



スパコン世界ランキング四冠 「富岳」への期待

辛木 哲夫

スーパーコンピュータ「富岳」は、2020年6月に世界四冠を獲得した。スパコンは、コンピュータ・シミュレーションを通じて、科学的に未来を予測するために利用される。より複雑な課題を解明するためには、より高速なスパコンが有用であり、「富岳」はその頂点に立つ。

2021年度に共用開始を迎える「富岳」は、社会が抱える複雑な課題の解決と、サイエンスの探究に挑む。またシミュレーションに加え、人工知能（AI）の基盤にもなる。世界トップレベルの性能で、世界トップレベルの成果を期待したい。

キーワード：スーパーコンピュータ、コンピュータ・シミュレーション、AI、Society5.0

1. はじめに

スーパーコンピュータ「富岳」は、2020年6月に発表されたスーパーコンピュータの性能ランキングTOP500において世界一を獲得。さらに他の3つのランキングにおいても世界一を獲得し、史上初の四冠となった。コロナ禍の中、お陰さまで明るい話題としてお届けすることができた（表-1）。

4つのランキングの中で、もっとも古くから用いられているものはTOP500で、これはハードウェアの性能を測る指標である。クルマに例えると、測定器の上にクルマを乗せて最高速度を測るようなもの。HPCGは産業利用など実際のアプリケーションで利用される際の性能を評価するもので、クルマに例えると、レーシング場で性能を測るようなもの。コーナリングやブレーキングを含めたクルマの総合性能を評価するようなイメージである。HPL-AIは新しい指標で、AI（Artificial Intelligence, 人工知能）処理の性能を評価するもの。またGraph500はソーシャルネットワークなど、実社会における複雑な現象に対する性能を評価する。これら観点の異なるランキングのすべてにおいて1位を獲

得できたのは、「富岳」の性能が総合的に高いことを表している。

2. スーパーコンピュータ「富岳」とは

「富岳」は、神戸市中央区の理化学研究所 計算科学研究機構の計算機棟3階、もともとスーパーコンピュータ「京」が設置されていたフロアにある。ラック総数で432筐体、CPU（Central Processing Unit）総数にすると158,976個がひとつのコンピュータのように動く巨大なシステムである（写真-1）。

その特徴は、まずなんといっても、ランキングが示すとおり世界トップレベルの高い性能を誇ることである。また同時に低消費電力でもある。「富岳」の性能は、我々が日頃使うスマートフォンの国内年間出荷台数である2,000万台とほぼ同等である。スマホ2,000万台の消費電力は200MW程度となるが、「富岳」はその6分の1の30MW程度に留まる。さらに「富岳」はその使いやすさも特徴としてあげられる。スーパーコンピュータにおける使いやすさとは、色々な分野のアプリケーションで実力を発揮しやすいことを意味す

表-1

ベンチマークテスト	1位	スコア	単位	2位	スコア	単位	富岳の優位性
TOP500 (LINPACK)	富岳	415.5	PFLOPS	Summit (米国)	148.6	PFLOPS	2.80倍
HPCG	富岳	13.4	PFLOPS	Summit (米国)	2.93	PFLOPS	4.57倍
HPL-AI	富岳	1.42	EFLOPS	Summit (米国)	0.55	EFLOPS	2.58倍
Graph500	富岳	70,980	GTEPS	Sunway TaihuLight (中国)	23,756	GTEPS	2.99倍



写真—1



写真—2

る。もう1点、高い信頼性を持っていることも挙げられる。スーパーコンピュータにおける信頼性とは、故障しにくいことは当然として、万一どこか一部分が故障してもシステム全体が止まらず、故障した部分だけ修理できることである。

「富岳」は、これらの4つの要素を高いレベルで兼ね備えているのも大きな特徴である。例えば、性能を下げ消費電力を低く抑えること、あるいは信頼性を犠牲にして性能を上げることなど、何かを犠牲にすることで他の要素を高めることは比較的容易である。しかし「富岳」の場合は、どの要素も犠牲にすることなく、高いレベルで維持することに注力した。

