

# 世界のスーパーコンピュータの動向

野村 稔

## 概 要

2013年6月、スーパーコンピュータの性能ランキングを示すTOP500リストの最新版が発表された。最新リストでは、中国の再躍進ぶりが特筆できる。今回のリストでは中国の新スーパーコンピュータが他を大きく引き離して第1位を獲得した。過去、ハードウェアのアーキテクチャは多様化しており、CPUとアクセラレータ（GPU（画像処理プロセッサ）やメニーコアプロセッサほか）を組合わせて構成したシステムが増加している。スーパーコンピュータの「導入国の国際的な広がり」・「自主開発国の拡大」・「研究開発のグローバル化」などの動きも継続している。新しい動きとしてビッグデータへの対応、新ベンチマーク指標の検討などが見える。

今後、各国の科学技術の発展や産業競争力の強化に向けたスーパーコンピュータの整備・拡充は一層進むと想定される。そして、開発競争は次のエクサスケールシステムを目指してますます熾烈な戦いが繰り広げられていこう。文部科学省は、今後10年程度を見据えた日本の「革新的ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラ（HPCI）」計画の推進の在り方についての新たな戦略を調査検討し、2013年6月に中間報告を公表した。今後の高性能なスーパーコンピュータの開発にはグローバルな連携は必須である。日本は、スーパーコンピュータ「京」の開発と活用で培った技術・経験・人材を維持・発展させるとともに、それらを活かして国際連携を優位に進めていくべきである。

**キーワード：**スーパーコンピュータ，HPC，国際競争力，科学技術，性能ランキング，TOP500，グローバル化，エクサスケール

## 1 はじめに

現在、世界中でスーパーコンピュータの活用が、科学技術面、あるいは経済面で各国の将来に影響を及ぼすという認識が定着してきている。そして数値シミュレーションが、「理論」、「実験」に次ぐ「第3の科学」として位置づけられ、そのための基盤たるスーパーコンピュータの導入が積極的に進められている。

科学技術動向（2011年9・10月号）<sup>1)</sup>（以下、前回とする）に、世界のスーパーコンピュータの動向を述べた。そこでは、導入国が国際的に広がっていること、自主開発国が拡大していること、そして、研

究開発がグローバル連携化していること、という3つのグローバル化が進んでいることを示した。

本稿では、その後の動向を紹介する。まず、2章でTOP500リストにみる世界のスーパーコンピュータの状況、3章でグローバル化の進展状況、4章で新しい動きを述べ、世界のスーパーコンピュータの動きを追う。

