

並列可視化

2007年6月13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)

謝 辞

- 陳莉 副教授(清華大学)
 - ほとんどの内容は彼女の研究成果によるものである。
- 藤代一成 教授(東北大学流体科学研究所)
- 古村孝志 准教授(東京大学地震研究所)

- 株式会社 ケイ・ジー・ティー
 - <http://www.viz-journal.kgt.co.jp/>

可視化技術との向き合い方・・・

- 専門性が強い。
 - ソルバー以上。
- 何があるか, 何をしたいか, 何を使うか・・・
 - 「何をしたいか」というのは「何があるか」によって決まることが多いのも現状。
 - このような情報をいかにして得るかが問題。
 - 問題規模, アプリケーションの性質に依存することは言うまでもない。

参考文献等

- 全般

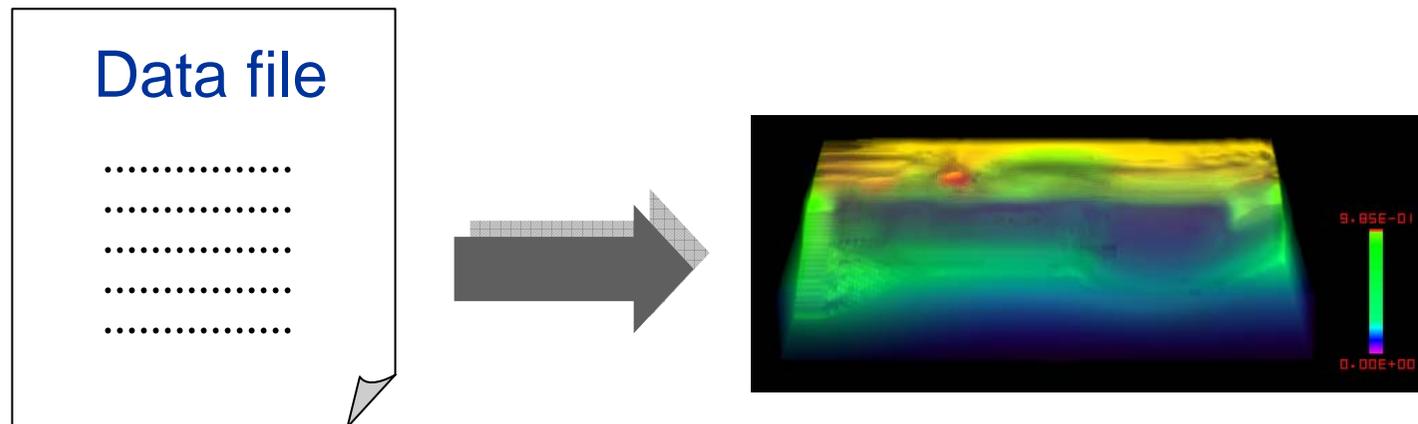
- 中橋, 藤井「格子形成法とコンピュータグラフィックス(数値流体力学シリーズ6)」, 東大出版会, 1995.
- 中嶋, 藤代「コンピュータビジュアライゼーション」, 共立, 2000.
- 白山「知的可視化」, 丸善, 2006.

- 並列可視化

- 奥田, 中島「並列有限要素解析」, 培風館, 2004.

可視化の意義

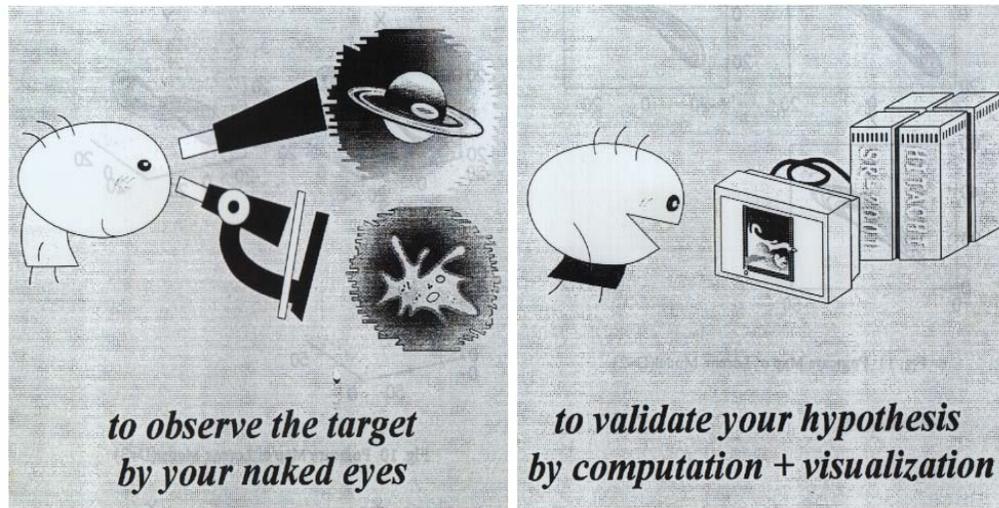
- シミュレーションや計測から得られた大規模数値データを視覚表現に変換し対象の直感的理解・効果的解析を支援
 - Controllable pictures are worth more than a thousand of words!



Seeing is Believing

- 人間にとって画像や映像は、さまざまな情報の交換・保存・伝達等における最も重要なメディアとなっている。複雑な現象や実験結果等の各種の情報を、コンピュータグラフィックス(CG)を用いて人間に理解しやすい形で視覚化し、画像や映像として表現する技術がコンピュータビジュアライゼーション(Computer Visualization) (「ビジュアライゼーション」または「可視化」)である。
 - 中嶋正之, 藤代一成編著「コンピュータビジュアライゼーション」, 共立出版, 2000.
- 可視化とは「CG」のことではない
 - CGに至るまでの様々な処理を「可視化」という

可視化の特徴(藤代他)



- 時空間独立性
 - 対象の時空間スケールに依存せずに
- 第一人称性
 - 個々の好きな見方で
- 非浸襲性
 - 対象をこわさずに
- 再現性
 - 得心のゆくまで繰り返し探ることができる

可視化の重要性

古村氏

- 中島が社会人になったころ(1985年)は, シミュレーションは二次元が中心で, FEM(有限要素法)のモデルを使っても1,000メッシュ程度であった。
 - リストを出力し, それを「読む」ことによって結果を評価していた(モデルのチェックも含む)。
- 三次元, 並列(分散)処理によるシミュレーションが主流になりつつある現在, 可視化技術の重要性は20年前とは比較にならないくらい大きい。
 - 効率的に特徴をつかむ方法。
 - 「立体視」ができるにしても, あくまでも二次元画面への投影が中心。

