

グリッドコンピューティングについて

- 21世紀のIT基盤へ -

東京工業大学 学術国際情報センタ(GSIC) /
国立情報学研究所(客員)

教授 松岡 聡

matsu@is.titech.ac.jp

2002年9月20日@Linux Conference



GLOBAL SCIENTIFIC INFORMATION AND
COMPUTING CENTER

GSIC

従来のインターネットの利用法

◆通信媒体

- 電子メール、インスタントメッセージ、遠隔会議、など

◆広域データベース

- Web, BBS, ftpアーカイブ、netnews、など

◆計算力の資源(?)

- 個人レベルの「簡単な」計算のみ
- 大規模な「計算」に関する標準的な基盤はなかった



グリッドコンピューティング (Grid) とは

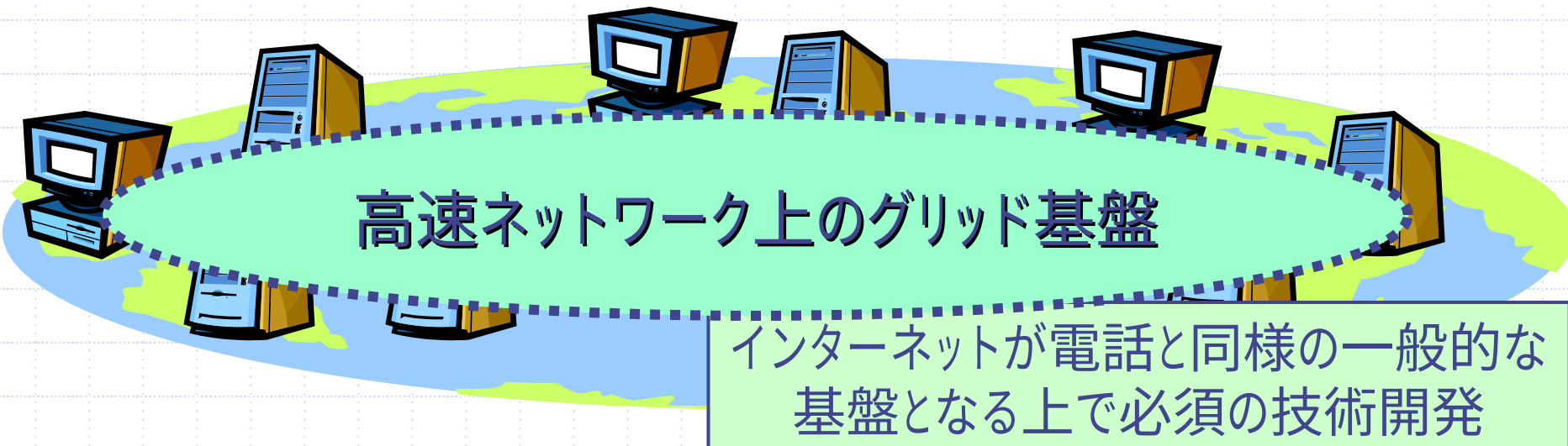
◆ 地球規模でのデータとコンピュータの共有

- ネット上のさまざまな計算機を、必要なときに、必要な数(多数)使える
- 高速ネットワークによって可能に
- 今までにない超大規模な計算から、大量の計算や、大規模なデータ処理

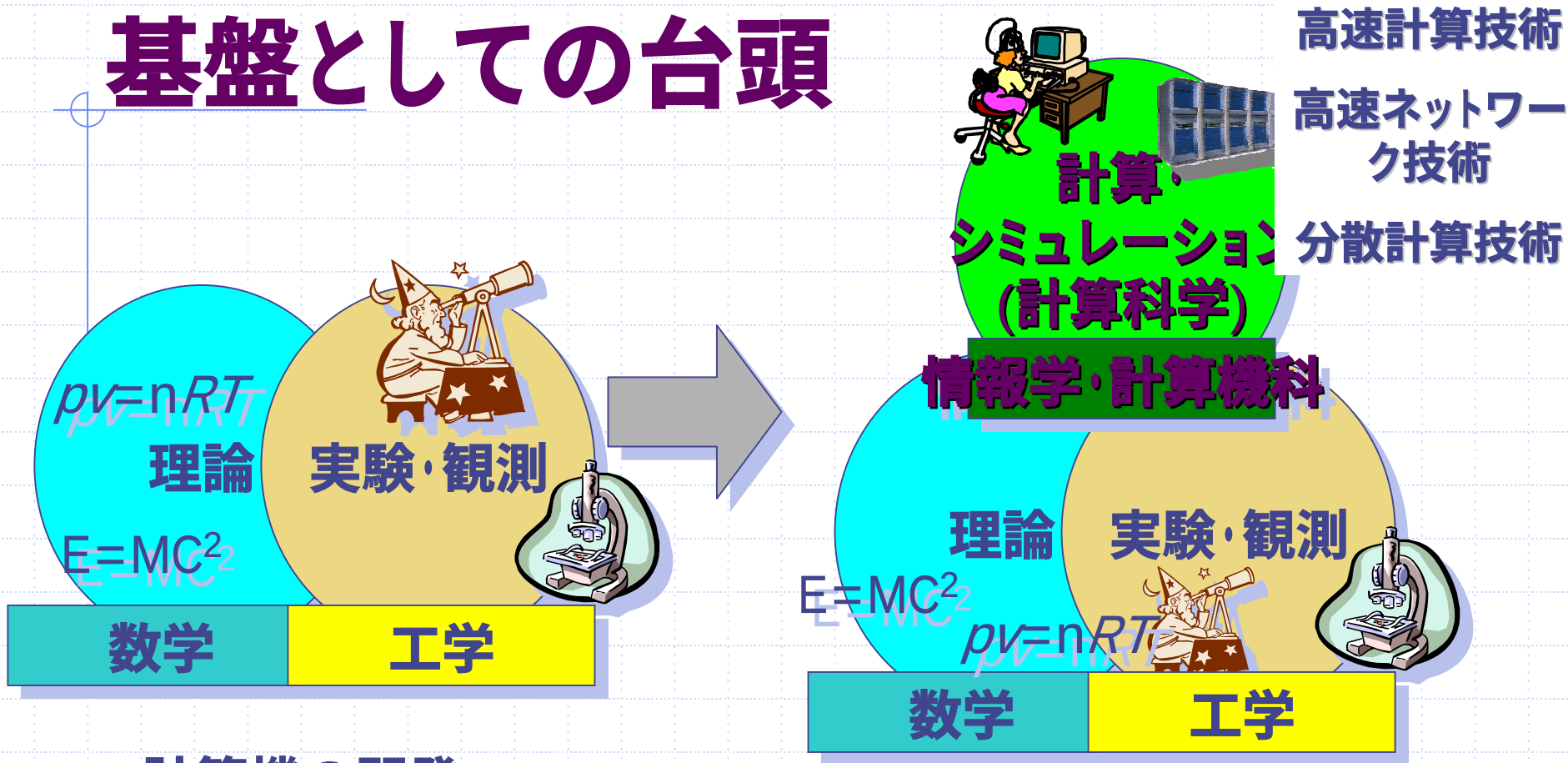
◆ 21世紀の新しい科学の進め方

- ネットワークやデータベースを介して人間同士が世界規模で協調
- e-サイエンス, e-エンジニアリング(後述)

◆ そのために必要なIT技術、および高速ネットワーク上の基盤



背景：科学技術における情報の 基盤としての台頭



計算機の開発
(1946年)以前

計算機の開発後

今後の科学技術のための計算機・ネットワークのインフラ
はどうあるべきか？

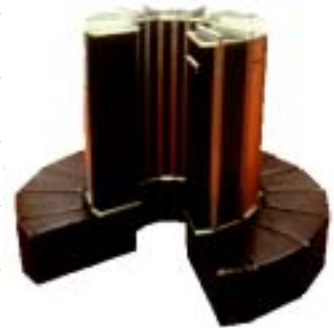
計算機と計算科学の進歩-大規模スパコンへ

◆「スーパーコンピュータ(スパコン)」の台頭 (1970年代より)

- Cray1 (1976) 10億円、一秒間に10億回の計算

◆さらに、多数の計算機(CPU)を密に結合して 「並列処理」により大規模化、高速な計算

- テラ・フロップス (= 1秒間に1兆回計算) 時代に
- 一台数十億円以上



Cray1

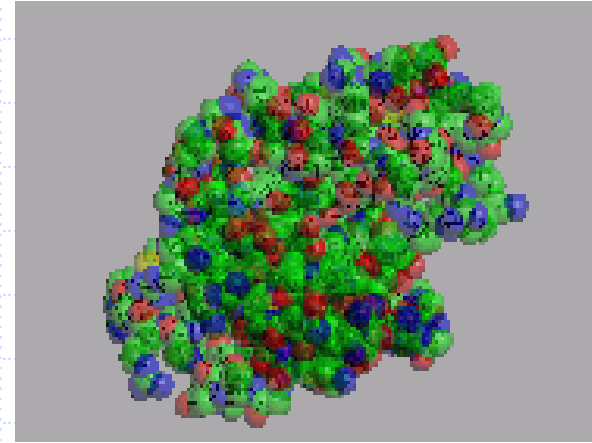


並列計算機 ASCI White
米国Livermore国立研
8192CPU, 12.5TeraFlops =
一秒間に12.5兆回計算可能

計算機と計算科学の進歩(3)-高速な計算機の必要性: バイオインフォマティクスにおけるタンパク質立体構造決定の例

タンパク質のはたらきを
分子の立体構造レベルで理解

立体構造



タンパク質立体構造予測

遺伝子配列情報

M-K-A-L-I-V-L-G-L-
V

スパコンにおける
「並列処理」

タンパク質立体構造予測計算の時間(産総研 CBRC MolTreC)

コンピュータ
(CPU)の台数

解きたいタンパク質の長さ

小型 (長さ100)

標準 (長さ400)

1台

10年間

160年間

250台 現状

2週間

8ヶ月間

4000台 現状の限界

21時間

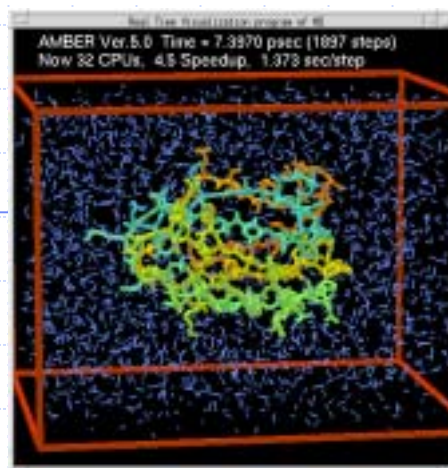
2週間

10万台 将来?

1時間

半日

ペタ・フロップス
(1000兆計算)

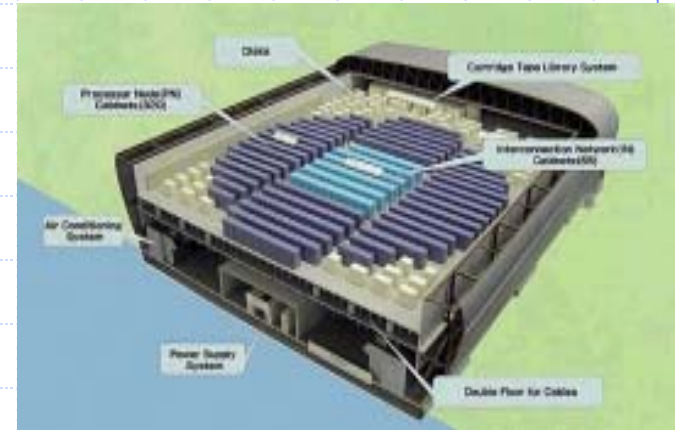


注: 計算時間は
知識処理による大幅
加速を併用した場合

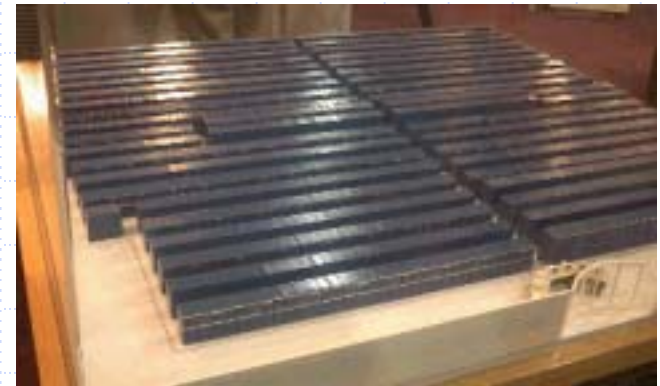
問題点(1): スパコンの大規模化の限界

◆ わが国の地球シミュレータ

- 現段階で世界最速と認定
- 40 テラ・フロップス (毎秒40兆回計算)
- 構築費: 400億円、維持費数十億円/年、小スタジアム並
- 地球環境のシミュレーション
- 観測: このような大規模な計算機は多くの台数は作れない⇒計算パワーは足りない



わが国の地球シミュレータ
(5120CPU)



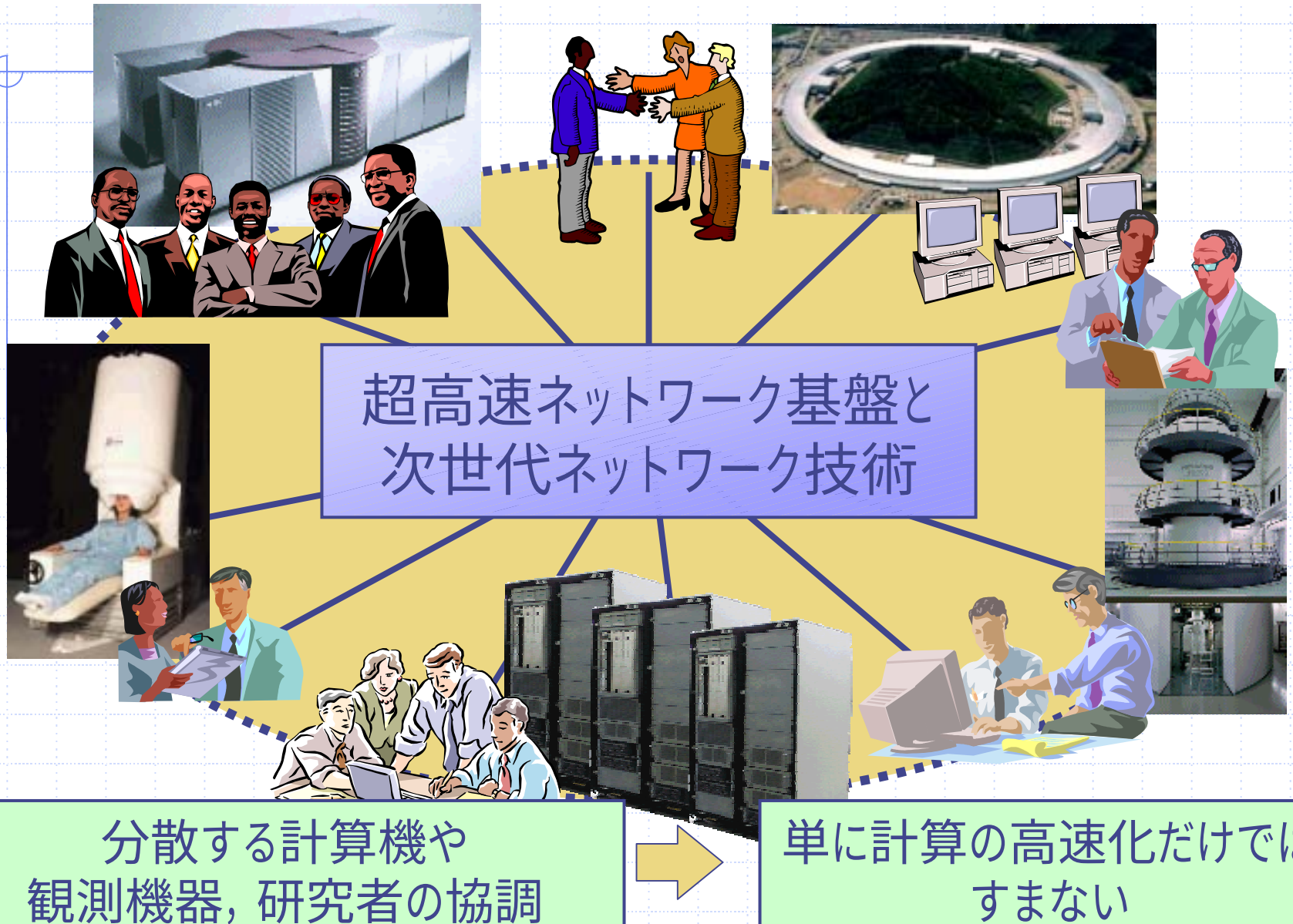
米国Los Alamos研究所 ASCI Q
(12000CPU)

問題点(2): 全ての計算はそこまで巨大なスパコンを必要とするか?

- ◆ 計算科学は何十万人の需要がある
- ◆ 東工大学術国際情報センター(GSIC)の例: 合計0.5テラ・フロップスのスパコン群
 - 1000人のユーザ層、常に満杯に近い(99%)
 - 実は、多数の小・中規模 (8CPU程度)の計算が多く
の需要を占める
- 科学者は大量の場合の数の実験および計算を行う
- 計算パワーは全く足りないが、それは大量の小・中規模の計算があるため
- 観測2: 少数の大規模スパコンは、大量の小規模な計算機群よりコストパフォーマンスが悪い
⇒大量の小規模な計算機が欲しい



問題点(3): (最も重要)科学におけるの地球規模の協調の必要性⇒ e-Science

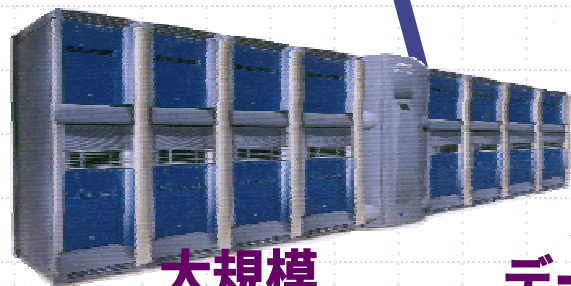


協調の例：加速器の研究（高エネルギー物理）

粒子加速器
(世界に数台)



実時間
データ収集



大規模
データ解析

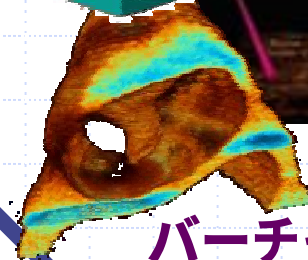
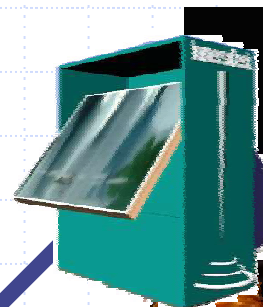


世界中の
科学者、計算機
による
協調処理

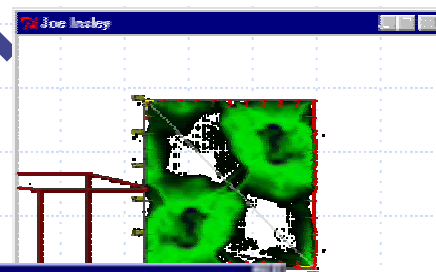
高速
ネットワーク



大規模
データベース
(ペタ・バイト)



バーチャルリアリティを使用
した実験制御



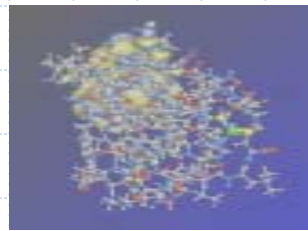
世界中で数千人の物理学者が参加

問題点の総括: 以下を含む 新世代E-Scienceアプリ

- 高エネルギー物理(ペタバイトデータ解析)、QCD
- 天文学、地球物理学、惑星物理学(ペタバイトデータ解析)
- ゲノム情報、蛋白質構造決定、分子レベル創薬
- 脳シミュレーション、生物シミュレーション
- ナノテクノロジー、分子コンピュータ設計
- 地震シミュレーション、災害シミュレーション
- 大規模気象シミュレーション(multi-physics)
- オペレーションズリサーチ・最適化・市場予測



脳神経のシミュレーション



蛋白やDNAの構造
解析・ゲノム創薬



VLBI: 仮想大規模電波望遠鏡



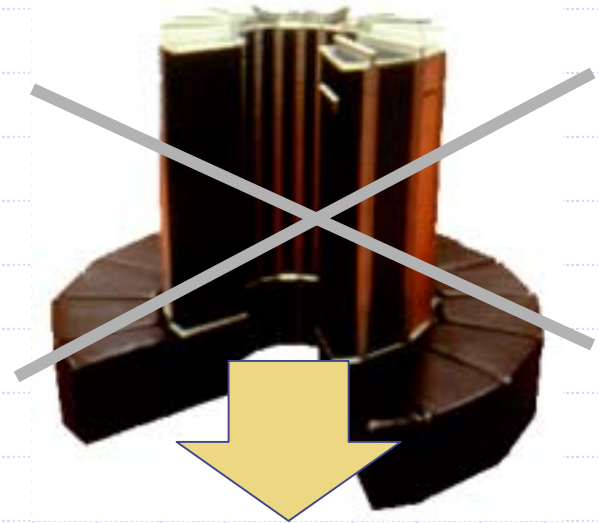
3D 地震シミュレータ in MIKI



CERN LHC加速
器とペタバイトデー
タ解析

従来型の単体のスパコンの
多少の増強では扱いが困難

- 大規模化の限界
- コストパフォーマンスが非現実的
- 多人数、多サイトでの共同研究



計算の物理的・経済的限界が科
学技術の結果や、わが国の競争
力を制限。

どのようなインフラおよび技術が
必要・好ましいか?

