

第 59 回公開シンポジウム

ロボットから赤ちゃんを読み解く

◆ プレゼンター

浅 田 稔

大阪大学大学院工学研究科教授 / ロボット学

◆ パネリスト

友 田 尋 子

甲南女子大学看護リハビリテーション学部看護学科教授 / 小児看護学

◆ 司 会

一 色 伸 夫

甲南女子大学人間科学部総合子ども学科教授 / 子どもメディア学

一色：それでは第59回子ども学公開シンポジウムを始めます。本日は「ロボットから赤ちゃんを読み解く」をテーマで行います。皆さんもご存じのように、赤ちゃんは未知なるものと思われてきましたが、最近では、多様な分野から赤ちゃんの研究が急速に進んでいます。浅田先生は、ロボット学の方から赤ちゃん研究をされています。逆に言うと、赤ちゃんに学びつつ、ロボット学を研究されているということがいえます。大阪大学の浅田先生と本学の看護リハビリテーション学部の友田先生のお二人をお迎えして、「ロボットから赤ちゃんを読み解く」というテーマで進めてまいります。はじめに45分から50分ぐらい、このタイトルに則したお話を浅田先生からさせていただきます。浅田先生のロボット学、工学の話を受けて、小児看護学の立場から、実際に人間の赤ちゃんを研究されている友田先生からコメントをいただきます。その2つの話を基にロボットから赤ちゃんを読み解く、ロボットを通して見てくる赤ちゃん、人間の赤ちゃんは一体どういう存在なのか、その辺りを皆で考えていきたいと思います。

浅田先生は、「日本赤ちゃん学会」の常任理事をされていて、この4月に学術集会があり、その大会推進委員長をされ、テーマが「赤ちゃんから学ぶロボットの脳、身体、子どもの発達」でした。赤ちゃんの方から学んで、ロボットの脳、身体に赤ちゃんの発達を入れていこうというアプローチでした。浅田先生は、日本のみならず世界的にも有名なロボットの先生です。ロボットというと、私自身、昔「鉄腕アトム」とか「鉄人28号」などを観ていて、あんなロボットができればいいなと思って大きくなった世代なので、そういうロボットができるのだろうかという期待もあり、その辺りも含めて、後で議論していきたいと思います。

友田先生は、小児看護学がご専門で、昨年も、ドメスティックバイオレンス、幼児虐待のお話で子ども学講演会でプレゼンテーションをしていただきました。今日は、このお二人にお話していただきます。では、浅田先生よろしくお願いします。

浅田：こんにちは。大阪大学の浅田です。今日は「ロボットから赤ちゃんを読み解く」ということで、お話させていただきますが、もちろんロボットを研究しているのですが、ロボット以外の活

動もしています。最初にロボットの最新ビデオ、だいたいどの辺りまでできているかというのをお見せします。実はロボカップという、ロボットにサッカーをさせる、2050年までにFIFAのワールドカップ・チャンピオンチームを破る11体のヒューマノイドのチームを作るという無謀な計画を立ててそれを推進している組織のプレジデントをしています。最初にそれを観ていただきます。

(ビデオ開始)

浅田：少し説明しますと、これは、リモコンではなくて、完全自立型で、コンピュータでコントロールされています。頭の上に透明のアクリルの三角形の形をしたものがありますが、ここに、全方位カメラというカメラが入って入っていて、2対2の戦いをしています。今、ゴールキーパーが倒れましたけれども、これが意図的に倒れると反則です。意図的かどうかは審判が判断をします。こちらがTeam Osakaで、日本のチームです。向こうはドイツのチームです。サイズは小さいのですが、完全自立型、つまり人間がリモコンで操作しているのではなくて、コンピュータが考えて自分で判断しているのです。これが、キッドサイズ、小型のヒューマノイドのリーグです。去年の様子です。ここにテレビカメラが入って入っていて、全体で20から30自由度、人間でいうと、関節の数が20から30の関節を使って歩きながら、赤いボールを発見して、黄色いゴールに入れるということプログラムされて、自動的に動きます。

これは、初めて、人間とロボットが戦った試合です。これは、中型のチャンピオンチームです。これも完全自立型でロボットがきちんと動いています。同じように、この上にテレビカメラが乗っていて、ボールを見えています。初めて人間とロボットが戦ったので、ロボットチームは人間と戦うことを想定していないのですが、結構いい試合です。スローイングはできないのですが、フリーキックでロボットプレイヤーが自動的にちゃんとボールを蹴るような位置に来ます。そして蹴っていきます。これは、人間は何もせず、全部コンピュータコントロールしています。これは、ロボット側のチャージです。ファールがロボット側のファールで、この人、ピーターストーンというアメリカの理事ですが、彼がフリーキックをするところです。もう少し後にゴールキーパーが活躍するところがあるのですが、そちらを見てみましょう。人間側のパス回しをちゃんと見て、健気にロボットが追いかける。これは、シュートを入れようとしてしました。2-0で負けてしまったのですが、結構、ロボットチームが健闘したということで、今年からはオフィシャルに人間とロボットチームの試合を少しずつ始めます。ロボット側のキックオフで始まって、人間チームがパス回しをする。ピーターストーンのところにも今ボールが返ってきて、シュートする時ですが、ロボットチームのゴールキーパーがちゃんとセーブします。

(ビデオ終了)

浅田：これは、去年のロボカップの中型のリーグなのですが、ちゃんとチームワークを作って、

動いています。人間側は何もコントロールしていません。

これは、東京大学の國吉先生が作った世界で初めての人間と同じサイズのロボット、起き上がりをするというものです。このロボットは50キロから60キロで、大体、人間と同じぐらいのサイズなので、なかなか難しいのですが、かかとをちゃんと上手く使って起き上がるということをこの場合は、設計者が学習してロボットに埋め込んでいます。今、ロボットが自分で学習するような構造でやっています。何度も失敗しています。NGのビデオがありまして、それは、腰は折れる、首がまがるなど、いろいろな悲惨なことがあったようです。

これは皆さん、見たことがあると思うのですが、同じ大学の石黒先生がアンドロイドを作っています、これは、NHKのニュースキャスターの藤井彩子アナウンサーをベースにしています。

(ビデオ開始)

キャスター：では、お客さんにお話を聞いてみたいと思います。こんにちは。

客：こんにちは。

キャスター：どちらからいらっしゃったのですか？

客：大阪から来ました。

キャスター：大阪からですか。奇遇ですね。私も大阪から来たのですよ。もう他のところはまわられましたか。

客：はい、まわりました。

キャスター：どこが一番おもしろかったですか？

客：あっちです。

キャスター：あちらですか。後で行ってみたいと思います。どうもありがとうございました。

(ビデオ終了)

浅田：ということで、これは、2005年の愛知万博の時に石黒先生が出したアンドロイドです。すぐに見れば不自然ということがよくわかると思うのですが、それでも騙される人はすぐに騙されていて、老人ホームのお年寄りの方が、絶対これは人間だと信じなかったと言われています。一見、この中に目があって、目を通じて喋っているように思いますが、このアンドロイドは目の中に目が入っていません。外側にテレビカメラがあります。マイクロホンも外側にあります。実は床に床センサーが入って、人が近づいたことがわかります。一見、独立したロボットに見えながら、環境の方にいっぱいセンサーがあって、あたかもこのロボットが自分で判断して喋っているように見えますが、この喋りもテンプレートで決まったことしか喋れないし、「後で行ってみます」と言っていました、このアンドロイドは歩くことができません。すごく発達したロボットに見えますが、まだまだ進んでいません。

他に、ジャンプするロボットもあります。このようなロボットたち、今我々の生活の中で、人間と同じように働いていて、素晴らしいと思うかもしれませんが、実はほとんど賢くないです。基本的には、設計者が作った通りにしかプレイバックしていない。学習もしなければ、発達もしないというのが状況です。私自身は、何をしたいかという、ロボットを賢くしたいのですが、それを表層的に、単なるコピーとして何か動作するのではなくて、根源的に賢いロボットを作りたいと思った時に、では人間は、どのようにして賢くなってきたのだろうかを問い直してみると、赤ちゃんはどのようにして発達してきたのだろうかという疑問に変わってきたのです。なぜ、赤ちゃん学会の理事を私がしているのかとよく言われるのですが、赤ちゃんのミステリーを知ること、実は人間の知能の構造がわかり、そのことによって、ロボットにそれを使うことができるのではないかという思いが半分です。

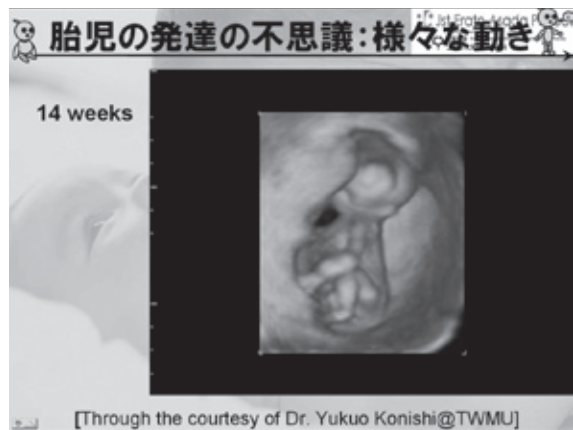
今日の資料をこのペースでやっていくと、あと4、5時間かかりますので、飛ばしていきます。



