

スーパーコンピュータを めぐるグローバル化の動き

野村 稔
客員研究官

1 はじめに

高性能コンピューティング(HPC: High Performance Computing、以降、単に HPC) とは、自然現象のシミュレーションや生物構造の解析など、非常に計算量が多くかつ複雑な計算が要求される計算処理のことを言う。具体的には、地球全体の気象など、人間が制御することができない現象や、自動車の衝突シミュレーションなど実験コストが高くつく現象の解析が挙げられる。HPC を行う手段としては、スーパーコンピュータやグリッドを用いる方法がある^{※1)}。このうち、本稿では、世界のスー

パーコンピュータに焦点を絞り、その最新状況を俯瞰する。

2011年6月、国際スーパーコンピューティング会議において第37回 TOP500 リスト¹⁾ が公開され、(独)理化学研究所(以降、理研)と富士通株式会社が共同開発中の日本の次世代スーパーコンピュータ「京」(“けい”と呼ぶ)が世界第1位を獲得した。

世界的にみて、大規模な科学技術計算に用いられるスーパーコンピュータが、科学技術面、経済面で国の将来に大きな影響を及ぼすという認識が広まりつつある。

そのため、世界中の国々で開発および導入競争が激化している。TOP500 リストを基にして世界のスーパーコンピュータの状況を概観すると、3つのグローバル化が進んでいることがわかる。一つ目は、導入のグローバル化、二つ目は、自主開発国の拡大、そして3つ目は、他国との連携による研究開発のグローバル化である。本稿では、まず第2章で世界のスーパーコンピュータの状況を概観し、第3章から5章でこの3つのグローバル化の実態を述べる。

2 TOP500 にみる世界のスーパーコンピュータの状況

2-1

TOP500 とは

TOP500 リストはスーパーコン

ピュータの性能を LINPACK ベンチマーク^{※2)} で測定し(これを、LINPACK 性能と呼ぶ)、1位から500位までのランク付けを行ったリストである。毎年、6月と11月の2回、独マンハイム大学、米

国テネシー大学、米国 NERSC/LBNL(末尾の用語集に正式名を示す)の研究者等からなるグループによって更新されている。今回(2011年6月)は第37回目のランク付けにあたる。

■用語説明■

※1 スーパーコンピュータとグリッド: スーパーコンピュータとは、大規模な科学技術計算に用いられる超高性能コンピュータを指し、用途に応じて様々なアーキテクチャがあり、その性能は高位から下位まで様々なものが存在する。一方、グリッドとは、ネットワーク上に分散した多様な計算資源や情報資源、例えば、コンピュータ、記憶装置、可視化装置、大規模実験観測装置などを仮想組織のメンバーが一つの仮想コンピュータとして利用する環境を指す。

このリストは世界のスーパーコンピュータの傾向を概観できる。ただし、このランク付けを問題視する議論もある。異なる目的をもつスーパーコンピュータを、LINPACK ベンチマークという尺度だけで比較するのが適切かという議論である。LINPACK ベンチマークでは、浮動小数点演算を多用した計算性能に重点が置かれている。一方、実際の広範な運用環境では、メモリとCPU間のデータ転送、CPUとCPU間の通信など計算以外の部分に要する時間も考慮した総合性能が問われる²⁾。そこで、システム性能を計測する方法は、今までに複数の方法や指標が開発されており、それらに則った性能順リストがそれぞれ作成されている³⁾。

2-2

最新 (第37回) TOP500 リストから

2011年国際スーパーコンピューティング会議 (International Supercomputing Conference 11 : ISC'11) が、6月20日から6月23日までドイツのハンブルグで開催され、この会議において最新のTOP500リストが発表された。日本にとって今回の最大のトピックスは、次世代スーパーコンピュータ計画^{※3)}に基づき、(独)理化学研究所と富士通株式会社が共同開発中の日本の次世代スーパーコンピュータ

「京」が世界第1位を獲得したことである。近年のTOP500リストでの日本のスーパーコンピュータとしては、「地球シミュレータ」が2002年6月に第1位になり、2004年6月までその地位を維持した。その後、主に米国勢が1位を独占していたが、今回のリストで日本のスーパーコンピュータが再度1位に返り咲いた。

「京」のLINPACK性能は8.162ペタFLOPSである。(ペタとは1000兆を表し、ペタFLOPSとは1秒あたり1000兆回の浮動小数点演算を意味する。以降、PFと表記する)半年前の第36回リストでトップであった中国のスーパーコンピュータ「天河-1A」の性能より約3倍高速である。「京」は、2012年11月に共用開始を目指して開発中⁴⁾であり、今回は開発途中版での第1位である。

今回のTOP500リストでは10位までが全てPF以上のLINPACK性能値を出した。スーパーコンピュータの性能の国際競争は、すでにペタスケールの領域に入っていると言える。今後は、10PF前後の性能領域を目指して、各国の開発競争がさらに激しさを増すことになると思われる。

以下に今回のTOP500リストから特徴的な内容を記す。

2-2-1 システム数の状況

TOP500リストにおけるスーパーコンピュータ(以降、単にシステムともいう)の属する国とは、そのシステムを導入した国を

指す。ここでは、外国で開発されたシステムでも導入した国のシステムとしてカウントされている。今回のリストに掲載されたシステム保有国数は、28カ国である。(詳細内容は後述)

2-2-2 LINPACK性能の推移

図表1に、TOP500リスト内に掲載された全500システムの合計LINPACK性能、1位と500位のLINPACK性能を折れ線グラフで示す。注目すべきは、2002年6月と2011年6月(図表内丸印)の1位の急激な伸びである。これらはともに日本のスーパーコンピュータが達成した。前者は、「地球シミュレータ」、後者は「京」である。

今までの傾向から外挿して今後の推移を予測すると、2018年から2020年頃にエクサスケール(Exascale:ペタスケールの1,000倍)の性能に到達すると考えられる。

