

ICC Special

**Computer Graphics:  
A Half-technological Introduction**

**Friedrich KITTLER**

フリードリッヒ・キットラー

**コンピュータ・グラフィックス  
半ば技術的な入門**

相澤啓一 訳  
Translation: AIZAWA Keiichi

$$I(x, x') = g(x, x') [ \int (x, x') + \int U(x, x', x'') I(x', x'') dx'' ]$$

J・T・カジヤ

コンピュータ画像とは、コンピュータ・グラフィックスのアウトプットのことである。コンピュータ・グラフィックスとは、それが適当なハードウェア上で動かされると文字だけに限らない何かを見ることができる、というようなソフトウェアのことである。これは一見すると、誰もが知っていることであり、モニター上に見えるものはほかの場合と同じ視覚的な知覚であるように思われる。しかし最近芸術学が「画像とは何か」という問いを学んで以来、それにつづけて「コンピュータ画像とは何か」という問いを発することができるようになった。



1

とはいえ、この「コンピュータ・グラフィックス——半ば技術的な入門」においては、コンピュータ画像とは何かというこの問いには半ばしか答えることにはならない。とりわけ、何かの上に描かれた画像とコンピュータ画像を比較し、あるいはまた減法混色と加法混色とを比較するという必要不可欠な作業には、ここでは立ち入らない。このように単純化したモデルで考えるなら、コンピュータ画像とは三原色を二次元で加算した混合であって、それがモニターの箱の枠ないしその付随物に映し出されるということになる。それは、新流行のコンピュータ・システムのグラフィックな面として控えめに表現されることもあるが、また逆に、リキを入れて「映像」と強烈に表現されることもある。が、いずれにせよ1998年現在の人々は、「コンピュータとコンピュータ・グラフィックスとは同一のものだ」という誤まった考えを何十億人もが一緒になって共有する傾向にあるようだ。も

うかなり年端のいったハッカーだけが、その昔は違っていたことをきっとまだ覚えているのであろう。かつて、コンピュータ画像というものは、琥珀色ないし緑色の背景上の白い点にすぎないものだった時代があったのであり、そしてこのことは、技術史的に見るならばコンピュータ画像が例えばテレビに由来するのではなく、戦争メディアであるレーダーに由来するものだということを物語っているのである。

レーダースクリーンは、飛んでくる飛行機の証拠として現われるシミを、タテ・ヨコ・高さの三次元いづれにおいても正確にアドレスし、マウスクリックによって打ち落とせなくてはならない。そしてコンピュータ画像は、レーダースクリーンにおける極座標が平行座標に置き換えられはしたものの、まさにこのアドレス能力というものを早期警戒システムから引き継いだのである。したがってコンピュータ画像では、半ばアナログの世界にあるテレビとは異なり、行(走査線)だけでなく列もまた詳細な要素に分解されている。このいわゆるピクセルの集合が二次元マトリクスを形成し、画像上のすべての点に赤・緑・青の三原色の特定の割合での混合を指定しているのである。

軌跡と色価という二つの要素が、離散的ないしデジタルであるということから、あらゆる魔法のようなテクニックが可能となる。この点でコンピュータ・グラフィックスと映画やテレビとは大いに異なる。視覚メディアの歴史が始まって以来初めて、例えば第849行、第721列にあるピクセルを、その前後のピクセルをたどることなく直接アドレスするというようなことが可能になったのである。つまりコンピュータ画像とはまさしく偽造可能性そのものなのであり、テレビ制作者や倫理的なジャーナリストたちが早く

も震え上がっているのも無理はない。人間の目が一つ一つのピクセルをほかから区別することができない以上、コンピュータ画像は人間の目を、ある画像の見せかけや偽りの画像によってごまかすことができる。しかし他方、必ずアドレスを決めることができるというピクセルの特性に基づいて、無数のピクセルが純粋な個々の文字から成るテキストの構造を作り出している。まさにそれだけの理由によってこそ、コンピュータ・モニター上でテキスト・モードからグラフィック・モードに、またその逆に変換するのは、まったく造作もないことなのである。

しかし、位置と色価の二重のデジタル性ということから問題も生じてくる。ここではせめてそのうち三つをあげておくこととしよう。

第一の問題は、通常のテレビやコンピュータ・モニターの一三原色電子銃では、物理的に可能なすべての色彩を生み出すことは不十分だということを示すことができる点である。産業界ではあまりにお金がかかりすぎると思われているが、実験によれば、目に見えるスペクトルをある程度リアルに再現しようとするれば最低9本の電子銃が必要だということが明らかである[★1]。いわゆるRGB、つまり不連続である赤・緑・青の三原色による三次元マトリクスは、技術者と経営者のあいだの一般的なデジタル上の妥協の産物なのである。

第二の問題は、離散マトリクスは、軌跡を示す二次元の値であれ色価を表わす三次元の値であれ、サンプリングという原理的問題を抱えているという点である。私たちが知っていると考えている自然だけでなく、コンピュータ音楽やコンピュータ・グラフィックスが作り上げるようなハイパーな自然ですら、最終的にデジタルな要素に完全に分解し尽くされることはない。したがって、デジタル化するということは知覚にとって常に歪みを作り出すことでもある。デジタルで録音された音楽がキーキーいってしまう現象、技術用語を使うなら量子化雑音を発生させて

しまう現象は、コンピュータ・グラフィックスでは、ジャギ一や干渉、偽りの不連続あるいは連続というかたちで現われる。つまりナイキストやシャノンによるサンプリング効果は、きれいなカーヴや形を、無粋な柱が並んだものに切り刻んでしまうのである。この無数の柱が並んだ様子はコンピュータ・グラフィッカーのあいだではマンハッタン・ブロック幾何学と呼ばれているが、それはアメリカの都市計画担当者が何が何でも直角が大好きだからである。このようにサンプリングは、連続の、したがっていやでも目に飛び込む形というものを、たとえプログラム・コードが作っていないとも作り出してしまうのである。

