

言語習得プロセスのモデル化に関する一検討

自然言語の習得とプログラミング言語Lispによる開発の類似性

大野邦夫[†] 木村登志子^{††}

以前、人間のコミュニケーションとコンピュータにおける情報メディアの進展が対称であることを考察したが、本稿ではその応用として自然言語スキルの獲得についての検討を試みる。英語の文法や機能については、1970年代にテリー・ウィノグラードがLisp言語を用いて構文レベルの分析を試み、ロジャー・シャンクが意味ネットワークに基づく概念依存モデルや記憶パケットモデルを提案し、意味レベルの基本検討を行っている。本報告では、構文レベルの表層と意味レベルの深層の双方に関して、オブジェクト指向化されたLisp言語にもとづく階層モデルを提案する。さらに人間の言語習得についても類似の階層モデル化が可能であり、そのモデルによる言語行為論・言語コード論の視点に基づく考察を試みると共に、異文化コミュニケーションにおける、異なる言語相互間における会話のあり方や学習法についての可能性を展望する。

A Study on a Model of Language Acquisition Process

Similarity between the acquisition of natural language and the development by programming language Lisp

Kunio Ohno[†], Toshiko Kimura^{††}

Previously, an idea has been proposed that the progress of human communication and computerized information media are symmetrical. In this paper, we try to study the progress of natural language and acquisition of its skills as its application. Regarding English grammar, Terry Winograd tried to analyze the syntax level using the Lisp language, in the 1970's, while Roger Shank proposed the concept-dependent model and the memory packet model based on semantic network concept. In this paper, we try to examine a model based language acquisition process, concerning to Lisp language, object-oriented technology, and ontology technology, for surface layer of the syntax level and the depth layer of the semantic level. Then, similar hierarchical model of human language acquisition has been created, and discussed based on the viewpoint of speech act theory and speech code theory.

1. はじめに

本稿では、言語スキルを習得するプロセスをモデル化する検討を試みる。言語の獲得は、ホモサピエンスとしての人類を特徴付ける事項であるが、我々が試みるのは、純科学的な手法ではなく、自然言語の習得とプログラミング言語によるシステム構築の類似性に着目した模倣的なモデルを通じた解釈である。

日本人にとって英語学習、特に英会話学習は大きな課題である。労力を払う割に有効な結果が得られていないと感じられる。その背景として、従来の語彙と文法を中心とする英語の学習と教育が効果的でないと考えられる。筆者等は、従来の英語教育とは異質の、異文化コミュニケーション的なアプローチによる学習効果を模索する。すなわち言語行為論[1]、言語コード論[2]のような会話場面における意味的な認識を重視する学習法である。最近ではスカイプを使用して海外の英語講師との対話を通じた効果的な学習法が注目されている[3]。この学習法は、従来の語彙と文法を通じた英語理解とは異なり、実践体験を通じたスキル獲得を重視するものである[4]。

ここでは、最初に人類が言語を獲得するプロセス、2番目にプログラミング言語がコンピュータ上でシステムを形成するプロセス、3番目に個人が生活を通じて言語を習得するプロセスを分析し、言語が形成されるプロセスのモデル化を提案すると共に、そのモデルの言語学習法への活用、異文化コミュニケーションへの適用に関する可能性の検討を試みる。

2. 人類における言語の獲得

2.1 情報メディアの歴史への考察

人類が言語を獲得したプロセスに関しては、言語学や人類学の立場から豊富な研究成果が報告されているが、ここでは情報メディアの歴史的経緯を参照するモデル化を試みる。人類における情報メディア、すなわちコミュニケーションメディアの歴史は、叫び声・ジェスチャーに始まり、洞窟壁画、象形文字、表意文字、表音文字、数式、近代論理学というパターンで把握できることを以前述べた[5]。さらにこのパターンが、コンピュータメディアの進展推移と対称になっていることも包含して論じたのであるが、このパターンに基づき本検討を行う。

表1は、上記の人間とコンピュータにおける情報メディアの対称性を示している。表の左側は人間のコミュニケーションの歴史を示しているが、感覚に基づく具体的な対象から知的な抽象的な論理へと抽象化を指向して進化したと

[†](株) モナビITコンサルティング
Monavis IT Consulting Co. LTD.

^{††} 横浜商科大学
Yokohama College of Commerce

表1 人間とコンピュータにおける
情報メディアの対称性

コミュニケーションメディアの歴史	コンピュータメディアの歴史
叫び声, ジェスチャ(先史以前)	映像, 音声(2000s): stream
洞窟壁画(BC.30,000~)	図形, 画像(1990s): class
象形文字(BC.5,000~)	GUI(1980s): class
表意文字(BC.3,000~)	漢字処理(1970s): char, string
表音文字(BC.1,500~)	英数字(1960s): char, string
数式 代数学(AD.1,000)	数字, 数式計算(1950s): int, float
近代論理学(AD.1,800)	2進論理(1940s): boolean

言える。右側はコンピュータメディアの進展を下から上に記述しているが、興味深いことに左右の項目が対応している。コンピュータメディアの場合はコミュニケーションメディアの逆で抽象的な論理から具体的な対象へと進展している。対称となる理由は、下記のように考えられる。人間のコミュニケーションメディアにおいては、事物の一般化を可能とする抽象概念や抽象化手法が歴史のけん引力となっている。情報共有のために効果的に情報を把握した個人や組織が歴史のプロセスの中で残存したからであろう。すなわち、記録に残せないゼスチャーや音声を記録するために洞窟壁画を残し、個々の画像を抽象化・標準化して象形文字が誕生した。象形文字をさらに記録が容易なように抽象化したのが表意文字である。表意文字の文字数の記憶が人間の記憶力に適合せず、話し言葉との整合を取ったのが表音文字である。さらに代数学における変数のような抽象的な概念を獲得し、そのような抽象概念を洗練して近代論理学が誕生している。以上の経緯は、効果的に情報を把握・管理した個人や組織が歴史のプロセスの中で残存したことを物語るものであり、その背景には、ダーウィンの適者生存の論理すなわちダーウィニズムが存在すると言えるだろう。

