

感性の工学的モデル化とヒューマンメディアデータベース

加藤 俊一

kato@indsys.chuo-u.ac.jp

中央大学理工学部経営システム工学科
〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27

本稿では、人間が画像などのマルチメディア情報を受容し、解釈し、生成し、外界に働きかける過程を、物理・生理・心理・認知的な知覚の階層間の対応関係として工学的にモデル化する方法論とそのデータベースシステムへの応用について論じる。このモデル化により、利用者一人一人によって異なる感性、すなわち、情報の主観的な判断規準に適応できる感性的なデータベースシステムを構築できる。

本稿では、感性の各レベルに対応したモデルによって、画像特徴量を利用した例示検索、主観的な基準を模擬した類似検索、主観的なイメージ語による感性検索の内容検索の実現法を紹介する。また、応用例として、複数のデザイナーと顧客が共同作業的にデザインを進めるデザイン支援システム「感性工房」を紹介する。本稿ではまた、これらの感性の工学的なモデル化の到達点をふまえて、感性工学が次に取り組むべき重要な技術課題を紹介する。

Computational Modeling of Kansei Processes for Human Media Database Systems

Toshikazu KATO

kato@indsys.chuo-u.ac.jp

Department of Industrial and Systems Engineering, Chuo University
1-13-27, Kasuga, Bunkyo-ku, Tokyo 112-8551

This paper introduces the basic concept of computational modeling of perception processes for multimedia data. Such processes are modeled as hierarchical inter- and intra-relationships amongst information in physical, physiological, psychological and cognitive layers through perception.

Based on our framework, this paper gives the outline algorithms for content-based retrieval for multimedia database systems; which are sketch retrieval, similarity retrieval and Kansei retrieval at physiological, psychological and cognitive layers, respectively. They are core algorithms in our experimental Kansei information processing system, "Kansei Factory," for collaborative industrial design support works.

This paper also discusses technical issues in Kansei engineering for flexible framework and further applications.

1. はじめに

我々は、利用者一人一人によって異なる感性や経験・知識、表現能力等の多様性・多義性に適応できる、人間中心型のマルチメディア情報環境（ヒューマンメディア情報環境）の構成法の研究を進めている。

マルチメディアデータを大量に蓄積・整理してデータベース化すると共に、マルチメディアデータを適確に検索して（あるいは提供を受けて）再利用することが、利用者の本質的な要求である。

このような要求に答えるためには、マルチメディアデータに適したデータベースシステムの構成・検索技術（例：画像索引の自動付与、例示画検索・類似画検索・感性検索等の内容検索技術、多次元的・多感覚的な提示技術）の確立が技術的なブレークスルーとなる。また、検索されたマルチメディアデータを、利用者が与えた拘束条件を満たすように加工して、データの再利用や創造的活動への高度利用を可能にする技術の確立も、技術的なブレークスルーが求められる。

本稿では、我々が作業仮説として提案し工学的に検証しつつある視覚感性の階層的なモデルの基本的な考え方を紹介する。また具体例として、このモデルに沿って試作・検証を進めている感性工学研究用のソフトウェアプラットフォームである「感性工房」を紹介する。

2. 感性の工学的モデル化

本稿の範囲で考える感性の工学的モデル化とは、個々の利用者、或いは、利用者のグループがマルチメディア情報を解釈（あるいは表出）する過程で示す主観的な特徴を客観的に計測し、マルチメディアコンテンツの客観的・物理的な特徴との対応関係・相関関係を数理的に表現し、シミュレーション可能にすることである（図1）。

感性の構造に階層性を導入するのは、物理的な刺激（マルチメディア情報）に対応した感性から、抽象的主観的な概念（言語）に対応した感性までを、客観的に計測して結びつけるためである。

