

## マルチエージェントシステムを用いた社会の自律的形成

## —哲学者ライプニッツの『モナドロジー』を応用して—

Autonomous Formation of Society by using Multi Agent System  
Based on “La Monadologie” of Leibniz上野 ふき<sup>\*1</sup>  
Fuki Ueno鈴木 泰博<sup>\*2</sup>  
Yasuhiro Suzuki<sup>\*1</sup> 名古屋大学大学院情報科学研究科 <sup>\*2</sup> 名古屋大学大学院情報科学研究科  
Graduate School of Information Science, Nagoya University Graduate School of Information Science, Nagoya University

What is ruler in the society? This is important problem to understand the social structure. In this research we discuss, which have more the power to autonomous formation of society, rulers or cluster of agents and "Nudge" to self-organize the society. We propose a model, that able to formulate autonomous society and to emergence rulers. Specifically, we create agents in accordance with the philosophical concept proposed by Gottfried Wilhelm Leibniz. In his "La Monadologie", a "Monad" which is an agent composes society of Monados will change the internal structure through interactions. We confirm that in this model, an autonomous society of Monados emerges by various interactions that are caused by differences of internal structures of Monads. Since emerged society in this model shares common traits with real society, we believe that "La Monadologie" would give us shed lights when we consider how autonomous emerge.

## 1. はじめに

本研究ではマルチエージェントの自己組織化により、社会構造が自律的に生成され、支配者(ハブ的存在)が創発してくるマルチエージェントシステムを提案する。社会の生成とは主に国や組織の支配者に依るのか、エージェントの特性に基づく自己組織的な集団の力に依るのか、そのメカニズムには様々な議論がある[佐藤 05, 前野 07]。また、社会の構造やネットワークの普遍的な性質を理解しようとする試みが行われている[Reynolds 87, Aoyagi 07]。特に、社会ネットワーク、複雑ネットワークに関しては、分析的にも構成論的にも多くの研究が進められている[Barabasi 99, Watts 98, Newman 04]。その中でもさらにエージェント(ミクロ)の特性と社会(マクロ)の創発の関連を探る研究[Sato 07, 生天目 08]が本研究と関連がある。

例えば、佐藤尚は社会構造の解明のために、エージェントの内部ダイナミクス(内部状態の変化)の重要性を説いている。そして、階級、制度、役割を持った、ボトムアップ的に形成される動的な社会にはマイクロマクロループが必要であると述べている。そして、Minority Game [Challet 97] を拡張したモデル「自己影響結合付きSRN (SRN with Self-Influential Connection; SRN-SIC)」を提案している[Sato 07]。

また、そうしたエージェント間での相互作用について、生天目章は人間行動を特徴づけるエージェントの内部属性と周りの人とのつながり方(ネットワーク構造)の特性との関係に着目し、多くのモデルを例に取りつつ、エージェントの内部属性とネットワーク構造の特性の関係からネットワーク全体への伝搬または普及特性が決まる、とまとめている[生天目 08]。これらの研究は、単に社会構造の性質を明らかにするだけでなく、社会を構成している「人間」をどのようにとらえるかという根源的な問題に取り

組んでいる。

以上の関連研究に鑑み、我々は社会の自律的形成において支配者とエージェントの集団のどちらの影響が支配的であるかを測定し、社会を自己組織化させるための“仕掛け”について検討する。

具体的には、哲学者ライプニッツ(Leibniz, 1646-1716)が『モナドロジー』で提唱した、哲学的概念“モナド”の構造に従ってエージェントを作成する。“モナド”は相互作用を通して内部構造が変化し、その構造の違いによって支配関係が生じ、入れ子構造状の集団を形成する。このシステムには社会の創発と強い類似性が伺える。そのためモナド論を応用して、社会的ネットワークの自律生成メカニズムを考察する事は新しい知見をもたらす可能性がある。

## 2. 階層性を持った社会の自律的形成モデル

ライプニッツによると生命の最も単純な実態である“モナド”は、形も量もないが、それぞれのモナドの性質を定めている「表象」というものを持っている。その表象には「明るい表象」と「暗い表象」がある。モナドには目指すべき表象があり、完全性の高い表象に到達する事が望まれる。つまり、モナドは不完全(形而上学的悪とも呼ばれる)で何か欠如している。欠如を補い完全なる表象を目指す行為を「欲求」と言う。また、モナド間には支配関係がある。完全性の高いモナドほど能動的に他のモナドに影響を及ぼし、完全性の低いモナドほど受動的に影響を被る。

