

米国における最近の IT 重点分野 に関する調査

平成 14 年 3 月

財団法人 日本情報処理開発協会
先端情報技術研究所

KEIRIN *00*事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。

まえがき

米国政府支援による IT 研究開発の成果が、今日の米国の経済的繁栄をもたらした大きな要因であることは、インターネットの例を引くまでもない。米国政府の研究開発イニシアチブは相互に影響し合い、新たな研究開発領域を創成し、その成果は産業、経済、社会に大きな影響を及ぼした。こうした成果を生み出したメカニズムについての具体的な調査は、今後のわが国の IT 研究開発を考える上で必要なことである。

このような背景から、当研究所では米国における最新の IT 関連研究開発イニシアチブに関する調査を、NSF のプログラム・マネージャを経験し、現在、米国 World Technology Evaluation Center, Inc.(WTEC)の Vice President を務める Y. T. Chien 博士に委託した。本資料はその調査報告書の日本語訳である。

本報告では、電子図書館と電子政府、バイオテクノロジー、インフラストラクチャおよびツールの 3 つの研究開発計画（イニシアチブ）を取り上げ、それらが誕生した背景、計画の内容、異なる分野間での技術の融合、さらには産業、経済、社会に及ぼした影響などについての調査結果を記述している。また、調査の結果から得られた情報に基づいて、日本の IT 研究開発における政府支援の進め方に対する提言も行っている。

米国の政府支援による IT 研究開発に、研究、管理の両面から深く関わった専門家による詳細な調査報告と貴重な意見は、今後のわが国における研究開発に対する政府支援のあり方を考える上で、大いに参考となるであろう。

米国における最近のIT重点分野に関する調査

目次

エグゼクティブ・サマリー	1
1. はじめに	17
2. 電子図書館と電子政府イニシアチブ	25
2.1 プログラムの進展	25
A. 電子図書館研究イニシアチブ・フェーズ I: 行動のとき	25
機関連携（ジョイント・エージェンシー）プログラム	26
資金援助対象プロジェクト	27
プログラム管理	28
B. DLI-II への移行	29
範囲の拡大	29
研究	30
プログラムの適用範囲と研究の焦点の拡大	31
DLI-II に対する財源の特長	32
支援活動と相互交流	33
C. Mosaic から電子政府に至るまでの進化	35
行政情報サービス固有の特性	36
電子政府研究の要素	37
2.2 電子図書館/電子政府イニシアチブの分析	38
A. イニシアチブ背後の力	39
技術的な統合	39
社会的な原動力	40
B. 研究プログラムの影響	40
技術革新	40
Google - 成功例	42
一般社会への影響	43
2.3 将来の展望	46
形態の変化	47
3. バイオテクノロジーのイニシアチブ	49
3.1 IT に迫るバイオテクノロジー	49
3.2 連邦政府のイニシアチブの進展	50
A. 「脳の十年」イニシアチブ	50
B. 21 世紀のバイオテクノロジーのイニシアチブ	52
顕著な特色	52
新しいパラダイムの源	53

C. ヒトゲノム計画 (HGP)	53
目標と前倒しされたスケジュール.....	53
戦略的パートナーシップ	54
ゲノム配列のドラフト・シーケンスの完成	55
3.3 プログラムの分析	55
A. 交差領域における技術の融合	56
コンピューティングは生物学をどのように変化させているか.....	56
生物学はコンピューティングをどのように変化させているか.....	57
B. 研究と技術の新たな領域	58
C. 新しいバイオテクノロジー研究のデータ・リソースとツール	59
GenBank	60
プロテイン・データバンク (PDB: Protein Data Bank)	61
BLAST (Basic Local Alignment Search Tool)	61
LocusLink.....	61
人体可視化計画 (The Visible Human)	61
3.4 新しいバイオテクノロジー研究のビジネス	62
A. 政府管掌研究センター	62
主要な研究施設と研修センター	62
B. 州レベルのパートナーシップ	64
カリフォルニア州が QB3 を創設	64
C. 民間産業から受ける恩恵と民間産業への影響.....	65
セラ社の追撃.....	65
新しいゲノム産業	66
米国企業の概要.....	67
D. 社会と公共政策への影響	68
医学の展望の変化	68
国家の研究開発投資の優先順位の再設定.....	68
3.5 将来のビジョン	70
4. インフラストラクチャとツール.....	73
4.1 政府のプログラムの進展	73
A. HPCC と国家調整局 (NCO)	74
目標と目的	74
複数の機関のコーディネーターとしての NCO	74
B. 国家情報インフラストラクチャ (NII)	76
ナショナル・チャレンジ	76
インフラストラクチャの枠組み	77
C. 次世代インターネット (NGI)	78
NGI とビジョン	78
目標、戦略、評価基準.....	79

D. NGI から IT R&D へ.....	80
新しく拡張された PCA	81
NITRD (ネットワーキングと情報技術の研究開発) – 新しい米国のインフラストラクチャ.....	81
4.2 国家的プロジェクトの分析	82
A. 研究開発の今までの成果	82
B. 実験的研究：インフラストラクチャとツールの接点.....	83
インフラストラクチャ設備	83
実証されたツール	85
C. プログラムの背景となっている力.....	88
人間中心の技術と情報中心の技術.....	88
連邦政府のリーダーシップ	89
州政府の役割	89
カリフォルニア州の科学技術革新研究所 (CISI)	89
D. プログラムの影響	92
4.3 将来のビジョン – 次の研究開発課題.....	93
5. まとめと提案.....	97
参考文献および注釈	99
全般 (G).....	99
電子図書館 (DL).....	100
電子政府 (DG).....	101
バイオテクノロジー (B).....	101
インフラおよびツール (I)	102
付録.....	105
付録 A. 用語.....	105
付録 B. 参考 Web サイト.....	114

米国における最近の IT 重点分野に関する調査
エグゼクティブ・サマリー

エグゼクティブ・サマリー

1990年代は、21世紀の情報化社会に向けた歩みの始まりとも言える10年であった。1980年代後半に至るまでは、数十年の歳月をかけて多様な種類のコンピュータが我々の生活を変えてきたが、今日、インターネットのユビキタスな利用が広がるに伴い、これまでに例を見ない劇的な変化が訪れるようになっている。今まさに、日常生活のあらゆる局面で一大変化の時期を迎えつつある。インターネットがもたらした最も重要な変革は、多分、新しいテクノロジーを育成・開発して行くやり方であろう。こうした変化の最先端には、生物学をはじめ、医学、材料科学、工学デザイン、コンピュータ科学に至るまで、多岐にわたる分野で蓄積してきた知識や経験をいかに産業部門で応用していくかという課題が存在する。さらに、インターネットは、特に新技術の生成を促進する場であるさまざまな分野の接点部分において、技術革新へと至る道筋に多大な変化をもたらした。本報告書では、以上の前提を背景として実施した調査に基づいて、明らかになった結果の検証と分析を行う。

調査の実施にあたって、まず米国内のIT関連分野で、最近実施されている研究開発イニシアチブの内部的仕組みを調べることにした。具体的には、次の3つのテーマを中心に調査する。

- (1) 電子図書館 (DL) および電子政府 (Digital Government)
- (2) バイオテクノロジー
- (3) インフラストラクチャとツール

この調査に際し、基本的な目標と目的をいくつか定めた中で、特に重要なポイントは、具体的なイニシアチブを着想するに至った戦略的な意図とその運用方法を探る点にある。さらに3つのイニシアチブと、これ以外のイニシアチブとの関係という観点から、個々のイニシアチブがどのような方法でどの程度相互作用し合うのか、また各プログラムの成果にどのような影響を与えるのかについても検証する。これらのイニシアチブはいずれも、既存分野と新興分野にまたがる多様なテクノロジーにかかわるため、今回の調査方針として、次の質問に対する答えをガイドラインに定めることにした。

1. どのような融合が起こったか、また起こっているか。
2. どのような新しいコンセプト、メカニズム、または構造が作り出されたか。
3. 融合を引き起こしたキーとなる技術は何か。
4. IT自体にどのような変化や進化が起こったか。
5. 当該分野や関連産業にどのような影響を及ぼしたか。

6. 当該技術を利用する人々や社会にどのような影響があったか。
7. 日本のリーダーへの助言として、イニシアチブから何が学べるか。

以上の質問に対する答えを探る過程で、データの収集、プログラムの基礎となった資料の調査、Web サイトによる進捗状況のチェックといった作業を行った。さらに、各プログラムの策定と運用に関与した担当者（過去、現在を含めた関係者）を対象に個人的なインタビューも実施した。本報告書では基本的に、この調査結果と分析について考察する。具体的な分析に入る前に、まず調査の結果、明らかになった点について考察しておく。

技術革新に向けたネットワーク・パス

研究開発の世界では常に、技術革新が最優先の課題とされ、これが米国の投資政策を決定する上でも重要な役割を果たしてきた。産官の隔てなく、技術革新は現代社会の経済発展を支える基盤として捉えられている。これまで、政府支援型の研究プログラム、特に大規模なインフラストラクチャや設備を伴うプログラムは、米国の技術革新プロセスの面で重要な役割を果たしてきた。例えば、物理学や生物学に向けた大規模な実験設備を建設するには、多額の予算が必要とされる。さらに、期待される業績を上げるには、世界中から優れた研究者を集めなければならない。しかし、今、インターネットの普及によって、事実上あらゆる科学分野で研究のあり方が根本から変化しようとしている。大学、産業界、政府機関、そして一般国民の間を結び付ける情報網であるインターネットが、技術革新プロセスの実現に向けた新たな道筋を付けようとしている。

こうした新たな道を切り開き、幅広い普及を促したのは、インターネットに含まれる重要な要素によるものである。まず第一に、従来まではほとんど不可能とされていた次元で、時間と距離を越えた共同開発や協調作業が可能になった点である。この結果、個人や個別のチームのみでは成し得ないような作業に向けて、人材や物理的な資源を結合したグローバルなネットワークが形成される。第二に、インターネットに関連するテクノロジーによって、統合、相互運用、双方向性などに対応したツールの開発や利用が可能になった点である。ここでは、データ・フォーマット、通信モード、ヒューマン・インターフェイス、アクセス・プラットフォーム、プログラミング、ソフトウェア・システムなど、さまざまなテクノロジーの組み合わせが例として挙げられる。こうした各種ツールは、バイオテクノロジーやコンピューティング・テクノロジーなど、異なる技術の交わる共通部分を中心に扱った学際的な研究を支える強力な原動力となる。第三に、ネットワーク環境が、コンピューティングをはじめ、通信、コンテンツ（メディア）といった各業界の収束を促進した点である。この後詳しく検証するとおり、本報告書で調査の対象となった研究開発プログラムの原動力となり、方向性を決めているものが、この業界の収束の加速化である。

評価基準

全体を通じて、米国の3つの主要なイニシアチブを調べるにあたり、冒頭に挙げた前提条件は、調査結果を分析する上で大いに役立った。この調査では、5つの基準に従って、個々のイニシアチブに含まれる重要な要素と貢献度を検証すると同時に、イニシアチブ間の相互関係の分析を行った。

加速化するテクノロジーの収束と創造

取り上げた3つのテーマのいずれにおいても、古い技術、新しい技術、生まれつつある技術など、様々な技術が役割を果たしている。真っ先にあげられるのが、しばらく前から起きているコンピューティングと通信テクノロジーの収束という傾向である。この動きは、時間と距離を越えたデジタル・コンテンツの遍在的な利用をサポートするインターネットの普及によって、一段と加速している。次に、バイオテクノロジーの適用範囲を根本的に塗り替えるきっかけとなったコンピューティングと生物学の間で拡大する劇的な相互作用という点が挙げられる。それは、今やコンピューティングの将来に対して挑戦状を突き付けようとしている。

「社会資本」の形成と利用

研究者の個人的な生産性向上を図るためのツールや資源など、物理的な資本と同様に、「社会資本」も技術革新の実現を支える上で重要な要素となる。社会資本とは、社会の組織間に形成される特性、例えば相互の利益のために調整や連携といった作業を通じて形成するネットワーク、規範、信頼関係などのことを指す。例としては、インターネットの多様性から生まれた要素同士のパートナーシップや共有可能な資源（データ、特殊装置、大規模なインフラストラクチャ、人材などを含む）などである。

新たな「規模と範囲の経済」の実現

インターネット環境は、研究や技術開発のさまざまな局面で、規模の経済のあり方に根本的な変革をもたらすものである。コンピュータの処理速度やネットワークの帯域幅といったパラメータを通じて、システム・パフォーマンスの改善（すなわちハードウェア・コンポーネントの追加などによる）を追求する従来の考え方に対し、ネットワークで結合された環境では、不特定多数のユーザーへの対応や各種フォームのデータによるやり取りといった側面に関連する、まったく別のパラメータという観点から考えなければならない。まさに新しいタイプの「規模の経済」である。同様に、様々な科学領域間（生物学から材料科学）や表面的には異種の産業分野間（生物学からナノテクノロジー）に跨って、同じコンピュータ資源の下でより大きな経済的効果を実現する場合においても、この変化が当てはまる。

国内外/地域の資源の有効利用

民族国家の優位性は、今後もしばらくの間、続くものと思われる。国家の研究開発プログラムは、国益を中心に打ち立てるのが基本である。とは言え、規模の大きいプロジェクトや最先端の研究開発でコスト効果を追求するには、グローバルな規模のコラボレーション（協調作業）が不可欠になる。一方、文化や歴史に固有の地域的/局所的な投資(例えばデジタル・コンテンツあるいは言語インターフェイス)を行うことが、成功への最善の道になることもある。これらの資源を有効利用しながら、一定のレベルにバランスを保持することが、国家プログラムを管理する上で重要な要素となる。

産業界や社会とのつながり

この点は、多額の公的資金で支援されたプロジェクトでは常に重要視される基準となる。特に、経済的な影響という面では、奇跡と痛みの両方を併せ持つ IT 関連のプログラムの場合、その効果については慎重に評価する必要がある。すなわち知識の進歩がもたらす利点が、産業界や一般市民の領域にいかに関速に生かされるかという観点から判断するということである。

調査結果

本報告書は、「電子図書館研究イニシアチブ」、「バイオテクノロジー・イニシアチブ」および「インフラストラクチャとツールのイニシアチブ」の3章で構成される。それぞれのイニシアチブを支える重要な要素、すなわち主な研究開発の活動、主な成果、技術と社会に対する影響、および将来の展望の観点から概説する。

1. 電子図書館研究イニシアチブ

このイニシアチブは、デジタルの世界における「図書館」の将来について 1990 年代の初めに米国政府が予測した展望を反映したものである。興味深いことに、ほぼ 10 年の歳月を経た今でもこの展望は妥当性を持っている。

デジタルの世界における「図書館」は：

- 情報と人々を結ぶ分散型の知識ネットワークである。
- 書籍、音楽、ビデオ、博物館の展示品といった素材を電子データに変換して、容易なアクセスをサポートするための一連のマルチメディア・テクノロジーである。
- 教育、保健医療、輸送、および行政事務の改善を通じて、豊かな社会を作るための一

連の新しい情報サービスである。

- ネットワークが存在する場所であれば、24 時間いつでも利用できる。個人用としても、公用としても利用できる壁のない遍在的な図書館である。

イニシアチブの重要なポイント

電子図書館研究イニシアチブ (DLI) は、NSF (National Science Foundation : 全米科学財団) が主導する複数機関 (マルチエージェンシー) プログラムで、NASA や DARPA (米国国防総省高等研究計画局) といった機関が参加している。プログラムは、次の 2 つのフェーズで実施された。

フェーズ 1 (1994 年～1998 年) は、電子図書館のビジョンを実現する上で必要なコア・テクノロジーへの対応に重点を置いていた。このフェーズでは、6 つの産学共同コンソーシアムが政府機関からの助成金を得て、次世代の知識ネットワークに向けて、コンピューティング、通信、コンテンツ管理の各領域の共通部分に関するさまざまな技術上の問題点を調査した。調査の対象となったテクノロジーは次のとおりである。

音声/テキスト/画像処理技術を統合して、コンテンツによってビデオ資料を検索する技術 ;

多様な情報構造とユーザー・インターフェイスを管理する技術 ;

新しいソフトウェア・エージェントによって、遠隔地間での共同作業を可能・容易化する技術 ;

ユーザー中心の、スケーラブルな空間的広がりを持ったシステムを実現する技術 ;

分散した知識ネットワークに見られる異機種の問題と相互運用性に対応する技術 ;

複数の知識ドメインの規模に応じたデジタル貯蔵庫 (リポジトリ) を構築する技術

フェーズ 2 (1998 年～2003 年) では、新たに米国立医学図書館 (National Library of Medicine)、議会図書館 (Library of Congress)、および米国人文学基金 (National Endowment for Humanities) の政府機関が後援組織として加わったことにより、研究の目標と範囲が大幅に拡大した。この結果、プログラムの研究資源と活動範囲が拡大されることになった。プログラムの特性という意味では、純粋なテクノロジー主体のフェーズ 1 から、人間主体のシステムへと観点がシフトしたということである。フェーズ 2 の目標は、電子図書館のライフサイクル全体に関わる、以下のようなテーマを扱う研究プロジェクトを実施することにある。

- 新しい情報のオブジェクトや集合体の形式による情報や知識の構築
- アクセス、検出、サーチ、検索といった操作に利用できる新しい技術
- 長期的な使用や継続的な機能強化にも耐え得る資源
- アーカイブと保存の戦略およびツール

フェーズ 2 のプログラムでは、国際コミュニティとの共同研究プロジェクトに着手するという側面が新たに加わった。結果として、ヨーロッパおよびアジアを合わせて、十数件のプロジェクトが、このイニシアチブに参加している。フェーズ 2 は、研究者や研究機関が集まる大規模なコミュニティの場を提供しつつ、現在も継続中である。

電子政府プログラムとの関係

「電子政府」は、電子図書館イニシアチブと技術的に関連を持った NSF のプログラムで、電子図書館プログラムのフェーズ 2 とほぼ同時期に開始された。その移行期間中において、フェーズ 1 が一定の成果を収めたため、フェーズ 1 の結果を「電子政府」プログラムのテストと構築のコンセプトに応用することが、時宜を得た妥当な政策であると NSF の幹部は考えた。電子政府と電子図書館の研究には共通する課題が数多く存在する一方、専門の公共サービスとして設計する政府情報サービス固有の問題についても指摘しておく必要がある。例えば、基本的なアーキテクチャ/設計上の基準としてのセキュリティ、プライバシー、データ完全性の問題；様々なデータベースのサイズ、一般市民のさまざまな要求、および政府機関間のアクセスに対応するための情報サービスのスケーラビリティ；そして法執行・環境保護・危機管理・規制業務などの特有の応用分野などである。電子図書館の場合と同様に、電子政府のユーザーは、情報の利用者であると同時に、発信者でもある。同じく、政府も情報の提供者であると同時に、利用者（IT を購入/利用する立場）でもある。このように、2 つのプログラムの間には高度な補完関係がある。

主な成果

これらのプログラムは、現在もなお進行中であるため、成果を評価する最善の方法は、テクノロジーやインフラストラクチャにかかわる作業の範囲を見極め、IT や関連する科学、社会一般に対する影響を検証することである。6 つのコンソーシアムが成した最も大きな技術的貢献は、実験用のテストベッドを開発したことであろう。このテストベッドは、フェーズ 2 で研究を続行するための基盤となるほか、プロジェクトの内外を問わず、各研究者が実験台として利用することができる。またプログラムは、産学の研究チームが、コンピューティング、通信、およびコンテンツ産業に関連する様々な技術要素に取り組むと同

時に、それらの収束の問題についても取り組むことができた。これらの取組みは、次の各レベルの対象に対応している。

- エレクトロニクスとオプトエレクトロニクス
最も基本的なレベルである。コンピューティング・プラットフォーム、通信チャネル、およびユーザーの情報機器にわたって、情報の作成、保存、処理を行う際のビルディング・ブロック（基本要素）となる。
- 移植可能なソフトウェア/データ資源
テクノロジーの階層構造のうち、コアのレイヤーを成すものである。具体的な問題は、ローカル・データとネットワーク・データの組み合わせをはじめ、コンピューティング、コンピュータ制御のスイッチング、ルーティング、トランザクションに使うプログラム資源から、分散環境で検索できるリポジトリに使用するメタデータに至るまで多岐にわたる。
- スケーラブル・インフラストラクチャ
中間のレイヤーに相当する。プラットフォームと独立したコンピュータ言語をはじめ、データ・ネットワークに使用するアップストリーム/ダウンストリームの帯域幅、Web 環境で使用する検索エンジンの戦略といった問題が考えられる。
- 水平統合
複数のコンピューティング・プラットフォームに対応するミドルウェア、コラボレーション・ツール、音声/データの変換やマルチドメインに対応する人間主体のアプリケーションがある。
- 情報関連の商品/サービスの動的進化
ワイヤレス/ノーマディック/モバイル・コンピューティングから、個人・ビジネス・公共のデータ・リソース/サービスの統合に至るまで多岐にわたる。
- 経済モデルと新規市場
テクノロジー階層の最上位のレイヤーである。電子図書館および電子政府の研究が経済、ビジネス・サイクル、市場動向とどのように関連するかを扱う。

影響と展望

これらの研究イニシアチブは、技術面での貢献や成果に加え、長期的な研究に向けた基礎を成すデータの蓄積、実験用テストベッド、研究協力/コンソーシアムなどの形で、さまざまなインフラストラクチャを築いてきた。また、研究結果の実用化の面でも、短期間のうちに成果が現れている。しかし、最も重要な技術移転は、人材の移転である。このプログラムで研究を重ねた何百人もの研究者が産業界に入ったり、教育者として巣立っていった。中には自ら会社を興して、業界で注目を集めているところ（Google 社など）もある。

政府支援型の研究活動の成果は、最終的には、広範囲にわたる組織的・社会的利益に対する短期的および長期的な影響という基準で判断すべきものである。DL(Digital Library: 電子図書館)と DG (Digital Government: 電子政府)の各イニシアチブのもとで現在進められている研究活動のうち、最も大きな成果を上げている活動を見るだけでも、21 世紀において我々の生活のあり方がどのように変貌しているかを、ある程度まで予測することができる。例えばコミュニケーション、情報の取り扱い、学習、保健医療、商取引、仕事、物の設計/作成、研究、環境の認識、行政サービスや情報収集の方法や形態などがそれである。DL と DG の各イニシアチブは、こうした変革に向けた重要な第一歩を踏み出す上で大いに役立った。

2. バイオテクノロジー・イニシアチブ

バイオテクノロジーは、華々しい業績を収め、科学や社会にも大きく貢献したにもかかわらず、連邦政府の研究開発イニシアチブの中ではさして注目されることはなく、印象も薄かった。コンピュータ、インターネット、マルチメディアなどの喧伝に比べ、バイオテクノロジーは、ここ 10 年の間、研究開発のスポットライトを浴びることもなく、目立たない存在であった。この状況が、今まさに変わりつつある。今日、再び注目を集めるようになったバイオテクノロジーは、国の経済成長を支え、社会に真の利益をもたらす次なる担い手として、IT の座を脅かす存在になりつつある。この IT に対する挑戦は、バイオテクノロジーが自らを変革する能力を背景としたものである。従来のバイオテクノロジー/バイオエンジニアリングの事実上あらゆる部門に見られる研究開発プロセスが、コンピュータ、ネットワーク、データベースの各テクノロジーを利用しながら、完全な変貌を遂げてきた。このパラダイム・シフトの結果、従来は想像すらしなかった方向で、この分野におけるコア・ビジネスを再定義したり、範囲を拡大したり、また関連分野との相互作用の強化を図ったりできるようになっている。また変革の過程を経る中で、コンピューティングや関連する研究に対する変化の種の植え付けも果たしている。したがって、数年後には、バイオテクノロジーにおけるパラダイム・シフトが逆に作用して、その変化のきっかけを作った IT の分野にも変化を起こさせることになるかも知れない。

生物科学、コンピュータ、情報科学、およびネットワーク・テクノロジーの各分野間での相互作用の兆しは、この主張を強く示唆するものである。バイオテクノロジーに関する米国のイニシアチブ、および関連する研究について調査したところ、この種の相互作用が存在することが裏付けられた。

コンピューティングは如何に生物学を変えつつあるか

コンピューティングは、少なくとも次の 3 つの形態で生物学に影響を与えている。第一に、コンピューティング・テクノロジーが「高スループット生物学」を可能にした。例えば、コンピュータのマッチング/検索アルゴリズムは、DNA 塩基配列決定法に使われる主要テクノロジーの基盤として必要であった。第二に、コンピュータは生物学的実験に革命をもたらした。何時間も、あるいは何日もかけて実験を行う従来のラボは、一度に数万ないし数百万件の照会処理を実行できるコンピュータ・テクノロジーとソフトウェア（例えば、マイクロアレイ）に置き換わりつつある。第三は、様々なレベルの生物学情報の統合である。例えば、最先端のコンピュータ・モデリングやシミュレーション技術は、個々の生物学的要素（DNA、蛋白質、パスウェイ、ネットワーク、細胞、器官）がどのように相互作用するのかを調べる上での重要な手段となる。バイオテクノロジーが、生物学におけるシステム研究の成果の恩恵を得るようになるのは遠い先のことではない。

生物学は如何にコンピューティングを変えつつあるか

コンピューティング、情報処理、ネットワーキングの技術進歩に生物学が影響を及ぼしていることを示唆する兆候もある。生体機能に基づくコンピューティング（Bio-inspired computing）は、今やコンピュータ関連の研究の最前線にある。研究室レベルの実験では、分子をスイッチ、ワイヤ、およびメモリの各素子に作り変えることにより、従来のコンピューティング・デバイスを代替するテクノロジーの可能性が実証されている。また、生物学的な原則や材料を将来的な情報機器の機能にも応用できるかどうかを探るべく、次世代のマシン・インテリジェンスについても継続的な研究が実施されている。バイオメトリクスと知識ベース・モデリング/シミュレーションは、コンピュータ研究領域の境界を、人間中心のコンピュータ・インターフェイスと情報デリバリの方向に押し進めつつある。

イニシアチブの重要なポイント

この調査では、今日のバイオテクノロジーに多大な影響を及ぼしてきた 3 つの主要な機関間プログラムを検証する。いずれのプログラムも 1990 年代に着手されたものである。1 つ目は、"Decade of the Brain" (脳の十年) イニシアチブで、1990 年の初めに開始された。膨大なコンピュータ資源と全米の科学者の間を接続したネットワークを利用して、脳に関する知識を高める目的で計画されたものである。NSF と NIH（米国国立衛生研究所）の 2 つの連邦機関が、このイニシアチブに基づく研究に対する財政支援の多くを受け持った。このイニシアチブがもたらした最大の成果は、神経科学の研究を進めるための計算モデルが利用できるようになった点である。この分野には、数多くの研究者が流入し、最戦前での活動を続けている。しかし、その高邁な目標と数多くの業績にもかかわらず、「脳の十年」イニシアチブはそれほど注目を集めることなく終了した。多くの前線で上げた成果も革新

的技術にまで発展することはなく、財政支援も先細りになった。とは言え、これにより IT、生物学、神経科学の間に強固な関係が確立したことは間違いない。

2 つ目のイニシアチブは、"Biotechnology for the 21st Century" (21 世紀に向けたバイオテクノロジー) である。これは 1990 年代の初めに、生命科学と健康に関する連邦諮問委員会が発表した報告書により、国家規模の協調的活動の必要性が指摘されて以後、注目を集めたテーマである。このイニシアチブの目標は、バイオテクノロジー研究における米国のリーダーシップを維持/強化することにより、国内経済の成長を促進し、全国民の生活の質 (クオリティ・オブ・ライフ) を向上させることにある。研究目標の設定とプログラムの実施に責任を持つ機関合同のマネジメントチームが設置された。このチームには NSF と NIH も加わっている。このイニシアチブは、1993 年、関連ミッションを持つ他の機関の参加を得ながら、多額の初期予算をもって始動した。しかしながら、ヒトゲノム研究におけるその後の出来事により、このイニシアチブの影が薄くなったため、以降の年度における財源は期待通りのものではなかった。そうしたことはあったものの、本イニシアチブは、注目の的となったヒトゲノム・プロジェクトの成功の種を蒔くものであった。

生活の質をも変える可能性のあるヒトゲノム・プロジェクトは、しばしば米国の研究イニシアチブであるとみなされることがあるが、実際には 1990 年 10 月に、15 年間予定の国際プロジェクトとして着手されたものである。プロジェクトの基本的な目標は、50,000 ~100,000 個の遺伝子から成ると考えられているヒトゲノムの詳細な遺伝子マップを作成することにある。遺伝子マップの完成は、人体の内部機構を解き明かす上で不可欠なものと考えられており、将来の生体臨床医学やバイオテクノロジーに多大な影響を及ぼすことになると思われる。政府財源の確約に加え、遺伝子配列解明技術やコンピュータ関連ツールの技術革新、さらには専門の国際チームの努力といった要因が効を奏して、ヒトゲノム・プロジェクトは、予定より 1 年も早く、しかも決められた予算内で完了した。この予想外の成功を導いた要因は数多くあるが、二つの学問領域、すなわち IT とバイオテクノロジーの交差領域における疑うべくもない進歩はその一つである。

主な成果

調査の結果から、バイオテクノロジーとコンピュータの相互作用がもたらす利点は、単に個々のイニシアチブで定めた目標の達成だけにとどまらず、社会資本 (人材や組織的資源) の形成から、グローバル/ローカルな資源の有効利用、新しいテクノロジーや研究分野の創出に至るまで、きわめて多岐にわたることが判明した。次にいくつか例を示す。

- 研究イニシアチブの実施によって、グローバルな科学技術の研究に利用できる共有可能なデータ資源やコンピュータ関連ツールが続々と生まれ、また、新しい技術を持った製品やサービスについての研究が行われた。**GenBank** や **BLAST** を始めとするこれら資源・ツールの開発は、IT コミュニティの貢献によるものである。
- この期間中に、国は各分野の接点部分の共同研究と教育を行うための学際センターと研究所を多数設置した。こうした組織の多様性と数の豊富さは、人的/物理的なインフラストラクチャを構築する上で研究イニシアチブが果たせる役割を良く示している。
- 10 年間にわたる研究の成果として、次の 3 つの分野が生まれた。
 - ◆ 計算生物学
生物学的機能を研究するデータ分析法とコンピュータ上のモデルや実験を専門とする分野である。テクノロジーの例として、DNA マイクロアレイ、プロテインチップがある。
 - ◆ バイオインフォマティクス
コンピュータツールは、生物学・医学・保健データの利用を拡大し、生体中で行われる情報処理の仕組みを研究することができるようになった。例として、ゲノミクス、プロテオミクス、生体組織工学（ティッシュエンジニアリング）などがある。
 - ◆ 生体機能に基づくコンピューティング
生物学的/化学的物質や特性を用いて、コンピューティング・デバイス/システムを設計する分野である。例として、バイオメトリックツール、バイオ・マイクロ・ナノテクノロジーなどがある。