他方、コンピュータメディアにおいては、人間とコンピュータとのインタラクションの容易さがこの半世紀余りの歴史を牽引してきたと言える。すなわち、ゼロと1の列による2進数よりは、見慣れた10進数の方が見やすい。数字だけのデータ処理よりは、文字が使える方がさまざまなサービスに対応できる。使える文字も、英数字のみよりは漢字を含む日本語が使える方が良い。このように、コンピュータパワーを扱うデータ形式の拡張を通じて人間とコンピュータのインタラクションの改善が図られた。そのために情報メディアに対するデータ型の拡張が、ブーリアンから整数・浮動小数へ、さらに文字・文字列型へと進展した。次に進展したのがGUIである。人間のコミュニケーションメディアに対比すると象形文字に相当するが、デスクトップメタファーのアイコンは古代人の象形文字の発想に遠からぬものを感じる。先に述べたとおり、GUIも操作に関する人間とコンピュータとのインタラクションの容易性を目指すものである。さらに、コンピュータにおける文字メディアから図形画像、映像音声を扱うようになった経緯は、文字よりも図形画像、映像音声の方が人間に認知され易いことから、人間とコンピュータとのインタラクションの容易性を実現していると言える。

2.2 対称性を貫く論理

人間のコミュニケーションメディアの歴史、コンピュータメディアの歴史が時間軸に対して対称的なのは興味深い事実である。この現象を以前は人間が帰納に基づく抽象的な思考を追求し、コンピュータは処理機能と記憶領域の増大に伴う演繹的な具象化を実現したと述べた。だが以上のダーウィニズムによる人間のコミュニケーションメディアの歴史と人間とコンピュータとのインタラクションの容易性を実現したコンピュータメディアの歴史を貫通する歴史の論理が存在する。ダーウィニズムは競争状況下における適者生存の論理だが、環境変化に適合する個体やグループが相対的に生き残るということである。環境自体の問題とその変化の問題があり、環境が特異だとガラパゴス的になる。この考え方に類似の理論として、シャノンの情報理論が挙げられる。情報理論は、発信者と受信者の間の媒体に応じた最適な符号化方式が存在するというものである。たとえ雑音が存在しても、符号に冗長性を持たせれば、通信することが可能である。その冗長性が不足すると誤りが生じ、冗長性が大きすぎると過剰品質になる。その中間に最適な符号化が存在する。

生物の世界で雌雄の染色体遺伝子の組み合わせや突然変異により遺伝子配列に変位が生じるが、それを情報理論の符号化に対応付けることが可能であろう。最適な符号化としての遺伝子が生き残るというよりは、実際には生き残ったものが最適な符号化であったという結果論が実態である。しかし適者生存の概念には、無駄な冗長性を廃するという思想、すなわち最適化という概念が存在する。コンピュータメディアの歴史の方は、人間とコンピュータとのインタラクションの容易性がその進展の推進力であったと言える。人間とコンピュータとのインタラクションを容易にするということは、余計な手間をコンピュータ側に押し付けることに他ならない。このことを以前は「コンピュータが人間に近づく」とか「ユーザーフレンドリー」というような言い方をしたものであった。要するに、コンピュータを支援者や召使いとして扱い、面倒なことは徹底的にコンピュータにさせるということがコンピュータメディアの歴史であった。上記人間側とコンピュータ側のメディアは共に時間の経過と共に所与の状況に最適化し冗長性を排するという論理で貫かれている。統計力学的な概念を用いるとエントロピーの極小化ということである。この考え方による論理の妥当性を、中世の哲学者であったウィリアム・オッカムが提唱し、それは「オッカムの剃刀」という格言で知られている。人間のコミュニケーションメディアもコンピュータメディアも、冗長性の排除という視点から俯瞰するとその進展が理解できる。

2.3 情報メディアにおける文字・語彙とフレーム

表1は、人間とコンピュータにおける情報メディアの歴史的な経過を示しているが、人間の歴史においては感覚的に把握し易い感性的メディアから、論理的把握を必要とする知性的メディアへの進展を示している。このプロセスは、言語の獲得と密接に関係すると思われる。

叫び声やジェスチャは、何らかのできごとの伝達であろう。それは獲物を見つけた場合や危険が迫っているような、原始的な人々の生存に関わる「できごと」が多かったであろう。獲物の種類が問題であれば、獲物を個別の対象

として識別したであろう。洞窟壁画に動物の絵が描かれているのはその証拠であろう。

汎用的に用いられる対象は、象形文字となり、さらに簡略化されて表意文字になり、やがて単一の文字では意味の記述に不都合をきたして文字の組み合わせた熟語となったのであろう。熟語として複数の文字を使用するならば、個別の文字の意味は不要であり、口承による発音に合わせた表音文字とする方が識字率は向上する。その結果アルファベットが世界の主流の文字となり、欧米の先進諸国ではアルファベットの組み合わせで語彙が形成されるようになった。

パートランド・ラッセルは、彼の著書において知識には感覚を通じた面識による知識 (Knowledge by acquaintance) と文字や数式の記述による知識 (Knowledge by description) があると述べている[6]。前者は、叫び声・ジェスチャ、洞窟壁画、文字に至る情報メディアに対応し、後者は文字、数式・代数学、近代論理学が対応する。直知による知識と記述による知識を媒介するのは文字であり、人間の知識にとっては極めて重要な位置を占める。直知による知識は、個物を特定するが個物相互の関係は別の知識である。要するに個物は名詞であり、個物の関係は文により記述される。個物の相互の関係により意味が生じ、個物は語彙として把握される。語彙は個物が集成的に意味付けられた概念である。

