

手描きの線画から階層構造を持った感性情報へ

迎山 和司

京都市立芸術大学大学院
京都府京都市西京区大枝沓掛町 13-6

概要

この論文は手描きの線描を階層構造をもったデータに変換するプログラムのデモンストレーションを説明したものである。まず、このデモではコンピューター画面上に仮想のスケッチボードを用意し、そこにユーザーが描いた軌跡を入力データとしている。そのデータを用いて、プログラムは初めに心理学的認知に基づいて筆跡のグループ分けを行う。次に筆跡を閉じた図形と開いた図形に分類し、その図形から階層構造をもった骨格を抽出する。そこにさらに厚みの情報を考慮して、最終的に楕円形を基本要素とした、線描をレゴブロックのような集合体に変換している。これは視覚芸術家にとって作品製作過程の上で重要と思われる要素を検証しようとする試みである。

1 変換する理由

芸術家が作品制作において空間と形を認識する際、彼らはなんらかのそれらのビジョンを心の中に作り出している。これは何も視覚の話だけに限ったことではない。草原 [12] によれば、盲目の画家は視覚でなく触覚によって彼自身の持つ独特の空間認識を構築している。例えば、缶コーヒーを描く時、視覚による画家では、空間の遠近が認識されるので缶の上部は楕円として描かれる。しかし、盲目の画家はそのような遠近を認識しないためにその絵はまるで展開図のように描かれている。(図1) 多くの者にとってそれは不正確なものかもしれないが、芸術の創造性には写真のように正確に表現することは重要ではない。多くの画家は作品を描く際、心の中の想像で絵を描いている。だからこそ、対象を直接見なくてもそれを描くことができるのだ。これは対象をそのまま複製しているということではなく、見たものを知っているものへと変換しているからだ [7]。つまり、対象の構造を心の中で再構築して記憶していると仮定できる。ともかく、対象を理解することは対象を描く前に行われるプロセスであり、対象を独自に理解し記憶することが重要なのである。では、対象を理解するために必要な最低限の画像情報とは何であろうか？ 視覚であれ触覚であれ、最も重要な要素は、相対的な大きさと位置である。もちろん、色や質感などもあるが、これらを考えなくても空間は表現できよう。しかし、相対的な大きさと位置まではさすがに無視はできない。コンピュータで効果的にこの本質要素を表現するためには、データ構造としてレゴブロックのようにそれらの集まりを表現するのが有効であろう。本質要素のセットをまとめて定義するために、私は楕円形を基本要素と定義した。楕円のような曲線形状は角張ったものを表現することには向かないが、自然形状により合うと思ったからだ。このようなプリミティブを組み合わせる方法はいくつか知られおり、Biederman の geon 理論 [1] や Marr の円錐表現 [6] などがある。

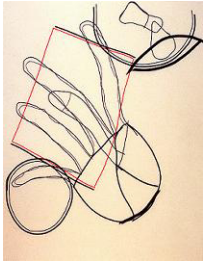


図 1: 缶コーヒーを飲む,
1996. 40.5x32cm, 画用紙・
レトラライン [10]

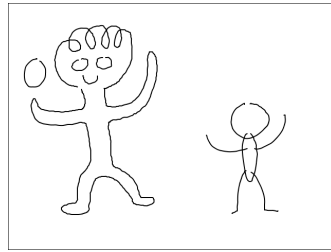


図 2: 入力データ

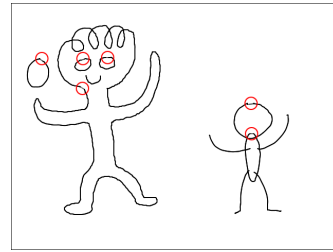


図 3: 線の開閉の評価

2 入力データ

画像を扱う場合，コンピュータに入力する方法は多くある．一つには，スキャナーやビデオカメラを用いて離散画像を取り込む方法がある．取り込んだ画像から輪郭抽出を行えば対象の形状を得ることができる．展示においてこの方法の利点は，鑑賞者に機械を操作するストレスをあまり感じさせない利点がある．しかし，周りの光の影響で描かれた図と地をうまく分離しにくかったり，交差する部分を分けることが難しかったりする．また，高解像度になれば計算時間もそれだけ長くなる．そこで，私はコンピュータ画面上に仮想のスケッチボードを用意して，鑑賞者の筆跡を記録する方法を取った．(図 2) ここで検証することは見るプロセスではなく知るプロセスなので，入力する方法はあまりこだわる必要はないと思ったからである．またこの方法では，描き始めから描き終わりまでをそれぞれ一本の線として扱えるので，交差した部分も容易に分離できる．

