

特集 「日常生活にとけこむデジタルヒューマン」

Human, the Weakest Link

金出 武雄
Takeo Kanade

カーネギーメロン大学, 産業技術総合研究所デジタルヒューマン研究センター
Carnegie Mellon University. / National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Digital Human Research Center.
Takeo.Kanade@cs.cmu.edu, <http://www.dh.aist.go.jp/>

松井 俊浩
Toshihiro Matsui

産業技術総合研究所デジタルヒューマン研究センター
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Digital Human Research Center.
t.matsui@aist.go.jp, <http://www.dh.aist.go.jp/>

Keywords: digital human, human functional model, human support information technology.

1. はじめに

有史以来, 人類はさまざまな人工物をつくり, 使ってきた。産業革命以来, この人工物開発のテンポは加速し, この四半世紀のデジタル革命では, 人工物すなわち機械に実装できる機能の自由度は飛躍的に拡大した。この機能の自由度増大の恩恵は, 何に向けられるべきであろうか。一つは, 環境負荷の低減であろう。もう一つは, 人間の生活を支援するために使われるべきであろう。環境の問題も, 人間の歴史が将来にわたって永続するように, という観点からは, やはり人間のために使われるべきであるという言明に集約できる。

それでは, 人間のために, といったときに我々は何をすべきか, どういう機械をつくるべきか, よくわかっているだろうか。言い換えると, 我々は, 人間というのが何をしあげると喜ぶ動物なのか, わかっているのだろうか。現在のような高度な情報化社会においては, 「ユーザの欲求を満たす」という抽象的な回答では不十分である。一人一人の個人が, 環境や状況に応じて, あなたの手や足, また生理や心理が何を求めているか, どうすればより快適になるかを定量的・工学的に論じることが必要な段階にきている。

一方, 機械, あるいは計算機システムが日常環境の中で機能することを考えると, それを操作する「人間」はシステムの性能を定める根本的な部品として最も重要な要素である。ところが, 計算機技術の進展と比較すると, 「人間」自身の理解はほとんど進んでいない。人工的に設計・生産されるシステムはその構成や機能についてはモデル化手法が確立されている。また計算機技術によって, 知識として構造化された情報は, 効率良く操ることができる。しかし, はるかに複雑で洗練された人間の機能と行動に関するモデルは, ほとんど存在していない。また, 日常空間の中から人間に関する知識を取り出そうとしても, 計測の手段, モデル化の手法, モデルの表現法などに悩まされることになる。

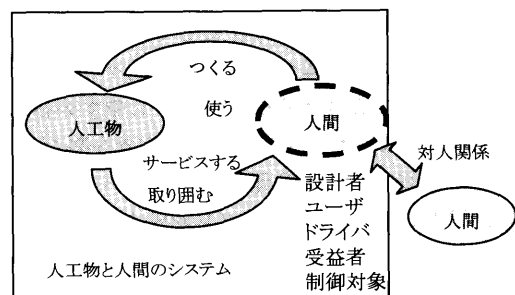


図1 システムの連環の一要素としての人間

著者らは, これまでロボットのハードウェアや視覚を中心としたセンサ情報処理によって外界を認識し知的判断の研究, それらをまとめた知的自律ロボットシステムの研究を進めてきたが, これらの研究経験を通じてわかったことは, 結局はさまざまなシステムや装置, 特に日常環境の中で人とインタラクションする知的システムの設計と運用においては, 人間の機能を研究しなければならないということである。このような意味で現在のところ, 人間はシステムの中での“the weakest link”, すなわち「最も弱いリンク」であるといえる。このシステムと人間とのギャップを埋めるために, 我々は計算機上に人間の機能を実現し, それを利用して人間の機能と行動を記述・分析・シミュレート・予測することを目的としたデジタルヒューマン研究を提唱している[金出 02, 松井 05, 持丸 05]。本稿では, このデジタルヒューマン研究の意義, すでに進んでいる基盤技術とその課題, 今後の方向性などを紹介する。

2. Human, the Weakest Link

日常生活空間の中で, それを使う人間のために情報をどのように処理すればよいかという問題について考えると, 我々は実は人間のことをあまりに知らなすぎる。すべてのシステムは結局は人が受益者としての対象である。またその環境全体をシステムとして捉えると, 多くの場合, 人はその全体システムの中で最も重要な役割を果たす要素