意味とは何かというのは哲学的な問いであるが、個物を関係付ける集成的・総称的な概念という考え方が可能であろう。計算機科学の世界において、語彙や概念を扱う枠組みとしては、マービン・ミンスキーのフレームが存在する。人間は概念を必要とする状況に出会うとフレームを呼び出すと言う[7]。フレームはプログラミング言語の構造体のように種々の属性に関するスロットを持つ記憶構造である。スロットは、そのフレームが生成されたときにはデフォルト値が書き込まれているが、その後その用語の使用履歴に応じて値が更新される。スロット値に別の語彙が埋め込まれている場合には、別のフレームが関係する。場合によっては、スロットには時系列情報が書き込まれることがあり、そのようなスロット値はスクリプトと呼ばれる。1980年代にフレームはエキスパートシステムの知識ベースとして位置付けられ、オブジェクト指向プログラミング言語のクラスとして実装されるようになった。さらにその後、エージェント言語のKQMLやKIFのオントロジーに発展した。さらにマークアップ言語XMLの枠組みでもフレームの実装が試みられ、XMLスキーマ、RDFスキーマを経てOWLによるオントロジーへと進展した。

2.4 人間における世界の認識とそのモデル

人間は識別可能な事象、概念に対して名称を付与し、語彙を形成すると共に、語彙を関係付けてコミュニケーションを図るために、叙述や命令のための文を形成するようになった。文を形成するためには、その構文ルールとしての文法が必要でありそれが形成された。そのようにして、コミュニケーションを図る特定のグループにおける言語が完成されその成員に共有されることになる。

次に個別の人間が言語を通じて会話する場合の認知科学的なプロセスをドナルド・ノーマンのモデル[8]に基づいて検討する。図1は、ノーマンによる人間の認知行動に関する情報処理モデルである。刺激としての情報が視覚、聴覚、

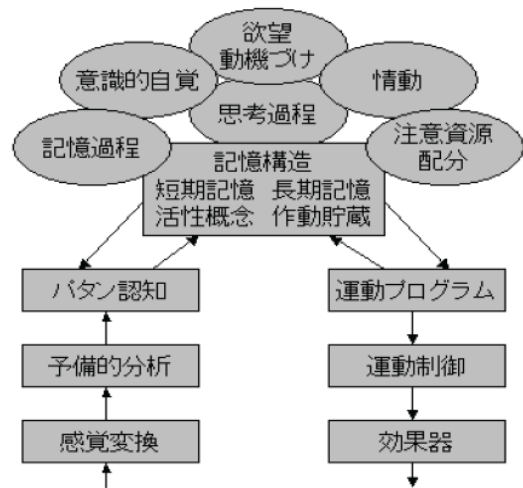


図1 ノーマンによる人間の認知行動モデル

触感、味覚などの人間の感覚機関から入力され、人間の脳内における予備的分析、パターン認知を経て記憶構造に伝達される。記憶構造には短期記憶、長期記憶に機能があるが、短期記憶から長期記憶に移行する際に意味的な解析がなされて構文化される。構文化の背後には、思考過程、記憶過程、意識的自覚、欲望動機づけ、情動、注意資源配分といった人間の知性を司る機能が控えており、これらの機能がミンスキーのフレームによる知識の枠組みを提供すると考えられる。さらに記憶構造には、行動の準備のための活性概念、作動貯蔵の機能があり、このプロセスを経て運動プログラムが動作し、声帯や手足などによる効果器を通じて行動を生じる。

人間の行動には、熟慮・判断のような思考を伴う行動と、特定の刺激に対する反射的・機械的な反応のような習慣的な行動が存在する。失敗に起因する反省などは、ミンスキーのフレーム的には、スロットにおける値の変更、新たなスロットの設定、スロットにおけるスクリプトの設定といったプロセスに相当するであろう。反省によるフレームの変更結果は、その後の行動を通じて評価される。それで失敗したならば、フレームはさらに変更されるが、事前の変更結果は教訓としてのスロットに蓄積され、最適な値に収斂していくであろう[9]。このプロセスは、深層学習におけるバックプロパゲーションに近い機能と言える。(とうよりは、むしろこのプロセスをニューラルネットワークは模擬している。)[10]

人間の職業的スキルの多くは、生産活動の特定の状況における迅速な行動であろう。そのために職業訓練プログラムの多くは存在する。識別可能な状況が多ければ、それがスキルの向上に通じる。種々の職業資格は状況の識別能力に対して与えられる場合が大半である。というのは、資格が記述による試験で評価されるからである。実技を伴う資格はその限りではないが、実技における行動は、やはり感覚から得た情報のパターン認知を経るために識別可能な状況の増大が要件となるであろう。

暗記は、認知から行動に至るプロセスにおける多様で複雑な思考を排除することである。学習においても訓練においても暗記はスキル上達における基本であるが、これはフ

フレームのスロット属性と値との関係を長期記憶の機能により明確化させることに対応する。

暗記と共に重要なのが概念相互の関係の理解である。このような概念間の関係は、経験的な事実の積み重ねの論理的な把握、それらの論理に基づく推論によってなされる。このメカニズムはプロダクションルールと呼ばれ、かつての人工知能（エキスパートシステム）においてはLisp言語の関数プログラムにより模擬的に実現されていた[11]。このプログラムは、if~thenルールとも呼ばれ、状況に応じた行動の規範集のようなものであった。この規範集には大量のルールが記載されており、フレームのスロットと連携している。スロットの値に応じてルールが起動されると、それがルール連鎖を形成する。その連鎖には、if部からthen部を呼び出す前向き推論と、then部からif部を呼び出す後ろ向き推論が存在する。前向き推論は、状況から結論を導出し、後ろ向き推論は結論からそれを実現する前提条件を導出するものであった。

