

◎巻頭言

**巻頭言**……………3

浅田 稔(日本赤ちゃん学会誌「ベビーサイエンス」編集委員長)

【展望論文】

**日本赤ちゃん学会の18年から展望する**……………4

小西 行郎(日本赤ちゃん学会理事長 / 同志社大学赤ちゃん学研究センター)

【展望論文】

**構成論的発達科学**  
— 胎児からの発達原理の解明に基づく発達障害のシステム的理解 — ……10

國吉 康夫(東京大学・情報理工学系研究科)

長井 志江(大阪大学・工学研究科(現:情報通信研究機構脳情報通信融合研究センター))

小西 行郎(同志社大学・赤ちゃん学研究センター)

明和 政子(京都大学・教育学研究科)

熊谷晋一郎(東京大学・先端科学技術研究センター)

大村 吉幸(東京大学・情報理工学系研究科)

金沢 星慶(東京大学・情報理工学系研究科)

【ターゲット論文】

**On the Need for Reconciliation of Affordance Perception and Higher Cognitive Functions**……………24

Beata J. Grzyb (Radboud University Nijmegen, Postbus 9104, 6500 HE Nijmegen, the Netherlands/University of Plymouth, Drake Circus, Plymouth, PL4 8AA, the UK)

Comment ◎コメント◎

Hanako Yoshida (Department of Psychology University of Houston) /

Shinsuke Shimojo (California Institute of Technology) /

Emre Ugur (Bogazici University)

answer ◎回答◎

【コラム：赤ちゃん学再考(最高?) - 1 -】

**赤ちゃん「学」の不思議：創造的研究に向けて**……………50

開 一夫(東京大学大学院総合文化研究科)

【コラム：赤ちゃん学再考(最高?) - 2 -】

**ウィーンより赤ちゃんを思う**……………52

多賀 巖太郎(東京大学大学院教育学研究科)

◎日本赤ちゃん学会 第18回学術集会のお知らせ……………55

◎執筆規程……………56

◎登録変更届け……………59

◎賛助会員リスト ……57

◎編集後記 ……60

◎編集方針 ……56

◎入会申込書 ……58

◎編集委員リスト……………60

# 巻頭言

浅田 稔 日本赤ちゃん学会誌「ベビーサイエンス」編集委員長

年一巻のベビーサイエンス誌では、挨拶の季語に悩みますが、まずは、あけましておめでとうございます。本年もよろしくお願いいたします。激動が続いている国内外の状況の中で、本学会の果たす役割は、さまざまな意味で重要になりつつあります。というよりも、本学会の価値をあげるチャンスかもしれません。月並みではありますが、学際、国際、人材育成の課題を本学会の観点から見直してみましよう。

学際は本学会の最も優れた価値の一つで、その意味は2つあります。通常、学会は専門分野が定められ、そのもとで論文が発行されたり、議論がなされますが、当学会は、まさしく multidisciplinary (多分野協働) で、医学、看護学、認知科学、発達心理学、神経科学、霊長類学、社会学、そして人工知能やロボティクスの研究者も参加しており、多種多様です。既存の学会でも、一般公開で、基本は誰でも参加可能ですが、実際はほとんど専門家しか参加していないのが現状です。しかし、専門家であることの意味よりも、互いに異なる分野に対する非専門家としての議論が生まれることが学際の醍醐味で、これが、interdisciplinary (学際融合) です。いずれの専門家でもないお母さんたちも参加している理由が、ここにあります。まさしく、Open to Public で、筆者が創設者の一人でもあるロボカップがこの形態を取っており大成功の一つです。しかしながら、学際の真の価値は、multidisciplinary から interdisciplinary、そして、transdisciplinary (超域) としてのベビーサイエンスを確立することです。さまざまな学問分野を内包しつつ、赤ちゃん学として固有の価値の創造が望まれています。

国際化はありきたりですが、英語でのコミュニケーションが求められています。赤ちゃん学においては、言語発達の観点や文化差の視点からも、研究当事者として重要な課題です。すなわち、スキルの話ではなく、言語を超えて本質的に伝えたいことを持ち得るか？手前味噌ですが、ロボカップジュニアでは、全世界の小学生から高校生までの子どもたちが競技を競いますが、英語のプレゼンがあります。文法が間違っていようが、自分たちが作ったロボットを自慢するので、モチベーションが明確にあり、聞いているほうにもそれが伝わるのです。すなわち、国際化の本質は、コミュニケーションの動機づけをどれだけ強く持てるかで、国際化にかぎらず、学際化でも必要で、そのような人材育成問題に繋がります。赤ちゃん学は、学際、国際、人材育成が一体化した共用の乗り物であり、かつそこに、ベビーサイエンス固有の価値があると期待します。

ということで、新編集委員長として、表紙デザインを一新し、赤ちゃん学会の歴史と今後を会長に、また、発達の課題を学際的にアプローチした國吉新学術を國吉教授に展望論文として執筆頂いた。また、国際の課題を念頭に海外若手女性研究者として計算機科学と発達心理研究を行ってきた Beata J. Grzyb 博士のターゲット論文の三本たて、さらに赤ちゃん学再考(最高?)のコラム2編を掲載しました。さあ、これからベビーサイエンス固有の価値の創造の旅にチャンレンジしましょう。

# 日本赤ちゃん学会の18年から 展望する



小西 行郎 日本赤ちゃん学会理事長／同志社大学赤ちゃん学研究センター

連絡先：〒619-0225 京都府木津川市木津川台4-1-1 同志社大学学研都市キャンパス(快風館)内 E-mail：ykonishi@mail.doshisha.ac.jp

日本赤ちゃん学会は設立当初から二つの大きな橋を設定していた。異分野研究の橋と現場と研究者の橋である。

ここでは最初に現場と研究者の橋について過去を振り返りつつ将来をみてみたい。

設立集会の熱気にはすさまじいものがあり、それは研究者というよりマスコミや育児中の親や保育関係の人たちの「赤ちゃん学」という言葉への興味と関心に基づく期待であったように思う。

育児不安や虐待さらには発達障害などの増加が社会に不安を与えつつあり、根本的な解決方法も見当たらないという現状を赤ちゃん学という新しい学問が変えてくれるかもしれないという淡い期待の表れであったかもしれない。ともすれば思い込みや経験で行われていたこれまでの育児や保育にたいする疑問に客観的で科学的な研究成果をもって答えるべきであるというわれわれの主張がこうした現場で働いている人たちに広く受け入れられた結果といえたかもしれない。

こうした流れの中で毎年学術集会を開催したり、産経新聞と共催で国際シンポジウムを開いたり、international conference of child study (ICIS)の学術集会を京都で行ったりもした。こうしたイベントの取材を中心にして書かれた産経新聞の「新赤ちゃん学を知っていますか」という単行本は15万部近く売れた。この本の購読者は育児や保育の現場の人たちよりもむしろ一般の社会人のほうが多かったという情報もあり、「人の始まりとしての赤ちゃんの謎」を解明する新しい学問にたいする関心の高さがわれわれを驚かせたものである。

学会員の基礎研究者の方々の努力もあり「赤ちゃん学」に関係する出版物も増え、さまざまなマスコミにも掲載されるようになってきた。また、保育士や育児支援などの人たちへの赤ちゃん学講座も各地で開かれたりして、今や「赤ちゃん学」は広く社会に認知されていった。

この間赤ちゃん学会はいくつかの部会を持ったが、理

学療法士(PT)、作業療法士(OT)の方々による「乳児行動発達研究会」はこの領域にヒトの運動の始まりの代表ともいえる自発運動(ジェネラルムーブメント以下GMと略す)という新しい概念を導入するなどの成果を上げている。このGMについては、長い間不思議なことに多くの研究者が胎児や新生児をみていたにもかかわらず、その運動が自発的な運動であるとは考えてこなかった。赤ちゃんの運動は外部からの刺激を受けて動く原始反射が主体と考えられていたからだが、それは原始反射が容易に刺激することができ、必ず同じ運動が起こるので認知しやすかったからといえる。その考え方を否定しGMという運動を始めて定義したのがプレヒテルである。自ら動き、環境と相互作用をするという概念はそれまでの育児やリハビリテーションの考え方を否定するものであった。乳児行動発達研究会にはGMという概念をさらに子どものリハビリテーションの中に広めていっていただきたいと思う。

音楽部会は保育園の音楽教育の在り方に疑問を持つ音楽研究のメンバーを中心に構成されている。今までともすれば思い込みや経験に基づくことが多く、科学的検証のない音楽教育やイベント中心の音楽が取り入れられていた保育園や幼稚園の音楽を見直し、赤ちゃん学に基づく音楽教育を目指そうとして、保育士向けの音楽講座を行っている。現行の音楽教育を何とかして変えたいという講師の熱意が徐々に認められたようで、最近では保育士養成学校の教師などの参加が増えつつあり、着実に赤ちゃん学に基づく音楽教育は保育の世界に受け入れられつつある。

保育園における音環境の悪化は聴覚に障害を与えるだけでなく、言語や社会性の発達にも影響を与える。そのために音楽部会では保育園の騒音とりわけ反響音の測定と聴覚検査を私立保育園連盟と協力して実施した。その結果予想以上の騒音のひどさと、それが赤ちゃんの、と



りわけ言語獲得や聴覚認知に影響するかのせいが示唆され、防音装置などの設置を行い、騒音障害を防ぐ取り組みを広げようとしている。

今年はさらにこれらの部会に加えて「保育部会」を立ち上げる予定となっており、いよいよ本格的に学会の研究成果を保育現場に還元しようという機運が出始めてきたといえる。折しも待機児童問題で保育園の増設ばかりが注目されている中、「保育内容の向上」の必要性も唱えられるようになり、東京大学には発達保育実践政策学センターが開設されたが、これはもともと赤ちゃん学と保育を結ぼうという思いから日本学術会議の第22期マスタープランに応募した結果として新しいセンターができたものである。

現在多くの保育士養成大学が存在するが、いくつかの大学では赤ちゃん学に興味を持つようになり、先の音楽部会の講習会においても養成大学の教師が多く参加するようになっている。すでに保育士養成の教科書には赤ちゃん学の関係者が多く執筆するようになり、中央法規出版からは本格的な保育士養成の教科書として「赤ちゃん学で理解する乳児の発達と保育」が出版された。今や保育士養成や幼児教育に赤ちゃん学は必須の教科になりつつあるといえよう。

企業においても赤ちゃん学に対する注目度は飛躍的に上がってきている。初めはマスコミなどではあったが、やがて乳児用品などのメーカーとの共同開発などの申し込みがあったが、最近の傾向としては企業内保育や保育所を展開している企業とのコラボが増えつつある。アートチャイルドケアとの共同で始めた眠育についての取り組みは全国展開を目指すようになり、眠育推進協議会が自治体も含めて設立される予定である。また、企業内保育などの在り方をめぐってさまざまな取り組みも始まっており、実際に赤ちゃん学を取り入れた保育園づくりもされるようになってきている。このようにして保育園を中心として赤ちゃん学研究成果を還元しようとしているが、一方では基礎研究と現場の距離はいまだに極めて大きいといわざるを得ない。現在の基礎研究がそのまま保育に役立つようなことは極めて少ない。研究者としては脳科学、認知発達心理学、情報工学、あるいは複雑系など当学会には多くの分野の研究者が活動をしている。それぞれの分野にはそれぞれの研究課題や目指すものがあり、分野によって保育や教育、医療現場との距離があるものも少なくない。しかしいずれもヒトとりわけ乳幼児を対象とするものが多いため、現場との関係が全くないわけではない。しかしながら、多くの研究は現場からの要求や疑問に答える形で行われているものは少なく、研究者が独自の考えや同心をもとに行われるものが多い。むしろ安易に現場に役立つものを研究することは研究者

としては疑問にも感じることもあるのかもしれない。その一方で最近の脳科学や認知科学や神経科学などの研究対象に発達障害や認知症などが取り上げられることが多い。その方が研究費を得やすいという風潮がそうした傾向に拍車をかけているような気もする。しかしながら、こうした研究者の多くには発達障害や認知症などの理解がないか、あっても思い込みが強いものが多く、研究方法などは科学的に計画されていても、その研究が障害に悩む人たちの役に立たないばかりかかえって傷つけることにもなりそうなものさえあるように思う。

今行われている研究方法もまた現場との関係を考えるとき、いくつかの問題があるようである。最近では科学研究費が少なくなっている一方で、研究成果のみを要求されることが多いために、短期間で論文が書けるように計画されることが多くなっている。そのため多くの研究は子どもを対象にしても、周囲の無駄な条件として、できるだけ環境などを排除して実験を行おうとする研究が多いように思える。条件を厳しくすればするだけクリアな結果が得られるため、ともすると条件をぎりぎりまで絞り込む研究が良しとされる傾向がないとはいえない。それは時に現実から離れた条件設定になる可能性も否定できなくなるだけでなく、研究の再現性を危うくする危険性を同時にはらんでいるといえよう。

一方、子どもは集団の中で育つものである以上、個別研究だけではなく集団を対象とし、長期間の発達経過を追跡する研究も重要である。現場からはそうした研究が望まれているのも事実だと思われる。現在行われている環境省の略称エコチル調査は今までとは違った巨大な調査で調査期間も長く、胎児期から思春期までの大規模コホート調査である。ただ残念なことにこの調査チームは臨床医と医療情報の研究者を中心に行われていて、他分野との研究という視点をもっていないという弱点を持っているといわざるを得ない。医学の中にもうすこし異分野の研究者との共同研究などに理解を持つものが増えてこなければいけないと思う。

いずれにせよ、保育や育児の現場から赤ちゃん学会に期待する声は強くなりつつある。その期待に答えるような研究を推進することは研究者にとっても重要なことになるとと思われる。そのためには今年生まれる「保育部会」に保育者のみならず研究者の参加を強く促したい。

それでは学会のもう一つの橋について考えてみたい。赤ちゃん学会では設立当初から異分野の研究者のクロストークや共同研究の重要性に注目していて、積極的に取り組んできた。ここではまずこの間各研究分野で起こったことを自分なりに整理し、学際的な異分野研究の在り方について述べてみたい。

赤ちゃん学会が設立されたころ、発達心理学において

は新生児期から乳幼児期の今までなかなか研究対象になりにくかった赤ちゃんに対して選好注視法や順化・脱敏化法などの観察方法が確立された。さらには視線追跡装置や多チャンネル脳波計などの計測機が相次いで開発されたことによって赤ちゃんの脳機能計測が飛躍的に進歩した時期でもあった。ネイチャーやサイエンスには新生児の視聴覚認知や言語機能などの発見が相次いで報告され、ICISなどの学会も熱気に包まれた時代であったように思う。個人的には国際学会や科研費のミーティングで出会った発達認知科学の研究者たちのエネルギーと知識の多さに圧倒され長年小児科医として赤ちゃんと接してきた自分が打ちのめされた時期でもあった。

視聴覚認知などを中心としたこれらの赤ちゃん研究は飛躍的に進歩し、さらには乳児が簡単な計算ができるということや、物理現象を理解するといった発見もされるようになった。このことは「白紙状態で生まれる赤ちゃん」つまりは無力である赤ちゃんという概念を否定し、胎児期にすでに五感機能しており、自ら情報を求めて行動する、いわゆるインフォメーション・シーカという概念が提唱されるようになった。20世紀末には新生児が意識的に自分の手を動かすということも証明され、ロックやルソーらの赤ちゃん観は打ち消されるようになっていった。赤ちゃんを対象とした発達心理学研究はこうした視聴覚認知から計算や音楽さらには共感や善悪などの道徳観などの研究へと発展してきている。赤ちゃん学会の究極の研究対象は「こころ」であるが、そこに向かって徐々に研究が進んでいることを実感するようになってきた。

20世紀の終わりごろには神経科学においても大きな発見がなされたがそれは神経細胞の細胞死とシナプスの過形成と刈込という現象であった。胎児期から徐々に発生し右肩上がりに成長し成人期を境に減少するといった既存の概念は大きく覆されるようになり、神経ダーウィニズムなる概念が提唱されるようになった。遺伝子によって造られる粗い神経組織が環境との相互作用によって削られ成長するという概念は赤ちゃんの発達をみてきた小児神経科医には極めて魅力的なものであった。なぜならば赤ちゃんの発達をみていると必ずしも一方的に新しい能力を獲得して伸びてゆくものではなく、新しい能力を獲得する傍らで消えてゆく能力もあるからである。そのいい例がRとLの聞き分けという能力である。乳児期早期には日本人の赤ちゃんでもRとLの聞き分けはできる、しかしながら成長とともにその能力は消失する。日本語を話すわれわれにとってはRとLの違いが分かることはかえって日本語の理解に邪魔になるからといわれている。つまり使わないから機能を消失するのではなく、使い方によって脳機能が選択されているのだということである。しかしながらほぼ同時期に話題となった臨

界期(今では感受性期)のほうが一般的には注目されたように思う。とりわけ早期教育の分野ではこの感受性期がもてはやされ今でも早期教育の基盤とされている。しかしながら刺激しないと機能を失うということと、より刺激を多くしたり早くしたりすると機能がさらに良くなるということとは違うように思えるのだが。

神経細胞の細胞死についてもそれを発達の中で良しとする考え方と細胞死は防ぐべきだという考え方は存在するようで、著名な生理学者の中にもこの時期の細胞死は防いだ方が後の発達にいいと主張する者もいる。特に成人の研究をしている研究者にはその考え方が強いように思える。後の発達のために無駄な組織を削るという神経ダーウィニズムはまだ十分に理解されていないように思える。

胎児の研究に今再び注目が集まりつつある。1850年代に導入された超音波診断装置は胎児の動きをほぼリアルタイムでわれわれに提供してくれる。そこで胎児の行動観察は飛躍的に進歩した。1980年代にはわが国においても九州大学などを中心に胎児行動学研究が盛んに行われるようになった。しかしながら、これらの研究も装置自身のさまざまな問題点や限界から、胎児の病的状態の把握というような臨床的な目的で使われるようになり、徐々に胎児行動学研究は下火になっていった。しかし、最近産婦人科や医療情報の研究者からDOHaD仮説なるものが提唱されるようになってきた。第2次大戦中にナチスドイツに占領されていたオランダ・アムステルダムに住んでいた妊婦から出生した赤ちゃんの生後コホートが行われ、栄養障害や過度のストレスにさらされた母体から生まれた胎児の健康状態が報告されるようになってきたのである。その結果まず、心疾患と生活習慣病が、そしてその後発達障害やうつなどの精神疾患が高頻度にみられることが分かってきたのである。つまり、こうした病気の起因が胎児期にあることが分かり始めたのであり、改めて胎児期の研究の重要性に注目が集まり始めたのである。おりしも超音波断層診断装置が3D機能を持つようになり、今まで断層画像しかみえなかった胎児の体の表面の画像が得られるようになって胎児の表情などの研究も進んできた。さらに長年試みが行われていた胎児心電図計測についてもその計測方法が開発され母子の心電図の同時測定なども可能となってきた。胎盤機能などの詳細に検討されるようになり、胎児の研究は着実に進歩し続けている。発達心理学でも胎児研究を目指す研究者も出ており、こうした研究成果をもとに胎児の行動のシミュレーションを行っている國吉らの研究は世界から注目を浴びている。

脳機能イメージングや機能計測の進歩も、赤ちゃん学会の活動と密接に関係しているようである。ヒトの脳の



活動をほぼ同時に機能イメージとして可視化することができるようになったことが脳科学を大きく変えたように思う。fMRIや脳の活性化という言葉が広く一般にも知れ渡り、脳を活性化することが何よりも重要であるということから、脳トレなる取り組みまで流行し、今でもその勢いは衰えていないように思える。ただこうした脳機能イメージングはすぐには赤ちゃんに取り入れられることはなかったが、近赤外光を用いた光トポグラフィーが赤ちゃん研究に導入されるようになり、今や脳機能イメージングはわれわれの学会でも広がってきている。今では胎児の脳機能画像なども発表されることが多くなり、この分野でも胎児に注目が集まり始めている。しかし、脳機能イメージングについては赤ちゃんに導入するにはまだまだ限界があり、その方法についても問題は少なくない。

これまでの文章は比較的領域を俯瞰した形で書けたが物理学あるいは複雑系の研究者の領域に関しては俯瞰できるほど研鑽を積んでいないため、自分自身の経験をもとに語ることにしかできない。

まず小児科医が複雑系の学者と出会ったことが赤ちゃん学を造ろうとした大きなきっかけになったことから書かなければならない。オランダ留学の間にプレヒテルから教えられたGMという考え方を持ち帰ってきたとき、研究仲間である小児科医や小児神経科医にGMの紹介をしたとき、新生児の動きは原始反射という固定概念に囚われているとしか思われなような反応が返ってきた。自分自身GMという考え方を十分に理解していなかったから、彼らを説得できなかつたとは思ったものの、大きく落胆したことも事実である。その時声をかけてくれたのが多賀先生からのメールであった。物理学つまり複雑系の研究者です。と紹介され、GMに対する興味を語られたのだが、正直あまり理解はできていなかった。今でこそ、ロボット工学や構成論では自発的に動くことなしに発達するロボットは造れないということは理解しているが、多賀先生からのメールは嬉しかったものの、不思議ではあった。多賀先生の紹介で京都大学の湯川記念講堂でGMのビデオをみせながらGMの話をした時の不思議な光景は今でも忘れられない。というよりも、発達に関心を持つ研究者がこんな領域にいるということがとても新鮮であったとともに、自分の周りで何か新しいことが始まるのではないかと期待を感じた。

多賀先生との共同研究が始まり、多賀先生から発達に対する基本的な考え方を聞いたのはプレヒテルに会ってそれまで常識だと持っていた小児神経学のなかの発達に関する知識が根底から覆された時と同じような衝撃ではあった。彼にはかなわないとギブアップした自分であったが、この分野の研究者と組むことで発達神経学や小児

神経学の古い学問に一石を投じることができるかもしれないと考えようになった。

認知発達心理学、あるいは実験心理学との出会いは先に述べたように極めて興味深い研究成果が報告されている時期であったが、この成果を小児科、とりわけ小児神経科の乳幼児健診に生かせるのではないかと考えたのが、山口、金沢氏との出会いである。乳児の視聴覚認知実験をされていた先生方の研究はそのまま乳幼児健診用のバッテリーに使えると思った。そこでお二人に研究されていた実験の中で医師でも使えるようなものを選別していただいて検診用のセットを造ってもらった。実際に何度か検診の場で使用してみたが結構難しかった。しかし、この流れは欧米ではすでに行われていてCANTABのように商品化され世界中で使われているものもある。わが国においても「もぐら一ず」といったものが検診に用いられている。しかしながらその作成に認知発達心理学と小児科医が協力したのはわれわれが最初であったと思う。今でもこうした試みはいくつかの施設で試みられている。

こうして、赤ちゃん学会は設立されて以来、会員のそれぞれの領域の非常に活発な活動に支えられて続いてきた。

今年最終年を迎えた文部科学省の科学研究補助金新学術領域研究「構成論的発達科学：胎児期からの発達原理と発達障害の発生原理の解明」はまさに胎児期を起点とした発達研究の重要性を強調した研究であり、胎児の行動発達のシミュレーション中心に発達原理を解明しようとする極めて挑戦的な取り組みであった。

医学においては産婦人科、新生児科、小児神経科そして精神神経科という複数の科を連携させただけではなく、発達心理学や障害を持つものが自分を研究する当事者研究グループなどの人間科学の研究の成果をもとに、胎児行動のシミュレーションをしようとする非常に挑戦的な異分野融合研究であった。今やどの研究分野でも異分野融合研究の必要性が唱えられるようになってきた。しかし、現状では必ずしもうまくいっていないように思われる。それは各研究領域で用いる言語の違いや常識とされることがずれているなどの基本的な違いによるものが少なくないように思える。ただし、今回の「構成論的発達科学」が成功した理由はボトムアップ型の研究(人間科学部門)とトップダウン型の研究が組んだことである。

同じタイプの研究がいくつか並行的に組んでいる異分野融合の研究組織は非常に多い、というよりほとんどの組織がそうである。こうした組織ではお互いの壁を乗り越えるのが極めて難しい。今回の新学術研究の組織は2方向からのアプローチであっただけに融合しやすい面があったと思われる。

こうして赤ちゃん学会の過去を振り返った時、認知発達心理学、脳科学、複雑系などそれぞれの学問領域が最も輝いていた時代を赤ちゃん学会は共有しながら発展してきたように思える。そしてそれはこれからも続いていくように期待しているし、そうなるであろう。そうした中で赤ちゃん学会の中に「若手部会」が誕生した。それぞれのバックグラウンドを持った研究者がお互いを知ることの面白さに引っ張られて造られた学会第1世代と違って、赤ちゃん学会という器がすでにある中で研究などを始めた世代である。すでに最初から融合領域の研究者であるといってもおかしくはないかもしれない。それだけにこの世代の研究者に対する期待は大きい。と同時にそれは自分と違った領域の研究を初めて知った時の面白さが少ないかもしれないという危惧を持つことになる。言い換えれば、初めて会った時の面白さより、最初から一緒にいるとお互いの違いの方に興味が行きがちになるのではないかという危惧である。

