

人がつながる技術

——コミュニケーションのエッセンス

渡辺富夫 (岡山県立大学 情報工学部 情報システム工学科教授)

はじめに

「ドラえもん科学未来展」が日本科学未来館(2010年6月～9月開催)を皮切りに日本全国を巡回中で、語りかけに対して絶妙のタイミングでうなずき反応する身体的引き込みシステム PekoPeko (「ペコッぱ」、「花っぱ」)が人気を集めている(写真1)。のび太の話をウンウンうなずいて聞してくれるドラえもんの大切な聞き手機能を実現したものだ。最近の高知開催(2013年1月6日までの16日間)では約4万人が来場し、多くの子どもたちが PekoPeko に語りかけ、コミュニケーションの不思議さを体験した。PekoPeko は、私の身体的引き込み技術を組み込んだ産学連携の成果物で、うなずき反応に場が和み、癒され、一体感や共有感など、身体的コミュニケーションのエッセンスを体験することができる¹⁾。

このコミュニケーションのエッセンスとは何か。なぜ、その一つの答えが PekoPeko なのか。情報機器を介して人とのインタラクションを促進し、コミュニケーションを支援するヒューマンインタフェース研究、人がつながる技術への思いを、私の研究の原点である母子間コミュニケーション研究の出会いから2つの大きなプロジェクト研究までの35年間の足跡をたどるなかで述べてみたい。

母子間コミュニケーション研究の感動

生体リズムが相互に同調化する現象を、引き込み(エントレインメント)という。1974年、出生後間もな



■写真1 「ドラえもん科学未来展」の様子

い新生児期においても、大人の会話に新生児の手足が同調して引き込んでいるという研究報告がコンドンらによって『サイエンス』に掲載された²⁾。この研究に小林登先生(当時、東京大学医学部教授)と石井威望先生(当時、東京大学工学部教授、私の指導教授)が大変興味をもたれ、母子間コミュニケーションを共同研究することになった。

人間社会システムを形成する最初の基盤ともいべき母子間での言葉のバーバル情報(コード化情報)と行動のノンバーバル情報(非コード化情報)の関係性の解明は、母子相互作用という子どもの発達にとって重要なテーマであった。また、システム工学の観点からも、分娩により母子がハードウェア的に分離するが故にソフトウェア的にシステムとして強くつながる必要があり、それにはコミュニケーションが要で、人間の本性に適した機械の設計やインタフェースといった人間と機械の関係、当時というマン・マシン・インタフェースの研究として重要であった。私は1978年に大学院生として石井研究室に入り、この共同研究に参加した。

まずはコンドンらと同様な方法で追試し、少なくとも母親の語りかけに反応しているのではないかという作業仮説を受け入れた。しかし、このような初期の方法では、人が肉眼で動作分析をしており、精度的にも研究効率の面からも不十分であった。そこで実験手法の確立、データの客観化、定量化、自動高速処理化をすることにした。その結果、従来定性的研究の色彩が強いこの分野に、新たに画像処理装置を試作し、コンピュータ画像自動分析の手法を導入して、新生児期における引き込みを客観的に定量化する分析手法を提案した³⁾。新生児期の引き込みが成人の会話時のうなずき動作反応と類似していることが示され、成人の会話における情報交換の形態が既に新生児期に存在することが示唆された。これをモデル化して、話すレベルメータが点滅する、話しやすいマイク「うなずきマイク」を開発して、1983年に学位論文にまとめた。

本共同研究を遂行する過程で、愛育病院で実験を重ねるたびに、母親の語りかけに対して新生児が手足を動かして反応するのに感動し、「コミュニケーションはリズムである」を文字通り体感した。実験結果の報告会で、小林先生が「赤ちゃんはお母さんの語りか

けに対して何十万回、何百万回とリズムを合わせて引き込むことで、言葉という文化を獲得している」と話されたことに強く感銘したことを今も鮮やかに覚えている。

音声に基づく身体的 インタラクションシステム

学位論文で開発したうなずきマイクは、母子間のインタラクションモデルを基に、成人間での話し手の語りかけに対する聞き手のうなずき反応をアナログの制御モデルで構築したもので、マイクロコンピュータを使用したプロトタイプであり、実用面からは本格的な研究の出発点であった。