2.5 言語による会話のモデル

以上のモデルに基づき人間同士が会話する状況を想定する。まず発話者から考えると、図1のモデルの長期記憶の情報が自然言語の語彙や文として運動プログラムに渡され、運動制御・効果器（喉、舌、声帯など）を経て声となって発話される。次に聞き手を考えると、聴覚を通じて感覚変換・予備的分析を経て音を認識し、さらに短期記憶を経て、意味的な語彙、文章として認識するであろう。以上のような、人間が言語を仲介して情報伝達を行うモデルを図2に示す[12]。図1における長期記憶の意味内容（フレームによる概念）が深層構造として示され、それが表層の自然言語による会話で情報伝達されている。

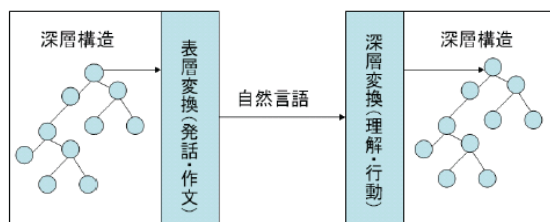


図2 人間同士の会話による情報伝達モデル

チョムスキーの言語モデルによると、言語は深層の意味構造を縦列構造の文に生成のために変換することであり、文法はその変換規則である。ところで推論技術分野の一つである、定性的推論の分野では深層構造における普遍性の高い客観的な知識を深い知識、それに対する経験的な知識を浅い知識として位置づけた[13]。IT分野におけるオントロジという用語は、定性的推論の分野における深い知識を哲学の存在論にからめて呼んだことに端を発する。従ってオントロジはチョムスキーの深層に対応する体系と見なすことが可能である。

3. Lisp言語による語彙と文法の形成

3.1 人間の知的活動とLisp言語

かつてLisp言語は人工知能言語と呼ばれ、高度なLispのアプリケーションは人工知能的と考えられた。エキスパートシステムは確かにそのカテゴリであったが、遡るとLispの処理系自体が人間の行動パターンに近い面がある。すな

わち、言語の実行環境であるLispリスナ（トップレベル）は、Read-Eval-Printループで駆動されているが、これは人間の認識、思考、行動のパターンを模している観がある。さらにLispは命令とデータを同一のデータ形式（S式）で記述可能でチューリングマシンの要件を満たす特徴がある。ノイマン型コンピュータはバイナリ形式でこの機能を満たすが、文字レベルでチューリングマシンを実現していることがLispの特徴である。命令とデータの関係は人間の思想や行動のレベルで考察すると、行動予定、行動記録を対象として、行動することが可能ということの意味する。従って計画したり反省したりすることは、LispのS式の処理に対応することになる。さらに、Read-Eval-Printループは基本的にS式を対象に実行されるので、計画や反省を伴う人間の認識、思考、行動のパターンとの類似が明確になる。

Lispの基本的なデータ型はアトム（atom）とリスト（list）である。この2種類のデータ型を処理するためには、atom, eq, car, cdr, cons という5個の関数機能が必要であるが、これら5関数と特殊形式の、cond, quote, defunから他の全ての関数、変数は定義され、処理系が実現されている。先に2.3節で、「個物は名詞であり、個物の関係は文により記述される。個物の相互の関係により意味が生じ、個物は語彙として把握される。」と述べたが、個物はatomであり、listは個物相互の関係を記述する。先のRead-Eval-Printループは、最初にこの5関数と特殊形式により構成され、その後は関数、変数の定義を通じて基本処理系が定義され、それらの機能に基づき全ての体系を構築していく。

Lisp処理系における変数定義、関数定義を通じたアプリケーションの開発は、人間が概念として認識する対象を変数で定義し、実践としての行為を関数で定義する観がある。さらにオブジェクト指向プログラミングは、クラス定義で概念としての普通名詞、インスタンス定義で個物としての固有名詞を定義し、形容詞や副詞としての属性を定義し、行動や処理としてのメソッドを定義する。このようにオブジェクト指向プログラミングのクラスは、ミンスキーのフレーム機能を適切に実装することが可能である。

反対の見方をすると、人間が外界を感覚を通じて認識しそれを言語化することは既存の記憶された概念（ミンスキーのフレーム）に関係付けることである。叙述としての自然言語は、感覚を通じてパターン認識された概念フレームのスロットへの値の格納や変更プロセスとして機能する。さらに、多数のフレームの論理的整合性の照合も自然言語のなせる業である。自問自答による思考プロセスがその例であり、人間のアイデアの源泉は、概念間の整合であろう。ヘーゲルの弁証法はこのプロセスの一例である。

Lisp言語の標準はCommonLispであり、そのオブジェクトシステムであるCLOS（Common Lisp Object System）は、汎用オブジェクトモデルを採用している[14]。このことは、Lispの基本関数とオブジェクト指向のメソッドをシームレスに総称関数として統一的に扱うことを意味する。従ってCLOSによるプログラムの操作は、前項で述べた人間の自然言語によるコミュニケーションと類似の構造を保有していると解釈できる。ということから人間が自然言語で定義する世界に対応する擬似的な世界を、CLOSで定義することが可能である。従ってCLOSのクラスが定義

する世界は、深い知識としてのオントロジと考えることができる。そのオントロジはCommonLispのデータ型の上に構築される。そのモデルを図3に示す。

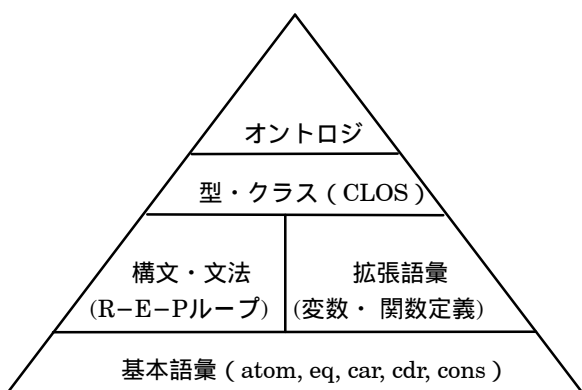


図3 Common Lisp上のオントロジ

最下層の最も原始的な基本語彙として、atom, eq, car, cdr, consが存在し、構文・文法と対応する処理系と拡張される語彙が存在する。拡張される語彙は、変数、関数、マクロ、述語、制御構造等があり、対応する構文の文法が存在する。さらにその上位に体系的な語彙としての型・クラスが存在し、さらにその上位に現実世界を記述するオントロジが存在するという構造である。型については、文書構造との関係で考察したことがあるので参照して頂けると幸いである[15]。

