

コンピュータグラフィックス黎明期

1953年。MITの「つむじ風(Whirlwind)」と呼ばれるデジタルコンピュータに、新しく開発された磁気コアメモリが記憶装置として実装され、コンピュータの信頼性と演算速度を飛躍的に向上させていた。Whirlwindといえば、そもそも海軍のパイロット訓練のために航空機のシュミレータをつくるプロジェクトから始まり、初めてCRT画面が接続されたことで知られる高速コンピュータである。そのWhirlwindがさらに高速にならなければならない理由と新技術開発の資金源は、アメリカ本土への核攻撃に備える巨大防空網をつくるという戦後

喜多千草

最大級の国防プロジェクトであった。このため、Whirlwindがレーダーからの情報を集めて表示する予備実験にかり出される一方で、実際の防空網を形成する数十の各指令センターに配備される新型のWhirlwind IIの設計計画が持ち上がったのである。そこでまずは、コンピュータをさらに安定させ速くするためのパーツの実験が必要になった。そこで、潤沢な研究資金を使ってWhirlwind IIへのステップとなるような、新しいパーツを組み込んだもう一台のコンピュータがつくられた。メモリテストコンピュータ(MTC)である。1952年の数ヶ月で組み立てられたシンプルな実験コンピュータMTCは、Whirlwindの特徴をほぼ踏襲していたためCRT画面も備えていたものの、Whirlwindが研究棟の1フロアーを占有する巨大なコンピュータだったのに対し、“たったの”一部屋ほどの大きさだった。このMTCで試された磁気コアメモリが、防空網の予備実験中だったWhirlwindに実装されたというわけである。MTCでは基本的にはパーツが安定して動作するかをテストするプログラムが止まることなく走り続けていたが、一部の研究者には数時間単位で使用が許可された。当時は一件あたり分単位の割り当てで使われていた貴重品のデジタルコンピュータ使用時間としては破格の長さである。この巨大国防プロジェクトの喧噪の陰にできたサンクチュアリで、「自己生成系」と名付けた神経ネットワークのシミュレーションプログラムを走らせるふたり組があっ

ウェスリー・クラーク

た。ヴェルモント・ファーリー(Vermont Farley)とウェスリー・クラーク(Wesley A. Clark)である。ふたりは、CRT画面にミミズのはったような画像を描き出しては、また変数を入れ替えて新しい画像を表示させて、何時間もMTCとともに時間を過ごしていた。画像表示装置のつながれたデジタルコンピュータによるシミュレーションという新しい領域の興味深さもさ

1927年コネチカット州生まれ。幼い頃カリフォルニアに移り住み、サクラメントの近郊で高校までを過ごし、第二次大戦中は海軍士官になるための教育を受ける。南カリフォルニア大学で大学生活の大半を過ごす。結婚してパークレイに移り住んだために卒業は1947年カリフォルニア大学パークレイ校。理論物理学専攻であった。その後、修士課程をせずに博士課程に進むが、2年ほどで休学し、1949年よりワシントン州ハンフォードのGEの原子力エネルギー施設のスタッフとなり物理学実験に従事する。1951年にWhirlwindのプログラマーとしてMITに移り、以後電子工学科の講師、MITリンカーン研究所副グループリーダー、同グループリーダーを経て、1964年からコンピュータ科学研究教授、およびコンピュータシステム研究所副所長(のち所長)を務め、1972年からゼロックス社パロアルト研究所の経営顧問、およびBBN社、コントロール・データを始めとするコンピュータ関連企業のデザインコンサルタントとなる。1977年度はカリフォルニア工科大学で、1987年度はワシントン大学で客員教授を務める。現在は、ニューヨーク州のブルックリン・ハイツに在住。コンピュータ関連の Patent 申請および訴訟、またベンチャー・キャピタルリサーチ関係のコンサルタント会社を営む。写真は、1960年代半ばのウェスリー・クラーク。[写真提供、所蔵=ウェスリー・クラーク]

ることながら、ふたりは、自分たちの思考の過程に沿ってコンピュータとやりとりすること自体にも意味を見いだしていた。まだ不安定な要素のあったデジタルコンピュータではあったが、存分に使う機会に恵まれたふたりは、様々な実験の合間に、コンピュータは人間が直接やりとりするように使ってこそ意味があるのだ、だからもっとコンピュータを使いやすく設計してゆけよと話し合った。このことがクラークの脳裏に刻まれ、以後彼を導くことになる。