ここでの影響の与え方が興味深い。「モナドには窓がない」と定義され、モナドはお互いに直接相手の表象を見ることもできなければ、影響を与え合うこともない、と説明されている。相手に影響を与える際は「神」を媒介して「ア・プリオリ」に行うのである。また、各モナドの支配関係を決めるのは「神の最善の原理」である。そして、入れ子構造状の集団によって世界が形成されている[Leibniz 1714]。

連絡先: 上野ふき, 名古屋大学大学院情報科学研究科複雑系科学専攻, 〒464-0814 名古屋市千種区不老町, 052-789-4269, fukitosa@nagoya-u.jp

以上のようなモノダの構造とシステムを本研究では次のように解釈した。まず、モノダをエージェントとみなす。次に、モノダを人間に限定して解釈するため、エージェントが有する明るい表象は顕在意識であり、暗い表象は潜在意識とした。またライブニッツは、完全な表象を目指す行為を欲求と述べるが、本モデルにおける欲求とは、潜在意識が顕在意識へと変化する過程とする。また、神の最善の原理とは本システムが採用した”ルール”(インタラクション方法、支配関係決定方法)と考える。そして、支配とはそのルールに従って階層構造を作ることであり、影響とは支配者が被支配者の顕在意識を”ルール”に沿って変更する事とした。このシステムは下記のルールに基づく事とする。

- 1) エージェントは潜在意識と顕在意識の構造を持つ。
- 2) エージェントの相互作用を通し潜在意識が増加する
- 3) 予め定められた規則により潜在意識下の知識が顕在化する。
- 4) 顕在意識は状態遷移則群で構成され 2) の相互作用の繰り返しにより規則が増加する。
- 5) 各々のエージェントは状態遷移則の包含関係に従って「支配-被支配」を構成する。
- 6) 支配的エージェントの状態遷移則の変化は支配下全てのエージェントに波及する。

以下ではより詳しく、構造とシステムの説明を行う。

### 2.1 エージェント(モノダ)の構造

個体内部には顕在意識の第一層(明るい表象)と潜在意識的第二層(暗い表象)があり、エージェント  $M_i$  を  $\{P, x\}$  の二項組で定義する。ここで  $i$  はエージェント番号である。 $i$  の数は  $n$  個用意する。 $P$  は第一層に入る顕在意識(状態遷移則)であり、大文字アルファベットで表記する(図 1)。 $x$  は第二層に入る潜在意識であり、小文字アルファベットで表記する。また、エージェントの行動ルールの生成に用いるため、顕在意識も潜在意識もアルファベットの集合ではなく、その「並びに意味がある」とする。

エージェント(モノダ)の構造

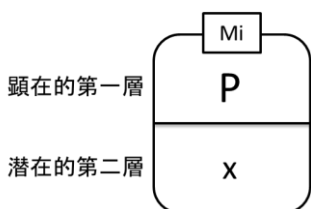


図 1: 本研究におけるエージェント(モノダの構造)

### 2.2 インタラクションによる潜在意識の増加

ライブニッツは『モノダロジー』の中で「モノダは活ける鏡」だと述べている。その意味については、「人がある都市を右から見た時と左から見た時では、都市の見え方が違うように、それぞれの角度からモノダはモノダを互いに写し合っている」と説明されている[Leibniz 1714]。これには様々な解釈があると考えられるが、本研究では、潜在意識をお互いに“写し合う”とする。

この解釈はジル・ドゥルーズ(Gilles Deleuze, 1925-1995)のモノダを参考にした考えである。彼は、モノダは 2 階建ての家のようなもので、上の階には理性的なモノダがあり、互いに行き来することはできないが、下の階には動物的なモノダがあり、「下の階には物質的な宇宙があって、たえず運動を伝え、波動を拡げ、

互いに作用し合う(共通のもの)がある」と説明している[Deleuze 72-90]。

以上を踏まえ、本システムで“写し合う”とはインタラクションが行われた時点でエージェントはお互いが持っている潜在意識  $x$  の全てを潜在的第二層(図 1)に追加することとする。その際に、相手の潜在意識  $x$  はランダムに自分の潜在的第二層の中に追加される(図 2)。

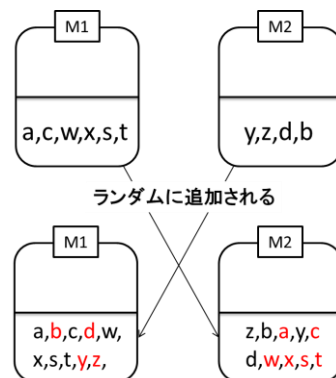


図 2: エージェントの潜在的第二層のインタラクション

### 2.3 潜在意識の顕在化

潜在意識化の知識を顕在化するルールを説明する。まず、「正しい記号の並び」を予め設定しておく。

例:  $A = a b c d,$   
 $B = w x y z,$   
 $C = s f t j,$   
 etc....

