

## 第一章 スパコン「天河1A」、「星雲」

2010年11月に公表された、スパコンの性能世界ランキングTOP500で、中国の「天河1A」と呼ばれるスパコンが世界一となった。この結果は画期的であり、中国の科学技術力の一端を現している。

### 世界のスパコン開発

スパコンは、地球的規模の気候変動の予測や医薬品の開発などに必須の研究装置である。かつて日本が開発したスパコン「地球シミュレータ」は、気候変動の予測などを目的として開発したものであり、2007年にノーベル平和賞を受賞した「気候変動に関する政府間パネル（IPCC）」にも大きな貢献をしている。

スパコンのハードウェア開発で、先陣を切ってきたのが米国と日本である。米国は、スパコンを含む計算機分野を開拓してきたパイオニアであるとの自負が強く、スパコン開発に全力を注いでいる。「地球シミュレータ」が2002年に世界最高性能を達成した際、米国ではソビエト連邦が1957年に人類初の人工衛星打ち上げに成功した際の「スプートニク・ショック」の再来として、危機感が強く叫ばれた。スパコンは単に一般科学技術に貢献するだけでなく、軍事研究にとっても重要な装置であると米国は見ている。とりわけ核実験が国際世論の批判もあって非常に困難になるなか、計算機上で核実験を模擬しうる手段がスパコンである。この分野で他国に先を越されるのは、国の安全保障からして深刻な事態となるとの認識が広まった。このため米国政府は、官民挙げて世界最高性能のスパコン開発を進め、2年半後に世界一を取り戻した。

米国について、スパコンのハードウェア開発に力を注いでいるのが日本である。2009年、自由民主党政権から民主党政権になった際に行われた事業実施仕分けで、蓮舫参議院議員が「なぜ、スパコンで世界一になる必要があるのでしょうか？ 2位では駄目なんですか？」と発言したのを覚えておられる方も多いと思う。しかし、ノーベル賞化学賞受賞者の野依良治（1938～）博士が理事長である理化学研究所（以下「理研」と略す）はスパコン「京」の開発を続け、ついに2011年6月に世界一を奪還した。12年6月のランキングでは、米国の「セコイア」というスパコンに世界一を奪われたが、それでも日本は「京」の利用をさらに拡大するとともに、次なるプロジェクトの検討を開始している。

これまでのスパコン開発は米日が中心であり、後れをとった欧州諸国はハードウェア開発には注力せず、ソフトウェア開発などに活路を見いだそうとしている。

## 中国はどうか

中国は遅れてスパコン開発に乗り出したが、その急激な成長ぶりには目を見張るものがある。中国では、三つの系統で技術開発が進められている。一つ目は、国防科学技術大学が開発主体である「銀河シリーズ」。国防科学技術大学は「銀河1号」を1983年に開発し、すでに30年の歴史を持っている。二つ目は中国科学院および曙光信息产业股份有限公司が開発主体である「曙光シリーズ」であり、三つ目は国家並行計算機工程技術研究中心が開発主体である「神威シリーズ」である。

これまでの中国のスパコンは、性能面で比較的凡庸なこともあり、あまり注目されなかった。しかし2004年、曙光シリーズの1つである上海スパコンセンターの「曙光4000A」が、TOP500ランキングで中国のスパコンとして初めてトップテン入りしたことを契機に、徐々に世界トップレベルのスパコンを開発する能力を持つに至っている。

2010年11月には、銀河シリーズの流れをくむ天津スパコンセンターの「天河1A」が、ついにTOP500ランキングで世界最速のスパコンとして認められる快挙を達成した。同じランキングで、曙光シリーズの流れをくむ深圳スパコンセンターの「星雲」も、第3位に入った。日本の理研の「京」がトップとなった2011年6月のランキングでも、「天河1A」は第2位、「星雲」は第4位と、引き続き高い評価を維持した。

### 「天河1A」

渤海湾に面した天津市の郊外にある天津滨海新区には、ハイテク企業や研究所の集積をめざす広大なリサーチパークが立地している。このリサーチパーク内に「天津スパコンセンター（国家超級計算天津中心）」があり、「天河1A」が設置されている。なお、天津市は中国に4つある直轄市の1つ（他の3つの直轄市は、北京市、上海市、重慶市）で、省と同格の行政単位である。



天津スパコンセンター外観

「天河 1A」を開発したのは、銀河シリーズの開発を進める国防科学技術大学である。中国には、日本の文部科学省に当たる教育部所管の大学以外に、他の組織が所管している大学がある。国防科学技術大学もその1つで、中国人民解放軍の技術系高等教育機関として、1953年内陸部の湖南省長沙市に設立された。

