知 能 と 複 雑 系 110−18
(1998. 1. 23)

多主体複雑系の構造変動と制約充足型モデル

出口 弘
京都大学経済学部
〒606-01京都市左京区吉田本町
deguchi@mail.econ.kyoto-u.ac.jp

要約

マルチエージェントシステムのシステム記述のために本稿では、時間発展作用素によるダイナミカルシステム記述に代わるものとして、制約充足型のシステム記述に着目する。その上で多主体複雑系に関してこの制約充足問題としてのマクロミクロリンクの問題と、ダイナミカルシステムで自己組織化などの議論に不可欠な構造変動の問題を取り上げ、これらをマルチエージェントの制約充足問題の中でどのように扱っていくかについてその基礎的なモデル化について論じる。ここでは、マルチエージェントの制約充足問題の事例として主に経済システムの事例を取り扱う。

キーワード 制約充足問題、多主体複雑系（ポリエージェントシステム）、構造安定性、ミクロマクロリンク

Structural Change and Constraint Satisfaction Problem on Poly Agent Systems

Hiroshi Deguchi
Kyoto University, Faculty of Economics
Yoshida-Honmachi, Sakyo-ku, Kyoto, 606-01, Japan
http://degulab.econ.kyoto-u.ac.jp
deguchi@mail.econ.kyoto-u.ac.jp

Abstract

In this paper we focus on CSP (Constraint Satisfaction Problem) for a Multi Agent System which includes Decision Makers and micro macro interaction among agents. We called the system as Poly Agent System. We introduce a conceptual framework which gives a research program for our analysis. We formulate a mathematical model in accordance with the conceptual framework.

We introduce the theory of constraint satisfaction problem (CSP) for analyzing an agent society and try to characterize some systemic properties such as micro macro linkage and structural change.

key words structural stability, constraint satisfaction problem (CSP), Poly Agent System, micro macro linkage

1. はじめに

経済のようなマルチエージェントシステムの構造変化を論じる理論枠組みとしては、自己組織化の議論に用いられる力学系の分岐理論がある。これを利用するには、システムを力学系として書き下す必要がある。その手法として現在知られているものにレプリケータダイナミクスによる記述がある。

だがレプリケータダイナミクスは、局所的相互作用から代替案に関する人口比率の微分方程式を導くという手法の特徴から、使える問題領域は限定される。我々が長期的に課題とする社会経済システムでの多主体複雑系のマネージメント問題には利用できる側面は限られている。そこで我々は本稿でより一般的な問題記述の可能性を検討する。

レプリケータダイナミクスによって論じられた多主体複雑系の分析をより一般的にするためには、時間発展作用素を一般化する方法と、平衡解そのものを相互作用の結果得られる時間発展作用素によってではなく特徴付けるという二つの可能性がある。前者に関しては、マルコフ過程のような様々な何らかの時間発展モデルをエージェントの相互作用から導いてその平衡解を分析するというアプローチになる。このような相互作用に基づいたアプローチは、プロセス指向のアプローチであると言うことができる。時間発展作用素$H(x)$ $x \in \Omega$の平衡解$\{x \mid H(x)=x\}$で特徴付けられる集合から逆には、一般的に時間発展作用素を一意に特徴付けることは一般にはできない。同一の初期値からでも同じ平衡点へ向かう無数の軌道曲線がありえるからである。それゆえ時間発展作用素はより詳細な情報を与える。自然科学的なモデルについては、このようなプロセス指向の記述法が標準的方法であった。しかし、自然科学でも変分原理による定式化のように宣言型の法則表現の方式が利用されることもある。また経済学の領域では、比較静学という形で時間発展作用素によらない形での平衡解の特徴付けが広く行われてきた。これら平衡解の特徴付けは、時間発展作用素によって行われる必要はない。むしろある状態空間の平衡解の特徴付けは、その空間上の何らかの述語によって行われると考えることがより一般的である。

ある目的や満足化水準を満たす代替案を求めるという形の宣言型の代替案選択原理の記述による状態空間の特徴付けはこのような述語の記述の一般的な方法である。経済学では最適化述語がこの目的のために広く使われてきた。このような宣言型の代替案選択原理の記述方法は、一般的にそれを探索するプロセスに関してはオープンとなっている。AIの領域では、これを探索問題として捉えて、制約充足問題として効果的な探索アルゴリズムの開発が様々に用いられている。

