

# 遺伝的アルゴリズムによる位相速度の逆解析

情報基盤工学講座    川口   晏璃

**April 30, 2021**

## 背景

微動に関する最近の計測技術の発展によっていろいろなタイプの観測が行われている．とくに高い精度の観測が要求されるアレイ観測も比較的容易に実施できるようになり，地盤探査方法の1つとして確立されている．

しかし初期モデルに依存することや構造が複雑で情報が少ないこと，適切な初期モデルの設定が困難であること，いろいろな制約条件が必要になってくるなどの問題点がある．

## 目的

基本的な遺伝的アルゴリズム（GA：Genetic Algorithm）に加え，動的突然変異とエリート選択を導入することで問題点を解消し，逆解析への適用性を調べる．

## 選択

GA の手順のうち，選択にはいくつか方法がある．最も一般的に用いられているものはルーレット選択に基づくものである．

ある個体  $j$  が適応度  $f_j$  を有しているとき，その個体が次世代の集団に選択される確率  $P_j$  は総個体数  $N$  の集団でのその個体の適応度により，

$$P_j = f_j / \sum_{k=1}^N f_k$$

に基づいて決められる．

## 適応度

適応度は選択の基準となる．ここでは最小 2 乗法と同様に，周期  $T_i$  に対して観測された位相速度  $c_0(T_i)$  と理論値  $c_c(T_i)$  の誤差の 2 乗平均値の逆数として個体  $j$  について適応度  $f_j$  を，

$$f_j = \frac{1}{\frac{1}{L} \sum_{i=1}^L [C_0(T_i) - C_c(T_i)]^2}$$

と定義する．定義式の分母を misfit と呼ぶ．分散が明らかな場合，位相速度の誤差を正規化し評価する．

## P 波と S 波の関係式

P 波速度は

$$V_p = 1.11 V_s + 1290 \text{ (m/s)}$$

によって S 波速度と連動させ，密度については各層で一定値とする．

各層の層厚が既知であり、S 波速度のみが未知数である場合

表 1 地盤モデル

	True model			Search area
	$V_s(\text{km/s})$	$H(\text{km})$	$\rho(\text{g/cm}^3)$	$V_s(\text{km/s})$
1	0.6	0.4	1.8	0.2-1.0
2	1.0	0.5	2.0	0.5-1.5
3	1.5	0.6	2.3	0.8-2.0
4	3.2	$\infty$	2.5	2.8-3.8

$V_s$  : S 波速度

$H$  : 層厚

$\rho$  : 密度

この数値実験では、基本モードのレイリー波の理論位相速度のうち周期 1.5 ～ 8 秒の間で等間隔でサンプリングされた 19 個の周期に対する理論値を観測値と仮定。

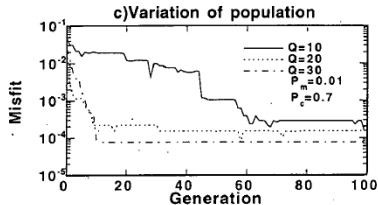
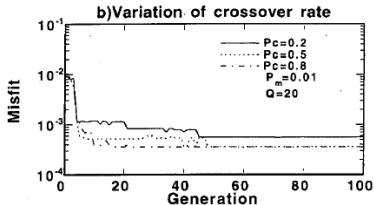
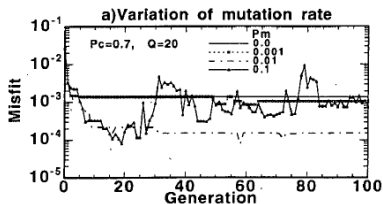
## 設定変数

まず交差確率 ( $P_c$ ) , 突然変異確率 ( $P_m$ ) , 総個体数 ( $Q$ ) について検討する.

これらのうち 1 つを変化させ, 残り 2 つを固定し計算する. 各世代の最小 misfit 値の収束状況を比較.

