

# シンガポールにおけるHPCの動向調査

## The Present Status of HPC in Singapore

一般財団法人高度情報科学技術研究機構  
富山 栄治、吉田 秀逸

登録施設「京」を国際的な頭脳環境における中核拠点として位置付け、その積極的な活用を図ることは「特定高速電子計算機・施設の共用の促進に関する基本的方針」として重要な課題になっている。特にHPCI準備段階でのHPCIコンソーシアムの最終報告では、アジアとの国際協力を推進し、日本中心のアジアHPCコミュニティ形成を目指す事が求められている。

このような観点から、高度情報科学技術研究機構（以下RISTとする）は、アジアにおける「京」を中核とするHPCIシステムの共用促進の第一歩として、シンガポール共和国を訪れ、同国のHPCの動向調査を行い、また、同国のHPC関係諸機関の幹部と、日本のHPCIシステム利用促進のための情報交換を行った。

調査及び情報交換の結果、シンガポールのHPC業界・人材は我が国のHPC戦略の中で国際協力・国際貢献・国際競争・共同研究・人材交流という様々な側面から重要なパートナーとなりうるポテンシャルを持っていることが明らかとなった。本稿では、シンガポールにおけるHPCの動向について、同国にて開催された国際会議への参加報告を含めて記述する。

### 1. はじめに

アジアの中でもシンガポールは政府主導によるトップダウン政策による科学技術・イノベーション推進に力を入れている。面積約710平方キロメートル、人口約500万人という小国でありながら2013年のGDPは約3000億米ドルを達成[1]し、国民一人当たりのGDPは、日本のそれを超えている。

シンガポール政府は、バイオメディカル産業、情報通信技術・メディア産業を新たな経済の柱と定め、産業の集積拠点として、「バイオポリス (Biopolis)」「フュージョノポリス (Fusionopolis)」を設置し、その中に多くの企業が研究所を構えている。日本の科学技術振興機構 (JST) と理研も事務所を構えている。

今年3月、貿易産業省 (Ministry of Trade and Industry) に属する法定機関である

A\*STAR (シンガポール科学技術庁) 配下のA\*CRC (A\*STAR Computational Resource Centre) は米国をはじめとする著名な研究者を数多く招いて「Supercomputing Frontiers 2015 (SCF2015)」と題する大々的な国際会議を催した。このことからシンガポールはHPCをその成長戦略として位置付けていると推測することができる。

### 2. 調査概要

平成27年3月15日より6日間、HPCの動向調査とHPCIの共用促進の為、シンガポールを訪問した。

調査では、国際会議SCF2015に参加してシンガポールでのHPC関連の動向を把握すると共に、日本のHPCI利用促進に向けた情報交換のための会合を、シンガポールにおけるHPC関連の主要組織であるA\*CRC、及び、

同じくA\*STAR配下にあるInstitute of High Performance Computing (IHPC) と行った。以下、シンガポールのHPC関連の主要組織、計算資源、SCF2015国際会議、及び日本のHPCI利用促進に向けた情報交換会合について記述する。

### 3. シンガポールにおけるHPC関連の主な機関

#### 3.1 A\*STAR

A\*STARは貿易産業省 (Ministry of Trade and Industry) に属する法定機関である。科学技術全般の政策を統括し、人材育成、研究開発の強化、国際的な人材交流や共同研究の促進、知的財産管理と技術移転システムの確立などの活動を行っている。組織の一つに科学工学研究会議 (Science and Engineering Research Council) があり、傘下に今回の訪問で日本のHPCI利用促進に向けた情報交換会合を持ったA\*CRC及びIHPC他の研究機関を持つ。

#### 3.2 IHPC

IHPC [2]は1998年にA\*STAR傘下の研究機関として設立され、コンピュータによるモデル・シミュレーション・可視化やツールを通して科学的成果や技術革新を推進する研究所である。

IHPCはハイパフォーマンスコンピューティング (HPC) を科学探求や産業発展のための戦略的リソースとして位置づけ、IHPCの文字には以下の価値が込められているとしている。

