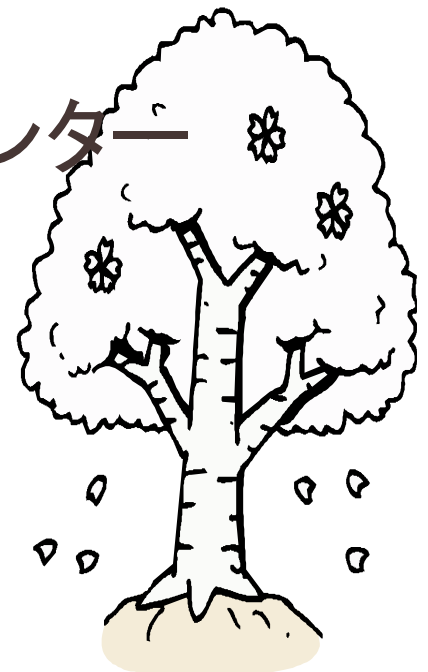


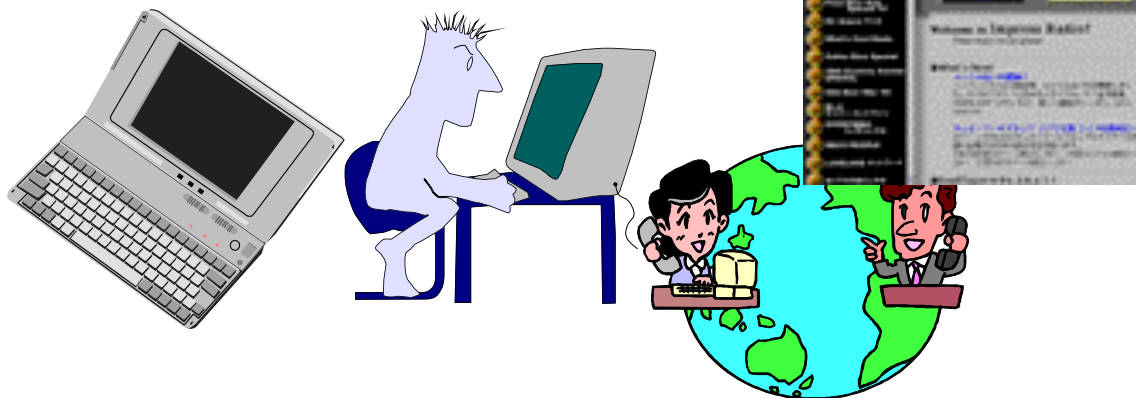
2012年度 「計算機システム」第1回

- 東京工業大学 学術国際情報センター
- 教授 松岡 聡
- 2012年4月09日(月)



「情報」で、普通の学生が思い付くもの

- ❁ パソコン、携帯、iPhone/Droid、情報家電、ゲーム機、
- ❁ インターネット: メール、WWW、ブログ、Facebook, Twitter (松岡: @ProfMatsuoka)、Skype
- ❁ マルチメディア、ネット配信、YouTube...
- ❁ Windows 7, Linux, OSX, ...
- ❁ プログラミング



情報「産業」の主幹ら
ではあるが、それらを
一般的に構築するた
めの基礎学問・研究
自身ではない
また、実際の計算機
の世界からは一部

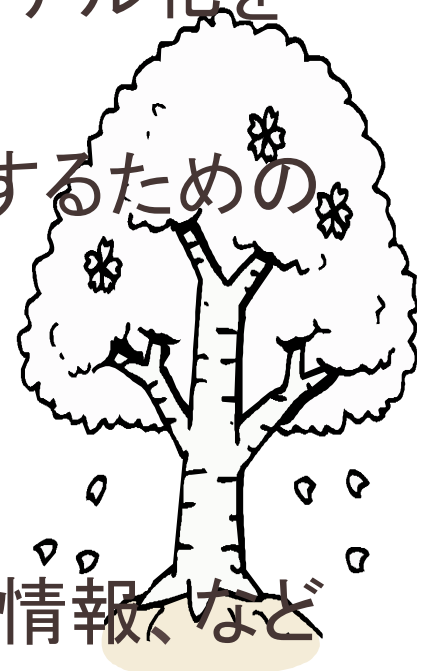
「情報」という学問は？(1)

- 松岡の個人的定義であるが。。。
- 「情報(学)は、世の中の森羅万象を、何らかの形で「計算」可能な対象として、恣意的な数理的・手続き的なモデル・抽象化をし、かつそれを実際に計算する・できるようにする学問」
 - 何が「計算」可能か、が重要(後述)



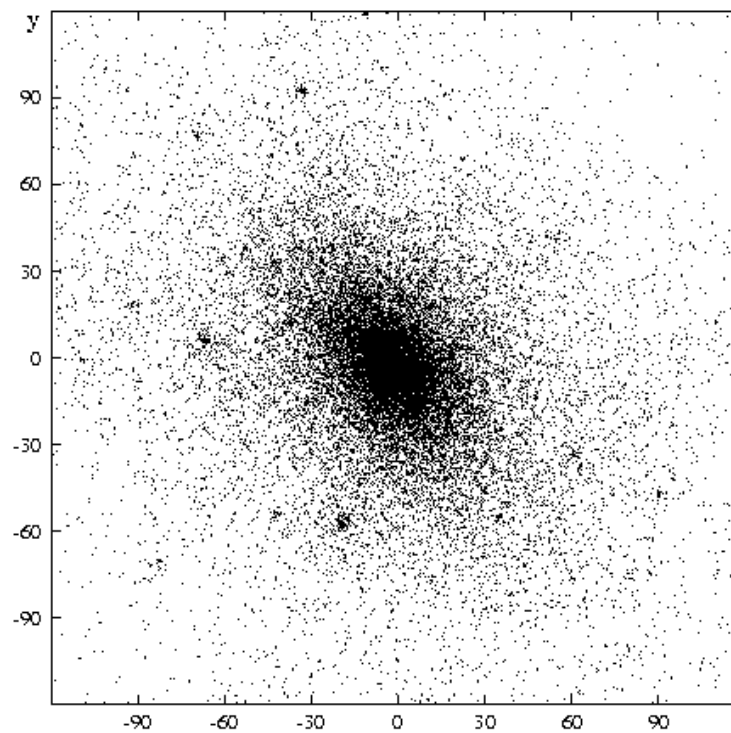
「情報」という学問は？(2)

- 自然科学のような、「真理」の探求とは異なる
 - 単純で美しいモデルが良いとは限らない
 - 一つの現象に対して、複数の恣意的モデル化を用途に応じて行う
 - 多くの場合、離散的(discrete)な対象とするための離散化を伴う
- 多くの他分野との境界領域
 - 数学のように、他分野の「道具」となる
 - 計算物理、計算化学、生物情報、社会情報など



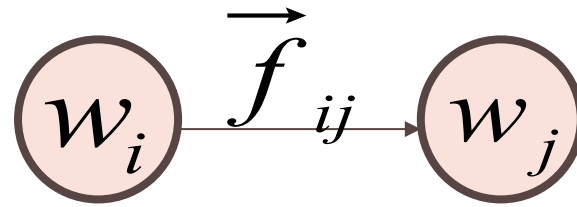
現象の「情報的」モデル化の例

- ❁ N 体問題 → 相互作用のある粒子系 (天体、分子、などなど)



現象の「情報的」モデル化の例 (2)

- 物理的モデル化は簡単



$$\vec{f}_i = \sum_j^n \frac{Gw_iw_j}{|\vec{x}_i - \vec{x}_j|^3} (\vec{x}_i - \vec{x}_j)$$

しかし、3体以上では、N体問題は解析的には解けない!! → 計算不可

- N体のシミュレーション → 時間を離散化(刻み化)して、時間ステップごとに加速度と位置を計算

$$\vec{x}_i = \vec{x}_i + \vec{v}_i \Delta t$$



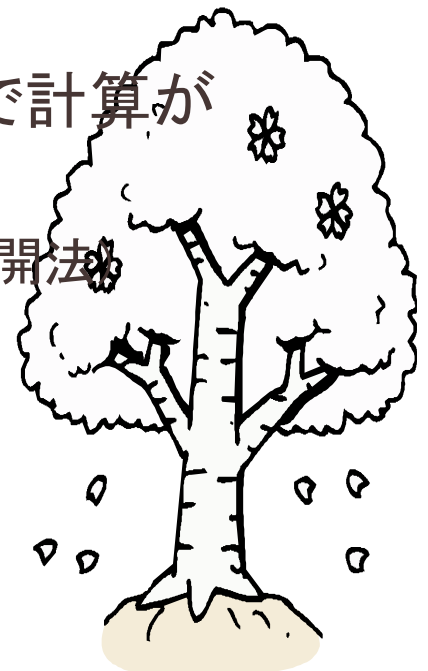
現象の「情報的」モデル化の例 (3)

- 加速度の計算 ← 全ての質点の総和
 - n 個粒子があるとすると、 $n(n-1)/2$ 回計算
- 銀河系の天体の数 → 約 10^{11} 個(?)
 - 1タイムステップあたり 10^{22} 回の計算が必要
 - Intel Sandy Bridge Core i7 → 最高でも毎秒 10×10^{10} 回演算程度 (~50 Gigaflops)
 - 1×10^{11} 秒 = 数千年!
- 人類の歴史並み



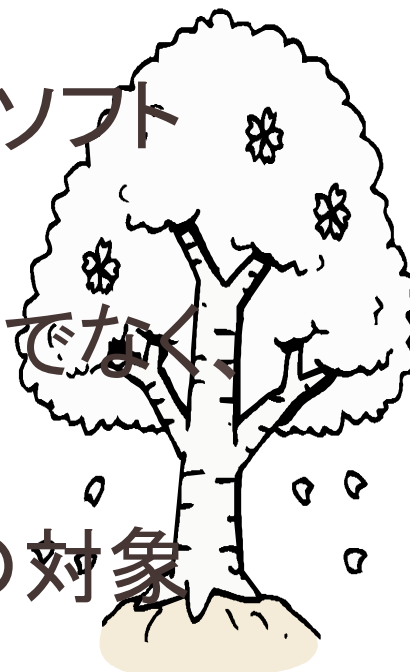
現象の「情報的」モデル化の例 (4)

- 情報的思考!
- 計算可能 ← 高速化のためには
 - モデル化の改善 → 恣意性
 - n^2 ではなく、 $n \log n$ ステップとか、 n ステップで計算ができるようにする
 - 空間近似法 (Barnes-Hut, Greengardの多極展開法)
 - オリジナルの物理系が変化するわけではない
 - 計算機の高速化
 - ハードウェアの改善 → 「並列化」
 - ソフトウェアの改善



