

特別調査レポート

スーパーコンピュータ「京」の全体波及効果に関する分析調査

アール・ジョセフ、西 克也、スティーブ・コンウェイ
October 2020

ハイペリオン・リサーチ社の見解

日本をはじめとする先進国では、科学の発展、産業競争力の強化、国民の日常生活の質の向上にリーダーシップクラスのスーパーコンピュータが大きな役割を果たしてきました。日本の「京」は世界的にもよく知られていますが、本調査が示すように、「京」は、一般的な低能力のスーパーコンピュータでは実現できなかった重要でインパクトのある科学的イノベーションと経済的リターンを可能にしてきており、多くの点で世界ナンバーワンのスーパーコンピュータであると言えます。

これらの事実の要約が裏付けておりますように、「京」の全体的な波及効果は、世界をリードする印象的なものであり、世界をリードするものでした：

- 「京」は 5,000 億円の収益と 7,000 億円以上の利益 / コスト削減を実現しており、合計 1兆 2,000 億円以上の経済的波及効果を「京」の利用者にもたらしました。
- 本調査において特定された経済的波及効果の合計は、「京」に要した総費用の約 9 倍となっています。
- 諸外国と比較してみると、HPC (「京」) に投資した 1 円あたり平均 1,623 円の収益があり、さらに HPC への投資 1 円あたり平均 60 円の利益もしくはコスト削減を達成しており、経済的な投資収益率 (ROI) は他に類を見ないものです。
 - 主要国の HPC への投資 1 円当たりの経済的 ROI の結果は次の通りです。日本 1,623 円、EU 289 円、米国 373 円、中国 9 円。
 - 主要国の HPC への投資 1 円当たりの利益・コスト削減額は以下の通りです。日本 60 円、米国 39 円、EU 48 円、中国 3 円。
- また、「京」の経済的なリターンを伴わない科学的イノベーションの波及効果では、世界の他の主要なコンピュータからも目立っています：
 - 今回評価した「京」を利用した 111 件のプロジェクトのうち、54 件 (49%) が **科学的重要度** の一番高いカテゴリーにランクされています。
 - 評価した 111 件のプロジェクトのうち 71 件 (64%) が、世界中の 50 以上の組織に有用な **科学的影響力** の高いカテゴリーにランク付けされています。

大規模な計算を実用的な時間で計算できるばかりでなく、これまで困難であった研究を可能にし、研究の方向性を変えるような思いがけない新しい方向性を切り開くことができたとい「京」の利用者は評価しています。また、「京」のおかげで、5 年後、10 年後に産業界で使われる計算技術を取捨する事ができたこと、科学的な利用者は述べています。「京」がなければ、研究のスピードはこれほど加速せず、日本の最先端の研究活動は他国に追いつかれ、科学と産業の両方にマイナスの影響を与えていただろうと述べています。「京」は日本の産業界に新たな研究開発の流れを生み出し、研究開発の最前線で活動する新たなコミュニティを生み出しました。

「京」の利用者は「富岳」の利用にあたって、使い勝手も違和感なく利用されており、コデザインによる様々な設計の改善が功を奏していると評価しています。「富岳」ではケーパビリティ・コンピューティングだけでなくキャパシティー・コンピューティング、特に人工知能（AI）を活用したデータサイエンスを取り入れた方向への拡大も計画されています。

政府による世界最高水準のスーパーコンピュータ技術への投資は、あらゆる規模のハイパフォーマンス・コンピュータだけでなく、企業向けコンピュータ、最先端の情報技術に利益をもたらします。「京」の利用者は、「京」や「富岳」のようなリーダーシップクラスのスーパーコンピュータを日本が開発し続けることが必要不可欠であると考えています。これらがなければ、日本の研究者は日本以外のスーパーコンピュータへの予測不可能なアクセスに頼らざるを得なくなるでしょう。

調査した「京」のほぼ全ての利用者が「世界に通用するスーパーコンピュータの開発は、欧米や中国と同様に日本の国家プロジェクトであるべきだ」と回答しています。最先端のスーパーコンピューティングは、国家の科学・産業・経済競争力にとって非常に戦略的なものです。また、Society 5.0の目標を達成するためには、世界最高水準のスパコンが日本に必要であると回答しています。

以上、本調査では、日本の研究者が「京」を利用することで大きな恩恵を受けていることが確認されました。多くの研究者が研究を進め、より強力な「富岳」でさらに困難な問題に取り組んでいます。「京」は、リーダークラスのスーパーコンピュータが、投資に必要な資金をはるかに上回る科学的・産業的利益を生み出すことを実証しました。

調査概要と主要成果

本調査では、ハイペリオン・リサーチ社のアナリストが初めて開発し、米国エネルギー省に適用して成功を収めた方法論を用いて、「京」コンピュータの利用者を対象に調査を実施し、最先端のスーパーコンピュータがもたらす「波及効果」の全体像、すなわち、画期的な科学技術革新と日本の産業界への付加的な経済的利益を実現する上での「京」コンピュータの重要性と影響を定量化しました。本調査では、「京」は多くの点で、重要な新しい科学技術や産業技術のイノベーションを可能にするものとして、他の追随を許さない存在であることが明らかになりました（後述の「調査結果概要」を参照）。また、「京」は後継の「富岳」スーパーコンピュータへの道を開き、「京」利用者にとっては、より強力な「富岳」への移行を比較的容易にしたことがわかりました。また、日本がコンピュータ技術の最前線に立ち続け、科学、産業、経済の競争力において他国に後れを取らないように、世界をリードするスーパーコンピュータを国家プロジェクトとして提供し続けることが重要であるとの意見が強く寄せられました。

調査の背景と測定方法

背景

本調査は、ハイペリオン・リサーチ社が2016年に実施した「京」の利用中期段階での重要性と影響度を測定したものに続くものです。本調査では、「京」の利用が終了し、後継機「富岳」への移行が進んでいる段階における「京」の波及効果を総合的に評価しています。これにより、「京」の価値をより詳細に評価することができます。

測定方法

2012年、米国エネルギー省（DOE）は、科学分野の博士号取得数や科学雑誌に掲載された査読付き論文数など、既存の間接的なHPC投資のリターン測定方法に不満を感じていました。DOEはハイペリオン・リサーチ社（当時は前身のIDC社）のアナリストに依頼し、HPCへの投資を公的部門の非財務的な科学的イノベーション（研究収益率、ROR）と民間部門の財務的な投資収益率（ROI）に直接結びつけることが可能なマクロ経済モデルの開発と検証を初めて行いました。調査の測定方法の詳細については、本報告書の「ハイペリオン・リサーチ社投資収益率（ROI）測定方法の歴史」をご参照ください。

調査結果概要

本調査における結果概要としては以下のような点が挙げられます：

1. 「京」の利用者は、「京」や「富岳」のような世界トップレベルのスパコンを日本が開発し続ける必要性に強く同意しています。世界に通用する日本のスパコンがなければ、日本の研究者は海外の最先端のスパコンへのアクセスに頼らざるを得なくなり、それは十分なアクセスが得られる保証はありません。このような依存は、先進的な科学研究や産業研究において日本が他国に遅れをとる原因となり、日本の経済、生活水準、Society 5.0の目標に悪影響を及ぼす可能性があります。

2. 「京」波及効果としての総合的な投資収益率 (ROI) および研究収益率 (ROR) は非常に高いものでした。
 - 「京」は 5,000 億円の収益と 7,000 億円以上の利益 / コスト削減を実現しており、合計 1 兆 2,000 億円以上の経済的波及効果を「京」の利用者にもたらしました。
 - 諸外国と比較してみると、HPC (「京」) に投資した 1 円あたり平均 1,623 円の収益があり、さらに HPC への投資 1 円あたり平均 60 円の利益もしくはコスト削減を達成しており、経済的な投資収益率 (ROI) は他に類を見ないものです。
 - 主要国の HPC への投資 1 円当たりの経済的 ROI の結果は次の通りです。日本 1,623 円、EU 289 円、米国 373 円、中国 9 円。
 - 主要国の HPC への投資 1 円当たりの利益・コスト削減額は以下の通りです。日本 60 円、米国 39 円、EU 48 円、中国 3 円。
 - また、「京」の経済的なリターンを伴わない科学的イノベーションの波及効果では、世界の他の主要なコンピュータからも目立っています：
 - 今回評価した「京」を利用した 111 件のプロジェクトのうち、54 件 (49%) が科学的重要な一番高いカテゴリーにランクされています。
 - 評価した 111 件のプロジェクトのうち 71 件 (64%) が、世界中の 50 以上の組織に有用な科学的影響力の高いカテゴリーにランク付けされています。
3. 日本における世界最高水準のスーパーコンピュータで行われた技術進歩は、時間の経過とともに、あらゆる規模のハイパフォーマンス・コンピュータに利益をもたらしています。これらの進歩の多くは、商用 (企業) コンピュータにも恩恵をもたらしており、情報技術における最新技術を全体的に前進させるのに役立っています。
4. 世界最高水準のスーパーコンピュータの開発に失敗すると、次世代の日本の研究を代表する多くの学生が、海外で勉強し、研究を行い、さらにはキャリアを追求することさえも余儀なくされる可能性があります。
5. 調査した「京」のほぼ全ての利用者が「世界に通用するスーパーコンピュータの開発は、欧米や中国と同様に日本の国家プロジェクトであるべきだ」と回答しています。最先端のスーパーコンピューティングは、国家の科学・産業・経済競争力にとって非常に戦略的なものです。「京」の利用者は、「京」や「富岳」のようなリーダーシップクラスのスーパーコンピュータが科学技術の発展に必要不可欠であると考えています。市場原理に基づいたマシンでは技術の最前線に立つことは難しく、利用者からは コデザインは「国家プロジェクト」でなければ効果的にできないと回答しています。
6. 利用者からは、Society 5.0 の目標を達成するには、人工知能やその他のデータサイエンスの能力が非常に重要になるため、日本に世界クラスのスーパーコンピュータが必要になるとの声も聞かれます。米国政府向けの最近のハイペリオン・リサーチ社の調査では、基礎科学、国家安全保障、自動運転、ヘルスケア、スマートシティ、モノのインターネット、エッジコンピューティングなど、人工知能の最前線での研究開発には、強力なスーパーコンピュータが不可欠であることが確認されています。
7. 調査対象となった利用者の多くは、日本を代表するスーパーコンピュータがクラウドコンピューティングをサポートすることが重要であるとは考えていませんでした。

目次

	P.
ハイペリオン・リサーチ社の見解	i
エグゼクティブ・サマリー	iii
<hr/>	
調査概要と主要成果	iii
調査の背景と測定方法	iii
背景	iii
測定方法	iii
調査結果概要	iii
はじめに	1
<hr/>	
主な調査目標	1
本調査で使用するイノベーション研究収益率 (ROR) 測定法	2
投資収益率 (ROI) および研究収益率 (ROR) データの検証プロセス	3
調査結果	4
<hr/>	
回答者属性	4
調査結果：研究者の見解	8
「京」をお使いになった研究領域は何ですか？	8
「京」のようなコンピュータにアクセスできる重要性について教えてください。	8
もし「京」が使えなかったとしたら、どうなったとお考えでしょうか？	9
「京」は日本における研究や社会にどのように貢献したとお考えですか？	10
GPU (ハイエンドシステムで一般的になりつつある) などのアクセラレータを備えたコンピュータを使用する場合と比較して、「京」の使い勝手はいかがでしたか？	11
x86 プロセッサを使用する標準の Linux ベースのコンピュータを使用する場合と比較して、「京」の使い勝手はいかがでしたか？	12
演算性能に対する強力なメモリ帯域幅(BPF)を持つ「京」のバランスの取れた設計は、アプリケーションにどのようにお役に立ちましたか？	13

「京」の I/O システムにおける方向性 (機能、特長、性能など) は、アプリケーションや研究プロジェクトにお役に立ちましたか？ 14

(「京」に引き続き)「富岳」を利用することで、研究をどのように拡大、改良するご予定ですか？ 15

「富岳」で新しい研究をご計画されていますか？ 16

「京」から引き継がれた機能や特長で、研究プロジェクトに役立つものは何ですか？ 17

(「京」の設計と比較して)「富岳」の設計で行われたどのような改善が研究に役立つとお考えですか？ 18

目次—つづき

P.

研究競争力を維持するために、日本は「京」や「富岳」のような「国家的フラグシップ・スーパーコンピュータ」を継続する必要があるとお考えですか？ 19

そのようなスーパーコンピュータを実現するために、国家プロジェクトとして研究開発を実行する必要があると思いますか？もしくは、その時点で最高のマシンを市場から購入した方が良いと思いますか？ 20

日本政府が提唱するように「Society 5.0」のような幅広い国家的政策にとって、「国家スーパーコンピュータ」は重要で不可欠とお考えですか？また、それは何故ですか？ 21

パブリッククラウドや IOT などのインターネット上の他の IT インフラストラクチャとやり取りできるように、「富岳」がクラウド機能をサポートすることは重要とお考えですか？ 23

調査結果 経済的 ROI 24

ハイペリオン・リサーチ社 ROI 測定方法の歴史 24

調査における ROI(投資収益率)および ROR(収益率)の検証プロセス 24

「京」による全体的な経済的 ROI 結果 25

ROI コストの算出方法 26

国や組織が経済的 ROI の結果を向上させる方法 27

国別収益 ROI 結果 27

調査結果：イノベーション研究収益率(ROR) 28

イノベーションの種類 28

業種別イノベーション 28

イノベーションの重要度と影響度の評価 29

イノベーションの総合的価値の評価	31
調査で使用するイノベーション・クラスのレベル	31
「京」のイノベーションと世界の他サイトとの比較	33
「京」のイノベーションを世界の学術サイトと比較	34
「京」のイノベーションと中国サイトとの比較	35
「京」による成功事例	37
<hr/>	
事例#1 石炭ガス化燃焼炉	37
事例#2 ゴム・シミュレーション	37
事例#3 原子力発電所の解析	37
事例#4 海洋シミュレーション	37
事例#5 気象シミュレーション	38
要約：「京」はどれだけ成功したのか？	39
<hr/>	
目次—つづき	
	P.
日本の研究者に最先端のコンピューティングを提供	39
経済的リターンを提供	39
科学的・革新的なリターンを提供	39
将来展望	40
<hr/>	
国家的リーダーシップクラスのスーパーコンピュータを持つ重要性	40
さらに詳しく	41
<hr/>	
関連研究	41

