

革新的アルゴリズムと最適化の基盤と社会実装体制の構築

① 計画の概要

本研究計画は、従来手法では解決不可能な大規模問題を数理解析に基づく革新的なアルゴリズムによる研究開発とその社会実装によって解決を目指す。具体的には、IT 社会の喫緊の課題である AI、量子計算機でのアルゴリズム開発のみならず、物理、化学、生物などの科学、そして土木、建築、機械などの工学、さらには交通、経済・経営の諸分野や地球規模の諸問題（環境、エネルギー、バイオ）及び突発的事態（防災、避難及び復興計画）への現実的な対応を目標とする。このために、アルゴリズム科学、最適化基盤、そして実問題の数理的モデル化による解決を目指す共同研究拠点を作る。拠点ではアルゴリズムの設計の科学的体系を構築し、ソフトウェア実装技術や高速計算技術を融合した問題解決手法の開発と標準化を行い、地球規模のネットワークや高密度な計算環境の情報技術開発基盤センターとして整備する。これにより、個別分野に分散しているアルゴリズム開発の要求と学術を集約し、アルゴリズム科学・最適化基盤の学問体系を次世代の情報革新のための情報科学技術の中核として創生する。そして標準化した知識として諸分野に提供する体制を確立する。



研究体制に関しては、データセンターでもある国立情報学研究所を中核的な共同研究拠点とし、東大、東工大、京大にサテライトを設ける。東大では、総長室総括委員会の研究ネットワークにおいて量子コンピュータ教育・研究を推進し、東工大は社会的課題解決型データサイエンス・AI 研究推進体において社会実装に貢献し、京都大学では国際高等教育院附属 データ科学イノベーション教育研究センターにおいてアルゴリズム・最適化の教育・研究に貢献する。上記の拠点とサテライトを通して、アルゴリズム科学と最適化基盤、そして実問題の数理的モデル化による解決を目指す全国的なコンソーシアムを作り、世界におけるアルゴリズムと最適化をリードする人材育成を行う。

② 学術的な意義

本研究計画の科学的意義は、現代の人間社会を動かしているアルゴリズム、すなわち論理的手続き処理における近年の急速な発展を、広く自由に利用できる学術体系として公開し、科学のすべての分野に影響を持つ学術コアとして発展させることにある。またコンピュータや情報インフラで行う大規模情報処理は、現代では数学的に高度な科学技術であり、これを一般科学として普及させることは情報社会での国際競争力を持つために大きな学術及び教育的な意義を持つ。

また PageRank、差分プライバシー、圧縮センシングなどの数理的概念とそのアルゴリズムが、現代の IT 社会の巨人である「GAF(A Google, Amazon, Facebook, Apple)」を生み出し、新しい経済構造を作ったことからわかるように、アルゴリズム分野、最適化分野で世界を先導し、最先端の研究を行うのみならず、次世代の科学技術や社会構築における革新を先導するような概念や手法を開拓していくことが、わが国が次の世代においても世界のトップレベルの先進国であり続けるためには必須である。さらに高度情報処理技術の進歩が、人類が抱える様々な問題を解決することが期待されるが、その多くはデータサイズが巨大であるため、エクサフロップス級の計算機を使用しても解決が容易でない。このような高度問題の解決のためには、現代の数学的な技術を駆使したアルゴリズムの新たな革新が必須であり、科学の共通基盤として最優先の意義をもつ。これは、航海術や砲術などのさまざまな実世界におけるアルゴリズムが、座標幾何学と微積分の発明によって解析学でアルゴリズムとして効率的な計算を許すようになったのと同様の、あるいはそれ以上の変革をおこす可能性がある。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

国内におけるアルゴリズム理論の研究は、情報処理学会アルゴリズム研究会、電子情報通信学会コンピューテーション研究会を中心に行われている。また、日本が中心になって東アジア、太平洋地域において、国際会議 (ISAAC) を開催し、アジアにおけるアルゴリズムのコンソーシアム組織を設立。国際的には、アルゴリズムのトップ研究者が、STOC、FOCS、SODA といったアルゴリズム理論のトップ会議のみでなく、AI (AAAI, IJCAI)、データベース (VLDB, SIGMOD, ICDE)、データマイニング (KDD, WWW)、機械学習 (NIPS, ICML) などのトップ会議でも活躍している。

日本においてもアルゴリズム理論、組合せ最適化分野の若手研究者が、近年その活動範囲を広げ、AI、データベース、データマイニング、機械学習等で国際的に活躍している。また上記のアルゴリズムトップ会議である STOC、FOCS、SODA においても、日本を拠点とする研究者が過去 5 年間で合計 5 回の Best Paper Awards を受賞し、Best Student Award も 1 回受賞している。

④ 実施機関と実施体制

データセンターでもある国立情報学研究所を中核的な共同研究拠点とし、東工大、京都大学、東京大学をサテライトとする。4 つの拠点は協力しながら、アルゴリズム科学・最適化基盤と実問題の数理的モデル化による解決を目指す全国的なコンソー