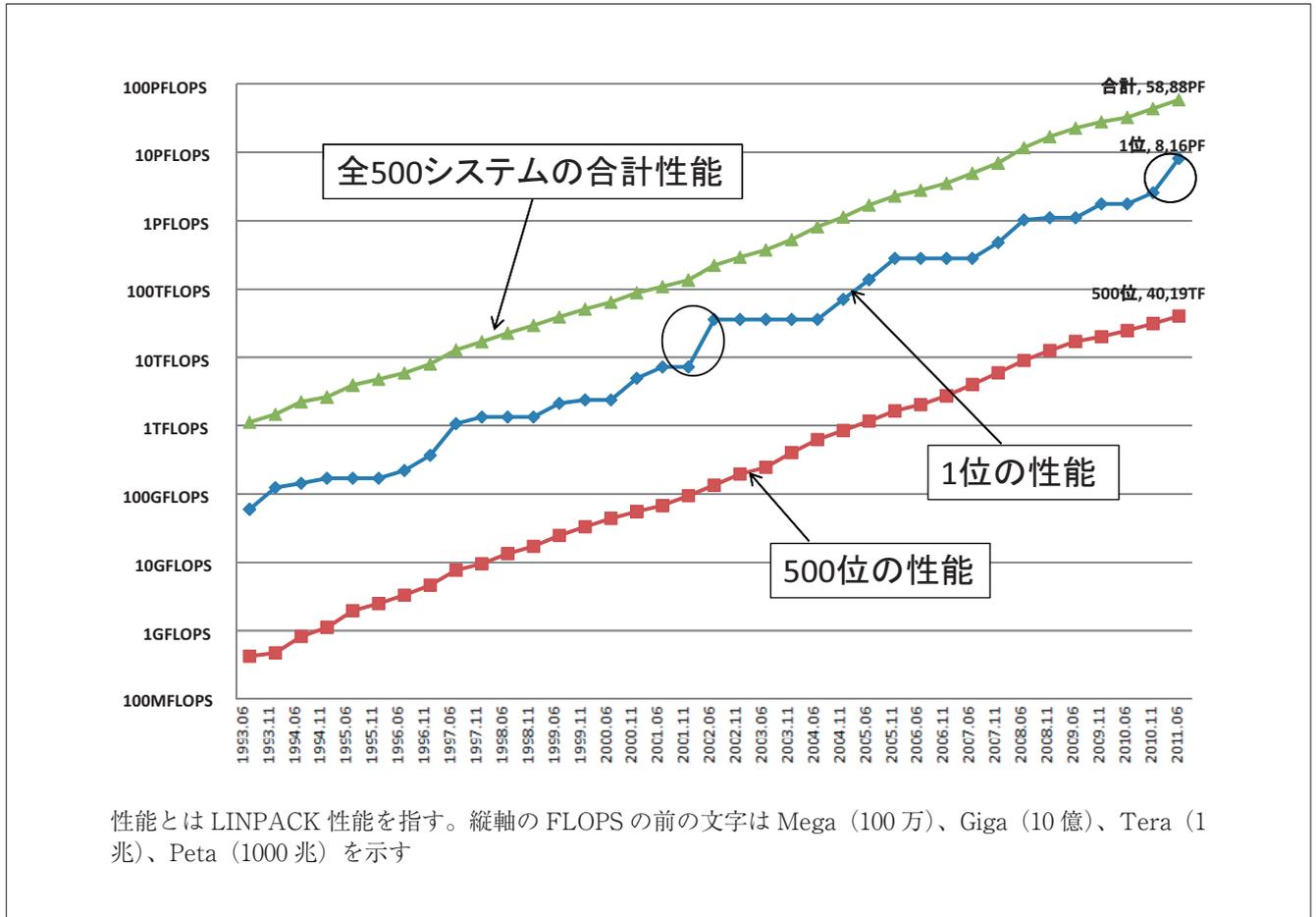
今回のTOP500リストでは、米国は10位以内に5システムが入っている。10位以内のその他システムとしては、日本と中国が2システム、フランスが1システムとなっている。前回(2010年11月)に1位の中国の「天河-1A」(国家スーパーコンピュータセンター天津: National Supercomputer Center in Tianjin)は、2.566PFと前回と同性能で今回は2位となった。前々回(2010年6月)に1位の米国の「Jaguar」(DoEのオークリッジ国立研究所)は、1.759PFと前回と同性能で今回は3位と

■ 用語説明 ■

※2 LINPACK ベンチマーク: LINPACK (リンバック、LINear equations software PACKage) ベンチマークは、米国テネシー大学のJ. ドンガラ (J. Dongarra) 博士他によって開発された、主に浮動小数点演算のための連立一次方程式の解法プログラムで、これによるベンチマークテスト結果は、スーパーコンピュータからワークステーション、パーソナルコンピュータに至るまで数多くの計算機にわたって登録されている。測定結果は1秒あたりの浮動小数点演算数 (FLOPS: フロップス、Floating point number Operations Per Second) として表示される。

※3 次世代スーパーコンピュータ計画: 2006年から開始され、10ペタFLOPSを持つスーパーコンピュータ「京」の開発、このスーパーコンピュータで利用できるアプリケーションソフトウェアの開発、次世代スーパーコンピュータを中核とした研究教育拠点の整備の3つを柱としている。2009年11月の事業仕分けに端を発する議論を経て、「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)」を構築する計画へと変更された⁵⁾。

図表1 TOP500 リスト中の全 500 システムの LINPACK 合計性能、1 位と 500 位の LINPACK 性能



過去の TOP500 リストを基に科学技術動向研究センターにて作成

なっている。また、「京」の性能は、2 位以下の 5 システムの合計 LINPACK 性能値より高い性能値を達成している。

2-2-3 使用用途別の状況

図表 2 に全 500 システムの主な使用用途 (TOP500 リストの Application Area) の分布を示す。500 システム全体での使用用途は広範にわたっている。各システムの使用用途としては代表的な使用用途が登録されているが、「特定なし」や「研究」と分類されている領域では、その使用用途が明らかにされていない。なお、上位 1 割にランクされる 50 位までの使用用途では、「研究」、「特定なし」がともに約 40% を占めており、使用実態は明らかではない。