この資料には、いくつか、皆さんの興味のあることが書いてあると思いますので、機会がある時に読んでください。最初のページの方は、脳の発達、脳科学的な話を書いています。霊長類が哺乳類とどう違うか、霊長類の中で人間と霊長類がどう違うかということで、人間の特質性、発達の特質を書いています。そこをスキップしまして、脳科学の話として、脳の基本構造ですが、これはとても大雑把ですが、皆さん、自分の頭の中がどうなっているかということは、実は私もよくわかりませんが、例えば、視覚情報処理、目から入った処理がどこで行われているかという、実は、後ろの方なのです。要するに、目から入ってくる情報は網膜を通じて、視覚野と呼ばれるこの後ろまで中継してきます。ちょうど頭の後ろのところにるのが視覚野です。それから聴覚は耳の近くで処理をしています。あと体性感覚で、自分の身体を感じ、触覚とかいろいろな部分、運動野、ブローカ野と呼ばれる、これは、言語の発声の方です。このような形で実は、脳の局在性といいますか、機能の局在性はよく言われています。わかっているのは、感覚

系や運動の末梢系に関しては、脳部位の局在性が比較的によく理解され、研究され理解が進んでいる方です。それでもまだミステリーはあります。けれども認知系、つまり判断したり、いろいろなことを思ったり、好き嫌いも含めてはまだわかっていません。最近では、生きた脳の活動を計測できる、工学的な装置ができていますので、いろいろなミステリーが見えつつあるのですが、それでも謎は残されています。我々はもちろん、脳科学の研究成果も使うのですが、赤ちゃんの発達、発達心理の先生方も含めて見てみよう。赤ちゃんが特にこれまで静的、受動的、つまり非常にパッシブな、受け身的な見方から実はそうではなくて、動的、能動的になっている。実は、赤ちゃんは、最初から能動的な状態である。例えば、触覚辺りですと、受精から8週、10週あたりから、触覚の感覚ができて始めているとか、聴覚、痛覚、眼球運動も含めて出てきます。ですから、生まれて赤ちゃんは純粹無垢でとよく言われますが、そうではなくて、実はまっさらではなくて、既に、母胎の中でいろいろなことが始まっていることがあります。ですから、例えば赤ちゃんは真っ白な、清潔な部屋にといいますが、それは大間違いで、雑多な環境に置かないと、視覚野のコネクションができないのです。ちなみに、生後すぐの子猫を縦縞だけの世界に入れると、縦縞しか検出できず、横縞がでてくると倒れてしまいます。それは、生後環境によって、視覚情報の特徴抽出のフィルターが決まってくることを言っているのですが、いづれにしても、このようなところから、いろいろな感覚運動が始まっています。

ここで一つだけお見せします。これは14週で赤ちゃんの立体的なイメージですが、既に母胎の中で運動をしていますし、実は、手で触ったりしていろいろなことをしています。これも、全部お話すると時間がありませんが、このような動きをしている。つまり、既に母胎の中で赤ちゃん、胎児は、学習を始めています。その研究の一つをご紹介します。皆さんには、発達の表などがありますので、見ておいてください。



では、赤ちゃんと工学のところですが、工学が貢献できることは何かというと、今言いましたようにイメージングということで、いろいろな計測ができるということです。それから、検証手段としての道具の高度化、例えば人を使った心理実験をする時に、人だと疲れたりとか再現性がない、同じことをやってくれないことがあります。ロボットを使うと再現性、何回も同じことができるということで、例えば、これは、アンドロイドを使った実験で、人間がどういう感覚を持つかという実験をしようとする時に、その対象としてのアンドロイドをいつも同じ状態で再現することが必要になります。実は我々は3つ目、認知発達ロボティクスと呼んでいるのですが、実際に発達する人工物を作って、そのことによ

て、発達の中身を知っていく、それと同時に知った中身をそのままロボットに埋め込んでいこうということでやっています。ヒューマノイド・サイエンスと呼んでいますが、例えば人間を知ろうとすると、動物哺乳類、霊長類に始まって、ヒトを見ようとする。ヒトに似た人工物を作ろうとすると、ヒューマノイドになる。ところがヒトに近づくための人工物を作ろうと思えば思うほど、ヒトを知らないといけない、けれども、ヒトを知ろうと思えば思うほど、ヒトのミステリーが出てくるのです。そうすると生物学、発達心理学、社会学、もっと言うと哲学が、新しいロボットの設計のヒントを与えてくれるかも知れないのです。片や、ロボットを通じて、人間のような人工物を造ろうとする行為によって、新たな理解の方が生まれるのではないだろうか。この相互フィードバックを我々は目指しています。と言いつつ、中々難しいのですが、先程の胎児の実験は何のためにお見せしたかという、皆さんもご存じだと思うのですが、新生児模倣というのがあります。

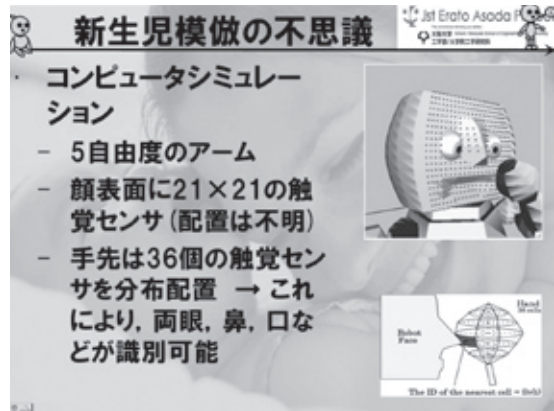
これは、メルツォフという人が生後数時間で、突き出しとか口を開けたりと新生児は模倣するのだということで、私の同僚も生後2時間ぐらいで自分の子どもで試したのです。大体、半分もいかない10%から20%ぐらいの確率しかない場合もある。だから模倣しているかどうかは、非常に怪しいのです。少し考えると、何で体の部位の対応がつくのか、お父さん、お母さんが顔を見せた時に、あの顔の目と自分の目が一緒とか、鼻が

自分の鼻と一緒になど、なぜわかるのか、体の部位の対応と、部位の運動制御、このようなところがなぜ動かせるのか、なぜ真似をできるのだろうか。舌を出した時に、あれが舌でその舌をどのようにして出すかということがどうしてわかるのだろうかというミステリーがあります。これは、生得しかないのか、これはもう埋め込まれているとよく言われますが、その学習の可能性はないだろうか。先程言いましたが、母胎内で、何かが起きている可能性があるのではないだろうか。つまり、母胎の中ですぐに赤ちゃんは自分の顔を触ったり、いろいろな身体部位を触ったりしていますから、ひょっとすると、そういったことで学習ができるのではないかという可能性を調べてみました。それで、ここでは、顔の触覚の分布を知らない、わからない。けれども触っている内に学習できるのではないかというシミュレーションをしました。

ぶつぶつして少し痛そうですが、顔に21個×21個、400個ぐらいの触覚センサーを装着しています。手も36個の触覚センサーが入っていて、それで触っていくのです。基本的なアイディアは、単純です。顔を触っていきますと、例えば手が右下から左上に上がっていく、このような動きをします。それと、視覚的に手で動きを見ます。関節の動きがあります。そうすると、こ



うやって顔を触った時の動きと先程の動きは、とても似ているので、ここのA、B、Cの触覚センサーの並びはこのような並び、つまり、右下から左上だということがわかってくる。このようなことを何度も学習していきます。そうすると、手が目を隠したとか、鼻が尖っているとか、口が柔らかいということを使うと、段々とわかってくるようになります。これが、学習の過程です。最初は、ランダムな触覚分布だったのですが、触っていく内に、だんだん分かれていく。これは今、色づけしているのが、右目、鼻、左目、口なのです。



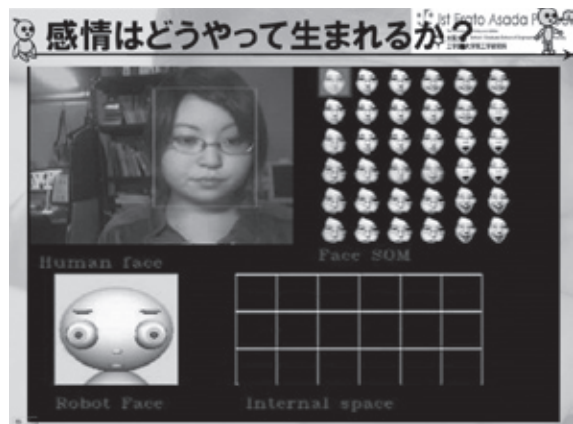
この分布が、きれいな元の顔の分布に、大体位置関係が維持できている。このようなことをもし、母胎の中でやっているとすると、少なくとも自分の体の部分に関する知識はできるかもしれない。もちろん、生後、お母さんの顔を見て、お母さんの顔の特徴から、自分の目と口と鼻の対合がついたり、動かすことはまだミステリーとして残っていますが、少なくとも可能性として、母胎の中でこのような運動をすることで、身体の部位がわかるのではないかということになります。



それからポスターに描いてもらったシミュレーションのロボットですが、名前がついていないのですが、あのロボットも海外に出ていまして、ドイツの大学でもあのシミュレーターを使っています。感情はどうやって生まれるのかという研究です。多分、皆さんの中には、ロボットの中に感情など生まれるわけがないと思われるかもしれませんが、そのクエスチョンはあなた方に返します。では、あなたの感情はどうやって生まれましたかということです。我々はロボットの感情は、どうやって生まれるのかということも、例えば、人間は、食欲、性欲、睡眠欲、この3つに関して、あまり逆らえないです。つまりある意味で遺伝的な要因、進化的な要因の中で埋め込まれています。私の知り合いに1日睡眠が3時間で大丈夫ですという人がいますが、これは、トレーニングの結果なのです。普通はもう少し寝ないとだめです。だから、食欲、性欲、睡眠欲、この3つに関してなかなか超えられない。だからこれは、ある意味で埋め込まれたとすると、ロボットも基本的な情動に関しては、埋め込んでそんなに不思議ではない。問題はそこから、どういうふうに、

