

水循環解析モデルを用いた柿田川・三島周辺湧水群の保全に関する検討

STUDY ON THE GROUNDWATER CONSERVATION OF THE KAKITA-RIVER AND MISHIMA AREA SPRINGS ADAPTING THE PLUMP MODEL

植野利康*・石原慶一*・山内扶美*
齋藤 庸**・田中 柔***・平田 潔****

Toshiyasu UENO, Keiichi ISHIHARA, Fumi YAMAUCHI
Mamoru SAITO, Yawara TANAKA and Kiyoshi HIRATA

The Kakita-river originates from a groundwater spring, which is located on the south-eastern foot of Mt. Fuji and is one of the most famous fountains in Japan. It has been announced that the spring quantity has been gradually declining over the last 30 years. Mainly for the purpose of environmentally protecting the spring, the Ministry of Construction, the Shizuoka prefectural government and local city authorities have established a conference of Kakita-Daiba river basin, and have continued a series of hydrogeological studies including a groundwater simulation study using a numerical model. From these studies, it was clarified that the decrease of spring quantity has been caused mainly by the increase of groundwater usage and partly by the change of land use conditions in the recharged areas; i.e. increase of impervious area by pavement and housing. This paper describes the results of the study on groundwater and water circulation systems in an urbanizing river basin conservation by adapting the PLUMP (Physically based Lumped Parameter) model.

Key Words : groundwater balance, groundwater conservation, water circulation systems, PLUMP model, groundwater spring, groundwater recharge

1. はじめに

静岡県東部・伊豆地域を流れる狩野川水系黄瀬川・大場川流域(図-1参照)は、富士、箱根、愛鷹火山の山麓を集水域とし、その下流には、日湧水量100万 m^3 を超え、東洋一といわれる柿田川湧水をはじめとする富士山南東麓の湧水群が知られる。

豊富な湧水量と貴重な自然環境により地域に多大な貢献をしてきた湧水群も、市街地の拡大に伴う地下水涵養量の減少や各種の地下水利用量の増加による水量の減少が一層深刻な事態を迎えつつある。

こうした経緯を踏まえ、建設省、静岡県、地元市町(沼

津市、三島市、御殿場市、裾野市、清水町、長泉町、小山町)が協力し、平成元~4年度にかけて「狩野川水系地下水検討会」¹⁾を、さらに平成5~9年度にかけて「黄瀬川・大場川流域水循環システム対策協議会」²⁾(以下、協議会と呼ぶ)を組織し、地下水流動機構の調査等を行うとともに、各種の地下水・湧水保全施策の検討を行ってきた(図-2)。本稿では、平成10年2月に協議会がまとめた総括報告³⁾の内容と今後の方針等について紹介する。

2. 流域の水理地質

(1) 地形・地質

黄瀬川・大場川流域は、富士山南東麓、愛鷹山東麓、箱根外輪山西麓を集水域としており、流域面積は約360 km^2 である。黄瀬川本流沿いには、扇状地および数段の段丘面が形成されている。御殿場市の南方には愛鷹山、箱根外輪山に挟まれた狭窄部が裾野市から三島市まで谷幅約1~3km

* 建設省中部地方建設局沼津工事事務所

** 中央研究所 開発研究部

*** 東京技術本部 地質部

**** 東京技術本部 河川水工部

で続く。

既往文献^{4)・8)}に基づいて作成した流域の地質集成図を図-3に示す。これによると、流域は、第四紀更新世の愛鷹火山噴出物・箱根火山噴出物、並びに第四紀完新世の古～

新富士火山噴出物が広く堆積している。狭窄平坦部には、新富士火山噴出物に属す古期溶岩類、通称三島溶岩が幅1～3km、深さ約80m程度で分布し、三島駅南で地表に露出する。南方は河床堆積物や沖積層に覆われている。

浸透試験や揚水試験等の結果から、表層地盤と飽和帯の透水性(浸透能力)を整理すると、表-1のようになる。ここで、三島溶岩に代表される富士火山溶岩の透水性は極めて大きく、流域の主要な地下水流動層を構成することがわ

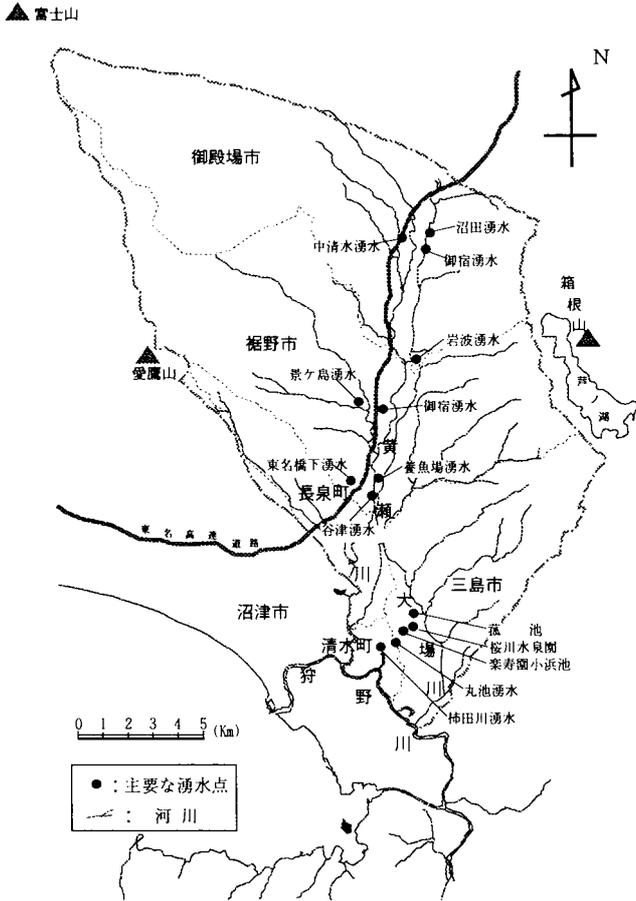


図-1 黄瀬川・大場川流域図

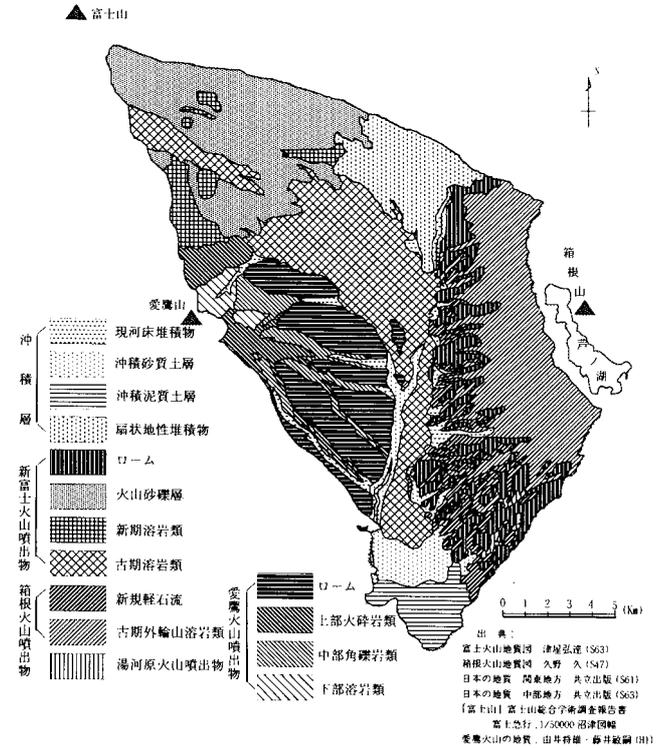


図-3 黄瀬川・大場川流域地質集成図

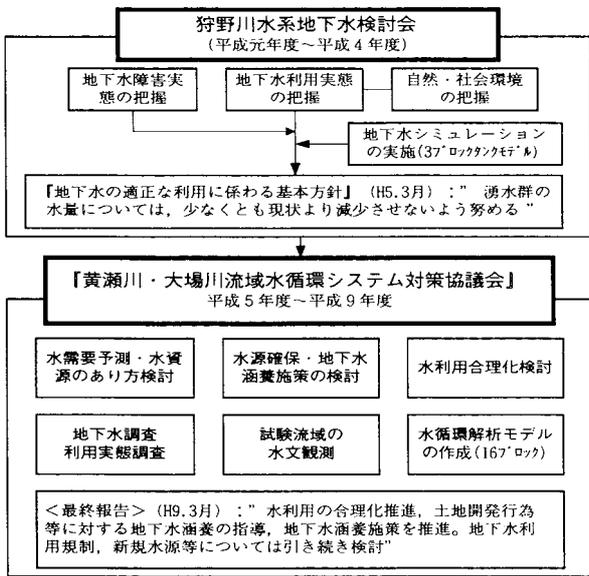


図-2 協議会の経緯と調査・検討フロー

表-1 表層地盤と飽和帯の透水性

表中の上段の数字: 透水係数 K_0 [cm/秒]

