

# MAS を用いたニッチ構築を行う個体による嗜好伝播戦略の最適化

Optimization of strategies to propagate preferences in niche-construction in MAS

(キーワード: マルチエージェントシステム, 相互作用, ニッチ構築, 遺伝子=文化共進化)

(keywords: multi-agent system, interaction, niche-construction, gene=culture co-evolution)

○南 淑也, 村松 慶一 (早稲田大学大学院人間科学研究科), 松居 辰則 (早稲田大学人間科学学術院)

## 1. はじめに

人間の進化を説明するとき, ドーキンス [1] は文化の構成単位としてミームという自己複製子を提唱した. 計算機シミュレーションの分野ではこのミームや遺伝子といった概念を応用し, 人間行動をモデル化する試みがなされている. その一例として, 武藤ら [2] は定期的に同じものが流行する循環型流行について, 個体の嗜好を遺伝子とミームで表している. また久保 [3] は, 個体の戦略と戦略に対する適応的な形質という2つの遺伝子を設定することで, 両者が共進化の関係にあることを示した. 一方, 鳥 [4] は *sugar scape* モデルを拡張し, それぞれの個体に具体的な戦略行動を遺伝的に設定することで, 個体の利得を最大化するモデルを検討している. これらの研究で提示されたモデルでは, 個体は自己複製子として設定された行動規範や嗜好にもとづき, 適応度を向上させるために環境に変化をもたらす. そして, それらの自己複製子を次世代に継承し選択させていくことで, 最適化された行動を探っている.

本研究ではこれらの研究にもとづき, 個体が自らの嗜好に従ったミームを増やすための最適な戦略の検討を目的とする. 検討のためのモデルとして, 遺伝子とミームの相互作用モデルを作成する. 作成するモデルでは, 人間の行動と文化は互いに影響を及ぼし合いながら変化していくことを示す.

## 2. 理論的背景

作成したモデルでは遺伝子=文化共進化をミームや他個体に対するニッチ構築として表現する. これらの用語について, 本節ではモデルへの適用をするための説明を行う.

### 2.1 遺伝子=文化共進化

ウィルソン [5] は人間の遺伝的な行動規範が文化との関わりの中で変化し, 変化した行動規範によって文化も変わっていくことを示した. この遺伝子と文化の相互作用による進化様式が, 遺伝子=文化共進化である. 本研究では遺伝子と相互作用する文化の要素としてミームを採用する.

### 2.2 ミーム

ドーキンスはミームという概念を提示したものの, それがなんであるかという普遍的な定義はまだなされていない. [6]. 本研究では文化をミームの総体として捉え, 個体を選択する後天的嗜好としてミームの概念を用いる. そして, ミームを人間の外部にあり, 誰もが参照し干渉しうる外部要因として設定した. ミームの総体を文化と捉えることで, 生物種の遺伝子プールと同じように

文化のミームプールという見方ができるようになる. また, ミームを個体の外部に設定することで, 複数の個体が同時に同一のミームを選択することができる. これにより, ミームの流行状態についての検討が可能になる. 例えば, 流行しているミームと流行していないミーム, 過去に流行したミームが存在するとき, それらの位置関係からミームの伝播の仕方を検討できる. 一方で動物にとっての自然環境とは違い, 時間の経過や自身による働きで状態を変異させることは無いとした. 従って, ミームプールが変異し複製されるには人間というミームとは別の担い手が必要となる. 例えば誰もが参照できるものとして技術が挙げられる. 技術は人から人へ伝えられるが, その情報がそのまま伝えられている限り技術が変異することは無いはずである. しかし人の手による改良や間違った情報の伝播によって, 技術は変化していく. 本研究では個体のミームに対する働きかけをニッチ構築として捉えた.

### 2.3 ニッチ構築

個体は環境の状態を変化させる. これは個体が適応度の向上を図る手段である. 例えば, 食物が少ない環境において他の生物が消化できないものを食物として摂取できる種は, その環境において独占的に個体数を増やすことができる. こういった適応度の向上のための環境改変をニッチ構築という. ニッチ構築は個体の戦略であり, 遺伝子と同じように変異と淘汰による適応がなされる. したがって, 効果的なニッチ構築行動は多くの個体に広まる. 本研究では, 個体が自らの嗜好を広めようとすることをニッチ構築とした.