そこでデジタル信号処理技術を用いて、成人間の対面コミュニケーションを分析して、うなずき反応が発生する可能性のある区間を会話のリズムから大まかに予測するマクロ層と、その予測区間でのうなずきの開始を1/30秒ごとに音声信号に重みを付けた和（たたみ込み和）で推定するミクロ層からなる階層モデルを提案し、1989年にシミュレーション実験により有効性を示した。さらに、眼（まばたき）、首、肩、腕、腰など20自由度の人型のロボットのハードウェアを開発し、上記の階層モデルを発展させたモデルを導入して、発話音声に基づいてうなずき反応や腕などを動かすタイミングをパソコンで制御する身体的インタラクションロボット InterRobot のプロトタイプを1998年1月に開発した。

ロボットが初めて正常に動作したときは、その聞き手としてのうなずき反応や体の動きなどに学生さんたちとともに感動した。InterRobot は、言葉の意味内容に立ち入らずに音声の ON-OFF に基づいて反応しているだけなのに、話を聞いてもらっているという感覚になるので不思議である。

聞き手モデルを基に、話し手の動作も話し手自身の音声から予測するモデルを構築し、ロボットに組み込んだ。余談であるが、この話し手のモデルを構築する前に InterRobot を話し手として動かしているときに、ある音量以上の入力に対して InterRobot の腕の動きを大きくすると自然な動きに見えることを院生が見いだした。実際に人間の対面コミュニケーションでの話し手の音声と話し手自身の腕の動きの相関を分析した結果、音声と腕の動きの閾値を高くした方が両者の相関が高くなることがわかった。そのモデルをロボットに導入すれば効果があるのは、すでに体験しており確信済みである。もちろん原著論文ではまずコミュニケーションを分析した結果に基づいてモデル化し、ロボットに導入して有効性を検証したストーリーでまとめ

たのは言うまでもない⁴⁾。いわゆる合成的解析という手法で、ある動作が実現できたということは、その動作がわかった、解析できたということである。かくして、話し手及び聞き手の機能を有する音声駆動型身体的インタラクションロボット InterRobot が誕生したのである。

この InterRobot を基に、電子メディアへの拡張として CG キャラクタである音声駆動型身体的引き込みキャラクタ InterActor も開発した。InterRobot や InterActor を介して遠隔の相手と会話を楽しむことができる。InterRobot に話しかけると絶妙のタイミングでうなずきなどの聞き手の反応をするので話しやすく、また相手の音声に基づいて InterRobot が話し手の身体動作をすることで InterRobot と引き込み、一体感や共有感が実感できる。

身体的バーチャル コミュニケーションシステム

対面コミュニケーションでの身体的引き込みは、音声に対するうなずきや手振り・身振りといったノンバーバル情報だけでなく、呼吸や心拍変動など生理的側面での生体情報においても生じている⁵⁾。この結果は、対面でのコミュニケーションだけでなく、対話者の間に衝立をして非対面という非日常的なコミュニケーション環境と対比することで明らかにしたものである。それならばと、もっと徹底的に各種のコミュニケーション情報を自由に制御できる仮想環境で、対話者のノンバーバル情報と生体情報を加工処理することによって身体的コミュニケーションを合成的に解析するために開発したのが身体的バーチャルコミュニケーションシステムである⁶⁾。このシステムを用いることで、対話者の代役（アバタ）である CG キャラクタの VirtualActor の空間的配置、位置、背景などを自由に変化させて、身体動作、音声の韻律情報、表情等の情動表現、それらのタイミングのずれによる影響など、VirtualActor のノンバーバル情報や生体情報の各種情報を除去、追加、加工して身体的コミュニケーションを体系的に解析することができる。

例えば、うなずきの効果を検証したい場合、実空間での対面コミュニケーションでは、うなずきだけで他の動きを止めてコミュニケーションをするのは不可能であるが、仮想環境であれば VirtualActor のうなずき以外の動きを止めて検証することができる。VirtualActor の頭部動作を矛盾的に止めてコミュニケーションすることで、頭部動作がコミュニケーションにいかにか大事かをリアルタイムで実感することができる。このように、対話者と VirtualActor との身体

的行為をあえて矛盾させるなどの矛盾的誘導法（無意識化されている知覚－運動系に矛盾を生起させて気づかせ、その矛盾が解消されていく過程をコンテキストの生成と関係付けて解析）により、身体的行為がコミュニケーションに果たす役割を明らかにすることができる。

仮想空間というバーチャルの世界で得られたコミュニケーション結果や特性は、あくまでもバーチャルの世界の話であって、実際のコミュニケーションとは異なるものであるというコメントをいただくことがある。確かにその通りなのだが、実際の対面コミュニケーションでは解析が困難な矛盾的誘導法のようなバーチャル環境ならでは得られた成果であり、アバタを介したコミュニケーションでの人間特性である。ネットではアバタを介したコミュニケーションが日常生活の中に入り込んでおり、バーチャルの世界でのコミュニケーション特性そのものが意味をもつようになっており、本システムや得られた知見の重要性が増している。

