慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	テクタイル : 未来社会のための触体験デザイン
Sub Title	TECHTILE(Technology based tactile design) : design of tactile experience for future world
Author	仲谷, 正史(Nakatani, Masashi) 筧, 康明(Kakehi, Yasuaki) 白土, 寛和(Shirado, Hirokazu) 前野, 隆司(Maeno, Takashi)
Publisher	慶應義塾大学アート・ センター
Publication year	2011
Jtitle	Booklet Vol.19, (2011.) ,p.90- 111
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	The optical the haptical 4#図版削除
Genre	Journal Article
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AA11893297-00000019-0090

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

テクタイル
――未来社会のための触体験デザイン

仲谷　正史／筧　康明／白土　寛和／前野　隆司

1. はじめに

人間は物理的存在である。物を触ることなしには生きてゆけない。このため、触覚は、古来、哲学者、現象学者、生理学者、物理学者から一般市民まで、多くの人々を魅了してきた。アリストテレスは、触覚は感覚のうちの第一のものとしてすべての生物に備わっていることを指摘する★1。一方、寺田寅彦は、触覚を含めた感覚による識別の際に、個人の判断基準の差が客観性をぐらつかせることを指摘する★2。この捉えどころのなさが1つの大きな障壁となり、いかに触覚をとらえるかの方法論が未確立な時代が長く続いた。

筆者らは、工学者の立場から、遡ること十数年にわたって、触覚および触感に関する研究を行ってきた。その経験から、近年、アカデミアから世間一般まで、触に対する関心が広く高まっていることが実感できる。アカデミアでは触を扱う研究が急増しており、触の解明が進みつつある★3。同時に、インダストリにおいても、触ることの重要性が注目されつつある。アカデミアとのコラボレーションや、インダストリ各社による独自の研究開発も増えつつある★3。過去を遡ると、1990年代には遠隔手術ロボットのような医療の現場で活躍する大掛かりな触覚インタフェースシステムの開発が急進展した。対照的に、近年ではモバイル端末の触感フィードバックインタフェースや自動車の操作系への応用展開など、小型の触覚インタフェースによる操作性増強の試みが増加している。また、使用感や快適性を向上するという文脈で、文具や飲料パッケージ、化粧品などの生活用品、さらには住宅建材（例えば、大建工業株式会社のダイケン畳）への応用展開も見受けられるようになってきた。

しかし、これまで行われてきたアカデミア研究の応用展開は一定の成果をあげてきたものの、触体験を広く提供するにいたった明確な事例は少ない。その一因は技術主導で応用展開が始まったことにあろうが、より重要な原因は、触感や触体験に関する本質的な理解がいまだ不十分であること

にあろう。また、触体験をいかにデザインして価値を提供するかに関するクライテリア（設計基準）や目標について、一部の例外（例えば、グラフィックデザイナーである原研哉氏が企画したHAPTIC展★4）を除いて明瞭に議論される機会が少ないことも一因であろう。このため、アカデミアでの研究事例は増加しているにもかかわらず、応用展開に関する明確でプラクティカルなガイドラインは十分に示されていない。言い換えれば、触に関する議論は、多くの人が同じテーブルでopen questionとして議論できる数少ないフロンティアであるともいえよう。

このような時代背景のもと、筆者らは、技術による触感デザイン（TECHnology based tacTILE design, TECHTILE, テクタイル）の必要性を指摘し、触感を利用する優れた触体験デザインの事例を展示会（テクタイル展）という形式で取り上げ、アカデミアのみならず広く一般に対して議論の場を提供してきた。2007年より3回の展示会を遂行し、来場者との対話に基づき、現状と可能性についての議論を進めてきた。

本稿では、これまでの筆者らの活動を通して得られた知見に基づき、まず、触覚と触感、そして触体験とは何かを定義する。その上で、触がどのようにして理解され、テクノロジーによって創られ、そして表現に生かされてゆくのかのCutting Edgeな現状を展示アーカイブの紹介とともに論じ、今後筆者らが予想するテクタイルに支えられた未来社会のあり方について述べる。

2. 触覚から触感、そして触体験へ

はじめに、感覚として得られる触覚と、人間が体感し何らかの方法によって表現する対象となる触感は、明確に分けて議論されるべきであることを指摘したい。触覚は五感の1つであり、科学においては他の4つの感覚（視覚・聴覚・嗅覚・味覚）と切り離されて定義される。一方で、日常生活の中で人々が感じる触感は、触覚という単一の感覚から得られるのではない。すなわち、視覚や聴覚も含めて、複合的に体験した結果、「触れたことに関係する感じ方」が触感と呼ばれる。そして、触感はその触感を得た環境や文脈と統合されて、触感を伴ったありありとした体験（以下、触体験と呼ぶ）として認知される。

例えば、今読んでいるこのページに触れたとき、なにも改めて知るまでもなく、スベスベとした紙の触感を得る。しかし、スベスベと表現する触感は、触覚からの入力だけでなく、音や視覚的な指の動きによって総合的に判断される。さらに本冊子の厚みやページが位置する場所、もしくは読んでいる環境（自宅なのか外出先のカフェなのか）などの文脈情報と統合され、触体験を感じる。最終的に、その触体験を何らかの言葉で表現するとき、例えばスベスベという言葉で内的な体験を他者と共有している。

以上のように、触感は触覚の影響をうけるが、両者は同一ではない。そして、触に関わる日常的な議論で登場するのは、たいていの場合、触感も

しくはそれに紐づく触体験についてであり、触覚という感覚そのものについてではない。

3. 触感を知る

一度、改めて触感について考えてみよう。触感は、いったい何によって構成されるのだろうか。直感的には、触れる対象物（触対象）によって構成されると考えられるかも知れない。しかしながら、触感は体験する人間の皮膚と、触対象との相互作用によって生じるため、さらに2つの追加構成要素を挙げるべきである。1つ目は触対象との相互作用を起こすための“触り方”、2つ目は触対象に対して触る側の特性（指の硬さ／表面の滑らかさや身体部位など）である。触感を決定する後者2つの構成要素は、他の4つの感覚では（一部の例外を除いて）あまり表立って議論されない項目である。