3. 「富岳」開発のこだわり

「富岳」の開発プロジェクトは2014年の基本設計から開始された。その目的は、世界トップレベルのコンピュータ・シミュレーションの実現を通じて、社会が抱える複雑な課題の解決と、サイエンスの探究に挑むことであった。そのような目的を達成するために求められたことは、性能の高さと、使い勝手の良さを通じたユーザの広がり2点であった。これは「富岳」という名称に込めた思い、つまり富士山の高さと、富士山の裾野の広がりによって表れている。

1点目の「性能の高さ」を追求するため、技術的には「7nm FinFET (Fin Field-Effect Transistor)」と言われる半導体プロセステクノロジーや、「HBM (High Bandwidth Memory) 2規格」積層メモリを世界で初めて採用するなど、最先端技術を積極的に活用した。この結果、同じ条件のインテルCPUに比べて3倍の性能を誇るCPU (ArmA64FX プロセッサ) を開発することができた。このCPUは、米HPE/Cray社のスーパーコンピュータに採用されることになったが、同社が米国製ではないCPUを採用したのはこれが初めて

である。実はこの「7nm FinFET」を採用したのは、当初予定されていたテクノロジーが利用できず、想定した性能を達成できない状況にあったが、この最新テクノロジーに変更することで克服できたという幸いもあった。さらに「富岳」の製造開始後に世界中でCOVID-19の感染が広がり、さまざまな箇所でロックダウンが始まった影響で、製造・出荷の継続が危ぶまれる事態が生じたが、サプライチェーンの見直しにより影響を最小限にとどめ、予定通りに出荷を継続することができた。

もう一つの重要な要素である「使い勝手の良さを通じたユーザの広がり」に向け、技術的に外部との連携を積極的に図り、CPU命令セットにスマートフォンなどに広く採用されているArmの命令セットを採用。OS (Operating System, 基本ソフト) についても、サーバで広く利用されているRed Hat Enterprise Linuxを採用することで、使い勝手の良ささとプログラムのバイナリ互換性を実現した。さらに利用者のコミュニティからの意見を取り入れ、サイエンスドリブンな開発となるよう、開発当初より計算機システムとアプリケーションの協調的な設計 (コデザイン) にこだわった。具体的には、色々な利用分野から9つの代表的なアプリケーションを選定し、それぞれで高い性能を発揮できるようにハードウェアの開発側にフィードバックを繰り返した。

このように、「富岳」の開発において、性能の高さとユーザの拡がりにこだわった結果、もともとランキング1位の取得が目的ではなかったが、副産物としてランキング4冠を獲得することにつながった。

4. コンピュータ・シミュレーションで何が できる？

さてこのように高い性能や色々な特徴を持つ「富岳」

は、どのように役立つのだろうか。まずは、スーパーコンピュータを使ったシミュレーションによって何ができるのかを説明したい。

コンピュータを使ったシミュレーションは、自然現象や社会現象を、数学的モデル（方程式）を使って擬似的に表現し、色々なケースにおける振る舞いを計算結果によって実験することである。そのための前提条件として、数学的モデル（方程式）があることと、計算をするための初期値（データ）が得られる、あるいは推定できることが必要となる。例えば天気予報においては、大気の運動（風）やその状態（気温、気圧、水蒸気量など）をもとにした物理的な方程式があり、またある時点での風や気温・気圧等のデータも観測することが可能である。そのため天気予報には、約60年前からコンピュータを使ったシミュレーションが用いられているが、スーパーコンピュータの性能向上などにより、以前に比べると予報の精度が上がってきていると感じる。