影響と展望

研究イニシアチブは、科学的成果とテクノロジー推進に加え、産業界に多大な影響を及ぼしている。バイオテクノロジーはこれまで、活気のある産業を生んできた。IT 主導型のポスト・ヒトゲノム研究に向けられた期待を背景に、DNA チップからプロテオミクスに至るまで広範なテクノロジー/アプリケーションの分野において数多くの企業やビジネスが生まれてきた。そのほとんどは、ジェットコースターにも似たアップダウンの激しい将来を経験することになるだろうが、やがては技術革新の道を自ら切り開き、社会にも多方面の貢献をもたらすであろう。

今回の調査からも、バイオテクノロジーの将来を方向付ける重要な分野が2つあることが明らかになった。1つは、システム生物学である。すなわち生物学的な系を取り上げ、ここに含まれる各要素を識別し、特定のモデルに従って考察し、多様なレベルから情報を捉え、それぞれの関係を検証するという分野である。あらゆるコンピュータ関連ツール、すなわち既存のツールも、新規のツールも含め、すべてを生物学のツールとして利用する。同時に、計算生物学、バイオインフォマティクス、生体機能を活用したコンピューティングといった一連の分野も、ITには不可欠の要素となりつつある。2つ目の期待される分野は、有機/分子コンピューティングである。コンピューティング技術がこれまでシリコンに依存してきたように、今、科学者は分子を集めて基礎的な回路素子やスイッチに組み立てることにより、ナノサーキットやナノテクノロジーといった新しい世界の方向性を模索している。将来的には、これが生物学、材料科学、ITの各分野の融合する領域となる。現段階では、まだ研究室レベルにすぎない。ただし、ヒトゲノム・プロジェクトのような新たな研究イニシアチブが登場して、強力な推進力になることも考えられる。

3. インフラストラクチャとツールのイニシアチブ

インフラストラクチャとツールのイニシアチブは、前の2つのテーマとは多少異なるアプローチで捉えることが必要である。研究対象となる直接的なイニシアチブとは異なり、ここでは研究活動に向けた資源やツールの利用を目的とした国内のインフラストラクチャ整備という点を中心に考察する。具体的には、あらゆる分野で重要視されるようになってきたコンピューティング、通信、ネットワーク、情報収集といった機能を中心に検証する。長年にわたって米国政府は、個々の機関の関心とミッションに基づいた形で、こうしたイニシアチブを立ち上げてきた。1970年代に誕生したインターネットも、国防総省が研究委託先を電子的に接続するというプロジェクトの結果として生まれたものだった。ここ10年ほどで政府は、国家のコンピュータ/情報インフラストラクチャを一新する方向で、必要な政策、戦略、計画の策定に向けて一段と強力なアプローチを取るようになった。今回の調査から、こうした努力が多大な成果を上げていることが明らかになった。

プログラムの重要なポイント

1980年代半ばから21世紀への変わり目にかけて、米国政府では、ITを中心とした国の研究開発能力の向上を図るべく、一連の対策（ときに、消極的なこともあったが）を講じてきた。約15年の間に、ニュー・エコノミーの盛衰と連動して、数々の研究開発インフラストラクチャのイニシアチブが実施された。例えば、次のようなイニシアチブが挙げられる。

- HPCC（高性能コンピューティング&コミュニケーション・イニシアチブ）は、当初、米国内に 4 か所あるスーパーコンピューティング・センターに向けた財政支援を維持する目的で設置されたが、やがて、あらゆる専門分野におけるコンピュータ科学に応用できるコンピューティング/通信インフラストラクチャを中心とした研究開発プログラムとして、著しい成果を上げるようになった。このプログラムに対する財政支援はそれほど多額ではなかったため、その資金の大部分は、各関連機関がそれぞれ実施している現行のプログラムの予算から捻出された。最初の数年間は、米国経済が不振に喘いでいた時期に一致する。しかし緊縮期にあっても、計画担当者や熱意あるプログラム・マネージャの仕事は減速されることはなかった。
- インターネットの普及に伴い、政府はこの技術を科学者だけに限らず、一般国民が利用できる遍在的な資源として発展させることの重要性を認識するようになった。こうした背景のもとに NII（National Information Infrastructure: 国家情報インフラストラクチャ）が誕生した。NII は、HPCC のコンピュータ/通信テクノロジーと関連するソフトウェア・ツールを基盤として構築されたイニシアチブである。本来の趣旨は、教育、商取引、エネルギー管理、医療、行政へのアクセスといった国民に直結した問題の解決策として「国家的課題」に対応することにある。これらの目標は、現在でも IT R&D（IT 研究開発）国家プログラムの指針として生かされている。
- HPCC と NII が急速に前進するに伴い、インターネットの混雑と非効率の問題が顕著になってきた。こうした懸念をきっかけとして、政府は次世代インターネット（NGI）プログラムを開始した。NGI は、次の 3 点を目標としたイニシアチブである。

- (1) 次世代ネットワーキング・テクノロジーを構築する
- (2) 国の最先端の研究機関に、最高水準のネットワーク接続を提供する
- (3) 社会ニーズに応えられる画期的なアプリケーションの開発に向けた研究活動を支援する

このプログラムは、米国の好景気と時期を同じくして実施されたため、関連する予算や方針を管理する機関からは全面的な財政支援が得られた。これは、当時進行中のドット・コム・ブームにも貢献した面がある。

- 21 世紀への変わり目にあたる 2 年間、IT R&D には、インフラストラクチャやツール開発も含め、広範な分野にわたって多額の財政支援が行われた。新規の研究開発プログラムが続々と開始されたのはこの期間である。IT インフラストラクチャに関する研究

活動には、継続的に高い優先度が与えられていた。新しい"**TeraScale**" (テラスケール) コンピューティング・プロジェクトや新規の"**Middleware for Networking**" (ネットワーク用ミドルウェア) プログラムはその例である。ネットワークは、依然として連邦政府の計画立案の上で、大きな比重を占めている。実際、今年 (2001 年) になって、IT R&D プログラムは、"**NITRD**" (**Networking and Information Technology Research and Development**: ネットワーキング/情報技術研究開発) プログラムと改称された。

主な成果

インフラストラクチャ・プログラムの成否は、IT への貢献度だけにとどまらず、社会資本、規模の経済 (スケール・メリット)、資源の有効利用、社会との連携といった多様な観点から評価される。それらの成果としては、例えば次のようなものがある。

- ・ 全国規模でコンピュータ/データ資源を相互接続した巨大な **Web** 構造が確立された。例えば、スーパーコンピュータのアプリケーション・センター、実験用テラ・グリッド施設、科学技術向けの大規模なデータ資源 (ゲノムバンク、プロテインバンクなど) がある。
- ・ これまで、さまざまな研究グループによって、多岐にわたるアプリケーションに向けたコンピュータ関連ツールが単独で、または共同で開発されてきた。これらのツールは、多様な科学分野に及ぶ研究 (現在進行中の活動、または将来的な研究を問わず) で規模/範囲の経済を達成する上でも不可欠の要素となる。
- ・ 産官学の緊密な協力によって、厳しい管理のもとに個々のイニシアチブが開発され、実施された。これらのプログラムは、単に研究活動の次元にとどまらず、あらゆる開発工程で人材と社会資本が有効に活用できるようにするために、教育とトレーニングという側面も重視された。
- ・ あらゆる種類の協力関係がプログラムの価値を高めた。プログラムの実行過程で、産業界、非営利の公共団体、海外とのリンクなどがすべて不可欠の要素となった。例えば、**Internet2/Abilene** は、産学共同のコンソーシアムによって次世代のインターネット・アーキテクチャがどのように方向付けられるかを実証するプロジェクトである。このプロジェクトで使用する **STAR TAP** (**Science, Technology, And Research Transit Point**) プログラムは、世界中の主なネットワークと協力ベースで相互接続されている。

影響と展望

最近の米国経済は、激しく上下変動を繰り返しているが、基本的な底力は失われていないようである。この点は、IT インフラストラクチャの分野に対する多大な投資に起因する部分が多い。こうした投資による主な影響は、次の4つの観点から捉えることができる。

- ・ 科学技術分野

IT インフラストラクチャとツールは、生物学や材料科学といった科学分野が、コンピュータによる研究を主体とした段階へ進化するための手段を提供した。

- ・ 産業分野

コンピューティング・通信・コンテンツの収束の加速、および Web ブラウザや検索エンジンといった新しい事業領域の創出などの効果がある。

- ・ 国内経済

電子商取引のためのソフトウェアやプログラミング言語/ツールの開発、企業組織やビジネス・モデルの再編に向けた原動力、将来的な知識ベース経済を構築するための主導権獲得などの効果がある。

- ・ 社会

計算中心から情報デリバリのレベルへと至るプログラムの発展は、一般国民に多大な影響を及ぼした。HPCC から NII、さらには NGI へと移り変わる中で、人間中心のシステムに向けての資源の移行とシフトがあったことは、一般国民の目に大きな展望を与えるものとして映った。

結論

近年、米国政府が提唱しているイニシアチブの影響を評価するにあたり、本報告書で提案する5つの基準から判断すると、すでに数多くの利点の実現されていることがわかる。すべてのイニシアチブが、新技術の融合や創造を促進する上で大きく貢献してきた。社会資本の形成の面でも多大な影響があるが、個別のイニシアチブごとに果たしてきた役割も多少異なる。

規模と範囲の経済が実現されると、このイニシアチブのもとで構築された資源を背景として、アプリケーションの利用が大衆ユーザーの間に広がり、分野やビジネスの境界を越えて普及するため、インフラストラクチャとツールのイニシアチブには大きな効果がある。いずれのイニシアチブも、地域、国内、海外に分散した資源を有効利用しながら、より高

度な目標の達成と相互協力の促進を図ってきた。最終的に、社会に対する影響は、すべてのプログラムで明確に認識された。これらのプログラムがもたらした恩恵を一般市民の期待する領域に生かしていくには、政府の内外を問わず、あらゆる関係者が解決すべき大きな課題が残されている。

提言

この調査から学んだ事柄を基にして、過去 10 年間の米国のイニシアチブの有用な経験から、日本が適切に何かを学べるかという視点で、幾つかのコメントを述べる。

1. 政府の立法・行政部門に影響を与え得る様々な政策開発・提言組織を確立する。
2. 長期的な研究投資として、海外から優秀な人材を招き入れる。このためには、高等教育機関や研究機関における国際化が必要となる。
3. 民間セクターの資金を研究開発に活用する。例えば、非営利組織（財団など）からの支援。
4. 適切な環境と報奨制度を整備することにより、学際的な研究を育成する。
5. 米国における情報技術研究開発国家調整局（NCO）、バイオテクノロジー・イニシアチブ、新しいナノテクノロジー・イニシアチブ（NNCO）などをモデルとして機関横断的なプログラム・イニシアチブを強化する。多くの場合、複数機関が連携して新規研究活動支援の予算枠の拡大を目指して予算編成プロセスでの協力を図ることで実現される。成功の鍵は、各参加機関の間で、ミッション、資源、専門知識における相互補完能力があることを明瞭に述べ、実際に示せるかどうかにかかっている。

米国における最近の IT 重点分野に関する調査

1. はじめに

技術革新は、現代社会における経済発展を支える基盤となるものである。これまで多くの学者や政策立案者が、技術革新にとって有利な環境を整備するには、活気のある市場をはじめ、財政や法律の面で健全な政策、科学技術に対する積極的な投資の継続といった社会整備が必要であると指摘してきた。公共セクターおよび民間セクターの両方におけるこうした努力は不可欠であると同時に、一国の研究開発投資において相互に相互補完的な役割を果たしている。先進国はいずれも、多少の違いはあれ、この道を辿って自国の経済競争力や国民の生活水準を維持してきた。IT の普及とともに途上国も、山や谷はありながらも、先進国に劣らぬ積極性をもって同じ戦略を追求している。

この数十年の間に、数多くの技術が、技術革新の舞台に登場してきた。トランジスタ、パーソナル・コンピュータ、最新の医療機器などである。新しい技術が登場するたびに、それなりの衝撃を与えたが、我々の実生活においてプラスとマイナスの両面で影響をもたらした例はほとんどなかった。インターネットが導入される前までは、インターネットがもたらす変革のスピードを越える技術、あるいは技術革新やビジネスのあり方を根本から変えるテクノロジーは存在しなかった。ところが、1990 年代のインターネットの普及は、世界の「技術革新の方程式」を根本から覆した。米国は、既に 1980 年代の後期から終わりにおいて、この画期的な技術が国家の将来や国民の幸福に根本的な影響を及ぼすに違いないことを予見していた。連邦政府が、国家の技術レベルや経済競争力のさまざまな側面に幅広く影響する数々の研究開発プログラムに着手し出したのは、まさにこの時期である。本報告書の中心的課題は、この分野での戦略的思考、実行計画、その影響を捉えることである。

岐路に立つ米国

米国では一般に、1990 年代に見られた経済成長の大部分は、インターネットとそれに関連する技術やビジネスによって支えられたものと考えられている。少なくとも、この間に見られた雇用創出や株式市場高騰に関する統計数値はこうした見解を支持していると思われる。ある時期、インターネットとニュー・エコノミーが同義で使われることもあった。ところが、21 世紀を迎えると、突然、ドット・コム・バブルと米国経済が崩壊し、国家の研究開発投資も危機的状況になった。そして 2002 年を迎え、新たな IT ベース経済が完全な崩壊から回復に向かいつつある今日、米国は大きな岐路に立たされている。

- ◆ 米国内の企業倒産、および個人破産の件数は、2001年には最悪の水準に達した。データを見れば、最悪の事態は過ぎていない可能性もある。一方、消費者の信頼は戻りつつあり、これが回復傾向を支えるようになっている。
- ◆ 通信業界は今混乱状態にある。大量解雇（コンピュータ部門以外で数千人規模）、ベンチャー・ビジネスの失敗例、および組織の再編や倒産が原因となって、多くの企業で混乱を来している。業界の競争と成長の刺激策として 1999 年に制定された電気通信法は、期待通りの効果が現れていない。しかし、この混乱を是正する努力は、行政と民間の両部門で続けられている。今、ブロードバンドの実現を目指して、各者が激しい戦いを繰り広げている。この需要が実質的な行動に結び付くことが望まれる。
- ◆ 失業率は安定状態にはあるものの、依然として約 5.8%という景気後退時の高い水準にある。これは労働市場にとって圧力となることに加え、消費者支出や全体の回復にとって脅威になり得る。一方、ここ十年の間に構造上の変化を遂げた結果として、国家の生産力は安定成長を続けている。インターネットや IT が、概してその役割を果たしてきたことは間違いない。
- ◆ 景気減速が進む中、9 月 11 日に起きた同時多発テロの行為は、これまで長きにわたって繁栄と安定と安全を当然のものとして享受してきた国家にとっては、前代未聞の驚くべき衝撃であった。事件を機に国の優先順位には確実な変化が生じた。2003 年度の政府予算では、大統領が研究開発活動に関する優先順位のアウトラインを決定した。最優先課題は反テロ対策である。これは、大きな予算が先端技術開拓からテロリズム対策にシフトされるということである。しかしながら、幸いにも、生命科学や医療をはじめ、ネットワーキング、IT、気候変動、およびナノテクノロジーといった分野における研究開発も高い優先順位を確保することができた。例えば、国家の基礎研究活動を推進する 2 つの機関、米国国立衛生研究所 (National Institutes of Health) と 全 米 科 学 財 団 (National Science Foundation) には、高い要求予算の伸び（前者が 15%増、後者が 5%増）が割り当てられた。

強さの核心

米国がいつ、どのようにしてこの岐路を切り抜け、経済の回復基調を取り戻すかについて厳密に論じることは、学問的な研究課題であり、この報告書の範囲を越える。しかし、

この重要な局面にあって、過去10余年にわたり研究開発活動の方向性を決めてきた要因、影響力、圧力などを明らかにすることによって、興味深い洞察を導くことができる。ニュー・エコノミーの懐胎、誕生、繁栄、衰退というプロセスを経て、今まさに再起の機を窺う時期にある。この重要な展望への道を開くために、まず研究開発の政策と実施を支える強さの核心を明らかにする必要がある。

第一に、連邦政府は、多岐の分野にわたる研究開発イニシアチブの面で強いリーダーシップを発揮している。その結果を単純に論じるわけには行かないが、政府のリーダーシップは、ITの分野では不可欠の要素と言える。特に、ITがバイオテクノロジーやナノテクノロジーといった各分野で相互に関係する領域では、このリーダーシップが一段と重要になってくる。この報告書で取り上げるイニシアチブの場合、リーダーシップは幾つかの形を取っているが、いずれの場合においても、複数の機関が連携して、プログラムの定義、計画、実施の各プロセスにおいて、相互に協力している点は共通する。関連する組織が協力して、教育機関や国の研究機関などから成る研究コミュニティに参加する。多局間の調整によって資源、管理に関する専門知識、およびリスクを共有化できる結果、成功の可能性が高まると同時に、コスト削減と業務の効率化も実現できる。こうした取組みには重要な教訓が含まれている。

第二に、連邦政府のリーダーシップに加え、研究開発の活動を支えるパートナーとして常に州政府や業界の役割がある。場合によっては州政府が連邦政府プログラムより先に、準備作業を始めることもあるが、通常は地方政府が追従する形で、連邦政府プログラムの維持/補完に努める。これも国家規模の主要プログラムを成功させる上での重要な要素であろう。

第三に米国は、科学、技術、人文科学の各分野を通じて、研究開発の活動にかかわる相当な部分が個人的な寄付によって支えられている数少ない国の一つと言えよう。こうした個人的な資金による貢献は巨額にのぼり、貴重な財源となる。このような資金には大きく分けて二種類のものがある：すなわち、ベンチャー・キャピタルと非営利組織からの寄付である。2000年度において、米国のベンチャー・キャピタルは、新興の業界に携わる企業に向けて約1,000億ドル規模の投資を行なった（日本では約70億ドル相当）。このうち実際の研究開発に充当される部分はわずかに過ぎないが、それがしばしば技術革新の触媒となる。ベンチャー・キャピタルの規模が毎年変動するのは言うまでもない。もう一つの私的資金は、非営利組織、または個人からの寄付によるものである。こうした寄付の大半は、研究機関、教育機関、インフラを支援する目的で、主に大学に向けて拠出されるものである。最高レベルの研究を実施している大学では、しばしば、それらの多額の寄付の結果として得られた成果の中から、次の研究プログラムに向けて相当な財源を確保している。

2001 年度の主な大学における資金の額は次の通りである：ハーバード大学: 180 億ドル、MIT: 60 億ドル、カリフォルニア大学: 47 億ドル。こうした非政府関連の財源は、伝統的な分野の強化という意味で効果があり、また、学際的な新しい研究を支援するためにも用いられる。そして、それは新規分野への迅速な移行を実現する上で重要な要素となる。

第四に、米国は IT やバイオテクノロジーなどの重要技術において、他国から頭脳流入の利得を得ている。米国の大学では、分野を問わず 350,000 人に及ぶ留学生を受け入れている。この大半は、産業界で最も必要とされているハイテク分野の学生である。この結果、人材プールの強化、研究形態の多様化、競争環境の確立といった付加価値が得られる。この人材資源は、定量化するのは困難だが、大いに強調すべき資源である。

最後に、国の研究開発に関する政策決定プロセスの一部を構成しているが見過ごされがちな要素として、技術評価と政策開発分野で活動している様々な非政府組織の存在がある。その顕著な例が、NRC (National Research Council: 学術研究会議) である。NRC の CTSB (Computer and Communications Board: コンピュータ/通信委員会) では、過去数年にわたって、IT 分野における国の研究開発に向けた投資戦略にも多大な影響を与えるような、目覚ましい研究結果や報告書を発表してきた [G2・G5]。その他にも同様な組織が多数存在する (WTEC など)。これらは影響力の点では一歩譲るものの、同じように有益な役目を果たしている。これら組織の声は全体として、技術革新を政策レベルで支える強力で効果的な影響を及ぼしている。

評価基準

本報告書の以下では、IT に関連する最近の国家的イニシアチブを 3 つの分野において具体的に調査する：

- (1) 電子図書館と電子政府
- (2) バイオテクノロジー、
- (3) インフラストラクチャとツール

それぞれの技術分野について我々が発すべき基本的な質問は以下の通りである：

- a. どのような融合が起こったか、また起こっているか。
- b. どのような新しいコンセプト、メカニズム、または構造が作り出されたか。
- c. 融合を引き起こしたキーとなる技術は何か。

- d. IT自体にどのような変化や展開が現れたか。
- e. この分野や関連する分野や関連産業にどのような影響を及ぼしたか。
- f. 技術を利用する人々や社会にどのような影響があったか。
- g. 日本のリーダーへの助言として、イニシアチブから何が学べるか。

3つのテーマにおける上記の質問に対して、米国の研究開発環境や強さに関する正しい文脈において、答えて行くことが求められる。そのために、一連の評価基準を以下に提案する。これらは、上記のいずれかの質問またはその組み合わせに関連しているものとして選んだものである。また、これらの基準は全体として、これらのイニシアチブにおいて技術革新に至るネットワーク・パスを特徴付けるものである。

加速化するテクノロジーの収束と創造

数多くの古い技術、新しい技術、出現しつつある技術が3つの分野でそれぞれの役割を果たしている。まず第一に、もっとも重要なものは、コンピューティング技術と通信技術の収束である。これは、インターネットが、時と場所を超えて、誰もがいつでもどこからでも利用できるデジタル・コンテンツを提供するようになるとともに加速された。第二に、コンピューティングと生物学の間で成長しつつある劇的な相互作用である。これはバイオテクノロジーの範囲を文字通り再定義してしまった。そして、今やコンピューティングの将来に対して挑戦状を突き付けようとさえしている。最後は、単なる計算能力よりも情報デリバリのための新技術の発展に重心が移りつつあることである。

「社会資本」の形成と利用

研究者の個々の生産性を向上させるツールやデータ資源などの物的資本と同様に、「社会資本」も技術革新実現のための主要な要素である。社会資本は、相互の利益のための調整および共同作業を促進するネットワーク、規準、および信用などの社会組織の機能などを指す。当該分野では、インターネットが可能にした様々なパートナーシップ、データや特殊な装置、大規模なインフラストラクチャなどの共有可能な資源が社会資本の例である。人的資源も多様性、関係、および創造性を促進する上で社会資本の重要な要素である。

新たな「規模と範囲の経済」の実現

いろいろな方法でインターネット環境は、研究および技術開発における規模の経済性を再定義する。システム・パフォーマンスを向上するための従来の考え方は、コンピュータの速度やネットワークの帯域幅のパラメータ(より多くのハードウェア要素を加えることによる)に注目していたが、ネットワーク化された環境では、別のパラメータに着目することが求められる。別のパラメータとは、多数のユーザー、そして彼らと多様なデータとのインタラクションである。これは新しい規模の経済と言える。同じ変化は、科学的な領域

全般（たとえば、生物学から材料科学に至るまで）、または、表面的には異なる産業全般（生物学からナノテクノロジーに至るまで）において同じ計算資源を用いて経済的利益を達成する状況にも当てはまる。

国内外/地域の資源の有効利用

国民国家の優位性は、今後もしばらくの間、続くものと思われる。研究開発プログラムにも同じことが言える。国家のイニシアチブは、国境を越えた広がりを目指すというより、国益を中心に打ち立てるのが基本である。これは、何も米国に限ったことではない。EUでさえ、国家の優先プログラムがEU支援のプロジェクトと共存している。しかしながら、大規模または最先端の研究開発ではコストおよび有効性を考慮すると、グローバルな共同作業が求められる。一方、文化および歴史に固有なもの（たとえば、デジタル・コンテンツあるいは言語インターフェイス）への地方的・地域的な投資も成功への道かもしれない。これらの資源の利用とバランスを保つことが、国家的計画を管理する上で重要な要素である。

産業界や社会とのつながり

これは、公的資金によるプロジェクトにおいて常に重きを置かれる判断基準である。とりわけ、経済的な奇跡とともに時に痛みをもたらすインパクトを伴ってきたIT関連プログラムでは、知識の進歩のもたらす利益が産業界や一般市民にいかにか素早く移転されるかによって、プログラムの有効性が注意深く評価されるであろう。

日本は何処へ？

次の3つの章では、米国で最近実施された3つの国家イニシアチブについて詳しく説明し、さらに上述の評価基準に従って分析と評価を行う。同様な分析は、正しい文脈設定の下で、日本における取組みについても実施することができるであろう。

日本も今、米国と似たような岐路に立たされている。日本は、ここ10年間、多岐にわたる構造改革、ビジネスの後退、高い失業率、消費者の信頼喪失などの問題が複雑に絡み合い、長引く不況に喘いでいる。原因はおそらく多面的なものであろう。しかしながら、日本がIT革命の最前線に留まらなかったことが主な原因であるとする見方は多い。この分野における今後の努力によって、事態が好転することが期待されている。

皮肉なことに、自信を失った日本が、技術革新に不可欠となるさまざまな分野でその強さの兆候を示している。まず、数年前に制定された科学技術に関する新しい法律によって、

新研究開発の財政支援、ベンチャー投資、高等教育改革を促すための扉が開かれた。また行政機関の再編成は、プログラムの開発や実施の面に向けて、集中管理を強化したり、効果的なリーダーシップを発揮させる上でのきっかけとなる。さらに重要なことには、民間セクターでは技術革新が継続しており、世界の羨望を集めている。たとえば、ウォークマンを越えるソニーのヒット商品をはじめ、モバイル通信の業界で開発の続く高度なテクノロジー/ビジネス・モード、特に今や欧米にまで広がりつつある i モード・サービスや第 3 世代携帯通信技術などが挙げられる。さらに技術革新全般にわたって、業界の底力が失われないのも驚異的な事実である。2001 年に米国特許商標局(U.S. Patents and Trademark Office)が発表した統計（暫定版）によると、日本は過去 10 年間と同様、米国特許の取得国として常に上位にランクされている。全世界の企業で、上位 10 社のうち、日本企業が 7 社(NEC、キャノン、松下、ソニー、日立、三菱、富士通)を占めている。特許とは有用な発明であり、技術的進歩や経済の発展のために大きく貢献するものである。この点において、日本と同じ位置に付きたいと願う先進国の数は多い。

本報告書では、こうした文脈において調査の結果を記し、分析を展開して行く。

2. 電子図書館と電子政府イニシアチブ

要約

電子図書館研究イニシアチブは、米国で実施されている機関横断プロジェクトのうちで多大な影響力を持つものの1つである。電子図書館プログラムは、比較的少なめの財源で多岐にわたる目標を達成することにより、驚くべき成功を収めたため、今では模範的なイニシアチブとされている。この章では、電子図書館の着想と成功に結び付けた要因、および相互作用について考察する。また関連する電子政府イニシアチブについても、同時に取り上げる。

2.1 プログラムの進展

ここではまず、電子図書館と電子政府の一般的な領域で実施されている研究活動に関する背景、周囲の環境、起源について簡単に振り返る。具体的には、これらのイニシアチブが国内の関連機関が協力する形で計画され、実施されるに至った背景について、知的資源、戦略、プログラムといった観点から検証する。これらのイニシアチブのもとで進められている研究プログラムは、多くの政府機関や民間企業にとって年間予算の相当部分を占めるようになった半面、こうした成果を上げるまでの道のりは、仮に結果論的にいかに刺激的な効果があっても、決して平坦なものとは言えない。こうした経験を背景として、今後の同様な取組みに向けた洞察と明確なガイドラインが得られるものと考ええる。

A. 電子図書館研究イニシアチブ - フェーズ I: 行動のとき

インターネットの商用化が始まって、約10年間が経過した1990年代の初頭に、World Wide Webは、単にビジネスの領域だけに限らず、一般国民にとっても重要な情報源となりつつあった。今、文明社会における生活のあらゆる局面で不可欠の要素になるまで普及したインターネットの指数関数的な成長が始まったのが、ちょうどこの頃である。半面、こうした急成長は、一般には予想も付かなかったような問題点も生んできた。まず、もともとアナログの形式であった情報がデジタル化されたことにより、ネットワークに情報の洪水が起きるようになった点である。第二に、インターネットで利用できるデジタル・データが増大するに従って、情報の真偽を見分けることが一段と難しくなった点が挙げられる。同時に、ネットワークに素材を提供するマルチメディア・テクノロジーの普及も、問題をなお深刻化している。たとえば、素材の新旧や公開/未公開を問わず、多様な形態のデ

デジタル・ソースが考えられる。具体的には、参考資料、書籍、刊行物、新聞、電話帳、地図、音声、画像、ビデオ・クリップ、科学データ、個人情報サービス（株式市場レポートなど）である。これらの情報源は、インターネットをはじめ、当時登場しつつあったその他のタイプのコンピュータ・ネットワークで可能になった結果、やがて登場してくる汎用アクセスに対応した電子図書館の重要な要素となった。

電子図書館イニシアチブは、産官学を問わず、あらゆるセクターで注目を集めたテクノロジー/アプリケーション/ユーザーのこのような結節点という背景の下で研究テーマとして登場した。全米の大学の研究/教育プログラムを支援している NSF（National Science Foundation: 全米科学財団）ではまず、デジタル時代における汎用的な情報アクセスの障害となる要素を取り除くべきである点が指摘された。また NSF は、単にネットワークの全てのユーザーや全てのデータの間を結んだだけでは、電子図書館の可能性を十分に引き出したことにならないことも理解していた。つまり、経済的な活力のあるネットワークの力を蓄え、多岐にわたる分散したソースに現存している情報や新しい素材から成る膨大なデータベースをデジタル化する必要がある。この場合、使いやすく、コスト効果に優れた方法で、情報の保存、サーチ、処理、検索、配布といった新しい機能が不可欠になってくる。これには特に、基礎研究と「知的」ソフトウェアの開発が必須の条件となる。こうした発想が端緒となって、各機関連携で実施している電子図書館研究イニシアチブ (DLI) のフェーズ I が形成された。

機関連携（ジョイント・エージェンシー）プログラム

1 年間に及ぶ集中的な検討を加えた結果、NSF の「情報/ロボット工学/インテリジェント・システム」部門では 1994 年、電子図書館について大規模な研究イニシアチブ[DL3]を実施すると発表した。この機関連携プログラムの目標は、情報の洪水をデジタル時代のライブラリに変身させるという、単純、かつ壮大なものである。NSF では、NASA（米国航空宇宙局）や DARPA（米国国防総省高等研究計画局）など複数の関連機関の資源を有効利用しながら、この野心とリスクに富んだプロジェクトを推進すべく、必要な財源と管理体制の両面からの調整を行った。イニシアチブの目標に向けて 3 つの機関は、研究の方向性を決める指針として、技術面と設計面にかかわる一連の概念についてまず、共通の認識を持つことに努めた。また電子図書館について、現在でも通用する次のような長期ビジョンも示している。

