

# グリッドコンピューティング について

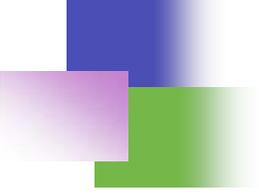
・

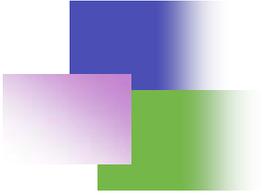
## 観測・計算を融合した階層連結 地震・津波災害予測システム

2007年4月18日

中島 研吾

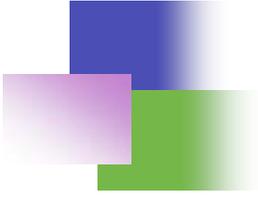
並列計算プログラミング(616-2057)・先端計算機演習I(616-4009)

- 
- Gridコンピューティングについて
  - 観測・計算を融合した階層連結地震・津波災害予測システムについて



# Gridコンピューティングについて

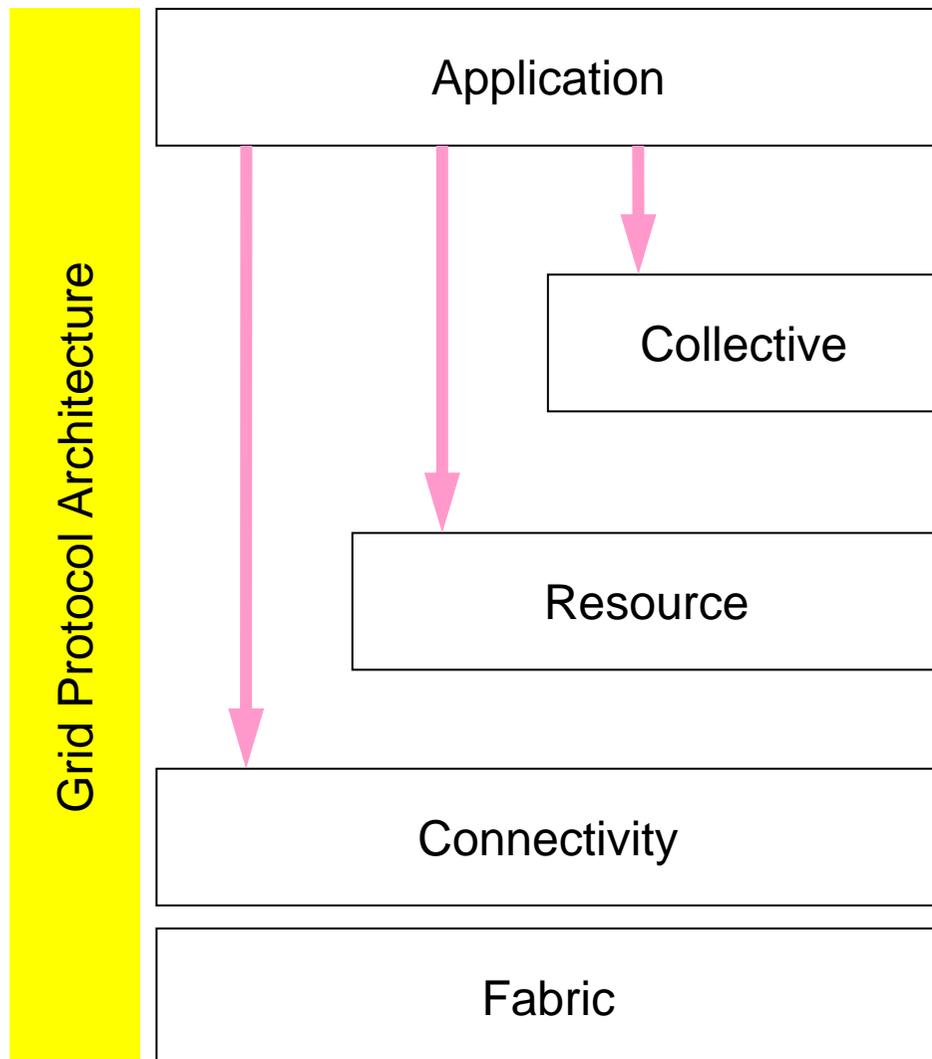
- Gridコンピューティングの黎明期：分散コンピューティング
  - ドイツ(Max-Planck)で計算したブラックホールのシミュレーション結果を、シカゴで可視化処理し、それを西海岸のサンディエゴで実際に見る・・・1995年に既にリアルタイムで実現されていた。
- 定義
  - 地理的, 組織的に広範囲に分散した様々な種類のCPU, メモリ, 情報, ディスクなどの資源を, ユーザーの需要と提供者のポリシーに応じて動的に共有し, それらを協調的に連動させ, 問題进行处理するための技術
    - Virtual Organization (VO)
  - Ian Foster et al. "The Anatomy of the Grid"
    - <http://www.globus.org/alliance/publications/papers/anatomy.pdf>



# Gridコンピューティングについて (続き)

- Gridとは「電力送電網 (Power Grid)」に由来
  - コンセントにプラグを差し込めば誰でも利用できる。その電気がどこから来たのか、原子力か、火力かということに気にする必要もなく。
  - 計算機リソースを電気と同じように自由に使う・・・という発想
- 前頁で示した1995年の例にある「分散コンピューティング」と比較すると、より広範囲を対象とした考え方である。

# Grid Architectureの階層性



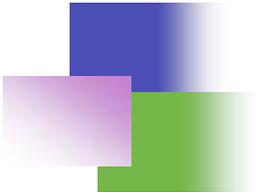
いわゆるアプリケーション。最上位の階層。用途に応じて様々な下位の層にアクセスすることが可能。

リソース全体を取り扱い、リソース間の相互作用を補完するプロトコルとサービスを提供。

上位層にローカルリソースを利用するためのプロトコルを提供。ローカルリソースの仮想化が行われる。

Fabric層のリソースにアクセスするために必要な通信と認証のプロトコルを規定。

ローカルリソース(計算機, ディスク, 装置等)をグリッド環境で利用するためのインタフェースを上位層に提供



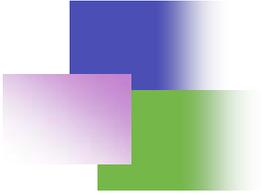
# The Globus Toolkit®

## ■ Globus Project

- アルゴンヌ国立研究所, 南カリフォルニア大学
- ヘテロジニアスな計算機環境下で, 複数コンピュータを結合し, それらのコンピュータのCPUや記憶装置のリソース管理を自動的に行い, これらのシステムにアクセスする利用者の認証, ファイルやデータのセキュリティを確保できるという高性能分散コンピューティングのためのミドルウェアの開発を目指す。

## ■ Globus Toolkit (GT)

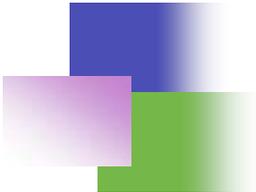
- ユーザー認証, グリッド資源配分管理などの基本機能を提供。
- 前頁の「Collective」より下位の層をカバー
  - アプリケーション開発者からは, 「Collective」以下の動作は隠蔽される。



# Open Grid Forum (OGF)

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

- Gridに関する様々な仕様, 基準を議論, 決定する機関
  - 以前はGGF (Global Grid Forum)と言っていた
- 様々なWGがある
- 年3回程度の会合
- GGF17
  - Tokyo, May 10-12, 2006.
- OGF20
  - Manchester, UK, May 7-11, 2007.

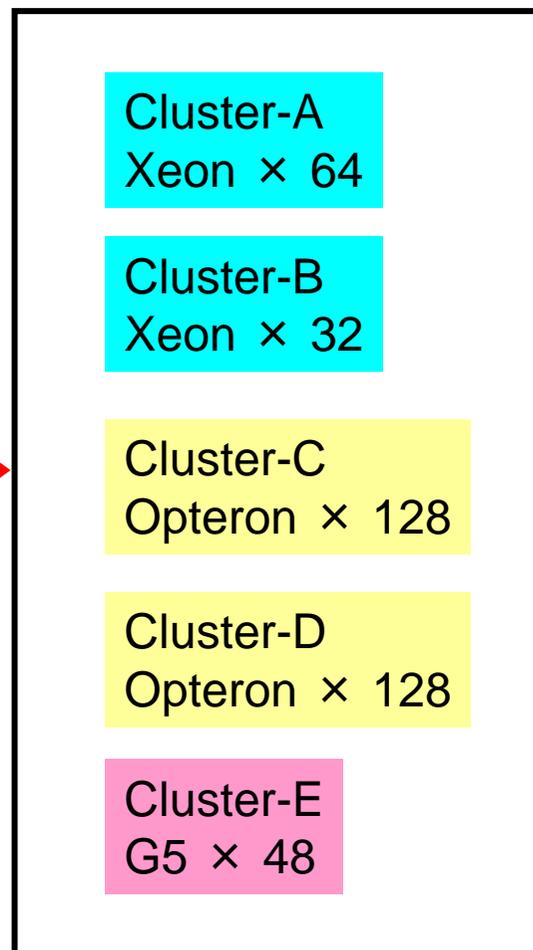


# Gridの分類(一様な分類ではない)

- Computational Grid
  - 計算機資源の共有, 仮想化
    - 複数のクラスタ
    - 実験装置, 電子顕微鏡などを共有する場合もある
  - Super Cluster
- Data Grid
  - データの共有, 仮想化
  - ファイルそのもの, ファイルシステム/データベース
- Business Grid
  - リソースの有効利用, というようなシステムが多い
  - 災害時のWEBサーバー復旧, 携帯電話利用によるWEBサービス
- WEBを介したサービスが中心

# 計算機資源の共有化

利用者  
32CPUを使った  
計算ジョブ投入

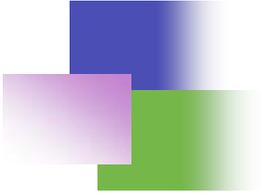


VO内のクラスタ群



32CPU空いているクラスタ  
を探し出してジョブを投入

各クラスタから、8CPU、  
4CPUという風に細切れに  
利用することも可能であるが、  
効率は低下。管理上の問題  
もある。



# データ共有の仮想化

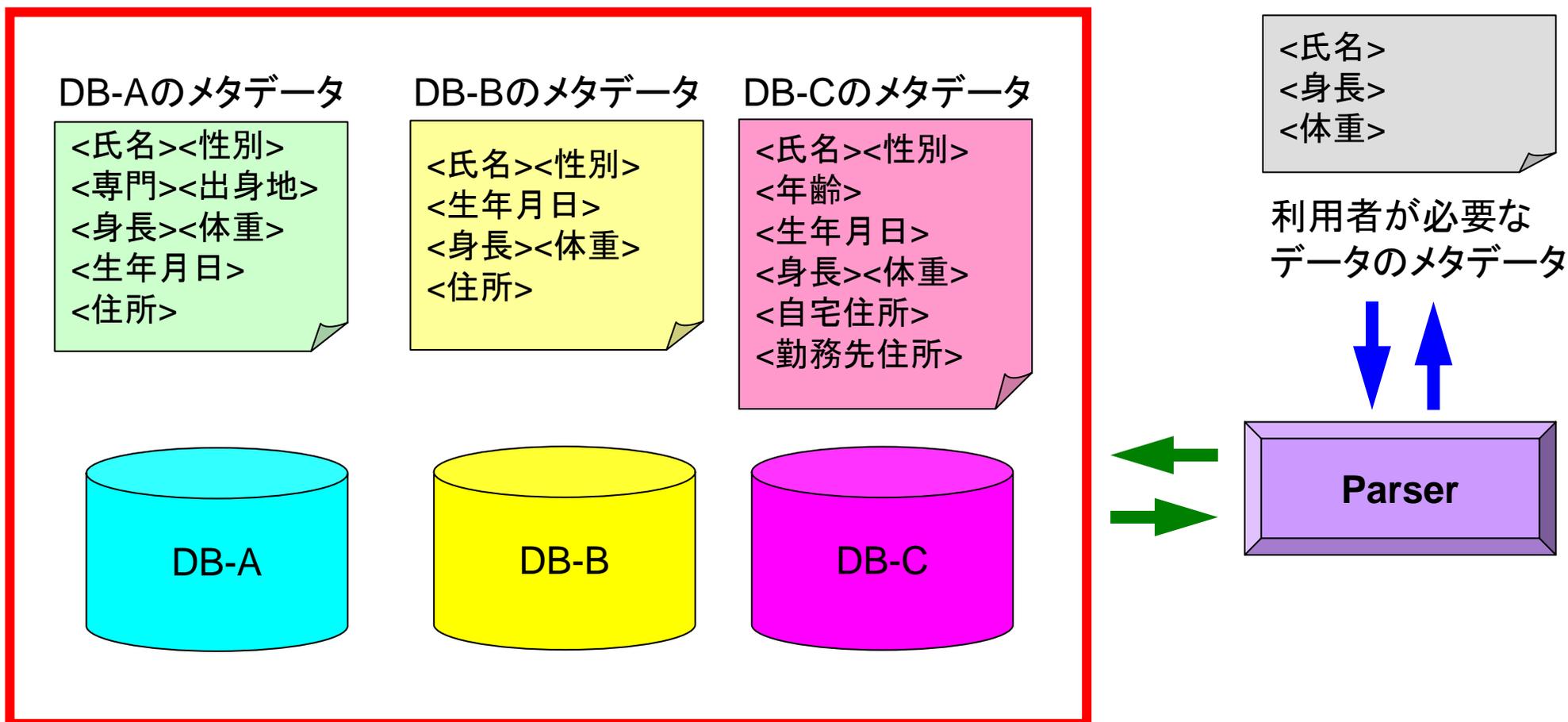
- 異なった形式で、異なった場所に保存されているデータを、グリッド技術を利用して、あたかも一つのデータベースにアクセスしているような操作を可能とする。
  - Interoperability: 異なった言語間・・・というときにも使う
- 様々なアプリケーション(例えば可視化プログラム)をネットワーク上で利用可能。
- データ形式の共通化
  - 膨大なデータで形式を共通化するのは不可能
  - メタデータ(「データ」の「データ」、データ項目を記述するデータ)を扱うことで必要な情報を引き出す。
    - XML (Extensible Markup Language )が広く利用されている。

# データ共有の仮想化(例)

3つのデータベースは情報も格納形式も違う

メタデータを利用して必要な情報を取り出す

Interoperabilityの保証, 元データの書き換え不要



# XMLによる記述例

## データ項目の格納順が異なる場合等に柔軟に対応可能

```

<?xml version="1.0" encoding="Shift_JIS"?>
<GeoFEMmesh>

<!--1.並列情報-->
  <処理-コメント空行> </処理-コメント空行>
  <PE-ID.eq.0> </PE-ID.eq.0>
  <処理-コメント空行> </処理-コメント空行>
  <隣接PE数.eq.0> </隣接PE数.eq.0>
  <必須空行> </必須空行>
  <処理-コメント空行> </処理-コメント空行>

<!--2.節点・要素情報-->
  <内点数Nおよび全節点数> </内点数Nおよび全節点数>
  <LOOP-内点数N>
    <処理-コメント空行> </処理-コメント空行>
    <G節点番号および座標成分> </G節点番号および座標成分>
  </LOOP-内点数N>
  <処理-コメント空行> </処理-コメント空行>

  <要素数NELM> </要素数NELM>
  <任意数処理-要素数NELM-要素タイプ> </任意数処理-要素数NELM-要素タイプ>
  <LOOP-要素数NELM>
    <処理-コメント空行> </処理-コメント空行>
    <G要素番号およびコネクティビティ> </G要素番号およびコネクティビティ>
  </LOOP-要素数NELM>

<!--3.通信テーブル-->
  <必須空行> </必須空行>
  <処理-コメント> </処理-コメント>
  <必須空行> </必須空行>
  <処理-コメント空行> </処理-コメント空行>

</GeoFEMmesh>

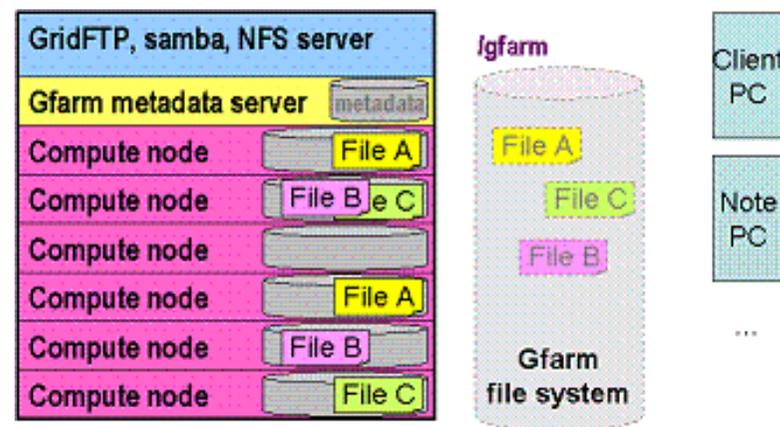
```

# Gfarm (Grid Data Farm)



<http://datafarm.apgrid.org/software/>

- 産業技術総合研究所 (AIST) グリッド研究センター
  - <http://www.gtrc.aist.go.jp/jp/>
  - 日本におけるグリッド研究, 開発の中心
  - + 筑波大学
- NFS等と同様のネットワーク共有ファイルシステム
  - グリッド(広域環境), LAN(組織内)等の環境で共有可能
  - ペタバイトを越える大容量, 大規模データ処理の要求に応えるスケラブルなアクセス性能を実現
  - メタデータサーバ, 多数のファイルシステムノードで構成される仮想ファイルシステム(クラスタ/グリッド・ファイルシステム)



# 国際的なプロジェクト

## ■ TeraGrid

- <http://www.teragrid.org/>
- NSF: National Science Foundation (全米科学財団), 資源共有

## ■ EU Data-Grid

- <http://eu-datagrid.web.cern.ch/eu-datagrid>
- もともとは加速器実験データを共有しようというCERN(欧州原子核共同研究機関)のプロジェクト

## ■ ApGrid (Asia Pacific Grid): アジア・環太平洋



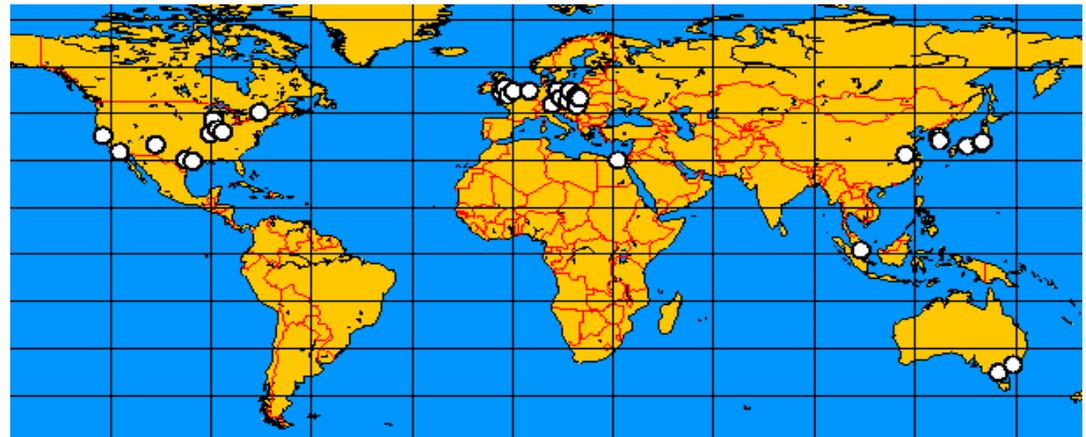
- <http://www.apgrid.org>
- 日本では産総研(AIST)を中心としたグループ
- 計算資源の共有
  - 各地の計算資源(主にクラスタ)をグリッド上で統合して, 仮想的な大規模計算環境を構築し, 大規模気候シミュレーションを実施した例がある

