

## 革新的アルゴリズムおよび最適化基盤 —社会実装体制の構築—

## ① ビジョンの概要

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「GAFA」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、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、我が国の国家戦略として必須である。本研究計画では、この役割をはたす国際的拠点を目指す。

## ② ビジョンの内容

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、時間的制約により、計算量が線形より低いアルゴリズムが要求され、アルゴリズム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可能になる。またムーア則の限界から、ハード面（特に CPU）で 100 倍スピードアップ達成は難しい。一方でアルゴリズムでは 100 倍スピードアップは、IT 業界では日常茶飯事のように起こっている。

以上を踏まえ、本研究計画では、急速に変わる社会のニーズに答え、重要な学術課題や社会課題におけるアルゴリズム革新の体系的な問題提起を行う。さらに最先端の数理科学手法の導入を検討する。具体的な挑戦的研究課題としては、1. PageRank のように「Game Change」を起こすようなアルゴリズムの提案、2. Shor、Glover のような理論保証のある量子アルゴリズム提案、3. D-wave などを含むポストムーア時代のマシンに対応する高速アルゴリズム開発などを検討する。これらは、一つでも達成すれば、その分野でのゲームチェンジとなり、我が国が世界を先導する存在となるだろう。

## ③ 学術研究構想の名称

革新的アルゴリズムおよび最適化基盤 —社会実装体制の構築—

## ④ 学術研究構想の概要

PageRank という「Random walk によるグラフ頂点ランキング手法」が Google の検索エンジンを生み出し、差分プライバシーという「統計的なプライバシー評価」が Apple のセキュリティに採用されるなど、数理的概念とアルゴリズムが、現代の IT 社会の巨人である「GAFA」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・最適化分野で世界を先導し、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、我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必須である。現在は、深層学習の発展とそのアルゴリズム開発、および量子計算機開発とアルゴリズム開発が、次世代の経済覇権を決定するといっても過言ではない。

この背景のもと、本提案では、現代の人間社会を動かしているアルゴリズムの急速な発展を、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を目標とする。また情報インフラ上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。

本提案では、アルゴリズム科学、最適化基盤、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、高密度な計算環境の情報技術開発基盤センタとして整備する。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科学・社会科学などの諸分野に提供する体制を確立する。

## ⑤ 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。またコンピューターや情報インフラ上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。本提案では、アルゴリズムを用いた「一般的科学」の普及も目指す。

## ⑥ 国内外の研究動向と当該構想の位置付け

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タ研究会が中心となっている。また、日本が中心になって国際会議 (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し、国際的には、アルゴリズムのトップ研究者が、STOC、FOCS、SODA というアルゴリズム理論のトップ会議のみでなく、A I (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 (NeuRIPS, ICML, ICLR) などのトップ会議でも活躍が期待できる。

日本のアルゴリズム理論の研究者も、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。またアルゴリズムトップ会議 STOC、FOCS、SODA において、日本を拠点とする研究者が過去 10 年間で合計 5 回の Best Paper Awards 受賞しており、さらに提案者は、2021 年にアルゴリズム分野最高峰の Fulkerson prize 受賞している。

本提案グループは、ERATO (2つ) と新学術領域、学術変革 A などの総括を務め、日本の情報学分野をリードしてきた。

## ⑦ 社会的価値

我が国が将来的に発展していくためには、前述の通り、巨大 IT 企業の理論研究者のような人材を育てなければならない。本提案を遂行することにより、巨大 IT 企業の理論研究者のような人材を輩出する研究組織の立ち上げが可能であると考えている。具体的には、1. 離散数学、理論計算機科学、確率論、組合せ最適化研究者によるアルゴリズム科学と実問題の数理モデル化のための共同研究拠点が構築される、2. 実問題から派生した問題に基づき、新しい「数学理論」を確立し、それを使いこなすことはできる共同研究拠点が構築される。

もしこの 2 点が達成できなければ、巨大 IT 企業の理論研究者のような人材を輩出できるチャンスは少ない。我が国は今後発展していくための KEY となる人材は、(アルゴリズム) 理論研究を中心とする研究組織により初めて輩出可能になるであろうし、実際巨大 IT 企業が、それを証明していると思う。

## ⑧ 実施計画等について

実施計画・スケジュール 本計画は、最初の数か月の準備期間後は、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。

実施機関と実施体制 データセンタでもある国立情報学研究所 (NII) 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アムを作る。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世界的なイニシアティブをとれる研究組織の構築を目指す。

総経費 4 億円×10 年、初期投資 7 億円、計 47 億円

## ⑨ 連絡先

河原林 健一 (国立情報学研究所)