クラークはMITに来る前には、物理学系の研究所に務め始めたばかりの若手研究者だった。その頃、1950年に小さなリレー式コンピュータ「シンプル・サイモン(Simple Simon)」が科学啓蒙雑誌『サイエンティフィック・アメリカン』の表紙を飾ったのである。ハーヴァード大学のハワード・エイケン(Howard Aiken)らがつくったコンピュータの技術報告書を読んだときにも感じていたワクワクする気持ちを抑えられなくなったクラークは、思い切って出身校のカリフォルニア大学パークレイ校の数学者D. H. レーマー(D. H. Rehmer)に、サイモンのような小さなコンピュータの研究のために大学院に戻ることを打診したのである。レーマー教授に「そんなちっぽけなものに構うな。大物に取り組み」と言われて復学をあきらめたクラークではあったが、ほどなくMITのWhirlwindのスタッフ募集に応募してコンピュータのプログラマーに転身し、MTCに出会った。そしてコンピュータ設計者としての類い希な才能を開花させるのである。クラークは、まずトランジスタを使った最初期のコンピュータTX-1を設計し、画像表示装置を含む各種の入出力装置をスムーズに使えるようにするために、コンピュータの演算能力の全体を瞬間的に入出力装置が占有できるようにする「マルチシーケンズプログラミング技法」を編み出した。しかし、TX-1は実際につくられることはなく、かわりにもっとシンプルなTX-0が設計構築された。そして次につくられたTX-2は、TX-1の設計を改良したもので、TX-1のために開発しておいた「マルチシーケンズプログラミング技法」も充分に生かされるように設計された。これは、後にタスクスイッチングと呼ばれることになる設計上の画期的な方法であり、これが搭載されていたためにTX-2では画像表示装置を含む入出力装置の使用が容易だったのである。

TX-0はTX-2の完成にともなって1950年代末にMITに「長期貸し出し」され、非凡なエンジニアリングの才能を持つ若者たち、「ハッカー」のたまり場となった伝説のコンピュータとなる。このとき、TX-0に群がった「ハッカー」たちは、このコンピュータをつくったクラークのグループが、リンカーン研究所でさらに強力な機種を既に開発しており「コンピュータをもっと親しみやすいものにする」研究を受け入れているということを知らされ、最新のコンピュータを利用できるチャンスを狙って、どのような研



当該箇所は他者の記事部分のため、著作権により削除しています。



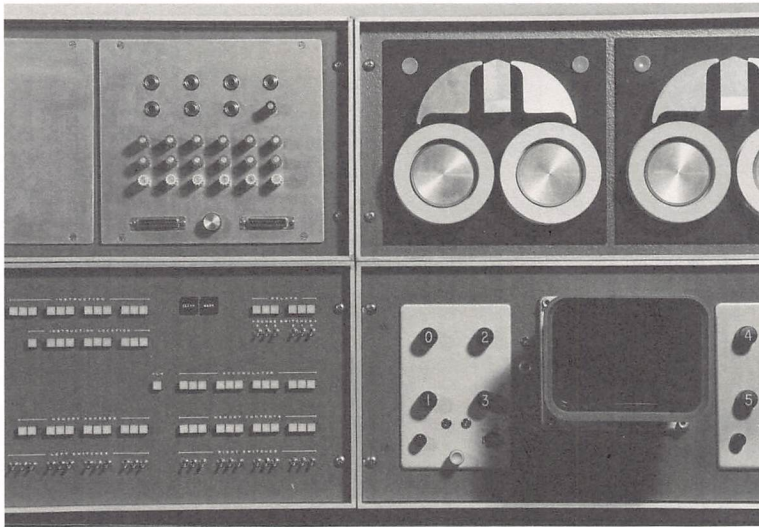
究を提案すればよいか知恵を絞っていた。中には、TX-2が多数の入出力装置を操ることのできる特徴を持っていることに目をつけて、入出力装置のかわりに大勢の人間が同時にTX-2を使えるようにしてはどうかという研究提案をクラークに持っていった例もあったが、クラークににべもなく却下された。確かに、当時は、大型汎用コンピュータは間接使用しか許されていなかったのが普通であったから、多くの人が端末からコンピュータを直接使用できる方法は、「コンピュータを親しみやすくする」ひとつの方法には違いなかった。しかし、そのように使用した場合、当時のコンピュータの能力では、ひとりひとりの人間はテレタイプライター端末でコンピュータを利用するしかなく、画像表示装置を利用してこそコンピュータがより親しみやすいものになると考えていたクラークにとっては受け入れがたかったのである。ちなみに、この提案はあながち的はずれだったわけではなく、大勢の人間がオンラインでコン

