

スパコンを知ろう (スーパーコンピュータ)

2010年6月12日

神奈川大学理学部

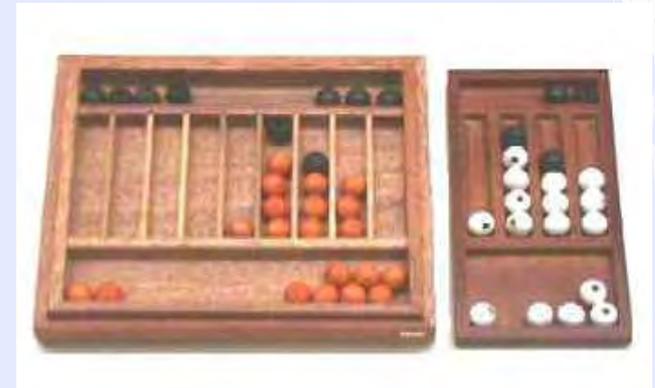
内田 啓一郎

本日の講演内容

- ◆ コンピュータ、スパコンとは何か(算盤とプログラム)
- ◆ 驚異的なスーパーコンピュータ性能
- ◆ 世界一競争と日本の状況
- ◆ スパコンの高速化原理
- ◆ どうやって20万台のコンピュータを動かすか
- ◆ 自然現象と計算科学
- ◆ 計算によりスパコンの科学技術への貢献
- ◆ 数値実験によるによる予測
- ◆ 具体例
 - ◆ 天気予報、天文学、加速器、ヒトゲノム
- ◆ まとめ

計算機の歴史 算盤

- ◆ 東洋(中国)の算盤
紀元前100年頃
1100年頃には実用
鎌倉以前に算盤
- ◆ ローマ時代(2~3世紀)
の算盤
現代のと相似

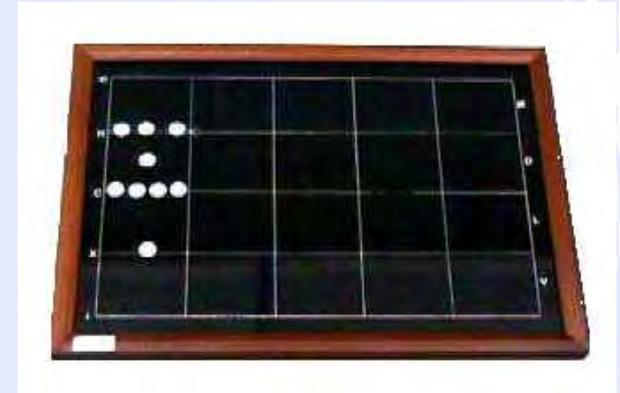


宋の算盤

計算機の歴史 算木

- ◆ 万葉集に九九を行う
算木が書かれている
- ◆ ネピア(16世紀)の骨
各桁の九九を書いた
棒に数字が書いてある
各桁ごとに足す
計算の表

算木



	4	7
I	4	7
II	8	14
III	12	21
IV	16	28
V	20	35
VI	24	42
VII	28	49
VIII	32	56
IX	36	63

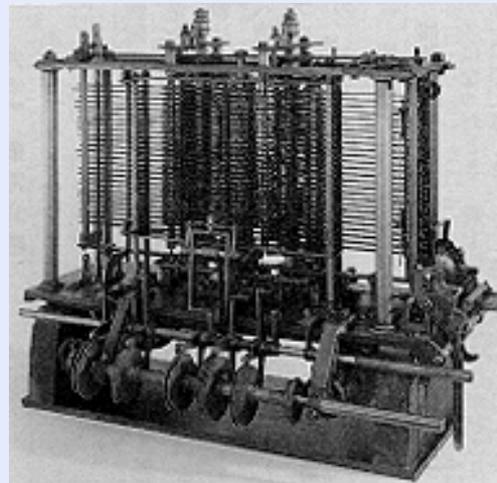
ネピアの骨

47 × 8は320と56を足す
4と7の短冊が骨製

計算機とプログラム

- ◆ 算盤は手作業 暗算も速度に限度
- ◆ 自動的な計算機械（繰り返しと判断も）
- ◆ 歯車計算機からプログラム可能計算機へ

計算の手順や計算を終えるまでの判断をプログラムが実行する
パンチカードに記述



Babbageが考えた解析機関
Analytical Engine

世界最初のプログラマ
は女性
Ada Byron (Countess
of Lovelace)

