

博士論文

進化計算を応用したデザイン支援システム
および感性情報獲得システムの研究

中西泰人

①

博士論文

進化計算を応用したデザイン支援システム
および感性情報獲得システムの研究

中西 泰人

目次

第1章 研究の背景および目的	3
1. 1 現代の生産システムの抱える問題点	3
1. 1. 1 無限性の終焉	3
1. 1. 2 生産システムの変化	4
1. 2 新しい産業構造とデザイン - 一品種一生産	6
1. 2. 1 新しい消費 - マスからパーソナルへ - 一品種一生産	6
1. 2. 2 プラットフォームビジネス	11
1. 2. 3 産業とデザイン	13
1. 2. 4 ネットワークとデザイン	15
1. 3 研究の目的	16
第2章 デザイン支援システム	17
2. 1 システムの持つべき特性	17
2. 1. 1 感性デザイン支援システムとして	17
2. 1. 2 設計支援システムとして	20
2. 1. 3 一品種一生産システムとして	21
2. 1. 4 対話的システムとして	23
2. 2 システムの構成	25
2. 2. 1 進化システムと設計・デザイン	29
2. 2. 2 デザイン支援システム	30
2. 3 システムの評価	37
2. 3. 1 シミュレーション	41
2. 3. 2. 1 対立遺伝子	41
2. 3. 2. 2 探索空間の変更	45
2. 3. 2. 3 探索モードの切り替え	47
2. 3. 2 関数による支援の効果	48
2. 3. 2. 1 数学的関数によるデザイン支援	48
2. 3. 2. 2 支援の効果の比較	52
2. 3. 2. 3 支援する関数の違い	54
2. 4 考察	57

第3章 遺伝的プログラミングによる感性情報獲得	64
3.1 非言語的思考	64
3.1.1 視覚的身体的思考	64
3.1.2 感情：創造性をもたらす知	65
3.2 設計における感性	67
3.2.1 口述不可能な設計の包括的知識 - 主観的視点	67
3.2.2 設計知識の記述および伝達, 共有	71
3.2.3 知識の記述	73
3.2.4 感性の抽出	76
3.3 感性の情報表現	79
3.3.1 感性情報の表現：代数的記述	79
3.3.2 共有および再構成可能な感性情報の利点	81
3.4 遺伝的プログラミング	83
3.4.1 遺伝的プログラミング	83
3.4.2 遺伝的プログラミングによる感性情報の抽出	84
3.4.3 合成された関数の判別	89
3.4.4 制御点の座標の利用	94
3.4.5 ADFを用いた関数合成	95
3.4.6 曲線の特徴量の利用	100
3.4.7 曲線の構成によるデザイン支援システム	102
3.4.8 特徴量を用いた関数合成	104
3.4.9 感性情報を操作する	111
3.4.10 他の知識獲得に関する研究との比較	114
3.4.10.1 例示による学習	114
3.4.10.2 曖昧な概念形成	116
3.4.10.3 対話による知識獲得	117
3.5 考察	121
3.6 問題点および今後の課題	127
第4章 結論	134
参考文献	135
謝辞	164

第1章 研究の背景および目的

1. 1 現代の生産システムの抱える問題点

1. 1. 1 無限性の終焉

大量生産・大量廃棄を前提とした現代社会は、持続可能な発展という地球規模の命題を前にして、大きな転換を迫られている。

それは、近代を形作ってきた基礎概念—前線（フロンティア）および境界（バウンダリー）、消失点（バニシング・ポイント）—の消滅であるといえる[磯崎97]。それは近代社会が前提としてきた無限の資源、無限の空間、無限遠点という概念を捨て去るということである。江戸時代の日本が優れたりサイクルシティであったのは、日本が自ら以上のフロンティアはないという状態を作り出していたからに他ならない。

資本主義は、マーケットが拡大していく可能性とその空間が無限であることを必要とする。無限と仮定した資源から入力を取り出し、その中から如何に効率良く出力を得るか？ということをも前提としてきた工業化社会の様々な概念が崩れつつある。

工業化社会の初期段階では、つくりだされる製品の量はそれほど大きなものではなく、したがって、消費される枯渇性資源の問題や工業製品が環境に影響を及ぼす問題は、それほど意識されていなかった。自己が無限の環境に及ぼす影響が微小であれば、環境を通して自分自身に及ぼされる影響は、線形化され、制御可能な対象であった。また近代をささえた科学技術が自然を破壊し生態学的な危機をもたらしている源は、人間は神の代わりとなって自然を征服してよいというキリスト教の考え方にあるという考え方もある[村上]。秩序を探究する科学的な思考は、ニュートンがプリンキピアを世界の秩序を作りたもうたという神に捧げたごとく、環境は征服してよいまた出来るのだという神の教えを、より押し進めて行ったとも考えられる。

しかし、環境の有限性、自己が自己に及ぼす影響の大きさの認識に加えて、従来の正統的な科学がたどり着いた先が、人間の制御および予測不可能な量子力学や非線形力学、巨大技術への信頼の失墜であったことが、現代の閉塞感および科学技術への不信を生み出すとともに、あらたなパラダイムの模索が始まっている。

それは近代からの脱却であり、工業化社会からの脱却である。中でも、産業構造については、環境規制が経済成長に及ぼす影響や社会経済学的観点からのリサイクルの意義、環境政策の有効性、ネットワーク社会と環境問題の関連、国際政治と環境問題の関連など、様々な問題について考察されている[月尾96][吉川93][植田][北浜][斎藤]。生産システムの研究においては環境問題の観点からトータルエネルギー[月尾96]や、ライフサイクルアセスメント、ゼロエミッションといった概念が提唱され、現在の市場経済や消費社会を前提とした上で、環境や資源問題をどのようにクリアできるかが盛んに議論されており、新しい生産システムのあるべき姿が模索されている。



図1. 1 無限性の終焉

1. 1. 2 生産システムの変化

こうしたグローバルな展望の流れに見合うかのように、情報化社会への移行にともなう、社会の中にも変化が現れ始めている。

なかでも産業においては、情報ネットワークがもたらす組織構造の変化による産業構造の変革が叫ばれ、ファブレス企業やアウトソーシングといった企業形態など

が出現し、コンカレントエンジニアリングやバーチャルカンパニーなど様々な試みがなされている。現在の企業組織間関係の変化によって、特に中小企業や大企業の部門単位がネットワーク受注と呼ばれるコーディネータを中心として相互に役割分担したコアスキルを持つダイナミックなネットワークを形作るようになってきた。



図1. 2 生産システムの変化

企業間調達システムとしてのCALSやそのためのCADデータの互換規格としてのSTEPへの関心の高まりや、家電量販店やスーパーがコーディネータとなるプライベートブランドの広がり、半導体や液晶などのエレクトロニクス製品において日本の大企業がアメリカ企業の製造委託先になるなどの動き、京浜地区における中小企業の大企業の下請けから多品種少量生産のサーバーへの転換などが、まさにこの実例である[出口]。

大量生産と供給優位の時代から少量生産と需要あるいは流通優位の時代への変化に対応するべく、FA (Factory Automation) やIMS (Integrated Manufacturing System) などの研究も盛んに行われている。ライフサイクルの短い製品や生産量が大规模ラインに見合わない製品に対応可能な工場のシステムの実現は今だになされていないが、プロダクションオンデマンドやコンシューマー・レスポンスと呼ばれる、需要に応じて生産システムを動的に組み替えて注文に応じる動きは、着々と進行している。

技術や技術を利用した産業の形態が変化しつつある中で、利益を生み出す構造も変化しつつある。

これまでの工業社会においては、大量生産を前提として「より良いものをより安く」を作ることが企業に利益をもたらした。しかし、近年では、より良いものをより安く作ろうとも、利益を出すことの出来ない製品が現れ始めた。携帯電話やPHS、パーソナルコンピュータ、衛星放送テレビなどがそうした例であり、プラットフォーム

フォームビジネスと呼ばれる形態の中のハードウェアの供給である。

大きな利益を産むのはあくまでもそうした製品を利用したサービスである。そうしたサービスを一般に定着させ市場規模を拡げるために、機器の価格は抑えられ、その拡大しつつあるパイの中での優位を保つために各機器メーカー間での価格競争と新製品開発競争は激化する一方である。

そうした中で、商品価値の意味が変化しつつあり、機器の魅力自体よりも、どのようなサービスを利用できる機能が付いているかということへ比重が移りつつある。それはマルチメディアの研究の方向が大きく2つに分かれるということにも関連があると考えられる。

研究の方向の一つは「マルチメディア」という言葉が定着する以前から嘗々と研究されてきた画像処理や信号処理、音声処理といった技術であり、それは研究のプロフェッショナルが専門的利用の為に技術を積み上げてきたと見てよい。

もう一つは、そうした技術の高度さを究めるといった方向ではなく、普通の消費者にどのようなサービスを提供するか、消費者がそうしたサービスを享受するためにはどのような技術が必要かといった技術であり、「プロのための技術」から「普通の人々のための技術」とも表現することも出来よう[加藤]。

1. 2 新しい産業構造とデザイン - 一品種一生産

1. 2. 1 新しい消費 - マスからパーソナルへ - 一品種一生産

情報技術の発展が生産システムに変化をもたらしたように、消費や流通においても新しい流れが生まれつつある。

情報技術がもたらした新しいマーケティングの方法の特徴は、マスサービスからパーソナルサービスへというところにある。具体的にはワントゥワンマーケティングや対話型マーケティングの登場、それに伴った流通の改革としてのコンシューマー・レスポンスといった動きが存在する。

ワントゥワンマーケティングとは、それぞれの顧客の好みをしっかりとおさえて、個別に適切な広告を送り、その効率を高めようという手法である。WWWにおいても一人一人の顧客の購買行動を追跡することは現在では不可能ではなくなっているだけでなく[infoseek][firefly]、従来のマーケティング手法である市場分析を通じた商品企画によって作られた製品を大量の宣伝と大量の販売によって捌くという方法の効率が低下しつつあるという現実もある。

POSの普及にともなった、ジャストインタイムの流通は、特に高度な情報システムを駆使した在庫管理にとどまらず、製造と販売を一体化を促している。こうした流れにのって、クイックレスポンス (QR) やコンシューマー・レスポンス (CR) といった概念が登場し、在庫管理のロジスティック戦略、マーチャンダイジング戦略、顧客管理、販売促進情報戦略などに質量とも変化をみせつつある。

情報分野においてはWWWをユーザのPULL型のブラウジングからPUSH型への転換を急いでいるが[pointcast][microsoft]、逆に生産及び流通の世界においては、生産者側の見込み生産で大量に作られた商品をPUSHするのではなく、消費者側が必要で欲しい商品をPULLするための仕組を構築しようとしている。つまり、製造業主導のプロダクト・アウトから、消費者主導のコンシューマー・プルへの転換である[岩島]。

これまでの生産技術立国として成功を収めてきた日本の製造業は、量産できるもの、たくさん売れるものだけがよいものだという「量産の呪縛」に縛られ、量だけの競争から過当競争を行ない売る側の価値を消費者に押し付けて新製品を作り続けている。また、量産体制における拡大志向によって肥大化した企業は、雇用を支えるために無理をしても新製品を市場に出す必要に迫られて「生産のための生産」ともいえる自己目的化した生産を続けている[織田97]。ワントゥワンマーケティングや一品種一生産といった生産・販売・流通の一体化は、あくまでも消費者にとっての付加価値を高め、付加価値のない時間とコストを取りさらうという目的のために、熾烈な販売競争の中から情報システムの後押しを受けて編み出されてきた戦略であるといえるが、こうした動きがこれまでの工業化社会の前提を覆えそうとしていることは、大変興味深い。

先にも述べた環境問題についても、見田は情報化消費社会においては情報化と消費化はセットになっているために、情報化をてこにすることで資源収奪を減らすかたちであってもマーケット価値を増大させることが可能であることを指摘し、それに対して橋爪は経済的な付加価値をマテリアルに依存しないかたちに誘導し、環境

への負荷を減らしつつ自由経済システムが機能するための努力を続けるべきだという意見を述べており[見田]、コスト削減と顧客争奪の競争が環境問題解決への糸口となりうる可能性を見せている。

現時点でもこうした動きはマーケティングの本場とでもいえるアメリカにおいて、活発になっており、スーパーマーケットや百貨店、コンビニエンスストアなどにおいて、熱心な取り組みが続いているが、流通と生産の一体化という観点からして興味深い業界が、アパレル業界である。

最近のアパレル店頭調査では、衣料品を買おうとするアメリカの消費者が店に入っても、そこで自分の欲しい商品が見つからずに何も買わないで出てきてしまう人の割合が77%にもものぼっていることが明らかになった。しかも、そのうちの68%、つまり消費者の52%が好みのスタイルや色をみつけながら、自分のサイズがなかったために買わずに店を出るといふ[岩島]。

そのために小売業が作り上げたコンシューマー・レスポンス戦略が、POSを使った自動補充発注システムである。また、このシステムは在庫管理だけではない様々な効用をもたらしている。消費者の商品購買が商品の流れを作り出すために、製造側のプロダクトラインの効率が上昇するのに加えて、これまで過剰在庫に悩まされてきた小売業の業務判断の支援を行っている。自動補充発注システムは、定番的な商品向きの仕組であると考えられていたが、ハイファッション商品を取り扱う高級百貨店においても、バイヤーの判断を支援するシステムとして稼働しているのである。

しかし、特に季節性の高い商品やファッション性の高い商品などの場合には、メーカー側が実需データを用いて将来の需要予測を行い、しかもそれを実際の素材購入計画や製造スケジューリングにまで反映させるためには、実際の需要が発生してからでは間に合わないケースが多い(アパレル製品では、量産品を製品化するまでに約半年の時間を要し、販売期間が3ヵ月ほどかかるのが実情である)。

そこで登場するのがマス・カスタマイゼーションと呼ばれる戦略である。品切れをなくす上に消費者に付加価値を最大に提供する方法は、オーダーメイド戦略であるが、従来からの方法では、対象商品も高級品に限られ、商品価格も高価になり納期も長い。

しかし、マス・カスタマイゼーション戦略は、情報処理技術を用いてこれを再構築し、適正な価格と短い納期を実現しようとするものである。カスタマイゼーショ

ンは、本来個別の仕様に対応しようとするものであるが、それを伝統的な大量生産ラインの技術と情報処理技術の組み合わせによって実現するのである。アメリカの流通業界では、このマス・カスタマイゼーションは、消費者が直接的に生産ラインを動かすという点で、コンシューマー・レスポンス戦略の究極のゴールであると捉えられており[岩島]、まさに「一品種一生産」と呼ぶにふさわしい。

マスカスタマイゼーション及び一品種一生産における一形態でもある、工場と販売小売店を情報端末によって直結させるファクトリーブティックと呼ばれるケースの具体的な例としては、流通側からの取り組みとしてはアメリカの靴のチェーンであるカスタム・フット社などがあり、生産側からの取り組みとしては、ジーンズメーカーのリーバイ・シュトラウスや染色会社を基盤とするセーレンのビスコテックスシステム、編物機器メーカーである島精機のシマトロニック、シチズン時計社の個性生産システムなどがある。

カスタム・フット社では、来客した顧客の足型を自動スキャナーによって測定し、その寸法データをもとにイタリアにある靴の製法工場へ伝送して、その情報をもとに工場が靴を作成する。納期は約2週間ということである。

リーバイ・シュトラウスでは自社直営店においてパーソナル・ヘア・ジーンズというサービスを展開している。顧客の体型のデータを測り、400あるサンプルの中からデータと好みの色とスタイルに一番近いものを自動的に選ぶ。顧客はそれを試着し、気に入ればオーダーするというシステムである。工場では長いアセンブリーラインではなく、モジュラー生産方式と呼ばれる、多能工が一枚一枚個別に対応するチーム活動によって生産される。価格は通常の店頭のジーンズが40ドルであるのに対して、20ドル追加の60ドルである。

セーレンは青山のビスコテックススクエアにおいて、システムのデモンストレーションおよび服のオーダー受注を受け付けている。いくつかのデザインの中から好みのものと好みの色を選択し、自分の体型に応じたアパレルCADで作成されたパターンを工場に発注することで、百貨店に並んでいるような品質と同様の製品を同様の値段によって提供している。

シチズン時計はホームページから、デザインのアプリケーションを入れたCD-ROMを発注し、ユーザのパソコン上でパーツを組み替えてデザインを作成したり、好きな絵柄を文字盤に入れ込むなどすることで、好みの時計を作成する。作成した製品のデータをシチズン時計社へ送り、納期はおよそ2週間であり、価格も普通の時計とほぼ同等である[citizen]。

オーダーメイドではないが、既成の工業製品への付加価値としてのユーザによるカスタマイゼーションを受け付ける企業は、着々と増え続けている。伝統的な大量生産から多品種少量生産への移行が進んでいるような業種、例えば自動車業界などでも、トヨタ自動車RAV4におけるエクステリア及びインテリアのPersonal Color Selection、ヤマハ発動機ルネッサのボディカラー受注、イタリアのランチャ社イブシロンのボディカラー受注などにおいてその実例をみることができる。



図1.3 ビスコテックススクエアにおける実例

また、こうして得られた顧客情報は、マイクロ・マーケティングおよびワントゥワンマーケティングという戦略によって活用される。それらは、消費者の需要動向を個々にあるいはグループごとに把握して、それらに対して積極的にマーケティングを行う。つまり、情報システムを駆使した御用聞きとでもいえる。

ワントゥワンマーケティングにおいては、「顧客」ではなく「個客」と表現されることもあり、その個客の購買パターンにあった商品やサービスを個別の仕様にしたがってカスタマイズした製品をサービスを提供しようとする。こうすることで消費者に提供する付加価値を高め、それを通じて店に対するロイヤリティを高めようという狙いもある。これは、新規の固定客を確保するためのコストが既存の固定客をつなぎとめるコストの数倍もかかること、また上位の顧客ほど多く来店する傾向があるという理由からの販売上の戦略でもあるが、厳しい販売競争が行われる業界において有効とされおり、市場シェア重視から顧客シェア重視へ戦略転換することを説いている。基本的にワントゥワンマーケティングは、昔からある商売の方法を何千人何万人もの顧客に対して展開するために、情報テクノロジーによって武装しているのだといえる[ペパーズ]。

マイクロマーケティングにおいては、顧客を商品戦略の観点からグループ化してライフスタイルとしてとらえ、その動向を分析することで、消費者への付加価値を高めようとする。世帯別の購買履歴データベースから個々の顧客別のデータをライフスタイルごと選別したデータベースを作成し、小売業にとっては販売戦略に、メーカー側にとっては商品開発戦略や販売促進戦略に使用されている。

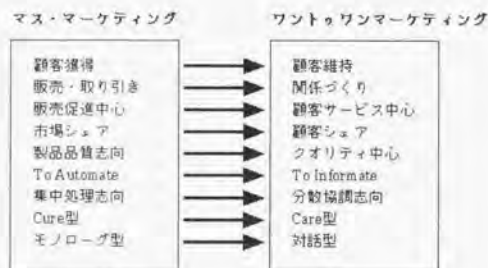


図1.4 マーケティングの変化

1. 2. 2 プラットフォームビジネス

ここ数年のヒット商品である「プリクラ（プリント倶楽部）」「たまごっち」「ミニ四駆」「ポケモン（ポケットモンスター）」列挙して見ると、それらが単なる機能を提供するだけの商品ではなく、各個人がその「商品の枠組みの中の自由度」を駆使して、自分だけの最終製品を作り出す、という特徴を持つことがわかる。つまり、企業は最終製品ではなく、プラットフォームを製品として提供している。

「プラットフォーム」とは、本来デジタルデータが乗り降りする場所（機器）という意味で、テレビ、電話、パソコン、ゲーム機、ファクシミリ、携帯端末、携帯電話などを意味する概念として使われてきた。しかし、上記ののヒット商品群は、データを作成するためのプラットフォームだけではなく、それによって提供される最終サービスを作り出すためのシステムを一体化し、しかも誰でも操作可能なシステムとして安価に提供していることが分かる。

さらに上記のシステムは、物を作る行為をエンドユーザに委ねることで、ユーザ

間のコミュニケーションを促進し、コミュニケーションが新たな顧客獲得にドライブをかけるという構造ができ上がっている。最終製品だけがユーザの目的となっているのではなく、コミュニケーション自体も製品使用の目的の一部となっている。個々に作り出された結果の意味がはっきりすればするほど、お互いのコミュニケーションが成立し、個の立場が明確になるために、全体とのつながりが増幅され、コミュニケーションの広がり製品の販売を促進する。「交換の諸過程を通じて人々の欲求充足を目指す人間活動」がマーケティングであると考えれば、従来のマスマーケティングの在り方が変化していることは、こうした製品が爆発的に受け入れられていることから納得がいく。

ここでは、提供されたシステムの制約の中でユーザ各自が製品の最終結果を生産するシステムとなっているが、それは、メイによれば「したいことは何でもできると人をけしかけるとシステムからは、おそらく楽しい経験は生れないだろう。管理や規則が全くないのに「独創的である」ことを要求されると、その結果、人間はメイによればしばしば無力感におそわれたり、想像力が完全に枯渇したりすることさえある」[ローレル94]ということでもあるだろう。

規則が制約された環境の中では(それが創造的努力に的を絞った規則であるならば)、手にできる可能性の数を逆に減らすことによって、想像力を高めることになり制約が想像を飛躍させることができる。これは、言語や建築という分野を考えれば、制約のもたらす効果が分かる。

言語という規則を定めることで、様々な意味という自由を作り出すことが可能になるということと同じ構造(言語においては自由と規則が両立して - 自由があるためには規則がなければならず、秩序があればあるほど自由がふくらんでいく世界である[橋爪])であるし、重力という制約やシュルターとしての機能といった制約をまったく課さない条件での仮想空間での建築の発想が意外に貧困になってしまうというのは多くの例で発見されることである[歴本]。俳句が五・七・五という語数の制約を定めることで、言葉のリズムや韻が生まれ、限られた語数が詠み手の創造性を刺激し、鑑賞者の無限の想像力をかきたてるのは、それらが恣意的な関係であるために、だからこそズレがあり、イメージーション、芸術的なものが生じやすい関係である。

1. 2. 3 産業とデザイン

資本主義社会における生産は、ひとたび大量規模化すると、停止や縮小を許さない構造をもっている。生産量の縮小は、拡大した設備の縮小と人員の再編を必要とし、企業の損失を招くからである。この巨大な活動の矛盾ともいえる問題点を、消費者の購買意欲の再生産によって解消するために、デザインが最大限に活用されているとあってよい。企業は新商品によって、「新たな流行」を仮想的に作りだし大衆へと強要することによって、自らを存続させているといってもよい。

さまざまな技術の発展により街路がテキストと化し、空間が記号化していった近代都市において、人間はお互いを服装や持ち物という記号の集積として眺めあうようになった。こうした人間を彩る記号を次々と書き換える作業を戦略化し、ビジネスとしているのがファッション産業である[西岡]。

デザインとは、その時代の欲望の視覚化にはかならない。消費社会におけるデザイナーの役割は、まだ明示的に表現されていない欲望を時代に先んじて嗅ぎ取って製品化を行い、購買欲を掻き立てることである、ということも言える。

表現された形や機能には制作者の意図がこめられて視覚化されているが、その視覚化の方法には類型化できるパターンがある。時代が移り変わり登場するデザインが変化しても、その類型化は不可能ではない[西岡]。

過去の歴史を遡ると、新しいパターンが登場したのは、曲木やガラス、コンクリート、プラスチック、化学繊維、アクリル絵の具、コンピュータグラフィックスなどの新しい素材や技法が開発されることによって、それまでには不可能だった表現が可能になる場合であるといってよい。

寺田寅彦によれば、「石器時代の末期に、銅の使用が始まったころには、この新しい金属材料で、いろいろの石器の形を、そっくりそのままに模造していたらしい。新しい素材に、より多くの適切な形式を発見することは、存外容易なことではないのである。また、これとは反対に、古い形式に新しい素材を取り入れて、その形式の長所を、より多く発揮させることもなかなかむずかしいものである。詩の内容素材と形式の関係についても、同様なことが言われる」ということである。先進的なデザイナーの能力とは、顕在していない時代の欲望を読み取り、また新しい技術に適した表現パターンを発見することであり、コンテキストに応じたパターンに属性を与え、具体的に視覚化することである。

情報ネットワークによって変化をもたらされるのは、生産システムや産業構造だけではなく、芸術やデザインも同様である。

ベンヤミンは「複製技術時代の芸術」において、社会の在り方と技術の変化がもたらす芸術の知覚の変化を考察し、「リアリティの照準を大衆にあわせ、逆に大衆をリアリティの照準にあわせることが、思考面でも、視覚面でも、無限の射程距離をもつ動きとなっている」と述べている。

これは、ベンヤミンがすでに「複製技術」という観点を超えて、「制御」や「編集」といった能力が映像メディアに備わっていることを見抜いていたといえる。ベンヤミンのいう「無限の射程距離をもつ動き」とは、写真や映画といったメディアテクノロジーを支える科学的形式に介入する（操作）することにほかならない。ビデオ制作においてはそれを編集と呼び、コンピュータでは、プログラミングによって視覚化を実現する。この形式的な手順がまさに「無限の射程距離をもつ動き」となり「リアリティ」となるのである[桂]。

「芸術作品の複製がひとたび生じると、こんどは、あらかじめ複製されることをねらった作品がさかんにつくられるようになる」と同様に、プログラミングによる視覚化が最大限に効果を発揮されるような作品、つまり最初から鑑賞者の介入を前提とした作品が作られるようになるに違いない。その介入が新しい時代のデザインのリアリティを紡ぎ出すと言える。それがテクノロジーの発達とともに生まれてきたメディアアートやテクノロジーアートであり、インタラクティブアートであるといえる。かつての芸術の意味や評価が視覚的側面を中心においていたのに対して、テクノロジーアートやインタラクティブアートは五感全体で体感する全脳的な芸術表現であり[三井]、介入することが鑑賞者の意識を拡張するのである。



図1. 5 芸術の新しい潮流

1. 2. 4 ネットワークとデザイン

ネットワークが社会を変容させるに従って出現する新しいデザインとは、デザイナーが単にコンピュータをツールとして用いるようになったということだけではないし、単にコンピュータネットワークが遠隔地との協同作業を可能にしたというだけのことでもない。

新しいメディアがもたらす芸術のあり方の変化と産業構造および生産システムの変容が折り重なった時、生産者は、小ロットで気軽に製造するための Local Production Serverとしてネットワーク上から利用できる小規模製造システムを持つと同時に、多様な需要側の要求に応じた様々な商品のデザインをソフト的オブジェクトとして流通させるネットワークインフラを作る必要がある[出口]。それに対して、デザイナーは、利用者の欲望のプラットフォームとなって、様々なデザインを作り出すことの出来る再構成可能な情報を提供する役割を担うようになるべきであると考える。

デザイナーの感性とは時代の中で人々が望むものを先駆けて感じ取り、具体的な製品を作り出す能力であるが、それを受け入れる消費者の感性とは、今の時代の中で自分のほしいものを感じとり、それを求める能力である[高寺]。

新しい時代のデザイナーには、デザインが介入されることを前提としたシステムを構築した上で、消費者の欲望のビジョンを明確にし、それらをパッケージングして社会へ提供する能力が問われ始めるに違いない。

そうした意識はデザイナーや芸術家の中にも芽生えている。音楽家坂本龍一氏の「焼き込んで完成された、変更のきかないLDやビデオや好きじゃないんです。理想的にはプログラムだけが入っていて、ユーザがジェネレートされる「生成音楽」的なパッケージに興味がある。(中略)いわゆる通常の曲「戦メリ」なら「戦メリ」が出てくるんじゃないかと、坂本なら坂本の音楽らしさがプログラムされている。AIの研究が進まないとなかなか簡単にはいかないと思うけれど、とても興味がありますね。」といった言葉や[坂本]、タイポグラフィを主にグラフィックデザイナーとして活躍する立花ハジメ氏が、自らの作品を再現できるようなアプリケーションを Adobe Illustrator のプラグインとして開発し、自己表現としてアプリケーションを作成するような動きである[AXIS]。

1. 3 研究の目的

これまで述べてきた動き 環境問題、大量生産からの脱却、マスからパーソナル、流通と製造の一体化、ビジネスのプラットフォーム化、あらたな産業構造におけるデザインの役割 を考えたときに、一品種一生産を実現するにあたって、作成された製品仕様をデータ化して各工場へ伝える規格やネットワークインフラ、伝えられた仕様のものを作成するための技術、最終製品を配送するための流通ネットワークなどは既に確立されているものの、最も技術的な展開がなされていない部分が、ユーザが製品の仕様を作成するためのシステムである。

一品種一生産とは、情報を PUSH し、製品を PULL させるための産業的な枠組みであり、ユーザとの接点であるシステムは、情報の洪水の中から曖昧にしかイメージできていない欲しい対象を明確にイメージさせる役割をもたなければならない。

そのためのユーザインターフェースやユーザの行うタスクの設計およびデザイン支援の手法などの研究が必要であると考え、さらに高い付加価値を加えるためには、定番的な商品のデータやマスマーケティングによって集められたデータに基づくシステムではなく、その時期の旬のデザイナーの感性を容易にプラグイン化できるモジュール性の高い基盤システムを構築するための研究を行わなければならない。

本研究では、研究の目的として二つの目的を設定した。第一の研究目的は、一品種一生産を前提として設計されたユーザインターフェースおよびタスクを持つデザインシステムの構築である。第二の目的は、そのシステムの支援を行う、モジュール性が高く知識獲得において即時性の高い感性情報の表現方法およびその抽出方法である。第二章においてデザイン支援システムの構築について述べ、第三章において感性情報の表現および抽出方法について述べる。第四章において結論を述べる。



図1.6 研究の目的

第2章 デザイン支援システム

「政策を立案する人間は数えるほどしかいないが、われわれはみな、その善し悪しを判断できる。」 アテネの政治家ペリクレス

2.1 システムの持つべき特性

一品種一生産システムを想定して、ユーザ自らが仕様策定を行なうデザインシステムの構築するにあたり、求められるユーザインターフェースおよびタスクなどの特徴について考察する。

2.1.1 感性デザイン支援システムとして

野中は暗黙知と形式知の相互作用を、知の変換過程として類型化し[野中90]、tatic knowledge（暗黙知）から tatic knowledge, tatic knowledge から articulable knowledge（形式知）への変換過程をそれぞれ移植（implementation）と分節化（articulation）とよび、articulable knowledge から tatic knowledge, articulable knowledge から articulable knowledge への変換過程をそれぞれ内面化（internalization）、連結（combination）と呼んだ[野中]。野中の用語法を用いれば、記号学習や知識依存学習とよばれる古典的AI学習は連結に相当し、誤差伝播学習や知識コンパイルは内面化に相当する学習を支援している[國藤97]。

ファッションや建築など、機能だけでなく感性的な要素の比重の高いデザインを支援するデザイン支援システムは、何らかの形で人間の感性を計算機に移植する必要がある。

従来から、感性情報処理の研究は盛んに行われており[辻]、なかでも画像検索やデザイン支援などの視覚的な感性を扱う研究は活発に行われている。

感性情報を計算機上で表現する方法としては、

- 感性的な対象そのもの
- 感性的な対象を生成するためのパラメータ
- 感性的な対象を生成するための式やプログラム

といったものが挙げられる。

感性工学とよばれる手法では、「可愛い」「暖かい」といった感性語によって感性情報を表現するが、それはあらかじめ用意された形容詞群と画像やデザインのパラメータとのマッピングとして感性を表現することであり、統計的な処理を用いて相関関係の分析を行なうことが感性工学における感性情報処理であったといえる[長町88][長町93][篠原][谷内田]。感性工学でのデザイン支援では主に感性語やSD法と呼ばれる官能検査手法が用いられる。まず感性用語と呼ばれる形容詞や形容動詞を用いたアンケートを作成する。あらかじめ多数のデザインを用意し、被験者に提示する。そのデザインに関して用意された形容詞対(暖かい-冷たい、ソフトな-ハードな)それぞれ対して、5から7段階の尺度(セマンティックスケール)の中での評価を行い、すべてのデザインに対してこうしたアンケートに返答する。そして、得られた多数のアンケートを重回帰分析や因子分析などの統計的手法を用いて、感覚の評価とデザインを構成するパラメータの関係を抽出する。

その他に用いられる統計的手法としては、一対一対比や一対多対比などを用いた識別検査、嗜好差検査、選択検査、順位検査、格付け検査や評点検査などがある。官能検査の結果は個人差が大きく結果も曖昧であるため、統計的手法によって分析を行い、多くの被験者の平均化された情報が抽出される。

そうした感性語による感性情報表現は、解析的アプローチによる統計的なパターン認識であるといえるが、あくまでも統計的な近似なので、得られた情報の構造的な表現が出来ず、情報の解説や再利用、より高次元情報処理への利用が難しい。

具体的な短所として、まず第一に、平均化された情報(つまり架空の人間の感性)しか抽出できないという点がある。

そうした短所を補うために、統計的手法を用いながらも感性における個人差を抜こうとする研究も行われている。小島は印象の個人差を計測するため、何名かの評定者の平均といった形ではなく、各評価対象を統計的に布置するための研究を行った[小島]。加藤は画像のクラスタリングを行う類似図形の判定において、画像特徴を評価する際のウェイトニングファクタを導入することで各個人の解釈に近い評価が得られることを示し、形容詞を用いた画像検索においても、被験者のグループ間の

相違を統計的手法によって、モデル化出来ることを示している[加藤].

しかしながら、唯一特定の検索者への対応が困難であり、かつ特定の個人の感性情報を移植することができない。感性工学によってシステムにインプリメントされた情報は「平均化された感性」であり、属人的であって主観的という感性の特徴とは相反する性質を持つ。

第二の短所として、データ収集コスト、データ解析コスト、データ運用コスト及び労力が高いことが挙げられる。データを収集するためには、数百というオーダーの被験者を集める必要があり、また各被験者は様々な画像に対して、いくつもの形容詞対に対する評価を解答をせねばならない。さらに、得られたデータは統計的処理が行なわれ、パラメータと形容詞群のマッチングデータが作成される。得られたデータは、想定された形状パラメータのみに適用可能であり、異なる対象へ流用したり、得られた知見から新たなデータを作成することが難しい。性別や年代、文化が異なれば感性的な嗜好も異なるため、それぞれのマーケティングターゲットに応じたデータを収集する必要がある。また、得られたモデルは経時変化が大きく、特にアパレルなどの社会的コンテクスト(流行)の影響の大きい感性を取り扱うデザイン支援においては、データ収集、分析、運用といったシステム構築上の観点からすれば、今日現れつつある産業形態の特徴である即応性や柔軟性、再利用性といった動きに対応することができない。

第三の短所として、大量のデータを統計的手法に基づいて解析するために、個々のシステムの利用状況に応じたヒューリスティクスを獲得する能力を持つことが難しく、検索者の経時的变化に対応できない。

第四の短所として、ある特定の言語の形容詞を用いているため、言語圏の違う地域からの利用が行えず、ネットワーク社会への適応が困難である。仮に入力を英語で統一したとしても、文化の違いによって同じ形容詞の意味は異なるため(例えば、欧米における「Japanesque」と日本における「日本的」という意味は異なるし、筆者はアメリカ人の女の子のCuteの使い方が未だに把握できずにいる)、ユーザの所望する結果を必ずしも出力できるとは限らない。また、筆舌に尽くせないものや形容し難いもの、ただ「良い」としか反応できないもの、自らの想像力を超えた形態など、言語的評価にそぐわない対象に対応することができない。

こうした欠点を補うための、新たに開発されるシステムは

- 従来のシステムで開発・普及の大きなボトルネックとなっていた分析・調査といったコストの高い作業をシステムに受け持たせ、

設計コストの削減を可能にする

- 時代のコンテクストの変化に即時的に対応できる柔軟性をもつ
- 非言語的操作

といった特徴を持つべきであると考える。

2. 1. 2 設計支援システムとして

デザイン支援システムは、近年活発に研究が行われている発想支援や設計支援、創造的環境支援の研究の一端を成している。

「設計とは何か？デザインとは何か？」という問題に対して完全なる唯一の回答をすることは、「人間とは何か？」という問題に対して唯一の回答を行うことに等しいほど困難である。

そうした中でも、人はだれでもデザイナーであり、ほとんどどんなときでもわれわれのすることはすべてデザインであるといった考えや、ある行為を望ましい予知できる目標に向けて計画し、整えるということが、デザインのプロセスの本質である、といった広い考え方から、機械や建築の設計において、特定の制約条件の中で最適な数値を各構造部分の属性に与えるという具体的なデザインまで、幅広く捉えることができる。

この幅広い活動に共通する行為を抽象化すれば、それは人間がある目標と何かしらの制約条件を与えられた中で、創造的な思考によって支えられる意思決定の連なりである、といえる。

創造的思考に関するモデルには、ワラスの4段階説「準備、あため、ひらめき、評価、検証」やバースの三分説「発想、演繹、帰納」、市川・デボノ・ヴェルトハイマーらの二分論説「アナログ対デジタル、水平対垂直、生産対再生」、川喜田のW型問題解決学、など様々なモデルがある。國藤は「発散的思考、収束的思考、アイデア結晶化、評価、検証」からなる創造的問題解決のプロセスモデルが提案し[國藤 93]、このモデルの各プロセスを支援するツール（環境）を構築することが、一般に発想支援システムの研究と定義した[國藤 97]。

國藤やワラスの4段階説のプロセスをそれぞれを検討すると、

- 1) 何が問題なのかを発見し、関連した情報の収集および分析を行う。
- 2) 問題が含んでいる本質を洞察し、問題解決のための課題を設定し、解決のための様々な仮説を設定する。このプロセスは近年活発に論議されているアブダクションと呼ばれる過程である。
- 3) 複数提案された仮説を評価し、採択する。
- 4) ある仮説が採択された場合の結果を実験などによる検証する、といった活動であると考えられる。

発想支援システムや設計支援システムにおいては、発想の機械知能化を目指すものと、人間の発想過程を対話的に支援するものの二つに大きく分かれる[堀 97]。

後者は、一般的なアプリケーションではアイデアプロセッサと呼ばれる商品群が存在し、近年データベースやワードプロセッサ、ドローソフトも本来の目的とは違って発想支援システムとして使われることも多い。いずれのソフトウェアも上述のいずれかのプロセスを計算機を用いることにより、頭脳だけもしくは紙と鉛筆だけでは成しえない作業を可能にし、ユーザの能力を増幅させている。

中でも設計支援システムは、たんに発想を支援するためのシステムだけでなく、実際の設計案を評価および検証できるようなシミュレーション環境が融合されたシステムであり、さらに創造的環境支援システムは、発想支援システムや設計支援システムにコミュニケーションツールなどの創造的な環境を融合させたものであり、いわゆる CSCW ツールとして盛んに研究されている。各ツールの現状に関しては、AI 誌に詳しくまとめられている[AI 誌]。

2. 1. 3 一品種一生産システムとして

一品種一生産ための発想支援システムとして、システムが持つべき性質を考える際に、まずユーザの特徴を考える必要がある。その特徴としては、

- コンピュータおよびデータベースシステムの扱いに慣れていない人が大多数である

- データ構造および検索方法について無知である
- 求める情報が細かく決まっていない場合が多い

といったものが考えられる。

これらの特性を考慮した場合、システムは

- だれでも使える
- 協調的
- 曖昧にしかイメージされていない求める情報を明確にする

といった機能を実現するための特徴を持つべきであると考える。

第一の特徴である、だれでも使えるという特性は、単に分かり易いインターフェースを持つというだけではない。そのシステム操作を左右する、タスクのデザイン、そしてそのタスクを実現するための情報の保持の仕方をデザインする必要がある。