地質区分	浸透試験結果 (表層地盤の浸透能力)	揚水試験結果 (飽和帯の透水特性)
富士火山砂礫	4×10^{-2}	* 1×10^{-2}
富士火山溶岩	* 4×10^{-2}	7×10^{-1}
未固結砂質土	2×10^{-2}	5×10^{-3}
富士火山ローム	3×10^{-3}	* 3×10^{-3}
愛鷹火山ローム	* 3×10^{-3}	* 3×10^{-3}
箱根火砕流	6×10^{-2}	2×10^{-2}
愛鷹火砕流	* 5×10^{-4}	3×10^{-3}
未固結泥質土	* 1×10^{-1}	* 1×10^{-4}

注) *印をつけた値は、試験値が得られなかったために類推した。

かる。

(2) 湧水群の概要

図 - 1 で既に示したように、流域内には柿田川湧水をはじめとして多くの湧水が存在する。柿田川湧水は富士山系湧水群の中で最大の湧水であり、三島駅の南方、国道1号線南側沿いにある。三島溶岩流の先端から湧き出て、沖積層を貫く湧水と考えられており、湧出水は流路長1.2kmの柿田川を経て狩野川に合流している。三島駅周辺の楽寿園小浜池、桜川水泉園、菰池（こもいけ）、丸池等の湧水群（以下、三島周辺湧水群という）は、ほとんどが三島溶岩からの湧水である。また、愛鷹山麓や御殿場、裾野周辺にも小湧水群がある。

(3) 湧水群の変動

柿田川湧水は、昭和40年前後には約15^{m³}/秒程度であったが徐々に減少し、現在では、約12^{m³}/秒前後となっている。三島周辺湧水についても同様であり、近年は2.0^{m³}/秒を下回っている（図 - 4）。特に、国指定天然記念物・名勝として名高い三島・楽寿園小浜池の湧水は、近年は涸渇状態が続いている。三島周辺湧水の経年ならびに季節的な変動は柿田川湧水に比べて大きい。

(4) 地下水位

1) 地下水位の経年変化

代表的な地下水位観測井として楽寿園小浜池の年平均水位の経年変化を図 - 5 に示す。昭和30年代から経年的に徐々に低下する傾向がみられる。

2) 地下水面の形状

既存井戸69ヶ所の一斉測水位（H 7.11月実施）による地下水位等高線を図 - 6 に示す。この図によると、地下水・地表水の両流域界がほぼ同じであることがわかる。また、流域内の地下水は、東側の箱根山麓、西側の富士・愛鷹山麓で涵養された後に黄瀬川本流沿いで合流し、三島溶岩中を流下していることがわかる。なお、この地下水位の平面分布は、前回調査時（H 2.11月）と比較してもさほ

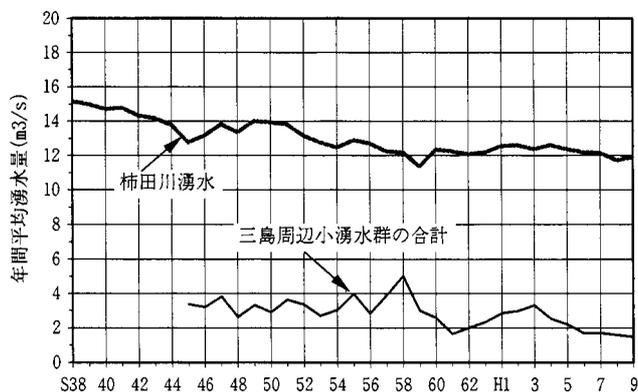


図 - 4 柿田川湧水量の経年変化

ど変化はない。

(6) 地下水の流動方向と貯留年月

1) トリチウム他水質分析

柿田川・三島周辺湧水群の涵養域や地下水流動方向と貯留年月を推定するため、地表水・湧水および地下水（計60検体）の水質分析調査を行った。測定項目は表 - 2 に示す通りである。試料の採取は平成7年8月28日～9月1日に行った。

2) 地下水脈

水質分析結果と地質状況を勘案すると、三島周辺の湧水

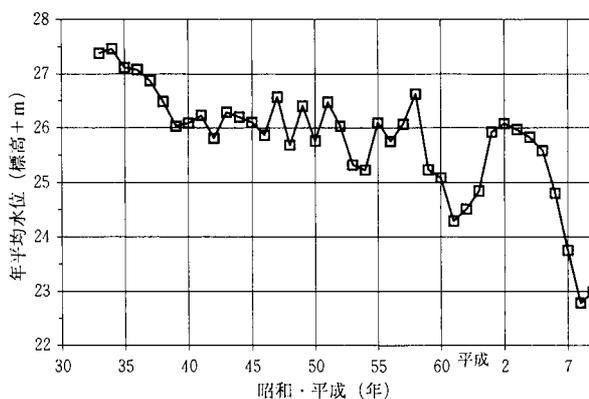


図 - 5 楽寿園小浜池の年平均水位変化

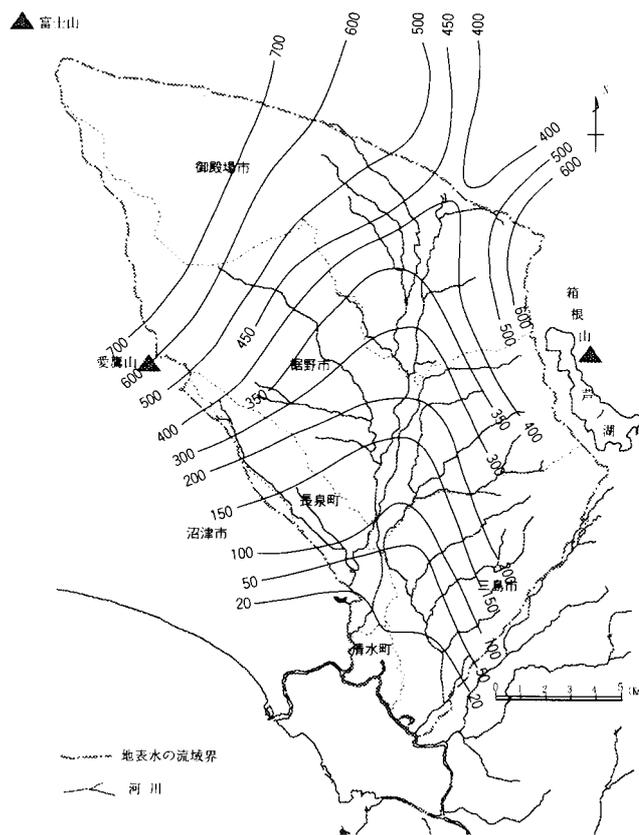


図 - 6 地下水位等高線図（H 7.11月）

表一 2 地下水等の水質分析項目

分類	測定項目	項目数
溶存イオン	Na ⁺ , K ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , HCO ₃ ⁻ , NO ₃ -N	8
同位体	重水素(δD), 酸素同位体比(δ ¹⁸ O), トリチウム濃度(³ H)	3
その他	水温, pH, RpH, 電気伝導度	4
計	—	15

