

解説



リアルワールドコンピューティング研究計画

1. 情報処理の新たなパラダイムを目指して†

大津 展之††

梗概

第五世代コンピュータプロジェクトに続く通産省の新しい情報処理プロジェクトとして平成4年度より10年計画で始まった「リアルワールドコンピューティング (RWC) 研究計画」について、その技術的および社会的な背景、基本コンセプト、そして研究開発の内容と体制の概要について解説する。

1. ま え が き

新情報処理研究計画、リアルワールドコンピューティング (RWC) プログラムがいよいよ今年から本格的に開始している。これは実世界の多様な情報を実時間で処理することから、四次元コンピュータプロジェクトとも呼ばれ、第五世代コンピュータプロジェクトに続き、通産省が今後10年間で約700億円を投じる大型研究計画である。ここで、あえてプログラム（研究計画）という言い方をしているのは、これまでのマシン開発中心のプロジェクトではなく、新しい研究開発の枠組の中で広く基礎的先導的技術を展開するという意味が込められている。

その狙いは、21世紀の高度情報化社会に向けての新たな情報処理パラダイムとしての「柔軟な情報処理」、すなわち実世界のさまざまな問題に対処し得る新しい柔軟な知的情報処理の実現である。第五世代コンピュータプロジェクトが人間の情報処理の論理的側面（記号処理）を追究したのに対して、本研究計画では、いわば直観的側面（パターン処理）を新しい情報処理の枠組として

基礎づけ、これらをボトムアップに統合することを狙っている。

本稿では、RWC 研究計画の背景、基本コンセプト、そして研究開発の内容と体制について、概要を紹介する。

2. 研究計画の背景

コンピュータと通信技術の驚異的な発達に支えられ、情報処理技術は産業活動のみならず、広く社会および個人の生活様式にも浸透し、急速な変化をもたらしつつある。21世紀の高度情報化社会へ向けて、処理すべき情報はますます増大するであろう。それは単に量の増大のみではない。マルチメディア指向、各種センサ技術の発達、そしてさまざまな分野への応用の拡大にともない、情報の質の多様化と新たな情報処理技術への要求が増大しつつある。

こうした社会的背景と技術的ニーズは、単に従来の情報処理技術の直線的な延長というのではなく、その根底となる枠組からの新たな変革、新たなパラダイムを要求しつつある。現在のコンピュータをより人間に身近なものとし、だれもが容易に使えて、実世界の多様な情報環境において人と共存し協調できる能力をもったものにしていくことが望まれている。

歴史的に振り返ると（図-1）、コンピュータは、まず計算を論理回路で実現することから始まり、フォン・ノイマン方式（逐次処理方式）の路線に沿って、数値計算、文書処理、そして情報の蓄積と検索（データベース）といった分野で発達した。というのは、それらの応用分野は明確なアルゴリズムをもち、伝統的なコンピュータで処理するのに向いていたからである。

次の発展は、論理的（演繹的）推論といった人間の知的思考過程に光に当て、記号と論理を操作

† Toward a New Paradigm of Information Processing by Nobuyuki OTSU (Electrotechnical Laboratory, Director of Machine Understanding Division (Also the Principal Scientist of RWCP Tsukuba Research Center)).

†† 電子技術総合研究所 知能情報部長 (RWCP つくば研究センター 首席研究員併任)

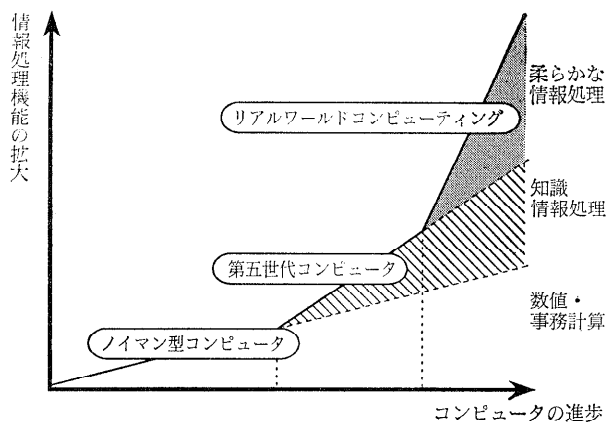


図-1 情報処理技術の流れと RWC

する方向であった。いわゆる人工知能や知識工学の研究分野は、コンピュータに記号で表現された知識や推論規則を取り扱う能力を与えるのに貢献した。そして第五世代コンピュータプロジェクトは、論理（より正確には「論理プログラミング」パラダイム）を中心に据えて、強力な論理的推論能力をもつコンピュータを開発し、大規模知識情報処理への扉を開こうとするものであった。

