

九州大学 正会員 上田 年比古

" " 神野 健二

" 学生員 ○長野 益徳

1. まえざき 本報では広域の地下水場からの井戸群による取水を考へて、④地盤沈下や地下水の塩水化などの地下水障害が発生しないように、井戸水位とある値以下に下げないこと、および⑤各井戸の水需要を満足することとを二つの条件(④,⑤)とした最適定常取水を検討したものである。ここでは最適取水として上記二条件を満足する範囲で領域の総取水量最大の状態およびI; ④条件を満足する範囲では⑤条件を満足しない場合、この水需要量に達しない井戸の不足分を他の余裕のある井戸からの地上導水により補足するとし、その際の地上導水量を最小にする状態の二つの場合(I,II)について解析した。次にこれを図-1に示す熊本市及びその周辺の地下水場を対象にして適用してみよう。

2. 最適問題としての定式化. 上記Iの場合の考え方については、文献1),2)及び3)で部分的に発表しておりここでは、その概略を述べ、次にIIの場合の考え方のべき適用結果を示す。

基礎式は、層厚 h_0 の被圧帯水層地下水場について、 $\partial(kh_0\partial h/\partial x)/\partial x + \partial(kh_0\partial h/\partial y)/\partial y = \sum Q_m \delta(x-x_m)\delta(y-y_m) + R(x,y) - (1)$ 、ただし h : 水頭、 k : 透水係数、 Q_m : 井戸番号 m の取水量、 δ : デルタ関数、 x_m, y_m : 井戸番号 m の座標、 $R(x,y)$: 対象領域から外部への単位面積当りの地下水漏水量とする。(1)式の離散化に有限要素法を用いられ、被圧地下水頭と取水量の関係は、 $Ah = FQ + R - (2)$ のようにマトリクス表示できる。次に(2)式の係数行列 A, F 、水頭 h 、取水量 Q と井戸、任意節点 j の境界に対する小行列にわけ、変形すれば、制御対象の井戸水頭と取水量との関係式として(3)式がえられる。 $Q_w = P_h w + Q - (3)$ となる。 P 及び Q は(2)式の変形によりえられた係数行列であり、水頭及び境界条件の取水量に及ぼす影響項であって、対象領域の地域固有の特性量として取水計画にあたり、この基礎資料と考へられる。いま、揚水障害の直接原因と水頭の異常低下と考へ、各井戸に許容される最低水位として低限界水頭 h_w^* を設定し、また各制御井戸の配水区域の水需要量 Q_w^* を設定する。いま h_w^* 以上、 Q_w^* 以上 α 二条件のもとに総取水量を最大にすることを最適状態(I)として定式化する

$h_w \geq h_w^* - (4)$ 、 $Q_w \geq Q_w^* - (5)$ の条件で $Q = \sum Q_m \Rightarrow \max - (6)$
また、 $h_w - h_w^* = h_w' - (7)$ とすれば、制約条件 $Q_w = P_h w + P_0 \geq Q_w^*$
(これは $P_0 = P_h w' + P_0 - (8)$)、 $h_w' \geq 0 - (9)$ 、目的関数 $Q = \sum Q_m = U h' + G \Rightarrow \max - (10)$ の線形計画問題となり、最適解は、Simplex法により求められる。以上の計算のフローチャートを図-2に示す。
次に、前記IIの場合と考へる。領域に可能な最大総取水量は、総需要量より大きくても④条件を満足する範囲では水需要量に達しない井戸が生じて、前述の方法で解がえられない場合がある。この場合は、 $Q_m < Q_m^*$ の井戸に対して、その不足分 $Q_m^* - Q_m$ を他の余裕のある井戸から地上導水して $Q_m \geq Q_m^*$ を満足させる必要がある。そこで、低限界水頭以上の条件のもとに各井戸の水需要量を満足させるのに必要な井戸間の地上導水量を最小にする問題と考へる。いま、井戸水頭がすべて h_w^* のときの各井戸(m)の取水量を P_m とし、 $P_m \geq Q_m^*$ の井戸を m' 、 $P_m < Q_m^*$ の井戸を m'' 、地上導水量を q_d とすれば、この問題は $q_d = \sum_{m''} (Q_m^* - P_m) \Rightarrow \min - (11)$ を目的とし、 $\sum Q_m \geq \sum Q_m^* - (12)$ 、 $Q_m \geq Q_m^* - (13)$ 、 $Q_m \leq Q_m^* - (14)$ を条件とする線形計画問題として解がえられる。

3. 適用例 (熊本市地下水盆モデル、図-1) 熊本市水道局の報告書⁴⁾に示される図-1の江津湖の西部を制御対象領域とした。図-3に縦断方向の地層分布図を示す。 $D_0, A_{0-4}, D_{0-3}, A_{0-3}$ が取水対象地層である。また、透

