

スパコンの世界、世界のスパコン

理化学研究所 計算科学研究機構
石川裕

2015/10/24

13:30~14:10

スパコンって何もの？

世界にどんなスパコンがあるの？



スパコンはなぜ必要なの？

将来はどんなスパコンが登場するの？

スパコンって何もの？



計算スピード

暗算できる人

頭の中で計算するスピード

紙に途中結果を書きながら
計算する人

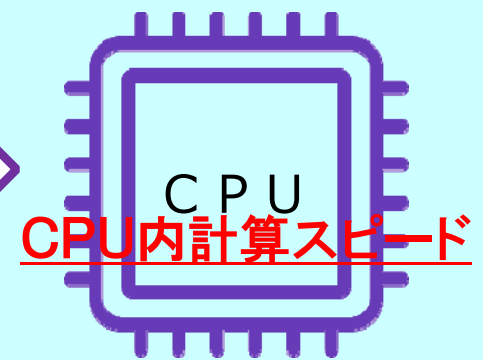
読むスピード

書くスピード

1.2 + 2.3 = 7.5

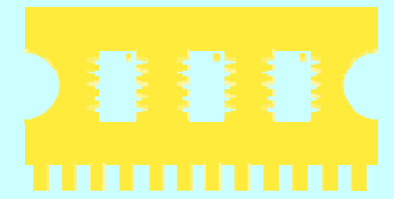
人の計算スピードは、読み書きのスピード、頭の中で計算するスピード、で決まる

コンピュータ



メモリのスピード

メモリ



コンピュータの計算スピードは、メモリのスピード、CPUで計算するスピード、で決まる

スパコン（スーパーコンピュータ）とは？

- その時代でもっとも高速なコンピュータを指す

最初のスパコン CDC6600 (1964)



出展：Wikipedia

スパコンの代名詞になった CRAY-1 (1976)



出展：Wikipedia

The first Cray® -1 system was installed at Los Alamos National Laboratory in 1976 and cost \$8.8 million. It boasted a world-record speed of 160 million floating-point operations per second (160 megaflops) and an 8 MB (1 million word) main memory. The architecture of the Cray-1 system reflected its designer's penchant for bridging technical hurdles with revolutionary ideas. In order to increase the speed of this system, it was built with a unique "C" shape so the integrated circuits could be placed closer together. No wire in the system was more than four feet long. To handle the intense heat the computer generated, Cray developed an innovative refrigeration system using Freon.

出展：<http://www.cray.com/company/history>

スーパーコンピュータとは？

● その時代でもっとも高速なコンピュータを指す

最初のスパコン
CDC6600 (1964)



出展：Wikipedia

スパコンの代名詞になった
CRAY-1 (1976)



出展：Wikipedia

The first Cray®-1 system was installed at Los Alamos National Laboratory in 1976 and cost \$8.8 million. It boasted a world-record speed of 160 million floating-point operations per second (160 megaflops) and an 8 MB (1 million word) main memory. The architecture of the Cray-1 system reflected its design goal of high performance per dollar. In this system, it was built with a unique "C" shape so the integrated circuitry was cooled by natural convection. No wire in the system was used to dissipate the intense heat the system generated. Cray developed an innovative cooling system that allowed the system to operate at a much higher density than other computers of the time.

floating-point operation per second, 1秒間に計算できる回数
(浮動小数点演算回数)

- flops、1回/秒
- Kflops (10^3 flops)、千回/秒
- Mflops (10^6 flops)、100万回/秒
- Gflops (10^9 flops)、10億回/秒
- Tflops (10^{12} flops)、1兆回/秒
- Pflops (10^{15} flops)、1000兆回/秒
- 10 Pflops (10^{16} flops)、京回/秒

ay.com/company/history

命数法と接頭辞		
千	10^3	K
万	10^4	10K
億	10^8	100M
兆	10^{12}	T
京(ケイ)	10^{16}	10P
垓(ガイ)	10^{20}	100E

スーパーコンピュータとは？

● その時代でもっとも高速なコンピュータを指す

$$1.2 + 2.3 + 3.1 + 0.9 =$$

これを1秒で解ければ、 National

1秒間に3回足し算できたので、
3flops

最初のスパコン
CDC6600 (1964)



出展：Wikipedia

スパコンの代名詞になった
CRAY-1 (1976)



出展：Wikipedia

The first Cray®-1 system was installed at the National Laboratory in 1976 and cost \$8 million. It set a record speed of 160 million floating-point operations per second (160 megaflops) and an 8 MB (8 million words) main memory. The architecture of the Cray-1 system reflected its design goal of high performance. In this system, it was built with a unique "C" shape so the integrated circuitry could be cooled by natural convection. No wire in the system was used to dissipate the intense heat the system produced. This was an innovative design.

floating-point operation per second, 1秒間に計算できる回数
(浮動小数点演算回数)

- flops、1回/秒
- Kflops (10^3 flops)、千回/秒
- Mflops (10^6 flops)、100万回/秒
- Gflops (10^9 flops)、10億回/秒
- Tflops (10^{12} flops)、1兆回/秒
- Pflops (10^{15} flops)、1000兆回/秒
- 10 Pflops (10^{16} flops)、京回/秒

ay.com/company/history

命数法と接頭辞		
千	10^3	K
万	10^4	10K
億	10^8	100M
兆	10^{12}	T
京(ケイ)	10^{16}	10P
垓(ガイ)	10^{20}	100E

スーパーコンピュータとは？

● その時代でもっとも高速なコンピュータを指す

最初のスパコン
CDC6600 (1964)



出展：Wikipedia

スパコンの代名詞になった
CRAY-1 (1976)



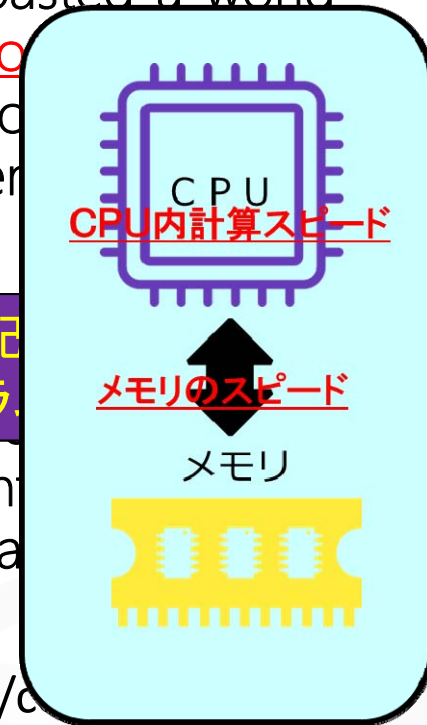
出展：Wikip

The first Cray®-1 system was installed at Los Alamos National Laboratory in 1976 and cost \$8.8 million. It boasted a world-record speed of 160 million floating-point operations per second (160 megaflops) and an 8 MB (1 million bytes) memory. The architecture of the Cray-1 system was the designer's penchant for bridging technical revolutions with ideas to order to increase the

スマートフォン iPhone 5s (動作周波数1.3 GHz、主記
は1004.77 megaflops (Linpackベンチマークプログラ

was more than four feet long. To handle the in
computer generated, Cray developed a
refrigeration system using Freon.

出展：http://www.cray.com/c



Linpackベンチマークプログラム：

連立一次方程式を解いた時の演算性能。スパコンの実行では、百万変数（元）以上の大規模方程式を解いている

連立一次方程式の例：

$$\begin{aligned} 2x_1 + x_2 + x_3 &= 7 \\ x_1 + 2x_2 - x_3 &= 2 \\ x_1 + x_3 + 4x_3 &= 15 \end{aligned}$$

