

構造化ミームの GOMS を介した行動生態実装

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— 我々の日常的な行動は、目指す状態を実現するために実行される。自身の置かれた状況を知覚し、目指す状態を達成するための行動を意識的・無意識的に選択し、行為系列として実行する。この際に利用される記憶は、世代を超えて継承されているミームを脳内に表現したものである。ミームは (1) 運動レベル, (2) 行動レベル, (3) 文化レベルの 3 レベルに構造化され、模倣行動を介して、個々人が脳内に獲得する。年齢を重ねるに従って、高いレベルのミームが獲得される。本研究では、知覚・認知 (Two Minds)・運動 (PCM) のプロセス、および、PCM プロセスによる行動選択時に利用され、行動実行後に更新される記憶システムを含む、認知アーキテクチャである実時間制約下のモデル・ヒューマン・プロセッサ (MHP/RT) に基づいて、無意識・意識プロセスから成る認知プロセスが、3 層に構造化されたミームを利用する仕組み (MHP/RT では、C-共鳴と呼ばれる) を検討する。目標状態を目指す繰り返し行動の結果として構築される知識は、ゴール、オペレータ、メソッド、選択規則 (GOMS) を要素とする GOMS 階層構造で表現されることが知られている。本研究では GOMS が、異なるレベルに属するミームを束ねて、意識レベルのゴール・選択規則を、無意識レベルのメソッド・オペレータと結合させ、効果的・効率的なゴール指向の行動実行を実現させていることを示す。表出される行動は、ミームにより表現される行動生態であるセマンティックスに、GOMS により表現されるシンタックスをクロスさせた結果として見なすことができ、無意識優位の行動生態と、意識優位の行動生態により、異なった特徴が現れることを示す。

Keywords— GOMS; 行動生態; ミーム; 共鳴

I. はじめに

人間は、人間は、環境と相互作用しながら生きていく中で、図??に示したループに沿って知覚・認知・運動プロセスを動かすことによって、行動を選択・実行し、実行結果を蓄積することによって発達する (図??)。行動選択の基本は、模倣である。模倣されるもの (対象・イベント) は、世代を超えて模倣されることを繰り返し、ミームとして存在し、個々人の記憶に実現されることになる。

A. Dawkins [1] により提唱されたミーム

人間が生み出す文化・文明が世代を超えて継承される仕組みも曖昧であった。Dawkins は、文化人類学の立場から、それまでの文化伝承の仕組みの調査を整理した。その結果、文化の継承という事象は、単なる人間側の記憶能力からだ

けでは説明がつかないことから、文化の側にも遺伝子のような情報を伝える存在が仮想されると主張した。そして、その漠然とした仮想的存在をミーム (meme) と呼ぶことを提唱した [1]。この考え方自体は、多くの賛同を得たが、その仕組みが解明されることなく時は過ぎていった [2]。

Dawkins がミームを提唱した頃には、遺伝子の内容がまだ解明されていなかった。そのため、Dawkins の説明なども遺伝子に対する誤解から多くの問題点を内在していた。確かに、遺伝子は複製子ではあった。しかし、従来考えられていたような完成品の設計図 (この誤解から Dawkins は還元主義のようにいわれた) を複製するという役割を果たすのではなく、機能的な基本構造とその関係性を築く成長の過程を描くという役割を果たすものであった。遺伝子がそういう役割を果たすものであったおかげで、人間は、高い適応性を確保できているのであった。

B. PCM プロセスとの関連性からミームを再定義する

Dawkins の提唱したミームを、行動を選択し実行するプロセスのなかで活性化する個々人が備えている記憶 (個人生態ミームと呼ぶことができる) が文化を担う集団生態のなかに写像したものを見なすことによって、定義し直すことができる。ミームは、時々刻々と変化する環境に置かれた人間が、それぞれの状況下で効果的な行動を発現することを可能にするイベント間の関係を、世代を超えて有効な汎用な形で保持する [3]。具体的には、現実には生じたイベントを特徴づける空間座標や絶対時間は保持されず、それらは、ミームの表現に沿って行動を発現する際に、環境の状態に合わせて動的に決定される。実環境での行動選択・実行プロセスの概略を模式的に図 1 に示した。実環境において、人間は実環境の状態を五感の並列処理を介して知覚し、個々に知覚したものを結合 (バインディング) することで統合する (知覚プロセス; P)。その結果、関わりのあるミームが並列に活性化されるが、それらを実行環境の中で具体的な行動として実行可能なオペレータの系列として統合する (認知プロセス; C)。オペレータは無意識下で環境の変化に歩調を合わせ、同期をとりながらフィードフォ

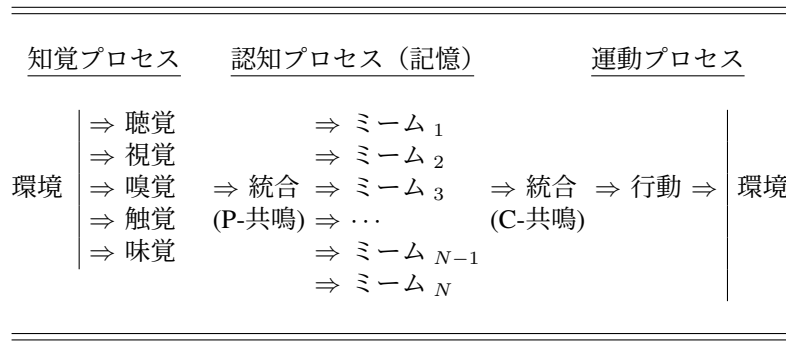


Figure 1. PCM プロセスとミーム

ワード処理により実行される（運動プロセス；M）。これらを合わせて PCM プロセスという。

C. 問題提起

“PCM プロセス”は環境と同期して動く。一方で、PCM プロセスで利用される“記憶システム”は、PCM プロセスの結果を反映して環境とは非同期的に更新する。個々人は、PCM プロセスと記憶システムに支えられて、時々刻々と変化する環境の中で行動選択を破綻することなく繰り返す。ここで、行動発現に必須である、環境と同期して動く PCM プロセスと、環境との同期が必要とはされないが PCM プロセスと接続される記憶システムの間がどのようにインタフェースされているのかを明らかにすることは、重要である。知覚されたことの記憶への接続は、P-共鳴として説明された [4]。ミームを要素として構造化された記憶内では、統合された知覚情報を活性源として活性が並列的に伝播する。活性化された記憶を現実世界で実行される行動に接続するということは、活性化された記憶を統合することによって現実世界で有効化することと、言い換えることができる。図 1 では、C-共鳴として示されている。これは、どのように行われるのであろうか。

