

人工知能分野におけるデルファイ法の的中度の分析

An Analysis of Applicability of Delphi Method to Artificial Intelligence

天野 真家 Shin-ya AMANO

湘南工科大学 工学部 情報工学科

Department of Information Science, Shonan Institute of Technology

稲垣 耕作 Kosaku INAGAKI

京都大学大学院 情報学研究科

Graduate School of Informatics, Kyoto University

要旨

日本は技術予測先進国であると言われる。その代表的なものが文部科学省が5年ごとに実施している「技術調査」である。本論文では2006年現在が実現予測時期の周辺にあたる1992年の第5回技術調査の結果を、筆者らの専門分野である人工知能、なかでも自然言語処理と、自然言語を使用する必要があるであろう知的ロボットの分野で検証した。人工知能の課題は人間が易々となす課題であるだけに、人工知能の専門家以外にはそれほど困難には見えないという特性がある。それが実現予測時期を狂わせるのではないかと考えた。今後の予測に多少なりと参考になればとの思いから人工知能の課題において、現実の技術のレベルと予測との間に横たわる深淵に関する筆者らの見解を本論文にまとめる。

Abstract

Japan would have an advantage in estimation of foresight of science and technology among the major countries. The prominent project in its scale and quality is the Technology Forecast Survey conducted by Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology. The authors attempt in this paper to examine the result of the fifth survey conducted in 1992 since the target time that the survey forecasted has come or is coming. They think that major subjects on Artificial Intelligence such as natural language understanding, vision, speech recognition, etc. are easy for the participants of the survey to do, causing them to fail in making correct estimations. Thus the authors, who have been engaged in the research on Artificial Intelligence over thirty years, analyzed the applicability of the Delphi method to the field of Artificial Intelligence. There lay a deep chasm between the forecasted time and current technology. This paper tries to describe why the chasm was made.

1. まえがき

デルファイ法による人工知能システム、とりわけオープンな問題に対する実現時期の予測は当たらないことが多い。ここでいう「オープンな問題」とは、システムが扱うデータが事実上無限であり、その構造が完全には解明されていない問題という意味で用いている。一口に人工知能と言っても、エキスパートシステムのように比較的閉じた問題を扱うシステムはここでは除く。例えば、初期の著名なエキスパートシステムであるMYCINは抗生剤の使用法をアドバイスするもので、抗生剤という比較的狭い分野に限定したために技術的には成功したと言えよう。一方、必勝法があるという意味で、綺麗に閉じた問題であるゲーム、例えばチェスや将棋の場合でも、人間の世界チャンピオンに勝つ時期を予測するのは非常に難しい。将棋ソフトの専門家ですえ予測できないとあって良いだろう。チェスでは1997年、IBMのDeep Blueが世界チャンピオンGarry Kasparovを破って一応の決着は付いた。しかし、手がチェスの 10^{120} に比して 10^{220} あると評価されている将棋^[1]では、閉じた問題であるとは言え必勝アルゴリズムを用

いていたのでは天文学的な実行時間がかかるためヒューリスティクスという不確かな物に頼らざるをえない。従ってプログラマー個人の技量に依存する部分が多いため、未だに予測が修正されている。

なお、デルファイ法とは、以下のように定義される方法である。

『デルファイ法は多数の人に同一のアンケート調査を繰り返し、回答者の意見を収れんさせる方法である。

2回目のアンケートでは、1回目の調査結果を示した上で再度意見を求めるので意見が収れんする。』

-- (文部科学省) NISTEP REPORT No.97 より引用

なぜ、人工知能、わけでも機械翻訳、音声認識、知的ロボットなど自然言語処理を含む分野では、大幅に予測がずれるのであるうか。考えられる原因の一つは、通常、評価者は計算機による情報の処理方法の進化にある程度の連続性を仮定していることだろう。現時点で自然言語処理が行っていると称している結果を単純に未来に外挿した場合--通常それがデルファイ法が予測する結果なのだろうが--それは現実の進歩には一致していない。実際には、現実の進歩と、現状からの外挿で得た結果との間には深

い深淵が存在する。本論文では、人工知能一般に敷衍できる技術と論理、および、人間が知的働きを行う手段としての自然言語に特有な問題を題材にこの「深淵」ができる原因について論ずる。

機械翻訳、自動通訳、音声認識、知的ロボットなどの実現には自然言語処理が不可欠である。それは、単なる言語の文法的な扱いにとどまらない。自然言語処理は、世界知識のハンドリングを含む幅広い分野だからである。知的ロボットが人間の言葉を解するという事は、仮名漢字変換ができるとか、翻訳ができるとかの言語内の世界での処理結果にとどまらず、それが置かれている外部環境-世界-を理解し、世界と相互作用を持つ必要がある。このことは、すでに Alan Turing によって提案された Turing Test^[2] にその萌芽が見えている。ロボットが Joseph Weizenbaum による ELIZA システム^[3] のように言語内世界の知識-主として文法^[1]-だけを用いて会話を行っていても、Turing Test に耐えることができないことを想像すれば、このことは良く理解されよう。

例をひこう。

『Q: Please write me a sonnet on the subject of the Forth Bridge.