さて、20世紀の科学は複雑な現象を観察言語と理論言語を用いて孤立分断的に(それを取り巻く状況に言及することなく)切り出す方法を確立したといわれる(蔵本由紀)。いわゆる要素還元論的手法、あるいは機械的決定論ともいわれる。その結果、生命科学は「普遍的な遺伝子に機能」と「それらの因果関係」の発見を目指すことになっていった。その仮説は生物の秩序を設計されたものとみなすことである。ヒトの体質や気質は遺伝子によってプログラムされたものになり、脳は遺伝子によって形成された計算機とみなすことができることとなった。ところがヒトの行動はさまざまな点で変則性をはらんでいて、遺伝子と形質の関係は因果によって説明できるものはむしろ少ないといえる。遺伝学では偶然の遺伝子に変異によって形質が変化し、その形質が環境要因によって選択されるという形式で例えば進化などの現象を説明しようとしてきた。しかしながら、表現性の可塑性を考えると、まず環境要因によって生物の形質が変化し、その後に変化した形質を安定化する差異が導入されるという遺伝的同化が起こるといわれる。環境によって遺伝子そのものが変化するいわゆるエピジェネティクスという概念もそうしたことにつながる。こうした変則性を克服するためにはいわゆる機械的自然観の問題に挑戦する必要があるといわれる(桜田氏から引用)。

新学術領域研究においてわれわれの班が得たものの最初が睡眠障害との出会であった。睡眠障害センターに入院している子の中に自閉スペクトラム症(以下 ASD と略す)の子どもの多いこと、ASD の患者に睡眠障害が多いことは知られていたが、不思議なことに彼らの保護者からの情報では新生児乳児期にすでに睡眠状態が異常であるケースが多くみられたということであった。そして

入院患者で ASD を合併している子と定型発達で睡眠障害を持っている子では心拍変動に差があることが分かった。つまり ASD の児には心拍の揺らぎが少ないことが分かったのである。

入院患者のブドウ糖負荷テスト(OGTT)の結果をまとめることとなり、140名ほどのケースの OGTT の結果が解析された、その結果や約四分の一のケースで糖尿病の境界児がいることが判明した。こうなれば後は比較的簡単に深部体温の日内変動の異常などもみつきり、ASD には新生児期からの睡眠リズムや内分泌機能の異常、心拍変動の異常や体温の日内変動の異常、つまり生体機能リズムの異常が次々にみつかったのである。認知発達心理学でも最近では行動リズムの同期現象が共感性を産み、社会性を育むことが知られている。そうなってくると ASD は細胞レベルから臓器レベル、個体レベルさらには個体間レベルの機能リズムの障害を持っていることが判明したのである。じつはこうしたことはそれぞれ単独の研究では分かっていたことであるともいえる。ASD に睡眠障害の多いこと、心拍に揺らぎの少ないこと、糖尿病の多いことなど個々の報告は少なくない。しかし、こういった所見を纏めて ASD 全体と俯瞰した報告は昨年のフランスの小児科医の総説が初めてである。しかし彼らでもこうしたいくつかの階層におよぶリズムの異常についてどうアプローチするべきかについては触れていない。「身体を構成するさまざまなサブシステムは自発性と自由度を有している。さまざまなサブシステムの自発性は、身体の中でコーディネートされる。疾患とはこのコーディネーションの破綻として表現することができる。たとえば交感神経と視床下部下垂体副腎経路は、概日リズムやストレス応答でもカップリングしている。交感神経刺激で産生されるアドレナリンは自然免疫を活性化し、副腎から産生されるグルココルチコイドは自然免疫を抑制する。交感神経と視床下部下垂体副腎経路は免疫系にたいしてアクセルとブレーキを同時に働かせるといった形でコーディネーションを形成し、自然免疫を抑制している。しかし、ストレスが慢性化すると自然免疫に対するグルココルチコイドの抑制機能がエピジェネティクス修飾によって阻害され、自然炎症をおこすようになってくる。

生物そして人間はさまざまな形で心と身体のコーディネーションを編成する。この多様性の問題はコーディネーションに共通する仕組みを理解することで一般的に解決できる可能性がある」(桜田一洋)と主張している。この説に従えば ASD にみられるリズムの異常はいくつかのリズムの協働の障害として捉えられ、ASD と ADHD、学習障害や協調運動障害などとの合併の多様性については、リズムの協働の異常の組み合わせの違いで

説明することができる。今まで医療では例えば肺炎は細菌やウイルスの感染が原因であることは、癌は癌細胞の増殖が原因であることは容易に理解できる。つまり、特定の疾患とその原因は科学的に因果を説明することが可能であった。しかしながら、精神疾患やアレルギーなどの疾患は多様な要因と複雑な症状を持つ疾患であり、要素還元型の研究ではその発生メカニズムを明らかにすることができない。要素還元論に基づくエビデンス・ベースド・メディスン(EBM)という考え方については。現在は極端にEBMに頼りすぎたのではないかと警鐘を鳴らす人もいる。

一方でその疾患との関係が予想できるかぎりの多くの要素を網羅的に収集して解析するいわゆるビッグデー

タ・イニシアティブといった考え方が広く支持されるようになり、実際に行われようとしている。医学においては大きな変革が起きようとしている。それは多くの研究領域にも影響を与えるであろうと思われる。かといってそれはすぐに要素還元論的個別研究を否定するものではない。現在ビッグデータに基づく研究を進めるためにはそこに取り入れる要因の選定はある程度要素還元論的に因果が予想される因子を選定する必要があると思われる。ある意味においては要素還元論的手法とビッグデータは横糸と縦糸という関係にあるのではないかと考えられる。こうした背景を念頭に置いて赤ちゃん学研究がこれから行われていくのではないかと予想している。

## The Japanese Society of Baby Science Past, Current, and Future Activities

Yukuo Konishi

Doshisha University Center for Baby Science Joint Usage/Research Center

Nearly 20 years have passed since the Japanese Society of Baby Science was founded, in 2001. During this period, cognitive developmental psychology adopting experimental approaches has expanded, with brain science, neuroscience, information engineering, and robotics engineering markedly progressing. Collaborative research that integrates these fields has also been promoted, paving the way for the Society to keep itself active.

On the other hand, demands for activities to be led by the Society are increasing among those engaged in early child care and education (ECEC) and parenting. The national measures to resolve the shortage of nursery schools have successfully increased their number, without improving the contents of ECEC. Therefore, social approaches to improve such contents are needed. Researchers specializing in baby science are also expected to achieve outcomes that benefit ECEC environments. However, as they do not accurately recognize the actual situation of ECEC, their research capacities to realize these goals remain insufficient. We organized working groups within the Society, such as the <Infant Behavioral Development Study Group> and <Music Working Group>, to conduct collaborative research with those engaged in ECEC, but sufficient outcomes have yet to be achieved. With reduced subsidies, a large number of studies narrow their objectives, and aim to obtain short-term results, making the long-term observation of developmental processes difficult. Under these circumstances, we launched the ECEC Working Group as an organization-wide approach to explore innovative research. We expect that our members will actively participate in these groups.

Basic research has markedly advanced over the years in each field. Interdisciplinary research has also been promoted with support, such as Grants-in-Aid for Scientific Research (KAKEN) and subsidies for Research Projects Pursued by Research Teams Led by Research Directors (CREST). On the other hand, in the fields of medicine, developmental psychology, and brain science, basic research has mainly been conducted through experimental approaches, which were generalized in biology in the 20 century based on Descartes' idea of reductionism, although such approaches are unlikely to elucidate multi-factorial and diverse social phenomena.

Some studies on autism spectrum disorder (ASD) as an innovative research area revealed that the synchronization of biological rhythms is impaired at cellular, organ, and interpersonal levels in patients with this disorder.

Spontaneity as an indicator of freedom is a feature of body subsystems, and it is coordinated among different subsystems in the body. In ASD, coordination among endocrine, nervous, and immune systems is thought to be impaired. In the future, human science research will be increasingly conducted using open models, such as open system science. As these issues cannot be addressed within a single research field, the importance of integrative studies conducted in interdisciplinary areas will increase, indicating the necessity of further enhancing the field of baby science.



# 構成論的発達科学

## —胎児からの発達原理の解明に基づく発達障害のシステムの理解—

國吉 康夫  
長井 志江  
小西 行郎  
明和 政子  
熊谷晋一郎  
大村 吉幸  
金沢 星慶

東京大学・情報理工学系研究科  
大阪大学・工学研究科(現：情報通信研究機構情報通信融合研究センター)  
同志社大学・赤ちゃん学研究センター  
京都大学・教育学研究科  
東京大学・先端科学技術研究センター  
東京大学・情報理工学系研究科  
東京大学・情報理工学系研究科



連絡先：〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1 東京大学工学部2号館 82A2号室 國吉・新山研究室(知能システム情報学研究室) E-mail: kuniyosh@isi.imi.i.u.tokyo.ac.jp

### 要旨

新学術領域研究「構成論的発達科学」は、胎児期から幼児期までの認知発達モデルを構成し、環境変動下での発達変化を実験的に示し、臨床医学的知見および当事者研究と対応づけて発達原理の解明と発達障害の新たな理解を提示すること、および、これに基づき、発達障害の早期からの包括的診断法と発達障害当事者の観点から真に有効な支援法・支援技術を構築することを目指し、5年間の融合研究を完了した。初期身体性から社会性発達に接続する観測データと発達モデル・理論の確立、胎児期・新生児期の運動・自律神経機能・睡眠の特性と社会性発達予後との関連性の確立と新たな診断尺度開発、当事者の困りごとの理解と解決を支援する手法や技術の構築など、重要な成果を挙げるとともに、真に分野超越的な新たな学術領域を確立した。

### 1. はじめに

人の心はいかにして発生し発達するのか？発達障害はなぜ起こるのか？その解明は胎児期にまでたどるべきとの見方が近年急速に強まっている。しかし、ヒトの胎児からの発達に関して「なぜ？いかにして？」を問う研究は、倫理的にも技術的にも従来の方法論では極めて困難である。構成論的発達科学は、ロボティクス、医学、心理学、脳神経科学、当事者研究が密に協働して、胎児からの発達を観測、モデル化、実験、解釈することで、その本質を解明し、さまざまな環境要因に伴う変化の様相を明らかにするとともに、新たな発達障害理解に基づき、真に適切な包括的診断法と支援法、支援技術を構築することを目指している。

### 1.1 背景

人の心は、脳、遺伝子、身体、環境、他者、社会、文化にまたがる極めて複雑な相互作用の上に成り立ち、生涯を通じて常に変化し続ける。その本質と異変を理解するためには、要素還元論を超えて、相互作用全体の構造とその変化の原理を解明することが不可欠である。変化は相互作用によって引き起こされ、相互作用自体を変える、いわばブートストラップ的な連続過程であり、したがって、それを真に理解するためには原初のシステムまでさかのぼり、そこからの発達のロジックを解明する必要がある。

発達心理学では90年代に E. Thelen が“ダイナミックシステムアプローチ”を提唱し<sup>[1]</sup>、力学系の概念に依拠して多様な連続的相互作用から変化と構造が生まれる理論的枠組みを導入した。また、多様な認知能力が従来の定説より若い月齢で確認され続け、新生児でさえ認識、記憶、模倣などの認知能力を有することが確認された。さらに、超音波撮像法の進歩に伴い、胎児の行動が精密に観測可能となると、胎児期の運動発達や感覚応答行動、学習能力が発見されて発達論の視野に入り、最近急速に知見が増えている。

脳神経科学では、近年、機能局在論を補う形でシステム論的理解の重要性が指摘され、大脳全域の機能ネットワークなどの研究も急速に進展している。また、従来個別的にモデル化されてきた認知機能を発達の的に統合する理論も構築されている。さらに、周産期・新生児期のシナプス過剰形成と刈込みや、大脳皮質の初期形成過程での神経活動依存性が明らかになり、初期発達中の感覚運動経験が脳の形成に影響する可能性が示唆される。

ロボティクスでは、80年代以後、環境相互作用に基づく知能、身体性認知科学などの潮流が生まれ、90年代半ばから認知発達ロボティクスが開始された。作る立場からの必然的疑問として、身体・環境相互作用を通じた発

達を起動する原初のシステム要素と動作原理は何か、が大きな未解決問題となった。これについて、國吉らは身体性を通じた高次元カオス結合系からの行動創発原理を提案し、それがヒト胎児を模した身体・神経系の簡易モデルにも起こりうることをシミュレーション実験で示した<sup>[2,3]</sup>。

発達障害は、近年その症例数が急増し社会問題化している。しかしその多くの発生原因ははまだ解明されておらず、療育法も対症療法や経験則による部分が大きい。特に、自閉スペクトル症(ASD)や注意欠陥・多動性障害(ADHD)、学習障害(LD)については近年、多くの関連遺伝子が報告されているが、症状と相関する遺伝子の特定だけでは発生原理の理解にならず、環境要因が絡む発現過程の解明が課題との指摘がある<sup>[4]</sup>。最近、これらの障害の要因の一部が周産期の環境経験の異常や早産による胎内経験短縮にある可能性が指摘され<sup>[5-7]</sup>、ここでも胎児期が視野に入ってきた。

総合して、心の解明にかかわる複数の学問分野がいくつも、相互作用の、システム論的理解と、胎児期からの初期発達に焦点を当てつつある。しかし、そこには研究方法上の困難が伴う。胎動の観測はリアルタイム3D超音波撮像(いわゆる4D超音波)やリアルタイムMRIなどで可能だが、操作的な実験は技術的にも倫理的にも音刺激など極めて限定される。したがって振舞いに関する因果関係を解明することが困難である。この事情は新生児についても大きく変わるものではない。さらに、要素間、相互作用間の結合が強く、全体の振舞いは要素の振舞いの総和とならない創発性を有する。そこで、要素的知見と仮説に基づくシステムモデルを環境中で動作させ、複雑な相互作用の結果としての振舞いを対象と比較し、仮説の改善や不足要素を補い、また環境変動などに伴う変化を観測して、対象理解を構築する構成論的方法(図1)が重要な役割を担う。

## 1.2 課題とアプローチ

全体としての研究目標は以下のとおりである。胎児期から幼児期までの認知発達モデルを構成し、環境変動のもとでどのように発達に変化するかを実験的に示し、臨床医学的知見および当事者研究と対応づけることで、発達原理の解明と発達障害の新たな理解を提示する。また、これに基づき、発達障害の早期からの包括的診断法と発達障害当事者の観点から真に有効な支援法・支援技術を構築する。

この中で特に、身体運動発達と身体感覚・視聴覚の統合認知の発達が他者認知などの社会的認知基盤に接続するまでを中心的課題とする。そして、自閉スペクトル症の一般的診断基準である「生得的な社会的認知障害の有

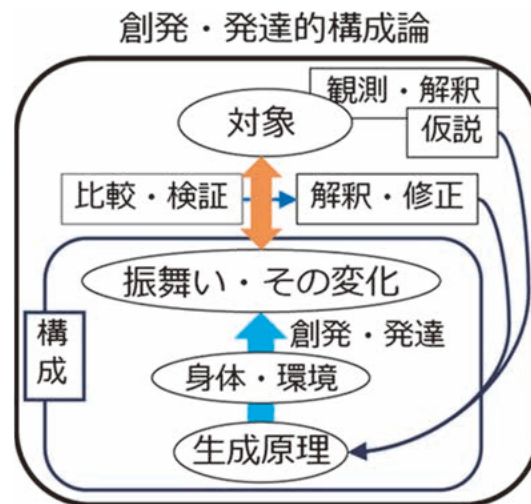


図1 構成論的方法

直接的に因果関係を検証出来ない事象に対して、構成要素や生成原理を与え、複雑な相互作用を通して発現する結果を検証・解釈し、構成要素や生成原理の調整を繰り返しながら真理を探る手法。

無」に代わる発達論的理解を提示することを目指す。具体的には以下の三本の柱が相互に有機的に連携して研究を進めた(図2)。

**A. 構成論：**人間科学および当事者研究からのデータと仮説を統合し、胎児から幼児期までの認知発達モデルを構築し、環境変動を加えた実験を行う。また、人間科学の観測に用いる新たな計測・解析技術を開発し提供する。さらに、当事者研究や人間科学分野と協力して、発達障害者の支援技術の開発に取り組む。

**B. 人間科学：**胎児期から幼児期までの定型発達と発達障害の発達過程を、定期的な経過観測によって明らかにし、そのデータを構成論に提供する。臨床医学、発達心理学、脳神経科学の最近の知見を網羅し、運動・知覚・認知・言語から社会性や睡眠の発達まで、個別領域の発達のみならず領域間の関係を明らかにし、発達早期からの包括的診断法を構築する。社会的認知の基盤である自己認知につながる身体感覚の発達については特に重点を置き、周産期児を対象として精査し、モデル構築に寄与する。

**C. 当事者研究：**発達障害者が自らの感覚や経験を観測し体系的に記述し、内部観測理論を構築し、構成論や人間科学に提供する。すでに、通常「社会性の障害」とされる自閉症の本質が実は身体感覚や視聴覚などの情報統合の困難であるとする「情報のまとめあげ困難説」を見出しており、これを軸に研究を展開する。その検証のための実験心理学的評価と、理論を踏まえた支援法・支援技術の構築、当事者研究の治療的意義の検証にも取り組む。また、構成論が構築するモデルや支援技術と人間科学からの知見について当事者観点からの検証と意味付けを行う。



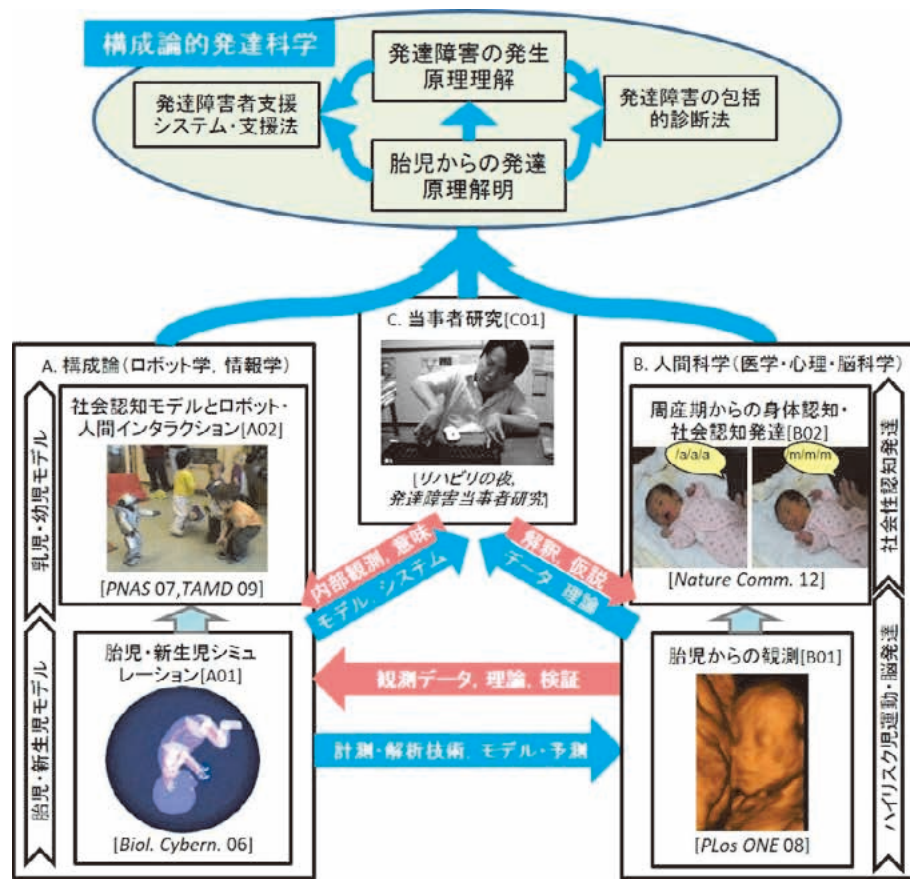


図2 構成論的発達科学  
(文中が詳しいので省略)

## 2. 主な研究成果

認知発達については、初期身体性から社会性発達に接続する観測データと発達モデルを、胎児～新生児と新生児～幼児について確立し、環境変動などに伴う変化についても観測とモデル実験により示した。当然、認知機能や発達のすべてをモデル化・実験できたわけではないが、身体性と社会性の関連において重要な身体表象、感覚運動情報の統合と予測、模倣などの他者とのやりとり、などに焦点を絞ることで、胎児から幼児までをつなぐ観測知見とモデルセットを確立した。これらを含め最新の知見も総合して、初期身体性から社会性までの認知発達を説明する領域共通発達脳モデルを提案した<sup>[8]</sup>。周産期の抑制機能と社会的認知発達の関連性について当初想定外の新たな重要な発見もあった。

発達障害の新たな理解に基づく診断法と支援法・支援技術に関しては、胎児期・新生児期の運動、自律神経機能、睡眠の特性と社会性発達予後との関連性を確立しつつ新たな診断尺度を開発し、発達早期からの包括的診断法を開拓した。また、当事者の困りごとの解決を支援する当事者視点を重視した支援法・支援技術に加えて、ASDの感覚経験を定型発達者が体験できるシミュレー

タを構築した。これは体験を通して定型発達者を当事者に近づけるといふ、従来とは逆転の発想による技術で、本領域の理念を体現する当初想定外の成果である。

以下に、主な成果を紹介する。

### 2.1 初期身体性から社会性発達に接続する観測データと発達モデル

本研究の中心課題である、胎児・新生児期の身体感覚・運動の特性と乳幼児期の社会性との関係については、従来、早産児の発達障害リスクの高さ<sup>[5-7]</sup>、ASD者における模倣、身体図式、協調運動の特異性<sup>[9-11]</sup>など、多くの関連する知見や傍証があるものの、関連性を直接示す具体的なデータは報告されていなかった。これについて、①早産児条件での発達シミュレーションによる脳の身体表象・感覚統合異常の発生、②新生児運動指標と3歳児発達遅滞の関連性、③周産期の副交感神経などの抑制機能と12、18ヵ月時の社会的認知特性との関連性、④予測学習と予測誤差検出に基づき、感覚運動レベルから社会性に接続する知見とモデルを確立した。また、これらを含め、最新の知見も総合した⑤領域共通発達脳モデルを提案した。これらをはじめとする研究成果全体により、図3に示すように、胎児期の身体性から幼児期以



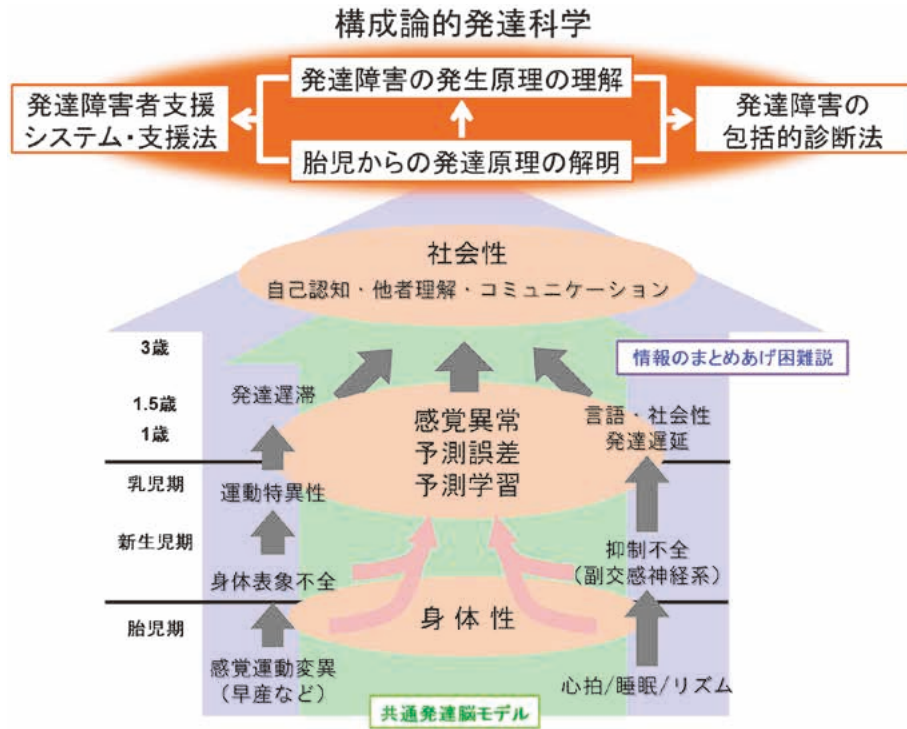


図3 本新学術領域で得た成果の流れ  
胎児期・乳幼児期から生じるさまざまな異常とその後の発達や社会性の問題に繋がりが、身体性の観点や予測誤差モデルで説明しうることを示す。

