WINPEC Working Paper Series No. J1902
June 2019

コミュニケーションの場の動的ゲーム論理

石川　竜一郎

現代政治経済研究所
(Waseda INstitute of Political EConomy)

早稲田大学

コミュニケーションの場の動的ゲーム論理 *

石川　竜一郎 †

2019 年 6 月 1 日

概要

本論文では，ルール化された対話空間におけるコミュニケーションを分析するゲーム理論的モデルを提示する．本モデルは (1) 熟議の第一ステージおよび（２）決議の第二ステージで構成される．第一ステージでは，主体は共通のテーマを異なる立場から議論を行う．第二ステージでは，第一ステージでの議論を踏まえて，投票などの社会選択ルールを通じて意見を集約し，その対話空間の社会的意思決定を行う．本モデルの特徴として，ゲーム理論を認識論理で分析するゲーム論理の手法を用いているため，各主体の認識構造が明確になる．さらにこの枠組みを，第二ステージでメカニズムデザイン理論と接合する．これにより合意形成のためのコミュニケーションを，主体の認識とコミュニケーションルールの観点から分析する．結果として，発話行為の合理性に基づいた，対話空間のルールが主体に与える影響の分析が可能になる．

1　はじめに

集団や社会における政策や方針の決定では，構成員の多様な価値観や断片的知識に起因した対立がしばしば見られる．こうした対立を緩和するために，コミュニケーションは互いを理解し，知識を補完し合うための役割を担う．コミュニケーションがこの役割を果たせるか否かは，意見交換がどのような状況や場で行われるかに依存するだろう．例えば，特定の話者に偏る状況でお互いの理解を深めることは難しい．本研究では，適切なコミュニケーションの場（対話空間）を設計するための理論を，ゲーム理論的な視点から提示する．

適切な対話空間の構築のために，近年「対話空間のメカニズムデザイン」の研究 [5, 1] が進められている．これらの研究では個々の対話空間に特定のルールを与え，そのルールが対話の促進にどのような効果があるかを分析する．また近年の政治学においても，コミュニケーションを社会的意思決定システムの構成要素とする熟議民主主義の研究 [6] がなされている．さらに，議論の活性化や多様な意見を引き出すために実践的にデザインされた対話空間として，パーラメンタリーディベート [7] や件の宣言 [8] などもあげられる．これらはすべて，集団的意思決定を行う前のコミュニケーションを通じて，参加者の価値観や知識の共有を試みている．

* 本研究にあたり，JST 未来社会創造事業 JPMJMI17C7 の研究集会参加メンバー，特に谷口忠大氏（立命館大学），水山元氏（青山学院大学）からは有益なコメントを頂いた．

† 早稲田大学国際学術院．Email: r.ishikawa@waseda.jp

一方でコミュニケーションの汎用性を考慮すると，ルールの異なる対話空間を比較することで，より効率的な対話空間の設計やルールの模索も可能になる．そのためには，ルールの異なる対話空間を包括的に捉える理論の構築が不可欠となる．またコミュニケーションを集団的/社会的意思決定の文脈で捉えると，発話者は自らの意見や考えを聴衆や有権者に理解してもらうことが目的となり，発話内容の選択に戦略的要素が含まれる．こうした戦略的要素の分析にはゲーム理論的な視点が重要になることは言うまでもない．本研究で提示する理論は，対話空間の設計をコミュニケーションゲームとして定式化し，発話者の戦略的行動の分析を可能にする．

標準的ゲーム理論の文脈において，コミュニケーションの研究は以下の二つの潮流がある．一つはある不確実な事象に対する見込み（確率分布）がコミュニケーションを通じて同一の確率分布に収束するための条件を考察する研究 [13, 15] で，ある事象が主体間で共通認識になりうるかを問うている．もう一つはシグナリングゲームやチープトークゲーム [11] による分析で，特定の記号をシグナルとして用いることで協調行動が達成可能かを問う．しかしいずれの研究においても，コミュニケーションを意見表明などの情報を伴ったインタラクションとしてとらえておらず，本研究が対象とする対話を十分に表現できない．

意見表明などの主張を明示的にゲーム理論の枠組みで定式化するためには，意味や意見そのものを表現する言語の定式化が必要になる．意見を明示的に記述し議論の過程を分析する研究分野として数理議論学 (Formal/Mathematical Argumentation, [9]) が挙げられる．数理議論学では数理論理学を用いて発話そのものを明示的に定式化するが，議論のゲーム理論的側面は [16] などで分析されているにすぎない．一方でゲーム理論では，主体のゲーム的状況の認識とそれに基づく戦略的推論を分析するために認識論的ゲーム理論の研究 [20] が行われているが，戦略的発話に関する研究は [12] で行われているにすぎない．

そこで本研究では，この隔たりを埋めるために，議論のゲーム理論的側面に焦点を当てた分析を行う．特に対話空間でのコミュニケーションにおいて，主体が何を認識し，聴衆の理解を得るためにどのように戦略的な発話を行うかを分析する．聴衆はそれらのコミュニケーション/議論を通じて社会的帰結に関する選好を形成する．対話空間をその選好に基づいた社会的意思決定がなされる場として捉え，各主体の選好を集約する社会選択ルールを組み込んだコミュニケーションゲームとして定式化する．

本論文は以下のように構成される．第 2 節ではコミュニケーションゲームを定式化し，理論の骨格を与える．また発話者の戦略性に注目し，コミュニケーションゲームにおける合理性について論じる．第 3 節では，具体的な対話空間としてパーラメンタリーディベートを用いて，本稿が提示する理論による応用分析を行う．第 4 節は本論文のまとめとなるが，本研究で用いた動的認識論理の枠組みと近年の研究との違い，および今後の研究課題について言及する．

2 コミュニケーションゲーム

本研究が対象とする対話空間の場[*1]として，ビブリオバトル [5]，熟議的民主主義 [6]，パーラメンタリーディベート [7]，件の宣言 [8] などを挙げることができる．これらの対話空間は以下の二段階ゲームとして定式化される[*2]．

いま，参加者の集合を $N = \{1, \ldots n\}$ とする．

定義 1. コミュニケーションゲーム（以下 $\mathcal{CM}$ と表現）とは，以下の二つのステージで構成される n 人ゲームである．

【熟議の第一ステージ】 意見や政策的立場を持つ主体の集合 $J \subseteq N$ に属する発話者が，決議で賛同を得るために，場において自らの意見を表明．

【決議の第二ステージ】 第一ステージの意見表明を元に，集合 $K \subseteq N$ に属する主体が社会的帰結に関する選好順序を形成する．その選好順序と社会的選択ルールに基づいて社会的帰結を決議．

決議の第二ステージは，社会的選択理論[*3]と呼ばれる分野の定式化と同一である．社会的選択理論は社会構成員のもつ選好を可能な限り反映した帰結を選択するシステムを研究する分野で，すでに多く研究の蓄積が存在する．$\mathcal{CM}$ の第二ステージはその成果が援用可能なため，まず第二ステージを定式化[*4]する．

