

遺伝子とミームの共進化に関する複雑系アプローチ

A Complex System Approach Toward Gene-Meme Coevolution

名古屋大学大学院人間情報学研究科 ○森 智彦 有田 隆也

○Tomohiko Mori Takaya Arita

Graduate School of Human Informatics, Nagoya University

Abstract: A meme, termed by R.Dawkins, is an element of culture as a replicator that may be considered to be passed on by imitation. From the viewpoint of memetics, genes and memes are equal substances, and we ourselves and our social systems are the results of coevolution between genes and memes. However, memes have surely accelerated their own speed in the evolutionary process, and their influence on us has grown remarkably. This paper focuses on this influence of speedup in memetic evolution by constructing a NKCS model and a multi-agent model based on a complex system approach. In simulation experiments, we have observed a tendency that memes decrease their relevance with genes as they accelerate their own speed of evolution, which is parallel with our understanding in the real world. It has been also shown that a complementary relationship between genes and memes is collapsed gradually.

1 はじめに

近年、文化は圧倒的な進化をしており、われわれの生活をめまぐるしく変容している。この文化の進化による、われわれへの影響はいったいどれほどのものであろうか？これは、経済学、社会学、人類学などの社会諸科学に関わる共通の問題である。それに関して、定性的検証は史実を遡ることにより可能な側面もあるが全てではない。また、定量的検証はわれわれや社会といったシステムは複雑適応系であることから未だ不十分である。このような複雑適応系の振る舞いを捉えるには、構成的手法が有効な手段であり、生命システムの特質を捉えるには構成要素である遺伝子に視点を移す必要がある。これに関して、自然淘汰の単位は遺伝子であり、進化は自らのコピーを増やそうとする自己複製子としての遺伝子の利己性に起因するものであるという Dawkins の利己的遺伝子論がある [1]。それに基づけば、自然淘汰において、種や個体レベルで利己的な生物が進化するのではなく、遺伝子レベルで利己主義を採る生物が進化すると捉える。ただし、ここでいう利己性とは、意思をもって行動するという意味ではない。また、文化の進化に関しても遺伝子とのアナロジーを用いて、仮想的な文化的遺伝子(ミーム)によるものとして説明している。ミームは、非遺伝的手段、とくに模倣により伝えわたされると考えられる文化の一要素と定義されている。言語や宗教、そして音楽などがその例であり、語られた言葉や書かれた文字によりヒトの脳から脳へと自己複製する。初期のヒトが、狩猟や食物の調理、火の起こし方などに役立つ技能を模倣することで、こうした初期のミームが広まり、ミームを獲得する能力はヒトの生存上において重要性を増していった。しかし、それらの生存に有益なミームだけでなく、あまり役に立たないものまで模倣するようになっていった。そして、今日の世界では、コンピュータや携帯電話など、最新のミームに囲まれた社会で生活している。これに関して、過去の大部分において、ミームは遺伝子と互

いに強化し合い、ゆっくりと進化してきたが、今日の先進国では、利便性や娯楽性などの、ヒトの生存に関連のないようなものへと進化しており、強化し合うような関係が崩れているのではないかという Blackmore の主張がある [2]。

ヒトの進化過程におけるこのようなダイナミクスの完全な解明は困難であるが、ミーム概念により、文化のダイナミクスを生物進化と基本的に同じ理論やモデルで記述可能になり、遺伝子とミームの相互作用も分析可能になった。また、情報科学を基盤とする複雑系アプローチに基づく生命システムとしてのヒトおよび社会システムとしての文化の研究へと繋がったといえる。そこで本研究では、複雑系アプローチを用いて、遺伝子とミームがどのように相互作用し、われわれをデザインしてきたのかに関する知見を得ることを目的とする。具体的手法として、人工適応度地形の概念における NKCS モデル、およびマルチエージェントモデルを用いて、ミームの進化速度の差異に基づくシミュレーション実験を行い、結果を観察・比較するにより、遺伝子とミームの共進化の検証を行う。それにより、進化過程におけるヒトと文化の関わりを体系的に捉えることを目指す。

2 人工適応度地形アプローチ

2.1 適応度地形と NKCS モデル

適応度地形とは、集団遺伝学者 Wright が提唱した、生物種の山登りを進化のメタファーとする概念であり、すべての可能な遺伝子型とそれに対する適応度を高さで表した地形である。高い箇所は適応度が高く、その位置にある遺伝子型は生き残りやすいが、深い谷底では適応度も低く、その位置にある遺伝子型は生き残りにくい。生物種がこうした遺伝子型を変異するにつれ、適応度地形上を高い位置