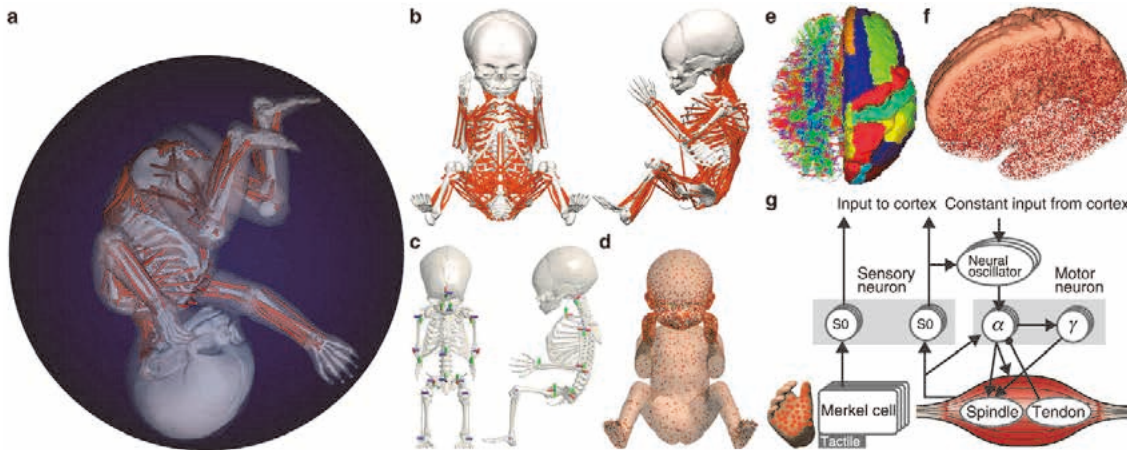


図4 身体-環境-脳の統合モデル<sup>(12)</sup>より

後の社会性に接続する知見とモデルをデータに基づき確立した。

### 2.1.1 早産児条件での発達シミュレーションによる脳の身体表象・感覚統合異常

発達原理解明のためには、相互作用全体の構造とその変化の原理を調べる必要がある。われわれは、詳細な生体情報を基にした、身体、環境、脳の統合モデルを構築し(図4a-g)、発達をシミュレーションすることで、環境と身体の相互作用の変異が脳発達に変異を与えることを示した<sup>[12]</sup>。身体モデルには、ヒト胚子・胎児標本(京都大学先天異常標本解析センター)のMRI計測、市販の

胎児骨格レプリカの3次元計測、および解剖学文献データを利用し、従来より格段に精密・正確な、筋数494(従来は198)の胎児筋骨格モデルを構築した。脳モデルには、新生児の全脳の大域結合構造をDTIデータ(久留米大学医学部)から抽出し、動物実験でのパラメータを利用した260万個のLIF(Leaky Integrate and Fire model)ニューロンからなる53億シナプス規模のネットワークを構築した。また、計算量を劇的に縮減するアルゴリズムの開発に成功し、従来法と比較して100倍以上の性能を達成した。

構築した身体モデルを、子宮壁と羊水のある子宮内と、空気中の平板(ベッド)上である子宮外の二種類の環境

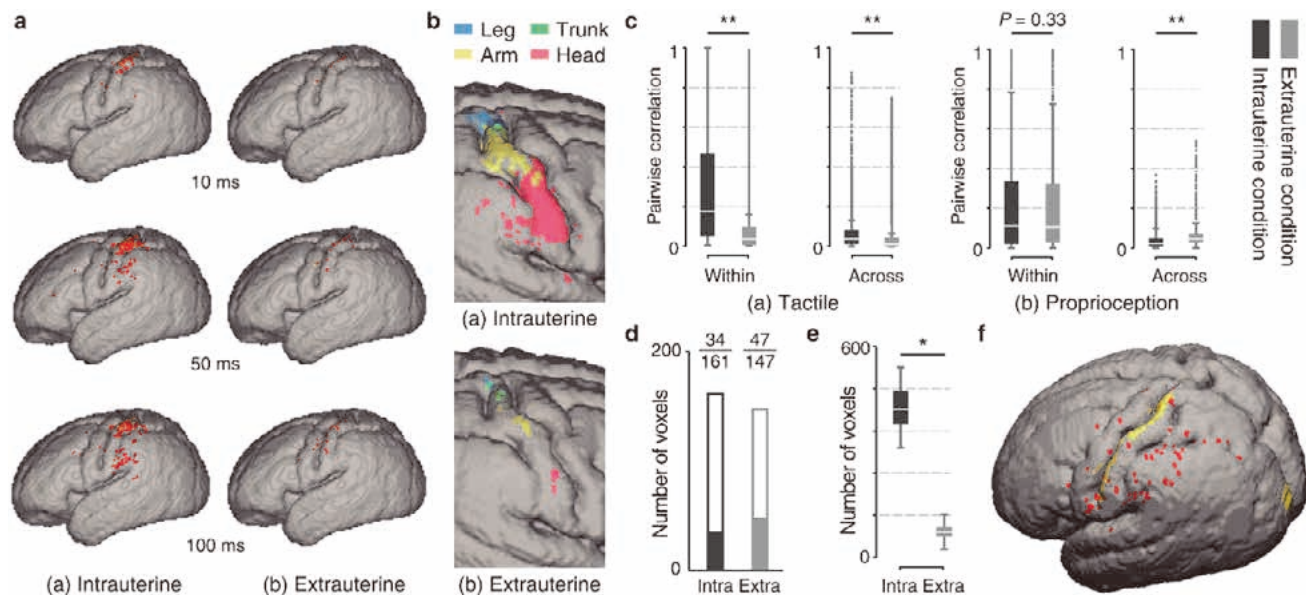


図5 発達シミュレーションを用いた早産条件比較実験の結果<sup>[12]</sup>より

で、脳幹-脊髄系に対応する神経振動子と反射回路により自発運動させ、体性感覚(固有感覚、触覚)入力を大脳皮質モデルに与え STDP 則(Spike Timing Dependent Plasticity)に従って学習させた。

学習後のモデルに感覚刺激を行い大脳皮質の反応領域を算出すると、子宮内環境での学習条件において子宮外学習条件より有意に広い反応領域を示した(図5a-d)。この成果は、胎児期の身体性を通じた感覚運動経験異常と皮質形成異常の因果関係を構成論的に提示したものであり、運動障害を呈する早産児に観察される皮質形成異常や、ASD 児で見られる触覚刺激に対する感覚野の応答低下などを説明する成果である<sup>[13,14]</sup>。

さらに、上記同様に固有感覚と触覚のみについて子宮内/外で学習させた二種類の脳モデルに、腕運動に伴う視覚と体性感覚の同時刺激を入力したところ、子宮内事前学習を行った脳モデルには、視覚・体性感覚の両方に応答する bi-modal ニューロンが子宮外事前学習条件よりも有意に多くみられた(図5e, f)。これは、胎内での身体感覚学習欠如が後の複数感覚統合の獲得を阻害することを示唆する。

身体表象の獲得や複数感覚統合が認知発達の初期の重要な基盤と考えられることから、上記の結果は脳損傷のない早産児における発達障害発生機序に対して一つの可能な説明を与える。

### 2.1.2 新生児運動指標と3歳児発達遅滞の関連性

前述の胎児発達シミュレーション研究では、胎内での感覚経験の差異が学習を通して運動発達に異変をもたらす例も得られた<sup>[15]</sup>。では、新生児の運動の異変は発達予後にどう影響するか？

本研究では、ヒト新生児の運動の定量指標と3歳児の発達遅滞との関連性を確立した。早産児において、妊娠40週齢で Writhing movements と呼ばれる四肢の自発運動のビデオ画像から運動軌跡を抽出、6つの指標(Average velocity of limb movements、Number of movement units、Kurtosis of acceleration、Jerk index、Lateral mobility index、Correlation between limb velocities)を算出し、3歳での発達との関連性を調べた。発達遅滞は運動量の低下<sup>[16]</sup>、脳性まひは運動の滑らかさ<sup>[17]</sup>と関連付けられることがわかった。また、修正2ヵ月齢での fidgety movements と呼ばれる四肢の自発運動の軌跡と6歳での発達との関連性<sup>[18]</sup>、および、乳児期の頭部運動が ASD 予後と関連するという結果<sup>[19]</sup>も得られた。これらは、本研究共通の中心的仮説「初期の感覚運動がその後の発達に影響する」に関し、初期運動発達と発達遅滞や発達障害との関連性を示したもので、極めて重要である。

### 2.1.3 早産児における副交感神経機能の弱さと社会的認知機能発達

周産期の身体感覚の個人差が社会的認知予後と関連するとの仮説を支持する成果を得た。早産児を含む新生児を対象として、静睡眠時の迷走神経活動として呼吸性心拍変動を計測するとともに、授乳前の泣き音声について基本周波数を算出し、両者の関連性について検証した。その結果、早産児は静睡眠時の呼吸性心拍変動が低く迷走神経活動が低いこと、静睡眠時の呼吸性心拍変動が低いほど自発的な泣き声の基本周波数が高いこと、在胎週数が短い早期産児ほど迷走神経活動が低いことなどがわかった(図6)<sup>[20]</sup>。また、修正齢6・12ヵ月の早産児および



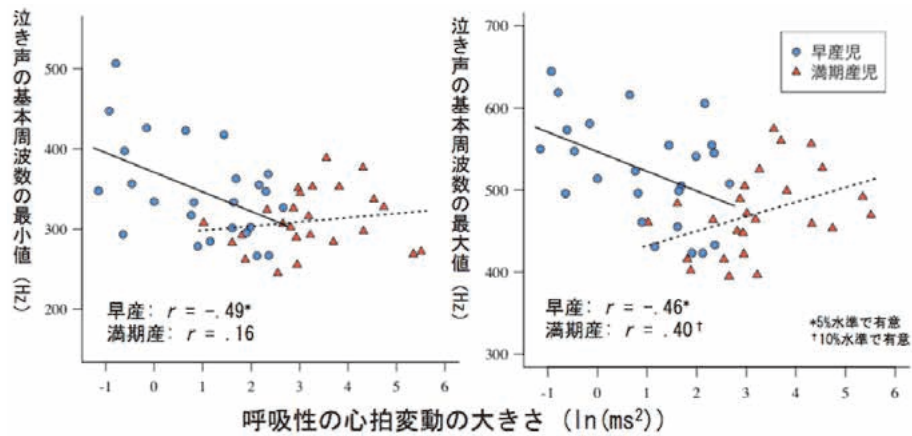


図6 泣き声の基本周波数と呼吸性心拍変動<sup>[20]</sup>より一部改変

早産児では自発的な泣き声の基本周波数が高いほど、静睡眠時の呼吸性の心拍変動が低く、満期産児とは逆傾向を示す。

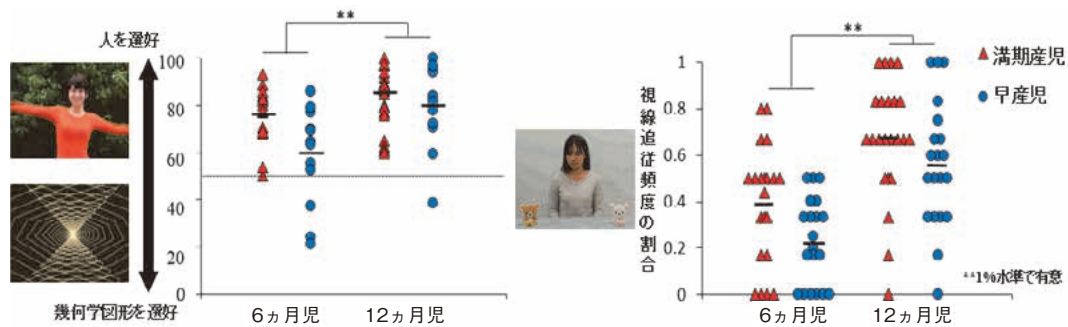


図7 視覚的注意に関する早産児と満期産児の比較実験<sup>[21]</sup>より一部改変

早産児の一部は、人への選好が弱く(左)、他者の視線追従も難しい(右)。

満期産児を対象に、「人と幾何学図形がそれぞれ動いている映像」と「人が物体に視線を向ける映像」を提示し、それらに対する視覚的注意について定量評価を行ったところ、早期産児の一部では、修正齢12カ月の時点で他者の行為への注意(共同注意や人への選好)の弱さが認められた(図7)<sup>[21]</sup>。

これらは、本研究全体の目標の一つである包括的診断法に、発達初期に児への負担少なく適用可能な評価方法を提供する。また、早産児の一部において、副交感神経の抑制力が弱いことと社会的認知機能の弱さが相関する可能性を示唆しており、今後、発達予後を含め両者の関係が明らかになることが強く期待される。また、前述の筋骨格感覚運動系の発達と並行して、内受容感覚と内臓制御系の発達も社会的認知に関係する可能性を示唆し、両者がいかに統合されて自己認知が形成されていくか、という大きな発達シナリオにかかわる問いも提起している。

#### 2.1.4 予測学習と予測誤差検出に基づき、感覚運動レベルから社会性に接続する知見とモデル

上述の感覚運動学習はどのような計算原理で社会性に

つながりうるのか。本研究では、予測学習と予測誤差検出に焦点をあてて、ニューラルネットワークモデルの構築と実験を行った。

他者との相互作用に含まれる随伴性が乳児期の模倣学習を促進し、自己身体運動知覚の感度や精度(予測誤差修正)が他者運動知覚と関連するなどの事実を得た<sup>[22, 23]</sup>。これらは、周産期以降、環境に対する運動制御を脳内シミュレートする「内部モデル」の獲得が社会的認知発達の基盤である可能性を示唆するものである。

これを受け、感覚・運動情報のまとめあげを、予測学習を基盤とした神経回路モデルや確率モデルで具現化し、それを実装したロボットが環境との相互作用を通して多様な認知機能を獲得できること、モデルのパラメータ変動により発達障害に類似した行動を生成することを明らかにした<sup>[24-27]</sup>(図8)。本成果は当初想定した範囲を超えて、多様な認知機能の発達過程と発達障害の複数仮説の検証に貢献している。

#### 2.1.5 社会性認知に至る発達脳モデルの構築

外受容感覚・運動系と内受容感覚・内臓制御系が発達的に統合され、社会的認知に接続する過程は、ヒトの中



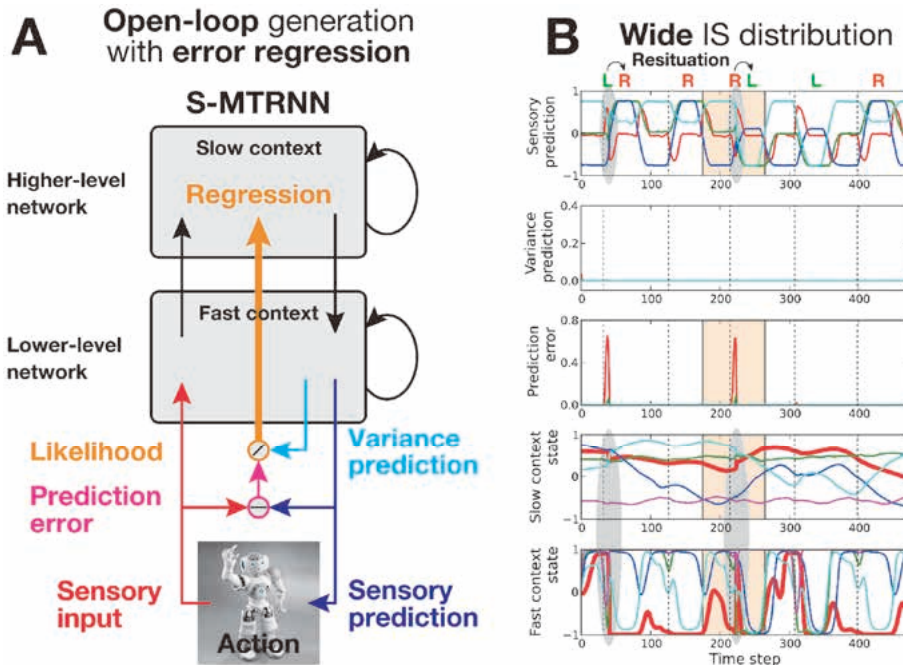


図8 S-MTRNN における予測誤差学習を基にした open-loop generation ([23]より一部改変)

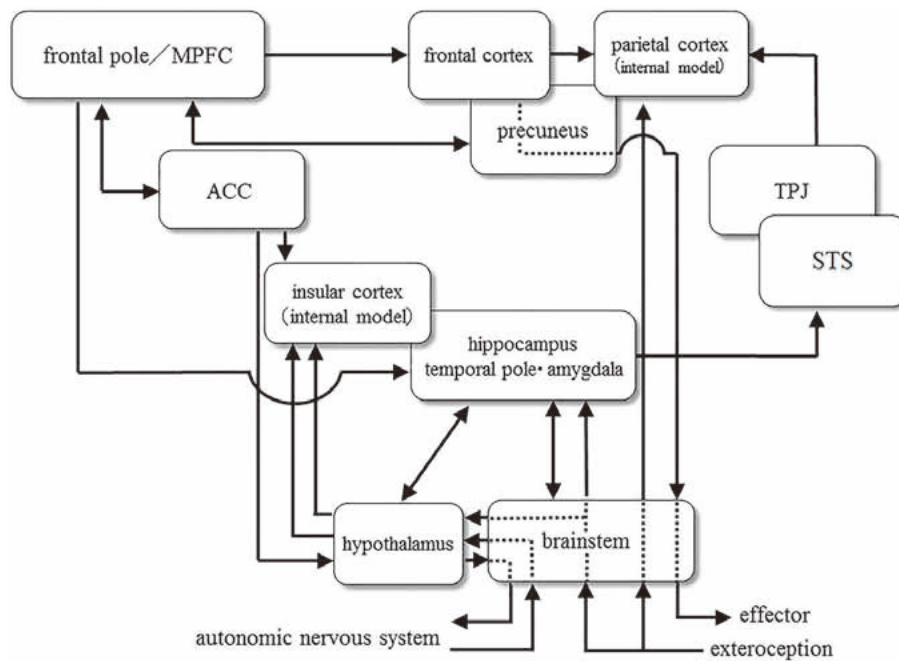


図9 各脳領域のネットワークの模式図([8]より)  
(A diagrammatic representation of connections between brain areas.)

中枢神経系の発達とどう関係づけられ、その異変は何が原因で起こるのか。

ASD において、社会的行動の非定型にとどまらず、睡眠障害や自律神経系の非定型が発達初期よりみられる。このことから、睡眠覚醒スイッチにかかわり、外受容感覚と内受容感覚を社会行動および認知にかかわる脳部位へ送る脳幹の形成不全が胎児期に起こることで、共同注意や視線追従など社会性発達に重要と思われる行動の非定型につながることを、本研究での実験的知見と徹

底した文献調査に基づき、示した。発達遅滞を組み合わせで考慮し、ASD でみられるさまざまな現象を説明する統合的モデルを提案した(図9)<sup>[8]</sup>。

## 2.2 発達障害の新たな理解に基づく診断法と支援法・支援技術

当事者研究が提起し、人間科学研究と構成論的研究で証拠だてられた「発達障害の基盤が社会性以前の身体感覚運動の特異性にある」との新たな理解に基づき、臨床

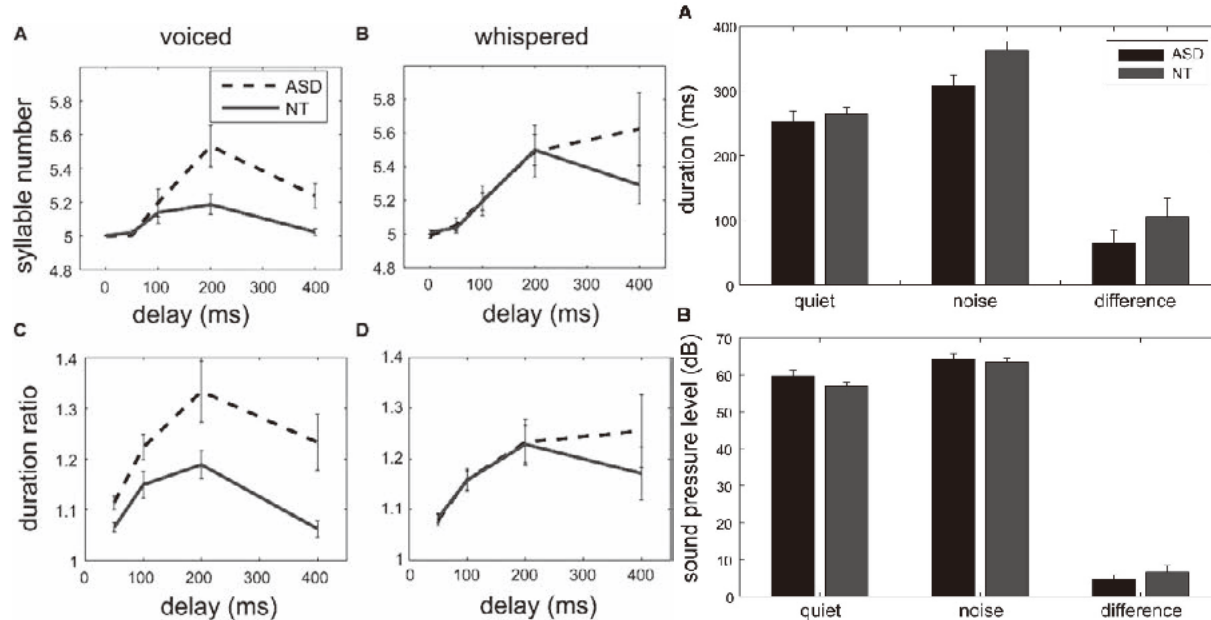


図10 聴覚刺激に対する ASD と NT の応答比較<sup>[32]</sup>より)

左：ASD では、遅延フィードバック (DAF) における言いよどみ反応が大きい

右：ASD では、騒音下で無意識に声が大きくなるロンバル効果が生じにくい

医学研究を推進し、新たな①発達早期からの包括的診断法を開拓した。②当事者視点を重視した支援法・支援技術としては、上記の新たな理解に基づく当事者の感覚過敏や慢性疼痛などの実態解明と支援技術構築に加え、当事者研究自体が当事者の困りごとなどを軽減する効果を明らかにしつつ実践に取り組んだ。さらに、領域内の議論から生まれた③ ASD の感覚経験を定型発達者が体験できるシミュレータは、体験を通して定型発達者を当事者に近づけるといふ、従来とは逆転の発想による技術で、本領域の理念を体現する当初想定外の成果である。

### 2.2.1 発達早期からの包括的診断法

胎児での①運動、②心拍、③神経系の形成、④羊水量を指標として、出生後の神経学的予後の関連性を明らかにし、胎児期早期診断の可能性を示した<sup>[28]</sup>。新生児運動指標と発達予後の関連性、周産期の副交感神経などの抑制機能と12、18ヵ月時の社会的認知特性との関連性を明らかにした。さらに、発達障害を持つ子供の睡眠の質が顕著に定型群と比較して悪く、それが、学力にも影響していることが明らかとなった。定型群では発達に伴い睡眠の質が改善するのに対して、発達障害群では悪化することから、睡眠の質の発達の变化が定型とは異なることが明らかとなった<sup>[29]</sup>。また、本研究での議論や知見を踏まえて新たな自閉症診断尺度 MSPA の開発<sup>[30]</sup>を行った。これらにより、発達早期からの包括的診断法を開拓した。

### 2.2.2 当事者視点を重視した支援法・支援技術

当事者が抱える感覚過敏などの実態を解明する目的で、さまざまな検証実験を行い、ASD では触覚閾値が正常な一方で触覚刺激に対する交感神経反応が亢進していること<sup>[31]</sup>、声の制御において、フィードフォワード制御よりもフィードバック制御により強く依存していることを示した(図10)<sup>[32]</sup>。前者は内臓感覚-自律神経系の関与を、後者は内部モデルの構築が不十分である可能性を示唆しており、上述の2.1.3~2.1.5の結果と呼応している。当事者が持つこれらの感覚過敏や慢性疼痛に対する支援技術も構築し、自閉症スペクトラム症における聴覚特性に基づいた個人適応型の聴覚過敏緩和システム<sup>[33]</sup>、ASD 者が不快に感じる環境因子を記録するスマートフォンアプリ<sup>[34]</sup>、慢性疼痛を緩和するための VR リハビリテーション技術の開発<sup>[35-37]</sup>も行った。さらに、当事者研究自体が持つ治療的意義として当事者の困りごとなどを軽減する効果も検証した。外来患者を対象に質問紙調査および半構造化面接を用いた症状評価により、自己効力感について、当事者研究群で、当事者研究に参加していなかった群よりも有意に高いことを示し、当事者研究の自己効力感向上効果の実証した<sup>[38]</sup>。また、当事者研究を多分野に広める目的で、ASD 者向けの当事者研究マニュアル(出版予定)と、これを用いた臨床介入研究のプロトコルを作成し、2016年9月に東京大学ライフサイエンス委員会の承認を得た。



図11 ASD 視覚体験シミュレータとそれが再現する視覚過敏・鈍麻<sup>(41)</sup>より  
視覚過敏や視覚鈍麻として知られるコントラスト強調や不鮮明化、無彩色化、砂嵐状のノイズといった症状をモデル化しており、定型発達者が ASD 者の視覚世界を体験することができる。

