心地よい手描き曲線の明細的特徴の解析と再現

森本崇之† 高木佐恵子‡ 吉本富士市‡
和歌山大学大学院システム工学研究科† 和歌山大学システム工学部‡

1．はじめに

車などの工業デザインの分野ではなめらかで美しい曲線がよいとされている．そのような曲線の生成方法については，すでに数多く研究されている[1]．一方，絵本などでは，なめらかな曲線ばかりが使われているわけではなく，強弱のある線，ふるえのある線など，なめらかではない手描き曲線が多くみられる．また，一部のロゴ，シンボルのデザインでもなめらかな曲線を使わず，強弱やふるえのある手描き風の曲線を用いている場合がある．これらの絵には，なめらかな曲線にはない，あたたかさや心地よさが感じられる．絵の印象は線の質によって左右されるといわれている．また，世界的に有名な絵本作家ディック・ブルーナは「線のふるえは自分の心臓の鼓動である．」と言っており[2]，絵を描く作者の気持ちが線に現れているとも言える．このことが，あたたかさや心地よさを感じさせる一因になっていると思われる．

既存のグラフィックツールには，著名作家の描く絵の特徴を抽出してそれを利用するといった機能はない．また，ふるえのある心地よい手描き風曲線の生成方法についてはまだほとんど研究されていない．手描き風曲線を自動で生成できれば，著名作家の作風を表現したり，原画から手描き風のアニメを生成することなどが可能となると考えられる．

文献[3]では、手描き曲線の明細的特徴である線のふるえの特徴を解析し，ふるえのある手描き風曲線を自動的に生成する手法について述べた．本稿では手描き風曲線の生成手法を提案し，作家による明細的特徴の比較を行った結果を示す．

2．手描き風曲線の生成手法

「かたち」の情報は概形とそれを補正する情報（明細）に分けられる[4]．そこで，手描き風曲線を，概形と明細に分けて生成する．概形をなめらかな曲線で生成し，明細の特徴を著名作家が描いた手描き曲線から抽出する．そして，それらを合成することで手描き風曲線を生成する．提案する手描き風曲線の生成アルゴリズムをまとめると以下のようになる．

Step 1:なめらかな曲線で概形を生成
Step 2:手描き曲線から明細の特徴を抽出
Step 3:Step1 で生成した概形と Step2 で抽出した明細を合成

ここで，Step2 で手描き曲線の明細の特徴を抽出するためには，手描き曲線の特徴を解析する必要がある．手描き曲線の明細的特徴を解析する手法については 3 節で詳しく述べ，その解析結果から明細的特徴を再現する手法を 4 節で詳しく述べる．

3．手描き曲線の明細的特徴の解析

本節では，まず手描き曲線に対して近似を行い，なめらかな曲線で概形を生成する方法について述べる．次に，手描き曲線と生成した概形に対してそれぞれフーリエ解析し，特徴比較を行い，手描き曲線の明細的特徴を明らかにする．この際，サンプリング間隔による影響が出ないようにサンプリング間隔は十分細かく取る．

3.1 曲線の概形の生成

手描き曲線には曲線部分だけではなく，直線部分やとがった部分もあり，複雑な形状となっていることが多い．このような複雑な形状を高精度に近似するには B スプライン曲線が適している．図 1 は手描き曲線の輪郭データであり，微妙なふるえがある．それに対して 3 次 B スプライン曲線を用いた近似[5]を行うと，図 2 のようになめらかな曲線で概形を生成できる．

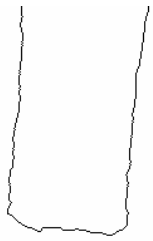


図 1：手描き曲線の例

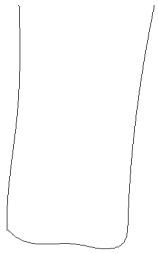


図 2：手描き曲線の概形の例

3.2 フーリエ解析

曲線をフーリエ解析する方法として，フーリエ記述子がある．ここでは開曲線にも応用できる P 型記述子[6]を利用する．

手描き曲線とその概形を，それぞれ P 型記述子を用いて周波数領域にあらわし，それらのパワースペクトルを比較する．図 3 は手描き曲線のパワースペクトルを，図 4 は 3.1 節の手法で生成した手描き曲線の概形のパワースペクトルを表している．この 2 つを比較すると，高周波部分で違いが現れていることがわかる．複数の曲線について解析を行った結果，周波数 64(=2^6)以上の高周波領域に大きな違いが現れることが確認できた．このことから，曲線を周波