その感情が分化していく可能性があるかです。そしてそれは、お母さんとのインタラクション、お母さんとの相互作用を通じてできる可能性があるのではないかとということで、これは発達心理で直観的親行動、英語でいうと「intuitive parenting」というのですが、これは、実はお母さんが赤ちゃんの真似をしているのです。例えば、歩いていて躓いたりします。「うえーん」と泣くと「あら、痛かったのね」と痛い顔をする。そうすると、赤ちゃんは自分の情動状態に対応する自分の顔は見えないけれども、お母さんが自動的に自分の情動状態を反映してくれているのです。ですから、赤ちゃんは、自分の内部状態を表す顔は、お母さんが出してくれるという仮定を置きました。これは、直観的親行動の仮定ですが、それで自分の内部状態に対応するお母さんの顔の関係をどんどんと学習していきます。そうすると、ちょうどお母さんの顔をいつも見た時には、それが自分の内部状態とどういう対応をするかがわかってきます。悲しい顔をするとお母さんは今悲しいのだ、嬉しい顔をするとお母さんが嬉しいのだとわかる。できたロボットは、共感しにくいロボットなのですが、内部状態とお母さんの顔の表情を対応させますが、お母さんの顔の表情がある程度顔のパターンを分類していきまして、それを自分の内部状態と対応付けていく学習をしていきます。先程言いましたように、外部刺激、お母さんの顔と自分の内部状態との対応をとって、それをマッピングしていきます。ヘブ学習というのは、実は脳の中で一番基本的な学習で、同時に発火したらそこを一緒にくっつけましょうという単純な学習方法です。それしかやっていません。

これが今ニュートラルの状態です。怒りました、怒った顔をしています。そうすると怒った方の情動状態に移ってきます。これ、ちょっと怒ったような顔に見えますでしょうか。これは普通の顔に戻っています。そうするとロボットの方が普通の状態に戻っていきます。これは、驚きの顔です。そうするとロボットもびっくりして驚く顔をします。嬉しい、ハッピーはこのような顔をするという形で、共感しにくいロ



ットです。これが何の役に立つかという困るのですが、基本情動の軸の上でインタラクション、相互作用通じて、二次情動、社会的な情動を生み出すメカニズムではないかという提案をしています。苦笑いなどがどのようにして生まれてくるのかをこのような基本情動がどのように分化していくかの願れかと思っています。

次は共同注意という面白いテーマですが、少しスキップしまして音声の方にいきますが、共同注意というのは、コミュニケーションの問題として、とても面白いのですが、ビデオだけお見せしますが、このような状態で、このようなロボットがいて、対象物を見せてこれを一緒に見ましょう

という視線追従の実験をしたのですが、まだまだコミュニケーションには至りません。

どういう学習をしたかといいますと、基本的な学習は、お母さんは易しく教えてあげる。つまり、正解であったら褒めてあげる。間違っていたら「間違いよ」ととても易しく教える。その教え方を段々と厳しくしていく。赤ちゃんの方はレンズ系が未発達で、最初ぼけています。それが、徐々に画像が精緻化していくことを使っています。これを両方組み合わせる実験をしました。細かく説明すると時間がありませ



るので、スキップします。共同学習の発達をしたのですが、面白いことは、お母さんが易しいところから厳しく教えることで、とても学習が加速したのです。ところがロボットの発達、つまりレンズ系が未熟でぼけた画像から始めると学習は遅くなったのです。ですから発達が邪魔をしたのです。けれども何がわかったかという、学習後のパフォーマンス、学習中にトレーニングデータで学習するのですが、それ以外のデータ、未経験のデータに対するパフォーマンスに対して、ロボットのレンズ系、視覚系が未熟な状態から始まった方がよかったのです。これは、言語学習の (Start small) と同じですが、ハンディがあることが、実は発達を促したのです。考えてみると、単純なことです。これは首を振ってお母さんと視線合わせをします。その首を振っている時に縦振りと横振りがあるのですが、最初から画像が鮮明ですと、それを全部説明しようとして、縦振りも横振りも全部一緒になってしまうのです。ところが、画像がぼけてしまうと、横振りが最初に出てくるのです。専門用語でいうと、主成分分析を自動的にしたというのですが、一言でいうと、木を見ず森を見たのです。そうすると、最初に大まかな動きや構造的なものが出てきて、その後、付加的な動きが出てくることを自動的に学習したということです。だから、発達の未熟なことが、ある意味で功を奏したということです。

次に音声模倣の話をする。我々の一つの目標は、人間と同じようにコミュニケーションをしたい、それも表層的なコミュニケーションだけではなくて、きちんと声を真似したいということで、赤ちゃんの音声模倣の実験をしました。赤ちゃんは、お母さんから少し声を聞いているらしいのですが、発声する方は、まだ母胎の中でやっていないのではないかと誰も証明はできませんがそう考えています。だから、聞くことと声を出すことの間にはどうも知識がないだろう、未成熟なので、お母さんの声をそのまま真似できないことになります。にもかかわらず、お母さんと共通の母音を発することができます。

ロボットはどのようにするかというと、ここでは、人間の母音を獲得するロボットを作る。その時には、先程言いましたが、どんなメカニズムか、つまり人間も同じで、遺伝的情報としてどんな

機能が埋め込まれたかと、お母さんはどう行動したらいいのか、この2つが設計のポイントになります。つまり、ロボットの中身と人間の行動、それで実際に、お母さんと赤ちゃんがどうかというと、乳児と母親が互いに真似をし合っているようだということがわかりました。お互いに真似をすることで、お母さんが赤ちゃんの真似をする。そのことによって、赤ちゃんが、自分が真似されたということでまた喜ぶ。赤ちゃんがお母さんの真似をする。そうする

と、お母さんが、自分の真似をしたことで喜ぶ。相互模倣することによって、発声機会が増え、練習しているのではないかと、つまり身体構造が違うにもかかわらず、このような相互模倣することによって、母音を獲得しているのではないかとということで、ボーカルロボットを造りました。これは、フォルマントと呼ばれる空間がありまして、これは、音声スペクトルをとって、低い周波数からのピークをとって、第一ピークを第一フォルマント、第二ピークを第二フォルマントとしますが、第一フォルマントと第二フォルマントの空間を作ると、日本語の女性は、この辺りにきます。

これが、日本人の女性の平均的なフォルマント分布なのですが、この辺りしかロボットは声が出ないのです。発声域が全く違うのです。これは、逆にいうと、赤ちゃんと同じ状況なのです。赤ちゃんはお母さんと同じような発声域ではないのです。にもかかわらず、対応がとれていくわけです。それをしようということです。ロボットは先程言いましたシリコンチューブです。これは、変形ができます。ここに音源があり

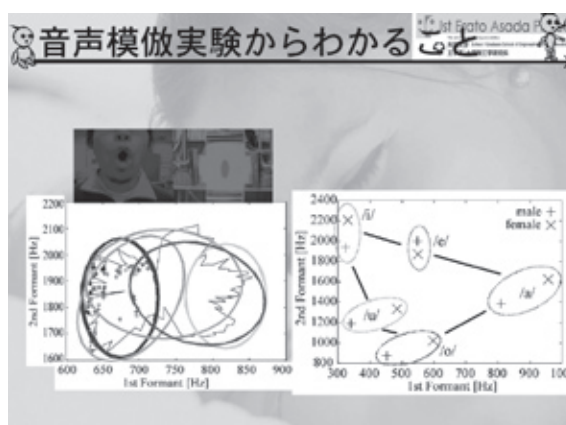
ります。電動のバイブレータですが、これは治療用の道具で、ここに当てて、口の形を変えると、ちゃんと音が出てきます。つまり、ここで音が出て、このシリコンチューブを変形させることで、いろいろな音を出していきます。ここに頭があります。ここに聴覚層、構音層とありますが、これは発声する方です。脳でいうと、中脳から脳幹とこの辺りになりますが、これを簡単なメカニズムとしておさえます。やったことは、何かというと、オウム返し教授で、お母さんはロボットの声を聞いて、それが「あ」と聞こえたら「あ」と返す。「い」と聞こえれば「い」と返すということをします。そうすると、ロボットは、今自分が発声した構音ベクトル、すなわちどのようにして、このシリコン

音声模倣実験からわかること

- 目的
人間の母音を獲得するロボットをつくる。
- 問題:
- どんなメカニズムが埋め込まれるべきか?
- 人間はどう行動したらいいか?

ロボットの
中身

人間の
行動



チューブを変形させたかというデータと、お母さんの声を聞いたフォルマントのデータを合わせます。このポイントは、普通は、音声情報処理は、一方的にパッシブに音声を処理するだけなのです。でも、人間はなぜ、音声を聞いて分かるかかというと、自分がその音声を発声できるから理解ができるのです。単純な話でいえば、大人の会話を子どもが聞いてもわかりませんが、子どもが全くわからないかということそうではなくて、大人の会話の部分、部分を取ってきて、それをつなげて、正確ではないにしろそんなに違わない行動が出てきます。つまりなぜ、多少理解ができるかという話と絡むのですが、感覚と運動を同時に結合させています。つまり、音を聞くことは、自分が発声する音をそこで再現することによって、その音を理解していることを表していることで、ここをつなぎます。学習していきます。そうすると、この第1期の例です。

ロボット音声：「あー」「いー」「うー」「えー」「おー」

浅田：聞こえますか。「お」が少し難しいのです。これを聞かせるとどこが赤ちゃんの声かと言われるのですが、これは、電動のバイブレータを使うのですが、実際の人間と同じ空気圧を使うとこういう声になります。

ロボット音声：「あー」「いー」「うー」「えー」「おー」

浅田：生々しくないですか。人間の肺と同じように空気を使って、音を出しています。

ロボット音声：「いーあーいーあー」

浅田：これは「いやいや」と聞こえますが、実際は「いあいあ」と言っています。もっと言いますと、実は口の形も見えています。これは「あ、い、う、え、お」の形で、口の形を決めることによって、この音声学習が早くなります。

