

The Gordon Bell Prize History and Winning

Satoshi Matsuoka

2011 Prize Winner & Honorable Mention

2016-2019 Selection Committee Member

2018 Selection Committee Chair

2021/11/19



ゴードンベル賞とは (1)

(一部出典: 小柳義夫氏@RIST)

- 高並列計算の進歩を顕彰することを目的とし、スーパーコンピュータを科学、技術、大規模データ解析などに応用する際の革新的な手法やアプリケーションの成果を表彰する
- ゴードンベル氏の個人主催の賞として始まったが、1992年からはSC (ACM/IEEE学会が共同主催するACM/IEEE Supercomputing国際会議)に組み込まれ、さらに氏の要請により、2006年からはACM学会の正式な賞となり、権威ある賞となった。毎年11月にSC会議にて発表、表彰が行われる。
- スパコン界では、IEEE Cray/Fernbach賞などの個人の業績賞を除けば、もっとも権威のある賞である。いわば、映画に例えれば、「アカデミー賞最優秀作品賞」に相当
 - アカデミー賞と同じく、多くの推薦候補から6つ程度の「ファイナリスト」が事前に選出され、SCの会議で最終受賞者が発表される
- 特に2006年から、日本の研究チーム・マシンが比較的コンスタントにファイナリストとなり、いくつかは受賞している
 - 2018年は松岡が審査委員長



ゴードンベル賞とは(2)

- 1980年代中頃から、アメリカを中心として高並列コンピュータを開発製造するベンチャーが雨後の筍のように出現したが、DEC社(現HPE)で名機PDP-11を開発し、初のスパコンを開発したSeymore Cray氏と共に計算機アーキテクチャのトップリーダーであったGordon Bell氏は、このような並列コンピュータが科学技術におけるの実際の問題解決に役立つかどうか疑念を抱いていた。すなわちGordon Bell賞は、高並列コンピュータへのチャレンジであった。
- 4月に論文形式でエントリーが行われ、以下の3つの基準で審査される。全てが優れているものが受賞。
 - マシンの高性能化やアプリケーションプログラムに関する計算機テクノロジーの革新
 - 達成されたスパコンの性能
 - 実現されたアプリケーションの内容の科学技術としての価値や社会的なインパクト



2014 IEEE/ACM Career Awards @ SC14

IEEE Cray Award – Gordon Bell

ACM Ken Kennedy Award – Charles Leiserson

IEEE Fernbach Award – Satoshi Matsuoka

2018 Gordon Bell Prize Chair

2006年以降の日本からのゴードンベル賞の受賞 理研「京」や東工大「TSUBAME」でのアプリ

- 2009: Low Price / Performance Category: Tsuyoshi Hamada, Tetsu Narumi, Keigo Nitadori, Kiyoshi Oguri, Makoto Taiji, Kenji Yasuoka, Rio Yokota. *42 Tflops Hierarchical N-body Simulations on GPUs with Applications in both Astrophysics and Turbulence* (2010年以降この受賞カテゴリーは廃止)
- 2011: Sustained Performance Prize: Taisuke Boku, Yukihiro Hasegawa, Junichi Iwata, Motoyoshi Kurokawa, Kazuo Minami, Atsushi Oshiyama, Fumiyoshi Shoji, Daisuke Takahashi, Miwako Tsuji, Atsuya Uno, Mitsuo Yokokawa. *First principles calculation of electronic states of a silicon nanowire with 100,000 atoms on the K computer*
- 2011: Scalability/Time to Solution Prize: Takayuki Aoki, Toshio Endo, Naoya Maruyama, Satoshi Matsuoka, Akira Nukada, Takashi Shimokawabe, Tomohiro Takaki, Akinori Yamanaka. *Peta-scale Phase-Field Simulation for Dendritic Solidification on the TSUBAME 2.0 Supercomputer*
- 2012: Scalability and Time to Solution: Tomoaki Ishiyama Junichiro Makino Keigo Nitadori. *4.45 Pflops Astrophysical N-Body Simulation on K Computer - The Gravitational Trillion-Body Problem*
- その他多くのファイナリストや奨励賞

東工大TSUBAME2.0の受賞



ACM Gordon Bell Prize 2011 2.0 Petaflops, 45% Efficiency (Co-Prize with the K Computer)

Special Achievements in Scalability and Time-to-Solution

“Peta-Scale Phase-Field Simulation for Dendritic
Solidification on the TSUBAME 2.0 Supercomputer”

