

合意形成支援システムモデル

木嶋 恭一

1. はじめに

ブレインストーミングと合意形成はビジネスにおける会議の大きな目的である。最近、ビジネス会議をより民主的でより生産的にするために、コンピュータネットワークを基礎とした新しいシステムが提唱されている。たとえば、アリゾナ大学で開発された電子会議システムは、計算機端末から同時に匿名的に各参加者が自らの意見やアイデアを表明することができるため、より自由でより早い意見交換を可能としている。このシステムは十数個の端末がテーブルのまわりに配置され、それらはローカルエリアネットワークで結ばれている。会議の介助者 (facilitator) はその集団が議題の優先順序の決定や評決を行なうのを手助けするが、これも匿名的に行なう。オーバーヘッドプロジェクターがそのときのトピックスや集団の決定を表示するために用いられる。

このシステムはすでに販売が開始されており、Southern New England Telecommunications, U.S. Army, Greyhound Financial Corp., Phelps Dodgeなどが導入し、みな高い評価を与えている。電子会議では意見を論理的に説得的に表明する能力が重要であり、組織内のラインを横切るような意思決定が必要ときに特に有効であると認められている。

本小論は、上で述べたような企業内の電子会議システム、あるいはより遠隔地をネットワークで結んで意思決定ないしは会議進行を支援するシステム (分散在籍会議システム) などのように、ビジネスにおける会議での合意形成支援システムについて、そのモデルを定式化し、それによって組織における合意形成の意味を考察することを目的とする。特に、その本質をつかむために、明確な概念化と厳密な形式化にもとづいて、集団合意形成支援システムのモデルをたて集団合意形成支援システムとそのプロセスについて考察することにする。

現実に実在するかどうかは別として少なくとも概念的には、合意形成には何らかの意味での facilitator (以下では便宜上議長と呼ぶ) が存在し、その選好が合意形成にかかわっている。たとえば、1人の上位者が多数の下位者から成り立つ会議を司会し、上位者としての自らの選好を最終的には主張する場合には、上位者と下位者の選好の関係、両者間の選好の受け入れ (下位者の納得・上位者の説得) が合意形成における主要な問題となる。そこでは議長は、多数の異なった選好を彼とメンバにとって「望ましい」ものに収束させることに関心がある。

また、必ずしもメンバが自らの選好を正直に表明するとは限らない場合は、議長は各メンバから真の選好を引き出しメンバ間に不満を残さずしかも自らにとっても納得できる結果を導きたいと考えるであろう。

本小論ではこれら2つの状況について統一的な枠組みの中で考察を行なう。

2. 集団合意形成支援システムモデルと合意形成関数

組織あるいは集団が n 人のメンバから構成されているとして、これを $N = \{1, 2, \dots, n\}$ で表現する。また、議長を 0 で表わす。 R を実数の集合とする。この組織ないし集団が利用可能な代替案の集合を A とし、任意の $i \in N \cup \{0\}$ に対して $V_i = \{v_i | v_i: A \rightarrow R\}$ とする。 $v_0 \in V_0$ は議長の効用関数、 $v_i \in V_i$ はメンバ $i \in N$ の効用関数である。議長は各メンバを説得し、自らの選好関数 v_0 に沿った形で最終決定を収束させ、自らを含めた集団全体にとっての望ましい状態を達成したいと考えている。

いま、 $V = \{v | v: A \rightarrow R\}$ とするとき、 $\prod_{i \in N} V_i$ をメンバの関数プロフィールの集合と呼び、 $f: \prod_{i \in N} V_i \rightarrow V$ を集団意思決定関数と呼ぶことにする。

いま、メンバ $i \in N$ を説得するために議長が用いることのできる手段 (説得手段) の集合を C_i とし、メンバ i の説得の方法を $\beta: V_i \times C_i \rightarrow V_i$ で表現する。 β は $v_i \in V_i$ に対してどのようにして説得手段 $c_i \in C_i$ を用いるかという方法を示している。また、 C_0 を集合とすると、 β_0 を

$\beta_0: V_0 \times C_0 \rightarrow V_0$ となる関数とする。

そのとき、 $S = (\beta_0, \beta, c)$ を集団合意形成支援システム (consensus generating system; CGS) という。ここで、 $c = (c_1, \dots, c_n) \in C = C_1 \times C_2 \times \dots \times C_n$ である。