3 第一段階：筆跡のグループ化

第一段階では，入力された筆跡データを第二段階のために，整理するプロセスである．これには，以下のものが考えられ，プログラムはそれらを実行している．

3.1 閉曲線と開曲線の分類

Cohen[2] は，自身の作品 AARON を制作するにあたり，まず子供の線描に注目した．初めてペンを持った幼児は，初めは殴り書きしかしない．だが，3 歳児あたりになると次第に自分の身体とペンの関係を体得する．そのときに現れるもっとも初めの図像の特徴が円である．すなわち，筆跡が終点が始点に繋がるように終わるか，そうでないかが重要であるといえる．入力される筆跡パスを S とする． S は XY 座標平面上の任意の点 $P(x, y)$ の集合である， P の順序によって結合すると一本の線が作られる． n 個の点 P を持つ S は $S = \{P_i; i = 1, 2, 3 \dots n\}$ である．鑑賞者によってスケッチボード上に描かれたすべての S の集合を G とする．要素 $S \in G$ に対してプログラムはまずはじめに，線の開閉を以下

のように評価する．

$$|P_n - P_0| < \frac{\sqrt{(x(max)-x(min))^2+(y(max)-y(min))^2}}{4.0} \quad (1)$$

$x(max), x(min), y(max), y(min)$ は S のもつ P の座標の最大最小の値， $||$ は距離をあらわす．上の条件を満たせばプログラムは S と閉じ，そうでなければ開けたままにする．(図 3)

3.2 交差部分での分離

次にプログラムは交差する部分があるかどうかを評価する．もし交差する部分があった場合，その部分を図 4 のように別々のパスに分ける．これは，骨格抽出の段階でねじれた閉曲線は正しく評価できない理由があることと，ねじれた部分で切って，別のパスに分けても，本質的な構造は変わりなく認知できるからである．こうして，交差部分の検討からパスの増え，さらに大きさ順に並べなおした新たな集合 G (図 5) が得られる．



図 4: 交差部分の分離

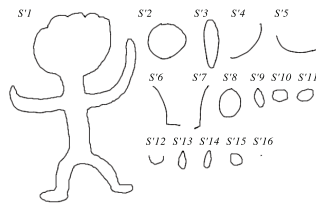


図 5: 分離されたサンプル

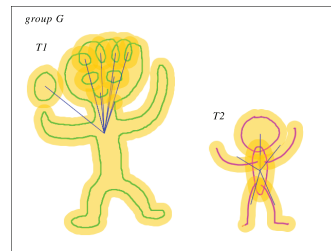


図 6: グループ化の結果

3.3 接触と近接によるグループ化

次に， $S \in G$ をすべて一時的に閉曲線と扱い，それが占有する領域を $A(S)$ と定義する．もし， $A(S_b) \cap A(S_a)$ によってできる領域の面積が 0.0 以上ならば S_b は S_a の子供とする． G 内における S のインデックス a, b は常に $a > b$ である．つまり接触しているかどうかで S を新たに階層構造をもつグループ分けにする．こうして階層構造 T が得られる．さらにゲシュタルト心理学のプレゲナンツの法則によれば，近接する図形同士は一グループとして認知されやすい．よって， $A(S)$ に任意の値 w だけ拡張した領域 $E(S)$ を付加したもので再度 T 同士を検討する．すなわち，もし， $A(S \in T_b) + E(S \in T_b) \cap A(S \in T_a) + E(S \in T_a)$ によってできる領域の面積が 0.0 以上ならば $S \in T_b$ は $S \in T_a$ の子供とする． w は筆跡の大きさによるので一意には決まらないが，今回のキャンバスのサイズ横 640 および縦 480 ピクセルの空間では $w = 30.0$ とした．上の条件に当てはまった場合， T_b は T_a に内包される．その際 T_b の要素は接触した $S \in T_b$ を root にして組みなおされる．このようにしてできた階層構造の集合を