制約充足解が先に述語の形で与えられ、それを求める探索プロセスを作用素的に見るという逆転したモデル化の方法論がここでは取られる。

このような制約充足型のアプローチでは、ダイナミカルシステムで議論となるような、状態安定性や構造安定性の議論は通常は議論の対象とはならない。

先にも述べたように、経済学ではマクロには比較静学という形で既に、目的指向の記述形式が利用されていた。しかしそれは多くは価格均衡モデルとして記述され、そこでは平衡解が構造的分岐を引き起こすようなものではない。更に、最適充足解の唯一性を前提とした議論がそこでは行われていた。近年それが拡張され、サイモン的な限定合理性の下での満足解の概念が用いられるようになってきた。だが、そのモデル化そのものは、ゲーム理論のナッシュ均衡のようなモデルに限定されている。そのゲーム理論の解もやはり宣言型の制約充足問題であると捉えられる。そこでは、解に到達するプロセスとは無関係に解の満たすべき条件がナッシュ均衡解のような形で与えられている。このようにミクロでエージェント指向の記述であれ、マクロ変数の間の記述であれ経済システムでは、制約充足的な問題記述は比較的普通に行われている。ただしこれらの記述は通常は制約充足問題として明示的に意識され扱われることはない。

他方、経営的な観点から経済主体を見たとき、そこでの意思決定原理の多くのものが容易に制約充足型の問題記述として捉えることが可能である。

このようにエージェント指向のシステム記述に於ても制約充足問題という形の問題の一般化は、重要な問題提起を含んでいると考えられる。そこで本稿ではこの制約充足という問題記述の方法を、エージェントの活動記述の宣言型の方法として捉え、その観点から従来のアルゴリズム的な認識関心からの制約充足問題の定式化に欠けている問題関心を明確にし、そこでのミクロ制約充足問題と構造変動の問題を我々の枠組みの中でどのように定式化できるかを明らかにしたい。

2. 多主体複雑系の認識枠組み

我々は、マクロ的な役割を持ち、マクロミクロリンクを可能とする主体的エージェントからなるマルチエージェントシステムである多主体複雑系（ポリエージェントシステム）を分析するための概念枠組みとして、次のような概念枠組みを用いることにする。

マクロ状態を意識した
エージェントによるシステムの
境界条件の変更による制御（間接制御）
或いはエージェントの学習、創発
↓

ミクロ意思決定基準 or意思決定ダイナミクス	→構成→ ←還元←	マクロ意思決定 ダイナミクス
↓		↓
ミクロ意思 決定状態	→構成→ ←還元←	マクロ意思 決定状態
↓		↓
ミクロ 基本状態	→構成→ ←還元←	マクロ 基本状態

図1　ポリエージェントシステムのモデル観

この枠組みは、例えばレプリケータダイナミクスによる進化経済学のシステムモデルに適用すると次のようになる。ここでは通常の進化経済学的なレプリケータダイナミクスのモデルを我々の多主体複雑系の枠組みから捉え直している。

マクロ状態を意識した
エージェントによるシステムの
境界条件の変更による制御（間接制御）
↓

ゲーム理論 とナッシュ均衡 の解及びリスク ドの意思決定	→構成→ ←還元←	レプリケータ ダイナミクスとその 平衡解の状態安定、 構造安定性分析
↓		↓
代替案空間 の選択状態	→構成→ ←還元←	代替案の人口 比率状態の平衡解 とその分岐
↓		↓
プレーヤ の利得	→構成→ ←還元←	社会的総利得の 平衡解とその分岐 による変化

図2　レプリケータダイナミクス型ポリエージェントシステムのモデル観

ここでは通常の進化経済学的モデルと異なり、複数の平衡解を含む状態の間の構造転移（分岐）を構造変動として扱っている。これは通常のダイナミカルシステムの構造変動の定義に適合したものとなっている。

この枠組みに従って、モデルを構築するためには、具体的にレプリケータダイナミクスをエージェント間のゲーム論などの局所的な相互作用モデルから構成する必要がある。本稿ではこれについてはこれ以上論じない。

上述のポリエージェント型のシステムモデル間は、ダイナミカルシステムつまり時間発展作用素による陽なシステム記述を前提としたものであった。ここで我々は視点を変えて同様の問題を制約充足問題として捉るならばそれは下図のように示される。

