

SIGGRAPH'94における ノンフォトリアリズムの研究の動向

石原亘

京都造形芸術大学

グラフィックスにおける写真的リアリズムの技術が十分に成熟したため、それを補い得る非写真的リアリズムが研究の新しい目標として注目されている。本稿では94年度のSIGGRAPH大会の「描画と作図」のセッションで発表された論文のうち、この話題に関連の深い3件を紹介する。これらはすべてともにペン画の表現を規範に求めている。しかし、問題に対する認識はそれぞれに異なっている。これを整理することによって、この分野が決して単一の分野でなく、たがいに関連のある複数の分野が選択的に重なり合ったものであることを明らかにする。

On the Recent Studies of the Non-Photorealistic Graphics Discussed in the Three Papers at SIGGRAPH '94

Isihara Wataru

Kyoto University of Art and Design

Recently, more studies have come focused onto the non-photorealistic graphics, as the complement technologies for the photorealistic graphics achieved the maturity. In this paper we discuss the problems addressed and the approaches proposed in the three papers at the session on the "Paintings and Drawings" in the SIGGRAPH '94. It is interesting that all of these three papers are on the same pen-and-ink illustration. However, it is more interesting that they have particular different recognition on the pn-and-ink illustrations. This means that there are none of the single fields of studying non-photorealistic graphics but several different fields associated with each other.

0. 緒言

94年のSIGGRAPH大会では、研究発表に「描画と作図 (Paintings and Drawings)」のセッションが置かれ、五つの論文が発表された。そのうちの三つはペン画と同じ特徴をもった画像の作図を支援するシステムの開発に関するものであった。ここでは、これらについて紹介する。特に、3件が把握している問題の正確、解決しようとしている問題の微妙なずれを比較によって明らかにして、よってペン画生成の、さらには非写真的リアリズムのフィールドの広がり明らかにしたいと考える。

0.0. 語法

サーベヤが使う語法はゆらぎがあるので特に本稿で使う意味を定義しておく。線は直線も曲線も含む。グラフィックスには、色を縦横の格子に配列したものと図形を平面に配置したものとがあり、特に前者は画像ともよばれる。それぞれを作成することを、描画 (painting) および作図 (drawing) という。

1. 動機

Winkenbach[00]、Salisbury[01]、Hsu[02]の3件の仕事はどれもペン画に見える画像を生成することを動機としている。

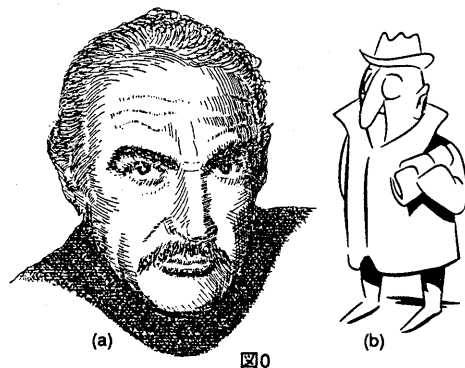
ペン画は非写真的リアリズムの表現の一つにすぎない。その中の特に、ペン画がこのように注目されているのは、

ア) 新たに開発される技術として、実現の難度が手持ちの技術から見て適切である。

イ) 現実にニーズがある。

といった理由があるためである。これらの理由の詳細については3件の論文によくまとめられているので、追って紹介する。

ペン画と言っても、Winkenbach、Salisburyの想定しているものとHsuのとは表現の方法が異なっている。前者は描点/線で構成されるタッチ (Winkenbachの語法ではストロークテクスチャ、Salisburyではストローク) によってトーン、テクスチャ、エッジを表現するタイプのイラストレーションであり (図0-a)、Hsuが想定しているのはエッジ、線状図形、擬態線 (速度線などの) を表わすストロークによって描かれたイラストレーションである (同b)。



(a) タッチによって描かれた絵 (Salisbury[01]より引用)
(b) ストロークによって描かれた絵 (Hsu[02]より引用)

生成されるイラストレーションの主たる用途に対する認識についてもこれらの二つのグループでは異なっている。WinkenbachとSalisburyは、現実にイラストレーションが適用されている例として教科書の解説図、メンテナンスマニ