第三に、コンピュータ・グラフィックスがデジタルであることによって生ずる問題のなかには、コンピュータ音楽にはまったく無縁のものがある。「時間軸の操作」について私が以前書いた論文[★2]のなかで私は、デジタル・サンプリングがあらゆる音楽上のできごとを三つの(ジュゼッペ・ベアノの自然数論によって有名な)要素に分解してしまうという事実がいかなる可能性を開くのかを示そうと試みた。その三つの要素とは、まず第一に<sup>イヴニング</sup>出来事ないし千分の一秒単位におけるある状態、第二にその前の状態、そして第三にその後の状態のことである。この三つの要素を統合したり区別したり、交換したり入れ替えたりすることで、現在の芸術音楽からポピュラー音楽に至るまですべての領域を計測することができるのである。

原理的に、ということは残念ながら自乗に比例して計算量が増えるということでもあるのだが、このトリックはデジタル音楽という次元からデジタル画像という二次元へと拡大応用が可能である。ただ、その結果ははなはだしいカオスへと至るのが必定で、まるで知覚というものが再びデヴィッド・ヒュームやカスパー・ハウザーの純粋感覚にまで退化してしまったかのように感じることも請け合いです。その理由は根本的なものであり、決して表面的なものではない。あらゆる画像というものは(ここで言

う画像とは芸術における意味においてであって、数学的な意味ではない)、上下、左右という秩序をもっている。それに対応してピクセルも、それが代数的に二次元のマトリクスとして、そして幾何学的に直交する格子によって構成されているならば、原則的に隣接するピクセルを一つ以上もっている。したがって、コンピュータ・サイエンスが英雄的に始まった頃、つまり偉大な数学者たちがまずは誰の目にも明らかなことを書き留めるのに一所懸命だった頃、早くもアシュビー隣接やフォン・ノイマン隣接といった概念ができていたのだった。十字型にその上下左右に隣り合った任意の要素によって、あるいはそうした四つの直交する四角形、ないしさらに四つの対角線上の四角形によって取り囲まれているとき、それらの概念が用いられることになる。マンハッタンの街と東京の街の様子の違いはそこから来る、と言うこともできるだろう。

さて、チューリング・マシンやフォン・ノイマン型計算機やマイクロプロセッサの、つまりは現在のあらゆるコンピュータのハードウェアには、公然たる秘密がある。すなわち、コンピュータ・ハードウェアというものは、世界と言われているものを、自然数の上に、したがってペアノ連続体の上に、コピーしているのだということである。ハードウェアにおけるプログラム・カウンターや作業用記憶域にせよ、はたまたソフトウェアにおける機能やプログラムにせよ、すべてはシーケンシャルに動いている。コンピュータが複数の命令を並列処理するときや、ネットワークを使って分散処理をする際に生ずるあらゆる困難は、コンピュータ・グラフィックスにおいても同じように現われる。というのも、音楽とは違って、画像上のあらゆるドットは事実上無限に多くの隣接ドットをもつことになるからである。ジョン・フォン・ノイマンは事態を思い切って単純化して図式化したのだったが、それでも八つの隣接ドットが考えられていた。したがって、ヨーロッパの古き良き亀の子文字をチューリング・マシンが解読できるようになるには、私た

ちはまだかなり待たなくてはならない。画像が画像となるためにはそうした隣接者があって初めて可能なのだが、そのあまりの多さのゆえに、画像の内容にフィルターをかけ、処理し、認識するためのあらゆるアルゴリズムは苦勞することになるのである。こうした数の多さが、かえって「いったい何が画像の密度を作り上げるのだろうか」というゴットフリート・ベームの問いに対する答を用意してくれているのかもしれない。既にアシュビーのアルゴリズムが認識したような画像は、例えばフォン・ノイマンのアルゴリズムになってやっと可能となったような画像よりもずっと密度は低いのだ(ここでは触れないが、敢えて言うなら、潜在的に組み込まれた直交性や構築性といったものと無縁な画像というものについてはコンピュータ解析は原理的に不可能かもしれない)。

ハイデガーは知覚にまつわる謎というものを、「私たちが物事の現象の中に、まずは、そして本来的に、さまざまな感覚が押し寄せていることを決して感じ取ろうとしない」[★3]という点に見ていた。言語の世界に住む私たちにとって、見たり聞いたりするものは、常に既に何者かであるものとして現われるのだ。それに対し、コンピュータを用いた画像分析においては、「何かが何かとして」というのは理論的な遙か彼方の目標であって、そこに到達しうるか否かすら未だ判然とはしていない。それゆえ私は、自動画像分析の問題は知覚に関するシンポジウムが開かれるときまで棚上げにしておきたいと考えるが、そのようなシンポジウムが開かれるのは早くても10年先になることだろう。ここでは私は、むしろ自動的な画像合成についてだけお話ししたいと思う。問題は、コンピュータがいかにして視覚的知覚をシミュレートするのかわくなくて、いかにそれを騙すのか、という点にある。このとてつもない能力こそが、コンピュータというメディアがヨーロッパの歴史にかつて現われたいかなるメディアよりも群を抜いている理由なのである。