でもある。車は人を安全快適に効率良く運ぶためのものであるが、その中で人は運転者という最も重要な役割を果たしている。自律ロボットといえども最後は人に奉仕し、人とインタラクションする意味では同様であり、人がシステムとしての鍵となっている。それにもかかわらず、こうした例を見てもわかるように、人はシステムにおいて最も理解されていない要素である。エンジン内の混合ガスの燃焼、タイヤがスリップする仕組みなどはずいぶんわかっているが、車は運転者がいま何をしているか知らないし、いざというときにどう行動するかのモデルをもっていない。それを知らうにも、車と運転者はステアリング、アクセル、ブレーキという細いチャンネルでつながっているだけである。さまざまなマンマシンシステムにおける事故の多くはこのギャップがもとになっているとも考えられる。

わかりやすい例として次のたとえ話がある。「ティーグランドにいるゴルファーを考えよう。その目的はボールをまっすぐ遠くに飛ばすことである。プレーヤの手にあるゴルフクラブはチタンヘッドとカーボンシャフトからなるこれ以上の進歩が望めないほどのものであるが、ボールはなかなかまっすぐは飛んでくれない。その理由はゴルフクラブにあるのではなく、彼のスイングがよく理解されていないからである」。

この現象を、著者は英語で“**Human, the weakest link**”，日本語では「人、それは最も弱い鎖の輪」と表現している。つまり、多くの輪からなる1本の鎖全体の強さはその中の一番弱い輪の強さで決まるのであるが、システムという鎖において、人がその一番弱い輪だということである。

この問題はシステムを観察する際のスコープの問題でもある。これまで研究対象と考えてきたシステムというのは、狭義のシステムの一メカニズムにすぎないのであって、本来考えるべき広義のシステムは人間や機械やインターネットをも含む環境全体なのである。この全体システムの情報処理を考えたときに、大きな問題となるのが人間に関する知識、すなわち人間のモデルである。

これは、人間対機械のシステム制御の問題にとどまらない。日常環境の中で我々は自然な対人コミュニケーション、インタラクションを行っている。それが可能になるのは、人間というのはこう行動するだろう、というモデルが頭の中にあるからである。その上に自分の親ならこうする、学校の先生ならこう行動する、さらに特定の人はいこう行動するというモデルがあり、それにより実際の行動を解釈して安心したり、喜んだり、驚いたりするのである。いかに計算機が発達し、こうした日常空間に入り込んだとしても、このような人間の行動モデル、情動モデルがなければ自然なインタラクションは望めない。我々が、いかに高性能な計算機やそれを搭載したヒューマノイドロボットを見てもインタラクションしている実感がなく、また賢いとも思えないのは、そういう理由があるからではないだろうか。

3. 人間の機能のモデル化

人間のモデル化の重要性は認識されたが、人間というのは極めて複雑な対象であり、すべてを完全にモデル化するのは不可能である。最初の言明に従って、人間にとって有用な効果を得るために、モデル化のレベル、範囲、またどこから研究に着手すべきか、どういう手法に注目すべきかを検討する必要がある。

人間のモデル化には、垂直的な展開と、水平的な展開がある。垂直的というのは、原子、分子、DNAやタンパク質から細胞、器官、個人を経て家族や人の社会に至るスペクトルの中で、観測装置のズームを変える見方である。水平的とは、ズーム比は一定にして、人間のさまざまな部位や機能を見渡す展開である。

人工知能の文脈で、人間に関する知識を研究するために最も重要なことは「機能」レベルのモデル化である。よりミクロな要素（遺伝子、細胞、生体組織など）から組み上げるアプローチは、薬の生体反応を模擬するには有用だが、上記のような自動車運転者やゴルファーの問題を解くのは、ほとんど不可能であろう。もちろん、ときに応じて、遺伝子までさかのぼる研究も必要になる。生物にとって、「形」は、機能を果たすための重要な要素であるが、その形成には遺伝子が深く関与している。体の一連の部分をバランスをとりながら成長させていく遺伝子としてホメオティック遺伝子が注目されている。そのような研究を見守ることで、体の部位が果たすべき本来の機能についての理解が深まるであろう。これは1800年代初めに「形態学」の重要性を透察したゲーテ以来のことである。

機能の実現のために実データを測る技術自体は重要である。機能レベルでのモデル化を効率良く進めるためには、機能以下の詳細をある程度捨象しなければならない。分子や遺伝子までさかのぼることなく機能の発現モデルをつくるには、入力に対して人間はどのような出力をするか、という刺激・反応データを精度良く、また数多く収集し、体系化しなければならない。すなわち、モデル化は、データからの帰納として達成されなければならない。このモデルが正しいことを検証しようとするれば、やはり、モデルが演繹的に生成するデータを実際の人間のデータと照合しなければならない。すなわち仮説としてのモデルを検証、反駁、修正できるのは、実データにおいてほかにない。

