

## 論 説

## DARPAと米国の情報技術戦略

## — 両用技術概念に焦点を当てて —

高 橋 信 一

## 目 次

はじめに

## 第1章 タイムシェアリング研究への胎動

## 第1節 Whirlwind と MIT リンカーン研究所の設立

## 第2節 Whirlwind を起点とするタイムシェアリング概念の登場

## 第2章 DARPA によるコンピュータ関連技術の重視

## 第1節 DARPA および IPTO の誕生

## 第2節 IPTO によるタイムシェアリング研究の重視

## 第3章 DARPA による異機種コンピュータのネットワーク化

## 第1節 ARPANET の構築とその背景

## 第2節 ARPANET 向け UCB 版 UNIX の開発

## 第4章 両用技術概念と国家的情報技術戦略

## 第1節 両用技術概念登場の意味

## 第2節 両用技術概念と TRP プログラムおよび HPCC プログラム

おわりに

## は じ め に

飛ぶ鳥を落とす勢いで日本企業が米国市場で躍進した1970年代後半から1980年代にかけて、米国内では、米国企業の国際競争力における低下傾向が大きな政治問題となり、イノベーション促進政策を掲げたカーター民主党政権は共和党勢力から“産業政策”だと強い反発を受け<sup>1)</sup>、直後の大統領選挙にも敗北し、替わってレーガン共和党政権が誕生した。しかしこのレーガン共和党政権も軍拡路線を推進しただけでなく、イノベーション促進に関連した制度改革も実施した。例えば、国立研究所や大学による研究成果の民間企業への移転を促進し、企業同士の共同研究への反トラスト法の適用を緩和し、民間企業による共同研究開発への連邦政府資金の投入を増やすような枠組み変更にも応じた。特に、半導体製造企業による製造技術の向上をめざした共同研究開発コンソーシアム SEMATECH の設立とそれへの連邦政府資金の投入以来、同様の共同研究開発コンソーシアムの設立や連邦政府資金投入が増大した。他方、SEMATECH の設立とほぼ時を同じくして、“両用技術 (Dual Use Technology)” という用語が盛んに使われ、積極的な政策論議がなされるようになった。

---

1) これらの点は Graham (1992) が詳しい。

両用技術という用語でまず共通に理解されるのは軍事と民需の両方において用途が見出され、国防と米国の産業競争力に決定的に重要な影響を及ぼす技術であるという意味である。しかし米国において軍事技術の民需への移転<sup>2)</sup>あるいは軍事研究開発からの副産物 (Spin-Off) というテーマは古くから議論されており、両用技術の定義そのものをいくら検討しても概念上の新しさは見えてこない<sup>3)</sup>。両用技術という用語に関連して議論されるときに主に焦点が当てられるのは、国防と産業競争力の両方にかかわって、連邦政府が果たす役割とは何かという点である。また、第 3 章で詳しく述べるように、政治的な影響力の強い団体が両用技術に焦点を当てて発表した報告書は、重要な両用技術の例としてコンピュータ、コンピュータ・ネットワーク、ソフトウェア、および半導体チップなどいわゆる情報技術 (IT) を想定し、この領域の技術発展に重要な役割を果たした政府機関として DARPA の歴史的な貢献を高く評価し、DARPA にさらに大きな役割を担わせるべきと提言した。

本稿の課題は両用技術という用語を使った最初の政策提案のねらいを明らかにし、それが米国技術戦略とどのように関連するかを明らかにすることである。本稿の論文構成として、第 1 章では、DARPA がコンピュータ技術とかかわりを持つうえでの歴史的な前提、すなわち MIT リンカーン研究所における Whirlwind 開発とタイムシェアリング概念誕生との関連について論じる。続く第 2 章では、DARPA の中に IPTO が設立された経緯とともに、IPTO がなぜコンピュータ関連技術の促進を図ったのかを論じる。第 3 章において、IPTO がなぜ INTERNET の基礎となる ARPANET を構築したのか、さらになぜ UCB 版 UNIX の改良へ資金援助したのかを論じる。そして最後の章において、前章までで論じた IPTO の歴史的な業績をふまえながら、両用技術概念を使った政策提言の本質的な意味およびその後の米国技術政策との関連について論じる。

## 第 1 章 タイムシェアリング研究への胎動

### 第 1 節 Whirlwind と MIT リンカーン研究所の設立

タイムシェアリング (Time Sharing) 概念とそれを実現するコンピュータへの熱意は MIT リンカーン研究所にかかわった研究者たちの中から生まれた。まず、そのリンカーン研究所の設立経緯を見てみよう<sup>4)</sup>。MIT にリンカーン研究所 (Lincoln Laboratory) が設立されたのは 1952

---

2) M・クランツバーグ (1976 年) の第 39 章において、リチャード・S・ローゼンブルームは「技術の移転とは、その起源とは異なった文脈での、技術の獲得、開発、利用を意味する。このもっとも単純な側面は、普及過程であり、そこでは所与の発明が同様の環境内の本質的に同一な必要性を満たすイノベーションに組み込まれる」(164 頁) と説明する。

3) 松村博行 (2001 年) を参照。松村博行氏は両用技術概念の形成過程について分析しているが、両用技術概念に対する定義解釈や概念形成時期をめぐって混迷している。

4) SAGE や MIT リンカーン研究所の細かな経緯については、拙著「IBM 社の研究開発と軍事プロジェクト」(大阪市立大学経営研究会『経営研究』第 40 巻第 3 号, 1989 年 9 月) を基礎に、さらに IEEE (1983b), “SAGE

年であるが、それは SAGE (Semi-Automatic Ground Environment) プロジェクトのためであった。SAGE プロジェクトが誕生したきっかけは、ソ連による原子爆弾の開発成功 (1949 年 8 月 29 日) というニュースが空軍にもたらされたことであった。ソ連の爆撃機による米国本土への直接的な原爆攻撃が現実味を帯びるや、空軍にとって防空システムの改善は急務の関心となった。さっそく空軍は MIT 物理学教授で空軍科学諮問委員会のメンバーでもあったジョージ・バレー (George E. Valley Jr.) を委員長に、1950 年 1 月 20 日に防空システム工学委員会 (ADSEC: Air Defense Systems Engineering Committee)、いわゆるバレー委員会を設置し、防空システムの改善について検討を依頼した。バレー委員会は MIT サーボメカニズム研究所において研究が進められていた Whirlwind と命名されたコンピュータが、同じく MIT で研究されていたレーダー技術と結びつくなら、防空システムに応用できることを理解し、防空システムの改善にコンピュータを利用する勧告を空軍に行い、その勧告に従って空軍は 1951 年の 2 月から 8 月まで MIT に防空システムに関する暫定研究 Charles プロジェクトを委託した。

1951 年、防空システムの改善に関する研究に本格的に着手するために、MIT は 1951 年にキャンパスのあるケンブリッジから約 10 マイル離れたレキシントン (Lexington) に大規模な研究施設の建設を開始し、それが翌年に完成してリンカーン研究所となった。この新設の研究所には、第二次世界大戦中に MIT がレーダー開発で大きく軍事貢献し、終戦とともに解散したラジエーション研究所 (Radiation Laboratory, 通称 Rad Lab)<sup>5)</sup> に所属した研究者の多くも参加し、そのマネジメント手法が受け継がれた<sup>6)</sup>。リンカーン研究所はケープコッド (Cape Cod) という地名の半島に複数設置されたレーダー・システムと Whirlwind とを結びつける実験的な防空システム、いわゆる Cape Cod System の実験に取り組み、その成果を基に新たな防空システムの構築を提案した。この提案が国防総省によって承認され、史上初めて防空システムにコンピュータが組み込まれ、コンピュータの研究開発に膨大な資金が投入される SAGE プロジェクトが開始された。

第二次世界大戦中から MIT サーボメカニズム研究所において海軍からの資金援助で Whirlwind の開発に関わっていたジェイ・フォレスター (Jay W. Forrester) をリーダーとする研究者たちは、MIT においてリンカーン・プロジェクトが始まった際に、サーボメカニズム研究所から分離され、フォレスターを所長に新設のデジタルコンピュータ研究所のメンバーとなり、今度は空軍の資金援助の下に防空システム用に Whirlwind の改良を継続することになった。

---

Overview” および Redmond (1980), pp.198-202. を参照した。

5) 研究所の名前に Radiation (放射線) という語を使用したのは、ナチス・ドイツにレーダー研究を悟られないようにするためであった。研究内容はレーダー開発やレーダー妨害に関したもので、放射線とは全く関係がなかった。

6) <http://www.ll.mit.edu/about/History/RadLab.html>. MIT がリンカーン研究所や Rad Lab の歴史について解説している。

た。1952 年にリンカーン研究所が設立された後、リンカーン研究所長となったルーミス (Wheeler Loomis) とフォレスターが相談して、Whirlwind 開発チームはその自律性を維持するためにデジタルコンピュータ研究所に所属したまま、同時に第 6 研究部 (Division VI) としてリンカーン研究所に所属した。この第 6 研究部は Whirlwind をベースに防空システム用コンピュータのプロトタイプを完成させる仕事とともに、レーダー・システムを担当する第 2 研究部 (Division II) と協力して Cape Cod System の設計・建造・操作・拡張の仕事も担わなければならなかった。ちなみに、この第 2 研究部のリーダーはジョージ・バレーであり、ADSEC の委員長でもあったが、そもそも戦時中のラジエーション研究所においてレーダー開発にかかわった経歴を持つ。