<http://www.wizforest.com/OldGood/engine/#aEngine>より

電子計算機(コンピュータ)

- ◆ 1938 Z1,Z3 ツーゼ 最初のプログラマブルコンピュータ(リレー)
- ◆ 1946 世界最初の実用電子計算機ENIAC(真空管)
- ◆ 1949 EDSAC(最初の実用フォンノイマンコンピュータ 英国)
- ◆ そのあと、UNIVAC、IBMなど製品化
- ◆ 日本でも日立、日電、富士通など製品化
- ◆ 半導体トランジスタの登場により、驚異的な発展
- ◆ 20億個のトランジスタ内蔵 msからnsへ(10^6)

スーパーコンピュータ

- ◆ その時代でもっとも速いコンピュータ
- ◆ 主に科学技術計算に使われる

1968	CDC Star100(ベクトル), ILLIAC IV(並列)	100MFLOPS(1億回/秒)
1976	Cray-1	80MF
1977	FACOM230/75APU	22MF
1982	VP100/200シリーズ 日立S810/820	500MF
1983	NEC SX-1/2	
1984	VP400	1GF
1992	NWT(VPP500) 世界一	280GF
1998	VPP5000 (ベクトル並列)	5TF
2001	Earth Simulator 世界一	36TF
2004	Blue Gene (IBM)	478TF
2009	Jaguar (Cray)	1700TF(1.7PF)

ENIACと最近のスパコン kFLOPSからPFLOPSへ1兆倍(60年)
この図の中のスパコン比較でも2000万倍(40年)
現在のパソコンは30年前のスパコン並み

世界スパコン・トップ10

Jun 2010
(TOP500より)

