研究論文：論文

対話型進化計算法によるフラワーレイアウト支援システム

是永基樹^{*}，萩原将文^{*}

^{*}慶應義塾大学 理工学部 情報工学科

FLOWER LAYOUT SUPPORT SYSTEM WITH INTERACTIVE EVOLUTIONARY COMPUTATION

Motoki KORENAGA^{*} and Masafumi HAGIWARA^{*}

^{*}Keio University, 3-14-1 Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama 223-8522, Japan

Abstract: In this paper, we propose a flower layout support system that uses 1) basic rules for arrangement and color schemes to handle the knowledge for flower layout, 2) a virtual reality entertainment interface to present flower layout plans for a user, and 3) interactive evolutionary computation to consider user's evaluations. In the proposed system, choice probability is given to each basic rule. The proposed system produces flower layout plans by using basic rules chosen probabilistically, presents them to the user through a virtual reality interface, and waits for user's evaluations of them. Receiving the responses from the user, the system reflects the user's evaluations in the choice probabilities and in the flower layout fitness evaluations that are originally valued by basic rules. Then, new flower layout plans evolve based on the new choice probabilities and the new flower layout fitness evaluations on the evolutionary computation. When the user repeatedly evaluates layout plans, without technical knowledge for flower layout, the flower layout plans with the user's preference and KANSEI are gradually obtained. Additionally, the user comfortably continues evaluation with the assistance of a virtual reality entertainment interface even though its operation takes long periods of time. A series of experiments is carried out to confirm the effectiveness of the proposed system.

Keywords: *Interactive evolutionary computation, Flower Layout, Virtual Reality*

1. はじめに

近年、経済の高度化、多様化などに伴い、消費生活の成熟化、個性化が進み、一品種大量生産から多品種少量生産の時代へと変わるとともに、個人の感性を重視した設計やデザインが重要となってきた[注 1]。また、現代社会のストレスを解消し癒しを与えるコンテンツやロボットなどのニーズが高まる中で、人間の感性を反映させた設計やデザインの支援が随所で要求されている[注 2-4]。

製品の設計やデザインは、1980 年代末頃から仮想空間内で模擬実験することも可能な CAD (Computer Aided Design) や CAE (Computer Aided Engineering) といった情報技術やアプリケーションによって情報化されてきているが[注 5]、依然として感性的な部分については専門的なデザイナーのセンスや知識によるところが大きい[注 6]。

専門的な知識を必要とせずに、どのような利用者でも設計ができることを目指した人工知能による自動設計支援ツールもあるが、数多くの制約ルールが必要で、知識の獲得や蓄積が難しい上に、さまざまなユーザ（利用者）の曖昧な主観的イメージを設計に反映させることも困難である。また、機械学習やニューラルネットワークなどを用いて個人の感性をモデル化し、個人の感性を扱う研究もされているが[注 7-8]、これらの手法では各個人の感性のモデル化に時間がかかり、多くの利用者を対象とする実用的なシステムを構築することが困難である。

一方、異質かつさまざまな要素が複雑に絡み合った課題の解決に有効な方法として進化計算法が知られている[注 9]。進化計算法とは、生物の進化をモデル化したアルゴリズムである。生物は種の存続のために自然環境に適応しようとし、環境にうまく適応できなければ種は滅び、環境に適応できると生物の存続と増殖が可能となる。そして、増殖によって、親から子孫へ、環境への適応度の高い優れた情報又は最適な情報が遺伝的に継承される。このように複雑な要素に関連した環境下で最適な情報のみが生き残るという仕組みを取り入れたアルゴリズムを進化計算法という。進化計算法は、数多くの要因があつてモデル化や最適化が困難な課題の解決に役立つ。また、感性的な設計やデザインを評価するための方法として、利用者がコンピュータの作成したデザインを目で見えて判断した優劣を利用した対話型の進化計算法が知られており、利用者の好みや感性を反映させた設計やデザインといった知的作業に対して有効であると考えられている[注 10-11]。しかし、一般的に対話型進化計算法は、まったく知識のない利用者以外には効果的でないという問題点や、デザイン要素が多い場合には概して利用者はコンピュータと長時間協調して作業することによって疲労して有効性が発揮されにくいといった問題点が指摘されている[注 11-12]。

著者らは、先行研究において、ファジィ推論や制約ルールの確率に基づく選択（確率的選択）などを利用することで、ポスター作成や室内インテリアのレイアウトを支援する実用

的なシステムを提案している[注 13-15]。本論文では、より感性が要求され、より多くのデザイン要素が含まれる知的作業として、生け花（フラワーレイアウト作業）を対象に、仮想現実とフラワーレイアウトのための制約ルールの確率的選択を利用して、専門知識や経験のある利用者也専門知識や経験のない利用者也生け花を直感的に無理なく進められるように支援する対話型進化計算法によるフラワーレイアウト支援システムを提案する。これまでにロボットに生け花を作らせる研究が行われているが[注 16]、実際の花を使うため、さまざまなレイアウト案を利用者に提示するのに時間やコストがかかり、利用者の生け花を支援することは困難である。