**LinpackはCPUの計算
スピードが重要なベンチ
マークプログラム**

命数法と接頭辞

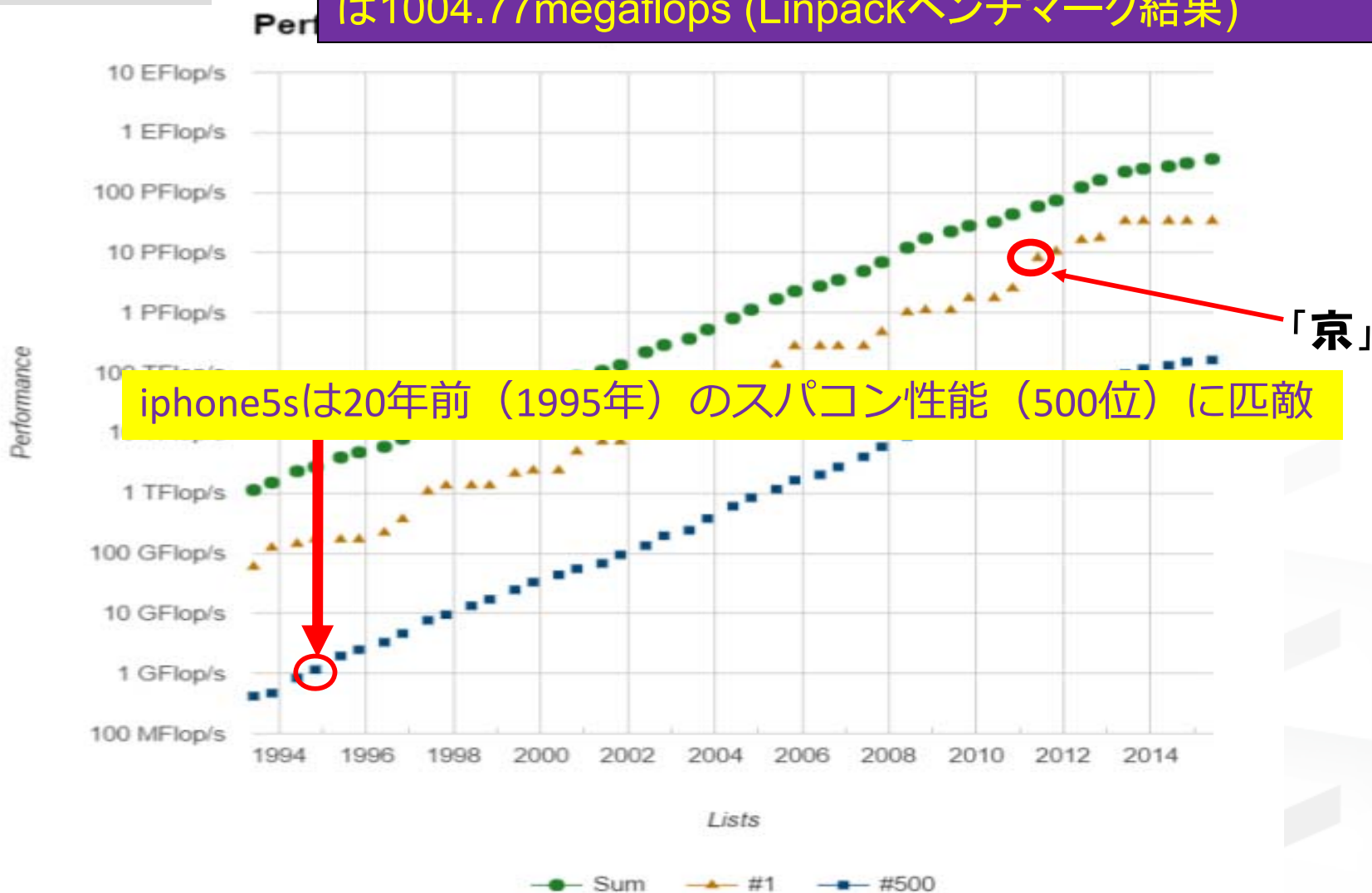
千	10 ³	K
万	10 ⁴	10K
		100M
		T
		10P
		100E

TOP500でみるスパコン性能の変遷

TOP500サイトにおいて、6月と11月の2回、世界のスパコンのLinpackベンチマークプログラム実行の性能結果を公表

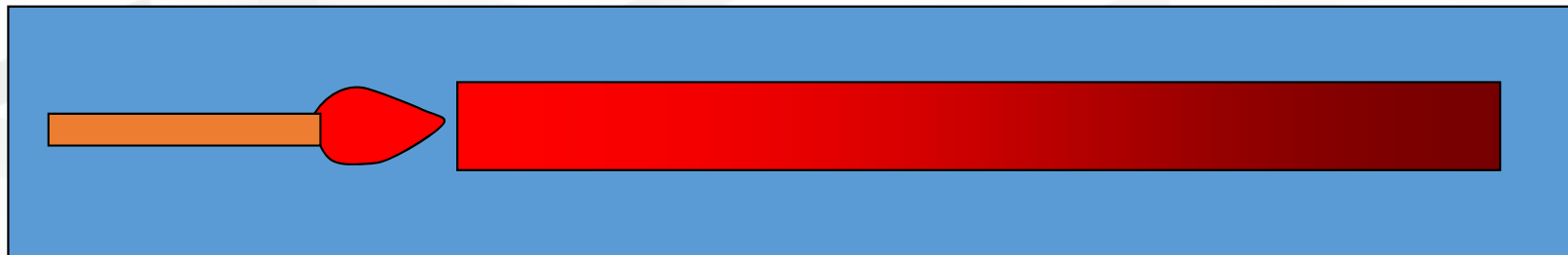
<http://www.top500.org/>

スマートフォン iphone 5s (動作周波数1.3 GHz、主記憶1GB)の性能は1004.77megaflops (Linpackベンチマーク結果)

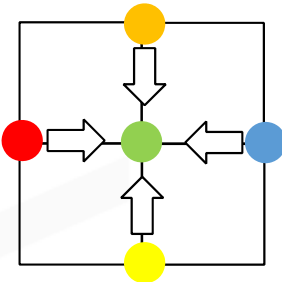
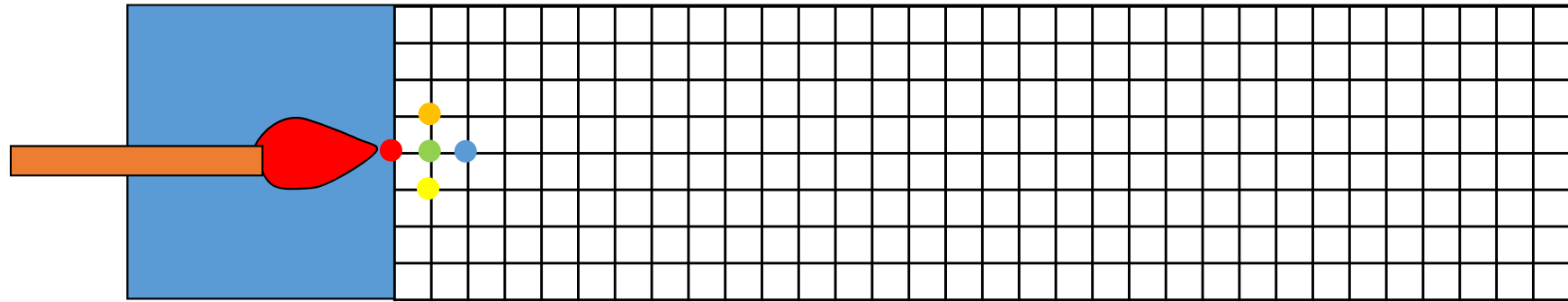


どんな計算するの？

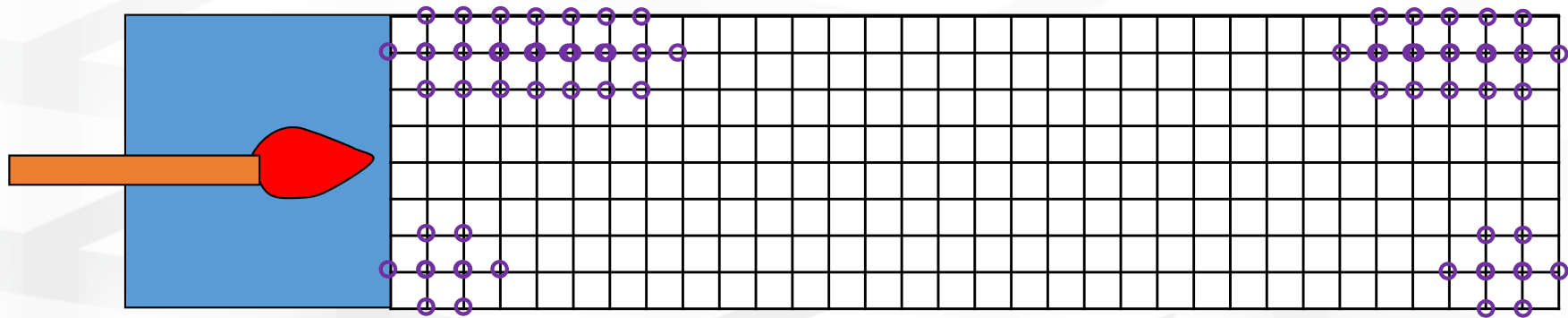
- **例：流れのシミュレーション**
 - 流体の運動に関する方程式を計算機で解く
 - 自動車、飛行機、船などの流体中を移動する物体の運動
 - 熱伝導に関する方程式を計算機で解く
 - エンジン、電子機器などの熱設計
- **どういう計算をするか？**
 - 簡単な例
 - 2次元の棒の左からバーナーで熱を加えたときに熱がどう伝わっていくか？



