

グラフィカルインタラクティブシステム前史

永江 孝規

メディアアート表現学科

An Early History of Graphical Interactive Systems

NAGAE Takanori

Department of Media Art

(Received November 8, 2004 ; Accepted February 16, 2005)

1. はじめに

教科書的には、1957年10月4日のスプートニクショックを発端としてアメリカ合衆国政府は俄に NASA (National Aeronautics and Space Administration, 米国航空宇宙局) と ARPA (Advanced Research Projects Agency, 高等研究計画局) を創設したと言われているが、NASA や ARPA はむしろ第二次大戦中から連綿と継続していた学術機関の軍事研究への関与を冷戦体制に即する形に再編成したものであると言った方が適しているだろう。ARPA や NASA の前身に相当するものに SAGE (Semi Automated Ground Environment) と呼ばれる対防空システムがあり、SAGE は第二次大戦中に米海軍によって計画された Project Whirlwind というコンピュータ開発計画までさかのぼる。Whirlwind と SAGE は MIT に軍事研究目的で設置された Lincoln 研究所 [1] で開発され、ARPA もまた Lincoln 研究所がその中心であり続けた。ARPA で研究された分散型パケット交換方式の通信網がのちのち ARPAnet となりインターネットに発展したことについては多くの文献が詳述している通りであってことさら述べるまでもないことであろう。

またさらに時代が下って Alan Kay は1969年に MIT Lincoln 研究所においてなされた Ivan Sutherland の Sketchpad や Stanford 研究所でなされた Douglas Engelbart の On-Line System、あるいは MIT AI 研究所の Seymour Papert の LOGO の研究の影響の下で、今日の GUI やパーソナルコンピュータを着想した、ということも、これまた多くの人々によって語られ通説となっている通りである。しかしながら、いわゆる (電話線をつながれた) オンラインシステムと呼び得るものも GUI システムもその源流を訪ねてみると Whirlwind までさかのぼることができることがわかるのである。

このように MIT Lincoln 研究所で第二次大戦後まもなく作られた Whirlwind というコンピュータは GUI やインタラクティブシステムやオンラインシステムの歴史において非常に重要な意味を持っているのであるが、Whirlwind を起点としてこれらの系譜が語られている例はごくまれである。あるいは筆者の浅学のためにその例を知らない。特に邦文においては皆無であるといって良いと思う。

筆者は自分の専門領域であるコンピュータグラフィクスやコンピュータビジョン、あるいはビジョンを用いたインターフェイスやインタラクティブアートなどについて調べているうちに、この Whirlwind というコンピュータと GUI の黎明期に関心を持つにいたり、相当の資料もたまってきたので、それらを一篇の紀要論文にまとめてみようと考えた。論文の構成としては、第2章で Whirlwind について、第3章では Whirlwind の後継機である TX-0 と TX-2、および TX-2 の開発者による DEC 創設の経緯について、主に歴史的事実について記述し、第4章では Whirlwind、TX-0 と TX-2、DEC PDP-1 に関わるいくつかの逸話について述べ、第5章では Whirlwind や TX-0 や TX-2 以外のコンピュータの歴史にもふれつつ、関連するトピックについて考察する。

2. Whirlwind

2.1 Project Whirlwind

Whirlwind 計画はアメリカ海軍が MIT に爆撃機の乗組員を訓練するためのフライトシミュレータを作れるかどうかという調査を依頼したことから始まる。フライトシミュレータ自体は1930年代から Link Trainer [2] と呼ばれるものがあったが、Whirlwind はコンピュータ制御によってあらゆるタイプの飛行機のよりリアルな空体力学をシミュレートしようというものであった。海軍の資金

援助によってまずはアナログコンピュータによるプロトタイプが設計されたが、不正確で柔軟性がないことがわかった。1945年に ENIAC のデモを見た MIT チームのメンバー Jerry Crawford は、デジタルコンピュータでならば正確で自由度が高く、プログラム次第でどんな複雑なシミュレーションも可能なフライトシミュレータが作れることを悟った。

2.2 Whirlwind I

Whirlwind の設計は1947年から Jay Forrester と Bob Everett によって始まり、翌年から製造を開始した。この最初の Whirlwind (Whirlwind I) は4500本の真空管と14800個のダイオードからできた電子計算機で、300平方メートルほどの床面積を占めた (ENIAC は真空管18800本と1500個のリレー、床面積は100平方メートル)。

Whirlwind I は世界ではじめて映像出力デバイス (5インチの Tektronix Scope、オシロスコープの一種。蓄積管 CRT) が接続されたコンピュータであると考えられている。1947年には早くも CRT がコンピュータに接続された。当時、コンピュータからなんらかの形でプリントアウトを出力するには非常に手間がかかった。そのためオシロスコープにソフトコピーを表示した上でカメラで撮影して銀塩写真の形でハードコピーをとっていた。当時としてはそれが既存のデバイスを組み合わせただけでとりばやい方法だった。CRT をコンピュータに接続しようと考えた最初の動機はハードコピーを取るためだったと思われるのである。1948年にはこのディスプレイの上に256個の光の点を表示させることができ、その点の数はすぐに1024まで増えたという。

CRT はコンピュータとの対話にも使われるようになるが、そのきっかけはライトガン (light gun) と呼ばれるポインティングデバイスの発明と装備である。ライトガンは後に小型化されてライトペン (light pen) と呼ばれるようになる。ライトペンは光センサを内蔵したペンで、ディスプレイ上で点が光っているかどうかを調べることができる。ベクトル走査型の CRT では図形はある一定の周期で再描画されており、その図形は電子銃で走査された線画 (あるいは点画) なので、ライトペンで明滅するタイミングを調べることによってその座標を知ることができるという仕組みになっている。このようなライトガンを発明したのは Bob Everett である。1948年頃には、格子状に並んだ光の点をライトガンで選択して消すことができたという。このプログラムは Waves of One と呼ばれた。

