

多主体複雑系の考え方

木鳴 恭一

1. はじめに

多主体複雑系（ポリエージェントシステム）のパラダイムは、従来のオープンシステムパラダイムを補完する形で、人間や組織・集団を典型的な例とする異質で複数の意思決定主体が関与する状況をネットワーク的に相互作用するシステムとして捉え、その構造や相互作用を解明するための新しい思考の枠組みである。

このパラダイムは、学問的には最近話題となっている複雑系と密接に関係し、また社会現象的にはいろいろな場面で急速に進展しつつあるネットワーク現象を読み解くパラダイムである。

実はこのような観点・枠組みの断片は、学問的にもまた実務上でも様々な場面でアドホックな形ではすでに指摘され議論されているのであるが、ここでは、このような見方の特徴と必要性・意味をできるだけ見通しの良い形で述べ、それに基づく具体的モデルを提案したい。

2. 多主体複雑系パラダイム

多主体複雑系パラダイムは、基本的に3つのキーワード、すなわち、システムと環境の融合、参照内部モデル、ネットワーク、によって特徴づけられるが、その基本的ベースは、対象をシステムとして捉えようとするいわゆるシステム論の立場にある。

システム論において、対象を考察の対象としての「システム」とその周りを取りまく「環境」とに区別し、両者間の物質・エネルギー・情報の流れに注目しようとするオープン／クローズド・システムの視点は、もっとも基本的な視点である。そのとき、組織や人間はしばしば典型的なオープンシステムとして捉えられ、

システムと環境の2項対立で議論される。そこで認識者にとって重要なのは、いかにして両者の間に境界を引くかという問題であり、適切な境界の設定が問題認識に本質的な意味を持っている。明確な境界の設定すなわち環境の認識は、己(システム)と他者(環境)の明確な識別をもたらし、環境は客観的なメカニズムを持ったものとして認識される。

このようないわば、システム-環境図式がこれまで優勢をしめてきたのは、単にこの図式が現実を説明するのに便利だったからではない。それ以上に、近代理性が依ってたつ科学観のもとでは、この図式を採用せざるをえなかったからである。それは近代科学が基本的に2項対立を基礎とする認識法に拘束されてきたことと関係する。実際、近代科学の認識法は、認識する主体と認識される客体の分割をはじめとして、主観と客観、普遍と特殊等、例外なく2項対立を基礎としている。認識対象の中心的存在をまずフォーカス(焦点)システムとしてまとめ、ついでそれ以外を環境としてひとまとめにするシステム-環境図式もその典型的な産物である。

これに対して、多主体複雑系の枠組みでは、単純な2項対立的視点ではなくむしろシステムと環境の融合に重点を置き、システムと環境の明確な識別というより環境とシステムの一体性・融合を強調する。さらに、この立場では、環境は客観的に外側に存在するのではなく、主観的知覚的な内部モデルとして意思決定主体の中に認識され、意思決定や行動の際にはこれが主体に参照されるとする。ここで、内部モデルとは、主体が自らとの関係を含む周囲の状況を知覚し解釈して、自らの内部に世界の様子を映し出した像(モデル)を意味する。したがって、複数の主体が1つの状況に関与しているときも主体ごとにそれに付与する意味と解釈は異なり、内部モデルはそれぞれ異なってくることになる。たとえば、湾岸戦争の際の「イラク軍のクウ

ェートへの移動」という事実は、彼らにとっては「正当な防衛的行動」として、アメリカにとっては「自由社会を脅かす侵略行動」としてそれぞれ解釈され内部モデル化されるのである。

3. ネットワークと多主体複雑系

システムと環境の融合、内部モデルが多主体複雑系のミクロ的な特徴を示すキーワードとすれば、そのマクロ的なキーワードはネットワークである。

伝統的なシステム論の基本的な特徴は、全体論（ホーリズム）と呼ばれるものである。近代科学・現代科学のほとんどは、ものごとを「基本構成要素」に分解し、ものごとの性質をそれら基本構成要素の性質に還元して説明しようとしてきた。たとえば、物質の振る舞いは素粒子に、組織・社会の行動は個人の行動に分解され説明されてきた。ホーリズム（全体論）は、こうした還元主義に対するアンチテーゼとして提唱された。南アフリカの軍人で政治家のヤン・クリスティアン・スマッツが1926年の著作『ホーリズムと進化』の中で最初に使ったといわれる「全体は部分の総和以上である」はこの全体論のよく知られたスローガンである。また、最近複雑系という語を流行語化したサンタフェ研究所の設立に力を注いだ科学者たちの信念もやはり、「全体は部分の総和以上である」という信念だったといわれている [8]。その意味では、サンタフェ研究所はホーリズムの復興の拠点といえるだろう。