## 2 TOP500 リストにみる世界のスーパーコンピュータの状況

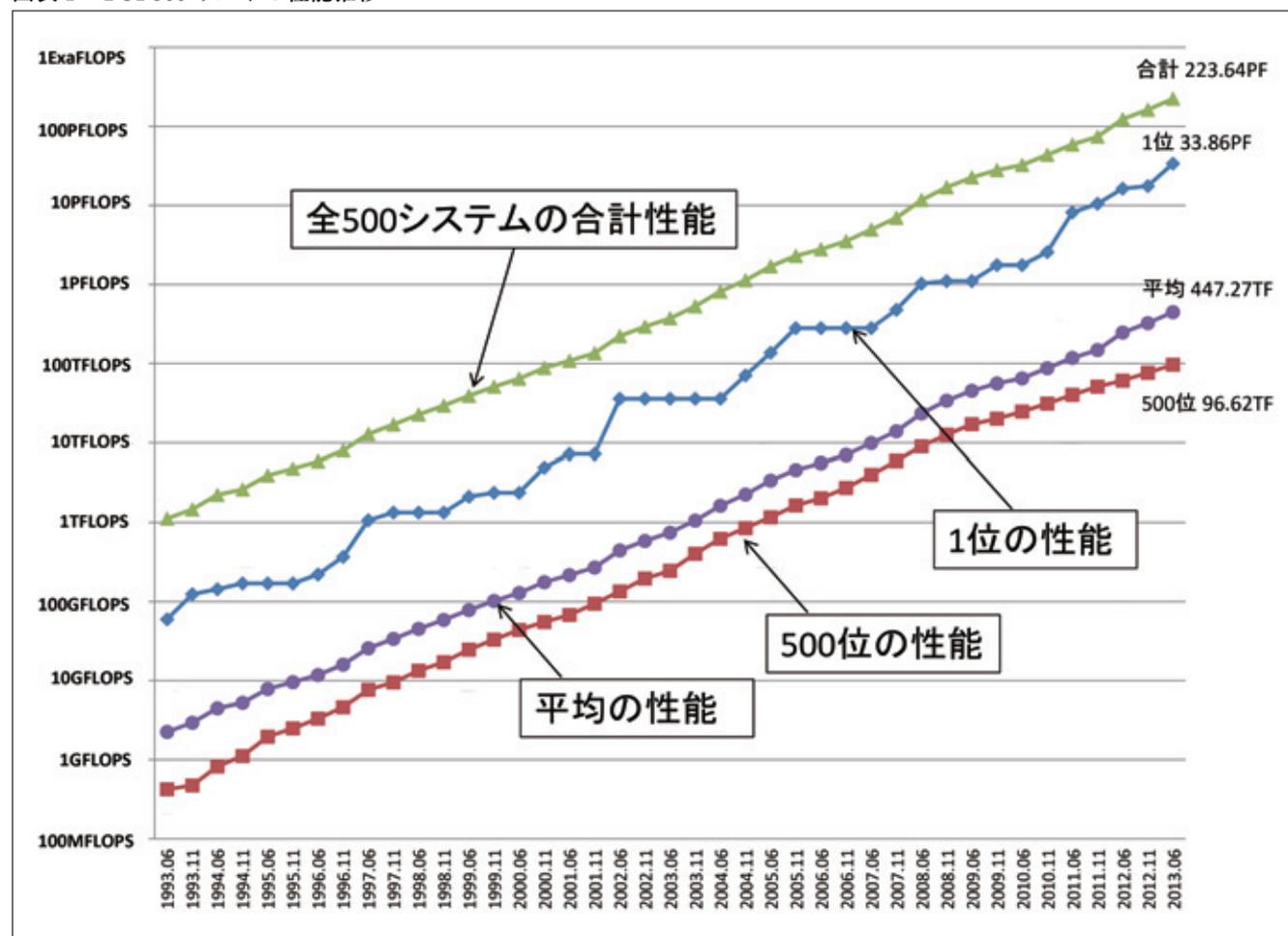
2013年6月、国際スーパーコンピューティング

会議 (ISC' 13) が、ドイツで開催され、スーパーコンピュータの性能ランキングを示す TOP500 リストの最新版 (第 41 回)<sup>2)</sup> が発表された。以下に今回の TOP500 リストから特徴的な内容を記す。

## 2-1 LINPACK 性能の推移

図表 1 に、TOP500 リスト中の全 500 システムの

図表 1 TOP500 リストの性能推移



縦軸は LINPACK 性能で、FLOPS の前の文字は Mega (100 万), Giga (10 億), Tera (1 兆), Peta (1000 兆), Exa (100 京) を示す  
 出典：TOP500 リストを基に科学技術動向研究センターにて作成

## 2-2 システムの性能分布

図表 2 に第 41 回 TOP500 リスト中における各システムの LINPACK 性能の分布を示す。縦軸に LINPACK 性能、横軸に 1 ~ 500 位までの順位を示している。