ロボット音声：「あー」「いー」「うー」「えー」「おー」

浅田：本当は、「あいうえお」で口が動くのですが、大体1ヵ月に一度破たんして、唇を作り直すのです。ビデオで見るともっと痛々しいのですが。このような実験をしています。

一つ面白いのが、我々、今ロボットを発声させることをしたのですが、人間側にロボットの真似をしてくださいと言った時に何が起るかということをしたのですが、実は、6ヵ月まで赤ちゃんは、NHKスペシャルでもありましたが、あらゆる言語の母音を識別できるのです。それは、連続的な音の変化を感じることができるのですが、6ヵ月を過ぎると、母語にチューンアップされてしまって、これはマグネット効果といいますが、「あ」と「い」の音の中間音を、6ヵ月までは

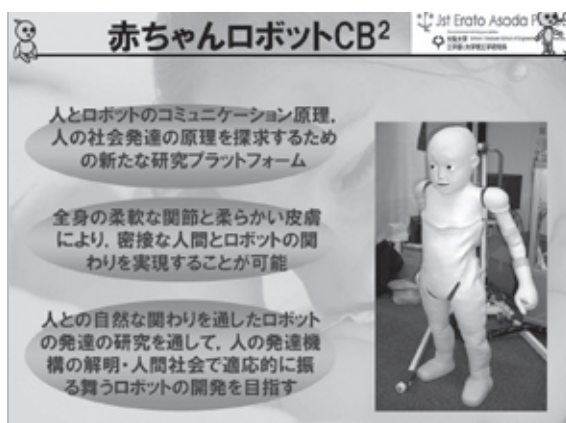
認識できたのですが、6ヵ月を過ぎるとどちらかにしか聞こえない。これがマグネット効果です。我々の日本語という言語の中で起きている症状です。日本人は「L」と「R」が識別できませんが、欧米人は明らかに「L」と「R」は違います。それと同じ話です。これを実際に試してみたのです。そうすると、ロボットにランダムに音を発声してもらいました。人間側にこれを真似してくださいと言いました。普通は、同じようなところに返ってくるだろうと思ったのですが、実は自分の母語の母音のまわりに固まってしまった。つまり、母音は発声してくれとは言わずに、音の真似をしてくださいと言っているにもかかわらず、ヒトは自分の母音を中心とした音でしか返していないのです。ということは、先程、相互模倣すると言いましたが、相互模倣はお互いの真似をしているのではなくて、実はお母さんは自分の方へどんどん引き込んでいるということをしている。だから子が親に似るといふことの原点であると思います。

最後に私たちが造ったロボットをお見せします。赤ちゃんロボットというのを造りました。これは、昨年の6月にプレス発表をして、世界中のメディアが来まして、過労で倒れて、去年の9月にクリニックに行って再生して帰ってきました。皆さんが今日これをどう感じるかというのが、今日のテストです。

実は、これはアンドロイドを作っている石黒先生のチームに開発していただいたの

ですが、身長1.3メートル、30キロ、少し大きいのですが、プロポーションは1.5歳児ぐらいです。反射的な行動を埋め込んでいて、音に反応する、光に反応する。適当に動いて、全身に触覚があります。200個の触覚センサーがあるので、触られたこともわかります。今、足をぶらぶらさせていますが、これは、空気圧アクチュエーターで柔らかい動きを作っていくロボットです。しかも声を出したりします。これは我々が赤ちゃんの発達の実験をするために開発したロボットです。

今と同じところを上から見たところですが、これは今、足をバタバタさせています。音を出してこちらに向けようと、音のした方向を向くとか、ヒトの顔とか光が好きのようにしています。撫でられると嬉しいとか声を出したりするようにしています。先日、小児科医の小西先生にこのビデオ



をお見せすると、足の動きが自閉症的であると言われまして、我々は意図したつもりはなかったのですが、両方の足を揃えて動くのですが、普通の子どもはそのようなことをしないそうです。今、上から光を見せて「おいおい」と言っています。この光を見せて、こちら側において、寝返りを打てということで、この動きが自閉症的だと言われました。我々が知る限りでは、世界で初めて人間と物理的な接触をしたのです。このロボットは自分一人では立てないのです。ですが、ちゃんとアシストしてあげると立ちます。この実験は、誰でもできます。私は1回失敗をして2回目でうまくいきました。JSTの人がきて、1回目で成功しました。先日は、タイの王女が来て試しましたが、気持ち悪いということで失敗しました。うちの学生たちは、完全に入れ込んでいて、可愛くてしょうがないようです。皆さんもビデオで見ると気持ち悪いと思うでしょう。色を見て気持ち悪いし、動きを見ても気持ち悪いのですが、メディアの人が来て、実際に見ると、可愛いと言います。リアルなものを見るとたぶん違うのだと思うのですが、いずれにしても、このような物理的接触が可能なロボットを造りまして、全身の運動をどうアシストしていくか。これは実は、工学的には、51個のモーターが入っています。工学的には、51個のモーターを同時に制御することは殆どできないことです。ところが、これは元々、正確に制御できないのです。最初のポイントと中間点と立ったポイントの3つの目標を与えているだけなのです。ものすごくいい加減な制御なのですが、それでも動きます。その理由はいくつかあって、実は、このロボット自身が質量分布、構造が非常に人間に似ています。元々それを意図して作っています。ということは、実は、制御する時に、我々もそうですが、歩いている時に、右足、左足を揃えているという意識をしません。普通は、何をしているかという、ホンダのアシモの歩行は、ひざを伸ばす、伸ばさないという話もありますが、やっていることは何かというと、運動の軌跡を作って、常時その軌跡を保つようなサーボ系のフィードバックをかけているのです。これは、普通、人間は殆どしません。普通の人間は、倒れるようにして歩いているのです。アシモのようなことをしている時は、どういう時かという、実は、崖っぷちを歩く時です。その時は、怖いですから、恐る恐る歩きます。それは一杯に力を入れていきます。これが、普通のロボットがやっていることです。とてもエネルギー効率が悪いのです。ところが、本学の細田耕先生が開発された、この空気圧のロボットは、ダイナミクスというか、先程の起き上がりロボットも同じですが、ロボット自身が持っているダイナミクスをうまく利用して、わざわざバランスを崩して歩いているのです。つまり、静歩行、これは、どの瞬間でも止まれる。ですから重心が必ず、安定しているところにきている。やってみてください。とても疲れます。普通はそうしない。わざわざバランスを崩して歩いているのです。そういうこともあって、このロボットは、とても自然に近いダイナミクスを使っているロボットです。ということで、いろいろありますが、時間がございませんので、最後のメッセージをいいますと、我々はロボットを造っていますが、ロボットを造るという目的の一つは、ロボットを賢くしたい。その賢くしたいミステリーは、人間はどうやって賢いか、そのために赤ちゃんを調べる。赤ちゃんを調べたことを単にロボットに移すだけではなくて、赤ちゃんのミステリーを探るためにロボットを使う。だから両方の意味で使っているということです。皆さんも、赤ちゃんの発達を看ていく職業に携わるとは思いますが、いろいろな子どものアプ

ローチ、いろいろなやり方があるということで、お子さん方が個性を持つように、実はロボットもとても個性があります。それだけは最後のメッセージとします。どうもご清聴ありがとうございました。

一色：浅田先生どうもありがとうございました。最後に浅田先生からご自分のメッセージもおっしゃっていただきましたので、効率よく、どんどん深めていきたいので、続いて友田先生、今の基調講演のパネリストとしてよろしくお願いします。

友田：私が小学校1年生の時に、書いた作文があるのですが、それは賞をいただき新聞にも記載されたのです。その時私は、鉄腕アトムが大好きで、「ウランちゃん」というタイトルでした。今回、浅田先生のお話を伺うということで思い出したのですが、私は、ウランちゃんになりたいと作文に書いているのですが、最後のフレーズが、「でも私は、ウランちゃんにはなれない。なぜならば、人間だから」と書いてあるのです。その時私は、人間とロボットの違いというのを知っていたのかどうか分かりません。しかし、今も人間はロボットとは違うと思っています。それは当然です。命は一つ、そして、誕生の仕方はランダムで無限大の組み合わせの中で誕生しますから、同じヒトは誕生しないという原則、そしてその組み合わせは人智の及ばないような法則に基づいて、気の遠くなるような経過を辿り、生命は一つひとつ誕生していることを皆さんも私も学んできました。今や人智の及ばないような生命の法則も様々にわかってきているのも確かです。人間から赤ちゃんを読み解くのではなく、ロボットから赤ちゃん、つまり、人間のはじまりを解いていくという考えが始まっていることに私は今、驚きを隠せません。膨大な知識と知恵と未来像を持つてのプロジェクトをお聞きしながら、私はここでは、命の始まり、子どもの誕生の神秘について、少し触れてみようと思います。長い時間をかけた誕生の話をビデオと私の話で議論にもっていきたいと思います。

生命が卵子と精子の受精によって始まるというのは知っています。このことは、過去から未来へと連綿と受け継がれてきたことにあります。受精という生物学的な現象は、種の保存という目的だけではなく、人間自身がそのように意味づけてきたのですが、人間同士の情感の世界で起こることがその神秘さに美しさを与えているのだと思います。科学でそれは、生物の特徴のひとつ「生殖」であり、人類の未来のために新しい遺伝子を組み合わせることです。つまり、父親の精子23本の染色体にのっている遺伝子と母親卵子の23本の染色体にのっている遺伝子が組み合わさることです。精子と卵子にのっている遺伝子は、それぞれ父方と母方の祖先から伝えられ、個体が減びてもその遺伝子の伝承者として未来へつなげていくというものです。さらにその46本の染色体を半分に減らすため、父と母それぞれの祖先から受け継いできた、どちらかの染色体の上ののっている遺伝子を分けて、精子と卵子に送りこまれてきます。その送りこまれ方は、ランダムで、無限大の組み合わせがあると言われています。そのため、同じ遺伝子の組み合わせを持つ子どもはいないのです。つまり同じ人間は一人としていないということです。また、その生命体としての人間は、肉体と精神から成り立ち、シンプルかつ複雑な有機体なので