また、ターゲットユーザがシステムの初心者であることが考えられるので、仮に数回操作経験があるとしても、操作のインターバル期間は数週間から数ヶ月予想されるため、システムの操作に習熟するということがあまり期待できないということをも想定するべきだと考える。

第二の特徴である、協調的なシステムを実現するということは、CADやデータベースといったような道具としてのシステムとして構築するのではなく、エージェントや秘書といったメタファーで行動するようなシステムを構築するべきである[海保]。

通常のデータベース検索システムのように細かい条件まで要求したり、条件にあてはまる項目を無制限に羅列するようなものではなく、システム側である程度提示情報を絞り込むなど、暗黙的に対話誘導を行ったほうが、タスクに関する知識が乏しく、目的も曖昧なユーザにとっては協調的であると考えられる。

第三の特徴である、曖昧にしかイメージされていない求める情報を明確にするということを実現するためには、操作を行う過程で答えを見つけてくれるだけでなく、質問も見つけ出せるようにしてくれるようなシステムとして構築するべきである[ノーマン 96]。

2. 1. 4 対話的システムとして

ユーザがシステムと対話を行うということは、文を組み立ててシステムに語りかけるといことである。DOSやUNIXなどでは、コマンドラインから文章を直接作成しており、MacintoshやWindowsなどのGUIではメニューやアイコン操作のメタファーを通じて文章を作成していると考えることが出来る。

Macintoshで採用されたコマンドメニューは、再生・入力方式ではなく再認・選択方式であるといえる。それは、人間の記憶の特性として、手がかりのない状態で情報を再生もしくは入力するよりは、提示された情報の中から適当なものを選択するほうが容易だからである[海保]。

メニューによって単語を選択し、その単語がコンテキスト上他の単語を必要とする場合はさらなるダイアログを提示する。既に単語が選択されている場合は、文章全体の実行もしくは取消を行う。GUIインターフェースを形作るのは、たった三つのボタンであり、一つは選択した単語を取り消す「バックスペース（後退）」、二つ目は文全体を取り消す「消去」ボタン、最後はコマンドが完全な形になったときにコマンドを実行する「実行」ボタンである。DOS、UNIXがユーザが直接文章を作成するのに対して、GUIではこのようにして文章を作成する。

コマンドラインとGUIの違いは、ユーザが先に口を開くシステムかシステムが先に口を開くか?という問題でもある。

システムが先に口を開くならばユーザにとって利用可能な情報が多く提供されるためにユーザの記憶への負担は小さく、またシステムからユーザの行動を制約することが容易にできる。しかし逆に、ユーザが取り得る行動の幅は狭くなり、また不要な情報の提示にコストがかかることもある。

これに対し、ユーザが先に口を開くシステムでは、すべてユーザは自分が使う言語を記憶として内的に保持する必要がある、短期記憶上の負荷も大きい。しかし利用出来るコマンドとその機能・文法を正しいメンタルモデルとともに学習してしまえば、必要な情報だけを自在に用いてすばやく自分の要求を実現していくことが可能になる。

品種生産システムのユーザは曖昧なイメージしか持っていないため、環境に引き出されるようにしてデザインを開始し、そのデザインによって思考を拡張されたユーザが新たな環境の変化をもたらす、新たな環境を構成するようなシステム、つまりシステムが適切に先に口を開くシステムを構築すべきであると考えられる。

あらかじめユーザ側に存在する曖昧なイメージは、行動選択の際に参照されるおまかな枠組みとして機能する。これはデッサンを行うことで、描こうとしていたイメージが明確になるプロセスと同様であり、「行為そのものが思考の道具」となるようなシステムを構築すべきである。「わたしたちは動くために知覚するが、知覚するためにはまた動かなければならない」とは、ギブソンが知覚と行為のカップリングの重要性を示唆した言葉である[ギブソン]。

とりあえず描く、アイデアを発話するという行為自身が思考の道具となるというのは、デザインにおける実際のモデル（模型という意味での）としての形は、それが表現された時に付与された意図だけではなく、通してそれを見るものが多様な意味を演繹することを可能とする性質を持っているからであり、形による表現が概念を牽引するという効果を持つためである[須永]。

描かれたデッサンを見たり発話された言語によるアイデアを聞くという経験が、概念を展開することがあるが、それは、概念が最初に存在してその考えたものが表現されるという一般に言われる表現過程ではなく、表現することによって考える過程が出現すると考えられる。というのは、デザインの創造的なプロセスを構成する主要な情報は、対象自体に関する客観的知識よりもむしろ対象と自分の関係に関する情報、つまり、自分が対象に何を感じるのか、自分と対象との間にどのような行為が生じるのか、その結果どのような現象が対象に起こるのか、などの「かかわり合い」の情報であるからであり[須永]、それがつまり「感性」や「センス」である、と考えられる。

AIの場合にも、唯一の実世界があって、認知主体が持つモデルは徐々に実世界を正しくとらえたものになっていくというのではなく、そもそも世界というのは認知主体と外界との相互作用の構造であるという立場がある[橋田]。世界（客体）が所与のものとして存在し認知者（主体者）が実世界をモデルとしての認識が唯一普遍のモデルへと近づくというのではなく、認知主体と外界の相互作用を通して世界が創出され、意味は認知主体が行ってきた相互作用の履歴に依存するという考えであり、まさに知覚のためにはタスクを行う必要があるというギブソンと同じ立場であり、人間が世界を認識するのは、個々の人間が身体を通してのみ可能であるとして、主体と客体を併立させた物心同一説をとらえたスピノザとも近い考え方である。

こうした観点から、開発されるシステムは、システムが先に候補案を提示することで環境がユーザの概念を牽引し、ユーザの相互作用としての行為をGUIとしてシステム側が用意するものであるべきだと考える。また、相互作用の中で「答えを見つけさせてくれるだけではなく、質問も見つけ出せるようにしてくれるようなシステム」という特徴も実現する。ユーザに刺激を与える候補案を提示するための仕組みもつ必要がある。

2. 2 システムの構成

これまで述べてきた感性デザイン支援システムや一品種一生産、対話的処理において必要であると考えた特性を備えたシステムを構築するために、対話型進化システムとしてデザイン支援システムを構築した。

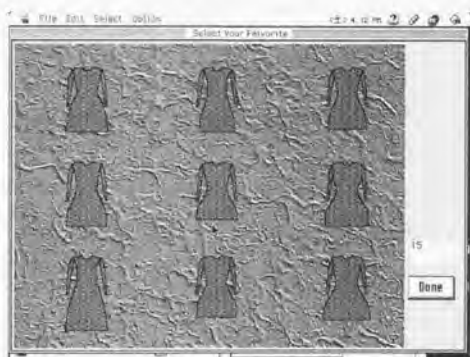


図2・1 デザイン支援システム (C version)

マッケイによれば、対象の行動がある程度予測可能なものであり、それでいて時折予想外の振る舞いをするようなら、われわれはつい自分をコンピュータとインタラクションをしているのであって、コンピュータを操作したりコンピュータを使って外界の事物を操作したりしているのではないと、そう思うでしょう[ローレル 94]。また、Boden は、創造的思考を概念空間の操作と考え、操作として探索と変換とに

分けた[Boden].

こうした創造性とインタラクティビティという観点から、エキスパートではなく一般的なエンドユーザが用いるデザイン支援システムに、確率的多点探索システムである進化システムを応用することは、妥当であると考えられる。エキスパートによって変換され構築された探索空間を、エンドユーザが探索するのである。

感性的な対象の特徴を記述する物理的な量（光や音、形状など）を感性物理量とすれば、感性的な対象を作成するのに必要なデータは、以下のように分類できる[長谷川].

- 第一種感性データ：感性物理量そのもの。専門家により創作されたデータ
- 第二種感性データ（感性特徴量）：感性物理量を生成するためのパラメータ
- 第三種感性データ（感性規則）：感性物理量生成の際に用いられる制約条件、または生成規則であり、数式またはルール
- 第四種感性データ：感性物理量生成アルゴリズムそのものであり、プログラム

これらの観点から、感性的なデザインや画像を作成するシステムとしては、3つのレベルが考えられる。

- レベル0：データベースに格納された対象の検索によってユーザに感性的対象を提示する。データは第一種感性データである。
- レベル1：データベースから画像や音の要素となるデータを検索し、得られたデータをパラメータを用いて組みあわせることで感性的対象を提示する。第二種以上の感性データを用いて第一種の感性データを構成する。
- レベル2：第二種以上の感性データのみが格納されている場合であり、アルゴリズムとパラメータのみによって感性的対象を作成する。

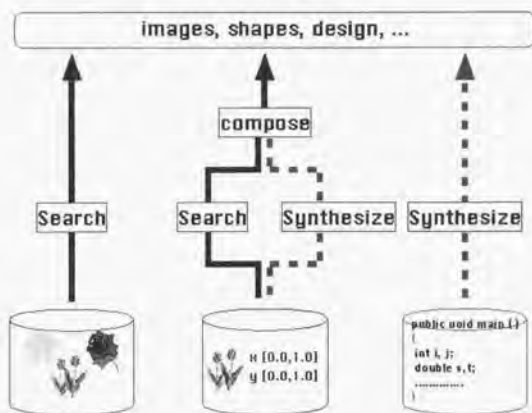


図 2. 2 感性的システムのレベル

この観点からすると、対話型進化システムを用いたデザイン支援システムは、レベル2の生成レベルのシステムである。生成レベルのシステムでは、無益な候補案が生成され続けられる可能性があり、そうした場合には満足度の高い候補案を作成することが困難であるために、効果的な探索を可能にする探索システムとそれをもたらす効果的なインターフェースを構築する必要がある。

探索するということをメタファーで捉えれば、情報の「世界」をナビゲートするのであり、最終的には特定の情報の「場所」にたどりつくと見ることができる。

だが、いったんある場所に「着いて」しまつたら次は何をすればいいのか？できるのは、新たな場所を求めて移動する、もしくは、より小さな規模で同じことをする、つまりその「場所」の中でまた一箇所を求めて航行することである、つまり、探索空間を再び航行するか、別の探索空間を作り出して再び移動するか、である。

こうしたタスクを支援するためには、現在地点からの次なる行き先を、システムが幾つか提示することで、ユーザは容易に行き先の決定を行うことができる。エンドユーザは行き先を自分で作り出すことは出来なくても、行き先を選択することはできる。「政策を立案する人間は数えるほどしかいないが、われわれはみな、その善し悪しを判断できる」というのと同じである。

さらに、ユーザがより適切な行き先を決める為には、提示された候補の意味を読み取り、選択するといった行動に重点がおかなければならない。そのためには、これまで自分が来た道筋を参照できるようにするとともに、来た道を引き返すことが出来るようにすべきである。それはインタラクティブシステムにおけるリアリティという問題とも関係がある。

ユーザがインタラクティブシステムにおいて没入感を得るためには、直接操作感および自己効力感、リアリティをユーザに与える必要がある。中でも、自己効力感を与えるためには、対象とのかかわりの直接性を付加する、つまりエラーをした場合に直ちにフィードバックされてエラーの訂正ができるようにするべきである。

こういった類の参加感を促進するのにシステムが持たなければならない重要な性質は、逆行可能であるということ、すなわち何かを取り戻す能力である[ローレル 94]。

まず、そのためには行為の実行が「現実に対して」何をもたらしたのかを、ユーザにフィードバックすること、そして、これによる行為の確認とエラーが発生したことへの発見を促すことができる。そして、そのエラーを訂正する機能を持たせることにより、自分が現実を動かしているのだという自己効力感を与えることが可能になる[海保]。これによって、ユーザはエラーを犯すことへの不安をもたなくなり、システムへの関わりを積極的にすることができる。対話型進化システムの探索において、これらを実現するのは、これまでの行程の表示とシステムにUndo機能を付加、つまり探索の引き返しである track back を可能にすることであると考える。

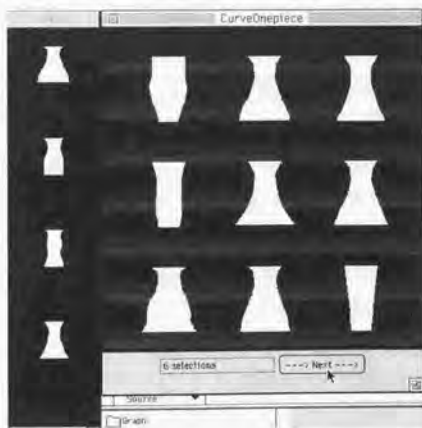


図2・3 デザイン支援システム (Java version)

2. 2. 1 進化システムと設計・デザイン

進化システムを設計やデザインに応用する研究は、属性設計および概念設計においても盛んに研究されている。

設計に遺伝的アルゴリズムを用いた研究として、田浦らは、機械の概念設計において過去の設計事例が改良されながら所望の解へと進化するプロセスをシミュレートしている[田浦 91a][田浦 91b]。また、田中らは、橋梁設計において、事例に基づいた設計支援の為に形態のビット列による表現と[田中 92][田中 93][田中 94a]、感覚的デザイン性を考慮した事例ベースの設計候補の生成[田中 94b]について検討し、多価値基準のもとになされる設計における遺伝的アルゴリズムの有効性を検討している[田中 95][平 95]。古川は溶接治具の概念設計に GA を適用し[古川]、吉村は荷重を受けるトラスの設計に GA を用いている[吉村]。長坂は意匠デザインのための 3D 形状を生成する遺伝子型表現についての研究を行っている[長坂 97a][長坂 97b]。

さらに、感性デザインに対しての応用例も幾つか見ることが出来る。勝山は SD 法によって得られた評価関数を見出す設計案を生成するシステムを GA によって構築し、乗用車のフロントマスクの設計に用いている[勝山]。また荒川は 2 値比較によって得られた定性的な感度を用いて得られた感性情報から椅子の形状の設計を GA によって行い[荒川]、原田は多様なイメージ用語の特徴を併せ持つ形状生成のために GA を用いた[原田]。

これらの研究は、遺伝的アルゴリズムの並列的多点探索という特徴を用いて、評価関数をみ出す解を発見しようとするアプローチである。評価関数は、作られた画像の特徴を評価してそれぞれのプログラムを評価するが、表現される画像が豊かで複雑であればあるほど、評価関数をみ出す画像をさがすことは難しくなり、解は多様なものとなる。現実のデザインでは一つの設定課題に対して様々な答えが出されることが普通であり、画像の特徴量を細かく直接的に評価をおこなうのではなくより抽象度の高いレベルで評価をおこなう場合には、再計算によって同じ結果を得ることができないという非再現性の問題は、逆に、コンピュータが人間の想像力を刺激することできる、と捉えることもできる。

一方で、こうした事前に決定された評価関数を見出す形状を生成する研究だけではなく、人間の中の曖昧なイメージを満たす形状や動きを行う個体を生成するために、生成された各評価を行う際に人間のインタラクションを用いた、対話型の進化システムに関する研究も盛んに行なわれてきた。Simulated BreedingやArtificial Evolutionとも呼ばれる対話型の手法をとる研究などが行なわれており、事前に評価関数を決めることが難しいものや、ユーザの主観的な判断要素が大きく評価が人によって異なる対象、つまり感性的な対象に対して非常に有効であると思われる。こうしたシステムは、問題解決にふさわしいかたちに進化計算の手法を対話型システムとして拡張したものであり、近年その重要性が認められるようになってきており、人工知能学会誌にて対話型進化的計算として特集が組まれる予定である。

こうした対話的な進化システムは、固定された評価関数によるnatural selectionではなく、人為的なartificial selectionによる淘汰を用いた進化システムであり、ドーキンスによるBiomorphに端を発している[Dawkins]。Biomorphは、遺伝学における突然変異と淘汰の重要性を裏付けることを目的としたプログラムであったといえるが、コンピュータが生成する候補案の中から対話的な人為的淘汰を繰り返すことによって、単純な形態生成ルールのパラメータ空間を探索し、想像もつかないような多様な形を作り出せることを示した先駆的な例であった。

シムズは数学的関数を遺伝子型とするCGアートを作成し、鑑賞者の審美感が淘汰環境として機能するシステムを制作し、インタラクティブアートとして高い評価を得ている[Sims91][Sims93]。畝見も同様のシステムをX-Window上に実現し、人為選択による進化システムを模擬育手法(simulated breeding)と名付けた[畝見]。VentrellaはDarwin meets Disneyというキャッチフレーズで、アニメーションを行うキャラクターの動きを人為選択によるデザインで作成するシステムを作成している[Ventrella94]。PagliariniはCAIの一環として、情緒障害を持つ児童が人間の表情を学習するためのシステムを作成している[Pagliarini]。

2. 2. 2 デザイン支援システム

次に、本研究で構築した、対話型進化システムとしてのデザイン支援システムの実

装について述べる。

ユーザは探索を行なうにあたって、画面上に提示される複数のデザイン案の中から「一番気に入るものを選択する」という作業を繰り返し、デザインを作成する。

図2・1に示すように、画面には9個のデザインが表示される。ユーザは提示されたデザイン案の中で一番気に入ったものを選択し、次の世代の画面を表示させる。これは、進化計算におけるトーナメント戦略を、視覚的におこなっているといえる [Poli]。

ここで提示されるデザイン案の個数は、遺伝的アルゴリズムにおける個体数であるので、探索能力の向上の為には個体数は多ければ多い程よいはずである。しかし、人間の短期記憶容量は7+2チャンク（主観的な情報のまとまり）と言われており[海保]、さまざまなデザイン案を視覚的に比較し、もっとも高く評価するもの1つを選択するという作業を繰り返すため、個体数はこの程度の数が妥当であると考えられる。

現在のシステムでは、デザインの対象をワンピースの形状とした。ワンピースは、8個の小数のパラメータおよびユーザの身体のデータをを用いて、ワンピースの側面を表わす2次元の曲線を計算することによって作成される（図2・4）。

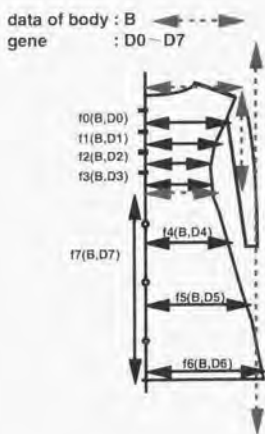


図2. 4 形状の生成

このモデルでは、各パラメータと身体のデータを用いた以下の式によって制御点の

X座標およびY座標を計算し、各制御点を用いたスプライン曲線によって補間することで、ワンピースの形状を生成する。

```
//...
p[0].x = bd.ShoulderX;
p[0].y = bd.ShoulderY;

p[1].x = (int)(control[0]*(double)(bd.ShoulderX-p[2].x))+p[2].x;
p[1].y = bd.WeistY+ (int)(0.7*(double)(bd.ShoulderY-bd.WeistY));

p[2].x = (int)(control[1]*(double)(bd.ShoulderX-p[3].x))+p[3].x;
p[2].y = bd.WeistY+ (int)(0.3*(double)(bd.ShoulderY-bd.WeistY));

p[3].x = (int)(control[2]*(double)(bd.ShoulderX - bd.WeistX))+bd.WeistX;
p[3].y = bd.WeistY;

if(bd.HipX < bd.WeistX+(int)(control[3]*(double)(p[7].x-bd.WeistX)) )
    p[4].x = bd.WeistX+(int)(control[3]*(double)(p[7].x-bd.WeistX));
else
    p[4].x = bd.HipX;
p[4].y = bd.WeistY-bd.HipY;

p[5].x = bd.WeistX+(int)(control[4]*(double)(p[7].x-bd.WeistX));
p[5].y = bd.WeistY - (int)(0.6*(double)(-p[7].y-bd.WeistY));
p[6].x = (p[5].x+p[7].x)/2+(int)((control[5]-0.5)*(double)(Math.abs(p[5].x-p[7].x)));
p[6].y = bd.WeistY - (int)(0.8*(-p[7].y-bd.WeistY));

p[7].x = bd.WeistX+(int)(control[6]*(double)bd.Height/4.0);
p[7].y = bd.WeistY-(bd.HipY*2+(int)(control[7]*((double)bd.Height/2.0-(double)bd.HipY)))
:
//... 式2. 1
```

各制御点の変数名が p[i], 身体データの変数名が bd であり, それぞれのデータ構造は

```
class Point{
public   int   x, y;
}
class Bodydata{
public int ShoulderX, ShoulderY,
        WeistX, WeistY,
        HipX, HipY,
        Height;
}
```

である.

ワンピースを作成するための遺伝子型は, 8 個の小数の一次元配列である. 初期状態では, 8 個それぞれのパラメータに対して, 取り得る値のデータを 0 から 1.0 まで 0.1 刻みで 11 個持ち, それぞれの値に対して等しいポイント (3 ポイント) を与える.

手順は以下の通りである.

- 1) システムは各パラメータ毎に, 11 個あるデータの中から, 1 つのデータをポイントを基に確率的に選択する. それぞれ 8 個のパラメータに対して同様の作業を行い, 一つのワンピースを生成する遺伝子型を生成する (図 2. 5). この作業を画面に提示する個体の数だけ繰り返す.
- 2) それぞれの遺伝子型を表現型に展開し, 表現型であるワンピースを画面に表示する. 本システムでは 9 個のワンピースが表示される.
- 3) ユーザは表示されたワンピースの中から主観に基づいて, 一番気に入るものを選択する.
- 4) システムは選択された表現型であるワンピースを生成した各パラメータのデータそれぞれに対して, 2 ポイントを与える.

5) 1)に戻る。

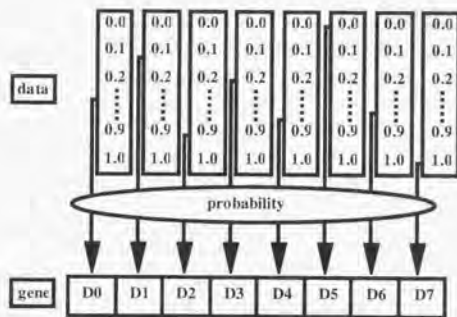


図2・5 遺伝子作成

この作業を繰り返し、ユーザは11の8乗(214358881)通りの組み合わせを探索する。初期状態では全てのデータが選ばれる確率は等しいが、ユーザがインタラクティブにシステムに働きかけることでポイントおよびデータが選ばれる確率変動し、望ましいデータの組み合わせを持つ遺伝子型が現われる可能性が高まる。これは、ユーザのフィードバックによって評価関数を作成し、その評価関数に応じた遺伝子型を作成しているということであり、ポジティブフィードバックのループを形成している。このループを山登りとしての探索として捉えると、登ることで山ができ、その山に登ることで山が変形していく、とみることができる。



選択によるポジティブフィードバック

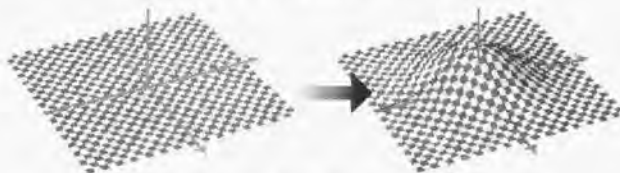


図2・6 相互作用による探索

また、よりユーザの好みを反映するために、ユーザが50回選択する毎に探索空間を形成しているデータを変更する。これは、探索を世界の航行という比喻で捉えた場合に、新たな場所を求めて移動するというよりも、より小さな規模で同じことをする、つまりその場所の周囲で細かく最終地点を求めて航行することである。初期状態では粗く切られていた探索空間のメッシュを次第に細かくしていくことで、より評価値の高い探索地点をさがしだす。

具体的には以下の手順によって行う。

- 1) 11個のデータの中で、ポイントの高い順番に、上位5個をそのまま残す。
- 2) 上位3個のデータに探索空間の変更回数に応じた値を加算減算することで、新たな6個のデータを作る。

このデータを残す数および新たに作られるデータの数は、データの数に応じて変化する。以下のように新たなデータを作成した（プログラムより抜粋）。

```
//...
parent_num    = num_of_data/10%2==1? (num_of_data/10-1)*5+3: num_of_data/
20*5;
delta        = (1.0/(num_of_data-1))/(data_generation_num+2);
//switch new data num:11→3 21→5 31→8 41→10 51→13 61→15
for(j=0;j<parent_num;j++){
    int rank = b[j];
    old_data = data[data_generation_num][i][rank];
    data[data_generation_num+1][i][j*3+0] = old_data * delta;
    data[data_generation_num+1][i][j*3+1] = old_data;
    data[data_generation_num+1][i][j*3+2] = old_data + delta;
}
for(k=j*3;k<num_of_data;k++,j++){
    int rank = b[j];
    data[data_generation_num+1][i][k] = data[data_generation_num][i][rank];
}
bubble_sort(num_of_data, data[data_generation_num+1][i]);
//... 式2. 2
```

この作業をそれぞれ8個のパラメータのデータについて行い、新たな探索空間を形成する。探索空間の変更の一例を図2・7に示す。ユーザはこれまでと同様に、新たに作成された探索空間を探索する。

対話型進化システムの研究には、選択されたものの突然変異体によって次世代の候補案を作成するものが多い。生成される候補案の新規性と意外性によってユーザの意識を刺激することが目的で候補案が最終的に収束する必要がない場合には、そうした手法が有効であると考えられるが、本研究のように具体的なデザイン作成を支援する場合には候補案を収束させる必要があり、そうした場合には突然変異を主体とした探索は不向きであると思われる。

そこで本研究では、全体的な探索を行なうためにユーザの選択を探索空間にフィードバックし、その入力に応じて遺伝子型作成時の確率を変動させることによって候補案の作成し、さらに探索空間を構成するデータを更新している。確率変動を用いた候補案の生成は、初期状態ではフラットだった評価関数をユーザの入力によって分布された関数へと変化させ、その分布に応じた候補案の作成によってユーザの入力を促していくことで探索を行なっており、ポジティブフィードバックを用いて、ユーザとの相互作用を評価関数としているといえる。

探索空間の変更は、メッシュの細かさを増した新たな空間を探索された空間の中に構成し、再びその空間の探索し始めることである。これは、変更以前の探索によって評価値が高いとされている空間の近傍をより細かく探索することであり、大きく粗い空間からより小さく密な空間へと移動することである。この作業によって、蓋然性がもたらされ、よりユーザに没入感と自己効力感をもたらすことができると考える。

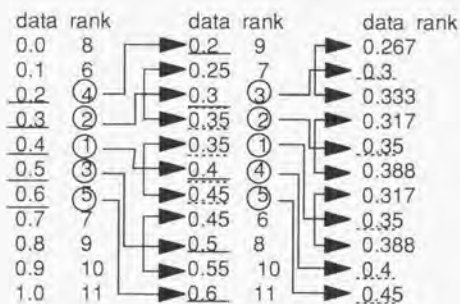


図2・7 探索空間の変更

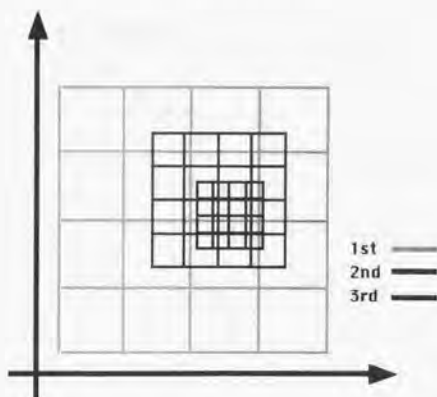


図2・8 探索空間の移動

2.3 システムの評価

進化システムにおける探索を発想支援システムの観点からみれば、生成レベル(The Generative Level)のシステムである。システムはユーザの考えている問題に対する

解答となりうる候補を出力する。この生成レベルの発散的思考支援ツールは、無益なアイデアを大量に出し続ける可能性があるために、有用なアイデアを選択的に出力させるためには、機械学習において用いられている探索空間の絞り込みや、帰納的バイアスに関するテクニックが有用であると考えられる[折原 93]。

本研究においては、探索空間の探索履歴から、ある特定のユーザがデザインを作成したプロセスを再現するような数学的関数を遺伝的プログラミングによって合成し、その関数によってデザインの支援つまり探索の支援を行った。この数学的関数による感性情報表現に関しては、第3章で詳しく述べる。

本研究では、これまで述べてきたデザイン支援システムを操作した履歴から、遺伝的プログラミングを用いて、操作履歴と近い振る舞いをする数学的関数を自動生成し、そのデザインを作成した際の感性的な知識の獲得を行なった。

遺伝的プログラミングによって生成される感性情報表現としての数学的関数は、ユーザが行った全ての選択の履歴を読み込み、以下の項目を評価関数とする遺伝的プログラミングによって合成された[Koza]。

遺伝的プログラミングにおける終端記号は、各形状の遺伝子型のデータとし、非終端記号はmax, min, mid, +, -, *, /, abs, and, sin, cos, log, exp, pow, sign, -)とした。

各関数は、操作履歴を読み込み、どの評価案群の中からどれを選択したのか? という選択の履歴に関して、以下のような評価を行う。

- 1) 関数が、提示されたデザイン案の中で、ユーザが選択したものを最も高く評価した回数
- 2) ユーザの選択の関数による評価値が選択に伴って、これまでに選択されたものの評価値の最大値を更新する回数
- 3) ユーザの選択の関数による評価値が最初の選択の評価値を下回る回数
- 4) 関数が項として含んでいる D0 から D7 までの変数項の数

ユーザが 200 回の選択を行った場合には、理想的な値 (200, 200, 0, 8) からのユークリッド距離によって、それぞれの関数の評価をおこない、遺伝的プログラミ

ングにおける遺伝的操作の基盤とした。

以下に遺伝的プログラミングによって合成された関数の一例を示す。

関数 (1) :

$$\text{mid}(\text{D6}, -(\text{min}(\text{D3} \cdot \sin(-1.15625 \cdot (1.63281) + (\text{and}(\text{D5}, \text{mid}(\text{D4}, \text{D4} * \text{mid}(0.710938, \cos(\exp(\text{pow}(\text{mid}(0.765625, \text{abs}(\text{and}(\text{D6}, \cos(\text{mid}(\text{D7}, \text{D0})))))) - 0.53125 \cdot \text{D1})))))) - \text{pow}(\text{D2}, 1.86719 + \text{D0}))) \cdot 0.929688) - \text{D1} + \sin(\text{D2} / (-1.66406 - (0.375 - 1.46094))))$$

この関数が妥当なものであるかどうかは、関数を作るデザインと GP のデータである操作履歴を通じて作られたユーザによるデザインがどれほど近いか? という事によって評価できると考える。

関数が行うデザインは、対話的なユーザと同じ作業を行なう。提示された服の遺伝子を入力して評価値を出力し、9 個それぞれを評価値を計算する。そして、ユーザと同様に、その中で最も値の高いものを選択するという作業を繰り返す。

図 2・9 にデータとなったユーザによるデザインを示し、図 2・10 に関数 (1) によるデザインの一例を示す。

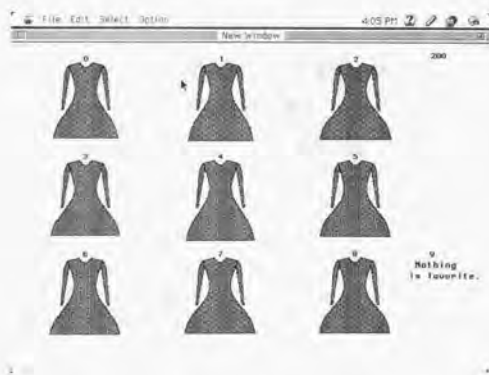


図 2・9 ユーザによるデザイン

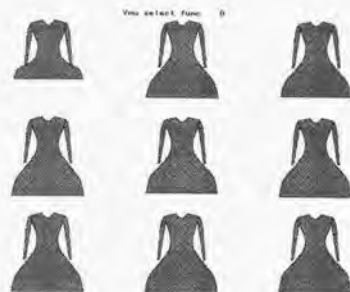


図2・10 関数によるデザイン

視覚的に判断して、ほぼ等しいデザインが生成されていることが分かる。この関数には、特定のユーザが特定のデザインを作成した際の感性的な知識が埋め込まれていると考える。

本システムにおいて採用した、提示された案の中で最良のものを選択するというアプローチや人為選択による対話型の進化システムにおいては、ユーザーインターフェースの重要性が指摘されているが[畝見], システムの様々なパラメータが探索結果および探索プロセスに及ぼす影響については議論されることがない。

そこで本研究では、合成された関数を仮想的なユーザと見なしてシミュレーションを行うことで、システムのパラメータが探索に及ぼす影響について検討する。

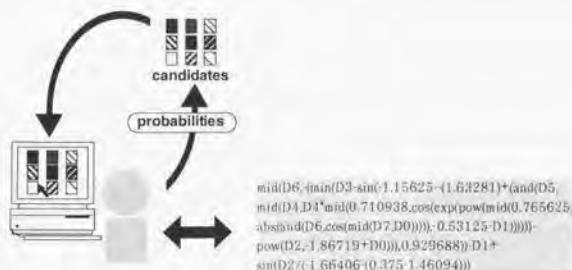


図2・11 関数を用いたシミュレーション

2. 3. 1 シミュレーション

システムのパラメータの中で、今回検討したものは以下の三つである。

- 対立遺伝子の数
- 何回毎に探索空間が変更されるか
- 発散的な表現型を含む提示から
収束的な表現型だけの提示へ
何回目の選択において切り替えるか

収束的な表現型とは、ユーザの選択により変動したポイントを基にした確率から生成される遺伝子により作られるものを指し、発散的な表現型とは、ポイントの逆数を基にした確率から生成される遺伝子により作られるものを指す。

発散的な解の提示によって、局所的な最適解への落ち込みを回避することが可能であると考えられるが、探索がある程度進行した時点では、探索効率を低下させると考えられ、モードの切り替えが必要であると考えられる。

以下のシミュレーションでは収束的な表現型を4個、発散的な表現型を5個提示し、それぞれの場合に応じて収束的な表現型だけの提示に切り替えた。

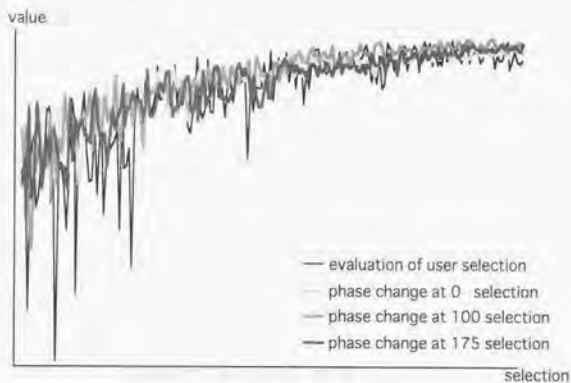
以下のグラフにおいて、実際のユーザの選択を関数が評価した値の推移と、関数が最も高く評価して選択したものの評価値の推移との相対的な対比により、それぞれのパラメータが探索に及ぼす影響について定性的に検討する。

2. 3. 2. 1 対立遺伝子

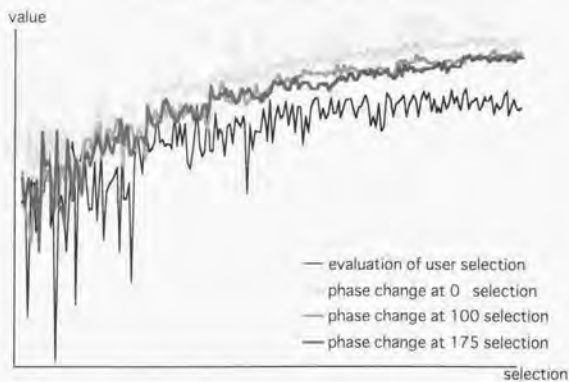
第一に、対立遺伝子の数の違いがもたらす影響について検討する。グラフ2・1は対立遺伝子の数が1個、グラフ2・2は6個、グラフ2・3は21個、グラフ2・4は41個の場合の探索過程を示す。それぞれの場合を比較するために、データの細かさが最終的に等しくなるように探索空間変更の回数を調整した。

これらのグラフの対比から以下のことが分かる。

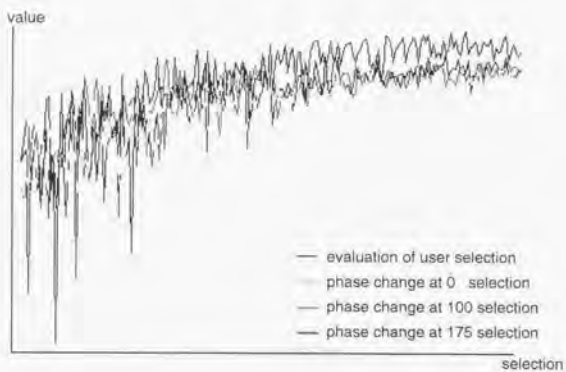
- 1) 対立遺伝子の数が少ない程，最終的な探索点の評価が高い。
- 2) 対立遺伝子の数が多い程，発散的に表現型を提示する影響が大きく，評価値が振動する。



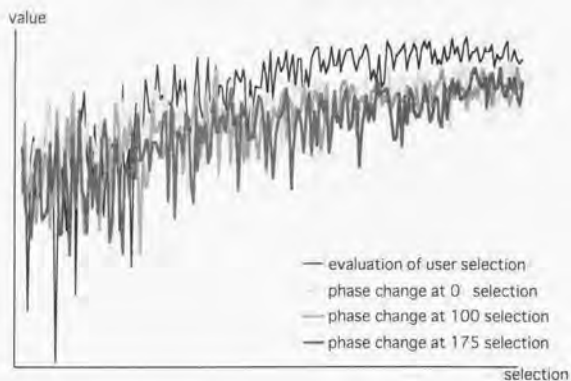
グラフ2・1 11個の対立遺伝子を持ち50回の
選択毎に探索空間変更の場合



グラフ2・2 6個の対立遺伝子を持ち25回の
選択毎に探索空間変更の場合



グラフ 2・3 21個の対立遺伝子を持ち100回の
選択毎に探索空間変更の場合



グラフ 2・4 41個の対立遺伝子を持ち200回の
選択毎に探索空間変更の場合

これらは最も評価が高いものを一つだけ選択するというインターフェースを持つ特徴であると考えられる。

対立遺伝子の数が多い場合、ユーザの選択による情報が探索空間に広がりにくく、効率的な探索を行えていないと思われる。これはユーザがどの候補案を選択したのか？というただ一つの入力を用いて確率を変動させるだけでは、進化システムが持

つ並列的な多点探索という特徴を生かすことができないためであると思われる。

明示的な評価関数を用いた進化計算の場合には、並列的に生成された遺伝子に対してそれぞれに評価を行うことが可能なために、探索空間の多くの点に評価を与えることができるため、探索空間全体にフィードバックを与えることが可能であるのに対して、最も評価の高いものを一つだけ選択するという手法をとる場合には、その遺伝子型を構成した対立遺伝子のデータに対してだけしか評価のフィードバックを与えることしかできないためである。こうした短所を補う為に、選択された表現型を構成する対立遺伝子の近傍にもポイントを与えるなど、ユーザの選択の情報を探索空間に広がりやすくする必要がある。

本システムでは、相互作用の結果から確率変動を作り出し、それに基づいて次世代の遺伝子型を作成して次なる探索を行っているが、もちろん、他の方法を用いることも可能である。

例えば、実数をもちいて遺伝子型を表現している場合には、選ばれた一つの遺伝子の情報を伝播させるためには、Evolutionary Programmingに用いられている分布関数と評価値から計算される乱数の加算減算することで、次世代の遺伝子を作成することも可能であると思われる。Evolutionary Programmingは、実数的な表現をもちいた遺伝子型に、突然変異を遺伝的操作の主とする進化計算である。何回目選ばれたか？ということを経験における評価値に置きかえることで、対話型進化システムにおいても、こうした手法を用いることができると考えられるが、それは突然変異体の生成を繰り返すことによる探索を行なっているといえる。