では、この実データは、どこから収集すべきだろうか。我々は、ここで、アプリケーション駆動のアプローチを強調したい。つまり具体的な問題領域を設定したうえで、その状況の中で発生するデータと、そこで必要とされる機能のモデル化を考えることが重要である。アプリケーション駆動とは、製品開発に直結する応用研究を指すのではない。まず、我々の周囲を生活者（素人）の目で見ると、これは困る、あれがあったらよい、というニーズや欲求を検討する。産業の現場からニーズがもち込まれることもあ

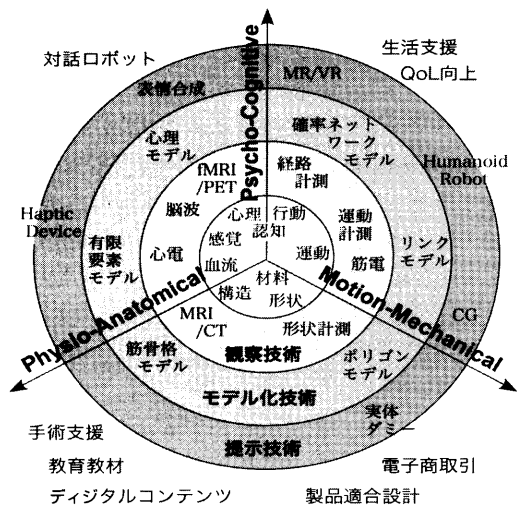


図2 人間機能の三つの軸

るし、少子高齢化のような社会問題への対応を考へることもある。それらの応用的な問題の中から、普遍的、基盤的問題を抽出する。そして、研究者、技術者（玄人）としての能力を存分に発揮してそれを解く。得られるものは、与えられたニーズに応える解であり、なおかつ幅広い問題に適用できる普遍的な手法や考え方である。したがって、水平展開としては、応用によってモティベートされる部位や機能を重点的に研究することになる。

人間の機能モデルとは、外界（環境・製品・システムあるいはほかの人間）との相互作用によって、人間がどのように働くかを再現するモデルである。この人間機能を、我々は、三つの軸で考えている（図2中央）。第1は、生身の人間としての側面である人間の生理解剖機能（Physio-Anatomical Model）である。第1の側面をモデル化できれば、仮想的な解剖学教材（Digital cadaver）が実現できよう。第2は、人間の動く機械としての側面、すなわち、運動機械機能（Motion-Mechanical Model）である。第2の側面をモデル化できれば、作業空間設計に利用できるデジタルマネキン（Digital manikins）が実現できる。第3は、人間とは感じ考へるものであるという側面、これを心理認知機能（Psycho-Cognitive Model）とする。第3の側面は、そのモデル化が非常に難しいが、これが十分な精度で再現できれば、例えば、人に対する接し方を訓練するシステム（Digital partner）のようなものが具現化できよう。これらの三つの機能軸は、個別に作用しているのではなく、一つの人間というシステムの中で協調して、相互に関係しながら働いている。したがって、それぞれの機能を掘り下げて、精密な人間機能モデルを構築すること以上に、三つの機能軸が相互に関わるモデルを構築していくことが重要な課題となっている。

こうして構築される人間の機能モデルは、数学的なモデルであるが、実現形としては、仮想的なセンサからの入力に対して反応を予測するコンピュータプログラムであり、その基盤となるのは、多くの実際の人間の特性を蓄

積したデータベースである。人間の反応は、確率的なゆらぎを伴うと推測されるので、記号的な推論エンジンよりも、むしろ確率ネットワークが有力なツールとなることが期待される。

4. デジタルヒューマン研究

こうした人間機能の計算モデルを構築は、単にコンピュータ上のモデル化・シミュレーション技術にとどまらない。モデル化の基礎となるのは、人間の形状、生理反応、感覚、行動などの計測である。我々は、そのような計測技術を、センサの開発にまでさかのぼり、また人間の活動に干渉することなく自然な状態で人間機能データを取得するための観察技術として研究している。また、開発されたモデルやシミュレーション結果の有効性を検証し、実世界と関わりをもたせるためには、CGやロボットとして提示する技術が必要となる。これらを連関させた研究を戦略的に推進している。

