

HPCと可視化

神戸大学 システム情報学研究科 計算科学専攻

陰山 聡

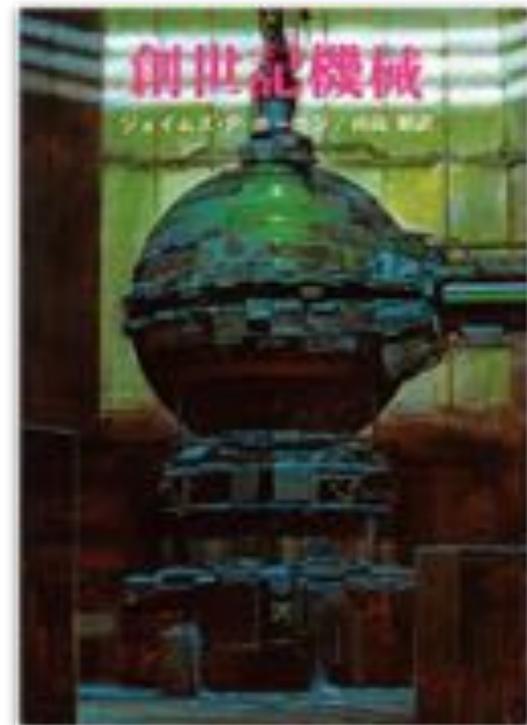
HPCと可視化：夢と現実

- 夢
- そもそもHPCと可視化は何のため？

思考（研究）の道具

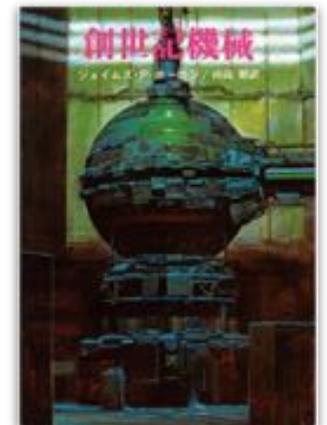
HPCと可視化：夢と現実

- J. P. ホーガン 『創世記機械』
 - ▶ 1981年 創元推理文庫

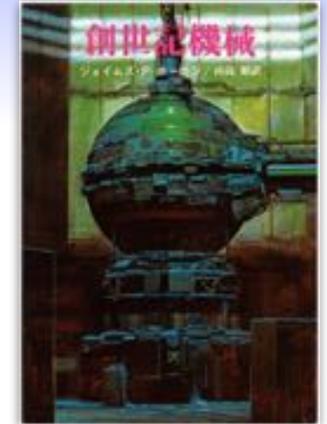


HPCと可視化：夢

- 舞台：高等通信研究所（ACRE）
- 主人公：クリフォード（理論物理学者）
- “自然が空間、時間、エネルギー、物質の不思議な相互作用を作り上げる隠れた法則を洞察しようと熱中していた。”

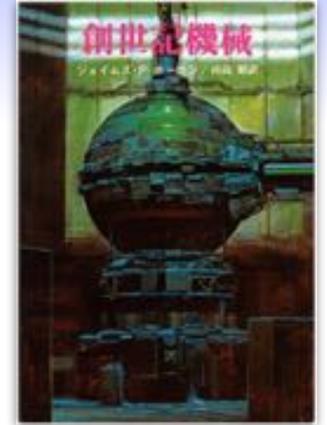


HPCと可視化：夢



- ACREにある「部屋」
- 壁は巨大なスクリーン（計算機と接続）
- 図形と式を見ながら音声で指示。
 - ▶ “現在の映像を保存し、ファイル名を・・・とせよ。” 音声認識
 - ▶ “微分係数を・・・とせよ。” 数式処理

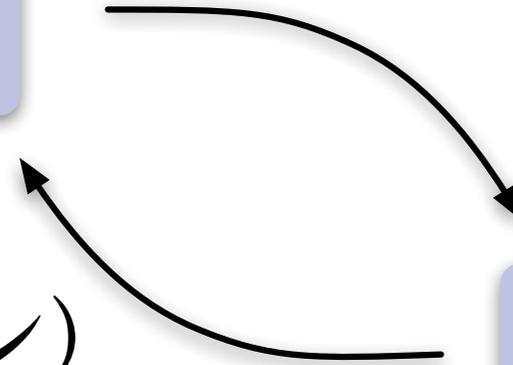
HPCと可視化：夢



- BIAC（生体相互作用コンピュータ）
- 軽量の“頭蓋着装具”。脳との直接接続。
 - ▶ “ただ意志を働かせるだけで、架空実験を” HPC
 - ▶ “どんな角度からでも・・・「見る」ことが” 可視化

HPCと可視化：夢

人
(脳)

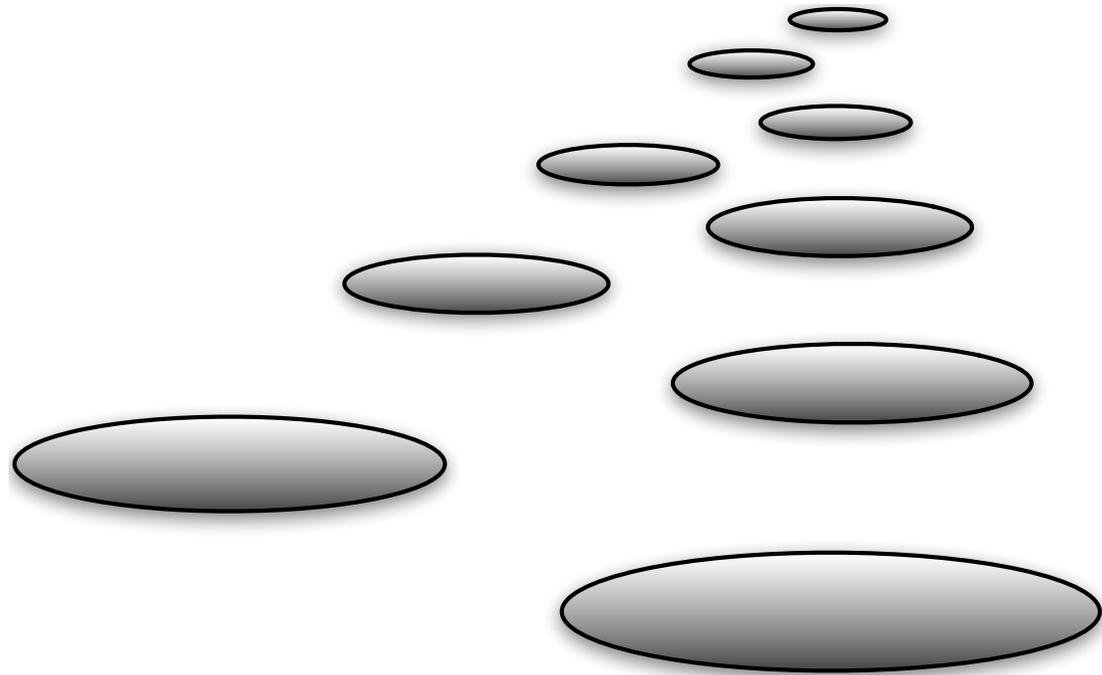


BIAC

- HPC (シミュレーション)
- 可視化
- 数式処理
- 記憶装置 (データ オーガナイザー)
- ユーザーインターフェース

HPCと可視化：夢と現実

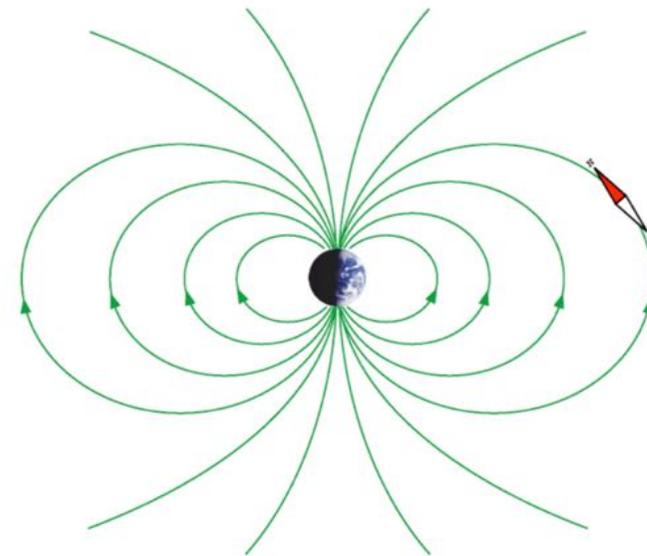
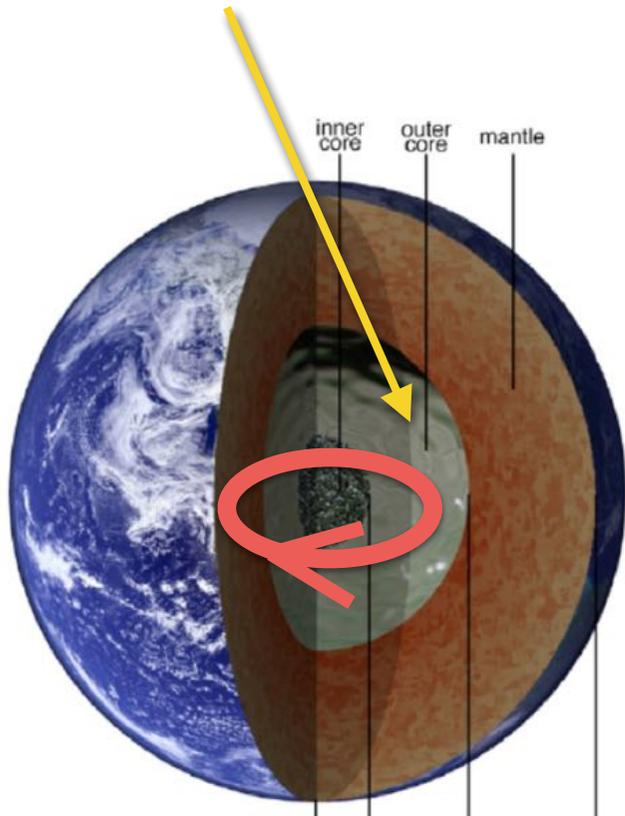
- 現実
- 落とし穴



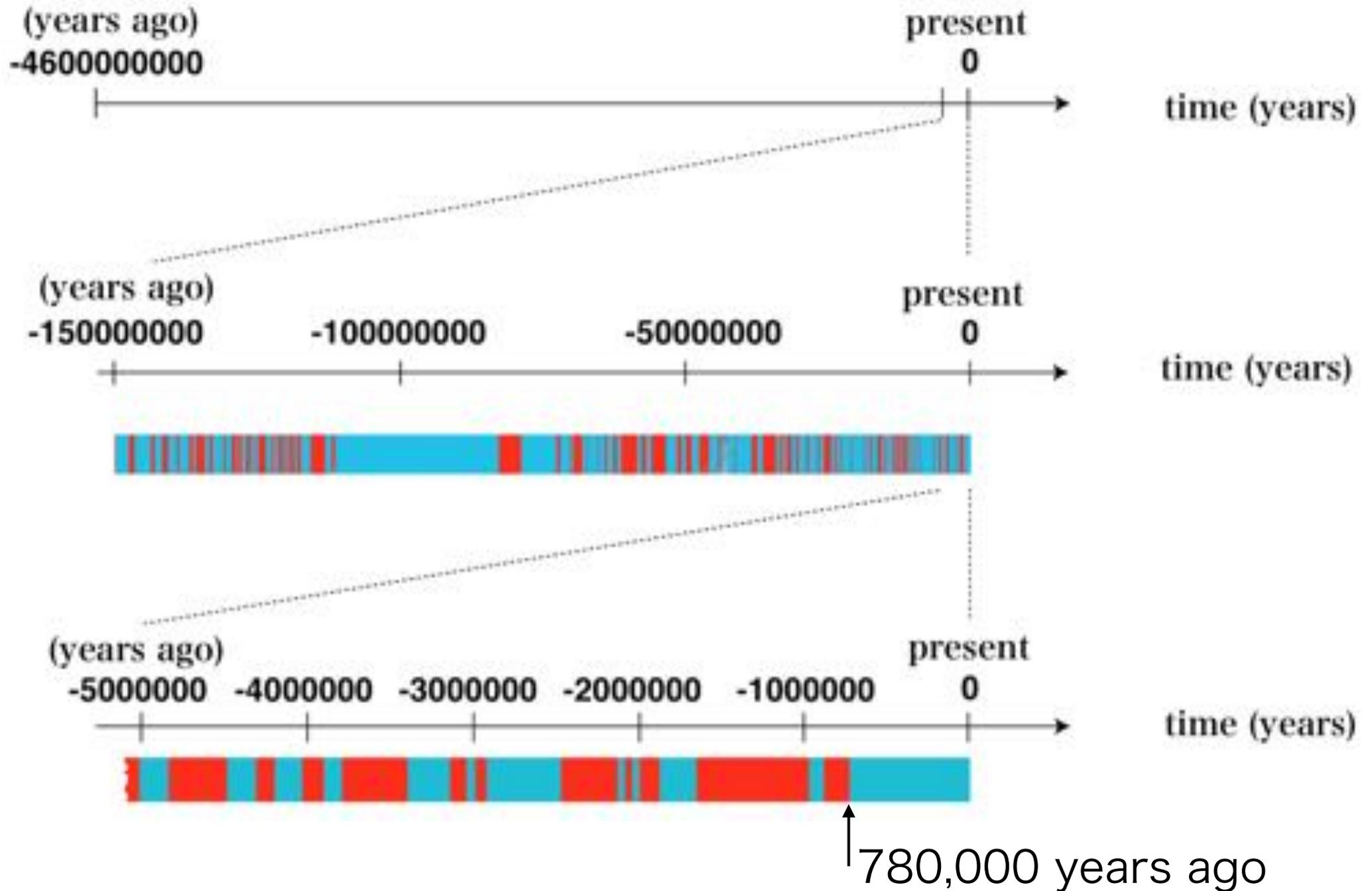
私の研究動機

- 地磁気の起源解明
- 数値流体力学 (CFD) の一種
- 基礎方程式: MHD方程式
 - 双極子磁場の自発的生成
 - 逆転

外核 = 液体金属 (鉄)