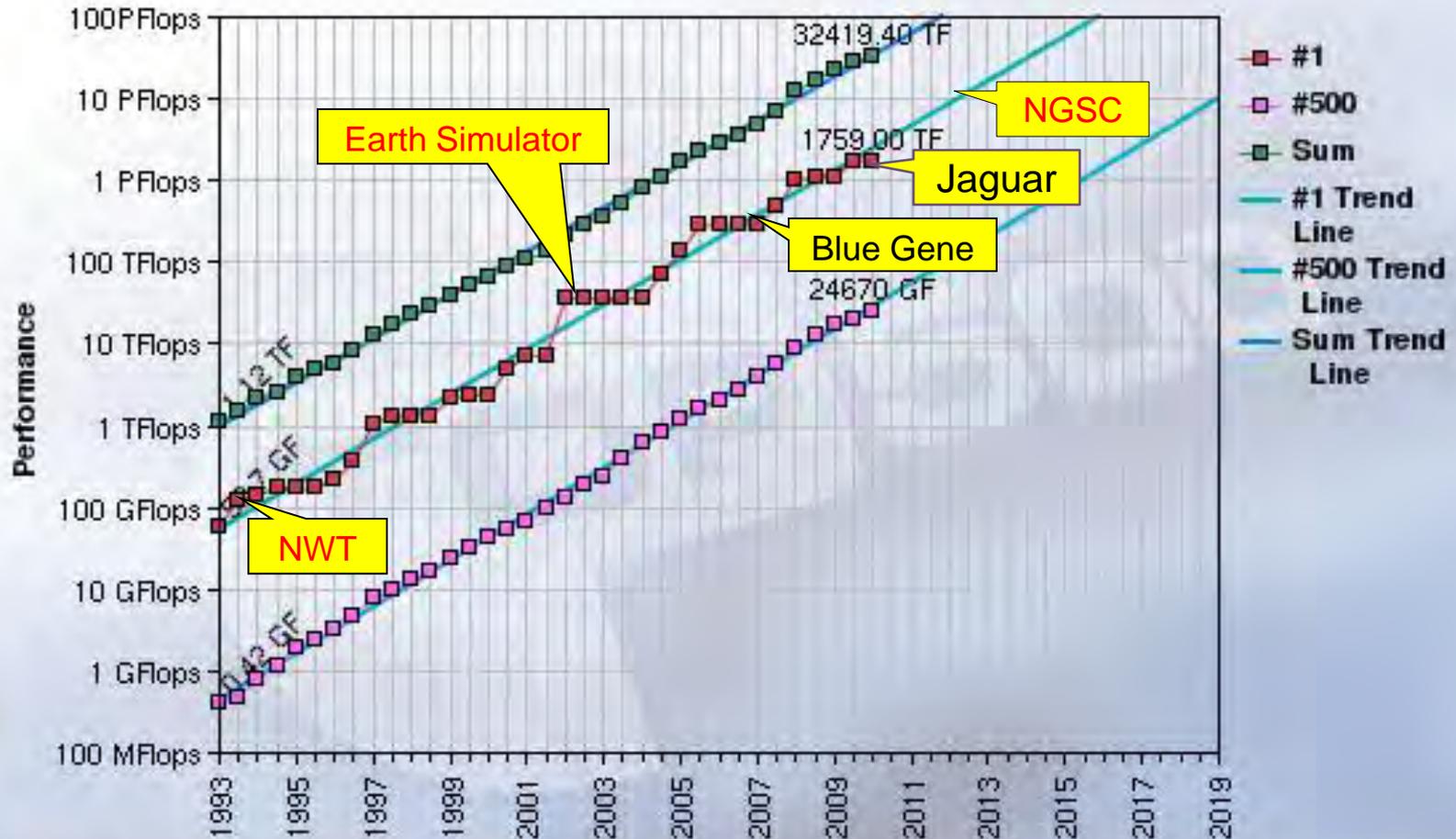
R	Site	Manufa	Computer	Country	Year	Cores	RMax	RPeak	Pow er	Freq	OS
1	Oak Ridge National Laboratory	Cray Inc.	Cray XT5-HE Opteron Six Core 2.6 GHz Jaguar	U S	2009	224162	1759000	2331000	6950	2600	Linux
2	National Supercomputing Centre in Shenzhen (NSCS)	Dawning	Dawning TC3600 Blade, Intel X5650, NVidia Tesla C2050 GPU	China	2010	120640	1271000	2984300	0	2660	Linux
3	DOE/NNSA/LANL	IBM	BladeCenter QS22/LS21 Cluster, PowerXCell 8i 3.2 Ghz / Opteron DC 1.8 GHz, Voltaire Infiniband	U S	2009	122400	1042000	1375780	2345	3200	Linux
4	National Institute for Computational Sciences/University of Tennessee	Cray Inc.	Cray XT5-HE Opteron Six Core 2.6 GHz	U S	2009	98928	831700	1028850	0	2600	Linux
5	Forschungszentrum Juelich (FZJ)	IBM	Blue Gene/P Solution	Germ	2009	294912	825500	1002700	2268	850	CNK/SLES ₉
6	NASA/Ames Research Center/NAS	SGI	SGI Altix ICE 8200EX/8400EX, Xeon HT QC 3.0/Xeon Westmere 2.93 Ghz, Infiniband	U S	2010	81920	772700	973291	3096	3000	Linux
7	National SuperComputer Center in Tianjin/NUDT	NUDT	NUDT TH-1 Cluster, Xeon E5540/E5450, ATI Radeon HD 4870 2, Infiniband	China	2009	71680	563100	1206190	0	2530	Linux
8	DOE/NNSA/LLNL	IBM	eServer Blue Gene Solution	U S	2007	212992	478200	596378	2329	700	CNK/SLES ₉
9	Argonne National Laboratory	IBM	Blue Gene/P Solution	U S	2007	163840	458611	557056	1260	850	CNK/SLES ₉
10	Sandia National Laboratories / National Renewable Energy Laboratory	Sun Microsystems	Sun Blade x6275, Xeon X55xx 2.93 Ghz, Infiniband	U S	2010	42440	433500	497396	0	2930	CentOS

世界一競争と日本

- ◆ アメリカ主導から日本の参入
- ◆ VP-400 単体プロセッサで1GFLOPS達成
- ◆ **NWT(数値風洞)**: 航空宇宙技術研究所: 富士通製) 278GF
1992年から数年
- ◆ SR8000(東大: 日立製)
- ◆ アメリカへ
- ◆ **地球シミュレータ(Earth Simulator)**(日電製) 36TF
2002年から2004年まで
- ◆ Blue Gene(IBM) 133.5TF
2004年から
- ◆ Los Alamos Lab RoadRunner 1.0PF 2008年6月
- ◆ Oak Ridge National Lab Jaguar 1.7P 2009年
- ◆ 2012年日本で10PFLOPSへ 神戸に**次世代スパコン(NGSC)**設置
- ◆ 世界一競争で勝ちたい 人間の自然な要求 科学に貢献
- ◆ 原子力・核関連 多い
- ◆ 他よりも優位に製品開発や研究を進め競争に勝つ