オントロジは、必ずしも定義が明確ではない。先に述べたとおり発端は定性推論技法における深い知識に対して与えられた名称であった。それがエージェント通信の意味論理的な定義で用いられ、CLOSの拡張としてのS式によるKQMLやKIFでドメインオントロジとして部分的に用いられた後に、セマンティックWebの提唱で、XML (Extensive Markup Language) による属性記述とその枠組み定義としてのRDF、RDFスキーマを基盤とするオントロジ言語のOWL (Web Ontology Languageの略だが、ある事情からWとOが反転した) がWebデータにおける標準的なオントロジの枠組みである。

しかしながら意味論理的な枠組みのプロトタイプを構築するには敷居が高い。むしろS式ベースのKQMLやKIFの方が実装は容易である。さらに論理関係の記述は、必ずしも実用的ではなく、単純なCLOSのクラスで実装する方が実用システムの構築は容易である。最近も日本酒の醸造プロセスをCLOSで記述したが、UML (Universal Modeling Language) でクラス図を記述した後のクラス構築のプログラミングは非常に楽であった[16]。

3.2 人間の脳の機能を模したニューラルネットワーク

認識も記憶も、パーセプトロンのノードに結合されるエッジの重みパラメータのフィードバックで管理されているということは、様々な経験や印象を的確に説明するものである。人間の5感は快や不快をもたらすが、それがバックプロパゲーションによるフィードバックの源であろう。視覚情報や聴覚情報は、パターン化されて快・不快と結びついて管理されるであろう。快・不快は多くの場面を通じて、喜怒哀楽の感情となり、視覚と聴覚が外界の事物を識

別して語彙を形成する。さらに外界と自己とのインタラクションを通じて、知・情・意といった精神的な活動源を形成するのである。ノーマンの図の、「意識的自覚」、「欲望動機づけ」、「情動」、「注意資源配分」などに対応する機能は、快・不快に基づく精神的な活動と思われる。この分野の解明が今後の人工知能における未知の重要な領域となると思われる。

パーセプトロンの識別能力が向上して深層学習のレベルになったことにより、画像認識や物体認識のレベルはかなり高度になった。その背景として、AutoEncoderにおける情報圧縮の繰り返しが貢献しているとのことであるが、コンピュータにおいてこれが最終的に快・不快のレベルに到達するとは思えない。さらにRNN (Recurrent Neural Network) アルゴリズムの活用により音声認識のレベルも向上し、語彙レベルの識別も向上しつつある。しかし物体と語彙との連携、語彙的な関係を通じた世界の認識にまではまだまだ時間がかかりそうである。他方、語彙的な関係による世界の記述はCLOSやOWLによるオントロジの分野である。自然言語処理への深層学習の適用も試みられているが、必ずしも明快な展望とは言えないように感じる。

4. 個人が母国語を習得するプロセス

4.1 個体発生は系統発生を繰り返す

人類が言語を獲得したプロセスを前章で述べたが、興味深いことに個々の人間が言語を獲得するプロセスも類似である。この対比に関しては、既に別の報告で解説しているので簡単に紹介する[17]。母親の胎内から生まれた時に「オギャー、オギャー」と泣いて四肢を動かすが、この時点で叫び声・ジェスチャーによる情報メディアを活用している。やがて絵本を見るようになると、洞窟壁画レベルの図形・画像レベルになり、初等教育で文字を覚え、語彙を習得する。中等教育で代数の方程式を習得し、人によるが高等教育で近代論理学を修得する。そのように考えると、表1におけるコミュニケーションメディアの歴史を繰り返している観がある。なお象形文字、表意文字に関しては対応していないが、描画により情報伝達するような生活文化が失われたためであろう。小さな子供は記号としての文字を書くよりは描画することを好むし、スマホの絵文字は象形文字に対応するであろう。交通標識などは、文字で記述されるよりは図形に基づく表示の方が直感的に判別可能である。

4.2 自然言語とCLOS環境の対比

乳幼児が言語を獲得する過程は、本能的な対象の認識に始まると思われるが、ミンスキー的にはフレームが着実に生成されることを意味する。フレームが語彙を持つようになるのは、言葉を認識するようになってからであろう。子供が言葉を覚えて後、「これ何?」という質問を繰り返す時期がある。この時に自分の周囲の事象に対する基礎的な語彙を習得するであろう。さらに「誰?」「何時?」「なぜ?」「どうして?」といった質問で基礎的な語彙に伴う属性や動き、関連する事象なども認識するであろう。この状況は、先に述べたコンピュータ環境としてのCLOS (Common Lisp Object System) のプログラミング環境的には、クラス定義、インスタンス生成、メソッド定義などに相当する。基礎的な語彙に関連して、さらに具体的な分類が生じる場合はサブクラス定義となり、複数の語彙の共

通の性質としての語彙が現れるとスーパークラスの定義となる。このようにして、CLOS環境で模擬される語彙のクラス群の定義のようにして、個々人の深層の知識が構築されるのではないだろうか。以上に基づく人間の言語獲得による知識階層を図4に示す。