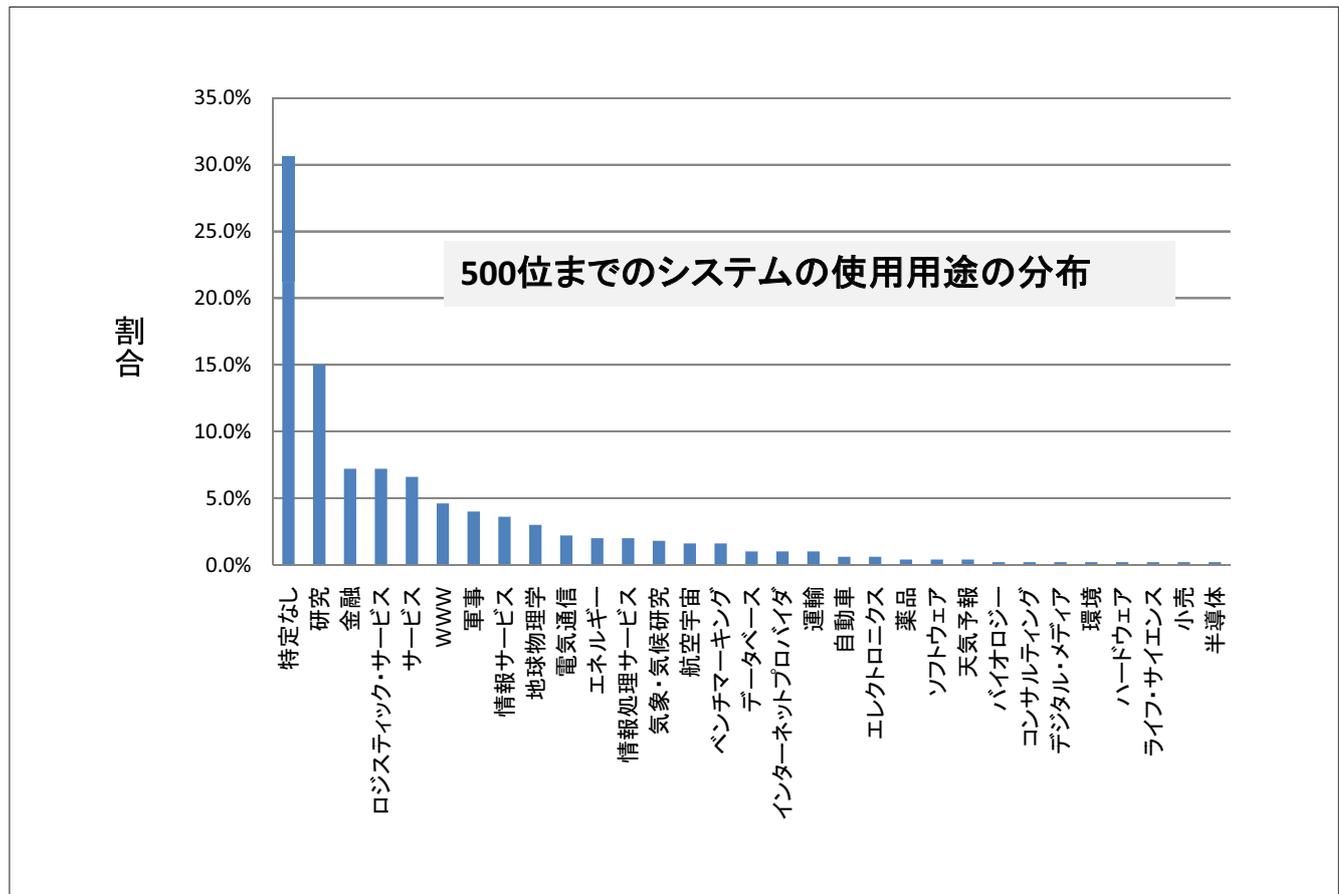
2-2-4 ハードウェアアーキテクチャ (構成) の多様化

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⁶⁾。演算部が CPU (Central Processing Unit: 中央処理装置) のみ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 (GPU (Graphics Processing Unit 画像処理装置) 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。また、ハイブリッドアーキテクチャともいう) などがある。それぞれのハードウェアアーキテクチャには一長一短があり、一つのハードウェアアーキテクチャで必ずしも多岐にわたる使用用途における高速計算が達成できるとは言えない。第 37 回 TOP500 リスト

では、大部分が CPU ベースのシステムであり、アクセラレータを採用したシステム数は 19 となっている。第 36 回 TOP500 リストでは、アクセラレータを採用したシステム数は 11 であり、今回、その数が増加している。

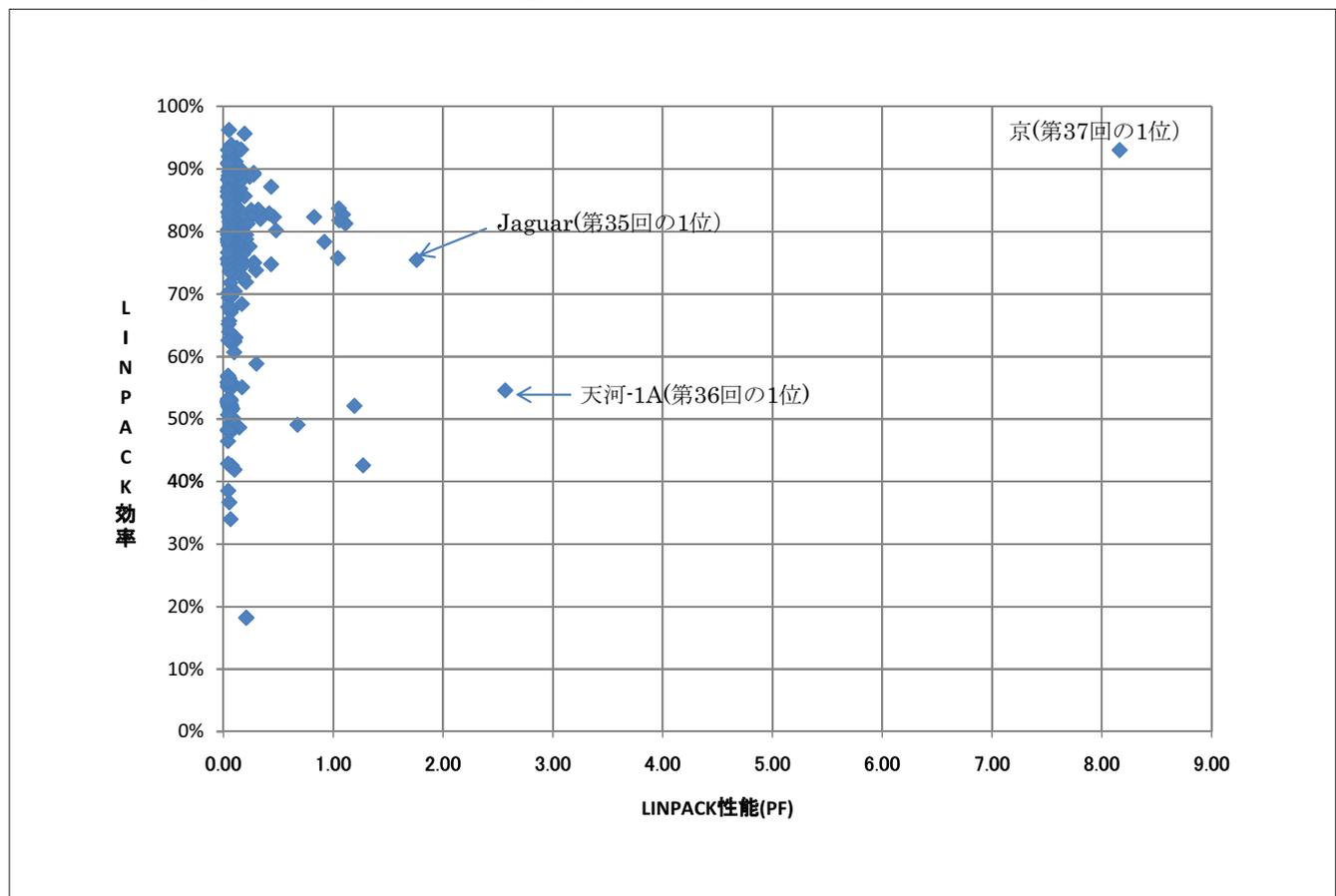
TOP500 リストからは、図表 3 のピーク性能 (TOP500 リストの Rpeak の値) に対する LINPACK 性能 (同 Rmax の値) の割合 (これを、ここでは LINPACK 効率と呼ぶ) の分布も算出できる。TOP500 のランキングは図表 3 の横軸に対応し、右から左に向けて TOP500 の 1 位から 500 位までが並んでいる。図表中で、「京」と「Jaguar」は CPU ベースのシステムであり、「天河-1A」はアクセラレータを採用したシステムである。

図表2 使用用途別の分布



第37回 TOP500 を基に科学技術動向研究センターにて作成

図表3 TOP500 までのシステムのLINPACK 性能と LINPACK 効率の分布



第37回 TOP500 を基に科学技術動向研究センターにて作成

図表3から、「京」はLINPACK性能とLINPACK効率がともに非常に高いシステムであると言える。「世界トップクラスの大規模スーパーコンピュータとしては驚異的に高い実行効率93.0%を達成した。これは数万個におよ