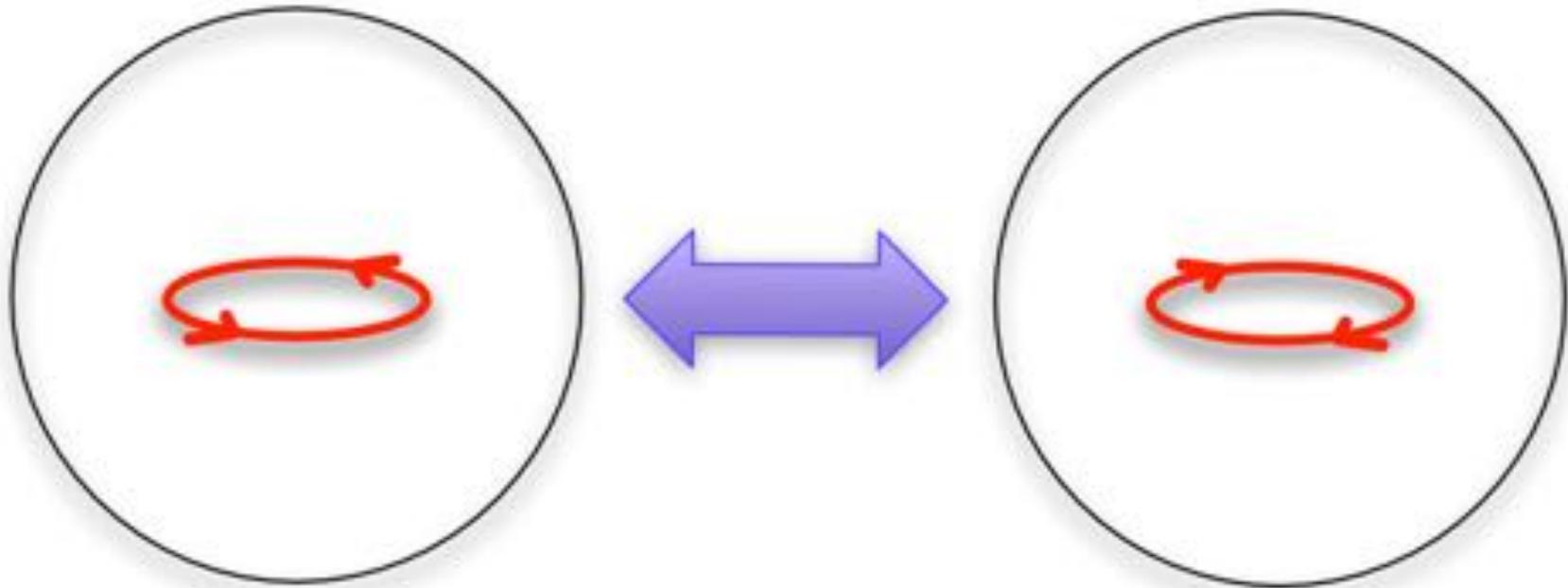


地球双極子磁場の逆転



電流の逆転

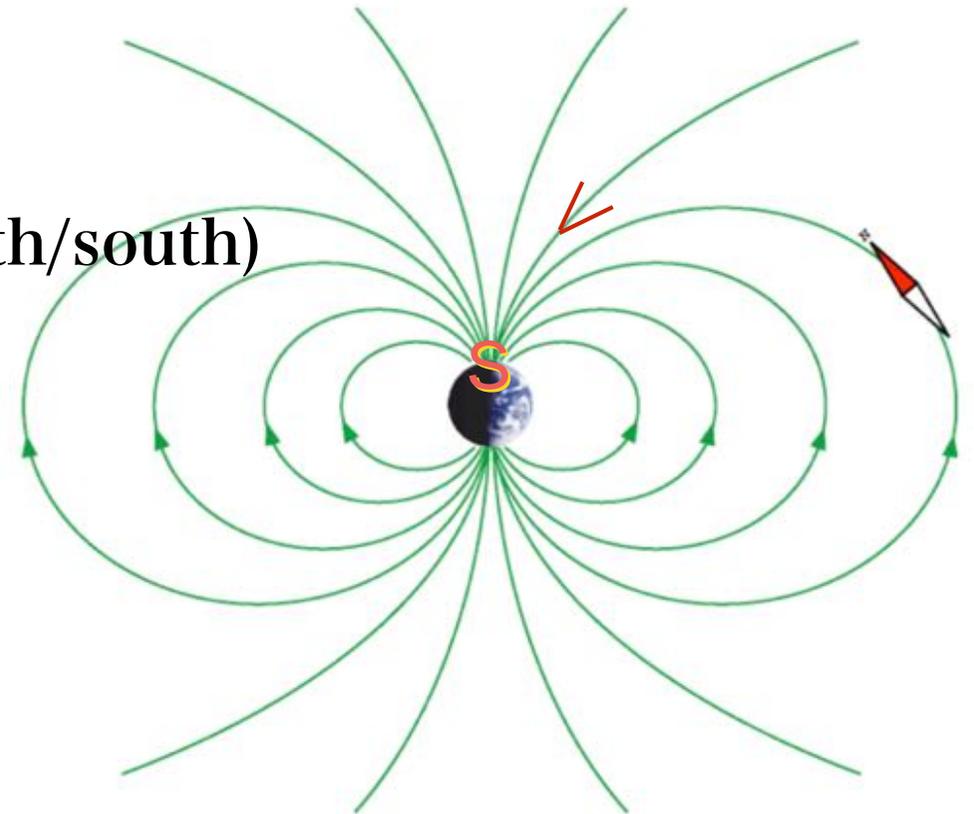
$O(10^9)$ A



走磁性細菌



- Magnetite of 40 nm
- To know up/down (not north/south)



犬

Figure 5.



Body orientation in dogs during defecation or urination was measured as a compass direction of the thoracic spine (between scapulae) towards the head. (We included the photo just to illustrate the measurement. Owing to the photographer's effort to shoot the photo with the sun from behind and to demonstrate the way of measurement, the dog on the photo looks away from the sun.) Photo Credits go to Jenny Ricken.

Hart et al. *Frontiers in Zoology* 2013 **10**:80 doi:10.1186/1742-9994-10-80

Research

Highly accessed

Open Access

Dogs are sensitive to small variations of the Earth's magnetic field

Vlastimil Hart¹, Petra Nováková¹, Erich Pascal Malkemper^{2†}, Sabine Begall^{2†}, Vladimír Hanzal¹, Miloš Ježek¹, Tomáš Kušta¹, Veronika Němcová¹, Jana Adámková¹, Kateřina Benediktová¹, Jaroslav Červený¹ and Hynek Burda^{1,2*}

* Corresponding author: Hynek Burda hynek.burda@uni-due.de

† Equal contributors

▼ Author Affiliations

1 Department of Game Management and Wildlife Biology, Faculty of Forestry and Wood Sciences, Czech University of Life Sciences, 16521 Praha 6, Czech Republic

2 Department of General Zoology, Faculty of Biology, University of Duisburg-Essen, 45117 Essen, Germany

For all author emails, please [log on](#).

Frontiers in Zoology 2013, **10**:80

doi:10.1186/1742-9994-10-80

Abstract

Introduction

Several mammalian species spontaneously align their body axis with respect to the Earth's magnetic field (MF) lines in diverse behavioral contexts. Magnetic alignment is a suitable paradigm to scan for the occurrence of magnetosensitivity across animal taxa with the heuristic potential to contribute to the understanding of the mechanism of magnetoreception and identify further functions of magnetosensation apart from navigation. With this in mind we searched for signs of magnetic alignment in dogs. We measured the direction of the body axis in 70 dogs of 37 breeds during defecation (1,893 observations) and urination (5,582 observations) over a two-year period. After complete sampling, we sorted the data according to the geomagnetic conditions prevailing during the respective sampling periods. Relative declination and intensity changes of the MF during the respective dog walks were calculated from daily magnetograms. Directional preferences of dogs under different MF conditions were analyzed and tested by means of circular statistics.

Frozen-in

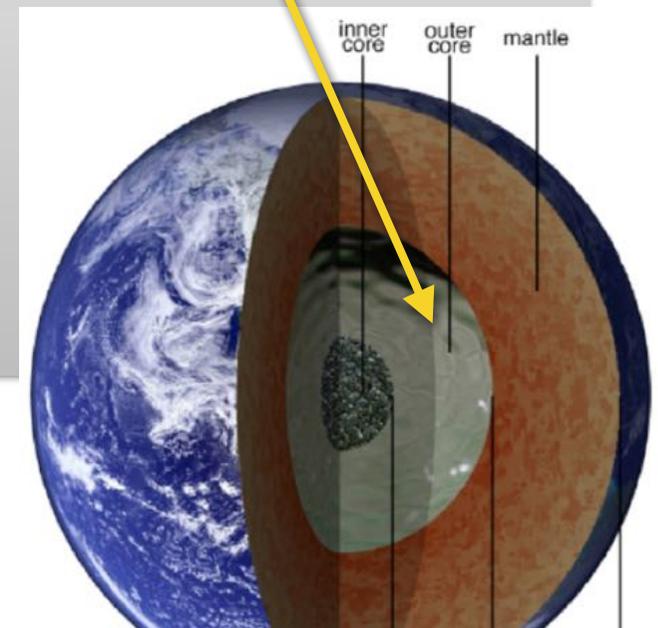
a magnetic field line



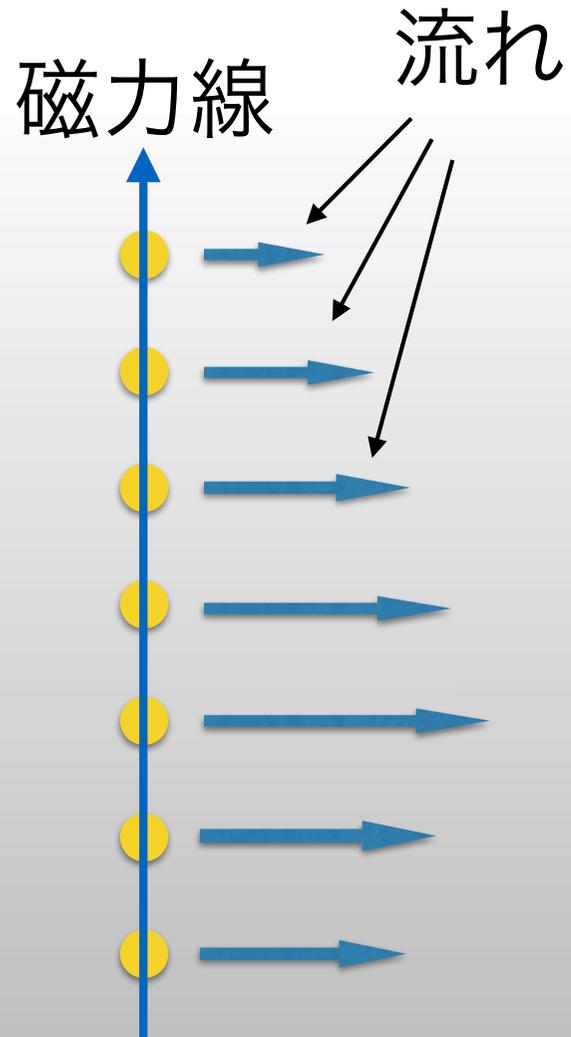
fluid parcels (fluid particles)



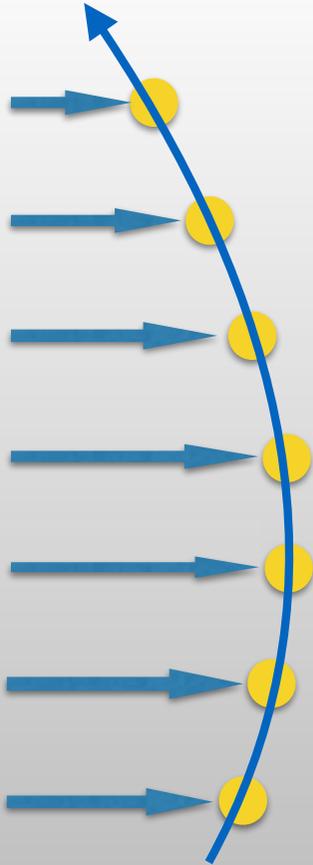
外核 = 液体金属 (鉄)



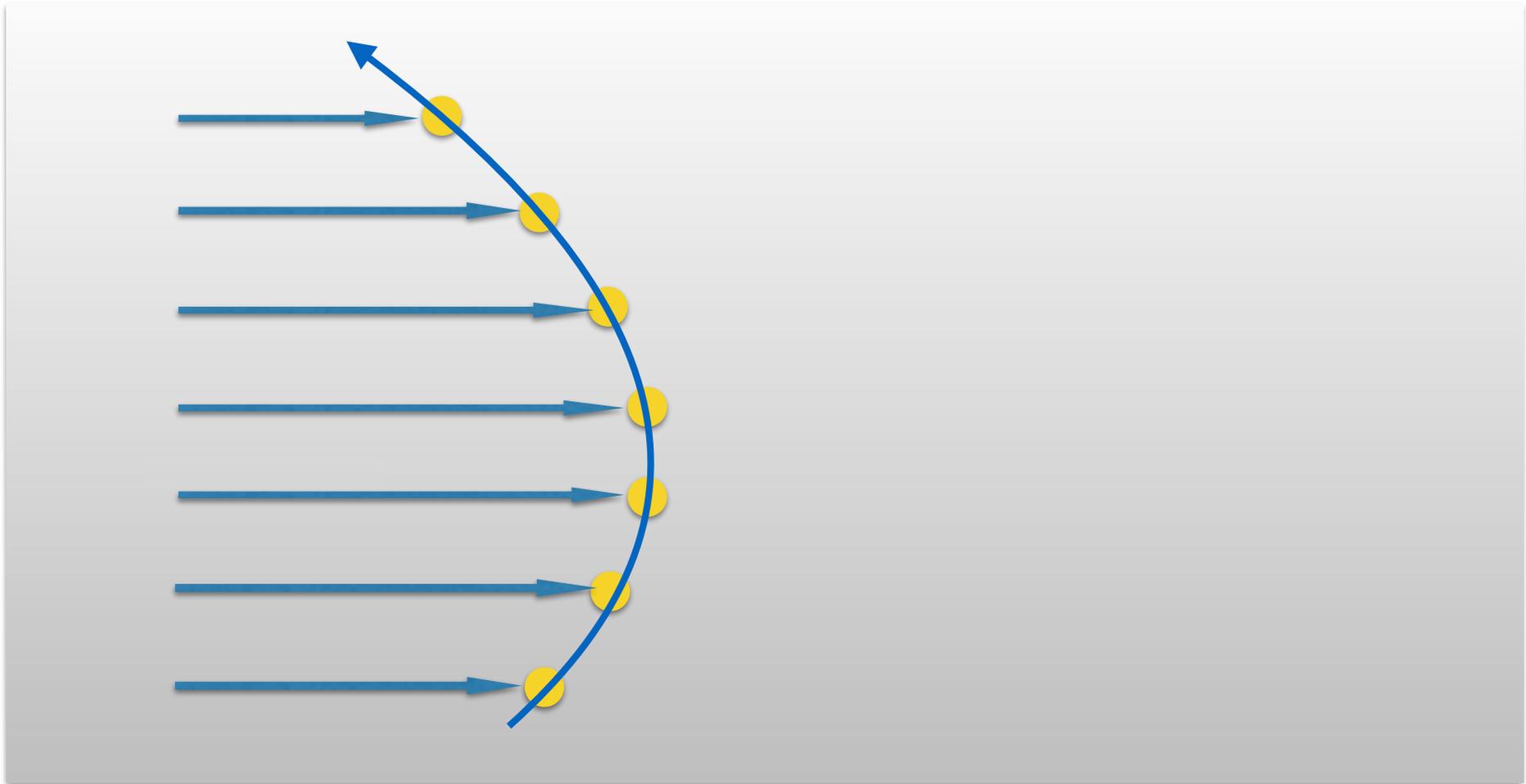
Frozen-in



Frozen-in



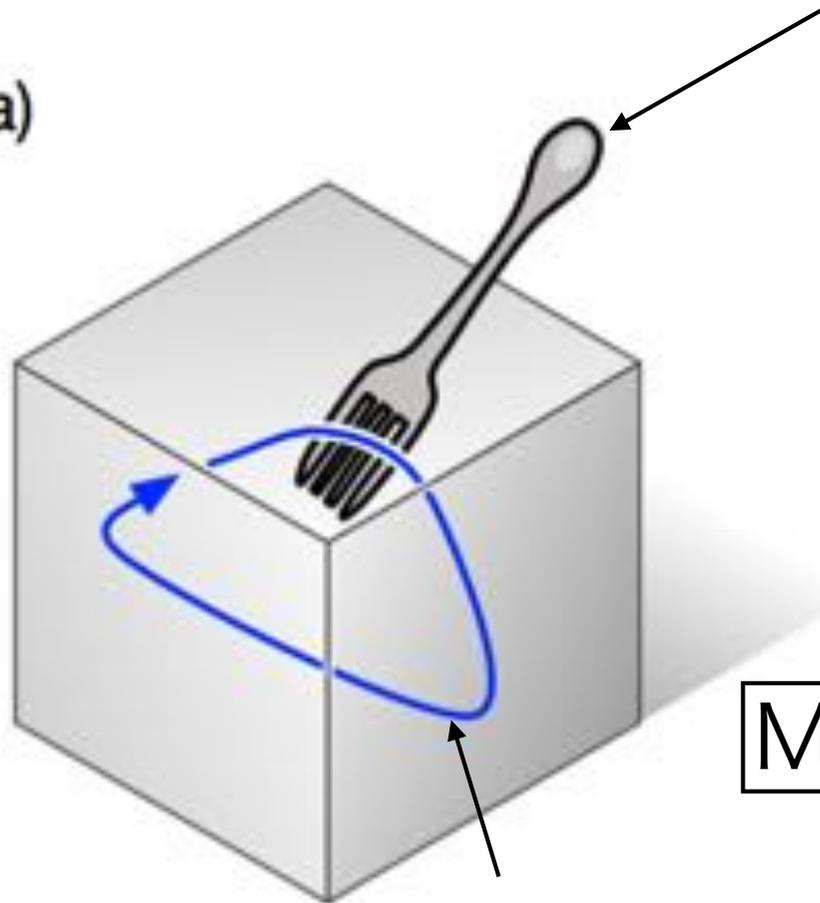
Frozen-in



An MHD fluid in a box

A superconducting muddler

(a)



Stir the fluid.

