	IA	IA	IA	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
5	00	IA	IA	IB	IB	IB	IB	IB	JB	JB	JB	IA	IA	IO	IA	IO	00	00						
6	00	IA	IA	IB	IB	IB	IB	IB	IB	JB	JB	JB	IA	IO	00	00								
7	00	IA	IA	IB	IB	IB	IB	IB	JB	JB	JB	IB	IA	IO	00	00	00							
8	00	IA	IA	IB	IB	IB	IC	IC	IC	JC	JC	JC	JC	JC	IB	IA	00							
9	00	IA	IA	IB	IB	IB	IC	IC	IC	JC	JC	JC	JC	JC	JC	IB	IB	IB	IB	IA	IA	IA	IA	00
10	00	IA	IA	IB	IB	IB	IC	IC	IC	JC	JC	JC	JC	JC	JC	KC	KC	KC	KC	IB	IA	IA	IA	00
11	00	IA	IA	IB	IB	IB	IC	IC	IC	JC	JD	JD	JD	JD	JD	KD	KD	KD	KD	IB	IA	IA	IA	00
12	00	IA	IA	IA	IB	IB	IB	IB	IB	JB	JD	JD	JD	KD	KD	KD	KD	KD	KD	IB	IA	IA	IA	00
13	00	IO	00	00	IA	IA	IA	IA	IB	IB	JB	JB	KC	KC	KC	KD	KD	KD	KD	KD	IO	IO	00	00
14	00	00	00	00	00	00	00	IA	IA	JA	JA	JA	KA	KB	KC	KC	KC	KD	KD	KD	KD	KO	00	00
15	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	IA	KA	KB	KB	KB	KB	KC	KC	KD	KO	00	00
16	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	OA	OA	OA	OB	OB	OB	OB	OA	00	00	00
17	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	OA	OA	OA	OA	OA	OA	00	00	00
18	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	OA	OA	OA	OA	OA	OA	00	00	00
19	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00

O:0, I:4-6, J:8-13, K:17-21 m/day ; O:0, A:50-150, B:200-300, C:350-450, D:500-600 m<sup>2</sup>/day

図 7 透水係数，透水係数分布図  
(左側が透水係数，右側が透水量係数)

$$\begin{aligned}
 &+K_{yy} \text{ }_{i,j+\frac{1}{2}} (h-Z) \text{ }_{i,j+\frac{1}{2}} \cdot \frac{h_{i,j+1}^k - h_{i,j}^k}{\Delta y^2} \\
 &-K_{yy} \text{ }_{i,j-\frac{1}{2}} (h-Z) \text{ }_{i,j-\frac{1}{2}} \cdot \frac{h_{i,j}^k - h_{i,j-1}^k}{\Delta y^2} \\
 &= \frac{S_1 \text{ }_{i,j}}{\Delta t} (h_{i,j}^k - h_{i,j}^{k-1}) + W(x,y,t) \tag{3}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &T_{xx} \text{ }_{i+\frac{1}{2},j} \cdot \frac{H_{i+1,j}^k - H_{i,j}^k}{\Delta x^2} - T_{xx} \text{ }_{i-\frac{1}{2},j} \cdot \frac{H_{j,j}^k - H_{i-1,j}^k}{\Delta x^2} \\
 &+T_{yy} \text{ }_{i,j+\frac{1}{2}} \cdot \frac{H_{i,j+1}^k - H_{i,j}^k}{\Delta y^2} - T_{yy} \text{ }_{i,j-\frac{1}{2}} \cdot \frac{H_{i,j}^k - H_{i,j-1}^k}{\Delta y^2} \\
 &= \frac{S_2 \text{ }_{i,j}}{\Delta t} \cdot (H_{i,j}^k - H_{i,j}^{k-1}) + W(x,y,t) \tag{4}
 \end{aligned}$$