富岳の2020ACMゴードン・ベル賞ファイナリスト

ファイナリスト6件のうち2件が「富岳」利用（2020年11月）

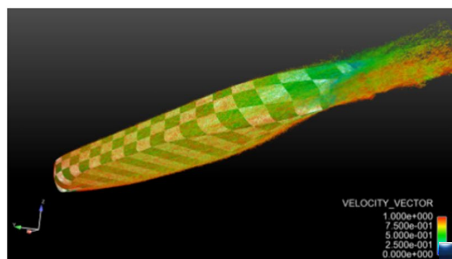
→残念ながら受賞は逃す

高度流体数値シミュレーションによる曳航水槽試験の代替 に関する技術開発

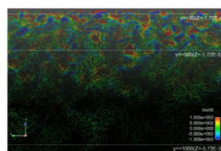
船舶の周りの全ての流れの情報を数値化と視覚化

模型船型(KVLCC2型)まわりの水の流れ

■ 320億の計算格子用いた大規模流体シミュレーション

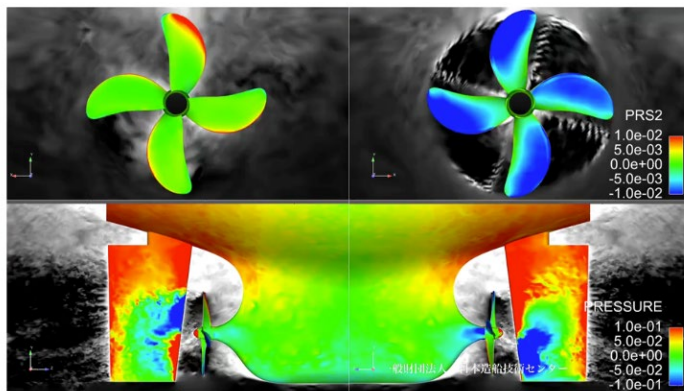


計算された船体表面近傍の微細な渦



船底近傍の流れの渦の様子

プロペラとの干渉効果を求めるシミュレーション



圧力分布（カラー）と流速分布（白黒）

加藤 千幸センター長
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



東京大学
The University of Tokyo



東京大学
生産技術研究所

MIZUHO

みずほ情報総研



RIKEN



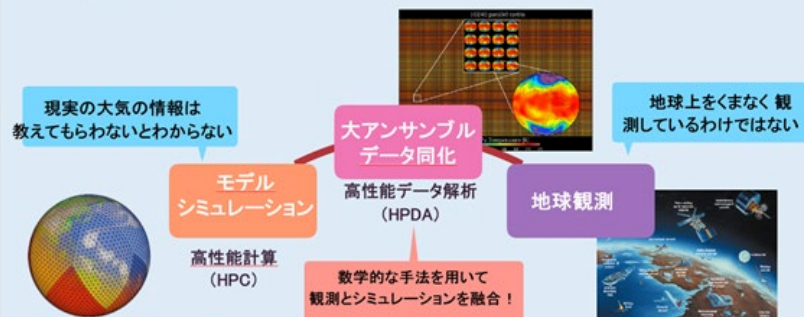
SRC
Shibuya Research Center of Japan

高解像度シミュレーション・大アンサンブル同化

史上最大規模の全球気象シミュレーションとデータ同化の複合計算

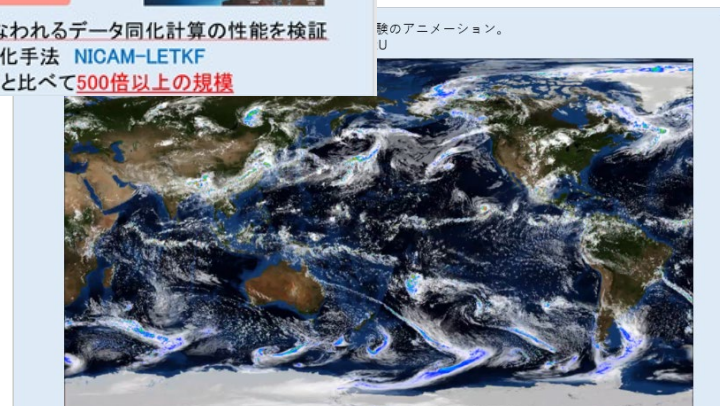
防災・減災に資する新時代の大アンサンブル気象・大気環境予測

高解像度シミュレーション X 大アンサンブル同化手法



- ・本研究では、気象予報計算の前段階として行なわれるデータ同化計算の性能を検証
- ・高解像度シミュレーション X 大アンサンブル同化手法 NICAM-LETKF
- ・世界の気象機関が日々行っている同種の計算と比べて**500倍以上の規模**

