

## 観光地の指定とスケジュールの多様性を考慮した観光スケジュール作成支援 Travel Schedule Planning Considering a Preference of Tourist and Variety of Schedule

石川英太郎†  
Eitaro Ishikawa

石田崇††  
Takashi Ishida

後藤正幸†††  
Masayuki Goto

東基衛†††  
Motoei Azuma

### 1. まえがき

現在、日本国内における1年間の観光消費額の総計は、26.5兆円(平成18年度)と非常に多く、多くの人が観光を目的とした旅行を行っている[1]。市内観光のように、旅行者自身がどの観光地を訪れるかを決め、各観光地を巡回する経路を求めることを、本論文では観光スケジュール作成と定義する。

観光スケジュール作成の支援を目的とした研究はこれまで多くなされてきた。村田らのグループではP-Tourと呼ばれる、奈良市内の観光スケジュール作成を支援するシステムを実装して評価を与えている[2][3]。これは出発地点、到着地点、観光時間、各観光地の重要度などの観光客の入力情報に基づいて、制約時間内で周遊するスケジュール(重要度の高いスポットを多く含む時間効率性が高い経路)を自動的に作成し提示するシステムとなっている。また丸山らのグループでは観光時間の制限を緩和した緩和問題を解くことで代替観光スケジュールを作成し、観光客へ提示するシステムを提案している[4]。

本論文では村田らのグループが考案した遺伝的アルゴリズム(GA: Genetic Algorithm 以下GA)を用いた観光スケジュールの作成手法をもとに、さらにユーザビリティを考慮した観光スケジュール作成手法を提案する。

ユーザビリティを向上させるために、以下の2点を試みる。観光スケジュール作成の支援では複数の多様(ここでいう多様とは提示されたスケジュール間の類似度が低いことをいう。)なスケジュールを提示することで、旅行者が複数の代替案からその旅行者に合ったスケジュールを選択することができる。また一般的な旅行者は、ある特定の観光地を訪れることを希望することがあるので、旅行者が希望する観光地を必ず含んだスケジュールを作成し、提示する。

そこで本論文ではまず、複数の多様なスケジュールをユーザへ提示するためにGAにおけるエリート保存戦略を改良し、多様なスケジュールを複数提示するための手法を提案する。次に、スキーマ保存の考え方[5][6]を用いて、ユーザが指定した観光地を必ず含む観光スケジュール作成手法を提案する。

以下では本論文が対象とするGAを用いた観光スケジュール作成問題を定式化し、提案手法について説明する。さらに、本手法を用いて実際に京都市内の観光スケジュールを作成し、提案手法の効果を確認する。

### 2. GAを用いた観光スケジュール作成の定式化

本章ではGAを用いた観光スケジュール作成問題の定式化[2][3]について説明する。

†早稲田大学 大学院創造理工学研究科

††早稲田大学 メディアネットワークセンター

†††早稲田大学 創造理工学部

#### 2.1 ユーザ入力と観光地データベース

ユーザ入力である出発地点を $s$ 、到着地点を $g$ 、出発時刻と到着時刻をそれぞれ $time(s)$ 、 $time(g)$ とする。観光地データベースとしてシステムは総観光地数 $n$ 、観光地集合 $D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$ 、観光地 $d_i, d_j$ 間の移動時間 $time(d_i, d_j)$ 、各観光地の重要度および滞在時間のデフォルト値 $imp(d_i)$ 、 $stay(d_i)$ 、各観光地の到着時刻に対する制約 $rst(d_i)$ 、各観光地の滞在時間に対する制約 $dur(d_i)$ を保持する。ただし $1 \leq i, j \leq n$ とする。また、各観光地の重要度および滞在時間はユーザが修正可能であるものとし、修正された値をそれぞれ $imp'(d_i)$ 、 $stay'(d_i)$ とする。

#### 2.2 観光スケジュールの構成要素と制約条件

1つの観光スケジュール $S$ は以下の集合で表される。

$S = \{d'_0 (= s), d'_1, d'_2, \dots, d'_k, d'_{k+1} (= g)\}$ ,  $d'_i \in D$ ,  $1 \leq k \leq n$   
ただし、 $k$ は巡回観光地数である。また、 $T = time(g) - time(s)$ とおき、許容される観光時間オーバーを $t_{max}$ とおけば、観光スケジュールの制約条件は以下のようになる。ここで $T_s$ は総観光時間を表す。

$$T_s = \sum_{i=1}^k stay'(d'_i) + \sum_{i=0}^k time(d'_i, d'_{i+1}) \leq T + t_{max} \quad (1)$$