を目指して移動することが適応進化に相当する。

NK モデルは、相関のある人工的な適応度地形を与える簡単なモデルとして Kauffman が提案したものである [3]。対象とする遺伝子と他の遺伝子との相互関連により生物種の適応度が決まり、1つの遺伝子型が生命系全体の適応度に及ぼす影響はその他の遺伝子型に相互作用する。N は生物種の総遺伝子数、K は各遺伝子が関連する遺伝子数を表す。各遺伝子は 2 種類の対立因子である 1,0 で構成され、関連する K 個の遺伝子の全組合せ各々に 0.0 から 1.0 のランダムな小数を割り当てる。遺伝子 i の適応度 w_i は自身の遺伝子および、関連する K 個の対立因子に起因する。種の総合的な適応度 W は N 個の遺伝子型の適応度 w_i をもとに次式より求まる。

$$W = \sum_{i=1}^N w_i \quad (1)$$

生物種は 1 世代にランダムに選択された 1 遺伝子を変異し、より適応度の高い遺伝子型を求めて進化する。変異前の適応度、変異後の適応度をそれぞれ W_t, W_{ot} とすると次世代の適応度 W_{t+1} は次式より求まる。

$$W_{t+1} = \max(W_t, W_{ot}) \quad (2)$$

(2) 式を繰り返すことにより、世代が進んでいく。図 1 はシンプルな NK モデルの進化の流れである。NK モデルは $K = 0$ の場合、遺伝子間の相互作用がない単峰な適応度地形になる。また、 $K = N - 1$ の場合、相互作用は最大になり、完全にランダムな適応度地形になる。

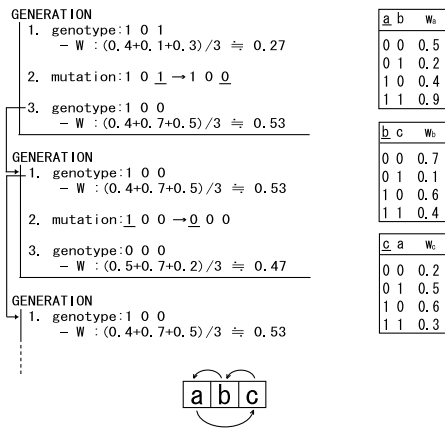


図 1: $N=3, K=1$ の場合の進化の流れ

NK モデルを拡張した NKCS モデルは複数の種からなる生態系について適応度地形が互いに結合した生物種の共進化を捉えたモデルである。C は他種の遺伝子に関連する数を、S は関連する種の数を表す。N 個の遺伝子の状態は、自身の他の K 個の遺伝子および、S 種のそれぞれ C 個の遺伝子の状態に依存する。

2.2 モデル

遺伝子とミームの共進化を NKCS モデルで捉えた Blackmore らの先行研究がある [4]。遺伝子と強化し合い共進化

していた初期のミームが、遺伝子を上回る進化速度になると、遺伝子に不適応なももミームプールに広まるようになり、両者の関係が対立関係へと移行してくる。その過程で、模倣するミームを識別することが遺伝子の適応度に大きな影響を及ぼすという仮説を立てている。つまり、ミームの進化により、遺伝子の適応度が下降する場合、ある確率でミームの進化を無効にするというミームへの選択圧を導入している。シミュレーション実験の結果、その確率が高く、ミームの進化速度が速い状況設定になるほど、遺伝子は適応的になり、そのような相互作用が脳の拡大へと繋がったのではないかという結論を導き出している。これは遺伝子側から見た相互作用であり、脳の拡大現象に特化した状況におけるものである。逆にミーム側に視点を移せば、ミームは遺伝子との対立に抑制されないような進化を辿ってきたと考えられ、その結果が今日の利便性、娯楽性といった遺伝子の適応度に中立、または不一致なミームの氾濫という形に表れているのではないと思われる。そこで、ミームの進化可能性における遺伝子との関連性に着目し、ミームの進化の挙動を観察する。

本モデルでは、種としての遺伝子は (2) 式を繰り返すことにより世代が進む。一方、ミームは変異に加え、1 $C = 64$ の範囲内で自らの有する C である C_{meme} を 1 増減し、より高い適応度を求めて進化する。 C_{meme} を 1 増加、減少した適応度をそれぞれ W_{pt}, W_{mt} とした場合、次世代の適応度 W_{t+1} を次式より求める。

$$W_{t+1} = \max(W_t, W_{ot}, W_{pt}, W_{mt}) \quad (3)$$

また、ミームの進化速度の差異に基づく影響を検証するために、ミームの遺伝子に対する相対的な進化速度 T を設定する。T = 5 の場合、遺伝子が 1 世代進化するのに対しミームは 5 世代進化する。一方、T = -5 の場合、ミームが 1 世代進化する間に遺伝子は 5 世代進化する。基本的な NKCS モデルとは、T = 1 の遺伝子とミームの進化速度が等価な場合である。