式(3)，(4)について，交互方向陰解(ADI法，Alternating Direction implicit method)で秦野盆地内の浅層地下水位と深層地下水位を計算した。なお，浅層地下水から深層地下水への漏水による涵養量  $QL$  は， $QL(i, j) = K' A \Delta h / b'$  で示される。 $K'$  は難透水層の透水係数， $A$  は格子面積， $\Delta h$  は水位差， $b'$  は難透水層の層厚である。涵養量  $QL$  は難透水層の係数  $K' / b'$  によって決定される。

図4は二帯水層モデルの説明図，図5はグリッド説明図である。秦野盆地を東西及び南北方向にそれぞれ  $300m$  間隔の格子に区切り，各格子の中央に井戸を仮想し，地下水位を計算した。計算は東芝

東京計算センターのTOSBAC-3400, 神奈川県保健教育センターのTOSBAC-5100を使用した。

### 水理常数及びモデルの検討

野外調査によって得られた地層の水理学的な係数を基に, 各格子毎の係数を推定し, 地下水位を計算する。1972年10月の地下水位を初期値(図6)とし, 観測された地下水位変動と計算値とが一致するように, 計算機による試行錯誤を重ねる。

深層地下水は浅層地下水から涵養を受けているので, 浅層地下水について試行錯誤を行ない, あとから深層地下水について検討を加えた。

浅層地下水は新期ローム層の下部数 $m$ の厚さに胚たいさされている。その透水係数は $5 \times 10^{-3} \sim 2 \times 10^{-2} \text{cm/秒}$ の範囲にあり(図7), 扇頂部扇央部で小さく, 扇端部で大きくなる。貯留係数(SS)は降水量と地下水位上昇量との関係から得られる有効空隙率0.15を用いる。

浅層地下水の水位変動には, 新期ローム層下部の固結したローム層(難透水層)の漏水係数( $K'/b'$ )の値が大きく影響する。漏水係数の値が大きいと, 下方への浸透量は大きくなるが, 浅層地下水位は急激に低下する。扇頂部や扇央部の漏水係数の値は0.01~0.005/日が良い。ボーリング・コアサンプルの固結した新期ローム層の透水係数実験値( $4 \times 10^{-5} \text{cm/秒}$ )から透水係数を $5 \times 10^{-5} \text{cm/秒}$ と仮定すると, 固結部分の層厚は7.5 $m$ を示す。

浅層地下水を涵養する降雨は, 水位上昇をひき起こす降水量を10 $mm$ とし, 10 $mm$ 以上の降雨を時間刻み( $\Delta t$ )毎にまとめて計算に用いた。

深層地下水は漏水係数と透水量係数( $T$ )が地下水位変動に大きく影響する。漏水係数の値は浅層地下水の変動から推定されているので, 透水量係数の値について検討する。

透水量係数の値は昨年度の経験から, 250 $m^2$ /日という値を基準に, 盆地内の値について検討した。透水量係数は盆地上部で250 $m^2$ /日はやや大き過ぎ, 盆地下部では小さ過ぎた。そこで, 盆地下部の透水量係数を500 $m^2$ /日まで大きくし, 地下水流出量を増大させ, 地下水位上昇を無くした。図7に透水量係数の分布を示す。深層地下水帯水層の透水量係数は200~500 $m^2$ /日が適当である。

この透水量係数の値は, 井戸揚水テストから得られる値の $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{3}$ という小さな値である。帯水層の透水係数を $5 \times 10^{-2} \text{cm/秒}$ とすると, 帯水層の層厚は5~10 $m$ となり, 厚い扇状地堆積物中の地下水が流動している部分はあまり厚くないことになる。なお, 貯留係数(DS)は0.20を用いた。

境界条件として, 境界における地下水の流入及び流出を検討しなければならない。丹沢山地と大磯丘陵によって囲まれており, 南西の四十八瀬川と南東の金目川による出口が開かれている。丹沢山地との境界では水無川や葛葉川, 金目川などの谷口で河川水の浸透による涵養が考えられるが, 全般における地下水の流入量はあまり大きくない。また, 大磯丘陵との境界の内, 尾尻付近で隧道工事の際確認された地下水の流入を考慮した。