#### 2.3 GAによる観光スケジュール作成

GAの操作は、初期個体の生成、評価、選択、交叉、突然変異、およびそれらの繰り返しで構成される。以下でこの操作について説明する。ここで、GAにおいて個体数を $N$ とし、繰り返しの世代数(規定回数)を $I$ とする。各個体は2.2節の $S$ で構成されるものとし、交叉や突然変異も $S$ に基づいて行われる。

**Step1:**初期個体の生成: 初期個体群として $N$ 個のスケジュール(個体)をランダムに生成する。

**Step2:**評価: 以下の(2)式で各スケジュールの評価値を求める。(2)式はスケジュールに含まれる観光地の重要度の合計から移動時間の合計および旅行者の希望到着時刻との差を引いているので、重要度の高いスポットを多く含む時間効率性が高い経路が求められると考えられる。

$$f(S) = \alpha \sum_{i=1}^k imp'(d'_i) - \beta \sum_{i=0}^k time(d'_i, d'_{i+1}) - \gamma |T_s - T| \quad (2)$$

**Step3:**選択: トーナメント選択とエリート保存戦略を用いる。トーナメント選択では個体群の中からランダムに2個体を選び出し、(2)式の評価値を比較し、低い評価値を持った個体を淘汰する。また、エリート保存戦略では各世代の個体群の中で最も評価値が高い個体 $E$ (エリート: 通常1つ)を次世代に残す。

**Step4:**交叉: 1点交叉を行う。1点交叉では、ランダムに2個体を選び、ランダムに選んだ交叉点により交叉を行う。このとき、新しく生成された個体の遺伝子に、同じ観光地が2個存在した場合、片方をランダムに削除する。

**Step5:**突然変異: 突然変異は交換を行う。交換とはスケジュール上の2つの観光地をランダムに選び、それらの位置を交換する操作のことである。

**Step6:** 選択, 交叉, 突然変異により新たに生成された個体を古い個体と置き換える. ここで繰り返しの世代数  $I$  (終了条件) に達していれば Step7 へ, 達していなければ Step2~6 を繰り返す.

**Step7:** エリートとして保存された, 最も評価値が高いスケジュール (個体を) ユーザへ提示する.

### 3. 提案手法

#### 3.1 観光スケジュールの多様性に関する提案

観光スケジュール作成では評価値の高い代替案を複数提示することのニーズが高いと考えられる. 旅行者は, 複数の多様な観光スケジュール案を提示されることによって, 様々な旅行プランの可能性を考慮し, 実際意思決定に役立てることができる. ただし, それらの多様な代替案はいずれも評価値が高い良いスケジュールでなければならない.

GA の分野では, これまで母集団の多様性を維持するための研究が多くなされてきた[7][8][9]. しかし, これらは大域的な最良解 1 つを得るための方法として多様性を維持しようとするものであり, 本研究で対象とする評価値が高く, かつ解同士の類似性が低い解を複数探索する問題とは異なる. 一方, 複数の解を提示するために, 複数のエリートを保存する考え方[10]があるが, これをそのまま適用するとエリート間の多様性は保証されない. そこで本論文では, 複数のエリートを保存する考え方に基づいて, 複数の多様かつ評価値の高いスケジュールを提示する手法を提案する. この手法の基本的な考え方は, ある個体がエリート候補となった際, すでに存在するエリートとの類似度を比較し, 類似度が閾値よりも高いエリートが存在した場合, エリート候補の評価値が従来のエリートよりも高い場合に限り, エリートになるというものである. 以下で提案手法についてくわしく説明する.