また、認知された触感をどうやって言語によって表現し共有するのかについても、また別の問題がある。それは、純粋な触覚とは異なり、触感の表現には個人差が大きく出てしまう点である。他の感覚、例えば色の表現においても、同じ「赤」で表現している光の波長の範囲が、実は個人個人で微妙に異なる。これと同様に、触感においても、同じ触覚刺激であっても、ある人にとってのツルツルが別の人にとってはスベスベとなるかもしれない。このように、触刺激に対してどういう触感表現を割り当てる（マッピングする）のかは、各個人の触体験の履歴に基づく個人差が存在する。

以下では、触覚という感覚に対する議論や、触覚を取得する工学的な手法の詳細な記述は参考文献に譲り★3★5、触体験に紐づく触感に関する議論を深めてゆく。特に、触感を表現するオノマトペを理解する試みについて紹介した上で、オノマトペとテクノロジーによる触感理解の融合点の最新動向について論じる。（脚注：認知された触感を表現するのに、汎用的に使われるのは、ツルツル、ザラザラ、といったオノマトペによる表現である。触感を表現する際、オノマトペ以外の方法もありうるが、本稿では紙面の都合上、オノマトペについて取り上げる）

3.1. オノマトペによる触感表現を理解する

オノマトペ（onomatopoeia）とは、擬音語・擬態語のことを示す言葉と定義され、ギリシャ語を語源とする★6。日常場面においてどのようなオノマトペが使われるかのたくさんの事例が集められており★7、言語学の一研究領域として体系化されている。触覚と異なり、触感は論理的な感覚ではないため、特に感性的な表現の多い日本語において、触感をオノマトペにより表現する例は多い。例えば、携帯のバイブレータによる着信を受けたときに、私たちは皮膚を揺らす振動周波数が低い／高い、また振動の振幅が小さい／大きい、とは通常言わず、ブルブルした、と表現する。オノマトペによる触感表現の妙は言語をまたがっても共有可能な点であり、建築家でデザイナーの阿部雅世氏は複数言語を母国語に持つ学生と一緒に、誰

にでも伝わるオノマトペを創作するワークショップを実施している★8。Haptic Dictionary と呼ばれるこの試みでは、教室の外に出て身近なマテリアルを探し集め、それぞれに対して、オノマトペを与える。このように、オノマトペは触感を理解する1つの共通言語であり、個人的な触体験を皆で共有するツールであることが認識され始めている。

3.2. オノマトペと触対象の関係性による触感の理解

オノマトペを通した触感・触体験の理解の仕方は、テクタイルにおいても重要である。その最たる例は、オノマトペとそのオノマトペによって代表的に表現される触対象との対応関係を議論する際に発揮される。

日本においてオノマトペと触対象の関係の重要性にいち早く気づき、まとめあげることに最も早く成功した例は、川端らの布の風合いを定量化する試みである★9。布の風合いとは、いわば布の触感を表現する専門的なオノマトペを含む言葉群でもあり、代表的には「ぬめり・しゃり・こし（もしくは、はり）・ふくらみ」という言葉で表される（それぞれの言葉の定義については参考文献★9 参照）。これらの言葉を触感の軸にして、例えば今着ている服の布地に触れてみると、確かに布の風合いについて主観的な触感をより体系化しやすくなる。

川端らは、それまで漠として職人の間で共有されていた布の風合いを、誰にでも同じように伝え、共有する方法として、HESC 風合い評価標準、いわゆる「風合いの見本帳」を提案した（図1）。風合い評価標準では、例えば「ぬめり」の度合いごとに、布地サンプルが並べられており、あたかも色の見本帳のように、任意の布地の風合いの評価が可能である。HESC 風合い評価基準を利用した風合い定量機器の開発も同時に行われ、30 年以上も前の研究であるにも関わらず、現在でも通用する触感の定量機器として全世界で売れ続けている★10。

一方、皮膚が持つ独特な触感に関する見本帳をテーマにした作品が、白土らによる人肌コレクションである（図2）。人肌コレクションの各ピースは、人間の肌と同等のやわらかさを持ち、かつ皮膚の構造を模倣した2重の柔軟体から構成され、表面に肌理（きめ）加工が施されている★11。1 mm にも満たない皮膚表面の弾性や肌理の微妙なバランスが異なるだけで、柔らかさ、滑らかさの印象ががらりと変わり、かつ、あるパラメータをもつときに、驚くほど突然、人間の肌触感に近づけられることを発見した。人間がわずかな柔軟性の表面肌理の差による触感の差を大きくとらえるという、物理世界と人間の感覚の非線形的な対応関係を体感させる好例である。

以上のようなオノマトペと触対象の関係について、より一般的な理解を促す試みも行なわれている。上述の試みと並列して、白土らは絹やひのき材、牛革ヌバックや銅片など 20 種類のマテリアルを用意した。さらに触感を表す 12 種のオノマトペ対（例えば、すべすべした―ざらざらした）を利

図１　HESC 風合い評価標準（提供：カトーテック株式会社）

図２　人肌コレクション

用して、よりどちらかに近い触感かを評価させる実験を行っている★[12]。加えて、実験に利用したマテリアルの物理的な特性（粗さや摩擦の大きさ、熱の伝わりやすさ etc.）を同時に統計的に評価することによって、人間の触感を記述するための４つの潜在的な因子（凹凸因子、冷温因子、乾湿因子、硬軟因子）を導いた。この結果は、粗さ感、冷温感、湿り気感、硬軟感の４種のモダリティで、触感をおおまかに表現しうることを意味する。

3. 3. オノマトペと触り方の関係性による触感の理解

以上では、触感を呈する触対象と、オノマトペに関する議論を行ってきた。しかし、たとえ同じ触対象を体験者に渡しても、まったく同じオノマトペを回答するとは限らない。このことを、著者らは 2008 年より行っている触感表現ワークショップの中で体験している。このワークショップはいわばオノマトペの「伝言ゲーム」である。まず、１人目の体験者は、任意の触対象を渡され、その触対象を表現するオノマトペを書き留める。さらに、書き留めたオノマトペを表現する触対象を別に用意された多数のマテリアルの中から１つ（ないし２つ）選び、次の人に渡す。渡された人