Projected Performance Development



スパコンの高速計算への工夫 (スパコンの構成方式: 作り方)

◆ 計算能力を高める

- ◆ 一つのコンピュータの計算能力を高める

計算回数／秒 (周波数) 消費電力限度

- ◆ コンピュータ(コア)の数を増やす

並列度を高める MW(メガワット)

電卓1個 パソコン ~4個 スパコン20万個

◆ 通信能力を高める

- ◆ コンピュータ間のデータのやり取りを高速化

通信時間を速くする

スパコンの高速計算への工夫 (作業の管理・統率:動かし方)

- ◆ **作業分担**とシステム全体の**統率**
 - ◆ コンピュータの作業量を均一にして時間を揃える
 - ◆ 計算の手順を上手に割りつける
- ◆ **並列プログラミング**
- ◆ 計算・データ転送の統一的な管理・制御

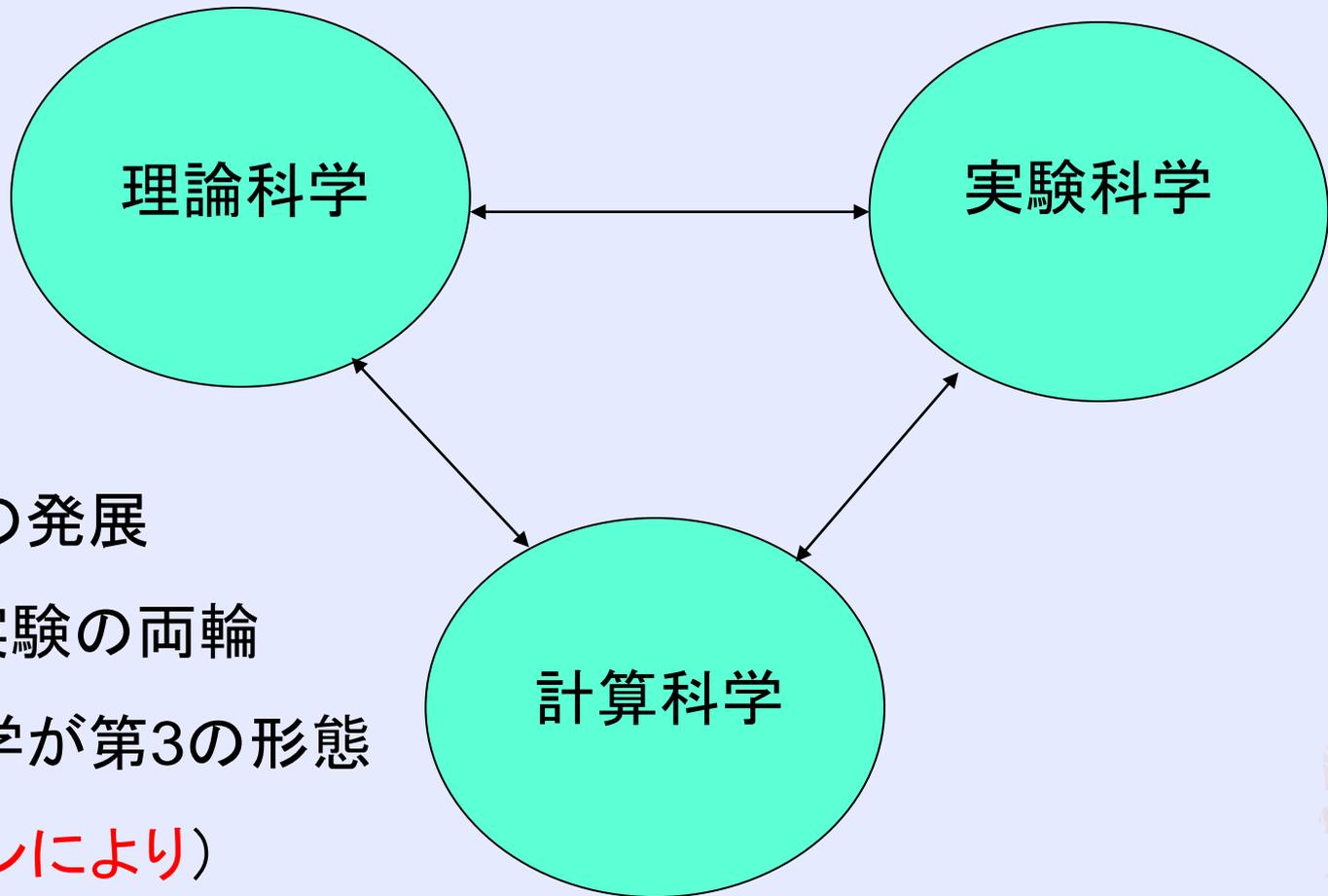
20万台のコンピュータに仕事をさせる ー 並列計算 ー

- ◆ スパコンの作り方の進歩 計算・通信
- ◆ 並列処理技術の飛躍的な発展
 - ◆ 基本ソフトウェア(オペレーティングシステム)
 - ◆ 並列プログラミング 同時並行して計算
 - ◆ 並列処理言語も飛躍的に発展
 - ◆ 並列計算プログラムの既製品も豊富に
 - ◆ 並列計算プログラムの開発設計が簡単に
- ◆ 科学計算を解く手法も発展
 - ◆ 並列処理管理・制御

自然法則と並列化

- ◆ 物理法則(計算式)を沢山の場所、時間でそれぞれ同時並列に計算