ネットワークは、システム論では階層構造に對置される概念であるが、多主体複雑系パラダイムでは、ネットワークを現実の社会現象におけるヴィヴィッドなホーリズムの不可欠な説明概念として取り込んでいる。

現在、特に企業組織を進化、ホロン型経営、インキュベーション（ふ化）などの概念を用いて議論しようとする有機体メタファー（組織を1つの有機体とみなす）がしばしば主張される。これにより「生命体」に学ぶ洞察的な議論を展開し、新しい経営理論を創造しようというのである。その延長線上には、組織を適応複雑系として機能の複雑なネットワークシステムとして捉え、環境との関係や自己組織化を検討しようとするモデルもある。

多主体複雑系パラダイムは、有機体メタファーを一步越えて、対象を文化的システムとして捉える文化メタファーに基づく。そこでは、組織は単なる適応複雑系ではなく、「異質の価値」との遭遇が古い価値秩序にゆらぎを生み出し、このゆらぎを通して自己組織化、

変革・進化が進むと考える。そこでは機能のネットワークという視点より、多様な価値観・利害の対立とアコモデーション（価値観の一時的並立共存）のネットワークが注目される。それは典型的には、管理・統制された情報の階層的構造ではなく、インターネットに代表されるボランタリー活動に根ざした自由な情報流通のイメージである。つまり、単に空間的・地理的制約を越えるだけでなく、時間的制約、情報ドメインの制約などあらゆる境界（バウンダリー）制約からも自由な相互進化するネットワークである。

以上述べたように、多主体複雑系パラダイムでは、人間や組織・集団などの異質で複数の意思決定主体が関与する状況を、内部参照モデルを持った知的決定主体（エージェント）がネットワーク的に相互作用するシステムとして捉え、その構造や相互作用を解明しようとする。以下で展開する知的ポリエージェント学習モデル（Intelligent Poly-agent Learning Model; I-PALM）は、その具体的なモデルの1つである。

4. 知的ポリエージェント学習モデル (I-PALM)：モード1

複数の意思決定者が対立する状況を数理的に取り扱うほぼ唯一の数理的考察枠組みはゲーム理論である。ゲーム理論では、複数の決定者（プレイヤー）はコンフリクト状況にあるものの、1つの問題状況を共通の知識として理解していると仮定し、合理的な行動を求めその性質を明らかにしようとする。

それに対して、現実のコンフリクト状況がこのような従来のゲーム理論で記述できるのはむしろ稀で、同じ決定状況を各プレイヤーが異なって知覚していると仮定し、プレイヤーの知覚的問題を体系的に扱えるようにゲーム理論的枠組みを修正・拡張することを狙って提唱されたのがハイパーゲーム分析である。すなわち、ハイパーゲーム分析は、通常のゲーム理論のように「すべてのプレイヤーは同じゲームを見ている」とは仮定しないのである。

I-PALMは、ハイパーゲーム分析を基礎に問題状況の理解の変化といったダイナミックな過程をも視野にいった新しい分析枠組みである。すなわち、I-PALMにおいてもハイパーゲーム分析と同様に、ある問題状況に関与する人々は当初異なった多様な価値観を持っており、各人は共通に関与している問題状況を異なって知覚するのが当然であると仮定する。そして、I-PALMは各プレイヤー間に相互作用のない独立な状

況認識から始まって、各プレイヤーが次第に問題状況を学習し、互いに理解し相互認識を形成し、ついには通常のゲーム状況を共通に認識するようになる一連の過程を記述する。I-PALMの枠組みから見れば、通常のゲーム状況は十分な相互理解と問題状況の学習プロセスが終了して、各人が「同じゲームを見る」ことができるようになった究極の状況といえる。