光学メディアがゲーテンベルクの印刷術と同時期にヨーロッパ文化を変革したのは偶然ではない、光学メディアは、光学として

光学に対して立ち向かったのであった。カメラ・オブスキュラ[★4]から今日のテレビカメラに至るまで、このメディアはいずれも、古代の反射法則と近代の屈折法則をハードウェアに取り込んできたものである。反射と線遠近法、屈折と空気遠近法、この二つのメカニズムこそが、ヨーロッパにおける知覚に対して、遠近法的投影への帰順を誓わせたのであった。その結びつきはとても強固で、近代美術からのさまざまな反撃にも動じることにはなかった。造形芸術の世界でマニュアルだけであった、あるいはフェルメールと彼のカメラ・オブスキュラにおけるように、セミオートマチックでしかなかったものを、技術メディアは視覚的なフルオートマチックとして取り入れていったのである。ある素晴らしい日のこと、ヘンリー・フォックス・タルボットは、それまであまり上手とはいえない絵描きとしての腕を鉛筆代わりに支えてくれたカメラ・クララを捨てて、写真に鞍替えした。彼は自分で写真というものを、「自然の鉛筆」であると称讃したものだ。またそれほど素晴らしくないある日のこと、E・T・A・ホフマンの「砂男」の登場人物ナタナエルは、彼のクララを脇に追いやって望遠鏡を目に当てて確実な死を選び取ったのであった[★5]。

そのような光学メディアに対するコンピュータ・グラフィックスの関係は、眼に対するそうした光学メディアの関係と似ている。カメラのレンズが文字通りのハードウェアとして、文字通りの「<sup>ワエット</sup>湿ったウェア」である眼をシミュレートするとすると、コンピュータ・グラフィックスとしてのソフトウェアはハードウェアをシミュレートするのである。確かにまだ反射や屈折といった光学法則はモニターや液晶(LCD)画面といった出力装置においては依然として効

力をもっているが、そうした出力装置を操作するプログラムは、関係するあらゆる光学法則を代数的な純粹論理に転換してしまっているのである。もっとも、急いで付け加えると、そこで問題になるのがたいいてい視野や表面、影、あるいは光の作用といったものに関係する、光学法則のごく一部にすぎないのは事実である。しかしながら、ここではこれら一部の法則それ自身が無効となってしまっているのであって、単にほかの光学メディアにおけるように法則に対応する効果だけが無効になっただけではないのだ。芸術史家マイケル・バクサンドールは、コンピュータ・グラフィックスというものをある論理的空間としてとらえ、そこではさまざまな遠近法的描写が多かれ少なかれ豊かな部分量を形成していると考えているが、こうした考え方も驚くには値しない[★6]。

光学を完全にヴァーチュアル化するということを実現させるためには、あらゆるピクセルを完全にアドレス化することが前提となる。遠近法的空間の不連続な三次元マトリクスを行や列からなる不連続の二次元マトリクスに対応させることは双方向的には不可能であるが、片方向であれば可能である。前後上下左右といふかなる三次元的要素もヴァーチュアルなドットに対応するのであり、そのときにはそれらの二次元における代理ドットが実際の役割を果たすことになる。こうした世界の豊かさや細部の整合性を唯一制約する要素は、利用できるコンピュータのメモリーである。そうした世界をどのような光学が支配すべきかということに関する、避けて通ることのできない、しかし必ず一面的たらざるをえない決定だけが、その世界の美学を制約するのである。

以下、私はこうしたオプションとして存在する光学の中で最も重要な二つを紹介してみたいと思う。ただ予め強調しておきたいのだが、アナログの光学メディアと比較するとき、コンピュータ・グラフィックスが光学というものをそもそもオプションにしているという事実だけでも途方もな

い革命なのである。確かに写真や映画であっても、広角レンズと望遠レンズのあいだで、またいろいろなカラー・フィルターの中から、気に入ったものを選び出すということができるようになっている。しかし、その光学的ハードウェアは、単に所与の物理的条件のもとでしなくてはならなかったことをしただけであって、「いったい画像にとって最良であるようなアルゴリズムとは何なのか」という問いは決して一度として発せられることはなかったのだ。

それに対してコンピュータ・グラフィックスというのは、ソフトウェアであるから、アルゴリズムによって成り立っており、それ以外のものではない。それゆえ、自動画像合成へと至る理想的なアルゴリズムは、何の問題もなく非アルゴリズム的に表わすことができる。つまりそれは、あらゆる光学的な、すなわち測定可能な空間に関して量子電磁力学が知っているあらゆる電磁方程式をヴァーチュアル空間にも適応しさえすればよいのであって、簡単に言えば、リチャード・ファインマンの『物理学講義』三巻本をソフトウェアに流し込めばよいのだ。そうすれば猫の皮は、異方性的表面を形成しているから、猫の皮のように光沢を放つことだろうし、ワイングラスに見える光の縞模様も、その屈折率が場所ごとに少しずつ変わっていくのであるから、後ろにあるものの光を色のスペクトルに展開する、ということになるだろう。

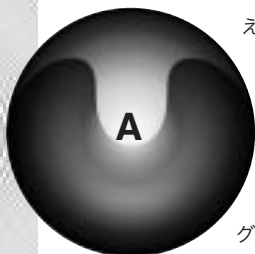
原理的にそうした奇跡を邪魔するものはない。普遍的な離散型マシン、一般には特にコンピュータのことを考えてよいが、それはおよそプログラム可能なものすべてを実行することができるのである。しかし、リルケの『マルテの手記』においてだけでなく、量子電磁力学においても「現実にはゆっくりしていて、筆舌に尽くしがたいほど詳細である」[★7]というのが事実である。完全な光学というものは、それでもなんとか有限の時間内でプログラムすることができるだろうが、完全な画像再現を行なうためには永遠に続くモニター待ち時間というものを必要とする。

コンピュータ・グラフィックスが光学娯楽メディアの安っぽいリアルタイム効果と異なるのは、時間を浪費するという点である。この点で古き良き画家たちが時間をたっぷり浪費したのと互角の勝負であるが、それも利用者がいらいらせずにゆっくり待ってくればの話である。「そんなに待ってられない」という金科玉条の要求があればこそ、現実に存在するコンピュータ・グラフィックスはおしなべて「理想化」を行なわざるをえないというわけであるが、無論この理想化(Idealisierung)という言葉、ここでは哲学の場合とは反対に、ののしり言葉となっている。