# ブラックホールのシミュレーション(1/2)

U.Potsdam/Max-Planck/GridLab

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

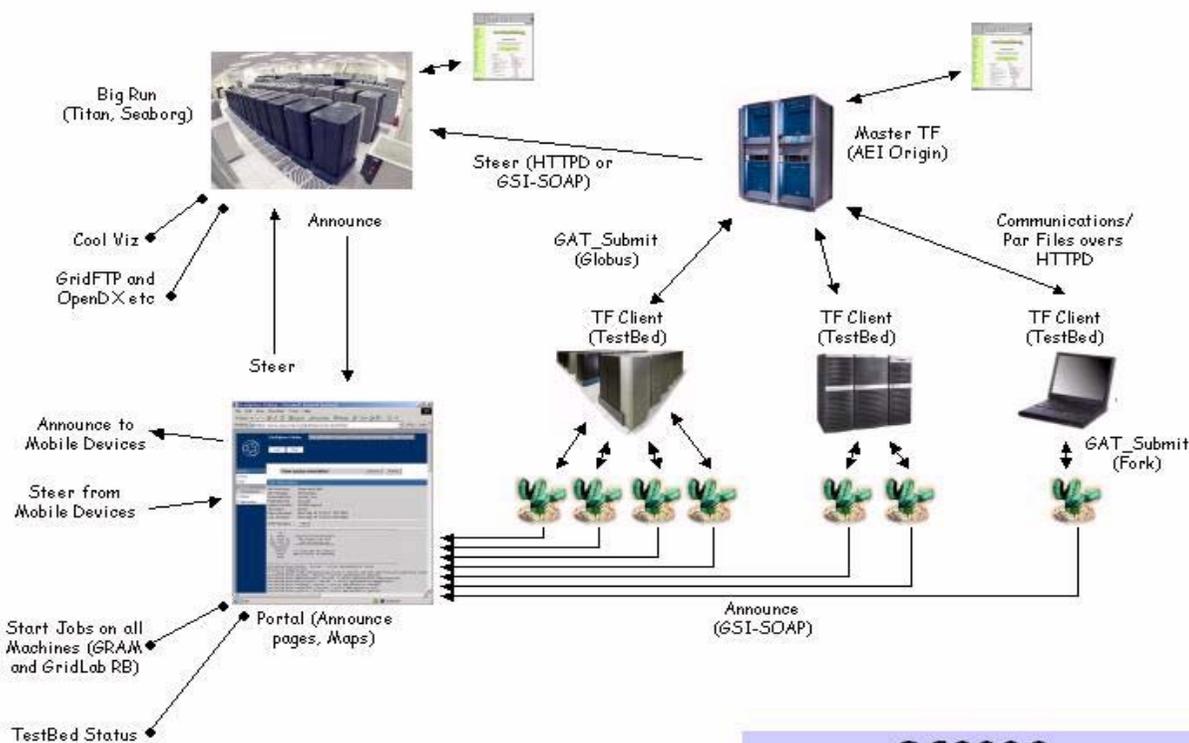
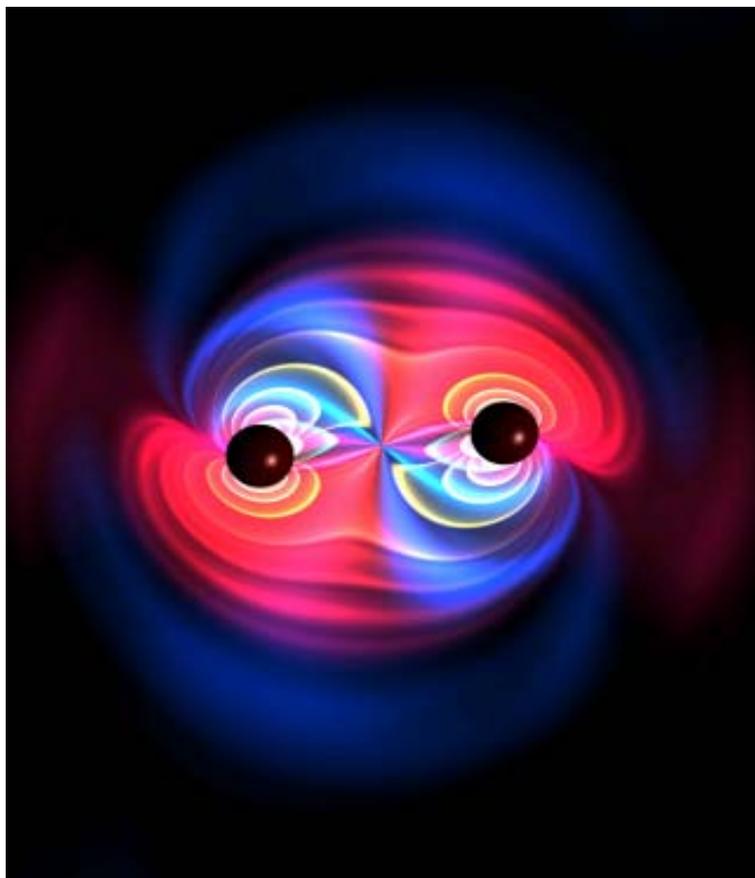
- ブラックホールのシミュレーション
- Dynamic Adaptive Distributed Computation by Cactus/MPI-G2:  
Gordon Bell in SC2001
  - Cactus: Globus上のグリッドアプリケーション開発環境
- Distributed Computation in SC2002 using Grid Appl. Toolkit (GAT) in GridLab.
  - 70 systems all over the world including Mac/OSX
  - Winner of Bandwidth Challenge
- GridLab.
  - 「Legacy Code on Grid」のためのツールキット
  - Cactusベース, C & Fortran



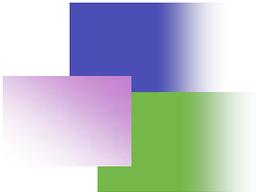
# ブラックホールのシミュレーション (2/2)

U.Potsdam/Max-Placnk/GridLab

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



SC2002  
Demonstrations



# NAREGI

National Research Grid Initiative

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

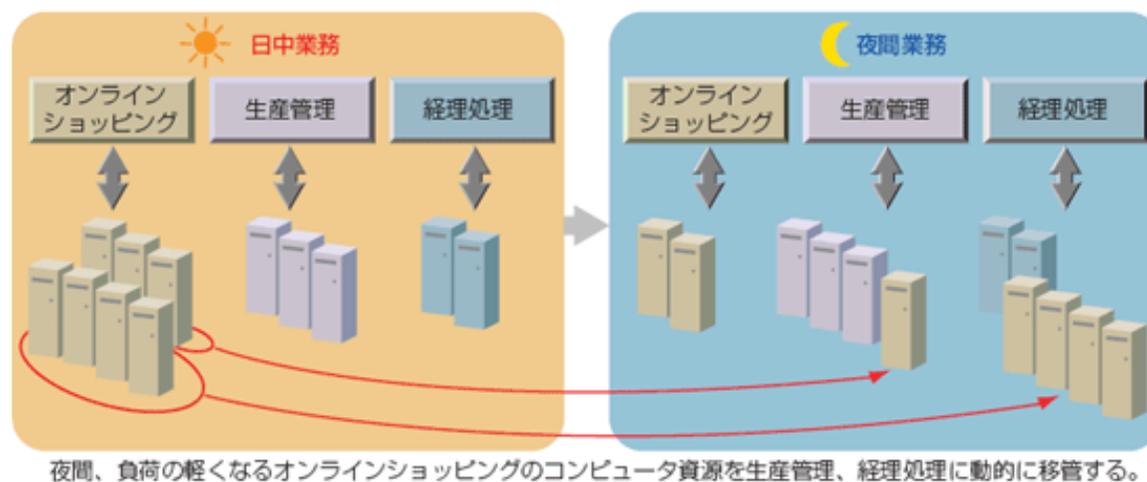
- 文部科学省管轄 産学官共同プロジェクト(2003～2007)
  - 国立情報学研究所:グリッドミドルウェア
  - 岡崎国立共同研究機構分子科学研究所:ナノアプリケーション
  - 産総研(AIST), 大学, 企業
- 目的
  - 研究用グリッド基盤の確立
  - グリッドミドルウェア製品化によるIT産業界活性化と国際競争力強化
  - グリッド技術標準化
  - グリッド分野における人材育成
  - アプリケーション拠点との連携を通じて, 産業界へのグリッド環境の普及を図る

# ビジネスグリッドコンピューティングプロ ジェクト：経済産業省，IPA

<http://www.ipa.go.jp/software/bgrid/>

- ビジネス分野においてグリッドを活用し，産業競争力の強化を図ることを目的。2003～2005年度のプロジェクト。
- 具体的ビジネス現場への応用を念頭に置きつつ，企業等がIT資源を最大限に活用して，高信頼なサービスを提供していくために必要となる基盤ソフトウェアを開発し，実証実験を実施する。
- 成果普及のため，一部についてはオープンソフトウェアとして公開。
  - 2006年度～
  - コンソシアム

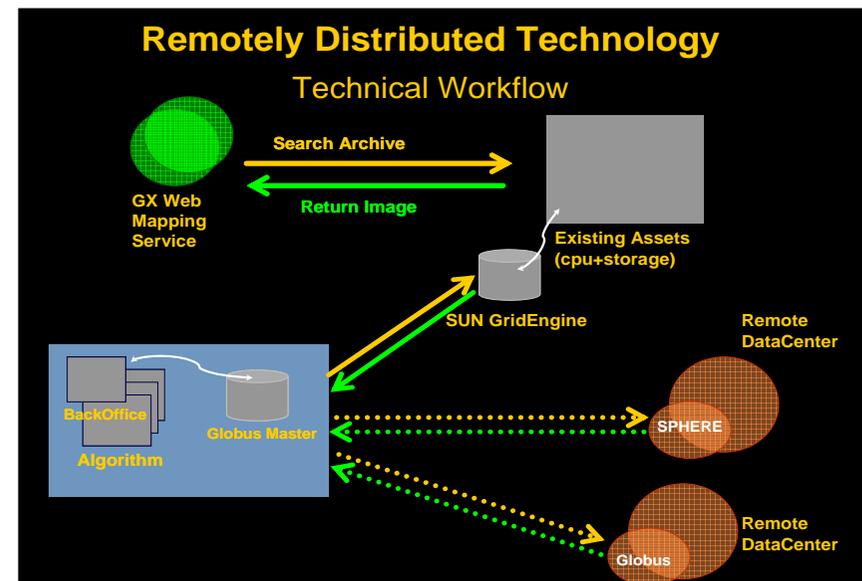
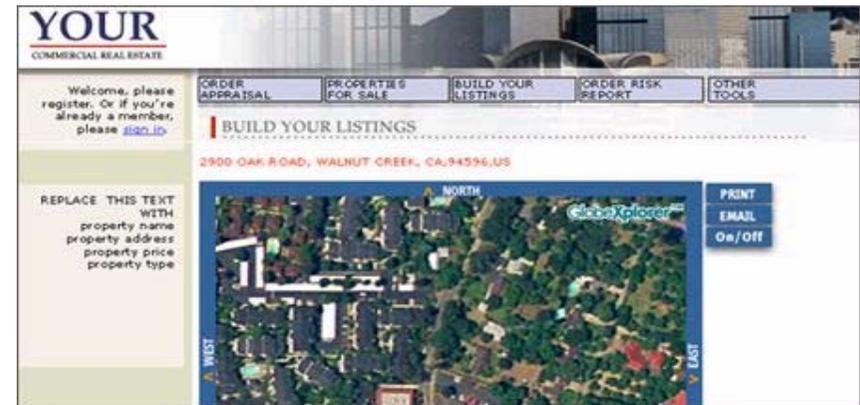
ビジネスグリッドコンピューティング活用の一例

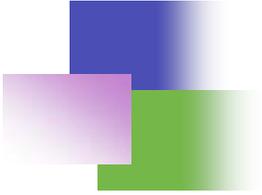


# GlobeXproler

<http://www.globexplorer.com/>

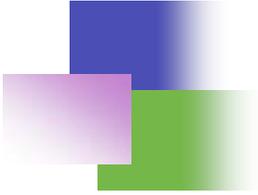
- 大規模画像配信ビジネス
  - Real Estate, Insurance
  - Travel & Web Portals
  - Mobile & Wiress
- GlobeXplorer ではSUN GridEngineを使用したグリッドシステムで最初の1年で100万ドルを節約(遊休ハードウェアの有効利用)





# IBM: Deep Computing Capacity on Demand Center

- <http://www.research.ibm.com/dci/index.shtml>
- Business Gridのリソースを提供する
  - 研究機関, 企業が大規模な計算機システムを所有, 保守する代わりに, 外部のリソースを利用する
  - 必要なときに, 必要な規模の計算ができる (on demand)
- 計算機の「時間貸し」の一形態とも言える
  - BlueGene/L



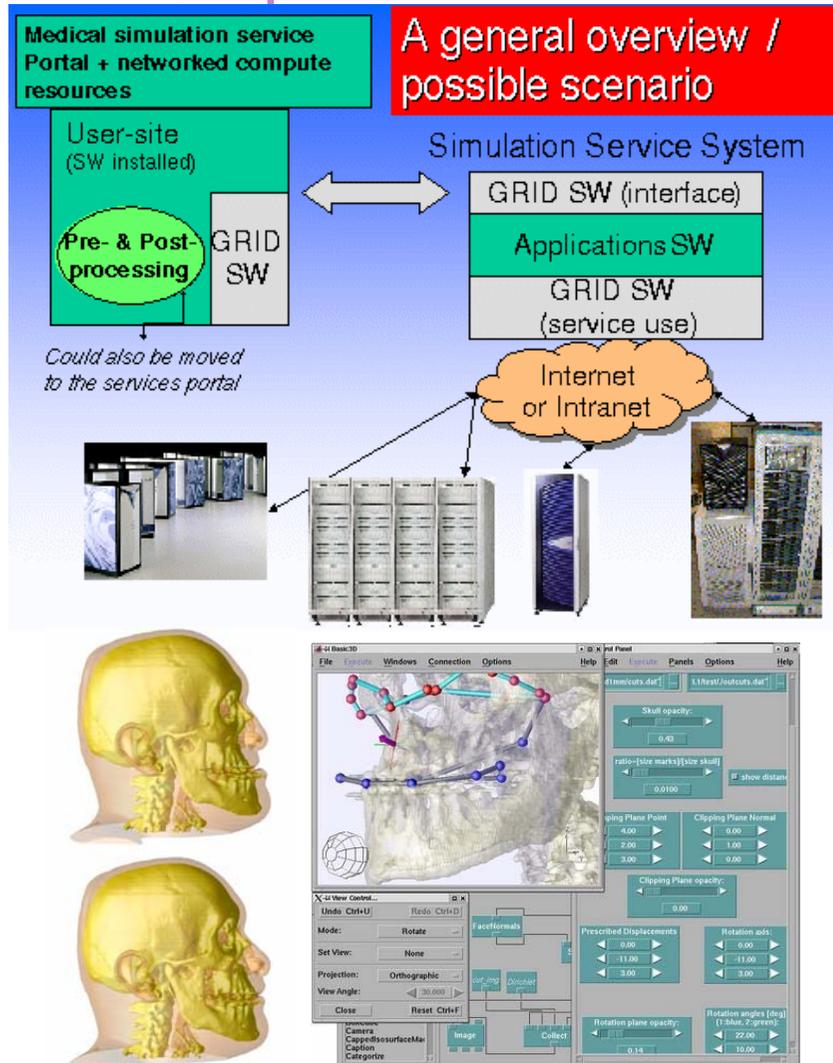
# Grid in Life Sciences

- Bioinformatics分野のData Grid適用例が多い
  - Sybase Avaki Enterprise Information Integration (EII)  
<http://www.sybase.com/products/allproductsa-z/avakieii/>
    - 商用システム
  - 大阪大学(現在はNPO化): BioGrid <http://www.biogrid.jp/>
  - Virginia Tech: PathPort (pathogen portal)  
<http://pathport.vbi.vt.edu/main/home.php>
- Data Grid in Life Sciences
  - Biological Dataの特徴
    - Distributed, Various Formats, Various Modes of Access ...
  - データベース構築, データ解析ツール, 可視化ツール
  - XMLによる共通データ構造, Parserの開発

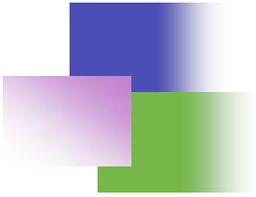
# GEMSS

## Grid-Enabled Medical Simulation Services

<http://www.ccrl-nece.de/gemss/>



- EUのプロジェクト
- 計算機シミュレーションによる医療手術の支援, 計画策定
- 患者に特有のデータの作成, 保存
  - 骨格等
  - いわゆるテイラーメイド医療
- グリッド技術の利用により, 例えば事故時の緊急手術などにも対応可能

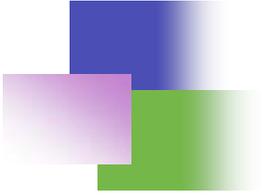


# GEMSS

## Grid-Enabled Medical Simulation Services

<http://www.ccrl-nece.de/gemss/>

- 現在は“@neurIST (European Initiative for Integrated Biomedical Informatics for the Management of Cerebral Aneurysms)”に移行
  - 脳動脈瘤
  - <http://www.cilab.upf.edu/aneurist0/>



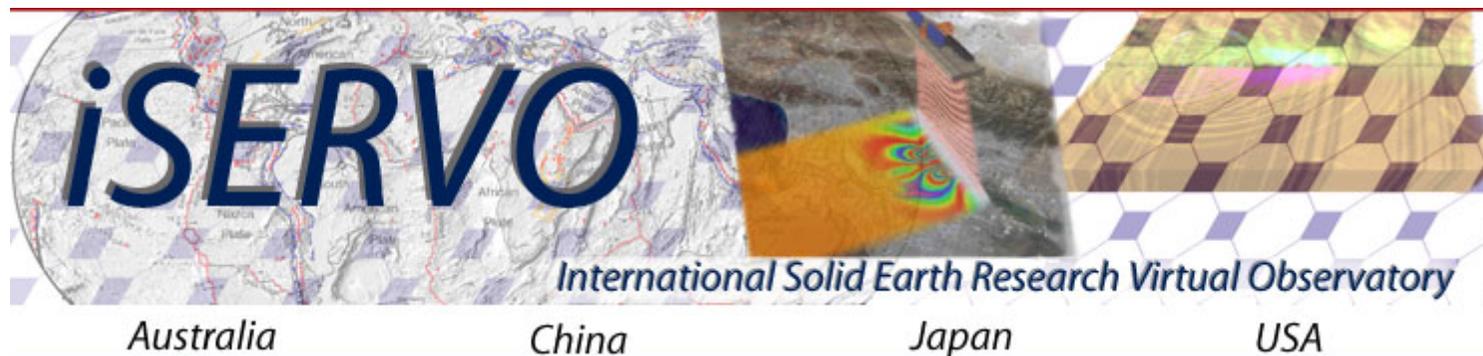
# Grid in GeoScience

- iSERVO
- NEESgrid/NEESit
- E-Defense/EDgrid
- GEON
- SCEC (Southern California Earthquake Center)
- 前述のApGrid
  - ハードウェア(計算機, 実験機器, 観測機器), 観測データ, ソフトウェアなどのリソースの共有
  - 研究協力の一形態: 仮想研究機関