客観的に感性を計測し表現する基点とし

て、客観的に存在するマルチメディア情報そのものを利用し、これと個人個人で解釈の幅がある抽象的主観的な概念（言語）を結びつけるようなモデル化を行う。このような階層的なモデル化によれば、例えば、文化圏の違いにより抽象的な概念語の解釈に大きな開きがあったとしても、客観的な存在であるマルチメディア情報を媒介に、人間の感性的な特性の違いを客観的に評価することが可能となる。また、新たに与えられた未知のマルチメディア情報であっても、モデルに基づいて解釈できる。

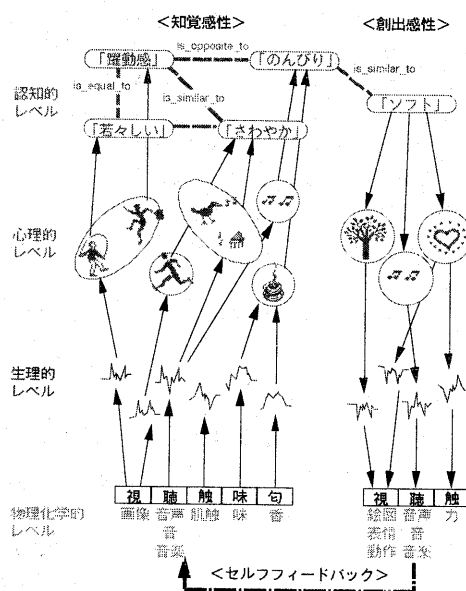


図1 感性の工学的な階層モデル

3. 感性データベースシステムへの応用

3.1 感性のモデルと内容検索

従来のキーワード・索引語による情報検索サービスでは、データベース作成者の主観によりマルチメディアコンテンツが分類整理され、必ずしも利用者の判断基準とは一致しない。また、一度作成された索引は、利用者の興味の変遷等には追従できない。

感性データベースシステムは、このような主観的な評価基準に自動的に対応しつつ、利用者からの感性的な検索要求に適合して適切なマルチメディア情報を提供するシステムをいう。

感性の生理学的・心理学的なメカニズムは複雑であるが、例えば視覚に関する感性の場合、次のように単純化してモデル化して、データベースシステムに応用することが可能である。

- (i) 生理的レベルでの感性： 人間の視覚系（初期視覚）にはエッジ・コントラスト・自己相関・空間周波数など種々の特徴抽出機構があることが知られている。これは視覚的情報がパラメータ化されて知覚されることに相当する。
- (ii) 心理的レベルでの感性： 人間は解剖学的には同一の目の構造を持ち、特徴抽出機構の働きも同様であるにもかかわらず、時として人により異なった判断をする。対象とする画像・映像を類別したり、画像間の類似度を与える際などに、その差は顕著に現れる。これは、種々の特徴量の評価の重みが人によって異なるためと考えられる。
- (iii) 認知的レベルでの感性： あるカテゴリーの視覚的情報をどう解釈するか、即ち、どのような概念のラベル（印象語、イメージ語）を割り当てるかも時として人により異なった判断をする。個々人によって、種々の特徴量と概念の対応関係が異なると考えられる。

3.2 生理的レベルでの例示検索

利用者が描いたスケッチやサンプルとして選んだ画像や物体をキーとして提示して、類似の画像や物体を検索する例示検索は、視覚感性の生理的レベルのモデルで実現できる。

人間の視覚系の初期視覚において、明るさ、色のコントラスト、自己相関、空間周波数などの種々の画像特徴が、抽出されている。二つの画像や物体が、生理的なレベルで同じような刺激を人間に与えるならば、それらの画像や物体はかなり類似していると知覚される。視覚感性の生理的レベルでの例示画検索は、キーとなるデータと種々の物理的あるいは生理的に抽出される特徴量（多次元ベクトルとして計測される）が近いデータを、近いものから順に候補画像として検索することで実現できる。特徴量のズレは類似度に相当すると考えられる。