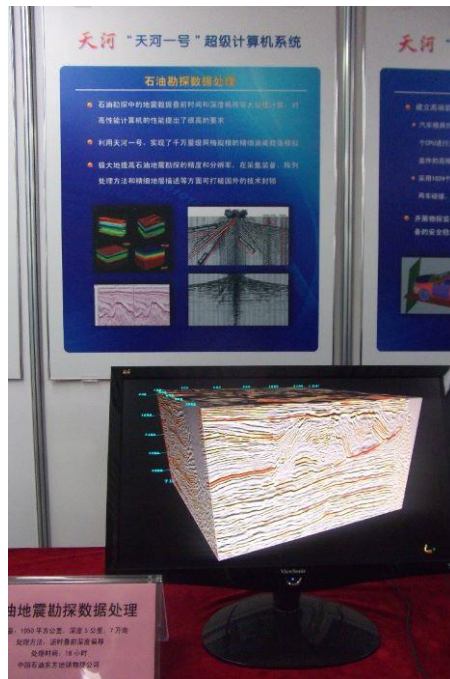
「天河 1A」の開発責任者の一人が、国防科学技術大学の女性教官である卢宇彤氏である。彼女は同大学の計算機学院の教授で、天河プロジェクトの主任設計師である。中国のインターネット・サイトの「新浪網」の2010年12月23日付け記事には、卢宇彤教授は肌が白くすらりと背の高い女性であり、インタビューに応じた関係者の中で「万緑叢中の紅一点」とある。記事には年齢がないが若手の俊才であろう。「天河 1A」の開発担当者の平均年齢も、30歳と非常に若い。

天津スパコンセンターの1階に、スパコンのサーバールームが設置されている。同センターにはハードウェアだけが置いてあり、中国各地のユーザーはネットワークを経由してスパコンにアクセスしている。したがって、センターにいるスタッフ十数名はスパコンの保守管理の技術者が中心であり、ユーザーである研究者や学生などはセンターに常駐していない。

開発費をできるだけ低く抑えるため、建物は既存のビルを転用し、サーバーをおくための部屋も少し床を上げるだけの簡単な改修工事で済ませた。スパコンの心臓部に当たるプロセッサは、大部分が米国インテル社のCPU (Central Processing Unit : 中央演算処理装置) と米国 NVIDIA 社のGPU (Graphics Processing Unit : 画像データ処理集積回路) から成り立っている。CPUだけでなくGPUを多用しているのは中国のスパコンの特徴であるが、これについては後述する。中国オリジナルのプロセッサ「Galaxy FT-1000」も使われているが、数は少ない。

2009年11月のTOP500ランキングで、「天河 1A」の前身である「天河 1」が第5位に入り、一躍脚光を浴びた。その時の計算速度は563テラ FLOPSであったが、モデルチェンジ後の「天河 1A」ではCPU数を追加し、GPUを米国AMD社のチップから現在のNVIDIA社のものに変更して数も追加した結果、計算速度が「天河 1」に比較して5倍程度上昇し(2.57ペタ FLOPS)、2010年11月のTOP500ランキングで世界一となった。なお、コンピュータの処理能力の単位であるFLOPSとは、「floating point operations per second」の略であり、この値が大きいほど計算速度が速い。

ところが、すでに供用開始されている「天河 1A」は、活発に使われている様子がない。天津スパコンセンターにある広報用のパネルには、科学技術のハイテク分野におけるシミュレーションの例示がひと通り展示されているが、実際に使われているかどうかは不明である。したがって、機器開発先行で実用に向けての研究が立ち遅れているという批判があり、「天河 1A」の性能に合ったソフトウェアの開発がこれからの課題といえよう。



スパコンを使って解析した地中の画像データ  
石油探索に用いるデータで、後のパネルに  
解説が載っている。

## 「星雲」

「星雲」は、香港行政特別区に近い広東省深圳市に設置されている「深圳スパコンセンター（国家超級計算深圳中心）」に設置されている。深圳市は、1980年に当時の中国の最高指導者であった鄧小平の指示で経済特区に指定され、他の都市に先駆けて経済発展した。中国の有名大学である北京大学や清華大学などは深圳市に分校を設置しており、深圳スパコンセンターはこれらの分校が並ぶ学園エリアにある。「星雲」は、2011年11月に稼働を開始した。

