特 集

論文

国の研究所のライブラリアンの新しい役割

神沼二真*

[著者抄録] インターネットとWWW革命により、研究所のような専門図書館であるか公共図書館や大学図書館かを問わず、あらゆる図書館はいまその存在形態を根本から変革される事態に直面している。しかし、一般の図書館と研究所のような専門図書館とはインパクトが非常に異なる。一般の図書館におけるインパクトは、「図書館の業務は、インターネット・WWW革命でいかなる変化を受けるか？」であるのに対し、研究所の図書館の場合は、「研究という知的創造活動は、インターネット・WWW革命でいかなる変化を受けるのか、その中で図書館の役割は、どのように変化するか？」である。後者の課題は、研究を支援する情報計算基盤いかに構築するかという立場から考えるべきである。

[著者付与キーワード] インターネット, 図書館, ライブラリアン, 情報計算基盤, 研究支援システム, 思考工学, H.G.ウエルズ, グローバル・ブ레인

Article

The new role of librarians at national research institutions

KAMINUMA Tuguchika

[Author Abstract] The Internet and WWW revolution is giving big impact on every library. Usual libraries must seek new way to operate libraries taking into account new informational technologies. The concept of conventional library will be challenged by the so called digital library. However problem is very different for libraries affiliated to national research laboratories. The latter must consider the problem from a wider perspective in that libraries are part of information and computing infrastructure of the institutions.

[Keywords by Author] the Internet, library, librarian, information and computing infrastructure, research support system, intellectics, H.G.Wells, Global Brain

* 国立医薬品食品衛生研究所 化学物質情報部 (〒158-8501 世田谷区上用賀1-18-1) Tel. 03(3700)1141
National Institute of Health Sciences, Division of Chem-Bio Informatics
(18-1, Kamiyoga 1-chome, Setagaya-ku, Tokyo, 158-8501) E-mail: kaminuma@nihs.go.jp

1. はじめに

インターネットとWWW革命によって、いまやいずれの図書館も大きな役割の見直しと仕事の仕方の改革に迫られている。この問題を科学技術の研究を使命とする国の研究機関の図書館の立場で考えてみよう、というのがこの小論のテーマである。この本題に入る前に、少しばかり、私の立場を説明しておきたい。

現在私は国の研究機関の図書館長を兼任している。というと、いかにもひとかどの職のように受け取られるかもしれないが、看板に偽りありで、私たちのところには組織上の図書「館」は存在しない。図書室と呼ぶべきスペースと図書係が、私が責任者である部に属しているので、必然的に私が通常の図書館長の役を努めているというのが真相である。それゆえ私自身、正規の図書館の業務を知らないし、司書のような専門知識もなく、図書館の法律についても無知である。したがって、本特集号に有益な原稿を寄せる資格が、実はないのではないかと考えている。

ただ、研究所の規模の大小はあろうが、大学など教育機関に付属する図書館以外の研究を専門とする国の機関の図書館あるいは図書室の事情は、いずれも私たちのところとそれほど変わらないのではないかと想像する。しかもそのような図書館は、事務官が実務を司どり、館長はある程度年長の研究者が2、3年の交替制で兼任するというのが一般的であるように思える。私は、こうしたシステム自身が大きな問題ではないかと考えている。なぜなら、わが国の研究所の図書館が極めて貧弱であることと、わが国に米国の国立医学図書館のような図書館がないことが、わが国の科学技術の基盤が脆弱であることと深く関係していると日頃から考えているからである。それはさらに、わが国の官僚組織が、旧軍隊と同じようにロジスティックスと情報を軽視していることにその原因がある、というのが私の仮説である。

わが国の科学技術が欧米に及ばない大きな理由として、よく独創性の議論がなされる。しかし、

それこそ独創性に欠けた議論である。わが国の(国の)科学技術(機関)で欠けているのは、図書館、情報ネットワークを含む知識情報の支援基盤である。より大切なのは、こうした基盤作りなのではないか。当然、貧しい図書館環境、図書館の人的資源の改善は、焦眉の急というべき課題である。これが私の問題意識である。もし、この前提が間違ったら、ご容赦願いたい。その場合でも、以下の議論の本質的な部分はそのままだ通用するだろうと思う。

2. 国の研究所の図書館が直面する問題

米国やヨーロッパでは1990年代の初め、わが国では1994年頃から始まったインターネットとWWW革命により、研究所のような専門図書館であるか公共図書館や大学図書館かを問わず、あらゆる図書館は今、その存在形態を根本から変革される事態に直面している。この革命は以前から議論されていた電子図書館を現実のものにしつつある。このことは、すでに多くの識者により、また図書館の専門家自身により指摘され、認識されている。ここではこの議論を後まわしにして、まず私たちのような国の研究所の図書館としての、固有の問題を考えてみたい。

一般に図書館の仕事は、

- (1) 各種の文書を含む広義の図書を収集ないし購入する、
- (2) 図書を(国家)財産として、情報メディアとして管理する、
- (3) 図書というメディアの中の情報を提供する、ことであろう。一般の図書館と、われわれのような研究所の違いは、このすべての項目にまたがっている。一般の図書館においては、(1)の図書の選定は図書館員(司書)の重要な仕事である。しかし、研究所では図書委員会というような研究者の合議によって、購入すべき図書が決定される。(2)のうち前半の、図書を国の場合なら国家財産として管理するという仕事は、利用者のためでなく管理者のための仕事である。後半の情報メディアと

して管理するとは、利用者の便宜を考えて管理するという意味である。一般の事務官は、前半については容易に理解でき実行する。実行しなければ法を犯すことになるから、これは当然であろう。しかし、後半の仕事に関してはトレーニングを受けていないし、得意でもない。このことも当然であろう。これも、図書館の専門家の仕事である。(3)に関しては、全く図書の専門家の仕事である。

そこで、司書のいない図書館を考えてみれば、どのような事態になるか容易に想像できよう。図書委員会が選定した図書が購入され、財産台帳に記載され、「もの」としては管理されている。貸出も行われる。しかし、利用者のためのカード作りは行われていないか、いたとしても杜撰なものになりかねない。また、どのようにしたら利用者の役に立つかはあまり考えられていない。こうした状況は、国だけでなく地方公共団体の試験研究機関の図書館においても珍しくはないようである。図書館が、単なる「本の置き場」、ひどいところでは「本の墓場」になっているのだ。

