

CTGの代表的4作品の再現によるアルゴリズムの解明

大泉和文※ (正会員) 伊藤誠※

※中京大学 工学部

A study of CTG's 4 CG works based on the reproduction of the works

Kazufumi Oizumi※ (Member) Makoto Ito※

※School of engineering, Chukyo University

{ooizumi, mito}@sist.chukyo-u.ac.jp

アブストラクト

CTG (Computer Technique Group) は、1966年末に結成された日本で初めて美術作品としてコンピュータ・グラフィックス (以下CG) を制作したグループである。その活動期間は3年弱に過ぎないが、ヤシャ・ライハートが監修した世界初の大規模なコンピュータ・アートの展覧会「Cybernetic Serendipity」展 (ICA, London, 1968年) を初めとする海外の展覧会に出品した。そのためCTGの作品は初期コンピュータ・アートの古典的名作として、今なお国内外の書籍に掲載され続けている。CTGは今日のメディア・アートやデジタル・アートの国際的なパイオニアである。

一方で、CTGの作品研究については、その殆どが「Cybernetic Serendipity」展図録からの引用に留まり、作品をアルゴリズム・レベルで検証した研究はない。第一筆者は幸運にも元CTGメンバーの知遇を得て、取材を進めてきた。その中で、幾人かの方から作品や当時の資料を拝借することもでき、検証を進めてきた。今回はCTGの代表的なCG 4作品 (シリーズ) の再現の試みを通じて、明らかになった点を報告する。CTGは当時のアートの潮流であったポップ・アートやオプ・アートを下敷きとして、具象をモチーフに線形・非線形補間など基礎的な幾何学と乱数をベースに多様で多彩な作品を制作したことが明らかになった。

Abstract

CTG (Computer Technique Group) is the group which produced computer graphics (following CG) as art works for the first time in Japan, and was formed at the end of 1966. Though they were active less than three years, they sent to international exhibitions, one of them is "Cybernetic Serendipity" (ICA, London, 1968) which Jasia Reichardt supervised and the world's first major computer art exhibition. CTG's works are appearing in books both inside and outside Japan as classical masterpiece of early computer art. CTG is an international pioneer of media art and digital art in Japan.

On the other hand, the study of CTG is only quotation from "Cybernetic Serendipity" catalog, there is no research by verifying in algorithmic level. The first author was treated with kindness of former CTG members and interviewing them. I continue verifying with borrowing CTG's works or other materials. Here we report the clear points through reproduction trial of four representative CG works. The works of CTG were modeled on art vogue pop art and op art in those days, produced various works based on linear/non-linear interpolation, basic geometry and random numbers used concreteness as a motif.

1. はじめに

1.1 CTGの概要

CTG (Computer Technique Group) は、1966年末に東京大学大学院機械工学科の榎屋治紀と多摩美術大学プロダクトデザイン科の幸村真佐男が中心となって結成したグループであり、日本で初めて美術作品としてコンピュータ・グラフィックス (以下CG) を制作した。その活動期間は3年弱に過ぎないが、ヤシャ・ライハートが監修した世界初の大規模なコンピュータ・アートの展覧会として語り継がれる「Cybernetic Serendipity」展 (ICA, London, 1968年) を初め、国内外の複数の展覧会に出品した。そのためCTGの作品群は初期コンピュータ・アートの古典的名作として、今なお国内外の書籍に掲載され続けている [1]。1960年代を起点とするコンピュータ・アートは、今日のメディア・アートやデジタル・アートに引き継がれ、現代美術の重要な一角を占めている。CTGはその日本における国際的なパイオニアである。

1.2 CTGに関する既往研究について

初期コンピュータ・アートについて、学術的に信頼できる著作は、J.ライハート「The Computer in Art」 [2] やH.フランケ「Computergraphik」 [3] の研究が知られるが、黎明期から1970年代初頭までの代表的な作家や作品を網羅的に扱ったものであり、CTGに関しては「Cybernetic Serendipity」展出品作の一部について、当時の視座で検証したに過ぎない。最近の著作としては大口孝之『コンピュータ・グラフィックスの歴史』 (フィルムアート社, 2009年) などがあるが、CTGに関しては以下に示す展覧会図録掲載の解説論文からの引用が主であり、事実と異なる記述も散見する。筆者らが調査した限り、現在に至るメディア・アート史を踏まえてCTGの全作品・活動を検証し総括したものは未だ無い。

展覧会としては、この10年余り「アート&テクノロジーの過去と未来」展 (ICC, 東京, 2005年)、「20世紀コンピュータ・アートの軌跡と展望」展 (多摩美術大学美術館, 2006年) および「文化庁メディア芸術祭10周年企画展『日本の表現力』」

(国立新美術館, 2007年) など日本のメディア・アートを総括する企画が続いたが、これらは1960年代から現代に至る、現代美術との対照を含めたメディア・アートの通史的意義に留まった。

1.3 本研究の目的

これまでCTG作品については、一部の作品が繰り返し言及されてきたに過ぎなく、そのほとんどが「Cybernetic Serendipity」展図録からの引用であり、アルゴリズムの詳細は解説されていない。筆者らは、元メンバー全員に取材を行い、閲覧・借用できた一次資料を記録・整理 (電子ファイル化) し、背景を含めてCTG作品や活動を明らかにし、その意義を多角的に検証してきた。一般に伝統的な美学・美術史研究における研究対象は最終的な完成状態の作品だが、本研究ではプログラムリスト、デバッグ資料やフィルムなども一次資料として、芸術科学的なアプローチを試みた。同時に部分的とはいえ作品制作プロセスを解

明し、代表的な作品について、その背景、元メンバーの役割、アルゴリズムを含めて検証した。本稿はいくつかのCTG代表作品の再現の試みを通じて、それらのアルゴリズムを解明しようとするものである。

2. CTGの作品

2.1 CTGの主な発表

CTGは、1966年12月に4人で結成され、最終的に10名となった。CTGの作品は、メンバー全員によるディスカッションを経て作品コンセプトや方法、制作担当者を決定した。作品の著作権はメンバー全員によって現在まで管理されている。

CTG最初の作品発表は1967年8月、日本宣伝美術会 (日宣美) 公募展にオフセット印刷によるポスター作品《COMPUTER DESIGN SERIES No.1~3》3点の応募である。入選には至らなかったが、このポスターに使用したJ.F.ケネディのCGはその後様々な方法でシリーズ展開し、CTG作品の代名詞となった。

