

## 実時間言語コミュニケーションの認知基盤：行動言語学の理論化に向けて

Muneo Kitajima  (北島 宗雄)

Nagaoka University of Technology  
Nagaoka, Niigata, Japan (長岡技術科学大学)  
Email: mkitajima@kjs.nagaokaut.ac.jp

Makoto Toyota (豊田 誠)

T-Method  
Chiba, Japan (T メソッド)  
Email: pubmtoyota@mac.com

Jérôme Dinet  (ジェローム ディネ)

Université de Lorraine  
Nancy, France (ロレーヌ大学)  
Email: jerome.dinet@univ-lorraine.fr

Katsuko T. Nakahira  (中平 勝子)

Nagaoka University of Technology  
Nagaoka, Niigata, Japan (長岡技術科学大学)  
Email: katsuko@vos.nagaokaut.ac.jp

**Abstract**— 本論文は、会話におけるリアルタイム言語コミュニケーションに関わる認知プロセスを探求する。話者と聞き手の間の動的な相互作用に焦点をあて、言語的・非言語的両方の手がかりが効果的なコミュニケーションにどのように寄与するかを明らかにする。本論文の目的は、言語がリアルタイムで生成される仕組みを説明する認知アーキテクチャ「実時間制約下のモデルヒューマンプロセッサ(MHP/RT)」に基づく行動言語学理論を構築することである。これは、言語発達をスキナーの行動心理学に基づくシステム 1 のみに依拠した従来モデルや、チョムスキーの言語理論(システム 2 による形式文法の発達に基づく)の限界に対処し、現在の自然言語が、スキナーの基盤の上に構築されたチョムスキーの文法体系の相互作用を通じて形成されていると考える。提案される行動言語学理論は、認知心理学と行動経済学の知見を統合し、リアルタイム言語生成を理解するための包括的な枠組みを提供する。言語使用を限定合理性によって制御される行動として捉えることで、本論文は個人のコミュニケーション方法に影響を与える認知的制約を明らかにする。この視点は会話能力に対するより微妙な理解を促し、効果的なコミュニケーションは言語知識だけでなく、相互作用の動的な性質を予測し適応する能力にも依存することを示唆している。教育や治療など様々な文脈におけるコミュニケーション改善への示唆は、日常的な相互作用を向上させ誤解を減らす上で、この研究の関連性を強調している。

**Keywords**- 行動言語学； 日常会話； 言語行動； 非言語コミュニケーション； *MHP/RT*； *GOMS*

### I. はじめに

言語を用いる社会的な生物である人間にとって、気心の知れた人たちとの間でなされる日常的な会話は、日常生活に潤いを与え豊かで幸せな時間を過ごすことを可能にしている。会話においては、参加者の間で話者と聴者の役割の交代が適時になされ、会話の状態が維持される。聴者は、会話の流れで、次の話者の番になるときに備えて、相手の話を聞きながら自身の発話内容を準備する。話者は、聴者に伝えたい情報を、聴覚情報として伝達される言語情報、および、ジェスチャー・視線などの視覚情報などにて伝達される非言語情報を介して、伝えようとする。Skinner [1]は、この言語行動について、機能分析を行なっている。行動分析学者は50年にわたり言語行動に基づく理論構築に取り組んできたにもかかわらず、

生成的な言語行動(generative verbal behavior)の説明に困難を抱えている [2]。このことは、蓄積された会話情報のみによる説明には限界があること、さらに、複雑な情報の加工処理が加えられている可能性を示唆している。

日常会話においては、話者は、聴者の状態に合わせて調整しながら適時に適切な発話を行う。話者は、聴者の理解状態を完全に把握することはできず、発話内容はいくつかの候補の中から無意識的に選択されたものになると考えられる。言語行動において、Simon[3]が提唱している限定合理性(bounded rationality)と満足化原理 (satisficing principle) が働いていることになる。Kahnemanは、限定合理性が意思決定時に働くときの認知基盤として dual-process を提唱し[4]、行動経済学(behavioral economics)の基礎を築いた。

本論文では、日常会話におけるリアルタイム言語生成という言語行動を扱うことができる行動言語学(behavioral linguistics)での理論を、dual-process [4][8]が基礎にあると理解し全体像を構築した実時間制約下の行動選択に係る認知基盤であるMHP/RT[5]–[7]の上で検討することにより、形作れることを提案する。MHP/RTでは、聴者が次に話者になるのに備えて、意識的に発話内容を決定するイベント前システム2モード、発話直前に状況に合わせて無意識的に発話内容・方法を調整するイベント前システム1モードによって、言語行動が発現すると考える。言語行動の多くの部分は無意識的にGOMS的に実行され、dual-processにおけるモード移行などに関する豊富なメソッドを駆使することで、即時に相手の変化に対応することが可能となっていると考えられる[9]。そして、会話が破綻しない仕組みとして、話者と聴者の間で、これらのモードの適切な同期(弱同期)を想定する[10]。弱同期は、仮想環境に置かれたユーザの没入の仕組みとして示されたものである。スムーズな日常会話においては、没入に準じた状態が発現していると考えられる。本論文では、行動言語学の根幹をなすこれらの仕組みについて説明する。

## II. 関連研究

言語行動の現代的科学的分析は、B. F. Skinnerの著作に端を発する。スキナーの言語行動論は、オペラント条件付けの原理に基づく言語の機能的分類を提唱した。Skinnerの理論は、言語行動の決定要因として環境的条件付けと強化の歴史を強調した。この枠組みは影響力を持つことが証明された一方で、自発的会話における生成性や新規発話の柔軟な生成を説明しにくい点で批判されてきた[11]。

行動分析学の伝統において生成性を扱うため、Steven C. Hayesらは関係枠理論 (RFT) [12]を提唱した。これは言語を一般化された関係的反応として概念化する。RFTは古典的オペラント的アプローチよりも、象徴的かつ規則に支配された行動についてより強力な説明を提供する。しかしながら、その主たる焦点は、日常的な会話における話者交代に見られるリアルタイムの時間的調整ではなく、派生的な関係的反応と象徴的変換にある。

認知心理学において、Herbert A. Simonが提唱した限定合理性理論は、人間の意思決定を認知的・環境的制約下での適応的行動として再定義した[13][14]。個人は最適化を図るのではなく、限られた時間と情報の中で「十分良い」選択肢を選ぶ。この視点は、話者が聞き手の内部状態を完全に把握せずに発話を迅速に選択しなければならない会話文脈において特に重要である。

限定的合理性を基に、Daniel Kahnemanは、迅速で自動的な(システム1)と、遅くて熟慮的な(システム2)の認知プロセスを区別する、二重過程理論に関する数十年にわたる研究を統合した[15]。二重過程モデルの初期の定式化(例: [8][16])は、この区別を強調していた。これらの枠組みは行動経済学や意思決定科学に影響を与えてきたが、リアルタイムの対話的制約下における言語行動の理論に体系的に統合されることはなかった。

心理言語学における話者交代に関する研究は、聞き手が現在の話し手が発言を終える前に応答の計画を開始することを示している[17]。会話分析はさらに、話者交代は通常最小限の間と重なり合いによって特徴づけられることを明らかにした[18]。これらの知見は極めて効率的な予測とタイミングのメカニズムを示唆するが、それらは行動分析理論や行動選択のより広範なモデルとは独立して扱われることが多い。

並行して、人間のパフォーマンスモデリングが追加の関連基盤を提供する。Card, Moran, Newellが提案したモデルヒューマンプロセッサ(MHP)[19]は、人間の活動を知覚・認知・運動(PCM)サブシステムとして概念化する。ゴール・メソッド・オペレータ・選択規則(GOMS)のフレームワークは、手続き的タスク実行をさらに形式化する。これらのモデルは構造化されたタスク行動を分析する強力なツールを提供するが、自然環境下における自発的な会話言語生成へ拡張されることは稀である。