以下、2. で提案システムを説明し、3. でシステムを計算機に実装して評価実験を行った結果を示す。最後に4. を結論とする。

2. フラワーレイアウト支援システム

図1に提案システムの概略を示す。提案システムは、フラワーレイアウトの知識としてさまざまなデザイン要素の基礎となる生け花の基本的なルール（配置と配色に関する制約ルール）を使用し、生け花の雰囲気を経験的に扱うためにイメージスケールを用い、利用者の疲労を考慮して効率的に利用者の評価をシステムに取り込むように改良された対話型進化計算法と、レイアウト案を仮想空間内に提示するエンタテイメント性のあるインタフェースを備える。

利用者はインタフェースを通してシステムと対話的にフラワーレイアウトを進めていく。まず、利用者が作ろうとする生け花の雰囲気と季節を初期入力すると、システムは初期入力に従った確率に基づいて制約ルールを選択しレイアウト案を制作、利用者に提示する。次に、利用者が提示されたレイアウト案に評価を与えると、システムはその利用者の評価に応じて制約ルールの選択確率を更新するとともに、更新された確率に基づいて制約ルールを新たに選択しレイアウト案を制作、利用者に提示する。こうしてシステムと利用者が対話的にフラワーレイアウトを進めていくと、次第に利用者の好みや感性が反映されたレイアウト案が提示されるようになる。システムはさまざまな利用者の好みや感性に対応し、利用者は特段の専門的な知識や経験がなくとも提示されたレイアウト案に主観的に評価を与えるだけでシステムと協調してフラワーレイアウト作業を進めることができる。

2.1. 仮想空間を用いたインタフェース

インタフェースの仮想空間内にフラワーレイアウト案は提示される。利用者は仮想空間内にあるレイアウト案を3次元的に動かして視点を変えて鑑賞し、レイアウト案を立体的に把握して直感的に評価する。

また、利用者が楽しみながら無理なくシステムと協調してフラワーレイアウト作業を行えるように、インタフェースにはレイアウト案に使われている花の名前を知ることができる機能があり、エンタテイメント性を高めている。

2.2. 生け花の基本

生け花には、さまざまな流派があり、さまざまなデザイン

図1：提案システムの概略

要素があるが[注 17-23]、それらに共通する生け方の基本を、フラワーレイアウトの制約ルールや、適応度の計算に用いる生け花の特徴量として利用する。

まず、生け花の入門書[注 24-25]を参考に花材の基本となるフラワーレイアウトの素材（花材）に与えられる役割と生け方の提案システムへの導入について説明し、次に、生け花の特徴量と初期入力される生け花の雰囲気を総体的に扱うために用いるイメージスケールについて説明する。

2.2.1. 花材の役割と生け方

生け花において、花材には、生け花の骨格となる「役枝」またはそれらを補助する「あしらい」という役割が与えられる。各花材は、それぞれ異なる長さで左右対称ではなくアンバランスに独立に配され、生け花の自然感や生命感を引き出す。また、蔓や枝などの線状の花材が区切る空白の空間や花材と花器との調和などが作品全体の雰囲気を生み出す。

役枝は、基本的には3本で逆三角錐を構成し、生け花の骨組みとなる。各役枝の長さは、役枝の長さをそれぞれ a 、 b 、 c とすると、花材を入れる器（花器）の高さ h 、口の直径 d により、次のように表される[注 24-25]。

$$a : b : c = 1 : \frac{2}{3} : \frac{4}{9} \quad (1)$$

$$a = 2(h + d) \quad (2)$$

長さ a 、 b の花材には枝木や草が使われ、長さ c の花材には草や花が使われる。また、各役枝は、生け花の正面を Z 方向、上方向を Y 軸とする座標系を使うと、表1に示す範囲に配されることが多い。

他方、あしらいは0～6本で、各役枝の補助となり、3本の役枝に囲まれた範囲に配される。長さは各役枝の半分となることが多い。

提案システムでは、役枝は3本とし、あしらいの本数 n は選択確率 P_{svm} に基づき選択することとする。花材の種類 s は

表1：花材の配置範囲

Z 軸回り	$0 \pm 5^\circ$, $\pm 10 \pm 5^\circ$, $\pm 40 \pm 5^\circ$, $\pm 45 \pm 5^\circ$, $\pm 70 \pm 5^\circ$, $\pm 75 \pm 5^\circ$, $\pm 90 \pm 5^\circ$, $\pm 135 \pm 5^\circ$ (ただし Y 軸方向を 0° とする)
Y 軸回り	$0 \pm 5^\circ$, $\pm 20 \pm 5^\circ$, $\pm 45 \pm 5^\circ$, $\pm 60 \pm 5^\circ$, $\pm 90 \pm 5^\circ$, $\pm 120 \pm 5^\circ$, $\pm 140 \pm 5^\circ$ (ただし Z 軸方向を 0° とする)