$$G = \{T_j; S \in T\} \quad (2)$$

とする．以上の処理による集合 G は実例では図 6 のようになる．グループ化された各要素 T が一つの図形として成り立っているのがわかる．

4 第二段階：それぞれの筆跡の楕円セグメント化

第二段階では，プログラムは整理された集合 G の要素 T を扱う． $S \in T$ はまだ筆跡パスである．まずこの S に対してスケルトン抽出を行う．スケルトンとは輪郭線の骨格を抽出することによって構造を把握する方法である．スケルトンの基礎的なアルゴリズムはすでにいくつかあるけれども，中でも Hilditch[4] がよく知られている．これは離散画像の画素の近傍を調べて細線化しそれをスケルトンとするものである．しかし，それらの方法では全体骨格のみが抽出できるだけであって，枝別れした各スケルトンの相互関係まではわからない．そこで本稿では五十嵐の Teddy[5] に用いられたドロネー三角形分割による骨格線抽出に注目し，そこに本谷のスケールスペースによる階層構造の判定 [11] を加えることによって，階層構造をもった骨格線抽出ができるようにした．これによって，階層構造をもったスケルトンが高速に抽出できる．ただし， S には開曲線と閉曲線の二つがある．このうち開曲線に関してはそれぞれのもものがスケルトンであるといえるので，4.6 章に行き，歪み補正を行った後，そのまま楕円セグメント変換を行っている．よって，ここから 4.6 章までは閉曲線に対するものである．これ以降，閉曲線を輪郭線という．

4.1 ドロネー三角形分割

ドロネー三角形分割はボロノイ多角形と双対関係にある分割方法である [3]．ドロネー三角形分割によって任意の点を結んで分割された三角形は，最小角の和が最大になる性質がある．このため極端につぶれた三角形ができにくく，理想的な三角形分割になり，3D グラフィックスでは三角形ポリゴンを得るのによく使われている．輪郭線を等間隔の折線にしてその頂点によってドロネー三角形分割を行うと，図 7 のように輪郭線は三角形に分割することができる．五十嵐の論文から引用すると，このようにして求められた三角形群は輪郭線によって 3 つに分類することができる．一つめのタイプは，端の三角形 (terminal triangle) と呼ばれるもので，三角形の二辺が外周折線になっているもの．二つめのタイプは，袖の三角形 (sleeve triangle) と呼ばれるもので，三角形の一边だけが外周折線を構成しているもの．三つめのタイプは，連の三角形 (junction triangle) と呼ばれるもので，三角形のどの辺も外周折線をなしていないものである．このうち，連の三角形は必ず輪郭線の突出部分が分岐する場所に来ることに注目する．この三角形の辺が輪郭線を分割する線の候補になる．

4.2 スケールスペース

輪郭線を平滑化すること [8] によって，まるでデッサンをするときに絵を遠くに離れて見ることによって大まかな形をつかむように，その輪郭線の局所的な構造が消去されてより大局的な構造が現れてくる．スケールスペースとは，これを，輪郭線上の位置を横軸，解

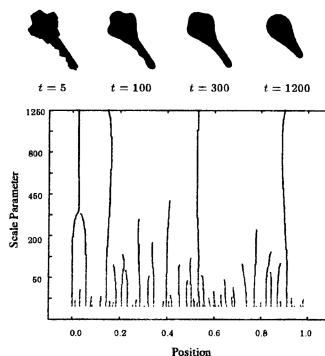
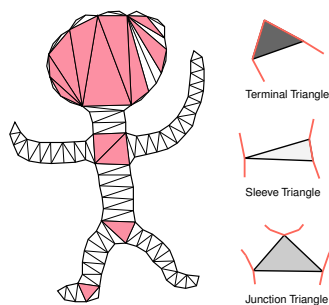


図 7: ドロネー三角形分割による輪郭線の分割

図 8: 曲率極大点のスケールスペース [[9], p.4 の図 3 より転載]