表リスト

	P.
表1 2020年度調査回答者 (54)	4
表2 2016年度調査回答者 (47)	5
表3 「京」を利用したプロジェクトによる経済的リターン	25
表4 「京」を利用したプロジェクトによる経済的ROI	26
表5 国/地域別経済的ROI	27
表6 「京」プロジェクトのイノベーション種類	28
表7 2020年調査における業種別イノベーション	29
表8 イノベーション：重要度	30
表9 イノベーション：影響を受ける機関数	31
表10 イノベーション・クラス評価	32

図リスト

	P.
1 「京」によるイノベーション・クラス評価	33
2 世界の HPC と「京」の比較	34
3 「京」と世界の学術機関との比較	35
4 「京」と中国の機関との比較	36

はじめに

ハイパフォーマンス・コンピューティング（HPC）技術は、1960年代のスーパーコンピュータ時代の幕開けから、日本のベンダーによって大きく発展し、日本のユーザに大きく利用されてきました。それ以前にも、スーパーコンピュータ時代を実現するためには、初期のコンピュータ技術の開発と利用に日本が貢献してきたことが欠かせません。

リーダーシップクラスのスーパーコンピュータと呼ばれる世界で最も強力なコンピュータは、科学の進歩、国家安全保障、経済の発展、生活の質の向上に多大な貢献をしてきました。リーダーシップクラスのスーパーコンピュータは、以下のような社会にとって重要な多くのアプリケーションに欠かせないものです：

- 生命と財産を壊滅的に破壊する激しい嵐の予測
- 交通・農業・観光産業に必要な日・週の正確な天気予報の提供
- 発電所の設計・安全性の向上と代替エネルギーの活用技術の開発
- 洗練されたサイバーセキュリティ侵害、インサイダーの脅威、電子詐欺の検出
- 犯罪とテロとの戦い
- 産業界の研究開発を含む応用研究開発の発展のための前提条件としての基礎科学の進歩
- 後にビジネスや民生用電子機器を変革する新しいコンピュータ技術の開拓

世界の政治指導者たちは、リーダーシップクラスのスーパーコンピュータの変革力をますます認識しており、今後5～6年の間に「エクサスケール」コンピュータと呼ばれる前例のないスピードを持つ将来のスーパーコンピュータを開発するための世界的な競争において、自国が効果的に競争できるようにするための取り組みを支援しています。オバマ米大統領、欧州委員会の指導者、中国の指導者は、この目標を達成するためのイニシアチブを支持しています。この目標を達成する技術力を持っているのは米国以外では日本だけです。ハイペリオン・リサーチ社の見解では、米国と日本は、科学的・産業的に困難な研究課題を幅広くサポートできるリーダーシップクラスのスーパーコンピュータを設計する上で最大の経験を持っていると考えています。「京」と「富岳」スーパーコンピュータは、超大規模計算能力の実用化に向けた大きなマイルストーンとなっています。

主な調査目標

本調査の主な目標は以下の通りです：

- 「京」の全期間にわたる主な波及効果を測定する。波及効果には、非経済的な科学的イノベーションと、産業界における経済的なリターン(付加収益と利益/コスト削減)の両方が含まれます。
- 「京」によって実現された科学技術革新と産業技術革新の重要度と影響度を測定する実証済みのマクロ経済モデルに基づいて、これらの波及効果を定量化する。
- 後継の「富岳」システムによる潜在的な波及効果を評価する。
- 日本が「京」や「富岳」のような世界最高水準のスーパーコンピュータに国家プロジェクトとして資金を提供し続けることの重要性和、それを怠った場合の潜在的な影響を評価する。

本調査で使用するイノベーション研究収益率 (ROR) 測定法

ハイペリオン・リサーチ社のアナリストは、日本におけるリーダーシップクラスのスーパーコンピュータの全体的な影響度を適切に定量化するために、本研究では、リーダーシップクラスのスーパーコンピュータをベースとした各イノベーションの重要度と影響度の両方を測定する評価システムを使用しました。ハイペリオン・リサーチ社は、2013年に米国エネルギー省で実施されたグローバル調査の一環として、この測定方法を開発しました。

本調査の日本に関する総合的なイノベーションランキングは、2つの補完的なイノベーション・ランキングを組み合わせて作成しました：

過去10年間の指定分野における他のすべてのイノベーションと比較した場合の本イノベーションの重要度：

5. 過去10年でトップ1~3のイノベーション
4. 過去10年間のイノベーションのトップ5に入る
3. 過去10年間のイノベーションのトップ10に入る
2. 過去10年間のイノベーショントップ25に入る
1. 過去10年間のイノベーションのトップ50に入る

複数の組織にもたらすこのイノベーションの影響度：

6. 50以上の組織にとって有用なイノベーション
5. 10~49の組織にとって有用なイノベーション
4. 6~10の組織に有用なイノベーション
3. 2~5の組織に有用なイノベーション
2. 1つの組織にのみ有用なイノベーション
1. その分野の専門家のみが認めるイノベーション

ハイペリオン・リサーチ社は、これらの指標を組み合わせ、本プロジェクトのために次の総合的なイノベーション評価を使用します：

- クラス1イノベーション - 過去10年間で分野のトップ1~3のイノベーションのうちの1つで、10以上の組織に有用
- クラス2イノベーション -- 過去10年間に分野でトップ5のイノベーションの1つで、10以上の組織に有用
- クラス3イノベーション - 過去10年間に分野でトップ5のイノベーションの1つで、少なくとも5つの組織に有用
- クラス4イノベーション - 過去10年間に分野でのトップ10のイノベーションの1つで、少なくとも5つの組織に有用
- クラス5イノベーション - 過去10年間で分野のイノベーションのトップ25の1つで、10以上の組織に有用

- クラス 6 イノベーション - 過去 10 年間で分野のイノベーションのトップ 25 の 1 つで、少なくとも 2 つの組織に有用
- クラス 7 イノベーション - 過去 10 年間に分野でトップ 50 のイノベーションの 1 つで、少なくとも 2 つの組織に有用
- クラス 8 イノベーション - その他のすべてのイノベーション

投資収益率 (ROI) および研究収益率 (ROR) データの検証プロセス

ハイペリオン・リサーチ社は、この調査期間中に収集したデータが正確で、信頼性が高く、防御可能なものであることを完全に保証するために、さまざまな分野の専門家による HPC 関連の幅広い専門知識を活用した多層的なプロセスを採用しています：

1. 最初に提出された回答フォームは、ハイペリオン・リサーチ社の専門家によって精査され、すべての情報が正しいかどうか、またフォームが調査へのデータ取込みに必要な基準を満たしているかどうかを確認されます。
 - 回答フォームに必要な情報が不足していた場合や、特定の回答に関連する質問や懸念事項があった場合、ハイペリオン・リサーチ社は回答者に連絡を取り、ハイペリオン・リサーチ社の基準を満たすように回答の追加、変更、またはその他の変更を行うよう、回答者と協力します。
2. 回答はハイペリオン・リサーチ社のアナリストによって受理された後、HPC ユーザーフォーラム運営委員会 (www.hpcuserforum.com) のメンバーに引き渡され、正確性と重要性の審査を受けます。メンバーは、政府、学术界、産業界の主要組織を代表する HPC および計算科学の専門家で、ボランティアで構成されています (リストは www.hpcuserforum.com を参照)。
 - 必要に応じて、提出物でカバーされている分野の専門家が、さらなる審査のために招聘されます。
3. HPC 運営委員会の承認後、回答は、イノベーション賞と調査の経済データベースへのエントリの両方を検討されます。

調査結果

回答者属性

今回の調査では、国内の HPC ユーザ/研究者 54 名を対象としました。注) 複数のプロジェクトを対象とした回答者もいます。

表 1 に回答者と所属団体を示します。表 2 に 2016 年評価調査の回答者 47 名を示します。

表 1

2020 年度調査回答者 (54)

お名前	所属機関
大山 聖	宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所
押山 淳	名古屋大学 未来材料・システム研究所
小野 謙二	九州大学 情報基盤研究開発センター
坪倉 誠	理化学研究所計算科学研究センター 複雑現象統一的解法研究チーム
田中 寿夫	ジャパンマリンユナイテッド株式会社
名和 基之	パーソル パナソニック HR パートナーズ株式会社
佐藤 正樹	東京大学 大気海洋研究所 地球表層圏変動研究センター
内藤 正登	住友ゴム工業株式会社
今田 正俊	早稲田大学 理工学術院総合研究所
古市 幹人	海洋研究開発機構 数理科学・先端技術研究開発センター
堀 宗朗	海洋研究開発機構
宮野 悟	東京医科歯科大学 M&D データ科学センター
吉村 忍	東京大学 大学院工学系研究科システム創成学専攻
岡崎 進	名古屋大学、大学院工学研究科
堀 高峰	海洋研究開発機構 海域地震火山部門(地震津波予測研究開発センター)
三宅 隆	産業技術総合研究所 材料・化学領域
三好 建正	理化学研究所計算科学研究センター データ同化研究チーム
野中 哲也	名古屋工業大学
久田 俊明	株式会社 UT-Heart 研究所

表1

2020年度調査回答者(54)

お名前	所属機関
奥野 恭史	京都大学 大学院医学研究科
館山 佳尚	物質・材料研究機構 エネルギー・環境材料研究拠点 界面計算科学グループ
望月 祐志	立教大学 大学院理学研究科化学専攻

注：複数のプロジェクトをカバーしている回答者もいます。

ソース：ハイペリオン・リサーチ, 2020

表2

2016年度調査回答者(47)

お名前	所属機関
大山 聖	宇宙航空研究開発機構、宇宙科学研究所 宇宙飛翔工学研究系
島津 彰	日東電工株式会社
押山 淳	東京大学、工学系研究科物理工学専攻
今村 文彦	東北大学、災害科学国際研究所
藤谷 秀章	東京大学、先端科学時術研究センター
堀田 英之	千葉大学、大学院理学研究科
富田 浩文	理化学研究所計算科学研究機構、複合系機構科学研究チーム
瀬古 弘	気象庁気象研究所
五十嵐 潤	理化学研究所、情報基盤センター 計算工学応用開発ユニット
牧野 淳一郎	理化学研究所計算科学研究機構、エクサスケールコンピュータープロジェクト コデザイン推進チーム
齊藤 和雄	気象庁気象研究所
小野 謙二	理化学研究所計算科学研究機構、可視化技術研究チーム
大塚 孝治	東京大学

表2

2016年度調査回答者(47)

お名前	所属機関
藤井 孝蔵	東京理科大、工学部 情報工学科
坪倉 誠	神戸大学、大学院システム情報学研究科計算科学専攻計算科学基礎講座 計算流体研究室
佐藤 正樹	東京大学、大気海洋研究所 地球表層圏変動研究センター 大気海洋系変動分野
柴田 大	京都大学、基礎物理学研究所
今田 正俊	東京大学、工学部研究科 物理工学専攻
滝川 雅之	海洋研究開発機構、北極環境変動総合研究センター 北極化学物質循環ユニット
堀 宗朗	東京大学、地震研究所
鹿園 直毅	東京大学、生産技術研究所エネルギー工学連携研究センター
丸山 直也	理化学研究所計算科学研究機構、プログラム構成モデル研究チーム
吉川 暢宏	東京大学、生産技術研究所 革新的シミュレーション研究センター
ファム・バン・フック	清水建設株式会社、安心安全技術センター 津波・気象グループ
高木 亮治	宇宙航空研究開発機構
柴崎 亮介	東京大学、空間情報科学研究センター
天能 精一郎	神戸大学、大学院システム情報化学研究科 計算化学専攻
小川 誠司	京都大学、医学部大学院 腫瘍生物学
吉村 忍	東京大学、工学部、システム創成学専攻
岡崎 進	名古屋大学、大学院工学研究科 化学・生物工学専攻
尾崎 泰助	東京大学、物性研究所 計算物質科学研究センター
大野 隆央	物質・材料研究機構 国政ナノアーキテクトニクス研究拠点
中島 隆人	理化学研究所計算科学研究機構、量子系分子科学研究チーム
井料 隆雅	神戸大学、大学院工学研究科市民工学専攻
古村 孝志	東京大学、地震研究所 災害科学系研究部門
三好 建正	理化学研究所、データ同化研究チーム

表 2

2016 年度調査回答者 (47)

お名前	所属機関
西川 達雄	日本造船技術センター、技術開発部 設計システム開発課長
初田 哲男	理化学研究所、仁科加速器研究センター 量子ハドロン物理学研究室
野中 哲也	名古屋工業大学、大学院社会学専攻
久田 俊明	東京大学/株式会社 UT-Heart 研究所
館山 佳尚	物質・材料研究機構、エネルギー・環境材料研究拠点 界面計算科学グループ
今村 俊幸	理化学研究所計算科学研究機構、大規模並列計算技術研究チーム
宮崎 剛	物質・材料研究機構、ナノセオリー分野 量子物性シミュレーショングループ
篠田 渉	名古屋大学、大学院工学研究科 応用化学分野
奥野 恭史	京都大学、大学院医学研究科 臨床システム腫瘍学
大塚 雄一	理化学研究所計算科学研究機構、量子系物質科学研究チーム
杉田 有治	理化学研究所、理論分子科学研究室

ソース: ハイペリオン・リサーチ, 2020

調査結果：研究者の見解

「京」をお使いになった研究領域は何ですか？

回答者は、下記の研究分野のいずれかに当てはまると回答しています：

- 応用航空力学
- がんゲノム
- 燃焼計算
- 計算化学
- 計算科学 (CFD、高速化、並列化、可視化)
- 計算科学 分子科学、特にエネルギー
- 物性物理学、量子多体問題
- 建設工学・建築
- 設計最適化・設計探査
- 防災・減災
- 創薬医学
- 地震研究
- エネルギー/有限要素構造解析/連成解析またはマルチフィジックスシミュレーション
- 流体解析
- リチウムイオン電池の電解質固液界面の高精度第一原理計算
- 製造業
- 海洋工学
- 材料
- 材料情報学
- 材料科学 リチウムイオン電池 蓄電池産業
- 数理データ同化
- メディカルケア
- 気象研究
- 二次電池材料の微視的メカニズム
- ナノサイエンス、半導体科学、材料科学
- 高分子化学
- 重構造物の耐震性能に関する研究
- ゴム工業
- 風工学

「京」のようなコンピュータにアクセスできる重要性について教えてください。

回答者は「京」のようなスーパーコンピュータが研究を強化したり、または可能にした方法を幅広く挙げています。特に、多くの専門家は、時間的な制約や計算量の問題などで、「京」がなければ研究は全くできなかったらと述べています。頻繁に言及された「京」クラスの性能は、以下のようなものでした：