2.3 シミュレーション実験

N = 64 とし、遺伝子が 5000 世代進化した時点で実験を終了とする。K = {1, 2, 4, 8}, C = 64, T = {-10, -5, -2, 1, 2, 5, 10} の各組み合わせ 10 試行を行った。初期のさまざまな文化は、ヒトの存在なしでは誕生しえなかったものがほとんどであり、初期のヒトと強化し合うような密接な関係であった。よって C の初期値を N と等価な値としている。また、今日の社会におけるヒトは、遺伝子の適応度への影響にとられない、あらゆるミームと密接な関係であると考えられる。そこで、ミームの動的な C_{meme} に対して、遺伝子の C である C_{gene} は静的なパラメータとしている。

結果における C_{meme} について、表 1 に平均値と標準偏差を、表 2 に最大値と最小値をそれぞれ示す。表 1, 2 から、遺伝子の進化速度がミームに比べ速い状況である $T < 1$ の場合、実験終了時において C_{meme} は高い値を保持していることがわかる。これは、まずミームの相対的な世代数が少ないことが挙げられる。また、この場合、ミームは自らの進化に比べ遺伝子の進化に、より影響を受け適応度が変容する。図 2 は実験を総じて遺伝子の進化によりミームの適応度である W_{meme} が上昇する頻度を示している。T = -10 の場合、その確率は 20% を超えていること

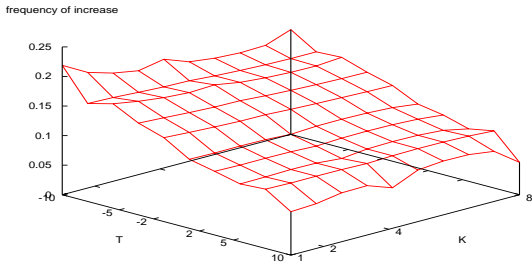


図 2: 遺伝子の進化に基づく W_{meme} の上昇頻度

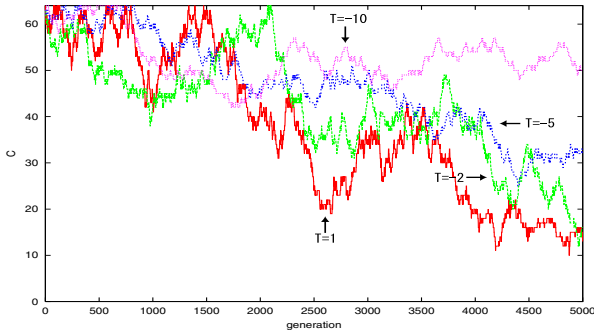


図 4: $T = 1$ における C_{meme} の推移

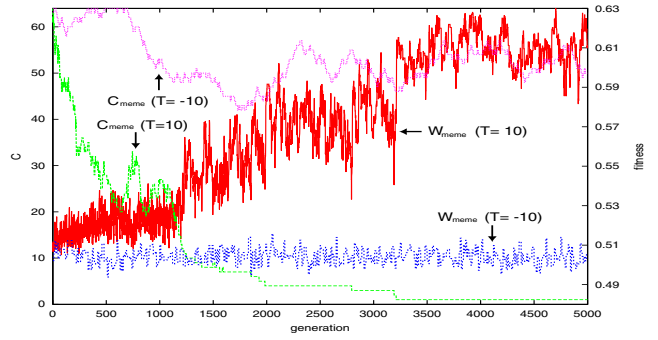


図 3: $T = -10, 10$ の場合の C_{meme} と W_{meme} の推移

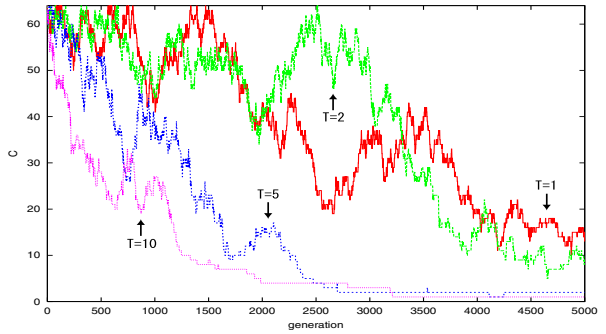


図 5: 1 T における C_{meme} の推移

表 1: C_{meme} の平均値 (上段) と標準偏差 (下段)