### 2.2.3 ASD 感覚経験シミュレータ

発達障害当事者は、定型発達者とは異なる知覚経験をしている。本研究における実験結果からも、対人距離の縮小や交感神経の亢進、聴覚防御反射の亢進など知覚経験の変異や、発声時に聴覚フィードバックに強く依存する傾向が示され、内部モデルの構築やそれにかかわる知覚自体の問題が示唆された。

当事者が抱える知覚的困難を定型発達者が理解することは通常困難であり、本研究では、新しい支援技術として ASD の感覚経験を定型発達者が体験することを可能とするシミュレータシステムを構築した(図11)<sup>(39-41)</sup> このシステムの特徴は、調整可能な感覚変異の量を発達障害当事者が調整するという、当事者参加型システムであることである。発達障害当事者は、通常、症状の重さが時間的に変化するため、症状が軽いときに、重い状態を再現するように調整する。このような支援方法は、直接発達障害者の感覚経験を補うものではないが、支援者や家族が体験することで、定型発達者を発達障害当事者に近づけるという逆転の発想であり、本研究で議論してきた当事者と社会の新たな関係性を体現するものといえる。

## 3. 成果の意義

脳科学分野では、Human Brain Project (EU) や BRAIN Initiative (USA) が先導する全脳モデル化の研究が最近急速に進展しているが、人の胎児期からの知覚・行動と発達について、脳モデルを精密な身体・環境モデルに埋め込んで相互作用の中でどう振る舞うかを扱う試みは本研究が世界で初めて実現した。

人に関する研究において介入実験は極めて制限され、特に胎児や乳児に対しては技術的にも倫理的にも不可能である。しかし経過観察による方法のみでは因果関係を知ることは不可能であり、動物を用いてもヒト固有の能

力の発達研究には限界がある。胎児モデルを用いて複数の異なる環境での相互作用の違いが生み出す結果を比較する方法論を実現し示したことは、極めて大きな学問的貢献である。

医学的にも、発達初期からの発達障害の発生過程の解明、身体性と社会性をつなぐ知見は、疾患が発症する前に治療を開始する先制医療の観点で重要であり、また、小児リハビリテーションや療育においても有用なため、臨床現場を通じた社会的貢献にもつながる。また、臨床医学が構成論に本格的に協働し体系的なデータを供給する体制は本研究で初めて実現した。加えて、構成論的方法の科学的妥当性・有効性を厳しく問うことで、構成論を大きく成長させた。

本研究の過程で、工学と人間科学、当事者研究が密に、発達障害者にとって真に役に立つ支援技術とはなにかについて議論した。従来の支援技術では定型発達(マジョリティ)に近づけることが「支援」とされてきたが、この考えに陥らないように注意深く検討がなされた。

結果として、当事者の困りごとを解決する手段としての当事者研究の方法論確立と膨大な実践や感覚過敏軽減などの支援技術に加え、当事者が知覚する感覚経験を定型発達者に体験してもらう ASD シミュレータを開発した。これは一般公開の場において、患者やその家族に加えて多くの健常者からも関心や評価を得ており、支援効果だけでなく、障害に直面する者と健常者をつなぐコミュニケーションツールにもなり得ると考えられる。

重要な点は、当事者自身が装置の開発にかかわるという点である。海外では、従来は対人援助サービスのエンドユーザーであった患者や障害者が、「経験の専門家」としてサービス設計や提供、臨床研究デザインへのフィードバックに参画する、co-production という取り組みに注目が集まっている。しかし、これまでの co-production の事例は、主に医学的・臨床心理学的な臨床研究や



臨床実践への参画が中心で、本研究のように、工学や社会学、哲学といった多分野の基礎科学が参加した例は世界的にも極めて珍しい。

このように、本研究は学問的成果のみならず、発達障害当事者と社会の関係について新たな枠組みを提起し、理論だけでなく、体験と実践を通して一般の方々にも伝えることで、重要な社会貢献を果たした。

## 4. おわりに

本研究領域では、「人の心はいかにして発生し発達するのか、発達障害はなぜ起こるのか」という、学問的には根源的な未解決課題と、「発達障害の新たな理解に基づく診断法と真に当事者のためになる支援法・支援技術」という、社会的にも急速に深刻さを増す問題の解決に直接貢献する知見について、胎児期にまでたどって学際的解明を目指した。

その達成のために、構成論(ロボット学・情報学)と人間科学(医学・心理学・脳科学)、そして当事者研究という世界に類のない研究体制によって、発達の基本原理に立ち返った解明と、それに基づく発達障害の新たな理解を試みた。異分野融合研究の試みはかねてより多数あるが、データや手法や新装置の提供あるいは実験、解析、理論の分担といった、一方向的ないしトップダウン式、予定調和的な異分野融合にとどまらない、いわば「超分野的領域」を構築した。根源的な課題と独自の視座・理念を共有し、各学問分野が専門性・独創性を最大限に発揮しつつ対等に議論・協働し、もはや分野の境界は意識さえせず、縦横に相互を取り込み協力しつつ切磋琢磨することで、次々と新たなアイデアや成果が生まれる、いわば「創発的学術」が成立した。その効果は、複数の重要な当初想定外の発展と成果にも表れた。この成功例を示したことが、最大の貢献である。

本研究が提起した、発達障害当事者と定型発達者の相対化、社会性認知という表相の奥にある身体性への注視、といった理念や視座は、発達心理学、臨床医学、支援工学などにパラダイムシフトを促し、さらに、当事者と社会の新たな関係性を提起し、社会的にも注目されている。本領域発足と同時に発達神経科学学会が立ち上がり、領域代表はじめ本領域の総括班メンバーなどがその中核を担い、密に連携して領域メンバーに閉じないオープンな理念・成果共有と議論の場を構築してきた。また、新胎児学研究会も本領域と連携しつつ発展している。これらを土台として構成論的発達科学がさらに発展することを望む。

## 謝辞

本研究は文部科学省科学研究費補助金 新学術領域研究「構成論的発達科学」(平成24年度～平成28年度)計画研究費24119001～6、公募研究費25119502～7、9～12、15H01575～87、89～90の支援を受けた。著者のうち、國吉は領域代表者、國吉、長井、小西、明和、熊谷は計画班代表者であり、班番号順に記載した。本論文の記述は主に、研究計画書、計画班代表者が提出した研究報告書および発表論文などを材料として、國吉、金沢、大村が執筆した。これ以外に、上記研究の公募研究代表者、計画研究分担者、連携研究者、研究協力者が成果に寄与したが、多数のため、領域 Web サイト<sup>[42]</sup>を参照されたい。なお、領域全体の成果は膨大であり、本論文では特定の観点からごく一部を抜粋して解説したに過ぎない。

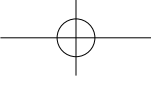
## 文献

- [1] Smith LB, Thelen E. : Development as a dynamic system. *Trends Cogn Sci* 7(8), 343-348(2003).
- [2] Kuniyoshi Y, Sangawa S. : Early motor development from partially ordered neural-body dynamics : experiments with a cortico-spinal-musculoskeletal model. *Biol Cybern* 95(6), 589-605(2006).
- [3] 國吉康夫, 寒川新司, 塚原祐樹, 鈴木真介, 森裕紀 : 人間の身体性に基づく知能の発生原理解明への構成論的アプローチ. *日本ロボット学会誌* 28(4), 415-434(2010).
- [4] EDITORIALS N. : The mind's tangled web. *Nature* 479(7371), 5(2011).
- [5] Karmel BZ, Gardner JM, Meade LS, Cohen IL, London E, Flory MJ, et al. : Early medical and behavioral characteristics of NICU infants later classified with ASD. *Pediatrics* 126(3), 457-467(2010).
- [6] Hallmayer J, Cleveland S, Torres A, Phillips J, Cohen B, Torigoe T, et al. : Genetic heritability and shared environmental factors among twin pairs with autism. *Arch Gen Psychiatry* 68(11), 1095-1102(2011).
- [7] Lindstrom K, Lindblad F, Hjern A. : Preterm birth and attention-deficit/hyperactivity disorder in schoolchildren. *Pediatrics* 127(5), 858-865(2011).
- [8] Inui T, Kumagaya S, Myowa-Yamakoshi M. : Neurodevelopmental Hypothesis about the Etiology of Autism Spectrum Disorders. *Front Hum Neurosci* 11, 354(2017).
- [9] DeMyer MK, Barton S, Norton JA. : A compari-

- son of adaptive, verbal, and motor profiles of psychotic and non-psychotic subnormal children. *J Autism Child Schizophr* 2(4), 359-377(1972).
- [10] Rogers SJ, Bennetto L, McEvoy R, Pennington BF. : Imitation and pantomime in high-functioning adolescents with autism spectrum disorders. *Child development* 67(5), 2060-2073(1996).
- [11] Mari M, Castiello U, Marks D, Marraffa C, Prior M. : The reach-to-grasp movement in children with autism spectrum disorder. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B : Biological Sciences* 358(1430), 393-403(2003).
- [12] Yamada Y, Kanazawa H, Iwasaki S, Tsukahara Y, Iwata O, Yamada S, et al. : An Embodied Brain Model of the Human Foetus 6, 27893(2016).
- [13] Cascio CJ, Gu C, Schauder KB, Key AP, Yoder P. : Somatosensory event-related potentials and association with tactile behavioral responsiveness patterns in children with ASD. *Brain topography* 28(6), 895-903(2015).
- [14] Marco EJ, Khatibi K, Hill SS, Siegel B, Arroyo MS, Dowling AF, et al. : Children with autism show reduced somatosensory response : an MEG study. *Autism Research* 5(5), 340-351(2012).
- [15] Mori H, Kuniyoshi Y, editors. : A human fetus development simulation : Self-organization of behaviors through tactile sensation. *Development and Learning (ICDL), 2010 IEEE 9th International Conference on ; 2010 : IEEE.*
- [16] Kanemaru N, Watanabe H, Kihara H, Nakano H, Takaya R, Nakamura T, et al. : Specific characteristics of spontaneous movements in preterm infants at term age are associated with developmental delays at age 3 years. *Dev Med Child Neurol* 55(8), 713-721(2013).
- [17] Kanemaru N, Watanabe H, Kihara H, Nakano H, Nakamura T, Nakano J, et al. : Jerky spontaneous movements at term age in preterm infants who later developed cerebral palsy. *Early Hum Dev* 90(8), 387-392(2014).
- [18] 儀間裕貴, 渡辺はま, 木原秀樹, 中野尚子, 中村友彦, 多賀巖太郎. 極低出生体重児における Fidgety movements 評価と四肢自発運動特性. *理学療法学* 44(2), 115-123(2017).
- [19] Hirotaka GIMA HW, Hideki KIHARA, Hisako NAKANO, Yukuo KONISHI, Tomohiko NAKAMURA, Gentaro TAGA, : editor Characteristics of head position and spontaneous movements of limbs in preterm-born infants who later developed ASD. *International Conference on Cerebral Palsy and other Childhood-onset Disabilities Stockholm, Sweden (2016).*
- [20] Shinya Y, Kawai M, Niwa F, Myowa-Yamakoshi M. : Associations between respiratory arrhythmia and fundamental frequency of spontaneous crying in preterm and term infants at term-equivalent age. *Dev Psychobiol* 58(6), 724-733(2016).
- [21] Imafuku M, Kawai M, Niwa F, Shinya Y, Inagawa M, Myowa-Yamakoshi M. : Preference for Dynamic Human Images and Gaze-Following Abilities in Preterm Infants at 6 and 12 Months of Age : An Eye-Tracking Study. *Infancy* 22(2), 223-239(2017).
- [22] Fukuyama H, Qin S, Kanakogi Y, Nagai Y, Asada M, Myowa-Yamakoshi M. : Infant's action skill dynamically modulates parental action demonstration in the dyadic interaction. *Dev Sci* 18(6), 1006-1013(2015).
- [23] Jorge L. Copete YN, and Minoru Asada. Motor development facilitates the prediction of others' actions through sensorimotor predictive learning. *the 6th IEEE International Conference on Development and Learning and on Epigenetic Robotics.* (2016)
- [24] Baraglia J, Cakmak M, Nagai Y, Rao RP, Asada M. : Efficient human-robot collaboration : When should a robot take initiative? *The International Journal of Robotics Research* 36(5-7), 563-579(2017).
- [25] Horii T, Nagai Y, Asada M. Imitation of human expressions based on emotion estimation by mental simulation. *Paladyn, Journal of Behavioral Robotics.* (2016)
- [26] Murata S, Yamashita Y, Arie H, Ogata T, Sugano S, Tani J. : Learning to perceive the world as probabilistic or deterministic via interaction with others : a neuro-robotics experiment. *IEEE transactions on neural networks and learning systems* 28(4), 830-848(2017).
- [27] Nishide S, Nobuta H, Okuno HG, Ogata T. : Preferential training of neurodynamical model based on predictability of target dynamics. *Advanced Robotics* 29(9), 587-596(2015).

- [28] Otera Y, Morokuma S, Fukushima K, Wake N, Kato K. : Correlation between regular mouthing movements and heart rate patterns during non-rapid eye movement periods in normal human fetuses between 32 and 40 weeks of gestation. *Early Hum Dev* 89(6), 381-386(2013).
- [29] Matsuoka M, Nagamitsu S, Iwasaki M, Iemura A, Yamashita Y, Maeda M, et al. : High incidence of sleep problems in children with developmental disorders : results of a questionnaire survey in a Japanese elementary school. *Brain Dev* 36(1), 35-44(2014).
- [30] 船曳康子 : MSPA (Multi-dimensional Scale for PDD and ADHD)「発達障害用の要支援度評価スケール」. *児童青年精神医学とその近接領域* 57(4) : 481-485(2016).
- [31] Fukuyama H, Kumagaya S-i, Asada K, Ayaya S, Kato M. Autonomic versus perceptual accounts for tactile hypersensitivity in autism spectrum disorder. *Sci Rep* 7(2017).
- [32] Lin I-F, Mochida T, Asada K, Ayaya S, Kumagaya S-I, Kato M. Atypical delayed auditory feedback effect and Lombard effect on speech production in high-functioning adults with autism spectrum disorder. *Front Hum Neurosci* 9(2015).
- [33] 市川樹, 大村吉幸, 熊谷晋一郎, 國吉康夫, editor 自閉症スペクトラム障害における聴覚過敏特性の調査と個人適応型過敏性緩和システムの提案. *日本発達神経科学学会第5回学術集会 Tokyo* (2016).
- [34] 田沢奈緒, 綾屋紗月, 熊谷晋一郎, 森田昌彦, 田中文英 : 発達障害者の感覚過敏要因収集のためのスマートフォンアプリケーションの開発. *人工知能学会全国大会論文集* 28, 1-4(2014).
- [35] Osumi M, Ichinose A, Sumitani M, Wake N, Sano Y, Yozu A, et al. : Restoring movement representation and alleviating phantom limb pain through short-term neurorehabilitation with a virtual reality system. *Eur J Pain* 21(1), 140-147(2017).
- [36] Ichinose A, Sano Y, Osumi M, Sumitani M, Kumagaya SI, Kuniyoshi Y. : Somatosensory Feedback to the Cheek During Virtual Visual Feedback Therapy Enhances Pain Alleviation for Phantom Arms. *Neurorehabil Neural Repair* 31(8), 717-725(2017).
- [37] Sano Y, Wake N, Ichinose A, Osumi M, Oya R, Sumitani M, et al. : Tactile feedback for relief of deafferentation pain using virtual reality system : a pilot study. *J Neuroeng Rehabil* 13(1), 61(2016).
- [38] 石川亮太郎, 小林茂, 石垣琢磨, 向谷地生良 : 当事者研究による心理社会的認知の変化 : 浦河べてるの家における5年間の縦断調査. *認知療法研究 = Japanese journal of cognitive therapy* 9(1), 55-65(2016).
- [39] Qin S, Nagai Y, Kumagaya S, Ayaya S, Asada M, editors. : Autism simulator employing augmented reality : A prototype. *Development and Learning and Epigenetic Robotics (ICDL-Epirob), 2014 Joint IEEE international conferences on ; 2014 : IEEE*.
- [40] 長井志江 : 一関連レポート—自閉スペクトラム症の特異な視覚世界を再現する知覚体験シミュレータ. *精神看護* 19(1), 59-63(2016).
- [41] 認知ミラーニング HP : [Available from : <http://cognitive-mirroring.org/cognitive-mirroring/asd-simulator/>.] (2016).
- [42] 構成論的発達科学 HP : 構成論的発達科学 研究組織・課題 [Available from : <http://devsci.isi.imi.iu-tokyo.ac.jp/user/>.] (2016).





Constructive Developmental Science: Revealing the Principles of Development from  
Fetal Period and Systematic Understanding of Developmental Disorders

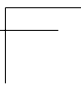
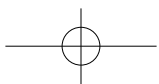
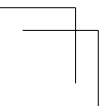
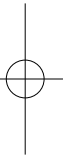
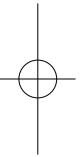
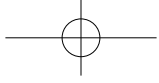
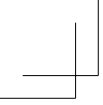
Yasuo Kuniyoshi, Yukie Nagai, Yukuo Konishi, Masako Myowa, Shinichiro Kumagaya, Yoshiyuki Ohmura, Hoshinori Kanazawa  
Graduate School of Information Science and Technology, The University of Tokyo, School/Graduate School of Engineering Osaka  
University, Doshisha University Center Baby Science Joint Usage/Reserch Center, Graduate School of Education, and Faculty of  
Education, Kyoto Univercity, Research Center for Advanced Science and Technology The University of Tokyo

A Grant-in-Aid for Scientific Research on Innovative Areas project titled “Constructive Developmental Science” had started with the aim of constructing a model of human cognitive development from fetus to toddler, experimentally showing the developmental variation under different environmental conditions, relating it with clinical and Tojisha\* view to establish a new understanding of human development and disorders. Furthermore, the project aimed at establishing comprehensive diagnostic methodologies and truly appropriate assistive technology. With the collaborative efforts of robotics, medicine, psychology, neuroscience, and Tohjisha-research throughout the five year project period, we established a new trans-disciplinary academic field and numerous important results such as developmental data/models/theories connecting initial embodiment to social cognitive functions, relating the early characteristics of bodily movements and autonomic nervous system to later development as well as comprehensive diagnostic methodologies, and truly appropriate assistive technology based on understanding of troubles experienced by Tojisha.

This paper presents an integrative summary of the main results of the project.

\* Tojisha: One who has a developmental disorder.

---



# On the Need for Reconciliation of Affordance Perception and Higher Cognitive Functions

Beata J. Grzyb<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Radboud University Nijmegen, Postbus 9104, 6500 HE Nijmegen, the Netherlands

<sup>2</sup> University of Plymouth, Drake Circus, Plymouth, PL4 8AA, the UK



## Abstract

Affordances are properties of environment or objects, which allow an individual to perform an action. In traditional view, affordances are thought to be perceived directly from the incoming stream of visual stimuli without the need for any sensory processing or intervention of higher cognitive processes. Misperception of affordances is caused either by failures in detecting relevant information or by insufficient experience and lapse of attention. Two examples of action errors in young children, distance and scale errors, manifest immaturities in children's perception of affordances. Our empirical studies have shown that these errors are related to the achievement of major developmental milestones, walking and language respectively, providing evidence that once acquired affordances are not immune to changes. Furthermore, our computational studies have shown that these errors result from immature action planning system and lexico-semantic system cascading onto action system rather than failures to detect relevant perceptual information. Based on our empirical and computational studies on distance and scale errors, I will argue that the existing theories of affordance perception should accommodate higher cognitive skills such as action planning and language.

● **Key words** : affordances, distance errors, scale errors, action planning, lexico-semantic system

The concept of affordances proposed by J. J. Gibson<sup>[18-20]</sup> has had a tremendous impact on a number of fundamental sciences such as psychology, psychophysics or neuroscience, as well as applied fields such as design, human-computer interaction or robotics. In Gibson's theoretical framework, affordances are properties of environment or objects, which allow an individual to perform an action<sup>[20]</sup>. Importantly, these qualities are perceived directly from the incoming stream of visual stimuli without the need for sensory processing or intervention of higher cognitive functions such as planning and language. Gibson recognized the importance of misperception of affordances (p. 244 in<sup>[20]</sup>) and proposed that the problem of misperception operates at the information level, and not at the affordance level. Accordingly, misperceptions of affordances happen when a surface provides insufficient information (e.g., visual cliff) or when the information is detected poorly by a novice, or during a lapse of attention.

Perception of some affordances may not require action planning. For instance, perception of the 'passability' through an open door, may simply rely on detecting information about the width of the opening and relating it to the body size. However, affordances typically are not isolated, but nested in numerous different ways at a number of different levels (e.g.,<sup>[20, 53, 55]</sup>). Perception of 'passability' of a door, that is closed, calls for reasoning and action planning skills. In this situation, the success of the action (i.e., passing through the door) is determined by the success or failure of many subordinate actions (e.g., opening the door, grasping a door handle, etc.). Acting on nested affordances



requires formation of multi-step plans and sequencing the subordinate actions in time and space. Hence, judgements on the feasibility of a nested affordance naturally involve reasoning on the feasibility of each of the subordinate affordance and the nested affordance as a whole. Judgements on object reachability, for instance, not only involve perception of distance information in relation to reaching action, but also take into consideration action capabilities of the whole body. Objects placed at far, unreachable by hand, distances can be obtained by a combination of walking and reaching actions. This is elegantly illustrated in recent walkers who make *distance errors*, that is, they attempt to reach to far and unreachable distances in a sitting posture due to failures in inhibiting the prepotent action<sup>[27]</sup>.

Perception of object-related affordances may not always require lexico-semantic processing. There is no doubt that flat surface of a novel object would encourage sitting or standing depending on the intended action. However, most objects encountered in everyday life situations are familiar and can be easily identified by their name. Empirical studies with both normal participants and clinical populations have provided converging evidence that hearing object names leads to automatic activation of their associated motor plans and can modulate motor responses<sup>[6, 21, 22, 33]</sup>. Language production has an impact on overt action and may influence the speed of action (i.e., action planning)<sup>[13]</sup> as well as kinematics of the movements (i.e., action production). For instance, Gentilucci and Gangitano<sup>[17]</sup> showed that automatic reading of descriptors of object properties, that were related to the planning of reaching-grasping motor acts, influenced the kinematics of reaching. More specifically, participants were asked to reach and grasp a rod on which the words “long” or “short” were printed. During the initial movement phase, participants automatically associated the meaning of the word with the distance to reach and activated a motor program for a farther and/or nearer object position. The influence of the growing lexico-semantic knowledge on affordance perception is also evident in young children, who sometimes make *scale errors*, that is they seriously attempt to perform impossible actions on miniature objects<sup>[25, 26]</sup>.

In this paper, I will use the examples of distance and scale errors to demonstrate that misperception of affordances happens not at the perceptual level as suggested by<sup>[20]</sup> but at the action level. Furthermore, I will show that perception of object reachability and object-based affordances relies on action planning and lexico-semantic knowledge, leading to a conclusion that the existing theories of perception of affordances should include higher-level cognitive skills such as language and planning.

## Evidence From Developmental Psychology and Computational Modelling

---

### ***Influence of action planning on infant's perception of object reachability***

A considerable literature documents that young infants systematically reach to objects that are within their reach but not to objects beyond that distance. Even before the onset of reaching, infants' arm movements vary with object distance as infants are more likely to move their arms when objects are close and potentially reachable than when they are not<sup>[10, 14, 15]</sup>. At or rapidly after the onset of reaching, infants systematically do not reach to far objects, behaviour that was considered as evidence for infants' accurate perception of object reachability<sup>[8, 14, 15, 45, 47, 59]</sup>. Moreover, the boundary between reachable and not reachable appears to be recalibrated when children gain greater control over posture and trunk, stabilities that enable them to reach farther<sup>[42-44, 47, 59]</sup>. For instance, Rochat and colleagues<sup>[47]</sup> showed that the reaching distances attempted by infants increased as a function of stable sitting ability. In addition, it seems that even young infants recognize that reachability of a target is a dynamic physical property of the relation between their body and their environment and calibrate what is reachable in terms of the body's momentary state. Presented with a novel challenge to controlling posture while reaching in form of small weights on their wrists infants accurately adjust their attempted reaching distance. Increasing trunk control and postural stability also means that infants – even while sitting – may lengthen reachable distances by leaning. Thus, as Yonas and Hartman showed, 4- and 5-month old infants who could lean and maintain postural control reached to objects at farther distances than infants who did not lean<sup>[59]</sup>.

In contrast to the consistent set of findings with younger infants indicating that – in some way – young infants' decisions to reach take into account the relation between body size, skill, and the distance of the target, older infants

make serious attempts to reach to far distances. In a study of leaning to reach and the use of mechanical aids (tools), McKenzie, Skouteris, Day, Hartman, and Yonas<sup>[34]</sup> investigated 8- to 12-month olds attempts to reach to far distances. Although the contact with the target at the greatest distance was extremely difficult and rarely attained, older infants often persisted in their attempts. Because the McKenzie et al.<sup>[34]</sup> observation that older infants may lack a clear distance boundary for attempted reaches has not been replicated and because the central focus of those studies was on other components of reaching skill, we conducted a series of studies focusing on the alignment of attempted reaches with reachable distances in 9- and 12-month olds<sup>[23]</sup>. Children, seated in a specially adapted car seat with the seatbelts fastened for security reasons, were presented with a ball on a wooden dowel at various distances, including close easily reachable and far patently unreachable distances. In line with results reported by McKenzie et al.<sup>[34]</sup>, older infants, but not younger ones consistently and persistently made distance errors, that is, they reached to far out-of-reach objects.