さらに、I-PALMの主要な関心の1つは、プロセスの各ステージでどのような解（合理性の基準）の概念が用いられそれがどのように変化してゆくかの考察である。複雑な問題状況ではあらかじめすべての代替案を列挙しそこから「最適な」ものを選択するといった行動は不可能であるし、また意味を持たない。そこでは、試行錯誤を繰り返しながら問題状況についての知識を増幅してゆく、学習を基本とする問題解決がきわめて重要になる。

I-PALMの研究は大きくモード1と2に分類できるので、まず本節ではモード1について解説する。モード1のI-PALMは、意思決定主体の学習のプロセスにおける解の概念は時間の推移に従い刻々と変化するとし、それぞれのステージに対して解の概念を提案する。それにより、学習に基づき決定主体がその内部モデルと合理性の概念を変化させてゆくプロセスを「すべての決定主体者の行動を知ることのできる」上位の視点から記述しようとするのである。なお、以下では考察の第1段階として、ネットワークに参与している決定主体のうち2主体（プレイヤー）を取り出して考察する。この2主体モデルは今後の展開の最も基礎をなすモデルである。

4.1 単純ハイパーゲーム

いま、プレイヤー p, q が同じ問題状況にはじめて関与したとしよう。そのときには、問題状況に関する2人の理解に全く相互作用がなく、互いにバラバラで独立にそれを認識し知覚していると考えられる。このような状況を単純ハイパーゲームとして表現する。プレイヤー p と q による単純ハイパーゲームとは (G_p, G_q) のことである。ここで、 G_p, G_q はそれぞれ p, q の内部モデルと呼ばれ、正規型の非協力ゲームである。単純ハイパーゲーム (G_p, G_q) は、2枚のマトリックスで表現するのが便利である。

単純ハイパーゲームとそれを含むI-PALMの考え方を、地球規模の自然環境保護と開発援助の問題をめぐる開発途上国と先進国の関係を例にとって説明しよ

う。「開発」とは現在の技術と資源を用いて、自然や社会から最大の利益を獲得する生産行為を意味するが、近年では開発の進展が地球の生態系を損ない、人類の資源ベースを非可逆的に破壊してゆく状況が目だつようになった。一方、「保護」とは現代の世代のみならず、子々孫々の世代まで生産行為から最大の利益を獲得してゆく行為を指す。そこで、「開発」と「保護」を調和させ、発展を持続可能なものにしようとする考え方が生まれた。持続可能な開発は長期的な視野に立つ一方、開発行為自体はしばしば短期的な視点に立ち、またこれらのうち多くの問題で、財政的技術的に十分でない開発途上国ないしは中進国がその決定的な役割を担っているのである。

いま、開発途上国 p と先進国 q がはじめて開発援助の交渉会議に出席した状況での両者の意識のズレとその解釈およびその変化を考える。この会議において発展途上国側は、次の3つを提案できると仮定する（表1）。

まず、環境破壊のない環境保護を考慮した開発案（LR: Long-Range Developing Plan）の提案である。しかしこの案では、発展途上国にとっての短期的な経済効果はそれほど望めないと考えられる。逆に、環境問題を余り考慮しない短期的な経済効果を狙った案（SR: Short-Range Developing Plan）の提案も開発途上国のオプションであろう。さらに、自国の開発の必要性はアピールするもののその開発行動については明確にコミットしない（G: Gray Plan）という手段があるだろう。この案はいわば玉虫色の提案であって、発展途上国にとっていちばん柔軟性がある案であるとする。

次に、開発途上国は、先進国の行為として財政的技術的援助を行う（S: Support）ことと、行わないこと（NS: Not Support）の2種類の行為を想定しているとする。そのとき開発途上国が想定する単純ハイパーゲームを次のように考える。

開発途上国にとって最も望ましいのは、ほとんど自らの行為にコミットしていない案（G）が先進国に受け入れられ、そこから援助が得られる状況（G, S）である。次に開発途上国が選好するのは、短期的な経済効果を狙った（環境破壊をも省みない）開発であるとする。もし、それが何らかの理由で先進国に受け入れられれば（SR, S）よいし、それが受け入れられなくても（SR, NS）3番目に選好されるとする。ついで、調和的な開発を行い先進国がこれを援助してくれるという状