ある画像の内容を記述する情報として、利用者がキーとなるデータ p_0 を提示し、データベース中のデータ $p_i \in P$ との類似度 s_i を何らかの規準に従って評価して、類似度の高い p_i を解の候補とする。この時、キー p_0 はデータベース中に含まれていなくてもよい（図2）。

解の候補集合には、類似度による順位付けがなされているのがふつうである。例えば利用者が描くスケッチをキーとして提示する内容検索（いわゆる例示画検索）は、類似度を利用した検索の自然な応用である。また、不完全な情報しかキーとして提示できない場合でも、類似度を利用することで、曖昧検索も実現できる。

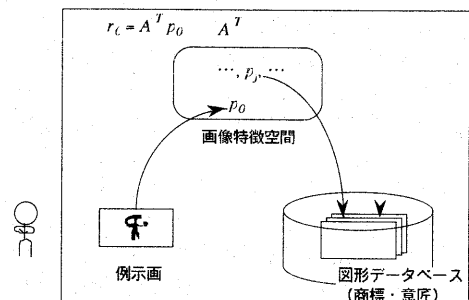


図2 画像特徴索引を利用した例示検索



図3 カラー写真の例示検索の例

モノクロの図形画像を対象とする場合は、図形の濃淡分布（概略形状・構図）、ラン

長分布（空間周波数）、濃淡分布の局所相関のような単純な画像特徴量で、例示検索を行える。一方、対象がカラー写真やイラストの場合には、部分領域の代表色やカラーヒストグラムなどの色彩の特徴をも反映した画像特徴量の設計が必要となる。

カラー写真を対象とした例示検索の例を図3に示す。カラー画像の場合には、図形の濃淡分布（概略形状・構図）と部分領域のカラーヒストグラムなどの色彩の特徴をバランスよく併用する必要があることがわかっていてる。

3.3 心理的レベルでの類似検索

心理的レベルの視覚感性では、個々人の主観的な解釈の差が現れる。この現象は、個々人が種々の特徴量をどのように重み付けして評価するかを統計的に分析して、主観特徴空間を構成すれば、心理的レベルの視覚感性を工学的にモデル化することができる。

データベース中の全データの全ての対に類似度を人手で与えることは、実際上不可能である。従って、比較的少数の対の類似度をシステムに示し、共通する特徴等をシステムに統計的に学習させればよい。

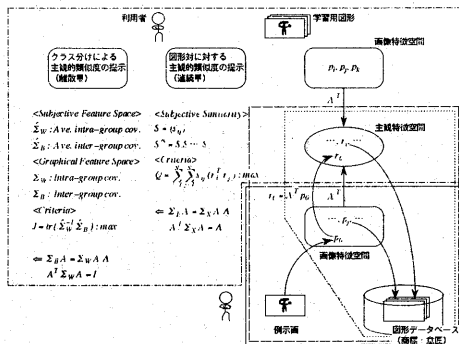


図4 主観特徴空間と類似検索の実現法

主観的な類似度をシステムに例示する方法により、図4に示すように、2通りの学習方法が考えられる。クラス分けで提示する場合は判別分析、連続量で提示する場合は多次元尺度法に相当する。明らかに連続量で提示する方が、細かく主観的類似度を表現できるが、学習用データを与える上で、

利用者の負担が大きい。

このような手順で構成した主観特徴空間を利用すると、利用者の主観を反映した検索を実現することが出来る。主観的特徴空間上では、主観的に類似したデータも、近い点に写像される。これより、利用者はキーとなるデータを例示するだけで主観的な基準で類似したデータを検索できる。

3次元物体のデータベースから10%程度の学習用セットを選び、各データ対に類似度を与えた類似度行列により主観的基準を教示して、主観特徴空間を作成した。図5は、同じ物体をキーとしながらも、感性の異なるそれぞれの利用者の主観特徴空間上で類似検索した例である。