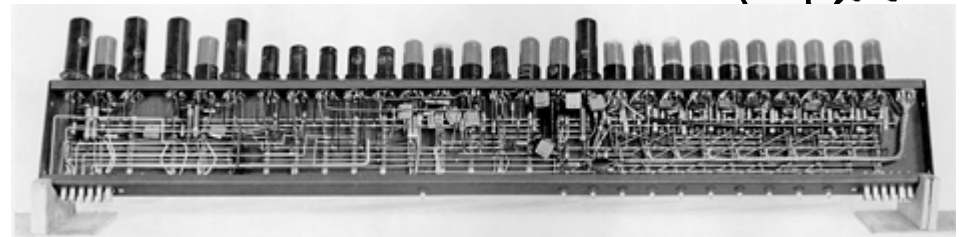
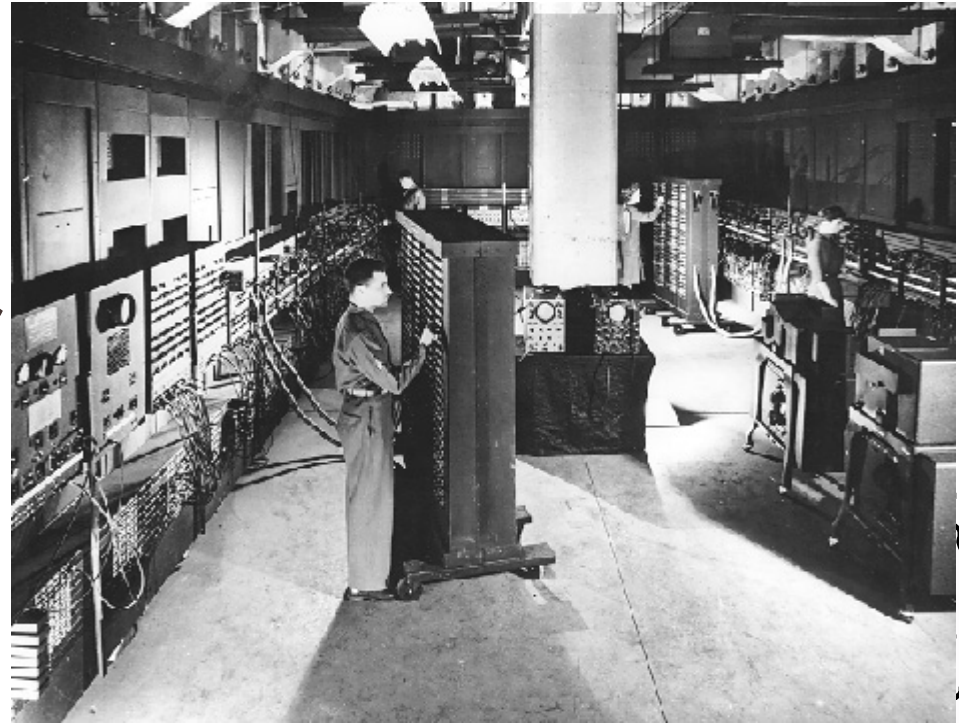
計算の高速化に関して

- モデル化した現象は、高速に計算したい
- 計算の高速化→計算機ハードウェア・ソフトウェアの進化
- 計算の表現の容易さ→データ検索・ソフトウェア・インターフェース技術の進化
- これらの進化は、単に性能向上だけでなく「何が計算可能か」という質的向上
- 情報分野でも、特に「計算機科学」の対象



計算機の進歩と歴史(1)

- 米国 ENIAC (1946)
 - 世界初の電子計算機
 - 167m², 140KW, 30トン
 - 真空管1.8万本
 - 5000加算/秒
 - 弾道計算に応用



計算機の進歩と歴史(2)

❁ 汎用・商用計算機の搭乗

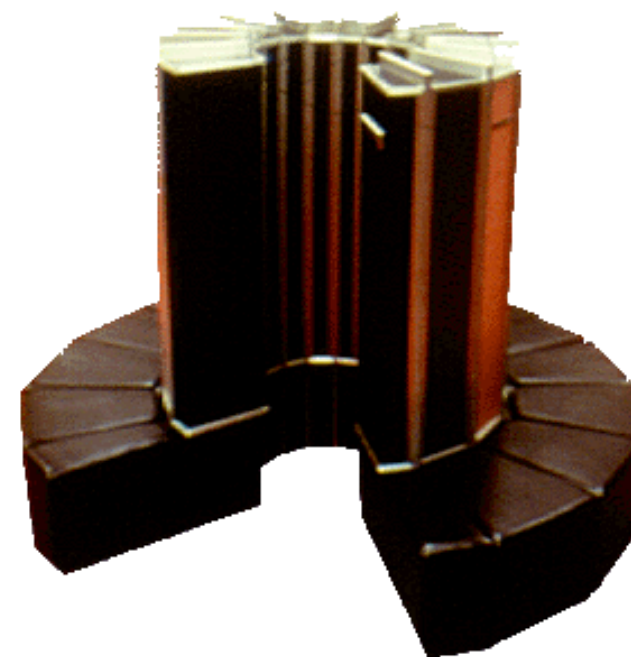
- 「メインフレーム」計算機の始祖
- 多くの技術が1960~1970年代に生まれる
- IBM System 360 (1964)など
- わが国は当時多くの「IBM互換機」を開発
 - 今のIntel x86プロセッサに対するAMD, VIAのプロセッサのようなもの
 - 後日、「IBM事件」(1982)でわが国のコンピュータ業界は大打撃を



計算機の進歩と歴史(3)

- スーパーコンピュータの登場
 - 1963年 CDC6600 (世界初のスパコン)
 - 1976年 Cray-1
 - ベクトル型計算機
 - 20万個のECLゲート
 - 100MFLOPS
(100万浮動小数点演算/秒)
 - 約 \$500万 = 約10億円 (当時)

Cray-1: 「世界で最も高価な椅子」



Cray-1

計算機の進歩と歴史(4)

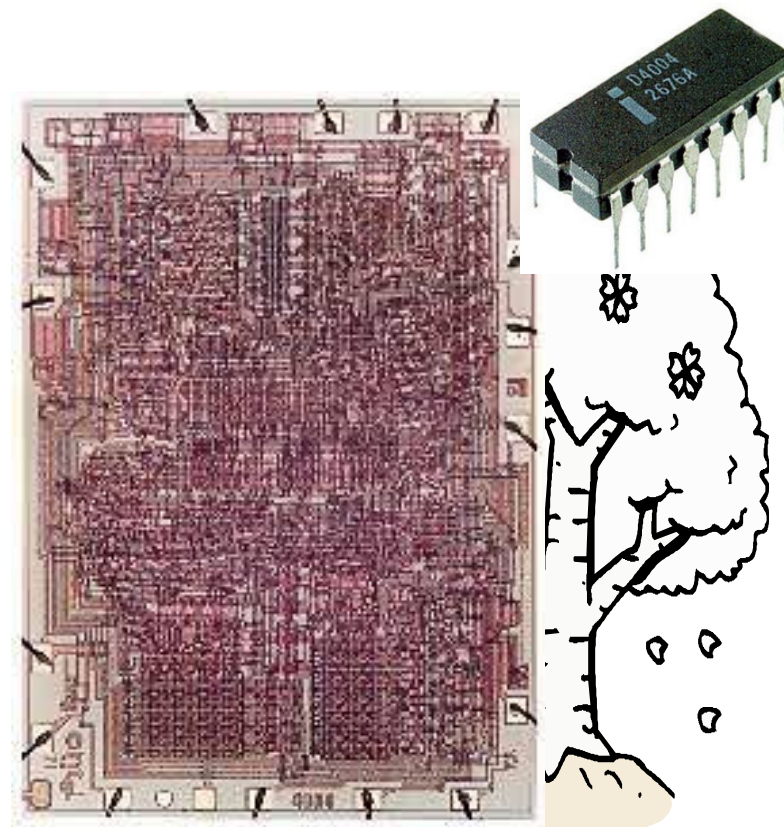
❁ 「パーソナル」な計算機へ

- ミニコン: DEC PDP-8(1965), PDP-11(1970), ...
- ワークステーション: Xerox PERQ (1979), ...
- マイコン: Kenbak-1 (1971)
- プログラマブル電卓: Sony Sobax ICC-2700 (1971), Sharp COMPET 363P (1971?), ...



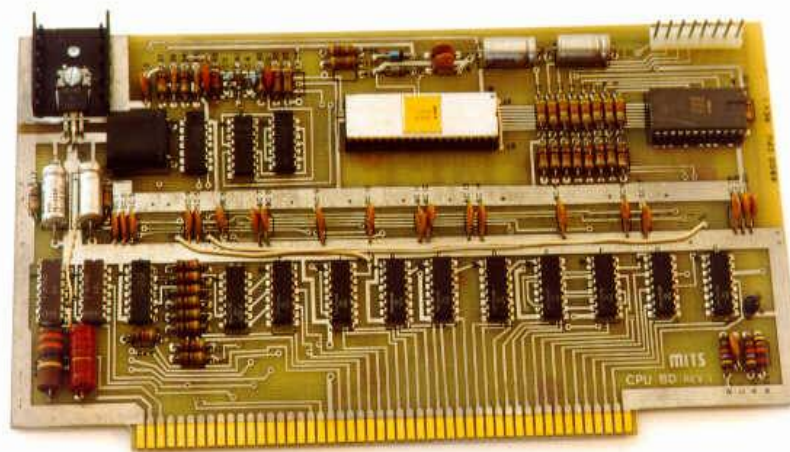
計算機の進歩と歴史(5)

- マイクロプロセッサ(単一LSI計算機)の登場
 - 1971年世界初のマイクロプロセッサ Intel 4004
 - クロックスピード 100khz
 - 2300トランジスタ
 - 4bit データ、640バイトメモリ
 - 10ミクロンルール
 - 電卓向けに作られた
(日本のビジコン社)
 - 8008, 8080などが続いた



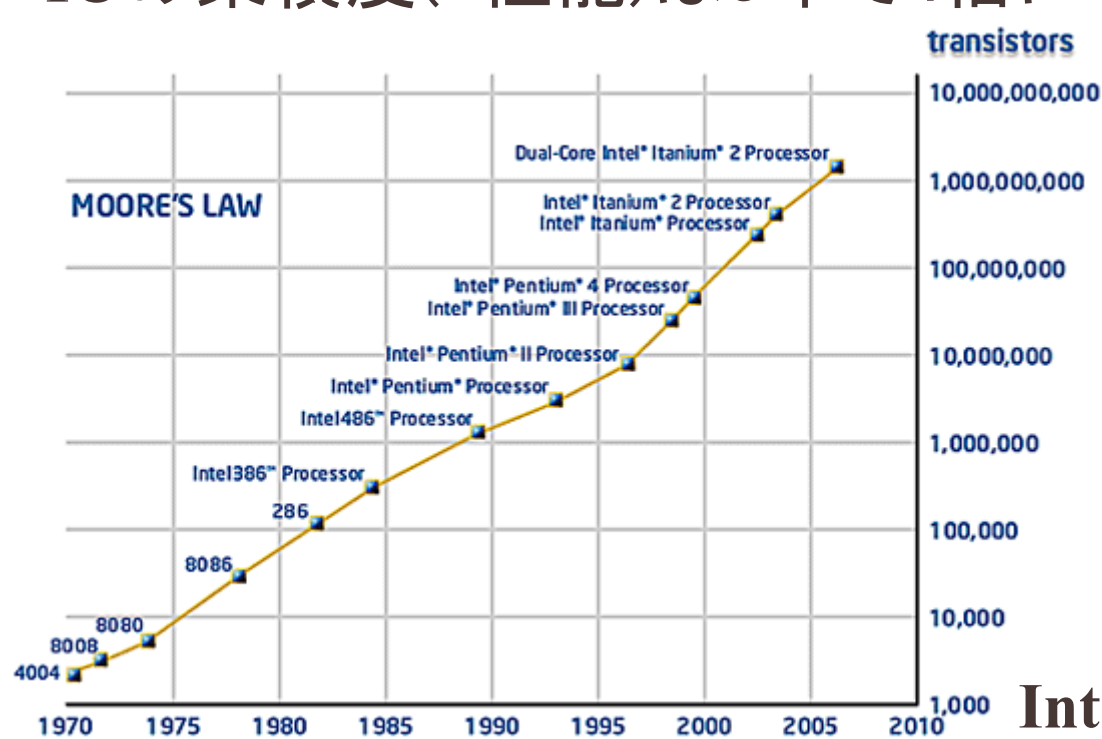
計算機の進歩と歴史(6)

- マイクロプロセッサを用いたパーソナルコンピュータの登場(2)
 - 1975年 MITS Altair 8800
 - Intel 8080, 1Mhz
 - S-100 bus, 18スロット
 - 256バイトメモリ
(後に4Kバイト)
 - Microsoft Basicを搭載
 - Bill Gatesの初めての製品