ここで本当の問題は、こうした状況自身ではない。真の問題は、こうした状況が全く指摘されることがなく、わが国の科学技術の国際競争力の低さの原因になっている、ということである。こうした問題がなぜ指摘されないのか。私の仮説は、そうした図書館の図書館長は、2、3年のローテーション人事で任命されるから、問題を指摘したりその解決策をまじめに考えるだけの時間的な余裕がないからだ、というものである。

3. インターネット時代の図書館

次に、現在盛んに議論されているインターネットの普及による図書館の役割の変化について考えてみたい。このことに関してまず指摘すべきは、一般の図書館と研究所のような専門図書館とでは、問題が非常に異なるということである。すなわち、一般の図書館における問題は、「図書館の業務はインターネット・WWW 革命でいかなる変化を受けるか？」であるのに対し、研究所の図書館

の場合は、「研究という知的創造活動は、インターネット・WWW 革命でいかなる変化を受けるのか、その中で図書館の役割はどのように変化するか？」である。

すなわち、図書館が独立した存在であれば、問われることは図書館のミッションの変化と、そのミッションが変わらない場合は図書館における先にあげた三つの仕事の変化である。例えば、図書の購入は電子決済にできようし、管理にはコンピュータが使われるだろうし、利用者への情報提供はネットワークでなされる。要するに、従来の図書館業務のコンピュータ化、電子化を考えればよいのである。こうした発想からすると、従来の紙媒体を電子化したり、マルチメディア化することになる。いわゆる電子図書館の発想である。言ってみれば、これは図書館を中心とした発想である。このように発想することは図書館の関係者にとっては自然であり、そうした発想に基づく開発事業も大きな意義があるのはもちろんである。

しかし、問題を研究という知的創造活動の支援という視点から見れば、全く異なった目標が見えてくる。次にこのことについて、私の関わった研究開発を例として、具体的に説明してみたい。

4. 研究開発を支援する情報計算基盤

4.1 生物医学分野での実例

1970年の中ごろ、前職の東京都臨床医学総合研究所に移った時から、私が小規模かつ学際的な研究チームの責任者として取り組んできた課題は、生物医学研究を支援するコンピュータシステムを開発することであった。もともとそういう問題意識を持ったのは、私がパターン認識や人工知能などコンピュータに知的な仕事をさせることを研究テーマとしていたからである。当初この種の研究は、心臓病の診断をするコンピュータプログラムを開発するとか、薬を最適に投与するための数学モデルを開発するとか、X線写真を判読する画像解析システムを開発するとか、臨床データの統計

学的解析をすとか、糖尿病患者のデータベースを開発するというように、個別の問題ごとに展開されていた。

しかし、多くの要求を少人数にこなしたり、効率よく生物医学研究を支援するためには、自分たちはもとより、他の研究者を含めた研究者全体、あるいは研究所全体のコンピュータ環境を改善する必要性を感じた。そのような環境は、データベースなど情報を扱う部分とデータ解析や数学モデルを扱う計算に関する部分を統合したものである。その意味で、情報計算環境と呼んだ方がより適切であろう。さらに考えてみると、生物医学研究の

支援とは、科学技術の研究開発を支援する情報システムやコンピューティング環境をいかに構築し、いかに活用するか、という一般的な問題の特別な場合ということになる。この問題は、人間の創造的な知的活動をコンピュータでどう支援するかという、さらに一般的な問題の特殊なケースと見なすことができる。

筆者がこうした問題意識に目覚め、試行錯誤の中でおよそのデザイン原理を確立し、そのプロトタイプとなる図1のような環境を実際に整備したのは、1980年代の初めであった¹⁾。心臓病の診断（医学用語では、心疾患の鑑別診断）のシステム

筆者らが東京都臨床医学総合研究所で、1980年代前半に開発整備した生物医学の研究を支援するシステム。帰納、演繹、発想という普遍的思考支援システムに、分子モデリングなど、分野別支援システムから構成される。国際コンピュータネットワークにもすでに接続されていた。

図1

は一般のパターン認識などと違って、統計解析、波形解析、画像解析、人工知能（経験的な知識による推論システム）などを総合した極めて複雑なシステムである。今にして思えば、1970年代の初めにこうした問題に取り組んでいたことが、図1のような複合的なシステム環境を開発することになった動機かもしれない。

私たちのこのシステム環境は基礎医学、臨床医学、医学研究、さらに疫学の研究の支援を前提としていたが、同時にドラッグ・デザイン、毒性研究、素材の研究開発を支援する機能も含まれている。実際このシステムとその開発思想を基盤として、私たちは1980年にCBI研究会（計算機と化学・生物学の会）を創立し、その活動を通じて医薬品や素材開発に関連した大学や企業の研究者に分子計算、遺伝情報解析、分子グラフィックスなどの普及を計った¹⁾。さらにこうした経験を踏まえて、幅広い科学技術分野における研究開発へのコンピュータ利用に関する思想の集大成を「R&Dコンピューティング要覧」を刊行することで試みた²⁾。この本は、わが国の科学技術の最前線にいる約100名の研究者の協力によって後に編纂された。こうした実践活動によって「研究開発を支援する情報システムやコンピューティングをいかに構築し、活用するか」という問題には一応の答えが与えられたと考えている。これは1980年代末のことである。

もちろんその後も、私たちが支援対象と考えていた学問群とその基礎となる分子生物学は文字通り日進月歩の勢いで進歩している。学問の進歩は常に新しい領域を生み、コンピュータもまたそうした分野で使われるようになる。しかし、それによってただちに新しいコンピュータの利用形態が生まれるわけではない。コンピュータの利用形態の変化は、むしろコンピュータ自身の進歩に依存している部分が多い。この意味でインターネット・WWWの普及は、科学技術の研究を支援する情報計算基盤を革新する可能性を秘めている。このことを論ずる前に、研究支援システムの本質について、考察しておきたい。

注1) CBI研究会の連絡先は、

〒158-0097 世田谷区用賀4-3-16イイダビル
301 Tel. 03(5491)5423 Fax. 03(5491)5462
<http://www.cbi.or.jp/>

4. 2 研究者の情報環境

一般に科学研究の目的は自然法則の発見、真理の発見である。これに対して工学の研究は、新しいシステムや仕組みや道具を作り、目標を達成することである。いずれも高度に創造的な人間の活動の一例である。この創造的な活動の最初の牽引力は、好奇心やアイデアなどである。

科学研究でも工学研究でも、実験あるいは調査を行う。その目的はデータを得ることである。したがって、一般に科学や工学の研究者は絶えざる情報の流れの中に身を置きながら、情報(データ)を得、操作して、新しい仮説を立て、実験やフィールドでの調査を繰り返して、価値ある情報(知識)を再び生み出そうとする。工学の研究では、これに加えて具体的なものをつくり出したり、問題を解決しようとする。