す。さらに遺伝子は、初期の結びつきにより決定づけられることはなく、遺伝子は環境によって傷ついたり、変化したりすることも分かっています。そして環境により、神経組織を通して個体の持つ素地は変容します。つまり個体、私たち一人ひとりの身体の感覚器官を通して認知される時、初めて心理的次元で事実となっていくのです。ですから卵子の素質、つまり遺伝子そして発生の生い立ち、つまり発達、これが実は胎児から始まっているのです。ビデオを観てください。

(ビデオ開始)

ビデオ音声：こうして受精が行われ、ひとりの人間の成長がこの瞬間から始まるのです。受精後2日目で、御覧のように卵細胞は2つに分裂します。そして次に4つ、3日目で8つに分裂成長していきます。すべての哺乳類と同じパターンに従って、人間の生命の出発は、その細胞分裂から始まるのです。このように世代は次から次への新しい世代になりますが、その新しい生命の中にも、人間の祖先からの遺伝因子が引き継がれているわけです。こうして、一人の人間としての将来を決定されたこの生命は、秘めやかな中にも力強いすばらしい発展を始めました。

4週目、細胞はまだ尻尾をつけたアメーバ状の形をしていて、その長さは4ミリぐらいです。透視してみると、真ん中に黒いなまり状の神経管である、脊髄になるべきものが見えます。母親はちょうどこの頃、つわりなどの症状で妊娠したことを知るようになります。20日目前後、神経器官に続いて、心臓ができ、働き始めます。ここに、本当の生命の躍動が開始されたのです。心臓が形づけられるまでの4週間を見てみると、最初は単に膨れた管であったものがS状に曲がり、内部が3つにそしてさらに4つの部屋に分かれます。この時期が心臓に奇形を生じる一番危険な時なのです。従って、母親は病気に注意をし、精神の安定を図るよう努めなければなりません。小さな生命の成長を妨げるニコチンやアルコールは止めなければいけません。こうして心臓はまだ、米粒ぐらいの命をコントロールし始めたのです。

5週目、まだ胚芽と呼ばれる胎児は、6ミリほどになり、手足が現れてきます。腕2本がまず現れ、続いて足が現れます。数百万の絨毛によって、子宮の壁に密着している胎盤は、母体からの栄養や酸素を分泌し、絨毛を通して胎児に補給します。同時に胎児が出す炭酸ガスを胎盤により吸い取り、母親の身体から吐き出すのです。胎盤は透明なへその緒の中を通る2本の動脈と1本の静脈とによって胎児とつながっています。

20日目頃になると、1.7センチから2センチぐらいの大きさになっています。身体の下の方に黒く見える肝臓は胎児の身体に比べ、非常に大きく見えます。少しずつ手と指の形ができてきました。まず、平たい貝のような手の中に浅い5列の溝ができ、それが段々と深くなり、やがて5本の指ができてくるのです。頭部の黒い輪は目になる部分です。この目は既に受精して20日目頃にはできていたのです。神経系統の元は、一本の神経管でその先端の部分は膨らんで、3つの部分に分かれます。それが後に脳となるところです。この頃になると、頭部血液循環が盛んなため、脳髄の発育が進み、頭は著しく大きくなり、全体の半分ぐらいを占めています。2ヵ月目になる

と、胎児は、3.5センチぐらいの大きさになります。これは、受精卵の4万倍以上の大きさに成長したわけです。この頃から、本当の意味で胎児と呼ばれるのです。もう既に人間なのです。そして鼻や口もできはじめ、手足の指の関節が形づけられるのもこの頃です。筋肉も発育し始めます。胎児は3ヵ月目頃から、少し動き始めましたが、母親がその動きを感じるのは、5ヵ月目以降のことです。

胎児の命を支えている心臓は、疲れを知らぬように動き続けます。その心臓のたくましい鼓動をお聞かせいたしましょう。

(鼓動の音)

胎児の遺伝的性は、受精が成立した瞬間に決定しますが、それがはっきり性器に現われ形づけられるのは、2ヵ月目と3ヵ月目の間です。これに先立つ時期に母親が科学的に合成した強力な黄体ホルモン乱用すると、女の胎児が男性化し、性的奇形児にする恐れがあります。羊膜に包まれて羊水の中で成長してきた胎児は、今や完全に目が瞼で覆われています。

3ヵ月目になると、ほとんどの器官の形成が完了するのです。もう奇形児や流産になる危険はほとんど去ったといえるでしょう。4週目頃できていた脊髄を守る精髓骨も成長してきていて、脊椎動物であることをはっきりと表しています。へその緒も太く長くなり、血液の流れは、毎分4分の1リットルに達するほどです。それは、文字通り命の綱として、胎児がこの世に誕生する瞬間まで、胎児の命を預かっているのです。胎盤はその粘膜が薄くなるにつれて、母親の病気に対する抵抗力をそのまま胎児にも引き移します。つまり、胎児にも抵抗力がついたわけです。3ヵ月半頃になると、爪ができてきます。手足の指には指紋もはっきりしてきます。足は手より成長がやや遅いのです。やっと足の指が揃ったところです。きちんとしたスケジュールによって細胞がまとまり、組織となり、次に器官となり、最後に人間が形づけられていくのです。

4ヵ月半、胎児は、身長約25センチ、体重250グラム前後になりました。5ヵ月目になると、身長は約30センチ、体重は500グラム前後になり、胎児の顔つきも人間らしくなってきました。頭に髪も生え始めます。また、皮膚は半透明で、しかも血管が透けて見られます。羊水の中に浮かんだ胎児、今まで静かな成長を続けてきた胎児は、この頃になると、盛んに動き始めます。母親の感じる最初の胎動は、雛の羽ばたきにも似て、かすかなものですが、段々その衝撃は強くなり、たくましく成長している新しい生命は、胎動を通じて母親に話かけているかのようです。それから約5ヵ月の間、それはまるで宇宙船のような胎内で胎児は、寒さ、雑菌、その他の危険から守られながら、出産の日まで、ゆっくりと発育をし続けるのです。270日に及ぶ母の胎内での営みが終わり、この小さな生命は、やがて、すばらしい夢と可能性を携えて、青空の元にでてくるでしょう。

(ビデオ終了)

友田：同じ、遺伝子を持つ子どもがいないということ、受精後から始まる生々しい外界との関わり、つまり、胎児から子どもの生い立ちにより、同じ生い立ちを持つ子どもがいないということ、出生後は、毎日24時間のアクシデントによって、ヒトから人間へと成長発達していくため、同じ遺伝子を持たない、そして同じ生い立ちを持たないことによって、ランダム化されているものが、アクシデントの感受性、つまり、感覚を中心とした認知には、同じものがないと考えられます。そういった生命体の子どもが自分自身を信頼するということを、出生後、約1年かけて体験、体得したことにより、はじめて子どもは、子ども自身の勇気が生まれ、外界の事物に生体的に触れ、そして、社会とコミュニケーションをとり、他者を受け入れ、社会性を身につけてそして発達をすると考えられています。また遺伝子のレベルで、プログラムされたように成長する、つまりみんな同じ発達の道筋がある生命体が、母体では、母親の摂取するもの、食べ物、嗜好品、また、母親の気分、体調、病気また、母親を通して社会の環境などの影響を受けて、胎内で変化しています。出生後は、社会、疾病、人為的問題の側面から、常に、健康、つまりそれは子どもの成長発達ですが、健康への脅威が待ち受けています。例えば、疾病でみますと、母乳感染、ウイルス、真菌、細菌などの感染、先天疾患、慢性疾患などがあります。社会でみますと、温暖化、酸性雨、環境ホルモン、海洋河川などの汚染、環境アレルゲンなどがあります。人為的には、戦争、テロ、暴力、交通社会、添加物などの食品汚染、有機リン系の化学物質などがあります。これらは、日々の暮らしに染み込むように身体を犯し、そのことが子どもの成長発達、および疾病構造と関連性があることは想像に難くないです。このように遺伝子プログラムのような管理的な整然さの中に、日々の24時間のアクシデントによって、誰ひとりとして同じメカニズムで成長発達をすることはない。つまり、代謝などの生理的相互作用と行為による心理的相互作用の構造が次の構造へと、個体と環境の相互作用という行為によって変換され、その発達に個性が生まれていくと考えます。それらを共通認識した上で、赤ちゃんロボットの誕生により、外界からの刺激により、しかも、マイナスの刺激、これは、感染、暴力、汚染など特に子どもの成長発達を大きく左右するだろうと思われる刺激と捉えていますが、子どもはそのようなマイナスな刺激に対して、どのように反応をし、それが発達にどのように影響し、従来の成長発達のプログラムとは違った成長発達へと変容するのかを現在の赤ちゃんロボット研究から分かっていることがあれば教えてほしいと思います。赤ちゃんロボットには個性がないのではないかと考えていたのですが、浅田先生は個性があると言われました。これだけの子どもの遺伝子のランダム性、出生するまでの生い立ちの違い、そして出生した後もまた変容する子どもとしてとらえていくと、同じ人間がいない中で、ロボットがどのように個性へと発展するのかを学びたいと思います。赤ちゃんロボットに200の触覚を持っているとおっしゃいましたが、感覚器の人間と何が違うのかも学びたいと思いました。つまり、同じヒトはいいという認識の上に立って、ロボット赤ちゃんが今誕生しようとしているわけで、そこから見えてくるヒトをもう一度見てみたいと思います。