A: Count me out on this one. I never could write poetry.』
-- COMPUTING MACHINERY AND INTELLIGENCE^[2]
A.M.Turing より引用

機械翻訳システムの場合、上記の Q は、「the Forth Bridge を主題にして私にソネット (14 行詩) を書いて下さい」とすればよい。この程度ならそれほど難しいことではない。

実際、筆者の一人の天野が開発した TAURAS では下記のように翻訳された。

私にフォース川ブリッジの主題上のソネットを書いて下さい。

しかし、知的ロボットの知能を担う自然言語処理においては、「the Forth Bridge」が何であるか知る必要がある。上の機械翻訳システムは「フォース川」と訳しているので、「the Forth」が「川」であることを知っているようにみえるが、単に語彙論的規則と辞書項目での記述を使用しているだけのことで、「川」が「水の流れ」であるという知識さえ持っていない。ロボットの場合、「the Forth Bridge」は 19 世紀、スコットランドに建設された鉄橋かもしれないし、あるいは、別の何かかもしれないということを知っていることが望ましい。それがロボットにとって何であるかは、ロボットが置かれ、教育されてきた環境に依存する。「sonnet」に関しても同様に言語外の知識が必要である。これを書くためには 14 行詩のマナーを知らなければならない。詩的センスも必要になるだろう。言語とはこのように文法のような内的機構だけでなく世界と関わるという外的機構をもつシステムなのである。

もうひとつ、上記 Turing から例を引こう。

『Q: Add 34957 to 70764

A: (Pause about 30 seconds and then give as answer) 105621.』

これは、言語処理だけでなく算法に関する知識をも必要とする例である。このような簡単な算数ではなく、「次の同次形の微分方程式を解け」のような問題の場合、高度な数学の知識が必要になる。ELIZA のように「応答を返すための適切な応答パターンが見つからない場合、[- についてもっと語ってください]というパターンを用いる」というデフォルト応答規則を適用して、「微分方程式についてもっと語ってください」と無意味な応答をさせることも可能ではあるが、この方法では Turing Test に耐えないのは言を俟たない²。

このような言語外知識が必要なロボットが、どれほど高度な人工知能の技術を必要とするかは容易に理解できよう^[4,5]。しかし、自然言語処理は、それより遥かに手前の段階、統語解析の段階で既に行き詰っていることは、強調しておいたほうが良いだろう。

現時点での統語解析は、ブッシュダウンオートマトンに対応する文脈自由文法を基本モデルに用いている。計算の理論的保証はこれだけであり、加うるにヒューリスティクスと呼ばれるさまざまな「経験的知識」の断片を、計算理論的には確実な保証のない方法で適用して処理結果を出している。したがって、その結果から将来を推定してもほとんど何の保証も得られないのである。これが予測が大幅に外れる原因であろう。

例えば、仮名漢字変換は 1978 年に筆者の一人である天野^[6,7,8]らにより実用化されたが、その後 30 年近くになる 2006 年現在、変換率が劇的に向上しているかといえば、そうはなっていない。このことはパソコンのワープロを用いている人には自明であろう。ワードプロセッサという形では、変換速度が増し、形態が PC 上のソフトに変わり、価格が安くなり、連文節変換が可能になったという周辺の性能、機能が向上したにすぎない。言語処理の応用技術はともかく、中核技術はほとんど停滞していると言って過言ではない。

天野はその後「精緻化文法」を創始し、彼のグループと共に新たな品詞体系と文法体系の確立を目指し、変換率の大幅な向上を果たした。しかし、この技術はエポックメイキングな技術というより、「コップの中の嵐」的な位置付けでしかなかった。この方法論を梃子に技術的ブレークスルーを起こしたのではないからである。品詞を役割別に「精緻」に細分し、品詞間の接続情報という文法を「精緻」に記述したのであるが、その研究・開発が終了した時点でそこが性能の終了点となった。品詞は矛盾を持たないレベルで細分され、文法も記述し尽くされた。それは「精緻化文法」の技術思想における完成物であり、その技術遺産を他の研究者が相続して更なる延長を行っていけないのである。その結果を参考にすることはできようが、別の研究者は再度、0 から出発することになる。人工知能の性能改善にはこの性質のものが多い。従って、技術の延長上に予測を外挿できない。当事者以外から見れば、「あそこまでできているなら、完成までもう一步」と見えても、当事者、あるいは当該技術は既に「息が切れている」こと

¹ ELIZA は文法さえ用いていない。入力文をパターン化し、そのパターンに対応する応答パターンに適切なパラメータを挿入して応答文を作成している。

"人工知能分野におけるデルファイ法の中度の分析", 情報文化学会誌 13 巻第 1 号, pp.20-27, 2006

² このようなプログラムは俗に「人工無脳」と呼ばれている。

が多い。

2. デルファイ法と人工知能システム

文部科学省の技術予測調査⁹⁾をみてみよう。この調査は文部科学省(前期:科学技術庁,後期:科学技術政策研究所)が1971年以来ほぼ5年ごとに行っているもので、最近では第8回調査にあたる「科学技術の中長期発展に係る俯瞰的予測調査」が2005年5月に行われた。そこで挙げられた自然言語処理関係の課題の予測は次のようになっている。

『「言語のリアルタイム翻訳機能が付加された電話の一般化」
技術的実現時期 2017年 社会的実現時期 2025年』

この予測が当たるかどうかは現時点では判断できないので、現時点が予測時期の周辺になっている1992年の第5回調査予測を調べてみる。なお、この調査書の中には第4回調査結果等も含まれているので、併せて記しておく。