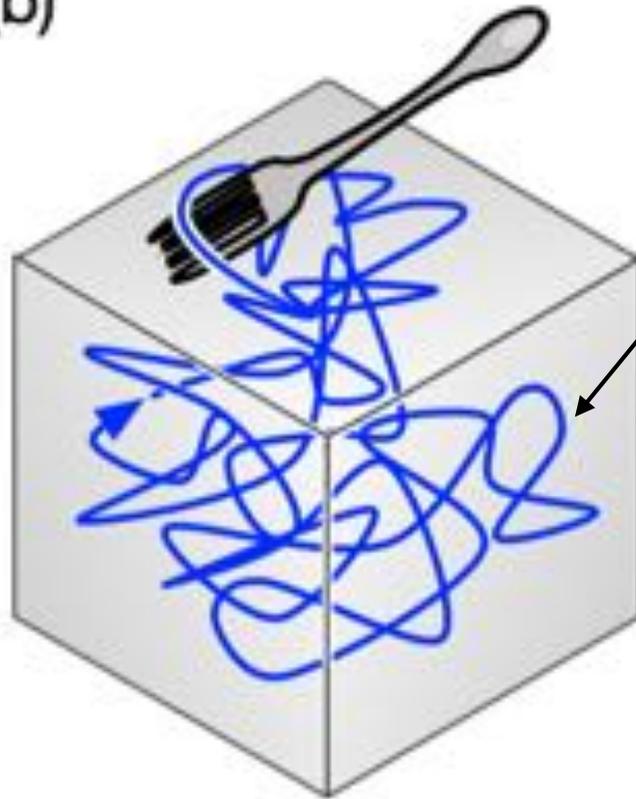
Magnetic energy E_m

A ring of magnetic field line

An MHD fluid in a box

Magnetic energy increased.

(b)

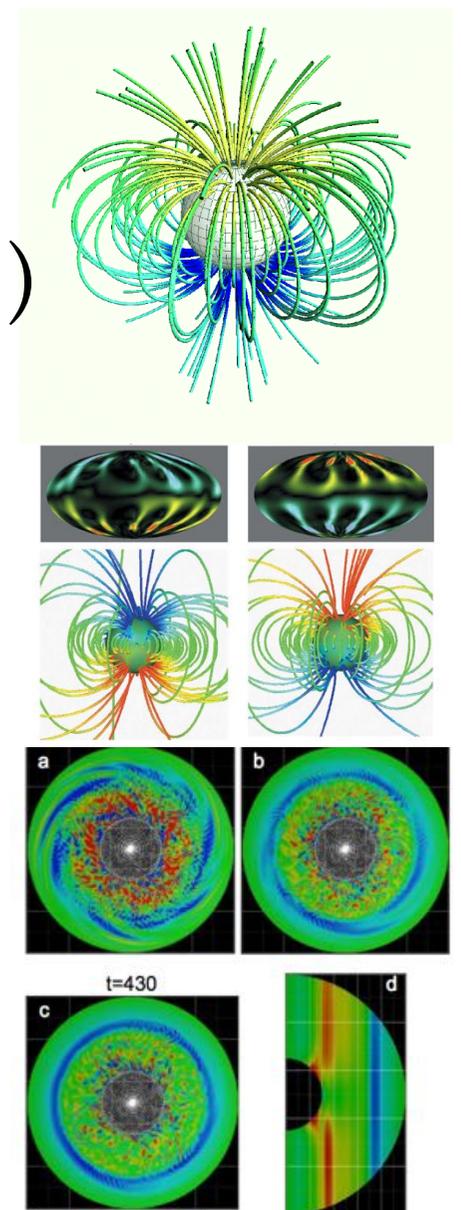


(Topologically) a ring
of magnetic field line

地磁気シミュレーション

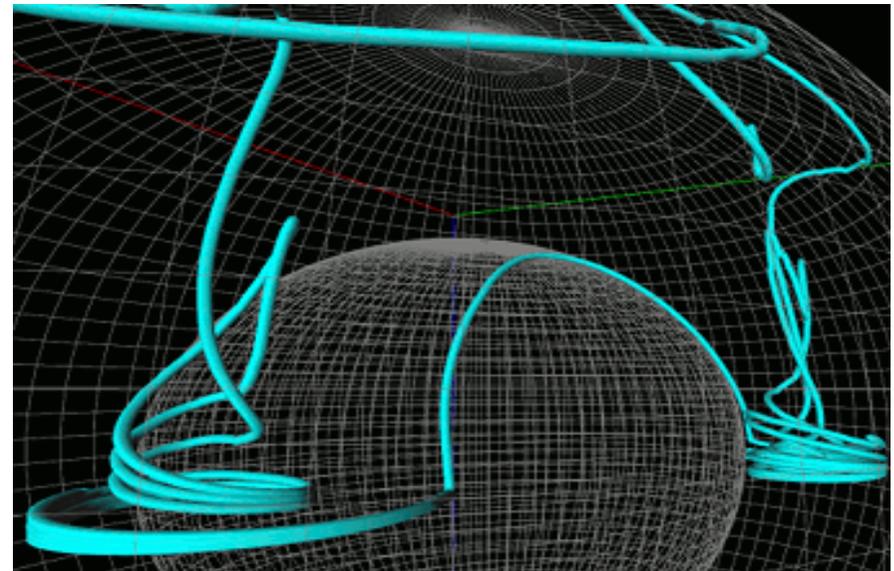
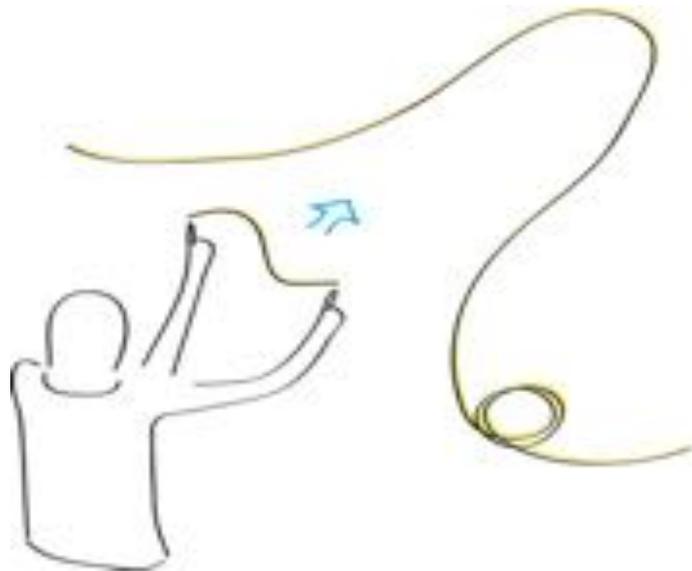
- 双極子磁場生成 (Phys. Rev. E, 1997)
- 逆転 (PRL 2000, Science, 2002)
- 電流コイル形成 (Nature 2008)
- 帯状流形成 (Nature 2010)

ゴードン・ベル賞 (SC 2004, 15 TF)



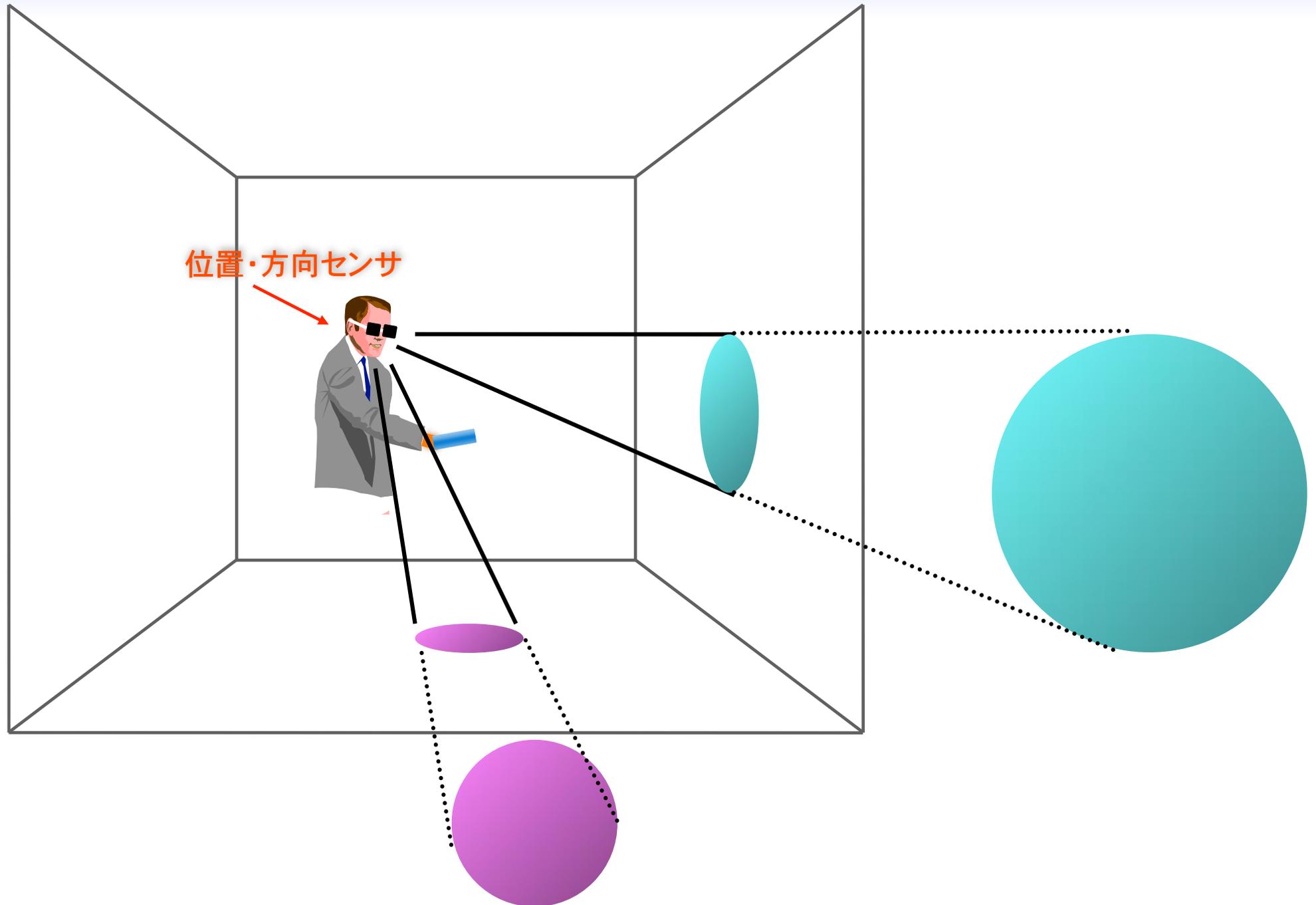
MHDシミュの理想的可視化システム

没入的・対話的・3次元的な可視化

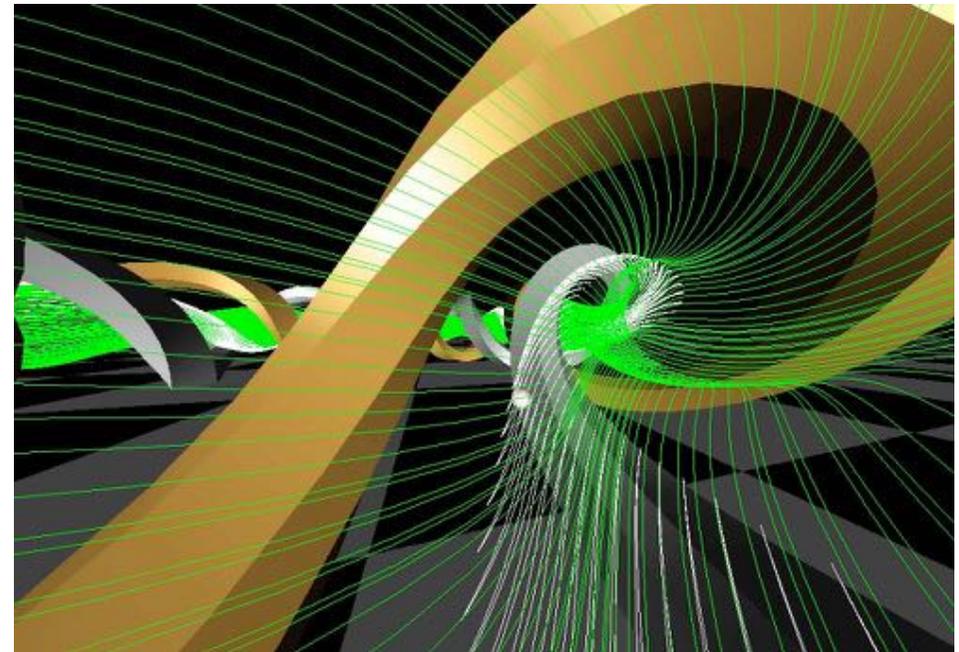


- バーチャルリアリティ (VR) 技術

CAVE型バーチャルリアリティ装置



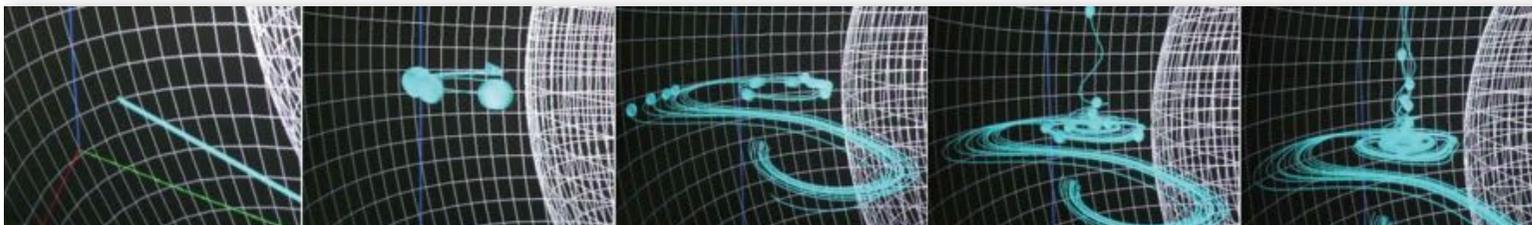
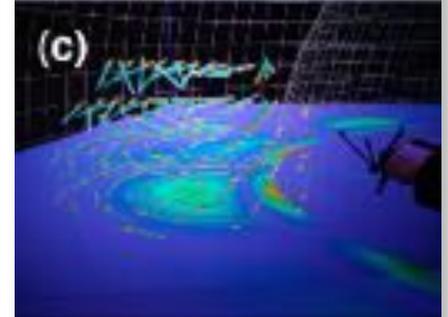
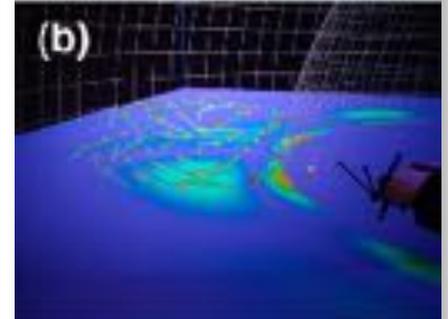
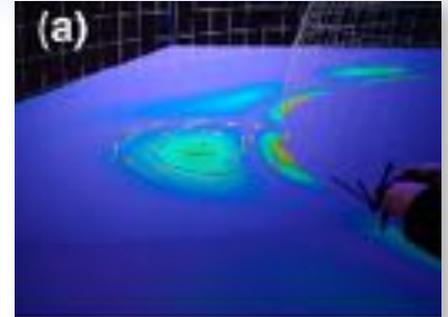
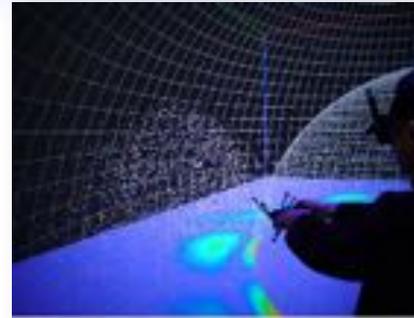
Virtual LHD (1997)