I: Impact

研究結果が知識から経済価値の生成まで提供できるように励む

H: Honesty

専門性の追求全てに誠実さを最高水準に保つよう励む

P: Performance

研究所や出資者に最高品質の結果をもたらすように励む

C: Co-operation

文化の多様性を受け入れ、IHPCの目標達成の基盤として密なコラボレーションを育てる

組織構成は、今回情報交換会合を持ったExecutive DirectorであるAlfred HUAN教授を頭に、Computing Science (計算科学), Electronics & Photonics (電子工学&フォトニクス), Engineering Mechanics (機械工学), Fluid Dynamics (流体力学), Materials Science & Engineering (材料工学), Social & Cognitive Computing (ソーシャル&コグニティブコンピューティング) の6つの研究部門を構えており、シンガポール生まれの研究者・技術者だけでなく、世界各国から招請された研究者・技術者が所属している。

近年の主な研究成果としては、以下のものがある。

- ・データマイニング：災害時の迅速な救助のためのルート探索を実現する新奇アルゴリズムの開発
- ・都市計画：人口増加に対応するための電車利用状況分析
- ・エレクトロニクス：磁気メモリの高速なスイッチング実現のための特性評価
- ・材料：超撥水材料における撥水性喪失に関わる表面状態分析

#### 3.3 A\*CRC

A\*CRC[3]はA\*STARの研究者に対して計算機資源を提供する機関であり、今回情報交換会合を持ったTAN Tin Wee教授がChairmanを務めている。

バイオポリスとフュージョノポリスの二箇所にデータセンターを持ち、Computational Systems (計算システム), Storage (ストレージ), Networking (ネットワーク),

Operations (運用), HPC Software (HPCソフトウェア) という5つの部門で構成されている。

これらの部門によって計算機システム、ストレージの運用からコンパイラ、ライブラリ、デバッガ、プロファイラの整備、科学分野で利用される様々なアプリケーションのサポート、可視化支援、さらにはExpert Knowledge and Systems Supportとしてアプリ選定、利用計算機選定、コードチューニングによる最適化などの支援を実施しており、支援を通じて約800人のHPCユーザーをサポートしている。

A\*CRCの所有する計算機資源を表-1に示す。最大システムの『Cumulus』(IBM製 Blue Gene/Q 512ノード)をはじめ、その総演算能力は200TFlopsを超えており、その計算機資源の大半はIHPCの研究者によって主に利用されている。

なお、表中のシステム『Fuji』は、日本のメーカーから調達されたシステムであり、日本のスパコンメーカーとも、良好な関係を持っていることがうかがえる。

### 3.4 シンガポール国立大学 (NUS)

14学部に約32,000人の学生が在籍している

(2007年11月現在[5])。

大学・企業間での頻繁な相互訪問および情報交換、研究施設の共同利用を容易にし、産学連携の促進に繋がっているシンガポールの代表的なサイエンスパーク (Singapore Science Park) の隣に位置し、技術移転や知的財産管理を積極的に行っている。

またNUSは2010年にグラフェン素材の研究拠点であるAdvanced 2D Materials & Graphene Research Centre (GRC) を設立し、米国のカリフォルニア大学バークレー校 (UC Berkeley) 他と共同研究を進めている。

理論と実験の双方から研究が行われており、対象は主に半導体である。

理論研究グループではシミュレーションの研究をしており、チューニングによる高速化よりも生産性を重視していることが、SCF2015国際会議の前日、3月16日月曜日に催された研究所ツアーの際に紹介された。

シミュレーション研究の内容はDFT計算 (密度汎関数法、電子状態計算) が90%を占めており、アプリケーションとしてはインハウスコードに加えて、VASP, Quantum ESPRESSO, SIESTAを使用している。

表1 A\*CRC計算資源[4]

システム名	CPU	クロック速度 (GHz)	ノード数	ノード当りのCore数	合計Core数	演算性能 (TFlops)
Cumulus	IBM PowerPC A2	1.6	512	16	8,192	105
Cirrus	IBM Power7	3.3	30	32	960	25
Aurora	Xeon X7542	2.67	2	2,048 576	2,624	28
Fuji	Xeon X5570	2.93	378 72	8 12	3,888	46
Axle	AMD Opteron	2.9	32	32	1,024	12

## 4. SCF 2015国際会議

### 4.1 会議概要

SCF2015はA\*CRCが主催した世界のHPCにおける動向やイノベーションを主題とする国際会議である。

本会議の参加者は延べ350人に及び、海外からの参加は、講演者をはじめとして10カ国以上（米、独、豪、仏、中国、韓国、日本、ポーランド、スイス、ロシア、ブラジル、他）に及んでいる。