この調査で行われたテーマを2つのジャンルに分けて評価を試みる。なお、以下、予測時期は「実用予測時期」である。

(A) 自然言語処理

『(1) 日本語の文章を音声入力(不特定話者による連続単語発生)することにより、漢字混じり文に変換する汎用的な音声タイプライタが普及する。

1992年第5回調査:2008年 1986年第4回調査:2002年

(2) 音声入出力によるポータブル型自動通訳器(簡単な日常会話を双方に通訳する)が商品化される。

1992年第5回調査:2007年 1986年第4回調査:2003年

(3) 図書、資料の要約・抄録を自動的に行う装置(要求により任意の圧縮比で出力ができる)が開発される。

1992年第5回調査:2010年 1986年第4回調査:2003年
1982年第3回調査:2000年』

(B) 知的ロボット

『(4) 家庭又は病院等においてほとんどの雑用をこなす介護ロボットが実用化される。

1992年第5回調査:2010年 1986年第4回調査:2000年

(5) 消火活動にロボットが導入され、コンビナートの消火や火災現場での人間識別及び救助に利用されるようになる。

1992年第5回調査:2004年 1986年第4回調査:1999年

(6) 視覚、聴覚、その他センサ機能をもち、自ら外界の状況を判断して、自律的に意思決定し行動する知能ロボットが実用化される。

1992年第5回調査:2012年 1986年第4回調査:2004年』

(1)に関しては、第4回の予測が外れたことは明白だろう。現状を評価すれば第5回予測も外れるだろう。1997年9月に日本アイ・ビー・エム株式会社が音声タイプライタのソフト版と言える「VoiceType Simply Speaking Gold 日本版」を、2000年5月29日、機種非依存のIBM ViaVoiceTM 3の商品化を発表したが、普

³ IBM, ViaVoice, は IBM Corporation の商標である。

及するには至っていない⁴⁾。そもそも、人工知能の研究は1956年のダートマス会議以来(The Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence)途切れることなく続けられているので、企業の先端的技術力を誇示するフラグシップ的な製品として商品化することは、採算を度外視すればどの段階でもできるのである。コンピュータ関連の展博で、「参考出品」としてそのような機器が展示されることは良く知られている。製品化した場合、問題は、それが一般に普及するかどうかであり(いわゆる、「お蔵入り」の出荷量ではなく継続的に使われているかどうか)、その意味で、(1)の記述に「普及する」が含まれていることは正しい判断である。

(2)に関しては、この予測もまったく外れていることは言を俟たない。簡単な日常会話を双方向に通訳する「ポータブル型自動通訳器」と称する機器は1970年代後半に最初、米国で商品化されたが、現在まで普及に至っていない。このような機器は現在でも「translator」として販売されている(図1)。



『10 Language Talking Electronic Translator』

写真: <http://translator.aimhi.com/electronic/super1010.html>

より引用

図1 音声翻訳器の商品例(音声合成のみ。音声認識機能は無い)

この種の機器は文法的解析機能をもたず、辞書引き機能だけで、訳語を原文と同じ順に羅列するだけのものであったから、通訳器と呼ぶには相応しくない。現在のノートPC, PDA程度のMPUと主記憶、二次記憶等のハードウェアを搭載していれば、簡単な単文、あるいは挨拶のようなフレーズの日常会話なら技術的には翻訳可能である。また、音声入力も環境雑音を除く単指向性のマイクを利用すれば、多少の認識誤りは免れないものの入力は不可能ではない。もっとも、音声の入力誤りを音声で訂正することはヒューマンインタフェース上、容易ではない。音声合成技術については、この10年ほどで非常に向上している。その音声品質は、いくつかのメーカー製PCにプレインストールされているソフトで、容易に試すことができる。すなわち、実用性には問題があるが一応製品の形態にまとめることは可能である。しかし、現実には製品化はされていない。この項目は「商品化」となっているので外れたと判断することになる。

このような機器は、玩具として楽しむことはできても、例えば

⁴ 2000年5月29日の同社プレスリリース「音声認識ソフトウェアの新パッケージを発売」に『ViaVoiceTMは1999年には国内で年間100万本の出荷を突破した、Windows^(R)パソコン用の音声認識ソフトウェアです。』とある事をここに記しておく。

海外旅行で実用的に使用することができるかどうかを考えると、非常に疑わしい。このような携帯機器で音声入力のために、いちいち単一指向性マイクを身に付けることは実用上無理があるし、翻訳器にマイクを内蔵させれば、環境雑音を排除するために翻訳器を口元に当てる必要がある。これでは、相手とスムーズな会話が成り立たない。80年代のコンピュータショーなどの会場では公衆電話ボックスのような無音室に近い環境で音声認識のデモがされていたことから分かるように、音声認識は周辺の雑音に弱いことは周知の事実である。街頭の雑踏の中で、道を聞くためにこの機器を使おうとした場合、どのような使い方になるかを考えれば企業は商品化に二の足を踏むのは当然である。技術的専門家集団はビジネスの観点を欠くことが多いので、「商品化」のような設定は予測を外す原因になるのであろう。

(3)の記述、「装置が開発される」という目標設定は、既に述べた「継続的に研究開発されている」という理由でここに取り上げた人工知能の分野ではほぼ無意味である。1997年発売のマイクロソフト株式会社製MS-Word97では、「要約の作成」機能が搭載された。一方で、『図書、資料の要約・抄録を自動的に行う装置（要求により任意の圧縮比で出力ができる）が開発される。』の時期が、2000年 2003年 2010年と修正されている。課題には「実用レベルに達した品質で」という制約が陽に記述されていない。筆者らの評価では、「実用レベルで開発はされていない」となる。この論文の後半で述べる理由により、高度に知的な処理である文章要約が、知的人間の行うレベルで意味処理されて実現されているとは考えられないからである。