決議の第二ステージの参加者の集合 K を $\{1, \ldots, k\}$（$k \leq n$）とする．このステージでは，対話空間における社会的帰結を決定する選択肢（社会的帰結）の集合[*5]として X を考え，各主体 $i \in K$ は X 上に選好順序 R_i を持つとする．いま，$\mathcal{R}$ で X 上の選好全てからなる集合を表す．主体 i が取りうる選好の集合を $\mathcal{D}_i \subseteq \mathcal{R}$ で表したとき，全ての個人の選好の集合は $\mathcal{D}_K \equiv \mathcal{D}_1 \times \cdots \times \mathcal{D}_k$ で表される．

第二ステージで考察する社会的選択ルールとは，主体の選好順序の組 $(R_i)_{i=1}^k \in \mathcal{D}_K$ が与えられた時，帰結 $x \in X$ を選ぶ関数 $f : \mathcal{D}_K \to X$ で表現[*6]される．決議のために行われる投票なども，この枠組みで捉えられる．この枠組みをもつ第二ステージを前提として，以下では $\mathcal{CM}$ 第一

[*1] 個々の空間の詳細なルールは参考文献を参照のこと．

[*2] パーラメンタリーディベートおよび件の宣言では，自分の本来の主張と無関係に特定の主張をするグループに分けられ，その立場で発言を行う．この場合においても，聴衆に与えられた主張を認めてもらうことが目的となり，ルールに関する本質的な違いはない．

[*3] 坂井 [2] は当該分野の歴史的経緯や主要結果等の見通しの良い解説を与えている．

[*4] 以下の定式化は，坂井 [3] に基づく．

[*5] ビブリオバトルであれば紹介された本の集合，熟議的民主主義やパーラメンタリーディベートおよび件の宣言では，提起された議題の賛否になる．

[*6] 個々の主体の選好は私的情報であるため，主体が自分のもつ選好と同じ選好を社会に表明するとは限らない．当該分野では，主体が表明する選好のメッセージによって達成される帰結が操作されることのないメカニズムを考察する．本研究では，社会的選択理論の成果を直接応用できるので，操作可能性に関する議論には踏み込まず，第二ステージのメカニズムの定式化も最小限にとどめる．

ステージにおける主体 $j \in J$ の戦略的な発話行為を定式化する．

注意 1. 第一ステージでの意見表明を受けて形成される第二ステージ参加者の選好順序は，発話者の利得に直接影響を与える．このため発話者は，発話が第二ステージ参加者の選好形成に与える影響を推論しながら，発話行為を行うと考えられる．分析を単純化するために，本稿ではこの推論の分析は行わない．以下で定式化するように，第二ステージ参加者の選好は第一ステージでの議論・発言の列が与えられると，その列にのみ依存して決定する*7．これによって，熟議の第一ステージに焦点を当てた定式化と分析を行っていく．

2.1 $\mathcal{CM}$ における熟議の第一ステージ

熟議の第一ステージを $\mathcal{CM}_1$ で表すと，$\mathcal{CM}_1 = \langle J, H, P, (\succsim_i)_{i \in J} \rangle$ で構成*8される．ここで，$J \subseteq N$ は $\mathcal{CM}_1$ に参加する主体の集合，H は (1) $\emptyset \in H$ および

(2) $(a^m)_{m=1,\ldots,M} \in H$ ならば，任意の $L(< M)$ に対し $(a^m)_{m=1,\ldots,L} \in H$

を満たす列の集合とする．このときの $(a^m)_{m=1,\ldots,L}$ を $(a^m)_{m=1,\ldots,M} \in H$ に対する真部分列と呼ぶ．また，特に $(a^m)_{m=1,\ldots,M} \in H$ に対して，$(a^m)_{m=1,\ldots,M+1} \in H$ となる a^{M+1} が存在しない列を終点列と呼び，終点列で構成される H の部分集合を Z で表す．列 $h \in H \setminus Z$ を構成する各要素 (a^m) は，ある主体の発言と考える．このため，各主体が発言に用いる原始命題の集合を $P_0 = \{p, q, \ldots\}$ とし，任意の命題 $p \in P_0$ と命題演算子 $\neg, \wedge, \vee, \rightarrow$ を用いた有限の反復操作*9によって構成される文 $\bar{\mathcal{L}}(P_0)$ を $\phi := p \mid \neg\phi \mid \phi \wedge \psi \mid \phi \vee \psi \mid \phi \rightarrow \psi$ として帰納的に与える．各主体の発言は $\bar{\mathcal{L}}(P_0)$ から選択されるため，この集合を主体間で共通の発話可能集合と呼ぶ．P は列 $h \in H$ に対して，その直後に発話する主体を指定する関数で $P : H \setminus Z \rightarrow J$ で与えられ，$\succsim_i$ は主体 $i \in J$ の Z 上の選好順序を表す．

以下での議論のために，追加的な概念と記号を導入する．列 $h = (a^m)_{m=1,\ldots,M} \in H$ までの主体 i の発言とは，$\{a \in \bar{\mathcal{L}}(P_0) |\ h$ の真部分列 $\tilde{h} = (a^1, \ldots, a^{k-1})$ に対し，$a^k = a$ かつ $P(\tilde{h}) = i\}$ で表される集合で，$L_i(h)$ と表す．すなわち，$L_i(h)$ で列 $h \in H$ に現れる主体 $i \in J$ の発言命題の集合を意味する．

2.2 コミュニケーションの動的認識構造

$\mathcal{CM}_1$ における各主体の発話戦略や主体間の認識構造を分析するために，各主体の知識や信念を記述する言語 (Language) を定義する．先ほど与えた原始命題の任意の原子命題 $p \in P_0$ に対し，

*7 注意 2 も参照のこと．

*8 この定式化は Osborne & Rubinstein [18] による．

*9 標準的な命題論理では，例えば $\neg, \wedge$ で十全だが，ここでは主体の発言可能な命題ということを明示的にするために，命題演算子全てを与える．

言語による文 $\mathcal{L}(P_0)$ を以下の有限の反復操作によって帰納的に与える．

$$\phi := p \mid \neg\phi \mid \phi\wedge\psi \mid \phi\vee\psi \mid \phi\to\psi \mid A_i\phi \mid K_i\phi \mid B_i^{\phi}\psi$$

ここで i は J の要素（主体）を指す添字である．また，$\bar{\mathcal{L}}(P_0)\subseteq\mathcal{L}(P_0)$ であることも確認できる．$A_i\phi$ 及び $K_i\phi$ は，「主体 i が ϕ に気づいている」及び「主体 i が ϕ を知っている」と解釈する．ここで，「気づいている (being aware of)」は文の存在に気づいているが ϕ か $\neg\phi$ かわからないことであり，「知っている (knowing)」はそれがわかることとする．さらに，$B_i^{\phi}\psi$ によって，「主体 i は ϕ の想定のもとで，ψ が真であることを信じている」と解釈[*10]する．