しかし、EPにせよGAにせよ、固定されたグローバルな評価関数と並列的な多点探索の効果で、突然変異主体の探索による局所解への落ち込みを回避でき、世代交替を繰り返すなかで、多点の候補案は一点へと収束していくことが可能である。しかし、多点探索の有効性をあまり生かすことの出来ない対話型の進化システムを、なかでも解の収束性が求められるようなデザイン支援システムへ応用する場合には、突然変異体を主にした探索が適切であるとは考えにくい。

そうした意味で、本研究では、一個体の選択を繰り返すというインターフェースながらも、突然変異体の生成の繰り返しではない探索を実現するために、確率変動を用いたが、対話型の進化システムにおいても、各表現型に明示的な数値による評価を与え、多点的な探索を行うシステムも存在する[Baluja]。しかし、各遺伝子型に対して、マウス操作などによって評価付けを行う必要があるためにマウスの操作量

が表示される個体数の分だけ倍加され、ユーザの操作の負担が非常に大きい。また、比較というパターン認識的で視覚的な作業ではなく数値的な評価を行うために、思考としての負担が高く、一品種一生産システムの様な、ユーザへの負担と抵抗を限りなく抑える必要のあるシステムにおいては、そうした評価づけの手法は適切ではないと考える。

2. 3. 2. 2 探索空間の変更

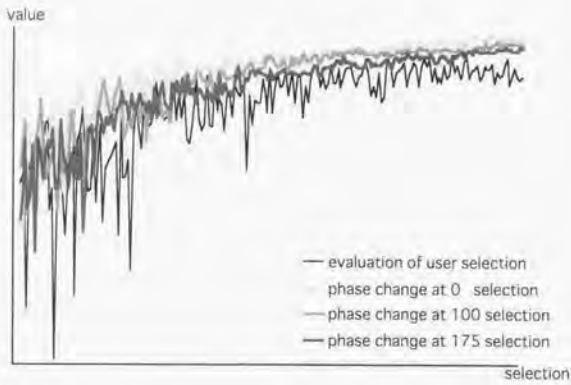
第二に、探索空間の変更の回数が及ぼす影響について検討する。グラフ2. 5は30回毎に、グラフ2. 6に50回毎に、グラフ2. 7は100回毎に探索空間を変更した場合の探索過程を示す。対立遺伝子の数が同じならば、探索空間を多く変更した方が最終的な探索点の評価が高いことがわかる。

これは全体としては同じ回数の選択で、より細かなデータで構成された探索への移動を行うために、結果としてより密度の高い探索空間を探索できるためであり、空間を構成する変数の最小値と最大値は変化しないものの、空間を離散的に構成するデータがより細かくなるためである。

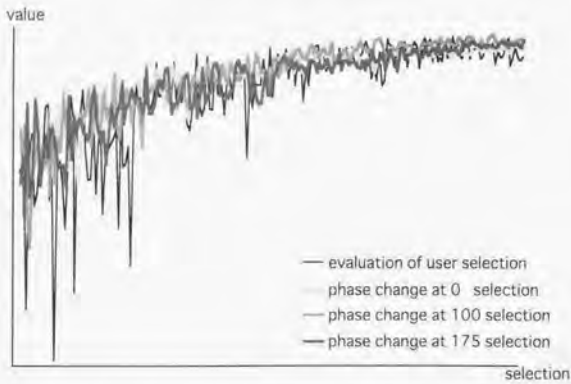
こうした対話型の進化システムでは、提示される表現型の数である個体数と、選択を繰り返す回数である世代数には、限度があるため、探索空間の変更は有効な手段であると考えられる。

このシミュレーションでは決まった回数毎に変更を行ったが、ユーザにの操作履歴から選択される個体の遺伝子型の収束度合をシステムが判断することで、より動的で効果的な探索空間の変更が可能になると考える。

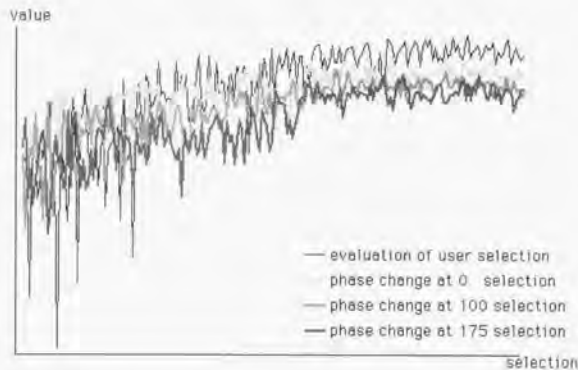
高木是对話型のGAにおける評価において、初期時は連続値入力为好ましく、さらに収束するにつれて連続値入力へと変更する混合方式がインターフェースを改善することを指摘しているが[高木96]、本研究における探索空間の変更も、離散的な探索空間を順次その幅を狭めることによって連続値入力へと近づけていこうとするものであり、操作者の心理的負担を軽減しインターフェースを改善することが出来ると考えられる。



グラフ 2・5 11個の対立遺伝子を持ち30回の選択毎に探索空間変更の場合



グラフ 2・6 11個の対立遺伝子を持ち50回の選択毎に探索空間変更の場合



グラフ2・7 11個の対立遺伝子を持ち100回の
の選択毎に探索空間変更の場合

2. 3. 2. 3 探索モードの切り替え

第三に、発散的に生成される表現型の効果について検討する。

グラフ2・1から2・7までを見ると、発散的な表現型の提示は評価値の振動に影響をおよぼすことがわかる。発散的な提示から収束的な提示へ切り替えるタイミングが遅いほど、評価値は振動する。

こうしたインタラクティブシステムの長所は、操作の過程において想像力を刺激することであり、人為選択による進化システムにおいては、発散的な個体の提示は最終的な結果のイメージが曖昧な探索の初期段階において有効であると考えられる。探索空間の変更と同様に、ユーザの選択の収束をシステムが判断して探索モードを変更することで、より効果的な探索が可能になると考える。

この多点探索と局所探索の程度を切り替えることは、インタラクティブ性に大きく影響を及ぼす。

Apple社が、マルチメディア・データベースのインターフェースを研究する「ガ

イズ]プロジェクトの一環として、ユーザテストを実施した結果、データベースのユーザは、あちこち気ままに拾いよみする「モード」と、集中的に何かを探し求める「モード」との間を行きつ戻りつしがちだということが明らかになった[ローレル 92]。

ユーザはまず、いくつかのデータを眺め回したあと、しばらくの間はある目的を持った整然たるやり方で検索を行い、次にまた拾い読みを始める。我々が百科事典や雑誌、辞書などを読むときも、これと似たような経験をしてきたはずである。このインタラクティビティの経験は、ある関を乗り越える現象であり、また、これは操作のコンテキストにも大きく依存すると考えられる。インタラクティビティの基準は目の前で進行中のタスクに自分が参加していると感じるか、感じないかということであるといえるが、それは単に行為を経験しているモード（拾い読み）から手段としての行為の制御権を握ったモード（集中）に移るときに発生する「シリアスさ」の関をユーザがスムーズに越えることができるか？ということに依存する。

これを実現するためには、制御の権利をシステムからユーザへと移行すること、または人間の目的を円滑に効率良く支援することのできるエージェントの能力をシステムが持つかのどちらかである。

この関をユーザが乗り越えたとシステムが判断することが出来るならば、さらなる支援を行うことができるであろう。その案としては、第一に他のsimulated breedingの手法の様に選択された個体の突然変異体を提示することで局所的な探索へと切り替えること、第二に候補案の絞り込みの手法をよりタイトなものにすること、第三に形態の制御を行う権利をシステムから人間の直接的なタスクに移して直接編集することを可能にする、ことなどが挙げられる。これらは、人間の目的を理解して円滑にかつ効率的にユーザに成功をもたらすことのできる一種のエージェント的な役割をシステムに与えることであるといえる。

2. 3. 2 関数による支援の効果

2. 3. 2. 1 数学的関数によるデザイン支援

本研究では上述したように、デザイン支援システムを操作した履歴から、遺伝的プログラミングを用いて、ユーザの操作履歴と近い振る舞いをする数学的関数を自動生成し、そのデザインを作成時の感性的な知識の獲得を行なった。

この関数は評価関数であるので、探索空間の絞り込めや生成されるデザイン案の絞り込みを行うことができ、そのため生成レベルのシステムにおける探索の支援を行うことができる。

関数は、多数生成された候補の中から関数が絞り込んだ候補だけをユーザに提示することが可能となり、発散的思考支援ツールにおける有用なアイデアを選択的に出力することを実現する。関数はデザイン案のフィルタとして機能することができ、あるデザインのエッセンスが評価されたものだけをユーザに提示することができる。

また、ユーザに代って、事前にある程度関数が探索空間を絞り込むことが可能になり、折原の指摘する発散的支援ツールにおける支援方法を実現できる。本システムにおいては、まったくのランダムな状態である初期状態から、ある程度まで確率分布が設定された状態や、探索空間の変更が一度行なわれる程度まで、関数を用いて自動的に探索を行うことが可能である。

ユーザがシステムを用いる前に持っている曖昧なイメージは、探索過程において参照されるおおまかな枠組みとして機能するが、関数による空間および生成案の絞り込みがその枠組みの中で探索を開始できることをより確固たるものとすることができるようになると考えられる。

数学的関数による絞り込みが、より少ない選択回数での最終的な地点への到着をもたらすならば、デザインの支援を実現できていると考えられる。あらゆる場面において、テンプレートというものは目的になりそうなものとその目的に基づいて確実な応答を引き出してくれるような一連の出来事を含んでいるといえるが、本研究においても、そういった意味で、関数はデザインのテンプレートとして機能していると考えられる。

タスクの実行、生成された結果の評価、意図および目的の設定と修正、というループが円滑にかつ素早く回り、少ない回数で望む目標を達成できるようにするのがヒューマンインターフェースの役割である[石塚]と捉えれば、同じ評価値のデザイン案を作成するのにより少ない回数の探索で作成できるか？また、同じ回数の探索で作成されたデザイン案の評価値がより高いか？ということで、本研究で提案する数学的関数によるデザイン支援の効果が評価できる。

以下に、数学的関数として表現された感性情報によるデザイン支援の効果を、シミュレーションによって検討する。

支援のない場合には、提示する数だけの遺伝子を作ってデザイン案をユーザに提示していた。関数が支援を行う場合には次の手順でユーザへの提示を行う。

- 1) 提示する数よりも多くの遺伝子を確率によって作成する。
- 2) 関数がそれぞれの遺伝子の評価を計算する。
- 3) 上位に評価されたものだけをユーザに提示する。

図2・12にその様子を示す。デザインを支援する関数として以下のものを使用した。この関数は関数(1)と同じデータから合成されたものである。

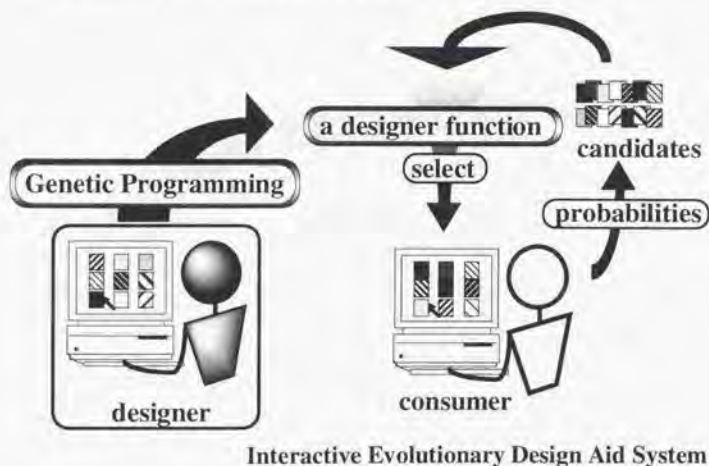


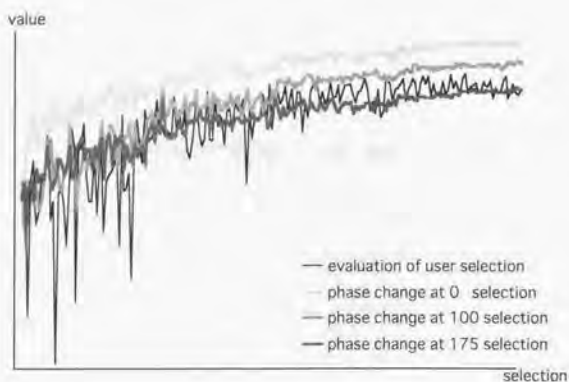
図2・12 関数によるデザイン支援

関数 (2) :

$$\begin{aligned} & -(D3-D6/\text{mid}(D2,1.9375*\text{max}(\text{exp}(D2+D1/\text{abs}(\text{pow}(D0,\text{and}(0.8125,D2-\text{mid}(- \\ & 1.98438,\text{and}(D4,\text{and}(\text{max}(D1,D1),\text{abs}(D3-\text{min}(D5,0.421875)))))/(\text{cos}(\text{mid}(\text{mid}(D7,\text{mid} \\ & (0.898438,\text{mid}(\text{and}(D6,\text{max}(0.804688+\text{min}(D3,\text{and}(\text{mid}(D3,D2-(D6-D2*\text{sign}(0))),\text{sin}(\text{min} \\ & (D6-D2*\text{cos}(\text{and}(\text{min}(\text{cos}(D0),\text{sqrt}(\text{cos}(\text{mid}(D3,0.515625)))),-1.22656)),\text{mid}(-(D2,0))))),D6- \\ & \text{max}(-1.99219,\text{min}(D2-\text{mid}(1.48438/\text{max}(D6,-0.695312-\text{abs}(D2+D1/-0.15625+D3/0) \\ & ,0)-0,0)/0))),0)),D6))+\text{mid}(D2,\text{abs}(D2+D1/D1+(D6+\text{cos}(\text{mid}(D3,D2*0)))))))-0)),0))) \end{aligned}$$

グラフ 2・8 に以下の条件の下でのシミュレーションの結果を示す.

- ・ 対立遺伝子が 11 個, 50 回毎に
探索空間変更
- ・ 確率によって生成された 30 個の候補の中で
デザインを支援する関数が高く評価した
9 個のデザインをユーザに提示する



グラフ 2・8 関数による支援の効果

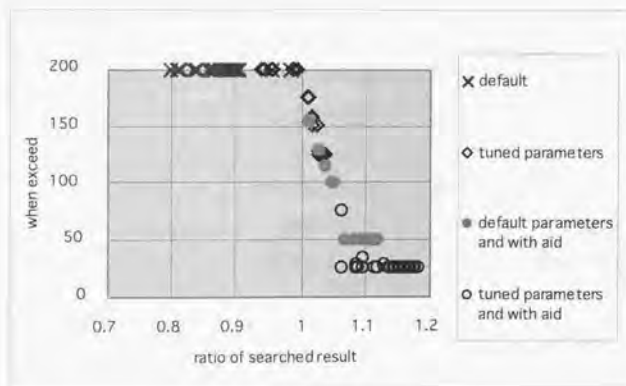
グラフ 2・8 から, 全体的に選択されたものの評価値が上がり, 最終的な探索点の評価も高いことが分かる. このことから, 関数によるデザイン支援は有効であると考えられる. このシミュレーションでは, 発散的な表現型は関数によるフィルタリングをせずに生成するために, モードの切り替えが早いほど支援の効果があらわれている.

2. 3. 2. 2 支援の効果の比較

以下の条件の下での探索結果の比較を行った。

- 1) デフォルトパラメータ
- 2) 調整されたパラメータ
- 3) デフォルトパラメータで関数が支援を行う
- 4) 調整されたパラメータで関数が支援を行う

1)と3)においては、対立遺伝子の数は11個で50回毎に探索空間の変更を行った。2)と4)においては、対立遺伝子の数は11個で25回毎に探索空間の変更を行い、選択された表現型を構成する対立遺伝子の隣に位置するデータにも1ポイントを与えた。このシミュレーションでは発散的な提示は行っていない。関数による支援は上記の条件と同様である。



グラフ2・9 支援がもたらす探索結果の比較

図2・13にグラフ2・9の縦軸及び横軸の表す意味を示す。横軸は、関数が選択したものを関数が評価した値の最大値の、ユーザが選択したものを関数が評価した値の最大値に対する、比率を示す。縦軸は、関数が選択したものを評価した値が、ユーザが選択したものを関数が評価した値の最大値を超えた時の選択の回数を示す。

このグラフから、パラメータの調整と関数の支援によって、最終的な探索地点の評価値が上昇することがわかる。

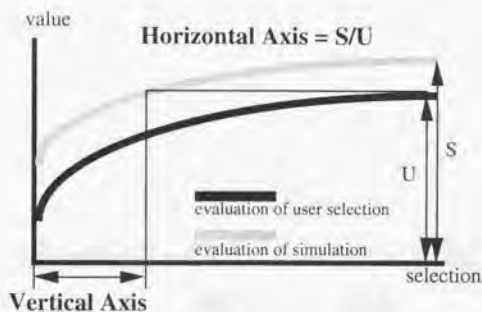


図2・13 グラフ2・8における縦軸と横軸

また、関数の支援によって、同程度の評価値をもつ地点へ、より少ない探索によって到達できることがわかる。つまり、選択の回数を減少させる効果を持つことが分かる。さらに両方が共存する場合には、加算的な効果以上の相乗的な効果をもたらすことが分かる。

石塚のいうヒューマンインターフェースの役割 ・ 少ない回数で望む目標を達成できるようにする ・ を考えれば、この数学的関数によるデザイン支援は、より優れたヒューマンインターフェースをもたらし、システムをより協調的にする効果があることがわかる。

2. 3. 2. 3 支援する関数の違い

これまでは、同じ操作履歴から合成された二つの関数を仮想ユーザおよび支援関数としていた。この節では、異なるデザイン作成の履歴から合成された関数を支援する関数として用いた場合の探索結果について検討する。

関数(1)のデザインを支援する関数として、別の操作履歴から合成された以下の関数を使用した。関数(3)が作るデザインを図2.14に示す。

関数(3) : $D7+(D7-(D4+\text{pow}(D5-D3*\text{mid}(D7,0+0),D3/\text{mid}(D3,\text{min}(\text{mid}(D1,\text{mid}(D4,(\text{min}(0,D4))))),\text{mid}(\text{abs}(\text{max}(0,\text{abs}(\text{max}(0,D5))))),D3*\text{mid}(D6,\text{abs}(-(-0.328125)))))))+(D7-(D4+(-0.46875+(-0.46875+\text{min}(\text{mid}(D2,D3),D6-\text{mid}(\text{max}(\text{min}(\text{min}(D6,1.78125*\sin(\text{mid}(D7,\text{and}(D1/-1.39844-\text{pow}(\text{pow}(D7,\text{and}(-1.48438,\sin(D1))),0),0)),0),D7))))))$

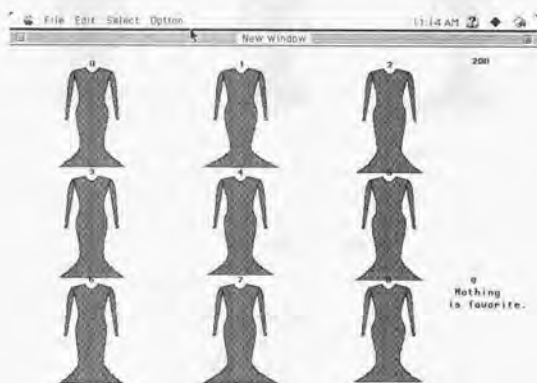


図2.14 関数(3)によるデザイン

ユーザとして関数(1)を用い、支援をする関数として関数(2)を用いた場合のデザインの一例を図2.16に示す。

支援の条件は上記のもの(確率によって生成された30個の候補の中でデザインを支援する関数が高く評価した9個のデザインをユーザに提示する)を用い、システムのパラメータは調整したもの(対立遺伝子が11個で、25回毎に探索空間変更、近傍にも1ポイントを付加)を用いた。

左から35回目、50回目、200回目に仮想ユーザとしての関数が選択した形状を示す。

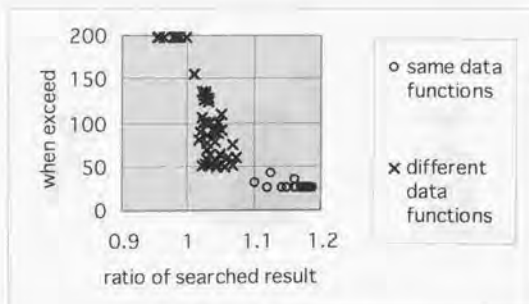
ユーザとして関数(1)を用い、支援をする関数として関数(3)を用いた場合のデザインの一例を図2・12に示す。グラフ2・10にそれぞれの場合の探索結果を示す。縦軸および横軸の意味はグラフ2・9と同じである。



図2・15 同じ操作履歴から合成された関数を支援関数としたデザイン



図2・16 別の操作履歴から合成された関数を支援関数としたデザイン



グラフ2・10 支援関数の違いがもたらす探索結果の比較

図2・15およびグラフ2・10から、実際のユーザによるデザインに近い形状を、2~30回の選択によって関数が作成していることが分かる。ユーザが高く評価す

るデザインと支援関数が高く評価するデザインに近い場合には、適切な支援が行われると考える。

それに対し、図2・16から関数(1)と関数(3)の組み合わせの場合には、最終的な結果は、支援関数が高く評価したデザインに近いものが作成されていることが分かる。さらに200回選択した時点でのデザインの評価の比率が高いことから、ユーザとしての関数が高く評価するのではなく、支援関数が高く評価する部分空間を探索し、またその探索点をユーザとしての関数も高く評価していることが分かる。このことから、合成された関数(1)は多峰関数であると想定される。

少ない選択回数でデータとなったデザインに近い形状を作成することを目的とするならば、データとなっている形状が大域的な最大値である単峰性の関数を作成すべきであると思われるが、ユーザが操作を重ねる事で異なるイメージが喚起された場合にも対応できるよう柔軟性を持たせるためには、多峰性の関数が適していると考えられる。数学的にどのような特性を持つ関数を生成するかは、トレードオフの問題ではあるが、遺伝的プログラミングにおける評価の一要因として、関数の性質を考慮することも可能であると考ええる。

次に、図2・17に新たな支援条件(確率によって生成された18個の候補の中でデザインを支援する関数が高く評価した9個のデザインをユーザに提示する)で、関数(1)をユーザとし、関数(3)支援とした場合のデザインの一例を示す。図2・16のデザインでは、最終的に関数(3)によるデザインに近いものが作られたのに対し、図2・17のデザインでは、関数(1)と関数(3)によるデザインの間とも言えるようなものが作られた。



図2・17 支援の条件を変化させた場合のデザイン

この場合も、関数(1)の中の多峰的局所解の中の一つを探索したと考えられる

が、フィードバックループを形成している多峰的な評価関数の相互作用によって、どちらの元のデータではないものが生成されている。これは、システムとのインタラクションの結果、ユーザが事前にはイメージしていないものを作成できるようなケースのモデルとして非常に興味深いと考えられる。

2. 4 考察

感性工学的手法は、自動車のインテリアやエクステリア、工業化住宅などのデザイン決定に大きな実績を上げてきたが、こうした例は大量生産を前提とした製品の企業内でのデザインを行うために使用されており、あくまでもマスマーケティングをマズプロダクションへと連結するための技術であるということが出来る。

それに対して、この関数としての感性情報の抽出は、感性工学的な手法と異なり、特定の才能の情報だけを自動的に獲得することができるために、一品種一生産システムの中でも、アパレルやインテリア製品といった、機能以上にデザインの付加価値が高い商品で、なおかつ個性性の高いを対象とする場合に、非常に有効であると考られ、ワントゥワンマーケティングやコンシューマーレスポンスといった戦略に適したシステムであると考えられる。

本研究は、デザインというものを最初から消費者の介入を前提としたものと考えてシステムを構築したといえるが、その介入は新しい時代のデザインのリアリティを紡ぎ出すと考えられる。

あるブランド、あるデザイナーの作品を好むということは、そのデザイナーと価値観を共有することであるが、同じデザイナーを好む消費者どうしても、そのデザイナーの作品のどの部分をどのように評価するのかという観点や価値観というものは、人によって異なるはずである。仮にデザイナーXを好む消費者AとBがいるとして、AはデザイナーYも好きだがBはデザイナーYよりもZの方が好きであるといった場合には、Aが思うデザイナーXとBの思うデザイナーXには微妙な違いがあるはずである。

そこでデザイナーの感性をフィルタとして機能させるインタラクティブシステムならば、AにはAなりのデザイナーXが、BにはBのデザイナーXのエッセンスが集約された製品を提供することが可能になると考える。

デザイナーはインタラクティブシステムの制約として環境を提示する役割を担い、消費者は最終的なプロダクトを作り出す役割を果たすことで、新しい社会形態におけるデザインを提案することができると思う。

また関数を用いたフィルタリングによって探索を支援することの有効性を数値的に示すことができた。

本研究が対象としたような一品種一生産における仕様策定システムでは、ユーザは一般的な消費者と想定されるためにシステムを協調的にする必要があるが、そうした場合には、細かい条件まで要求したり条件にあてはまる項目を無制限に羅列するようなデータベース検索のようなものではなく、システム側が暗黙的に対話誘導を行ったほうがタスクに関する知識が乏しく目的も曖昧なユーザにとっては協調的であると考えられる。暗黙的な対話誘導を用いれば、システムが先に口を開くためにユーザの記憶への負担は小さくなりまたユーザの行動を制約することが容易にできるメリットがあるが、逆にユーザが取り得る行動の幅は狭くなり、また不要な情報の提示にコストがかかることもある。

そこでフィルタリングによるデザイン支援を用いれば、関数が絞り込んだ候補だけをユーザに提示することが可能となり、発散的思考支援ツールにおける有用なアイデアを選択的に出力することができるため、不必要な情報の提示を減少させることができる。またある制約としてフィルタリングを用いることが前提となっていればより多くの候補案を確率的に生成できるため、候補案を生成するためのバイアスや事前の探索空間の絞り込みを緩くすることができ、探索の制約条件を決定する主導権を探索空間を構成する側ではなく探索する側のユーザに与えることが容易になると考える。

ユーザが事前に持っている曖昧なイメージは探索過程におけるおおまかな枠組みとして機能するが、枠組みの決定権をよりユーザ側へ近づけて探索のプロセスの中でそうした枠組みをダイナミックに変更することは、探索する側の自由度を上げつつ効率的な探索をもたらすことができると考えられる。本研究のようなデザイン支援の手法を用いれば、各ユーザの価値観に応じたデザイン支援システムを即時的に構築することが可能になると思われる。

本システムの短所としては、まず第一に、探索空間が固定長の遺伝子で構成される為、得られる設計解のダイナミズムに欠けてしまうということが挙げられる。そのため、事前に探索空間が決定できない概念設計においては、様々な試行錯誤の

プロセスの中で設計者自ら探索空間を設定する必要がある。

しかし、本研究では、ユーザとして一般的な設計業務に携わる技術者やデザイナーではなく一品種一生産におけるエンドユーザを想定しているため、ユーザに大幅な概念設計の実施を要求するよりも、プロフェッショナルが構築した探索空間をユーザが探索することを目的としている。

これは、Bodenが、創造的思考を概念空間 (conceptual space) の操作と考え、探索空間の操作として探索 (exploring) と変換 (transforming) とに分け、探索は表面的で小さな変化をもたらすものであり、変換はより本質的で大きな変化をもたらす、その大きな変化が大きな創造性を生じさせる[Boden]、としていることを考えれば、エンドユーザはデザイナーの探索と変換によって作り上げられた創造的な概念空間を探索することは妥当であると考え、そのため、制約条件や設計要求に多様性の少ない属性設計や本研究の目的のようにデザインのあらゆる要素をユーザに設計させない場合には、対話型進化システムは設計支援システムとして有効な手段であると考え、

また、遺伝子型から表現型への展開方法として式2・1を用いたので、形態の発現アルゴリズムとしては非常に単純であるために、ユーザのイメージネーションを越えるような形状を生成することがなく、あくまでも普通にイメージできる形状のバリエーションの中での探索でしかない。遺伝子型の設計と表現型への展開を研究の中心としたSimsの研究では、人間のイメージを超越するような形状が生成され[Sims94][Sims96]、対話型の進化システムが持つ長所を十分に発揮できていると考え、

しかし、システムによって生成されたものを、形状として成立させられるかどうかという問題は、見る側の感性の中にその形状に対するイメージが成熟しているかどうか、ということに依存している。それは、「創造力の限界は想像力の限界」であるためであり、ユーザが理解できない形式は形状として成立しないし、提示されたものを理解するという感性は、形状をみてきた記憶と背景知識の上に初めて成立するのであり、今までになかった形状を作れば新しいものになるということはない[押井]。

様々な形態発生のアルゴリズムを進化させることで、誰も観たことの無い形態を作り出すことは可能であるが、それはあくまでも原理的に可能なものであって、それが認識されるかということは分からない。人間の想像力というものも自己規制的なものであり決して自由なものではなく、想像を超えた創造というものもあり得な

い。

本研究が提案した特定の才能の感性を抽出して読み込んだ対話型の進化システムといえども、Bodenのいう変換された探索空間と発現型の発生アルゴリズム、探索手法を構築する人間の持つ認識論と才能如何によって、ユーザの想像力と創造性を刺激できるかどうかが決まり、システムがあらゆる創造性を刺激できるような形に自動的に構築できるわけではない。

GPによって獲得した情報は、特定の個人の創造性や感性の中でもごく一部分に過ぎず、また本来ダイナミックな思考を静的な情報へ閉じ込めることの無意味さもあると考えられるが、一般的な消費者の求める範囲内での製品を提供することを目的とした生産システムにおけるユーザとのインターフェースにおいて、特定の個人の情報を用いて迅速に探索空間を構築できるデザイン支援システムを提供する一手法の提案を本研究が行なったということができると思われる。

第二に挙げられる短所は、探索による属性決定は、フォトレタッチソフトのフィルターの様にあくまでも全体の構造の一部分を決定するものであるために、プロによって作られた探索空間を探索するとしても、様々な次元のプランニングを行ったり来りする場合、つまりタスク間の移動を行うにあたって、探索空間を移動する必要があるということである。

そのため、全体的なデザインを行うためには、階層的なデザインシステムを構築する必要がある。発想支援の中には、そうしたタスクやプログラムの上位概念であるアクティビティの作業管理を支援する研究も行われ[宮田]、また階層的な意思決定の支援方法としてはAHPと呼ばれる手法が存在し、設計支援システムへの応用がなされている[伊藤照]布引]。こうした手法を取り入れることで、より広汎なデザイン支援システムへと発展させる必要があると思われる。

どのようなアプリケーションにおいても、下部の構造を探索している最中に、上位の探索を行うまたは再開する場合には、現在注目している部位の探索を中断する必要があるために、そうした行動を支援する機能を付加する必要がある。人の注意資源には限界があり、認知過程はその制限に制約をうけるからであり[海保]、課題の下部作業の遂行に必要な注意量が大きいほど、上位の作業すなわち全体構造や高次プランを考える作業に利用出来る注意量は少なくなるためである。

階層的な意思決定(全体形状、細部、色)によって、全てのデザインをエンドユーザに設計させるよう拡張した場合でも、特に探索が失敗した場合にリカバーする機能や、上位構造とのマッチングを確認するための機能が必要であると思われる。

第三に、通常の消費行動の代替活動として満足度を与えることができるか?という評価を行うことができなかつた。

一品種一生産のシステムを操作するという事は、消費行動を行っているという事であるが、商品を探して歩くような消費行動においては、商品が目的というよりも買い物自体が目的である場合も存在する。WWWを通じた通信販売が思うように発展しない理由の一つに、定型的な消費もしくは価格および納期が最優先されるような消費にはWWWが有効であるものの、楽しみを伴うような買い物には、あまり有効なシステムとはいえないことが挙げられる。

楽しみを伴う消費には、物を見て回る、選ぶ、購入するという行為が精神的浄化作用(カタルシス)を産み出していると思われる。通信販売を利用する購買層の多くは、カタログをめくると自体を楽しみにしており、アメリカでは8兆円の市場を相手にする通販業者らは、商品の発掘だけでなく魅力的なカタログ作りに苦心惨憺している。一品種一生産を社会に浸透させるには、そうした「たのしみ」や「おもしろさ」をシステムに付加せねばならない。

ローレルによると、対話的なシステムを演劇というメタファーで捕えた場合、ユーザは単に観客として行為をするのではなく、その演劇の進行に参加し体験することによって、感情的なカタルシスが得られるという[ローレル92]。一品種一生産のシステムに対しては、製品としての満足度だけでなく、そうした感情的な満足度を上げるためのしくみが必要であると思われ、ユーザビリティ評価の中でさまざまな手法を検討すべきであると考えられる。

また、数名のユーザ(20代の男女5名および30代の男女3名)が実際に操作した感想から、探索することによって曖昧にしかイメージ出来ていなかったものを、徐々にはっきりと自覚することが出来るようになったという報告がなされている。青木は対話型GAが具体的なイメージを想起できない経験の浅いデザイナーには有効であるものの経験豊かなデザイナーには効果が低いことを指摘しているが[青木97]、本研究も明確なイメージを保持できないエンドユーザに対して非常に有効なシステムであると考えられる。

ユーザは比較し選択するという繰り返しによって探索することで、自分がどういった案の中からどれを選んだか?ということを知覚するようになる。それは、探索の初期段階ではあまり意識をせずに散漫に選択を行っていたものが、探索の進行と共にデザイン案の形態が似通ってくるに連れて、どこがどう違うのか?というこ

どに注視して選択を行うようになるからである。

類似性に関する認知科学的な研究から、ベース（検索対象）の検索には類似性を判断する観点が必要であり、人間は文脈や目標を利用して巧みに観点を設定することが指摘されている。類似性の判断においては、どのような観点において似ているかということを考えながら、結論が下される[鈴木]。それは、選択肢から選ぶという行為においても同様であると考えられ、選ぶことによってどの観点から選ぶのか？ということが明確になる。さらに、その時々への提示の情報だけを用いるのではなく、これまでの状況においてどういった選択を行ってきたかという履歴の提示も、観点の明確化に寄与していると考えられる。

これは、自己の認識や行動による学習 (learning by doing) と考えることもできる。このとき次のような3つの問題が生じる[安西 88]。

- どのような発見的規則を新しく生成すれば、それが後の問題解決に役立つか
- 発見的規則を生成するには、外界のどんな情報を認識すればよいか
- 認識された情報をどのように構造化すれば、発見的規則を生成することができるか

これらは、アプリアリな認識構造と状況からの符号化、記憶の制御という問題であり、これらはお互いに関連した切り離すことの出来ない統合的に考えるべきことからであり、行動と学習が一体化した行為である。

行為を通じて、自分がどの部分のどういった特徴を評価しているのか？という構造化された情報およびそれから喚起されるイメージが、より明確になるようになる。それは、能動的にシステムに関わることによって、自己のイメージを知覚し始めるのだといえるだろう。形態の変化を体験することによって、変化の中に埋め込まれた自分の求める不変的な部分が知覚され、自分が何を求めているのか？つまり自分が選択してきた対象の中の不変な性質が次第に明らかになると考えられる。

丁度ギブソンが生態学的視覚論において唱えた「知覚する」という概念と同様に、ユーザは動的に探索を行うことによって「変形」と「不変」、「持続」と「変化」を知覚し学習しているのだといえる。初期の認知科学においては、人間は環境からの刺激を処理して情報を産み出して認識すると考えられていた。しかし、人間が認識のためにしていることは、自身を包んでいる環境に情報を探索するのであり[佐々木] [ギブソン]、動物は情報に「反応」するのではなく、情報を環境に探索するのであるとギブソンは考えた。

アフォーダンス理論はあくまでも視覚の理論であるので、そのまま発想の理論と

は成り得ないが、発想支援システムにおける創造性およびイメージ喚起のメタファーとして、一般的な意味や認識の理論として有効であると考え、そうした意味でも、ユーザの反応によって環境を動的にどのように変化させるか？つまり、インタラクションによってどのようにシステムを更新させるか？という事が、ユーザの発想を効果的に支援することは明らかであり、探索的発想支援システムにおける探索空間および生成案の絞り込みを、より動的に変化させる必要があると考えられる。

こうした観点から、今後の課題としては、より協調的なシステムにするための条件を検討すること、現時点での関数による支援における静的な部分をより動的にすることが挙げられる。

具体的には、

- 適切なフィルタリングを行なうパラメータの検討
- フィルタとしての関数の特性の違いが及ぼす支援効果への影響を検討しなければならない。

その上で、よりシステムを動的に変化させるために、

- 候補案のフィルタリングをより動的に行なう：関数が評価値を高くつけた個体を提示している部分を、ユーザが選択したものに近い評価値の個体を提示するようにする
 - 選択される候補案の評価によりモードを動的に切り替える：ユーザの選択した個体の距離の取束度合を関数が判断することにより、個体の生成方法を突然変異をメインとしたものへと変更する
 - 複数の関数をエージェント指向的に競合させる：一つの関数が静的に支援を行っている部分を、幾つかの関数の競合によってユーザのインタラクションに最も整合する関数に変更するようにする
- といったこと組み入れることが、将来の展望として考えられる。

第3章 遺伝的プログラミングによる感性情報獲得

「コンピュータはどれも固定的優先事項のセットに従っている。キングの安全をはかり、駒を生かし、対角線を開ける、などなど。わたしたち人間は、固定的なリストにこだわったりしない。わたしたちは評価すべきことを感じるのだ。」- チェスの世界チャンピオン、ガルリ・カスパロフ - 一九九六年にIBMのチェスを指すコンピュータ、ディープ・ブルーと対戦するまえに、人間と機械の戦い方の違いを比べて

3. 1 非言語的思考

あるときみんなで何かを話し合っていて- 11, 2歳のときだったことは間違いない- 「けど、考えることは独り言を言っているのと同じだよ」と私が言った。

すると、ベニーが、「そう？自動車のクランク軸の妙ちきりんな形を知っている？」
「それがどうしたの？」

「じゃあ聞くけど、独り言ではクランクはどう言うの？」

こうして私はベニーから、考えは言葉にするだけでなく眼に見えるようにすることもできるのだと教えられたのだった。 -R.P. ファインマン-

3. 1. 1 視覚的身体的思考

数学と科学の創造についてのアダマールやファーガソンの研究や音楽、芸術に関する他の研究の示すところによれば、これらの分野での創造の多くはシンボリックな精神とむすびついているということはなく、重要な創造分野での仕事は大部分が視覚的段階であり、身体的段階がほんの少しである。

人間の認知の能力が、行動(身体的)、イメージ(視覚的)、シンボル(記号的)と

いった精神作用で成り立っていると仮定するとき、ブルーナーやピアジェの分析によれば、それぞれ複数の精神作用がお互いに通信したり共同作用を行ったりすることはほとんどない。人間が認知を行っている場合には、いずれかの精神作用がメインのモードになっており、お互いが制御権を握るために競争しながら干渉しあっている。特に分析的な問題解決においては、制御権をにぎった精神作用はモードに満ちており、例えば5つの分析的な問題を順番にこなしているときに、もし図形的に解く問題が与えられたなら、シymbol的に解こうとするために何時間もかかってしまうことがある[佐々木]。図形的システムが創造的であるのは、たえず動き回り突っ走るため何ものにも妨げられることがないからである。

それぞれ三つの精神状態における主な仕事（それぞれは、身体的：どこにいるか知っている操る、視覚的：認識する比較する構成する具体化する、記号的：推論を行って結び付ける、抽象的、である）について考えた時、これらの意味が分かる[ケイ]。

3. 1. 2 感情：創造性をもたらす知

創造的なプロセスを駆動する暗黙的な知が身体的な知や視覚的な知であり、認識の能力がシymbol的なものだけではないということから、言語的、推論的な能力だけでは統合（synthesis）としての設計やデザインを行えないということが分かる。

この事実は心理学的な研究からも裏付けられており、脳の障害としての知的な障害や感情障害の臨床事例から、感性と知性、感情と創造性に関する研究がなされている。

生まれつきのように思える感情は一次感情と呼ばれ、恐怖や驚きに対する無意識の反応などが含まれる。ほかの感情-二次感情-は、人間の成熟につれて発達するように思われる。そのような感情は、純然たる合理的判断と思われる意思決定に関してすらきわめて重要な役割を果たすことが、感情障害の臨床事例から報告されている[ピカード]。

合理的意思決定に感情の重要性を見い出すのは、非合理的に思えるかもしれないが、A.R. ダマシオによるエリオットという脳障害の患者に関する記録がこの仮説の

もとなっている[Damasio].