- リアルタイムで重要な計算を行い、実用的な結果を出し；

- 複雑な物理システムを高い精度とスピードで分析し；
- 物理環境を正確にシミュレートするのに十分な大きさのデータセットを迅速に使用し、高度な信頼性と忠実性を持っている。

さらに、産業界の回答者からは、「京」の実際の経済的・社会的なメリットと、さらにパワーアップした「ポスト京」の潜在的なメリットとして、「ものづくり新時代」「代替エネルギー技術の進歩」「バイオメディカル技術の新発見」「地震・断層・地殻変動への理解の深化」などの意見が出されました。

主な意見：

- これまでのスーパーコンピュータでは 10^6 から 10^7 程度の精度では計算できていたが、これではシミュレーションの信頼性が確保できなかった。「京」では 10^{11} の精度での計算が可能となり、シミュレーションの信頼性の確保ができるようになった。
- 既存のアーキテクチャの延長にある計算機で大規模分散並列計算を行った場合に、どんな計算が可能か、計算結果がどんなインパクトをもたらすかを実証することができ、5年後の産業分野の計算技術の動向を示す事ができる。
- 「京」があるからこそ着想できる研究がある。新しい計測機器に対応できる計算機は「京」しかなく、他の計算機だとデータは無駄になっていた。
- この分野は常に最先端のコンピュータを使う分野であり、5年後に使われるであろう計算機を使うことで次の時代の研究の方向性を示すことができる。
- 地震解析は1,000kmとか規模が大きい割に断層の動きは数十メートルのすべりとわずかな変化であるので、非常に細かい大規模な計算をしないと行けない。「京」コンピュータを使うことで、初めて数百キロ四方で巨大な地震の繰返しをシミュレーションできる。
- 解析規模に時間がかかり、より高速な計算結果が求められる産業界では、「京」なしでは先行シミュレーションはできない。
- これまでできなかった非常に大きな計算ができた。次世代の高性能計算機のさきがけだと思うので、それに早くアクセスできるということが、開発時間を短くできるという点で、重要である。
- 現在、不均一系、複雑系が重要になっているので、「京」や「富岳」が絶対的に必要である。
- 自動車業界は10年落ちのスパコンを使っている。「京」を使うことで10年後の未来のものづくりを先取りできる、いわゆるタイムマシンである。
- 「京」で高性能な商品の開発につながった。
- 大規模な装置と人員を使って行っている船の実験を最終的には数値計算は置き換えていきたい。そのためには大規模な計算リソースが必要であり、「京」でなければできなかった。
- 社内のリソースや外部計算機のレンタルではコスト的に難しいテーマへチャレンジできること、先端計算機を用いたというブランド的な価値。
- 「京」とその後継を提供することで、日本の産業界の底上げに貢献している。

もし「京」が使えなかったとしたら、どうなったとお考えでしょうか？

調査対象となった回答者は、「京」を利用できないと研究が全く不可能になるか、大幅な設計変更や削減が必要になるという点でほぼ一致しています。「京」を使わずに研究を行うという仮定的な状況を提示された場合、回答者は、「京」を使わずに研究を行うことは不可能であるという回答が多くなっています：

- 「京」が無ければ、高度な研究は不可能だったでしょうし、研究は「京」の能力を念頭に置いて特別に設計されたものでした。

- このような強力な国産コンピュータを利用できることの地政学的な利点を強調する人もいました；彼らは必要な計算能力を外国から得ることができたかもしれないと述べていますが、「京」は日本の資源を使って高度な研究を行うための強い動機付けになったと述べています。
- 研究者たちは、「京」は彼らの研究を5年から10年加速させたと推定しています。

いずれの場合も、「京」コンピュータは、調査回答者の高度な研究にとって極めて重要でした。回答者の間では、これらのリソースがなければ、進捗が大幅に遅れ、場合によっては全く進まなかったことが明らかになっています。

主な意見：

- 「京」が無ければ、成果は得られなかったであろう。このような大規模なシミュレーションは「京」でしかできませんでした。
- 成果は得られなかったであろう。超並列環境がなければ、このような研究はできなかった。
- 成果の達成はできない。100年掛かればできたかもしれない。
- 「京」がなければ達成は無理。海外の計算機を使うことで可能ではあるが、国内ではできない。
- 研究の内容が変わってきたであろう。「京」だと1億接点の計算ができるが、通常のクラスターでは一桁落ちる。同じ成果を得ることはできない、違ったものになっただろう。
- 「京」のようなスパコンが存在し、その開発主体も日本であるという車の両輪のようなもので、そのために10年後にできることができる。
- 「京」無しでは高性能な商品ができなかったか、開発に時間が掛かっただろう。どのくらい遅くなったかは想像できない。
- 研究開発が5年くらい遅れるだろう。

「京」は日本における研究や社会にどのように貢献したとお考えですか？

「京」が日本の研究や社会に貢献していることは、すべての回答者が認めることです。一部にとっては、「京」は産業、製造、生産の新たな領域への進出をもたらしました。また、「京」の最大のメリットは、社会問題や市民問題にあると考えている人もいます。「京」の国内的なメリットとして最も多く挙げられたのは、以下のようなものでした：

- 気候学、地殻変動学などの複雑な物理システムを理解し、これらの進展が災害の安全性と備えにどのように関係しているかを理解する上での進歩；
- 産業・科学・文化のリーダーとしての日本の国際的な舞台での活躍；
- 産業とものづくりの未来を共有するために設立されたコンソーシアムが示す国内の産業連携の精神。

主な意見：

- ものづくり分野においては、HPCの利用が加速したわけではないが、期待が高まり、HPCを使った研究が始まった。それまで産業界ではそれほどHPCを使っていたわけではないが、「京」の登場で産業界の多くの研究者が期待をもってベンチマークを開始した。創薬に分子動力学が使われたり、新しい可能性が示された。「京」がもたらした一番の効果は88,000ノードという巨大なノード数を提供したということではないか。他のシステムではこれほどの規模の計算ができない。規模が他と比べると桁違いに違う。新しい可能性を開いた。地球シミュレータでも1,000ノードくらいだった。
- 「京」が開発されたことによって、コンピュータ・サイエンスのコミュニティが形成された。一般人に名前が浸透し、社会へのアピールができた。コミュニティの形成と大規模並列環境ができたことによって、今まで並列計算を使わなかった人の技術的な底上げができた。

- 「京」が無かったら外国の計算機を使うことになるが、日本の研究者が重要なプロジェクトのためにどの程度使えるかは未知数である。産業界にも使えるリソースが未知数となり、計算機を使って何かを研究開発できる環境が無くなる。
- 着想できないことができるようになった。ある意味タイムマシンであり、未来でしかできないことを今できるようになる。10年後にできることが、今実現できる。先取して研究開発をすることができ、大きな貢献ができた。
- スパコンを知らない国民に認知してもらえたことができたスパコンとなり、スパコンが様々な分野で活用していることを知ってもらえた。
- 防災、減災に対する動きが進行した。
- 「京」は地震などの災害の研究の発展に役に立っている。被災を受けるのは橋が多く、耐震性のある橋を設計するには大規模な計算が必要である。
- 産業界の中での連携ができるようになった。コンソーシアムを作り、皆で将来のスパコンによるものづくりを考えるようになった。企業間の連携を加速した。
- 最近ではコロナウィルスの解析などでスーパーコンピュータが広く世の中に周知されてきたが、これまではそれほど周知されて来なかったという印象を持っている。研究者の視点ではいろいろと役に立つ研究があったと思う。
- 「京」は計算科学を結集したシンボルとなっている。

GPU (ハイエンドシステムで一般的になりつつある) などのアクセラレータを備えたコンピュータを使用する場合と比較して、「京」の使い勝手はいかがでしたか？

GPU などのアクセラレータを使用した経験がある回答者の中では、「京」の方が使いやすく、同じ計算規模や精度が可能であるという意見が圧倒的に多数でした。さらに、GPU マシンに特化した問題の性質とは対照的に、その汎用的な機能が多くの人に恩恵を与えていると考えられています。この比較について、共通する考えは次のようなものです：

- 回答者の一人を除いて、全員が「京」の方が GPU マシンに比べて使いやすいという感想を持っていました。
- 「京」は、アプリケーションのプログラミングに関しては、GPU 集約型のマシンよりも柔軟性が高いです。
- どちらのアーキテクチャも実行可能ですが、GPU マシンの高度に専門化された特質は、非効率性やユーザの不便性につながり、長期的にはより多くのサポートが必要になる可能性があります。

要約すると、研究者の経験では、「京」は効率性が高いだけでなく、ユーザに柔軟性を提供しているということになります。より詳細な比較を行った中では、どこで計算するのか、その理由は問題の種類に大きく依存していました。

主な意見：

- TSUBAME を利用してアプリを試したことがあるが、結果は非常に悪かった。GPU には適していなかった。東大で開発していたものが、そのまま「京」でも動かすことができ、汎用性の高い「京」の使い勝手が良かった。しかし、現在は機械学習を手掛けており、深層学習には GPU が必須なので、今後は汎用計算と機械学習を一緒に行う融合領域には必要になってくるだろう。
- 理論的なピーク性能だけを見ると、GPU や FPGA は良さそうに見えるが、実際には使えないことが多い。GPU に対応しているのは一部のツールのみ。「京」の場合は SPARC で対応していない場合があり、どちらの場合も、ある種の問題に対してハードウェアが広く使われているかどうかによっては不利になることがある。

- 当初は、コンパイラのバグや使い方のガイドラインがなかなか示されず、使い難かった。その後ドキュメント等が整備されてきたので、後から入って来た人にはハードルが低くなった。ただし、「京」の場合、いろいろな情報がネットで簡単に手に入らないので、使い難い。
- 「京」はとても良かった。材料系のコミュニティは、計算アプリを何十年にもわたり継続して開発しているという点で保守的であるので、GPUの対応に時間がかかる。そのため、使い勝手の良いものは非常にありがたい。
- アクセラレータ搭載のコンピュータは一度試したが利用を諦めた。単純な計算ではなく凝った計算をしている。CPUとGPUはメモリの共有がされていないで、両者を組み合わせることができなかった。メモリが共有できるようになれば話は変わるだろう。
- 「京」の使い勝手は全然悪くなかった。我々の分野に限ったことかもしれないが、GPUは単精度計算はよく間違えるので、我々は使用禁止していた。
- アクセラレータを搭載したものより使い勝手は良かった。

x86 プロセッサを使用する標準の Linux ベースのコンピュータを使用する場合と比較して、「京」の使い勝手はいかがでしたか？

この質問に対する回答は、主に使い易さを中心としたものでした。調査した HPC 回答者は、x86 プロセッサのコピキタス性、x86 プロセッサに関する情報の豊富さ、x86 を熟知していることなどを挙げており、「京」と比較した場合の使い勝手の良さを説明しています。その一方で、両者の機能や性能が大きく異なるため、比較することができないという回答も多く見られました。調査対象者の回答は、大きく 4 つのカテゴリーに分類されました：

- x86 プロセッサの経験が豊富なユーザ。これが大半を占めており、x86 プロセッサの使用経験が多いために、このような偏りがあることを認めているユーザが多い。
- 同様の使用経験があるユーザ。このグループはほとんど理由を説明していない。
- 「京」の方が利用経験が多いユーザ。この研究者たちは以前に「京」を使った経験がある。
- 2 種類の HPC システムの間には大きな違いがあり、比較することは難しいとし、質問の前提を否定したユーザ。

主な意見：

- ほとんどの人が x86 システムに慣れているので、それに比べて「京」の方が使い難いと思います。「京」の場合は、使い方を覚える必要があります。もっと世界的に普及していけば、「京」や後継機はもっと身近に感じられるようになるのではないのでしょうか。
- 「京」ではチューニングのガイドラインや内部情報がもらえれば、それに合わせてチューニングできるようになった。また、プロファイラが改良されてからは、使い易くなった。X86 システムは情報が手に入りやすいという点では、使い易いと言える。
- 普通の並列計算は x86 でもできるし、x86 の方が使い勝手も良い。数百コアはそれで良いが、数千コア以上の大規模計算では「京」の方が性能もよく使い勝手が良い。
- 普通のマシンの方が使い易いはずだが、そこでは計算できないことを「京」で行うので、使い難くてもメリットがある。「京」はコンパイラは優れていた。最適化が優れていた。使い勝手が良かった。メーカーのサポートはあって、プログラムのチューニングのサポートもあり、使い勝手が良かった。
- 大規模計算に対応できるのは「京」しかできない。使い勝手についてはあまり意識することはなかった。
- 「京」の方が高速なので、比べることはできない。
- 「京」に慣れているので「京」でも問題なかった。ノード数が圧倒的に違う。

演算性能に対する強力なメモリ帯域幅(BPF)を持つ「京」のバランスの取れた設計は、アプリケーションにどのようにお役に立ちましたか？

調査対象となった回答者は、「京」のバランスのとれた設計と BPF(bytes-to-flops)率に満足しており、その多くは高速で信頼性が高く、アクセス可能なメモリに言及しています。参加者の中には十分な経験がない人もいましたが、経験のある人は頻繁に言及しています：

- データの処理、読み込み、検索を頻繁に使用し、設計と BPF の比率がどのようにそれらを可能にしたか；
- プログラムのチューニングやカスタマイズに必要なリソース、時間、労力の削減；
- コードがどのようにしてより効率的、より高速に、またはより信頼性の高いものになったか；
- 第一原理計算や流体計算への有用性。

調査回答によると、これらの機能が提供するスピードとスケーラビリティは大きな利点であるというのがコンセンサスです。メモリへのアクセスは便利で効率的だが、さらに多くのメモリが必要であることがわかった、という意見もありました。

主な意見：

- プログラムのチューニングに必要な開発コストが抑えられた。
- そのような特性に合わせてプログラムを最適化した。例えば、これまでは1ステップ毎に計算していたのを、3ステップ合わせて計算するように変更した。
- 楽して高速化ができた。特に単体性能ではなく、MPI の性能が安定しているので、スケーラビリティの点では良かった。
- データ同化というアプリはデータを大量に読み込んで処理するので、メモリアクセスが非常に重要。BPF がないと高速ができない。バランスが非常に重要。
- メモリのバンド幅が大きいことも良かったが、容量が大きいことが非常に役に立った。第一原理計算にはメモリの容量が重要。富岳は計算リソースの制限があり、コア当たりのメモリが小さく、そこがネックになっている。
- 第一原理計算には非常に役に立った。全く不満は無かった。メモリバンド幅に不満はなかった。
- 「京」は非常に役に立っている。メモリがネックにならずに性能が出ている。ネットワークが高速なので性能が出やすい。
- 我々の計算にはメモリバンド幅が非常に重要なのでとても良かった。ただ、メモリがもっと大きいほうが良かった。
- 「京」は役に立った。ランダムアクセスのような凝ったメモリアクセスをするため、強力なメモリバンド幅は必須であった。
- 流体計算にはとても役に立った。メモリ帯域の実行性能も高く、その辺りが非常に助かった。