最初の基本的な「理想化」というものは、物体を面として取り扱うという点に見られる。コンピュータ医学であれば、どうしても三次元の身体を表現しないわけにはいかないのだが、対照的にコンピュータ・グラフィックスは、三次元でインプットされるものを最初から二次元でアウトプットするかたちで一つ次元を減らしてしまう。しかしそうしたやり方は、先ほど例をあげたワイングラスのように透明ないし一部透明なものを扱えないだけではない。それは、(少なくともペノワ・マンデルブロー以来[★8])例えば猫の皮や絹積雲といったものには整数で二次元とか三次元といった次元だけがあるのではなくて、例えば2.37次元といったいわゆるハウスドルフ次元があるのだという事実に対し、面と向かって侮辱するようなものなのである。したがって、例えば《ジュラシック・パーク》のようなコンピュータが作り上げた映画が、ハンス・ホルバインの描いた肖像画《大使たち》(1533)に見られる毛皮のコートと張りあおうなどとは考えないで、鎧で身を固めた、つまり視覚的には空虚な恐竜で満足していたのも、当然のことなのである。

物体が面へと還元され、ハウスドルフ次元が画像へと引き下ろされたとき、初めてコンピュータ・グラフィックスは次の問題と取り組むことになる。すなわち、「どのヴァーチャル・メカニズムがどの面を見せることにするの

か」という問題である。選択肢として考えられるのは二つのアルゴリズム・オプションであるが、この二つは互いに矛盾しあうものであり、その結果、ほかのすべてを排斥するような一つの美学を作り上げている。リアリスティックなコンピュータ・グラフィックス、すなわち、単なる安っぽいワイヤーフレーム・モデルとは違って、伝統的なさまざまな芸術ジャンルと対抗できるようなコンピュータ・グラフィックスというものは、レイ・トレーシングか、あるいはラジオシティのいずれかでしかありえない。ただし、この両者が同時に並び立つということはありません。



え、

歴史的経緯に敬意を払って、私はまずレイ・トレーシングのほうから始めることとしたい、

というのも、世界の最良の、あるいは最悪の理由のゆえに、こちらのほうがラジオシティのアルゴリズムよりもずっと古いからである。アクセル・ロッホが近々明らかにするであろうように、レイ・トレーシングという概念はコンピュータ・グラフィックスから生まれたものではまったくなく、もともと敵の飛行機をレーダーで追跡するという軍事的な意味で生まれたものである。そしてコンピュータ・グラフィッカーであるアラン・ワットが最近証明したように、レイ・トレーシングはもっとずっと古くから存在する。光線の屈折や反射からヴァーチャルな画像が作られた歴史上最初の試みは、1637年、ルネ・デカルトなる人物の手によるものだったのだ[★9]。

その18年前、30年戦争さなかの1619年、デカルトは一つの啓示と三つの夢を得た。啓示の内容は奇妙な学問に関するもので、これが後に彼の解析幾何学になったものかもしれない。それに対し夢のほうは、右半身麻痺したデカルトを彼自身の左足を中心にしてぐるぐる回す

嵐で始まるという夢であった。しかし私は、夢と学問とは同じものだと推測している。夢の中で実体は広がりがない点、ないしほとんど中心点となっており、その回りを自分自身の肉体が三次元的な身体としてある円の幾何学的な形を描いている。この「思惟するもの(res cogitans) [精神]とあの「延長するもの(res extensa) [身体/物体]とを扱うのがデカルト哲学であることは周知のことであるが、それに対して、代数的に記述可能な運動や平面というものを扱っているのが解析幾何学であるということあまり知られていない。数学史上初めて、デカルトは、例えば円という形を、単に天から与えられた予め決まった幾何学模様として再現して描くだけでなく、代数的な変数の関数として構成するということを成し遂げたのだ。 「思惟するもの」としての実体は、いわば方程式のあらゆる関数値というものを調教し、ついには1619年の決定的な夢において、円やミュンヒハウゼンの大砲の弾の上の玉乗りに関する寓話が書かれるに至っている。

控えめなデカルトが1637年、『方法序説』によって世論の注目を集めたとき、彼はこの著作に『幾何学』のほかにも、二つの光学的な論文を載せていた。すなわち、一つは光の屈折に関する法則について、いま一つは虹についての論文である。しかしじつは、この両方の論文とも、解析幾何学を色彩と現象に適用したものである。虹という光線の戯れを自分の慣れ親しんだ神学から解放するために、デカルトはガラス吹き職人に、たった一つの水滴を何百倍にも拡大した巨大なシミュレーション・ガラス玉を特注した。しかしこの中空のガラス玉は、彼が考えていたある思考実験の実験的な証しにすぎなかったものであって、その思考実験においては、デカルト的な一点の実体が、考えうるあらゆる角度から玉の向きを変えるというものであった。つまり実体自身が太陽から来る光を放射し、それが虹の水滴のなかでありとあらゆる反射や屈折のプロセスを経て、最終的に単純な太陽光が三角関数

の法則に基づいて虹のスペクトルに分解されるというわけである[★10]。

むしろ反射法則は既にアレクサンドリアのヘロンが定式化していたし、屈折の法則はヴィレブロルト・スネルが打ち立てていたものである。しかし両法則を何度も応用することでたった一つの光線の道に束ねることは、デカルトが初めて成功したのである。デカルトの実体は自己適用によって成立するといってもよいし、情報理論的に言えば、帰納によって成立するといってもよいだろう。まさにこれこそが、なぜデカルトによる光線の追跡がその後、画家や光学アナログ・メディアに何の影響も与えられなかったかの理由でもある。コンピュータ、詳しく言うなら帰納的関数を備えたコンピュータ言語において初めて、ヴァーチャルな表面に満ちたヴァーチャルな空間において一つの光線が作り出す無数の相互作用や運命を追跡する計算能力をもてるようになったのである。