今日、コンピュータは強力な計算パワーをもち、そうした数値計算、文書処理、さらには論理的推論といった、いわば想定された情報世界で、解法のためのアルゴリズムが存在しプログラム言語で明確に記述可能な良設定問題を解く能力においては、人間を遥かに上回るに至っている。しかしながら、パターン認識、不完全情報の下での問題解決、学習能力といった多くの面で依然として人間に及ばない。解くべき問題の多くが不良設定でありアルゴリズムとして記述困難な実世界において人間の行っている柔軟な情報処理に比べると、今日のコンピュータによる情報処理の枠組は依然として柔軟ではない。論理／演繹に対して直観／帰納ともいえる情報処理の側面が、現在の情報処理技術においていまだ未熟である。

したがって、実世界問題に対処し情報処理技術の新たな地平を切り拓くためには、ここでもう一度、人間の直観あるいは記号下 (subsymbolic) レベルの情報処理に光を当てて、人間のような柔軟な情報処理の背後にある基本的な原理を追究し、発達するハードウェア技術の基盤の上に、それらを新しい情報処理技術として具現化していくことが重要かつ不可欠である。

3. 基本コンセプト

実世界の情報環境において人間のもつそのような柔軟な情報処理は、あらかじめ想定された世界（問題領域）において完全な情報が与えられることを前提とした従来の固い情報処理に対比して、「柔軟な情報処理」、あるいは「リアルワールドコンピューティング (RWC)」というキーワードで特徴づけることができよう。

ここで、RWC に要求される（したがって、従来の情報処理システムに欠如している）「柔らかさ」について考察してみよう。

それは、次のような機能に要約されよう。

- 実世界の不完全な（不確かや曖昧さを含む）情報をも許容し、それらを統合して総合的に判断する機能。
- 多数の要素が複雑かつダイナミックに絡み合った実世界の問題を素直に表現し処理する機能。
- 最適解を厳密に求めると計算量が爆発的に増加するような問題を近似的に素早く解く機能。
- ユーザや変化する状況に応じて自律的かつ適応的に自身を変化させたり拡張できる機能。

これらはそれぞれ、RWC システムに要求される、頑健性、統合性、実時間性、開放性、と言い替えることもできる。これらの機能は、さらに、

- 多様な情報の統合機能
- 学習・自己組織化機能

の二つの基本機能に集約されよう。

これらの機能の実現のためには、想定された世界で完全さを前提とした個々の情報を解法手順に従って逐次個別に厳密に処理する従来の微視的な立場を越えて、情報の表現、処理方式、評価といった情報処理の基本的な枠組を拡張し一般化した柔軟な枠組において、巨視的な立場、いわば広い意味での最適化として、情報処理を考え直す必要がある。それが「柔軟な情報処理」の枠組であり、たとえばニューラルネットワークによる情報処理はその例である。「柔軟な情報処理」とは、不確かさと変化に満ちた実世界において破綻なく働く情報処理に必要な機能の側面を指すコンセプトと言えよう。

実際、RWC システムとしての人間は、そのよ

うな柔らかな情報処理の能力をもっている。そして、それは脳の神経回路網における超並列超分散処理（情報をパターンとして分散的に表現し、並列ダイナミックスで処理する）に支えられている。したがって「超並列超分散処理」は、「柔らかな情報処理」の計算形態の側面、RWCを支える計算基盤を指すコンセプトとなる。これまでの伝統的な情報処理が「逐次局所手続型情報処理」として特徴づけられるのに対して、RWC、あるいは「柔らかな情報処理」は、「並列分散学習型情報処理」として特徴づけることができよう。

RWC 研究計画は、人間のもつそのような柔軟な情報処理を 21 世紀を拓く新しい情報処理のパラダイムとして実現し、情報処理の応用分野を質的に拡大するための理論的および技術的基盤を確立することを目的としている。そして、これまでのように、固い論理のコンピュータに人間が合わせて近づき利用するのではなく、コンピュータに、人間が日常扱う実世界の多様な情報（画像・音声・言語など）を人間同様に柔軟に扱い処理する能力をもたせることにより、コンピュータが人間に近づき、実世界の多様な情報環境において人間と親しく共存し、協調して人間の活動を支援する情報処理技術、その意味では「コンピュータ・ルネッサンス」ともいえる、次世代の新しい情報処理技術の基盤構築を目指している。