これは便利

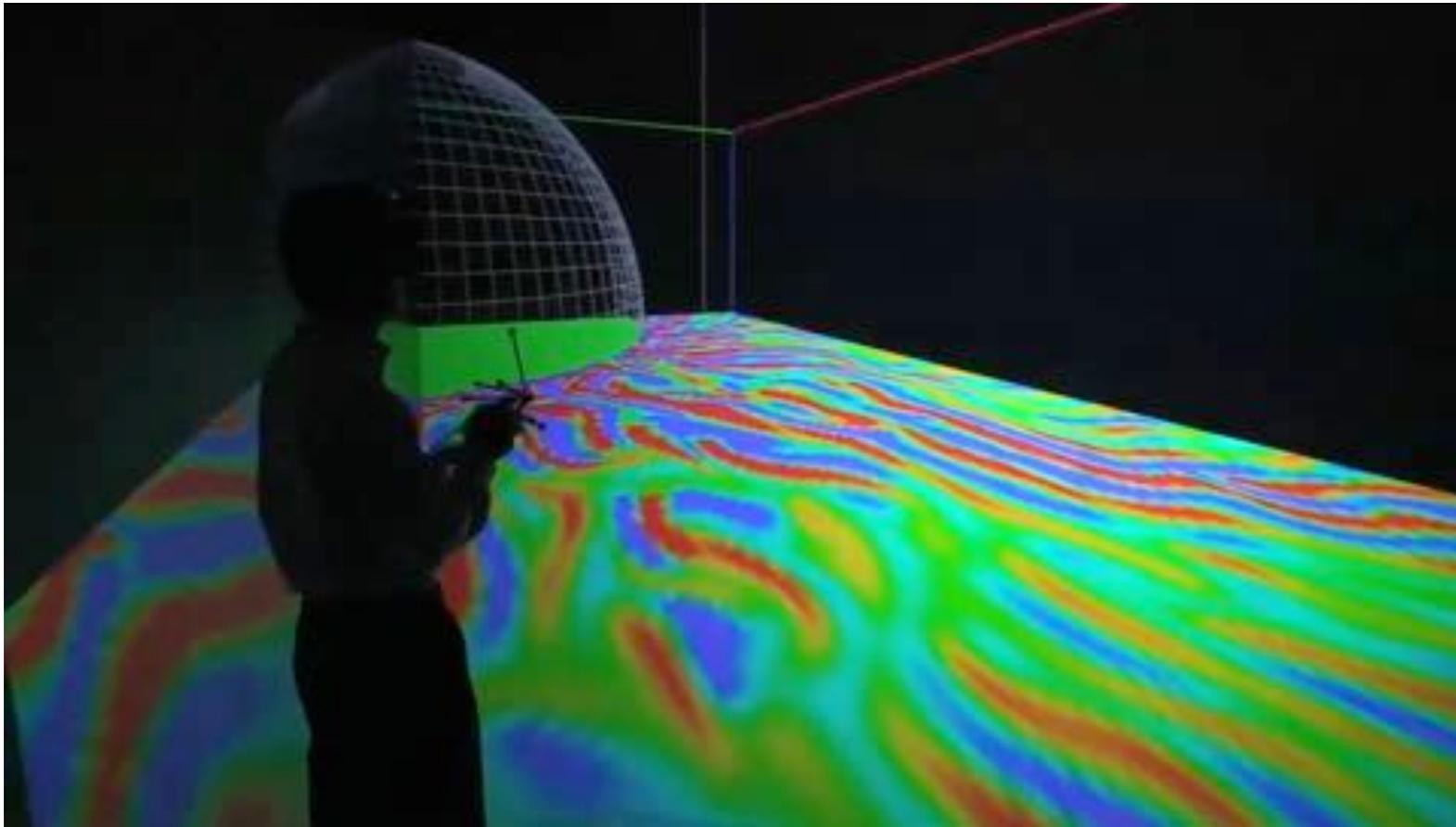
- LHD以外にも使えるようにしよう・・・
- 「汎用ソフト化」
落とし穴！ 「汎用化の誘惑」
- VFIVE
 - ▶ Vector Field Interactive Visualization Environment

VFIVE (1999)



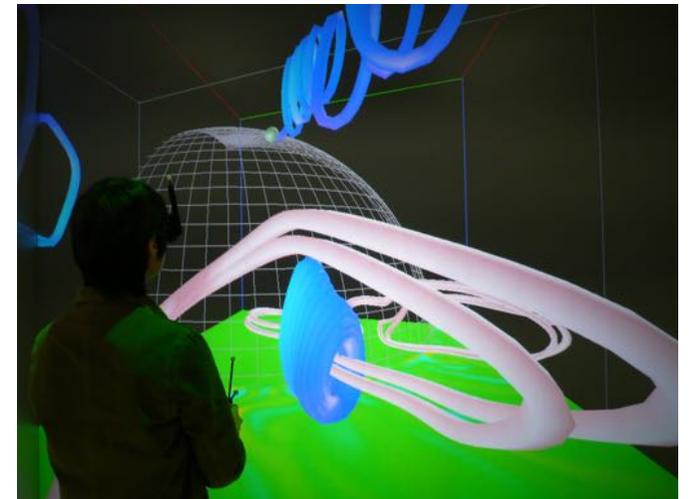
VFIVEによる発見

- 電流のトーラス面構造

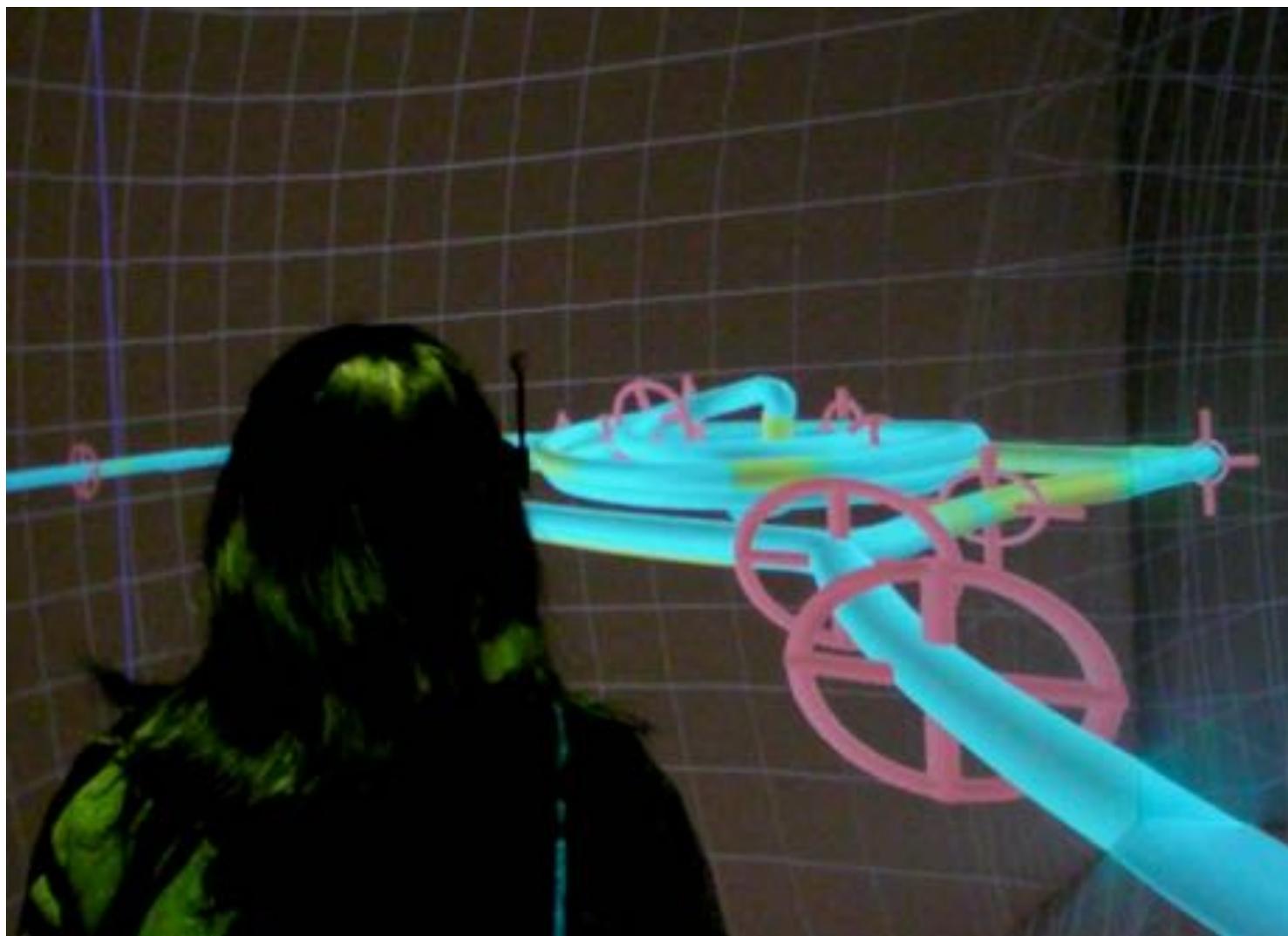


VFIVEによる発見

- 電流のトーラス構造
 - ▶ AVS/Expressで螺旋構造を発見
 - ▶ VFIVEでトーラス面構造を発見
 - ▶ Nature 2008
- マントル対流にもトーラス面
 - ▶ これもVFIVEで発見
 - ▶ 論文・・・

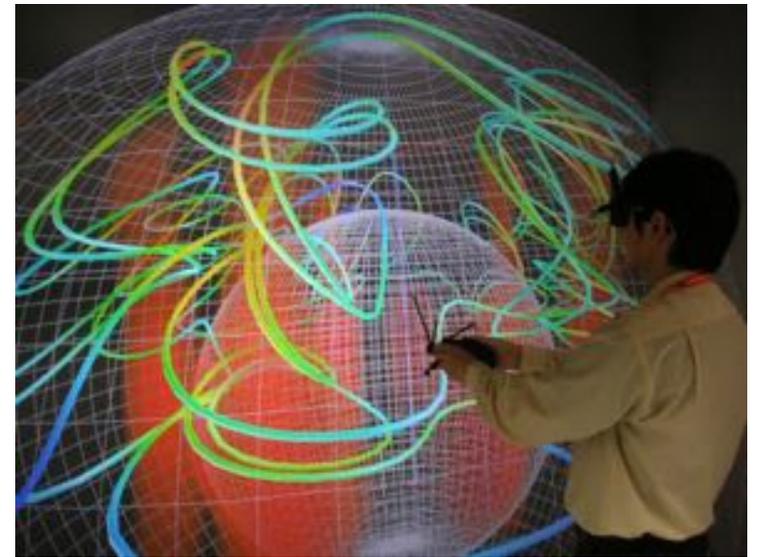


「車輪」つきの磁力線



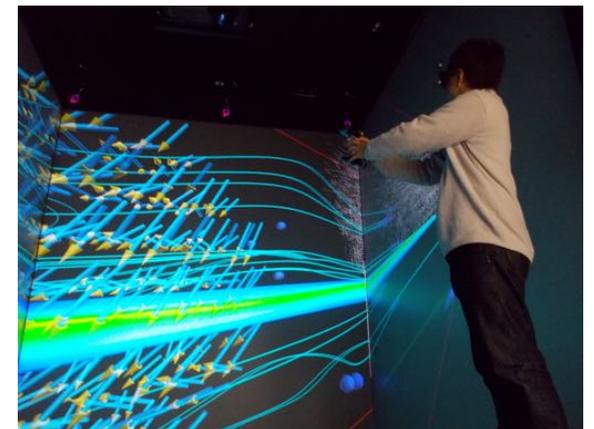
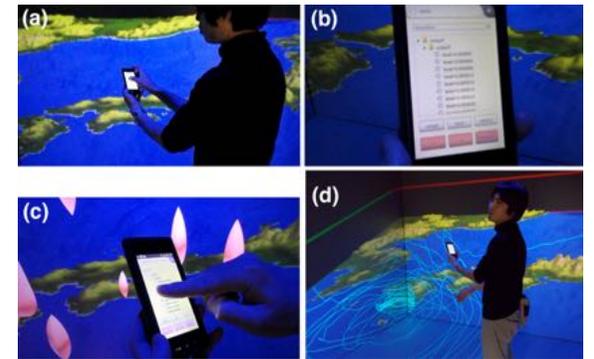
VFIVE の発展

- 大野さん（兵庫県立大）による精力的開発
 - ▶ ボリュームレンダリング機能
 - ▶ アニメーション機能
 - ▶ ROI機能
 - ▶ 文字列表示機能
 - ▶ 等々



VFIVEの広がり

- ▶ 中央大（檜山研）
非構造格子対応
- ▶ 海洋研究開発機構
スマホ制御（川原さん）
- ▶ 核融合研（大谷さん）
プラズマPICデータ



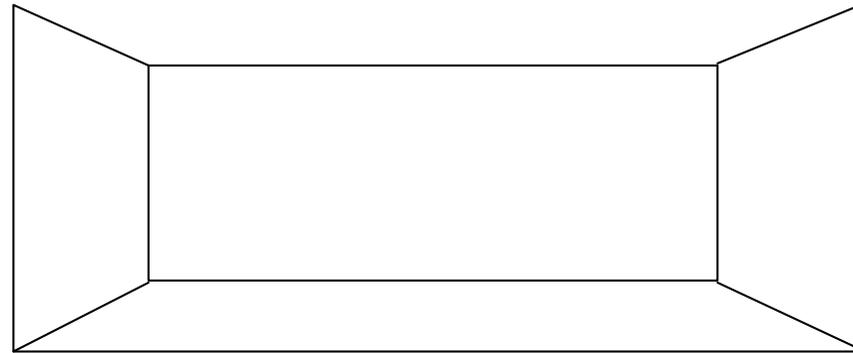
π -CAVE (2010)