LINCのCRT画面 および磁気テープ

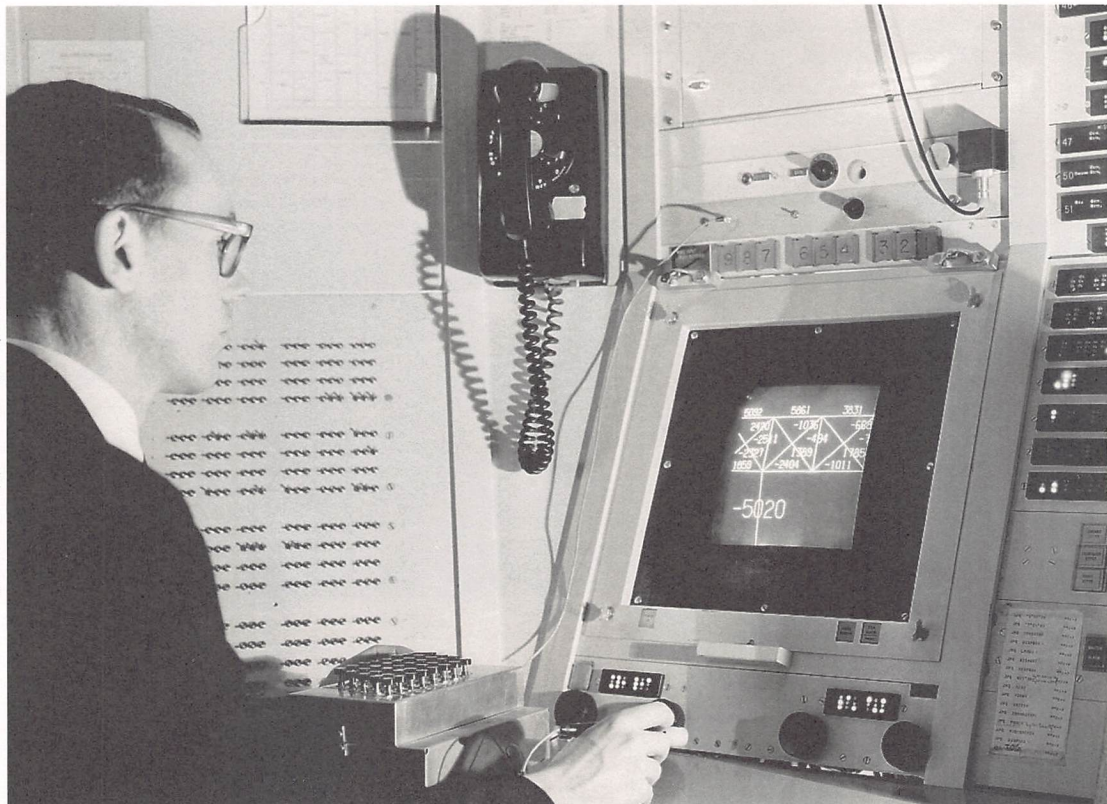
クラークは、後にMIT学長になる生理物理学者ウォルター・ローゼンブリスとの交流から、TX-2設計ののち、彼らの研究室のためにTX-0をさらにシンプルに小型化したARC (Average Response Computer)を設計した。1958年に完成したARCの方向を進めて、さらにシンプルなコンピュータとしてL-1に取り組んだクラークは、さらに小さく2万5000ドルほどで買えるコンピュータという研究室に一台設置できる程度の汎用コンピュータの設計を目標にすえ、デザインに取りかかった。この2万5000ドルという数字は、当時ほぼひとりの研究スタッフの年俸程度にあたり、たとえば学部長決裁で購入が許可できる程度の予算額というあたりの線を狙ってはじかれたものであった。LINCは、「オンラインの直接利用」と当時呼ばれていたコンピュータの利用方法を、小さな汎用コンピュータを占有して行えるようにと考えて創られた科学者の思考過程を助ける道具だった。小さいながらもCRT画面がつけられ、オンラインプログラミングができた。このコンピュータは、現在のパソコンの源流のひとつとも言われる。この写真に見られるLINCのハードウェアとしてのインターフェースデザインには、精緻なエンジニアリングの示す美しさが現れている。[写真所蔵=ウェスリー・クラーク]