図３　face therapie（Photo by Masaharu Hatta）

は、もらったマテリアルから得られるオノマトペを書きとめ、異なるマテリアルを選び、次の人に渡すというステップを順々に繰り返す。

このワークショップを行うと、たいていの場合、オノマトペを次の人に正しく伝えることができない。例えば、ツルツルだと思って渡したマテリアルを、次の人はスベスベと感じてしまうのである。その理由は２つ考えられる。１つ目の理由は、マテリアルを表すオノマトペの可能性が一通りではないからである。２つ目の理由は、マテリアルを触れる“触り方”によって、触感が異なってしまい、それに伴いオノマトペが異なってしまうからである。

この現象にいち早く気づき、１つの作品に昇華させた例が、鈴木らが提案するface　therapieである。フェイシャルエステ施術法の教育普及に関わっている鈴木らは、触り方が持つリズムやそのバリエーションの豊かさの可能性について施術者の立場から気づいた。さらに、施術者の「触り方」が変われば、受け手が施術者の指より受ける触感も大きく変わりうることを発見した。

彼らの発見を表現するために、鈴木らはface　therapieの中で、フェイシャルマッサージの触り方を、楽譜のアナロジーとして触譜により表現している（図3）。触譜では、指の位置、姿勢だけではなく、動きやそのときに生じるであろう触感まで表される。face　therapieは、触り方により触られる皮膚の触感が変化することをプラクティカルな立場から指摘した点で興味深い。

3.4.　オノマトペと触る側の特性との関係性による触感の理解

オノマトペと触対象、および触り方の関係性について述べてきたが、最後に触る側の特性との関係について述べたい。触対象を触る人間側が、みずみずしく柔らかい指なのか、乾燥して硬くなった指なのかによって、得られる触感の質は異なる。その理由は、柔らかい指で触れれば表面のひっかかり（水平振動）がとらえやすいだろうし、硬い指で触れれば対象物体

とのなぞり時に生じる触対象の共振特性（主に垂直振動）をとらえやすいからである。工学において、触感をセンシングする技術の開発は盛んに行われているが、その中でもヒトの指の構造を模倣した触覚センサ開発の試みは、触感に関する理解を促進している。向坊らは、ヒトの指が持つ解剖学的な知見（形態的な厚みの違いや、部位による硬さの違い）を模擬したゴムによる構造体を作った上で、触対象との界面に指紋を模した凹凸をつけた★13。指紋構造が触対象において重要であることは複数の研究で確かめられており★14★15、触る側の特性に基づく触感の理解は今まさに進展しつつある。今後、オノマトペと人間の指や身体部位を一般化した触覚センサの研究が、新しい触感の理解を促進することが期待される。

4. 触感を創る

これまでの議論の中で暗に述べてきたように、触感に対する理解は、感覚としての触覚の基礎研究によって促進されてきた側面と、触感を再現するテクノロジーとそれに伴う認知科学研究の発展によって理解が促進されてきた側面が並行している。それゆえ、触感を知ることと、触感を創るテクノロジーとは不可分であり、互いに補完しあっている。触感を創るための最も基本的な手法は、(1) 触感を呈する物体・現象を創りだす（再生する）ことである。また、第3節で述べた触感の主成分を積極的に活用することによって (2) 物体と触感を切り離して、触感だけを創り出すことも可能となってきた。さらには、(3) 2つ以上の感覚を複合的に提示することによって、過去の体験に基づく触感のイメージを創りだす試みも行われている。

触感の精密な再現を技術によって試みた一例として、柴田らによるパロが挙げられる（図4）。ゴマアザラシ幼獣の触感を提示するために、ロボットを触感のよいファーによって覆い、かつ生きている証としてのぬくもりを温度感覚の再現によって表現している。パロに代表されるような触感の直接的な再現手法が提案される一方で、上述の (2) や (3) の方法による

図4　パロ（Photo by NOSIGNER）

触感の提示手法の発展がここ最近、活発になってきている。本節では、テクタイル展で紹介してきた作品を中心に、その一端を紹介する。

4.1. 触知覚の不思議を利用した触感

触感を構成するために、最も普及している技術は振動子（バイブレータ）である。携帯電話の基本技術として普及しているため、私たちの生活の中でなじみ深い技術となってきているが、バイブレータを利用して触感を再現する試みは古くから行われている。

脈々と行われてきた研究の１つの成功例は、触感を構成する指先の生体センサがもつ、振動刺激への感度特性を利用する手法である。皮膚を点もしくは面で振動させる際、低い振動周波数であればボァとした圧力感を、高い振動周波数ではチリチリ、サラサラとした細かいテクスチャ感を体感する。触感を提示するシーンに応じて振動周波数による感覚の違いを使い分けることによって、触感を提示することができる。後述する昆陽らのVibTouchには、人間の触知覚特性に基づいた振動提示手法が適用されている（参考文献★3 第４章）。

触知覚の不思議を利用する一例として、触る面の変形を積極的に制限・強調することで、人間に気づかれずに、触対象の触感を変化させる手法がある。皮膚は接触面に対して水平方向に力をかけた場合の方が、垂直方向に力をかける場合よりも変形しやすいという性質を持つ。佐野らはこの原理を利用し、ほとんどの人間が感じることが出来ない表面の凹凸を感じさせることができる技術（触覚コンタクトレンズ）を開発した★16。指に対して垂直方向に変形させようとする力を、水平方向の力に変換することにより、わずか数ミクロンの凹凸を誰でも感じることが可能である（図5）。逆に、水平方向の力を排除して、垂直方向の変形のみを取り出そうとする試みも仲谷によって提案されている★17。ピンをたくさん並べた刺激子（ピンマトリクス）に指をのせて接触表面の上をなでると、なでた触対象のうち、垂直方向の高さ変化に関する一部の触感だけが取り出される。さらに、ピンの細さ（空間解像度）を変えると、同じ触対象の表面であっても、ごつごつ感が強調される場合や、チリチリが重畳された触感が体感できる。筧らによるtingle discは、ピンマトリクスを利用し、回転するテクスチャに触感と光・音で触れる作品である（図6）。

