

## 2A2-3 多エージェント間の共生進化アルゴリズム

## Multi Agent System with Symbiotic Learning and Evolution.

田中 大介・早稲田大学

Daisuke Tanaka, Waseda University

間普 真吾・早稲田大学

Shingo Mabu, Waseda University

平澤 宏太郎・早稲田大学

Kotaro Hirasawa, Waseda University

古月 敬之・早稲田大学

Jingle Hu, Waseda University

Key Words: *Evolutionary multi agent symbiosis*

## 論文要旨

社会モデルはとて複雑であり、多くの共生関係が存在している。そこで、進化論的計算手法である遺伝的ネットワークプログラミング(Genetic Network Programming : GNP)を用い、生物の共生現象をモデル化した共生進化型マルチエージェントシステム(Multi Agent System with Symbiotic Learning and Evolution : Masbiole)を社会システムのシミュレーションに展開する。本論文では、社会システムの1例として「どろけいゲーム」を用い、追跡警察、警護警察、どろぼうの3者間での Masbiole の挙動の検討を行う。

## 1. はじめに

社会には多くの共生関係が存在している。実社会では実験が困難な社会現象を検証し予測するための手法として社会シミュレーションがある。しかし、社会モデルはとて複雑であり、シミュレーションを行うためには効率的な自立分散システムが必要である。近年、複雑な社会モデルを柔軟かつ効率的に制御・処理するための道具として、マルチエージェントシステム(MAS)に関する研究が盛んに行われている。

MAS では主体であるエージェントが個々の目的、戦略に基づき自立的に行動し、問題を処理する。本論文では、このMAS 研究の流れの中で近年提案され検討がなされている共生進化型マルチエージェントシステム<sup>1)</sup>(Multi Agent System with Symbiotic Learning and Evolution : Masbiole)に注目し、新しい応用についての検討を行う。

Masbiole を扱うにあたり、本論文では2つの点に注目する。まず、1つ目はエージェントの構成に進化論的計算手法を用いることである。なぜならば、地球上の生命は、動的な環境への対応という困難な問題に対し、進化という適応のメカニズムに基づき全体として豊かな生態系という解を導き出し、個体に関しても複雑で高等なメカニズムを作り上げてきたからである。進化論的計算手法に注目してみると今日までに Genetic Algorithm(GA), Evolutionary Programming (EP), Genetic Programming(GP), など様々な手法が提案されている。本論文では、このように様々な進化論的計算手法の中の1つである、遺伝子が有向グラフ構造を持つ遺伝的ネットワークプログラミング<sup>2)</sup>(Genetic Network Programming : GNP)を用いて検討を行う。GNP は、ツリー構造の GP と異なりネットワーク構造をしているため、ノードの再利用ができ、効率的な解の探索が可能であり、同時にエージェントの持つ様々な性質を具体的に表現することが可能である。

2つ目はゲームを利用した例題へ Masbiole を適用する点である。各プレイヤー(エージェント)が行動を選択し、その結果がお互いに影響し合うようなゲームの状況において、エージェント同士が共生進化を行っていくことにより、系全体としてどのような挙動が見られるのかを解析する。これにより、Masbiole の有効性を検証する。本論文では例題としてどろけいゲームを用いる。

以上の2点を踏まえ、本論文では Masbiole の主に進化に着目し、エージェントの構成に GNP を用いた進化型 Masbiole のどろけいゲームへの適用について検討・考察を行う。ここで言う進化とはエージェントが個体で構成され、この個体集合を変更することである。

本論文の構成は以下のとおりである。2章で Masbiole の基本概念、3章で遺伝的ネットワークプログラミングの構成、遺伝子表現、進化について述べ、4章ではどろけいゲームの例題によるシミュレーション結果を示す。5章はまとめである。

2. 共生進化型マルチエージェントシステム<sup>1)</sup>(Masbiole)

従来の MAS は、各エージェントが行動評価(Evaluation)に基づき行動戦略(Strategy)を変更し、問題に適応していく。その際に、お互い相互作用を及ぼす。しかし、各エージェントの評価はあくまで自分の評価のみを考慮するため、相互作用により、ナッシュ均衡解に陥ってしまうことがある。