⇒グリッドへ

グリッド: E-サイエンスの次世代 ITインフラ

- ◆ 地球規模で大量の計算機・データベース・センサーなどをつないで、e-サイエンス向けの仮想計算環境を作るネットワーク上のITインフラ
 - 大規模スパコンや大量の小規模計算機やセンサなど融合
 - (正確には)IT技術およびITインフラの総称
 - 既存のインターネット, Webなどの基盤の上位レイヤ
 - e-サイエンスのナショナルインフラとして必要
- ◆ 研究の必要性: IT技術としての様々なR&D課題:
 - 分散システムソフトウェア技術としての様々な課題: セキュリティ、信頼性、計算資源の配分、性能確保。。。
 - サービスとプロトコルの提供・標準化(インターネットと同じ)
 - 実際のインフラとしての整備・運用

グリッドに対する誤解

- ◆「スパコンをつないだものがグリッドである」
- ◆「Seti@Homeのように多数のPCの余っている計算資源を裏で使うのがグリッドである」
- ◆「グリッド = Web Servicesである」

それぞれグリッドの側面を捉えているが、それだけではない。

グリッドの「より正確な」定義

- ◆ 仮想組織(Virtual Organization)がインターネット上に分散並列「仮想計算機」(Virtual computer)を動的に形成
- ◆ 計算などの資源が「どこにあるか」を抽象化⇒ サービスの質(QoS)はグリッドが判断
- ◆ 計算インフラ・セキュリティインフラ・データインフラなど⇒資源の共用、抽象化された標準のアクセス法 (Webのよう)



グリッドのさまざまな効能

- ◆ 1. Collaboratory eScience, eBusiness: 科学者・技術者の分散環境での新たなコラボレーション
 - 例: EU DataGrid: 3000人の高エネ物理学者がグリッド上で協調・競争
- ◆ 2. 分散資源の使い勝手の向上
 - 例: スパコンセンター間グリッドにより、仮想日本スパコンセンターの形成(たし、資源のパイは増えない)
- ◆ 3. 分散配置による資源の大規模化
 - 一箇所では置けない資源を活用。例: Commodity Grid(後述)
- ◆ 4. ネットワーク上の遊休資源の活用
 - 例: Peer-to-Peer, Voluntary Computing (P2P)
- ◆ 5. 分散による信頼性およびUpgradabilityの向上
 - インターネットの初期の目的と同様
- ◆ 6. データ・センサー・人間などの資源の計算資源とのより密な協調
 - 例: 電波天文学におけるVLBI

従来分散コンピューティング技術 とグリッド

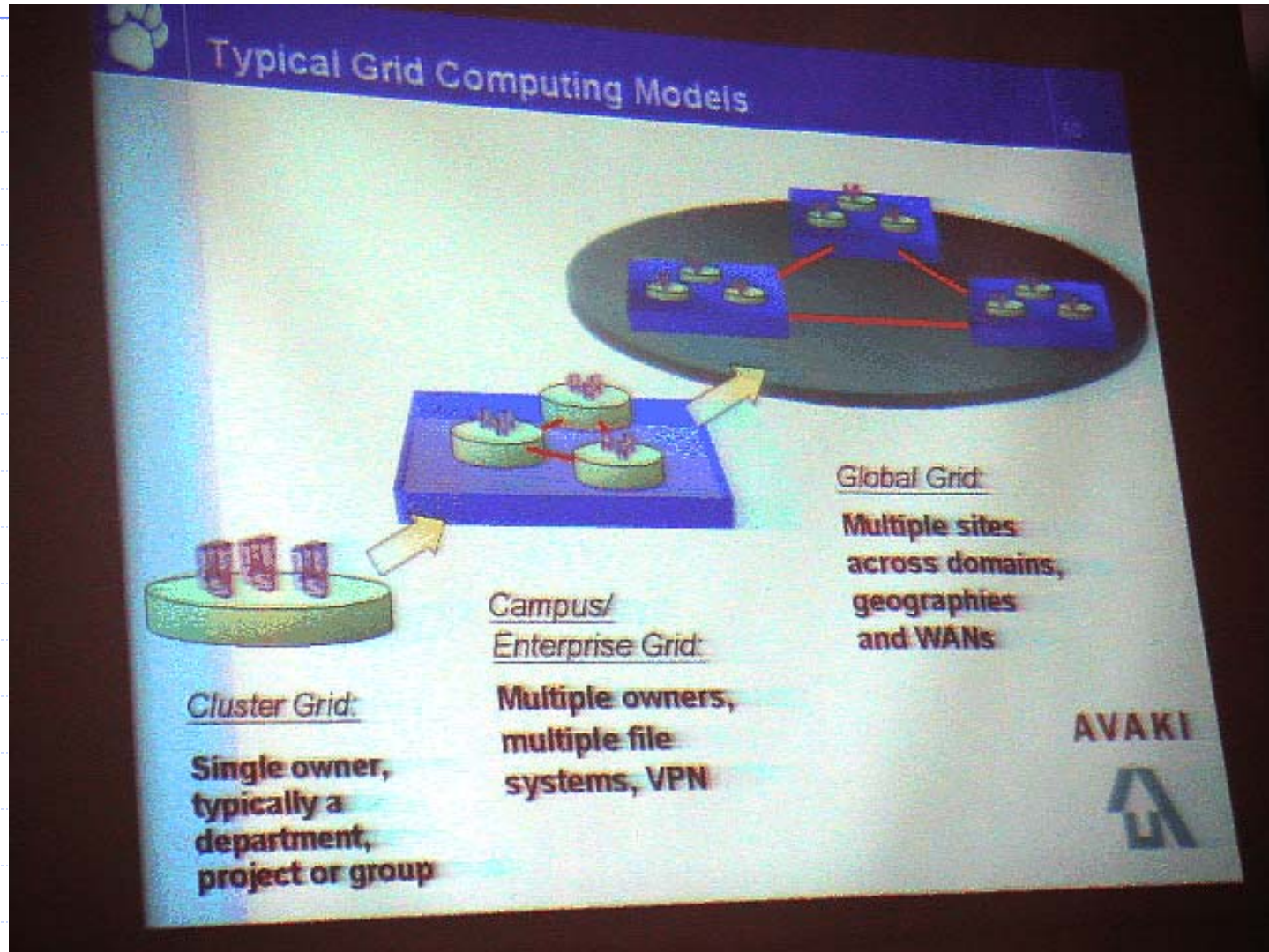
◆ 従来の分散コンピューティング技術

- telnet, rloginなど
- 分散OS技術(1980年代)
- Message Passing - PVM, MPIなど
- 従来のWWW 技術 - HTTP/HTML/CGI
- ORB (Object-Request Broker)- CORBA, DCOM, Java RMI
- Agent技術 (Plangent, Aglets, Voyagerなど)
- XML + Web Services (SOAP/WSDL/UDI/.NETなど)
- などなど

◆ そのままではグリッドにはならない(部分には使える)

- ORBなどはOrganizational Domainを超えたVCを作成できない
- 近年、WebServicesとの統合の動き (Open Grid Services Architecture)

クラスタから世界規模グリッドへ (AVAKI社)



グリッドに対する技術的要請

◆ Virtual Organization, Virtual Computerの形成

- セキュリティ・安全性
 - ◆ Single sign-on
 - ◆ 複雑な資源アクセス
 - ◆ コード、プロセスなどの移動
- 資源の名前の管理
 - ◆ グローバルなIDの管理
 - ◆ 資源の動的な挙動に対処
- 異なる管理ドメインにおける Heterogeneityへの対処
 - ◆ 言語、OS、ハードウェア、管理ポリシ、などなど
 - ◆ ミドルウェアレイヤでSingle System Image
 - ◆ サイトの独立性(root権限なし)

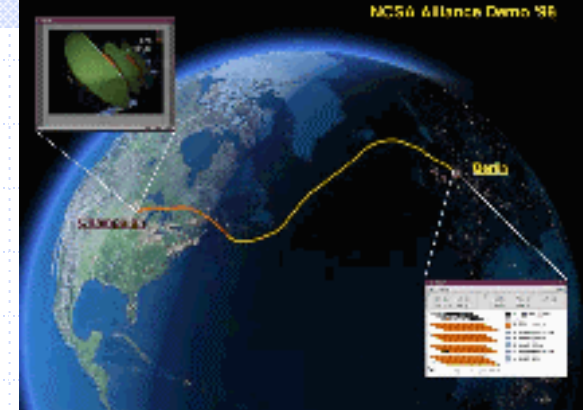
◆ 動的な資源の管理

- 資源の動的拡張性
- 対故障性、自己組織化
 - ◆ 資源の動的な変化は日常茶飯事
- 資源配分
 - ◆ VOの計算資源、データ資源リモートセンサーなど
 - ◆ QoSをどのように保証?
 - ◆ 全体で安定するか?どのようなモデルが適切?
- スケーラビリティ
 - ◆ 世界規模のインフラ

◆ 高性能

- HPC, HTC
- 高バンド幅+高レイテンシ対応

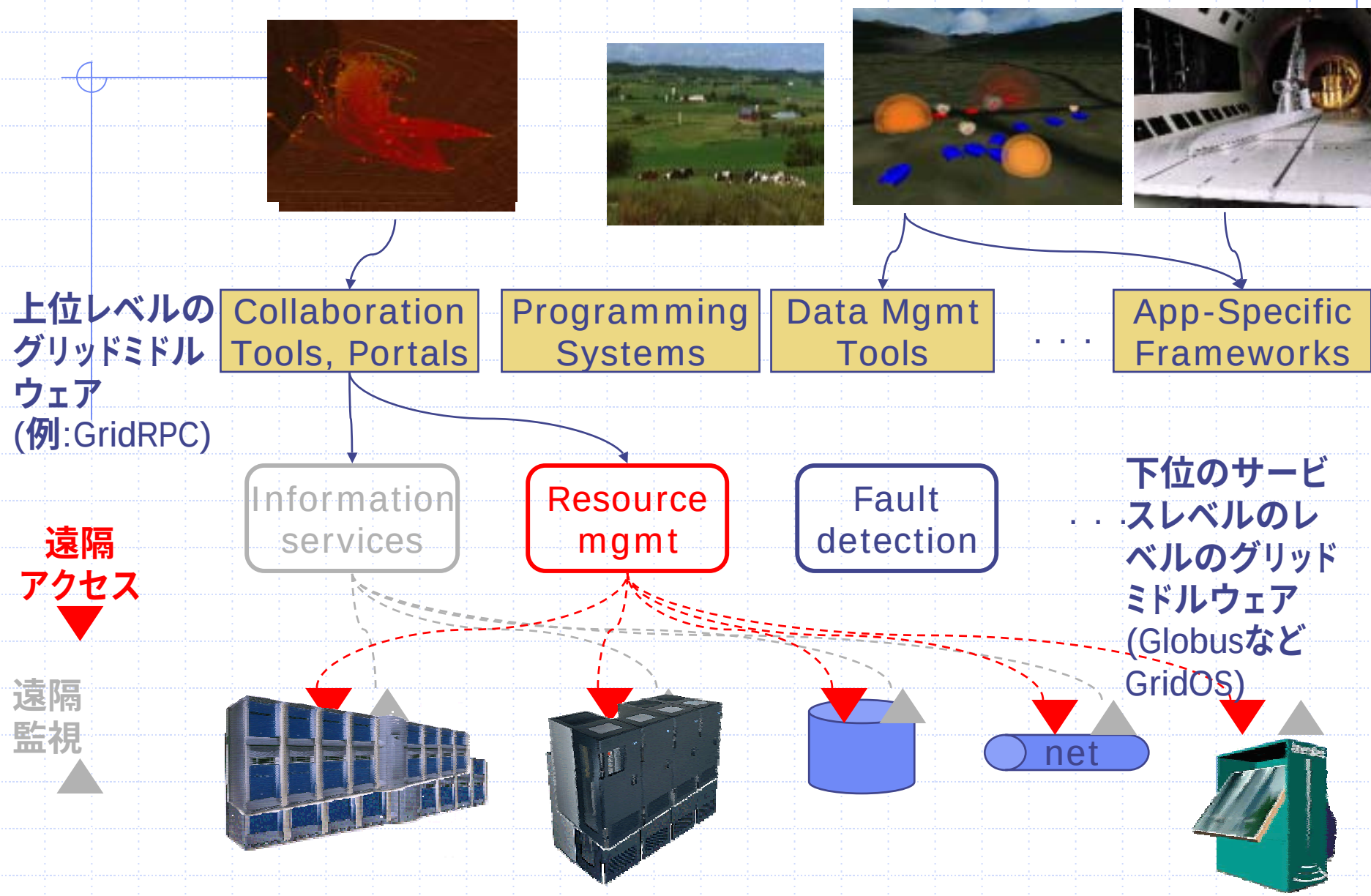
Grid用のソフトウェア、ツール



- ◆ “GridOS”
 - Globus, Legion (Avaki)
- ◆ High-throughput computing
 - Condor-G, Nimrod-G
- ◆ Message Passing/ GridRPC/ Programming Tools
 - MPICH-G2
 - GridRPC
 - ◆ Ninf, Netsolve, Nimrod
 - AppLeS, APST
- ◆ Data Intensive (DataGrid)
 - Globus DataGrid Layer
 - KEK/AIST/Utokyo/Titech Gfarm
- ◆ Perf Monitoring/Simulation
 - NWS, GMA, Bricks (Titech)
- ◆ Desktop access to Grid Resources, Portals
 - Commodity Grid Toolkits (CoG Kits), NPACI GridPort, JiPANG
- ◆ Distributed collaboration
 - CAVERNsoft, Access Grid
- ◆ Commercial P2P Grid Tools
 - United Devices
 - Entropia
 - Platform Computing
 - Avaki
 - Sun GridEngine
 - (後述)

注: 赤字は我々(東工大-産総研等のグループ)のプロジェクト

Grid Services とミドルウェア

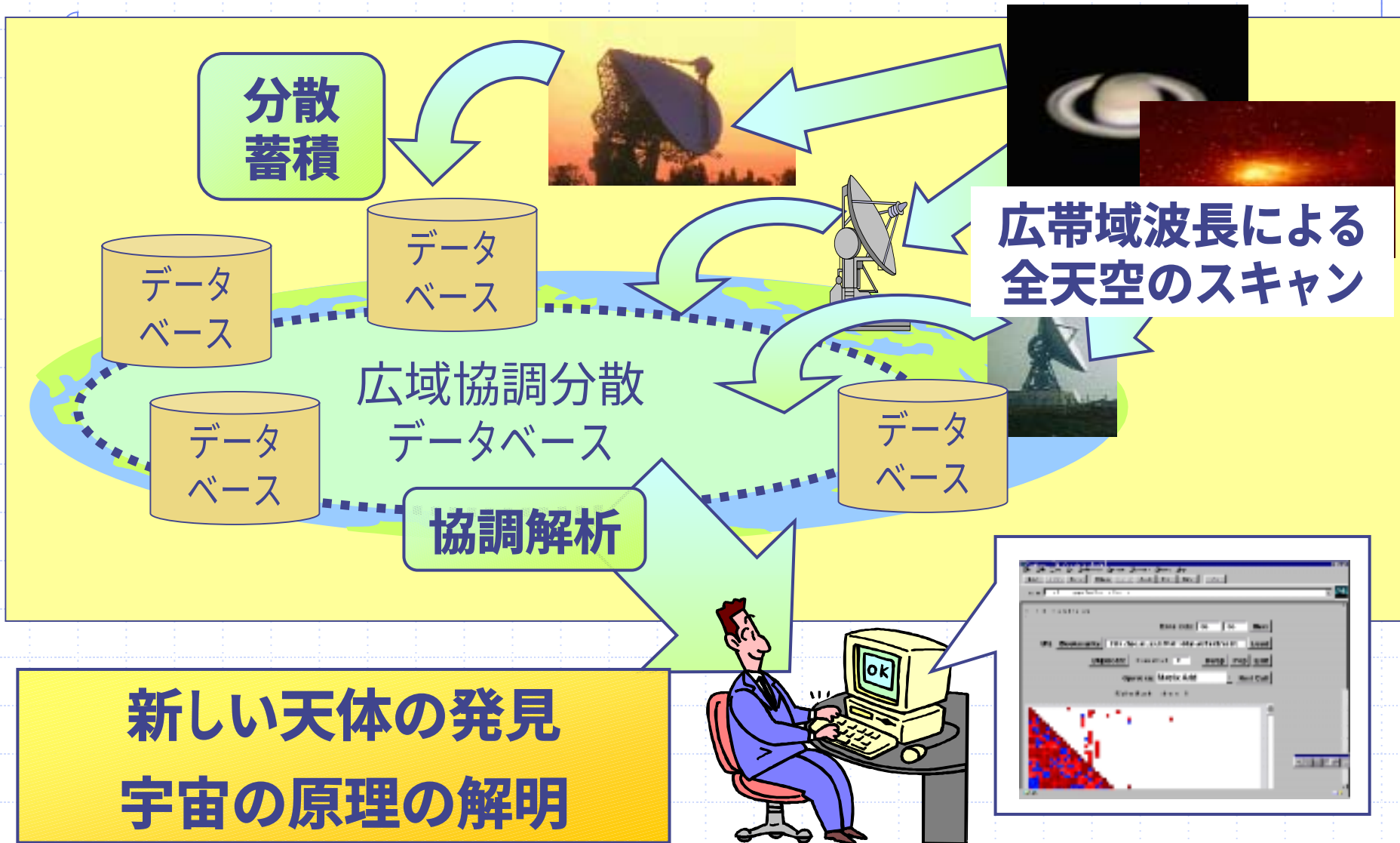


The Globus Project: Developing a Grid Services Architecture (GridOS)

- ◆ Argonne National Lab/USC-ISI
 - www.globus.org
 - The most popular Grid “Toolkit”
- ◆ Developed as a key enabling mechanism the Grid Security Infrastructure
 - Uniform authentication & authorization mechanisms in multi-institutional setting
 - Single sign-on, delegation, identity mapping
 - Public key technology, SSL, X.509, GSS-API
- ◆ Used to construct Grid resource managers that provide secure remote access to
 - Computers: GRAM server (HTTP), secure shell
 - Storage: storage resource managers, GSIFTP
 - Networks: differentiated service mechanisms

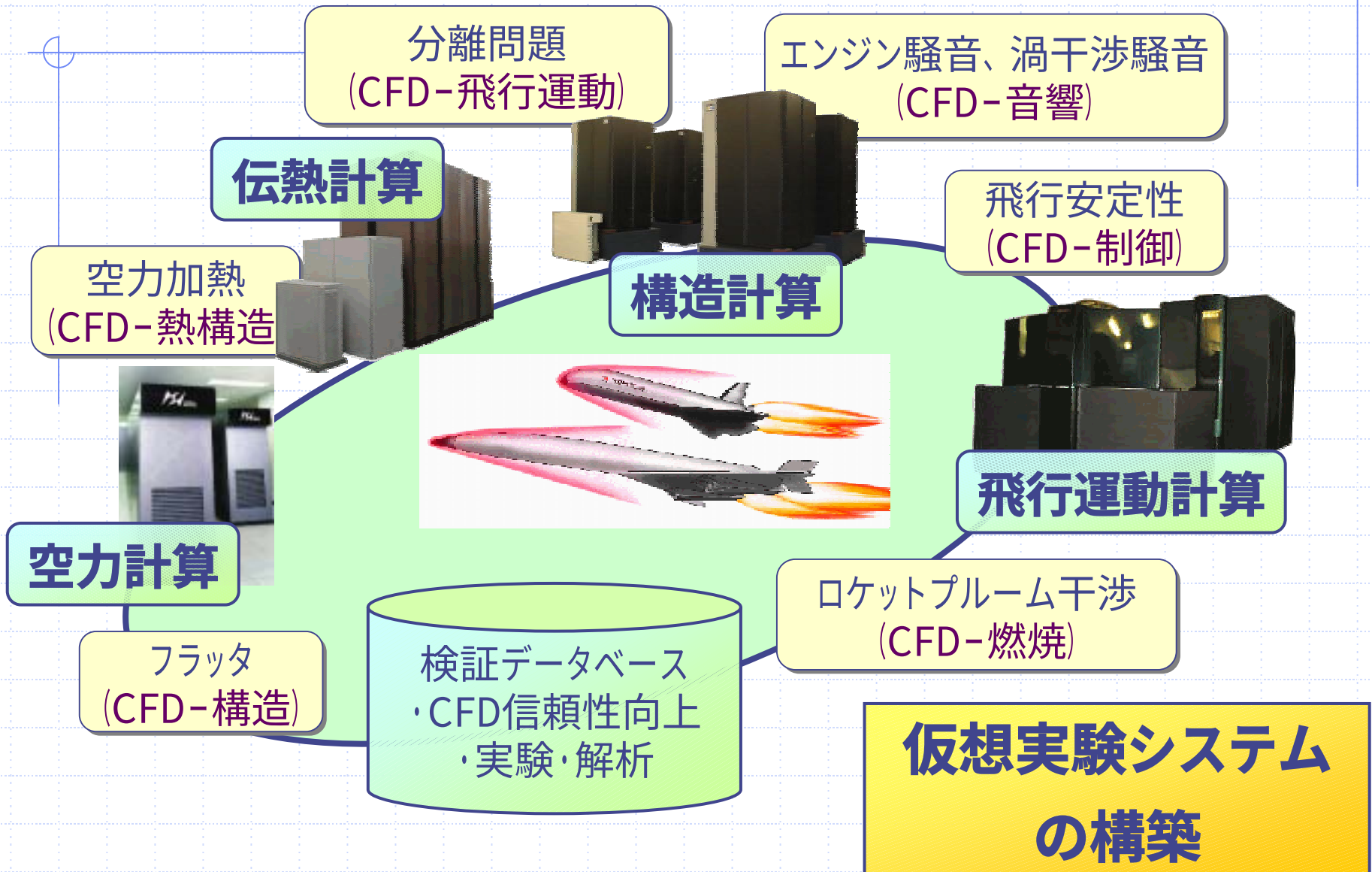
主任研究者: Ian Foster (Argonne国立研) Carl Kesselman (ISI)

天文学の場合：天文グリッドによる望遠鏡を使わない天文学 (Sloan Digital Sky Survey等)



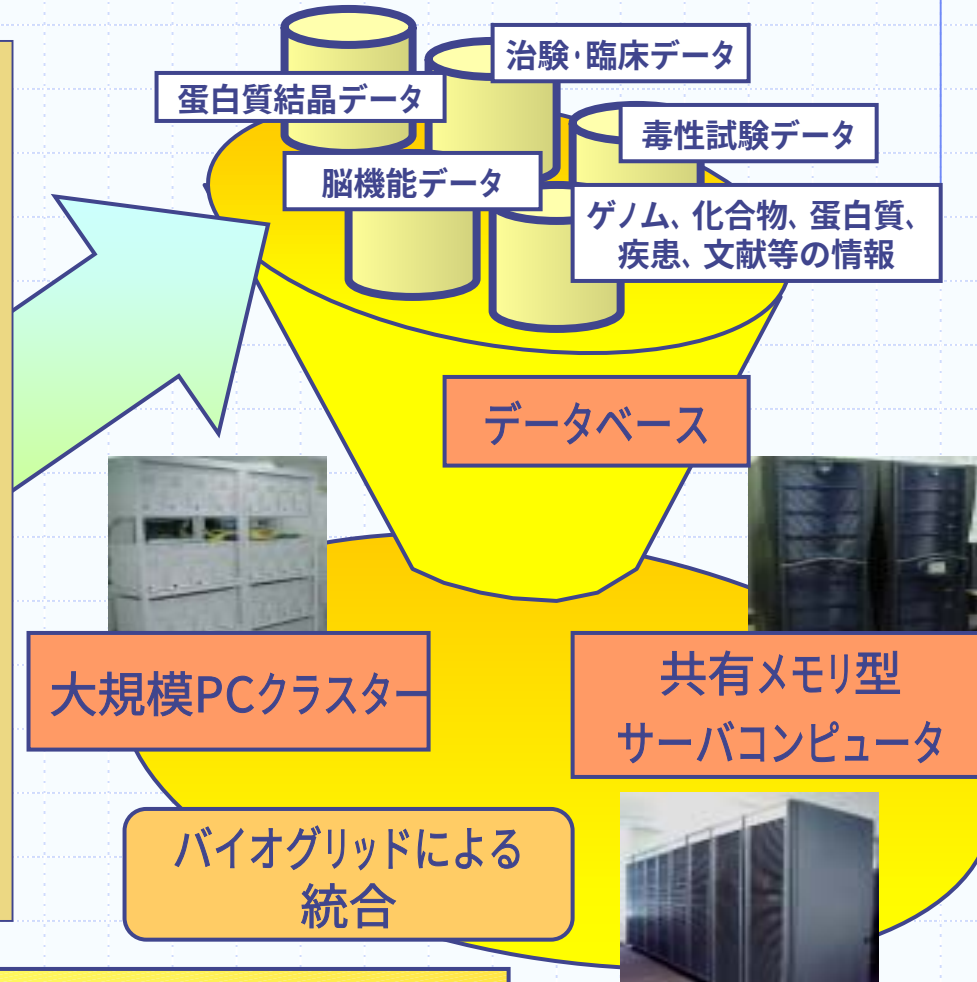
グリッドでの航空機設計(NASA)