そして、第二層の潜在意識  $x$  に「正しい記号の並び」が見つかれば、それを大文字アルファベットに置き換え意識的第一層の顕在意識  $P$  を獲得する事とする(図 3)。これらはエージェント内部で起こる、内部構造の変化である。潜在意識をまだ言葉にする事ができない表現と捉えるならば、顕在意識は概念として明確になった状態と考えられる。そうであるならば、本システムの潜在意識の顕在化は知識の再構成とも呼ぶこともできるかもしれない。

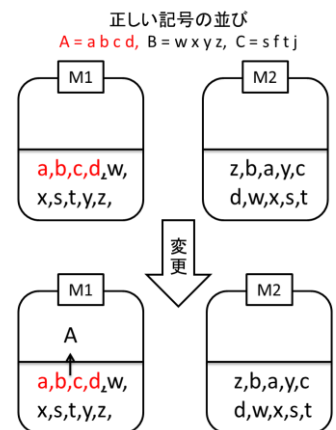


図 3: 潜在意識の顕在化

### 2.4 顕在意識の状態遷移則

顕在意識  $P$  獲得した順に、状態遷移則が構成されていく。例えば、1 回目のインタラクションで  $A$  を取得し、次に  $R, Y, U$  を取得した場合、下記のような一連の状態遷移則となる。

例:  $A \rightarrow R \rightarrow Y \rightarrow U \rightarrow \dots$

2-2 で説明したインタラクションの繰り返しにより遷移則は増加する。

### 2.5 「支配-被支配」の構成

各々のエージェントは状態遷移則の包含関係に従って「支配-被支配」を構成する。第一層の P の数で優劣を決定する。顕在意識 P の数が多く、かつ他のエージェントの顕在意識 P と同じ記号を持っているエージェントほど多くのエージェントを支配し、影響を与える事ができる。

例えば、

$M_1 \{ A \rightarrow R \rightarrow Y \rightarrow U (s d f g) \},$

$M_2 \{ A \rightarrow Y (g t u o p g) \},$

$M_3 \{ A (g t u o p g d g j k w s d f g) \},$

のエージェントがあった場合、M1 は M2 に影響を与え、M2 は M3 に影響を与える立場にある。この支配構成により、入れ子構造の集合を作ることができる。

### 2.6 支配関係による(ア・プリオリな)影響の与え方

支配的エージェントが持つ状態遷移則に従って、被支配的エージェントの P を変更する。例えば、 $M_1$  が  $A \rightarrow B \rightarrow C$  の状態遷移則を持っていた場合、 $M_2$  の顕在意識 A を B に、または B を C に変える事ができる。これにより、 $M_2$  の変更前の顕在意識はなくなる(図 4)。

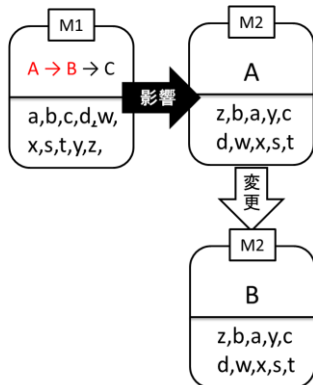


図 4: 影響の与え方

このように、支配的エージェントの状態遷移則の変化は支配下全てのエージェントに波及する為、大きな集合の支配者がインタラクションを行った場合、支配下のエージェントに連鎖的に大きな影響を与える事になる。その結果、自分の被支配者エージェントの増減、支配者の交代が見られる。

### 3. 実験

以下の条件で実験を行う。

- 潜在意識記号: 小文字アルファベット 26 文字を使用
- 顕在意識記号: 大文字アルファベット 26 文字を使用
- 正しい記号の並び: 小文字アルファベット 4 文字一組 26 個
- 初期状態の顕在意識数 = 0
- 初期状態の潜在意識数 = 1~3
- エージェント数: 100, 500, 1000
- ステップ回数: 500, 1000, 5000, 10000

2 ステップ以降では、第一層 P に同じ記号を持っているエージェントはインタラクションを行いやすいよう確率を調整する(シミュレーションの手順は図 5 を参照)。なお、シミュレーションの結果については、発表時に報告する。