エリオットや彼のような患者は、脳にある種の障害をうけたせいで、二次感情にとって不可欠と思われる新皮質と辺縁系のあいだの伝達ルートである前頭皮質と扁桃核の連絡に影響がおよんでいる。一見したところ、エリオットは感情を顔に出さず、並外れて理性的であるため、エリオットは理性的に意思決定をするのが得意であると思える。しかし、エリオットの感情の欠如は彼ら意思決定能力をひどく損ない、ビジネスにも仕事にも悲劇的結果をもたらしている。エリオットは、知能指数も認識能力も、標準もしくは平均以上だが、人といつどこで会うかを決めるというような単純な判断を迫られると「ふむ、この時間がいいかもしれない」とか「近くへ行く用事があるかもしれないから、この時間のほうがよさそうだ」などと際限もなく合理的な検討を加えつづけて、やめられなくなってしまうという。それは、エリオットは合理的な可能性をえんえんと吟味しつづけて、危険な選択といやな感じとの関連(セイリアンス)を学ぶことができないらしいためであり、そのせいで彼は、何度も選択を誤ってしまう。感情が欠けていることは、エリオットの合理的・知的に行動する能力を大幅に損なっているとダマシオは考えている[Damasio].

エリオットの例を考えると、感情が激しすぎることは論理的判断に悪影響を及ぼすと思われるが、矛盾したことに、感情が乏しすぎても論理的判断力が損なわれるのであり、必要なのはバランスであると思われる。現在までの人工知能システムはまるでエリオットのようなものである。膨大な数の法則の組み合わせからなる専門分野に関しての平均以上の知識をもっているものの、意思決定を行うことができないというのは、あたかもデネットが創作した爆弾とロボットの問題、つまりフレーム問題を解決できないデカルト的人工知能が持つ欠点に近い。

フレーム問題に悩むことのない人間らしい判断力の基盤が、シンボリックな部分ではない脳に依存することを示唆していると考えれば、コンピュータは合理的すぎて、価値判断とその決断についてのセイリアンス(なにが興味を引くか、何が目立つかを生物的な知性によって判断すること)を関連づけることが出来ないために、人間的な判断を行なうことが出来ないとも考えられる。

再びチェスの世界での事例を引けば、カスパロフの試合についての記事において、グランドマスターであるヤセル・セイラワンの「マシンは恐怖を感じない」ということばが引用されている。この記事では、チェスの達人の解説者が、ディーブ・ブルーの指し手のいくつかを評して、「とんでもない危険を」おかしているとか、「正気ではない」とか述べている[ピカード]。これはシンボリックなチェスの世界でも、視

覚的パターンとしての認識だけでなく感情と結び付いた身体的なパターンによっても意思決定を行っているものであると考えられる。

河内は知的な障害や感情障害を示すさまざまな臨床事例を通して、知性情報処理と感性情報処理は、独立して生じる並立的なプロセスであることを示している(河内)。シンボリックな情報処理である知性情報処理とそうではない感性情報処理が並列であるということに、人間は身体的、視覚的、シンボリックのいずれかの精神作用がメインのモードになってお互いが制御権を握るために競争しながら干渉しあっているというブルーナーやピアジェの主張を合わせて考えれば、シンボリックな処理だけでは決定することができない意思決定問題においては、人間は視覚的もしくは身体的なモードによっても意思決定を行っているという仮説をたてる事ができる。

3. 2 設計における感性

「身体内の過程が知覚に参加する仕方が明らかにされるならば、人間の最高の創造的な能力をも含むすべての思考にとっての身体的な基盤に光りがあてられるだろう」
ボラニー

3. 2. 1 口述不可能な設計の包括的知識 - 主観的視点

古来、日本における主観的、美学的知識の伝達を行おうとする芸術論の中には、芸談というものがある。イギリスは経験主義がその思考の型を決めており、日本とイギリスがともに島国であるせいか、一般化された普遍的な論理を最初に組み立てる必要性が重視されず、経験的に確定されたものを積み重ねが重要とされる傾向があり、そのためには論理よりも物語が有効とされてきた(磯崎 96)。

道、術とされるものは、武道と同様に、殆ど一子相伝であり、今日残っている書かれた言葉は覚書程度で、肝心の部分は、「他に口伝あり」で表にあらわされないことが多い。それは「言い得てなにかある」という世界であり、言ってしまったら何

も残らないという世界である。

それはまさしく奥義とでも言うべきものであり、口伝と呼ばれている部分の多くは細部にわたるテクニクであったと推察されているが、奥義ともなればもうひとつその奥にある何物かであり、丸ごと一まとまりとして感知しなければ雲散霧消する包括的な存在である。芸談というのははその奥義の達人が禪の公案をもじって、ひたすら細部だけを語ったものだという言うべきで、道や術が身体的な習得技法の大系化として成立してしまうのは、元来ここに一般化可能な論理に導く方法論などなく、ミステイシズムのかなたに奥義がひそむことをちらつかせているためであるともいえる[磯崎 96]。

このような問題領域は、一般に複雑で曖昧性を含んだ不完全な開いた世界 (ill-structured open world) であり、科学的あるいは理論的に扱うことが困難である要素を多く含んでいるという特徴がある。エキスパートと呼ばれるほどの専門家は、その問題領域に関する高度に専門的な知識に精通しているばかりでなく、彼ら自身の長年の体験を通して得たいろいろな経験則を利用してうまく推論していると思われるが、そうしたいわゆる深い知識 (deep knowledge) の獲得は従来からエキスパートシステムにおける技術課題として挙げられてきた[上野]。

また、われわれは意思決定や問題解決に際して、ほとんどの場合、現在の状況を以前の何らかの体験と比べるアナロジーというものをを用いる[ベトロスキー]。複雑な意思決定が全く論理的な分析、論理的な思考だけで行われることはない。論理的な分析は、重要と「思える」側面だけを入念に表現し、判断が下される。論理は一般化する反面、物語は特殊化するために、物語は形式的な解決手段が置き去りにしてしまう要素を的確に捉えてくれる。論理は文脈に依存しない汎用的な結論を導き出すが、物語は個人的な視点であり、その結論が関係者にどのようなインパクトをあたえるか理解することができる。そのため、意思決定には両方が必要なのである[ノーマン 96]。

口伝による美術論が物語の形式をとっているのは、論理は細部の説明ともいえるテクニクを伝えることはできるが、非論理的な部分、形式的な論理が説明できない個人的な視点や包括的な存在を伝えることができなからだとも言えるだろう。材料とデータ、結果の状態を提示するプロダクト情報と、それらの処理方法を指示するプロセス情報を与えても、モノづくりには不十分であって、その他に必要な何かというのがこの包括的な存在である[伊東]。

その包括的な存在とは、暗黙知や心眼[ファーガソン]と呼ばれたりセンスなどと呼ば

れる、口述不可能な知識であると考えられる。そうした知識は細分化した論理によつては表現できず、物語やエピソードでしか伝達することが出来ないものであると考えられる。

暗黙知とは、ポラニーによって広くしらしめられた概念である。ポラニーは、客観的な真理とは自己の主體的関心や営為と乖離したものではなく、探究者の主体的な能動的関わりと密接に関連したものであると主張する。それは単なる独りよがりの気ままさを意味するのでもなく、科学的知識の客観性や普遍性を否定するのでもない。その樹立を目指しはするが、それは探究者の主体的営為を通してのみなのである、ということを読む。

ポラニーの人間の知識に関する出発点は「我々は語ることができるより多くのことを知ることができる」というものである。暗黙知とは、近接項と遠隔項の協力によって構成される包括的な存在を理解することであると考えられる。その場合の近接項とは、この包括的存在の諸細目のことである。我々は、包括的存在を把握するが、それは、我々が包括的存在の諸細目の全体としての意味に注目するため、それら諸細目について我々が感知していることに依拠することによってである、と、その具体例は、ピアノの演奏と指の運び、盲人の杖による知覚と杖に伝わる振動、顔の全体の認識と顔を構成する部分部分、といったものである。

暗黙知は、4つの側面-機能的、現象的、意味論的、存在論的-によって特徴づけられる。

1) 機能的側面:「暗黙的関係の第一項から第二項へと注目するのである。この関係の第一項が我々に対してより近くにあり、第二項が遠くにあることは、さまざまなかたちで明らかにされるであろう。解剖学の言葉を用いて、我々は第一項を近接的、第二項を遠隔的とよぶことができるだろう。そこで、我々は語るができない知識をもつというときには、それは近接的項目についての知識を意味している。」

この言葉は意味をもたらず所要素の機能について表した言葉であるといえる。遠隔的なもの、第二項を知覚しているときには、その意味をもたらず近接項に関する知識を明示的にとらえることができないことを指摘している。具体例としては、ピアノ曲の演奏が意味を持ち始めた時には指の個々の動きを意味を意識出来ないようになるといった場合である。

2) 現象的側面:「我々は、暗黙知という行為の近接項を、その遠隔項の姿の中に感知している、ということができる。我々はあるものから他のものへと注目するさい、前者を後者の姿の中に感知しているのである。」

これは、技能を実行する場合には、我々が個々の筋肉運動を感知するのは、我々の注意が向けられている作業との関連においてである、ということを示しており、遠隔項の意味を感知する中でのみ、諸細目に暗黙的な注意を払っているのだ、ということを示している。

3) 意味論的側面:「特徴的な全体の相とは、その諸部分の意味である…。…全体の意味に注目するため、我々は諸部分について我々が感知していることに依拠する…。…この場合、諸部分の意味は、諸部分が位置しているのと同じ場所に見られる。そのため、諸部分をそれらの意味から観念の上で切り離さなければならず、それは容易なことではない…。」「意味はすべて、我々自身から遠くのほうへとはなれていくような傾向をもつ。」これは、マクロとミクロの関係を表現しているとも言える。ミクロに注目すればマクロの意味は失われ、マクロに注目すればミクロの意味は失われる。

4) 存在論的側面:「暗黙知とは、意味をともなった一つの関係を二つの項目のあいだにうちたてる。そこで、暗黙知とは、この二つの項目の協力によって構成されるある包括的な存在を理解することである、と考えられる。その場合、近接項とは、この包括的存在の諸細目である。それに対応して、つぎのように言うことができる。つまり、我々は包括的存在を把握するが、それは包括的存在の諸細目の全体としての意味に注目するため、それら諸細目について我々が感知していることに依拠することによってである、と。」これは暗黙知が実在的なもの、作用の結果浮かび上がるものである、というを表現している。

こうした情報の包括的存在と構成要素の関係性は知覚においても起きており、そうした問題は盛んに研究されている[村山]。

なかでもゲシュタルト心理学者は「ゲシュタルトの知覚は、要素を感覚することと同じレベルで起こり、それらは排他的である」ということを主張し、その証拠としたのがファイ現象の存在である。二つの位置に置かれた電球を交互に点滅させる。光の点滅は、その交替のリズムがある速度を越えると、点滅ではなくて光の移動運動として見え始める。点滅が「運動」として知覚されているときには、個々の光がどこで点滅しているのかという「位置」の知覚はもはやおこらず、逆に、個々の光の位置が知覚されているときには「移動」の知覚は起こらない。要素刺激が「下」で包括的存在が「上」なのではなく、光の「移動」というゲシュタルトの知覚は要素の知覚と同じレベルにあり、お互いに排除しあっているのである。ゲシュタルト

心理学者らは、ゲシュタルトの知覚は、要素刺激と同列なそれ自体独自の性質をもつ刺激によって引き起こされると主張した[佐々木]。また、ゲシュタルトとは何か？ということのカニツツアは「全体の性質は部分の総和の結果ではない」のであり「部分の性質はそれを含む全体に依存する」と述べている[カニツツア]。(ゲシュタルト心理学者は、知覚の問題を強調してきたし、よく知られた実験は視覚に関するものであるが、全体の研究の三分の二は思考や記憶、学習などの広範な心理学である。)

こうした暗黙知やゲシュタルトの性質を踏まえた上で、奥義やセンスといったものを捉えようと、それらが細かなテクニックとしての遠隔項の知識を操作する近接項としての知識であるために、包括的存在を意識している間はそれら明示的に知覚することは出来ず、細かな知識を捉えた瞬間に、包括的存在を包括的たらしめた細かな情報どうしので相互作用が失われてしまい、捉えようとしていた包括的な生きていた知識はダイナミズムを失ってしまうのである。

木を見れば森は見えず、森を見れば木を見ることができないのであり、森は木の相互作用の結果浮かび上がる実在的な存在であるために、静的な論理だけによっては森の在り方を伝達することができないのである。

3. 2. 2 設計知識の記述および伝達、共有

人工物工学がそのアプローチの一つとして、設計知に関する知識の生成、伝達、共有のプロセスの体系化を目標としていることは、究めて意義のあることと考えられている[中島]。概念設計や機能設計における各プロセスにおいては、個々の人間の主観的、美学的な要素が非常に大きく、その情報を明示的に抽出し、共有および蓄積することは、工学の発展にとって非常に重要である。設計知識の獲得や共有化、再利用性を高めるための研究は、ソフトウェア設計や建築設計、機械設計などの様々な分野で活発に研究されている。

そうした研究の例としては、設計者の知識を効果的に蓄積するための手法の研究、設計言語とも言えるような一般化された形式的な言語の開発の研究、熟練した設計者の知識の伝達効果を高めるための表現方法の研究、エキスパートシステムにおける知識獲得に関する研究、事例ベース推論を用いた設計支援システムなど、様々なものがある。

機械設計の分野では、知識獲得の研究として、河合らは概念設計を行うシステムの対話的操作から設計知識を半自動的に獲得するシステムを構築し[河合]、吉岡らは設計過程のプロトコル解析の結果から対象知識を獲得するシステムを構築しその設計過程知識の体系化を行っている[吉岡]。

知識の蓄積や伝達に関する研究としては、データベースの構築手法やデータの記述の仕方などの研究がなされている。桐山らは設計対象の挙動を表現する物理現象と、それらが生起するための前提条件となる機械要素の組によって設計対象の挙動を定性的に記述したフィジカルフィーチャーをデータベース化する研究を行っている[桐山92][塩原92][石井93]。田浦らは、現実のエンジニアリングが各プロセスに依存し各エンジニアの主観による場合が多いことに注意を向け、各プロセスの状況と共に決定の根拠の経緯を記述することが必要であると考え、エンジニアリングにおける行動知識として視点の推移および判断の動機、行為の意図、理由、位置付けなどのエンジニアリング知識の効果的な伝達するために、その記述方法と蓄積手法としてのヒストリーベースの構築を行っている[田浦][窪田]。窪田および山岸らは、非同期・知識集約型のコラボレーションにおいて、パートナーの考えと思考過程全体を明示的、視覚的にとらえ、パートナーの思考を自ら再体験するためのシステムを構築している[窪田]。特に山岸は、形状のイメージなど感覚的でとらえにくい情報を扱う場合が多い意匠デザインにおける伝達を目的として、形状生成機能をもったシステムとの対話によって、意匠デザインにおける思考の際の意図や視点を明確に表し、伝達する方法を提案している[山岸]。

一般化された形式的な言語の開発の研究としてはモデルの研究を含めて、様々に研究されている。桐山は様々な視点からのモデルを用意するとともにそれらの統合的な管理を行うメタモデルの研究を行い[桐山91]。関谷は製品情報の共有手段としてのメタモデルを用いたシミュレーションモデル作成支援を行うシステムを構築している。薛は知的CADのための設計知識表現言語の開発を行い[薛]。武田は設計プロトコルを述語論理で記述し、計算可能な設計過程モデルを構築した[武田92]。下村らや吉岡らは設計対象を表現する方法としてのFunction, Behavior and Stateダイアグラムを用いた設計支援システムを構築している。柳生は、形式論理とその解釈としての準同型写像、そしてそれらのセットである圏との圏同士の写像である関手による設計プロセスのモデリングおよび記述を行っている[柳生孝]。

建築設計における事例としては、アレグザンダーは、形式的な方法論の中に、熟練設計者の知恵を凝縮し、デザインパターンと呼んだ[アレグザンダー]。

この方法論は、様々な事例に現れる設計のパターンを決定するシステムとして構成された。パターン決定要因に非形態的な、生活習慣、地域特性、趣味、土着技術、といった通常建築家がかかるとして排除してあったソフトな要素を代入するシステムとして構成されている。この方法論は、未熟な設計者の仕事の質を高め、また、熟練者にとっても、複数の解決案がある場合に、その各案がどのような結果を招くか、より体系立った分析を行う手助けとなる。

たいていの共同作業における失敗は、各段階で抱く各人の仮説がそれぞれ異なるからである。だが、ランゲージがあれば、それらの仮説が、最初から完全に明白なものになるため[アレグザンダー]、設計プロセスの共有が促進されると考えられている。

ソフトウェア設計においても、建築の分野において検討されたこの設計知識共有の方法論であるデザインパターンが受け継がれ、オブジェクト指向プログラムの開発における設計知識の再利用の手法として有効に活用されており[戸松]、Java言語の設計自体にも影響を与えている[久保田 97]。

また、オブジェクト指向言語自体が、差分プログラムという発想に基づいており、設計されたソフトウェアの再利用性が高められるように言語が設計されている。そしてデザインパターンとして記述された設計知識にのっとりソフトウェアを作成することで、さらに再利用性が高まり、知識の蓄積が促進される。

3. 2. 3 知識の記述

上述のように、行為の記述に関する研究も盛んに行われているが、こうした研究の多くは基本的に、設計者自身の記述に基づいており、主観的な情報を主観的に記述している。

そうした記述を行うための心理学的手法がいくつか存在するが、旧来行われてきた内省法においては、観察者自身（または他の判断者）の言語報告によっていた。今日の内省法とも言えるプロトコル分析ではテーブルコーダによる記録の分析などがおこなわれる。プロトコルデータが信頼のおけるデータであるかどうかについて種々の議論がおこなわれ、エリクソンとサイモンによって、記憶モデルを参考にし

た内省のモデルがたてられた、同時的言語報告では当該の認知過程が言語的に表現されて、注意が向けられている情報の状態が記述される。

実際に、人工物の使いやすさを調査するユーザビリティテストにたいして、発話思考法や言語プロトコル分析が盛んにもちいられており、設計過程知識の抽出にも用いられている[武田]。また、内省が問題解決中の学習に有効にはたらくことから、内省と設計を同時に支援するシステムに関する研究もおこなわれている[立花 97]。

しかし、言語的な記述にはあらわれない微細な情報やある状況のなかでは当然と受け止められている情報をすくいあげることは、発話思考法や言語プロトコル分析では困難であり[湯田]。追想的報告では、課題終了直後であれば短期記憶、部分的には長期記憶にある情報に基づき報告がなされるが、しばらくすると長記憶内の情報に基づかざるを得ないようになり、検索にともなうエラーや不完全な報告がうまれる[箱田]。個人に関わる内容の少ない説明において、デザイナーは自分の携わった計画を振り返って分析する傾向にあり、時には、計画案を説明したり正しいと理由づけるために、合理的以上の説明になったりするという考えもある[ロウ]。また、心理学者のニスベットとウィルソンは、実験データに基づきながら、人には自分の行動の原因を明瞭に認識する能力がないということを述べている。なぜそんなことをしたのかという問に答えるとき、人は往々にして、自らの内的状態を参照して答えるのではなく、行為がなされた文脈の属性に基づいて答えるというのである[湯田]。こうした例には有名なウォータゲート事件のディーン証言というものがあり、大統領の法律顧問だったディーンの事件に関する証言は、その後出てきた会話のテープとの照合から、自分の記憶をしらずしらずの内に歪めて記憶していたことが分かった。

つまり、記憶というものは自分の「目的」に応じて再構成されるのである[安西 85]。その結果、われわれは知っていること以上のことを語ることになるが、その内容の正確さからはほど遠いものになる。実際に、イントンズとピーターソンは、「イメージを浮かべることが個人的なことがらであるということに加えて、パラダイム自体が、実験状況、被験者の訓練や知識、それに実験者の仮説についての知識によって生じる要求特性によって影響を受けやすい。」とかがえ、イメージされた地図をたどるイメージ走査課題などの成績に実験者の期待が影響を及ぼすことを明らかにしている[湯田]。また、追想内省は通常の同時的内省よりも正確かという点、これまでの記憶研究があきらかにしてきたように、構造化された既知知識がもとの情報の記憶を知識に合致するような形に変容させることがしられている。

行為の習熟の伴って、行為は自動化（無意識化）され、省力化される。この内的過

程において、内的に行為の表象単位をより大きな単位にまとめあげるチャンク化がおこなわれ、知識として知っていたことが実際に行為としてできるようになる。具体例として身体化された知識としての楽器演奏、キーボードのブラインドタッチなどがある。まず、身体動作の手順を知識として知る。このような知識は手続き型知識と呼び、どこを押せばどんな音が出る、どんな文字が入力されるかという知識を宣言型知識と呼ぶ。習熟して自動化された状態では、手続き型知識は無意識化され、自分がどのようにしてその行為をしているのかを明示的に語ることは困難になる。そして、ムカデのパラドックスと呼ばれる寓話のように、その行為について語ろうとした瞬間にその行為の全体性が崩壊してしまう[海保]。(多数の足を巧みに操って移動するムカデに「どうしてそんなに上手に足を動かせるのですか」と尋ねた瞬間にムカデは足を動かすことが出来なくなってしまった、というエピソードである。)

さらに、自分の心のうちを言葉でうまく表現できないもどかしさは、だれもが経験することである。このことは問題解決のプロセスで明瞭に定式化できないヒューリスティクスな方法や直観的な判断がとられた場合には、いっそう顕著になると思われる。

人類学者でもあるサッチマンは「プラン」というのは「自分がおこなってきた行動を後から説明するための道具」にすぎないという考え方をする。行為とはプランやプログラムに統率されるというトップダウンな見方と、あくまでも局所的な相互作用の結果として総体的に合目的なふるまいが現れるというボトムアップな見方が考えられるが、意識の統制から外れたふるまいや日常での高度にスキル化されたふるまいに対しては、ボトムアップ的な見方をすべきだという考えもある[岡田]。

認知科学の研究方法の一つとして、情報処理的アプローチとよばれる方法論がある。人間に対する心理実験を行ない、そこで観測された人間の行動やプロトコルを説明する思考過程のモデルが構成される。多くの場合、モデルは計算機上で実行可能なように、計算機言語を用いて記述される。そして、計算機シミュレーションで観測されたモデルの行動と、心理実験における人間の行動とが比較され、それらがよく一致した場合には、モデルの妥当性が確認されたとする[佐伯 86]。

ところが、高次思考過程を研究対象とする場合、人間の思考過程は異なる被験者ごとに、また同一の被験者による実験においてさえ、異なる試行ごとに個別に変動する[三輪]。

こうした観点からも、習熟した知識や身体的知識などの非言語的知識、記述不可能な知識を抽出する際には、自己記述によらず、計算機や計測機を用いて記録され

た観測可能な情報から、知識獲得の手法を用いて、計算機上に知識の要素や知識どうしの構造を獲得してモデル化することは大変有効なアプローチであると考えられる。

3. 2. 4 感性の抽出

人工物工学はその目標の一つとして設計知に関する知識の生成、伝達、共有のプロセスの体系化を掲げている。概念設計や機能設計における各プロセスにおいては、個々の人間の主観的そして美学的な要素が非常に大きく、その包括的存在としての主観的な情報を明示的に抽出し、共有および蓄積することは、工学の発展にとって非常に重要である。

野中は暗黙知と形式知の相互作用を、知の変換過程として類型化している[野中90]。暗黙知(tacit knowledge)から暗黙知、暗黙知から形式知(articulable knowledge)への変換過程をそれぞれ移植(implementation)と分節化(articulation)とよび、形式知から暗黙知、形式知から形式知への変換過程をそれぞれ内面化(internalization)、連結(combination)と呼んだ。

野中の用語法を用いれば、記号学習や知識依存学習とよばれる古典的AI学習は連結に相当し、誤差伝播学習や知識コンパイルは内面化に相当する学習を支援している。分節化支援システムAA1[Hori92]やSC1[杉本93]、CAT1[角94]は分節化に相当する支援を目標としている。

これらの三つの変換過程に対して、移植を支援するテクノロジーに対する研究例は、現在のところ少ない[國藤93]。移植、つまり暗黙知から形式知への変換を支援するためには、幾つかのアプローチが考えられる。分節化支援システムなどに用いることにより計算機を用いて思考のプロセスを駆動し外在化するアプローチ、そして思考のプロセス自体を記録するアプローチ、思考のプロセスを再現する形式知を生成するアプローチがあると考えられる。

本研究においては、形態を評価する造形的認識力としての感性を形式知へと変換するにあたって、視覚的認識能力に基づいたアイデア評価プロセスを再現する形式知を生成することとした。

2章で述べた創造の各プロセスの中でも、アイデア結晶化プロセスにおいては、

形式知だけでなく暗黙知まで総動員し、候補仮説のなかから最も納得する根拠的仮説を選定していると考えられる。

ここでは問題の本質を評価し、問題解決に最も有効であるとされる仮説を選ぶときには直観的に評価し採択する。この仮説評価・決断には、どのような観点から仮説を評価するのかという観点とその評価基準を顕在化しなければならず、意思決定問題と同様の仮説評価・決断手法が要求される。残念ながら、このいわばインスピレーションのプロセスを支援するツールの研究はほとんどなされておらず[國藤93]、そうした主観的で暗黙的な評価関数および観点を形式知として変換し、共有および伝達するための研究の意義は大きいと考える。

1992年から行われた文部省重点領域研究「感性情報処理の情報学・心理学的研究」において、その目的には「美しい」とか「快い」といった形容詞で表現される感性の世界にメスを入れ、知識科学に対して感性科学の基礎を確立する。心理学、美学での個別の研究を、情報科学の理論と強力なハード、ソフトを駆使して新しい総合科学を展開する」と記されている。ここで対象とされたのは、画像や絵画、音楽や音声、表情、デザイン、空間知覚や仮想現実感などであった。第2章で述べた感性デザイン支援における対象も、この中の造形情報をあつかうデザインに関する研究でもあった。

感性とはこうした画像と音響の受動的な知覚パターンの認識によって喚起される心理的な出力だけではなく、科学的な発見や設計やデザインなどの創造において、論理的な思考とされているような分野における非論理的知識も含まれると考える。それらが心眼やセンス、奥義と呼ばれるものであり、非言語的で非明示的な知識であると考えられる。

人工知能における推論の研究対象となってきたチェスの世界でも、ディーブブルーが強力なサーチ能力と論理的な推論能力によって有り得べき指し手の枝がりを行うのに対してチャンピオンのカスパロフは自分の判断の基盤を論理的な決定のみに依っている訳ではないのと同様に、人間の創造的な意思決定には、直観的で非論理的な決定によって行われる場合が存在する。直観としてしか判断できない場合というのは、対象を自分の知識の中のどういった観点からどのような状況判断したのかということを書き述べるのが困難な状況として考えられる。また、材料とデータ、結果の状態を提示するプロダクト情報とそれらの処理方法を指示するプロセス情報が明示的でない場合と、それらは明示的であるけれどもその他に必要な何かという包括的存在である暗黙知によって判断している場合がある。そうしたケースに

は、状況をパターンとして認識していたりエキスパートであるために知識がヒューリスティクスとして身体化されてしまった場合や明示的な知識を操作する近接項的な知識を用いた思考を行なっている場合などが考えられる。

前者は、視覚的・身体的思考によって獲得された概念をシンボル化出来ていない状態であり、後者はシンボル化された概念や情報の相互作用として現われた知識を伝達することができないという状態であるといえる。

設計等の複雑な意思決定を必要とする分野だけでなく、伝統芸能や芸術、工芸といった分野で見られるように、分節化されていない暗黙知を伝えるためには、技術の伝承において経験の積み重ねや以心伝心といった方法のごとく指示や具体例を示した上での教わる側の能動的な姿勢を伴う体験以外に方法がない。

それは教える側の知識が身体化しているために明示的に伝達できないこと、また伝達可能な情報となっているとしても、その情報を吸収するだけでは技能の習得にはならず、伝達可能な知識が身体化されて初めて習得されたといえる技術だからである。こうした例は学校教育の中にも見られるケースであり、前者の場合は何をしるしとして対象を認知するのか、曖昧に述べることができいなからである。後者の場合というのは、記述的科学ではいずれも、言葉によってはあるいは絵によってさえも完全には表現することのできない外見の特徴が研究されているためであり、どんな場合でも、結局はその事物を指し示すという方法にうったえざるをえない。指し示して命名する方法は「直示的定義」とよばれ、この方法を用いても、その単語がなにを意味しているかを、教わる側が知的努力によって埋める必要がある。伝えたいものが相手に受け取られるかどうかは、言葉によっては伝えることができずに残されてしまうものを、相手が発見するかどうか依存している。

こうした知識の共有と伝承を促進するためには、暗黙知を形式知に変換したり、暗黙知を暗黙知のまま相手につたえるメディア環境の構築が重要であると考えられている[國藤 97]。

デカルトは「自分の考えていることを言い表すことのできないほど愚かな人はいない」と述べているが[バステルナーク]、本研究では、設計者自身による記述によらずに、非合理的な意思決定のプロセスの履歴情報から合理的な知識を抽出することによる感性情報の移植を目的とし、対象を造形的なデザインを作成プロセスから形状の価値判断を行う非言語的で視覚的なそして非明示的な評価関数の抽出に関する研究を行った。



図3・1 GPによる感性情報の抽出

3. 3 感性の情報表現

3. 3. 1 感性情報の表現：代数的記述

感性工学と呼ばれる分野で多く研究されてきた感性語に基づく感性情報の表現では、感性情報はあらかじめ用意された形容詞群とそれらに対する数値的等級として記述され[長町]、統計処理による相関関係の分析が感性情報処理の技術的内容となる[松山]。

こうした感性情報の分析、表現法は、知的認識のための統計的パターン分類法に相当するが、あくまでも統計的な1次的近似であるので、得られた情報の構造的な表現ができず、さらに高次の情報処理へと利用することが出来ないという短所を持つ。

実際、知的視覚認識の分野では、統計的パターンの限界が明らかにされ、それを打ち破るためにコンピュータ・ビジョンや画像理解といった視覚情報の構造表現とそれに基づいた高次処理の研究が進められ、また脳科学の分野においてもそうした研究に多くの成果が得られている[岩田]。

こうした視点から、画像、音響メディアの持つ物理的特徴を基にした構造的記述によって感性情報を抽出する方法としては、さまざまな画像・音声解析やフーリエ変換、ウェーブレット変換などを用いた多重解像度解析、得意点理論による特徴抽出、FACS(Facial Action Coding System)による顔の表情のコーディング[原島]などが考えられている。これらの特徴抽出法では、従来の知的認識において用いられた明確な特徴だけでなく、微妙な曲線の曲がり具合や、濃淡やピッチの変化といったものが特徴として考えられている[松山]。

松山は、物理メディアから抽出された特徴を基に感性情報を表現するための一般的記述法として、代数的制約記述を用いることを提案している。すなわち、感性は、感覚、知覚、思考、記憶、情動、その他多くの機能の統合的機能のように見え、情報統合を実現するための情報の共通的表现として制約表現が有効であると考えている。入力された物理メディアの持つ情報を連立方程式、不等式として表現できれば、それらは直接制約プログラミング言語のプログラムの類に変換でき、記号的推論に用いることができる。つまり、距離・類似性概念の入ったパターン情報と、距離の入らない記号情報を統合するための共通の情報表現として、制約表現を用いることができる[松山]。

代数的制約記述では、

$$x, y : \text{real}$$

$$x + y = 10; x > 0;$$

$$1 < y < 5; f(x, y) < g(x, y);$$

といった変数の型宣言や代数式(等式、不等式)、関数によって感性情報を表す。たとえば、テレビカメラのRGB出力から色相を求める関数を $h(R, G, B)$ とした場合、 $h_1 < h(R, G, B) < h_2$ という不等式によって、暖色や寒色を表すことができる。また、色相のほかに彩度や明度に対する制約を同時に課すことによって、「パステル調の色」「くすんだ色」「派手な色」といったさまざまな色の感性的表現を記述することができる可能性もあり、実際にムーン・スペンサーの色彩調和理論は数式によって表現することができる[長谷川]。

さらに、代数的制約記述を用いれば、基本的な代数式や関数を要素としたさらに高次の制約式を生成することができる。関数同士を論理的に結合することで、2つの要素をフィルタリングした情報を得ることが可能である。異なった観点から得られた2つの式を結合することにより、たとえば「ボリュームがありそれでいて繊細な曲線」として表現されるような曲線の物理的特徴を記述することができるであろう。

(式の例： $(x+y=10) \cap (x,0)$ 、 $(x+y=10) \cup (1,y;5)$)。

また、大きな構造として得られた式に事前に得られた物理的な構造を入れ込むことで、つまり、関数の引き数に関数を用いることで、関係づけられた概念を表現することが可能になると考えられる (式の例： $h(xy, xy+2x, z)>0$)。

松山はこうした高次制約式によってはじめて「心地よい」「美しい」といった高次感性情報が表現できるのではないかと考えており、本研究においても、数学的関数としての感性情報表現について検討する。

3. 3. 2 共有および再構成可能な感性情報の利点

代数的制約記述によって表現された感性情報は、ニューラルネットワークや統計的データとは異なり、得られた情報を共有し、共有する側が再編集することが可能である。

ある特定の人間の感性情報を抽出できたならば、その情報を第三者にとって、さまざまな改変をなしつつ追体験を行うことが可能になり、従来経験を重ねる以外に方法のなかった分野での学習において非常に有効であると考えられる。それはボラニーが「チェスをする人は、名人の行った試合をたどることによって名人の精神に入り込み、名人が心に秘めているものを発見する」と述べていることに共通している。

芸術とはタイムトラベルである。時空を越えて英知を伝えるものだからである[ロウ]。絵画や彫刻、家や寺院、演劇や交響曲は、それらを創り出した人とそれを体験している人の間で交される非同期的な会話であるが、芸術の「体験」そのものは、同期的でリアルタイムな体験である。リアルタイムな体験とは、作品と鑑賞者の対話がなされ時空を越えて芸術家の英知が伝えられた時に得られる精神的満足感を伴う場合であり、作家の視点を効果的に追体験することができる。

主観的な視点を伝達するために、美術史家や美術評論家という職業が存在するが、作家および作品の解釈を行うこと自体が創作的な活動でありそれが職業として存在することから、過去の創造的作品の解釈の支援を行うシステムを構築することは、非常に意義のあることであると思われる。そうしたシステムを用いることで、体験する側の脳の中で作家の情報が再構成され、自己の知識と経験から解釈がなされた

時、非同期的なコラボレーションが同期的な体験へと転換されるからである。

さらに追体験だけではなく、体験を可能する情報つまりシミュレーションを可能にする情報を再構成することができれば、情報のどの部分がどのような結果をもたらしているのか、その部分の変化がどのように結果に変化をもたらすかということを定性的また定量的に理解することが可能になる。

そうして再構成から得られた体験は、情報が持つ意味の詳細な解釈をもたらすはずである。それは人間が問題に取り組んでいる時には、問題の理解、解決、吟味の作業を繰り返し行っており、「状況に対する現在の自分の理解の程度にしたがって問題を表現し、その上で解いてみると、表現のまずいところがわかり、それによって、直面している状況の理解が進む」のであり、自分自身の経験を通さずに得られた知識は、実際にそれを問題解決に利用することを通じてはじめて自分の経験と統合されて意味づけられ、問題解決のための知識と化していくからである[安西 85]。

意匠デザインにおいては、形状のイメージなど、感覚的でとらえにくい情報を扱う場合が多く、その伝達は難しい。山岸はそうした意匠デザインのコラボレーションにおいて、他人の思考過程全体を視覚的に捉えてることで思考過程を再体験できる重要性を指摘しているが[山岸]、思考過程をシミュレーションできるプログラムを用いてさまざまな過程を再現でき、さらにプログラムの変更がもたらす新たな思考過程のシミュレーションが行えるようになる意味は、非常に大きいと考える。

本研究では、ユーザによるデザイン支援システムの操作における振る舞いを再現するような数学的関数を、遺伝的プログラミングによって合成するとともに、再構成可能な情報として、感性情報の抽出することを目的とした。



図3・2 再構成可能な感性情報

3. 4 遺伝的プログラミング

3. 4. 1 遺伝的プログラミング

遺伝的プログラミングは論理式や数式などの構造的表現を扱える様に、遺伝子型を木構造として遺伝的アルゴリズムを拡張したものであり、その木構造に交叉や突然変異といった遺伝的操作を加えることで、評価関数を満たすプログラムを自動生成する手法である[Goldberg||Koza]。プログラムは終端記号とよばれる要素知識と非終端記号と呼ばれる知識の関係をあらわす演算子の組み合わせによって表現される。GPは学習や推論、システム同定などの様々な分野に応用され、その有効性が示されている[Angeline||Kinnear||伊庭]。

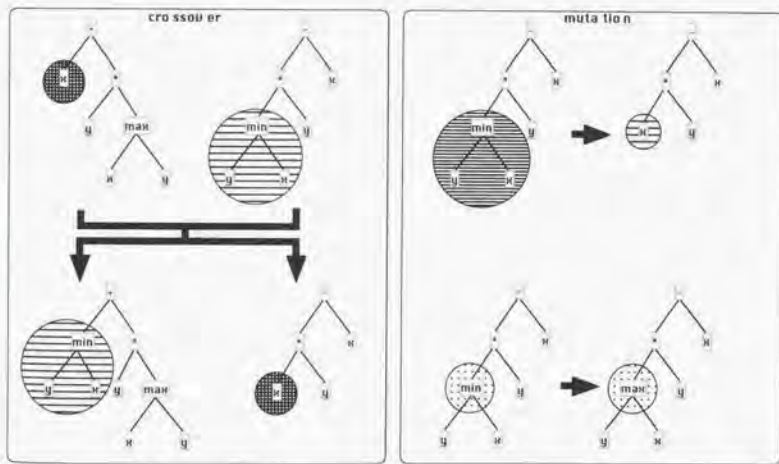


図3.3 GP

また、代数的制約記述を用いた感性情報の記述によってさらに高次の式を作成できることのメリットを指摘したが、遺伝的プログラミングは、構造的な表現である

関数やプログラムとして知識を獲得することができるうえに、ビルディングブロックの生成およびより構造的なプログラム生成を目的として、サブルーチンコールを含んだ高次の関数やプログラムを自動生成するADF(Automatically Defined Function)やMA(Module Acquisition), GLiBなどの研究が盛んに行なわれており[Koza96b][Rosca][Bennett][Hondo][O'Reilly], 代数的制約記述としての感性情報の知識獲得エンジンとして遺伝的プログラミングを用いることは、非常に有効であると考えられる。