可視化処理

- 前処理
 - フィルタリング等
- モデリング
 - マッピング
- レンダリング
 - 画像生成のための処理

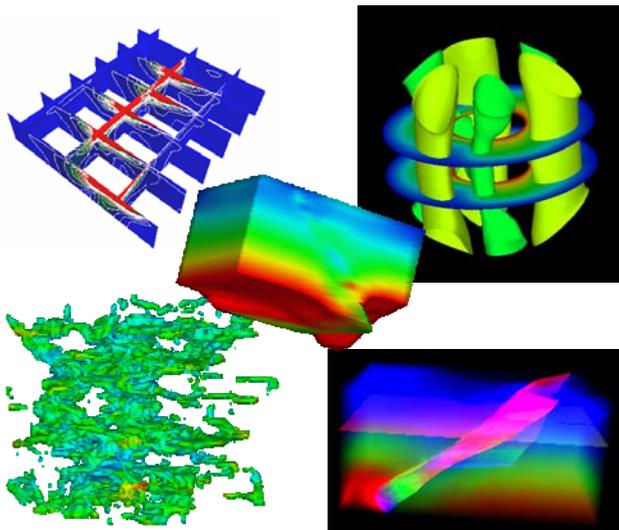
様々な可視化技法

スカラ場

Surface rendering

Interval volume-fitting

Volume rendering



ベクトル場

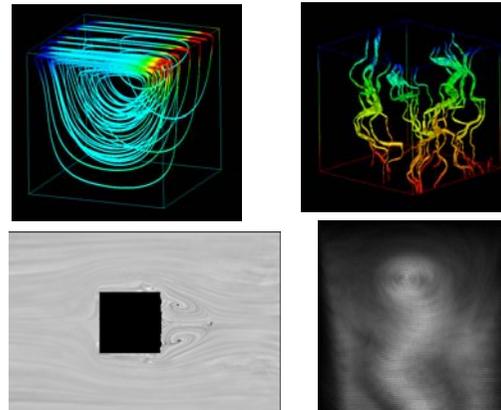
Streamlines

Particle tracking

Topological map

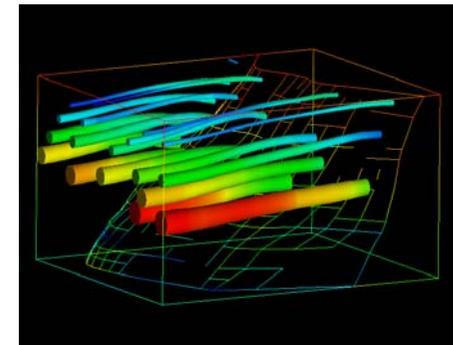
LIC

Volume rendering

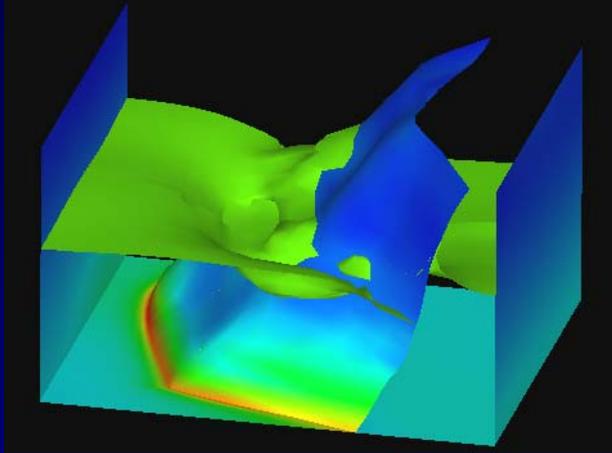


テンソル場

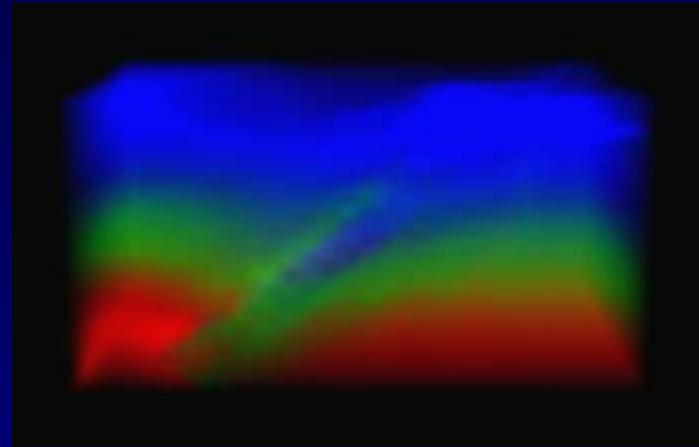
Hyperstreamlines



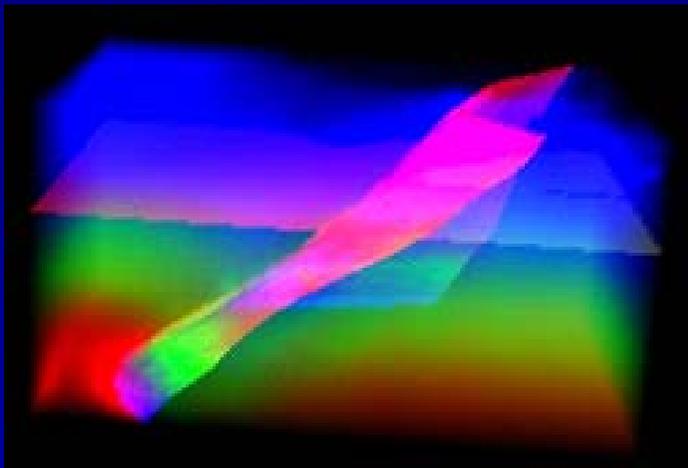
主要な可視化技法



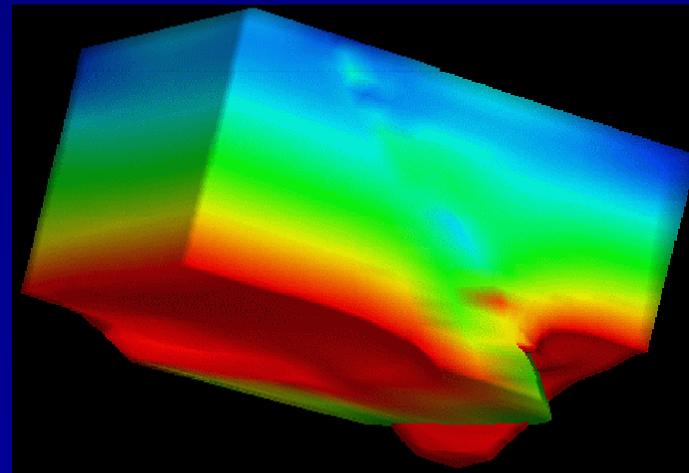
サーフェスレンダリング



ボリュームレンダリング



複合レンダリング

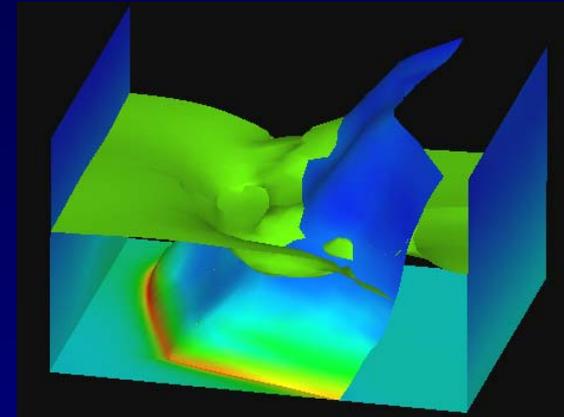


区間型ボリュームレンダリング

サーフェイスレンダリング(SR)

境界面

- 自動検出
- ユーザ定義



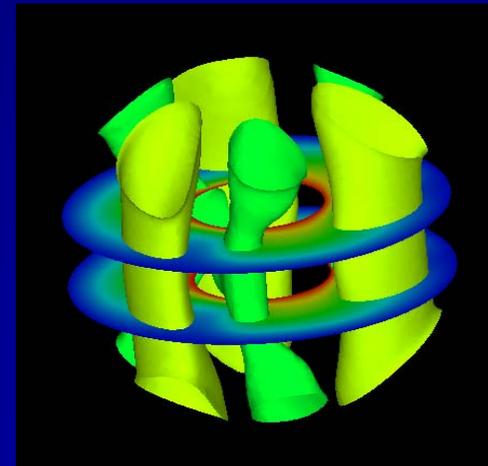
断層データにおける等値面と境界面

等値面

- 複数面の抽出
- 半透明表示

その他

- 方程式を用いた指定
- 断面



マントルコアデータにおける
複数枚の等値面と断面

Surface Rendering の特徴

利点

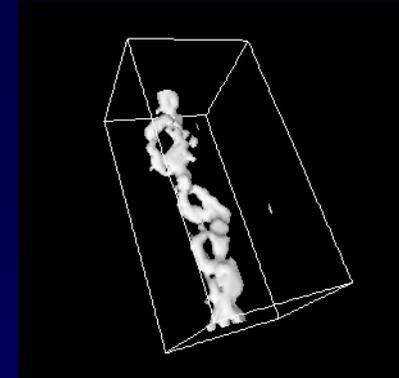
- 高速
- 正確

欠点

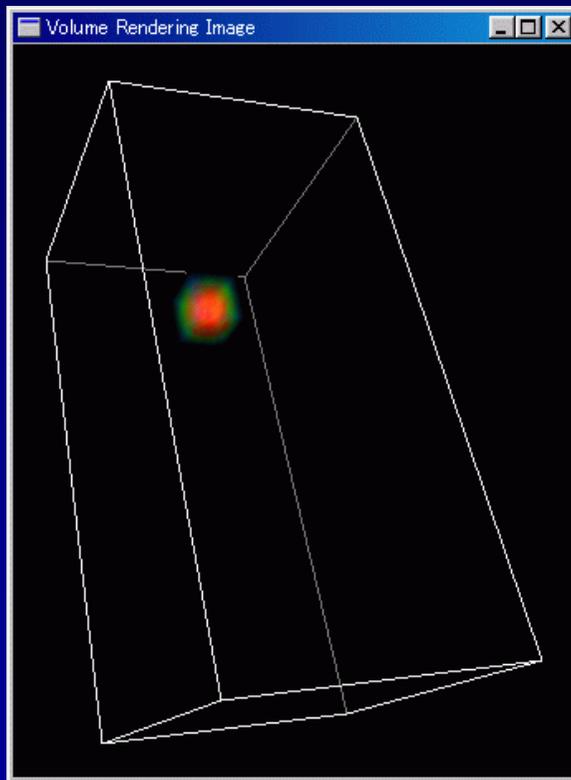
- データの一部しか見せられない
- 効果的なサンプリングパラメータ値の選択

例: 等値面の目的値, 断面の位置

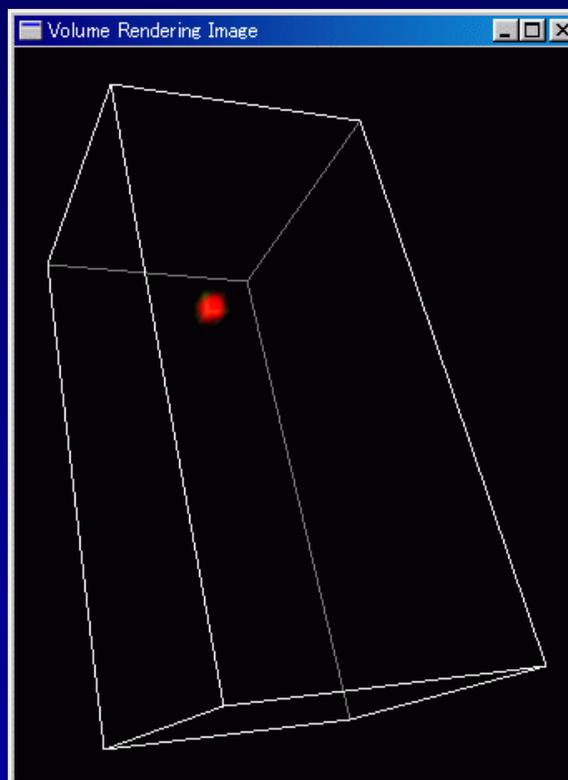
ボリウムレンダリング (VR)



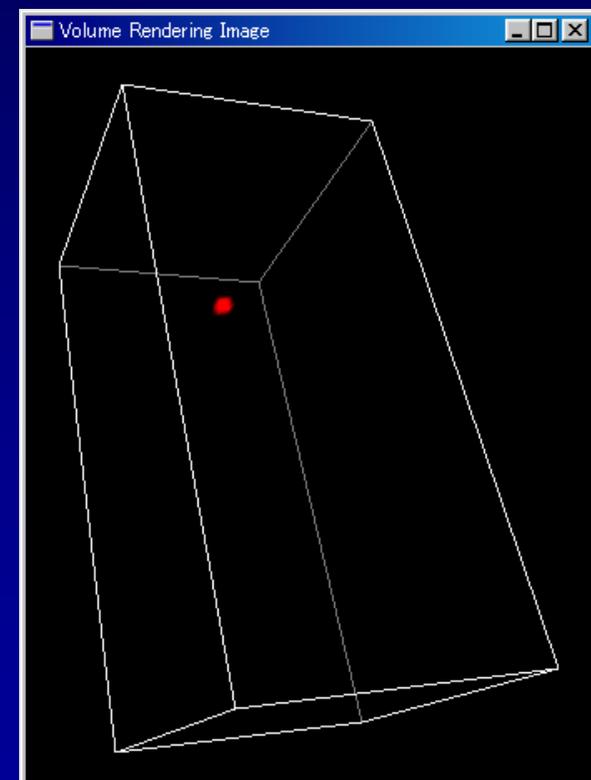
地下水のフローチャネル



$\Delta h = 5.00$



$\Delta h = 2.50$



$\Delta h = 1.25$

異なるメッシュサイズが対流と拡散に与える影響

Volume Rendering の特徴

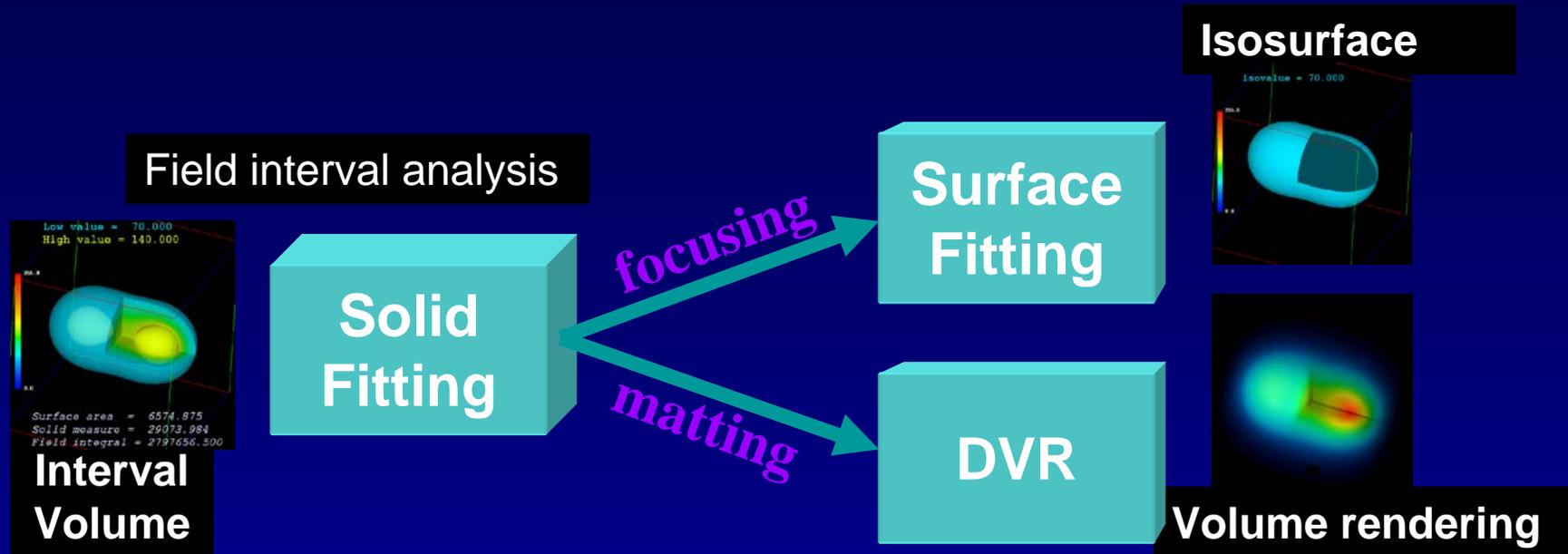
利点

- データ全体の内部構造を同時に可視化できる ⇒ 古村氏

欠点

- 計算時間
- 遮蔽効果

技法の使い分け



	Isosurfaces	Interval Volume	Volume Rendering
Quality	○	○	△
Intuitive	×	△	○
Calculation	○	○	△
Measurements	△	○	×