- ◆ 自然界の現象は近くのデータで計算可能
 - ◆ 隣りあう場所から1つ前の時間に計算したデータをもらって計算可能
- ◆ スパコンでも隣のコンピュータからデータをもらえば計算可能
- ◆ 実際に天気予報で紹介

スパコンと計算科学



物理学の発展

理論と実験の両輪

計算科学が第3の形態

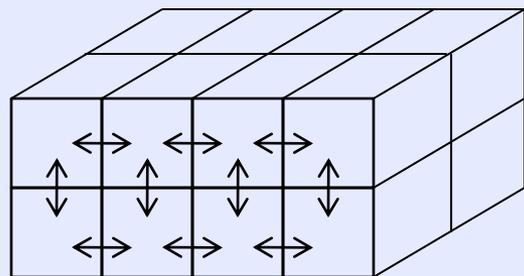
(スパコンにより)

スパコンによる計算科学が研究開発を推進

- ◆ 実験科学の手法をプログラム化して**数値実験**
- ◆ 理論科学の理論の有効性を検証
- ◆ 数値実験によって新現象を発見 理論構築へ
- ◆ 実験の予測(数値実験)と実験結果の照合
- ◆ **観測できない**現象を数値で解析
 - ◆ 分子原子微細観測
 - ◆ 空気の流れ(渦) 風速・圧力
- ◆ **実験できない**事象の数値実験**予測**が可能
 - ◆ 10日後の天気予報
 - ◆ 宇宙創成期は実験できない
 - ◆ 大気汚染(CO₂)などの実験すると破滅、死へ
 - ◆ 核実験・核融合をスパコン内で

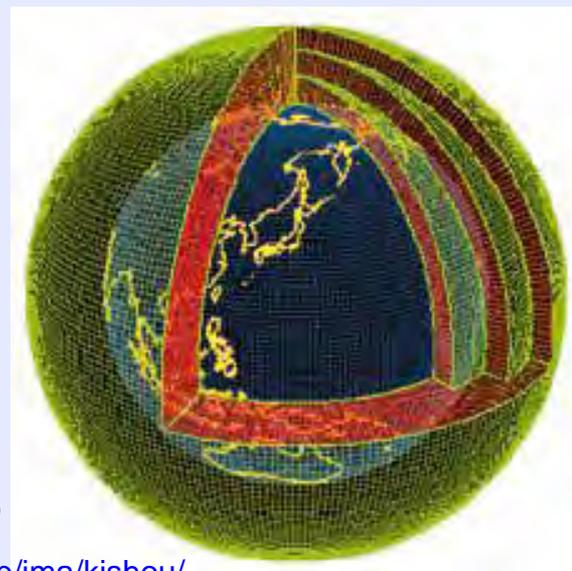
天気予報における計算

- ◆ リチャードソン: 計算による天気予報可能と予言 1920年
- ◆ コンピュータで大気大循環モデル 荒川／真鍋モデル
- ◆ 全地球の大気循環を計算する必要
- ◆ 場所、時間: 気圧、風速、風向、湿度、温度
- ◆ 化学変化(水蒸気 雲、雨) 海流
- ◆ 沢山の格子点で計算