3. 4. 2 遺伝的プログラミングによる感性情報の抽出

認知科学における情報処理的アプローチでは、人間の思考過程は厳密に定義された手続きPとして表現される。人間の思考過程は、次のような図式によって捉えることができる[佐伯86]。

E (環境) → P (手続き) → A (行動)

人間は環境Eから情報を受け取り、その情報を手続きPにより処理し、その結果を行動Aとして出力する。一般に高次思考過程においては、いくつかの段階を経て最終的に目標が達成されることが多いため、上記のような一過性の図式とはならず、行動Aは思考錯誤を含んだ行動系列A1,A2,...を構成する。また、行動は環境に作用するので、環境は行動の系列に伴って、E1,E2,...と変化する。これらを、環境-行動系列として|E1,A1|,|E2,A2|,...と表すことができ、外界から観測可能なのはこの環境-行動系列であって、人間の思考過程のモデルを構築するとは、観測された環境-行動系列に基づき、観測不可能な手続きPを同定することをいう[三輪]。

本研究では、2章で述べた進化システムを用いたデザイン支援システムの操作履歴から、感性情報の抽出を行った。

このデザイン支援システムにおいては、システムが生成したデザイン案の中から、気に入ったものを一つ選ぶということを繰り返す。その操作履歴としては、どのようなデザイン案が提示されその中のどれを選んだのか?という情報がすべての選択について記録され、提示された候補案すべてについてそれぞれを生成するためのパラメータが記録される。これは、i回目の選択をAiとしてその時に提示された候補案の情報をEiとする環境行動系列|Ei,Ai|の記録をとるということである。

この操作履歴を読み込んだGPのシステムは、生成した数学的関数のすべてにEiに記してあるすべてのデザイン案の評価値を計算させる。そして、提示されたデザイン案の評価値の比較と、ユーザがAiによって選択したデザイン案の評価値を比較することによって、どれほどデータを残したユーザと同様の評価を行うか、ということ計算し各関数の評価を行う。

すべての個体の評価を行い、GPの操作（淘汰、交叉、突然変異など）を経て、新たな世代の個体群を生成し、よりユーザと同様の評価を行う、つまりユーザと同じ様な振る舞いをする数学的関数を合成する。

すなわち、 $\{E_i, A_i\}$ の系列から感性的な対象を評価する観測不可能な手続きである一般的な規則Pを獲得するにあたって、遺伝的プログラミングを用いた。

各個体を構成する非終端記号は、引き数が2つの関数として

{+, -, *, /, pow, max, min, and, midst}

を、引き数が1つの関数として

{:, abs, sin, cos, log, exp, sqrt, sign}

とし、終端記号を、各デザイン案を構成する8個のパラメータ

{D0, ..., D7}

と、-2.0から2.0の定数を用いた。

ユーザと同様の評価を行う関数は、ユーザが選択したデザイン案を提示された案の中で最も高く評価するであろうし、探索の進行に伴って選択したデザイン案の評価値は徐々に上昇するはずである。よって、各個体において、

- 1) 関数が、提示されたデザイン案の中で、ユーザが選択したものを最も高く評価した回数
- 2) ユーザの選択の関数による評価値が選択に伴って、これまでに選択されたものの評価値の最大値を更新する回数
- 3) ユーザの選択の関数による評価値が最初の選択の評価値を下回る回数
- 4) 関数が項として含んでいるD0からD7までの変数項の数

を、すべてのデザイン案の評価値を比較することで計算し、各個体の評価を行う。

このように、目的関数が一つではなく複数個ある最適化問題は、多目的最適化問題とよばれる。目的関数を同時に最適化することは通常困難であり、ある目的をしようとする他の目的を犠牲にしなければならないという性質を持つ解の候補は、パレート最適解とよばれる。一つの問題に対して、パレート最適解は普通多数個存在する。最後は何らかの基準で一つの候補を選択するとしても、パレート最適解を多数生成することが求められることが多く[田中]、本研究もそうした問題であるといえる。

パレート最適問題においては各個体の適合度はベクトルによって表現されるが、本研究においては、理想値としてのベクトルとのユークリッド距離によって各個体の評価を行なった。具体的には、ユーザが200回の選択を行った場合には、理想的な値(200,200,0.8)からの距離によって、システムが各個体を評価する。GPのパラメータとしては、個体数10000、世代数40、交叉確率0.9、突然変異率0.05とした。

以下に合成された関数の一例を示す(第2章における関数(1))。

$$\text{mdist}(D6, \cdot (\min(D3, \sin(-1.15625 - (1.63281) + (\text{and}(D5, \text{mdist}(D4, D4 \cdot \text{mdist}(0.710938, \cos(\exp(\text{pow}(\text{mdist}(0.765625, \text{abs}(\text{and}(D6, \cos(\text{mdist}(D7, D0)))))) - 0.53125 \cdot D1)))))) - \text{pow}(D2, -1.86719 + D0))) \cdot 0.929688)) - D1 + \sin(D2 / (-1.66406 - (0.375 - 1.46094))))))$$

この関数は、ユーザの200回の選択履歴から合成されたもので、この関数の評価値は(70,23,15,7)である。得られたモデルの妥当性は、シミュレーションと心理実験との比較によって行なわれる。本研究の場合には、デザイン支援システムを関数が操作して作成したデザイン形状が、データとなったユーザによるデザイン形状と近ければ、ユーザのデザインをシミュレート可能な感性情報が抽出できたと考えられる。

関数もユーザと同様に、提示されたデザイン案の中でもっとも高い評価値をつけた案を選択するという作業を繰り返す。以下にユーザによるデザインと関数によるデザインを示す。

図3・4 ユーザによるデザイン

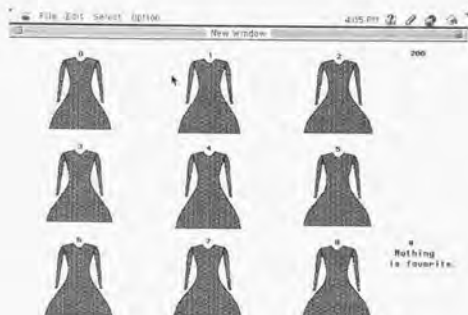
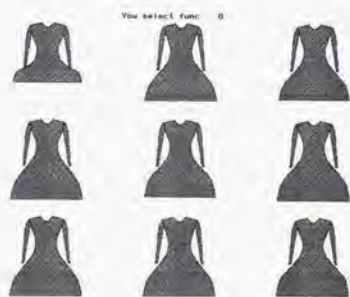


図3・5 関数によるデザイン



関数によるデザインが収束し、かつユーザのデザインと同様であるのが視覚的に確認できる。

このGPを用いた評価関数の抽出は、非線形計画問題における目的関数を、探索履歴から再合成していると捉えることができる。

一般に非線形計画 (nonlinear programming problem) とは、

「目的関数

$$F(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$$

を m 個の不等式制約条件 (inequality constrains)

$$G_i(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) \quad i=1, 2, \dots, m$$

および l 個の等式制約条件 (equality constrains)

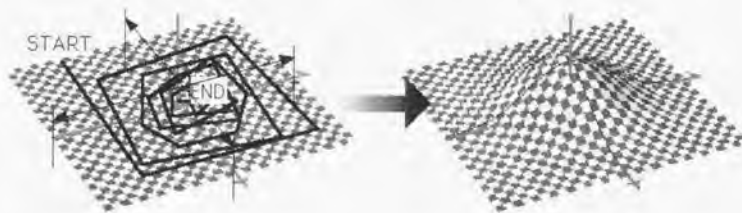
$$H_j(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) \quad j=1, 2, \dots, l$$

のもとで最少にする解を求めよ」

という最適化問題として定式化されている[坂和]. 本研究においては, 合成される関数が目的関数である.

制約条件としての不等式と等式は明示的に作り出されておらず, 制約のない最適化問題における目的関数の合成であると考えられることもできるが, 事前に探索空間を構成する変数の最小値および最大値が決定されていることから実行可能解全体の集合である制約集合は既知である問題であり, また, 形状を生成するためのパラメータを引き数としている場合には, 式 2. 1 によって各変数どうしの関係性が規定されている. そのため, 不等式制約条件は探索空間の大きさとして, 等式制約条件は候補案を作成するため表現型作成の式として, 暗に事前に決定されている問題であると捉えることができる.

図 3. 6 目的関数の再構成

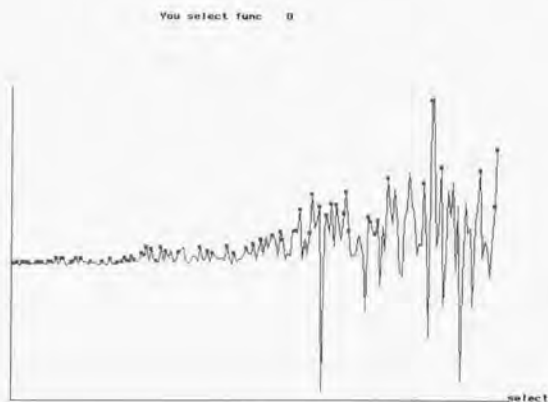


3. 4. 3 合成された関数の判別

数多くの GP による実験から、どういった場合にユーザと同様のデザインを作成できる関数が合成されるのかが、定性的に把握できるようになった。

それは、ユーザが選択したデザイン案を関数が評価した評価値の推移の仕方によって判断が可能であった。

探索の進行とともに評価値が次第に上昇し、その評価値が収束していく場合、とくに探索の終盤での評価値がほとんど振動しない場合には、ユーザと同様のデザインを作成できる。逆に、値が上昇しない場合や、上昇しても収束しない、もしくは振動の幅が比較的大きい場合には、データと同様のデザインを作成することがなかった。以下に合成の失敗例の評価値の推移と、この場合に合成された関数によるデザイン例を示す。



グラフ 3. 1 合成失敗例の評価値の推移

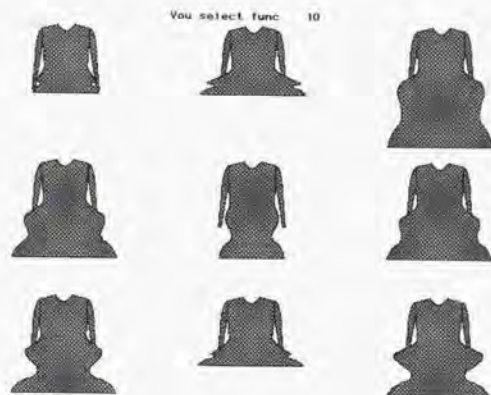


図3・7 合成失敗例の関数によるデザイン

この定性的な判断を定量的に検討するために、各関数の特徴を判別分析を用いて統計的に分析した。

こうした分析は、関数によるデザインとユーザによるものの形状的な距離を用いて、関数合成の成功・失敗を判別することが望ましいと思われるが、形状を構成する曲線の類似度[上坂[伊東伸]]とデザイン的な類似度が必ずしも一致しなかったため、筆者が関数とユーザのデザイン形状を視覚的に比較することで、関数合成の成功例と失敗例の2つのグループに分類し、判別分析を行なった。各関数の評価値の推移の仕方を比較できるように、評価値の値を標準化し、最低値が0になるよう値を加算減算した。そして、各評価値の対数関数への当てはめを行い、対数関数の係数と残差の総計を計算した。この作業を、30個の成功例と75個の失敗例に対して行い、次のような判別式を得た。

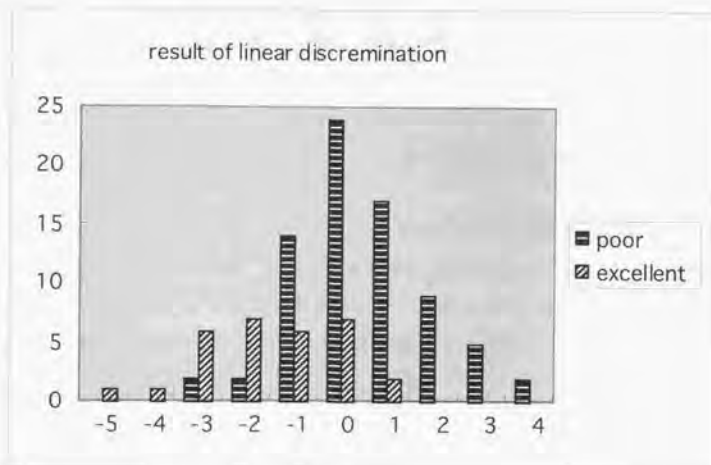
判別式(1)

$$f = \text{Meet} * -0.3787 + \text{Up} * -0.1891 + \text{Minus} * 0.1363 + \text{Have} * -0.3051 + \log_{\text{co}} * -7.2370 + \log_{\text{yOffset}} * 0.0748 + \text{sumofResidual} * 0.0029 + 33.5323;$$

ここで、Meet各関数の評価値の1)、Upは2)、Minusは3)、Haveは4)、log_{co}は当てはめを行った対数関数の係数、log_{yOffset}は対数関数の定数項、

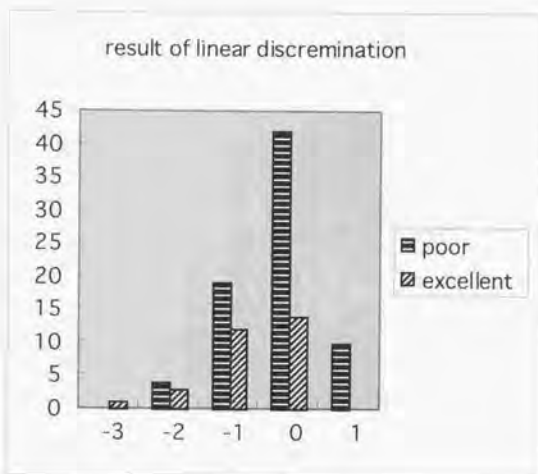
sumofResidual は残差の総計、である。

この式の値が負であれば成功例であり、正であれば失敗例である。グラフ3.2はその判別結果を示す。この判別式による判別率は0.743であり、75の失敗例は57個が失敗、18個が成功と判別された。30個の成功例は21個が成功例、9個が失敗例であると判別された。判別式における係数が負であるものは、値が大きければ成功例をもたらす、係数が正であるものは値が小さいものが成功例をもたらす。この判別式ではMeet, Up, Have, log_coの係数が負であり、Minsuとlog_yOffset, sumofResidualの係数が正であることから、それぞれの係数が然るべきものであることがわかる。



グラフ3.2 判別分析の結果

さらに、判別の比較を行うため、Meetだけを用いた判別分析を行った。グラフ3.3はMeetだけによる判別分析の結果であり、判別率は0.648であった。75個の失敗例のうち52個が失敗例、23個が成功例と判別され、30個の成功例のうち14個の失敗例、16個が成功例と判別され、成功例を誤って失敗例とみなす割合が高くなった。



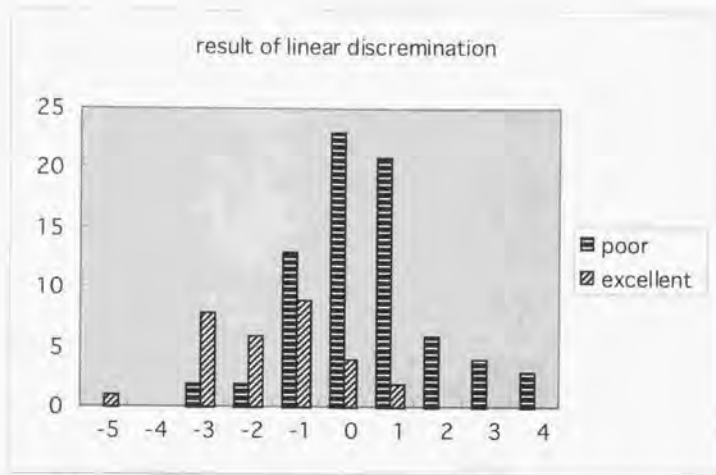
グラフ3.3 Meet だけによる判別分析の結果

さらに、残差の大きさだけでなくどこでどれほどの残差が計算されたかというモーメントを考慮に入れるために、それぞれの残差に選択回数分の10分の1を積した値の総和を残差の総和として判別分析を行った。これにより、探索の進行にともなって評価値が振動するか収束するかという情報を取り入れることができる。同じデータを用いて、次のような判別式が得られた。

判別式(2)

$$f = \text{Meet} * -0.3820 + \text{Up} * -0.1822 + \text{Minus} * 0.1318 + \text{Have} * -0.2891 + \log_co * -5.4184 + \log_y\text{Offset} * 0.2851 + \text{sumofResidual} * 0.0077 + 30.6977;$$

グラフ3.4にこの式による判別結果を示す。判別率は0.781であり、75個の失敗例のうち58個が失敗例、17個が成功例と判別され、30個の成功例のうち24個の失敗例、6個が成功例と判別された。この残差の計算方法により、成功例を正しく認識できる割合が上昇した。



グラフ3.4 残差にモーメントを考慮した判別結果

この3つの判別分析から、単に好みを選んだ結果を列挙するといった正負例の提示ではなく、収束へ向かう探索の履歴をデータとして用いること、そして、探索の進行に伴う収束度合を考慮にいれた対数関数へのあてはめを遺伝的プログラミングにおける評価に組み入れることが、関数の自動生成に有効であると考えられる。

システムにグラフ配置の美的な正例と負例を示し、それらから審美的評価関数をGPによって獲得する手法が提案されているが[増井], 知識獲得を行なう際のデータとして探索システムの操作履歴を用いることがより有効であることを示すことが出来た。

また、伊庭も正負例の例示からの帰納学習をGPを用いて画像処理を行なう関数を獲得しているが[伊庭], 正例と負例を明確に与えることが困難な感性的対象の例示においては、探索履歴を用いることも有効な手段であると考えられる。

これら求められた係数の比を多目的最適化問題における重み係数法の各重みとして考えて、各個体の評価を理想値からのノルムとするのではなく、各評価値の線形和として定義しなおすことも可能であると考えられる。しかし、多目的計画法におけるスカラー化手法の一つである重み係数法は、各目的を構成する関数の凸性が仮定されて初めて最適解を探索することが可能になる。

各個体の評価要素である Meet, Up, Minus それぞれを変数とした関数が凸性を

持っているという保証がないために、本研究においては、各個体の評価は理想値から各値の差に重みを掛けてノルムを取ることによって多目的最適解を発見する重みづけLpノルム法を用いた。判別式を参考にして、それぞれ各値に乗ずる重みは、0.4, 0.2, 0.15, 0.3として、以降のGPを実行した。

3. 4. 4 制御点の座標の利用

これまでに獲得された関数においては、引き数がデザイン形状を生成するためのパラメータであった。そのために、関数の意味を理解するには各パラメータの展開方法である式2.1を踏まえない限り不可能であり、解読可能なかたちへ整形することは困難である。

そこで次に、各デザインのパラメータを展開して曲線を生成し、スプライン曲線の各制御点の座標を引き数とした関数を合成することとした。

関数が評価を行なう前に、パラメータを座標へと展開し、各座標のx座標と最終制御点のy座標を引き数として評価値を計算する。終端記号や非終端記号、GPの各パラメータは上述のものを使用した。以下に生成された関数の一例と、その関数が作成したデザインの一部を示す。

(関数3)

$$\text{sqrt}(\text{midst}(D0, \text{sqrt}(D2 / (0.0390625 * 0.0546875 * \exp(\text{and}(D2, \text{midst}(D1, 0.0546875)))) + (D3 - D6 / \text{and}(D4, 0.0703125 * (0.0625 - D0))))))$$

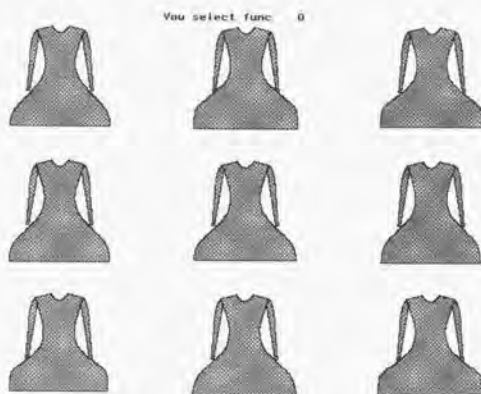


図3・8 関数3によるデザイン

引き数を座標値とした関数も、ユーザと同様のデザインを作成することが出来る。しかし、100回ほどの試行においても、目標とした理解可能な形の関数を自動的に生成することはできなかった。

3.4.5 ADFを用いた関数合成

GPの研究分野においては、ビルディングブロックの保存とロバスト性の向上やプログラムのモジュール化および抽象化を目的とした研究が盛んに行なわれおり、ADF (Automatically Defined Function)[Koza96][Bennett][O'Reilly]や MA (Module Acquisition) [Rosca], GLib[Angeline94], COAST[Hondo]などといった手法が提案され、活発に研究が行なわれており[Koza96][Kinnear][Angeline96]、実際にその有効性が示されている。

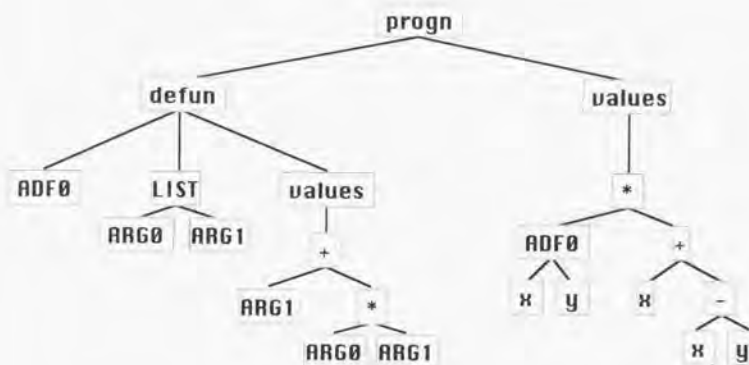


図3・9 ADF

本研究において実行させてきたGPでは一つの関数を合成していたため、長く複雑な木構造が生成されていた。木構造のどの部分が何を意味するのか？どの部分が全体の評価値の算出にどの程度寄与しているのか？といった関数の意味を解説することが不可能であった。そこで、関数のモジュール化を試みることで、可読性を高めることを試みた。

(関数4)

mainTree :

0.640625/mdist(mdist(D1,D3+mdist(mdist(D1,abs(0.6875*sqrt(mdist(min(D4-(D5-sin(max(-0.273438,sin(exp(ADF1(-1.14844,cos(D6),1.91406)))))),ADF1(1.25781,mdist(0.898438,max(D6,D4)),mdist(mdist(D1,sin(exp(cos(sin(D3))))),1.91406+cos(D6))))),D3+D2))),abs(abs(min(D4-(D5-sin(max(-0.273438,sin(exp(ADF1(-1.14844,D3,1.91406)))))),ADF1(1.25781,mdist(0.898438,max(D6,D4)),mdist(mdist(D1,sin(exp(cos(sin(D3))))),D2+cos(D6))))))),D2+cos(D6)))

ADF0 :

-1.89844

ADF1 :

ARG0-max(ARG0-max(ARG2,0.46875*cos(cos(ARG0-max(ARG2,0.46875*(ARG2*mdist(ARG2,ARG0))))),0.46875*(ARG2*1.52344))

ADF2:

$ARG1 - \min(\min(ARG1, 1.49219), \sin(ARG0))$

ADF3:

$ARG1 / ARG2$

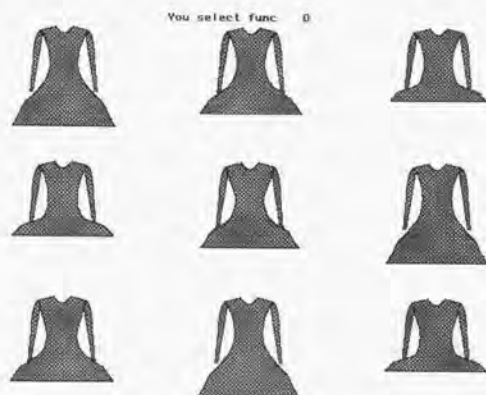


図3・10 関数4によるデザイン

この関数のGPにおける評価値は(67,22,17,6)であった。

こうした関数は座標値どうしの関係性を表現しているといえるが、視覚的な座標値の関係性を抽象的な式として表現された場合に、その式が幾何学的に何を意味するのかを理解することは、事前になんらかの知識を必要とすると考える。

例えば、抽象的な式によって表現される幾何学的関係を実際に2次元平面に表した場合に、その幾何学的な意味を想像することはとても困難であることがわかる。例えば、

$$pp.x = (p1.x + p2.x + p3.x) / 3;$$

$$pp.y = (p1.y + p2.y + p3.y) / 3;$$

という2次元平面における3点の重心を求める式から、ppとp1, p2, p3との視覚的な関係をイメージするためには、ユークリッド幾何学の背景知識を必要とする。

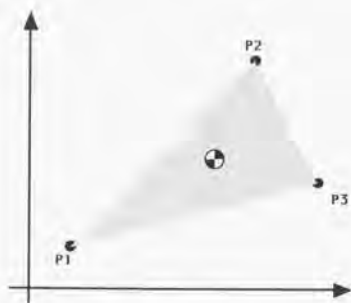


図3・11 2次元平面における重心

この式は幾何学的な関係を代数式として表現するためにユークリッド座標を導入し、2次元の関係を2つの1次元の代数的な式へ変換している。逆にこの式から視覚的な関係を想像するためには、ユークリッド幾何学における1次元的な値どうしの関係がもつ意味を把握し、それらの式がn個現われてその軸がn次元空間で直交している場合に、幾何学的にどういった意味を持つのか？ということ想像しなければならない。座標幾何学は幾何学的関係を代数的な式で表現するために、幾何学的な意味を表す次元とスケールが消失してしまうのである。

我々が慣れ親しんでいるこの重心を求める式でさえも、ユークリッド幾何学という枠組みの中での観点から抽象化された情報であり、この式が異なる幾何学の枠組みで用いられた場合には、その幾何学的な関係は異なるものになるはずである。どういった枠組みでどのような観点から次元とスケールが消失したのか？ということは、知識の持ち方や概念どうしの関係性などと密接な関係を持つ。

仮にADFやRAなどによって、

$$1/(\text{abs}(D0+D3-D1-D2)-\text{const}0) \cdot \text{abs}(D0/D3-\text{const}1) \quad (\text{式}3.1)$$

といったサブルーチンコールが合成されたとしても、式の意味を（この場合は多角形の面積であるボリュームがconst0に近く、かつD0とD3の比率がconst1に近い）視覚的な意味として、背景知識を持たずして理解することは非常に困難であると考えられる。

これは、幾何学の中での解析幾何学と射影幾何学の乖離とでもいえる。それは、デカルトの座標幾何学が幾何学を散文化してしまい、コンピュータにとっては都合がいいもの[伏見]、造形的な幾何学的意味を読み取るには射影幾何学的な観点が必要だからである。

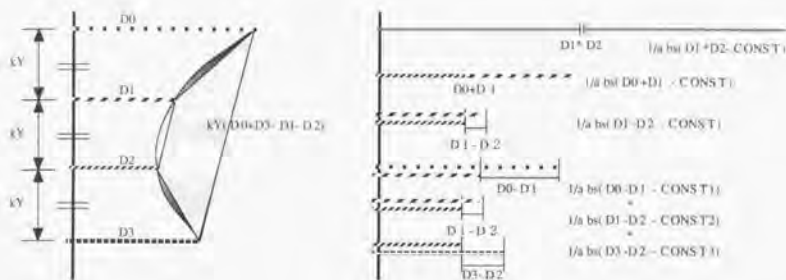


図3・12 式3・1が表す幾何学的関係

ADFやMAなどを用いたGPにおいて、サブルーチンがユーザの非明示的な知識のひとまとまりを抽出しているかどうかの判定を行なうことは、統合される知識の抽象度と引き数となる知識の抽象度が異なる場合においては困難なのではないかと考える。

ADFなどが有効な効果をもたらしている場合を考察すると、電気回路の設計やロボット動作プログラムなど、終端記号となっている知識とサブルーチン化された知識の抽象度（物理的制約と知識の関連の希薄さ）の乖離度が低いことがわかる。例えば、RawnMover（草刈りロボット）の動作の場合にはモータやセンサの出力量などから、ある機能をひとまとまりに抽出するのではなく、右に動く、左に動くといったある程度高次の機能をひとまとまりにして、4つの領域を刈り取って次の領域へ移動するといったサブルーチンが抽出されている。

終端記号とその下位の情報であるモータの制御情報との抽象度の乖離度と、終端記号とサブルーチンの抽象度の乖離度の違いは大きく、物理的な情報と抽象的な情報、抽象的な情報とより抽象的な情報の違いがあると考えられる。ここで抽象的という意味は、物理的な情報をロボットや回路に与えれば動作するのに対して、抽象的な情報を与えて対象を動かすためには、その情報をなんらかの形でより物理的な情報へ近い抽象度の低い情報へと変換する中間的な作業を必要とするということである。

これはRawnMoverの研究がGrid上を移動することしかないシミュレーション上のロボットであるという理由もあるが、ADFやMAなどの有効性が示されている分野、アルゴリズムや回路といった物理的制約のない抽象的な情報であることから、メインルーチンとサブルーチンの情報の物理的制約との関連である抽象度の違いによって、効果が異なると考えられる。

3. 4. 6 曲線の特徴量の利用

これらの結果を踏まえて、物理的な情報を引き数とする関数を合成するのではなく、物理的な特徴量つまりなんらかの観点から抽象化された情報を引き数とした関数の合成を試みた。

現在のデザイン対象である服の形状を表現しているものは、服のサイドラインを形成する2次元的な曲線である。この2次元曲線のデザイン的な特徴づけているものは何か？ということを考える。

デザイン論や造形論をひもとけば、曲線に関する記述としては、

「能動的な線、これは目的なしにそれ自身で気ままに散歩する。動因子は移動する点である。」

「能動的な線、これは決められた点の間を動くよう定められたもの」 [クレー]

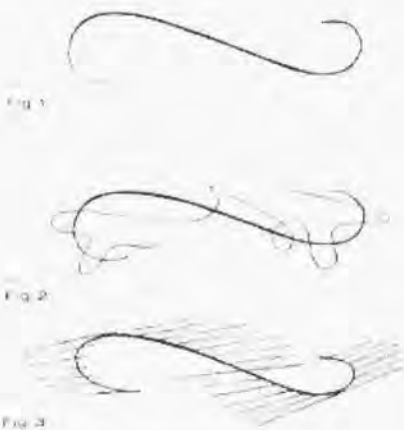


図3・13 クレーによる線描

といったものや

「幾何学の線は目に見えない存在である。それは動く点の軌跡であり、その所産である。線は運動から生まれ、点の自己完結した、最高の静止を否定することから生まれる。ここに静止的なものから運動的なものへの飛躍がある。」

「二つの力が同時に点に作用を及ぼすとき、しかも圧力において一つの力が連続してつねに同じ程度に他の力に競り勝つとき、曲線が生まれるのである」 [カンディンスキー]



図3・14 カンディンスキーによる線描

といった言葉に出会うことができる。

これらの記述は、曲線を「点の運動」「点に働く力の変化」と捉えているが、さらに、曲線や曲面における美的要素に関する研究[近藤||東||斎藤]を参照すれば、人は変化のおこる点やそうした点の連なりに注目していることがわかる。つまり、曲線においては接線ベクトルの微分がゼロになる変曲点であり、曲面においては法線ベクトルの微分がゼロになる点の連なりに注視していると考えられている。また、曲線に関する熟練デザイナーへのヒアリングから、デザイナーは曲率変化のパターンと曲線のボリュームという性質に着目していることが指摘されている[原田93]。

本研究においてデザインの対象としている形状は、仮にまったく同じ曲線が服を構成しているとしても、曲線は左右対称な形状の一部であるので、軸にたいしてど

のように置かれているか?ということを考える必要がある。よって、変曲点だけではなく水平軸に対する座標が極大や極小をとる点についても、注視していると考えられる。

こうした曲線に関する知見と本研究のこれまでの考察を踏まえて、新たなデザイン生成式を持つデザイン支援システムと、デザインの評価を行なう評価関数の合成を行なった。

3. 4. 7 曲線の構成によるデザイン支援システム

上記の考察から、表現型として2次元平面上の座標を計算することで形状を生成するのではなく、どういった種類の曲線のどの部分がいくつ連なっているか?という形で遺伝子型を構成し、それらを発現されることによって形状を生成するデザイン支援システムを構築した。

第2章で述べた従来のデザイン支援システムの形状から曲線を抽出してそれらの曲線の特徴量を抽出しなかったのは、各曲線の中に直線的な部分が入っている場合が多々あり、曲率半径が無限大になるケースを取り扱うことが出来ない場合が幾度もあったためである。

今回は、曲線の種類は一種類とし、対数曲線を用いた。カーブ定規や自動車のボデーの曲線を解析した結果から、デザイン的な形状も放物線、サインカーブ、等角螺旋、対数曲線のさまざまな部分の構成として表現されていると考えられることが原田らによって指摘されており[原田 93]、その中から対数曲線を選択した。

デザイン支援システムの遺伝子型は、各曲線を構成するための遺伝子と曲線を統合するための遺伝子を持つ。

曲線を構成する遺伝子は、0.0から1.0の値をとる2つの実数によって、事前に決定したパラメータを持つ対数曲線のどの位置を開始点としどの位置を終点とする曲線か?ということ表現する。

曲線を統合するための遺伝子は、0.0から1.0の値をとる1つの実数によって、幾つの曲線がつらなるのか?ということを決定する。さらに、各曲線を基準となる長

さに大してどのような長さを持つ曲線へと拡大縮小するのか？というパラメータが各曲線に対して割り当てられ、曲線の構成が決定される。そして、各ユーザの体型の制約条件に合致するように移動と回転および拡大縮小の操作が加えられ、ワンピースの形状を生成する。探索空間の構成および候補案生成のアルゴリズムはこれまでの研究と同様のものとした。



図3・15 曲線の構成による形状生成

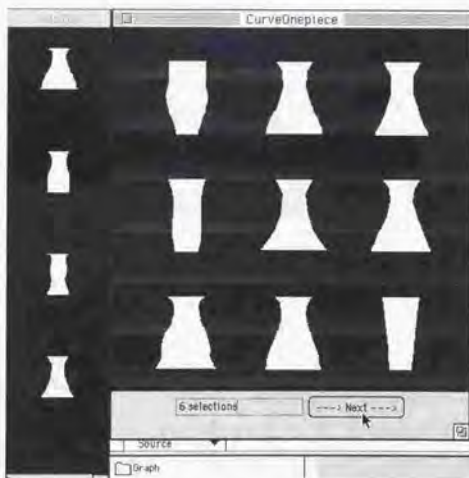


図3・16 曲線の構成によるデザイン支援システム

3. 4. 8 特徴量を用いた関数合成

曲線の構成による形状を評価する関数を合成するにあたっては、形状に関する背景知識として、人は曲線は無次元化されたボリュームと曲率半径の変化の仕方に注視しており、それらの連なり方が曲線のコンポジションの評価を与えると仮定した。

また、曲線は左右対称な形状の一部でもあるので、x座標が極大および極小となる点を抽出し、その点を結ぶ多角形としての特徴量を人間が注視していると仮定した。多角形においても、三角形の連なりであると仮定し、各三角形の辺どうしの長さの割合によって形状としてのバランスを評価していると仮定し、多角形の評価はそれらの連なり方を評価していると仮定した[ドンデイス 89][小林 91][ドーチ 94]。

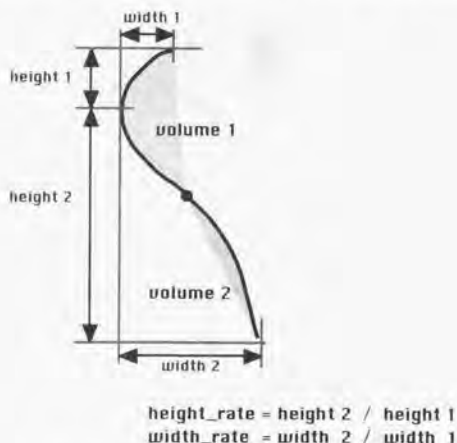


図 3-17 曲線の特徴

各曲線と各三角形は、それぞれ2つのパラメータによって決定される。変数が2つ程度の場合、自分の好みに合うものを選ぶとしても、複雑なデザインシステムを用いなくとも、スクロールバーを2つ用意すれば事足りると考えられる。

こうした問題の場合には、とりうる値の最大値と最小値の間に極大値を持つ分布関数の合成によって、評価関数を表現できるであろう。合成を行なう関数は加算、乗算、ノルムなどが候補として挙げられる。分布関数の合成による3次元曲面からも、加算や乗算やノルムを用いた合成によって多様な評価関数が作り出されることが分かる。

$$z = 7 \sqrt{\left(\frac{e^{-\frac{(x-0.5)^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}} \right) + \left(\frac{e^{-\frac{(y-0.5)^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}} \right)} + 10 \sqrt{\left(\frac{e^{-\frac{(x-3)^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}} \right) + \left(\frac{e^{-\frac{(y-3)^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}} \right)}$$



$$z = 5 \sqrt{\left(\frac{e^{-\frac{(x-2)^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}} \right) + \left(\frac{e^{-\frac{(y-0.5)^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}} \right)} + 5 \sqrt{\left(\frac{e^{-\frac{(x-3)^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}} \right) + \left(\frac{e^{-\frac{(y-3)^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}} \right)}$$



図3・18 2つの正規分布関数の合成による関数の例

特徴量を用いた評価関数は、各曲線をそれぞれ評価する3次元の分布関数と各三角形を評価する3次元の分布関数、各曲線の評価を統合する関数、各三角形の評価を統合する評価関数、曲線の連なりと多角形の評価を統合する関数によって構成した。

要素である曲線の評価は、無次元化されたボリュームと曲率半径の変化の仕方を評価する正規分布関数の合成により評価されるので、一つの曲線の評価するビット列は4つのパラメータを持っている。

多角形としての評価は、水平方向の辺の長さの割合と垂直方向の長さの割合を評価する正規分布関数の合成により評価され、こちらも4つのパラメータを持つ。

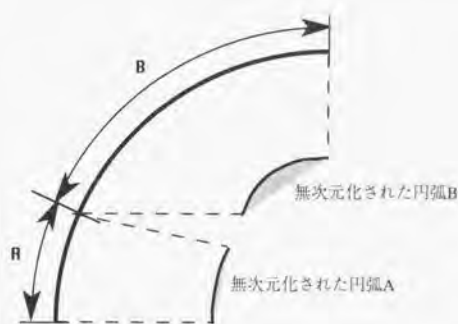


図3・19 無次元化されたボリューム

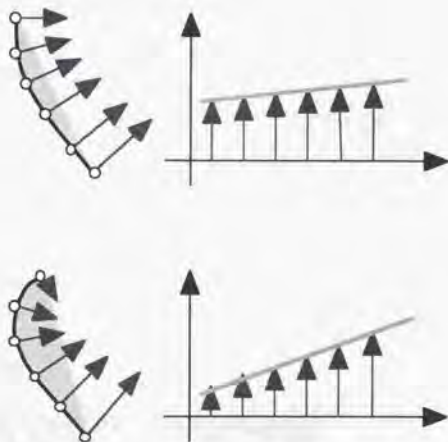


図3・20 曲率半径の変化の仕方

曲線の構成によるデザイン支援システムは、曲線の連なる数として1, 2, 3の3パターンを生成する。よって、デザイン形状を評価するプログラムは、分布関数を表現する値を48個持ち、評価値を統合する数学的関数を3つ持つ、48というのは、曲線の連なりのパターンそれぞれに対して6個(1+2+3)それぞれに4個ずつで24個と、多角形の連なりのパターン各々に対して6個(1+2+3)それぞれに4個ずつで24個を合わせた数である。各値はビット列によって表現され、プログラム中では12本のビット列によって保持される。プログラムの進化のさいには、関