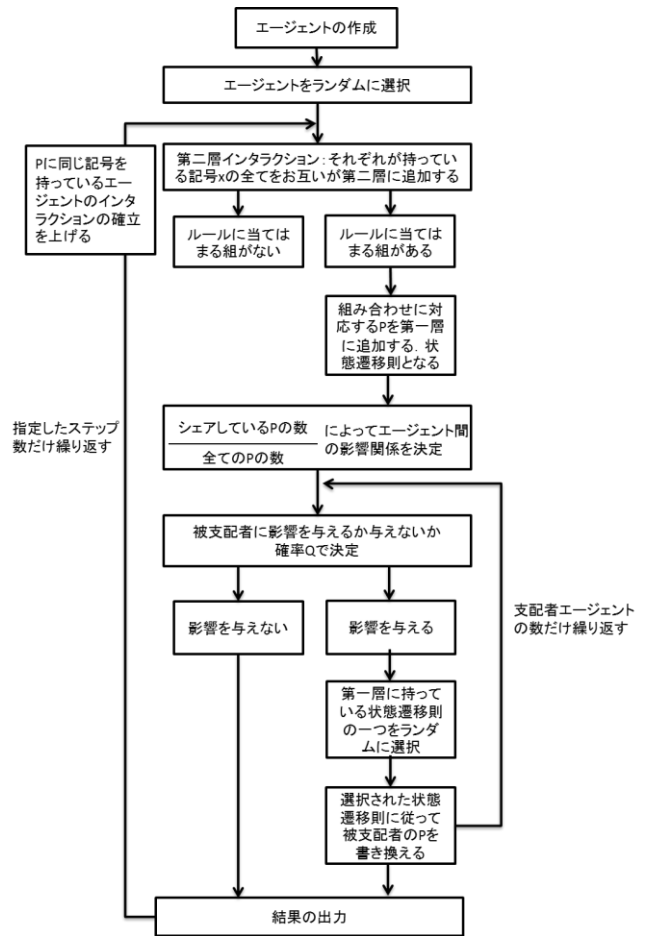


図 5: シミュレーションの手順

### 4. 謝辞

本研究は、日本学術振興会特別研究員(DC1) (平成 22 年度~25 年度)の補助を受けた。

### 参考文献

[Aoyagi 07] Aoyagi, M. and Namatame, A.: Incremental Development of Networked Intelligence in Flocking Behavior, Emergent Intelligence of Networked Agents, Namatame, A., Kurihara, S. and Nakashima, H. (Eds.), Studies in Computational Intelligence, Springer, Vol.56, pp.1-12, 2007.

[Barabási 99] Barabási, A. L., Albert, R.: Emergence of scaling in random networks, Science Vol. 286, pp. 509-512 1999.

[Challet 97] Challet, D., Zhang, Y.C.: Emergence of cooperation and organization in an evolutionary game, Physica, A. 246, pp.407-418, 1997.

[Deleuze 72-90] Deleuze, G.: Pourparlers, Les éditions de Minuit, Paris, 1990 (ジル・ドゥルーズ(宇野邦一訳): 襲: ライブニッツとバロック, 河出書房新社, 1998)

[Leibniz 1714] Leibniz, G. W.: La monadologie, 1714. (Monadologie und andere metaphysische Schriften. Hamburg, Felix Meiner, 2002.)

- [Newman 04] Newman, M.E.J., Girvan, M.: Finding and evaluating community structure in networks, *Phys. Rev. E.* 69 , 026113, 2004.
- [Reynolds 87] Reynolds, C.W.: Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model, in *Computer Graphics, Proc. SIGGRAPH '87 Conference, SIGGRAPH*, pp.25–34, 1987.
- [Sato 07]Sato T, Hashimoto T.: Dynamic social simulation with multi-agents having internal dynamics. *New Frontiers in Artificial Intelligence: Joint Proceeding of the 17th and 18th Annual Conferences of the Japanese Society for Artificial Intelligence.* A. Sakurai (Eds.) Springer, 2007.
- [Watts 98] D. J. Watts, and S. H. Strogatz: Collective dynamics of small-world networks, *Nature* Vol. 398, pp. 440-442, 1998.
- [佐藤 05] 佐藤尚, 橋本敬: 社会構造のダイナミクスに対する内部ダイナミクスとマイクロマクロ・ループの効果, *情報処理学会論文誌:数理モデル化と応用*, Vol. 46, pp.81-92, 2005.
- [生天目 08] 生天目章: 社会ネットワークの構造と影響力との関係, *人工知能学会誌*, 23 卷 5 号, pp.638-644, 2008.
- [青柳 09] 青柳優, 生天目章: 群れ行動の創発と同期行動におけるネットワーク構造の影響, *情報処理学会論文誌:数理モデル化と応用*, Vol. 2 No. 1, pp. 37-46, 2009.
- [前野 07] 前野義晴, 大澤幸生: コミュニケーションから探る組織の见えない黒幕, *知能学会論文誌*, AI 22, pp.389-396, 2007.