形状、動きに関する人間機能データを観察・蓄積し、それをモデル化して提示することにより、製品の適合設計やその電子商取引、また人間を素材とするさまざまなデジタルコンテンツへの応用展開が考へられる。さらに、観察-モデル化-提示技術がオンラインでつながれば、いまの人間機能の状態を観察し、すぐに状況を理解・予測して、その結果を人間にフィードバックする自動システムも実現できよう。患者のあり得る挙動を再現する手術シミュレータや、生活の質的向上を支えるさまざまなロボットシステムへの展開が期待される。

4.1 足のモデル

身近な例として、靴の設計がある。適切な靴の形や柔らかさの設計などは一見もう完全にわかりきった話と思われるが実はそうではない。日本人の足の形はどんな分布をしているかというデータが十分ないので、既製品の大きさや形はずいぶん過去につくられた木型をもとにアドホックな変更をしてきたというのが実情であった。この状態を変えるために、足を入れればその形が秒単位で計測できる装置をつくり、足の形のデータを集め靴の設計に使えるようにした（図3）。

この装置を小売店におけば、消費者が店に行ったとき、足を差し出すだけで最も適切な靴が選べるシステムが実現できる。しかし、その本当の意味合いはもっと深いところにある。そういうシステムが世の中に普及して30年経てば、人の足の形のある時点での分布だけでなく、幼児から大人になるまでどう変化していくのか、それはどんな要因によるのかということがわかる。この形態が変化する様子をさまざまな条件と関連づけたデータは、実は人類史上誰も知らなかったデータであり、そこから得られる形態変化の計算モデルは、さまざまな目的に再利用可能な普遍的知識となるのである。これまでに、人体寸法、形状、

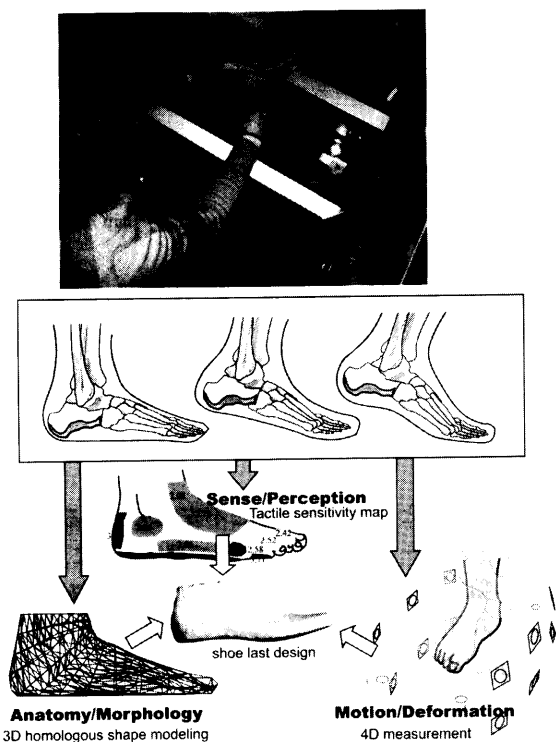


図3 人に合わせる：靴の製品設計

運動などの人体特性データを集積しており、他機関が発表している文献との比較とともに公開している[持丸 03, 持丸 04].

4.2 デジタルハンド

我々の身の回りには、携帯電話やデジタルカメラ、またドリルなどの工具やラケットなどのスポーツ用具など、いろいろな手操作機器がある。その設計は、被験者に試作品を使わせて感想を聞いたり、ユーザからのクレームに応じて再設計するようなアドホックな方法がとられてきた。もしもコンピュータの中にたくさんの種類の手をモデル化し、それらの仮想の手が機器を操作し、操作感や問題点を評価できれば、安全な機器を効率良く設計することが可能になる。

手の形状・動き・機能の計算モデルを構成することを目的としたデジタルハンド研究では寸法・構造・運動と摩擦・変形に関するさまざまなモデルの構築を進めており、高精度のコンピュータグラフィックの生成などにおいて注目されている。また、この手のモデルを使ったシミュレーションにより、手で操作する多くの製品のユーザビリティ向上に寄与するものと期待される。

基本は、手のリンク構造のモデルである。片手には、ざっと 27 の自由度がある。これは、現在のヒューマノイドの全身の自由度数 30 に匹敵する。手の表面にマーカを貼付し、モーションキャプチャによって外的な運動を、そして MRI と CT スキャンから得られる内部構造との対応をとり、各関節のリンクパラメータを決定する。従来から指の関節の回転軸は平行でないことは知られていたが、