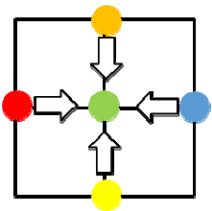
数値計算例：熱伝導問題



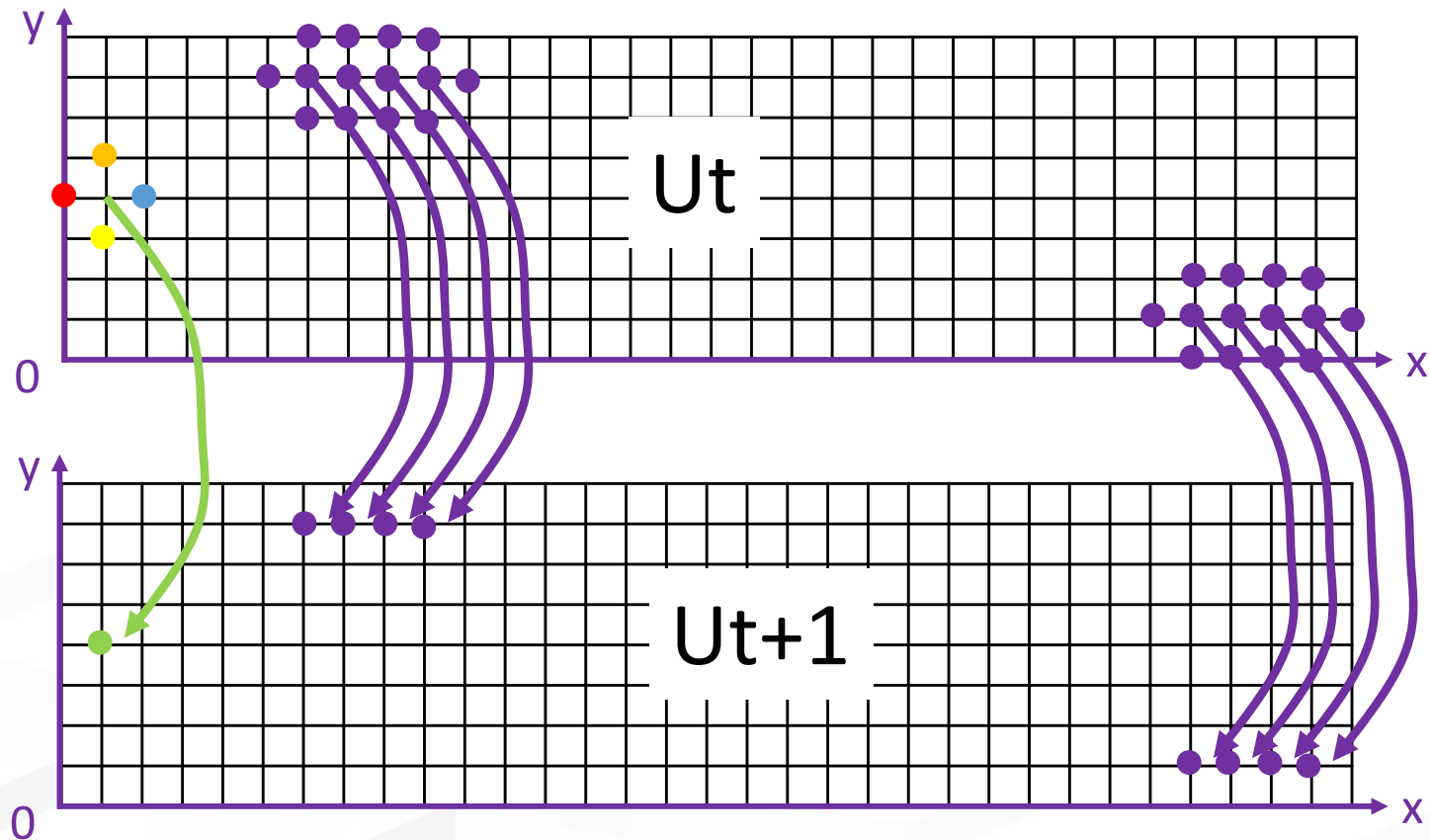
● の次の時刻の温度は
● と ● と ● と ● の温度の
平均とする（足して4で割った値）



数値計算例：熱伝導問題



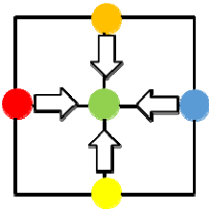
●の次の時刻の温度は
●と●と●と●の温度の
平均とする（足して4で割った値）



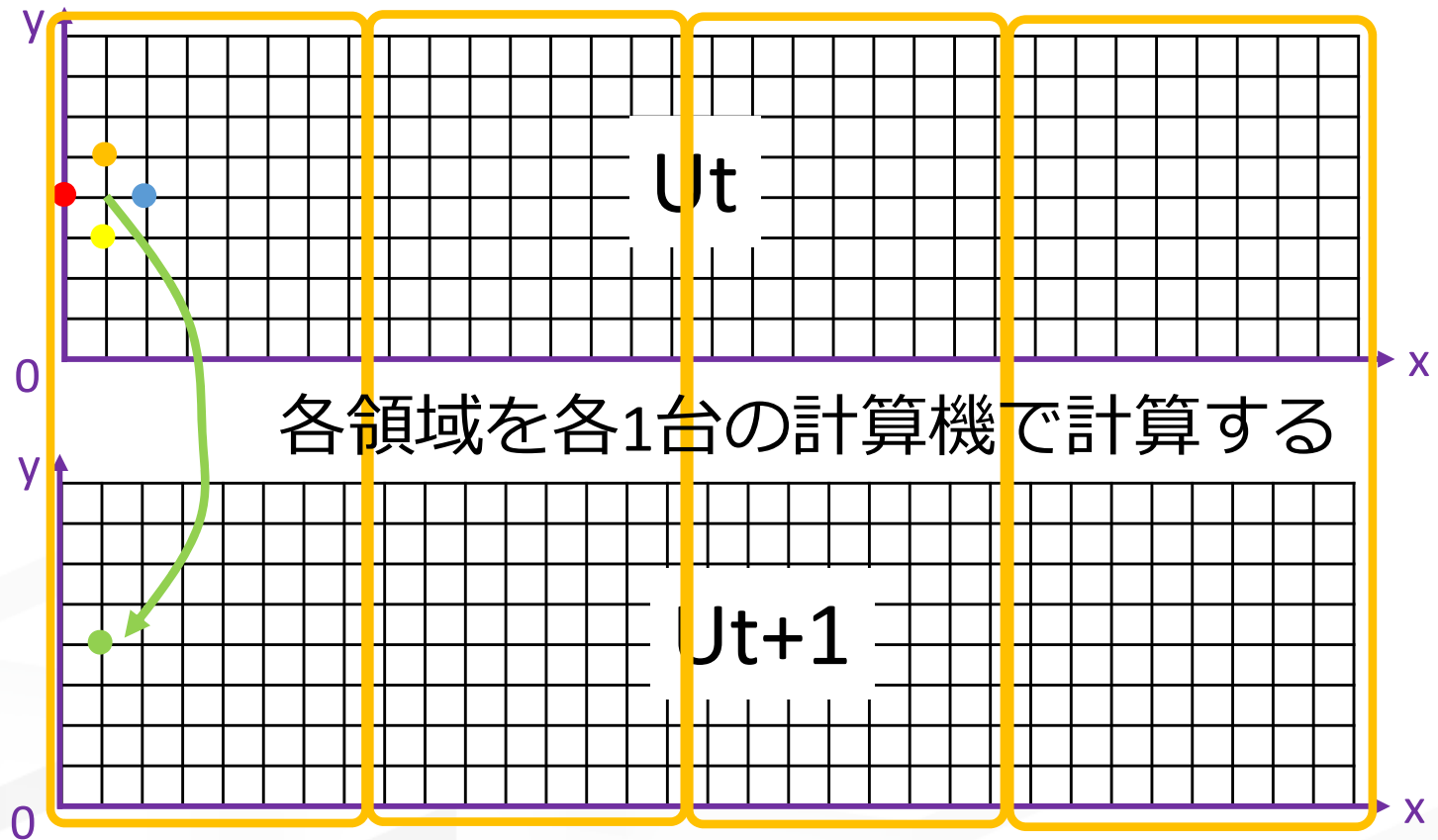
$$U_{t+1}(x, y) = \frac{U_t(x - 1, y) + U_t(x + 1, y) + U_t(x, y - 1) + U_t(x, y + 1)}{4}$$

それぞれの格子点の計算は独立して計算できる

数値計算例：熱伝導問題



●の次の時刻の温度は
●と●と●と●の温度の
平均とする（足して4で割った値）

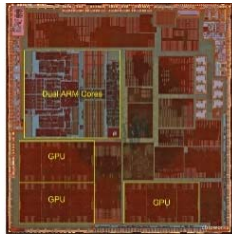


$$U_{t+1}(x, y) = \frac{U_t(x - 1, y) + U_t(x + 1, y) + U_t(x, y - 1) + U_t(x, y + 1)}{4}$$

最近のCPUと並列計算

スマホ

Apple製iphone5のCPU

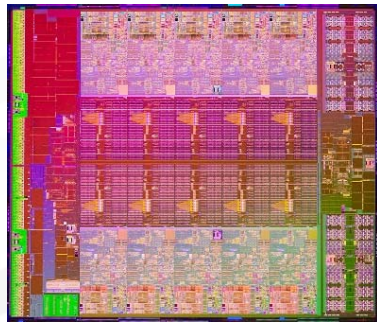


CPUコア x 2 + GPU

Sources: https://ja.wikipedia.org/wiki/Apple_A6
<https://www.ifixit.com/Teardown/Apple-A6-Teardown/10528/1>