- ・ 電子図書館は、インターネット環境における情報資源、物理的資源、人材を相互接続する分散型の知識ネットワークである。

- 電子図書館は、多様な形式のデータの集まりを、様々なニーズを持つ様々なレベルのユーザが容易にアクセスできる「知識リポジトリ」（貯蔵庫）に変換するための一連のマルチメディア・テクノロジーである。
- 電子図書館は、教育、健康管理、輸送、および行政事務の改善を通じて、豊かな社会を作るための一連の新しい情報サービスである。
- 電子図書館は、パーソナルかつ、公共的かつ、ユビキタス（遍在的）である。それは壁のない図書館であり、ネットワークと接続してさえいればどこからでも、24 時間いつでも利用できる。

資金援助対象プロジェクト

DLI プログラムには、以下のようなビルトインされた明確な特徴があり、それが目標達成に貢献した。まず数年間に及ぶ研究活動で、安定したコスト効果のある財源が確保できるように計画されている。第二に、産業界のチームとその他の民間パートナーで構成した大学主導型コンソーシアムを対象に助成金を拠出している。第三に、いずれのコンソーシアムもプロジェクトの要件として、具体的なコンテンツを中心にテストを実施した研究用の電子図書館を開発するという点である。これらの実験用のテストベッドは、後で研究やその他の目的で一般からもアクセスできるようにする。表 2.1 に DLI-I が財政支援を提供している各研究コンソーシアムについて要約してある。

表 2.1 NSF 主導の機関連携電子図書館研究プロジェクト

主導する研究所 (合計支援額)	主な研究パートナー	テストベッド の内容	技術的特長
Carnegie Mellon University (480 万ドル)	Microsoft、DEC、Bell Atlantic、QED Communications、CNN、Open University、バージニア州フェアファックス公立学校	各種メディア対応のデジタル・ビデオ(数学、科学、ニュース記事)	デジタル・ビデオ検索に向けた音声、テキスト、画像処理の統合
University of California, Berkeley (400 万ドル)	Xerox、カリフォルニア州資源局、カリフォルニア州立図書館、ソノマ郡立図書館、サンディエゴ行政団体、The Plumas Corp.、シャスタ郡教育局、HP	環境データベース	多様な情報構造と画期的なユーザー・インターフェイス
University of Michigan (400 万ドル)	IBM、Elsevier Science、Apple Computer、Bellcore、UMI International、McGraw-Hill、Encyclopaedia Britannica、Kodak、Mellon and Kellogg Foundations	地球/宇宙関連のマルチメディア	インテリジェント・エージェント/コラボレーション・テクノロジー
University of California, Santa Barbara (400 万ドル)	State University of New York – Buffalo、University of Maine、業界パートナー	地理情報画像や地図を含む	ユーザー主体の空間システム
Stanford University (360 万ドル)	Association for Computing Machinery、Bellcore、Dialog、EIT、HP、ITC、Interval Research、O'Reilly and Associates、WAIS Inc.、NASA Ames、Xerox PARC、Hitachi America	統合仮想図書館のアーキテクチャとテクノロジー	異機種対応と相互運用性
University of Illinois, Urbana-Champaign (400 万ドル)	National Center for Supercomputing Applications、University of Arizona、IEEE、American Physics Society、John Wiley & Sons、U.S. News and World Report	科学技術関連誌	各知識ドメインを対象としたデジタル・リポジトリのスケールアップ

プログラム管理

DLI の学際的な特性とその支援のために機関横断的にプールされた資源が確保されるため、プログラム管理の作業は控え目に言っても、やりがいのある仕事である。NSF ではプロジェクトの最初の段階ですでに、すべての参加全機関から専門知識やその他の資源を効果的に利用した総合的な管理チームを編成すべきである点を認識していた。この NSF が管理下に設置するこの管理チームが計画、プログラムの発表、プロジェクトの選択、研究結果の評価といったプロセス全体を監視するほか、財務面や技術面での総合的な管理を担

当した。また管理チームでは、6 つの研究コンソーシアムが、個別の技術的な目標を達成すると同時に、全体の総和として最大限の効果が得られるように、画期的なプロセスを考案した。たとえば、"Principle Investigators Conference"（代表研究者会議）を設置し、最新の研究成果を発表する機会とした。この会議は、6 つのサイトが 6 か月ごとに順に持ち回りでホスト役を務める。また、幾つかのワーキング・グループを設け、共通に関心のある重要テーマを担当することとした。具体的なテーマは以下の通りである：ユーザー・インターフェイス、メタデータ、電子図書館の利用に伴う条件、DLI の研究成果の商用化に関する技術移転の問題。

B. DLI-II への移行

初期の DLI イニシアチブ（後の"DLI-I"として知られる）が順調な滑り出しを見せた結果、今後の知識ネットワークがどのような形態になるのか、また研究コミュニティがその目的を達成するために、どのような貢献ができるかに関する詳細設計ができ上がった。これにより一般国民は、電子図書館が社会に幅広く応用できる大きな可能性を秘めていることを認識するようになった。国際的にも、各研究コミュニティが、世界的規模で相互に作用した結果、現在では電子図書館が、境界を越えたコラボレーションの必要な共通した展望であるという認識が定着しつつある。こうして、DLI-I のプロジェクトが始まったばかりの段階で、NSF の管理は早くも後続のプログラムに速やかに、しかも慎重に移行することになった。DLI-I プロジェクトの最初の 1 年間で、機関連携の管理チームは、2 つの戦略的な対策を取った。まずフォローアップ・イニシアチブの技術的な範囲と枠組みを中心に調査する企画作業グループを設置した。このグループは、電子図書館イニシアチブの第 2 フェーズ（DLI-II）の基礎を構築した[DL2]。2 つ目は、NSF の上層部との連携によって、新しいイニシアチブを支持する政府機関や民間企業を募る一連の対策を実施した。こうした対策により、新たに参加を決めた政府機関が増えた結果、DLI のあり方と範囲が大きく様変わりすることになった。同時に、国家規模のコンピューティング/ネットワーク・インフラ（第 4 章参照）の開発が急ピッチで進められたことにより、電子図書館テクノロジーが持つ多様な用途を探る研究プログラムが積極的に実施されるようになった。

範囲の拡大

1998 年、DLI-I プログラムの完了とともに、目的、範囲、実現の戦略がまったく異なる新たなプログラムとして"DLI-II"が発表された。NSF の発表[DL4]では、次の目標が提唱されている。

- ・ 電子図書館関連で有望と思われる分野で、研究/実験活動を選択的に拡張する
- ・ デジタル・コンテンツや作品の開発、管理、およびアクセスを効率化する
- ・ あらゆるユーザー・コミュニティ（既存/新規のコミュニティ、ユーザーの教育レベルなどを問わず）を対象にサービスを提供できるように電子図書館の可能性と機会を開発する
- ・ 多様な社会的/組織的状况で、人と電子図書館の間で交わされる相互作用に関する研究を強化する

DLI-Iの流れを継承したDLI-IIでは、プロジェクトの主眼も、純粋な技術面重視型から、より人間主体型システムへとシフトしている。たとえばDLI-IIでは、電子図書館のライフサイクル全体を通じて、次のような問題の解決を目指している。

- 新しい形態の情報オブジェクトや作品に関する情報/知識を構築する
- 情報のアクセス、検索、サーチ、抽出に利用できる新しいテクノロジーを開発する
- 長期的な利用／継続的改良に対応できる資源を保持する
- アーカイブ/保存に関する戦略とツールを開発する

表 2.2 に、DLI-I と DLI-II が相互に補完し合うそれぞれの目標をまとめている。

表 2.2 DLI-I と DLI-II の比較

要素	<i>DLI-I (1994～1998 年)</i>	<i>DLI-II (1998～2003 年)</i>
研究	・ ネットワーク環境におけるデジタル・コンテンツ管理の基盤 ・ コンピュータ科学/情報科学における広範なテーマ	・ DLI-Iおよび関連する活動で提案されたアジェンダの洗練化 ・ コンピューティング、通信、コンテンツ・テクノロジーの統合に向けたステップ
テストベッド	・ 電子図書館の研究	・ 相互運用性、テクノロジー統合、アプリケーションを重視した電子図書館の研究
コンテンツ/作品	・ 業界の研究パートナー、民間企業からの支援	・ 研究パートナー/プロジェクト・スポンサーからの支援 ・ コンテンツ開発、メタデータ、タイプ標準、知的所有権の管理強化
インフラ	・ 制限された運用機能 ・ 第1世代のインターネット上での構築	・ ドメイン/コミュニティ・ユーザーにとって価値のある収蔵物を含む電子図書館の運用 ・ 次世代インターネットでの構築
コンテキスト	・ 基本技術開発/評価	・ ドメイン/社会的コンテキストにおける電子図書館の理解 ・ 人間中心のシステムとしての電子図書館

プログラムの適用範囲と研究の焦点の拡大

DLI-II プログラムには、新しい特長がいくつか見られる。まず、財政支援を提供する機関の数が大きく増大した。DLI-I の 3 つの主要機関（主導機関の NSF、NASA、および DARPA）に加え、NLM（米国国立医学図書館）、議会図書館、米国人文学基金（National Endowment for Humanities）も共同スポンサーとして参加している。これら 3 つの機関の共同スポンサーとしての参加により、プログラムの特性と対象範囲は大きく影響を受けることになった。プログラムに対する財政面/運用面での資源が拡大しただけに限らず、それぞれの機関が持つ専門知識、応用範囲、社会的な利用価値が相乗効果を発揮して DLI-II がみずからの目標を達成する可能性が大きく広がった。

DLI-I の主導機関である NSF をはじめ、NASA と DARPA の支援機関が引き続きリーダーシップを取って、DLI-II の技術面に関する枠組みを取り決めた。研究分野は、概略として次の 3 つのテーマに分類された。

・ 人間主体の研究

デジタル情報の作成、検索、利用に伴うユーザー側の操作を改善し、目標達成に向けた画期的なアプローチを開発できるように、電子図書館が持つ影響や潜在能力に関する認識をさらに深める。たとえば、次のようなテーマを中心とした研究を行う。

- 情報の検索、サーチ、表現などに利用できる新しい手法やソフトウェア
- インテリジェントなユーザー・インターフェイス
- コラボレーション・テクノロジー
- ユーザー/有用性の研究
- 教育/生涯学習での利用
- 経済/社会的な利用価値

・ コンテンツ/作品ベースの研究

新しいデジタル・コンテンツ/作品に対する理解とアクセスの強化を目指す。次のようなテーマを中心に研究を行う。

- データの効率的な収集、表現、保存
- メタデータの管理

- 種類の異なるコンテンツ/作品の相互運用性
- ドメイン固有の情報オブジェクト
- 新しいデジタル資源に対応するビジネス・モデル
- 教材の開発とアクセス

・ システム主体の研究

個人、グループ、機関の各レベルで、柔軟性と即応性のあるダイナミックな情報環境を実現するためのコンポーネント・テクノロジーと統合技術を中心とした研究を実施する。主な研究のテーマは次の通りである。

- 新しい情報環境に対応できる画期的でオープンなネットワーク・アーキテクチャ
- システムのスケーラビリティ、連携、拡張性、構築、相互運用性
- ネットワーク/通信
- 電子図書館の進化を支えるミドルウェア

DLI-II に対する財源の特長

電子図書館イニシアチブのフェーズ 2 (DLI-II) は、DLI-I に比べ、規模と範囲の両面で格段に大きくなっている。総額 400 百万ドルの予算を求めて、提案数 230 件の応募（従来の 3 倍に相当）があったが、実際に予算割り当てを獲得した提案は 24 に過ぎない。この 24 のプロジェクトでは、DLI-I の 6 コンソーシアム・プロジェクトの総額に比べ、2 倍相当の財源が確保できた結果、取り上げるテーマやメディアの種類も当然、大きく拡大されている。活動範囲、財政支援、多様性が広がったことは、この分野の成熟度をはじめ、一般的な認識、DLI-I プロジェクトの貢献度がともに高まっていることを反映したものである（この点については後述する）。これに呼応して、個々の新規プロジェクトでも、当初の意図どおり、研究の対象範囲も大きく拡大された。たとえば、新しいタイプのメディアをテーマとして次のプロジェクトが進められている。

- 人間の音声の録音: ミシガン州立大学(Michigan State University)
- 音楽メディア: ジョンズ・ホプキンズ大学(Johns Hopkins University)
- 政治/経済データの記録: ハーバード大学(Harvard University)
- ソフトウェアとデータの統合: サウスカロライナ大学(University of South Carolina)

また、次の新しい分野におけるコンテンツを扱ったプロジェクトもある。

- 人類学のモデルおよびイメージ: テキサス大学(University of Texas)
- 文芸作品: ケンタッキー大学の文学(University of Kentucky)
- 患者/医療の管理: コロンビア大学(Columbia University)
- 民俗文学の管理: カリフォルニア大学デービス校(University of California Davis)

最後に、DLI-II プロジェクトによっては、まったく新しい技術分野の研究を行っているものもある。たとえば、次の通りである。

- 相互運用性/データ・セキュリティの問題: コーネル大学(Cornell University)
- 自動分類処理: アリゾナ大学(University of Arizona)
- 情報フィルタ処理: インディアナ大学(Indiana University)
- 比較的新しい領域であるデータ出典管理: ペンシルバニア大学(University of Pennsylvania)

これ以外にも、テーマの範囲とメディアの利用範囲の拡大を目指すプロジェクトも進められている。たとえば、コロンビア大学(Columbia University)では、患者情報の医療分野で画期的な要約方法の開発が実施されている。24 のプロジェクトをはじめ、研究内容の説明、連絡先に関する情報は、次の NSF DLI-II Web サイトで確認できる。:
<http://www.dli2.nsf.gov>

支援活動と相互交流

DLI-II には、その幅の広さと豊富さ以外に、2 つの特長がある。1 つは細部に渡る広範な活動（具体的には大学教育における研究活動の統合）、そしてもう 1 つは共同研究用に向けた国際パートナーシップの確立という点である。NSF の教育/人材委員会 (Education and Human Resources Directorate) では、電子図書館の研究活動と教育用テストベッドを連携させる道を探るために、具体的な教育目標を定めたプロジェクトの支援に向け追加予算を提供する形で DLI-II プログラムに参加した。電子図書館の研究には、後述するとおり、国のあらゆるレベルでの教育に最も重大な影響を潜在的に及ぼす可能性がある。DLI-II のもとで、国内の伝統的な研究コミュニティにとらわれることのない、重要で画期的なパートナーシップは、コラボレーション・プロジェクトを通じて世界の DL 研究コミュニテ

ィにアクセスできる公式リンクにもなる。DLI-II を補足する個別のプログラムが開発され、これが米国の研究グループと他国のパートナーの間で数多くの共同研究プロジェクトを支援するようになった。表 2.3 に、DLI-II が海外の協力機関と共同で確立した新しいパートナーシップで実施するプロジェクトの特長をまとめている。

表 2.3 DLI-II の国際的活動の要約

<u>国内機関</u>	<u>海外パートナー</u>	<u>研究対象</u>
University of California at Berkeley	University of Liverpool (英国)	テキスト/数値/空間データの検索と使用に対応するメタデータ
Cornell University コンピュータ科学部	University of Bristol (英国) Distributed Systems Technology Center (オーストラリア)	テクノロジーの習得とリモート学習
Cornell University、 Los Alamos National Laboratory	Southampton University (英国)	オープン・サイテーション
Harvard University、 University of Missouri、 Tufts University	Planck Institute for the History of Science (ドイツ)	機械工学の歴史の電子図書館
University of Massachusetts	King's College (英国)	オンライン音楽認識および 検索
University of Michigan	University of Leeds (英国)	長期デジタル・アクセス/保存 の技術エミュレーション
University of Michigan、Cornell University	State Library of Lower Saxony、University Library of Gottingen (ドイツ)	数学学術論文の分散電子図 書館
Michigan State University	Institut Fondemental d'Afrique Noire、West African Research Center (アフリカ)	西アフリカ関連多言語電子 図書館
State University of New York – Buffalo	National Institute for Informatics (日本) University of Nantes (フランス)	メタデータ・モデル、資源発 見、多次元データベースの照 会
Simmons College	Tsinghua University)、Nat'l Taiwan Univ、Academia Sinica - Taiwan、Peking University、 Jiao-Tong University (中国)	中国研究に関するグローバ ルな電子図書館
University of Virginia	University of Trier (ドイツ)	全文アーカイブ/中世ドイツ 辞書の共同研究
University of Wisconsin	Office for Library and Information Networking (英国)	インターネット探索: ネット ワーク環境情報検索のため 新手法

C. Mosaic から電子政府に至るまでの進化

1990 年の初めにインターネットが、研究コミュニティの間で支配的なコミュニケーション・モードとして定着するに伴い、行政機関が市民に向けてよりよい情報アクセスやサービスを提供することが、しだいに重要性を帯びてくるようになった。科学分野の業績や技術革新が急速な進化を遂げるようになって、米国社会は、膨大な情報と知識源が渦巻く環境の中で生活や仕事をする世界への急速なパラダイム・シフトに備えるようになった。このパラダイム・シフトをきっかけに数多くの機会が生まれた半面、行政機関には一般市民に提供する情報サービスを根本的に改善するという課題に直面することになった。最初のインターネット・ブラウザと言われる Mosaic が登場して何年は、連邦政府、州政府、地方政府が一体になって、わかりやすく迅速で、安全と正確さに優れた相互のやり取りを求める市民からの期待に応えようと努力を続けた。残念ながら、この目標は最初の段階から捉えにくい特性があった。このイニシアチブを実現するには、技術面と文化面での障害があった。政府機関は本来、変化への対応が遅いという特徴がある。教育機関や産業界とは異なり、あらゆるレベルの行政機関で、迅速な変化と改善を実行する上で必要な研究開発に向けて投資を敢行するための資源と専門知識が欠落していた。

産官学合同の研究開発活動で共通のリンクを作るという初めての試みとして、Federal World Wide Web (WWW) Consortium (連邦政府 WWW コンソーシアム) が設置された。このコンソーシアムは、当初大学コミュニティ向け（主に Mosaic の誕生した National Center for Supercomputing Applications で使用する）の WWW テクノロジーを開発するという具体的な目的をもって 1994 年に設置された。当時、このコンソーシアムは、きわめて厳しい予算で運営されていた。およそ 10 の連邦政府機関が予算をプールし、この資金を用いて、斬新で改良された情報サービスの実現に向けて World Wide Web 上で独自のアプリケーションの迅速な開発を行った。この間、存続に向けて努力が続けられたコンソーシアムが成功を収めたことで、今日の電子政府プログラムの原型が形成された。

以降、数年間にわたって、コンソーシアムは電子政府プログラムに関する研究課題を形成する際にリーダーシップを発揮した結果、IT を通じて、政府や関連情報に対するアクセス方法に劇的な変化をもたらすための基礎が確立した。この研究課題を定義する資料の 1 つに、"Workshop on Research and Development Opportunities in Federal Information Services"が発行した 1997 年の報告書がある[DG2]。この報告書によって、以降の電子政府(DG)に関連する NSF プログラム・イニシアチブに向けた基礎が構築され、現在では一般市民に向けて数多くの行政機関がさまざまな情報サービスを提供している。

行政情報サービス固有の特性

電子政府に関する数々の研究開発活動が、DLI-I や DLI-II といった各プログラムとの共通部分を持っている一方、実行、配布、応用などの面では個々に違いがある。1997 年の報告書では、21 世紀の電子政府に向けた情報サービスに固有の特性が言及されている。これは、いわば電子政府研究イニシアチブのバックボーンに相当する部分であるため、その特性について以下に要約しておく。

- ・ 主要なアーキテクチャ/設計基準

セキュリティ/プライバシー/保全性/ジャーナル/複製などの面が関連する。民間企業とは異なり、行政機関がセキュリティ、プライバシー、機密の暴露などから営利業務を行ってはいない。

- ・ 規模

データベースの規模、機関間のアクセス、分散システム・ネットワークなどに関する課題がある。民間企業とは異なり、行政機関には、あらゆる業種に存在するコア・ビジネスというものがない。

- ・ 顧客は市民

アクセスの平等性、商習慣に倣ったサービス・レベル、仮想機関、週 7 日・1 日 24 時間ベースの業務、データの品質、多言語サポート、および情報公開といった課題がある。政府は、いつでも誰にでも公開されていなければならない。

- ・ IT の顧客は政府

ベンダー各社からの調達、厳密な入札要件の適合といった問題である。協力、技術革新、競争の促進に努める必要がある。

- ・ 固有のシステムとアプリケーション

法執行、環境保護、特許/商標管理、危機管理、規制業務といった課題がある。政府は、独自のサービスを提供する唯一の情報プロバイダーである。

こうした特殊なニーズに基づいて、同報告書では数々の提言を行っている。この多くが、後に電子政府研究イニシアチブで採用されている。このうち、本報告書で後述する事項について重要な提案を示唆しているものがある。

- ・ 優先課題を重視した複数機関の調整
これにより、複数の機関の持つ様々なミッションを通じた革新技術の幅広い適用と普及に向けた機会が最大限に広がる。
- ・ 研究コミュニティに向けた参加の呼びかけ
これにより、将来的な行政サービスの開発を国内で最高水準の研究者に委託することができる。
- ・ 研究者と連邦サービス・プロバイダの文化的ギャップの橋渡し
単に物理的な資源だけに限らず、教育/トレーニング・プログラムへの投資も必要になる。
- ・ 最先端技術のパイロット・プロジェクトの開始/財政支援
実現可能性や適用性を実証できる。

電子政府研究の要素

上記の試みは、1999 年に NSF が行った各機関連携型の電子政府研究プロジェクトの発表という形で終結した[DG4]。このイニシアチブのもとで財政支援を受けたプロジェクトは、比較的最近のものであるが、技術面での利用範囲は多様で、しかも集中している。表 2.4 で、各研究分野（発表時点での対象分野）、および DLI-I や DLI-II などの他のイニシアチブとの関係をまとめてある。

表 2.4 電子政府イニシアチブに関する研究分野

テーマ	説明	事例
知的情報の統合	• オントロジーの共有 • マルチメディア・データの仲介 • コラボレーション・ツール	• 行政データのコンテンツ検索 • 危機管理用情報システム
超大規模データ収集/管理	• 地理、生物学、環境、経済のデータ/メタデータの収集、統合、表示、保全のための技術	• 70 を超える機関でリンクされた統計データ・ソースへのアクセス • 危機管理用マスター・データ・センター
大規模データ収集に向けた最新鋭の分析	• 多様なデータ分析に対応するインフラ • 複雑な大規模データ・セットの視覚化	• 市民向けデータ・マイニング・ファシリティ/コンピューティング・サービス • 危機管理のためのオンデマンド情報サービス
電子商取引に関する技術	• 行政と市民に共通するトランザクション・メディア • データの保全性と認証技術 • バッチ・トランザクションからオンライン・システムへの移行戦略	• WWW 経由で提供される電子サービス • いつでもトランザクションを実行できるように一般サイトへキオスクを分散化 • 多様な領域に対応した公開鍵テクノロジーの実証
一般市民/顧客向け情報サービス	• 人とコンピュータのインタラクション強化、視覚化、プレゼンテーション	• 多様なサービスに対応するキオスク・ベースのアクセス • 多様な物理的機能を完備した市民向け汎用アクセス
法律、規制、特定任務向け IT アプリケーション	• 当該機関固有の情報の調査、保存、アクセス、管理	• アーカイブ、記録の管理、保護 • 市民の声を反映した法執行と規制を支援するシステム
大規模な行政研究開発プロジェクト向け情報サービス	• 当該任務/機関間の国家的大規模プロジェクト向けのエンジニアリング・ソフトウェア/その他のコンピューティング・サービス	• NASA 発射装置の監視/管理 • 国勢調査局の統合データ・サービス • 社会保障制度と保健サービスをリンクした情報サービス

2.2 電子図書館/電子政府イニシアチブの分析

ここでは、電子図書館と電子政府研究のプログラムについて、次の2つの観点から検証する。すなわちイニシアチブの背後で作用する力、および科学技術/社会に対するこれらのプログラムの影響という点から考察する。

A. イニシアチブ背後の力

電子図書館や電子政府のイニシアチブなど、連邦政府レベルで実施されるプログラムの主な推進力は、少なくとも 2 つ考えられる。すなわち技術的な統合に向けた力と社会のニーズである。これらの力はいずれも、従来の国家研究開発プログラムを形成する上で重要な役割を果たしてきたが、インターネットの出現/急成長とともに、この 2 つの力は、連邦政府主導の研究開発プログラムを変化させる上で、さらに大きく作用するようになった。

技術的な収束

1990 年代のインターネットは、文字通りコンピュータ、通信、およびコンテンツ（メディア）の業界のあり方を根本から覆した。すなわちここ 10 年の業界の動きが明確に示すとおり、個々の領域がそれぞれ他の 2 つ領域に進出し合った結果、3 つの領域が共存する方向を模索（存続か衰退かの選択）しなければならない。コンピュータ業界と通信業界は長年にわたって、収束しつつあったが、技術面と規制面の壁にその動きを阻まれていたため、収束のペースはゆるやかだった。とは言え、それぞれの業界が技術的な進化を果たしたことにより、専門分野の収束が始まり、それぞれのビジネス・モデルも相互に重複し、補完し合う方向で複雑に入り組むようになってきた。コンピューティングと通信の統合は、過去 10 年間、情報産業の変革を生む種の役割を果たした一方、インターネットの出現によって、まったく新しい次元で技術的な収束が進んだ結果、従来までは想像すらできなかったレベルで全てを包含するようなヒューマン・インタラクションを提供するメディアの形態が誕生することになった。デジタル・コンテンツ、特にテキスト、音声、音楽、イメージ、画像、ビデオなどといった電子オブジェクトを含む膨大で、あちこちに分散した多様なメディアが、コンピューティングと通信の相互成長の原動力となっている。この 3 方向の収束という動きは、世界規模で各業界の統合と再編が進む傾向からも窺うことができる。こうした業界再編の例は、コンピュータ・ソフトウェア業界からコンテンツ配布や電子商取引の世界に進出した Microsoft、家電製品から娯楽やネットワーク商品/サービスの業界に乗り出したソニー、コンテンツの制作から放送/インターネット・サービスにまで手を広げたディズニーなど、枚挙にいとまがない。ユニークな例としては、デジタル・コンテンツと通信/ソフトウェア・エンジニアリング・テクノロジー、さらには創造的なビジネス・モデルの統合という側面で創意と技術革新の力を実証した、日本の通信業界の巨人 NTT による i モード・ビジネスでの爆発的な成功がある。

社会的な原動力

一方、インターネットの力が学界や産業界に広く浸透しても、米国の国民一般が、その恩恵に浴するには至らなかった。いかに IT の発展とインターネットの普及が進もうと、一般国民にとっての関心事はさまざまなレベルで如何に品質のよい教育、医療、行政の各サービスにアクセスできるかにあった。インターネット上で適切な情報を検索する際に生じる技術的な障壁だけでも、とても解決できる問題ではなかった。1999 年、Steve Lawrence と Steve Giles の両氏が実施した調査（Nature, Volume 400 <http://www.metrics.com>）では、公開されている World Wide Web のうち、検索エンジンのインデックスはわずか 16%に過ぎないことが明らかになった。インターネットが社会に投げかけた 1 つの課題として、従来の図書館、公文書館、歴史的/同時代の収蔵物の所有者が、こうした収集物をすべてデジタル・フォームに変換/保持していくことに伴う技術面/運用面での問題点が挙げられる。デジタル・コンテンツの制作と利用を促進する上で、知的所有権の対応という緊急の課題もある。

さらに深刻なものとして、国民が自分たちの生活に重要な政府情報を容易に得ることを妨げる障害が存在した。つい最近まで、政府関連の情報は、入手できなかったり、不十分であったり、陳腐であったり、複雑すぎたりしていたのである。主に行政機関の数の多さと複雑さの故に、必要な情報を検索し、所定のトランザクションを実行するには、情報入手先に関する個人的知識および専門知識、そして忍耐が必要とされた。明らかに、より効率的で、効果的な電子政府の実現に向けて、大いなる飛躍を遂げるべき時期であった。

B. 研究プログラムの影響

これらの研究プログラムは、現在も進行中であるため、正式な調査に基づいた体系的/客観的な評価ができるわけではない。したがって、本報告書の分析は、あくまで私的な観察に基づく定性的なものに過ぎないことをお断りしておく。

技術革新

DL および DG 研究が、これまでどのような貢献をもたらしたか、また今後数年の間にどのような形で寄与できるかについて分析する最善の方法は、コンピューティング、通信、コンテンツの各業界に共通する横断的な問題について、各プロジェクトがいかに総合的にアプローチしているかを検証することである。最も基本的なレベルにはエレクトロニクス

があり、最近ではオプトエレクトロニクスという分野が加わるようになっている。これは必ずしも、DLとDGのプログラムで核をなす分野ではないが、情報の作成、保存、処理を行う上でビルディング・ブロックの役割を果たす。DLとDGにおける新たな開発研究はいずれも各分野に相当な影響がある。次のレベルには、移植可能なオペレーティング・システム、ソフトウェア、およびデータ資源という問題がある。これは中核的な研究分野であり、現在、これを中心としてさまざまな技術革新プロジェクトやテクノロジーの研究が進められている。3つ目はスケーラブル・インフラという領域である。これは、新たなプラットフォーム、プログラム、ユーザー・インタラクションが登場した場合でも、規模の経済性を保持するための基盤となるものである。この領域には、水平統合という問題が関連する場合がある。ここでは、各種のプラットフォームやプログラミング・システムを対象としたデータ・フォーマット、通信様式、ヒューマン・インターフェイスのさまざまな組み合わせについて検討する。もう1つは、商品やサービスのダイナミックな進化にかかわる問題である。この問題は、DLやDGの研究が、テクノロジー自体はもとより、ユーザーの要件や要望といった絶えず変化する背景状況にも対応しなければならない点で、最も独自性があり、しかも大きな成果を期待できる領域である。最後に、研究の成果として生まれる優れたテクノロジーは、健全な経済モデルの確立と新規市場の開拓によってバックアップする必要がある。表2.5に、DLとDGのプログラムで対応/開発の対象となったコンポーネントの研究/テクノロジーを中心に、分野をまたがる問題の概要と詳細をまとめてある。