## 3. モデルの設計と実装

以上の背景をもとに, ミームと個体が相互作用することを通して遺伝子=文化共進化がなされるモデルを作成した. このモデルを用いて, 効率的に嗜好を伝播する個体の戦略を検討する. 本節では作成したモデルの設計と実装をそれぞれ説明する. まずモデル全体の枠組みについて述べ, 次にモデルの中で個体がとる行動について説明する. モデルの実装には構造計画研究所の *artiso*[7] を用いた.

### 3.1 モデルの枠組み

提案するモデルは人間を想定した個体群がそれぞれの嗜好にもとづいたニッチ構築を行い, 全体として遺伝子=文化共進化のダイナミズムを表現するモデルである. モデルの形態として *Tile-World*[7] モデルを用い,  $xy$  平面をミームプールとする. ミームプールとは様々なミームの集合という概念的な場である. 各セルにはそれぞれ異

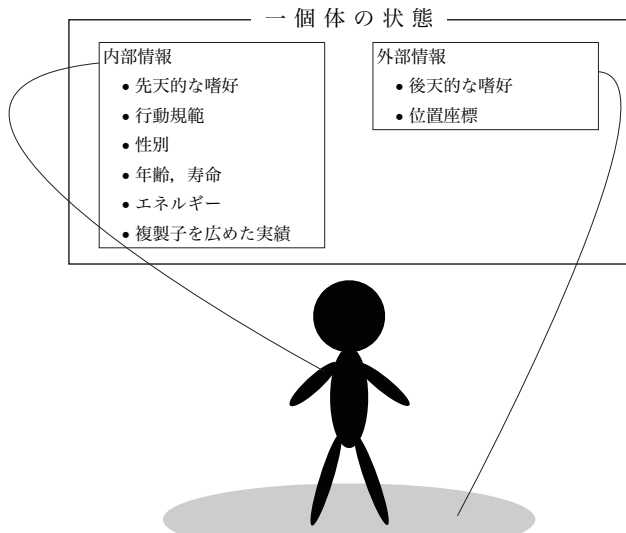


図 1. 個体とセルの構成

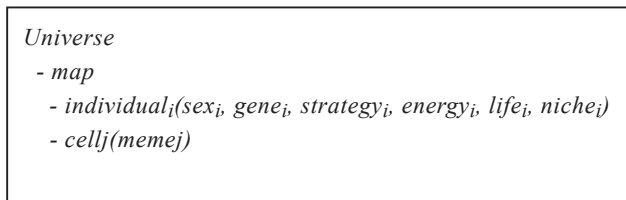


図 2. モデルの全体像

なるミームが設定される。個体には内部情報として遺伝的嗜好と性別、行動規範、寿命、行動に必要なエネルギー、複製子を広めた実績が設定される（図 1）。個体の嗜好は遺伝的嗜好と、外部情報として設定される後天的嗜好のミームを合わせたものとして表される。また、個体はミームプールである  $xy$  平面上のセルを移動することで後天的嗜好を変化させることができる。さらに、遺伝的嗜好とミームには適応度が存在し、個体がミームに対して遺伝的嗜好を反映するよう働きかけることで、セルとの適応度を向上していく。加えて、個体は交叉によって自身と似た遺伝的嗜好を持つものを増やすことが出来る。こういった、自身の遺伝的嗜好を反映しようとミームや子個体に対して作用する行動をニッチ構築とする。ニッチ構築として定義される行動は（1）ミームの改変、（2）交叉による子個体の生成である。まず（1）は個体の現在地のセルに対して、自らの遺伝的嗜好に従ったミームの改変を行う。次に（2）はニッチ構築の実績が高い個体を選択して子世代を生み出す。以上の設計について、次のようにモデルの概観を実装した。

プログラム全体の枠組みである *Universe* のもとに  $xy$  平面として *map* を設定し、その中に個体を示す *individual* と平面上を区切る *cell* を設定した（図 2）。セルは個体が平面上を  $360^\circ$  探索できるよう、六角セルを採用した。*individual* は性別、遺伝的嗜好を表す *sex*, *gene* の他、行動規範を定義する *strategy*, 行動の際に必要な *energy*, 寿命を表す *life* とニッチ構築の実績を記録する *niche* の各変数を持つ。遺伝的嗜好と行動規範について、*gene* は 1 か 0, *strategy* は 0 から 3 までの整数による 10 桁の整数配列で表される。