# iSERVO

International Solid Earth Virtual Research  
Observatory Institute

<http://iservo.edu.au/>



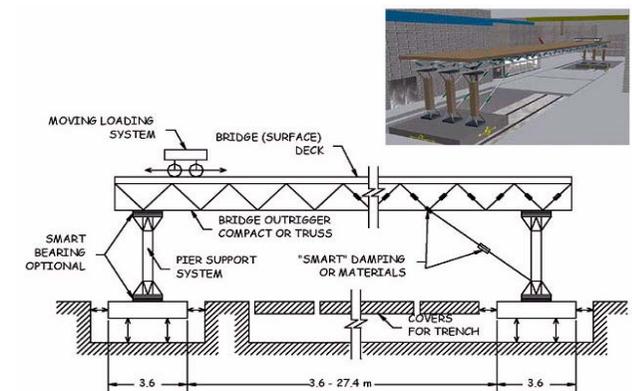
- ACES (APEC Cooperation for Earthquake Simulations)
  - 日豪米中
- 小規模ながらComputational Gridが構築されている。
- 観測データ, 計算モデル(メッシュデータ), コード群を共有しようという試みがある。

# NEES

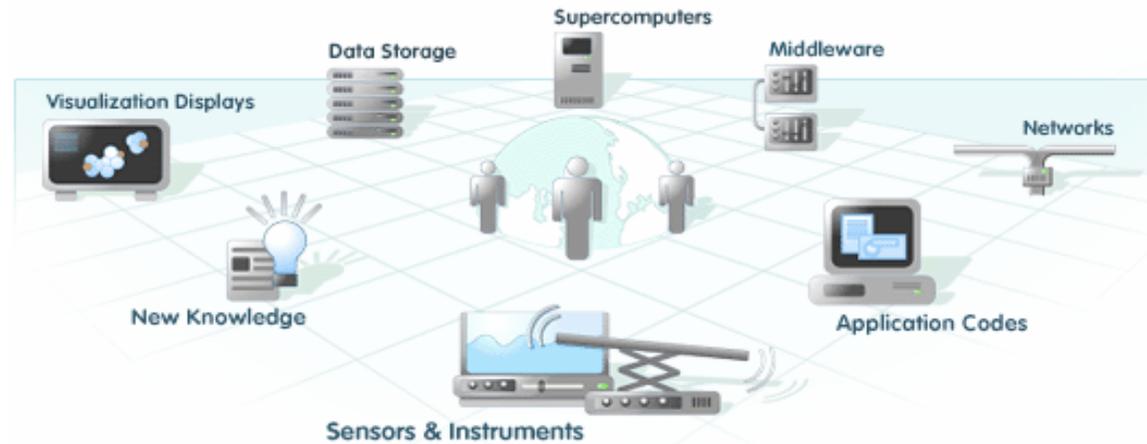
<http://www.nees.org/>



- Network for Earthquake Engineering Simulation (NEES)
- 地震工学の研究者，技術者が大規模な実験装置，データを共同で使用するというプロ



# NEESgrid/NEESit



**NEESgrid** *Building the National Virtual Collaboratory  
for Earthquake Engineering.*

**NEESit**

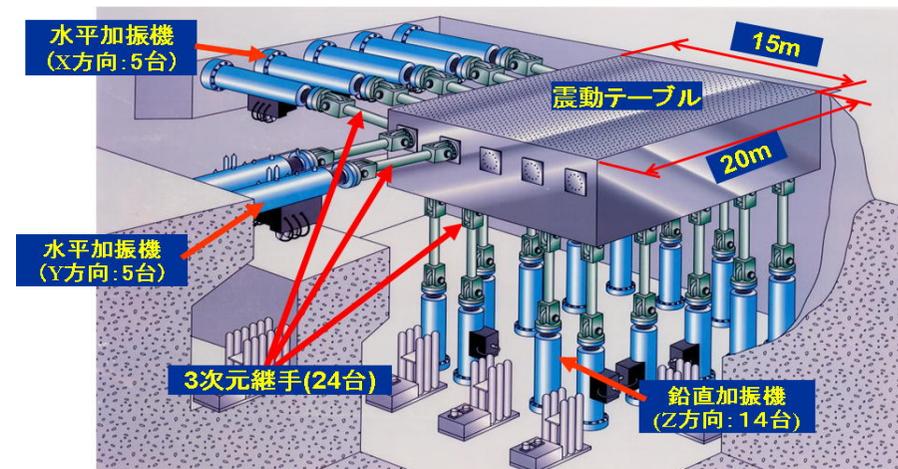
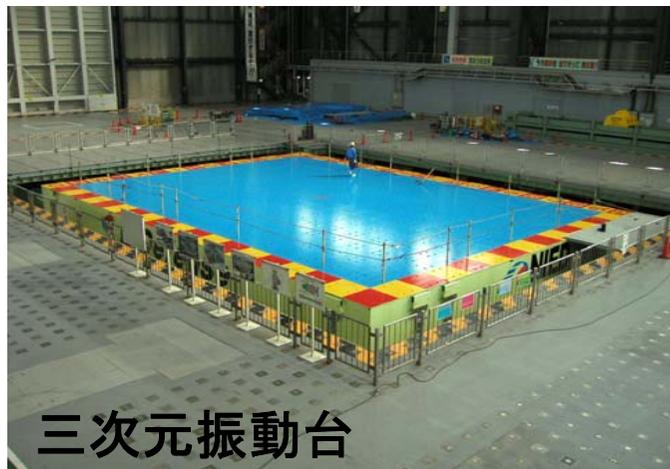
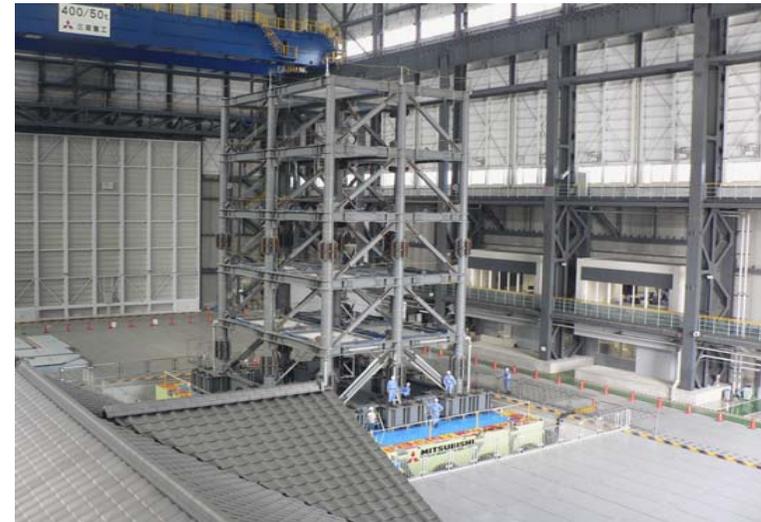
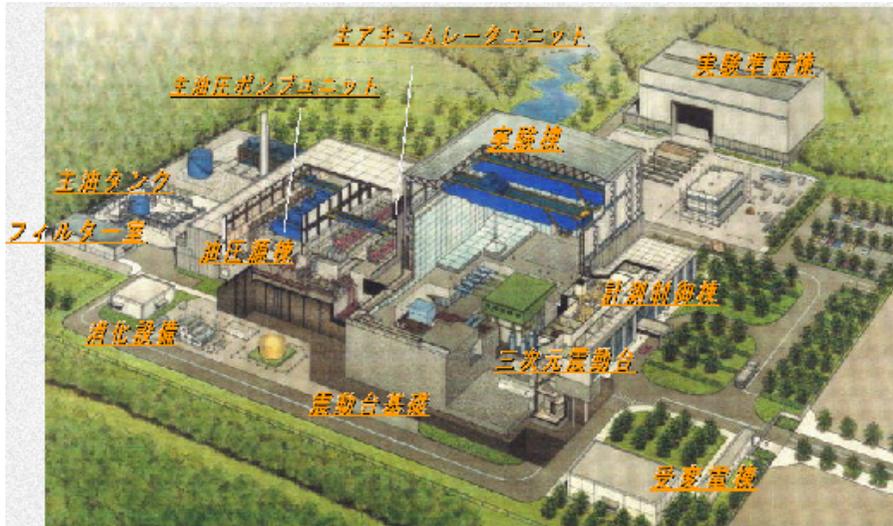
- NEESgrid
  - NEESを支援するためのGrid
- NEESit
  - NEESgridが更に進化したもの
  - <http://it.nees.org/>

# E-Defense

- <http://www.bosai.go.jp/hyogo/>
- 防災科学技術研究所 兵庫耐震工学研究センター
  - 実大三次元震動破壊実験施設
  - 巨大な振動台を用いて、実物大の建築物などを実際に揺らし、その破壊過程・耐震性などを調べることが可能。1995年(平成7)の阪神大震災をきっかけに、独立行政法人・防災科学技術研究所が兵庫県三木市に設置。2005年運用開始。

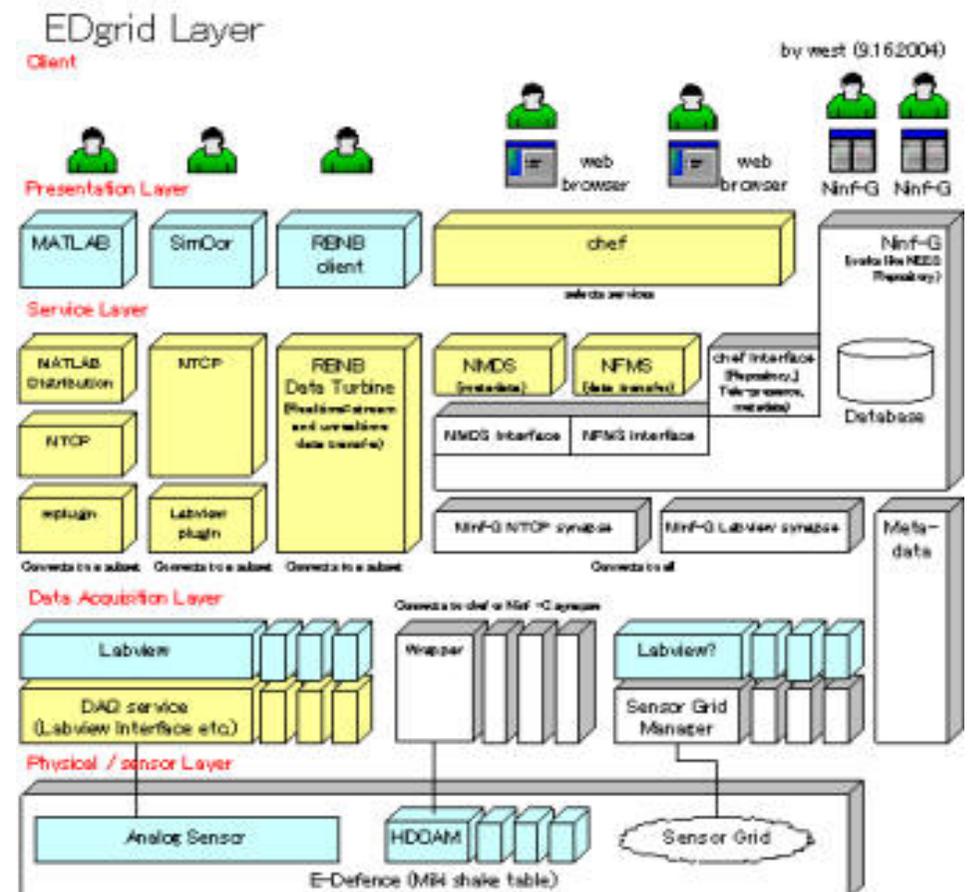


# E-Defense



# EDgrid

- E-Defense用の専用ITシステム
  - 膨大な実験データの処理, 管理
- NEESgridに基づいている
- AIST(産業技術総合研究所)等

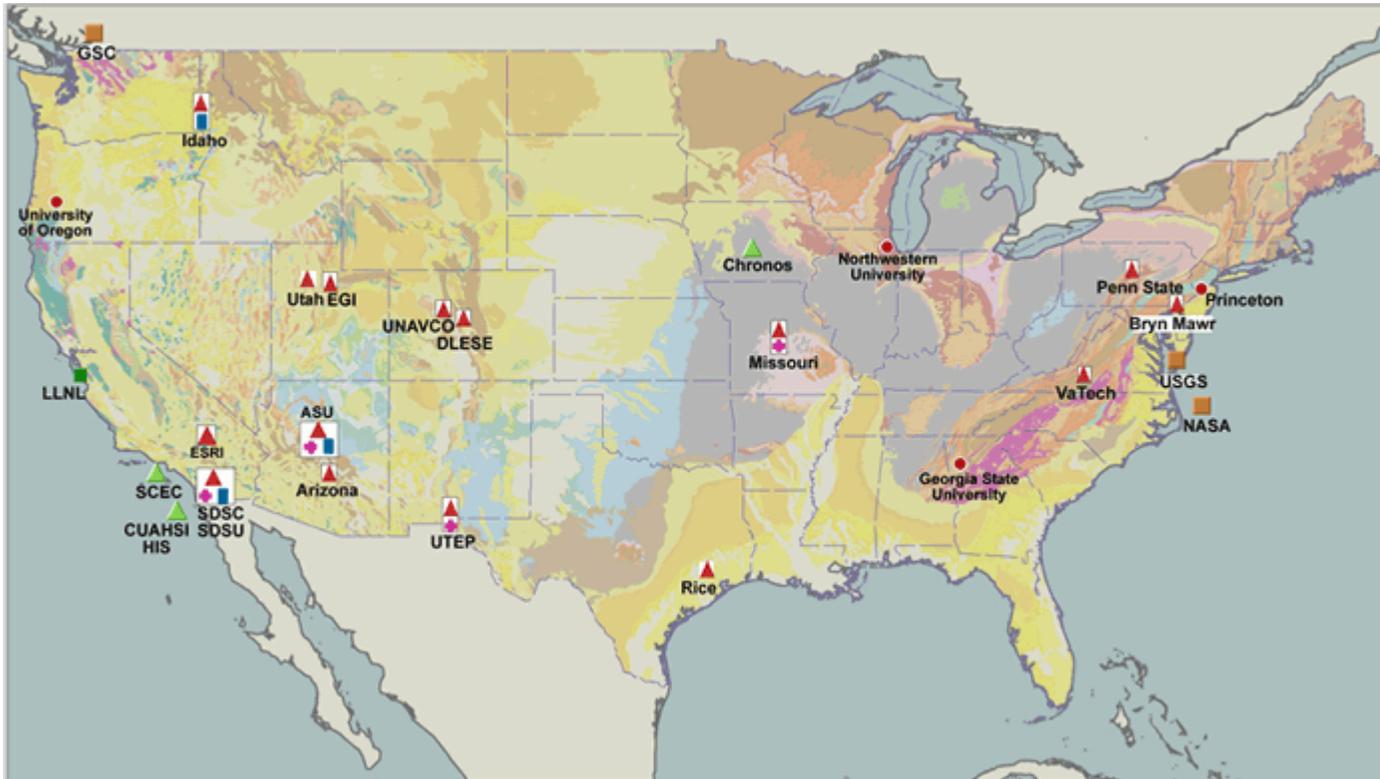


<http://www.west.sd.keio.ac.jp/project/withmitalab.htm>

# GEON ( GEOsciences Network )

- GEON: Cyberinfrastructure for the Geosciences
  - <http://www.geongrid.org/>
- The NSF GEON project is a groundbreaking collaboration between Earth Science and Computer Science researchers to build a modern cyberinfrastructure for the Earth Science.
  - NSF: National Science Foundation (全米科学財団)
  - cyberinfrastructure
- データ, ツール, 計算機のネットワークを介した共有
  - Web-based

# GEON参加機関

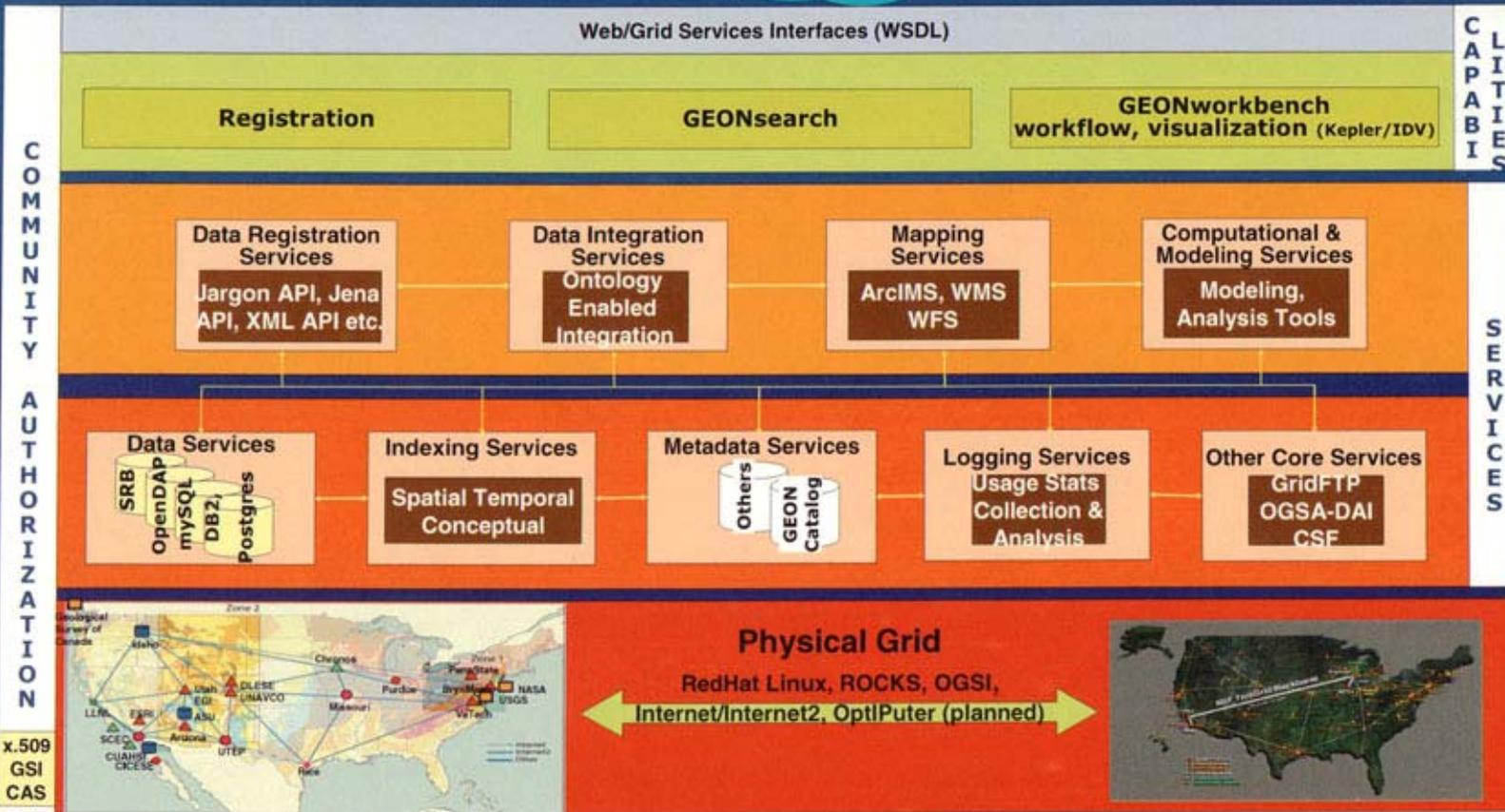
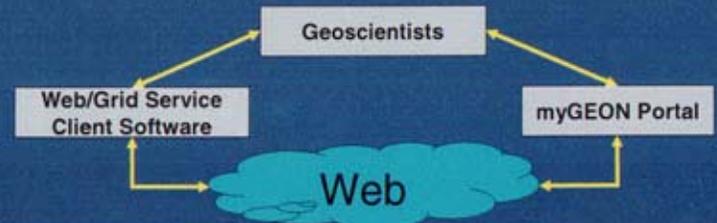


# GEON: Software Architecture

Chaitan Baru, Ashraf Memon, San Diego Supercomputer Center



The goal of the GEOsciences Network (GEON) project is to prototype the Earth Sciences research environment of the future where advanced information technologies facilitate collaborative, inter-disciplinary science efforts. Scientists are able to discover data, tools, and models using Web/Grid services via portals using advanced, semantics-based search engines and query tools in a uniform authentication environment that provides controlled access to a wide range of resources. Scientific workflows consisting of Web/Grid services are executed in a distributed environment. Advanced GIS mapping, 3D, and 4D visualization tools allow scientists to interact with the data.