PCサーバ

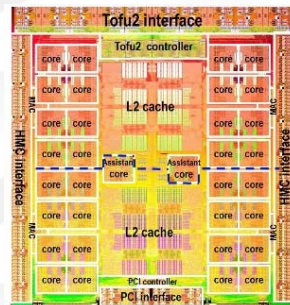
Intel製CPU



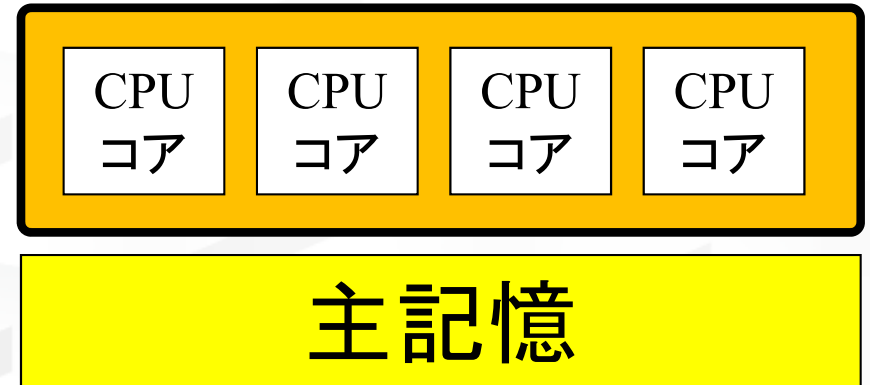
CPUコア x 6~12

スパコン

富士通製最新スパコンのCPU



CPUコア x 32

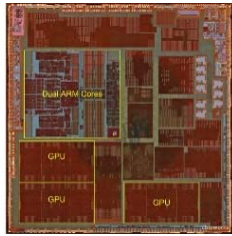


CPUコア：計算処理をする中核部

最近のCPUと並列計算

スマホ

Apple製iphone5のCPU

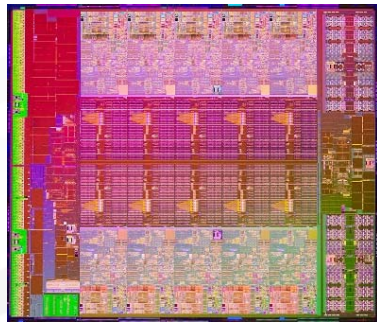


CPUコア x 2 + GPU

Sources: https://ja.wikipedia.org/wiki/Apple_A6
<https://www.ifixit.com/Teardown/Apple-A6-Teardown/10528/1>

PCサーバ

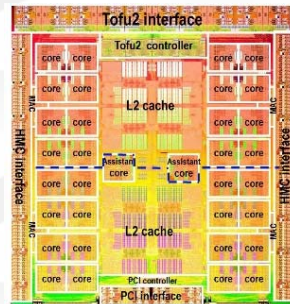
Intel製CPU



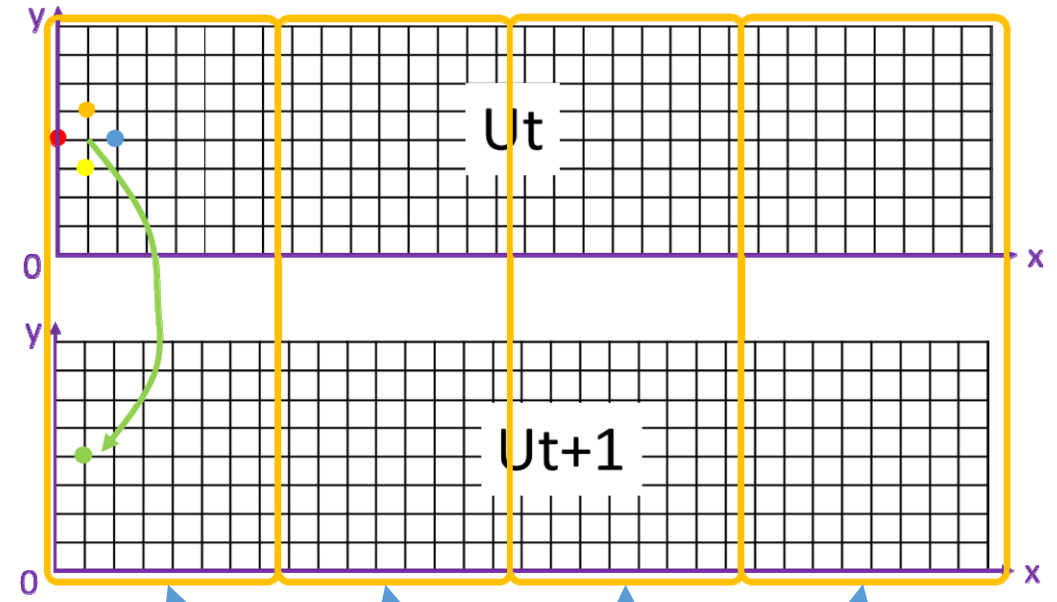
CPUコア x 6~12

スパコン

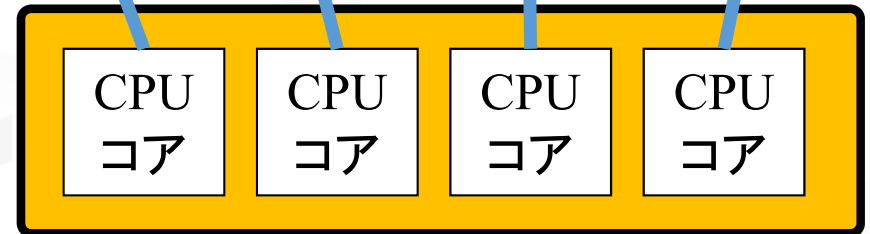
富士通製最新スパコンのCPU



CPUコア x 32



各CPUコアが各領域の計算を独立して計算する



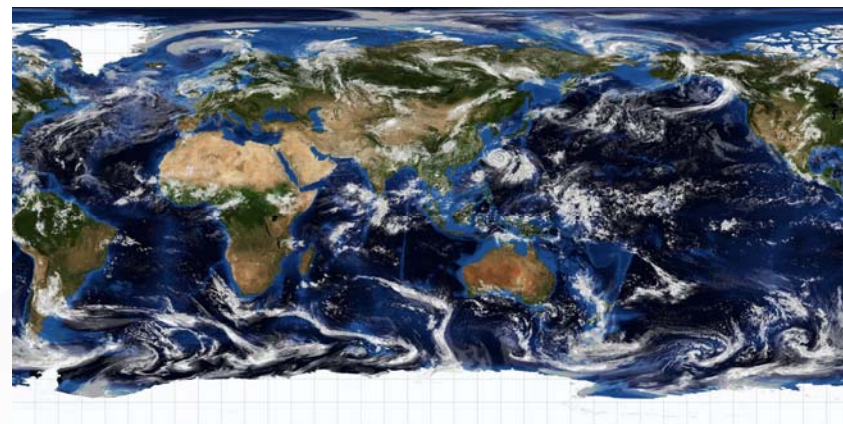
CPUコア：計算処理をする中核部

スパコンはどうして必要？

- 計算機 1 台では演算能力が足りない
- 計算機 1 台ではメモリが足りない
- 例：気象・気候アプリケーション



Linpack性能：600億演算/秒(60 Gflops)
動作周波数：3 GHz
主記憶容量：8GB



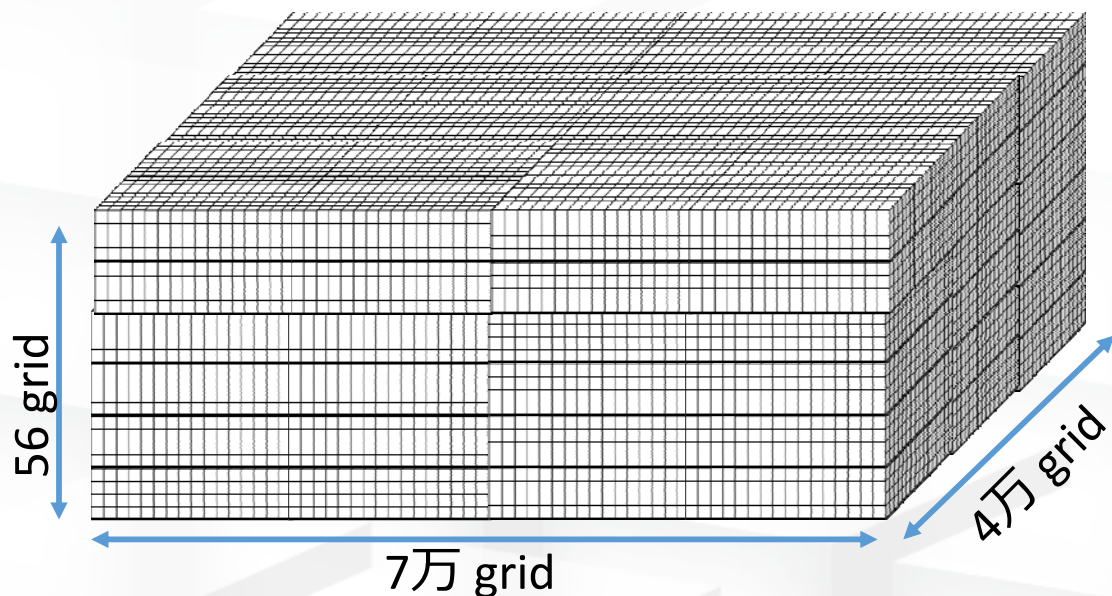
スパコンはどうして必要？



Linpack性能：600億演算/秒(60 Gflops)
 動作周波数：3 GHz
 主記憶容量：8GB

- 計算機 1 台では演算能力が足りない
- 計算機 1 台ではメモリが足りない
- 例：気象・気候アプリケーション

格子数：7万 × 4万 × 56 = 約1300億(130G)格子 (水平方向2km解像度、高度55km)
 1格子当たりの演算量: 約 150億演算 (15G) = 3万演算 x 50万回実行
 全格子当たりの演算量：約 20垓回 (2000Exa)
 使用メモリ量：約 400Tbyte