それに対し、Masbiole は、生態系に見られる共生現象を工学的にモデル化し、自分のみならず相手の行動評価も考慮しつつ自らの行動戦略を学習・進化させるシステムである。

具体的に、Masbiole では各エージェントが行動評価、行動戦略、他エージェントとの共生関係を持っており、各エージェントの行動戦略をエージェント間の共生関係に従って進化させていく。

共生関係には、共利(Mutualism)、競争(Competition)、搾取(Predation)、利他(Altruism)という関係があり、任意の2エージェント間に一方のエージェントから他方のエージェントに対して設定される。例えばエージェント*i*のエージェント*j*に対する搾取の共生進化とは、エージェント*i*の行動戦略を変更したことにより、エージェント*i*の行動評価が改善し、かつエージェント*j*の行動評価が改悪することを言う。ほかの共生進化についても同様であり、その概要を表1に示す。ここで、表1にある、自己改善(Self Improvement)とは相手エージェントのことを考慮せずに自己エージェントの行動評価のみを改善することに対応する。従って自己改善は、従来の MAS 研究における共進化に相当する。つまり、Masbiole は広義の意味で従来の共進化(MAS)も含めた学習



図4は交叉, 図5は突然変異の例を示したものである。

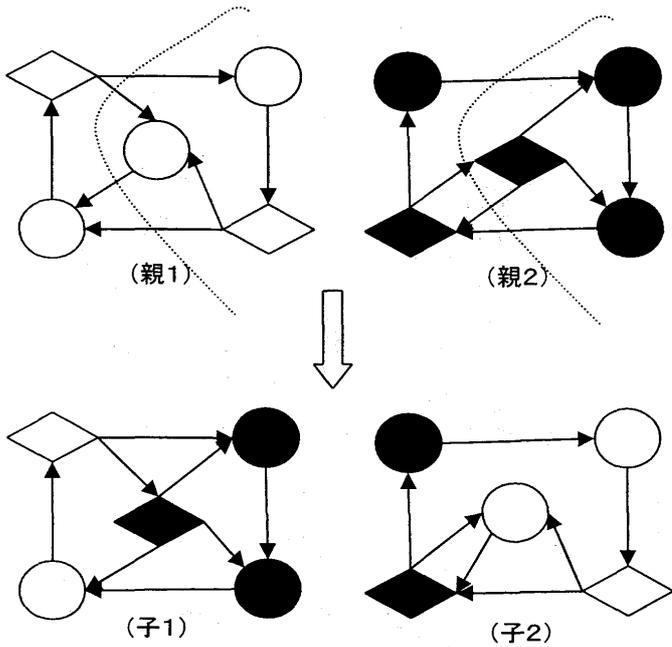


図4 交叉

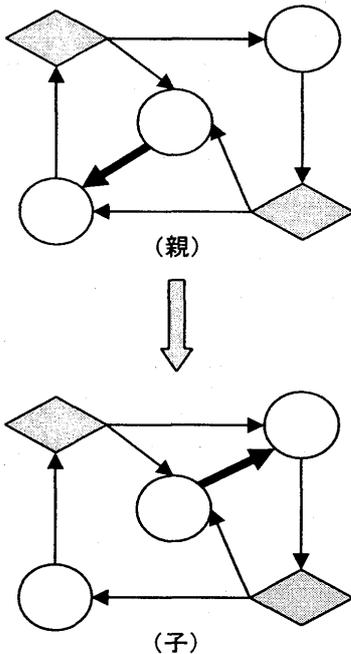


図5 突然変異

#### 4. シミュレーション

Masbiroleのシミュレーション例題として, どろけいゲームを用いた2種類のシミュレーションを行う。シミュレーション1ではエージェント間で1つの共生関係を持つ進化。シミュレーション2ではエージェント間で2つの共生関係を持つ進化について検討する。