したがって、これらすべての先行研究の基盤を統合することにより、本論文は以下の点で革新的である：

- 1) 古典的行動主義とは異なり (Skinner, 1957) [1], 提案された枠組みは限定合理性[13] および二重過程認

知[4]に基づく内部的行動選択メカニズムを組み込み、生成的かつ適応的な発話形成の説明を可能とする；

- 2) 二重過程理論[15]が一般的な認知的区別を提供する一方で、本論文はその実装を会話の微視的ダイナミクスにおいて二つのシステムモードを通じて特定する；
- 3) 言語行動をPCMループ[19]内に位置づけることにより、当モデルはリアルタイム制約下における言語的・非言語的・時間的行動の統合を説明している；
- 4) 会話分析[18]および予測的計画研究[17]の知見に基づき、弱同期[10]の導入は、円滑な話者交代と会話の途切れ防止のメカニズム的説明を提供する；
- 5) 最後に、従来のMHPおよびGOMSアプローチ[19]を拡張した、我々が提案するMHP/RT[5]-[7]フレームワークは、時間的制約下における言語的行動選択を明示的にモデル化し、人間パフォーマンスモデリングと行動言語学を橋渡しするものである。

## III. 会話の認知プロセスモデル

### A. 対象とする会話事態の記述・範囲

本研究では、二人の間でなされるスムーズな会話(対話)を対象とする。この会話においては、バーバルコミュニケーション、ノンバーバルコミュニケーションが行われる。前者においては、ことばが音波を介した聴覚情報により、後者においては、五感(視覚、聴覚(合いの手などのフィラー情報)、触覚、嗅覚、味覚)を介したそれぞれのモダリティの情報により、相互間で情報が伝達される。

本研究では、バーバルコミュニケーションを中心に据えて、会話事態を深掘りしていく。バーバルコミュニケーションにおいて対話者の外から観測可能な状態は、「発話中」と「それ以外」に分けられる。そこで、起こりうる状態は以下の3通りとなる。

- 1) 片方が発話し、他方が発話していない。
- 2) 双方とも発話していない。
- 3) 双方が同時に発話している。

本研究では、スムーズな会話を取り上げる。このような会話では、双方が会話に集中し、会話の目的の達成を目指して、それぞれが、効率的に(思考により時間を無駄にすることなく)発話行動をおこなっているはずである。そこで、上記の1番目の状況を想定する。これにより、会話参加者には「話者」と「聴者」の役割があり、話者交代を行いながら、会話は進行することになる。本研究では、話者交代のタイミング、つまり、話者交代というイベントの生起時刻は、話者が聴者へ変わった瞬間と考える。

### B. 会話参加者が実行するPCMプロセス

我々はこれまでに、環境とのシームレスなインタラクションを対象とした認知科学的な分析を公開してきた [9][21][22]。これらの分析においては、環境には、人工物、VR、人間である他者が含まれていた。これらの分析は、日常におけるリアルタイムな行動選択プロセスをシミュレートできる認知機構である「実時間制約下の

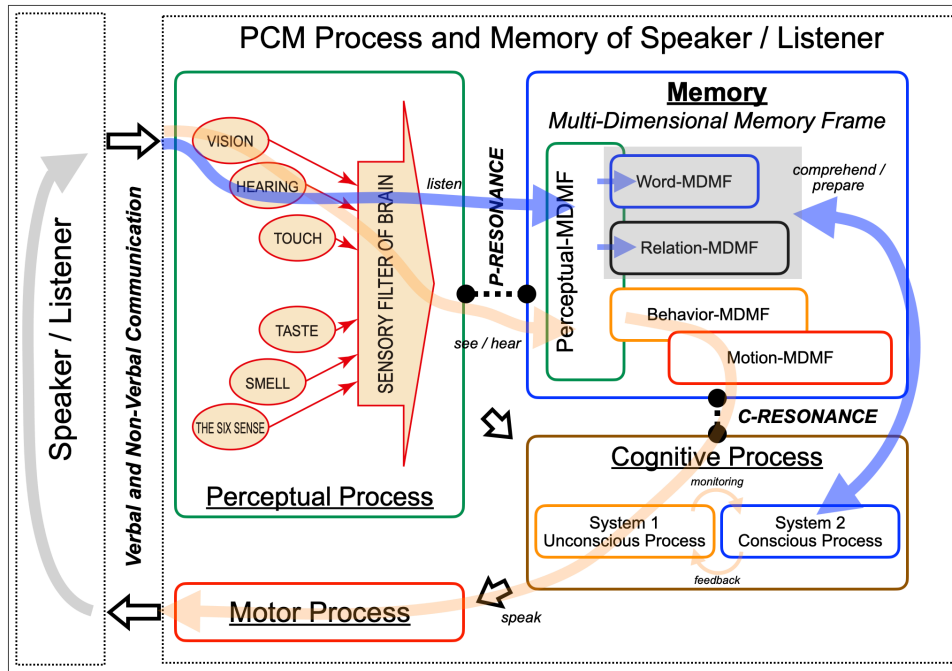


Figure 1. 会話時の会話参加者のPCMプロセスと多次元記憶フレーム

モデルヒューマンプロセッサ (MHP/RT)」に基礎を置いていた。本研究では、日常会話を環境・人間インタラクションの一形態として捉え、これまでに得られた知見を活用して、シームレスな会話が行われる仕組みの理解を深める。

1) PCMプロセスと記憶: 会話参加者は、会話が進行する中で、話者あるいは聴者の役割を担う。話者は能動的に会話に関わり、聴者は受動的に会話に関わる。適時に話者交代が行われ、それぞれが、自身が他者に伝達したい事柄を、言語・非言語コミュニケーションにより伝達しようとする。話者と聴者が会話というフォーマットによりインタラクションを行う際には、双方から発せられる物理的・化学的な刺激に対して、双方の感覚器官が備えている感覚神経が反応し、生体内に環境情報が取り込まれる。脳は複数の感覚器官を通じて、現在の自己の活動に関する情報を取得し、現在の状況に適した身体の動きを生成する。

図1 ([20, Figure 1]を改変)は、MHP/RT [6][7]をもとにして、会話参加者が発する情報が感覚神経を介して生体内に取り込まれ、脳内での情報処理を経て、運動神経を介して会話の進行を形成するプロセスを示している。このプロセスには、多次元記憶フレームとしてモデル化される記憶と、知覚・認知・運動プロセス (PCMプロセス) が関わる。認知プロセスは無意識プロセスと意識プロセスを含む二重プロセスである。これは、「Two Minds」とも呼ばれ、システム1が無意識プロセスを、システム2が意識プロセスを実行するとされる[4][15]。多次元記憶フレームは、知覚-, 行動-, 運動-, 関係-, 言語多次元記憶フレームから構成されている。知覚多次元記憶フレームは行動-, 関係-, 言語多次元記憶フレームとオーバーラップしている。これにより、知覚- から

運動多次元記憶フレームに活性が伝播する。

感覚器を介して取り込まれた知覚情報は、共鳴 (P-共鳴; 図中、●—●で示している) を介して多次元記憶フレームとして構造化された記憶ネットワーク内の情報を活性化する。P-共鳴は、多次元記憶フレーム内の知覚多次元記憶フレームでまず起こり、記憶ネットワークが活性化される。そこから、活性は、知覚多次元記憶フレームとオーバーラップする記憶ネットワーク、行動-, 関係-, 言語多次元記憶フレームに伝播し、最終的に、運動多次元記憶フレームに到達する。