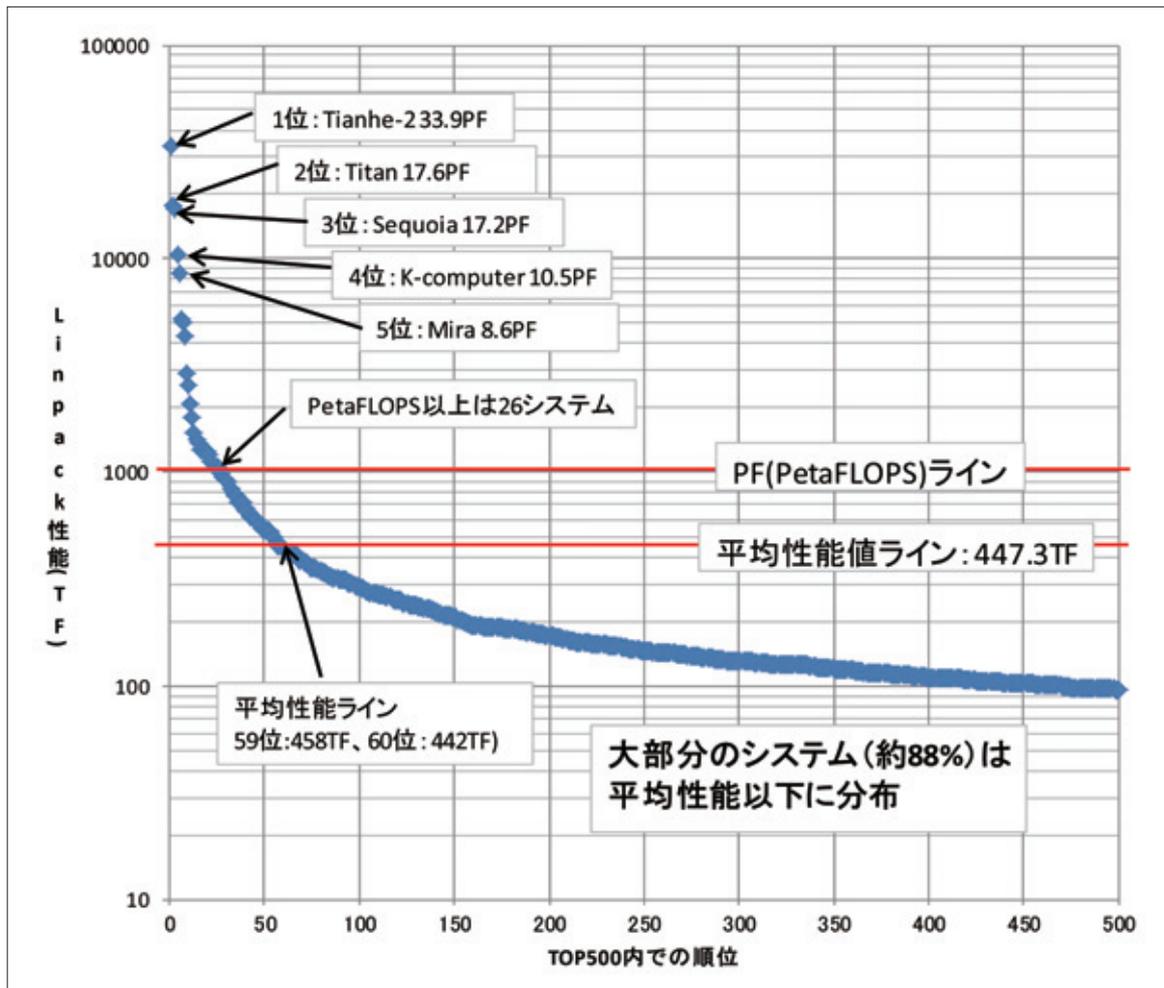
今回の TOP500 リストでは 26 位までが 1PetaFLOPS 以上の LINPACK 性能値を出してい

LINPACK 合計性能、第 1 位、500 位、平均の性能の過去の推移を示す。第 1 位の性能は階段状に伸びており、今回の伸びも大きい。500 位の性能の伸びにはなだらかな下降傾向が見える。また、合計性能値と 1 位との差が近接していること、平均の性能が 500 位に近いことから、上位と下位システム間での性能乖離が大きくなっていることがうかがえる。

以下、今回のリストからシステムの性能分布を分析する。

る。500 位までの平均性能は 447.3TeraFLOPS で、平均以上が約 12% で、残りの約 88% は平均以下の性能となっている。すなわち、TOP500 リストのシステムの性能には偏りがあり、高性能を目指したシステムは 10% 以下であることがうかがえる。