ここで保存するエリートの個数を  $m$  個とし, 評価値の高い順に  $E_1, E_2, \dots, E_m$  がエリートとして格納されていると仮定する. また, スケジュール  $S$  の  $selectionlist(S)$  を次のように定義する.

$$selectionlist(S) = (c_1, c_2, \dots, c_n)$$

$$\text{ただし, } c_i = 1(d_i \in S), 0(d_i \notin S)$$

このとき 2 つのスケジュール  $S_x, S_y$  の類似度をハミング距離  $H(X, Y)$  [7] を用いた以下の式で定義する. (3)式は, 2 つのスケジュールに共通する観光地の数の割合と解釈することができる.

$$\delta(S_x, S_y) = 1 - \frac{H(selectionlist(S_x), selectionlist(S_y))}{K(S_x, S_y)} \quad (3)$$

$K(X, Y)$ :  $X$  または  $Y$  に含まれている観光地数の総和

ここで, 2.3 節の GA の全体の流れの Step3 におけるエリートを選ぶときに, 以下のアルゴリズムを提案する.

(i): 個体  $A$  において,  $f(A) > f(E_m)$  ならば, 個体  $A$  はエリート候補となり(ii)へ,  $f(A) \leq f(E_m)$  ならば個体  $A$  はエリート候補とならない.

(ii):  $\delta_{\max} = \max_i(\delta(E_i, A))$  を計算し,  $\delta_{\max}$  と閾値  $R$  を比較して以下の場合分けを行う.

(ii-1):  $\delta_{\max} \leq R$  のとき個体  $A$  は現存するどのエリート

とも類似していないので,  $E_m$  をエリートから外し,  $A$  をエリートにする.

(ii-2)  $\delta_{\max} > R$  のとき  $\delta_{\max}$  と判定された  $E_i$  ( $E^*$  と定義) と比較し,  $f(A) > f(E^*)$  ならば  $E^*$  をエリートから外し,  $A$  をエリートにする.

(iii): 更新されたエリートの順位を降順に並べ替える.

(なお初期世代のときはエリート間の類似度が閾値  $R$  以下となるようにランダムにスケジュールをエリートとして格納しておけばよい.)

上記アルゴリズムを適用することにより, 通常の数エリート保存戦略の考え方と比べて, エリート間の多様性が維持できると考えられる. また多様性のあるエリートを母集団に戻すことにより, 母集団の多様性を維持しつつエリートの改善案探索に寄与すると考えられる.

#### 3.2 スキーマの考え方をを用いた観光地指定の提案

旅行者は観光スケジュールを作成する際に, ある特定の観光地を希望することがある. この場合旅行者が希望する観光地を必ず含んだスケジュールを提示する必要がある. そこで, 本論文では GA にスキーマ保存の考え方[5][6]を用いることで観光地の指定を可能にする. スキーマとは GA で用いる個体において, 一部の遺伝子が固定された部分集合のことである. 以下にスキーマの例を示す.

[例]  $H = **0**11***$

$H$ : 3 番目の遺伝子が 0, 6, 7 番目の遺伝子が 1, \* は 0 または 1 である個体の集合

この例を  $n=10$  の観光地集合  $D = \{d_1, d_2, \dots, d_{10}\}$  と捉えると, 観光地  $d_3$  は「行かない」, 観光地  $d_6, d_7$  は「行く」ということになる.

スキーマに関連する研究はすでにくわしくなされており, 相澤は確率的スキーマ貪欲法と呼ばれる探索アルゴリズムを提案した[5]. また, Nagano らは構成型遺伝的アルゴリズムを順列フローショップ問題へ適用している[6]. これらの研究はスキーマの考え方をを用いているが, いずれも準最適解を効率よく求めることを目的としており, 固定する遺伝子は特に決まっていない. 本論文では旅行者の希望観光地をスケジュールに含ませるために, ある特定の遺伝子を固定し, 2.3 節の GA の流れに以下の考え方を導入する.

(1)2.1 節のユーザ入力で旅行者が希望の観光地を入力する.  
(2)2.3 節 Step1 の初期個体の生成で, ランダムに生成されたスケジュールの中で旅行者の行きたい観光地が含まれていないスケジュールがあった場合, 旅行者の行きたい観光地をこれらのスケジュールのランダムな位置に上書きする.

(3)Step6 で選択, 交叉, 突然変異により新しい個体が生成される. ここで(2)と同じ操作を行う.