*cell* には後天的嗜好である *meme* のみが設定される。

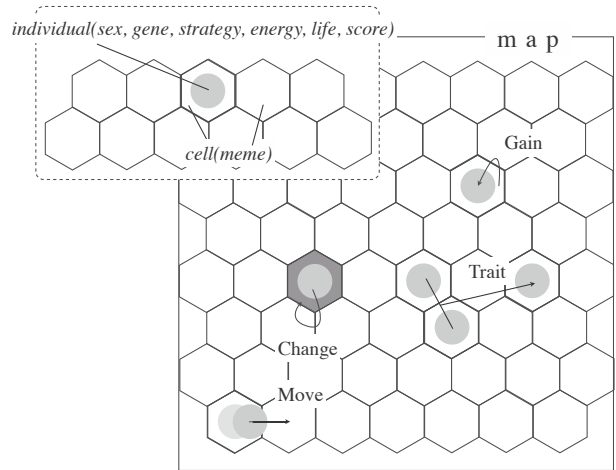


図 3. セル上における個体の行動

*cell* は *map* を敷き詰めるように配置され、*individual* はその上で行動する。また、*meme* も *gene* と同じように 0 と 1 からなる整数配列で表され、*individual* と *meme* の適応度 *adapt* をハミング距離を求める関数 *Hamming()* を用いて以下の式で表す。

$$adapt(gene_i, meme_j) = 10 - Hamming(gene_i, meme_j) \quad (1)$$

*adapt()* は 2 つの文字列がどれだけ似ているかを、ハミング距離を用いて定義する。ハミング距離が近いほど、*adapt()* のとる値は高くなる。また、*adapt()* によって導かれる適応度は 0 から 10 の値をとることになる。この *cell* と *individual* による、適応度を目的関数とした相互作用によって遺伝子=文化共進化を提示する。次に、ミームに対する働きかけや子個体の生成などに関する個体の行動について説明する。

### 3.2 個体の行動

モデルの枠組みの中で個体はどう行動するかについて説明する。個体は *strategy* に記された 4 種の行動をステップの経過に従って実行していく。各行動は自らの遺伝的嗜好を広めるために行われる。また、遺伝的嗜好を広めた実績は交叉相手として選ばれる際に基準となる。

個体は試行の各ステップで（1）報酬、（2）移動、（3）交叉、（4）改変という 4 種の行動のうち、どれか 1 つを行う。いつ、どの行動を選択するかは行動規範として遺伝的に決められており、交叉による世代交代によって行動規範は最適化されていく。次に各行動についてであるが、（1）は個体が行動するために必要なエネルギーを、現在地のミームから得る。しかし個体がセルからエネルギーを搾取ことによって個体とそのセルとの適応度はゼロとなる。従って、連続して同じ個体が同一のセルから報酬を得ることはできない。更に、個体は報酬分のニッチ構築実績を失う。（1）ではエネルギーは消費されることはないが、（2）以降の行動はエネルギーを消費する行動である。（2）の移動では、個体は現在地点から周囲を囲むセルのうち、最も適応度の高いセルへと移動する。ただし、移動の頻度に応じて適応度が下位のセルへも移動する可能性を上げる。これは、移動の頻度が高い個体ほどあらゆる場所でニッチ構築を行うという、個体に対する性格付けである。反対に、移動の頻度が低け

表1. 個体をとる行動と strategy で表される値

Value	Action	Function
0	報酬を得る	Gain()
1	移動する	Move()
2	交叉する	Trait()
3	改変する	Change()

gene →	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0
strategy →	1	3	1	2	2	3	1	2	1	3

図4. 戦略と遺伝子のコード化

れば個体は注意深く保守的に移動先を選ぶようになる。また、1つのセルに同時に複数の個体が存在しても良いとする。これは、個体と同じチームに対し高い適応度を見出した可能性があるためである。(3)の交叉では、個体は移動行動と同じように周りを見回し、異性の個体で最もニッチ構築の実績がある個体と交叉して子世代を生み出す。(4)の改変では、個体は現在地点のセルに対して、そのチームと自らの遺伝的嗜好との適応度を向上するよう、チームを改変する。(3)と(4)については、個体はチームや子世代に対して自らの遺伝的嗜好や行動規範を伝播できた分、エネルギーを消費しニッチ構築の実績を得る。

