

観測地下水位による揚水量の推定について

— 八代地域を例に —

藤野 和徳* 梶 秀介** 斎藤 郁雄*

Identification of Pumping up Rate by Observation Groundwater Level — Example of Yatsushiro Area —

Kazunori Fujino* Shusuke Kakoi** Ikuo Saito*

Recently, owing to the change of industrial structure and living style, consumption of water resources has changed. In this study, we propose the method to estimate the pumping up rate of groundwater and apply this proposed method to the confined aquifer of Yatsushiro area.

The estimation of the pumping up rate of groundwater by hearing investigation to all family units is the most reliable method. But that needs a lot of work and time. So it is realistic to identify the pumping up rate by utilization of observed groundwater levels. At first, we break up several areas from the land use map and give the pumping up rate to each area and make the pumping up rate pattern. Next, we identify the pumping up rate pattern by genetic algorithm to minimum the difference between observed and calculated groundwater levels. We study this method and could get annual change of pumping up rate of groundwater.

キーワード：揚水量，地下水位，土地利用図，遺伝的アルゴリズム

Keywords : Pumping up rate, groundwater level, land use map, genetic algorithm

1. 序論

地下水は温度較差が小さく比較的清浄であることから重要な水資源としての役割を果たしてきた。しかしながら、過剰な地下水の揚水による地下水位の低下から、地盤沈下や地下水の塩水化などの地下水障害が、引き起こされた事例も多く見られる。地下水障害に対して、各家庭の環境に配慮した節水型の生活スタイルへの移行、事業所の節水努力、農業用水の回収水の利用、各自治体の条例による地下水揚水量の届出制や総量規制、また、地下水から地表水への移行などが採用され、近年、地下水の利用量について変化が見られる。これは1993年の環境基本法の制定、2000年の循環型社会形成推進基本法の制定による環境保全の認識が浸透してきたこともその要因の一つと思われる。

なお、温暖化に伴う降雨の増減や大規模災害時においても、健全な水循環を維持し、安心・安全な水資源を確保することを目的とした水循環基本法が2014年に制定されており、水資源確保は依然として重要な課題となっている。

本研究は、水資源としては地下水の依存度が高い地域について、地下水（伏流水を含む）が安心・安全な水循環を構成する水資源となっているのか、具体的にはどの程度の地下水が揚水されているか、また、これは地下水障害を避けるための適正な量であるかについて検討することを目的に、地下水の揚水量の推定手法を提案するものである。

地下水利用地域において、地下水揚水量を把握する確実なもの、全戸に対して正確な聞き取り調査を行うものが最も正確なものと考えられるが、地下水を揚水しその量を示す量水器は一般的に取り付けられておらず、正確な揚水量を求めることは困難であり、また、大変な作業を伴い、時間もかかるため、観測地下水位を用いて推定する手法が有効と思われる。

本研究は、まず、解析モデルを用いて、地下水揚水量の算定手法を示している。次に、一意的に揚水量を推定することが困難な場合には、地下水流方程式に揚水量を入力して地下水位を計算し、この計算地下水位が観測地下水位に一致する地下水揚水量が実際の地下水揚水量と考え、観測地下水位にできるだけ一致させる地下水揚水量を、遺伝的アルゴリズムを用いて求める手法を提案している。次に、この手法を八代地域に適用し、地下水揚水量の変化を推定したものである。

* 建築社会デザイン工学科
〒866-8501 熊本県八代市平山新町 2627
Dept. of Architectural and Civil Engineering,
2627 Hirayama-Shinmachi, Yatsushiro-shi, Kumamoto, 866-8501, Japan

** 西日本高速道路エンジニアリング九州株式会社
〒810-0073 福岡県福岡市中央区舞鶴 1-2-22
天神ジャパンビル
1-2-22, Maizuru, Chuoku, Fukuoka-shi, Fukuoka, 810-0073, Japan

2. 地下水流の基礎方程式

本研究は、被圧帯水層で定常時の地下水の流れを取り扱う。

運動方程式であるダルシーの式(1)と連続の式(2)より、式(3)の基礎方程式が得られる。

$$q_x = -T \frac{\partial h}{\partial x} \quad q_y = -T \frac{\partial h}{\partial y} \quad (1)$$

$$\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = -\sum_i \frac{Q_i}{\Delta x \cdot \Delta y} \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(T \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T \frac{\partial h}{\partial y} \right) = \sum_i \frac{Q_i}{\Delta x \cdot \Delta y} \quad (3)$$

ここに、

h : 地下水頭 (m)

q_x, q_y : x, y 方向の単位幅当たりの流量 (m^2/day)

T : 透水量係数=透水係数×帯水層厚 (m^2/day)、

Q_i : 揚水井戸 i からの地下水揚水量 (m^3/day)