指の変形に基づく触感だけでなく、皮膚を通して伝達される温度感覚も組み合わせると、触感の不思議はより増強される。例えば、摩擦感（ザラザラやツルツルとした触感）と温もりとが適切に組み合わさると、金属表面を布のような触感に変換することが可能である。これは、指表面から逃げてゆく熱の流れが、布のそれと類似する場合を、接触面の面積を人為的に変化させることで作り出すことができるからである。メタルＴシャツという作品では、本物のＴシャツとまったく同じ形の鉄製のＴシャツを並置し、その触り心地を比べることで、布の触感の本質を再考する契機を与

図５　触覚コンタクトレンズ

図６　tingle disc

える（図７）。

触感の不思議を議論するために欠かせないのは、触感の錯覚である。錯覚は一般的に、人間の知覚特性を顕在化させるツールとして、心理学研究において常に興味を集める分野である。触感の錯覚を適切に利用し、単純なハードウェア構成よって触感を創る試みが提案されている。例えば、滑らかなツルツルした面と、粗いザラザラした面を隣り合わせると、滑らかな面は相対的に高さが低く感じる★[18]。小川らはこの現象を用いて、ルビンの壺で知られる図地反転する視覚情報（ふたりの向き合っている人間なのか、文字通り壺なのか）を、触感の凹凸によって一意に定める試みを提案している（図８）。また、ベルベットハンド錯覚は、質感を伴う不思議な現象である（参考文献★[3] 第22章）。テニスラケット様のガットを両手で挟み込み、ガットを介して自分の手をなぞると、ぬるりとした生々しい触感を体験できる。この特異な触感は、皮膚刺激の特徴では十分には説明されていない。しかし、現象を再現することは比較的容易であるため、今後、この現象を利用した興味深い触感提示手法が生まれてくることが期待される。

テクノロジーによって創られた触感の錯覚も好まれる主題である。指の

図７　メタルＴシャツ（Photo by NOSIGNER）

図８　見た目　触り目

爪上に携帯電話に使われる小型バイブレータを取り付け、指を机に置く。バイブレータをオンにすると、指が机に接触するが、自分の意思で指を動かしていないがゆえに、机が指を叩いたように体感する★19。渡邊らによる Touch the Invisibles はこの現象を視覚イメージと重ね合わせることで、見えない小人に触れる体験を提供する（図 9）。

私たちが日常的に体験する摩擦感の中にも、触感の錯覚が潜んでいる。いわゆる「摩擦」を初等物理の教科書の通りに説明すると、指側から加えられる垂直抗力に比例して生じる、指を動かす方向に拮抗して働く抵抗力のことと定義される。しかし人間が体感する摩擦感は、（前節で述べたように）物理学的な特性とは必ずしも一致しない。高崎らによる感じるタッチパネルでは（図 10）、触れているガラス表面に特殊な振動（表面弾性波）を生じさせることにより、指側から物体に加えられる垂直抗力を任意のタイミングで減らすことができる★20。この操作によって、人間は自らが印加している垂直抗力に対して、想定するよりも弱い摩擦力を体感する。また、垂直抗力に時間変調をかけることにより、急激なひっかかり感を体感させることもできる。そのため、摩擦感の時間変化によって、ザラザラ、

図9　Touch the Invisibles（Photo by Masaharu Hatta）

図10　感じるタッチパネル（Photo by Masaharu Hatta）

ツルツルとした触感を提示することが可能である。この技術は、人間が体感する摩擦感が摩擦力の時間的な変動に依存することを利用していると考えられ、メタルTシャツでも見られる性質である。

4.2. 触感の記録

人間の体感する触感の発生メカニズムを明らかにしようとする試みは、アカデミアにおいて活発に行われている。しかし、すべてのメカニズムが明らかにならなくとも、触感に大きく貢献するであろう、主成分を適切に記録できれば、触感を創るための1つの参考資料となりうる。ただし、その際には、触る・触られるものの相互作用を適切に記録するとともに、face therapieの例から示唆されるように、人間の触り方も同時に記録することが必要である。

このことを如実に実現したのが、小島らによる鉛筆をけずった感覚を再現する装置Addictive Handleである（図11）。鉛筆削りを使用する際に生じる刃と鉛筆の間の相互作用（抵抗力）を、ハンドル後部にあるモーターに流れる電流によって記録する。精密に制御可能なモーターと一体化したハンドルを人間が回した際に、記録された抵抗力を元に触感を再生する。記録された触感は、まるでアナログレコードのように、早回し再生やスローモーション再生することもできる。本手法を発展させ、記録された触感を現実世界で体感する速度とは異なる速度で再現することによって、その素材感をより引き出す演出方法も提案されている★21。今後、触感の表現とどのようにして結び付けてゆくのかが期待される技術コンセプトである。

4.3. デジタル技術による触感—触感のイメージを創る

第2節で述べてきたように、触感は必ずしも触覚だけで生まれるわけではなく、触覚以外への感覚入力や、過去の経験や学習と複合的に結びつくことで総合的に体感されている。それゆえ、触感の提示は既存の視聴覚デジタル技術とも相性がよく、適切に結びつけることで、より鮮明な触体験

図 11　Addictive Handle

を生み出すことができる。

1つの鮮烈な例がAnatole Leculerによって考案されたPseudo Hapticsである★22。視覚情報を積極的に取り込むことで、マウスポインタに触感を付与するアイディアである。体験者がマウスを手に持って、モニター上のマウスポインタを動かす。その際、マウスカーソルが移動する視覚情報を意図的に早める・遅くすることで、ユーザの意図との齟齬を生じさせる。この齟齬を解釈する際、往々にして人間は視覚情報に基づいてマウスを持っている手に因果関係を与える。結果として、マウスポインタが早く動けば手に持っているマウスが軽く感じられ、逆に意図に反して遅く動けば、手に持っているマウスが重く感じられる。触感を再現する新奇のデバイスを使わなくとも、表面の凹凸やひっかかった触感を提示することが可能となる。