Analysis and Reproduction of the Detailed Feature of a Comfortable Handwriting Curve
†Takayuki Morimoto・Graduate School of Systems Engineering , Wakayama University
‡Saeko Takagi , Fujiichi Yoshimoto・Faculty of Systems Engineering , Wakayama University

数領域にあらわしたときに，ある一定の値以上の高周波部分を手描き曲線のふるえ(明細的特徴)とみなすことができると考えられる．ここでは周波数 64 以上でパワースペクトルが 2^{-5} 以上の高い値を示しているものを線の明細的特徴とする．

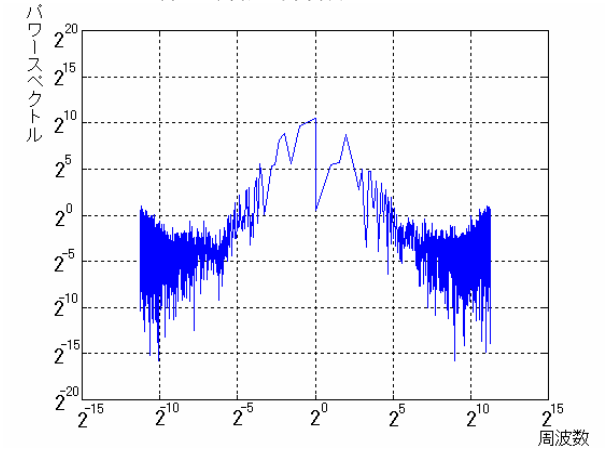


図 3：手描き曲線のパワースペクトル

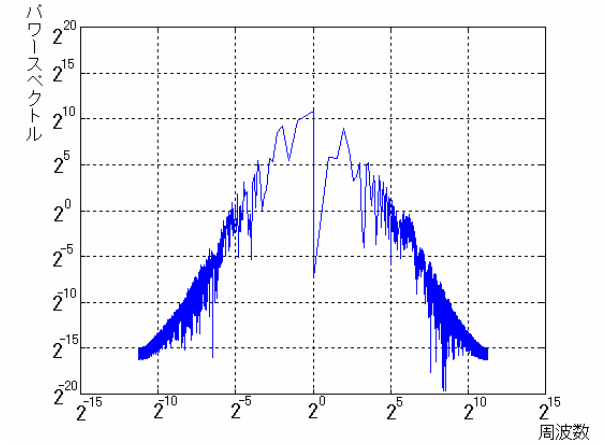


図 4：手描き曲線の概形のパワースペクトル

4．手描き曲線の明細的特徴の再現

3.2 節で述べたように，線の明細的特徴は高周波部分に現れる．そこで，手描き曲線の高周波部分を抜き出して，ある曲線の概形の高周波部分を置き換えることで，曲線の明細的特徴を再現する．その手順は以下のとおりである．

Step 1:手描き曲線を P 型記述子で周波数領域にあらわす．

Step 2:Step 1 であらわしたものにハイパスフィルタを用いて，高周波部分の抜き出しを行う．

Step 3:B スプライン曲線で近似をおこなって生成したある曲線の概形を P 型記述子で周波数領域にあらわす．

Step 4:Step 3 の概形の高周波部分と Step 2 で抽出した手描き曲線の高周波部分を置き換える．

Step 5:Step 4 で得られたものにフーリエ逆変換を行い，周波数領域から時間領域に戻すことで手描き風曲線を生成する．

なお，手描き曲線には太さがあるため，線の太さも再現する必要がある．そこで，曲線の両側に対してそれぞれ手描き風輪郭線を作り，その内部を塗りつぶすことで，太さのある手描き風曲線を生成する．

5．実験結果

本節では，提案手法を用いて手描き曲線の明細的特徴を抽出し再現した結果を示す．まず，抽出する高周波部分の範囲を変えて生成した曲線と，元の手描き曲線との比較を行った結果を示す．次に，別の概形にその明細的特徴を追加することで生成した手描き風曲線の結果を示す．

5.1　手描き曲線の特徴解析実験

図 5 はチャールズ　M．シュルツの作品「チャーリーブラウン」の輪郭線の一部[7]と，抽出する高周波部分の範囲を変えて生成した手描き風曲線の一部である．図 5(a)は手描き曲線の一部であり，図 5(b)-(f)はそれぞれの範囲の周波数成分を抽出し，手描き曲線の概形の高周波部分を置き換えることで再現した曲線の一部である．これをみると，抽出する周波数が 64-512 の範囲で手描き曲線の明細的特徴が再現できている．