このようなスーパーコンピュータによるシミュレーションが利用される分野は、大きく分けると3つある。まずは科学技術分野である。上述のとおり、コンピュータを使ったシミュレーションは、擬似的な実験である。もしも実際に実験することの方が容易ならば、それに越したことはない。例えば水と油を混ぜて分離する様子を見せるなら、コンピュータのシミュレーションよりも教室で実験の方が容易だし、よほど勉強になるだろう。しかし科学技術のさまざまな場面においては、実際に実験することが容易でないケースが多々ある。例えば、実験を行う際に「大きさ」が障害になるケースがある。ナノレベルの研究のように、実験をするには小さすぎるケース。あるいは地震のメカニズムを解析するために地球を使った実験を行うことは、巨大すぎて実際には不可能である。あるいは実験をする際にその「時間」が課題となる場合もある。実際の実験が、1秒以内のあつという間に起きてしまうために目に見えない現象である場合、スーパーコンピュータを用いると、それを超スロー再生することが可能となる。逆に気候変動のように、100年間という長期の現象である場合、スーパーコンピュータを用いると早送り再生することも可能となる。また、あまりにも莫大な「費用」がかかる実験も最小限にとどめたい。例えばロケットの形状を少しずつ変えて何通りも発射させ、どれがベストであるかを試すことは物理的には可能であるが、莫大な費用がかかってしまう。また医学分野などのように、実際に実験するには「危険」すぎて実施できないケースでも、



写真一3 提供：日本自動車研究所

スーパーコンピュータを利用すれば人体を危険にさらすことなく実験することが可能となる。

次に、スーパーコンピュータの利用分野としてあげられるのは産業分野である。メーカーはグローバル競争を勝ち抜くために、新製品や新材料の開発を少しでも早く、そしてコストを下げるために日々努力している。例えば、自動車開発における衝突実験は、安全性を高めるために欠かせない要素である（写真一3）。自動車の形状を少しずつ変えて何通りも試す必要があるが、ケースを増やすごとに費用と時間が積み重なるため、できれば最小限にとどめたい。またエコの面からも資源の無駄は防ぎたい。実車での実験の代わりに、スーパーコンピュータを使えば、コンピュータの中で何通りもの実験を行い、もっとも安全な形状を作ることができる。そして最後に計算結果に基づき実車を使って確認することにとどめることができれば、費用や時間を最小限にしつつ、より安全でかつグローバル競争力のある開発が可能となり得る。このような衝突実験は、スマートフォンの開発等でも使われている。スーパーコンピュータの中でスマートフォンやパソコンを落下させて、そのダメージを最小化するデザイン開発が可能である。そのほか産業分野では、空気や水の流れに関する実験をスーパーコンピュータで行い、飛行機のデザインや燃焼効率の良いエンジン開発にも利用されている。また新しい材料やエネルギー開発においても、スーパーコンピュータが欠かせなくなっている。

三つ目の利用分野は、市民生活である。スーパーコンピュータは一見、市民生活と無縁の存在のように思われるが、実はすでに、我々の生活を陰で支えている。上述のように毎日テレビやラジオで目にする天気予報はもちろんのこと、我々が病気の時にお世話になる薬やワクチンの開発を加速するためにもスーパーコンピュータが用いられている。また、地震に強い免震構