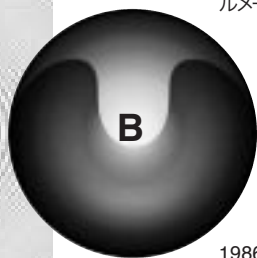
レイ・トレーシングのプログラムは、初歩的段階では、モニターを、ヴァーチャルな三次元世界が見える二次元的な窓として定義することから始まる。その後、モニター上のこれらすべての行・列に二つの反復の輪(Iterationsschleifen)が続き、それは、ヴァーチャルな、モニターの前に集められた眼から発せられる視線がすべてのピクセルに到達するまで続く。しかしこれらのヴァーチャルな視線はピクセルの背後にまで延びてゆき、きわめて多様な運命を経験することになる。たいいていものは、面には遭遇しないという幸運に浴して、任務からさっさと解放されることができ、例えば空のような単なる背景色を再現する。しかし、なかにはデカルト・タイプの半透明なガラス玉に迷い込むものもある。そこでは、コンピュータ・グラフィックス・プログラムの気短さが、容認されている最大限の帰納を人工的に制限したりしない限り、無数の屈折や反射が待ちかまえている。こうした制限が必要な理由は、二つの平行する完全な鏡のあい

だに迷い込んだ光線の戯れは決して終わることがないのに対し、アルゴリズムは有限な時間消費によって定義されているからである。

つまりまとめるなら、レイ・トレーシングは、無限に細い光線がヴァーチャルな空間における一定量の二次元の面と組み合わせられることで、物理的にリアルな高輝度の画像を作り出す、というわけである。デカルト以来の解析幾何学が代数的に定義しうるようなあらゆる面は許されているのであり、光と、反射しかつ／あるいは部分的に透明な面のあいだの相互関係はモデル化が可能なのである。皆さんがコンピュータ画像と遭遇するとき、その輝く光がほかには天国のようなエルサレムでしかありえないほどに輝いており、その影がほかには地獄でしかありえないほど鋭く刻まれているとしたら、それは基本的なレイ・トレーシングでしかありえない。それは残念ながらとりもなおさず、レイ・トレーシングという視覚的オプションが通常知覚されるよりも過剰にか、あるいは不足ぎみにしか表示しないということでもある。光線が無限に細く、すなわちゼロ次元的であるがゆえに、あらゆるローカルな効果は強調され、逆にグローバルな効果は抑制されてしまうのである。相互作用が生じるのは光っている面と照らし出される面とのあいだではなく、光のドットと面のドットのあいだにおいてである。したがって、鏡の輝く光はハイパーリアルになる一方で、輝きのない反射はまったく目立たないものとなってしまふ。デカルトの「点の実体」から数学史においてニュートンとライブニッツの微分計算が生まれたように、レイ・トレーシングは、形式的に見るなら、部分的演繹の唯一の帰結である。重要なのは特にドットのあいだの差異なのであり、面の類似性は取るにたらぬものとして無視されてゆく。レイ・トレーシングの画像がもしフェルメールの素晴らしい傑作《赤い帽子の女》と張りあおうと考えるなら、画面右手前の光源が鼻の頭と下唇を照らし出している輝く光のくっきりした輪郭



を描くには何の困難も感じないことだろうが、左の顔半分を隠している帽子の赤い反射には七転八倒の苦勞をすることだろう。レイ・トレーシングはデカルトの「点の実体」と同様に、単なる理想化なのであり、それではフェルメールの《赤い帽子の女》は捉えられない。



ルメールの《赤い帽子の女》は捉えられない。

こうして、いわゆるコンピュータ・グラフィッカー信徒集団が

1986年以来、寝返ったとはいわない

までも、その反動に走るに至る。《フェルメール風のオランダの室内》というのは、単に数多くの時間をかけたコンピュータ画像の一つのタイトルであっただけでなく、プログラミングの方針でもあった。ラジオシティは、ドイツ語では「光のエネルギー計算 (Lichtenergiekalkül)」などというこねない訳語があてられているが、その意味するところは、画像を、もはや輝きや面のドットによって算出するのではなく、光る面、照らされた面から算出するということである。それによって赤い帽子の色は、血まみれの専門用語が血の出る思いで約束したものをやっとな実行に移すことができる。つまり、アクティブな面の光のエネルギーは、フェルメール的な考え方に厳密に従って、その面と直交していないあらゆるパッシブな隣接面へと流れてゆくのである。それに対する説得力をもった、しかしあまりに人間的な反論として「人間の眼というものはそのような色の分散などはものを再認識するという目的のために敢えて見過ごそうとするものだ」という反論がありうるわけであるが、ラジオシティの方法にはそんな反論は通用しない。最後に問題となるのは、目でも見ることのできる世界の計算なのであって、技術的に語るなら、ヨハン・ハイน์リヒ・ランベルトが1760年に、光を完全に拡散する面に関してうち立てた余弦法則は、関係するすべての面の積

分によって満たされるのである。

しかし数学のエレガンスを身にまとった理論の話はこのくらいにしておこう。ちなみに、この理論もレイ・トレーシングの理論も、コンピュータ・グラフィックスそれ自身から生み出されたものではない。ラジオシティの始まりには、弾道ミサイルが大気圏再突入時に抱える、膨大なコストのかかる重要問題があった。ミサイルの金属表面は、宇宙での極端な冷たさと極端な摩擦熱とにさらされるため、その破壊を防ぐためにNASAはフーリエの1807年の熱伝導に関する解析理論の現代化を徹底的に進めなくてはならなかったのである(チャレンジャー事故の話はここではしないで)。