予め用意された花材のうち初期入力された季節のものの中から、それぞれの選択確率 P_s に基づいて選択する。各花材の長さは花器に合わせて式(1)及び式(2)を制約ルールとして自動的に計算し、向きは Z 軸回り 15 種類の角度の幅及び Y 軸周り 13 種類の角度の幅を制約ルールとして、役枝 3 本それぞれに Z 軸回り及び Y 軸周りの角度を選択確率 P_{saZ} 、 P_{saY} 、 P_{sbZ} 、 P_{sbY} 、 P_{scZ} 、 P_{scY} に基づき選択する。10 度の角度の幅の中から一様の確率に基づき選択される。また、花器の種類 v は予め用意された花器の中から選択確率 P_v に基づいて選択する。

2.2.2. 生け花の特徴量

生け花を構成する基本要素として、色合い、形、大きさ、傾き、花材の距離関係などがある。大きく分類すれば、色と形状に分けることができる。

まず、色についての特徴量は、色彩学の見地から、RGB よりも、色相 H、明度 V、彩度 S が適しており [注 26]、また花の色は極彩色や白などの無彩色であることから HS 色空間を用いる [注 27]。提案システムでは、HS 空間を 10×10 の区画に等分割し、花材の色画素における 2 次元ヒストグラムを計算し、次の 4 つを色の特徴量とする。

C_{1x} : 最大分布区画の x 座標値

C_{1y} : 最大分布区画の y 座標値

C_{2x} : 2 番目の分布区画の x 座標値

C_{2y} : 2 番目の分布区画の y 座標値

次に、形状についての特徴量は、大きさを表す体積 V 、傾きなどの安定性を示す重心ベクトル G 、花材の広がり具合を示す各花材間の角度の余弦値の平均 W 、形状の複雑さを現すモーメント M を用いて、それぞれ次のように求める。

$$V = \sum_{i=1}^N Sl_i \quad (3)$$

$$G = \frac{\sum_{i=1}^N Sw_i Sp_i}{\sum_{i=1}^N Sw_i} \quad (4)$$

$$W = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1, j \neq i}^N \frac{Sp_i \cdot Sp_j}{|Sp_i| |Sp_j|}}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1, j \neq i}^N 1} \quad (5)$$

$$M = \frac{1}{V} \left| \sum_{i=1}^N G - Sp_i \right| \quad (6)$$

ここで、 N は花材の数、 Sl_i 、 Sw_i 、 Sp_i は花材 i の長さ、大きさ、位置ベクトルを表す。なお、重心ベクトル G の Y 座標に対する X 座標、Z 座標の比が黄金分割 1.618 を超える場合は花材が左右に偏っているものと見なす。

2.2.3. イメージスケール

イメージスケールとは、ファッションやインテリア、製品デザインなど、さまざまな分野のカラーイメージ調査をもとに、感性語と呼ばれる印象を表現した形容詞や、配色、形状を因子分析し「Warm (暖かい) -Cool (冷たい)」と「Soft (軟らかい) -Hard (硬い)」の 2 つの軸からなる二次元平面上に配置したものである [注 28-29]。例として、感性語をいくつかの括りにして配置したイメージスケールを図 2 に示す。ロ

図 2 : イメージスケールと感性語の例

表 2 : イメージスケールの 4 区分と配色の特徴

区分	配色の特徴
Warm-Soft 面	赤みのある色と明るい色
Warm-Hard 面	赤と黒、暖色系、派手
Cool-Soft 面	白と明るい色
Cool-Hard 面	黒と紺、寒色系、落ち着いた

表 3 : イメージスケールの 4 区分と形状の特徴

区分	形状の特徴
Warm-Soft 面	ふくらみ、安定、小さい
Warm-Hard 面	ボリューム、垂直、丸み
Cool-Soft 面	繊細、水平、反り
Cool-Hard 面	反り、不安定、角張り

ーマ字で表記した感性語が括り (イメージパターン) を表す。

イメージスケールは、さまざまな配色や形状の特徴を、感性語に結び付けて、ひとつの感性空間でとらえており、工業製品の総体的な印象の把握や、感性語から配色や形状の特徴を導くことに利用することができる。また、配色や形状の特徴は、イメージパターンとは別に、イメージスケールの 2 つの軸で分けられた 4 つの区分の方向に対応して顕著となることが知られており、その特徴を表 2～3 に示す [注 28-29]。

提案システムでは、利用者から入力される曖昧な生け花の雰囲気、生け花の特徴量ごとに因子分析して扱うのではなく、総体的に扱えるようにするためにイメージスケールを用いるとともに、生け花を評価する際には配色や形状の特徴をとらえるために 4 つの区分を利用している。