佐藤 正樹教授
東京大学大気海洋研究所

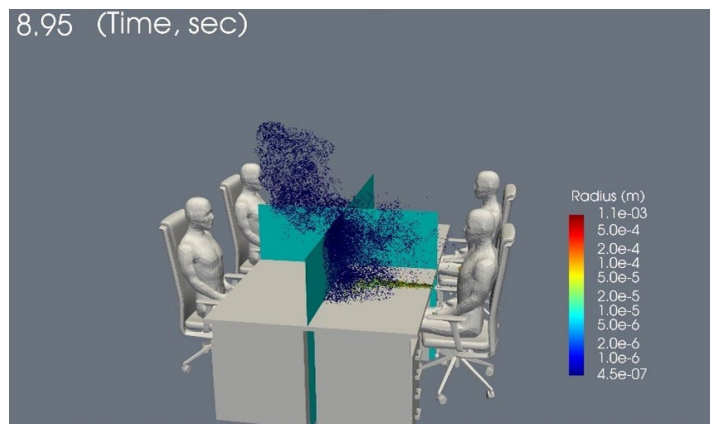


実験のアニメーション。

富岳の2021ACMゴードン・ベル賞ファイナリスト

最終発表は米国ミズーリ州セントルイスのアメリカズ・センター及びオンラインで開催される国際会議において、
現地時間11月18日（木）12時30分（日本時間11月19日（金）3時30分）より行われる。

2021年ゴードン・ベル賞COVID-19研究特別賞 「富岳」を用いたCOVID-19の飛沫・エアロゾル拡散モデル 感染症疫学のデジタルトランスフォーメーションに初めて成功

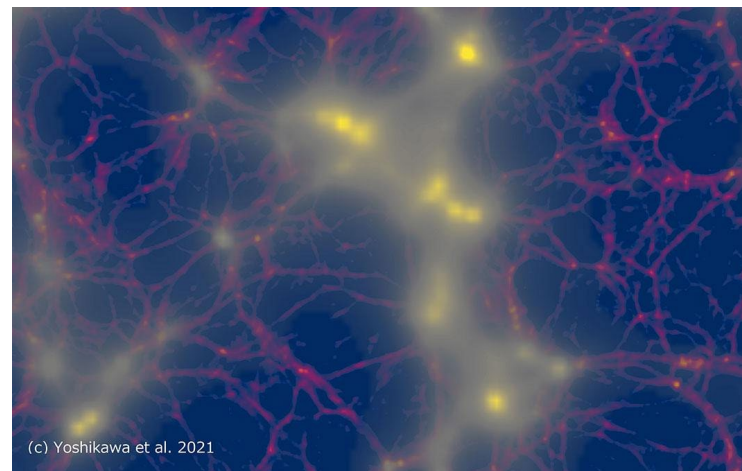


坪倉誠チームリーダー
理化学研究所
計算科学研究センター
複雑現象統一的開放研究
チーム
(神戸大学大学院システム
情報学研究科教授)

パーティションの高さの影響（提供：理研・
豊橋技科大，協力：京工繊大，阪大）



「富岳」を用いた宇宙ニュートリノの数値シミュレーション 大規模宇宙構造におけるニュートリノの 運動に関する大規模数値シミュレーションの実行に成功 ブラソフシミュレーションと呼ばれる全く新しい手法を世界で初めて採用



吉川耕司 講師
筑波大学
計算科学研究センター



ランキング結果について

2021年11月19日
理化学研究所 計算科学研究センター
センター長 松岡 聡

「富岳」世界スパコン性能5冠達成

(4冠は2020年6月～4期連続、MLPerf HPCは2021年11月初)

シミュレーション
(クラシック)

442.0

2.97
倍

148.6

TOP500

(単位：PFLOPS)

浮動小数点の演算
での性能評価

シミュレーション
(モダン)

16.0

5.48
倍

2.93

HPCG

(単位：PFLOPS)

実際にアプリケーションを
稼働させた性能評価

AI
(深層学習)

2.00

1.42
倍

1.41

HPL-AI

(単位：EFLOPS)

AI処理での
性能評価

ビッグデータ
(グラフ処理)

102,955

4.33
倍

23,756

Graph500

(単位：GTEPS)

ビッグデータ処理での
性能評価

スループット性能
(深層学習)

1.29

1.77
倍

0.729

ML Perf HPC
(CosmoFlow)

(単位：モデル数 / 分)