地下水頭や地下水揚水量を求めるために、式(3)を差分方程式(4)にし、数値解析を行なっている。

$$\begin{aligned} & \left(T_{i+1/2,j} \frac{h_{i+1,j} - h_{i,j}}{\Delta x} - T_{i-1/2,j} \frac{h_{i,j} - h_{i-1,j}}{\Delta x} \right) / \Delta x \\ & + \left(T_{i,j+1/2} \frac{h_{i,j+1} - h_{i,j}}{\Delta y} - T_{i,j-1/2} \frac{h_{i,j} - h_{i,j-1}}{\Delta y} \right) / \Delta y = \sum_i \frac{Q_i}{\Delta x \cdot \Delta y} \end{aligned} \quad (4)$$

ここに、

i, j はそれぞれ x, y 方向の格子点番号 (図1参照)

$\Delta x, \Delta y$ はそれぞれの方向の格子間隔

$$h(x, y) = h_{i,j} \quad h(x + \Delta x, y) = h_{i+1,j} \quad h(x - \Delta x, y) = h_{i-1,j}$$

$$h(x, y + \Delta y) = h_{i,j+1} \quad h(x, y - \Delta y) = h_{i,j-1}$$

$$T(x, y) = T_{i,j} \quad T(x + \Delta x, y) = T_{i+1,j} \quad T(x - \Delta x, y) = T_{i-1,j}$$

$$T(x, y + \Delta y) = T_{i,j+1} \quad T(x, y - \Delta y) = T_{i,j-1}$$

$$T_{i+1/2,j} = (T_{i+1,j} + T_{i,j}) / 2$$

$$T_{i-1/2,j} = (T_{i,j} + T_{i-1,j}) / 2$$

$$T_{i,j+1/2} = (T_{i,j+1} + T_{i,j}) / 2$$

$$T_{i,j-1/2} = (T_{i,j} + T_{i,j-1}) / 2$$

また、全格子点には、通し番号をつけている。

式(4)を行列表示すると、

$$A \cdot H = Q \quad (5)$$

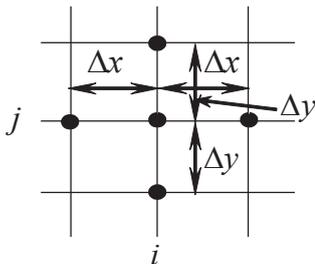


図1 平面格子

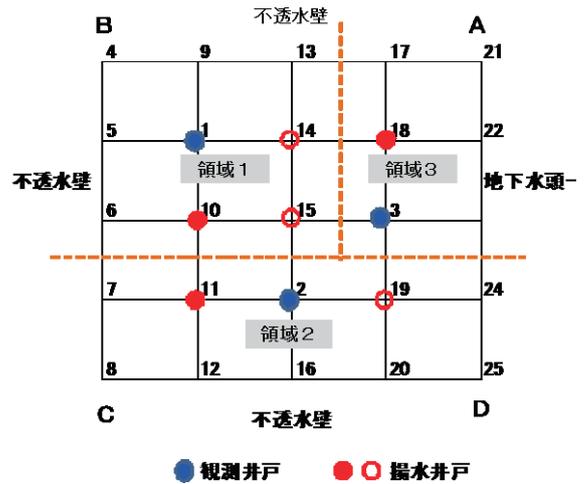


図2 解析モデル

3. 地下水揚水量の推定

3.1 地下水の揚水量が求まる場合

図2に地下水揚水量を求めるための解析モデルを示す。

この領域は $40m \times 40m$ の被圧帯水層モデルで、透水係数 $k = 0.02cm/sec$ 、帯水層厚 $b = 3m$ 、透水量係数 $T = k \cdot b = 51.84m^2/day$ で、これは領域内で一定としている。

境界条件は、境界 AD は地下水頭一定で $6m$ 、他の境界は AB, BC, CD は不透水壁である。図2の揚水井戸 (格子点番号 10, 11, 18) から Q_1, Q_2, Q_3 が揚水されたとき、式(5)を解くことで、観測井戸 (格子点番号 1, 2, 3) の地下水頭が得られる。いま逆に得られた 3 つの地下水頭から 3 つの揚水量を求めてみよう。

解析モデルで、観測井戸番号 1-3 の地下水頭を H_1 、地下水水位既知の境界の地下水頭 (格子点番号 21-25) を H_3 、内部の地下水頭 (格子点番号 4-20) を H_2 とすると、式(5)は式(6)のように表される。

$$\begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H_1 \\ H_2 \\ H_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_{11} \\ B_{12} \\ B_{13} \end{bmatrix} Q_1 + \begin{bmatrix} B_{21} \\ B_{22} \\ B_{23} \end{bmatrix} Q_2 + \begin{bmatrix} B_{31} \\ B_{32} \\ B_{33} \end{bmatrix} Q_3 \quad (6)$$