「人工知能」によって完全自動化の可能性を追求しようとする流れもでてきたのであるが、一方で、人間という要素をシステムの中から一掃してしまう完全自動化という方向性そのものを見直して、むしろ人間の作業をコンピュータに手伝わせるシステムをつくらうという気運も起こり始めていたのである。サザランドが、そうしたMITの先行研究者たちに教えを請い、同僚たちの最先端の研究内容を参照し、指導教官になった情報理論創始者クロード・シャノンから助言を得ることによって構築したスケッチパッドは、まさに懸案の「人間と機械のコミュニケーションシステム」のエレガントな実現だった。つまり、厚みのあるMITの研究の層の上に構築された画期的成果だったのである。

サザランドは国防総省の情報処理技法部(IPTO)初代部長のJ. C. R. リックライダーにその研究の重要性を認められ、弱冠26歳にしてIPTO第2代部長に抜擢された。サザランドは、この任にある間に「グラフィックス制御とディスプレイ計画」をつくり、概念を可視化する研究を助成する方針を打ち出し、さらに「コンピュータグラフィックス: 10の未解決問題」を発表していった。サザランドの打ち出したアジェンダは、オンラインで画像表示装置を使うコストの問題を解決するハードウェア開発を筆頭に、使いやすいシステムデザインの必要性、計算用プログラムと描画用プログラムを統合することの有用性、グラフィックスで動きを表現する必要性、その他、ハーフトーン、陰線処理などの領域でこれから進展させてゆくべき点を明



ピュータを共同利用する方式は「時分割処理」と呼ばれ、1960年代にはそのような方式のシステムが実際に構築されていった。クラークはそれが一世を風靡したときも孤塁を守って自らの道を信じて突き進むことになるが、このときのクラークの提案拒絶はその因縁の対立の序章だったのである。一方で、画像表示装置を積極的に利用した新しいシステムの研究はクラークに温かく迎え入れられ、TX-2を占有して研究することが許された栄えある若手研究者の一団ができあがっていった。そこに名を連ねた大学院生のアイヴァン・サザランド(Ivan E. Sutherland)が、ライトペンで画面から入力する方式を発展させた作図システムの研究によって構築したのが、有名なスケッチパッドと名づけられたシステムである。これは、おおまかな方向へライトペンを動かすと直線を引く機能、ほぼ丸くライトペンを動かすと円を描く機能などのほか、移動、複製、拡大、縮小といった機能を搭載したグラフィックス用のアプリケーションソフトウェアと入力装置を組み合わせたシステムであった。入力装置としては、ライトペンのほかに、ボタンやノブなどが様々つけられており、それらを組み合わせて操作することで画面上で作図をすることができたのである。1963年の発表当時は、「コンピュータグラフィックス」という言葉はまだ使われておらず、スケッチパッドはコンピュータ支援のデザインシステムと分類され「人間と機械の画像コミュニケーションシステム」と呼ばれていた。MITでは1950年代末になってから、コンピュータ応用グループと機械工学科のデザイン部門とが合同で、コンピュータによって作業の自動化をすすめるのではなく、エンジニアのためにコンピュータを利用したデザインシステムを考えようという動きが起こっていた。それまでは、コンピュータは不完全な人間にとってかわって効率的な自動化を行うための切り札だった。この延長上に、自分で状況判断できるコンピュータ、つまり人間の補助を一切不要とする



Reprinted with permission of MIT Lincoln Laboratory, Lexington, Massachusetts

確に指し示した。この間、サザランドが後に続くべき研究として大きく取り上げていた先端研究は、サザランドがスケッチパッドを構築したのと同時期にやはりTX-2を使ってラリー・ロバーツが進めていた三次元グラフィックスの研究である。もちろん、より多くのコンピュータにCRT画面が接続されるようになるとともに、各地でコンピュータと画像表示を結びつけたシステムの開発が進められていたのではあるが、IPTOの研究資金を背景に、TX-2に集ったクラーク門下生の最先端の成果を出発点にしてグラフィックス研究を発展させようとしたサザランドが原動力となり、コンピュータグラフィックスがまとまりのある一分野として確立していったのである。