ベクトル走査 CRT とライトガンを使ったこのようなインターフェイスはもっとも初期の GUI と呼べるシス

テムである。1949年には Charlie Adams と Jack Gilmore というプログラマーが Bouncing Ball というインタラクティブなプログラムを作っている。つまみ (原語: frequency-knob) をひねることによって、跳ねるボールの横方向の移動量を変化させ、ボールを穴に入れるというものであり、おそらくこれが世界で初めてのビデオゲームと言えるものである [1]。

2.3 Whirlwind II と SAGE システム

Whirlwind I は1951年4月20日に完成した。またこの年、国防総省 (DoD, Department of Defense) の予算で MIT が管理する Lincoln 研究所が設立される。海軍はすでに Whirlwind 計画に興味を失っていたが、空軍が対空防衛システムつまりのちの SAGE システムに転用する目的で開発を引き継ぐ。記憶装置として新たにフェライトコアメモリを使って処理速度を倍に高速化したバージョンが1953年に完成したが、これは正式名称を AN/FSQ-7、通称 Whirlwind II と呼ばれる。

Whirlwind II は三階建ての建物の床面積2000平方メートルを占め、真空管55000本、重さ275トン、3000キロワットの電力を消費するという非常に大がかりなものであり、長らく世界最大のコンピュータの記録を保持していたが、最近地球シミュレータ (土地面積3250平方メートル、消費電力6000キロワット) [29] に追い越された。

SAGE は1958年、MIT Lincoln 研究所から分かれた非営利企業 MITRE (Massachusetts Institute of Technology Research and Engineering) によって設計された。MITRE は多くの PhD を抱え、かつては典型的なシンクタンクと称された。

爆撃機が仮に地を這うような低空で接近した場合に、レーダーが探知して迎撃機がインターセプトするまでには数分の猶予しかない。全米各地に配置されたレーダーからの信号をデジタルコンピュータと多数のオペレータによって即座に解析し、「未確認飛行物体」を捕捉する必要があった。

SAGE は1963年に完成し、1978年まで25年間にわたって利用され続けた。全米に24の SAGE 指揮センターが設けられ、空軍施設と SAGE センター、レーダーの間は電話線で結ばれていた。

SAGE の製造を受注したのは IBM だった。IBM は56セットもの SAGE を作り、1セットを3000万ドルで売った。また、ピーク時には7000人 (当時の IBM 全従業員の20%) が SAGE に関わっていた。プログラマーはそのうち2000人だった。IBM は SAGE のために MIT が開発した電話線経由のオンラインシステム、ビデオディスプレイ装置のための AD-DA 変換などの貴重な技術も知るこ

とができ、そのノウハウをオンライン航空機予約システム SABRE の開発に応用し、押しも押されぬ世界最大の計算機会社の地位を獲得した。

SAGE センターの心臓部は Whirlwind II で、このオンライン実時間デジタルコンピュータにはおよそ100台の端末が接続され、それぞれの端末を一人ずつオペレータが操作し、端末には大きな丸いドーム状の CRT と、タイポトロン (Typotron) という文字表示専用の小さな CRT、そしてライトガンが備えられていた。

大きな丸いディスプレイには海岸線などの地上のランドマークや飛行物体の位置などが表示された。タイポトロンは文字を表示したり、まとめて消去したりできる蓄積管で、すべての端末で情報を共有し、情報を集中管理するために使われた。そしてライトガンはディスプレイ上の特定の飛行物体を選択するために使われていた。

Whirlwind II はアメリカ上空を行き来する飛行機を一度に400機も扱う必要があった。当時のコンピュータにそれらを自動追尾・認識する能力はなかったので、100台もの端末に張り付いた空軍兵士によって人海戦術的に飛行機を識別するしかなかったのである。

3. Whirlwind の後継機

3.1 TX-0 と TX-2

Whirlwind の直系に、同じく MIT Lincoln 研究所で作られた TX-0 と TX-2 と呼ばれるコンピュータがある。TX-0 (Transistorized Experimental computer zero. Tixo という愛称で呼ばれることもある) [4] [5] [28] は1956年に作られたトランジスタコンピュータであった。ちなみにトランジスタは1947年に AT&T Bell 研究所において John Bardeen、Walter Houser Brattain、William Bradford Shockley らによって発明され、また世界初のトランジスタコンピュータは同じく Bell 研で1954年に開発された TRADIC である。

TX-0 の開発動機はその名前の通り、真空管をトランジスタに置き換えることによって、小さくて低電力で高速で信頼性が高い汎用コンピュータが作れるかどうか、また大規模なコアメモリを実装できるかどうかということを実験してみることであった。何か特定の用途のために作られたというのではなく、純粹にトランジスタ回路の実験のために開発されたと言える。TX-0 の後継機 TX-2 ができると TX-0 はそのいくつかのパーツを抜き取られて TX-2 につけかえられ、MIT Lincoln 研究所から MIT 電気工学科に長期貸し出しになり、RLE (Research Laboratory of Electronics) と Electronic Systems Laboratory で共同管理されることになった。軍事予算でまかなわれていた Lincoln 研究所から、ごくふつうの工学部に

払い下げられたのである。あるいは TX-0 と TX-2 の開発目的はトランジスタコンピュータの耐久テストそのものであったかもしれないし、ハッカーのたまり場で、コンピュータを24時間365日さまざまな用途に使い倒す学生たちの巣窟となっている RLE に貸し出すことがもっとも効果的だと判断したのかもしれない。

TX-0 は Lincoln 研究所でも大学院生の学位論文のために時間制で貸し出されることがあったが、RLE では研究者や学生が研究目的に使う以外にも、単なるハッキングのためや、あるいは部外者や子供などにも貸し出されていた形跡がある。文献 [5] によれば

Here it (TX-0) made available as a do-it-yourself facility where both researchers and students could work on-line, having direct access to the machine.

