

# 「心の計算理論」の書評

黒田 航  
NICT

05/18/2009; 04/20, 14, 12, 09/2008/

この本には 70 年代から 80 年代に一般的だった言語理解への記号計算主義的アプローチが要領よく紹介されている。その際、筆者は専門性に走らず、初学者の理解を考慮した筆遣いを心がけ、それに成功している(羨望交じりに言うが、このように平明な文章を、要点を外さずに書くことはたやすいことではない)。例えば次の「はしがき」にある喩えには筆者独特のウィット(あるいは((お)ト)ボケ)がよく現われている:「計算アプローチにもとづく心の科学はまだ、生まれたばかりである。頭をたたくよりは、おしりをたたいたほうがよいのである」(p. vi)。

## 1 構成

1 章から 5 章は「認知科学とは何か?」という問題の基礎づけための議論がトピックごとにまとめられたもので、これらは全体で 6 章と 7 章の事例紹介への長大な序論になっている(個人的には、1 章から 5 章までを第一部、6 章と 7 章を第二部とした二部構成にするべきではなかったかと思う)。1 章から 5 章までは方法論上の議論が多く、具体例がほとんど出てこないが、6 章と 7 章に入ると事情は一変し、言語(理解)の認知科学の先行研究が多くの事例と共に、矢次早に紹介される。

主題の選択に関して筆者は自覚的で、次のように述べている「本書でこの[構造的多義文の多義性解消という]<sup>\*1</sup>現象をとりあげるのは[...]、この現象が、心理言語学、理論言語学、計算言語学、人工知

能学、と言語にかかわる認知科学が、それぞれの語り方で説明の理論を提出している、典型的に学際的な現象だからである」(p. 96)。

6 章と 7 章の記述は非常に良くできている(ただし初学者には難しい専門的な部分は思い切って割愛されている)。ここで紹介されていることは言語(理解)の認知科学者にとっては必須の事柄ばかりであるが、残念なことに、日本語で書かれた標準的な言語学の入門所では、多くのことが触れられていない。この部分だけでも、日本で理論言語学を研究していると自称している人々に熟読をお勧めしたい(正直に言うと、私も読書で知識も増強された。私は構文解析をフレーム意味論 [Fillmore, 1982] に基づく意味解析と統合させる研究をしているが、この本を読んで Word Expert Parser [Small, 1983] や Direct Memory Access Parsing [Riesbeck, 1986] に先駆があることを知った)。

## 2 出版後に起こったこと

しかし補っておいた方がよい情報もある。今となつては自然言語処理 (Natural Language Processing) は計算言語学とは必ずしも同一視できないが、この本が出版された後、この分野では統計的手法の発達により、長足の進歩があった。その成果の一つが大規模格フレーム辞書 [河原 & 黒橋, 2002] の自動構築である。これは Internet (通称 World Wide Web: WWW) に存在していた 5 億文の日本語文から抽出された述語/項関係のデータベースである。このような規模の研究資源は、この本が書かれていた当時には想像すら困難であったと思われるが、それに基づくならば、筆者が p. 84 で挙げている多義文 (e.g.,

<sup>\*1</sup> 引用文内の [...] は著者が必要に応じて補足した語句である。

花子は急いで私の選んだ本を買った)の多義性解消の様相が大きく変わってくる。

著者の徃住氏は「問題となる語句「急いで」は、埋め込み文の動詞「選ぶ」とも主文の動詞「買う」ともどちらにも意味的に共起しやすいという偏りをもっていないから、意味的な基準を持ち込んでも [曖昧な] 二つの構造のうち、どちらが優位であるという選択はできない」(p. 84) と述べる。だが、語句の共起に関する信頼できる統計情報が利用可能であれば、別の筋書きが書ける。実際、「急いで」の係り先が「選んだ」なのか「買った」なのかは完全に等確率ということは現実にはありえない(常に一方が他方より高い)ので、一般には優先順位を決めることができる。従って、この確率の違いが有意であり、かつ、それがヒトの行動データに合致しているかが問題となるが、実際に NLP では関連した処理で [河原 & 黒橋, 2004] ではそれなりの効用を上げているようだし、幾つかの研究 [Kempen & Harbusch, 2005] によると語句の共起に関する統計量はヒトの言語行動の指標になりうることも示されている。