翌1968年、ロンドンICAの展覧会「Cybernetic Serendipity」に招待され、《Kennedy》シリーズや《Return to a square (a), (b)》を含む24点のCG作品、音楽作品《Bit Music》および詩《Computer Poetry》の計26点を出品し大きなインパクトを残した [4]。同年、アメリカのコンピュータ月刊誌『Computers and Automation』主催の「6th Computer art Contest」に入選し、《Deformation of Sharaku》を初めとするCG作品6点が8月号に掲載された [5]。

国内では、CTG唯一の個展「コンピュータ・アート展“電子によるメディア変換” media transformation through electronics」 (東京画廊, 9月5日~21日) を開催した。CTGは「光や音ならびに人間の行動はコンピュータによる電子化を通じて、CGや絵画に変換可能」と考えていた。この展覧会ではシルクスクリーン印刷したCG作品を壁面に展示した。併せて、タブローの自動作成を目指した手作りのインクジェット・プリンタ《APM (Automatic Painting Machine) No.1》 (図1) を発表した。



図1. 《APM No.1》1968年

翌1969年「第6回パリ青年ビエンナーレ」展 (VI^e BIENNALE DE PARIS, 1969年10月2日~11月2日) に3点の平面作品とCGアニメーション《Computer Movie No.1》 (16mmフィルム) を出品した。パリ青年ビエンナーレへ作品の発送を終えて、1969年10月1日、CTGは発展的に「解体」した。その後もCTGの作品は初期コンピュータ・アートのメルクマールとして、国際的に多数の出版物に掲載されることとなった。

2.2 再現対象とした作品について

今回CTGの代表的なCG作品を再現するにあたり、以下4作品(シリーズ)を選択した。

- ① CTG作品の代名詞として多数展開された《Kennedy》シリーズから、資料も現存するその第1作《Random Walk Kennedy》(図2), 《Star Kennedy》, 《Cube Kennedy》 [6] .
- ② ヤシャ・ライハートが「One of my favourites」と絶賛する《Running Cola is Africa!》(図3) .
- ③ 線形補間以外の変換を含む《Deformation of Sharaku》(図4) .
- ④ CTGの最高傑作として書籍の表紙やLPジャケットにも使用された《Return to a square (a), (b)》(図5, 図6) .

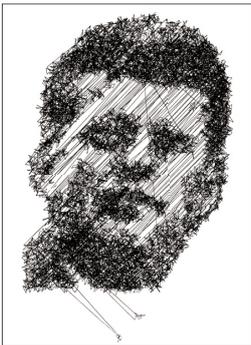


図2. 《Random Walk Kennedy》1967年

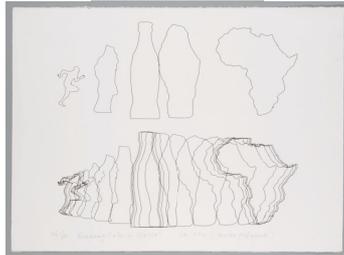


図3. 《Running Cola is Africa!》1968年

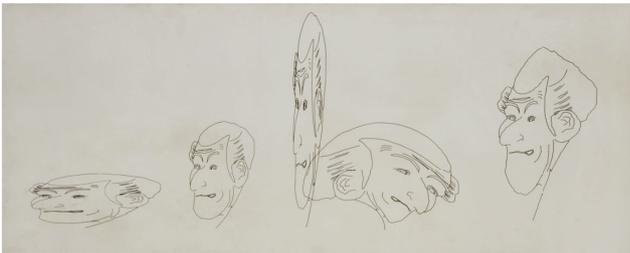


図4. 《Deformation of Sharaku》1968年

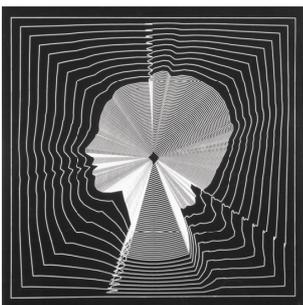


図5. 《Return to a square (a)》(等差数列版) 1968年

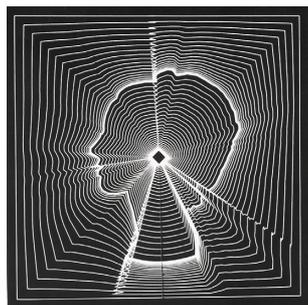


図6. 《Return to a square (b)》(等比数列版) 1968年

これらのうち、プログラムリストおよびデータが現存するのは①のみ、簡単なフローチャートだけが現存するのは②であり、③および④に関してはいずれも残っていない。

2.3 使用したプログラム言語について

CTGが使用したコンピュータは IBM 7090, プロットは CALCOMP 563, プログラム言語は FORTRAN IV である。今回の再現にあたり、言語は現在メディア・アートで多用されている

Processing を使用した。再現手法は、資料およびヒアリングに基づき可能な限りCTGの作成手法と同じ、もしくは類いのアルゴリズムを採用することとした。

3. 《Kennedy》シリーズの再現

3.1 現存のプログラムとデータについて

《Random Walk Kennedy》《Star Kennedy》《Cube Kennedy》のFORTRANのプログラムは63行である。CTGのデータ採取方法は『アサヒジャーナル』掲載のケネディの写真(オフセット印刷)を97×75の格子で覆い、その全てのグリッド交点について、白もしくは黒の2値判定を行い、黒とする点をXY座標として拾った。つまり写真の網点というアナログ量を目視と手作業でデジタル量に変換し、網点のある座標を採取していった(図7)。

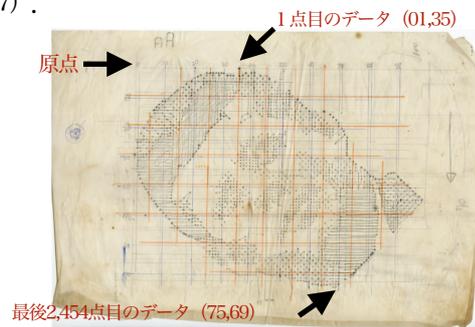


図7. 黒点座標データの採取に用いたトレーシングペーパー

データは直交座標系であり、座標は YX 座標の昇順で (yy, xx) それぞれ2桁の形式で記録されていた。データの総数は2,454点である。データ採取にあたり、元の写真を45°回転させているのは、オフセット印刷の最も一般的な「スクリーン角度(網角度)」に準拠している。これにより、《Random Walk Kennedy》の各座標データを繋ぐ線分は、45°の斜線として描かれた。