「京」の I/O システムにおける方向性 (機能、特長、性能など) は、アプリケーションや研究プロジェクトにお役に立ちましたか？

I/O システムについては、回答者間で意見が分かれています。特に、多くの回答者にとっては、ステージング機能が困難でした。難しい理由としては、以下のようなものが挙げられています：

- 貧弱なステージング機能、特にその遅い、または面倒な性質；
- ソフトウェアインターフェイスをナビゲートするのが困難；

- 計算問題から目的のデータを取得するために I/O を使用することができない。

少数の回答者が I/O システムのスピードと便利さを絶賛していますが、ほとんどの回答者は問題を抱えていたか、その設計の影響を受けていませんでした。改善のために最もよく言及されているのは、大差でステージング機能でした。

主な意見：

- I/O インテンシブではないので、あまり影響はない。特に気にならなかった。ステージングシステムが使い難かった。
- 高速に計算できることが良かった。改良という点ではソフトウェアがもっと充実していたら良かった。ハードディスクが一杯になって最後に不足していた。計算機が高速になり、大量の計算結果ができる割に容量が小さかった。インプット・アウトプットの速度が遅かった。本当はもっとデータを出したかった。結局希望するデータが出せなかった。I/O が弱かった。
- 初めの頃は x86 と比べていたが、慣れてくるとあまり意識せずに問題を感じることはなかった。
- 日本で I/O 周りをきちんとやっている人が非常に少ない。I/O の性能を出すためには、たくさんのチューニングのパラメータを設定しないと性能が出ないのだが、その情報が少ない。アプリケーションユーザとしては、その研究が目的ではないので、使えれば良いので、ライブラリで良いものが提供されれば、アプリケーションのスループットを短くできる。「京」ではその辺りの新しい技術の開発や提供がなかった。アメリカでは、専門のプロジェクトがある。「京」ではメーカーに頼り切りであった。
- ステージングのようなローカルストレージを利用できることが大規模計算には非常に役立った。しかし、プロダクトランでローカルストレージを利用するには一般ユーザには使い難いし、敷居が高かった。
- ファイルシステムに関しては容量が大きいという以外にはメリットは無かった。ファイルシステムにバグがあったが、メーカー側は仕様であるとの回答があった。ファイルシステムが不安定だと、共同研究者であるウェットの研究者の信頼を得ることができない。
- ステージング機能は良くは無かったが、大変頑張ったのに、富岳で無くなったので面食らっている。
- ステージイン、ステージアウトが使い勝手が悪かった。プログラム実行中にファイルにアクセスできなかった。その点を改良すべき。
- ステージイン、ステージアウト機能のお陰で、アプリケーションの移植で問題が起こった。余計な時間が取られた。
- ステージング機能が使い難かった。高速な I/O が非常に使い難かった。SSD を使ったり、メモリメモリを使った RAMDISK も使うことができず、想定した性能を出すことが出来なかった。
- データ転送が煩雑だったが、コマンド自体は通常の Linux マシンと変わらなかったので I/O のコマンド自体は修正不要だった。

（「京」に引き続き）「富岳」を利用することで、研究をどのように拡大、改良するご予定ですか？

「富岳」における研究計画を明らかにした回答者の中で、ほとんどが、研究やアプリケーションの新しい分野を可能にするための手段として、そのスケーラビリティと大規模な計算能力を挙げています。ある回答者にとっては、この能力の向上は、より良い製品の製造、より高い解像度でのシミュレーションなど、現在の仕事の継続と改善を意味しています。また、他の回答者にとっては、この進歩は、

感染症の発生時のような全く新しい問題に対処することを意味しています。この調査の質問に対して、回答者は主に3つのカテゴリーに分類されました：

- 「富岳」へのアクセスにより、プロジェクトが強化されるが、根本的な変化はないとする回答者。
- 「富岳」へのアクセスにより、プロジェクトが再定義されると予測する回答者。
- プロジェクトに変化はないと予測する回答者。

プロジェクトに変化がないと予測した回答者は、単に将来的に「富岳」を使う予定がない回答者でした。残りの回答者は、現在のシステムよりも桁以上効率的な計算とシミュレーションが可能な「富岳」の能力を挙げて、自分たちの予測を理由付けしています。

主な意見：

- 計算時間が長いので、富岳でようやく実行できるような状況になってくる可能性がある。船だけでなく、自動車などの解析をやって行きたい。航空機などにも拡大していく。計算機って言うのはとどのつまり、どれだけ速くできるかである。
- スケールを増やす方向性と実行数（データ数）を増やしていく方向性があるが、実行数を増やす方向が新展開になってきていると思う。シミュレーションとAI（いわゆるマテリアルズインフォマティクス）を組み合わせたハイブリッドな解析を目指していきたい。
- 成果創出なので、「富岳」の性能を引き出して、民間企業に利用できるような環境を作る。
- データ同化は確立分布を扱う計算である。サンプルの数によって誤差があるので、100倍のサンプル数で計算していきたい。これまで出来なかったような確率分布で計算してみたい。
- データ量の大規模化と発見までの時間の短縮化により、世界のトップにたてるのではないかと考えている。
- 「京」では、ひとつずつの物質を合わせて2つの物質の相図を作るので精一杯だった。「富岳」ではもっと多くの物質の相図を作ることができ、物質の普遍性と個性を明らかにする。
- これまで日本列島1000キロくらいの解析を行っていたが、それを全球もしくは1/4または1/8の領域での計算を計画している。観測データから日本の地震は他のアジアの国にまで影響していることが分かっているので、大きな領域の計算をすることが重要。プラス、時間方向でも長くなるので、京の数十倍から数百倍になるのではないかと。
- 「京」では問題を解けるということを示しただけのものもあり、今後産業界と組んで実用的な問題を解いていくためには、キャパシティコンピューティング的な利用を、「富岳」に期待している。そうでなければ、産業界の実用化に遅れが生じることとなる。
- これまでの大規模高精度の計算だけでなく、我々がやっているデータ駆動科学やAIにつながるパラメータ空間やコンフィデーションが、今後重要になっていく。
- 「富岳」では、何十倍もの計算ができるので、統計量がたくさん取れる。1千万原子を日常的に計算できる、100万原子なら気づかないうちにできるということは画期的で、統計的処理の必要な課題に正面から取り組む事ができる。
- コロナで先発で実行しているが、シミュレーション時間の問題もあるが、生体物質の化学反応はミリ秒程度のスケールで計算しないと実態に合わせることができないが、「京」はマイクロ秒くらいしかできなかった。「富岳」だとミリ秒までできるので格段に異なる。薬剤探索では京では数十種類の探索しか一度にできなかったのが、「富岳」では2,000種類の薬剤をシミュレーションできるようになり、実験の代わりにできるようになる。
- 「京」の研究を継続し、より良いタイヤを開発していく。
- 現在の研究を延長させていく。「京」ではまだ実験に匹敵するような精度が得られていない。

- 「京」の研究を継続し、構造物のモデル化をより詳細にし、シミュレーションを全線に適用するには「富岳」規模のマシンが必要である。
- 「富岳」の利用を予定しているが詳細については企業秘密である。機械学習の方向性で考えている。

「富岳」で新しい研究をご計画されていますか？(「京」では困難もしくは不可能だったような)

「富岳」を利用する予定があると回答した中では、現在の研究を強化するための手段として、あるいはこれまでにない問題解決のための手段として、「富岳」を利用している人が多く、中にはこれまでにないような研究をする予定があると回答した人もいました。よく引用される計画には以下のようなものがあります：

- 地すべりなど、既存の問題でまだ不足している問題の規模、解像度、または粒子数を増加させる；
- エンジニアリングの問題に地球科学の要素を追加するなど、大容量の計算能力により、実験に新しいプロジェクトを追加する；
- 「京」では不可能な大規模かつ高精度なアンサンブルシステムを活用する；
- 光電子分光やトンネル分光の共同研究など、「京」では不可能だった実験に新しい科学を導入する。

「富岳」の利用予定のない回答者を除くほぼすべての回答者が、「富岳」の機能と強力なリソースは、既存のプロジェクトを強化するだけでなく、新しい研究方法やより大きな問題の探求を可能にするという回答しています。「富岳」を利用する予定はあるが、どのような新しい研究を計画しているかについて回答していない回答者にとっては、「富岳」は「京」の延長線上にあると考えられています。

主な意見：

- 「京」では工学的なもので地球科学的なものはしかなかったが、今回は地球科学で列島全体のモデル化を進めることを計画している。
- 10万原子の計算を「京」では行ったが、「富岳」では通常は1万以内の数千原子であればプロダクトランで実行できる。薄膜形成シミュレーションにおいては何万原子のものを大量に計算しなくてはならない。これは「富岳」でしかできない。
- 「富岳」では「京」では不可能なことを実施する。1,000人ゲノムや2,000人ゲノム解析は「富岳」だと1日で終了できる。他の機関では1日で解析するのは難しい。「京」の場合には解析自体が不可能だった。
- 大アンサンブルは「京」では不可能であった。全球を3.5kmメッシュの精度でジョブを1,000個同時に計算できる。
- 「京」の継続と考えているので、「京」で不可能なものは特に計画していない。「富岳」で流せる計算の数が増えるのならば、ありがたい。大きな計算をするというよりは、「京」でできていた計算を数多くすることが、ほとんどの研究者にとって役に立つであろう。
- 競争が激しいこの分野において、国際協力、協働を開始することを、「富岳」では宣言している。
- 実験研究者と密接にプロジェクトができるようになった。光電子分光、トンネル分光などに関する共同研究を開始したが、これは「富岳」でないとできない。
- スパコンを使って産業界の連成問題を解いている例はまだないので、これを「富岳」でやっていきたい。「京」と同じように、先行研究、先行開発をしていきたい。
- 複雑な界面の計算のような大きな計算だけでなく、無限の化学組成の組み合わせから良いものを探したり最適化したりというマテリアルズインフォマティクスのように、一つ一つは大

きくはないが、たくさんの場合の数の計算をするというのが重要になってきているので、この方向で使っていく。

- 地滑りなどの土砂災害など、まだ粒子数がまだ不足している問題に「富岳」で対応していきたい。
- 最終的には船全体のシミュレーションを行いたいが、「富岳」規模でもまだ十分ではない。
- 従来よりもさらに大規模な計算を行いたい。

「京」から引き継がれた機能や特長で、研究プロジェクトに役立つものは何ですか？

「富岳」の利用経験を十分に積んだ研究者の多くにとっては、「京」から受け継いだ機能の中でも、Tofu インターコネクト・アーキテクチャは特に輝かしい点でした。また、新システムのメモリ容量とノードあたりのメモリ量についての懸念を除いては、概ね肯定的な意見が多数でした。この質問に対する回答は、主に以下のようなカテゴリーに分類されます：

- Tofu インターコネクトの使い易さ、特に透明性の高さ、多くのユーザがすでに使い慣れていることに満足していた回答者。
- 特にノードあたりのメモリや、汎用対特殊用途のアーキテクチャとしての有効性についての懸念がありながら、満足を示した回答者。
- 継承された「富岳」の特長に満足していると答えた多くの回答者は、システムからシステムへのシームレスな移行が可能で、簡単で直感的なユーザ体験に主に関心を持っていました。一部の回答者は、ユーザが移行を意識していないと感じています。

主な意見：

- ノードの規模数 16 万ノードという大規模性。ノード数が多い。HBM2 でメモリ容量が大きくないのが問題。メモリが相対的に 1/10 になっている。
- あまり機能の恩恵にはあずかっていない。メーカーとのコデザインの体制が非常に良かった。
- Tofu ネットワークはとても役に立つと思う。
- 「富岳」は「京」に比べるとノードあたりのメモリ性能（容量、帯域幅）が狭い、これは開発者にとっては負担となっている。Tofu は大規模並列に利用できることが良い。
- Tofu を含めてソフトウェアの継承性がある、簡単に動かすことができ、ソフトウェアの大幅な変更必要無しに、それなりの性能で実行できた。
- Tofu のトポロジーはうまく使って高い性能を出すことができている。
- いろいろところが共通なので「京」の資産が継承できたところが良い。
- 高速に並列計算ができることが重要であり、Tofu の通信性能が高いことが役に立っている。同じアルゴリズムでは他の計算機では性能が落ちる(Summit など)
- プログラミング環境はスムーズに移行できた。Tofu も慣れているし、ストレス無く良かった。メーカーの継続性が役に立っている。富岳はメモリが小さくて困っている。
- 「京」と「富岳」は、想像できる範囲内の自然な延長という感じでほとんど同じなので、すっきり移行できる。
- ユーザにとって使いやすいマシンということが、非常に重要である。
- Tofu は並列性が良くて素晴らしい。「京」から引き継がれたものが何かと分からないくらい、普通に使っている。
- ユーザ利用環境、運用面において「京」をそのまま引き継いでいるので、研究を継続し易かった。格段に継続性の良さがでている。
- Tofu は演算と通信のバランスが取れており、実アプリにおいて役に立っている。特に意識することなく利用できている。

- 基本的な使い方は「京」と共通化されており、「京」のユーザは違和感なく使えるところが良かった。

(「京」の設計と比較して)「富岳」の設計で行われたどのような改善が研究に役立つとお考えですか？

調査対象となった回答者の4分の1以上が「富岳を利用する予定はない」または「この質問に対する意見はない」と回答しています。残りの回答者は、研究に役立つ複数の機能、機能、改善点を挙げています。知見のある回答者は、多くの機能に高い満足度を示し称賛しています：

- 最も意見が多かったのは、ステージング機能の排除；
- I/O や OS に関する使い勝手の良さ；
- ARM の実装と SIMD の幅が広がったこと、特に機械学習に関連していること；
- 新システムが提供する全体的なスピードと信頼性。