日本最大のCAVE装置
神戸大学統合研究拠点
(ポートアイランド)

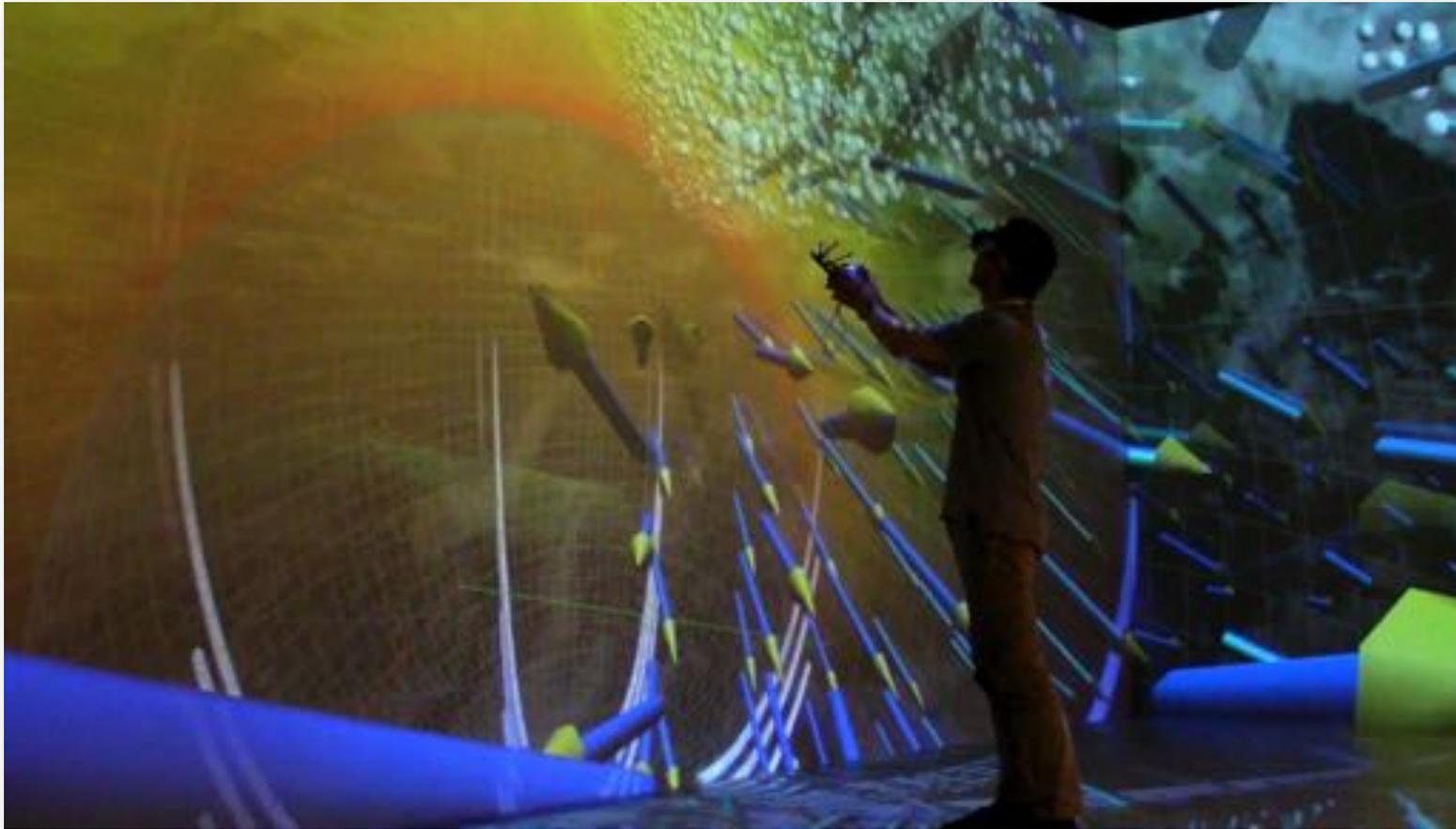
Port Island

→ P. I.

→ π



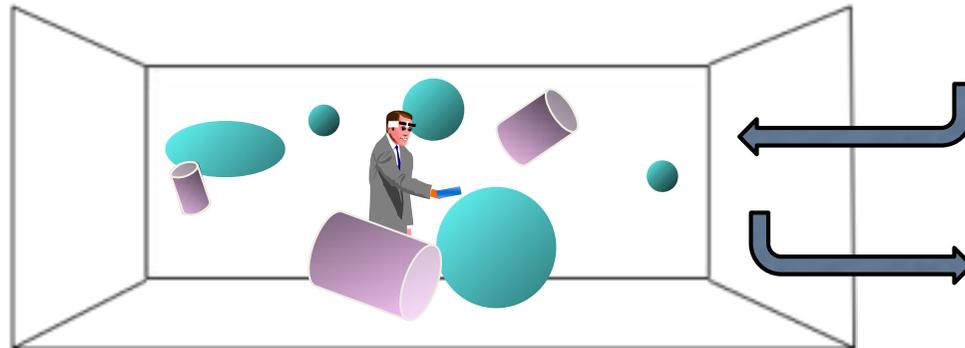
π -CAVE装置でのVR可視化



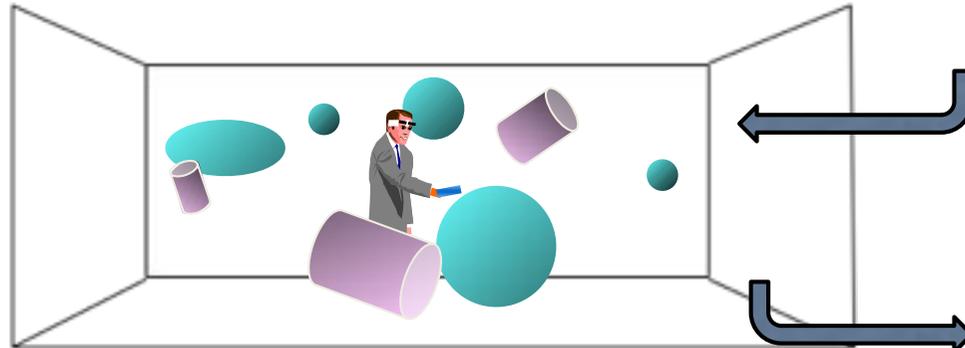
CAVE用「デスクトップ」環境

- 複数のCAVEアプリケーション
- 切り換えが大変

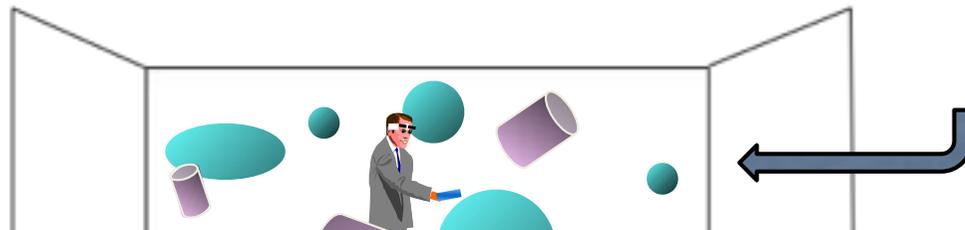
App 1



App 2



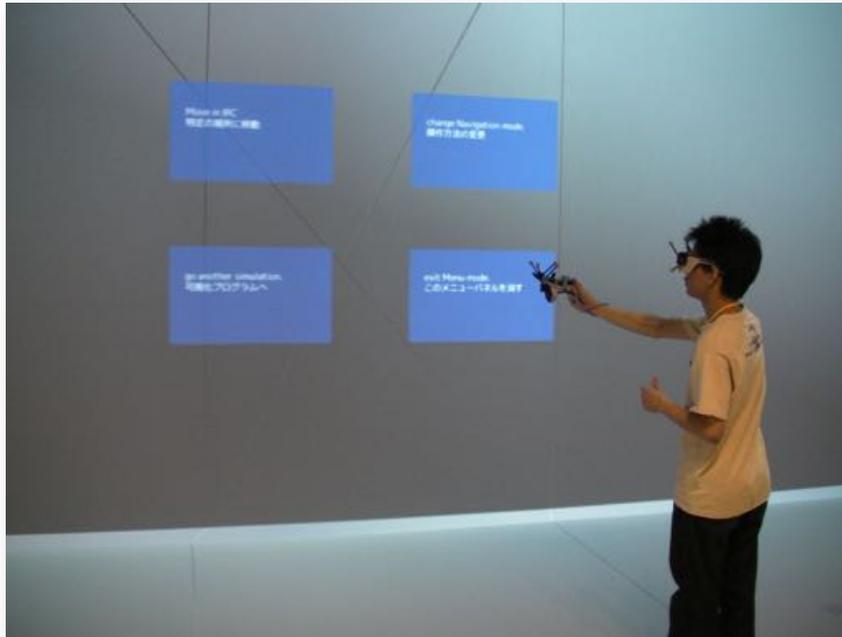
App 3



...

Multiverse (2011-2016)

仮想タッチパネル

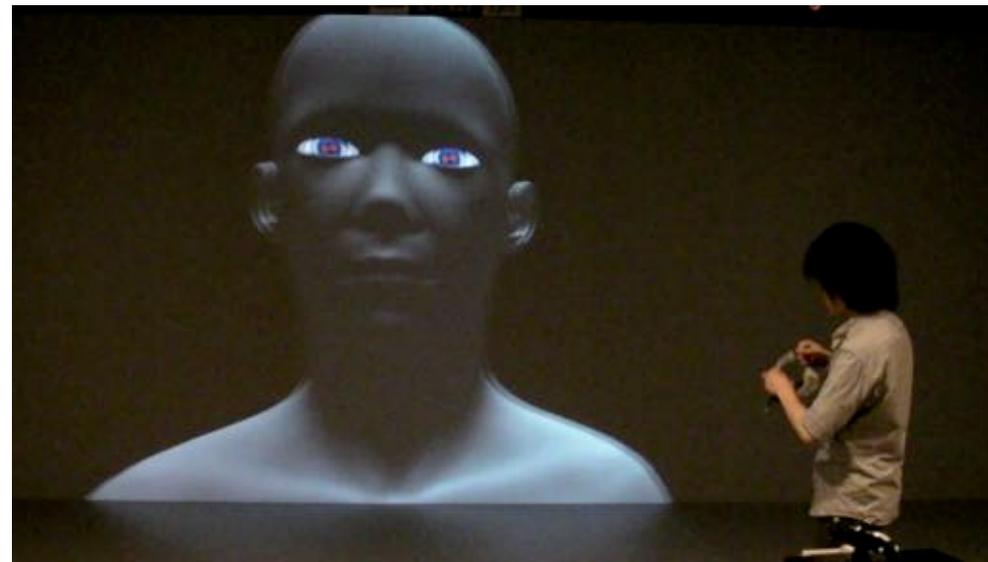


落とし穴！「汎用化の誘惑」

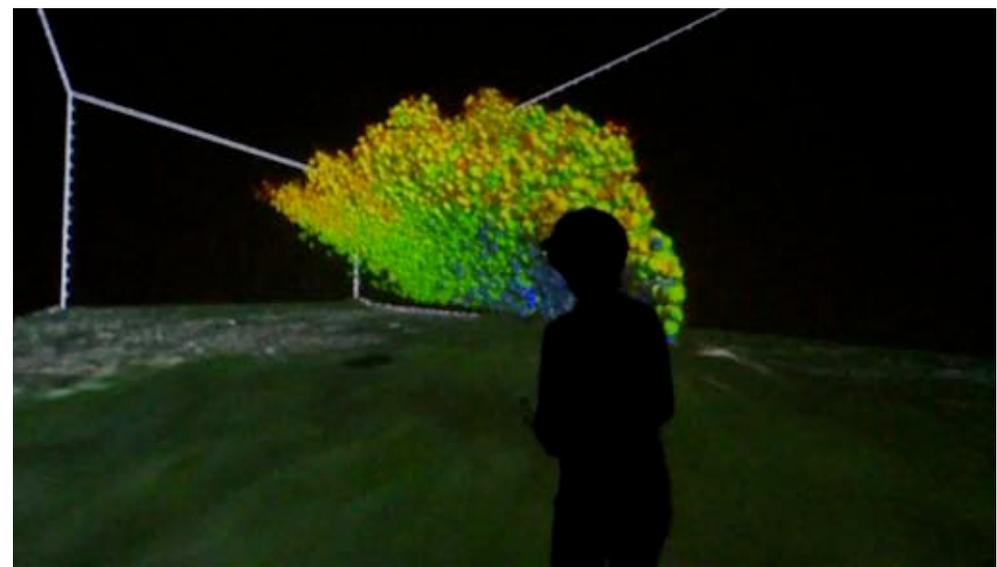
2D動画再生



Multiverse組み込み可視化例



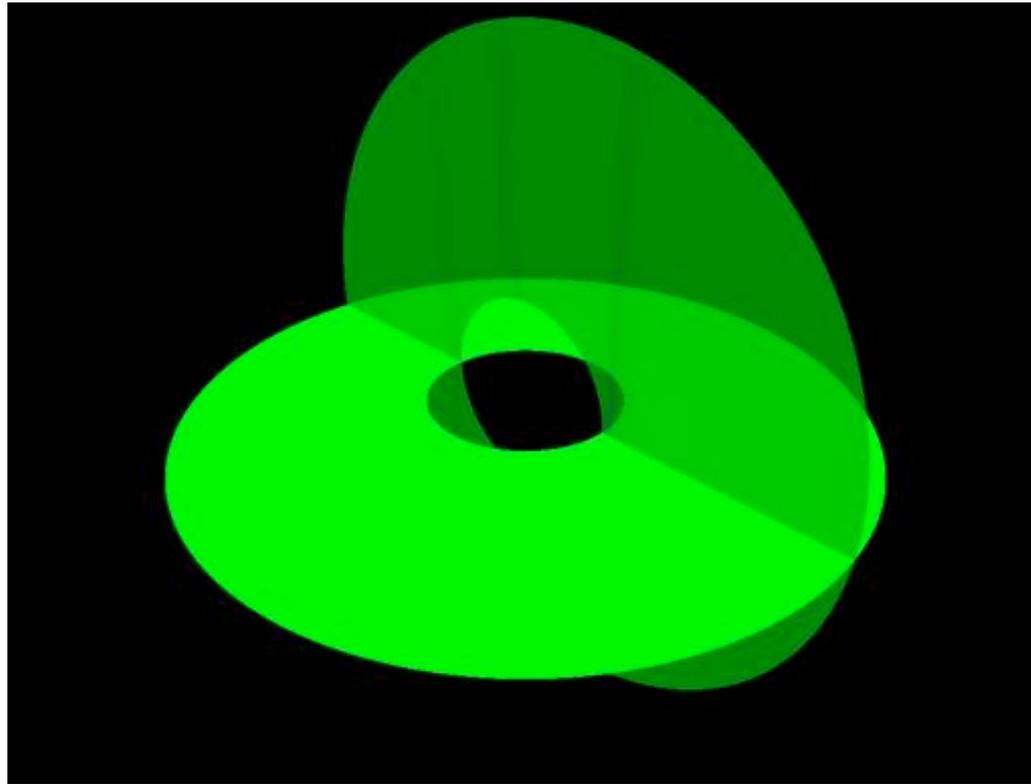
Multiverse組み込み可視化例



ポストプロセス可視化

- CFD（数値流体力学）のポストプロセス可視化
 - 全格子点数 N^3
 - 4種類の場合 $\phi(N,N,N)$ を可視化する
 - 動画のため時刻 M ステップ保存
 - 保存データサイズ = $4 \text{ Byte} \times 4 (\text{場}) \times N^3 \times M$
- $N=5000, M=1000 \rightarrow 2 \text{ PByte}$
- ポストプロセス可視化は無理！