この情報という観点から見た場合、研究者は常に三つの異なる世界と関わっている。すなわち、外の世界、思考を専らにする研究室(オフィス)の世界、データを生成する実験室あるいは調査のためのフィールドの世界である(図2)。普通、研究者はまず外の世界から公開あるいは個人的なツテによる研究情報を仕入れる。一方で、実験室やフィールドでデータを集め、それを自分の経験知識や直感に照らして分析し、そこから新しい知識を生成しようとする。その結果は(組織内も含めて)外の世界への報告書や論文として発表され、また新たな研究計画や実験へとフィードバックされていく。こうした活動の違いを反映して、それぞれの世界におけるコンピュータの利用形態も著しく異なっている。

一般に、研究におけるコンピュータ化は、データ処理を例外として、まず外の世界と実験室から始まった。外の世界におけるコンピュータ化とは、MEDLINEやCASで代表されるような文献や

図2 統合的に見た研究者の情報環境

下位の研究者は研究に関する公開情報と個人的情報源に基づいて研究を計画し、上位の研究者は組織のミッションと研究資源から計画を考える。中間の研究者は両方の立場から考えなければならない、一番負担が大きく、支援システムのデザインは最も難しい。

ファクト・データのオンライン・データベース化である。また実験室とフィールドのコンピュータ化は、各種の計測機器のコンピュータ化とそこからのオンラインによるデータの収集である。こうしたコンピュータ化は、現在はさらに思考の世界である研究室（オフィス）に及んでいる。

コンピュータの利用形態から見ると、外の世界と実験室あるいはフィールドにおけるコンピュータの利用法は、物理学だとか化学、生物学だとかいうような研究の分野にはあまり依存しない。思

考の世界におけるコンピュータ利用は分野に依存するが、これもよく見ると分野に依存しない部分と分野に依存した部分から構成されていることが分かる。このように分析してみると、研究を支援するコンピュータ・システムあるいはコンピュータ環境は、研究分野に依存しない部分が大変に大きいことが分かる。言い換えれば、研究を支援するコンピュータ環境のデザインは、特定の分野に依存せず共通の思想に基づいて行えるのである。そこで国の科学技術の発展という立場から考える

なら、まず整備すべきは共通性の高い部分なのである。これが知的基盤整備の基本理念でなければならない。

いずれにしても、研究開発システムの最も本質的な部分は、研究者の思考をどう支援したらよいかということになる。それ以外の部分は、事務的な仕事や工場のコンピュータ化などとあまり変わらない。実験室におけるデータの生成とオンライン転送や、調査のような研究情報の収集の効率化などは、そうした例である。そこで、次に研究者の創造的な思考活動をどう支援すべきかについて考えてみよう。

4. 3 研究者の思考を支援するシステム

4. 3. 1 分野に依存しないシステムと依存するシステム

紙数が限られているので、話をいささか簡略にすれば、研究者の創造的な思考過程においては、それぞれの専門分野固有の知識と固有の思考パターンが使われる。同時に分野に依存しない普遍的な知識基盤と思考パターンも使われる。そのような普遍的知識基盤とは、数学ないし数式（例えば微分方程式）で表現されたモデルと、帰納、演繹、発想、計画という人間の四つの理性的な思考の基本パターンである。

したがって、研究者の思考を支援するシステムには上記の四つの思考の基本パターンに対応するコンピュータシステムが含まれていなければならない。これらは普遍的思考支援システムと呼べるだろう。なぜなら、これらのシステムは物理学だとか、化学だとか、薬学だとか、医学だとかいうような専門分野には全く依存しないからである。そしてこの普遍的思考支援システムの上位には、それぞれの専門分野の基盤となる知識（モデル）やデータと、それを扱うシステムがくる。思考を支援するシステムは、このような階層性を考慮に入れてデザインしなければならない。

4. 3. 2 普遍的な思考支援のコンピュータシステムの構成

次に、普遍的思考支援システムがどのようなシ

ステムであるかを、医薬品の開発研究などを例に取りながら説明してみよう。

まず数学や数式で表現する手法については、ほとんど自明であろう。すべての現象を数学のモデルによって説明しようというのは、現代科学の時代精神である。この意味で数学的手法は、あらゆる科学的手法の根幹であり、コンピュータの応用としても最も歴史が古い。今日では数値計算だけでなく、数式の記号の変換をやってくれる「数式処理」プログラムも広く使われている。

次が、帰納であるが、これに関しては数値、波形(信号)、画像などのデータ解析や、統計学的手法、パターン認識などが対応する。なぜなら、これらはすべて「集まったデータから一般的に通用する規則を導き出す」ための思考の助けをする分析、判断のための道具（ツール）だからである。こうした手法は、あらゆる科学の分野に共通である。

例えば、医薬品や農薬の開発で、リード（化合物の）オプティマイゼーションによく使われるQSAR（quantitative structure-activity relationship）、すなわち化合物の定量的な構造活性相関は、こうした手法に他ならない。この他に、質量、IR、NMRなど各種のスペクトルデータに基づいて、分子式や部分構造を推定する方法がある。研究の歴史としてはこの機器分析データの解析の方が古い。また、最近では従来のQSARで使われていたものより広範囲な化合物の構造的特徴量を用いて、薬理活性や発癌性、味など生物作用を推定しようという、いわゆる3D-QSARという試みが盛んである。こうした手法も帰納支援の例である。

一方、演繹とは、確かとされる前提から出発して厳密な推論を重ねて新しい知識（結論）を導くことである。コンピュータはもともと（プール）論理演算を行う機械である。これに経験的な知識を収めて演繹の推論を行わせようというのが、知識（エキスパート）システムであり、しばしば人工知能とも俗称される。この種のシステムは、1980年代のいわゆる第5世代コンピュータ計画で脚光を浴びたが、その原型は1960年代のJ.Lederberg

らの質量スペクトルデータからの構造を予測する DENDRAL³⁾や、E.J.Cory らの有機合成探索システム LHASA⁴⁾、そして筆者らのそれも含めて、1970年代初めに開発された医学診断システムである⁵⁾。

このように、帰納や演繹を支援するコンピュータシステムはすでに数多く開発されている。ただし、それらはあくまでも思考の支援ツールであって、コンピュータが人間に代わって帰納や演繹を丸ごと実行するわけではない。それが不可能なのは、帰納にも演繹にもコンピュータで実行不可能な発想的な要素が含まれているからである。しかし、コンピュータは例えば、有機合成化学者やドラッグ・デザイナーの発想を助けることができる。分子モデリングやグラフィックスはそうした発想支援ツールである。