ベクトル場, 速度場の可視化手法

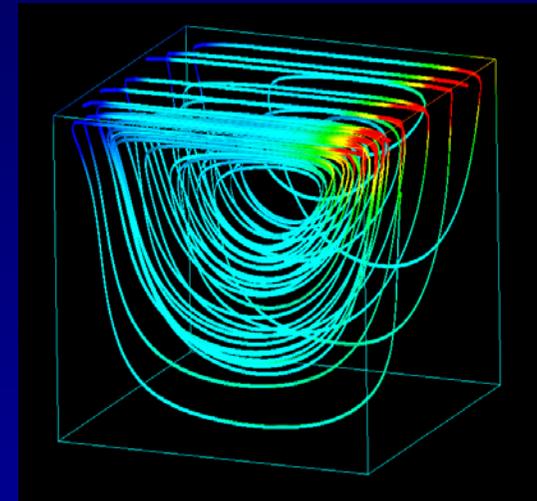
- 速度ベクトル・・・
- Streamlines
- Particles
- LIC (Line Integrated Convolution)

ストリームライン (Streamlines)

Features

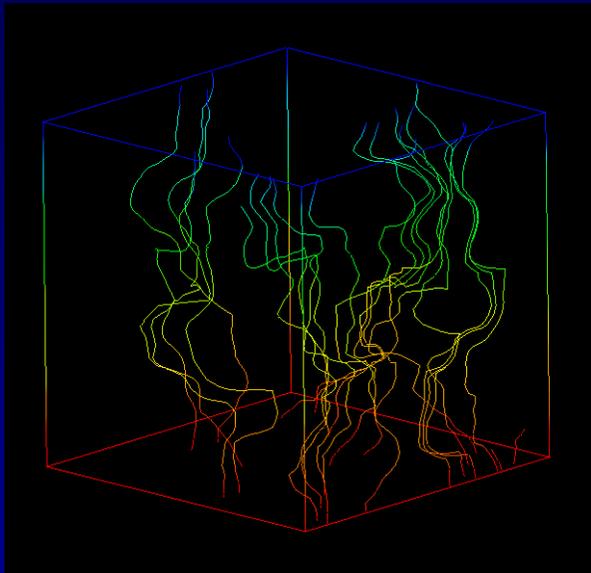
Provide three kinds of streamlines

- Traditional streamline : **no radius**
- Streamline + **fixed radius**
 - Can reveal more 3D orientation information
- Streamline + **variable radius**
 - (proportional to magnitude)
 - Can reveal one more dimensional information

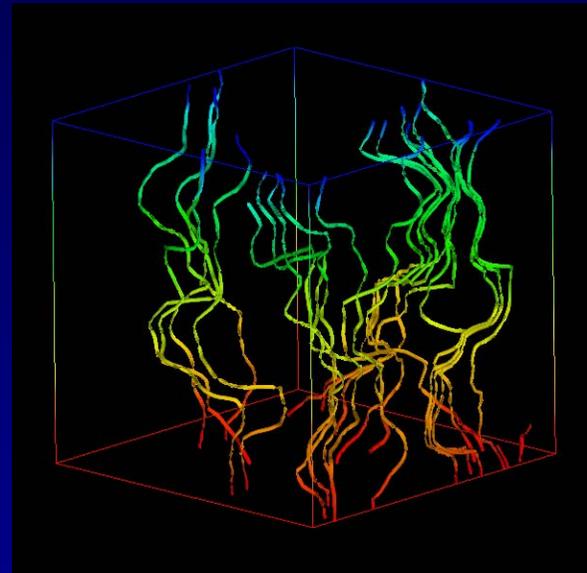


Illuminated streamlines for a lid-driven convection in a cubic cavity with a Reynolds number 1000

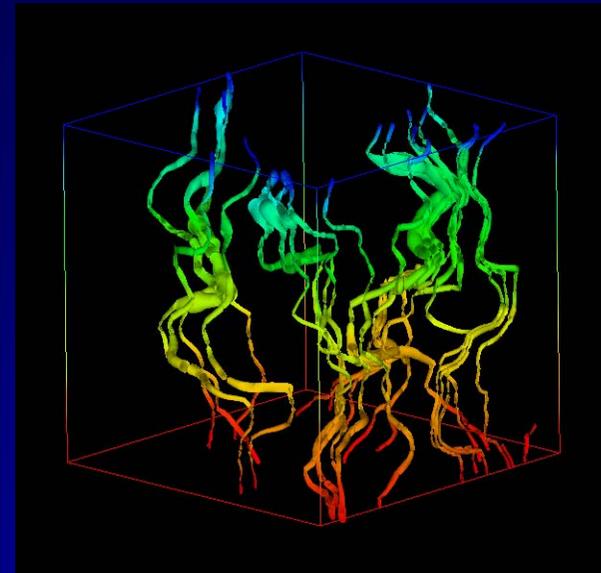
ストリームラインの適用例



(a) No radius



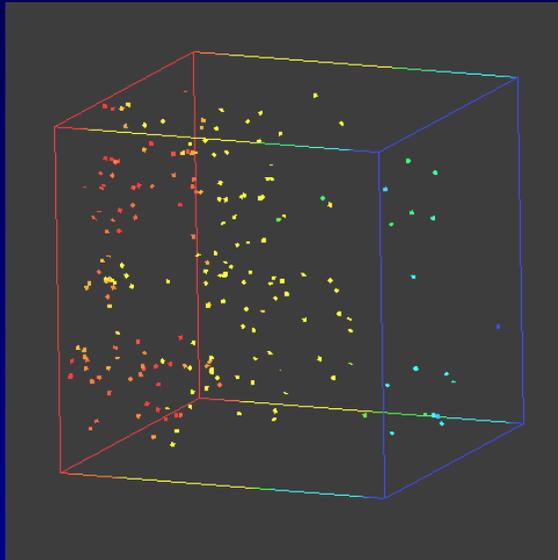
(b) Fixed radius



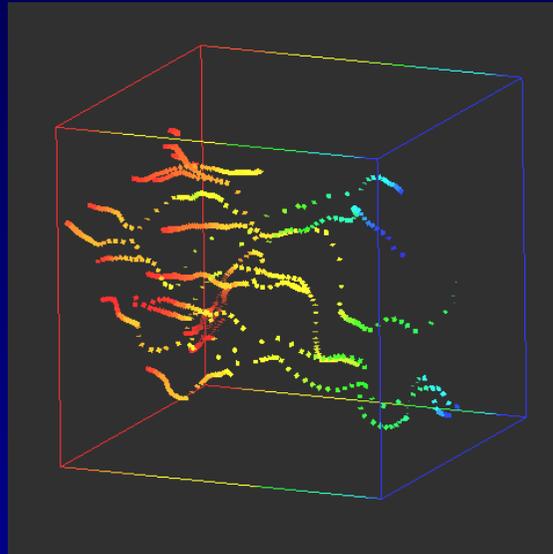
(c) Variable radius proportional to the velocity magnitude

Three types of streamlines for a underground water dataset
(color shows the distribution of the potential attribute)

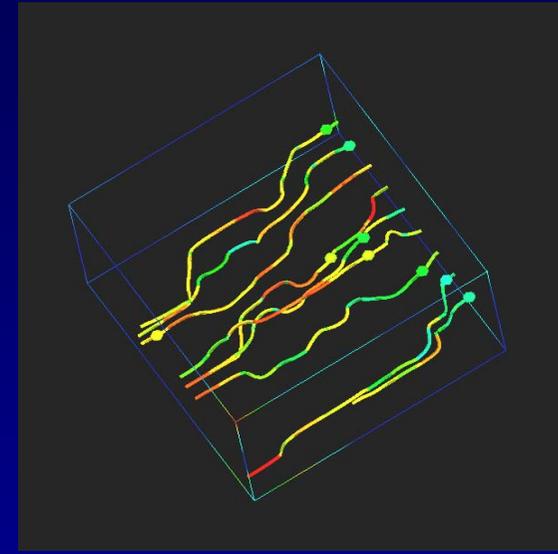
粒子追跡の適用例



(a) Release particles randomly from a release plane at each time-step



(b) Release particles at some fixed positions defined by users at each time-step



(c) Particles moving on the path trajectories

Visualizing an underground water flow field by different styles of particle release

C:\Documents and Settings\nakajima\My Documents\COE\授業\HP\07s\CS07\c2.0.gfa ファイル読み込み

単純 繰返し 反復 速度: 0

透視投影 双方向ライト ソフトウェアレンダラ モード: オブジェクト

ノーマライズ 位置: R N C 背景色: 透明度: 0

LIC (Line Integral Convolution)

[Cabral and Leedom: 1993]

Basic Idea

Take a white noise texture as input and make convolution at each pixel forward and backward along its local streamline.

$$F_{out}(P) = \frac{\sum_{i=0}^l F_{in}(P_i)h_i + \sum_{i=0}^{l'} F_{in}(P'_i)h'_i}{\sum_{i=0}^l h_i + \sum_{i=0}^{l'} h'_i}$$