##### 4-1. 基本設定

##### 4-1-1. シミュレーションモデル

シミュレーションワールドは50×50マスの2次元格子状の仮想的な環境で, 周りには壁が存在し, その外側へ出ることとはできない。この環境の中に刑務所, どろぼう, 警護警察, 追跡警察のエージェントがあり, それぞれが格子の1マスをおく。各エージェントの行動順は「どろぼう→警護警察→追跡警察」で, これを1ステップとする。

次にどろけいゲームのルールを示す。

- エージェントを警察と泥棒に分類する。
- 警察は刑務所を守る事を仕事とする警護警察と, どろぼうを捕まえることを仕事とする追跡警察に分類する。
- 泥棒はフィールド内を自由に動き, 警察は泥棒を捕まえる。
- 警察は捕まえた泥棒を刑務所へ連行する。
- つかまった泥棒は仲間が助けに来るまで刑務所に留まる。
- 捕まっていない泥棒は刑務所へ行くことで仲間を助けることができる。
- 刑務所から逃げる事ができた泥棒はまたフィールド内を自由に動き回ることができる。

表2 GNPの判定ノードと処理ノード  
追跡警察の各ノード

Judgment	View	What kind of agent in my neighbor food (5x5).
	Search	Where the nearest robbery.
Process	Number	How many robberies in jail.
	Forward	Go ahead.
	Turn_L	Turn left.
	Turn_R	Turn right.
	Stay	Stay there.
	Away_P	Away from police agent.
	Close_R	Close to robbery agent.

警護警察の各ノード

Judgment	View	What kind of agent in my neighbor food (5x5).
	Search	What kind of agent nearest jail.
Process	Distance	Judge distance from jail.
	Number	How many robbery in jail.
	Forward	Go ahead.
	Turn_L	Turn left.
	Turn_R	Turn right.
	Stay	Stay there.
	Away_P	Away from police agent.
	Close_J	Close to Jail.

どろぼうの各ノード

Judgment	View	What kind of agent in my neighbor food (5x5).
	Search	How many police near jail.
Process	Number	How many robberies in jail.
	Forward	Go ahead.
	Turn_L	Turn left.
	Turn_R	Turn right.
	Stay	Stay there.
	Close_J	Close to jail.
	Away_p	Away from police agent.

##### 4-1-2. GNPによるエージェントの構成

本論文では共生進化を行うエージェントをGNPを用い

て構成する. 本シミュレーションでは, 各エージェントは全てのエージェントの位置情報を把握することができる. それぞれのエージェントの各処理, 判定ノードとそれらの数を表2に示す.

4-1-3. 行動評価関数

各エージェントの Fitness を次のように計算する.

追跡警察エージェントの各個体の Fitness (行動評価)  $F_{pc}$

$$F_{pc} = \sum_{\substack{pc \in PC \\ t \in T}} C_t^{pc} \dots\dots\dots (1)$$

$C_t^{pc}$  : ステップ  $t$  で追跡警察エージェント  $Pc$  がどろぼうエージェント  $r$  を捕まえた時 +1

$PC$  : 追跡警察エージェントの集合

$T$  : ステップの集合

警護警察エージェントの各個体の Fitness (行動評価)  $F_{pg}$

$$F_{pg} = \sum_{\substack{r \in R \\ t \in T}} I_t^r \dots\dots\dots (2)$$

$I_t^r$  : ステップ  $t$  でどろぼうエージェント  $r$  が刑務所に侵入したとき -1

$R$  : どろぼうエージェントの集合

どろぼうエージェントの各個体の Fitness (行動評価) は  $F_r$

$$F_r = \sum_{\substack{r \in R \\ t \in T}} S_t^r \dots\dots\dots (3)$$

$S_t^r$  : ステップ  $t$  でどろぼうエージェント  $r$  が刑務所に捕まっているとき -1

表3 パラメータ設定

世代数	1500
個体数	300
交叉個体数	180
突然変異個体数	119
エリート保存数	1
交叉率	0.1
突然変異率	0.01
追跡警察エージェント数	6
警護警察エージェント数	4
どろぼうエージェント数	10

Masbiole のエージェントの行動評価は GNP で構成されたエージェントが繰り返しどろけいゲームで対戦し得られた Fitness の平均点とする. つまり, 行動評価の改善とは繰り返し対戦によって獲得した Fitness の平均点が上がることに, 行動評価の改悪とは平均点が下がることに対応する.