3.2 《Random Walk Kennedy》のアルゴリズム

CTGは原画像から作成した座標データ(n1)の点の周りに新たに10個の点を生成し、生成順に描画してランダム・ウォークを実現した。10点の座標は、1点ごとに乱数で生成した r, THよりデータ(n1)を中心とした極座標系で $(c \cdot r \cdot \cos(TH), c \cdot r \cdot \sin(TH))$ により決定した。続いて、10点目から次のデータ(n2)の座標へ線分を描く(図8)。こうして《Random Walk Kennedy》は一筆書きで描画された。データごとに生成した10点は、一定の半径内に収まるよう定数「c」で制限を加えており斜線との絶妙なコントラストを表出させた(図9)。

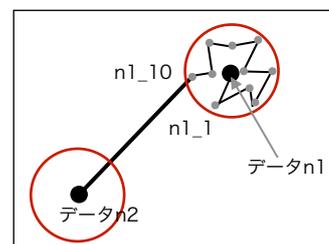


図8. 《Random Walk Kennedy》のアルゴリズム図解



図9. 再現した《Random Walk Kennedy》

右上方から左下方に向かう45°の斜線群は、3.1でも説明した「スクリーン角度」の再現である。顎下に飛んでいる2点および額付近から右下方に伸びる3本の斜線は、データのバグに起因する。このバグは「スクリーン角度」の再現のみでは、ほぼ平行線の集積だった画面に（手描きのドローイングと同質の）アクセントをもたらしたと考えられる [7]。

3.3 《Star Kennedy》 および 《Cube Kennedy》

いずれもデータの座標を中心に星型もしくは正方形を表示し、その集積でケネディの明度画像を表示したものである。星型や正方形の大きさは乱数により決定した。

《Star Kennedy》の構成要素である星型は、現存のソースでは「CALL SYMBOL」の14番「☆」が指定されているが、実際に描いた星型は「★」であり、最終的には独自に「星型描画サブルーティン」を作成、もしくは「CALL POLY」により「★」を描いたと思われる [8]。なお、シンボルの高さSは、乱数Rより ($S=2.0+10.0*R$) で指定している。

《Cube Kennedy》の正方形はサブルーティン「CALL POLY」(正多角形)で指定している。一辺の長さFは乱数Rより ($F=5.0+10.0*R$) で指定している。



図10. 再現した《Star Kennedy》および《Cube Kennedy》

3.4 乱数サブルーティンについて

CTGは独自にいくつかの乱数サブルーティンを作成していた。既存のプログラムリストからも2種類が見つかったが、《Random Walk Kennedy》と同一のファイルに保存してあった方を使用した。CTGの乱数アルゴリズムは、線形合同法であり、係数は最長周期を保証するものではなかったが、簡単な生成テストを行い、本作品再現での使用には問題ないと判断し、そのまま使用した。

4. 《Running Cola is Africa !》の再現

4.1 《Running Cola is Africa !》について

本来、性質もサイズも大きく異なる、ヘイズ（東京五輪100m走優勝者）、コーラ瓶、アフリカ大陸、以上3点の輪郭線が漸次変化する作品であり「モーフィング手法」の先駆けとなった。CTGはこのアルゴリズムを「トポロジー変換（もしくは「メタモルフォーゼ」）」と称した。

●資料1：フローチャート

当時の雑誌に作品のフローチャートが掲載されている [9]。フローチャートから3図形の輪郭点数は同じ数だったと推測できる。ヘイズとコーラ瓶、コーラ瓶とアフリカの各中間図形を「10回ずつ」計算し描画することになっているが、実際はヘイズとコーラ瓶の間は7回、コーラ瓶とアフリカについては11回である。

変換方法は中割法（例えば、ヘイズとコーラの元図から中間図形①を生成し、続いてヘイズと中間図形①の中間値から中間図形②を生成、さらに中間図形①とコーラの中間値から中間図形③を生成）とも解釈できるが、この場合、中間図形の個数は $2^n - 1$ 、つまり1, 3, 7, 15, …、となり作品と一致しない。

また、中間図形の配置については「原点をずらす」とあるのみで、方向と距離が不明である。

●資料2：下半分のプロット出力原図

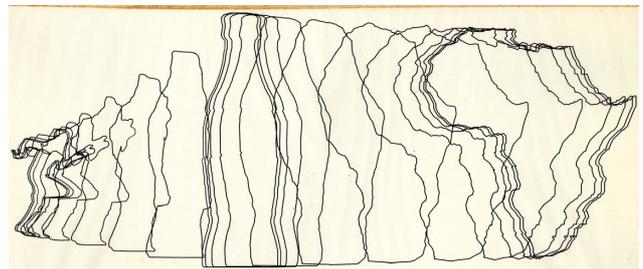


図11. プロット出力原図

下半分のプロット出力原図（図11）のみが現存する。詳細に観察すると、コーラ瓶描画の終始点は瓶底の中央（対称軸上）と判明した。ヘイズは土踏まず付近、アフリカは南端である。よって、これらの対応点を結ぶと、各モーフィング図形（中間図形）の対応点はそれぞれの線分上に存在し、中間図形の分布が判明した。

4.2 再現方針

この作品はプログラムも座標データも存在しない。よって、CTGの制作プロセスの逆を辿り、プロッタ出力の原図からヘイズ、コーラ瓶、アフリカの3図形の座標を採取した。次に、前述のフローチャートを下敷きに、疑問点の解明も含めてプログラムの再現を試行錯誤することとした。

4.3 3つの図形輪郭線のディザイズ

この作品の輪郭線は、すべて短い線分を繋げた多角形で描画している(図12)。データ採取の作業は線分と線分の接続点を目視で判断し、直交座標系で座標を採取した。接続点の確認が最も容易だったのはアフリカの輪郭線であり、計205点となった。ヘイズについては若干の調整の上、205点に揃えることができた。コーラ瓶は137点(半分を反転させ重複する点を除外、 $69 \times 2 - 1$)となった(図13)。

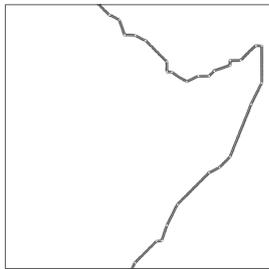


図12. アフリカのデータ(部分)