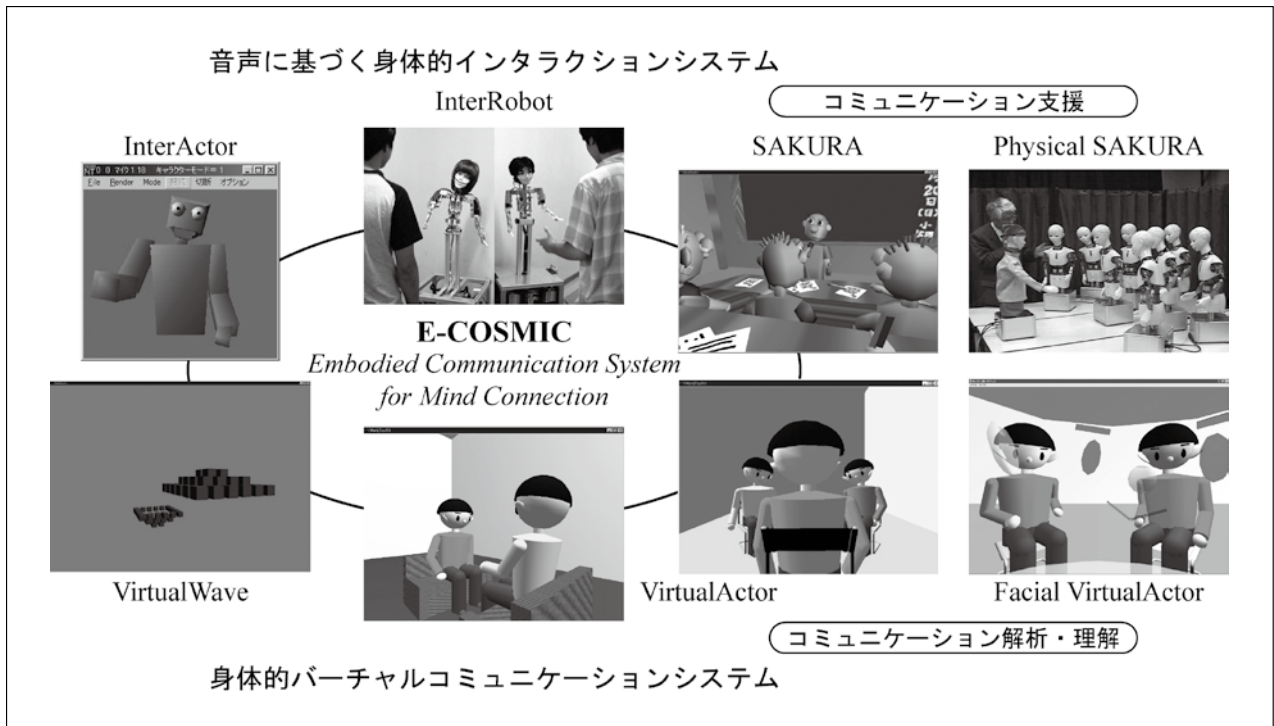
心が通う身体的コミュニケーションシステム E-COSMIC

1997年には、音声に基づく身体的インタラクションシステムのInterRobotの開発と、身体的バーチャルコミュニケーションシステムの開発もスタートした。それぞれ独自に研究開発を進めていたが、まさに研究

の創世記で、1998年には、いずれもシステムのプロタイプが完成し、両者を一つの研究開発のコンセプトとして「心が通う身体的コミュニケーションシステム E-COSMIC」が生まれた（図1）。

E-COSMICは、上記2つのシステムで構成されるもので、身体的バーチャルコミュニケーションシステムを用いて身体的引き込みを中心にアバタを介しての身体的コミュニケーションを解析し、その解析結果に基づいて、音声に基づく身体的インタラクションシステムを開発して、身体的引き込みの重要性や可能性を実証展開するシステムである。E-COSMICは、科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業 JST CREST 研究領域「高度メディア社会の生活情報技術」において「心が通う身体的コミュニケーションシステム E-COSMIC」（2000年4月～2005年3月、研究代表者 渡辺富夫）としてプロジェクト研究に採択され、岡山県工業技術センターにE-COSMICの専用ハードウェア開発で共同研究をお願いし、研究室総出で研究開発を行った。