生命の起源・進化を紐解いてみると、そこに解のヒントがある。生命は太陽系の惑星で自転・公転を行う地球を特徴づける大気・海洋・エネルギー循環・重力が形作る構造の下で形成され、生命の進化の方向は、これらの構造による圧力によって決定される。散逸的な構造空間下（つまり、地球）では、基本的な構造的圧力が生命の前提条件であり、生命進化の方向を規定する。生命は、環境の中で最も効率的に働く機能的・構造的特徴を備えた適応体として形成される。それは、目標 (Goals)、オペレータ (Operators)、メソッド (Methods)、選択規則 (Selection rules) (GOMS) の 4 つの要素で最もよく捉えられる [5]。本研究では、並列的に活性化されたミームを現実世界において有効な行動として統合する C-共鳴が、GOMS の考え方により説明できることを示す。

D. 本論文の構成

本論文は、次のように構成されている。第 II 章では、PCM プロセスとミームについて、我々の先行研究を参照しながら説明する。第 III 章では、Card, Moran, Newell が “The Psychology of Human-Computer Interaction” と題した著書の

中で示した GOMS 理論について説明し、C 共鳴の仕組みについて述べる。第 IV 章では、構造化されたミームの内容と GOMS による C 共鳴の相互作用により現れる行動生態の特徴を議論する。第 V 章では、本研究をまとめるとともに、デジタル世代における意味合いについて述べる。

II. PCM プロセスとミーム

本章では、図 1 に概略を示した知覚・認知・運動プロセス、記憶、ミームの詳細を、我々が開発した認知アーキテクチャ「Model Human Processor with Realtime Constraints (MHP/RT)」[6][7] に基づいて説明する。

A. 知覚・認知・運動プロセス、ならびに、PCM プロセスと記憶を結ぶ共鳴

環境とのインタラクションを行う際に、人間は、外部環境・体内環境から発せられる物理的・化学的な刺激に対して、環境とのインタフェースに配置されている感覚神経が反応し、生体内に環境情報を取り込む。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環境情報を取得し、現在の環境に適した身体の動きを生成する。環境と自己の間の安定した持続可能な関係は、自己の活動と、自己の次の行動に影響を与えるはずの環境の変化との間の継続的な調整によって確立される。

図 2（[4, Figure 1] を引用）は、MHP/RT [6][7] をもとにして、環境情報（内部・外部）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、運動神経を介して外界に働きかけ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 (Two Minds)・運動プロセスが関わる。

環境から感覚器を介して取り込まれた知覚情報は、共鳴 (P-共鳴) 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。図中、●—●で示している。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する。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-Resonance を介して言語多次元記憶フレームと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-Resonance を

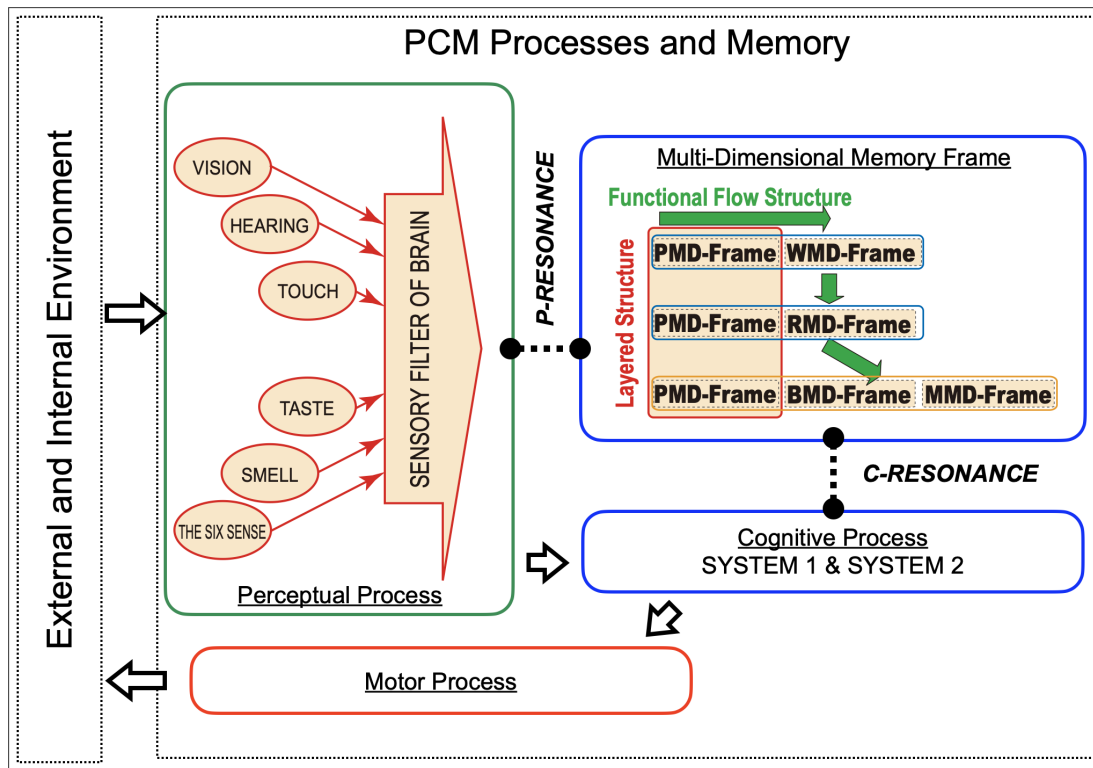


Figure 2. 外部・内部環境からの知覚プロセスによる情報の取り込みとレゾナンスを介した記憶の活性化，認知・運動プロセスの実行 [4, Figure 1]

介して行動多次元記憶フレームと運動多次元記憶フレームを利用するシステム 1 による無意識的处理が相互に関連して進行する。認知処理の結果である運動多次元記憶フレームに従って、運動系列を発現する。行動を発現する際に関わった記憶は、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。

B. 知覚プロセスと多次元記憶フレームを繋ぐ P-共鳴

環境からの情報は、複数の感覚器を介して脳に取り込まれる。感覚器は体に分散して存在する。加えて、感覚器によって受容される情報は時系列情報である。従って、感覚器によって受容される情報は、空間的・時間的に分散している。このようにバラバラに存在する感覚情報を脳は何らかの方法により統合して知覚し、認知処理に渡している。統合がどのように行われているかという問いは、バインディング問題として知られている。我々は、P-共鳴がバインディング問題の解を提供すると提唱し、感覚器官からの知覚情報を整然と処理することを可能とする基礎覚の存在を示した [4]。基本感覚には、時間に関係するリズム感覚、空間認知に関係する空間感覚、数覚がある。

C. 構造化されたミームとしての記憶

PCM プロセスが稼働すると、知覚プロセスに対応して知覚多次元記憶フレーム、認知プロセスに対応して言語-、関係-、行動多次元記憶フレーム、運動プロセスに対応して運動多次元記憶フレームの内容が更新される。図 2 は、PCM プロセスが稼働したことの痕跡としての記憶にフォーカスして、多次元記憶フレームを、知覚-、言語-、関係-、行動-、運動多次元記憶フレームに分類している。要するに、知覚・