実際には球体表面層を分割しているのでこのような形状ではない

命数法と接頭辞				
千	10^3	K	K (キロ)	10^3
万	10^4	10K	M (メガ)	10^6
億	10^8	100M	G (ギガ)	10^9
兆	10^{12}	T	T (テラ)	10^{12}
京(ケイ)	10^{16}	10P	P (ペタ)	10^{15}
垓(ガイ)	10^{20}	100E	E (エキサ)	10^{18}
杼(ジョ)	10^{24}	Y	Z (ゼプト)	10^{21}
			Y (ヨタ)	10^{24}

スパコンはどうして必要？

- 計算機 1 台では演算能力が足りない
- 計算機 1 台ではメモリが足りない
- 例：気象・気候アプリケーション



Linpack性能：600億演算/秒(60 Gflops)
 動作周波数：3 GHz
 主記憶容量：8GB

1台のノートPCで約0.3秒 (実際はもっと遅い)

1台のノートPCで約1000年 (1000年)

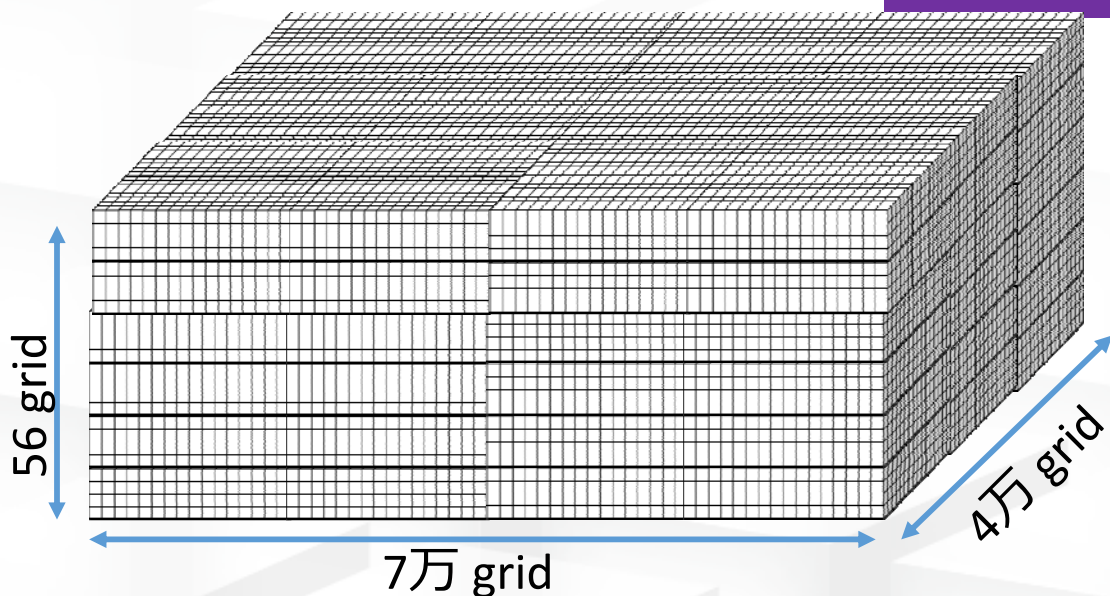
格子数：7万 × 4万 × 56 = 約1300億(130G)格子 (1300億格子)

1格子当たりの演算量：約 150億演算 (15G) = 3万演算 × 50万回実行

全格子当たりの演算量：約 20垓回 (2000Exa)

使用メモリ量：約 400Tbyte

そもそも1台のノートPCではメモリ足りない



実際には球体表面を分割しているのでこのような形状ではない

命数法と接頭辞		
千	10 ³	K
万	10 ⁴	10K
億	10 ⁸	100M
兆	10 ¹²	T
京(ケイ)	10 ¹⁶	10P
垓(ガイ)	10 ²⁰	100E
杼(ジョ)	10 ²⁴	Y

K (キロ)	10 ³
M (メガ)	10 ⁶
G (ギガ)	10 ⁹
T (テラ)	10 ¹²
P (ペタ)	10 ¹⁵
E (エキサ)	10 ¹⁸
Z (ゼプト)	10 ²¹
Y (ヨタ)	10 ²⁴

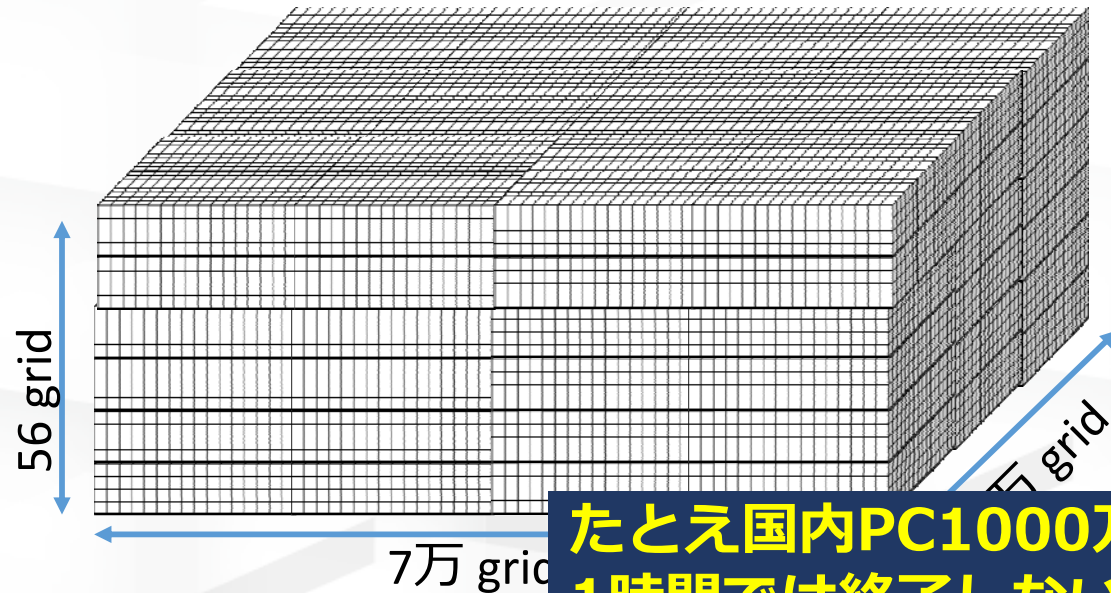
スパコンはどうして必要？



Linpack性能：600億演算/秒(60 Gflops)
 動作周波数：3 GHz
 主記憶容量：8GB

- 計算機 1 台では演算能力が足りない
- 計算機 1 台ではメモリが足りない
- 例：気象・気候アプリケーション

格子数：7万 × 4万 × 56 = 約1300億(130G)格子 (水平方向2km解像度、高度55km)
 1格子当たりの演算量: 約 150億演算 (15G) = 3万演算 x 50万回実行
 全格子当たりの演算量：約 20垓回 (2000Exa)
 使用メモリ量：約 400Tbyte