四十八瀬川の出口では殆んど地下水の流出はないが, 扇端部上大槻には地下水が集まり河床堆積物

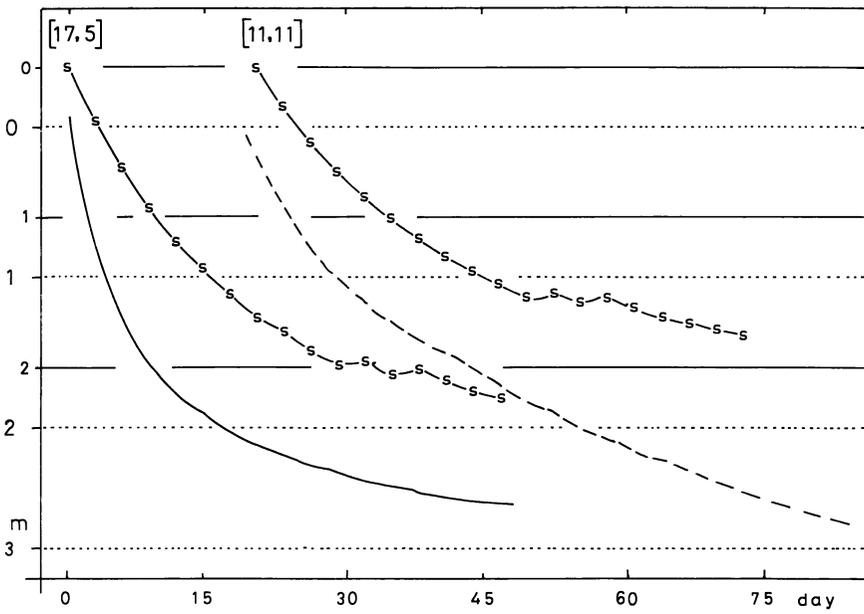


図8 浅層地下水位の計算結果  
(Sは計算結果, 実線及び破線が観測値)

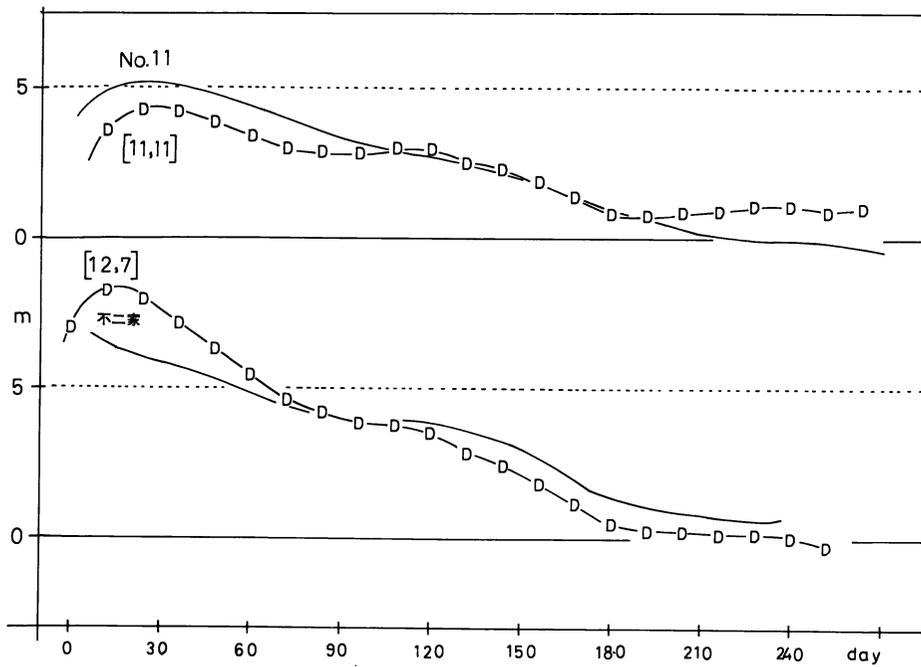


図9 深層地下水位の計算結果  
(Dは計算結果, 実線が観測値)