ぶCPUとそれらを相互に接続するインターコネクト、これらハードウェアの性能を極限まで引き出すソフトウェアの全ての技術が結び付いて実現できた」と理研は発表している⁴⁾。また、「京」は、スーパーコンピュータの電力効率

のランキングであるGreen500⁷⁾でも上位にランク(1W当たり8.2億回の演算実行)されている。「京」は、これらの諸点の優位性において、世界の専門家からの注目を引いている。

3 導入国の国際的な広がり (導入のグローバル化)

この章では、最新のTOP500リスト、および過去のTOP500リストから、スーパーコンピュータを導入する国々の傾向を示す。

3-1

ペタスケール スーパーコンピュータの 開発状況

図表4に、今回のTOP500リストに掲載された導入国28カ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。

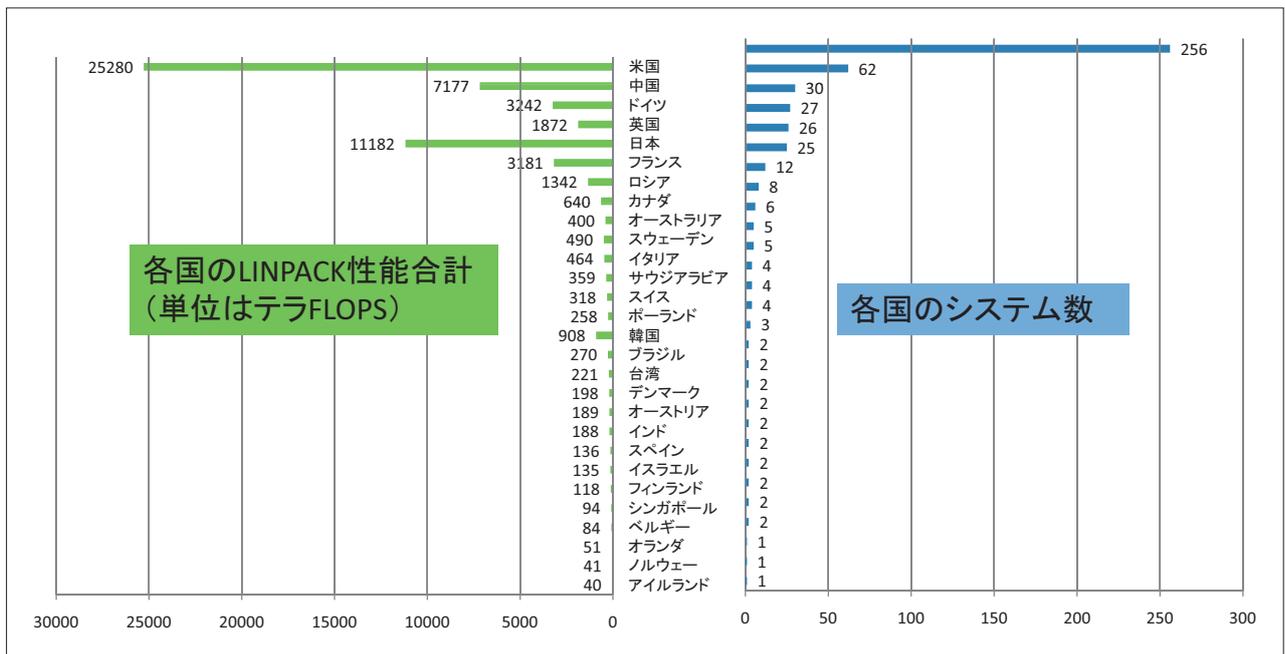
図表4から、システム導入国に偏りがなく世界中に広がっている状況がわかる。地域別にシステム数の多い順で述べると、米国の256システム(2010年11月の第36回では274システム)、欧州の126(同125)、アジアの103(同83)の順である。アジアでは、中国の62(同42)、日本の26(同26)の順となっている。欧州はドイツの30(同26)、英国の27(同24)、フランスの25(同26)で、ロシアの12の順となっている。

特にさらに注目されるのは、ペタスケールの性能をもつスーパーコンピュータ(ピーク性能で1PF以上をもつシステムとする)

の導入国の広がりである。2011年6月時点で、ペタスケールスーパーコンピュータを保有している国々は6ヶ国存在し、LINPACK性能合計が1PF以上の国々は7ヶ国存在する。図表5に、その7ヶ国の過去10年のLINPACK性能の合計の推移を示す。

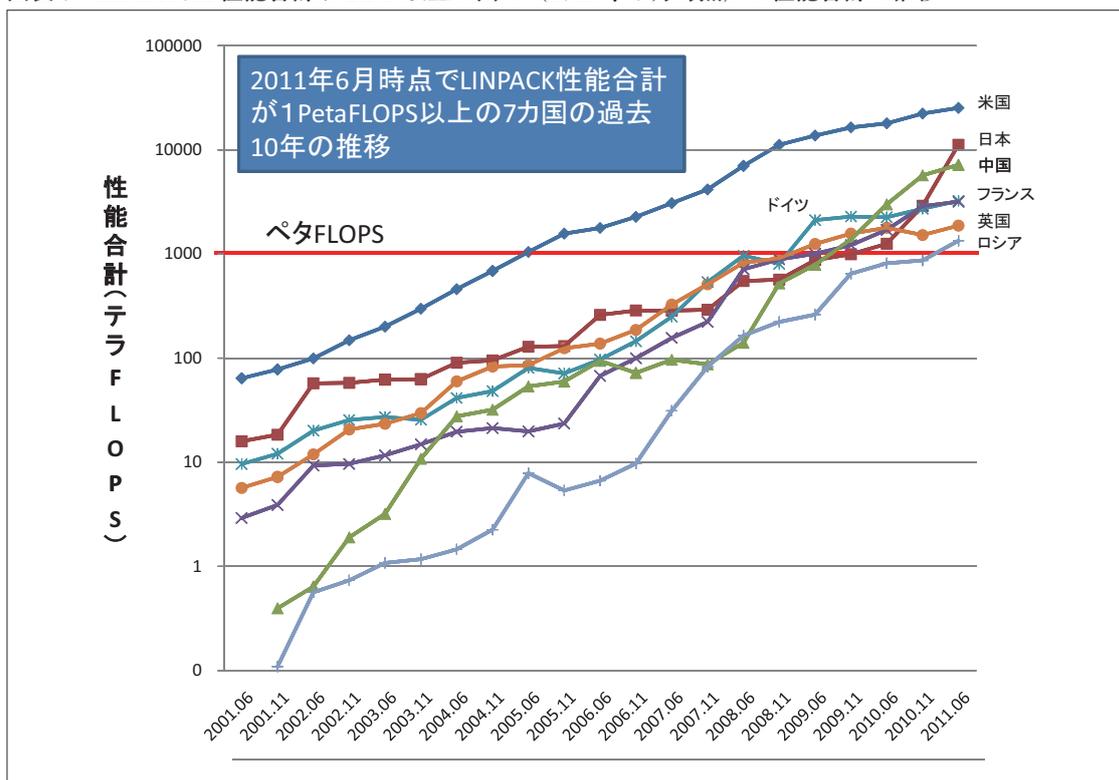
図表5から明らかなように、米国の優位さは続いている。2位以下では、2007年以前は日本が2位を維持していたが、それ以降からは混沌とした状態になってきている。2011年6月時点では、日本・中国・フランス・ドイツ・英国・ロシアの順である。上位7ヶ国は、米国以外では欧州とアジア2国に分けられる。これらの国々