次に個体をとる4種の行動を関数とし、各行動の実装を行った(表1.)。まず、個体の行動規範である strategy についての実装方法を説明する。strategy の実装は烏 [4] の手法を採用した。strategy の各列に設定された値のうち、どの行動(action)をとるかは以下のように選択される。tは経過ステップである。

$$action = individual_i.strategy_a \quad (2)$$

ただし、

$$a = t \% 10 \quad (3)$$

つまり individual は strategy の各列について、各ステップの一桁目にあたる番号の列に設定された行動をとる。例えば図4.の strategy では、t=13 のとき、t % 10 = 3 より 0 から数えて列番号3の値に対応した行動をとる。交叉結果によってこの配列は変化していく。

Gain で得る報酬と失う実績は、adapt ((1)式)を用いて以下のように表した。ωは比例定数である。

$$individual_i.energy += adapt(gene_i, meme_j) \times \omega \quad (4)$$

$$individual_i.niche -= adapt(gene_i, meme_j) \quad (5)$$

また、Gain の処理は次のように定義した。

1. (4)式による energy の向上。
2. (5)式を用い、個体の niche を低下させる。
3.  $0 \leq x \leq 9$  において  $gene_i[x] == meme_j[x]$  なら、 $meme_j[x]$  の値を反転する。

次に Move であるが、Move は隣のセルに移動するための行動である。Move で消費される energy は  $cost_{Move}$  とし任意の値を設定し、同値が niche への加算される ((6, 7)式)。

$$individual_i.energy -= cost_{Move} \quad (6)$$

$$individual_i.niche += cost_{Move} \quad (7)$$

さらに、Move の手続きは以下の通りである。

1. 周りの6つの cell を cell リストとして定義。
2. cell リスト中の cell に対し、それぞれ(1)式で adapt の値を求める。

2.1. この際、strategy の Move が存在する列と同列の gene と meme は adapt の計算から除外する。

3. adapt による cell リストの降順並び替えを行う。

3.1. 突然変異の場合、昇順で並び替える。

4.  $adapt \leq energy$  ならば、cell リストの中で一番上の cell へ移動。

5. (6, 7)式によって energy と niche を増減させる。

2.1.の手順について、例えばある strategy<sub>i</sub> の 3, 5 列目に Move が存在する場合、移動時の適応度計算に gene<sub>i</sub> と meme<sub>j</sub> の 3, 5 列目は(1)式には使用せず、0, 1, 2, 4, 6, 7, 8, 9 列目を用いた計算を行う。これにより、移動の頻度が増えるに従って個体は適応度を度外視した移動をするようになる。

交叉を表す Trait は、交叉相手を選び出して子個体を生成する行動である。Trait の手続きは以下の通りである。

1. 周りの6つの cell に存在する個体から、異性の個体リストを定義。

2. 異性の個体リストについて、それぞれの niche による降順並び替えを行う。

3. 突然変異の場合、昇順で並び替える。

4. 異性の個体リストの中で一番上の個体を交叉相手として選ぶ。

5. 子個体の gene 及び strategy を一様交叉で定義。

6. 親個体それぞれと子個体の gene について、(1)式を  $adapt(gene_i, gene_j)$  として adapt を計算。

7. 子個体のその他の要素は初期条件に従う。

8. 親個体それぞれについて、 $adapt \leq energy$  ならば、子個体を生成。

最後に Change であるが、これは individual の gene のうち、どれか1つの値を同列の meme に対して転写する行動である。また、突然変異により転写する値が逆転する。つまり1の場合は0に、0の場合は1を meme に対して上書きする。Change の際、energy や niche は以下の通りに変動する。

$$individual_i.energy -= adapt(gene_i, meme_j) \quad (8)$$

$$individual_i.niche += adapt(gene_i, meme_j) \quad (9)$$

また、Change の手続きは以下の通りである。

1. 現在地の cell について、(1)式による adapt の計算を行う。

2.  $adapt \leq energy$  ならば、meme を1列選び出し、同列の meme を上書きする。

3. (8, 9)式を用いて energy と niche を増減させる。

3.1. 上書きした結果、meme 値の変動が無ければこの計算はしない。

これらの4種の行動を *strategy* 配列にまとめ、実験では世代交代による最適化を検討した。

#### 4. 実験

以上のように実装されたモデルにおいて、遺伝子=文化共進化の表現と個体の嗜好伝播戦略の最適化を目的とし、10回の試行を行った。結果として *gene* が極端な値の配列である個体が高い *niche* を得ることが多かった。また、*strategy* の列は順番によらず同じような行動をとるよう収束した。このため、*meme* の変化によって行動規範が収束したと考えられる。