前述の格フレーム辞書ではうまく検索できなかったが、Word Sketch Engine (<http://www.sketchengine.co.uk/>) の JpWaC コーパス (409,384,405 tokens) で “急ぐ” の右側に 10 語の範囲で共起を調べたところ、“急いで... 買う” の実例は 42 例、“急いで... 選ぶ” の実例は 3 例 (か 4 例) だった (“急ぐ” “選ぶ” “買う” の単独頻度はおのおの 8,305, 97,938, 42,233 である)<sup>\*2</sup>。これは「急いで」が主節の要素である可能性が高いことを予測し、それは本で事実として紹介されている事実と一致している。

この本が率先する記号計算主義の議論内では、このような形で現われる言語の統計的性質が言語処理プロセス (か、もしかしたら言語知識としての「文法」のあり方) に及ぼしている影響は正面切って扱われない (が、第 6 章にその必要性を意

識している議論は示されている)。コネクショニスト模型の評価に関連して第 4 章で論じられていることの一つだが、当時はまだ、記号のような離散体の計算処理と統計量のような連続量の数値処理は相補的な関係にあり、認知科学の正統は前者だと見なされていたからだ。だが、90 年代に入って言語理解は大きく変貌を遂げ、このような態度は統計ベースの手法 (e.g., Latent Semantic Analysis (LSA) [Landauer & Dumais, 1997]) の大流行でしっぺ返しを受ける。

### 3 時代の変化

この本で紹介されている手法は、心を何十万～何百万個ものピースからなる巨大なパズル<sup>\*3</sup>に見立て、その全体像を、心理実験から得られた知見と照らし合わせながら、一つ一つ地道に組み合わせて行くタイプのアプローチ、謂わば心に対する「家内手工業的アプローチ」である。そのような研究法は、60 年代と 70 年代には本流であり、80 年代前半に入ってコネクショニスト模型が浸透しても、まだ正統派でありえた。ところが、この手法は 90 年代に入って統計的手法が急速に進歩すると、主役の座から転落した。

そのためには条件が整う必要があった (実際、単に強力な統計手法があるだけなら、そのようなことは起きてないだろう) が、それを準備したのは、どちらかというところ偶然である。統計手法がモノを言うためには、十分な量の (通常は大量の) データが必要なのだが、待望の言語データは、この本が出版された頃に始まった WWW の普及の副産物として、天恵のように研究者コミュニティにもたらされたものである (先進的な NLP 研究者 [黒橋 & 長尾, 1997] が手間暇かけて京都大学テキストコーパスを作ったのが冗談のようだ)。

言語データに限らず、研究資源の大規模化は統計モデルの構築を可能にする。統計モデルは (精度を度外視さえすれば)、以前では夢のような被覆率を

<sup>\*2</sup> 共起確率の差は Fischer の正確検定で  $p=0.00102$ (両側) で有意。

<sup>\*3</sup> 70 年代の機械カメラの部品の数でも多い場合には 1 万個以上ある。これを考えると、ヒトの心の部品の数が数十万というのはかなり控え目な推定値である。

費用の面でも時間の面でも低コストで研究者に与えてくれる。すぐれた統計モデルを作ればちゃんと成果が出て、しかもそれは一般に研究と実用を分ける scalability の問題とは無縁である(例えば言語距離に近い言語同士の統計翻訳は(ちゃんと分野さえ選べば) 実用になるほどである)。このような恩恵をもっと大きく受けたのは NLP であり、そのような成功を遠目に見て「汎用性のない単なるオモチャ問題を解いている」と批判されることが多かった記号計算派は肩身の狭い思いをしたに違いない。機械学習などの統計ベースの研究がこうして記号計算派の研究を席捲するまで、ほとんど時間はかからなかった。

ここに面白い皮肉がある。著者が「心が計算をしている」と言う時、計算の意味は記号計算(symbolic processing = computation)であり数値解析(e.g., calculation)は含まない(これは第2章で明言されている)。実際、本書の第4章で取り上げられている通り、それが理由で80年代の終わりにコネクショニスト模型が流行した時、それが心の計算モデルになりうるか否かという論争がもち上がったほどである(コネクショニスト模型は本質的には記号処理ではなく統計処理の仕組みだからである)。論争はあったけれど、コネクショニスト模型はいずれ認知科学に浸透した。だが、世界はそこに踏みとどまらなかった。

