

## 合意形成過程における順応と説得

塩村 尊<sup>†</sup> 能多 秀徳<sup>††</sup>

本稿の目的は、エージェント間で直接意見交換を行い、互いに説得、あるいは順応しつつ合意が形成されてゆくプロセスにおいて、意見交換が同時いっせいに行われる場合と逐次的に行われる場合のシミュレーション分析を行うことにある。これら2つの調整過程は一般に異なる帰結を生み出し、平均として後者の方が早く合意に至ること、および後者の帰結がエージェントの交渉順に依存することを示す。特に、この効果は合意に要する交渉回数が少ないほど、顕著に現れることが強調される。また、合意の帰結は集団内の頑固者、あるいは発言力の大きい者の意見に偏向する傾向があることを確認する。

## Adaptation and Persuasion in a Decision-making Process

TAKASHI SHIOMURA<sup>†</sup> and HIDENORI NODA<sup>††</sup>

The purpose of the paper is to present two models. In the first model, members exchange views simultaneously, while in the second one sequentially. Two models induce different results. A sequential model on average arrives at a goal faster and its final result depends on the sequence of turns taken in negotiations. If the turn of a member is taken later, the final result becomes more favorable to that member. The effects, however, are smaller if the number of negotiations is many. The result of negotiations tends to be in favor of a member with small adaptability or large persuasiveness.

## 1. はじめに

高橋ら<sup>1),2)</sup>が考察した適応型合意形成モデルは集団内の各エージェントが集団の意見というマクロ情報に順応しつつ合意形成を図るモデルである。一方、French<sup>3)</sup>に始まり、近年では Hegselmann ら<sup>4)</sup>により議論されているオピニオン・ダイナミクスにおいては、マイクロ情報、すなわち他のエージェントとの直接的な意見交換を通じて自己の意見を修正し、集団として合意を形成してゆく過程が考察されている。

一見するとこれら2つのモデルは異なるように思えるが、実は適応型合意形成モデルは正值線形システムに帰着し、形式的には French のモデルと一致する。本稿は塩村<sup>5)</sup>が述べた同時調整過程と逐次調整過程に関するシミュレーション結果を報告することを意図したものであるが、これらはオピニオン・ダイナミクスが明示的に考慮してこなかった直接交渉の際にエー

ジェント間で必然的に生じる双方向的な干渉、すなわち説得と順応を考慮したものである。前者は多くのオピニオン・ダイナミクス同様にグループ内で意見交換が行われる際、それが一巡するまでは交渉過程において変更されたであろう意見を明らかにしないことを前提としているのに対し、後者はこの対極に位置し、直接交渉においてエージェントはそのときどきの最新情報に基づき意見修正を行うことを前提としている。

以下では、これまで合意形成理論が扱ってこなかったエージェント間の相互干渉と最新情報を公開するタイミングの相違が交渉結果にもたらす影響をシミュレーションを通じて明らかにする。

## 2. 同時調整過程と逐次調整過程

今、 $I \geq 2$  人のエージェントからなる集団を考え、エージェント間の直接交渉により集団の合意が形成されるものとする。各エージェントは固有のプロパティとして、 $J \geq 2$  個の選択肢に関する選好順序に加えて、他者に影響される度合いの指標と他者への影響力を表す指標を持つものとする。以下では前者を順応係数と呼び、 $\alpha_i \geq 0$  で表す。また、後者を説得係数と呼び、

† 関西大学総合情報学部

Faculty of Informatics, Kansai University

†† 株式会社シー・シェルコーポレーション

Sea Shell Corporation

表 1 循環的選好関係を持つ集団の合意の帰結

Table 1 Final result of negotiations in a group having cyclical preferences.