とあるが、われわれはここで on-line という用語の当時の用法に注意しなくてはならない。インターネットや LAN が発達した今日ではオンラインとはコンピュータがネットワークに接続されていることを言うが、当時は人間がマシンに対面し操作している状態のことをオンラインと言っていたらしいのである。TX-0 にはコンソールにトグルスイッチというものがついていたので、これで直接プログラムを入力することもできたが、通常は紙テープリーダーからプログラムを入力した。そして TX-0 を占有したまま「同じ部屋に置いてある」flexowriter という電動タイプライター兼紙テープ穿孔機でプログラムを随時書き換えたりデバッグしたりできた。このことを「オンライン」と言い、隣の部屋の flexowriter で作業することを「オフライン」と言っていたのである。

この「オンライン」と「オフライン」の用語の使い分けについては複数の文献からそのニュアンスを確認することができる。重要なのは当時の「オンライン」という言葉が今日でいうところの「一つのコンピュータに一人の個人が直接アクセスして対話的に使用すること」という意味で使われているということである。つまり「オンライン」==「パーソナルコンピュータ」という意味であり、TX-0 が当時としては珍しく、おそらくは世界で初めてパーソナルコンピュータとして使用されていたことを意味している。

TX-0 をさらに複雑にした TX-1 というコンピュータは開発が断念され、それよりはまだシンプルな設計の TX-2 というコンピュータが1959年に完成した。TX-2 はその後少なくとも1972年までは Lincoln 研究所で稼働し (RFC384 にサーバー名として Lincoln 研究所の TX-2 の名前が記載されている)、Ivan Sutherland の Sketchpad や Larry Roberts の ARPAnet の実験などに利用され、1979年に解体された。TX-0 は1976年に DEC コンピュー

タ博物館に移設された。

3.2 DEC と PDP-1

TX-2があまりにも複雑になりすぎたと感じ、開発ののろさに我慢できなくなった開発スタッフの一人 Ken Olsen[7] は、1957年 MIT を去り、DEC (Digital Equipment Corporation) という会社を設立した。設立者は Lincoln 研究所にいた Harlan Anderson と、Ken Olsen の弟 Stan Olsen の三人だけである。

最初の頃は研究所向けにより速く動作するコンピュータのモジュールを製造していた。また、他社が組み立てて売るコンピュータのモジュールを製造するようになった。それらの部品を自分たちで組み立ててコンピュータを作れば、従来よりも遙かにシンプルで安いコンピュータができると考え、最初のミニコンピュータ PDP-1 (Programmed Data Processor One) を1960年に12万ドルで販売する。CRT とライトペン、flexowriter、そして TECO と呼ばれるワープロが付属している。つまり、PDP-1はおおむね TX-0と同じ仕様を継承し、安くでシンプル、一人の人間がコンピュータを占有して、ディスプレイを見ながらコンピュータを対話的に使えるようにと設計された。まさに後のマイコンやワークステーションや PC と同じ設計思想ではないか。

DEC はこのようにして設立されたから、当時の DEC は官僚主義からまったく自由だった。PDP-1の2号機は MIT に寄贈され、TX-0の隣の部屋に設置されて、TX-0と同様に学生たちが自由に使うことが許された。

4. いくつかの逸話

4.1 TX-2と SketchPad

カリフォルニア工科大学で修士号を取った Ivan Sutherland は MIT Lincoln 研究所にやってきて、TX-2を見たとき、CRT とライトペンを使えばコンピュータで絵を描けるのではないかと考え、1963年には TX-2を使って PhD の学位 (Sketchpad: A Man-Machine Graphical Communication System)[10] を取得した。

SketchPad は今でいうところの (Illustrator などの) ドローツールもしくは CAD の原型であり、ディスプレイとライトペンで円や矩形などを描いたり、それらを移動したり変形したりすることができた。TX-2には OS どころかコンパイラすらなく、SketchPad はすべて機械語で開発されたという。3DCG ソフトも2DCG ソフトもふんだんにそろっており、パソコンで絵を描くの自分プログラムを組む必要もない今日とは大違いであった。

Sutherland のその後の経歴は非常に華やかである。1966年に彼はハーバード大学の助教授となり、ヘッド

マウントディスプレイとバーチャルリアリティの研究を行った[23]~[26]。Sutherland がバーチャルリアリティの創始者とも言われているのはこのためである。1968年には Dave Evans とともにユタ州ソルトレイクシティに Evans & Sutherland という CAD とフライトシミュレータの会社を設立した。またほぼ同時にユタ州立大学教授となる。1970年代初頭、ユタはコンピュータグラフィックスのメッカとなった。Evans & Sutherland の社員もしくはユタ大学の学生には後の Silicon Graphics と Netscape の創設者である Jim Clark、Adobe の創設者で PostScript の開発者である John Warnock、Gourard シューディングの Henri Gourard[22]、Phong シューディングで知られる Bui Tuong Phong[21]、Pixar の創設者 Ed Catmull、NASA JPL で活躍し、バンブマッピングやメタボールを開発した Jim Blinn[19][20]、Dynabook を提唱し Alto や Macintosh を開発した Alan Kay[18] らがいる。

4.2 ハッカー文化

TX-2が1959年に完成したことで半ば不要となった TX-0は MIT RLE に貸し出されたが、ここはのちの MIT AI 研究所の中核となった。MIT AI 研究所は教員もリベラルな思想の持ち主が多く、TMRC (Tech Model Railroad Club) [4][27] に代表される MIT 学生ハッカーの巣窟でもあった。また Richard M. Stallman に率いられた GNU (あるいは FSF; Free Software Foundation) [14][16][17] を生み出した「ハッカーの聖地」でもある。Richard Stallman は Harvard 大学物理学科を卒業し、1971年から1984年まで MIT AI 研究所に雇われた技師であった。