表1 開発途上国の単純ハイパーゲーム G_p

S_p S_{qp}	NS	S
LR	1,5	3,6
G	2,3	6,4
SR	4,2	5,1

表2 先進国の単純ハイパーゲーム G_q

S_{pq} S_q	NS	S
A	1,3	3,4
U_a	2,2	4,1

況(LR, S)が選好されるとする。さらに、自らの行為を縛らない案をアピールしたにも関わらず援助が得られない(G, NS)のは望ましくなく、最悪なのは調和的な開発を行うにもかかわらず先進国からの援助が得られない状況(LR, NS)であるとする。

一方、先進国側からみて、開発途上国の行為は、許容できるものか(A: Acceptable)、できないものか(U_a : Unacceptable)の2通りしかないと考えているとする(表2)。また、先進国のとり得る手として、開発途上国に援助する(S: Support)かしない(NS: Not Support)かの2つを考える。そのとき、先進国の想定する単純ハイパーゲームを次のようであると仮定する。

このとき、 G_p と G_q のナッシュ均衡解はそれぞれ(SR, NS)、(G, S)と(U_a , NS)となる。ナッシュ均衡解は、それぞれのプレーヤにとって合理的な行為を定義する典型的な解の概念である。

ここで、重要なのは、開発途上国側には調和的な開発、短期的な開発の他に自らの開発行為の内容をあえて明確にしないという案が存在するが、先進国側では開発途上国の行為は許容できるかできないかの2通りにしか認識されないという点である。後で示すように、この玉虫色案が先進国にどのように解釈されるかで問題の状況は大きく異なってくる。

4.2 相互認識のあるハイパーゲーム

さて、時間の経過とともに、各プレイヤーの状況認識は独立ではなくなり、プレイヤーの行為を他のプレイヤーが認識・解釈するという相互作用が生まれてくるかもしれない。その結果、複数のプレイヤーが1つの状況を違って概念化するものの、実質的には同じ行為に対して違ったラベルを貼ることが十分考えられる。このような状況を取り扱うために、互いのゲームを認識し解釈する仕方を表現する写像を導入したのが相互認識のあるハイパーゲームの考え方である。

いま、開発途上国と先進国との間に次のような相互認識(f, g)が生まれたとしよう。ここで、 $f: S_q \rightarrow S_{qp}$ 、 $g: S_p \rightarrow S_{pq}$ はそれぞれ

$$f(NS)=NS, \quad f(S)=S$$

$$g(LR)=A, \quad g(G)=g(SR)=U_a$$

である関数である。すなわち、先進国は玉虫色案を短期的な開発案同様、許容不可能なものとして解釈しているとする。そのとき、(SR, NS)が解になる。なぜなら、これは p 、 q によってそれぞれのナッシュ均衡であった(SR, NS)、(U_a , NS)に解釈されるからである。もちろんここで、上記以外の解釈関数を想定すれば、異なった状況が解になる可能性があるのは当然である。

4.3 I-PALMの意味

さらに問題状況への関与が続き、相互の理解がより進むかもしれない。その結果、 p による q の選考に関する想定が、真の状態に整合するようになるかもしれない。このときを価値観を共有するハイパーゲームと呼ぶ。

さらに、この相互認識のあるハイパーゲームは、通常のゲーム状況へと変化してゆくかもしれない。そのとき両者は同じゲームを共通に戦うことになる。これが通常のゲーム理論で扱われる非協力2人ゲームと呼ばれる状況である。しかし、この共通の理解も時間とともに、意識的にせよ無意識的にせよ、また能動的にせよ受動的にせよ破られ、また違ったフェーズに変化するかもしれない。

以上から、I-PALMは図1に示したように問題状況の変化を認識し、それぞれのフェーズにおける合理性を考察する分析枠組みとすることができる。この分析枠組みによって、問題状況の変化に伴う解の発生と消滅の現象を考察することができる。たとえば、最初に個別に存在していた2つの単純ハイパーゲーム G_p と G_q に、相互認識 f と g が生じて(G_p, G_q, f, g)が生成される過程を考えてみる。そのとき、もともとの G_p あるいは G_q に存在していた解が消滅したり、逆に単純ハイパーゲーム G_p 、 G_q では解が存在しなかったものが、 f あるいは g が想定されることで新たに均衡解が生まれてきたりするであろう。このような現象は、いわば、