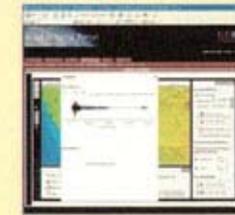
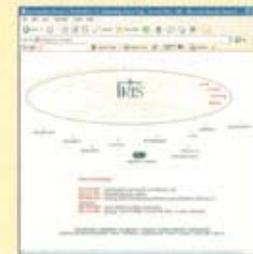
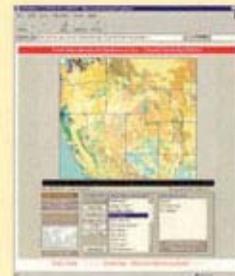
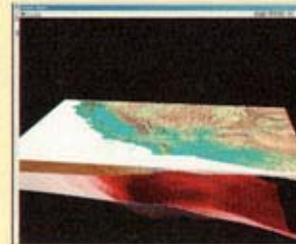
- ArcIMS – ESRI Internet Mapping Service
- CAS – Community Authentication System
- CSF – Community Scheduling Facility
- GEON Catalog – metadata catalog
- GRASS -- Geographic Resources Analysis Support
- GridFTP – Grid File Transfer Protocol
- GSI – Grid Security Infrastructure
- IDV – Unidata Integrated Data Viewer
- Jargon API – API for SRB
- Jena API – API for dealing with OWL files
- Kepler – Workflow software. [www.kepler-project.org/](http://www.kepler-project.org/)
- OGSA – Open Grid Services Architecture
- OGSA-DAI – OGSA Data Access and Integration
- OGSI – Open Grid Services Infrastructure
- OpenDAP – Open Data Access Protocol
- ROCKS – Linux cluster system management software
- SRB – SDSC Storage Resource Broker System
- WFS – Web Feature Service
- WMS – Web Mapping Service
- X.509 – Security certificate standard

This work is supported by the National Science Foundation under Grant No. 225673 (GEON)

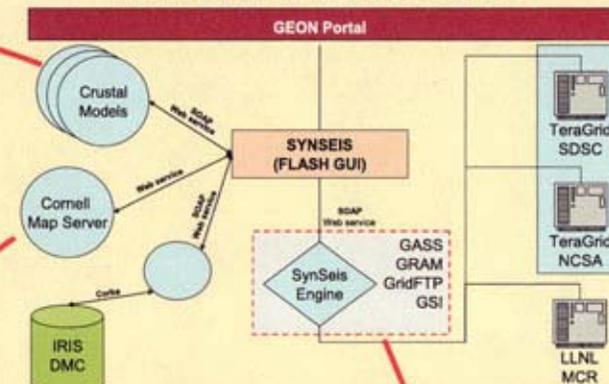
# SYNSEIS: A Grid-based, Interactive 3D Seismic Waveform Modeling Tool in GEON

Dogan Seber<sup>1</sup>, Shawn Larsen<sup>2</sup>, Tim Kaiser<sup>1</sup>, Choonhan Youn<sup>1</sup>, Cindy Santini<sup>1</sup>, and Bill Glassley<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>San Diego Supercomputer Center, University of California, San Diego and <sup>2</sup>Lawrence Livermore National Lab, Livermore, CA

As part of GEON's computational environment we have started developing a grid application (SYNSEIS - SYNthetic SEISMogram generation tool) to help seismologists as well as any other researchers calculate synthetic 3D regional seismic waveforms using a well-tested, finite difference code, E3D, developed by the Lawrence Livermore National Laboratory. SYNSEIS is built as a grid application and accesses distributed data centers and large computational clusters minimizing the requirements needed to conduct such advance calculations. With SYNSEIS users only need to have access to the Internet and a browser. The entire system is web-based and is accessible from the GEONgrid portal web page (www.geongrid.org). It is built using a service-based architecture. It provides an interactive user interface with mapping tools and event/station/waveform extraction tools that allow users to seamlessly access IRIS Data Management Center's archives. Though the system currently accesses one 3D crustal model across the US, when more models become available they will be incorporated into the system. Users are able to interactively set their study region, access seismic event and station locations, extract waveforms on the fly for any selected event-station pair, and compute a synthetic seismogram using built in tools. As a compute engine, SYNSEIS uses national-scale TeraGrid supercomputer centers, eliminating all complexities and difficulties related to account management, cpu allocation, and software installation. The system is designed to be used in day-to-day activities of researchers, especially those of EarthScope scientists who will be accessing data from hundreds of stations everyday and need to process the data in a timely fashion.



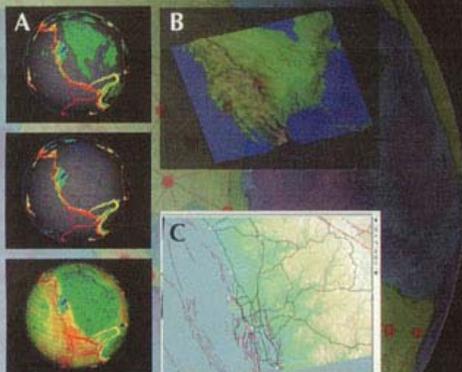
## SYNSEIS Architecture



This research is funded by the National Science Foundation under grant EAR-0353590

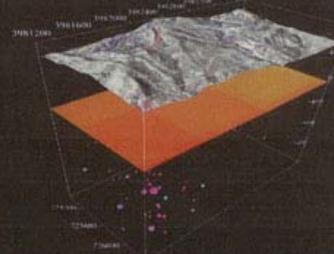
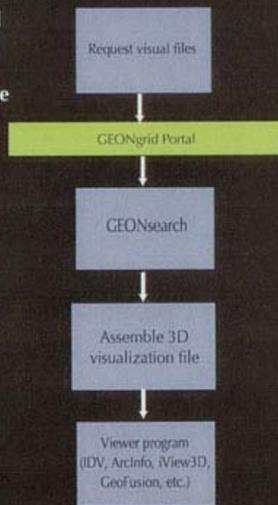


GEON seeks to provide scientists with catalogs of registered visual datasets that can be retrieved through the GEONgrid portal. A variety of client software that allow interactive exploration of heterogeneous datasets will be made available to the research community.

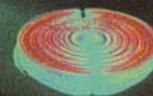


A: This image was made with the Integrated Data Viewer. It shows two S-wave tomography models, GPS plate motion vectors and the Global Strain Rate map.  
B: Topography of North America viewed in IDV.  
C: High resolution topography of San Diego combined with GIS data and seismic catalogs visualized with Fledermaus (FVS)

1: Scripps Institution of Oceanography, UCSD 2: San Diego Supercomputer Center, UCSD 3: Arizona State University 4: I/NAVCO, Inc.

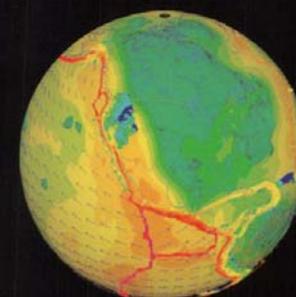
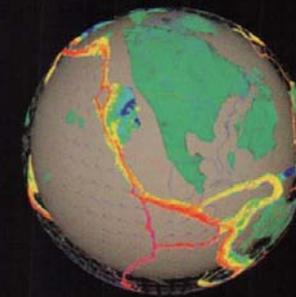
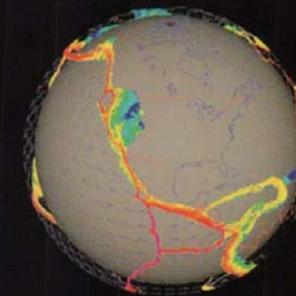


D: VRML visualization of seismicity in the Parkfield area using GRASS based tools created by the Parkfield Unified Visualization Project.



E: Volumetric visualization of seismic wave propagation rendered using VISTA by the NPACI Visualization Services group at SDSC. Data size is nearly 344 GB.

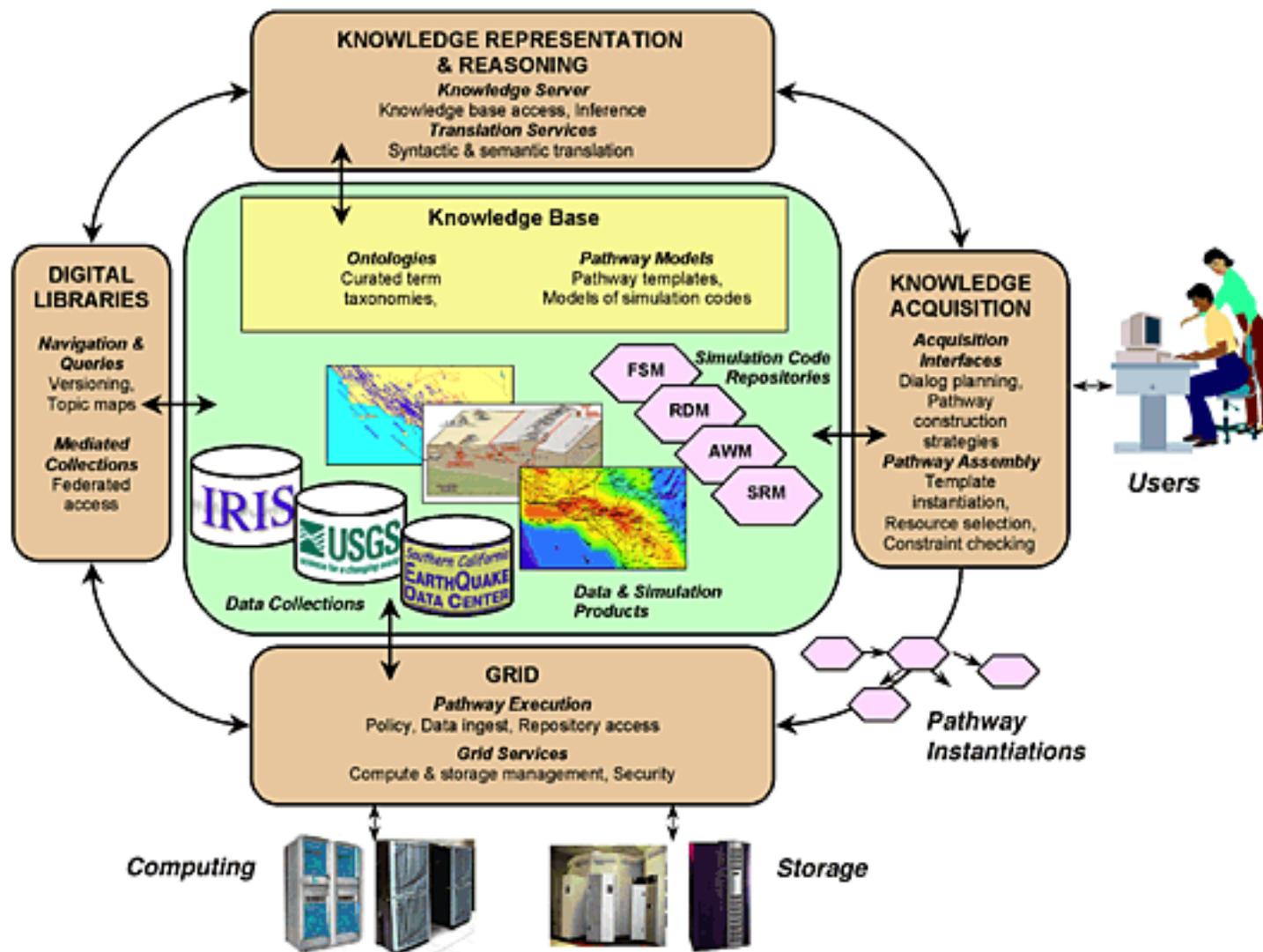
THIS MATERIAL IS BASED UPON WORK SUPPORTED BY THE NATIONAL SCIENCE FOUNDATION UNDER GRANT NO. 225673 (GEON)

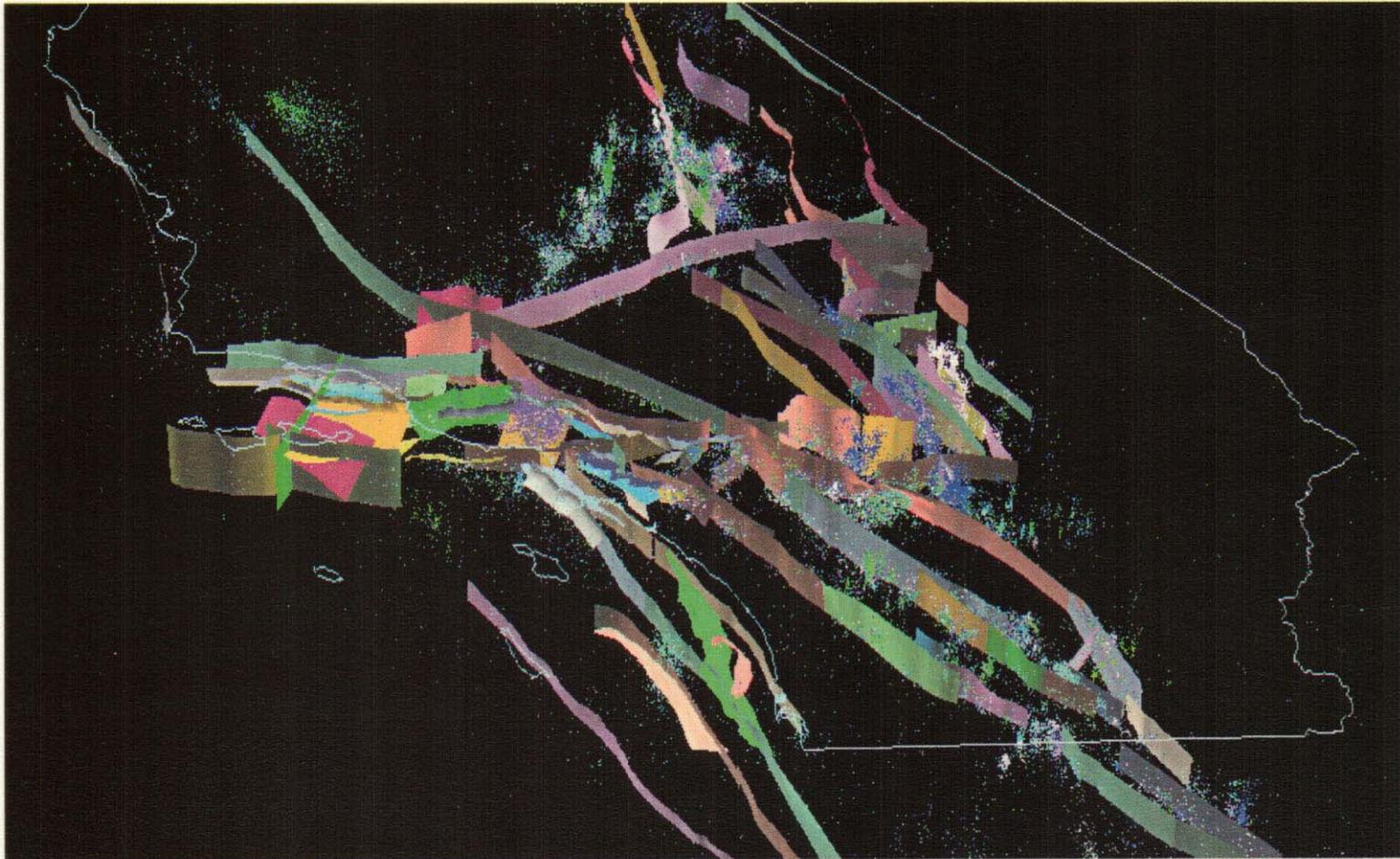


Images from GEON visualization efforts showing strain rates and S-wave velocities.

# SCEC/CME System

- Southern California Earthquake Center, Community Modeling Environment (<http://www.scec.org/cme/>)
- ネットワークを介して、解析モデル、データ、シミュレーションコード、可視化システム、並列計算機を共有し、Anelastic Wave Mode (AWM)によってサンアンドレアス断層における強震動解析(発生した地震による波動伝播解析)を実施する。
- 600km × 300km × 80km, 200mメッシュ(合計18億メッシュ)で最大0.5Hzまでの波動を解析する。
- SDSC (San Diego Super Computer Center) のIBM Power4+ DataStar (1696PE's, 10TFLOPSピーク) を使用
  - 220 sec.分の計算(1ステップ0.01sec., 22,000ステップ): 240 PEで75時間
  - 最近では40,000プロセッサのIBM BG/Lなど使っているらしい
- 大規模データ: ファイル数15,000, 47 TB
- 異分野間の協力

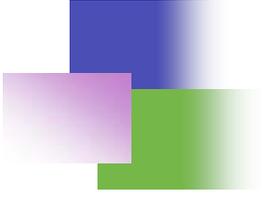




SCEC researchers are developing improved representations of the 3-dimensional structure of faults in Southern California, and innovative new technologies for visualizing the results. This 3-D map shows the San Andreas, San Jacinto and other strike-slip faults as well as faults that dip into the earth at an angle and are usually very difficult to portray.