数だけでなくこれらのビット列も交叉や突然変異の対象となる。ビット列の交叉には一点交叉や多点交叉ではなく一様交叉を用い、各ビット列は32ビットによって表現した。

曲線の構成によるデザイン支援システムの操作履歴から、まず曲線と多角形のパラメータの最大値および最小値を、形状のパターン毎に取り出す。ビット列から展開された値は、正規分布関数のパラメータとなる。正規分布における平均値が最大値を最小値のどの部分に位置するか?と、平均値と最大値のどの部分に分散が位置するか?がパラメータである。よって、ビット列で表現された各パラメータは、ビット全てが0の場合に最小値、全てが1の場合に最大値となるように展開される。

展開されたパラメータによって決まるローカルな評価を統合するプログラムによって、曲線の構成と多角形の構成としての評価値が計算され、それらの構成として全体の評価値を計算する。

GPにおける終端記号である各関数の引き数は、各下部構造の要素の評価値であり、非終端記号は(+, -, *, /, max, min, mid, norm)とした。

こうしてそれぞれの形状に対して評価値が付けられるが、各プログラムの評価の仕方および進化のさせ方は、これまで本研究で用いてきた手法と同様のものを用いた。個体数を500、世代数を30、交叉確率を0.9、突然変異率を0.01としてGPを実行した。以下にその実例を示す。

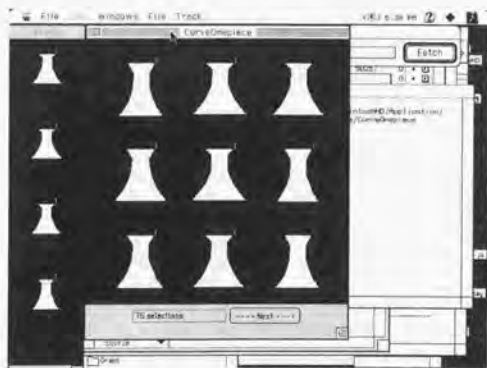


図3・21 ユーザによるデザイン

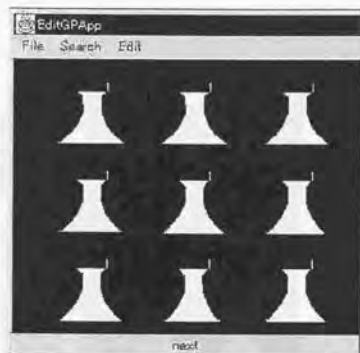


図3・22 プログラムによるデザイン

関数5) 特徴量を用いた関数

main :

curves-lines-lines/lines

lines :

mid(mid(line2, line0)-line2, mid(mid(line0-line2, line2-max(line2, norm(line2, max(line2, line2))), line2-line2))

curves :

curve0+norm(curve1, norm(curve2, curve0+mid(mid(curve0, curve2), norm(curve1, norm(curve2, curve0))))))

また別の操作履歴からの生成された関数を示す。

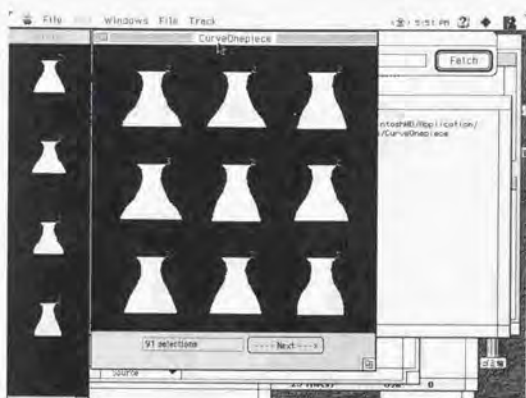


図3・23 ユーザによるデザイン

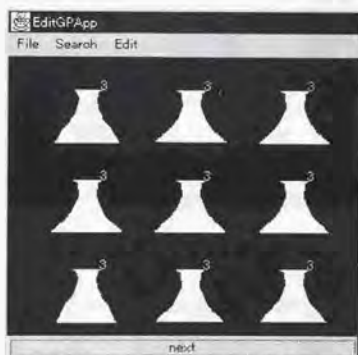


図3・24 プログラムによるデザイン

関数6) 特徴量を用いた関数

main :

```
curves=mid(linds, curves*curves/max(curves, lines))
```

lines :

```
max(line1, line1/norm(line2, line2*line2/line0)-line2)
```

curves :

max(curve1, curve0)

これらの例からも、形状評価に関する背景知識と分布関数に関する知識を用いることで、操作履歴を再現するような簡潔な関数を自動生成することができることが分かる。

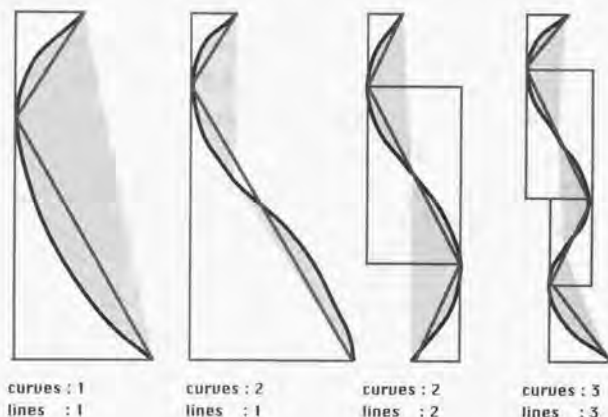


図3・25 曲線の特徴量の数の違い

この感性情報獲得システムは、対話型進化システムの操作履歴をデータとしているが、上述の進化システムの遺伝子型を引き数とする関数を合成した場合やそれら遺伝子型を表現型へと展開したデータを引き数とする関数を合成する場合とは異なり、対象とする各デザインを構成するデータの数異なる。上述の2つの場合は、デザイン形状を遺伝子型もしくはその展開されたデータである8個の数値が、関数の引き数を構成する可能性があるが、形状を構成するパラメータの個数は変化することはない。

それに対して、この形状の特徴量を引き数とする関数を合成する場合には、評価の対象となる形状によってはそれを構成するパラメータの数異なる、同じ個数のパラメータによって構成される形状でもその特徴量の個数が異なる。

今回作成したGPを用いた感性情報獲得システムでは、操作履歴を読み込んだ後に、それぞれの形状の特徴量を計算し、その特徴量の個数の可能性に応じた引き数

の可能性をもつGPのシステムを生成するように改良した。そのため、上述の感性情報獲得システムでは属性設計のプロセスを扱う事を前提として作成したが、特徴量を抽出するこの改良されたシステムでは、各特徴量や特徴の個数がダイナミックに変化するような概念設計のプロセスにおける評価基準の知識獲得を扱うように拡張することとも可能であると思われる。

GPは様々な引き数のパターンを持つサブルーチンコールを含む関数を進化させることが可能であるために、引き数の数が様々に変化しつつ収束へ向かうようなプロセスを取り扱うことが容易である。そのため、入力と出力の関係性を学習するニューラルネットワークやファジィ、固定長遺伝子型を用いた遺伝的アルゴリズムといった他の学習機構に比べ、事前にシステムに与える制約が少なく済むというメリットがある。柔軟な知識獲得システムを構築するには、学習部分と従来プログラムのなかに埋め込まれてしまっていた領域知識を分離することが必要であると考えられているが[沼尾94]、学習機構部分に領域知識の制約を与える必要のないGPは概念設計を取り扱える可能性が高いため、更なる拡張を行いたいと考える。

3. 4. 9 感性情報を操作する

感性情報を知識獲得を行なう対象とした場合に重要なことは、獲得された知識によって環境に対して働きかけ、その概念を視覚的および身体的に実体験する必要があることである。それは、自分自身の経験を通さずに得られた知識は、実際にそれを問題解決に利用することを通じてはじめて自分の経験と統合されて意味づけられ、問題解決のための知識と化していくからである[安西85]。

また感性情報は、「感性の場に言語思考の形をとった知性を持ち込むと、生物知および感性知としての認知力は低下する。逆に知性の場に感性を持ち込もうとしても、そのような試みにおいて感性と思われたものは事実上は未熟な知性と化して、その際の知的活動は明晰性を失い、能力は低下する。」のであり[佐藤97]、視覚的な思考とシンボリックな思考はそれぞれ脳の制御権を奪いあう形で機能するために[佐々木94]、共有可能な形としてシンボル化された視覚的思考は、再び視覚的思考の形へと戻す必要があると考えられる。もともと非明示的な形で保持されていた知識は、言語的な知識として意識される間は生きた知識として機能することはなく、非明示的な知識として習得されるまで知識を体験し、実習を通して身体化することにより

初めて機能するものであり、知識を用いて環境と相互作用を行うことは、より重要であると考えられる。

これは経験を繰り返す以外に学習の方法のない分野すべて—デザインだけではなくあらゆる設計や伝統芸能や工作などの身体的技能—において同様のことがいえるであろう。ことばとして分かるという段階から、知識を使うことを通じて自分の経験と統合することができるまで、行使する必要があるのである。

だからといって、視覚的および身体的思考としての包括的存在である感性をシンボル化することに意義が無いのではない、より高度な感性を組み上げて行くためには、感性によってとらえられるモノ同士を比較および分析し、言語を用いて概念をシンボル化すること、そしてその能力も必要なのである。

概念形成能力とは、生き物が取り囲まれた環境の中で出会う事物や出来事を、あらゆる感覚器官を通じて体験し、その体験を同じものまたは類似のものであると判断して、分類して知覚できる能力である。概念形成能力が進化の過程で言語を獲得する以前に現われた、という脳科学における新しい知見が言語後成説である[エーデルマン]。脳科学者が概念化の能力を持つ動物の例としてあげているのがハトであり[御領]、ハトは立体派(ピカソ)と印象派(モネ)の絵を見分けることができるという[渡辺]。かつては右脳は言葉を持たないと考えられていたが、現在では右脳にも簡単な言語があることがわかっており、動物の言語は人間の右脳と同じ様な機能のもとで行なわれていると考えられている[品川]。動物にも鳴き声程度の言語によるコミュニケーション能力があるとも思えるが、立体派や印象派といった概念を獲得する能力はあっても、概念から概念を作り出す能力が作られることは無いと思われ、やはりそうした能力は言語能力の発達と大きく関連があると考えられる。

音声言語は、ジェスチャーから一歩出た程度の発話のなかで、基本単位として使う言葉の共同体において、まず音韻体系が起こる。先行する概念能力との相互作用で名詞と対象の関係性が構築され、それが言語としての意味体系の基礎となる。それに動詞が続き、語順が共有されることで構文体系が後生される。音声が媒介となって概念として分類された対象が意味づけられ、概念体系の中で意味の再構築が行なわれ、個人の脳の中で意味の辞書である概念空間が再構築される。ここでは意味のブートストラッピングとも言える現象が起きているのである[佐藤97][エーデルマン]。シンタククス(構文体系)が完成して大きな辞書が構築されれば、言語とその指示物とそれが喚起するイメージ(記憶との結合による相関的なシーン)とを、さらにカテゴリー化可能な別の世界として扱うことが可能になる。つまり、概念だ

けを対象とした実態を伴わない概念操作が可能になるのである。そのため「高次の意識は意味能力の進化の開始とともに出現し、言語と記号の獲得とともに開花する」のであり[エーデルマン]、構造化可能な知識こそが学習を促進するのである。

自分の経験を通して身につけた知識でなければ、自分が行なう問題解決には役に立たないし、そこから新しい知識が得ることはない。「主観的経験を通して知識となる」という知識獲得を支えるのは、知識の構造化可能性である[安西85]。それは、はじめに身につけた知識を、自分の問題解決に都合のよいように柔軟に構造化できるという性質である。知識の構造化可能性には、知識がまだ個々の経験的情報に支配されている場合にはそれを乗り越えて新しい問題に対して使えるものにしてゆくこと、もうひとつは、はじめ自分自身の経験を通さず得る知識についてはそれを使うことを通して自分の経験を統合してゆくこと、の二つの方向が考えられる[安西85]。

感性情報をシンボル化するということは、この前者を実現することであり、経験を他の問題に適用可能な形に抽出することにあたる。その情報を再編集可能な形で再実行可能な環境と同時にユーザに提供するということは、伝達及び共有が可能である上により柔軟な構造化の対象とすることができる情報として提供する、ということであり、後者の実現にはかならない。

これらのことから、感性情報を明示的な知識として獲得するシステムには、シンボル化された情報を視覚的に再体験するための機能と、さらに、概念操作の対象として操作可能な形に記述された感性情報を再構築および再編集し、その結果を視覚的に体験する機能を付け加える事が重要であると考えられる。

人間の認知の能力が、行動(身体的)、イメージ(視覚的)、シンボル(記号的)といった精神作用で成り立っていると仮定して、それぞれ三つの精神状態における主な仕事(それぞれは、身体的:どこにいるか知っている操る、視覚的:認識する比較する構成する具体化する、記号的:推論を行って結び付ける、抽象的、である)[ケイ]について考えた時、シンボルの知識を視覚的体験として再実行する機能を持つ意味は大きい。

こうした観点からも、統計的近似ではなく数学的関数やプログラムとして感性情報を獲得する研究の意義は大きいと考える。以下に、本研究における感性情報の再編集の機能および再体験の機能の様子を図を示す。

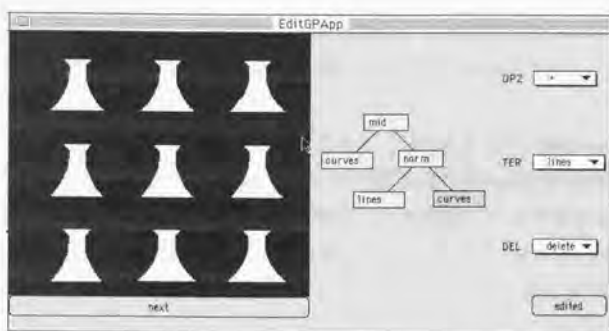


図3. 26 再構成可能な感性情報とそれによるデザイン

3. 4. 10 他の知識獲得に関する研究との比較

3. 4. 10. 1 例示による学習

このシステムを知識獲得という観点から見れば、GPを用いたシステムが、課題を遂行しながら、専門家の振る舞いと自らの振る舞いを比較し、より好ましい振る舞いを逐次獲得していこうとする見習い学習システムであり[辻野], 人間の問題解決方法およびそこで用いられる概念の整理としての意味を持つ。

専門家から知識獲得を行なう研究は、エキスパートシステムを構築するための研究にはじまり、データベースの構築や機械学習の研究とともに盛んに研究されてきた。なかでも、教師からの例示から、それらを説明する一般的な規則や概念を学習、抽出するという分野は、機械学習の中でも非常に重要な分野を形成している。

計算機で概念を帰納的に学習する一般的な方法は、概念記述言語を準備し、この言語により仮説空間を記述し、この空間内の探索問題に帰着させることである。例の示し方によって「例からの学習(Learning from Examples)」と「観察による学習(Learning from Observation)」に分けられる。前者は対象を学習すべき概念の正負例からの学習であり、後者は単に集まりとみなす場合で「経験による学習」ともいわれる。概念の具体例がわからなければ、モデル自体がそれを探しながら一般化記述を求める必要があるので、後者の方が困難である。例からの学習は、さらに事例か

らクラスへの帰納と部分から全体への帰納へ、観察による学習は概念クラスタリングと科学的発見のモデル、システムの振る舞いを説明する理論の形成へ、と分類される[仁木 88]。

例からの学習の場合、ある概念の例を与えると、システムはその概念についての一般的な知識を学習する。与えられる例がどの概念に含まれるかがあらかじめわかっているのが特徴である。観察による学習すなわち経験による学習の場合、システムに与えられる例はどの概念に属すかは事前には分かっていないため(そもそもどのような概念が存在するかもわかっていない)、システムには一般に膨大なデータが入力される。

例示による学習においては、豊富な背景知識がある場合には説明に基づく学習が有効であり、例題が豊富にある場合には、決定木の学習のような帰納的な学習が有効であると考えられている[溝口 88]。正負例からの概念獲得においては、属性値の構造を利用しながら正の例だけが説明できる記述を得る。また、概念の例が与えられるため誤った結果が導かれることはない。観察による学習では、概念の例の代わりにそれらをクラスタとして選ぶためのバイアス(学習を誘導する知識)が設けられる[滝]。例からの学習では、概念の例に加え手がかりも同時に与えられ、また観察による学習でも、属性やその値の構造は前もって整理されており、これらに依存した基準をバイアスとして概念を学習していく。

こうした帰納的な学習では、どのようにシステムに例示をするのかということが学習結果に大きな影響を及ぼす。例えば、Winstonのアーチ学習プログラムにおいては、正の例題とわずかな差異をもつために負の例題となるニアミス例題をインクリメンタルに提示するのが最も有効であり、QuinlanによるID3やFOILにおいては、例の空間から均等に例題を抽出したと仮定してエントロピーが計算してあるために逆にニアミスばかり与えることは逆効果であると考えられている。しかし、通常では学習効率を考慮した有効な例題を発見し与えることは難しく、教師の負担を軽減するために対話型の例示システムを用いることや、システムが概念を獲得するプロセスに介入することは、非常に有効なアプローチである。

本研究で対象とした感性的な評価は、概念のように明示的に正負の区別をつけることができない曖昧なものであって、不等式で表現されるような相対的なものであるために、どちらの例がより評価値が高いかという相対的評価の情報をシステムに提示することしかできない。また、明示的に目標概念を与えることができないという点も、概念の機械学習とは異なる点である。

感性的な評価の例示において、事前に作成したデザインの正負例から感性情報を抽出する試みもあるが[増井]、本研究では例の感性的な例示の方法として探索の履歴を用いた。3. 4. 3節でも述べたようにそれらの時系列的な情報によってよりよい関数を生成できることが示され、収束に向かう正負例を時系列的にシステムに提示することの有意性が確認された。こうした探索の履歴は、感性情報の獲得に適した例示の一手法であると思われる。

例からの学習の問題点として、計算量が多いことと多数の例が必要なことがあげられるが、対話型進化システムにおける探索の履歴は例示の負担を軽減することができ、この例示の方法という問題の対処法として有効なアプローチの一つであると思われる。しかし、生成レベルシステムが提示する候補案の相対的關係のみを入力する場合には、その候補案自体があまり意味を持たないことが多いと思われ、有効な相対關係をシステムに示すことが困難であると思われる。また、ユーザが有効な候補案を作成した上でそれらの關係性をシステムに提示する場合には、その例の数にも限りがあると思われる。本研究で用いた収束へ向かう生成レベルのシステムの操作履歴からの感性情報獲得は、これらの問題点を解決するための一手法として有効であると思われる。

3. 4. 10. 2 曖昧な概念形成

また、帰納学習による知識獲得の手法としては、統計的手法やID3やC4.5などの決定木の学習、帰納論理プログラミング、グラフパターンの学習、GAやGPなど様々な手法が研究されてきた。

概念をどのような形式で例や抽象化される概念を表現するかという問題は、人工知能研究では知識表現の問題と呼ばれ[古川]、知識表現言語としては、一階述語論理やプロダクションルール、意味ネットワーク、など様々なものが用いられる。帰納論理プログラミングでは一階述語論理が用いられ、GPではS式で表現可能な論理構造や関数、プログラムが用いられるが、いずれも知識の關係を学習しているといえる。

DeJongや遠藤らは、遺伝的アルゴリズムを概念形成に応用する研究を行なっているが、基本的な帰納推論ではノイズと呼ばれる誤った訓練例が与えられた場合の学

習や推論途中でもっともらしい仮説を構成することができないため、より柔軟な概念形成の機構としての進化計算の利点を述べている[DeJong||遠藤]。

帰納論理プログラミングでは、正例を多く含み負例を含まない概念を学習し、帰納論理プログラミングを和音の合成における感性情報の獲得に応用した研究例もみられる[Numao97b]。本研究が対象としたような視覚的な造形的評価においては正例と負例の境界があいまいなため、もっともらしい知識を獲得する必要があると考えられ、柔軟な知識獲得システムとしての進化計算を用いる利点があると思われる。

また、例示の仕方が正誤といった絶対的な評価ではなく不等式によって表現されるような相対的評価であるために、用いられる知識表現は数値計算と論理計算の共通表現の一種である代数的制約記述のようなものが適していると思われ、様々な演算子を非終端記号として用いることのできるGPによって感性情報を帰納的に代数的制約記述として獲得することは、感性情報処理の一アプローチとして有効に機能すると思われる。

構造的な知識として感性情報を表現する場合の要素知識としては、フーリエ変換、ウェーブレット変換などを用いた多重解像度解析、得意点理論による特徴抽出、微妙な曲線の曲がり具合や、濃淡やピッチの変化といったものが特徴として考えられており[松山]、また画像認識を行う研究には背景知識に基づく概念的な推論を用いるものや特徴の幾何学的関係を代数的に処理をするものなどがある。GPは論理計算と数値計算を取り扱うことができ、サブルーチンコールを含む数式やプログラムはサブルーチンとして得られた代数的な関係を一つ概念として取り扱うことが可能になるため、幾何学的な感性情報を取り扱う学習機構として非常に有効な手法であると思われる。今後も様々な感性的対象の評価関数をGPを用いて構造的な感性情報として獲得していきたいと考える。

3.4.10.3 対話による知識獲得

機械学習にとって、概念の表現方法とならんで重要な問題は学習結果の記述量および可読性である。

学習の目的は例の一般化であるので、得られた表現が簡潔でなければ意味がなく、

機械学習においては記述の簡潔性と精度のトレードオフが問題になる[古川]。実際に GP においても、記述の簡潔性を加味するために MDL (Minimum Description Length) 基準によって評価に関する研究も行なわれている[伊庭 96]。

データベースからの知識獲得に関する研究においても、帰納論理プログラミングや統計的手法、決定木やニューラルネットワーク、遺伝的アルゴリズムなど様々な機械学習の手法が多く用いられており[元田 97]。こうした分野でもユーザにとって理解可能な知識を提供することの重要性が指摘されているが、あたりまえの知識もしくは複雑で理解しにくい知識しか得られないという問題点が指摘されている[寺野 97]。この問題は、理解可能とはいかなることかという困難な問題も関係すると思われるが[三宅]、たとえ面白そうな結果が出てもそれをどう解釈すべきかわからず、結果的に行き詰まることがあるのは、統計的手法を用いても帰納論理プログラミングを用いても同様であり、得られた知識を活用することでどういった効果が得られるかということに重きを置いて研究を行なう重要性が指摘されている[沼尾 97c]。また、機械学習において探索のしほり込みや帰納的バイアス、背景知識を対話的にシステムに与えることで、計算量の軽減および効果的な学習を実現しようとする研究や、可読性を高めようとする観点からユーザの意図をどれだけツールが反映できるかということに重点がおいたシステムの研究が多くなされており、そうした目的のために対話的なシステムに学習機構を組み合わせるアプローチが有効であると考えられている。

そうした具体例としては、具体的な例をシステムに対話的に提示するものや例の概念をシステムが学習するために概念の説明をシステムに与えるもの、システムが概念を学習する際に不足している記述子やバイアスを対話的に与えるものなどがある。大川は、教師の負担軽減のために、学習途上において学習者が例題を選択し、それが正負例のいずれかであるかを質問する形で学習を進める対話型の学習方式を提案している[大川]。滝は対話的知識獲得支援システムと帰納的推論の融合によるシステムを構築し、専門家からヒューリスティクスをうまく引き出せるような情報の提示と対話により、複雑な組み合わせ概念を考える構成的帰納推論を行なう場合の計算量の増加を回避している[滝]。松田はエキスパートシステムの知識獲得のボトルネックを解消するという目的から、設計知識を獲得する設計例からの学習とインタビューによる獲得を融合したシステムを開発し、背景知識の不備や背景知識外の規則が用いられた場合の設計例理解の失敗をカバーするためインタビューを用いている[松田 92]。また石野らは、模擬育手法[畷見]を用いて、帰納学習で得られた概念の正負を対話型進化システムを用いて帰納学習のシステムにフィードバックをする研

究を行なっている[石野||Terano]。田淵ら是对話型進化システムにGPを用いて、従分類アルゴリズムの生成を試み[田淵]、GPのみよりも可読性が高く、エキスパートが構成したアルゴリズムよりも分類能力の高いアルゴリズムを生成しており、PoliやDaidaらも対話型進化システムの学習機構にGPを用いた研究を行なっている[Poli97||Diada96]。また、背景知識を強化したものが説明による学習であるが、背景知識を用いて複雑な推論を行なうことでGUIの設計や配置ルールの学習を行なう研究なども行なわれており[宮下||Hudson||Kochar]、Programming by ExampleやProgramming by Demonstration[Cypher]といった研究分野の一部をなしている。

本研究における感性情報の獲得においても対話型の進化システムとしてシステムを構築することで、より効果的な学習と可読性の高い情報の獲得を目指した。具体的にはGPの計算途中において得られた感性情報の木構造を再編集し、その編集された情報が生成するデザインを確認したうえでその編集された木構造を再びGPのシステムの中に戻し、計算を再開する機能を持たせた。これは他の知識獲得の研究と同様に、再編集を可能にすることでユーザからの知識を対話的に引き出し、より効果的な知識獲得を目指したものである。また再編集によって、無駄な部分木の削除や変更によって元のデータとなったデザインプロセスを再現するような情報へより近づけることが可能になるために、可読性および理解可能性を高めることにもつながると思われる。

対話型の知識獲得システムを構築するには、ユーザからの入力を解釈するような知識パーザや背景知識を用いた推論部分が必要であるが、それ自体が困難であり、システムに推論部分が埋め込まれた場合には柔軟性も乏しい。しかし、GPやGAが有利な点はそうした必要がなく、また逐次学習可能であることである[増井]。

説明による学習のシステムを構築する際に柔軟な知識獲得システムを構築するには、学習部分と従来プログラムのなかに埋め込まれてしまっていた領域知識を分離することが必要であると考えられている[沼尾94]。本研究のように経時の変化が大きく多様化している感性情報を知識獲得の対象をとしている場合には、システム構築のコストや柔軟性を考慮する必要があるため、進化システムを用いる利点は大きいと思われる。

感性情報は論理的な知識ではないために、得られた知識が正当なものか？ということを実証することは困難である。例示によって獲得された知識は、与えた正例を多く含む負例を含まないということをシミュレーションによって確認して、その妥当

性を検討する他にない。それは、感性情報処理研究の枠組み自体が抱えている問題点でもある[辻]。

一般に非線形問題におけるパレート最適解は無数個の点からなる解集合を形成するので、現実的意思決定法においては、意思決定者は自己の選考構造に基づいて、最終的に何らかの合理的な解を選択しなければならないが、意思決定者の選考構造を十分に反映させる選考関数 (preference function) は本来未知なものであり、また直接同定することも困難であることも多いため、このような状況では、意思決定者の未知の選考を大域的に同定することなく、対話により得られる局所的な選考情報に基づく意思決定者の選考解 (preferred solution) あるいは満足解 (satisfying solution) を導出するという対話的手法が望ましいと考えられている[坂和 86]。

例示による感性情報の抽出に GP を用いた場合には、一義的な知識が獲得されることがなく再現性がないが、そうした選考解もしくは満足解を得ていると思われ、感性情報の獲得を行なうシステムを対話的なものにするには、よりユーザの意図を反映することが出来るという意味で意義があると考えられる。それは、これからの知識獲得システムが、知識を発見したいというユーザの意図をどれだけツールが反映できるか[寺野 97]、またその知識をどのように利用してどういった効果があるのか[落田 97]という観点から評価されるべきものであると考えられているからである。

知識獲得支援システムは、エキスパートシステムの構築の場合には、知的にインタビューを行なうシステムであるということができ、メタシステムとしてインタビューのエキスパートシステムおよびシステム構築のためのシェルの研究などが行なわれてきた[溝口 88]。多くの機械学習システムでは、システムの自立性に重点が置かれているのに対して、知識獲得支援システムでは、タスク構造や知識構造を専門家から引き出すための相互作用環境を整えることに重点が置かれ、そうした系においては、人間と機械の相互作用プロセスが知識獲得そのものであると考えられており[山口]、本研究における GP との対話部分もそうした目的から構築されたものである。従来の知識獲得システムでは専門家自らの知識を計算機に移植することが目的であるが、本研究においては、知識を獲得するのは操作履歴を提供したエキスパート自身ではなく情報を共有しようとする他人であるため、より効果的に相互作用から知識を獲得するためのメタ知識や GUI をさらに構築する必要があると思われる。

3. 5 考察

要素知識が事前に分かっていて、それらの構造をいかに同定するべきか?という問題(電気回路やロボットのプログラムの設計など)においては、要素知識およびそれらの関係性を示す演算子の決定において悩むことはないが、それらが事前に不明な場合には、システムを構築する人間の試行錯誤によって、それらが決定される。

事前には分かっている知識を予測して背景知識を与えなければならないというのは、あらゆる知識獲得において発生する矛盾点でもある。観点の伴わない情報というものは存在することがなく、背景知識を全くあたえずに構造的な知識を獲得することはできない。これは、あらゆる問題解決において、直面している状況がどんなものかを理解しなていなくては問題を適切に表現することはできないのに、問題を表現することによってはじめて状況が理解できるというのと同じ状況であり、状況を理解していることと問題を表現できることとは、表と裏の一見パラドックス的な関係にある[安西85]ことと、同様の状況であると思われる。プラトンは「メノン」の中でこの矛盾を指摘し、問題にたいして解答をさがしもとめることは不合理であるという。なぜなら、さがしもとめているものが何かを知らないのだから、なにを見出すことも期待することはできない、というのである。

しかし、人間が境界の不明瞭な問題を解決したり学習したりするプロセスにおいては、その活動の大半は、問題となる事柄を定義したり、定義しなおしたりすることである[ロウ]。上述のパラドックスは実はパラドックスどころか、人間の活動においては当然のことであって、それは「状況に対する現在の自分の理解の程度に従って問題を表現し、その上で解いてみると、表現のまずいところがわかり、それによって、直面している状況の理解が進む、ということを行っているに過ぎない」[安西85]からである。

試行錯誤をすることで対象が「みえる」ようになるのは、ギブソンの視覚認識理論が知覚することは動くことであると主張するのと同様に、思考においても「動く」ことが重要であるからであると考えられる。動くことによって、「不変」なものである対象の本質が見えるようになるのであって、設計において動くとはボンチ絵やスケッチを描くことであり、プログラムにおいてプロトタイプを作成することである。ここでは、アイデアを外化するという行為自身が思考の道具となり、表現が概念を牽引するのであり[須永]、表現が概念を牽引するのは、外化された表現をターゲットとする事例類推によって、過去の経験や知識などから様々な情報が引き出され、曖昧

で不明確だった問題点や構造のまとめりと関係性の認識が進行し、新しく得られた観点からの対象の抽象化がなされて[鈴木]、より問題が明確になっていくためであると考えられる。

発見的手法理論に適用されている論理構成は、「もし問題Xが現れ認められれば、状況Zのもとで行動Yがとられる」ということであり、設計やデザインの場合には、行動Yは、特定の解答を出すということになる。しかし、とりあえず何かを作ることにより問題が明確になってくるということは、「もし行動Yを適用して見通した場合、条件Zが認められる、その結果、問題Xが明確にされる」ことであり、パースの言うアブダクションを行なっているといえる。言い換えれば、具体的に作られたアイデアを知覚することで喚起される条件に応答して、一時的な視点が提供され、より問題の定義と構造が明確になることで、後の試行と思考が展開されていくのである。

設計やデザイン、ひいてはあらゆる研究などにつきものの境界の不明確な問題の特徴は、第一には、これらの問題には明確な公式がなく、さらに十分に定義される可能性すらもないことである。そして第二には、常に疑問が追加して起こり、類聚に再公式化が導かれ続けるために、ここで終わりという法則がないことである。第三にこの種の問題の様々な公式は、千差万別の解決を暗示し、逆もまた同様である。別の言葉でいえば、問題の公式は予想しだいでどうにでもなり、次々に問題解決の明確な方向を示すのであって、それは問題に直面している人間の目的や指向、背景知識に多いに依存するのである。最後に提案される解決案は、必ずしも正しい必要がなく、正しくなくても良いのである[ロウ]。ピアジェのの発生的認識論における発達とは、認知構造の内部における自己調整によって新たな発生が起こり、これによって新たな構造が生まれ、それがさらに新たな発生を起こすという過程の連続である、というものであるが、それはあらゆる問題解決にもあてはまることである。構造なくして発生はなく、発生なくして構造はないのである[橋田 88]。

類推の準抽象化理論を提唱する鈴木は、概念の類推を概念構造の同一性だけから判断する構造写像理論だけではなく、観点の設定という目的を持った抽象化のプロセスによって概念構造が抽出され、その構造が準抽象化されたものの関係性であると主張する[鈴木]。これは人間の、心の中の因果関係の知識が、単に世の中のできごとを何の選択もせず拾い上げるのではなく、自分自身の目標が達成されるのに都合のよいようなかたちに作り上げられるという知識の構造可能性であるということもできる。

その理論を鑑みたと、設計におけるアブダクション（仮説形成）を目的を持つ

た類推であると捉えれば、発想や創造の支援とは、対象の抽象化による視点の明確化、あらたな観点による概念のあてはめと欠落しているオブジェクトの指摘、概念の関係性の明確化であると言えるであろう。情報の識別に求められるものは、情報の重みづけや評価をしたり、あるいは情報を解釈したりするために、遭遇するどのような情報にもその情報の一つの次元として視点を見つけ、それを理解する能力だということである。ある行為を意味づけるプロセス情報として大事なものは、どのように推論されたのかというようなことに関する情報だけでなく、それらの行為を遂行する際に、周囲（文脈）をどのようにとらえていたのかという観点に関する情報であるといえる。

問題を適切に表現できるためには、その問題の領域についての知識が必要であるが、その背景知識やそれらを用いて問題を表現する能力および知識の表現の仕方は、属人的なものであり個人によって異なる。そのため、知識獲得の対象となった先人と、それを獲得し学習しようとしている側のそれは異なるはずである。

例えば、詰め将棋をマスターすると、頭の中だけで局面を自由に操作することが可能になり、数十手先の局面も直観的にほぼ誤りなく思い浮かぶようになるという。これは、初心者と熟練者の計算速度の違いではなく、どのように問題を記述するかが異なり、その定式化のおかげで推論の量も問題にならなくなると考えられている。つまり、初心者がフレーム問題に悩むために問題を解決できないのに対して、熟練者は異なる定式化のおかげで問題を解決できるのであり、人間がフレーム問題に直面しなくなる過程において、定式化の変化が本質的な役割を担っているものと考えられている[橋田88]。また、ごく簡単な物理学の問題などでも、物理のことを知っている人と全然知らない人とは、問題の表現の仕方がまったく異なり、物理の知識がある人は問題が「うまく解けるよう」に問題を表現することができる。よく知っている人に限って、もとの問題をはっきり表現した簡潔な図が描けるのに対して、物理の知識がなければいくら簡単な問題でも問題「として」どのように捉えてよいかさえわからないのである[安西85]。実際に視覚的な思考の一種であると考えられるデザインの類似性の判定においても、一般消費者と開発担当者の判定モデルが異なることが指摘されている[古屋]。これはデザイン同士の距離を算出する計算式が異なるためというよりも、背景知識の違いのために対象を見る視点と定式化が異なるために、形状から喚起される情報が異なる。つまり何と何が近いかを判断する情報同士の距離を計る空間が異なるからであると考えられる。

山田は概念形成における順序問題について触れ、訓練例の提示の順序が異なれば、

機械学習によって得られる概念が異なる場合があることを示しているが[山田誠]、異なる経験をしている人間の背景知識が異なることや、異なる概念を保持している人間が新たに提示された同じ概念例から学習する結果が異なること、背景知識が異なる人間が自分の保持している概念および概念構造にあてはめることでしか理解というものができないことはごく自然なことであると思われる。情報は情報源とその目的をなんらかの形で反映したものであるから、情報には常に視点が存在する。情報は、その効果や形式、素材、および目的に左右される一種の表現、すなわち作りもの、人工物である。実験やシミュレーションは、科学的な研究において従来検証のための重要な過程と考えられてきたが、それらは人間の視点や視点の設定に依存しているので、決して厳密な検証ではありえない。というのは、実験もシミュレーションも設定と認識を行うのが人間であって、事象の観察も厳密な意味では客観的ではありえず、事象の予測およびそれとの比較の影響をうけるという理論負荷性を伴う[伊藤公]。情報をシンボル化するまたは抽象化するということは、情報の圧縮を行なうということであり、何らかの観点から情報を切り取り、不必要な部分を捨てるということである。つまり、何かを得ようとすれば何かを失うのであり、どこかの部分に光を当てれば陰の部分ができるのである。抽象化はある目的の下に行なわれるために、情報のどの部分を選ぶのか？それらの優先順位を付けなければいけない[久保田 95]。新しいものを考たり、発明や発見をするということは、必ずしも新しい情報を作っているのではなく、蓄積および収集された情報を取捨選択して、その中からある組み合わせをとり、ある目的のもとに特定の情報を圧縮して、残りの情報を捨てる、得られた情報どうしの関係性を得ることでもある。知能の本質は情報であり、情報とは結局のところ、要素ではなく関係すなわち組み合わせであると考えられる[橋田 88]。そのためには、膨大な情報の中から特定の目的にとって有用な情報をいかに選びだし、残りを捨てるかが重要であり、ある意味では、いかに上手に捨てられるか？が創造的な思考をもたらす鍵であるともいえる[品川]。

GPを用いてプログラムや数式として構造的に表現された感性情報は、ニューラルネットワークや統計的なデータとは違って、再編集することが可能であり柔軟性および再利用性が高い。また、システムの操作履歴から抽出された情報は、システムの操作を再実行することができる。そうしたかたちで特定の個人の感性情報を獲得できたならば、その情報を第三者がさまざまな改変をしつつ、シミュレーションをおこなうことができる。その結果、先人の追体験が可能になり、従来経験を重ねる以外に方法のなかった分野での学習に非常に有効であると思われる。

感性情報に限らず、獲得された知識を共有するとき大事なことは、その知識によって環境に対して働きかけ、その概念を実体験する必要があることである。それは、自分自身の経験を通さず得られた知識は、実際にそれを問題解決に利用することを通じてはじめて自分の経験と統合されて意味づけられ、問題解決のための知識と化していくからである[安西 85]。

また感性情報は、「感性の場に言語思考の形をとった知性を持ち込むと、生物知および感性知としての認知力は低下する。逆に知性の場に感性を持ち込もうとしても、そのような試みにおいて感性と思われたものは事実上は未熟な知性と化していて、その際の知的活動は明晰性を失い、能力は低下する。」のであり[佐藤 97]。視覚的な思考とシンボリックな思考はそれぞれ脳の制御権を奪いあう形で機能するために[佐々木 94]、共有可能な形としてシンボル化された非言語的思考は、体験を通じて再び非言語的思考へと戻す必要性がより高いと考えられる。これは経験を繰り返す以外に学習の方法のない分野すべて（設計や伝統芸能や工作などの身体的技能）において同様のことがいえるであろう。ことばとして分かるという段階から、知識を使うことを通じて自分の経験と統合することができるまで、行使する必要があるのである。

感性が身体的知識と呼ばれたり非言語的知識を感性と呼ぶのは、生物としての進化によって形作られた形態や器官を用いて、環境との相互作用を通じて得られた各個体の学習に基づいた概念形成能力だからである。逆に、身体化された情報を記述することができるならば、感性や暗黙知という言い方が unnecessary になるのであり[久保田]。認知科学者のレイコフとジョンソンが提唱するイメージスキーマ理論は、概念構造の関係性は人間の身体性に基盤を置いているということを主張しており[レイコフ]。細部の知識の関係性を表現する演算子をいかなるものと予測するべきか？という問題に大きな示唆を与えていると思われる。