したがってラジオシティはレイ・トレーシングとは対照的に、必要に迫られた場合のアルゴリズムである。積分というものは、単に形式的な洗練を考えるとときには微分の逆関数として定義されるのだが、厳しい現実経験世界においては、あまりに計算時間がかかりすぎるものである。ラジオシティ・プログラムが使いものになるためには、「その線形方程式の解を求めるにはたった一つの過程しかない」という立場を放棄する必要があった[★11]。俗な言い方をすれば、まずはアルゴリズムを始めてみて、まずは真っ暗な暗闇でもめげることなく、プログラマーのあいだでは有名な「コーヒー・タイム」を取ってみて、それから1、2時間たってようやくグローバルな光エネルギー分布についての最初の使いものになる結果を拜ませてもらおう、というわけである。いわゆる自然がナノ秒単位での並列計算によって生み出すものを、デジタルの世界における第二の自然と称するコンピュータは青息吐息で計算するわけである。

デカルトの実体は理想化されているからこそ、洗練されたあらゆる長所を示していた。しかしそれに対し、19世紀になってフーリエやガウス、マクスウェルやボルツマンといった人たちがエネルギー、面積分、熱力学を計算した

したとき、この実体は少なくとも機能障害に陥り、はなはだしくは、例えばメビウスの輪のように、まったく狂ってしまった。したがって機械の世界から現実世界へ、演繹から積分への歩みは、数学的なカラ手形を出しながらのものであったのである。ようやく今世紀になって、この手形への支払いがなされてゆく。ヴィレム・フルッサーが常に強調していたように、デジタル・コンピュータは19世紀の偉大と悲惨を形成した問いへの唯一可能な答だったのである。

デジタル・コンピュータはしかし、デジタル・コンピュータでしかない、そこには0と1の無限の連なりがあるだけ、言い換えれば二つの任意の整数の任意の重なりがあるだけである。あらゆる円、球、そしてデカルトの眩暈の発作のもととなっている $\pi$ という数からして既に、希望する限界値に近似する場合に、という条件付きで、チューリングのいう「計算可能な数 (computable numbers)」の一つなのだ。しかしそれには時間がかかるし、コンピュータ・グラフィックスには無限の時間が与えられているわけではない。そこでラジオシティ方式は、まずガウス曲率が0でない、または0でありつづけないすべての面を消し去ってしまう。レイ・トレーシングは球やメビウスの輪、ガラスや花瓶というものを予め予定しておいたのに対し、ラジオシティ・プログラムにおいては、プリプロセッサがすべての美しい幾何模様をまず三角形や四角形の平面要素の組み合わせによって構成される荒涼たる格子模様へと変換してしまう。想像力の乏しいパウハウス建築はコンピュータ・グラフィックスには大歓迎、なぜなら、さもなければ解決に必要な積分が禁止されなくてはならないほど——というかわいい言い方がよくされるが——難しくなってしまうだろうからである。しかし、そうした平板さは、どの面が表現可能かを決定してしまうだけでなく、それらのあいだの相互作用がどのように数学的にモデル化されるのかまでを決定してしまう。輝く面は赤、緑、

青の光のエネルギーを、面と面とのあいだに存在する角度の正確なランベルト測度にあるすべてのほかの面に対して明確に知らせなくてはならない。しかしそのためには、恐ろしいことにどうしても $\pi$ に戻ることが必要となるだろう。したがって、輝く面は、どんな知覚においても身近な自分の周りの半円の中に見るのではなく、代わりに計算効率の理由から、自分独自のマンハッタン・ブロック幾何学[★12]を作り上げることになる。ラジオシティ画像においては、ほとんどモンドリアンの絵とそっくり、直角に次ぐ直角が並ぶことになるが、でも本当はそのいずれもが本当の直角ではない。レイ・トレーサーが見せびらかす輝く光は、順々に近似値に近づく退屈そのものの積分のなかでは色褪せてゆく。言い換えると、ラジオシティとしてのコンピュータ・アーキテクチャーは、それ自身盲目の二進法の眼で自らを見ることになる。現代のグラフィックなユーザー・インターフェイスに関するとてもない広告文句は「あなたが得るものはあなたが見ているものです (What you get is what you see)」というものであったが、その弁証法的な真理は、「あなたが見ているものはあなたが得るもの (What you see is what you get)」であり、そしてあなたが得るものはコンピュータ・チップだった、というものであったのである。

コンピュータ・グラフィックスという言葉は文字通りのものである。視覚的な世界をいま一度約束できる何十億マルク規模のビジネスの背後には、ケンペレンの、したがってベンヤミンの、「チェスをするこびと」が潜んでいる。デジタル・コンピュータは、少なくともジョン・フォン・ノイマンの基本設計が有効でありつづける限り、次元をもたないドット、すなわちビットないしピクセル、方形のメモリー・スペース、命令セットなどを集めたものである。これは、必然的組み合わせでもエレガントでもないが、値段は安い、私たちは誰でも例えば、六角形の蜂の巣構造のほうが包装効率が、したがって相互作用効果がずっと高い

ことを知っている。しかし for the time being, つまり現在という存在と時間にとっては、もっと愚かしい法則が支配しているのだ。輝く光と帰納によってのみ周囲をある程度輝きで包まれ霧で包まれるような、そうした無次元のドットの自己投影がレイ・トレーシングである。それに対しラジオシティはまったく反対に、なまなましい色分散と、大変な労力をかけての面分割によって、ある程度曲線をつけられて収められた縦横のチップ面の自己投影のことである。微分的計算としてのレイ・トレーシングはヴァーチャルな無限性を開く。それは、カスパー・ダヴィット・フリードリッヒの場合と同じように、私たちの有限でロマンチックな世界に投影される無限性の世界である。積分的計算としてのラジオシティは、自分自身についてのヴァーチャルな世界を閉じるが、そのヴァーチャル世界の周辺条件は、フェルメールのカメラ・オブスキュラを用いた絵におけるように、常に一定でなければならぬものである。閉所恐怖症的な風景画と閉所愛好的な歴史物語絵画——この両者ともコンピュータ・グラフィックスの一世を風靡したものである。