利用者が、作ろうとする生け花の雰囲気として感性語 e を初期入力すると、提案システムは、まず初期入力された感性語 e と結び付け配色を求める。表 2 に示すような特徴を持つイメージスケール上のさまざまな配色の中から、感性語 e と同じ座標を持つ配色を選択し、生け花の色の特徴量を求めたのと同様に、その配色の色画素における 2 次元ヒストグラムを計算し、感性語 e と結び付け配色の色の特徴量として、 C_{e1x} 、 C_{e1y} 、 C_{e2x} 、 C_{e2y} を求める。提案システムは、これらを生け花を評価する際に用いる。

次に形状に関してもイメージスケールを用いて、初期入力

表4：感性語 e と結び付いた形状の特徴から求まる各種制約ルールを選択確率の例

感性語 e	各種制約ルールを選択確率 (単位 %)
かわいい	$P_{sv1}=24, P_{sv2}=19, P_{sv3}=16, P_{sv4}=16, P_{sv5}=13, P_{sv6}=11$ $P_{v1}=1.0, P_{v2}=0.0, P_{v3}=0.0, P_{v4}=0.0, P_{v5}=0.0, P_{v6}=0.0, P_{v7}=0.0, P_{v8}=0.0$ $P_{saZ}=(4.7, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 4.7)$ $P_{saY}=(7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7)$ $P_{sbZ}=(4.7, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 4.7)$ $P_{sbY}=(7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7)$ $P_{scZ}=(4.7, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 7.0, 4.7)$ $P_{scY}=(7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7)$
さっぱりした	$P_{sv1}=17, P_{sv2}=17, P_{sv3}=17, P_{sv4}=17, P_{sv5}=17, P_{sv6}=17$ $P_{v1}=0.5, P_{v2}=0.0, P_{v3}=0.0, P_{v4}=0.0, P_{v5}=0.0, P_{v6}=0.0, P_{v7}=0.0, P_{v8}=0.5$ $P_{saZ}=(4.0, 6.0, 6.0, 6.0, 7.2, 7.2, 9.0, 9.0, 9.0, 7.2, 7.2, 6.0, 6.0, 6.0, 4.0)$ $P_{saY}=(7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7)$ $P_{sbZ}=(4.0, 6.0, 6.0, 6.0, 7.2, 7.2, 9.0, 9.0, 9.0, 7.2, 7.2, 6.0, 6.0, 6.0, 4.0)$ $P_{sbY}=(7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7)$ $P_{scZ}=(4.0, 6.0, 6.0, 6.0, 7.2, 7.2, 9.0, 9.0, 9.0, 7.2, 7.2, 6.0, 6.0, 6.0, 4.0)$ $P_{scY}=(7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7)$
モダンな	$P_{sv1}=11, P_{sv2}=13, P_{sv3}=16, P_{sv4}=16, P_{sv5}=19, P_{sv6}=24$ $P_{v1}=0.5, P_{v2}=0.0, P_{v3}=0.5, P_{v4}=0.0, P_{v5}=0.0, P_{v6}=0.0, P_{v7}=0.5, P_{v8}=0.0$ $P_{saZ}=(4.1, 7.3, 7.3, 7.3, 5.1, 5.1, 9.2, 9.2, 9.2, 5.1, 5.1, 7.3, 7.3, 7.3, 4.1)$ $P_{saY}=(7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7)$ $P_{sbZ}=(4.1, 7.3, 7.3, 7.3, 5.1, 5.1, 9.2, 9.2, 9.2, 5.1, 5.1, 7.3, 7.3, 7.3, 4.1)$ $P_{sbY}=(7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7)$ $P_{scZ}=(4.1, 7.3, 7.3, 7.3, 5.1, 5.1, 9.2, 9.2, 9.2, 5.1, 5.1, 7.3, 7.3, 7.3, 4.1)$ $P_{scY}=(7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7, 7.7)$

・花器を8種類とした場合。

・ P_{saZ} 、 P_{saY} 、 P_{sbZ} 、 P_{sbY} 、 P_{scZ} 、 P_{scY} の配列要素にはそれぞれ表1の各角度の幅の選択確率が角度の昇順に並ぶ。

された生け花の雰囲気感性語 e と結び付く形状の特徴を求める。例えば、感性語 e が「かわいい」の場合には、そのイメージスケール上の座標は区分としては Warm-Soft 面になる。そしてこの座標における形状の特徴は表3に示すように「小さくふくらみのある三角形」であり、この形状の特徴を表現するような、あしらいの粗密(本数の選択確率) P_{svn} 、花器の選択確率 P_v 、役枝3本それぞれのZ軸回り及びY軸周りの角度の選択確率 P_{saZ} 、 P_{saY} 、 P_{sbZ} 、 P_{sbY} 、 P_{scZ} 、 P_{scY} を初期値設定に用いる。初期値の例を表4に示す[注29]。なお、各選択確率 P_{svn} 、 P_v 、 P_{saZ} 、 P_{saY} 、 P_{sbZ} 、 P_{sbY} 、 P_{scZ} 、 P_{scY} は、後述する式(15)によって利用者の評価に応じて更新される。

