

＜別紙 1＞

2022 年度 C&C 賞受賞者 業績と略歴

■ グループ A： 松岡 聰（まつおか さとし） 博士

スーパーコンピューターは、様々な科学技術分野、設計・製造からスマート都市に至るまで、現代社会のあらゆる分野のイノベーションに必須のツールです。理論、実験に次ぐ第三の科学と言われる計算科学(シミュレーション)にスーパーコンピューターは不可欠です。そして、第四の科学「データ科学」でも膨大なデータ処理に高性能な計算機が求められ、イノベーションの原動力となるスーパーコンピューターの開発競争が世界中で続いているます。

松岡博士は、キャリアを通じて超並列型のスーパーコンピューターに関する様々な分野で研究開発を行い、特にそれらの成果を活かして、汎用 CPU と世界に先駆けて導入した GPU (Graphics Processing Unit)を用いたハイブリッドアーキテクチャのスーパーコンピューター TSUBAME シリーズを実現し、世界の各種スーパーコンピューター演算性能ランキングのトップランクに何回も入るとともに、省エネ性能ではトップを獲得しました。TSUBAME におけるアプリケーションの実現にも取り組み、実アプリケーション性能を重視した設計とソフトウェアシステムを充実させ、「みんなのスーパーコンピューター」として産学共同利用サービスを提供しました。スーパーコンピューター「富岳」の研究開発にも初期から関わり、その実現に技術的に貢献するとともに、その革新的利用にも取り組み、COVID-19 ウイルス飛沫感染シミュレーションなど多数の成果創出に貢献しています。

松岡博士は、1993 年に東京大学の助手となり、富士通 AP1000 などの初期の超並列型のスーパーコンピューターのシステムソフトウェアやその利用に関し、多くの成果を挙げました。続いて、1996 年、東京工業大学 情報理工学研究科 助教授となり、グリッド(grid)およびクラスタ(cluster)計算機の研究に取り組みます。1998 年から 2001 年にかけて、大規模 PC クラスタ Presto I、II、III を構築します。480 個の汎用 CPU で構成した Presto III は 716.1GFLOPS を達成、2002 年 6 月のスーパーコンピュータ

ー性能ランキング TOP500 で 47 位にランクされ、大学の研究室で大規模かつ高性能な計算機を安価に作成できることを示しました。また、応用数理の研究者らと共同研究を行い、それらの計算機で今まで解くことができなかつた大規模問題を解けることを示すのに貢献しました。

2001 年、松岡博士は東京工業大学 学術国際情報センター 教授となり、大学の計算センターの実用機を開発する立場となります。2002 年から 2006 年にかけて構築した「東京工業大学キャンパスグリッド」は、約 650 ノードで 2.5TFlops の性能まで発展して利用が拡大し、大成功します。そして、グリッド型のクラスタである TSUBAME (Tokyo-tech Supercomputer and Ubiquitously Accessible Mass-storage Environment)を開発します。このシステムは、汎用のデュアルコア CPU を 8 台搭載したサーバをクラスタ状に 655 台接続、LINPACK ベンチマークで 38.1TFLOPS をマークし、2006 年 6 月の TOP500 で世界 7 位、日本ではトップにランクされました。さらなる性能向上を目指し、高いピーク性能とメモリバンド幅を有する GPU に着目、4 個の GPU を搭載した 170 個のノードを TSUBAME システムと合体させた TSUBAME 1.2 は、2008 年 11 月に Linpack 性能 77.48TFLOPS を記録しました。これだけ大規模に GPU を導入したスーパーコンピューターは実運用スーパーコンピューターとしては世界初でした。