認知・運動プロセスの実行に伴う**記憶の更新**に着目した構造化のされかたの表現となっている。

一方、記憶の利用の観点から、記憶システムを捉えることができる。基礎覚を介して統合化された知覚情報との P-共鳴により、最初に、知覚多次元記憶フレームが活性化され、それに結合している言語-、関係-、行動多次元記憶フレームに活性が伝播し、運動神経に結合している運動多次元記憶フレームに活性が到達する。このプロセスを時々刻々と変化する環境の中で繰り返し、置かれた環境において満足のいく行動を発現する。行動の基本は模倣であり、成長段階に応じて模倣可能なものが限定される。また、世代を超えて模倣可能な行動が持続可能な行動として保存される。このようにして、PCM プロセスにより利用され、その実行により更新される多次元記憶フレームを、世代を超えて継承できるミームの観点から整理することができる [8]。

図 3 は、環境中のオブジェクトが知覚された後、P-共鳴によって活性化される多次元記憶フレームの領域を機能的に分類して示している。「ことば」はミームの典型とされている [9]。ことば（シンボル）は個々人の言語多次元記憶フレームの内部に存在する。ことばを利用することを通じて、個別言語、あるいは、文化言語として、言語多次元記憶フレーム内で整理されていく。個別言語とは、類義語や関連する概念でグループ化された単語のリストであるシソーラスや、直接的な使用だけでなく比喩的な使用も含まれる可能性がある個人対個人のコミュニケーションに使用される言語である。文化言語とは、特定のコミュニティで確立された常識の適切な理解がコミュニケーションの成功に不可欠である文化的な文脈で使用される言語である。これらは、

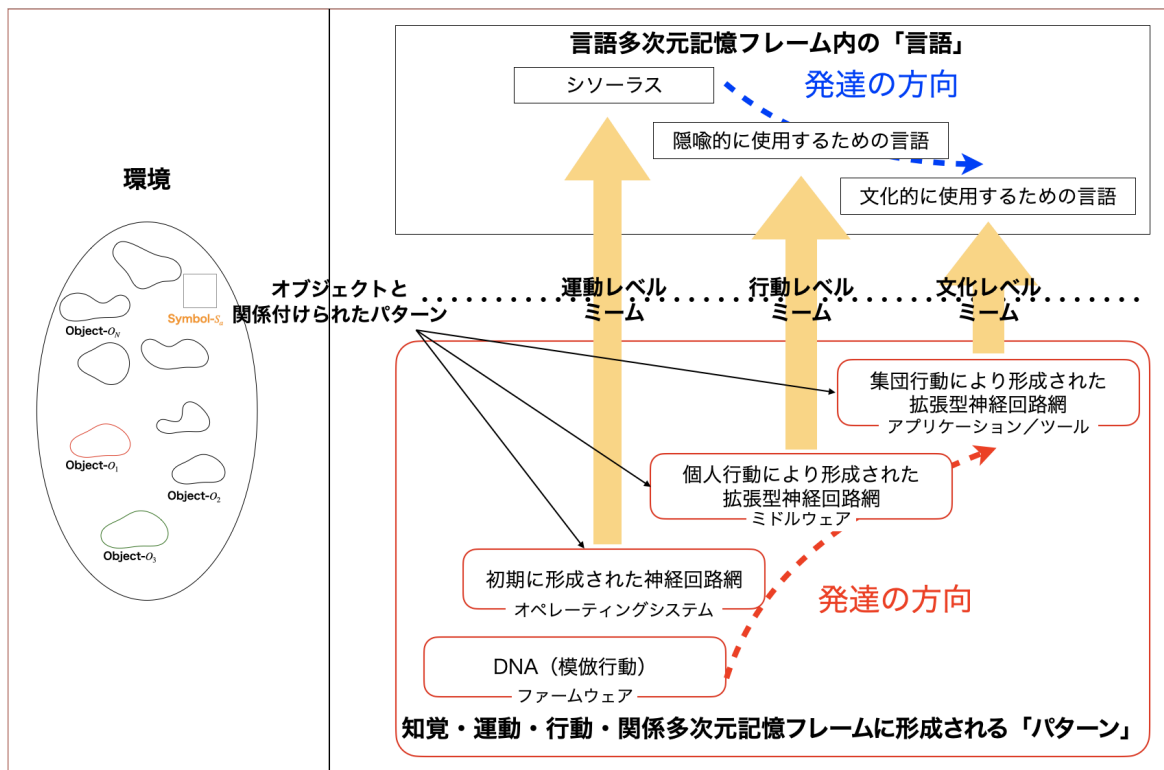


Figure 3. ミームの構造 ([3] から引用)

人々の間で循環し、世代を超えて持続する。

類語、個別言語、文化言語は、環境中の対象との結びつきのパターンから見て、この順に複雑さを増していく。類語辞典は、誕生から3歳までの初期発達段階において、神経回路網にコード化された環境中の対象と関連している。個々の言語は、環境中の対象物だけでなく、すでに環境中に取り込まれたシンボルとも結びついている。文化的言語も同様である。

言語多次元記憶フレームの記号にパターンをマッピングする過程は、マッピングの複雑さによって3つの過程に分けられる。類語、個別言語、文化言語にマッピングされたパターンは、それぞれ豊田らによって提唱された構造化ミーム理論で導入された行動レベルミーム、行動レベルミーム、文化レベルミーム(図3参照)として示される。これは、豊田らによって提唱された構造化ミーム理論(Structured Meme Theory) [8]で導入されたものである。

個人の脳の中の文化レベルミームをその個人の所属集団の全員にわたって統合したものが環境側に存在することになる。これが、R. Dawkins が唱えたミームに相当する。R. Dawkins のミーム論の主要な理論的継承者の S. Blackmore は「ミームとは模倣という行為に象徴される」と主張している [10]。この主張は、A-ミームと B-ミームが身体的なものであり模倣の基盤を安定的に提供するという、そして、その上の C-ミームが環境に強く依存するものであることから言及していないということ、と考えることができるので、我々の示しているミームの考え方と整合している。

情報は情報システムに似ている。遺伝子は行動レベルの活動を模倣するファームウェアの役割を果たす。行動レベ

ルのミームは、空間的・時間的行動機能の一般的パターンを定義するオペレーティングシステムの役割を果たす。行動レベルのミームは、一般的なパターンを具体的なパターンに拡張するミドルウェアの役割を果たす。文化レベルのミームは、具体的なパターンを多くの人々のグループで機能するものへと拡張するアプリケーションツールとして機能する。

ミームの3つのレベルと多次元記憶フレームの関係は以下の通りである：

- 行動レベルのミーム (A-ミーム) は、運動多次元記憶フレームに格納された身体的な行動を表す
- 行動レベルのミーム (B-ミーム) は、行動多次元記憶フレームに格納された環境での行動を表す
- 文化レベルのミーム (C-ミーム) は、関係-と言語多次元記憶フレームに格納されている文化を表す