このようなPseudo Hapticsの効果は、触覚を提示するデバイスと組み合わせることで、より触感のリアリティを高めることができる。昆陽らのVibTouchは、Pseudo Hapticsと、人間の触知覚特性に合わせた振動を提示することで、視覚ディスプレイ上での（マウス）ポインタの滑りやすさや、ポインタが触れている面の凹凸を感じさせる装置である（図12）。また、南澤らによるGravityGrabberは★23、指に取り付けたベルトを、コンピュータグラフィックスと同期して制御し、指を締め緩めすることで、触感による存在感の重畳を実現した作品である（図13）。実際には存在しない物体の重さやモノの動きにくさの提示を、指先に装着するシンプルなデバイスで実現している。星らによる空中超音波触覚ディスプレイは、体験者がハードウェアとの接触を介さない触感提示を可能とするテクノロジーである★24。超音波スピーカをアレイ状に並べ、ある1点の焦点に集まるように同期して超音波を発すると、圧縮された空気が体験者の肌に触れ、触感を与えることができる（図14）。提示できる力の大きさは数グラム重に達するため、人間の指や手のひらで体感するに十分な大きさである。視覚情報と組み合わせた、触感のホログラムとしての活用方法が提案されて

いる。

5. 触感で伝える触体験のデザイン

これまでに述べてきたように、最新のテクノロジーによってもたらされる触感は、未開な領域を含めて大きな可能性を秘めている。本節では、創り出された触感がもたらす今後の展望について、これまでのメディア技術発展の文脈に沿って述べる。

近年までのメディア技術は、主として視聴覚情報を中心に設計されてきたといっても過言ではない。このことは、我々の主観的な体験が主として視聴覚に依存しているからだけではなく、他の感覚の知覚原理が十分に解明されていなかったため、知覚の処理対象として難解であったという歴史も指摘できる。しかし、日常の周辺環境とのインタラクションや、人間同士のコミュニケーションを考える際、私たちが体験する触感を切り離して考えることはできない。

1997 年、Ishii らの提唱した Tangible Bits の概念は、それまで乖離していた Atom で構成される実世界と Bit で構成されるデジタル世界を「触

図 12　VibTouch

図 13　GravityGrabber

図 14　空中超音波触覚ディスプレイ（Photo by Masaharu Hatta）

る」という行為を通してつなげる、革新的なものであった[★25]。実体をもつインタフェースに触ることで情報を操作する、あるいは実物体を通して情報に触るというこの考え方は、後にアカデミア、インダストリアルの両分野に急速に波及し、多くのタンジブルメディアと呼ばれるインタフェースが提案・実装されることとなった。その恩恵を受けて、iPhone や Android 携帯などの情報端末に代表されるように、情報に「触れる」こと自体は現在ではもはや当たり前のこととして受け入れられている。

このような文脈の中で、本節では触体験の可能性について述べたい。特に、触感を用いた実世界インタラクション、およびコミュニケーションメディアの事例を取り上げて論じてゆく。

5.1. 人間の拡張：触れ得ないものに触れる

触感のデザインが適用される動機として、本来触れがたい対象に触れるようにすることが挙げられる。代表的な例として、手が届かない遠くにあるもの、もしくは（体に）閉じ込められている部分に触るという体験を提供する遠隔医療システムがある。この他、運転シミュレーションや、手術シミュレーションなど、頻繁には起こり得ない状況を、バーチャルリアリティと付随する触覚提示技術で再現するという試みがある。最近では、保存状態維持のために触れることが許されないミュージアムの展示物に対して触感を提供するシステムなど、その応用は日常空間のさまざまな場面へと展開されている。

本来触れ得ないものに触れられるようにするアプローチは、人間の機能拡張（Augmented Human）と捉えることもできる。野嶋らの Smart Tools[★26] は、ペンやナイフの先に電気抵抗を測定するセンサを配した力覚フィードバックシステムである。本システムを活用すると、電気抵抗の変化が生じる境界面における触覚的なフィードバックを返すことができる。例えば、水と油が入ったコップの中でその境界に触れるなど、本来人間が体験しえない物性の違いによる境界線を体感可能とする。これにより、目をつぶっていても卵の黄身と白身を分離して切ることも可能となり、人間の身体に新たな機能の拡張を与える。

Alvaro らが提案する The Haptic Rader は、頭部に装着するヘアバンドに赤外線による近接センサと振動子が複数組み込まれたもので、周辺障害物との距離の変化を振動により伝えるものである[★27]。体験者は目を閉じていても、もしくは背後など視界の外であっても、振動の方向により、その先にある障害物の接近を感じ取ることができる。この他、西村らの Touch Light Through the Leaves のように[★28]、日光など照射される光を触覚情報で伝えるなど、実世界の物理現象を触覚という形に変換して届ける試みは、実世界での生活を支援し、かつ楽しくするという意味で、多くの発展可能性を残していると言えよう。

5.2. モノ・行為の拡張：拡張現実型触感デザイン

触感のデザインにおいて、今後さらに様々な展開が期待できる考え方として、拡張現実感のアプローチがある。これは、バーチャルに別の触感を体験させるのではなく、対象となる実物体の触感に、情報技術により触感を足す、もしくは引くという操作を加えて、新たな意味を創りだすものである。