上記(1)~(3)の方法を用いることにより, 生成されるすべての観光スケジュールに旅行者が希望する観光地を含むことができる. また, 最終的に提示されるスケジュールは旅行者が希望する観光地を含み, かつ評価値が高くなると期待できる. なお, 本節の提案手法と 3.1 節の提案手法を併用するとき(3)式の第 2 項の分母は  $K(S_x, S_y) - P$  と修正される. ただし,  $P$ : 旅行者が指定した観光地の数

4. 評価実験

本論文の提案手法の効果を確認するため、評価実験を行った。以下ではまず、実験設定について述べ、次にそれぞれの実験に対して実験方法、実験結果、考察を述べる。

4.1 実験設定

実験対象の観光地は京都市内とした。京都市は、年間5000万人以上の観光客が訪れる、日本最大の観光都市であり、実験の対象としては適当であると考えられる。また観光時間は8時間とし、出発地点、到着地点を京都駅に設定した。観光地数は京都市内の主な観光地(主に神社)41ヶ所とした。また、実験では一般的なPC(PU:Pentium4 3.00GHz, MainMemory:1GB, Operating System:Windows Vista)上の計算機環境でJAVAにより実装した。

GAに関する主なパラメータの値を以下の表1に示す。

表1 GAに関する主なパラメータ

評価関数のパラメータ	$\alpha=1, \beta=1/20, \gamma=1/20$
人口	200個
規定回数	200回
交叉率	0.9
突然変異率	0.05
保存するエリートの数	5個
1つのエリートを保存する数	2個

評価関数のパラメータは予備実験の結果、表1に示した設定において、重要度の高い観光地を多く含む時間的効率性が高い経路を求めることができた。観光スケジュール作成問題は通常のモデルと比べて、不要(評価値が極端に低くスケジュールとは見なせない)な個体が発生しやすく、収束もしにくいので、人口や規定回数をやや多めに設定した。

4.2 得られるスケジュールの妥当性の評価(1)

(多様性の提案手法を導入した場合)

4.2.1 実験方法と結果

3.1節では複数の多様な観光スケジュールを提示するためのアルゴリズムを提案した。ここでは、この手法の妥当性について評価する。提案手法では、2つのスケジュール間の類似度 $\delta(S_x, S_y)$ を定義し、アルゴリズムでは2つのスケジュール同士が類似しているかを判定する閾値 $R$ が設定されている。ここでは従来手法(本実験での従来手法は村田らの手法[2][3]に複数のエリートを保存する考え方[10]を直接適用した方法とする。)と、提案手法において、 $R=0.20, 0.25, 0.30$ (2つのスケジュールを比較したとき同じ観光地が含まれる割合がそれぞれ、3割、4割、5割に相当する)とした場合の合計4通りについて実験を行った。また、提示されるスケジュールの多様性の指標(多様度)は以下の式(4)で定義する。

$$1 - \frac{1}{n C_2} \sum_{i < j} \delta(E_i, E_j) \quad (4)$$

以下の表4にそれぞれの場合の提示された5つのスケジュールの平均(平均値)、提示された評価点第1位のスケジュールの平均(最高値)、多様度の平均(それぞれ50回の平均値)を示す。また以下の図1-(a)~1-(b)にそれぞれ平均値と多様度の関係および最高値と多様度の関係の分

布図を示す。また、従来手法と提案手法( $R=0.25$ )のときに出力されたスケジュールの一例を提示する。

表4 評価値, 最高値, 多様度の平均値 (50回)

	従来手法	$R=0.20$	$R=0.25$	$R=0.30$
平均値	63.92	54.66	56.50	58.90
最高値	65.30	65.60	65.50	65.48
多様度	0.3602	0.7922	0.7612	0.6944

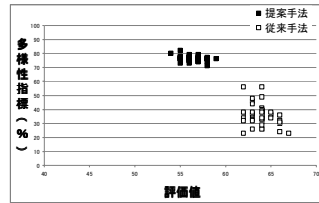


図1-(a) 平均値の分布

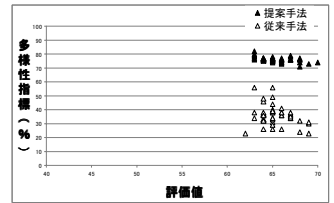


図1-(b) 最高値の分布

[従来手法で提示された上位2件のスケジュール]

- (1) 京都駅→**竜安寺**→**金閣寺**→**清水寺**→**平安神宮**→**銀閣寺**→永観堂→**南禅寺**→**八坂神社**→**新京極**→京都駅(評価値 64)
- (2) 京都駅→**清水寺**→**南禅寺**→高台寺→**八坂神社**→**新京極**→**平安神宮**→**銀閣寺**→**竜安寺**→**金閣寺**→京都駅(評価値 63)