このもとで，$\mathcal{L}(P_0)$ の構造 $M=(S,\pi,(\mathcal{A}_i,\mathcal{K}_i,\bar{\mathcal{K}}_i)_{i\in J})$ を以下のように与える．S は可能世界の集合，$\pi: S\to 2^{\bar{\mathcal{L}}(P_0)}$ で与える割当関数，$\mathcal{A}_i(s)$ が状態 s において i が気づいている文の集合を意味する．さらに，$\mathcal{K}_i$ は S 上の同値関係，$\bar{\mathcal{K}}_i$ は反射律と推移律を満たす二項関係[*11]で，最小元をもつとする．このとき文の割当[*12]が以下のように帰納的に与えられる．

$$\begin{array}{lll}
(M,s)\models\phi & \text{if} & \phi\in\pi(s)\\
(M,s)\models\neg\phi & \text{if} & (M,s)\not\models\phi\\
(M,s)\models\phi\wedge\varphi & \text{if} & (M,s)\models\phi \text{ and } (M,s)\models\varphi\\
(M,s)\models A_i\phi & \text{if} & \phi\in\mathcal{A}_i(s)\\
(M,s)\models K_i\phi & \text{if} & (M,s)\models A_i\phi \text{ and } (M,t)\models\phi \quad \forall\, s\,\mathcal{K}_i\, t\\
(M,s)\models B_i^{\phi}\psi & \text{if} & (M,t)\models\psi \quad \forall\, t\in \min_{\bar{\mathcal{K}}_i}([s]_i\cap[\![\phi]\!]_M)
\end{array}$$

ここで集合 $T(\subset S)$ に対して，$\bar{\mathcal{K}}_i$ 上の最小元で構成される集合を $\min_{\bar{\mathcal{K}}_i}(T):=\{t\in T \mid t\,\bar{\mathcal{K}}_i\,u\ \forall u\in T\}$ として与え，$s\in S$ を含む同値類を $[s]$，$\phi\in\mathcal{L}(P_0)$ が真となる可能世界の集合を $[\![\phi]\!]_M$ で表す．

上述のように $\mathcal{CM}_1$ では，各主体が行う発話行為の組み合わせを有限列によって表現することで構成される．特に本研究で対象とするパーラメンタリーディベートや件の宣言等の対話空間では，ゲーム開始前に議題（もしくは主張）が与えられる．したがって，議題 $\phi\in\mathcal{L}(P_0)$ のもとで，主体 i の発話 $\psi\in\mathcal{L}(P_0)$ を通じて，$B_i^{\phi}\psi$ が真であることが他の主体に伝わる．こうした各主体の発話による構造 M の変化を以下に定義する．

定義 2. 構造 $M=(S,\pi,(\mathcal{A}_i,\mathcal{K}_i,\bar{\mathcal{K}}_i)_{i\in J})$ と主体によってすでに発話された有限列 $h=(a^m)\in H$ に対して，発話後の構造 M^h を $(S^h,\pi^h,(\mathcal{A}_k^h,\mathcal{K}_k^h,\bar{\mathcal{K}}_k^h)_{k\in K})$ として与える．ここで，M^h は次のように制限をした構造とする．発話者 i の発言集合 $L_i(h)$ の要素を $\wedge$ の操作で結合して得られた命題を Φ_i とし，それを主体間で $\vee$ による操作で結合して得られた命題を $\vee_i\Phi_i$ とする．このとき，$S^h=\{s\in S \mid (M,s)\models\psi \text{ for } \psi\in\vee_i\Phi_i\}$ で，任意の $s\in S^h$ と任意の $i\in J$ に対して $\mathcal{A}_i^h(s)=\mathcal{A}_i(s)\cap(\vee_i\Phi_i)$，$\mathcal{K}_i^h:=\mathcal{K}_i\cap(S^h\times S^h)$，$\bar{\mathcal{K}}_i^h:=\bar{\mathcal{K}}_i\cap(S^h\times S^h)$ として与える．

[*10] ここで用いる Awareness 演算子 A_i は [14] に基づき，B_i^{ϕ} 演算子は [19] に基づいている．

[*11] 同値関係 $\mathcal{K}_i$ は主体 i が区別できない可能世界と解釈でき，$\bar{\mathcal{K}}_i(\subseteq\mathcal{K}_i)$ を用いて，主体 i が s を少なくとも t と同程度好ましいと考えている ($s\bar{\mathcal{K}}_i t$) とする．また $s\mathcal{K}_i t$ は，$s\bar{\mathcal{K}}_i t$ または $t\bar{\mathcal{K}}_i s$ であることとして定義されるとする．この詳細については [19] を参照．

[*12] 標準的な命題論理で示されるように，文 ϕ,ψ に対して $\phi\vee\psi$ 及び $\phi\to\psi$ は，それぞれ $\neg(\neg\phi\wedge\neg\psi)$ 及び $\neg\phi\vee\psi$ と同値の命題と考え，割当を与える．

いま，発話する順番に対応させて主体を $\{1, 2, \ldots, j\} = J$ と並べると，上記の動的な構造変化は以下の Fig. 1 で表される．

図 1　Dynamics of structural changes

本稿後半で考察するパーラメンタリーディベートのように，同じ議題を賛成派と反対派に分かれて議論を行うときは注意が必要である．二つのグループで矛盾する命題が発話の列に出現する可能性がある．以下の例はその状況を表している．

例 3. 議題 ϕ として「高等学校での携帯電話の使用を許すべき」の賛否を 2 人で議論する熟議の第一ステージ $\mathcal{CM}_1$ を考える．2 人の主体を i, j とし，賛成派の主体 i が命題「学習に効果的 (以下 p)」を用いて「高等学校での携帯電話の使用を許せば，学習に効果的である $(\phi \to p)$」だけを主張し，反対派の主体 j が「携帯電話の使用を許さなければ，学習に効果的である $(\neg\phi \to p)$」だけを主張してゲームが終わったとする．すなわち，この二つの主張で構成されるゲームの終点列 $z = ((\phi \to p), (\neg\phi \to p)) \in Z$ が実現する．

このようにある議題の賛否を議論する場合には，ある発話の列を取り出した時，その列を構成する命題が互いに矛盾する可能性がある．この場合でも，複数の可能世界を考えることでモデル上の無矛盾性を保たれる．上記の例においては，$S = \{s_1, s_2\}$ を考え，$\pi(s_1) = \{\phi, p\}$ 及び $\pi(s_2) = \{\neg\phi, p\}$ となる割当関数を与えることができる．この場合には，$\phi \in A_k(s_l)$ $(k \in \{i, j\}$, $l \in \{1, 2\})$，$\mathcal{K}_k = S \times S$ $(k \in \{i, j\})$ を与える．

また，主体 i の発言 $\psi \equiv (\phi \to p)$ のあと，主体 i の構造は $\mathcal{M}^{\psi}$ に制限され，さらに主体 j の発言 $\bar{\psi} \equiv (\neg\phi \to p)$ 後に $\mathcal{M}^{\psi \vee \bar{\psi}}$ として制限され，$(\phi \to p)$ および $(\neg\phi \to p)$ が両立する．

このもとで以下が示される．いま，可能世界の集合 S から $\mathcal{CM}_1$ の終点列 Z への関数 g を考える．また，Z 上の同値類 $\sim = \{(z, z') |\, z$ に対しある z' が存在し，z と同じ要素で構成 $\}$ に対し，その商集合を $Z/\sim$ とする．すなわち，$Z/\sim$ は同じ発言で構成されているが発言順序が異なる列を同一とみなす分割となる．この時 $\bar{g} : S \to Z/\sim$ を考える．