人は、単に言葉だけでなく、うなずきや身振りなど身体的リズムを共有して、互いに引き込むことでコミュニケーションしている。この身体性の共有が一体感を生み、人とのかかわりを実感させている。子どもが乳幼児から母親（育児者）の語りかけに対して身体動作との引き込みにより言葉を習得してきた以上、身体的リズムの引き込みによる一体感・身体性の共有という基盤があつてこそ、シンボルとしての音声情報の



■図1 E-COSMIC

送受信が心の基底の部分でやりとりできると考えたのである。

このプロジェクトでは、身体的引き込みをロボット InterRobot や CG キャラクター InterActor 等のメディアに導入することで、人とかわるコミュニケーションシステム・技術の基盤を確立した。とくに音声から聞き手及び話し手の豊かなコミュニケーション動作を自動生成する技術は、インタロボット技術と呼ばれ、インタラクションロボット・玩具、携帯電話・インターネット等の音声インタフェース、ゲームソフトへの導入など、教育・福祉・エンタテインメントをはじめ人とかわる広範囲な応用が容易に可能である⁷⁾。

例えば、子どもを元気づけるコミュニケーションロボットというコンセプトで開発したクマ型の InterRobot (InterAnimal) は、2005 年愛地球博でロボットがロボットを紹介する進行役を務めた。現在も各種イベント等で、子どもたちとの会話を楽しみ、その反応に子どもたち以上に展示している我々が元気づけられている(写真 2)。

また、子どもの声に身振りで応えるインタラクション玩具「うなずき君」も商品化した。うなずき君のように反応してくれると、教室で乗って話せると思い実演したが、静かな環境ではモータ音が妨げになった。この経験がバイオメタルを用いて筋肉のように静かにしなやかに反応する「ペコッぱ」、「花っぱ」の開発につながった。

人を引き込む身体性メディア場の生成・制御技術

インタロボット技術を相互インタラクションでの引き込みによるコミュニケーション場の生成・制御に応用することで、場の生成システムとしてプロトタイプシステムを進展・融合させ、集団インタラクション・コミュニケーションシステムへと応用展開して、飛躍的に対話者の身体性が共有でき、一体感が実感できる



■写真2 クマ型ロボット

身体的インタラクションシステムの研究開発を進めている。とくに身体性メディア場の生成・制御技術への開発展開を目指して、本研究開発を基盤に、早稲田大学の三輪敬之教授の「場の統合による共存のコミュニケーション技術」、橋本周司教授の「身体運動による音楽・音響場の生成技術」を統合する新たなプロジェクト「人を引き込む身体性メディア場の生成・制御技術」の提案が JST CREST 研究領域「デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術」に採択され、2006 年 10 月～2012 年 3 月まで研究代表者として研究開発を進めた⁸⁾。

本プロジェクトでは、観客があつてこそ成立するメディア芸術の創造支援を対象として、演者の音声・音響に基づいて引き込み反応する観客 CG やメディアロボットなどの仮想観客を生成して、身体的引き込みにより場を盛り上げ、場の雰囲気をつくる技術の基盤を確立した。その研究成果として、シンポジウム「人がつながる技術」を日本科学未来館で開催し、場の盛り上げシステムのいくつかを実演展示した(写真 3)。落語の口演に観客の椅子 InterChair がうなずきのタイミングで前後に動いて、観客のうなずき反応が身体全体で自然に生成される。その反応に演者も話に乗って場が盛り上がり、場の一体感が促進される。InterChair の開発過程で、自分自身が InterChair に着席してパラメータの設定をしながら研究打ち合わせをしたときに、自分の声に反応する InterChair が後押しをしてくれるのに気がついた。相手の引き込み反応だけでなく、自分自身の引き込み反応も身体が歓んでいるのだと感じた。

CREST 研究総括の原島博先生(東京大学名誉教授)が「人はつながるためにコミュニケーションしている」と話されたときに我が意を得たりと強く印象に残った。「うなずきマイク」を開発して以来、意味がわからずにうなずかれても仕方がない旨のコメントを受け、その度に、話しやすさなど工学的有用性を強調していた。しかし InterRobot を開発し、身体的