防空システムの一部としてコンピュータを稼働させるには、大量のコンピュータを配備する必要がある、そのためにコンピュータ製造企業の協力が必要であった。防空システム用に改良された Whirlwind のプロトタイプをベースに、さらにそれを大量製造向けおよびメンテナンスが容易なコンピュータに仕上げるため、MIT と IBM 社との間で共同研究開発契約が結ばれ、Whirlwind の成果が IBM 社に技術移転されていく。IBM 社に技術移転された重要な要素に磁気コア・メモリーがあり、IBM 社は 1954 年 4 月に発表した商用コンピュータの IBM704 にさっそく磁気コア・メモリーを組み込んでいる。1953 年に IBM 社が空軍から大量生産モデル AN/FSQ-7 (Whirlwind II) の設計主契約を受け、1954 年に生産主契約を受けた。AN/FSQ-7 は 2 台 1 組の Duplex 方式<sup>7)</sup>で構成され、1958 年にマグワイア空軍基地で最初に稼働したのを皮切りに次々と配備され、24 の戦闘指令センターにおいて計 48 台の AN/FSQ-7 が稼働した。

リンカーン研究所の第 6 研究部、すなわちデジタルコンピュータ研究所において改良された Whirlwind は、1953 年に空軍から IBM 社へ設計主契約が与えられるに伴って、その本来の役割を終え、正式に廃棄が決定される 1959 年まで、MIT のコンピュータ設備としてキャンパス内にある Barta Building に設置され、MIT の研究者たちはそれをプログラミングに利用することができた<sup>8)</sup>。このことがリックライダーに限らず、多くの MIT 研究者がタイムシェアリング・システムに夢中になった背景であった。

ところで、Whirlwind の磁気コア・メモリーでは駆動制御用に真空管が使われていたが、AN/FSQ-7 用に使用する磁気コア・メモリーに対し、IBM 社はその安定性を高めるために駆動制御用にシリコントランジスタを使うことに関心を持った<sup>9)</sup>。そして IBM 社からそのシリコ

---

7) 稼働中の AN/FSQ-7 と待機中の AN/FSQ-7 は 2 台 1 組で構成され、稼働中のものが不良の際には、いつでも待機中のものに切り換えることができた。

8) Redmond (1980), p.224.

9) Lecuyer (2010), p.18.

ントランジスタの開発契約を請け負ったのがフェアチャイルド・セミコンダクター社であったが、それは出資者フェアチャイルド・カメラ・インスツルメント社のオーナーが IBM 社の個人大株主であったこと<sup>10)</sup>に加え、TI 社のトランジスタがあまりに不安定であったから<sup>11)</sup>であった。SAGE プロジェクトはコンピュータ製造企業の IBM 社の飛躍だけでなく、半導体産業の発展やシリコンバレーの形成にも深くかかわっていた。

## 第2節 Whirlwind を起点とするタイムシェアリング概念の登場

MIT のサーボメカニズム研究所においてフォレストラーやエベレットたちが Whirlwind の開発を目指したきっかけは、第二次大戦中に海軍研究局（ONR）からの委託研究として軍用飛行機の操縦士を育成するためのフライト・シミュレーターの開発研究を開始し、戦後すぐに ENIAC の誕生を知り、フライト・シミュレーターを制御する手段としてデジタルコンピュータの利用を考えたことであった。フライト・シミュレーターを制御するのに、ENIAC や EDVAC、そして商用の UNIVAC や IBM701 のようなバッチ処理コンピュータでは意味がなく、初めからリアルタイム処理を基礎にインタラクティブな利用が可能なコンピュータの開発をめざした。用途の方向性が同じであったがゆえに、ONR からの資金援助が難しくなるや、今度は、レーダーから送られてくる情報を自動処理し、軍指令部において指揮・命令用に利用できるコンピュータとして新たな用途を見出し、空軍からの資金援助で Whirlwind の開発を続けることになった。

Whirlwind の開発を強化するために、MIT に新しくデジタルコンピュータ研究所が設立されたとき、ウェズリー・クラーク（Wesley A. Clark）が新たに雇われた。フォレストラーに能力を高く評価されたクラークは Whirlwind 用のプログラミングを担当するようになった。そしてその同じ時期に、やがて DARPA の IPTO 初代室長となるリックライダー（J.C.R. Licklider）はリンカーン研究所が設立された際に人間工学グループのリーダーとして雇われ、ウェズリー・クラークと出会い友人になった。クラークはリックライダーにコンピュータに関する将来ビジョンで大きな影響を与えている。クラークはまたケネス・オルセン（Kenneth H. Olsen）とも出会い、オルセンがまだ MIT 電気工学部の学生という身分であったにもかかわらず、開発中の磁気コア・メモリーを試験するためのコンピュータ（MTC: Memory Testing Computer）の開発にかかわっている。クラークとオルセンはリンカーン研究所において、この MTC をトランジスタ化した TX-0 を開発した。オルセンが DEC を創業し、ミニコンピュータ PDP-1 を開発する際には、この TX-0 開発の経験が基礎になっている<sup>12)</sup>。TX-0 をさらに改良したのが TX-2

10) Lee (2000), pp.168-171.

11) Lecuyer (2010), p.18.

12) Hafner (1996), pp.32-33.

である。ローレンス・ロバーツ (やがて IPTO 四代目室長として ARPANET を実現させる) は MIT の電気工学部生のときに、TX-0 を使ってプログラミングを学び、MIT の大学院生としてリンカーン研究所に属した際には、TX-2 上でタイムシェアリングを可能にする研究に従事し、DARPA から資金援助を得て北米大陸を横断する通信回線で、タイムシェアリング・システム同士の最初のコンピュータ・ネットワーク接続実験にも成功している。

Norberg と O'Neill はタイムシェアリング概念の形成とそれが生まれた背景について次のように説明する<sup>13)</sup>。

プログラム生産に関連した困難によって、プログラマたちはコンピューティング・パワーへのアクセスを改善する試みを行うようになった。バッチ環境で研究するある者は 1 台のコンピュータで走らせるプログラム数を最大化し、作業完了時間を縮小するためにバッチシステムへの改良を追求した。Whirlwind および SAGE システムを通じて研究していたプログラマ・コミュニティのように、コンピュータとの直接的な対話に馴染んでいた人々は個々のプログラマのためにコンピュータの対話性を維持し改良する方法を追求した。このことはマシンを効率的に改良するだけでなく、マシンを利用する中での人間的効率性を改良する潜在力を持った。研究者たちが接したのはコンピュータをインタラクティブに使う Whirlwind/SAGE のスタイルに対してであり、すなわち当時利用できる中で最も能力のあるマシンを個人がインタラクティブに利用し続けるインタラクティブ・コンピューティングに対してである。Whirlwind と SAGE の開発に関わった MIT と関連する研究所はインタラクティブ・コンピューティングのための主要なセンターを形成した。研究者たちがそこで利用できたコンピュータは即時的な応答、一般用途向けオンライン利用、そして様々な入出力の周辺装置を提供するものであった。リックライダーを含め、MIT を巻き込む熱狂によってタイムシェアリングという新しい概念が推進されたのは、幾人かの利用者によってその機械のインタラクティブな利用を可能にし、それゆえプログラミングの仕事を容易にする 1 つの経済的な方法としてなのである。彼らはインタラクティブ・コンピューティングの利益を経験したことにより、プログラミング作業のバッチ方法をもはや受け入れたくはなかった。

Norberg と O'Neill の指摘によれば、タイムシェアリングという概念は MIT リンカーン研究所を中心に人間がコンピュータをインタラクティブ (双方向的, 対話的) に使う新しいコンピュータの利用形態に対して呼ばれた概念であり、史上初のタイムシェアリング・システムである Whirlwind を実際に体験したことによって、バッチ処理の不便さからプログラマを解放するオルタナティブとして熱望されたのであった。当時の大学では、コンピュータを利用する

---

13) Norberg (1996), pp.80-81.



研究者たちは大学の計算センターにあるバッチ処理コンピュータを使って新しく作ったプログラムを試すときに、直接に操作することは許されず、専門のオペレーターに処理を依頼した。出力テープによる結果を渡されるまで時間が延びることも多く、彼らは常に待ち時間に悩まされるのであった。このため、一方ではバッチ処理を前提に、1つの解決方法として一定時間に同時に複数のプログラムを動かせるようにシステムを改良する試みが追求され、この試みはやがて多重プログラミングに結実した。しかし他方では、Whirlwindを実際に体験したMITの研究者たちはもう1つのオルタナティブとして、Whirlwindのようなタイムシェアリング・システムの開発と普及を熱望したのである。Whirlwindはパンチテープ・ユニットやフィルム・ユニットの他に、新技術のCRTモニターが出力装置として、電気式タイプライター（採用のFlexowriterという電気式タイプライターはキーボードとしてだけでなく、テレプリンタとしても利用できた）が入出力装置として、インタラクティブに利用できるようになっていた<sup>14)</sup>。利用時間が割り振られ、研究者たちは自分の持ち時間内ではWhirlwindを個人的に占有し、プログラムを修正して何度も試すことができた。

多重プログラミングという概念を提唱したのはIBM社のナサニエル・ロチェスター(Nathaniel Rochester)である。彼は1955年に、多重プログラミングについて1台のコンピュータが入出力の処理を行うことによって計算を重ね合わせる1つの方法と説明した<sup>15)</sup>。彼はMIT時代に初期のWhirlwind開発にかかわっていたが、1947年にIBM社に入社し、IBM社初の商用コンピュータIBM 701の開発においてアーキテクチャー開発主任となった<sup>16)</sup>。IBM社は1952年にIBM 701を発表し、1954年に磁気コア・メモリーを採用したIBM 704を発表したが、IBM社においてタイムシェアリングは重視されなかった。

IBM社をコンピュータ産業のリーダーに押し上げたのは、ライバルのUNIVACにたとえコンピュータの性能で劣っていたとしても、当時のIBM社のコア・コンピタンス、すなわち競争上の強みとなったのは作表機(Tabulating machine)<sup>17)</sup>をコンピュータの入出力装置に応用したことであつた。コンピュータ分野に参入する前のIBM社はこの作表機分野で既に圧倒的なシェアをもっていた<sup>18)</sup>。IBM社はコンピュータ分野に参入するに当たって、この作表機の顧客が蓄えていたパンチ・カードのデータをそのままコンピュータで利用できるようにして、そ

14) Redmond (1980), p.197. Whirlwind プロジェクトでは内部記憶装置の開発だけでなく、入出力装置の開発も重視され、CRTモニターと電気式タイプライターの利用は1951年に実現した。

15) *Ibid.*, p.81.