K	T						
	-10	-5	-2	1	2	5	10
1	48.1 (11.1)	38.3 (20.2)	15.4 (17.0)	10.6 (16.6)	9.5 (11.7)	5.5 (11.5)	2.2 (1.23)
2	48.9 (10.1)	52.3 (9.23)	34 (21.9)	11.8 (18.1)	7.4 (12.6)	7.3 (15.9)	3.8 (2.94)
4	46.9 (9.73)	46.7 (15.7)	20.5 (20.1)	27.7 (23.5)	9.3 (10.3)	4.6 (4.48)	5.4 (3.63)
8	50.6 (9.77)	48.3 (14.7)	33.8 (19.6)	24 (21.6)	20.4 (22.1)	5.5 (6.79)	6.4 (4.22)

表 2: C_{meme} の最大値/最小値

K	T						
	-10	-5	-2	1	2	5	10
1	63/26	62/1	51/1	53/1	34/1	38/1	5/1
2	61/35	62/32	61/1	61/1	39/1	52/1	9/1
4	61/34	62/17	60/1	62/1	28/1	13/1	11/2
8	63/32	63/21	56/1	60/1	59/1	21/1	15/2

がわかる。これは、 W_{meme} が低く、その上昇を遺伝子の進化に依存した状態にもあることを示している。図 3 に一般的な結果である $T = -10, K = 1$ の場合の W_{meme} と C_{meme} の推移を示す。 W_{meme} はほとんど上昇しておらず、0.5 ~ 0.51 あたりを推移し、また、 C_{meme} は微動しているものの、大きく低下していないことがわかる。この場合、

約 1800 世代で C_{meme} が 43 まで低下しているが、それ以上の場合と W_{meme} にほとんど差異がなく、この範囲であれば C_{meme} に基づく影響がないことを示している。しかし、表 2 の最小値から、 $T = -5, K = 1$ の場合で C_{meme} が大きく低下することも見られたことがわかる。その場合の W_{meme} と C_{meme} の推移を図 6 に示す。遺伝子の強い影響の中で C_{meme} が低下しているが、 $T = -5$ において、このような挙動は 1 試行しか観察されなかった。表 1 から、 $T = 1$ の場合において、 T の値が大きくなるに伴い、ミームの不安定な進化が顕著化するのがわかる。

一方、ミームの進化速度が遺伝子に比べ速い状況である $1 < T$ の場合、表 1, 2 から実験終了時において、 C_{meme} は値が大きく下降していることがわかる。これは、ミームの相対的な世代数が多く、遺伝子の進化の影響を頻度的側面で受けにくいことが挙げられる。 W_{meme} は遺伝子の進化により崩壊する可能性は高く、また、図 2 からわかるように、上昇する頻度も少ないので、遺伝子の進化の影響を小さくするために $W_{t+1} = W_{mt}$ として遺伝子の影響を受けにくい滑らかな適応度地形構造へと変容することが有効であったためであると考えられる。図 3 に一般的な結果である $T = 10, K = 1$ の場合の W_{meme} と C_{meme} の推移を示す。 C_{meme} が 20 ~ 30 に低下したあたりから W_{meme} は急激に上昇し、その後 C_{meme} は 1 へと急速に低下することがわかる。しかし、表 2 の最大値から、 $T = 5, K = 1$ の場合でも C_{meme} が高い値で実験が終了することもあったことがわかる。この場合について、図 6 に W_{meme} と C_{meme} の推移を示す。 C_{meme} が最小な 27 まで頻繁に下降しているが、それ以下に下降することはなく、27 ~ 64 を振動して推移する不安定な状態であることがわかる。 C_{meme} が 27 の場合の W_{meme} に注目すると、それ以上の場合と比較しても 0.05 ~ 0.1 ほどしか差異が見られないことから、それが C_{meme} の不安定要因であると考えられる。そして、表