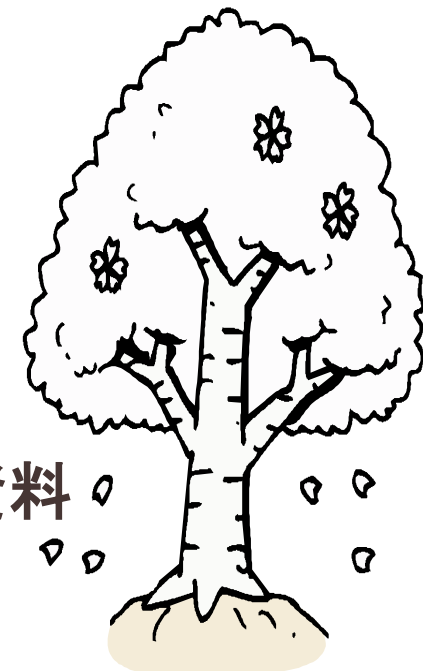


計算機の進歩と歴史(6)

- 1965年 Mooreの法則
 - 「ICの集積度(+性能)は3年で4倍になる」



Intel資料

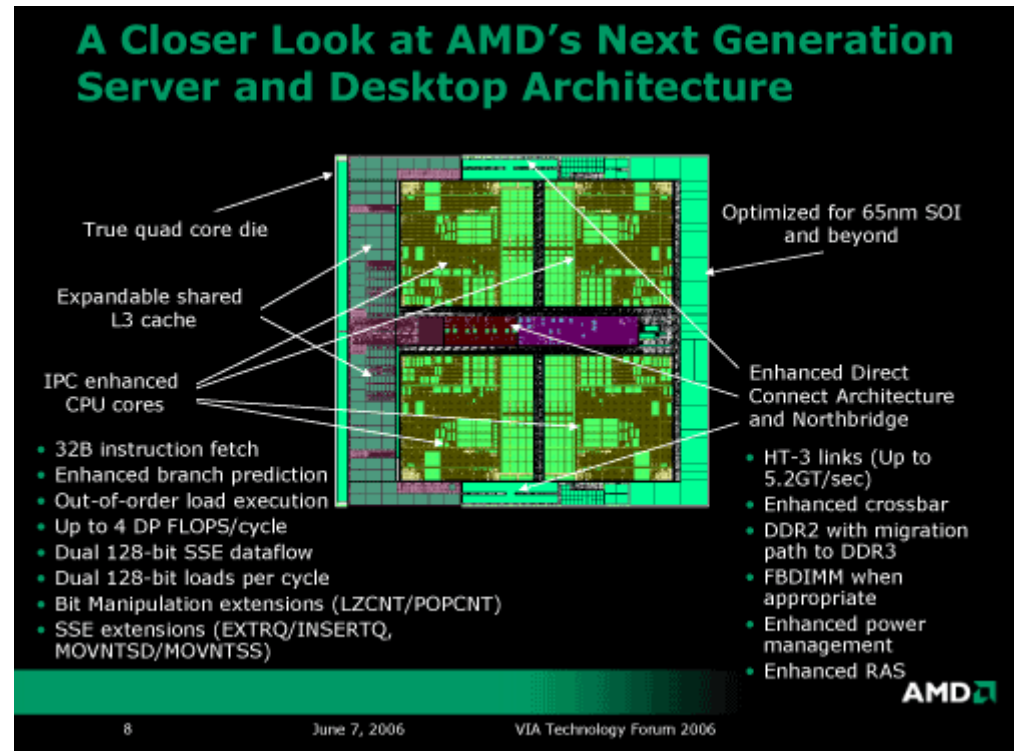


限界はあるか? → 物理的限界

計算機の進歩と歴史(7)

– 2012年 現在

- クロックスピード ~3Ghz
- ~20億トランジスタ
- 32-64bit データ、数ギガバイトメモリ
- ~100GFLOPS
- \$200-\$1000



AMD Quad Core
“Barcelona” (Phenom 9500など)



Mooreの法則の検証

- 1976年から2008 => 30年間以上、100万倍以上
- Altair 8800 => Intel Core 2 Extreme QX6800 (2008年)
 - プロセッサ性能: 100万倍程度
 - メモリ: 1-4KByte => 1-4GByte 100万倍程度
 - ディスク: フロッピー100KB=>HDD 100GB 100万倍など
 - 値段は同程度か安い
- Cray-1 => Intel Core 2 Extreme QX6800 (2008年)
 - プロセッサ性能: 100倍
 - 値段 => 10億円 => 10万円 => 1万分の1
 - つまり、コストパフォーマンスは100万倍
- このように基盤が指数的に伸びる分野は(ほとんど)ない



さらなる高速化 - 並列計算機へ

- ❁ マイクロプロセッサの速度向上の凄さ
 - → これらを高速ネットワークで接続し、並列に計算すれば、さらなる高速化が望める



2002年

松岡研究室 PCクラスタ並列計算機
(512プロセッサ、790GFLOPS)



2002年

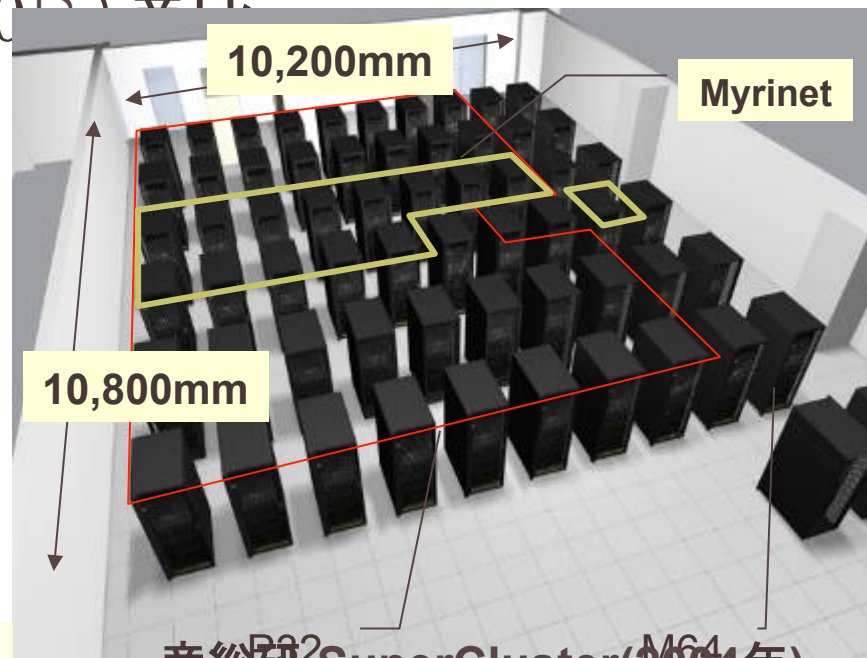
RWCP PCクラスタ並列計算機
(1024プロセッサ、534GFLOPS)

大規模並列計算機(1)

- ❁ 数千～数万プロセッサ、高速なネットワーク
- ❁ 最高性能がTFLOPS 級(=10¹²浮動小数点演算 / 秒)
- ❁ 2008年に1PetaFlops (=10¹⁵)達成



東工大学術国際情報センター(2002年) キャンパスグリッドクラスタ群 800CPU /2億円



産総研 SuperCluster(2004年)
14.5TFlops/3188 CPU /20億円

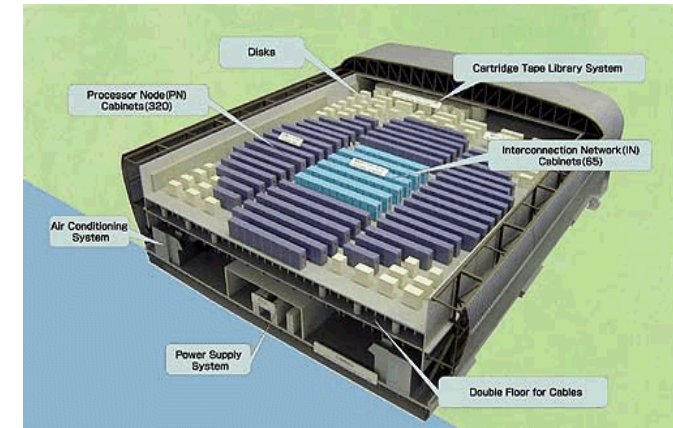
大規模並列計算機(3)

❁ 地球シミュレータ

- www.top500.orgにて、2002年4月-2004年4月まで一位)
- 40 テラフロップス (每秒40兆回計算)
 - LINPACK 35.7テラフロップス
- 構築費: 400億円、維持費数十億円/年、小スタジアム並

❁ IBM BlueGene/L

- 地球シミュレータを2004年11月に抜いた世界最速の計算機
- 現状は最高性能600テラフロップス



わが国の地球シミュレータ
(5120CPU) ❁



米IBM BlueGene (200,000CPU)

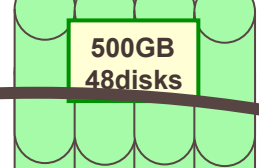
TSUBAME 1.2

東工大「みんなのスパコン」



Voltaire ISR9288 Infiniband x8
 10Gbps x2 ~1310+50 Ports
 ~13.5Terabits/s
 (3Tbits bisection)

NEC SX-8i



Storage
 1.5 Petabyte (Sun x4500 x 60)
 0.1Petabyte (NEC iStore)
Lustre FS, NFS, CIF, WebDAV (over IP)
 60GB/s aggregate I/O BW

10Gbps+External NW

Unified Infiniband network

*Top500にて4期連続で
 我国最速のスパコン
 (2006-2007年)
167TFlops Peak*

GCOE TSUBASA
 Harpertown-Xeon
 90Node 720CPU
 8.2TeraFlops

Sun x4600 (16 Opteron Cores)
 32~128 GBytes/Node
 10480core/655Nodes
 21.4TeraBytes
 50.4TeraFlops
 OS Linux (SUSE 9, 10)
 NAREGI Grid MW

NEW: co-TSUBAME
72Node 586CPU (Low Power)
~5TeraFlops



PCI-e

ClearSpeed CSX000
 SIMD accelerator
 360 648 boards
 35 52.2TeraFlops



Nvidia Tesla S1070: 170台, 総計 680カード
High Performance in Many BW-Intensive Apps
10% power increase over TSUBAME 1.0 (130TF SFP / 80TF DFP)

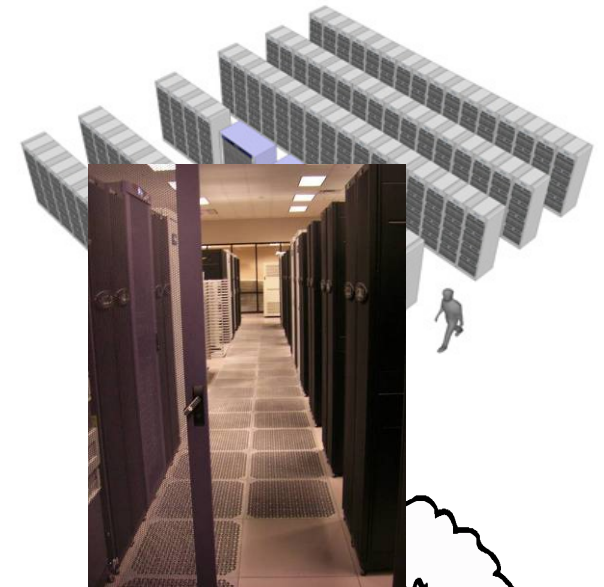
時代は今やペタフロップス (10^{15})

❁ 米国テキサス大TACC Ranger 2007

- The largest x86 Linux Cluster
~50,000 x86 cores
- 4th (326 TFlops) June 2008
(The 30th Top500)

❁ 米国Los Alamos 国立研究所 RoadRunner:世界初のペタフロップスマシン 2008

- The first Petaflop machine
- The first #1 machine to use IB
- The first #1 Linux machine
- The first #1 "heterogeneous"
SC (Cell and Opteron)