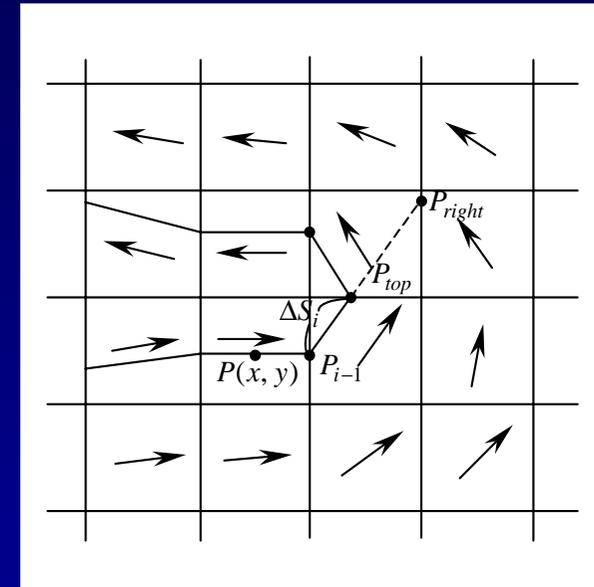
$$h_i = \int_{s_i}^{s_i + \Delta s_i} k(w)dw$$

$$s_0 = 0, s_i = s_{i-1} + \Delta s_i$$

Advantage

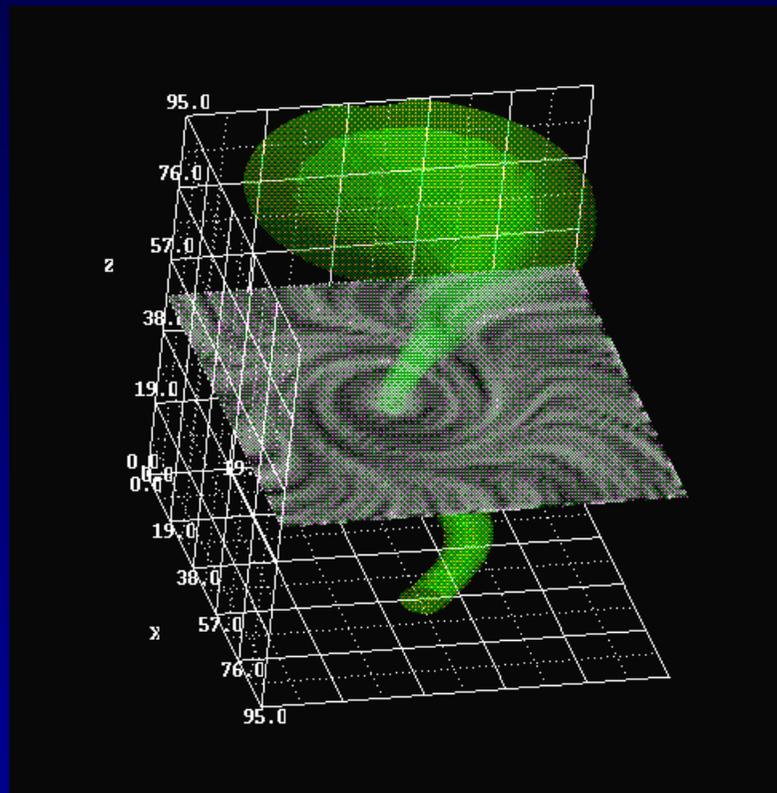
Avoid the trouble of sampling.

Can reveal vector direction clearly even in areas the vector direction changes quickly.



Local streamline for a point P(x,y) in a 2D vector field

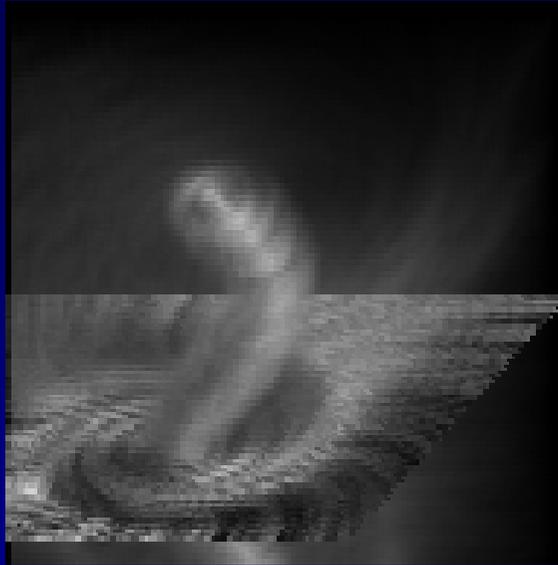
LICの適用例



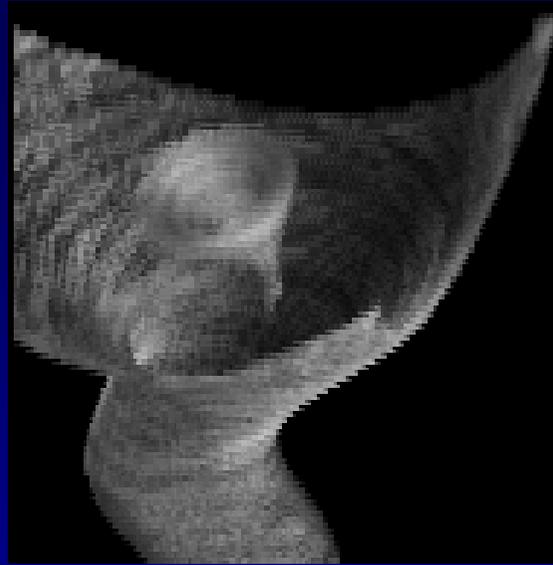
Near-velocity volume & LIC texture-mapped cross-section for tornado flow volume
(Code generating the dataset courtesy of R. Crawfis, OSU)

VLIC (Volume LIC) の適用例

Features



(a) Emphasizing the LIC texture on a cross-section



(b) Emphasizing the LIC texture on an isosurface of flow velocity magnitude



(c) Emphasizing the flow features based on the flow topology analysis

Different specifications of 3D significance map in the tornado dataset.

可視化技術の現状：ソフトウェア（1/2）

- 様々なニーズ，それらに対応したシステム
- データフロー型可視化システム
 - ビジュアルプログラミング的な環境，大規模システム
 - Open DX (IBM Data Explorer) (公開)
 - <http://www.opendx.org/>
 - AVS/express (AVS社) (商用)
 - <http://www.kgt.co.jp/feature/express/>
 - IRIS Explorer (NAG社) (商用)
 - http://www.nag.co.uk/welcome_iec.asp

可視化技術の現状：ソフトウェア（2/2）

- 専用可視化ツール
 - vGeo (Virtual Global Explorer and Observatory) (商用)
 - <http://www.nissho-ele.co.jp/product/vgeo/index.html>
- PC用ツール(商用)
 - Tecplot
 - <http://www.hulinks.co.jp/software/tecplot/>
 - Micro AVS (KGT社) : 講義で使います
 - <http://www.kgt.co.jp/feature/microavs/>
 - http://www.kgt.co.jp/feature/viz_e_learning/index.html

可視化技術の現状：ハードウェア

- グラフィックカードの高性能化, 低価格化
- 立体視, VR (Virtual Reality) 環境
 - Impressive Projection Technology
 - 理1号館837号室にもImmerse Deskがある



CAVE



Immerse Desk



activeMural

「並列」可視化

- 並列シミュレーションの結果を，並列計算機を使用して可視化すること。
- ここでは，並列シミュレーションによって得られた分散データ(ファイルまたはメモリーイメージ)を処理して，一枚の画像で見ることができるようになること。
- 結果データは非常に大規模→単一データは不可能



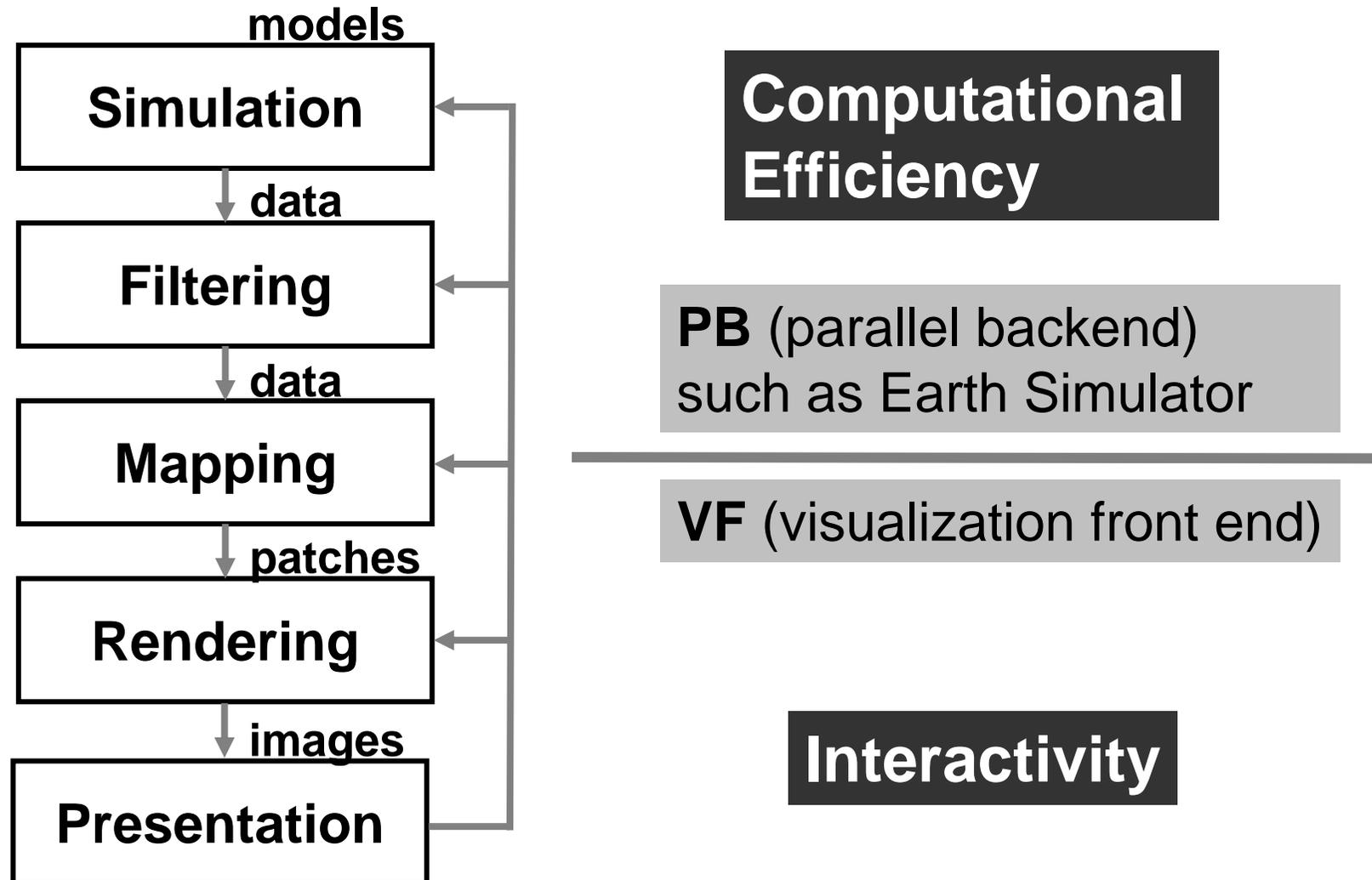
大規模シミュレーション

- 計算本体は比較的スケーラブル
 - 並列化, ベクトル化は容易・・・または可能
 - 研究も進められてきた
- メッシュ生成, 可視化に代表されるプリ・ポスト処理には多くの課題が残されている
 - 特に非構造格子
 - 可視化については克服されつつある, と思う。
 - もともと大域的な参照が生じるため並列化が非常に困難である。
 - 爆発的に大規模なデータの取り扱い

大規模シミュレーション: 例

- 日本列島周辺
 - 1000km × 1000km × 100km 領域
 - 1kmメッシュ → 100M 節点
- 1節点あたり10変数出力・・・とすると
 - 1ステップで約 10GB
 - 100ステップで約 1TB
- テラバイトスケールの入出力は容易に達成できる
- データ処理については、小規模問題、並列でないシミュレーションとは異なった対応が必要となる
 - I/O時間も無視できなくなる