に関わる主要な地下水脈としては、富士山東麓・御殿場市街地付近からのものと、富士山南麓裾野市十里木付近から三島市街地にかけての2筋の水脈が推定できる(図-7)。これらの水脈は、富士山南東麓の透水性の高い地盤で涵養された後、黄瀬川狭窄部で合流し、下流の湧水地帯に向かって一気に流下していると考えられる。

これに対し、箱根山麓の地下水は、山麓脚部からしみ出す形で狭窄部の三島溶岩中へ流入している可能性が高い。また、愛鷹山麓の地下水は停滞性が高いと考えられる。

3) 貯留年月

トリチウム濃度の分析結果から、本地域の地下水の貯留年月(富士山高標高部に涵養された水分子が三島周辺の湧水として湧出するまでの期間)は約26~28年であると推定できる。

4) 降水と湧水のタイムラグ

降水と湧水量の時系列データについて自己相関・相互相関解析法⁹⁾を用いて降雨の逆推定を行い、降雨と湧水量のタイムラグ(反応の時間差)を検討した。この結果、ラグは約1~2ヶ月程度であることが判明した。

3. 水循環解析モデルの作成と適用

(1) モデルの概要

各種の保全対策を評価するため水循環解析モデルを作成した。本モデルは、ヘーラト他¹⁰⁾による水循環モデルを当流域に適用したものであり、飽和・不飽和浸透に関する物理的機構を組み込んだ要素集合型(モジュール型)モデルである。

(2) 浸透・流出機構のモデル化

以下に各過程のモデル化の概要を示す。

1) 地表面モデル

地表面のモデルは、不浸透域(建物・道路等)と浸透域(山林・田畑・裸地等)の2つからなる。地表面を、窪地貯留効果を有すひとつの池と仮定し、池から溢れ出る水量を表面流出とする。不浸透域では、池に溜まった水量から蒸発量を引く。浸透域では、池の水はその下にある表層土

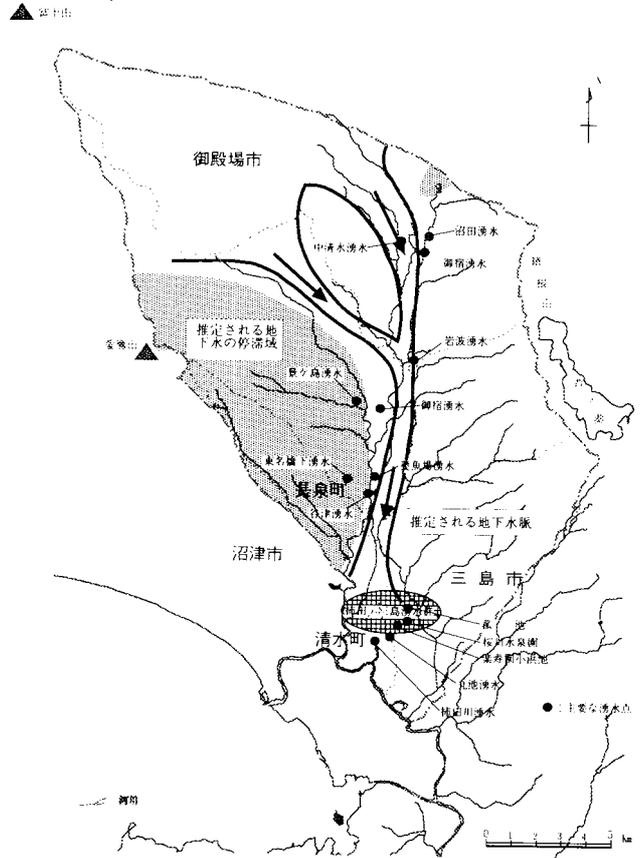


図 7 推定地下水脈概念図

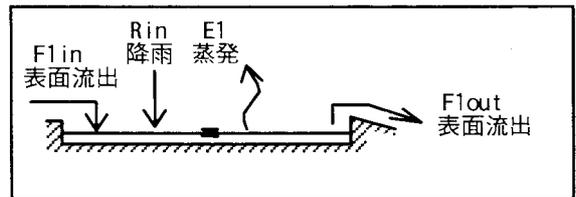


図 8 不浸透域地表面モデル概念図

壤モデルへの浸透と表層土壌モデルからの貯留過剰分の浸出により上下する。

〈不浸透域モデル〉

$$\frac{ds_1}{dt} = R_{in} - F_{1in} - F_{1out} - E_1 \quad (式 1)$$

〈浸透域モデル〉

$$\frac{ds_2}{dt} = R_{in} - P_H - P_V - F_{2out} \quad (式 2)$$

ここに、S₁、S₂: 池の貯留量

R_{in}: 降水量

F_{1in}: 表面流出量(流入)

F_{1out}、F_{2out}: 表面流出量(流出)

E₁: 窪地貯留蒸発(≤ 2 mm/日と仮定)

P_H : Horton 改良型の浸透量

P_V : 前日の貯留量

2) 表層土壌モデル

土中の体積含水率が日単位で変化するとされている地表面下 2 m までを表層土壌とし、Richard (1931) の浸透方程式¹¹⁾を用いてモデル化した。土壌の物性に基じた水分特性曲線と不飽和透水係数により地下水層への浸透量と、横方向の中間流出量を算出する。水収支は次式により表現できる。

$$\frac{dS_3}{dt} = F_{1in} + P_H - E - P_G - F_{1out} - P_D \quad (式 3)$$

ここに、 S_3 : 表層土壌内の貯留量

F_{1in} : 上流側からの中間流流入量

P_H : Horton 改良型の浸透量

E : 蒸発散量

P_G : 不圧地下水への浸透量

F_{1out} : 中間流出量

P_D : Dunn 型地表面への浸出量

計算は日単位とし、各過程は以下の通りである。

a) 蒸発散量

ソーンズウェイト式により月別平均気温から可能蒸発散量を算定し、これに、蒸発散比 (蒸発計に対する蒸発散比^{12,13)}をソーンズウェイト式用に補正した) を乗じて実蒸発散量を推定した。

b) Horton 改良型の表面流出機構

Horton 型の表面流出では、降雨強度が表層土壌の飽和浸透能を超える場合、その超過分を表面流出とするが、本モデルでは、さらに表層土壌の最大含水比に達するまで (飽和浸透能による浸透量を上回る) 浸透量が存在するものと仮定した。これは表層土壌が不飽和の場合に、土壌の吸引圧によって浸透が生じる機構をモデル化したものである。

c) Dunn 型の表面流出機構

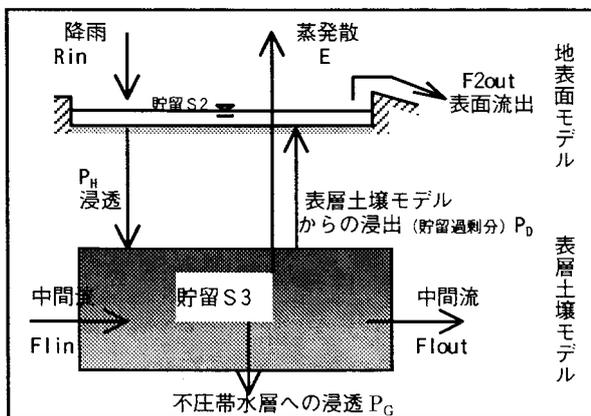


図-9 浸透域地表面・表層土壌モデル

表層土壌全体が飽和しているとき、降雨は全て表面流出となる。Horton型の表面流出機構では表層土壌の飽和度を考慮していないことから、この機構の導入によりその部分を補うこととした。

d) 中間流出

飽和・不飽和流れの特徴は、飽和度によって土中水分の透水係数が変化することである。本モデルでは、吸引圧～体積含水率の関係 (水分特性曲線) と不飽和透水係数～吸引圧の関係に以下の式を採用した。

<Harverkamp et. al.¹⁴⁾の水分特性曲線式>

(吸引圧～体積含水率の関係)

$$\theta = \frac{\alpha(\theta_0 - \theta_r)}{\alpha + \{\ln(\varphi)\}^\beta} + \theta_r \quad (式 4)$$

ここに、 θ : 体積含水率 [cm^3/cm^3]