造の建物設計、あるいは災害が起きてしまった際の避難など被害を最小化するためにも、スーパーコンピュータが利用されている。

5. シミュレーションとAIの融合

またランキング結果が示すとおり、「富岳」はコンピュータ・シミュレーションに加えて、AI分野でも高い性能を発揮する。機械学習はAIの一つで、人間の知能のうち「学習」をコンピュータで再現する試みで、とくに最近流行しているのが「ディープラーニング」である。機械学習は、目的に沿った学習を自ら行うことが特徴で、人間では対応できない膨大なデータを学習することで、人間が気づかないような特徴を把握する。例えば囲碁においては、過去の膨大な対局を学習し、その結果に基づいて最適な次の一手を推薦する。あるいは膨大な数の写真を学習し、写真に写るおなじ人を特定できるようになる。このように機械学習は、特定分野において人間を上回る学習能力を示すことがある。ただしその推論の理由を示すことができない。一方、コンピュータ・シミュレーションは、現象の本質を解明し、そこから科学的に未来を予測することが特徴である。両者は、帰納法と演繹法の関係にあるとも言える。これまでは、それぞれが独立して発達してきたが、両者は今後、相互に補完しあうと言われている。例えば、AIの学習に必要な情報をコンピュータ・シミュレーションで生成する。あるいはコンピュータ・シミュレーションの結果をAIが推論するなど、相互に補完しあいながら発展していくことが期待される。そしてコンピュータ・シミュレーションとAIの両方において高性能を発揮する「富岳」は、それに最適なスーパーコンピュータなのである。

6. スーパーコンピュータ「富岳」の価値は？

このように、スーパーコンピュータはすでに色々な分野で活躍しており、研究機関や企業でも導入が進んでいる。では、「富岳」のような世界トップレベルの速度を持つことには、どのような意味があるのだろうか。

まずは、やはり計算速度が速いことに価値がある。例えば、比較的小規模なスーパーコンピュータでは1週間必要だった計算が「富岳」では1分で計算可能となる。ものづくりの現場において1回の実験に1週間で要すると、実際にはそれほど多くのケースを実験するのは困難である。しかし同じ実験が1分でできるの

ならば、条件を変えて色々なケースを試すことでベストな結果を得ることが容易になるだろう。あるいは、もっと複雑な計算で1回の実験に1年を要する場合、その実験を行うことは実質的には不可能に近い。しかし同じ計算を「富岳」で行うと、わずか1時間で可能となる。つまり、「富岳」はあらかじめいた計算を可能にしてくれるのである。

もう一つの側面は、計算量が非常に多いことによる価値である。「富岳」を利用すれば一度にたくさんの計算を行うことが可能になるため、より実物に近い実験が可能となる。例えば飛行機の開発においては、揚力を高める翼や空気抵抗を減らす機体の形状、エンジンの効率化のための燃焼解析など、色々な要素においてスーパーコンピュータが活躍する。しかしこの場合も、比較的小規模なスーパーコンピュータの場合は計算量に限界があることから、これらの要素を別々に計算せざるを得なかった。しかし、これらの要素は実際には関連しあっている。羽根の形状を変化させることにより機体にかかる空気抵抗も変わり、その結果エンジンの燃焼状況も変化する。「富岳」であれば、羽根と機体の形状やエンジンの燃焼効率など、複数の要素をまとめて計算することが可能となり、より本物に近い実験が可能となる。また、たくさんの計算ができることによって、より細かいことを処理することが可能となる。例えば従来大きな区画で計算していた天気予報を、より細かい区画と短い間隔、つまりより精緻に計算することにより、従来の予報では見過ごされてきたゲリラ豪雨が見えてくるかもしれない。

7. 「超スマート社会」(Society5.0)の実現に向けて

上述のとおり、「富岳」の目的は、世界トップレベルのコンピュータ・シミュレーションの実現を通じて、社会が抱える複雑な課題の解決と、サイエンスの探究に挑むことであった。個々に必要な場面で有益であることに加え、今後「超スマート社会」(Society 5.0)において実現される「サイバー空間でモデリングした仮想社会で、実社会が抱える課題の解決策(仮説)のシミュレーションを繰り返し、実社会に実装させることにより新たな価値を創造する社会」の構築に向け、予めそれを検証する役割を担うことも期待されている。