2.3. 対話型進化計算法

提案システムは、1つのフラワーレイアウトを1つの個体として、利用者の評価を踏まえた適応度に従って遺伝的操作を繰り返していくことで、利用者の望むフラワーレイアウトを進化的に求めていく。

2.3.1. 遺伝子コーディング

フラワーレイアウトの遺伝子は、図3に示すように、花器の種類 Vase、花材の種類 Name、花材の長さ L 、向き D が花材の数だけ次元にコーディングされている。なお、それぞれの花材の長さや向きに付いている添え字は、各花材が従う制約ルールの種類を表す。

図3：フラワーレイアウトの遺伝子コーディング

花材は VRML1.0 に準拠したデータとなっており、遺伝子上の長さや向きに応じて三次元座標変換されたものがインタフェースの仮想空間内に表示される。

2.3.2. 適応度と利用者の評価

各個体の適応度は、生け花の特徴量を用いて計算する。適応度の求め方について、色と形状に分けて説明する。

まず、個体 p の色に関する適応度 E_{pc} は、感性語 e から導かれる色合いの色の特徴量 C_{e1x} 、 C_{e1y} 、 C_{e2x} 、 C_{e2y} と、個体 p の色合いの色の特徴量 C_{p1x} 、 C_{p1y} 、 C_{p2x} 、 C_{p2y} を用いて、HS空間における感性語 e の色合いと個体 p の色合いの相関が高ければ適応度が高くなるように、次のように求める。

$$E_{pc} = \frac{t(C_{p1x}, C_{p1y})}{(C_{e1x} - C_{p1x})^2 + (C_{e1y} - C_{p1y})^2} + \frac{t(C_{p2x}, C_{p2y})}{(C_{e2x} - C_{p2x})^2 + (C_{e2y} - C_{p2y})^2} \quad (7)$$

ここで、 $t(x,y)$ は、HS空間を等分割する 10×10 の区画に対応する 10×10 行列 T の (x,y) 要素を指す。行列 T は、要素が全て1の行列で初期化され、選択確率と同様に後述する式(14)に

よって利用者の評価に応じて更新される。行列 T によって、色に関する適応度 E_{pc} には、初期入力感性語 e から導かれる色の特徴量だけでなく、利用者が作業中に高い評価を与えたフラワーレイアウト案の色合いの色の特徴量も考慮される。

次に、個体 p の形状に関する適応度 E_{pf} は、利用者が初期入力する生け花の感性語 e に該当するイメージスケール上の4つの区分の方向に対応する形の特徴 (表3) を利用した表5に示す関数 $f_v(x)$, $f_g(x)$, $f_w(x)$, $f_m(x)$ と、個体 p の形状の特徴量である体積 V_p 、各花材間の角度の余弦値の平均 W_p 、モーメント M_p と、重心ベクトル G_p の y 座標の x 座標に対する割合 Gyx_p を用いて、次のように求める。

$$E_{pf} = f_v(E_{pv}) + f_g(E_{pg}) + f_w(E_{pw}) + f_m(E_{pm}) \quad (8)$$

$$E_{pv} = \frac{V_p - V_{p\text{ave}}}{V_{pd}} \quad (9)$$

$$E_{pg} = \frac{Gyx_p - Gyxp_{ave}}{Gyx_{pd}} \quad (10)$$

$$E_{pw} = \frac{W_p - W_{p\text{ave}}}{W_{pd}} \quad (11)$$

$$E_{pm} = \frac{M_p - M_{p\text{ave}}}{M_{pd}} \quad (12)$$

表5及び式(9)～(12)で、添え字に ave とあるものは同一世代内での平均値、添え字に d とあるものは平均値から最も離れた値と平均値との差であり、式(9)～(12)は形状についての各特徴の同一世代内での度合いを表す [注 27]。なお、式(10)は、生け花を正面から見た際の花材の左右の偏り具合を表す。

個体 p の適応度 E_p は、以上から求まる色に関する適応度 E_{pc} と形状に関する適応度 E_{pf} から次のように求める。

$$E_p = U \cdot (R \cdot E_{pc} + E_{pf}) \quad (13)$$

ここで変数 R は、陽気さ、暖かさ、派手さを重視する場合には色を重視し、安定感やまとまり、静動感を重視する場合には形を重視するための重み付けである [注 30]。変数 U は、利用者の評価であり、良い判定の場合は (1, 2) を取り、それ以外の場合は (0, 1) を取る。