宇宙往還機



「バイオグリッド」の例:ゲノム情報と創薬

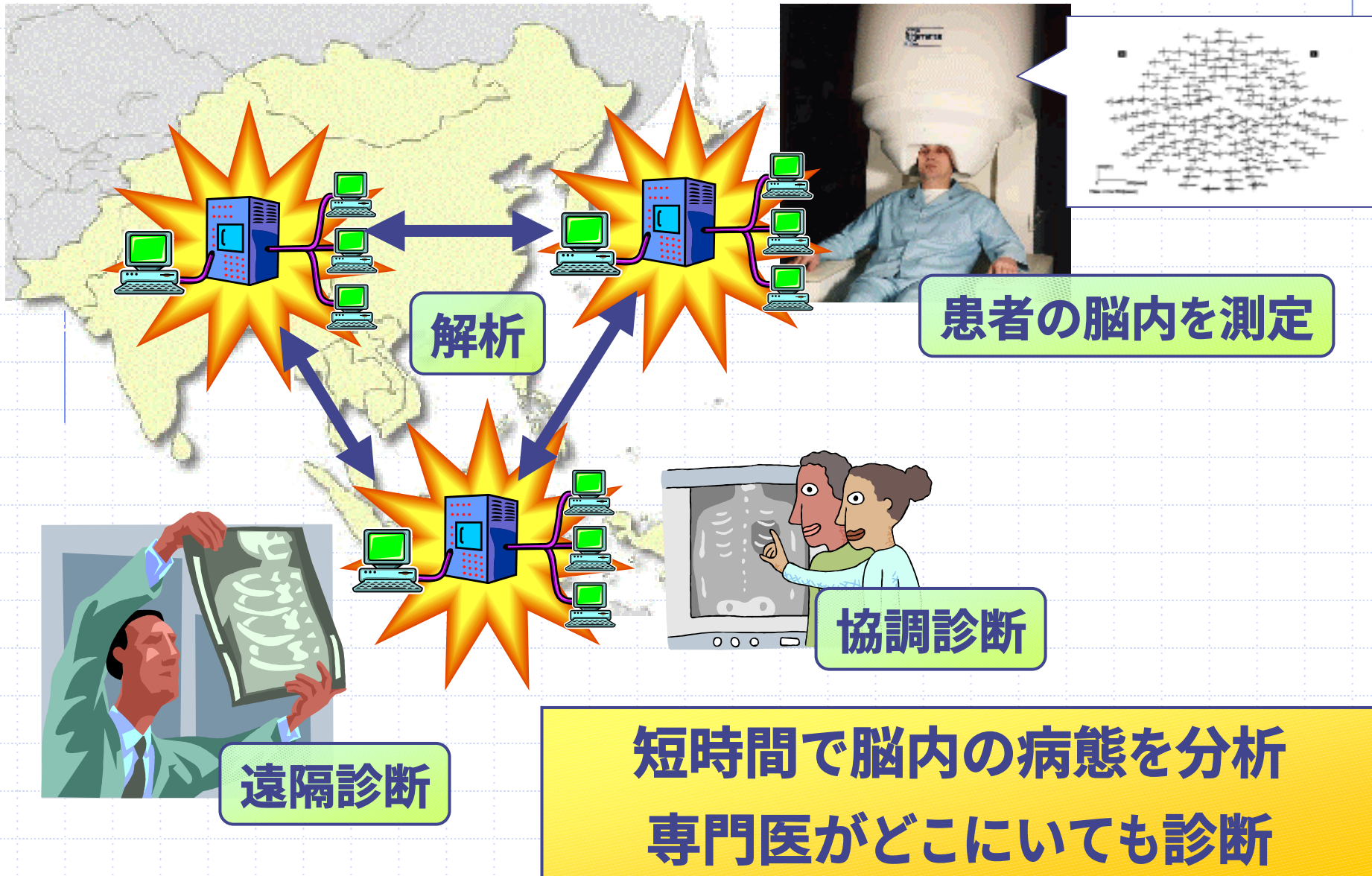
ゲノム創薬研究のフロー



合算で数百テラからペタ・フロップス(1000兆)の計算能力

専用マシン (例: 分子動力学)

医療グリッドの例：脳機能解析

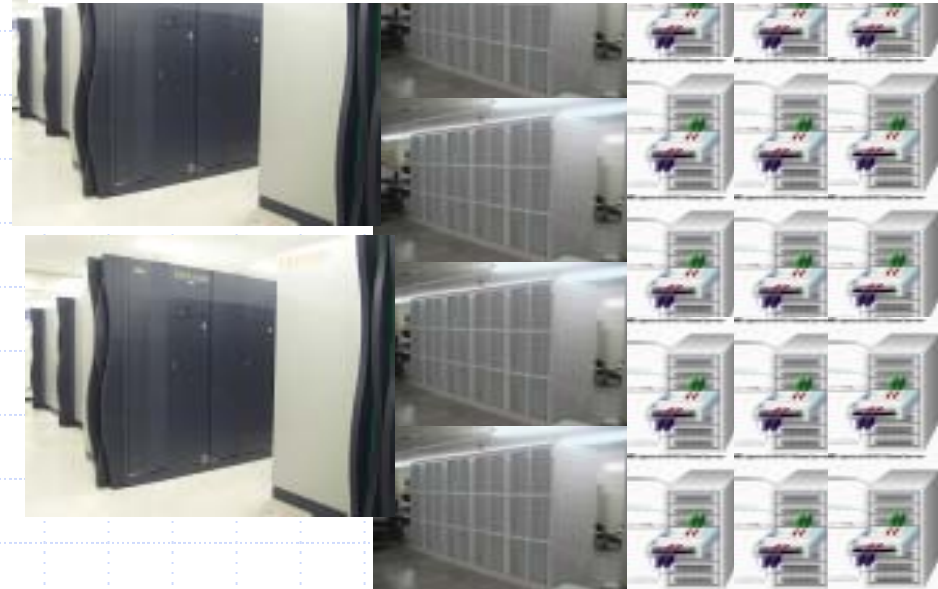


実際のグリッドの構築例

◆ 大中小適切なサイズの計算機を分散させ、
合算で数百テラ・フロップス～ペタ・フロップ
スを実現

コスト
<
計算能力
<
合算サイズ
<
信頼性
>

合算したサイズは全体としては巨大に
なるので、分散させるしかない



分散配置の例: 大学キャンパスグリッド インフラ提案

- ◆ 大学キャンパス内に計算資源を分散配置、グリッドの形成
- ◆ 新たなナショナル計算科学インフラへの提案

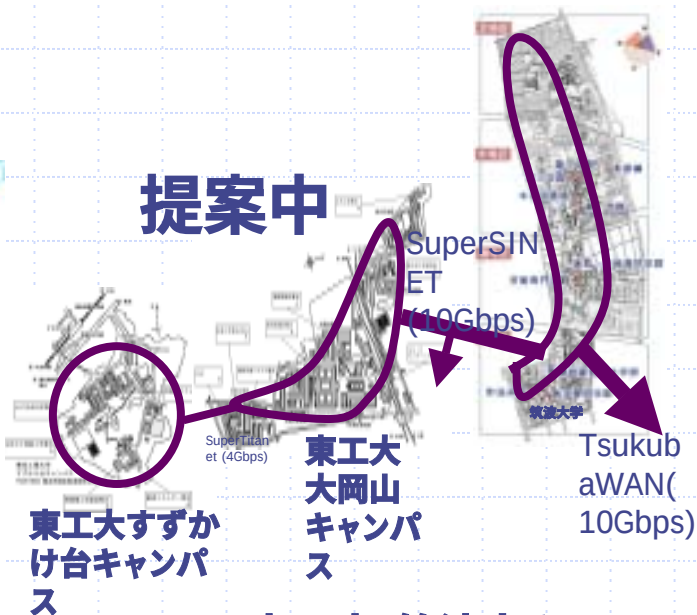
H13補正



2002-3 東工大キャンパスグリッド 2億

キャンパス内に800CPU
を分散配置
1.2テラ・フロップス
キャンパス内15サイト

提案中



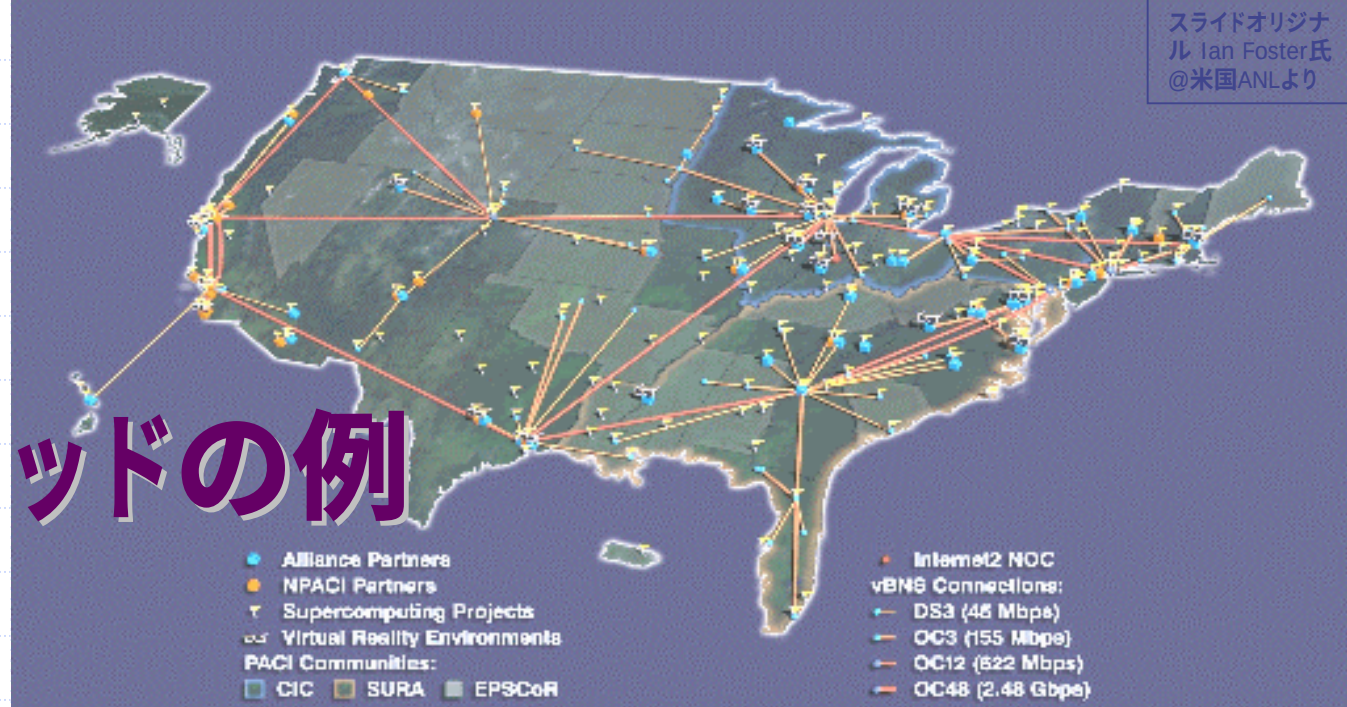
2003-7 東工大-筑波大キャンパスグリッド連合 40億
7000CPU
60テラ・フロップス
2キャンパス80サイト
キャンパス間高速接続
(SuperSINET)



2005- ナショナルキャンパスグリッドインフラ 500億

10万CPU,
1 ペタ・フロップス
30キャンパス
全国 (次世代 SuperSINET)

米国のグリッドの例



NSF National Technology Grid
NPACI (SDSC), Alliance (NCSA),
TeraGrid/iVDGL

DOE(エネルギー省)
DOE Science Grid
ASCI DISCOM

NASA Information Power Grid

最近の海外のグリッドプロジェクト動向(2002夏)

- ◆ NSF TeraGrid
 - 二大NSF計算機センターであるNCSA-SDSCを中心に、13テラ・フロップスのグリッドインフラの構築
- ◆ NSF iVDGL (International Virtual-Data Grid Laboratory for Data Intensive Science)
 - グリッド技術により、大規模データ処理による計算科学をサポートする仮想ラボを運営
- ◆ DOE Science Grid
 - エネルギー省の国立研究所のグリッド化
- ◆ EU DataGrid/GridLab/DataTag
 - EUの研究機関のグリッド、ペタバイト級のデータが可能にする新しい科学の探求など
- ◆ UK e-Science
 - 英国の各大学・研究センターをグリッドの拠点センター化し、ナショナルグリッドの急速な構築
- ◆ 今後、欧米ではNSF CyberInfrastructure(4.3億ドル/年), EU FP6 (6億Euro/4年)など、巨大グリッドインフラが計画

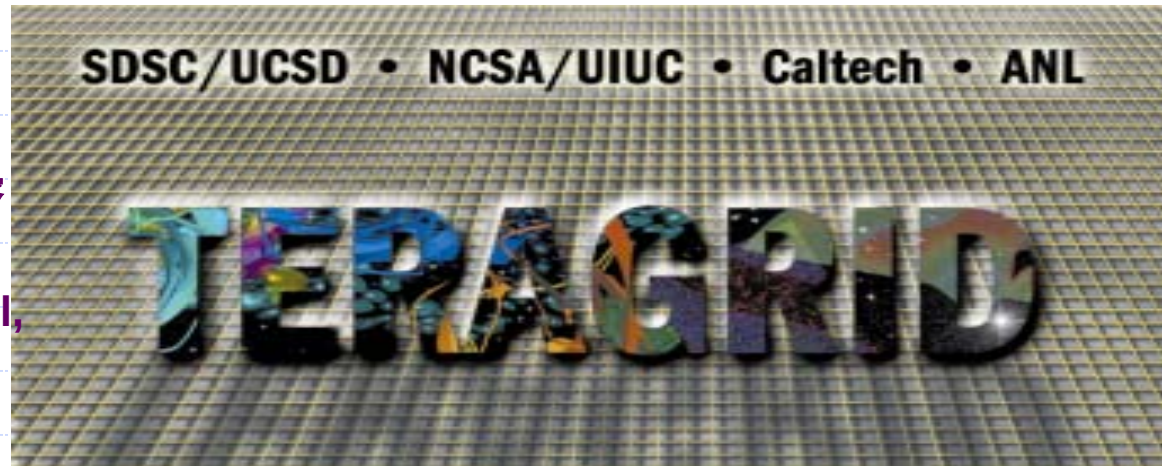
その他、米国・欧州とも10以上のメジャープロジェクト

NSF TeraGrid

リーダー:

Fran Berman/SDSC所長
Dan Reed/NCSA所長

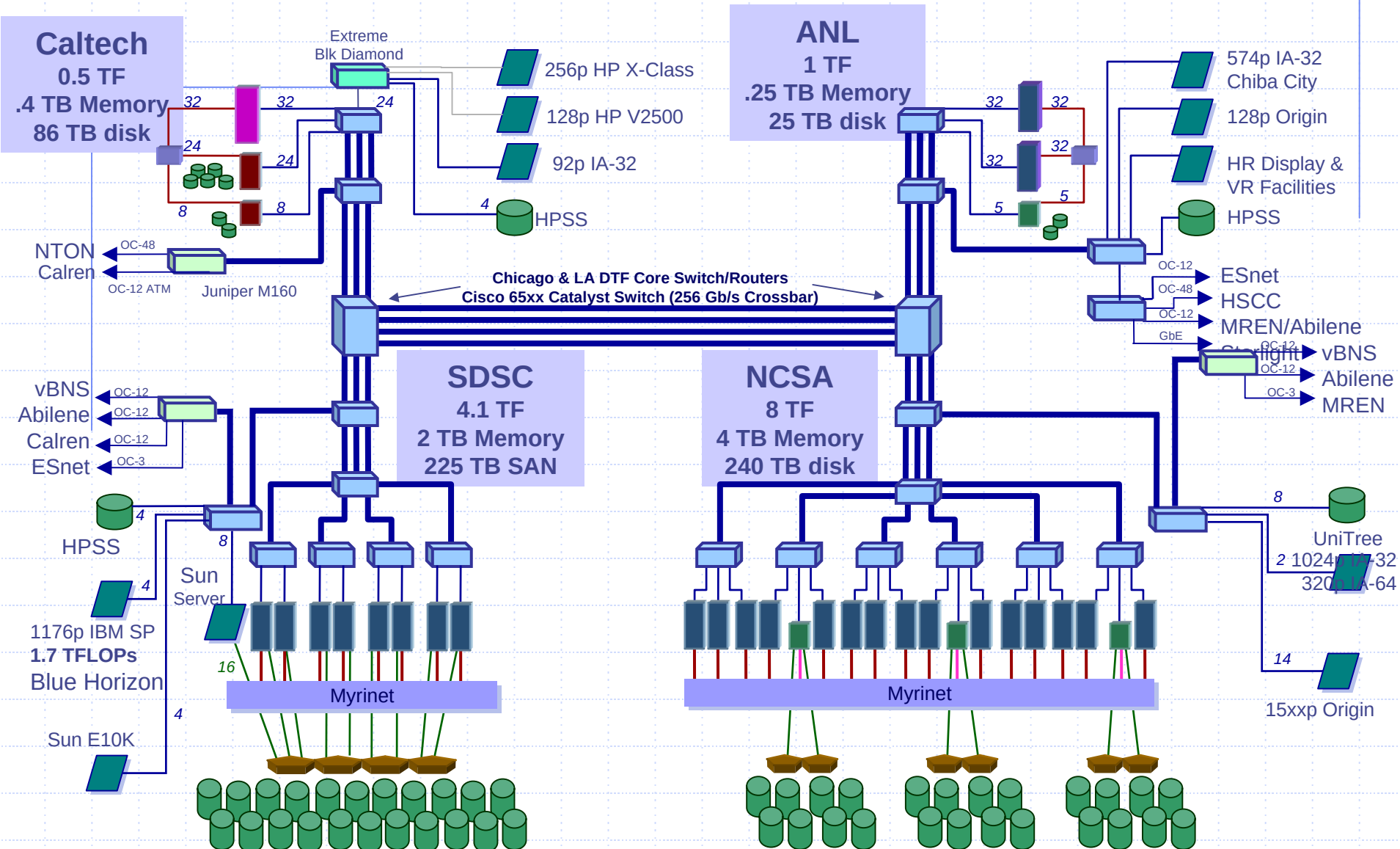
産業パートナー: IBM, Intel,
Qwest, Myricom,
Sun, 等



◆ TeraGridの研究テーマ

- 巨大データ、巨大シミュレーション、モデル化
- グリッドのITソフトウェア技術
- 基盤としてのクラスタ技術(Linuxなど)
- グリッドのとしてのインフラ構築・運用・効果の判定

TeraGrid: 13.6 TF, 6.8 TB memory, 79 TB internal disk, 576 network disk



TeraGridにおけるバイオアプリケーション(医療)

◆ 米NIH提案BIRN (Biomedical Informatics Research Network)

- 多数の人間の脳をサンプルとして複数の解像度でスキャン、データ解析を行いデータベース化して、脳神経関係の疾病の解明に役立てる(アルツハイマー病など)

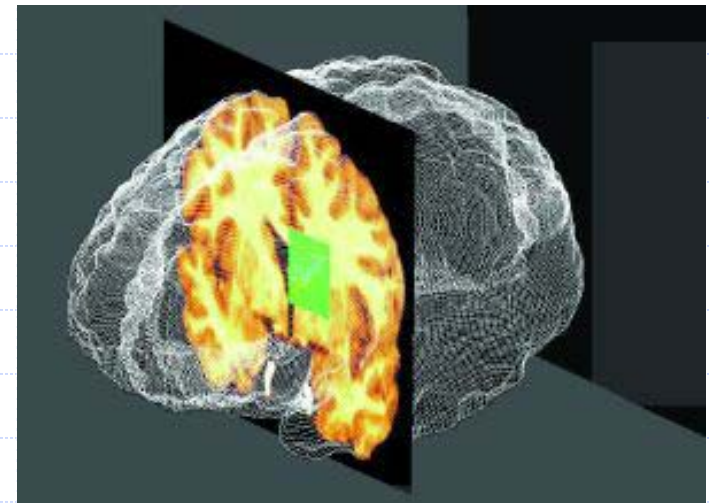
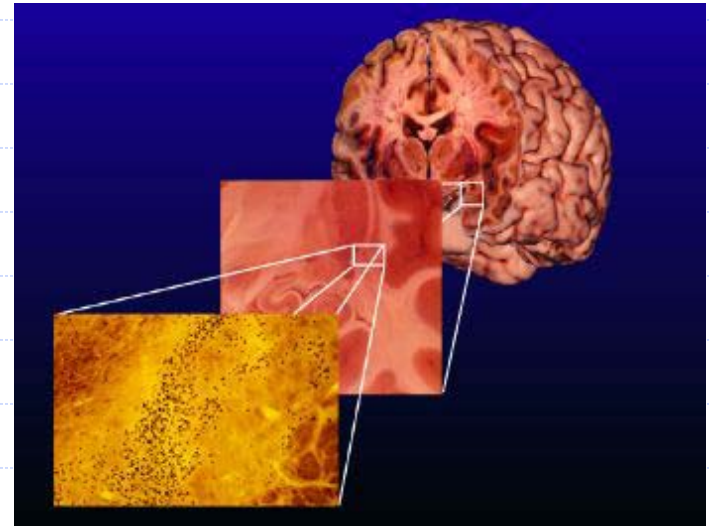
◆ TeraGrid以前:

- 一つの研究室
- 患者サンプル数小、患者あたりのデータ量小
 - ◆ 4 テラ・バイト(1兆バイト)のデータ量
- データ同士の相関比較などが困難

◆ TeraGrid以後

- 分散協調する10以上の研究室が仮想ラボを形成
- 多数の患者サンプル、患者あたりのデータ量も豊富
 - ◆ 400 テラバイト(100兆バイト)のデータ量
- 複数の解像度のデータと複数の脳の相関比較が可能な計算量の確保

◆ 今後TeraGridは25TeraFlops, 数Petabyteへ発展(Extended Terascale Facility)



The Global Grid Forum

<http://www.globalgridforum.org>



- ◆ **グリッド技術の研究推進、普及、標準化など**
- ◆ **1999年にGrid Forumとして設立(インターネットの国際標準化団体IETFに習う)**
- ◆ **2000年後半欧州eGrid Forumと合併、GGFへ**
 - **議長: Charlie Catlette氏 (米国Argonne 国立研)**
 - **30以上のWorking Groups/Research Groups**
 - **年3回の GGF meeting**
 - **我が国からも松岡(実行委員)を含む参加者増加中**
- ◆ **2002年, NPI (New Productivity Initiative)およびP2P Consortiumを吸収合併**
- ◆ **2002年7月GGF5が英国エジンバラにて開催**
 - **1000人近い参加者**
- ◆ **2002年10月14-17、GGF6 @ Chicago**
- ◆ **2003年3月4-7 東京 (新宿京王プラザホテル) : 1000人以上?**

わが国のグリッドプロジェクト例(1)

(2002年1月)

- ◆ 2001-2年はわが国におけるグリッドの創生の年
- ◆ ACT-JSTの一部 (各1.2億 2001-2003)
 - GridLib(産総研)
 - 最適化グリッド(東工大など)
- ◆ 科研特定領域「情報学」A05(グリッド)柱 (8億 2001-2005)
 - 医療バイオグリッド(阪大・下条班)
 - P2P データグリッド(東工大・松岡班)
 - その他、公募班 x 9 (国立天文台も)
- ◆ Ninf-G プロジェクト (産総研/東工大/筑波大)
IPA (2億 2001-2002)

商用グリッドシステム

◆ Desktop Grid, P2P系

- Entropia社, Entropia Desktop Grid
- United Devices社

◆ スケジューラ系

- Sun Microsystems, Sun GridEngine
- Platform Computing, Symphony (LSFの発展)
- 旧Turbo Linux 社 Enfusion (Nimrodの発展)

◆ ミドルウェア系

- Avaki社, Avaki

わが国のグリッドプロジェクト(2)

- ◆ **グリッドクラスタフェデレーション(産総研+東工大・筑波大・東大・メーカー) 経済省(NEDO) 総額13億 2002-2006**
- ◆ **SuperSINET(文部科学省高速ネットワークバックボーン)**
 - SuperSINET グリッド研究部会
- ◆ **ITBL (旧科学技術庁系ネットワーク仮想ラボ)**
 - 原研 (JAERI)・理研など
 - インフラ構築+計算科学アプリケーションの「グリッド化」に近年転進