4. 研究開発の内容

そのためには、人間の情報処理のもつ実世界性・柔軟性を基礎づける理論基盤を追及し、その応用としての柔軟な認識・理解・推論・問題解決・制御といった新機能、そしてそれらを統合した新しい情報処理システムの実現を目指す。また、それを支える計算基盤としてニューロや光技術を含む新しい超並列超分散コンピュータアーキテクチャを開発する。

本研究計画における研究開発の主要部分は、したがって相互に関連し合う次の 3 分野

- 応用のための新機能の研究と実世界問題への応用
- 柔らかな情報処理の理論基盤の研究

- 超並列超分散情報処理のシステム基盤の研究開発

からなり、研究開発の全体構成は図-2 に示す構造が基本的な枠組となる。

応用のための新機能に関する研究においては、広範な実世界問題に対処し実世界性を有したシステムを実現するために共通的に重要となる新しい要素機能が、各種の応用分野において探求され、柔らかさの実現が図られる。研究課題としては、実環境での画像、音声、言語など、多種多様な情報の柔らかな認識と理解、柔らかな情報ベースに基づく柔らかな推論と問題解決、人間とシステムの円滑な対話のための柔らかな情報環境、柔らかで自律的な制御などがあり、これらの要素技術を統合化する方法を探る。さらにその有効性を検証するために、不完全（不良設定）問題、大規模問題、実時間問題など、いくつかの典型的な実世界問題への応用を試みる。

理論基盤の研究の目標は、柔らかな情報処理のための理論基盤の確立である。このためには、まず情報処理の基本要素である情報の表現・処理・評価の従来枠組を拡張し一般化する中で、パターン認識と学習、多変量解析、確率・統計的推論、ファジィ論理、ニューロコンピューティングなど、これまで個別に行われてきた関連した理論研究をさらに深く掘り下げるとともに、それらの背後に共通に潜在する「柔らかな論理」の理論的枠組を明らかにすることが重要である。研究課題

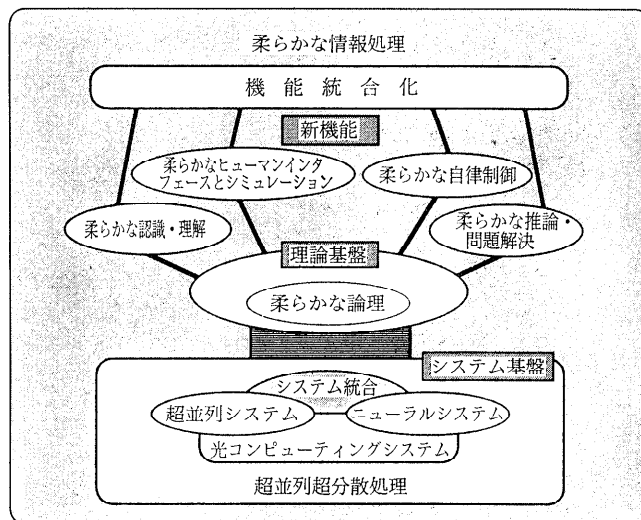


図-2 研究開発分野の全体構成

としては、多種多様な情報の柔軟な表現、情報および処理モデルの評価、柔軟な記憶と想起、情報および処理モジュールの統合、学習と自己組織化、各種最適化技法などがある。

理論・新機能の研究においては、特に、「多様な情報の統合」と「学習および自己組織化」は最も基本的な項目であり、これらを超並列超分散情報処理システムの上でいかに具体化するかがキーポイントとなる。

RWC では、画像や音声などの時空間的に分散した大量の情報を、それらの相互作用を配慮しながら高速・並列に処理することが求められる。このために、次に掲げる三つの視点からの、超並列超分散処理のための新しいシステム基盤の研究開発が不可欠である。また同時に、これらの技術を統合する方法についても研究を進める。