コネクショニスト模型は機械学習器の一種であるが、強力とは言えない。計算機の高速度化、メモリの大規模化が驚くほど進み、Maximum Entropy Models や Support Vector Machines など、コネクショニスト模型よりも速く、強力な分類器が普通の仕事をこなすようになってくると、世界は一変した。現在では、このような統計ベースの手法を使わない研究の方が少ないくらいである。前述のように、このような大変化を可能にしたのは WWW という言語データ自動生成器だったのだが、WWWこそは記号計算処理パラダイムのもっとも正当な嫡子であるという事実は、何とも皮肉である。

この外的な変化が認知科学全体にどれぐらい影響を及ぼしたかわからないが、かつての花形部門の一

つだった言語の認知科学=言語理解には確実に凋落をもたらした(し、この時期に記号処理を中心とする計算言語学と統計処理を中心とする自然言語処理とが明確に分れ(て別れ)た)。これは他でもなく、応用分野としての言語処理が基礎研究としての言語(の認知)科学なしでもやって行けると錯覚した時代でもあった。

だが、素直な統計のみを利用した知識獲得の性能は NLP の分野でも頭打ちになっており、効果的な獲得には「ひねり」が必要になって来ている(ある種の情報は平均化によって失われる)。例えば意味関係の自動獲得 [Pantel & Pennacchiotti, 2006] では意味情報の分布の予測可能な偏りを獲得に利用しているが、どんな偏りがどこにあるかということは、基礎研究がないと目星をつけることが困難なことのひとつではないだろうか?

#### 4 「今は昔」か?

記号計算パラダイムはお払い箱なのか? それは目標次第である(私はこの本の前半で擁護されているような「強い AI」の実現は無理だろうと思う。だが、プログラムと認知の処理との等価性を主張しない「弱い AI」は依然として可能であり、ヒューリスティクスとしては今でも十分に有効だと私は思う)。この本は少なくとも、一世を風靡した統計ベースの手法からは自明な答えが得られていない基本問題がまだ存在することを教えてくれる。それは第7章で紹介されているゴールやプランや筋書きの単位(plot unit) [Lehnert, 1981] や TAU [Dyer, 1983] や状況のような(徃住氏の言葉によると)「超」高次認知の内実である。

私は単語以上に大きな単位のコトバの意味(の理解)の認知科学の確立に強い関心をもっている。私は言語学経由でこの分野にやって来たが、ずいぶんと回り道をして来た。私がもし、認知科学の勉強を始めた大学院生の頃にこの本を読んでいたなら、幾らかは回り道が避けられたと思う。それは、この本を読んだ私の正直な感想である。

この分野では基本的なことに關して多くのことがわかっていないが、それでも理解のカギは、今で

もゴールやプランや TAU や状況と言語表現との非線形な対応なのである。これは以前とまったく変わっていない — というより 90 年代の統計ベースの研究の流行により、この分野では研究の進歩が止まってしまった。その意味で、今は「初心」に戻るには、おそらくいい時期だと思う。

統計ベースの手法/研究の盲目的な信奉者はしばしば、(超) 高次認知の単位の有用性を否認する。彼らに言わせれば、統計的な実体がないものは虚構である。だが、世の中には平均化すると失われる情報があるというのも本当であり、どうもヒトはそういう情報をうまく使って行動している (例えばフレーム問題を疑似的に解いている) フシもある。

こんなことがなんで起こるのかは説明がむずかしい。だが、その答えはヒトの記憶の仕組みの中にあるような気がする。ヒトがあらゆる種類の統計量を具体的な数値として記憶しているとは考えにくいので、ヒトが実際にしているのは、統計処理が意味をもつぐらいには十分に大量なデータを、様々な特徴に関して多重に indexing を行なった形で記憶しており、それに対して必要に応じて様々な種類の統計解析を行なうということではないかと思う。これは新しい見解などではまったくなくて、実はこの本の 6 章の「6.4 協調的問題解決機構と新しい言語観」ですでに示唆されている見取り図なのである (これを卓見であると言わずして、何と言うべきか?)。

## 5 二編の (補講ではなく) 補稿へのコメント

この本には「生成文法と計算」(郡司隆男) と「認知科学文化論考」(齋藤洋典) という二つの補稿があるので、簡単に内容を紹介する (ただ自分の専門の関係上、齋藤氏の補稿に適切な評が書けるのか、些か不安である)。

前者は本書にある「1980 年代初頭以降の生成文法理論 (GB 理論) で議論される普遍文法、すなわち人間の言語知識の理論は、心の本質に迫るという点では生成文法理論の歴史にこれまで見られなかったような高みに達していながら、同様な問題意識を共有しているはずの人工知能学、心理言語