TX-0と DEC から寄贈された PDP-1によって生み出されたさまざまなおもしろくもたわいないハックの数々については文献[4][27]などに詳しいので、本稿では特徴的な例として1962年に作られた Spacewar というビデオゲームだけに言及することにする。MIT の学部生 Steve Russell とその仲間のハッカーたちが Spacewar という、「世界初のコンピュータゲーム」と世間一般には考えられているゲームを作り出した。これは非常に良くできたハック[15]であり、本格的なビデオゲームではあったが、世界で初めてのビデオゲームと呼ぶにはあまりにも洗練されすぎている。世界で初めてのビデオゲームはやはり1948年の Bouncing Ball とせねばならないと思う。

Spacewar は専用のゲームコントローラーを備えた世界初のビデオゲームだったらしい。ただし、そのコントローラーには二つのスイッチと一つのボタンしかついておらず、PDP-1のコンソールに取り付けられたトグルスイッチをケーブルで延長し、TMRC の部室で適当に半田付けしてこさえたものであったらしい。今日のジョイ

スティックやゲームコントローラーに比べるとはるかに素朴で原始的なものであった。

Spacewar は PDP-1 の動作確認用デモプログラムとして、PDP-1 とともに出荷された。バッチ処理や時分割処理が主流の時代に、ハッカーたちは Spacewar のように単一のプログラムがコンピュータのすべてのリソースを占有し、ディスプレイを実時間で制御するハックを好んだ。

PDP-1 以後はさまざまなメーカーがさまざまな実時間画像処理やインタラクティブシステムを開発し出すので、その歴史を一本の系譜としてたどることは難しくなるが（たとえば Evans & Sutherland や NASA が開発するフライトシミュレータ、ATARI 社のビデオゲームなど）、しかし PDP シリーズが主に個人研究者向けにインタラクティブシステム実現の手段を提供し続けたことは確かであり、のちに Myron Krueger らのインタラクティブアート作品にも PDP シリーズがしばしば用いられることになる [3]。

4.3 Larry Roberts

Larry Roberts (Lawrence G. Roberts) は今日では ARPAnet の創設者として名高い。Ivan Sutherland が「コンピュータグラフィックスの父」と呼ばれるように彼は「インターネットの父」とも呼ばれるが、コンピュータビジョンの先駆者でもあり、Roberts オペレータというエッジ検出オペレータに名前を残している。「コンピュータビジョンの父」と呼ばれる資格も持っているように思われる。

TX-0 と TX-2 に関連する Roberts の業績には、パーセプトロンの実装、写真の FAX 伝送、擬似中間調表現 (digital halftoning)、同次座標系、隠線処理、ARPAnet の実験などがある。

Roberts は 1958 年に TX-0 に Rosenblatt のパーセプトロン (3 層のニューラルネットワーク) [5] を実装し、数種類の手書き文字の認識実験を行っている。ニューラルネットワークのシミュレーションとしては世界初であると思われる。

TX-2 が完成すると Roberts は写真伝送のための帯域幅圧縮という問題にとりかかった。このときすでに中間階調を表現するためのディザ法が用いられ、ずっと後になって FAX で同じ技術が広く使われるようになった。

次に Roberts は写真から積み木のような三次元物体を認識し、その物体を線画で表現するという問題に取り組み始めた。Roberts オペレータとはこの際に写真から物体の輪郭を抽出するために使われたエッジ検出オペレータであった。さらに Roberts は隠線除去アルゴリズムを

最初に考案し、線形代数と射影幾何学を統合して同次座標系 (homogeneous coordinate system) を考案した [8]~[9]、[11]~[13]。隠線除去アルゴリズムは後のスキャンラインアルゴリズムや Z バッファアルゴリズムやその他の隠面除去を兼ねたレンダリングアルゴリズムによってとってかわられてしまったが、同次座標系は 3DCG で誰もが使っている手法である。

1965 年に Larry Roberts と Thomas Marill は MIT (マサチューセッツ州ボストン、東海岸) の TX-2 と、サンタモニカ (カリフォルニア州ロサンゼルス、西海岸) の Q-32 というコンピュータの間で、音響カップラーを介した通常の電話線で初めてパケット交換方式で接続した。

5. 考 察

5.1 Whirlwind と SAGE の意義

SAGE システムはアメリカとソ連の冷戦が始まるよりもずっと早くから計画されていたように思われる。第二次大戦で頻繁に行われた空襲や奇襲、特に広島や長崎に行われた、原爆を搭載した長距離爆撃機による空襲のような事態に対応可能な、アメリカ本土全体をオンライン網で結ぶ防空システムが必要と考えられた。つまり原爆を開発し、実際に二発も投下し、民間人を無差別大量殺戮したアメリカ自身が、原爆の脅威に恐怖し、自己防衛に走ったのである。

Whirlwind から DEC までの歴史をなぞってみると、設計方針は試行錯誤あるいはいきあたりばったりとしか思えないところがある。ライトガンの発明で CRT がインタラクティブ性を持ったのも偶然の産物のように思われるし、TX-0 がハッカーの巣窟に投げ込まれて世間一般と違うかなり特殊な使われ方をしたのもたまたまそういう運命に巡り合わせたとしか思えない。