その他の注目すべき改善点としては、ARM で使用できるコードの普遍性と移植性、より大きなメモリサイズ、およびエネルギー節約のコスト削減への影響が含まれます。

主な意見：

- Arm ベースであることで、オープンソースのツールがより多く利用でき、新しい言語などが稼働する可能性がある。例えば、512-wide SIMD や半精度の計算は、機械学習に役に立つ。
- コデザインより、「京」が抱えていた問題を「富岳」で解消できたものと認識している。ファイルシステムにおけるステージング機能の解消やプロセッサの命令セットの追加などが役にたつ。
- インテンシブな I/O に対応できるようになった。ストレージの容量はいくらあってもいいので思い切って10倍くらい欲しい。データをいろいろな人がアクセスする時代に対応できるようにしてほしい。
- ステージング機能が無くなって手間が無くなった。
- 実際に結果をみていないので、不明ではあるが、SIMD の幅が大きいことが良い。
- スタートしたばかりであり分からない。SIMD が拡大したことでメリットを享受している。
- ノード性能 (コア数増大) の向上とメモリサイズが大きくなったことが大変良い。他のインテルマシンでは数千プロセス実行するのに手間が掛ったが、「富岳」では数千プロセスの実行で全く問題は無かった。簡単に数千プロセスを実行することができた。信頼性が非常に高い。インテルのスパコンはメーカーごとに使い勝手が違う。
- ステージイン、ステージアウトが無くなったことが良かった。OS が使い易い。ARM の採用で汎用性が出たのでソフトウェアの移植性が高くなった。
- 富岳は省エネにポイントを置いており、省エネモードを利用することで、エネルギーコストとしてシミュレーションがどうあるべきかを議論できる余地がユーザ側に与えられたことが良かった。

研究競争力を維持するために、日本は「京」や「富岳」のような「国家的フラグシップ・スーパーコンピュータ」を継続する必要があるとお考えですか？

「京」や「富岳」のような「国家的フラグシップ・スーパーコンピュータ」を維持する必要があるかとの質問には、ほぼすべての回答者が「はい」と回答しています。それ以外で回答したのは2人だけで、1人は「いいえ」と回答し、もう1人は「別の方法で」と回答しています。

肯定的な回答をした回答者からは、以下のような意見が多く聞かれました：

- 国家的フラグシップ・コンピュータがなければ、日本は世界の舞台で後れを取ってしまうでしょう；フラグシップ・コンピュータがあれば、日本の科学者や研究者がコンピューティングのニーズを外部に委託することを避けることができます。
- フラグシップ・コンピュータは、日本独自の科学技術イノベーションの象徴であり、産学連携の分岐点でもあります。
- このような強力な国内資源は、日本の国内経済の恩恵となり、多くの産業の成長に貢献することでしょう。

否定的な回答をした回答者は、異なる目的のためのより専門的なコンピュータを望むとともに、国民性を重視することに反対の意見を表明しています。

主な意見：

- はい。創造力を高め、産業競争力を強化し、世界を先導するためには、cutting-edge マシンは必要不可欠。逆に全て2番以下でよく、諸外国の特許に依存してそこそこの経済で十分というのであれば無理に作る必要はない。特に日本は英語利用において中国、インド、シンガポールに遅れを取っている。それに加えてハードウェアの面で遅れを取った場合どのような状況になるか想像ができない。
- はい。我々のような分野でフラグシップ・コンピュータを使えるのは重要で、トップのコンピュータあることが重要である。
- はい。米中は軍事利用もあるので、費用対効果の観点よりも資金をどんどん投入して、バイプロダクトとしての社会的な課題に持っていつている。もし、日本がスパコンの開発をやめたら外国から買うことになり、外国製品が市場に出るから、ソフトの開発をすることとなり、全て出遅れてしまう。自前でアプリも開発できなくなるので、全部輸入せざるをえない。買ってきても、中身のわかる技術者もないこととなる。継続しないということは、一切この分野から手を引くということになる。スパコン 1000 億円は、他のものと比べて決して高くないし、裾野も広がるので、戦略的にも重要である。
- はい。絶対的に必要である。科学技術を進歩させる基盤として不可欠である。
- はい。スーパーコンピュータを国策として実施することは波及効果が大きいので継続した方がよい。日本は軍事目的以外で国策としてスパコンを行うことを継続すべきである。
- はい。産学連携で将来を考えることができる。そのようなシステムは世界的にも他にない。企業間の競争領域と共闘領域を考えるきっかけになる。
- はい。それなしでは世界に遅れを取っていく。
- はい。ユーザとしては、世界で一番であるとか二番であるとかに関心は無く、リソースはあればあっただけ使いたい。理論的にポスト「富岳」でも足りないような計算がたくさんある。
- はい。民間に開かれたフラグシップ・コンピュータに対して気軽にアクセスできることは、底上げにつながる大きい。
- はい。他国が技術開発を続ける限り、追従できないほどの技術力の差ができてしまうことは様々な面で問題があると思う。
- はい。大規模な計算で分かることが「京」を始めとするスーパーコンピュータの普及で増えてきている。スーパーコンピュータは技術開発力のベースとなっている。日本の技術開発力をベースアップを継続するにはフラグシップとなるスーパーコンピュータが必要である。

そのようなスーパーコンピュータを実現するために、**国家プロジェクトとして研究開発を実行する必要があると思いますか？**もしくは、**その時点で最高のマシンを市場から購入した方が良いと思いますか？**

[選択肢：国家プロジェクトを継続；市場で購入；その他のアプローチ]

調査した回答者の77%が、国家プロジェクトとして研究開発を行う必要があると回答し、残りは別の方法で行う必要があると回答しています。コンピュータを市場で購入することが最善であると答えた回答者はいませんでした。国家的な研究開発プロジェクトの利点としてよく挙げられたのは、以下のようなものです：

- 日本経済と産業の国際競争力を維持し、研究と科学の健全なエコシステムに貢献する。
- 地政学的緊張から生じる可能性のあるサプライヤーやベンダーの問題から日本の研究とイノベーションを守るためのフェイルセーフを提供する。
- 他の方法ではこのような強力な計算機リソースを利用できなかったかもしれない小規模なグループに権限を与える。
- 国家的なプロジェクトを可能にすることで、民間のパートナーができない方法で、コデザインや学際的な協力を可能にすることができる。
- 日本の研究活動を、国内のニーズを認識していない、あるいは配慮していないかもしれない海外の民間企業から解放する。
- いいえ。別のアプローチを使う。10年後に100倍速くなる計算機が作れるならそうするが、性能が3倍くらいに上がらないのであれば、二番手の安い計算機を何台も買った方が良い。何が効果的なのかを再検討する必要がある。今後の計算機の動向にも依存する。性能の限界にどう対処するかは、今後の計算機の発展に掛かっている。フラッグシップそのものに対する考え方が変わってくるだろう。

別のアプローチを推奨した少数の回答者は、そのような決定は、費用対効果や効率性のレベルなど、プロジェクトの詳細に依存すべきであると指摘しています。さらに、国産化よりもシステムの能力を優先することを認める意見も一部にみられました。

主な意見：

- はい。国家プロジェクト -- 市場からは購入できないので開発になる。ハードの開発と同期してアプリの開発ができることが重要で、効果が発揮するだろう。コデザインは国家プロジェクトでしかできない。インテルと共同開発はやった経験があるが、結局開発を主導することができない。結局メーカーに決定権がある。
- はい。日本で開発しているということで若手の研究者がスパコン分野に入ってくれる。そうしないと若手がいなくなる。開発していないと、海外から言い値で購入しないといけない。
- はい。国際競争力を維持するためには、価格や性能で計算機を選んでいては、その後の将来が心配である。国家的にすすめるべき分野である。そうしないと、あっという間に海外のシステムに置き換わってしまうのではないかと心配。
- コストパフォーマンスに依存する。速いだけで研究者のみが利益を得るようでは意味がない。社会全体として考えるべきである。
- 今回の「富岳」も富士通が作ったことになるが、半導体はTSMCが作った。日本にファブがないのが問題。なるべくすべてを国内で生産した方が良い。台湾とやりとりするのはなかなか難しい。同じ社内であればもっとスムーズにやりとりができたはずだ。
- 市場原理に基づいたマシンでは世界最先端の成果をだすのは難しい。米国や中国は軍事目的のためにスパコンを利用しており、電力やスペースなど無視している。そのような中で日本や良くやっていると思う。

- 国内で作っているということで、作り込みができる。日本の中で開発のノウハウを蓄積することができる。
- ユーザから言うと、日本製でも外国製でもあまり関係がなく、どちらでも構わない。
- スパコン市場はAIに移ってきており、一般市場はそちらに向かって開発している。それは我々の計算には向いていない。市場と研究開発ではニーズが必ずしも一致していない。市場で手に入るものだけにしてしまうと、研究開発分野では使い難いものになっていくのではないか。現状実際にそうなっている。研究開発に必要な計算機を開発するスタンスを維持することが重要。是非国家プロジェクトとして継続して欲しい。
- 日本の研究者に世界最高のコンピュータを提供するために、国家プロジェクトを継続する必要がある。国家的プロジェクトの必要性としては、次世代のものを早く使いたいという研究者の要請が、ひいては国家の競争力の維持にもつながる。最近の米中の関係から、安定的にハイパフォーマンスのコンピュータが入ってくるのか、ということに不安を感じる。したがって、今の所、国家的プロジェクトとしてやっていく必要があると考える。単に価格の問題だけではない。
- よくわからない。国家戦略として、技術力をキープしたいとの考えはよく分かるが、政治的な話である。購入するのでもよいが、いざというとき技術がないとだめだと思う。
- 性能向上をひっぱるのは国のプロジェクトである。市場任せではなかなかけん引できない。
- 我々のような規模の会社や業界では1社で「京」や「富岳」のような計算機を持つことはできないので、国家プロジェクトで作られたような計算機を使いたい。また、「京」や「富岳」で開発された技術が普及して、我々が使えるような小規模のシステムが普及することが意味である。富士山のように高さもいるけど裾野も必要である。
- 国家プロジェクトとして継続すべき。
- 国家プロジェクトとしてやらないとできないことが多いので、国家プロジェクトとしてやるべきである。Armを使ったスーパーコンピュータなど、新しい潮流を作ることができる。
- スパコンのプロジェクトは日本の技術力維持の面が大きいと考えるので、市場から海外製品を購入するなら大規模プロジェクトとして実施する意味はあまりないと思う。

日本政府が提唱するように「Society 5.0」のような幅広い国家的政策にとって、「国家スーパーコンピュータ」は重要で不可欠とお考えですか？また、それは何故ですか？

回答者の大多数は、Society 5.0 アジェンダには強力な国家的スーパーコンピュータが必要であるか、非常に重要であると考えています。Society 5.0 アジェンダのための国家的スーパーコンピュータを必要とするためのいくつかの頻りに引用された回答は、次のとおりでした：

- 誰でも利用できる堅牢なサイバー / 物理環境を構築する；
- 特にインフラの必要性や自然災害の防災・対応に関連したシミュレーションをリアルタイムで実施する；
- 日本の科学者や研究者がデータを作成・分析するための国内・中央集権的な場を提供する。

意見を表明していない調査対象の回答者のほとんどは、Society 5.0 の目標や詳細についてよく知らないと回答しています。ある回答者は、「Society 5.0 は、1台の計算能力では処理できない程大規模で、代わりに並列的に多くの能力のある計算ソースが必要になるだろう」と回答しています。

主な意見：

- Society5.0 を理解していない。AI のスパコンと富岳のようなスパコンは異なると思う。深層学習には大規模な計算が必要だから国家スーパーコンピュータは必要。

- 基礎的な技術のレベルのレベルアップに、国に管理されて新技術を普及することは意義がある。重要なのは企業が内部で進めていくためには、基礎の土台がないといけない。この基礎をどのように普及するかが難しく、その点は国策として進めるべきである。
- Society5.0 はスパコンではなくデータ科学なので、一緒にはできないのではないか。データを使ってシミュレーションをしようとする時にスパコンが必要となるのではないか。スパコンを一切考えなくなった時の第三の科学である計算科学の凋落は目に見えており、そこをどこまで踏ん張れるかが重要である。
- Society 5.0 の定義が不明。国家スーパーコンピュータ1台で何とかなるものではなく、クラウドのような多数の人が多数の計算機を使えるような環境が必要であると考えている。
- Society5.0 にはリアルタイムに先を予測することがスーパースマートシティの基盤となるので、そのためのデータを作るためのフラグシップに相当するスパコンが必要。その費用は莫大なので、国家として整備するべきである。それが結果的に国の強さを決めていくのではないか。
- サイバースペースとフィジカルスペースの融合であるがピーク性能が出せる環境は重要である。大規模データの解析を考えた場合、それをトータルで解析する場合にスパコンは必要。
- Society5.0 の肝はサイバーフィジカルシステムである。例えば、災害において、様々な予兆をセンシング、予測し、適切な行動を取る。そのための分析予測には、AI による予測ではなく、スパコンによるシミュレーション技術が必要となる。その上で、データの高速度通信、ビッグデータの収集、配信などのテクノロジーをインテグレートすることで、Society5.0 が機能する。
- 重要である。国策研究をやるのだから、国がスパコンを持っていないと始まらない。民間は、全て経済原理で動いているわけなので、また違う。
- 重要不可欠である。人を育てる、基盤技術をゼロから持つということは重要であり、ベースとなるものを世代を超えて維持するために国家的に実施すべきである。
- データ科学との融合では大変重要である。それは Society 5.0 をけん引するには大規模なスパコンが必要。
- 不可欠。コロナの探索でも国家スーパーコンピュータが無ければ実施できない。Society 5.0 を支える必須のものである。
- はい。何をすることもシミュレーションが不可欠である。
- 私の認識では Society5.0 はデータとの親和性が重要で、国家的なスーパーコンピュータで困いこむよりは、分散でデータにアクセスできることが重要であると考えている。
- Society 5.0 が何を指しているのか良く分からないが、数値計算を中心にして科学技術分野は工業分野だけでなく、理学、医学などの分野があり計算リソースがあればあっただけ使うのが現状である。そういう意味で国家が計算機リソースを面倒見て欲しい。
- 不可欠だと思う。国家的なスーパーコンピュータのレベルがないと、社会やインフラの安全性のために、街全体あるいは日本全体をデジタルツインのような形で再現するには国家的な規模のスーパーコンピュータが必要である。
- スパコンが Society 5.0 の中核技術であるとはあまり考えていない。Society 5.0 の中核は大規模な超並列計算機ではなく、クラウドでつながった通常のクラスタ計算機と各種 5G 端末、それをを用いた次世代サービスであると思う。

パブリッククラウドやIoTなどのインターネット上の他のITインフラストラクチャとやり取りできるように、「富岳」がクラウド機能をサポートすることは重要とお考えですか？

回答者の中には、インターネット上の他のITインフラとの連携を可能にするために、「富岳のクラウド機能はプラスになる」という意見が多くありました。しかし、回答は全体的に様々でした。肯定的に回答した回答者は、「富岳」のクラウド機能について次のように回答しています：

