

拡張 GA による地下水汚染源探索

A Search for Groundwater Contamination Sources Using Extended GA

平松 研¹ 一恩 英二² 河地 利彦³ 北村 邦彦²

HIRAMATSU Ken¹, ICHION Eiji², KAWACHI Toshihiko³ and KITAMURA Kunihiko

§はじめに 近年、農地における窒素肥料や住宅地区における有機塩素化合物などによる地下水汚染が深刻な問題となっている。これらの汚染を修復するためには、まず汚染源を特定する必要があるが、土地利用状況など地表の情報だけから判断できないことも多い。このような場合、観測井を設置することにより、汚染の状況を確認するとともに、汚染の拡大を防ぐ地下水管理がなされることがある。しかし、観測井における地下水の汚染濃度から汚染源を特定する手法としては、単独点源を特定した風間ら¹⁾の研究、地下水流を既知として面源汚染フラックスを特定した一恩ら²⁾の研究などがあるものの、依然手法が確立されているとはいえない。

ここでは、地下水流と分散係数を既知、汚染は定常状態にあると仮定した上で、局所探索を組み入れた遺伝的アルゴリズム (GA) を用いることにより、複数の汚染源がある場合の汚染源推定を試みるものとする。

§問題設定 一般的な単一層の不圧帯水層を対象とする。汚濁物質は保存性を有し、その移動は次の移流分散方程式にしたがうものとする。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_{xx} \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D_{xy} \frac{\partial^2 C}{\partial x \partial y} + D_{yx} \frac{\partial^2 C}{\partial y \partial x} + D_{yy} \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} - \frac{v_x}{n_e} \frac{\partial C}{\partial x} - \frac{v_y}{n_e} \frac{\partial C}{\partial y} + \frac{C_f}{b} \quad (1)$$

ここで、 D_{xx} 、 D_{xy} 、 D_{yx} 、 D_{yy} は分散係数、 v_x 、 v_y は地下水流速、 b は滞水層の厚さ、 n_e は間隙率、 C は汚濁物質の濃度、 C_f は特定地域 (汚染源) からの溶脱量である。地下水流は定常状態にあり、溶脱量が一定である場合、各観測井における汚濁濃度は線形的に計算が可能であるため、単位フラックスを (領域を分割した) 各地区に与えて計算した定常状態の結果を単位汚濁寄与率として保存する。これにより、汚濁源推定問題は、単位汚濁寄与率の組み合わせ問題に置き換わることになる。

§拡張 GA による手法 GA は、生物が進化してきたような遺伝的法則を工学的にモデル化し、最適値

探索に適用する手法であり、近年多くの応用例が発表されている。すなわち、ある世代を構成する個体群のなかで環境への適合度が高い個体が高い確率で生き残り、交叉、突然変異を繰り返しながらもっとも適合度の高い個体を再生していくアルゴリズムである。

ここでは、汚染源となっていると思われる地区の番号の組み合わせを個体 (ここでは汚濁のある地区を虫と呼ぶ。図 1) として、最適な汚染源を探る。このとき、各個体に対して、次の式を適用し、フラックス量を推定する。

$$C_i = \sum_{j=1}^m C_{bij} V_{fj} \quad (2)$$

ここで、 C は観測井での濃度、 C_b は寄与率、 V_f はフラックス量、 m は汚濁源数、 i と j は観測井と汚濁源を示す指標である。基本的に井戸の数は汚染源数よりも多くならないが、ここでは、影響度の高いものを選択してフラックス量の計算を行う。個体の評価は、得られたフラックス量を用いて計算した観測井の濃度と実測値との絶対差の合計となる。

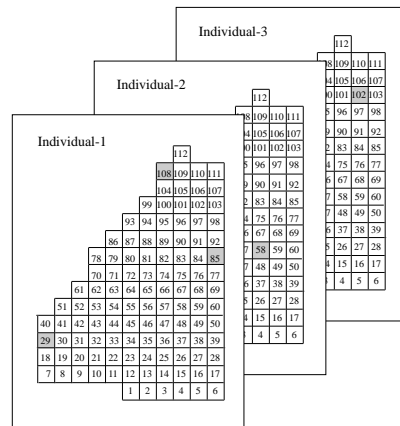


図 1: Individuals

一般に GA はランダムサーチに近い性質を持ち、局所解に陥りにくい利点を持つが、一方では近似解から最適解までの収束が遅い。ここでは、ムーブオペ

¹岐阜大学農学部, Faculty of Agriculture, Gifu University

²石川県農業短期大学, Ishikawa Agricultural College

³京都大学大学院農学研究科, Graduate School of Agricultural Science, Kyoto University

レーションと呼ぶ推定汚濁源を周辺で移動させる操作を行う(図2)。これは、最適化手法では勾配法に相当し、近似解からの収束を高める効果がある。また、モデル特有の遺伝的操作としては、この他にも虫を交換するトレード交叉などを行う(図3)。