表 2.5 IT 業界を対象に電子図書館(DL)/電子政府(DG)研究イニシアチブで
対応/開発したコンポーネント

テーマ	IT		
	コンピューティング	通信	コンテンツ
エレクトロニクス/オプトエレクトロニクス	プロセッサ、メモリ、二次ストレージ	新しいオプティカル・スイッチ/ファイバー・ネットワーク	信号、テキスト、音声、画像、音楽、ビデオをすべてデータ・ビット化
移植可能なオペレーティング・システム、ソフトウェア、データ資源	データ/プログラムなどのローカル資源とネットワーク資源の融合	コンピュータ制御スイッチング、ルーティング、トランザクション	圧縮ビット、検索可能なデータベース、分散リポジトリ、メタデータ
スケーラブル・インフラ	プラットフォームに依存しないプログラミング言語、Java など	アップストリーム/ダウンストリーム帯域幅、ビジネス/ホーム・ユーザーへの代替アクセス	マルチメディア・コンテンツ用のブラウザ、検索エンジンの強化、Google など
水平統合	プラットフォーム、メディア・コンテンツ、アプリケーション全般のミドルウェア、コラボレーション・テクノロジー	音声/データの変換、多様性、機能、効率化に向けた統合ネットワーク	従来の垂直統合型コンテンツの境界を越えた多様な人間主体アプリケーション
商品/サービスのダイナミックな進化	PC、ラップトップが情報アライアンスに座を譲る。分散コンピューティング資源への遍在アクセス	時空や文化の境界を越えたノーマディック・モバイル接続、セキュリティと信頼性に優れた接続	ユーザー中心の情報サービスに、娯楽、ビジネス、個人/行政データを統合
経済モデルと新規市場	高度に分散した設計、生産、サービスの運用	データ、情報、ユーザー・インタラクションを提供する新しい付加価値市場	行政、家庭、ビジネス向けの多様なデジタル・コンテンツで価値を生む新しいネットワーク・モデル

Google - 成功例

表 2.5 は、IT 業界と DL/DG 研究の関係をまとめたものだが、DLI-I の研究活動の中から数々の成功例も生まれている。また、研究活動の中から誕生した学生起業家が、それぞれ独自のビジネスを展開しているケースもある。最も顕著なのは、こうした活動をきっかけに新たに設立された Google 社の例であろう。当時、一般には知られてはいなかったが、強力な検索エンジン、Google は、DLI-I イニシアチブのもとでスタンフォード大学が実施していた Infobus 研究プロジェクトの中で開発されたことから、後で多大な成功を収めることになる。1995 年、スタンフォード大学で Infobus プロジェクトが開始された当時、Google の共同創業者、Larry Page と Sergey Brin は、コンピュータ科学専攻の大学院生

だった。1998年にはすでに大学寮の中で、"BackRub"（特定のWebサイトにアクセスする「バック・リンク」を解析する"Google"の前身とも言うべき機能）という新しい検索技術の研究を始めていた。以降の話は周知のとおりである。現在、Google社は大きな成功を収めている（Page氏とBrin氏は、いずれもまだ博士課程を修了していないのは言うまでもない）。また同社のブランド名でもあるGoogleは、世界中で最も多様性のある検索エンジンとして、幅広く利用されている。

Googleを成功に導いた理由は、いくつか数字を見ると、明らかになる。まず1998年の創立当初は、1日あたりのクエリー件数は10,000件程度だった。現在では、1日あたりのクエリー件数は1億5,000万件を超え、Webページの検索件数は20億以上にのぼる。全部で74か国語に対応したグローバルなトラフィックをサポートするほか、1か月あたりの独自のユーザー数は2,100万人を超える。Googleの検索エンジン自体も今や、ワイヤレス通信業界の最先端で利用され、特殊なモバイル・インターネット標準（iモードやJ-Skyとの互換性があるHTMLなど）を必要とするサービスを提供している。

両創立者が振り返るとおり(<http://www.google.com/corporate/facts.html>)、Googleの成功要因は、多様な技術革新（表2.5参照）と、大学院時代に開発/完成したビジネス・モデルによるところが大きい。Googleの成功におけるDLI-I研究プログラムとスタンフォード大学プロジェクトの果たした役割は、偶然のたまものには違いないが、決定的な影響力があったのも事実である。

一般社会への影響

技術面での成功に加え、政府支援型の研究活動がもたらす究極的な成果は、組織や社会にとっての多様な利益という基準で、短期的/長期的な観点から評価する必要がある。電子図書館イニシアチブの例では、総じて、研究開発インフラに多大な影響を及ぼす重要な成果が得られた。

・ D-Libテスト・スイート

D-Libテスト・スイートとは、電子図書館、電子政府、情報管理、コラボレーション・テクノロジー、関連技術を中心とした研究活動で、インターネット上で利用できる一連の実験用テストベッドのことである。D-Libテスト・スイートを利用することにより、研究グループには次の利点を得られる。

- (1) 新しい研究者が参入するときの壁が低くなる。
- (2) 標準的なデータ・セットが用意されているため、定量的な比較研究に利用できる。
- (3) 相互運用性や分散処理に対応した実験用のプラットフォームが提供される。

このテスト・スイートのテストベッドには、5つの大学主導型 DLI-I コンソーシアムが開発した一連の資源とソフトウェア・システムが含まれている。特に、カーネギーメロン大学のインフォメディア・デジタル・ビデオと口語ドキュメント・テストベッドには、何千時間に及ぶ CNN ニュースやその他のメディア・ソースによるコンテンツ・インデックス付きのビデオ記事が収められている。全世界の研究グループが、情報検索用のビデオ・ストリーミングや音声/イメージ統合テクノロジーの研究に向けて、これらの素材を利用している。D-Lib テスト・スイートの詳細については、次の Web サイトを参照されたい。：
www.dlib.org/test-suite/overview.html

・ オンライン全米電子図書館の開発

DLI 研究がきっかけとなって、国立の図書館、博物館をはじめ、その他の文化/歴史に関連する公文書館に対する関心や投資が増大するようになっている。顕著な例は議会図書館で、DLI-II 研究の共同スポンサーとしても貢献している。全部で 2,000 万点を超える収蔵物（書籍、フィルム、音声録音など）に、国内外を問わず、一般市民がどこからでもオンラインでアクセスできる電子図書館プログラムを開発してきた（<http://www.loc.gov/loc/ndlf/digital.html> 参照）。

・ 新しい「電子図書館員」の育成

新しい連邦研究プログラムは、新たに出現する研究分野にも即応できるように、学会の研究機関が独自の研究/教育組織の再編を進めるための牽引役になることがある。電子図書館イニシアチブには、こうした効果もある。最近では、国内の多くの大学機関が、従来の「図書館学」を見直して、図書館の研究と情報科学とを統合した新たな分野を確立すべく、個々の専門分野や学部の改革に着手しているところもある。たとえば、ミシガン大学では、図書館学とコンピュータ科学の資源を統合した新しい学部として、情報学部（School of Information, www.si.umich.edu）を設置するという大胆な対策を取っている。新しい教育カリキュラムと研究プログラムでは、これら 2 つの分野の統合と相互補完を反映する方向で改訂されている。これ以外にも、カリフォルニア大学バークレー校や UCLA など、数

多くの大学がそれぞれ独自の方向で改革を進めている。今後 10 年もすると、次世代の電子図書館員が IT の最先端の頭脳労働者として活躍する姿を目にするようになるだろう。

電子政府の領域では現在、行政関連の情報やサービスをあらゆるレベルで提供できる e アクセスへの移行が急ピッチで進められている。この場合、DG 研究プログラムで定められた研究テーマは、担当機関が与えられた予算と時間の制限の中で利用できる最善のテクノロジーと資源を有効利用しながら、取るべき方向を決める指針やロードマップの役割を果たす。実際に、連邦政府の各機関ではいずれも、独自の Web サイトを用意してオンライン・トランザクションなど各種の情報源やサービスを提供している。次に、最も顕著な事例を紹介する。

- ・ First.gov ポータル (www.first.gov)

あらゆるレベルの米国政府（国外の行政機関も含め）に関する最も総合的な情報を提供する Web サイトである。ユーザーはわずか 3 回のクリック操作で市民、事業、政府に関する業務や雇用に関する多様なゲートウェイにアクセスできる。たとえば、市民のゲートウェイでは、医療サービス、消費者の保護、連邦州行政の給付金制度などについて詳しい情報を参照できる。また、事業関連のゲートウェイでは、融資、行政機関による購買、税務、法規、職場環境の問題に関する情報を検索できる。

- ・ NSF の FastLane (www.fastlane.nsf.gov)

NSF では、助成金の申請や交付の管理業務に向けて、連邦政府全体で最新鋭の情報サービス・システムを開発した。FastLane は、NSF との共同作業にかかわる研究者、検証担当者、管理者などを含め、NSF や関連するクライアント・コミュニティを支援するための Web ベースのシステムである。NSF では FastLane により、インターネットを利用して、業務を実施したり、一般向けに情報を配布したりできる。また助成金申請の受理から、提案の精査、交付の管理に至るまで、FastLane の多様な機能を利用して、さまざまな業務を双方向で実行できるようになっている。FastLane には、セキュリティや電子署名のための暗号化など、数多くの高度なテクノロジーが組み込まれている。任務の内容が似た各連邦政府機関どおしが、相互に監視/観察し合う効果も得られる。

2.3 将来の展望

今後は、どのような展開が予測されるのか。電子図書館(DL)と電子政府(DG)の研究イニシアチブは、ITの潜在能力を引き出しつつ、ネットワーク関連の技術革新に向けて、新たな道を探り、ひいては社会的な貢献に結び付けるまでの国家的な取り組みの第一歩に過ぎない。PITAC（大統領直属情報技術諮問委員会）は、1999年に発行した報告書の中で、国民1人1人が米国社会に積極的に参加し、情報化時代の恩恵に浴するための基本的な前提条件として、"National Challenge Transformations"（国家規模の課題に伴う変革）に伴う重要課題を10項目提案した。これ以降、発表された電子図書館/電子政府に関する報告書ではいずれも、新しい情報化時代に向けて連邦政府が実施する研究開発関連の投資に関する基本的な指針として、この10項目を基準に挙げている。表2.6に、こうした変革を目標として将来的な発展を導く方向性を決める上に、これまでDLとDGの各プログラムがどのように貢献してきたかをまとめている。

表 2.6 電子図書館(DL)/電子政府(DG)がもたらす社会的変革

形態の変化	DLとDG研究の技術的課題(例)	DLとDGによる利点(例)
1. コミュニケーション	- コンピュータと人のインターフェイスの改善 - グローバルなDLの接続	インターネット・ユーザーは、世界中のあらゆる言語でも対話可能
2. 情報の扱い	- データ・アクセス手段の改善 - 情報の電子分散に対応する上での方針	各種ネットワーク・メディア（書籍、刊行物、テレビ放送）に対する遍在アクセス
3. 学習	- スケーラブルなコンピューティング・インフラとデータ・リポジトリ - 教材と学習方法の開発用ソフトウェア	世界中の児童生徒が議会図書館、大英博物館、民族学博物館（大阪）にアクセスできる
4. 商取引	- 電子トランザクションの改善に向けたセキュリティ、プライバシー、信頼性の強化 - 情報インフラ/物理インフラの統合	- 消費者は、安心して電子トランザクションを実行できる - 消費者がアクセス/共有できるDL/DGインフラ
5. 仕事	- 仕事とトレーニングを統合するネットワークとインフラの整備 - グループの相互作用とコラボレーションを支援するソフトウェア	- 仕事に関連する資料や教材に対するオンライン・アクセス - 進歩的な職場とは、電子図書館と同義
6. 健康管理	- 情報リポジトリのプライバシーの保証 - ネットワーク化した医療情報/治療システムの開発	- 患者は、生体臨床医学情報システムにアクセスして正確な自己診断と適切な判断が可能 - 医療手順を遠隔地で実証可能
7. 物の設計と作成	- CADソフトウェアの開発 - 設計/製造に向けた仮想現実テクノロジー	- すべてのエンジニアリング設計アーカイブ/製造手法に対するe-アクセス - 異文化の交流は創造性の鍵
8. 研究	- コラボレーション・テクノロジーの開発 - 地球計算グリッドの作成	- ネットワークを介して時空/国境を越えたデータ/資源の共有が可能 - あらゆる資料がオンラインで利用可能
9. 環境への対応	- 気候や環境の研究に向けた計算モデル - 環境監視用のネットワーク・データ・システム	- エネルギー/環境保護のための重要な資源となるDL - 政策決定機関への適切な情報提供
10. 行政	- ネットワークを介して機密データを伝達できるような改良されたシステム - 電子政府への市民参加を促進する教育/トレーニング・プログラム	- 行政サービスや情報が、場所、コンピュータ運用能力、身体能力を問わず、すべての市民に提供される - 危機管理の強化

出典: PITAC 報告書”Information Technology Research: Investing in our Future”(情報技術の研究: 未来への投資)[I4]を基に作成

3. バイオテクノロジーのイニシアチブ

要約

この数年、コンピュータ、ネットワーク、生物学の間に生じてきた相互作用は、おそらくバイオテクノロジーにおける最も重要な成果の 1 つだろう。これは情報技術の新しい時代の幕開けとなる可能性もある。本章では、この相互作用に影響を与えてきた米国の主要なプログラムについて検討する。説明の重点は研究開発に置くが、このようなプログラムが産業と一般社会にもたらす利益についても検討する。

3.1 IT に迫るバイオテクノロジー

バイオテクノロジーは、どのような基準に照してもすでに極めて将来性の高い活気に満ちた分野となっている。Ernest & Young による 2000 年 5 月の報告書によると、バイオテクノロジー産業は近年急成長を遂げ、その規模は 1993 年から 1999 年までの間に倍増している。この成長の大部分は、薬品、農業、環境に関連して現在研究と開発が進められている製品から生じるバイオテクノロジーの潜在的可能性に起因するものである。この数年、バイオテクノロジー産業は米国経済に大きく貢献してきた。1999 年には、バイオテクノロジー産業は以下の成果をもたらしている。

- ・ 470 億ドルの直接総収入。
- ・ 米国における 50 万件の雇用には、バイオテクノロジー関連企業に物資とサービスを提供する企業によって発生した職が含まれる。
- ・ 110 億ドルの研究開発支出は、バイオテクノロジー産業による直接投資のみの数字である。
- ・ 約 9,000 件の特許が新たに承認された（過去 10 年間では、わずか 3,000 件である）。

皮肉なことに、このような成果は、その重要性にもかかわらず 1990 年代に情報技術 (IT) 産業に注がれたような注目を集めるには至らなかった。その間、世間の熱い視線はもっぱらコンピュータ、インターネット、マルチメディアに注がれていた。1 つの問題点として、バイオテクノロジー産業全体が、長い間存続していながら依然として利益を上げられていないことがある。外部の人たちはこの産業を疑いの目で眺めており、今後も、ジェットコースターのような浮沈の激しい先行きが続くと感じている。そして、国の経済に対する財政的な貢献という面では実際は非常に小規模であり、やはり小規模な産業である IT 産業と比べても規模は下回っている (IT 産業も高々 7~8% にすぎないが、商務省によれば、IT 産業はピーク時の 1998~1999 年には雇用規模の増加率で 30~40% を示した。)

しかし、このような小規模で力強さに欠ける産業というイメージは変わろうとしている。今日、バイオテクノロジーは、米国経済を新たな成長へと導き、社会に現実の利益をもたらす次代の重要な分野として、情報技術（IT）のお株を奪おうとしている。この IT への挑戦の大半は、バイオテクノロジー自体に内在している自己変革能力に由来している。コンピュータ、ネットワーク、データベースなどの技術を利用することによって、バイオテクノロジーのほとんどすべての領域で研究開発プロセスが全面的な変革を遂げたのである。このパラダイム・シフトを原動力として、この分野は、コア・ビジネスを再定義し、専門領域の守備範囲を拡大し、5 年前や 10 年前には想像さえできなかった方法で関連分野との相互関係を強化することになった。さらに、このような変革を遂げる中で、バイオテクノロジーは、情報処理とその関連分野における研究にも変化の種をまいてきた。したがって、今後数年のうちに、バイオテクノロジーにおける新しいパラダイム・シフトが、バイオテクノロジーの変化を促した分野を変化させる原動力になる可能性もある。

3.2 連邦政府のイニシアチブの進展

もし過去 10 年間、バイオテクノロジーの分野でタイムリーな研究開発プログラムが存在しなかったとしたら、上記のような変化は（少なくとも、このような速さでは）生じなかっただろう。これまで、バイオテクノロジー産業は、革新的な新製品に関する研究では優れた実績を上げている。しかし、そうした取り組みは、市場のニーズに合わせた短期的な研究であることを余儀なくされてきた。幸い、バイオテクノロジー産業の推進力となる長期的な基礎研究に関しては、米国政府がこのギャップを埋めようとしてきた。本項では、バイオテクノロジーの情報化時代を実現する役割を果たした主要なプログラムについて概観する。

A. 「脳の十年」イニシアチブ

1980 年代の末期、コンピュータ、インターネット、そしてブラウザが科学界に浸透し始めて間もない頃、情報技術とバイオテクノロジーの結び付きによって、一段と高邁かつ遠大な野心的イニシアチブが生み出された。研究者たちは、コンピュータとネットワークの処理能力と膨大なリソースを使用して、最も複雑な人体器官である脳に関する知識を進歩させたいと考えたのである。人間の脳、この信じがたいほど優れた設計の驚異的な器官、学習、記憶、計画、思考、意思決定、対話を可能にし、人間をまさに人間たらしめるあらゆる能力を実現している器官、そして人間の身体的/精神的な健康を常に正しく制御してい

る器官である脳は、これまで生物学上の謎として研究者の探索の手から逃れ続けてきた。科学者、政策立案者、一般大衆など、誰もが、その謎の解明を欲した。

そのような状況で、当時の連邦科学工学技術調整審議会（FCCSET）は「人間の潜在能力の最大化：脳の十年」という報告書を刊行した。この報告書は、20 の連邦政府機関の代表者から成る委員会によって編纂されたもので、10 年間の投資を受ける 9 つの研究領域を包括する総合的な脳研究を、国家規模まで拡大したイニシアチブのあらましを解説している。これは、基礎研究、先端技術、国際協力という 3 つのテーマに沿って展開される。こうした裏方の作業と並行して、第 101 連邦議会は、1990 年代を「脳の十年」として宣言する両院の合同決議に署名した。ブッシュ大統領（父）は、その路線に沿った声明書を公布し、学際的研究を通じた中枢神経系の研究に対して、多数の政府機関にまたがって連邦予算の相当な割合を投じることを宣言した。また、同大統領は、米国の民間セクター（基金/財団と産業界）に対して、脳機能に関する知識を開放して脳疾患の克服を図る目的で、科学者や厚生関係の専門家を支援する政府機関の動きに同調するように要請した。

この宣言の後を追って、全米衛生研究所（NIH）や全米科学財団（NSF）をはじめとする複数の機関が、過去 10 年間に姿を現したコンピュータ神経科学の確立と重要な進歩のための基礎を築くプログラムを開始した。特に、NSF は、1991 年に、脳科学に関する学際的研究を中心とした包括的な「脳の十年」プログラムを実行に移した [B2]。

このプログラムで重点が置かれているテーマの中には、神経の機能と振舞い（言語、認知、およびその他の知覚システムなど）の研究にコンピュータ・ツールを適用することがある。この NSF のプログラムと、NIH の資金によって運営された多数のプロジェクトの成果として、細胞の神経科学と神経組織網の研究にコンピュータによる数値演算モデルやツールを適用する方法が大きく進歩した。その最適な例は、GENESIS（GEneral NEural Simulation System：総合神経シミュレーション・システム）である。これはモデリングとシミュレーション技術による神経科学の研究のための対話型コンピュータ・システムである [B3]。現在、GENESIS は、全世界の学術研究や教育機関で広く使用されている。

NSF のプロジェクトのほかにも、他の複数の連邦政府機関にわたって小規模なプログラムが実施されたにもかかわらず、「脳の十年」はほとんど注目を集めることなく終結した。たしかに多くの分野で多大な進展が見られたが、画期的な成果は少なかった。しかし、それ以来、情報技術、生物学、神経科学の間には、強い結び付きが確立されることになった。

B. 21 世紀のバイオテクノロジーのイニシアチブ

1993 年に、政府当局は、FCCSET 委員会がライフサイエンスと健康について刊行した報告書『21 世紀のバイオテクノロジー - 約束の実現』に基づいて、バイオテクノロジーに関する新たなプロジェクトを立ち上げた。バイオテクノロジーが社会に与える深い影響と、グローバル・エコノミーの中で急成長するこの産業分野における米国の地位の不安定さを認識して、FCCSET は、1994 会計年度の政府予算の中で、バイオテクノロジー研究を最重点領域として選択した。

このプロジェクトの目標は、「21 世紀のバイオテクノロジー研究における米国のリーダーシップを維持拡大すること、全米国民の生活の質を高めること、米国経済の成長を活性化すること」であると言明されている。この最終目標を達成するために、このプロジェクトは、以下の戦略的目標を設定している。

- ・ 将来のバイオテクノロジー開発に向けて、科学的基盤と技術的基盤を拡大する
- ・ 将来のバイオテクノロジー開発に向けて、基盤となる人材の育成を図る
- ・ バイオテクノロジー研究の成果を商業用途に転用する動きを促進する
- ・ バイオテクノロジーの恩恵を国民の健康/福祉と環境の保護/復元に役立てる

顕著な特色

このイニシアチブには、指摘するに値する重要な特徴がいくつか存在する。第 1 に、この年の予算総額案は 43 億ドルであるが、実際の増額分は、前年のほぼ 7% に相当する約 2 億 7,000 万ドルに過ぎない。第 2 に、幅広い目標が掲げられたことから、多数の連邦政府機関がプログラムの計画立案に参加した。しかし、現実には、プログラムを実施するプロセスの中で大きな役割を果たしたのは、少数の機関だけであった。そうした機関は、バイオテクノロジー分野における主要な研究開発を担当している、いわば常連の機関であり、具体的には、全米衛生研究所、全米科学財団、エネルギー省、米国航空宇宙局、農務省であった。そして、このような政府機関が、このイニシアチブの全領域にわたる予算総額と研究活動全体の 80% 以上を実施した。第 3 に、このイニシアチブは、2 つの相補的な要素、すなわち、研究とインフラストラクチャの適用範囲を定義するフレームワークによって特徴付けられている。研究に関しては、参加機関のミッションの多様性を反映して、研究領域は、農業、エネルギー、環境、健康、製造、そして一般的基礎分野と多岐にわたっている。しかし、このプロジェクトが後続の年に実施段階へと移行するにつれて、構造生物学、海洋バイオテクノロジー、ゲノム計画の 3 つの領域が特に注目を集めた。明らかに、この 3 つの優先的研究領域のうち、2 つの領域、すなわち、構造生物学とゲノム研究が、バイ

オテクノロジーをコンピュータによる数値演算の舞台へと押し上げる原動力となったことは疑いないことである。

新しいパラダイムの源

インフラストラクチャの要素に関しては、このイニシアチブは、従来の物理的な設備（購入、建設、保守）、計器類（特殊装置あるいは専用装置）、および人材といった態勢をはるかに超えたリソースの集合に重点を置いている。また、バイオテクノロジー研究に不可欠な重要な要素として、幅広い共有データ・リポジトリ（例：DNA クローン・ライブラリ）やその他のデータベースと情報リソース、あるいはバイオテクノロジー研究に関連した参照基準などが挙げられる。イニシアチブにおけるこの新しい方法論は、「ウェット」なラボ実験科学のみに依存している伝統的な研究パラダイムからの離脱を意味する。このようなシフトは、上で述べたような構造生物学やゲノム研究における計算の重視と共に、生物学および関連産業における革命的变化の始まりを告げている。

C. ヒトゲノム計画 (HGP)

ヒトゲノム計画 (HGP) は、生活の質を変える可能性を秘めた米国の研究プロジェクトと評されることも多いが、実際には、1990 年 10 月に正式に開始された、国際的な取り組みである。米国では、まず最初にエネルギー省 (DOE) が、すぐ後に続いて国立衛生研究所 (NIH) が、このプロジェクトの計画と推進を担う指導的な機関となった。1988 年まで、この 2 つの機関は、初期のイニシアチブと戦略的計画の作成に共同で携わり、「ヒトゲノムに関する研究と技術的活動を調整する」趣旨の協定書（覚書）に最初に署名した。この初期の計画段階は、共同研究計画書『遺伝の解明・米国ヒトゲノム計画』の刊行で一段落し、これが HGP プログラムへと引き継がれることになった。

目標と前倒しされたスケジュール

HGP の最終目標は、NIH/DOE の報告書によれば、「ヒトゲノムの詳しい物理的な遺伝子地図を作成すること、人の DNA の完全なヌクレオチド配列を特定すること、ヒトゲノム内の推定 50,000~100,000 個の遺伝子の位置を特定すること、そして研究室の中でモデル・システムとして広く使用されている他の生物のゲノムに対して同様の分析を行うこと」である。一部のマスコミは、このプロジェクトのコストが 30 億ドルであると報道している。しかし、実際には、この数字は、1988 年から 2003 年までの 15 年間に、ゲノム関連の広範な科学活動に投じられる総資金の予想額である。この金額の中には、人間の疾病、実験用生物（バクテリア、酵母、虫、ハエ、ネズミなど）、生物学的/医学的研究のための新しい先端技術の開発、コンピュータを利用したゲノム解読手法、そして遺伝学に関連す

る倫理的、法律的、社会的問題といった研究テーマが含まれている。HGP への一般の関心の大半は、ヒトゲノムの配列に向けられているが、ヒトゲノムの配列というテーマは、15 年間に及ぶ取り組みの中では、研究全体の糸口となる小さな部分にすぎない。

最終目標を達成するために、初期の研究計画では、1990～1995 年の最初の 5 年間に關する個別目標を設定して、最も重要な研究対象に注力することになっていた。しかし、蓋を開けてみると、プロジェクトは最初の数年で予想より早く進行したため、1993 年に、NIH/DOE はゲノム研究の当初の目標と範囲を拡大する方向で 1990 年の計画を見直すことを決定した。新しい目標は、1993 年のサイエンス誌 (Science: 262 号、1993 年) に発表された記事の中で説明された。その後、この目標と HGP 計画は、1998 年に再び更新され、プロジェクトの最終段階に当たる 1998～2003 年の新しい目標と計画を提示した。この最終計画も、サイエンス誌 (Science: 282 号、1998 年 10 月) に掲載された [B5]。

戦略的パートナーシップ

HGP 計画は、公的資金によって設立されたコンソーシアムで、次の 5 ヶ所の主要なシーケンシング・サイト ("G5" と呼ばれる) が含まれる。すなわち、DOE 合同ゲノム研究所 (DOE の国立研究所にある 3 つのゲノム・センターを統合した施設)、ベイラー医科大学、ワシントン大学ゲノム配列分析センター、ホワイトヘッド研究所/MIT ゲノム研究センター、および英国ケンブリッジに近いサンガー・センターである。そのほかにも、この国際的な取り組みに全世界の研究所が参加し、特に、日本、フランス、ドイツからは大きな貢献が得られた。1,100 人を超える研究者が、10 年以上にわたる共同作業を通じて、ヒトゲノムを作り上げている 30 億の DNA 塩基対の連鎖地図を作成する同定作業に没頭した。NIH のヒトゲノム計画研究所は、DOE のヒトゲノム・プログラムと並んで、この取り組みを調整するオフィスとしての役割を果たした。NIH と DOE は、10 年間の取り組みの間、継続して米国政府の資金供給を受けた。表 3.1 は、1988 年から 200 年まで研究資金がこの 2 つの機関のプログラムの間でどのように配分されたかを示している。

表 3.1 ヒトゲノム計画に対する資金供給の状況 1988～2000 年 (百万ドル)

会計年度	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
DOE	10.7	18.5	27.2	47.1	59.4	63.0	63.3	68.7	73.9	77.9	85.5	89.9	88.9
NIH	17.2	28.2	59.5	87.4	104.8	106.1	127.0	153.8	169.3	188.9	218.3	225.7	271.7
合計	27.9	46.7	86.7	134.8	164.2	169.1	190.3	222.5	243.2	266.8	303.8	315.6	360.6

出所：エネルギー省 www.ornl.gov/hgmis/project/budget.html

この表は、HGP プログラムの速い進捗に関連して、2 つの注目すべき事実を明らかにしている。第一に、米国政府によるこの取り組みへの投資の確約が一貫して守られ、投資額が (HGP の正式な発足に先立つ数年を含めて) 12 年以上にわたって着実に増加している。インフレーションを考慮しても、この増加は相当な額になる。HGP の性格が当時の一般大衆にはほとんど知られていなかったという事実を考慮すると、これは政府予算編成の中でまったく異例のことである。第二に、資金の分割、それゆえに管理の責任がプログラムが進行するにつれて NIH にシフトした。これは、重要な事実である。なぜなら、保健衛生と生物医学研究の領域における NIH の使命が、エネルギーと環境に焦点を合わせている DOE と比較して、ポストゲノム研究の方向性により大きな影響を与える可能性が高いことを意味するからである。後の項で検討するように、今後、NIH がバイオテクノロジー産業に与える影響は拡大するだろう。

ゲノム配列のドラフト・シーケンスの完成

政府からの資金供給の確約、画期的に進歩したアミノ酸配列分析技術、コンピュータ利用型ツール (照合アルゴリズム、検索技術、ネットワーク化データベース) による支援、そして国際チームの献身的な取り組みのおかげで、HGP の作業は急ピッチで進展した。結局、最終段階の 5 年計画の中でプロジェクトの完了を 2003 年と予想した期間の見積もりは、悲観的すぎたことが判明した。スケジュールより 3 年早く、2000 年 6 月 26 日に、ホワイトハウスの記者会見で、大統領はヒトゲノムの DNA 配列の「ワーキング・ドラフト」の完成を発表した。その後、HGP の配列成果の完全な解析を掲載した技術文書が出版された (ネイチャー誌の特集号の巻頭記事を参照 - Nature: 2001 年 2 月 15 日)。こうして、HGP は、スケジュールより早く、しかも予算より低いコストで完了した、数少ない連邦政府事業の 1 つとなった。これは科学界と一般社会の両方にとって稀に見る成功事例であった。

予想を嬉しい形で裏切ることになったこの成功の背景には、多くの理由が存在する。次の項では、この領域における他の政府系/民間系プロジェクトと関連付けながら、この成功の内容と推進要因の一部を検証してみる。さらに、バイオテクノロジーの未来に対して、こうしたプログラムが全体としてどのような影響を及ぼし、どのような意味合いを帯びてくるのかについても検討する。

3.3 プログラムの分析

ヒトゲノム計画の開始と順調な実施は、それに先立って実施された小規模で地味なプログラムとあいまって、ほんの 10 年前には多くの人が想像もできなかった技術的展望を開