図表2 システムの性能分布



出典：第41回TOP500を基に科学技術動向研究センターにて作成

## 2-3 ハードウェアアーキテクチャ（構成）の多様化

スーパーコンピュータのハードウェアアーキテクチャ（構成）は多様化している<sup>3)</sup>。演算部がCPU（Central Processing Unit：中央処理装置）で構成されるシステム（CPUベースのシステムとする）、CPUとアクセラレータ（Graphics Processing Unit 画像処理装置、メニーコアプロセッサほか）を組合わせて構成されるシステム（アクセラレータを採用したシステムとする。ハイブリッドアーキテクチャともいう）などがある。今回のTOP500リストでは、アクセラレータを採用したシステム数は54で、2年前の第37回のリストの19から約3倍も増加しており、システムの性能合計を大きく押し上げている。

今回のリストで第1位の中国のTianhe-2や第6位の米国Texas Advanced Computing Center (TACC)のStampedeにはIntel Corporation（以下、Intel社）製のメニーコアプロセッサ（名称：Xeon

Phi）が多用されている。第2位の米国のオークリッジ国立研究所のTitanにはNVIDIA Corporation（以下、NVIDIA社）製のGPU（名称：K20x）が多用されている。このようにアクセラレータを採用して性能向上を図ろうとする動きが見える。

## 2-4 電力効率の改善

TOP500内のシステムに対して電力効率（LINPACK性能値／消費電力）の大きい順を競うリストとしてGREEN500<sup>4)</sup>があり、年2回公表されている。今回のリストでは、1、2位が3GigaFLOPS/Wを超えている。この2システムは、共にハイブリッドアーキテクチャのシステムであり、第1位は6か月前のリストの第1位との比で約30%、1年前の第1位との比で50%以上の改善となっている。

エクサスケールスーパーコンピュータの電力消

費目標を最大で20MWまでとした動きがあるが<sup>1)</sup>、今回の第1位の値を外挿しても312MWと依然として目標までには大きなハードルがある。今後は、半導体プロセス改善のみでは目標到達が難しく、回路、アーキテクチャを含めた研究が共に必要となる。また、データをいかに省電力で移動するかという問題への研究も重要になっている。

国と、それぞれ2倍強の増加となっており、性能強化が盛んに行われている実態がわかる。図表3内で、米国、中国、日本の2年前の性能合計を☆印で示すが、今回との差は大きい。

中国のシステム数は66で、2年前の62システム以降、その数は安定しており、合計システム数で米国に続いて第2位の位置を継続して確保している。

### 3 今までの動き

### 3-2 自主開発国の拡大について

前回は報告した以降の主だった動きについて述べる。

#### 3-1 導入国の広がり (導入のグローバル化) について

図表3に、今回のTOP500リストに掲載された、導入国27か国別のシステム数とLINPACK性能合計を示す。ここでLINPACK性能合計とは、500位までにランクされている各国のシステムのLINPACK性能の合計値である。

2011年6月時点の導入国と大きな差はないが、今回のリストでは、香港がエントリーしている。この2年間にアイルランド、メキシコ、オランダ、スロバキア共和国、南アフリカ共和国、アラブ首長国連邦などのリストへのエントリーもあり、延べ導入国数は30以上にもなっている。

また、2011年6月時点ではシステム単体でLINPACK性能が1PetaFLOPS以上は10システムで、LINPACK性能合計が1PetaFLOPS以上の国は7か国であったが、今回のリストではシステム単体では26システム、LINPACK性能合計が1PetaFLOPS以上の国は16か