計画に関する技法もすでによく知られている。それはサイバネティクスや制御工学の主題であるが、線形計画法や動的計画法のような具体的な解法がさまざまな分野で応用されている。例えば、ファーマコキネティクスやダイナミクス・モデルを基礎にした薬剤の最適投与計画⁶⁾などはこうした計画技法の適用例である。

4. 3. 3 研究分野に依存した基盤システムの例：分子モデリングとグラフィックス

話を具体的にするために、健康の科学あるいは医学を例としよう。こうした学問の基礎には分子生物学がある。分子生物学を支援する基礎的なシステムは、生体分子を扱うコンピュータシステムである。その中核となるのは、記号列解析的な遺伝情報解析と、しばしば計算化学と呼ばれる分子計算や分子のモデリング技法、分子の立体的な構造を表示するグラフィックスなどである。こうしたシステムは、単に分子生物学のみにとどまらず、広く生物医学に関係する諸学の基盤にもなっている。

例えば、創薬研究は、薬物と標的となる生体系との分子レベルの相互作用の知識を基盤として展開される。当然、薬物分子と生体系分子、およびそれらの相互作用の計算モデルとグラフィックス

が重要になる^{7),8)}。こうした手法は「分子設計」とも呼ばれる。だがこの言葉は、しばしば誤ったイメージと期待を専門外の人々に抱かせる。ドラッグ・デザインは、数多くの仮設の生成と実験ないし計算による検証という試行錯誤のプロセスの積み重ねによってなされる。分子モデリングやグラフィックスの技法は、その多くの局面で用いられる基本的な道具である。そこで目的となるのは最終的な薬物分子だけではない。ある場合は、似たような活性を有する多数の化合物の共通部分の抽出であり、ある場合は X 線や NMR のデータに基づいて推定されている生体分子の構造の決定であり、またある場合はリガンドと結合するレセプターの調節部分や活性部分の解析である。

この意味で分子グラフィックスやモデリング技法は、新しい薬物のイメージを追求していく時の基本ツールであるが、研究者の代わりに自動的にピカ新をデザインしてくれる打ち出の小槌ではない。すなわち、ある道筋をたどって「望みのある分子を自動的に設計する」というような人間の発想を完全に代替するコンピュータ支援技法は、現実には存在しない。おそらく遠い将来といえども、そのような「自ら創造的に思考するコンピュータ」は実現しえないと思われる。それだけに、専門家の思考能力を増幅するような支援システムをどう整備するかが重要なのである。

5. 研究を支援する専門家のチーム

5. 1 図書サービスから図書情報サービスへ

以上が、研究という知的創造活動のための情報と計算基盤の具体的なイメージである。図書館との関係で考えれば明らかなことであるが、このような基盤は知的な研究資源である。現代の研究機関には、こうした研究の資源を整え、それを活用することを支援してくれる専門家が必要である。しかし、こうした基盤もそれを活用する方法も、図書館のそれよりずっと複雑である。さらに、その仕事の性格から言うならば、専門機関においては図書館も情報基盤の一部に他ならない。した

がって、情報計算基盤があるとするなら、図書館はその部門の一部に位置づけてもよいであろう。

そうした図書情報部門に期待される新しい役割は、図書、文献情報サービスだけでなく、そのまま研究のデータとして使えるファクト・データを提供することであろう。すでに例にあげたが、例えば生物医学の分野だと、従来の書誌、文献、情報に加えて、低分子化合物のX線結晶解析(構造)データ、核酸やタンパク質の配列データや3次元構造データなどのファクト・データを提供することである。例えば米国のNLMが創設したNCBI (National Center for Biotechnology Information)が開発したEntrezは、遺伝子の配列情報と文献情報のMEDLINEを結合したものである。こうしたファクトデータの多くは、いまやインターネットで利用可能になっている。したがって、これまでのような図書、文献、サービスの専門家だけでなく、ファクトデータの入手を助けるような専門家がいることが望まれるのである。

5.2 コンピュータ環境の整備

必要な専門家はそれだけではない。そもそも、情報計算基盤を支えるコンピュータ環境を開発整備する専門家が必要なのである。

パソコンの性能が十分でなかった1980年代の中頃までは、研究者がコンピュータを使いこなすためには、コンピュータの専門家の助けが必要だった。日本ではコンピュータの利用そのものへの認識が遅れていたから、大学の計算センターは別として、研究機関でこうした専門家のチームを置いたところはほとんどなかったようだ。しかし、そのようなチームを置くのは米国やヨーロッパの研究機関では当たり前であった。実際に米国のNIHやCDC、ハイデルベルクのEMBL、ケンブリッジのMRC分子生物学研究所、あるいは先進的な医薬品や化学会社などにはこうしたコンピュータの専門家を擁するチームが存在していた²⁾。

しかしその後パソコンの性能が向上すると、一般の研究者でも、金さえかければ高機能で使いやすいアプリケーション・ソフトが揃えられるよう

になった。リレーショナル型のデータベースや統計解析パッケージ、グラフィックス・ソフト、画像処理ソフト、分子計算ソフト、遺伝子解析ソフトなどはその典型例である。

しかし状況は再び変化してきている。現在ほとんどの研究所で、研究者は複数のワークステーションと複数のパソコンがローカル・エリア・ネットワーク(LAN)で結合され、さらにそれらが全体として外部のインターネットに接続された環境で仕事をしている。ワークステーションは特定の仕事が割り当てられたサーバの役割を果たす。そうした役割とは、広域ネットワークおよびLANの通信制御の管理、大規模なデータベースの管理、高速の計算能力が必要とされるアプリケーション、例えば分子軌道法や分子動力学のような分子計算、分子グラフィックスなどである。さらに画像処理とかグラフィックスのような特殊な仕事をするためのワークステーションもある。

これに対してパソコンは、研究者の個人の事務的な仕事、研究情報の管理、ワークステーションの端末などに使われる。しかし、一部のパソコン自体の計算機能や記憶容量、画面表示機能は、もはやワークステーションと肩を並べるまでになっている。したがって、かつてはスーパーコンピュータでしかできなかった大規模な分子計算や画像処理にもパソコンが使われるようになった。

いずれにしても、いまや研究者はネットワークに接続された、さまざまなコンピュータを駆使して仕事をしている。こうなると、自分用のパソコンはともかくとして、研究所全体のコンピュータ環境整備は、研究者個人個人の努力ではいかんともしがたく、組織的な対応が必要になってきた。すなわち、研究機関は全体として情報と計算のための基盤環境を整備しなければならない状況に再び直面している。よい環境で仕事ができる研究者と劣悪な環境にある研究者の生産性の差は開くばかりである。