シテムを作る。また4つの拠点ではアルゴリズムと最適化をリードする人材育成を行うとともに、情報数理、計算理論、システム構築、データ収集、社会実装の5つの専門性を揃えたチームを基本単位にした、新しい研究体制を構築する。さらに、これにより次世代のデータサイエンス及び高度情報処理に必要な不可欠な世界的なイニシアティブをとれる研究組織構築を目指す。

具体的には、提案者がセンター長を務める国立情報学研究所の「ビッグデータ数理国際センター」を中核拠点とすることが、国立情報学研究所内においてもすでに承認されている。当センターは、提案者が行ってきた「JST ERATO 河原林巨大グラフプロジェクト」の中核拠点で、現在は、科研費基盤S（理論アルゴリズム）、NEDO（2件）、SIPなどの外部資金によって運営されている。当センターは、上記の情報数理、計算理論、データ収集、社会実装をすべて行っている機関として、海外の研究機関にも認知されており、国内外との共同研究、研究交流を行う。さらに東工大では、社会的課題解決型データサイエンス・AI研究推進体において、最適化問題の計算のデータ解析応用の研究推進・産業応用を通して貢献する。東大では、総長室総括委員会の研究ネットワークでの量子コンピュータ教育・研究推進を通して貢献する。京都大学では国際高等教育院附属 データ科学イノベーション教育研究センターでのアルゴリズム・最適化の教育・研究に貢献する。

⑤ 所要経費

総額：47億円（初期投資：7億円、運営費等：4億円 × 10年）

・初期投資 7億円 [内訳]

(1) 共同研究拠点施設整備：2億円

(2) ソフトウェア開発や大規模な検証実験環境のための計算機クラスターとネットワーク及びインターフェース：5億円、運営費 年間4億円 × 10[内訳]

(1) 施設賃借料および設備運営費：5千万 (×10)

(2) ソフトウェア開発費：5千万 (×10)

(3) 人件費：2億円（特任教授、特任准教授、特任研究員、博士研究員、事務経費等）(×10)

(4) 旅費：5千万円（海外著名研究者招へい費用を含む）(×10)

(5) その他：5千万円（会議費、消耗品費、計算機設備更新費等）(×10)

⑥ 年次計画

本研究計画は、基礎研究とフィージビリティスタディを中心とする第1期（1－5年目）と、基礎研究から応用研究へと発展する第2期（6－10年目）に分ける。具体的には以下である。

第1期（1－5年目）

1. 基礎分野に関しては、深層学習のアルゴリズム解析、および量子計算機、アニーリングマシン上で動作するアルゴリズムの開発を重点的に行う。

2. 各応用分野においては、従来解決不可能な大規模かつ重要な問題の抽出と分析を行なうとともに、具体的に研究開発が進行している課題のソフトウェア基盤整備をおこなう。

3. 抽出された重要問題解決のための最先端のアルゴリズムを開発し、個別分野での問題解決を推進する。さらに、アルゴリズム科学、最適化基盤、および実問題の数理的モデル化と解決のため共同研究拠点を形成する。また登場が予想されるポストペタスケールスパコンに対応できる基盤ソフトウェアの開発を行う。

第2期（6－10年目）

個別に開発されたアルゴリズムの共通部分をアルゴリズム基盤として整備、標準化し、諸分野に提供する体制を確立する。また超大規模実問題を解決可能なソフトウェア群も同時に整備する。とりわけ東日本大震災以降、安心できる社会システムを構築するための、すべての場合を想定した全列挙網羅型設計の重要性が増している。突発的に発生する大規模災害の多様な事態にも対応可能な超大規模な交通網データを用いた高精度な事前予測や、災害発生時の動的なデータ収集等と高速計算による速やかな避難誘導及び復興計画策定による解決を最重要目標に設定し、革新的アルゴリズム基盤の構築を目指す。

さらに量子計算機、またアニーリングマシンで動作するアルゴリズムに関しては、量子ゲートモデルと量子アニーリング、あるいは他のモデルとの併用などのモデル選択を可能にし、実社会問題に応用可能にするアルゴリズム開発を目指す。

⑦ 社会的価値

アルゴリズムによる変革はすべての社会生活に波及する基盤事項である。ビッグデータ処理においては、計算量が線形よりも低いアルゴリズムが要求され、アルゴリズムの設計指針の革新が必須である。さらにセンサーなどの外的環境から送られる巨大ストリームデータから情報を取得するためには、ストリーミングアルゴリズムを用いた新しい設計指針によるデータの圧縮が必要である。これにより、現在特殊な大規模記憶装置を持つ組織のみで行われている高度情報処理を、個人が所有するモバイル端末で行うことができるようになる。

これは2つの重要な意味を持つ。まず、多くの人間が知識を集約したビッグデータを革新的なアルゴリズムとスーパーコンピュータを用いて解析すれば、あたかもそれが「智の集約」であるかのように利用でき、社会全般での様々な場面での指針に用いることができる。さらに、現在スーパーコンピュータでしか動かないような大規模データ処理を、アルゴリズムの効率化によって分散型クラウドとパソコンで動くようにすることにより、情報の大衆化を促し、デジタルデバイドを防ぐとともに、省電力な社会の実現へも貢献できる。

⑧ 本計画に関する連絡先

河原林 健一（国立情報学研究所）