θ_0 : 飽和含水率 [cm^3/cm^3]

θ_r : 残留含水率 [cm^3/cm^3]

φ : 吸引圧 [$\text{cm}/\text{H}_2\text{O}$]

α, β : 定数¹⁵⁾

<Mualem¹⁶⁾不飽和透水係数～吸引圧関係式>

$$k_r(\theta) = \left[\frac{\theta - \theta_r}{\theta_0 - \theta_r} \right]^n \quad (式 5)$$

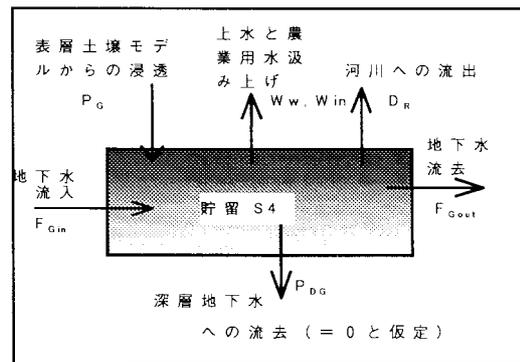


図 10 不圧地下水帯水層モデル概念図

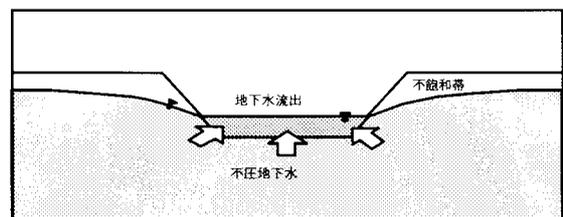


図 11 河川への地下水流出概念図

$$k = K_0 k_r(\theta) \quad (式 6)$$

ここに、 k_r : 相対透水係数

k : 不飽和透水係数 [cm³/s]

K_0 : 飽和透水係数 [cm³/s]

n : Mualem(1978)の定数

3) 不圧地下水帯水層モデル

流入する水分量を地下水位に変換して、流出先のブロックにおける地下水位との水位差及び距離からダルシー則に従って流出量を算定した。不圧地下水帯水層の水収支は次式の通りとなる。

$$C \frac{dS_4}{dt} = P_G + F_{Gin} - W_w - W_{in} - P_{DG} - D_R - F_{Gout} \quad (式 7)$$

ここに、 S_4 : 不圧地下水層の貯留量

P_G : 表層からの地下浸透量

F_{Gin} : 上流からの地下水流入量

W_w : 地下水揚水量(上水用)

W_{in} : 地下水揚水量(農業用)

P_{DG} : 被圧地下水層への浸漏 (= 0)

D_R : 河川への流出量

F_{Gout} : 下流側地下水への流出量

C : 貯留係数

a) 河川への地下水流出

不圧地下水の河川への流出成分であり、浸出面積に地下水位と河川水位の差、さらに浸出に係わる定数を乗じて算出する。浸出する面積は河川の長さ×河川の巾(一定)を乗じたものとし、面積は地下水位によって変化する。

b) 下流側地下水への流去

当流域では、水理地質上の特性から被圧地下水を扱わず、地下水流去は不圧地下水の横方向の地下水移動のみで代表させ、ダルシー則を適用した。

$$F_{Gout} = K_0 \times L \times H \times \frac{\partial H_4}{\partial x} \quad (式 8)$$

ここに、 F_{Gout} : 横方向地下水流出量

K_0 : 帯水層の飽和透水係数

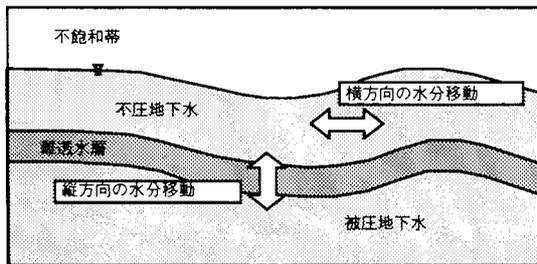


図-12 不圧地下水の流れの概念図

L : 地下水通水断面の幅

H : " 高さ

$\frac{\partial H_4}{\partial x}$: 地下水位の勾配 (動水勾配)