いてくれた。その過程で中心的な役割を果たしたのは、コンピュータ/情報科学と生物学という 2 つの科学分野の間で、徐々にではあるが着実に進められた互恵的な交流である。たしかに、この 2 つの専門分野は、自然な発達の過程で個別に急激な変化を経験してきたが、今や誰もが期待するようになった最も大きな反響と潜在的可能性を生み出したのは、2 つの分野の密接な相互関係だった。その結実として、今後のポストゲノム時代において、新たに生じる医学の飛躍的な進歩、ヘルスケア・システムの改善、そしてそうした活動に伴う新興産業と経済成長など、当分野の研究成果が我々の生活にもたらすものへの期待に勝るものはないだろう。コンピュータ、ネットワーク、情報システムは生物学において大きな役割を果たしたが、逆に、生物学がコンピュータ分野を変化させて行く未来が予見される。この相互作用がどれだけ成功するかが、バイオテクノロジーの未来を大きく決定付けるだろう。

A. 交差領域における技術の融合

情報学という用語は、コンピュータ、ネットワーク、そして情報システムの本質を一度に捕らえるために（特に他の地域よりも欧州で）使用されることが多いが、情報学とは、生物学系の諸科学とコンピューティング系の諸科学が交差する場である、と考えられるケースが多い。この数年、この両分野が互いをどのように変化させるかという点で、両者の相互作用の現れが顕著になり始めている。

コンピューティングは生物学をどのように変化させているか

この変化が生起している多様な形は、次のように要約できる。

- ・ 高スループット生物学 最も良い例は、コンピューティングがヒトゲノム計画で DNA 配列技術にどのように貢献したかである。DNA は、4 つの類似する化学物質から成っているが、塩基と呼ばれるこの 4 つの（A、T、C、G と略記される）化学物質が、ヒトゲノムの中で 30 億個連なっている。コンピュータを使った照合/検索アルゴリズムによって、数 10 億個の中から正しい配列を同定する過程を高速化することが可能になった。
- ・ 同時に数百万件の実験を実行する能力 何十年もの間、生物学者とバイオテクノロジーの研究者は、実験を一度に 1 つずつ次々と処理する実験設備に頼っていたが、実験と実験の間で何時間あるいは何日間も待つことが少なくなかった。今や、コンピュータ技術とソフトウェアがそうした状況を一変させた。DNA マイクロアレイは、DNA チップあるいは遺伝子チップとも呼ばれるが、顕微鏡のスライドガラスより小さなシ

リコンウェーハの上で同時に何万もの分子反応を追跡することができる。このコンピューティング・ツールは分子生物学者にとって非常に価値があることが分かってきたが、バイオテクノロジー分野のあらゆる研究者にとっても同様であることが次第に明らかになっている。

- ・ 複数の相補的レベルの情報の統合 コンピュータと情報科学が最初に使用された領域は、分子レベルまたは細胞レベルでの生体機能のモデリングとシミュレーションである。バイオテクノロジー研究にとって、今後、より高いレベルの生物や環境の機能と振舞いをモデル化する能力が、ますます重要性を増すだろう。多様なレベルの情報、すなわち、DNA から、たんぱく質、経路、網状組織、細胞、器官、個人、集団、生態系まで、あらゆるレベルの情報を統合することによって、生物学、医学、バイオテクノロジーを、1つのシステム科学へと変貌させることが可能になるだろう。

生物学はコンピューティングをどのように変化させているか

これまでの生物学とコンピューティングの相互作用では、コンピュータの側が働きかけて生物学に変化を与えるケースがほとんどであった。しかし、逆に生物学がコンピューティングを変化させるケースも活発に生起し始めたという徴候も見られる。顕著な例を以下に示す。

- ・ 生体機能に基づくコンピューティング 分子生物学や有機化学から着想を得て、分子をスイッチ、ワイヤ、メモリに転用することで、新しい記憶装置やコンピューティング・デバイスが実現できる可能性が生まれてきている。さまざまな研究機関がこの可能性を探りつつあり、新しいIT技術を生み出す大きな可能性を秘めている。
- ・ 次世代のマシン・インテリジェンス これは、人工知能が常に理想として追求している判断機能の遍在状態である。すなわち、生物学的な原理やデータを機械の諸機能の中に組み込んだデバイス、器具、機械、ネットワーク、およびそうしたハードウェアに関連するソフトウェアを実現することである。
- ・ 人間とコンピュータの対話のためのバイオメトリクス コンピュータの研究者は、人間とコンピュータのインターフェイスを設計するときに生体的な特徴を利用することが多くなっている。音声と言語によるインターフェイスの長年にわたる研究のほかに、個人識別やネットワークのセキュリティに人の声、指紋、顔認識、虹彩解析を利用する技術は、徐々にバイオテクノロジーの主流に入り込みつつある。

- ・ 知識ベースのモデリングとシミュレーション 生物学者は、さまざまなレベルの情報とレベル間の相互関係に基づいて生命体の階層と複雑さを研究する際、オントロジーに依拠している。同じ原理をコンピューティング・モデルやシミュレーションに応用するためには、特定の知識領域においてオントロジーや他の複雑な生物学的関係/特徴を利用する知識ベース・システムの能力を必要とする。

B. 研究と技術の新たな領域

2 つ（以上）の専門分野間の互惠的な交流は、当然の成り行きとして、個々の分野の主流以外のところに新しい研究領域を出現させる。専門分野の学者が交差領域や未知の分野の周辺領域で何らかの課題を追求するためには、大きな勇気と忍耐力が必要になる。それには確実な投資と激励による持続的な援助が必要となる。そうした研究を適切に育成し、順調に実施すれば、その投資と援助は各専門分野にさらに多くの革新をもたらす原動力となるだろう。さらに重要な点は、こうした発展途上の研究領域は、新しい有望な技術を創造する力となることである。

この調査で取り上げた研究開発プログラムや、その他の進行中の活動に基づいて、新たに出現してきた研究を 3 つのカテゴリーに分けることができる。すなわち、コンピュータ生物学、生物情報学、そして生物学応用型コンピューティングである。表 3.2 に、各カテゴリーに関連した具体的な研究領域と、その成果として期待される新しい先端技術の可能性について要約する。

表 3.2 コンピューティングと生物学の交差領域に新しく現れた研究領域とテクノロジー

カテゴリー	範囲/定義	新しく現れた共同研究の領域	可能性のある技術の例
コンピュータ生物学	・ 生体システムを研究するための理論的なデータ解析の手法、コンピュータによるモデリングとシミュレーション ・ コンピューティング要素を統合した生物実験例：バイオチップ	・ 生体システムのすべてのレベルの間の構造的機能の関係 ・ 空間的および時間的なエンコーディングの解析のためのコンピュータのアルゴリズム ・ マイクロアレイ解析とタンパク質の配列解析	・ 知識ベースモデリング技術 ・ 統合技術 ・ 次世代 DNA チップ、プロテインチップ
生物情報学	・ 生物学、医学、または保健のデータの利用を拡大するためのコンピュータのツールとアプローチ。入手データ、組織化データ、解析データ、視覚化データを含む。	・ データのモデリング、データ構造、データ発掘 ・ 共有データ環境とリソースマネジメント ・ DNA、細胞、組織から有機的組織体への連続した情報学 ・ 視覚化および 3D 画像解析 ・ 多重感覚データのための融合、統合	・ 機能的ゲノム、プロテオミクス、細胞情報学、組織工学、仮想人間 ・ 次世代仮想現実技術
生体機能に基づくコンピューティング	・ コンピューティングデバイス、システム、ネットワークあるいは関連するソフトウェアをデザインするための生物材料あるいは生体特徴の利用	・ 知能を持った人と機械のインターフェイス ・ 分子、DNA 鎖によるコンピューティング ・ 有機コンピューティングー有機素材を利用して数値計算の構築あるいは促進を行う	・ バイオメトリクスとテクノロジー ・ バイオ・マイクロ・エレクトロメカニカル・テクノロジー ・ ナノテクノロジー

C. 新しいバイオテクノロジー研究のデータ・リソースとツール

2 つの専門分野とその研究コミュニティを結び付けることは容易ではない。その理由の 1 つとして、交差領域の研究は既存領域と比べて定義が曖昧であり、実際の取り組みに際しても困難が大きいことがある。たとえば、生物学的モデリングの世界では、NSF や NIH などの機関が基礎研究に対して資金を長年供給してきたにもかかわらず、その進展はかなりの成果を上げつつも限界があった。分子モデリングに関する世界技術評価センター (WTEC) の最近の調査研究では、両方のコミュニティが先進的なコンピューティング・ツールをまとめ上げたことが分かっている。しかし、それにも係らず、成功したモデルやソフトウェアの大半は、比較的複雑でない細胞レベルまたは分子レベルにとどまっていることが明らかである。しかし、バイオテクノロジー分野が人体の全機能を扱うまでに成長

するにつれて、ある 1 つのレベル（例：単細胞）におけるモデリングが、他のレベル（重細胞または多細胞）およびレベル間の相互作用に大きく依存していることが明らかになってきた。したがって、レベルの表現方法の問題、レベル間の関係、そしてソフトウェアの相互運用性の問題が、細胞、組織、器官から、機能、人間行動までを含む、複雑な生物学的システムを研究する上で、次第にその重要性を増している。この課題を解決するためには、研究者が互いのアプローチを比較しながら研究成果を共有できるように、データ・リソースとコンピュータ関連のインフラストラクチャを大量に投入することが必要となる。2 つの学問分野は、現在、多数の未解決のニーズと課題に直面しているが、この種の問題もその一部である。

幸いにも、HGP のほか、多様な機関にまたがる他の研究開発プログラムのような、国家規模のプロジェクトが、こうした問題に集中して取り組み始めた。実際、もし無理を承知で、このようなプログラムが全体として成し遂げた成果を特に 1 つだけ選び出すとすれば、研究開発重点投資戦略の一部として過去 10 年間で急激に増加した新しいデータとコンピューティング設備ということになるであろう。このようなリソースは、さまざまな地域で多様な機能と任務を果たしている多数の研究所に散在している。また、こうしたリソースは、生物学、生物医学、バイオテクノロジーにおける現在と将来の研究開発の可能性に重大な影響を与えるものである。以下に、主なデータ・リソースとツールを例に挙げるが、こうしたリソースは、新しいバイオテクノロジーの研究でこれまで重要な役割を果たしており、今後も果たし続けるであろう。

GenBank

このデータベースは、NIH の国立医学図書館の国立バイオテクノロジー情報センター (NCBI) に置かれている、NIH の遺伝子配列データベースである。このデータベースは、一般に公開されているすべての DNA 配列の集合を注釈付きで保存しており、ヒトゲノム計画のデータ・リポジトリとなっている。しかし、GenBank は、国際ヌクレオチド配列データ (International Nucleotide Sequence Data) 共同データベースの一部に過ぎない。この共同データベースには、GenBank のほかに、日本 DNA データバンク (DDBJ: DNA DataBank of Japan) や欧州分子生物学研究所 (EMBL: European Molecular Biology Laboratory) も含まれている。2001 年 11 月現在、GenBank には 1,400 万件を超えるレコードが収納されている。GenBank の各エントリには、配列に関する簡潔な説明、元になった有機体の学名と分類、そして生物学的意味情報を特定するための特徴を表すテーブルが格納されている。GenBank は、関連ソフトウェア（たとえば、下記の BLAST を参照）とともに、ゲノム関連の研究において最も信頼できるリソースとなった。

プロテイン・データバンク (PDB: Protein Data Bank)

PDB は、3 次元生物高分子構造データの加工と配布を目的とした世界規模のリポジトリである。運営には、米国 (UC サンディエゴ、ラトガース大学、国立標準/技術研究所[NIST]) と、英国、日本、ブラジル、シンガポールの複数の国際チームが当たっている。エネルギー省、NIH、全米科学財団が、共同で運営資金を提供している。このデータ施設の非常にユニークな特徴は、データの配布だけでなく加工にも力を入れていることである。PDB が四半期に一度作成している CD-ROM には、高分子構造のエントリが格納されており、一般に利用可能となっている。この CD データの最新版には、2001 年 1 月 1 日現在で利用可能な 16,972 個の構造が収められている。PDB の Web サイトへのアクセスと組み合わせると、PDB は、ネットワーク化された環境や多忙な研究者にとって価値のあるリソースとなる。

BLAST (Basic Local Alignment Search Tool)

DNA 配列またはタンパク質配列データを検索するために設計された類似性検索プログラムの集合である。1990 年に最初に公開されて以来、BLAST は、幾多の変更と改良を経ながら、インターネットや他の従来型媒体を通じて生体情報への統合的アプローチを提供してきた。このツールは、NIH の NCBI の中にあり、NIH が資金を拠出して運営に当たっている。

LocusLink

実験段階にあるユニークなデータ検索ツールで、NCBI の研究者によって開発されたものである。一般に、遺伝子など、特定の遺伝子座に関するデータは、質的に異なる複数のリソースの中に存在する可能性もある。一方では、GenBank などの単一のリソースが、単一の遺伝子に関して複数の配列を保持している可能性もある。LocusLink は、1 つのデータ・ソースから他のデータ・ソースへの移動を容易にする、統合化された照会/相互参照システムを提供する。

人体可視化計画 (The Visible Human)

人間の解剖学的構造と機能を研究するためのユニークなデータベースを作成する実験的プロジェクトであり、標準的な男女の人体を解剖学的に完全に表現した詳細な 3 次元画像の作成に携わるものである。典型的な男女の死体の CAT スキャン (CT) や磁気共鳴映像法 (MRI) からデータを取り込んで、それをデータソースとして使用してきた。男性については 1mm の間隔で断面の撮影を行い、女性については 3 分の 1mm の間隔で行った。1990 年代の半ばに完了して以来、生物医学とバイオテクノロジーの分野で多数の応用研究が進められた。人体可視化計画の長期的目標は、視覚的な知識形式を、専門家だけでなく一般大衆も容易に理解して利用できる記号的/機能的な知識形式と透過的に (利用者に意識

されない方法で) リンクする、知識構造のシステムを開発することである。後の項 (3.5) で検討するように、人体可視化計画は、人間の生理全体をコンピュータを利用して理解するというアプローチの領域で生起しようとしていることの序章にすぎない。

上記の例は、研究コミュニティに対して効用と利益があることを実証した主要なリソースの代表に過ぎない。ここで重要な点を繰り返すと、このようなリソースがほとんど例外なしに公的資金によって支えられているという事実である。しかも、GenBank やプロテイン・データバンクなど、大規模な設備では、常に国際的な機関の参加が重要なポイントとなる。

3.4 新しいバイオテクノロジー研究のビジネス

本項では、バイオテクノロジー研究を「ビジネス」の側面から検討する。これまでに紹介してきた専門的な展望とは対照的に、この分野を支援/維持し、また成長させている一般社会のビジネスに焦点を合わせて説明する。特に、政府の役割を連邦レベルと州レベルの両方について検証するとともに、公共部門と民間部門との相互作用について考察する。また、その流れで、民間の産業から生じる利益と、民間の産業への影響も検討する。さらに、米国の研究開発戦略と優先順位が、バイオテクノロジーの研究開発リソースとインフラストラクチャにどのように影響され、また影響しているかにも言及する。

A. 政府管掌研究センター

前の各項で例に挙げた研究プロジェクトの背景には、実際に研究の実施を担っている物理的リソースと人的リソースが存在している。このような主要な国家的プログラムとその他の多数のプログラムによって、政府は、相互に関連し合った研究機関とパートナーシップから成り立つ巨大なバイオテクノロジー研究ネットワークを構築してきた。以下では、2 種類のリソースに関する要約を提示する。すなわち、主として連邦政府のイニシアチブまたは常設の基金によるプログラムによって設立されたリソースと、州政府レベルの発意から設立されたリソースである。

主要な研究施設と研修センター

下の表 3.3 は、全米科学財団 (NSF) と国立衛生研究所 (NIH) によって設立/維持されてきた主要な研究施設と教育センターを要約したものである。NSF は、基礎科学と基礎工学の研究に置く比重が高く、NIH は、臨床医学と保健衛生事業のための生物医学研究を任

務としている。この両機関によるプログラムは、相補的な関係にあることが多いが、これは他の研究領域の多くで見られる状況である(第2章の合同機関DLIイニシアチブを参照)。どちらの機関も、それぞれ研究/教育機能の両方の機能を果たしており、米国で最先端に位置する科学的/工学的進歩を生み出すとともに、それに関連した人材を輩出している。下の表には、簡潔を期して主要なセンターのみを挙げている。また、表には明示していないが、その他にも多数の後援機関が存在しており、たとえば、他の連邦政府機関 (DOE など) や民間基金も実際にはスポンサーとなっている。

表 3.3 生体工学、生体情報学またはバイオテクノロジーの主要研究と訓練場所のまとめ

機関	プログラム組織	遂行している研究所	活動と資金 (推定)
NIH www.nih.gov	米国立医学図書館 www.nlm.nih.gov	12 ヶ所の医学情報学の研究訓練センター：エール大学、コロンビア大学、ピッツバーグ大学、デューク大学/ノースカロライナ大学合同センター、ミネソタ大学、ミズーリ大学、ライス大学/ベイラー大学合同センター、オレゴン健康科学大学、スタンフォード大学、リージェンストリーフ研究所、ユタ大学	- 放射線医学やバイオテクノロジーなどの情報集約分野の研究と訓練を提供 - 年間総資金 1500 万ドル (推定)
	国立ヒトゲノム研究所 (NHGRI) www.nhgri.nih.gov	約 20 ヶ所の学術機関にある研究センター：ベイラー大学、コーボレートヒューマンリンケージセンター、DOE 合同ゲノム研究所、ゲノム研究研究所、ローレンスバークレー研究所、ロスアラモス国立研究所、スタンフォード大学、カリフォルニア大学バークレー校、オクラホマ大学、ユタ大学、ワシントン州立大学、ウィスコンシン州立大学、ワシントン大学、ホワイトヘッド研究所	- HGP の共同研究に参加 - 開発とポストゲノム時代の研究に参加 2002 会計年度 NHGRI センターのプログラムの年間総資金：2 億 1,600 万ドル
NSF www.nsf.gov	工学研究センター (ERC) www.nsf.gov/eec/erc/htm	研究と教育センター／生体工学のパートナーシップ：ジョージア技術/エモリー大学、ハワイ大学/カリフォルニア大学バークレー校、ジョーンズホプキンス大学/ブリハム大学/カーネギーメロン大学マサチューセッツ工科大学/シャディ病院、MIT バイオテックセンター、バンダービルト大学、ワシントン州立大学	- 複合生体工学システムの統合研究環境 - パートナーシップによるバイオテクノロジー産業との協同 - 研究と教育を統合する - 年間総資金：2,500 万ドル
	科学技術センター (STC) http://www.nsf.gov/od/oiia/programs/stc/start.htm	5 つの大規模センターと研究教育パートナーシップ：エモリー大学、バージニア州立大学、カリフォルニア大学デイビス校、カーネギーメロン大学、コーネル大学	- STC センターが進歩する知識と技術革新に対する統合アプローチと包括的パートナーシップを提供する - 生物科学からバイオテクノロジーの範囲をカバーする - 年間総資金：1,500 万ドル (推定)

B. 州レベルのパートナーシップ

連邦政府の資金供給を受けたセンターやパートナーシップのほか、州レベルでもバイオテクノロジーの分野に進出する一連の取り組みが見られた。ポストゲノム時代に対する期待の高まりの舞台裏で、米国全土の学術研究機関が州政府からの援助を要請する活動を開始した。米国経済がピークにあった時代には、多くの州がそれに応じた。この数年の間に、生物学、コンピュータ、または情報技術で優秀な業績を上げている研究所が1つでもある州は、ほとんど例外なしに、先進的なバイオテクノロジー・センターの提案や計画を持ち出している。その多くは、提案や計画の段階を超えて進んでいる。あと一步で実現にこぎつけるところまで進むことに成功したイニシアチブも、少数ながら存在する。こうしたイニシアチブが目指すところは、連邦政府の資金による多様なプログラム（たとえば、ヒトゲノムの研究、情報技術の研究、そしてデータ・リソースやスーパーコンピューティング、あるいは高速ネットワークへの大規模なインフラストラクチャ関連投資など）の成果として飛躍的に前進することが期待されている新しい先端技術を見つけ出して活用することである。この2年間、州がスポンサーになって進められている新しいバイオテクノロジー/生物情報学センターの計画が毎週のように報じられてきた。もちろん、実際には、こうした計画に単なるバイオテクノロジーを超えたイニシアチブの成否がかかっていることは言うまでもない。多くの人が、シリコン（半導体）に取って代わる、生体機能を応用した新しいコンピューティング技術が出現する兆しを見ている。バイオテクノロジー産業機構（BIO）が作成した、バイオテクノロジー分野における州政府の取り組みに関する2001年の報告書には、州レベルの多数の取り組みについて、さらに詳しい情報や検討が記載されている。この報告書は、BIOのWebサイト、www.bio.orgで参照できる。

カリフォルニア州がQB3を創設

おそらく、バイオテクノロジーやコンピュータの未来を競っている州の取り組みの中で、新しいパートナーシップに関する積極性と包括性の点でカリフォルニア州の取り組みを上回るものはないだろう。2001年1月に、デービス州知事は、生体工学、バイオテクノロジー、定量生体医学研究（QB3: Bioengineering, Biotechnology, and Quantitative Biomedical Research）の新設を発表した。QB3の目標は、膨大な量の生物学的情報を蓄積して解析するための次世代技術を開発すること、そして画像処理とコンピュータ・モデリングを使用して分子、細胞、単一の器官のシステムを機能的なネットワークの一部として観察および解析することである。このような技法によって、研究者は、相互作用を理解したり、結果を予想したり、研究室の中で生命体の一部を作り替えることが可能になるだろう。

カリフォルニア大学の 3 校（サンフランシスコ、バークレー、サンタクルーズ）の生物学、コンピュータ科学、化学、物性、工学の各分野からの学際的な研究者チームが、この取り組みを先導する予定である。カリフォルニア州は、この 3 校の当初資金として 1 億ドルの提供を約束した。しかし、この資金提供は、この額と釣り合った資金を他の財源から獲得することを条件としている。すなわち、州知事と州議会は、州の資金 1 ドルにつき、外部の財源（主として、民間産業と連邦政府）からの資金を 2 ドルとするように要求した。QB3 が発表された時点で、（発表での表現によれば）「米国のほとんどすべての優良企業」に相当する 200 社を超える企業が、すでに資金を約束していたか、あるいは、この新しい研究機関と共同で行う研究/教育プログラムの設立に向けた施策を講じていた。

QB3 のような州主導の取り組みは、今後、順調に進むだろうか。カリフォルニアと米国の景気が良かった当時は、誰の目にも、QB3 は有望なプロジェクトで、その成功は確実である、と映った。しかし、最近の情勢では、十分な確信をもって先行きを予想できる人は誰もいない。それでも、州政府の役割が揺るぎなく確立されたことは事実である。QB3 や他の類似プロジェクトが、今後とも注視すべき重要な実験であることに変わりはないだろう。

C. 民間産業から受ける恩恵と民間産業への影響

バイオテクノロジー研究の領域では、学界、産業界、そして政府機関が、常に歩調を合わせてきた。3 つの世界のそれぞれが、新しい知識、技術、財源、事業を一貫して探求する中で、他の 2 者から支援を受けている。情報技術とバイオテクノロジーの相互作用が強まるにつれて、この相互依存は、より重要性を増しながら、ときには意外な展開をたどることになるだろう。以下では、まずヒトゲノム計画を再び取り上げることにする。

セセラ社の追撃

ヒトゲノム計画は、着実ながら地味な形で徐々に成果を上げていたが、その半ばに達した頃、劇的な出来事が起こった。1998 年、つまり、HGP によるシーケンシング作業の予想完了時期の 5 年前、メリーランド州ロックヴィルの大胆不敵な新興企業、セセラ・ジェノミクス（Celera Genomics）が、ヒトゲノムを解読する独自のプロジェクトを発表したのである。また、新しい技術的アプローチを採用し、完了日を大幅に早めるという発表も、関係者を驚かせた。全面的に公的資金を土台としているプロジェクトである HGP のアプローチは、丹念さと正確さを意図的に追求しているものと見なされてきた。HGP による配列特定プロセスは、まずゲノムを繰り返し細分化して、そのサイズを減少させてゆく。そして、各断片をさらに小さく細分して、各断片の DNA 配列を読み取り、最終的に、断片の配列を一定の順序に従って組み立てる。ところが、セセラ社は、もっと近道を取り、

「ショットガン」シーケンシング法と呼ばれる手法を採用した。この方法は、すべての遺伝子を同時に断片に裂き、その後で、コンピュータの力を借りて断片からゲノム全体を構築する。同社が重視しているのはコンピュータの力であり、情報技術の利点を最大限に活かして、アルゴリズムを利用して大量のデータの配列を決定する。結果として、スピードと効率が得られる。セレラ社の手法が有効であることを認識した HGP は、自分たちの手法とスケジュールを変更し、目標とする完了日を前倒しした。結局、ヒトゲノムの史上初のドラフトの完成を競って展開されたこのレースは、いわば「申し合わせた」引き分けに終わり、両方の成果を同時に出版することで終結した（HGP の成果はネイチャー誌 2001 年 2 月 15 日号に、セレラ社の成果はサイエンス誌 2001 年 2 月 16 日号に掲載された）。

このレースが「円満解決」したにもかかわらず、今日まで、科学界は、この 2 つの異なるアプローチの相対的な利点について議論を続けている。しかし、スピードと効率を重視する民間企業が、巨大なリスクをあえて引き受ける形で競争状態を生み出したことが、公的な HGP プロジェクトに大きな影響を与えたことは明らかである。結局、本当の勝者は、科学と一般社会であったということになる。

新しいゲノム産業

そのほか、多くの研究開発プログラムによって生じた顕著な影響として、米国や世界全体で民間の企業や事業体が激増したことがある。前述のように、従来から、バイオテクノロジーは常に活気のある産業であった。しかし、ヒトゲノム研究から生じた高い期待は、DNA チップからプロテオミクスまでにわたる幅広い技術領域と応用領域に多くの企業を生み出した。

スタンフォード・イン・ワシントン・プログラムによって新たに発行された調査によれば、約 260 社の中小企業がほぼ 20 ヶ国に存在している。米国は 193 社で最も多く、ドイツが 16 社、カナダが 13 社、英国が 10 社、オーストラリアが 4 社、そして日本が 3 社である。この調査結果は、スタンフォード大学の Web サイト <http://www.stanford.edu/class/siw198q/websites/genomics/genomefirms.htm> で閲覧できる。長年にわたって研究に莫大な資金を投資してきたことを考慮すれば、米国が大きくリードしていることは当然である。下の表 3.4 に示した公的財源と非営利の財源による資金提供状況を一瞥すれば、この点が明らかになる。しかし、資金と企業数の間に、直接の相関関係は存在しない。

表 3.4 1998 年～2000 年のゲノム研究資金（単位：百万米ドル）

国または地域	1998	1999	2000
米国	402	536	627
日本	119	157	352
英国	126	201	244
カナダ	0	3	156
EU	23	105	108
ドイツ	20	20	103
フランス	11	13	49
その他	21	106	163
合計	721	1,141	1,805

出所： <http://www.stanford.edu/class/siw198q/websites/genomics/content.htm>

- 注意：1. 米国には、NIH、NSF、そしてエネルギー省からの資金が含まれている。
 2. 日本には、経済産業省と文部科学省の資金が含まれている。

米国企業の概要

（広義の）生物情報学ビジネスにおける新しい米国企業についてのイメージが得られるように、表 3.5 に代表的な企業とその技術/事業の重点領域の例を示した。こうした企業は、ポストゲノム時代における生物情報学の系列全体を包括すると見なされるさまざまなカテゴリーに分類され、ゲノミクスから、プロテオミクス、細胞情報、組織情報、人体器官、そしてフィジオーム（すなわち、データベースとモデルを使用して、細胞から、器官、人体全体までにわたる人体機能を総合的に研究する領域）までに及んでいる。さらに、IT ツールを重視するデータ・マイニング/ビジュアライゼーションの領域も、この表に含めている。ただし、下に例として挙げたのは、数百社のうちの 2～3 社にすぎない。さらに多くの企業がこの分野に登場し、また多分、消え去って行くであろう。各社の生き残り、成功、失敗の足取りは、次の 10 年の新しいバイオテクノロジー産業の歴史の物語となることだろう。

表 3.5 生物情報学の延長線上にある米国企業（例）

生物情報学の焦点	代表的な企業
ゲノミクス	Celera、Human Genome Sciences、GeneLogic
プロテオミクス	Axcell、Ciphergen
細胞情報	Cellomics、Aurora
組織情報	Tissue Informatics、Resolution Sciences、Chromavision
人の器官	すべての CT/MRI 画像処理企業
フィジオーム	Physiome Sciences
データの蓄積、発掘、視覚化	Informax、Spotfire、Silicon Genomics

出所：WTEC report on Tissue Engineering – An International Assessment (www.wtec.org)

D. 社会と公共政策への影響

疑いもなく、今後数年間にわたって、ポストゲノムの研究とバイオテクノロジー全般の成果から、情報に基づく製品とサービスが次々と一般社会の中に出現してくるだろう。そうした製品が生活に対して及ぼす影響は劇的で、しかも（すべてではないが）ほとんどの場合に歓迎されるだろう。農産物から、教育、医学的診断、ヘルスケア、環境、そして省エネルギーに至るまで、人々の日常生活のあらゆる面とお互いの対人関係のあり方が、結果的に（願わくばより良い方向へと）様変わりしてゆくだろう。本項では、2つの例によって、医学的診断と公共政策が、バイオテクノロジーの分野で生じている科学の変化からどのような形で大きな影響を受ける可能性があるかを検証する。

医学の展望の変化

ゲノミクスやタンパク質解析を利用して病気の診断をよりの確に行う方法について研究者が報告する、といった形で、新しい成果がほとんど絶え間なく出現している。たとえば、ここで簡単に報告するに値する事例として、卵巣癌を検出するための血液検査という最新の画期的な発見がある。この検査は、国立癌研究所（NCI）の科学者チームによって開発されたものであり、コンピュータを駆使する人工知能プログラムを使用して、癌患者の血液中に検出される特異なパターンの小さなタンパク質を探し出す。このタンパク質の分離はゲノミクス科学を応用した成果であり、ヒトゲノム研究の副産物である。シカゴのノースウェスタン大学で行われた予備的な実験で、この検査は卵巣癌の女性から採取した 50 件のサンプル中、50 件を正しく識別できた。また、癌患者でない女性から採取したサンプル 66 件中、63 件を正しく識別できた。さらに、第 1 段階にある癌患者のサンプル 18 件すべてを正しく識別した。これは、94%の予測率であり、癌罹患状態の 25%しか識別できない従来の超音波検査と比べて、非常に有望な結果である。現在、このような結果が大規模なサンプルでも確認できるかどうかを検証する臨床試験が進行中である。もし成功すれば、この検査はポストゲノム医学における巨大な一歩になるだろう（この研究の詳細はランセット誌 2002 年 2 月 7 日号に掲載されている）。