選択肢	1	2	3	4	5
選好インデックス	0.200000	0.204762	0.204762	0.200000	0.190476

$\beta_i \geq 0$  で表す．このとき，第  $i$  エージェントが第  $k$  ( $k \neq i$ ) エージェントから受ける影響は  $\gamma_{ik} \equiv \alpha_i \beta_k$  により表すことができるが，これを適応係数と呼ぶ．適応係数は高橋らのモデルにおける適応度に相当するものであるが，集団の選好に対する適応を表すものではなく，他のエージェントの選好に対する適応を表していることに注意されたい．順応係数と説得係数は各々，Abelson<sup>6)</sup> の persuasibility と persuasiveness に対応する概念であるが，彼自身は適応係数を分解した場合の分析は行っていない．

第  $i$  エージェントの交渉回数  $t$  における第  $j$  選択肢の規準化された選好インデックスを  $x_{tj}^i$  で表す．また，第  $i$  エージェントに関する選好インデックスは離散力学系，

$$x_{t+1j}^i = \sum_{k \neq i} \gamma_{ik} (\xi_{tj}^k - x_{tj}^i) / (I - 1) + x_{tj}^i \quad (1)$$

に従って変化するものと仮定する．ただし，

$$\xi_{tj}^k \equiv x_{tj}^k \quad (2)$$

または

$$\xi_{tj}^k \equiv \begin{cases} x_{t+1j}^k, & k < i \\ x_{tj}^k, & k > i \end{cases} \quad (3)$$

である．以下は式 (1) と (2) を用いる場合を同時調整過程と呼び，式 (1) と (3) を用いる場合を逐次調整過程と呼ぶ．

### 3. シミュレーション結果

まず同時調整過程と逐次調整過程では同じ適応係数の下，同じ初期選好インデックスからスタートしても一般には異なる合意に達することを確認する．特に，同じ適応係数を持つ集団が循環的選好を持つ場合，前者では順位付けを行うことに失敗する場合においても，後者においては少なくとも部分的には順位付けを行うことができることを示す．

表 1 は 5 人のエージェントの順応係数と説得係数がともに 0.5，かつ 5 つの選択肢に対して循環的選好を持つ場合の逐次調整過程の交渉結果である．同じ条件下，同時調整過程においては順位付けに失敗することに注意されたい (文献 5)，定理 2 と 5 参照)．しかしながら，表から確認されるように逐次調整過程に

おいては選択肢 1 と 4，および 2 と 3 の間で選好順位の優劣を付けることができないものの，集団として最も選好される選択肢が 5 として確定していることが分かる．

実は，逐次調整過程においては交渉の順番が後になるエージェントほど多くの自身の影響を受けたエージェントと交渉を行うため，結果的に交渉の順番が遅いエージェントに有利な形で選好インデックスが収束することになる．しかしながら，合意に至るまでに要する交渉回数が多く，したがってエージェント間の接触が多く起こる場合，この効果は小さくなる．このことを確認するために次のような数値実験を考える．

議論の単純化のために順応係数と説得係数に共通の値を設定し，これを 0.9, 0.5, 0.1 に設定した場合を考える．これら 3 つのケースに対してエージェント数を 5 人に設定した場合と 50 人に設定した場合を考え，乱数を用いて作成した初期選好インデックスデータを基に逐次調整過程を 1,000 回繰り返す．各実験において合意に達したと判断する計算停止条件として

$$e_t \equiv \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J |x_{tj}^i - x_{t-1j}^i| < 10^{-6} \quad (4)$$

を与え，この不等式が初めて成立したときの各エージェントの選好インデックスと初期選好インデックスの乖離の平均値を測るものとする．すなわち， $x_{t(k)j}^i$ ,  $x_{0j}^i$  を各々，第  $i$  エージェントの計算回数  $t(k)$ ，および 0 の選択肢  $j$  に関する規準化した選好インデックスとする．ここで， $t(k)$  は  $k$  回目の実験において，最初に計算停止条件 (4) が満たされたときのステップ数  $t$  である．このとき，実験回数  $T \equiv 1,000$  の第  $i$  エージェントに関する平均妥協度を

$$c^i \equiv \sum_{k=1}^T \sum_{j=1}^J |x_{t(k)j}^i - x_{0j}^i| / T \quad (5)$$

と定義する．この値が小さいエージェントほど，合意の結果と初期選好インデックスとの乖離が小さく，したがって合意の結果が当該エージェントに偏向していると考えられることができる．

図 1 の 2 つのグラフは交渉の順番が最初になるエージェント 1 の平均妥協度を基準にしたときの，最後の 4 人の相対的な平均妥協度を表したものであり，左

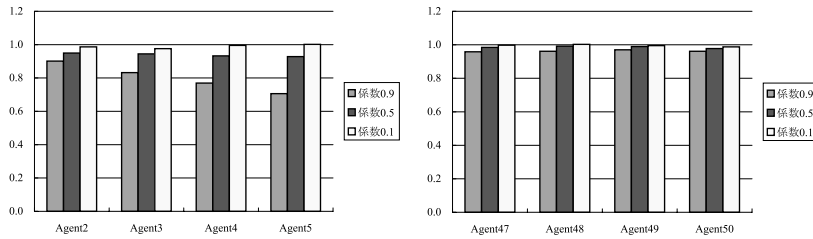


図 1 平均妥協度の比較：左図と右図は各々、5 エージェントの場合と 50 エージェントの場合  
 Fig. 1 Comparison of average degree of compromise: The left and right figures show the case of 5 agents and that of 50 agents, respectively.