(3) ブロック分割

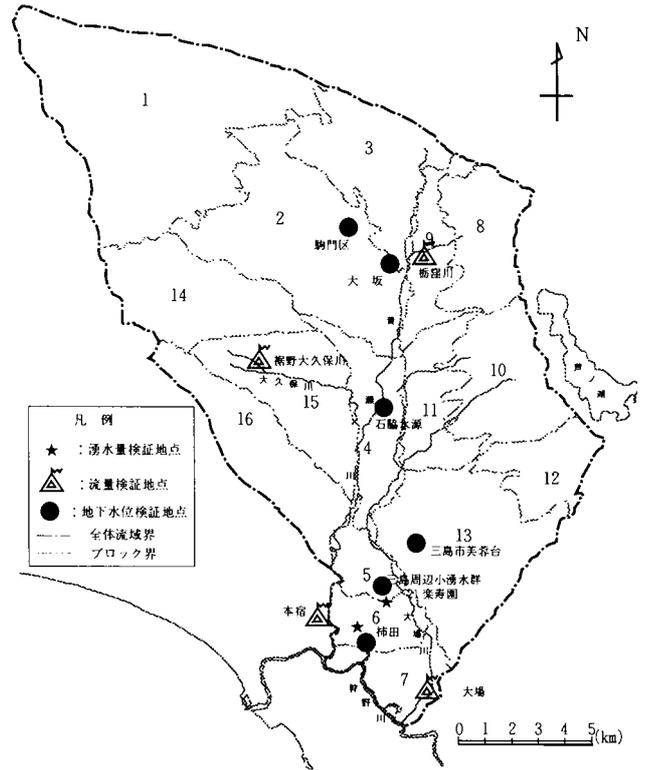


図 13 ブロック分割と検証地点

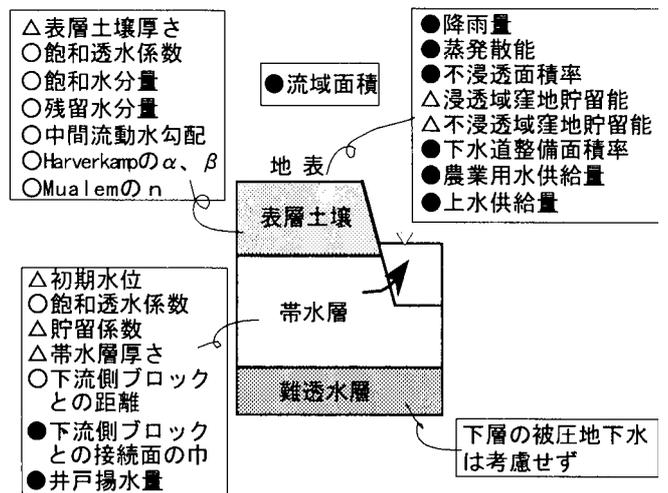


図-14 モデル入力データおよびパラメータ

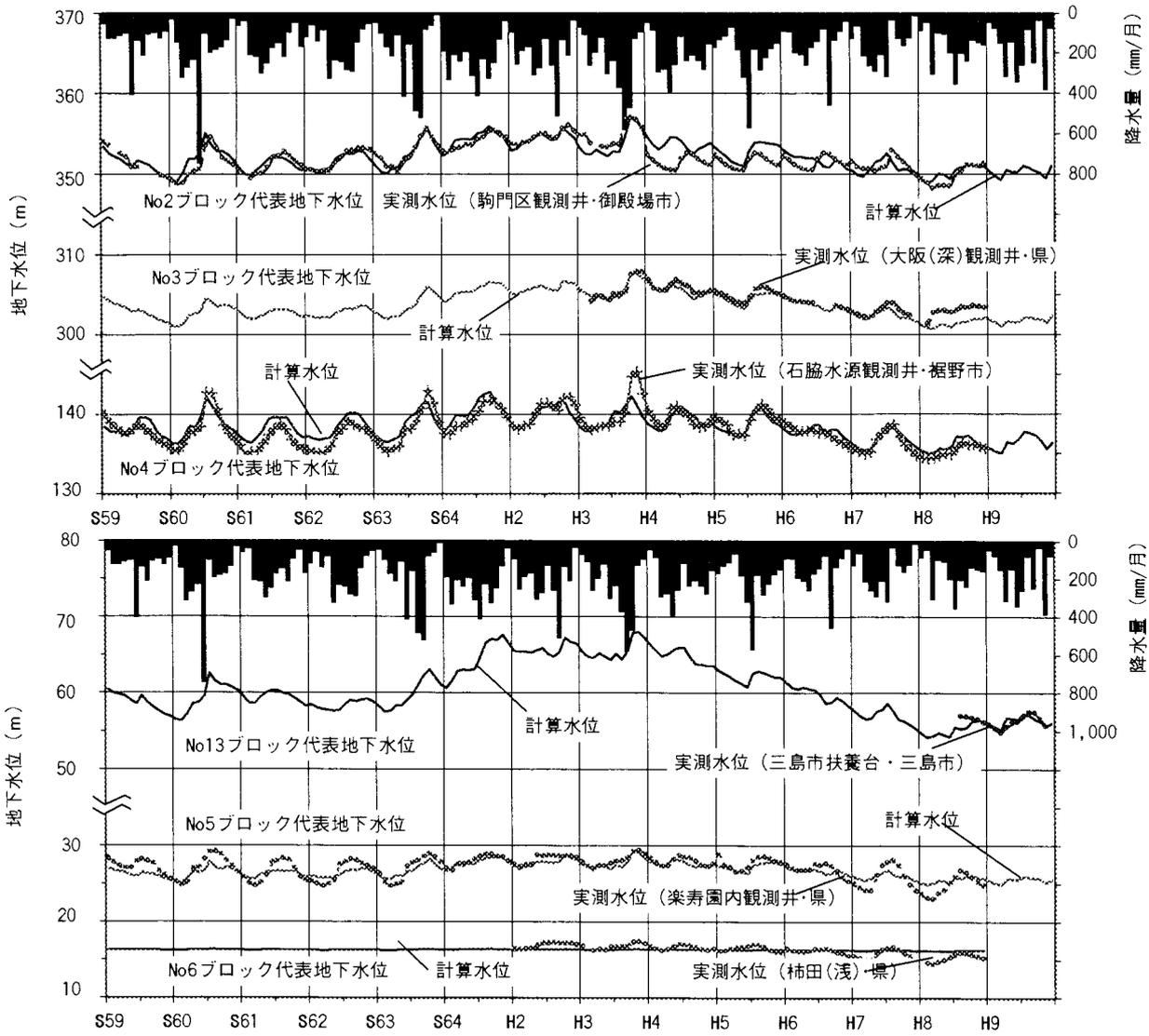
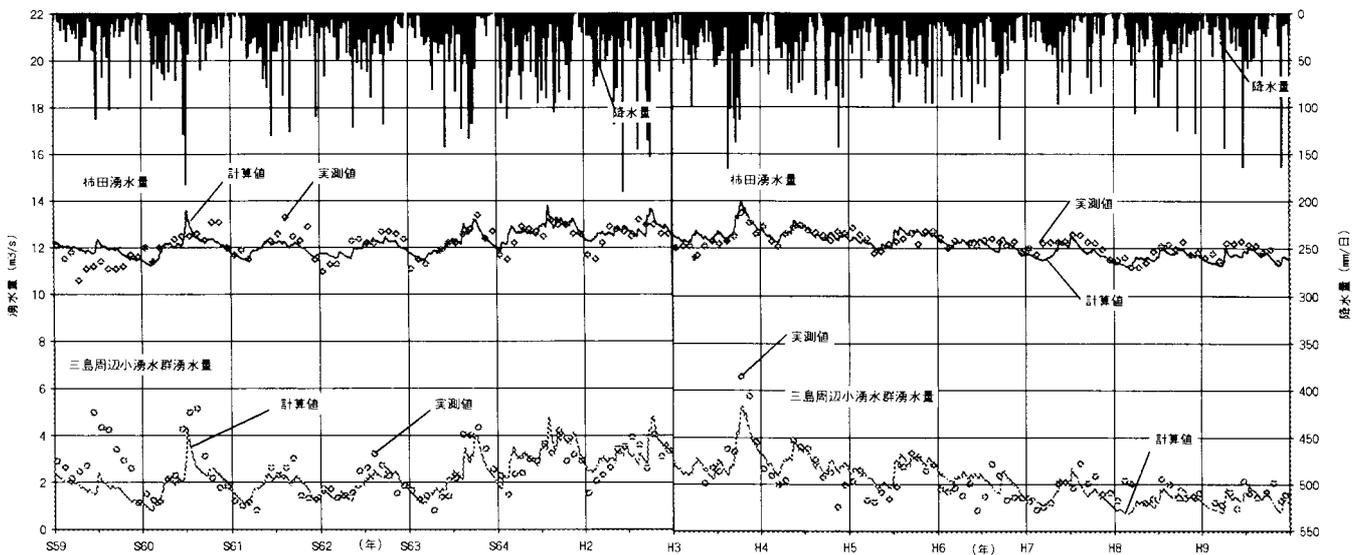


図-15 水循環解析モデルの同定結果 (S59~H9 現況再現計算) <地下水位>



注) 湧水量の実測値は月平均湧水量である。柿田湧水量は柿田橋流量に忍津水道、野豆水道、柿田工業用水道の取水量を加えて算出された値であり、三島周辺小湧水群湧水量は境川堤橋、源平川、桜川の観測流量の合計。

図 16 水循環解析モデルの同定結果 (S59~H9 現況再現計算) 湧水量

本モデルでは、行政区・地質条件・地下水脈・河川流域界・地形勾配・検証地点等を考慮して、流域を16のプロックに区分した(図-13)

(4) パラメータ同定と現況再現計算結果

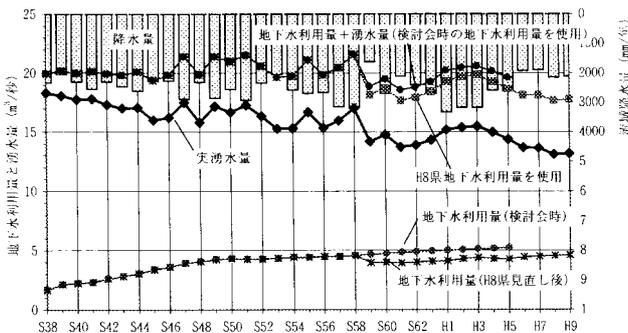
図-14に示すような入力値を準備するとともに、検証データ(地下水位6地点、河川流量6地点)に合致するように許容範囲内で各種パラメータを調整した。再現計算の期間は昭和59年(1984)から平成9年(1997)までの14カ年とした。

図-15および図-16に検証結果を示す。河川の洪水時流出の再現性等に多少の課題が残るものの、地下水位変動や、柿田川湧水の湧出状況等を良好に再現できることが確

表-3 年別・全体流域水収支(モデル計算値)

年	分類 不透透 面積率(%)	(単位:mm/年)						
		降水量	蒸発散量	流域外からの流入水	地下水利用量	全河川流量 (湧水・黄瀬・大瀬)	地下水流出	水収支 (貯留)
S59	5.5%	1,612	441	180	294	2,000	3	-652
S60	5.6%	2,685	445	191	294	2,184	4	247
S61	5.7%	2,112	433	201	291	2,047	3	-170
S62	5.8%	2,402	455	176	298	2,077	3	43
S63	6.1%	2,696	436	186	304	2,233	1	209
H1	6.1%	3,314	450	232	305	2,649	4	443
H2	6.2%	3,158	460	246	324	2,661	4	279
H3	6.3%	3,162	443	241	330	2,645	4	311
H4	6.5%	2,578	439	215	324	2,538	4	-188
H5	6.5%	2,610	440	213	318	2,393	4	-14
H6	6.6%	1,931	470	187	323	2,161	1	-516
H7	6.6%	1,891	440	179	329	1,975	3	-349
H8	6.7%	2,147	433	158	335	1,876	3	-7
H9	6.8%	2,105	461	156	334	1,882	3	-86
S59+H9の平均		2,457	446	197	315	2,237	4	-32