Two Mindsによる認知処理では、C-共鳴を介して言語・関係多次元記憶フレームを利用するシステム2による意識的処理と、C-共鳴を介して行動-・運動多次元記憶フレームを利用するシステム1による無意識的処理が相互に関連して進行する[20][23]。そして、認知処理の結果である運動多次元記憶フレームの活性状態を反映した運動系列が発現する。行動発現に関わった記憶は、その利用過程の痕跡を反映して更新され、将来の行動選択過程に影響を及ぼす。

2) 会話時のPCMプロセスと記憶: 図1を用いて、会話が行われる時のPCMプロセスと記憶内の活性伝播プロセスを説明する。会話参加者が話者・聴者のいずれの役割を演じている場合であっても、感覚器を介して脳内に取り込まれた情報により、P-共鳴を介して知覚多次元記憶フレームが活性化される。

活性は多次元記憶フレーム内を伝播し、次の二つの経路による処理が行われる。一つ目の経路は、図中、青色の矢印で示した経路である。この経路では、知覚多次元記憶フレームから言語-と関係多次元記憶フレームに伝播した情報とのC-共鳴を介したシステム2による意識的な情報処理が実行される。二つ目の経路は、図

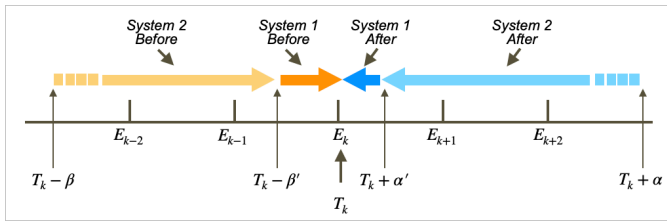


Figure 2. MHP/RTの4つの処理モード

中、黄色の矢印で示した経路である。この経路では、知覚-, 行動-, 運動多次元記憶フレームに沿って伝播した情報とのC-共鳴を介したシステム 1 による無意識的な情報処理が実行される。後者は、運動プロセスにつながり、運動多次元記憶フレームの活性状態を反映した身体行動が発現する。

話者・聴者は、会話時に、図 1 に示したPCMプロセスを多次元記憶フレームを利用して実行することにより、以下に示すタスクを実行する。

話者が実行するタスクは、以下の通りである。

- ▷ 発話：選択した内容に基づいて言葉を連続して発する。
- ▷ 調整：自身の発話に対する聴者の反応を見ながら、あるいは自身の発話を聞きながら、発話内容の調整を行う。

聴者が実行するタスクは、以下の通りである。

- ▷ 理解：相手の発話内容を理解する。ここでは、言語情報、非言語情報が利用される。
- ▷ 非言語反応：相手の発話を聞きながら、また、発話に伴う行動（非言語情報）を見ながら、ノンバーバルな無意識的な反応（視線、表情、ジェスチャ（頷き）、合の手、など）をする。
- ▷ 準備：相手の発話を聞きながら、話者交代後の発話内容を検討する。

### C. 4処理モードによる会話行動の特徴づけ

図1に見るように、PCMプロセスはサイクルになっている。話者が自身の発話を聞いて言い間違いに気づいてその発話を修正するとき、運動（発話）→知覚（聴取）→認知（言い間違い発見、修正方法決定）→運動（発話）→...とプロセスが繋がる。このように、PCMプロセスは切れ目のないサイクルとして実行されるが、意識的に認識されるイベントで切断することで、イベントの系列として捉えることができる。会話行動を考えると、代表的なイベントは話者交代である。あるいは、言い間違いに気づいた時のように、発話中に自身のそれまでの発話内容が意識化されることがある。これも会話時におけるイベントである。このようなイベントに焦点をあてることにより、切れ目のないPCMサイクルを以下に導入する4つの処理モードによって捉えることができる。

1) **MHP/RTの4処理モード**：個人の活動に伴う体験は、意識的に認識されるイベントの系列によって特徴づけられる。個々のイベントは、意識下で実行される思考の対象となる。時刻 $T_k$ に生じたイベントを $E(T_k)$ と表現する。個人の活動に伴う体験は、図2に示すように、

$$\dots \rightarrow E(T_{k-1}) \rightarrow E(T_k) \rightarrow E(T_{k+1}) \rightarrow \dots$$

というイベントの系列として定義できる。個々のイベントに対するシステム 1 とシステム 2 の関わり方を考慮すると、以下の4つの処理モードを定義できる。

時刻 $T_k$ に発生するイベントに着目する。時刻 $T_k$ に「発生すべきイベント $E(T_k)$ 」に対して、時刻 $T_k$ の前に $E(T_k)$ に関わるシステム 2 の意識的プロセスとシステム 1 の無意識的プロセスが存在する。また、時刻 $T_k$ で「実行されたイベント $E(T_k)$ 」に対して、時刻 $T_k$ の後に $E(T_k)$ に関わるシステム 1 の無意識的プロセスとシステム 2 の意識的プロセスが存在する。MHP/RTのシステム 1 とシステム 2 は、イベント $E(T_k)$ の前後で、このイベントを対象として以下の4つの処理モードのいずれかで動作する。

a) **イベント前( $T < T_k$ )**：時刻 $T_k$ で生起するイベント $E(T_k)$ は、時刻 $T_k$ よりも前の時刻 $t < T_k$ の間に多次元記憶フレームと知覚システム・認知システム（システム 1 とシステム 2）との間で生じたレゾナンスの結果を反映している。 $T_k$ 以前の時間帯におけるシステム 1 とシステム 2 の活動によって $E(T_k)$ は生起するが、処理活動の時間帯域が異なることにより、イベント前に以下に示す2つの処理モードが存在することになる（図2で時刻 $T_k$ 以前の部分に対応する）：

- ▷ [イベント前システム2モード]:  $T_k - \beta \leq t < T_k - \beta'$ の時間領域では、MHP/RTは将来起こるべきイベントについてプランを練る。時間に十分な余裕があるので、慎重に思考することができる。
- ▷ [イベント前システム1モード]:  $T_k - \beta' \leq t < T_k$ の時間領域では、直ちに起こるイベントをスムーズに生起させるための行動選択を行う。ここでは、システム 1 が主導するフィードフォワード処理により一連の行動選択が実行される。この間、システム 2 は適時に行動選択の結果を評価し、軌道から外れそうになっている、あるいは、外れてしまったと判断した場合には、軌道修正のための指示をシステム 1 に行う。

ここで、 $\beta > \beta'$ 、 $150\text{msec} < \beta' < T_k - T_{k-1}$ 、 $\beta$ は数秒から数時間、月単位の幅である。

b) **イベント後( $T > T_k$ )**：時刻 $T_k$ にイベント $E(T_k)$ が生起すると、その結果が記憶される。時刻 $T_k$ 以降の時間帯におけるシステム 1 とシステム 2 の活動によって $E(T_k)$ の結果を反映して既存の記憶は更新されるが、処理活動の時間帯域が異なることにより、イベント後に以下に示す2つの処理モードが存在することになる（図2の時刻 $T$ 以後の部分に対応する）：

- ▷ [イベント後システム1モード]:  $T_k < t \leq T_k + \alpha'$ の時間範囲では、将来、遭遇するかもしれない同じイベントに対してより良いパフォーマンスを発揮するために、入力された知覚情報と出力された運動内容の間の接続を調整する。この調整は無意識的に行われる。