AI処理の
総合性能評価

2位に対して 約1.4倍から5.5倍の性能差を実現

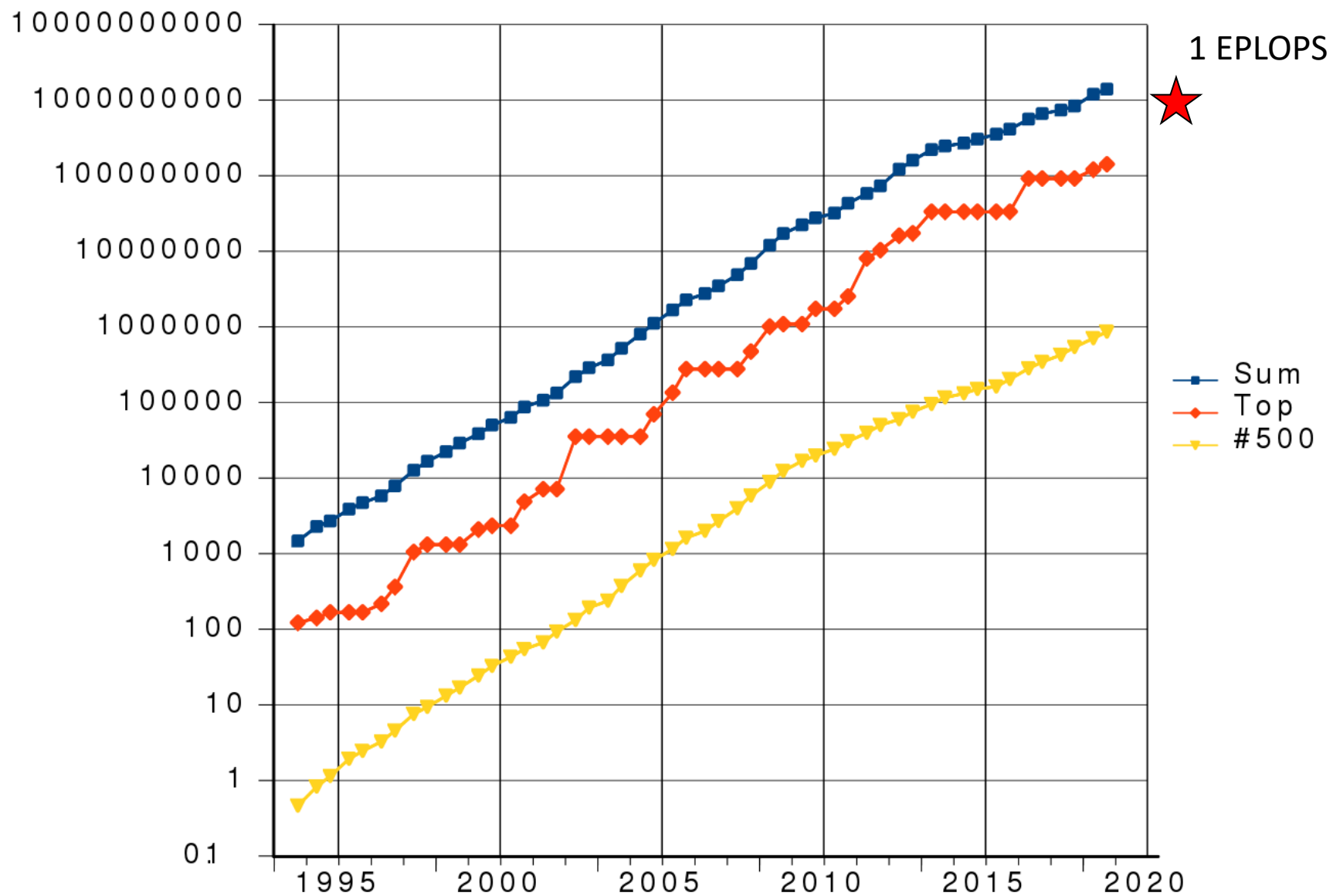
- では、演算能力はどうやって「測る」のか
- **Top500**
- **Green500**
- **HPCG**
- **Graph500**
 - 他にもいろいろあるけど、…
 - IO, AI/DL, SPEC ….

- LINPACK(密行列の直接解法)と言われるベンチマークプログラムの性能を計測するベンチマーク
- Top500リストは、LINPACKの実行性能を指標として世界で最も高速なコンピュータシステムの上位500位までを定期的にランク付けし、評価するプロジェクト。1993年に発足し、スーパーコンピュータのランキングを年2回（6月、11月）発表している。<http://www.top500.org/>
- 数十年のデータがあるため、スパコン性能の予測にも使われている。
- 多くの科学技術計算や産業アプリケーションで使われる浮動小数点数の演算能力を測ることを目的としている。
- 本ベンチマークで高い性能を出すためには、搭載メモリ限界の問題規模で測定する必要があり、数時間にわたる実行が不可欠。高いスコアは計算能力と同時にシステムが故障なく長時間稼働できることも意味している。
- 近年、実際のアプリケーションの性能との乖離が指摘されている。