「星雲」は、中国科学院計算機技術研究所が開発し、製造も中国の企業、曙光信息产业股份有限公司が手掛けている。同研究所が2002年から開発する「龍芯プロセッサ」と呼ばれるCPUが使用されている。ただし「天河1A」と同様に、インテル社のCPUとNVIDIA社のGPUも使われており、全体の計算能力は米国社製のチップに頼っているのが実情だ。「星雲」の心臓部に当たるサーバールームは5階建ての建物の2階にあるが、3階および4階にもスペースがあるため、現在の3倍の床面積に拡張することが可能である。ただし、現時点で処理能力の10%程度しか使われていないため、拡張計画はない。



「星雲」のサーバールーム  
筐体に「NEBULA (E)」と書かれているのが見える

「星雲」には、「天河 1A」と比較すると、若い研究者や技術者が大勢携わっている。彼らはセンターの職員であり、「星雲」を利用するためのライブラリーの開発、パッケージソフトの開発、セキュリティ対策などを行っている。その他に保守専門の職員もおり、コントロールルームに詰めていた。

### ハイブリッド型の功罪

「天河 1A」や「星雲」の大きな特徴は、前述したように GPU を併用していることである。CPU と併せて GPU を利用するスパコン（「ハイブリッド型スパコン」と呼ばれる）は、米国をはじめとする各国で開発されている。日本にも、東京工業大学が「TSUBAME2」という、GPU を併用しているスパコンである。

GPU は、画像データを処理するために開発されたチップである。パソコンでゲームを楽しんだことのある人は、GPU をご存じだと思う。ゲームを楽しむためには、綺麗で精密な画像が必須である。しかし、画像をコンピュータ上で再現しモニターに描出させることは、パソコンの計算リソースを大幅に使うことになる。それを補うのが GPU である。GPU のメーカーとしては、米国の NVIDIA 社が最大手であり、ソニーはかつてゲーム機「プレイステーション」用の GPU を NVIDIA と共同開発した。

ハイブリッド型スパコンは、CPU だけのスパコンに比べ安く作ることができる。なぜなら GPU は、CPU の持っているコンピュータ制御機能をほとんど省き、計算機能に特化したチップだからだ。チップ当たりの計算性能比較では、CPU に比べて圧倒的に高いため、少ないチップ数で安く開発できるのだ。

ただし、GPU だけではスパコンを構成できない。コンピュータ制御機能を持つ CPU を使う必要があるため、ハイブリッド型スパコンは、GPU と CPU をバランスよく協調させることが必要となる。CPU だけのスパコンより利用や運用に困難を伴うのが、ハイブリッ

ド型の課題といえよう。

#### 画期的な成果だが・・・

「天河 1A」は 2010 年 11 月に Top500 ランキングで 1 位を獲得して以来、半年ごとの更新で 2 位、2 位、5 位となり、最新の 2012 年 11 月のランキングでは 8 位と引き続き健闘している。また、「星雲」も 2010 年 6 月に 2 位となって以来、3 位、4 位、4 位、10 位となり、2012 年 11 月のランキングでは 12 位とやはり健闘している。

スパコンの開発では米国が圧倒的な実力を持っており、日本がこれを追いかける構図となっているが、この「天河 1A」や「星雲」の開発により、中国は日米の競争に割って入って来たといえる。中国の場合、大学や国の研究所が開発主体であり、米国の IBM 社やクレイ社、日本の富士通や NEC など、いわゆる大手の電子情報関連会社が関与していない。そのような体制で、日米を抑えて世界トップの計算能力を示すスパコンを開発し得たことは、賞賛に値する。

しかし、快挙であるはずの「天河 1A」の世界一に対して、米国や日本の関係者は、もろ手を挙げて褒め称えたり、脅威に感じたりしていない。

日本の「地球シミュレータ」が開発された際には、米国のマスコミは第 2 のスプートニク・ショックと受け止め、性能で世界トップのスパコンを一刻も早く開発するよう米国政府に強く促したが、「天河 1A」登場のときには、そのような話はほとんど聞かれなかった。日本では、先に触れた蓮舫参議院議員の事業仕分けでの発言が 2009 年暮れにあり、スパコンの自主開発問題が一気に社会問題化した。「天河 1A」のトップ獲得はそのおよそ 1 年後であったが、中国の科学技術力に対する賞嘆や脅威の声は、日本のマスコミ等でもなかった。この辺の事情について、日本の専門家の意見を踏まえ、中国のスパコンの特徴を分析したい。