16) Rochester (1983), p.115.

17) R・T・デラマター (1987年), 31頁。ハーマン・ホレリスが自動ピアノとジャカード紋織機をヒントに発明した。

18) トーマス・ワトソン・ジュニア (2006年), 325頁を参照。トーマス・ワトソン・ジュニアは、IBM社がパンチ・カード機(作表機)市場売上の90%を占めていたと認めたうえで、反トラスト法違反になった理由を彼の父トーマス・ワトソンが理解できなかったと回想している。

の顧客をうまくコンピュータの顧客に切替えるのに成功した。当時、パンチ・カードという資産、その強みを維持したい IBM 社にとって、パンチ・カードと相性の良いパッチ処理コンピュータを継続させる方がむしろ望ましいことであった。さらに IBM 社は SAGE と STRETCH の軍事関連プロジェクトによる研究開発成果を十分に取り入れ、同じシリーズ間ではソフトウェアの互換性を維持した System/360 シリーズを 1964 年に次々と発表し、コンピュータ市場で他のライバルを寄せ付けない圧倒的な地位を確立した。IBM 社が IBM システム 360 の開発プロジェクトを始める上で基になった特別委員会 (SPREAD 委員会) の報告書では、開発目標に関連して「多数端末、オンライン、リアルタイム、多重プログラミング操作が可能なシステムに対する新たな市場需要」や「オンライン操作を効率的に果たすための多重プログラミング」という表現は見られるが、タイムシェアリングという言葉は一切使われていない<sup>19)</sup>。IBM 社は基本的にはタイムシェアリングに消極的であったが、やがてタイムシェアリングへの対応を余儀なくされるようになった理由は、GE (General Electric) 社が MAC プロジェクト関連でタイムシェアリング・システムを MIT に納入するのに成功したことであった。IBM 社は 1965 年 8 月に発表した IBM システム 360 モデル 67 でようやくタイムシェアリングに対応したが、その IBM 社のタイムシェアリング・システムは「間に合わせに作った」ものであり、その後のトラブルが IBM 社を悩ませたとされる<sup>20)</sup>。

前述のように、タイムシェアリングは人間がコンピュータをインタラクティブに利用することを意味し、当初は 1 人の利用者によって 1 台のコンピュータを占有してインタラクティブに利用する意味で使われていたが、1958 年秋に MIT の通信科学の専任講師となったジョン・マッカーシー (John McCarthy) はタイムシェアリングをコンピュータとプログラマとの対話を改良する 1 つの方法とみなしたうえで、複数の利用者によって 1 台のコンピュータを同時にインタラクティブに利用する意味に拡張した<sup>21)</sup>。多重プログラミングという手法はパッチ処理を前提にその効率的な利用の方法として考案され発展したが、これがタイムシェアリング・システムにも活用されると、米国においても、タイムシェアリング概念と多重プログラミング概念は混同され、ほぼ同じ意味と誤解されるようになった<sup>22)</sup>。それに伴い、日本においても、タイムシェアリング (Time Sharing) は一般に“時分割”と訳され、多重プログラミングの意味とほぼ同じ意味に理解されている。例えば、インターネットの歴史に関して非常に興味深い研究を行っている喜多千草氏は「時分割処理」という訳語を使い、「SAGE でも、time-sharing という用語は、同時に複数のプログラムを走らせるためにプロセッサの処理時間を均

19) IEEE (1983a), “Processor Products —Final Report of SPREAD TASK Group, December 28, 1961”, pp.6-26.

20) R・T・デラマーター (1987 年), 122～124 頁。

21) Norberg (1996), p.82.

22) *Ibid*



等に割り振るという意味で使われていた」、あるいは「time-sharing は、多重プログラミングと同義でも使われており」というように<sup>23)</sup>、米国でも多い誤解をそのまま受け入れている。しかしタイムシェアリングという用語は前述のように、本来的には、1 人の利用者が占有して利用する場合であろうと、さらに発展してオンラインにより多数の利用者が同時に利用する場合であろうと、利用者がコンピュータとの関係でインタラクティブ（双方向、対話的）に利用するという、人間とコンピュータの関係概念として使われていた。ただし、このことがなぜ Time Sharing という用語で表現されたのかは明確にされていないので、想像の域を出ないが、以前のバッチ処理では、専門オペレーターの介在に依存するために利用者（プログラマ）がコンピュータを占有できなかったのに対し、Whirlwind において初めて利用時間を区切り、利用者がコンピュータを個人的に占有して利用できることによって、利用する“時間を分け持つ”の意味であったのかもしれない。あるいは、リックライダーの有名な論文において「人間とコンピュータの共生」<sup>24)</sup>とか、「人間とコンピュータのコミュニケーション」<sup>25)</sup>とか表現されたことを参考にするなら、人間とコンピュータが“時間を共有する”という、コンピュータの擬人的な表現として使われたのかもしれない。

## 第 2 章 DARPA によるコンピュータ関連技術の重視

### 第 1 節 DARPA および IPTO の誕生

DARPA はアイゼンハワー政権の下に Advanced Research Projects Agency（略称 ARPA）<sup>26)</sup>の組織名称をもって 1958 年 2 月 7 日に国防総省指令 No. 5105.15（Department of Defense Directive 5105.15）<sup>27)</sup>によって誕生するが、そのきっかけとなったのは、DARPA 以後に誕生する NASA の場合と同じく、1957 年 10 月 4 日のソ連による人類初となる人工衛星スプートニクの打ち上げ成功であった。

スプートニクをきっかけに始まった陸海空三軍による研究開発予算の獲得をめぐる熾烈な競争と研究開発活動の重複を解消するために<sup>28)</sup>、当時のニール・マケルロイ（Neil H. McElroy）国防長官は先端研究プロジェクトの管理を一極集中的に担う新機関の設置をアイゼンハワー大統領

23) 喜多千草（2003 年）、87 頁。

24) Licklider (1960)。リックライダーはタイムシェアリングの発展を前提に、将来においてコンピュータが人間の思考を助ける道具となることを夢として語っている。タイムシェアリング研究だけでなく、人工知能(AI)研究も促す論文である。

25) Licklider (1962)。

26) 誕生時は ARPA であったが、組織名称の頭に Defense が付いたり、取れたりを繰り返し、現在は頭に Defense が付いている。混乱を避けるため、本稿での表記は DARPA で統一する。

27) DARPA サイトの Original DARPA Charter (pdf) リンクからダウンロードできる。<http://www.darpa.mil/About/History/Archives.aspx>。

28) Hafner (1996), p.19.

領に進言し、独自の法の制定ではなく、国防長官の権限に対応した国防総省指令によって国防総省内に DARPA を誕生させた。国防総省指令 No. 5105.15 では、設立の法的根拠を「1947 年国家安全保障法の条文に基づき、1953 年の修正、再組織計画 No.6 として、Department of Defense Advanced Research Projects Agency が国防長官室の中に設置される」としたうえで、DARPA の責務を「国防長官がその時代に応じて個々のプロジェクトあるいはカテゴリーごとに企画する研究開発領域の先端的なプロジェクトを監督あるいは遂行する」と規定し、付与する権限について「1. 当機関は国防長官が企画して国防総省内で遂行される研究開発プロジェクトを監督する権限がある。2. 当機関は任命されたプロジェクトに関連してその使命を果たすのに必要であるならば、軍事部門を含む他の政府機関による研究開発活動の遂行を調整する権限がある。3. 当機関は連邦あるいは州の研究所を含む個人、私的経営実体、教育機関、研究機関あるいは科学機関との契約や協定を結ぶ権限がある。4. 当機関は応用状況に従い、国防長官によって承認される研究、開発、試験の施設および設備を調達あるいは建設する権限がある。」という 4 つの権限を規定している。

マケルロイ国防長官は GE の副社長であったロイ・ジョンソン (Roy W. Johnson) を説得して DARPA の初代局長 (Director) に迎えるとともに、他の職員もロッキード社、ユニオン・カーバイド社、コンベア社などの国防契約大手企業から集めた。ジョンソン初代局長は宇宙開発関連とミサイル関連を中心に先端研究プロジェクトの推進をめざした。しかし 1958 年に NASA が設立されて宇宙開発関連プロジェクトの管轄権が NASA に移管され、それに伴って弾道ミサイル開発の主導権も軍部に移され、DARPA という組織の位置づけが曖昧になった。DARPA の予算も設立当初の 5 億 2000 万ドルから 1 億 5000 万ドルに大きく削られ、落胆したジョンソン局長はわずか 1 年で辞職している<sup>29)</sup>。次いで就任した軍人のオースティン・ベッツ (Austin W. Betts) 准将も 1 年で辞職した。3 代目 DARPA 局長にジャック・ルイナ (Jack P. Ruina) が就任 (1961 年～1963 年) し、大学や企業の研究者たちが研究プロジェクトをリードする DARPA の今日へとつながる第一歩が始まった。ルイナは空軍の研究開発担当副次官であったが、それ以前はイリノイ大学電気工学部の教授であり、DARPA 局長の後に MIT 電気工学部教授となっている<sup>30)</sup>。ルイナは基礎研究に重点を移すことで年間予算を 2 億 5000 万ドルまで回復させ、組織の中央集権化を排除し、豊かな才能を持った人材を DARPA に集めることに努めた<sup>31)</sup>。

その上、IPTO の設立とその IPTO によるタイムシェアリング研究に大きな影響を及ぼすという意味で、非常に重要な偶然的な要素が加わった。空軍は SAGE システムの強化、すなわ

---

29) *Ibid*, pp.20-22.