実環境中でこのようにして、ミームに基づいた行動を実環境で実行することが可能となる。模倣可能なものは個々の成長段階に応じて依存して存在するので、成長段階に応じて質的に異なるものが存在する。それらは、運動レベルミーム (A-ミーム)、行動レベルミーム (B-ミーム)、文化レベルミーム (C-ミーム) である。

Dawkins が提唱したように、文化伝承を文化的遺伝子 (ミーム) 中心の視点で捉えること自体は本質を突いている。人の遺伝子は記憶のレゾナンス反応機構を発現させる。その機構を介して、共通の体験があったときにはそれに伴う複製 (レゾナンス複製) が生成される。ミームは、そのレゾナンスを起こし得るものとして、環境中に存在する。このようなミームを文化と呼ぶことができる。ミームは文化と

言う表現型に影響を及ぼすが、レゾナンス自体はその人の体験で固有なものとして形成される。模倣が個人的なものであり環境条件の影響を受けることから、表現型が完全に模倣されることは保証されない。この仕組みは、進化生態学の Odling-Smee らの進めるニッチ（生態的地位）構築と名付けられた生態的継承論の考えと共通している [11]。この仕組みを備えた人間は、環境に対して非常に高い適合性を持つことが可能になる。

III. GOMS を介した C-共鳴

A. 認知レベルでのバインディング問題

図 3 では、環境中のオブジェクトが、A-ミーム、B-ミーム、C-ミームを活性化することが示されている。この活性化のプロセスでは、オブジェクトに関係する様々な領域が活性化される。図 2 では、多次元記憶フレーム内に活性が伝播することを、機能的フロー構造として示されている。知覚多次元記憶フレームを出発点として、言語-、関係-、行動-、運動多次元記憶フレームの順に活性が伝播するような表現になっているが、言語多次元記憶フレーム以下は構造的にオーバーラップしているわけではないので、活性は、知覚-と言語多次元記憶フレーム、知覚-と関係多次元記憶フレーム、知覚-と行動多次元記憶フレームのように、知覚多次元記憶フレームを経由して伝播し、そして、最後に行動-を介して運動多次元記憶フレームに伝播する。言語-、関係-、行動多次元記憶フレームの中でこのようにして活性化される部分は、知覚多次元記憶フレームを介して関連してはいるが互いに直接には関連してはいない可能性のある複数の領域が含まれている可能性がある。

ここで、活性化される記憶としては、記憶の利用の側面から捉えるのが適切なので、複数のミームが並列的に活性化されると考える。ここに、知覚レベルで生じるバインディング問題と同型の問題が起きていると見なすことができる。図 2 では、認知プロセスと記憶プロセスの橋渡しを C-共鳴として示し、そこにおいて、認知レベルのミームのバインディング問題が解決されていることを示している。つまり、知覚多次元記憶フレームで活性化されている内容を参照しリアリティを担保しながら、その知覚多次元記憶フレームに接続して活性化されている多次元記憶フレームの領域を利用してインタープリタ的に慎重に認知プロセスを動かす（知覚プロセスにおいては、感覚情報の全数利用）のではなく、効率的な記憶の利用が達成されている [12]。P-共鳴における基礎覚に相当するものは、C-共鳴では何が存在するだろうか。

B. GOMS

1) 行動生態理解のためのメタ構造としての GOMS: 人間が行動を選択するとき、人間は達成したい状態の実現に貢献する行動を選択する。行動選択という認知活動を実行する際にはたらく原理として、限定合理性、満足化原理がある [13]。このような行動選択プロセスは、IF-THEN の形式で表現される手続的知識の系列的な発火によってモデル化される [14][15][16]。個々の行動選択は手続的知識であるプロダクションルールの発火系列で表現されるが、個々人が遭遇する状況を俯瞰的に眺めれば、多かれ少なかれ、類似した状況下で適用される手続的知識の発火系列はパターン化されることになる。Card, Moran and Newell [5] は、パ

ターンを表現する概念として、Goals, Operators, Methods, Selection rules (GOMS) を特定した。

GOMS は、人間の行動生態の理解に必須であるメタ構造を規定する概念を定めている。このようなメタ構造を最初に体系化した理論にアリストテレスの四原因説がある。これを Allen Newell らは、認知科学的視点で再構築し、GOMS 理論を構築した。

2) **GOMS の定義:** GOMS とは、コンピュータシステムの熟練者の行動を定量的・定性的に予測するための分析手法である。ゴール、オペレーター、メソッド、セレクションルールの頭文字をとったものである。GOMS は以下のように定義されている ([5, Chapter 5, pp.144-146] からの引用)

ユーザーの認知構造は 4 つの要素から構成される：

(1) 目標の集合、(2) 演算子の集合、(3) 目標を達成するためのメソッドの集合、(4) 目標に対して競合するメソッドの中から選択するための選択規則の集合。これらの構成要素で規定されるモデルを GOMS モデルと呼ぶ。

ゴール: 一つのゴールは、達成すべき状態を定義し、それを達成するための可能なメソッドの集合を決定するシンボル構造である。

オペレータ: オペレータとは、要素的な知覚的、運動的、認知的行為のことであり、その実行は、ユーザーの精神状態を変化させたり、タスク環境に影響を与えたりするために必要である。

メソッド: メソッドとは、目標を達成するための手順を記述したものである。これは、ユーザがタスクに関する知識を記憶するメソッドの 1 つである。メソッドの記述は、GOMS モデルにおいて、ゴールとオペレータの条件付き系列として表現される。メソッドには、ユーザの即時記憶の内容、および、タスク環境の状態に関する条件テストが含まれる。

選択規則: ある目標を達成しようとするとき、その目標を達成するためにユーザーが利用できるメソッドが 1 つ以上あるかもしれない。どのメソッドを使用するかは選択は、さまざまなことを考慮する決定プロセスである必要はない。タスク環境の特徴から、1 つのメソッドだけが適切であると判断される場合もあるからである。一方、真の決定が必要な場合もある。熟練した行動の本質は、これらの選択が問題にならず、問題解決行動を特徴づける困惑や探索が噴出することなく、スムーズかつ迅速に進行することである。GOMS モデルでは、メソッドの選択は選択規則によって処理される。各選択規則は「もし現在のタスクの状況でこのようなことが真であれば、メソッド M を使う」という形式である。

行動目標は堅牢な階層構造により表現される。すなわち、主たる行動目標があり、それを完遂するために実行しなければならないサブタスクがあり、そして、個々のサブタスクを完遂するためのサブサブタスクが存在する。タスクを展開していった最終ノードがオペレータであり、最上位の目標は、ユニークなオペレータ系列に展開され、そこが最下層になる。最下層の一つ上のノードがメソッドであり、その一つ上の階層に選択規則を表すノードが位置する。