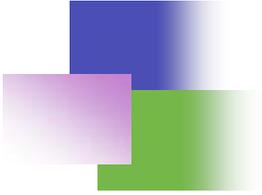
# Gridの動向

- Gridのキーワード
  - Open, Sharing, Collaboration ...
- 異なったデータ形式をシームレスに扱うことができる, というあたりが実用へのキーポイント。⇒ Interoperability
- Securityの問題は必ず付いて回る。また, グリッドにおけるVO (Virtual Organization) と現実の組織とのギャップもある。
  - 技術的というよりは政治的, 社会的な問題点の方が多い。
  - ビジネス分野でも利用されるようになっているが, Gridの本来持っている, Open, Sharingの思想が, 例えば顧客データ管理などとは相反するものである, というようなことがある。
- 当たり前のことであるが, 明確な目標を設定することが重要。
  - 「何かすごいもの」, 「万能のもの」ではない



# 補足: AGU (American Geophysical Union) Fall Meeting 2006

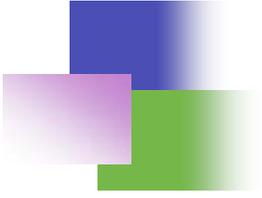
- 毎年12月前半サンフランシスコで開催(14,000人の参加者)
  - <http://www-solid.eps.s.u-tokyo.ac.jp/~nakajima/0612agu>
- Earth and Space Science Informatics (IN)
  - (観測)データのData Repository, Portalに関する発表多い。
  - 「観測データの共有」というところにターゲットをしばって, そのためのインフラ整備が盛んに行なわれている。
    - 大気・海洋, 宇宙関連の分野が大半で, 地質, 岩石学的な分野がデータベース整備など少々, 山火事(wildfire)分野のものもあった。固体地球, 地震というような分野のものはほとんど無し
  - OPeNDAP
  - Virtual Solar Terrestrial Observatory VSTO
- Google Earth



# OPeNDAP

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

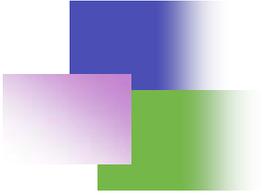
- Data Repository, Portalの分野の開発が一定の成果を挙げているのは、「OPeNDAP (Open-source Project for a Network Data Access Protocol)」というデータ共有のためのインタフェースが整備されたことが大きな原因である。
  - Grid上で異なった形式のデータのInteroperabilityを保証するインタフェース
- 「OPeNDAP」は、汎用的な用途を持ったものであるが、もともとDODS (Distributed Oceanographic Data System)という海洋科学分野における分散データの共有のために作られた仕様
  - 「DODS」は「NetCDF (network Common Data Form)」にまでその起源を遡ることができる。



# Virtual Solar Terrestrial Observatory

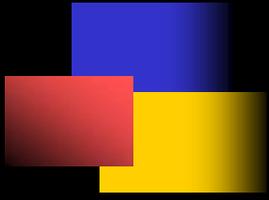
## VSTO <http://www.vsto.org/home/home.htm>

- 「Virtual Observatory (VxOs)」と呼ばれる取り組みの一つ。
  - そのうちもっとも活動が盛んなグループで、NSF(全米科学財団)とNASAが中心になって取り組んでいるようである。
- この他、「US National VO (Virtual Observatory)」という取り組みもある。
  - <http://www.us-vo.org/>
- 似たようなプロジェクトが、たくさんありすぎて関係がよく把握できない・・・ただ、下記の2点をしっかり守ったおかげで成功しつつあると言える
  - 目標を絞る: 観測データの共有
  - 共通データ仕様に関する規格: OPeNDAP



## 日本における試み・・・

- 地球惑星科学連合2007年連合大会に「情報地球惑星科学」というセッションがある。
  - <http://earth2007.jtbcom.co.jp/session/j166.html>
    - 地球惑星科学での探査・観測・数値シミュレーションにより産出されるデータは大規模化・複雑化の一途をたどっている。本セッションでは、地球惑星科学の幅広い分野で行われている最新のデータ処理と数値シミュレーション技術,それによりもたらされる新しい知見について報告し,個々の分野を越え「地球惑星情報学」という視点から今後の展開について議論する。(上記より引用)
- もし時間があったら覗いてみるとよい。

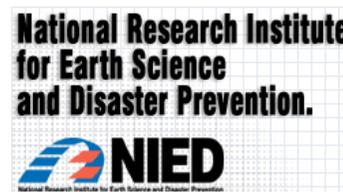
- 
- Gridコンピューティングについて
  - 観測・計算を融合した階層連結地震・津波災害予測システムについて

# 観測・計算を融合した階層連結 地震・津波災害予測システム

- JST/CREST(チーム型研究) 平成17年度採択課題
  - マルチスケール・マルチフィジックス現象の統合シミュレーション
  - 平成17年10月～平成23年3月(予定)
    - 研究代表者: 松浦充宏

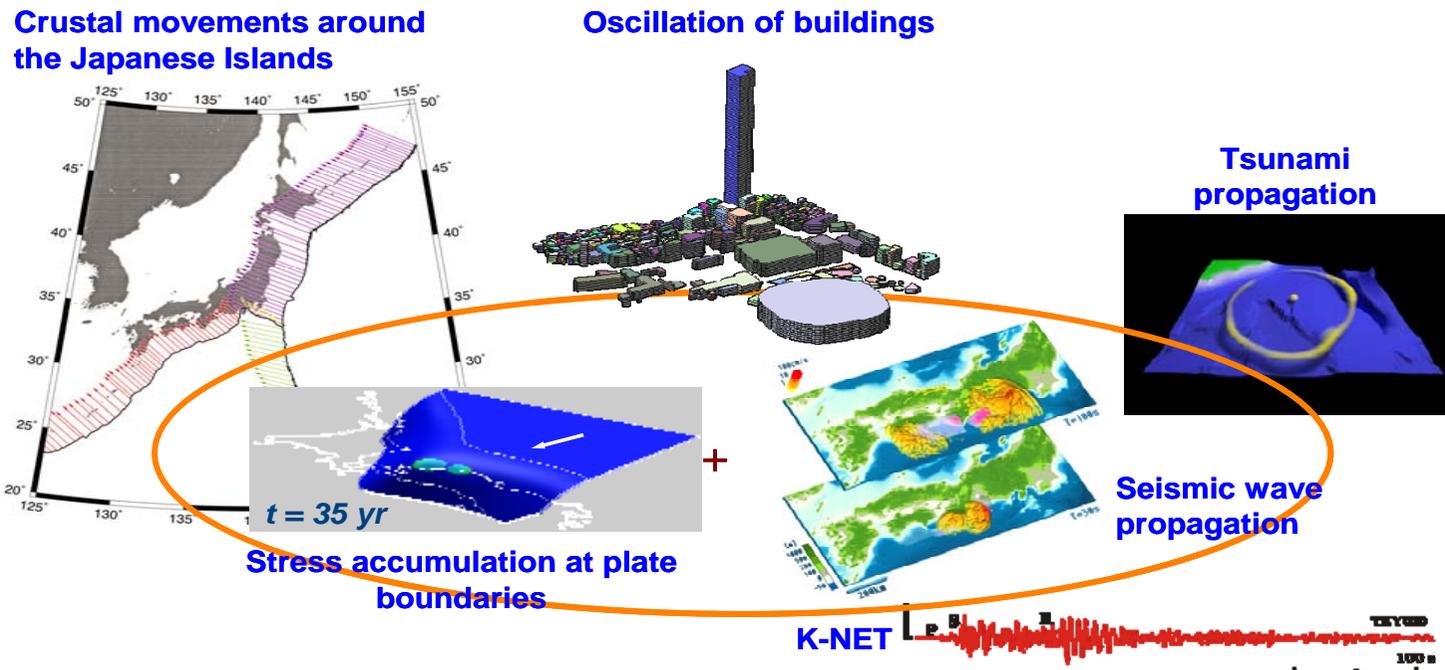
## ■ 参加機関

- 東京大学
  - 地球惑星科学専攻, 地震研究所, 人工物工学研究センター
- 東京工業大学
- 上智大学
- 防災科学技術研究所
- 国土地理院

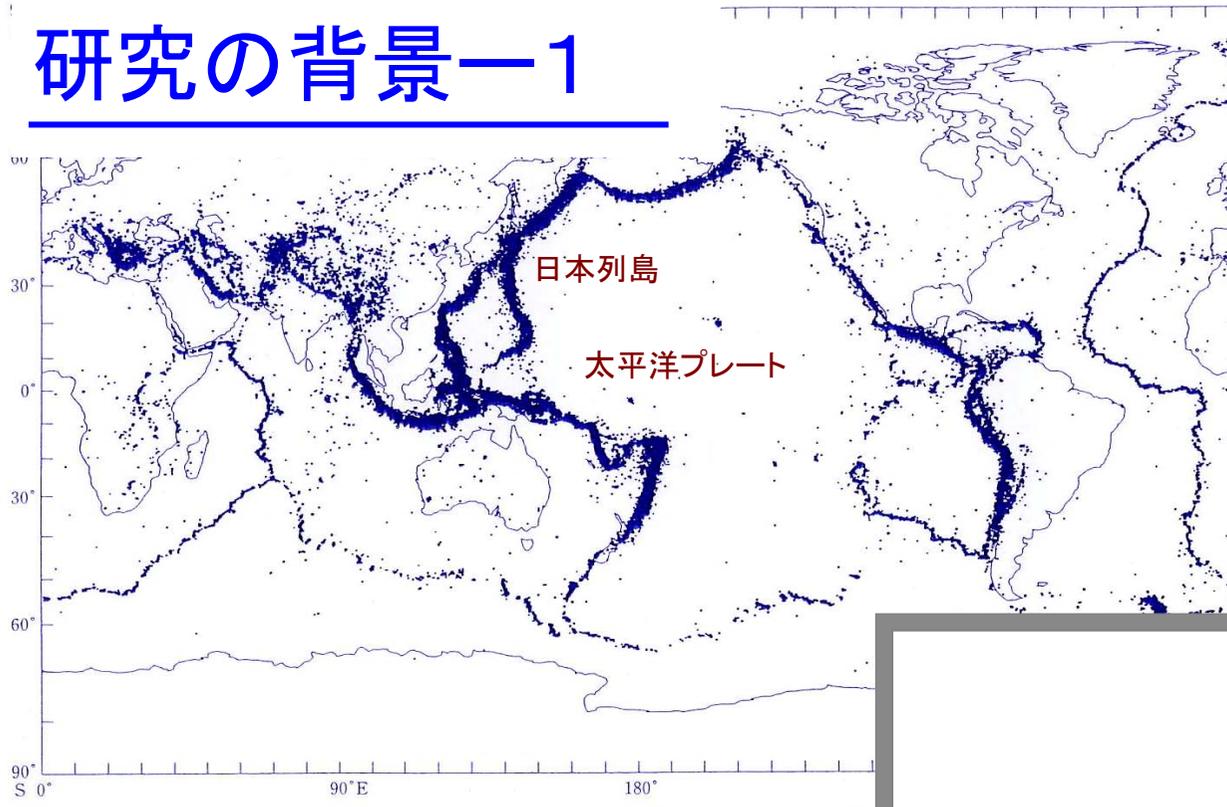


# 目的

- プレート運動による地殻応力の蓄積を経て大地震が発生し、地震波が構造物を揺らし、津波が海岸部を襲うまでの一連の過程を「地球シミュレータ」等で再現・予測する観測・計算融合の階層連結型高精度シミュレーション・システムを世界に先駆けて開発する。



# 研究の背景—1

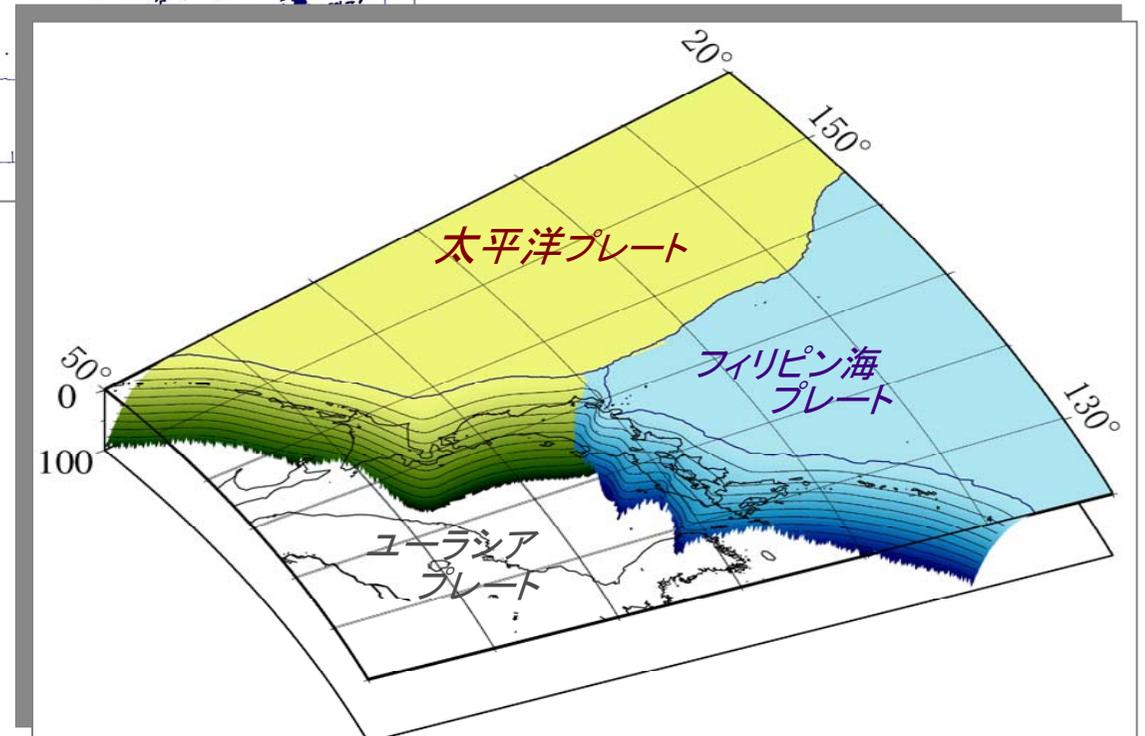


日本列島はプレート沈み込み帯に位置しており，常に地震・津波災害の脅威に晒されている。

地震・津波災害の軽減は社会的に強く要請されている。

1995年阪神大震災以降，広域GPS観測網および地震観測網が整備され，日本列島域の監視体制が整った。

地球シミュレータの出現に代表される計算情報科学の目覚ましい発展は，複雑な地殻活動現象の実環境下でのシミュレーションを可能にした。



# 研究の背景－ 2

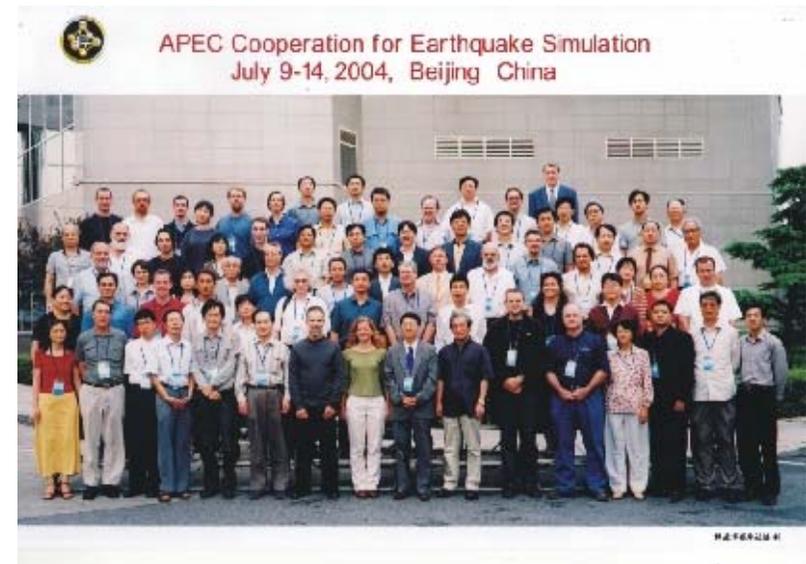
## 固体地球シミュレータ計画 (1998～2002年度科学技術振興調整費研究)

- ・ 5つの要素モデルのプロトタイプを開発
  - (1) マントル対流とプレート運動モデル
  - (2) プレート間相互作用と地震発生サイクルモデル
  - (3) 複雑断層系の破壊と地震波放射モデル
  - (4) 不均質場での地震波の伝播モデル
  - (5) 地震動による人工構造物の振動モデル
- ・ 固体地球シミュレーション・プラットフォーム「GeoFEM」の開発  
並列ソルバー / 可視化 / メッシュ生成 / プラグインモジュール



## 固体地球シミュレーション・コンソーシアム (2002～)

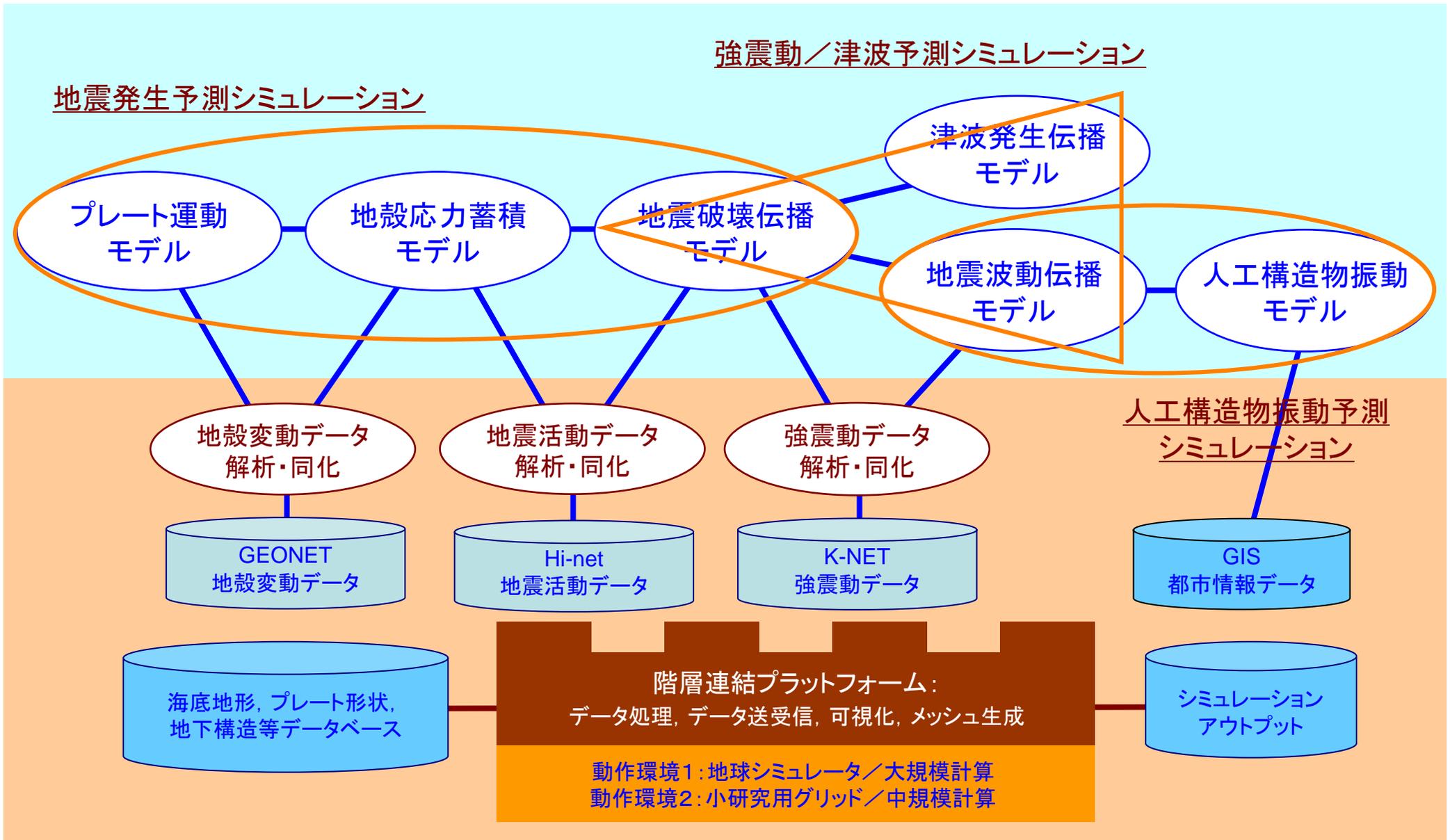
- ・ 地球シミュレータ共同プロジェクト (9課題100万ノード時間積)  
3 課題の主要部分が参加

