定常解による動的協調解の分析

3C－4　黒木　慎吾　濱川　孝一郎　生天目　章
防衛大学校　情報工学科

1　はじめに

本研究では自己の目標を最適にするために合目的な行動をとる自律したエージェントの集団における各種均衡解を動学的観点から分析する．また競争及び協調問題の競争状態と協調状態との相転移モデルを示す。

2　分権型意志決定モデルの定式化

自律性とは合目的な行動を自分で決定できる性質のことをいうが，このようなエージェントの自律機能は，エージェントの内部モデルに依存している．各エージェントの内部モデルを，自己に関する自己モデル，社会の状態を集約した環境モデル及び他のエージェントに関する情報を集約した他者モデルで構成する．各エージェントは他のエージェントの自己モデルを考慮に入れながら，自己の目標関数を最適にするような合目的な行動を決定する．分権型エージェント社会においては，エージェントは自己の目標関数を最適にしようとする。そのようなエージェントが自己以外に多数存在し、それらとの双方向的な相互作用が行われる．エージェント間の行動上の複雑な相互作用のプロセスを分権型意思決定モデルとして定式化する．エージェントの集団を $S=\{A_i : 1 \le i \le n\}$ で表す．個々のエージェント $A_i \in S$ を $A_i =< X_i, G_i, U_i >$ で表す．ここで，X_i はエージェント A_i の認知状態の集合，G_i は目標，及び U_i は行動戦略の集合をそれぞれ表す．分権型意思決定モデルとは，自己の認知状態と行動戦略及び他のエージェントの行動戦略に依存している自己の目標関数を最適にするための自己の行動戦略の決定問題をいう (Fig. 1 参照)．

3　各種均衡解の導出

自己の目標関数を最適にする行動を，特に個人的合理性を満足する行動と定義する．競争原理の下での均衡解（以下では競争解と呼ぶことにする）を，社会を構成する全てのエージェントの個人的合理性の条件を満足する解として定義する。まず最初に、静的な問題の均衡解を求める。各エージェントの目標関数を次の２次式で定義する。

$$g_i(x(i),x_i) = x_i p_i(x_1.....x_n) - k_i x_i^2/2$$
$$= x_i(a_i - \sum_{j=1}^{n} b_{ij} x_j) - k_i x_i^2/2 \quad (3.1)$$

(3.1) 式を最適にする解を静的な問題の競争解として求める．

静的な問題の協調解は，(3.1)式のエージェントの目標関数の総和として定義される社会的目標関数

$$S(x_1,\ldots,x_n) = \sum_{i=1}^{n}[x_i(a_i - \sum_{j=1}^{n} b_{ij} x_j) - k_i x^2/2] \quad (3.2)$$

を最適にする解として求める．

次に短期目標の下での動的問題の競争解と協調解を求める．また各エージェントの短期目標を，次式の２次関数として定式化する．

$$g_i(x(t+1),u(t)) = x_i(t+1)\{a_i - \sum_{j=1}^{n} b_{ij} x_j(t+1)\} - k_i u_i^2(t)/2 \quad (3.3)$$

エージェントの集団全体の認知状態の状態方程式を，線形方程式として次式で定式化する．

$$x(t+1) = Ax(t) + u(t) \quad (3.4)$$

ここでＡは $n \times n$ 行列，x 及び u はそれぞれ $n \times 1$ の列ベクトルである．(3.3) 式を最適にする解を (3.1) 式と同じように各エージェントの目標関数が２次関数の場合の社会的目標関数を，

$$L = \sum_{i=1}^{n} g_i(x(t+1),u(t))$$
$$= \sum_{i=1}^{n}[x_i(t+1)[a_i - \sum_{j=1}^{n} b_{ij} x_j(t+1)] - 1/2 k_i u_i^2(t)] \quad (3.5)$$

を最適にする解を短期目標の下での動的問題の協調解として求める．

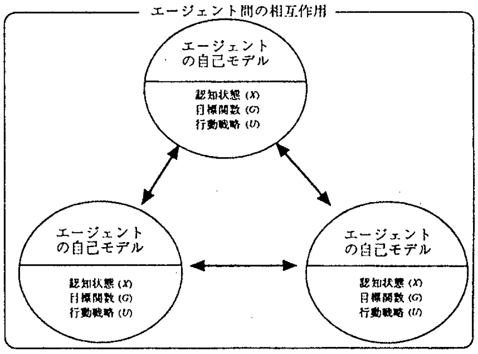

Fig.1　分権型意思決定モデル

Analyses of Dynamic cooperative problems through Their Steady-state Solution

ShingoKUROKI,KouichirouHAMAKAWA,AkiraNAMATAME
Dept.of Computer Science,National Defense Academy,
Yokosuka 239,Japan

次に，長期目標の下での動的問題の競争解と協調解を求める．各エージェントは，割り引きされた短期目標関数の累積関数である次式、

$$J_i(e_1,\ldots,e_n)=\sum_{t=1}^{\infty}\alpha^t g_i(x(t+1),u(i,t),u(t)) \qquad [3.7]$$