また、利用者の評価による行列 T 及び各種制約ルールを選択確率 $P = \{P_{svn}, P_s, P_v, P_{saZ}, P_{saY}, P_{sbZ}, P_{sbY}, P_{scZ}, P_{scY}\}$ の更新は、更新後の行列 T を T_{new} 、選択確率を P_{new} とすると、次のように表される。

$$T_{new} = U \cdot T \quad (14)$$

$$P_{new} = U \cdot P \quad (15)$$

2.3.3. 遺伝子操作

提案システムは、適応度の高い個体ほど次世代に子孫を残すように遺伝子操作を行う一般的な遺伝的アルゴリズムを用

表5：形状に関する適応度に用いる関数

関数	区分	出力	
		入力 $x \geq x_{ave}$	入力 $x < x_{ave}$
$f_v(x)$	Warm-Soft 面	0.5	0.5
	Warm-Hard 面	1.0	0.0
	Cool-Soft 面	0.0	1.0
	Cool-Hard 面	0.5	0.5
$f_g(x)$	Warm-Soft 面	0.0	1.0
	Warm-Hard 面	0.5	0.5
	Cool-Soft 面	0.5	0.5
	Cool-Hard 面	1.0	0.0
$f_w(x)$	Warm-Soft 面	0.0	1.0
	Warm-Hard 面	0.5	0.5
	Cool-Soft 面	0.5	0.5
	Cool-Hard 面	1.0	0.0
$f_m(x)$	Warm-Soft 面	0.5	0.5
	Warm-Hard 面	1.0	0.0
	Cool-Soft 面	0.0	1.0
	Cool-Hard 面	0.5	0.5

いる。ここでは、提案システム固有の交叉と突然変異について説明する。交叉については、花器は花器同士で行われ、花材は同じ長さの役枝同士、あしらい同士で向き D に作用する。子花材の向きがどちらの親から継承されるかは一様の確率で決まる。突然変異については、花器の種類、花材の種類、花材の向きを新たに選択確率に従って選ぶ操作を行う。どの部位に変異を起こすかは一様の確率で決まる。

なお、提案システムでは、花材間の角度が5度以上ないフラワーレイアウト案は花材が重なっているものと見なして致死としたり、左右の均衡が取れていないフラワーレイアウト案は致死となるようにして、生け花の基本的なルールに沿わないフラワーレイアウト案が提示されないようにしている。これによって利用者が余分な評価作業をせずに済ませることができる。

3. 評価実験

生け花についての専門知識のある10人の経験者 (池坊流、草月流、小原流等) と専門知識のない10人の未経験者 (OL、理工学部4年生、大学院1年生) を被験者として、提案システム及び各種制約ルールの選択確率を0～1の乱数で初期化するシステム (比較用システム) の両システムについて、順番に被験者に次のような手順で実験を行ってもらった。なお、両システムの実験の順番はランダムとした。

- (1) あらかじめ作りたと思う生け花の季節と雰囲気を選定する。
- (2) 想定内容をシステムに入力する。季節は四季を入力し、雰囲気はイメージスケールを使って入力する。
- (3) 仮想空間内に提示されたレイアウト案を自由に角度を変えて鑑賞する。
- (4) 鑑賞したレイアウト案を好みや感性に従って5段階で評価する。
- (5) システムに対して新しいレイアウト案構築を要求する。
- (6) 制限時間を1時間とし、上記のステップ(3)～(5)を繰り返し試行する。途中で、好みのレイアウト案が提示され

た場合には、レイアウト案を保存し世代数を記録する。

最後にアンケートに答える。

なお、式の(13)～(15)の U は、利用者によって与えられる5段階の評価に従って、一番良い評価の場合は1.5、二番目に良い評価の場合は1.2、普通の評価の場合は1.0、一番悪い評価の場合は $0.67(=1/1.5)$ 、二番目に悪い評価の場合は $0.83(=1/1.2)$ とした。

3.1. レイアウト結果

提案システムによる実験の結果、多種多様なレイアウトが制作され、利用者が保存したレイアウトとして図4～6のようなものが得られた。図4は、経験者が「夏のあどけない生け花」という想定内容を入力としてレイアウトを提案システムと対話的に進化させ、第2世代目に得られたレイアウト結果である。図5は、経験者が「夏の気高い生け花」という想定内容を入力としてレイアウトを提案システムと対話的に進化させ、第11世代目に得られたレイアウト結果である。図6は、未経験者が「春の格調ある生け花」という想定内容を入力としてレイアウトを提案システムと対話的に進化させ、第7世代目に得られたレイアウト結果である。

また、提案システム及び比較用システムで得られた被験者の好みのレイアウトの個数を経験者と未経験者に分けて表6に示す。表6について、一対の標本に対する平均の t -検定を行った結果を表7に示す。有意水準0.05で、経験者にも未経験者にも提案システムの有効性が確認された。