一方、クラーク自身は、さらに経済的にも「親しみやすい」でできるだけ小さなシステムの設計へと向かった。そして、1960年代前半には大学の研究室レベルに一台持つことのできるコストに収まるコンピュータ、LINCをデザインする。これは、科学者が画像表示装置を利用して直接試行錯誤しながらオンラインプログラムして使えるようにと設計されたLINCは、数式をグラフに現したり、実験で各種の入出力装置を制御したりした、個人用の汎用コンピュータだった。WhirlwindからLINCへというクラークの描いたベクトルは、画像表示装置を備えたコンピュータはユーザーが思考の道具として対話型に直接利用するために使わ

アイヴァン・サザランドとTX-2

スケッチ・パッドを操作するアイヴァン・サザランド(1938~)。もちろんコンピュータはMITリンカーン研究所のTX-2である。この写真はサザランドがスケッチパッドを1963年に学会発表した際にも使われた(AFIPS Conference Proceedings, vol.23, 1963 Spring Joint Computer Conference, p.329)。当時のサザランドによるコメントは「TX-2操作卓でスケッチパッドが使われているところ。筆者はライトペンを使っている。『ドロー』『移動』などの押しボタンは筆者の前にある箱に付けられている。つまみを上下するスイッチの一部は筆者の背後に見えている。画像表示装置に描き出されている画像の大きさや場所は机のすぐ上にある4つの黒いノブ[サザランドが操作している]で調整する。」ちなみに現在サザランドが所属するサンマイクロシステムズのホームページにも同じ写真が掲載されており(<http://www.sun.com/960710/feature3/tx-2.html>)、以下のようなコメントが付けられている。「……プログラムは紙テープの上に書かれており、TX-2へはプログラマー自身が送り込むようになっていた。しがたない大学院生だったアイヴァン・サザランドになんとか許された使用時間は午前3時から午前5時までだった……。また、このページにはTX-2の技術的な仕様も掲載されているので興味のある向きにはおすすめ。ただし、この手のデータには、構築中の半稼働状態であった時期が記載されないのが普通であるため、歴史的な事実関係の検証には構築年を最終完全稼働時とったデータだけを使うと誤りを犯すことになるので要注意。【写真所蔵、提供=MITリンカーン研究所】

は、たとえばパーソナルコンピュータから生成されてくるコンピュータグラフィックスの表現の質そのものである。

文献ガイド……3

■MITの「つむじ風(Whirlwind)」について書かれた歴史書では、緻密な文献考証を経た *From Whirlwind to MITRE: The R&D Story of the SAGE Air Defense Computer*, The MIT Press, 2000 が圧巻。作者のケント・レドモンド(Kent C. Redmond)とトーマス・スミス(Thomas M. Smith)は、20年前に *Project Whirlwind: the History of a Pioneer Computer*, Digital Press, 1980に出してから、さらに研究を続けて集大成を発表した。題名にあるMITREというのは、Whirlwind研究グループが、MITリンカーン研究所設立から独立してつくった会社で、軍事研究開発に関わってきたために資料公開へのハードルがたいへん高い。レドモンドとスミスは、20年がかりで膨大な内部資料の公開に成功した研究者の鑑なのだ。筆者もMITREへ資料をもらいにいった際、アーキビストのひとりから彼らの本のために全部の資料公開許可をとりつけるのがいかに困難だったかを聞かされた。この分野に関しては同じアプローチでの後継はありえないというほどの労作。この本にはもちろんMTCについても書かれているが、記述の主眼が設計上の諸問題の仔細な経緯のほうにあるため、だれが潜り込んで使っていたかなどは詳しく書かれていない。そのあたりは、当時の技術報告書や、個別の回想録やインタビューを相互参照して探るしかない。

■ウェスリー・クラークの回想は、本誌1号で紹介した、Adele Goldberg ed., *A History of Personal Workstations*, ACM, 1988に収録された“The LINC was early and small”が詳しい。パイオニアの回想にありがちな誇張がほとんどなく、ユーモアにあふれているところに誠実な人柄がよく現れていて好感が持てる。ここに、彼がファークレイとともにMTCでコンピュータ三昧を経験したことも書かれている。MTCを使っていた他の記録が見られるのは、たとえば1955年の合同学会の記録 *Proceedings of the 1955 Western Joint Computer Conference*。『サイバネティクス』で有名なウィナーの助手だったオリバー・セルフリッジ(Oliver Selfridge)らもMTCでパターン認識の研究をしていたことがわかる。この学会では、クラーク、セルフリッジ、アレン・ニューウェルらが発表、認知心理学創始者のひとりジョージ・ミラーと伝説の神童ウォルター・ピッツがコメントするという、豪華な顔ぶれの「学習する機械」というセッションが開かれた。“人工知能”という用語が公式に最初に使われたとしてたびたび言及される翌年の夏期セミナー、いわゆる「ダートマス会議」と比較すると、「コンピュータは考えることができるのか」という当時盛んだった議論に対して、慎重な態度が基調になっているのも興味深い。