図 6 はディック・ブルーナの作品「ミッフィー」の輪郭線の一部[8]と，抽出する高周波部分の範囲を変えて生成した手描き風曲線の一部である．図 6(a)は手描き曲線の一部であり，図 6(b)-(f)はそれぞれの範囲の周波数成分を抽出し，手描き曲線の概形の高周波部分を置き換えることで再現した曲線の一部である．ブルーナの作品では線のふるえが細かく，明細的特徴を再現するには 64-2048 以上の高周波部分まで抽出する必要がある．

5.2　チャーリーブラウンの輪郭線の生成

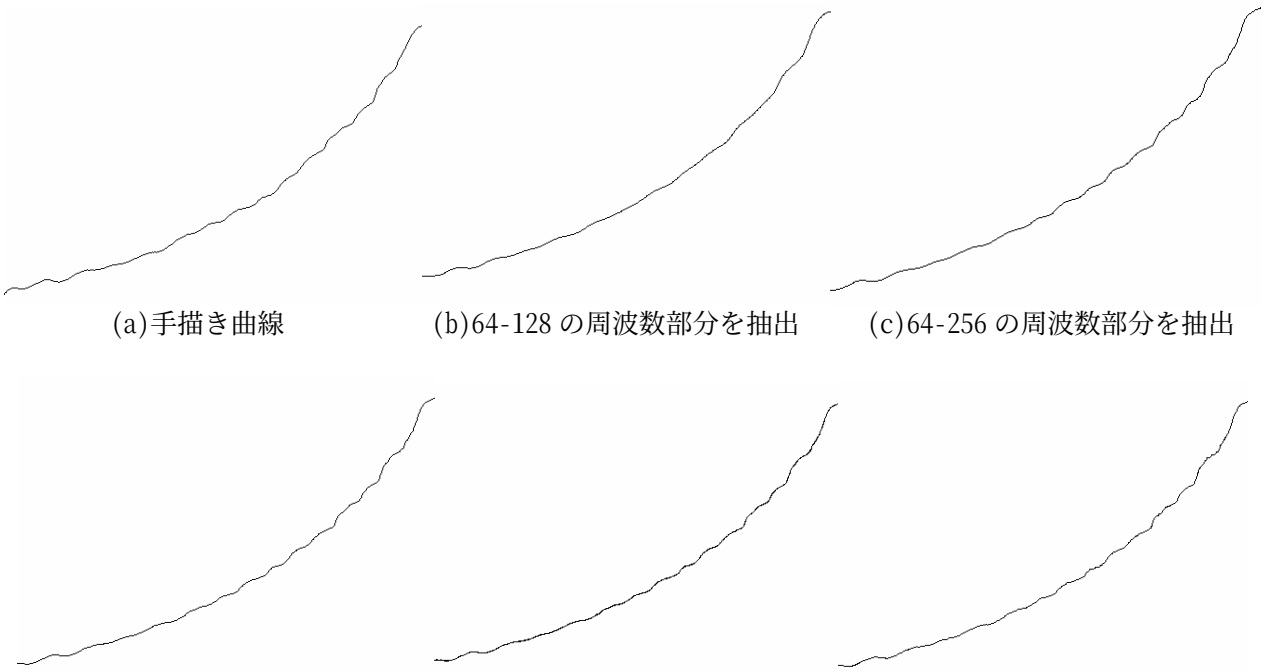
図 7 はチャールズ　M．シュルツの作品「チャーリーブラウン」[7]である．図 8 は提案手法で生成した手描き風のチャーリーブラウンである．チャーリーブラウンの概形の 64-512 の範囲の高周波成分をシュルツの描いたチャーリーブラウンの高周波成分で置き換えることで生成した．

5.3　チャーリーブラウン風のふるえをもつ曲線の生成

図 9 は素人が描いた魚の図である．図 10 は図 9 の魚の図に提案手法でチャーリーブラウンの明細的特徴を付加した図である．概形の 64-512 の範囲の高周波成分をチャーリーブラウンの高周波成分で置き換えることで生成した．