- 汎用超並列システム
- ニューラルシステム
- 光情報処理システム

汎用超並列システムにおいては、実世界の多様な情報と処理に応えるべく、将来 100 万プロセッサ規模の柔軟なシステムが想定される。その場合のハードウェア・アーキテクチャの課題のみならず、そのソフトウェア、すなわち OS、プログラミングのモデル・言語・環境に係わる課題を洗い出し、その解決の方向を明らかにすることが重要である。

ニューラルシステムは、新しい超並列超分散システムとして期待されるが、現在のところ、学習速度の問題から比較的小規模で単純なものに限られている。実世界の問題規模に見合った大規模システムを実現するためには、原理レベルから、そのモデルや学習則についての新たな研究が必要である。

光は、その通信容量や並列性の高さから、シリコン技術を補完する新たな超並列超分散のキーテクノロジーとして期待される。特に、結線のボトルネック

を解消する技術として光インタコネクションへの期待は大きい。しかしながら、これらの長所の反面、これから解決すべき課題も多く残されている。

5. 研究開発の体制

本研究計画は、情報処理の従来枠組を越え、21世紀に向けての抜本的な展開を図るためのきわめて基礎的で野心的な試みである。したがって、その推進に当たっては、理論と新機能との密接な連携はもちろんのこと、計算基盤としての超並列超分散システムや光計算システムとの連携、さらには神経科学や認知科学との連携など、関連する多くの分野での産官学による学際的かつ国際的な研究協力体制が必要であり、研究開発の進展に適応した柔軟な推進体制の確保が重要である。また、本研究計画は基礎科学技術分野での我が国の国際貢献をも目指していて、その成果は広く人類共通の知的財産として活用されることが大切である。

このため、次のような基本方針に基づき新しい研究開発推進体制を考えている。

● **柔軟な実施体制**：本研究開発の推進に当たっては、統合性・象徴性・共通性の高い研究は集中

表-1 RWCP 研究室と研究テーマ

理論新機能研究部	
TRC 情報統合研究室	情報統合対話システム
TRC 能動知能研究室	実世界適応自律システム
新機能沖研究室	異種知識に基づく協調問題解決
新機能三洋研究室	ビジョンベース自律作業システム
新機能シャープ研究室	多元情報を用いたヒューマンインタフェース
新機能 NEC 研究室	ビジョンセンサ
新機能日立研究室	手話理解をビークルとした情報統合技術
新機能富士通研究室	自律学習成長機能をもつ移動ロボットシステム
新機能 MRI 研究室	シンボル情報とパターン情報に共通するジェネリクタスク
新機能三菱研究室	自己組織型情報ベース
新機能 NTT 研究室	脳における並列情報処理機構と注意機構
新機能 SICS 研究室	Programming Interactive Real-Time Autonomous Intelligent Systems
理論 NEC 研究室	確率的知識表現の計算論的学習理論
理論富士通研究室	集団型情報処理のソフトウェア・モデル
理論三菱研究室	ニューラルアーキテクチャによる視覚情報処理
理論 GMD 研究室	Statistical Inference as a Theoretical Foundation of Genetic Algorithms

研で、個性・要素性の高い研究は分散研で行うように、研究テーマの適切な配分を行い、両者間で有機的で柔軟な連携を確保する。

●**競争原理の導入**：研究開発の前期では、競争原理（さまざまなアプローチ間の競合による研究の効果的な進展）を導入し、中間評価時にはその結果に基づいて研究開発課題を絞り込む。

●**学際性・国際性**：本研究開発の基礎的かつ挑戦的な目標を達成するため、学際的・国際的な連携を促進する。そのため、電総研や大学などの研究機関との共同研究を積極的に行い、また、国内外の大学などの研究機関に対し再委託の公募などを行う。

●**研究成果の公開性**：研究成果の公開性を保つため、研究開発の進捗状況および成果を国内外の会議などで報告、公開し、また、シンポジウムやワークショップなどを積極的に開催する。

●**研究インフラの整備**：以上の柔軟な実施体制と研究成果の公開性を支えるために、世界的な規模の分散研究インフラとして、高速ネットワーク環境の整備を行う。

また、研究開発の全体的な評価と推進を図るために、「評価推進委員会」が設置されている。

6. あとがき

昨年（1992年）7月に技術研究組合新情報処理開発機構（RWCP）が発足し、現在、国内の大手16の民間企業・法人に加え、海外からは、ドイツのGMD、スウェーデンのSICS、オランダのSNN、シンガポール