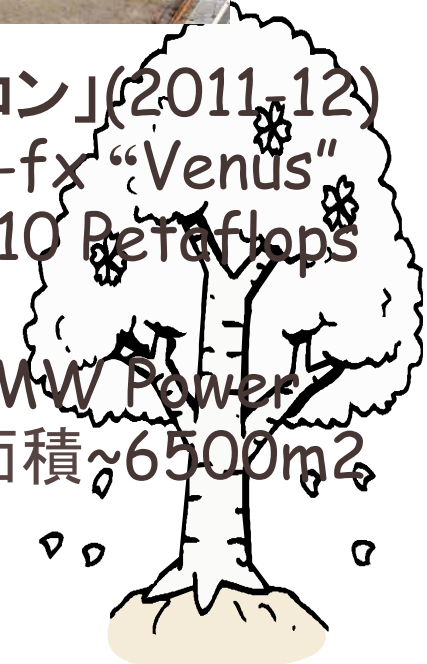
さらに10ペタフロップス、100万CPUコア時代へ



2010年世界最速
ORNL/Cray XT5 "Jaguar"
~250,000 AMD "Istanbul" Opteron
CPU Cores, 2.3 Petaflops Peak, 1.8
Petaflops Linpack
~200 racks, ~580m² floorspace
362TB Memory, ~7MW Power,
10 Petabytes HDD

> 1 Exaflops > 1 Billion cores
> 100 Petabytes in 2018

我が国の神戸「ペタコン」(2011.12)
Fujitsu Sparc VIII-fx "Venus"
~700,000 Cores, > 10 Petaflops
Peak
> 1PB Memory, ~20MW Power
> 1000 racks, 設置面積~6500m²
> 100PB HDD



TSUBAME2.0 2010年11月1日稼働開始



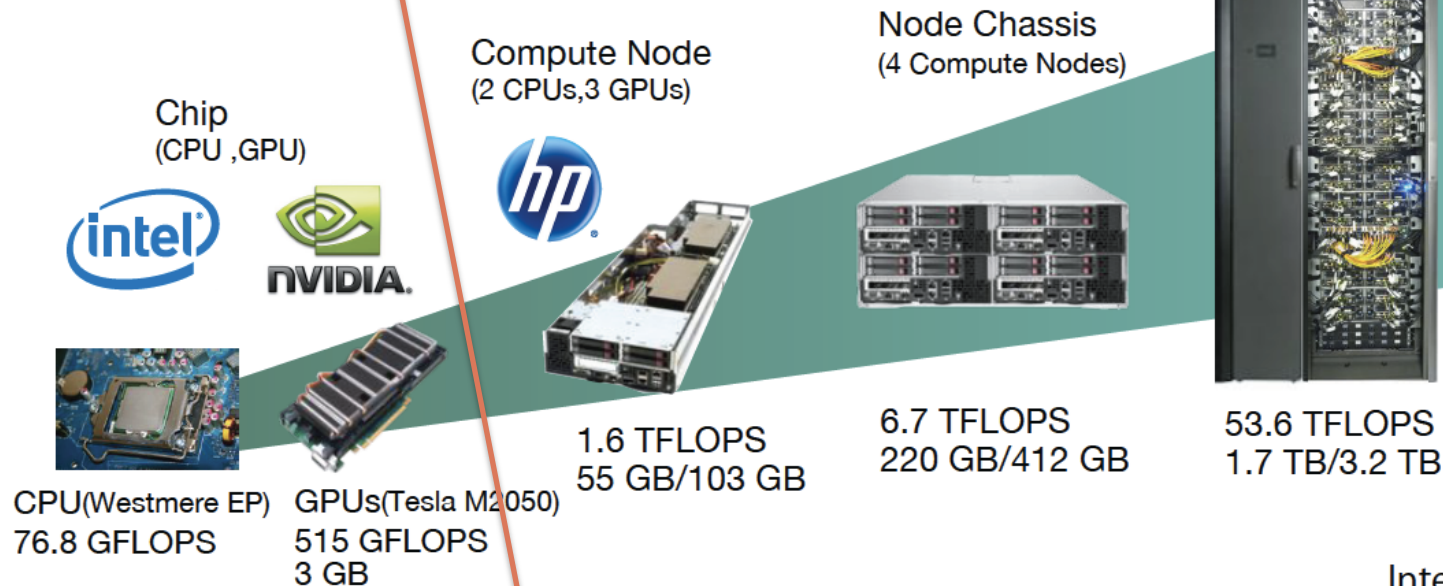
TSUBAME2.0: A GPU-centric Green 2.4 Petaflops Supercomputer

Tsubame 2.0: "Tiny" footprint, very power efficient

- Floorspace less than 200m² (2,100 ft²)
- Top-class power efficient machine on the Green 500

System
(42 Racks)
1408 GPU Compute Nodes,
34 Nehalem "Fat Memory" Nodes

新規開発



Integrated by NEC Corporation

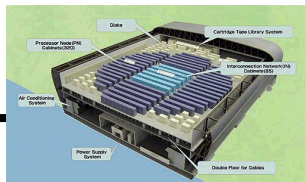
Highlights of TSUBAME 2.0 Design (Oct. 2010) w/NEC-HP

- **2.4 PF Next gen multi-core x86 + next gen GPGPU**
 - ▶ 1432 nodes, Intel Westmere/Nehalem EX
 - ▶ 4224 NVIDIA Tesla (Fermi) M2050 GPUs
 - ▶ ~100,000 total CPU and GPU "cores", High Bandwidth
 - ▶ **1.9 million "CUDA cores", 32K x 4K = 130 million CUDA threads(!)**
- **0.72 Petabyte/s aggregate mem BW,**
 - ▶ Effective 0.3-0.5 Bytes/Flop, restrained memory capacity (100TB)
- **Optical Dual-Rail IB-QDR BW, full bisection BW(Fat Tree)**
 - ▶ **200Tbits/s**, Likely fastest in the world, still scalable
- **Flash/node, ~200TB (1PB in future), 660GB/s I/O BW**
 - ▶ >7 PB IB attached HDDs, 15PB Total HFS incl. LTO tape
- **Low power & efficient cooling, comparable to TSUBAME 1.0 (~1MW); PUE = 1.28 (60% better c.f. TSUBAME1)**
- **Virtualization and Dynamic Provisioning of Windows HPC + Linux, job migration, etc.**



TSUBAME2.0の性能向上

地球シミュレータ ⇒ TSUBAME 4年間
30-40倍のダウンサイズ

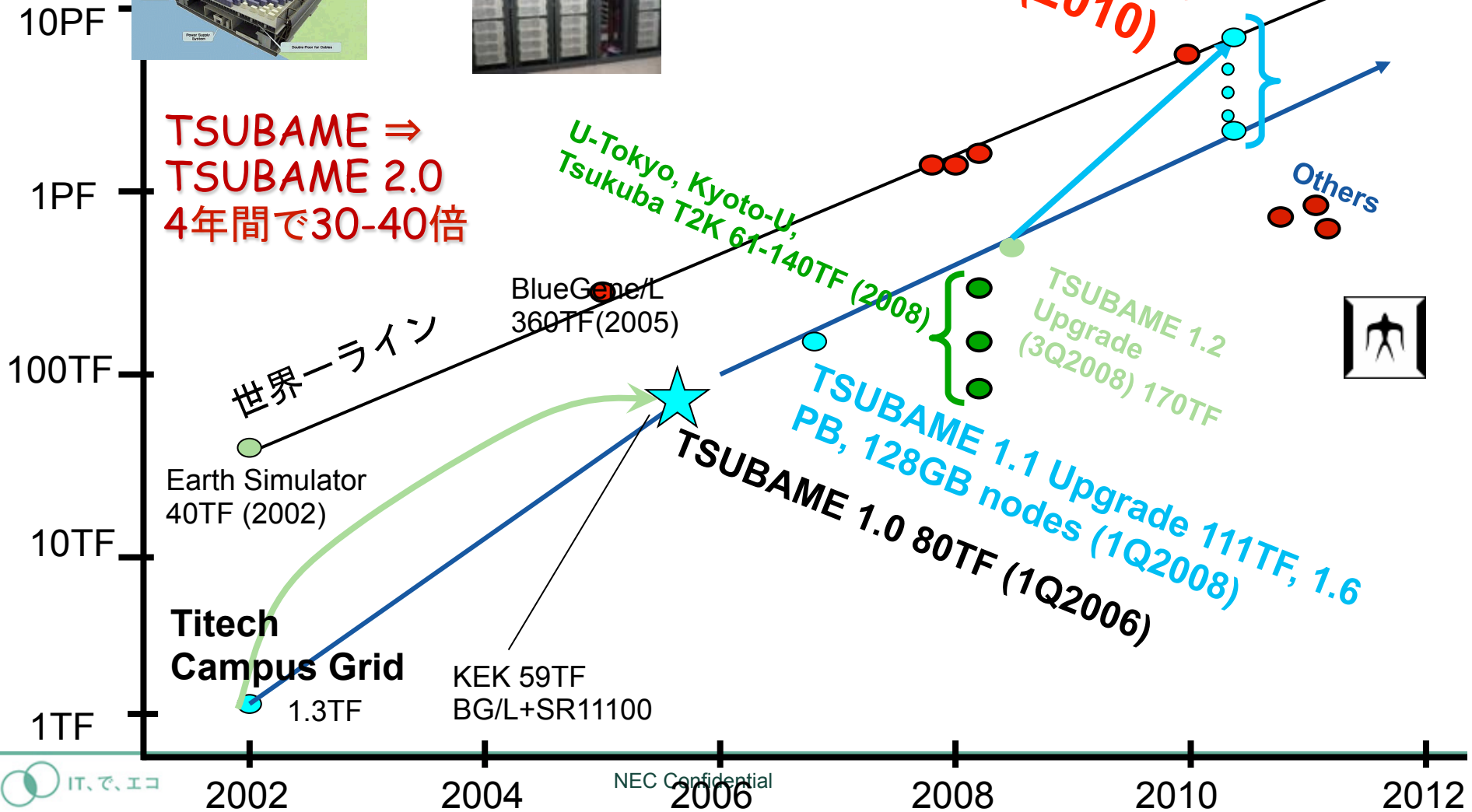


TSUBAME2.0
2.4PF (2010)

Japanese NLP
>10PF(2012)

US >10P
(2011~12?)

Others



TSUBAME ⇒
TSUBAME 2.0
4年間で30-40倍

世界一ライン

Earth Simulator
40TF (2002)

Titech
Campus Grid

KEK 59TF
BG/L+SR11100

BlueGene/L
360TF(2005)

U-Tokyo, Kyoto-U,
Tsukuba T2K 61-140TF (2008)

TSUBAME 1.2
Upgrade
(3Q2008) 170TF

TSUBAME 1.1 Upgrade 111TF, 1.6
PB, 128GB nodes (1Q2008)

TSUBAME 1.0 80TF (1Q2006)





**~50 compute racks + 6 switch racks
Two Rooms, Total 160m²**



1.4MW (Max, Linpack), 0.48MW (Idle)

TSUBAME2.0世界ランキング スパコンニ大リスト (2010年11月)

The Top 500 (ベンチマーク絶対性能、ペタフロップス)

- 1位: 2.566 中国防衛大 Tianhe 1-A (11)
- 2位: 1.758 : 米国オークリッジ国立研究所 Cray Jaguar (81)
- 3位: 1.271 : 中国深圳国立スパコンセンター Dawning Nebulae (13)
- 4位: 1.192 : 日本 東工大/HP/NEC TSUBAME2.0 (2)
- 5位: 1.054 : 米国ローレンスバークレー国立研究所 Cray Hopper (30)
- 6位: 1.050 : 仏CEA国立研究所 Bull Bullx (97)
- 7位: 1.042 : 米国オークリッジ国立研究所 IBM Roadrunner (16)
- 33位(日本2位): 0.1914: 日本原子力研究開発機構/富士通 (95)



(Green500 rank)

The Green 500 (ベンチマーク電力性能、メガフロップス/W)

- 1位: 1684.20 : 米国 IBM研究所 BlueGene/Q プロトタイプ (116)
- 2位: 958.35 : 日本 東工大/HP/NEC TSUBAME2.0 (4)
- 3位: 933.06 : 米国 NCSA Hybrid Cluster実験機 (403)
- 4位: 828.67 : 日本 理研 京 (170)
- 5-7位: 773.38 : ドイツ ユーリッヒ大等 IBM QPACE SFB TR (207-209)
- 10位(日本3位): 636.36 : 日本 環境研 (102)



(Top500 rank)

“Little Green 500” では TSUBAME2.0の実験構成が
1.037 Gigaflops/W 達成 (米Microsoftとの共同研究)

THE **GREEN**
500TM

sponsored by

SUPERMICR[®]

This certificate is in recognition of your organization's achievements in reducing the environmental impact of high-performance computing.