境界条件を入れ、式(6)から、 H_1 を求める式に変形すると、

$$H_2 = E_{21} H_1 + C_2 + D_{12} Q_1 + D_{22} Q_2 + D_{23} Q_3$$

$$H_1 = C_1 + D_{11} Q_1 + D_{12} Q_2 + D_{13} Q_3 \quad (7)$$

ここに、 C は境界条件より求まる値である。観測された地下水頭を H_1 に代入すると、3元連立方程式となり、これを解くと、地下水揚水量 $Q_1 \sim Q_3$ が求まる。

一例として、地下水揚水量 Q_1, Q_2, Q_3 をそれぞれ、10, 8, $6m^3/day$ とすると、3つの観測井戸 (格子点番号 1, 2, 3) の地下水頭は、次の値となる。

$$h_1 = 5.744666m$$

$$h_2 = 5.790319m$$

$$h_3 = 5.887187m$$

これらの値が観測されたとして、式(6)を変形すると、

$$\begin{bmatrix} 5.744666 \\ 5.790319 \\ 5.887187 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 6.0 \\ 6.0 \\ 6.0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0.01359 \\ -0.00949 \\ -0.00505 \end{bmatrix} Q_1 + \begin{bmatrix} -0.01080 \\ -0.01160 \\ -0.04800 \end{bmatrix} Q_2 + \begin{bmatrix} -0.00551 \\ -0.00366 \\ -0.00400 \end{bmatrix} Q_3 \quad (7)$$

式(7)の連立方程式を解くと、 Q_1, Q_2, Q_3 は、

$$Q_1 = 10m^3 / day$$

$$Q_2 = 8m^3 / day$$

$$Q_3 = 6m^3 / day$$

と揚水量を求めることができる。

また、図2の解析モデルを図のように3領域に分け、各領域内の揚水井戸からの揚水量を一定とすると、この場合も、3つの揚水量となるために求めることができる。領域1での揚水井戸（格子点番号10, 14, 15番）から $10m^3/日$ 、領域2の揚水井戸（格子点番号11, 19番）から $8m^3/日$ 、領域3の揚水井戸（格子点番号18番） $6m^3/日$ を揚水したときの地下水頭を求めた。これらの地下水頭を観測地下水頭として、式(7)を示すと以下の連立方程式となる。

$$\begin{bmatrix} 5.500208 \\ 5.586088 \\ 5.751816 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 6.0 \\ 6.0 \\ 6.0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0.03469 \\ -0.02490 \\ -0.01539 \end{bmatrix} Q_1 + \begin{bmatrix} -0.01499 \\ -0.01787 \\ -0.00879 \end{bmatrix} Q_2 + \begin{bmatrix} -0.00551 \\ -0.00366 \\ -0.00400 \end{bmatrix} Q_3 \quad (8)$$

これより、各領域内の揚水量は、それぞれ、10, 8, $6m^3/day$ を求めることができる。

なお、観測井戸が3箇所の場合で、揚水量が異なる4箇所以上の揚水井戸から揚水された場合、関係式が足りず揚水量を求めることができない。

3.2 遺伝的アルゴリズムによる地下水の揚水量の推定

求める地下水揚水量の数が観測地下水位の数より多い場合、関係式が足りないために、一意的に地下水揚水量を求めることができない。観測された地下水位には各揚水量の寄与が含まれているために、地下水揚水量を仮定し、仮定

した揚水量を使って地下水位を求め、観測地下水位と一致する揚水量が実際の揚水量と考えることができる。ここでも、図1の解析モデルで、5箇所の揚水井戸があり、3箇所地下水頭が観測された場合について、遺伝的アルゴリズムを用いて揚水量を求める手法を示す。まず、遺伝的アルゴリズム^{(1),(2)}の概略を示し、次に揚水量の推定方法の流れ図(図3)を示す。

遺伝的アルゴリズムは、生物の進化論をもとに構成されたもので、一般的に3つの過程、選択・交叉・突然変異によって、適合する子孫到達の原理をモデリングした確率的探索手法である。1990年代以降、工学の様々な分野で利用されており、基本的な取り扱いほぼ確立していると思われる。

遺伝的アルゴリズムの処理手順は、まず、初期個体集団の生成を行う。解析モデルについて、求める地下水揚水量が5つとすると、1個体は5個の揚水量となる。次に、各個体の揚水量を式(4)に代入し、地下水位を求め、適応度の評価を行う。選択方法としては、適応度に比例した選択確率を各個体に与え、適応度の高い個体が交配に参加する回数を多くするものや、適応度の高い個体から順位を付け、その順位から選択確率を割り出し、交配に参加させる回数を決めるものや、無作為に個体を選択し、適応度の高い個体を残すトーナメント選択などがある。

