

機関番号：32639

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20500239

研究課題名(和文) 語意獲得における推論の対称性に関する研究

研究課題名(英文) Study of word acquisition and stimulus equivalence

研究代表者

岡田 浩之(OKADA HIROYUKI)

玉川大学・工学部・教授

研究者番号：10349326

研究成果の概要(和文): 対称性推論能力の有無を検証するため、乳児に能動的に条件性弁別学習をさせたと、18ヶ月の乳児において対称性推論を行っていることが明らかになった。また、コミュニケーションロボットに関する検証のため参加したロボカップ@ホームリーグでは、ジャパンオープンを2008年より2010年まで3年連続優勝。さらに、世界大会でも、2008年優勝、2009年準優勝、2010年優勝と、実世界でコミュニケーションするロボットの完成度の高さを証明した。

研究成果の概要(英文): Reasoning ability to verify the existence of symmetry, we were actively conditional discrimination learning in infant became clear that we infer symmetry in infants 18 months. In order to evaluate the performance of the robot, we participated in RoboCup@Home league. We have won three consecutive years from 2008 to 2010 in Japan Open. And, we have two-time world championship in 2008 and 2010. These results are proven to be useful in the real world of our robot.

交付決定額

(金額単位:円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野: 総合領域

科研費の分科・細目: 情報学・認知科学

キーワード: 認知言語学

1. 研究開始当初の背景

人間という種は、言語の習得に当たって他の動物にはない情報処理をおこなっていることは明らかである。しかし現在、それが何かということに関して仮説はいくつか提案されているが、科学的な事実に基づいた明確なものは少ない。

本研究はその中でも、人間の言語学習・運用能力の根底にあると考えられる高度に発達した推論能力について、その行動的特徴、進化的起源、発達の過程を明らかにすることで、人間の

言語習得能力メカニズムの理解を深めることを目的とする。

具体的には、人間の語彙獲得を加速するバイアスとして働くとされている、人間の無意識的かつ非論理的な「対称性推論」の役割を探る。

2. 研究の目的

提案ではヒトの非論理的な認知バイアスとして知られる刺激等価性、中でも対称性に

注目する。ここで、対称性推論とは、「AならばB (A→B)」を学習したら自動的に「BならばA (B→A)」もまた推論してしまうことで、一般には成立しない。しかし人間の言語獲得の場面では、たとえばバナナという物を見せられて「バナナ」という言葉を教えられたら(A→B)、別の場面でバナナを見て「バナナ」と言える(A→B)だけでなく、「バナナ」という言葉をきいただけでバナナのことを思い出し、他の事物の中から「バナナ」を選択できてしまう (B→A) (Sidman et al., 1982)。論理的にはこれは誤った推論であるにも関わらず、人間はことばを学ぶ場面では普通に行っている。

他方、動物で同じ学習をした場合、逆関係の獲得は驚くほど困難で、成功例はわずかにチンパンジーとカリフォルニア・アシカで報告されているのみである。この逆関係を推論してしまうヒトの傾向は従来、AとBが機能的に等価という意味の「刺激等価性」との関連で捉えられてきたが、我々はこれを認知的バイアスとして捉え、狭義の「対称性バイアス」と呼ぶ。

しかし、チンパンジーなどヒト以外の種を対象とした研究では、対称性バイアスが成立しないことは繰り返し報告されてきた。対称性推論は、ヒトをして言語の獲得を可能ならしめる根源的な特性 (または能力) の1つである可能性が高い。にもかかわらず、ヒトのこのような推論特性の起源については全くといってよいほど検討が行われて来ていなかった。はたしてこのような推論能力は、[A] 生まれつきヒトに備わっているものなのか、それとも[B] 言語のような対称性推論を当たり前に要求する環境に出会って急速に育ったものなのか。

このことを明らかにすることは、ヒトの言語の獲得が、ヒトに固有な生得的能力に支えられたものなのか、それとも進化的に他種と連続的な一般的認知能力により実現されているのか、といった長年の論争に大きな貢献をすることは間違いない。

なぜヒトの推論能力がこれほど柔軟であるのかについては諸説あるが、提案者は言語の果たす役割が大きいと考える。ヒトは相互排他性バイアスなどの論理的な誤りを含むメタ知識を利用し効率的に言語を獲得することが知られている。提案者は対称性推論もまたこのような非論理的な認知バイアスのひとつとして経験依存で獲得されると考え、ヒトの非論理的な認知バイアスのひとつとされる対称性バイアスの獲得メカニズムを乳幼児の発達過程において解明することを目的とした。