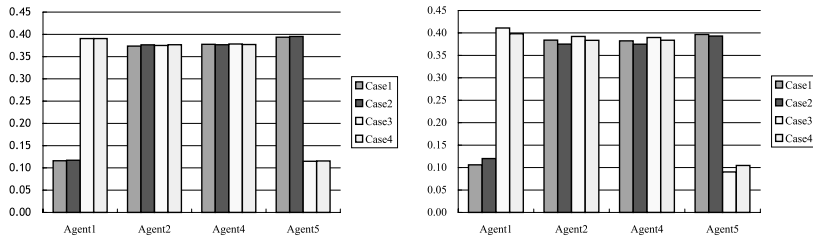


図 2 順応係数と説得係数が合意の帰結に与える影響（5 エージェント）：左図と右図は各々、同時調整過程と逐次調整過程  
 Fig. 2 Final results through adaptation and persuasion in the case of 5 agents: The left and right figures correspond to a simultaneous process and a sequential one, respectively.

図はエージェントが 5 人の場合、右図は 50 人の場合である。図から確認されるように、順応係数と説得係数が比較的大きく、したがって合意に至るまでの交渉回数が比較的小さい場合に交渉順が後になることのメリットが大きく現れることが確認される。しかしながら、エージェント数が多く、1 回の意見のまとめあげに多くの者と接触・交渉することが必要になるにつれて、このメリットが現れ難くなっていることが分かる。

高橋ら<sup>2)</sup> は混質集団においては合意の帰結が適応度が小さく自己の選好に固執するエージェント寄りになる傾向があることを示したが、同様の傾向は我々の同時調整過程と逐次調整過程においても観察することができる。ただし、我々のモデルにおいては自己の選好に対する固執の程度を順応係数と説得係数の両面から考えることができる。

今、エージェント 1 を除くすべてのエージェントの順応係数と説得係数の組を (0.9, 0.5) で与え、エージェント 1 のそれを (0.1, 0.5) とする。したがってエージェント 1 の順応係数が他のエージェントと比較して 1/9 倍になる場合を考え、これをケース 1 と呼ぶ。一方で、エージェント 1 を除くすべてのエージェントの順応係数と説得係数の組を (0.5, 0.1) で与え、エージェント 1 のそれを (0.5, 0.9) とし、エージェント 1 の説得係数が他のエージェントと比較して 9 倍になる場合

をケース 2 と呼ぶ。また、ケース 1 と 2 においてエージェント 1 の立場を交渉順が最後のエージェントと置き換えたものを各々、ケース 3、ケース 4 と呼ぶ。

各ケースの選択肢数を 5 とし、5 人のエージェントに関して乱数により生成した初期選好インデックスを用い、同時調整過程と逐次調整過程を 1,000 回繰り返す。このときの交渉順が初めの 2 人と最後の 2 人について計算停止条件 (4) の下で平均妥協度 (5) を算出し、これを比較したものが図 2 である。左図と右図は各々、同時調整過程と逐次調整過程の平均妥協度を表している。

同時調整過程と逐次調整過程いずれの場合においてもケース 1 と 2 ではエージェント 1 の平均妥協度が小さくなっており、ケース 3 と 4 においては交渉順が最後のエージェント、すなわちエージェント 5 の平均妥協度が小さくなっている。したがって、順応係数が小さいことと説得係数が大きいことはほぼ同じ効果を持ち、合意の帰結が頑固なエージェント、あるいは発言力の大きなエージェント寄りになることが確認される。一方で、逐次調整過程のケース 1, 2 におけるエージェント 1 と、ケース 3, 4 におけるエージェント 5 の平均妥協度を比較すると、後者の方が小さくなっていることが分かる。これは、逐次調整過程においては合意の帰結が交渉順が遅い者に偏向する傾向があるこ

表 2 エージェント数と平均ステップ数の変化

Table 2 Average steps of calculations when the number of agents changes.