本会議での全講演数は50に登り、そのテーマはエクサスケールスーパーコンピュータの

開発、そのアプリケーション開発、HPC同士のインターコネクト、可視化、アクセラレーターと多岐に渡っていた。

### 4.2 基調講演

欧米及び日本から7名の基調講演者(表2)を招いた講演では、エクサスケールに向けたアプリケーションからネットワークに関する話題など、ユーザーの視点に立ち、かつ最先端の技術とその展望が議論されていた。

日本からは東京工業大学の松岡聡教授が基調講演者の一人として招かれていた。

以下、主な基調講演を紹介する。

表2 SCF2015基調講演者、講演タイトル

講演者	所属	講演タイトル
Prof. Jack Dongarra	University of Tennessee Knoxville, USA	Current Trends in Parallel Numerical Computing and Challenges for the Future
Dr. John Gustafson	Ceranovo Inc., USA	Exascale Arithmetic
Prof. Robert Harrison	Stony Brook University, USA	A Sustainable Model for Scientific Simulation Beyond the Exascale
Prof. Scott Klasky	University of Tennessee Knoxville; Georgia Institute of Technology, USA	Creating a Software Ecosystem for Data Intensive Science
Prof. Dr. Satoshi Matsuoka	Tokyo Institute of Technology, Japan	TSUBAME3.0 Towards 4.0 and Issues Toward Convergence of Extreme Computing and Big Data Centers
Dr. Thomas Sterling	Indiana University, USA	Pioneering at the Frontiers of Exascale Computing and Beyond
Prof. Rick Stevens	University of Chicago, USA	Exascale Challenges in Computational Genomics

ジョン・グスタフソン博士による“Exascale Arithmetic”という講演では、HPCの性能がエクサスケールと向かうにあたり直面する様々な問題の中でも特にCPUの消費電力の問題やメモリウォール問題として知られるメモリバンド幅不足の問題を取り

上げ、その解決策として現在使われている浮動小数点に換わってUnumという規格を使用する考えを提案した。

ジャック・ドンガラ教授による“Current Trends in Parallel Numerical Computing

and Challenges for the Future” という講演では、現在のHPCシステムの性能ランキングTop500を概観し、上位28システムでTop500の半分の性能を占めている現状などを解説した。

また、エクサスケールHPCシステムに求められる要素技術にも触れながら、米国のロードマップでは2022年にエクサスケールマシンが登場する計画であると述べた。そしてその実現には、エネルギー効率やインターコネクト技術、メモリ技術やアルゴリズムなど様々なチャレンジが必要であることを挙げた。

リック・スティーブンス教授による“Exascale Challenges in Computational Genomics”では、ゲノミクス分野におけるエクサスケールへ向けた問題点やチャレンジについて紹介された。

DNAを起点として環境による様々な影響を受け表現型へと至るプロセスのシミュレーションにおいては、現在、全体で1ペタバイト以上の規模のデータを取り扱う必要がある。しかもゲノム規模は今後さらに大きくしていく必要があり、データインテンシブな問題としてエクサスケールの重要性が高い。そのためエクサスケールHPCにおいては、ハッシュ法やインメモリデータベースなど、新しい技術を必要としている、と述べた。

トーマス・スターリング博士による“Pioneering at the Frontiers of Exascale Computing and Beyond”では、エクサスケールコンピューティングにはペタスケールコンピューティングの時と比較して更なる技術革新が求められているとし、中でも並列プログラミングモデルにはスケーラビリティ、レイテンシ、オーバーヘッド、などを解決する新たな実行モデルが必要であると述べた。

その解決のため、MPIの代替として“ParallelX Execution Model”という実行モ

デルおよびその実装としてのHPXを紹介した。HPXはActive Global Address Space (AGAS) やメッセージドリブン、Lightweight Control Objectsなどを特徴としている。

スコット・クラスキー教授による“Creating a Software Ecosystem for Data Intensive Science”では、HPCにおけるシミュレーション、結果の解析、可視化というワークフローが性能向上に伴い変化してきており、エクサスケールでは特にデータの取扱いに伴うソフトウェア・エコシステムの構築が必要であると述べた。

それを達成するためのアプローチとして、サービス指向アーキテクチャに基づくeXtreme Scale Service Architecture (XSSA) や、データ処理のためのミドルウェアであるADIOSを用いた教授らによる取り組みについて紹介した。