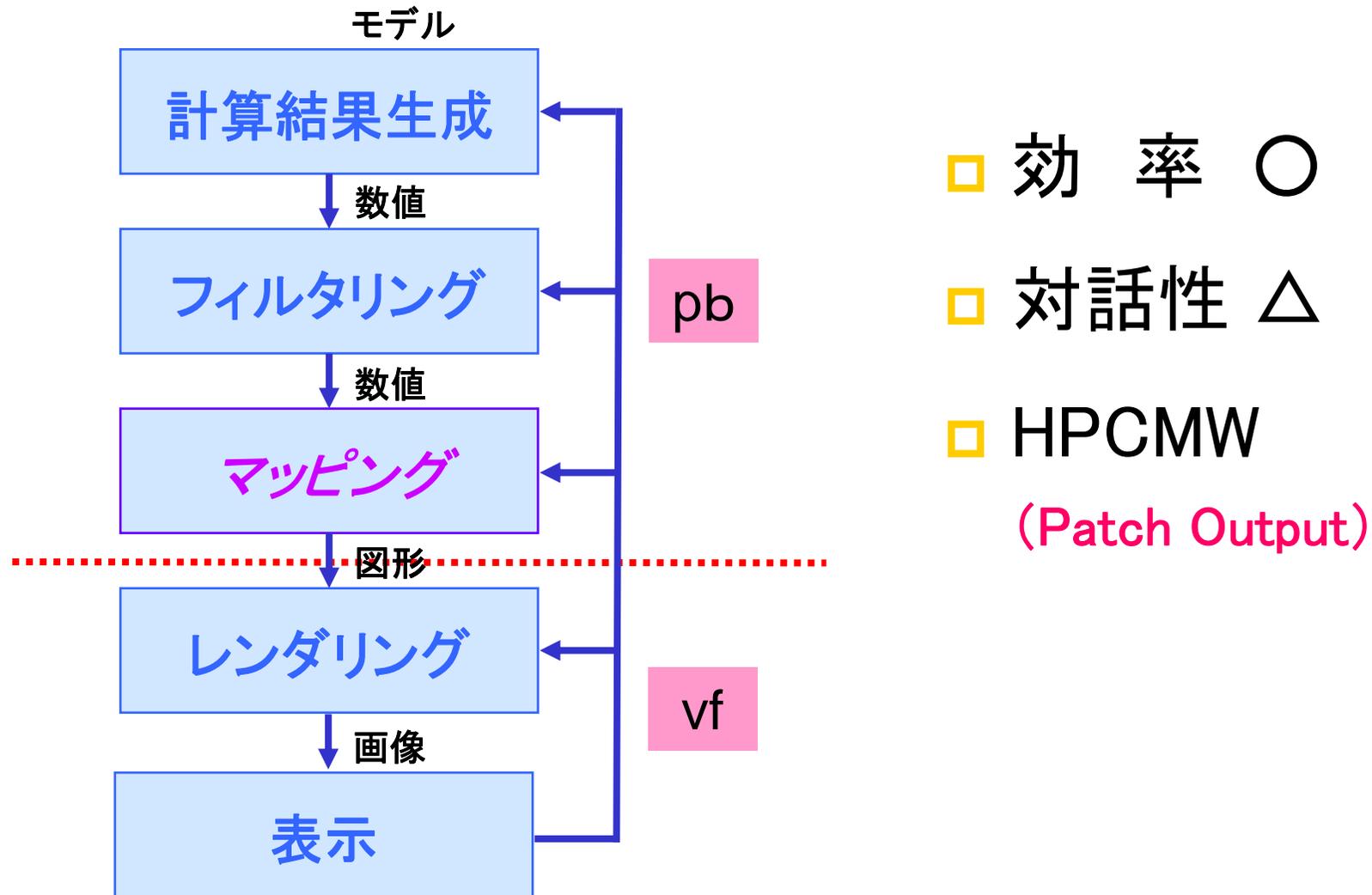
Data-Flow Paradigm for Parallel Visualization (Fujishiro et al.)



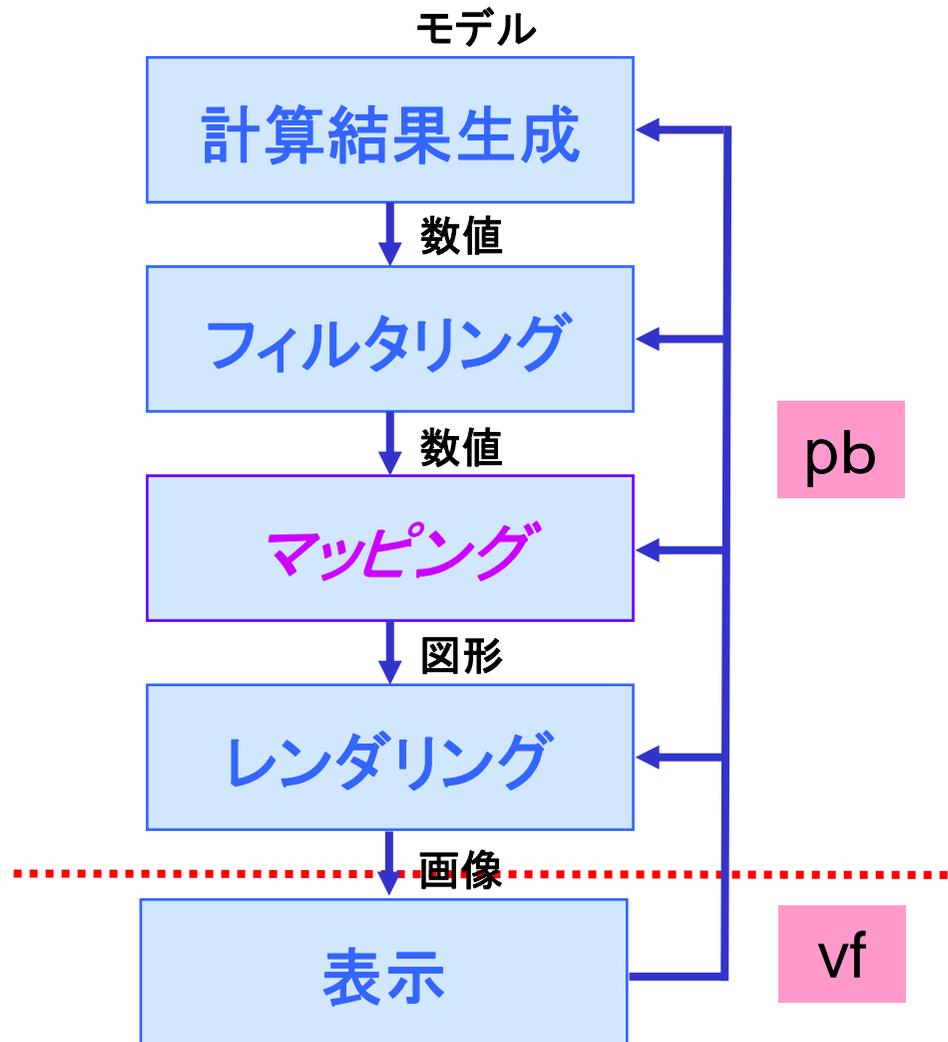
並列可視化の現状

- まだまだ研究レベル, 実用に至っているものは少ない
 - GeoFEM: <http://geofem.tokyo.rist.or.jp/>
 - HPC-MW: <http://hpcm.w.tokyo.rist.or.jp/>
 - 「地球シミュレータ」の利用
 - AVS/Express PCE (クラスター版AVS):
<http://www.kgt.co.jp/feature/pce/>
- インタラクティブ性と大規模データの効率的な取り扱い
 - 相反する要因
 - 視点を変えるたびに並列処理が必要になる場合もある

並列処理の切り分け: 案1



並列処理の切り分け: 案2



- 効率 ○
- 対話性 ×
- HPCMW
(Image Output)

GeoFEM, HPC-MWにおける 並列可視化機能の特徴

- 様々な可視化手法, メッシュ体系をサポート
- 特殊なハードウェア, ライブラリは不要
- 高い並列性能
- 複雑形状への適用性
- 様々なハードウェアに対する最適化
- 使用法
 - ファイル渡し, または, メモリ渡し
 - Patch File (AVS) または Image File (BMP)
 - メモリ渡しは結果ファイルを残さない

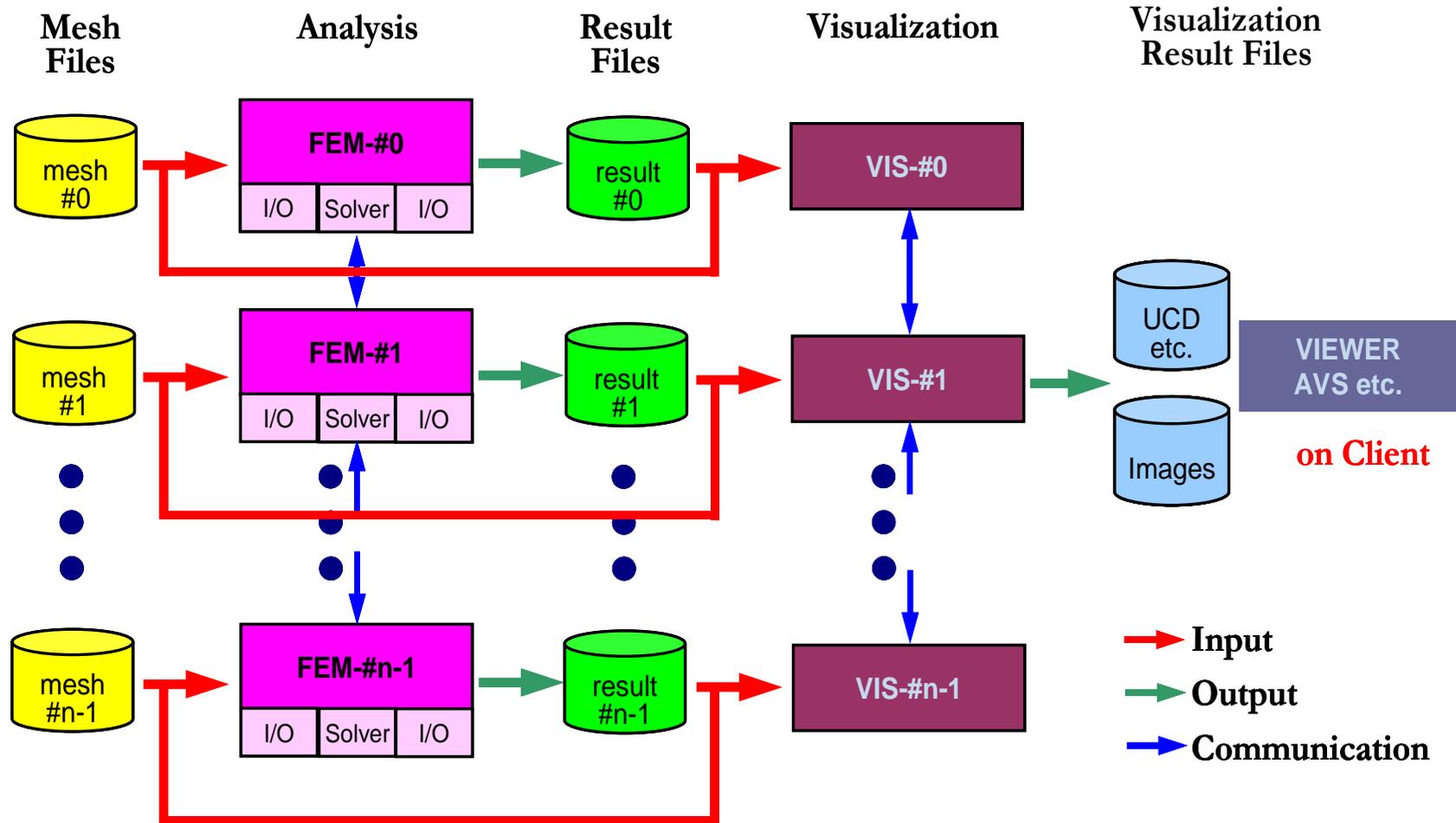
問題規模，処理環境に依存した 処理方法

「地球シミュレータ」利用申請書類より

- ① 出力ファイルをPC等にダウンロードし，ポスト処理を実施する。この手法は問題規模，出力ファイルのサイズが比較的小さい場合に可能である。
- ② 出力ファイルを「地球シミュレータ」上で並列処理し，生成されたパッチファイルもしくはイメージファイルをPC上のソフトウェアを使用してブラウズする。この手法は中程度の規模の問題の場合に相当である。(ファイル渡し)
- ③ 出力ファイルを書き出すことなく，計算と同時に可視化プロセスを実行し，各タイムステップにおいてパッチファイルもしくはイメージファイルを生成し，それらをPC上のソフトウェアを使用してブラウズする。この手法は問題規模が非常に大きく，全結果ファイルのI/Oが事実上不可能であるような場合に適切である。しかし，可視化する物理量はもとより，領域，視点など全てのパラメータを予め決めておく必要があり，より小規模な問題を使用して前記①，②などの予備的なプロセスを経ることが前提である。(メモリ渡し)