30) <http://www.aip.org/history/ohilist/5903.html>

31) *Ibid*, pp.23-24.

ち配備されている AN/FSQ-7 を最新式のコンピュータに入れ替える計画を立て、IBM 社に AN/FSQ-7 をトランジスタ化し性能を高めるプロトタイプの開発を委託した。しかし、IBM 社がそのプロトタイプ (AN/FSQ-7A) を完成させた直後に、空軍はその SAGE システム強化計画をキャンセルし、その代わりに、この AN/FSQ-7A (AN/FSQ-32 に改称、通称は Q-32) を引き取り、SDC (System Development Corporation)<sup>32)</sup> と契約を結び、SDC の本社 (カリフォルニア州 サンタモニカ) に設置し、コンピュータを使った指揮・統制関連のプログラム (オペレーターの訓練とソフトウェアの開発) を開始した。しかし空軍がこの Q-32 の扱いに困っていたときに、DARPA 局長のルイナがその Q-32 に興味を示したことから、Q-32 は SDC の本社に設置されたまま、DARPA に移管されることになった。この結果、ルイナはこの Q-32 の運用を担える者、そしてそれとは別に国防総省から求められていた行動科学を担える者、これら両方のニーズを同時に満たす人材として、MIT リンカーン研究所から BBN 社に移ってタイムシェアリング・システムの開発に関わっていたリックライダーをスカウトした<sup>33)</sup>。リックライダーを室長に Q-32 の運用と行動科学の研究を目的に指揮・統制研究室 (Command and Control Research Office) がスタートした。

1962 年 11 月に正式に指揮・統制研究室の室長となったリックライダーは指揮・統制へのコンピュータの応用に留まらず、次節で述べるように、コンピュータのタイムシェアリング的な利用の発展とそれを支えるコンピュータの基礎研究に重点を置くようになった。リックライダーは間もなく、この指揮・統制研究室を二つの組織に分け、IPTO (情報処理技術室: Information Processing Techniques Office) と行動科学室 (Behavioral Sciences Office) が誕生した<sup>34)</sup>。ただし、基礎研究に重点をおいて DARPA の年間予算を大幅に回復 (1 億 5000 万ドルから 2 億 5000 万ドルへ) させた DARPA 局長のルイナはあくまで弾道ミサイル防衛と核実験探知に高い優先順位を置いていて、IPTO に割り当てられた 1962 年度予算は 9 百万ドルに過ぎなかった。しかし ARPANET の構築に向けて前進した 1970 年度には 2 千 3 百万ドルまで増大している<sup>35)</sup>。

## 第 2 節 IPTO によるタイムシェアリング研究の重視

IPTO 室長となったリックライダーはまず、Q-32 関連の研究プロジェクトを担っていた

32) 空軍シンクタンクの非営利企業 RAND 社の中に、SAGE 用の OS やアプリケーションの開発に対応するため、1955 年にシステム開発事業部として設立され、1957 年にはソフトウェア開発の非営利企業として RAND 社から独立し、さらに 1969 年には営利企業に転換した。http://www.cahighways.org/aboutme/sdc.html を参照。

33) Hafner (1996), p.27.

34) National Research Council (1999), p.99.

35) *Ibid.*, p.114.

SDC との間で今後のプロジェクトの方向性について相談した。その時点で SDC が取り組んでいた研究内容にはタイムシェアリングの要素は全く含まれていなかった。リックライダーはレイナ局長の支持を得たうえで、SDC を説得し、Q-32 上にタイムシェアリングの機能を持たせる研究プロジェクトに変更させた<sup>36)</sup>。Q-32 のタイムシェアリング化によりリックライダーが期待したのは、この Q-32 の利用を通じて西海岸地域に研究者のコミュニティが形成され、この Q-32 のある SDC の場所がタイムシェアリング研究の中心的な拠点となることであった。リックライダーは 1963 年 11 月までに SDC によるタイムシェアリング化が大きく前進したことを喜びつつ、その SDC の活動をさらに補強するためにカリフォルニアの他の研究機関にタイムシェアリング研究を組織した。彼はスタンフォード研究所、UCLA、UCB、スタンフォード大学にタイムシェアリング研究の契約を与えたが、その契約の全てに Q-32 システムの利用が記載されていた。彼はそれら研究機関の研究者たちを「カリフォルニア・ネットワーク・グループ」と呼び、そのグループが共通の関心と目標を持つ研究者のコミュニティになるだろうと期待した<sup>37)</sup>。

もちろん IPTO は 1967 年 1 月に、この SDC との間でタイムシェアリング・システムに関する軍事的応用（実際の指揮・命令への活用）の開発契約も結んでいる。この結果、IBM システム 360 / モデル 50 をベースにセキュリティも強化されて開発されたのが ADEPT-50 あり、サンタモニカの SDC 本社だけでなく、1968 年 5 月に全米軍事司令システム支援センターに設置されて以来、1969 年 1 月までにワシントン DC の 4 つの現場に次々と設置されている<sup>38)</sup>。

リックライダーが東海岸地域にタイムシェアリング研究を普及させるうえで、中心的な研究拠点として重視したのが MIT である。彼は IPTO の代表として、MIT を代表するロバート・ファーン (Robert M. Fano) と会い、MIT にタイムシェアリング研究に関連したプロジェクトを組織するよう非公式の相談を行い、それが MAC プロジェクトにつながった。ファーンは戦時中に MIT のラジエーション研究所で研究した経験があり、戦後はバリー委員会のメンバーや MIT リンカーン研究所のグループリーダーも経験し、大学本部と軍関係者の両方に強い影響力があった<sup>39)</sup>。ファーンは教育、研究、人員（教育者・研究者）の密接な関連に気づき、MIT にタイムシェアリング・システムを導入し、タイムシェアリング研究やタイムシェアリング・システムを活用した研究を促進していくことが教育や人材育成に大きく貢献することを強調する提案を行い、これが大学本部に承認され、大学をあげて本格的に取り組む設備充実・研究・教育プロジェクト、MAC プロジェクトとなり、DARPA からの資金援助がなされた。プロジェ

---

36) Norberg (1996), p.92.

37) *Ibid.*, p.94.

38) Linde (1969), Weissman (1969).

39) Norberg (1996), pp.94-95.

クト名の MAC はファーンとリックライダーが望む 2 つの意味を表す言葉の頭文字から構成され、すなわちそれにはプロジェクトで開発され利用される主要な手段を示す Multiple Access Computer とプロジェクトの全体的な目標を示す Machine Aided Cognition の両方の意味が込められていた。

MIT においては、MAC プロジェクト開始以前にすでにタイムシェアリング研究が実施されていた。ジョン・マッカシーとハーバート・チーガー（Herbert Teager）はタイムシェアリング研究を進めていたが、ハードウェアの開発に重点を置いていたため予算面で行き詰まりを見せていた。他方、MIT 計算センターに勤め、副センター長になったフェルナンド・コルバト（Fernando J. Corbató）はマッカシーやチーガーのアイデアを参考にしつつも、それとは独立に、ソフトウェアの開発に重点を置いてバッチ処理コンピュータ上にて使えるタイムシェアリング・システムの開発に取り組み、完成させていた。これは CTSS（Compatible Time-Sharing System）と呼ばれ、バッチ処理用のソフトウェアを使えるようにしたまま、プログラマ向けに、用途をプログラミングおよびデバッグ作業に限定して複数の利用者が同時に使えるようにしたタイムシェアリング・システムであり、バッチ処理と互換性を持つという意味で Compatible であった。ただし、このタイムシェアリング・システムの利用者は少ないプログラマに限られていた<sup>40)</sup>。

MAC プロジェクトが開始されて以降、MIT では、企業によってタイムシェアリング向きに開発されたコンピュータを導入（前述の GE 製の例など）するだけでなく、MIT の様々な分野の研究者たちによって開発された研究用および教育用のソフトウェアが組み込まれ、研究や教育に積極的に活用されていく。MIT と並んで、もう 1 つの中心的な研究拠点となったのがピッツバーグにあるカーネギー工科大学（1965 年にメロン工業研究所と合併してカーネギーメロン大学に改称）であり、1962 年に IPTO と研究契約を結んでいる<sup>41)</sup>。

MIT の MAC プロジェクト（コルバトをリーダーとする研究チーム）、GE および AT&T ベル電話研究所によって、1964 年に CTSS の成果をさらに発展させるオペレーティングシステムの共同研究開発プロジェクト、MULTICS（multiplexed information and computing service）が開始された。コルバトおよび AT&T ベル電話研究所のヴィソツキー（Victor A. Vyssotsky）によれば、めざしたシステムはコンピュータの実用性から生ずる現在および近未来の必要条件のほとんど全てを満たすことができるという意味で包括的な一般用途のプログラミングシステムであった。具体的には、週 7 日間、1 日 24 時間、持続安定的に稼働しながら、広範なサービス需要を満たすことができる、すなわち複数の人間－機械インタラクション（筆者：タイムシェアリング）から不在利用者向けの連続処理（筆者：バッチ処理）まで、専用言語とサブシステムを

40) *Ibid.*, p.86.

41) *Ibid.*, p.102.