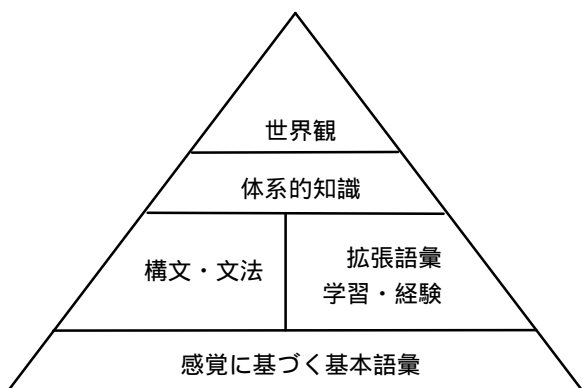


図4 人間の言語と知識階層

図3と図4を比較すると階層的な類似性を感じることが可能であろう。

4.3 表層の言語処理

次に深層を関係付けて縦列化して伝達する表層を考察する。話し始めた頃の幼児は、指示された対象の名称の一語を発話するだけである。やがて2語話せるようになると、動詞や形容詞を使うようになる。この状況は、Lisp言語のリスナ上の処理に近い。Lispは関数型の言語なのでコンピュータとの対話は関数の計算処理を通じて結果を得ることである。なお、関数は命令であり、一般には引数を伴う。例えば、 $y=f(x)$ という関数は、 f という関数が引数 x を取り、 y という結果を返す。Lispリスナは、この処理を行う。

動詞と引数による2語の発話はこのレベルである。例えば、「パンを食べる」とか「外に出る」というような2語による発話が具体例である。3語以上の文の解析は、人工知能分野における自然言語処理の重要なテーマであった。

4.4 ウィノグラードの研究

Lispによる表層レベルの英語による言語の分析は、ウィノグラードの「言語理解の構造」[18]という古典的な名著がある。この書籍の原著は、「Understanding Natural Language」というタイトルで1972年に出版されている[19]。最初にSHRDLUというシステムが紹介される。このシステムはDECのPDP-10上のMaclispにより構築されている。当初は言語知識を「統語処理」「意味処理」「推論」という機能で捉えて、いくつかのプロトタイプを作成している。このシステムによる「積み木の世界」は第一世代の人工知能の成果として有名である。言語の分析のために、PROGRAMMARというシステムを構築し、主語、述語、節、接続詞、前置詞、冠詞、語彙といった要素で構成される英語の構文解析を可能にした。意味についても検討されているが、基本的には属性に値を与えることとしている。推論のためにはPLANNARというシステムが構築され、述語論理によるパタン照合や定理証明といった推論機能を実現している。これらの機能は当時としては画期的で、その

後のエキスパートシステムや第5世代コンピュータ・プロジェクト等に貢献している。

4.5 シャンクの研究

ロジャー・シャンクは、言語の意味論的なアプローチの先駆者である。彼は言語理解の本質である構文解析や文の生成は、意味概念的な予測が重要な役割を果たすと考えた。この発想はミンスキーのフレームにおけるスロットへの値の代入や書き換えに基づく概念伝搬と状況把握・予測と考え、そのような体系的なモデルを、概念依存構造 (Conceptual Dependency; CD) と名付けた[20]。だがこのモデルを具体化するには、芋づる的に関連する多様な概念の実装を必要とする。その結果、スクラッチレベルに基づく微視的なマイクロCDと、マイクロCDを相互に関係付ける巨視的なマクロCDに階層化・構造化され、推論のためには、因果関係を記述するスクリプト、行為者の動機や意図を記述するプラン、推論の目的である目標、目標が関係する主題(テーマ)を扱うことが要求された。要するに概念は静的な記憶ではなく推論・行動に結びつく動的な構造を有しているという見解である。その具体的な解明のために記憶構造パケット (Memory Organization Packet; MOP) という記憶構造を制御する要素モデルを提案している。

4.6 オブジェクト指向プログラミングによる深層構造の実装

なお、この当時はオブジェクト指向プログラミングが未実装であったので、深層に関しては漠然とした議論であり、基本的には表層を中心とした検討であった。深層構造に関しては、ミンスキーのフレームの実装が課題であったが、それがLisp言語に実装されたのは、Lispマシン上のZeatalispによるFlavorを待たねばならなかった。CLOSは、Zetalispの汎用化、標準化を行ったCommon Lispのオブジェクトシステムであるが、Flavorの機能の汎用化・標準化を図ったものと言える。なお、それに留まらず、定義されるメソッドを、総称関数として通常の関数と同様に使用可能とし、多態性(ポリモルフィズム)の活用による知的プログラミングとしての柔軟性を持たせると共に、データ型を持たせてLispマシンでない汎用のコンピュータ上のコンパイラ言語としても使用可能にした点に特徴がある。

4.7 個人差、地域差などによる深層構造の多様性

ところで、同一の母国語においても、当然のことながら深層構造には個人差が存在する。それは個人が誕生して以後、異なる環境で経験を積み、それが深層構造を創り上げるためである。「何?」「誰?」「何時?」「なぜ?」「どうして?」といった環境に対する問いが、着実に深層構造を構築していく。繰り返される事象に対しては、より詳細なスロットを有する頑強なフレームが構築されるであろう。頻度が低い事象はあいまいなフレームが形成され、スロットもデフォルト値ばかりのものであろう。深層構造は、地域や気候にも影響されるであろう。それに伴い多く用いられるフレーム相互間は、一般的な関係とは異なる独自の関係を持つようになり、それが表層にまで関係してくると方言が生じることになる。また、職業や職場環境に依存して、分野毎の語彙が存在するためには業界特有な文化が生じるであろう。さらにジェンダーや年齢によっても語彙は異なる。このようにして深層構造は本来多様なもので

あると考えられる。なお、中央集権的な義務教育は、個人やグループ、地域などの深層構造の差異を整合する役割を果たしている。

5. 考察

5.1 言語行為論・言語コード論の視点

異文化コミュニケーションにおける会話の分析に関しては、オースティンの言語行為論、フィリップセンの言語コード論に基づく分析法が検討されているが、語彙や文法に基づかない、会話の状況や、そこから派生する意味的カテゴリーや行為の可能性を検討対象とする興味深い分野である。

この視点における会話の語彙や文法は必ずしも正確ではないが、それでも会話状況の文脈的な把握を通じて情報の共有や以後の行動に関するコミュニケーションを実現することに資している。かつて植民地において、宣教師や貿易商人が原住民との会話に用いたピジンやクレオールといった言語は、将にこのレベルの言語である。この場合、語彙や文法は双方の言語のものが混在する状況であった。それでもコミュニケーションは可能であった。