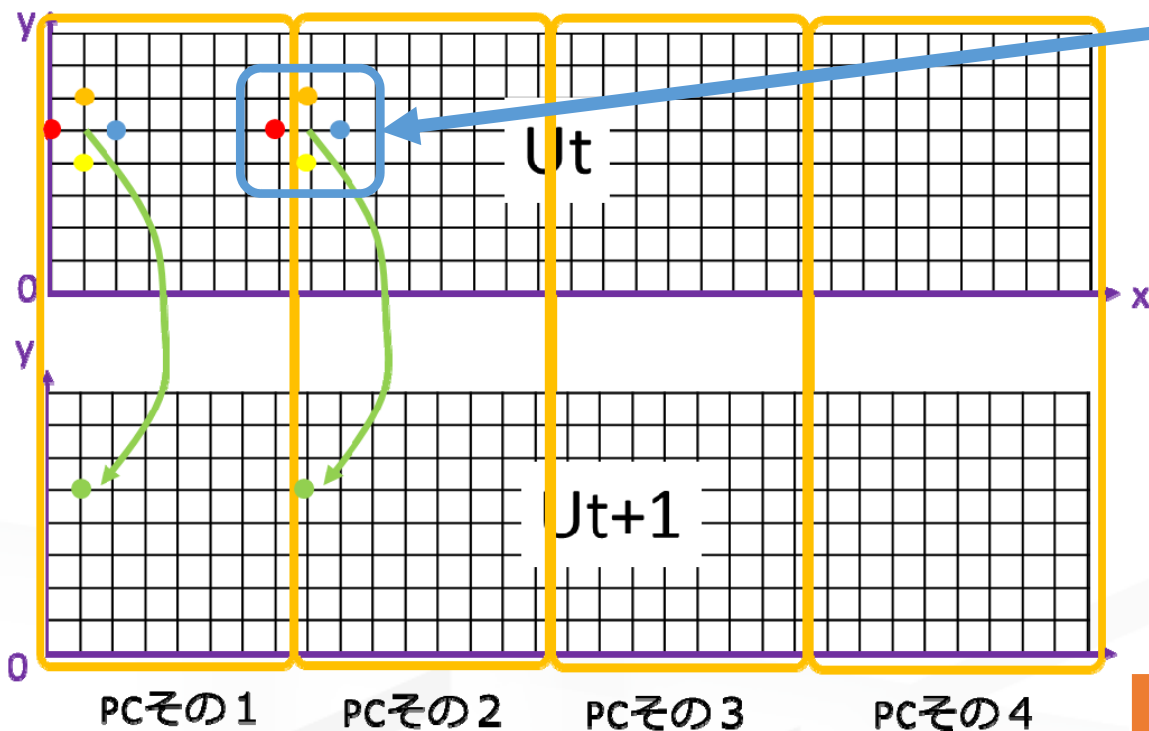
PC台数	実行時間
1	約1000年
1万台	約40日
1000万台	約1時間

2014年の国内PC出荷台数
 1,491万7千台
 (株式会社MM総研調べ)

**たとえ国内PC1000万台使えても
 1時間では終了しない**

実際には球体表層を分割して

スパコンはどうして必要？



PCその2が計算するためにはPCその1の主記憶にあるデータ（●）が必要。

PC間でデータ交換のために通信する必要がある。

1格子当たりの演算量: 約 150億演算 (15G) = 3万演算 x 50万回実行

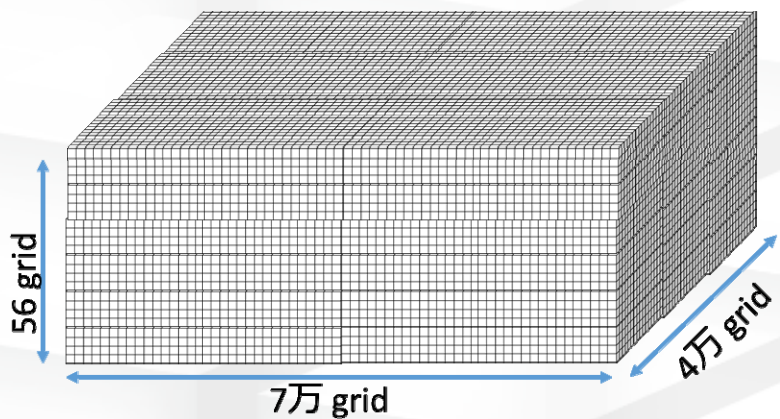
各PCは以下を**50万回**繰り返す

1. 3万演算*格子数
2. データ交換

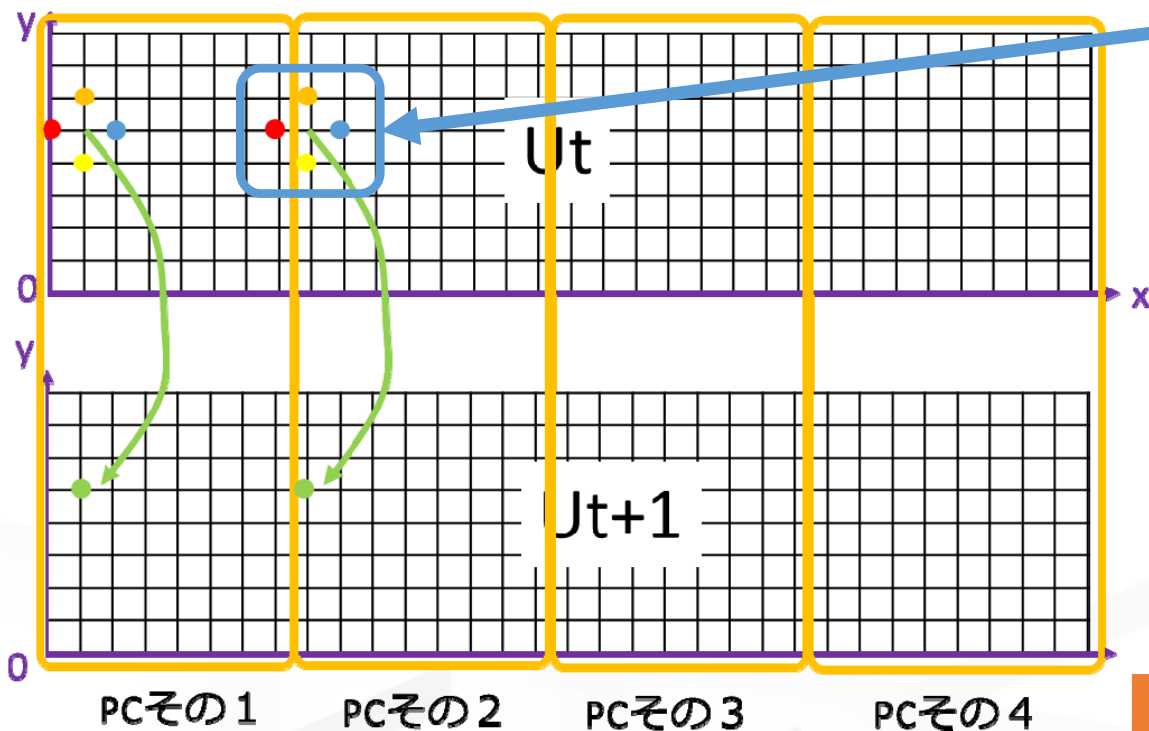
実行時間	1台の1回の実行時間内訳		
	計算時間	通信時間	実行時間
約1時間	0.007秒	0秒	0.007秒

0.007秒 x 50万回 = 約1時間

PC1000万台の時PC1台当たり計算する格子数約1万3千



スパコンはどうして必要？



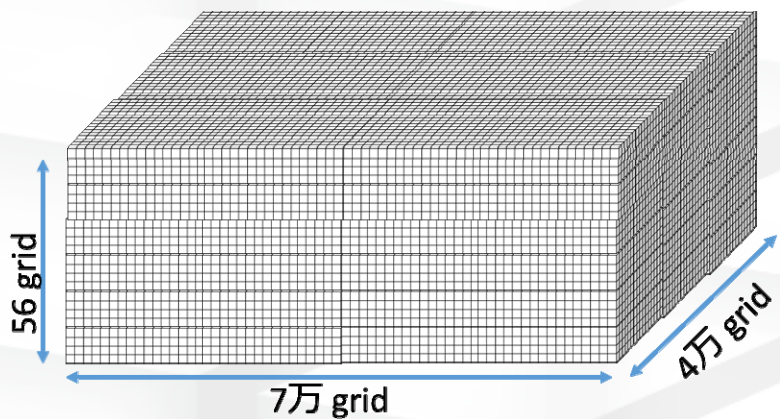
PCその2が計算するためにはPCその1の主記憶にあるデータ（●）が必要。

PC間でデータ交換のために通信する必要がある。

1格子当たりの演算量: 約 150億演算 (15G) = 3万演算 x 50万回実行

各PCは以下を**50万回**繰り返す

1. 3万演算*格子数
2. データ交換



実行時間	1台の1回の実行時間内訳		
	計算時間	通信時間	実行時間
約1時間	0.007秒	0秒	0.007秒
約7時間	0.007秒	0.05秒	0.057秒

0.057秒 x 50万回 = 約1時間

PC1000万台の時PC1台当たり計算する格子数約1万3千

スパコンはどうして必要？



	ノートPC	スパコンの1ノード
Linpack性能	600億演算/秒 60 Gflops	60000億演算/秒 6000 Gflops
動作周波数	3 GHz	
主記憶容量	8 GB	16 GB以上

- 計算機 1 台では演算能力が足りない
- 計算機 1 台ではメモリが足りない



沢山の計算機で計算を分担させる



PC1000万台の時

実行時間	1台の1回の実行時間内訳		
	計算時間	通信時間	実行時間
約1時間	0.007秒	0秒	0.007秒
約7時間	0.007秒	0.05秒	0.057秒