##### 4.1 実験の目的と方法

遺伝子=文化共進化が起こっているかを考察し、個体の嗜好伝播に関する最適化された戦略を検討するため、以下の初期条件で実験を行った(表2.)。実験はマルチエージェントシミュレータの *artisoc* を用いて行った。

各 *cell* は *xy* 平面上を敷き詰めるように配置され、個体である *individual* はその上にランダムに配置される。複製子の各値の頻度は、*gene* や *meme* なら0か1を、*strategy* なら0から4の値を、それぞれ等しい確率でランダムに設定した。試行は800ステップ経過するか個体数が100未満になることを終了条件とし、10回繰り返した。

表2. 初期条件

<i>xy</i> 平面の面積	50 × 50 セル
<i>cell</i> 数	2500
<i>individual</i>	1000
突然変異確率	0.1%
$\omega$	1.5
<i>costMove</i>	0
<i>energy</i>	24
<i>life</i>	10
<i>gene, strategy</i> 各列の値	ランダム
終了条件	800ステップ経過もしくは個体数100未満

##### 4.2 結果

同じ世代の個体群ごとにデータを集計した。すなわち、10ステップ毎ステップに *life* が0となった個体による個体群を定義し、その内最も *niche* が高かった個体の *strategy* における行動の頻度を調べた。結果は以下の通りである。800ステップを経過した試行では、*Move* の減少と *Trait* の微増以外は全体的に初期条件の行動規範と目立った変化は無かった(図5.)。終了ステップが800に満たなかった試行では、適応度の急激な上昇が見られ、*Change* の割合も増加している(図6.)。各世代で最もニッチ構築をできた個体群で *gene* が全て0か1となっているものが多く見られ、その割合は37.6%であった。*Trait* を多くとる個体が特に多く、*Gain* を多く持つものが *niche* の高い個体になることは少なかった(表3.)。

##### 4.3 考察

まず、全体の適応度の平均が一定の水準を保とうとしているのは、系を破綻させないためだと考えられる。一方で800ステップに満たなかった試行では、個体が適応

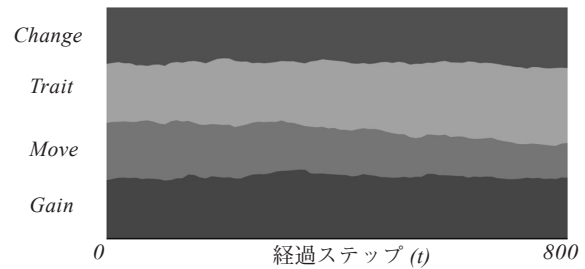


図5. 800ステップを経過した場合における戦略頻度の推移の例

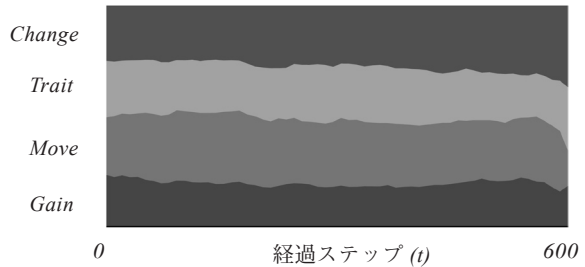


図6. 800ステップを経過しなかった場合における戦略頻度の推移の例

表3. *niche* が最も高かった個体の *strategy* 各桁におけるそれぞれの行動の出現回数とその標準偏差

<i>strategy</i> [x]	<i>Gain</i> ( )	<i>Move</i> ( )	<i>Trait</i> ( )	<i>Change</i> ( )	計
<i>x</i> = 0	17	72	314	172	575
1	15	93	278	189	575
2	20	82	309	164	575
3	33	71	304	167	575
4	23	78	309	165	575
5	21	80	300	174	575
6	21	81	312	161	575
7	26	84	288	177	575
8	23	86	303	163	575
9	23	70	300	182	575
標準偏差	1.48	2.18	3.36	2.75	-