像度を縦軸で表した空間である．図 8 に示したものは曲率極大点をスケールスペース上に表したもので，平滑化が進むにしたがって曲率極大点が消失している．また場合によっては極大点同士が融合している．本谷は輪郭線上の曲率極大点が数を減らすとき，1つが消滅したのか2つが融合したのかを調べることによって，スケルトンの階層構造を求める手がかりとした．曲率極大点は輪郭線の突出した部分であるため，各解像度におけるスケルトンと対応する．よって曲率極大点が消滅した場合，対応するスケルトンも消滅することになるが，極大点が単独で消滅した場合は図 9 のようにそのスケルトンは単独でまだ存在するスケルトンに対しての子供になる．2つの極大点が融合した場合は図 10 のように2つの極大点それぞれに対応していたスケルトンがそれぞれの元となるスケルトンに対しての子供になる．

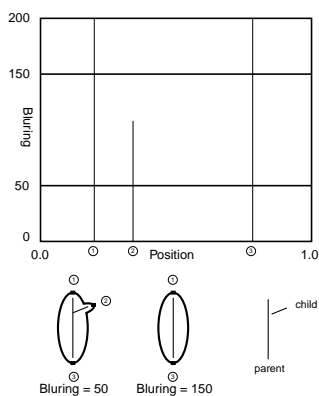


図 9: 曲率極大点の消失

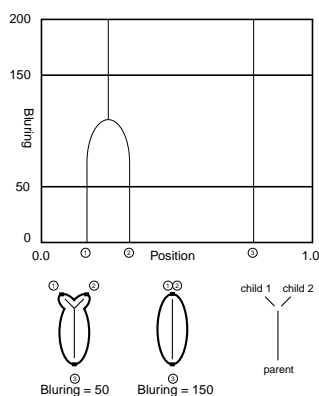


図 10: 曲率極大点の融合

4.3 スケールスペースと分割線の関係

ところで、スケールスペース上の曲率極大点の融合というのは輪郭線がどのような状態でおこるのかを調べてみると、必ずその極大点が存在する元の図形の突起部分が、お互いほぼ同じ大きさになっていることに気付く（図 11）。このことに注目して、連の三角形の各辺から先にある三角形群の総面積を計算し、各辺をそれによって順序付ける。その中から、もっとも大きな面積をもった辺は必ず削除する。問題は残り 2 つの辺の扱いであるが、2 つの辺にかかわる各大きさを比較し、それらがほぼ同じ大きさであれば、その 2 つはスケールスペースにおける極大点の融合状態と同じ意味を持つとしてどちらの辺を削除しない。そうでなければ 2 番目に大きな面積をもつ辺を削除する（図??）。現実には、場合によっては微妙な突出部に対しても連の三角形ができてしまうので、平滑化のために面積がある程度小さいものしか持たない辺はすべて削除する。これによって輪郭線の分割線が求められる。

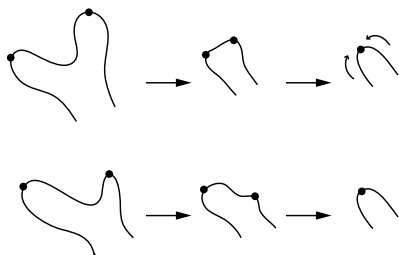


図 11: 曲率極大点の消滅・融合の違い

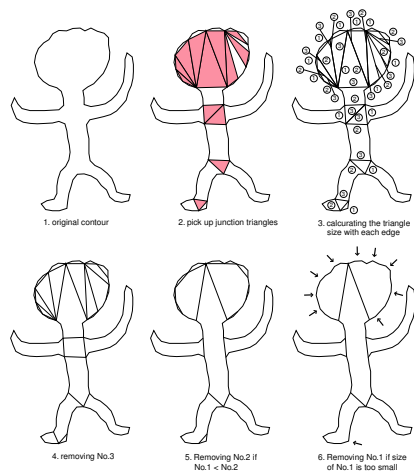


図 12: 分割線の抽出手順

4.4 輪郭線の階層構造分割

三角形の頂点は、反時計回りで統一してある。分割線も三角形の辺であるが、頂点の順序の統一によって分割線にも方向が存在する（図 13）。分割線の方に沿うものとそうでないもので分割を繰り返すと、図 14 のように最終的に配列の先頭のものが必ず root となる。一度 root が決まれば、そこから順に隣接する図形同士を階層化していくことによって、最終的に求める階層構造をもった分割された輪郭線を得ることができる。