通信性能が悪いと実行時間の大半を通信に費やし短時間で終了しない

- PCだと沢山のPCが必要になる
 - 計算機単体の性能を上げる
 - 計算機 1 台のメモリも増やす



ノートPCの100倍性能



- 通信時間減らさないと駄目



	実行時間	1台の1回の実行時間内訳		
		計算時間	通信時間	実行時間
PC1000万台	約7時間	0.007秒	0.05秒	0.057秒
スパコン (10万ノード)	約1時間	0.007秒	0.00001秒	0.00701秒

スパコンはどうして必要？



	ノートPC	スパコンの 1ノード
Linpack性能	600億演算/秒 60 Gflops	60000億演算/秒 6000 Gflops
動作周波数	3 GHz	
主記憶容量	8 GB	16 GB以上

スパコン：

- 皆さんが使っているPCよりも高性能なCPUを使い
- 高速ネットワークでつなげる

- パソコンをいくらつなげててもダメ。
- 大量メモリと高性能計算を有するスパコンがないと科学技術計算が現実的時間内に終了することができない

	実行時間	1台の1回の実行時間内訳		
		計算時間	通信時間	実行時間
PC1000万台	約7時間	0.007秒	0.05秒	0.057秒
スパコン (10万ノード)	約1時間	0.007秒	0.00001秒	0.00701秒

世界のスパコン（現在）

TOP500サイトにおいて6月(7月)、11月に世界のスパコン性能結果を公表

2015年7月

<http://www.top500.org/>

	Name	Computer	Country	Total Cores	Accel/Co- Procs	Linpack (PF)	Peak (PF)	Efficiency	Power (MW)
1	Tianhe-2	TH-IVB-FEP Cluster, Intel Xeon E5-2692 12C 2.200GHz, TH Express-2, Intel Xeon Phi 31S1P	China	3120000	2736000	33.9	54.9	62%	17.8
2	Titan	Cray XK7 , Opteron 6274 16C 2.200GHz, Cray Gemini interconnect, NVIDIA K20x	USA	560640	261632	17.6	27.1	65%	8.2
3	Sequoia	BlueGene/Q, Power BQC 16C 1.60 GHz, Custom	USA	1572864	0	17.2	20.1	85%	7.9
4	K computer	SPARC64 VIIIfx 2.0GHz, Tofu interconnect	Japan	705024	0	10.5	11.3	93%	12.7
5	Mira	BlueGene/Q, Power BQC 16C 1.60GHz, Custom	USA	786432	0	8.6	10.1	85%	3.9
6	Piz Daint	Cray XC30, Xeon E5-2670 8C 2.600GHz, Aries interconnect , NVIDIA K20x	Switzerland	115984	73808	6.3	7.8	81%	2.3
7	Shaheen II	Cray XC40, Xeon E5-2698v3 16C 2.3GHz, Aries interconnect	Saudi Arabia	196608	0	5.5	7.2	77%	2.8
8	Stampede	PowerEdge C8220, Xeon E5-2680 8C 2.700GHz, Infiniband FDR, Intel Xeon Phi SE10P	USA	462462	366366	5.2	8.5	61%	4.5
9	JUQUEEN	BlueGene/Q, Power BQC 16C 1.600GHz, Custom Interconnect	Germany	458752	0	5.0	5.9	85%	2.3
10	Vulcan	BlueGene/Q, Power BQC 16C 1.600GHz, Custom Interconnect	USA	393216	0	4.3	5.0	85%	2.0

世界のスパコン（現在）

Tianhe-2 (天河二号)

中国人民解放軍国防科学技術大学（NUDT）



Titan

米国オークリッジ国立研究所 (ORNL)



<http://nnsa.energy.gov/blog/sequoia-ranked-third-top500-list>

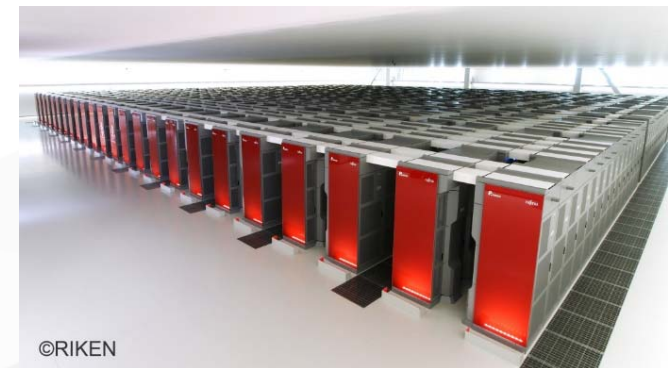
Sequoia

米国ローレンスリバモア国立研究所(LLNL)



K Computer

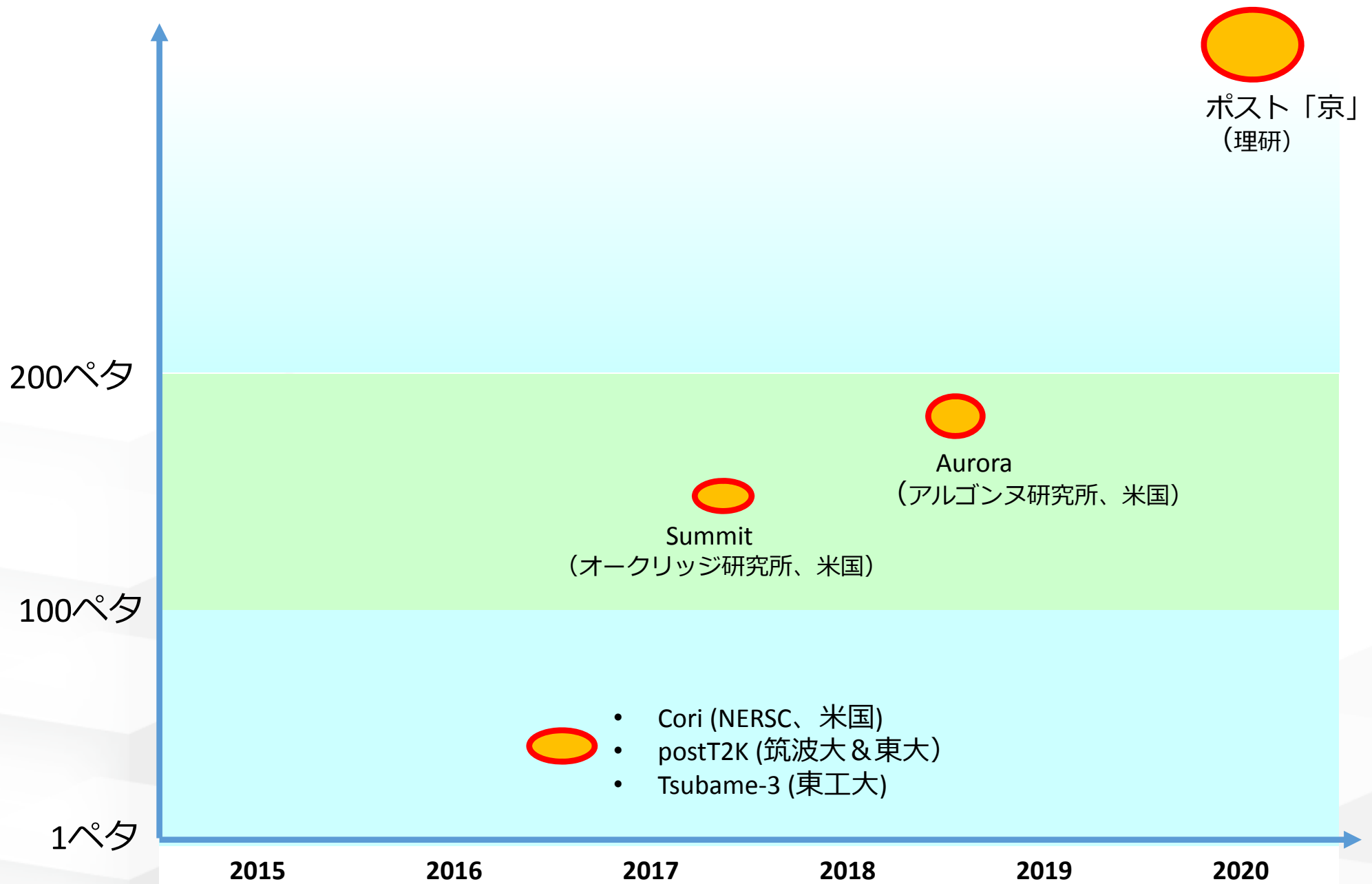
理化学研究所計算科学研究機構



<https://www.llnl.gov/news/sequoia-supercomputer-transitions-classified-work>

	Name	Computer	Country	Total Cores	Accel/Co-Procs	Linpack (PF)	Peak (PF)	Efficiency	Power (MW)
1	Tianhe-2	TH-IVB-FEP Cluster, Intel Xeon E5-2692 12C 2.200GHz, TH Express-2, Intel Xeon Phi 31S1P	China	3120000	2736000	33.9	54.9	62%	17.8
2	Titan	Cray XK7, Opteron 6274 16C 2.200GHz, Cray Gemini interconnect, NVIDIA K20x	USA	560640	261632	17.6	27.1	65%	8.2
3	Sequoia	BlueGene/Q, Power BQC 16C 1.60 GHz, Custom	USA	1572864	0	17.2	20.1	85%	7.9
4	K computer	SPARC64 VIIIfx 2.0GHz, Tofu interconnect	Japan	705024	0	10.5	11.3	93%	12.7