さて、 \sim を $V_i = R^A$ 上の同値関係とし、 $S = (\beta_0, \beta, c)$ を集団合意形成支援システムとする。いま、任意の $(v_1, \dots, v_n) \in \prod_{i \in N} V_i$ について $\eta_S(v_1, \dots, v_n) = (\beta(v_1, c_1), \dots, \beta(v_n, c_n))$ となる関数 $\eta_S: \prod_{i \in N} V_i \rightarrow \prod_{i \in N} V_i$ が、

1. $(\forall i, j \in N) (\beta(v_i, c_i) \sim \beta(v_j, c_j))$,
2. (最適解に関する一致性条件): 任意の $i, j \in N$, 任意の $\beta(v_i, c_i), \beta(v_j, c_j)$ について,

$$(\arg \max_{a \in A} \beta(v_i, c_i)(a)) = (\arg \max_{a \in A} \beta(v_j, c_j)(a))$$

を満たすとき、 η_S を (S が誘導する) \sim に関する合意形成関数と呼ぶ。

この定義の1. は合意が形成されるということ、メンバが最初にどのような効用関数を持っていたかに関係なくメンバ間の価値観 (効用関数) の間に一様性ないしは統一性が形成されることとして表現している。また、2. は合意形成された後の各メンバの効用関数はみな同じ最適解を導くことを示しており、その意味で \sim が十分「精密な合意」となっていることを表現している。

- 1, 2. より projection π_i, π_j について,

$$(\arg \max_{a \in A} \pi_i \cdot \eta_S(v_1, \dots, v_n)(a)) = (\arg \max_{a \in A} \pi_j \cdot \eta_S(v_1, \dots, v_n)(a))$$

と書けるので、集団合意形成支援システム S にもとづく意思決定を次のように定義する。

定義 1 \sim と S が与えられたとき、意思決定関数 f が合意形成支援 S にもとづく意思決定関数であるとは、 \sim に関する合意形成関数 η_S と $\pi_i: \prod_{i \in N} V_i \rightarrow V_i$ が存在して $f = \pi_i \cdot \eta_S$ となることをいう。

ここで、最適解に関する一致性条件から、集団として採択する最適解に関する限りどのような $i \in N$ が用いられるかは関係しないことに注意すべきである。

本小論での興味は、与えられた (\sim, S) に対して、それから定義される意思決定関数 $f = \pi_i \cdot \eta_S$ がどのような性質を持つか、を議論することである。ここで、 π_i は固定されているので、 f を本質的に特徴づけるのは η_S ということになる。

定義 2 v_0 を議長の効用関数とする。合意形成関数 $\eta_S: \prod_{i \in N} V_i \rightarrow \prod_{i \in N} V_i$ が \sim に関して議長との合意を形成するとは、 $(\forall i \in N) (\beta(v_i, c_i) \sim \beta_0(v_0, c_0))$ が任意の $(v_1,$

$\dots, v_n) \in \prod_{i \in N} V_i$ について成立することをいう。

これは議長を含めて集団間に効用関数の一様性が実現されることを意味する。

3. 効率性の実現と合意形成

ここでは、次のような集団意思決定状況を考える。各メンバ $i \in N$ が代替案 $a_i \in A_i$ を選択するとし、その結果 $y_i \in Y_i$ が生じるとする。そのとき結果は一般に不確実性 $x \in X$ と a_i とに依存するが、ここでは議論を単純化するために不確実性の存在を無視することとし、結果関数 ρ_i を用いて $\rho_i: A_i \rightarrow Y_i$ と書く。すなわち、 $y_i = \rho_i(a_i)$ である。

議長が各メンバに議長自身の欲する行為をするように誘導するいわば説得の手段として、議長は各メンバ i に報酬関数 $s_i: Y_i \rightarrow R$ という「指導力」を用いて、結果に応じて報酬ないしは説得工作費 $s_i(y_i)$ を分配するものとする。議論の単純化のためにここでは $A_i = Y_i = R$ と仮定する。