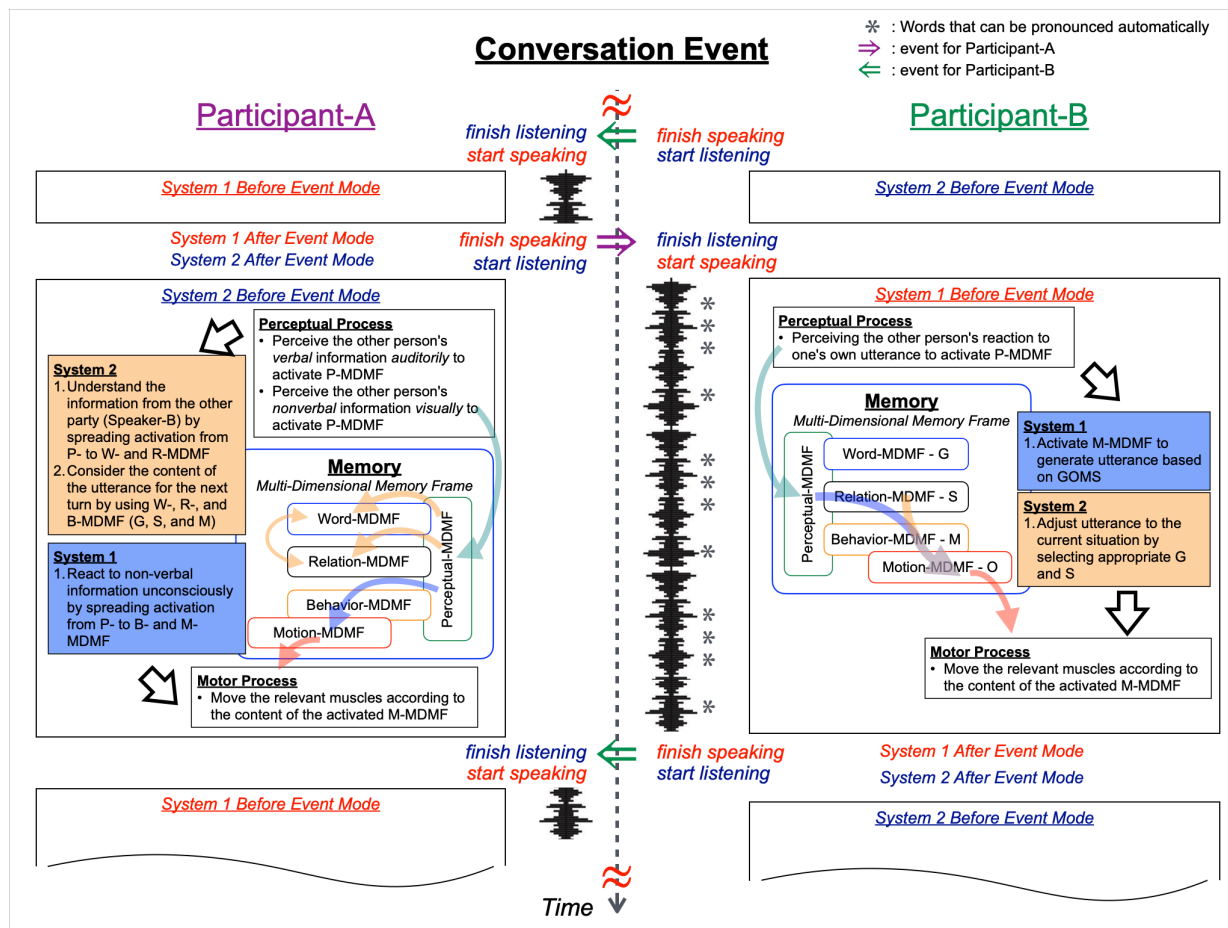


Figure 3. 会話における聴者・話者の基本PCMプロセスと記憶の利用

▷ [イベント後システム2モード]:  $T_k + \alpha' < t \leq T_k + \alpha$ の時間範囲では、生じたイベントを振り返り、反省する。その結果が記憶され、次に同様のイベントが起こる前の「イベント前システム2モード」で利用される。

ここで、 $\alpha > \alpha'$ 、 $\alpha'$ の最小値は $\sim 150\text{msec}$ 、 $\alpha$ は数秒から数時間、月単位の幅である。この2つのモードでは、 $T_k$ のイベントに対する行動選択の結果がそれぞれの多次元記憶フレームのネットワーク接続に反映される。

2) 会話行動のための基本PCMプロセス: 図3は、会話参加者Aと会話参加者Bが会話をしている時のPCMプロセスと記憶を示している。話者は発話、調整、聴者は理解、非言語反応、準備を、PCMプロセスを稼働させて実行する(第III-B2節を参照のこと)。

会話において、認知プロセスは、第III-C1節で説明した4つの処理モードで実行される。4つの処理モードは「イベント」が生じた時刻を用いて定義される。会話は話者交代を適時に行うことによって組織立てられて進行するので、本研究では、この図に示したように会話における基本イベントを「話者が発話を終了した時刻」としている。

図3の左側のボックス内に、会話参加者Aが、会話参加者Bの発話を聴取している時のプロセスを示す。図3の

右側のボックス内に、会話参加者Bが発話をしている時のプロセスを示す。これらのボックス内に記述されたプロセスを以下に説明する。

a) 聴取行動-発話理解: このプロセスは、図3の左のボックスのシステム2-1に説明されている。多次元記憶フレーム内の活性伝播の様子は緑と黄色の矢印で示されている。話者の発話(言語情報)を聴覚情報として取り込み、知覚多次元記憶フレームを活性化する。活性は言語-、関係多次元記憶フレームに伝播し、イベント前システム2モードで発話内容を理解する。理解した内容は、多次元記憶フレーム内の活性パターンとして表現される。

b) 聴取行動-発話準備: このプロセスは、図3の左のボックスのシステム2-2に説明されている。多次元記憶フレーム内の活性伝播は言語-と関係多次元記憶フレームの間で生じる。これは、これらをつなぐ黄色の矢印で示されている。発話準備は、以下に説明する知識を利用して、イベント前システム2モードにより実行される。

スムーズな会話は、ルーチン的な目標志向タスクとして実行される。そこで、本研究では、発話時に利用される知識を、ゴール、オペレータ、メソッド、選択規則から構成されるGOMSモデルによって表現する。

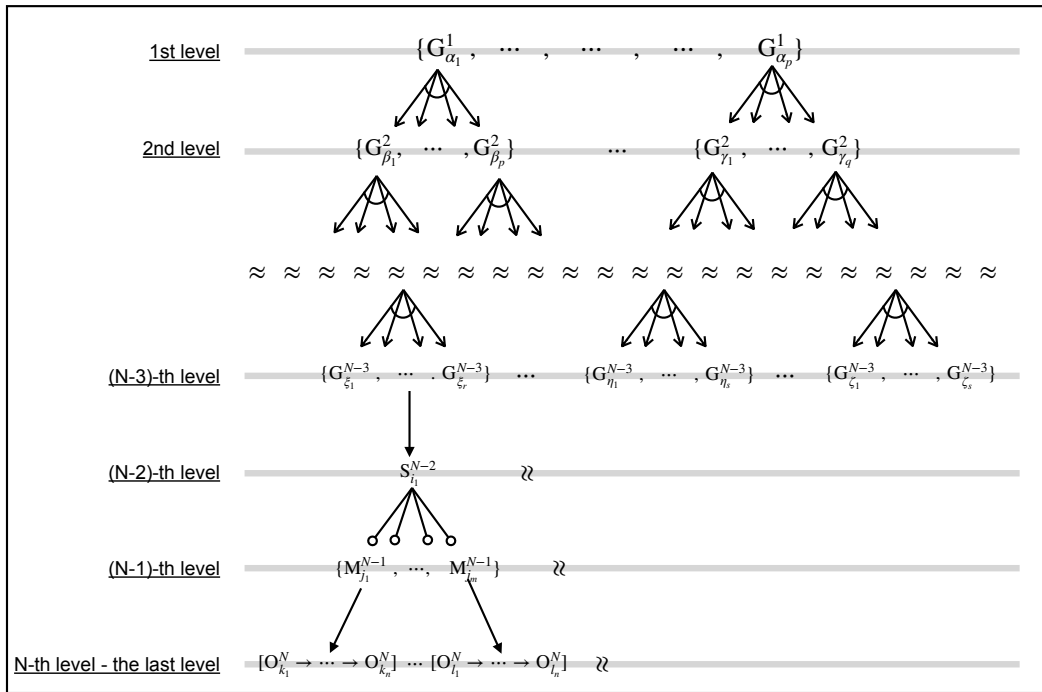


Figure 4. GOMS結合構造 [23, Figure 8]