Rank	Site	Computer/Year Vendor	Cores	R _{max}	R _{peak}	Power
1	RIKEN Advanced Institute for Computational Science (AICS) Japan	K computer, SPARC64 VIIIx 2.0GHz, Tofu interconnect / 2011 Fujitsu	548352	8162.00	8773.63	9898.56
2	National Supercomputing Center in Tianjin China	Tianhe-1A - NUDT TH MPP, X5670 2.93Ghz 6C, NVIDIA GPU, FT-1000 8C / 2010 NUDT	186368	2566.00	4701.00	4040.00
3	DOE/SC/Oak Ridge National Laboratory United States	Jaguar - Cray XT5-HE Opteron 6-core 2.6 GHz / 2009 Cray Inc.	224162	1759.00	2331.00	6950.60
4	National Supercomputing Centre in Shenzhen (NSCS) China	Nebulae - Dawning TC3600 Blade, Intel X5650, NVidia Tesla C2050 GPU / 2010 Dawning	120640	1271.00	2984.30	2580.00
5	GSIC Center, Tokyo Institute of Technology Japan	TSUBAME 2.0 - HP Xeon 6C X5670, Nv Linux/Windows / 2011 NEC/HP				
6	DOE/NNSA/LANL/SNL United States	Cielo - Cray XE6 8-c Cray Inc.				
7	NASA/Ames Research Center/NAS United States	Pleiades - SGI Altix Xeon HT QC 3.0/Xe Infiniband / 2011 SGI				
8	DOE/SC/LBNL/NERSC United States	Hopper - Cray XE6 1 Cray Inc.				
9	Commissariat a l'Energie Atomique (CEA) France	Tera-100 - Bull bullx S6010/S6030 / 2010 Bull SA				
10	DOE/NNSA/LANL United States	Roadrunner - Blade Cluster, PowerXCell 1.8 GHz, Voltaire Inf IBM				



これからのスパコンの性能が予測できる？



最先端のスパコンを作る時の問題は、…

- いまのスパコンの性能は、並列処理から

- つまり、性能 = プロセッサの性能 x 台数

- すなわち、コンピュータ数

- ということは、性能は結合するコンピュータの数を増やせばいい

⇒ が、電力が限界

- 2008年から、Top500に電力消費量を表示するようになった

- これからのスパコンは電力が大切

たとえば、現在のデスクトップPCの電力は、**100W**で、**100GFLOPS** (1GF/W) これで、並列システムをつくと…

1TF = 1000W
10PF = 10MW (京なみ)
1EF = 1000MW

- Top500リストにランキングされているシステムのうちで、電力当たりの性能を競うベンチマーク
- 500位以内に入るためには、数PFLOPSのシステムでなければならない。
- 富岳のプロトタイプで、2019年11月に 16.876GF/Wで 1 位を獲得！ 汎用プロセッサながら、GPUを越える電力性能を実証。