超並列・ニューロ研究部

TRC 超並列アーキテクチャ研究室	超並列実行モデルおよび超並列アーキテクチャ
TRC 超並列ソフトウェア研究室	超並列計算モデル、OS、プログラミング言語、環境
TRC ニューラルシステム研究室	適応と進化を行う計算機
超並列三洋研究室	超並列コンピュータにおける資源管理手法
超並列東芝研究室	光インタコネクションを用いた超並列マシン
超並列 NEC 研究室	適応型超並列システム
超並列 MRI 研究室	超並列プログラミング環境
超並列三菱研究室	超並列オブジェクト・モデル
超並列 GMD 研究室	Development, Implimentation, and Evaluation of a Programming Model for Massively Parallel Systems
ニューロ東芝研究室	構造化ニューラルネットに基づくパターン認識
ニューロ SNN 研究室	Active Perception and Cognition
ニューロ ISS 研究室	A New Model of Networks called Neural Logic Networks

光研究部

光沖研究室	3次元光配線技術
光三洋研究室	光コンピューティングシステム用3次元積層光素子
光住電研究室	光ファイバによる並列光インタコネクション技術
光東芝研究室	空間多重光インタコネクション用面型多機能素子
光 NEC 研究室	光電融合プロセッサネットワーク
光日立研究室	光周波数アドレス技術を用いた光インタコネクションおよび光演算方式
光富士通研究室	波長アドレス光インタコネクション
光松下研究室	積層型光コンピューティングシステム
光三菱研究室	光ニューロコンピュータ
光フジクラ研究室	空間型光偏向器
光古河研究室	波長可変面発光 LD アレイ
光日板研究室	集積化光バスシステム (OBIS)

表-2 電子技術総合研究所における RWC 研究

新情報計画室	柔らかな情報処理における横断的基礎と総合的統合の研究
情報数理研究室, 認知科学研究室	柔らかな情報処理の理論基盤の研究
画像研究室	適応的ビジョンシステムの研究
自然言語研究室	リアルタイム自然言語対話システムの研究
音声研究室	対話音声の認識理解技術の研究
自律システム, 行動知能, 視覚情報研究室	柔らかなロボット技術の研究
計算機構研究室	柔らかな連想機構の研究
計算機方式研究室, 分散システム研究室	超並列システムの研究
光情報研究室, プロセス基礎研究室	光演算システムの研究

のISSが組合員として参加している。

また昨年10月には、電子技術総合研究所（電総研）との密接な連携を目指して、同じつくば市の中心にある三井ビルにRWCPの集中研つくば研究センタ（TRC）が設置され、研究を開始している。そして今年2月には、最初の海外再委託公募が行われたところである。

電総研は、これまで中心となって、この研究計画の理念から研究体制まで、基本構想を固めてきた。そして今後も、自らRWC研究計画の先導的・基盤的研究を推進するとともに、研究リーダーの出向や共同研究をとおして、つくば研究センタと一体となって、そこでのより実証的な研究開発を支援していくことになっている。

参考までに、これらの研究機関での研究テーマの一覧を表-1と表-2に示す。表-1はTRCおよび組合分散研での研究テーマの一覧であり、表-2は電総研での研究テーマの一覧である。

国際研究都市つくばを中核に産官学が結集し、真に独創的かつ国際的な研究が展開されることが大いに期待されている。

参考文献

- 1) 「新情報処理技術調査研究委員会報告書」, 通産省機情局電子機器課編 (Mar. 1991).
- 2) 「リアルワールドコンピューティング・プログラム基本計画書」, 通産省機情局電子機器課編 (Apr. 1992).
- 3) 大津: 理論と新機能—柔らかな情報処理を目指して, リアルワールドコンピューティング特集, Computer Today 5月号 No. 49 (1992).

(平成5年7月14日受付)



大津 展之

昭和22年生。昭和44年東京大学工学部計数工学科卒業。昭和46年同大学院修士課程修了（数理工学専攻）。同年電子技術総合研究所入所。

以来、パターン認識、画像処理、多変量データ解析、人工知能に関する数理的基礎研究に従事。工学博士。昭和57年カナダNRC招聘研究員。情報科学部数理情報研究室長。電総研首席研究官（兼任）を経て、現在知能情報部長。筑波大学連係大学院教授、新情報処理開発機構つくば研究所首席研究員を併任。電子情報通信学会、日本行動計量学会など各会員。