日量(万m³/日) = -3.2



注) 図中、地下水利用量は黄瀬川・大瀬川流域における利用量の合計。また推定手法は下記による。
 1 S38~H5の「狩野川水系地下水検討会」の利用量は、専用水道利用量を施設能力の合計として推定。水道水以外の利用量はH1のアンケート結果に基づき過去に遡って推移を推定した値。
 2 S59~H6の見直し後の水道水利用量は「静岡県の水道の現況」に基づき静岡県が整理した値。この場合、専用水道使用量は、上水道有効水量原単位と簡易水道給水人口の積として推定。統計調査報告書に基づき静岡県が整理した値。これ以外はH6・H7アンケートIに基づき試算。
 3 H7~H9の量は、H8実績値とH12需要予測量に基づき静岡県が試算したもの。
 一方、湧水量は下記による。
 ① 実湧水量は、三島周辺湧水と柿田川湧水の単純合計から都市部での雑排水量を除いた値。
 ② 柿田川湧水量は、建設省沼津工事事務所実施の流量観測値(柿田橋)に、その上流で取水している沼津市上水道・柿田川工業用水道・駐留水道の取水量を加算。S58までは高野製紙の排水を減じた。
 ③ 三島市周辺中小湧水の量は、関係市町独自の定期観測結果(欠測は観測開始からの月別平均で補填)または、流域降水量については下記による。
 1 S38~S58までは「狩野川水系地下水検討会」の流域平均降水量。
 2 S59~H9の降水量は、流域内及び周辺の14箇所の雨量観測所数から算出した流域平均降水量。

図-18 湧水量と地下水利用量の経年変化

認された。

4. 対象地域の水収支

(1) 地下水盆の水収支

表-3および図-17にモデルの検定期間である昭和59年から平成9年までの14年間の水収支を示す。検定期間中の水収支(地下水貯留量変化)の平均は-32mm/年と、わずかなではあるが負値に偏っており、日量約3万m³が地下水盆から流出したことがわかる。平均をとった期間に湧水年(S59年)を含むことを考え合わせると、流域の水循環が現状の地下水利用の状態であらうじてバランスを保っているといえる。

(2) 湧水量減少の影響因子

1) 地下水利用量の増加

図-18に示すように、柿田川および三島周辺の合計湧水量は、昭和38年頃には約18m³/秒以上あったものが、平成5年現在では約15m³/秒弱となり約3m³/秒減少している。一方、地下水利用量は、昭和38年から現在までに約3m³/秒程度増加しており、年ごとの増減はあるものの、地下水利用量の増加にあわせて湧水量が減少していることがわかる。また、湧水量と地下水利用量の合計が、約20m³/秒程度の値でほぼ一定となっていることから、地下水利用量の増加が湧水量減少の原因の一つとして考えられる。

2) 土地利用の変化

土地利用の変化に伴い、地下水涵養量が減少することから、土地利用の変化も湧水量減少の原因の一つと考えられる。(表-4)

6. 水源確保・湧水保全に向けた施策の検討

(1) 水利用の合理化

1) 生活用水

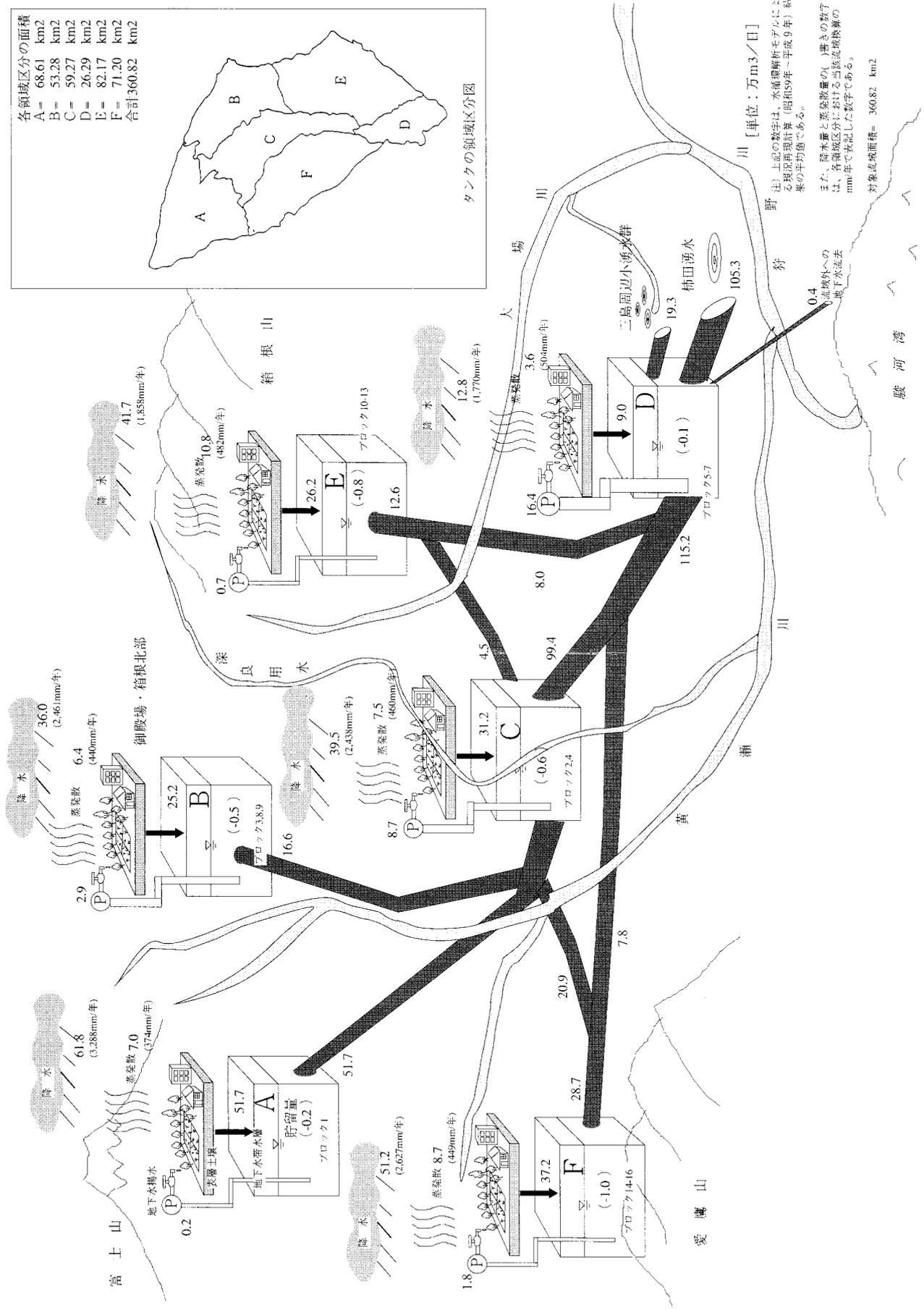
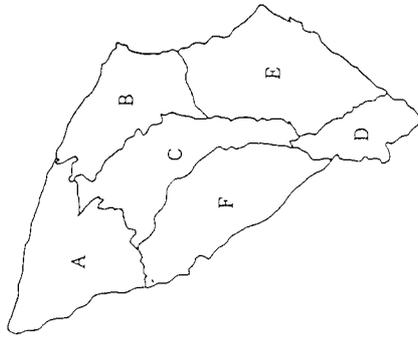
表-4 土地利用変化に伴う涵養量変化

		昭和35年	昭和50年	平成7年
土地 利用 形態 (km ²)	未開発地・水田	346.3	326.3	299.1
	宅地	12.7	29.1	48.8
	ゴルフ場	1.8	5.5	12.9
合計		360.8	360.8	360.8
平均流出率(%)		18.7	21.0	24.0
地表流出高(mm/年)		393	441	504
地下水涵養量(mm/年)		1,708	1,660	1,597
地下水涵養量	mm/年	0	48	111
	m ³ /秒	0.0	0.5	1.3