次に、交配を行う任意の2個体を決定し、交叉を行う。基本的に双方の染色体の一部をとり、2組の子孫の染色体をつくるものである。これは交叉区間を決定し、その区間の染色体を入れ替えるものである。次に、突然変異を加える。これは、ある確率で染色体の一部を変化させる操作である。この突然変異の考慮は、局所解に陥ることを防ぐものである。

これらの一連の操作が終了すると、新しい世代の個体集団が作られる。この新しい集団に対して、同様の適応度の評価、選択・交叉・突然変異の操作を繰り返し、最適な個体を得るものである。

まず、多くの個体を作成し、本研究では5つの揚水量の組を50組作成した。各組の揚水量を与え、式(4)より地下水位を計算すると、次式(9)の適応関数値が得られる。

$$f = \sum_{i=1}^3 (h_{oi} - h_{ci})^2 \quad (9)$$

ここで、 h_{oi} : 観測地下水位、 h_{ci} : 計算地下水位である。

ここで50個の適応関数値が求められる。

選択として、本研究ではトーナメント選択を用いた。これは各個体を2回選べるとして、任意の2個体の組を50組作成し、各組で適応関数値の小さい個体を残す方法である。次に、交叉は各個体を2進数で表し、0, 1を染色体と見立てて、表1のように乱数で交叉区間を決め、交叉確率0.7として、交叉を実行した。つぎに、突然変異については、変異確率0.2とし、表2のように、ここでも突然変異区間を乱数で決め、2進数の0を1に、1を0とする突然変異操作を行なった。

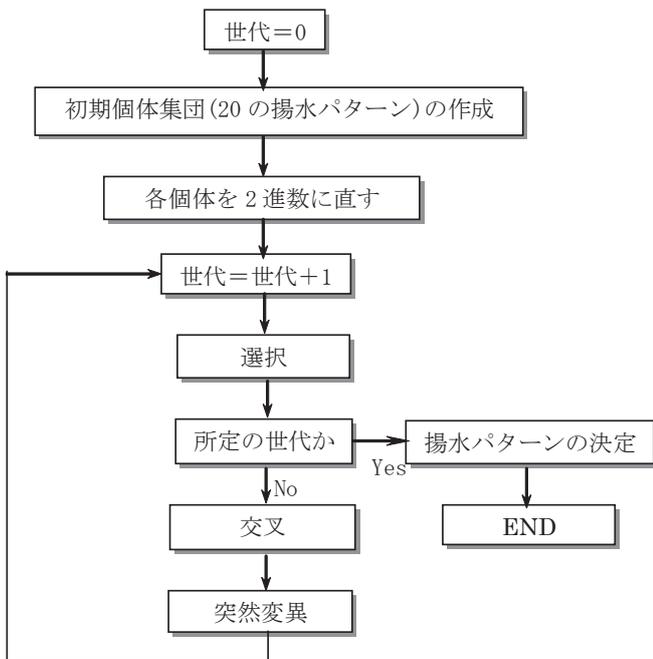


図3 流れ図

表1 交叉の例

| | Q1 | | | | Q2 | | | | Q3 | | | | Q4 | | | | Q5 | | | | | |
|----|----|---|---|---|----|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | | |
| 親A | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 親B | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 親A | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 親B | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |

交叉区間: 8~14

表2 突然変異の例

| | Q1 | | | | Q2 | | | | Q3 | | | | Q4 | | | | Q5 | | | |
|----|----|---|---|---|----|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| 親A | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 親B | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |

突然変異区間: 10~17

適応関数値

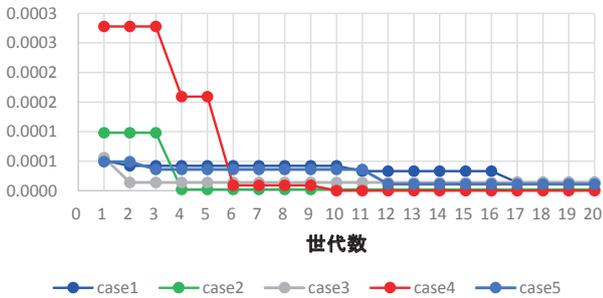


図4 適用関数値の推移

世代数は100とした。世代数が増えるに従い、適用関数値が小さくなる。

格子点番号11, 15, 18, 14, 19からそれぞれ10, 9, 8, 7, 6m³/dayを揚水したとき、観測井戸(格子点番号1~3)の地下水頭が、それぞれ次のように得られる。

$$h_1 = 5.656160\text{m}$$

$$h_2 = 5.691689\text{m}$$

$$h_3 = 5.812384\text{m}$$

この3つの地下水頭が観測されたとして、本手法である遺伝的アルゴリズムを使用し、5つの揚水量を求めてみよう。

図4は各世代の適用関数値の最小値である。乱数の初期値によって、完全に一致する揚水量は必ずしも求まるものではないが、完全に設定したとおりの揚水量が得られる場合もある。図4中のCase4は設定したとおりの揚水量が得られた場合である。