5.3 思惟科学あるいは思考工学の専門家

以上は、文字通り情報計算の基盤整備に関わる

部分であり、研究者の思考の支援はさらにその上部の構造である。先に思考の支援には普遍から個別へという階層があると説明したが、その考えに沿って言えば、帰納を支援するデータ解析や統計学、波形（時系列データ）解析、画像解析、演繹を支援する人工知能、発想を支援するグラフィックス、制御工学など、研究分野に依存しない専門家に加えて分野に依存する、生物医学で言えば計算化学や生命情報工学(Bioinformatics)、環境科学なら地理情報システム(GIS)などの専門家がその上部構造にあたる。私がこれまで展開してきたような体系的な議論によるわけではないが、このような専門家たちの必要性は欧米の研究機関では広く認識されている。

例えば、生物医学研究で言えば、米国の NIH には昔からコンピュータの基盤を支える部門、統計数理部門があり、最近では計算化学や生命情報工学の専門家を擁する部門がある。わが国の場合、公的な生物医学の研究所においてこのような支援の専門家のチームが存在したのは、私が前職で責任者であった東京都臨床医学研究所のチームだけであった⁹⁾。先の図1のようなシステムをベースとして、上で述べたような専門家のチームによる研究支援の実験が行われたのは、1975年から1985年にかけてであった。

残念ながらこのチームは解散せざるを得なかった。基礎医学はともかくとして、臨床医学や疫学研究にはこの種のチームが絶対に必要である。最近 Evidence Based Medicine という思想がわが国にも入ってきているが、例えば医薬品の効能の判定などの研究でわが国が国際的に大きく遅れをとっているのは、こうした専門家の支援チームが存在しないからである。

6. インターネット／WWW 革命のインパクト

以上述べたことは、科学技術の研究開発という極めて創造的な知的活動を支援する情報計算基盤をどう整備したらよいかである。私がこうした考

えに到達したのは、1980年代の終わりのことであった。ところが、そのすぐ後でインターネットの爆発的な普及が始まった。この現象は、クリントン政権のインターネットの民間への解放政策と WWW 技術の出現によると私は捉えている。1990年代の初めにこれら二つの出来事が重なったのは偶然であった。しかし、この偶然によって大革命が始まった。この意味で WWW 技術はインターネットより革命的だとも言える⁹⁾。では、インターネット／WWW 革命は研究者の情報計算環境にいかなるインパクトをもたらしているのだろうか¹⁰⁾。

もちろん誰でも気が付く変化は、研究者や研究室、あるいは研究所が、自ら情報を発信できるようになったことだろう。いまや、こうした個人あるいは研究グループが発信する情報が重要な研究資源になってきているのである。ただし、情報発信が誰でもできるようになったということは、小学生についても言えることである。研究分野においては、さらに新しい可能性が開かれているのである。このことを説明するために、新しい状況をつくり出している技術について、もう少し具体的に説明してみよう。

6. 1 革命的な WWW の技術

(1) WWW ページの検索技術

WWW サイトを検索するシステムはすでに数多く開発され、日常的に使われているが、限られた専門情報の検索には必ずしも向いていない。そこで、われわれは、あらかじめ指定しておいたサイトだけを検索する自家製の検索エンジンを HARVEST や Glimpse を用いて作成することを試みていたが、日本語が使えるという理由で、Glimpse を用いたシステムをわれわれのホームページに置いている。これは、国立医薬品食品衛生研究所で管理しているページの全文を検索するものである(<http://www.nihs.go.jp>)。同様なシステムは、ある専門領域に限定した検索エンジンとして有用であると思われる。

(2) インターネット上に分散しているデータペー

Netscape: GINC Search

Location: <http://db.nihs.go.jp/>

Global Information Network on Chemicals Search

Chemical Name contain [How to use](#)

[What's New | GINC Home Page](#)

Sample Databases for Integrated Search Experiment

Ministry of Health and Welfare, Japan:
Chemical toxicity database (in Japanese) Toxicity Testing Reports of Environmental Chemicals
PDSCL (in Japanese) The Poisonous and Deleterious Substances Control Law (in Japanese)

National Institute of Health Sciences, Japan:
International Chemical Safety Cards (ICSC) - Japanese Version -
ECETOC Technical Report No. 30(5) Existing Chemicals: Literature Reviews and Evaluations
Summary of Environmental Health Criteria (EHC) Vol1,2 includes 2D,3D structure (in Japanese)

National Toxicology Program, NIH/NIEHS, CDC/NIOSH, FDA/NCTR, US:
 Abstracts of Short-term Toxicity Studies includes the abstracts as taken from the published toxicity reports (TOX) of the NTP
 Abstracts of Immunotoxicity Studies
 Abstracts of Reproductive Toxicology Studies
 Abstracts of Teratology Studies
 The 8th Report on Carcinogens 1998 Summary

Environmental Protection Agency (EPA), US:
 Chemicals in the Environment: OPPT Chemical Fact Sheets

EXTOTOXNET:
 Pesticide Information Profiles (PIPs)

Other Linked Chemical Databases :
 DPR's Chemical Ingredients Database
 ATSDR ToxFAQs
 HordeNet
 NIST Chemistry WebBook

*These pages are maintained by Division of Chem-Bio Informatics, The National Institute of Health Sciences (NIHS) of Japan.
ginc-admin@nihs.go.jp*

図3 インターネット上に分散して存在する化合物の（主として安全性）に関するデータベースを統合的に検索するシステムの例

スの統合技術

WWW が普及してから、CGI (Common Gateway Interface) プログラムを用いてデータベースを WWW から検索する技術が普及した。これをさらに拡張すれば、LAN やインターネット上に存在している複数のデータベースを統合的に検索するシステムを開発することができる。私たちの場合、この技術を、国際機関や各国の専門機関にある化学物質の安全性に関する情報コンテンツを統合的に利用する GINC (Global Information Network on Chemicals) 計画の中核である (われわれが開発している) GINC ホームページの中の GINC DB Search として、実際に使っている (<http://www.nihs.go.jp/GINC/index.html>) (図 3)。

(3) オブジェクト指向型のデータベース

分子生物学の進歩によって、生命現象の解明や医薬品開発の鍵を握る、生体内受容体や信号伝達経路に関するデータや知識が爆発的に増加するようになった。こうしたデータや知識をどのように