Green500, Nov. 2019

A64FX prototype –
Fujitsu A64FX 48C 2GHz
ranked **#1** on the list

768x general purpose A64FX
CPU w/o accelerators

- 1.9995 PFLOPS @ HPL, 84.75%
- 16.876 GF/W
- Power quality level 2

FUJITSU CONFIDENTIAL

Green500試作機1位獲得。何がすごいのか？

● **これまでのGreen500**

GPU搭載パソコンや特殊パソコンが上位を独占

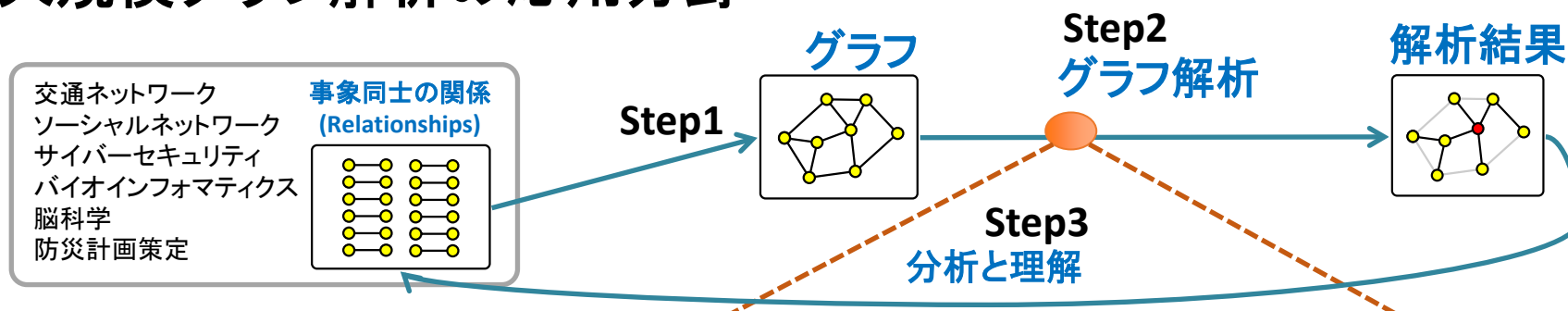
● **今回のGreen500**

「富岳」
初めて汎用CPU搭載パソコンが世界1位に！

- 疎な係数行列から構成される連立一次方程式を解く計算手法である共役勾配法 (conjugate gradient method) を用いた新たなベンチマーク・プログラム
 - HPCG = High Performance Conjugate Gradient solver
- 実際のアプリケーションで求められる性能要件との乖離から、**産業利用など実際のアプリケーションでよく使われるCG法のプログラムで性能を評価するために提案された。**
 - 自動車や飛行機の空力設計、構造計算、…
- **演算性能だけでなく、メモリアクセス性能がベンチマークの結果を大きく左右する。**
- 2014年6月のISC14で世界の主要なスーパーコンピュータ15システムでの測定結果の発表を経て、同年11月に米国ニューオーリンズで開催されたHPCに関する国際会議 SC14から正式なランキングが発表されている。
 - 「京」は、Nov. 2014 – Nov. 2015で、1 位

- 超大規模グラフの探索能力で計算機を評価するベンチマーク
- 実社会における複雑な現象は、大規模なグラフ（頂点と枝によりデータ間の関連性を示したもの）として表現される場合が多いため、コンピュータによる高速なグラフ解析が必要とされる
- 2つの性能指標がある。「京」「富岳」では、主にBFSを評価。
 - **BFS(Breadth First Search)**: スタート頂点に繋がっている全ての辺を調べて、繋がっている全ての頂点を知り、次はそれらの頂点から繋がっている全ての辺を調べるという風にして、グラフの全ての頂点に到達する経路を見つけるまでの計算時間を測る。辺の総数を処理時間で割ってTEPS(Traversed Edges Per Second)を求める
 - **SSSP(Single Source Shortest Path)**: スタート頂点から、全ての頂点への最短の経路を求めるというベンチマーク。なお、SSSPではそれぞれの辺は長さを持っており、経路に含まれる辺の長さの合計が経路の長さとなる。
- 演算能力だけでなく、メモリ性能、ネットワーク性能が重要！
- 「京」はJun 2014 1位、Nov 2014 2位、Jun 2015-Jun 2019 1位。
- Green Graph500もある。グラフ処理の場合の省電力性能は TEPS / Watt (電力性能比)を計測。

大規模グラフ解析の応用分野

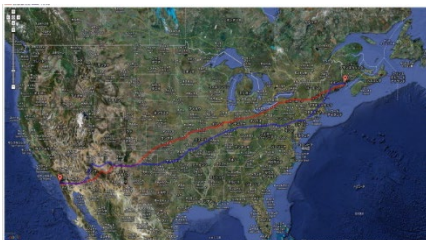


ソーシャルネットワーク

6,160万点 & 14億7千万枝

全米道路ネットワーク

2,400万点 & 5800万枝



- 並列グラフ探索 (幅優先探索: **BFS**)
- 最適化 (最短路: **SSSP**, 最大フロー, 最小費用フロー)
- クラスタリング (グラフ分割, コミュニティ抽出)