4.5 スケルトンの抽出

4.1 章で示した通り外周折線によって三角形は 3 種類に分類される。さらに連の三角形は分割線として残される辺の状態に応じて 3 種類にわかれるので、計 5 種類の三角形に分

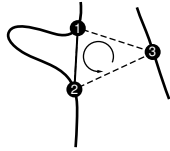


図 13: 三角形の向き

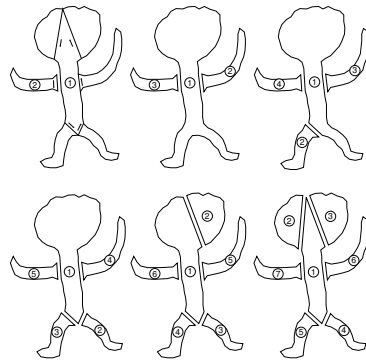


図 14: 分割手順

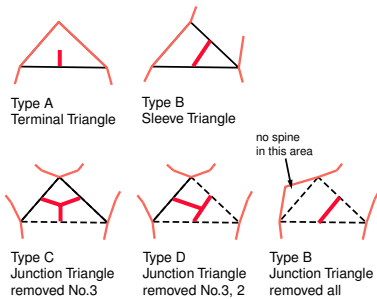


図 15: 芯線の種類

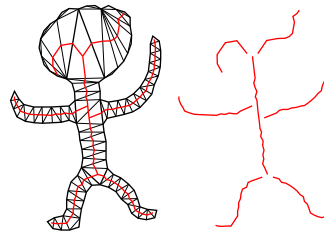


図 16: 生成された階層構造を持つスケルトン

類される。プログラムは各種類の三角形に応じて図 15 のように 4 種類の芯線を作成する。それらが分割された領域の各スケルトンとなる。ただし平滑化のために、面積がある程度小さいものだったために削除された部分の三角形においては芯線を作成しない。また、分割線をはさんだ親側の一本の芯線は子供側の芯線として扱う。抽出された芯線は各領域においてすべて一本のスケルトンになる。このようにして生成されたスケルトンが図 16 である。

4.6 歪み補正

図 15 の 4 種類の芯線のうち Type D は連の三角形が近接することによっておきる大きな歪みをなくすためにあるのだが、にもかかわらず個々の三角形の芯線の集合から得られたスケルトンには、どうしても歪みができてしまう。最終的にもとめる楕円セグメント群のためには単純な直線であることが望ましい。そのために図 17 のように現在得られているスケルトンのある一定の範囲で完全に包括する任意の範囲と輪郭線の共通範囲を求める。その範囲内で必ず新たにできるスケルトンが収まるようにして、始点から列挙して、角度が一定の範囲を超えないのであれば該当する点を間引いていく。この結果、ほとんど場合は分割された一つの領域につき一本の直線になる。しかし、曲がりくねった領域はどうしても一本にはならない。そのようなものは必要最低限の複数の線分によってスケルトンが

表現される。

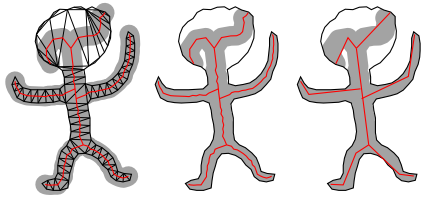


図 17: 歪み補正

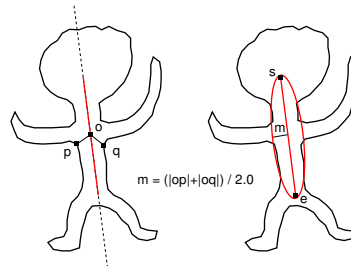


図 18: 厚み計算

4.7 楕円セグメント化

スケルトンをあらわす線分一つにつき，一つの楕円セグメントとなる．楕円の厚みはこの線分を延長することによって2つに分けられる輪郭線の点群から，それぞれ線分の中心点から最小の距離をもとめ，得られた2つの値を足して2分することによって求められる（図 18）．すなわちスケルトンの骨は

$$\beta = \begin{pmatrix} \text{StartPoint} : s(x1, y1), \\ \text{EndPoint} : e(x2, y2), \\ \text{Thickness} : m(m \geq 0) \end{pmatrix} \quad (3)$$