One way to try to understand why 12-month olds reached to these far distances is to find a manipulation that would induce distance errors in younger infants. We introduced several changes in the original procedure and observed how these changes influenced infants' reaches. Firstly, instead of balls on dowels, we presented 9-month olds with attractive teddy bears. This, however, did not make the younger children reach more to far and unreachable objects.

Subsequently, we put weights on infants' wrists. The addition of wrist-weights in 9-month olds increased reaches without leaning at the near and reachable distances, but they did not reach any farther. As in previous experiment, 12-month olds attempted reaches at the farther and not reachable distances. Since a just executed reach could influence the decision as to whether to attempt the very next reach, we presented 9- and 12-month olds in two ordered presentations of reaching targets: Near-to-Far and Far-to-Near. Younger infants increased reaches at distances slightly beyond the boundary of reachable space in the Near-to-Far condition relative to the Far-to-Near condition. Surprisingly, for 12-month olds, the Near-to-far series did not increase reaches to farther objects, but decreased attempt reaches, sharpening the boundary between not-reached-to and reached-to-distances. The last experiment asked whether we could use the dissimilarity of adjacent reaches to help 12-month olds to discriminate between reachable and not reachable distances. To this end, we presented 12-month olds with targets at only two distances: very near or very far. Reaching attempts of 12 month olds were better aligned to the distances they can reach when the targets were clearly separated.

Taken together our studies, following up on an earlier observation by McKenzie et al.<sup>[34]</sup> showed that there is a robust and marked developmental change between 9 and 12 months in the alignment of the distances to which an infant will attempt to reach and the distances at which contact can be made. For the 9-month olds, attempted reaching and successful reaching were consistently aligned. The 12-month olds, in contrast, persistently reached to objects at distances patently unreachable when objects were presented in a random order and their reaches were only better aligned when the adjacent reaches were either fairly similar (Near-to-far reaches) or dissimilar (very far or very near reaches).

For the infants in the present study, it is likely that few of the 9-month olds were walking or "cruising" upright while holding on to a support but it is highly likely that many of the 12 month olds were walking or spending time in some form of pre-walking activity in an upright posture. Thus, the developmental decline in the alignment between attempted and successful reaching distances may be related to the transition to walking. We extended our first study to include infants with different walking abilities: non-walkers, walkers with help, and independent walkers<sup>[27]</sup>. Our results indicated that walkers (with or without help) often made distance errors, whereas non-walkers reached less to unreachable distances showing better alignment of their reaching attempts to the distances they can reach. Further analysis showed that all infants reached with high probability the first time the object was presented at out-of-reach distances. The reaches of non-walkers, however, decreased over trial blocks showing a clear adjustment of reaching behaviour at the "near boundary" distances in the task. Walkers, in contrast, persistently reached for out of reach distances regardless of the trial block showing little adjustment of their behaviour with failures to make contact at the far distances.

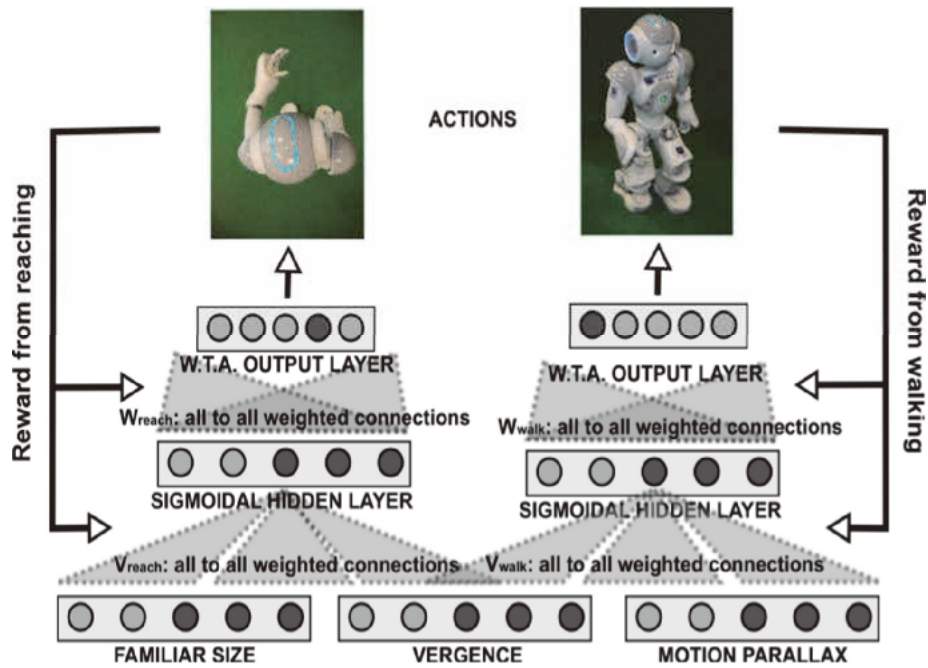


Figure 1. General scheme of the reward-based learning architecture for the perception of object reachability and walkability.

Why walkers would reach to far and out-of-reach objects in a sitting posture? In Gibson's view, children would misperceive the affordance of reachability because of failing to pick up relevant information about object distance. These failures could be caused by either the perceptual misinformation or by children's poor reaching abilities. Our results show, however, that this is not the case. First, perceptual misinformation would affect all children in our study regardless of their age or walking experience. Younger children and children without walking experience did not attempt to reach for out-of-reach objects. Additionally, there is a clear evidence that in non-reaching tasks, young children are able to discriminate between different distances<sup>[39, 57]</sup>. Second, all children were skilled reachers, hence their reaching decisions to far objects could not be caused by children's poor reaching abilities. Given that the first successful goal-directed reaches appear around the age of 4 to 5 months<sup>[30, 54, 56]</sup>, older infants had already several months of reaching experience and should be able to detect relevant information for reaching in a highly familiar sitting posture. All in all, our findings strongly suggest that misperceptions of reachability in newly walkers are not caused by failures in detecting perceptual information.

Contrary to Gibson's view, we proposed that children's misperceptions of reachability are caused by children's immature action planning system that fails to inhibit the prepotent action<sup>[27]</sup>. Our hypothesis was based on the assumption that after the onset of walking reachability judgements are based on a combined reaching and walking actions. In other words, children with walking experience may perceive far objects as "reachable" (i.e., obtainable), but they cannot yet reason how these objects are reachable. Through experience, children learn that to grasp far objects they first need to get close enough by walking, and only then they can grasp these objects. We examined the plausibility of this hypothesis with the use of computational modelling<sup>[27]</sup>. Two neural networks were used to integrate visual depth cues (i.e., familiar size, vergence, motion parallax) in an action-specific manner to provide an absolute distance estimation for reaching and walking actions respectively (see Figure 1). Such an action-based calibration of distance is central to Piaget's theory of spatial cognition in the sensorimotor period<sup>[31, 38]</sup>. In addition, these networks were not interconnected to reflect the neuroscientific findings that near and far spaces are processed by different brain areas (e.g.,<sup>[2, 3, 28]</sup>).

In order to mimic the developmental process of action-based distance perception in infancy, first only the network for reaching distance was trained to reflect younger infants' inability to self-locomote. During the training process the depth cues encoding the position of the objects at various distances were fed to the neural network and subse-



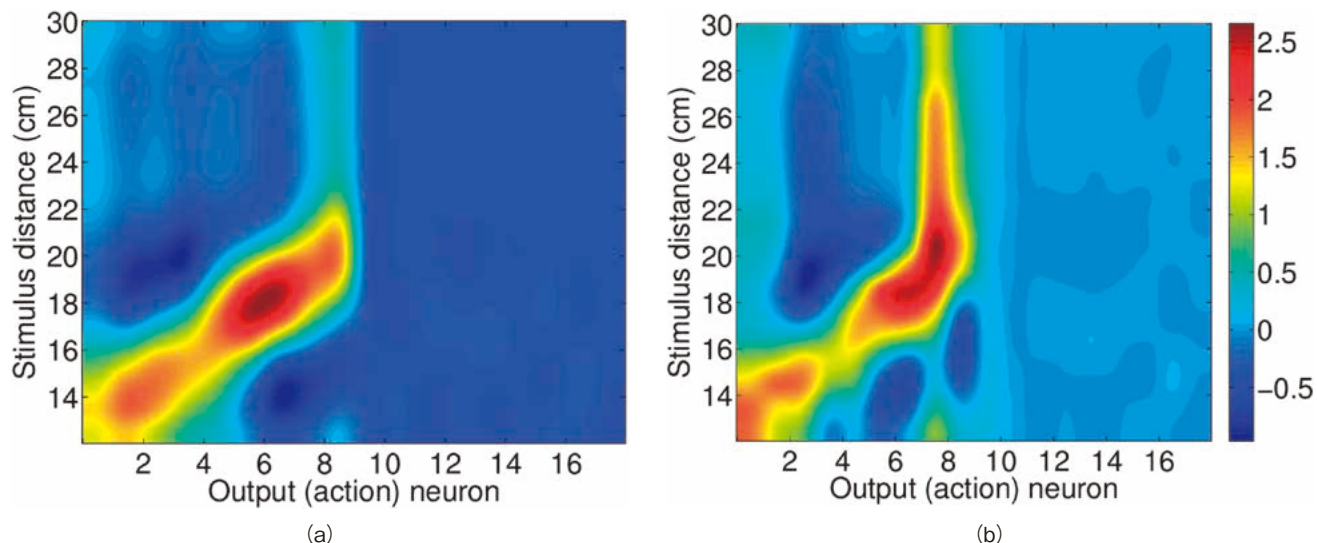


Figure 2. Neural activations of the output neurons (x-axis,  $N=18$  neurons) in the reachability network for all distances (y-axis, range= 13 to 30 cm) before and after the onset of walking. A colour map illustrates reward predictions (Q-values), high rewards corresponds to distances easily reachable, while low rewards to distances unreachable.

quently processed to provide an estimate of a reaching distance. This estimate was subsequently used by a robot to execute a reach towards a target. The accuracy of the reach was used to calculate the reward and to modify the synaptic weights of the network accordingly. The training proceeded until the network produced distance estimates that allowed the robot to successfully grasp the object.

The activations of the output neurons in the reaching distance network represent reward predictions that can be used by the robot to make decisions about object reachability. A high value of reward prediction corresponds to near and easily reachable distances, whereas a low value to unreachable distances. Figure 2a illustrates the activations of the output neurons in the reachability network for all distances used in the training process. As it can be seen, distances beyond 22 cm are (correctly) considered as not reachable for the robot.

After training, the neural network for reaching was instantiated on the physical robot. The robot was presented with objects placed at various distances including far and unreachable ones and had to decide whether or not these objects are reachable. Similar to 9-month olds and 12-month old non-walkers, the reaching attempts of non-walking robot decreased with the increasing distance showing a clear boundary between reachable and unreachable distances.

In the second step of our developmental process, the networks for reaching and walking distance were trained simultaneously to enable planning of actions towards distant targets. The onset of walking was simulated by enabling the walking action.

Inspection of the neural representations after the onset of walking (Figure 2b) showed that the neurons that previously responded only to the distances near the boundary of the reachable space, activated also for distances outside of the reachable space. The activation was stronger for distances slightly outside of the boundary and decreased with the increasing distance.

Subsequently, both neural networks were instantiated on the physical robot NAO. Additionally, the execution of walking action for the robot was disabled to recreate as close as possible the experimental setup of our behavioural studies with children (i.e., children were seated in a chair with a seatbelt fastened, hence unable to stand up and walk towards the presented targets). Again, our robot experimentation successfully replicated the results from our experimental study with children showing that the robot with walking experience, similar to children, attempted to reach for the unreachable distances.

The results of our computational/robot study indicate that distance errors are caused by children's inability to mentally immobilize the remaining degrees of freedom and not by misperception of object distance. In order to accurately perceive object reachability, children have to realize that far objects are reachable only by combining reaching and walking actions.

Hence, in a restrained sitting posture they have to inhibit the activated motor plans for reaching and walking. Our results are in line with suggestion that reachability judgements reflect the engagement of the whole body in a mentally simulated reach<sup>[16, 41, 46]</sup>.

### ***Influence of lexico-semantic knowledge on children's perception of object affordances***

In adults and older children, the perception of an object and the organization of object-related actions are smoothly integrated (e.g.,<sup>[1, 5, 35]</sup>). Young children, however, sometimes make serious attempts to perform impossible actions on miniature objects as if they were full-size objects<sup>[12]</sup>. Examples of these curious scale errors include children trying to sit in a tiny chair, get inside small cars or put a doll on a tiny bed. Scale errors are robust and common phenomena in typically developing children<sup>[11]</sup>, occurring in laboratory situations (e.g.,<sup>[4, 12]</sup>), preschool classroom<sup>[48, 50]</sup>, and everyday life<sup>[49, 58]</sup>.

In Gibson's theoretical framework, scale errors would result from a poor detection of the object size due to, for instance, lapse of attention. Indeed, the existing explanations of children's scale errors point to decreased attention to object size information due to immature perceptual system<sup>[11, 12, 21]</sup> or due to increased attention to object function<sup>[7]</sup>. Further support for this interpretation are given by the results of our eye-tracking study showing that scale error performers tend to pay less attention to size changes than non-scale errors performers in the looking task<sup>[24]</sup>. Misperception of object-based affordances could be related to changes in object perception and representation that accompany developments in word acquisition in young children (e.g.,<sup>[37, 52]</sup>). Object name learning has important consequences for object perception, as it may lead children to attend primarily to shape information and possibly neglect other physical features such as color, texture, and more importantly, size<sup>[32, 51, 60]</sup>. However, children's behaviour while attempting to act on the replicas suggests that at some level they do perceive the small size of the objects. For instance, when children attempt to get inside a small car, they first approach it and bend over or kneel down to get closer to it, use a precise grip to open the small door, and aim their foot for the tiny opening. Moreover, DeLoache et al.<sup>[12]</sup> showed that children were aware of the size differences, when presented with the pairs of large and small objects simultaneously and asked to perform a target action the children discriminated between the two objects always choosing the larger one. The mix results on object size perception in scale errors performers suggest rather a different origin of scale errors than just simple misperception of object size due to a conjunction of some factors.

Another possibility is that scale errors originate from children's immature action selection system. Adult studies indicate that in order to select an action adults seem to rely not only on object immediate perceptual information (i.e., affordances), but also, and sometimes primarily on lexico-semantic knowledge<sup>[9, 40]</sup>. Recent findings have demonstrated that scale errors are modulated by linguistic information<sup>[29, 36]</sup>. In addition, we have found that children who had more nouns in their lexicon (as opposed to verbs or adjectives) were shown to be more inclined to commit scale errors than children whose lexicon contained fewer nouns<sup>[25]</sup>.

We computationally explored the possibility that scale errors arise from the interaction between the developing semantic system and the process of action selection<sup>[24]</sup>. Our mechanistic explanation of scale errors was based on the dual-route theory of action selection, first proposed by Riddoch, Humphreys and Price<sup>[40]</sup>, which incorporates a link between language (through a semantic/conceptual system) and action. In this perspective, actions can be planned either through a direct (non-semantic) route from vision-to-action based on the visual properties of objects, or through an indirect (semantic) route by accessing semantic memory. For instance, for a chair, this may involve observing that the object has a flat surface, and is of reasonable size and height (direct route), or accessing stored knowledge that this is a furniture, called 'chair', and is typically used for sitting (indirect route). The visual route reflects object affordances, while the semantic route reflects the lexico-semantic knowledge that incorporates the name, visual features and action associated with an object.

We instantiated the dual-route theory in a Developmental Model of Action and Naming (DMAN) based on a deep neural network. Figure 3 illustrates the general framework of DMAN. Three modules process visual, action and name inputs respectively, and two associative systems, Sensorimotor system and Lexico-semantic system integrate

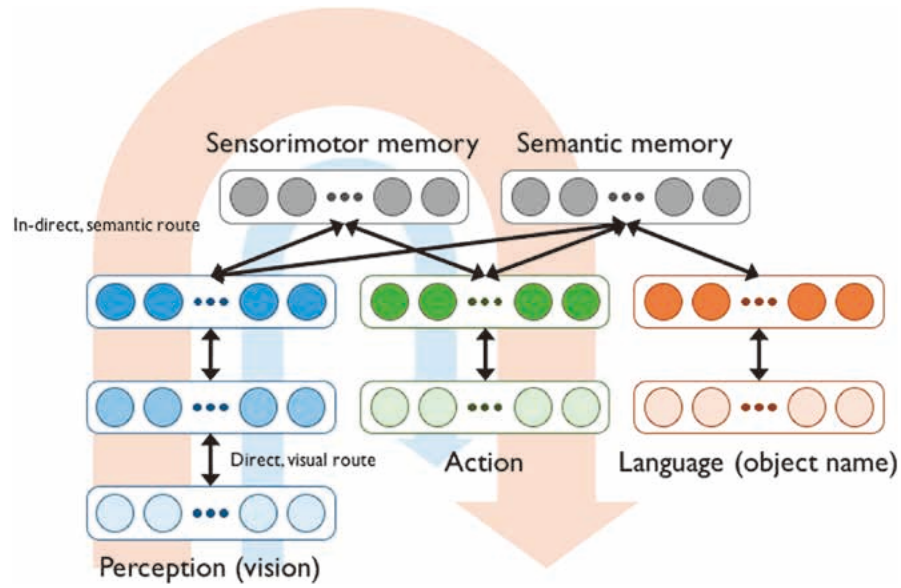


Figure 3. The architecture of our Developmental Model of Action and Naming (DMAN).

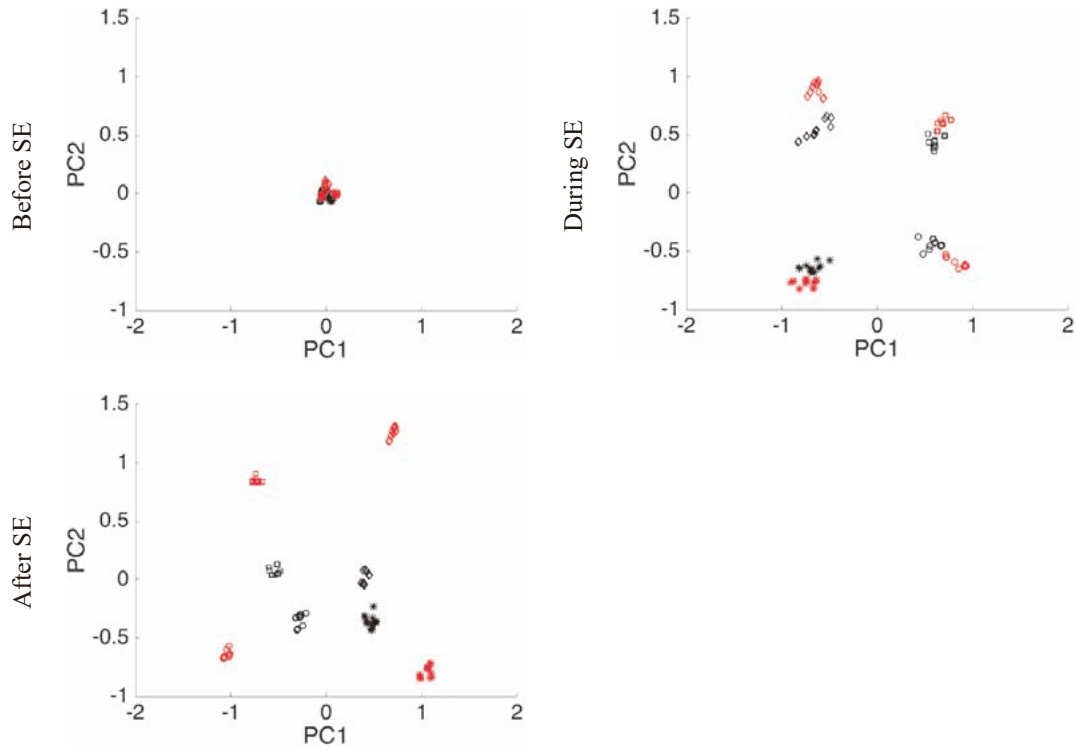


Figure 4. Activations of units for all test objects in Action module before, during, and after the scale errors (SE) period. Activations are shown in 2D space using the first two components of the Principal Component Analysis. The colours (black=big, red=small) and shapes (square='box', asterisk='cylinder', circle='sphere', diamond='cup') of markers indicate the size and category of objects, respectively.

outputs from visual and action modules, and visual, action and name modules respectively. The visual input in DMAN is first processed by the Visual module, and then propagated to Action module via the direct, visual route (i.e., Sensorimotor system), and via in-direct, semantic route (i.e., Lexico-semantic system).

For training and testing DMAN objects from four different categories (i.e., boxes, spheres, cups and cylinders) and in two different sizes (normal size and small size) were used along with corresponding object actions and names. Importantly, only properly coupled multimodal inputs were used and no patterns representing scale errors were included for training. After each training epoch, the abilities of the model to select appropriate actions given visual object representations from a test set were tested. A scale error in our simulation occurred when DNAM,



given a small object as input, selected an action that corresponds to the normal size object. For instance, a scale error would occur for the small cup-like object, when an action associated with the normal cup was selected.

DNAM, similarly to children, produced scale errors during the training process with more scale errors occurring in the semantic route than in the visual route. Inspection of the developing neural representations in the Action module revealed that these temporarily cluster around object names, leading to the oversight of object size. Before the period of scale errors (see Figure 4), the activations largely overlap due to the network being untrained. During the period of scale errors, the activations of action module for the normal and small size objects overlap while the object categories are differentiated. After the period of scale errors, the activations of action module for the normal and small size objects are more distant from each other. Similar pattern of overlapping activations, however, was not found in other modules.

Overall, the results of our computational study provide strong evidence that scale errors in children may occur due to developmental changes in the lexico-semantic system cascading onto children's action selection processes, and not due to perceptual changes in object processing as suggested previously<sup>[12]</sup>.

### Concluding Remarks

The goal of this paper was twofold: to demonstrate that misperceptions of affordances happen not at the perceptual level as suggested previously, but at the action level, and to suggest that perception of affordances and higher level cognitive functions such as planning and language are closely connected. To get at this possibility, I have considered two cases of peculiar errors, distance and scale errors, that children make at the achievement of two major milestones in their development. These action errors nicely demonstrate that once acquired affordances are not immune to changes. I have argued that immature action planning, but not lapse of attention or misinformation, affects the perception of affordances in these examples, and examined these hypotheses with the use of computational/robot modelling. Although there has been much progress in understanding how affordances can be acquired by children and are represented in adults, there are still many questions to be addressed. I argue that the action errors that children sometimes produce may provide researchers with the tools to explore relation between affordances and language or action planning in more depth. Further investigation of these behaviours may lead to important insights into fundamental aspects of intertwined development of perception, action and language.

### References

- [1] Bertenthal, B. I. : Perception and action. In M. M. Haith, & J. B. Benson (Eds.), *Encyclopedia of infant and early childhood development* (pp. 510-522). San Diego: Elsevier/Academic Press (2008).
- [2] Berti, A., & Frassinetti, F. : When far becomes near: remapping of space by tool use. *Journal of Cognitive Neuroscience* 12(3), 415-420 (2000).
- [3] Berti, A., Smania, N., & Allport, A. : Coding of far and near space in neglect patients. *Neuroimage* 14, 98-102 (2001).
- [4] Brownell, C. A., Zerwas, S., & Ramani, G. B. : So big: the development of body self-awareness in toddlers. *Child Development* 78(5), 1426-1440 (2007).
- [5] Bruno, N., & Battaglini, P. P. : Integrating perception and action through cognitive neuropsychology (broadly conceived). *Cognitive Neuropsychology* 25, 879-890 (2008).
- [6] Bub, D. N., & Masson, M. E., J. : On the dynamics of action representations evoked by names of manipulable objects. *J. Exp. Psych. Gen.* 14, 502-517 (2012).
- [7] Casler, K., Eshleman, A., Greene, K. & Terziyan, T : Children's scale errors with tools, *Developmental Psychology* 47(3), 857-866 (2011).
- [8] Clifton, R. K., Rochat, P., Litovsky, R. Y., & Perris, E. E. : Object representation guides infants' reaching in the dark. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 17(2), 323-329 (1991).
- [9] Coventry, K. R., Prat-sala, M. & Richards, L. : The interplay between geometry and function in the comprehension of over, under, above, and below. *Journal of Memory and Language* 44, 376-398 (2001).