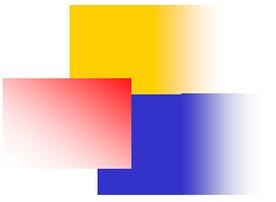


## APEC地震シミュレーション研究協力組織 (1998～)

- ・ 豪州, 日本, 米国, 中国が連携した国際共同研究活動  
4回の国際ワークショップとPAGEOPH特集号

# 観測・計算融合の階層連結地震・津波災害予測システム





# 研究の進め方

## 第1フェーズ（平成17～19年度）

- 要素モデルの連結による連成シミュレーション
  - 地震発生予測シミュレーション（東大理，防災科技研，地震研）
  - 強震動／津波予測シミュレーション（地震研，防災科技研，東大理）
  - 人工構造物振動予測シミュレーション（東工大，上智大，地震研）
- 観測・計算融合のためのプラットフォーム構築
  - GPS観測データの解析・同化プログラムの開発（国土地理院，東大理）
  - 地震観測データの解析・同化プログラムの開発（防災科技研，東大理）
  - 階層連結シミュレーション・プラットフォームの開発（東大理・東大人工物）
  - 研究用グリッド環境の構築と整備（東大理，東大人工物）

# 研究の進め方

## 第2フェーズ（平成20～22年度）

- 実シナリオに基づく地震・津波統合シミュレーション
  - 連成シミュレーションモデルの階層連結を地球シミュレータ上でテスト
  - 観測データとモデル計算の融合（データ同化）をグリッド環境でテスト
  - 地震・津波予測システムの有効性の検証
    - 過去に発生した地震の再現（例：1995年兵庫県南部地震，2003年十勝沖地震）
    - 地震・津波災害予測（例：南海トラフ地震，宮城県沖地震，首都圏直下地震）

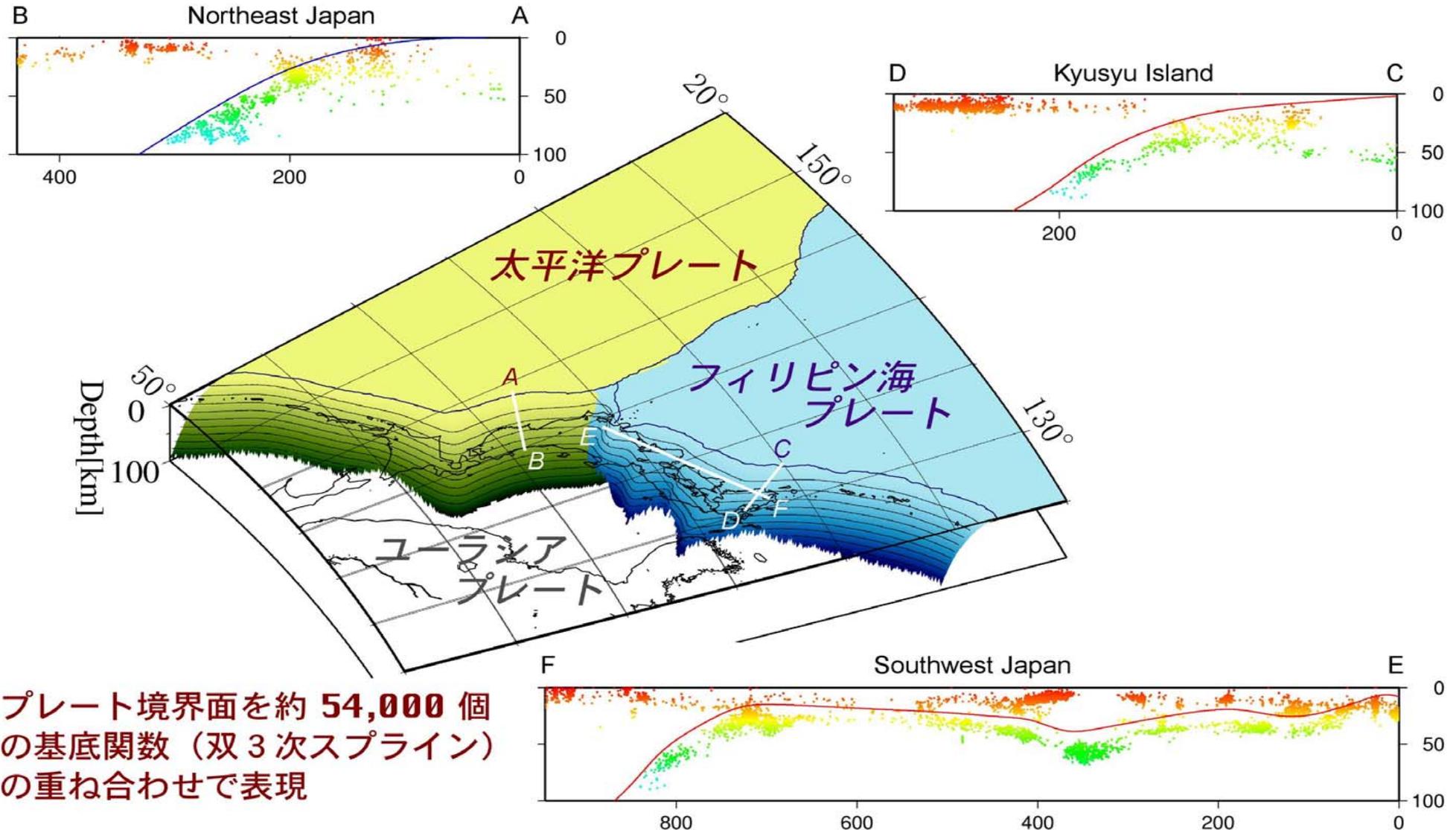


日本列島域の主な被害地震の震源域  
（1885～1995）  
地震予知総合研究振興会

# 本研究のキーポイント

- 観測・計算を融合した階層連結地震・津波災害予測システム
  - 観測・計算の融合
  - (階層)連結
- 現状
  - 個々のコンポーネント(シミュレーションコード)は, 開発・高度化が継続的に実施されており, 「地球シミュレータ」上での最適化, 大規模化等にも対応済み
    - 無論, 「完成」ということはなく, 今後も更なる研究が必要である。
  - 様々な, 大量の観測データ
  - 観測と計算, 個々のシミュレーションコードに関する研究開発は個別に実施されている

# 日本列島域の3次元プレート境界モデル

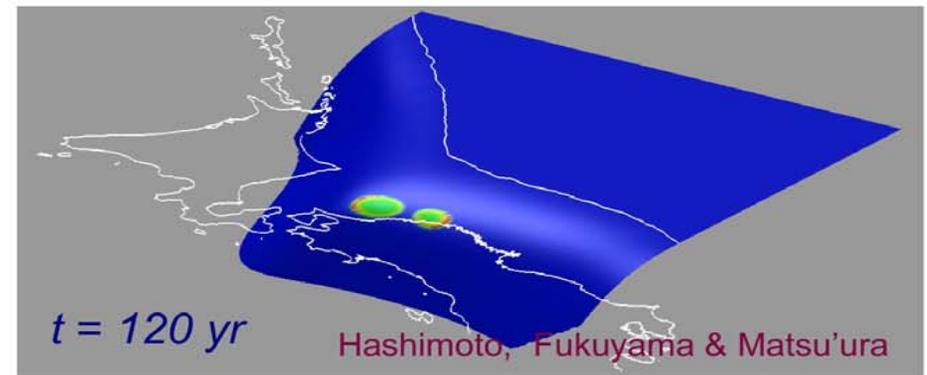
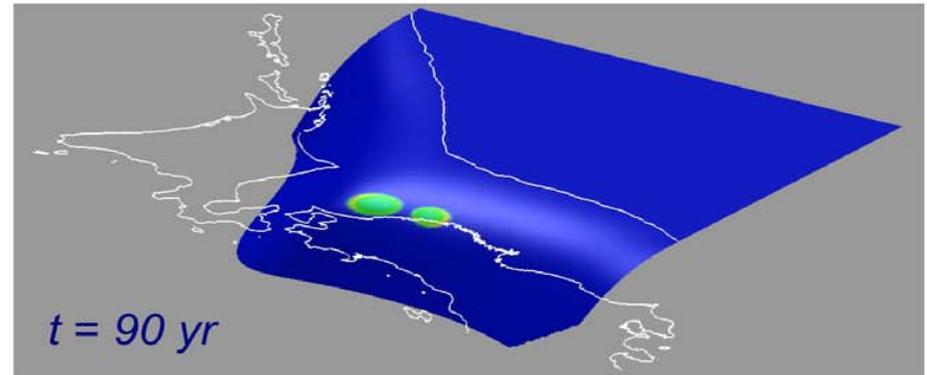
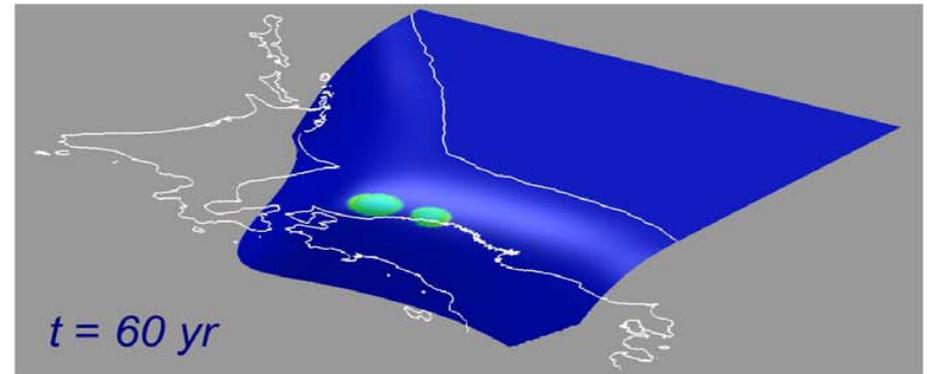
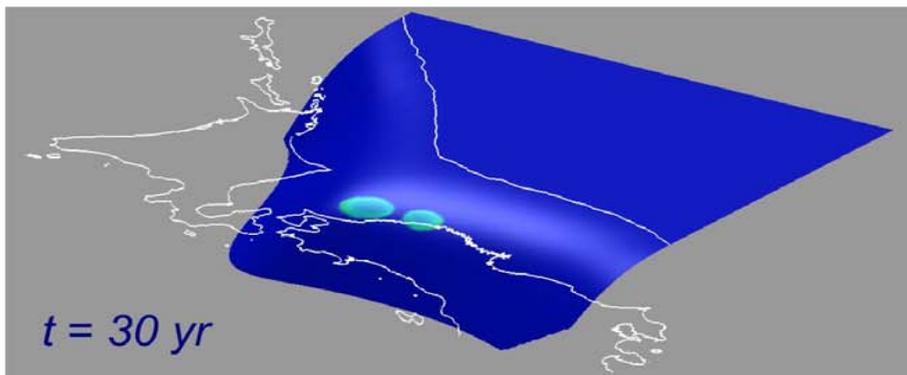
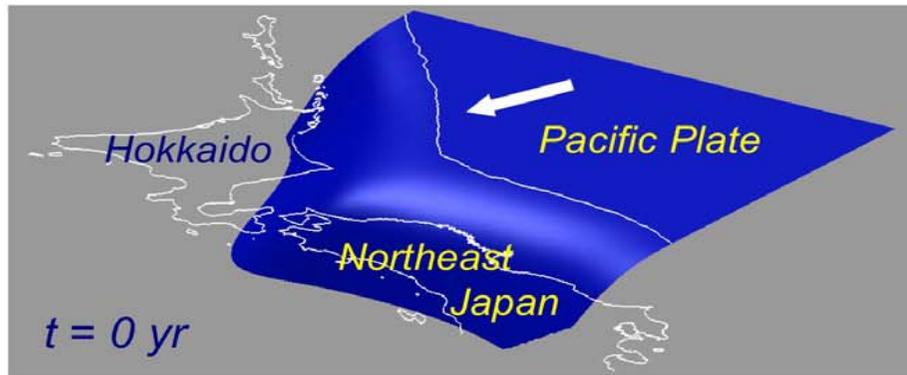


プレート境界面を約 **54,000** 個の基底関数 (双3次スプライン) の重ね合わせで表現

Hashimoto, Fukui & Matsu'ura (2004)

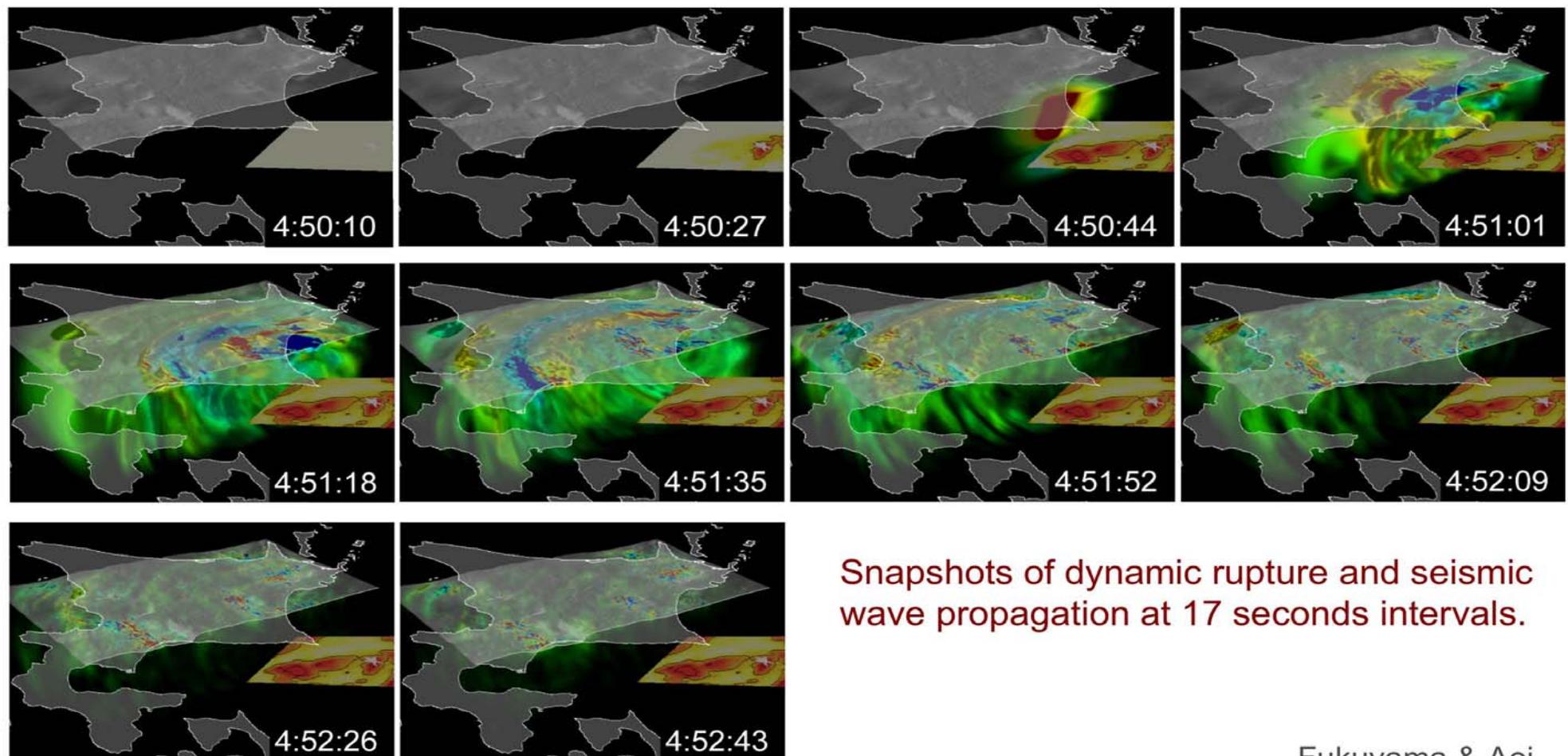
# 3-D Simulation of Earthquake Generation: Quasi-static Stress Accumulation

The steady subduction of the Pacific plate produces the gradual increase of shear stress in and around the source region of the 1968 Tokachi-oki earthquake.



# Joint Simulation of Dynamic Rupture and Seismic Wave Propagation

Computation of the seismic wave propagation associated with the dynamic rupture of the 2003 Tokachi-oki earthquake.

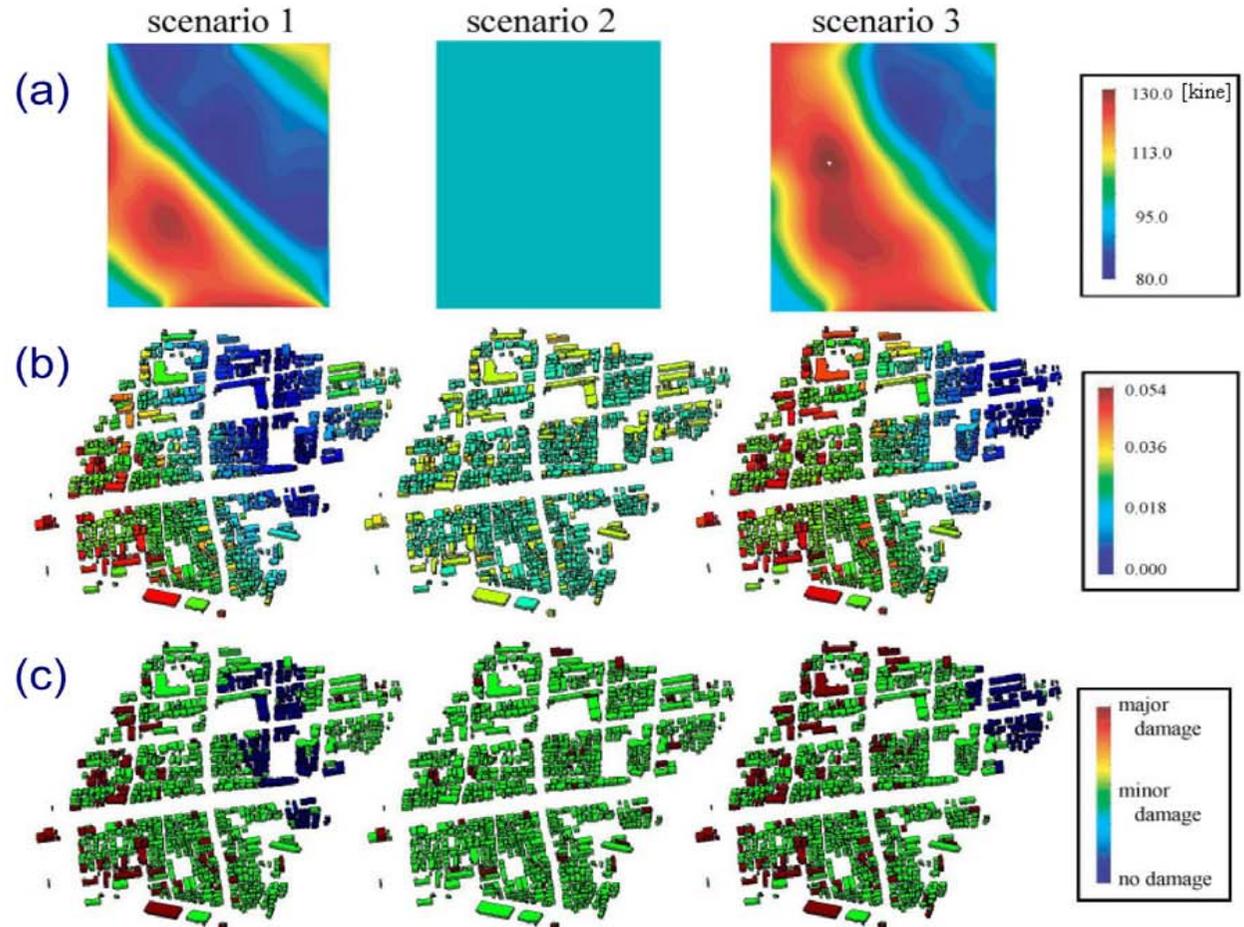


Snapshots of dynamic rupture and seismic wave propagation at 17 seconds intervals.