学、認知心理学とは、これまでみられなかったほど疎遠なものになってしまっている」(p. 26) という苦言への返答として、第 2 次認知革命以後の生成文法の目標地点が、言語能力を同時多重制約系と見なし、文法性をそのポテンシャル関数として特徴づける「文法性の決定に際してまったく計算をしないモデル」(p. 161) だったという説明を与えている (ただ、このようなモデルが「実際に動く」ためにはポテンシャルの数値計算 (calculation) はする必要がある。この路線は最適性理論 (Optimality Theory) [Prince and Smolensky, 1993] でもっと徹底した形で追求されている)。郡司氏はハッキリとは言っていないが、このモデルは言語運用のモデルではないので、それが具体的な処理と関係をもたないのは仕方ないと言う含みも感じられる (実際、こう言ったところで、それに著者を含めた言語学者以外の認知科学者が納得するとは私には思えないのだが、その一方で、著者が提示する「認知的仮想マシン」(p. 75) の抽象的な特徴づけとして、これ以上のものはないという気もする)。

だが、私にはポテンシャル法で文法性について語る単なるメタファー以上のものであるか? という点がどうしても気にかかる。ポテンシャル法自体は、ポテンシャル関数がうまく定義できる限り、何に対しても適用可能である。ということは、問題はポテンシャル関数の実質なのではないか? (その実質を評価するのにヒトの実際のパフォーマンスを計測し、ポテンシャル関数がそれにうまく一致しているかを確かめる必要があるのは明白である。そうでないなら、ポテンシャル法を使ったモデル化というのは「絵に描いた餅」ではないのか? 実際、「主流派生成言語学」のその後の姿は Minimalist Program [Chomsky, 1995] であり、それはこの補稿で郡司氏が特徴づけた方向には進まず、一転して初期生成文法の頃 [Chomsky, 1957] と同じく記号計算主義を前面に押し出して一種の「先祖帰り」を見せたが、その記号計算も認知科学者の目から見て実質のあるものかどうかは ([Edelman and Christiansen, 2003] などが指摘するように) 非常に怪しい (実際、Chomsky 自身は [チョムスキー, 2003, pp. 352] で「自分

が過去において行なった予想は、みんな外れてますからねえ」と率直に言い、自分の進めて来た研究の方向はまちがいだったかも知れないという旨の発言をしている(のだが、それを読んで日本の生成言語学者が何を感じたのか、あるいは何も感じなかったのかは、私には謎である。少なくとも対談者の福井直樹氏は、この点を真剣に受け止めていないようだ。これを含めて、生成言語学では結局は何から何まで「方便」であるというのが私が抱いている印象である)。

郡司氏の補稿は部分的には生成言語学に共感的だが、その一方で次のような、生成文法家にとってばかりでなく多くの言語学者にとって相当に耳が痛い告発も含む:

生成文法は、言語学の目的は人間が脳で行なう計算過程を明らかにすることだというスローガンを打ち立てた。これは「計算」そのものを研究対象とする計算言語学、「計算」をほとんど唯一の実現手段とする人工知能研究、「計算」を重要なモデル概念とする認知心理学などの科学との接点を生み出すことになった[...]少なくとも、「生成文法」的言語学が「計算」ということをスローガンの中に入れていなかったら、認知科学は、肝腎の言語を扱いかねたまま、中途半端な学問としかかなり得なかつたろう(p. 144)。

[...] 過去三十数年間、生成文法が文法、特に構文論中心の言語学を展開してきたために、これから言語学研究に取り組もうとする、多くの優秀な言語学者が、構文論研究以外の仕事に関心を向けなくなってしまった。生成文法のような問題意識をもっていなかったら、言語学が認知科学に参加することはあり得なかつただろうが、それと同時に、生成文法程度の問題意識しかもっていないのでは、言語学は認知科学に貢献することはできない、と私には思える。[...] 言語の「文法」以外の側面に、もっと多くの優秀な言語学者が今までに取り組んでいるべきだったのである(p. 147)。

齋藤氏の補稿では「記号計算パラダイムは知識(knowledge)については大いに語ってくれるが、直観(intuitions)や技能(skills)についてはほとんど語ってくれない。それでよいのか?」という問題提起、それと並んで「西洋風の知識偏重の認知「観」の他にも、東洋風の直観重視で、「反知識」的の認知「観」というのもあるのではないか?」とい