そのとき議長自身は分配して残った $\sum_{i \in N} (y_i - s_i(y_i))$ を得るので、そこからの彼の効用は $v_0(\sum_{i \in N} (y_i - s_i(y_i)))$ となる。議長としては自らの効用を最大化したいと考えている。すなわち、

$$\max v_0(\sum_{i \in N} (y_i - s_i(y_i))) \quad (1)$$

しかし、同時にメンバも「納得する形で」説得工作費を分配しなければならない。いま、メンバ i の感じる効用は報酬 $s_i(y_i)$ のみから成り立つとすれば、 $v_i(s_i(\rho_i(a_i)))$ で表現される。メンバ i の究極的な目標はこれを最大化することであるが、それ以前に彼は効用の最低ライン \bar{b}_i を持っており、実際の効用がそれ以下であればこの集団に留まらないとする。すなわち、彼の効用は条件 $v_i(s_i(\rho_i(a_i))) \geq \bar{b}_i$ を満たさねばならない。

さて、議長が各メンバの効用関数を知っておりしかもメンバがこのような意思決定をするということを知っているとき、彼は「メンバ i が v_i を最大化するという仮定のもとで自らの v_0 を最大化する s_i 」を選ぶだろう。すなわち、議長は、メンバ i が

$$a_i \in \arg \max_{a_i' \in A_i} v_i(s_i(\rho_i(a_i'))) \quad (3)$$

となる $a_i \in A_i$ をとると仮定するだろう。

ここで、各 (s_i, a_i) が条件(2)のもとで(1)の解になっているとき、 $((s_1, a_1), (s_2, a_2), \dots, (s_n, a_n))$ を first best 解と呼び、条件(2)と(3)のもとで(1)の解となっているとき、second best 解と呼ぶ。そして、特に $((s_1, a_1), (s_2, a_2),$

$\dots, (s_n, a_n)$ が first best 解であり、しかも second best 解であるとき、これを効率解ということにする。

さて、 $A = A_1 \times \dots \times A_n$ として、集団合意形成支援システム $S = (\beta_0, \beta, c)$ を次のように定める。

メンバー $i \in N$ に対して、

$$c_i = s_i \cdot \rho_i \cdot \pi_i : A \rightarrow \mathbf{R}$$

$$\beta : V_i \times C_i \rightarrow V_i$$

ただし、 $(\forall a = (a_1, \dots, a_n)) (\beta(v_i, c_i)(a_1, \dots, a_n) = v_i \cdot c_i(a_1, \dots, a_n) = v_i(s_i(\rho_i(a_i))))$ と定義する。

また議長 0 について、

$$c_0 = (s_1, \dots, s_n; \rho_1, \dots, \rho_n)$$

$$\beta_0 : V_0 \times C_0 \rightarrow V_0$$

ただし、 $(\forall a = (a_1, \dots, a_n)) (\beta_0(v_0, c_0)(a_1, \dots, a_n) = v_0(\sum_{i \in N} (\rho_i(a_i) - s_i(\rho_i(a_i))))$ と定める。

次に、同値関係 $\sim \subset V_i \times V_i$ を

$$(\forall v', v'') (v' \sim v'' \Leftrightarrow (\exists p > 0, q) (v' = pv'' + q))$$

で定義する。すなわち、各人の効用関数が原点とスケールの変換（アフィン変換）を除いて同一になっているときをもってメンバー間に合意が達成されたと考えるのである。そのとき、 \sim は最適解に関する一致性条件を満たすことが示される。

v_0 が $(\forall y, y', r, r' \in \mathbf{R}) (v_0(ry + r'y') = rv_0(y) + r'v_0(y'))$ を満たすとき v_0 を線形分離形と呼ぶ。また、 $(\exists k_i > 0, h_i) (\forall y_i \in \mathbf{R}) (s_i^*(y_i) = k_i y_i + h_i)$ が成立するとき、 $s_i^* : \mathbf{R} \rightarrow \mathbf{R}$ を正のアフィン報酬体系であるという。

そのとき、次の定理が成り立つ。

定理 1 1. v_0 が線形分離形である。

2. 正のアフィン報酬体系 $s_i^*(i \in N)$ に対して、 $((s_1^*, a_1), (s_2^*, a_2), \dots, (s_n^*, a_n))$ が効率解となっている。

3. 合意形成支援システム $S = (\beta_0, \beta, c)$ が $(\forall i \in N) (c_i = s_i^* \cdot \rho_i \cdot \pi_i)$ となっている