図4は、G、O、M、Sの結合構造を示している。第1階層から第(N-3)階層までが目標構造，第(N-2)階層が選択規則，第(N-1)階層がメソッド，第N層がオペレータに対応する[19]。GOMSモデルでは，目標構造 G は言語多次元記憶フレームに格納され，状況に応じて適切なメソッドを選択するための規則である選択規則 S は関係多次元記憶フレームに格納され，システム 2 により意識的に操作される。オペレータ系列のポイントであるメソッド M は行動多次元記憶フレームに格納される。これらは，関係多次元記憶フレームとリンクしている。オペレータ O は運動多次元記憶フレームに格納され，メソッドで規定されるオペレータ系列が運動プロセスに渡され，行動が発現する[23]。

上述の一般的なGOMSモデルを会話行動に適用すると，以下ようになる。言語多次元記憶フレームには，話者交代後の発話で聴者に伝達したい情報（目標），行動多次元記憶フレームには，自動的・無意識的に生成される運動多次元記憶フレームに格納されていることばの系列として表現される発話内容（メソッド），関係多次元記憶フレームには，聴者の状況，自身の状況に応じて発話内容を適時に差し替えをするための候補選択ルール（選択規則）が表現されている[19][23]。

会話行動に利用されるGOMSモデルにおいて，発話準備III-C2bと関わる部分は，以下の通りである。発話理解（III-C2a参照のこと）により生成された多次元記憶フレームの活性パターン，および，非言語反応に関わっ

て活性化された多次元記憶フレームの活性パターンを，会話行動の進行に伴って活性化されている言語多次元記憶フレーム内の会話の目標構造Gと関係多次元記憶フレーム内の発話メソッド選択のための選択規則Sに反映させて，GOMS結合構造の活性状態を更新するとともに，話者交代後に実行する行動多次元記憶フレームに格納されている発話メソッド候補をスタンバイ状態にする。

c) 聴取行動-非言語反応: このプロセスは，図3の左のボックスのシステム 1-1に説明されている。多次元記憶フレーム内の活性伝播の様子は緑，青，赤の矢印で示されている。聴者は，話者が発話に伴って発する非言語情報（表情，視線，瞬き，頷き，タッチ，つぶやき，など）を五感を介して知覚情報として取り込み，知覚多次元記憶フレームを活性化する。同時に，知覚多次元記憶フレームは，イベント前システム2モードで実行されている発話理解，発話準備によって活性化されている言語-，関係多次元記憶フレームとオーバーラップしている。そのため，知覚多次元記憶フレームの活性化は，これらの二つの経路で生じる。聴者においては，知覚多次元記憶フレームから行動-，運動多次元記憶フレームへの活性伝播を反映した非言語行動をシステム 1 により発現する。

d) 発話行動-発話生成: このプロセスは，図3の右のボックスのシステム 1-1に説明されている。多次元記憶フレーム内の活性伝播の様子は黄色の矢印で示している。聴取中の発話準備によってスタンバイ状態になっ

ている行動多次元記憶フレーム内の発話メソッド候補に対して選択規則を適用してその時の状況に適合する一つを選択し、運動多次元記憶フレームに活性を伝播させる。そして、活性パターンに従って、運動プロセスを動かし、発話を行う（赤色の矢印）。このプロセスは、イベント前システム1モードにより実行される。発話の終了により発話はイベントとして意識化され、発話終了後にイベント後システム1モード、イベント後システム2モードが実行される。イベント後システム2モードでは、完了した目標の脱活性化が行われ、次の処理である聴者としてのイベント前システム2モードに移る。

e) 発話行動-発話内容の調整: このプロセスは、図3の右のボックスのシステム2-1に説明されている。多次元記憶フレーム内の活性伝播の様子は緑と青色の矢印で示している。自身の発話内容は聴覚的に入力され知覚多次元記憶フレームを活性化する。また、聴者の非言語反応も五感を介して知覚され知覚多次元記憶フレームを活性化する。そこから言語-, 関係-, 行動多次元記憶フレームに活性が伝播する。

自身の発話は、発話時の多次元記憶フレーム内の目標構造の活性パターンを反映して生成されている。自身の発話、聴者の非言語反応に端を発する多次元記憶フレーム内の活性パターンは、C-共鳴を介したシステム2により適時に処理され、発話準備の際に活性化されていた多次元記憶フレーム内の目標構造の活性パターンと齟齬がないかどうかチェックされる。齟齬が検知された場合には、発話に伴って逐次更新されている目標構造の活性パターンを用いて目標・メソッドの再選択をイベント前システム2モードにより行い、発話をイベント前システム1モードにより継続する（赤色の矢印）。

#### IV. 考察

##### A. 話者交代を伴う会話のMHP/RTの4プロセスモードに基づく分析

第III-C2節では、一つの発話イベントに焦点を当てて、聴者と話者のPCMプロセスと記憶の基本プロセスについて図3を使って説明した。実際の会話は、この基本プロセスを繋ぎ合わせたものになっている。図3で示した基本プロセスにおける会話参加者Bの発話終了イベントを $E_N$ とする。そして、 $E_N$ とそこに至るまでに生じたイベントとの関係を見ていく。

1) 円滑（シームレス）会話モード: 円滑会話モードでは、意識化可能なイベントは発話の終了のみである。図5は、会話が進行する様子をMHP/RTの4処理モードに焦点を当てて示している。左側に示した会話参加者Aの $\Rightarrow$ で示した発話終了イベントを $E_{N-3}, E_{N-1}$ 、右側に示した会話参加者Bの $\Leftarrow$ で示した発話終了イベントを $E_{N-2}, E_N$ の記号で示している。発話はイベント前システム1モードで実行され、発話中はシステム2による監視の結果による発話の軌道修正は行われない。

発話終了イベント $E_i$ に関わる処理モードを以下のように書くことにする。

- $S_2^B(E_i)$ : イベント前システム2モード
- $S_1^B(E_i)$ : イベント前システム1モード
- $S_1^A(E_i)$ : イベント後システム1モード
- $S_2^A(E_i)$ : イベント後システム2モード

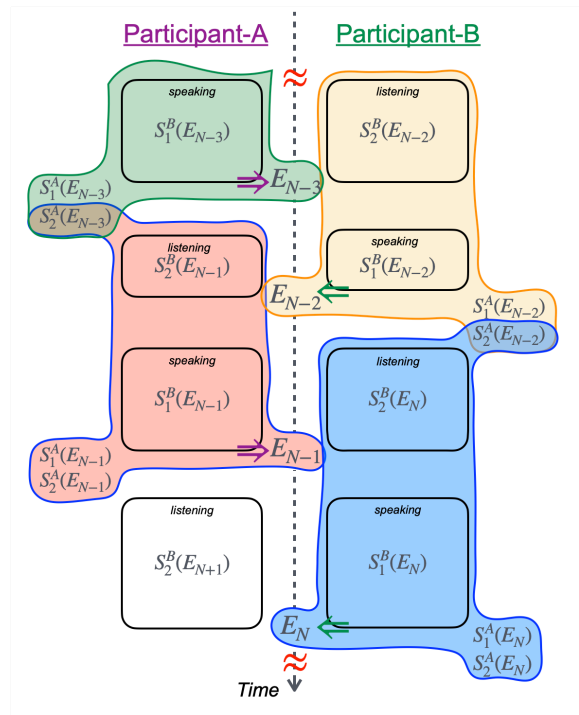


Figure 5. 話者交代による会話の進行とMHP/RTの4処理モード

図2に示したパラメータ $\beta$ は、 $S_2^B(E_i)$ の開始時刻に対応し、 $\beta \approx T_i - T_{i-2}$ 、 $\beta'$ は $S_1^B(E_i)$ の開始時刻に対応し、 $\beta' \approx T_i - T_{i-1}$ である。