他の基調講演も、エクサスケールHPCに向けた取り組みに重点を置いた内容であった。

#### 4.3 シンガポールによる講演

A\*CRC ChairmanであるTAN教授から“InfiniCortex: A Path to Reach Exascale Concurrent Supercomputing Across the Globe Utilizing Trans-continental InfiniBand and Galaxy of Supercomputers”と題した講演があり、TAN教授が推進しているInfiniCortexが紹介された。

InfiniCortexとは高速回線で世界のスパコンを繋ぐプロジェクトであり(図1)、昨年開催されたSC14(ニューオーリンズ)でも、シンガポールとニューオーリンズ間でのデモに成功している[6]。今後も欧州との接続を目指すなど、現在も計画が進行している。

また同教授の講演の中で、現在、シンガポール政府が調達を計画中である1-3ペタフ

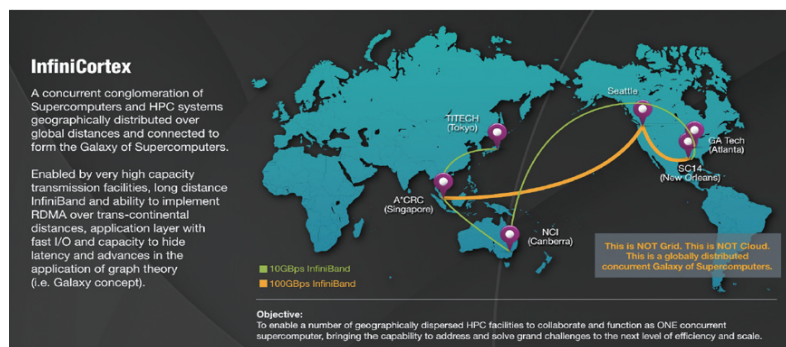


図1 InfinitiCortex：高速回線で世界のスパコンを繋ぐプロジェクト

ロップス級のHPCシステムの導入と、この秋に、その運用組織National SuperComputer Centre (NSCC) を設立することも、併せて紹介された。

他にシンガポールからの講演では、“Galaxy of supercomputers” と名付けたグラフ理論によるスパコンのトポロジー接続の枠組み構築に関する講演もあり、計算機を運用しているA\*CRCがネットワークの研究に力を注いでいる事が伺える。

また講演では、A\*STARが教育にも力を入れている事が紹介された。2014 Asia Student Supercomputer Challenge (ASC14、開催地中国) での入賞やSC14 (ニューオーリンズ) においてもStudent Cluster Competitionへの参加など、着実に成果をあげている。

#### 4.4 会議参加者との情報交換

国際会議のランチタイムは参加者、特にA\*STARの研究者達と交流できる絶好の機会であった。

バイオ分野を専門とする博士からは「HPCI資源は色々あるが様々なシステムに移植する際のハードルが高い。OSなどは統一されているか」と尋ねられた。

またMaterial Science and Engineering部門長であるMichael Sullivan博士は電子状態ソフトVASPや古典分子動力学ソフト

GROMACSを利用していると話してくれた。

物性分野での古典分子動力学ソフトではLAMMPSがポピュラーであるが、バイオ系のGROMACSの方が高速なので使っているという。

このような具体的な現状・要望を聞くことができたことも今回の訪問の成果であった。

#### 4.5 国際会議の閉会にあたって

会議最後のプログラム、パネルセッションでは参加者から次回の開催への期待や要望が寄せられた。特に次回のテーマとしてはハードやソフトよりもむしろHPCインフラストラクチャー自身をテーマにすべきという声が複数あがっていた。その意味では次回の会議は、海外に開かれた日本の共用インフラである「京」を中核とするHPCIシステムを紹介するチャンスと考えられる。

閉会の挨拶で、TAN教授は「私はこの会議からどれほど多くのことを学んだかを述べたい。またどれほど自分が知らなかったかも伝えたい。この会議に参加してくれたすべての人に感謝を述べるとともに私たちは来年も引き続きこの会議を開きたい。」と締めくくった。

#### 5. 日本のHPCI利用促進に向けた情報交換

日本のHPCI利用促進に向け、IHPC及びA\*CRC、それぞれの幹部と情報交換の会合を持った。

IHPCとの情報交換会合では、Executive DirectorであるHUAN教授他の幹部に向けて、

- 1) 「京」が海外研究者にも利用可能であることを紹介し、課題募集への応募を勧誘し、
- 2) 「京」を利用する際の支援内容を紹介し、
- 3) アジアからの応募実績を紹介するとともに応募前に相談できることを紹介した。