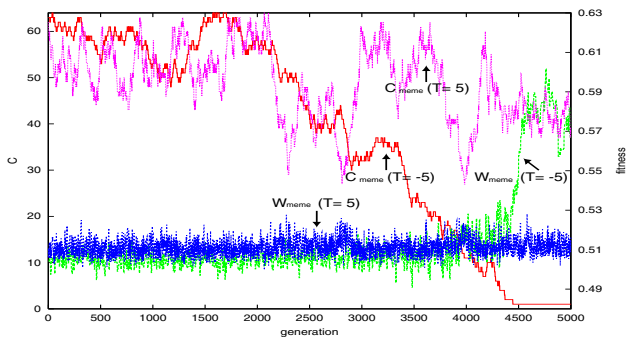


図 6: $T = -5, 5$ の場合の W_{meme} および, C_{meme} の推移

1 から, これら $1 < T$ におけるミームの不安定な進化は T の値が小さくなるに伴い, 顕著化しているのがわかる. しかし, 図 3 の $T = 10$ の場合のように, C_{meme} が 20 あたりまで下がれば, W_{meme} が大きく上昇するので, それ以降急激に C_{meme} は 1 へと減少傾向を強めるのではないかと考えられる. これらの結果は, 遺伝子と強化し合い共進化してきたミームが, 進化速度が上回る段階になると, 遺伝子との関連性を減少し, その関係から抜け出すような独自の進化を遂げるといふ, ミームの進化可能性に関するミーム学的見解と同様の結果である.

3 マルチエージェントアプローチ

3.1 モデル

マルチエージェントモデルはボトムアップな構成的手法に基づき, エージェント間の非線形的な相互作用により生ずる創発現象に着目するモデルであり, ミーム概念を扱ったものも報告されている [5, 6]. それらでは, 社会規範の創発に注目し, 協調性や反協調性などの文化特性を表現したビットストリングにおいて, エージェント間相互作用により伝播される単位をミームとして捉えている. また, 遺伝子と相互作用するミーム概念を扱ったモデルもある [7, 8, 9]. それらでは, 視野の広さや, エネルギー代謝率など, 生存に直接影響を与えるようなパラメータを遺伝子とし, 社会規範, 戦争などに関する文化特性において遺伝的適応度の低いエージェントが相対的に高いエージェントのものを模倣する際の単位をミームとしている. すなわち, ヒトの進化の重要な側面である進化と学習の相互作用に焦点を当てたものである. これらでは, ミームは自己複製子として取り扱われておらず, 遺伝的な適応性とミーム的な適応性を独立に導入したモデリングがなされていなかった. そこで, 本モデルでは, ミームを遺伝子とは独立した対等な自己複製子として捉えモデリングしている.

モデルを実装するにあたり, 環境設定は *sugarscape* モデル [7] をベースとしている. 本モデルの地形は, 50×50 のトーラス状の正方セルで表現される 2 次元平面である. エージェントは毎ターン, 現在セルにあるエネルギーを取得し 1 消費する. 平面上のエネルギーは毎ターン 1 回復するが, セルごとに設定されている最大値を越えて回復することはない. 図 7 に本モデルの実行画面, およびエネルギーの最大値を示す. 小さな点がエージェントを表してい

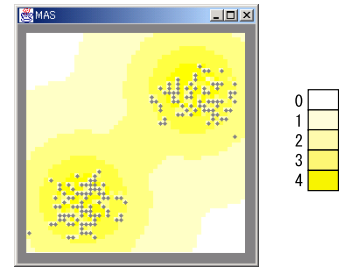


図 7: 実行画面とエネルギーの最大値

る. エージェントは遺伝子 10 ビット, ミーム 10 ビットの計 20 ビットのストリングを有する. 各ビットには振る舞いに関する情報が記述されており, 毎ターン, ランダムに選択された 1 ビットの情報に従って振舞う. 本モデルでは, ミームストリング内のビット情報をミーム, 遺伝子ストリング内のビット情報を遺伝子として捉えており, エージェントの振る舞いは自らに特異な遺伝子・ミームにより決定される. 振る舞いは *breed*, *move to energy* (以下, *ene*), *move to agent* (以下, *agt*), *waste*, *communicate* の 5 種類である. *breed* は, 所有エネルギーが 50 以上あればノイマン近傍内で同じ振る舞いをするエージェントと共に, 近傍の空セルに子を産む. その際, 子は両親の所有エネルギーの $1/3$ ずつを継承する. 加えて, 遺伝子ストリングを一点交差したものを, ミームストリングを一様交差したものを継承する. *ene* は遺伝子の複製に必要なエネルギーを採取するために東西南北 6 セルの視野内で最もエネルギーの現在量が多いセルを目標に 1 セル移動する. *agt* は視野内で最も近隣にいるエージェントの隣接セルへと 1 セル移動する. *waste* は所有エネルギーから 5 浪費する, 遺伝子に不適応な振る舞いである. *communicate* は, 近傍にいるエージェントと会話し, ミームを伝播する. エージェントは最大年齢 100 を超えるか, 所有エネルギーが 0 以下になった場合, 仮想世界から取り除かれる. これら一連の動作が終了すると, 次のターンが始まる.