図5において、会話参加者Bの発話終了イベント $E_N$ に直接的に関わる部分は、背景を青色で影をつけて示している。生起することを起こる順序に従って整理すると、以下ようになる。

- 1) 会話参加者Aの発話 $S_1^B(E_{N-1})$ を聴きながら自身の発話準備を $S_2^B(E_N)$ により、実行する。
- 2) 会話参加者Aの発話終了イベント $E_{N-1}$ が生起する。
- 3)  $S_1^B(E_N)$ により、自身の発話を実行する。
- 4) 自身の発話終了し、発話終了イベント $E_N$ が生起する。
- 5)  $S_1^A(E_N)$ により、無意識的に多次元記憶フレームのノードの結合状態が調整される。
- 6)  $S_2^A(E_N)$ により、意識的に発話イベントを振り返る。これにより、多次元記憶フレーム内の活性パターンの変更が引き起こされる。

項目1)において、発話準備が相手の発話のもとで行われることを、以下のように表記する。

$$S_1^B(E_{N-1}) \leftrightarrow S_2^B(E_N)$$

発話準備においては多次元記憶フレームが利用されるが、そこには、前回の自身の発話終了イベント $E_{N-2}$ に関する $S_2^A(E_{N-2})$ による意識的な振り返りの結果が反映されている。発話準備時に利用される会話参加者Bの多次元記憶フレームには、この時点までの会話参加者Aとの会話の経験 $E_{N-4}, E_{N-6}, \dots$ が反映されている。このことを、次のように表記する。

$$\dots, S_2^A(E_{N-4}), S_2^A(E_{N-2}) \mapsto S_2^B(E_N)$$

準備した結果に従って発話することを、以下のように表記する。

$$S_2^B(E_N) \mapsto S_1^B(E_N)$$

以上をまとめると、会話参加者Bが発話 $S_1^B(E_N)$ を終了するイベント $E_N$ に関わる会話参加者Aと会話参加者Bの4処理モードの関わりは以下ようになる。

$$\begin{aligned} \text{Participant}_A: S_1^B(E_{N-1}) &\leftrightarrow & (1) \\ \text{Participant}_B: S_2^A(E_{N-2}) &\mapsto S_2^B(E_N) \mapsto S_1^B(E_N) \end{aligned}$$

一つ前のイベント、会話参加者Aが発話 $S_1^B(E_{N-1})$ を終了するイベント $E_{N-1}$ 、に関わる会話参加者Aと会話参加者Bの4プロセスの関わりは以下ようになる。

$$\begin{aligned} \text{Participant}_A: S_2^A(E_{N-3}) &\mapsto S_2^B(E_{N-1}) \mapsto S_1^B(E_{N-1}) \\ \text{Participant}_B: S_1^B(E_{N-2}) &\leftrightarrow & (2) \end{aligned}$$

円滑会話モードでは、式(2)が式(1)に接続して、 $E_N$ が生じる。同様の関係が、過去に遡って成立している。このようにして、話者の発話内容は、自身のそれまでの発話と、他者の発話の影響を受けていることがわかる。

2) 断続会話モード: 発話がイベント前システム1モードで実行されている時、システム2は発話内容を適時に監視し、メソッドが適切に実行されていることを確認する。問題がなければ、システム1による処理が継続する。このとき、会話は円滑会話モードで進行する。一方、発話が適切に実行されていないと判断された場合には、メソッドの再選択、必要であれば、目標の再設定が実行される。イベント前システム1モードによる発話に、システム2が割り込み、イベント後システム1モード、イベント後システム2モードでの認知処理に続けて、次の発話がイベント前システム2モードで実行される。この状況は、話者が話している間に、話者交代を伴わないイベントが発生していると思えることができる。そこで、このように会話が進行するときの会話モードを、断続会話モードと呼ぶ。

図3を使って説明すると、会話参加者Bは話者交代イベント $E_{N-1}$ の後に発話行動を $S_1^B(E_N)$ で始めるが、次の話者交代イベント $E_N$ にいたる過程で、システム2による割り込みが発生し、その時の状況がイベント化し意識化される。ここでは、「調整」(第III-C2e節を参照のこと)が実行される。その割り込みイベントの振り返りがイベント後システム2モードにより行われ、事前に準備されていた行動(第III-C2b節を参照のこと)は、その時の多次元記憶フレームの活性状態を反映した行動に変更される。発話目標の変更を伴うが、それは、言語-、関係多次元記憶フレームのレベルに展開されている目標構造を参照して実行される。

図3に示した会話参加者Bが発話を終了して会話参加者Aに発話行動が移行するイベント $E_N$ に至る過程で生

じた*i*回目の割り込みイベントを $E_{N,i}$ と表記する。 $E_N$ に至るまでに、以下のことが起こっていることになる。

Participant<sub>B</sub>:

$$\begin{aligned} S_2^B(E_{N,1}) &\rightarrow S_1^B(E_{N,1}) \rightarrow E_{N,1} \\ &\rightarrow S_1^A(E_{N,1}) \rightarrow S_2^A(E_{N,1}) \rightarrow \\ &: \\ S_2^B(E_{N,i}) &\rightarrow S_1^B(E_{N,i}) \rightarrow E_{N,i} \\ &\rightarrow S_1^A(E_{N,i}) \rightarrow S_2^A(E_{N,i}) \rightarrow \\ \dots &\rightarrow \dots \rightarrow \\ \dots &\rightarrow E_N \end{aligned}$$

会話参加者Bが断続会話モードで発話している時、会話参加者Bの発話目標の変更は、聴者である会話参加者Aが、 $S_2^B(E_{N+1})$ で実行する会話参加者Bの発話内容についての発話理解を一貫して実行することを阻害する。なぜならば、会話参加者Bが $S_2^B(E_N)$ で活性化した目標構造が、発話開始時のもの、それは、会話参加者Aが発話理解を行いながら $S_2^B(E_{N-1})$ で活性化した多次元記憶フレームにスムーズに接続しているが、発話の進行に伴ってそれが更新されてしまい、会話参加者Aもそれに追従しなければならないからである。

## B. 会話における同期

1) 会話行動の会話参加者間での同期: イベント $E_N$ における会話参加者Bの発話内容は $S_2^B(E_N)$ において活性化されている会話参加者Bの多次元記憶フレームの内容を反映している。これには、イベント $E_{N-1}$ における会話参加者Aの発話と、自身(会話参加者B)のイベント $E_{N-2}$ における発話の結果の評価が含まれている。会話参加者Aの発話の内容は、 $S_2^B(E_{N-1})$ において活性化されている会話参加者Aの多次元記憶フレームの内容を反映している。

このように、それぞれの話者が備える多次元記憶フレームは、相手の発話内容と自身の発話の結果の評価を含めて、会話が進む中で活性化される領域が移り変わっていく。

発話行動は、図4に示した階層的に構造化された知識ネットワークを利用して生起する。このことを踏まえると、表面的には、会話がシステム2が介入することなく話者それぞれのイベント前システム1モードによる処理により交互に進行するという、スムーズな会話が進行するための必要条件は、次のようになる。

$S_2^B(E_{i-1})$ による多次元記憶フレームの活性パターン $\sim S_2^B(E_i)$ による多次元記憶フレームの活性パターン

これは、自身の発話に関わるイベント $E_i$ を生起させる自身の多次元記憶フレームの活性パターンが、他者の発話に関わるイベント $E_{i-1}$ を生起させる他者の多次元記憶フレームの活性パターンと大きくオーバーラップしているということである。この条件が満たされた時、会話行動が会話参加者間で同期して進行している、と言い換えることができるだろう。