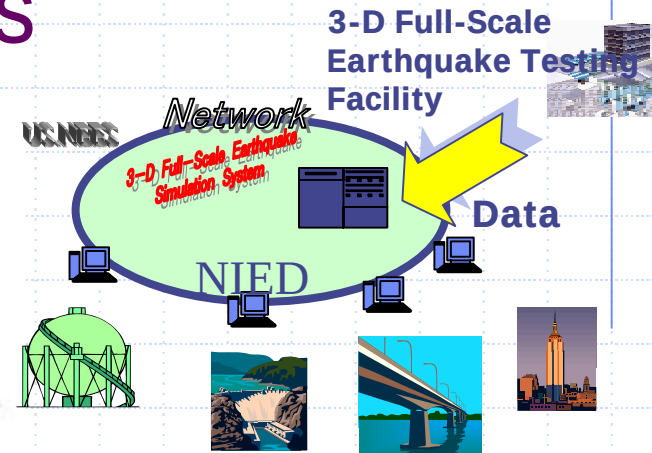
ITBL Application examples



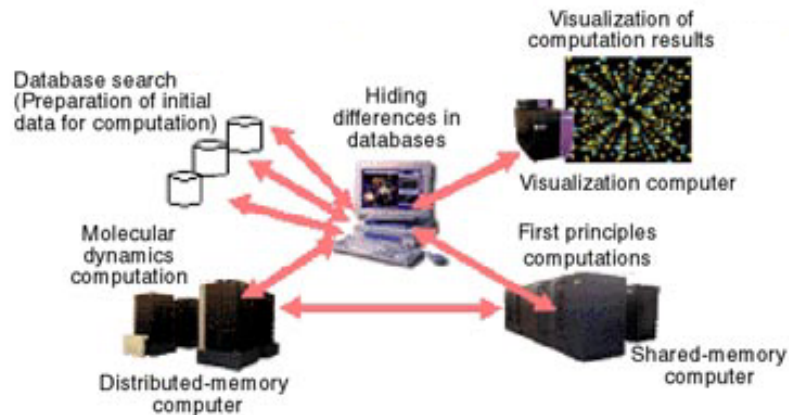
Integrated Aerospace (NAL)



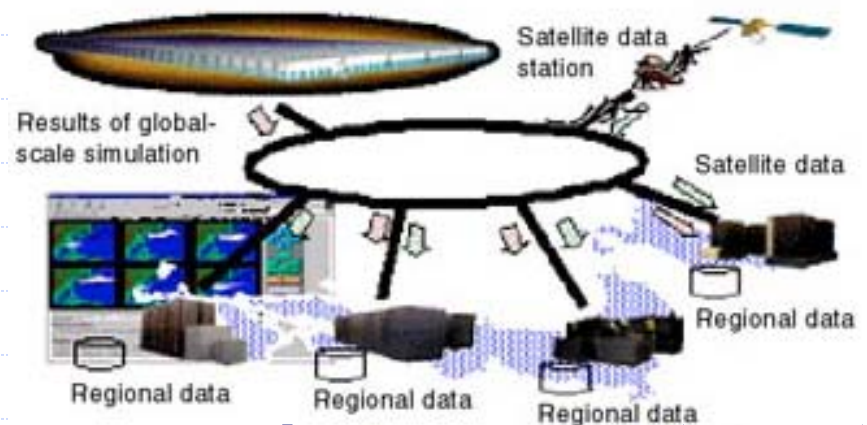
Full Cell (RIKEN)



3-D Full-Scale Earthquake Simulation (NIED)



Materials Design (NIMS, JST)



Regional Environment (JAERI)

わが国のグリッドプロジェクト(3)

2002年 1月4日(金) 日経 7

◆平成13年度補正予算によるインフラ構築

- 阪大バイオグリッドセンター (2億)
- 東工大キャンパスグリッド (Titech Grid) (2億)
- 産総研グリッド研究センター (170億、ただし大部分建物のみ)
- その他、ITBL, SuperSINETなどにも認められ、一定の成果をあげた。

数万台のパソコンで計算分担
グリッド方式を研究
経産省 産学連携
産学連携

経済産業省はワンコンピュータメーカーや大学など協力して、ブロードバンド(高速大容量)通信とコンピュータを融合した次世代情報技術(ＩＴ)の研究・開発を、電子商取引システムに架け出す。ネットでのなにも次世代情報技術への応用を目指す。

「高速大容量」通信とコンピュータを融合した次世代情報技術(ＩＴ)の研究・開発を、電子商取引システムに架け出す。ネットでのなにも次世代情報技術への応用を目指す。

「高速大容量」通信とコンピュータを融合した次世代情報技術(ＩＴ)の研究・開発を、電子商取引システムに架け出す。ネットでのなにも次世代情報技術への応用を目指す。



つくば市)に二月半ほども研究拠点を設ける。産学が連携し、通信網を通じてパソコンやスーパーコンピュータ、記憶装置などを操作する計算技術とその応用プログラムの開発に着手する。専門の施設を二〇〇三年に完成させる予定。二〇〇一年度補正予算で施設整備費約百七十億円を要する。

グリッド方式は、膨大な量の計算を何万台ものパソコンに分散させて計算「スライム」をいう。これは、

わが国のグリッドプロジェクト(4)

◆ メーカーの取りくみ

- 富士通研究所: グリッド研究部
- 富士通・日立・NEC: グリッド用のGlobus標準ミドルウェアのそれぞれのスパコンへの移植
- NTTデータ: “Cell Computing”
- 日本IBM: 本社の動きに呼応
- 海外ではより深い関わり, 深い産官学協同体制 => Open Grid Services Architecture (OGSA)によるWeb Servicesとの統合(IBM)

◆ グリッド協議会(コンソーシウム) が産総研グリッドセンターを中心に近日中に形成予定

我々の提案: コモディティグリッドによる次世代コンピューティング

超高性能コモディティ技術の台頭
-高性能コモディティPC技術-
-超高速ネットワーク(LAN/WAN)技術



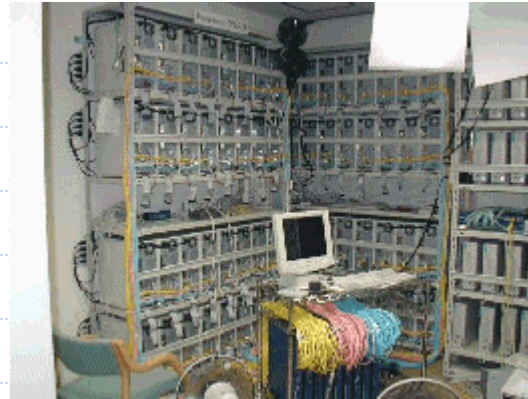
AMD社PC用
高性能Athlon
プロセッサ



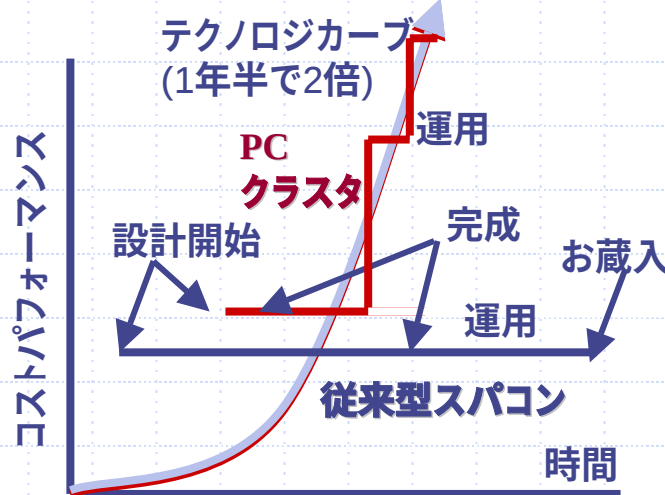
Myrinet 超高速ネットワーク

PCクラスタによる新生代のスーパー
コンピュータ

-数十倍~数百倍コストパフォーマンス
-「テクノロジーカーブ」に沿った性能向上



1TeraFlops あたり
=約20-50億円(従来型スパコン)
=約5千万円(PCクラスタ)



超高速ネットワーク+グリッドの
ソフトウェア技術によるクラスタ
の分散配置



“Commodity Grid”
コモディティグリッド



「動的」な仮想スパコンの形成
・計算資源の共有・相互活用による
TeraFlops以上の大規模計算
・センサーやペタバイトデータベースの
ネットワーク経由の直接アクセス
・多人数・多サイトの研究者の相互連携
「グリッド」として世界的な動き
インフラ・テストベッド研究開発
が急務

“Commodity Grid” Resources Starting April, 2002 (under our control)

- ◆ 1. My Lab Machines: ~900 CPUs, ~1.8 TeraFlops, IA32
- ◆ 2. Titech (Campus) Grid Resources:
 - ~800 CPUs, 1.3 TeraFlops, IA32 “Blades”
 - 8-16 proc IBM Regatta Power4 Server
- ◆ 3. “Nationwide” Commodity Grid Experiment: ~several hundred IA32 CPUs (2H2002)
- ◆ Total: 1700~2000 high-end processors in 2002
 - Distributed and dedicated to Grid computing, esp. GridRPC
 - Some Processors for APGrid Testbed

Laboratory “Grid Clusters”: Presto III Athlon Cluster (2001-2002) 1.6 TeraFlops, 100Terabytes

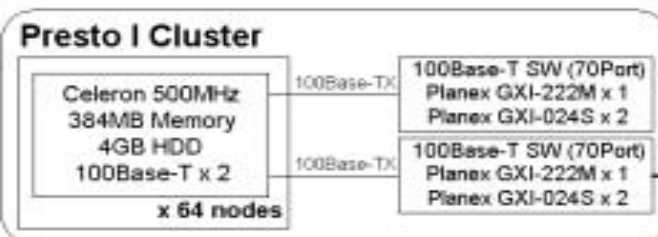
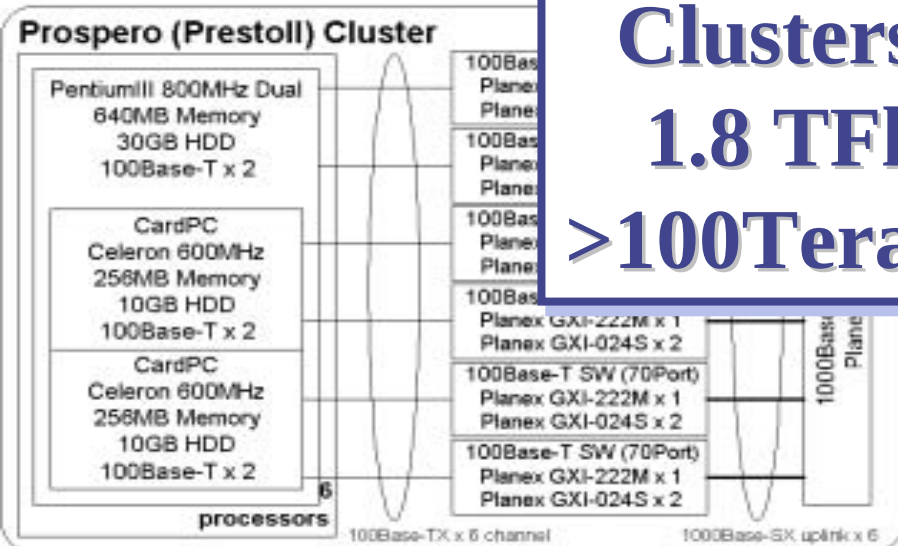
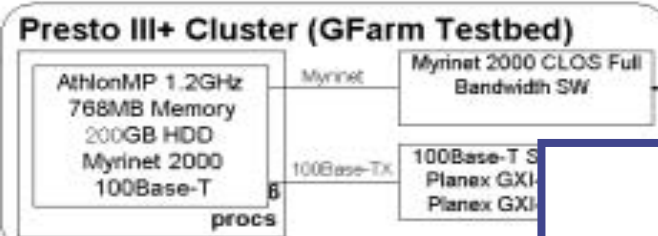
- ◆ Full Assistance from AMD, Donation of Athlon CPUs, Bestsystem(Assembly), etc.
- ◆ Gfarm/LHC/ATLAS, Bioinfomatic Apps
- ◆ Presto III(1), April, 2001 – 80 node Athlon 1.33Ghz
 - 206 GigaFlops Peak
 - Top500 2001/June, 439th
 - The first-ever AMD-Powered Cluster on the Top500
- ◆ Presto III(2) – Oct, 2001 Dual 256 proc AthlonMP 1.2Ghz
 - **614 GigaFLOPS Peak**
 - Top500 2001/Nov. 331.7GigaFlops, 86th
- ◆ Presto III(3) – April 2002 – Dual 512 proc AthlonMP 1900+
 - 1.6 TeraFlops Peak, 716.1 GigaFlops Linpack (so far)
 - 47th on the Top500 (9th in Japan, 2nd fastest Linux PC cluster) www.top500.org
 - 100Terabytes online (for LHC/ATLAS)



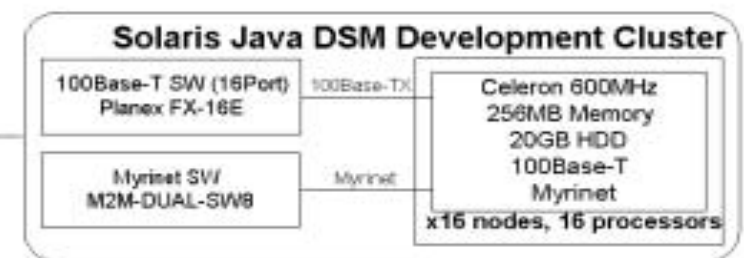
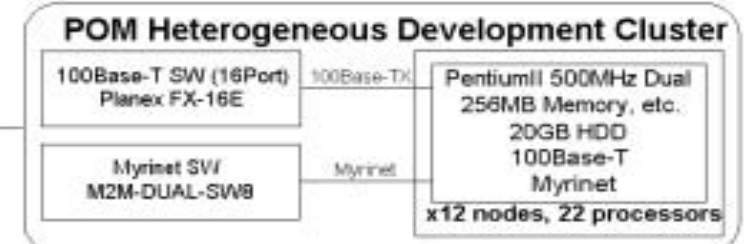
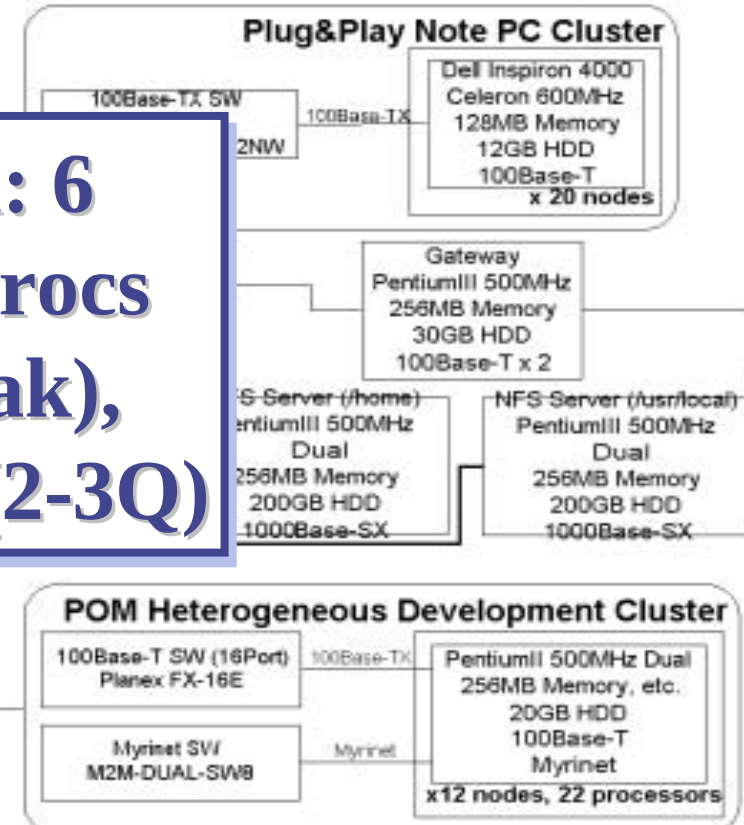
Titech GSIC Matsuoka Lab Grid Cluster Infrastructure (1Q2002)

Total: 6 Clusters, 834 Processors
~858 GFLOPS (Peak), 29.5 TeraBytes (Storage)

Grid Cluster Infrastructure
Matsuoka Laboratory (3Q2001)
Tokyo Institute of Technology



**1H2002 Total: 6
Clusters, 890 Procs
1.8 TFlops(Peak),
>100TeraBytes (2-3Q)**

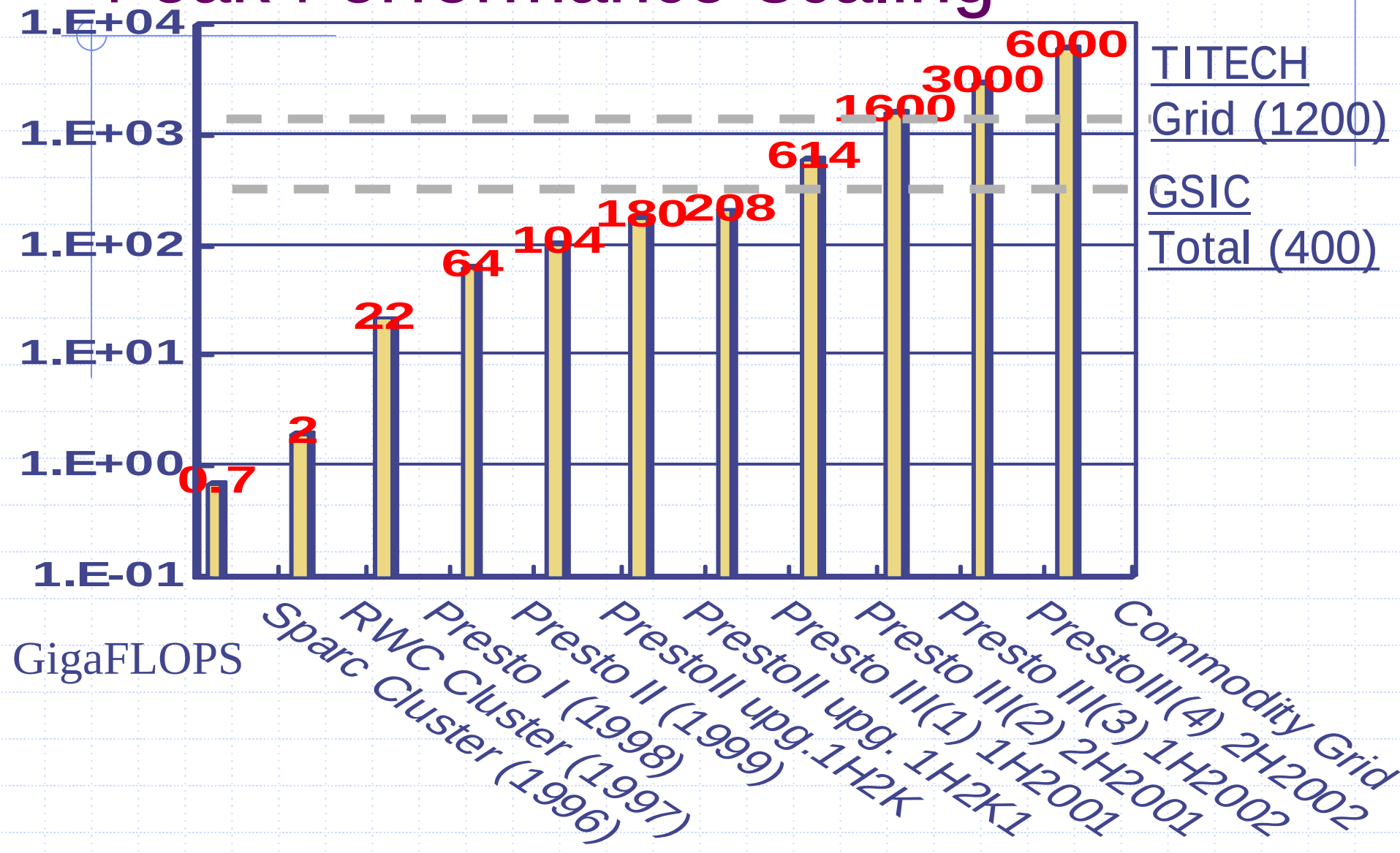


Grid Clusters at TITECH Matsuoka Lab



PRESTO Commodity Grid Clusters

Peak Performance Scaling



Matsuoka Lab Grid Clustering Project

◆ Dependable, Fault-tolerant clustering for the Grid

- ◆ Parakeet Fault Tolerant MPI
- ◆ Fault Tolerant GridRPC

◆ Plug&Play Clustering

- ◆ Extended Parakeet
- ◆ Lucie Dynamic Cluster installer

◆ Heterogeneous Clustering

- ◆ Heterogeneous Omni OpenMP
- ◆ Heterogeneous High Performance Linpack (HPL)
- ◆ Multiple Cluster Coupling on the Grid

◆ Grid Projects on Clusters

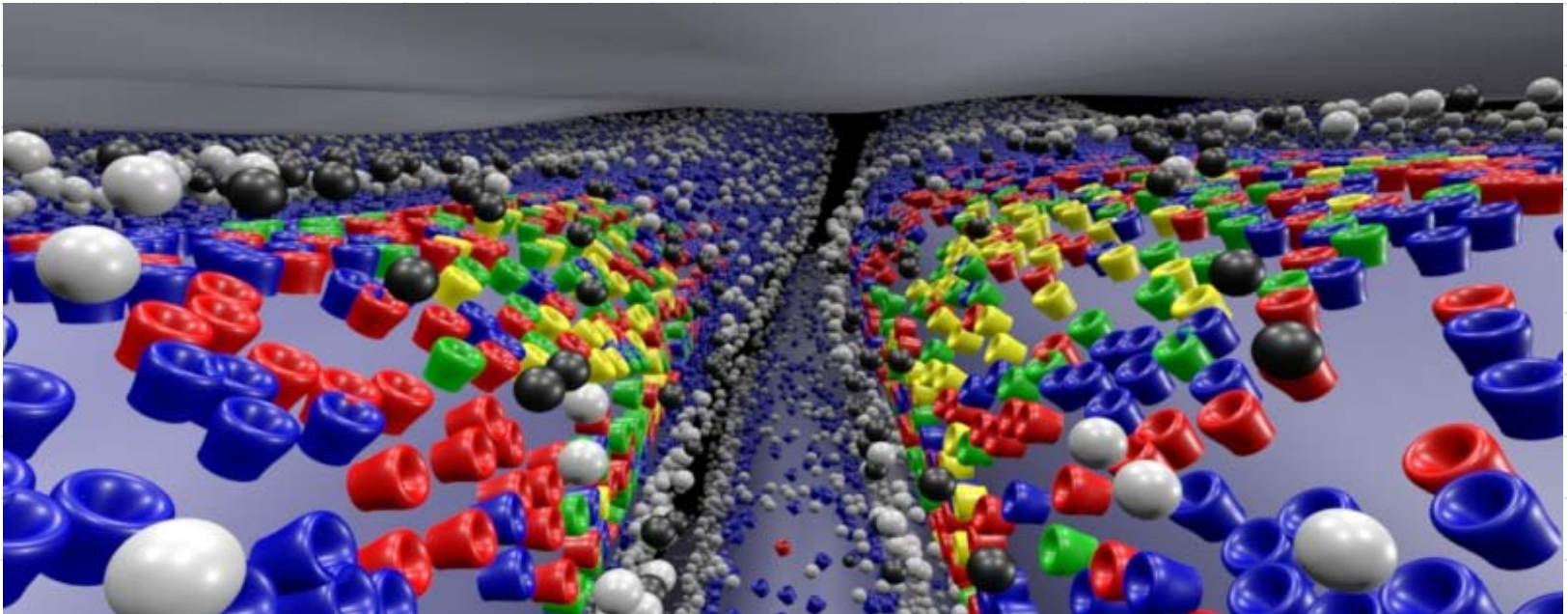
- ◆ Ninf-G GridRPC
 - ◆ SOAP/XML GridRPC prototype
- ◆ GFarm – middleware for Petascale data processing
- ◆ Grid Performance Benchmarking and Monitoring
- ◆ Bricks Parallel Grid Simulator
- ◆ JiPANG Jini-based Grid Portall

◆ Java for Cluster and the Grid

- ◆ OpenJIT Flexible high-performance JIT compiler
- ◆ JavaDSM – Secure and Portable Java DSM System for Clusters

Example Mcell w/Netsolve-APST on Presto Clusters [Casanova, Berman et. al.]