私がコンピュータ・グラフィックスへの半ば技術的入門の代わりに料理のレシピをお約束していたなら、本稿はここで終わりとなるところだろう。室内愛好者はラジオシティ・プログラムをコンピュータ・ネットからゲットするだろうし、開かれた地平の愛好者は反対にレイ・トレーシング・プログラムを取り寄せるだろう。そして少なくともLINUXのもとでブルー・ムーン・レンダリング・ツールズ(Blue Moon Rendering Tools)が存在するようになって以来、そうした選択それ自身も機能しなくなっている。この、青い月に負けず劣らず不思議なソフトウェアは、ヴァーチャルな画像世界を一回目のプログラム実行ではラジオシティの感覚に依拠して全体を、そして二回目にはレイ・トレーシングの感覚に依拠して個別箇所を算出するというすぐれものである。こうしてこのブルー・

ムーン・レンダリング・ツールズというソフトウェアは、「対立の一致」を実現しており、それは単なる両者の単純な加算などではありえないと言われている。そのような二重算出方式というものが単に第一回計算に付け足す第二の計算などではなく、第一回が第二回を見越したかたちで行なわれなくてはならないのであるが、その理由が何なのかをお話することは今日の講演には脇道にそれすぎることになるだろう。さもなければ、視覚的エネルギー伝達の四つの可能なケースを肝に銘じておくことはできないのである。

幸いブルー・ムーン・レンダリング・ツールズからの教訓は、簡単かつ形式的に引き出すことができる。もう既に、コンピュータ・グラフィックスの二重方式は、苦い経験をしており、分散した反射や分散した屈折は決して鏡面反射や鏡面屈折とは同時に起こらないという真実を得ている。局地的・鏡面的な世界は大局的・分散的な世界とは反対のものでありつづける。なぜなら、積分は微分の反対であり、ラジオシティはレイ・トレーシングの反対だからである。したがって、ハイデガーの怒りが既に1938年、私たちの情報操作された現在を規定していた頃(★13)、世界像の時代は、アルゴリズムが決して詳細かつ全体を統合するような世界像を算出することはできないという確認へと向かっている。「何なのか」という見方と「どうなっているのか」という見方、局地と全体面、還元と統合、一回的な出来事と反復、これらのあいだには、常に妥協が存在しえないのであって、決してジレンマはありえない。そこでは、そうしたものとしてのコンピュータ・グラフィックスが、こうした排他的性質からそもそも妥協を生み出してくれたことに、心からの感謝の念を抱くべきであろう。というのも、かつての哲学的美学、その一番いい例はカントの『判断力批判』であるうが、スケッチと色彩の差異、導関数と積分の差異といったものを慈しみつづけたそうした哲学的美学では(★14)、絵画もコンピュータ・グラフ

ィックスももてあましてしまうであろうと思  
われるからである。



アナクサゴラスの偉大な  
言葉によると、物事は正義に  
基づいて現象し、消えてゆく、とい

われる。それに対して私は、決してコンピ  
ュータ・グラフィックスだけに限らない画像というものが、  
一般に不正義・不公正に基づいて現象するのだという  
ことと、その理由を述べてきた。脊椎動物の目は、(セン  
サーとしての小さな棒と栓とのあいだで)「何なのか」と  
いう見方と「どうなっているのか」という見方とのあいだ  
を、あるいはまた絵を楽しむ場合と戦争のような出来事  
とを、区別する。手垢の付いた画像(Bild)という言葉の  
代わりに空間操作という言葉を用いるのがよいと思わ  
れるが、私の以前の論文「時間軸の操作」の続きとして、  
空間操作においても、デニス・ガボールのことを思い出  
す人もいるだろう。ガボールはハイゼンベルクによる  
1946年の量子力学の不確定性理論を情報技術的な明  
晰なテキストに読み換えた人である。画像の点の場所  
を追究する者はその周辺のさまざまな点を視野から見失  
ってしまうし、逆に点の周辺状況、つまり面を追究する  
者は画像のあらゆる点が引き起こすかもしれないショッ  
クを逃してしまう、というわけである。さらにこのジレンマ  
が幾何学から光学への移行に際して一段と強まること  
を理解した人は、「それに対して応えないことがコンピ  
ュータ・グラフィックスである」ようなそうした問いにある程  
度近づいたことになる。というのも、そうなれば空間操作  
はもはや単に面とその上の点のあいだで起こるものでは  
なく、一方では面と面の点のあいだで、しかし他方では  
光体とその上の点とのあいだで起こるものだからであ  
る。言い換えれば、積分と微分は、積分と微分の関数に

なる。方程式の右側は左側に依存するし、その逆でもあ  
るのである。

コンピュータ・グラフィックスの公正さというものが存在  
するなら、それはしたがって、第二ジャンルのフレドホルム  
型積分方程式であるだろう。それはすなわち、「積分の内  
部と外部の双方に登場する未知関数の積分」のことで、  
その「重要な応用領域」は、象徴的なことであるが「量子  
物理学の粒子力学」[★15]にある。1986年、すなわち最  
初のラジオシティ・プログラムと古きよきレイ・トレーシ  
ング信奉者の人々とのあいだで競争が始まった頃、カリフ  
ォルニア工科大学のジム・カジャは、彼の言うレンダリ  
ング方程式、すなわち一般的再現方程式を逆説的かつ物  
理学的に展開するという大胆な成果をあげた。私たちは  
だれでも怠慢さというものを抱えているが、カジャの方  
程式では怠慢さは、変数のうちのいくつかを虚構の定数と  
交換しさえすればよい、という域に達していた。その結果  
レイ・トレーシングからラジオシティがアルゴリズムの部分  
量として算出されるというわけである。量子電磁力学の  
美しさは、しかし怠慢さとは関係ない。逆にレンダリ  
ング方程式が提唱されて以来、どのコンピュータ・グラフィ  
ックスにも一つの目標が見えてきたのである。この目標は、  
到達しえないがゆえにこそ、ひょっとするといつの日か、  
ブルネスキの徹底した幾何学による透視図法よりも不名誉  
に終わることはないとの約束を与えてくれるのだ。そう  
なったとき初めてコンピュータ・グラフィックスはコンピ  
ュータ・グラフィックスとなり、見ることのできないまま現象  
しているもの、例えば量子物理学的に散乱した粒子力学  
の光学的部分量などを見せられるようになるのである。