命題 4.　1. g および $\bar{g}$ は全射である．

2. $\bar{g}$ が単射であることの必要十分条件は，各 $z \in Z/\sim$ に対し，z を構成する全ての発話 ϕ に対し $\neg\phi$ および ϕ の同値命題が z に出現しない時である．

証明.　1. 任意の $z \in Z$ に対して，定義による発話列 $(a^m)_{m=1,\ldots,M}$ が存在し，任意の m に対して $a_m \in \bar{\mathcal{L}}(P_0)$ なので，定義により割当関数が存在．$\bar{g}$ も同様に証明される．

2. (十分性) $\bar{g}$ が単射であると仮定する．任意の $z \in Z/\sim$ に対し，z を構成する任意の発話 ϕ に対して $\phi, \neg\phi \in \pi(s)$ ならば定義に反する．また，ϕ と同値命題 ϕ' が存在すると，同値命題を除いた終点列 z' が存在し $g(s) = z = z'$ となり矛盾する．

   (必要性) 各 z に対し，z を構成する全ての発話 ϕ にその否定を含まない時，$\{\phi, \neg\phi\} \not\subseteq \pi(s)$ となる割当関数が存在する．また同値命題を含まないので，$\bar{g}(s) = \bar{g}(s')$ ならば $s = s'$ となる．

□

これらの命題は，コミュニケーションの場における個々の発話の真偽を割り当てた時，それがゲームの構造とどう対応するかを考察する上で重要である．例えば，ある発話 ϕ の同値命題を発話者が繰り返して発言した場合，本質的な発話を行なっていないことも明示化される．次の節では発話者の戦略を定式化することで，発話戦略の合理性を明確にする．

2.3 $\mathcal{CM}_1$ における行動と合理性

2.3.1 発話行動

$\mathcal{CM}$ を固定したとき，上述の $g : S \to Z$ によって主体 i の発話行動を以下のように定義する．

定義 5. 主体 i の可能世界 s における行動とは，$g(s) = z$ を満たす $z \in Z$ の任意の真部分列 h において $s\mathcal{K}_i^h t$ を満たす可能世界 t を考えた時，終点列 $g(t) = z'$ に対するある真部分列 h' が存在して，$L_i(h) = L_i(h')$ を満たす $L_i(g(s)) \subseteq \bar{\mathcal{L}}(P_0)$ とする．また，可能世界 s における全ての主体の行動を $L(g(s))$ と書き，$L(g(s)) \equiv \prod_{i \in J} L_i(g(s))$ で与える．

ここで定義された主体 i の発話行動は，可能世界 s で実現する終点列上の主体 i の各手番 h（すなわち，$P(h) = i$ を満たす $g(s)$ の真部分列 h）において，主体 i が区別できない可能世界 t（すなわち $t \in \{s' \in S|\ s\mathcal{K}_i^h s'\}$）上では同じ発話をしているという，主体の認識構造と矛盾しないことへの要請である．

一方で，可能世界 s において $g(s)$ の真部分列 h を考えた時，s と区別できない可能世界 t におけるある真部分列 h' の長さ[*13]が，h の長さと一致することは要請されていない．h と h' の長さが異なる，すなわち主体 i が h もしくは h' に到達する以前に異なる発言が存在している時でも，命題の真偽の情報に関わる実質的な発言がない場合，すなわち主体 i の認識（$\mathcal{K}_i^h$）に影響を与えない場合を許容する．ただし $g(s)$ の真部分列 h によって，それに対応する h' での主体 i の手番も規定される．

注意 2. 本稿で定式化した可能世界 s および関数 g は Aumann [10] の考え方[*14]を反映している．この考え方のもとでは，関数 g が意思決定者に特定の選択を強いるのではなく，外部観察者が分析のために g を通じて可能世界の一部を記述する．すなわち外部観察者は，ゲーム内の主体がどのよ

[*13] 列 $h = (a^m)_{m=1,\dots,M}$ の長さとは，自然数 M を指す．

[*14] Aumann [10] の 4 節 (a) Personal Choice as a State Variable の項を参照．

うな選択をし，どのような選好を持つかに関する情報を持たないため，観察可能なパラメータを通じて可能世界と結びつけている．この考え方のもとでは，（注意 1）で説明した第二ステージ参加者の選好順序を所与とすることも，その選好が外部観察者の考察する可能世界の一部として記述されているためと考えることができる．

2.3.2　発話行動の合理性

定義 5 で与えられる行動は様々考えられるため，主体が発言内容を決定するための選択基準が必要になる．Z 上に $\mathcal{CM}_1$ で発話する主体の選好順序 $\succsim_i$ が与えられているため，標準的ゲーム理論で用いられるナッシュ均衡を定義することも可能である．しかしナッシュ均衡は，ゲーム開始前の完備な条件付き計画 (complete contingent plans) である．本稿で考察するコミュニケーションゲームのように，ゲームの構造全体を主体間で共通に認識することができず，各主体が事前にすべての起こりうる状況を考察することが困難な状況では適切ではない．そこで本稿では以下の局所逐次合理性の概念を定式化し，分析を進める．

いま，終点列 $z = (a^m)_{m=1,\dots,M}$ とその真部分列 $\bar{h} = (a^1,\dots,a^{k-1},a) = (h,a)$（ただし $P(h) = i$）を考える．このとき，$Z_i(h,a) := \{z \in Z|\, (h,a)$ を真部分列として含む $z\}$ として与える．すなわち，発話列 h において主体 i が発話 a を通じて到達可能な終点列の集合を指す．

定義 6. 主体 i の発話 a が h において局所逐次合理的であるとは，任意の $b \in \mathcal{L}(P_0)$ と任意の $z' \in Z_i(h,b)$ に対して，ある $z \in Z_i(h,a)$ が存在し $z \succsim z'$ が成立するときを指す．

この定義では，主体 i は各手番において，その手番から到達可能な終点列の中で，最も望ましい終点列に到達しうる発話を行なうことを要請している．もちろん局所逐次合理的な発言をしても，その後の他の主体による発言で必ずしも想定する終点列に到達するとは限らない．その意味でこの合理性は，コミュニケーションゲームにおける各手番での（局所的）規範的行動 (normative behavior) の要請であり，主体の発言を評価するための実証的行動 (positive behavior) の基準ではない．すなわち，主体のあらゆる発言は局所的な逐次合理性を満たす発言の結果として捉え，主体が逐次合理的発言をしているか否かの判定基準とはしない．規範的要請として局所逐次合理性を用いることで，先述のようにコミュニケーションゲームの構造が大きくとも，過度な合理性の要求とはならない．

こうして $\mathcal{CM}_1$ で到達した z に対して，決議の第二ステージに参加する各 $i \in K$ の選好を形成する関数 $h_i : Z \to \mathcal{D}_i$ の写像の存在を仮定する[*15]ことで主体 i の社会的帰結 X に対する選好が決まる．そのもとで，上述の社会選択ルール $f : \mathcal{D}_K \to X$ によってコミュニケーションゲームの帰結が決定される．