マクロ状態を意識した
エージェントによるシステムの
境界条件の変更による制御（間接制御）
↓

エージェント（集団）に対する制約充足型意思決定モデル	→構成→ ←還元←	エージェント社会のマクロ制約充足問題とその構造変動分析
↓		↓
CSPの解としての代替案空間の選択状態	→構成→ ←還元←	マクロCSPの解のマクロ代替案平衡状態とその分岐
↓		↓
プレーヤの利得	→構成→ ←還元←	社会的総利得の平衡解とその分岐による変化

図3　制約充足型のポリエージェントシステムのモデル観

3.　マルチエージェントの制約充足問題

制約充足問題CFP (Constraint Satisfaction Problem)は、AIの領域でよく知られている問題記述の方法である。そこでは、何らかの探索問題を記述するのに、制約記述述語を用いてこれを行う。本節では、特にマルチエージェントの制約充足問題について、これを拡張することで、我々が図３で示したポリエージェント型の制約充足モデルに必要な定式化を与えたい。

【マルチエージェント型制約充足問題の定式化】

D[i/j],i∈Agents,j∈Dom_ind[i]を制約変数のドメインとする。ここでiはエージェントのインデクス、jはエージェントiの制約変数のドメインの変数とする。マルチエージェントの制約充足問題では、制約がエージェント内の制約とエージェント間にまたがる制約に区分できる。

D[i] ⇔def Π{D[i/j] | j∈Dom_ind[i]} でエージェントiの制約ドメインを、

D⇔def Π{D[i] | i∈Agents} で全エージェントの制約ドメインを表す。

ミクロな視点からのマルチエージェントの制約充足問題は、制約述語

Psum⊆D=Π{D[i] | i∈Agents} を与えることで定式化される。

【制約充足型意思決定の例】

例.1. Nash 制約充足　P[nash](x1,x2)

D[p1]=D[p2]={a1,a2} , P1,p2∈{Player_1, Player_2}とする。

P[nash](x1,x2)⇔∀y∈D[p2] ev[p1](x1,x2)≧ev[p1](x1,y)

　　and ∀y∈D[p1] ev[p2](x1,x2)≧ev[p2](y,x2)

$Xnash=\{<x1,x2> \mid P[nash](x1,x2),\ x1,x2 \in \{a1,a2\}\}$
$\subseteq D[p1] \times D[p2]$

例.2. 需給均衡の制約充足
$D[consumer,1]=Dem \subseteq R+$, $D[supplier,1]=Sup \subseteq R+$,
$D[consumer,2]=Price1 \subseteq R+$, $D[supplier,2]=Price2 \subseteq R+$, $Agents=\{consumer, supplier\}$
これらから、局所制約が $P1 \subseteq Dem \times Price1$, $P2 \subseteq Sup \times Price2$ のように与えられる。このとき、需要と供給の一致というエージェント間制約が、$P3=\{ <x1,x2,y1,y2> \mid <x1,x2> \in P1,\ <y1,y2> \in P2,\ x2=y2\} \subseteq P1 \times P2$のように与えられる。

ミクロ経済学ではこれらは唯一の均衡点を許すような直線或いは曲線として与えられる。つまり制約充足をするような価格均衡は唯一しかないことが意義のあることという問題設定上の約束事が支配している。しかし無論経営学的な感覚からは需給に関するモデルやそこでの制約充足的意思決定は異なったモデル化となり、複数充足解の存在は限定合理性の下で当然のこととなる。また何らかの構造パラメータを変化させることで充足集合が大きく変化するといういわゆる構造変動の論理は、どちらにせよ現在の経済学のモデルでは殆ど論じられることはない。

【制約のマクロ化問題】

ミクロの制約充足問題から、何らかの形でマクロの制約充足問題を生成することが可能である。D[i/j]が与えられているとき、ここからマクロの制約条件式を構成する問題を考えてみよう。そのためには、ミクロの制約ドメインからマクロの制約ドメインがどのように構成されているかについての知識が必要となる。

ここで今マクロ状態は、複数のドメインDmac[k] k=1,..,nkから構成されているとする。$Dmac \Leftrightarrow_{def} \Pi\{ Dmac[k] \mid k=1,..,nk\}$ これらのドメインはいずれも、個々のミクロの制約ドメインから構成的に定義される。

定義 2.1 マクロ構成関数 Fm[k], Fm

$Fm[k]: \Pi\{ D[i] \mid i \in Agents\} \dashrightarrow Dmac[k]$
$Fm: \Pi\{ D[i] \mid i \in Agents\} \dashrightarrow Dmac$
$Fm(x)=<Fm[1](x),..,Fm[k](x),..,Fm[nk](x)>$