サイバーセキュリティ

150億/日のアクセスログ



ニューラル・ネットワーク

890億点 & 100 兆枝

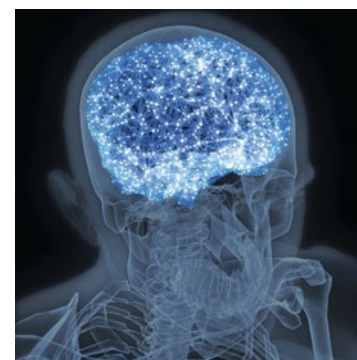


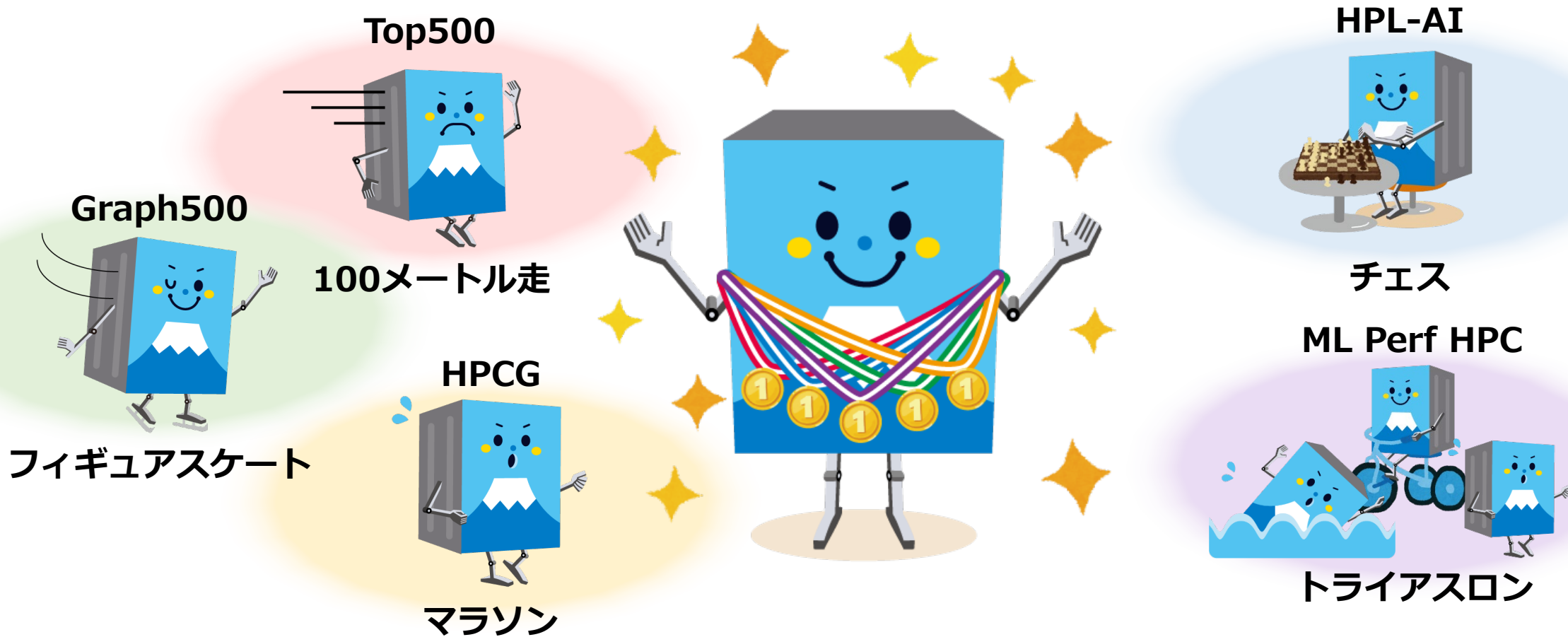
Image: Illustration by Mirko Ilic

グラフ解析の利用方法と応用分野

- 低精度計算を用いることを認めたHPL（High-Performance LINPACK）の性能を計測するベンチマーク
 - 倍精度計算よりも計算精度が劣ってしまうため、引き続き反復改良と呼ばれる技術で倍精度計算と同等の精度にすることを求めている。
 - 従来のHPLは、倍精度演算（10進で16桁の浮動小数点数）のみで計算することがルールに定められていた。
- 近年、GPUや人工知能向けの専用チップで低精度演算（10進で5桁、もしくは10桁）の演算器を多数搭載し、高性能化をする計算機が多数現れており、ディープラーニングなどのAI処理に使われているが、これらの性能演算性能がTop500に反映されない問題から、提案された。
- 間接的に、低精度演算での演算能力を評価することで、ディープラーニングなどのAI処理の性能を評価することを目的とする。
- HPL-AIは2019年11月にルールが公表された、比較的新しいベンチマークランキング。

「富岳」は様々なランキングで世界トップレベル

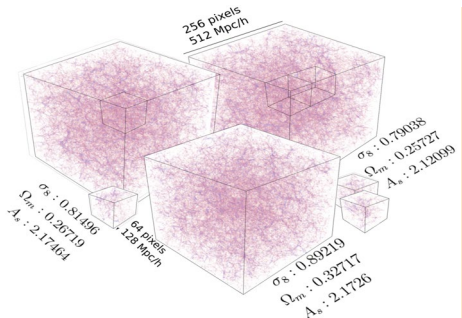
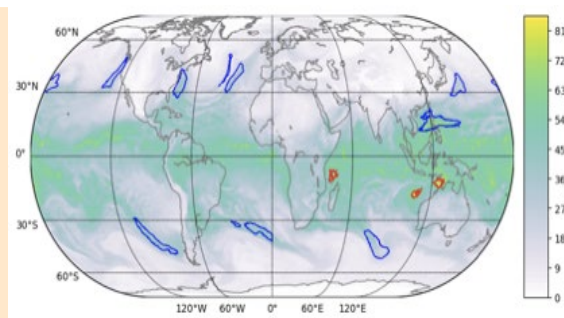
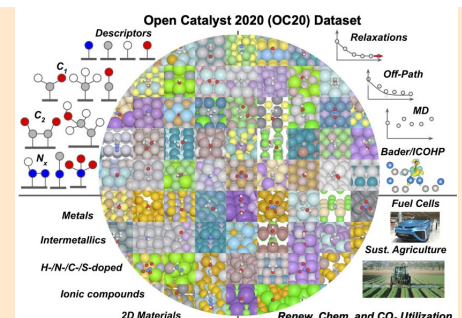
- それぞれのランキングは評価する性能が全く異なる。
評価する性能を競技で例えると…