で表現される．なお開曲線の場合は $m = 0$ である．

4.8 階層構造の再構築

曲がりくねった部分では，複数の楕円セグメントが同じ階層にいることになる．この場合には，図 19 のようにさらに階層構造をわけることになる．そのさい親子関係を再構築するわけであるが，その部分の子供であった部分群は親側の端点を起点にして新しく分けられたセグメント群の中心からもっとも近いものが新たな親となる．ただし root の部分でセグメントが複数になった場合，その中からさらに新たに root となる一つを選ばなければならない．その場合は大きな方が root になるようにしている．この結果，例に挙げた輪郭線は（図 20）になる．

4.9 不必要な楕円セグメントの削除

これでほとんど目的の結果になったのであるが，それでも，不必要なものが存在する場合がある．図 21 のような場合，親側がほとんど該当する楕円を含んでいて構造に大きな影響を与えない．データを簡素な結果を得るためには，そのような楕円セグメントは削除す

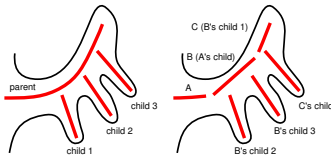


図 19: 階層構造の再構築

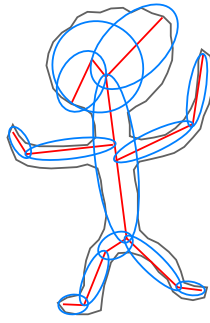


図 20: 楕円セグメント化

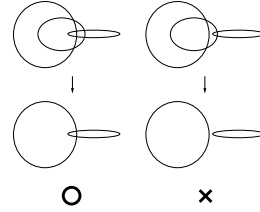


図 21: 不要なセグメントの削除

べきである．具体的にはスケルトンが作る楕円の面積を $A(\beta)$ とした時，もし，

$$\begin{aligned}
 A(\beta) &\neq 0.0 \\
 A(\beta(\text{parent})) &\neq 0.0 \\
 \frac{A(\beta)}{A(\beta(\text{parent}))} - 1.0 &< 2.0
 \end{aligned} \tag{4}$$

ならば， β を削除対象とする． $\beta(\text{parent})$ は階層における β の親セグメント， $\beta(\text{child})$ は β の子供セグメントを表す．ただし， $A(\beta(\text{parent})) \cup A(\beta(\text{child})) = 0.0$ のときは削除しない．なぜなら図 21 のようにセグメントのつながりが切れてしまうからである．

5 第三段階:すべての楕円セグメントの統合

このようにして変換された $S \in T$ を階層構造 t とする．これを T の階層レベルで整理する必要がある．なぜなら例えば，頭 ($= \beta_1$)，胴体 ($= \beta_2$)，右腕 ($= \beta_3$)，左腕 ($= \beta_4$) を別々に描いた T_1 は

$$\begin{aligned}
 T_1 &= \{t_1, \{t_2, \{t_3, t_4\}\}\} \\
 t_1 &= \{\beta_1\}, t_2 = \{\beta_2\}, t_3 = \{\beta_3\}, t_4 = \{\beta_4\}
 \end{aligned} \tag{5}$$

という階層構造ができているが，頭と胴体を一筆で描き腕を別に描いた T_2 は

$$\begin{aligned}
 T_2 &= \{t_1, \{t_2, t_3\}\} \\
 t_1 &= \{\beta_1, \{\beta_2\}\}, t_2 = \{\beta_3\}, t_3 = \{\beta_4\}
 \end{aligned} \tag{6}$$

という階層構造ができている．しかし，本来は $T_1 \equiv T_2$ とみなすべきである．このためにまず， T にある階層構造 t とその親にあたる $t(\text{parent})$ において $\beta \in t$ の点 s, e と $\beta \in ti(\text{parent})$ の中心点をすべて検討して，最も近い距離にある 2 点を探す． $\beta \in t$ の点を $p(\text{nearest})$ ， $\beta \in ti(\text{parent})$ の中心点を持つスケルトンを $\beta p(\text{nearest})$ とする．これらが決まると，まず $p(\text{nearest})$ を始点として t の新たな $\text{root}(= \beta(\text{root}))$ が決定し階層構造の再構築が行う．そして， $\beta(\text{root})$ は $\beta p(\text{nearest})$ の子供としてリンクする．以上から T_1