全ての GNP の進化は表3の条件で行う

4-2. シミュレーション1

従来の MAS と Masbiole の比較を行うため, 共生関係を利用したシミュレーションを行った.

4-2-1. 警護警察からどろぼうへ搾取の共生関係

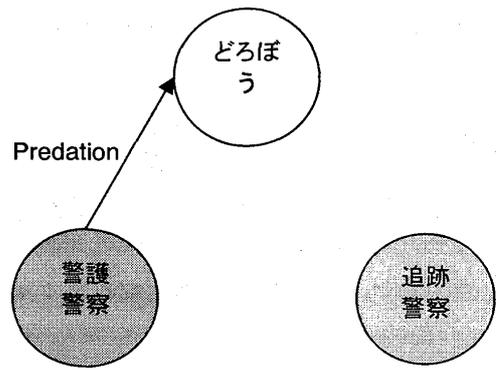
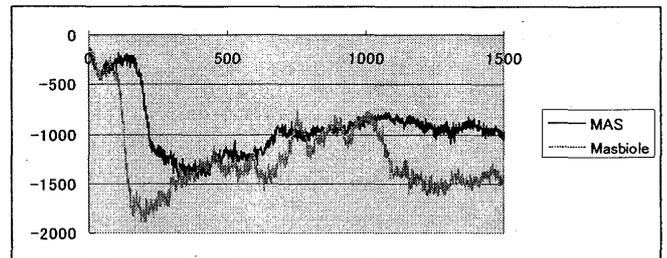
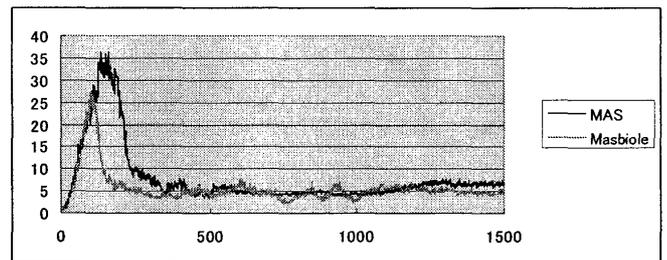


図6 シミュレーション1の共生関係

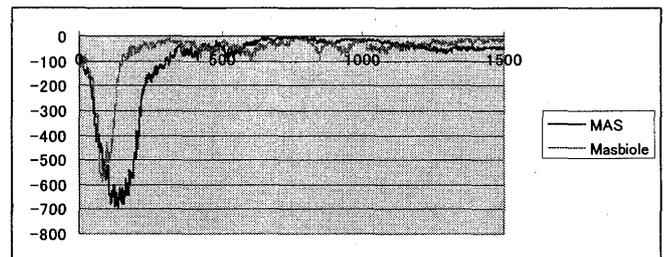
図6のような警護警察エージェントからどろぼうエージェントへ搾取の共生関係がある場合の行動評価を図7に示す.



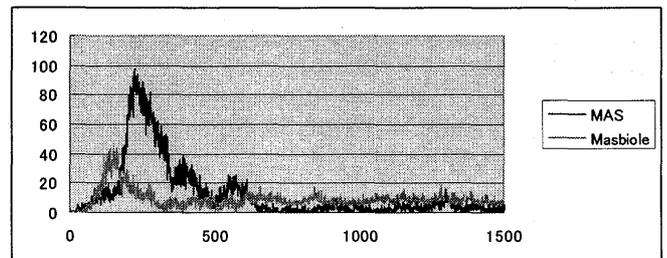
どろぼうの行動評価



追跡警察の行動評価



警護警察の行動評価



完全捕獲回数

図7 警護警察からどろぼうへ搾取の共生関係がある場合

図7から, Masbiole では従来型の MAS と比べどろぼうエージェントの評価が大きく減少し, 警護警察エージェントの評価が増加していることが分かる. 警護警察エージェントが