注) 有効雨量: 2,101mm/年(総雨量2,578mm/年)、流出率: 未開発地・田17%、宅地60%、ゴルフ場50%、と仮定して計算。

各領域区分の面積

A=	68.61	km ²
B=	53.28	km ²
C=	59.27	km ²
D=	26.29	km ²
E=	82.17	km ²
F=	71.20	km ²
合計	360.82	km ²



【注】上記の数字は、水循環解析モデルによる現況再現計算（昭和59年～平成9年）結果の平均値である。

また、貯水量と蒸発散量の()内の数字は、各領域区分における当該流域換算のmm/年で表記した数字である。

対象流域面積= 360.82 km²

図一17 黄瀬川・大場川流域の水循環概念図（昭和59年～平成8年）

当地域の生活用水の地下水依存度は高い(表-5)。また、上水道の原単位は459 L/人・日(平成6年度、有効水量ベース)であり、全国平均の有効水量354 L/人・日の約1.3倍と大きい。協議会で実施中の節水コマの効果調査によれば、節水コマの設置により水道使用量は概ね20%程度の削減が可能であることが確認されており、こうした手段により生活用水の合理化が期待できる。

今後は、行政側で節水意識高揚の働きかけを行うとともに、節水機器設置の推進により、生活用水の合理的利用を積極的に推進する方針である。

2) 工業用水

当地域では工業用水の約96%を地下水・湧水に依存している(表-6)。また、回収率も約58%(平成6年度)と全国平均の約75%に比べて低い。

今後は、行政側で大口利用者等に対して、節水意識の高揚及び回収率向上を積極的に働きかけ、工業用水の合理的利用を推進する方針である。

3) 農業用水

当地域の農業用水の地下水・湧水依存率は5%と低く

(表-7)、使用量も少ない。用水の大部分は、水田や畑地灌漑等に使用されており、再び地下に還元される用途に使用されているので、当地域においては、農業用水の合理化は、水循環に及ぼす効果が大きくないものと考えられる。

(2) 地下水涵養施策の提案

1) 地下水涵養施策

当地域において、有効かつ実現可能な地下水涵養施策としては、以下の対策が考えられる。

a) ハード的対策：流出抑制型下水道の整備、雨水浸透施設(浸透マス、浸透トレンチ、浸透性舗装)の普及推進等。

b) ソフト的対策：助成・法規制等による田畑の保全、良好な森林の保全・創出。節水機器の普及や水利用意識の啓発。

2) 地下水涵養施策の効果と方向性

将来の土地利用状況を想定し、土地開発等による地下水・湧水に及ぼす影響や、地下水涵養施策の効果を水循環解析モデルで予測した(表-8)。

現在、当地域では、土地開発等に伴う地下水涵養減少に対する指導は行われていないのが現状であるが、今後、土地開発指導要綱の改正等により、土地開発者等に対して地下水涵養の指導を行ってゆく必要がある。

今後は、既の実施中の浸透池の設置等の地下水涵養施策についても流域一体となって推進するとともに、さらに流域関係市町の相互協力体制のもとに、浸透能力の高い地域を重点的に、雨水浸透の促進や水源涵養林の整備・保全等の地下水涵養施策を積極的に推進する必要がある。

なお、協議会では、地下水位の深度分布、地形の傾斜、表層地盤の浸透能力、地下水脈調査結果、飽和帯の透水性等から総合的に勘案して、流域の表層地盤の浸透能力区分図を作成した(図-19)。下流部の柿田川・三島周辺の湧水保全に効果的な地下水涵養適地の選定などに活用する予定

表-5 生活用水の地下水依存度(平成6年度)

市町別	水利用 総量	水源の地下水・湧水への依存度		
		地下水	湧水	地下水+湧水
御殿場市	0.15	0.15 (100%)	0.00 (0%)	0.15 (100%)
裾野市	0.10	0.10 (100%)	0.00 (0%)	0.10 (100%)
沼津市	0.49	0.37 (75%)	0.12 (25%)	0.49 (100%)
三島市	0.19	0.10 (56%)	0.09 (44%)	0.19 (100%)
長泉町	0.06	0.06 (100%)	0.00 (0%)	0.06 (100%)
清水町	0.00	0.00 (100%)	0.00 (0%)	0.00 (100%)
小山町	0.04	0.03 (63%)	0.01 (37%)	0.04 (100%)
合計	1.03	0.81 (78%)	0.22 (22%)	1.03 (100%)

注) 水利用総量は、行政区全体の利用水量。

表-6 工業用水の地下水依存度(平成6年度)

市町別	水利用 総量	水源の地下水・湧水への依存度		
		地下水	湧水	地下水+湧水
御殿場市	0.08	0.07 (85%)	0.01 (15%)	0.08 (100%)
裾野市	0.12	0.12 (100%)	0.00 (0%)	0.12 (100%)
沼津市	0.36	0.36 (99%)	0.00 (1%)	0.36 (100%)
三島市	0.07	0.07 (99%)	0.00 (1%)	0.07 (100%)
長泉町	0.81	0.43 (53%)	0.38 (47%)	0.81 (100%)
清水町	0.03	0.03 (100%)	0.00 (0%)	0.03 (100%)
小山町	0.20	0.13 (66%)	0.00 (0%)	0.13 (66%)
合計	1.67	1.21 (72%)	0.39 (23%)	1.60 (96%)

注) 行政区全体水量。淡水補給量から上水道分を除く。

表-7 農業用水の地下水依存度(平成6年度)

市町別	水利用総量 (億 m ³ /年)	地下水依存度(井戸水のみ)		
		(億 m ³ /年)	依存度(%)	シェア(%)
御殿場市	0.95	0.11	11.7	87.5
裾野市	0.27	0.01	2.3	4.9
沼津市	0.58	0.00	0.0	0.0
三島市	0.34	0.00	0.3	0.9
長泉町	0.11	0.00	4.1	3.4
清水町	0.10	0.00	0.3	0.2
小山町	0.35	0.00	1.1	3.0
合計	2.69	0.13	4.7	100.0

注) 水利用総量は静岡県資料。地下水利用量はアンケート結果に基づく。

表一 8 地下水涵養施策の効果(モデル計算値)

計算条件		湧水量 (m ³ /s)	
		柿田川 十三島周辺 合計湧水量	現況との差
現況	現況(平成7年度)	14.82	-
ケース1	市街化区域全域が宅地化した場合。	14.49	-0.33
ケース2	現況ゴルフ場面積を2倍に増加した場合。(森林保全効果評価)	14.71	-0.11
ケース3	既成市街地全域に雨水浸透対策	15.22	+0.4
ケース4	水田灌漑がない場合(水田保全効果評価)	14.46	-0.36

主) 降雨条件は平成4年(平水年)規模とし、地下水利用についてはケース4以外はH7現況の条件。水循環解析モデルによる予測計算値。

▲ 富士山

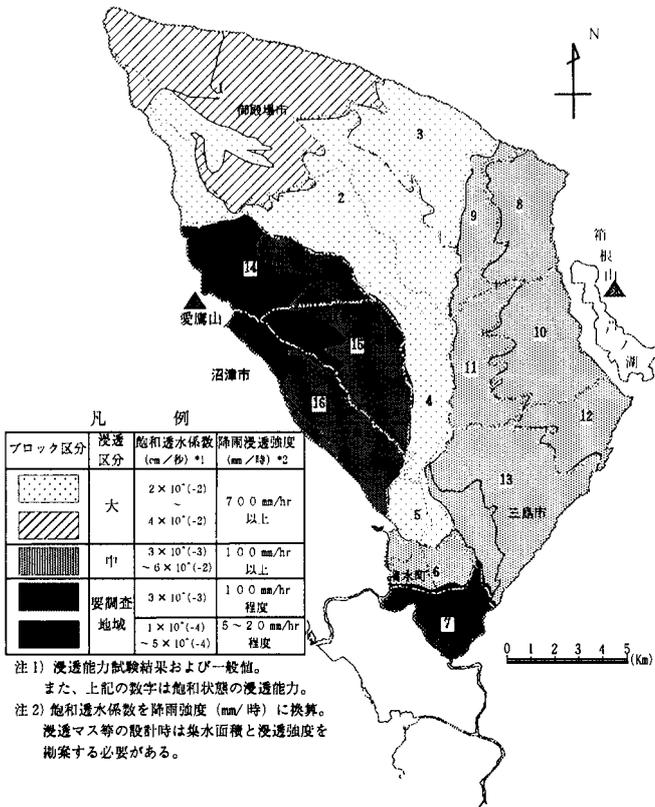


図 19 浸透能力区分図

である。

7. 地下水利用規制の検討方針

(1) 規制区域

静岡県東部・黄瀬川地域の地下水利用規制対象区域は、狩野川水系の黄瀬川・大場川流域、酒匂川水系の鮎沢川流域、富士川水系の沼川流域の3地域に分けられる。

黄瀬川・大場川流域では、前述のように、地下水涵養量の減少や揚水量の増加等により流域の水収支バランスが崩れ、地下水盆からの流出が顕在化しつつあり、地域の実状を考慮しながら、流域一体となって地下水利用規制を行う必要がある。