# Artificial Structure Oscillation: Earthquake Disaster Simulation of a Virtual City



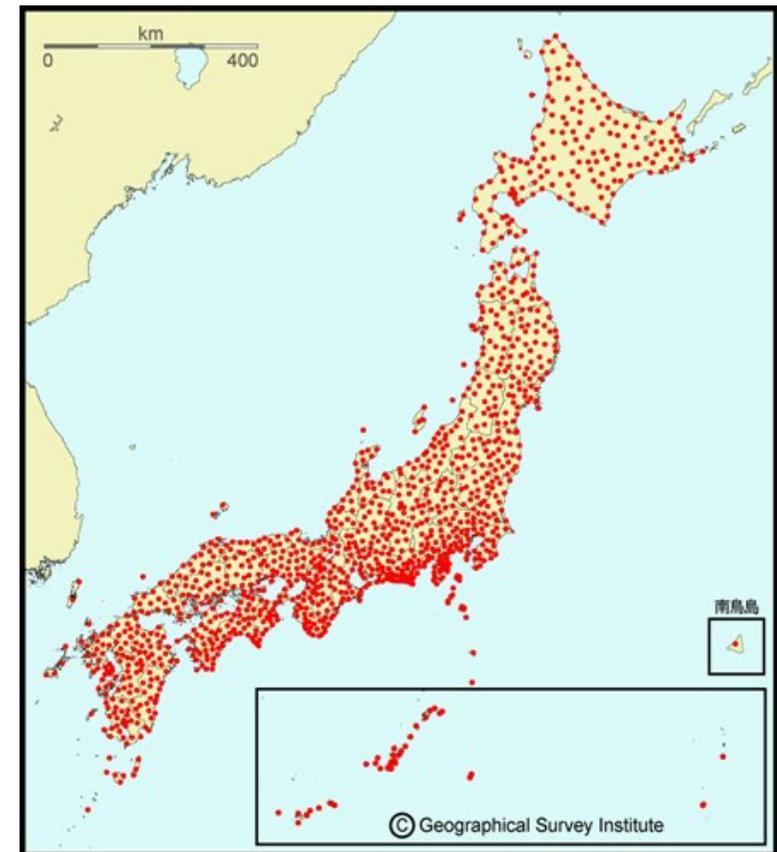
A virtual city model constructed from GIS/CAD data



(a) maximum velocity, (b) maximum drift angle, (c) damage distribution

# 地殻変動，地震活動に関する観測網

- 地殻変動
  - GEONET (国土地理院)
- 地震活動
  - Hi-net (防災科技研)
- 強震動
  - K-NET/KiK-net (防災科技研)
- 各観測網で国内1,000点以上
  - every 20 km

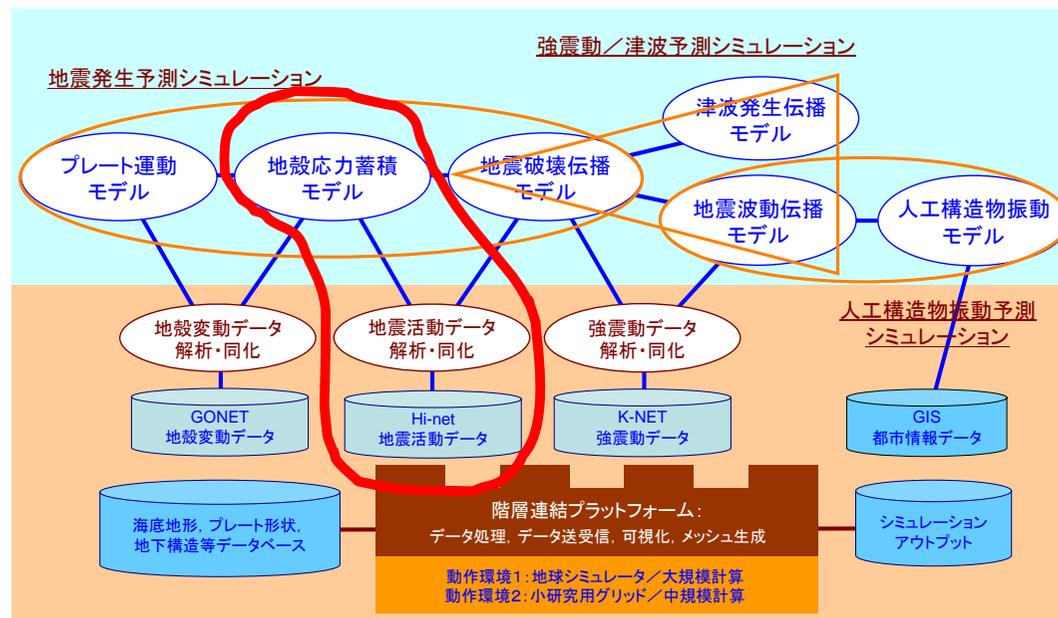


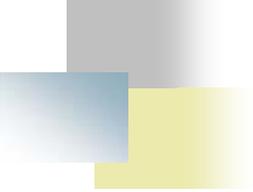
## 本研究のキーポイント（続き）

- 観測・計算の融合，各シミュレーションコード（モデル）の連結の必要性については論じられてきたものの，実現に至っているケースは少ない。
  - 小規模モデル
- 観測・計算の融合，連結（連成）シミュレーションを実現し，より高度なシミュレーション手法を開発することによって，これまでの研究成果の蓄積をもとに，将来の現象を予測することが可能となる。
  - 多くの分野における科学技術シミュレーションモデルは実験，観測結果から得られる知見を積極的に導入することで発展してきた。より第一原理的な手法へ

# 観測・計算の融合

- 詳細な計算結果との比較
  - モデルの修正・更新, パラメータ微調整
- 観測結果のインバージョン解析, シミュレーション計算結果の比較 ⇒ シミュレーションモデルの高度化
  - 地震活動データから地殻応力を推定 ⇒ 地殻応力蓄積モデル改良



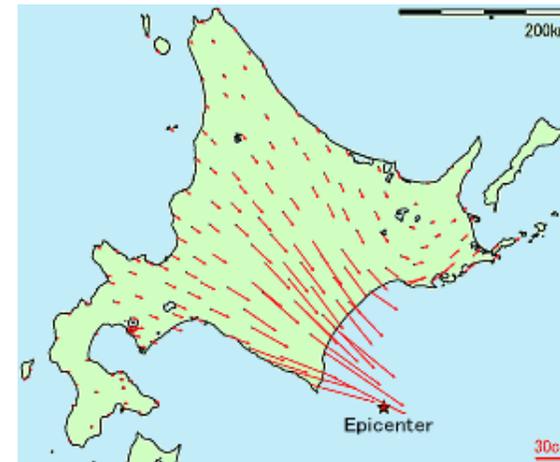


# 連結（連成）シミュレーション

- これまで個別に計算してきた計算を連結して実施することで、より詳細な初期条件，境界条件を設定できる
  - 地盤振動＋石油タンクスロッシングの例
  - 「階層連結シミュレーション用プラットフォーム」の検証
    - 「プラットフォーム（いわゆるカップラー）」そのものについては，今後の講義で触れる機会があるかも知れないが，今回は詳しくは説明しない。

# 2003年 十勝沖地震

長周期地震波動(表面波)のために苫小牧の  
石油タンクがスロッシングを起こし火災発生



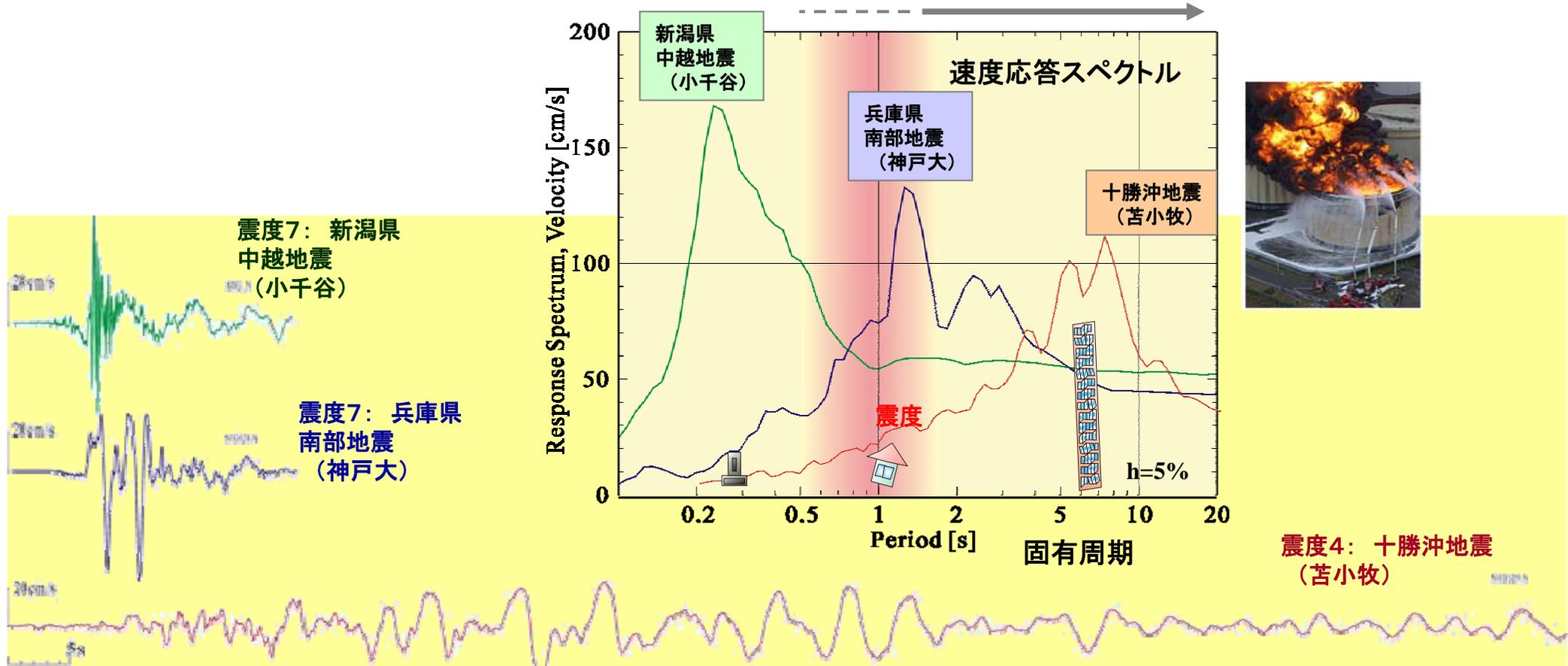
## 広帯域強震動シミュレーション

古村孝志准教授  
(地震研)より提供

- 人工構造物の多様化、低層～超高層ビル(固有周期:0.1～10s)
- 被害を作る強震動の多様性

様々な条件が影響: 震源サイズ, 伝播経路, 不均質性

シミュレーション可能範囲(1s<T)



# 地震波の伝播と地下構造

長周期波動(表面波): 大規模なすべり, 不均質性



**(Engineering) Basement**  
(工学基盤):  $V_s \sim 400 \sim 700$  m/sec.  
+ 表層(更に遅い)

**Sedimentary Layers**  
(堆積層):  
 $V_s 1,000 \sim 2,000$  m/sec.

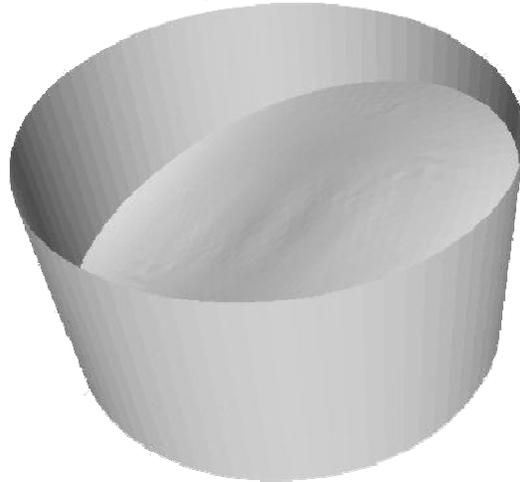


# Deformation of Liquid Surface

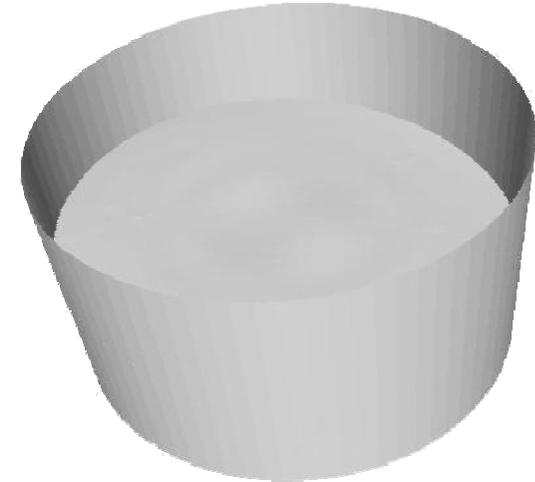
$$U_x = \sin(2\pi\alpha t) \quad (\alpha = 1./T)$$

- Natural Period for Sloshing  $\sim 7.60$  sec ( $=0.132$ Hz)
  - $D=42.7$ m,  $H_T=24.9$ m,  $H_L=12.45$ m,  $t=20$ mm

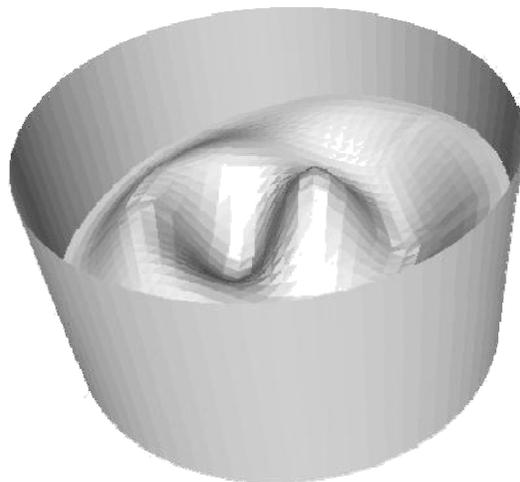
**T=6.98 sec.**  
**H<sub>max</sub>= 8.30**



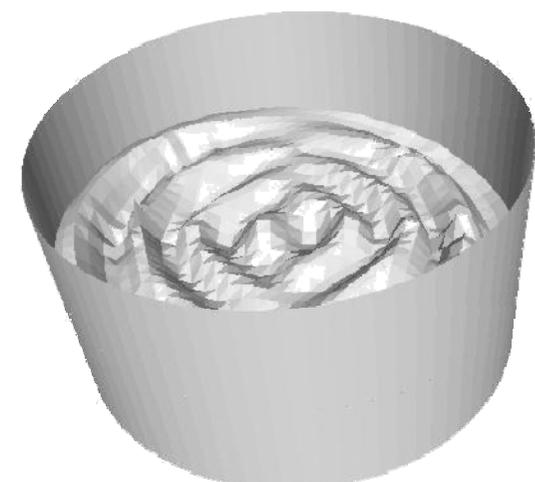
**T=12.6 sec.**  
**H<sub>max</sub>= 1.94**



**T=3.14 sec.**  
**H<sub>max</sub>= 6.75**



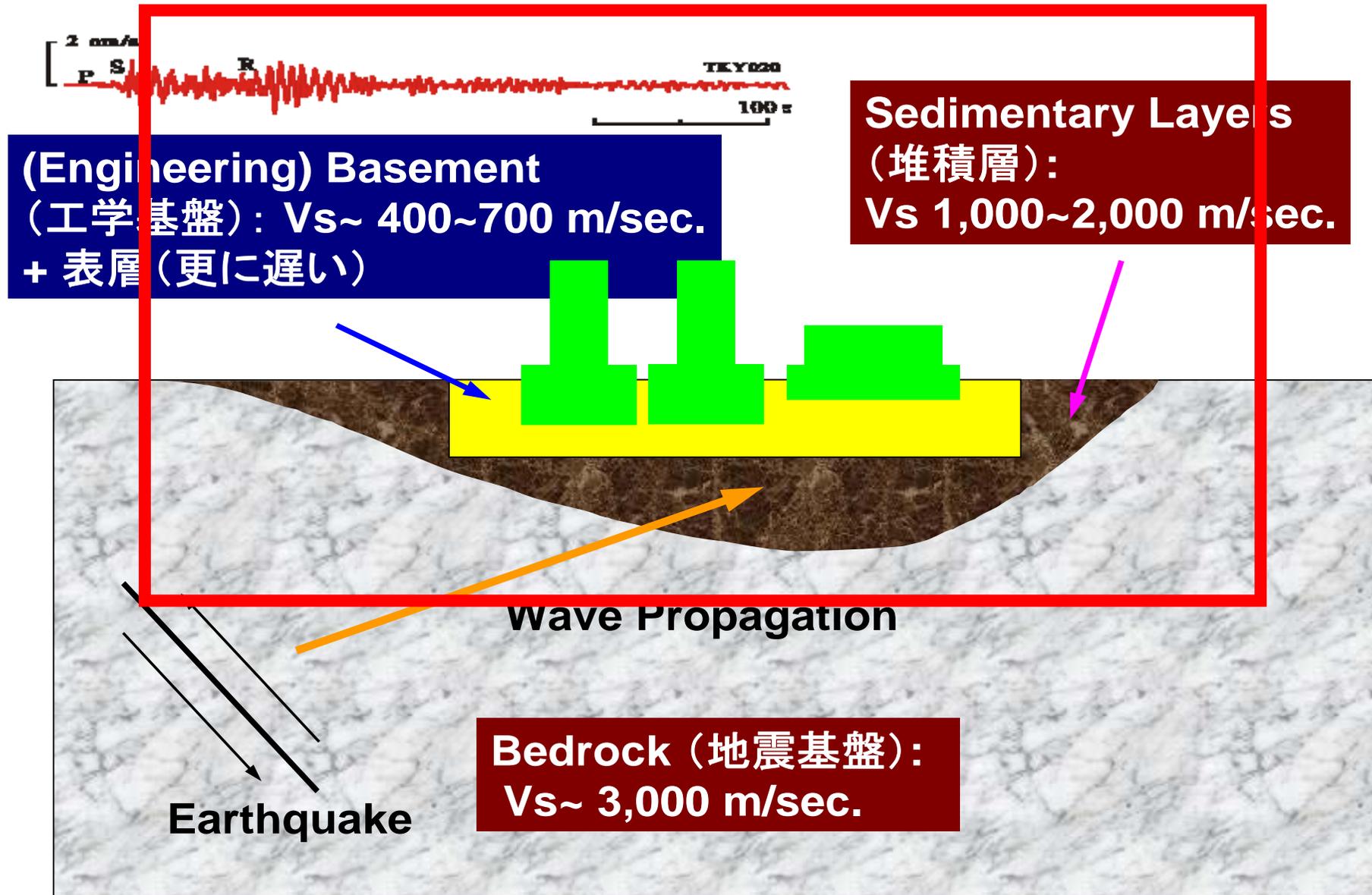
**T=2.09 sec.**  
**H<sub>max</sub>= 5.21**