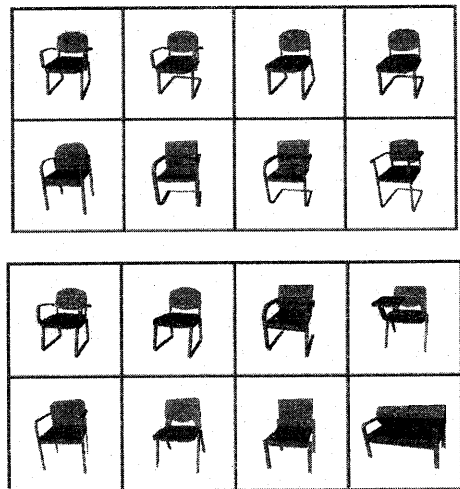


図5 3次元物体の類似検索
(二人の利用者のモデルで類似検索)

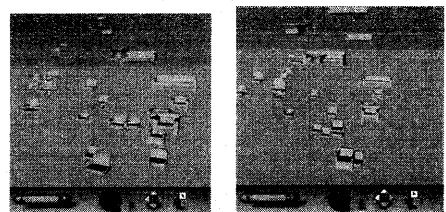


図6 主観的特徴空間の可視化と対比

また、図6は、この二人の利用者の主観特徴空間を（3次元空間に縮退させた上で）可視化して表示したものである。同じイス

やソファーを対象としながらも、どの部位のどのような特徴に注目して「類似・非類似」を判断しているかの違いを伺うことが出来る。このように、主観特徴空間は、感性の構造を可視化したり、人による感性の違いを対比させて理解する道具としても利用できる。

3.4 認知的レベルでの感性検索

種々の視覚心理実験から、人間の視覚的印象は、対象の色彩（色の組合せと配色等）と構図に由来することが知られている。この関係に注目すると、印象語等の主観的表現と対象の色彩特徴という物理的・生理的表現の間に相関関係があることが期待できる。この相関関係を、比較的少ない数の実例から例示学習（統計的学習）により分析して、利用者の認知的レベルでの感性のモデルとして参照する。

印象語のように主観的で漠然としたキーから、それにマッチした内容のデータを検索することを感性検索と呼ぶ。

画像と印象語のような異なったドメインの情報を統合して、各利用者の主観を反映した索引空間を構成すれば、この索引空間上で感性検索が可能となる。利用者は、学習用セットの各画像に印象語を与える。システムは、色彩特徴と印象語との相関が最大となるような、統合特徴空間空間への写像を、正準相関分析等の多変量解析で構成すればよい（図7）。

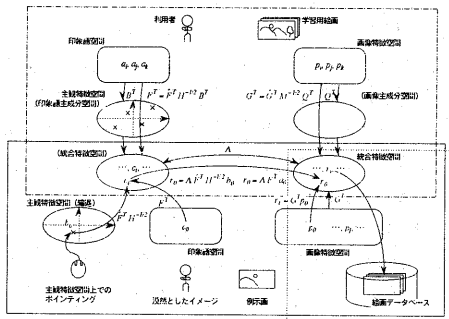


図7 統合特徴空間と感性検索の実現法

印象が類似した画像は、図7の統合特徴空間上で近い点に写像されていると考えて

良い。同様に、類似したイメージを表わす印象語 a_0 も、回帰 Λ により $g_0 = \Lambda^T a_0$ で、統合特徴空間上の近い点に写像されていると考えられる。

図8に、印象語「ナチュラル、さわやか」を満たすような色彩の絵画を検索した結果を示す。視覚的印象のモデルは、色彩特徴（カラーの局所自己相関、カラーヒストグラム）と印象語との相関分析で作成したが、上位の候補の多くは、例示された印象語にかなり良くマッチしている。



図8 感性検索の例
(ナチュラル、さわやか)