これを個々のマクロ制約ドメインDmac[k]、Dmacへのマクロ構成関数と呼ぶ。

我々は、このマクロ構成関数を用いて、ミクロの制約充足問題から、マクロな制約充足問題が自然に導けることを示したい。

定義2.2 マクロ変数の構成的制約(Constracted Constraint)

このマクロ構成関数によって、マクロ変数vm[k]∈Dmac[k]に関する自然の拘束条件が次のように構成される。

$Pmac \subseteq Dmac \Leftrightarrow_{def} Fm(Psum) =\{ y \mid y=Fm(x),\ x \in Psum \}$
$=\{<Fm[1](x),..,Fm[k](x),..,Fm[nk](x)> \mid x \in Psum \}$

定義2.3 マクロ変数の構成的境界制約(Constracted Boundary Constraint)

ミクロの制約充足問題では、ミクロ変数に対して何らかの境界条件が制約条件として付加されていることがある。その幾つかはミクロの定義領域で全域的で自然に成立している制約となるが、これがマクロの合成変数の制約に移行する際には、変数の全域で成立する制約ではなくなり、一種の附加的な充足制約となることがある。このような境界条件制約の合成は次のように与えられる。

$x \in Pbound[b] \subseteq \Pi\{ D[i] \mid i \in Agents \}$、$b \in Bound$をミクロの境界制約条件とする。

この述語Pbound[b]によってこのシステムの何らかのbに依存した境界条件が与えられているとする。更に境界条件が全域で成立しているとき、特に断らない限りは、$Gbound: \Pi\{ D[i] \mid i \in Agents \} \dashrightarrow Bound$ なる境界関数が与えられ、
$x \in Pbound[b] \Leftrightarrow_{def} Gbound(x)=b$ としておく。このときこの境界条件のマクロ化

は次のように与えられる。ここでBound変数はミクロ、マクロで共通変数領域としておく。

Pmacbound[b]⊆Dmac ⇔def {y | ∃x ∈Π{ D[i] | i∈Agents }, Fm(x)=y and x ∈Pbound[b] }

例えば、マクロ経済学の基本恒等式であるY=C+S=C+I, I=Sなどは、この種の構成的境界制約の一種であると考えられる。

これらミクロの制約条件や境界条件のマクロの変数領域への移行に関しては、直感的にわかりにくい部分もあるので、以下で簡単な例を具体的に分析してみよう。我々がここで取り上げるのは対称型２人ゲームのレプリケータダイナミクスモデルである。このモデルは通常微分方程式によって与えられるが、我々はこれを２人ランダムマッチングゲームから構成的に生成したときにどのように我々の枠組みでミクロマクロリンクが与えられるかを見てみよう。

【レプリケータダイナミクス型マクロ充足問題の構成】

ここでは、ミクロに代替案空間D[i]={a1,a2} i∈Agent, |Agent|=n=2m とする。ここでnは十分に大きい偶数の自然数とする。このとき、ミクロ代替案の状態空間は、Π{ D[i] | i∈Agents } =Π{ D[i]={a1,a2}| i=1,...,n }

ここでx∈Π{ D[i] | i∈Agents }は、x=<x1,....,xn>=<x1,...,xm,xm+1,...,x2m>と記せるものとする。このときランダムマッチングのペアが仮に、<x1,xm+1>,..<xi, xm+i> i=1,...,mとして与えられるとする。ここで我々は、ミクロの状態はこのペアの各々がナッシュ均衡解つまりナッシュ充足集合の元として与えられると仮定することにする。この仮定から

Psum[nash]⊆Π{ D[i] | i=1,...,n=2m }は次のように与えられる。

P*nash[j,k] ⇔def { <x1,....x2m> | xi∈D[i], i≠j,k , P[nash](xj,xk) }

Psum[nash]=∩{P*nash[j,m+j] | j=1,...m }

次に我々はこの空間のマクロ変数領域を次のように定義する。

Dmac[1]={1,...,n}, Dmac[2]={1,...,n}, Dmac={1,...,n}×{1,...,n}

Count[a1](x)=k if |{xi | xi=a1, x=<x1,..,xn>}|=k

Count[a2](x)=k if |{xi | xi=a2, x=<x1,..,xn>}|=k

n1=Fm[a1](x) =Count[a1](x)∈{1,...,n}、n2=Fm[a2](x) =Count[a2](x)∈{1,...,n}

、Fm(x)=<Fm[a1](x), Fm[a2](x)>、つまりxに含まれるa1の数がFm[a1](x)となるようにマクロ変数は構成されている。これはこのnエージェント世界で、Fm[a1](x)人がa1という代替案を選択し、Fm[a2](x)人がa2という代替案を選択したかというマクロ状態を表現している。