図表4 導入国別のシステム数と性能合計



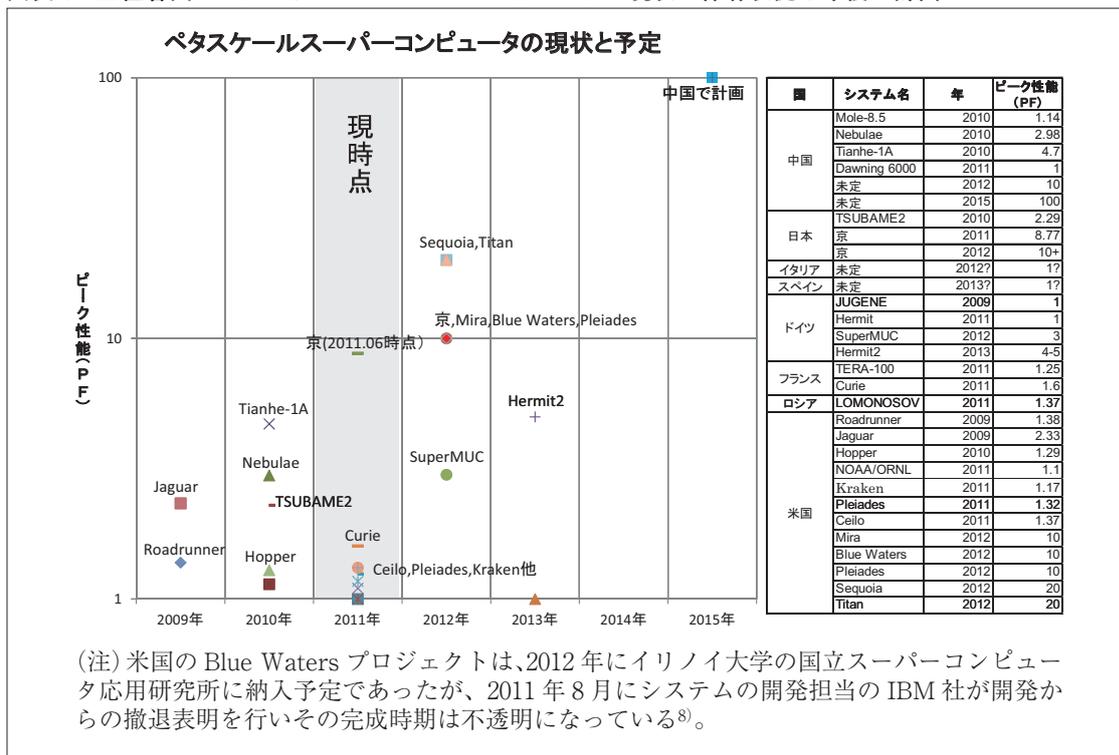
第37回TOP500を基に科学技術動向研究センターにて作成

図表5 LINPACK性能合計が1 PF以上の国々（2011年6月時点）の性能合計の推移



過去のTOP500リストを基に科学技術動向研究センターにて作成

図表6 上位各国のペタスケールスーパーコンピュータの現状の保有状況と今後の計画



第37回TOP500他を基に科学技術動向研究センターにて作成

を2位グループと捉えると、最近の特徴として、この2位グループの伸びが急峻であることが分かる。

図表6には、上位国のペタスケールスーパーコンピュータの現在の保有状況と今後の計画を示

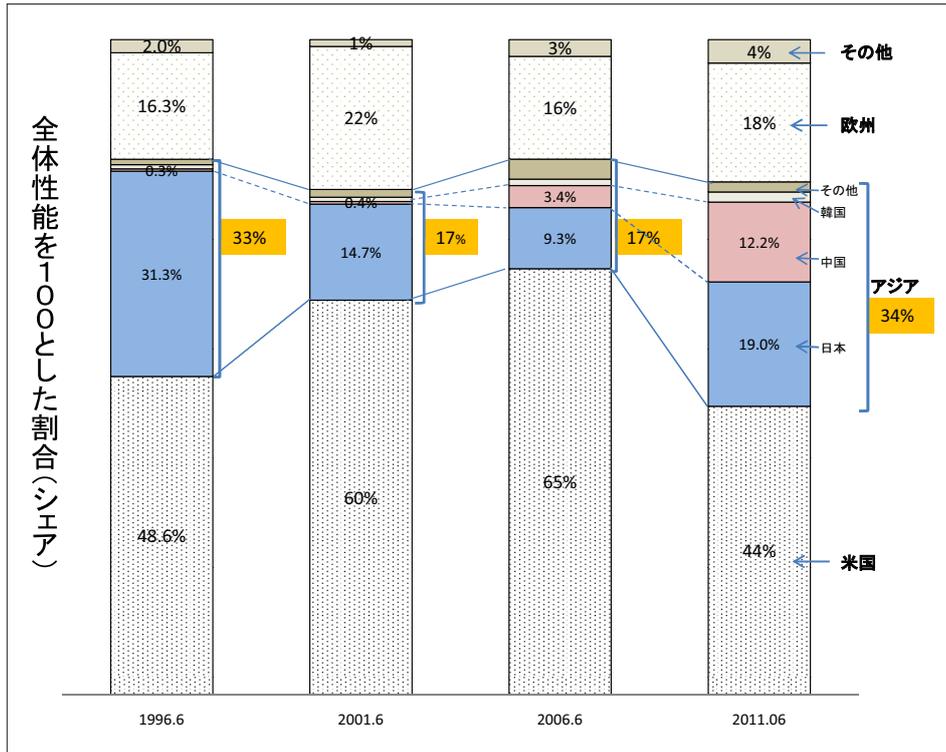
す。今後も目白押しの強化計画が見える。2012年以後に10PF以上のシステムが多数登場すると推測される。

3-2

過去20年の世界の変化

図表7では、米国・欧州・アジア

図表7 世界の過去20年間のLINPACK性能合計(割合)の推移



過去のTOP500リストを基に科学技術動向研究センターにて作成

などの過去20年間のLINPACK性能合計の推移を5年毎に示す。2011年6月の米国・アジア・欧州のシェアの形は、1996年6月のそれとよく似ておりアジアが復活している。

アジア内では、1996年にアジア内で95%のシェアをとっていた日本に代わり、2006年以降に中国が大きく伸びている。欧州は20

年間ほぼ横ばい状態が続いている。

図表7にはまだ明確でないが、アジアでは今後の韓国の導入の動きが注目される。韓国では、2011年5月に政府がNational Supercomputing Promotion Actを発表し、国家的投資によるスーパーコンピューティングの強化を図ろうとしている。この法律の目標は、韓国におけるHPCインフラ