世界のスパコン（将来）



ポスト「京」：「京」コンピュータの次

● 設計方針

1. 課題解決型

- ポスト京運用後に成果が期待されるアプリケーション群が必要とする性能要求に応える

2. 協調設計

- アプリケーション開発者と計算機システム開発者の協調によりアプリケーションおよびシステムを協調設計(co-design)していく

3. 使い勝手の向上

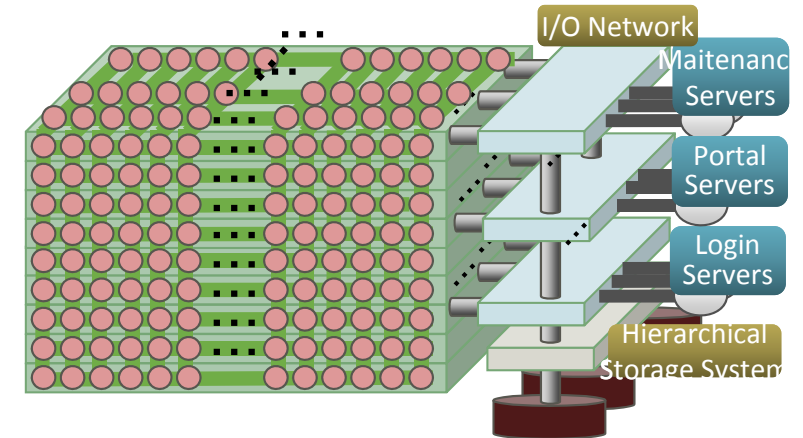
- より多くの利用者が容易に使えるようにする

4. Total Cost of Ownership

- 省エネ、製造・運用保守経費削減

5. 拡張性

- ### 6. 社会が欲するニーズに即応
- ビッグデータ、人工知能





CY	2014				2015				2016				2017				2018				2019				2020			
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4

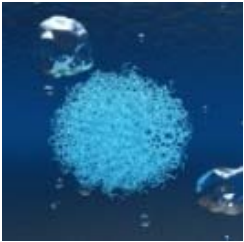
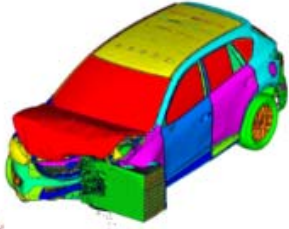
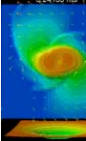
基本設計	詳細設計・試作	製造・設置・調整	運用
------	---------	----------	----

ポスト「京」を使った応用(1/2)

- ①社会的・国家的見地から高い意義がある、
- ②世界を先導する成果の創出が期待できる、
- ③ポスト「京」の戦略的活用が期待できる課題を「重点課題」として選定。

カテゴリ	重点課題
<p data-bbox="107 639 526 687">健康長寿社会の実現</p> 	<p data-bbox="571 639 1765 687">① 生体分子システムの機能制御による革新的創薬基盤の構築</p> <p data-bbox="571 703 2107 783">超高速分子シミュレーションを実現し、副作用因子を含む多数の生体分子について、機能阻害ばかりでなく、機能制御までをも達成することにより、有効性が高く、さらに安全な創薬を実現する。</p> <p data-bbox="571 831 1554 879">② 個別化・予防医療を支援する統合計算生命科学</p> <p data-bbox="571 895 2107 975">健康・医療ビッグデータの大規模解析とそれらを用いて得られる最適なモデルによる生体シミュレーション（心臓、脳神経など）により、個々人に適した医療、健康寿命を延ばす予防をめざした医療を支援する。</p>
<p data-bbox="107 1016 414 1064">防災・環境問題</p> 	<p data-bbox="571 1016 1697 1064">③ 地震・津波による複合災害の統合的予測システムの構築</p> <p data-bbox="571 1080 2107 1160">内閣府・自治体等の防災システムに実装しうる、大規模計算を使った地震・津波による災害・被害シミュレーションの解析手法を開発し、過去の被害経験からでは予測困難な複合災害のための統合的予測手法を構築する。</p> <p data-bbox="571 1208 1771 1256">④ 観測ビッグデータを活用した気象と地球環境の予測の高度化</p> <p data-bbox="571 1272 2107 1351">観測ビッグデータを組み入れたモデル計算で、局地的豪雨や竜巻、台風等を高精度に予測し、また、人間活動による環境変化の影響を予測し監視するシステムの基盤を構築する。環境政策や防災、健康対策へ貢献する。</p>

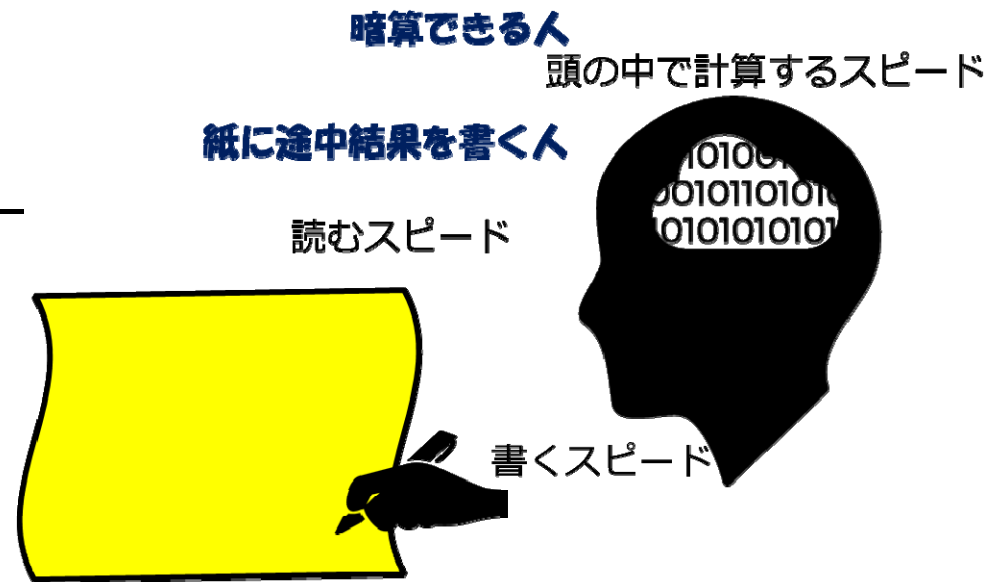
ポスト「京」を使った応用(2/2)

カテゴリ	重点課題
エネルギー問題 	<p>⑤ エネルギーの高効率な創出、変換・貯蔵、利用の新規基盤技術の開発 複雑な現実複合系の分子レベルでの全系シミュレーションを行い、高効率なエネルギーの創出、変換・貯蔵、利用の全過程を実験と連携して解明し、エネルギー問題解決のための新規基盤技術を開発する。</p> <p>⑥ 革新的クリーンエネルギーシステムの実用化 エネルギーシステムの中核をなす複雑な物理現象を第一原理解析により、詳細に予測・解明し、超高効率・低環境負荷な革新的クリーンエネルギーシステムの実用化を大幅に加速する。</p>
産業競争力の強化 	<p>⑦ 次世代の産業を支える新機能デバイス・高性能材料の創成 国際競争力の高いエレクトロニクス技術や構造材料、機能化学品等の開発を、大規模超並列計算と計測・実験からのデータやビッグデータ解析との連携によって加速し、次世代の産業を支えるデバイス・材料を創成する。</p> <p>⑧ 近未来型ものづくりを先導する革新的設計・製造プロセスの開発 製品コンセプトを初期段階で定量評価し最適化する革新的設計手法、コストを最小化する革新的製造プロセス、およびそれらの核となる超高速統合シミュレーションを研究開発し、付加価値の高いものづくりを実現する。</p>
基礎科学の発展 	<p>⑨ 宇宙の基本法則と進化の解明 素粒子から宇宙までの異なるスケールにまたがる現象の超精密計算を実現し、大型実験・観測のデータと組み合わせ、多くの謎が残されている素粒子・原子核・宇宙物理学全体にわたる物質創成史を解明する。</p>

おわりに

- **パソコンとスパコンの比較では話を簡単にするために、演算性能のみに着目したが、**

- 計算性能にはCPUとメモリとの間のスピード（メモリ性能）が重要なアプリケーションがある
- 今回の気象アプリケーションもメモリ性能が重要



- **例えば100Pflopsのスパコンの代わりに10Pflopsスパコンを国内10か所に置き、**

- 10台使って100Pflops必要なアプリケーションを実行しても100Pflopsと同じ計算時間では終了しない
 - 通信時間がかかるため