なお、本解析モデルの場合、非常に感度が高く、観測地下水頭を小数点以下3桁で与えた場合、完全に一致しないが、適応度の高い揚水量を得ることができた。

4. 八代地域への地下水揚水量推定手法の適用

八代地域には一級河川球磨川が東南の方向から入り、扇状地、三角州を経て八代海に流れている。八代地域は、生活・農業・工業用水の大部分を球磨川から流出する地下水

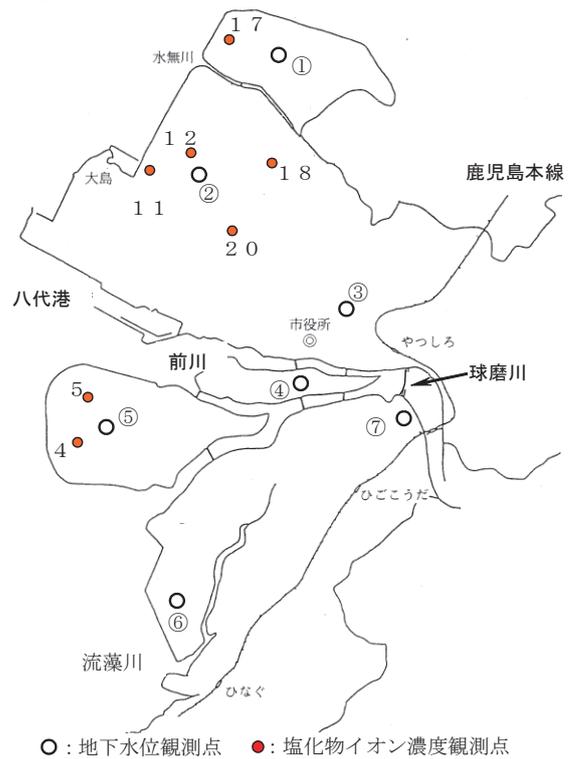


図5 八代地域

(伏流水)を利用し、発展してきた。また、河口から約7kmの地点の頭首工において、稲作やイ草などのための農業用水や日本製紙等の工業用水を取水し供給している。

20年前程前から海岸地域では地下水の塩水化が見られている。このため、八代市は図5に示すように、市内に7箇所の観測井戸で地下水頭(水位)を、そして月に1度、28箇所の地下水を採水し、塩化物イオン濃度を測定している。また、球磨川に近い5地点で地下水を揚水し、これを上水道の水源として海岸地域の住民に供用を開始している。

図6に八代市が観測している井戸の地下水水位⁽³⁾の変化を示す。観測井戸番号⑦は不圧地下水帯にあるが、それ以外は被圧帯水層に設置されたものである。

地下水水位の特徴として、夏期に降水量が多いにもかかわらず地下水水位が低下している。これは、稲作などの農業用水として地下水が使われているためであると思われる。また、冬期にも地下水水位が幾分低下する。これは、イ草のために地下水が揚水されたためである。次に、八代海の平均潮位は概ね1~2mであるが、海岸に近い観測点①, ②, ⑤, ⑥の地下水水位は平均潮位より低くなっている。この図より、地下水水位は増加しており、地下水の使用量が減少しているものと思われる。