（１）マクロ変数の構成的制約

Pmac[nash]=Fm(Psum[nash]) ={ y | y=Fm(x), x∈Psum[nash] }
={<Fm[a1](x), Fm[a2](x)> | x∈Psum[nash] }

これは例えば囚人のジレンマゲームの時は、{a1,a2}={C,D}でFm[C](x)は、xの中でCを選択したエージェントの人数を表している。このとき、当然の制約として、n1+n2=nという制約が成立しているが、これは次に述べる構成的境界制約であると見做せる。

（２）マクロ変数の構成的境界制約

Bound=N：自然数集合として、ミクロの境界制約が

Pbound[n]={x | Count[a1](x)+Count[a2](x)=n ,x∈Π{ D[i] | i=1,...,n } } ⊆Π{ D[i] | i=1,...,n }、n ∈N,

このケースでは、Pbound[n]=Π{ D[i] | i=1,...,n }となりミクロには全域で成立する

述語となる。これは、$Gbound:\Pi\{ D[i] \mid i\in Agents \} \dashrightarrow N$を、$Gbound(x)=Count[a1](x)+Count[a2](x)=n$で定義することで与えられる。このとき、

$Pmacbound[b]=\{y \mid \exists x \in\Pi\{ D[i] \mid i\in Agents \} , Fm(x)=y \text{ and } x\in Pbound[n] \}=$
$\{y \mid \exists x \in\Pi\{ D[i] \mid i=1,..,n , Fm(x)=\langle n1,n2\rangle \text{ and } n1+n2=n \}$

このマクロの構成的境界制約Pmacbound[b]は、$Dmac=\{1,...,n\}\times\{1,...,n\}$の全域では成立しない、つまり$Dmac\supset Pmacbound[b]$となる境界制約述語になっている。

我々がここで与えたミクロマクロリンクは、対称型２人ゲームのナッシュ均衡解を定義しているナッシュ充足述語から構成したｎ人エージェント集団のミクロ状態空間とｎ人のうち何人が代替案a1を選択するかという人数に関するマクロ状態空間をつなぐものである。しかし、ここでの定義とレプリケータダイナミクスが実際に用いている仮定との間には幾許かの開きがある。

実際、$P1=n1/n$ で定義されるレプリケータダイナミクスの変数空間では、平衡状態は$dp[C]/dt= p[C](W[C]-\overline{W})=(n[C]/n)(W[C]-\overline{W})=0$で特徴付けられる。例えば四人のジレンマ型のゲームでは、$dP/dt=P(W[C]-W\sim)=P\{W[C]-PW[C]-(1-P)W[D]\}=P\{(1-P)(W[C]-W[D])\}$
$=P(1-P)\{P(R+Q-S-T)+S-Q\}=0$から平衡点$P=0$が安定となること、すなわち裏切り戦略が安定平衡解となることなどが解析される。

この平衡解の定義述語と我々の構成的マクロ述語の間の落差は、モデルとしての仮説の構造に依拠している。レプリケータダイナミクスが通常行っている幾つかの仮定の中には、$\langle n1,n2\rangle$がある比率で存在する解をが出てくるような条件が含まれている。これは、$dp[C]=p[C](W[C]-\overline{W})dt=(n[C]/n)(W[C]-\overline{W})dt$というダイナミクスの中に含まれている。しかし我々のモデルではPmac[nash]の中でそのような比率解のみが充足解となるようにするには条件が足りないのである。

このように我々の状態空間のミクロマクロリンクの分析は、ミクロ理論とマクロ理論のダイナミクスやそこでの制約充足についての厳密な議論を可能とするための場を提供してくれる。

4.　構造変動と制約充足の新問題

制約充足問題は、人工知能のアルゴリズムとして意識され、研究されてきた。そのため、そこでの問題意識は、ここで我々が多主体複雑系の記述のために必要とするものとは異なっている。制約充足型のモデルの記述力はどの程度のものなのであろうか。そこで、例えば力学系の平衡解の構造転移の形で議論されるような自己組織化、構造変動の議論が制約充足型のモデルでも可能かどうかが大きな関心の対象となる。