ユアルの解説図、広告の視覚的要素などを掲げている。Hsuはデザイン画（ファッションデザインやインテリアデザインの過程で用いられるデザインの内容を視覚化したもの）を想定している。Hsuがさらに強い興味を持っているイラストレーションの適用は、まんがとアニメーションの素材静止画（ユーザは動画と呼んでいる。しかしこの用語は情報の取扱を論じるには誤解されやすい）である。Hsuの論文はこの話題になると突然に情緒的な書き方になる。

2. イラストレーションの特徴

2.0. 表現の能力に関する特徴

Winkenbachはペン画に限定されない一般の非写真的リアリズムの長所について述べている。

- 重要な情報に注意を集中させ、不要な細部を省略して表現できる。Winkenbachがメンテナンスマニュアルや医学の教科書のイラストレーションが、必ず非写真的リアリズムであることを指摘しているのは本質を突いてたいへん分かりやすい。写真的リアリズム画像は認知処理の入力、（適切に描かれた）非写真的リアリズム画像は同じく出力としてアナログできる。特に、人体の組織や複雑な装置の実物を見て視覚される情報は複雑すぎるので、非写真的リアリズム画像は人間の認知処理を援助するのであろう。
- 写真的には見えない（後方に隠されているなどにより）対象も表示できる。
- 記録/転送が経済的である。
- 生き生きとしている。
- 出版においては、画像の質が本文と同一なの

で視覚的に調和をもたらす

ただしサーベヤの経験によると、描線を記録/転送するのは平坦な画像に比べて必ずしも経済的ではない。

さらに、Salisburyは、特にイラストレーションが必要とされる理由、すなわち写真（写真的リアリズムに基づくイラストレーションを含む）に対するイラストレーションの長所として、単純性、経済性、原稿の再現性（原稿は紙に炭素系顔料を含むインクで描かれる。従来の印刷では出版形態も同じで紙に炭素系インクで印刷される）、複写（伸縮をともなっている）によって画質が劣化しにくい点を強調している。

2.1. 制作する側から見た特徴

WinkenbachとSalisburyは、作図する立場にとってはペン画が困難の多い技法であることを強調している。

- 画材は直接には白と黒との2色しか表現しない。つまり、トーンを表現しない。もちろん、彩りのある色もテクスチャも表現しない。
- 適度に現われる乱雑さは表現を豊かにする。ここで、当然のことなので特に指摘されていないことをつけ加えておく。
- ペン画を構成する最も重要なグラフィックス要素は描線である。描線は芯と幅、つまり支配的な軸と従属的な軸、によって張られる図形である。芯（背骨）は支配的な軸で、幅よりずっと長く、向きがあり、通常は曲線である。幅（厚み）は非負で、芯に沿って（芯の上手と下

手とで独立に) 変化することができる。幅は、画材によっては筆圧や紙に対する筆の仰角によって制御される。

タッチは多数の一律な描線の集合である。WinkenbachとSalisburyの研究は主としてタッチに関するものであり、彼らはタッチによる表現の特徴を次のように述べている。

○トーン、テクスチャ、エッジは(表現する必要がある場合は)、タッチによって表現しなければならない。タッチを構成する個々の描線を作図するのは人間にとっては退屈な負担である。ただし、エッジだけは直接にストロークとして描くこともできる。

以下はWinkenbachによる指摘である。

○(従来の画材では) 一度作図したタッチを明るくすることはできない。

以下はSalisburyによる指摘である。

○これらの属性を独立に制御することはできない。

○単独の描線を調節するだけでは属性を制御できない。タッチ(Salisburyの語法ではストロークの集合)を調節しなければならない。逆に、単独の描線は正確に描かれなくてもいい。