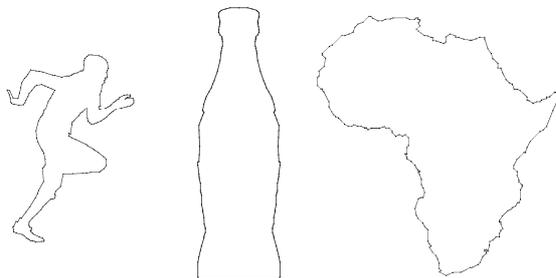


図13. 3図形のデータ採取図

図形の輪郭点数は同数であったと推測できるため、3図形のデータ数を揃える(コーラ瓶も205点とする)方法を考えた。まず、相対的に長い線分に中点を付加する方法や、対称軸上の点となるコーラ瓶の底と口に点を重ねる方法を試みたが、いずれも芳しくない結果となった。例えばヘイズからコーラ瓶へのモーフィングにおいて、ヘイズの膝の形は中間地点を越えてからも影響が顕著である。

そこで特徴的な端点に点を重ねるウエイトの設定を適応する可能性を探った。具体的にはインタラクティブな「重み」調整用のツールを別途作成し、サンプル点の重みを調整した。その結果、調整前では最大で10%を超えていた中間図形(特徴点)の最大誤差を2%程度に抑制することができた。

4.4 座標系の統合と3図形の配置

まず、コーラ瓶の底中央を作品全体の座標系の原点とし、この全体座標系の中でヘイズとアフリカの配置位置を決めた。次にヘイズとアフリカの輪郭データをこの全体座標系に置換した。

4.5 ヘイズ、コーラ、アフリカの間図形描画

置換したヘイズの輪郭線データと、対応するコーラ瓶の輪郭線データを選択し、2つのデータを補間して、中間点を求めた。ヘイズ輪郭線上の点を ct 、コーラ瓶のそれを st とすると、中間図形の点は線分 $l(t)$ 上に存在することになる。

$$l(t) = ct \cdot (1-t) + st \cdot t$$

($t=0$ のときヘイズ, $t=1$ のときコーラ瓶)

ct と st については、「重み」数を用いて各図形のサンプル点数を同一とし、原点から順に対応させた。原図と合致するようあらかじめ調整した「重み」数を利用している。 t 値は、プロッタ出力原図から各中間図形間の描画終始点を実測し、値域を $\{0..1\}$ に正規化した。コーラ瓶とアフリカについても同様の手順を踏んだ。この t 値の分布が、4.1の「原点ずらし」のアルゴリズムに相当する。

再現プログラムによる各中間図形の出力位置とプロッタ出力原図とを比較し、 t 値を修正した結果、非常にきれいな数列となった。ヘイズとコーラ瓶、コーラ瓶とアフリカ間の2つの分布はほぼ同一であり、ヘイズとコーラ瓶間の中間図形は前半の1~7までを描画し、8番目以降は描画していない(表1)。この7図形は均等配置でなく途中の図形は「間引き」されている。これは、ヘイズの躍動感を演出するためと考えられる。また、コーラ瓶とアフリカ間の中間図形は11であり、均等な配置ではなく意図的な表現を行ったと思われる。

表1. ヘイズとコーラ瓶およびコーラ瓶とアフリカの間隔
・ヘイズとコーラ瓶の間

中間図形の番号	0	1	2	3	4	5	6	7	8	-	-	-	-	-
正規化・差分	0.00	0.01	0.02	0.04	0.08	0.15	0.20	0.20	0.30	-	-	-	-	-

・コーラ瓶とアフリカの間

中間図形の番号	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
正規化・差分	0.00	0.01	0.02	0.04	0.08	0.15	0.20	0.20	0.15	0.08	0.04	0.02	0.01	0.00

検証の結果、 t 値はガウス分布(正規分布)と推測した。自然界に存在するばらつきのある根拠でもあり、見た目にも落ち着きがあり、違和感が少ないといわれる。そこで、ガウス分布を $a + b \cdot \exp(-c(x-d)^2)$ として、Excelのsolverを用いて2乗誤差の最小を目的とする係数の推定を行った。その結果、図14のグラフに示すようにかなりの一致をみる事ができた

($a=0.006, b=0.20, c=6.50, d=2.58$, 最大誤差0.6%)。

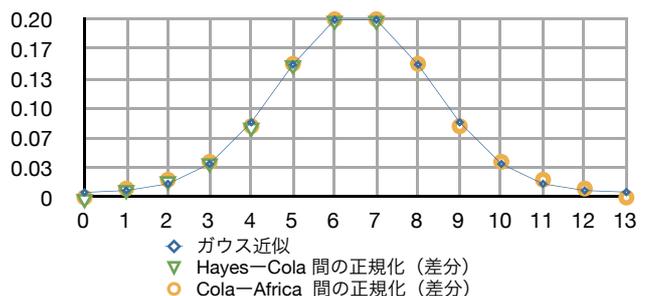


図14. ヘイズ、コーラ瓶、アフリカの配置間隔 (t 値) グラフ

ただし、この「ガウス分布との関連」はCTGへのヒアリングでは聴取できなかったため、推測の域にとどまっている。

4.6 再現作品と各図形配置の意図について

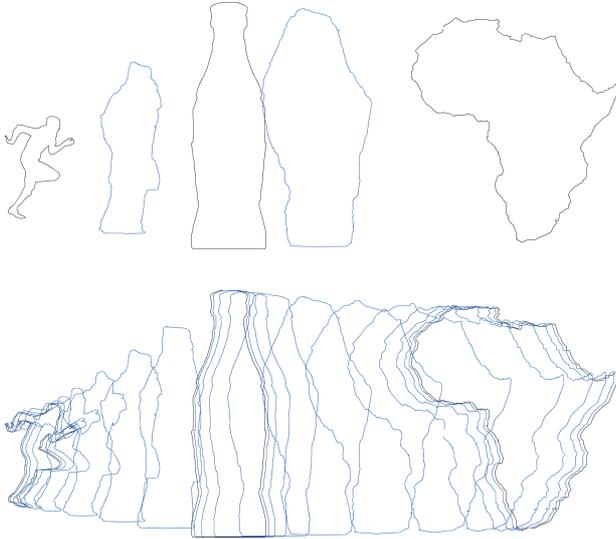


図15. 再現版《Running Cola is Africa!》

再現作品(図15)の上半分は、ヘイズ、コーラ瓶、アフリカの輪郭の3図形と、ヘイズとコーラ瓶の中間図形($t=0.5$)およびコーラ瓶とアフリカの輪郭の中間図形($t=0.3$)の5点のみを描画している。元の3図形を明示することで、下半分の緻密なモーフィングが一目瞭然となっている(仮に上半分がなく下半分のみの場合、抽象的な連続模様と認識される可能性が高い)。