#### TOP500 ランキングの意義

スパコンの世界で勲章となっている TOP500 ランキングは、「LINPACK ベンチマーク」で測定した計算速度を基に決められている。LINPACK では、理工学で一般的に用いられる線型方程式を解く速度を測定し、スパコンの演算性能を評価する。1991 年に現在のベンチマークの原型が発表され、2 年後の 1993 年から TOP500 のランキングが公開されている。中国の「天河 1A」や「星雲」は、明らかに TOP500 ランキングを意識し、リストの上位に行くように設計し、チューニングされているのだ。

しかし、LINPACK ベンチマークやそれに基づく TOP500 ランキングについては、公表当初より根強い批判がある。TOP500 ランキングのために最適化されたスパコンが、LINPACK ベンチマーク以外のソフトウェアでも高い性能を示すことができるのか、という批判である。これはスパコンを開発しているものにとっての共通の疑問となっている。しかし、LINPACK に取って代わるベンチマークは、次に述べる HPC チャレンジベンチ

マークなどの試みがあるものの、まだ確立されていない。

中国の本当の科学技術力を測るためには、HPC チャレンジ賞やゴードン・ベル賞（これも後述する）など、複数の評価も合わせて見ていく必要がある。

### HPC チャレンジベンチマークとゴードン・ベル賞

TOP500 ランキングに用いられる LINPACK ベンチマークほど有名ではないが、複数の計算特性を評価するための HPC チャレンジベンチマークが、最近米国政府機関とテネシー大学の主導により作成されたのが、HPC チャレンジベンチマークである。2005 年からはこのベンチマークでの評価に基づき、高性能のスパコンに対して「HPC チャレンジ賞」が授与されている。HPC とは「High Performance Computing」の略で、スパコンを含む高性能計算に係る科学技術の総称である。

HPC チャレンジベンチマークは、科学技術計算で多用される計算パターンから抽出した 28 項目の処理性能によって、スパコンの総合的な性能を評価するベンチマークプログラムである。この中でも特に重要な、①大規模な連立 1 次方程式の求解における演算速度、②並列プロセス間でのランダムメモリアクセス性能、③多重負荷時のメモリアクセス速度、④高速フーリエ変換の総合性能の 4 つについて、HPC チャレンジ賞として各部門の第 1 位が表彰される。

HPC チャレンジ賞の受賞スパコンを見ると、TOP500 ランキング上位のスパコンと必ずしも一致していない。たとえば、2010 年 11 月に TOP500 で世界一となった「天河 1A」は 2010 年の HPC チャレンジ賞の 4 部門のいずれにも顔を出しておらず、2 位であった米国オークリッジ研究所のクレイ XT5 というスパコンが HPC チャレンジ賞の 2 部門で受賞している。理研の「京」は 2011 年、TOP500 で 6 月も 11 月もが世界一に輝き、HPC チャレンジ賞でも 4 部門の受賞を独占した。2012 年は、6 月と 11 月の TOP500 で 2 位、3 位と順位を下げたが、HPC チャレンジ賞では 4 部門中 3 部門の受賞を果たしている。

中国の「天河 1A」や「星雲」が HPC チャレンジ賞の受賞リストに入っていないことは、ベンチマークを LINPACK 一本に絞って開発していることを示しており、実際の科学技術計算用途で幅広く活躍するには弱点がある。

また、米国計算機学会（ACM）は、毎年 11 月、スパコンを用いて科学的に価値の高い成果を収めたグループに、ゴードン・ベル賞を授与している。ゴードン・ベル（1934～）は、著名な米国のコンピュータ技術者である。

2011 年のゴードン・ベル賞では日本のグループが大活躍し、「京」がシリコン中の電子の動きを分析した業績で最高性能賞、「TSUBAME2」が金属結晶の成長の様子を再現したシミュレーションで特別賞を受賞している。また「TSUBAME2」は、血管中の血液の流れを再現する別の研究でも奨励賞を受賞し、ダブル受賞となった。2012 年のゴードン・ベル賞でも、やはり「京」が宇宙空間を埋め尽くす謎の暗黒物質（ダークマター）の粒子約 2 兆個が初期の宇宙でどう動いていくかをシミュレーションした業績で、最高性能賞を受賞

した。

ここでも、中国のスパコンを用いたシミュレーション成果が出てきていない。

### 上がらない利用率

HPC チャレンジ賞やゴードン・ベル賞の結果からわかる通り、「天河 1A」や「星雲」はすでに科学者などに供用を開始しているものの、実際にはそれほど使われていない。「天河 1A」の利用率ははっきりしなかったが、「星雲」の利用率は 10%にも満たない。利用率の向上は今後の大きな課題である。