例えば、第4節で紹介したメタルTシャツは、アナログ的ではあるが、この考え方で捉えることも可能である。これは、金属の材質を有しながら、そこに特殊な表面加工を施すことによって、まるで絹のような触感を提供するものであった。また、佐野らが提案しているソフトフィール硬質面の研究も、プラスチック表面に適切なテクスチャ加工（シボ加工と呼ばれる）を施すことによって、プラスチックの強度を保ちながら、いわゆるプラスチッキィでない触感への改善を可能にする（参考文献★3 第2章）。このような研究の延長線上には、材質の特性と、それが発する触感を別の次元で扱うことを可能にするプロダクトデザインの可能性がある。触動作や行為に対して、情報を付与することにより、現実を拡張した体験を提供する試みもいくつかなされている。野見山らのRiverBootsは、長靴の中に振動スピーカを複数個設置することにより、歩行時にあたかも川の中を歩いているかのような感覚を提示するものである（図15）。靴底についた距離センサおよび加速度センサで足の動きをセンシングすることによって、着地や足の振りに合わせて川の水の音を加工して提示する。実際に、渋谷の街で、このデバイスを履きながら渋谷川が存在していた場所に建設された舗道を歩くことによって、過去の触感の記憶・歴史をたどりながら街を歩くというアプリケーションが開発されている。

5.3. 身近な触感を活かしたインタフェースデザイン

我々の身の回りの世界には、数多くの素材が生み出すあまたの触感が存在する。それらを真似て情報デバイスで同じような触感を創りだすのでは

図15　River Boots

図 16　Strino の葉（Photo by NOSIGNER）

なく、元々存在するそれらの素材を積極的に利用して新たな価値や体験を得ようとするアプローチが提案されている。

Ishii らの Illuminating Clay★29 および SandScape★30 は最初に語るべきランドマーク的な作品である。これらは、テーブル上に盛られた粘土もしくは砂粒による形状をテーブル上部に取り付けられた三次元スキャナによってリアルタイムに計測し、その結果に応じてそこに映像を重畳表示するシステムである。幼少期より、砂場で砂を寄せ集めて山を作る、または粘土で様々な形状のモノを作って遊んだ経験は誰しもが共有するものであろう。その体験と同じ素材を同じ要領で用いることで情報世界のモデリングを可能にするこれらの研究は、インタフェースとして高い直感性を実現していると言える。

川上らの Strino の葉も、同様の概念を具現化した好例といえる（図 16）。これは歪みゲージを植物の茎に貼付け、体験者が葉に触ったときの茎の揺れをリアルタイムにセンシングする。これにより、本物の植物の葉が楽器として機能する体験が得られる。この研究グループは、歪みゲージを取り付ける対象を植物に限らず、遊具やベンチなどを情報操作のためのスイッチに変換する一連の取り組みを行っている。

近年の先進的なインタフェースとして挙げられる iPhone や Microsoft Surface は、デジタル世界に対して新たなパスを生み出したが、一方でその触感は、固いガラスを触っている感覚のみであり、無機質なままである。これに対し、日常生活において普遍的な素材をインタフェースに適用することで、新たな操作や、インタラクションへの引き込みを図る取り組みも行われ始めている。筧らの ForceTile では、上述のようなシステムを拡張し、ゲル状の素材でインタフェースを構成した（図 17）。これは、くっつける・動かす・回転するというタンジブルメディアの特徴的なアクションの要素と、押す、つまむ、ひねるなどのタッチインタラクションの要素を融合させたものである★31。ゲル状の素材が有する弾力のある触感を利用することには 2 つの利点がある。1 つ目には、ゲルの中に赤外線カッ

図 17　ForceTile（Photo by Masaharu Hatta）

トフィルムで構成されるマーカを埋め込み、ゲルの動きに応じたマーカパターンの変形を取得した結果、上述技術のようなタッチインタラクションが可能になる。2つ目には、心地よい程度の弾力を有する素材をインタフェースに使用することで、押したい、つまみたいといったインタラクションへの参加性を向上させる点である。

平山らの開発したShaboned Displayでは、素材としてシャボン玉に着目し、アレイ状に並べられた各シャボン膜をピクセルと見立てて情報を表示する★32。さらには、シャボン膜を割るという動作を伴ったインタフェース機能を実装している。シャボン膜だからこそ触りたくなる、割りたくなるという気持ちを喚起して、インタラクションに引き込む狙いが込められている。

以上のように、触れる素材が有する特徴や魅力をインタフェース設計に組み込むことは、無機質になりがちなコンピュータ―ヒューマンインタラクションに、より豊かで有機的な意味を付与するものと期待できる。

5.4. メタ情報を利用した触感の理解・伝達

最初に述べた通り、何をよりどころにして触体験そのものを捉えるべきなのか、その議論は尽きない。メタ認知と呼ばれる分野が近年注目を集めているが、触覚や触感を扱う分野においても振動情報や力情報という直接的な情報だけではなく、言葉やイメージなど人間を介して外化される様々な情報に着目することが、その解明や応用に新たな展開をもたらす可能性が考えられる。例えば、そこに存在していないモノの触感を人に伝えようとする際に、我々は似ている触感のモノの例を出したり（例：わたあめのような触感）、オノマトペのような言葉（例：フワフワ、ザラザラ）に変換して伝えたりする。

触感に付随するイメージや言葉を介した情報提示システムに関する代表的な取り組みとして、渡邊らは、布などの素材に対して抱くイメージをオノマトペとしてまとめ、その触感を並べることで感情表現やコミュニケー

図18「触り心地の響きあい」ワークショップ（Photo by Masaharu Hatta）

図19　naadee

ションを行うワークショップを展開している（図18）。また、この研究ではオノマトペの分布を表す二次元図を作成し、触感の推奨などいくつかの利用法を提案した★33。

同様にオノマトペを利用した新たな触感の獲得を目指すものとして、plaplaxが制作したnaadeeというインタラクティブデバイスを紹介する（図19）。本システムでは、体験者はiPod Touchを内蔵したデバイスを手に装着し、身の回りのさまざまな素材に触れる。システムは、その摩擦音を取得し、音の周波数分布情報などからリアルタイムに触れている素材を分類する。予め用意された10種類のオノマトペの中から、分類結果に従ってその触感に適したオノマトペが選択され、手の甲の部分に装着された小型画面に表示される。これまでの展示を通し、体験者は、オノマトペとして視覚化された情報と触感とを同時に得ることで、触れた素材に対して普段とは異なる印象を受けたり、触感から得られる印象と提示されたオノマトペとの違いから自身の触感のクセを知るきっかけを得るなど、様々な反応を示した。現在は、ユーザが周囲の素材を触れた印象からオノマトペを入力し、システムに学習させることで個人個人の触感に適応してゆくことや、各個人の触感データセットを交換することで他者の触感の理解を進めるなど、触感を通じたコミュニケーションの展開を目指した開発が進められている。