の場合においては

$$\begin{aligned}t2 &\Rightarrow (\beta(\text{root}) = \beta2, \beta p(\text{nearest}) = \beta1) \\t3 &\Rightarrow (\beta(\text{root}) = \beta3, \beta p(\text{nearest}) = \beta2) \\t4 &\Rightarrow (\beta(\text{root}) = \beta4, \beta p(\text{nearest}) = \beta2) \\t1 &= \{\beta1\} \Rightarrow t1 = \{\beta1, \{\beta2, \{\beta3, \beta4\}\}\}\end{aligned}\tag{7}$$

$T2$ の場合においては

$$\begin{aligned}t2 &\Rightarrow (\beta(\text{root}) = \beta3, \beta p(\text{nearest}) = \beta2) \\t3 &\Rightarrow (\beta(\text{root}) = \beta4, \beta p(\text{nearest}) = \beta2) \\t1 &= \{\beta1, \{\beta2\}\} \Rightarrow t1 = \{\beta1, \{\beta2, \{\beta3, \beta4\}\}\}\end{aligned}\tag{8}$$

となるので $T1 = t1 \in T1, T2 = t1 \in T2$ に置き換えると, $T1 \equiv T2$ が成り立つ. 以上で, 最終的に求める楕円セグメントの階層構造 T が求まる. これを集合 G のすべての T に適用する.

6 実験結果

図 22 と図 23 にさまざまな輪郭線について行った実験結果を示す. 一筆書きで描かれたものは, ある程度期待したものになっている. しかし, 本来一本の線であるものを複数の線で描くようなスタイルの筆跡にはふさわしい結果が得られない. これを避けるためには, 離散画像から輪郭抽出を行ったほうがよい結果を得られるのだが, このあたりの判断は迷うところである. 人が絵を書く様子を観ながら逐一理解していくことと, あらかじめ描かれた絵を理解することでは実のところ違うのである. 前者では鑑賞者は途中までの線の判断でもその線は何を意味するか予想をする. 絵描き歌の途中の絵は別の形状を指して歌われているのが良い例である. 一度認識したことを変えないガンコな性格であると思えば, 不自然なことではないのかもしれない. とはいえ私は後者的な理解を求めているので, 今後, 第一段階をあり方を変更する可能性はある.

7 まとめとこれからの展望

この論文で, 私は手描きの画像をいかにして階層構造をもった楕円セグメントに変換するかを提示した. プログラムは, 心理学的認知を参考にして, 単一の輪郭線だけでなく, 目と鼻が別々の筆跡で書かれた顔のような図像に関してもグループ化することができる. この階層構造を処理する方法はコンピュータにとってやりやすい方法にできたと思う. これからの展望としては, 自己組織化マップを用いて, 階層構造の共通部分が近いものを見つけ出し, 差分を組み合わせて自律的に新しい図像を作り出す, いわば連想力について考えたいと思う.