3) **GOMS によるミームのバインディング:** GOMS では、行動目標が堅牢な階層構造をなしており、目標構造が、行

P-共鳴を介したミームの活性化			C-共鳴を介したミームの利用	
知覚プロセス	多次元記憶フレーム	ミーム	GOMS	認知プロセス
基礎覚	言語- & 関係-	文化レベル	ゴールと選択規則	システム 2
	行動-	行動レベル	メソッド	システム 1
	運動-	運動レベル	オペレータ	システム 1

Figure 4. 多次元記憶フレーム, ミーム, GOMS, Two Minds の対応関係

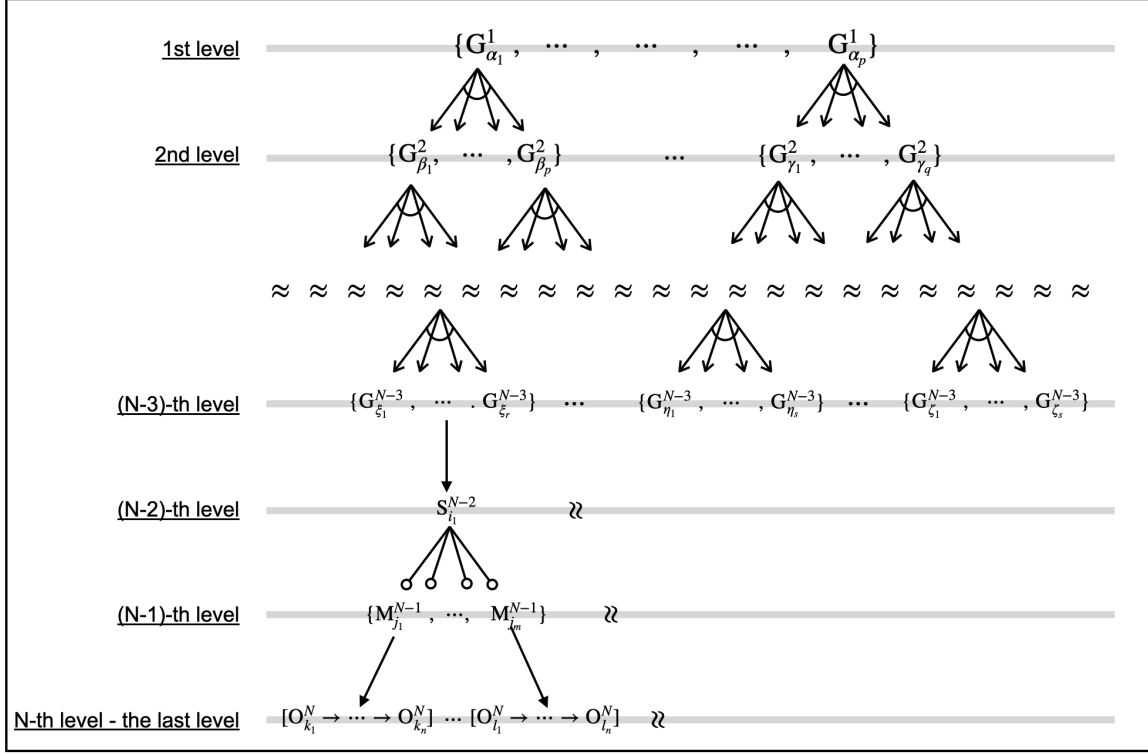


Figure 5. GOMS 結合構造

動の組織化を媒介している。ある目標 G を達成するためには、それに先行する目標 G' の達成が必要とされる。この構造は、時間を主たるパラメータとしない。 G' と G の間の順序が重要である。

一方で、MHP/RT に基づいた行動発現の仕組みは、図 2 に示すように環境を知覚し、P-共鳴により多次元記憶フレームに接続し、図 1 に示すように、経験を経て多次元記憶フレームを構造化したミームを活性化し、行動レベルミームを実世界に接続して、行動が発現する、と説明される。前述したように、図 2 に示した多次元記憶フレーム内の機能的フロー構造において、知覚多次元記憶フレームを介した活性の流れに従った行動発現は効率が悪い。時々刻々と状況が変わる現実世界と確実に同期をとりながら、破綻せずに行動発現を実現する方法として、絶対時間・空間情報を含まない A-, B-, C-ミームに対して、GOMS による構造化が行われていると想定するのは妥当であろう。GOMS は、特定の状況に遭遇したときに、知覚多次元記憶フレームを介さないで、A-, B-, C-ミームがバインドされるという現象に対応し、C-共鳴という現象の実相を示している。これは、多次元記憶フレーム内において形成されている可能性のあ

るショートカットに対応する。

図 4 は、ミームと GOMS の対応関係を示している。活性化されたミームの中から、経験を積み過程で形成された GOMS 結合が成立する C-, B-, A-ミームの組み合わせが、システム 2, システム 1 によって処理され、オペレータ系列が、実世界で実行される [17]。

IV. 考察：行動生態の理解の深化

A. GOMS 結合構造と行動生態

1) **GOMS 結合構造:** 図 5 は経験により構築される GOMS 結合の全体像を一般的な形式で示している。最下層である第 N 層に展開されているオペレータ系列、 $\mathbf{O} = [\mathbf{O}_{k_1}^N \rightarrow \dots \rightarrow \mathbf{O}_{k_n}^N]$ から上に遡りながら、GOMS 結合を説明する。その直上の第 $(N-1)$ 層には、このオペレータ系列に結合するメソッド、 $\mathbf{M} = \mathbf{M}_{j_1}^{N-1}, \dots, \mathbf{M}_{j_m}^{N-1}$ が存在する。これは、このオペレータ系列 $\mathbf{O}$ へのポインタを保持するノードと見なすことができる。このメソッドは、その二つ上の第 $(N-3)$ 層に存在するゴール、 $\mathbf{G}_i = \mathbf{G}_{\epsilon_i}^{N-3}$ と、それを達成するためのオペレータ系列 $\mathbf{O}$ を繋ぐ役割を果たす。 $\mathbf{G}_i$ を達成できるメソッドが、 $\{\mathbf{M}_{j_1}^{N-1}, \dots, \mathbf{M}_{j_m}^{N-1}\}$ のように複数存在する場合