3.2. アンケート結果

提案システムについてのアンケート結果を経験者と未経験者に分けて図7～8に、比較用システムについてのアンケート結果を経験者と未経験者に分けて図9～10に示す。アンケート結果から「とても満足」及び「満足」の回答数に「普通」の回答数の半分を加えた数を求め、全回答数に対する比率について提案システムの方が比較用システムに比べて高いかどうか片側検定した結果を表8に示す。レイアウト全般について、有意水準0.05で、提案システムが比較用システムに比べて経験者からも未経験者からも高い満足を得られたということが出来る。また、有意水準0.1では、提案システムが比較用システムに比べて花材の選び方について経験者からも未経験者からも高い満足を得られたこと、配色について未経験者から高い満足を得られたことがいえる。なお、配置及び配色についてのアンケート結果から、提案システムが、生け花の雰囲気、総体的に扱うことができる一方で、配置や配色といった生け花の特徴量ごとに扱うことには不向きであると考えられる。

被験者の感想は以下のようなものであった。

- ・作りたいと思った生け方のものが出てきた。
- ・好みの雰囲気の生け花が得られた。
- ・システムで仮想的に好みの生け花を作ってから、実際の生け花をすれば、花材の切りすぎなどによる失敗を防ぐことができて便利。また、購入する花材に迷うことがなくなる。
- ・今まで自分では生けたことがないような形がいろいろ出てきたので勉強になった。

図4：レイアウト結果1（夏、あどけない、第2世代目）

図5：レイアウト結果2（夏、気高い、第11世代目）

図6：レイアウト結果3（春、格調のある、第7世代目）

表6：得られた被験者の好みのレイアウトの個数

被験者	提案システム	比較用システム
経験者 1	3	2
経験者 2	11	0
経験者 3	9	1
経験者 4	9	0
経験者 5	2	1
経験者 6	9	0
経験者 7	3	2
経験者 8	2	2
経験者 9	6	5
経験者 10	6	4
未経験者 1	3	1
未経験者 2	3	1
未経験者 3	5	3
未経験者 4	1	3
未経験者 5	3	3
未経験者 6	3	3
未経験者 7	8	3
未経験者 8	3	2
未経験者 9	9	4
未経験者 10	3	0

表7：被験者の好みのレイアウトの個数のt-検定結果

		提案システム	比較用システム
経験者	平均	6	1.7
	分散	11	2.9
	観測数	10	10
	自由度	9	
	有意確率（片側）	0.0061	< 有意水準 0.05
未経験者	平均	4.1	2.3
	分散	6.3	1.6
	観測数	10	10
	自由度	9	
	有意確率（片側）	0.015	< 有意水準 0.05

図7：提案システムについてのアンケート結果（経験者）

表8：アンケート結果の検定結果

アンケート項目	有意確率（片側）	
	経験者	未経験者
配置（形、空間）	0.19	0.59
配色（色合い）	0.76	0.06 ^{*2}
花材の選び方	0.09 ^{*2}	0.09 ^{*2}
レイアウト全般	0.04 ^{*1}	0.03 ^{*1}

*1：有意水準 0.05 で有意である。

*2：有意水準 0.10 で有意である。

図8：提案システムについてのアンケート結果（未経験者）

図9：比較用システムについてのアンケート結果（経験者）

図10：比較用システムについてのアンケート結果（未経験者）

- ・ゲーム感覚で操作でき、面白くて時間を忘れてしまった。
- ・花の色、長さ、位置を変更できるとさらによい。
- ・花材の数を自分で変えられるとよい。
- ・実際に生けようとする場面を背景できるとよい。

提案システムが、発想を支援するツールとして高く評価されたこと、視点を変えてレイアウトを鑑賞することができる

仮想空間を用いたインタフェースが、レイアウトの特徴を把握するのに役立つとともに、提案システムのエンタテインメント性を高めたことが分かる。

4. 結論

本論文では、対話型進化計算法を用いたフラワーレイアウト

ト支援システムを提案した。提案システムは、フラワーレイアウトのための知識としてさまざまなデザイン要素の基礎となる生け花の基本的な配置と配色に関する制約ルールを使用し、生け花の雰囲気を経験的に扱うためにイメージスケールを用い、利用者の疲労を考慮して効率的に利用者の評価をシステムに取り込むように改良された対話型進化計算法と、レイアウト案を仮想空間内に提示するエンタテインメント性のあるインタフェースを備える。

利用者とシステムがインタフェースを通して対話的にフラワーレイアウトを進めていくと、利用者の評価に従ってシステム内の知識が利用者の好みや感性に即したものとカスタマイズされていき、システムは次第に利用者の要望するようなレイアウト案を提示することができるようになる。