TSUBAME1.2 は同時に、実アプリケーション性能における既存のクラスタ型の計算機の問題点も多く浮き彫りにしました。松岡博士は、それらを解決し、高いアプリケーション性能を発揮するべく TSUMABE 2.0 を開発しました。2 個の CPU と 3 個の GPU を搭載し、かつ、演算速度の激増に呼応してノード内外の接続バンド幅を実現可能な最大限まで高めたハイブリッドアーキテクチャの計算ノードを 1408 個と、大容量メモリを搭載した計算ノードを 34 個で構成した TSUBAME 2.0 は、演算性能の大部分を GPU が占め、かつ、365 日・24 時間実用に供した世界初のスーパーコンピューターです。Linpack の演算性能は 1.192PFLOPS に達し、TOP500 で世界 4 位、スーパーコンピューターの電力効率を競うランキング Green500 で 3 位にランクインし、実運用スーパーコンピューターでは実質世界一の称号を得ました。以来、世界中で GPU を採用したスーパーコンピューターが開発され

るようになり、松岡博士は GPGPU(General-Purpose computing on GPU、GPU の演算資源を画像処理以外の目的に応用する技術のこと) のパイオニアと認められ、スーパーコンピューター界の最高峰のキャリア賞である IEEE-CS Sidney Fernbach 賞を日本人では初めて受賞しています。

TSUBAME2.0 によって、さらに電力効率の重要性を認識した松岡博士は、スーパーコンピューターの更なる省エネ化を目標に、液浸冷却技術を導入したテストシステム TSUBAME-KFC (Kepler Fluid Cooling)を構築しました。冷却電力を液浸技術により大幅に削減し、さらに様々な電力最適化を行うことで、2013 年 11 月から 2 回連続で Green500 世界 1 位を獲得しています。

それらの成果をもとに、次に開発した TSUBAME 3.0 は最新 GPU と最適化したシステム冷却の採用により、電力性能が 14.1GFLOPS/W に達し、実運用機として初めて 2017 年 6 月に Green 500 1 位を獲得しました。ちなみに、この時の Green500 のトップ 10 の内、9 台が GPU を採用したスーパーコンピューターでした。TSUBAME 3.0 の冷却にかかる消費電力は、運用全体の 3%程度と、他のスーパーコンピューターの 10 分の 1 程度に抑えられ、実用機としてきわめて省エネ性能に優れています。540 台の計算ノードのそれぞれに 2 個の CPU と 4 個の GPU を搭載し、理論演算性能は倍精度で 12.15PFLOPS、単精度で 24.3PFLOPS、半精度で 47.2PFLOPS と人工知能 (AI) やビッグデータ処理で求められる精度においても、国内トップクラスの性能を実現しました。また、ノード内外の帯域は性能向上とともにさらに進化し、マシン内でどこにデータがあっても、高速にかつ透過にアクセスできるような仕組みとして、データ科学・ビッグデータや AI 処理の高速化に寄与するとともに、昨今の IDC で話題となっている disaggregated architecture の先鞭をつけたともいえます。

松岡博士は、スーパーコンピューターのシステムソフトウェア及び性能最適化の研究にも数多く取り組みました。GPU のスーパーコンピューターへの適用に関する種々のアルゴリズム・フレームワーク、大規模スーパーコンピューターのソフトウェアによる省エネルギー化や耐故障性の実現、GPU や FPGA など異機種混合の演算ユニットを備えた計算機で動作するアプリケーションに対する性能モデリングやそれに基づく自動チューニング、ビッ

グデータ処理のスーパーコンピューターによる劇的な性能向上のための種々の離散アルゴリズムやソフトウエアフレームワーク、さらには大規模深層学習の適切な性能モデリングや、種々の新たなアルゴリズムやそれを実現するフレームワークによる大幅な学習のスケール化・高速化など、多くのパイオニア的成果を発表してきました。また、それらを単に論文レベルで終わらせるのではなく、その成果を次々と TSUBAME や他のスーパーコンピューター上で実現し、普及に努めました。これらの業績に対して、2018 年、日本人で初めて ACM HPDC Achievement 奨を受賞しています。

松岡博士は、アプリケーションや運用レベルでの TSUBAME の改善にも取り組み、「みんなのスーパーコンピューター」として、大学の大規模スーパーコンピューターとしては日本ではじめて産学に本格的共同利用サービスを提供しました。これによって学内のみならず、数多くの大学、研究機関、民間企業が共同してプロジェクトを設立・利用し、多くの成果を出しています。また、TSUBAME 3.0 は、仮想化など多くのクラウド技術を取り入れ、わが国最高峰のサイエンスクラウドとしての役割も果たしています。