Whirlwind の設計方針に一貫性を見いだせるとすれば、当初から実時間性や対話性というものが第一目的とされていたことだろう。当時すでに広く普及していたパンチカードのおかげでユーザーにとっての実時間性とか対話性というものは、コンピュータの世界ではほとんどかえりみられなかった。図書館にコンピュータの歴史を調べに行ってみればわかるように、ENIAC の次は UNIVAC (のちの UNISYS)、そしてじきに IBM が台頭してくる。インターフェイスや実時間性の話がメインに語られるケースはきわめてまれである。高速に動作することは当然すべてのコンピュータに求められてはいたが、しかし実時間性や対話性やオンラインシステムという観念は欠落していた。ましてコンピュータで楽しく遊ぶという発想は出てきようがなかった。唯一 Whirlwind だけがオンラインで実時間であることを求められた。そして Whirlwind

の DNS を継承したのは、たった三人の社員（そのうち二人は兄と弟）で設立された DEC だけだった。

SAGE は DEC とは違う方向（恐竜へと向かう方向）へ進化した。アメリカ本土防衛という大仕事をさばくため、コンピュータそのものでは処理しきれないので、100人ものオペレータが張り付いて、彼らの目と手で作業を分担しなくてはならなかった。コンピュータがやったことはそれらのオペレータが操作する端末（ワークステーションと呼ばれた）に、レーダーから送られてきた情報を分配し、提示し、回収することだった。まるで古代のガレー船のようなもので、つまり目的の処理速度を達成するため人海戦術に訴えただけともいえる。

DEC はやがて VAX11 に代表される、メインフレームと本質的に変わらない「巨大なミニコン」を製造するようになり、科学技術計算の世界に君臨するが、個人専用型のワークステーションやパソコンの時代に適応できず、淘汰されてしまうことになったのは皮肉な結末である。

1957年のスプートニクショックで明らかとなったような、その後の大陸間弾道ミサイル ICBM のような形の攻撃を SAGE が想定していなかったことは明らかである。SAGE は通常の電話線によってつながれていた。ふつうの電話接続は電線が物理的に切断されれば切れてしまう。このような通信では防衛に不十分だと考えたアメリカは、特定経路に障害があっても他の経路へ動的に迂回して通信が可能な長距離通信網、つまり後のインターネットとなる分散型パケット交換方式のネットワーク、ARPAnet を開発することになったし、SAGE のような防衛戦略はさらにスターウォーズ計画とも呼ばれたレーガン時代の SDI へと発展していくことになった。

結果論で言えば Whirlwind や SAGE は直接的には国家予算によって米産軍複合体を養っただけの壮大な浪費だったと言わざるを得ないだろう。しかしながらインターネットやオンラインシステム、GUI といったさまざまな基礎技術がここから生まれてきて、アメリカは21世紀の覇者となったのであるから、アメリカの納税者は十分に元をとったのではないかと思われる。

5.2 アメリカの軍事研究

アメリカの大学は第二次大戦中、そしてその後の数十年間にわたって、連邦政府に援助された軍事研究を積極的に請け負ってきた。MIT の Lincoln 研究所がそうであるし、Lawrence Berkeley 国立研究所もカリフォルニア大学が管理している [6]。MIT は私立大学で、カリフォルニア大学は州立大学であるが、そうした違いはほとんど意味をなさない。このような例は枚挙にいとまない。連邦政府直轄の大学がそもそもアメリカにはなく、その

ような発想もなかったから、連邦政府は既存の私立大学や州立大学に予算を投じることによってあたかも日本やドイツの国立大学のような役割を演じさせているにすぎない。MIT や CMU や Stanford や Harvardなどを純然たる私立大学だと考え、アメリカは民間活力の国、自助努力の国だと考えるととんでもない誤解をすることになる。アメリカが小さな政府で公共事業も国営企業も何もない国だというのは嘘である。アメリカは膨大な軍事予算を抱え、これが他の国の国営企業や公共事業の代わりをしている。ただ伝統的にアメリカは国立大学や国営企業という形態を好まず、私立大学から派生したベンチャー企業（ITRE もそうだし、Evans & Sutherland も DEC もそうである）とか、民間委託という体裁を取るのを好むに過ぎない。

MIT の AI 研究所 (ProjectMAC) にしても ARPA にしても、これらはすべて国防総省予算によってまかなわれている。つまり AI もインターネットもコンピュータグラフィクスもコンピュータビジョンももとはといえずすべて軍事技術であるといえる。

Ivan Sutherland は一番わかりやすく、彼は軍属だし、NSA にいたことさえある。Evans & Sutherland は国策会社そのものだ。Larry Roberts は学部から博士までずっと MIT の学生で、大学院時代には Lincoln 研究所に在籍した。のちに ARPA に所属して ARPAnet の開発に従事し、MIT を離れて民間会社を設立するのは1973年になってからである。彼自身が好んだか否かはわからないが、彼のほとんどすべての研究はもともと国防総省の予算でなされたものである。MIT AI 研究所は ProjectMAC というやはり国防総省の予算。CMU ロボティクス研究所も国防総省の予算でロボットを作っている。アメリカの最先端技術の多くは国防総省の予算を請け負って私立大学が行っているのである。

Larry Roberts は「通信技術の発展という観点から重要であるにもかかわらず、民間企業がどこもお金を出してくれないので軍にこの話を持ち込んだ。しかし、目は常に一般市民の方を向いていた」と言った。また MIT AI 研究所の Richard Greenblatt のように「金は国防総省から出ていたが軍事目的ではなかった」と言う者もいる。また Marvin Minsky のように「国防総省が研究に投資したからといって、違法なことはちっともないさ。商務省や文部省から金が出るより確かにましだよ。その場合は思想統制につながるだろうからね。思想統制ということなら、軍部のやり方は露骨だから、彼らが何を望んでいるのかすぐにわかる。おかげで微妙な圧力をかけられなくて済むというわけだ。何がおこっているか、はっきりしているってことさ」と言うかもしれない [4]。