上記のように、視聴覚や触覚にまつわる情報提示技術またはセンシング技術の発展に伴い、新たな触感の創造が可能になりつつある。人が一つの新しい触感を手に入れたとき、人の身体はその触感をもとに新たな語彙を形成・獲得し、他の触感を記述するようになる。そのようなサイクルを繰り返すことにより、日常空間をより高い触感の解像度と、より高度化された触感で触れる体験が可能になると期待される。本節で紹介したように触体験デザインは今、日常生活のさまざまなところで新たに同時多発的に創造され始めている。モノ（触対象）・行為（触動作）・ヒト（触る側の特性）の

それぞれが拡張され、より豊かな触体験が溢れる日常と非日常を創りだすことが、これからのテクタイルの目標である。

6. おわりに

テクタイルの最先端の現状と目標について述べてきたが、最後に、近年の触覚に関する科学発展の観点から、触と心の関係の重要性に触れたい。

最近の皮膚科学では、皮膚を構成する１つ１つの表皮細胞がセンサとなって身体外部の環境とのインタラクションを検知し、かつそれらの応答が最終的には心の揺動にまで影響を与えうるという仮説が提唱されている★34。社会神経科学の知見からも、肌が社会的な器官（Skin is a social organ）であることが解明されつつあり、触れることの重要性が再認識されつつある★35。加えて、人間の幼少期における身体心理学（somatic psychology）の分野においても、触れることの重要性についての多くの研究が行われており、その知見が少しずつ統合され始めている★36。このように、触がもたらす心への作用に関して、多くの研究領域から注目が集まっている。

Temple Grandin という人物をご存知だろうか。Oliver Sacks の著作において「火星の人類学者」と自らニックネームをつけた彼女は、幼少期より自閉症（autism）を抱えており、他者との関わりに難しさを感じていた★37。彼女は、あるとき子牛を押さえておく締め上げシュートの写真を目にした。この装置は、牛の腹部を横から２枚の面で挟み込み、体全体を圧迫することによって、牛を自然に落ち着かせるものである。彼女は、ある日、牛の代わりにこの装置に入り、自分を抱きしめさせた。彼女は感覚過敏がゆえに他者に触れられるのを極端に嫌がったが、この装置を使えば他者に触られることなく安心して抱きしめられることができた。このため、彼女は周囲の人間と齟齬が生じるたびに、自作した Squeeze Machine に入り、deep touch pressure で心をリラックスさせるようになり、その後他者とのつながりを徐々に獲得してゆくこととなる。最近全米で公開された映画「Temple Grandin」に彼女の半生が描かれているので、興味をもたれた方はぜひご覧いただきたい。

豊かな触体験と心の平安の関係についての議論は、技術革新に牽引されるテクタイルの文脈において、今後ますます重要な位置を占めることになるだろう。テクタイルは、皮肉にも IT 革命によって分断された、フィジカルな接触に基づく心の触れ合いの体験を復活させるテクノロジーとなろう。すなわち、触体験のデザインが可能とする未来は、今よりも精神的に豊かであるに違いない。触体験をデザインする際には、使いやすさや便利さを追求するユーザビリティスタディにとどまらず、触感が持つ心への直接的な作用をも重視すべきなのである。テクタイルを通して、触覚・触感・触体験で心をつなぎ、情動的に豊かな社会環境を実現することが、未来創造のキーとなる。テクタイルを可能とする技術的な扉は今、開かれ始

めている。テクタイルは、人類史における第4のテクノロジーの波を牽引する概念となるに違いない。

謝辞

テクタイル展の開催にあたり、ビジュアルアイデンティティと展示空間のデザインはNOSIGNER氏が担当した。氏の多大なる尽力に謝意を述べたい。また、舘暲先生、篠田裕之先生、梶本裕之先生、苗村健先生、故川上直樹先生からの多くのご支援・ご助力に心から感謝を申し上げる。

註

☆1 ── アリストテレス、桑子敏雄訳『心とは何か』講談社学術文庫、講談社1999。

☆2 ── 寺田寅彦『感覚と科学』、寺田寅彦随筆集（第四巻）、岩波文庫、1948。

☆3 ── 下条誠、前野隆司、篠田裕之、佐野明人編『触覚認識メカニズムと応用技術 ── 触覚センサ・触覚ディスプレイ ──』サイエンス＆テクノロジー、2010。

☆4 ── 竹尾（編）、原研哉＋日本デザインセンター原デザイン研究所（企画／構成）『HAPTIC ── 五感の覚醒』朝日新聞社、2004。

☆5 ── 岩村吉晃『タッチ』医学書院、2001。

☆6 ── 田守育啓『オノマトペ擬音・擬態語をたのしむ』岩波書店、2002。

☆7 ── 牧田智之ほか『ぎおんごぎたいごじしょ』ピエ・ブックス、2004。

☆8 ── 原研哉、阿部雅世『なぜデザインなのか。』平凡社、2007。

☆9 ── 川端季雄『風合い評価の標準化と解析（第2版）』日本繊維機械学会、1980。

☆10 ── カトーテック株式会社：http://www.keskato.co.jp/（2010/11/30現在）。

☆11 ── 白土寛和、野々村美宗、前野隆司「肌質感を呈する人工皮膚の開発（皮膚の表面凹凸パターンと弾性構造の模倣に基づく肌質感の実現と評価）」、『日本機械学会論文集（C編）』Vol. 73, No. 726, pp. 541–546, 2007。

☆12 ── 白土寛和、前野隆司「触感呈示・検出のための材質認識機構のモデル化」、『日本バーチャルリアリティ学会論文誌』Vol. 9, No. 3, pp. 235–240, 2004。

☆13 ── Mukaibo, Y., Shirado, H., Konyo, M., Maeno, T., A Texture Sensor Imitating the Mechanisms of Human Fingers for detecting Tactile Information（2nd report: Evaluation of Detecting Roughness and Adhesion Information), In Proc. of The 1st International Conference on Manufacturing, Machine Design and Tribology, 2005.