下半分のうちヘイズとコーラ瓶の間については、E.J.マレイのクロノフォトグラフィを想起させる。スタートから徐々に加速し、途中から($t=0.7$ を最後に)一気にコーラ瓶へと変換することで「褐色の弾丸」と称されたヘイズのスピード感、躍動感を表している。

コーラ瓶とアフリカの間については、本来サイズも外形も大きく異なるもの同士のモーフィングゆえ、コーラ瓶とアフリカ直近の変化は微細にはじまり、徐々に大きく変化させている。中間値($t=0.5$)を挟んでアメリカとアフリカを対称に配置している。コーラ瓶は大量消費社会のアイコンでありアメリカの象徴であるのに対して、当時「第三世界」「ブラック・パワー」として台頭・注目されていたアフリカ大陸を対比させたと考えられる。

5. 《Deformation of Sharaku》の再現

5.1 《Deformation of Sharaku》について

この作品の発想基の一つになったのは、D.トムソン“On Growth and Form”の「種々の魚の座標変換」[10]であったと幸村が証言している。トムソンが対象とした魚の代わりに、東洲斎写楽《市川蝦蔵の竹村定之進》をモチーフにした。左から2番目に原画像比率のままに輪郭線抽出した画像を配置し、ほかに4種の変換画像(計5パターン)を並べた作品である(図

16)。トポロジー変換による4つの例を対比させている。各画像は左から順に、

- A: 縦方向に1/2倍, 横方向に2倍
- B: 原画像と同じ比率
- C: 縦方向に2倍, 横方向に1/2倍
- D: 円筒曲面へのアナモルフォーゼ(極座標系への変換)
- E: 非線形変換

の各種変換となっている。

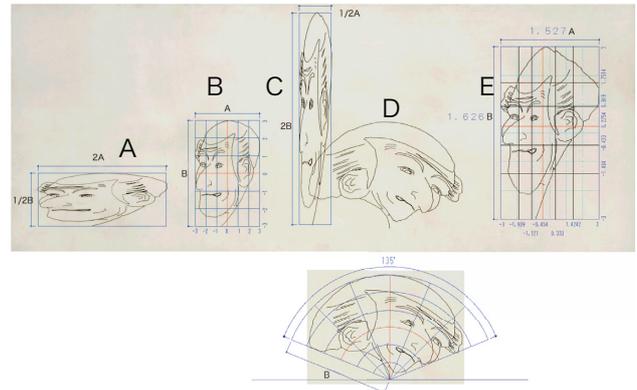


図16. 《Deformation of Sharaku》の変換比率

5.2 座標データの採取

写楽の原画と同じ比率である「B図」から、輪郭線のポイントを抽出した。これまでの再現の試みと同様に線分と線分の接続点を目視で判断し、XY座標に当てはめた(図17)。点数は計586点となった。

今回は4つの変換画像のうち、D図:極座標変換、およびE図:非線形直交変換の再現を試みた。

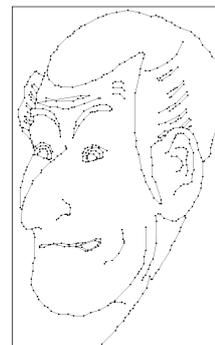


図17. 「B図」のデータ採取図

5.3 極座標変換再現の試み(D図)

CTG作品の計測から「D図」は「B図」の高さを半径、角度 135° とする扇型変換であり、「B図」の極座標変換と判断した。加えて、円筒曲面へのアナモルフォーゼを意図したため、鏡像となっている。

さきに採取した各ポイントのXY座標を正規化し長方形から扇型へ、すなわち直交座標系から極座標系に変換した場合の、扇型の原点からの距離と角度に各ポイントを変換した。

長さ $r =$ 扇型の半径 \cdot 正規化した y 座標

角度 $a = (180^\circ - 135^\circ) / 2 + (135^\circ \cdot$ 正規化した x 座標)

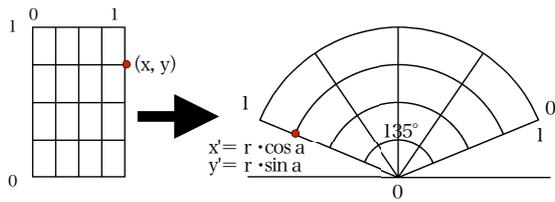


図18. 直交座標系から極座標系への変換

続いて、各ポイントを再び直交座標系に戻した。

$$x' = r \cdot \cos a$$

$$y' = r \cdot \sin a$$

最後に各ポイントを線で繋ぎ輪郭線を描画した(図19)。CTG作品とかなりの一致をみる事ができた(最大誤差1.3%)。



図19. 再現版アナモルフォーゼ(黒がCTG作品, 赤が再現版)

5.4 非線形直交変換 (E図)

「E図」のサイズは「B図」に対して、X方向およそ1.53倍、Y方向およそ1.62倍である。「A図」や「C図」と異なり、「E図」は非線形変換と推測した。まず、双曲放物面(双曲座標系)を始めいくつかの曲面への投影を3Dソフトによって試みたが、「E図」に相当する写像は得られなかった。そこで、2次および3次曲線による当てはめを行うこととした。

目安とするため「B図」を6×6の均等グリッドで覆い、便宜上、座標値をX,Y座標ともに-3.0~3.0に正規化した(図20)。

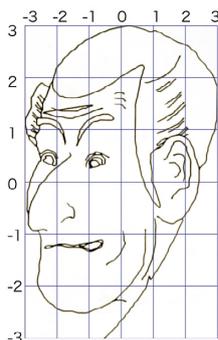


図20. 「B図」の正規化グリッド(-3.0~3.0)