エージェント数	同時調整	逐次調整	差
10	326.7	322.2	4.5
20	710.9	701.8	9.0
30	1,143.6	1,130.4	13.2
40	1,432.0	1,415.9	16.1
50	1,814.2	1,794.9	19.4

とによる。これに対して同時調整過程においては、このような傾向は見られない。

最後に、同じプロパティを持つ集団に対して、2つの調整過程が合意に至るまでの交渉回数を比較する。そこで、乱数により生成した1,000組の順応係数と説得係数、および初期選好インデックスを用いて計算停止条件(4)が成立するまでに要した同時調整過程と逐次調整過程のステップ数 $t$ の平均値を比較する。

表2は選択肢数を5に固定したときにエージェント数を増加させた場合の平均ステップ数の推移である。表2から、同じ計算停止条件の下、同時調整過程よりも逐次調整過程の方が合意に至るまでに平均として少ない交渉回数で済むことが分かるが、この傾向はエージェント数が多くなるほど顕著に現れる。この理由は、最新情報を用いて意見を修正する後の方がより早く合意に達することができるためであると考えられる。同様のシミュレーションがエージェント数を固定したときに選択肢数を増加させた場合についても行われたが、選択肢数の増加は合意に至るまでに要する交渉回数に少なくともエージェント数の増加ほどには明白な影響を与えなかった。

#### 4. おわりに

オピニオン・ダイナミクスは当初、合意形成条件、すなわち収束条件に主たる関心が向けられていたが、その後のコンピュータの発達によりシミュレーション分析を通じた合意の進展状況やパターン分析に関心が向けられるようになり、今日では学際的立場から研究が進められている。我々もまたこのような観点から2つのモデルの分析を行ってきたが、これらはエージェント間の相互干渉と情報公開のタイミングという、合意結果に影響を与えると思われる様々な要因の一部を反映しているにすぎない。現実の合意形成過程を反映した文字どおりのモデルとなるためには、より多くの、しかしながら本質的な人間的、あるいは制度的要因を含めることが必要である。

#### 参考文献

- 1) 高橋正浩, 生天目章: 個々の非合理性に基づくマルチエージェントの合意形成法, 電子情報通信学会論文誌 D-I, Vol. J82-D-I, No.8, pp.1093-1101 (1999).
- 2) 高橋正浩, 生天目章: 適応型合意形成モデルとその諸性質, 情報処理学会論文誌, Vol.40, No.9, pp.3586-3595 (1999).
- 3) French, J.P.R.: A formal theory of social power, *Psychological Review*, Vol.63, pp.181-194 (1956).
- 4) Hegselmann, R. and Krause, U.: Truth and cognitive division of labour: First steps towards a computer aided social epistemology, *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, Vol.9, No.3 (2006).  
<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/9/3/10.html>
- 5) 塩村 尊: 適応型合意形成モデルの基本性質, 情報処理学会論文誌, Vol.47, No.8, pp.2656-2659 (2006).
- 6) Abelson, R.P.: Mathematical models of the distribution of attitudes under controversy, *Contributions to Mathematical Psychology*, Frederiksen, N. and Gulliksen, H. (Eds.), chapter 6, pp.142-160, Holt, Reinhart and Winston, Inc., New York (1964).

(平成 19 年 1 月 12 日受付)

(平成 19 年 5 月 9 日採録)



塩村 尊 (正会員)

昭和 35 年生。昭和 63 年神戸大学大学院経済学研究科博士課程後期課程修了。同年香川大学商業短期大学部専任講師。平成 6 年より関西大学総合情報学部助教授。平成 13 年より関西大学総合情報学部教授。理論経済学、情報学と人文社会科学との接点に関する研究に従事。博士(経済学)。日本経済学会、日本オペレーションズ・リサーチ学会各会員。



能多 秀徳

昭和 54 年生。平成 18 年関西大学総合情報学部総合情報学科卒業。同年株式会社シー・シェルコーポレーション入社。システム開発部に所属。現在、デジタルテレビのソフトウェア開発、ならびにロボットに関するコミュニティサイト seathru の運営に従事。