国家の研究開発投資の優先順位の再設定

米国では、研究開発投資に対する公共政策が、多くの面で（一般社会だけでなく、科学界や産業界からも）影響を受けることがある。このような影響は、微妙な形で徐々に形成されることが多い。しかし、次の 2つの例は、ポストゲノム研究への熱狂的な期待が及ぼした影響が尋常なものではなかったことを示している。

NIH が新しい研究所を設立

2000 年 12 月、米議会は、この分野で達成された科学的業績と、主要な連邦政府機関が現行および将来の研究の調整に携わる必要性を認めて、国立衛生研究所に、新しく国立生体医学画像/生体工学研究所 (NIBIB) を設立する法案を可決した (公法 106-580)。昨年、ブッシュ大統領は、研究/教育活動を実施する初期の予算として総額 1 億 1,200 万ドルを NIBIB に提供する 2002 会計年度の政府歳出予算案に署名した。これは、他の NIH の研究機関 (国立癌研究所、ヒトゲノム研究所など) に比べて金額は小さいが、情報技術が生体医学の主流に移行する動きを活性化する強力な起爆剤である。NIBIB は、コンピューティング、情報科学、バイオテクノロジーの交差領域における広範な活動を支援するプログラムをすでに精力的に進めている。その主要な任務は、他の NIH プログラムや他の機関で実施されている活動を繰り返すことではない。むしろ、その目標は、連邦政府の活動領域全体にわたる多数のプログラムの間で促進役や調整役を果たし、科学の進歩と先端技術の創出の加速を助けることである。NIBIB の設立は、NIH に対して、また今後数年間のバイオテクノロジーの未来に対して、大きな影響を与えることを期待されている。

NSF が新たな学際的プログラムを発表

NIBIB は、この分野の生体医学の側を活性化させる役割を担っているが、国立科学財団 (NSF) は、最近、コンピューティング、生物化学、生体工学の交差領域で学際的な研究作業を推進するために考案された、新しい基礎研究プログラムを発表した。その内容を以下に示す。

- ・ コンピュータ神経科学の分野における共同研究を支援する NSF と NIH の共同プロジェクト。これは、多数の学問領域にわたるプログラムであり、コンピュータ科学者、神経生物学者、認知科学者、生体工学研究者から編成された研究チームが学際的領域における研究作業に携わるのを支援する目的で構想されたものである。
- ・ 生体情報技術/システム (BITS)。このプログラムは、生命体内部の情報処理メカニズムを理解することを主要テーマとする。その目標は、このような特性を備えた新しいコンピューティング・システムの開発である。
- ・ 量子コンピューティング/生物学応用型コンピューティング (QuBIC)。このプログラムは、量子情報科学、生物学、コンピューティングの境界領域における研究を前進させることを目指している。目標は、この研究による知識と洞察力を使って次世代の汎用コンピュータ・システムを設計することである。

言うまでもなく、連邦政府の機関の中でバイオテクノロジー研究で広範囲の権益と責任を持っているのは、NIH と NSF の 2 つだけである。他のプログラムも、特にエネルギー省と DARPA の内部で、特定の任務に合わせて調整された形で急激に増加してはいるが、比較的短期的な取り組みであることが多い。そうしたプログラムについてここでは説明しないが、その影響を看過すべきではない。

3.5 将来のビジョン

一般社会の多くの人々は、何十億ドルも注ぎ込んで人間の遺伝子の最初のドラフトを完成させたヒトゲノム計画を、生物学者による月ロケット打ち上げであると思っている。もし革新的な技術（すなわち、自動化された DNA シーケンサー）の助けがなかったら、この計画が発射台から飛び立つことは決してなかっただろうという事実を完全に理解している人は、（プロジェクトに参加したメンバーを除けば）ごくわずかしか存在しない。しかし、ポストゲノム時代におけるコンピューティングと情報技術の必要性は、現在では、非常によく認識されている。生物学者による宇宙船エンデバー号に向かってさらに前進するための次の一手は何だろうか。バイオテクノロジーと情報技術の結合は、どの領域で発展しようとしているのか。次に、ここで検討してみる価値がある 2 つの接点を示す。

- ・ システム生物学。これは、ある生命体を対象として、その要素を同定し、1 つのモデル・システムの中で研究し、さまざまなレベル（DNA、タンパク質、タンパク質相互作用、情報経路、情報ネットワークといったレベル）で情報を収集し、この情報を総合して、その機能的な相互関係を探求する。すべてのコンピューティング・ツールが、生物学のツールとなる。ゲノミクスから、プロテオミクス、細胞情報、組織情報、器官全体、そしてフィジオミクスまでの生物情報学の系列全体が、システム生物学の出発点となる。バイオテクノロジーに対するシステム生物学の説明については、たとえば、2000 年 9 月の量子システム・バイオテクノロジーに関する NSF のワークショップの報告書を参照のこと。（www.wtec.org）
- ・ 有機体/分子コンピューティング。10 年前、生物の基本要素をコンピューティングに使用する方法を探求していた研究が、コンピュータ科学における難問として知られていた課題を、遂に、DNA によるソリューションによって解決するに至った。今では、科学者は、これまでシリコンを使って実行してきた演算を実行する基本的な回路とスイッチを、分子を組み合わせて作成するようになった。従来のシリコン・チップが物理的な限界に急速に近づくのを尻目に、研究者は、生物学と化学の領域で次の微小な素材を捜し求めている。そして、ナノ回路とナノテクノロジーという新しい世界に取

り組むために、周到な準備が進められている。バイオテクノロジーをナノテクノロジーに結び付ける研究の説明については、たとえば、『"米国のナノテクノロジー・プロジェクト" - 次代の産業革命への道』("National Nanotechnology Initiative" - Leading to the Next Industrial Revolution) [B6]を参照のこと。

4. インフラストラクチャとツール

要約

この調査で扱っている一連のインフラストラクチャ・プログラムは、米国社会のさまざまな側面に大きな影響を与えてきた。このプログラムの成功には、多くの要因が関わっている。この要因について理解するためには、さまざまな角度からこうしたプログラムを詳しく分析する必要がある。たとえば、技術の進歩、社会的な推進要因、そして科学界、産業界、政府から発せられるさまざまなレベルのビジョンとリーダーシップが挙げられる。この報告書は、この視点から調査結果を説明する。

4.1 政府のプログラムの進展

全米情報インフラストラクチャ・プログラムの初期の段階は、少なくとも連邦政府の外から見る限り、あまり系統的に進められていなかった。しかし、多くの本格的な取り組みがこの領域で実施された。1980 年代の米国の科学者、エンジニア、そして政府や産業界のリーダーたちは、先進的なコンピュータと通信技術が、研究者の世界だけでなく米国経済全体に対して大きな利益をもたらし得ることを認識していた。連邦政府のさまざまな機関に属していた数名の上級プログラム・マネージャは、学界や産業界の各種グループと非公式に協力しながら、リソースを共同出資することで研究プログラムの計画と実行を開始した。目標は、個別にプログラムを実施した場合を上回る形で、規模の経済を達成すること、そして科学技術に影響を与えることだった。そのような最初の研究は、当時の連邦科学工業技術調整委員会（FCCSET）の援助を受けていた。1991 年、米国議会は、ゴア上院議員によって提出された全米高性能コンピューティング法案（公法 102-194）を可決した。その法令で、高性能コンピューティング/通信プログラム（HPCC）が正式に誕生した。その後 10 年間に、HPCC は技術面でも運営面でも何度か変化を遂げた。その使命、目標、そして運用モデルは、その過程で大きく拡張されたが、現在進行中である環境科学やナノテクノロジーなどの他の多くの政府系プロジェクトに対する青写真としての役割を果たしてきた。

A. HPCC と国家調整局 (NCO)

1995 年までに、HPCC は軌道に乗り、模範的な連邦プログラムとして評価されるのに相応しい進捗を示していた。このプログラムの目標は、コンピューティングと通信の分野で、世界最高のインフラストラクチャとツールを構築することであった。この目標を達成するために、このプログラムはいくつかの個別的な目標を掲げている。

目標と目的

次のような 2 つの相互に関連し合った目的がある。

- ・ コンピュータ科学の進歩。これには全米規模で運営される 12 を超える高性能コンピューティング研究センターの開発とサポートが含まれていた。その中には国立スーパーコンピューティング・アプリケーション・センター (NCSA) とサンディエゴ・スーパーコンピュータ・センターがあった。これは後に NSF の先端コンピュータ・インフラストラクチャ全米組織 (NPACI) プログラムのバックボーンとなった。NPACI については後で説明する。

- ・ ネットワーク技術の進歩。これは、1990 年代のインターネットの驚異的な成長を促した通信/情報ネットワークの主要な研究開発プロジェクトへの資金投入に結び付いた。この HPCC プログラムの重要な要素としては、主要な大学研究機関と連邦政府の研究所のうち 24 ヶ所の拠点を接続する大容量ネットワーク環境で研究を実施する、6 ギガビットを超える試験設備が含まれていた。こうした取り組みは、1990 年代後半から新世紀にかけて実施されたさらに意欲的な多くのプロジェクトの基礎となっている。さらに、さまざまな連邦政府機関が、その間に、独自のコンピューティング・ネットワークを開発した。こうしたネットワークは、NSF の NSFNET (大学における研究/教育用ネットワーク) から、各機関の事業に密着したミッション指向型ネットワーク (DOE の Esnet など) まで、多岐にわたっている。

複数の機関のコーディネーターとしての NCO

HPCC プログラムが成功を収めた主な理由の 1 つとしては、何と云ってもまず HPCC の管理手法を挙げなければならない。他の多くの政府機関の研究開発の取り組みとは異なり、HPCC の活動はすべて国家調整局 (NCO) によって進められ、監督されてきた。1993 年に設立された NCO は、ホワイトハウスの科学技術政策室室長に直属する機関で、米議会、州および地方行政府、外国政府、産業界、大学、および一般大衆に対する連絡役を務めている。そのオフィスは主にボランティアのスタッフによって機能している。こうしたスタッフは、参加政府機関の代表者であり、そうした参加機関は、HPCC の活動の計画と

実行において一定の役割を受け持つことと引き換えに、人材やその他のリソースを派遣/提供しているのである。HPCC プログラムに参加するためには、機関は、その機関が参加に適しており、本格的に取り組む意欲があることを確証するために設定された一連の審査基準に合格しなければならない。審査基準とは、技術的/科学的な優秀さ、リソースと組織的遂行の準備、プロジェクトの適時性、HPCC の目標との関連性、費用の共同負担の仕組み、および機関の最高レベルでの承認である。約 12 の政府機関が初期の参加者だったが、中心的機関（ARPA、DOE、NASA、NIH、NSF）が予算と運用管理責任の多くを負っていた。

HPCC が成功した第二の理由は、その職務（戦略的計画、予算編成、プログラムの実行、監督）がどのように実行されたかにある。NCO は、その活動を以下に示す 5 つのワーキング・グループに分けた。それぞれが当時の HPCC の使命にとって重要であると考えられていた主要な技術領域に注力した。

- ・ **HPCS** — 高性能コンピューティング・システム。拡張可能な分散コンピューティング・システムと関連ソフトウェアの研究開発を支援し、テラフロップス・レベルの性能を達成する。
- ・ **NREN** — 全米研究教育ネットワーク。研究と教育のコンピュータ・ネットワークの接続性（NSFNet など）をあらゆる種類のコンピューティングと情報のリソースに拡大する。ネットワーク技術の開発（地上、衛星、無線、有線の各通信システムに対する米国のプロトタイプの実証を含む）を促進する。
- ・ **ASTA** — 先進ソフトウェア技術とアルゴリズム。新しい革新的なソフトウェア技術と他の HPCC リソースの開発と利用を通じて、コンピュータ集約的なグランド・チャレンジの問題に対するソリューションのプロトタイプを実証する。
- ・ **BRHR** — 基礎研究と人材。幼稚園から第 12 学年（高 3）まで（K-12）、さらには生涯教育までにわたって、コンピュータ科学/エンジニアリングと情報科学の研究、研修、教育をサポートする。
- ・ **IITA** — 情報基盤技術および応用プログラム。情報集約型アプリケーションに焦点を合わせたナショナル・チャレンジの問題に対するソリューションのプロトタイプを実証する。また、サービス、ソフトウェア、ヒューマン・インターフェイスなどの技術を統合する作業を支援する。それによって、HPCC の恩恵を一般社会にもたらしながら、複数のナショナル・チャレンジを包括する形でリソースを活用することで開発費用における規模の経済を達成することを目指す。

上記の 5 つの技術領域の中で、IITA は、1995 年の HPCC プログラムの新しい焦点であった。また、その後、情報技術研究開発が国家的課題として推進されて行く中において、

「情報インフラストラクチャ」という言葉がキーワードとなった最初の時でもあった。ビジョン、技術的な範囲、実行計画は、1994 年 HPCC プログラムによって刊行された IITA の特別委員会の報告書[I1]で完全に明確にされた。これは、次に説明する NII プログラムの最初の技術的な輪郭である。

B. 国家情報インフラストラクチャ (NII)

1994 年 1 月 24 日、クリントン大統領は、一般教書の中で米国のすべての教室、図書館、診療所および病院を 2000 年までに「国家情報スーパーハイウェイ」に接続するように指示した。

ナショナル・チャレンジ

「国家情報インフラストラクチャ」(NII) プログラムは、そのとき正式に発足した。NII は、HPCC によって実現されたコンピューティングと通信技術の基礎を拡張するものであるが、その焦点は「ナショナル・チャレンジ」アプリケーションの開発を可能にすることにある。進歩する科学のグランド・チャレンジの問題への取り組みとは異なり、ナショナル・チャレンジの問題は基本的なアプリケーションであり、米国の競争力と国民の福祉に広く直接的に関係するものである。当時（1994～1995 年）の NII プログラムは、以下のテーマ・アプリケーション（要約は表 4.1 を参照）を処理するため、プログラムの目標と実行計画を設定した。

米国における最近の I T 重点分野に関する調査

表 4.1 国家的取り組みと NII

国家的取り組みの問題	先導的機関とサンプルプログラム
電子図書館	• NSF、NASA、DARPA • 機関連携による電子図書館イニシアチブ
危機緊急管理	• ARPA — 災害管理プロジェクト • NOAA — 環境の警告と予測に関するシステムのプロジェクト
教育と生涯教育	• NSF と教育省 • 科学と工学の K-12 教育を改善するための国家規模のネットワークシステムのプログラム
電子商取引	• ARPA — 認証と他の e- トランザクション技術に対する基礎的なインフラストラクチャの開発 • コマース/NIST — アプリケーションを開発して実証するための産業界との協働
エネルギー管理	• DOE — NII プログラムのツール、技術および利益を評価し、国家の公益事業を評価するために必要な政策と規制の変更を決定する
環境の監視と廃棄物最小限化	• NASA、NOAA および EPA • 地学データベースと環境データセンター、訓練と教育、教育と訓練プログラムへの公開アクセスを提供するためのシステムを合同で開発する
ヘルスケアとデリバリー	• NIH — 医学情報交換のための、病院、診療所、診察室、医学校、その他を接続するためのテストベッドの研究への資金供給 • NSF — 遠隔医療の研究への資金供給 • ARPA — 生体医療デバイスとツールの研究への資金供給
製造工程と製品	• ARPA — 次世代の情報ベースのツールと能力のための MADA (製造自動化と設計工学) プログラムの開始 • NIST — ネットワーク化された製造環境と標準化作業のサポート • NSF — バーチャル・プロトタイピングおよびラピッド・プロトタイピング研究のためのインフラストラクチャ・プログラム
政府の情報の一般公開	• ホワイトハウスと議会を含むすべての政府機関が、データベースと情報リソースへの一般のアクセスを提供する取り組みを開始 • NSF — 連邦政府の機関にまたがる電子政府の研究イニシアチブを開始

インフラストラクチャの枠組み

広く発表された NII の目標は、米国全体で非常に歓迎されたほか、世界からもかなり好意的に評価されたが、研究者の世界では、そうした目標を達成するための道筋について議論が生じた。最初の段階として、さまざまな研究グループと顧問団の間で重大な議論の後に、アーキテクチャの青写真が現れた。この全米情報インフラストラクチャは、以下の 3 つの概念的なレイヤから構成される。

アプリケーション。これは最上位レイヤで、情報集約的問題のすべてが直接処理される。ナショナル・チャレンジ・プログラムに記述されているアプリケーションはこのレイヤの例である。

Bitway。これは最下位のレイヤで、将来のコンピュータ、通信、情報のプラットフォームやサービスのすべてが、ここから提供される。このレイヤに含まれているのは、既知の信号伝送技術と将来の信号伝送技術で、ブロードバンド、携帯電話、ケーブルテレビ、光ファイバー、通信衛星、ユーティリティ・チャンネルがある。

ミドルウェア・サービス。これは中間のレイヤで、NII の枠組みの中ではおそらく最も重要な要素だろう。アプリケーション・レイヤと Bitway レイヤには含まれたこの中間レイヤは、物理的リソースと人間の要求を結び付ける一連のソフトウェア・サービスを提供する。このようなサービスの例として、電子商取引（たとえばセキュリティ）、データ交換（たとえば規格）、マルチメディア・オブジェクト、コラボレーション・サポート、そしてリソース検出/管理などがある。

この簡潔な青写真によって、さまざまな研究、開発、アプリケーションの問題を（各レイヤで使用される技術が発展または進化し続ける中であっても）単独にでも、全体としても、解決することが可能になった。このようなモデルは、また HPCC のプログラムと NII プログラムがインターネットを通して緊密に関連し合っていることも考慮したものであった。その結果、これは、NII プログラムの次の段階を正式にまとめる作業の中で、重要な役割を果たした。

C. 次世代インターネット (NGI)

HPCC と NII が進捗するにつれて、研究者の間に潜在していた新しい懸念材料が表面化した。これらのプログラムの健全な進捗が、インターネットの健全な発展に非常に依存していることにすべての人が気づいたのである。不幸なことに、インターネット自体も、急激な成功への対応に苦慮していた。何よりもまず、数千人規模のネットワークのために設計された技術（ARPANET、インターネットの前身）が、何百万もの人にサービスを提供することを強いられているという問題があった。もちろん、新しい技術や、プロトコル、標準を開発すれば、将来の需要を満たすことができると、研究者たちは信じていた。必要とされているものは、政府、産業界、そして学术界が、次世代インターネットに対するビジョンと決断を示すことであった。幸い、これは程なく実現された。

NGI とビジョン

1996 年 10 月 10 日、クリントン大統領は新しい連邦政府の研究開発プログラムである、次世代インターネット (NGI) に全力で取り組むことを発表した。これは、現在のインタ

ーネットを次世紀に移行するために長期的な取り組みを開始するように構想されたプログラムである。以下に、NGI プログラム構想書[I12] に表明された大統領のビジョンを示す。

21 世紀に、インターネットは、ビジネス、教育、文化、そして娯楽の面で、強力かつ多目的な環境を提供するだろう。視覚、聴覚、そして触覚でさえ強力なコンピュータ、ディスプレイ、そしてネットワークを通して統合されるだろう。人々はこの環境を使って仕事をしたり、預金したり、勉強したり、買い物をしたり、娯楽に接したり、互いに訪問し合ったりするだろう。職場でも、自宅でも、あるいは旅行中でも、環境は同じになる。セキュリティ、信頼性、プライバシーが、この環境の中に組み込まれる。消費者は、さまざまな価格でさまざまなレベルのサービスを選択することができる。この環境がもたらす恩恵としては、経済の敏捷性の向上、雇用機会の拡大、生涯教育機会への容易なアクセス、そして地域社会、国、そして世界に参加する機会が挙げられる。

目標、戦略、評価基準

このビジョンは、多くの国民に向けたメッセージとして簡潔で明確に作られている。そして重要な社会の構成要員、すなわち、議会、産業界、学界、そして最も重要である一般社会によって、ただちに受け入れられた。したがって、大統領のビジョンは、遅滞なく政府の戦略やプログラムに反映された。研究開発プログラムとして、NGI は以下の 3 つの目標を掲げている。

- ・ 大学と他の研究機関を結んで新しい技術を実証し将来の研究をサポートするために次世代ネットワーク組織を構築すること
- ・ より豊かな機能を備え、より高度なパフォーマンスの、リーズナブルな価格で提供可能なサービスを要求する将来のアプリケーションが必要とする先進ネットワーク技術に関する実験的研究を追求すること
- ・ 現在のインターネットでは容易に解決できない国家や社会のニーズを満たす革新的なアプリケーションを開発すること

これは非常に高い目標である。しかし、こうした目標を達成するためには慎重な計画、明確に表現された戦略、進捗を評価する手法、そして成功のマイルストーンが必要である。ここでもまた、NCO の調整を受けながら、NGI プログラムが多くの公的/私的組織の援助を受けてこれらの計画を作成した。そして、こうしたプロセスは、NGI の実施とその後継プログラムにとって中心的な役割を果たしたことが明らかになった。表 4.2 に、NGI の戦略的計画と実施項目を簡単に要約する。

表 4.2 NGI の目標と方策と測定基準

目標	成功するための方策	進行を測るための測定基準 またはマイルストーン
目標 1. 研究者と研究所を結ぶ次世代のネットワーク組織の構築	- 既存の研究ネットワークを利用し拡大する。たとえば NSF の vBNS、DOE の ESnet - 産業界と協同で高性能ネットワークを構築する	- 現在のエンドツーエンドのインターネットの性能を 100 倍高速にし 100 の研究所を接続する - 現在のインターネット性能の 1,000 倍の速さで 10 の研究所を接続して、これを実証する
目標 2. 先進ネットワーク技術の実験的な研究の追求	- サービスとプロトコルと機能性を開発し配置するために政府と産業界と大学の研究開発組織に資金供給する - オープンソースと技術移転環境を採用する	- 主要な成功の尺度にはサービスの質、セキュリティ、強固さがある - 新しい技術が商用インターネットのサプライヤーに採用された範囲
目標 3. 革新的なアプリケーション	- 分散協同コンピューティングなどのような基礎レベルのアプリケーションを特定する：遠隔教育、テレポーテーション - 援助機関または産業界のパートナーの業務に合わせたプロジェクトを実証する	- 新しいネットワーク技術を検証するアプリケーションの価値 - ネットワーク利用の新しいパラダイムの実証 - 機関の業務に合わせた目新しいアプリケーションの数

NGI プロジェクトに関する上記のイニシアチブの詳細は、1997 年の報告書[I12]に記載されている。

D. NGI から IT R&D へ

NGI は、1998 会計年度に開始され、2001 会計年度に終了した。その目標は、すべてではないにしても大部分が満たされた。特に、NCO の調整に基づいて、実際には、目標 1 のために設定された基準を上回る成果が得られた。100 倍の NGI の試験設備は 150 を超える研究所を接続した（目標は 100）。1,000 倍の試験設備は 15 ヶ所を接続した（目標は 10）。プログラムの規定に沿って（目標 2）、NGI は高性能ネットワーキングを民間部門に移行することに成功した。この移行には、Abilene プロジェクトと NSF の超高性能バックボーン・ネットワーク・サービス（vBNS）が含まれている。この 2 つについては、後の項で取り上げる。

NGI（および前身のプログラム）の成功と業績は、速やかにそして必然的に新しいプログラムへと結び付いた。このプログラムは、情報技術研究開発（ITR&D）で、すでに実施されており、現在も進行中である。新しいプログラムは引き続き国家調整局（NCO）によって調整されている。しかし、過去 2 年間、21 世紀への移行に際しての新たな焦点である、

コンピューティング、通信、情報の領域における広範な研究開発活動に対する要求を反映するために、このプログラムはさまざまな形で再編されてきた。さらに、IT 領域における教育、研修、労働力ニーズの重要性に対する注力も一段と強化された。

新しく拡張されたPCA

2000 年に、NCO は新しい一連のプログラム・コンポーネント・エリア (PCA) を発表した。これは、多様な参加機関にまたがって ITR&D のさまざまな活動を運営するためのワーキング・グループとして機能する。

- ・ ハイエンド・コンピューティング/コンピューテーション (HECC)。HECC は 2 つの独立した相補的機能を持っている。ハイエンド・コンピューティングのインフラストラクチャとアプリケーションの研究開発、そしてハイエンド・コンピューティングの研究開発である。
- ・ ヒューマン・コンピュータ・インターフェイスおよび情報管理 (HCI&IM)。この PCA は、2 つの要素に焦点を当てている。人間と情報である。これは、大量の情報を多様なユーザーが簡単に有効利用できるようにするという課題の高まりをを反映している。
- ・ 大規模ネットワーク (LSN)。LSN は、ネットワーキングのすべての研究開発活動を含んでいる。さらに、NGI のすべての研究開発活動とそれに続くプログラムを含んでいる。
- ・ ソフトウェアの設計および生産性 (SDP)。これは新しい PCA である。広範囲の情報中心システムに対してソフトウェアの設計、製作、テスト、使用、そして保守をより簡単にする研究開発の必要性に焦点を当てている。
- ・ 高信頼ソフトウェアおよびシステム (HCSS)。この PCA は、ソフトウェアとハードウェアのシステムの両方における適応性、信頼性、安全性、そしてセキュリティに対するニーズの増大を反映している。
- ・ 社会、経済、および労働力の面からみた IT 労働力開発 (SEW)

NITRD (ネットワーキングと情報技術の研究開発) – 新しい米国のインフラストラクチャ

NCO の調整の下で、合同機関のプログラムの新しい PCA と多くの業績は、IT という舞台で大きな資本注入または研究開発資金の基礎を据えた。2001 会計年度に、さまざまな PCA のコンポーネントにおける作業の支援のために総額約 20 億ドルの連邦政府の資金が参加機関に割り当てられた。これは、前年までの資金供給に対しておおよそ 30% の伸びを表している。この年、管理部門は新しくネットワーキングの焦点となった項目に引き続き大いに投資する ITR&D 予算を提示した。それはネットワーキング技術が米国の技術革新とアプリケーションに対するインフラストラクチャの中で一様により大きな役割をどのように果たしていくかというさらなる認識にほかならない。全体として、学界と産業界の両

方の研究コミュニティと一般社会が、この投資の真の受益者となった。これについては以降の項で詳しく説明する。

4.2 国家的プロジェクトの分析

本項では、米国の IT インフラストラクチャ・プログラムの構成要素、その成功の影に隠れているさまざまな力、そして科学や技術革新や大きく社会に与えた影響を、その成果をめぐる多様な背景に即しながら検証する。さらに、このプログラムが、さまざまなレベルの政府機関、民間部門、そして国際社会との間で生み出した相互作用についても考察する。

A. 研究開発の今までの成果

政府資金による ITR&D の取り組みに関する多くの業績を報告すれば、膨大な量になるだろう。しかし、インフラストラクチャやツールに関係する領域の業績のうち、2、3 の例を挙げればポイントを説明するには十分だろう。

ネットワーキング

- ・ インターネットは ARPANET から成長したもので、ARPANET は DARPA の資金による研究者たちが 1960 年代に発明したネットワークである。
- ・ 高速光ネットワーク。DARPA と他の機関の支援したネットワーキング研究により、エンドツーエンドの伝送スピードと容量において現在のインターネットの 1,000 倍を達成する世界初の光ネットワークプロトタイプが実現した。

人とコンピュータのインターフェイス

- ・ NSF は大学を核とした研究に資金を出した。その研究は最初のグラフィカル Web ブラウザである Mosaic へと導いた。
- ・ Web 検索エンジン（たとえば Google）は、NSF、DARPA、NASA の初期の電子図書館研究プロジェクトから発展した。
- ・ Java は、ネットワークによる相互運用性をサポートするプログラミング言語で、オブジェクト指向プログラミングの概念と DARPA と NSF の研究者によって行われた人工知能の研究に基礎を置いている。

情報管理

- ・ 世界初にして最大の公開医学データベースは、研究結果と医学雑誌の引用を統合したものであり、NIH の国立医学図書館によって開発され管理されている。

- ・ リレーショナル・データベース。これは現在世界中で 100 億ドルのビジネスになっている。この業務用ソフトウェア・システムは、財務レコード、国勢調査データ、事務処理などの大量の情報を蓄積し管理するものである。NSF と DARPA によって資金が与えられた大学の研究が最初にイニシアチブを提示し、後に産業界が完成させ市場に送り出した。
- ・ NSF と DARPA などが資金援助した機械学習の研究で開発されたアルゴリズムやその他技術により、ヒトゲノムの解読が容易になり、またデータマイニング産業が生みだれた。

B. 実験的研究：インフラストラクチャとツールの接点

現在の NITRD プログラム（およびその前身）のおそらく最も重要な貢献は、参加機関の合同の取り組みによって資金が供給されたインフラストラクチャ設備とツールの膨大な集合を生み出したことである。これらの取り組みの成果は、さまざまなハイエンド・コンピューティング設備と通信設備、そして情報リソースであった。それらは、米国全土の科学者が基礎研究と応用研究の大規模な実験を行うことを可能にした。限られた紙面では完全な説明ができないが、いくつかの主要な要素を簡潔にまとめる。さらに詳しい情報を得るための優れたソースは NCO の予算要求の補足説明書として大統領に提出される年報に記載されている [I2, I3]。

インフラストラクチャ設備

以下に示す施設は、米国内の開発済みまたは開発中の最も先進的な IT インフラストラクチャ設備の一部を取り上げたものである（各項目末尾の括弧内は、主な機能または用途を表している）。

- ・ 国立高度計算インフラストラクチャ・パートナーシップ (NPACI) プログラム。NPACI は 2 つの主要センターによって運営されている。すなわち、UIUC にある米国スーパーコンピューティング・アプリケーション・センター (NCSA) と UCSD のサンディエゴ・スーパーコンピュータ・センターである。それぞれのセンターは、多くの大学および産業界の研究所とパートナー関係にある。また、従来は不可能であった規模で科学的探究や技術革新を可能にする最新の計算結果と情報リソースを提供している。
(あらゆる科学分野のためのコンピューティングと通信)
- ・ 国立大気研究センター (NCAR)。NCAR は、NSF が資金を出しているが、大気、海洋、そして関連科学の学術研究者のためにコンピューティング設備を提供している。

さらに気象モデリング設備を持っている。これは多機関の米地球変動研究プログラムを支援している。(コンピュータ科学)