注意 3. ゲーム理論の観点から考えると，局所逐次合理性は完全情報ゲームにおける後ろ向き帰納

[*15] 上述のように，本稿では可能世界 s にこの h_i が含まれる．他方，実証的行動の基準が与えられた場合には h_i の推計を行うことになる．

法を弱めた概念である．$\mathcal{CM}_1$ を含む標準的な完全情報ゲームでは，後ろ向き帰納法を適用することで部分ゲーム完全均衡[*16]が得られる．この均衡概念は均衡によって実現する終点列のみならず，均衡経路外の全ての手番に対して主体の合理性を要請する．上述のように，構造の大きい $\mathcal{CM}_1$ で経路外の手番に合理性を要求することは過度なため，その点を弱めている．したがって，局所逐次合理性を後ろ向き帰納法と同様に用いると，部分ゲーム完全均衡を得る．

一方で，実現した終点列に対して，すべての手番で事後的に局所的逐次合理性を満たしているか否かの判断は行えない．この合理性の概念では，各主体が自らの手番の発話を通じて望ましい終点列に到達すると信じてはいるが，その信念が必ずしも正しく実現するとは限らないためである．この点が，規範的行動の要請とした理由[*17]となる．

3　パーラメンタリーディベートへの応用

本節では，$\mathcal{CM}$ の応用分析として，パーラメンタリーディベート（以下 PD）を検証する．PD とは，政策や主張などの論題に対して肯定派と否定派に分かれて議論を行い，聴衆をいずれかの立場に説得するゲーム形式のコミュニケーショントレーニング[*18]である．以下では中川 [7] に基づくルール説明とそこで提示されているモデルディベートを用いて，$\mathcal{CM}$ による定式化と分析を行う．

3.1　PD のルール

PD は以下の構成で進められる．与えられた 1 つの論題に対して，ディベートを行う主体が肯定派チーム (Government，以下 G) と否定派チーム (Opposition，以下 O) に分かれる．各チームは 3 名で構成される．それ以外の参加者として，ディベートを見聞きする一般聴衆がおり，ディベート終了後にジャッジとして，どちらのチームに賛同するかを判定する．

各チームの構成員は各々 3 分の持ち時間を使って，交互に以下の手順でディベート[*19]を行う．

G1: チーム G の 1 番目の主体が議題の定義を行い，肯定する理由（肯定 1）を述べる．
O1: チーム O の 1 番目の主体が先の肯定 1 に対して反論し，否定する理由 (否定 1) を述べる．
G2: チーム G の 2 番目の主体が否定 1 に対して反論し，肯定 1 を再構築しながら新たに肯定する理由（肯定 2）を述べる．
O2: チーム O の 2 番目の主体が，先の肯定 1 と 2 に対して反論し，否定 1 を再構築しながら新たに否定する理由（否定 2）を述べる．
O3: チーム O の 3 番目の主体がチーム O の意見の正当性をまとめる．
G3: チーム G の 3 番目の主体が否定 2 に対して反論し，チーム G の意見の正当性をまとめる．

[*16] これらの概念については，Osborne and Rubinstein [18] 第 6 章を参照．
[*17] このような信念の定式化や実証的行動基準のあり方については今後の課題とする．
[*18] 国内では，一般社団法人パーラメンタリーディベート人材育成協会 (`http://www.pdpda.org/`) がその普及に努めている．
[*19] ルールではさらに，ディベート中に相手チームからの質疑応答が許されているが，本稿では捨象する．

ディベート終了後，一般聴衆は各チームの主張や応答をもとに，いずれのチームが適切な主張を述べたかを判断し，多数決で勝者となるチームを決定する．

3.2 モデルディベート

中川 [7] では，議題として「学校での携帯電話の使用を許すべきである」を与え，そのモデルディベートを示している．そのモデルディベート[*20]を，今後の分析の準備として対応する命題[*21]に記号を付しながらまとめたものが以下である．

G1: 議題は「高等学校での携帯電話の使用を許すべきだ (p_1)」と定義する．チーム G の論点は「効果的学習 (p_2)」と「効果的コミュニケーション (p_3)」($p_1 \to p_2 \wedge p_3$) である．p_2 とは「携帯電話を使って様々なことを調べられる (p_4)」ことを指す．

O1: チーム O は「高等学校での携帯電話の使用を許すべきではない ($\neg p_1$)」を主張する．チーム O の論点は「集中の妨害 (p_5)」と「携帯電話の費用 (p_6)」($p_1 \to p_5 \wedge p_6$) である．まず，高等学校での携帯電話の使用は効率的学習を意味しない ($\neg(p_1 \to p_2)$)．実際，p_2 は「先生に質問する (p_7)」もしくは「家で調べる (p_8)」で置き換えられる（($(p_2 \to p_7 \vee p_8) \wedge (p_7 \vee p_8 \to p_2)$)．また「授業中の携帯電話の使用 ($p_9$)」によって p_5 が生じる ($p_9 \to p_5$)．

G2:「高等学校は日本では義務教育ではない (p_{10})」ので「個人の選択の自由 (p_{11})」があり p_9 が可能である（$p_{10} \to p_{11} \to p_9$）．また「生徒が疑問点をすぐ調べられる ($p_{12}$)」ならば p_9 である（$p_{12} \to p_9$）．さらに「内気な生徒がメールを通じて会話を可能にする (p_{13})」ならば p_3 が実現（$p_{13} \to p_3$）する．

O2:「生徒が疑問点をすぐ調べられないならば，家で調べる ($\neg p_{12} \to p_8$)」．さらに p_{13} ならば「内気な生徒がメールアドレスを知る必要がある (p_{14})」($p_{13} \to p_{14}$)．また「高等学校は教育の場 (p_{15})」なので「個人に選択の自由があるから，授業中に携帯電話を使用してもよい」わけではない ($p_{15} \to (\neg(p_{11} \to p_9)))$」．さらに p_6 ならば「親が費用負担をする (p_{16})」($p_6 \to p_{16}$)．

O3: これまでを議論のまとめとして，次の問題提起をする．「p_1 と $\neg p_1$ のどちらが教育的か」そして「よいコミュニケーションとは何か」という点である．前者の問いに対しては「授業中に携帯電話を利用すれば，生徒が疑問点をすぐに調べ，効果的な学習を促すわけではない ($\neg(p_9 \to p_{12} \to p_2)$」と主張でき，後者の問いに対しては，$p_{13}$ ならば「面と向かったコミュニケーションが不得手になる (p_{17})」($p_{13} \to p_{17}$) ことを主張する．

G3: p_6 は「学生割引 (p_{18})」で問題にならない．また「授業中に携帯電話を利用すれば，効果的な学習を促し ($p_9 \to p_2$)」,「内気な生徒がメールで会話をすれば，効果的なコミュニケーションを促す ($p_{13} \to p_3$)」と主張する．

[*20] パーラメンタリーディベートは通常英語で行われ，実際のモデルディベートも英語で示されている．

[*21] 本項では命題論理の枠組みで主体の発言集合を規定しているため，様相演算記号等で表現されるべきものも原始命題として表現する．主体の発話集合の言語の拡大は今後の課題とする．