2) VRシステムとの同期: 人間同士の話者交代を含む会話の同期は、ユーザがVRシステムとインタラクトしている時の同期とは様相が異なっている。Dinetら[10]はマルチモーダルシステムとユーザが没入感を伴ってインタラクトする条件として、ユーザ・システム間で弱同期が取れていることを挙げている。弱同期は、ユーザがシステムを利用するインタラクションイベント $E_N$ に関して、 $S_2^B(E_N)$ ,  $S_1^B(E_N)$ ,  $S_1^A(E_N)$ ,  $S_2^A(E_N)$ での認知処理を踏まえて $T_N$ でのインタラクションの具体的な内容を設計することで達成される。そのためには、 $[T_N - \beta, T_N + \alpha]$ の期間における多次元記憶フレーム内の活性伝播、多次元記憶フレームの更新を適切に推定することが必要である。

### C. 発話行動とGOMS

本節では、発話行動にどのようにGOMSの各要素が関わっているのかを調べる。そして、システム1とシステム2が偏りなく適度な割合で会話行動に関わることが、現実世界で実行される会話行動を理解する上で重要であることを示す。

1) ゴールとメソッドのバランス: 日常的に繰り返される行動を対象とした時、行動は、図4に示したGOMS結合構造に基づいて、発現する。図4に示した個々の $G, O, M, S$ は、環境情報とのP-共鳴により活性化されている知覚多次元記憶フレームを継続的に参照することなく、適切な行動を選択し実行するのに必要な知識要素に対応する多次元記憶フレーム内のノードである。また、行動の選択と実行は、時々刻々と状況が変化する環境と同期をとりながら、行われる必要がある。それゆえに、その総数には上限が存在すると仮定できるだろう。そこで、ゴールの総数を $\hat{G}$ 、メソッドの総数を $\hat{M}$ 、選択規則の総数を $\hat{S}$ 、オペレータの総数を $\hat{O}$ 、階層の深さの平均を $\bar{N}$ 、ノード数の上限を $\hat{C}$ (定数)と表記する。

GOMS結合構造の特徴として、まず、脳の処理能力に限界があることから、イベント後システム2モード、あるいは、イベント後システム1モードのいずれかが優位になるということが挙げられる[9][23]。優位性の程度により、以下の4つの場合が想定できる。

- 場合1: イベント後システム1モードが優位な場合は、 $\hat{M} \gg \hat{G}$ となる。
- 場合2: イベント後システム2モードが優位な場合は、 $\hat{G} \gg \hat{M}$ となる。
- 場合3: ほぼイベント後システム1モードのみの場合は、 $\hat{M} \gg \hat{G} \sim 0$ となる。
- 場合4: ほぼイベント後システム2モードのみの場合は、 $\hat{G} \gg \hat{M} \sim 0$ となる。

2) 行動言語学による会話行動の理解: 個々人が生活する際に直接関わるコミュニティ、間接的に関わる社会の範囲に依存して、「イベント後システム1モード優位/イベント後システム2モード優位」のバランスは変化する。

場合1は、一人の発話時間が長い円滑会話モードに相当する。このモードの成立要件は、会話参加者間でメソッド群が共有されていることである。このような行動生態においては、遭遇する状況に特化したメソッド群

を有していることで十分に問題のない生活を送ることができる。そのため、 $\hat{M} \gg \hat{G}$ となる。認知要素であるメソッドは無意識に実行されるので、システム1による行動が主体となる。場合2は、一人の発話時間が短く、互いに理解しながら会話を継続するには、頻繁に話者交代を行う必要がある。集団が、直接的コミュニティと間接的社会から構成される場合 and/or コミュニケーションが構造言語で行われる場合は、イベント後システム2モード優位な行動生態となり、 $\hat{G} \gg \hat{M}$ となる。会話においては、言語-, 関係多次元記憶フレームに格納されている知識を使った推論が重要な位置を占めることになる。さまざまに変化する状況への柔軟な対応は、ゴール構造を利用した入念なイベント前システム2モードにリソースを割くことにより、可能となる。

場合1と場合2は、図3で示した現実場面での会話行動に対応している。場合1と場合2に関する上記のような理解は、行動経済学の中心的概念であるシステム1とシステム2からなるdual-processの会話行動への関わり方を詳細に組み入れたことにより、可能となった。したがって、本研究で示した言語行動を理解するためのアプローチは、行動言語学と呼ぶことができるだろう。

場合3と4は、本研究で提唱している会話行動に対する理解とは異なる理解の仕方に対応する。場合3は、目標が極めて限定的となる場合(単に、会話を維持する、というような、目標)である。これは、相手の発話に回答できる発話をするというような、認知処理を行わなくても実行できる刺激・応答反応に帰着する。これは、スキナーの行動心理学による言語行動の理解に通じる。場合4は、メソッドが極めて限定的となる場合である。目標により発話の詳細までが決定されることになる。発話される単語列を定めるメソッドにつながるオペレータの系列長は短い。そのため、大量の目標とそれらの結合により、発話が可能となる。目標は符号であり、符号の操作により言語行動が生じると説明するチョムスキー流の言語行動の理解の仕方に通じる。

### V. おわりに

本論文は、日常会話における言語のリアルタイム生成を説明するための行動言語学理論を提案している。このアプローチは、実時間制約下のモデルヒューマンプロセッサ(MHP/RT)[6][7]と認知の二重過程理論(無意識のシステム1と意識のシステム2)に基づいている[4][8][15]。本分析は、流暢な会話を話者と聞き手の間で交互に繰り返されるPCMサイクルとしてモデル化し、発話の理解・準備・生成において記憶(多次元記憶フレーム)とGOMSモデルがどのように詳細に活用されるかを記述している。本研究は流動的会話モードと間欠的会話モードを区別し、行動心理学と行動経済学を統合したこのアプローチが、スキナーやチョムスキーのみに基づくモデルよりも豊かな枠組みを提供すると結論づけている。

理論的な観点から、本論文は、静的な文法モデルや言語行為の純粹に連想的な説明では、リアルタイムの言語的行為を完全に捉えることはできないと論じている。代わりに、言語選択が瞬間ごとの認知的制約、環境の手がかり、相互作用上の要求からいかにして生じるかを説

明する動的な枠組みが必要である。言語生成をPCMサイクルに位置づけることで、この理論は発話が記憶から丸ごと取り出される事前構築された実体ではなく、知覚・解釈・計画・発声の迅速な反復を通じて段階的に組み立てられるものであることを強調する。

さらに、提案されたモデルは会話における予測と予見の役割を強調している。話者と聞き手は互いの意図を絶えず予測し、発言順序の合図に適応し、認知負荷や状況的インセンティブに基づいて言語表現を調整する。この予測ループは、言語能力だけでなく、行動経済学の中核テーマであるヒューリスティック、バイアス、費用便益評価によっても形作られる。その結果、言語使用は限定的に合理的な活動として描かれ、理想化された文法規則ではなく、リアルタイム処理の制約下で最適化される。

最後に、本論文では、認知アーキテクチャに基づく行動言語理論が会話能力についてより包括的な説明を提供すると提案する。心理言語学、認知心理学、行動科学の間の隔たりを埋めることで、人間が日常的な相互作用において言語を理解し生成する仕組みについて統一的な説明を提供する。言語に限られた注意と作業記憶を用いて瞬間ごとに構築されていることを理解すると、誤解が生じる理由をより深く認識できるようになる。これにより、会話において人々がより明確に話し、より積極的に聞き、発言の順番をより円滑に管理できるようになる。