同じことが日本で起こり得るかといえば戦前にも戦後にもそんなことはなかった。防衛庁にも研究所があるが、大学との交流はほとんどない。東大京大を初めとする多くの大学が軍事との関わり合いを毛嫌にするからである。我々は防衛庁に研究所があって軍事研究を行っていることをほとんど知らないし、知ろうもしない。防衛庁側からも積極的な広報はない。まして防衛庁の予算で大学が管理する研究所が作られることなど空想することさえできない。もしそんな動きでもあれば世論やマスコミがどんなに騒ぐだろうか。

だからと言って日本がアメリカに比べて清らかで潔癖だといえようか。Minsky が言っているように、文部省や通産省から予算をもらっている我が国の大学は、ただ単に官僚や政治家や財界人を育てるための大学に研究資金が集中しているにすぎないではないか。

Whirlwind や SAGE について、日本であまり知られていないのは、これらが軍事研究であって、純然たる学術研究ではないと考えられ、故意に黙殺されたからではないか。しかしそれはアメリカという国を、また科学技術というものを間違えて認識してしまう落とし穴になりかねない。事実を直視せねばならない。アメリカという日本にとってあまりにも身近すぎる国をありのままに理解しなくてはたいへんな過ちを犯してしまうだろう。

ARPA についても日本人は、大学の研究者はスプートニクショックなどのソビエト連邦脅威論をうまく利用して国防総省の予算を自分たちの知的好奇心（あるいは平和利用）のために流用しただけであると、その点には内心忸怩たるものがあるに違いないと、そのような同情的な解釈をしがちである。NASA についてもそうで、本来きわめて政治的・軍事的なものであるのに、宇宙開発のロマンや科学技術の進歩のようなものに美化しがちである。研究者や科学者がどのように判断するかはともかく、アメリカ政府や納税者であるアメリカ国民の過半はこれらを軍事研究であると考えていたのは間違いなく、またそうでなくては連邦議会で予算の承認が得られるはずがない。

5.3 CUI と GUI

IBM はもともとアメリカの国勢調査の集計で一躍大企業となったパンチカードの会社である。このパンチカードは1890年から使われてきて、はるか後に登場した電子計算機にも適用されるようになった。COBOL や FORTRAN と呼ばれた言語のプログラマは、まずプログラムを紙のコーディングシートに書き、それをキーパンチャーに渡して、重ねると何十センチにもなるパンチカードの束にしてもらう。それを IBM のメインフレームに入力

して、間違ったところをデバッグする、そういうインターフェイスが使われていた。いや、そもそもこれはマンマシンインターフェイスでもユーザインターフェイスでもなかったし、オンラインシステムですらなかった。

パンチカードとは別にプログラムコードを記録し、コンピュータに入力するための媒体としては紙テープがあった。紙テープは最初 Friden Flexowriter という電動タイプライターで穴を開けていた。紙テープは紙テープリーダーにかけられてコードがコンピュータに入力された。この時点ではキーボードとコンピュータはまだオンラインではつながれていなかった。

1965年代半ばになるとテレタイプ (teletype, tty) という機械が使われるようになった。これは電話線につないで文字コードを遠隔地に伝送できるようにした電動タイプライターであるが、人間が手でタイプする速度は電話で送信される情報量よりもはるかに小さいので、電話代を節約するために、あらかじめオフラインで紙テープにタイプし、それをオンラインで一気に伝送していた。このテレタイプをコンピュータに接続することによってオンラインの CUI というものが実現したのである。このような形の CUI がはじめて実現したのは DEC PDP-8 というコンピュータと ASR-33 というテレタイプであったらしい。

紙テープやタイプライターという仲介なしに、今日という CUI が実現するにはビデオ端末 (video terminal、VT) の登場を待たなくてはならないが、もっとも初期のビデオ端末としては1970年に発売された DEC VT05 というものがあつた。VT05はその後文字端末の標準 VT100へと進化していく。

ビデオ端末の登場によって紙テープやパンチカードは急速に廃れていき、TSS (time sharing system) が変わって普及していくことになる。TSS は一人当たりが利用できるコンピュータの性能を低くはしたが、いつでも好きなときにコンピュータとオンラインで作業できるようにした。紙テープは CUI へと連続に進化したのが、パンチカードは1970年代後半にいきなり絶滅した。

GUI は1948年に現れ、最初からコンピュータとつながっていて実時間で動いていた。しかし CUI がオンラインで実時間なシステムとなるには1970年まで待たねばならなかった。つまり CUI は GUI に比べて20年ほど遅れて生まれたことになる。このことは我々の感覚と大いに食い違う。

マンマシンインターフェイスにはまず最初にパンチカードや紙テープなどのオフラインのシステムがあり、次にオンラインではあるが文字しか扱えない CUI の時代があり、その後映像も扱える GUI の時代が来たのである

と考えがちである。しかし、Whirlwind で実現され、TX-2 の Sketchpad で有用性を立証された初期の GUI はオシロスコープと光センサーがあれば作ることができた。しかもオシロスコープの上の輝点をライトペンに内蔵された光センサーで感知するだけであるから、この GUI にできることはベクトル走査式 CRT 上で光っている点を選択することだけである。

このような素朴な GUI に対して CUI を実現するためにはまずテレタイプなりビデオ端末なりの専用のデバイスを設計し、タイプされた文字を文字コードに変換して伝送する規格を定めなくてはならなかった。そういうシステムが必要だと最初から思いつく人はいなかっただろう。コンピュータを操作していく上で必要に迫られて自然発生的にそのようなシステムが作られていったのである。そのために GUI に遅れること20年という歳月がかかったのも無理はない。