ありがとうございました。

一色：ロボット学から浅田先生、小児看護学から友田先生ということで、中々面白いテーマが出

てきたのではないかと思います。今の友田先生のお話を伺っていると、人間の赤ちゃんは、神秘的であり、いろいろな違いを持ってランダムに無限の組み合わせで生まれてくるし、生まれた後の環境の刺激からもどんどん違いが出てくるというお話で、そこのところから赤ちゃんロボットに期待することとか、違いなどのコメントをいただきましたが、これに対して浅田先生のお話では、工学というのは、計測できる、再現性があるところから、赤ちゃんの特徴を捉えて、そこから出発して、新しいロボットを造りたいというお話でした。まずは、人間の無限性なり神秘性などに対して浅田先生はどのようにお考えか伺いたいと思います。

浅田：最初の質問にどれぐらい正確に答えられるか自信がないのですが、少なくとも人間のミステリー、人間に似たロボットを造ろうと思えば思う程、人間のミステリーが深まっていく感じがします。個性の話で言いますと、実は、工学的には、均一のものを造るのは、ひとつのミッションとしてあります。本来であれば、同じものを造っていくという均一性があるのですが、明らかに変わってくるのは、先程の音声模倣のロボットでありましたが、お母さんがスウェーデン人であれば、スウェーデンの母音になります。ごく当たり前の話ですが、実験をしていますが、わかります。それから学生が変わったらロボットは変わります。つまり、お母さんの教え方が全然違うと変わります。もっと言いますと、うちの学生が音声模倣でオウム返しをするのですが、聞こえないよう音も返しています。それぐらいしてあげないと、ロボットの声がでない、母音を獲得しないということなのですが、教え方によって全く変わってくる要素がたくさんあります。

それから共感ロボットもそうですが、当然顔のパターンがお母さん特有になっているので、他の人の顔のパターンから表情の判断をどうするかという問題も残っているのですが、それにしてもお母さんによって、左右されて、共感の出し方も変わってきます。もっと言うと、易しく教えてあげないと学習もできない状態になっています。見えてくることは、個性というよりは、言うことを聞かない、思った通りにならないのが実情です。ならないところから何か違うもの、なぜそうならないのかという疑問からどんどん深まっていくことがありまして、非常に単純なことしかやっていないにもかかわらず、その単純なロボットですら、実は、解決できていない部分があるので、ましてや、人という存在をどう理解するかは、途轍もなく完全な回答はありえないのですが、むしろ多様な解あり方を理解し、それをお互いに認め合う中で何か新しい解、考え方が出てくるのではないかと、その中にロボットも入れていただいてもいいかなという非常に謙虚な気持ちでおります。

一色：浅田先生がお話になった中で、私が感銘を受けたのは、一つの特徴として、人間は真似をする生き物であるというポイント、親が子どもを巻き込んでいっている。そのような現象をうまくロボットに入れていくことができないかという点です。赤ちゃんが成長していくための人間の特徴ではないかと捉えたことです。友田先生、その辺りはどのようにお考えですか。

友田：かかわる人の様子を模倣する中で、自身に取り込み、それから個性に変わってくる。ロ

ボットの場合、模倣して、その相手、ひとりのパートナーだけの個性に変わっているようにみえますが、人間は母親の全てを模倣することなく、不思議なことに自身を取り込みたいものを選択して取り込んでいき、またいろいろな人の関わりから模倣し、内在化し、そして自分を出していきませんが、ロボットの模倣の仕方とその個性のつながりというのはあるのでしょうか。

浅田：正直に申し上げますと、まだそこまで至っていないのが回答です。それはなぜかという、今、ロボットに模倣させているという形に近いのです。つまり、ロボットが自ら模倣したいというモチベーションを持っているには至ってはいません。今日お話ししていないのですが、強化学習という学習をずっとやっていまして、報酬を与えることによって、行動を形成していくという動物の行動学習にプラスして、最近、脳科学で、大脳基底核辺りで、報酬を降らす神経修飾伝達物質などが関与しているとか、いろいろと言われていまして、モチベーションをどう出すかは、ロボットになぜモチベーションがいるのかということもありますが、ヒトのミステリーに迫るためには、そのモチベーションの部分にかかわらずを得ないだろうということで、情動というのを、先程は、トップダウンに情動のマップを与えて、それを対応するという簡単な学習しかしていないのですが、むしろモチベーションをどう持つかを根源的に情動の部分はどう設計していくかという問題にコミットしないと、模倣する喜び、模倣したことによって、何が新たに獲得できそうかということに対する予測というか欲というものは、今のところはまだアプローチできていません。その部分まで来た時に、ロボットが本当に価値をもってどうするのだと言われるのですが、ロボット研究者としては、そこまでいけば本望という気持ちもあります。もっと言いますと、アメリカが造ると軍事ロボットになる、ヨーロッパが造るとどちらかということ、機械的なイメージがある。日本人が造ると、「鉄腕アトム」「ドラえもん」でパートナー、ファミリーメンバー、友だちなのです。そこが決定的に設計者が、ロボットに託する意図が変わってきているのです。モチベーションの問題はとても難しく、中々アプローチができないのですが、今後何らかの形で、アプローチして、やっていきたいと思っています。そして、それは、模倣することに対する喜びを根源的にどう持たすか、もちろん埋め込みでやりますと言ってしまうと、それはそれで簡単な答えなのですが、そうではなくて、より根源的に設計論として、きちんとそのメカニズムを明らかにしたいというのがあります。更にいうと、モチベーションを持つ時に、ジェンダーの問題がとても絡むのです。ですから、その辺りの議論を始めると、ジェンダーと寿命、ロボットの寿命は今短いのですが、今は自律神経がないので、自分が死ぬという自分の死に対する恐怖というのがないのです。それがないと、自分が生きていく存在理由みたいなものを、見いだせないのです。それが、私は「火の鳥」なのです。「火の鳥」は生命というものをどう扱うかということ、ロボットを通じて延々と語るのです。そこに非常に本質的な部分があります。最近、浦沢直樹の「ブルートゥ」には感動します。人間という本質を、ロボットを通じてどうアプローチするかという根源的な問題にかなり深く入っていて、浦沢さんは偉い、よく考えていると感心しました。

一色：では、何か質問、感想などありましたら、答えていただきますので、どなたかございますか。

学生 A：最近「絶対彼氏」という、ロボット型の彼氏の話で、ロボットが感情を持っていて、人間を好きになるというドラマがあります。その中であったのですが、モチベーションのことをおっしゃっていましたが、私もロボットが心を持てるというのは信じているというか持って欲しいというのがあって、そのような研究をされているということで、とても興味を持ってました。実際、心とは持てるのでしょうか。

浅田：まず、そのドラマのことを知らないのですが、いろいろな答えがあって、私としては、イエスと言いたいのですが、実は、その答えはあなた自身にある。つまり、ペットに心がありますかと言った時に、ペットを飼っている人は殆どがあるといえます。動物に心があるかという議論もたくさんあって、その時の答えもペットには心があるけれども、人間とは違うかもしれないという曖昧な答えをするのですが、という意味でロボットも心を持つ可能性がある。その判断はあなたにかかっているかもしれない。先程のビデオを観て、可愛いと思って、感情移入しているのは、既にロボットに心が奪われているのですが、それと同じような意味でペットにも心がある。でも、人間の心とは違うかもしれないので、私は、カタカナの「ココロ」とつけるのですが、人間の心のようなものだけれどもそれは人間と同じではない、でも違うものを造る。違うことが分かることによって、人間の心が分かるかもしれないということです。とても曖昧な答えです。

一色：友田先生が、少しずつウランちゃんに近づけるようなロボット学が進んで行けばいいとおっしゃいました。

浅田先生、先程言い残された部分があるかと思いますが、その部分を簡単にお話していただけますでしょうか。

浅田：割と具体的に工学が、赤ちゃんのミステリーに迫られる道具としての意味合いを持っていける事例ということで、母子接触インタラクションを直接計測してしまいたいということを考えました。これは、母子間の身体的接触に関しては、いろいろな方が身体的接触を通じて、心理的安定感とか愛着形成などを言われていて、発達心理の部分でもそうであろうと言われているのですが、量的なデータは何もないのです。元々、これを定量化すること自体が難しかったのですが、そういった



ところで身体的接触を直接計測できる手法を開発し、それを少し評価してはどうだろうかということになり始めました。我々の知る限りでは、世界で初めて計測をしようと思っております。触覚センサースーツというのを開発しました。これは東大が開発した触覚センサーをスーツ型に改良して造りまして、大雑把に言いますと、お母さんと赤ちゃんに同時にこれを着用してもらって、触覚パターンを取るのです。

それと同時にビデオ計測して、視覚的な外からの観測と、圧力分布の観測を同時にしました。意義としては、乳児の認知発達解明、母子インタラクションの仮説検証、質的評価を考えています。母子の接触インタラクションをどういう形が考えられるかということで、母親が乳児に働きかける。乳児が働きかけを感じる。乳児に母親が応答行動する。これは、どのような接触が行われるかを定例的なデータとして、接触部位、圧力情報、時系列変化、姿勢で、何か明らかにできないかと思っています。

まず、スペックですが、母子両方が着用するので、以下の要求を満たすスーツを考えました。物理的、電氣的に十分な安全性、自然な振る舞いを妨げない着用感、触れる部位全体の触覚センサーの分布ということで、結構工学的には、ハードな要求だったのですが、実際に開発したものは、母親のセンサースーツと赤ちゃん用のセンサースーツです。

エレメントの数が504点と224点、お母さんの方で551グラム、赤ちゃんの方は236グラムで、軽量化を目指しました。お母さん用のセンサー部分は、バスト、ウエスト、それから腕の内側、この4つの部分です。赤ちゃん用のセンサースーツはカバーオール型でこのような形です。データの計測はセンサーに特別な力がかかっていない状態から開始して、絶対計測は中々しにくいので、ある意味での校正しながらの相対的な計測になります。その目的として、触覚センサー自体の評価、乳児抱っこ中の接触インタラクションを計測したことです。