積極的にどろぼうを捕まえる機能がないにもかかわらず、仲間を助けにきたどろぼうを捕まえた回数が MAS の場合と比較が多かった。これは、警護警察エージェントが刑務所へ向かってきたどろぼうを捕獲し刑務所の仲間を逃がさないように進化した為と考えられる。このことから、追跡警察エージェントの評価値が若干減少したものと思われる。また、図7より10個の全どろぼうエージェントが捕獲された完全捕獲回数も Masbioleの方がMASより増加していることが分かる。

4-2-2. 追跡警察からどろぼうへ搾取の共生関係

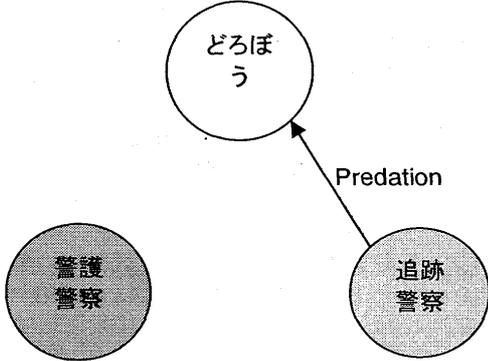


図8 追跡警察からどろぼうへ搾取の共生関係

図8のような追跡警察エージェントからどろぼうエージェントへ搾取の共生関係がある場合の行動評価を図9に示す。

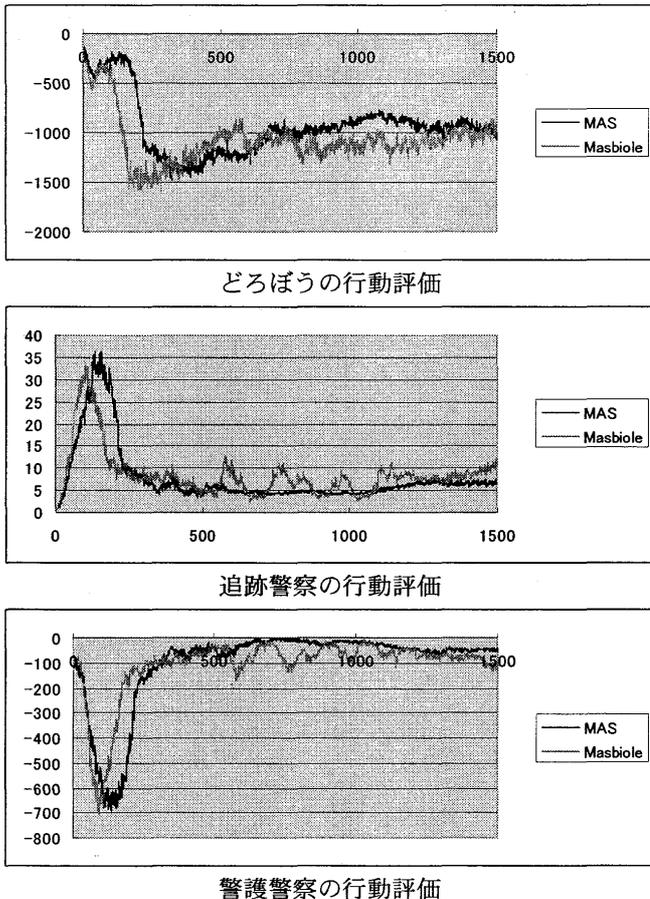


図9 追跡警察からどろぼうへ搾取の共生関係がある場合

図9より、MAS と比べ追跡警察エージェントの行動評価がわずかに上昇していることがわかる。警護警察エージェントの行動評価は若干減少しているが、これはどろぼうエージェントの捕獲数が増加する事でどろぼうが仲間を逃がすた