1973年に Xerox PARC の Alto で実現した PARC User Interface == PUI は、ラスタ走査されるビットマップディスプレイ上のアイコンやウィンドウなどの様々なオブジェクトを表示できた。これらのオブジェクトをマウスなどのポインティングデバイスで操作するのが今日的な意味での GUI である。同じことをベクトル走査の CRT とライトペン、そしてトグルスイッチで実現するのは、おそらく簡単なものであれば可能であっただろうが、非現実的であることは確かである。GUI は CUI よりもはるかに早い段階で発明されてはいたものの、実用化にはコンピュータの性能向上、つまり計算そのものだけでなくグラフィカルなインターフェイスにも多くの計算時間やメモリやコストをかけられ、かつコンピュータを個人が占有できるようになった1980年代を待たなくてはならなかったのである。

5.4 Roberts と Sutherland の幸運

Roberts と Sutherland の二人はコンピュータグラフィクスとコンピュータビジョン、バーチャルリアリティ、インタラクティブシステムなど、筆者が関係する研究分野のほとんどすべての基礎研究をてがけた。また、彼らがやり残したことも彼らの弟子たちがだいたい解決してしまった。Adobe も Pixar も Netscape も Sutherland の弟子が興した会社である。Roberts にしてもコンピュータビジョンか画像処理の世界の大御所におさまっているだけで研究者としての面目はたったはずだが、それからさらにインターネットの研究までやっている。Roberts はなぜわざわざパケット交換通信などという新たな分野の仕事の始めたのかという問いに対して、一人の人間ができるだけ多くの業績を残すためだったと言っている[1]。

新しい研究をする一番良い方法は誰もやっていない研究を誰よりも早い時期にやることである。早くやれば、巧妙にやる必要も緻密にやる必要もない。人よりも後に研究を始めれば、努力だけ多くて結果はなかなか出せない。今日の研究者が辛苦して重箱の隅をつつくような研究をして、なかなか成果が出ないのは、他人がやった研究に執着するからである。Sutherland と Roberts の業績を見ているといつもそう思う。

芸術と科学の学際分野であるとか、芸術と技術の融合分野などというが、すでに確立された芸術の分野と、それから遠く離れた科学の分野をもってきて組み合わせれば新しい学際分野ができるかという、そううまくはいかない。経験的には話は逆であって、新しい分野であるから芸術と科学が未分化なのであり、古くなればなるほど芸術と科学は離れていって、なかなか融合できなくなってしまふ。古い研究どうしを掛け合わせて新しい研究を作ることはできない。至極当たり前のことだ。

新しくできたばかりの研究分野では、どこが芸術でどこからが技術かが明確でないので、技術者がうっかり芸術をやってしまったいたり、芸術家がついつい技術までやってしまったりする。芸術と科学を恣意的に融合させるには膨大な労力が要る。しかし、芸術と科学が渾然一体となっているような新しい学術領域ならば個人で簡単に網羅し把握できる。Sutherland や Roberts の時代のコンピュータというものは、まさにそのようなものだった。比較的最近の例で言えば、1992年くらいから Web が普及しだしたころは芸術と科学、そして人文社会学が未分化で渾然一体とした時期があったが、2004年現在ではすでに相当整理されて、重箱の隅つつきが始まっているように思う。技術革新というものは、なんらかの形で随時起きてくるものだろう。そのタイミングを人より先にとらえさえすれば、Roberts や Sutherland のように研究者として大きな業績を残すことができるに違いないと考えている。

6. 終わりに

本稿は最初 Whirlwind から Myron Krueger の記念碑的インタラクティブアート作品 videoplace を経て、今日の視覚インターフェイスを用いたさまざまな作品やゲーム、たとえば筆者みずからの作品や eye toy: play などの作品解説を含めた、解説論文のようなものにしたかったのであるが、書き出してみると Whirlwind から始めて Myron Krueger には到底たどり着けず、およそ Spacewar ほどまでしか書けないことが判明し、論文構成をそのように大幅に変更し執筆しなおしたものである。Myron Krueger 以降の話については別の機会に執筆する予定で

ある。ともかくも今回このような形で前史をまとめておかないうちには、1970年代以降におこった Myron Krueger の話も、それ以後のメディアアートやインタラクティブアートの話もきちんと書けないように思われたのである。

本稿ではいろいろな文献を調べていくうちにアメリカの学術研究と軍事研究の間のきわどい関係についても論評することになった。思えば筆者もかつては人の生き死に関わるような、あるいは損得勘定に関わるような業の深い研究はしたくない、浮世離れした研究をしていたと思ったものだった。生死に関わる研究といえばたとえば医学や生物学、軍事研究などもそうである。コンピュータグラフィクスなどは浮世離れして世の中の毒にも薬にもならない気楽な研究だと思っていたが、筆者が今やっているグラフィクスやビジョンなどの研究は明日からも軍事転用可能だし、アメリカでは事実これまで軍事予算によって研究費がまかなわれてきた。学術研究でこういうきな臭い話に言及するのは日本ではタブー視されてきたように思うが、一度は書いてみたかったことでもあり、今回は良い機会なので思い切り書いてみることにした。