ハイデガーの近視眼的な語源解説によると、  
“Phänomenologie”，すなわちランベルトの魔法の言葉  
の中でも哲学史の上でも最も効果のあった言葉である  
現象学は、“legeinta phainonema”すなわち「現象して  
いるものの収集」という用語に起源をもつとされている。



視野の広いコンピュータ・グラフィックスでは、そのような収集などというものはまったく存在する必要がない、なぜなら、明るく光るラジオシティの面は最も安楽な投影面を決めてしまっているし、輝く光点は一番速い光線追跡の道筋を決めてしまえるからである。発射体は、あらゆる対話の中でも最もバカげた対話である主観と客観の対立を葬り去った。したがって、私たちの眼は、遠距離爆弾

Hs293Dやそのクルーズ・ミサイルという子供たちにおいてのみ世界にばらまかれているのではない。私たちの眼は、カジヤのレンダリング方程式以来、世界それ自身が、少なくともマイクロチップという隠れ蓑をかぶって、将来のある筆舌に尽くしがたい日に、その画像を投げかけるであろうことを期待することができるのである。「現象するものの収集」は、それによって簡単になるわけではない。\*



#### ■原註

- ★1—cf. Alan Watt, *Fundamentals of Three-Dimensional Computer Graphics*. 2nd ed. Wokingham-Reading-Menlo Park-New York-DonMills-Amsterdam-Bonn-Sydney-Singapore-Tokyo-Madrid-San Juan 1990, p.353f.
- ★2—cf. Friedrich Kittler, *Real time analysis. Time axis manipulation. In Draculas Vermächtnis. Technische Schriften*. Leipzig 1993, p.182-207. [邦訳=『ドラキュラの遺言——ソフトウェアなど存在しない』(原克ほか訳), 産業図書, 1998].
- ★3—Martin Heidegger, *Der Ursprung des Kunstwerks. In Holzwege*. 4th ed. Frankfurt/M. 1963, p.15. [邦訳=『芸術作品のはじまり』(菊池栄一訳), 理想社, 1961].
- ★4—cf. Arthur K. Wheelock jr., *Vermeer and the Art of Painting*. New Haven-London 1995.
- ★5—cf. Ernst Theodor Amadeus Hoffmann, *Der Sandmann*. In *Fantasia und Nachtstücke*, ed. Walter Müller-Seidel. München 1960, p.362f. [邦訳=『砂男』『ホフマン全集第3巻——夜景作品集』(深田甫訳), 創土社, 1971].
- ★6—cf. Michael Baxandall, *Shadows and Enlightenment*, New Haven/Conn. 1995.
- ★7—Rainer Maria Rilke, *Die Aufzeichnungen des Malte Laurids Brigge. Sämtliche Werke*, ed. Ernst Zinn. Frankfurt/M.(?) 1955-1966, Bd, VI, p.854. [邦訳=『マルテの手記』(大山定一訳), 新潮社, 1985].
- ★8—cf. Benoît Mandelbrot, *Die fraktale Geometrie der Natur*. Basel. [邦訳=『フラクタル幾何学』(広中平祐監訳), 日経サイエンス社, 1985].
- ★9—cf. Watt, *Fundamentals*, pp.154-156.
- ★10—cf. René Descartes, *Les météores*. In *Oeuvres et lettres*, ed. André Bridoux. Paris 1953, pp.230-244. [邦訳=『試論』『デカルト著作集1』, 白水社, 1973].
- ★11—cf. Andrew S. Glassner, *Principles of Digital Image*

*Synthesis*. San Francisco 1995, vol.II, p.900f.

- ★12——さまざまな半球を計算可能な半球に還元するマッセルト・アナロジの方法については、次の文献を参照のこと。  
cf. James D. Foley, Andries van Dam, Steven K. Feiner, John F. Hughes, *Computer Graphics. Principles and Practice*. 2. ed. Reading-MenloPark-New York-DonMills-Wokingham-Amsterdam-Bonn-Sydney-Singapore-Tokyo-Madrid-SanJuan-Mailand-Paris 1990, p.796.
- ★13—cf. Martin Heidegger, *Die Zeit des Weltbildes. Holzwege*, pp.69-104. [邦訳=『世界像の時代』(桑木務訳), 理想社, 1962].
- ★14—cf. Friedrich Kittler, *Farben und/oder Maschinen denken*. In *Hyperkult, Geschichte, Theorie und Kontext digitaler Medien*, ed. Martin Warnke, Wolfgang Coyund Georg Christoph Tholen. Basel-Frankfurt/M.1997, pp.83-98.
- ★15—Alan and Mark Watt, *Advanced Animation and Rendering Techniques. Theory and Practice*. Wokingham-Reading-Menlo Park-New York-DonMills-Ontario-Amsterdam-Bonn-Sydney-Singapore-Tokyo-Madrid-SanJuan-Mailand-Paris-Mexico City-Seoul-Taipei 1992, p.293.

[この論考は、1998年9月12日にICCで開催された、東京ドイツ文化センターとICCとの共催による日独メディア・アート・シンポジウムにおける講演原稿をキットラー氏が加筆修正したものである]

フリードリッヒ・キットラー——ベルリン、フンボルト大学教授、哲学。邦訳書=『グラモフォン・フィルム・タイプライター』(筑摩書房, 近刊), 『ドラキュラの遺言』(産業図書)など。  
あいざわ・けいいち——筑波大学文芸・言語学系助教、訳書=『詳伝チエリビダッケ』(春秋社)など。