ストラクチャーへのバランスある投資と政府各省庁間の活動を調整することである。主な投資内容としては、スーパーコンピューティング施設、アプリケーション、研究開発、教育とトレーニングなどが挙げられており、9省庁の参加のもとでの、国家スーパーコンピューティングセンターの設立などが計画されている⁹⁾。

4 自主開発国の拡大

近年、スーパーコンピュータを自国で生産する国産化が広がっている。過去は、主に米国と日本だけがスーパーコンピュータの生産国であった。しかし、現在は、中国・フランス・ロシア・インドも国産化を始めている。特に中国ではスーパーコンピュータの心臓部でもあるマイクロプロセッサの開発も進めている。

以下に、導入に限らず開発まで世界レベルで広がっている実態を国ごとに記す。

4-1

中国

HPCに中国が注力してきた背景には国家ハイテク研究開発プログラム(通称863プログラム)がある。863プログラムは、中国における最重要な国家科学技術の研究開発プログラムの一つであり、

1986年3月に中国の4人のシニア科学者が当時の鄧小平主席に提言し承認されたプログラムである。この年月を用いて863プログラムといい、HPCもその対象の一つに含まれている。

中国は、1990年以降、5年毎のスーパーコンピュータの研究計画を策定している。2001~2005年にはテラFLOPSスーパーコンピュータとHPC環境の開発を目標とし、2006~2010年にはペタFLOPSスーパーコンピュータと

グリッドコンピューティング環境の強化を進めている。第11次5カ年計画では、ペタ FLOPS クラスのスーパーコンピュータ開発、グリッドサービス環境の構築、スーパーコンピュータとグリッドに対するアプリケーションソフトウェア開発が主な対象であった^{10,11)}。

スーパーコンピュータの開発は2フェーズからなり、第1フェーズでは、100テラ FLOPS の性能をもつ2つのシステムの開発、そして第2フェーズでは、ペタ FLOPS の性能をもつ3つのシステムを開発することとされていた。第1フェーズの成果は、Dawning5000A（上海スーパーコンピュータセンターに設置）と Lenovo DeepComp7000（中国科学院コンピュータネットワーク情報センターのスーパーコンピューティングセンターに設置）、そして第2フェーズでは、天河-1A（国家スーパーコンピュータセンター天津に設置）、Dawning6000（スーパーコンピュータセンター深圳に設置）、Sunway BlueLight（江南/山東スーパーコンピューティングセンターに設置）となっている¹²⁾。

中国が2002年から毎年秋に発行している中国内の上位100システムのリストでは、2010年には上位10位では1位から7位まですべて中国製のスーパーコンピュータが占めている。2003年頃は外国製の導入が約70%であったが、2010年には中国製が約50%に達しており、性能別では、中国ベンダー製のシステムが81%を占めていると公表されている^{13,14)}。

中国の科学技術省の発表では、「核高基（ホーガオジー）」という国家プロジェクトの支援を受けて開発された成果として、国防科学技術大学（National University of Defense Technology : NUDT）の「天河-1A（Tianhe-1A）」と共に、マイクロプロセッサ「FT-1000」、

高セキュリティ OS「銀河麒麟（Kylin OS）」、中国科学院のマイクロプロセッサ「龍芯（Godson/Loongson）」などが挙げられている¹⁵⁾。このように、中国では国産のマイクロプロセッサ開発にも力が注がれている。

中国は、第11次5カ年計画以降、「自主创新」政策を展開しており、この「自主创新」とは、「中国産の」という意味が込められ、国内企業による技術革新を前提にしているとの報告もある¹⁶⁾。この「自主创新」政策が、中国が自国製のスーパーコンピュータやマイクロプロセッサ開発を強力に推進する背景とも考えられる。

4-2

フランス

欧州各国は、過去には米国や日本などの外国製スーパーコンピュータを調達してきた。その時期の戦略は、導入したスーパーコンピュータの利活用、ソフトウェア面で優位性を確保することであった。しかし、最近、フランス企業の Bull 社は、自主開発を積極的に進めている。すでに、フランス原子力庁（Commissariat à l'Énergie Atomique : CEA）にピーク性能 1.25 PF（LINPACK 性能 1.05 PF）の TERA-100 というシステムを納入した。Bull 社のシステムは、第37回 TOP500 リスト中に合計10システムが掲載されており、フランスをはじめドイツや英国が導入している。

4-3

ロシア

2009年7月にロシアのメドベージェフ大統領が、「自国のスー

パーコンピュータやグリッドコンピューティングでの遅れを深刻に認識した」という発言をしている。その時点でのロシアのシステム数と LINPACK 性能合計値で考えると、米国の約 1/50 以下、ドイツ・英国・フランス・日本・中国などの約 1/3 以下であり、大きく出遅れていた。この遅れをとり戻すため、2011年までに1ペタ FLOPS のスーパーコンピュータを開発するために、政府から25億ルーブル（2011年6月の換算レートで約70億円）が拠出される計画が報道された¹⁷⁾。

2011年現在、この予定は完全に実現されている。ロシアでは、自国企業である T-Platforms 社がスーパーコンピュータの開発を手掛け、ロシア内を中心に販売実績を大きく伸ばしている。2011年には、ピーク性能 1.37 PF（LINPACK 性能 674 TF）の Lomonosov と呼ばれるシステムをモスクワ州立大学に納めている。

4-4

インド

インドでは、過去にもスーパーコンピュータを自国で開発する企業があったが、高性能のシステムは開発されていなかった。しかし、最近、Indian Space Research Organization (ISRO) とインド企業の Wipro 社は、インドで最速となるスーパーコンピュータを開発した。これは、SAGA-220 と呼ばれる航空宇宙用のスーパーコンピュータで、CPU と GPU（画像処理用のプロセッサ）からなるハイブリッドアーキテクチャのシステムであり、ピーク性能は 220 TF である¹⁸⁾。インドのそれ以前の最速システムは、外国製のシステムでピーク性能は 172 TF であった。

5 研究開発のグローバル化

ここでは3つ目のグローバル化と言える、他国との連携による研究開発の推進状況を述べる。スーパーコンピュータの性能要求はとどまるどころを知らないが、今後の更なる高性能化に向けて挑戦すべき課題は山積している。ハードウェア面の課題、超並列のスーパーコンピュータの性能を最大限に引出すソフトウェア面、利用面など課題は広範囲である。これらの課題克服をめざし、現在は、多くの国々の連携により世界の英知を集めた研究開発が進められている。

5-1

欧州での研究開発

5-1-1 エクサスケールに向けた取り組み

(1) European Exascale Software Initiative (EESI)

EESIは、EUのファンドを受けて進められている活動である。そのゴールは、2010年にマルチペタ FLOPS 性能、および2020年にエクサ FLOPS 性能を目標と