まず、「B図」との対比から「E図」の中心座標を推定し、各グリッド間隔を調整(伸縮)させて「E図」に一致させた。

$$x \text{ 軸 } (-3.0, -2.0, -1.0, 0, 1.0, 2.0, 3.0)$$

$$\rightarrow (-3.0, -1.93, -1.09, -0.45, 0.3, 1.45, 3.0)$$

$$y \text{ 軸 } (-3.0, -2.0, -1.0, 0, 1.0, 2.0, 3.0)$$

$$\rightarrow (-3.0, -1.48, -0.45, 0.23, 0.87, 1.76, 3.0)$$

続いて、上記各座標からX,Y方向の伸縮関数を推定する方法をとった。x,y軸ともに上記各座標を通る2次関数と推定した

が、最下点を軸として左右非対称となるため、別々の2次関数としてExcelのsolverで係数を算出した。

・x軸の非線形変換(2次式)

$$-3 \sim 0 : x = -0.09x^2 + 0.59x - 0.45$$

$$0 \sim 3 : x = 0.19x^2 + 0.58x - 0.45$$

・y軸の非線形変換(2次式)

$$-3 \sim 0 : y = -0.26x^2 + 0.30x + 0.24$$

$$0 \sim 3 : y = 0.20x^2 + 0.32x + 0.24$$

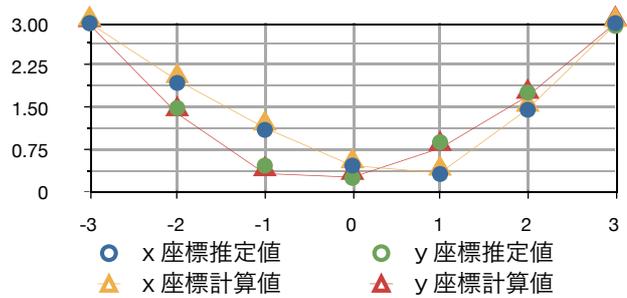


図21. 非線形変換(2次式)のグラフ

ある程度の一致はみられたが(最大誤差4.6%)、この方法では最下値を境に別々の曲線となってしまい、曲線の連続性を考慮し、3次関数を適応しExcelのsolverで係数を算出したところ、2次関数よりもCTG作品に近い結果が得られた(図22, 図23)。

・x軸の非線形変換(3次式)

$$x = 0.034x^3 + 0.050x^2 + 0.697x - 0.446$$

・y軸の非線形変換(3次式)

$$y = 0.041y^3 - 0.028y^2 + 0.629y + 0.254$$

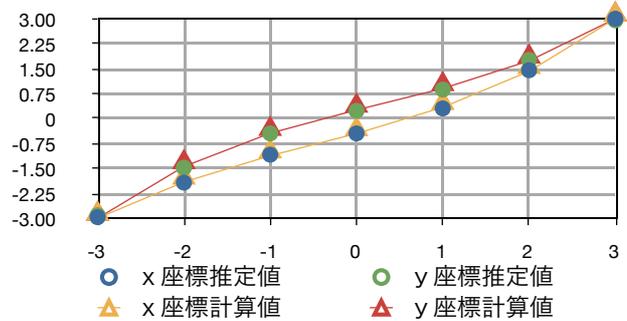


図22. 非線形変換(3次式)のグラフ

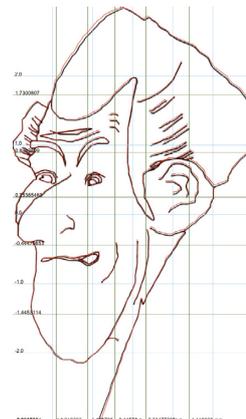


図23. 再現版非線形直交変換(黒がCTG作品, 赤が再現版)

3次関数の場合も再現版とCTG作品とは微妙な差異（最大誤差1.7%）があり、2次または3次関数による変換と断定するには至らなかった。なお、非線形直交変換が完全な一致とならなかった理由としては、①6×6の均等グリッドに起因する不整合、②座標データ採取時の誤差、③CTGが引伸ばしプリントした時のレンズ周辺歪みなどが考えられる。

6. 《Return to a square (a),(b)》の再現

6.1 《Return to a square》について

Vogue誌掲載広告から採った女性の輪郭を中心に配置し、その内側と外側に正方形を配置し、中間図形を描いた作品である。基本図形が徐々に変化しつつ同心円状に拡張する展開に、オブ・アートの影響を見ることができる。女性の輪郭以外は正方形という最も基本的な幾何形態であり、また、内側の正方形を45°回転させたことで、線が密になる部分にはモアレが表出し、モーフィングの面白さを際立たせている。

6.2 座標データの採取

シルクスクリーン印刷のオリジナル作品から、女性輪郭線のポイントを抽出した。線分と線分の接続点を目視で判断し、XY座標にした。点数は合計126点となった。

6.3 中間図形の生成手法

画面中央を原点 ct 、輪郭上の点を st として ct と st を通る線分

$$\ell(t) = ct \cdot (1-t) + st \cdot t$$

を設定する（126本）。その線分を延長して、外側の正方形との交点 $pt2$ を計算した。同様に中心部の正方形との交点 $pt1$ を計算した（図24）。

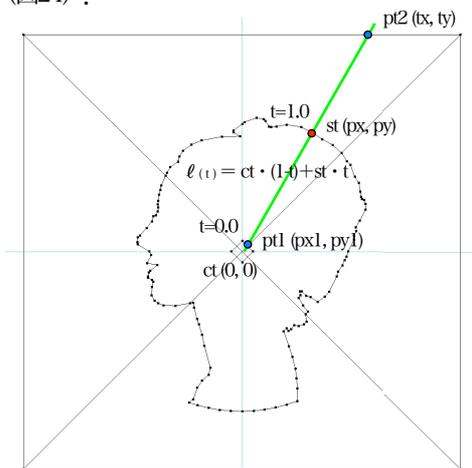


図24. 輪郭線と2つの正方形、および線分 $\ell(t)$ の関係

中間図形に関しては、

- ・輪郭線～外側の正方形： $st \sim pt2$
- ・内側の正方形～輪郭線： $pt1 \sim st$

の2つに分けて計算した。

6.4 等差数列版 (a) の再現

前述の各線分上に原図の中間図形の数より、以下の間隔で点

を求めた。

- ・ $st \sim pt2$ ：10等分
- ・ $pt1 \sim st$ ：50等分

最後に各点をつないで線分（各モーフィング図形）を描いた。図25に示すように、CTG作品とほぼ一致した（最大誤差0.7%）。

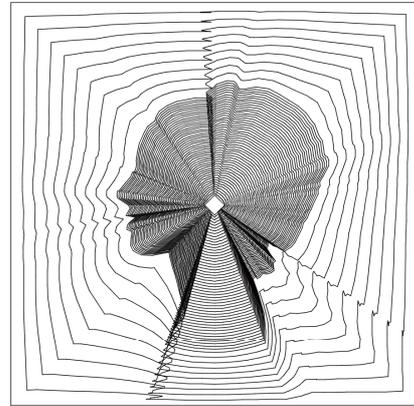


図25. 再現版《Return to a square (a)》（等差数列版）

6.5 等比数列版 (b) の再現

前述の各線分上に、以下の間隔で中間図形の点を求めた。

- ・ $st \sim pt2$ ：20ステップ
- ・ $pt1 \sim st$ ：30ステップ

最後に各点をつないで線分（各モーフィング図形）を描いた。CTGが geometrical progression と解説しているため [11]、各ステップの間隔を等比数列で計算したところ図26となり、CTG作品（図6）とは異なる結果となった。女性輪郭線のすぐ外側は中間図形の線が重なり、徐々に粗になるべきだが、最初から間隔が空いており、等差数列に近い変化となった。