機械翻訳、自動通訳、音声認識、知的ロボットなどの実現には自然言語処理が不可欠である。この程度ならそれほど難しいことではない。技術的实现時期 2017年 社会的实现時期 2025年なお、以下、予測時期は「実用予測時期」である。1992年第5回調査：2008年 1986年第4回調査：2002年 1992年第5回調査：2007年 1986年第4回調査：2003年 1992年第5回調査：2010年 1986年第4回調査：2000年 1992年第5回調査：2004年 1986年第4回調査：1999年 1992年第5回調査：2012年 1986年第4回調査：2004年 4.1品詞の問題問題は、この「同一性」にある。従って、実際の自然言語処理では、5. 言語学の問題 --意味論--文の意味は、その文を形成する各語の意味と、それらの語の統語的關係からなると考えられる。単語の意味が決まらなければ、文の意味は決まらない。文の意味が決まらなければ単語の意味は決まらない。自然言語の文の場合、その意味の決定が困難な原因は語が多義であることに起因している。機械的に意味があるのは、ある語群が同一グループにあるということだけである。自然言語処理としてこのグループを用いる場合、グループ間の関係を別途定義する。このようなことが可能になれば、文の意味も構築できるだろう。意味=意味標識の図式はあまりに簡素化しすぎている。意味標識の場合、「語」で表された標識は、メタレベルで用いるのであるが、この場合、意味処理とは、意味標識間の選択制限にすぎない。意味は、世界と結びついていなければならず、言語内で閉じているものではない。この翻訳は、まったく意味をなさない。文の理解には世界知識が必要であるという意味で、自然言語処理一般の問題であり、言語を理解し、状況を認識する必要がある知的ロボットそのもの問題である。↓

図2 MS-Word2003による本論文の要約(5%)

図2にMS-Word2003により本論文の文字数5%にした要約を示した(要約部分と脚注は副作用が多いので取り外して要約した)。これを冒頭の筆者自身による要約と比べてみれば、その差は歴然としている。第4回調査の予測は外れていると言ってよからう。

ロボット技術に関しては、「動作」に関する機械的性能・機能と、「知性」に関する人工知能的性能・機能¹⁰⁾の二面があるが、本論文では後者だけに注目する。知的ロボットの実現で難しい問

題は「状況認識」、「問題解決」、「言語理解」であろう。例えば、「ドライバを回してネジ釘を柱に留めよ」という命令では、「ドライバを回す」ことをロボットはどのように解釈できるだろうか。ドライバを持った腕をぐるぐると回転させる解釈も可能である。いちいち、「ドライバを回せ」などの説明はしないとすれば、ロボットはドライバの使用法をあらかじめ知らなければならぬ。これは、すなわち、実世界の様々な知識をあらかじめロボットが持っていなければならないことを意味する。「状況認識」、「問題解決」に関しても実世界から離れて考えることはできない。そのようなさまざまな世界知識-ontology と呼ばれる-を一体、技術者はどのようにして用意することができるのだろうか。1970~80年代に一世を風靡したエキスパートシステムが一部の例外はあっても総じて成功しなかった理由は、比較的閉じた世界の知識でさえ、人間はあらかじめ網羅的に知ることができないことが原因であった。

(4)、(5)に関してもそれぞれ1999年、2000年という第4回調査の予測は相当にはずれている。2006年現在、まだ実現されていない。消火 介助という一見閉じた世界の問題に限定しているが、そこに存在する問題は、開いた世界の問題の縮図になっているため質的に変わらぬ困難を含み、実現できないのである。

機械的動作だけに関して言えば、そして採算を度外視すれば、ロボットは介護に使うことができるところまで来ているかもしれない。しかし、一体、ロボットをどのような場面で介護に使うのであろうか。ベッドから立ち上がるのが不自由な老人を支えて起こそうというのであろうか。歩くのが不自由な老人の杖代わりになるうというのであろうか。いずれにしても、この場合のロボットには状況判断ができる能力が必要になる。状況判断は人間にとっても高度な知的作業であり、人工知能の中でも最も困難な課題の一つである。

あるいは、人間の会話の相手をするロボットということも考えられる。単なる会話だけでなく、介護している間には被介護者から種々の要求なり日常的話題の話しかけなりが行われるだろう。ちょっとした掛け声にも合いの手を入れる必要がある。無言の介護士というものは異様な存在であろう。介護ロボットといえども簡単な会話機能、可能なら Turing Test を通る程度の人間味のある会話機能をもつ必要があろう。

(6)については、より一般化した問題であるので、更に難しい問題設定であることは言を俟たない。

以上の評価をまとめると、予測が外れる原因として次の観点からの問題が浮き彫りになってくる。

1. 技術の困難さの観点
2. ビジネスの観点
3. 実用性の観点

このように観点が複数あることは予測の標的が揺れる原因になる。何を予測するか的的を絞る方が良い結果を産むだろう。

既に述べているように、本論文では以下、特に自然言語処理に関する技術を主として取り上げ詳細な考察を施すことにする。

3. Turing と Chomsky

チューリングマシンは「計算」を定義したものである。このマシンで定義される「計算」は帰納的可算集合を規定することが可能である。すなわち、集合の要素をアルゴリズム的に作り出すことができる。ここで、集合として自然言語の文を要素とするものを考えれば、そのような集合の要素を枚挙するチューリングマシンは自然言語の文を生成することができる。これが、計算機で自然言語を処理することができる根拠である。

原理的には、文を生成する能力を使い、自然言語の文を与えて、それと同じ文を生成し、その生成過程をたどることにより、その文法的構造を得ることができる。すべての自然言語処理プログラムは計算機のこの能力を用いて、必要な処理を行っている⁵。