するスーパーコンピュータ上で、科学計算を実行するために克服しなければならない課題を明らかにし、欧州として何を研究開発すべきか、そのためのロードマップをどのようにするか、などをワーキンググループを編成して検討している。具体的には、国際的な競争に対して欧州の強い点と弱い点の明確化、活動の優先度付け、次世代の計算科学者の教育や訓練のためのプログラム、欧州以外も含めたコラボレーション機会の発見と促進などを検討している。この活動は、2010年6月1日から18ヶ月間の予定であり、現在、115人の専門家、欧州の14カ国が参加している¹⁹⁾。

(2) EU-Call ICT-2011.9.13

EUの第7次研究枠組み計画(FP7)の情報・通信(Information and Communication Technology: ICT)分野での研究公募の中にエクサスケールコンピューティングをめざしたEU-Call ICT-2011.9.13がある。公募の正式名称は、Exascale computing, software and simulationであり、FP7の中で最

初にエクサスケールテクノロジーに特化した公募である。2011年1月にEU内の複数の参加国からなる3プロジェクトが選定され、各々800万ユーロの支援を行うことになった²⁰⁾。各プロジェクトの名称を以下に示す。

- ・MontBlanc: European scalable and power efficient HPC platform based on lowpower embedded technology
- ・DEEP: Dynamical Exascale Entry Platform, Hierarchical Concurrency Approach
- ・CRESTA: Collaborative Research into Exascale Systemware, Tools and Applications

(3) 国際連携のための研究所開設とパートナーシップ締結

欧州では、エクサスケールを目指した国際連携のための研究所の開設やパートナーシップの締結が盛んに進められている。最近の例を図表8に示す。

欧州各国は、こうした連携を通じ将来の欧州のプレゼンスの向上を図ろうとしている。

図表8 エクサスケールを目指して開設された研究所およびパートナーシップ

名称	設置国	参加組織
Exascale Innovation Center ²¹⁾ (EIC)	ドイツ	ユーリッヒ研究センター、IBM社
ExaCluster Laboratory ²²⁾ (ECL)	ドイツ	ユーリッヒ研究センター、Intel社他
EX@TEC ²³⁾	フランス	CEA、GENCI、Intel社他
Flanders ExaScience Lab ²⁴⁾	ベルギー	IMEC、Intel社他
Exascale Stream Computing Collaboratory ²⁵⁾	アイルランド	トリニティカレッジダブリン、IBM社他
Exascale Technology Center ²⁶⁾	英国	エジンバラ大学、Cray社

5-1-2 欧州全体としての スーパーコンピュータの共同設置

欧州では、欧州の科学者・技術者に世界最高クラスのスーパーコンピュータを国を超えて提供することを目的として PRACE イニシアティブ (Partnership for Advanced Computing in Europe 以下、PRACE)^{27~29)} が既に設立されている。PRACE のメンバー国は 2011 年 6 月時点で欧州の 21 カ国となっている。

欧州各国で共同利用可能なペタ FLOPS クラスの性能を有するシステム (Tier-0 システムという) としては、ドイツのユーリッヒ研究センターの JUGENE (ピーク性能 1 PF) を第 1 号機として、既に使用を開始している。続いて、フランス原子力庁の CURIE (ピーク性能 1.6 PF 予定) を 2011 年後半に、ドイツのシュトゥットガルト HPC センターの HERMIT (ピーク性能 1 PF) を 2011 年末、HERMIT のアップグレード版 (ピーク性能 4 から 5 PF) を 2013 年に、ドイツのライプニッツスーパーコンピューティングセンターの SUPER-MUC (ピーク性能 3 PF) を 2012 年半ばにそれぞれ使用可能とする見込みである。

PRACE の世界最高クラスのスーパーコンピュータの共同利用という動きは、今後のエクサスケールシステムの共同利用にも発展する動きととらえられる。

5-2

国際的な動き

図表 1 を外挿するとエクサ FLOPS 性能をもつシステムの出現時期は 2018 年から 2020 年頃と推定される。エクサ FLOPS システムのアーキテクチャはどのようになるか、あるいは、その時

期のスーパーコンピュータ上で実行されるソフトウェアにおける課題は何かを検討する国際的なプロジェクトがある。これは、International Exascale Software Project³⁰⁾ (以下、IESP とする) と呼ばれている。

エクサ FLOPS の性能を達成するためのシステムアーキテクチャには非常に大きな挑戦課題がある。1 エクサ FLOPS へ到達するには、2010 年 6 月時点の TOP500 の第 1 位のピーク性能である 2 PF に対し、500 倍の性能向上が必要である。しかし、所要電力は、2010 年の 6 MW に対し、1 エクサ FLOPS では 20 MW と約 3 倍強の増加に止めたいとされている。これは、現在の技術の延長では所要電力量が膨大になりすぎて運用費用を含めた現実的なシステム構築が不可能となるため、上限として 20 MW を目指しているものである。この目標の達成には革新的な低電力化技術の開発という難問が立ちだかる。演算部の規模でみると、2010 年の 18,700 ノード (ノードは、演算処理部分であり、ノード内には複数の演算コアが収容される) に対し、100,000~1,000,000 ノードと、その量は最大約 50 倍にまでに膨れ上がる。このような沢山のノードを同時並列に動作させるには、ノード内の演算コア間、ノード間にまたがる演算コア間のデータ転送時間が全体の性能を律速することになり、少なくともデータ転送の高速化は必須となる。ノード間のデータ転送量は、1.5 ギガバイト / 秒 (GB/s) から 200 GB/s と 130 倍以上が必要と想定されており³¹⁾、高速なデータ転送を実現できる超高速インターコネクタが必要となる。また、膨大なハードウェア量であるが故、システムには高い信頼性・弾力性が要求されることは当然である。そして、このような構成条件下でシステムの

能力を引出し、超並列処理を効果的に実現するためのソフトウェアとソフトウェア開発環境、そしてアプリケーションソフトウェアが必要になる。

IESP というプロジェクトが特に問題にしている点は、ソフトウェア面である。これは、ハードウェアの進展に比べソフトウェアの進展が取り残されている現状があることに因る⁶⁾。テラスケール、ペタスケールコンピューティングのために使用されている既存のソフトウェアは、エクサスケールコンピューティングのためには不十分であり、ソフトウェアにおける抜本的な進展がないとエクサスケールで効果的に動作するソフトウェアの実現は難しいと考えられている。

IESP の活動は、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、様々な国々のスーパーコンピュータ関連の専門家に参加が呼びかけられ、共同作業が開始された。現在、米国を中心に、欧州・日本・中国の研究者が共同で作業をしている。2011 年 2 月にエクサ FLOPS システムで実現されなければならないと想定される共通的な技術が、ロードマップとしてまとめられた。目標とするシステムアーキテクチャを実現するためのソフトウェアの技術課題が、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に大別され、想定される要素技術が検討されている。このロードマップ作成の関係者として世界中で 65 人の名前が載せられており、日本からは 7 人の名前が記載されている^{32,33)}。今後は、このロードマップで明確にされた「何を作るべきか」から「いかにそれを作るべきか」に議論の焦点が移行する段階になっている。

6 おわりに

本稿では、LINPACK の TOP500 にみる世界のスーパーコンピュータを概観し、3つのグローバル化の現状を述べた。これら3つのグローバル化の意味するところは、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何らかの影響を及ぼすという認識が定着してきたことであろう。