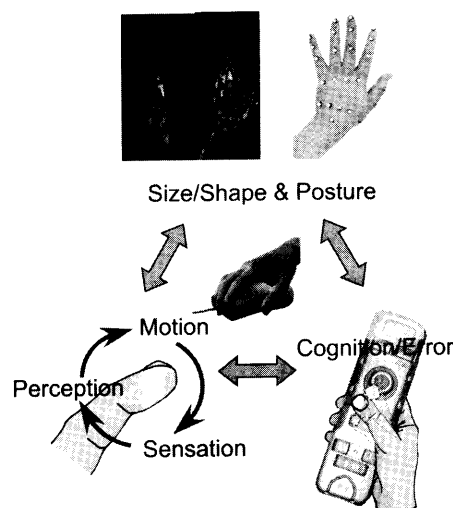


図4 デジタルハンド

正確に何度ねじれているかはわかっていなかった。厳密な測定によって、このねじれを特定し、指先位置を 1 ~ 2 mm の精度で再現することに成功した[Miyata 04].

指先の感覚についても計測からスタートする。人間は、物体を把握するとき、指先が滑らない、対象物をこわさない適当な把握力を発揮する。そのメカニズムは、対象物表面の摩擦係数にも依存し、対象物の質量だけから決まるものではない。指紋のゆがみから指先表面のずれを計測するセンサを開発し、さまざまな力を加えて計測したところ、まず、指先の周辺部から滑りが発生し、変位が増大するに従って中心部に波及していくことがわかった。そして、人間は、滑っている周辺部の面積と中央の固着部の面積の比率から力を加減していることがわかったのである[多田 01].

現在、これらの研究成果をもとに、さまざまな物体を把握する姿勢の生成、指先の内部組織の力学パラメータの同定、指の特性を発揮して開けやすいパッケージの設計法などにアプリケーション駆動的な研究を進めている。

4.3 歩行運動モデル

次に、歩行などの運動機能を考えよう。ヒューマノイドの歩行動作はかなり進歩しているが、一見してロボットはそろりそろりと、人間はスタスタと歩く。ロボットは、常に足裏を床に平行に保ち、人間は足首を回してつま先で床を蹴る。このような外見上の違いのほかに、モーションキャプチャと床圧力計を用いてロボットと人間の歩行を詳しく調べてみたところ、ステップと重心移動の方法が根本的に異なっていることがわかった。

人間は、接地時は、半ば衝撃的にかかとを床に打ちつけ、中間部では抜重し、つま先が床を蹴るときは再び荷重を大きくする。ロボットは、徐々に接地し、重心位置を保ち、またゆっくりと足をもち上げる。ロボットは、しばしば床の上で足を滑らせ、ヨー軸周りに回転してしまうことがあるが、人間は、接地と蹴出しの 2 点で体重以上

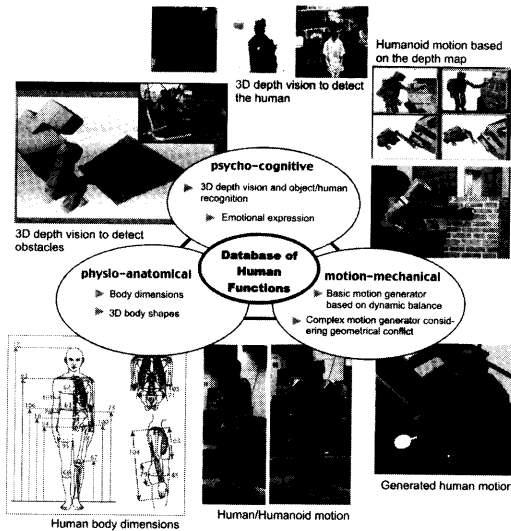


図5 ヒューマノイドの自律移動機能の研究

の荷重をかけることで、あたかもF1レース車がウィングによるダウンフォースによって大きな摩擦力を得ると同様の効果を得ている。

このように人間は重心を上下に波打たせる一方で、横揺れを小さく抑えている。ロボットは、重心の上下動はエネルギーのむだ使いであるとの考えで、重心高を一定に維持する一方、安定性を増すために重心の鉛直点を接地足面の中央に保つべく左右の揺動を加えていた。そこでヒューマノイドの歩行アルゴリズムを書き換えて、わざと5cmぐらい重心が上下に移動するようにするとロボットの横揺れが減少し、歩く姿が人間に似てくるだけでなく、速く効率良く歩けることが明らかになった[加賀美 02, Kagami 04]。

ヒューマノイド研究については、移動自律性の向上の研究も行っている。ロボットに取り付けられた3次元視覚により床や障害物、階段などを確実に認識する技術、また、その環境に応じて移動経路と安定な全身運動計画を瞬時に計算する技術を開発している(図5)。これらの技術はヒューマノイドロボットに実装し、実証を行いつつある。