自然言語の文の完全な集合を生成するアルゴリズムさえ見つけられれば、機械翻訳は可能であるのだろうか。Noam Chomsky は 1957 年の「Syntactic Structures^[11]」、1965 年の「Aspect^[12]」においてアルゴリズム的な方式で自然言語の文を生成する文法記述形式を提案した。その生成部門では、文法は、「文 名詞句、動詞句」のような書換え規則として表される。書換え規則によって深層構造と呼ばれる文の原型ができあがり、それに变形規則を適用して表層構造と呼ぶ、実際に観察される文ができあがるとされた。これ以来、この方法、なべても数学的基礎付けが明確な生成部門だけを用いて数多くの自然言語処理システムが開発された。Chomsky のアルゴリズムを Turing の機械で実現させたのである。しかし、いまだに、十分な性能を持つ機械翻訳は実現できていないばかりでなく、自然言語の文の完全な集合を生成するアルゴリズムさえ見つけだされていない。Turing は計算を規定し、Chomsky は文法形式を規定したが、何か欠けていた。それは、自然言語に関わるデータの性質への考察であった。以下、この性質について検討していくことにする。

4. 言語学の問題 --統語論--

4.1 品詞の問題

生成文法では、終端記号が品詞になっている。文生成の最後の過程は語彙挿入であり、統語規則により生成された品詞群に辞書に登録されている語を挿入することによって文ができあがる。初期の Chomsky では、こうしてできた生成物は表層文ではなく深層構造であるとされたが、自然言語処理では、この生成物を直接、表層の文として扱うのが普通である。こうして文ができあがるが、ここに大きな問題が存在している。この方法では、Chomsky 自身が指摘するように

『*This colorless green idea slept furiously.*^[11]』

のような文法的には完全に正しいが、意味論的には正しくない無意味文が生成されてしまう問題がある。

品詞というものは、語の文内での挙動によって、同一の挙動を示すものをグルーピングしたものに付けたレーベルである。問題

は、この「同一性」にある。どのような基準に従って同一であると決定されるのかについては、自然言語処理では問題にされることは少ない。それは所与のものとして扱われるのが普通である。工学的研究では処理システムを研究開発することに主眼がおかれるのは必然であると言えよう。「は」と「が」の使用の問題など、文法的な一現象に関しての研究はあるものの、包括的な研究は少ない。従って、多くの場合、品詞は伝統的言語学によって所与のものとしている。多少の変更は加えるが、基本は不変である。

こうして自然言語処理では、同一性の定義を論ずることなくシステムを構築してきた。しかし、「同一性」の定義がなければ、真の意味の「同一性」は実現できない。現在の定義は、相対的定義にしかっていない。

1) 品詞は文法規則の中で同一の機能を持つものとして規定される。

2) 文法規則は同一の機能を持つと仮定されている品詞について、その文法的挙動を記述する法則である。

これは循環論法である。

従って、実際の自然言語処理では、

1) まず伝統的品詞に従って文法規則を書き、この規則を大量の文に適用して、文法解析を試みる。

2) 解析に失敗した文について、失敗の原因を分析し、品詞の再構成を試みる。

この過程を繰り返して文法解析率を上げていく。摂動論的な方法を用いるのである。これは、「品詞分類の数は研究者の数と同じだけある」という状況を惹き起こしている。

例を用いて考察しよう。「生殖する」と「発振する」が文の中で同一の挙動を示すとはどのようなことか。一般には、両方の語は、いわゆる「自動詞⁶」という同一の挙動を示すとされているが、それは、名詞という挙動を示すものを主語にするという関係においてであって、その場合、「犬」と「電子回路」という意味的に距離がある語が同一のグルーピングを受けざるをえないという相互関係において、「生殖する」と「発振する」は同一のグルーピングを受けるのである。しかし、一方では、「生物」と「非生物」という品詞を設けた場合、その意図からして「生殖する」と「発信する」は同じ品詞にはなりえない。つまり、「生殖する」と「発振する」は、文の中の他の要素のグルーピングに影響を受ける。このことは、語のグルーピングは相互に影響を及ぼしあうことを意味する。どこにもグルーピングの固定軸がなく、相対的基準でグルーピングせざるをえない。現在の自然言語処理は 10 万語以上の語彙を持つ。それらの語群が互いに依存しながらグルーピングを受けなければならないという困難さが、品詞設定にはあるのである。

自然言語処理システムを開発する場合、第一近似として伝統的な文法が行ってきた品詞を用い、それを基本にして摂動を掛ける方式で改良していく。この曖昧なグルーピング規範のために、自

⁵ 現実の統語解析器は、ここまでの能力を使ってはいない。プッシュダウンオートマトンという限定された能力程度しか使ってはいない。

"人工知能分野におけるデルファイ法の中度の分析", 情報文化学会誌 第 13 巻第 1 号, pp.20-27, 2006

⁶ 「自動詞」という品詞は英語の文法において有効なもので、文法体系が異なる日本語で必ずしも有効な品詞とはならない。日本語の「省略」は正当な文法内の規則であり、目的語が省略された文では、動詞は見かけ上「自動詞」となる。文法理論を他言語から借用する場合、このような問題も存在する。

然言語処理システムは開発の比較的早い時点で矛盾が解決できなくなり、性能の限界に達してしまうのである。この事実を考慮した予測を行わない限り、精確な予測は困難である。

4.2 統語規則の問題

更に、文の中には統語論のレベルにおいて意味的な要素を含む部分がある。英語において、統語解析は次の品詞列はどのような統語構造を持つかを決定しなければならない。

代名詞, 副詞, 他動詞, 限定詞, 名詞, 前置詞, 固有名詞, カンマ, 限定詞, 副詞, 過去分詞, 名詞, 前置詞, 固有名詞, ピリオド

これは同格の例である。『*I just finished a novel by D. H. Lawrence, the least talented novelist in English.*』が原文であるが、同格を品詞レベルで断定することは難しい。