とする。そのとき、 $\eta_S = (\beta(v_1, c_1), \dots, \beta(v_n, c_n))$ が $(\forall i \in N) (\beta(v_i, c_i) \sim \beta_0(v_0, c_0))$ を満たすならば、 η_S は合意形成関数である。

これは、正のアフィン報酬体系のもとで効率解が達成できるときは、議長との合意が得られるならば集団全体のための合意形成支援システムが構成できることを示している。

定理 2 1. v_0 が線形分離形である。

2. 合意形成支援システム $S = (\beta_0, \beta, c)$ が正のアフィン報酬体系 $s_i^*(i \in N)$ に対して、 $(\forall i \in N) (c_i =$

$s_i^* \cdot \rho_i \cdot \pi_i)$ となっている。

とする。また、 $(a_1^*, a_2^*, \dots, a_n^*)$ を(3)の解とする。そのとき、 η_S が合意形成関数で、 \sim に関して議長との合意を形成するならば、 $((s_1^*, a_1^*), (s_2^*, a_2^*), \dots, (s_n^*, a_n^*))$ は効率解である。

これは、定理 1 とは逆に、2. で定められる S が合意形成支援システムとなり、しかも議長との合意形成が達成されるならば、これは必ず効率解を導くことを示している。

4. 真の選好の表明と合意形成

本節での関心は、次のような集団意思決定状況において、メンバーが真の選好を表明することを保証する合意形成支援システムの考察である。

いま、議長は各メンバーと語ってあるプロジェクト代替案の集合 A から 1 つのプロジェクトを決定したいと考えているとする。各メンバー $i \in N$ は(真の)効用関数 $v_i : A \rightarrow \mathbf{R}$ を持っている。議長は各メンバーに自らの効用関数 v_i を表明するように依頼し、それに対してメンバー $i \in N$ は $m_i \in M_i$ を返答する。ここで、任意の i について、メッセージ集合はなんら制約がないとし、 $M_i = \{m_i | m_i : A \rightarrow \mathbf{R}\} = \mathbf{R}^A$ と仮定する。いま、 $M = \prod_{i \in N} M_i = (\mathbf{R}^A)^N$ とおき、 M の要素を $m = (m_1, \dots, m_n)$ と書く。議長は表明されたメッセージ m にもとづいた合意形成支援システム $S_m = (\beta_0, \beta, c)$ によって合意を達成しようとする。

ここで、議長は $(\forall i \in N) (m_i = v_i)$ (すなわち、真の選好の表明) と期待するが、必ずしもこれは成立しない。なぜなら、表明されたメッセージ m にもとづいた合意形成支援システム $S_m = (\beta_0, \beta, c)$ が用いられることを知っているメンバー i にとって合理的なのは、次のような「支配戦略」となるメッセージ $m_i \in M_i$ を表明することだからである。

定義 3 $m_i \in M_i$ が支配戦略であるとは、

$$(\forall m_i' \in M_i) (\forall m_{-i} \in M_{-i})$$

$$(\beta(v_i, c_i)(a^*(m)) \geq \beta(v_i, c_i)(a^*(m_i', m_{-i})))$$

が成立することをいう。ここで、 $a^*(m)$ は全員のメッセージの列が $m = (m_1, \dots, m_n)$ のときに採択されるプロジェクトを示し、また $m_{-i} = (m_1, \dots, m_{i-1}, m_{i+1}, \dots, m_n)$ である。

これは、他のメンバーがどのようなメッセージを表明しようとも、 i にとっては m_i を表明するのが最も有利であることを示している。一般に真の効用関数 v_i は必ずしも支配メッセージにはならないから、虚偽の $m_i \neq v_i$ を

表明する可能性が生じるのである。

いま、メッセージ m を得た議長は、それに依存した次のような合意形成システム $S_m = (\beta_0, \beta, c)$ を用いると仮定する。まず、 $i \in N$ について、

$$c_i = t_i(m) : A \rightarrow R$$

$$\beta : V_i \times C_i \rightarrow V_i, \text{ ただし, } \beta(v_i, c_i) = (v_i + t_i(m) : A \rightarrow R$$