表 1　Symbols of propositions in the model debate

記号	命題
p_1	高等学校での携帯電話の使用を許す
p_2	携帯電話は効果的学習を促す
p_3	携帯電話は効果的コミュニケーションを促す
p_4	携帯電話で様々なことを調べられる
p_5	携帯電話は集中を妨害する
p_6	携帯電話は費用がかかる
p_7	先生に質問する
p_8	家で調べる
p_9	授業中に携帯電話を使用する
p_{10}	高等学校は日本では義務教育ではない
p_{11}	個人には選択の自由がある
p_{12}	生徒が疑問点をすぐに調べられる
p_{13}	内気な生徒がメールで会話を可能にする
p_{14}	メールアドレスを知る必要がある
p_{15}	高等学校は教育の場である
p_{16}	親が費用負担をする
p_{17}	直接のコミュニケーションを不得手にする
p_{18}	学生割引を利用する

以上の議論で用いた原子命題と対応する記号をまとめたものが Table 1 である．このモデルディベートでは，決議の結果，チーム O の勝利となっている．

3.3　$\mathcal{CM}$ によるモデルディベートの分析

上述のモデルディベートを $\mathcal{CM}$ で定式化すると $J = \{\mathrm{G1, G2, G3, O1, O2, O3}\}$ となる．
各ステージでの命題[*22]は以下のようにまとめられる．

G1: $p_1 \to p_2 \wedge p_3,\ p_2 \leftrightarrow p_4$
O1: $p_1 \to p_5 \wedge p_6,\ \neg(p_1 \to p_2),\ p_2 \leftrightarrow (p_7 \vee p_8),\ p_9 \to p_5$
G2: $p_{10} \to p_{11} \to p_9,\ p_{12} \to p_9,\ p_{13} \to p_3$
O2: $\neg p_{12} \to p_8,\ p_{13} \to p_{14},\ p_{15} \to (\neg(p_{11} \to p_9)),$
$p_6 \to p_{16}$

[*22] 命題 $(\phi \to \psi) \wedge (\psi \to \phi)$ は $(\phi \leftrightarrow \psi)$ と記述する．

表 2　Summary of the Model Debate

主張	G1: $p_1 \to p_2 \wedge p_3$	主張	O1: $p_1 \to p_5 \wedge p_6$
反駁	O1: $p_2 \leftrightarrow (p_7 \vee p_8)$	立論	O1: $p_9 \to p_5$
立論	G2: $p_{12} \to p_1$	反駁	G2: $p_{10} \to p_{11}$
	G2: $p_{13} \to p_3$		$\to p_9$
立論	O2: $\neg p_{12} \to p_8$	立論	O2: p_{15}
	O2: $p_{13} \to p_{14}$		$\to \neg p_9 \wedge p_{11}$
			O2: $p_6 \to p_{16}$
反駁	O3: $\neg(p_9 \to p_{12} \to p_2)$	反駁	G3: $p_6 \to p_{18}$
	O3: $p_{13} \to p_{17}$		
立論	G3: $p_9 \to p_2$		
	G3: $p_{13} \to p_3$		

O3: $\neg(p_9 \to p_{12} \to p_2)$, $p_{13} \to p_{17}$

G3: $p_6 \to p_{18}$, $p_9 \to p_2$, $p_{13} \to p_3$

上記の命題に対して，各主体の発話が局所逐次合理的であるとした時の各手番の発話を見ていく．PD では，同一グループ内の主体間では共通の選好順序をもち，グループ間では対立する選好順序をもつことことがルールで規定される．すなわち，二つの異なる終点列 $z, z' \in Z$ に対して，一方のグループ内の主体 i の選好が $z \succsim_i z'$ ならば他方のグループ内の主体 j の選好は $z' \succsim_i z$ となるゼロサムゲームの構造を持っている．

こうした選好を前提に各グループの発言を考察していく．議論学に基づいたディベートのテキストとして知られる Ziegelmueller & Kay [22]（邦訳 p. 295）によると，ディベートの発話行為はディベーターが議論を開始し発展させる「立証」と，反論し焦点を絞る「反駁」に区別されるとしている．これに則り，双方の主張に関わる発言をまとめたものが Table 2 である．以下の表で，各列の「主張」に対応して「反駁」と「立証」の命題が書かれており，命題の横にその発言を行った主体を明記している．以下でこの表に基づき，各主体がゼロサムゲームでの勝利を目指す局所逐次合理的行動を前提とした分析を行う．

この表に基づくと，G1 の主張に対して命題 p_{12}, p_{13} が議論の焦点になっている．グループ G はこの二つの命題を用いて主張の妥当性を示そうとしている一方で，グループ O はその命題を認めた時の不利益（命題 $\neg p_8$, p_{14}, p_{17}）を提示[*23]し反論している．すなわちグループ G は主張の妥当性を示すために，命題 p_{12}, p_{13} 等の現状の不便さを発言することが局所逐次合理的と考え，グループ O は G の主張の不利益を発言することが局所逐次合理的と考えていることがわかる．

一方で O1 の主張に注目すると，命題 p_9 が議論の焦点になっている．O1 は主張の妥当性を示す

[*23] $\neg p_{12} \to p_8$ は $p_{12} \vee p_8$ と同値であることに注意せよ．したがって，$p_{12} \in \pi(s)$ のとき $p_8 \notin \pi(s)$ となる可能世界 s が存在する．

命題 p_9 を最初に示した後，主張によってもたらされる不利益 p_{15}, p_{16} を主張している．実際，p_9 が割当関数に含まれる（p_9 が真であると呼ぶ）可能世界では，O2 の発言 $(p_{15} \rightarrow \neg p_9 \wedge p_{11})$ を真とするために，$\neg p_{15}$ が真でなければならない．すなわち「高等学校は教育の場ではない」を認めることになる．こうした不利益を示すことが局所逐次合理的と考え，自らの主張を立証していることがわかる．

3.4　モデルディベートの認識構造

このようなコミュニケーションは，その相互作用によって主体の認識構造を変化させる．以下ではモデルディベートにおける主体の認識構造の変化を分析する．このために Table 2 でまとめた発話に焦点を当て，各命題の割当/真理値を考える．

いま，主張にかかる原子命題 p_l $(l \in \{1,2,3,4,5,6\})$ に対して $\{p_1, p_2, p_3, p_5, p_6\} \subseteq \pi(s)$ となる可能世界 s のみに注目する．以下では，もしある命題 p が可能世界 s で $p \in \pi(s)$ となるとき，その割当を $\top$，$p \notin \pi(s)$ での割当を $\bot$ と書き，それぞれ命題が真，偽であると解釈する．定義 2 で与えたように，各主体が発話した命題は真であるとする．この時の可能世界および Table 2 の O1 の発話命題を構成する原始命題の割当をまとめたものが Table 3 である．

表 3　List of assignments of O1 & possible worlds

		s_{11}	s_{12}	s_{13}	s_{14}	s_{15}	s_{16}
O1	p_7	$\top$	$\top$	$\bot$	$\top$	$\top$	$\bot$
	p_8	$\top$	$\bot$	$\top$	$\top$	$\bot$	$\top$
	p_9	$\top$	$\top$	$\top$	$\bot$	$\bot$	$\bot$