IHPCの会合の中で、出席していたDirectorの一人が『今回、紹介された「京」の規模、性能は、シンガポールには未だ無く、極めて魅力的な計算環境である』と発言していたことが印象深かった。

A\*CRCとはChairmanであるTAN教授他の幹部と会合を持ち、RISTから、同じく、「京」の海外研究者による利用が可能な事、様々な支援があることを説明した。

なお、この会議にはA\*CRCの幹部だけでなく、IHPCの研究者も参加しており、A\*CRCとIHPCが極めて密接な関係を持っていることがうかがえた。

TAN教授は、IHPCをはじめとするシンガポールの研究者による日本の提供する「京」及びHPCIシステムの海外からの利用に強い興味を示し、課題募集への応募他について、より詳細な情報交換を行うための技術会議が、同教授より提案された。

## 6. まとめ

シンガポールでは、この秋にペタスケールのスパコン導入と新たな組織National SuperComputer Centre (NSCC) 設立する計画を持っており、今回の国際会議「Supercomputing Frontiers 2015」は海外の著名な研究者に、その存在を強く知ってもらうために開かれたと位置付けることができるだろう。

IHPCをはじめとするシンガポールの政府

系の各研究機関やNUSなどの国立大学での研究課題の設定は、産業発展に結びつきやすい半導体、太陽光発電、バイオサイエンス、海洋や地球環境といったものに比重が置かれている。

資源の少ないシンガポールならではの、科学技術インフラによる成長戦略としてHPCを位置づけている。

このような政策の下でシンガポールにおいてはHPCへの需要は高いが、より実用的であることから、同国に対して、日本のHPCIシステムの利用を推進していく際には、研究成果の知財の扱いや海外からの産業利用・有償利用などの条件をより丁寧に説明することが求められていると言えよう。

今回の動向調査によりシンガポールのHPC業界・人材は我が国のHPC戦略の中でも国際協力・国際貢献・国際競争・共同研究・人材交流という様々な側面から重要なパートナーとなりうるポテンシャルを持っていることが明らかとなった。言い換えればシンガポールは、日本の「京」を中核とするHPCIシステムの海外からの利用者として、アジアにおけるモデルケースとなり得る重要な位置にあると言える。

今回の訪問では、A\*CRC ChairmanのTAN教授からシンガポールの研究者による日本のHPCI利用のための技術会議の開催提案を受けるなど、シンガポールのHPC関係者と、日本の「京」を中核とするHPCIシステムの利用を共同で検討する芽を作ることができた。

RISTの今後の協力・支援に強い期待が寄せられており、国際的な利用者の拡大に向けて、さらなる技術支援、利用促進・広報活動の継続と拡大が重要であると考えられる。

## 7. おわりに

シンガポールは今年建国50年を迎え、来年

は日本との国交50周年という大変重要な節目の年を迎えることになる。

今後ますます日本とシンガポールの協力関係が密になりその結果、両国のHPCがアジアそして世界で活躍する期待が高まっている。

我々がシンガポールを訪問した直後、元首相リー・クアンユー氏が3月23日に逝去された。謹んでご冥福をお祈り申し上げますと共にシンガポールの今後の発展に、微力ながら我々が、また日本が貢献出来ればと切に願ひ、これを調査報告としたい。

#### 参考文献

- [ 1 ] 世界銀行によるGDP  
<http://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD>
- [ 2 ] IHPCホームページ  
<http://www.a-star.edu.sg/ihpc>
- [ 3 ] A\*CRCホームページ  
<https://www.acrc.a-star.edu.sg/index.php>
- [ 4 ] A\*CRC計算資源  
[https://www.acrc.a-star.edu.sg/12/computing\\_resources.html](https://www.acrc.a-star.edu.sg/12/computing_resources.html)
- [ 5 ] 科学技術・イノベーション動向報告  
シンガポール編  
<http://www.jst.go.jp/crds/pdf/2008/OR/CRDS-FY2008-OR-08.pdf>
- [ 6 ] SC14におけるInfiniCortexデモ  
[http://sc14.supercomputing.org/schedule/event\\_detail?evid=emt121](http://sc14.supercomputing.org/schedule/event_detail?evid=emt121)