絵画や彫刻、建築、演劇や音楽といった芸術は、それらを創り出した人とそれを体験している人の間で交される非同期的な会話であるが、芸術の体験そのものは、同期的でリアルタイムな体験であり、そうした体験は、作品と鑑賞者の対話がなされ時空を越えて芸術家の英知が伝えられた時に得られる精神的満足感を伴う場合にもたらされ、作家の視点を効果的に追体験することができる[ロウ]。

主観的な視点を伝達するために、美術史家や美術評論家という職業が存在するが、作家および作品の解釈を行うこと自体が創造的な行為であり、過去の創造的な作品の解釈をシステムが支援できれば、それは非常に意義のあることであろう。体験す

る側の脳の中で作家の情報が再構成されて自己の知識と経験から解釈がなされた時、非同期的なコラボレーションが同期的な体験へと転換されると考えられるが、再構成可能な感性情報はそうした行為を支援できるであろう。

体験することが重要だといっても、非言語的な包括的知識や視覚的思考としての感性をシンボル化された情報の構造的表現として獲得することには、もちろん意味がある。より高度な感性を組み上げて行くためには、感性によってとらえられるモノ同士を比較および分析し、言語を用いて概念を抽象化し構造化すること、そしてその能力も必要であるからである。概念形成能力が進化の過程で言語を獲得する以前に現われた、という脳科学における新しい知見が言語後成説である。ハトが立体派と印象派の絵を見分けることができるとして、動物が概念化の能力を持つ例として挙げられている[渡辺]。しかし、動物にもそうした能力はあっても、概念から概念を作り出す能力が作られることは無いと思われ、やはりそうした能力はシンボル化の能力の発達と大きく関連があると考えられるからである[エーデルマン]。

追体験だけではなく、シミュレーションを可能にする情報の再編集は、構造的な表現のどの部分がどのような結果をもたらしているのか、その部分の変化が結果にどのような変化を及ぼすのかを理解することを可能にする。そのため、感性情報が持つ意味のより詳細な解釈をもたらすはずである。行為を通じて新たな知識を身につけ、その知識によって問題をより新しく適切なかたちで理解することが可能になると思われる。包括的知識を際限なく明確な知識として記述しようとすることは、逆にその複雑な対象を理解することにたいして逆に妨げになってしまう。もし包括的存在を細分化した知識で構成しようとするならば、意味は消失して包括的存在は破壊されてしまうためであろう。もちろん、破壊された包括的存在は、諸細目をふたたび内面化することによってとりもどすことができるが、この回復の過程によってはもとの意味がそのままとりもどされることがない。諸細目の関係を明確に述べることは、明示的な統合と言えるが、これが実現可能な場合には、この明示的な統合は暗黙的な統合の範囲をはるかにこえるが、対象が包括的な存在の場合には、明示的な統合は暗黙的な統合にとってかわることはできない。

しかし、そのもとの意味は、単に知識として受け止めるよりも改善されているかもしれない。文章の細部にこだわりすぎることは、鑑賞を妨げることにもなるが、しかしまた、はるかに深く理解するための手がかりがその分析によって得られることもあるであろう。つまり、包括的存在を構成する諸細目に注視することは、それだけでは意味の破壊を招くかもしれないが、それはその後の統合を導く手引きとなり、より確実に正確な意味が確立すると考えられる。操作可能な情報として表現さ

れた感性情報は、伝達困難な知識の共有と受け手側のさらなる高次の学習を促進すると考えられる。

こうしたことから、感性情報を再編集可能な代数的制約記述として獲得することで再利用性を高め、感性的な曖昧な例示を取り扱いやすいGPを学習機構として用い、その学習機構を対話的システムと組み合わせたシステムとして構築することでユーザの意図を反映させることを可能にしたところに、本研究の意義があると考えられる。

3. 6 問題点および今後の課題

特徴量を抽出した上でGPを走らせるというのは、背景知識を与えてそれらの情報のつながりとして包括的な知識を表現しようとしていることである。それは、単に知識を与えるということではなく、対象をどのように見るか？という観点も同時に与えるということでもある。背景知識の関係性の学習である決定木の学習や帰納論理プログラミング、GPなどは学習する概念や基準がバイアスに含まれる要素から例に従って選ばれることから、選択的帰納学習とも呼ばれ、バイアスにない候補を選ばず学習できない。

そのために、これまで静的に対象領域を捉えてきた帰納学習が、動的な対象へと移行できることを目指して、従来学習システムの設計者により固定的に与えられてきたバイアスを、必要に応じてシステム自身が自律的に変更修正をおこなう構成的帰納学習に関する研究が行われている[滝94]。ここでは、バイアスの生成機能と生成されたバイアスの選択機能が必要になる。構成的帰納学習の構造は、選択的帰納学習のメタ構造ともいえる。そうした研究例として、積分オペレータの適用条件のヒューリスティクスを生成および洗練をバージョン空間法により行なうLEXは、バージョン空間の作成に失敗した場合に起動する記述言語を改善するモジュールを含んでいる[仁木88]。すべての背景知識を事前にシステムに与えることが不可能であるために、桜井は算術問題の学習において、問題を解くための知識が不足している場合に、外部の教師と対話しながら知識を獲得し、その知識を一般化学習によって洗練して蓄積することで問題解決能力を高める研究を行なった[桜井成]。

こうした観点からすると、情報の共有および伝達を感性情報の獲得の第一目的と

した場合には、その情報を理解しようとする側が、要素知識としての終端記号と情報の関係を表す演算子として非終端記号を自ら表現してGPを走らせ、得られる結果を再体験および再編集して自分の経験や知識と照らし合わせることによって理解を深めた上でその情報を修正し、新たな背景知識を与えて再びGPを走らせ、再び知識獲得を行なう、といったシステムが望ましいと考えられる。終端記号及び非終端記号の変更によるGPの背景知識と探索空間の変更、およびその変化に伴った静的な評価関数の変更といった機能を付け加えることで、伝達を受ける側の学習および理解をより深めることが可能になると考えられ、メタシステムとしての人間の知識を活用できるものと思われ、そうした知識獲得支援システムとしての拡張をする必要がある。

もちろん新たなバイアスを構成するための知識は学習の種として、設計者が与えなければならないが、そのメタ知識はバイアスを直接与えるよりもはるかに一般性がある。概念クラスタリングでは、いくつかの事例が与えられたときに、どのようなクラスを生成すれば対象を適切に分類できるかを考える。つまり、記述の一般化を行なうものであり、観察による学習あるいは複数概念の学習とも呼ばれる。この種の問題では、学習システム自体がいくつかの範疇を構成し、その範疇を記述する概念を自ら獲得しなければならない。概念獲得のためには範疇が決まっていなければならない。また範疇を決めるためには、範疇の概念が決まっている必要がある。範疇とその概念記述との関係は「鶏と卵」の関係にあり、両者を同時に解かねばならないこの問題は非常に難しい。概念クラスタリングを実現するアルゴリズムとしては、スターアルゴリズムやCA (classifying attribute) などがある[仁木88]。これらのアルゴリズムでは、クラスタリングの評価基準として、基本的な制約や分類の一般的な性質を規定する汎用知識と新しい記述子の生成やゴール推論に関する領域固有の知識を持っている。属性記述にだけ基づいて概念クラスタリングを行なうことは不可能であり、推論規則からなる背景知識と、それをゴールに沿った方向に使う能力を必要とする[仁木88]。

また、固定されたメタ知識だけではなく動的なメタ知識としての人間との対話を行なうことは、より柔軟なシステムを構築できると考えられる。仮に生成された知識が不完全なものであるとしても、ユーザがそれを見ることにより、不足する知識や意識していない知識に気付くための刺激：知識獲得の呼び水として非常に有効であると考えられる[辻野94]。

感性は画像と音響の受動的な知覚パターンの認識によって喚起される心理的な出力

だけではなく、科学的な発見や設計やデザインなどの論理的な思考と思われているような分野における非論理的知識も含まれると考える。それらは心眼やセンス、奥義と呼ばれる非言語的で非明示的な包括的知識であると考えられる。プロダクト情報とプロセス情報を与えても、モノづくりには不十分であって、その他に必要な何かというのがこの包括的存在である[伊東]。

人間の創造的な意思決定には、直観的で非合理的な決定によって行われる場合が存在するが、直観としてしか判断できない場合とは、対象を自分の知識の中のどの観点からどのような状況判断したのかということを書き記述できない状況として考えられる。そうしたケースには、状況をパターンとして認識している場合や明示的な知識を操作する近接項的な知識を用いた思考を行なっている場合、つまり知識が身体化されてしまった場合などが考えられる。なかでも前者は、視覚的・身体的思考によって獲得された概念をシンボル化出来ていない状態であり、後者はシンボル化された概念や情報の相互作用として現われた知識を伝達することができないという状態であるといえる。

背景知識を与えたいうで感性情報を抽出することは、保持している概念や知識の評価の構造として感性情報を抽出するということであり、非言語的な概念形成能力によってパターンとして認識されたような知識や自分が何をどう判断しているのかわからないが良いといった知識、深い知識や深い感性を得ることが出来ない。本研究で作成した感性情報獲得システムにおいて得られる知識は、既知の概念の関係性とその関係性がもたらした各概念による評価の移動に過ぎず、明確な知識の構造としての“浅い感性”しか得ることが出来ないという短所をもつ。しかも、明示的な統合は暗黙的な統合にとってかわることはできない。

領域知識を与えない学習は見よう見真似で体験的に独学をすることに近く、真に経験のみまたはアナログの伝達による学習であり、知識を与えての学習は外部から構造化された知識をコーチングされる学習と見なすことができる。認知にも種類があるように、学習にも種類がある。事実を集積する「蓄積」、内省的なスキルを体験的スキルにするプロセスである「調整」、適切な概念構造を形成する「再構造化」である[ノーマン 96]。体験的な認知は蓄積と調整に向いており、内省的な思考は再構造化に向いている。内省は骨の折れる仕事なので、その動機づけと探究し比較しその結果をまとめあげるための、適切な概念構造を作るための道具が必要である。体験的処理でも演繹は可能であるがその深さは浅く、内省的な推論の場合には、推論の深さには限界がないがその代償として処理が遅く面倒になる。内省的思考には、一時的な結果を蓄えておく能力とその知識から前向きおよび後ろ向きに推論を行う

能力が必要である。外部にある支援を使えば、外部記憶装置として働くために、長時間にわたる推論が可能になり内省のプロセスが支援されるのである(その最たる例は紙と鉛筆であり、優れたスポーツコーチはプレーヤーの代わりに適切に内省してくれる)。

得られた浅い感性は暗黙的な深い感性にとってかわるものではないが、再編集可能な感性情報は、学習の中でも再構造化学習を行なうための外部記憶装置として機能すると考えられる。また、対話的に要素となる概念をシステムに提示する機能の付加により、さらなる内省的な構造化がもたらす学習効果がユーザにもたらされると思われる。

感性情報の獲得は概念学習とは異なり、システムによって得られた感性情報が真に対象となった個人の感性を表現出来ているかを証明することができず、得られる情報にも再現性がないという問題点を持っている。

しかし、感性情報処理研究の枠組み自体が「自然科学のように、記号で内容を厳密に記述出来ない。さらに技法・システムの評価は、最終的にヒトに頼らざるを得ない」とされていることから分かるように[辻], より対話的に要素知識を更新する動的なシステムやADFやMAといったGPや他の学習方法を用いても、この問題を解決することができない。

そうした見地から、今後の拡張方針として、対話により得られる局所的な選考情報に基づくユーザの選考解あるいは満足解を導出するにあたって、知識を発見したいというユーザの意図をどれだけツールが反映できるか、またその知識をどのように利用してどういった効果があるのかという観点から、より動的な知識獲得支援システムへと発展させていくべきであると考えられる。

また得られる情報の可読性をより高めることによって、同じデータから得られる異なる感性情報の統一的部分と個別の変動部分の分離を行うことや、異なるデータから得られる多様な感性情報の中で獲得対象となった個人の統一的部分と個別の変動部分の分離をすることによって、再現性がないという問題点に取り組むことが可能になると思われる。

個人的な思考過程を抽出する研究としては、上述の個人の感性情報を抽出するもの[増井[Numao97c]]の他には三輪による研究などがある。三輪はカード配置推定問題における思考をPrologによって表現し、パラメータを含む形での統一的共通部分のルールセットと、それに含まれない個別の変動部分ルールセットによって、特定の

個人の思考を再現するプログラムを構成した[三輪]。また、井口は、平均値としての大衆の感性からの逸脱あるいは特異点として、芸術家の感性ととらえているが[井口94a]、本研究では、実際に特定の個人の感性情報がどれだけ平均的な感性情報と乖離しているかということを検証することができなかった。

デザインの様式(スタイル)とは、問題解決における様相に(少なくとも三つの様相に強く決定されることを見てきた。その三つの様相とは、採用される構成原理の主題、この原理を身近な問題の文脈において解釈し、解釈し直す手法、そしてこれらの構成原理を適用する順序[ロウ])における習慣的な方法であると考えられる。同一の課題を与えて、それらの履歴から抽出された関数を比較することによって、統一的共通部分と、各個人の変動部分を分離できるか?ということを検討すべきであると考えられる。その分離には、同一対象に関する異なる人間の統一的共通部分と各個人の変動部分の分離および、異なる対象に関する同一人物の統一的共通部分と各対象の変動部分の分離があると思われる。

前者に対するアプローチとしては、Aさんの履歴から作られた関数を初期値としてGPに与えて、Bさんの履歴から関数を生成する、ということ多数繰り返し、それらを比較することで、統一部分と変動部分の分離を試みるという手法が一つ考えられる。そうしたことが可能であれば、関数合成に必要な計算量を減らすことも可能になると思われる。また、ADFやRAを用いることで、複数の人間の操作履歴に共通したサブルーチンが得られたならば、共通した知識が抽出されると思われる。今後の課題の一つである。後者を実現するためには、例えば服と車といった異なる領域の設計プロセスから何か共通するものを抽出しなければならない。そのためには、ある領域ともう一つの領域がどう関連するのか?という背景知識とそれを踏まえた抽出のための背景知識を用いた知識獲得が必要であり、形態の意味に応じた背景知識を用いた評価関数の自動生成を行なう必要がある。前者の場合と同様に、様々な対象に対する共通のサブルーチンの抽出などによって、個人のスタイルをより明確に把握することが可能になると思われる。

現在の生成されている関数では、評価対象の特徴量の個数が関数の引き数の個数よりも少ない場合には値の入らない引き数には0を代入して計算を行ない、特徴量の個数が引き数よりも多い場合には、引き数に入りきれない特徴量は評価の対象となっていないため、そうした場合にどの特徴量をどの引き数に対応するのかという背景知識を必要とするという問題点がある。さらに特徴量の最大個数が決められた中で生成された関数であるために、得られた関数がより広範な設計プロセスのフィ

ルタとして再利用できるか検討せねばならない。

より再利用性の高いフィルタとするためには、得られた関数を抽象化しより一般化する必要がある。対象が意味性の高い形状の評価である場合や様々な対象から得られた関数の統一的部分と変動部分の分離を行なう場合などでは、引き数の削除および増加、引き数の一般化によるサブルーチン化などが人手による書き換えによって行なわれると想定されるため、より可読性の高い知識を獲得するための研究が重要であると思われる。

また本研究においては、知識を獲得するのは操作履歴を提供したエキスパート自身ではなく情報を共有しようとする他人であるため、より効果的に相互作用から知識を獲得するためのメタ知識やGUIを構築する必要があると思われる。本研究では視覚的思考を数学的関数として抽象化するために、知識からディメンジョンとスケールが消失することから、特に効果的なビジュアルコミュニケーションをもたらしススキーマを用いた情報空間の視覚化などの研究の必要があると思われる。

本研究においては、対話型進化システムとしてのデザイン支援システムの操作履歴を情報獲得の元となるデータとして用いたが、特殊な環境における感性情報であるため、特定の個人の感性情報を獲得したというよりは、特定の個人がある特別な環境において特殊な手法である作品を制作した際の感性情報を獲得したとしか表現することができない。

より広汎な感性情報を獲得するためには、情報獲得の対象となった個人が普段用いているような制作環境における作成履歴から、学習のデータを抽出する必要があると思われる。可読性を高めようとして背景知識を与えた感性情報獲得システムでは、特徴量のまとまり毎に評価を行なうサブルーチンの統合として全体的な評価関数を作成したが、こうした関数の統合を用いれば、制作の進行に伴って全体的な引き数の数がダイナミックに変化する試行錯誤の記録にも対応できると思われ、より一般的なCAD操作の履歴などからの学習が可能であると思われる。

関数を有効に生成するためには、より長い操作履歴が必要であるが、単にデザイン作成のための操作ではなくデータ作成のための操作にはやや苦痛を感じるというユーザの意見があり、また明確なイメージを持てる熟練したデザイナーにとっては対話的進化システムによるデザインはあまり有効ではないとも考えられているため[青木97]、より一般的な操作からの感性情報獲得が望ましいと思われる。具体的なデータの案としては、数時間ごとに記録されるその時点での制作物の状態を記録した時系列的なログといったものがあげられる。こうした場合でも、先述したように厳密

な正負というよりも相対的評価の関係性を基に、帰納的な学習手法を用いて感性情報を獲得する必要があると思われる。帰納学習には必要な大量のデータを必要とするが、そのためには、CADの時系列的なログを下に各時点における図を正例としシステムが提示した負例を対話的に修正するなどして、例示のデータを作成するなどのアプローチが考えられる。

現段階では学習機構としてGPのみを用いているが、他の帰納学習や他の探索手法など（Hill ClimbingやSimulated Annealing, Deterministic Annealing）との組み合わせによる知識獲得に関する研究も行なう必要があると思われる[石野][寺野]。他の探索手法とGPとの性能比較がなされ[O'Reilly96b][Harris97]、GPの優位性が検証されているが、GPにおける遺伝的操作の種類も含めて、それらの性能は対象領域によって変化し、必ず一つの手法が他を凌駕するということがないため、プログラム生成のためのより広範な比較を行なう必要があると思われる。

現在では実際のユーザによる操作履歴から関数を生成しているが、事前に決定した関数による操作履歴からもとの関数にどれだけ近い関数を獲得できるか？ということを比較することにより、探索履歴からの目的関数の再構成という学習課題における各手法の比較が可能であると思われる。

本研究では得られた関数の判別を作成されるデザインによって比較を行なったが、関数による操作履歴から獲得される関数と元の関数との比較を用いれば、より定量的な判別分析を行なうことが可能であると思われる。それによって感性的な評価の帰納学習におけるメタ知識や帰納的バイアスを得ることができると考えられ、今後の課題の一つとしたい。

代数的制約記述としての感性情報表現を可能にしたことで、また別個に作成された関数を組み合わせることが容易なため再利用性が高く、より高次の感性表現が可能になるとと思われる。

そのため、限定された対象からより広い対象へと拡張を行う際のスケールアップへの対応が容易であるため、単体の設計だけでなく、AHPなどの階層的な意思決定などへ適用することも可能であると思われる[刀根][伊藤照]。また、得られた関数はモジュール性が高いので、形態や色彩、テクスチャーなどに対応するそれぞれの関数をエージェント指向のプログラムとして用いることで、多様な要素を決定するためのデザイン支援システムを構築することが可能と思われ、そうしたシステムの構築を検討したいと考える。

第4章 結論

- 対話的進化システムを用いたデザイン支援システムを構築した。
- デザイン支援システムの操作履歴から、遺伝的プログラミングを用いて、構造的表現としての感性情報の代数的記述の生成を行った。従来形容詞表現に頼ってきた感性情報の獲得に、遺伝的プログラミングを用いることで言語メディアによらない感性情報知識獲得を可能にし、感性情報の帰納的な学習における一手法を提案した。
- 代数的記述としての数学的関数として表現された感性情報が、上述のデザイン支援システムを有効に支援することができることを示した。
- 遺伝的プログラミングにを用いた感性情報の帰納的な学習において、正負例の提示よりも探索過程の履歴から知識獲得を行なうことの有効性を示した。
- 背景知識を用いて対象の特微量を抽出することで、属性設計だけでなく概念設計のプロセスも知識獲得の対象とする可能性を示唆した。

参考文献

[a]

[Ahluwalia197]

Manu Ahluwalia, Larry Bull, Terence C. Fogarty : Co-evolving Functions in Genetic Programming: A Comparison in ADF Selection Strategies, Proceedings of GP 97, pp.3-pp.8 (1997)

[相原 95]

相原健郎, 堀浩一: 研究メモの蓄積効果を増幅するための創造的思考支援システム, 人工知能学会研究会資料, SIG-HICG-9503-4, pp.25-32 (1995)

[AI誌 96]

人工知能学会 編: 特集「発想支援システム」, 人工知能学会誌, Vol.8, No. 5 (1993)

[アレグザンダー]

C.アレグザンダー: 時を超えた建設の道, 鹿島出版会 (1993)

[Angeline94]

P.J.Angeline, J.B.Pollack : Coevolving High-Level Representations, Artificial Life III, pp.55-71, Addison-Wesley (1994)

[Angeline96]

P.J.Angeline, K.E.Kinnear ed. : Advances in Genetic Programming 2, The MIT Press (1996)

[安西 85]

安西祐一郎: 問題解決の心理学, 中公新書 (1985)

[安西 88]

安西祐一郎: 認識の情報科学への計算論的アプローチ, 人工知能学会誌, No.3, pp.248-256 (1988)

[青木 97]

青木研, 高木英行: 対話型GAによる3次元CGライティング設計支援, 電子情報通信学会総合大会, A-15-30, pp.364 (1997)

[荒川 95]

荒川雅夫, カム・ジョージ, 山川宏: 定性的な感性評価に基づく定性的な最適設計に関する研究, 日本機械学会第5回設計工学・システム部門講演会論文集, pp.303-306 (1995)

[AXIS]

プログラムを操るデザイナーたち, AXIS, Vol.63, pp.18-59, アクシスパブリッシング

[東 92]

東正毅, 岡本福興, 斎藤剛: 曲面稜線による美的意匠曲面の解析と創成, 1993

年度精密工学会春季大会学述講演会講演論文集, pp.663-664 (1993)

[東 93]

東正毅, 近藤学: 曲面の基本的性質の解明と美的意匠曲面の評価, 精密工学会誌, Vol.59, No.3, pp.441-447 (1993)

[b]

[Baker93]

Ellie Baker, Summary : Evolving Line Drawings, Proceedings of the Fifth International Conference on Genetic Algorithm, Morgan Kaufmann Publisher, pp.627 (1993)

[Baker94]

Ellie Baker and Margo Seltzer : Evolving Line Drawings, Proceedings of Graphics Interface '94 (1994)

[Baluja]

Shumeet Baluja, Dean Pomerleau, Todd Jochem : Simulating User's Preferences: Towards Automated Artificial Evolution for Computer Generated Images , CMU Computer Science Technical Reports, CMU-CS-93-198 (1993)

[Bennett]

Forrest H Bennett III : Automatic Creation of an Efficient Multi-Agent Architecture Using Genetic Programming with Architecture-Altering Operations, Proceedings of GP96, pp.30-38 (1996)

[Boden]

Margaret A. Boden : Creativity and Artificial Intelligence, Proceedings of IJCAI 97, pp.1563-1565, Morgan Kaufmann Publishers (1997)

[c]

[Caldwell]

Craig Caldwell, Victor S. Johnston : Tracking a Criminal Suspect through "Face-Sppace" with a Genetic Algorithm, Proceedings of the Fourth International Conference on Genetic Algorithm, Morgan Kaufmann Publisher, pp.416-421 (1991)

[citizen]

<http://www.citizen.co.jp/watch/>

[Cypher]

A.Cypher: Watch What I do - Programming by Demonstration, The MIT Press (1993)

[d]

[Daida96a]

Jason M. Daida, Tommaso F. Bersano-Begey, Steven J. Ross and Jhon F. Vesecky: Computer - Assisted Design of Image Classification Algorithms: Dynamic and Static Fitness Evaluation in a Scaffolded Genetic Programming Environment, Proceeding of GP 96, pp.279-284, The MIT Press (1996)

[Daida96b]

Jason M.Daida, Jonathan D.Hommes, Tommaso F.Bersano-Begey, Steven J.Ross, John F.Vesecky: Algorithms Discovery Using the Genetic Programming Paradigm:Extracting Low-Contrast Curvilinear Features From SAR Images of Arctic Ice, Advances in Genetic Programming II, pp.417-442, MIT Press (1996)

[Damasio]

A.R.Damasio:Descartes' Error:Emotion, Reason and Human Brain, New York: Grosset/Putnam Press (1994)

[Dawkins89]

Richard Dawkins, The Evoltion of Evolvability, Artificial Life, pp.201-220, Addison-Wesley (1989)

[Dawkins93]

リチャード・ドーキンス:ブラインド・ウォッチメイカー[上][下], 早川書房 (1993)

[出口]

出口弘:バーチャル産業と生産システム-大量生産ではない生産システムと産業構造を求めて-, 新しい産業と社会システム, pp.133-190, 日科技連 (1997)

[DeJong93]

K.A.DeJong, W.M.Spears, D.F.Gordon: Using Genetic Algorithms for Concept Learning, Machine Learning, Vol.13, pp.161-188 (1993)

[ドンデイス 89]

D.A. ドンデイス:形は語る, サイエンス社 (1989)

[ドーチ 94]

ジョン・ドーチ:デザインの自然学・自然・芸術・建築におけるプロポーシオン, 青土社 (1994)

[e]

[エーデルマン]

G.M.エーデルマン:脳から心へ, 新曜社 (1995)

[エドワーズ]

B.エドワーズ:内なる画家の眼, エルテ出版 (1988)

[遠藤 95]

遠藤聡志, 野澤慎吾, 大内東:遺伝的アルゴリズムによる選言概念獲得アルゴリズム

ム、人工知能学会誌, Vol.10, No.1, pp.105-116 (1995)

川

[firefly]

<http://www.firefly.com>

[伏見]

伏見康治, 安野光雅, 中村義作: 美の幾何学, 中公新書 (1979)

[古川 94]

古川浩保, 溝手裕二, 富山哲男: 概念設計支援のための物理推論 (第7報), 1994年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, p.247-248 (1994)

[古川 92]

古川正志: GA (遺伝的アルゴリズム) による概念設計, 日本機械学会機械力学・計測機械システム設計, 日本機械学会第4回設計工学・システム部門講演会論文集, pp.363-368 (1995)

[古川 97]

古川康一: 帰納論理プログラミング, 人工知能学会誌, Vol.12, No.5, pp.3-12 (1997)

[古屋 91]

古屋繁, 森典彦, 杉山和雄, 釜池光夫: 乗用車の車体形状における類似性の判定モデル, デザイン学研究, No.85, pp.67-74 (1991)

[古屋 92]

古屋繁, 森典彦, 杉山和雄, 釜池光夫, 細沼達男: 似顔絵による顔認知, デザイン学研究, No.94, pp.27-34 (1992)

[古屋 93a]

古屋繁, 森典彦, 杉山和雄, 釜池光夫, 細沼達男: 乗用車の車体形状における類似性の判定にかかわる形態認知の分析, デザイン学研究, No.95, pp.37-44 (1993)

[古屋 93b]

古屋繁, 森典彦, 杉山和雄, 釜池光夫, 細沼達男: 車体形状の連続的変化が類似性の判定に及ぼす影響, デザイン学研究, Vol.40, No.3, pp.15-22 (1993)

[古屋 94]

古屋繁, 武者祐司: 車体形状のカテゴリー分類と形状認識の関係, デザイン学研究, Vol.40, No.5, pp.39-46 (1993)

[ファーガソン]

S. ファーガソン: 技術屋の心眼, 平凡社 (1995)

関

[ギブソン]

JJ, ギブソン：生態学的視覚論，サイエンス社（1985）

[Goldberg]

D.E.Goldberg：Genetic Algorithms in search, optimization and machine learning, Addison-Wesley（1989）

[御領]

御領謙：「ことば」と「もの」の認識，人工知能学会誌，Vol.3, No.2, pp.169-177（1988）

[b]

[波多野 92]

波多野諠余夫，三宅芳雄：認知科学の動向，人工知能学会誌，Vol.7, No.5, pp.746-754（1992）

[箱田]

箱田裕司：イメージ研究の方法をめぐる問題，イメージング 表象・創造・技能，pp.1-11, サイエンス社（1991）

[薛]

薛德意，石井理貴，富山哲男，吉川弘之：設計知識表現言語 IDDL の開発（第五報），1992年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集，pp.109-111（1992）

[半田 87]

半田剣一，松原仁，石崎俊：学習におけるアナロジー，人工知能学会誌，Vol.2, No.1, pp.44-52（1987）

[半田 92]

半田剣一，松原仁：不均質な領域を対象とした概念形成システム CAFE，人工知能学会誌，Vol.7, No.6, pp.981-991,（1992）

[原田悦]

原田悦子：人の視点からみた人工物研究，共立出版（1997）

[原田 93a]

原田利宣，森典彦，杉山和雄：遺伝的アルゴリズムを応用したイメージ空間探索，デザイン学研究，Vol.40, No.2, pp.41-48（1993）

[原田 93b]

原田利宣，森典彦，杉山和雄：曲線の性質に関する定量化研究，デザイン学研究，Vol.40, No.6, pp.9-16（1993）

[原島]

原島博：感性コミュニケーションと顔，感性と情報処理，pp.27-61, 共立出版（1993）

[Harries]

Kim Harries, Peter Smith：Exploring Alternative Operators and Search Strategies in Genetic Programming, Proceedings of GP 97, pp.147-155（1997）

[橋田 88]

橋田浩一：言語生得説・チョムスキーをめぐって、人工知能学会誌，Vol.3，No.2，pp.139-148（1988）

[橋田 94]

橋田浩一：知のエンジニアリング、ジャストシステム（1994）

[長谷川]

長谷川隆，北原義典：マルチメディアに対する感性合成処理のコンセプトと実験システムの評価，情報処理学会論文誌，Vol.38，No.8，pp.1517-1530（1997）

[平 95]

平俊男，田中正夫：合議を模した複数エージェントによる設計支援システム，日本機械学会第5回設計工学・システム部門講演会論文集，pp.311-312（1994）

[堀 94]

堀浩一：発想支援システムの効果を議論するための一仮説，情報処理学会論文誌，Vol.35，No.10，pp.1998-2008（1997）

[堀 97]

堀浩一：システム統合のためのAIに向けて・発想支援系と知識処理系の結合の提案，人工知能学会誌 Vol.12，No. 2，pp.258-265（1997）

[Hondo]

Naohiro Hondo，Hitoshi Iba，Yukinori Kakazu：COAST:An Approach to Robustness and Reusability in Genetic Programming，Proceedings of GP96，pp.429（1996）

[堀 88]

堀浩一，石崎俊：文脈理解とAI，人工知能学会誌，Vol.3，No.3，pp.312-318（1988）

[Hudson]

S.E.Hudson，C.Hsi：A Synergistic Approach to Specifying Simple Number Independent Layouts by Example，Proceeding of ACM INTERCHI'93 Conference on Human Factors in Computing Systems，Addison-Wesley，pp.285-292（1993）

川

[伊庭 95]

伊庭齊志，佐藤泰介：システム同定アプローチに基づく遺伝的プログラミング，人工知能学会誌，Vol.10，No.4，pp.590-600（1995）

[伊庭 96]

伊庭齊志：遺伝的プログラミング，東京電機大学出版（1996）

[井口 94a]

井口征士：感性情報処理の目指すもの，情報処理，Vol.35，No.9，pp.792-798（1994）

[井口 94b]

井口征士：感性情報処理，オーム社（1994）

[今宮]

今宮淳美：人間とコンピュータの認知的共生のためのユーザインタフェース設計，人工知能学会誌，Vol.8，No.6，pp.709-712（1993）

[infoseek]

<http://www.infoseek.co.jp>

[石塚]

石塚満：メディアとAIの融合，人工知能学会誌，Vol.8，No.6，pp.717-720（1993）

[磯崎 96]

磯崎新：建築家探し，岩波書店（1996）

[磯崎 97]

磯崎新：海市・もうひとつのユートピア，NTT出版（1997）

[岩田]

岩田誠：見る脳・描く脳，東京大学出版会（1997）

[岩島]

岩島嗣吉，山本庸幸：「実践」コンシューマーレスポンス戦略，ダイヤモンド社（1997）

[石川 92]

石川啓子，田中立二，山尾雅利：仮説推論を用いた知識検証支援システム，人工知能学会誌，Vol.7，No.1，pp.105-116（1992）

[石井 93]

石井理貴，富山哲男，吉川弘之：概念設計のためのフィジカル・フィーチャーの研究（第7報），1993年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集，p.289-290（1993）

[石野 97]

石野洋子，寺野隆雄：模擬育手法と帰納学習を適用したマーケティング情報分析，人工知能学会誌，Vol.12，No.1，pp.121-131（1997）

[伊東伸 85a]

伊東伸泰，黒川隆夫：形状識別における類似度尺度の知覚的考察，情報処理学会第30回全国大会，pp.1223-1224（1985）

[伊東伸 85b]

伊東伸泰，黒川隆夫：ランダム曲線図形に関する心理的距離尺度について，電子情報通信学会技術報告 PRL83-75，pp.79-88（1985）

[伊東]

伊東道生：暗黙知と知の創発，技術知の本質，pp.113-134，東京大学出版会（1997）

[伊藤 93]

伊藤公俊：設計対象モデルにおける設計根拠の記述化，人工知能学会研究会資料 SIG-KBS-9303-9（1993）

[伊藤 95]

伊藤公俊：技術者のメンタルモデル，技術知の本質，pp.221-240，東京大学出版
(1997)

[伊藤照]

伊藤照明，高橋孝博，福田収一：階層化意思決定法によるシルバーサイクルの協調
設計，第15回設計シンポジウム講演論文集，pp.106-109 (1997)

[伊藤哲]

伊藤哲郎：分類による概念形成，人工知能学会誌，Vol.6，No.6，pp.881-890 (1991)

川

[川口]

日本産業デザイン振興会：GUIデザイン論，Design News，No.235，pp.44-57，日
本産業デザイン振興会 (1996)

川

[海保]

海保博之，原田悦子，黒須正明：認知的インターフェース，新曜社 (1991)

[クレー]

P.クレー：教育スケッチブック，中央公論美術出版 (1991)

[カニツツア]

G.カニツツア：ゲシュタルト知覚論，サイエンス社 (1985)

[加納 97]

加納顕也，茂木重満，劉挺，北嶋克寛：ファッションデザイン支援システムの開発
(第二報)，1997年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集，pp.35-36
(1997)

[感性産業研究会]

感性産業研究会準備事務局 編：感性社会へのビジョン，凸版 (1992)

[神田]

神田陽治，渡部勇，三末和男，平岩真一，増井誠生：グループ発想支援システムGrIPS，
人工知能学会誌 Vol.8，No. 5，pp.601-610 (1993)

[カンディンスキー]

W.カンディンスキー：点と線から面へ，中央公論美術出版 (1991)

[片桐]

片桐重延，室岡和彦：確率統計，東京電機大学出版局 (1996)

[加藤]

加藤俊一：マルチメディアと感性情報処理，印象の工学ワークショップ，pp.239-
259 (1996)

[桂]

桂英史, 四方幸子: 速度芸術時代のミュージアム, 情報処理学会研究報告, Vol.97, No.62, pp.13-16 (1997)

[勝山 93]

勝山信之, 山川宏: 遺伝的アルゴリズムによる感性を考慮した設計の遺伝と進化に関する研究, 日本機械学会第3回設計工学・システム部門講演会論文集, pp.43-47 (1993)

[河合]

河合浩之, 山田雄策, 富山哲男, 吉川弘之: インテリジェントCADのための設計知識獲得, 1992年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp.107-108 (1992)

[川野]

川野洋: コンピュータと美学, 東京大学出版会 (1984)

[河内 95]

河内十郎: 感性と理性は脳の中でどのように処理されているか, 感性・人間・コンピュータ, 富士通ブックス (1995)

[河内 96]

河内十郎: 感性と知性の関係, 感性情報処理のパラダイム, 感性の科学, pp.47-51, サイエンス社 (1996)

[ケイ]

アラン・ケイ: ユーザーインターフェース - 個人的見解, 人間のためのコンピュータ - インターフェースの発想と展開, pp.149-169, アジソンウェスレイ・トッパン (1994)

[Kinnear]

Kenneth E. Kinnear Jr. ed.: Advances in Genetic Programming, The MIT Press (1994)

[北本]

北本朝展, 高木幹雄: バイブライン型遺伝的アルゴリズムによる模擬育種法を用いた類似画像検索規準の学習, 電子情報通信学会技術報告HIP96-4, pp.17-22 (1996)

[北野 93]

北野宏明 編: 遺伝的アルゴリズム, 産業図書 (1993)

[北野 96]

北野宏明 編著: 遺伝的アルゴリズム 2, 産業図書 (1995)

[岸]

岸義樹, 小井土智, 柴田和人: GA を用いた番地型変数配置による述語の帰納的学習, 人工知能学会誌, Vol.11, No.4, pp.608-618 (1996)

[桐山 91]

桐山孝司, 富山哲男, 吉川弘之: 設計対象モデル統合化のためのメタモデルの研究, 人工知能学会誌, Vol.6, No.3, pp.426-435 (1991)

[桐山 92a]

桐山孝司, 塩原尚, 光山莊志, 大谷邦明, 富山哲男, 吉川弘之: 概念設計のための
フィジカル・フィーチャーの研究 (第5報), 1992年度精密工学会春季大会学術
講演会講演論文集, p.123-124 (1992)

[桐山 92b]

桐山孝司, 富山哲男, 吉川弘之: 設計対象知識の体系化 (第1報), 1992年度精
密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, p.53-54 (1992)

[北浜]

北浜謙一: トータルエネルギー評価による情報基盤整備の最適化に関する研究, 東京
大学大学院修士論文 (1994)

[小山 96]

小山周三: 生活を支える産業システムの変容, サステナブル社会への道筋, pp.97-
127, 東洋経済社 (1996)

[小山 97]

小山謙二, 河野泰人: 名作詰将棋における感性の定量的評価, 情報処理学会論文誌,
Vol.35, No.11, pp.2338-2346 (1997)

[小林 91]

小林盛太: 建築美を科学する, 彰国社 (1991)

[小島]

小島隆矢: 個人差を把握する印象評価手法, 印象の工学ワークショップ予稿集,
pp.51-54 (1996)

[Kochar]

S.Kochar, M.Friedell: User Control in Cooperative Computer Aided Design, Proceed-
ing of the ACM Symposium of User Interface Software and Technology, pp.143-151,
ACM Press (1990)

[Koza94]

J.R.Koza: Genetic Programming, The MIT Press (1992)

[Koza96a]

J.R.Koza: Genetic Programming 2, The MIT Press (1994)

[Koza96b]

John R. Koza, David Andre, Forrest H Bennett III, Martin A. Keane: Use of Auto-
matically Defined Function and Architecture-Altering Operations in Automated Circuit
Synthesis with Genetic Programming, Proceedings of GP96, pp.132-140 (1996)

[Koza97]

John R. Koza, Forrest H Bennett III, Jason Lohn, Frank Dunlap, Martin A. Keane,
David Andre: Use of Architecture-Altering Operations to Dynamically Adapt a Three-
Way Analog Source Identification Circuit to Accommodate a New Source, Proceed-
ings of GP97, pp.213-221 (1997)

[久保田 95]