Table 3 では $\{p_1, p_2, p_3, p_5, p_6\} \subseteq \pi(s)$ となる可能世界に注目し，これらの原始命題に $\top$ を割り当て，O1 が発話した命題を真としたときの各原始命題の可能な割当をまとめている．例えば，O1 の発言 $p_2 \leftrightarrow (p_7 \vee p_8)$ と $p_9 \rightarrow p_5$ の割当が，p_2 及び p_5 の割当 $\top$ のもとで $\top$ となるためには，(p_7, p_8) に $(\top, \top)$，$(\top, \bot)$，$(\bot, \top)$ のいずれかが，p_9 には $\top$ か $\bot$ のいずれかが割り当てられる必要がある．この六通りの割当に対し，可能世界 s_{1l}（$l \in \{1,2,3,4,5,6\}$）を対応させている．

いま $S_1 = \{s_{11}, s_{12}, s_{13}, s_{14}, s_{15}, s_{16}\}$ と表すとき，O1 の発話終了時点 h_1 での各主体の認識構造は以下のように考えられる．すべての主体 i に対して，任意の $s \in S_1$ で $A_i^{h_1}(s)$ は時点 h_1 までに発話された命題で構成され，いずれの主体もこの可能世界を区別できない．しかし一方で，O1 は自らの主張を構成する原子命題が真であることが好ましいと考えていると想定[*24]すると，$s_{11} \bar{K}_{O1}^{h_1} s_{1l}$ $(l \in \{1,2,3,4,5,6\})$ が与えられる．

このもとで，G2 の $p_{10} \rightarrow p_{11} \rightarrow p_9$ という発話は以下のように分析できる．いま $p_{10} \rightarrow p_{11} \rightarrow$

[*24] 定義 2 ではここまでの要請をしていない．そのため二項関係 $\bar{K}_i^{h_1}$ としてこの想定とは異なるものを考えることも可能である．この二項関係と発話行動の関係は今後の課題とし，ここでは任意に与えられるとする．

表 4　List of assignments of G2 & possible worlds

		s_{21}	s_{22}	s_{23}
G2	p_9	$\top$	$\top$	$\bot$
	p_{10}	$\top$	$\top$	$\top$
	p_{11}	$\top$	$\bot$	$\bot$
	p_{12}	$\top$	$\top$	$\bot$

p_9 を ϕ と書くと，ϕ の割当が真となる可能世界は Table 4 を構成要素として含む必要がある．命題 p_{10} は事実なので，ここでは $\top$ を割り当てている．また，これに続く発話 $p_{12} \to p_9$ も p_9 の割当に応じて Table 4 で示すことができる．

G2 の最後の発話 $(p_{13} \to p_3)$ において，p_{13} は $\top$ と $\bot$ のいずれも割当可能であるので，$S_3 = \{s_{31}, s_{32}\}$ を追加的構成要素として考え，可能世界が s_{31} を含む形で構成されるとき p_{13} に $\top$ を，s_{32} を含む形で構成させるとき p_{13} に $\bot$ を割り当てる．

Table 3，4 および S_3 から可能世界の集合を再構築すると，$\{s_{11}, s_{12}, s_{13}\} \times \{s_{21}, s_{22}\} \times S_3 \cup \{s_{14}, s_{15}, s_{16}\} \times \{s_{23}\} \times S_3$ が構成される．以下ではこの直積空間の要素 (s_{1a}, s_{2b}, s_{3c}) $(a \in \{1,2,3\}, b, c \in \{1,2\}$ もしくは $a \in \{4,5,6\}$ と $c \in \{1,2\}$ に対して $(a,b,c) = (a,3))$ を $\mathbf{s}_{abc}$ と書く*25.

G2 の最後の発話 $(p_{13} \to p_3)$ の後を時点 h_2 で表し，先ほどと同様に，発話者 G2 は自分の発話を構成する原子命題が真であることを好ましいと考えている，すなわち $\{(\mathbf{s}_{a1c}, \mathbf{s}_{abc})\} \subset \bar{\mathcal{K}}^{h_2}_{\mathrm{G2}}$ とする．このとき $\phi \equiv (p_{10} \to p_{11} \to p_9)$ に対して，$B^{\phi}_{\mathrm{G2}}(p_{10} \to p_{11})$ の割当が $\top$ になり，これが成立する可能世界 $\mathbf{s}_{a1c}$ $(a \in \{1,2,3\}, c \in \{1,2\})$ において p_{11} にも $\top$ が割り当てられる．

すなわち，時点 h_2 における G2 の発言 ϕ は，p_{11} の割当が $\top$ となることを顕示し，全ての主体 i の同値関係 $\mathcal{K}_i$ が同値類 $[\mathbf{s}_{a1c}]$ $(a \in \{1,2,3\}, c \in \{1,2\})$ を要素として持つことになる．その結果，チーム O のすべてメンバー（ここでは主体 O とする）はこの信念を知っている，すなわち $K_O(B^{\phi}_{\mathrm{G2}}(p_{10} \to p_{11}))$ が時点 h_2 で真であることも示される．

こうした発話を局所逐次合理性の観点から考察すると，G2 は命題 ϕ を発話することで第二ステージの決議でチーム G の主張が受け入れられると考えていたことになる．この発話はチーム O に対する反駁に用いられ，$p_{11} =$「個人の選択の自由」 が真であることを導いたため，チーム G の戦略的発話の中心が「個人の選択の自由」にあったことが明確になる．

このため次の O2 の発言では，命題 p_{11} を用いた立証を行なっている．実際，命題 $\psi \equiv (p_{15} \to \neg p_9 \wedge p_{11})$ に注目すると，$s \in [\mathbf{s}_{a1c}]$ において p_9 および p_{11} の割当が真なので，命題 ψ を（真であると）発話することで，$p_{15} =$「高等学校は教育の場」が偽であると示すことになる．発話 ψ は，G2 の反駁で明らかにされた命題 p_{11} の割当を用いているので，G2 の発話に基づくと「高等学校

*25 以下で (a,b,c) の制約条件に明記がないときには，この制約が成立しているとする．

が教育の場ではない」ことが立証され，p_{11} が適切な発言ではないことが明確になる．このように相手の主張に立脚し，賛同を得にくい意見を導出することが O2 の局所逐次合理的な戦略となっていると考えられる．

このように局所逐次合理性の要請は，各主体の発話行為が第二ステージの決議の際に主張を受け入れてもらうための戦略という前提に立脚するため，個々の主体の発話の意義や役割を明確できる．先述のように，この要請を通じて発話行為の合理性評価の指標となる実証的行動の基準とすることはできない．しかし，局所的ではあるが各主体の発言の意義を明確にすることで，$\mathcal{CM}$ の性質および社会選択理論に基づく決議の第二ステージと整合的な理論となる．

O2 より後の発話も同様の手順で可能世界の空間を拡大しながら，認識構造の変化を追うことができる．特に O3 および G3 の発話で注目すべき発話は，O3 による命題 $\tau = \neg(p_9 \to p_{12} \to p_2)$ である．原始命題 p_2 を真と割り当てる可能世界で命題 τ を真と割り当てることはできない．これまで同様 p_2 に真と偽のそれぞれを割り当てる構成要素を用いて可能世界の集合を再構築し，その違いを区別できない形で各主体 i の同値関係 $\mathcal{K}_i$ を与えることで，認識構造を表現できる．