- NASA の情報技術テストベッドは、6 か所ほどの NASA のセンターで全国の宇宙研究を支援するための試験設備である。これらの試験設備は、コンピューティング・プラットフォームやプログラミング環境における多様な構成と機能を提供する。(宇宙研究のためのコンピューティング)
- DOE 研究所。DOE の科学部門は全国のさまざまなハイエンド・コンピューティング設備を維持管理している。その多くは、アルゴンヌ、ロスアラモス、オークリッジ、そしてバークレーのローレンスリバモアにある国立研究所に設置されている。また、核エネルギー、地球、環境科学の研究に対するコンピュータ・リソースとインフラストラクチャのサポートを提供している。(数学と物理学のためのコンピューティング)
- NIH のコンピューティング・システムとデータバンク。国立研究リソース・センター (NCRR) は、全国の大学にある高性能コンピューティング・リソース・センターで生体医学研究のためのさまざまなシステムをサポートしている。さらに、NIH の医学図書館は、生体医学研究のためのデータ・リソースを提供する NCBI を併設している。(生体医学研究のためのコンピューティング、コンテンツ・ベースの研究のためのリソース)
- 多機関の電子図書館研究の試験設備とデジタル・コンテンツ・コレクション。DL 研究プロジェクト (第 2 章を参照) の最も顕著な成果のうち、特に 2 つを挙げるとすれば、第一に、コンテンツ・ベースの研究のための大規模なデータ・リポジトリとそれに関連するプログラミング・サポートを提供する実験的な試験設備の創設である。第二の成果は、国のミュージアムとアートギャラリーのデジタル化コレクションの激増である。(内容に基づく研究のためのリソース)
- 多数の政府機関による研究/教育ネットワークの相互接続。NITRD プログラムの大規模ネットワーク (LSN) PCA は、さまざまな機関または研究と他の任務のための非営利組織によって別々に管理されているすべてのバックボーン・ネットワーク・インフラストラクチャを調整する責任がある。これらのネットワークの中には、NSF の超高性能バックボーン・ネットワーク・サービス (vBNS)、DOE のエネルギー科学ネットワーク (ESnet)、NASA の研究/教育用ネットワーク (NREN)、DARPA の実験的研究ネットワークである Super Net などがある。さらに、Abilene ネットワーク (次項を参照)、公的/私的なコンソーシアム、STAR TAP、科学、技術、および

研究トランジットポイントとして知られている国際的な研究コミュニティへの接続のための NSF の先進ネットワーキング・インフラストラクチャ (ANI) プログラムを通して、接続性を提供している。(ネットワーク・リソース、国際的な接続)

- ・ ミドルウェアの新しい 3 年間の NSF プログラム。ミドルウェアとは、複数のアプリケーションによって共有されるソフトウェアであり、ネットワーク・サポート・サービスを拡張して、新しいアプリケーションの迅速な開発を可能にするソフトウェアである。このプログラムは、インターネットによる共同作業のための先進的ネットワーク・サービスの作成と発展に焦点を当てている。この取り組みから実現されるインフラストラクチャとツールは、公開リソースだけでなくユニークな科学的リソースの共有も促進するだろう。主要大学のパートナーシップに基づく 2 つのチームが、これらの新しいミドルウェア・サービスを共同で設計し、開発し、評価し、配置し、米国中の研究所と国際研究コミュニティに広める研究開発の取り組みを調整する作業を担当している。このプログラムの詳細については、[I8]を参照のこと。(ネットワーク技術、情報サービス、そして配布)
- ・ NSF のテラ規模のコンピューティングへの取り組み。2 つの別個のプログラムが最近軌道に乗り、学術研究のための世界で最も強力な超高性能のコンピューティング設備の 2 つを構築する作業に携わっている。第一は、コンパック社とパートナーシップ関係にあるピッツバーグのスーパー・コンピューティング・センターにある 4,500 万ドルの設備であり、最高演算スピードが 1 秒間に 6 兆回 (teraflops) に達するシステムを開発して実装した。第二は、世界で最初のマルチサイト・スーパーコンピューティング設備であり、分散型テラスケール・ファシリティ (DTF) という名称で知られている。5,300 万ドルの補助金を受けている DTF は、1 秒間に 11.6 兆回の演算を処理し、450 兆バイトを超えるデータを格納する見通しである。ここで使用されているのは、4 ヶ所の研究施設にあるコンピュータ、ネットワーク・ツール、データを毎秒 400 億ビットの光ネットワークを使ってリンクする「TeraGrid」というコンピュータ・インフラストラクチャである。完成した暁には、この 2 つの設備は高性能コンピューティング、ネットワーク、そしてデータ共有リソースの限界をさらに高いレベルに押し上げているはずである。このプログラムの詳細については、[I9, I11]を参照のこと。
(すべての学問分野と学際的研究におけるブロードバンド・コンピューティングのための次世代コンピュータ・グリッド)

実証されたツール

幅広い IT アプリケーションのために設計されたさまざまなソフトウェアとシステム・ツールは、IT R&D プログラムとその前身の下で数年をかけて開発された。これらのツ

ルの多くは、研究コミュニティと政府や産業界からのプロジェクト・スポンサーに対して、一連のユニークなアプリケーションを処理する能力と適応性を実証した。これらのツールのデモンストレーションは、NGI プログラムが課している必須プロセスの一部として実施されたものであるが、それだけでなく、情報技術における最新の開発成果を一般社会に認識してもらう機会にもなっている。2 年間（1999～2000 年）に、NCO は、コンピューティング、通信、情報分野にまたがる IT ツールの存在を学界と IT 産業界に広く認識してもらうために一連の展示会を主催した。表 4.3 に、これらのツールとアプリケーションの潜在的領域の 10 件をまとめた。

表 4.3 実証されたツールとその潜在的アプリケーション

ツールと サポート団体	技術開発と デモンストレーションの参加者	主要な技術と アプリケーションの潜在力
バーチャルライブ ラリ (VLAB) – NASA	NASA エームズ研究所；NASA ジョン ソン宇宙センター；アップルコンピュ ータ、ロッキード・マーチン、ロック ウェル・インターナショナル、ボーイ ング	・ 数学モデリング、表示技術、 コントロール・システム、仮想 プロトタイピング、リアルタイ ム・シミュレーション ・ 概念とツールは広くリモー ト・コントロール・システムに 適用可能
ナノ遠隔操縦機の システムツール – NIH、NSF、陸 軍研究所、ONR、 シリコングラフィ ックス、センサブ ル技術、サーモマ イクロスコープ	分子グラフィックと顕微鏡使用のため の NIH のリソース；ノースカロライ ナ大学のコンピュータ科学、化学、遺 伝子治療センターの多分野にまたが るチーム	・ 科学者が先進ネットワークで ナノサイズの物体を見て触れ て直接修正する能力 ・ DNA 計測のために使用可能な ツール；特にカーボンナノチュ ーブでナノサイズの回路を作る
教育用電子図書館 ツール – NSF、 DARPA、NASA	カリフォルニア大学サンタバーバラ 校；カリフォルニア大学ロサンジェ ルス校；ジョージア大学；ジョージア技 術研究所；サンディエゴ・スーパーコ ンピュータ・センター	・ 膨大な地球空間のデータへの ネットワークによるアクセス – 地図、航空写真、リモート センサーによる画像 ・ 地球照合データをモデリング 解析ツールと組み合わせた訓 練環境
将来の工学設計ツ ール – NASA	NASA ラングレイ研究センター	・ 工学設計の早くて反復性のあ る組み立てと解析を提供する 専用ソフトウェア ・ 複数の離れたユーザーが協同 で設計できるようにするツー ル

(続く)

表 4.3 実証されたツールとその潜在的アプリケーション

(続き)

生体医学のシミュレーションとテストベッドのためのツール — NIH	国立がん研究所；ピッツバーグ・スーパーコンピュータ・センター；スクリップ研究所；ピッツバーグ大学医療センター；カリフォルニア大学サンフランシスコ医学校	・電子ノート、ソースコード・リポジトリ、コンピュータ生物学のために仕立てたデータ共有技術とシミュレーション・ソフトウェア ・生体医学研究のスピードと正確さを改善する自動化された協同化技術
バイオ協同研究環境のための対話型ツール、BioCoRE — NIH	NIH；ベックマン先進科学技術研究所、イリノイ大学	・視覚化、データ共有、シミュレーションおよび管理のためのネットワーク化された対話技術 ・タンパク質などの分子システムのチーム志向の 3 次元解析用アプリケーション
データ探索ツールと分散テストベッド、テラバイトチャレンジ 2000 — NSF、DOE、NASA	世界規模の参加 米国、英国、シンガポール、香港、カナダ、オーストラリアの複数の大学	・大量で地理的に分散したデータセットの管理のための分散知識ネットワーク・ソフトウェアとテストベッド ・脳科学、天文データ、遠隔没入感用のアプリケーション
サーチエンジンを効果的に強化するためのツール、TRAC*プロジェクト — DARPA、NIST	世界規模の参加 16 カ国から 66 の学術、産業、政府のグループ	・多くのユーザーによるテキスト・サーチと検索技術のための規格と手法 ・クロス・ランゲージ情報検索の新しい研究のためのインキュベーション
分析と生産性のためのツール、CONQUEST** — AHRQ	未だ公けには実証されていない	・ユーザーが複数のヘルスケア提供者と臨床条件に関するパフォーマンスデータの収集と評価を可能にするソフトウェア ・ヘルスケアの質的改善
識別とセキュリティのツール — DOE と NASA	未だ公けには実証されていない	・官民研究グループ間コミュニケーションのスケーラブルなセキュリティに関するアーキテクチャ・モデル ・多くの民間研究パートナーと共に政府機関が採用

* テキスト検索協議会 (Text REtrieval Conference) サーチ・エンジンを評価するためのツールのデザインを調整する一連のワークショップ

** コンピュータによるニーズ志向の品質測定評価システム (Computerized Needs-oriented Quality measurement Evaluation System) ユーザーがヘルスケアの質と臨床性能の尺度の収集と評価を可能にするツール

C. プログラムの背景となっている力

過去 10～15 年間に政府が資金を出した一連の IT プログラムの明白な成功の背後には、多くの力がある。もちろん、成功がさらなる成功を呼ぶことも多く、そのことによって、複数のプログラムが（特にインフラストラクチャの領域で）矢継ぎ早に実施されたこともある程度まで説明される。しかし、現象を完全に説明するために、さまざまな力を検証する必要があるだろう。そうした要因の中には、技術的な課題だけでなく、組織的、政策的、社会的な要因と関連した数多くの問題も含まれる。

人間中心の技術と情報中心の技術

コンピュータとインターネットは、1990 年代初頭の HPCC プログラムの有力な要素だった。1990 年代半ばに人間中心と情報中心の課題が出現したことが、HPCC の展望を一変させてしまった。この技術的重点の変更は、コンピュータ集約型 HPCC プログラムから情報集約型プログラムである IT R&D への比重の移行を引き起こした。IT R&D プログラムは、今日も依然としてこの種の取り組みの中央舞台にとどまり続けている。

下の表は、研究、インフラストラクチャ、ツール開発の優先順位の点で、イニシアチブの概念的な重点が、HPCC から、コンピュータ、情報、通信（CIC）へと移行した様子を要約したものである。

表 4.4 HPCC から IT R&D への優先順位のシフト

要素	プログラムの優先順位	
	HPCC	ITR&D (NII, NGI)
研究の焦点	コンピューティングシステムと通信ネットワーク	コンピューティング、ネットワーク、そして情報システム
インフラストラクチャ	インターネットと関連ソフトウェア	インターネット；関連ソフトウェア；データ・リソースの収集と管理
ツール	オペレーティング・システム、ネットワーク管理；コンピューティング・プラットフォームとプログラム間の相互運用性	インテリジェント・ヒューマン・インターフェイス；管理情報とデータ・リソースのためのソフトウェア；グループと組織相互作用の間の共同作業ツール
アプリケーションの目標	科学的、工学的そしてビジネス・コミュニティ；研究グループ	多くの様々な要求をもつ一般および多様なグループのユーザー；科学、工学、ビジネス以外の社会アプリケーション

* テキスト検索協議会（Text REtrieval Conference） サーチ・エンジンを評価するためのツールのデザインを調整する一連のワークショップ

** コンピュータによるニーズ志向の品質測定評価システム（Computerized Needs-oriented Quality measurement Evaluation System） ユーザーがヘルスケアの質と臨床性能の尺度を収集と評価を可能にするツール

連邦政府のリーダーシップ

IT インフラストラクチャ・プログラムの急激な進展の背後にある第二の力は、過去 10～15 年の間の（共和党と民主党の両方にわたる）連邦政府のトップの強力な慎重な管理スタイルである。最初に、科学技術政策局（OSTP）局長が大統領への閣僚級の科学顧問になった。また、この政策局は研究投資と政策問題に関する IT 研究コミュニティとビジネス・コミュニティの間の連絡役にもなった。

情報技術のスケジュールを進めるに当たって大変効果的な役割を演じたもう 1 つの団体は、大統領直属情報技術諮問委員会（PITAC）である。企業のリーダーとビジネスおよび学術研究所からの研究者で構成する 25 人の PITAC は、1997 年、次世代インターネットだけでなく、コンピューティング、通信、そして情報技術においても米国の卓越性を維持することについて、専門的見地による独立した指針を連邦政府に提供することを目的として、クリントン大統領によって創設された。蓋を開けてみると、PITAC の取り組みと影響は、当初の期待をはるかに超えていることが分かった。1998 年以来、PITAC の取り組みは、IT R&D のスケジュールに対する連邦政府の注力と役割の拡大を促進すると同時に、さまざまな機関に対する、またさまざまな機関横断的プログラムに対する、大規模な研究資金の投入を促してきた。PITAC の下で作業しているワーキング・グループは、テーマ別の研究を実施し、進行中の IT 研究とアプリケーションに関する公的報告書を発行した。そこで勧告された行動指針は、研究コミュニティと政府のリーダーに広く受け入れられた。

州政府の役割

順調な経済のこの 10 年の間、連邦政府の IT プロジェクトへのサポートの背後で生じた予想外の力は、州レベルの政府が、学際的な研究と教育における触媒、補足的な資金源、そして調整役として積極的な役割を演じてきたことである。州政府のこのような活躍はもちろん今に始まったことではない。連邦政府の研究補助金とインフラストラクチャ・サポートの多くは、州政府からの相応のリソース供給を従来から要求しており、現在もそれを奨励している。しかし、近年になって初めて見られるようになった点は、これらの州のプログラムが開始される方法と、そうしたプログラムが推し進めた積極的なスケジュールであった。

カリフォルニア州の科学技術革新研究所（CISI）

その適例はカリフォルニア州である。この州は、時には政府のサポートと奨励もあり、学界と産業界の両方で、米国における多くの情報技術の革新と起業家精神が発祥し、育成されたところである。研究開発のインフラストラクチャでカリフォルニアのような投資 방식을踏襲することは、最近ではあまりにも大胆でリスクが大きい。2000 年 12 月、グレイ・

デイビス州知事は4つの学際的研究機関を創設する10億ドルのプロジェクトを発表した。これは州の経済発展と将来の競争力にとって重要な研究と革新に焦点を当てるものである。これらの研究所は、数百にのぼるカリフォルニアの最先端産業と企業とのパートナーシップを得ながら、主要な研究施設によって運営される。

- ・ カリフォルニア州立電気通信情報技術研究所 — Cal(IT)²。主要なカリフォルニア大学キャンパス：サンディエゴ、アービン
- ・ 生体工学バイオテクノロジー量子生体医療研究所 — QB3：サンフランシスコ、バークレー、サンタクルーズ（第3章参照）
- ・ カリフォルニア・ナノシステム研究所 — CNSI。ロサンジェルス、サンタバーバラ
- ・ 社会の利益のための情報技術研究センター — CITRIS。バークレー、サンタクルーズ、デイビス、マーセド

これらの研究所は、全体として技術革新の新しい養成所になると期待されている。それはカリフォルニアの新しい経済を助けるだけでなく、研究の成果を、より迅速にあらゆる場所で、市民生活の中にもたらすだろう。4つの研究所のうち、CITRISのパートナーシップは、エネルギー、環境、運輸、保健衛生、教育の面で、主に社会的な問題に対する解決策を見つける手助けとなることが期待されている情報技術に焦点を当てている。工学、数学、生物学、物理学だけでなく、社会学や経済学も含めて、100人を超える学部メンバーが、4つのカリフォルニア大学のキャンパスで、20社を超えるサポート企業の研究者と共同研究に携わる予定である。さらに詳しい情報については、<http://www.citris.berkeley.edu/>を参照のこと。

産学のパートナーシップ。先に説明した大学と産業界の間の官民共同体制は、カリフォルニアの新しいCISIプロジェクトの主要な特徴である。それは、実際、多くの連邦政府が後援している研究開発への投資プログラムにとっても重要な要素でもある。初期のHPCCやNGIから最近のミドルウェアやTeraGridプログラムに至るまでの、ほとんどすべてのIT R&Dプログラムにおいても、大学や産業界から得たリソースを結び付ける協同体制が、成功のかぎを握っているのである。この官民連携のもっと良い例の1つが、インターネット・コンソーシアムの創設である。これは米国の最も価値ある研究ネットワーク・インフラストラクチャの資金調達と管理運営の方法をまさに一変させた。

Internet2、UCAID、NGI、およびAbileneプロジェクト。インターネットの商業化で1990年代中頃のビジネスとグローバル経済のすばらしい成功とともに、主要幹線のデータ・トラフィックが、大学を中心にした研究の大きな障壁となった。この伝送容量の限界

を打ち破るために新しいインターネット環境のイニシアチブである **Internet2** が最先端ネットワークの研究のために生まれた。**Internet2** は共同の取り組みで、ネットワーク技術とアプリケーションの先進の実験的研究を可能にするブロードバンド・ネットワークを作るために米国の研究大学によって先導された。1996 年 10 月に、34 大学のコンソーシアムである、先進インターネット開発大学コンソーシアム (UCAID) によって発表されたが、**Internet2** は今日約 200 の大学と 30 を超える大企業がメンバーとなっている。**Internet2** は 3 つの大きな目標を持っている。第一は、すべての州の大学にある国の研究コミュニティに対して最先端のネットワークの能力を提供することを確約している。第二は、**Internet2** は社会の緊急の要請と課題の多くを満たす助けとなるように設計された新しい世代のブロードバンド・ネットワーク・アプリケーションを開発し可能にしようとしている。第三は新しいネットワーク技術とアプリケーションをすべてのレベルの教育に転用すること、そしてまた新しい情報の製品とサービスの創生のための国の産業に転用することである。

これらの目標は明らかに連邦政府のプロジェクトである次世代インターネットの目標に対して相補的/補完的である。このように **Internet2** コンソーシアムは当然のように政府とパートナーシップ関係にあり、高性能ネットワーク接続と研究サポートに対する補助金を提供し続けるだろう。だが、疑問は残っている。**Internet2** の先進の実験ネットワークはどこにあるのか。答えは **Abilene** プロジェクトである。これは **Internet2** と UCAID のコンソーシアムの機構の第三の構成要素である。

Abilene は、最先端のネットワーク関連企業 (**Qwest Communications**、**Nortel Networks**、**Cisco Systems**) のグループとパートナーシップ関係にある UCAID によって開発された高性能な実験的ネットワークである。これらの企業は、**Internet2** のインフラストラクチャの最も先進的なバックボーン・サービスを提供してメンバーである大学を支援している。その返礼として、**Internet2** の技術的なワーキンググループとメンバーの大学がこれらの企業と共同で、サービスの質、マルチキャスト、IPv6 などのようなネットワークの問題に取り組んでいる。これらの **Internet2** 研究プロジェクトは、全体として 3 つの産業界のパートナーに対して仮想研究室として機能している。この政府、大学、産業界のパートナーシップは今日まで成功し続けている。2001 年 10 月現在、**Abilene** の主要な構成メンバーである **Qwest** 社は、(会社がテレコム事業で問題に直面しているにもかかわらず)、今後 5 年間で当初の取り組みを **Abilene/Internet2** まで拡大すると発表した。この拡大で、**Internet2** は **Abilene** のネットワークを光伝送性能にアップグレードするだろう。そして 2003 年 10 月までに、OC-48c (2.5Gbps) から 10Gbps へ 4 倍のスピードのバックボーンを提供するだろう。

Internet2/Abilene のパートナーシップは、研究開発に対する先進的なインフラストラクチャを創造している米国の競争力の最も革新的な面の 1 つを反映している。この政府と産業界と大学の間のパートナーシップの背後にある巧妙さは決してユニークなものではないかもしれない。少なくとも、他でも起こり得ることは事実である。しかし、この種のパートナーシップを効果的に機能させるためにこの 3 つのパートナーが実行した初期の取り組みと継続的な活動は、勝算は少ないものの、その成功モデルにあやかりたいと考える者にとって、模倣してみる価値は十分にある。このパートナーシップに関するさらに詳しい情報については、<http://www.internet2.edu/>を参照のこと。

D. プログラムの影響

一連の連邦政府のプログラムの影響を評価することは容易ではなく、特に、ある期間に次々と連続して進捗したプログラムについての評価は難しい。それでも、インフラストラクチャやツール開発の効果を明らかにする最適な方法は、やはり、そうしたプログラムの諸要素が、国の研究能力の健全性、経済と産業の発展、そして社会の利益にどのように貢献してきたかを検証することである。この評価の厳密な定量的分析はこの調査の範囲を超えているが、以下の表に、このような影響と利益の定性的な要約を各カテゴリーごとに示した。

表 4.5 IT インフラストラクチャとツールの開発による大きな影響と恩恵

領域	主な影響または恩恵
科学技術	- 生物学、物理学、工学にまたがる新しい専門分野に向かって進化する計算諸科学 - ネットワークによる革新、時間・距離・知識分野を超えた共同研究 - IT と従来からの研究領域の共通部分にできた新しい専門分野
経済	- 電子商取引とインターネットを使ったビジネス・モデルと市場の実現 - 重要な成長への貢献と、新しい雇用創出と（最近スローダウンしているが）インターネット・ビジネスの創設 - 旧経済の再編；知識ベース経済への急速な進化
産業	- コンピューティング、通信そしてコンテンツ産業の加速度的収束 - 他の産業 — 製造、サービス — の転換。革新、技術開発、IT ベースのビジネス・モデルへのネットワーク技術による進化 - 研究開発に関して産業界、学术界と政府の間の強化されたパートナーシップ
社会	- コンピューティング・プラットフォーム、情報家電、ネットワークによる情報製品やサービスへの改善されたアクセス - 政府機関における様々なレベルにおける電子メディア、電子プラットフォーム、電子サービスへの移行 - 働き、学び、生活するための新しい様式への展望 - 国際的な結びつきを通して国境、文化、統治を越えた相互理解への展望

4.3 将来のビジョン — 次の研究開発課題

インターネットは、今後、どのように発展していくのだろうか。次のIT技術革新として、何が予想され、何を期待できるのか。次のIT R&D プログラムはどこに向かって進むのか。研究者、ビジネス・リーダー、政策立案者、そして一般の市民が、等しく同じ疑問を抱いている。本質的に、誰にとっても、未来に対するビジョンなしには、情報化/ネットワーク化された社会の進路を見通すことは不可能である。そのようなビジョンの表現方法として、情報技術研究開発に関する関係省庁間のワーキング・グループによる大統領宛ての2001年の報告書で提案されたビジョンほど、率直で説得力に富んだものは見当たらないだろう [I5]。このビジョンは、インフラストラクチャとツールの開発だけでなくIT研究全体に対する長期的な投資の詳細計画として提示された、10件の研究課題を特徴としている。もし、投資から最大の収穫を得たいと考えるのであれば、この将来ビジョンは、研究、インフラストラクチャ、そしてツールを結び付ける強力な論拠となるだろう。以下に、このビジョンの要約を示す。

課題1 次世代コンピューティングとデータ・ストレージ技術。研究ニーズは次の通り。

- ・ 先進的なコンピューティング（従来型でないアーキテクチャ、構成要素など）
- ・ 斬新なシステム・ソフトウェア技術（オペレーティング・システム、新しいプログラミング・ツール）
- ・ デバイス、コンポーネント、ネットワークの接続性を統合するシステム・アーキテクチャ

課題2 シリコン CMOS の限界を乗り越える。研究ニーズは次の通り。

- ・ 生物学、情報科学、マイクロ・エレクトロメカニカル・システムの交差領域に相当する新しい研究のサポート
- ・ 光通信学、オプトエレクトロニクス、信号処理、生産の統合技術の進展
- ・ 革命的なコンピューティング・コンセプト（量子演算、分子演算）、素材、設計方法論

課題3 21世紀に向けたセキュリティの高い多目的の拡張可能なネットワーク。研究ニーズは次の通り。

- ・ 以下の基礎研究：光ネットワーク、ネットワーク力学とシミュレーション、耐障害性、ワイヤレス/ブロードバンド通信、ネットワークのセキュリティと信頼性の管理
- ・ 先進ネットワーク・アプリケーション（データ共有ネットワーク、共同作業用ツール）

課題 4 科学/工学で米国の強さを支える先進的な IT。研究ニーズは次の通り。

- ・ 科学分野を対象とした複雑な対話型モデリング・システムを構築し、理解し、評価するための新しいアプローチ
- ・ 科学者間の対話/共同作業を可能にする、処理能力の高い相互運用可能なコンピューティング・システム、ストレージ、ネットワーク、ソフトウェア、インターフェイス
- ・ 分散した学際的研究チームのサポート

課題 5 クリティカルなシステムの継続的な信頼性のある安全な運用。研究ニーズは次の通り。

- ・ 高信頼性システムに関する基礎研究；スケーラブルな障害防止策、障害検知、障害解析、障害復旧
- ・ 総合、アプリケーション・ベース、ドメイン・ベース、そしてリスク・ベースの保証を合体させたハードウェア、ソフトウェア、システム・ツールの開発

課題 6 世界で通用するソフトウェアを作成する。研究ニーズは次の通り。

- ・ ソフトウェアとシステムの設計（言語、オペレーティング・システム、先進的なフレームワークとミドルウェアの基盤）のための先端科学
- ・ ソフトウェア工学のプロセスを自動化する。ソフトウェアと関連する物理的システムを指定、解析、テスト、検証する手法を含む。

課題 7 人的能力とすべての人材開発をサポートする。研究ニーズは次の通り。

- ・ 人間とコンピュータとネットワークの相互作用のための先進的機能（言語技術、口語、聴覚、そして多モードのインターフェイス、データベースとのリアルタイムなインターフェイス）
- ・ リモート・コラボレーション、知識と経験を共有するための新しい人間中心の技術；人間と機械の対話を評価するためのモデルと測定法

課題 8 知識の世界の管理と拡張を可能にする。研究ニーズは次の通り。

- ・ 最新のデータ・ストレージと管理技術。収集、索引付け、統合、検索、複雑なマルチメディア・データの保管用のツールを含む
- ・ 要素技術と、動的で、拡張可能で、フレキシブルな情報環境の統合
- ・ 新しい検索技術、大幅に改良された抜粋機能と要約機能、メタデータ技術、超大規模データ・マイニング技術、アプリケーション・プラットフォーム

課題9 世界一のIT労働力に関する教育と開発をサポートする。研究ニーズは次の通り。

- ・ 認知的発達について、およびグループ学習・個人学習についての新しい知識；学習に関わる情報技術の効果
- ・ 自習、共同学習、遠隔学習のための最新のソフトウェア
- ・ IT分野の職業における特定集団間格差の原因となるバリアと障害の除去

課題10 ITの恩恵を最大にするITの社会的効果を理解する。研究ニーズは次の通り。

- ・ 距離と人々、グループ、コンピューティング・アプリケーション、通信ネットワークとインフラストラクチャの間の相互作用に関する新しい知識
- ・ デジタル社会における人間の学習、労働、生活に対するITの影響を理解する
- ・ どのような技術やツールそしてアプリケーションが効果的に社会に利益（学習、保健衛生など）を与えるかに関する理解の深まり

明らかに、新しい挑戦課題およびそれに関連する研究課題は多い。また、アプローチをもっと革新的かつ積極的なものにしない限り、こうした課題に対する端的な解決策に到達できるかどうか、怪しいものである。第2章と第3章における議論の中ですでに指摘したように、研究開発の経験、インフラストラクチャ、そしてツールを、国境を越えて探し求め、かつ共有することで、このような新しい機会が生み出される可能性もある。次の最終章では、このような共同作業を日本と米国の間でどのように進めることが可能であるかについて、若干の提案を行う。

5. まとめと提案

この最終章では、調査結果と主な分析について総括する。基本的な結論は表形式でまとめてある。3つのイニシアチブのテーマを中心に第2～4章で検証した調査結果と分析内容について、マトリクスの形式で要約してある。評価は、第1章で提案した基準に従って行った。

表 5.1 米国の3つのイニシアチブに関する本調査のまとめ

評価基準	イニシアチブ		
	電子図書館/電子政府	バイオテクノロジー	インフラとツール
IT のテクノロジー融合 または技術革新の加速化	緩やか。コンテンツ/メディア業界の研究開発パートナーが重要な鍵。影響は、ビデオ、オーディオ・ストリーミング、検索エンジンなどのマルチメディア・テクノロジーで最も顕著。ヒューマン・インターフェイスの改善。	当初はゆっくり、しだいにペースが上がる。ヒトゲノム研究がコンピュータ、ネットワーク、データベース、生物学の研究を統合する。ポスト・ゲノムの取り組みで出現するテクノロジーが、各専門分野の境界を解消する。	当初緩やか、しだいにスピードアップ。融合は、コンピューティング・パワーが不可欠となる科学分野で最も顕著。インターネット・ブラウザの主要な技術革新は、科学コミュニティに端を発する。次のステップはブロードバンド、GlobeGrid。
社会資本の形成と利用	影響大。コンソーシアムの調整が重要な要因。公共図書館へのリンク。大学院生の訓練が優先課題。テクノロジー主体からライフ・サイクル全体に至るまで段階的な研究が重要な要素。	当面、緩やか。生物学、コンピュータ科学、エンジニア間の相互作用の面で最大の影響が出る。共通する領域でのトレーニングは困難も伴うが、将来的な分野の成長にとっては重大。	非常に大きい。インフラ/ツールの開発には、あらゆる種類の協力関係が不可欠。高性能コンピューティング/通信ネットワークが、人間創造性を支援する。セキュリティ、プライバシー、信頼性の課題。
規模/範囲の経済の実現	緩やか。DLI-I が科学と工学の境界を越えるテストベッドを作成。フェーズ2は適用範囲が広がる。バイオテクノロジー・データベースに影響がある。電子政府の研究は、様々な機関のミッションにわたり行政機能に有益。	当面、緩やか。バイオ/IT の支配的傾向は続く。ゲノムから、プロテオミクス、フィジオミクスに至るバイオインフォマティクスの連続性が、これ以外の協調作業のモードとなる。	規模と範囲の両面で非常に強い。共有/拡張可能な資源が強調されてきた。数多くのツールが多様な分野とアプリケーションでの応用性を実証した。
国内外/地域の資源の有効利用	国内資源の有効利用は強化される。DLI-II では海外との協力関係に着手。行政のあらゆるレベルで電子政府の影響が大きい。	領域全般にわたる高度な有効利用。米国主導の HGP には、海外コミュニティも参加。地方政府は連邦政府に続き、積極的な研究開発プロジェクトを開始した。	高度な有効利用。主要なセンターはいずれも強力な海外パートナーシップを持つ。Internet2 ではグローバル・リンクを提供。インターネット委員会が標準 (IPv6 など) やインターネット管理を統括。
産業界と社会とのつながり	強い。産業界は研究開発のパートナーとして、技術革新に貢献する (Google など)。DLI-I の社会への影響は限られるが、社会の多様なアプリケーションに貢献。電子政府は社会のニーズに直接影響する。	いずれの領域にもつながりは非常に強い。産業界は研究開発パートナーであると同時に、迅速な技術移転の役割も果たす。新しい原動力となるベンチャー・キャピタル市場で非常に活発。医療、振興のテクノロジー/ビジネスに貢献。社会的には幅広く重要な意義を持つ。ナノテクノロジーと緊密にリンク。	非常に強い。産業界は研究開発のパートナーとなる (例: Abilene)。当初は科学技術が中心。NII, NGI、現在進行中のイニシアチブはすべて社会的な研究/アプリケーションが対象。