20km格子モデル

約100万格子点
地球表面
10層としても
1000万格子点以上



Richardsonの夢

最初の数値シミュレーションによる天気予報実験

1920年頃イギリスのリチャードソン

水平200km 間隔で鉛直5層の格子を用い、6時間予報を1か月以上かけて手計算で実行（数値計算に難点があり）失敗

「64000人が大きなホールに集まり一人の指揮者の元で整然と計算を行えば、実際の時間の進行と同程度の速さで予測計算を実行できる」と予言
隣の人々の計算結果を利用

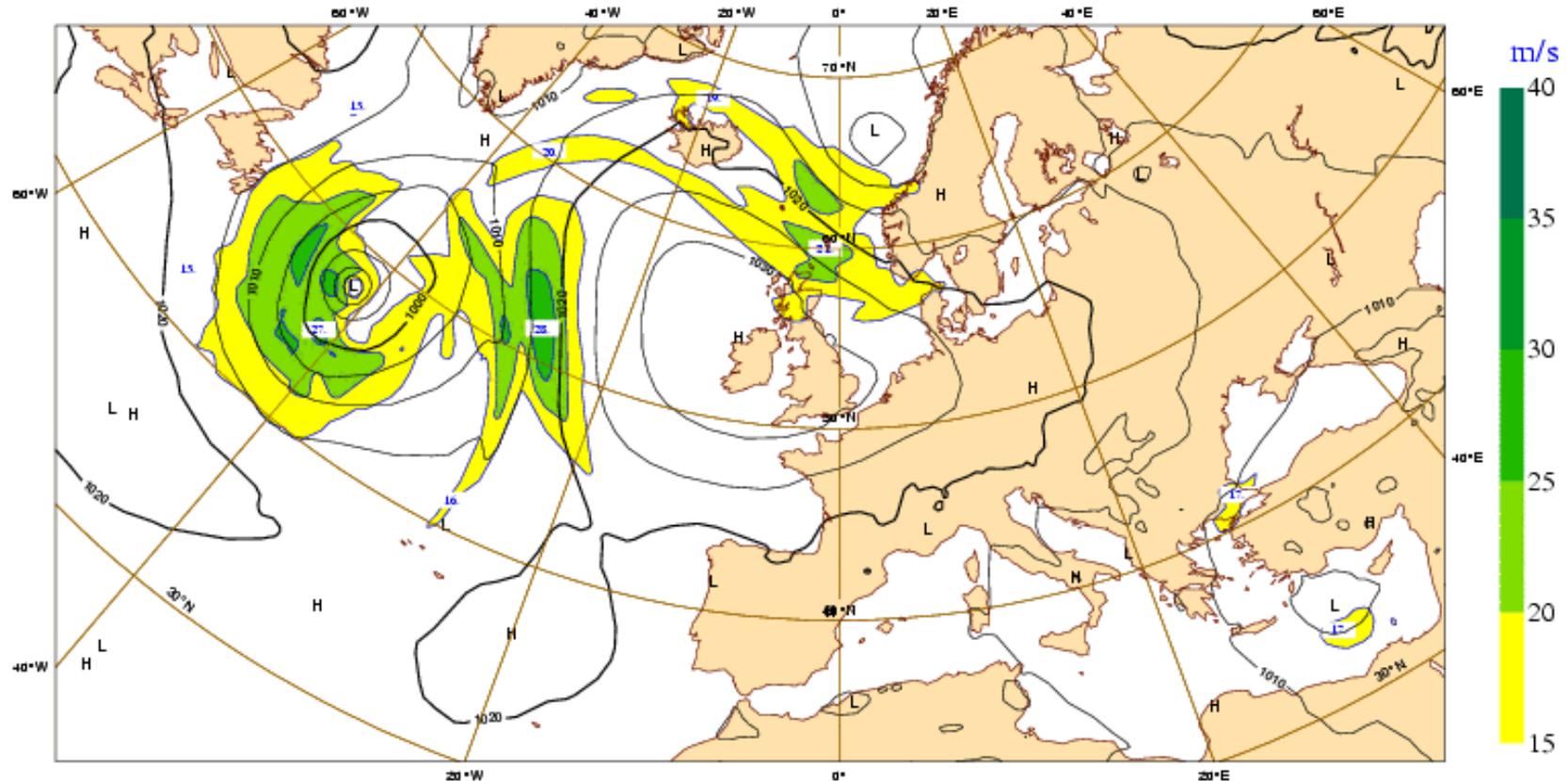


気象庁 <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/whitep/1-3-2.htm>より

天気予報

ECMWF(European Centre for Medium Scale Weather Forecast) のHPから引用

Wednesday 9 September 2009 12UTC ©ECMWF Forecast t+072 VT: Saturday 12 September 2009 12UTC
Surface: Mean sea level pressure / 850-hPa wind speed



NWT: 風洞実験をスパコンで

JAXA HPより引用

数値風洞

Numerical Wind Tunnel

計算機シミュレーション
では自由空間が可能



風洞実験では支柱必須



スバル望遠鏡

マウナケア山上



以下

国立天文台
HPより参照

観測データの共有
大量データ解析

チリ アタカマ
アルマ望遠鏡
も稼働開始