持つシステムの利用からそのシステムそれ自身向けのプログラミングまで、そして真ん中に置かれたカード、テープ、プリンタの装置の巨大な塊から遠隔地に配置された端末まで満たすシステムであった<sup>42)</sup>。MULTICS システムの開発作業は予定をかなり遅れ、DARPA は継続を勧めたが、遅延に業を煮やした AT&T ベル電話研究所が 1969 年 4 月にまず撤退を決定し、GE のコンピュータ部門はハネウェル社に買収され、そのプロジェクトは頓挫した。しかし、AT&T ベル電話研究所の研究者であったケネス・トンプソン (Kenneth L. Thompson)、デニス・リッチー (Dennis M. Ritchie)、および他の同僚が MULTICS プロジェクトの成果を受け継ぎ、タイムシェアリング・オペレーティングシステムの研究を継続し、完成させたのが UNIX である<sup>43)</sup>。また、ケネス・トンプソンの出身校が UCB (カリフォルニア大学バークレー校) であった関係もあり、この UNIX が UCB 版 UNIX (BSD) の開発にも受け継がれ、さらには、これが DARPA からの資金援助を得て ARPANET に対応したオープンソース (Open Sauce) として進化・普及していくことにもなる。これらの点は次章の第 2 節で詳しく論じる。

リックライダーの IPTO がタイムシェアリング研究の普及をめざし、大学研究者による研究プロジェクトを推進したことは、タイムシェアリング研究を促進しただけでなく、大学の中にコンピュータ研究を学問分野として位置づけさせることにもなった。リックライダーの盟友ロバート・テイラー (Robert W. Taylor) は次のように指摘する<sup>44)</sup>。

リックの功績であり知られていないことほどおそらく彼にとって最も重要であろう。彼が ARPA で仕事する以前、米国の大学はコンピュータ科学の博士号を授与しなかった。大学の大学院課程は研究基盤を必要とし、その研究基盤は長期的な資金の投入を必要とする。リックの ARPA プログラムは 4 つの大学、すなわち UCB、カーネギーメロン大学、MIT、スタンフォード大学に研究基盤を提供してコンピュータ科学の大学院課程を確立させ、その後の前例となった。1965 年から始まったそれらの課程は国の中で最も強力なものであり続け、その後を追う他大学の学部におけるモデルの役割として役立っている。それらの成功は 1962 ～ 1964 年にリックによって設けられた土台なしには不可能であつたろう。

リックライダーが率いた IPTO が果たした大きな成果はコンピュータ科学の研究者養成を支える基盤づくりも含め、全米的な広がりによって多くの大学にコンピュータ科学の研究拠点 (center of excellence) を設置し、さらにはそれら研究拠点の研究者たちを互いに結び付け、研究者たちのネットワークを築いていったことであった。そして、タイムシェアリング・システム研究のある程度の発展を基礎に、次に IPTO が目指したのが、彼ら研究者たちの研究を促進するため

---

42) Corbato (1965) を参照。http://www.multicians.org/history.html より入手可能。

43) Peter H. Salus (2000 年), 37 ～ 54 頁。

44) SRC (1990), "Preface" by Robert W. Taylor.



に研究交流を容易にする、すなわち彼ら研究者たちのネットワークを支えるコンピュータのネットワークを構築することであった。これが ARPANET 構築の原点であり、次章で詳しく論じる。

### 第3章 DARPA による異機種コンピュータのネットワーク化

#### 第1節 ARPANET の構築とその背景

2 代目 IPTO 室長となったアイヴァン・サザーランドが当時 NASA に勤めていたロバート・テイラーを IPTO の副室長としてスカウトし、そのロバート・テイラーが 1966 年からサザーランドに代わって 3 代目 IPTO 室長に就任し、ARPANET 構築の実現に向けた最初の一步を開始する。大型汎用コンピュータが全盛の時代、コンピュータ・ネットワークと言えば大型汎用コンピュータと端末のネットワークであり、コンピュータ同士のネットワーク化を妨げている最大の壁は異機種コンピュータの接続における困難性であった。IPTO が進めるタイムシェアリング関連プロジェクトの広がりにより、コンピュータ科学の研究拠点は量的にも質的にも高まりつつあったが、全米に散らばる各研究拠点の研究者たちによる研究成果の交流や開発したソフトウェアの共有という点では不便な状況のままであった。異機種コンピュータ同士のネットワーク接続という課題はリックライダーやサザーランドにとっても悩みの種であり続け、テイラーにも引き継がれた。この課題は世界最大のコンピュータ・ユーザーである米国国防総省にとっても重要な課題であった。なぜなら、たとえ IBM 社が市場を席卷しつつあったとしても、連邦政府規則により、国防総省はすべてのコンピュータ製造企業に平等に購入機会を与えねばならず、異機種コンピュータのネットワーク接続ができない下では、機種選定は大きな難問となっていた。

この課題に取り組むプロジェクトの予算化にむけて、テイラーが 5 代目 ARPA 局長のチャールズ・ハーツフィールド (Charles M. Herzfeld) に説明した際には、IPTO が研究契約を結ぶ多くの大学において、コンピュータ分野の研究者の多くが自分用のコンピュータを欲しがっているが、多くの大学に用意するのは資金的に難しく、数か所の大学に資金を集中し、異機種ネットワークの実現によりアクセスして利用すること、およびコンピュータ・ネットワークを活用した研究成果の共有を実現することの重要性を述べた<sup>45)</sup>。上司のハーツフィールドの賛同を得た後、テイラーは異機種コンピュータのネットワーク接続を実現させるのにふさわしい人材として、MIT リンカーン研究所のローレンス・ロバーツに目を付け、リックライダーやハーツフィールドの助けをかりて説得し<sup>46)</sup>、ロバーツは 1966 年に IPTO のプログラム・マネージャーになった。

45) Hafner (1996), p.42.

46) *Ibid.*, p.47. 当時、MIT リンカーン研究所研究資金の 51% を ARPA が与えていたと指摘。

1969 年にロバート・テイラーの後任として IPTO 室長に就任したロバーツは ARPANET の実現に向けて本格的に動き出した。ロバーツは異機種コンピュータのネットワーク接続の方法に行き詰まりをみせながらも、ウイズリー・クラークの助言により、大型のタイムシェアリング・システム同士を直接接続するのではなく、小型のコンピュータを間に仲介させる方向で模索するようになった<sup>47)</sup>。ロバーツがドナルド・デイヴィスおよびポール・バランの先行研究に出会う転機となったのはコンピューティング機械学会 (ACM) が 1967 年 10 月にテネシー州ガトリンバーグ (Gatlinburg) で開いたオペレーティングシステム原理に関するシンポジウムであった。この場においてロバーツは“ARPAnet”と名付けた論文を発表し、IMP と呼ぶメッセージ転送のコンピュータによってネットワークを構成する必要性を説明したが、それが作用する仕組みや手段はまだ説明できていなかった。しかし、そのシンポジウムにおいて英国 NPL のロジャー・スカントルベリーによるパケット交換 (Packet Switching) に関する発表が行なわれた。スカントルベリーはドナルド・デイヴィスの研究チームに属し、英国におけるパケット交換ネットワークの設計に関する状況を説明した。それをきっかけにシンポジウム終了後には、ロバーツたちとスカントルベリーによるパケット交換に関する研究交流が始まった。さらにその場で、ロバーツたちは米国において数年前に取り組まれたポール・バランの研究のことも知った。戻ったロバーツはバランが書いたとされる RAND の報告書を探し出して読み、特に彼のデータ通信に関する洞察に強い興味を持ち、詳しい話を聞きにバランに会いに行った。それ以降、バランはロバーツたちの良き相談者になった<sup>48)</sup>。

1968 年 6 月、ロバーツはグループとしてまとめた構想を ARPA 長官のハーツフェルドに報告し、7 月に最初の開発予算と契約研究者を募る承認を得た後、コンピュータ関連企業を対象に IMP の競争入札を行った。選ばれた企業は BBN (Bolt Beranek and Newman) 社であったが、同社はリックライダーが IPTO 初代室長になる前に所属した会社でもあり、同社のロバート・カーン (Robert E. Kahn) はローレンス・ロバーツと親密な関係があり、のちには 7 代目 IPTO 室長にもなる。IMP 開発陣は 1969 年末に IMP を UCLA, スタンフォード研究所, カリフォルニア大学サンタバーバラ校, ユタ大学の 4 か所に設置し、相互接続実験に成功した。ARPANET の創設当時、IPTO が研究資金を提供していた研究拠点は UCB, スタンフォード研究所, スタンフォード大学, UCLA, ランド社, SDC 社, ユタ大学, イリノイ大学, カーネギーメロン大学, BBN 社, MIT リンカーン研究所, ハーバード大学であり、4 か所以外の研究拠点もコンピュータ・ネットワークに接続することは初めから想定されており、接続実験の成功を受けて、徐々にこれらの研究拠点もネットワークに接続していくのであった<sup>49)</sup>。

---

47) *Ibid.*, p.73.

48) *Ibid.*, pp.76-77.

49) Abbate (1999), pp.56-58.