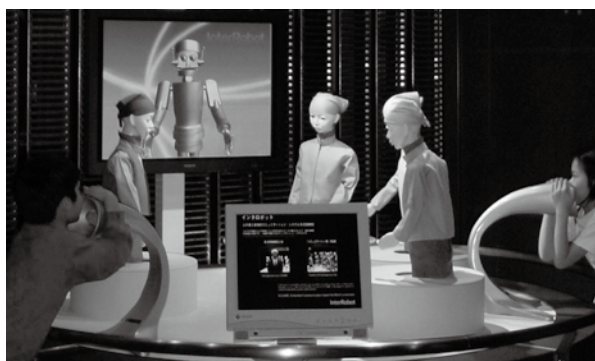
■写真3 場の盛り上げシステム

引き込みによる情動共有や感情移入を自らが体験してからは、心と基底の部分でつながるには身体的引き込みが不可欠だと確信している。さらに、複数の InterRobot や InterActor、身体全体を引き込み反応させる InterChair 等による場の盛り上げ技術の開発により、演芸でも講義でも演者を乗らせることで観客の食い付きもよくなり、場が盛り上がり、一層の一体感や共有感、身体の歓びを実感することができるようになった⁹⁾。

人はつながるためにコミュニケーションをする。それにはコミュニケーションすることが身体の歓び、身体が歓ぶ仕組みになっていなければならないであろう。確かに会話（おしゃべり）は楽しいものである。リズムを合わせてくれるのは快感であり、それが身体的引き込みで、コミュニケーションのエッセンスである。本文の冒頭で紹介した PekoPeko（「ペコッぱ」、「花っぱ」）がまさに一つの答えとする所以である。また、日本科学未来館に複数の InterRobot を用いた集団コミュニケーションシステムが常設展示されているので、身体的コミュニケーションの素晴らしさ・可能性を実感いただければ幸いである（写真4）。

おわりに

身体的引き込みに魅せられて、早 35 年である。現場でのシステム評価には子どもたちの反応が一番で、それに一喜一憂してシステム開発展開を楽しんでいる。子どもから大人まで各種システムを通して身体的引き込みの魅力を感じてもらっているが、本当に身体（脳）が歡んでいることを脳科学、心理学、医学など子ども学の皆様と夢を共有して、ぜひとも科学的に立証したいと考えている。



■写真4 日本科学未来館でのコミュニケーションロボット常設展示

〈参考文献〉

- 1) 渡辺富夫：身体的コミュニケーションにおけるモーション、計測と制御、Vol.48, No.6, pp.448-451, 2009.
- 2) Condon, W.S. and Sander, L.W.: Neonate movement is synchronised with adult speech: interactional participation and language acquisition, Science, No. 183, pp. 99-101, 1974.
- 3) 渡辺富夫, 石井威望, 小林登：コミュニケーションにおけるエンタレインメント（音声-体動同期現象）のコンピュータ自動分析法、医用電子と生体工学, Vol.66, No.6, pp.419-425, 1984.
- 4) 渡辺富夫, 大久保雅史, 小川浩基：発話音声に基づく身体的インタラクションロボットシステム, 日本機械学会論文集（C編）, Vol.66, No.648, pp.251-258, 2000.
- 5) 渡辺富夫, 大久保雅史：コミュニケーションにおける引き込み現象の生理的側面からの分析評価、情報処理学会論文誌, Vol. 39, No. 5, pp. 1225-1231, 1998.
- 6) 渡辺富夫, 大久保雅史：身体的コミュニケーション解析のためのパーソナルコミュニケーションシステム, 情報処理学会論文誌, Vol.40, No.2, pp.670-676, 1999.
- 7) 渡辺富夫：身体的コミュニケーション技術とその応用, システム/制御/情報, Vol.49, No.11, pp.431-436, 2005.
- 8) 渡辺富夫：身体性メディアによるメディア芸術創造支援、情報処理、Vol.48, No.12, pp.1327-1334, 2007.
- 9) Watanabe, T.: Human-entrained Embodied Interaction and Communication Technology, Emotional Engineering, Springer, pp.161-177, 2011.

〈筆者プロフィール〉

渡辺富夫（わたなべ とみお）

岡山県立大学情報工学部教授。1983年、東京大学大学院工学系研究科産業機械工学専攻博士課程修了。工学博士。山形大学工学部情報工学科助教授、米国ブラウン大学客員研究員等を経て、1993年より現職。2009年度 - 2010年度情報工学部長・研究科長。2000年 - 2005年科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業（JST CREST）「心が通う身体的コミュニケーションシステム E-COSMIC」研究代表者。2006年 - 2012年 JST CREST 「人を引き込む身体性メディア場の生成・制御技術」研究代表者など。IEEE RO-MAN, the Best Paper Award、ヒューマンインタフェース学会論文賞、日本機械学会設計工学・システム部門業績賞等受賞。日本機械学会フェロー、ヒューマンインタフェース学会元会長、日本子ども学会常任理事、日本赤ちゃん学会常任理事、インタロボット（株）技術顧問など。