2018 年、松岡博士は理化学研究所 計算科学研究センター センター長に就任、スーパーコンピューター「富岳」プロジェクトを率います。富岳のプロジェクトには、2010 年の最初の時から様々な形でかかわり、技術的貢献をしてきました。様々な困難をセンターやベンダーを率いる形で乗り越え、最後の要である設計から実際の製造設置を実現するとともに、2020 年、COVID-19 の諸問題に対応するため、試験運用中の富岳を提供すると決め、ウイルス飛沫感染シミュレーション等の多数の成果創出に貢献しました。飛沫感染シミュレーションには論文の著者の一人としても技術的に貢献し、2021 年 2 度目の ACM Gordon Bell Prize を受賞しました。

松岡博士は ACM や IEEE のコンピューティングに関する多くの国際会議の委員長等を務め、国際的な第一人者として活躍しています。特に、我が国でははじめて、スーパーコンピューターの世界最高峰の会議である ACM/IEEE Supercomputing 2013 国際会議のプログラム委員長に就任するとともに、欧州の ISC (International Supercomputing Conference) および SC (Supercomputing) Asia という、世界の主要 3 地域のスーパーコンピューター主要国際会議のプログラム委員長をすべて務めた唯一の人物

であります。

松岡博士は、スーパーコンピューターの構成法とシステムソフトウェアに関する研究に取り組み、世界に先駆けて GPU を取り入れるなど、高性能、低コスト、省電力、かつ、実アプリ性能を重視した使いやすい計算機を志向し、省電力を含む数々の指標で世界のトップランクを獲得したスーパーコンピューターの世界的な第一人者です。「みんなのスーパーコンピューター」として産学に広く開放された TSUBAME シリーズの開発や、「富岳」の総責任者としてその最初の研究開発から利活用に至るまで先頭に立って推進するなど、その業績は世界的に顕著であり、C&C 賞受賞者としてふさわしいと考えます。

松岡 聰 博士

現職：理化学研究所 計算科学研究センター センター長

東京工業大学 特任教授

1963年生まれ (59歳)

略歴：

1986年 東京大学理学部情報科学科卒業
1988年 東京大学大学院理学系研究科情報科学専攻修士課程修了
1989年 東京大学大学院理学系研究科情報科学専攻 助手
1993年 東京大学 理学博士
1993年-1996年 同大学工学系研究科情報工学専攻 講師
1996年-2001年 東京工業大学情報理工学研究科数理・計算科学専攻
助教授
2001年-2018年 東京工業大学学術国際情報センター 教授
2002年- 国立情報学研究所 客員教授（併任）
2012年-2018年 理化学研究所 計算科学センター(神戸・京コンピュータ)
客員主管研究員
2016年-2018年 産業技術総合研究所 人工知能研究センター
特定フェロー AI 橋渡しクラウド((ABCi)技術リーダー
2018年 理化学研究所計算科学研究センター センター長
東京工業大学 特任教授

主な受賞歴：

2009年 Fellow, International Supercomputing Conference
2011年 Fellow, Association for Computing Machinery
2011年 ACM Gordon Bell Prize
2011年 電気科学技術奨励賞
2012年 文部科学大臣表彰 科学技術賞（開発部門）
2014年 IEEE Computer Society Sidney Fernbach Memorial
Award

- | | |
|--------|--|
| 2018 年 | ACM HPDC Achievement Award |
| 2019 年 | Asia HPC Leadership Award, SCAsia |
| 2020 年 | 日本ソフトウェア科学会フェロー |
| 2021 年 | ACM Gordon Bell Prize |
| 2021 年 | 情報処理学会功績賞 |
| 2022 年 | 紫綬褒章 |
| 2022 年 | クレイ賞(IEEE Computer Society Seymour Cray
Computer Engineering Award) |