# Natural Period for Sloshing ~ 7.60 sec (=0.132Hz)

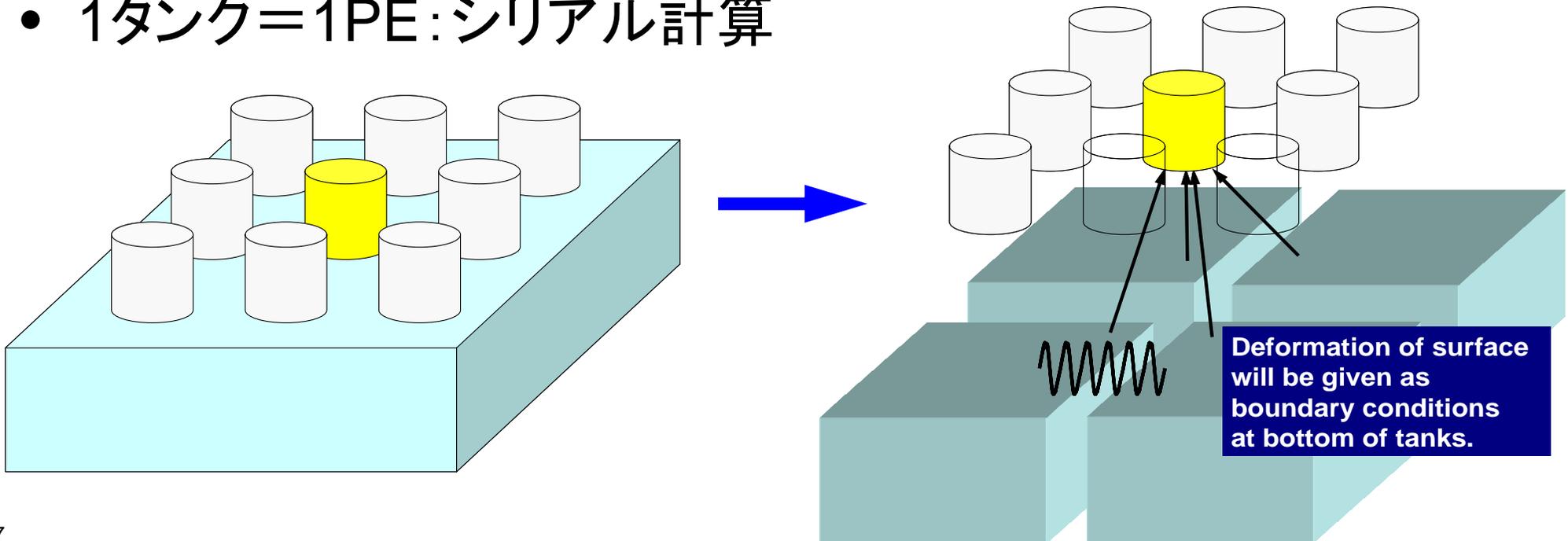


# 本シミュレーションの扱う範囲



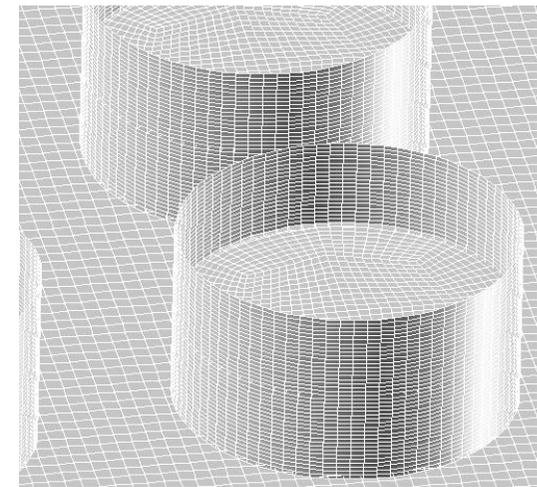
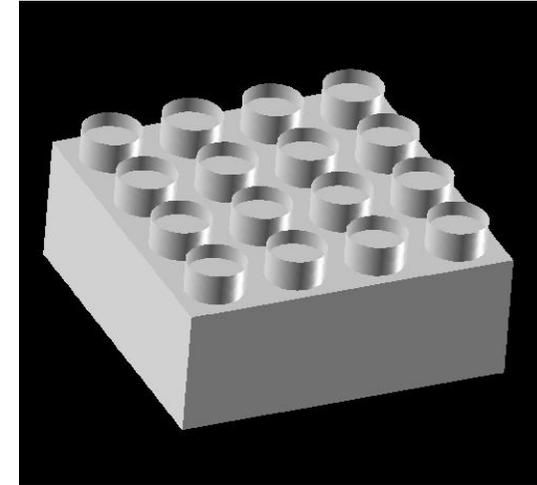
# 対象とするアプリケーション

- 地盤・石油タンク振動
  - 地盤⇒タンクへの「一方向」連成
  - 地盤表層の変位 ⇒ タンク底面の強制変位として与える
- このアプリケーションに対して、連成シミュレーションのためのフレームワークを開発, 実装
- 1タンク=1PE:シリアル計算



# 地盤，タンクモデル

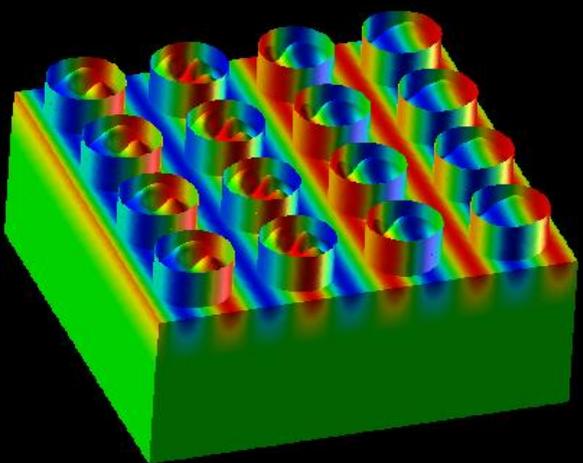
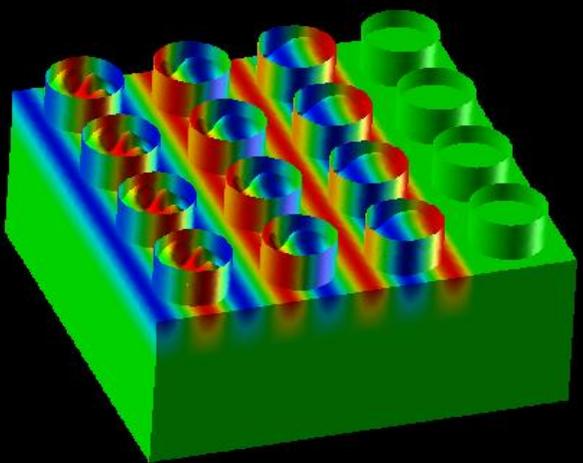
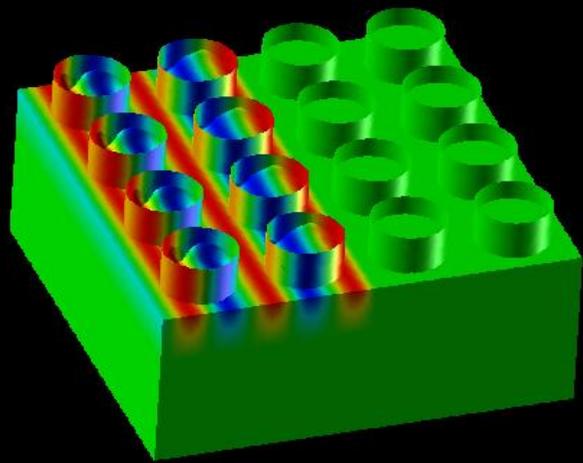
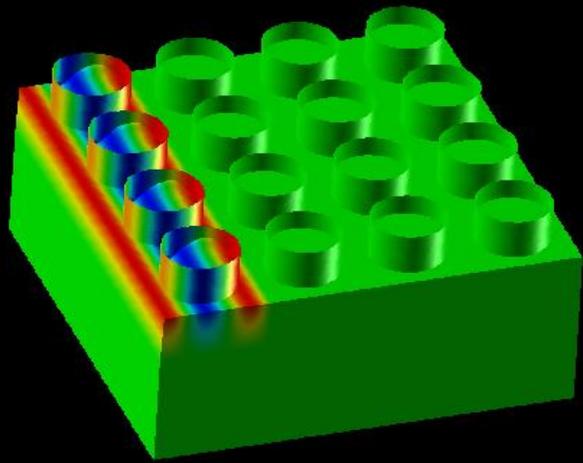
- 地盤モデル（市村）FORTRAN
  - 並列FEM, 三次元弾性動解析
    - 前進オイラー陽解法, EBE
  - 各要素は一辺2mの立方体
  - 240m × 240m × 100m
- タンクモデル（長嶋）C
  - シリアルFEM(EP), 三次元弾性動解析
    - 後退オイラー陰解法, スカイライン法
    - シェル要素+ポテンシャル流(非粘性)
  - 直径:42.7m, 高さ:24.9m, 厚さ:20mm, 液面:12.45m, スロッシング周期:7.6sec.
  - 周方向80分割, 高さ方向:0.6m幅
  - 60m間隔で4 × 4に配置
- 合計自由度数:2,918,169

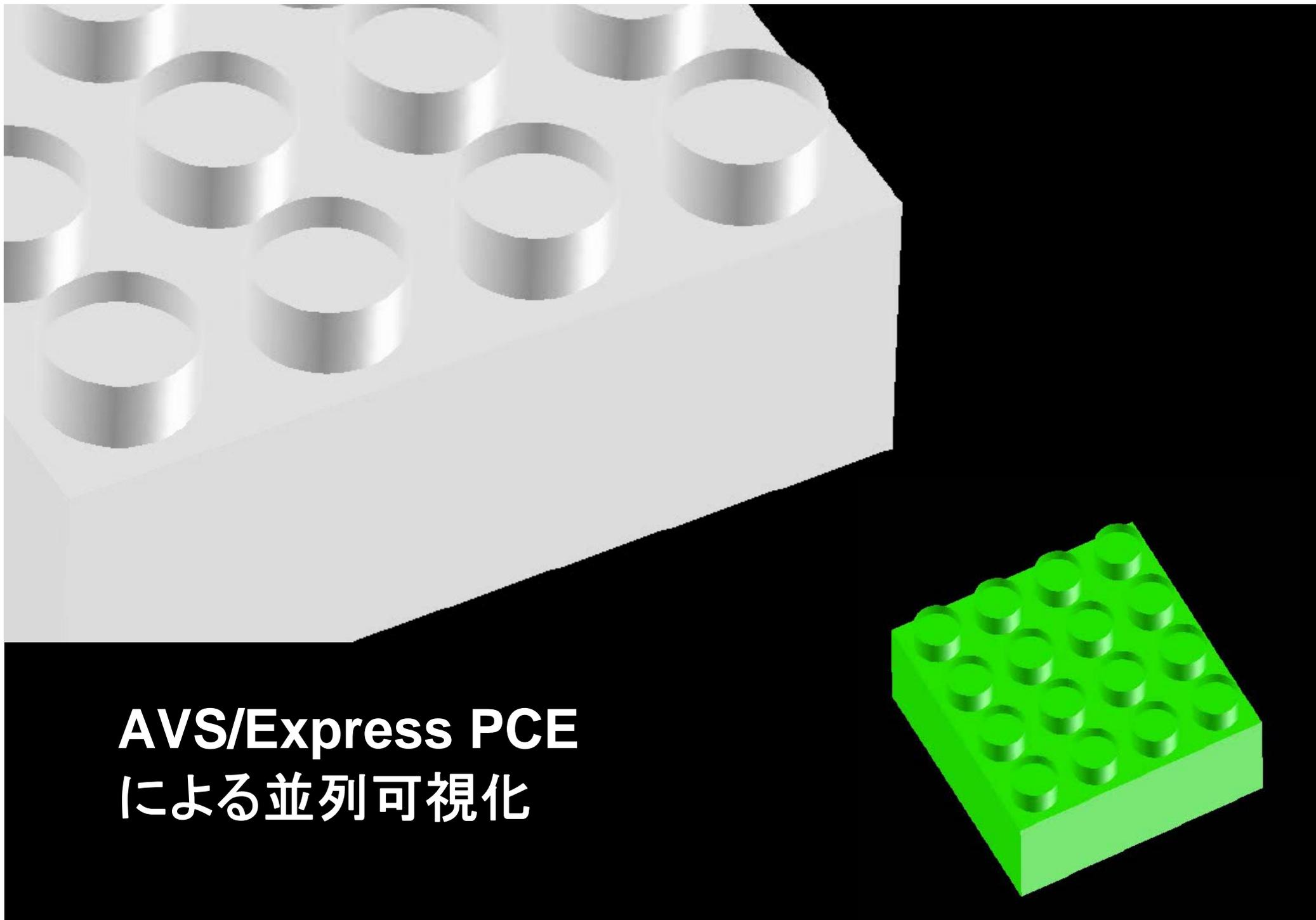


# 要約すると・・・

- 別々の人が作った複数のプログラムを一つにまとめて動かすような環境を開発した。
  - 市村(東工大):地盤モデル(工学基盤)
  - 長嶋(上智大):石油タンクスロッシング
  - 中島:プラットフォーム
  - 古村(地震研):地震基盤:将来的にはここもくっつける

# AVS/Express PCEによる並列可視化





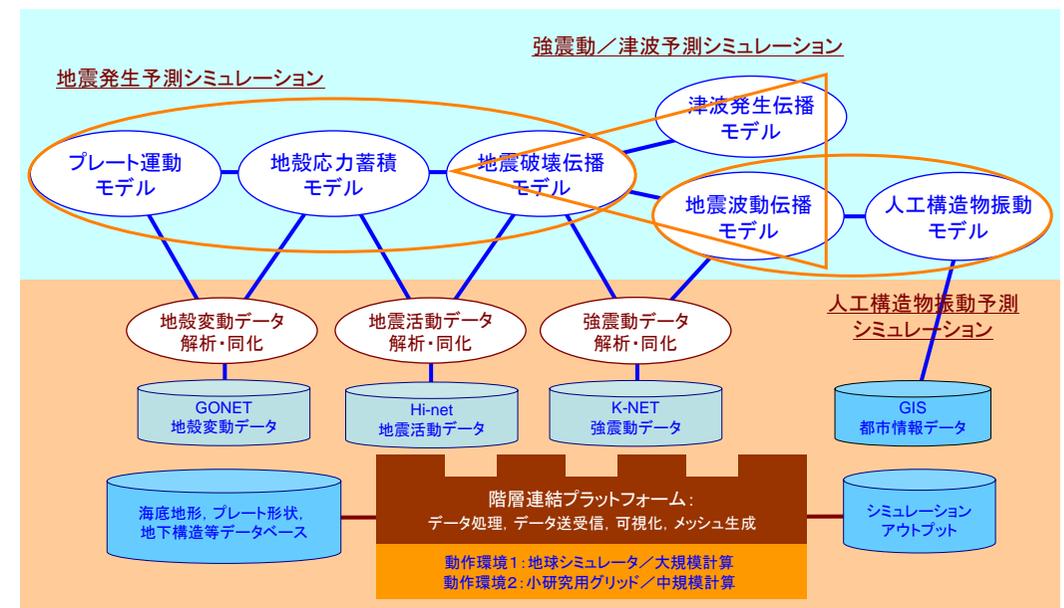
**AVS/Express PCE  
による並列可視化**

# 観測・計算の融合，連結シミュレーションの実現に向けて...

- 大規模なデータを扱う必要がある。
  - データセットのダウンロード，計算結果のファイルでのやりとりなどには限界がある。
  - 特に計算結果は「当然」並列で実施されるため，大規模な分散データを処理する必要あり。

## プラットフォームの重要性

- 大規模並列可視化
- 連結シミュレーションサポート
- Gridコンピューティングによる大規模データ処理
- 物理，計算科学の緊密な協力



# 異分野間研究開発で必要なこと

## ■ 相互理解・・・

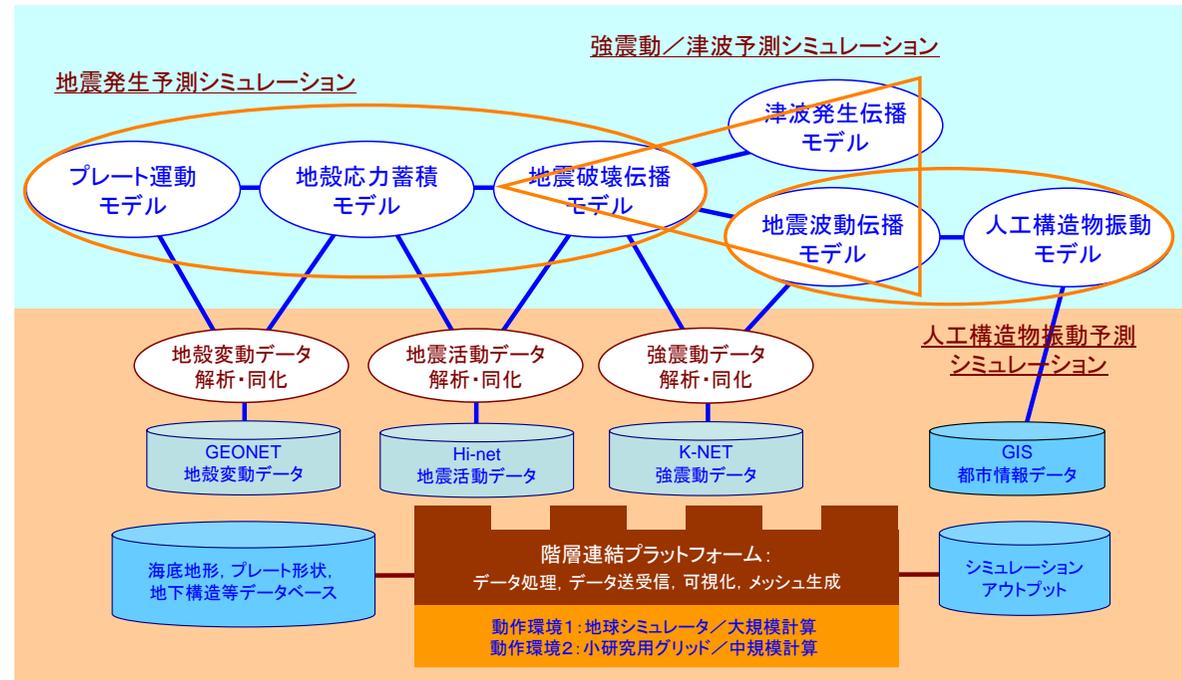
- 異分野の人間は言語、文化が違う
- 同じ分野の外国人の方が話しが通じる

## ■ 地球物理の人間は並列計算プログラムくらいは自分で作れなければ！

- 本講義の役割

## ■ 計算科学の人間は物理を理解している

- 科学技術シミュレーションの開発, 実施経験は必須



# 連絡事項

- 「履修用アンケート」できるだけ早く送付してください。
- 「教育用計算機」アカウントの取得も忘れずに。
- 次回から情報基盤センター大演習室2(5F)
- 時間があったら数値解析・・・