4.4 人間行動モデル、幼児行動シミュレータ

「人の行動」には、感情、認知、判断が含まれている。それは極めて複雑であり、モデル化は簡単ではないが、その計算モデルなしに本当の意味で知能的なシステムはつくれないだろう。実際我々が、ほかの人間と自然に接することができるのは、相手がどう反応し行動するかというモデルをもっているからである。それが予測される範囲に相手の行動が入っていれば安心し、ときには陳腐と感じ、外れたときには驚く。さらに、相手も自分がどう行動するかという同じようなモデルをもっていると信頼しているから安心しているのである。実際、相手があまりにも異なる文化や、環境で育ち、そういうモデルを共有していない



図6 センサーームでの人間行動追跡

のではと感じるときは、違和感と不安感を感じるだろう。

デジタルヒューマン研究センターでは手始めに、環境中での人の動き、物の動きをすべて完全に観察記録できるセンサーーム(図6)を開発した。その中で、具体的な問題として子供の事故予防を取り上げ、幼児の行動を観察、記録している。幼児は、発達するに従ってさまざまな運動機能、認知機能を発揮し、環境とインタラクションする。環境とは、テーブルやソファ、おもちゃやテレビ、また灰皿、薬品、バスタブなどの危険物、さらに母親との位置関係やその表情などがある。そこでの幼児のインタラクションモデルをつくってみると、幼児の事故が起こるメカニズムの解明が可能になる[Nishida 04]。

まずやるべきことは、従来散文的に語られてきた幼児の行動を定量化することである。例えば、子供はソファが好きで上でジャンプして遊ぶものである、という言明があると、いったい身長比でどれくらいであれば上がれるのか、どういうときにどれだけジャンプするのか、そのとき母親の声が聞こえるとどうするのか、などを計測する。これは、明確な因果律に基づき必ず起こることではないので、確率として記述するよりない。そのような要素行動の相関関係を多数収集し、確率ネットワークとしてモデル化する。そのような幼児と母親モデルの組合せを設定された部屋に置き放ち、長期間にわたる一部始終をシミュレーションする。事故に至るのはどういう条件の組合せであるかを推論することも不可能ではない。事故の確率を減らすには、ソファの配置をどうしたらよいか、母親はどのような行動をすべきかがわかってくる。シミュレーションの過程は、グラフィックスとして提示でき、部屋のデザインや家庭の教育に効果を発揮するであろう[Nishida 05]。

4.5 患者シミュレータ

このような、人間の行動の確率的なモデルの応用として、外科手術における患者の生理反応モデルも研究している。現在対象としているのは、副鼻腔炎手術である。この手術は、我が国では局所麻酔下で行われ、したがって術中も患者は意識がはっきりしており、さまざまな反応を示す。また、鼻腔の奥という狭隘な場所で行われるの

で、手術は経験者の補助を得るのが難しく、安全で効率の良い研修法が望まれている分野である。そこで、患者の生理反応ダミーを提供しようという試みである。例によって実際の手術を観察、計測する。すなわち、術者がどのような器具をどの場所に押し当てると患者の心拍、血圧、呼吸数がどのように変化するか、また枕圧や発汗によって患者がどれくらい恐怖を感じているか、うめき声や表情から疼痛の具合などが計測される。このログを解析して、手術操作に対する患者の反応を確率モデルとして構成する[Sakai 04]。現在、位置センサを取り付けた器具を仮想的な患者ロボットに対して操作したときの患者の反応をグラフィックス化するシステムの開発を進めている。

4.6 欲しがる人間のモデル

同様に、人がどのような心理状態にあるか、何を欲しているか、いつもの行動とは違うから助けや看護が必要であるといったことを実現するための人の行動モデルをつくることも考えられる。例えばインターネット上での協調フィルタリング技術はすでに実用化されているが、それと同じような観測データから人間の意図や要求を推定できるような人間の機能モデルをつくることで、インターネットサイトの商品推奨だけでなく、幅広く再利用できるような人間の要求を知るためのモデルをつくることも期待できる。

4.7 人間行動の画像理解

人の行動モデルをつくり応用するにはビデオ解析による人の行動活動理解技術が重要であろう。例えば、病院や老人ホームで徘徊している老人を見つける、食事の時間に十分な食べ物を摂取したかどうかをモニタする、ほかの入居者に暴力をふるっていないかをチェックする、日常の行動において長期にわたる運動機能の退行の経歴や前兆を知るといった役割がある。さらには、人の情動を理解できれば、より気の利いたサービスが実現できる。