- ◆ Salk Institute and CMU
 - ◆ Neuro-science application
 - ◆ Revolutionary disciplinary results
 - ◆ 3-D Monte-Carlo simulation
 - ◆ Embarrassingly parallel with file sharing.
- Small-scale runs
 - Medium-scale runs
 - Large-scale runs:
 - > 500,000 tasks
 - Terabytes of data



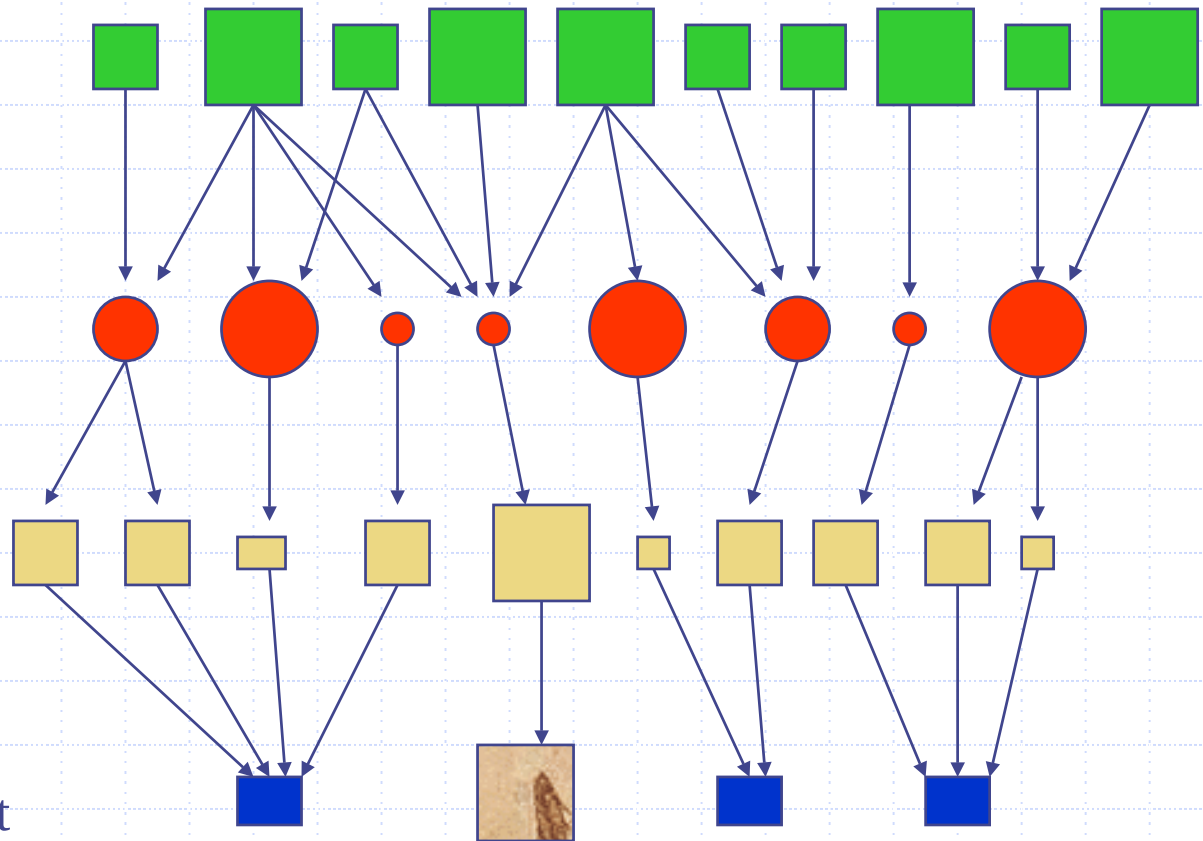
Mcell (Cont'd)

Input files
(e.g. 150MB)

Tasks

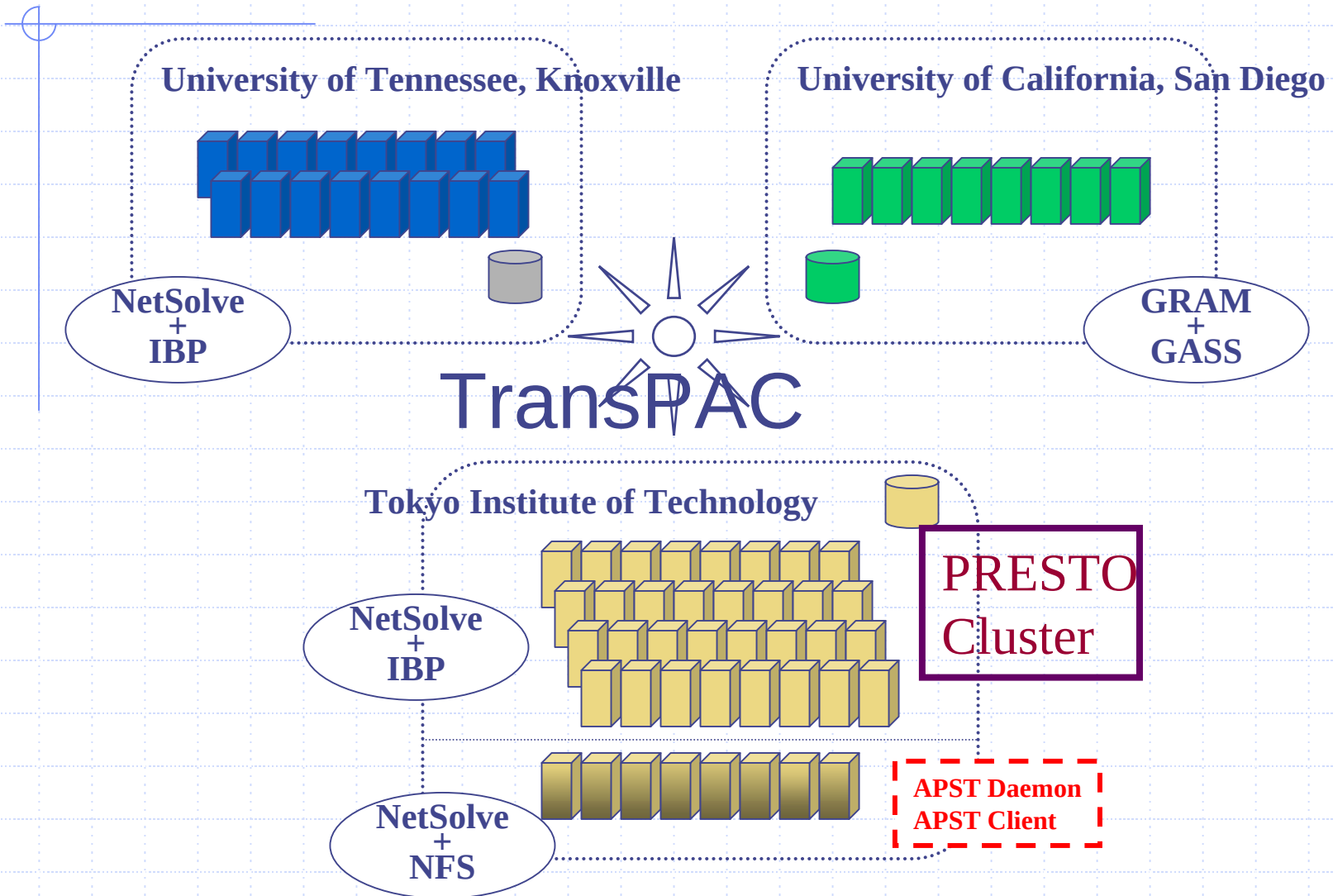
Output file

3-D Rendering
Post-processed Output



Application Run over the Pacific using TransPAC

Mcell APST Validation Experiments



Experimental Results in Grid Scheduling of MCell

Experimental Setting:

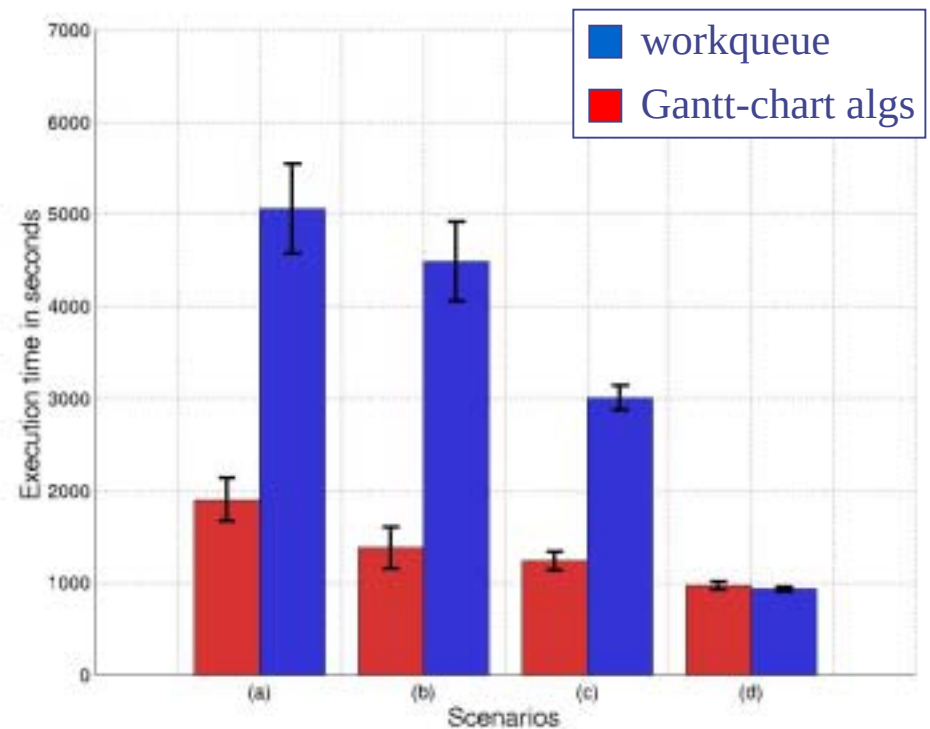
Mcell simulation with 1,200 tasks:

- composed of 6 Monte-Carlo simulations
- input files: 1, 1, 20, 20, 100, and 100 MB

4 scenarios:

Initially

- (a) all input files are only in Japan
- (b) 100MB files replicated in California
- (c) in addition, one 100MB file replicated in Tennessee
- (d) all input files replicated everywhere



GSIC平成13-14年度プロジェクト: 東工大 Titech (Campus) Grid (イメージ図)

Titech Gridは、キャンパス内に次世代E-Scienceアプリのためのグリッドテストベッドを構築する、世界にも類を見ない大規模実験(平成13年度末に設置)

800プロセッサ以上のPC群をキャンパス内で分散配置、高速ネットワーク(Super TITANET)で接続

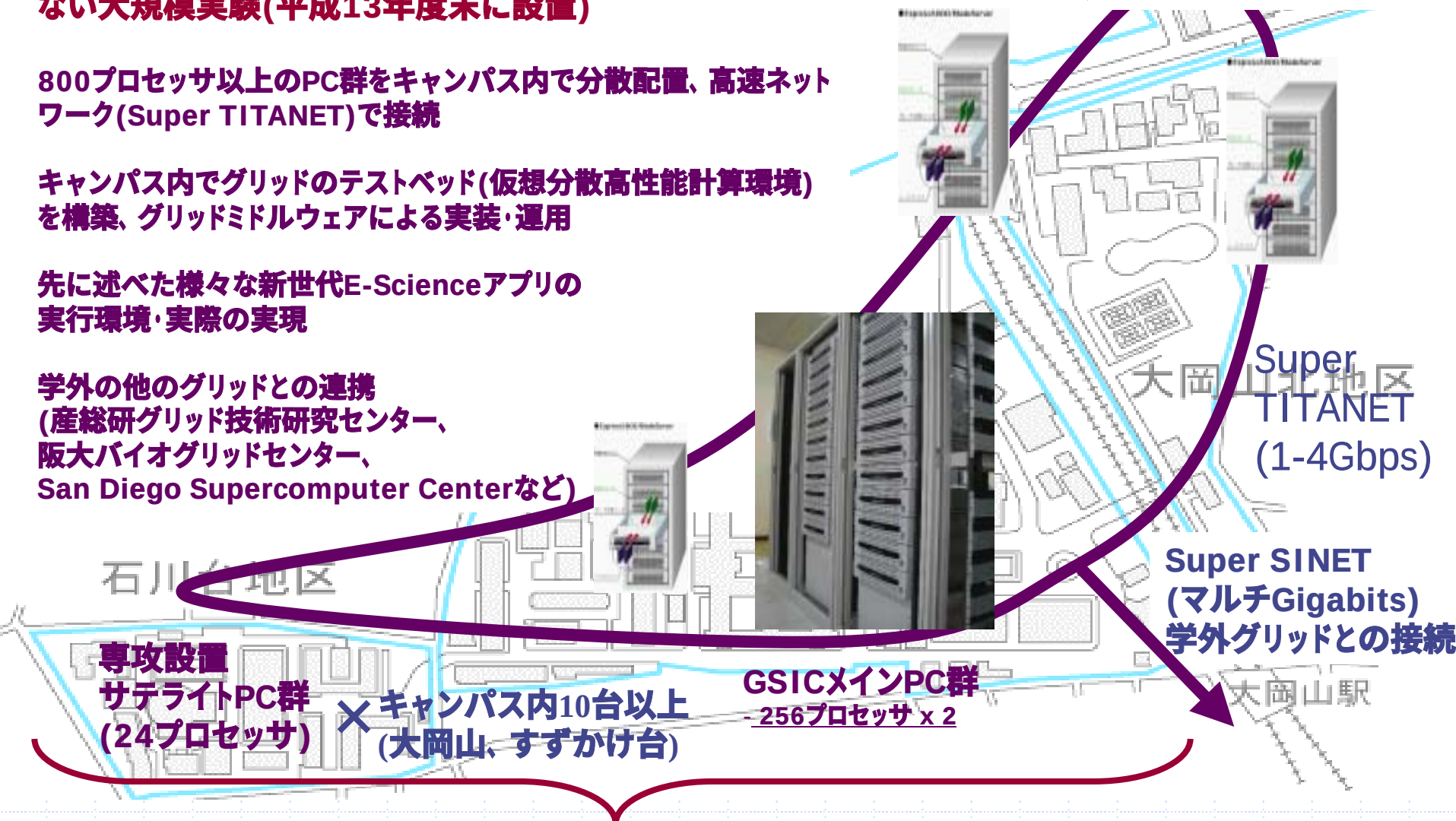
キャンパス内でグリッドのテストベッド(仮想分散高性能計算環境)を構築、グリッドミドルウェアによる実装・運用

先に述べた様々な新世代E-Scienceアプリの実行環境・実際の実現

**学外の他のグリッドとの連携
(産総研グリッド技術研究センター、
阪大バイオグリッドセンター、
San Diego Supercomputer Centerなど)**



ユーザはキャンパス内から仮想的に単一の計算機としてアクセス・利用が可能



合算800以上の高性能プロセッサ、25TeraByteストレージの学内グリッドの構築

東工大 Titech Grid 設備説明

コモディティ高性能PC コンポーネント

- NEC Pentium III-S 1.4Ghz,
512KB L2 Cache × 2
- 80GigaByte ハードディスク
- 512MB~1GBメモリなど



NEC Express 5800
BladeServerノード装置



- 専攻設置サテライトPC群**
- ノード装置x12台、24CPU
 - 512MBメモリ、80GB HDD/ノード
 - 多重化100Base-Tネットワーク
 - 実際は2キャビネット、13U
 - ⇒ 小型の机程度、電源20A強
 - **協力専攻に設置**



×14台 キャンパス内に設置
(NEC+新ノード (大岡山、すずかけ台)
群x2(予定))

GSIC設置PC群

- クラスターノード装置x128台、256CPUx2
- Myrinet2000ギガビット基幹ネットワーク
(128台、256CPUのみ)
- 1GBメモリ(128台)、512MBメモリ(128台)
- 省スペース、全体で5ラック
- **学術国際情報センター(GSIC)に設置**



GSIC

グリッドの研究運用

- グリッドミドルウェア運用実験
- クラスター群のリモート管理実験
- グリッド上のアプリケーションの開発支援
- 外のグリッドとの協調・相互運用



様々なグリッドの
ミドルウェアにより、
「仮想スパコン」に



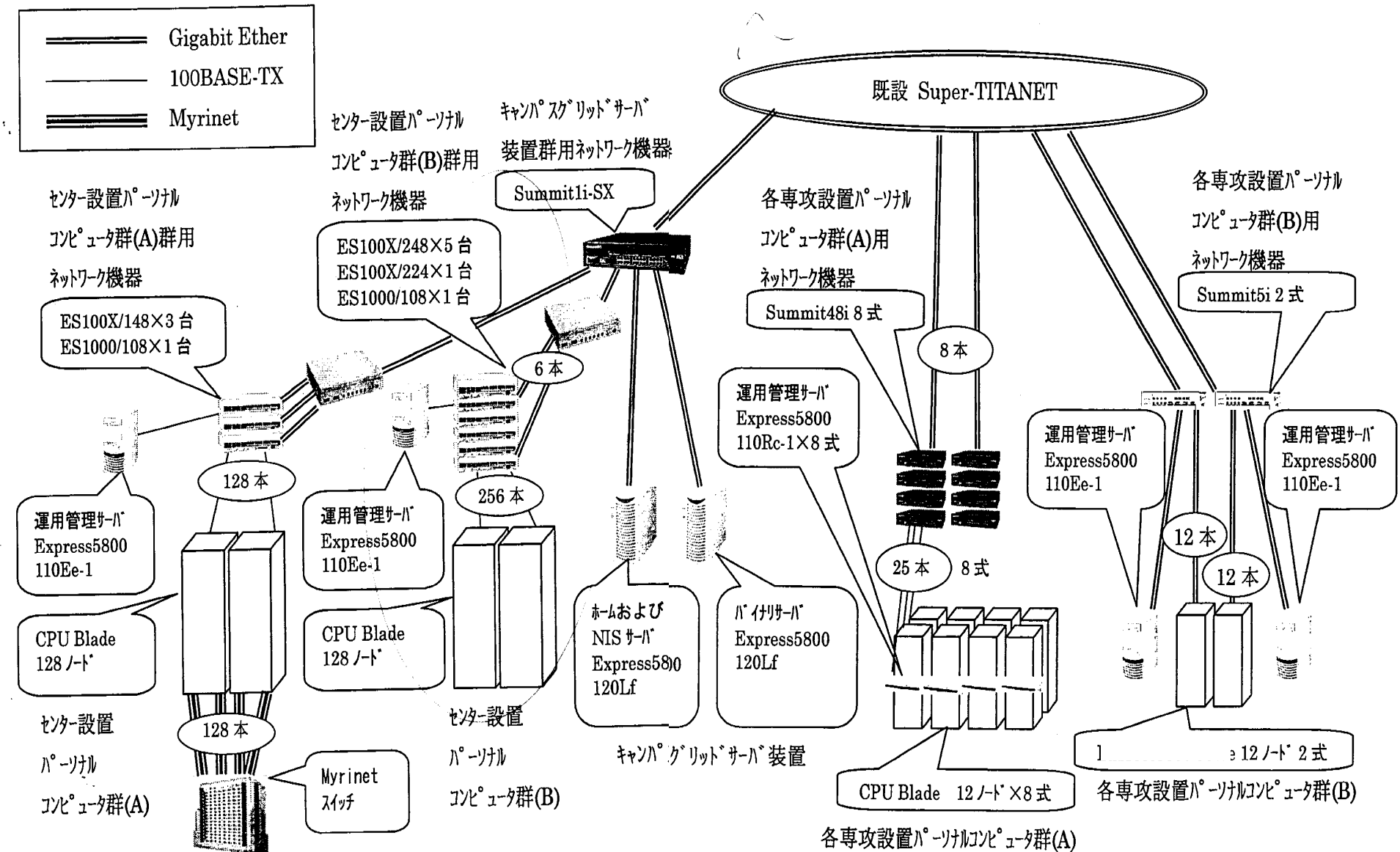
合算800CPU, 25TeraByteの 計算資源が学内分散配置

学内新ギガビットネットワーク Super
TITANET (2001年4月運用)にて相互
接続、SuperSINET(2002年後半運用)
にて学外と10Gbpsで接続

Titech Campus
Grid Testbed

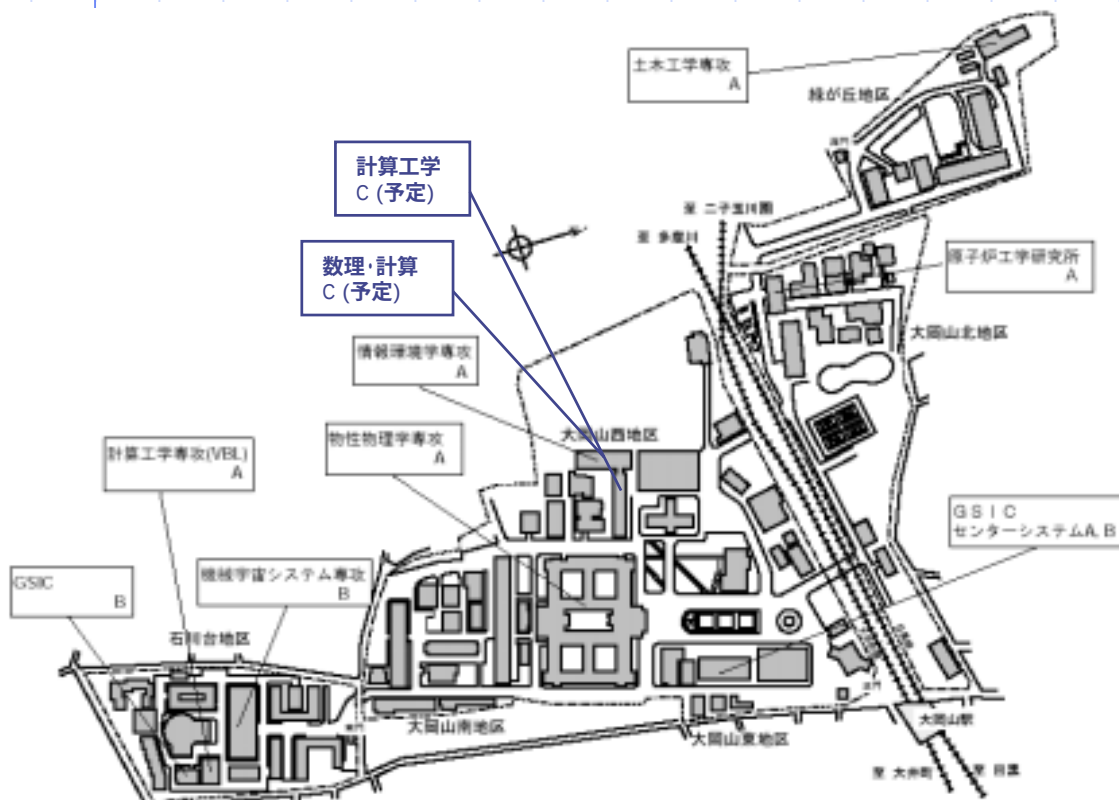


東工大キャンパスグリッド構成図(NEC)