☆14 ── 前野隆司、小林一三、山崎信寿「ヒト指腹部構造と触覚受容器位置の力学的関係」、『日本機械学会論文集（C編）』、Vol. 63, No. 607, pp. 881–888, 1997。

☆15 ── Scheibert, J., Leurent, S., Prevost, A., Debregeas, G., The Role of Fingerprints in the Coding of Tactile Information Probed with a Biomimetic Sensor, *Science*, Vol. 323, No. 5920, pp. 1503–1506, 2009.

☆16 ── Kikuuwe, R., Sano, A., Mochiyama, H., Takesue, N., Fujimoto, H., Enhancing Haptic Detection of Surface Undulation, *ACM Transactions on Applied Perception*, Vol. 2, No. 1, pp. 46–67, 2005.

☆17 ── 仲谷正史、川上直樹、舘暲「高密度ピンマトリクスを利用した触覚ディスプレイのピン径・ピン間隔と形状認識率の基礎検討」、『日本バーチャルリアリティ学会論文誌』、Vol. 14, No. 3, pp. 395–398, 2009。

☆18 ── 仲谷正史「Fishbone Tactile Illusionを利用した触対象の凹凸知覚」、『基礎心理学研究』、Vol. 27, No. 1, pp. 89–94, 2008。

☆19――安藤英由樹、渡邊淳司、杉本麻樹、稲見昌彦、前田太郎、「Augmented Reality のための爪装着型触覚ディスプレイの研究」、『電子情報通信学会論文誌』、Vol. J87-D-II, No. 11, pp. 2025-2033, 2004。
☆20――Nara, T., Takasaki, M., Maeda, T., Higuchi, T., Ando, S., Tachi, S., Surface Acoustic Wave Tactile Display, *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 21, No. 6, pp. 56-63 2001.
☆21――橋本悠希、梶本裕之「触覚のスローモーション再生における知覚特性」、『第 14 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集』、2009。
☆22――Lecuyer, A., Burkhardt, J.M., Etienne, L., *Feeling Bumps and Holes without a Haptic Interface: the Perception of Pseudo-Haptic Textures*, In Proc. of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, 2004.
☆23――南澤孝太、深町聡一郎、梶本裕之、川上直樹、舘暲「バーチャルな物体の質量および内部ダイナミクスを提示する装着型触力覚ディスプレイ」、『日本バーチャルリアリティ学会論文誌』、Vol. 13, No. 1, pp. 15-24, 2008.
☆24――Hoshi, T., Takahashi, M., Iwamoto, T., Shinoda, H., Noncontact Tactile Display Based on Radiation Pressure of Airborne Ultrasound, IEEE Transactions on *Haptics*, vol. 3, no. 3, pp. 155-165, 2010.
☆25――Ishii, H., Ullmer, B, Tangible bits: towards seamless interfaces between people, bits and atoms, In Proc. of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 234-241, 1997.
☆26――Nojima, T., Sekiguchi, D., Inami, M., Tachi, S., The SmartTool: A system for Augmented Reality of Haptics, in Proc. of IEEE Virtual Reality Conference pp. 67, 2002.
☆27――Cassinelli, A., Reynolds, C., Ishikawa, M., Augmenting spatial awareness with Haptic Radar, in Proc. of IEEE International Symposium on Wearable Computers, pp. 61-64, 2006.
☆28――Nishimura, K., Suzuki, Y., Hirose, M., Touch Light Through the Leaves: a tactile display for light and shadow, In Proc. of *ACM SIGGRAPH* 2010 Emerging Technologies, Article 23, 2001.
☆29――Piper, B., Ratti, C., Ishii, H., Illuminating Clay: a tangible interface with potential GRASS applications, In Proc. of the open-source GIS - GRASS users conference, 2002.
☆30――Ishii, H., Ratti, C., Piper, B., Wang, Y., Biderman, A., Ben-Joseph, E., Bringing Clay and Sand into Digital Design - Continuous Tangible user Interfaces. *BT Technology Journal*, Vol. 22, No. 4 pp. 287-299, 2004.
☆31――Kakehi, Y., Jo, K., Sato, K., Minamizawa, K., Nii, H., Kawakami, N., Naemura, T., Tachi, S. ForceTile: tabletop tangible interface with vision-based force distribution sensing, In Proc. of *ACM SIGGRAPH* 2008 new tech demos, Article 17, 2008.
☆32――平山詩芳、木村孝基、筧康明「シャボン膜の膨張・収縮・破裂を用いたインタラクティブ実体ディスプレイの提案」、『エンタテインメントコンピューティング』、2010。
☆33――早川智彦、松井茂、渡邊淳司「オノマトペを利用した触りの心地分類手法」、『日本バーチャルリアリティ学会論文誌』、Vol. 15, No. 3, pp. 487-490, 2010。
☆34――傳田光洋『皮膚は考える』岩波書店、2005。
☆35――Morrison, I., Löken, L.S., Olausson, H., The skin as a social organ, *Experimental Brain Research*, Vol. 204, No. 3, pp. 305-314, 2010.
☆36――山口創『愛撫・人の心に触れる力』日本放送出版協会、2003。
☆37――Oliver Sacks、吉田利子訳『火星の人類学者――脳神経科医と 7 人の奇妙な患者』早川書房、2001（原著 1995 年）。

（なかたに　まさし・資生堂リサーチセンター研究員、慶應義塾大学大学院
メディアデザイン研究科リサーチャー、慶應義塾大学大学院システムデザイン
マネジメント研究科研究員／触覚に関わる心理学・工学）
（かけひ　やすあき・慶應義塾大学環境情報学部専任講師
／インタラクションデザイン）
（しらど　ひろかず・慶應義塾大学大学院システムデザイン・
マネジメント研究科訪問研究員／触覚・統計解析・物理シミュレーション）
（まえの　たかし・慶應義塾大学システムデザイン・マネジメント研究科教授
／ロボティクス）