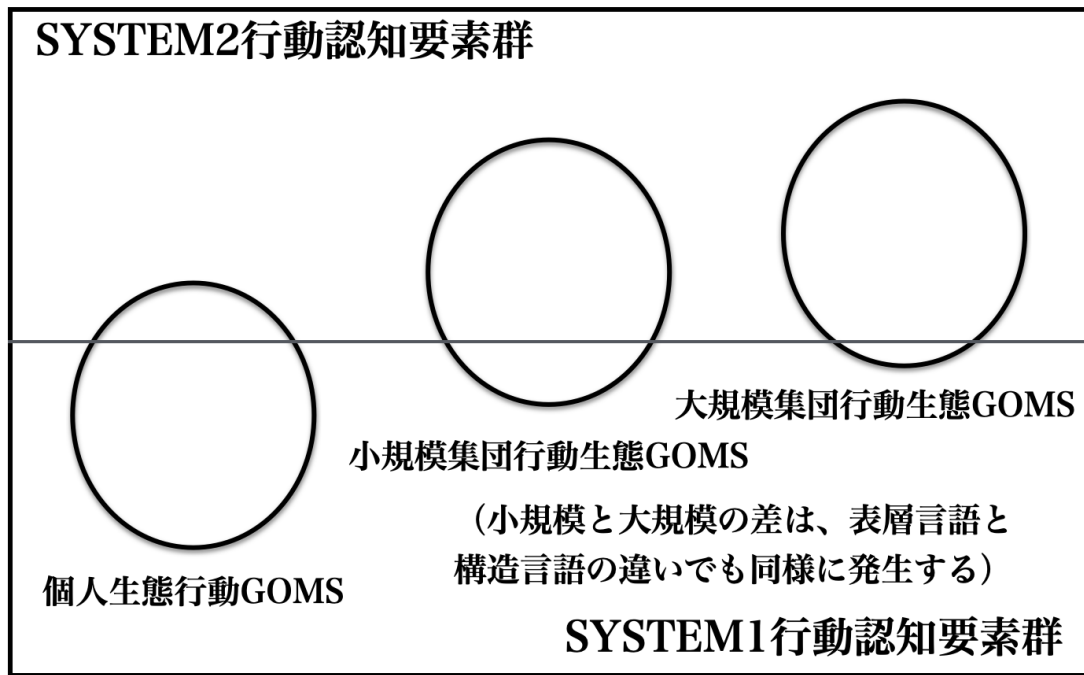


Figure 6. 脳の処理能力（時間）制約下での行動生態の違いによる GOMS の構成要素の Two Minds バランスの変化

には、これらの層の間の第 $(N - 2)$ 層に選択規則, S_{i1}^{N-2} , が置かれる。

第 $(N - 3)$ 層の上には、ゴールの階層構造が展開している。最上位の第 1 階層に位置するゴール, $G_i^1 = G_{\alpha_i}^1$, は、第 2 階層のゴール群, $G^2 = \{G_{\beta_1}^2, \dots, G_{\beta_p}^2\}$, に展開され、 G_i^1 は、 G^2 に含まれるすべてのゴールが達成されることによって達成される。以下、第 $(N - 3)$ 層まで、この構造を保ちながら、第 1 階層のすべてのゴールが展開される。なお、図 5 では、便宜的に、第 1 階層に最上位のゴールを配置し、第 N 階層を最下層のオペレータ層として表現しているが、最上位のゴールの内容に依存して階層の深さは変化する。したがって、具体的な N の値は G_i^1 に依存して変動する。

図 5 に示した個々の G, O, M, S は、A-, B-, C-ミームの特定の部分と連結するポインターを保持するノードと考えることは適切であろう。時々刻々と状況が変化する環境と同期をとりながら、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ことを考えると、GOMS 構造を媒介した C-共鳴において利用できる GOMS ノードの総数に上限が存在すると仮定することは理にかなっていると想定される。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) と表記し、 $\hat{G} + \hat{O} + \hat{M} + \hat{S} \leq \hat{C}$ の条件のもと、経験を積み中で構築される GOMS 結合の全体像のバリエーションを、それぞれの上限值の間の関係に基づいて、考察する。

オペレータは、要素的な知覚的、運動的、認知的行為であり、その実行は、行為者 and/or 環境の、区別できる変化を生起させる。オペレータはメソッドを構築するための要素

的な部品なので、 $\hat{O}$ は、 $\hat{C}$ と比較してかなり小さな値になると推測される。では、オペレータ以外の利用可能なノードがどのように使われるのか。最上位のゴールは、下位ゴールに展開され、最終的には、それぞれに定義された達成できるメソッド一式を決定するに至る。メソッドは、オペレータ集合の要素を素材として、展開されてきた最下位のゴールを達成できるように、それに接続されたオペレータ系列の塊を指し示している、オペレータによって実行可能なゴールである。ゴールを達成できるメソッドが複数存在する場合には、メソッドの適用条件を定めた選択規則に基づいて一つのメソッドが選択される。

2) **GOMS 結合構造の特徴:** 時刻 T に生じたイベント $E(T)$ に関して、MHP/RT は、4 つの処理モードで対処する。それらは、事前に意識的に $E(T)$ について考慮する処理モード (イベント前システム 2 モード), $E(T)$ の直前に無意識に環境の状況に合わせて行動を調整する処理モード (イベント前システム 1 モード), $E(T)$ の直後に無意識に関連した知覚-, 行動-, 運動多次元記憶フレーム内の結合を調整する処理モード (イベント後システム 1 モード), 事後に $E(T)$ を意識的に振り返り関係-, 言語多次元記憶フレーム内の結合を調整する処理モード (イベント後システム 2 モード) である [6]。GOMS 結合は、ミームを利用した行動選択の結果を反映している。

イベント後システム 2 モードに多くのリソース (脳の処理能力) を割くことにより、豊かなゴール構造の形成につながる。豊かなゴール構造は、将来、遭遇するさまざまな状況において、イベント前システム 2 モードに多くのリソースを割いて、精度・信頼性の高い予測を行うことを可能にする。一方、連続して生起するイベント, $E(T), \dots, E(T+n)$ に関わるメソッド系列を、イベント後システム 1 モードに

多くのリソースを割くことにより、一つのメソッドに統合することができる。統合された特化メソッドは、このイベント系列に特化したオペレータ系列を生成する。さまざまな状況に対峙する中で、特化メソッドの数は増大していくことになる。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。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。イベント後システム 1 モードが優位な場合は、 $\hat{G} \ll \hat{M}$ となる。

3) **GOMS 構成要素数と意識／無意識処理のバランスの関係**: 図 6 は、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」のバランスが変化することを示している。他者とはほとんど関わらない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 (図 6 左)。

コミュニティを基本とした生活の場合には、集団内で機能するやりかたに基づいて行動することが求められる。また、集団のメンバー間のコミュニケーションが表層言語で成立している場合には、精緻な推論を行うことができない。そのため、 $\hat{G} > \hat{M}$ となる (図 6 中央)。

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 (図 6 右)。さまざまに変化する状況への対応は、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、柔軟な対応が可能となる。