## 第2節 ARPANET 向け UCB 版 UNIX の開発

UNIX を開発したケネス・トンプソンとデニス・リッチーが 1973 年にバデュー大学において開催されたオペレーティングシステム (OS) 理論のシンポジウムにおいて講演したとき、この講演を聞いた UCB のロバート・ファブリー (Robert S. Fabry) は UNIX に強い関心を持ち、その導入を図った。UNIX が使える DEC 製 PDP-11/45 が大学によって購入された後の 1974 年 1 月、トンプソンから UNIX ver.4 が入った磁気テープが届き、その PDP-11/45 にインストールされた<sup>50)</sup>。

1975 年 9 月、UCB の卒業生でもあったケネス・トンプソンはベル電話研究所の 1 年間の休暇を利用して UCB に客員教員として赴任するとともに、UCB が新しく購入した PDP-11/70 に UNIX ver.6 をインストールした。ちょうどこのときにビル・ジョイ (William N. Joy) が大学院に入学し、UNIX ver.6 の設定やプログラミングにもかかわるようになり、Pascal コンパイルの機能拡張も手掛けるようになった。特にケネス・トンプソンが研究所に戻った後、送られてくるアップデート用のソースコードを UCB の UNIX に反映させる過程においてビル・ジョイは UNIX のソースコードに精通するようになり、このことが後に UCB 版 UNIX (BSD) の開発につながる。最初のきっかけは機能拡張版 Pascal コンパイルを求める学外からの声に応えるためであったが、色々と開発した便利なツールをまとめて「Berkeley Software Distribution (BSD)」として配布するようになった<sup>51)</sup>。

DARPA が資金援助する研究拠点を結ぶ全国規模のコンピュータ・ネットワーク、ARPANET は IMP が開発されて以降、急激に拡大していった。しかし、研究拠点ごとに異機種のコンピュータが導入され、したがって異なる OS が使用されていたために、研究成果として開発されたソフトウェア資源を研究拠点間で共有することは容易ではなかった。それらの研究拠点に設置されたコンピュータもそろそろ古くなり、買い替えの時期も迫っていたが、国防総省の 1 機関である DARPA が資金援助している研究拠点に同じメーカーのコンピュータを導入させることは連邦政府原則という点からも難しかった。DARPA ではいろいろと検討した結果、異機種コンピュータを前提に、同じ OS を導入する方向性が追求され、移植性に優れた UNIX が標準化の対象として選ばれた<sup>52)</sup>。

DARPA から UNIX 導入の意向を聞いた UCB のファブリーは開発中である 3BSD の拡張版が DARPA のニーズに応えることができると伝え、DARPA と UCB の間で開発契約が結ばれた。契約内容は 18 か月で、BBN 社をはじめ ARPANET 関連の開発業者が必要とする機能を 3BSD に実装するものであり、ビル・ジョイも BSD 開発のリーダーとして参加した。1980

50) McKusick (1999), p.31.

51) *Ibid*, p.33.

52) *Ibid*, p.35.

年に 4BSD がリリースされ、1981 年に 4.1BSD<sup>53)</sup> がリリース (2 年間で約 400 本の発送) された。DARPA はこの 4.1BSD の成果に満足し、UCB と新たに 2 年間の開発契約を結んだ。DARPA のプログラム・マネージャーであったドゥエイン・アダムスは年 2 回の割合で「運営委員会」を開催し、新システムの設計に ARPANET 関係者 (DARPA, BBN 社, MIT, 南カリフォルニア大学情報科学研究所, UCLA) の要求を反映できるようにしている。BBN 社によって TCP/IP プロトコルの実装仕様がリリースされるや、それが組み込まれ、インターフェイス部分も設計し直された 4.1aBSD が 1982 年 4 月にリリースされ、DARPA への納期期限の 1983 年 4 月には 4.1cBSD がリリースされた<sup>54)</sup>。

UCB が以前に開発していた部分と DARPA からの資金援助によって開発した部分は UCB が料金を請求しなかったので無料のオープンソースとなった。またビル・ジョイはサン・マイクロシステムズ社の創立メンバーに加わることになり、会社の仕事と BSD 開発の両方にかかわっていたが、1982 年の夏の終わり頃には会社の仕事に専念するようになった。ビル・ジョイがサン・マイクロシステムズ社ワークステーションに組み込むオペレーティングシステムの開発を担当し、それにいち早く BSD ベースの UNIX を採用したことは、RISC 技術採用の MPU 開発によって高速処理を実現したことと相俟って、のちに訪れるインターネット・ブームの時代に、サーバーというコンピュータの新たな利用分野において圧倒的なシェアをもたらすことになった。結果的には、サン・マイクロシステムズ社のサーバー用コンピュータが最も成功した商用タイムシェアリング・システムと言えるかもしれない。

## 第 4 章 両用技術概念と国家的情報技術戦略

### 第 1 節 両用技術概念登場の意味

国防科学委員会 (Defense Science Board, 以下 DSB) の特別委員会が発表した報告書「Defense Semiconductor Dependency」(1987 年 2 月) の提言を受けて米国半導体協会 (SIA) により米国半導体メーカーによる共同研究開発コンソーシアム SEMATECH が設立されたのであるが、その同じ DSB が同年の 12 月に「技術基盤マネジメント」という夏研究報告書を発表した。その報告書では、わざわざ「両用技術と技術基盤」という項目があり、両用技術について詳しく述べられている。これが両用技術という用語を使った最初の公式文書であった。その一部を紹介しよう。

効果の高いほとんどの国防技術は、国防に対してと同様にグローバル市場における米国産業の競争力に対してもきわめて重大な両用技術 (Dual Use Technology) としてカテゴ

---

53) 当初 5.0BSD と表記する予定であったが、UNIX System V を販売した AT&T 社側から紛らわしいとクレームがあり、以後マイナーバージョンアップの表記を使用することになった。

54) McKusick (1999), pp.36-37.

リー化することができる。商用製品における技術的進歩を加速化させることは軍事用装置への使用に向けその利用可能性を加速化させることでもある。軍事用装置への商用部品の利用について重要性が高まるにつれて、同様に両用技術の商用的進歩の重要性が高まるであろう。

その後、カーネギー科学・技術・政府委員会が 1990 年 8 月に「新思考と米国の国防技術」という報告書を発表した。この報告書は以下のように両用技術を重視し、その際に特にコンピュータ関連を顕著な例として紹介しつつ、DARPA との関連を指摘する。

両用技術は国防にとって重要であるが、さらに商用製品への重要な応用をもつ技術である。両用技術の顕著な例は、スーパーコンピュータ、半導体、大規模ソフトウェア設計、コンピュータ・ネットワーク、および輸送ヘリコプターである。それらの領域の多くでは、当時、国防総省は商用部門に普及するイノベーション的な技術に資金提供している。さらに、その技術的普及は選択されたわずかなプログラムに基づく DARPA の特別な目的であった。それらのプログラムのうち最も注目すべきは、次世代テレビ受像機の部品でもありうる軍事用指揮システム用平面版ディスプレイの開発を追求する HDTV（高解像度テレビ）であり、先端的な半導体加工装置の開発を支援する SEMATECH である<sup>55)</sup>。

DARPA が歴史的に果たした役割を高く評価して、この報告書はさらに「政権と連邦議会は、選択された国防技術が重要な商用的応用を持つときにはいつでも、その移転を促進する特別な責任を含めさせるように、DARPA の組織目的 (charter) を拡大すべきである」<sup>56)</sup> と提言する。

この報告書を作成したカーネギー科学・技術・政府委員会のメンバーを見るなら、この報告書の政治的な影響力を窺い知ることができる。まず、この報告書の最初の原案を準備したのがウィリアム・ペリー (William J. Perry) とアシュトン・カーター (Ashton B. Carter) であるが、この二人はのちにクリントン政権においてそれぞれ国防長官と国防次官となっている。国家安全保障臨時特別委員会には、のちにクリントン政権で CIA 長官となるジェームズ・ウールジー (James Woolsey) も参加している。カーネギー科学・技術・政府委員会が指名した国家安全保障臨時特別委員会 (The Ad Hoc Task Force on National Security) がその原案を報告書へと仕上げ、カーネギー科学・技術・政府委員会諮問会議による助言をふまえつつ、最終的にカーネギー科学・技術・政府委員会が承認して正式な報告書となった。注目すべき顔ぶれとしては、国家安全保障臨時特別委員会とカーネギー科学・技術・政府委員会諮問会議の両方に HP 社の共同創業者で当時会長のデビッド・パッカードが参加している。またカーネギー科学・技術・政府委員会にはジミー・カーター (Jimmy Carter) 民主党元大統領が、カーネギー科学・技術・政府

55) Carnegie (1990), p.24.

56) *Ibid.*, p.26.

委員会諮問会議にはジェラルド・フォード (Gerald R. Ford) 共和党元大統領が参加している。

デビッド・パッカードが参加している意味を考えることは、両用技術概念登場の意味およびクリントン政権の推進する HPCC プログラム＝NII イニシャチブの背景を理解するうえで重要である。周知のようにパッカードはシリコンバレーの IT 関連業界を代表する人物であり、レーガン政権時代の 1985 年に軍事管理に関するブルーリボン委員会 (いわゆるパッカード委員会) の委員長になった。1986 年 6 月に提出されたパッカード委員会の最終報告書はコストを重視した国防調達制度の改善を提言するのが主たる目的であったが、軍事能力を高めながら同時にコストも減らす新技術の利用という点で、購入前にその点の確認を可能にさせるプロトタイプ開発を軍に奨励させる DARPA の新たな役割を強調し、「現在、DARPA は高リスク・高報酬な技術の研究と予備の開発を指導している。DARPA は、国防システムのプロトタイプ開発がもっと重視されるよう促す追加の使命を持つべきである」<sup>57)</sup>と提言する。そのパッカードがその後のブッシュ (シニア) 政権時代の 1990 年から 1992 年に科学技術に関する大統領諮問委員会の委員を務めながら、同時に、このカーネギー科学・技術・政府委員会を通じ、コンピュータ産業をはじめ IT 関連業界が求める政策を反映させたものと考えられる。また前述の DSB 報告書「TECHNOLOGY BASE MANAGEMENT」が両用技術を取り上げ、この報告書がパッカード委員会の流れを汲んでいることは村山裕三氏も指摘する<sup>58)</sup>。

このカーネギー科学・技術・政府委員会は翌年の 9 月には、「Technology and Economic Performance –organizing the Executive Branch for a stronger National Technology Base」という報告書を発表し、DARPA の役割をさらに強調して、組織名称の頭に付いている「Defense」を「National」に替えて National Advanced Research Projects Agency (NARPA) にする提言を行っている<sup>59)</sup>。このことは実現しなかったが、HPCC プログラムやその予算規模を拡大させた NITRD (Networking and Information Technology Research and Development) プログラムにおいて DARPA は重要な役割を演じ、また DARPA を組織モデルに、国土安全保障省内には HSARPA (Homeland Security Advanced Research Projects Agency)<sup>60)</sup> が、エネルギー省内には ARPA-E (Advanced Research Projects Agency-Energy)<sup>61)</sup> がそれぞれ設立された。

両用技術概念は技術基盤 (Technology Base) 概念と結び付けて使われる。前述の DSB 夏研究報告書「技術基盤マネジメント」では、両用技術の促進は「新技術の選択肢を生みだす国全

---

57) Blue Ribbon Commission (1986), p.57.