3.2 シミュレーション実験

実験では, ミームの進化における空間的概念および, 時間的概念を導入することにより, 進化速度毎の状況設定を行っている. *communicate* の振る舞いは, 実験 1 では自身のノイマン近傍にいる 1 エージェントに 1 ビットの, 実験 2 ではノイマン近傍にいる全エージェントに 1~2 ビットの, 実験 3 ではムーア近傍にいる全エージェントに 1~3 ビットのミームを伝播する. 初期エージェント数を 500, 実験世代数を 5000, ミーム突然変異率を 5%, 遺伝子突然変異率を 1% とする初期設定値を用いた. また, 遺伝子・ミームストリングに含まれる振る舞いの情報は, *breed* を 30%, *waste* を 10%, その他を 20% とする初期配分をしている. なお, 各実験 10 試行ずつ行っている.

結果に関して, 図 8 は人口の推移について, 図 9 はエージェントの平均所有エネルギーの推移について, 図 10 はミームプールにおける *breed* である $breed_{meme}$ の比の推移について, 図 11 は遺伝子プールにおける *communicate* である $communicate_{gene}$ の比の推移について, それぞれ

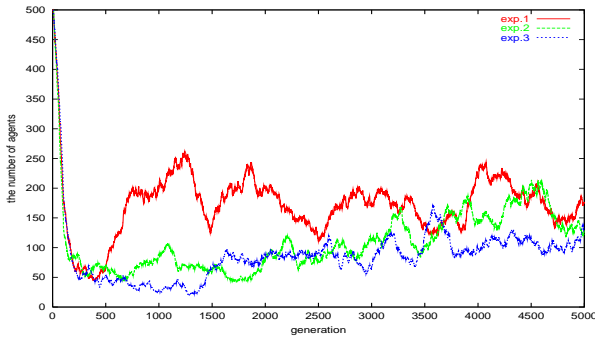


図 8: 人口の推移

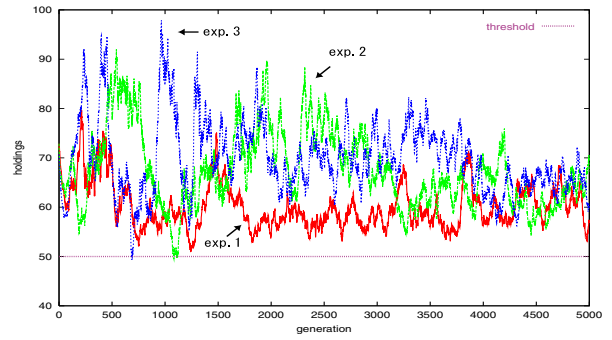


図 9: 平均所有エネルギーの推移

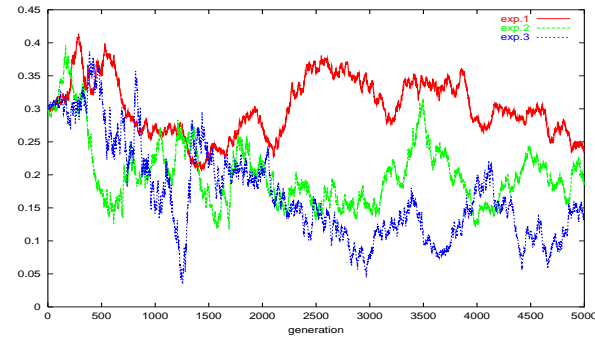


図 10: $breed_{meme}$ の比の推移

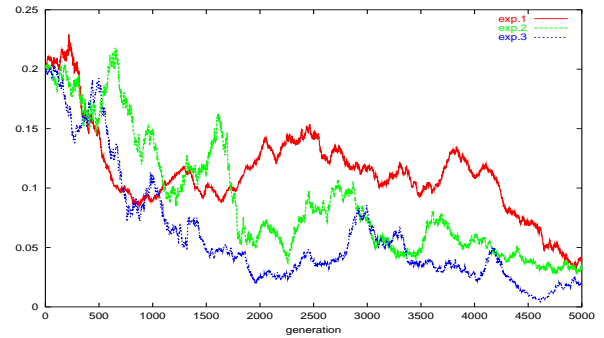


図 11: $communicate_{gene}$ の比の推移

示している。図 8 から、ミームの進化速度が速い状況設定になるほど、人口が下降していることがわかる。そのメカニズムとして、ミームの進化速度が速い状況設定になるに伴い、図 10, 11 からわかるように、 $communicate_{gene}$ (遺伝子プール内でミームに適応的な遺伝子) に、また、 $breed_{meme}$ (ミームプール内で遺伝子に適応的なミーム) にそれぞれプール内で淘汰圧が高くなるようになることが挙げられる。これは、複製機構としてのエージェントを新たに産む $breed_{meme}$ と同程度、ミームに適応的であった $communicate_{meme}$ が、ミームの進化速度が速い状況設定になるほど、より適応的 (実験 3 では 70% あたりまで比が上昇する) になり、 $breed_{meme}$ の比が減少するためであると考えられる。また、それにより、 $breed$ 可能な所有エネルギー 50 を大きく上回り、振動が大きくなっているように、エージェントは非効率的な進化をしている (図 9)。そして、エージェントが絶滅する現象¹も観察された。