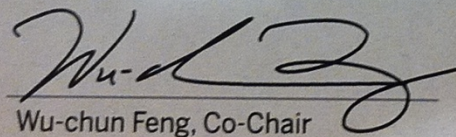
GSIC Center, Tokyo Institute of Technology

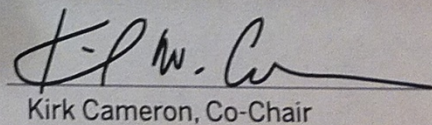
Is recognized as the

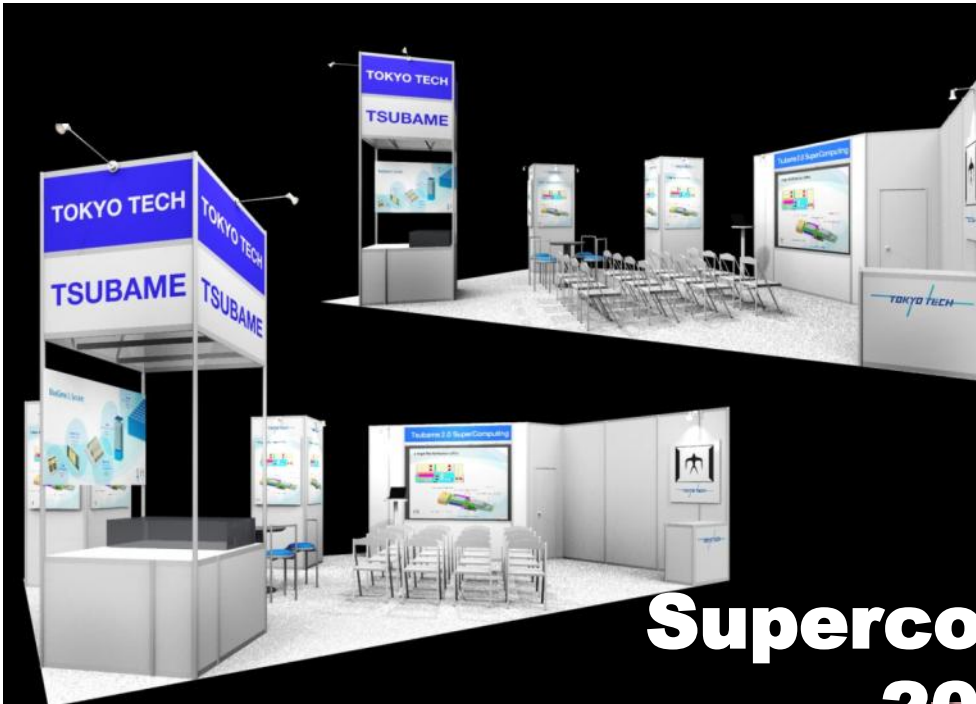
Greenest Production Supercomputer in the World

on the world's Green500 List of computer systems as of

November 2010


Wu-chun Feng, Co-Chair


Kirk Cameron, Co-Chair



Supercomputing 2010

@ New Orleans 東工大ブース

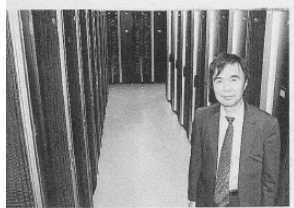


GPUで最速スパコン

Graphics Processing Unit (GPU)は画像処理の略。コンピュータの画面に写真や動画を表示する装置。ゲームの3D表示やハイビジョン放送の前には2000年後半から急速に高性能が進んだ。最新の機種では切手大の中心プロセッサ

中国のスーパーコンピュータが計算速度で初めて世界一になったスパコンランキング「TOP500」では、中央演算処理装置(CPU)に加え、「GPU」=と呼ばれる画像処理装置を多く積んだスパコンが、上位のうち上位を占めた。高集積の小型で消費電力も少ないのが特徴。スパコンは大規模化が限界に来ており、GPUや専用演算素子を駆使した新世代へ、急速に多様化が進んでいる。(東山正宣)

世界一の「天河一号A」(中国国防科学技術大)は、2位の「ジャガー」(米オレゴン大)の約1.6倍の計算速度をたたき出した。天河の部品はほとんどは米国製だ。米インテル製のCPUは4千個、米エヌビディア製のGPUは千個から多い。これら



GPU
本職は画像処理

3位の風雲(中国深圳スパコンセンター)や4位のツバメ2.0(東工大)も構成や部品はPのほとんどはスパコンがCPUだけを使っていたのに対し、天河はGPUをCPUと併用して使っているのが特徴だ。

GPUの本来の仕事である画像処理では、単純計算を数多くこなす必要がある。このため、GPUには単純な計算を担う小さな演算素子がたくさん詰め込まれている。一方、CPUは条件ごとに場合分けをするなど複雑な計算をこなすため、それに対応して大型の素子を積み重ねる。GPUを使い分け、計算をうまく割り振れば効果は絶大だ。

GPUの本来の仕事である画像処理では、単純計算を数多くこなす必要がある。このため、GPUには単純な計算を担う小さな演算素子がたくさん詰め込まれている。一方、CPUは条件ごとに場合分けをするなど複雑な計算をこなすため、それに対応して大型の素子を積み重ねる。GPUを使い分け、計算をうまく割り振れば効果は絶大だ。

エヌビディアによると、天河の計算速度(1秒間にこなす処理回数)の8割をGPUが担っているという。同じ日本大の林憲一マーケティングマネージャは「GPUだけでなく計算速度をいかに出すかが重要になる。床面積は倍、消費電力は3倍に上がった」と試算

計算速度を競う「TOP500」を並んで注目される「Green500」が、18日に発表される「Green500」だ。TOP500に00に選ばれたスパコン500台が消費電力あたりの計算速度を競う。2000年以降、世界の電力の1割程度がIT(情報技術)関連で使われ、そのうちスパコンの消費電力は、4〜5%程度。この割合は上がると予想される。クラウドコンピューティングを通じてスパコンが普及する

クラウドコンピューティングは、計算を元のパソコンで

クラウドコンピューティングは、計算を元のパソコンで

http://aspara.asahi.com)の「aサロン・科学面によるこそ」にもトップ記事掲載しています。

朝日20101119

省エネスパコン 日本2位

東工大「ツバメ」、理研4位
スーパーコンピュータの省エネ性能を競う世界ランキングが18日に発表され、東京工業大の「ツバメ2.0」が2位、理化学研究所が神戸に建設している「京」が4位になった。1位は米IBMが開発中の「ブルーシーズンQ」、3位は米国立スーパーコンピュータ応用研究所の試験機。すでに運用されているスパコンとしてはツバメが世界一だった。

ランキングは「グリーン500」で消費電力当たりの計算速度を競う。1台当たりの計算速度は、ブルーシーズンが毎秒16億8400万回、ツバメが9億5800万回。ツバメは、計算速度を競う世界ランキング「TOP500」では4位だった。京は現在、全体の0.5%しかできていないが、高性能が示された。

スパコンは消費電力の問題で大型化が限界に近づいている。ブルーシーズンやツバメは従来の演算装置だけに頼らない新世代のスパコンだ。(東山正宣、ニューオーリンズ小宮山亮磨)

朝日20101119(夕刊)

で高速計算 開発費も安く

市販品を使っている開発費も安い。天河は約80億円、ツバメは30億円だった。2002年に世界一をとった地球シミュレータが600億円。理化学研究所が建設している京が、

クラウドで普及、省エネに貢献

http://aspara.asahi.com)の「aサロン・科学面によるこそ」にもトップ記事掲載しています。

朝日20101119

東工大、世界2位

米バージニア工科大学がランキング。演算性能の集計したスーパーコンピュータ。高さは中国などに抜かれ、スパコンの中で東工大の「TSUBAME2.0」は米IBM製のスパコンだが、省エネ性能ランキングが4位、国立環境研究所のスパコンが10位に入った。

日本製 10位内に3つ
東京工業大学のスパコン、算能力の高さを競う。1位は「TSUBAME2.0」。高さは中国などに抜かれ、スパコンの中で東工大の「TSUBAME2.0」は米IBM製のスパコンだが、省エネ性能ランキングが4位、国立環境研究所のスパコンが10位に入った。

グリーン500
たほか、冷却機構を工夫する。電力を抑えやすい画像処理チップ(GPU)を採用する。電力を抑えやすい画像処理チップ(GPU)を採用する。電力を抑えやすい画像処理チップ(GPU)を採用する。

日経20101121

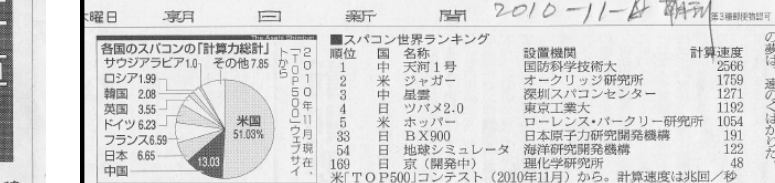
中国スパコン軍の影

中国のスパコンが計算速度の世界ランキングで初めて世界一になった。上

計算速度 世界1

米、技術力を注

日本、



世界一のスパコンの性能と、その開発費は少なくて済む。米オレゴン大の研究者グループ「TOP500」が16日、米オレゴン大で開いた発表式で発表した。天河1号を開発した中国国防科学技術大の劉光明教授は「天河1号は中国の科学、技術、経済の発展を加速する」と語った。計算速度を合計した計算力総計でも、中国は世界全体の13%を占めて2位に入った。

朝日20101118

日本、

ペタフロップス？ ギガフロップス/W？



6.6万倍高速
3倍省エネ



4.4万倍データ



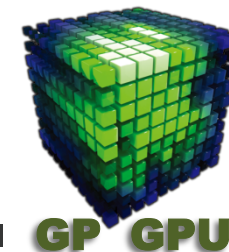
Laptop: SONY Vaio type Z (VPCZ1)
CPU: Intel Core i7 620M (2.66GHz)
MEMORY: DDR3-1066 4GBx2
OS: Microsoft Windows 7 Ultimate 64bit
HPL: Intel(R) Optimized LINPACK Benchmark for
Windows (10.2.6.015)
256GB HDD

18.1 ギガ(10^9)フロップス
369 メガ(10^6)フロップス / Watt

Supercomputer: TSUBAME 2.0
CPU: 2714 Intel Westmere 2.93 Ghz
GPU: 4071 nVidia Fermi M2050
MEMORY: DDR3-1333 80TB + GDDR5 12TB
OS: SuSE Linux 11 + Windows HPC Server R2
HPL: Tokyo Tech Heterogeneous HPL
11PB Hierarchical Storage

1.192 ペタ(10^{15})フロップス
1037 メガ(10^6)フロップス / Watt

気象計算



気象庁数値予報課との共同研究:

メソスケール大気シミュレーション:

雲解像非静力平衡モデル

Compressible equation taking consideration of sound waves.