■ グループ B : チャールズ H. ベネット 博士
ジル ブラッサール 教授

暗号技術は、情報の安全性を守るために基盤技術の一つです。しかし、電子商取引に用いられるものを含め、現在の暗号技術の多くは計算機的な安全性にとどまっています。特に、量子コンピュータが実用化されると、解読される心配があります。また、古典的なコンピュータであっても、新しいアルゴリズムが発見されると、このようなことが起こる可能性があります。盗聴者の存在を検知できないこと、現在は解読できないメッセージでも後に解読されてしまう可能性があることは、重大な弱点であり、将来のネットワーク社会では是正されることが望されます。このため、ベネット博士とブラッサール教授によって発表された量子暗号は、情報の安全性が物理法則によって保証された暗号技術として注目されています。

1968年から1970年にかけて、当時コロンビア大学の大学院生だったスティーブン・ウィズナー(2021年逝去)が、量子紙幣、量子多重化（後に紛失通信と呼ばれるものの量子的実装）、超高密度符号化など、量子情報の基礎となる概念をいくつか発見しました。彼は、これらのアイデアを出版しようとはしませんでしたが、手書きで回覧し、ベネット博士や後のブラッサール教授ら同僚と議論しました。同僚たちの働きかけにより、1968年のアイデアは1983年に、残りは1992年に、ベネット博士を共著者としてようやく出版されました。

1979年に出会ったベネット博士とブラッサール教授の研究以前は、無条件に安全な秘密のメッセージの送信方法は「ワンタイムパッド」しかありませんでした。これは、送信したいメッセージと同じ長さの共有秘密鍵について事前にユーザーが（例えば、直接会うことによって）合意しておく必要があります。一度使用した鍵は、安全に再利用することができません。ベネット博士とブラッサール教授は、ウィズナーの「偽造できない量子紙幣」という概念を基に、量子暗号の最初の方式であり、現在最も広く用いられている量子鍵配送（QKD）を考案しました。BB84プロトコルは、盗聴される可能性のある量子チャネル（光ファイバや自由空間光路など）と妨害されない公開チャネルで通信する2人のユーザーが、秘密鍵に合意するか、盗聴が多く

安全に合意できないと判断するかを決めるもので、BB84 プロトコルはこの問題を解決するために開発されました。鍵の確立に成功すると、ユーザーはその鍵をワンタイムパッドとして使用し、無条件に安全な通信を行うことができます。盗聴者はプロトコルを中断させることはできても、ごくわずかな確率を除いて、ユーザーを騙して秘密でない鍵に合意させることはできません。この発見は、物理学（ベネット博士）とコンピュータサイエンス（ブラッサール教授）の融合によって実現されたもので、まさに学際的研究の一例といえます。

1989 年、ベネット博士とブラッサール教授は、彼らの学生である Bessette、Salvail、Smolin とともに、光軸のずれや検出器のノイズがあつても安全性を保つための新しい技術を取り入れ、BB84 を初めて実用化しました。これは 32 センチメートルの距離で動作する原理実証に過ぎませんでしたが、21 世紀になって量子暗号の到達距離は、光ファイバーで数百キロメートル、宇宙空間の衛星で数千キロメートルにまで拡大されました。

量子暗号に加え、ベネット博士とブラッサール教授は、様々な共同研究者とともに、現在、量子情報学あるいは量子情報理論と呼ばれる科学の基礎を築きました。1993 年、Crépeau、Jozsa、Peres、および Wootters と共に、量子テレポーテーションを発見しました。量子テレポーテーションとは、量子エンタングルメント（注）を事前に共有した送信者と受信者が、古典的な通信路を使って量子情報を転送する手法です。エンタングルメントは、共有秘密鍵と類似と見なすことができます。どちらもそれ自体には通信能力はありませんが、共有秘密鍵は公開チャンネルを介した秘密通信を可能にし、共有エンタングルメントは古典チャンネルを介した量子通信を可能にします。エンタングルメント自体をテレポートすることもできるため、他の 2 つの当事者とエンタングルしている誰かが、古典的な通信路のみを使用して、それらの間にエンタングルメントを確立できます。エンタングルメント スワッピングとして知られるプロセスです。