“すばる望遠鏡”が土星に新衛星9個を発見

2006年7月13日



国際天文学連合回報(IAUC),No 8727 によると、ハワイ大学のデービッド・ジューイット(David Jewitt)らの研究チームは、マウナケア山頂にある“すばる望遠鏡”を用いて、土星に新しい衛星9個を発見しました。彼らの研究チームは、昨年5月にも、すばる望遠鏡、ケック望遠鏡、ジェミニ北望遠鏡などの望遠鏡群を用いて、土星に新しい衛星12個を発見していますが、今回の発見はそれにつぐ快挙です。

データ解析に大量のデータと画像処理

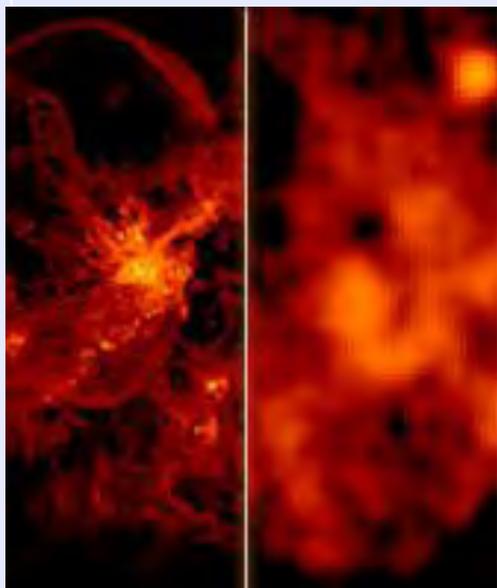
スーパーコンピュータで銀河の進化を解明 — 楕円銀河の生い立ち —

2006年4月10日

専修大学の森正夫助教授と筑波大学の梅村雅之教授

飛躍的な観測技術の進歩により、宇宙の深遠部に天体ライマンアルファエミッター（水素原子から発生する紫外線で輝く）をすばる望遠鏡で大量に発見（銀河進化の初期に発生）

この複雑な発生メカニズムの解明のため、スーパーコンピュータを用いて、世界最大級の大規模流体力学シミュレーションにより、上記100億年以上の昔に存在した太古の天体の正体が、超新星爆発に影響されていることを立証。



天文学分野での情報技術

- ◆ 数値計算シミュレーション(スーパーパソコン)
 - ◆ 銀河の生成
 - ◆ ブラックホールの衝突
- ◆ リアルタイムでの画像データの蓄積管理
- ◆ 研究者が画像データ共有して処理
- ◆ 統合DBを世界中から使用
- ◆ Japan Virtual Observatory (仮想天文台)
デジタル天文台

KEKB BELLE測定器

Bファクトリ (KEKB)