たとえば、実験 3 において、 $communicate_{gene}$ の比が減少しない場合、遺伝子に適応的な $breed_{gene}$, ene_{gene} の比が遺伝子プールにおいて上昇せず、人口が停滞し、その結果、エージェントと相互作用しようとする遺伝子プールにおける agt である agt_{gene} がプールを最も占めるようになるという悪循環が起こっていた。つまり、ミームの進化速度が速い状況設定では、 $communicate_{gene}$ が高い比であることが、遺伝子 (生命) に悪影響を及ぼしていることがわかる。これらは、遺伝子とミームの共進化における相補的關係が崩壊し、対立的関係へと変容していると考えられる。また、現実世界における、先進国のヒトが後進国のヒトに、また過去に比べ、ミームの伝播により時間を費やすことに起因する出生率の低下現象を示唆するような傾向で

あると考えられる。

加えて、遺伝子に不適応なミームプールにおける $waste$ である $waste_{meme}$ がミームプールで 20% 程まで広まることも観察された。その条件として、人口が少なくミームプールサイズが小さいこと、およびミームの進化速度が速い状況設定であることの 2 つが挙げられる。これはミームの駆動の状況下であることにより、 $waste_{meme}$ が遺伝子に不適応であることよりも、ミームの適応性に中立的であるという性質が強く出たために見られた現象であると考えられる。これは、現実世界における、遺伝子に不適応なミームの繁栄に関する一考察として考えられるのではないかとと思われる。

4 両アプローチの比較

人工適応度地形の概念に基づくアプローチで用いた Kauffman の NKCS モデルは、生態系や環境の変化などの生物種の共進化への影響に関する検証は困難であるが、共進化に特化した抽象的検証に有効である。一方、マルチエージェントモデルは、適応度などの明確な評価基準がなく曖昧であるが、具体的状況設定を導入することにより、様々な現象の創発的ダイナミクスの観察が可能である。

ここで、このような異なる特徴を有する両手法におけるミームの進化速度の差異に基づく挙動を比較することにより、遺伝子とミームの共進化の検証を行う。ただし、マルチエージェントモデルに基づくアプローチでは、ミームの進化速度を時間的・空間的概念を用いて設定しており、明確な進化速度の基準がなかった。そこで、結果をもとに、遺伝子に対するミームの相対的な進化速度 T を定数化することが、人工適応度地形の概念に基づくアプローチの結果との比較に有効であると考えられる。

¹実験 2 において 1 試行、実験 3 において 4 試行それぞれ確認された。

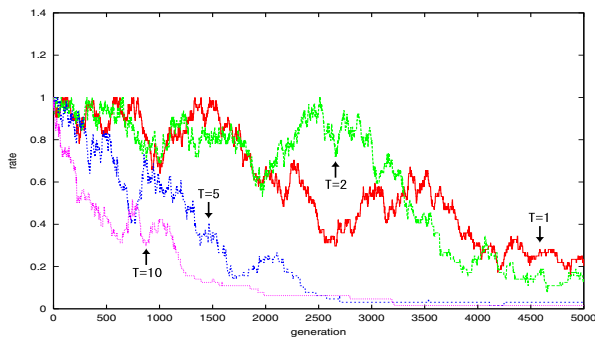


図 12: C_{meme} の相対値の推移

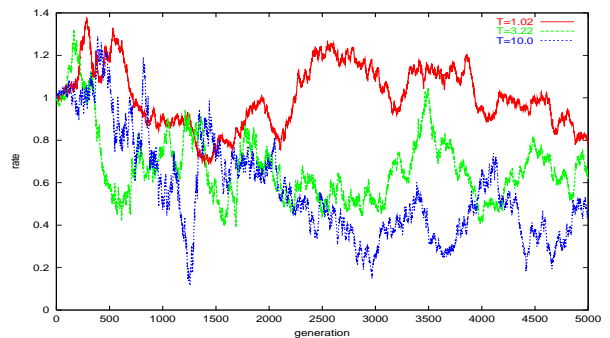


図 13: $breed_{meme}$ の相対値の推移

communicate により伝播されたミームの平均ビット数を N_{meme} , *breed* により伝播された遺伝子の平均ビット数を N_{gene} とし、ミームの進化速度を次式より求める。