レプリケ--タダイナミクス型のエージェント集団の力学系としての分析は、そのミクロ的相互作用の基礎をゲーム理論に置き、そこからレプリケータダイナミクスを導出し力学系としての分析を行う。この手法で記述できる社会経済現象は限定される。より記述力の高い方法で図3で示した認識枠組みを表現することが必要となる。そのために制約充足問題(CSP)による記述に基づいて力学系の構造変動と同様の議論が構成可能であることを示す。

定義4.1　制約充足構造集合 Structural Set of Constraint Satisfaction (SSCS)

$S=\{X[a] \mid X[a]=\{x \mid P[a](x),x\in\Omega \}, a\in A \}$は、様々な構造パラメ--タa∈Aを動かしたときの制約充足集合の集まりである。我々はこれを制約充足構造集合(CSSS)と呼ぶ。

この制約充足構造集合に対して、我々はGeneric Bifurcationの概念を導入する。そのために、Sの要素である充足集合を分類する必要がある。我々は～をこの制約充足構造集合の元X∈S上の同値関係とする。ここで構造パラメータ空間A上には、位相構造が入っていると仮定する。

定義4.2　制約充足構造安定
構造パラメータaのところで制約充足構造集合が分類〜に関して構造不安定であるとは、∃a'∈U[a] [X[a]]≠[X[a']]となること。U[a]はaの近傍 ■
構造変動という概念自体は、ダイナミクスや微分構造抜きで抽象化することが可能である。この抽象化の範囲で、我々は力学系の分岐を含む広範な構造変動概念を扱うことが可能となる。

【間接制御と制約充足問題】
次に我々はこのエージェント集団に対して、エージェント自らの制約充足行動を前提として何らかの構造変数を動かすことによりその充足集合を目的の述語を満たすように変化させるという意味での間接制御の概念を我々の枠組みで定式化したい。
我々の意味での間接制御では、a∈Aを変化させて、制約充足集合X[a]={x | P[a](x),x∈Ω }を変化させる。これは、ある制約述語を満たす範囲で、別の制約述語を満たすようなaを探索する問題として定義される。
定義4.3：間接可制御
X[a]={x | P[a](x),x∈Ω }に対して、新たな制御目的となる間接制御述語Q(x)が制約として与えられたとき、∃a,x {x∈X[a] and Q(x) }となるなら、X[a]はQ(x)に対して間接可制御であるという。■
定義4.4：間接完全可制御
∃a X[a]⊆{x | Q(x),x∈Ω } のとき、X[a]は間接制御述語Q(x)に対して間接完全可制御であるという。■
Cor. 間接完全可制御→間接可制御 ■
この間接制御では、エージェントは自律的に充足解を探索することを前提として、構造変数を制御して、間接制御述語(Indirect Control Predicate : ICP)を満たす構造変数を求める。構造変数が入力変数となった制御である。
間接可制御概念は、シングルエージェントの場合よりも、マルチエージェント系で本質的に重要となる。我々は何らかの制約目的充足のために自律的に活動しているエージェント集団の性質を知りたいからである。この方向の理論研究は今後発展することが期待される。

文献

・Esben Sloth Andersen, Evolutionary Economics -Post-Schumpeterian Contributions -, Pinter Publishers, 1996
・Fernando Vega-Redondo, Evolution, Games, and Economics Behaviour, OXFORD UNIVERSITY PRESS, 1996
・Hiroshi Deguchi, "MULTI AGENT ECONOMICS AND ITS GAMING SIMULATION", in『Modeling and Control of National and Regional Economies 1995』 edited by Vlacic et al., pp.269-274, Pergamon Press, 1996
・出口弘「情報と複雑系の経済システム論」、経済セミナー、No.504, pp.32-39,January 1997、日本評論社
・出口弘「社会科学とポリエージェントシステム」オペレーション・リサーチ、1997,9月号,PP.16-21,OR学会
・木嶋恭一、出口弘編著、『システム知の探求１』、1997、日科技連出版
・出口 弘、「レプリケータダイナミクス型モデルのミクロマクロリンク」自律分散シンポジウム、1998年1月
・特集「制約充足問題の基礎と応用」、人工知能学会誌,Vol.12, No.3,May 1997