2.2. 技法の詳細

Winkenbachがペン画技法の詳細について概観している。

一般の技法としては次の点を特記している。

○鋭い感じは軽い(細くて長い)描線で、鈍い感じは重い(太くて短い)描線で。

タッチの技法には以下のものがある。

○描線が密なほど暗く、粗くて地が見えるほど明るい(全く細部がないのはまぶしいことを表す)。

○タッチを構成するのは、同一の幅(関数として)の描線を同一の間隔で並べる(多少の乱れは可能)のが基本である。

○描線の幅や間隔を正確に揃えると平滑なまたは新しいテクスチャ(ガラスなど)になり、乱れが大きいほど粗雑なまたは古いテクスチャになる。

○支配的な方向をもつ面のタッチはその方向に走る描線で構成する。

エッジはタッチの不連続な変化か独立したストロークによって示すことができる。ストロークでエッジを表現する技法には以下のものがある。

○硬い感じは軽い描線で、柔らかい感じは重い描線で。

○遠くは軽い描線で、近くは重い描線で。

○明るい所にある輪郭は軽い描線で、暗い所にある輪郭は重い描線で。

○手前の物体の陰からはみ出して見える物体の輪郭はかすれた描線で。

3. 課題に対する認識と接近

Hsuは広い範囲にわたって従来の技術をサー

べして、それらの抱えるどのような問題を新しい技術で解決しようとしているのか述べている。

- 正確に実在の画材を再現するシステムは対話を通じて設計を進めるには遅すぎる。
- 引いてしまったらすぐにストロークを画像化してしまうと、あとで修正できない。
- システムにストロークの属性を伝えるのに、従来の画材に似せた入力インタフェースを採用するのは、適切な能力をもつ画家にはふさわしいが、一般のユーザには操作が難しい（痛快な指摘は、「こんな操作を苦しめないユーザなら、紙に従来の画材で描くだろう」）。

特に、最後の問題に対処する方針として、従来の画材とは違うシーズを内包するシステムが必要であることを主張している。

Hsuは特に、デザインの過程でストロークを加工する機能に興味をもっている。ストローク（Hsuの場合は描線と実質で等しい）は骨格とよばれる有限曲線に、変化する膨らみが付加したものである（Hsuが指摘しているように、これは70年代にコンピュータによってまんがアニメーションを設計したり作画を支援したりできるグラフィックスのモデルとして提案されていた骨格モデルに似ている）。その解決に、ストロークのモデル、システムに保持させる情報、ヒューマンインタフェースの三つの方向から接近しようとしている。

Hsuはまた、ストロークの膨らみが変わるようにする手法の開発にも興味を持っている。

Winkenbachが特に興味をもっている問題は三

つある。

- すでに構築されている立体モデルから半自動的にペン画のイラストレーションを生成する。
- 輪郭をタッチまたはストロークで生成する。
- 冗長なタッチやストロークを削減する。広い面積に及ぶ同一のタッチや長くて単調なストロークを描かなければならない場合には、これらを一部にしか描き入れないことにして暗示するいくつかの手法があるので、この技法に対応しようとしている。

4. システムの概要

Winkenbachは、立体モデルからレンダリングを通じてペン画のような画像を得るシステムを実現しようとしている（これに対してSalisburyとHsuはグラフィックスだけを扱う）。ユーザが対話的にタッチを配置するには、このあとで紹介するSalisburyのシステムを用いればいいが、適用するタッチを決定するためにはトーンのいわば潜像が必要とされる。そこで、立体モデルから自動的に潜像を生成する。

Salisburyが提案するシステムは対話型の描画システムの特異な展開と見なすことができる。テクスチャ、トーン、エッジを指定しておいてから位置入力装置を使ってその配置される位置（と方向性があるテクスチャのためには勾配を表すベクトル場）とを与え、これをもとにしてタッチを発生する。その元として描線が生成される。いったん発生したタッチを明るく/暗くすることもできる。位置入力装置はステンシルを作画するのにも用いられる。個々の描線を描くこともできる。

描線には乱雑さを与えることができる。描線は（軸の）軌跡とそれを通じて変化する幅とからなる（現在のプロトタイプでは幅は一定）。下絵をほかのファイルから参照して表示することができる。これはユーザが見るためのもので、システムがこれを見てトーンなどを読み取ってタッチ化するわけではない。

Hsuのシステムはユーザが与えるストロークと同じ芯を持つストロークを発生する。その幅は前もってユーザが指定しておいた典型的な関数を当て填める。Hsuのシステムの重要な効果は、むしろそのあとでストロークを加工する場合に明らかになる。

3者はいずれも、直接には言明していないが、描画や作図に関して専門の能力をもつユーザ（従来のパラダイムに沿って経験を積んできた画家やグラフィックデザイナー）だけでなく、一般のユーザでもペン画の品質のイラストレーションを設計できるシステムを開発しようとしている。Hsuは多くの従来のシステムが、現実の画材に慣れた画家/デザイナーに期待できる画材を扱う能力を一般の異なる専門のユーザにも期待しているのは誤っていると指摘している。

5. 実現手法

Salisburyのシステムはタッチライブラリを呼び出して描線にそれを適用する。タッチライブラリは即値性のものと操作性のものがある。多くのタッチライブラリを標準で備えているが、ユーザが定義することもできる。