これは、 $i \in N$ の真の選好が v_i で、表明したメッセージが m_i のとき、彼は報酬として $t_i(m)$ を得るので、プロジェクト $a \in A$ に対して感じる全体の効用は

$$\beta(v_i, c_i)(a) = v_i(a) + t_i(m)(a)$$

となるということを示している。

また、議長の効用関数 $v_0 : A \rightarrow R$ は、全メンバからのメッセージ $m = (m_1, \dots, m_n)$ に依存して変更されるとして、

$$c_0 = (m_1, \dots, m_n; \lambda_1, \dots, \lambda_n)$$

$$\beta_0 : V_0 \times C_0 \rightarrow V_0 \text{ ただし, } \beta_0(v_0, c_0) = v_0^m$$

$$= \sum_{i \in N} \lambda_i m_i : A \rightarrow R$$

を定める。ただし、 $(\forall i)(\lambda_i > 0)$ で $(\sum_{i \in N} \lambda_i = 1)$ である。ここで各 λ_i は議長にとってのメンバ i の「重要度」を表現していると考えられるから、 β_0 はその集団における各メンバの相対的なポジション $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n)$ に応じて議長が意見を聞いていることを意味する。

また、同値関係 $\sim \subset V_i \times V_i$ を

$$v' \sim v'' \Leftrightarrow (\forall a, a' \in A)(v'(a) \geq v'(a') \Leftrightarrow v''(a) \geq v''(a'))$$

で定義する。これは2つの効用関数 v' と v'' が選好順序に関して順序同型であるとき、2つを同等とみなすことを示している。そのとき前節と同様に、 \sim は最適解に関する一貫性条件を満たす。

$a^* \in A$ の組織としての望ましさの1つは、次の条件を満たすことであろう。

定義 4 1. a^* がメンバに関する Pareto 解である。すなわち、 $(\forall a \in A)(a \geq_P a^* \Rightarrow a^* \geq_P a)$ が成り立つ。ただし、 \geq_P は、 $(\forall a, a' \in A)(a \geq_P a' \Leftrightarrow (\forall i \in N)(v_i(a) \geq v_i(a')))$ で定義される Pareto 順序である。

2. 議長の最適化の達成、すなわち、 $a^* \in \arg \max \beta_0(v_0, c_0)$ が成り立つ。

このような a^* を集団最適解という。

そのとき、次の定理が示すように集団最適解の実行を保証する合意形成支援システムを構成することができる。

定理 3 いま、議長がプロジェクトの採択を行なうとする。(すなわち、 $m = (m_1, \dots, m_n)$ がメッセージの列のとき、 $v_0^m(a)$ を最大化するプロジェクト $a^*(m)$ が選択されるとする。)そのとき、次の条件を満たす合意形成関数 $\eta_{S_m}(v_1, \dots, v_n) = (\beta(v_1, c_1), \dots, \beta(v_n, c_n))$ が存在する。

1. 全メンバにとって真実の表明が支配戦略となる。
2. \sim に関して議長との合意を形成する。
3. 任意の $i \in N$ について、 $f = \pi_i \cdot \eta_{S_m}$ が実現する任意のプロジェクト a^* は集団最適解である。

5. 結論

本小論では、電子会議システムのようにビジネスにおける会議での合意形成を支援するシステムについて、そのモデル化を通じて合意形成の意味を議論した。すなわち、合意形成支援システムと合意形成の概念を定義し、典型的な2つの合意形成状況についてそれぞれ合意形成支援システムを構成しその性質を明らかにした。

参考文献

- [1] Dasgupta, P., Hammond, and Maskin, E.S., The Implementation of Social Choice Rules: Some General Results on Incentive Compatibility, *Review of Economic Studies*, vol. 46, pp. 185-216, 1979
- [2] Green, J.R. and Laffont, J., *Incentives in Public Decision-Making*, North-Holland, Amsterdam, 1980
- [3] Groves, T. and Loeb, M., Incentives in a Divisionalized Firm, *Management Science*, vol. 25, no. 3, pp. 221-230, 1979
- [4] Kijima, K., Characterization of Desirable Information Processing and Decision Making Systems in Organization, *European Journal of Operational Research*, in press
- [5] Hess, J., *The Economics of Organization*, North-Holland, Amsterdam, 1983