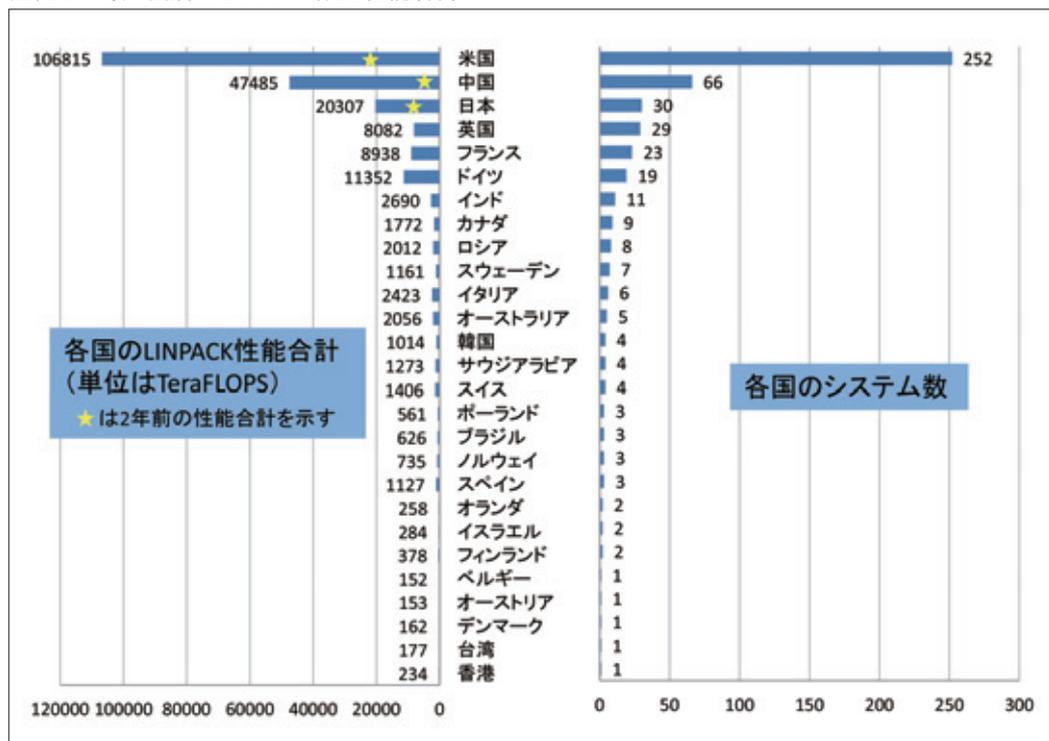
前回では、米国、日本以外での開発が進められている状況を、中国、フランス、ロシア、インドについて示した。現状もそれらの国々での開発は継続されている。今回のリストで第60位以内(平均性能以上)の開発国と掲載システム数を示すと、米国(43システム)、中国(6)、日本(5)、フランス(4)、英国・ロシア(1)の順となっており、米国の圧倒的強さには変更がないが、中国が第2位につけてきている。

以下では自主開発国に関する特記事項を述べる。

#### (1) 中国

中国は、2010年11月のTOP500でTianhe-1Aシステムが第1位に躍り出て世界を驚かせたが、半年後のリストで日本の京コンピュータに

図表3 導入国別のシステム数と性能合計



出典：第41回TOP500を基に科学技術動向研究センターにて作成

第1位を譲り渡した経緯がある。今回、第1位に返り咲いた Tianhe-2 は中国の国防科学技術大学 (NUDT) が設計し、米国 Intel 社と中国企業の Inspur Group Co.,Ltd の協働で開発されたシステムである。プロセッサおよびメニーコアのコプロセッサである Xeon Phi は共に Intel 社製である。中国は、かねてより 100PetaFLOPS のシステムを 2015 年までに 2 システム開発すると公表していた。今回、性能は約半分 (ピーク性能で 54.9PetaFLOPS) ではあるが予定より 2 年も早い時期の開発となり、2015 年の 100PetaFLOPS への足がかりのシステムとの位置づけである。このシステムではフロントエンド処理用として独自開発のプロセッサも採用している。また、ノード (プロセッサ、コプロセッサ、メモリからなる計算単位) 間を接続するインターコネクには、専用 LSI を開発するなど独自の工夫が施されている。

## (2) イタリア

イタリアに本社を置き、欧州市場を対象としている EUROTECH 社が開発した 2 システムが、前記した GREEN500 で第1位と2位を獲得している。LINPACK 性能は、110.5TeraFLOPS (第395位) と 100.9TeraFLOPS (第467位) であり、TOP500 リスト中では低位であるが、電力効率で大幅な改善を図ったシステムがイタリアで開発されたことになる。