- より多くの小規模なジョブを実行させることができ、より多くの研究者や科学者を可能にする；
- データや計算リソースへのリモートアクセスを容易にする；
- システム上で使用可能なアプリケーションを多様化し、特により多くのAI機能を含まないようにする。

「富岳」が他のITインフラとの連携を可能にするためのクラウド機能をサポートすることを重要視していないとした回答者からは、以下のように説明しています：

- クラウド機能は、より小規模で、強力でないマシンに適している；
- トップスパコンとして、「富岳」は最も優秀な研究者だけが利用できるようにしなければならない。
- 「富岳」はもともと研究用に作られたものであり、現時点では一般の人が使うものではない。

この2つの回答カテゴリーに当てはまらない回答者は、知見を提供するのに十分な経験がなかったり、意見がありませんでした。

主な意見：

- あまり必要ないと思う。なぜなら、多くの人が「富岳」を享受とするというより、「富岳」によって、とんがった研究を実施して、少し時間が経って社会に還元するということが、本来の「富岳」の目的である。
- すごく重要である。それにより、データサイエンスとの橋渡しができる。また、従来、スパコンとはあまり関係なかった機械学習やデータサイエンスの人たちが、この分野に入ることができる。
- クラウド機能があった方がよい。小さなジョブから大きなジョブまで様々なものがある。今の「富岳」は課題を募集してから利用できるが、単に1週間だけ使いたいなどの要求には対応できない。
- リモートアクセスは重要であるが、クラウドにすると「富岳」のメリットが無くなるので必要ないと思う。
- 分からない。普通のスパコンはクラウド利用でも良いか、トップのスパコンはきちんとした研究者に限定した方がよいのではないか。
- 微妙である。富岳はハイエンドとしてのシンボルであるべきで、第二階層以下がやるべきことをトップがやる必要はないのではないか。
- 個人的には興味はないが、社会的には必要かもしれない。産業界の人が手軽に使えるクラウド環境は良いのかもしれない。技術の下方展開は重要。
- あった方がよいと思う。「京」のような閉じたシステムでは専用の研究開発にしか利用できない。AI利用などを含めた利用に活用すべきである。
- 新しい可能性を探る上で、クラウド機能があるのは良いことだと思う。ただ、個人的には重要視されるようなビジョンは持っていない。これから勉強していきたいと思います。

調査結果 経済的 ROI

ハイペリオン・リサーチ社 ROI 測定方法の歴史

2012年、米国エネルギー省 (DOE) は、科学分野の博士号取得数や科学雑誌に掲載された査読付き論文数など、既存の間接的な HPC 投資のリターン測定方法に不満を感じていました。DOE はハイペリオン・リサーチ社 (当時は前身の IDC 社) のアナリストに依頼し、HPC への投資を公的部門の非財務的な科学的イノベーション (研究収益率、ROR) と民間部門の財務的な投資収益率 (ROI) に直接結びつけることが可能なマクロ経済モデルの開発と検証を初めて行いました。

この方法論では、研究代表者 (PI) またはその他のプロジェクトリーダーに、経済モデルの単純な尺度を用いて、プロジェクトの**重要度**と**影響度**を自己採点してもらい、関連する場合には経済的な成果を提示してもらいました。次に、プロジェクトの科学的または工学的領域の専門家1名以上に、プロジェクト参加者の自己採点を見ずに、プロジェクトの成果を独自に採点してもらいました。パイロット研究でも、3年間のフルアウト研究でも、プロジェクト参加者と独立した分野の専門家が提供した評点には強い相関関係があり、自己採点によって「評点のインフレ」が最小限に抑えられていることが示されました。このことから、DOE は我々の方法論が有用であることを確認しました。

- その結果、DOE はハイペリオン・リサーチ社に3年間の助成金を授与し、この方法論を使用してより多くの事例を収集しました。当社の ROI/ROR 研究の累積結果は、www.hpcuserforum.com/roi を参照してください。これらの結果には、DOE に対する当社の研究だけでなく、ドイツ、オランダ、シンガポール、カナダ、その他の国の欧州委員会や政府機関に対して実施したこの方法論を用いたその後の研究結果も含まれています。
- さらに、ハイペリオン・リサーチ社は、これらのコンピュータでこれまでに実施されたすべてのプロジェクトを評価することで、この方法論をいくつかの主要なスーパーコンピュータに適用することを依頼されました。この種の最初の研究は、イリノイ大学アーバナ・シャンパン校にある米国国立科学財団の支援を受けた国立スーパーコンピューティング応用センター (NCSA) にあるスーパーコンピュータ「Blue Waters」を対象としています。
- 本調査は、神戸の理化学研究所に設置された「京」の波及効果に着目したもので、この種の研究としては2番目のものです。

調査における ROI(投資収益率)および ROR(収益率)の検証プロセス

ハイペリオン・リサーチ社では、本調査で収集されたデータが正確で、信頼性があり、防御可能なものであることを完全に保証するために、さまざまな分野の専門家からの幅広い HPC 関連の専門知識を活用した多層的なプロセスを採用しております：

1. 本調査で収集された回答は、最初にハイペリオン・リサーチ社の専門家によって精査され、すべての情報が正しいかどうか、また回答が本調査へのデータ取込みに必要な基準を満たしているかどうか確認されます。
 - 回答に必要な情報が不足している場合や、回答に関連して質問や懸念事項があった場合、ハイペリオン・リサーチ社は回答者に連絡を取ります。
2. 確認された回答は、政府、学术界、産業界の主要な HPC バイヤー組織を代表する国際的なボランティアグループである HPC ユーザーフォーラム運営委員会 (www.hpcuserforum.com に掲載) のメンバーに審査を依頼します。必要に応じて、成果でカバーされている分野の専門家がさらなる審査のために招聘されます。

「京」による全体的な経済的 ROI 結果

スーパーコンピュータ「京」の利用者にとっての収益、利益およびコスト削減の全体的な経済的波及効果を表3に示します。その結果、「京」の収益は5,000億円、利益・コスト削減効果は7,000億円を超え、合計で1兆2,000億円を超えるという非常に大きな効果が得られています。

これは、7年前にHPCシステムの評価を開始して以来、ハイペリオン・リサーチ社がスーパーコンピュータに対して確認してきた最大の経済的リターンを示しています。

経済的波及効果の合計は、「京」への投資額の約9倍¹となっております。ただし、この1兆2,000億円の経済的波及効果には、「京」で実施された科学プロジェクトのうち、経済的な成果が得られなかったもののイノベーション価値は含まれていません。

¹注釈: 本調査における経済的波及効果の合計は116億8300万ドルであり、「京」の7年間のコストである13億ドルの9倍のリターンをもたらしています。

「京」の業績は、収益で5,000億円、利益/コスト削減で7,000億円以上、総合で1兆2,000億円以上と非常に大きな成果を上げています

表3

「京」を利用したプロジェクトによる経済的リターン

項目	値
全体収益(百万米国ドル)	4,708 百万ドル
日本円(百万円)	499,014 百万円
利益/コスト削減(百万米国ドル)	6,975 百万ドル
日本円(百万円)	739,350 百万円
合計ドル(百万米国ドル)	11,683 百万ドル
日本円(百万円)	1,238,364 百万円

ソース: ハイペリオン・リサーチ, 2020

表4は、「京」のプロジェクトから得られた経済的なROIを示しています。この表の2つのROIメトリクスは以下の通りです:

- 収益ROI (収益を「京」でプロジェクトを実行するためのコストで割ったもの)
- 利益またはコスト削減ROI (利益とコスト削減を「京」でプロジェクトを実行するためのコストで割ったもの)

「京」のROI結果は、投資額1円あたりの平均収益還元率が1,623円、投資額1円あたりの平均利益またはコスト削減額が60円と、世界一の結果である

繰り返しになりますが、この ROI の結果は、「京」の投資1円あたりの収益 ROI が1,623 円、利益/コスト削減額が投資1円あたりの60 円と、全体としては世界をリードするものとなっています。

表4

「京」を利用したプロジェクトによる経済的 ROI

項目	値
収益 ROI(米国ドル)	\$1,623x
日本円	1,623x 円
利益またはコスト削減 ROI(米国ドル)	\$60x
日本円	60x 円

注) プロジェクト完了までに HPC に投資した1ドル (または円) ごとに還元されるドル (または円) です。

ソース: ハイペリオン・リサーチ, 2020

²注釈: 本調査における高い収益 ROI は、「京」上で達成された非常に強力なプロジェクトによるものです。収益をもたらした上位2つの ROI プロジェクトは次のものです。

1. がん治療薬「ニボルマブ」の有効性予測
 - がん細胞が免疫系を回避する新たなメカニズムを解明しました。この結果に基づき、治療効果を正確に予測するためには、期待される治療効果の症例に選択的に治療を行うためのバイオマーカーを必要とする免疫チェックポイント阻害抗体を用いた非常に高額な医療費の治療法の開発が進められています。現在、ニボルマブの臨床試験は「再発・難治性の成人 T 細胞白血病リンパ腫」を対象に、その効果を予測した結果に基づいて進められています。
2. 実在街区に立つ複雑表面形状を有する超高層建築物の LES
 - 「京」に約 1 億 4,000 万メッシュのメッシュ数を適用して複雑な表面形状を解像した結果、バルコニー内部と外枠周辺の複雑な流れの特徴をシミュレートし、バルコニー内部の形状に起因する微妙な渦構造を含む複雑な渦の発生を捉えることができました。

ROI コストの算出方法

経済的な ROI は、個々のプロジェクトに基づいて、HPC 計算機を使用するために研究チームに課金された実際の金額に基づいて計算されます。一般的に、コストは HPC 計算機本体、ソフトウェア、場合によってはストレージと電源のみに関連するものです。建物、人件費、その他の費用は含まれていません。

コストがどのように課金されるかは世界各国で大きく異なりますが、課金される金額は、プロジェクトが特定の状況で実際に支払わなければならなかった金額です。もし、HPC のコストが無料 (またはゼロ) であれば、ROI は無限大となるため、それらのコストは計算から除外します。2016 年の調査では、理研と弊社間で「京」の HPC コスト計算のために、成果非公開の場合の単価である 14.53 円/ノード時間を使用することに合意しております。2020 年の調査でも同じ単価を使用しました。

「京」の経済的 ROI は、最大かつ最も複雑な問題を解決することに重点を置いているため、非常に高くなっています - これらの成果が非常に大きな経済的影響を与える傾向があります。成功した最大の3つのプロジェクトの成果を分析から除外した場合には、HPC に投資した1円あたりの収益 ROI は571円となります（これら3つのプロジェクトを含めると1,623円となります）。これは世界平均の463円とほぼ同等です。

国や組織が経済的 ROI の結果を向上させる方法

組織が HPC システムを利用するために課金する方法は様々です。一般的な、より戦略的な方法としては、研究者がより迅速に、より高い能力で研究を行うために HPC をより多く活用できるように、利用料を低く抑えることが挙げられます。多くの状況では、同じ組織に所属する研究者の場合など、リソースは無料で提供されています。NSF、DOE や他の組織で使用される例では、世界の研究で使用できるように成果を公開する場合には、無料でリソースを提供しています。

企業がリソースを民間のプロジェクトに使用したい場合、通常は高い料金を請求されます。完全な TOC（総所有コスト）料金を課金される場合には、利用量は非常に少なくなります。低い料金を請求される場合、例えば電力コストだけを請求される場合には、より多くの計算を行い、より強力な製品やサービスを開発することができます。

また、産業界やその他の外部ユーザは、多くの支援、学習、サポートを必要とする傾向があり、これは経済的 ROI と科学的 ROR の両方を後押しする重要な要件となります。

日本は、産業界などに HPC リソースを非常にリーズナブルな価格で提供するための高度な手法とアプローチを持っています。中国のような国は、より幅広いユーザーベースをサポートする方法を学んでいるところです。

国別収益 ROI 結果

表5は、英国、フランス、米国、EU、ドイツ、イタリア、中国、および世界中のすべてのサイトを合わせた HPC プロジェクトと「京」の経済的 ROI の結果を比較したものです。日本は収益 ROI で他国をリードし、利益またはコスト削減 ROI では第2位（フランスは第1位）です。

表5

国/地域別経済的 ROI

国または地域	HPC\$に対する平均収益\$	HPC\$に対する平均利益\$
日本	1,623	59.9
イギリス	730	35.2
フランス	593	80.6
米国	373	39.0
EU	289	48.4
ドイツ	15	16.3
イタリア	10	7.5

表 5

国/地域別経済的 ROI

国または地域	HPC\$に対する平均収益\$	HPC\$に対する平均利益\$
中国	9	3.3
すべての調査地域	463	43.9

ソース: ハイペリオン・リサーチ, 2020

調査結果: イノベーション研究収益率(ROR)

イノベーションの種類

表 6 は、調査対象となったイノベーションの種類を示したものです。「生産性向上」が最も多く、「科学的大進歩」が 2 番目に多く、「社会に有用」が 3 番目に多くなっています。これらの結果から、「京」が日本全国の非常に幅広い分野で有用であり、産・学・社会に様々な形で貢献していることが確認されました。

表 6

「京」プロジェクトのイノベーション種類

主なイノベーション/ROI 種類	2020 年調査における事例数
生産性向上	21
科学的大進歩	10
社会に有用	9
新発見	5
コスト削減	3
新方式の創出	3
研究プログラムの支援	1

ソース: ハイペリオン・リサーチ, 2020

業種別イノベーション

表 7 は、業種別に調査したイノベーションと、そのイノベーションが基礎科学か応用研究かを示しています。この調査では、学術系が 34 件、政府系が 10 件、産業界が 10 件、合計 54 件のイノベーションが確認されました。

2020年の調査では、基礎研究のイノベーションが21件、応用研究のイノベーションが33件でした。「京」では、本調査の範囲内で特定されたもの以外にも多くのイノベーションが達成されていることにご注意してください。

表7

2020年調査における業種別イノベーション

業種	「京」によるイノベーション数	基礎研究数	応用研究数
学術系	34	17	17
政府系	10	3	7
産業界	10	1	9
合計	54	21	33

ソース: ハイペリオン・リサーチ, 2020

イノベーションの重要度と影響度の評価

以下は、ハイペリオン・リサーチ社のアナリストが米国エネルギー省のために独自に開発した方法論で使用した尺度です。この尺度は、イノベーションの重要度と影響度をランク付けしています。(この方法論の詳細については、前のセクション「ハイペリオン・リサーチ社投資収益率 (ROI) 測定方法の歴史」を参照してください)。