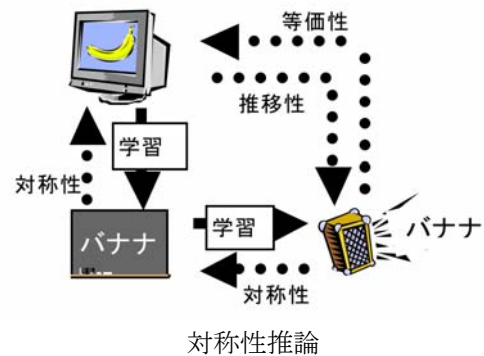
3. 研究の方法

本研究では、(1) 乳児の行動実験、(2) 乳児お

よび成人の脳情報計測、(3) 計算モデルによるモデルベースの検証、の3つの手法を用いてアプローチした。

(1) 乳児の行動実験: 語彙獲得初期の月齢10ヶ月から語彙爆発の起こる20ヶ月までの乳児を対象に、言語ラベル-対象間の双方向性の推論能力がどの月齢から発達してくるか、双方向性の推論は言語領域にのみ限定的に現れるか、という点について行動実験の手法により検討した。

ヒト乳児の行動実験では主に①対称性推論能力が、言語獲得以前からヒトに備わっているものなのか、それとも、②言語を学ぶにつれ、すなわち、対象(A)をことば(B)で呼ぶ(A→B)、逆にことばを聞いてから対象を指示される(B→A)、といった経験をつむことで次第に強化されて自然におこなえるようになるものなのか、を明らかにすることを目的とした。



具体的には、乳児がいつごろ、どのように対称性推論と推移性推論を組み合わせ、音声ラベルと対象の連合、あるいは音声ラベルと視覚シンボル(文字、レキシグラムなど)の連合を学習して訓練されていないシンボルと対象の間の連合を創発させるのか、行動実験に基づき明らかにしていった。

これと同時に、対称性推論が言語領域以外に適用されるか否かという問題を検討した。対称性推論は因果推論などでは誤った結論をもたらす。果たして乳幼児は対称性推論を言語領域以外の領域に過剰汎用するのだろうか。この点について、ラベル-対象、ラベル-文字のような言語領域の刺激をチャイム音などの非言語刺激に変化させ、行動実験により検討した。本研究では、意味を伴うことばが開始する時期である生後10ヶ月ころから語彙爆発の起こる20ヶ月ころまでの子どもを対象とし、言語学習の前と後で発達的变化が見られるのか否かを検討した。言語学習が推論の変化と同期しているなら、言語習得の影響が示唆される。行動指標としては確立した手法である乳児の刺激への注視時間を主に測定する。その際、ヘッドターン(選好する音声刺激の提示される方向を振り向くよう条件付ける)、予想裏切り(乳児が予測を裏切られるとそ

のシーンを長く見つめる性質を利用して乳児が何を予測しているかを測る)、選好注視(乳児はラベルと対象の間の対応などで正しい選択肢を注視する)といったパラダイムを利用するとともに、それらを組み合わせた新しい実験手法の開発も試みた。

(2)脳情報計測実験:乳児を対象に対称性推論課題中の脳波を計測し、乳児における推論の成功に関連する脳波成分の同定を試みる。さらに、成人を対象に同様の脳波実験を行い、言語を十分に獲得し終えた成人での推論関連の脳の振る舞いについて、乳児との異同を検討した。脳波は乳児の認知能力を行動指標よりもさらに敏感に測定する指標として有効であり、乳児・成人の脳波の測定は乳児の行動実験、成人のイメージング実験と相補的な関係にあるとともに両者をつなげる、重要な役割を果たす。ここではまず、乳児と成人との間で難易度を統制した課題パラダイムの開発・調整を行い、次いで各課題中の脳波を乳児と成人で計測し、それぞれの群について推論の成否に関連する脳波成分を同定した。得られた結果を基に両群を比較検討し、乳児・成人に共通する推論関連脳波成分の同定を試みた。この乳児と成人との比較対照においては、両群間での課題パラダイムの差異や脳の形態的・発達の差異を十分に考慮しながら検討した。