コンピュータに蓄積すべきかが重要な課題になってきた。われわれは、線虫 (*C. エレガンス*) の遺伝情報のために開発された ACEDB と WWW を基盤として、受容体 (<http://impact.nihs.go.jp/RDB.html>) と細胞信号伝達系 (<http://geo.nihs.go.jp/csndb.html>) のデータベースを開発している¹¹⁾ (図 4)。

(4) グラフィカル・ビューアー

WWW が広く受け入れられたのは、グラフィカルな表示を容易にしたからである。われわれの化合物、受容体、細胞信号伝達系のデータベースにおいても、分子グラフィックス、経路グラフなどをマルチウィンドウ環境で並列に表示するユーザ・インタフェースが使われている。現在さらに、因果関係のグラフィカルな表現とその根拠となる知識と情報をリンクする技術を研究中である。

(5) VRML と JAVA

われわれは80年代の初めから、*C. エレガンス* の受精卵が細胞分裂を繰り返して成体になっていく発生過程を細胞グラフィックスで表現することを

図 4 知識の高次構造化の例、細胞レベルでみた生体外からの化学物質と生体系分子 (受容体) との相互作用と信号伝達ネットワーク (高井貴子氏作成)

図 5 a VRML の表示方式 (高井貴子氏作成)

図 5 b VRML による細胞グラフィックス

試みてきたが、最近 VRML と JAVA を用いることにより、細胞が分裂増殖する過程をブラウザ上でアニメーションとして動的に表現するシステムを開発することができた (<http://geo.nihs.go.jp/cers/start2.html>) (図 5 a, 図 5 b)。このシステムは、それぞれの細胞に、その細胞に関する詳しい情報をリンクすることも可能である。

6. 2 新しい状況

次に、こうした新しい技術が研究開発のスタイルにどのような影響を与えているかを見てみよう。

6. 2. 1 活発になる共同研究

インターネットは、研究者の共同研究の機会を増大した。つまり、「机の向こう側にいる仲間だけでなく、地球の向こう側にいる研究者」とも容易に一緒に仕事ができるようになった。実際、私たちの部も、ほとんど全員がそうしたスタイルで仕事をしている。

6. 2. 2 進む情報と知識の階層構造化

科学は物理、化学、生物学を基礎としているが、もう少し広く捉えれば、分子、地球、宇宙などの「もの」と「こと」としての情報の学問に分かれる。生命はものと情報の結びめである。医薬品の開発や化学物質の安全性の問題は、ものと生命の相互作用となる。ものについては、素粒子、原子、分子とカタログされている。分子の情報については、ケミカル・アブストラクツ・サービスの登録番号が基礎になる。それは1,800万を越えている。生命は、ゲノム（全遺伝情報）でのカタログ作りが進んでいる。環境に関しては、地球上の座標である地理情報が基礎になる。

いまや科学技術の基礎情報と知識は、こうした基盤情報の上に構造化あるいは組織化されて、積みあげられるようになってきた。さらに、その部分部分がインターネット上に置かれるようになってきたから、それらを統合して利用できる環境がだんだん整ってきた。

私たちの場合で言えば、例えば医薬品名や環境汚染物質名から、それらの化合物が生体のどのよ

うな受容体と作用し、その刺激がどのような生体内の信号となって伝達され、どのような遺伝子を発現させ、どのようなタンパク質が合成され、それがいかなる働きをし、生体の変化をもたらすかを追跡できる、巨大なシミュレータの開発である。それを可能にしているのが先に述べた異なるシステムの連結を可能にする WWW の技術なのである。

6. 2. 3 研究者にとって必須な情報の提供

私たちが実際に開発しようとしているのは、内分泌攪乱物質（いわゆる環境ホルモン）の生体作用を解明するためのモデルシステムである（図 6, 図 7）¹²⁾。こうしたシステムの究極の目的は、動物

From Target Point (Gate Point) to Endpoints

図 6 内分泌攪乱物質の分子レベルにおける生体内作用の概念

図7 内分泌攪乱物質作用の因果関係図：筆者らが開発している Gatepoint (s) から Endpoints への解析のためのデータベース群

実験をしないで、化合物の生体作用を予測することである。この目的はすぐには達成できない。しかし、例えば生体内のホルモンと類似した合成化合物が生体とどのように作用するかについての実験事実をうまく整理してあるデータおよび知識ベースは、実験家にとっても絶対に見ておかなければならない研究のための基盤情報である。また理論家であれば、こうした情報を直接自分たちの計算の基礎データとすることができる。

こうしたデータや知識は、ファクト・データと呼ばれた従来のデータや知識よりは明らかに高次の、研究者の創造的な思考をより直接的に支援するシステムである。この種のシステムはまだほとんど開発されていないが、やがてほとんどの問題ごとに、開発されるだろう。そしてここでも、普遍的なものから個別、特殊なものへという階層性が見られるだろう。

6. 3 新しい状況への適応

インターネットおよびWWW技術の進歩によっても、図1の研究支援システム概念は変わらない。しかし、そうしたシステムをどのように開発整備し、どのように活用すべきかの環境は、一変した。こうした仕事は、もはや個々の研究者にまかせておけるものではなくてきている。組織としてどう対応するかが迫られているのだ。このことは、競争にさらされている欧米の企業の研究所の場合は、すでになんらかり認識されている。しかし、わが国の場合、官民ともに認識は甘い。それが現在研究能力の急激な格差となって顕在化しつつある。

考えるべきは、一人ひとりがうまく魚を釣れるように支援することではない。大量の魚を効率よく獲るようにシステム自体をどう変えるかなのである。次に紹介するH. G. ウェルズの思想は、このことについて考える時の参考になるであろう。

7. H. G. ウェルズのグローバル・ブレイン

今世紀初めの英国は、科学や技術の大きな流れ

やその結果としての社会現象を30年から50年くらい先まで洞察するような優れた科学者、思想家、作家を輩出した。その中でも抜群の予言能力を発揮したのがH. G. ウェルズである。1914年に発表された彼の小説「解放された世界」は、原子爆弾、世界大戦、原子爆弾による大都市の破壊、世界政府を予言した。そのウェルズは、1937年に発表した論文の中でグローバル・ブレインという構想を提案している¹³⁾。彼はだいたい次のような意味のことを述べている。「大英博物館や米国の博物館では、膨大な資料をマイクロフィルムに収める作業が進んでいる。このこととフィルムを見るための安いプロジェクターの存在を考えれば、やがて研究者は世界のどこにいても、自分の書齋で、あらゆる本や文献を調べられる時代がやってくるだろう」。さらに彼は、優れた専門家によって、あらゆる知識を整理、編纂した世界百科事典（グローバル・ブレイン）を構築し、これを世界規模の図書館に置き、世界の重要問題の解決の道具とするというアイデアを出している。