## (3) ロシア

ロシアの企業である RSC Group は、エネルギーとコスト効率に優れたシステムアーキテクチャの RSC Tornado を提供している。驚異的なのは、その電力効率の良さで、PUE 1.06 (PUE とは Power Usage Effectiveness の略で、データセンター全体の消費電力をサーバーなどの IT 機器の消費電力で割った値) を達成とある。Intel 社の Xeon Phi を使用した 10PetaFLOPS のシステムに向けたプロトタイプを既に開発している。ロシアでは他に T-Platforms 社があり、2011 年に 1.37PetaFLOPS のシステムをモスクワ大学に納入した実績を持っている。

## (4) インド

インドでは、政府系の研究機関である C-DAC (Centre for Development of Advanced Computing) が 1990 年以降スーパーコンピュータを開発している。最新 TOP500 リストでは、386.7TeraFLOPS のシステムが第69位に入っている。インド政府は高性能コンピューティングの研

究開発の加速のためにスーパーコンピューティングイニシアティブを発足しており、今後 4-5 年で 500 億ルピー (1 ルピー = 1.7 円とすると、約 850 億円) の投入をコミットメントとしているとの発表もある<sup>5)</sup>。

## (5) その他

自主開発ではないが韓国の動きも特筆できる。韓国では National Supercomputing Promotion Act が 2011 年 6 月 7 日に制定され、同年 12 月 8 日に施行に至っている。背景には、2009 年時点で韓国のスーパーコンピュータ関連は世界に立ち遅れているとした認識があり、その挽回策としての法令制定に至っている。9 つの関係省庁が関係している委員会、国立スーパーコンピューティングセンターの設置などが行われ、国を挙げてスーパーコンピュータの設置および利用環境の充実に力を入れている。

## 3-2 自主開発国の拡大について

### 3-3-1 欧州におけるエクサスケールに向けた取り組み

欧州では EU ファンドの European Exascale Software Initiative<sup>2</sup> (EESI<sup>2</sup>)<sup>6)</sup> と 3 つの実行プロジェクト (MontBlanc、DEEP、CRESTA) が並行して進行している。

EESI<sup>2</sup> は、2010 年 6 月 1 日から 18 か月間に渡って実施された EESI の後継としての位置づけである。EESI では、ペタスケール、エクサスケールスーパーコンピュータ上での科学計算処理における諸課題を明確にし、欧州としての研究開発の方向性をロードマップとして策定することを目指した。150 人の専門家の参加により実施され、2011 年 10 月に Final Conference を開催し、ビジョンとリコメンデーションを示している。EESI<sup>2</sup> は、2012 年 9 月 1 日から 30 か月間に渡った後継の活動であり、EESI のロードマップ、ビジョン、リコメンデーションに対し、モニタリング、更新そして新しい課題に対応するため、数種類のワーキンググループを編成し活動している。

3 つの実行プロジェクト (MontBlanc、DEEP、CRESTA) は共に 3 年間のプロジェクトであり、その概要を図表 4 に示す。2013 年 6 月時点では、ハードウェア開発のプロジェクトである MontBlanc と DEEP は共にプロトタイプの作成段階にあり、着々と進展している様子がうかがえる。

図表4 EU ファンドのプロジェクトの概要

プロジェクト	概要
MontBlanc : European scalable and power efficient HPC platform based on lowpower embedded technology	組込みの電力効率テクノロジーに基づいたエクサスケールアプローチで2011年10月開始、予算14.5M€、プロトタイプの開発目標は7MWで50PetaFLOPS、ARM Ltdのプロセッサ・NVIDIA社のGPUを使用。バルセロナ・スーパーコンピューティング・センター(BSC)が主導。
DEEP : Dynamical Exascale Entry Platform, Hierarchical Concurrency Approach	エクサスケールに向けたアーキテクチャ設計、ハードウェア・ソフトウェア開発を目標にし2011年12月開始、予算18.5M€、Intel社のXeon Phi使用、8か国16パートナーからなり、ドイツのユーリッヒ・スーパーコンピューティング・センターが主導。
CRESTA : Collaborative Research into Exascale Systemware, Tools and Applications	ソフトウェアコードデザインにフォーカスしたプロジェクトで2011年11月開始、12M€コスト、8.57M€ファンディング、13パートナー。イギリスのエジンバラ・並列コンピューティング・センター (EPCC) が主導。