5.4　考察

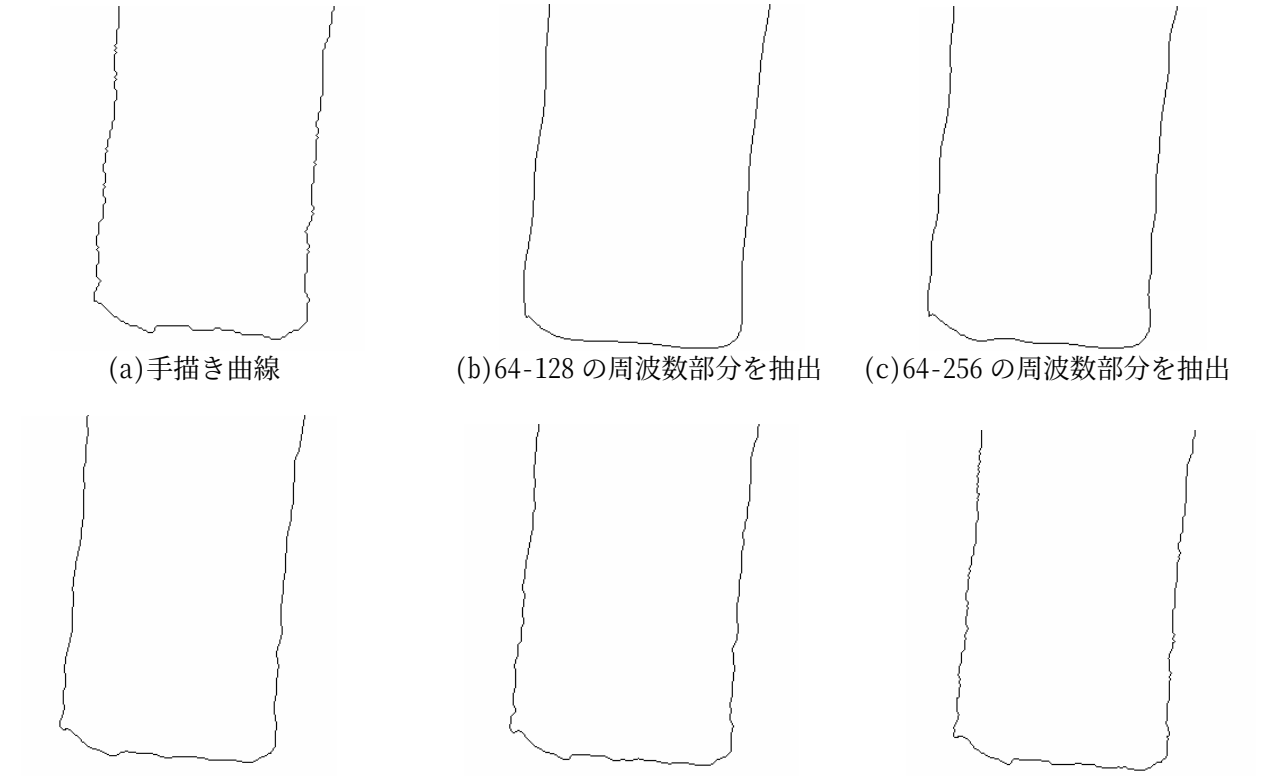
生成したチャーリーブラウンを見てみると，シュルツの描いたチャーリーブラウンでみられる線の明細的特徴が，提案手法で生成した曲線でもうまく再現できていることがわかる．このように，線の明細的特徴に関しては良い結果が得られた．しかし，輪郭全体のゆがみや，線の太さには違いがみられる．この明細的特徴を素人が描いた魚の図に追加した結果，チャーリーブラウンのようなふるえをもった手描き風曲線がうまく生成できた．このことから，あ



(a)手描き曲線　(b)64-128 の周波数部分を抽出　(c)64-256 の周波数部分を抽出

(d)64-512 の周波数部分を抽出　(e)64-1024 の周波数部分を抽出　(f)64-2048 の周波数部分を抽出

図 5：チャーリーブラウンの輪郭線の一部[7]と生成曲線の一部



(a)手描き曲線　(b)64-128 の周波数部分を抽出　(c)64-256 の周波数部分を抽出

(d)64-512 の周波数部分を抽出　(e)64-1024 の周波数部分を抽出　(f)64-2048 の周波数部分を抽出

図 6：ミッフィーの輪郭線の一部[8]と生成曲線の一部

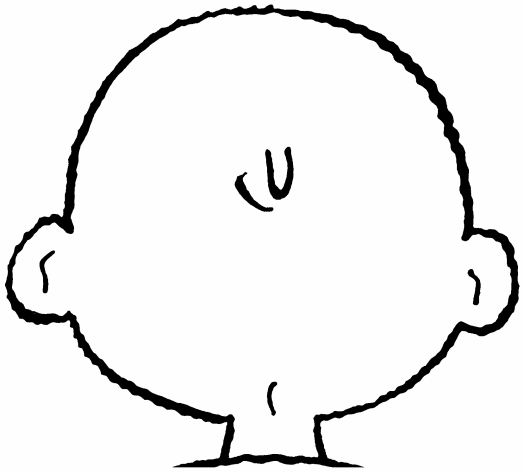


図 7：チャーリーブラウンの輪郭線[6]