図 6 は、個々人が、個人、小規模集団、大規模集団へと、帰属する集団の大きさが変化することによる GOMS 結合の変化も表している。GOMS を構成する要素数、 $\hat{C}$ は、脳の処理能力制約により制限される。そのことにより、社会的関係が増大するにしたがって、システム 1 要素であるメソッドの数は、個別化した複数のメソッドをまとめて抽象化しゴール構造を再編することを通じて減少する。そして、その減少は、関係性が複雑化することにより数が増大するシステム 2 要素に置き換わる。つまり、システム 2 要素をシステム 1 要素よりも重視する行動生態に移行することにより、GOMS 全体における要素の構成が、より論理思考を可能とする豊かなゴール構造を有する構成に変化していく。

B. GOMS とミーム

1) **GOMS とミームの相互発展**: GOMS の生成の前提にミームの存在がある。また、GOMS は効率的な行動生成において大きな役割を果たし、生成された行動が多次元記憶フレームを更新し、ミームの形成にも貢献する。このように、GOMS とミームは相互発展の関係にある。行動生成においては、システム 1 主導の行動生成とシステム 2 主導の行動生成が存在する。行動生成における偏り (優位性) は、相互発展の様相に影響を及ぼすはずである。以下では、この点について検討する。

図 3 に 3 種類のミームが示されている。これらのミームは世代を超えて模倣を基本メカニズムとして維持される。A-

ミーム、B-ミームは知覚-、行動-、運動多次元記憶フレームを繋いで発現される身体行動を伴う。A-ミームは行動を生成する要素的なものであり、B-ミームは A-ミームの要素の組み合わせなので、粒度が異なり、互いに混じり合うことはない。継承されるミームの内容は、身体行動の内容が時代とともに大きく変わることはないので、大きく変化することはない。一方、C-ミームは身体行動からは切り離されている。言語シンボルを扱う言語活動や、規則を適用した思索が含まれる。これらの活動には言語-と関係多次元記憶フレームが利用される。言語シンボルや規則は、世代を取り巻く社会環境・自然環境の影響を受けながら、緩やかに更新されていく。A-ミーム、B-ミーム、C-ミームは、互いに混じり合うことなく、並列に存在し、それぞれが、世代を超えて継承される。

GOMS は、並列ミーム構造に直交するようにかぶさり、A-、B-、C-ミームの要素を互いに結合し、実環境の状況に応じて効果的な行動を効率的に生成することを可能にする。これは、多次元記憶フレーム内の要素を GOMS 構造の形式で結合することにより達成される。ことばがミームの典型であることから、ミームを意味を担うもの (セマンティックス) と考えることができる。GOMS は言葉の連結の仕方を規定しているのでシンタックスと考えることができる。

C-ミームは、継承されている文化を表している。文化は多様に存在する。前節の考察により、GOMS の G 構造を豊富に有している文化と、M を豊富に有している文化に大別される。それぞれの文化で活動している個々人は、その文化において継承されているミームを獲得し、それに基づいて行動する。G 構造が豊かな文化においては、イベント後システム 2 モードにより G 構造は更新される。M 構造が豊かな文化においてはイベント後システム 1 モードにより M 構造は更新される。いずれにおいても、更新された構造の中で集団内で有効と判断されれば、ミームの更新のきっかけとなる。ミームの更新には有効性確認の時間が必要なので、すぐに更新されるということにはならない。

GOMS 構造は、ゴールとオペレータを結びつけるので、言語-と関係多次元記憶フレームに存在するゴールに対して身体性を保証していることになる。このことにより、G 構造が豊かな文化においても、さまざまなゴールに対して GOMS を発達させることにより、現実世界と遊離しない。つまり、G が属する言語-と関係多次元記憶フレームに MO が属する行動-と運動多次元記憶フレームが接続することにより、ゴールに対して身体性が保証されることになる。ミームに GOMS を合体させることにより、現実世界から遊離していないミームとすることができる。

2) **ことばの共通理解と GOMS**: 「ことば」はミームの典型例であり [9]、C-ミームの要素である。ことばは主要なコミュニケーションメディアであり、世代を超えて継承される [3]。個々人は、ことばが発せられた文脈を参照して、ことばに意味をもたせ、状況を理解する。しかしながら、C-ミームを共有するコミュニティの個々のメンバーが、たとえ共通の文脈に置かれたとしても、特定のことばに対して共通の意味を付与しているというわけではない [12]。

英語のネイティブの大人が知っている単語数は 2~3 万語、日常会話で使う単語数は 3~4 千語と言われている。概念的に知っている単語は C-ミームの要素として継承されている。一方、日常活動で使われる単語は、C-ミームと、身体性が

付随する B-, A-ミームが, GOMS により, 一体的に結合されている。C-ミームに属するシンボルで表現されるゴールが A-ミームに属するオペレータに展開され, 日常活動を営む中で表面的に観測可能なオペレータ系列によって, ゴールの持つ意味の共有化が可能になっている。

3) 上位に位置するゴール数と行動生態: 文化や慣習は, C-ミームの例である。それらの中で, 達成されることが望ましいとされていることが, その C-ミームを継承するコミュニティのゴール構造を規定する。ゴール構造の最上位には, あるコミュニティに属するメンバーが共通して達成しようとする幸福目標ゴール [18] が存在する。その下には, 幸福目標の達成につながる行動目標ゴールが存在する [19]。

近年, 強い血縁関係に依拠する社会と個人主義が蔓延した社会の特徴が議論されている [20]。そこでの議論を, 本研究に当てはめて, これらの社会で形成される行動生態を理解することができる。強い血縁関係を反映して C-ミームが伝承されている社会においては, 存在しうるゴールの数は限定的であり, 図 6 の左に示したシステム 1 主導の行動生態が形成される。それに対し, 個人主義が進んだ社会においては, 個々人が固有のゴール構造を構築するので, 図 6 の中央と左に示したシステム 2 主導の行動生態が形成される。

後者の場合, ゴール構造を構築するのに多くの要素が利用され, 状況に応じて柔軟に, 上位のゴールを置き換えることにより柔軟な行動選択が実現される。最上位に存在する幸福ゴールの置き換えも起こるので, 互いに準独立な GOMS 構造の間を切り替えながら行動が発現することになる。GOMS 構造の切り替えが起こるということは, 行動のモード化の現れと言い換えることができる。行動のモード化により, 一個人が, 状況に応じて, 行動規範を切り替えているように見えることになる。

また, このことは, たとえ, 同じオペレータ系列が観測されたとしても, その上位に展開しているゴール構造がユニークであることを必ずしも保証しない。そして, そのことに起因する誤解 (コミュニケーションエラー) が生じる可能性が排除されない。個人主義化した社会に内在する問題がここに現れることになる。