ベネット博士とブラッサール教授が 1995 年に発表した Bernstein と Vazirani との共同論文は、量子コンピュータが一般的な探索問題を指数関数的に高速化することはできないという証拠を示しました。 $P=NP$ 問題で予想外の進展がない限り、Grover のアルゴリズムによる平方的高速化が期待

できる最善のものです。また、Shor、Popescu らとともに、量子通信や量子計算を助ける資源として、それ自身は通信能力を持たないにもかかわらず、エンタングルメントに関する定量的理論を打ち立てました。特に、エンタングルメントの蒸留を発見し、ノイズの多いエンタングルメントを大量に供給して、完璧に近いエンタングルメントを確立することを可能にしました。

彼らは、時には、それぞれが他の共同研究者とともに、重要な発見を行っています。例えば、ベネット博士とその共同研究者は、量子通信と古典通信がエンタングルメントの共有の存在下で等価であることを一般化し、量子逆シャノン定理を証明しました。この定理によれば、古典的容量がゼロではない全ての量子チャネルは、適切なエンタングルメント資源が存在すれば、互いに効率的に模擬することができます。ブラッサール教授は、共同研究者とともに、量子擬似テレパシーや量子テレポーテーションを実現する最初の理論回路などを発見しています。

計算と通信という古典的な情報学は、チューリングとシャノンによって別々に開発されました。実際には、ほとんどの通信機器が計算を含み、その逆もまた真なりで、両者は密接に関係するようになりました。21世紀には、この2つは暗号技術によってさらに統合され、古典的な通信路を盗聴者のいる量子通信路として、古典的なコンピュータを各配線上に盗聴者のいる量子コンピュータとして、共通の量子基盤の上に再構築されるでしょう。

ベネット博士とブラッサール教授が、量子暗号の発明と開発、および量子情報科学の分野の確立に果たした役割は大きく、C&C 賞に相応しいと考えます。

注) エンタングルメント (entanglement)

量子力学において、複数の粒子が存在するとき、それらの位置やスピンなどの値は個別にではなくセットで指定しなければならず、しかも複数のセットが同時に共存しているという現象。量子からみ合い、量子もつれともいう。今日の量子情報理論や量子コンピュータの基礎となる性質でもある。

チャールズ H. ベネット 博士

現職： IBM リサーチ IBM フェロー
1943 年生まれ (79 歳)

略歴：

1964 年 BS in Chemistry from Brandeis University
1971 年 PhD from Harvard University
1971 年 Researcher, Argonne National Laboratory
1972 年 IBM Research
1995 年 IBM Fellow, IBM Research

主な受賞歴：

1995 年 IBM Fellow
1997 年 National Academy of Sciences(NAS) Member
1998 年 APS(American Physical Society) Fellow
2006 年 Rank Prize for Optoelectronics
2008 年 Harvey Prize
2010 年 Okawa Prize
Thomson Reuters Citation Laureate
2012 年 Thomson Reuters Citation Laureate
2017 年 Dirac Medal of the ICTP
2018 年 Wolf Prize in Physics
2019 年 Micius Quantum Prize
BBVA Foundation Frontiers of Knowledge Award in
Basic Sciences
2020 年 Claude E. Shannon Award
2022 年 Breakthrough Prize in Fundamental Physics

ジル ブラッサー 教授

現職：モントリオール大学 コンピュータサイエンス教授
キューライア 量子ソフトウェアチューリングニア
1955年生まれ (67歳)

略歴：

1979 PhD in Computer Science from Cornell University
1988 Full Professor, Université de Montréal
2001 Canada Research Chair

主な受賞歴：

2000 Prix Marie-Victorin
2006 Rank Prize for Optoelectronics
Fellow, International Association for Cryptologic Research
2010 Gerhard Herzberg Canada Gold Medal
2011 Killam Prize in Natural Sciences
2012 Thomson Reuters Citation Laureate
2013 Fellow, Royal Society of London
2018 Wolf Prize in Physics
2019 Micius Quantum Prize
2019 BBVA Foundation Frontiers of Knowledge Award in Basic Sciences
2022 Breakthrough Prize in Fundamental Physics

以上