これは、JSTのプロジェクトで、脳科学研究者倫理審査委員会を受け、実施しました。0歳から5～10ヵ月の乳児及びその母親22組、男子12名女子10名、抱っこ経験の少ない女性20名で、対比実験をしました。5～10ヵ月に選定した根拠は、言語によるコミュニケーションがまだ行えないということと、外出の負担が少ないことで選びました。実験場所として乳児が安全に運動できるような実験室を大阪大学の工学部研究科の中で作りました。安全性も考慮して赤ちゃんルームを作りました。センサースーツに関するアンケート、赤ちゃん用センサースーツ、母親の観

III. ロボットを通じて知る赤ちゃんの発達

保坂 吉田 國吉 浅田 OS

母親用センサースーツ		
触覚センサ部分	部位	両手、両腕、上半身前面
	エレメント数	504点
カバー部分	カバー	綿ハイネックカットソー
	マーカ	手首、肘、肩、腰
重さ		551g

赤ちゃん用センサースーツ		
触覚センサ部分	部位	胴体、大腿部
	エレメント数	224点
カバー部分	カバー	綿ベビー服
	マーカ	手首、肩、足首、大腿
重さ		236g

察ということで実施しました。この数値は、前半がお母さんで、後半が抱っこ経験の少ない女性の数値です。暑さは、あまり暑くない・やや暑い・暑いかであまり暑くない。きつさは、きつくないところが多いのですが、ややきついというのも多少あります。動きにくいかどうかは、やや動きにくいというのがありました。そのビデオですが、これは、今、お母さんが抱っこしている状況です。ここに触覚分布、今赤いのが点いていますが、その辺りの圧力分布が変化していることを表しています。少し読み取りにくいのですが、圧力分布が変化しているのがよくわかると思います。こちら側が抱っこ経験の少ない女性で、これは一番悪い例だと思うのですが、最初からずり落ちています。こちらがお母さん側で、こちらが赤ちゃん側のデータです。これは、まだうまくとれた例です。なかなか難しくとれていないものもありますが、こんな感じです。これは、赤ちゃんがもう諦めています。詳細な統計資料は説明できないのですが、今言った、触覚分布の時系列、これは、時間的にやりますから、3次元の空間と時間を組みに特徴抽出を使いまして、抱っこ経験があるかないかで、どれくらい違うかという経験をとりました。これは、確率分布ですが、こちらの横の軸が特徴空間のラベルだと思ってください。お母さんに比べて抱っこ経験の少ない女性の方がずれている、同期していないことがわかります。胴体と腕の使い方に違いがあることと、時系列方向にも影響があることがわかりました。少なくとも母親と抱っこ経験の少ない女性とで抱き方が異なっています。実は、これ以外に丸たんぽう、赤ちゃんの人形などを抱っこしてもらいました。

これは、非常に苦勞して作ったデータなのですが、3次元のデータです。実際の触覚分布だけではなくて、どういう3次元の動きをしているかを、カメラ2台を使ってモーションキャプチャーで、撮っています。でも隠ぺいができるので、中々正確にはできないのですが、大体このようなお母さんの動きがでできます。これは、まだ解析に使っていません。が今後、これと圧力分布の両方を合わせて、母子間のインタラクションをきちんと計測して、影響の及ぼし合いがどうなっているかという構造を、解析する予定です。圧力分布だけを見ても、お母さんとそうでないのでは明らかにずれています。母親の方が時系列的によく変化する。胴体で乳児の動きを受け止めているようであることがわかりました。母親センサースーツのデータよりも胴体全部に違いがある。時系列では母親の方がよく変化する、抱き方は乳児を胴体に乗せ、乳児の腰を前腕で支える抱き方である。乳児がある程度動きがとれる。抱く側に動きを合わせるということです。これらは、まだ始めたばかりでして、今後どのようにしていくかは、わからないのですが、いずれにしても、一応、世界初めて定量的データがとれたということです。

実は、友田先生のお知り合いでもある江口先生といって自閉症のセラピーをしている先生がいて、抱っこすると自閉症の子どもは反り返る動きをするということで、それも何かの形でとればいいなと思っているのですが、そうすると、自閉症児がなぜ、身体を反り返るかということで、いくつか仮説をたてて、その仮説を検証するデータが出ればいいかなと思っています。

一色： どうもありがとうございました。それでは、何かご質問、コメントがありましたら、ご発言をどうぞ。

一般 A： 人間の赤ちゃんは生まれてくる時に脳細胞の数がとても多く、それが段々と成長するとともにアポトーシスとして、なくなっていくと聞いていますが、そうするとロボットの場合は一応限定された脳細胞にあたるものを造ってあって、人間の赤ちゃんと根本的に違うのは、たくさんあるのがなくなると最初から必要限度、最小限度のものだけを造ってあるというのがロボットと人間の赤ちゃんの違いかなという気もするのですがいかがでしょうか。

浅田： どのレベルで議論するかによっていろいろとコメントが変わると思います。もちろん、生理学的なレベルで、細胞分割と過剰に生まれた細胞が枝がりされていくという話で、実際のロボットでそれと同じことを物理的にしているかということ、物理的には行っていません。最近、チップの上に有機体を乗せて、怪しげな実験をしている人もいて、そこは、過剰にできた細胞とのコネクションをどうするかという話がされているようですが、その辺りは何とも言えません。ただ、今日お話ししていませんが、我々がやっていることで言うと、自己組織化という学習法をしています。それは過剰にデータをばらまいておいて、それから経験を通じてそれをカテゴライズ、組織化していくという自己組織化学習法でやっています。これは、実際に生物の自己組織化に習った学習法としてやっています。そういう意味では、ソフト的にそのようなことをしています。ただ、それがハード的な意味合いがない、片手落ちではないかと言われれば確かにそうなのですが、少なくともある意味で最初に、過剰に揃えたものから、いかに削り落していくかということをやっているプロセスと見なせなくもないだろうと思っています。

実際に今日、お見せした中でいうと、腕の動きとか、体性感覚と自分の触覚分布とかニューロン再現を作るシミュレーションをしています。腕の動きのニューロンを過剰に造っておいて、動作をしていく過程を通じて、自己組織化していきます。そうすると元のニューロンの数よりは圧倒的に少ない数で、運動を造ったりすることを行っています。多分、それが生物学的な意味合いでの自己組織化に対応しているだろうと我々は捉えています。本当に全く同じプロセスを経ているかというそれは違う、それはハード的な、元も違うのですが、発達する形の中での本質的な部分、つまり、人間としての発達した本質的な部分、今言われた、過剰に生産し落としていくというお話は、我々はある意味でシミュレートしています。単にシミュレートしているだけかということ、そうではなくて、そうしないといけない理由があります。それは最初からどう構造化するかが見えていないからです。だから、最初は全部用意してあげなければいけない。その中からどう構造化していくかを経験、相互作用を通じながらロボットがやっていくという意味合いでは、同じ構造をとっているのではないかと解釈をしています。それは、本当に同じかということ、少し考えますが、とりあえずそういう回答です。

一色：よろしいでしょうか。それでは、他の方でございますか。

一般 B：先程の質問に関連するかもしれませんが、数の情報を与えて学習していくということですが、全くまっさらな状態で学んでいくわけではなくて、学ぶためのメカニズム、プログラムがあると思うのですが、多分、生物でいうと生得的な部分になるかと思いますが、人間のようなロボットを造るという時にその生得的な部分と学習する部分とを分けないといけないと思うのですが、先生はどのように区切りを考えていらっしゃいますか。

浅田：非常に本質的な問題で、認知発達ロボティクスと言った時に、その設計論として埋め込み的、生得的な部分と相互作用を通じて発達する部分をどう分けるか、生みか育ちかという議論ではなくて、むしろそれが非常に複雑ないろいろなレベルで絡み合うことによって、我々ができているということを想定しているのですが、事実上は、我々は分けざるを得なくて、ロボットの中の設計と環境設計とを分けざるを得ないと思っています。その時にどういう原理を使うかということですが、我々は最終的に、一つの目標の半分、人間を知ることと人間に類似した人工物を造るという2つの目標、私自身は表裏一体だと思っていますが、そう見た時に、人間自身の知能、脳の発達の説明をしようと試みるならば、ハード面はとにかく置いておくとしても、人間の中で今現在の分かっている知見の中で、その環境要因、社会的要因も含めて何が用意され、獲得されるかという知見を踏まえて、それに準じた形で、ロボットに用意することを心がけています。その基本には、現在の知見で人間に生まれてくることをまずはフォローしようということです。但し、それを金科玉条の如く信じるのではなくて、むしろそこに対して、その仮説を置いた時に、変な状態、変なことが起きないか、むしろそのことによって、新しい仮説なり、これは先天的ではなくて、学習発達の部分が大きいかもしれない。この部分は学習発達と思っていたけれども、どうしても先天的に埋め込まないとできない部分を検証していくことが、ひとつのミッションかと思っています。その意味では、スターティング・ポイントは、人間が持っていると思われる、生得的と思われるものを入れ込む。先程の音声模倣の話ですと、フォルマント空間を使っているのは、とても強い仮説です。実際人間がフォルマントを使っているかどうかはまだわかっていません。ただ、他の非人間霊長類は、コミュニケーションでどうもフォルマントを使っているようだというので、ロボットも使っていいたろうと、フォルマントの抽出器は仮説として入れました。これが正しいかどうかは、また別問題ですが、これを仮説としておいて、その上で、その能力をベースとしてインタラクションの中でどう使えるかということを考えました。ただ、今のご質問の中でいうと、先程言いましたように、教えるのが日本人であれば、日本の母語になるし、スウェーデン人であればスウェーデン語が母語になるだろうと期待はしています。母音を獲得する過程そのものは、むしろ環境の要因がとても強い。けれども生得的な部分だけでは不十分になります。これをどのように分けたり、どのように組み合わせるかは、生物の例をならっても、とても複雑になっていて、あるものは生得だけれども、その生得性にトリガーがかかるのは、環境要因だし、その