中へ流去していることが地下水図から読み取れる。しかし、その量は明確になっていない。

今回のモデルでは盆地を閉じたモデルとし、実際に境界で起きている地下水の流入及び流去量をすべて境界付近の格子の注入量と揚水量として与えた。扇端部、上大槻付近の流去量は1.5~2.0万t/日が適当であろうが、これを見積るのも今回のシミュレーションの一つの目的であった。

### 水位計算結果について

図6に示す浅層地下水位と深層地下水位を初期値とし、図7に示す浅層地下水帯水層（新期ローム層）の透水係数、深層地下水帯水層（扇状地礫層）の透水量係数を用いて、時間刻み ( $\Delta t$ ) を2日~6日として各経過時間毎の地下水位を計算した。

図8は浅層地下水位の計算結果の内、自記水位計の設置地点の新町、田原に相当する格子(11, 11), (17, 5)の水位計算値を示す。

図9は深層地下水位の計算結果の内、観測記録のある秦野市水道第11水源と不二家製菓2号井に相当する格子(11, 11), (12, 8)の水位計算値である。

盆地内の各格子の深層地下水の計算結果をみると、計算した水位変化が観測値に一致するように更に透水量係数を部分的に変える必要がある。

盆地内の深層地下水の揚水量は3.3万t/日にのぼっている。一方、盆地から流去している地下水量が1.5~2.0万t/日と推定されているが、地下水の利用可能量については、降水量、地下水位の低下量と揚水量とを見あいにして決定しなければならない。盆地の水収支モデルについては現実の状況に一致するよう検討を加える必要がある。

### ま と め

秦野地下水盆の水収支モデルについて計算を行なった結果をまとめると次のようになる。

1) 浅層地下水は主に降水により涵養されている。地中に浸透し地下水位を上昇させる降水量は降水量から10mmを差し引いた量を用いた。透水係数は扇頂部や扇中部で  $5 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-2} \text{cm/秒}$ 、扇端部で  $1 \times 10^{-2} \sim 5 \times 10^{-2} \text{cm/秒}$  となった。

2) 浅層地下水から深層地下水への漏水量は難透水層の漏水係数  $K'/b'$  によって決まる。扇頂部や扇中部では  $K'/b'$  の値を0.01~0.005とした。

3) 深層地下水の透水量係数は  $200 \sim 500 \text{m}^2/\text{日}$  が適当である。盆地上部（扇頂部）では  $200 \sim 500 \text{m}^2/\text{日}$ 、盆地中部（扇中部）では  $300 \sim 400 \text{m}^2/\text{日}$ 、盆地下部（扇端部）では  $400 \sim 500 \text{m}^2/\text{日}$  である。この値は地層の透水係数を  $5 \times 10^{-2} \text{cm/秒}$  とすると、実際に地下水が流下する帯水層の層厚は  $5 \sim 10 \text{m}$  であるらしい。また、常時約5万t/日の深層地下水が揚水されたり、盆地から流去している。

4) 深層地下水は殆んど浅層地下水からの漏水によって涵養されている。とくに、盆地上部~中央部にかけて涵養域となっている。

このように秦野地下水盆について、地下水の水収支は浅層地下水帯水層と、難透水層および深層地下水帯水層の二帯水層モデルで説明出来る。

地下水の水収支は地下水位変動として観測出来るから、今後も地下水位観測を継続させなければならぬ。長期間にわたる観測記録によって、水収支モデルを更に改良すれば、将来の盆地の地下水利用について予測が出来る。