過去10年間のこの分野の他のすべてのイノベーションと比較した重要度：

5. 過去10年間のトップ1~3のイノベーションのうちの1つ
4. 過去10年間のイノベーションのトップ5に入る
3. 過去10年間のイノベーションのトップ10に入る
2. 過去10年間のイノベーショントップ25のうちの1つ
1. 過去10年間のイノベーションのトップ50のうちの1つ

各イノベーションの複数の組織への影響度：

6. 50以上の組織に有用なイノベーション
5. 10~49の組織に有用なイノベーション
4. 6~10の組織に有用なイノベーション
3. 2~5の組織に有用なイノベーション
2. 1つの組織にのみ有用なイノベーション

1. その分野の専門家のみが認めるイノベーション

ハイペリオン・リサーチ社では、これら2つの指標を組み合わせて、このプロジェクトの総合的なイノベーション評価を行いました：

- クラス1イノベーション - 過去10年間で分野のトップ1~3のイノベーションのうちの1つで、10以上の組織に有用
- クラス2イノベーション -- 過去10年間に分野でトップ5のイノベーションの1つで、10以上の組織に有用
- クラス3イノベーション - 過去10年間に分野でトップ5のイノベーションの1つで、少なくとも5つの組織に有用
- クラス4イノベーション - 過去10年間に分野でのトップ10のイノベーションの1つで、少なくとも5つの組織に有用
- クラス5イノベーション - 過去10年間で分野のイノベーションのトップ25の1つで、10以上の組織に有用
- クラス6イノベーション - 過去10年間で分野のイノベーションのトップ25の1つで、少なくとも2つの組織に有用
- クラス7イノベーション - 過去10年間に分野でトップ50のイノベーションの1つで、少なくとも2つの組織に有用
- クラス8イノベーション - その他のすべてのイノベーション

表8は、「京」に関するイノベーション（2020年と2016年の調査を合わせたもの）を重要度別にランク付けしたもので、過去10年間で111件中54件がある分野のイノベーションのトップ3にランクインしています。

表8

イノベーション：重要度

	2020年調査における「京」によるイノベーション数	2016年調査における「京」によるイノベーション数	合計
5. 過去10年間のトップ1~3のイノベーションのうちの1つ	24	30	54
4. 過去10年間のイノベーションのトップ5に入る	1	13	14
3. 過去10年間のイノベーションのトップ10に入る	15	16	31
2. 過去10年間のイノベーショントップ25のうちの1つ	1	4	5
1. 過去10年間のイノベーションのトップ50のうちの1つ	4	3	7
合計	45	66	111

表 8

イノベーション：重要度

	2020年調査における「京」によるイノベーション数	2016年調査における「京」によるイノベーション数	合計

ソース: ハイペリオン・リサーチ, 2020

表 9 は、「京」におけるイノベーション（2020年と2016年の調査を合わせたもの）が、そのイノベーションの他の組織への影響度についてどのようにランク付けされているかを示しています。111のイノベーションのうち71が、世界中の50以上の組織にとって有用であると評価されているのが印象的です。

表 9

イノベーション：影響を受ける機関数

	2020年調査における「京」によるイノベーション数	2016年調査における「京」によるイノベーション数	合計
6. 50以上の組織に有用なイノベーション	30	41	71
5. 10～49の組織に有用なイノベーション	8	13	21
4. 6～10の組織に有用なイノベーション	2	4	6
3. 2～5の組織に有用なイノベーション	2	5	7
2. 1つの組織にのみ有用なイノベーション	3	3	6
1. その分野の専門家のみが認めるイノベーション	0	0	0
合計	45	66	111

ソース: ハイペリオン・リサーチ, 2020

イノベーションの総合的価値の評価

調査で使用するイノベーション・クラスのレベル

表 10 と図 1 は、先に示した2つのランキング指標を組み合わせて、イノベーションクラス指数を作成したものです。「京」のイノベーションは非常に高いスコアを獲得しており、44（40%）がクラス1の категорияに入っています。

表 10

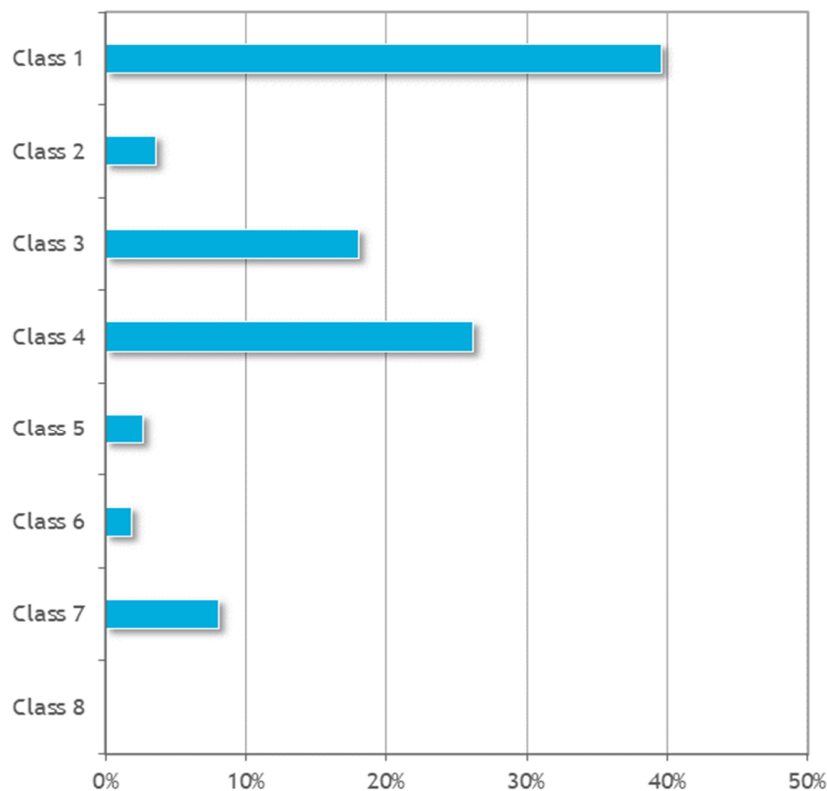
イノベーション・クラス評価

	2020年調査	2016年調査	合計	プロジェクト率
クラス 1	21	23	44	40%
クラス 2	1	3	4	4%
クラス 3	4	16	20	18%
クラス 4	13	16	29	26%
クラス 5	0	3	3	3%
クラス 6	2	0	2	2%
クラス 7	4	5	9	8%
クラス 8	0	0	0	0%
合計	45	66	111	100%

ソース: ハイペリオン・リサーチ, 2020

図1

「京」によるイノベーション・クラス評価



ソース: ハイペリオン・リサーチ, 2020

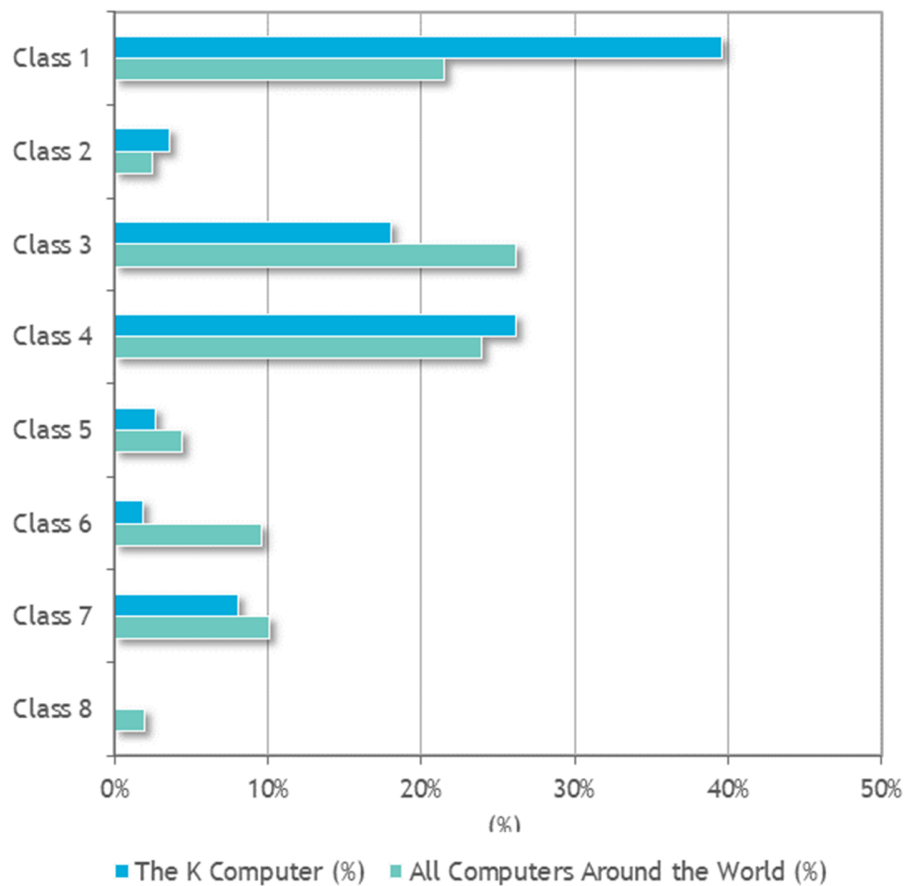
「京」のイノベーションと世界の他サイトとの比較

図2は、「京」のイノベーションと世界のHPCにおけるイノベーションとを比較したものです。「京」は、世界のHPCサイトの平均と比較して、クラス1のイノベーションの割合が2倍になっています。これは、「京」がまさに世界をリードするコンピュータであることを示しています。また、「京」のプロジェクトは、トップノッチ(ある分野ではトップ3に入る)でありながら、多くの組織に役立つ研究に力を入れていたことを示しています。

これは「京」がまさに世界に通用するリーダーシップ・コンピュータであることを示しています

図2

世界の HPC と「京」の比較



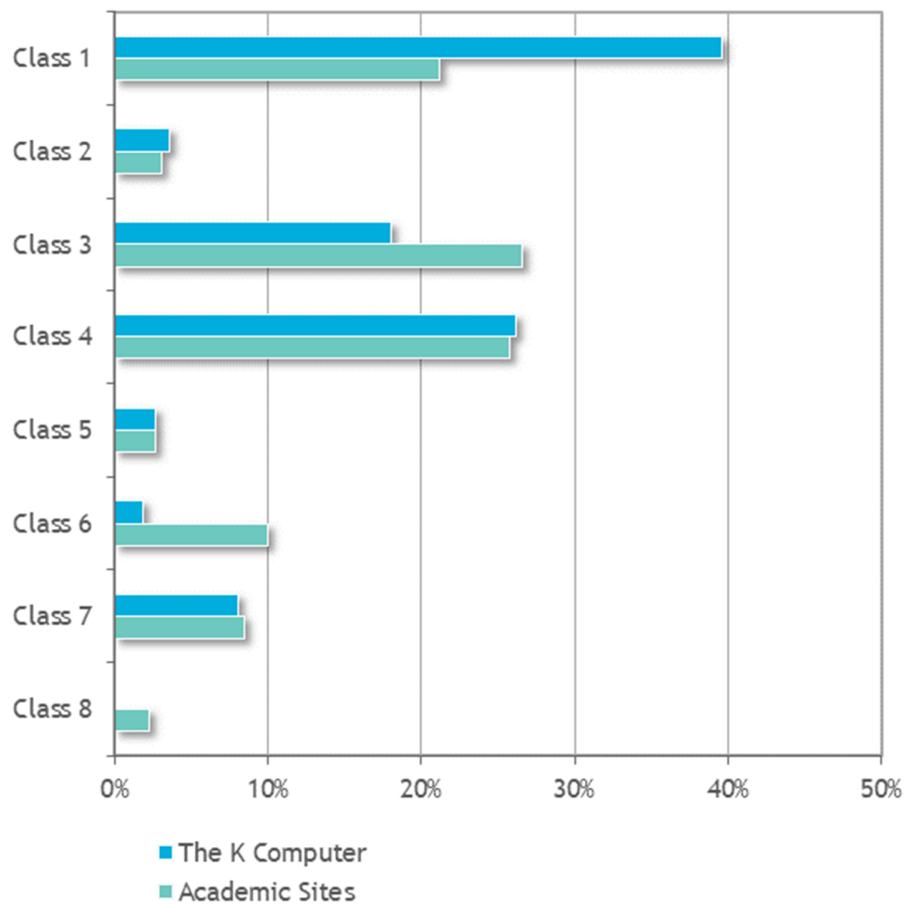
ソース: ハイペリオン・リサーチ, 2020

「京」のイノベーションを世界の学術サイトと比較

図3は、「京」のイノベーションと世界の学術機関のイノベーションとを比較したものです。ここでも、「京」は世界の学術機関の平均と比較して、クラス1のイノベーションの割合が2倍になっています。

図3

「京」と世界の学術機関との比較



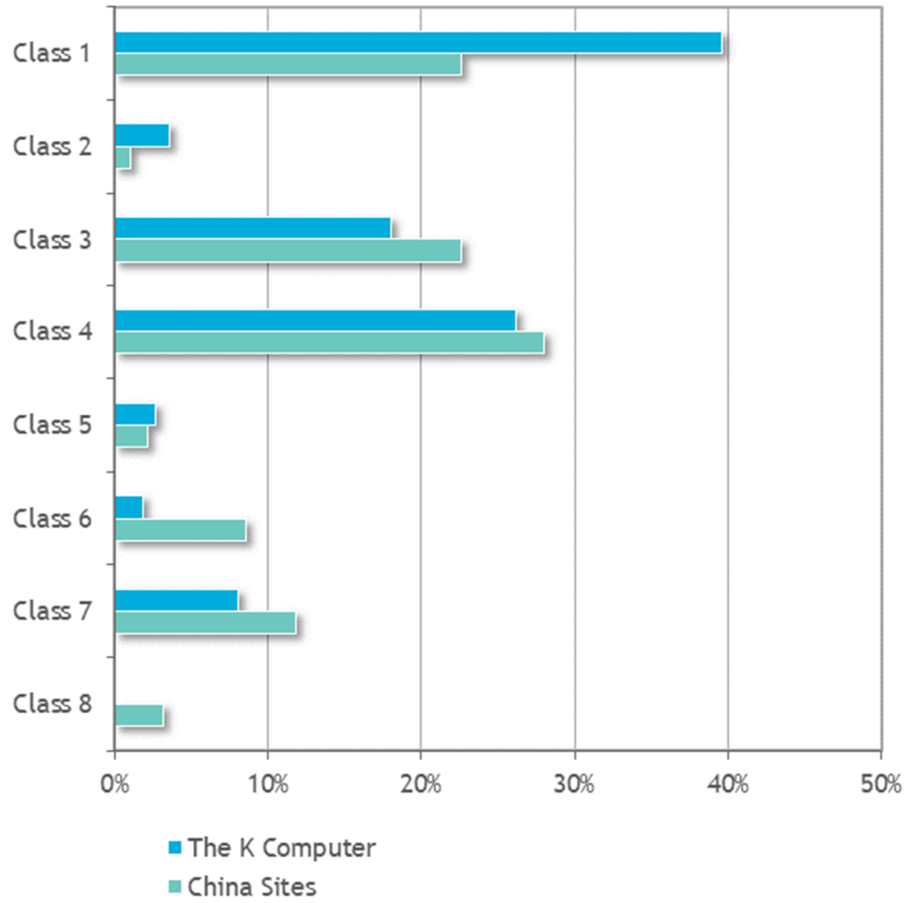
ソース: ハイペリオン・リサーチ, 2020

「京」のイノベーションと中国サイトとの比較

図4は、「京」のイノベーションと中国の組織におけるイノベーションとを比較したものです。ここでも「京」は中国のサイトと比較してクラス1のイノベーションの割合が2倍になっています。