- [10] Cruikshank, R. M. : The development of visual size constancy in early infancy. *The Pedagogical Seminary and Journal of Genetic Psychology* 58, 327-351(1941).
- [11] DeLoache, J. S., LoBue, V., Vanderborgh, M., & Chiong, C. : On the validity and robustness of the scale error phenomenon in early childhood, *Infant Behavior and Development* 36(1), 63-70(2013). doi: 10.1016/j.infbeh.2012.10.007
- [12] DeLoache, J. S., Uttal, D. H., & Rosengren, K. S. : Scale errors offer evidence for a perception-action dissociation early in life. *Science* 304(5673), 1027-1029(2004).
- [13] Fargier, R., Mnoret, M., Boulenger, V., Nazir, T. A., & Paulignan, Y. : Grasp it loudly! supporting actions with semantically congruent spoken action words, *PLoS ONE* 7(1), (2012).
- [14] Field, J. : The adjustment of reaching behavior to object distance in early infancy. *Child Development* 47(1), 304-308(1976a).
- [15] Field, J. : Relation of young infant reaching behavior to stimulus distance and solidity. *Developmental Psychology* 12(5), 444-448(1976b).
- [16] Fischer, M. H. : Estimating reachability: Whole body engagement or postural stability? *Human Movement Science* 19, 297-318(2000).
- [17] Gentilucci, M., & Gangitano, M. : Influence of automatic word reading on motor control. *Eur J Neurosci* 10, 752-756(1998).
- [18] Gibson, J. J. : *The senses considered as perceptual systems*. Boston: Houghton Mifflin. (1966).
- [19] Gibson, J. J. : The theory of affordances, in *Perceiving, Acting, and Knowing: Toward an ecological psychology*, pp. 67-82, R. Shaw and J. Bransford, Eds. Lawrence Erlbaum Associates. (1977).
- [20] Gibson, J. J. : *The ecological approach to visual perception*. Boston: Houghton Mifflin Company. (1979).
- [21] Glover, S., Rosenbaum, D., Graham, J. & Dixon, P. : Grasping the meaning of words. *Exp Brain Res* 154, 103-108 (2004).
- [22] Gough, P. M. et al : Nouns referring to tools and natural objects differentially modulate the motor system. *Neuropsychologia* 50, 19-25(2012).
- [23] Grzyb, B. J. : *Grounding spatial awareness in sensorimotor representations. An interdisciplinary approach*, PhD Thesis (2013).
- [24] Grzyb, B. J., Cangelosi, A., Cattani, A., Floccia, C. : Decreased attention to object size information in scale errors performers. *Infant Behavior and Development* 47, 72-82(2017).
- [25] Grzyb, B. J., Cattani, A., Cangelosi, A., & Floccia, C. : Children in a wonderland: How language and scale errors may be linked. In Paper presented at the Fourth Joint IEEE International Conference on Development and Learning and on Epigenetic Robotics (ICDL-EpiRob) (2014). <http://dx.doi.org/10.1109/devlrm.2014.6982992>
- [26] Grzyb, B.J., Nagai, Y., Asada, M., & Cangelosi, A. : Influence of object name learning on actions in young children: A computational study, in *Proceedings of the 17th Annual Meeting of the Japanese Society of Baby Science*, p. 76, July 8-9(2017).
- [27] Grzyb, B.J., Smith, L.B., & del Pobil, A.P. : Reaching for the unreachable: Reorganization of reaching with walking. *IEEE Transactions on Autonomous Mental Development* 5(2), 162-172(2013).
- [28] Higuchi, T., Imanaka, K., & Patla, A. E. : Action-oriented representation of peripersonal and extrapersonal space: Insights from manual and locomotor actions. *Japanese Psychological Research* 48(3), 126-140(2006).
- [29] Hunley, S. B. & Hahn, E. R. : Labels affect preschooler's tool-based scale errors, *Journal of Experimental Child Psychology* 151, 40-50(2016). <http://dx.doi.org/10.1016/j.jecp.2016.01.007>
- [30] Konczak, J., Borutta, M., and Dichgans, J. : Development of goal-directed reaching in infants: II. learning to produce task-adequate patterns of joint torque. *Experimental Brain Research* 113, 465-474(1995).
- [31] Lamb, E., & Sherrod, L. (Eds.) : *Infant Social Cognition: Theoretical and Empirical Considerations*. Taylor & Francis (1980).
- [32] Landau, B., Smith, L. B., & Jones, S. S. : The importance of shape in early lexical learning. *Cognitive Development* 3, 299-321(1988).

- [33] Lindemann, O., Stenneken, P., Van Schie, H. T. & Bekkering, H. : Semantic activation in action planning. *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform* 32, 633-643(2006).
- [34] McKenzie, B. E., Skouteris H., Day, R. H., Hartman, B., & Yonas, A. : Effective action by infants to contact objects by reaching and leaning. *Child Development* 64(2), 415-429(1993).
- [35] Nardini, M., Braddick, O., Atkinson, J., Cowie, D. A., Ahmed, T., & Reidy, H. : Uneven integration for perception and action cues in children's working memory. *Cognitive Neuropsychology* 25, 968-984(2008).
- [36] Oláh, K., Elekes, F., Petó, R., Peres, K., & Király, I. : 3-Year-Old Children Selectively Generalize Object Functions Following a Demonstration from a Linguistic In-group Member : Evidence from the Phenomenon of Scale Error. *Frontiers in Psychology* 7, 963(2016).
- [37] Pereira, A., & Smith, L. B. : Developmental changes in visual object recognition between 18 and 24 months of age. *Developmental Science* 12, 57-80(2009). PMID:PMC2888029
- [38] Piaget, J. : *The construction of reality in the child*. New York: Basic Books(1954).
- [39] Pickens, J. : Perception of auditory-visual distance relations by 5-month-old infants. *Developmental Psychology* 30(4), 537-544(1994).
- [40] Riddoch, M. J, Humphreys, G. W, & Price, C. J. : Routes to action: Evidence from apraxia, *Cognitive Neuropsychology* 6, 437-454(1989).
- [41] Robinovitch, S. N. : Perception of postural limits during reaching. *Journal of Motor Behavior* 30, 352-358(1998).
- [42] Rochat, P. : Self-sitting and reaching in 5- to 8-month old infants: the impact of posture and its development on early eye-hand coordination. *Journal of Motor Behavior* 24(2), 210-220(1992).
- [43] Rochat, P. : Perceived reachability for self and for others by 3- to 5-year-old children and adults. *Journal of experimental child psychology* 59, 317-333(1995a).
- [44] Rochat, P. : The self in infancy, *Advances in Psychology Book Series*, chapter Early objectification of the self, pages 53-71. Amsterdam: North Holland, Elsevier Science Publishers(1995b).
- [45] Rochat, P., & Goubet, N. : Development of sitting and reaching in 5- to 6-month-old infants. *Infant Behavior and Development* 18, 53-68(1995).
- [46] Rochat, P., & Wraga, M. : An account of the systematic error in judging what is reachable. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 23, 199-212(1997).
- [47] Rochat, P., Goubet, N., & Senders, S. J. : To reach or not to reach? perception of body effectivities by young infants. *Infant and Child Development* 8, 129-148(1999).
- [48] Rosengren, K. S., Carmichael, C., Schein, S. S., Anderson, K. N., Gutierrez, I. T. : A method for eliciting scale errors in preschool classrooms. *Infant Behavior and Development* 32, 286-290(2009).
- [49] Rosengren, K. S., Gutierrez, I. T., Anderson, K. N., & Schein, S. : Parental reports of children's scale errors in everyday life, *Child Development* 80(6), 1586-1591(2009).doi: 10.1111/j.1467-8624.2009.01355.x
- [50] Rosengren, K. S., Schein, S. S., & Gutierrez, I. T. : Individual differences in children's production of scale errors. *Infant Behavior and Development* 33, 309-313(2010).
- [51] Samuelson, L. K., & Smith, L. B. : Children's attention to rigid and deformable shape in naming and nonnaming tasks. *Child Development* 71(6), 1555-1570(2000).
- [52] Smith, L. : It's all connected: Pathways in visual object recognition and early noun learning. *American Psychologist* 68(8),618-629(2013).doi: 10.1037/a0034185
- [53] Stoffregen, T.A. : Affordances as properties of the animal environment system. *Ecological Psychology* 15, 115-134(2003).
- [54] Thelen, E., Corbetta, D., Kamm, K., Spencer, J. P., Schneider, K., and Zernicke, R. F. : The transition to reaching: mapping intention and intrinsic dynamics. *Child Development* 64, 1058-1098(1993).
- [55] van Elk, M., van Schie, H., & Bekkering, H. : Action semantics: A unifying conceptual framework for the selective use of multimodal and modality-specific object knowledge. *Physics of Life Reviews* 11, 220-250(2014).
- [56] von Hofsten, C. : Structuring of early reaching movements: a longitudinal study. *Journal of Motor Behavior* 23(4), 280-292(1991).



- [57] Walker-Andrews, A. S. and Lennon, E. M. : Auditory-visual perception of changing distance by human infants. *Child Development* 56(3), 544-548(1985).
- [58] Ware, E. A., Uttal, D. H., DeLoache, J. S. : Everyday scale errors. *Developmental Science* 13(1), 28-26(2010). doi: 10.1111/j.1467-7687.2009.00853.x.
- [59] Yonas, A., & Hartman, B. : Perceiving the affordance of contact in four- and five-month-old infants. *Child Development* 64(1), 298-308 (1993).
- [60] Yoshida, H., & Smith, L. B. : Linguistic cues enhance the learning of perceptual cues. *Psychological Science* 16(2), 90-95(2005).PMCID:PMC3474534

#### 〈和文要約〉

アフォーダンスの知覚と高次認知機能の調和の必要性について

Beata J. Grzyb<sup>1,2</sup> 博士

1 Radboud University Nijmegen, Postbus 9104, 6500 HE Nijmegen, the Netherlands

2 University of Plymouth, Drake Circus, Plymouth, PL4 8AA, the UK

アフォーダンスは、人間が行動を起こすことを可能にする、環境またはオブジェクトの特性である。従来の見方では、アフォーダンスは、高次認知プロセスの感覚処理または介入を必要とすることなく、視覚刺激が入ってくる流れから直接知覚されると考えられている。アフォーダンスのエラーは、関連情報の検出の失敗、または経験不足や不注意に起因する。幼児の行動ミス2つの例である距離とスケールの誤差は、子供のアフォーダンスの認識における未熟さとして現れる。われわれは実証研究で、一度獲得されたアフォーダンスが変化に影響されないという証拠の提示を通じて、これらのエラーが、主要な発達マイルストーンである歩行および言語の達成にそれぞれ関連することを示してきた。さらに、われわれの計算モデルの研究は、これらのエラーが、関連する知覚情報の検出の失敗ではなく、行動計画システムおよび語彙-意味システム (lexico-semantic system) の未熟さに起因し、それが行動システムにも次々と現れることを示している。私たちは、距離誤差とスケールエラーに関する実証的および計算論的研究に基づいて、アフォーダンス知覚の既存の理論が、行動計画や言語などのより高い認知能力に対応すべきだと主張する。

●キーワード：アフォーダンス、距離誤差、スケールエラー、行動計画、語彙-意味システム (lexico-semantic system)

## Sensitivity to Affordances is Part of a Developmental Brew

Hanako Yoshida  
Department of Psychology  
University of Houston

The target article evaluates two explanations for children's misperception of affordances in the contexts of (1) errors in estimating reachable object distances (reaching for object when the object is out of reach distance) and (2) scaling the objects in relation to the child's own body size (e.g., trying to sit on a Barbie chair). One explanation, derived from Gibson's model of perceptual development, attributes these errors to children's misperception of the relevant properties of the object. A second explanation, favored by the author, attributes children's misperceptions of affordances to an immature action planning system that fails to inhibit the prepotent action<sup>[5]</sup>. The target article presents developmental study findings along with computational modeling work to evaluate the alternative explanations. The author concludes that the misperception of affordances in young children is related to development of walking and language and thus misperceptions occur not at the perceptual level, but at the action level.

Because a link between affordance sensitivity and higher cognitive processes is not well established in the developmental literature, it is essential to test empirically the author's model of affordance development across domains and age groups in such a way as to reveal the fundamental processes and behaviors underlying manifest competencies and errors. The key finding is the "developmental inversion" such that older or more advanced children make more errors than younger or less advanced children. These developmental errors are indeed fascinating and are found in at least two developmental domains—motor development and language development. Transitioning from crawling to walking interferes with the infant's previously acquired perception of and/or strategy for going down

a slope<sup>[7]</sup>, and transitions from one language stage to the next is associated with a temporary regression from handedness to ambidexterity<sup>[2]</sup>. Motor development reflects perception<sup>[4]</sup>, and an increasing number of studies across various domains support the conclusion that developmental motor achievement evolves through dynamic processes that fuse perception and action (e.g., 1, 10, 13). This fusion of perception and action involves multilevel interactions that shape development, and occurs in a self-organized manner<sup>[17]</sup>. The present commentary focuses on the attentional mechanism underlying developmental advances—both cognitive and physical—that can alter the relations between body and environment influence the role of past learning, generate errors in perceiving possibilities for action, and further new learning. The commentary specifically considers the proposed distinction between Gibson's and Grzyb's views in the framework of attentional learning and offers a potential way to think about the relation between these perspectives. The discussion suggests how misperception of affordances may exist at both the level of perception and the level of action, and how the child's history of learned associations might influence the amount of action inhibition required in a particular situation.

The target article proposes a distinction between Gibson's "failures to detect affordances" and the author's "immature action planning" as competing explanations of misperception of affordances. Grzyb suggests that the results from experimental studies rule out the possibility of failures occurring at the perceptual level. However, the presented developmental work (and simulation work) could also be used to support the conclusion that the two explanations are not mutually exclusive. For example, the increased number of errors made by older infants<sup>[12]</sup> and infant walkers<sup>[5]</sup> might be attributed to their longer histories of associating object and reaching. Having had more experience of seeing objects and reaching for them, their inhibition of a learned action plan given the presentation of a new object becomes more challenging (for older

children in particular). Also, having accumulated more associations between seeing and reaching with *differentially distanced objects*, older infants and walkers may find distance cues to be less relevant for them than for non-walkers. The greater challenge for the more mobile children might be to inhibit learned action plans that are inappropriate for the current situation, and inhibiting action plans for differently distanced objects becomes more demanding (even for objects obviously out of one's reach) as the repertoire of stored plans increases. These principles are clearly demonstrated in the computational models and the NAO robot. What is not clear at that stage is (1) how much relevant incoming input is actually processed while making errors, and (2) the developmental significance of the errors. Walking children might be making errors despite processing the relevant properties (size, distance) due to their immature action planning, or it could be that they are failing to process these relevant properties adequately, or they are failing to inhibit action planning, and those irrelevant actions could interfere their detecting these relevant properties adequately. The target article supports the former possibility by mentioning how children approach objects according to the object size by bending over and using a precise grip to open the small door. The cited work of DeLoache et al.<sup>[3]</sup> shows that children are sensitive to size when these relative objects are presented for comparison. However, these seemingly size-sensitive behaviors may reflect their action accommodation in the relation to (or given) the physical constraints and incoming visual information, which could differ from their processing of relevant properties for object size. Further, these errors may interfere visual processing initially, yet such errors might have important developmental significance. For example, actual reaching to non-reachable objects, holding small toy parts by adjusting their grip, and acting on impossible sized objects may lead to actions relevant to discovery of perceptual possibilities for action. Recent experimental work studying how young children (18- to 24-month-olds) discover

object fitting (in the relation to the container) suggests that young children's planning of the action is based on visual information and its representation, but the process of acting on objects can generate visual consequences that may navigate attention to relevant visual properties<sup>[16]</sup>. This work suggests the importance of actions —both relevant and irrelevant (errors)—in generating new visual experiences relevant for the new learning, thereby exemplifying the assimilation and accommodation processes proposed by Piaget<sup>[14]</sup>.

Language influence can be viewed in a similar way. The example given in the target article suggests that children having relatively large vocabulary are more inclined to make scale errors<sup>[6]</sup>. This finding can also be attributed to a pre-existing link between object and associated action that necessitates a high degree of action plan inhibition in responding to similar objects. In this framework, the inhibition is due to having been able to encode and retrieve the previous experiences with objects (assuming that object experiences influence vocabulary development). Highly activated associates (action planning and representations that influence subsequent action planning) can possibly override relevant perceptual information. If attention is diverted from the relevant present cues, and focused instead on learned associations, then this diversion of attention can cause failures to detect possibilities of action. Processes at both the perceptual level and the action level can co-exist. Figure 1 depicts the potential relation between the levels.

A critical question is how inhibition of action planning can be demonstrated and how we can know if relevant properties of the current input are really not detected. Figure 1 illustrates how the action level and perception level may be related through the individual's learning experiences, and this view suggests the possibility of that past learning interacting with attention to incoming visual input, which leads to successful action planning inhibition. Therefore, the effect of dissimilarity of adjacent reaches (Very Far, Very Near) and or-



dered (Near-to-Far) on older children's better aligned reaching can be explained by generating disparity between the sets of visual and reaching experiences by breaking associations into : viewing of near objects associated his/her reaching and viewing of far objects associated with no reaching (Figure 2). By having the temporal boundary between near-reaching and far-no reaching, viewing of far objects outside of reaching capability would not strongly activate an action plan leading to decreased errors (Figure 2-a). Similarly, the case of very far or very near reaches may generate a spatial boundary, and thus the weaker activation can be also expected (Figure 2-b). Therefore, it is not the case that older children (and walkers) have immature action planning systems that fail to inhibit the prepotent action, and younger children and non-walkers have better action planning (in fact, it is clearly opposite in terms of development of inhibitory system), but the difference is how much inhibition their past experiences (learned associations) in the relation to the incoming visual input require so that those associations do not override input of relevant perceptual properties. The key may be to moderate those "overpowered associations" in order for the system to control action planning and attention, which in turn will optimize perception of currently relevant properties. This emphasis on learned associations is consistent with the target article's findings that affordance sensitivity is not affected by increasing body control (using weights) or by increasing object attractiveness (using a teddy bear) since these variables are unlikely to alter the learned associations. They are more likely to influence ease of reaching and motivation, respectively. If this is correct, a strongly predictive object for reaching and grabbing, such as an actual bottle of the child, may elicit more errors than a novel object, whose novelty might not recruit activations and thus would demand the moderate inhibition of action planning (there might be a different reason to generate a higher level of motivation to reach).

The present commentary reinforces the importance

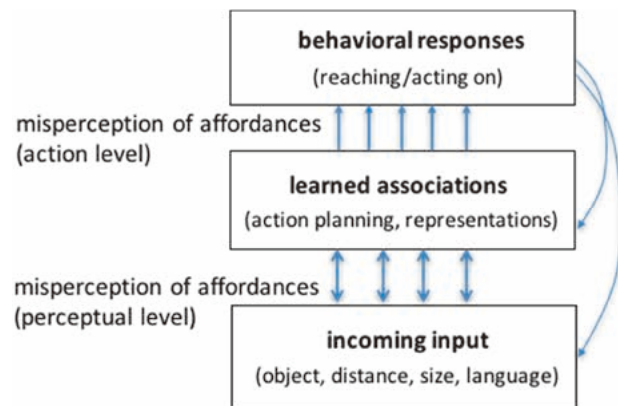


Figure 1. Depiction of how the action level and perception level may be related through the individual's learning experiences.

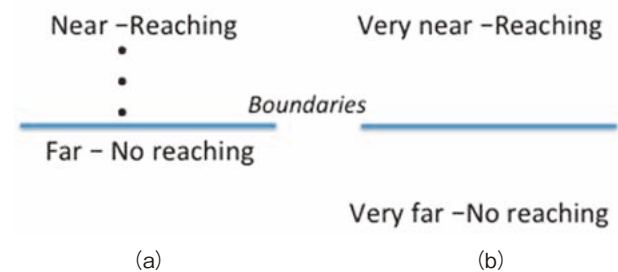


Figure 2. Hypothetical temporal and spatial boundaries that might be created by the 2 manipulations: the temporally ordered stimuli of Near-to-far objects (Figure 2a) and the exaggerated distances (Figure 2b).

of taking a mechanistic approach to the complex psychological construct of affordance sensitivity. It then introduces an attentional perspective to illustrate how past learning—learned associations—guides actions by creating differential demand for inhibition, and those actions may guide further visual exploration and learning. Given a visual input, learned associations are activated and employed to guide actions and to elicit visual consequences. Those learned associations may temporarily constrain the utilization of affordances and the actions taken in response to the input. However, the learning that occurs in that moment, whether from adaptive responses or from errors, then contributes to accruing knowledge about similar associations and thus results in a more complex and sophisticated set of learned associations that ultimately will facilitate fu-

ture learning. This basic idea is straightforward and not new nor controversial<sup>[8, 9, 11, 15]</sup>. However, discussion of developmental approach to the attentional account in the relation to the competing views can offer an alternative view of how individual's learning history, action errors, and the visual consequences may be critical components for development of sensitivity to affordances. Nevertheless, until the role of attention in learning to exploit affordances is better understood, any attempt to explain the mechanism underlying the development of affordances sensitivity will remain incomplete.

### References

- [1] Adolph, K.E., Karasik, L.B., Tamis-LeMonda, C.S. : Using social information to guide action : Infants' locomotion over slippery slopes. *Neural Networks* 23, 1033-1042 (2010).
- [2] Bates, E., O'Connell, B., Vaid, J., Sledge, P., & Oakes, L. : Language and hand preference in early development. *Developmental Neuropsychology* 2(1), 1-15 (1986).
- [3] DeLoache, J. S., Uttal, D. H., & Rosengren, K. S. : Scale errors offer evidence for a perception-action dissociation early in life. *Science* 304(5673), 1027-1029 (2004).
- [4] Gibson, E.J. & Pick, A.D. : An ecological approach to perceptual learning and development. New York : Oxford University Press (2000).
- [5] Grzyb, B.J., Smith, L.B., & del Pobil, A.P. : Reaching for the unreachable : Reorganization of reaching with walking. *IEEE Transactions on Autonomous Mental Development* 5(2), 162-172 (2013).
- [6] Grzyb, B. J., Cattani, A., Cangelosi, A., & Floccia, C. : Children in a wonderland : How language and scale errors may be linked. In Paper presented at the Fourth Joint IEEE International Conference on Development and Learning and on Epigenetic Robotics (ICDL-EpiRob) (2014).
- [7] Kretch, K. S. & Adolph, K. E. : Cliff or step? Posture-specific learning at the edge of a drop-off. *Child Development* 84(1), 226-240 (2013).
- [8] Kruschke, J. K. : ALCoVE : An exemplar-based connectionist model of category learning. *Psychological Review* 99, 22-44 (1992).
- [9] Kruschke, J. K. : Toward a unified model of attention in associative learning. *Journal of Mathematical Psychology* 45, 812-863 (2001b).
- [10] Libertus, K., & Needham, A. : Teach to reach : The effects of active vs. passive reaching experiences on action and perception. *Vision Research* 50(24), 2750-2757 (2010).
- [11] Mackintosh, N. J. : A theory of attention : Variations in the associability of stimuli with reinforcement. *Psychological Review* 82(4), 276-298 (1975).
- [12] McKenzie, B. E., Skouteris H., Day, R. H., Hartman, B., & Yonas, A. : Effective action by infants to contact objects by reaching and leaning. *Child Development* 64(2), 415-429 (1993).
- [13] Morse A.F, Benitez, V.L, Belpaeme, T., Cangelosi, A., Smith, L.B. : Posture Affects How Robots and Infants Map Words to Objects. *PLoS ONE* 10(3) : e0116012 (2015).
- [14] Piaget, J. : The Construction of Reality in the Child. New York : Basic Books (1954). <http://dx.doi.org/10.1037/11168-000>
- [15] Rescorla, R. A., & Wagner, A. R. : A theory of Pavlovian conditioning : Variations in the effectiveness of reinforcement and nonreinforcement. In A. H. Black & W. F. Prokasy (Eds.), *Classical conditioning II : Current research and theory* (pp. 64-99). New York : Appleton-Century-Crofts (1972).
- [16] Smith, LB., Street, S., Jones, S.S., & James, K.H. : Using the axis of elongation to align shapes : Developmental changes between 18 and 24 months of age. *Journal of Experimental Child Psychology* 123, 15-35 (2014).
- [17] Thelen, E. & Smith, L.B. : A dynamical systems approach to the development of perception and action. Cambridge, MA : MIT Press (1994).