[提案手法( $R=0.25$ )で提示された上位2つのスケジュール]

- (1) 京都駅→二条城→北野天満宮→**竜安寺**→下鴨神社→**銀閣寺**→**南禅寺**→**平安神宮**→青蓮院→**八坂神社**→**清水寺**→京都駅(評価値 64)
- (2) 京都駅→東福寺→伏見稲荷神社→大覚寺→天竜寺→**竜安寺**→**金閣寺**→詩仙堂→**銀閣寺**→**平安神宮**→京都駅(評価値 57)

4.2.2 考察

上の表4、図1からの考察を以下に示す。従来手法では最高値に近いスケジュールが複数提示されるが、提示されたスケジュール間の多様性は確保されていない。一方提案手法を用いることによりスケジュール間の多様性は確保され、 $R$ を小さくするにつれて、スケジュール間の多様度が上がっていくことがわかる。また、 $R$ を変化させても提示されるスケジュールの最大評価値は変わらないので、いずれの場合も最適値に近い解は旅行者へ提示される。しかし、 $R$ を小さくすることにより、提示されるスケジュールの平均評価値は下がっていくことがわかる。

上記より、従来手法では評価値の高いスケジュールが2つ出力されているが、これら2つはほぼ同じようなスケジュールであり、多様性が確保されていないことがわかる。一方、提案手法( $R=0.25$ )で提示された2つのスケジュールは、評価値は下がっているものの、両者の共通する観光地は「竜安寺」「銀閣寺」「平安神宮」のみであり、2つのスケジュール間の多様性が確保されていることがわかる。



4.3 得られるスケジュールの妥当性の評価(2)

(多様性の提案手法にスキーマによる  
観光地指定の提案手法を導入した場合)

4.3.1 実験方法と結果

本節では、4.2節の評価に、3.2節のスキーマの考え方を  
用いた観光地指定の提案を加えた場合を考える。まず、  
スキーマを使って観光地の指定を行うことにより作成さ  
れたスケジュールの妥当性について考える。以下に観光  
地の指定を行って作成されたスケジュールを行程と地図  
(図2)の双方から示す。

[観光地の指定を行って作  
成されたスケジュール]  
京都駅→北野天満宮→  
金閣寺→竜安寺→仁和寺  
→高山寺→**神護寺**→常寂  
光寺→天龍寺→大覚寺→  
京都駅(評価値 64)  
指定観光地：**神護寺**



図2 スケジュールの地図

次に、観光地の指定を加えた状態で多様性の提案手法  
を導入した場合を考える。すなわち、観光地の指定を加  
えた状態で4.2節の評価をする。ここでは多様性の提案手  
法を用いない場合(4.2節の従来手法に、観光地の指定の  
みを行った場合)と、観光地の指定に加えて多様性の提  
案手法を導入した場合( $R=0.25$ )を比較する。以下の表  
5にそれぞれの場合の提示された全スケジュールの平均  
(平均値)、提示された評価点第1位のスケジュールの平  
均(最高値)、多様性の平均(それぞれ50回の平均値)  
を示す。また以下の図3-(a)~3-(b)にそれぞれ平均値と多様  
性の関係および最高値と多様性の関係の分布図を示す。

表5 評価値, 最高値, 多様性の平均値 (50回)

	観光地指定のみ	観光地指定+ $R=0.25$
平均値	60.74	53.04
最高値	62.30	62.56
多様性	0.3334	0.7718

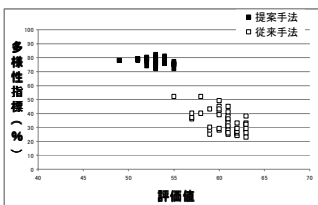


図3-(a) 平均値の分布

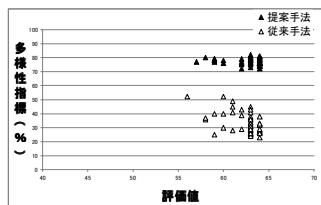


図3-(b) 最高値の分布

4.3.2 考察

提案法により、旅行者の指定した観光地を含んだスケ  
ジュールを作成することができた。評価値は観光地の指  
定を加えない場合と比べて下がっているが、これは観光  
地の指定を加えることにより解空間が狭くなるためであ  
る。また、図2に示したように作られたスケジュールは  
効率的に巡回しており、3.1節の提案手法の妥当性を確か  
めることができた。