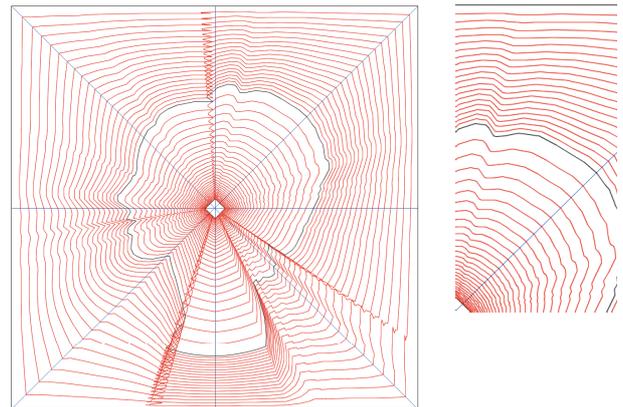


図26. 再現版《Return to a square (b)》（等比数列版）

（中間図形を「赤」で表示している。右上は同ディテール）

そこで、オリジナル作品から「輪郭線～外側の正方形」の間隔を実測し、正規化すると次の数列となった。

$$a_n = \{0.0, 0.0025, 0.01, 0.0225, 0.04, 0.0625, 0.09, 0.1225, 0.16, 0.2025, 0.25, 0.3025, 0.36, 0.4225, 0.49, 0.5625, 0.64, 0.7225, 0.81, 0.9025, 1.0\}$$

n のフィボナッチ数列、2次および3次式を検討した結果、

$b \cdot n^2$ でほぼ一致することが確認できた (最大誤差 0.4%) .

$$a_n' = 1/400 \cdot n^2$$

となる. 図27に実測値, 等比数列, 2次式の関係を示す. ただし, 等比数列 r^n の場合, $r^0 = 1$ となるため $r^{20} = 2$ となる r を求め, $r^n - 1$ ($n=0..20$) で値域を $\{0..1\}$ に正規化した.

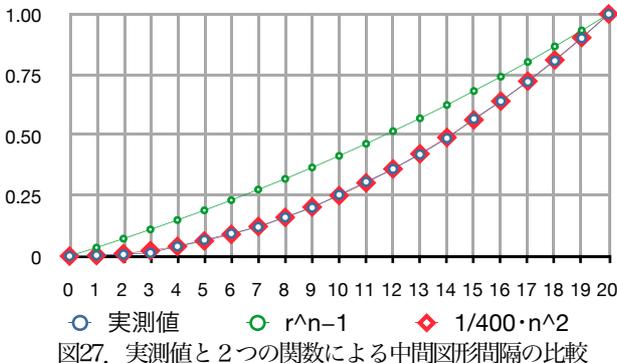


図27. 実測値と2つの関数による中間図形間隔の比較

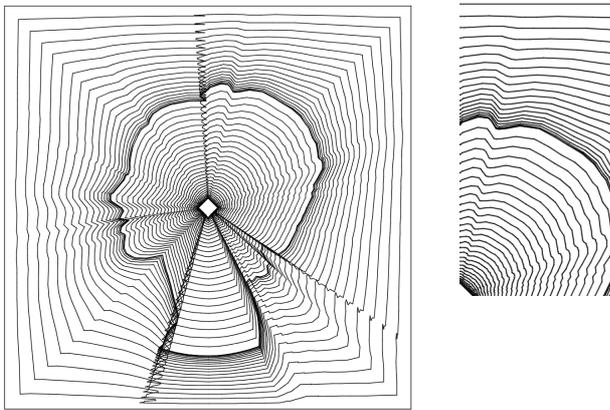


図28. 《Return to a square (b)》再現版 ($a_n' = 1/400 \cdot n^2$ 版) (右上は同ディテール)

再現図形を 図28 に示す.

7. 作品再現を踏まえての考察

CTGはその一部を除き, 個々の作品についてアルゴリズムの解説を行わなかったが, 当時の3誌にアルゴリズムの総論ともいえる「CTGの方法論」を発表している [12]. 掲載の時期や雑誌の傾向から, 方法論の名称や区分は微妙に異なるが,

「データ変換」「トポロジー変換」「コンピュータ・ジェネレイテッド・パターン」の3つにまとめることができる. ここでは作品再現を通じて明らかになった点を踏まえて, 「CTGの方法論」との考察を試みる.

7.1 データ変換

《Kennedy》シリーズに顕著なように, データ各点の座標に正方形や星形などのパターンを当てはめ, 様々なバリエーションを展開した方法である. 当時のポップ・アイコンをモチーフとしたのは, A.ウォーホルの手法をCGに置換したものである. ランダム・ウォークのばらつきや, 各図形の大きさは乱数で決定しており, 後述の「コンピュータ・ジェネレイテッド・パターン」

同様に, 造形要素としての乱数の可能性を追求している.

7.2 トポロジー変換 (メタモルフォーゼ)

閉曲線という同一のトポロジーを維持しながら, あるフォルムから別のフォルムへ数10ステップを経て漸次変化させた方法で, CTGは「トポロジー変換 (もしくはメタモルフォーゼ)」と名付けた. CTGの代表作となった《Return to a square (a)》などは線形補間であり, 《Running Cola is Africa!》《Return to a square (b)》は非線形補間である. 中間図形の規則性からなる画面の美しさに特徴がある. 《Deformation of Sharaku》では, 線形・非線形補間の両方および座標系変換を適応したが, この作品は中間図形の漸次的な変化ではなく, 4種類の変換結果のみを配置したものである.

7.3 コンピュータ・ジェネレイテッド・パターン

《Kennedy》シリーズのように予めデータがあるのではなく, ひとつの生成規則 (関数, アルゴリズム) を基にパターンを作成したシリーズである. その際の頂点座標, 距離, 発生濃度などのパラメータには乱数を与えた. 人間の創造過程におけるインスピレーションをコンピュータによる乱数生成に置き換え, 様々な数値造形パターンの生成を行った.

7.4 考察

以上3つの方法論を通して, CTGは (シンメトリーや黄金分割などの美の既成文法に替わる) 新しいシンタクスの実験と開発を行った. ここで, 今回再現した作品群をまとめると下表のようなになる.