周囲3Km 直径1Km

電子・陽電子の衝突

B中間子と反B中間子の大量生産

崩壊する軌跡の観測

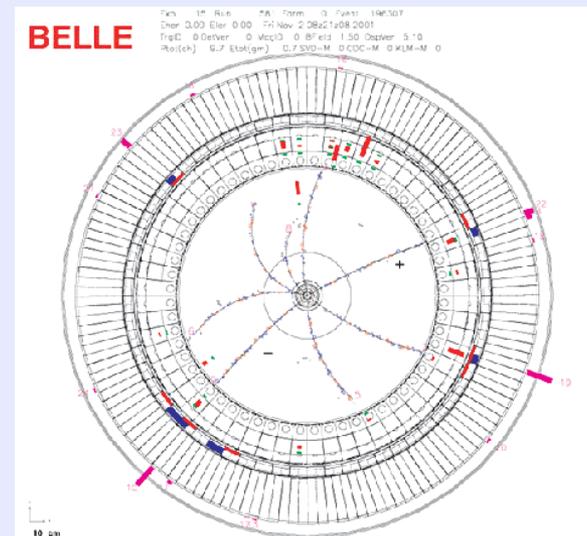
宇宙創成期の研究

高エネルギー加速器研究機構KEK
Web Pageより

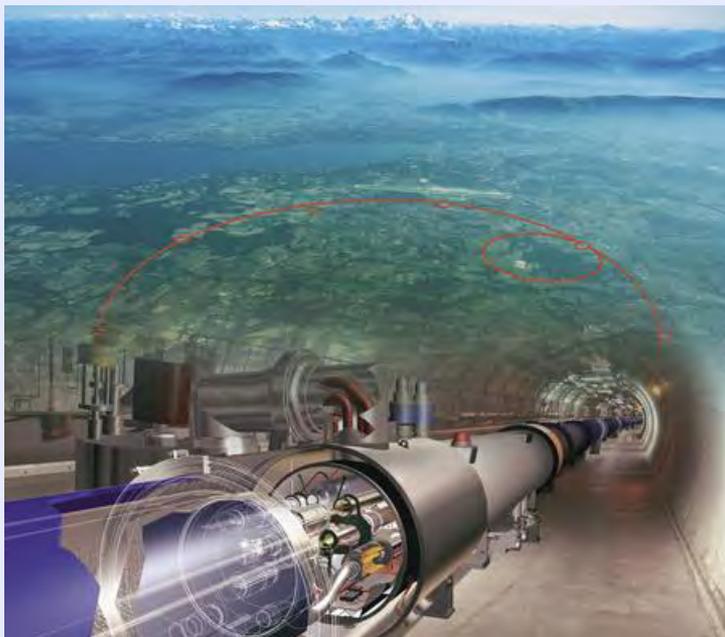
ノーベル賞
小林・益川理論の検証

B中間子の崩壊を観測

膨大な量の軌跡写真を解析



LHC (Large Hadron Collider)



画像提供: CERN

LHC加速器は、スイス・ジュネーブ郊外の地下約100mにスイスとフランスの国境をまたぐ形で建設された一周27kmのトンネル内部に設置
2008年9月10日に稼働 2009年に再開

Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire
European Organization for Nuclear Research



ATLAS実験装置(日本から研究参加)



グリッド解析センタ
(東大)

膨大なデータを世界中で解析

ヒトゲノム計画

- ◆ ヒトゲノム計画1991年発足 世界中協力
- ◆ 日本ではヒトゲノム解析センター(東大医研)
- ◆ 15年で読み取り完了予定
- ◆ Celera Genomics社 Craig Venter社長
- ◆ **ヒトのDNAの全塩基配列の読み取りを完了**
- ◆ 2000年4月6日に概要を発表(ドラフト)
- ◆ 全ゲノムショットガン法(DNA配列小片をデータ統合)
- ◆ **スパコン(2TFLOPS)を駆使した方法**
- ◆ 2003年配列の確定
- ◆ なんら制限を設けずに世界中の研究者が利用できる

まとめ

- ◆ スパコンは最先端研究開発の推進に不可欠
- ◆ 計算科学、理論科学、実験科学は3つの輪
- ◆ 計算科学用スパコンは世界最先端(最速)が必要
- ◆ 自然科学の知識獲得、発見にスパコンは必須
- ◆ データベースは共有知 自然科学の進歩を加速
- ◆ スパコン技術 天気予報など社会生活基盤に
- ◆ スパコンを用いた最先端科学技術は、より人類の生活レベル・知的水準の向上に寄与