対策： データ保存間隔の間引き

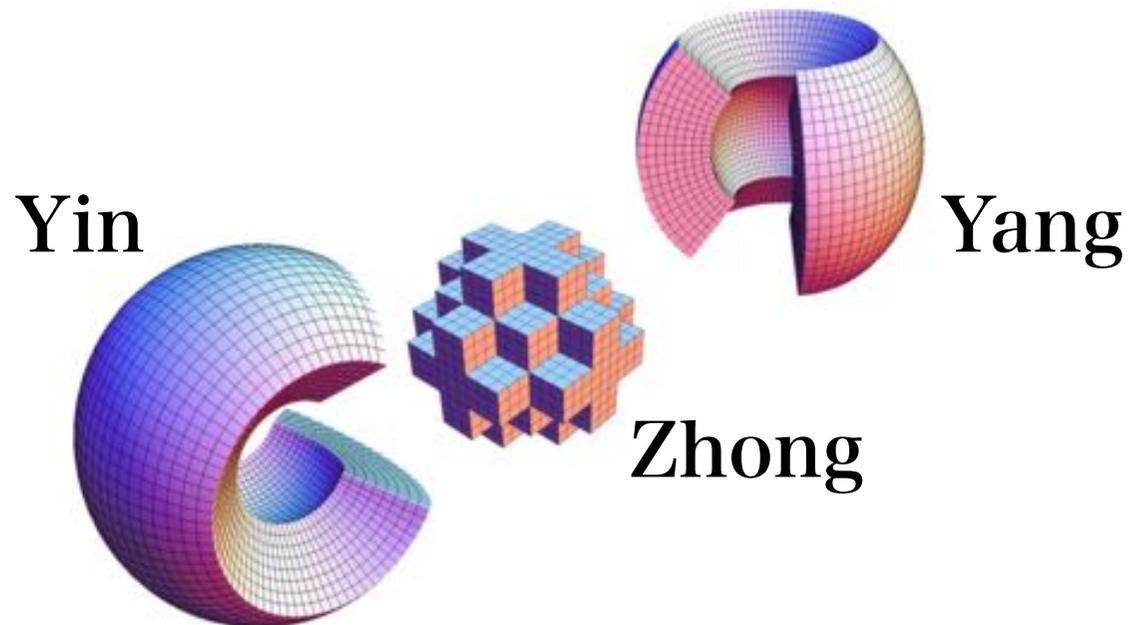


可視化： Armada (大野さん)

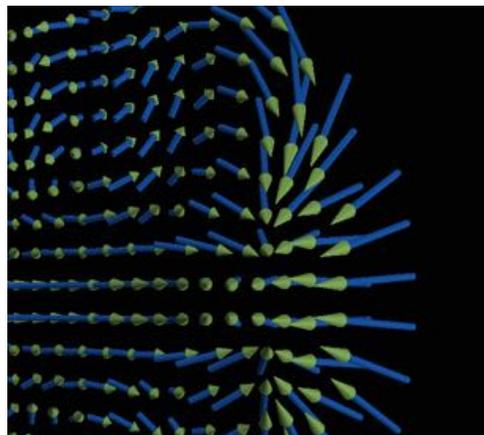
- ソフトウェアレンダリング
- 並列化 (MPI+OpenMP)
- スーパーコンピュータで走る

可視化ソフト Armada の改良

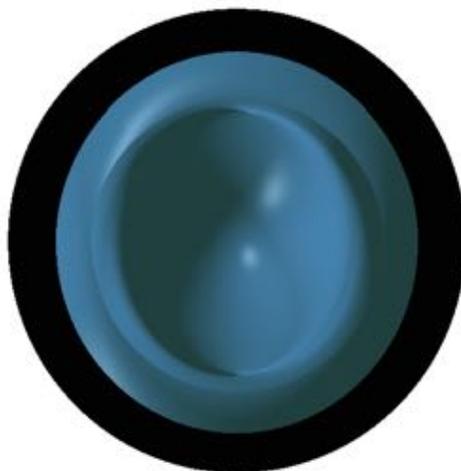
- イン=ヤン=ゾン格子格子への対応
 - ▶ J. Comput. Phys. (2016)



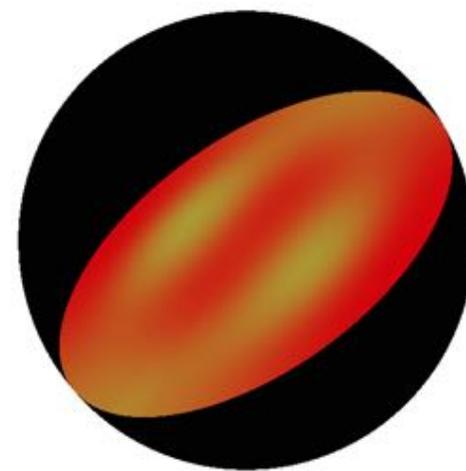
ArmadaによるYin-Yang-Zhong可視化



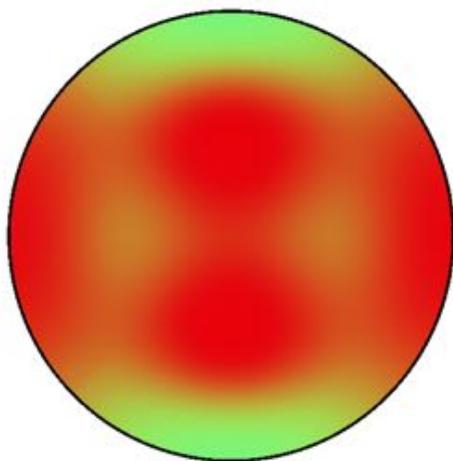
3次元ベクトルグラフィ



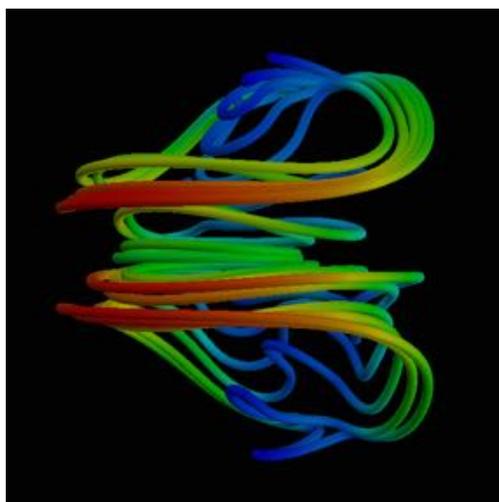
等値面



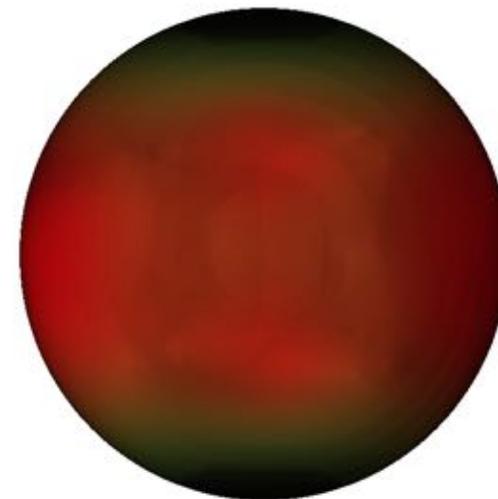
断面



断面



磁力線



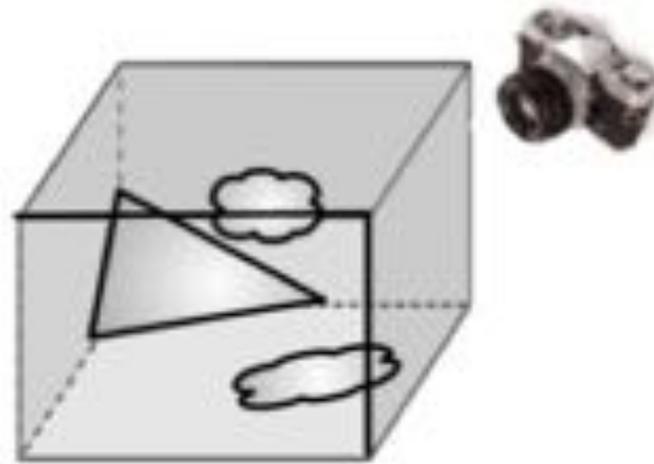
ボリュームレンダリング

もっと細かい時間間隔で動画を

- 2次元断面でとりあえず十分
- 機能を限定
 - ▶ 等高線（スカラー場）
 - ▶ 矢印（ベクトル場）
- in-situ（その場）可視化が可能

その場 (in-situ) 可視化

- スーパーコンピュータで、
- シミュレーション計算を実行しながら、
- 同時に可視化を行う。



シミュレーション“結果”

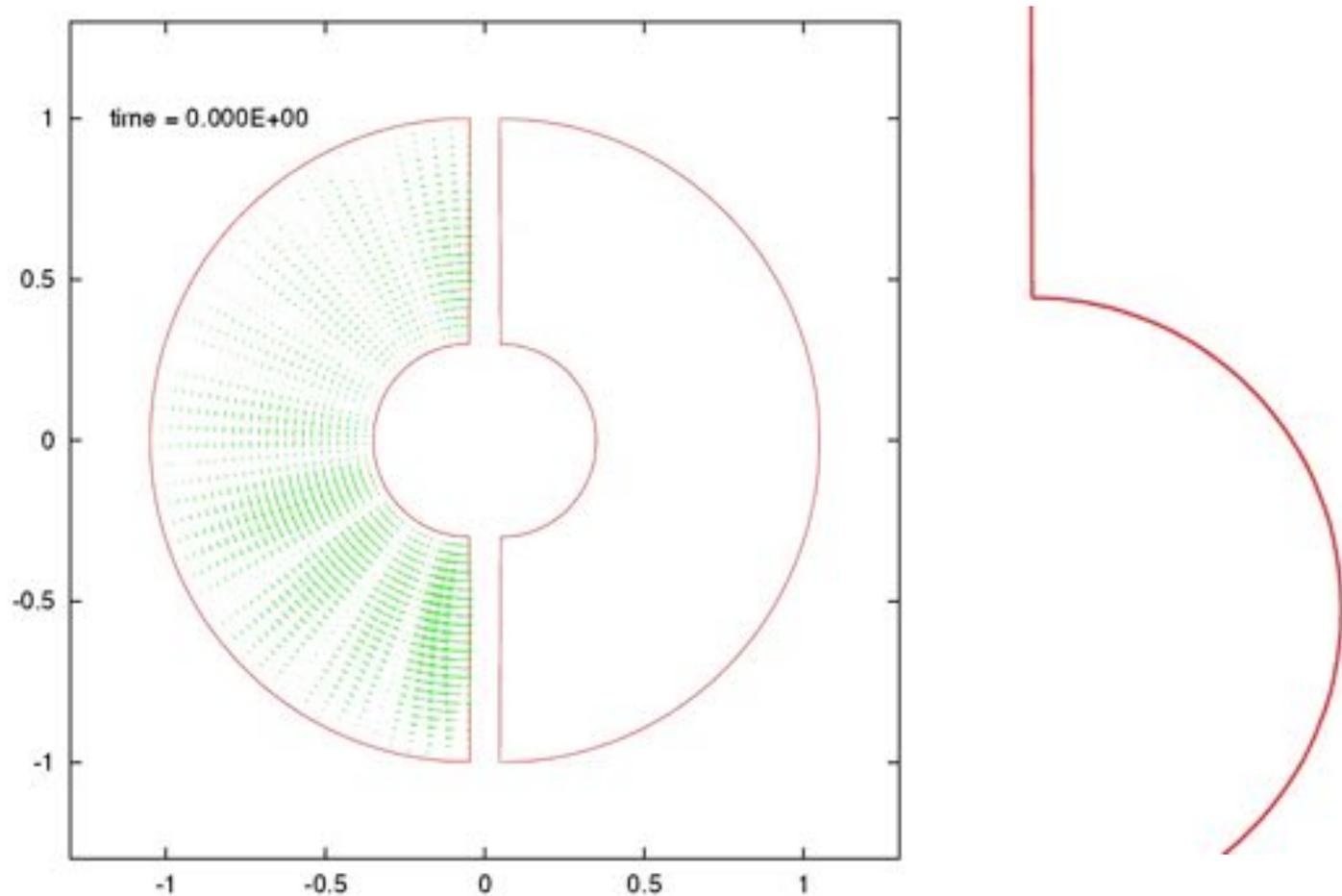
= ~~数値~~

= 動画

insitu2d ライブラリ

- Fortran90モジュール
- シミュレーションコードからcallするだけ
 - ▶ 並列レンダリング
- 断面の等高線とベクトルグリフの生成
 - ▶ EPS形式で保存
- 高速
 - ▶ シミュレーション速度の10%以下