3.5 感性シミュレーションの課題

以上のような感性のモデル化とこれを利用した感性シミュレーションの課題は、以下のように整理できる。

(a) 画像特徴量の設計

工学的には、少ないデータ量の特徴量を用いながら精度の良い例示検索や類似検索・感性検索を実現する必要がある。対象が限定できるのであれば、その対象の集合に関して分散の大きい画像特徴量の組を選択するべきである。

(b) 主観的な基準の教示

基準の数量化法と共に、人間に心理的な負担の少ない教示法を設計するべきである。利用者の主観に適合するまでの時間を多少犠牲にしても、心理的に負担の少ない方法で、教示データを収集するなどの工夫が必要である。

(c) 統計的な分析法・学習法

線形学習・非線形学習のいずれを採用す

るかの判断と共に、一括学習・経時学習に対応した処理方式を準備することも重要である。

4. 知的感性的活動の支援 感性工房

我々は、これらのモデル化の枠組み・アルゴリズムを実証的に評価するために、複数のデザイナーと顧客とが共同作業的にデザインを進める、新しいデザイン支援システムを例題にプロトタイプングを行っている。本章では、プロトタイプシステムの概要と、その上での評価の試み、今後の課題と可能性について紹介する。

4.1 デザイン支援システムの要件

意匠のデザインやコーディネイトは、知的でかつ創造的な作業である。このような作業の過程では、

- (1) 過去の事例も含めたデザインに関する幅広い情報の収集
 - (2) 顧客やデザイナーが考える感性的な観点からの情報の整理や取捨選択
 - (3) 顧客や共同作業するデザイナー間での感性的な意見のすり合わせ
- が必要である。これらの準備の下に、
- (4) 顧客の意向に沿った具体的な造形
 - (5) 顧客へのプレゼンテーション

が行われる。一からデザインを起こす場合、上記の準備段階に全工程の70～80%程度の時間が費やされることが多い。

このような知的単純作業に時間を費やさざるを得ないのは、資料収集（すなわち、マルチメディア情報の取捨選択）、レンダリング（3次元グラフィックスによる描画）、プレゼンテーション作成（3次元仮想空間の作成）のそれぞれに、「感性・センス」と呼ばれる、デザイナーの経験・評価・技能に基づく主観的な情報処理が必要なためである。従って、「デザイナーの感性を理解する」技術、「欲しいと思う情報」「自分に役立つと思われる情報」を情報洪水の中から確実にピックアップできる技術、「消費者の感性に受け入れられるものをつくる」技術が実現されれば、工業デザインの生産性を大幅に高められると共に、品質を向上させることも期待できる。

感性工房のプロトタイプシステムでは、

デザイナーは、顧客から「感性的な表現」でオフィス家具やオフィスのコーディネイトの仕事を受注する。次いで、イメージ語や参考となる写真、図案、図面などをキーとして、関連する資料を自動的に収集してこれを閲覧、イメージを膨らませながら、実際に適切な家具を選択したり、部品を組合せて設計する。このような家具を仮想空間上に構成したオフィスに配置してコーディネートすると共に、顧客にプレゼンテーションして結果の確認を求める。また、顧客からのより細かい要求の変更を受けて、その場でデザインやコーディネイトの修正を即座に行う。

「感性工房」は創造的な活動の生産性を高めると共に、消費者参加型の商品設計・生産に道を開くものである。

我々が取り上げた例題「工業デザイン」は、マルチメディアデータベースを利用しながら行う感性的な創造活動の典型例に相当する。対象とするコンテンツを変えれば、同様のフレームワークで、個人対応のショッピングカタログなどの印刷物の作成、情報機器・家電製品・自動車などのデザイン設計、都市計画や建築物の外観設計等にも適用できる。

4.2 デザイン支援システムの機能構成

デザイン支援システムの機能構成を図9に示す。

感性工房を実現するのに必要な要素技術を、以下に整理する（図9）。

(1) 感性エージェントメカニズム

各サーバーのコンテンツ・内部仕様の違いを意識することなく、壁材を扱う複数のサーバーや家具を扱うサーバーから、求める情報を統一的に検索できる、複合コンテンツ検索のためのメカニズム。