## 謝 辞

報告書の作成にあたり、栗原藤次秦野市長をはじめ、市水道局熊沢武雄局長ほか水道局の方々にお世話になった。故橋本善彦保健教育センター所長は電算機の導入につくされ、電子計算機を利用する機会を与えて下さった。県保健教育センターでは計算機の使用に便宜を計って下さった。東芝プログラム管理部の佐々木修平氏をはじめT-3400係の方々には計算に際し援助をしていただいた。牧野弘美管理課長をはじめ温泉研究所職員の方々には調査にあたり協力していただいた。杉山喆美嬢は資料の整理をしていただいた。上記の方々に厚くお礼申し上げます。なお、この調査の費用は県衛生部温泉等研究調査費によった。関係者の皆様に感謝致します。

## 参考文献

- 榎根勇, 岩崎尚, 高村弘毅, 高野憲治 (1972), 市原地区における地下水のシステム解析, 山本莊毅編, 水資源の最適利用に関するシステム的研究, 昭和46年度文部省科研費報告書, 1—55.
- 長瀬和雄, 大木靖衛, 荻野喜作, 横山尚秀, 小沢清 (1972), 秦野盆地の地質, 神奈川温研報告, Vol. 3, No. 2, 57—64.
- 荻野喜作, 大木靖衛, 小鷹滋郎, 小沢清, 広田茂 (1971), 秦野盆地の地層係数と透水係数, 神奈川温研報告, Vol. 2, No. 2, 71—82.
- 大木靖衛, 小鷹滋郎, 小沢清, 横山尚秀, 長瀬和雄 (1972), 秦野盆地の水文地質, 神奈川温研報告, Vol. 2, No. 2, 31—55.
- PINDER, G.F. and J.D. BREDEFOEFT (1968), Application of the Digital Computer for Aquifer Evaluation, Water Resources Research, Vol. 4, No. 5, 1069—1093.
- REMSON, I., C.A. APPEL and R.A. WEBSTER (1965), Groundwater Models solved by Digital Computer, Journal of the Hydraulics Division ASCE, HY3, 133—147.
- REMSON, I., G.M. HORNBERGER and F.J. MOLZ (1971), Numerical Methods in Subsurface Hydrology, John Wiley and Sons, New York.
- SALBEM, Z.A. and C.E. JACOB (1971), Dynamic Programing model and Quantitative Analysis, Roswell Basin, New Mexico, New Mexico Water Resource Research Institute, Report No. 10, 180p.
- 高橋宏光, 大木靖衛, 小鷹滋郎, 小沢清, 横山尚秀 (1970), 秦野市水源井の地質柱状図と揚水資料, 神奈川温研報告, Vol. 1, No. 12, 53—62.
- TODD, D.K. (1959), Groundwater Hydrology, John Wiley and Sons, New York.
- TYSON, H.N. and E.M. WEBER (1964), Groundwater Management for the Future Computer Solution

- of Groundwater Basin, Journal of Hydraulics Division ASCE HY4, 59—77.
- DE WIESE, J.M.R. (1965), Geohydrology, John Wiley and Sons, New York.
- 山本莊毅 (1940), 秦野盆地の地下水, 地理学, Vol. 8, No. 12, 1870—1878.
- 山本莊毅 (1963), 扇状地の地下水, 地理, Vol. 8, No. 10, 1091—1096.
- 山本莊毅 (1971), 扇状地の水文学, 「扇状地」, 古今書院, 156—180.
- 山本莊毅, 榎根勇 (1971), 扇状地の水循環 —環境システム論序説—, 古今書院.
- 横山尚秀, 平野富雄, 栗屋徹, 鈴木孝雄 (1971), 秦野盆地の地下水の水質について, 神奈川温研報告, Vol. 2, No. 2, 57—70.
- 横山尚秀, 荻野喜作, 大木靖衛, 長瀬和雄, 小沢清 (1972), 秦野盆地地下水の水文学的研究, 神奈川温研報告, Vol. 3, No. 2, 41—56.
- 横山尚秀, 荻野喜作, 長瀬和雄 (1973), 秦野盆地の深層地下水について, 神奈川温研報告, Vol. 4, No. 3, 129—144.