- a)  $P_c$  を 70%,  $Q$  を 20 として,  $P_m$  を 0% ~ 10% と変化したときの各世代の最小 misfit 値
- b)  $P_m$  を 1%,  $Q$  を 20 として,  $P_c$  を 20%, 50%, 80% と変化したときの各世代の最小 misfit 値
- c)  $P_c$  を 70%,  $P_m$  を 1% として,  $Q$  を 10, 20, 30 と変化したときの各世代の最小 misfit 値

はじめに  
GA  
提案手法  
おわりに



よって、総個体数を 20，交差および突然変異確率をそれぞれ 70%，1%に設定し，100 世代までの計算を行う．さらに，乱数の初期値を変えて 20 回の試行を行う．

## 動的突然変異

動的突然変異は、各世代で突然変異確率を変化させて、突然変異を行う。突然変異確率は以下のように与える。

$$P_m = 1.0\% \quad 0.1 \leq \gamma$$

$$P_m = 5.0\% \quad 0.02 \leq \gamma \leq 0.1$$

$$P_m = 10.0\% \quad 0.02 \geq \gamma$$

なお、 $\gamma$  は分散 ( $\sigma$ ) を各変数の集団での平均値 ( $\bar{x}_i$ ) で正規化し、全ての  $M$  個の変数について平均した値である。

$$\gamma = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \left( \frac{\sigma_i}{\bar{x}_i} \right)$$

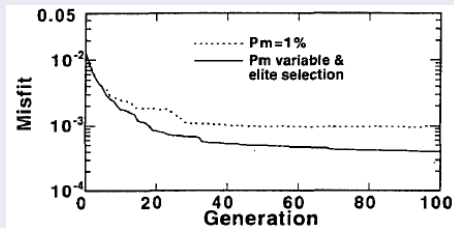
## エリート選択

エリート選択は、新しく生じた世代の集団の最小 misfit 値が前世代の最小 misfit 値より大きい場合、強制的に前世代の最小 misfit 値の個体を新しい世代の集団にいれ、その代わりに新しい世代の中で最大 misfit 値の個体を取り除く操作のこと。



## 単純 GA と提案手法の比較結果

設定変数の検討で得られた数値を用いて、単純 GA と提案手法の比較を行った結果が以下である。



提案手法は単純 GA と比べて、より misfit 値が小さい個体が見つかり、適応度が高まった。

このことより、動的突然変異とエリート選択を導入した提案手法のほうが最適解の探索の能力が向上していることがわかった。

## S 波速度と層厚を変数とした場合

地盤モデルは同様に 4 層モデルで、各 S 波速度と層厚の探索範囲は以下の表とする。

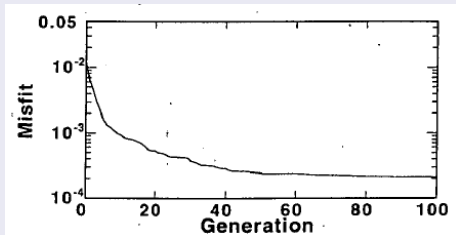
表 2 探索範囲

	$V_s$ (km/s)	H(km)
1	0.4-0.8	0.2-0.6
2	0.5-1.5	0.3-0.7
3	0.8-2.0	0.4-0.8
4	2.8-3.8	$\infty$

総個体数は 20，交差確率は 70%，動的突然変異，エリート選択を用いて 100 世代までの計算を乱数を変えて 20 回行う。

## S 波速度と層厚を変数とした提案手法の結果

S 波速度のみ変数とした提案手法に比べ、misfit 値が小さい個体が見つけられており、適応度が高まった。



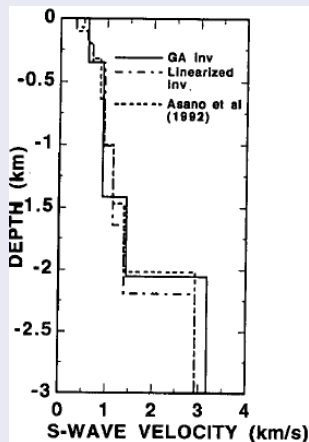
## 実測値による初期モデルの設定

実際に首都圏西部での微動アレイ観測を行った．観測によって得られた位相速度を準ニュートン法による逆解析することで S 波速度構造が推定される．S 波速度は観測地域付近の VSP (Vertical Seismic Profiling) 探査による値に固定される．

初期モデルの設定としては，VSP 探査から得られた層厚が使われており，極めて良いものである．

## 提案手法による結果と実測値を用いた逆解析の結果

実測値を用いた逆解析と同程度の地盤モデルの推定が提案手法による逆解析によっても可能であることが確認できた。



## まとめ

- 1 動的突然変異とエリート選択を導入したことで適応度が上がった
- 2 提案手法では初期モデルが不要で、位相速度の逆解析において実用性が高い

## これから

この研究では、4 層に層数を固定していたが、層の分割数の影響や層分割自体を変数に含めることで探索能力の改善を図る。