図7に塩化物イオン濃度の推移を示す。海水の塩化物イオン濃度(20,000mg/l程度)より低い濃度となっており、地下水は海へ流出しているものと思われる。

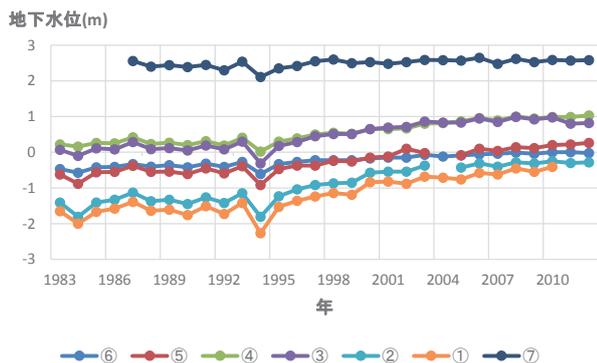


図6 地下水位の推移

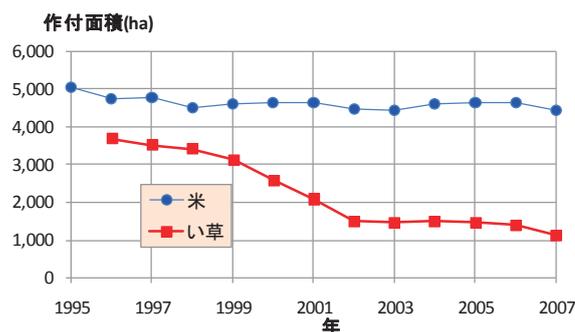


図9 作付面積の推移

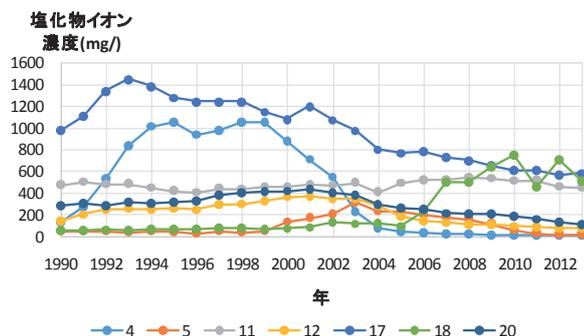


図7 塩化物イオン濃度の推移

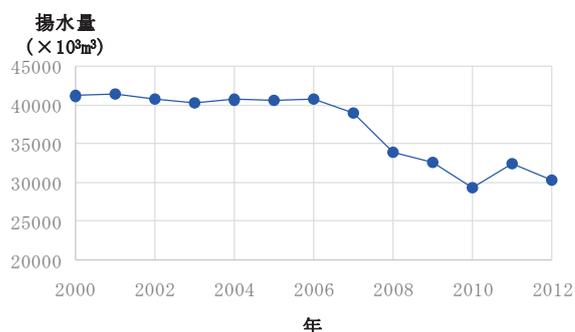


図10 大型井戸からの揚水量の推移

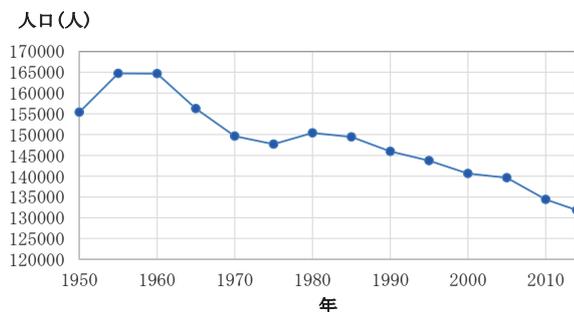


図8 人口の推移

1976年、1978年に地下水の利用量を把握するために、全戸に対して八代市は聞き取り調査⁽⁴⁾を実行している。この調査で地下水の揚水量は1日に637000m³の結果を得ている。

八代地域では、依然として各種揚水に地下水が利用されているが、地下水障害対策、塩化物イオン濃度との地下水揚水量との関係などを検討する場合、現在の地下水揚水量を把握することが必要となっている。以下、地下水揚水量に関係する人口、作付面積、大型井戸からの揚水量を明らかにする。

4.1 八代地域の地下水位および地下水揚水量に関する諸量

図8に八代地域の人口を示す。1980年から2010年にかけて約16000人減少している。1人1日300ℓの使用を考える

と、およそ4800m³/日の減少となる。図9に八代地域の米・イ草の作付面積の推移を示す。1990年と2000年とを比較すると、米、イ草の作付面積はそれぞれ92%、41%となっており、全体では7割の作付面積の減少となっている。熊本県は条例で大型井戸からの揚水する場合届出が必要で、図10は八代市にある大型井戸からの年揚水量の推移である。

以上、塩化物イオン濃度は減少傾向にあり、米・イ草の作付面積は減少し、人口も減少していることから、生活・農業用水の利用量すなわち地下水の利用量が減少しており、その結果、地下水位が上昇していると思われる。したがって、推定される地下水の揚水量は減少の結果が予想される。

4.2 遺伝的アルゴリズムによる八代地域の地下水揚水量の推定

八代地域に本手法を適用⁽⁵⁾する場合、多くの世帯が揚水井戸を有しており、また田畑近くにも多くの井戸が設置されていることから、全ての格子点を揚水井戸として取り扱っている。解析領域内の地下水位の観測データは八代市が測定している6箇所地下水頭データを用いた。土地の利用形態が同じであればその地域においては単位面積当たり同量の地下水を汲み上げているとして、土地利用図などを用い、解析領域を分類する。

図11に土地利用分布図を示す。この図より、領域を9

八代市土地利用現況図(旧八代市・旧千丁町)