様々な用途・計算方法で世界トップレベルの性能
汎用性の高い万能スーパーコンピュータ

●スーパーコンピュータの深層学習アプリケーションでの性能評価

- 今回対象となる3つの大規模深層学習モデル

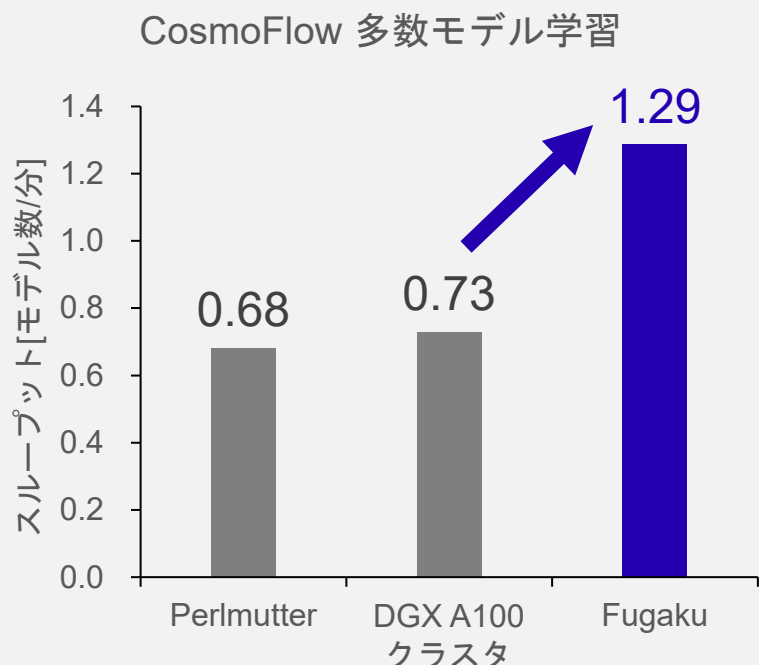
モデル	CosmoFlow	DeepCAM	Open Catalyst
内容	 「Cosmological Parameters from the Dark Matter Distribution」より	 「Exascale Deep Learning for Climate Analytics」より	 「The Open Catalyst 2020 (OC20) Dataset and Community Challenges」より
モデルの用途	シミュレーションデータからの宇宙論パラメータの予測	シミュレーションデータからの地球規模の異常気象現象の特定	触媒システムの量子力学的特性の予測

- 2つの測定方法

方式	生成モデル数	測定量	実際の用途
単一モデル学習 (strong scale)	1	学習に掛かる時間	決まったパラメータで学習
多数モデル学習 (weak scale)	複数	単位時間に学習できるモデル数	試行錯誤によるAIモデル学習

● CosmoFlow 多数モデル学習で1位

● 1位を実現した技術



ポイント	富岳	他のシステム
プロセッサ性能	15万個以上のプロセッサ (今回は8万個程度利用)	数千個
ネットワーク性能	TOFU の性能と、それを活かすジョブ割り振りで、実行中は衝突がほとんどおこらない	衝突が起こりえるネットワークとジョブの割り振り
ストレージ性能	富士通製の階層ストレージをうまく活用し、高効率なデータアクセスを実現	普通のネットワークファイルシステムで、時間が掛かる

他に、A64FX CPU 向け最適化技術 (OneDNN 等)

- コロナの影響で、実際の表彰式での富岳の表彰は初めて



なぜ「アプリケーションファースト」なのに、主要スパコン性能 ベンチマーク全てで一位が重要なのか？

- 富岳の目的は「ソサエティ5.0」早期実現を含む、国民の関心事に応えるための幅広い分野のアプリを世界トップレベルで加速すること
- それぞれのベンチマークは、一部のアプリをモデル化→もし富岳がその目的通りに設計されていれば、あらゆるベンチマークでトップ性能を示すはず。
- もし富岳が一部ベンチでしかトップ性能が出なければ、設計目的を全く満たしていない→よって、主要スパコンベンチマーク全てで一位が重要