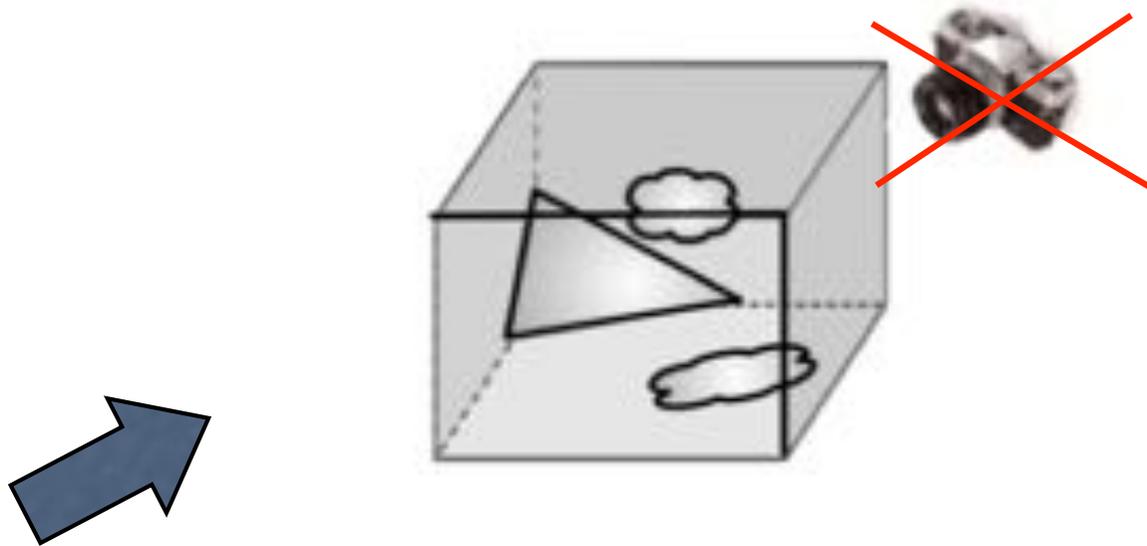
insitu2d ツールによる可視化



- EPS（ベクターフォーマット）なので自由に編集
- サイズが小さい
- シミュレーション終了後すぐに画像を見ることが可能

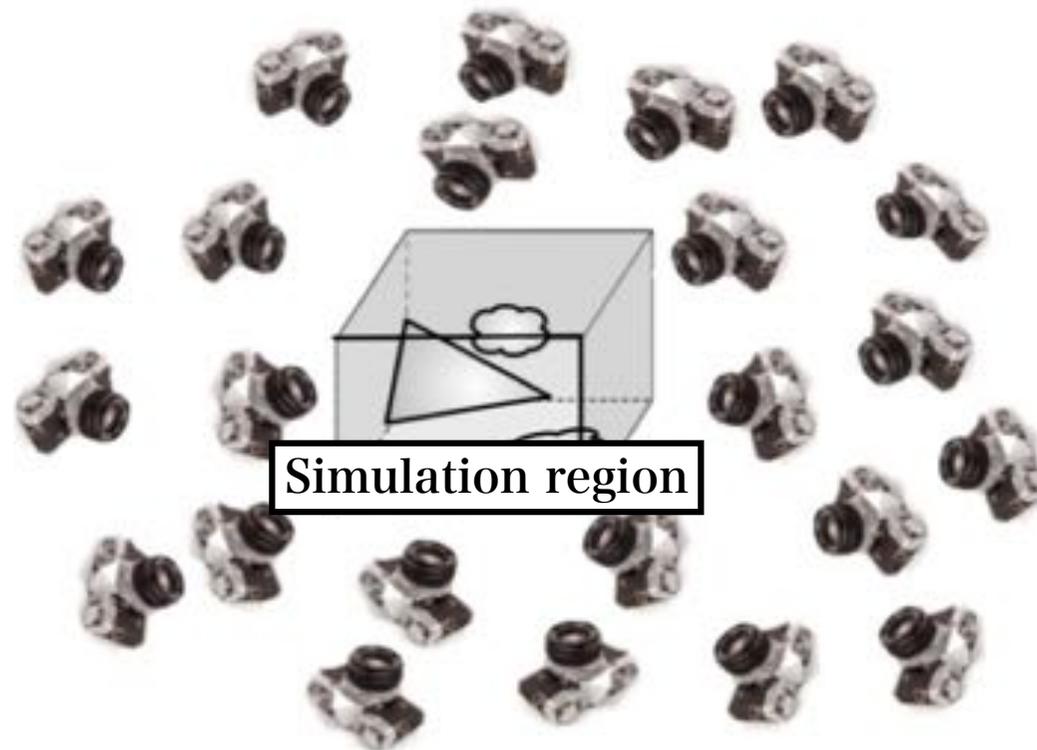
「その場 (in-situ)」可視化

- ・ 「その場」可視化手法の問題点



こちらから撮影した可視化画像が欲しかった・・・
→ シミュレーションのやり直し

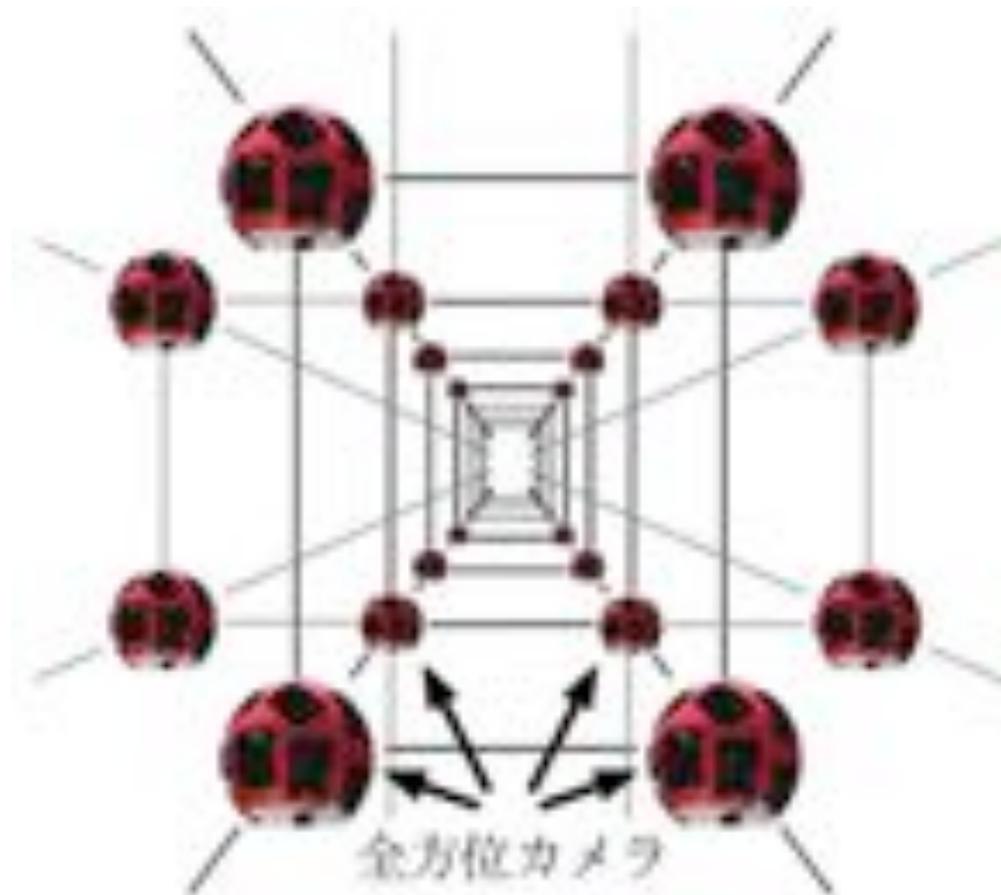
シミュレーション領域を可視化カメラで囲む



Kageyama and Yamada, Comput. Phys. Comm. 2014

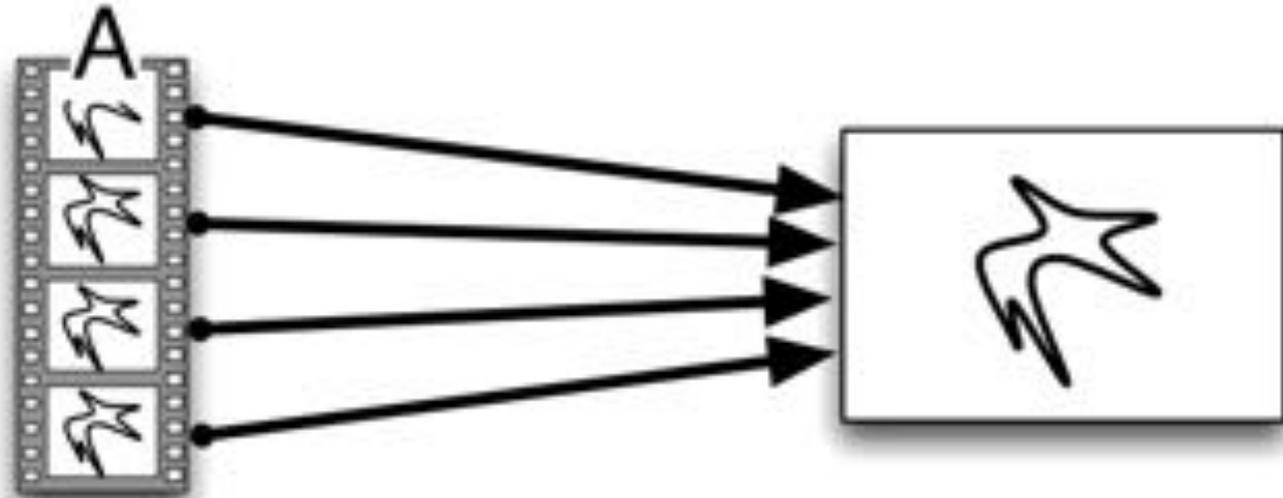
シミュレーション領域に全方位カメラを散布

「4次元ストリートビュー」

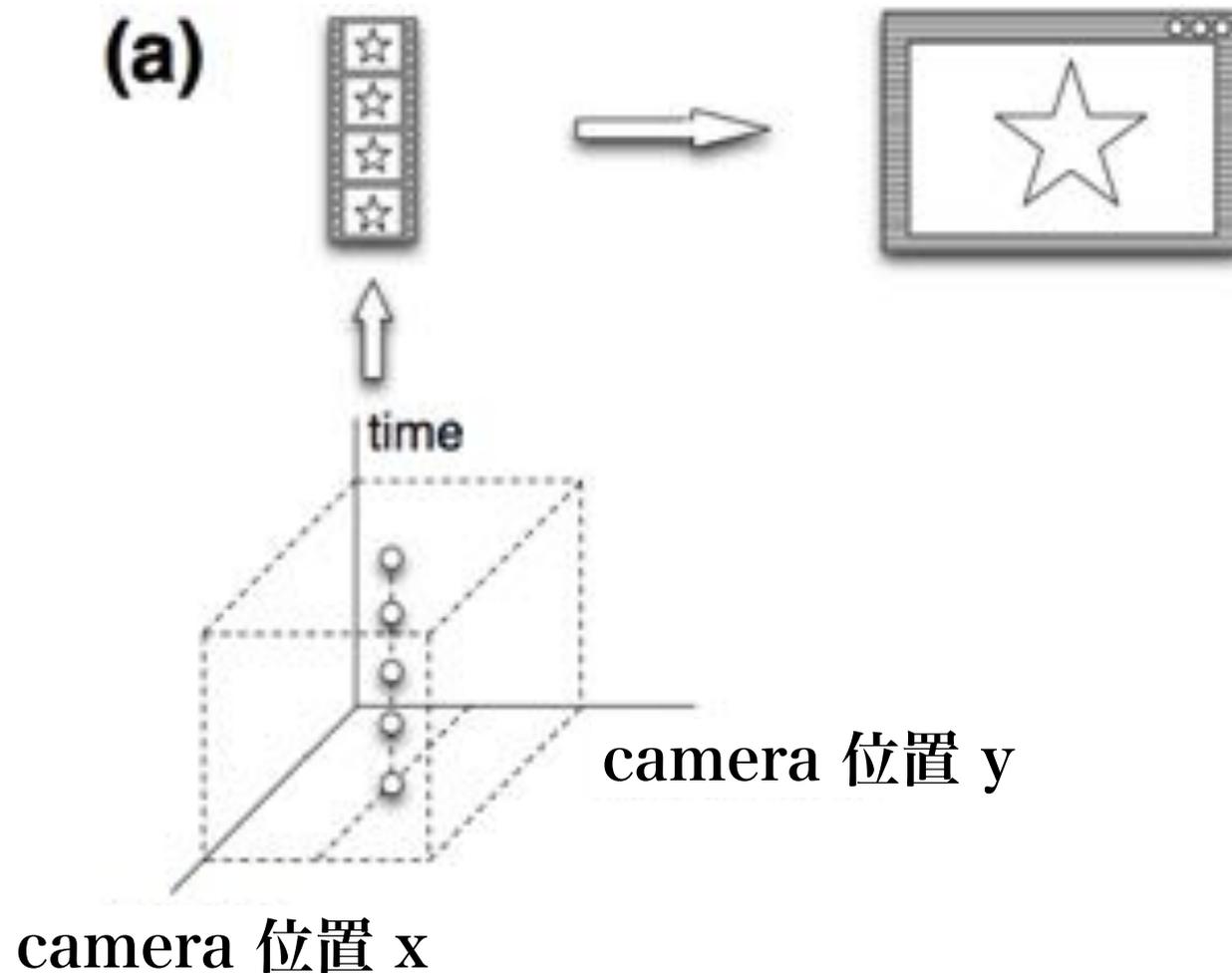


通常の動画再生ソフト

(a)