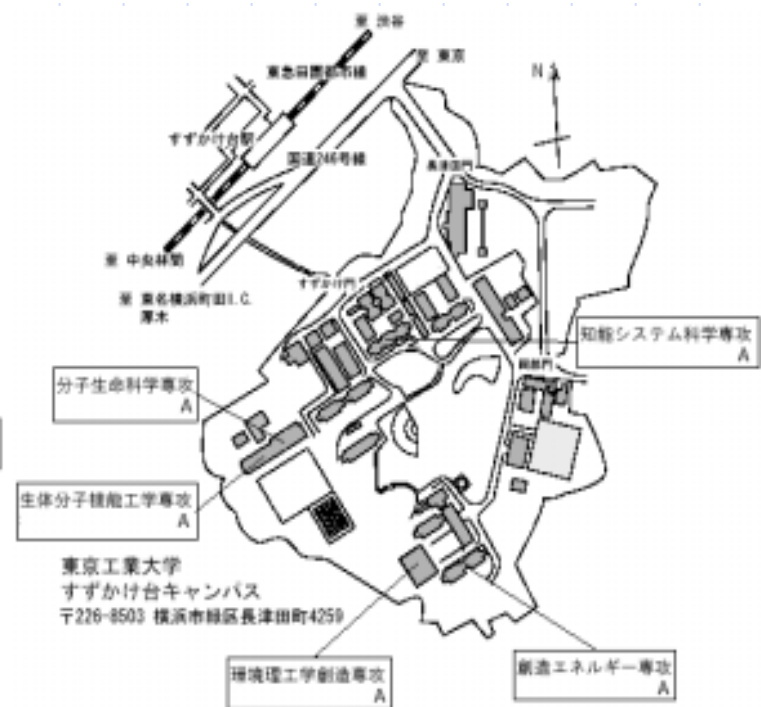


Titech Grid ノード装置/設置場所

- ◆ 設置場所は2キャンパスにまたがり15箇所
- ◆ 参加専攻・センターは18箇所(学内公募)
 - 応募は19専攻・センター(専攻内で一部重複あり)



大岡山(10箇所)



すずかけ台 (5箇所)

参加専攻、センター一覧(18)

◆ 理工学研究科

- 物性物理学専攻,本館(A)
- 土木工学専攻,緑が丘5号館(A)
- 機械宇宙システム専攻,石川台1号館(B)
- 国際開発工学専攻(参加のみ)
- 基礎物理学専攻(参加のみ)

◆ 情報理工学研究科

- 情報環境学専攻,西8W号館(A)
- 計算工学専攻,西8E号館(C)
- 数理計算科学専攻,西8W号館11階(C)

◆ 生命理工学研究科

- 生体分子機能工学専攻,生命理工学部校舎2号館(A)
- 分子生命科学専攻,生命理工学部校舎2号館(A)

◆ 総合理工学研究科

- 知能システム科学専攻,資源化学研究所R1棟(A)
- 環境理工学創造専攻,G5棟4階(A)
- 創造エネルギー専攻,G3棟3階(A)
- 電子機能システム専攻(参加のみ)
- 物理情報システム創造専攻(参加のみ)

◆ 研究所等

- 原子炉工学研究所,北2号館(A)
- ベンチャービジネスラボ VBL棟(A)
- 学術国際情報センター,国際棟(B)
- 学術国際情報センター,情報棟(センターA,センターB)

各専攻のアプリケーション提案

◆ 物性物理学専攻

- 数値計算を用いた物性研究・物質設計の研究、特に分子動力学法や統計アンサンブル、

◆ 情報環境学専攻

- モンテカルロシミュレーション、有限要素法or境界要素法など

◆ 知能システム科学専攻

- シミュレーション、システム解析、最適化問題求解等、特に、ゲーミングシミュレーションによる社会システムの解析、人工市場シミュレーションによる経済システムの解析、災害シミュレーションを通じた自律ロボットによる救助システムの構築、モジュール型ロボットの進化的プログラミング、**脳神経系の解析、タンパク質立体構造の進化シミュレーション**、数値最適化問題の高速解法、等

◆ 生体分子機能工学専攻

- **バイオインフォマティクス、特にタンパク質の分子動力学計算、特に、タンパク質やペプチドのエネルギー最小構造の探索を目的としたマルチカノニカル分子動力学**

◆ 分子生命科学専攻

- **バイオインフォマティクス、特にタンパク質及び核酸の結晶からのX線散乱データの解析によるタンパク質立体構造の決定、決定された立体構造にもとづく最適構造の探索、タンパク質及び核酸の立構造に基づく新規結合分子の探索による受容体及び酵素阻害因子候補探索のための計算機実験、タンパク質の力学特性の測定結果と立体構造関連を解析するための分子動力学計算 (分子ナノテクノロジー研究基盤) 等を目的とする。**

◆ ベンチャービジネスラボ

- 多様な立体映像空間生成、3次元物体の衝突検出の並列化、CGプロダクション

◆ 環境理工学創造専攻

- MPIによる流体解析

◆ 土木工学専攻

- 社会基盤システムの様々な応答や現象のシミュレーション、例えば、連続高架橋の多点地震動入力振動シミュレーション、材料試験による橋脚のハイブリッド再現実験の開発等の構造物地震シミュレーション、コンクリート構造物・地盤の破壊シミュレーション、河川における物質循環シミュレーション等

◆ 創造エネルギー専攻

- 大気環境数値シミュレーションシステム、特に独自に開発した輸送スキームを用い、高精度、高効率な計算モデル

◆ GSI(C(国際)

- 数値流体力学、複雑形状、地球環境シミュレーション、流体一構造体連成問題、計算物理、**医用診断画像**、高密度プラズマ、並列計算、PCクラスター、コンピュータ・グラフィクス

◆ 機械宇宙システム専攻

- 乱流の微細構造について

◆ 電子機能システム専攻

- 半導体デバイスシミュレーション高機能LSIの大規模シミュレーション (物情との共通テーマ)

◆ 国際開発工学専攻

- 都市の温熱・大気環境シミュレーションを目的として、並列計算機による大気・地表モデルの連動解析を行う。計算負荷の大きい、総観気象場の大気流動シミュレーションと都市近傍の乱流・熱・放射交換過程のシミュレーション技術を連動させ、次世代型環境評価モデルの開発に取り組む。

◆ 物理情報システム創造専攻

- 隠れマルコフモデルの大規模トレーニング高機能LSIの大規模シミュレーション

プレス発表・報道・NEC

日経新聞2月18日

NEC発表会

◆ 2002/2/18 プレスリリース、多数の報道・取材

- 日経新聞、日刊工業新聞、日経コンピュータ、日経BP、電波新聞etc.

◆ 2002/3/7 NEC 発表会

- NEC小林執行常務によるブレードサーバおよびグリッドへの取り組み等の発表
- 松岡のTitech Gridに関する発表
- 記者団からのQ&A(数十名)



Titech Grid 今後の予定

◆平成14年3月末-各サイトへの設置

◆平成14年度前半 (Phase1, Phase2)

- 各種グリッドソフトウェアの運用テスト
- 参加専攻への限定公開(資源をある程度自由に使用)
 - ◆ グリッドユーザグループの結成
- NEC・センターによるグリッドソフトウェア、ならびにSCoreなどのオリエンテーション
- IBMによるRegatta High-end Nodeの追加

◆平成14年度後半 (Phase 3)

- 学内一般ユーザへの一部資源の公開

◆平成15年度 (Phase 4)

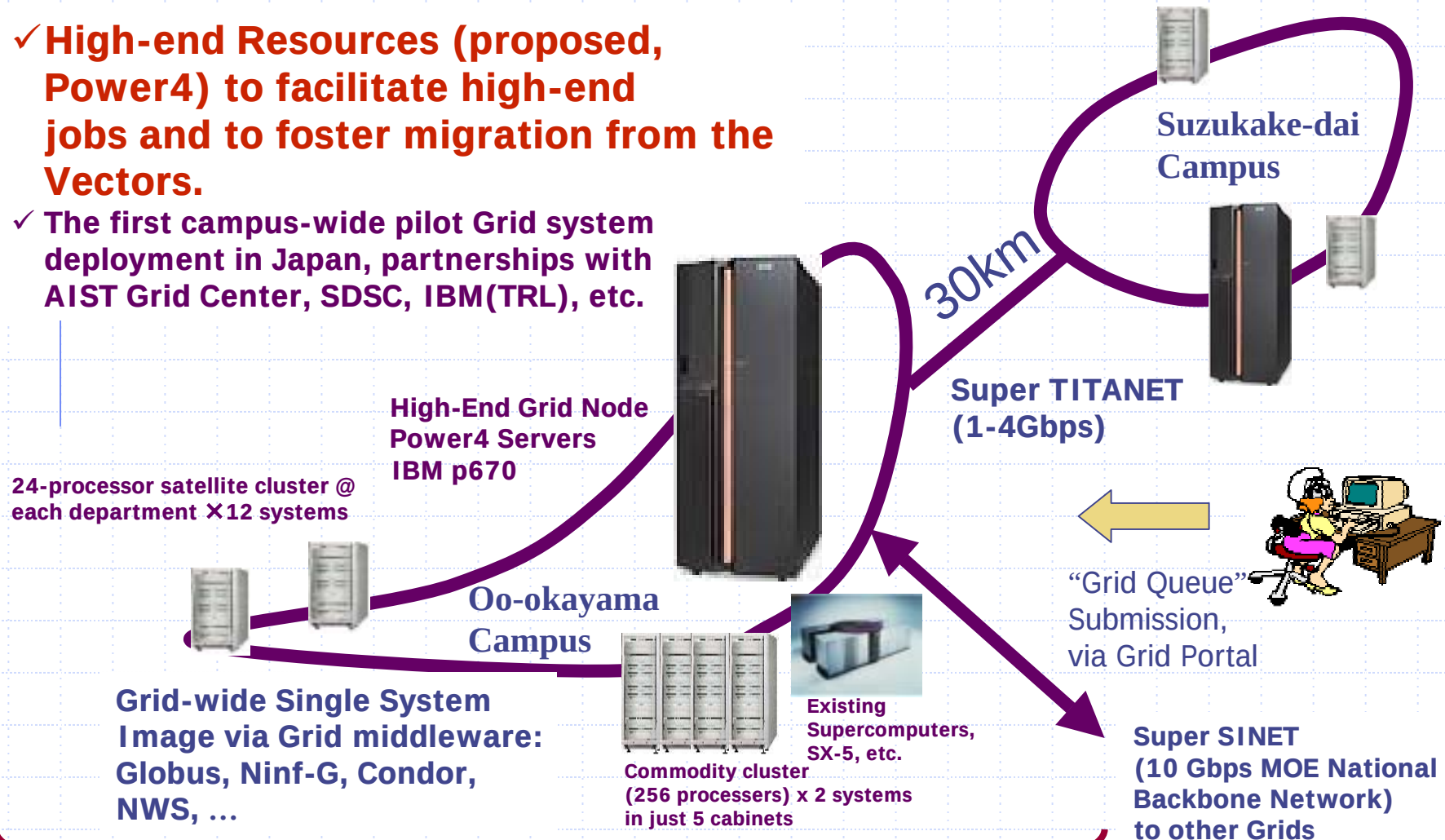
- 本格運用: 資源ブローカー、グリッドキューの実現

IBMの参加: Titech Heterogeneous Campus Grid Infrastructure



- ✓ **High-end Resources (proposed, Power4) to facilitate high-end jobs and to foster migration from the Vectors.**

- ✓ **The first campus-wide pilot Grid system deployment in Japan, partnerships with AIST Grid Center, SDSC, IBM(TRL), etc.**



Heterogeneous Grid resources to scale to 30 TeraFlops, 1Petabyte by 2005

ACT-JST提案広域コモディティ グリッドプロジェクト

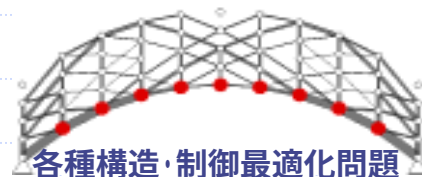
2) コモディティクラスタの高信頼性ミドルウェア

- a) 柔軟でユーザ等価、かつpartial faultに対応する高性能な耐故障性
- b) クラスタの動的な更新: Plug&Play性
- c) 異機種実行時の性能の可搬性



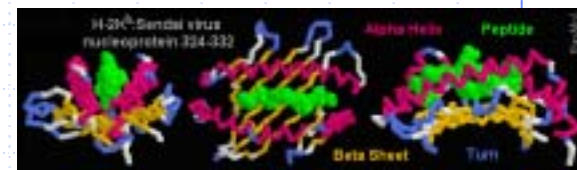
3) GridRPCのスケラブル・耐故障拡張

- a) 数百万タスクパラレル / 数万並列スケラブル起動
- b) 種々フォルトモデルでの対故障性
- c) さらにユーザ透過GridRPC-API



$$\begin{aligned}x_1 + x_2 + x_3 &= C_1 \\x_1 x_2 + x_1 x_3 + x_2 x_3 &= C_2 \\x_1 x_2 x_3 &= C_3\end{aligned}$$

Cyclic Polynomial
全解列挙問題



蛋白質NMR
構造決定問題

東工大

Super
TITANET

(Super)
SINET/
IMNET

GridRPC

京大

産総研

徳島大

目標: コモディティクラ
スタ+グリッド+ミドルウェア+高度
最適化アプリで広域でTFlopsを
1週間維持、1/100のコスト

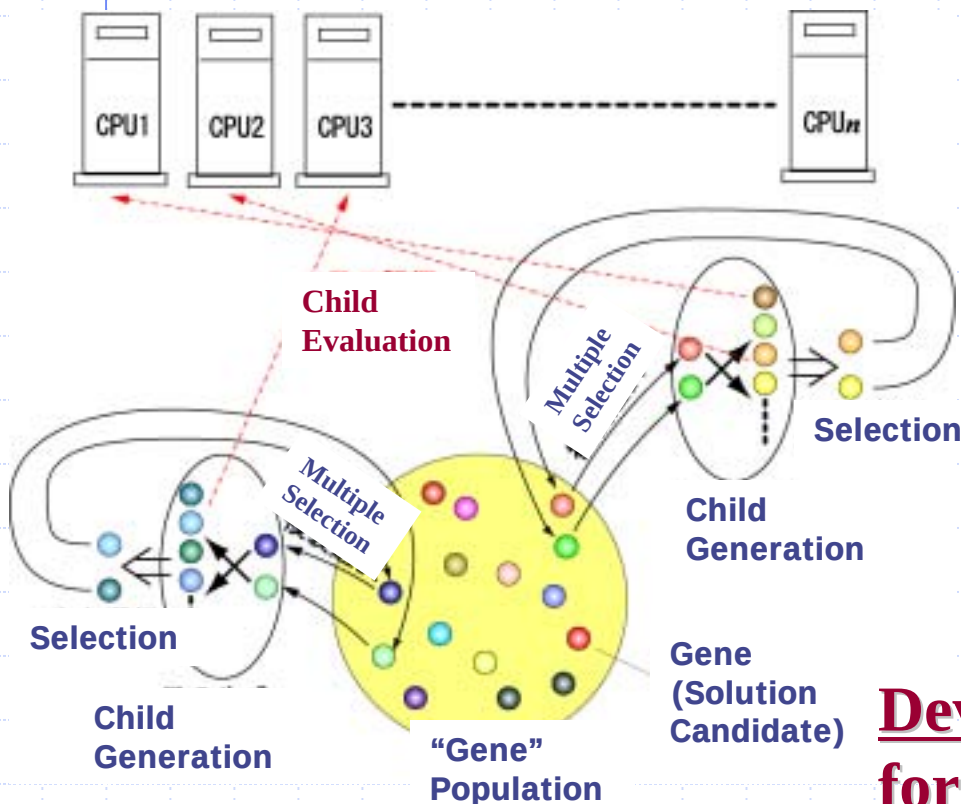
- 1) コモディティPCクラスタインフラ増強・テストベッド構築
> 1000プロセッサ、数TeraFlops

4) Terascale Genetic Algorithm (GA) and its Bioinformatic Application on the Commodity Grid

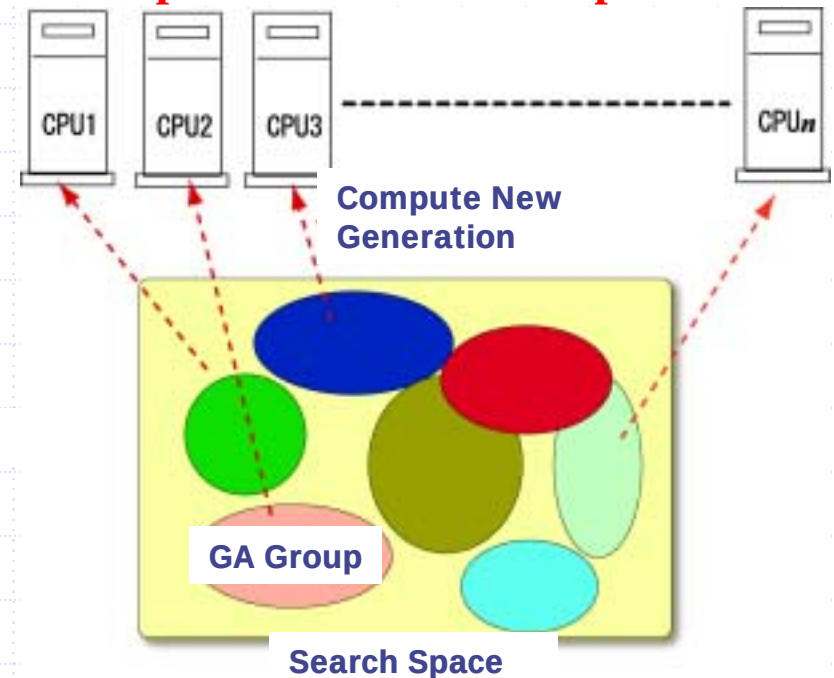
Genetic Algorithm: Simulates Biological Evolution for Powerful Global Optimization

- Numerical/Structural Optimizations
- Global Optimizations
- Multi-Purpose Optimizations

Method 1: Distribute Evaluation of Genes to Multiple CPUs on the Grid



Method 2: Spatically Divide Search Space into Multiple Parallel GA Groups on the Grid



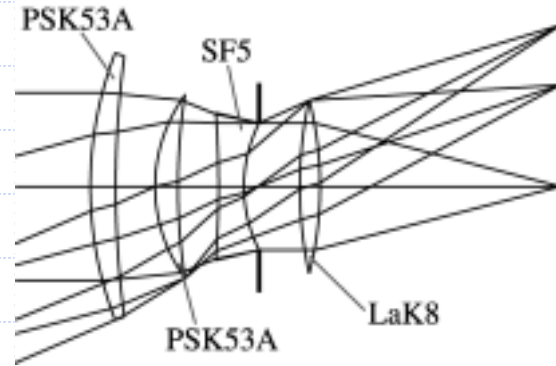
Develop GA Algorithm Appropriate for the Commodity Grid

最適化アプリケーション開発例: グリッド上の並列GA最適化によるチャレンジ(担当:小野@徳島大)

専門家が試行錯誤的に解を探索している困難な問題領域へ適用

レンズ設計

理想的な像に近くなるように
曲率, 面間隔, 材質を最適化



NMR蛋白質構造解析(タンパク3000)

観測されたNMRシグナルを
満たすように構造を最適化
(従来は人で数ヶ月～一年以上)

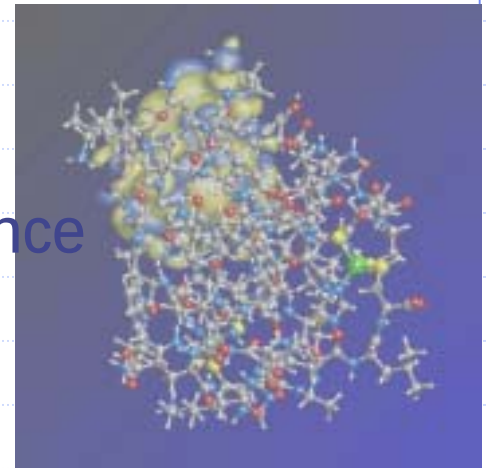


→ 解評価の時間コストが大きいため大規模並列化が必要!!
現在のNMRの測定限界である
分子量30,000Daクラスの蛋白質の立体構造決定を予定

Petascale Data Intensive Computing / Large-scale Data Analysis

◆ Data intensive computing, large-scale data analysis, data mining

- High Energy Physics (e.g. CERN LHC)
- Astronomical Observation, Earth Science
- Bioinformatics...
- Good support still needed



◆ Large-scale database search, data mining

- E-Government, E-Commerce, Data warehouse
- Search Engines
- Other Commercial Stuff

「データグリッド」問題

◆ 「地理的に分散している(数千人)もの集団がそれぞれの資源をプールして、何ペタバイトにもわたるデータに高度で膨大な計算力を必要とする処理を行う。」

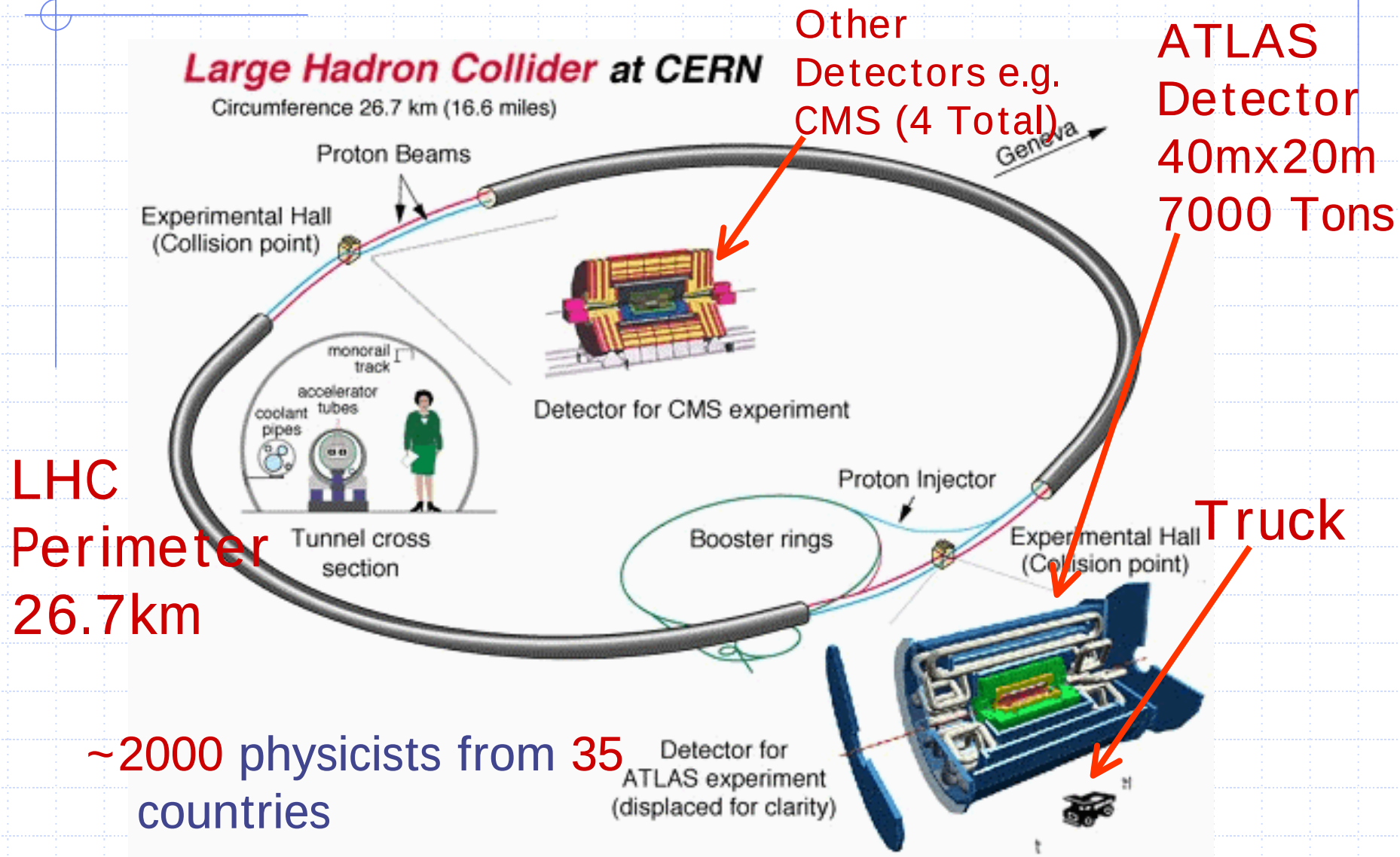
◆ ちなみに、この問題は:

- 多くの科学技術の分野にとって共通の問題である
- 他のグリッドにおける(技術的)問題と重なりが多い

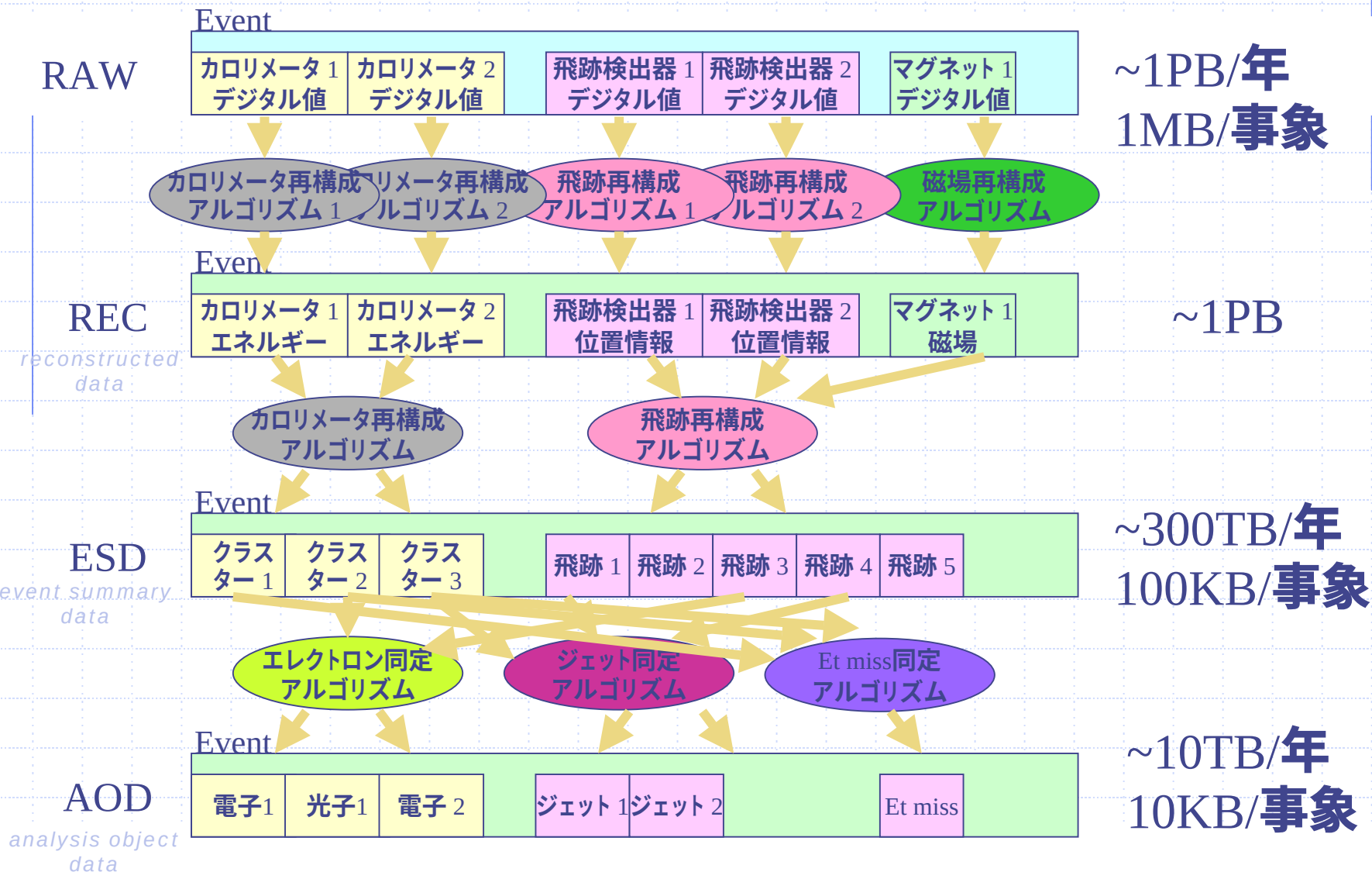
主要なデータグリッドプロジェクト

- ◆ Earth System Grid (DOE Office of Science)
地球(気象)システムグリッド (米国エネルギー省科学部)
 - データグリッド技術、気象・気候アプリケーション
- ◆ European Data Grid (EU)
ヨーロッパデータグリッド(EU)
 - データグリッド問題、EU諸国内での構築運用
- ◆ GriPhyN (NSF ITR)
“グリッフィン” (米国NSF)
 - 「仮想データ」のコンセプトの研究
- ◆ Particle Physics Data Grid (DOE Science)
(高エネルギー)粒子物理グリッド (エネルギー省科学部)
 - 高エネルギー物理学でのデータグリッドのアプリケーション

Example: Large Hadron Collider Accelerator at CERN and the ATLAS Detector



高エネルギー実験のデータ解析モデル





Analysis Model Schema (LHC ATLAS, CMS, ...) – EU/CERN DataGrid

◆ Hierarchy of Resources (Tier0, Tier1, Tier2, ...)



~PBytes/sec

Online System

~100 MBytes/sec

1 TIPS = 25,000 SpecInt95

PC (1999) = ~15 SpecInt95

*Bunch crossing per 25 nsecs.
100 triggers per second
Event is ~1 MByte in size*

~622 Mbits/sec or Air Freight **Tier 0**

Offline Farm
~20 TIPS

~100 MBytes/sec

CERN Computer Center >20 TIPS



Tier 1

KEK

Japan

Germany
Regional
Center

Italy Regional
Center

Fermilab
~4 TIPS



Tier 2

Tier2 Center
~1 TIPS

Tier2 Center
~1 TIPS

Center
~1 TIPS

Center
~1 TIPS

Center
~1 TIPS

~2.4 Gbits/sec

Tier 3

~622 Mbits/sec

Institute
~0.25TIPS

Institute

Institute

Institute

Physics data cache

100 - 1000
Mbits/sec

Workstations

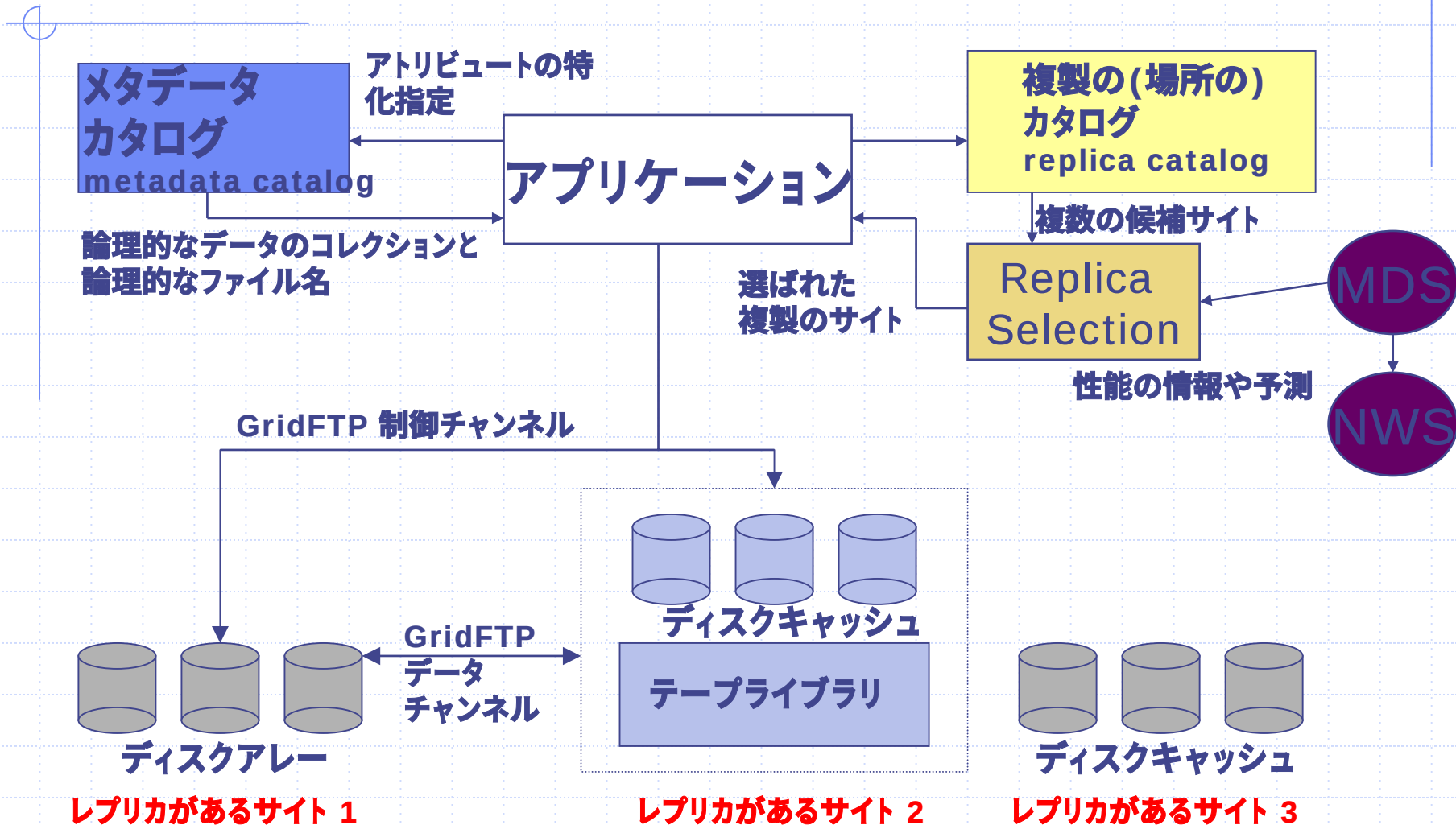
Tier 4

Physicists work on analysis "channels".

Each institute has ~10 physicists working on one or more channels

Data for these channels should be cached by the institute server

Globusデータグリッドの標準的なアーキテクチャ



Grid Data Farm (Gfarm) の発想

- ◆ 安価なPCを数千台規模で並べるのであれば、そのローカルディスクをシステム全体のストレージとして活用できないか？
- ◆ 解析は事象ごとに独立なのだから、データをプログラムが実行されるCPUまで送るのではなく、プログラムをデータが存在するCPUまで送ればよい
- ◆ データを細かく分けて各ノードに分散し、データのセットに論理名をつけて管理すればCPUとI/Oの双方の負荷分散になる
- ◆ データの履歴管理機能を持てばデータの動的再生成が可能になる
- ◆ ネットワーク上のファイル転送も並列に行うことができる

論理ファイル名

gfarm> exec <program> gfarm:<filename>



% <program> gfarm:<filename>

% <program> gfarm:<filename>

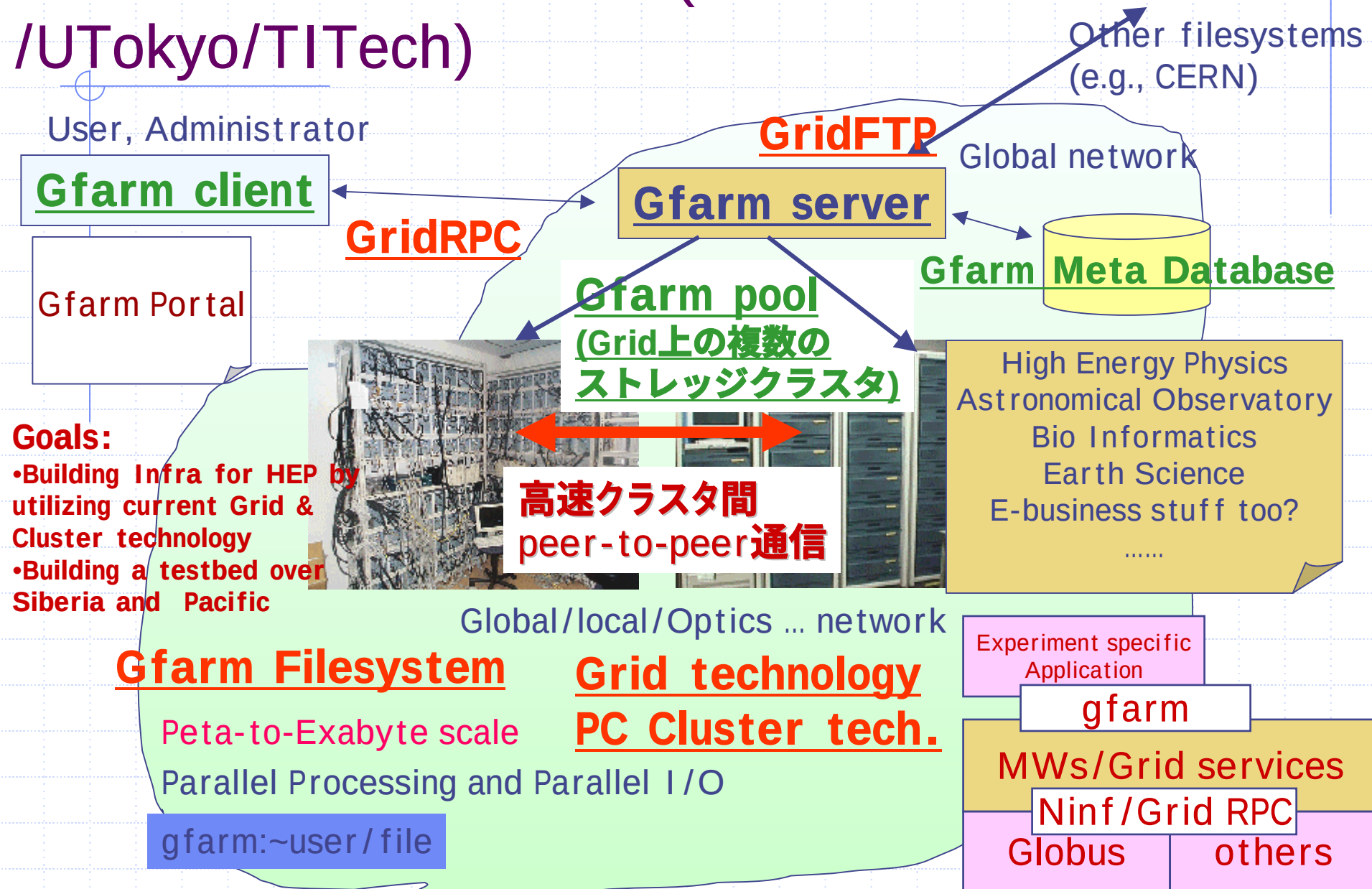
% <program> gfarm:<filename>

各ノードの物理ファイルを gfs_pio_open

"もともと並列な処理なら、すべてを並列なままで扱おう"

Gridによる大規模データ解析

Gfarm/ATLASプロジェクト(KEK/AIST/UTokyo/TITech)



Gfarmのデザイン

◆ Grid filesystem for Petascale data

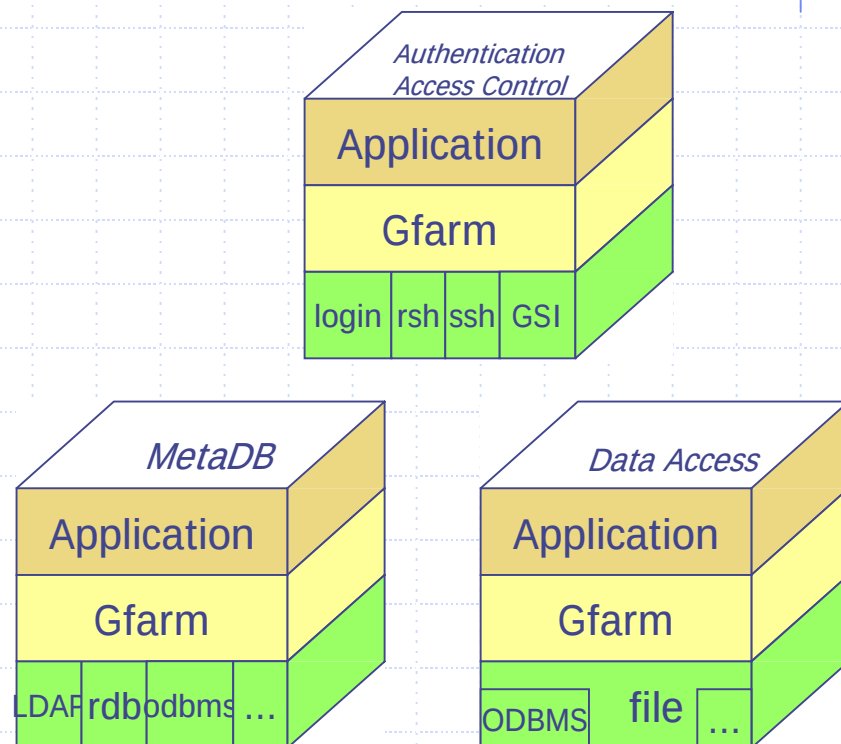
- >100MB/s incoming streamed data
- Petascale online storage on Disk
- 1000s of processing / storage nodes in cluster

◆ Parallel I/O and Parallel processing

- Coarse Grained, Task Parallel, Data Intensive
- Multiple massive runs (several hours)
- Analysis programs change frequently

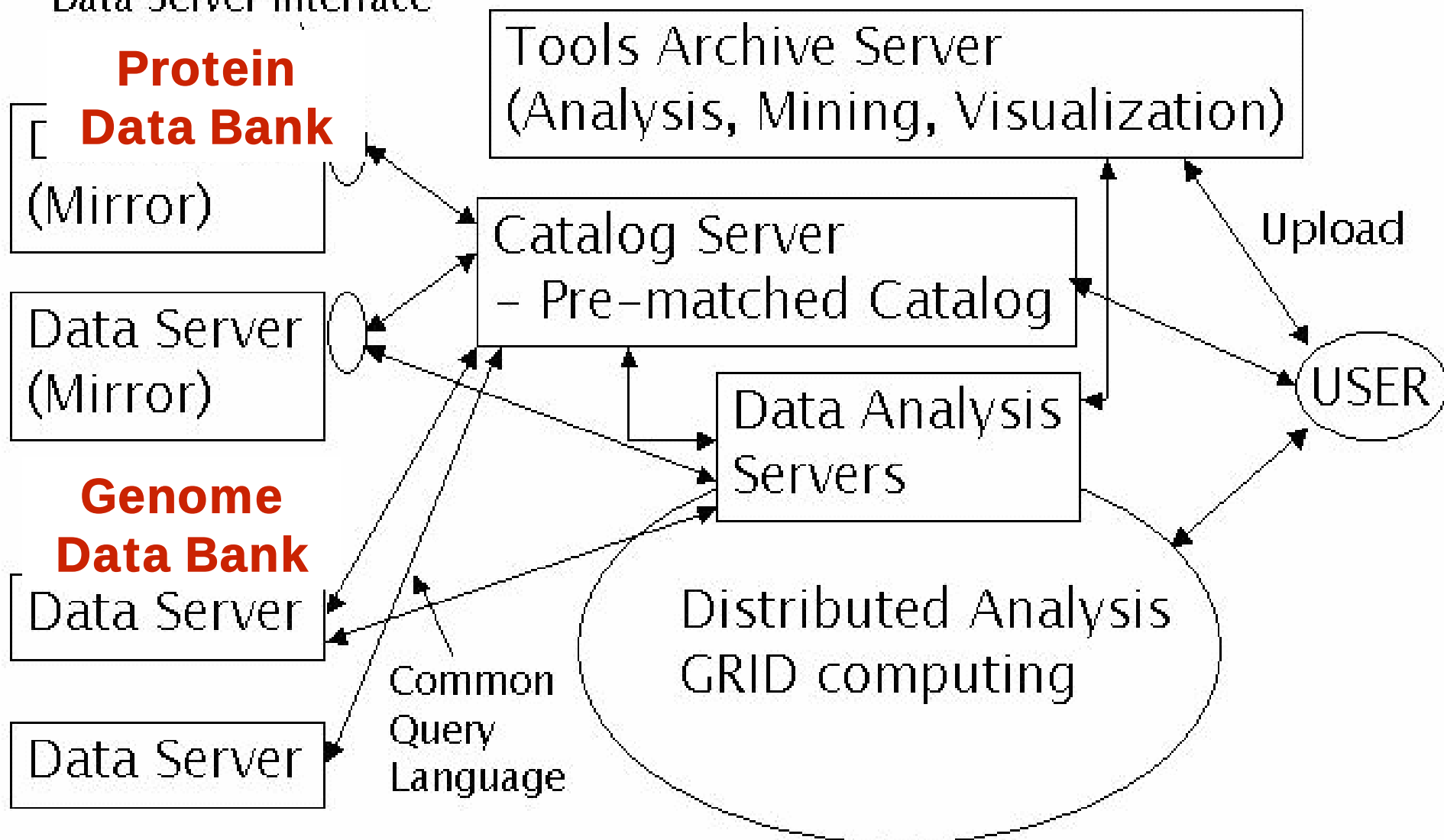
◆ Based on Grid technology, Network tech. and PC cluster tech.