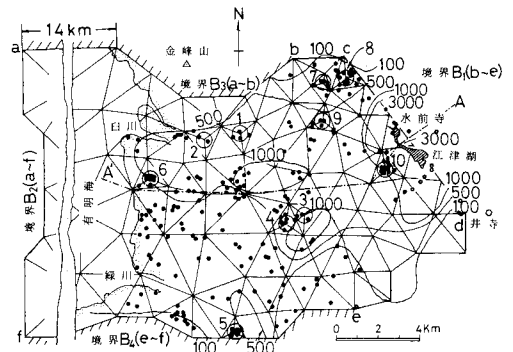


図-1 熊本平野西部地下水領域

(1, 2, ... は井戸群番号, 曲線は等透水水量曲線)
(曲線に記載の数値は透水水量係数 (m³/day))

水量係数(透水係数×帯水層厚さ)の分布を図-1a等透水量線(曲線)に示す。

境界条件は、東側は、Dsg, Aso-3層に断層の存在する江津湖の線、西側は、主取水層が海底に開口する水深40mの海上にとり、境界B₁(b~c), 境界B₂(a~f)の地下水位に一定値

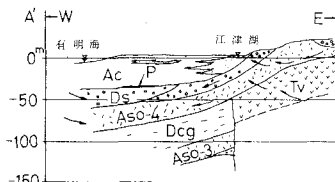


図-1 熊本平野西部の地下水量図 (図-1のAA断面)

(Ac:有明粘土層, Ds:豊原海成層)
(Dsg:本庄分統礫層, T:砂礫層)
Aso3, Aso4:阿蘇X群流産堆積物

を与え、山地につながる境界B₃(a~b), 境界B₄(c~f)

は不透水壁とする。制御対象の井戸は図-1の黒矢の井戸のうち井戸番号1~10の10ヶ所とした。

井戸1,3は市水適用井戸群、2は農業用井戸群、

4,5,9は工業用水井戸群、7,8はビル用水井戸群、

6,10は養鰻場用水井戸群を代表させた。他に

に存在する井戸は総揚水量に対する割合も少く、

制御対象外とし一定取水量を与えた。低限界水深 h_w^* は一応、各井戸一律に標高-5m, -3m, -1mとした。次に水需要量は、同報告書で示す5の揚水計画案(表-1)

をとった。以上の地下水盆モデルについて、図-2のフローチャート

により計算すると、E, Uは表-2、各 h_w^* に対する Q_m , Gは

表-3となる。Gは、各井戸が低限界水深時の総取水量で地域全体の

可能な最大総取水量であり、その時の各井戸の取水量は

Q_m である。表-1の水需要量の制約のもとで地域全体の

取水量を最大にする最適解は表-4となる。この

場合 case 4.5 の $h_w^* = -5m$, case 3.4.5 の $h_w^* = -3m, -1m$

では最適解がえられない。そこで case 5以外では、 $\sum Q_m^* < \sum P_{om}$ であるので、地上導水と考えれば

この地域の水需要を地下水だけで満たすことがで

きる。そこで、2にのべた地上導水量を最小にする

ような最適取水量配分を求めると、case 4の $h_w^* = -5m$

の場合は、表-5になる。この場合、井戸1,3が水需要

量に達しないが他の余裕のある井戸8,10から地上導水

により補給して地域的全制御井戸は需要量を丁度

満足するようになっていて、しかも導水量最小の

結果がえられている。

次に、case 5では、 $\sum Q_m^* > \sum P_{om}$ となっており、この

場合は水需要量を地下水のみで満たすことはでき

ないため、不足分は他の水源から補給する必要がある。

この場合は補足量と最小とすることが有利であり、したがって、各井戸からの取水総量と最大

にするために、最大総取水量での取水、すなわち

各井戸の水位をすべて低限界水深にした取水が

最適と考えられる。

参考文献 ①上田神野・長野「地下水の最適取水について」

②上田神野・長野「井戸群による地下水の最適取水について」

③上田神野・長野「井戸群による地下水の最適取水について」

④上田神野・長野「井戸群による地下水の最適取水について」

⑤上田神野・長野「井戸群による地下水の最適取水について」

⑥上田神野・長野「井戸群による地下水の最適取水について」

⑦上田神野・長野「井戸群による地下水の最適取水について」

⑧上田神野・長野「井戸群による地下水の最適取水について」

⑨上田神野・長野「井戸群による地下水の最適取水について」

⑩上田神野・長野「井戸群による地下水の最適取水について」

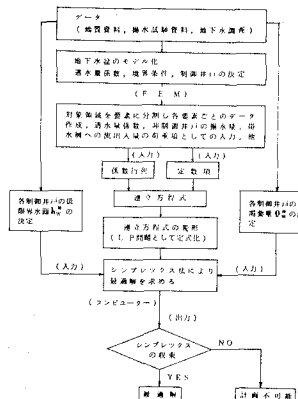


図-2 2条件をみたし総取水量最大の解のフローチャート

表-1 水需要量 Q_m^* (単位: $10^4 m^3/day$)
(mは制御井戸の番号)