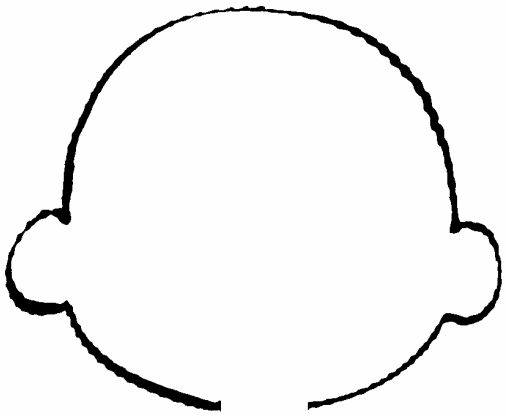


図 8：提案手法で生成した手描き風のチャーリーブラウン

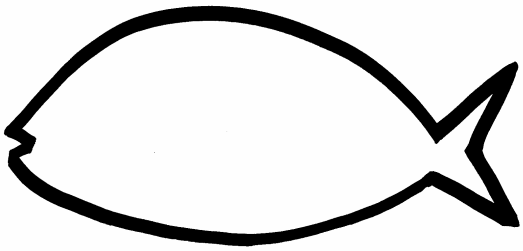


図 9：素人が書いた魚の図

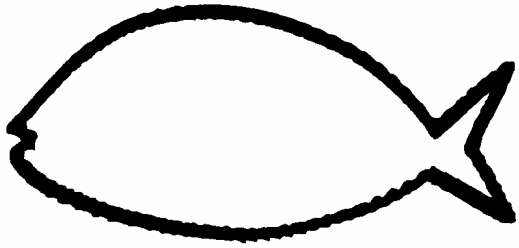


図 10：提案手法で生成したチャーリーブラウン風のふるえをもつ魚の図

る作家風の作品をある程度自動生成することができると考えられる．もちろん，作品の質に影響するものは，線の明細のほかに，線の概形があるので，それもあわせて考える必要がある．

6．まとめ

本稿では，手描き風曲線の生成手法について述べた。また、手描き曲線の明細的特徴の解析と，その再現方法を提案した．P 型記述子を用いて手描き曲線を周波数領域に表したとき，手描き曲線の明細的特徴が高周波部分のある一定の範囲にあらわれることがわかった．また，その高周波部分を抽出し，それを概形に付加し，フーリエ逆変換を行うことで，ふるえのある手描き風曲線を自動的に生成できることが確認できた．太さのある手描き風曲線は，曲線の両側の輪郭線をそれぞれ生成し，それをあわせることで生成できる．

提案手法を用いてチャールズ　M. シュルツの作品，ディック・ブルーナの作品で曲線の生成実験を行い，良好な結果を得ることができた．また，素人が描いた曲線に著名作品の明細的特徴を追加することにより，それらの作品と同様の明細的特徴をもった手描き風曲線を生成できることがわかった．

今後の課題としては，線の太さが不自然にならないようにする方法を考える必要がある．また，明細の特徴だけではなく，概形の特徴抽出とその利用についても考えていきたい．

参考文献

[1]H.G.Burchard, J.A.Ayers, W.H.Frey and N.S.Sapidis, Approximation with Aesthetic Constraints , in *Designing Fair Curves and Surfaces,* ed.N.S.Sapidis, SIAM Philadelphia, pp.3-28, 1994.

[2] 草彅紘一，ブルーナミュージアム，白泉社，2001.

[3] 森本崇之，高木佐恵子，吉本富士市，心地よい手描き曲線の自動生成，平成 14 年度 情報処理学会関西支部 支部大会 講演論文集，pp.59-62.

[4]上坂 吉則，かたちのスペクトル分析，数理科学，No.246，pp.38-45，1983.

[5]吉本富士市，原田利宣，森山真光，吉本芳英，実数を遺伝子とした遺伝的アルゴリズムによるデータあてはめ，情報処理学会論文誌，Vol.41，No.1，pp.70-82，2000.

[6]上坂 吉則，開曲線にも利用できる新しいフーリエ記述子，電子通信学会論文誌，Vol.J67-A，No.3，pp.166-173. 1984.

[7]Charles M.Schulz, CHARLIE BROWN Not Your Average Blockhead, HarperCollins Publishers, 1997.

[8]ディック・ブルーナのポスター(Illustration Dick Bruna ©copyright Mercis bv,2000).