Meso-scale

2000 km

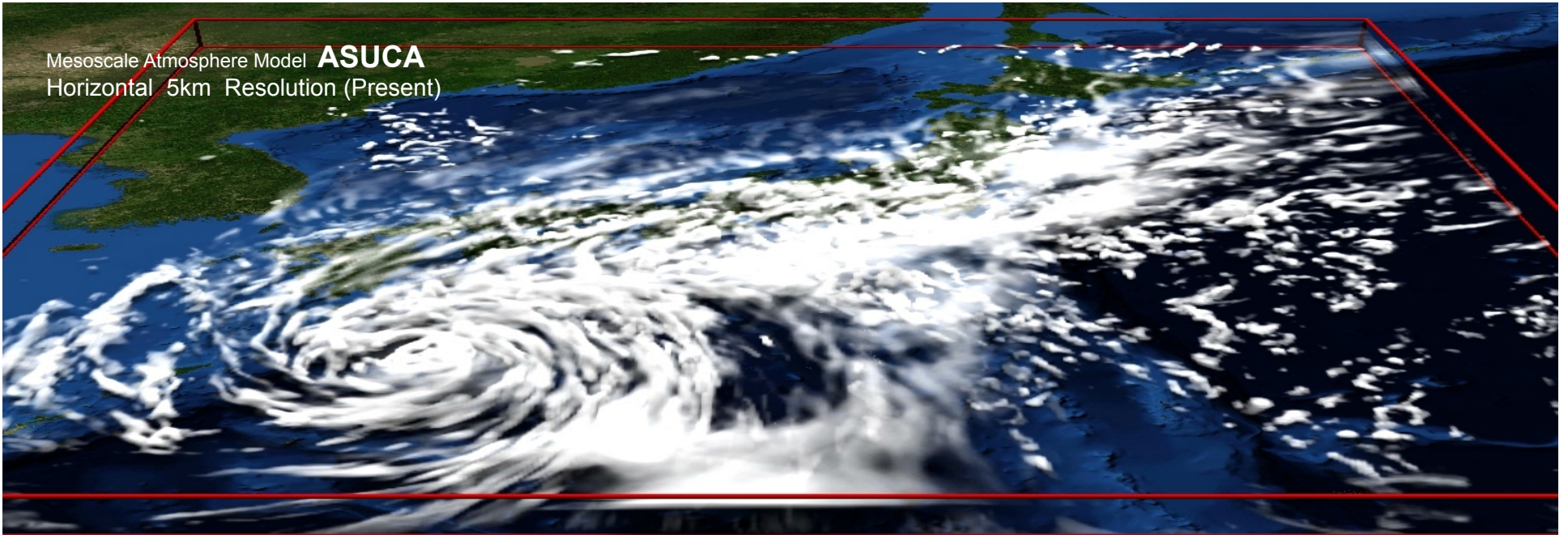
台風



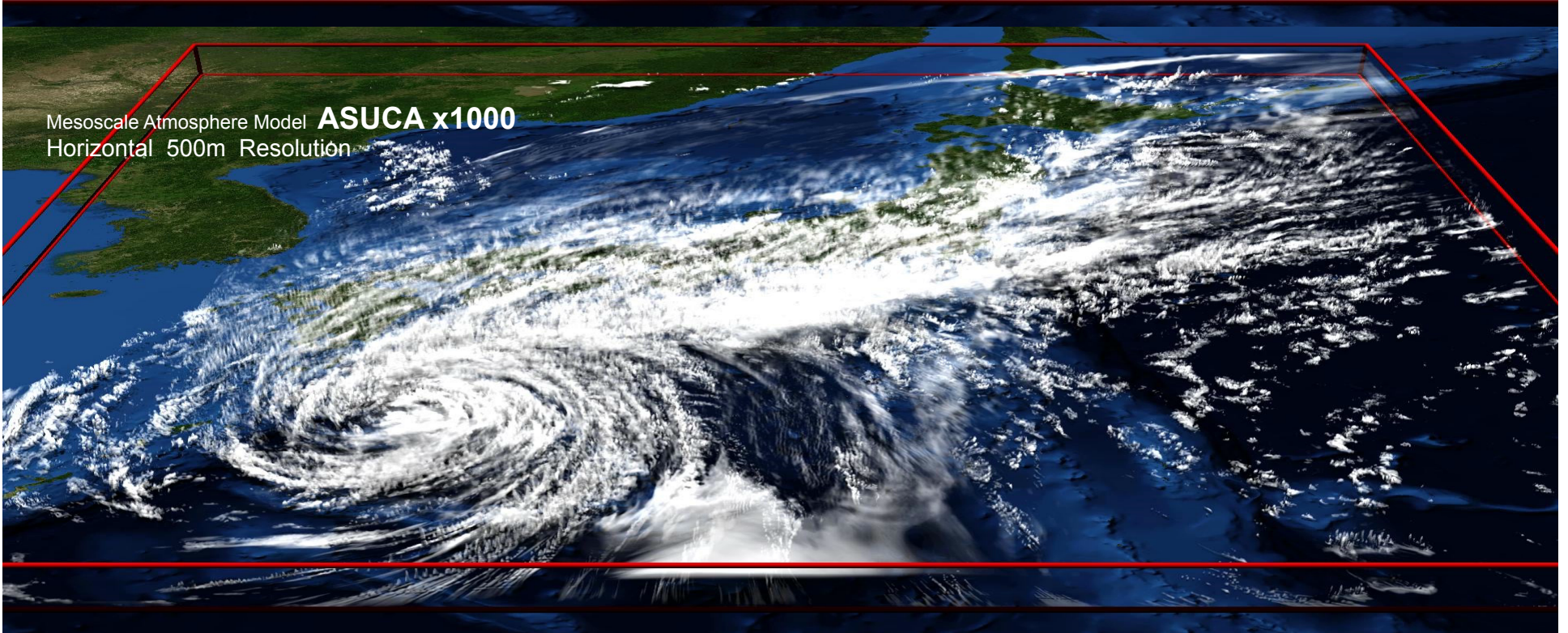
1 km 以下

竜巻、集中豪雨、
ダウンバースト

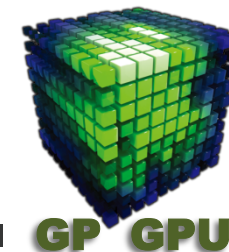
Mesoscale Atmosphere Model **ASUCA**
Horizontal 5km Resolution (Present)



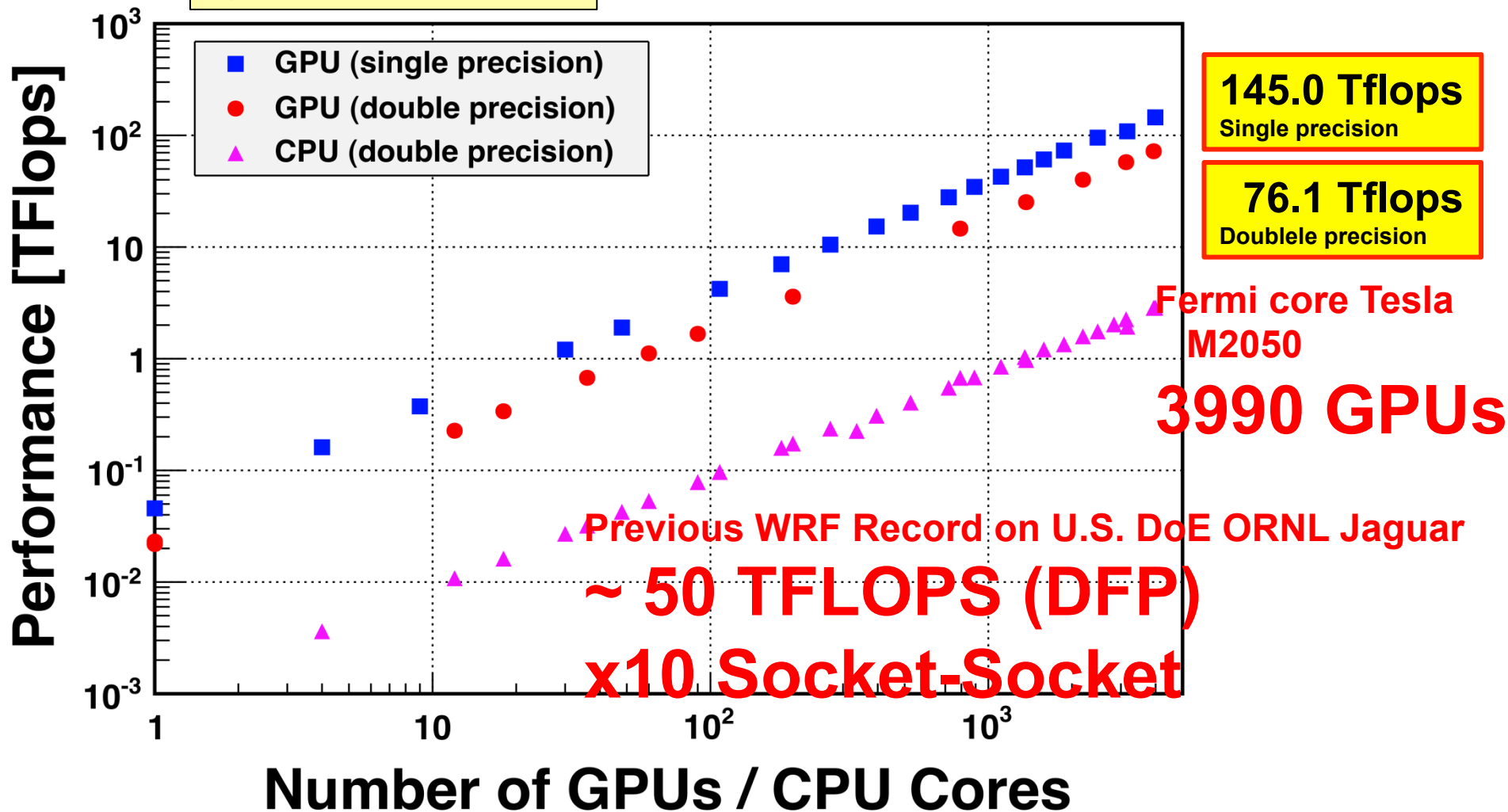
Mesoscale Atmosphere Model **ASUCA x1000**
Horizontal 500m Resolution



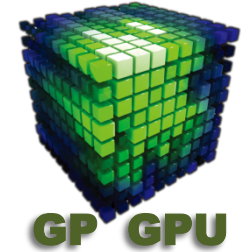
TSUBAME 2.0での実行性能



弱スケーリング

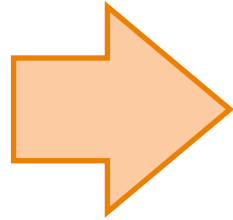


氣液二相流



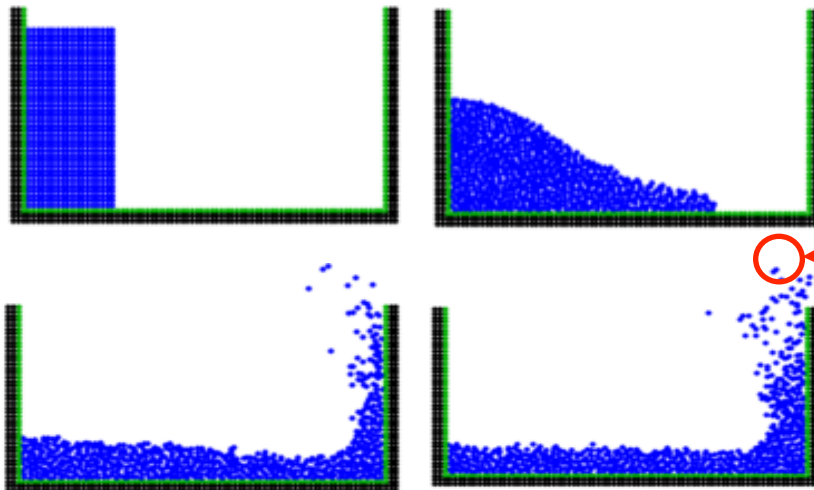
Mesh Method

粒子法
例: **SPH**



Low accuracy
< 10^6 particles

- Navier-Stokes solver: Fractional Step
- Time integration: 3rd TVD Runge-Kutta
- Advection term: 5th WENO
- Diffusion term: 4th FD
- Poisson: AMG-BiCGstab
- Surface tension: CSF model
- Surface capture: CLSVOF (THINC + Level-Set)