## 〈和文要約〉

アフォーダンスへの感受性は発達の醸成の一部  
吉田華子准教授 ヒューストン大学 心理学科

Grzyb 論文は、以下の2種類の文脈における子供のアフォーダンスの誤認に関する異なる2つの説明を評価する。すなわち、(1)到達可能な物体までの距離を推定する際の誤差(物体が到達距離外にあるときに物体に達する)、および(2)子供自身の身体サイズに関連して物体をスケーリングする際の誤認(例えば、ベビーチェアに座るなど)である。Gibson の知覚発達モデルから導き出された1つの説明は、これらの誤りを、子供が対象物に関連する特性を誤認することに帰する。著者が主張する第2の説明は、子供が誤認を起こす前の行為を抑止できない未熟な行動計画システムについてである。対象論文は、この説明を評価するための計算モデリング作業とともに、発達研究の見解を示している。著者は、乳幼児のアフォーダンスの誤認は歩行や言語の発達に関連しており、誤認識は知覚レベルではなく行動レベルで発生すると結論づけている。

- 1) アフォーダンス感受性とより高い認知プロセスとの関連は発達文献では十分に確立されていないため、明らかな能力と過ちに内在する基本的な過程や行動を明らかにする方法で、異なる分野や年齢層にわたって、著者のアフォーダンスのモデルを経験的にテストすることが不可欠である。
- 2) Grzyb は、アフォーダンスの誤認の競合的説明としてギブソンの「アフォーダンスを検出できない」と著者の「未熟な行動計画」との区別を提案しており、実験的研究からの結果が知覚レベルで起こる失敗の可能性を排除することを示唆している。しかし、2つの説明が相互に排他的ではないという結論を支持するためにも使用でき矛盾しているように見える。
- 3) 言語の影響も同様の方法でみることができる。
- 4) 重要な疑問点は、行動計画の抑制がどのように実証され、現在の入力に関連する特性が実際には検出されないかをどのように知ることができるかである。
- 5) 私のコメントは、アフォーダンス感受性の複雑な

心理学的構造に機械的アプローチをとることの重要性を強調しているが、注意の役割がより理解されるまで、アフォーダンスの感受性の発達の根底にあるメカニズムを説明しようとする試みは不完全なままである。

**Comments on “On the Need for Reconciliation of Affordance Perception and Higher Cognitive Functions” (authored by Beata J. Grzyb)**

Shinsuke Shimojo

California Institute of Technology

This is a unique combination of empirical and artificial-yet-embodied studies to make several clarifications/restrictions to the traditional Gibsonian affordance. It will potentially be a significant contribution to the field of developmental robotics (and developmental cognitive psychology as well). It is also in line with various studies (both empirical and computational) which have attempted to give some deeper interpretations or even limitations to the simplest form of the Affordance idea.

There are several critical aspects to make this article's impacts clearer and stronger. I will list and detail them below.

1) This draft is written in the tone that it found evidence (almost) “against” the Affordance notion, from both infant-developmental and computational studies. However, it is very misleading because lots of “evidence” summarized or reported here can be interpreted either as a) supportive evidence for, b) direct counter evidence against, or c) (most likely) give some limitations/remarks to the most stringent version of the idea and provide some additional requirements to actually implement, the classical, simplest version of Affordance.

2) (Closely related) The idea of Affordance, and related other Gibsonian ideas (such as “direct perception” “information pick-up” etc.) are very ambiguous, changing over time (even across the three critical books



published by J.J. Gibson himself), allowing various interpretations historically. Amongst all, it is not meant so much to be a guideline for neural/mechanical implementations, but rather meant to be a guideline at abstract, philosophical levels.

Thus, it is the author's responsibility to explicitly list several different possible interpretations and/or implementation-specifications of Affordance, and then discuss each piece of "evidence" with regard to them. Indeed, Gibson's Affordance and "direct perception" notion has been criticized by traditional perceptual psychologists (I. Rock, R. Gregory, etc.) for whom perception is an "unconscious inference" process), computational theorists (D. Marr - perception as multiple-stage ambiguity solving process) and neurophysiologists (who argue that multiple neural "representations" (Gibson denied this term) exist and necessary for perceptual-neural computation). Locate and distinguish your argument among these. Is your argument similar to any of those, a combination of them, or uniquely based on robotics constraints? etc. Give a better "cognitive map" to the readers with various expertise/background.

In the same vein, lots of argument made by the author are not really "against" Gibsonian Affordance. For example, the author wrote: "These action errors nicely demonstrate that once acquired affordances are not immune to changes." But most Gibsonians (possibly including J.J. and E.J. Gibson themselves) would not argue that affordances are immune to changes. Likewise, you wrote, "immature action planning, but not lapse of attention or misinformation, affects the perception of affordances in these examples..." This would precisely be the mainstream interpretation of Affordance (that is, affordability of action directly defines/constrains perception). Overall, the tone of the draft seemingly fluctuates, being vague, and sometimes almost internally inconsistent with regard to Affordance. Be more explicit, specific and consistent.

3) The author's computational results argue against Affordance being limited to perceptual level, but rath-

er argue for critical roles of higher-level cognition and language ability. --- Isn't this mostly tautological, since you readily installed such higher cognitive representations (sensory-motor memory, semantic memory, language ability etc.) from the outset? The best logical message I can draw here is that "an artificial system installed with such cognitive faculties can (also?) achieve human-development like functions." But it won't say anything about the absolute necessity of such higher-level representations/memory until you actually compare performance of your architecture with some other artificial systems (such as J. Hoppfield type? bidirectional, non-hierarchical neural network, or R. Brooks' type assembly of sensory-motor circuits, for example; I am not an expert, you may be in a better position to select suitable strawmen). In some parts, however, the author's interpretations seem to be much more specific and directly connected to the evidence (eg. P. 28; "...distance errors are caused by children's inability to mentally immobilize the remaining degrees of freedom and not by misperception of object distance. In order to accurately perceive object reachability, children have to realize that far objects are reachable only by combining reaching and walking actions." The author should stick to this type of specific statement.) Finally, the DNAM with object learning may indeed indicate that "...scale errors in children may occur due to developmental changes in the lexico-semantic system..." But if that's the case, what is the author's interpretation of those developmental studies indicating attentional problem, or a lack of appropriate information pick-up due to various factors? Would your robotics study offers an alternative interpretation of those empirical findings, or it is just adding one more factor/possibility (i.e. object name learning)? Please discuss.

4) Motivational issues may be neglected, both in the developmental and computational studies? Isn't it likely that since the older infants are unsure about the reachability, they go for trial-and-error because in

the long-term development/learning, it is very beneficial and thus should be rewarded (even if the particular trial is a failure)? Motivation may partly overlap with attention, but is dissociable (, and I might have missed it but) there is no detailed discussion on this. As a side note, the motivation-related issues sometimes tend to be a neglected “blind spot” in robotics.

Finally, I personally prefer more information in one chunk (say in a Method section), and more details in Supplementary materials.

#### 〈和文要約〉

「アフォーダンス知覚と高次認知機能の調和の必要性」  
(Beata J. Grzyb 著)へのコメント

下條信輔教授

カリフォルニア工科大学 生物・生物工学部

「アフォーダンス知覚と高次認知機能の調和の必要性」  
(Beata J. Grzyb 著)これは伝統的なギブソンのアフォーダンスにいくつかの明確化/制限を加える経験的および人工的に実施された研究の独特な組み合わせである。それは、潜在的に認知発達ロボティクス(および発達認知心理学)の分野に重要な貢献をするであろう。それはまた、アフォーダンスの考え方の最も単純な形式へのより深い解釈や制限を与えようと試みたさまざまな研究(経験的および計算論的)と一致している。この論文の影響をより明確かつ強くするためには、いくつかの重要な側面がある。

1) 本論文は、乳幼児発達と計算論的研究の両方から、アフォーダンスの概念に対して「ほぼ」反対の証拠を見出したという調子で書かれている。

しかし、ここで報告されまとめられた多くの「証拠」は、以下の3つの解釈が可能であり、ミスリーディングである。

- a) 支持する証拠、
- b) 直接的反例証拠、または
- c) (おそらく)古典的で最も単純なアフォーダンスの最も厳しいバージョンに対する限界や注意を与えたり、実際の実装に必要ないくつかの追加要件を提供する。

2) アフォーダンスのアイデアや関連する他のギブソニアンアイデア(「直接的な知覚」「情報ピックアップ」など)は非常にあいまいであり、時間の経過とともに変化している。したがって、アフォーダンスのいくつかの異なる可能な解釈および/または実装仕様を明示的にリストアップし、次にそれらに関する「証拠」の各部分について議論するのは著者の責任である。

3) 著者の計算モデルによる実験結果は、アフォーダンスが知覚レベルに限定されていると主張するが、より高いレベルの認知と言語能力の重要な役割について論じているので、その場合のこれまでの類似研究との比較が必要である。

4) 動機づけに関する研究や議論に欠けている。

#### Comments on “On the Need for Reconciliation of Affordance Perception and Higher Cognitive Functions” (authored by Beata J. Grzyb) by Emre Ugur

Emre Ugur  
Bogazici University

This is a nice paper that combines two experimental findings of The author. I know those experiments (walker/non-walker reaching failures and scale error after acquisition of language) and I think they are both nice and interesting experiments.

In both cases, I agree to the author that different factors effect action selection - but I'm not sure whether or not these factors should be considered to affect 'affordance perception'.

First of all, related to definition of affordances, the author used a definition which would make many Ecological Psychologists unhappy: (We already discussed evolving definitions aspect of J.Gibson in Jamone et al. TCDS and Sahin et al. Adaptive behavior)

the author's: “affordances are properties of environment or objects” Gibson's older (subject to revision) “Subject to revision, I suggest that the affordance of

anything is a specific combination of the properties of its substance and its surfaces taken with reference to an animal. (J.J. Gibson, 1977, p. 67)”

Gibson’s latter definition: “The affordances of the environment are what it offers the animal, what it provides or furnishes, either for good or ill ... I mean by it something that refers to both the environment and the animal in a way that no existing term does. It implies the complementarity of the animal and the environment” (J.J. Gibson, 1979/1986, p.127) “an affordance is neither an objective property nor a subjective property; or both if you like.” (J.J. Gibson, 1979/1986, p. 129)

Therefore, as the author relates affordance perception to “perceptual properties” only, then according to her, a Gibsonian way to explain the distance and scale errors should also be based on perception errors as well. She ignores the agent and capability related aspect of the affordances. Affordances are defined based on agent capabilities and environment.

This is one important point.

The other important point is that even Gibson does not say (he explicitly mentions this in his book), affordances are not the only things we perceive. There are many other studies or findings where affordance perception (direct perception for action) are coupled with other perception systems (object recognition, etc.). The dual-route theory The author mentioned, and dorsal/ventral pathways (that interact all the time) are from findings and even Ulric Neisser in 1976 tried to place affordances and direct perception into a complete cognitive system model and tried to link them with other cognitive processes such as recognition.

What the author captured in her studies are action selection results of higher-level cognitive systems with many different components. One of the components might be related affordance perception, but there are other components as she mentioned, such as inhibition of actions, planning, semantic knowledge, memory, etc.

In summary, affordances is a Gibsonian term. It is

possible to extend the term (say affordances) and include all function and action related perception and decision processes. But she needs to be careful in doing so, as the affordances she discusses is not the affordances referred by Ecological Psychologists anymore.

Therefore, a thorough explanation and discussion might be required to validate why the author is using a concept to explain also higher-level processes while the concept was not devised for that purpose in the first place.

If I was the writer of that paper, instead of arguing “affordances should incorporate this and that” I would argue that different components and action selection mechanisms are competing with each other and with affordance based selection as well, and these mechanisms should be incorporated in a cognitive architecture along with affordances.

#### 〈和文要約〉

「アフォーダンス知覚と高次認知機能の調和の必要性」  
(Beata J. Grzyb 著) に対するコメント

Emre Ugur 准教授 ボアズィチ大学 計算機工学科

距離誤差とスケール誤差の著者の2つの実験結果を組み合わせた素晴らしい論文である。私は、異なる要因が行動選択に影響を与えるという著者に同意するが、これらの要因が「アフォーダンスの認識」に影響を与えるかどうかは分からない。まず、アフォーダンスの定義に関連して、多くの生態心理学者に不快に思う定義を使用している。歴史的経緯も含めきちんと議論すべきところである。特に、知覚レベルに閉じるのか、行動レベルも含むかの点が重要である。

他の重要な点は、アフォーダンスの帰結は、多くの異なる構成要素を持つ高次認知システムの行動選択結果であり、構成要素の1つは関連するアフォーダンスの認識であるかもしれないが、行動の抑制、計画、意味論的知識、記憶など、著者が言及した他の構成要素もあり、これらの要素との関係もより明らかにすべきと考えられる。

要約すると、アフォーダンスはギブソンの用語である。



## COMMENT

この用語を拡張することができ(例えば、アフォーダンス)、すべての機能および行動に関連する知覚および決定プロセスを含むことが可能である。異なる構成要素および行動選択メカニズムが互いに競合しており、アフォーダンスに基づく選択も同様に競合しておりこれらのメカニズムは、アフォーダンスと一緒に認知的アーキテクチャに組み込まれるべきであると主張してはどうか？

---

**Reply to the comments on “On the Need for Reconciliation of Affordance Perception and Higher Cognitive Functions” by Beata J. Grzyb**

---

I would like to thank all the commentators who responded to my target paper for their insightful comments and constructive criticism. My response will focus on clarifying the reasons for using the concept of affordance and showing its limited power to explain distance and scale errors observed in children. I will also provide further details on potential role of motivation in distance errors and discuss the possibility for affordance perception to exist both at the perception and action level.

**The problem with affordance perception in developmental psychology**

Developmental psychology often uses the concept of affordances to refer to action possibilities. Gibsonian term is adapted to define actions as possible or not depending on the fit between the features of the body and the properties of the environment (e.g., Franchak & Adolph, 2014). Importantly, perception of affordance is assumed to be evident in the observed behaviour, this is especially true in the behavioural studies with young children. For instance, children's reaches for close objects are taken as evidence for their accurate perception of object reachability. The fact, that the decision to act on the environment (e.g., to reach for the object or to sit in a chair) may depend on many cognitive, motivational, social, perceptual and motor factors, is often neglected.

The target paper presented two examples of action errors observed in young children: distance errors (i.e., attempts to reach for the out-of-reach objects) and scale errors (i.e., attempt an impossible action on objects that are too-small to accommodate children's body). From a behavioural perspective, these action errors demonstrate a misfit between the features of the children's bodies and the environment -- they demonstrate children's failures in accurate perception of affordance. The computational models, however, point rather to changes in cognitive functions (i.e., action planning, language acquisition) as important factors that contribute to these action errors. Hence, from

a mechanistic perspective these behaviours would not satisfy the traditional (most stringent) definition of affordance. This is quite problematic for the concept of affordance, as the same action may be interpreted as a misperception of affordance at the behavioural level, or a general action error, but not an affordance at the mechanistic level.

**The importance of using embodied models to explain empirical findings**

I fully agree with general comments that the idea of affordance is very ambiguous, allowing for various interpretations, and most of all, is not meant to be a guideline for neural/mechanistic implementation. The lack of these characteristics is a serious limitation of the theory but is not the reason for abandoning the attempts to implement it in an embodied computational model.

It is important to emphasise that the primary motive for the development of the computational models presented in the target paper was to explain the distance errors (i.e., reaches to out-of-reach objects) and scale errors (i.e., attempts to perform impossible actions) observed in young children, and not to implement the existing theories of affordance perception. As discussed earlier, these errors resemble misperceptions of affordances on the behavioural level, and hence, the computational models were informed by the existing theories of affordance perception, and action selection more generally. These models incorporate a minimum number of components that allowed for the replication of action error patterns.

The model of perceived reachability was based on the action-specific perception theory, in which visual information is scaled and transformed by action-specific influences (Proffitt 2006; Witt, 2011). Change in the action abilities of the agent at the onset of walking introduced perceptual changes, reflecting the fact that perception of space is very different for younger, not yet able to self-locomote infants than for the older, able to self-locomote infants. It is important to notice

that the model only captured the change from not reaching to out-of-reach object before the onset of walking to reaching to out-of-reach objects at the onset of walking. The later adjustment to not reaching to out-of-reach objects was not captured by the model. Additional factors such as action planning or inhibition of the prepotent action would need to be included in the model to allow it for the appropriate adjustment of the reaching decisions after the onset of walking.

The model of scale errors instantiated the dual-route theory of action selection (Riddoch, Humphreys and Price, 1989). The visual route reflects object affordances (in a traditional sense), while the semantic route reflects the lexico-semantic knowledge. Our simulations showed that scale errors were observed only in the lexico-semantic route, but not in the direct visual route. Hence, the minimal architecture that has the power to explain observed developmental errors in children involves the lexico-semantic route.

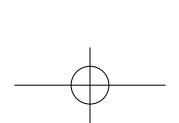
The results of our simulations show that only fully integrated cognitive systems that include higher order cognitive skills (i.e., action planning, language) have the power to explain the developmental trajectories of children's actions on objects.

### **Motivation is important for developmental progression, but does not provide a sufficient mechanistic explanation**

Our developmental and computational studies (not reported in this target paper) explored the possibility that older infants may simply be more motivated to grasp a distant object. Two of our developmental studies attempted to manipulate children's motivation to reach for distant objects. One study used a more attractive stimulus to increase younger children's motivation. Instead of balls on dowels, 9-month olds were presented with attractive teddy bears. This manipulation, however, did not increase reaches of younger infants for out-of-reach objects. As in our baseline study, infants reached for teddy bears when these were presented at easily reachable distances, but they


did not reach any further. Another study attempted to decrease older children's motivation by making the reaching task more physically demanding. To this end, small weights were put on older infants' wrists. Even after making the task harder, older children persistently reached (and often leaned) towards objects placed outside of their reachable space.

Although the increase in attractiveness of the stimuli and difficulty of the task did not change infants' perceived boundary of reachable space, some evidence suggests that motivation may contribute to their attempts to grasp out-of-reach objects. The examination of reaches at far distance as a function of trial block showed that all infants (younger and older) reached with high probability the first time the object was presented. While 9-month-olds and 12-month-old non-walkers adjusted their reaching behaviour with failures to make a contact over subsequent trials, older infants with walking experience showed no such adjustment. This results suggest a possibility that infants without walking experience may actually not know whether the objects beyond a certain distance are reachable or not, but at this stage they may simply not be interested in collecting more samples to disambiguate between reachable distances. On the contrary, infants with walking experience may be more intrinsically motivated to gain more knowledge or competence about what is actually reachable and non reachable, and hence may continue reaching for distant objects despite their failures. Indeed, a progressive ordering of target distances near-to-far or far-to-near and a direct contrast of near and reachable targets versus far and not-reachable targets yielded a marked reduction in attempted reaches to targets at far and not-reachable distances. In this interpretation, 12-month-old infants may have a strong intrinsic motivation to make physical experiments to collect data necessary to disambiguate between reachable and non reachable objects. The goal of reaching attempt may not be to actually reach and grasp an object, but to gain knowledge on the possibility of reaching. Hence the



difference between 9-month-old infants and 12-month-old ones may be explained by different weights of this propensity to explore reachability through curiosity.

We examined how changes in motivation may influence newly walking infants' reaching decisions in an approximate optimal control framework (Grzyb, Boedecker, Asada, & del Pobil, 2011; Grzyb, Boedecker, Asada, del Pobil, & Smith, 2011). The main premise of our hypothesis was that when infants gain control over their environment via walking, the reward circuitry in their brain delivers a large reward to the executive brain areas facilitating repeated selection of actions that led to the gain of control. This reward is experienced even though behaviour on a shorter time scale (i.e., reaching) fails, but progress is made on behaviour spanning an extended time scale (i.e., reaching by walking). We suggested that novice walkers fail to correctly update the boundaries of their reachable space due to their decreased ability to learn from the errors. This may result from infants' high level of sense of control upon making their first steps. Omission of the errors was suggested to enable selection of different behaviours in a context when they normally would not be selected providing more learning opportunities for fine-tuning these behaviours. For instance, ignoring the errors in reaching may be helpful in fine-tuning the newly acquired walking skill. The plausibility of this mechanism was tested using a simulated humanoid robot where the robot's behaviour was controlled by a two-layer reinforcement learning architecture. The top layer was a decision making layer responsible for selecting an appropriate behaviour (i.e., reaching, walking or no action) depending on the distance to the object. The lower layer was another reinforcement learning controller for walking action. Our results showed that ignoring the errors at the decision layer after the onset of walking provided the robot with more opportunities to practice walking behaviour. However, the results did not show any significant increase in the reaching to distant objects, showing that

motivation is important for learning  a new motor skill (i.e., walking towards target objects) but does not explain underlying causes of walkers' continued reaches to out-of-reach objects.

### **Compromised visual processing and its significance for advancing child learning**

Yoshida raised two important questions in the commentary to this target article. The first one concerns the amount of relevant incoming visual input that children actually process while forming a faulty action plan. According to Yoshida, the size-sensitive behaviour of children while they are making scale errors (bending over and using a precise grip to open the small door etc.) may be apparent and result from the online action accommodating processes that control the execution of initiated action plans. This leaves open the possibility that relevant object properties (distance, size) may not be processed adequately in the action selection processes.

Yoshida's suggestion that size may not be initially taken into account when forming an action plan is in line with the existing theoretical explanations of scale errors (including the one presented in this target paper) (e.g., DeLoache et al., 2004; Glover, 2004). Our computational model demonstrated that object size collapses at the action selection level despite being properly attended in the initial stages of the visual processing. These failures in appropriate action selections were caused by the developing lexico-semantic system that forces the neural network to temporarily cluster object representations around their name.

However, the existing empirical and computational modelling findings cannot exclude the possibility that size information may be compromised at the earlier stages of visual processing. Attention to object size might be outweighed by an increased attention to objects' shape. A large literature has suggested an increase of children's attention to object shape in the context of early word learning (e.g., Imai, Gentner, & Uchida, 1994; Smith, Jones, Landau, Gershkoff-Stowe,



& Samuelson, 2002). Landau, Smith, and Jones (1988) showed that children generalized name to test objects that were the same shape as the exemplar, but not to test objects that were different in shape. In that study, the attention to shape strongly overrides size information : children extended the novel name to same-shape test object even though the test object was 100 times the size of the original. Further empirical and computational studies should address the possible link between shape bias and scale errors in children, and role of visual attention in children's scale errors more generally.

Distance errors can be discussed in an analogous manner. Our computational simulations showed that children fail to take into account the necessity of combined reaching and walking behaviours when presented with distant objects in a sitting posture. However, based on our simulations we cannot exclude the possibility that distance information might not be processed (attended to) while children make a decision on whether to reach for an object or not. As in case of scale errors, the relevant visual information (distance) might be outweighed by other visual features. For instance, for novice walkers grasping a distant object may consist primarily of orienting the body in the direction of the object, and moving until they arrive. Attending to the precise distance, in the moment, may not be as important as attending to the object position in respect to the body. Further extension of the computational model should explore (and possibly refute) the possibility that attention to object distance might be compromised early in visual processing, leading to failures in making appropriate reaching decisions.

The second question raised by Yoshida concerns the developmental significance of distance and scale errors. Acting on objects, even though inappropriate given the object size or distance, might lead to discovery of new visual object features, and further learning of new action possibilities. Hence, according to Yoshida, these errors may be important for navigating attention to relevant perceptual features and advancing learning of

affordances.

Another possibility is that these errors may simply be a by-product of developments in other domains and play no significant role in discovering new action possibilities. It is important to note that these errors are examples of developmental regressions that occur at particular stages of child development. Before the onset of walking, children may be well aware what is and what is not within their reachable space (e.g., Field, 1976; Rochat, 1992; Rochat, Goubet, & Senders, 1999). As argued in the target paper, these errors may be a mere reflection of developmental changes in children's action planning system (combined reaching and walking) and lexico-semantic system that cascades onto action selection system. They could also reflect a rigid visual attention system that is captured by visual object features important for advancing learning in another domains (walking, language). Future empirical and computational studies are necessary both for deeper understanding of the role of visual attention in distance and scale errors and establishing their significance for affordance learning.

## References

- DeLoache, J. S., Uttal, D. H., & Rosengren, K. S. : Scale errors offer evidence for a perception-action dissociation early in life. *Science* 304 (5673), 1027-1029 (2004).
- Field, J. : The adjustment of reaching behavior to object distance in early infancy. *Child Development* 47(1), 304-308 (1976a).
- Franchak, J., Adolph, K. : Affordances as probabilistic functions : Implications for Development, Perception, and Decisions for Action. *Ecol. Psychol.* 26(1-2), 109-124 (2014).
- Glover, S. : What causes scale errors in children? *Trends in Cognitive Sciences* 8(10), 440-442 (2004).
- Grzyb, B.J., Boedecker, J., Asada M., and del Pobil, A.P. : Elevated activation of dopaminergic brain areas facilitates behavioral state transition. *IROS 2011 Workshop on Cognitive Neuroscience Robotics*, San

Francisco (2011).

Grzyb, B.J., Boedecker, J., Asada, M., del Pobil, A.P., and Smith, L.B. : Trying anyways : how ignoring the errors may help in learning new skills, First Joint IEEE International Conference on Development and Learning and on Epigenetic Robotics, Frankfurt (2011).

Imai, M., Gentner, D., & Uchida, N. : Children's theories of word meaning : The role of shape similarity in early acquisition. *Cognitive Development* 9(1), 45-75 (1994).

Landau, B., Smith, L. B., & Jones, S. S. : The importance of shape in early lexical learning. *Cognitive Development* 3, 299-321 (1988).

McMurray, B. : Defusing the childhood vocabulary explosion. *Science* 317(5838), 631-631 (2007).

Proffitt, D. R. : Embodied perception and the economy of action. *Perspectives on Psychological Science* 1(2) : 110-122 (2006b).

Riddoch, M. J., Humphreys, G. W., & Price, C. J. : Routes to action : Evidence from apraxia, *Cognitive Neuropsychology* 6, 437-454 (1989).

Rochat, P. : Self-sitting and reaching in 5- to 8-month old infants : the impact of posture and its development on early eye-hand coordination. *Journal of Motor Behavior* 24(2), 210-220 (1992).