う問題提起が行われる(これらは今風に言えば、身体性(embodiment)の視点からの認知へのアプローチの先駆と見なせるかも知れない)。これらは[Winograd & Flores, 1987, Suchman, 1987]のような仕事を端緒として、90年代に入って本格的に見直しが行われた事柄であり、実際、今では身体性や直観や技能は認知科学の重要な研究対象として定着している。これに分散認知(distributed cognition)を加えれば、だいたい今の認知科学の中心的関心事は出揃う。そればかりでなく、全体的に認知科学は、以前よりも「知識」について語る際に慎重になっていると思える。

最後の「解題」で往住氏は、10年前の齋藤氏の批判に応答する形で、言語の内容の「理解」にはおそらく還元のできない「楽しみ」の解明の必要性を強調する。「理解」の研究も難しいが、「楽しみ」の研究はそれ以上に難しい。この路線での研究に大きな成果が出ることを期待したい。

## 参考文献

- [Chomsky, 1957] Chomsky, N. (1957). *Syntactic Structures*. Mouton, Hague.
- [Chomsky, 1995] Chomsky, N. (1995). *The Minimalist Program*. MIT Press, Cambridge, MA.
- [チョムスキー, 2003] チョムスキー, ノーム (2003). 生成文法の企て. 岩波書店.
- [Dyer, 1983] Dyer, M. G. (1983). *In-Depth Understanding*. MIT Press, Boston, MA.
- [Edelman and Christiansen, 2003] Edelman, S. and Christiansen, M. H. (2003). How seriously should we take minimalist syntax? *Trends in Cognitive Science*, 7(2):60-61.
- [Fillmore, 1982] Fillmore, C. J. (1982). Frame semantics. In Linguistic Society of Korea, editor, *Linguistics in the Morning Calm*, pages 111-137. Hanshin Publishing, Seoul.
- [河原 & 黒橋, 2002] 河原 大輔 and 黒橋 禎夫 (2002). 用言と直前の格要素の組を単位とする格フレームの自動獲得. *自然言語処理*, 9(1):1-16.

- [河原 & 黒橋, 2004] 河原 大輔 and 黒橋 禎夫 (2004). 自動構築した格フレーム辞書と先行詞の位置選好順序を用いた省略解析. *自然言語処理*, 11(3):3–19.
- [Kempen & Harbusch, 2005] Kempen, G. and Harbusch, K. (2005). The relationship between grammaticality ratings and corpus frequencies: A case study of into word order variability in the midfield of German clauses. In Kesper, S. and Reis, M., editors, *Linguistic Evidence: Empirical, Theoretical and Computational Perspectives*, pages 329–349. Mouton de Gruyter, Berlin/New York.
- [黒橋 & 長尾, 1997] 黒橋 禎夫 and 長尾 眞 (1997). 京都大学テキストコーパス・プロジェクト. In 言語処理学会第3回年次大会, pages 115–118.
- [Landauer & Dumais, 1997] Landauer, T. K. and Dumais, S. T. (1997). A solution to Plato’s problem: The Latent Semantic Analysis theory of the acquisition, induction, and representation of knowledge. *Psychological Review*, 104:211–240.
- [Lehnert, 1981] Lehnert, W. (1981). Plot units and narrative summarization. *Cognitive Science*, 5:293–331.
- [Pantel & Pennacchiotti, 2006] Pantel, P. and Pennacchiotti, M. (2006). Espresso: Leveraging generic patterns for automatically harvesting semantic relations. In *Proceedings of the COLING/ACL-06*, pages 113–120.
- [Prince and Smolensky, 1993] Prince, A. S. and Smolensky, P. (1993). Optimality theory: Constraint interaction in Generative Grammar. Technical Report No. 2, Rutgers University Center for Cognitive Science.
- [Riesbeck, 1986] Riesbeck, C. K. (1986). From conceptual analyzer to direct memory access parsing: An overview. In Sharkey, N. E., editor, *Advances in Cognitive Science 1*. Ellis Horwood.
- [Small, 1983] Small, S. (1983). Parsing as cooperative distributional inference: Understanding through memory interaction. In King, M., editor, *Parsing Natural Language*. Academic Press.
- [Suchman, 1987] Suchman, L. A. (1987). *Plans and Situated Actions: The Problem of Human-Machine Communication*. Cambridge University Press, revised 2nd edition.
- [Winograd & Flores, 1987] Winograd, T. and Flores, F. (1987). *Understanding Computers and Cognition*. Addison-Wesley.