めに刑務所へ向かう回数が増えたことが原因である。

4-3. シミュレーション2

シミュレーション2では、2個の共生関係を利用したシミュレーションを行った。

4-3-1. 追跡・警護警察からどろぼうへ搾取の共生関係

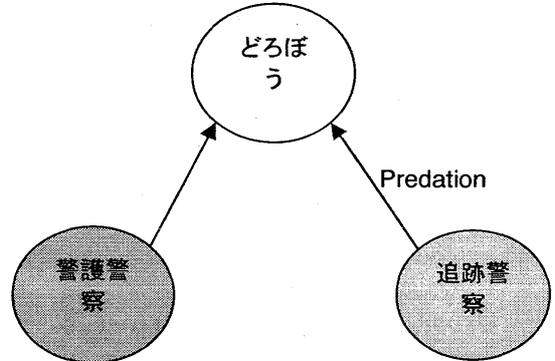
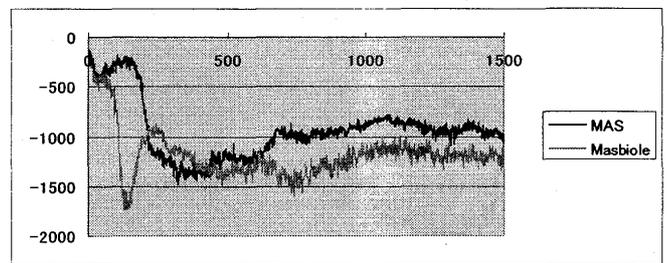
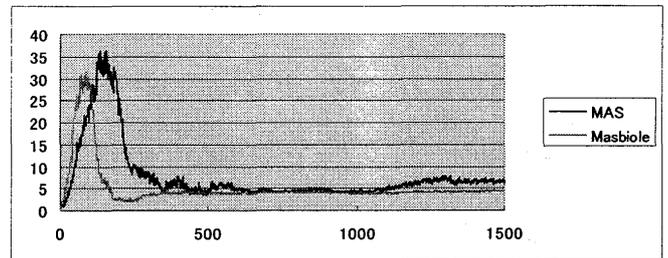


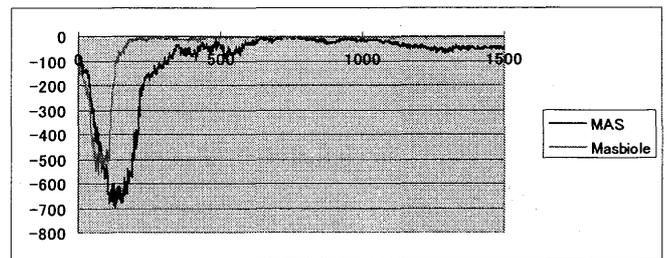
図10 追跡・警護警察からどろぼうへ搾取の共生関係



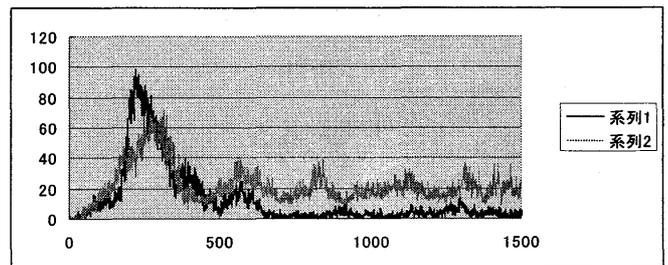
どろぼうの行動評価



追跡警察の行動評価



警護警察の行動評価



完全捕獲回数

図11 追跡・警護警察からどろぼうへ搾取の共生関係がある場合

図10のような追跡・警護警察エージェントからどろぼうエージェントへ搾取の共生関係がある場合の行動評価を図11に示す。

図11より、MASの結果と比べどろぼうエージェントの行動評価が下降し警護警察エージェントの行動評価が上昇していることが伺える。また、どろぼうエージェントの完全捕獲回数も共生がないものに比べ圧倒的に多くなっている。