$$T = N_{meme}/N_{gene} \quad (4)$$

実験 1 から 3 まで絶滅事象を除いた各 10 試行の平均的なミームの進化速度 T は表 3 の通りになる。これに基づく、実験 1, 3 は、それぞれ人工適応度地形の概念に基づくアプローチにおける $T = 1, 10$ の場合の挙動と比較可能であることがわかる。図 12 に人工適応度地形の概念に基づ

表 3: 各実験におけるミームの進化速度

	N_{meme}	N_{gene}	T
実験 1	8.12×10^4	7.96×10^4	1.02
実験 2	1.32×10^5	4.10×10^4	3.22
実験 3	4.25×10^5	4.30×10^4	10.0

くアプローチから得られた C_{meme} を、図 13 にマルチエージェントモデルに基づくアプローチから得られた遺伝子との関連性を顕著に表すミームである $breed_{meme}$ を、それぞれ初期値を 1 として正規化した相対値の推移を示している。両者とも、ミームの進化速度が速い状況設定になるほど、ミームは遺伝子との関連性を低下するような進化を遂げるという傾向が確認された。これらはいずれも、ヒトの生存に必要な不可欠であった文化が、娯楽性や利便性など、ヒトの生存には関連の低いようなものへと進化してきたという、現実における文化の進化現象と同様の傾向を示しており、異なる方法論であるにもかかわらず、共通して観察されたことは大変意義深いと考えられる。

5 おわりに

本論文では、文化の進化速度の差異に基づくわれわれへの影響の解明を目的として、人工適応度地形の概念および、マルチエージェントモデルに基づく複雑系アプローチにより、遺伝子とミームの共進化現象を検証した。

人工適応度地形の概念に基づくアプローチでは、Kauffman の NKCS モデルを用いて、ミームの進化可能性に着目してシミュレーション実験を行った。また、マルチエージェントモデルに基づくアプローチでは、自らに特異な遺伝子・ミームに基づき振舞うエージェント間相互作用によ

り生じる創発現象に着目し、シミュレーション実験を行った。両手法で共通して得られた結果は、現実の文化の進化と同様の傾向であり、さまざまな現象を遺伝子とミームの相互作用の観点から捉えるミーム学の有効性を示すものである。また、ヒトと文化の進化過程における関わりの定性的傾向を明らかにし、定量的傾向を捉えることへと繋がるものであると考えられる。

今後の課題として、人工適応度地形アプローチで用いた NKCS モデルにおける、パラメータ K の意味の具体的検討、さらに遺伝子の進化可能性も考慮したモデリングに基づく遺伝子とミームの共進化の検証が考えられる。また、特定の現象をミーム学的観点で捉えたマルチエージェントモデルに基づく検証、様々な環境設定を導入することによる現実世界における価値観や文化の比較などの検証への展開などが挙げられる。

参考文献

- [1] Dawkins, R.: *The Selfish Gene*, Oxford University Press (1976).
- [2] Blackmore, S.: *The Meme Machine*, Oxford University Press (1999).
- [3] Kauffman, S.: *The Origins of Order*, Oxford University Press (1993).
- [4] Bull, R., Holland, O. and Blackmore, S.: On Meme-Gene Coevolution, *Artificial Life*, Vol. 6, pp. 227-235 (2000).
- [5] Axelrod, R.: *The Complexity of Cooperation*, Princeton University Press (1997).
- [6] Gaylord, R. and D'Andira, L.J.: *Simulating Society*, Springer (1998).
- [7] Epstein, J.M., Axtell, R.: *Growing Artificial Societies*, MIT Press (1996).
- [8] Flentge, F., Polani, D. and Uthmann, T.: Modeling the Emergence of Possession Norms Using Memes, *JASSS*, Vol. 4, No. 4, <http://www.soc.surrey.ac.uk/JASSS/4/4/3.html> (2001).
- [9] 永川 成基, 有田 隆也: 進化と学習の相互作用におけるミームの影響に関する人工社会モデル, 第 26 回知能システムシンポジウム, pp. 193-198 (1999).