not splash

High accuracy > 10^8 mesh points



Numerical noise and unphysical oscillation



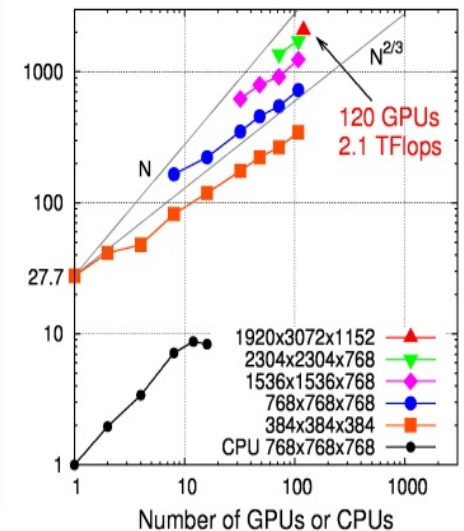
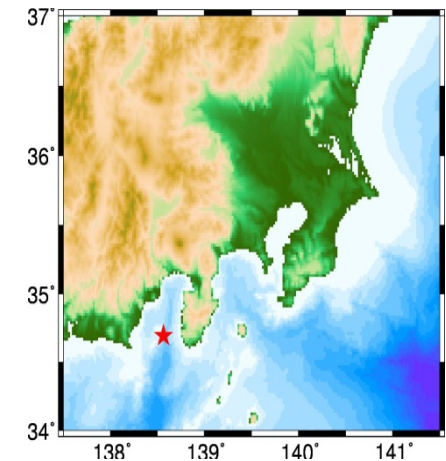
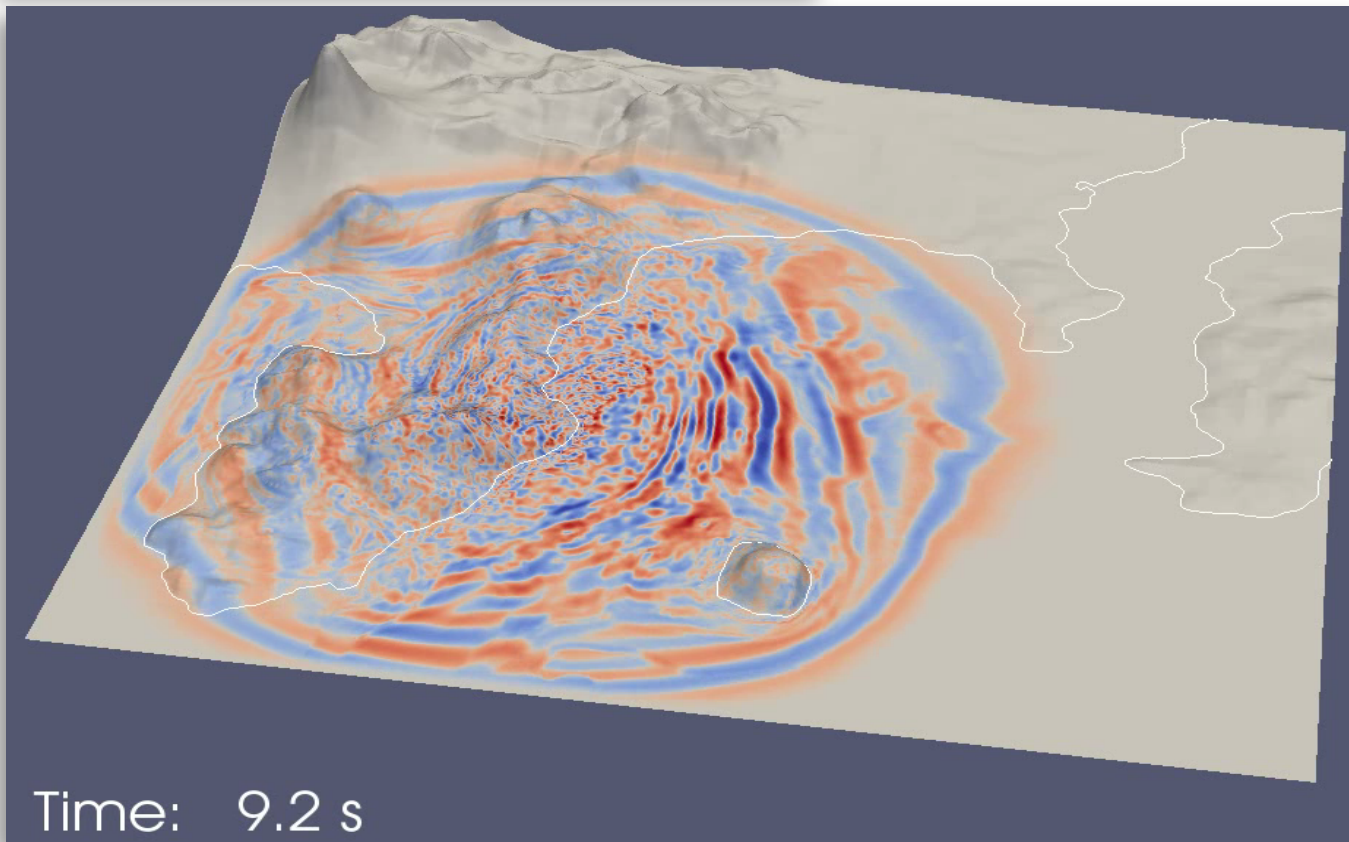
地震波伝播シミュレーション



地球惑星科学専攻 岡元太郎氏 提供

Global Scientific Information
and Computing Center

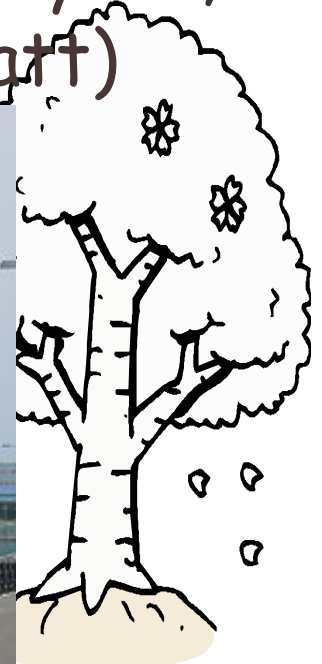
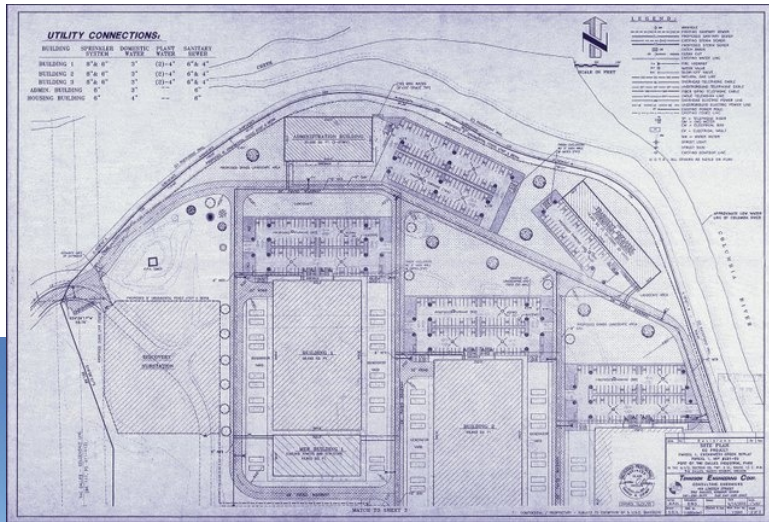
TSUBAME 1.2 120 GPUs
for **1920x3072x1152** 2.1 TFlops



クラウド時代における100万コアデータセンター



- Google DataCenter @ Dalles, Oregon
 - 15,000m² IDC Floorspace
 - > 1,300,000 CPU Cores?
 - > 100PB Storage
- IDC "@Tokyo"(Toyosu, Tokyo) (140MWatt)



高性能計算による 計算の質的転換

❁ 先の銀河系シミュレーション

– モデルの工夫 => 計算回数が $n \log_2 n$

• $10^{11} \log_2 10^{11} \doteq 3 \times 10^{12}$

– 計算機の高速化 => さらなる向上

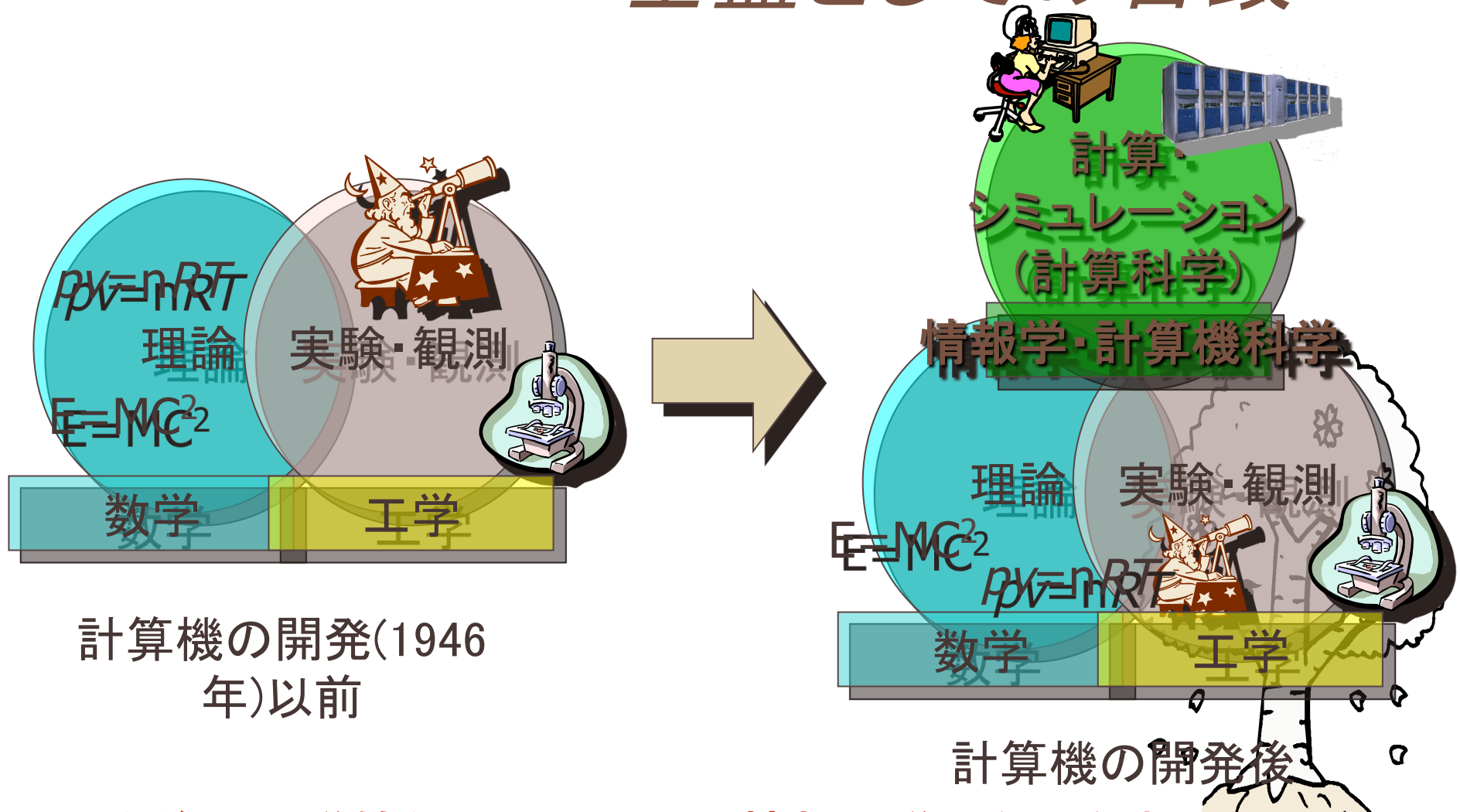
• 仮に TSUBAME を用い、計算回数1回=浮動小数点演算一回だとすると、1タイムステップあたり1/30秒