4-3-2. 追跡警察と警護警察の相互の共利の共生関係

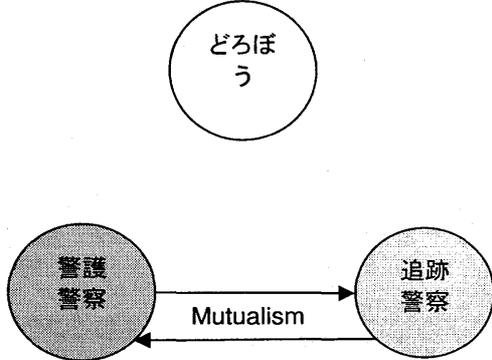
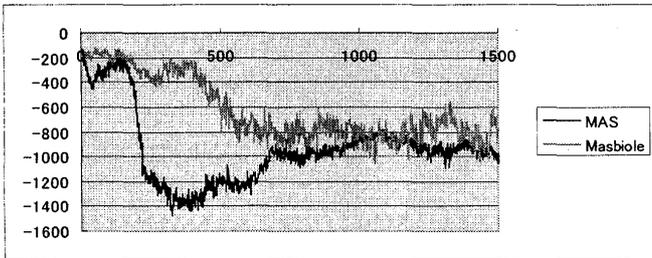
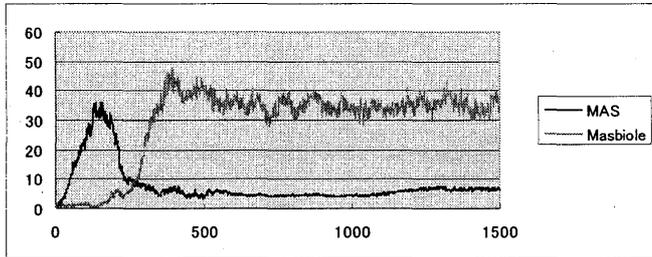


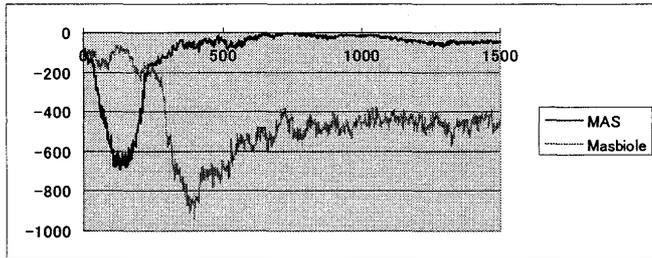
図12 追跡警察と警護警察の相互の共利の共生関係



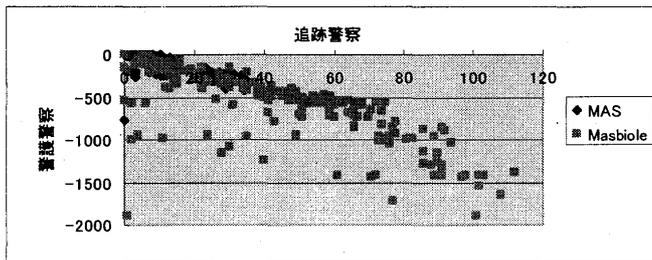
どろぼうの行動評価



追跡警察の行動評価



警護警察の行動評価



追跡・警護警察の最終世代のパレート解

図13 追跡警察と警護警察間に相互の共利の共生関係がある場合

図12のような共生関係を利用した行動評価を図13に示す。

図13より、MASと比較し追跡警察エージェントの行動評価が大きく増加しているものの、警護警察エージェントの行動評価が大きく減少している事が分かる。

追跡・警護警察エージェントの最終世代の共生解を見るとMASのものに比べ全体的に右下に移行している。これからシステムの制約のもとで各エージェントは共利によって自分のみならず、相手の利益となるよう行動していることが伺える。

5. まとめ

本論文では、MAS研究の流れの1つとして提案された共生進化型マルチエージェントシステムを、進化論的計算手法の1つであるGNPを用い、どろけいゲームへ応用した。

シミュレーションの結果から、Masbioleをどろけいゲームへ適用したときの有用性、共生進化によるエージェントの挙動が明らかになった。

今後各エージェントのホモエージェントシステムからヘテロエージェントシステムへの展開および、共生関係そのものを進化させるアルゴリズムを検討していく予定である。

6. 文献

- (1) T. Eguchi, K. Hirasawa, J. Hu, and N.Ota "A Study of Evolutionary Multiagent Models Based on Symbiosis", IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics, Part B, Vol.35, No1, pp.179-193, 2006.
- (2) S. Mabu, K. Hirasawa, and J. Hu, "A Graph-Based Evolutionary Algorithm: Genetic Network Programming and Its Extension Using Reinforcement Learning", Evolutionary Computation, MIT Press (To appear).