### 3-3-2 国際的な動き

国際的なプロジェクトである International Exascale Software Project<sup>7)</sup> (IESP) は、米国のスーパーコンピュータ関係者が2007年以降に開催してきたワークショップに端を発し、その後、米国を中心に、欧州・日本・中国の研究者が共同でシステムソフトウェア・ソフトウェア開発環境・アプリケーションソフトウェア・全体に横断する課題などの項目に渡って検討を行った。このプロジェクトは、2013年3月をもって終了しており、その後、2013年4月からは、BIGDATA AND EXTREME - SCALE COMPUTING (BDEC) ワークショップに活動の場を移している。

米国DOEと文部科学省はエクサスケールスーパーコンピュータに向けたシステムソフトウェアの研究開発で協力を検討していくこととしており、ISC'13の場でも研究情報の相互交換が行われている<sup>8)</sup>。これもIESPでの検討内容を基盤とした、拡大・発展に向けた動きである。

を含めたハイパフォーマンス・コンピューティングを検討している。スーパーコンピュータの世界でも膨大な計算結果をはじめとしたビッグデータの問題に直面している。

こうしたシステムの性能指標として、データインテンシブアプリケーションに対するシステムの適合度合いの性能順を示すGraph500リストが、2010年11月から毎年6月と11月に発表されている。2013年6月発表のリストは6回目にあたり、142システムがエントリーされ、内訳は米国が74、日本が28となっている。

その他、カリフォルニア大学サンディエゴ校のサンディエゴスーパーコンピュータセンター (SDSCと略す) が中心となり、ビッグデータの性能ランキングリスト「BigData Top100List」の作成に向けて活動している動きもある<sup>9)</sup>。

今までは、スーパーコンピュータとビッグデータとは異なるIT領域での問題との認識もあったが、今、その対応に変化がみられる。ビッグデータ処理は多様であり扱うデータ種類も多様である。様々な領域からの多面的な研究成果の融合で進められることになろう。

## 4 新しい動き

### 4-1 ビッグデータへの取り組み

3-3-2で記したBDECワークショップでは、日本、米国、欧州の研究者によってビッグデータ

### 4-2 新ベンチマーク指標の検討

異なる目的をもつスーパーコンピュータを、LINPACKベンチマーク (High Performance Linpack : HPL) という尺度だけで比較するのが適

当かという議論が今までにもたびたび持ち上がっている。

最近、TOP500 編集委員もこの議論を重要視しており、新しい指標を検討している。背景として、1990年代前半には、実際のアプリケーション性能と HPL の性能間の相関が強かったため注目を集めたが、もはや現実のアプリケーション性能（特に、広範なアプリケーションセットの性能）とあまり強い相関がないことを挙げている。そして、良い HPL 性能のシステムを設計することは、実際のアプリケーションミックスにとって間違った設計上の選択につながりうるとも言及している。また、将来、この指標による性能と実際のアプリケーション性能との間のギャップは広がるのではないかと懸念している。計測時間も長大化しており、最長では 60 時間以上も要しているシステムもあるとのことで、今後「計測時間に 1 週間も要するのでは？」との試算もある。これは、巨大化するスーパーコンピュータの安定稼働を証明することではあるが、所要の電力消費やスタッフ費用などが膨大になることも示している。

新指標としては、High Performance Conjugate Gradient (HPCG) が提案されており、今後、実現に向けて検証を進めていくとしている。この新指標は、HPL を除外するものではなく、GREEN500 と同じように TOP500 とは別のリストとしての位置づけを目指している<sup>10)</sup>。