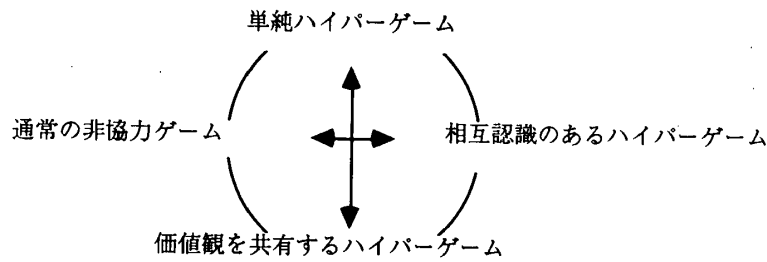


図1 I-PALM:モード1

個別の G_p, G_q からシステム (G_p, G_q, f, g) が生成されるときに創発特性(emergent properties)を表現するもので、その生起条件を求めることはシステム論的にきわめて興味深い問題である。さらに、相互認識 f と g がどのようなときどのような現象が生じるかなど、いわゆる what-if 分析を通して応用面でも重要な考察が可能となる。

5. 今後の展望:モード2 のI-PALM

モード1のI-PALMが、学習に基づき決定主体がその内部モデルと合理性の概念を変化させてゆくプロセスを「すべての決定主体者の行動を知ることできる」上位の視点から記述しようとするのに対して、モード2のI-PALMは、いずれかの意思決定主体の立場に立って学習のプロセスを記述しようとするものである。たとえば、単純ハイパーゲームにおいて p は自らの持つ内部モデル G_p を書き換えてゆくが、その中で記述される相手の持つ効用を実際にどのように想定しそれを相互作用の中でどのように書き換えてゆくかを考察することは典型的なモード2のI-PALMの関心事である。これについてはすでに、高橋らがGAを用いて研究を進めている[7]。

また、単純ハイパーゲームから相互認識がどのように生まれてくるか(すなわち、どのような解釈関数 f, g がどのように生まれてくるか)そのプロセスを考察することも興味深い。上で述べた p と q のゲームは、プロセスの終了した均衡状態であった。さらに、内部モデルや解釈関数の想定の仕事が決定主体のタイプを表現すると考え、様々なタイプの決定主体が混在する

状況で、相互作用後の均衡状態ではそのうちのどのタイプの主体が生き残っていくかを考察することも興味深い話題であり、現在研究を進めているところである。

謝辞 本稿の執筆に当たっては一部、科学技術融合振興財団の援助を受けた。記して感謝する。

参考文献

- [1] Bennett, P.G. et al., Using Hypergames to Model Difficult Social Issues: An Approach to the Case of Soccer Hooliganism, J. Opl. Res. Soc., vol. 31, pp.621-635, (1980)
- [2] Bennett, P.G. et al., Modelling Interactive Decisions: The Hypergame Focus, in Rational Analysis for a Problematic World, John Wiley and Sons, (1989)
- [3] Kyoichi Kijima, Intelligent Poly-agent Learning Model and its Application, Information and Systems Engineering, 2, 47-61, (1996)
- [4] 木嶋 恭一, ハイパーゲームの理論: 知覚を考慮したゲーム理論, オペレーションズ リサーチ, vol.34, pp.593-596, (1989)
- [5] 木嶋 恭一, 問題状況の主観的評価に基づく意思決定: 相互認識のあるハイパーゲームとその応用, 電気学会論文誌C (電気・情報・システム部門誌), vol.111, pp.98-106, (1991)
- [6] 木嶋恭一, 学習ゲーム分析: 解の概念とその応用, 日本経営情報学会誌, 2 (2), pp.27-34, (1992)
- [7] 高橋真吾他, ハイパーゲームの社会状況における認知の学習への遺伝アルゴリズムの応用, 経営情報学会誌, 4 (4), pp.43-56, (1995)
- [8] ワールドロップ, 複雑系, 新潮社, (1996)