(2) 感性コーディネーション

検索すべき家具等の立体物やこれを並べるオフィスなどの3次元空間に関して、色彩や模様、形状などに制約条件のある場合に、全体として利用者の要求を満足させるように内容検索するアルゴリズム。

(3) 感性のモデル化

様々なコンテンツのカテゴリ（図案、自然画像、テクスチャ、家具等の立体物、

オフィスなどの3次元空間)に対する主観的評価尺度を計測しモデル化するアルゴリズム。

(4) 感性データベース管理システム

想定する利用者の平均的な感性や、一人一人の利用者の(時間と共に変化する)主観的な評価基準そのものをメタデータとして動的に管理・共有し、種々のコンテンツを評価するアルゴリズム群を利用者の質問を解析して組合せ、データベースの運用したり検索サービスを提供するためのメカニズム。

(5) 感性データベースのための多次元インタフェース技術

イメージ語などの概念語間、家具などのコンテンツ間、概念語とコンテンツ間の関係を、デザイナーや消費者(顧客)等の利用者が空間的・直感的に観察し、理解できるように仮想空間上に展開して提示するメカニズム。

(6) 高精度入力・提示・加工技術

工業デザイン関係等のコンテンツを素材(実世界)から高精度にデジタル化してマルチメディアデータベースに取り込むための技術、また、利用者に微細な変化や微妙な違いを正確に知覚できるように、デジタル化されたコンテンツを提示するための技術。

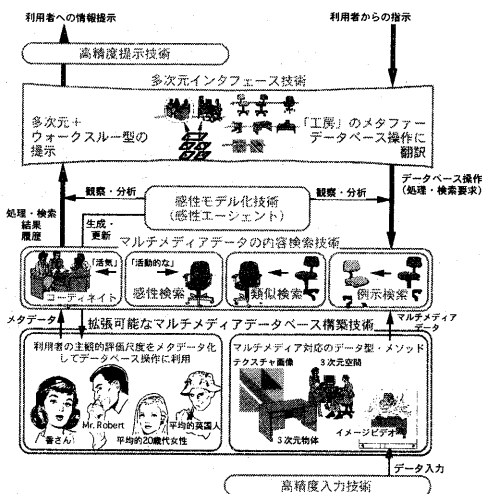


図9 デザイン支援システムの機能構成

5. 感性工学の重要課題

以上のような感性の工学的なモデル化の到達点をふまえて、ここでは、感性工学が次に取り組むべき重要な技術課題を、私見も交えて紹介する。

5.1 感覚チャネルのマルチモーダル性

人間の感性には、各感覚のチャネルの特性に強く依存して知覚する面と、複数の感覚のチャネルを統合して知覚する面がある。人間に複数の感覚チャネルが存在することをマルチメディア性と考えれば、複数の感覚チャネルを統合して総合的に解釈することはマルチモーダル性に対応付けられる。視覚に関する感性の階層的モデル化技術等を踏まえて、聴覚・触覚等の様々な感性を階層的にモデル化(マルチメディアに対応)し、さらに、多感覚感性を統合したマルチモーダル感性モデルに基づく感性メディア技術を確立することが、多感覚感性メディア技術の中心的な課題となる。

このようなマルチモーダルの感性のモデル化は、個別の感覚のチャネルのモデルとその足し算だけでは難しい。学習すべき場合の数は、加算ではなく、乗算で効いてくるからである。統計的学習によりモデルの構築を図る場合、被験者の心理的なストレスの許容する範囲内で、「知覚の戦略」も含めて効率よく学習するアルゴリズムが必要となる。