付録 年譜

1940年代前半

Project Whirlwind

1946 ENIAC 完成

1947 Whirlwind I に CRT が接続される。
トランジスタの発明。

1948 Bob Everett によるライトガンの発明。
Waves of One。

1949 Charlie Adams と Jack Gilmore による Bouncing Ball。

1951 Whirlwind I 完成。
MIT Lincoln 研究所創設。

1952

1953 Whirlwind II 完成。

1954 世界初のトランジスタコンピュータ TRADIC 完成。

1955

1956 TX-0完成。

1957 DEC 社創設。

1958 MITRE 設立。
Larry Roberts によるパーセプトロンの TX-0 への実装。
DEC システムモジュールを初出荷。

1959 TX-2完成。

DEC PDP-1完成。

MIT AI 研究所開設。

TX-0が MIT RLE に貸し出される。

1960 DEC PDP-1初出荷。

1961

1962 DEC PDP-4出荷。

Steve Russell らによる Spacewar。

1963 SAGE 完成。

DEC PDP-5出荷。

Larry Roberts によるコンピュータビジョン。

Ivan Sutherland 学位論文 Sketchpad。

卒業後軍隊に中尉として所属。

NSA (National Security Agency、国立情報局) に電気技師として所属。

1964 Ivan Sutherland、ARPA に所属。IPTO (Information Processing Techniques Office) の長官となる。

DEC PDP-6、PDP-7出荷。

1965 Larry Roberts と Tomas Merrill による ARPAnet の実験。

Larry Roberts による同次座標系。

DEC PDP-8、ミニコン業界で初の大量生産。

1966 Ivan Sutherland、Harvard 大学助教授。

Remote Reality (Head Mounted Display) の研究。
DEC PDP-9。

1967 Larry Roberts、ARPA に所属。

DEC PDP-10。

1968 Evans & Sutherland 社創設。

Ivan Sutherland、ユタ大学準教授。

Douglas Engelbart の On-Line System のデモン
ストレーション。

DEC PDP-15。

1969 Alan Kay の学位論文 The Reactive Engine。

Myron Krueger らによる Glowflow。

PDP-12 と Moog シンセサイザー。

1970 DEC PDP-11。

DEC 初のビデオ端末 VT05。

Myron Krueger による Metaplay。

参考文献

- [1] "Retrospectives: The Early Years in Computer Graphics at MIT, Lincoln Lab and Harvard", SIGGRAPH '89 Panel Proceedings, pp. 19~73, 1989.
- [2] Wikipedia: <http://en.wikipedia.org/>
- [3] M. W. クルーガー著、下野隆生訳「人工現実：インタラクティブ・メディアの展開」(東京トッパン) 1991.
- [4] スティーブン・レビー「ハッカーズ」(工学社) 1987.

- [5] John A. McKenzie: "TX-0 Computer History", MIT RLE Technical Report No. 627, June 1999.
- [6] クリフォード・ストール著、池 央歌訳「カッコウはコンピュータに卵を産む」上・下 (草思社) 1991。
- [7] "Transcript of a Oral History Interview with Ken Olsen", Digital Equipment Corporation. Interviewer: David Allison Division of Information Technology & Society National Museum of American History, Smithsonian Institution September 28, 29, 1988。
- [8] Lawrence G. Roberts: "A graphical service system with variable syntax", Communications of the ACM, v.9 n.3, p. 173-176, March 1966。
- [9] Roberts, L. G.: "Graphical Communication and Control Languages", Lincoln Lab. Report.
- [10] Sutherland, I. E.: "Sketchpad - A Man-Machine Graphical Communication System", Lincoln Lab. Technical Report #296, 30 Jan. 1963.
- [11] Roberts, L. G.: "Homogeneous Matrix Representation and Manipulation of N-Dimensional Constructs", Lincoln Lab. Report MS-1405, May 1965.
- [12] Roberts, L. G., "Machine perception of three-dimensional solids", Lincoln Lab. Tech. Rep. 315, 22 May 1963.
- [13] L. Roberts: "Machine Perception of 3-D Solids", Optical and Electro-optical Information Processing, MIT Press 1965.
- [14] Richard M. Stallman 「GNU 宣言」(GNU Manifesto 1993年改訂), <http://www.fsf.org/japan/manifesto-1993j-plain.html>
- [15] エリック・レイモンド著、福崎 俊博訳「ハッカーズ大辞典」改訂新版 (アスキー) 2002。See also <http://www.catb.org/~esr/jargon/> (Jargon File)
- [16] エリック・レイモンド著、山形浩生訳「伽藍とバザールーオープンソース・ソフト Linux マニフェスト」(光芒社) 1999。
- [17] リーナス・トーバルズ、デビッド・ダイヤモンド著、風見 潤訳「それがぼくには楽しかったから」(小学館) 2001。
- [18] Alan Kay: "The Reactive Engine", PhD thesis at the University of Utah, 1969.
- [19] Jim Blinn: "A Generalization of Algebraic Surface Drawing", ACM Transactions on Graphics, vol. 1, no. 3, July 1982, pp 235~256.
- [20] Jim Blinn: "Simulation of Wrinkled Surfaces", SIGGRAPH 78, pp 286~292.
- [21] Bui Tuong Phong: "Illumination for computer generated pictures", PhD thesis at University of Utah 1973, see also Communications of the ACM, Vol. 18, no. 6, pp. 311~317, 1975.
- [22] Henri Gouraud: "Computer Display of Curved Surfaces", PhD thesis at University of Utah 1971. See also H. Gouraud: "Continuous shading of curved surfaces", IEEE Transactions on Computers, vol. 20, no. 6, pp. 623~628, 1971.
- [23] Sutherland, I. E.: "Ten Unsolved Problems in Computer Graphics", Datamation, May 1966, vol. 12, no. 5, pp. 22~27.
- [24] Sutherland, I.E.: "A Head-Mounted Three-Dimensional Display", AFIPS Conference Proceedings, vol. 33, part I, pp. 757~764, 1968.
- [25] Sutherland, I.E.: "Computer Displays", Scientific American, vol. 222, no. 6, pp. 56~81, June 1970.
- [26] Sutherland, I.E., Sproull, R.F., and Schumacker, R.A.: "A Characterization of Ten Hidden-Surface Algorithms", Computing Surveys: Journal of the ACM, March 1974.
- [27] フレッド・ハブグッド著、鶴岡雄二訳「マサチューセッツ工科大学」(新潮文庫) 1995。
- [28] Jonas Oberg: Tixo.Org <http://www.tixo.org/>
- [29] 独立行政法人 海洋開発研究機構 地球シミュレーションセンター <http://www.es.jamstec.go.jp/>