また，本モデルディベートではチーム O が勝利を収めているが，こうした勝利における戦略に解釈を与えることも可能である．先の分析の通り，モデルディベートでは原子命題 p_{11} および p_{15} が発話戦略の中心であった．この上でチーム O の勝利を考えると，命題 p_{11} よりも p_{15} が決議の際に参加者に受け入れられたと解釈できる．

4 まとめ

本稿では，パーラメンタリーディベートやビブリオバトル，より広くは熟議民主主義などの一定のルールを設定することで円滑な議論を図るコミュニケーションの場を設計するための理論を提示した．通常のゲーム理論とは異なり，ゲームに参加する主体の発話行為を分析する必要性から，主張を命題の形で記述可能な動的ゲーム論理に基づく理論を構築した．さらにナッシュ均衡とは異なる発話行為の合理性の規準（局所逐次合理性）を導入した．その上で，場のルールに基づく意見集約機能の健全性の考察ができるように，メカニズムデザイン理論との接続を行なった．

本研究で用いた動的認識論理[*26]は，public announcement logic のアプローチに近いが，[19] で提示されたように，ゲームの途中の主体の意思決定を通じて構造 M が変化する．特に本研究が対象とするコミュニケーションの場は，発話主体が異なる意見や立場から発言を行うため，意見の対立が生じる状況での構造変化も考慮されている．

またこうしたコミュニケーションにおける発話戦略の分析に対し，標準的なゲーム理論が考える均衡行動 (complete contigent plans) よりも，弱い合理性の行動規準として局所逐次合理性を提示した．その上で，コミュニケーションゲームにメカニズムデザインを内包することで，決議の第二ステージにおける社会選択ルールの設定も可能になった．

これより直ちに，第二ステージの決議において多数決ルールを用いることの妥当性を問うことが

[*26] 近年の成果は，van Ditmarsch et al. [21] にまとめられている．

できる．多くのコミュニケーションの場において多数決ルールが用いられているが，メカニズムデザイン理論の研究で知られるように，多数決が人々の選好を適切に抽出できるのは，社会的帰結 X が二つの選択肢で構成されている時に限られる．選択肢が三つ以上ある場合にはボルダールールが適切*27と考えられることが多く，改善の余地がある．

また $\mathcal{CM}$ の今後の課題として，議論を通じて第二ステージに参加する主体がどのような選好を形成するかという点が挙げられる．具体的には動的認識論理を応用した選好形成の理論 [17] の応用が考えられる一方で，実際の場のデータを用いてゲーム開始前後での意見の変化を分析することも必要になる．

ここで定式化した理論は，発言の論理一貫性と戦略的妥当性，社会的意思決定ルールの妥当性を考察するために構築された．しかし，実際のコミュニケーションの場では，本研究の理論では捉えきれないが，場に重要な影響を与える要因が多々ありうる．これは，谷口 [4] が強調するように，対象とするコミュニケーションがインフォーマルコミュニケーションであることに起因する．

インフォーマルコミュニケーションは，それを通じて発話者の個性や背景，知識などを共有していく役割があり，そうした役割の全てを $\mathcal{CM}$ で捉えることができない．しかしこのことを理由に，$\mathcal{CM}$ が有益ではないと結論づけることもできない．$\mathcal{CM}$ で捉えきれない要素を $\mathcal{CM}$ を通じて明確にすることで，むしろ $\mathcal{CM}$ 以外のどの要因がメカニズムを設計する上で重要かが明らかになる．そのためにも，具体的なコミュニケーションの場のデータ分析が，これからの研究を進める上で重要になる．

参考文献

[1] 古賀, 谷口：発話権取引: 話し合いの場における時間配分のメカニズムデザイン, 日本経営工学会論文誌, Vol. 65, No. 3, pp. 144–156 (2014)

[2] 坂井：社会的選択理論への招待: 投票と多数決の科学；日本評論社, (2013)

[3] 坂井, 藤中, 若山：メカニズムデザイン；ミネルヴァ書房, (2008)

[4] 谷口：ビブリオバトル；文春文庫，(2013)

[5] 谷口, 川上, 片井：ビブリオバトル: 書評により媒介される社会的相互作用場の設計, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 12, No. 4, pp. 427–437 (2010)

[6] 田村：熟議の理由: 民主主義の政治理論；勁草書房, (2008)

[7] 中川：授業でできる即興型英語ディベート；ネリーズ出版，(2017)

[8] 蓮行, 末長, 紙本, 黒木, 田中：コミュニケーション場のメカニズムとしての件の宣言；SSI2018 発表論文, 計測自動制御学会 (2018)

[9] 若木, 新田：数理議論学；東京電機大学出版局，(2017)

[10] R. J. Aumann: Correlated equilibrium as an expression of Bayesian rationality; *Econometrica*, Vol. 55, No. 1, pp. 1–18, (1987)

*27 この点に関しては坂井 [2, 3] を参照．

[11] J. Farrell, M. Rabin: Cheap talk; *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 10, No. 3, pp. 103–118, (1996)

[12] Y. Feinberg: Strategic communication; *Proceedings of the 13th Conference on Theoretical Aspects of Rationality and Knowledge* (TARK XIII), pp. 1-11, (2011)

[13] J. D. Geanakoplos, H. M. Polemarchakis: We can't disagree forever; *Journal of Economic Theory*, Vol. 28, No. 1, pp. 192–200 (1982)

[14] J. Y. Halpern, L. C. Rêgo: Reasoning about knowledge of unawareness revisited, *Mathematical Social Science*, Vol. 67, No. 2, pp. 73–84, (2012); Reprinted in the same journal, Vol. 70, pp. 10–22, (2014)

[15] R. Ishikawa: Communication protocols with belief messages; *Theory and Decision*, Vol. 61, No. 1, pp. 63–74 (2006)

[16] M. Kacprzak, M. Dziubinski, K. Budzynska: Strategies in dialogues: A game-theoretic approach; *Computational Models of Argument* (S. Parsons et al.), IOS Press, pp. 333–344, 2014

[17] F. Liu: *Reasoning about preference dynamics*; Springer, (2011)

[18] M. J. Osborne, A. Rubinstein: *A Course in game theory*; MIT Press, (1994)

[19] E. Pacuit: Dynamic models of rational deliberation in games; *Models of Strategic Reasoning: Logics, Games, and Communities* (J. van Benthem, S. Ghosh, R. Verbrugge (eds.)), pp. 3–33, Springer, (2015)

[20] J. van Benthem: *Logic in games*; MIT Press, (2014)

[21] H. van Ditmarsch, W. van der Hoek, B. Kooi: *Dynamic epistemic logic*; Springer, (2007)

[22] G. W. Ziegelmueller, J. Kay: *Argumentation: Inquiry and Advocacy* 3rd edition, Allyn & Bacon, (1996). 井上 監訳: 議論法 第 3 版, 花書院 (2006)