勿論、この例だけにおける同格を受理する文法規則を書くことは容易である。しかし、あらゆる同格の事例を受理する文法規則を書くことは非常に困難であり、現存するシステムで実現されているという報告はない。

カンマを介した名詞句の羅列が必ず同格であるという保証はない。それが同格であるという判断は、羅列された名詞句が意味的に、正に同格であることからのみ判断され、統語的情報だけで判断されるのではない。同格の定義の二つをここに記載しておく。いずれにおいても、意味あるいは、実世界での解釈無しには、同格の認定は困難であることがわかる。太字は筆者による。

『*Two phrases are in apposition when they're **logically equivalent** and in the same grammatical relation to the rest of the sentence*』

- <http://andromeda.rutgers.edu/~jlynch/Writing/a.html> より引用。

『*In grammar, the placing of a noun or noun phrase next to another that **refers to the same thing***』

- <http://www.tiscali.co.uk/reference/dictionaries/english/data/d0081571.html> より引用

日本語の場合、さらに複雑である。象徴的な例が「象は鼻が長い」である。「花子は蛇が怖い」との間を区別するとすれば、意味が入り込まざるを得ない。「鼻」は「象」の一部であるが、「蛇」は「花子」の一部ではない。それにも関わらず、伝統的な品詞列としてみると、両者は「名詞, 係助詞, 名詞, 格助詞, 形容詞」であり、同じになって区別できない。つまり、このような単純な品詞では適切な解釈ができないことを意味する。

この品詞列から英語の文に変換する翻訳規則を構築するには、意味的規則が必要になる。実用的には、品詞以外に意味標識を用いることになるが、可能なら品詞細分を行う方が、ヒューリスティクスでしかない意味規則よりは体系的な規則を書くことができる。問題は品詞をどこまで細分するかにある。品詞細分に意味が入り込んでくることは以上の事情からも明らかである。文中において品詞の間関係だけを記述したものが統語規則（通常、文脈自由文法に限る）であると規定しても、そこには、品詞分類に由

来する意味が入り込んでいる。結局、統語規則のような「形式」から「意味」の間は、連続的であって、ここまでが純粹に形式であるとは言い難い。更に、そのように規定した統語規則に拡張部として、当該規則の適用可能条件を組み込み、そこに選択制限規則のような意味規則を記述すれば形式の美しさが損なわれるだけでなく、意味の扱いの範囲が不明確になる。つまり、文脈自由文法（プッシュダウンオートマトン）から逸脱した拡張文脈自由文法の計算能力は、あるいは、文脈依存文法（線形拘束オートマトン）を越えて、チューリングマシンの能力を斑模様の使用している可能性がある。自然言語のクラスが、どのクラスのオートマトンに相当するのかが明らかでない。拡張文脈自由文法のクラスも、拡張が恣意的であるかぎり、明らかでない。能力の明らかでない二つのものを自然言語処理は照合対象にしなければならないのである。

そのような規則を多人数のチームで開発すれば、他人の記述した規則との間に矛盾が起きざるを得ない。規則の追加が解析できる文の数を増加させると同時に、これまで適切に解析されていた文に曖昧性、あるいは誤った解析結果をもたらす、それ以上の改良ができなくなる点がある。現在の自然言語処理の性能は規則の増大とその副作用のトレードオフの要因で決定されている。統語解析は未だそれほど高いレベルには到達していないばかりか、上の理由で未来への外挿的な方法による予測が困難なのである。

5. 言語学の問題 --意味論--

文の意味は、その文を形成する各語の意味と、それらの語の統語的關係からなると考えられる。一方では、語の意味は一般に多義であり、文の意味と文中の他の語との関係において決まる。例えば、「学校」は組織を指すこともあれば、建物を指すこともある。文中に置かれて始めてどちらの意味で使われているかが決まる。ここでも循環論法が起きている。単語の意味が決まらなければ、文の意味は決まらない。文の意味が決まらなければ単語の意味は決まらない。この現象は人工知能の、中でも文字認識¹³⁾に代表されるパターン認識の分野で一般におきえる困難な現象である。観察できる対象を「実現体」と呼ぶことにしよう。同一種のものとして認識される実現体に共通の性質を「理想体」と呼ぼう。実現体と理想体の差を「偏移」と呼ぶことにしよう。そうすると、この三者の間には次の関係がある。

$$\text{実現体} = \text{理想体} + \text{偏移}$$

この理想体に当たるものは、様々な分野で、様々な形態で用いられてきた。Plato のイデア F. de Saussure のラング N. Chomsky の言語能力などがそうである。あるいは、パターン認識の場合、実現体は入力パターンであり、理想体は辞書の項目である。文字認識の辞書パターン、構文解析の語彙などがこれに当たる。実現体を代表している理想体を決定するには、偏移を知る必要がある。しかし、偏移を知るには理想体を知らなければならない。これは既に何度も見てきた循環論法であり、明らかに不定の方程式を解くことになる。

$$100 = x + y$$

は実数のレベルでは無限の解がある。しかし、自然数に限れば解は限られる。幸いにして人工知能の場合、偏移に何らかの制限があるために後者の場合に擬することができる場合が多く、網羅的な解法を用いれば原理的にはある程度は解くことが可能である。しかし、多くの場合、網羅的な解法は組合せの爆発を誘起し、実用的ではない。

自然言語の文の場合、その意味の決定が困難な原因は語が多義であることに起因している。例えば、英和辞書には、原語の内包を推定させる外延⁷としての訳語の候補が記載されているに過ぎない。