これらの目的のため、カーネギーメロン大学の著者らのグループでは、「人の画像の処理技術」を体系的に研究開発している。それは、画像からの人や顔の抽出、追跡、頭・手振り・体の動きを含めたジェスチャ、顔の検出、その人が何を見ているかという視線方向、個人認識、顔のアクションユニットと呼ばれる個別部位の動き抽出による表情の理解などの技術である。

4.8 人間機能の統合モデル

これらデジタルヒューマンの要素研究は、人間工学、CG、ロボット工学などの分野で進められていた。デジタルヒューマン研究は、それらの要素となる異分野の研究者が共同して進める必要がある。現在、本プロジェクトに参画している研究員の専門分野は、ロボット工学、コンピュータビジョン、CAD/CG、バイオメカニクス、人間工学、被服構成学、心理学、人類学、医学など多岐にわたる。これらの広大な研究分野を統合し、完全に汎用的

なヒューマンシミュレータ（計算モデル）を構築することは、壮大なチャレンジであり、短期間で完了するものではない。そこで、本プロジェクトでは、いくつかのアプリケーション分野に汎用的に応用できる人間機能の基盤モデルを構成する研究に重点を置いている。この人間機能の基盤モデルの構築を二つのアプローチで進めている。第1は、類似するアプリケーションについてアプリケーション駆動型の研究を行い、複数のアプリケーションに共通する人間機能モデルを帰納的に抽出・構成するアプローチである。第2は、人間機能の観察データをできるだけ忠実に再現するシミュレーションモデルを構成しながら、機能発現メカニズムを解明するとともに基盤モデルを構成していくアプローチである。前者がトップダウン型、後者がボトムアップ型といえる。最終的には、双方からのアプローチを統合し、より汎用的なデジタルヒューマンモデルの開発を目指す。

5. 関連研究

デジタルヒューマンの研究は、前記のようにさまざまな学問・技術の境界領域にあるので、関連研究も多岐にわたる。解剖学的領域では、NIHの全米医学ライブラリ(NLM)が1989年に開始し、人間の精密な断層写真を公開したVisible Humanプロジェクトが重要であるhttp://www.nlm.nih.gov/research/visible/visible_human.html。このデータは、48か国、2000機関にライセンスされ、医学研究や教材開発に貢献している。このプロジェクトは、オークリッジ国立研究所のVirtual Human研究に発展している。

人体の特性を再現したマネキンとしては、戦闘機の射出座席設計用のSierra Samに始まるダミーが有名である。このようなダミーは、GM社のHybrid-IIが政府から標準ダミーと認定され、自動車の衝突実験での使用が義務づけられた。実体をもたない、いわゆるコンピュータマネキンとしては、ペンシルバニア大学発のJackが最初であり、その後UGS社によって商用化されている。アニメーションを目的としたH-Animも人体モデルの表現形の一つである。

6. 今後の課題

デジタルヒューマン研究は、我々が作り、使い、また取り囲まれる人工物が、より人間に対して安全で効率の良いサービスを提供できるように、数学的・工学的な人間のモデルを、特に情報技術を応用してつくろうとする研究である。そのような機械が人間向きにつくられることを助け、それによってQoL(生活の質)の向上に資することを目的としている。

我々の研究は、応用駆動的に進めてきているが、全体の比重からすると、解剖学的、機械的、生理的、運動的

な機能に関する部分が大きく、認知・心理的な領域にはたくさんの課題が残されている。前記した関連研究にもそのような傾向が見られる。

我々人間は、千差万別である。個人によって特性も嗜好も異なる。すなわち、使いやすい機器をつくらうとすると、個人適合という壁が立ち上がる。それは特に認知心理的な側面で顕著となる。使いやすさは、その人の機械的特性よりも、認知的な経験に依存する部分が多いからである。認知は、気まぐれであり、ときには、「普通の人とは違ったものを使いたい」というように、平均的なモデル化を拒絶する。本当に使いやすい機器をつくらうとすれば、個人個人をモデル化する必要が生じる。ライフログのプロジェクトもそこに端を発している。しかし、そのような考え方は、最近特に敏感さを増しているプライバシー、個人情報の問題と衝突する可能性がある。ライフログに対しても、危険だとして牽制する動きがある。