Salisbury技法の核心は、タッチを構成する描線に、出力のプライオリティがついていることである。つまり、トーンや伸縮に応じて出力す

る描線の本数が制御できる。

Winkenbachは、タッチ生成器が機能できるように、レンダラを拡張したパイプラインが提供すべき情報を列挙した。

○面やピクセルのトーンとテクスチャ。タッチを生成するために統合しやすくしておく。

○複数の面の会合。輪郭を描くため。

これらを含む言わば潜像を、システムにとって基本的な情報の取扱い形態として位置づけている。この方式によると、表示/印刷にともなう伸縮において、描線の密度したがってトーンを一定に保つことが可能になる。

Hsuは、制作が完了する相までシステムは画像の代わりにストロークを保持している必要を強調している。実用の描画システムのいくつかは、そもそも構造を持った図形を生成する代わりに画像を生成するだけなので、ストロークとしての加工は全くできない。

従来の実用システムの多くは、ストロークを要素として扱うのに、きわめて細い面として扱っている。したがって、それを加工すると一般にはストロークの特徴を失ったただの面になってしまう。また、操作も繁雑である（面の形状を規定するアンカを1個ずつ手で動かさなければならぬ）。そこで、Hsuのシステムは骨格ストロークを図形のモデルの基礎にしている。骨格ストロークは物理的モデルとは独立な純粋に図形的なモデルなので、Hsuが求める実在の画材とは異なった可能性を備えたシステムの基礎にふさわしい。特に、膨らみが増えるストロークが実現できる。

骨格ストロークはきつい折れ曲がりにおいて

しわや折れ戻りが生じるのが以前から問題になっていたが、これを解決するために、折れ曲がりの近傍で肉づきを局所的に変形するアルゴリズムを工夫した。

Hsuのシステムはストロークのライブラリを用いる。40種類ほどのストロークが備わっていて、これらを切り替えて選択しながら作図を進める。さらに、上級のユーザはこれらのストロークの属性を修正してカスタムストロークを作ってもいい。ここで、複数の通常のストロークから上位の複合ストロークを構成することもできる。この積み上げを再帰的に定義することもできる。

成果を印刷するには（おそらくモニタに表示するの）、ストロークの輪郭と内部を記述するPostScriptプログラムを発生する。

6. 展望

Salisburyは今後の課題として、制御の水準の向上、描線の幅の変化の活用（現状ではタッチを構成する異なる描線に対しては変化）、印刷/表示に際してのみ適切なタッチを発生できるようにするタッチより高い水準での記録のための表現、3次元デザインシステムとの結合（手法としてはレンダラの出力を受け取る）を掲げている。

Hsuは、特にまんがへの応用に関して、キャラクター、草木、建物をそれぞれ一つの（おそらく高度に上位の構造をもった）ストロークとして表現できるのではないかと考えている。そうすれば、アシスタントを使わないで作家が自分で容易に背景を描けるようになる。また、骨格ストロークモデルを用いると

○現実の画材の方が慣れているユーザのために圧力や速度などを読むストローク入力装置を支援するように改造することができる。

○立体性モデルを使ってはいないのにピッチングやヘッディングに似た効果が得られる。

○速度線が導出できる（アニメーションの素材静止画に関して）。

○モーフィングが簡単かつ自然にできる（ただの画像が素材だとそれらを細分して対応づけなければならない）

などの効果が期待できる。

参考文献

○サーベの対象

[00] Winkenbach, G., Salesin, D. H., "Computer-Generated Pen-and-Ink Illustration," *Comput. Graph. Ann. Conf. Ser.*, 1994, pp. 91-100 (July, 1994.)

[01] Salisbury, M. P., Anderson, S. E., Barzel, R., Salesin, D. H., "Interactive Pen-and-Ink Illustration," *Comput. Graph. Ann. Conf. Ser.*, 1994, pp. 101-108 (July, 1994.)

[02] Hsu, S. C., Lee, I. H. H., "Drawing and Animation Using Skeletal Strokes," *Comput. Graph. Ann. Conf. Ser.*, 1994, pp. 109-118 (July, 1994.)

○これらを対象とする既往のサーベ

[03] Lansdown, J., Schofield, S., "Expressive Rendering: A Review of Nonphotorealistic Techniques," *Comput. Graph. & Appl.*, Vol.15, No.3, pp. 29-37 (May, 1995.)