上の表5、図3を見ると、4.2節の評価と同様に、多様  
性の提案手法を用いることにより提示されるスケジュー  
ル間の多様性が高まるのがわかる。スキーマによる観  
光地指定により解空間が狭くなっているうえに、多様性

のある複数のスケジュールを提示するので、制約条件が  
厳しくなっている。よって4.2節と比べて評価値の下がり  
幅が大きくなると予想される。しかし、結果を見ると評  
価値の下がり幅はそれほど変わらないことがわかる。こ  
れは評価値が下がるにつれて候補となる解が増えるため、  
制約条件が厳しくてもある程度の評価値をもった複数の  
スケジュールを提示できたものと考えられる。

5. おわりに

本論文では、GAを用いた観光スケジュール作成手法を  
もとに、ユーザビリティの向上を目指し、(1)複数の多様  
な観光スケジュールを提示するための手法、(2)スキーマ  
の考え方をを用いた観光地指定の手法を提案した。評価実  
験の結果、複数の多様な観光スケジュールを提示するた  
めの提案手法を用いることにより、提示されるスケジュー  
ルの評価値は下がるものの、複数の多様な観光スケジュー  
ルを提示することができた。また、スキーマの考え  
方をを用いた観光地指定の手法の妥当性が確認できた。ま  
た、観光地の指定の条件下でも、ある程度の評価値を持  
った複数の多様な観光スケジュールを提示することができ  
た。しかし、複数の多様な観光スケジュールを提示する  
ための提案手法は、GAにおいて初期収束が起りやす  
い問題には、評価値の高い複数の多様解が得にくくなる  
ため向いていない。初期収束が起りやすい問題への対  
応としては、母集団の多様性維持の手法の適用などが考  
えられる。また、スケジュール間の類似度の閾値  $R$  は解  
空間の大きさによって適切に設定するべきであると考え  
られる。閾値  $R$  の設定法について、様々な問題を用いた  
検証を行うことは今後の課題である。

参考文献

- [1] 国土交通省, 観光白書, 平成 19 年
- [2] 丸山敦史, 柴田直樹, 村田住洋, 安本慶一, 伊藤実, “P-Tour:観光スケジュール作成支援とスケジュールに沿った経路案内を行うパーソナルナビゲーションシステム”, 情報処理学会論文誌 Vol.45, No.12, pp. 2678-2687, 2004
- [3] 木下隆正, 永田宗伸, 村田住洋, 柴田直樹, 安本慶一, 伊藤実, “宿泊地を考慮した観光スケジュール作成支援機能の提案”情報処理学会研究報告 Vol.2005, No.89, 35-40
- [4] 丸山加奈, 山本雅人, 大内東, “観光経路作成支援における代替観光経路の提案手法”, FIT2007 (第 6 回情報科学技術フォーラム)
- [5] 相澤影子 “スキーマ処理に基づく集団型探索アルゴリズム”, 情報処理学会研究報告 (人工知能), 1994(093) pp.1-8 1994
- [6] Nagano M S, Ruiz R, Lorena LAN, “A Constructive Genetic Algorithm for permutation flowshop scheduling”, Computers & Industrial Engineering, Volume 55, Issue 1, August 2008, Pages 195-207
- [7] 本間隆, 渡辺隆男, 安田恵一郎, “遺伝子頻度に基づく頻度依存淘汰による遺伝的アルゴリズムの多様性維持の一手法”, 電学論(C), Vol.117, No.11, pp.1710-1718, Nov.1997
- [8] 謝孟春, 馬火玄, 藤原正敏, 小高知宏, 小倉久和, “階層分散構造に基づく遺伝的アルゴリズムの一様性と多様性の調和”, 情報処理学会研究報告, 数理モデル化と問題解決 98 (105), 69-74, 19981126
- [9] Chen Q, Zhong Y, Zhang X, “A pseudo genetic algorithm”, Neural Computing & Applications, Published online: 25 February 2009
- [10] 烏云, 狩野均 “遺伝的アルゴリズムによるルール変化型一次元セルオートマトンの進化”, 人工知能学会論文誌, Vol.18, No.6B, 2003