応用的な観点から見ると、私たちの日常生活においていくつかの示唆が得られる。これらを具現化するための研究を、今後、行なっていくことが必要である：

- (a) 学習と教授法の改善。言語がリアルタイムで処理される仕組みを説明する理論は、言語教育の改善につながる。教師は、脳が言語を自然に整理し取り出す方法に合致した演習を設計でき、学習をより直感的で効率的なものにできる。
- (b) コミュニケーションストレスの軽減。ためらいや間、あるいは「えーと」といった言葉が、認知処理の自然な結果であり、能力不足の兆候ではないと理解することで、話す際の不安を軽減できる。これは特に、人前で話すこと、第二言語の使用、または社会不安に対して効果的である。
- (c) 人間とコンピュータのより良い相互作用。時間的制約下で人間が言語を生成する仕組みを理解すれば、より自然な対話が可能な音声アシスタント、チャットボット、AIシステムを設計できる。この理論は、システムが人間のペース、予測パターン、会話のリズムに適応することを導くことができる。
- (d) より効果的なチームワークと意思決定。職場におけるコミュニケーションの失敗は、往々にして認知の失敗である。システム1とシステム2が私たちの発言に与える影響を理解することは、人々がバイアスに気づき、性急な判断を避け、会議や交渉においてより思慮深くコミュニケーションを取るのに役立つ。
- (e) 治療とメンタルヘルスに関する知見。言語障害は、しばしば認知的負荷、ストレス、または感情的圧力を反映している。リアルタイム言語の行動モデ

ルは、心理学者たちが不安、ADHD、トラウマがコミュニケーションに与える影響をより深く理解するのに役立ち、人々がこれらの影響に対処する手助けとなる。

- (f) 紛争予防と円滑な社会的相互作用。人々がしばしば迅速で自動的な処理（システム1）を用いて話すことを認識することで、他者の些細な誤りや感情的な反応に対してより寛容になれる。忍耐を促し、実際の会話がどのように機能するかについて、より思いやりのある理解をもたらす。

#### ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by JSPS KAKENHI (Grant Numbers 19K12246 / 20H04290 / 22K12284 / 23K11334) and the National University Management Reform Promotion Project.

#### REFERENCES

- [1] B. F. Skinner, *Verbal Behavior*. Appleton-Century-Crofts., 1957.
- [2] P. N. Chase, D. W. Ellenwood, and G. Madden, "A Behavior Analytic Analogue of Learning to Use Synonyms, Syntax, and Parts of Speech", *The Analysis of Verbal Behavior*, vol. 24, no. 1, pp. 31–54, 2008. DOI: 10.1007/BF03393055[retrieved: February,2026].
- [3] H. A. Simon, "Rational choice and the structure of the environment", *Psychological Review*, vol. 63, pp. 129–138, 1956.
- [4] D. Kahneman, "A perspective on judgment and choice", *American Psychologist*, vol. 58, no. 9, pp. 697–720, 2003.
- [8] J. S. B. T. Evans, "Dual-processing accounts of reasoning, judgment, and social cognition", *Annual Review of Psychology*, vol. 59, no. Volume 59, 2008, pp. 255–278, 2008, ISSN: 1545-2085. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.59.103006.093629>[retrieved:February,2026].
- [5] M. Kitajima and M. Toyota, "Simulating navigation behaviour based on the architecture model Model Human Processor with Real-Time Constraints (MHP/RT)", *Behaviour & Information Technology*, vol. 31, no. 1, pp. 41–58, 2012. DOI: 10.1080/0144929X.2011.602427[retrieved:February,2026].
- [6] M. Kitajima and M. Toyota, "Decision-making and action selection in Two Minds: An analysis based on Model Human Processor with Realtime Constraints (MHP/RT)", *Biologically Inspired Cognitive Architectures*, vol. 5, pp. 82–93, 2013, ISSN: 2212-683X. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bica.2013.05.003>[retrieved:February,2026].
- [7] M. Kitajima, *Memory and Action Selection in Human-Machine Interaction*. Wiley-ISTE, 2016, ISBN: 9781848219274.
- [9] M. Kitajima, M. Toyota, J. Dinet, and K. T. Nakahira, "Transforming Conscious Goals into Unconscious Actions in Real-world Interactions: Real-world Use of Behavioral Ecological Memes via GOMS", *International Journal On Advances in Intelligent Systems*, vol. 18, no. 3 & 4, pp. 173–186, 2025.
- [10] J. Dinet and M. Kitajima, "Immersive interfaces for engagement and learning: Cognitive implications", in *Proceedings of the 2015 Virtual Reality International Conference*, ser. VRIC '18, Laval, France: ACM, 2018, 18/04:1–18/04:8, ISBN: 978-1-4503-3313-9. DOI: 10.1145/3234253.3234301[retrieved:February, 2026].
- [11] N. Chomsky, *Language*, vol. 35, no. 1, pp. 26–58, 1959.

- [12] Y. Barnes-Holmes, S. C. Hayes, D. Barnes-Holmes, and B. Roche, "Relational frame theory: A post-skinnerian account of human language and cognition", in *Advances in Child Development and Behavior*, ser. Advances in Child Development and Behavior, H. W. Reese and R. Kail, Eds., vol. 28, JAI, 2002, pp. 101–138. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-2407\(02\)80063-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2407(02)80063-5)[retrieved:February,2026].
- [13] H. Simon, "A Behavioral Model of Rational Choice", *The Quarterly Journal of Economics*, vol. 69, no. 1, pp. 99–118, 1955.
- [14] H. A. Simon, *Models of man; social and rational*. Oxford, England: Wiley, 1957.
- [15] D. Kahneman, *Thinking, Fast and Slow*. New York, NY: Farrar, Straus and Giroux, 2011.
- [16] K. E. Stanovich and R. F. West, "Individual differences in reasoning: Implications for the rationality debate?", *Behavioral and Brain Sciences*, vol. 23, no. 5, pp. 645–665, 2000. DOI: [10.1017/s0140525x00003435](https://doi.org/10.1017/s0140525x00003435)[retrieved:February,2026].
- [17] S. C. Levinson and F. Torreira, "Timing in turn-taking and its implications for processing models of language", *Frontiers in Psychology*, vol. Volume 6 - 2015, 2015, ISSN: 1664-1078. DOI: [10.3389/fpsyg.2015.00731](https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00731)[retrieved:February,2026].
- [18] H. Sacks, E. A. Schegloff, and G. Jefferson, "A simplest systematics for the organization of turn-taking for conversation", in 4, vol. 50, Linguistic Society of America, 1974, pp. 696–735.
- [19] S. K. Card, T. P. Moran, and A. Newell, *The Psychology of Human-Computer Interaction*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1983.
- [21] M. Kitajima, M. Toyota, and K. T. Nakahira, "Addressing the Symbol Grounding Problem in VR", in *AIVR 2025 : The Second International Conference on Artificial Intelligence and Immersive Virtual Reality*, 2025, pp. 56–62.
- [22] M. Kitajima, M. Toyota, and K. T. Nakahira, "Why the Symbol Grounding Problem Matters in Virtual Reality: A Meme-Focused Solution Based on the Model Human Processor with Real-Time Constraints", *International Journal On Advances in Intelligent Systems*, vol. 18, no. 3 & 4, pp. 162–172, 2025.
- [20] M. Kitajima et al., "Basic Senses and Their Implications for Immersive Virtual Reality Design", in *AIVR 2024 : The First International Conference on Artificial Intelligence and Immersive Virtual Reality*, 2024, pp. 31–38.
- [23] M. Kitajima, M. Toyota, J. Dinet, and K. T. Nakahira, "Implementation of Structured Memes into Behavioral Ecology via GOMS", in *COGNITIVE 2025 : The Seventeenth International Conference on Advanced Cognitive Technologies and Applications*, 2025, pp. 6–16.