■「シンプル・サイモン」は1950年に発表された、最も小さく安い「機械仕掛けの脳」といわれたリレー式計算機で、当時数百ドルで販売され400台ほどが売れたという。エドモンド・パークレイ(Edmund C. Berkeley)が、1949年の *Giant Brain: Or Machines that Think* (『巨大な脳 あるいは考える機械』)という著書の中で、最もシンプルモデルとして紹介した「サイモン」のアイデアを、コロニア大学の卒業生ふたりが実際に製作したものであった。これが最初の「パーソナルコンピュータ」だとする人すらある。もちろん、これは「パソコンとは何か」という定義の議論に撞着してしまうので、その問題設定そのものは、いまでは時代遅れになってしまったハードウェア中心の歴史観が色濃く反映しているといってもよいかもしれないが、確かに、半導体の成長と共に1970年代半ばに出てきたコンピュータ制作キットこそが「パソコン」の始まりだと主張するような人には、1950年の「シンプル・サイモン」のほうがずっと早かったです、と鼻をあかすのにはおもしろい事実かもしれない。こうしたややマニアックな議論に興味がある人には <http://www.blinkenlights.com/pc.shtml> がおすすめ。このサイトでは「シンプル・サイモン」の写真も見ることができる。パークレイはハーヴァード大学で数学と論理学を修めた後、生命保険設計の仕事の後、1942年に海軍に勤め、そこでエイケン研究室のリレー式コンピュータプロジェクトに関わった。1950年代初頭に、いちはやくコンピュータ関係雑誌を創刊し、コンピュータ関係の最大の学会のひとつACMの設立にも一役買ったという非常に興味深い人物。アメリカのコンピュータ関係の歴史研究機関として有名なミネソタ大学のチャールズ・バベッジ研究所の初代アーキビストが、コンピュータの歴史の中で最もお気に入りの人物としてパークレイを挙げるのも頷ける(Bruce H. Bruemmer and Elisabeth Kaplan, “Realizing the Concept: A History of the CBI Archives”, *IEEE Annals of the History of Computing*, vol. 23, no. 4, 2001, pp. 29-38)。ちなみに、「シンプル・サイモン」はスケッチ・パッドをつかったサザランドが使った最初のコンピュータでもある。

■TX-0を使っていたMITの若者たちの様子はSteven Levy, *Hackers: Heros of the Computer Revolution* (『ハッカーズ』/ステファン・レビー/訳◎古橋芳恵、松田信子/工学社/1987)に書かれている。サザランドの博士論文は、MITのサイト <http://theses.mit.edu> を通じて買うことができる。また、その内容を学会で発表したときの記録は、Ivan E. Sutherland, “Sketchpad: A Man-Machine Graphical Communication System”, *AFIPS proceedings, Spring Joint Computer Conference*, vol.23, 1963, pp.329-345。また、スケッチパッドの映像記録は、MIT博物館資料室などに残されている。この映像記録は、現在の作図用のアプリケーションソフトウェアに馴れた目で見ると、なんと当たり前でややゆくりした動作に見えるのが皮肉だが、この「いまでは当たり前に見える」というところがパイオニアの仕事ならではのミソ。技術の分野では、パイオニアと言われる仕事ですら歴史的な価値を見いださないと単なる旧式の時代遅れのバージョンということになってしまいがちだが、やはり、当時の驚きとともに再体験したいところ。ところで、サザランドは、「インターネットの父は誰か」という不毛の論争が盛んになってから、まったくインタビューを受け付けなくなったが、以前に受けたインタビューのうち歴史研究用に公開されているものもあるで、まだしも事情は絶望的ではない。前記のミネソタ大学チャールズ・バベッジ研究所のサイト <http://www.cbi.umn.edu/tc.html> では、以前は有料だったインタビュー資料が現在は無料で公開されていてありがたい。また、サザランドの1960年代当時のコンピュータ・グラフィックス分野のアジェンダ設定について興味があるならIvan E. Sutherland, “Computer Graphics: ten unsolved questions,” *Datamation*, May 1966, pp.22-27は必読。