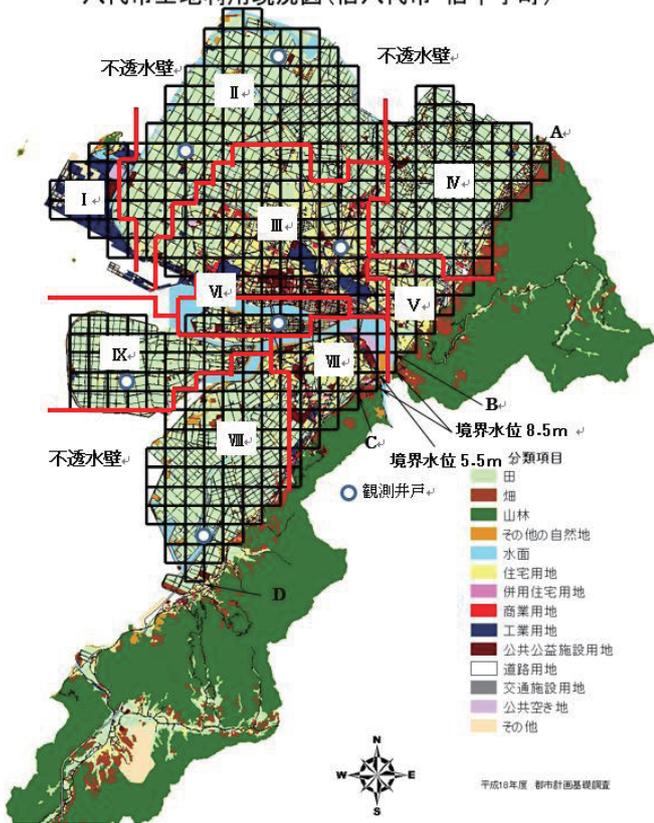


図 1 1 八代地域の解析領域

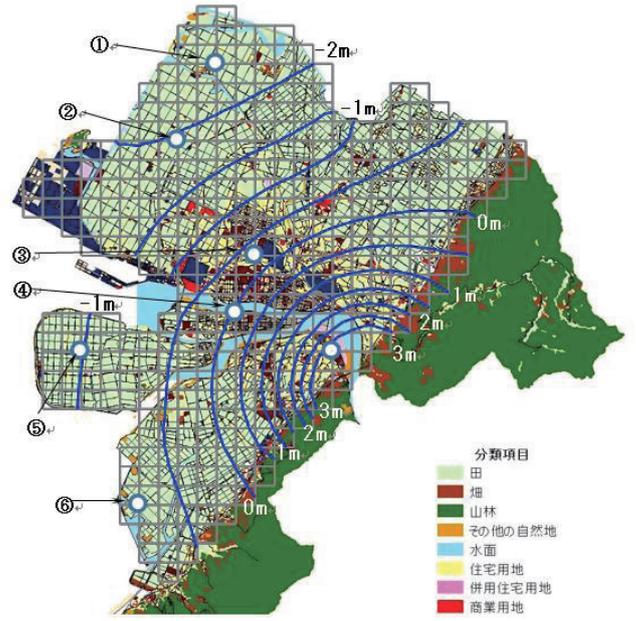


図 1 2 1979 年の推定地下水位等高線

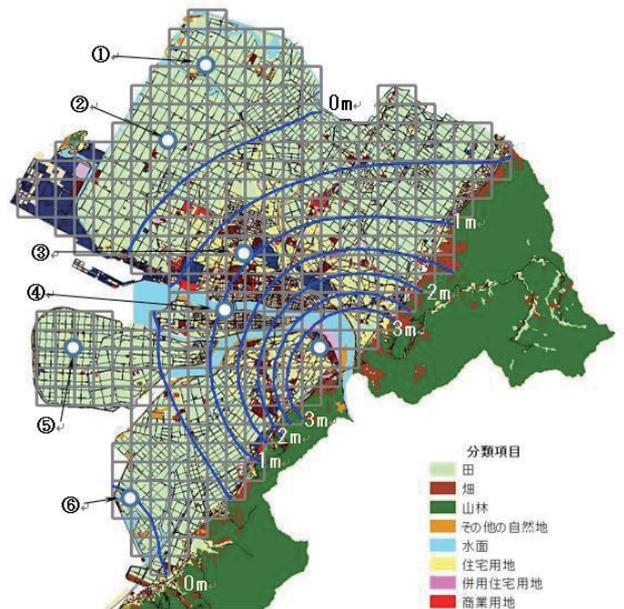


図 1 3 2010 年の推定地下水位等高線

つに分類し、9つの揚水量を求めることにした。

- I : 球磨川右岸の沿岸部
- II : 球磨川右岸の畑地
- III : 球磨川右岸の都市部
- IV : 球磨川右岸の山際部 1
- V : 球磨川右岸の山際部 2
- VI : 球磨川左岸の三角州帯
- VII : 球磨川左岸の都市部
- VIII : 球磨川左岸の畑地
- IX : 球磨川左岸の沿岸部