導入のグローバル化は、シミュレーションを武器にして科学技術による国力を支える基盤としてスーパーコンピュータが認識されてきたことを示していると考えられる。数値シミュレーションが、「理論」「実験」に次ぐ「第3の科学」として定着し、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。システムの性能としては、必然的により高性能が求められており、既に多くの国々が、ペタ FLOPS レベルのピーク性能をもつシステムを所有している。

自主開発国の拡大は、自主開発により、科学技術のレベルにおいて優位性を確保すべきという認識が広まった結果と考えられる。今後とも、この拡大傾向は継続すると思われる。しかし、より高性能のスーパーコンピュータの開発には難問が山積しており、その解決は一国の努力だけでは難しい。

そこで、3つ目のグローバル化である他国との連携による研究開発の推進という解が現れている。世界中の研究者の英知を結集する

ための国際連携による研究開発が進められている。

これら3つのグローバル化は必然として連続的に起きてきたと言える。特に、これからの高性能なスーパーコンピュータの研究開発には、他国との連携は必須となろう。しかし、自国の優位性確保と他国との連携との間には相互矛盾が生じうる。自国の優位性を認識し、それを強みとして他国との連携に取り組むことが望ましい。

したがって連携を優位に進めていく上で最も大切なことは、まず自国が世界に認められる強さを具備していることであろう。強い部分がないと世界から相手にされないのは自明である。日本には、「京」という世界で No.1 の優れたスーパーコンピュータを作り出した技術力があり、これは、日本の持つ強さと言える。

「京」の能力を最大限に引出し、目に見える成果に結びつけることも効果があるだろう。現在、「京」の利活用を目指して、様々な利用技術（アプリケーションソフトウェア等）が開発されつつある。グランドチャレンジアプリケーション開発プログラムの「次世代生命体統合シミュレーション研究開発」と「次世代ナノ統合シミュレーションソフトウェア研究開発」、そして戦略分野の「予測する生命科学・医療および創薬基盤」、「新物質・エネルギー創成」、「防災・減災に資する地球変動予測」、「次世代ものづくり」、「物質

と宇宙の起源と構造」などにおける利用技術である⁵⁾。これらの利用技術においても世界で No.1 といえる優れた成果を出し、日本の強さを示すことが必要である。システム面とともに利用技術面においても日本の強さを世界に印象づけることが、世界中からの注目を勝ち取る大きな機会となる。

世界の研究者は、世界一の技術を持つ場所や研究が行える場所に注目し、集まってくるものである。今後は「京」を軸に、日本の強さを示し、国際的な連携を積極的に進め、世界の優れた研究者の知恵も吸収することで、日本の技術力を一層高めていくことが望ましい。

用語集

- ・ EESI : European Exascale Software Initiative
- ・ FLOPS : Floating point number Operations Per Second
- ・ FP7 : 7th Framework Programme
- ・ HPC : High Performance Computing
- ・ IESP : International Exascale Software Project
- ・ LBNL : Lawrence Berkeley National Laboratory
- ・ LINPACK : LINear equations software PACKage
- ・ NERSC : National Energy Research Scientific Computing Center
- ・ PF : Peta FLOPS

参考文献

- 1) <http://www.top500.org/>
- 2) スーパーコンピュータの開発競争と新ベンチマーク設定の動き（科学技術動向 2004年8月号）

- 3) スーパーコンピュータの新たな性能リスト Graph500 の登場 (科学技術動向 2011年2月)
- 4) <http://www.riken.jp/r-world/info/release/press/2011/110620/index.html>
- 5) 次世代スーパーコンピュータ計画の経緯とねらい (井上輸一、日本物理学会誌、2011. Vol.66)
- 6) 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 2009年11月)
- 7) <http://www.green500.org/>
- 8) <http://www.ncsa.illinois.edu/BlueWaters/system.html>
- 9) HPC Activities in Korea (Jysoo Lee, Korea Institute of Science and Technology Information, 2011.06 HPC in Asia Workshop)
- 10) 第11次5ヶ年計画で拡充が進んだ中国の国家グリッド (科学技術動向 2011年8,9月号)
- 11) 中国のスーパーコンピュータの研究開発の急激な進展 (科学技術動向 2010年7月)
- 12) Status and Perspectives on Trans-Petaflops HPC Development in China (Yunquan Zhang, Institute of Software, Chinese Academy of Sciences, 2011.06 ISC'11)
- 13) 中国におけるスーパーコンピュータの自主開発への動き (科学技術動向 2009年2月)
- 14) State-of the-Art Analysis and Perspectives of China HPC Development : A View from HPC TOP100 (Yunquan Zhang, Institute of Software, Chinese Academy of Sciences, 2011.06 HPC in Asia Workshop)
- 15) http://www.most.gov.cn/kjbgz/201103/t20110324_85613.htm
- 16) 中国の自主创新は成るか?—第12次五ヶ年計画期を迎える中国の科学技術政策— (森永正裕、アジ研ワールド・トレンド No.189, 2011年6月)
- 17) ロシアにおけるスーパーコンピュータの開発強化の動き (科学技術動向 2009年9月)
- 18) http://www.isro.org/pressrelease/scripts/pressreleasein.aspx?May02_2011
- 19) European Exascale Software Initiative Motivations, first Results and Perspectives (Jean-Yves Berthou, EDF R&D, 2011.06 ISC'11)
- 20) Trans-Petaflop/s Initiatives in Europe (Thomas Lippert, Jülich Supercomputing Centre, 2011.06 ISC'11)
- 21) <http://www-03.ibm.com/press/de/de/pressrelease/30110.wss>
- 22) http://newsroom.intel.com/community/en_eu/blog/2010/05/31/intel-expands-european-high-performance-computing-research
- 23) <http://www-hpc.cea.fr/en/collaborations/docs/exatec.htm>
- 24) IMECによる新たな2つのオープンイノベーション型 R&D (科学技術動向 2010年8月)
- 25) <http://www.ibm.com/news/ie/en/2008/11/25/e502955h74656w51.html>
- 26) <http://www.epcc.ed.ac.uk/news/epcc-and-cray-launch-exascale-technology-centre>
- 27) <http://www.prace-project.eu/>
- 28) 欧州におけるペタスケールコンピューティングの動向 (科学技術動向 2007年10月)
- 29) 欧州スーパーコンピュータシステムの配備計画の進行 (科学技術動向 2008年7月)
- 30) http://www.exascale.org/iesp/Main_Page
- 31) Trans-Peta Initiatives in the USA (Horst Simon, Lawrence Berkeley National Laboratory and UC Berkeley, 2011.06 ISC'11)
- 32) <http://www.exascale.org/mediawiki/images/2/20/IESP-roadmap.pdf>
- 33) INTERNATIONAL EXASCALE SOFTWARE PROJECT (Jack Dongarra 他、2011.06 ISC'11)

執筆者プロフィール



野村 稔

客員研究官
科学技術動向研究センター
<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、LSI 設計技術等、情報通信分野での科学技術動向に興味を持つ。