この問題を解決するには、ユーザは、誰かに何かを計測し、モデル化してもらうのではなく、ユーザ自らが自分を理解することを助けるアプローチが不可欠になってくると考えている。デジタルヒューマン研究は、今はまだ観測者と被験者が分かれ、専門家によるデータの解釈が必要な段階である。将来は、ユーザ自身が、より簡便な方法で自らの人間機能モデルを獲得する方法を確立し、プライバシーを冒されることなく、一人一人が主体的に最適なシステム設計に関われるような方向への研究が必要と考える。

◇ 参考文献 ◇

- [Kagami 04] Kagami, S., Mochimaru, M., Ehara, Y., Miyata, N., Nishiwaki, K., Inoue, H. and Kanade, T.: Measurement and Comparison of Humanoid H7 Walking with Human Being, *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 48, No. 4, pp. 177-187, Elsevier (2004)
- [加賀美 02] 加賀美聡, 宮田なつき, 倉林 準, 持丸正明, 江原義弘, 西脇光一, 井上博允: ヒューマノイドロボット H7 の歩行計測と人間の歩行との比較, システムインテグレーション部門講演会講演論文集, pp. 181-182 (2002)
- [金出 02] 金出武雄, 持丸正明: デジタルヒューマン, システム/制御/情報, Vol.46, No.8, pp. 453-458 (2002)
- [松井 05] 松井俊浩: デジタルヒューマン, ロボット学 6, pp. 157-189, 岩波書店 (2005)
- [Miyata 04] Miyata, N., Kouchi, M., Kurihara, T. and Mochimaru, M.: Modeling of Human Hand Link Structure

from Optical Motion Capture Data, *Proc. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, pp. 2129-2135 (2004)

- [持丸 03] 持丸正明, 河内まき子: デジタル人体形状に基づく着装品のオンデマンド製造, 日本バーチャリアリティ学会論文誌, Vol. 8, No. 4, pp. 407-412 (2003)
- [持丸 04] 持丸正明: 機械接触インタフェースと人体生理モデル, ヒューマンインタフェース学会誌, Vol. 6, No. 1, pp. 19-24 (2004)
- [持丸 05] 持丸正明: デジタルヒューマン技術とその可能性, 精密工学会誌, Vol. 71, No. 4, pp. 415-418 (2005)
- [Nishida 04] Nishida, Y., Kitamura, K., Hori, T., Nishitani, A., Kanade, T. and Mizoguchi H.: Quick Realization of Function for Detecting Human Activity Events by Ultrasonic 3D Tag and Stereo Vision, *Proc. 2nd IEEE Int. Conf. on Pervasive Computing and Communications (PerCom)*, pp. 43-54 (2004)
- [Nishida 05] Nishida, Y., Kitamura, K., Motomura, Y., Simo, A. and Yamanaka, T.: Infant Behavior Simulation: Computational Approach to Infant Safety, *Proc. 4th IARP/IEEE-RAS/EURON Workshop on Technical Challenges for Dependable Robots in Human Environments*, T16-01 (2005)
- [Sakai 04] Sakai, K., Mochimaru, M. and Yokoyama, K.: Modelling Patient Responses to Surgical Procedures during Endoscopic Sinus Surgery using Local Anesthesia, *Proc. IEEE-SMC*, pp. 364-369 (2004)
- [多田 01] 多田充徳, 柴田智広, 今井正和, 小笠原司: 人の把持力制御メカニズム研究のための指先変形と把持/負荷力の同時計測装置の開発, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J84-D-II, pp. 1033-1044 (2001)

2005年8月1日 受理

著者紹介



金出 武雄 (正会員)

1974年京都大学大学院電子工学科博士課程修了(工学博士)。1976年京都大学助教授, 1980年カーネギーメロン大学計算機科学科ロボット研究所高等研究員, 1992~2001年同大学ロボティクス研究所長, 1998年~現在同大学ワイタカー記念全学教授, 2001年産業技術総合研究所デジタルヒューマンラボ長, 2003年~現在同センター長。米国工学アカデミー特別会員, IEEE, ACM, AAAI フェロー, 電子情報通信学会フェロー, D. Marr Priz, C&C 賞, 人工知能学会業績賞, FIT 船井業績賞など受賞。



松井 俊浩

1982年東京大学大学院情報工学専門課程修了, 1991年同大学院工学博士。1982年電子技術総合研究所, 1991年から1999年にかけてスタンフォード大学, マサチューセッツ工科大学, オーストラリア国立大学客員研究員。2001年産業技術総合研究所企画本部総括企画主幹。2003年~現在同研究所デジタルヒューマン研究センターセンター長代理。日本ロボット学会および計測自動制御学会論文賞, 元岡記念賞, 工業技術院長賞など受賞。