を最適にするような $e_i=\{u_i(t):t=0,1,2,\ldots\}$ を解を求める．ここで $\alpha(0<\alpha<1)$ は割引率を表している．

以上の静的及び動的問題における競争解と協調解を求めた結果を表１に示す．表１において，Ｂは(3.1)式の b_{ij} を構成要素とする行列，B_1 は b_{ii} を構成要素とする対角行列，Ｋは k_i を構成要素とする行列である．Ｈは (3.6)，(3.7) 式のパラメータを用いて

$$\begin{aligned}\delta_i &= k_i(1-\beta-a_{ii})\\ &= k_i(1/\alpha-a_{ii}) \qquad \beta \doteqdot 1-1/\alpha\end{aligned} \qquad (3.8)$$

を対角要素とする対角行列である．Ａは (3.4) 式の行列で，各エージェントの認知状態レベルの相互結合係数を表している．

意思決定問題 ＼ 均衡解	静的問題	動的問題	
		短期目標	長期目標
競争解	$(B+B_1+K)x=a$	$(B+(B_1+K)(I-A))x=a$	$(B+B_1+H(I-A))x=a$
協調解	$(B+B^T+K)x=a$	$(B+(B^T+K)(I-A))x=a$	$(B+B^T+H(I-A))x=a$

表１．分権型意思決定問題の各種均衡解

4　競争状態と協調状態の相転移

自己組織化とは外部からの入力を得ることなしに、自己の組織構造を変化する機能をいう。[3.1] 又は [3.2] 式の各エージェントの目標関数上の相互作用行列Bによって定義される競争状態と協調状態とを、[3.4] 式の各エージェント間の認知状態レベルでの相互作用行列Aを操作することによって，競争状態から協調状態へまた逆に協調状態から競争状態へ変化（相転移）させることが可能となることを示す。すなわち，(3.4) 式において

$$A=(B_1-B^T)(B_1+k)^{-1} \qquad (4.1)$$

と設定することで、競争状態を協調状態へ相転移させることができる．一方，協調解から競争解へは

$$A=(B^T-B_1)(B^T+k)^{-1} \qquad (4.2)$$

と設定することで相転移が可能となる．その概念図を Fig. 3 に示す。

5　自己組織記憶モデルへの応用

自己組織化の機能を有する幾つかのエージェントの集団を考え、それらが外部からの入力に対してどのように構造を変化させるかがこのモデルの課題である。そうして作られた構造の中ではエージェントが階層構造を構成し、記憶社会を形成している。その概念図を Fig.4 に示す。

6　まとめ

今回の研究では，認知状態を持つエージェントモデルの定式化，並びに各種均衡解の導出と自己組織型モデルによる有効性の実証を行った．

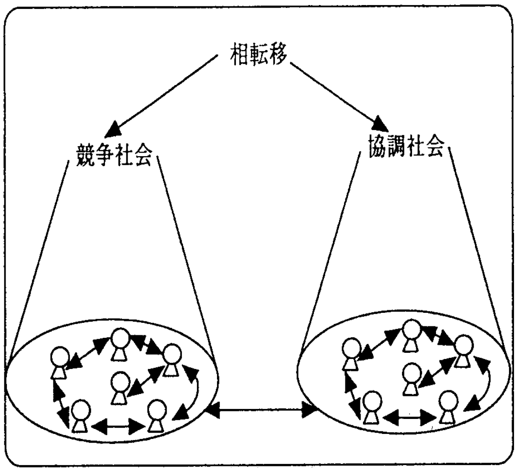

Fig.3 相転移の概念図

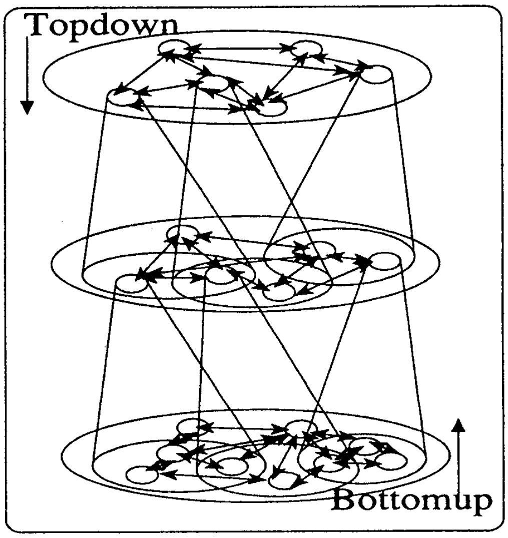

Fig.4　自己組織型記憶モデルの概念図

[参考文献]

[Arbib and Conklin 87]　M.A.Arbib and E.J.Conklin：From Schema Theory to Language, Oxford University Press (1987)．

[Minsky 91] M.Minsky：心の社会（安西祐一郎訳），産業図書 (1991)．

[濱川・生天目 95]　濱川　孝一郎・生天目　章：認知状態空間モデルとスキーマ理論，人工知能基礎論研究会資料，pp9～pp16 (1995)．

[濱川・生天目 95]　濱川　孝一郎・生天目　章：競合と協調の概念に基づく記憶社会モデル，JNNS'95 全国大会講演論文集，pp324～pp325 (1995)．