度の向上に集中してしまったために系を存続させることができなかったと考えられる。

次に、10ステップ毎に *niche* が最も高かった個体の嗜好に極端な偏りが見られたことについて考察する。*gene* の値が全て0か1の場合、どのようなビット列に対しても同じような *energy* 消費で自らの *gene* 反映したニッチ構築が行えるからだと、*strategy* から判断できる。こういった個体の *strategy* は積極的に外部と関わろうとすることが多い。加えて、それを実現可能なような標準的と言える適応度を備えている。つまり、どのビット列に対しても同じような適応度を示すことから、*energy* の消費を抑えて行動できるのである。また、周りの環境と親和性の高い嗜好を持つことで多くの利益を得るということは、囚人のジレンマのようなゲーム理論での協調行動やにも見られる現象である。個体群において、周りの個体と協調的であった方が優位に立てることは、マキャベリの知性仮説[9]として説明できると考えられる。こういった親和性の高い個体は適応しやすいが故にニッチ構築を他個体より多くとることができ、その結果効率的に自らの *gene* を反映した行動をとることができる。

次に行動規範の面から考えると、図5.と表3.から *niche* の高い個体は他の個体と比べて *strategy* の各列で極端に *Trait* を占める割合が多い。また、各行動ごとに *strategy* の列を比べた場合、標準偏差が小さいことから、各行動とその実行されるタイミングはあまり関係の無いものだと考えられる。しかし、個体の *gene* や *strategy* は交叉によってのみ継承されるものである。従って、時刻に左右されない収束を示したという意味で遺伝子=文化共進化は起こっていると考えられる。

直接他個体とミームのやりとりをしないにもかかわらず、結果として協調的な個体が交叉や改変によって多くの他個体やミームと関わっているというのは、ミームが個体間の情報伝達を媒介し、交叉や嗜好選択における指標として働いているためと考えられる。また、協調的な個体が得をするという状態や、ミームを誰でも参照可能としている点からも、作成したモデルは現実に即したモデルであると考えられる。

## 5. まとめと展望

本研究では個体の後天的嗜好であるミームを外部に置き置き、個体は交叉やそれらへのニッチ構築を図る事によって自らの複製子を広めようとするモデルを作成した。これをマルチエージェントシミュレータの *artisoc* を用いて実装し、個体が効果的に複製子の伝播ができる戦略パターンを検討した。結果、遺伝子=文化共進化のもと、親和性の高い遺伝的嗜好を持つ個体が多くニッチ構築をなした。協調的な個体が増えて行くのは、周りの個体に対して有利に働こうとするためである。

今後はニッチ構築という観点を保持しつつ、個体が複数のミームを参照して行動規範を変化させていくようにし、個体の細かな動きが追えるようにモデルを改良したい。その上で、遺伝的嗜好を変異させる要因について考察していきたい。

## 参考文献

- [1] ドーキンス R: 利己的な遺伝子, 紀伊国屋書店, 2006
- [2] 武藤 敦子, 徳原 信哉, 加納 政芳, 大星 多聞, 加藤 昇平, 伊藤 英則: 同調遺伝子とミームを用いた性選択モデルにおける循環型流行の発現, 人工知能学会論文誌, 2009, vol.24, pp.214-222
- [3] 久保 和紀, 鈴木 麗瑩, 有田隆也: 進化とニッチ構築の相互作用に関するシミュレーション解析, 人工知能学会全国大会論文集, 人工知能学会, 2005
- [4] 烏 云, 狩野 均: 行動ルールが変化する人工社会の進化的設計手法, 人工知能学会論文誌, 2005, vol.20, pp.318-325
- [5] ウィルソン E. O.: 知の挑戦 - 科学的知性と文化的知性の統合, 角川書店, 2002
- [6] アンガー R.: ダーウィン文化論: 科学としてのミーム産業図書, 2004

[7] Pollack. M. & Ringuette. M.: Introducing the Tileworld- Experimentally Evaluating Agent Architectures, American Association for Artificial Intelligence, 1990

[8] 山影 進: 人工社会構築指南 - *artisoc* によるマルチエージェント・シミュレーション入門, 書籍工房早山, 2007

[9] 長谷川 寿一, 長谷川 眞理子: 進化と人間行動, 東京大学出版会, 2000