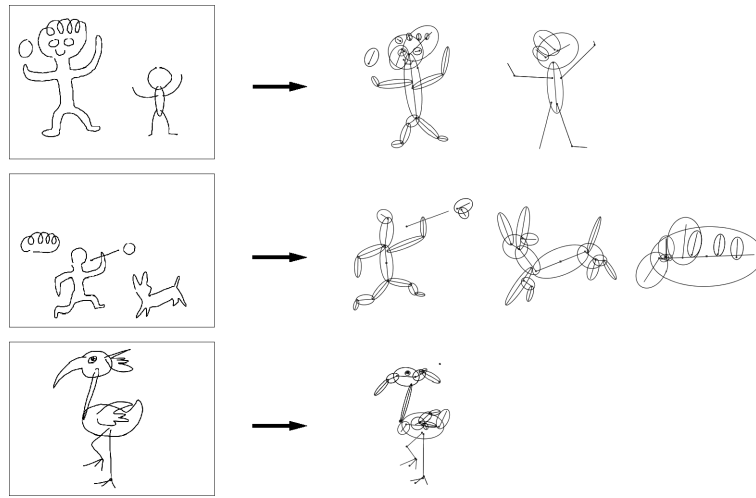


図 22: 実験結果 1

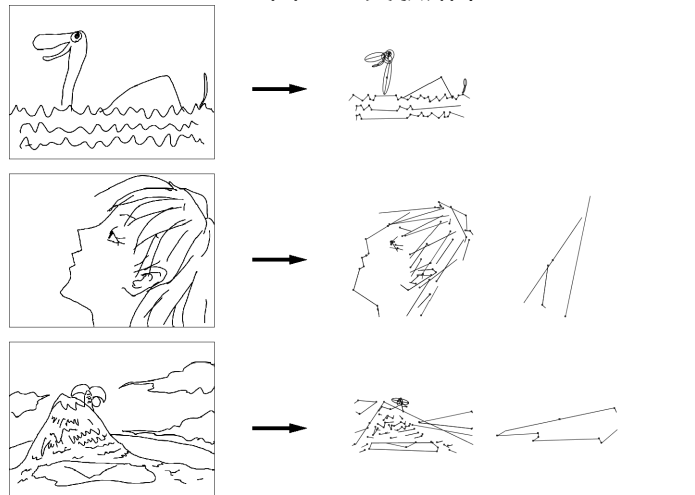


図 23: 実験結果 2

謝辞

論文指導において京都市立芸術大学美術学部構想設計専攻 中井恒夫教授，および京都市立芸術大学美術学部芸術学研究室 渡邊眞教授，および公立はこだて未来大学情報アーキテクチャ学科 美馬義亮講師，およびヘルシンキ芸術デザイン大学メディアラボ Mauri Kaipainen 教授，スケールスペースにおいて質問に答えていただいた山形大学工学部情報科学科 本谷秀堅助教授，数値計算のさまざまな面において助言をいただいた京都市立芸術大学美術学部自然科学研 藤原隆男助教授，人工知能画家において議論をしてくださっているカリフォルニア大学サンディエゴ校美術学部 Harold Cohen 名誉教授，に謹んで感謝の意を表する。

参考文献

- [1] I. Biederman. *Psychological Review*, 94:115–147, 1987.
- [2] H. Cohen. <http://craa.ucsd.edu/hcohen/>. 人工知能画家 AARON の製作者.
- [3] M. de Berg, M. Kreveld, and M. Overmars. *Computational Geometry: Algorithms and Applications*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, Germany, 1997. (浅野哲夫訳: コンピュータ・ジオメトリ - 計算機科学: アルゴリズムとその応用, 近代科学社).
- [4] C. Hilditch. Linear skeleton from square cupboards. *Machine Intelligence*, 6:403–420, 1969.
- [5] Matsuoka S. Igarashi, T. and H. Tanaka. Teddy: A sketching interface for 3d freeform design. *Siggraph99 Proceedings*, pages 409–416, 1999.
- [6] D. Marr. *Vision: A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information*. W. H. Freeman and Company, San Francisco, 1982. (乾敏郎, 安藤広志 訳: ビジョン - 視覚の計算理論と脳内表現, 産業図書).
- [7] P. McCorduck. *AARON's CODE*. W. H. Freeman and Company, New York, 1991. (下野隆生 訳: コンピュータ画家アーロンの誕生, 紀伊国屋書店 (1998)).
- [8] F. Mokhtarian and A.K. Mackworth. A theory of multiscale, curvature-based shape representation for planar curves. *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 14(8):789–805, 1992.
- [9] 中尾 学, 本谷 秀堅, and 出口 光一郎. スケルトンの抽出と階層化による輪郭線図形の多重解像度解析. 情報処理学会研究報告「コンピュータビジョンとイメージメディア」, (104):1–8, 1996.
- [10] 光島貴之. <http://www.nextftp.com/museum-access-view/atelier.html>. 全盲の芸術家.
- [11] 本谷 秀堅, 中尾 学, and 出口 光一郎. 多重解像度スケルトンを用いた輪郭線図形の分割手法. 情報処理学会論文誌, 40(7), 1999.
- [12] 草原 真知子. 視覚と触覚におけるイメージの共有と触発. 情報処理学会研究報告「コンピュータビジョンとイメージメディア」, (124):81–84, 2000.