(3)モデルベース検証:実証的な研究と並行して計算可能な数理モデルを構築してシミュレーションで検証し、その結果を再び実証研究にフィードバックする。数理モデルでの検証は従来の認知発達研究に欠ける部分であり、その手法の確立は認知発達研究にとって実験、理論の両面で大きなインパクトを与える。また、提案した計算モデルを移動ロボットに実装することによる工学的応用の検討を行った。

4. 研究成果

(1)乳児の行動実験および脳情報計測、(2)計算モデルによるモデルベースの検証、の研究成果は下記の通りである。

(1)乳児の行動実験および脳情報計測

乳児の視線方向と注視の停留時間によって呈示映像が切り替わるような刺激を用い、乳児に能動的に条件性弁別学習をさせ、対称性が獲得される発達過程を明らかにする実験を行った。乳児の視線方向、注視の停留時間、瞳孔の変化などを計測対象とし、これらの視線情報の検出のために Tobii アイトラッカー(視線検出装置)をリアルタイムで使用する手法を開発した。対称性推論の課題に関して、乳児と成人との間で難易度を統制した課題パラダイムの開発を行った。次いで各課題中の脳波を乳児と成人で計測し、それぞれの群について推論の成否に関連

する脳波成分の同定を試みた。得られた結果を基に両群を比較検討、乳児・成人に共通する推論関連脳波成分の同定を行ったところ、言語獲得以前の乳児において特異的な脳活動を明らかにするとともに、乳児に対する能動的条件性弁別学習の結果により、18ヶ月の乳児において対称性推論を行っていることを明らかにした。

(2)計算モデルによるモデルベースの検証

コミュニケーションの対称性にヒントを得た、統計的音声学習機能による話者を特定しない自然な音声対話を提案し、コミュニケーションロボットに実装し、「リビングでの物探し」を実現した。具体的には、ロボットに、コップやカバンなどの物体を手を持って見せてその名前を音声で教える。人間が、教えた物の一つを部屋のどこかに置き、「〇〇を探して」という指示をする。ロボットは部屋の中を探して、それを見つけて人間に知らせる。実験室環境と違い、実際のリビングは照明が変化したり、家具の配置が変わったりなど、予め作りこんでおいた地図を使ってロボットが行動することは困難な環境である。また、物体の名前を自由に決めるには、未登録語の認識、発話機能が必須であり、従来の音声認識によく使われる辞書検索による手法では対応できなかった機能である。

実機ロボットの有用性を示すために、自律ロボットの競技会であるロボカップの@ホームリーグに参加した。@ホームリーグはリビングを模した競技場において日常的な様々サービスを自律ロボットが競う競技会であり、ヒトとのコミュニケーションや共同作業が重要なポイントとなっている。2008年に沼津にて開催されたロボカップジャパンオープン 2008において優勝し、ジャパンオープンは2009・2010年と三年連続で優勝した。さらに、ロボカップ世界大会においても2008年中国大会優勝、2009年オーストリア大会準優勝、2010年シンガポール大会優勝と研究機関の3年間で2度の世界チャンピオンに輝いたことは、提案したモデルの実用性を高く示すものである。



2010年世界大会において、
客の注文を受ける提案者らのロボット



ロボカップ@ホームの競技会場の様子

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 10 件)

- ① 宮崎美智子、高橋英之、岡田浩之、開一夫、自己認識における運動主体感の役割と発達メカニズム、日本認知科学会誌、査読有、Vol.18, No.1, 2011, pp.9-28
- ② Haryu, E., Imai, M., & Okada, H., Object Similarity Bootstraps Young Children to Action-Based Verb Extensions, Child Development, 査読有、Vol.82, No.2, 2011, pp.674-686
- ③ Maguire, M. Hirsh-Pasek, K., Golinkoff, R., Imai, M., Haryu, E., Vanegas, S., Okada, H., Pulverman, R., Sanchez-Davis, B, A developmental shift from similar to language specific strategies in verb acquisition: A comparison of English, Spanish, and Japanese, Cognition, 査読有、Vol.114, No.3, 2011, pp.299-319
- ④ 高橋英之、岡田浩之、コミュニケーションにおける曖昧さとその機能、日本知能情報フuzzy学会誌、査読有、Vol.22, No.4, 2010, pp.450-463