例を引こう。

・urge

『【他動】せき立てる、強制{きょうせい}する、熱心{ねっしん}に説得{せつとく}する 人を強く説得したり、強制したりするとき用いる。』

– <http://www2.alc.co.jp/> より引用

人間の場合、これら外延としての訳語を見て、その内包を推測し、その内包の範囲内で与えられた文に最適の外延を訳語として与える。そうして得られた訳語は辞書に載っていない場合も多いだろう。しかし、機械翻訳にそのような高度な知的行為を行うアルゴリズムを実装することはしない。それを実現するには、結局のところ、人間があらかじめ全外延を辞書に記述する必要があるからである。

機械翻訳が工業製品のマニュアル翻訳に代表される産業翻訳を対象にし、その他の分野を、特に文学作品（出版翻訳と呼ばれる）を対象にしていないのは、このことと関係がある。産業翻訳においては、専門用語は一つの分野では訳語が原則として一つに限られること、文に修辭的な要素がないことなどのためである。

文において、意味の整合性を規定することは文法を規定するより遥かに困難である。Katz と Fodor の意味論以来、意味標識、意味標識の間の選択制限、あるいは、Fillmore の格文法などの方法が提案されてきたが、どれも意味を規定するには非力である。

品詞が文の中での語の文法的挙動に従った分類であるとすれば、意味標識は実世界の中での語の意味的挙動に従った分類である。品詞と異なり言語の世界とは独立に、その外部において決定される。国立国語研究所の分類語彙表、あるいは、さまざまなソーラスは語の意味的な分類の一つの試みである。しかし、文がそれを構成する語群の意味的文法的役割における合成であるような様式で分類できているかは疑問である。天野は機械翻訳に分類語彙表の分類を適用する試みを行って行ったが、機械に意味を伝達する手段としては効果がなかった。また、仮名漢字変換にそれを適用して同音語を削減する試みも行われたが、顕著な効果は得られなかったという報告もある^[4]。

これらのソーラスでいう意味とは、語のグルーピングにすぎない。それらのグループには何らかの識別子が付けられる。たとえば、「動物」、「行動」、「状態」というようなものであるが、それは人間の理解の補助としてあるにすぎず、機械には対しては

意味がない。機械的に意味があるのは、ある語群が同一グループにあるということだけである。自然言語処理としてこのグルーピングを用いる場合、グループ間の関係を別途定義する。その関係名自体も機械に対しては無意味であるが、グループとグループが何らかの関係にあるということだけは規定できる。従って、文が与えられるとその文内の各語の意味的關係が得られる。この語間の関係は組合せ的に存在するが、文の意味は、語の意味と統語構造で規定されるから、統語的關係が存在する語の間の意味的關係だけを規定すればよい。このようなことが可能になれば、文の意味も構築できるだろう。

現存の意味論的処理は、意味標識と選択制限の考えが基盤にあり、極めて部分的な能力しかもたない。意味標識は上記グループに付けられた標識である。選択制限は「colorless green」などの無意味句を排除するための意味標識間の関係を規定する規則である。しかし、その程度の能力しかない意味標識でさえ構成が非常に難しい。同義語、上位/下位概念などのために、語の意味關係は樹状構造のような単純な構造でさえなく、ネットワークになる。しかも上位概念と下位概念の關係をも含むネットワークである。そのような複雑なものを開発するのは困難である。産官共同で設立した株式会社電子化辞書研究所(EDR)が、唯一、計算言語学的な公開された大規模意味辞書^[15,16]を開発したが、いうまでもなくこれも完全ではない。

実用システムにおいては、通常、統語解析と意味解析は異なる技術者が開発を担当することになる。システムの各部のインターフェイスの設計、規則の統一性が問題になる。統語解析で解決できなかった曖昧性は意味解析で解決しなければならないが、あらかじめ統語解析の曖昧性とそれを解決すべき意味解析の方法を細部にわたって決定しておくことは言語学のデータが少ないために困難である。自然言語処理は自ら様々な辞書の開発を行ってきたのであるが、意味に関してはいまだに成功していない。

意味が何であるかの問題自体、Gottlob Frege^[17]に代表される言語哲学的な困難をはらむ。意味 = 意味標識の図式はあまりに簡素化しすぎていよう。自然言語処理では、「語」の意味は内包的に定義するのか、外延的に定義するのかと問えば、五感を持たない計算機は外延を認識できないが故に内包的な定義にならざるを得ないが、語の内包を語で記述し、それを機械に処理させるとはどのような事であるかは分明ではない。意味標識の場合、「語」で表された標識は、メタレベルで用いるのであるが、この場合、意味処理とは、意味標識間の選択制限にすぎない。これは容易に理解されるように、人間が理解している語あるいは文の意味とは異なる。単純に言えば、このシステムでロボットに人間の命令を理解させることができるかという問題に帰着する。意味は世界と結びついていなければならない、言語内で閉じているものではない。現存の機械翻訳に代表される自然言語処理システムの意味処理は、語の曖昧性、統語構造の曖昧性を解決する「だけ」の道具であって、世界と結びついているものではない。大規模な世界知識を持った自然言語処理システムの開発は、方法論が完全ではないのでいまだに緒についていない。

真の機械翻訳、そして言語理解は世界と密接に結びついている

⁷ 意味の定義には、内包で定義する方法と、外延で定義する方法とがある。英和辞書では訳語は擬似的に外延と考えられる。

のであるから、世界を記述した ontology を開発できない限り、「技術予測」で示された課題の実現はいつになるか想像もできず、毎回調査の度に先へ延ばして行くことになるのである。世界知識に密接に結びついた翻訳の一例を示す。