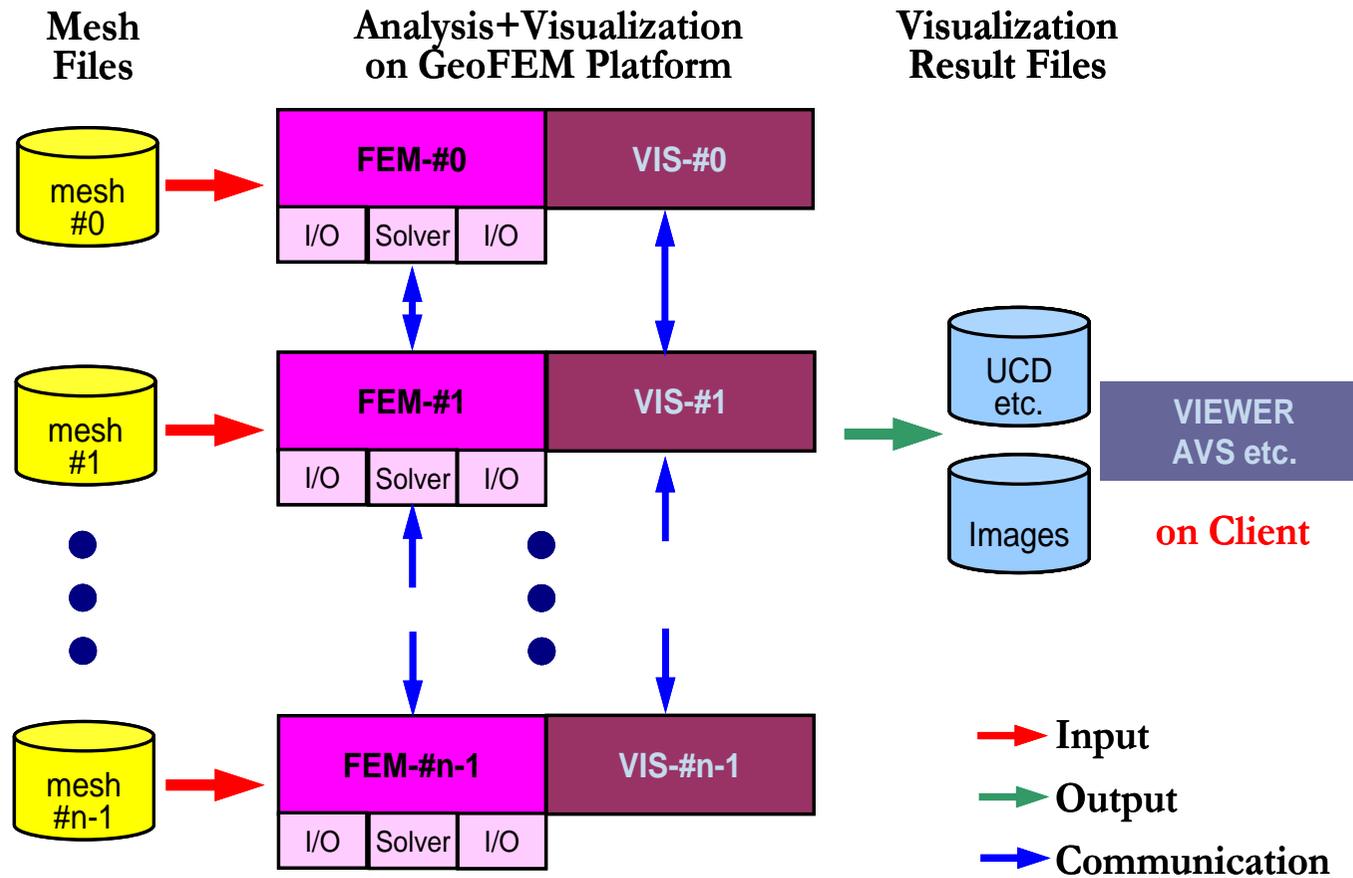
並列可視化フレームワーク 1

ファイル渡しバージョン

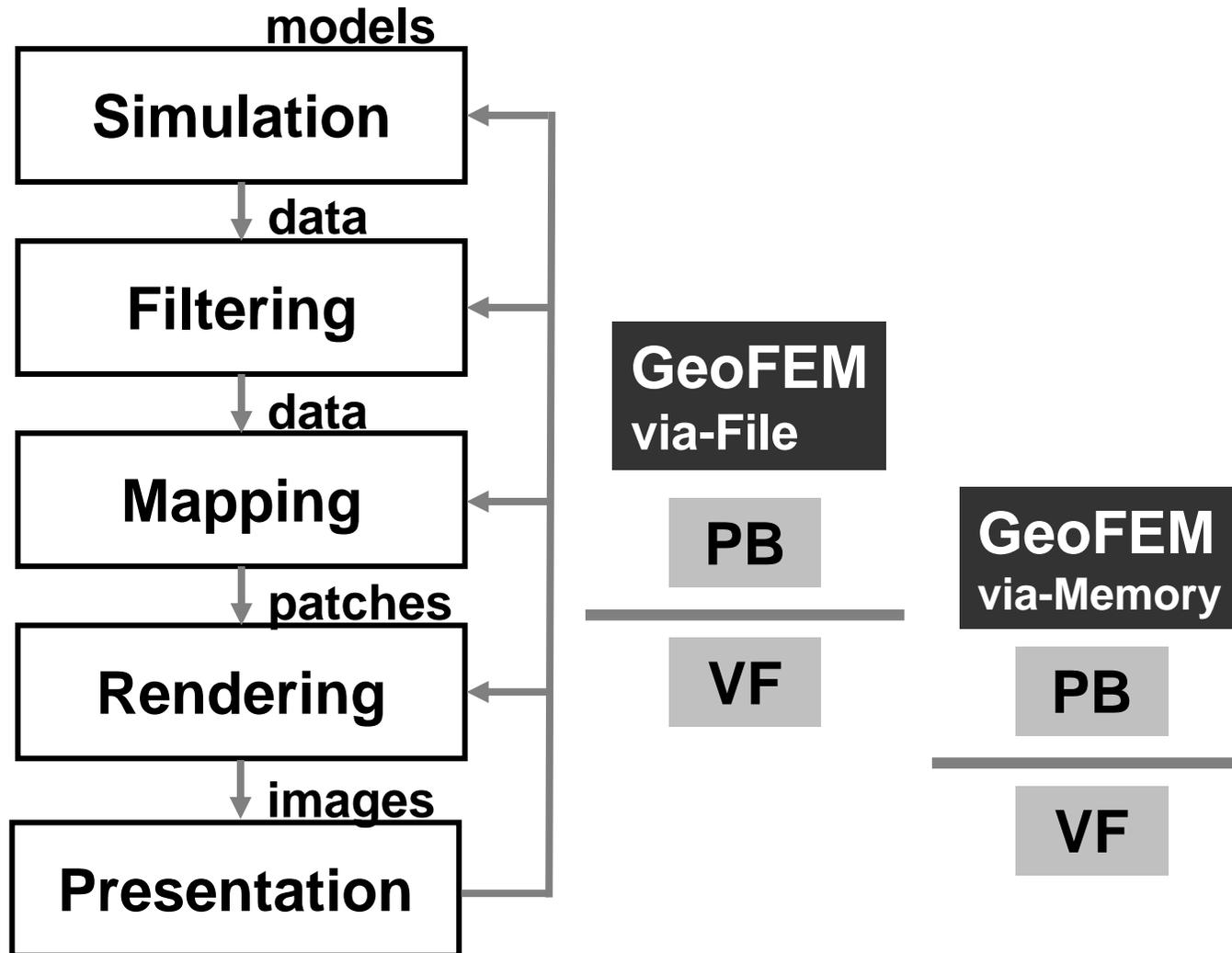


並列可視化フレームワーク 2

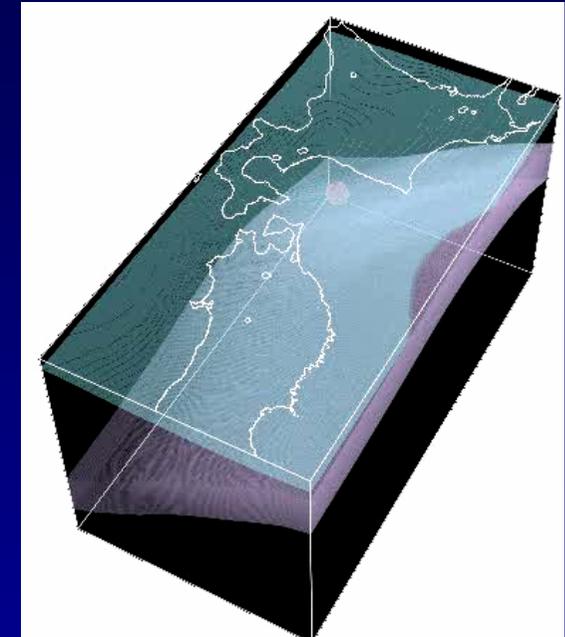
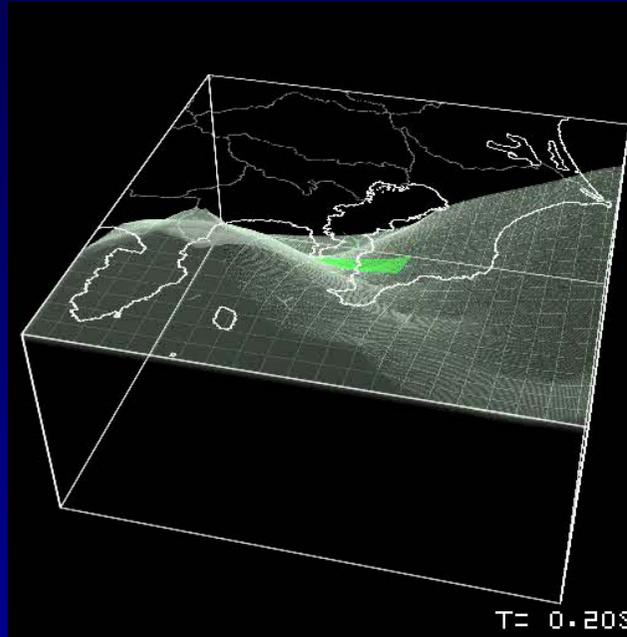
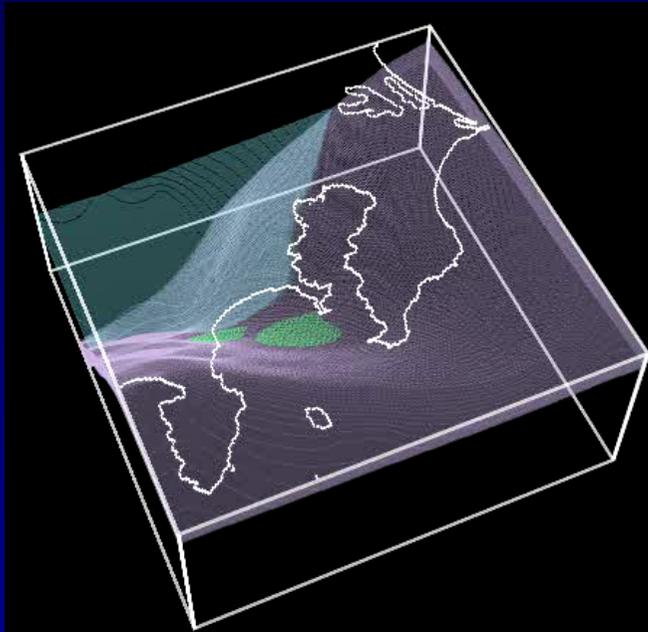
メモリ渡しバージョン



Data-Flow Paradigm for Parallel Visualization (Fujishiro et al.)