- ⑤ 岡田浩之、大森隆司、ロボカップ@ホーム人とロボットの共存を目指して、人工知能学会論文誌、査読有、Vol.25, 2010, pp.229-236
- ⑥ 宮崎美智子、岡田浩之、針生悦子、今井むつみ、動詞語意獲得における養育者の語りかけの影響、玉川大学脳科学研究所紀要、査読有、Vol.3, 2010, pp.17-23
- ⑦ 中村慎也、岩橋直人、長井隆行、実世界における人とロボットの共有信念の推定に基づいた相互適応的な発話生成、日本知能情報フuzzy学会誌、査読有、Vol.6, 2009, pp.663-682
- ⑧ 岡田浩之、語意獲得のバイアスとしての対称性推論とそのモデル的検討、玉川大学脳科学研究所紀要、査読有、Vol.2, 2009, pp.1-11
- ⑨ 今井むつみ、岡田浩之、言語の成立にとって、対称性はたまごかにわとりか、認知科学、査読有、Vol.15, 2008, pp.470-481
- ⑩ Imai, M. Kita, S., Nagumo, M. & Okada, H., Sound symbolism facilitates early verb learning, Cognition, 査読有、Vol.109, 2008, pp.54-65

[学会発表] (計 11 件)

- ① 岡田浩之、大森隆司、中村友昭、長井隆行、杉浦孔明、岩橋直人、ロボカップ@ホーム：人間とロボットの共存を目指すためのロボット競技、計測自動制御学会 (SI2010)、2010.12.24、東北大学(仙台市)
- ② Tadao Taniguchi, Hiroto Nakanishi, and Naoto Iwahashi, Simultaneous estimation of role and response strategy in human-robot role-reversal imitation learning, the 11th IFAC/IFIP/IFORS/IEA, 2010.08.31, Valenciennes (France)
- ③ Imai, M., Schalk, L., Saalbach, H. & Okada, H., Influence of grammatical gender on deductive reasoning about sex-specific properties of animals, Annual meeting of the Cognitive Science Society, 2010.08.11, Portland(UAS)
- ④ Arata, M., Imai, M., Okuda, J., Okada, H. & Matsuda, T., Gesture in language: How sound symbolic words are processed in the brain, Annual meeting of the Cognitive Science Society, 2010.08.11, Portland(UAS)
- ⑤ 高橋英之、岡田浩之、マルチエージェント系における個体間距離に応じた相互情報交換方式、第 23 回人工知能学会全国大会、2010.06.17、サンポート高松(高松市)
- ⑥ Miyazaki, M., Okada, H., Haryu E, & Imai, M, Japanese toddlers live in rich sound-symbolic worlds: a picture book reading study, XVIIth Biennial International Conference on Infant Studies, 2010.03.09, Baltimore(USA)

- ⑦ 内田淳、岡田浩之、時系列の逐次処理によって対称性(刺激等価性)の学習を行うニューラルネットワークモデル, NC研究会、2010.03.09、玉川大学(町田市)
- ⑧ 荒田真実子、今井むつみ、生田目美紀、奥田次郎、岡田浩之、松田哲也、シンボル接地のない擬態語の意味処理—fMRIによる検討—、認知科学会第26回大会、2009.09.11、慶應義塾大学(藤沢市)
- ⑨ 岩橋直人、中村慎也、長井隆行、人とロボットの共有信念の推定に基づいた相互適応的な発話生成、ファジィシステムシンポジウム、2009.07.14、筑波大学(つくば市)
- ⑩ 大部恵子、岡田浩之、自律移動ロボットによるロボカップ@ホームへの参加、ロボット学会学術講演会、2008.09.09、神戸大学(神戸市)
- ⑪ 岡田浩之、ロボカップ@ホームにおける音声対話技術、人工知能学会全国大会、2008.06.13、ときわ市民ホール(旭川市)

[その他]

ホームページ等

<http://okadanet.org/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

岡田 浩之 (OKADA HIROYUKI)

玉川大学・工学部・教授

研究者番号:10349326

(2)研究分担者

岩橋 直人 (IWAHASHI NAOTO)

独立行政法人情報通信研究機構・知識創成

コミュニケーション研究所・専攻研究員

研究者番号:90394999

大森 隆司 (OMORI TAKASHI)

玉川大学・工学部・教授

研究者番号:50143384

(H20→H 21:連携研究者)

宮崎 美智子 (MIYAZAKI MICHIKO)

玉川大学・脳科学研究所・

グローバル COE 研究員

研究者番号:90526732

(H21→H22:連携研究者)

下斗米 貴之 (SHIMOTOMAI

TAKAYUKI)

玉川大学・脳科学研究所・

科研費研究員

研究者番号:50415361

(H21→H22:連携研究者)