m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\sum Q_m^*$
1	1.50	0.60	1.00	0.27	0.27	0.60	0.60	0.60	0.27	0.60	6.81
2	3.00	0.60	2.80	0.50	0.50	0.80	0.80	0.80	0.50	0.80	11.10
3	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.50	1.50	1.50	1.00	1.50	14.00
4	3.00	1.30	2.80	0.90	0.90	1.50	1.50	1.50	0.90	1.50	15.80
5	3.50	1.30	3.00	1.80	1.80	2.10	2.10	2.10	1.80	2.10	21.60

表-2 P (或 P_{m2}) と U (或 U_2) (単位: m^3/day)
(mは制御井戸の番号, U_2 は P_{m2})

m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\sum U_2$
1	-140.0	752.0	193.0	159.0	17.4	110.0	41.7	4.9	254.0	33.5	-74.5
2	752.0	-1390.0	54.0	68.3	24.9	408.0	4.5	0.5	34.9	7.0	-35.5
3	193.0	54.0	-2590.0	1540.0	53.0	38.4	9.2	1.7	177.0	245.0	-278.7
4	159.0	68.3	1540.0	-2200.0	137.0	71.4	4.6	0.7	74.4	54.6	-90.0
5	17.4	24.9	53.0	137.0	-324.0	58.1	0.3	0.03	3.5	4.0	-25.8
6	110.0	408.0	38.4	71.4	-773.0	13.9	0.2	15.1	4.1	4.1	-63.3
7	41.7	4.5	9.2	4.6	0.3	1.4	-835.0	194.0	249.0	7.5	-323.8
8	4.9	0.5	1.7	0.7	0.03	0.2	194.0	-1090.0	115.0	34	-769.6
9	254.0	34.9	177.0	74.4	3.5	15.1	249.0	115.0	-1550.0	140.0	-497.1
10	33.5	7.0	245.0	54.6	4.0	4.1	7.5	34	140.0	-3540.0	-3040.4

表-3 P_0 (或 P_{om}) と G (単位: $10^4 m^3/day$)
(mは制御井戸の番号, h_w^* は標高, G = $\sum P_{om}$)

h_w^* (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	G
-5m	1.94	1.74	1.37	1.03	0.92	1.38	1.78	2.16	1.76	4.61	18.69
-3m	1.92	1.73	1.31	1.01	0.91	1.37	1.72	2.01	1.67	4.00	17.65
-1m	1.91	1.72	1.26	0.99	0.91	1.36	1.65	1.86	1.57	3.39	16.62

表-4 2条件をみたし、総取水量最大の解の算定 Q_m (単位: $10^4 m^3/day$)
(mは制御井戸の番号)

h_w^* (m)	m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\sum Q_m$
-5m	1	1.94	1.74	1.37	1.03	0.92	1.38	1.78	2.16	1.76	4.61	18.69
	2	3.00	0.60	2.80	0.50	0.50	0.80	2.03	2.29	0.50	4.83	17.85
	3	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.50	1.50	2.38	1.00	2.00	15.38
-3m	1	1.92	1.73	1.31	1.01	0.91	1.37	1.72	2.01	1.67	4.00	17.65
	2	3.00	0.60	2.80	0.50	0.50	0.80	1.04	2.38	0.50	4.25	16.37
-1m	1	1.91	1.72	1.26	0.99	0.91	1.36	1.65	1.86	1.57	3.39	16.62
	2	3.00	0.60	2.80	0.50	0.50	0.80	0.80	2.26	0.50	2.67	14.43

注) $h_w^* = -5m$ の case 4.5, $h_w^* = -3m, -1m$ の case 3.4.5 は2条件をみたす解が求まらない。

表-5 $h_w^* \geq 0$ をみたし、地上導水量最小の解の算定 Q_m (単位: $10^4 m^3/day$)
($h_w^* = -5m$, case 4の場合, mは制御井戸の番号)

Q_m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	計
Q_m	249	130	192	090	090	150	150	236	090	203	1580
Q_m^*	300	130	280	090	090	150	150	150	090	150	1580
$Q_m - Q_m^*$	-0.51	0	-0.88	0	0	0	0	0.86	0	+0.53	0

$$\left[\sum_{m=1,2} (Q_m^* - Q_m) \right] = \sum_{m=8,10} (Q_m - Q_m^*) = 1.39 \times 10^4 m^3/day$$