Structured Grids for FDM



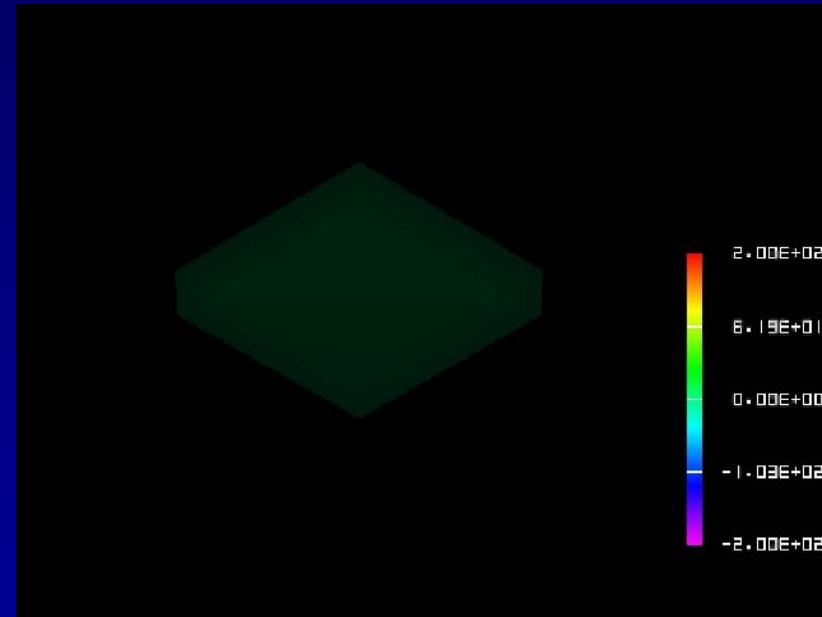
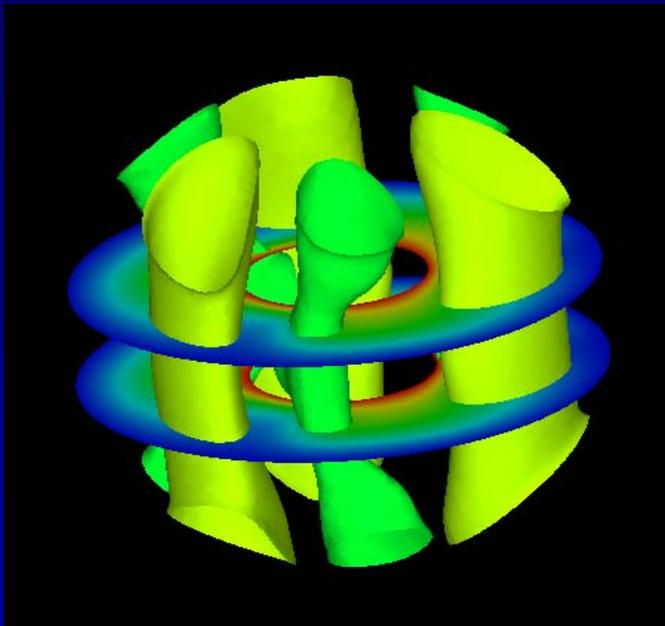
Parallel volume rendering for a regular dataset (Earthquake simulation, Data courtesy of Prof. Takashi Furumura, ERI/University of Tokyo)

Unstructured Grids for FEM

Hybrid of tetrahedra, hexahedra, prisms, etc.

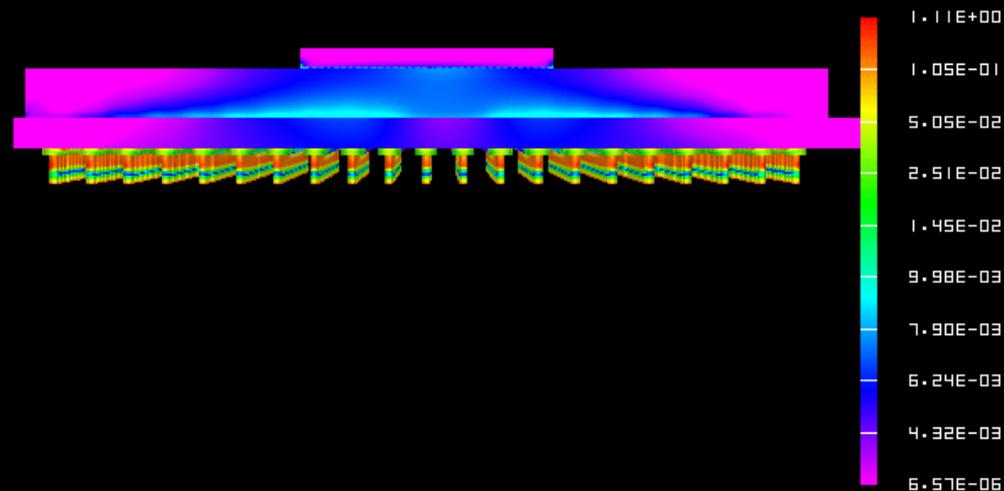
Hierarchical

Higher order elements



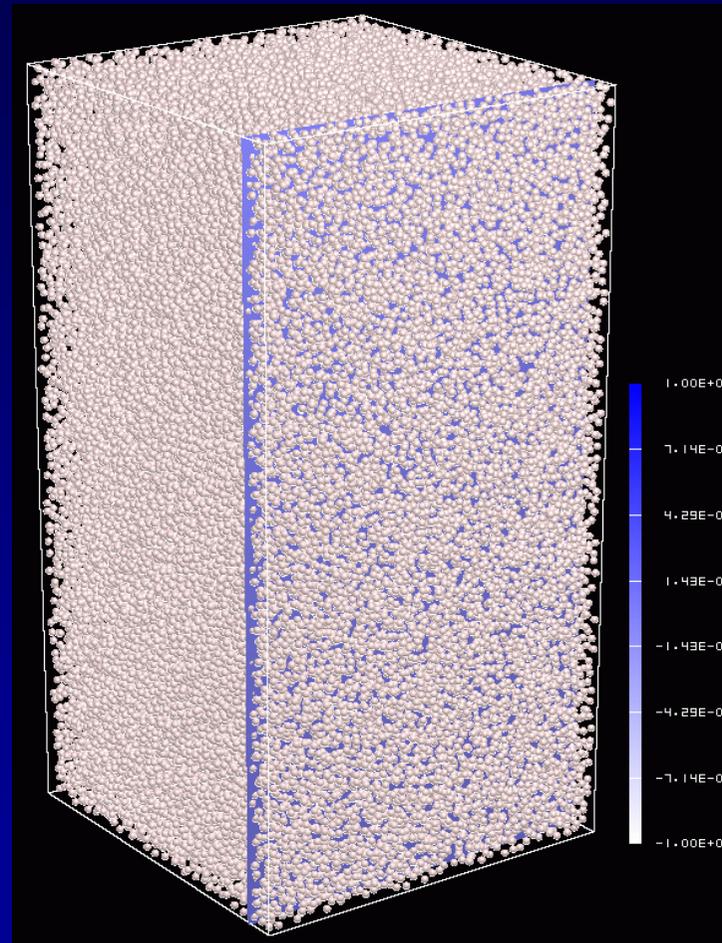
Parallel visualization images for the unstructured magnetohydrodynamic simulation datasets: Parallel surface rendering image (left); Parallel volume rendering image (right) (Data courtesy of Dr. H. Matsui, University of Chicago)

Animation for 495-pin PGA Dataset



Volume rendered animation to show the mises stress by the linear elastostatic analysis for a 495-pin PGA dataset. It took about 64.312 seconds to generate 32 frames animation with resolution 400*400 using 4 SMP nodes on the ES.

Particle Data for DEM



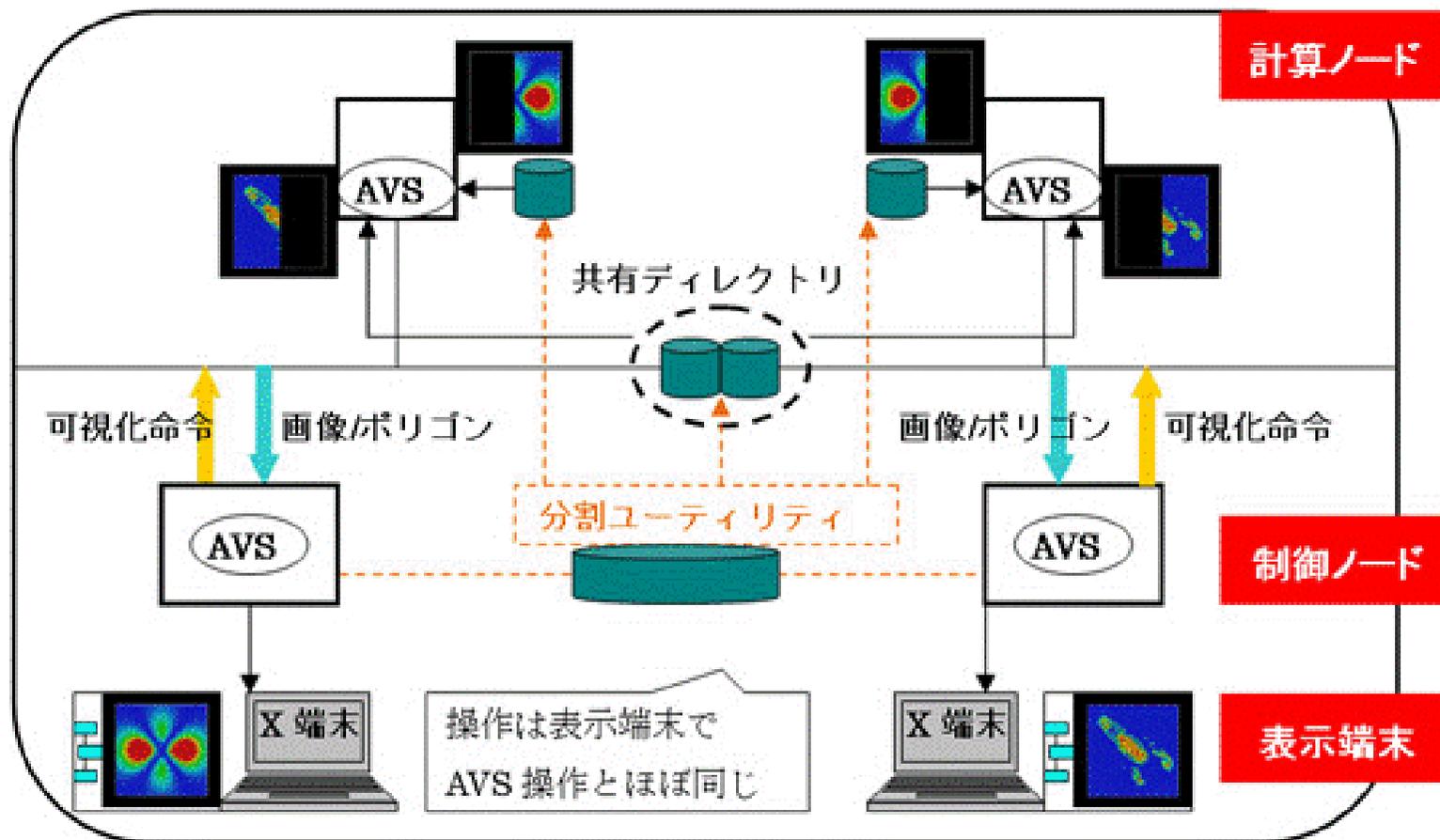
Parallel surface rendering image for displaying large number of particles
(Data courtesy of Dr. Daisuke Nishiura, Doshisha University)