『She is Catholic, not a Catholic, but Catholic.』

-- Paul Erdman 「The Crash of '79」より引用。

この文を TAURAS で機械翻訳すると、下のような結果になる。

彼女はカトリックです、ない、1つの、カトリックであるが
カトリック。

この翻訳は、まったく意味をなさない。

一方、出版翻訳家による訳は下のようになっている。

『彼女はカトリックだった。ただのカトリックではない、
筋金入りなのだ。』

-- Paul Erdman 「The Crash of '79」

池央耿 翻訳「オイル クラッシュ」より引用。

なぜ、このような訳になるのかは、カトリックの人生観、この文が現れた文脈を知らなければ理解できないだろう。これは典型的な例であるが特殊な例ではなく、また単なる翻訳の問題でもない。文の理解には世界知識が必要であるという意味で、自然言語処理一般の問題であり、言語を理解し、状況を認識する必要がある知的ロボットそのものの問題である。

ここで、少し原文を変更して二文にしてみると統語論的にも興味深い結果が出る。

She is Catholic. Not a Catholic, but Catholic.

彼女はカトリックです。カトリック教徒ではなくカトリック
教徒。

意味がないことには変わりはないが、文体としてはほぼ正常である。最初の「、」を「。」に変えただけで、これだけの変化になる。自然言語処理においては、このような繊細すぎる統語規則群に起因する現象を副作用なく改良することは至難の技である。

以上のような特性をもつ人工知能の実現時期を予測することがいかに困難なことかは容易に推測できよう。

6. おわりに

人工知能関係の課題はデルファイ予測法によって的中が困難である。毎年、実現時期が先へ先へと更新されていく。その理由は、三十有余年人工知能の研究を行い、大規模人工知能システムの開発と理論面からの深い洞察とを行ってきた著者らには明らかであった。本論文ではそれをまとめて分析した。2節では、「技術調査」の実現時期の性質を論じた成り行き上、ビジネスの観点から企業心理にまで踏み込んだが、最大のポイントは技術の観点にある。

人工知能の問題は、「人間には意識に上らないほど容易な」課題が多いので、人工知能そのものを深く体験してきた研究者でなければ、実現の前に横たわる深淵に気が付かないだろう。本論文ではその深淵を分析し明らかにした。その深淵はあまりに深いので筆者らにさえ底は見えていない。従ってここに取り上げた課題がいつ解決されるかに対する回答をすることはできなかった。

最後に 2005 年の第 8 回調査『言語のリアルタイム翻訳機能が付加された電話の一般化』は、社会的実現時期が 2025 年になっているが、敢えて筆者らの挑戦的な予測を記せば、たとえ技術開発が順調に行われたとしても、2030 年代以降となるだろう。

参考文献

- [1] 天野真家編: コンピュータが将棋を制する日, 情報処理 Vol46, No.7, pp809-822, 情報処理学会, 2005
- [2] Alan Turing: Computing Machinery and Intelligence, <http://www.abelard.org/turpap/turpap.htm>
- [3] Joseph Weizenbaum: ELIZA --A Computer Program for the Study of Natural Language Communication Between Man and Machines, CACM9 pp36-45, 1966
- [4] 天野真家編: 知能ロボットの技術:人工知能からのアプローチ前編, 情報処理 Vol44, No.11, pp1111-1156, 2003
- [5] 天野真家編: 知能ロボットの技術:人工知能からのアプローチ後編, 情報処理 Vol44, No.12, pp1211-1252, 2003
- [6] 天野真家, 森健一: 日本の情報処理技術の足跡 漢字・日本語処理技術の発展: 日本語ワードプロセッサの誕生とその歴史, 情報処理 Vo.43 No.11, pp1217-1225, 情報処理学会, 2002
- [7] Shin-ya Amano, Tsutomu Kawada: Japanese Word Processor, Proc. of Sixth International Joint Conference on Artificial Intelligence, pp.466-468, 1979
- [8] NHK プロジェクトX 製作班編: プロジェクトX 挑戦者たち --開拓者精神市場を制す--, NHK 出版, 2003
- [9] 科学技術政策研究所編: 平成 15 年度 ~ 16 年度科学技術振興調整費調査研究報告書, 科学技術の中長期発展に係る俯瞰的予測調査, <http://www.nistep.go.jp/index-j.html>, 2005
- [10] 金出武雄, 天野真家: 知能ロボット: 人工知能研究からの歴史的視点, 情報処理 Vol44, No.11, pp1115-1117, 2003
- [11] Noam Chomsky.: Syntactic Structures, The Hague, Mouton, 1957
- [12] Noam Chomsky: Aspects of the Theory of Syntax. Cambridge, The MIT Press, 1965
- [13] 稲垣耕作, 嶋正利, 上田皖亮: 99.999%の漢字認識と言語情報処理(1), 情報文化学会誌, Vol.9, No.1, pp.6-13, 2002 年
- [14] 相沢輝昭, 江原暉将: 計算機によるカナ漢字変換, NHK 技術研究 Vol.25, No.138, pp261-298, 1973
- [15] Shin-ya Amano, Toshio Yokoi: The Structure and Function of the EDR Dictionaries, International Conference on Computer Processing of Chinese and Oriental Languages, 1991
- [16] (独) 情報通信研究機構: E D R 電子化辞書の構造, http://www2.nict.go.jp/kk/e416/EDR/J_index.html
- [17] Gottlob Frege: On Sense and Reference, Translations from the Philosophical Writings of Gottlob Frege, ed. Peter Geach and Max Black, Oxford Blackwell, 1952 (原典: "Über Sinn und Bedeutung", 1892)