環境要因にとりかかるものがまた生得性に返ってくることが絡み合うので、そのミステリーを一つひとつ解きはぐすしかないかと思っています。

一色：よろしいでしょうか。では、他にございますか。

一般C：どうもありがとうございました。人間の脳は、実際は一生かかって3%から4%使ったらしい方です。後は無駄なのです。ということは、私は無駄を置くべきだと思います。無駄を置いておけば、何か他のことを教えようとした時に、うまく使えるのではないかと思います。脳だけではなくて、例えば盲腸などもあるのですから、そういうのが何かの働きをしているのではないかなと言えるのですから、そのような無駄を持っておくべきだと思います。それともう一つ、母親に赤ちゃんは皆教えられとおっしゃっていましたが、これはチンパンジーでも皆母親が教えているのです。チンパンジーなどは、一度子どもを産むと5年間は次の子どもを産まないのです。その間は、その時間を割いて、子どもを育てるのです。それだけの知恵があるわけです。ライオンにしても狩りをすることが大事でそれを母親が教えるのです。鳥も飛ぶことを教えて、飛び出すことができて初めて巣立ちをするのです。すべて生き物は、親がすべてとは言いませんが、そのようにして成長していつているのです。人間だけではないと思っているのです。母親は非常に大事であると思います。母親が仕事を持っていて面倒を看れないというのは、できるだけやめて、育児休暇をとって育てることを考えていかないと駄目だと思います。

友田：子どもを育むことが、生得的に持っているものと学習、経験することと、産んだだけで育むという一種の本能的なことをおっしゃっていると思うのですが、そのすみ分けは見えていないのですが、母親だけというよりは、親も含めていろいろな人から子どもは育てられるのだと思います。母親が仕事するかどうかという問題に関しては、子どもが育つために育てる人は母親でなければならないかどうかと別に議論してみたいと思います。子どもを育むことが人間に生得的に持っているものがあれば、それは母親だけでなく、それ以外の人でもできることがあると思いますし、生物的に母乳を飲み生きていることからみて、母親が子どもに初期の段階で関わるのが最も合理的、能率的であると思います。お乳も人工乳のものがあ、それが子どもの成長発達にどのような影響を及ぼすのかという研究もされています。つまり母親がいるかないかだけで子どもの成長発達をみることはできないということであり、子どもの発達の不思議なところではないかと思っています。

一般D：今日はどうもありがとうございました。私はよくロボットを見たりしていて、ロボットとよく触れ合っている人を見てみると、その人がどういう気持ちで相手になっているのかということが怖いぐらい見えることがあります。浅田先生のロボットは、人によって変わったりすることがあるようですが、基本的に同じことをするロボットに対して、人がいろいろな自分の気持ちで関わ

るので、本当にその人の気持ち、外から見ていると、ありありとわかることがあって、怖いと思うことがあるのですが、今回の浅田先生のお話を聞いて、心に響いたことは、もしかすると、教育ではわかっていることかもしれませんが、先程、お母さんがと特別に言われたから問題があるのかもしれませんが、お互いに、ヒトとロボットが真似をして、相手が喜ぶからそれを受け入れて真似をして、相手の気持ちを汲んで自分のものにして、またお互いに共感していく、共通に育っていく、その辺りがいいなと思いました。それが母親、父親どちらでもいいのですが、たとえば母乳が出るロボットができようが、育ててくれるロボットができようが、相手が喜んでいるかどうかをきちんと受け止めて、それを表現してあげることが、ヒトの発達にとってもいいのだということがわかりました。

浅田：パトリシア・クールの実験で、お母さんと赤ちゃんのインタラクションをお母さんのビデオを撮るだけ撮っておいて、その場のやりとりとは関係なく赤ちゃんに見せると、赤ちゃんが不機嫌になるとか、リアルでもビデオを介した場合と介さない場合といくつかの実験で、リアルの方が一番心地がいいという結果が出たのですが、そのようなリアリティがあると思います。先程の話で、モチベーションということと言うと、強制的にそのような状況を作ってロボットにさせているだけで、ロボットが喜びを感じているかということ、これは難しいです。多分、基本的には、人間と同じようなレベルを埋め込むと思うのですが、ただ、真似することが喜びとか、真似されることが嬉しいという感覚、他者が自分を真似しているということで、自分の存在感を感じるような枠組みがまだ見えていないのがあって、元々これは、情動の部分であるのですが、真似していること自体が喜びになるかもしれません。人のモノマネをしていると受けるから乗ってくるということもあります。そういった社会的な情動の部分が、まだまだできてなくて、本来人間が社会的な動物ということでは、その部分はとても大きいので、今、音声模倣を共感するロボットとか、じゃれ合うロボットなど、ばらばらに造っているのですが、本来はマルチモデルで、そこに言葉遊びがあったり、簡単な運動があったりという簡単なレベルのインタラクションがあるので、それを今、始めています。共同注意と言葉を覚えることと、音声模倣そのものとかいろいろなレベルは、実は人間の場合は、同時進行で起きていて、多分お互いに影響を及ぼし合っているのです。バラバラにやってきたことを、今、少しずつ、最初から一緒にする。クロスモダルなニューロンがあり、能力を育んでいくか、そこに社会性がどう取り込まれていくかをいくつかモデルを想定してやっています。その中で皆さんにコメントいただいたことに少しでも近い状況が生まれればいいかなと思っています。

一色：では、最後にお二人に伺いたいのですが、私自身も、一番最初はアトムなどの発想だったのですが、どうもそういう発想とは違う、人間に学ぶロボットというところにとっても感心を持ちました。この前の赤ちゃん学会では、東京大学の國吉先生が、基調講演をされて、その時に、一番の大元から考えたい、人間の子宮と同じ環境みたいなものを造って、その中でロボットの赤ちゃん

んが身体的にどのように動いて、何を獲得するのか、そういうことからやりたいというお話をされました。まだまだ人間の赤ちゃんとは、大きな隔たりがあることがわかったのですが、そういうところでも、何かロボット学から人間の赤ちゃんのことが見えてくるし、人間の赤ちゃんからロボットのところへという両面があると思うのです。浅田先生には、今の時点でロボット学から見て、人間の赤ちゃんはどのような特徴を持った生き物であるか。逆に友田先生からは、無限の可能性のある生命を持った人間の赤ちゃんの解明に向かってロボット学が何かできるのであれば、どのようなアプローチ、視点でやっていってもらいたいかをお話いただきたいと思います。

浅田：まず、ロボットの立場から赤ちゃんを見た時にどう捉えるか、これは、ミステリーの塊です。もちろん我々は勉強不足で、随時勉強しているのですが、一色先生のおっしゃったことも含めて、我々のプロジェクトで、人工的にそのようなものを造っていく時に、赤ちゃんとして何が見えてくるかは、あくまでも想定ですが、このプロジェクトが始まる前は、未熟な状態から発達して、どんどんシェイプアップすると考えていましたが、どうも違うのではないかと、未熟という捉え方は、大人である我々が見ている捉え方であって、違う見方なり違う構造をかなり持っている。エイリアンとコミュニケーションをすると、最初共通点がない、けれどもインタラクションを通じて、共通点を落とし込んでいく過程に見える、つまり、赤ちゃんは実は何か多様ないろいろなレベルの何かを持っていて、我々とインタラクションする中で、それが固まっていくという過程があって、それは、お母さんとの間のせめぎ合い、つまり、何かパッシブで構造化されたものがあって、それが順次でてくるのではなくて、むしろ戦いながら出ていく過程がある。いろいろな能力は、時期はずれるかもしれないけれども、大体同じ順序ということがありますので、それは別の拘束が効いてくると思うのです。構造的なものとしては、我々がまだできていない構造の中で、ある種の構造を持って赤ちゃんは世界を見ていて、我々はどうインタラクションを通じて、コミュニケーションできるように落とし込んでいくかという過程は、赤ちゃんと一緒にやっているという見方に変わってきています。ですから、ロボットという変な存在があったとしても、そこでコミュニケーションできるような構造は、赤ちゃんという存在とコミュニケーションしている同じアナロジーが言えないだろうかと思っているわけです。もちろん存在も違うし、いろいろ違いますが、だからこそ、そこに共通点を見出すということが、人間の赤ちゃんの本質を見出す手がかりになるのではないかと。比較認知心理学もそうです。霊長類をみることで、ヒトをみる。我々は、ロボットを通じて人間をみようとする。そのことによって、違うからこそ、何が共通かという本質を見出したいというものがぎです。

友田：人間は人間と社会に育てられて初めてヒトから人間になります。今日は浅田先生のお話を伺いながら、ロボットも育てられるのだということがわかりました。はたして、人間とロボットの違いを見ることが大事なかわかりませんが、違いをみるために、ここで議論をしているのかというと、そうではない気がします。人間を、ヒトを読み解くためにロボットを媒介にみてい

るのだと思いました。看護では、病気から人を見ています。子どもたちが病気になったり、障害を持ったり損傷したりすることによって、感覚器を通して痛み、恐怖を体験し、その結果に発達が変化することもあります。ロボットを活用することでメカニズムが分かれば私たちは、病気になった子どもたちの痛みが起こった時にどのような事前の予防的アプローチができるのかを、病気になるというメカニズムをロボットに組み込めるのであればロボットから学びたいと思いました。子どもの病気でさえ育ちになりますが、病気の恐怖と病気体験により生まれる勇気で新しいものを掴もうとする病気の子どもたちを体験的にみてきましたが、ロボットに勇気を組み込むとどうなっていくのかは期待でもあります。

一色：では、時間も参りましたので、これにて閉会といたします。どうもありがとうございました。