例えば、ヘルスケア分野においては、リアルタイムで収集される生理計測データや医療情報等のビッグデータ解析による、自動健康診断や予防情報の提供、

さらには個別の医療・介護メニュー作成や遠隔医療等のシミュレーションを実行し、あらゆる地域での健康寿命の延伸に貢献する。交通分野においては、サイバー空間のさまざまな条件下での走行シミュレーションを繰り返し、そこから得られたビッグデータをAIにパターン情報として学習させることにより、自動走行システムの精度向上の可能性を検証し、身体能力や地域を問わない安全な移動の実現に貢献する。ものづくり分野においては、サイバー空間におけるシミュレーションで得られる、在庫、需要、天候等に関する情報と過去の履歴情報等のビッグデータ解析により、顧客や消費者のニーズに合った安価な品物を納期の遅れなく納品できるサプライチェーン構築の実現に貢献する。防災・減災においては、人工衛星、気象レーダー、ドローン、各地のセンサー等から送られてくる被災情報、災害シミュレーションで得たデータや過去の履歴情報を含むビッグデータ解析により、一人ひとりに最適な避難指示策定や救助ロボによる迅速な救助の実現に貢献する。

やや難解であるが、コンピュータを使ったシミュレーションとは、さまざまな現象を数学的モデルにより擬似的に実験することである。その結果を活用すれば、従来我々が過去の知識や経験をもとに推測していたことを、科学的に予測することが可能となる。これを特別な人が特定の目的のために利用するのではなく、すべての人があらゆる場面で利用できるようにしていくことにより、科学技術のみならず、日常生活や仕事に関するさまざまな側面を、スーパーコンピュー

タが科学的に予測して、より安全で、よりエコに暮らせる日が到来する。また、例えば津波被害の予測を地震発生時に即座に行うといったリアルタイムの処理や、個々人が自分の端末からスーパーコンピュータを利用して、それぞれのニーズに沿ったパーソナルな予測ができるようになる時代も来るのだろう。このような「超スマート社会」(Society 5.0)の実現に向け、「富岳」の貢献が期待されている。

8. コロナ対策利用

このように「富岳」は将来に向けた貢献が期待されているが、先のことばかりではなく、現実社会でいま起きている重要な課題である、新型コロナウイルスに対しても、2021年度の共用開始に先立って活用されている。室内環境におけるウイルス飛沫感染のシミュレーションの実施では、通勤列車内、オフィス、教室、病院といった室内環境において、新型コロナウイルスの特性を考慮した飛沫の飛散シミュレーションを行い、感染リスク評価を行ったうえで、感染リスク低減対策の提案、具体的には、マスクの着用で飛沫による感染リスクを抑える効果があることを可視化して示した(写真-4)。また既存医薬品を用いた治療薬候補の探索も実施し、2,000種類超の既存医薬品を評価した結果、新型コロナウイルスの標的タンパク質に対して高い親和性を示す、いくつかの有望な候補薬が発見された。この研究では既存医薬品を評価する点がポイントで、新しい薬の開発過程において必要となる、副



写真-4 提供：理研・豊橋技科大・神戸大、協力：京工織大・阪大・大王製紙

作用の確認を含む臨床試験や承認プロセスはすでに終了しており、いち早く実用化されることが期待される。

9. 2021 年度，共用開始へ

「富岳」は2021年度に、本格的な利用が開始される予定。2020年5月にハードウェアはすべて設置され、その後は本格運用に向けて、アプリケーションの実行環境の性能向上に向けた整備・チューニングを行なっている。

「京」の後継機として最大で100倍超えのアプリケーション実効性能を持つ「富岳」の高い計算性能と、誰もが使いやすいスーパーコンピュータという相乗効果により、世界からトップレベルの研究者が集まり、切磋琢磨しながら利用されることになる。これも「富岳」の持つ新たな価値と言える。そしてそのような環境により「世界一の性能を世界一の成果」に結びつけていくものと期待している。そして我々はいま、世界トップレベルの「富岳」を出発点に、新しい時代を迎えるチャンスを有している。未来をひらくスーパーコンピュータに、ぜひ期待いただきたい。



写真—5

JCMA



【筆者紹介】

辛木 哲夫 (からき てつお)
理化学研究所 計算科学研究センター