マルチモーダル性が工学的に重要な例として、感性変換がある。感性変換とは、マルチメディアで構成されたデータやメッセージを、ある特定の、あるいは個々の利用者にとって感性的に等価(近似)な、別の表現に変換することである。これには同種メディア間での感性メディア変換、即ち、物理・生理・心理・認知的レベルそれぞれでの類似パターンに置換える場合や、異種メディアにまたがって変換する場合、例えば「見てさわやか、聞いてさわやか」を実現するような変換の場合がある。前者は、データベースからの類似事例の検索結果を、加工(再編集)する場合に有効であり、後者は、高度な感覚代行のための有力な手法になりうると期待される。

5.2 感性コーディネイトのモデル化

知覚における感性のマルチモーダル性は、創出過程では感性的なコーディネート戦略に相当する。

優れた工業デザイナーは、全体としてある所望のイメージを実現するために、多数の「部品」を組み合わせる。例えば「躍動感」というイメージを与える机・いす・壁・床・天井を組み合わせるだけでは、「躍動感のあるオフィス」は構成できない。全体としてのイメージを実現するために、専門家が経験を通じて修得している戦略を、効果的にモデル化する必要がある。

複数の要因が増えれば増えるほど、可能性の数は乗算のオーダーで増え、従って、「組み合わせの爆発」が起こりやすい。学習に必要な計算量、学習結果に基づく感性シミュレーションに必要な計算量を抑えながら、コーディネートを実現する必要がある。最近研究が進んでいる、カオスニューラルネットによる最適組み合わせ問題の解法が、有力な手法になりうるのではないかと期待している。

同時に、このようなモデル化を、膨大な数の回答データに基づいて行うのであれば被験者（＝利用者）にとって「アンケートの爆発」が生じて、実際的ではない。被験者の心理的なストレスの許容する範囲内で、かつ、できるだけ普遍的な形で進めるための仕組みも必要である。

5.3 感性のモデル化の方法論

感性研究の出発点において、我々は西欧的な要素還元論的な世界観でなく、東洋的な総合的な世界観からのアプローチが必須であると考えていた。

夢中に進めてきた我々の「感性研究」は、振り返ってみると、結局、要素還元論的な手法に終始してしまっただけではないかと反省している。では、産業的にも意味のある「総合的な世界観からのアプローチ」とはどのようなものであるべきか？あれこれの言葉の遊びではなく、工学的・具体的・普遍的な手法として定式化することが出来るか？ここに次なるブレークスルーが求められていると考えている。

6. むすびにかえて

従来の情報技術は、情報機器に都合の良い情報の表現形態と処理の方式に、人間の側が適応することを要求してきた。このような従来型の機械寄りの情報技術は、「計算機主導のコンピュータメディア技術」と言える。これに対置される概念は、個人の知識、興味、主観的な判断、感性、意図等を反映しつつ、直感的・体感的に本来の情報の内容を伝えられるような情報技術である。これが「ヒューマンメディア技術」である。ここには単なる情報のマルチメディア化だけでは解決しえない、情報処理の根本的な問題が含まれていると言えよう。

謝辞 本研究は主として、通産省工業技術院産業科学技術研究開発制度「ヒューマンメディア」プロジェクトの一環として実施した。プロジェクト関係者の皆さまに感謝いたします。

参考文献

- [1] 加藤俊一、他：“ヒューマンメディア情報環境の展望と技術課題 -- 感性メディア技術からヒューマンコミュニケーションへの展開 --”，電子技術総合研究所彙報，1996.8.
- [2] 加藤俊一、酒井勝正：“感性エージェントとヒューマンメディアインターフェースの研究開発 -- 感性工房 --”，システム／制御／情報，Vol.42，No.5，pp.253-259，1998.5.
- [3] ヒューマンメディアプロジェクト感性工房WG：“感性工房 主要発表論文集” 278p，2000。（ご要望があれば配布しています。）
- [4] 加藤俊一：“感性の工学的モデル化と感性情報システムへの応用”，日本感性工学会感性工房部会研究会資料 KF-1-1，2001.3.