- Ninf, GridFTP, Globus, NWS

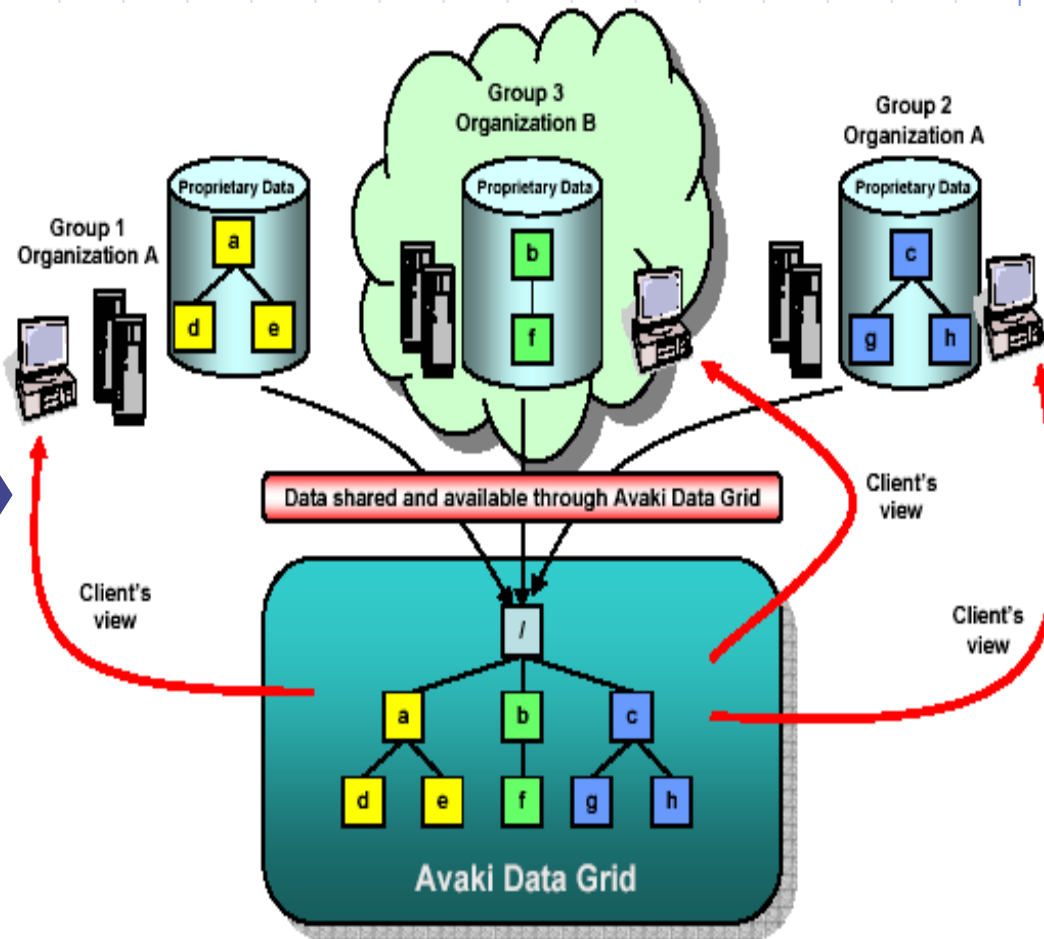
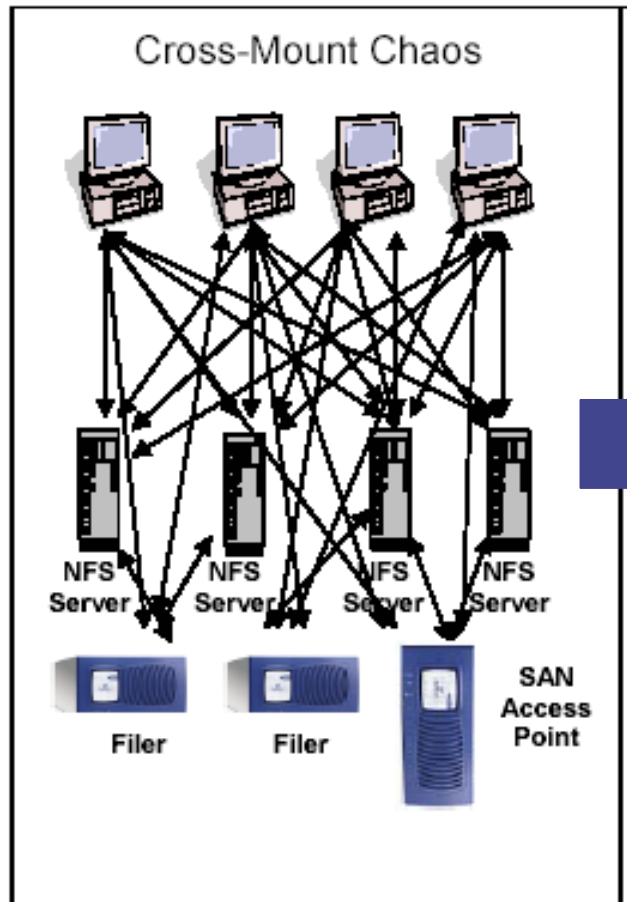


バイオにおけるデータグリッド

Data Server Interface



Avaki社の商用データグリッド



特定領域研究C: A05:最先端の情報通信システムを活用した新しい研究手法

計画班

- ◆ Grid 技術を適応した新しい研究手法とデータ管理技術の研究(下條担当)
 - バイオグリッドなど
- ◆ Grid におけるpeer-to-peer 大規模データ処理に関する研究(松岡担当)
 - GfarmのミドルウェアR&D用の基礎研究、プロトタイプクラスタの構築

公募班 x 9

医療用GRIDアプリケーションの開発(下條班、阪大)

バイオアプリとしての
MEGデータ解析システム

DVデータ映像転送

大阪大学



阪大病院



遠隔医療



解析効率向上

Parallel Computing
on Grid

大阪大学CMC



Centre for Multimedia and
Network Technology
NTU, Singapore

BioInformatics Institute
Singapore

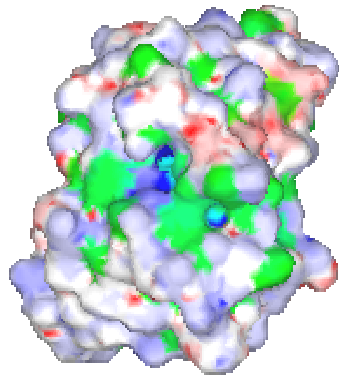
産業技術総合研究所
関西センター (池田)
ライフエレクトロニクスラボ



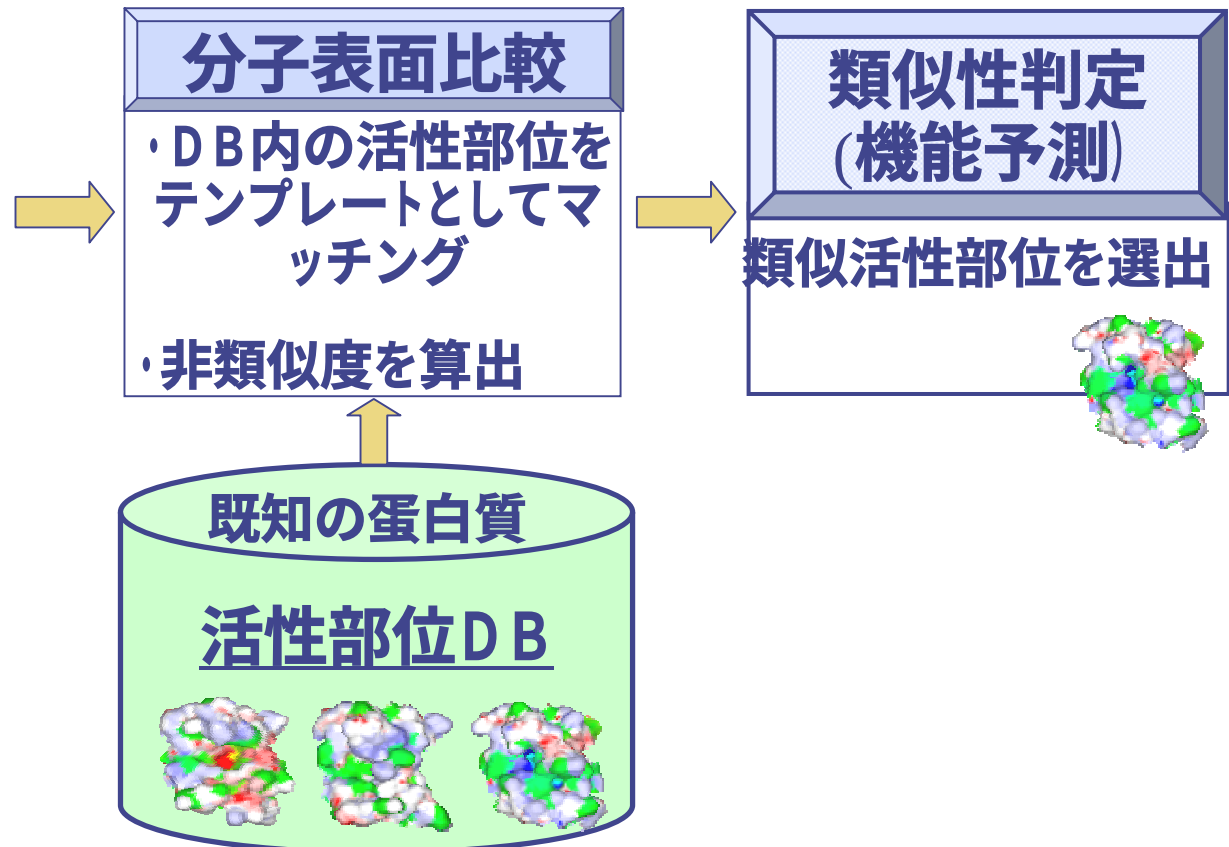
空間パターン情報の並列処理による蛋白質機能解析(大川、阪大)

◆ グリッド上の蛋白質の機能解析のための大規模計算

■ 構造からの機能予測⇒空間パターンマッチング

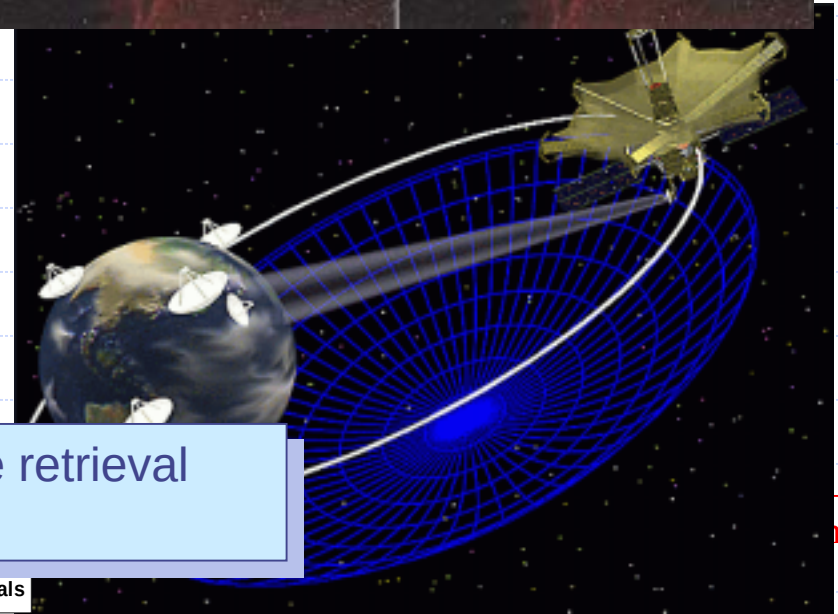
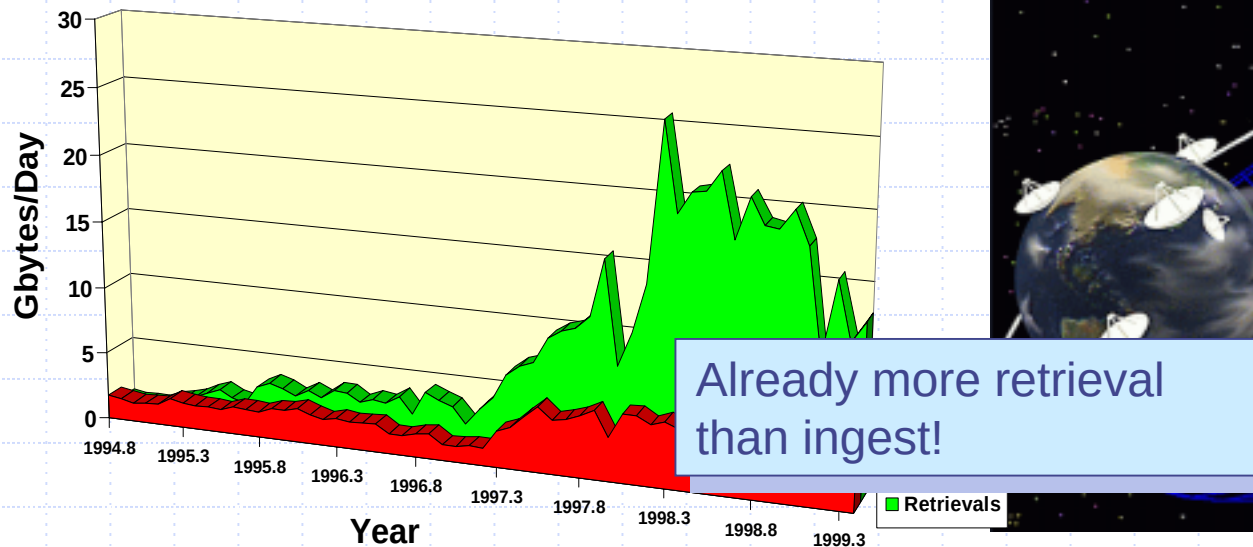
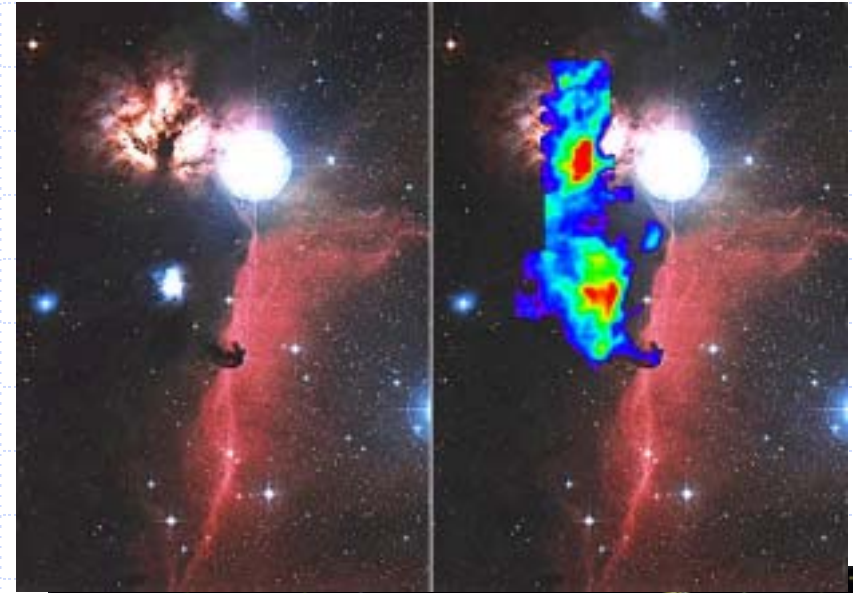


機能未知蛋白質の
表面データ



Archiveを用いた天文学研究

- large fraction of astrophysics papers based on archives
- HST archive use growing faster than archive
- Analysis on Grid

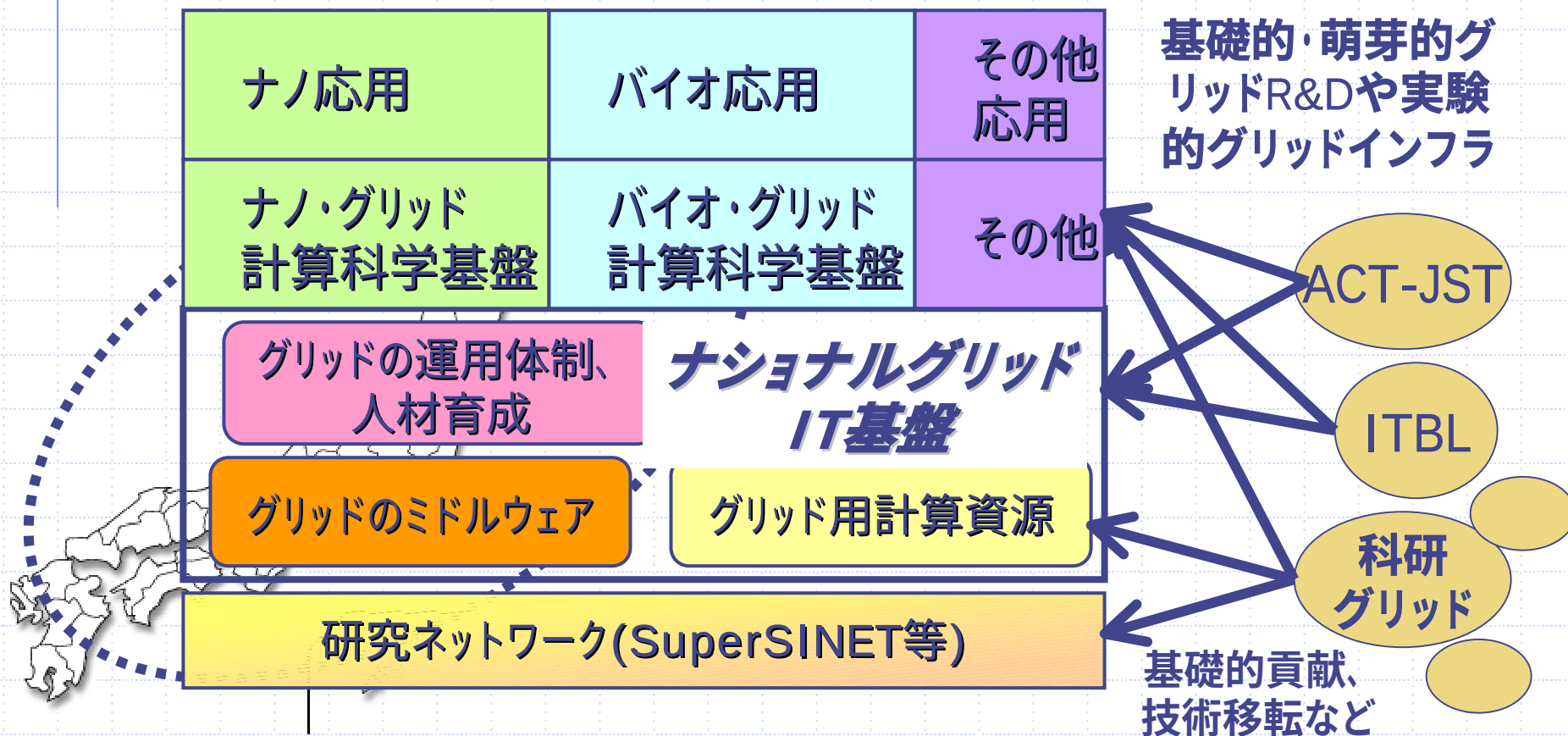


project

ナショナルグリッドに向けて

◆ 産官学共同かつアプリとITの連合によるグリッド基盤

- SuperSINETをベースにグリッド研究開発基盤の積み上げ
- 現在、文部科学省で検討中 (National Research Grid Infrastructure, NaReGI)



グリッドのバイオへの産業応用

- ◆ Biochemistry, Bioinformatics, Medical-informaticsへの産業応用
- ◆ 例: 創薬 – 相同性解析(BLAST, Smith-Waterman)、SNPS解析、ドッキング、MO/MD、各種データベース統合
- ◆ 欧米の製薬会社、医療会社等ではクラスタを含め、積極的なグリッドIT技術を導入
- ◆ グリッドIT技術の専門会社も
 - P2P “desktop” Grid – United Devices, Entropia, Platform Computing
 - データベース統合、管理 – Avaki
- ◆ セキュリティ等の技術的な問題-> 技術開発や運用によって解決
- ◆ IBMを含む、わが国のメーカにとっても有望な市場

バイオグリッドの様々な動き

- ◆ **グリッドベンチャーユナイテッド デバイス社、製薬会社と組んで、白血病薬やAnthraxワクチンの開発**
 - <http://www.ud.com/home.htm>
- ◆ **スタンフォード大学 Protein Folding @ home**
 - <http://folding.stanford.edu/>
- ◆ **Avaki社のLife Science用データグリッド基盤**
 - <http://www.avaki.com/>
- ◆ **Entripia社 AIDSの特効薬**
 - <http://www.entropia.com/> (後述)
- ◆ **North Carolina BioGrid Team**
 - <http://www.ncbiogrid.org/>
- ◆ **シンガポールのBioinformatics InstituteでのGrid Computing Training Program開始**
 - <http://www.bii-sg.org/index.html>
- ◆ **大阪大学サイバーメディアセンター「バイオグリッド」**
- ◆ **IPAB(理研GSC, 産総研CBRC等)でのIPAB-GRID**
- ◆ **EBIで、グリッド計算のプラットフォームを導入 LSF MultiClusterで200GByteある配列とタンパクデータの処理。**
 - http://www.gridcomputingplane.t.com/news/article/0,,3281_962061,00.html

産業とグリッド

◆ 1. 高度な科学技術による次世代の産業振興

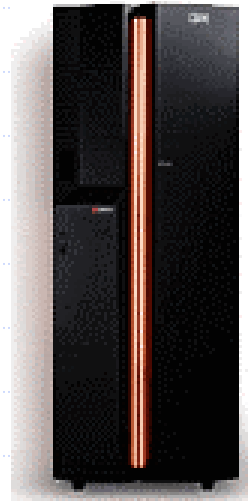
- ナノテク産業、バイオ産業
- 理論と実験と計算が密な関係
- 今までは不可能だった莫大な計算、データ量、分散したデータベース、国際共同研究開発による成果

◆ 2. E-Businessインフラへの発展

- OGSA (Open Grid Services Architecture): IBMによる、ビジネス系の次世代ソフトウェアインフラである

OGSA: Web Servicesとグリッド 技術の統合

- ◆ Web Services: Web技術の要素をe-ビジネスの基幹部分の標準化に用いる技術
 - 今後のe-ビジネスの主流・標準に
 - 元々はユーザインターフェースとして開発されたWebを用いるので、様々な脆弱性が指摘
- ◆ IBM OGSA (Open Grid Services Architecture)
 - 2002年2月(衝撃的)発表: Web Services技術とグリッド技術の完全な融合
 - 相互の利点を活用し、磐石なe-ビジネス基盤に
 - ◆ グリッドのセキュリティや資源管理を活用
- ◆ 今後、OGSAはe-ビジネスの標準基盤となる可能性
 - IBMでは200人近い開発体制
 - 我が国の計算機ベンダーも危機意識が高い



まとめ

今後の科学技術の進展には、e-サイエンスの根幹として、**高速ネットワーク**とそれによって可能になる**大規模計算、大規模データ処理、大規模協調環境**が必須

- 新しい創薬、物質設計、気象予測などが可能
- **バイオ**、天文、高エネルギー物理、ナノにおけるIT研究者の深い協力が必要 ⇒ 欧米ではすでに、わが国は？

グリッドはそれを可能にするブロードバンド時代の基盤技術

- 仮想的な大規模e-サイエンス環境を実現

IT社会の基盤を支えるグリッド技術R&Dとインフラ整備、それを実証する研究ネットワーク(SuperSINETなど)、そして人材育成が必須

NaReGIで実現？

参考: グリッドに対するよくある誤解

◆ スパコン編

- 「スパコンを高速ネットワークで接続したものがグリッドである」
 - ◆ ⇒グリッドはスパコンのみならず、様々なネットワーク上の計算資源を統合するIT基盤
- 「大きなスパコンを作ればグリッドはいらない」
 - ◆ ⇒補完的な技術。得意な計算のクラスが異なる。分散更新の必要性も。
- 「グリッドがあれば大きいスパコンを作る必要はない」
 - ◆ ⇒計算の性質により、大きい計算機は必要。むしろグリッドによる効率的な資源配分により、同じ投資でも合算で飛躍的に巨大なペタフロップス級のインフラが形成できることが重要

◆ 分散コンピューティング技術編

- 「グリッドは分散コンピューティング的には新しくない」
 - ◆ ⇒ 動的資源管理、ヘテロ対応、安全性、高性能、運用技術などで様々な研究あり、実用的な技術視点など。
- 「グリッドは分散資源を集中管理するものである」
 - ◆ ⇒むしろ逆、ヘテロで動的な資源を分散的に管理してVCとしてのSingle System Imageを見せるか、という技術

◆ グリッド技術編

- 「Globusをインストールすればグリッドができる」
 - ◆ ⇒ GlobusはGridOSレベルの最も低位な共通サービスを提供するのみ。Globus上でいきなりグリッドプログラミングを行うのは、Linux上でソケットを使っていきなり並列プログラミングするようなもの。
- 「グリッド化するとユーザの情報などが他サイトに漏れる」
 - ◆ ⇒ グリッドの基本ユーザ情報はCA (Certificate Authority)で管理されるが、それと個々のマシンでのユーザアカウントの有無・細かい情報とは別。グリッドの個人のCertificateはいわば科研の研究者番号のようなもの。
- 「VPNなどで資源をプライベートに接続すれば安全なグリッド環境ができる」
 - ◆ ⇒ グリッドはVOをまたがるVCを動的に形成できるのがポイントで、そのためのPeer-to-Peer性の保証には意味のある技術。ただし、それだけではNGで、single sign-onのセキュリティなど、様々なレベルでのセキュリティが必要
- 「わが国独自のグリッド技術 (あるいはグリッドにかわるもの)を目指すべき」
 - ◆ ⇒ インターネットと同じで、相補的な連携が必要。独自の技術的な部分は必要だが、国際的な孤立は自爆的。むしろ「わが国がグリッド技術における幾つかの分野において優位性を目指すべき」。