AVS/Express PCE Parallel Cluster Edition

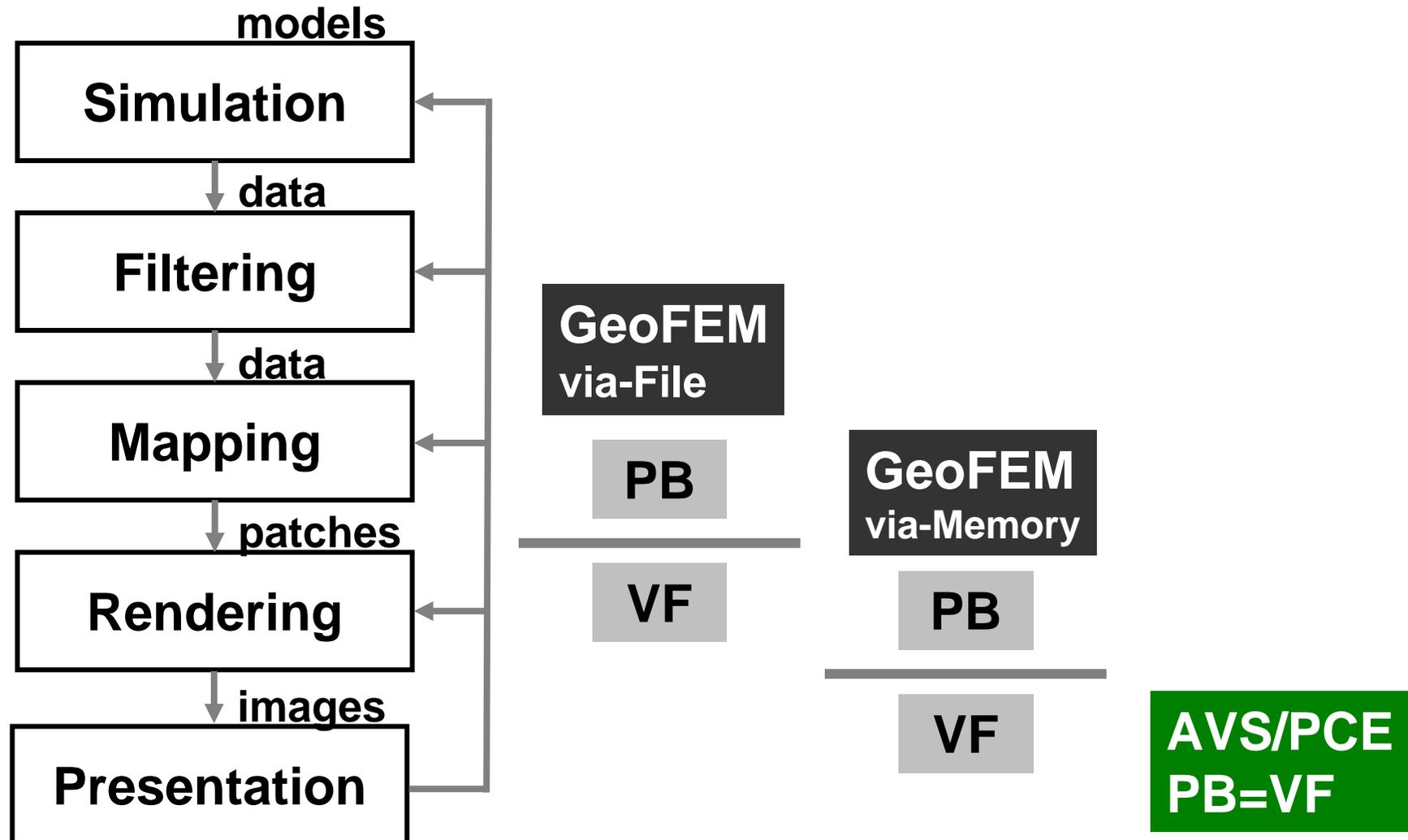
- <http://www.kgt.co.jp/feature/pce/#features>
- AVS/Express PCEでは、クラスタ化された複数のLinuxマシンで、各計算ノードが持つ部分領域のみを可視化し、最終的な可視化結果のみ制御ノード上で表示するという構成になっている。
- 並列計算の結果、出力される大規模データを可視化する場合でも、高い精度を保ったまま、可視化処理を実現することが可能。
- **並列計算機上で対話処理可能**
 - 最新版ではWindowsより制御可能

AVS/Express PCE Parallel Cluster Edition

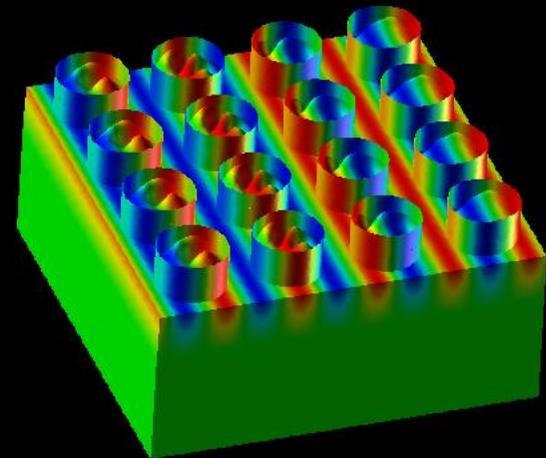
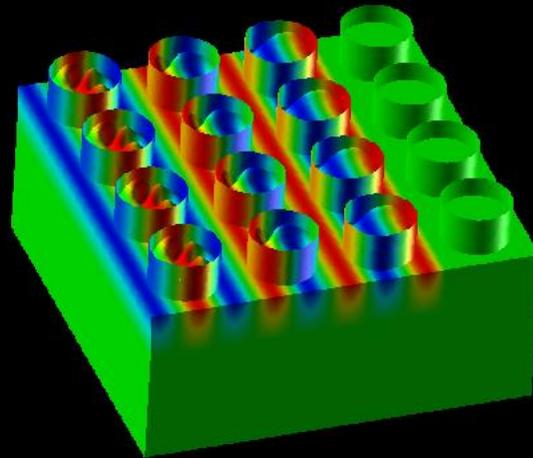
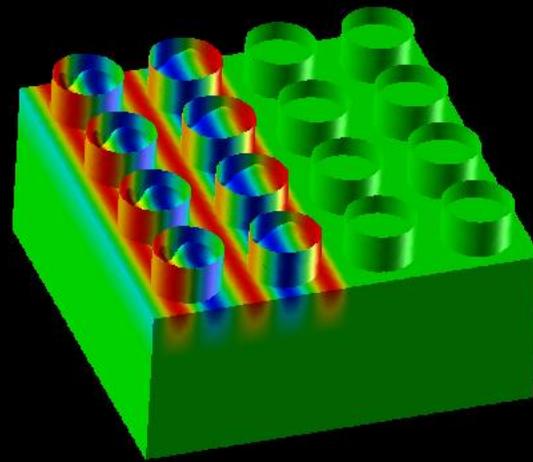
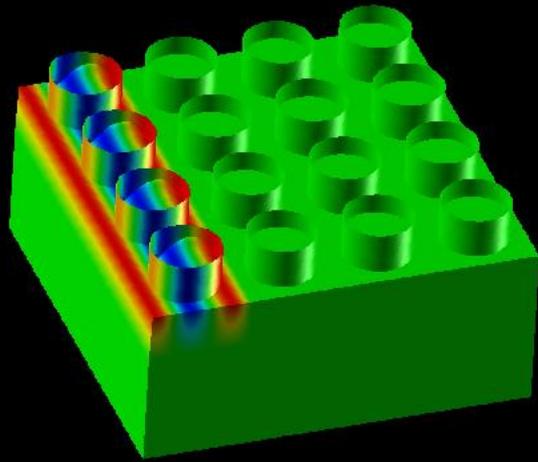
KGT社 HPより



Data-Flow Paradigm for Parallel Visualization (Fujishiro et al.)

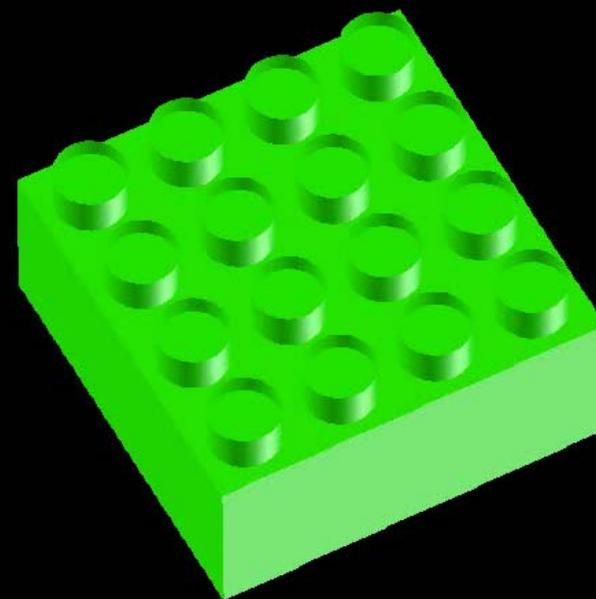


AVS/Express PCEによる並列可視化 16+16



表示方法

AVS/Express PCE
による並列可視化
16+16



まとめ

- 様々な可視化手法, 環境
 - グリッド環境を利用した遠隔可視化
 - VizGrid: <http://www.vizgrid.org/>
- 並列可視化技術はまだ研究途上にある
 - 特にボリューム可視化
- HPC-MW, GeoFEM
 - おそらく世界で唯一の(フリーの)並列可視化ライブラリ
- 今後の課題: 一層, 大規模化するデータの扱い
 - 気候, 気象シミュレーションにおけるパラメータスタディ
 - 可視化データの観測技術
 - データマイニング
 - 蓄積: 差分情報のみを記憶する
 - データベース, データマイニングの手法, 知見を利用