この状況は、深層と表層における変換規則が単一ではなく、複合的に混在していることを意味する。そのような混沌とした状況でのコミュニケーションは、手探りによるたどたどしいコミュニケーションの模索にならざるを得ないが、そのような状況におけるコミュニケーション能力が異文化交流のためには極めて重要であろう。

このようなコミュニケーションを、図4に示す人間の言語と知識階層のモデルから考察することが可能である。異なる文化においては、最下層の基本語彙もその上層の文法、拡張語彙も異なるであろう。そのために最初のコミュニケーションは、互いの事物や数値などの基本語彙の対応付けから行われるであろう。その後は、同じ意味を表現する文章の対応付けにより、拡張語彙の対応付けが行われ、語順などから互いの文法が理解されるようになるであろう。ピジンやクレオールのような言語の発生は、以上の経緯から説明可能と思われる。

5.2 人間の深層構造

自然言語の表層と深層構造の関係付けはチョムスキーが発端であるが、その弟子であるスティーブン・ピンカーが「人間の本性を考える～心は空白の石板か」という著書において興味深い洞察を行っている[21]。

ピンカーは、人間の心に関しては3種類のモデルが存在すると説明する。それらは、「空白な石板」、「高貴な野蛮人」、「機械の中の幽霊」で、各々、ジョン・ロック、ジャン・ジャック・ルソー、ルネ・デカルトという著名な3名の哲学者に端を発する。「空白な石板」は、人間の心は当初はまっさらで、生活に従い人間の経験が書き込まれて、それが人間の意識を形成するというモデルである。経験が意識を形成するという意味では「イギリス経験論」のバックボーン的な心のモデルである。「高貴な野蛮人」は、人間本来は良い心を持っていて、社会的な経験がそれを悪化させるというモデルである。これはルソーの「社会契約論」的な考え方である。「機械の中の幽霊」は、人間は物質である肉体だけでなく靈魂を持っており、人間の心は靈魂にあるという物質と精神の二元論（大陸合理論）に基づく考えである。ピンカーは、人間の心も、ダーウィンの進化論に基

づき遺伝子を経由して適者生存的に進化してきたという考え方を主張するが、その考え方が、最近では、「空白な石板」論者と論争を引き起こしているとのことである。

ピンカーは、認知心理学分野における進化心理学の立場を取るが、彼への攻撃は、進化論を否定する保守的な人々だけでなく、進歩的と言われるアカデミックな人々まで含まれており、その中には最新の計算機科学分野であるニューラルネットワークの接続ニズムに関する研究者まで含まれるという。この分野は最新の人工知能分野である深層学習分野に引き継がれており、このモデルは明らかに「空白な石板」の立場である。

ピンカーの進化心理学の立場は、長期的には適者生存のロジックが作用することを主張するであろうが、その要因は個人々の生活経験による記憶の蓄積に比べると微々たるものであろう。従って相対的な個人の立場から見ると「空白な石板」に限りなく近いと思われる。

5.3 自分の深層構造は分からない

前節のピンカーの指摘を踏まえた上で、個人々の知識における深層構造は、その人間の経験を踏まえたものである。その経験には、幼少時の家庭における経験、公的教育を通じた学習や職業訓練、高等教育における専門教科の学習やリベラルアーツも含まれる。さらに日々のマスメディアによるニュースやゴシップ、テレビ番組やコマーシャルなども含まれるであろう。

そのように考えると、深層構造の意味情報は、個人の履歴書やライフログに関係付けられる情報であろう。そこには、個人の喜怒哀楽や価値観に関わる情報、不安や悩み、悲しみ、トラウマのような否定的な情報、憧れ尊敬した人物、感銘を受けた書籍など、生き甲斐や価値観に関わる情報などが体系的な意味情報として系統的に蓄積されていると思われる。

だがこの情報は、必ずしも個人が意識的にコントロールして取り出せるものではない。何らかのきっかけで突然思い浮かぶ情報、他者から問われて回答を迫られた状況で、思い起こす情報などは、平時の緊張を欠いた時点では到底思い起こすことは無い。一般論としての個人の深層構造は議論できても、自分自身の深層構造は不明確である。精神分析の専門家であれば、多少の理解は可能なかもしれないが、それでも深層構造の中の表層に近い部分で、深層の中の深層は知り得ないであろう。

「汝自身を知れ」は、ソクラテスの言葉として知られているが、デルポイのアポロン神殿の入口に刻まれた古代ギリシアの格言であったとのことである[22]。表層としての語られる言葉を通じて言語理解はできても、深層構造は闇なのである。自分自身の理解は他者からの理解を通じて初めて得られるのかもしれない。このことは、他者の理解を通じて自分自身の理解も得られるという倫理的な意味を含むものとなる。

深層学習による人工知能の議論が盛んであるが、深層学習によって人工知能システムは自分自身を知ることが可能であろうか。これも興味深い問題である。処理系のハードウェアやプログラムのアルゴリズムは仕様が明確化され実装されているので当然知ることではある。しかしニューラルネットワークのノードに関連するパラメータ値を最適化した多様な教師データの経緯や、バックプロパゲーション

の計算経緯などを、振り返って短時間で評価することは極めて困難であろう。

5.4 コンピュータ環境における深層構造

人間の深層構造に関しては明確な記述は難しいが、コンピュータの場合はデータベースの開発を発端に従来から多くの事例が存在する。1950年代のメインフレームコンピュータの時代には、CODASYL (Conference/Committee on Data Systems Languages) 型と呼ばれる階層型のデータベースが使用された。1980年代頃から、関係データベースが使用されるようになり、今日でも標準的なデータベースとして使用されている。1990年代にはオブジェクト指向プログラミング (OOP: Object-Oriented Programming) の普及に伴いオブジェクト指向データベース (OODB: Object-Oriented Database) が使われ始めた。OODBは、OOPにおけるクラスの属性に対するインスタンスの値を検索する機能を有するので、ミンスキーのフレームの情報を管理するために適合する。そのためにCycプロジェクトはORIONというOODBを用いて、意味データベースの構築を試みた[23]。