図4

「京」と中国の機関との比較



ソース: ハイペリオン・リサーチ, 2020

「京」による成功事例

ここでは、「京」が可能にした成功事例を簡単に紹介します。

事例#1 石炭ガス化燃焼炉

利用者：東京大学、大学院工学系研究科システム創成学専攻

タイトル：石炭ガス化燃焼炉のシミュレーション

概要：ラボスケールの石炭ガス化炉の固気液三相 LES と炉構造・冷却の大規模連成解析による V & V を実施しました。ベンチスケールの石炭ガス化炉のマルチスケール・マルチフィジクスシミュレーションのシステムを構築し、これによる、CO₂ 分離・回収・貯留技術を導入した次世代石炭火力発電の実用化加速しました。

事例#2 ゴム・シミュレーション

利用者：住友ゴム工業株式会社

タイトル：EnaSave Next II の商品化

概要：大型放射光施設「SPring-8」、大強度陽子加速器施設「J-PARC」、スーパーコンピュータ「京」を連携活用することで開発した新材料開発技術「ADVANCED 4D NANO DESIGN」は低燃費・ウエットグリップ・耐摩耗性能という、相反性能であるタイヤの三大性能を高い次元で両立するために、ナノからミクロンレベルまで、ゴムの内部構造を連続的かつ鮮明に解析し、シミュレーションすることを可能とする技術です。「エナセーブ NEXT II」は、「ADVANCED 4D NANO DESIGN」を適用することでラベリング制度における転がり抵抗性能とウエットグリップ性能の最高グレードである「AAA-a」を達成しつつ、シミュレーションにより分子設計した「新フレキシブル結合剤」を採用し、低燃費性能とグリップ性能を高次元で維持しながら耐摩耗性能を従来品から 51% 向上することに成功しました。DUNLOP 史上かつてない最も高性能なタイヤとして完成しました。

事例#5 原子力発電所の解析

利用者：東京大学、大学院工学系研究科システム創成学専攻

タイトル：東北地方太平洋沖地震本震時の東京電力福島第一原子力発電所 1 号機の応答解析

概要：原子力発電所の今後の耐震安全性の高度化を考えると、東北地方太平洋沖地震本震時に福島第一原子力発電所がどのような応答をしていたのかについてフルスケール 3 次元有限要素法によって詳細に把握することは、設計地震動を越える地震力に対する原子力発電所の実力を詳細に把握する上で大変有意義なものです。

事例#7 海洋シミュレーション

利用者：東京大学、大気海洋研究所 地球表層圏変動研究センター

タイトル：マッデンジュリアン振動シミュレーション

概要：通常の中緯度の気象予測では1週間程度の気象予報で頭打ちとなっていますが、熱帯のマッデンジュリアン振動のシミュレーションの向上によって、1ヶ月程度の延長予測ができるようになります。この結果は、雨量やモンスーンの予測向上により農業等に活用できるようになります。本研究では28日予測が可能であるとの結果が得られました。さらに長期に予測できるかは今後の課題ですが、ECMWFの試験では1.5ヶ月程度まで可能ではないかと言われています。本研究では東京大学などで開発した全球雲解像モデルNICAMを利用しました。世界的にも高解像度モデルでの延長予報がしのぎを削っている状況で、初めて予測に成功しました。モデルはさらに海洋モデルと結合し、より詳細な大気海洋相互作用が表現できるようになりました。その結果、予測スキルがさらに向上することが示されました。

事例#9 気象シミュレーション

利用者：東京大学、大気海洋研究所 地球表層圏変動研究センター

タイトル：地球温暖化に伴う温帯低気圧の雨量予測

概要：温帯低気圧がもたらす雨量は中緯度の雨の大部分ですが、これまでの気候シミュレーションでは前線や対流といった雨量予測に重要な現象を十分表現できていませんでした。高解像度気候シミュレーションデータを解析した結果、海洋性の温帯低気圧がもたらす雨量は地上気温のみでおおよそ決定でき、現在気候と将来気候、および北半球と南半球に依存せず普遍的に成り立つことが分かりました。本結果は、今後高精度な雨量の衛星観測を地球全体で行うことで、温暖化が進んだ将来の雨量を見積もることができることを意味しています。

要約：「京」はどれだけ成功したのか？

本調査では、「京」は歴史上最も成功したスーパーコンピュータの一つであり、その投資に対して何倍もの見返りをもたらしたことを確認しています。「京」の波及効果は、以下の要約が示すように、非常に印象的であり、世界をリードするものです。

日本の研究者に最先端のコンピューティングを提供

限定されたベンチマークテストで測定された「理論ピーク性能」では、他国のトップクラスのスーパーコンピュータの数台が「京」を上回っていましたが、世界中の HPC 専門家は、現実世界で実行される困難な科学・産業アプリケーションでは、「京」は他の追随を許さないという点で、一般的に同意しており、私たちも同意見です。この調査における ROI と ROR の結果(上記)と、「京」のユーザによる付随する声明は、このことを疑う余地がありません。

経済的リターンを提供

「京」は、5,000 億円の収益と 7,000 億円以上の利益・コスト削減を実現し、合計 1 兆 2,000 億円以上の経済的波及効果をユーザに提供しました。

世界中のコンピュータにおける経済的投資収益率 (ROI) の中で、「京」における HPC (京) に投資した場合の平均収益率 1,623 円、平均利益またはコスト削減額 60 円は代表的なものです。

- 主要国の HPC への投資 1 円当たりの経済的 ROI の結果は次の通りです。日本 1,623 円、EU 289 円、米国 373 円、中国 9 円。
- 主要国の HPC への投資 1 円当たりの利益・コスト削減額は以下の通りです。日本 60 円、米国 39 円、EU 48 円、中国 3 円。

科学的・革新的なリターンを提供

また、「京」の波及効果は、経済的なリターンを伴わない科学的イノベーションをもたらすものであり、世界の他の有力なコンピュータからも目立っています：

- 「京」を利用した 111 件のプロジェクトのうち、54 件 (49%) が科学的重要度の一番高いカテゴリーにランクされています。
- 111 件のプロジェクトのうち 71 件 (64%) が、世界中の 50 以上の組織に有用な科学的影響力の高いカテゴリーにランク付けされています。

将来展望

国家的リーダーシップクラスのスーパーコンピュータを持つ重要性

世界各国の政府は、HPC が科学的リーダーシップだけでなく、産業競争力や経済競争力を高めることができる変革的な技術であるとの認識を強めています。(本調査の結果は、この両方の点で「京」が他の追随を許さないことを確認しています)。この認識に付随して、HPC は戦略的には他国、つまり多くの場合米国にアウトソースするにはあまりにも戦略的であるとの考えがあります。そのため、日本、中国、欧州におけるエクサスケール構想では、国家的スーパーコンピュータ構想の中で独自のHPC 技術の開発が進められています。

これらの取り組みは、国家的リーダーシップ・クラスのスーパーコンピューティング能力を維持することが、複数の理由から不可欠であるという信念に基づいています。これらの理由はすべて、本調査の個別のインタビューによって確認されました：

- 日本が独自のリーダーシップ・クラスのスーパーコンピュータを常に維持していない限り、日本のトップの科学技術研究者は、低性能のスーパーコンピュータでは研究をサポートできないため、外国のリーダーシップ・クラスのスーパーコンピュータに利用申請せざるを得なくなるでしょう。しかし、外国の政府関係者は、日本の研究者の優先順位を低く設定して、研究を遂行するための時間を与えなかったり、不十分な時間を与えたりすることを余儀なくされるかもしれません。このように外国のスーパーコンピュータに依存した結果、日本は先進的な科学研究や産業研究において他の主要国に遅れをとり、日本の経済競争力に悪影響を及ぼす可能性があります。
- 同様に重要なことは、日本のスーパーコンピュータの開発が進まなければ、日本の次世代研究者を代表する多くの学生が日本国外で勉強し、研究を行い、キャリアを追求することを余儀なくされることです。また、次世代の研究者がいなくなれば、日本は先進的な研究において他の主要国に遅れをとり、日本の経済や生活の質に悪影響を及ぼす可能性があります。
- また、日本の「Society 5.0」の目標を達成するためには、リーダーシップクラスのスーパーコンピュータが不可欠です。精密医療、自動運転、スマートシティ、モノのインターネットなど、最も重要な AI 利用事例の最前線での研究開発には、すでに強力なスーパーコンピュータが欠かせません。今後数年でこれらの AI アプリケーションを実用化するためには、新たなリーダーシップクラスのスーパーコンピュータが必要になるでしょう。
- このようなリスクは 10 年前よりも大きくなっていますが、その理由は、日本とアメリカだけがリーダーシップクラスのスーパーコンピュータを使って科学力や産業力を高めているわけではないからです。中国や欧州の複数の国がこの競争に参加しており、今後数年のうちに次世代のリーダーシップクラスのスーパーコンピュータが導入されることになります。

関連研究

- China's AI Plans and Activities, March 2020, HR12.0009.03.16.2020, Michael Feldman and Earl Joseph
- Arm in the UK: Catalyst and Isambard, February 2020, HR13.0001.01.06.2020, Bob Sorensen
- Quantum Computing: The Investors' View, February 2020, HR16.0002.01.15.2020, Bob Sorensen
- Enabling Performance Portable Climate Simulations on Aurora and Frontier, February 2020, HR.13.0003.02.18.2020, Bob Sorensen and Melissa Riddle
- Spain Will Invest \$1.5 Billion In MareNostrum 5 Project, December 2019, HR1.0059.12.19.2019, Steve Conway and Earl Joseph
- Looking at 2020 and Beyond: Key Considerations and Recommendations for HPC Modernization Efforts, December 2019, HR12.0056.12.13.2019, Bob Sorensen
- Worldwide ARM-based HPC Server Market Forecasts, 2019–2023, by Region and by Vertical, November 2019, HR1.0051.11.06.2019, Earl Joseph, Steve Conway, Alex Norton, and Bob Sorensen
- Addressing the I/O Bottleneck in Datacenters with Silicon Photonics, October 2019, HR123.0047.10.02.2019, Alex Norton
- UK's National Quantum Technologies Programme: Seeking to Translate Technical Gains into Commercial Opportunity, September 2019, HR1.0043.09.05.2019, Bob Sorensen
- EU's Quantum Technologies Flagship Program: Striving to Build a World-class Quantum Ecosystem, August 2019, HR1.0040.08.26.2019, Bob Sorensen
- Cray Shasta Architecture Hits an Exascale Triple, August 2019, HR1.0037.08.13.2019, Steve Conway and Earl Joseph
- Worldwide HPC-based Artificial Intelligence (AI) Market Forecast Update, 2018–2023, July 2019, HR2.0036.07.15.2019, Steve Conway, Earl Joseph, and Alex Norton
- Worldwide HPC Server Market Forecast Update, 2018–2023, June 2019, HR12.0030.06.11.2019, Earl Joseph, Bob Sorensen, Steve Conway, and Alex Norton
- Projected Major Near Exascale and Exascale Roll Outs and Revenues 2020-2025, June 2019, HR12.0028.06.06.2019, Earl Joseph, Steve Conway, and Bob Sorensen
- Cray Reinvents Itself Again and Will Build a Second DOE Exascale System, May 2019, HR1.0022.05.09.2019, Earl Joseph and Steve Conway
- ORNL Announces Newest Leadership HPC: It's More Than Just Exaflops, May 2019, HR1.0021.05.09.2019, Bob Sorensen
- Gen-Z: A Memory-Centric Interconnect Fabric, February 2019, HR1.0009.02.28.2019, Alex Norton
- The European Processor Initiative, January 2019, HR123.0004.01.22.2019, Steve Conway and Bob Sorensen
- HPC Public Cloud Market Spending Size and Forecast, 2013-2022, January 2019, HR1.0003.01.08.2019, Alex Norton, Bob Sorensen, Steve Conway, and Earl Joseph
- Leadership Computing Initiatives: EuroHPC and the European HPC Strategy, November 2018, HR13.0058.11.27.2018, Alex Norton, Earl Joseph, Steve Conway, and Bob Sorensen

ハイペリオン・リサーチ社について

ハイペリオン・リサーチ社は、世界中の組織が効果的な意思決定を行い、成長の機会をつかむことができるよう、ハイパフォーマンスコンピューティングおよび新興技術分野の技術、アプリケーション、市場に関するデータ駆動型の調査、分析、提言を提供しています。リサーチには、HPC および HPDA (高性能データ分析) に使用されるマルチユーザのテクニカルサーバ技術の市場サイジングおよび予測、シェアトラッキング、セグメンテーション、技術および関連トレンド分析、ユーザーおよびベンダー分析が含まれます。政府、産業界、商業界、学术界の主要な市場と技術動向に焦点を当て、ユーザ、ベンダー、および HPC コミュニティの他のメンバーに、思考のリーダーシップと実践的なガイダンスを提供しています

本社

365 Summit Avenue

St. Paul, MN 55102

USA

612.812.5798

www.hpcuserforum.com and

" www.HyperionResearch.com

Copyright Notice

Copyright 2020 Hyperion Research LLC. Reproduction is forbidden unless authorized. All rights reserved. Visit www.hpcuserforum.com or www.HyperionResearch.com to learn more. Please contact 612.812.5798 and/or email info@hyperionres.com for information on reprints, additional copies, web rights, or quoting permission.