58) 村山裕三 (1996 年), 72 頁。

59) 前述のカーネギー科学・技術・政府委員会報告書「新思考と米国の国防技術」に深くかかわった Ashton B. Carter, Lewis M. Branscomb, および Harvey Brooks は他の 2 人を加えた共著書 Alic (1992) を出版し、pp.362-363 では、米国の技術政策と NARPA との関連を指摘する。

60) Homeland Security Act of 2002 により設立。

61) America COMPETES Act (2007 年) に伴い設立。



体の科学的・工学的インフラを強化し、国防技術基盤投資を補うために国の技術基盤への国防総省による投資の連結を改善すること」であると述べる。この報告書を受けた 1988 年 3 月の OTA の報告書では、「国防技術基盤とは、兵器や他の国防システムを開発し製造するのに必要な技術を提供する人々、研究機関 (institutions)、情報、および技能の組み合わせ」と説明し、「ほとんど全ての研究と技術開発は国防システムを生産するのに引き寄せられるので、国防的応用にのみに利用可能と分類された研究を除いて、国防技術基盤は全体として国の技術基盤と同じものである」<sup>62)</sup>と述べる。そしてこの技術基盤が想定する成果は、ほとんどが基礎研究段階あるいは応用研究段階の成果、すなわち技術へと進化する前の段階の成果であり、両用技術概念との関連で言えば、軍事と民需の両方に用途が見込まれるという意味である。

## 第 2 節 両用技術概念と TRP プログラムおよび HPCC プログラム

TRP (Technology Reinvestment Project) プログラムは 1992 年国防転換・再投資・変遷援助法の成立に伴って創設された 8 つの国防総省プログラムの総称である。1993 年度には総計約 4 億 8 千万ドルが充当されている。TRP は国防技術転換会議（国防総省、エネルギー省、運輸省、商務省、NSF、NASA の代理者から構成）により運営され、個々のプログラムと資金に関する管理は DARPA に委任される。CBO の報告書は TRP の意図について、次のように指摘する<sup>63)</sup>。

もし TRP が軍事生産と民需生産とのより密接な統合に成功したならば、国防生産における企業の基盤をより拡大するだろう。国防予算が激しく減少する一方で、米国の国家安全保障に対する将来の脅威がどうなるか非常に不確実である時期に、TRP の潜在的な利益は特に重要である。

さらに、TRP は、米国における研究開発を高め改善させるよう意図されたクリントン政権の新たな技術政策の一部を成す。TRP は最終利用の多くの用途を持ち、基礎研究段階を超えてはいるがその商業的な潜在力を実現する点ではまだ準備段階にある投資プロジェクトに重点が置かれるだろう。

ここで注目すべきは、TRP が両用技術を促進するというだけでなく、クリントン政権の新たな技術政策の一部を成すという指摘である。TRP の具体的な実施技術領域について光瀬貴弘氏の研究<sup>64)</sup>によれば、TRP 1993 年度政府負担額内訳は合計 3 億 2,760 万ドルのうち①情報インフラ (8760 万ドル)、②電子工学設計・製造 (4360 万ドル) であり、1994 年度政府負担額内訳は合計 1 億 7640 万ドルのうち①高密度データ蓄積システム (1600 万ドル)、②ソフトウェア開発 (1950 万ドル)、③国家情報インフラ (2320 万ドル)、④高次システム製造 (4830 万ドル)、

---

62) OTA (1988), p.7.

63) CBO (1993b), "Summary", p. x.

64) 光瀬貴弘 (2003 年), 48 ~ 49 頁。

⑤電子工学パッケージング (3830 万ドル) となっている。これらの技術領域, すなわち情報技術領域への政府負担の割合は多く, またその後本格化する HPCC プログラムとも密接に重なり合う。周知のように, クリントン政権を象徴する技術政策の柱は HPCC プログラムを軸にした全米情報基盤 (NII : National Information Infrastructure) イニシャチブである。当時のアル・ゴア (Albert A. Gore, Jr) 上院議員を中心に提出された HPC 法 (High Performance Computing Act) が 1991 年に連邦議会によって可決され, さらにその翌年の 1992 年に, そのアル・ゴアを副大統領候補に大統領選挙に勝利したクリントン政権は HPC 法に基づく HPCC プログラムを軸に, その研究開発活動によって生みだされる “情報スーパーハイウェイ”, すなわちスーパーコンピュータと高速コンピュータ・ネットワークを経済成長のための全米情報基盤とするイニシャチブを 1993 年 2 月に発表し, 9 月に「National Information Infrastructure: Agenda for Action」という行動計画書を公表した。

HPCC プログラムはスーパーコンピュータ技術と高速コンピュータ・ネットワーク技術の開発を促進するため, その分野の研究開発への投資にかかわる複数の政府機関によって同時に取り組みされるプログラムであり, それら複数政府機関活動の全体に責任をもつ政府機関は大統領行政府に属する OSTP (Office of Science and Technology Policy: 科学技術政策局) であり, さらに研究開発活動にかかわった実際の調整を担うのはその OSTP 内にある FCCSET (Federal Coordinating Council on Science, Engineering, and Technology) である<sup>65)</sup>。

この OSTP という政府機関は科学技術的な分析と大統領への科学技術政策上の諮問を目的に, フォード政権時代の 1976 年に, National Science and Technology policy, Organization, and Priorities Act of 1976 (P.L.94-282) によって設立されたが, このモデルとなったのはルーズベルト政権時代の 1941 年に設立され, ヴァネヴァー・ブッシュが局長となった OSRD (Office of Scientific Research and Development) であった。OSTP 局長は政府役職者や政府職員の兼任が禁止され, 大統領によって指名され, 上院によって承認される必要がある。彼は大統領に国家的な科学技術政策に関連した様々な諮問や援助を行う非常に重要な役割を担い, 大統領科学顧問でもある<sup>66)</sup>。

この OSTP の FCCSET は 1983 年の春にスーパーコンピュータに焦点を当てた 3 つのパネルを設置した。そのうちの 1 つ, コンピュータ研究調整パネルは IPTO 室長のロバート・カーンが議長となり, 記号処理と人工知能について討論し, 1985 年 6 月に, 数値と記号の両方のコンピュータ処理を進歩させる “very high-performance computing” と呼ぶ並列処理の重要性を強調する報告書を公表した<sup>67)</sup>。そして OSTP が 1987 年 11 月 20 日に, 前述の DSB が両

---

65) CBO (1993a), pp.1-15.

66) CRS (2012), pp.1-5.

67) Roland (2002), pp.290-291. 同じ個所でローランドが指摘するのは, HPCC プログラムは DARPA の

用技術概念を初めて使った報告書を提出した時期と同じ頃に、「A Research and Development Strategy for High Performance Computing」という報告書を提出した。「高性能コンピューティング戦略は連邦政府が資金援助する基礎研究を持続させ、それに焦点を当て、そして基礎科学の成果が研究所から米国の産業発展に、最終的には市場に移転促進するよう設計される。技術開発は差し迫ったニーズを満たしつつ、長期的なリーダーシップの土台を作るよう適切に奨励されるだろう。大きな強調が向けられるは、国際市場における米国ハイテク貿易の持続的強さを保証するために連邦政府による資金援助の成果が産業に持続的に移転されることに対してである<sup>68)</sup>。」

第 1 表 1993 年度政府機関・プログラム要素別 HPCC 予算

単位：百万ドル

政府機関	1992 年度	1993 年度	1993 年度 HPCC 要素			
			HPCS	ASTA	NREN	BRHR
DARPA	232.2	275.0	119.5	49.7	43.6	62.2
NSF	200.9	261.9	28.6	125.6	45.1	62.6
DOE	92.3	109.1	10.9	69.2	14.0	15.0
NASA	71.2	89.1	14.1	61.4	9.9	3.8
HHS/NIH	41.3	44.9	4.2	22.6	7.2	10.9

出典：OSTP（1993）

HPCS：高性能コンピューティング・システム  
 ASTA：先端ソフトウェア技術とアルゴリズム  
 NREN：全米研究・教育ネットワーク  
 BRHR：基礎研究と人的資源

HPCC プログラムには 8 つ政府機関が参加している。第 1 表では、予算額上位の 5 つの政府機関の 1992 年度と 1993 年度（プログラム要素別の内訳も含む）の予算額を紹介する。他の政府機関との比較で DARPA と NSF の予算額が突出している。DARPA は高性能コンピューティング、すなわちスーパーコンピュータ関連の割合が高いのに対し、NSF はソフトウェア技術関連の割合が高いという棲み分けがある。また DARPA は、設立時の国防総省指令 No. 5105.15 にも明記された役割、すなわち研究開発活動に伴う連邦政府機関間の調整という役割も期待されていた。

## お わ り に

DARPA、とりわけ IPTO はタイムシェアリング研究の普及を図るために、全米各地の大学や、BBN、SDC、PARC などのベンチャー企業や企業研究所にコンピュータ関連の研究拠点づくりを推し進め、その研究拠点に長期的・持続的に資金を投入してきた結果、コンピュータ分野の技術基盤が形成された。IPTO による資金援助がコンピュータ分野の研究者たちの能力を育て、同時にその研究者たちが研究成果を交流するネットワーク、すなわちコンピュータ分野の

Strategic Computing プログラムが連邦政府規模になったものという点である。

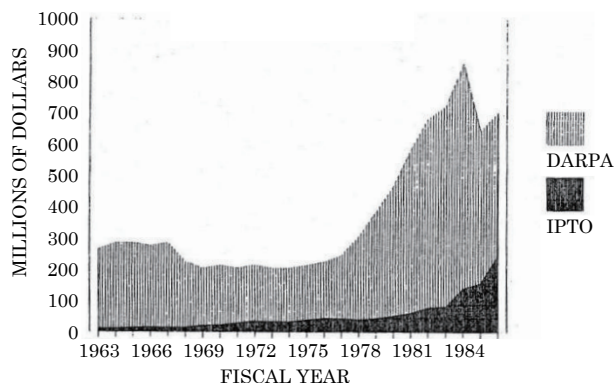
68) OSTP (1987), p.4.