## 5 おわりに

以上、世界のスーパーコンピュータについて前回で示した 2011 年以降の主な動きを述べた。「導入国の国際的な広がり」、「自主開発国の拡大」、「研

究開発のグローバル化」という動きは継続している。また、新しい動きとしてビッグデータへの対応や新ベンチマーク指標の検討が見える。今後、各国の科学技術の発展や産業競争力の強化に向けたスーパーコンピュータの整備・拡充は一層進むと想定される。そして、開発競争は次のエクサスケールシステムを目指してますます熾烈な戦いが繰り広げられていくだろう。

こうした動きに対応して、文部科学省は、今後 10 年程度を見据えた日本の「革新的ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラ (HPCI)」計画の推進の在り方についての新たな戦略の調査検討を 2012 年 2 月から開始した。そして 2013 年 6 月に中間報告<sup>11)</sup> が公表された。ここには「世界トップレベルのスーパーコンピュータやその次のレベルのスーパーコンピュータを複層的に配置し、全体として多様なユーザーズに対応できる世界最高水準の計算科学技術インフラを維持・強化するという考え方が重要」とし、その実現を検討していくとある。その実現にはハードウェア、ソフトウェア面で多くの解決すべき課題があり、その解決にはグローバルな英知の結集が必須となろう。前記したが、既に文部科学省は米国 DOE と研究開発の連携を推進している。こうした連携では、自国が世界に認められる強さを持つことが重要である。日本で開発した京コンピュータは、2011 年 6 月と 11 月に TOP500 の第 1 位を獲得しハードウェア面での優位性を実証したと共に、京コンピュータを使用したアプリケーション（シミュレーション）面でも 2011 年 11 月と 2012 年 11 月にゴードン・ベル賞<sup>注)</sup> を連続受賞してその優位性を広く世界に示した。日本は、このような京コンピュータの開発と活用で培った技術・経験・人材を維持・発展させるとともに、それらを活かして国際連携を優位に進めていくべきである。

注 ゴードン・ベル賞 (Goldon Bell Prizes) は、ハイパフォーマンス・コンピューティング分野における、アプリケーションの実性能と計算科学の成果に対し Association for Computing Machinery (ACM) が授与する賞である。

## 参考文献

- 1) 野村稔、「スーパーコンピュータをめぐるグローバル化の動き」科学技術動向、No.125、2011 年 9・10 月号
- 2) TOP500 : <http://www.top500.org/>
- 3) 古川貴雄、野村稔、「数値シミュレーションにおけるソフトウェア研究開発の動向—並列分散型のハードウェアとソフ

トウェア自動チューニング」科学技術動向、No.104、2009年11月号

- 4) GREEN500 : <http://www.green500.org/>
- 5) SanJay Wandhe, HPC in India, ISC' 13,2013年6月
- 6) EESI : <http://www.eesi-project.eu/pages/menu/homepage.php>
- 7) IESP : [http://www.exascale.org/iesp/Main\\_Page](http://www.exascale.org/iesp/Main_Page)
- 8) Workshop on International Cooperation on System Software for Trans-Petascale, ISC' 13, 2013年6月
- 9) 野村稔、「コンピュータシステムの性能指標の変化—ビッグデータ処理システムの性能ランキングリスト作成の動き—」科学技術動向、No.135、2013年5・6月号
- 10) Jack Dongarra, TOWARD A NEW (ANOTHER) METRIC FOR RANKING HIGH PERFORMANCE COMPUTING SYSTEMS, ISC' 13, 2013年6月
- 11) 「今後のHPCI計画推進の在り方について(中間報告)」, 2013年6月25日、[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/chousa/shinkou/028/gaiyou/\\_icsFiles/afiedfile/2013/07/10/1337595\\_1.pdf](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shinkou/028/gaiyou/_icsFiles/afiedfile/2013/07/10/1337595_1.pdf)

..... **執筆者プロフィール** .....



**野村 稔**

科学技術動向研究センター 客員研究官  
<http://www.nistep.go.jp/index-j.html>

企業にてコンピュータ設計用CADの研究開発、ハイパフォーマンス・コンピューティング領域、ユビキタス領域のビジネス開発に従事後、現職。スーパーコンピュータ、ビッグデータ、半導体技術、LSI設計技術等の科学技術動向に興味を持つ。