– リアルタイム可視化、c.f., 1万年

– このように、情報の研究による技術の進歩で、質的にできなかった計算が可能になる



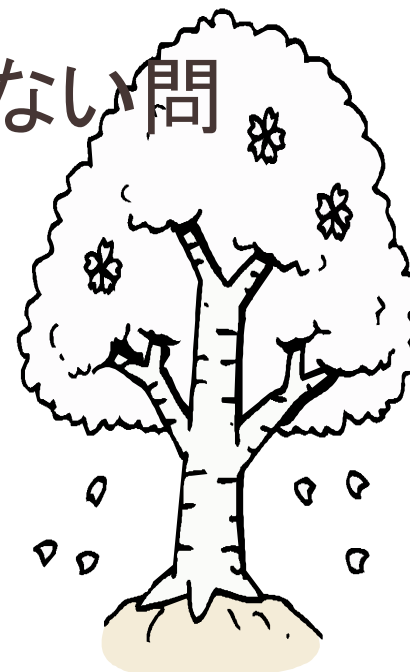
科学技術における情報の 基盤としての台頭



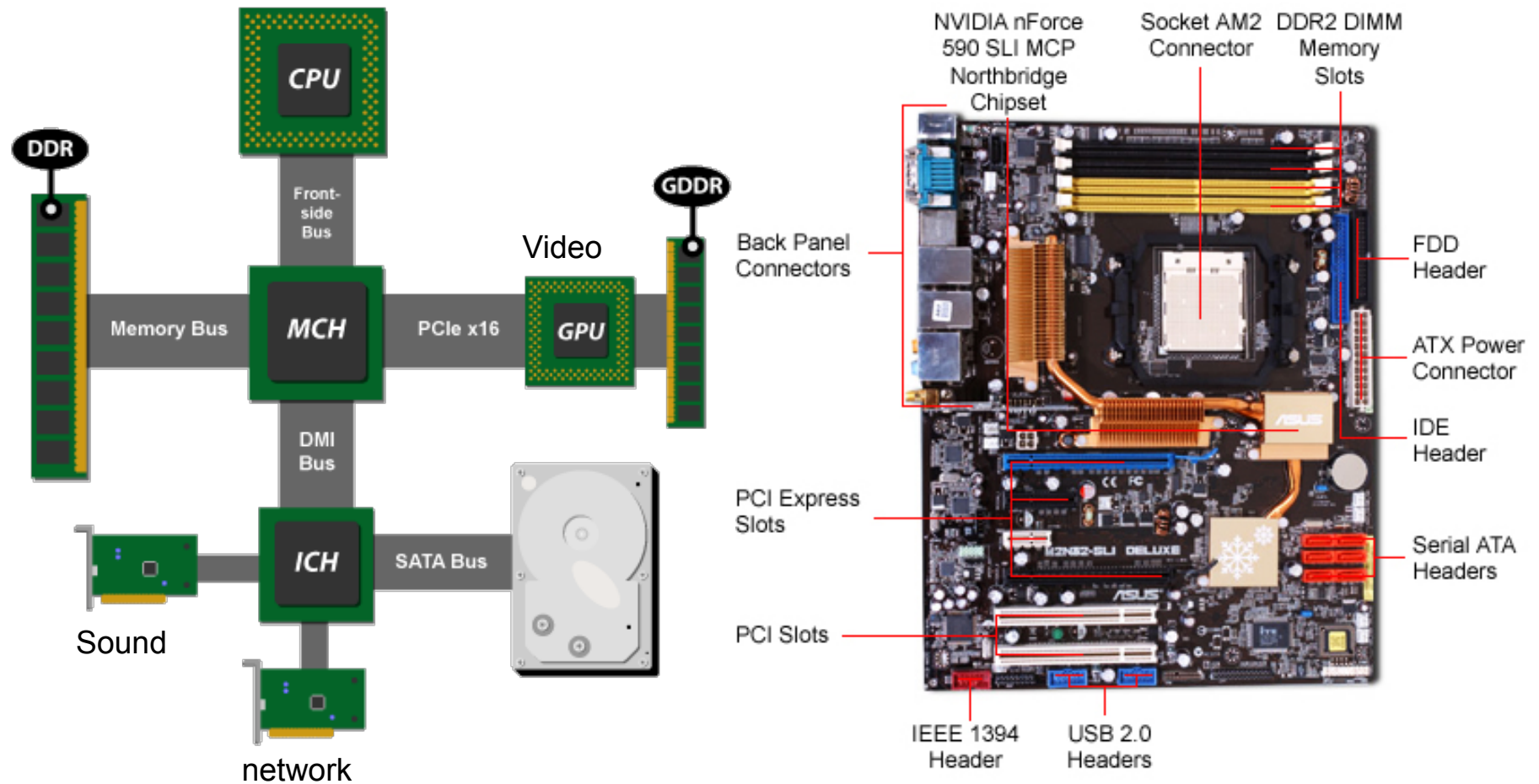
今後の科学技術発展のために情報科学はなにをすべきか？

計算の理論的限界

- 情動的モデル化、アルゴリズム、計算機ハードウェア・ソフトウェアの進歩
→ 全ての問題が解けるか?
- 否!! この世には、本質的に計算できない問題が存在する(計算不能)
 - Eniacの開発以前に知られていた
- 例: 停止問題



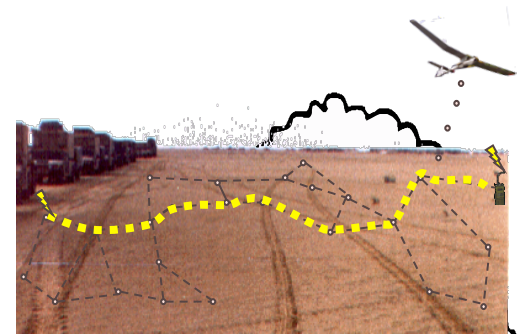
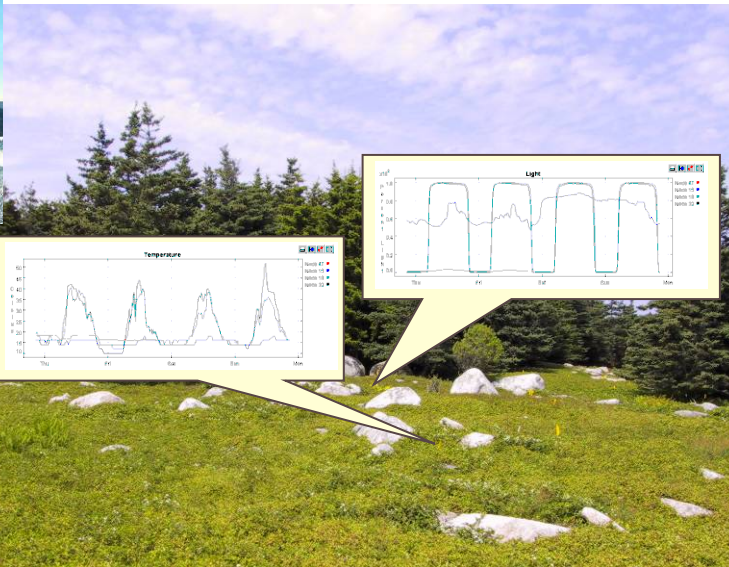
Modern Day PC Architecture and Motherboard



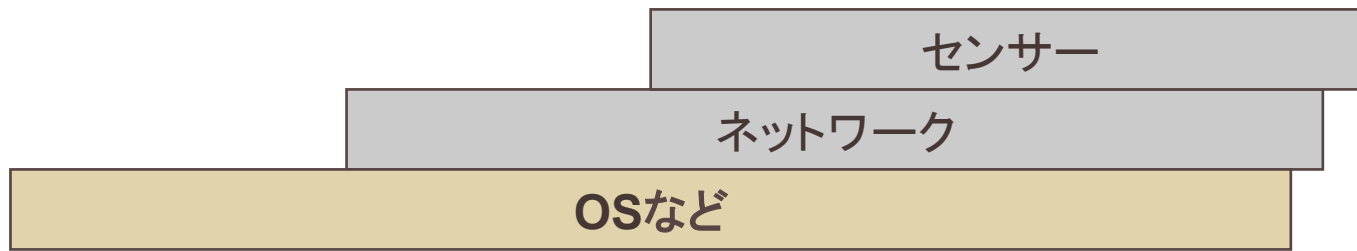
極小コンピュータ

- ❁ 環境モニタリング
 - 数年間電池で動作
 - 大量にばら撒く
 - 無線通信

- ❁ 次世代ユビキタスコンピューティング
 - 賢いRFID

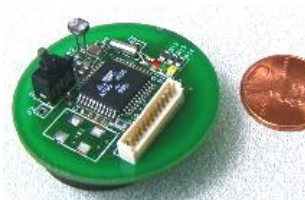


極小コンピューティングハードウェア



Telos 4/04
Robust
Low Power
250kbps
Easy to use

WeC 99
"Smart Rock"



Small microcontroller
8 kB code
512 B data

Simple, low-power radio
10 kbps ASK

EEPROM (32 KB)

Simple sensors

Rene 11/00



Designed for experimentation

-sensor boards

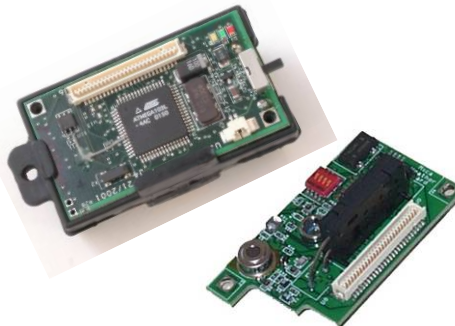
-power boards

Dot 9/01



Demonstrate scale

Mica 1/02

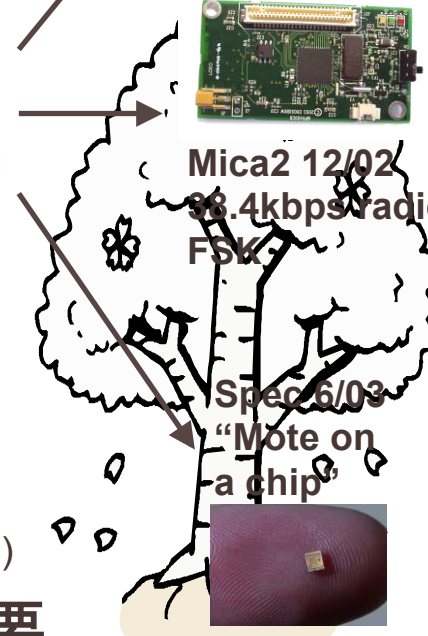


NEST open exp. Platform
128 kB code, 4 kB data
40kbps OOK/ASK radio
512 kB Flash

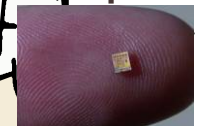
Commercial Off The Shelf Components (COTS)



Mica2 12/02
98.4kbps radio
FSK



Spec 6/03
"Mote on a chip"



mWから μ Wでの動作→ここでもアーキテクチャが重要

最後に

- 今後、どのような道に進もうと、計算機の動作原理の基本的な理解は必須
- 今後、学期を通じて、計算機システム、計算機のアーキテクチャ、動作原理、およびその設計法を学ぶ
- 半分講義で、半分は実践的な演習
- 授業ごとに資料を配布、カラー版はPDFにて授業のHPに
- 最後に試験と演習のレポートにより採点