久保田晃弘, 藤井浩美: 異分野コラボレーション, ジャストシステム (1995)

[久保田 97a]

久保田晃弘: デザイン行為の言語化-ナレッジスケープ宣言, SD9704, pp.74-79, 鹿島出版会 (1997)

[久保田 97b]

久保田晃弘: モデルの美, オブジェクトの美, InterCommunication, No.22, pp.32-38 (1997)

[窪田 92]

窪田敦之, 田浦俊春, 吉川弘之: 機能空間の距離に注目した概念設計モデル (GAによる内部機能構造の操作), 日本機械学会第2回設計工学・システム部門講演会論文集, pp.74-77, (1992)

[窪田 94a]

窪田敦之, 田浦俊春: 設計における行動知識の研究 (第一報) 1994年度精密工学会春季大会学術講演会論文集 pp.243-244

[窪田 94b]

窪田敦之, 田浦俊春, 上田浩行, 川口忠雄: 設計における行動知識の研究 (第2報) 1994年度精密工学会春季大会学術講演会論文集 pp.363-364

[窪田 95a]

窪田敦之, 田浦俊春: エンジニアリングヒストリベースの研究 (第一報) 1995年度精密工学会春季大会学術講演会論文集 pp.1-2

[窪田 96a]

窪田敦之, 田浦俊春, 河野義規, 内田貫之: エンジニアリング知識メディアの研究 (第1報), 1996年度精密工学会春季大会学術講演会論文集 pp.7-8

[窪田 96b]

窪田敦之, 田浦俊春: エンジニアリングコラボレーションメディアの研究 (第1報) 1996年度精密工学会秋季大会学術講演会論文集 pp.1-2

[窪田 97]

窪田敦之: エンジニアリングコラボレーションメディアの研究 (第一報), 精密工学会誌, Vol.63, No.1, pp.50-54 (1997)

[クロフォード]

クリス・クロフォード: コンピュータゲームデザインから学ぶ, 人間のためのコンピューター - インターフェースの発想と展開, pp.103-113, アジソンウェスレイ・トッパン (1994)

[黒崎]

黒崎政男: コンピュータには何ができないか -H.L.ドレイファスの場合-, 人工知能学会誌, Vol.2, No.4, pp.24-246 (1987)

[黒瀬]

黒瀬能津, 矢野米雄, 富田豊:自由曲線・曲面の創成を支援するCAD学習システムの構築と評価, 情報処理学会論文誌, Vol.37, No.11, pp.2001-2009 (1997)

[近藤 92]

近藤学, 東正毅:曲面の基本的性質の解明と美的意匠曲面の評価, 1992年度精密工学会春季大会学述講演会講演論文集, pp.829-830 (1992)

[國藤 86]

國藤進, 鶴巻宏治, 古川康一:仮説選定機構の一実現法, 人工知能学会誌, Vol.1, No.2, pp.70-78 (1986)

[國藤 87]

國藤進:仮説推論, 人工知能学会誌, Vol.2, No.1, pp.22-29 (1987)

[國藤 93]

國藤進:発想支援システムの研究開発動向とその課題, 人工知能学会誌, Vol.8, No.5, pp.552-559 (1993)

[國藤 97]

國藤進:発想支援システム, 人工知能学会誌 Vol.12, No.3, pp.476 (1997)

[川]

[ローレル 92]

B.ローレル:劇場としてのコンピュータ, アジソンウェスレイ・トッパン (1992)

[ローレル 94]

B.ローレル編:人間のためのコンピューター - インターフェースの発想と展開, アジソンウェスレイ・トッパン (1994)

[m]

[松原 88]

松原仁, 坂上勝彦, 横矢直和, 山本和彦:概念学習を題材とした画像理解と記号処理の統合の試み, 人工知能学会誌, Vol.3, No.5, pp.572-580 (1988)

[松原 87]

松原仁, 山本和彦:フレーム問題について, 人工知能学会誌, Vol.3, No.2, pp.266-272 (1987)

[松原 97]

松原仁:Deep Blueの勝利が人工知能にもたらすもの, 人工知能学会誌, Vol.12, No.5, pp.698-703 (1987)

[松田]

松田勝志, 新名博, 溝口理一郎:設計例の理解に基づく知識獲得インタビューシステム, 人工知能学会誌, Vol.7, No.6, pp.1038-1048 (1992)

[松田 88]

松田哲史, 石塚満: 仮説推論システムの拡張知識表現と概念学習機構, 人工知能学会誌, Vol.3, No.1, pp.94-102 (1988)

[松本 93]

松本幹雄, 富山哲男, 吉川弘之, 桐山孝司: 概念設計支援のための物理推論 (第6報), 1993年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, p.283-284 (1993)

[松山 96]

松山隆司: 感性情報処理のパラダイム, 感性の科学, pp.10-44, サイエンス社 (1996)

[松山 94]

松山隆司: 代数的制約記述に基づく感性情報の表現と処理, 情報処理学会グラフィックスとCADシンポジウム, pp.29-40 (1994)

[増井 93]

増井俊之, 中山健: 操作の繰り返しを利用した予測インターフェースの統合, インタラクティブシステムとソフトウェアI, pp.225-232, 近代科学社 (1993)

[増井 94]

増井俊之: 進化的学習機構を用いたグラフ配置制約の自動抽出, インタラクティブシステムとソフトウェアII, pp.195-204, 近代科学社 (1993)

[Masui]

T.Masui: Evolutionary Learning of Graph Layout Constraints form Examples, In Proceedings of the ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST'94), pp.103-108, ACM Press (1994)

[見田]

見田宗介, 橋爪大三郎: 情報化/消費化社会に未来はあるか, InterCommunication, No.22, pp.130-140, NTT出版 (1997)

[三宅 91]

三宅芳雄: 理解と知識, 人工知能学会誌, Vol.6, No.6, pp.834-842 (1991)

[溝口 95]

溝口: 知的教育システム, 情報処理, Vol.36, No.2, pp.177-186 (1995)

[三井 94]

三井秀樹: テクノロジーアート, 青土社 (1994)

[三井 96]

三井秀樹: 美の構成学, 中公新書 (1996)

[三末]

三末和男, 杉山公造: 図的思考を目的として図の多視点遠近画法について, 情報処理学会論文誌, Vol.32, No.8, pp.998-1005 (1991)

[三末]

三末和男, 杉山公造: 図的発想支援システム D-ABDUCTOR の操作性の評価, 情報処理学会論文誌, Vol.37, No.1, pp.133-143 (1991)

[宮崎]

宮崎隆之, 萩原将文: 感性を反映できるポスター作成支援システム, 情報処理学会論文誌, Vol.38, No.10, pp.1928-1936 (1997)

[溝手 94]

溝手裕二, 塩原尚, 富山哲男, 桐山孝司: 設計対象知識の体系化 (第4報), 1994年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, p.235-236 (1994)

[茂木 96]

茂木重満, 劉挺, 加納顕也, 北嶋克寛: ファッションデザイナ支援システムの開発 (第一報), 1996年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, pp.355-356 (1996)

[茂木 97]

茂木重満, 劉挺, 加納顕也, 北嶋克寛: ファッションデザイナ支援システムの開発 (第二報), 1997年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp.33-34 (1997)

[森]

森典彦: 形態設計のための発想支援システム, 日本学術会議第1回感性工学シンポジウム, pp.63-70 (1995)

[元田 88]

元田浩: 学習と知識獲得技術の新展開について, 人工知能学会誌, Vol.3, No.6, pp.690-694 (1988)

[元田 97]

元田浩, 鷲尾隆: 機械学習とデータマイニング, 人工知能学会誌, Vol.12, No.4, pp.505-512 (1997)

[三輪]

三輪和久, 杉江昇, 織田守矢: 人間の個別的思考過程を記述する情報处理的モデルの実現法, 人工知能学会誌, Vol.6, No.1, pp.105-116 (1988)

[宮下]

宮下健, 松岡聡, 高橋伸, 米澤明憲: 複数の視覚的例による直接操作インターフェースの対話的实现, インタラクティブシステムとソフトウェア1, pp.241-248, 近代科学社 (1993)

[Miyashita]

K.Miyashita, S.Matsuoka, S.Takahashi, A.Yonezawa: Interactive Generation of Graphical User Interfaces by Multiple Visual Examples, In Proceedings of the ACM Symposium on User Interface Software and Technology(UIST'94), pp.85-94, ACM Press (1994)

[溝口 88]

溝口理一郎, 角所収: 知識獲得支援システム, 人工知能学会誌, Vol.3, No.6, pp.732-740 (1988)

[村上]

村上陽一郎：地球家政学の構想，技術知の射程，pp.119-128，東京大学出版会（1997）

[村山]

村山久美子：視覚芸術の心理学，誠信書房（1988）

[Myers]

B.A.Mysers, R.G.McDaniel, D.S.Kosbie : Marquise:Creating Complete User Interfaces by Demonstration, Proceeding of ACM INTERCHI'93 Conference on Human Factors in Computing Systems, Addison-Wesley, pp.293-300 (1993)

[n]

[長町 88]

長町三生：感性工学，海文堂（1988）

[長町 93]

長町三生：感性商品学 - 感性工学の基礎と応用，海文堂（1993）

[長坂 96a]

長坂一郎，山岸淳，田浦俊春：意匠デザインのための3D形状モデル（第1報），精密工学会誌，Vol.62, No.11, pp.1567-1571（1996）

[長坂 97a]

長坂一郎，山岸淳，田浦俊春：意匠デザインのための3D形状モデル（第2報），精密工学会誌，Vol.63, No.2, pp.193-197（1997）

[長坂 97b]

長坂一郎，田浦俊春，山岸淳，生成ルールに注目した3D形状モデルに基づく設計支援（第1報）1997年度精密工学会秋季大会学術講演会論文集 pp.29-30

[長坂 97c] 長坂一郎，山岸淳，田浦俊春：意匠デザインのための3D形状モデル（第2報）

[Nagasaka97d]

Ichiro Nagasaka, Toshiharu Taura : 3D Geometric Representation for Shape Generation using Classifier System, Proceedings of GP 97, pp.515-520, MIT Press (1997)

[中川 88]

中川聖一，中西宏文，古部好計，板橋光義：視聴覚情報の統合化に基づく概念の獲得，人工知能学会誌，Vol.8, No.4, pp.499-508（1988）

[中川 95]

中川聖一，升方幹雄：視聴覚情報の統合化に基づく概念と文法の獲得システム，人工知能学会誌，Vol.10, No.4, pp.619-627（1995）

[中島秀 97]

中島秀人：発明とは何か，技術知の本質，pp.29-52，東京大学出版（1997）

[中島昌]

中島昌也：製造業における設計知の伝承と人工物工学、精密工学会誌 Vol.61, No.4 (1995)

[中島誠]

中島誠、葉玲如、伊藤哲郎：決定木による階層属性を用いた概念の帰納学習、人工知能学会誌、Vol.10, No.1, pp.141-146 (1995)

[中西 95]

中西泰人、月尾嘉男：進化システムのデザイン支援システムへの応用、第11回 NICOGRAPH 論文集、p.80-89 (1995)

[中西 96a]

中西泰人：合成された審美観関数によるデザイン支援システムの定性的評価、第14回設計シンポジウム講演論文集、p.159-165 (1996)

[Nakanishi96b]

Yasuto Nakanishi : Applying Evolutionary Systems to Design Aid System, ALIFE V, Poster Presentations, pp.147-154, May (1996)

[Nakanishi96c]

Yasuto Nakanishi : Capturing Preference into a Function Using Interactions with a Manual Evolutionary Design Aid System, Genetic Programming 96 Late Breaking Papers, pp.133-140 (1996)

[中西 97a]

中西泰人：ネットワークと都市デザイン-制作者の視点から、情報処理学会研究報告、Vol.97, No.62, pp.1-6 (1997)

[中西 97b]

中西泰人：感性情報処理と遺伝的プログラミング、Computer Today, No.83, pp.40-45 (1998)

[仁木]

仁木和久、石崎俊：概念の帰納的学習、人工知能学会誌、Vol.3, No.6, pp.695-703 (1988)

[新妻]

新妻清三郎、伊藤正比呂：仮説生成に基づく分散型問題解決、人工知能学会誌、Vol.4, No.3, pp.94-103 (1989)

[西本 94]

西本一志、安部伸治、宮里勉、岸野文郎：発散的思考支援を目的とする関連性と異質性を併せ持つ情報の抽出手法の検討、人工知能学会誌 Vol.11, No. 6, pp.896-904 (1994)

[西岡]

西岡文彦：デザインの読み方、宝島社 (1992)

[西山]

西山晴彦、大久保達真、松下温：Picnyck:風景描写文から風景写像の創造、情報処理

学会論文誌, Vol.38, No.5, pp.997-1007 (1997)

[野口]

野口尚孝: クロス推論モデルを用いた工業デザイン発想支援システムの試み, 精密工学会誌, Vol.60, No.2, pp.285-289

[野中]

野中郁次郎: 知識創造の経営, 日本経済新聞社 (1990)

[ノーマン 90]

D.A. ノーマン: 誰の為のデザイン, 新曜社 (1990)

[ノーマン 96]

D.A. ノーマン: 人を賢くする道具, 新曜社 (1996)

[沼尾 88]

沼尾正行: 説明に基づく学習・領域固有の知識を用いたアプローチ, 人工知能学会誌, Vol.3, No.6, pp.704-711 (1988)

[沼尾 92]

沼尾正行: 機械学習の主なパラダイムと現状, 人工知能学会誌, Vol.7, No.1, pp.6-9 (1992)

[沼尾 94]

沼尾正行: 複数の情報媒体を用いた学習-多戦略学習とその情報源による分析-, 人工知能学会誌, Vol.9, No.6, pp.837-842 (1994)

[沼尾 97a]

沼尾正行: 帰納論理プログラミングの応用, 人工知能学会誌, Vol.12, No.5, pp.31-36 (1997)

[Numao97b]

M.Numao, M.Kobayashi, K.Sakaniwa: Acquisition of human feelings in music arrangement, Proceedings of IJCAI97, Morgan Kaufman Publishers (1997)

[沼尾 97c]

沼尾正行, 清水周一: 流通業におけるデータマイニング, 人工知能学会誌, Vol.12, No. 4, pp.528-535 (1997)

[布引]

布引雅之, 長谷川素由, 奥田孝一, 濱田良隆: 工作機械設計における形式決定のAHPの応用に関する研究, 1995年度精密工学会春季大会講演会講演論文集, pp.7-8 (1995)

[Nguyen]

Thang Nguyen, Thomas Huang: Evolvable 3D Modeling for Model-Based Object Recognition Systems, Advances in Genetic Programming, pp.459-475, MIT Press (1994)

[0]

[落田 97]

落田美紀, 行松徹, 堀聡, 滝寛和: 製造業におけるデータマイニングの応用と課題, 人工知能学会誌, Vol.12, No. 4, pp.544-549 (1997)

[織田 97]

織田孝一: ただ, 量産のためでなく・日本精機に見る, 次世代「技術立国」の可能性, WIRED, Vol.4, No.1, pp.66-70, 同朋舎 (1997)

[岡田]

岡田美智男: 口ごもるコンピュータ, 共立出版 (1995)

[大川]

大川剛直, 山口尚吾, 馬場口登, 手塚慶一: 適応的仮説選択による対話型概念学習, 人工知能学会誌, Vol.7, No.2, pp.108-115 (1992)

[大沢]

大沢光, 河内十郎, 下原勝憲, 須永剛司, 羽根義: 感性・人間・コンピュータ, 富士通ブックス (1995)

[折原]

折原良平: 発散的思考支援ツールの研究開発動向, 人工知能学会誌, Vol.8, No.5, pp.560-567 (1993)

[O'Reilly96a]

Una-May O'Reilly: Investigating the Generality of Automatically Defined Functions, Proceedings of GP96, pp.351-356 (1996)

[O'Reilly96b]

Una-May O'Reilly, F.Oppacher: A Comparative Analysis of Genetic Programming, Advances in Genetic Programming 2, pp.23-44, The MIT Press (1996)

<http://www.ai.mit.edu/people/unamay/unamay.html>

[押井]

押井守: 映像の中のリアリティ, WIRED, Vol.3, No.2, pp.48, 同朋舎 (1997)

[p]

[Pagliarini]

Luigi Pagliarini, Henrik Hautop Lund, Orazio Miglino and Domenico Parisi, Artificial Life: A New Way to Build Educational and Therapeutic Games, in Proceedings ALIFE V, MIT Press, pp.152-156 (1996)

[バステルナーク]

ギタ・ベシス・バステルナーク: デカルトなんかいない?, 産業図書 (1993)

[ベンローズ]

R.ベンローズ: 皇帝の新しい心, みすず書房 (1994)

[ペバーズ]

ドシ・ペバーズ、マーサ・ロジャーズ：ONE to ONE マーケティング、ダイヤモンド社（1995）

[ベトロスキー]

H.ベトロスキー：フォークの歯はなぜ四本になったか、平凡社（1995）

[ビカード]

ロザリンド.W.ビカード：HALはデジタルの涙をながすか？-感情とコンピュータ、HAL伝説, pp.311-336, 早川書房（1997）

[Poli]

Ricardo Poli, Sefano Cangoni : Genetic Programming with User-Driven Selection: Experiments on the Evolution of Algorithms for Image Enhancement, Proceedings of GP 97, pp.269-277（1997）

[pointcast]

<http://www.pointcast.com>

[ボランニー]

M.ボランニー：暗黙知の次元-言語から非言語へ、紀伊国屋書店（1980）

[q]

[r]

[歴本]

岡正明、歴本純一：拡張する実空間, SD9704, pp.124-125, 鹿島出版会（1997）

[Rosca]

<ftp://ftp.cs.rochester.edu/pub/u/rosca/gp/jrphdd.ps.gz>

<http://www.cs.rochester.edu:80/u/rosca/research.html>

[ロウ]

P.G.ロウ：デザインの思考過程、鹿島出版会（1990）

[s]

[佐伯 86]

佐伯胖：認知科学の方法、東京大学出版会（1986）

[坂本]

坂本龍一（インタビュー）：音楽と映像の弁証法, WIRED, Vol.3, No.2, pp.98-102, 同朋舎（1997）

[坂和 86]

坂和正敏：非線形システムの最適化、森北出版（1986）

[坂和 95]

坂和正敏、田中雅博：遺伝的アルゴリズム、朝倉書店（1995）

[桜井]

桜井明, 菅野敬祐, 吉村和美, 高山文雄: Cによるスプライン関数, 東京電機大学出版局 (1993)

[桜井成]

桜井成一朗, 志村正道: 算術問題解答システムにおける学習, 人工知能学会誌, Vol.2, No.1, pp.100-106 (1987)

[サイモン]

ハーバート A. サイモン: システムの科学, パーソナルメディア (1987)

[斎藤]

斎藤豪: 高度情報化社会のトータルエネルギーによる評価についての研究, 東京大学大学院修士論文 (1995)

[斎藤 93]

斎藤剛, 東正毅, 岡本福興: 曲面稜線による美的意匠曲面の解析と創成 (第2報), 1993年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp.663-664 (1993)

[斎藤 93]

斎藤剛, 東正毅, 岡本福興: 曲面稜線による美的意匠曲面の解析と創成 (第3報), 1993年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, pp.449-450 (1993)

[斎藤 94]

斎藤剛, 東正毅, 岡本福興: 曲面稜線による美的意匠曲面の解析と創成 (第4報), 1994年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, pp.603-604 (1994)

[篠原]

篠原昭, 清水義雄, 坂本博: 感性工学への招待, 森北出版 (1996)

[佐々木 94]

佐々木正人: アフォーダンス-新しい認知の理論, 岩波科学ライブラリー (1994)

[佐藤 97]

佐藤寛: 或る文明の終曲-知性と感性をめぐって(その一), Computer Today, No.78, pp.65-73, サイエンス社 (1997)

[瀬木]

瀬木慎一: 名画はなぜ心を打つか-感性にひそむ論理を探る, 講談社 (1992)

[関谷 95]

関谷貴之, 石井理貴, 富山哲男: 知識集約型のエンジニアリング環境の構築 (第2報), 1995年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp.11-12 (1995)

[関谷 96]

関谷貴之, 富山哲男: 知識集約型のエンジニアリング環境の構築 (第3報), 1996年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp.541-542 (1996)

[関谷 97]

関谷貴之, 富山哲男: 知識集約型のエンジニアリング環境の構築 (第4報), 1997年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp.887-888 (1997)

[品川]

品川嘉也：脳は創造性をどう引き出すのか，大和書房（1994）

[下村 94a]

下村芳樹，谷川貞夫，武田英明，大道憲哉，梅田靖，富山哲男：機能量に基づく機能表現（第三報），1994年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集，p.227-228（1994）

[下村 94b]

下村芳樹，谷川貞夫，武田英明，大道憲哉，梅田靖，富山哲男：機能量に基づく機能表現（第四報），1994年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集，p.375-376（1994）

[下村 95]

下村芳樹，谷川貞夫，武田英明，大道憲哉，梅田靖，富山哲男：機能量に基づく機能表現（第五報），1994年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集，p.15-16（1995）

[塩原 92]

塩原尚，富山哲男，吉川弘之，桐山孝司：概念設計のためのフィジカル・フィーチャーの研究（第6報），1992年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集，p.55-56（1992）

[塩原 93]

塩原尚，富山哲男，吉川弘之，桐山孝司：設計対象知識の体系化（第2報），1993年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集，p.279-280（1993）

[塩原 93]

塩原尚，溝手裕二，富山哲男，桐山孝司：設計対象知識の体系化（第3報），1993年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集，p.29-30（1993）

[塩原 93]

塩原尚，溝手裕二，富山哲男，桐山孝司：設計対象知識の体系化（第5報），1994年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集，p.237-238（1993）

[Sims91]

K.Sims：Artificial Evolution for Computer Graphics，Computer Graphics，Vol.25，No.4，pp.319-328（1991）

[Sims93]

K.Sims：Interactive evolution of equations for procedural models，The Visual Computer(1993)9，pp.466-476，Springer-Verlag（1993）

[Sims94]

K.Sims：Evolving 3D Morphology and Behavior by Competition，in Proceedings of the ALIFE IV，pp.28-37，July（1994）

[Sims96]

http://www.ntticc.or.jp/permanent/karl/karl_j.html

[Smith91]

Joshua R. Smith, Designing Biomorphs with an Interactive Genetic Algorithm, in Proceedings of the Fourth International Conference on Genetic Algorithms, Morgan Kaufmann Publisher, pp.535-538 (1991)

[Sommerer]

Christa Sommerer, Laurent Mignonneau: "A-Volve" an evolutionary artificial life environment, Proceedings ALIFE V, pp.167-175, MIT Press (1997)

[スティーヴンス]

ピーター・スティーヴンス: 自然のパターン 形の生成原理, 白揚社 (1987)

[菅沼]

菅沼義昇: 対象間の差異による学習と知識構造, 人工知能学会誌, Vol.7, No.1, pp.87-104 (1992)

[角94]

角康之, 堀浩一, 大須賀節雄: テキスト・オブジェクトを空間配置することによる思考支援システム, 人工知能学会誌, Vol.9, No. 2, pp.139-147 (1994)

[角96]

角康之, 西本一志, 間瀬健二: 人間・機械系による創造・発想支援ツールの位置づけ, 人工知能学会研究会資料, SIG-HOT/PPAI-9603-2, pp.7-12 (1996)

[須永91]

須永剛司: デザイナーのイメージ, イメージング 表象・創造・技能, pp.12-39, サイエンス社 (1991)

[須永97]

須永剛司: 出来事のデザインと人工物の「かたち」, 技術知の射程, pp.181-207, 東京大学出版会 (1997)

[杉本93]

杉本雅則, 堀浩一, 大須賀節雄: 設計問題への発想支援システムへの応用と発想過程のモデル化の試み, 人工知能学会誌 Vol.8, No. 5, pp.568-574 (1993)

[鈴木]

鈴木宏昭: 類似と思考, 共立出版 (1996)

[田]

[田淵94]

田淵真, 田浦俊春, 菊池登志郎, 川口忠雄: 人とシステムの共進化に関する研究 (第1報) -GPを用いたき糞分類アルゴリズムの生成, 1994年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, pp.243-244 (1994)

[田淵96]

田淵真, 田浦俊春: 遺伝的学習機構と人との対話型知識獲得手法, 人工知能学会誌,

Vol.11, No.4, pp.600-607 (1996)

[立花 97]

立花隆照, 中須賀真一, 堀浩一: 内省を助け設計にともなう学習を促進する設計支援システム実現に向けて, 人工知能学会研究会資料, SIG-IES-9701-4, pp.19-24 (1997)

[高寺]

高寺政行: ファッションと感性, 感性工学への招待, pp.150-165, 森北出版 (1996)

[高木 96]

高木英行, 大宅喜美子: 対話型 G A の入力インタフェース改善方法とその評価, 電子情報通信学会総合大会, D-156, pp.156 (1996)

[高間]

高間康史, 土肥浩, 石塚満: 擬人化エージェントにおける音声対話を通じての協調的応答戦略の自動学習, 人工知能学会誌, Vol.12, No. 3, pp.456-465 (1997)

[武田 92]

武田英明, 富山哲男, 吉川弘之: 設計過程の計算可能モデルと設計シミュレーション, 人工知能学会誌, Vol.7, No.5, pp.877-887 (1992)

[滝 91]

滝寛和, 寺崎智: 提案誘導型知識獲得支援システム, 人工知能学会誌, Vol.6, No.5, pp. 725-733 (1991)

[滝 94]

滝寛和: 構成的帰納学習とバイアス, 人工知能学会誌, Vol.9, No.6, pp. 818-822 (1994)

[高梨]

高梨隆雄: 美的設計方法論, 第 15 回設計シンポジウム講演論文集, pp.38-43 (1997)

[田中 92]

田中正夫, 平俊男: 構造物の概念設計における感覚的評価: 事例知識の設計支援への利用, 日本機械学会機械力学・計測制御講演論文集, Vol.A, pp.411-414 (1992)

[田中 93]

田中正夫, 平俊男: 設計候補生成における遺伝的アルゴリズム的ゆらぎの利用 (構造物の概念設計を例として), 日本機械学会第 3 回設計工学・システム部門講演論文集, pp.52-56 (1993)

[田中 94a]

田中正夫, 平俊男: 設計事例に基づく候補生成: 遺伝的操作によるアルゴリズムの提案, 日本機械学会第 4 回設計工学・システム部門講演論文集, pp.415-419 (1994)

[田中 94b]

田中正夫, 平俊男: 構造物の概念設計のための事例の感覚的評価と候補生成, 日本

機械学会論文集 (C編), Vol.60, No.570, pp.155-160 (1994)

[田中 95]

田中正夫, 平俊男: 構造物の概念設計における遺伝子的事例ベース, システム制御情報学会論文誌, Vol.8, No.9, pp.458-465 (1995)

[田中雅]

田中雅博: 遺伝的アルゴリズム, Computer Today, No.81, pp.41-49, サイエンス社 (1997)

[田浦 91a]

田浦俊春, 吉川弘之: 距離の導入による知的設計支援方法論の構築 (第1法), 精密工学会誌, Vol.57, No.4, pp.??-?? (1991)

[田浦 91b]

田浦俊春, 吉川弘之: 距離の導入による知的設計支援方法論の構築 (第2法), 精密工学会誌, Vol.57, No.10, pp.??-?? (1991)

[田浦 97]

田浦俊春: プロセス指向エンジニアリング技法の提唱, 第15回設計シンポジウム講演論文集, pp.33-37 (1997)

[田浦 95]

田浦俊春: エンジニアリングにおける知と人工物工学, 精密工学会誌, Vol.61, No.4, pp.477-480 (1995)

[田浦 97c]

田浦俊春: プロセス情報に注目した設計開発支援, 技術知の本質, pp.161-188, 東京大学出版会 (1997)

[寺田]

寺田寅彦: 柿の種, 岩波文庫

[Terano95]

Takao Terano, Youko Ishino, Kazuyuki Yoshinaga: Integrating Machine Learning and Simulated Breeding Techniques to Analyze the Characteristics of Consumer Goods. Evolutionary Algorithms in Management Applications, pp. 211-224, Springer-Verlag (1995)

[Terano96]

Takao Terano, Youko Ishino: Knowledge Acquisition from Questionnaire Data Using Simulated Breeding and Inductive Learning Methods, Expert Systems with Applications, Vol.11, No.4, pp.507-518 (1996)

[寺野 97]

寺野隆雄: KDDツールの動向と課題, 人工知能学会誌, Vol.12, No. 4, pp.521-527 (1997)

[富山]

富山哲男: Refinement設計過程モデル, 1995年度精密工学会春季大会学術講演

会講演論文集, pp.3-4 (1995)

[トムソン]

ダーシー・トムソン:生物のかたち, 東京大学出版 (1973)

[戸松]

戸松豊和:Java プログラムデザイン, SOFTBANK BOOKS (1997)

[刀根]

刀根薫, 真鍋龍太郎 編:階層化意思決定法 AHP 事例集, 日科技連 (1990)

[月尾 93]

月尾嘉男:贅沢の創造, PHP 研究所 (1993)

[月尾 96]

月尾嘉男編:サステナブル社会への道筋, 東洋経済社 (1996)

[辻]

辻三郎 編:感性の科学, サイエンス社 (1996)

[辻野 92]

辻野克彦, 西田正吾:機能学習と演繹的説明づけに駆動された知識獲得システム,
人工知能学会誌, Vol.7, No.1, pp.149-159 (1992)

[辻野 94]

辻野克彦, 西田正吾:知識獲得技術の最近の動向, 計測と制御, Vol.33, No.9, pp.776-785 (1994)

[鶴田 92]

鶴田三郎, 石塚満:発想的仮説生成のための述語論理知識ベースのコンパイル法,
人工知能学会誌, Vol.7, No.1, pp.130-138 (1992)

[u]

[植田]

植田和弘, 石川雅紀, 奥田栄, 出口弘, 浜本光紹, 藤崎成昭, 細田衛士:新しい産業と社会システム, 日科技連 (1997)

[上野]

上野晴樹:エキスパート・システム -研究動向と技術的課題, 人工知能学会誌 Vol.1,
No.1, pp.48-56 (1986)

[上坂]

上坂吉則:開曲線にも適用できる新しいフーリエ記述子, 電子情報通信学会技術報告 PRL83-43, pp.53-44

[梅田 93]

梅田靖, 吉岡真治, 富山哲男, 吉川弘之:FBS ダイアグラムに基づく概念設計支援手法の提案, 1993年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, p.291-292 (1993)

[梅田 93]

梅田靖, 吉岡真治, 富山哲男, 吉川弘之: FBS ダイアグラムに基づく概念設計支援 (第2報), 1994年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, p.371-372 (1994)

[畝見 93]

畝見 達夫: 模擬育種法とその応用, システム制御情報学会 セミナー「遺伝アルゴリズム/ニューラルネット/ファジィの新しい展開を探る」, pp.101-110 (1993)

[畝見 94a]

畝見 達夫: 遺伝的アルゴリズムとコンピュータグラフィックスアート, 人工知能学会誌, Vol.9, No.4, pp.518-523 (1994)

[畝見 94b]

畝見 達夫: 人工生命が作ったアートの世界 - 人工生命とコンピュータグラフィックス, 人工生命の近未来 - 新たな生を作るテクノロジー, 時事通信社 (1994)

[畝見 94c]

畝見 達夫: 品種改良でCG画像を作る模擬育種システム, Computer Today, No.64, pp.76-82 (1994)

[畝見 92]

畝見達夫: 例に基づく強化学習法, 人工知能学会誌, Vol.7, No.4, pp.697-707 (1992)

[内海 93a]

内海彰, 堀浩一, 大須賀節雄: 自然言語処理のための形容詞の意味表現, 人工知能学会誌, Vol.8, No.2, pp.192-200 (1993)

[内海 93b]

内海彰, 堀浩一, 大須賀節雄: 比喩を含む言語表現の理解 - 形容詞・名詞句と隠喩, 人工知能学会誌, Vol.8, No.2, pp.201-211 (1993)

[v]

[ベンヤミン]

ヴァルター・ベンヤミン: 複製技術時代の芸術, 複製技術時代の芸術, pp.7-59, 晶文社(1970)

[Ventrella94]

Jeffrey Ventrella: Explorations in the Emergence of Morphology and Locomotion Behavior in Animated Characters, in Proceedings of the ALIFE IV, pp.436-441, July (1994)

[w]

[渡辺 94]

渡辺茂：認知の起源をさぐる，岩波科学ライブラリー（1994）

[和辻]

和辻哲朗：風土，岩波文庫

[World]

Linda World：Aesthetic Selection：The Evolutionary Art of Steven Rooke，IEEE Computer Graphics and Applications，16(1)，pp.4-5，January（1996）

[y]

[柳生知]

柳生知彦，久森芳彦，八木康史，谷内田正彦：配色支援システムにおける好みの獲得と迷いの解消，信学論A，vol.J79-A，no.2，pp.261-270（1996）

[柳生孝97]

柳生孝昭：設計プロセスの圏論的モデル，技術知の位相，pp.127-143，東京大学出版会（1997）

[柳生孝97]

柳生孝昭：設計から見たアブダクション，技術の本質，pp.135-58，東京大学出版会（1997）

[山田]

山田，溝口，原田：質問応答システムにおけるユーザ発話モデルと協調的応答の生成，情報処理学会論文誌Vol.35，No.11，pp.2265-2275（1997）

[山田誠]

山田誠二：適応エージェント，共立出版（1997）

[山岸]

山岸淳，田浦俊春，長坂一郎：エンジニアリング知識メディアの研究（第2報），1996年度精密工学会春季大会学術講演会論文集，pp.9-10（1996）

[山口]

山口高平：機械学習と知識獲得，人工知能学会誌，Vol.7，No.1，pp.10-12（1992）

[山村]

山村雅幸，小林重信：遺伝的アルゴリズムの工学的応用，人工知能学会誌Vol.9，No.4，pp.506-511（1994）

[山本97]

山本章博：帰納論理プログラミングの基礎理論，人工知能学会誌，Vol.12，No.5，pp.13-22（1997）

[谷内田]

谷内田正彦：カラーコーディネート支援システム，感性情報処理のパラダイム，感性の科学，pp.179-181，サイエンス社（1996）

[吉田92]

吉田豊, 桐山孝司, 富山哲男, 吉川弘之: 概念設計支援のための物理推論 (第5報), 1992年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, p.125-126 (1992)

[吉川 87]

吉川弘之: 一般設計学, 人工知能学会誌, Vol.3, No.2, pp.273-280 (1987)

[吉川 93]

吉川弘之: テクノグローブ, 工業調査会 (1993)

[吉川 95]

吉川弘之: 人工物工学, 精密工学会誌, Vol.61, No.4, pp.465-468 (1995)

[吉川 97]

吉川弘之, 田浦俊春: 一般設計学のプロセス知, 技術知の位相, pp.91-106, 東京大学出版会 (1997)

[吉岡 92a]

吉岡真治, 富山哲男, 吉川弘之: 設計過程知識の体系化 (第1報), 1992年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, p.59-60 (1992)

[吉岡 92b]

吉岡真治, 富山哲男, 吉川弘之: 設計過程知識の体系化 (第2報), 1992年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, p.60-61 (1992)

[吉岡 93a]

吉岡真治, 小川康雄, 富山哲男, 吉川弘之: 設計過程知識の体系化 (第3報), 1993年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, p.281-282 (1993)

[吉岡 95a]

吉岡真治, 富山哲男: 設計過程知識の体系化 (第4報), 1995年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, p.281-282 (1995)

[吉岡 95a]

吉岡真治, 富山哲男: 設計過程知識の体系化 (第5報), 1996年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, p.5-6 (1996)

[吉岡 93b]

吉岡真治, 石井理貴, 梅田靖, 富山哲男: FBSダイアグラムに基づく概念設計支援 (第1報), 1993年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, p.25-26 (1993)

[吉岡 94b]

吉岡真治, 石井理貴, 梅田靖, 富山哲男: FBSダイアグラムに基づく概念設計支援 (第2報), 1994年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, p.371-372 (1994)

[吉岡 94c]

吉岡真治, 石井理貴, 梅田靖, 富山哲男: FBSダイアグラムに基づく概念設計支援 (第3報), 1994年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, p.373-374 (1994)

[吉岡 94d]

坂尾知彦, 梅田靖, 富山哲男: FBSダイアグラムに基づく概念設計支援 (第5報),
1997年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, p.893-894 (1997)

[湯田]

湯田彰夫: 感性と心理学, 感性工学への招待, pp.80-93, 森北出版 (1996)

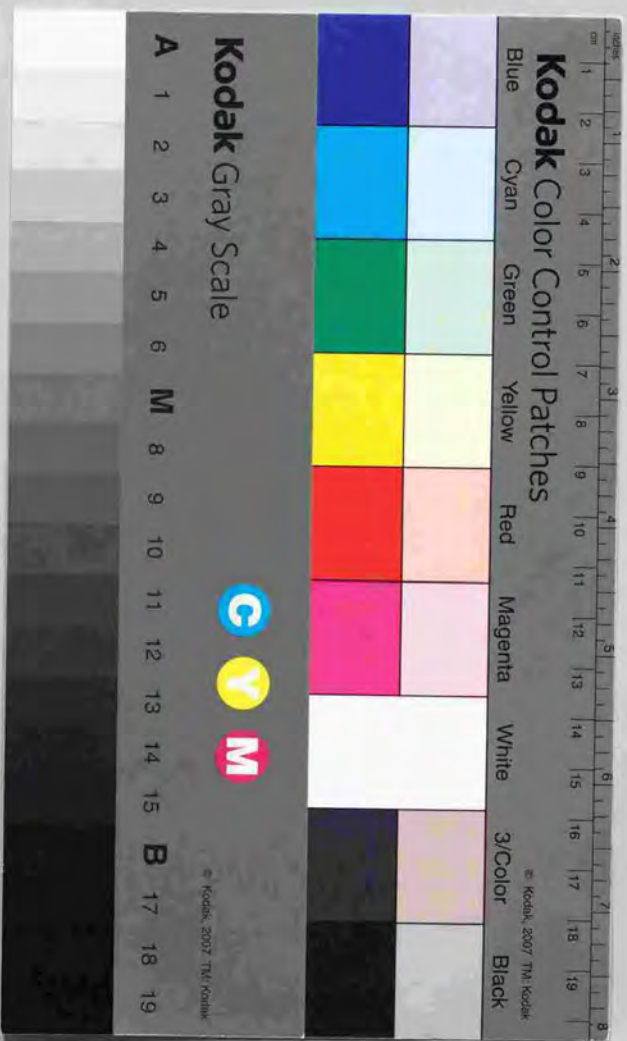
謝辞

本論をまとめるにあたり、多大なるご指導およびご鞭撻を頂きました月尾嘉男教授に感謝いたします。様々な議論にお付き合い頂いた、藤岡助教授、今泉助手、根本助手、月尾藤岡研究室の皆さん、元東京大学助教授久保田晃弘氏、STUDIO/S岡正明氏、ATR研究員小林薫氏、セーレンビスコテックススクウェアの皆さん、その他実験に参加していただきました多くの皆様に感謝いたします。

最後に研究生生活を支えてくれた家族ならびに友人達に感謝いたします。

「生来の盲人は眼の用を知らない。始めから眼がないのだから。眼明きは眼の用を知らない。生まれた時から眼をもっているのだから。」・寺田寅彦





Kodak Color Control Patches

Blue Cyan Green Yellow Red Magenta White 3/Color Black

Kodak Gray Scale

A 1 2 3 4 5 6 M 8 9 10 11 12 13 14 15 B 17 18 19



© Kodak, 2007. TM: Kodak