属性に対する値を管理するという観点では、SGML (Standard Generalized Markup Language)、XMLのDTD (Data Type Definition) とそのインスタンスもコンピュータによる深層構造と言えるかもしれない。Webのコンテンツとして使用されているHTMLは、その属性がSGMLのDTDで定義されている。しかしながら、属性の値自体が記述される文章なので、この場合はむしろ表層の情報の管理的枠組みである。

XMLによるフレーム的な機能としては、DTDと同様な情報管理的な枠組みとして、XML Schema, RELAXNGが存在する。さらにミンスキーのフレームに近い枠組みとしてはRDF (Resource Description Framework)、RDF Schema, OWLが存在する。しかしながら、これらの枠組みを用いた本格的な知的なアプリケーションの実用化には至っていない。

6. おわりに

以上、人間のコミュニケーションの進展とコンピュータにおける情報メディアの進展の対称性を背景に、人類における自然言語の進展を掘り下げる考察を行なった。さらに個体発生は系統発生を繰り返すという生物学的な発生の経緯を人間の言語習得について試み、さらに言語習得プロセスに関してLisp言語によるシステム開発の類似性に着目しモデル化を試みた。言語の機能は表層と深層に分けられ、表層における英語の文法や機能については、1970年代にテリー・ウィノグラードがLisp言語を用いて分析を試みている。その後ロジャー・シャンクが意味ネットワーク的な概念依存や記憶パケットによるモデルを提起し、表層と深層を仲介するレベルの分析を試みているが、本稿では、Lisp、オブジェクト指向、文書型、オントロジ等の技術を背景として、構文レベルの表層と意味レベルの深層 (オントロジ) の言語習得に関して考察し、階層モデル化を試み、さらに人間における言語習得プロセスに関係付けた。

今後は、この考え方を具体的な英語学習や異文化理解に適用し、モデルの妥当性を評価すると共に、英語学習や異

文化交流への新たな視点を見出し、グローバル人材の育成に貢献することを目指したいと考える。

文献

- [1] J・L・オースティン (坂本百大訳); “言語と行為.How to Do Things with Words”,大修館 (1978.7)
- [2] Daniel Chornet & Bracey Parr; “Into the Constructivist Paradigm: Speech Codes Theory Applied to the Training of (Inter)Cultural Communication Competence”, Proc. SIETAR Europa2015, Academic Session, p.29 (2015.5)
- [3] 木村登志子, 清水秀子; “短期留学プログラム参加者における異文化理解と学習動機付けの変容”, 嘉悦大学研究論集, 第59巻, 第1号 (2016.10)
- [4] 木村登志子, 大野邦夫; “スカイプを活用した大学英語学習によるコミュニケーション活性化への考察”, 2017年度画像電子学会年次大会, DSGセッション資料 (2017.6)
- [5] 大野邦夫, 吉田正人; “情報メディアを構成する型概念に関する考察”, 情報処理学会研究報告, DD30-2 (2001.9)
- [6] B. Russell; “The Problems of Philosophy”, Oxford University Press, pp.46~59, (1959)
- [7] P.H.ウインストン編, 白井・杉原訳; “コンピュータビジョンの心理”, 産業図書, p.238, (1979)
- [8] D.A.ノーマン (富田訳); “認知心理学入門.学習と記憶”, 誠信書房 (1984)
- [9] 大野邦夫; “深層学習時代のIoTサービスと人材育成への展望と課題”, 画像電子学会第7回DSGワークショップ(2016.11)
- [10] 神島敏弘編; “深層学習” 人工知能学会監修, 近代科学社 (2015)
- [11] P.H.ウインストン (白井訳); “LISP”, 培風館 (1982)
- [12] 大野邦夫; “人間の知識と社会を変革する情報メディア”, 日本画像学会, Imaging Conference JAPAN 2011 論文集 (2011.6)
- [13] Kenneth D. Forbus; “Qualitative Physics: Past, Present, and Future”, Exploring Artificial Intelligence: Survey Talks from the National Conferences on Artificial Intelligence, Morgan Kaufmann, pp.239.294, (1988)
- [14] 河辺和宏, 中村秀男, 大野邦夫, 飯島正; “分散オブジェクトコンピューティング”, 共立出版, pp.15-17, (1997)
- [15] 大野邦夫, 吉田正人; “文書を構成する型についての一考察”, 情報処理学会研究報告, DD22-1 (2000.3)
- [16] Kunio Ohno, Masatoshi Hiroura, Biro Attila; “Development of Sake Brewing Entrepreneurs Support System in Fukushima”, Proc. IEVC2017 (2017.3)
- [17] 大野邦夫, 木村登志子; “言語習得プロセスにおける画像情報の役割”, 2017年度画像電子学会年次大会, DSGセッション資料 (2017.6)
- [18] テリー・ウィノグラード (淵一博, 田村浩一郎, 白井良明訳); “言語理解の構造”, 産業図書 (1976)
- [19] Terry Winograd; “Understanding Natural Language”, Academic Press Inc. (1972)
- [20] R. C. Shank; “Conceptual dependency: A theory of natural language understanding”, Cognitive Psychology, 1973.3, pp.552-631 (1973)
- [21] スティーブン・ピンカー (山下篤子訳); “人間の本性を考える ~心は「空白の石版」か(上)”, NHK出版 (2004)
- [22] Wikipedia; “汝自身を知れ”, <https://ja.wikipedia.org/wiki/%E6%B1%9D%E8%87%AA%E8%BA%AB%E3%82%92%E7%9F%A5%E3%82%8C>
- [23] Wikipedia; “Cyc”, <https://en.wikipedia.org/wiki/Cyc>