鮎沢川流域、沼川流域については、当地域の地下水盆外にあるが、大規模な地下水揚水を行えば地下水の分水嶺が変化し、三島周辺の湧水群に影響が生じることが懸念されることから、同地域での揚水量については、当面、現状を維持することが望ましいと考えられる。

(2) 採取量

1) 新設揚水設備

平成元年以降の黄瀬川・大場川流域では、水道事業を除くと年平均2.7本の井戸が増設されている。流域の水収支バランスからみると、これ以上の井戸の増加は好ましくないが、市町の開発計画等に伴う水需要の増加等、地域の実情を考慮すると、地下水以外に水源を持たない当地域においては、井戸の新設は認めざるを得ない状況にある。

当地域における井戸の日最大揚水量の平均は、市町の水道事業を除くと1本当たり957 m³/日となっている。各市町では新設井戸の日最大揚水量を1,000 m³/日で指導していることから、当面は現行の取水基準により指導を行っていくことが必要である。

2) 既設揚水設備

既設井戸については、当地域では現在のところ他の代替水源もなく、また、施設の改良には多額の費用が必要なことから、早急に現在の揚水量を規制することは困難であり、現状以下とせざるを得ない。

3) 代替揚水設備

今後、代替井戸が増加していくものと考えられ、流域の適正採取量を維持するためには、新設井戸の揚水量の抑制とともに、既設井戸についても、井戸の代替時における取水基準を設置し、合理的利用や揚水量の削減を図る必要がある。

(3) その他の地下水利用に係わる基準

揚水設備間の距離は、既存の揚水試験結果等に基づいて、揚水設備の相互干渉が生じない距離としなければならない。また、ストレーナー深度は、現在の取水状況と地下地質解析結果から、一定の帯水層に集中しないように定める必要がある。現在各市町では、これらを考慮して指導を行っており、当面は現行の取水基準により指導を行い、採取量の検討と平行して検討を進める方針である。

(4) 地下水利用対策協議会の方向

現在、当流域には、「黄瀬川地域地下水利用対策協議会」と「東富士地域地下水利用対策協議会」の2つの地下水利

用に関わる協議会が組織され、独自の規約や要綱に取水基準や井戸間隔等を定めて地下水利用の自主規制を行っている。しかし、地下水は、市町の行政界を越えて流動しており、実効ある地下水対策を推進するためには、両協議会の統合が望まれる。

また、様々な施策の展開には、関係市町だけでなく企業等の地下水採取者の理解・協力が不可欠である。今後、両協議会の統合に向け、それぞれの市町や地域において地下水採取者を含んだ地下水利用対策協議会を設立し、できるかぎり早期に、地下水採取者を含んだ統一地下水利用対策協議会の設立を図る必要がある。

8. おわりに

前組織である狩野川水系地下水検討会では、平成5年3月に今後の方針として、「湧水群の水量を少なくとも現状より減少させないよう努めることが重要」と提案している。また、これまでの調査・検討結果から、地下水盆の水収支のバランスは従前通りに維持されていることを確認したが、今後、無秩序な開発の進展や小降雨気象の継続によっては、地下水盆からの流出が大幅に上回る事態も推定される。

このため、協議会では新たに組織を再編し、今後も、水利用の合理化推進、土地開発等に対する地下水涵養の指導、地下水涵養施策の実施等、当面の対策を推進するとともに、地域の実状に配慮しつつ、地下水利用規制、新規水源等についても引き続き検討していく予定である。

この他に、地下水の動向を監視し、地下水水理をより一層明らかにするためのモニタリング調査は継続して実施していく方針である。

9. 謝 辞

本調査・検討を進めるに当たっては、当協議会の顧問である土隆一・静岡大学名誉教授、建設省土木研究所・金木水文研究室長(前・寺川室長)より御指導・御助言を頂いた。

協議会の運営・資料提供等に際しては、関係機関(中部地建、静岡県、沼津市、三島市、御殿場市、裾野市、清水町、長泉町、小山町)の協力を得た。降雨・水位等のデータについては、防衛庁横浜防衛施設局、静岡県東部農林事務所の御協力を得た。また、箱根西麓の試験流域における水文観測は、建設省土木研究所水文研究室(担当:鈴木俊郎研究員)との共同で実施している。さらに、協議会最終報告(H9.3月)をまとめる際には、前任の伊藤仁志・前沼津工事調査第一課長(現:中部地建河川部建設専門官)、時田和廣・前専門職(現:中部地建静岡河川工事事務所蒲原海岸出張所長)の御尽力によるものが大きい。

ここに記して、関係された皆様に深甚の謝意を表する次

第であります。

(参考文献)

- 1) 増田隆司・村越喜久男:「柿田川・三島周辺湧水群について」、地下水技術、第36巻1号、pp.22-31、(社)地下水技術協会、1994
- 2) 増田隆司:「黄瀬川・大場川流域水循環システム対策協議会」発足について」、地下水技術、第36巻5号、pp.22-31、(社)地下水技術協会、1994
- 3) 黄瀬川・大場川流域水循環システム対策協議会(事務局:建設省中部地方建設局沼津工事事務所調査第一課):「黄瀬川・大場川流域水循環システム対策協議会総括報告書」、H10.2.17
- 4) 津屋弘達、「富士火山地質図」、S36
- 5) 久野 久、「箱根火山地質図」、S47
- 6) 共立出版、「日本の地質」関東地方、中部地方、S61、S63
- 7) 富士急行、「富士山」、富士山総合学術調査報告書、1/50,000、沼津図幅
- 8) 由井将雄・藤井敏嗣、「愛鷹火山の地質」、H1
- 9) 「洪水の数値予報」その第一歩、日野幹雄、森北出版、1989.5
- 10) スリカーンタ・ヘーラトほか、「不飽和浸透を考慮した水循環モデルの開発と適用例」、こうえいフォーラムNo.1、pp.31-35、1992
- 11) 虫明功臣ほか、「水環境の保全と再生」、山海堂、pp.81-91、1987
- 12) 金子 良、「農業水文学」、共立出版、1973
- 13) 中川昭一郎、「水田用水量調査計画法」、畑地農業振興会、1976
- 14) Harverkamp, R., M. Vauclin, J. Touma, P. J. Wierenga, and G. Vachad: A comparison of numerical simulation models for one-dimensional infiltration. Soil Sci. Soc. Am. J., Vo141, pp.285-293, 1977
- 15) 虫明功臣、ヘーラト・スリカーンタ、小池雅洋: An Appraisal of Suitability of Some Moisture-Suction Models for Kanto Loam (水分量 吸引圧関係式の関東ローム土への適用性の評価)、生産研究、38巻4号、1986.4
- 16) Mualem, Y.: Hydraulic conductivity of unsaturated porous media: Generalized macroscopic approach. Water Resource Research, Vo1.14, 2, pp.325, 1978

注) 本稿は、「地下水技術」(第40巻第6号、(社)地下水技術協会、1994)で発表した論文です。