研究者コミュニティを造りだし発展させた。これはこの分野の重要な技術基盤となった。IPTO が積極的に ARPANET の構築をめざした理由も、異機種コンピュータのネットワーク接続という難問を解決して、コンピュータ分野の研究者コミュニティによる研究交流を促進するコンピュータ・ネットワークを構築するためであった。DARPA が ARPANET に対応した UCB 版 UNIX の開発に資金援助したのも、同じ理由からであった。

もちろん、NSF が DARPA の代わりに研究機関同士を結ぶコンピュータ・ネットワークの基幹回線 (いわゆる backbone) となる NSFNET を整備するようになってからは、NSF も DARPA と並んでコンピュータ分野の技術基盤形成を担う重要な政府機関となっている。しかし DARPA はコンピュータ、コンピュータ・ネットワーク、ソフトウェア、半導体など両用技術として今日注目される分野への予算配分が少なかったにもかかわらず、歴史的に果たした貢献は計り知れないものがあつた。第 1 図のように、1970 年代までは DARPA の予算全体に占める IPTO 予算の割合は少なかった。米国の産業競争力強化が大きな焦点となった 1980 年代後半において、DARPA に予算配分の変更も含めて、コンピュータ分野や半導体分野において国防だけでなく産業競争力強化にもさらなる大きな貢献を期待して両用技術概念を使った政策提言が現れたのであつた。

両用技術概念を伴う政策提言が盛んに行われて以降、DARPA は TRP プログラムだけでなく、HPCC プログラムやこの拡張版の NITRD (Networking and Information Technology Research and Development) プログラムにおいて特に重要な役割を演じている。これらのプログラムの具体的な内容や DARPA が果たした役割、その米国技術戦略に占める位置づけの詳細については別稿にて明らかにしていきたい。

第 1 図 DARPA と IPTO の予算推移



出典 : Norberg (1996), p.20.

# 参考文献

- ・ M・クランツバーグ（1976年）／C・W・バーセル二世編（小林達也監訳）『20世紀の技術 下』東洋経済新報社
- ・ R・T・デラマーター（1987年）（青木榮一訳）『ビッグブルー IBM はいかに市場を制したか』日本経済新聞社
- ・ 村山裕三（1996年）『アメリカの経済安全保障戦略 ―軍事偏重からの転換と日米摩擦』PHP 研究所
- ・ 西川純子編（1997年）『冷戦後のアメリカ軍需産業』日本経済評論社
- ・ シルヴィア・オストリー（1998年），リチャード・R・ネルソン（新田光重訳）『テクノ・ナショナリズムの終焉：テクノ・グローバリズムと国際経済統合の深化』大村書店
- ・ Peter H. Salus（2000年）（QUIPU LLC 訳）『UNIX の 1 / 4 世紀』ASCII
- ・ 松村博行（2001年）「アメリカにおける軍民両用技術概念の確立課程 ―スピン・オフの限界から軍民両用技術の台頭―」（『立命館国際関係論集』創刊号，立命館大学国際関係学会）
- ・ 光瀬貴弘（2003年）「米国における TRP（技術再投資計画）の分析」（『経済論叢』第 172 巻第 1 号，京都大学経済学会）
- ・ 喜多千草（2003年）『インターネットの思想史』青土社
- ・ トーマス・ワトソン・ジュニア（2006年）／ピーター・ピーター（高見浩訳）『先駆の才 トーマス・ワトソン・ジュニア』ダイヤモンド社
- ・ ヘンリー・エツコウイツ（2009年）（三藤利雄・堀内義秀・内田純一訳）『トリプルヘリックス 大学・産業界・政府のイノベーション・システム』芙蓉書房出版
- ・ 宮田由紀夫（2011年）『アメリカのイノベーション政策』昭和堂
- ・ Licklider (1960), J.C.R., “Man-Computer Symbiosis”, IRE Transactions on Human Factors in Electronics, vlume HFE-1, pp.4-11.
- ・ Licklider (1962), J.C.R. and Welden E. Clark, “On-line Man-Computer Communication”, BBN,Inc..
- ・ Corbató (1965), F.J. and V.A. Vyssotsky, “Introduction and OverView of the Multics System”, 1965 Fall Joint Computer Conference.
- ・ Linde (1969), R.R. and C. Weissman and C.E. Fox, “The ADEPT-50 time-sharing system”, 1969 FALL JOINT COMPUTER CONFERENCE.
- ・ Weissman (1969), C., “Security in the ADEPT-50 time-sharing system”, 1969 FALL JOINT COMPUTER CONFERENCE.
- ・ Redmond (1980), Kent C. & Thomas M. Smith, *Project Whirlwind –History of a Pioneer Computer*, Digital Press.
- ・ Rochester (1983), Nathaniel, “The 701 Project as Seen by its Chief Architect”, *Annals of the History of Computing*, Volume 5, Number 2, April 1983.
- ・ IEEE (1983a), *Annals of the History of Computing*, Volume 5, Number 1, January 1983.
- ・ IEEE (1983b), *Annals of the History of Computing*, Volume 5, Number 4, October 1983.
- ・ Blue Ribbon Commission (1986) on Defense Management, “A Quest for Excellence: Final Report to the President”, President’ Blue Ribbon Commission on Defense Management, June 1986.
- ・ Bellin (1987), David and Gary Chapman, *Computers in Battle –Will They Work?*, HBJ.
- ・ OSTP (1987), “A Research and Development Strategy for High Performance Computing”, Executive Office of President, Office of Science and Technology Policy, November 20, 1987.
- ・ OTA (1988), “The Defense Technology Base: Introduction and Overview”, March 1988, Office of Technology Assessment.
- ・ Carnegie (1990) Commission on Science, Technology, and Government, “New Thinking and

- American Defense Technology”, Carnegie Commission on Science, Technology, and Government.
- SRC (1990), *In Memoriam: J.C.R. Licklider 1915-1990*, System Research Center (<http://www.hpl.hp.com/techreports/Compaq-DEC/SRC-RR-61.html>).
  - Alic (1992), John A., Lewis M. Branscomb, Harvey Brooks, Ashton B. Carter, and Gerald L. Epstein, *Beyond Spinoff –Military and Commercial Technologies in a Changing World*, Harvard Business School Press.
  - Graham (1992), Otis L., Jr., *Losing Time: The Industrial Policy Debate*, Harvard University Press.
  - Branscomb (1993), Lewis M., ed., *Empowering Technology –Implementing a U.S. Strategy*, The MIT Press.
  - CBO (1993a), “Promoting High-Performance and Communications”, Congressional Budget Office, June 1993.
  - CBO (1993b), “The Technology Reinvestment Project: Integration Military and Civilian Industries, Congressional Budget Office, July 1993.
  - OSTP (1993), “Grand Challenges 1993: High Performance Computing and Communications”, Committee on Physical, Mathematical, and Engineering—Federal Coordinating Council on Science, Engineering, and Technology (FCCSET)—Office of Science and Technology Policy.
  - Etzkowitz (1994), “Henry, Beyond the Frontier: The Convergence of Military and Civilian R&D in the U.S.”, *Science Studies*, vol.7, No. 2, pp. 5-22.
  - Norberg (1996), Arther L. and Judy E. O’Neill with Contributions by Kerry J. Freedman, *Transforming Computer Technology –Information Processing for the Pentagon, 1962-1986*. The Johns Hopkins University Press.
  - Hafner (1996), Katie and Matthew Lyon, *Where wizards stay up late –the origins of the Internet*, TOUCHSTONE.
  - Ceruzzi (1998), Paul E., *A History of Modern Computing 2<sup>nd</sup> Edition*, the MIT Press.
  - Spires (1998), David N., George W. Bradley III and other by ed., “Beyond Horizons: A Half Century of Air Force Space Leadership”, Air Force Space Command in association with Air University Press.
  - Branscomb (1998), Lewis M. Branscomb and James H. Keller ed., *Investing in Innovation – Creating a Research and Innovation Policy that works*, The MIT Press.
  - Abbate (1999), Janet, *Inventing The Internet*, The MIT Press.
  - McKusick (1999), Marshall Kirk, “Twenty Years of Berkeley Unix: From AT&T –Owned to Freely Redistributable”, Chris Dibona, Sam Ockman & Mark Stone ed., *Open Sources: Voices from the Open Source Revollution*, O’REILLY.
  - National Research Council (1999), Computer Science and Telecommunications Board, *Funding A Revolution: Government Support For Computing Research*, National Academy Press.
  - Lee (2000), Chong-Moon, William F. Miller, Marguerite Song Hancock, and Henry S. Rowen, *The Silicon Valley Edge*, Stanford Business.
  - Roland (2002), Alex with Philip Shiman, *Strategic Computing –DARPA and the Quest for Machine Intelligence, 1983-1993*, The MIT Press.
  - Lecuyer (2010), Christophe and David C. Brock, *Makers of the Microchip: A Documentary History of Fairchild Semiconductor*, The MIT Press.
  - CRS (2012), “The President’s Office of Science and Technology Policy(OSTP): Issues for Congress”, Congressional Research Service.