最後に、表 5.1 の分析に基づいて、この調査結果と分析の内容から日本の将来になると思われる部分を取り上げ、一連の提案としてまとめる。

1. 政府の立法・行政部門に影響を与え得る様々な政策開発・提言組織を確立すること。米国には、そのような組織が数多く存在し、研究機関や産業界を代弁する役割を果たしている。それらは、独立した声であり、強力な唱道者でもある。こうした機関の調査報告は、トップ・レベルの政策立案者の真剣な検討対象となっている。
2. 長期的な研究投資として、海外から優秀な人材を招き入れる。このためには、高等教育機関や研究機関における国際化が必要となる。また、政策の大きな変更や研究資金やインフラ整備が必要になる可能性もある。米国は世界中からの優秀な頭脳の流入による利得を得ている。人材は、労働力を提供するだけに限らず、多様性、創造力、健全な競争を促進する点で最も貴重な資源と言える。
3. 民間セクターの資金を研究開発に活用する。例えば、非営利組織（財団など）などからの支援。これには、税制上の優遇措置など法整備が必要になる場合がある。米国型モデルは、歴史的/文化的背景の違いから踏襲しにくい面がある。しかし、独自の文化と工業力に適合した日本型モデルは整備するに値する。
4. 適切な環境と報奨制度を整備することにより、学際的な研究を育成する。これは常に「言うは行ふより易し」ではある。実は、多くの技術分野において学際的な研究は日本の強みと言える。IT 技術と生物学などとの間では学際的交流の有効性は証明されており、学際的な研究を有効に実現できることは今後も重要である。
5. 機関横断的なプログラム・イニシアチブを強化する。米国における情報技術研究開発国家調整局（NCO）、バイオテクノロジー・イニシアチブ、新しいナノテクノロジー・イニシアチブ（NNCO）などをモデルとする。多くの場合、複数機関が連携して新規研究活動支援の予算枠の拡大を目指して予算編成プロセスでの協力を図ることで実現される。成功の鍵は、各参加機関の間で、ミッション、資源、専門知識における相互補完能力があることを明瞭に述べ、実際に示せるかどうかにか依存する。

参考文献および注釈

全般 (G)

1. Y.T. Chien、「The Internet: Redefining the Convergence of Computing, Communications, and Content towards Innovation(インターネット: 技術革新に向けたコンピューティング、通信、およびコンテンツの集結の再確認)」、2000 年 3 月、日本の東京で開催された第 1 回の International Symposium on Advanced Informatics(先端情報科学に関する国際シンポジウム)の予稿集
2. National Research Council(米国学術研究会議)のレポート: 「Funding a Revolution(改革のための資金援助) – Government Support for Computer Research(コンピュータ研究に対する政府の援助), National Academy Press(米国アカデミー・プレス)」、1999 年、ワシントン
3. National Research Council(米国学術研究会議)のレポート: 「Information Technology Research for Federal Statistics(連邦統計のための情報技術研究), National Academy Press(米国アカデミー・プレス)」、2000 年、ワシントン
4. National Research Council(米国学術研究会議)のレポート: 「Making IT Better – Expanding Information Technology Research to Meet Society Needs(IT の改良–社会ニーズを満たす情報技術研究の拡大), National Academy Press(米国アカデミー・プレス)」、2000 年、ワシントン
5. National Research Council(米国学術研究会議)のレポート: 「Being Fluent with Information Technology(情報技術とともに), National Academy Press(米国アカデミー・プレス)」、1999 年、ワシントン
6. 「National Science Foundation(米国学術研究会議), Science and Technology Pocket Data Book 2000(科学技術ポケット・データ・ブック 2000)」
7. PITAC の大統領へのレポート 「Resolving the Digital Divide(デジタル格差の解決): Information, Access, and Opportunity(情報、アクセス、および機会)」、2000 年 2 月

8. The Economist(エコノミスト)、「A survey of the real-time economy(リアルタイム・エコノミーの調査)」、2002 年 2 月 2 日

電子図書館 (DL)

1. Y.T. Chien、「Digital Libraries(電子図書館), Knowledge Networks(知識ネットワーク), and Human-centered Information Systems(人間中心の情報システム)」、1997 年 11 月 18 日～21 日、日本の筑波で開催された International Symposium on Research, Development, and Practice in Digital Libraries(電子図書館の研究、開発、および運用に関する国際シンポジウム)の予稿集
2. 「Digital Libraries(電子図書館)」、1997 年 3 月、NSF へ提出された Santa Fe Planning Workshop on Distributed Knowledge Work Environments(分散知識ワーク環境に関する Santa Fe 計画策定ワークショップ)のレポート
3. 「Research on Digital Libraries(電子図書館の研究)」、A Joint-機関 y Research Initiative by NSF, NASA, and DARPA(NSF、NASA、および DARPA による機関連携研究構想), Program Announcement(プログラム発表) NSF 93-141、1993 年
4. 「Research on Digital Libraries(電子図書館の研究)」、Phase 2 of the joint-機関 y Research Initiative by NSF, NASA, DARPA, NIH/National Library of Medicine, Library of Congress, and the National Endowment for the Humanities(NSF、NASA、DARPA、NIH/米国立医学図書館、国会図書館、および米国人文学基金による機関連携研究構想), Program Announcement(プログラム発表) NSF 98-63、1998 年
5. 「Digital Information Organization in Japan(日本におけるデジタル情報組織)」、An International Technology Assessment Report by the World Technology Evaluation Center, Inc. for NSF and DARPA(NSF および DARPA 向けの世界技術評価センターによる国際技術評価レポート)、1999 年 2 月
6. PITAC の大統領へのレポート「Digital Libraries(電子図書館): Universal Access to Human Knowledge(すべての人々によるヒューマン知識へのアクセス)」、2001 年 2 月

電子政府 (DG)

1. Neu、C. Richard、Robert H. Anderson、Tora K. Bikson、「Sending your Government a Message – Email Communication between Citizens and Government(行政へのメッセージ – 送信市民と行政間の電子メールによるコミュニケーション)」、Rand Corporation Science and Technology(ランド・コーポレーションの科学技術)」、1999 年
2. Schorr、Herbert、S. J. Stolfo、「Towards the Digital Government of the 21st Century(21 世紀の電子政府に向かって)」、1997 年 6 月、NSF へ提出された A report from the Workshop on Research and Development Opportunities in Federal Information Services(連邦政府の情報サービスにおける研究開発の機会に関するワークショップのレポート)
3. 「Research on Digital Government(電子政府に関する研究)」、Program Announcement by NSF 99-103(NSF によるプログラム発表 99-103)、1999 年 7 月
4. PITAC の大統領へのレポート 「Transforming Access to Government through Information Technology(情報技術による行政へのアクセスの転換)」、2000 年 9 月

バイオテクノロジー (B)

1. The Economist(エコノミスト)、「A survey of the human genome – Life Story(ヒトゲノムの調査 – 生命物語)」、2000 年 7 月 1 日
2. 「NSF Initiative in the Decade of the Brain(脳の十年における NSF 構想)」、Program Announcement(プログラム発表) NSF91-58
3. Bower、James、David Beeman、「The Book of GENESIS – Exploring Realistic Neural Models with the General Neural Simulation System, Springer-Verlag, 1998. Second Edition(一般神経系シミュレーション・システムを用いたリアルスティックな神経モデルに関する調査、シュプリンガー出版、1998 年、第 2 版)」
4. 「Biotechnology for the 21st Century – the U.S. Biotechnology Research Initiative(21 世紀のバイオテクノロジー – 米国バイオテクノロジー研究構想)」、

A Report from the Committee on Life Sciences and Health, Federal Coordinating Council for Science, Engineering, and Technology(連邦科学工業技術調整委員会の生命科学と健康に関する会報)、1993 年

5. Collins, Francis S.他、「New Goals for the U.S.Human Genome Project: 1998 – 2003(米国のヒトゲノム・プロジェクトの新たな目標), Science(科学誌), Vol. 282」、1998 年 10 月 23 日
6. 「National Nanotechnology Initiative’ – Leading to the Next Industrial Revolution, A report by the National Science and Technology Council Committee on Technology(米国ナノテクノロジー構想 – 今後の産業革命への道、技術に関する国家科学技術委員会のレポート), Supplement to the President’s FY 2001 Budget(2001 年度の大統領予算のサブリメント)」、2000 年 2 月
7. 「Quantitative Systems Biotechnology(定量的システム・バイオテクノロジー)」、2000 年 9 月に開催された NSF Workshop(NSF ワークショップ)の予稿集
8. Adleman, L.、「Computing with DNA(DNA とコンピューティング), Scientific American(サイエンティフィック・アメリカン誌)」、1998 年 8 月
9. Reed, Mark, James Tour, 「Computing with Molecules(コンピューティングと分子), Scientific American(サイエンティフィック・アメリカン誌)」、2000 年 6 月
10. 「The Decade of the Brain(脳の十年)」、NSF Program Announcement(NSF のプログラム発表) NSF 91-58、1991 年

インフラおよびツール (I)

1. Chien, Y.T., Randy Katz (Eds.), 「Information Infrastructure Technology and Applications(情報インフラ技術とアプリケーション)」、Executive Office of the President(大統領府), OSTP への HPCC Task Force のレポート、1994 年 2 月
2. 大統領の 2001 年度予算のサブリメント、「Information Technology – The 21st Century Revolution(情報技術 – 21 世紀の革新)」、2000 年 9 月

3. 大統領の 2002 年度予算のサプリメント、「Networking and Information Technology Research and Development(ネットワーキングおよび情報技術の研究開発)」、2001 年 7 月
4. PITAC の大統領へのレポート、「Information Technology Research: Investing in our Future(情報技術研究: 未来への投資)」、1999 年 2 月
5. PITAC の大統領へのレポート、「Using Information Technology to Transform the Way We Learn(学習方法の転換のための情報技術の利用)」、2001 年 2 月
6. PITAC の大統領へのレポート、「Transforming Health Care through Information Technology(情報技術による健康管理の転換)」、2001 年 2 月
7. PITAC の大統領へのレポート、「Developing Open Source Software to Advance High End Computing(ハイエンド・コンピューティングを進展させるオープン・ソース・ソフトウェアの開発)」、2000 年 10 月
8. 「Middleware Initiative(ミドルウェア構想), NSF Program Announcement(NSF のプログラム発表) 02-028」、2002 年
9. 「Terascale Computing Initiative(テラスケール・コンピューティング構想), NSF Program Announcement(NSF のプログラム発表)」、2001 年 4 月
10. 「Strategic Technologies for the Internet(インターネットに関する戦略的技術), NSF Program Announcement(NSF のプログラム発表), 01-90」、2001 年
11. 「Distributed Terascale Facility Initiative(分散型テラスケール・ファシリティ構想): NSF Program Announcement(NSF のプログラム発表)」、2001 年 8 月
12. 「Next Generation Internet Initiative Concept Paper(次世代インターネット構想のコンセプトに関する論文)」、1997 年 7 月
13. The Economist Technology Quarterly(エコノミスト技術四半期報)、「Beyond the Internet: The Grid」、2001 年 6 月

14. The Economist Technology Quarterly(エコノミスト技術四半期報)のレポート、
「Upgrading the Internet」、2001 年 3 月
15. Bernners-Lee、Tim, James Hendler、Ora Lassila、「The Semantic Web(セマン
ティック Web)」、Scientific American(サイエンティフィック・アメリカン誌)の 35
ページ、2001 年 5 月

付録

付録 A. 用語

AHRQ(Agency for Healthcare Research and Quality)

米国医療研究品質局。保険社会福祉省(Department of Health and Human Services)の公衆衛生局(Public Health Service)内の 1 機構。前身は、米国健康医療介護政策研究局(Agency for Health Care Policy and Research (AHCPR))。

アルゴリズム(Algorithm)

問題解決のために作成された手続き。コンピュータ・プログラムはアルゴリズムを実現する。

アミノ酸(Amino Acid)

生体の蛋白質を形成する際に組み合わされる 20 の分子のクラスの中の 1 つ。蛋白質の中のアミノ酸の配列、ひいては蛋白質の働きは、遺伝子コードによって決定される。

ANI (Advanced Networking Infrastructure)

全米科学財団(NSF)の先端ネットワーキング・インフラストラクチャ計画

ARPA (Advanced Research Projects Agency)

高等研究計画局。DARPA(米国国防総省高等研究計画局)の前身

ASCI(Accelerated Strategic Computing Initiative)

DOE(米国エネルギー省)の戦略的コンピューティング加速構想。

バックボーン・ネットワーク(Backbone network)

低容量のネットワークを接続できる大容量の電子基幹回線(たとえば、NSF が運用する vBNS バックボーン)。

帯域幅(Bandwidth)

情報を伝送する通信チャンネルの容量の尺度。たとえば、1 秒あたり数百万ビット、すなわち Mb/s。

バイオインフォマティクス(Bioinformatics)

生物科学のデータの管理をテーマとする研究分野。

BLAST (Basic Local Alignment Search Tool)

ブラスト。BLAST は、DNA や蛋白質の配列データの検索用として設計された一連の類似性検索プログラムである。

染色体(Chromosome)

細胞内で自己複製する遺伝子構造で、ヌクレオチド配列に遺伝子が一次的に並んだ細胞 DNA を含んでいる。

CIC (Computing, Information, and Communications)

コンピューティング、情報、通信。

CT(Computed Tomography)

コンピュータ断層撮影(装置)。

DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency)

米国国防総省高等研究計画局。DOD (米国国防総省)内の 1 機関。この前身は ARPA。

データマイニング(Data mining)

データについて興味のある事実関係を見つけるために、また知識発見のために行なう生データの分析。

DDBJ(DNA Data Bank of Japan)

日本 DNA データバンク。

DL (Digital Libraries)

電子図書館。

DLI (Digital Libraries Initiative)

電子図書館イニシアチブ。

DNA (Deoxyribonucleic acid)

デオキシリボ核酸。遺伝子を構成する生体分子。

DOD (Department of Defense)

米国国防総省。

DOE (Department of Energy)

米国エネルギー省。

EMBL(European Molecular Biology Laboratory)

エンブル(欧州分子生物研究所)。

Esnet(Energy Sciences Network)

米国エネルギー省(DOE)が運用するエネルギー科学ネットワーク。

ETHR (Education, Training, and Human Resources)

教育、訓練と人材。前身は、IT R&D のプログラム・コンポーネント・エリアの 1 つ。SEW PCA の前身。

遺伝子(Gene)

遺伝の基となる物理的かつ機能的な単位。遺伝子は、特定の機能的な生成物質(すなわち、蛋白質や RNA の分子)をコード化する特別な染色体上の特定の位置に存在するヌクレオチドの順序づけられた配列である。遺伝子発現を参照のこと。

遺伝子発現(Gene expression)

遺伝子のコード化された情報が細胞内で機能するプロセス。発現された遺伝子は、mRNA へ転写され、次に蛋白質に転換されるもの、および RNA 分子だけに転写されるものを含んでいる。

遺伝子コード(Genetic code)

タンパク質合成においてアミノ酸の配列を決定する mRNA に従って 3 塩基にコード化されるヌクレオチドの配列。遺伝子の DNA 配列は、mRNA 配列を特定するために使用することができる。また、アミノ酸配列を特定するためにも使用することができる。

遺伝子地図(Genetic map (連鎖地図(linkage map)))

遺伝子あるいは他の染色体のマーカーの相対的な位置を示す地図。それらはともに継承する頻度に基づいて決定される。物理的な地図を参照のこと。

遺伝子の配列化(Genetic sequencing)

特定の遺伝子または蛋白質を形成するアミノ酸あるいは核酸の順列リストを確定するプロセス。

ゲノム(Genome)

ある有機的組織体の染色体の中のすべての遺伝物質で、そのサイズは、通常、塩基対のその総数として与えられる。

HCI& IM(Human Computer Interface and Information Management)

ヒューマン・コンピュータ・インターフェイスおよび情報管理。 IT R&D の PCA の 1 つ。人間中心のシステム(Human Centered Systems (HuCS))の PCA の後継。 .

HCSS (High Confidence Software and Systems)

高信頼ソフトウェアおよびシステム。 IT R&D の PCA の 1 つ。高信頼システム(High Confidence Systems (HCS))の PCA の後継。

HEC I&A (High End Computing Infrastructure and Applications)

ハイエンド・コンピューティング・インフラストラクチャおよびアプリケーション。IT R&D の PCA の一つ。

HEC R&D High End Computing Research and Development)

ハイエンド・コンピューティング研究開発。IT R&D PCA.の一つ。

HECC (High End Computing and Computation)

ハイエンド・コンピューティング/コンピューテーション。以前の IT R&D の PCA の 1 つ。しかし、現在は、ハイエンド・コンピューティング・コンピューティング・インフラおよびアプリケーション(HECI&A) の PCA とハイエンド・コンピューティング研究開発(HEC R&D)の PCA に分割されている。

HGP (Human Genome Project))

ヒトゲノム・プロジェクト。米国主導のヒトゲノム・プロジェクトは、米国エネルギー省と米国立衛生研究所の調整による 15 年にわたる努力の結果、人間の DNA の推定されるすべての 10 万個の遺伝子を特定して、人間の DNA を構成する 30 億の化学塩基の配列を調べ、これらの情報をデータベースに収めて、そして、それらのデータ解析用のツールを開発してきた。

HPCC(High Performance Computing and Communications)

高性能コンピューティングと通信。

HPSS (High performance storage system)

高性能記憶装置システム。

HSCC(High Speed Connectivity Consortium)

高速接続コンソーシアム。SuperNet のテストベッド。

HuCS (Human Centered Systems)

人間中心のシステム。以前は、IT R&D の PCA の 1 つ。HCI & IM の PCA.の前身。

IGrid (International Grid)

インターナショナル・グリッド。

インターネット(Internet)

行政、個人、および国際ネットワークを包括する相互接続、マルチ・プロトコルのコンピュータ通信ネットワークであるグローバルな集合体

IPv6 (Internet Protocol, version 6)

インターネット・プロトコル・バージョン 6。128 ビットのアドレッシングを使用する初めての IP リソース。これは、インターネット・アドレスの可能な総数を大幅に拡大する。ビルトイン・セキュリティ、マルチキャスト、ダイナミック構成、および移動可能性などの NGI 機能を包含する初めての IP リソース。

IT (Information Technology)

情報技術。

ITR(Information Technology Research)

NSF's 情報技術研究計画。

Java

オペレーティング・システムに依存しないプログラミング言語の 1 つ。当初は、より単純なオブジェクト指向で、C++の代替としてインターネット上での使用を目的として設計された。Java は、Web ページの中で使用される小さな対話型のアプリケーション・モジュール(アプレット)をプログラムするために用いることができる。

LSN (Large Scale Networking)

大規模ネットワーク技術。IT R&D の PCA の 1 つ。

メタデータ(Metadata)

作成者、作成日、フォーマット、オリジナルの変更など、データから派生した情報やデータについて記述した情報。

MRI(Magnetic Resonance Imaging)

核磁気共鳴画像法。

ナノ(Nano)

10 億分の 1(10^{-9})。ナノ秒は 10 億分の 1 秒。

NASA(National Aeronautics and Space Administration)

米国航空宇宙局。

NCSA(National Center for Supercomputing Applications)

イリノイ州 Urbana-Champaign にあるイリノイ大学の米国スーパーコンピューティング・アプリケーション・センタ。米国計算科学アライアンス (National Computational Science Alliance) の本部。NSF の PACI の一部。

NGI(Next Generation Internet)

次世代インターネット。米大統領が IT&D 計画の一環として発表した。

NIH(National Institutes of Health)

米国国立衛生研究所。米国保健社会福祉省(DHHS)の 1 機関。

NIST (National Institute of Standards and Technology)

米国標準技術研究所。商務省(Department of Commerce)の 1 機関。

NLM(National Library of Medicine)

米国立医学図書館。米国国立衛生研究所(NIH)の 1 機関。

NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)

米国海洋大気局。商務省の 1 機関。

NPACI (National Partnership for Advanced Computational Infrastructure)

国立高度計算インフラ協同組合。NSF の PACI の一部。

NREN (NASA Research and Education Network)

NASA が運用する研究・教育用ネットワーク。

NSF (National Science Foundation)

全米科学財団。

NSFNET(NSF computer network program)

NSF のコンピュータ・ネットワーク計画。vBNS の前身。

核酸(Nucleic acid)

ヌクレオチド・サブユニット(nucleotide subunits)からなる高分子。

OC (Optical Carrier)

オプティカル・キャリア。通常、速度指定に使用される。OC-1 は 51.85Mbps。OC-x は、OC-1 の速度の倍数となる。たとえば、OC-3=155.52Mbps。

OSTP (White House Office of Science and Technology Policy)

ホワイトハウスの科学技術政策局。

PACI (Partnerships for Advanced Computational Infrastructure)

NSF が支援する先端計算インフラ協同組合計画。この計画は、国立計算科学アライアンス (National Computational Science Alliance (Alliance)) 国立高度計算インフラ協同組合 (National Partnership for Advanced Computational Infrastructure (NPACI)) の 2 つで構成される。

PCA (Program Component Area)

プログラム・コンポーネント・エリア。IT 研究開発プログラム (IT R&D Programs) は、PCA ハイエンド・コンピューティング/コンピューテーション (High End Computing and Computation (HECC、HEC&I&A と HEC R&D から成る))、ヒューマン・コンピュータ・インターフェイスおよび情報管理 (Human Computer Interface and Information Management (HCI&IM))、ソフトウェアの設計および生産性 (Software Design and Productivity (SDP))、高信頼ソフトウェアの労働力の面から見た IT、および IT 労働力開発 (High Confidence Software Workforce Implications of IT and IT Workforce Development (SEW)) から構成されている。各 PCA は、複数の機関の活動分野にまたがった領域をカバーする。

PDB (Protein Data Bank)

プロテイン・データバンク。PDB は、3 次元の生物学の巨大分子構造データの処理および配布を行なう世界規模の貯蔵所である。

物理地図 (Physical map)

継承とは無関係に、DNA 上の確認可能なマーカー位置の地図。ヒトゲノムの場合、最低解像度の物理的な地図は、24 の異なる染色体上のバンド・パターンで、最高解像度の地図は、染色体の完全なヌクレオチド配列である。遺伝子地図 (連鎖地図) を参照のこと。

Physiome

完全な有機体の生理状態の量的記述。この名前は、「physio-」 (生命) と 「-ome」 (全体) に由来している。

PITAC (President's Information Technology Advisory Committee)

大統領直属情報技術諮問委員会。

蛋白質 (Protein)

特有の順列からなる複数のアミノ酸の鎖から構成された高分子。その順列は、蛋白質の遺伝子コードの中のヌクレオチドの配列によって決まっている。蛋白質は、体の細胞、組織、および器官の構造、機能、および規則に必要なものであり、また、各蛋白質は、固有の機能を有している。

蛋白質配列(Protein sequence)

蛋白質を形成するアミノ酸の順列リスト。

R&D (Research and Development)

研究と開発。

リボ核酸(RNA (ribonucleic acid))

化学的には DNA に類似した分子で、DNA に格納されている情報の読み出しに関係している。

スケーラブル(=拡張可能)(Scalable)

システムがスケーラブルであるということは、より大きな（またはより小さな）プロセッサ数、メモリ量、相互接続帯域幅、入出力帯域幅、および大容量記憶装置を用いてシステムを構成することによって、より大きな（またはより小さな）計算能力を実現することができることを意味する。

SDP (Software Design and Productivity)

ソフトウェアの設計および生産性。IT R&D PCA の 1 つ。2000 年度に設立。

SDSC (San Diego Supercomputer Center)

サンディエゴ・スーパーコンピュータ・センター。

シーケンシング(Sequencing)

DNA または RNA の分子中のヌクレオチドの順列、または、蛋白質分子中のアミノ酸の順列の確定。

SEW (Social, Economic, and Workforce Implications of IT Workforce Development)

社会、経済、および労働力の面から見た IT、および IT 労働力開発。IT R&D PCA の 1 つ。前身は ETHR PCA。

SII (Scalable information infrastructure)

スケーラブル情報インフラ

STARTAP (Science, Technology, And Research Transit Access Point)

NSF の科学技術研究用中継アクセス・ポイント。シカゴにある国際的中継ネットワーク接続ポイント。

SuperNet

DARPA が運用する NGI ネットワーク。マルチ・ギガビットのエンド・ツー・エンド伝送のデモンストレーションを行う。

テラ(Tera-)

1 兆(10^{12})を意味する接頭辞。たとえば、テラビット、テラフロップスなど。

TCP (Transmission Control Protocol).

伝送制御プロトコル。

UCAID (University Corporation for Advanced Internet Development)

最新インターネット開発大学コンソーシアム (Internet2 の開発を大学主導で進めるために結成された非営利組織)。Internet2 プロジェクトの研究を進める大学を支援する Abilene ネットワークを運用。

vBNS (very high performance Backbone Network Services)

NSF が運用する超高性能のバックボーン・ネットワーク・サービス。

Web

World Wide Web の意。

WTEC (World Technology Evaluation Center)

世界技術評価センター。ボルティモア(メリーランド州)に拠点がある非営利の国際的技術評価組織。

WWW (World Wide Web)

World Wide Web。

XML (eXtensible Markup Language)

拡張マークアップ言語。ハイパーテキスト・マークアップ言語 (HTML) から派生した言語で、マルチメディア Web ページの記述を可能にする。

付録 B. 参考 Web サイト

米国の政府機関	
米国医療研究品質局 (Agency for Healthcare Research and Quality)	http://www.ahrq.gov/
米国国防総省高等研究計画局 (Defense Advanced Research Projects Agency)	http://www.darpa.mil/
米国エネルギー省 (Department of Energy)	http://www.energy.gov/
米国環境保護庁 (Environmental Protection Agency)	http://www.epa.gov/
米国航空宇宙局 (National Aeronautics and Space Administration)	http://www.nasa.gov/
米国国立衛生研究所 (National Institutes of Health)	http://www.nih.gov/
米国標準技術研究所 (National Institute of Standards and Technology)	http://www.nist.gov/
米国海洋大気局 (National Oceanic and Atmospheric Administration)	http://www.noaa.gov/
米国国家安全保障局 (National Security Agency)	http://www.nsa.gov/
全米科学財団 (National Science Foundation)	http://www.nsf.gov/
ホワイトハウス(米国大統領官邸) (The White House)	http://www.whitehouse.gov
米国特許商標局 (United States Patent and Trademark Office)	http://www.uspto.gov/
① 連邦および州策定計画に関する Web	
電子図書館イニシアチブ・フェーズ 2 (Digital Libraries Initiative Phase 2)	http://www.dli2.nsf.gov/
カリフォルニア州 社会利益のための情報技術研究センター(Center for Information Technology Research in the Interest of Society)の計画 (CA CITRIS program)	http://www.citris.berkeley.edu/
カリフォルニア州 生体工学・バイオテクノロジー・定量生物医学研究所 (Institute for Bioengineering, Biotechnology and Quantitative Biomedical Research) (CA QB3 program)	http://www.berkeley.edu/news/features/2000/QB3/index.html
カリフォルニア州 カリフォルニアの科学技術革新研究所(California Institutes for Science and Innovation)の構想 (CA CISI initiative)	http://www.ucop.edu/california-institutes/welcome.html

全米科学財団の FastLane (NSF FastLane)	https://www.fastlane.nsf.gov/a0/about/whatis.htm
Blue2000・DOE の戦略的コンピューティング加速構 想(ASCI、Accelerated Strategic Computing Initiative) (Blue2000・DOE's ASCI Program)	http://www.hpcc.gov/pubs/blue00/asci.htm
米国国家情報技術研究開発調整室 (National Coordination Office for Information Technology Research and Development)	http://www.itrd.gov/
米国国防総省高等研究計画局情報技術室の研究分野 (DARPA ITO Research Areas)	http://www.darpa.mil/ito/ResearchAreas.html
米国ナノテクノロジー・イニシアチブ (National Nanotechnology Initiative)	http://www.nano.gov/
② 非政府機関の計画に関する Web	
D-Lib フォーラムおよび D-Lib マガジン (D-Lib Forum and D-Lib Magazine)	http://www.dlib.org/
グローバル・バイオテクノロジー・フォーラム (Global biotech forum)	http://www.biotech.about.com/cs/globalforum/index.htm
BIO: 米国バイオテクノロジー産業協会 (BIO: Biotechnology Industry Organization)	http://www.bio.org/
UCAID と Internet2 (UCAID & Internet2)	http://www.ucaid.edu/ucaid/
D-Lib マガジン (D-Lib Magazine)	http://www.dlib.org/title-index.html
Chronicle 社の「The Chronicle of Higher Education」のページ (The Chronicle of Higher Education)	http://chronicle.com/
アクセス・オンライン (Access Online)	http://access.ncsa.uiuc.edu/
グローバル・テラビット研究教育ネットワーク (Global Terabit Research and Education Network)	http://www.indiana.edu/~gtrn/
Internet2: Internet2 の Web サイト (internet2: internet2 Website)	http://www.ucaid.edu/
Abilene: ネットワーク・マップ (Abilene: Network Maps)	http://www.internet2.edu/abilene/html/maps.html
TeraGrid.org	http://www.teragrid.org/

本書の全部あるいは一部を断りなく転載または複写（コピー）することは、
著作権・出版権の侵害となる場合がありますのでご注意ください。

米国における最近の IT 重点分野に関する調査

© 平成 14 年 3 月発行

発行所 財団法人 日本情報処理開発協会

先端情報技術研究所

東京都港区芝 2 丁目 3 番 3 号

芝東京海上ビルディング 4 階

TEL(03)3456-2511