評価実験において、多種多様な利用者の感性を反映したフラワーレイアウト案が提示され、中には経験者でも思いつことの難しい斬新なものもあった。利用者は、システムが提示してくるレイアウト案についてエンタテインメント性のある仮想空間を用いたインタフェースを通して自由に視点をえて鑑賞し立体的に特徴を把握して直感的に評価していくことで、専門的な知識や経験がなくともシステムと協調して無理なくレイアウト作業を進め、好みのレイアウトを制作することができた。個人の好みや感性に基づいたデザイン要素の多い知的作業に対して、イメージスケールや制約ルールの確率的選択の利用と、利用者の評価を効率的にシステムに取り込むように改良された対話型進化計算法が効果的であることが確認された。

本論文では、フラワーレイアウトの知識に、生け花の基本的なルールを用いたが、各流派による差異や欧米を発祥とするフラワーアレンジメントのルールなどを追加したり、アンケート結果を受けて経験者がさらに満足して利用できるようなレイアウトの編集をできるようにしたり、考慮すべき点が残されている。今後はこれらの点を踏まえ、より実用性の高いフラワーレイアウト支援システムを構築していく。

謝辞

本研究の一部は、慶應義塾大学大型研究助成の援助を受けて行われた。

注

- 1) 大沢光：感性工学と情報社会，森北出版，2000
- 2) 亀井且有：工学における感性研究の紹介，ヒューマンインタフェース学会誌，3，4，229-236，2001
- 3) Kenji Amaya, Armin Bruderlin, Tom Calvert: Emotion from Motion, Graphics Interface 1996 Proceedings, 222-229, 1996
- 4) 猪岡光，山本隆司：アミューズメント・ロボット，計測と制御，40，9，657-663，2001
- 5) 竹田陽子：プロダクト・リアライゼーション戦略：3次元情報技術が製品開発組織に与える影響，白桃書房，2000
- 6) 板谷尚哉，川澄未来子，古橋武：認知情報量と表示情報

量の関係に関する一考察，ヒューマンインタフェースシンポジウム，2001

- 7) Shangfei Wang, Enhong Chen, Jing Hu, and Xufa Wang: Kansei-Oriented Image Retrieval, Lecture Notes in Computer Science, 2252, 377-388, 2001
- 8) 村上智子，折原良助，末田直道：適応的なパラメタによる概念学習のためのモデルの構築，人工知能学会全国大会，2001
- 9) Haym Hirsh, Wolfgang Banzhof, John R. Koza, Conor Rya, Lee Spector, Christian Jacob: Genetic programming, IEEE Intelligent Systems and Their Applications, 15, 3, 74-84, 2000
- 10) 西野浩明，高木英行，宇津宮孝一：対話型進化計算を用いた創作支援型3次元モデラ，電子情報通信学会論文誌，J85-D-II，9，1473-1483，2002
- 11) 北野宏明：遺伝的アルゴリズム4，産業図書，2000
- 12) 高木英行，畠見達夫，寺野隆雄：対話型進化計算法の研究動向，人工知能学会誌，13，5，692-703，1998
- 13) 尾畑貴信，萩原将文：感性を反映できるカラーポスター作成支援システム，情報処理学会論文誌，3，41，701-710，2000
- 14) 是永基樹，萩原将文：対話型進化計算法によるインテリアレイアウト支援システム，情報処理学会論文誌，10，41，3152-3160，2000
- 15) 村山浩之，萩原将文：感性を反映できるフォント自動作成システム，感性工学研究論文集，2，1，73-78，2002
- 16) 廣田薫，小沢和浩，保坂春恵，早川雅史：ファジィ推論を用いた華道ロボット，日本ファジィ学会誌，1，1，132-139，1989
- 17) マミフラワーデザインスクール：フラワーアレンジメント，講談社，1997
- 18) 池坊専永：カラー独習池坊いけばな，主婦の友，1982
- 19) 旧嵯峨御所華道総司所：カラー独習嵯峨御流いけばな，主婦の友，1983
- 20) 小原豊雲，小原夏樹：カラー独習小原流いけばな，主婦の友社，1984
- 21) 吉村華泉：カラー独習龍生派いけばな，主婦の友社，1984
- 22) 池田昌宏：カラー独習古流いけばな，主婦の友，1986
- 23) 勅使河原宏：カラー独習草月流いけばな，主婦の友社，1986
- 24) 廣田英子：いけばな入門，金園社，1989
- 25) 敬風社：いけばな入門基本と実技，講談社，1989
- 26) 千々岩英彰：色彩学，福村出版，1983
- 27) 齊藤剛史，金子豊久：花と葉による野草の自動認識，電子情報通信学会論文誌，J84-D-II，7，1419-1429，2001
- 28) 小林重順：カラーシステム，講談社，1999
- 29) 小林重順：実践カラーデザイン，講談社，2000
- 30) 上田善弘，近江源太郎，福田邦夫，横井政人：花の色彩事典，講談社，156-160，1989