V. おわりに

MHP/RT は, 環境の変化と同期して稼働する知覚・認知 (Two Minds)・運動の PCM プロセスと, 環境の変化とは非同期の関係にあり, PCM プロセスの行動選択・実行時に利用され, 行動実行後に更新される多次元記憶フレームから構成されている。後者は多次元記憶フレームの内部での処理なので PCM プロセスからは切り離して実行される。一方, 前者については, 知覚プロセスと知覚多次元記憶フレームとの繋がり, 認知プロセスと言語-, 関係-, 行動多次元記憶フレームとの繋がりを実現することが必要である。MHP/RT では, それが「共鳴」により実現されるとして, 知覚については P-共鳴, 認知については C-共鳴を導入している (図 2)。P-共鳴については, 先行論文 [4] において, その仕組みとして基礎覚を導入した。

本研究では, C-共鳴の仕組みを検討した。多次元記憶フレームには, 図 3 に示したように 3 つの階層により構造化されたミーム, A-, B-, C-ミームが存在する。これらのミームは多次元記憶フレームの各記憶に対応づけられるが, 図

2 に示したように知覚多次元記憶フレームを共有することで, 互いに結びつけられるという構造になっている。そのために, 知覚情報によるリアリティが担保されている。一方, C-共鳴は, PCM プロセスが環境の変化に同期しつつ行動選択・実行しなければならないという時間制約がある状況のもとで働き, 多次元記憶フレームと認知プロセスをつなぐ。本研究では, 知覚多次元記憶フレームを経由せずに, 直接的に, 言語-, 関係-, 行動-, 運動多次元記憶フレームを結びつける仕組みとして, Card, Moran, Newell が提唱した GOMS [5] を導入した。

GOMS の各要素は, 脳内において, ノードとして表現される。保持できるノード数が有限であることにより, システム 2 により操作されるゴール・選択規則に割り当てられるノード数と, システム 1 により操作されるメソッド・オペレータに割り当てられるノード数のバランスの取り方によって, 異なる行動生態が発現することを示した。また, C-ミームとして, 単純なゴール構造を継承している強い血縁関係で特徴づけられる社会と, 複雑なゴール構造を継承している個人主義の色彩の強い社会における行動生態の特徴を検討した。前者は, 柔軟な行動選択は期待できないものの, 安定な社会状況においては効果的・効果的な行動選択・実行が実現できる。一方, 後者は, 多様な状況に対応するためのモード化されたゴール構造が保持されており, 個人は, 柔軟に適切なゴール構造に切り替えながら, 行動を選択し実行している。行動はオペレータ系列として観測されるが, その上位に展開するゴール構造がユニークでないことに起因するコミュニケーションエラーが起きやすいことも指摘した。

行動の内容を決めるのはミームである。行動の仕方を決めるのは PCM プロセスである。それらを交差させているのが GOMS である。本研究は, 行動生態を GOMS の視点から眺めることにより, 静的なミームが行動生態のなかで実装され, 命が吹き込まれることを示した。行動生態は生命体に付随する。MHP/RT を基盤としてミームの行動生態での現れ方は事例研究で明らかにされてきた [21][22]。本研究は, これらの事例研究の成果を踏まえながら, 静的なデジタル情報に生命を吹き込む方法の提案として位置付けられる。

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by JSPS KAKENHI Grant Number 19K12246 / 19K12232 / 20H04290 / 22K12284 / 23K11334, and National University Management Reform Promotion Project.

REFERENCES

- [1] R. Dawkins, *The Selfish Gene*. New York City: Oxford University Press, 1976.
- [2] R. Aunger, Ed., *Darwinizing Culture: The Status of Memetics As a Science*. Oxford Univ Pr on Demand, 1 2001.
- [3] M. Kitajima, M. Toyota, and J. Dinet, "How Resonance Works for Development and Propagation of Memes," *International Journal on Advances in Systems and Measurements*, vol. 14, 2021, pp. 148–161.
- [4] 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.
- [5] S. K. Card, T. P. Moran, and A. Newell, *The Psychology of Human-Computer Interaction*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1983.

- [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, 2013, pp. 82–93.
- [7] M. Kitajima, *Memory and Action Selection in Human-Machine Interaction*. Wiley-ISTE, 2016.
- [8] M. Toyota, M. Kitajima, and H. Shimada, "Structured Meme Theory: How is informational inheritance maintained?" in *Proceedings of the 30th Annual Conference of the Cognitive Science Society*, B. C. Love, K. McRae, and V. M. Sloutsky, Eds. Austin, TX: Cognitive Science Society, 2008, p. 2288.
- [9] D. C. Dennett, *From Bacteria to Bach and Back: The Evolution of Minds*. W W Norton & Co Inc, 2018.
- [10] S. Blackmore, *The Meme Machine*. OUP Oxford, 2000.
- [11] F. J. Odling-Smee, K. N. Lala, and M. Feldman, *Niche Construction: The Neglected Process in Evolution: The Neglected Process in Evolution*. Princeton University Press, 2013.
- [12] M. Kitajima et al., "Language and Image in Behavioral Ecology," in *COGNITIVE 2022 : The Fourteenth International Conference on Advanced Cognitive Technologies and Applications*, 2022, pp. 1–10.
- [13] H. A. Simon, *The Sciences of the Artificial*, 3rd ed. Cambridge, MA: The MIT Press, 1996.
- [14] J. R. Anderson, *Rules of the Mind*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1993.
- [15] J. R. Anderson and C. Lebiere, *The Atomic Components of Thought*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1998.
- [16] J. R. Anderson, *How can the Human Mind Occur in the Physical Universe?* New York, NY: Oxford University Press, 2007.
- [17] M. Kitajima, J. Dinet, and M. Toyota, "Multimodal Interactions Viewed as Dual Process on Multi-Dimensional Memory Frames under Weak Synchronization," in *COGNITIVE 2019 : The Eleventh International Conference on Advanced Cognitive Technologies and Applications*, 2019, pp. 44–51.
- [18] D. Morris, *The nature of happiness*. London: Little Books Ltd., 2006.
- [19] M. Kitajima, M. Toyota, and J. Dinet, "Guidelines for Designing Interactions Between Autonomous Artificial Systems and Human Beings to Achieve Sustainable Development Goals," *International Journal on Advances in Intelligent Systems*, vol. 15, 2022, pp. 188–200.
- [20] J. P. Henrich, *The weirdest people in the world: How the west became psychologically peculiar and particularly prosperous*. Picador: Farrar, Straus and Giroux, 2021.
- [21] M. Kitajima, M. Toyota, and J. Dinet, "Art and Brain with Kazuo Takiguchi - Revealing the Meme Structure from the Process of Creating Traditional Crafts -," in *COGNITIVE 2023 : The Fifteenth International Conference on Advanced Cognitive Technologies and Applications*, 2023, pp. 1–10.
- [22] K. Nakahira, M. Kitajima, and M. Toyota, "Practice Stages for a Proficient Piano Player to Complete a Piece: Understanding the Process based on Two Minds," in *COGNITIVE 2024 : The Sixteenth International Conference on Advanced Cognitive Technologies and Applications*, 2024, pp. 21–29.