利用率が低いのは、LINPACK ベンチマークで良い成績を収められるように、スパコンのハードウェア構成を決め、その能力の具体的な利用を十分に想定していなかったことによる。特に GPU を多用するハイブリッド型スパコンの開発は最近活発化したものであり、対応するソフトウェアの開発がそれ程進んでいない。「京」のソフトウェアであれば、「地球シミュレータ」など CPU のみで構成された他のスパコンのソフトウェア資産をかなり継承できる。

中国の開発者も、スパコンの利用方法として気候変動、タンパク解析、災害対応などを挙げているが、実際のユーザーの意見を十分に吸収していなかったため、結果として利用率が低くなっている。日本では、理研の「京」や東工大の「TSUBAME2」のシステム設計時に、ユーザーの意見を十分に取り入れ、開発後もユーザーの要求に応えるよう努力を積み重ねているため、優れた成果を挙げている。

なお、近年、「天河 1A」や「星雲」の設置運用者が、利用率向上を重要視するようになった背景には、運用資金の問題がある。中国では独立採算的な考え方が浸透しており、ハードウェアを設置するまでは国や地方政府が資金を供給してくれるが、いったん運用開始となると自前で資金を調達せねばならず、運転経費を得るために利用率を上げる必要があるのだ。

### ビジネス応用で成果を挙げる

しかし、日本の「地球シミュレータ」や「京」の開発と比較して、中国側が明らかに優位に立っているものがある。それは、開発した成果のビジネスへの応用である。たとえば、「星雲」の兄弟スパコン「曙光」5000 シリーズの販売元である曙光信息产业股份有限公司は、商用スパコンと高性能サーバーの工場を天津市で稼働させ、中国国内に供給しているが、その売れ行きがたいへん好調である。

中国のスパコン開発の特徴を単純化していえば、TOP500 ランキングで高いレベルのスパコンを作り上げる一方で、少し性能が低い価格の安いものを大量に投入して、中国の国内市場を席卷していく手法である。世界トップレベルのスパコンは必ずしも使い勝手が良いわけではないし、現在の中国国内の大学や研究所のほとんどの研究現場においては、それ程高い性能が要求されていない。そこで、汎用品の安価な CPU や GPU を大量に使っ



て、適度な性能で価格の安いスパコンを国内に供給しているのだ。

日本の「地球シミュレータ」は、スパコン大国の米国に大変なショックを与え、その後の運用においても世界的な成果を出した。しかし「地球シミュレータ」が、開発を担当した NEC に商業上の利益をもたらしたかという点になると疑問符が付く。「地球シミュレータ」の開発に要した資金の回収が、十分になされていないと聞く。日本の関係者は、中国のビジネス感覚に大いに学ぶべきである。

なお、「京」と、これを開発した富士通の場合、開発成果の商業的な応用が大きく改善され、東京大学や分子科学研究所などに「京」の成果を生かしたスパコンが導入される予定である。したがって日本におけるビジネス応用は、もう少し息長く見守っていききたい。

### 真の世界トップレベルへ

すでに見てきたように、「天河 1A」や「星雲」は、計算速度という尺度では世界トップレベルに追いついてきているが、利用・運用までを含めた総合力では必ずしも世界トップレベルのスパコンではない。スパコンといえども、使われなければただのハコに過ぎない。今後は、単に計算速度を上げるだけでなく、その能力を利用して何をするかが問われる。中国のスパコンの評価は、完成し運用が始まったこれからの勝負となろう。

2013 年に公表された世界スパコンランキングで、広東省広州市にある広州スパコンセンターの「天河 2」が、演算速度で世界一となった。開発者は、本章で取り上げた「天河 1A」と同じ国防科学技術大学である。前回世界一だった米国のスパコンと比較して、およそ 2 倍の演算速度である 33.9 ペタ FLOPS を達成する快挙であった。

ただ、本章でここまで述べてきた内容を大きく覆すものではない。「天河 2」は「天河 1A」と同様にハイブリッド型を継承しており、プロセッサも CPU はインテル社製、GPU は「天河 1A」の NVIDIA 社製からインテル社製に変更しているが、両方とも米国製品である。今後、「天河 2」の詳細をよく調査するとともに、他のベンチマーキングでの評価や科学的な成果を確認していく必要がある。