マイクロフィルムに収められた世界百科事典の知識は世界のどこにでも運ばれスクリーンで拡大してみることができるだろう、というウェルズの予言は、インターネットとWWWによってまさに現実のものになった。インターネットを使っている方なら、ネットサーフィンや、ヤフーとかアルタビスタのようないわゆる検索エンジンによってこのことを実感されているだろう。この意味で、巨大な電子図書館、百科事典はすでに稼働しているのだ。実際に米国では、90年よりアメリカン・メモリーというアメリカの歴史や文化に関する資料をデジタル化する計画が議会図書館で進められていると聞いている。こういう試みは、まさにウェルズの予言通りとすることができる。

ただ、ウェルズの想像した技術とWWWは異なるところもある。それは、運ばれ、スクリーンに投影してみる（読む）ことができる文書や写真が、デジタル化された情報や知識だということである。したがって、WWWでは、情報や知識をコピーしたり、分割して組み合わせたり、相互に

関係付けることができる。こうした技術に支えられている研究を直接的に支援する高次の知識やデータベースは、ウエルズの想像を越えている。この意味では、ウエルズの発想は、やはり図書館の発想を出ていない。

また、ウエルズが想像したのは1か所に集中したセンター的な施設であったが、実際に実現したのはネットワーク分散型の知識の集積と交換のメカニズムである。さらに、ウエルズはグローバル・プレーンを利用するのが人間だと想定していたが、インターネット上の膨大な情報、データ、知識を活用することは、もはや人間の力だけでは不可能である。一部には人工知能への期待がある。すでにエージェントやデータ・ウェアハウスが話題になっているが、これは一例に過ぎない。おそらく、この種の技術も普遍的なものとして開発するのは不可能であり、それぞれの分野で、しかも具体的な問題ごとに開発していかざるを得ないだろう。

8. 教育、研究所、学会の改革

私はインターネット／WWW革命を、人類をしてついに「情報と知識が広く解放される新しい社会」に突入させた技術だと捉えている。だが、情報と知識を解放しただけではよい社会は作れない。次の課題は、より体系的に情報と知識を利用可能とすること、情報と知識の活用を助ける案内役(レファレンサー)、アドバイザー、コンサルタント、教師、オンブズマンが必要である。次なる社会はこうした人材を大量に養成しなければならない。すでに述べたように、こうした専門家は研究機関にも必要なのである。

ウエルズが提唱したグローバル・プレーンには、巨大な図書館を誰もが利用できるようにすれば百家争鳴とも言うべき議論は起きようが、結局人類はよりよい社会に移行できるという思想があった。そこでウエルズが批判しているのは、時代遅れの教育制度や学会である。

いまやわれわれは、ラジオや飛行船や爆撃機な

どという、さまざまな新技術が出現した世界で生きている。然るに、教育が全く変わらないのは驚くべきことだと彼は指摘した。この本が書かれてから60年も経過した今、さらに驚くべき技術が世に出ている。にもかかわらず、教育は依然としてほとんど変わっていない。そして研究所も学会も、その運営実態はウエルズの頃とほとんど変わらない。これも驚くべきことである。

ウエルズの指摘と21世紀の研究所における情報計算基盤の整備を考えると、教育制度も学会も研究所も、さらに国の科学技術政策も大変革しなければならないことが分かる。

9. 未来をどうデザインするか

伝統的な図書館のイメージがコンピュータ、インターネット、WWWの急進歩で揺らいでいる。一方で、専門図書館には専門家が不在であり、スペースその他のリソースも極めて貧弱である。さらに、専門の研究機関には研究を直接的に支援する情報計算基盤が必要であり、それを駆使する多様な専門家も必要である。これが、われわれ国の研究所とその図書館が置かれた現実である。問題は明らかになったと思う。ではこの現状をいかに改革、改善していくべきか。

この問題をライブラリアンの専門性を改善することで解決できないことは、明白である。そもそも、国の研究所にはライブラリアンがいないのだ。これは、人事制度とからむ根本的な問題でもある。こうした中で、あくまでも伝統的な図書館の専門性を追求することは現実的でないだろう。だが、研究という知的創造活動を直接的に支援する情報計算環境を充実することも難しい課題である。さらに、双方を同時に目標とするのは、ほとんど不可能に近い挑戦課題である。

この問題については私自身、前職と現職において四半世紀も実践および啓蒙活動をしてきたつもりである。しかし残念ながら、わが国の状況は、私にとっては日暮れて道なお遠しの感がある。以下に見果てぬ夢のようではあるが、いくつかの案

を参考までに考えてみたい。

9. 1 図書館、情報計算部門の大きな連携

わが国の場合、学術研究の図書館は、医学図書館、薬学図書館など分野別に勉強会、情報交換会を組織して連携している。しかし、貧弱な状態に置かれている（と思われる）多くの国公立の研究機関の間の連携組織はない。こうした問題は個々の機関では認識されていないから、担当者だけでは解決できない問題である。そこで、こうした問題をまずクローズアップし解決策を考えるために、関係機関（部門）同士が学術情報センター、JST、国会図書館などを核として連絡しあう。また、現在研究所の図書館やコンピュータ施設に優れた専門家を配置できない理由は、彼らのポストが終身雇用的に固定したものにならざるを得ないからである。そこで、国の場合、図書館や情報の専門家を省庁横断的な専門家として採用し、センター的な機関や個別機関を経験しながら専門家として昇進していけるローテーション方式を検討してはどうだろうか。

こうした専門家の枠の中には、情報コンテンツの作成支援のための専門家を含めることも考えられる。研究者個人、研究機関、あるいはその他の専門家が自分たちの仕事の成果を論文、報告書、その他の形式で出版したり、Webに置くことが研究情報流通の出発点である。そのプロセスをどう支援するかが大きな課題であるが、最良の方策は、それぞれの機関でこうした仕事を支援する体制があることである。例えば電子メディアによる文章作成法や専門文書の効率的な翻訳法、英語での文書作成などに関し、オンサイトあるいはリモートでの支援体制があるのが望ましい。こうしたサポート陣は、各機関の図書館や情報計算基盤構築グループに置かれるのもよいと考える。