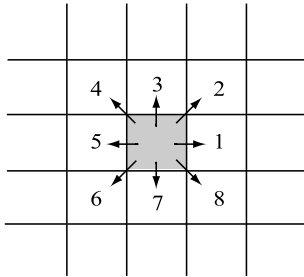


図 2: Move Operation

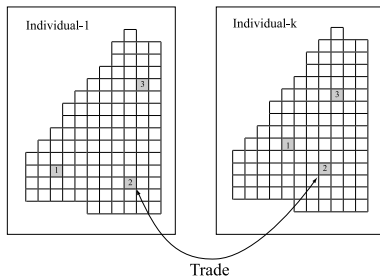


図 3: Trade Crossover

以上より、計算手順は図4のようになる。

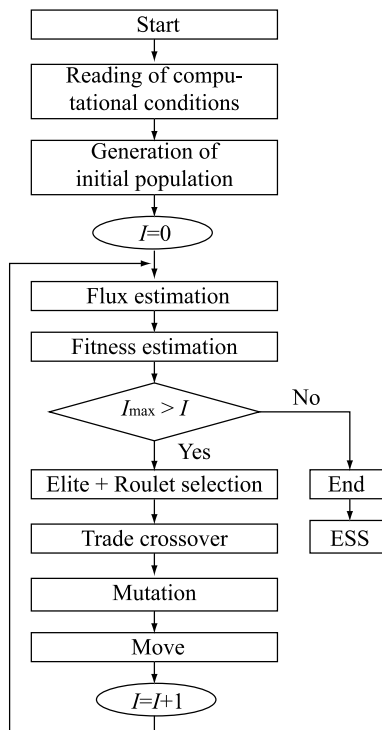


図 4: Scheme of Sources Search

§ 計算例 計算例として図5に示した領域を考える。なお、対象の地下水盆では地下水位等が計測されており、今回の計算ではそれらを利用しているが、汚濁については、ここで仮想的に与えたものである。

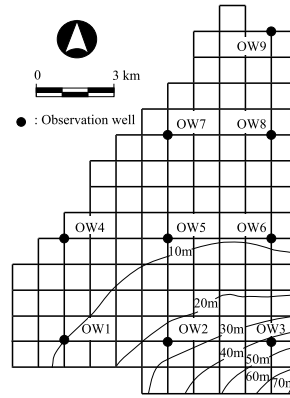


図 5: Problem Domain

汚濁源が1つの場合から4つの場合のケースについて、推定結果の例を表1に示す。

源数 /Fit.	推定		実態	
	番号	Flux	番号	Flux
1/0.99	27	9.89	27	9.89
	82	0.48	82	0.45
3/0.91	27	9.89	27	9.88
	46	0.97	46	0.985
	82	0.48	82	0.457
4/0.76	27	9.89	27	9.93
	33	2.11	54	1.503
	46	0.97	46	1.086
	82	0.48	82	0.456

§ まとめ 単純化した形で点源の汚濁源推定を行った。結果、汚濁源が3つ以下であるときはほぼ確実に推定可能であるが、4つ以上になると個体数や世代数を増加させてもうまく探索できないことが多くなった。汚濁源の数に対応して指数的に組み合わせ数が増えるため(4つの場合 ${}_{112}C_4 = 6,210,820$)、組み合わせ問題としては難しくなる上に、まったく違う組み合わせが観測井においてほぼ等しい濃度を生み出すケースも発生するため、与えられた情報量のみで多汚濁源の推定は困難であるといえる。今後、現実の問題に応用するためには、今回単純化のため既知としたパラメータも合わせて推定が可能となるように改良を進める必要がある。また、面源への拡張についても、今後、検討を加えたい。

参考文献：[1] Hiramatsu, K. *et al.*, Jour. Rainwater Catchment Systems, 6(2), pp.1-5,2001 / [2] Iba, H. *et al.*, Jour. AI, JSAI, 8(9), pp.797-809, 1993 [3] Ichion, E. *et al.*, Trans. JSIDRE, 215, pp.31-39, 2001/ [4] Ichion, E. *et al.*, Trans. JSIDRE, (submitted)/ [5] 風間ら, 土木学会論文集, 631, III-48, pp.71-81, 1999/