Rochat, P., Goubet, N., & Senders, S. J. : To reach or not to reach? perception of body effectivities by young infants. *Infant and Child Development* 8, 129-148 (1999).

Smith, L. : It's all connected : Pathways in visual object recognition and early noun learning. *American Psychologist* 68(8) : 618-629 (2013). doi : 10.1037/a0034185.

Smith, L. B., Jones, S. S., Landau, B., Gershkoff-Stowe, L., & Samuelson, L. : Object name learning provides on-the-job training for attention. *Psychological Science* 13(1) : 13-19 (2002).

Witt, J. K. : Action's effect on perception. *Current Directions in Psychological Science*, 20(3) : 201-206 (2011).

## 〈和文要約〉

Beata J. Grzyb の「アフォーダンス知覚と高次認知機能の調和の必要性」に関するコメントへの返答の和文要約

まず最初に、私のターゲット論文にたいする洞察力のあるコメントと建設的な批判を頂いたコメンテータの方々に感謝したい。私の回答は、アフォーダンスの概念を使用する理由を明確にし、子供に観察される距離とスケールのエラーを説明するための限られた能力を示すことに焦点を合わせている。また、距離エラーにおける動機づけの潜在的役割についての詳細を提供し、知覚と行動レベルの両方でアフォーダンスの知覚の可能性について論じる。

### (1) アフォーダンスの知覚に関する発達心理学における

**問題** : 同じ行動が、行動学レベルでのアフォーダンスの誤認、もしくは一般的な行動の誤り、すなわちメカニズム的レベルではアフォーダンスはないと解釈される可能性がある。

### (2) 経験的知見を説明するために身体性に基づくモデル

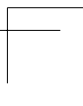
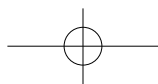
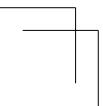
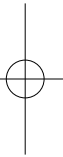
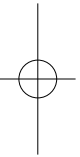
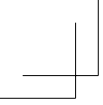
**を使用することの重要性** : ターゲット論文で示した計算モデルの開発の主な動機は、幼児に見られる距離エラーとスケールエラーを説明し、アフォーダンス知覚の既存の理論を適用しないことを強調することが重要である。

### (3) 動機づけは発達の進展にとって重要であるが、メカニズムとしての十分な説明を提供しない :

本ターゲット論文に含まれていない自身の計算モデル研究を引用し、年長の子供の動機づけの重要性を示唆。

### (4) 子供の発達を促進するための不完全で譲歩された視覚情報処理とその意義 (Yoshida コメントに対する回答に対応) :

行動計画設定時の視覚情報処理の未完の可能性とその未完が導く新たな視覚特徴の発見。



## 赤ちゃん「学」の不思議： 創造的研究に向けて

開 一夫

東京大学大学院総合文化研究科



創造性は一人の研究者に端を発しますが、創造的な研究は一人ではなしえません。

日本赤ちゃん学会には、ロボット工学や計算機科学の研究者など赤ちゃんの研究とはまったく関連なさそうな人々も多数参加されています。かくゆう私も、理工学研究科計算機科学専攻から博士の学位をもらっておきながら(?)、現在は赤ちゃん研究をトッププライオリティとして掲げています。学会(に積極的に参加すること)には、いろいろな意義があると思います。大きなメリットの1つは、自分とは異なるバックグラウンドをもつ人々と交流できることでしょう。この点で、いろいろな研究分野の人々とふれあうことができる日本赤ちゃん学会は大きな可能性を秘めていると思います。ただし、異分野の研究者が集まればそれだけで研究が進展するののかといえ、そうではないと思います。

ある研究分野が飛躍的に進展したり、難攻不落であった課題が解決したりするには、なにがしかの「新しい」アイデアが必須です。アイデアの創出は、基本的には1個人の頭の中でおこります。この頻度を高めるには、最新の論文を読んだり、研究室の仲間と討論したり(あるいは、温泉でリラックスしたり)などさまざまなやり方があると思いますが、どれも確実なものではありません。私の場合、異分野の研究者の話を聞いたり、自分が取り組んでいる課題を専門外の人に聞いてもらったりすることが、アイデアをクリアにするうえで最も役立っているように思います。

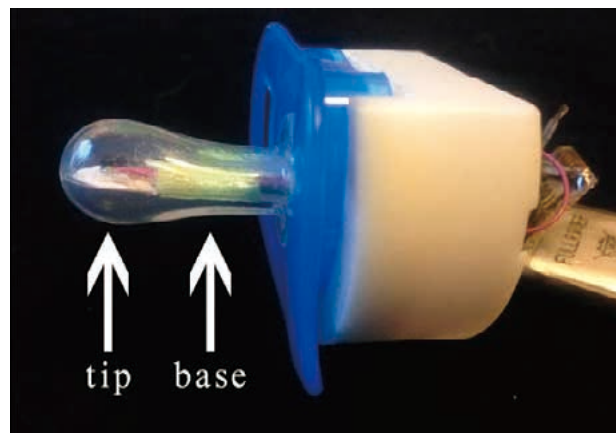
さて、優れたアイデアがあっても、それを実行に移さなければ意味がありません。単なる空想です。学際研究とか融合領域とかいった用語は使い古されたベタな感じになっていますが、これらが重要だといわれるのは、一人の研究者では実現が困難なアイデアの芽を大きく成長させるうえで、協同が必要となるからだだと思います。

以下では、私のささやかなアイデアに基づいて、行っている2つの研究プロジェクトを紹介します。まず、1つ目は、「デジタルおしゃぶり」プロジェクトです。デジタルおしゃぶり(右図)とは、市販のおしゃぶりにセンサを組み込んで、乳幼児・成人の口径部の運動を精緻かつ安全に計測するためのデバイスです。1980年代には、乳児(特に新生児)の非栄養吸啜行動を指標にして先駆的な発達認知科学研究が複数行われていましたが、装置が大掛

かりであったりケーブルの取り回しが面倒であったりして、ここ20年ぐらいは吸啜行動を指標にした研究はほとんど行われていませんでした。私たちが作製したデバイスは、市販のおしゃぶりを使用しているため軽量・コンパクトであり、ワイヤレスでリアルタイムに吸啜行動を計測することができます。

もう1つのプロジェクトは「あかちゃん学絵本」プロジェクトです。このプロジェクトは、私たちが培ってきた発達認知科学の手法を駆使して「赤ちゃんによる赤ちゃんのための絵本」を出版することを目標としています。絵本の制作プロセスでは、絵本作家と出版社によって絵本の内容が決定されるのが一般的です。したがって、絵本が赤ちゃんに届くまでどんな絵本が赤ちゃんにうけるのかは不明なまま出版されているのが現状です。また、実際に絵本を買うのはお財布をにぎっている「大人」です。絵本作家がどんなに子どもの「気持ち」になって絵本を創ったとしても、実際に購入する大人のお眼鏡にかなわなければ、意味がありません。このプロジェクトでは、絵本を本格的に制作する前段階で、こちらが指定した「音」に対応すると思う「絵」を複数の絵本作家さんに描いてもらい、「選択注視法」によって最も「音」にマッチした「絵(絵本作家)」を、赤ちゃんに選んでもらうことにしました。これまで、「もいもい」<sup>[1]</sup>、「もいもいとキーリー」<sup>[2]</sup>、「うるしー」<sup>[3]</sup>の3冊の絵本を世の中に出すことができました。

ここで紹介した2つのプロジェクトはどちらも元のアイデアとしては些細ですが、これらを実行に移すには私





だけの能力ではどうにもなりません。デジタルおしゃぶりに関しては、組込コンピュータに詳しい石井さん(現在、専修大学)、尾形さん(現在、産総研)の協力を得ることで実現できました。絵本のプロジェクトに関しても、10年前に絵本を出版している老舗の出版社に話をもちかけ足蹴にされましたが、運良くディスカヴァー・トゥエンティワンが趣旨を理解してくれて出版にこぎ着けることができました。学際研究には忍耐も必要なかもしれません。

- [1] 開一夫(監修)・市原 淳(著)：もいもい，ディスカヴァー・トゥエンティワン，東京，(2017).
- [2] 開一夫(監修)・みうらし〜まる(著)：モイモイとキーリー，ディスカヴァー・トゥエンティワン，東京，(2017).
- [3] 開一夫(監修)・ロロン(著)：うるしー，ディスカヴァー・トゥエンティワン，東京，(2017).

## ウィーンより赤ちゃん学を思う

多賀巖太郎

東京大学大学院教育学研究科

現在、大学のサバティカル制度を利用して、オーストリアのウィーンに滞在しております。ウィーンといえば、ハプスブルク帝国の栄光を今に伝え、ベートーベン、シューベルト、マーラー、シュトラウスのようなクラシック音楽の聖地です。ウィーンには、ドイツ語圏最古の大学であるウィーン大学があり、物理学であればボルツマンやシュレジンガー、数学であればゲーデル、心理学や医学であればフロイトやアスペルガーなど、歴史を作る学問の起源がこの地にあります。異国の地より、赤ちゃん学への思いを一言述べたいと思います。

私が滞在しているのは、ウィーンの北のクロスターノイブルクにあるコンラートローレンツ研究所(Konrad Lorenz Institute for Evolution and Cognition Research)です。クロスターノイブルクは、ウィーンの森とドナウ川に囲まれた場所で、まだウィーンが発展する前の11世紀ごろに、修道院を中心に発展した街です。現在も中世の雰囲気の色濃く残っています。研究所は、動物行動学の創始者であるコンラート・ローレンツ(1903-1989)の名前を冠しています。心や認知の進化と発達の研究の発展が、ローレンツの動物行動学に大きな影響を受けていることにちなんでいます。この研究所では、理論生物学、複雑系、哲学など、特定の学問の専門領域におさまらないような学際的な学問をじっくり作っていくことが、重要なミッションとされています。私は、この中世のヨーロッパの雰囲気のもとで、さまざまな分野の研究者との交流を深めています。そして、ヒトの脳と行動の発達に関して、理論的な研究を行ったり、今後の研究の構想を練ったりしています。

私は、個人的に、ローレンツとの学問上のつながりを意識しています。私は大学院生のときに、ヒトの二足歩行に関する理論的な研究を行っていました。理論の中心的な仮定は、神経系が自発的にリズムを生成するというものでした。そこで、神経振動子というモデルを構築して、神経系と身体の間でリズムの循環が起こることによって、歩行が生成するという仕組みを明らかにしました。この、神経振動子という概念を最初に示したのは、ローレンツの同僚として動物行動学の創始に関わったエーリッヒ・フォンホルスト(1908-1962)だといわれています。

また、私が取り組んでいる研究課題の1つに、乳児の自発運動があります。乳児の自発運動に最初に着目し、

ジェネラルムーブメント(General Movement)と呼んで、ヒトの発達の仕組みを理解するうえでの重要性を示したのは、ハインツ・プレヒテル(1927-2014)です。プレヒテルはウィーン大学で学んだ後、ローレンツの研究所で研究を行いました。彼は、研究対象を鳥、トカゲ、サンショウウオ、ネコへと次第に変えていき、最終的にはヒトの乳児へとたどりつき、オランダのフローニンゲン大学で発達神経学の創始者となったのです。かつて、同志社大学の小西行郎先生は、オランダでプレヒテルに直接師事されています。プレヒテルが確立した、ステートという概念は、現在も行動や睡眠の発達を理解するうえで、非常に重要な概念であり、まだ十分に解明されていない問題を含んでいます。

私は、ローレンツ研究所の客員研究者となったことで、ローレンツやプレヒテルによる歴史的な学問の流れの一端に連なっていると感じています。近年、神経科学や生物学の分野では、研究データや論文が爆発的に増加する

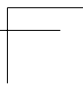
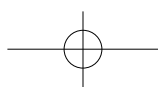
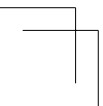
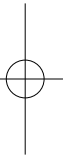
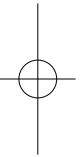
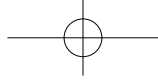
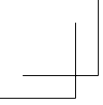


クロスターノイブルクの街角

一方、個体としての生物やヒトを説明する理論研究の進歩が十分でない状況が続いています。つまり、分子、細胞、神経ネットワークなどの詳細にかかわる知見が蓄積される一方で、それらを統合した形で個体の行動発達を理解するための理論が必要なのです。私たち自身が行ってきた乳児の脳の発達研究についても、さまざまな知見を統合する理論が必要とされています。ローレンツ研究所では、発生生物学や神経科学を包含するようなヒトの発達科学の構築を構想したいと思います。どのようにしたら部分と全体をつなげられるのか、どのようにしたら

進化、発生、発達、現在、未来という時間軸にそって行動や認知の生成を理解できるのかについて、考えたいと思います。

生命現象の理解にとって自発的な「リズム」の生成を理解することは、最も重要な必要条件の1つです。歩行のような2拍子のリズムに比べて、ワルツのような3拍子のリズムは、「カオス」を生み出す複雑さを備えています。自分の経験にウィンナーワルツを加えることで、カオスが生じて、新しい赤ちゃん学の発想を得られることを期待しつつ…。





## 日本赤ちゃん学会 第18回学術集会のご案内

# テーマ「発達の予兆～赤ちゃん学から保育の未来を占う～」

主催：東京大学大学院教育学研究科 附属発達保育実践政策学センター

会長：遠藤利彦(東京大学大学院教育学研究科・教授)

同附属発達保育実践政策学センター副センター長)

会期：2018年7月7日(土)・8日(日)

会場：東京大学本郷キャンパス(メイン会場：安田講堂)

東京都文京区本郷7-3-1

### 【主な内容】

◆大会企画リレー講演

◆シンポジウム

1. 「赤ちゃんのねむり～乳幼児の睡眠環境を考える～」(発達基礎科学部門)
2. 「赤ちゃんの生活と育ちを追う～乳幼児の生活と発達に関する縦断研究の挑戦～」(子育て・保育部門)
3. 「赤ちゃん和政策～乳幼児の発達を支える～」(政策部門)
4. 「赤ちゃん学から見る乳児保育におけるアタッチメント～子育て・保育における人材育成の観点から～」(人材育成部門)

◆指定ラウンドテーブル

「センシング技術を活用した保育・幼児教育環境の探究」

※詳細につきましてはホームページをご参照ください。

<https://sites.google.com/view/akachan18-cedep/>

### 【問い合わせ先】

日本赤ちゃん学会 第18回学術集会事務局

東京大学大学院教育学研究科 附属発達保育実践政策学センター(Cedep)

〒113-0033 東京都文京区本郷7-3-1

TEL 03-5841-0475 FAX 03-5841-8311

Email : akachan\_cedep@p.u-tokyo.ac.jp (akachan.cedep@gmail.com)

## 日本赤ちゃん学会誌編集方針

赤ちゃんに関する学術的な研究に関して、いくつかのテーマについてのレビューと議論を中心とした内容のものとする。一般的な研究論文の掲載は行わない。いくつかの設定されたテーマについてのターゲット論文(編集委員会より依頼)、コメント論文(編集委員会からの依頼及びインターネットを通じての一般投稿)、コメント論文に対する著者の回答論文から構成される。

ターゲット論文は、あるテーマについての研究のレビューとディスカッションを中心としたものとし、論点を異分野の研究者にもわかりやすく書いて頂く。オープンなディスカッションや新しい研究への糸口を読者に与えるような内容のものを期待する。読者の便宜も考えて、文献リストは比較的しっかりしたものにする。また、普通の論文には書きにくい執筆者独自の考えも盛り込んでほしい。本文は12000字(原稿用紙400字詰め30枚)程度とする。それに、図表や文献リストを加えたものとする。原稿は電子メ

ールで頂くこととする。

ターゲット論文を編集委員会で査読した後、執筆者あるいは編集委員会が選定した専門家にターゲット論文を送り、それについてのコメント論文を書いて頂くことを依頼する。すべて、記名のコメントとする。本文は1200字(原稿用紙400字詰め3枚)以内とする。必要があれば、1枚の図と5個までの文献を加えて良いとする。また、ターゲット論文を赤ちゃん学会のホームページ上に載せてコメント論文を募集する。分量は依頼の分と同様。

コメント論文を編集委員会で査読し、科学的でない内容を含んでいないかなどをチェックした後、取りまとめてターゲット論文の著者に送付する。それぞれのコメント論文に対する簡単な回答論文を書いて頂く。

以上のような過程を経て、ターゲット論文、コメント論文、回答論文を1セットとして出版する。

## 赤ちゃん学会誌執筆規定

### ターゲット論文

本文は12000字(原稿用紙400字詰め30枚)程度の和文とする。

原稿は次の順に配列する。

- 1) 表題、著者名、所属機関名
- 2) 要旨(400字程度)
- 3) 本文(12000字程度)
- 4) 参考文献(数の制限はなし)
- 5) 表、図(必要に応じて)
- 6) 表、図の説明(必要に応じて)

### コメント論文

本文は1200字(原稿用紙400字詰め3枚)程度の和文とする。

原稿は次の順に配列する。

- 1) 表題、著者名、所属機関名
- 2) 本文(1200字程度)
- 3) 参考文献(必要に応じて5個まで)
- 4) 表、図(必要に応じて1個まで)

### 記述・用語について

- 1) 常用漢字、現代かなづかい、横書きとする。数字は算用数字とする。
- 2) 参考文献はアルファベット順に番号をつけ、本文の必要な箇所ですべて[1]、[2-4]のように引用する。
- 3) 参考文献の記載方法は以下のようにする。

#### ●雑誌の場合

- [1] Einstein, A.:How I created the theory of relativity. *Physics Today* 35, 45-47 (1982).

#### ●単行本の場合

- [1] Piaget, J.:Origin of intelligence in children. (International University Press, New York, 1952).
- [2] Descartes, R.:discourse on method. In J. Cottingham, R. Stoothoff, D.Murdoch (Eds.) *The philosophical writings of Rene Descartes*. (Cambridge University Press, New York, 1985) (First published 1637). (谷川多佳子訳「方法序説」岩波書店, 1997)

## 論文の投稿について

---

原則として電子メールによる。文書ファイルはテキスト形式または一般的なワープロソフトのファイルとする。図表ファイルは1点ごとに別のファイルとする。ファイル形式は、EPS、JPEG、PDF などの一般的なものとする。

## 賛助会員リスト

50音順

---

アプリカ・チルドレンズプロダクツ株式会社

---

KODOMOLOGY 株式会社

---

ビジョン株式会社

---

株式会社ベネッセコーポレーション内チャイルド・リサーチ・ネット

---

ユニチャーム株式会社

---

# FAX : 03-5291-2176

## 日本赤ちゃん学会 入会申込書

提出年月日：平成 年 月 日

会員番号			
ふりがな			←必ず個人名でお願いします。
氏 名	氏	名	
会員種別	<input type="checkbox"/> 正会員	<input type="checkbox"/> 学生会員	←いずれもどちらかを選択下さい。
連絡先	<input type="checkbox"/> ご自宅	<input type="checkbox"/> ご所属	

上記の連絡先に印を入れた場所の登録を行いますので、下記に記載願います。  
(※ご自宅を連絡先にしましたら、所属機関名、部署・役職の記入はしないで下さい。)

※所属機関名	
※部署・役職 (学部・学科など)	
連絡先住所 (都道府県から)	〒
連絡先電話番号	
連絡先 FAX 番号	
E-mail アドレス (ブロック体で)	

※下記会員事務局までお送り下さいますようお願いを申し上げます。  
※年会費は、10日以内に指定の郵便口座へご送金下さい。

● 正会員：5,000円

● 学生会員：3,000円

※学生会員は、学生証コピーが必要です。特に学生証期限の明記部分は鮮明になるようコピー願います。

◎ 年会費は郵便振替口座へご送金下さい。

口座記号番号：00120-4-739402

加入者名：日本赤ちゃん学会

**【問合せ先】**

入会申し込み  
年会費の問合せ  
学会誌の発送  
住所変更・退会

**日本赤ちゃん学会 会員事務局(入会申込書送付先)**

〒169-0072 東京都新宿区大久保2丁目4番地12号 新宿ラムダックスビル9階  
株式会社 春恒社 学会事業部内  
電話：03-5291-6231/FAX：03-5291-2176  
<http://www.shunkosha.com>

庶務的な内容  
諸会合の日程  
学術集会の内容  
投稿の問合せ

**日本赤ちゃん学会 本部事務局**

〒192-0393 東京都八王子市東中野742-1  
中央大学文学部 山口真美研究室  
電話 /FAX：042-674-3843  
E-mail: [akachan@tamacc.chuo-u.ac.jp](mailto:akachan@tamacc.chuo-u.ac.jp)  
<http://www.crn.or.jp/LABO/BABY/>



# FAX : 03-5291-2176

## 日本赤ちゃん学会 登録変更届

提出年月日：平成 年 月 日

会員番号			チェック欄
ふりがな			←必ずご記入下さい。 (旧姓： )
氏 名	氏	名	
会員種別	<input type="checkbox"/> 正会員	<input type="checkbox"/> 学生会員	□
連絡先	<input type="checkbox"/> ご自宅	<input type="checkbox"/> ご所属	□

※所属機関名			□
※部署・役職 (学部・学科など)			□
連絡先住所 (都道府県から)	〒		□
連絡先電話番号			□
連絡先 FAX 番号			□
E-mail アドレス (ブロック体で)			□

- ※ お名前は、必ずご記入下さい。なお、お名前の変更がございましたら、旧姓欄をご記入願います。
- ※ 修正を行った部分の右側のチェック欄(□)に必ず、チェックを入れて下さい。
- ※ FAX または郵便のみ受付を行っておりますので、記載内容は、楷書で明確に記載願います。

**【お問合せ先】**

〒169-0072 東京都新宿区大久保2丁目4番地12号 新宿ラムダックスビル9階  
 株式会社 春 恒 社 学会事業部内  
 電 話 : 03-5291-6231 FAX : 03-5291-2176

## 編 集 後 記

2017年1月16日の夜、中央大学駿河台記念館での理事会でのごこと、新年宴会かねて、下戸の会長を尻目に、アルコールを入れての勢いにまかせて、「編集委員長やります」と宣言してしまったことを、悔いても悔いても足りないことに気がつくのにそんなに時間がかかりませんでした。アルコールは、さらに、年内に出版という大それた、そして果たせなかったことも豪語させてしまうという会長ニンマリ、新編集委員長真っ青の一年でした。(M.A.)

本来、20周年記念くらいにすべき、新装開店の特集号を17年目に出してしまうという奇妙な年のめぐり合わせ。仕切り直しの気概が伝わればいいのですがといいつつ、巻頭言と編集後記執筆時、表紙デザインが届いておらず、不安満載(M.A.)

年寄りの特権で、会長に学会の昨日、今日、明日をお願いするも、ターゲット論文には難しく、展望論文に。。同じく、國吉教授(東大)に國吉新学術の総括をお願いするも、これもターゲット論文にはならず。従来法を踏襲するといいつつ、新装開店を理由に、結果として展望論文2つに。(M.A.)

国際化を目指して英語のターゲット論文、そして当然のことながら英語のコメントと回答。前編集委員長から一般の方々も読むので、日本語要約をとのサジェスチョンに急遽要約をつけました。編集後記執筆時、まだ回答が届いておらず、あせりまくり。(M.A.)

「表紙を一新したい」と浅田編集編集長が言われるので表紙のイラストを伊藤理佐さん、デザインをコマツ\*タカヨさんをお願いしました。おふたりともご多忙の中ありがとうございました。伊藤さんの作品「おかあさんの扉」、ご主人である吉田戦車さんの「まんが親」とともにエピソードを講義ネタに使わせていただいております。(K.H.)

## 編集委員リスト

### 《編集委員長》

浅田 稔 大阪大学大学院工学研究科  
知能・機能創成工学専攻

### 《編集委員》

安藤 ハル (株)日立製作所 研究開発グループ 東京社会イノベーション協創センター サービスデザイン研究部

伊村 知子 新潟国際情報大学 情報文化学部情報システム学科

遠藤 利彦 東京大学大学院 教育学研究科 総合教育科学専攻

岡田 浩之 玉川大学工学部 情報通信工学科

小林 哲生 NTT コミュニケーション科学基礎研究所  
協創情報研究部

中井 昭夫 兵庫県リハビリテーション中央病院  
子どもの睡眠と発達医療センター

中野 尚子 杏林大学 保健学部理学療法学科

松田 佳尚 同志社大学 赤ちゃん学研究センター



2017 vol.17

2018年3月25日

発行/日本赤ちゃん学会  
編集/日本赤ちゃん学会事務局  
制作/ベビーサイエンス編集部

本部事務局/〒192-0393  
東京都八王子市東中野742-1  
中央大学文学部 山口真美研究室  
Tel/Fax:042-674-3843  
E-mail:akachan@tamacc.chuo-u.ac.jp  
<http://www.crn.or.jp/LABO/BABY/>

会員事務局/〒169-0072  
東京都新宿区大久保2丁目4番地12号  
新宿ラムダックスビル9階  
(株)春恒社 学会事業部内  
Tel:03-5291-6231  
Fax:03-5291-2176  
E-mail:baby@shunkosha.com  
<http://www.shunkosha.com>

印刷・製本/株式会社春恒社