表2. 作品のアルゴリズム概要

作品名	データ	アルゴリズム	CTGの分類
Kennedy シリーズ	網点	重ね描きによる濃度表現, 乱数	データ変換
Running Cola is Africa!	輪郭線	非線形補間	トポロジー変換
Deformation of Sharaku	輪郭線	アフィン変換, 座標系変換および非線形補間	トポロジー変換
Return to a square (a), (b)	輪郭線	線形補間, 非線形補間	トポロジー変換

以上からCTGの代表作品のアルゴリズムは, 「データ変換」と「トポロジー変換」によることが分かる. なかでも「トポロジー変換」は, その後「モーフィング」と称され同様の方法による作品が多数制作されたことから, 影響の大きさが分かる.

同時にCTG作品の特徴として, ①当時のアート潮流であるポップ・アート (A.ウォーホル) やオブ・アートを下敷きとしていた点 [13], ②モチーフに具象が含まれる点が挙げられる. 同時代のドイツの作家たちがM.ベンゼの情報美学の流れを汲むアルゴリズム研究に重きを置き, 抽象的なCG作品だったのとは対照的である. 巧みに具象を取り込んだCTGの作品は, 1970年代以降, CG開発の主流がリアリズム追求へ移行する先鞭と捉えることもできよう.

8. おわりに

《Return to a square》のシリーズに顕著なように、これらは当初からから2つのグラフィックスを対比的に見せる作品として構想された。CTGはアートをシステムとして構想し、展開することを模索していた。端的に述べると、コンピュータ・アートとは「芸術が作品を創り出すシステム」であり、「芸術をシステムとして把握すること」が目標であった[14]。クリストファー・アレグザンダーの「SYSTEMS GENERATING SYSTEMS」を援用し、コンピュータ・グラフィックスのプログラムを「生成システム」すなわち作品を創り出す論理（ルール）であり言語であると考えていた。同時に、作家が個展でシリーズ作品を展示するのは、作品そのものよりも「（生成）システム」を見せているのだと定義している。

CTGのさらなる理解のためには、一連の作品群を大きなシリーズとして理解すること、さらにCTGの活動全体をシステムとして捉えなおす視点が必要であろう。

謝辞

本研究実施に際し、CTGの皆様にはヒアリングや資料の借用を始め多大なご支援ご協力を賜りました。特に藤野孝爾氏には複数回にわたるヒアリングに応じていただき、作品再現にあたり丁寧なご指導ご助言をいただきました。この場を借りてお礼申し上げます。また、本研究の一部は、2010年度中京大学特定研究の助成によるものです。

参考文献および注釈

- [1] 最近の例では Wolf Lieser “THE WOLD OF DIGITAL ATR”, Tandem Verlag GmbH, 2010 など。
- [2] Jasia Reichardt “The Computer in Art” Studio Vista, 1971
- [3] H. W. Franke “Computergaphik Computerkunst” Bruckmann, 1971
- [4] Jasia Reichardt, ed., “Cybernetic Serendipity — The Computer and The Arts”, pp.75-76, Studio International, 1968
- [5] “The sixth annual computer art contest of computers and automation”, “computers and automation” pp.8-27, Berkley Enterprise inc., August, 1968
- [6] 日本宣伝美術会（日宣美）公募展（1967年8月）に、オフセット印刷によるB1サイズ作品《COMPUTER DESIGN SERIES No. 1〜3》3点（別に解説パネル1点を含む計4点セットとして）を応募するが、残念ながら入選には至らなかった。
- [7] データのバグについては、CTG内でも議論があった。植屋たちは単なる「バグ」と判断し、幸村らは手仕事における「痕跡」に相当するものと見た。最終的に幸村らの主張を認めることとなった。
- [8] 山口正雄『コンピュータによる作図法 プロッタの使い方』pp. 61-65（オーム社、1975年）
- [9] 「日本で初めてコンピュータが描いたアート展開かる」『トランジスタ技術』p.152（CQ出版社、1968年11月号）

- [10] D.W.Thompson “On Growth and Form” 1917,1942, Cambridge University Press 柳田知道ほか訳『生物のかたち』p.189（東京大学出版会、1973年）
- [11] Jasia Reichardt ed., “Cybernetic Serendipity the computer and the art”, p.75, Studio International special issu, 1968 これを受けて複数の書籍でも等比数列と解説している。和書の例を挙げれば、『デジタルイメージデザイン<デザイン編CG標準テキストブック>』pp.48-50（財団法人画像情報教育振興協会、1998年）など。
- [12] ・幸村真佐男・CTG「連載=コンピュータによるグラフィック・デザイン1 コンピューター・グラフィックの理念、方法、ヴィジョン」pp.31-38『デザイン』（美術出版社、1968年2月）
・幸村真佐男・CTG「コンピュータがつくるアートの世界」『宣伝会議』pp.24-27（宣伝会議、1968年12月）
・幸村真佐男・CTG「芸術とコンピュータ コンピューター・メディア概念」『COMPUTOPIA 7月臨時増刊号』pp.84-88（コンピュータ・エージ社、1969年7月）
- [13] その背景として、幸村が多摩美術大学で東野芳明などからリアルタイムで海外のアート・シーンを学んでいたこと、植屋ほか工学系のメンバーもCTG結成以前から広く芸術に親しむ教養を備えていたことがあげられる。
- [14] 幸村真佐男「コンピュータ・アート黙示録」『美術手帳（増刊）人間とテクノロジー』pp.114-117（美術出版社、1969年5月号増刊）

大泉 和文



1993年筑波大学大学院芸術研究科修士。修士（芸術学）。同年愛知県立芸術大学美術学部助手、1998年中京大学情報科学部講師、2003年情報理工学部助教授、2007年同教授、現在に至る。インタラクティブ・大型インスタレーション作品制作の一方でCTGを初めとする日本の初期コンピュータ・アートの研究に取り組んでいる。芸術科学会、日本映像学会、ほか会員。

伊藤 誠



1966年名古屋大学電気工学科卒業、1971年同大学研究科博士課程満了、山梨大学電子工学科講師、1975年工学博士を取得。1991年中京大学情報科学部教授、2000年情報理工学部教授。現在は、リハビリ支援のための身体情報を取得する各種デバイスを開発している。情報処理、日本福祉工学会会員、著書に基本ハードウェア入門（1979年、CQ出版）、TurboPascalによる図形処理（1999年、近代科学社）、など。