前章で言及したように、初期個体集団は 50 個体、揚水量は 12 桁の 2 進数で表すことのできる 0 から 4095m³/day がとれるように設定した。2 進数で地下水揚水量を表す場合、108 個の 0 と 1 の組み合わせが一つの揚水パターンとなる。

交叉確率は 0.7、突然変異確率は 0.2 とし、100 世代まで計算を繰り返した。

本研究では、非常常の地下水方程式を用いておらず、観測井戸の地下水位は年間の平均地下水位とした。これは、1 年間の平均地下水揚水量を求めようとしたもので、各年

表 3 推定結果

| 年 | 1979 | 1990 | 2000 | 2010 |
|----|--------|----------|--------|--------|
| 総量 | 627869 | 599743.0 | 558880 | 536255 |
| % | 100.0 | 95.5 | 89.0 | 85.4 |

でどのように、地下水揚水量が変化してきたかを明らかにしようとしたものである。

八代市は 1976 年、1977 年の調査結果によると地下水の総揚水量は 637,000m³/日が報告されている。この量は最大揚水量と推定される。八代地域の地下水の揚水量としては、この結果のみが存在している。なお、市内 7 箇所の地下水を測定しているが、被圧地下水帯にある 6 箇所の地下水位と降水量を用いて揚水量を推定した。帯水層は 3 層の被圧帯水層からなっているが、ここでは、この 3 層を 1 つの被圧帯水層として取り扱い、揚水量が 60 数万 m³/日となるように帯水層厚を 138m と定めた。透水係数⁽⁶⁾は大きく、

表4 観測水位(m)と推定水位(m)の比較

| 年 井戸番号 | 1979 | | 2010 | |
|------------------------|--------|--------|--------|--------|
| | 観測水位 | 推定水位 | 観測水位 | 推定水位 |
| 1 | -2.283 | -2.258 | -0.414 | -0.411 |
| 2 | -1.952 | -1.954 | -0.25 | -0.24 |
| 3 | -0.196 | -0.287 | 0.977 | 0.911 |
| 4 | -0.062 | 0.049 | 0.988 | 1.07 |
| 5 | -0.993 | -1.008 | 0.198 | 0.2 |
| 6 | -0.591 | -0.632 | -0.001 | -0.012 |
| 適応閾数値(m ²) | 0.0232 | | 0.0115 | |

0.005m/sec とした。境界条件としては、図11の3点には地下水位一定として、堰のおよびその直下の水位を与えた。また、山側の境界（A-B, C-D）は3mm/日の降水量があるとして、涵養量750m³/日を与えた。他の境界は不透水壁とした。

地下水定数は

透水係数：k=0.005m/s

帯水層厚：b=138m

透水量係数：T=kb=0.005×24×3600×138=59616m²/日

境界水位：8.5m, 5.5m

降水量：3mm/日

雨による涵養量：q=3/1000×500×500m³/日

解析は1979, 1990, 2000, 2010年の年平均地下水位に対して、推定を行った。揚水量の推移を表3に示す。2010年の揚水量は1979年と比べると85%の結果となっている。図12, 13に1979年と2010年の推定結果による地下水位等高線を示す。また、表4に観測地下水位と推定地下水位および式(9)の適用閾数値を示す。誤差は1井戸当たり、5～6cmとなっている。

5. まとめ

本研究は土地利用図をもとに、地域を分類し、分類された地域では単位面積当たりの揚水量は同じであると仮定し、遺伝的アルゴリズムを用い、観測地下水位により地下水揚水量を推定する手法を定式化し、本手法を解析モデルおよび八代地域に適用した。八代地域に適用した結果、近年の人口の減少、作付面積の減少の影響通り、地下水揚水量は減少している結果となった。

(平成27年9月25日受付)

(平成27年11月25日受理)

参考文献

- (1) 藤野和徳：遺伝的アルゴリズムによるごみ収集輸送計画，土木学会論文集 II 巻：-巻 号：558/II-38 号，pp. 139-146, 1997.
- (2) 竹下祐二・安井克豊・河野伊一郎：遺伝的アルゴリズムを用いた多層帯水層地盤における揚水試験データの逆

解析方法，地下水学会誌，第42巻第2号，pp.175-186, 1997.

- (3) 代市市民環境部環境課：八代市の環境（第44報），第8章 地下水，pp.126～149, 2015.
- (4) 八代市井戸水実態調査報告書，八代市視聴公室企画課，1979.
- (5) 藤野和徳：八代地域の地下水揚水量の変化について，土木学会年次学術講演会講演概要集 第2部 Vol: 63 巻，87-88, 2008.
- (6) 福岡通商産業局総務部開発業務課：八代平野南部地域地下水利用適正化調査報告，工業用水，pp.34～56, 1980.