9. 2 外部に専門家の集団を組織して、外注する

現在、大学などで知的生産物を特許などにし、これを世に出すための支援を行う部門を併設する

ことが始まった。図書館、コンピュータやネットワークの専門家、情報計算基盤の構築要員、支援の専門家は、仕事こそ、それぞれの機関である必要があるが、身分的には独立の組織に属していてもよいであろう。こうした組織として、いわゆるエイジェンシー（独立行政法人）を考えることができる。

9. 3 国レベルのネットワークと計算環境の整備事業の重要性

私たちは現在、所内のLANを国立系の研究機関を結ぶ省際研究情報ネットワーク(IMnet)に接続させていただいている。このネットワークは筑波、東京、大阪以外にも拡張される予定であると聞いているが、できるだけ早く全国展開し、各地の国立および公立の研究機関を結ぶようにしていただきたい。さらに、各研究機関が報告書などをWWWに置くようにすれば、これをサーチエンジンで（全文）検索することにより、全国横断的な研究資料館が作れる。

重要なことは、各研究機関がそれぞれの情報・計算基盤を整備し、それぞれがその分野における国際的に信頼される基盤情報を発信し、また特徴のある計算リソースを整備することである。本年度にスタートした、計算科学技術活用型特定研究開発推進事業は、本来そうした基盤整備を推進すべき予算ではないだろうか。本年度の動きを見る限り、まだ旧来の魚を釣るような研究だけを採択して、魚の獲り方を根本から変えてしまうような研究課題は無視しているように見える。これまで研究支援の基盤システムの開発と啓蒙を続けてきた私としては残念でならない。

このような結果になった一つの理由は、省際ネットの効用が非常に大きなものがありながら、そのことが十分社会に認知されていないことに原因があるとも考えられる。このネットを活用する戦略こそ、欧米にますます差をつけられているわが国の研究体制を構造変革する鍵を握っていると私は考える。したがって、この研究制度の社会的意義は非常に大きいのだ。この点、政策担当者が

方針について熟考、再考されることを願ってやまない。

9. 4 ネットワークによる国際的な貢献

研究機関にとって、インターネットはすでに必要不可欠なインフラストラクチャーになっている。だが、インターネットはもともと国際的なものである。研究者として、あるいは研究機関として、その巨大な情報空間にアクセスできるということは、この情報空間になにがしかの情報コンテンツをつけ加える義務を負うことになると思うべきであろう。だが、情報計算の基盤整備への予算に恵まれていないわが国の研究者が、国際的に一目置かれるような情報コンテンツを提供するのは、それほどやさしいことではない。

私たちは IPCS と呼ばれる、化学物質の安全性に関する国際的な協力事業に参加しているが、この事業の推進母体である WHO, ILO/CIS (Chemical Information System), UNEP Chemicals などジュネーブにある国際機関のグループと協力して、化学物質の安全性に関する世界中の主要な機関をインターネットに接続するとともに、情報交換を行う GINC (Global Information Network on Chemicals) プロジェクトを進めている。

この分野においても圧倒的な情報を提供しているのが、米国の研究機関である。しかし、私たちはこのプロジェクトを先導するとともに、ホームページの作成を担当し、すでに述べたような技術を駆使して、これをこの分野の最良のポータルたらしめるべく努力している。

この計画には、われわれが先導したアジア地域のネットワーク作り (GINC Asia) が含まれている。こうした共同事業で痛感するのは、アジアに

おけるインターネットの浸透の早さと、研究者たちの熱意である。おそらく、同様のことを感じている方は少なくないであろう。したがって、APAN などアジアのためのインターネット基盤の構築は非常に重要な事業である。ただ日本がリーダーシップをとり続けていくためには、わが国自身の研究体制を、情報計算基盤整備に力を入れるように改革することを急ぐ必要がある。

10. お わ り に

国の研究機関の図書館は、永く忘れられた存在であった。研究活動におけるこうした情報基盤の軽視は、わが国の科学技術の脆弱さの一つである。しかし、コンピュータやインターネット (WWW 技術) の急激な進歩で、図書館だけでなく研究所の情報計算基盤の重要性も飛躍的に大きくなった。この時点においては、もはや図書館あるいはその要員の職能を拡大するというような対応策では変化に適応できない。経営学者の P. ドラッカーが言っているように、このような場合は「もし図書館を持たないとしたら、果たしてこれから図書館を整備しようとするだろうか?」と問うてみるのが賢明かもしれない。すなわち、「インターネット時代の図書館の変化を先取りして、研究という知的な創造活動をいかに支援するか」を考察し、その中で改めて図書館の理想的な機能を考えてみる方がよいのではないか。

本小論は、そうした考えを基礎とする試論である。ただ、空論を避けようと、私自身の関与してきた仕事を中心としたため、ライブラリアンの参考となる話としてまとめられなかったことをお許しいただきたい。未来の研究所の図書館を考えるうえで、多少の参考になれば幸いである。

~~~~~ 参 考 文 献 ~~~~~

- 1) 神沼二真. 医療革新とコンピュータ. 東京, 岩波, 1985
- 2) 神沼二真編著. R&D コンピューティング要覧. サイエンスフォーラム, 1988
- 3) Lindsay, R.K., et al. Applications of Artificial Intelligence for Organic Chemistry. The Dendral Project, McGraw-Hill, 1980
- 4) Cory, E.J., Wipke, W.T. Science. 66 p. 178 (1969)
- 5) 神沼二真, 倉科周介訳. 診療コンピュータシステム (Shortliffe, E.H. Computer- Based Medical Consultations. Elsevier: MYCIN). 文光堂, 1976 とくに巻末の解説: MYCIN
- 6) Kaminuma, T. A Mathematical Model of Gout for Optimal Treatment, Proc. of the Intern. Conf. on Cybernetics and Society, IEEE, Tokyo-Kyoto, 451-455, 1978
- 7) 神沼二真編著. 生化学におけるコンピュータ利用. 丸善, 1989
- 8) 神沼二真, 鈴木 勇. 分子を描く. 啓学出版, 1998
- 9) 神沼二真. 第三の開国, インターネットの衝撃. 東京, 紀伊国屋, 1994
- 10) 神沼二真, 中野達也. 生命科学とインターネット. オーム社, 1997
- 11) Takai-Igarashi, T. and Kaminuma, T. A Pathway Finding System for the Cell Signaling Networks Database, In Silico Biology, 1, 0012 (1998)
- 12) 神沼二真, 中田琴子, 中野達也, 高井貴子. 内分泌攪乱物質 (環境ホルモン) 研究を支援する情報計算基盤の概念について, 第21回. 情報化学討論会. 1998
- 13) H. G. ウエルズ, 浜野輝訳. 世界の頭脳. 思索社, 1987