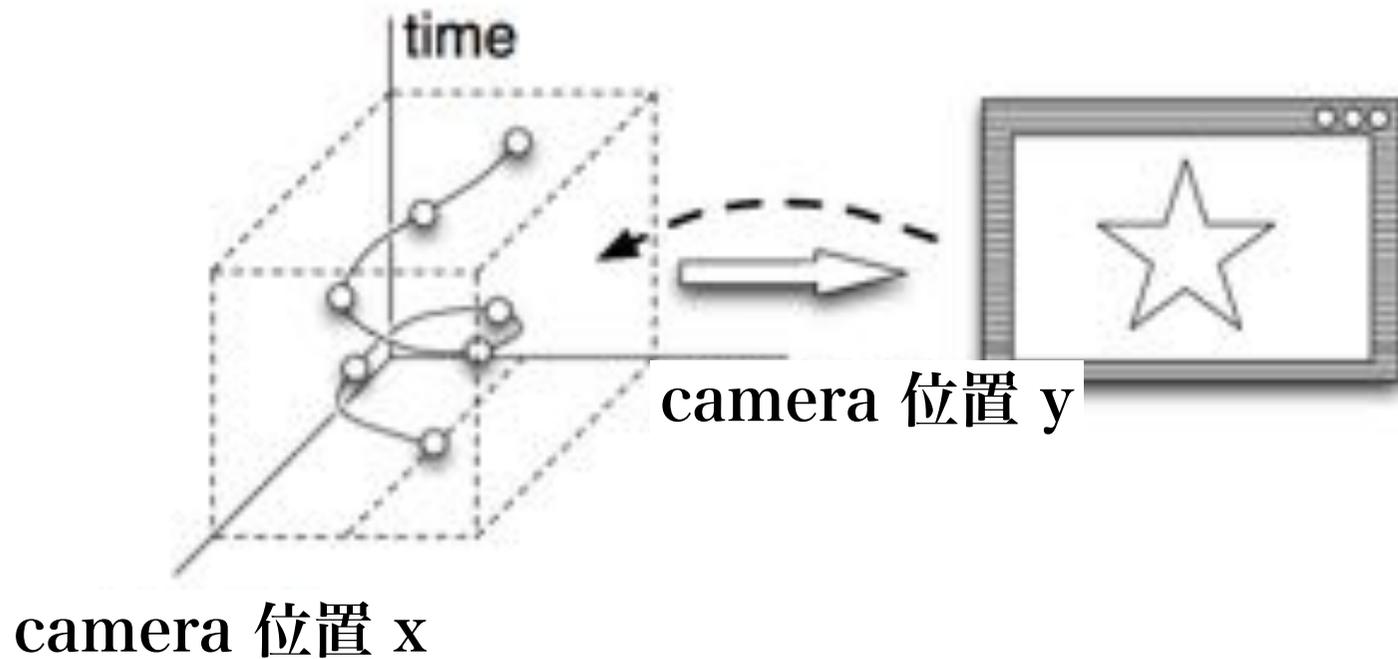


通常の「その場」可視化法

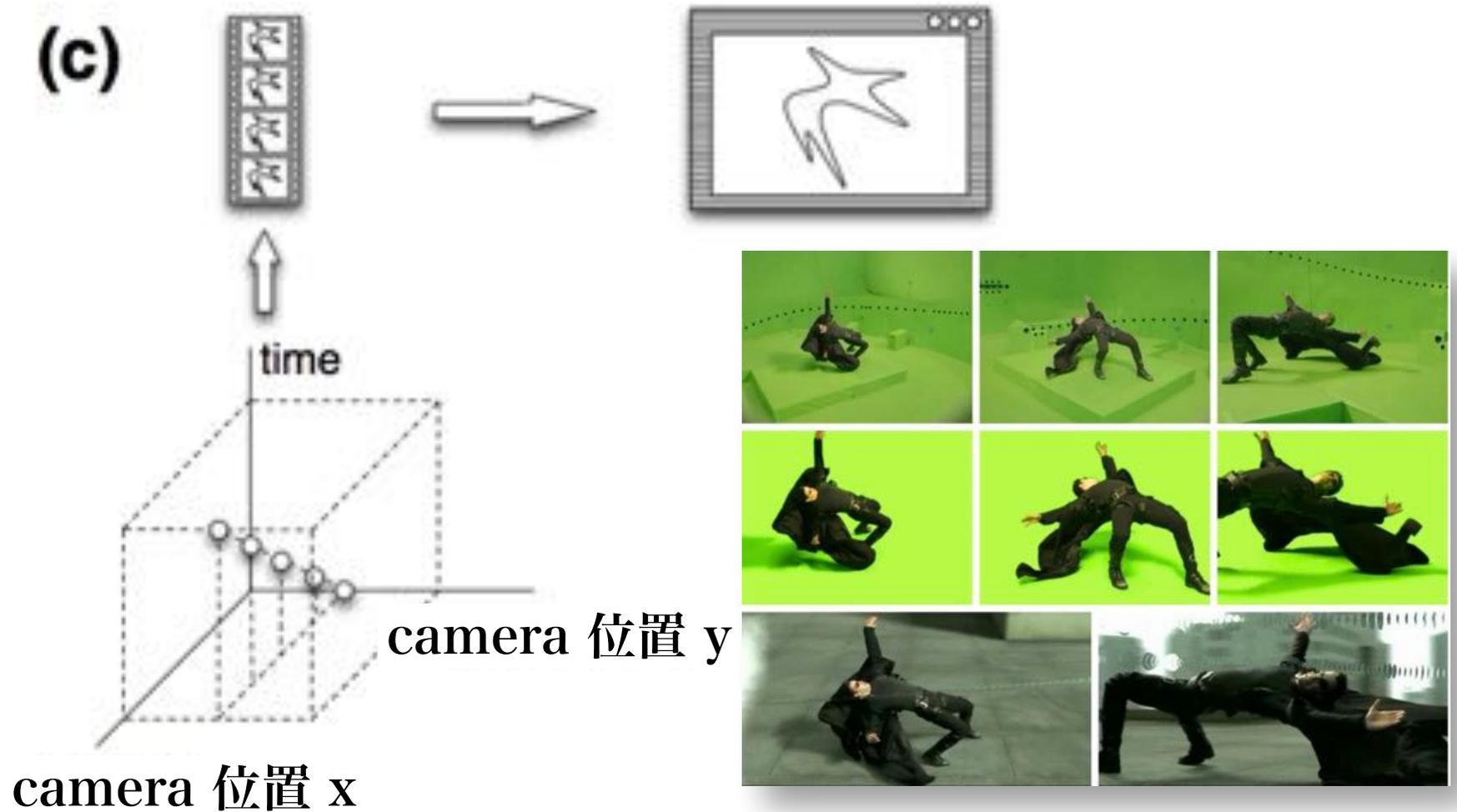


ステアリング可視化法

(b)

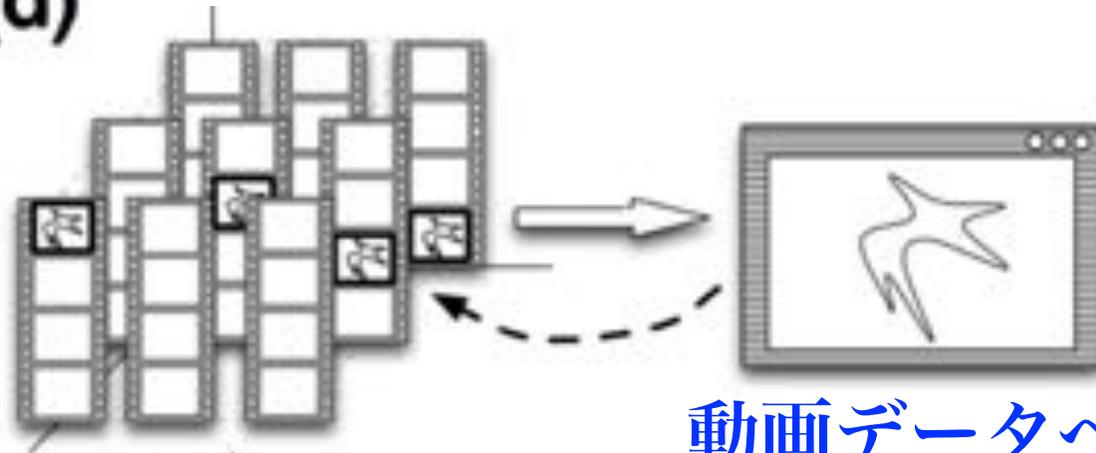


Bullet time法



4次元ストーリーレビュー

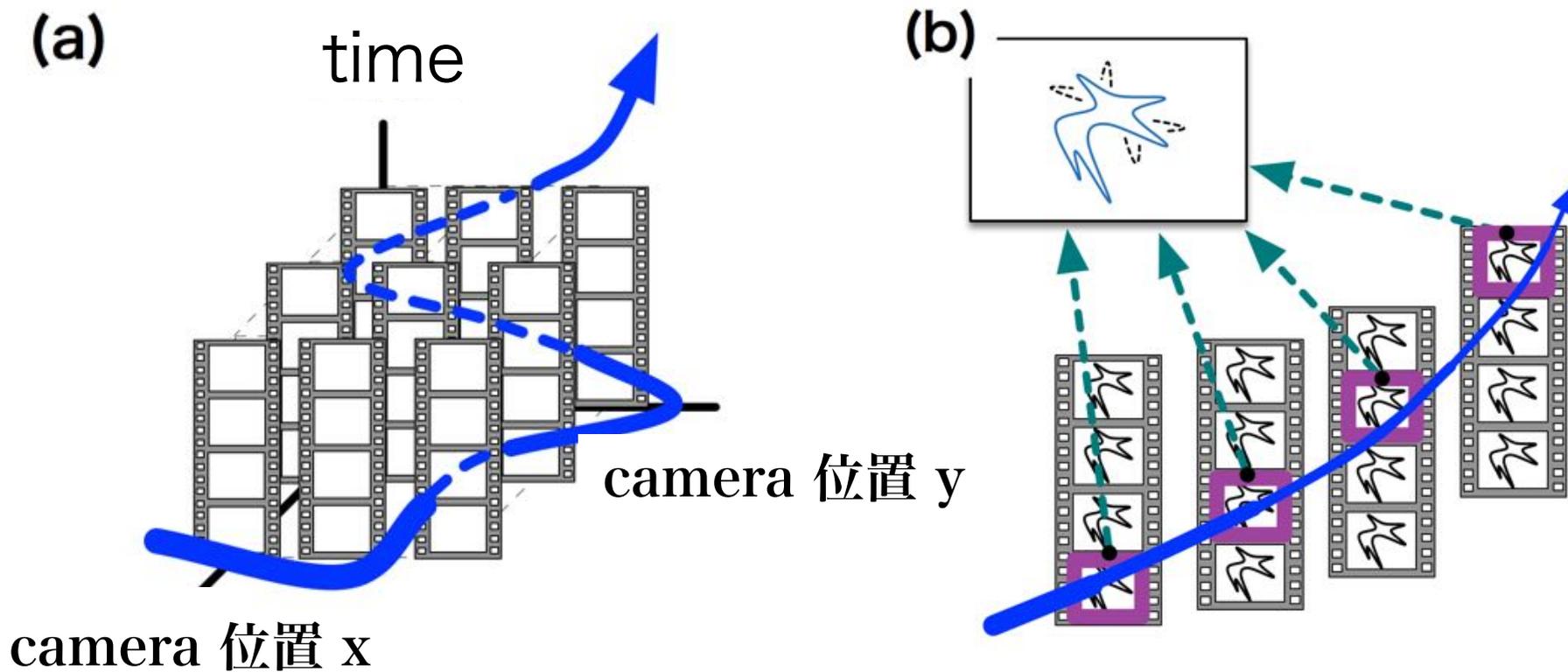
(d) 動画データベース



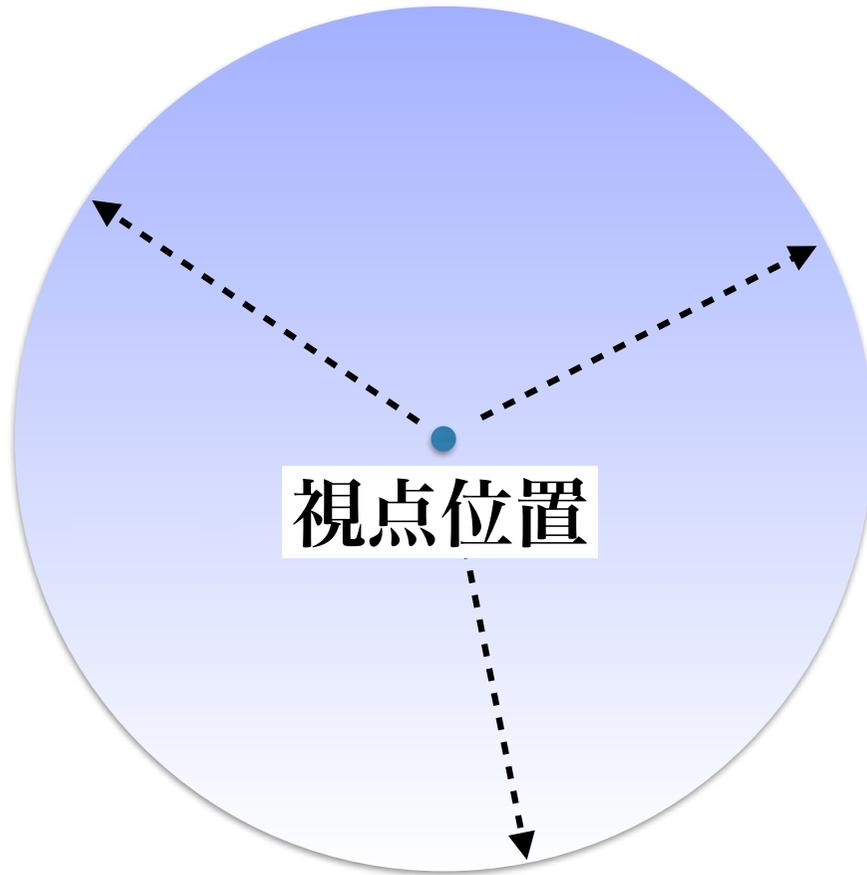
動画データベースブラウザ

camera 位置 x

動画データベースブラウザ



球面投影手法



球面上に投影

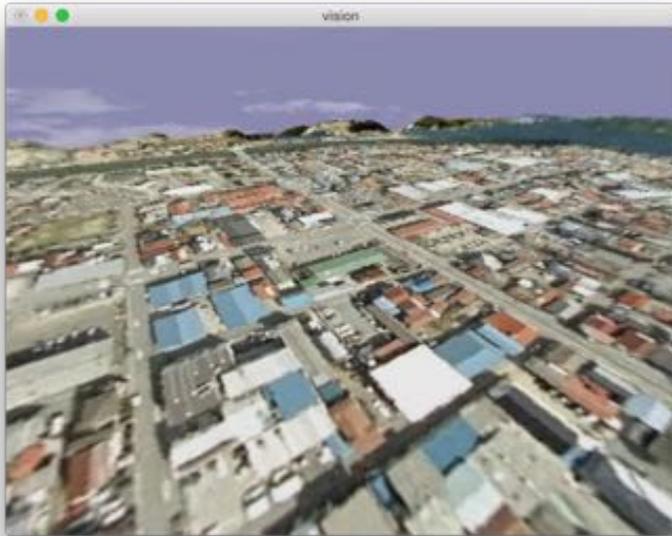


指定視線方向
リアルタイム
での抽出

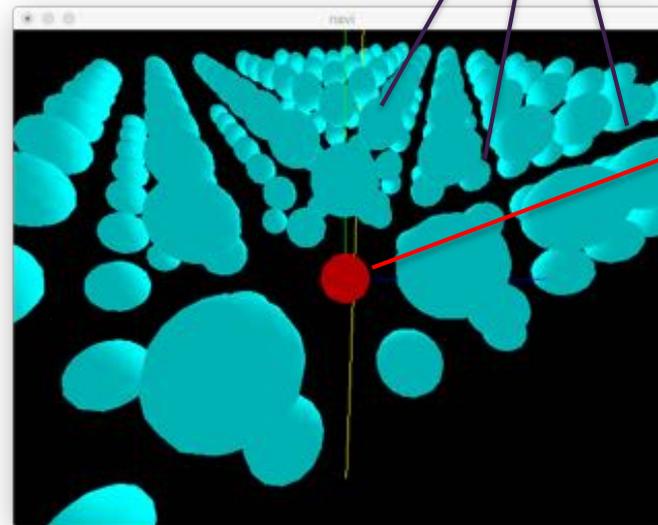


動画データベースブラウザ

配置した全方位カメラ



再生画面

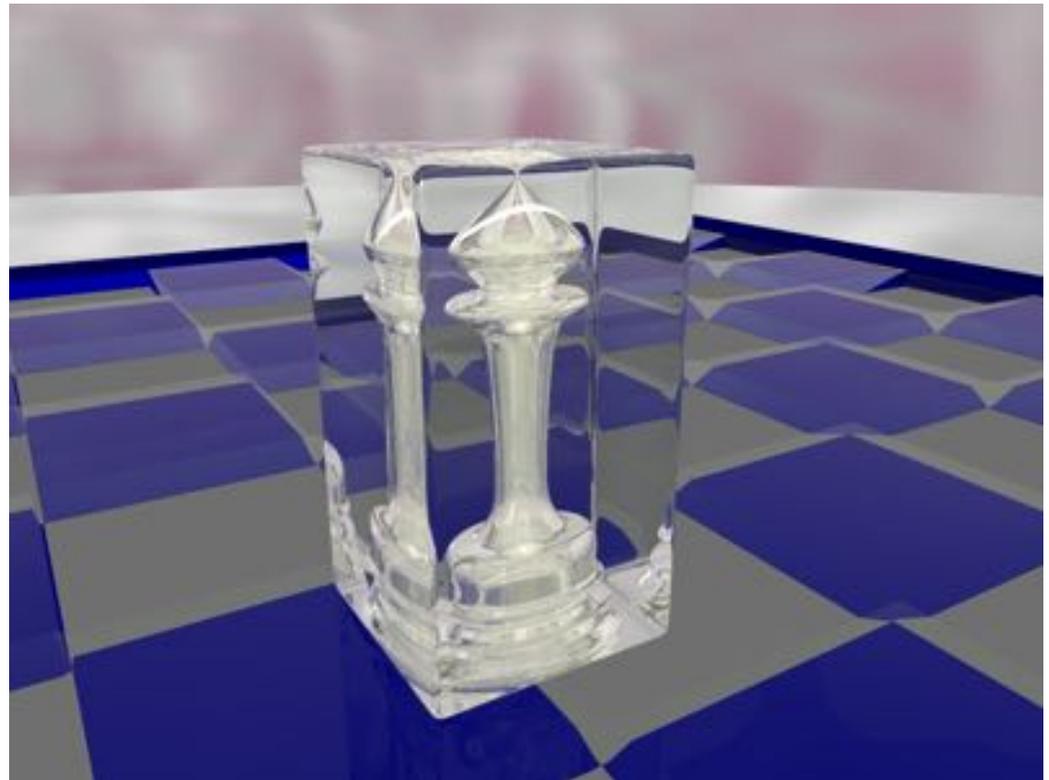


再生中のカメラ

ナビゲーションウィンドウ

応用

- 高品位CGの対話的表示（回転・視点移動）
- 1枚の映像を作るのに数十秒
 - ▶ 回転できない



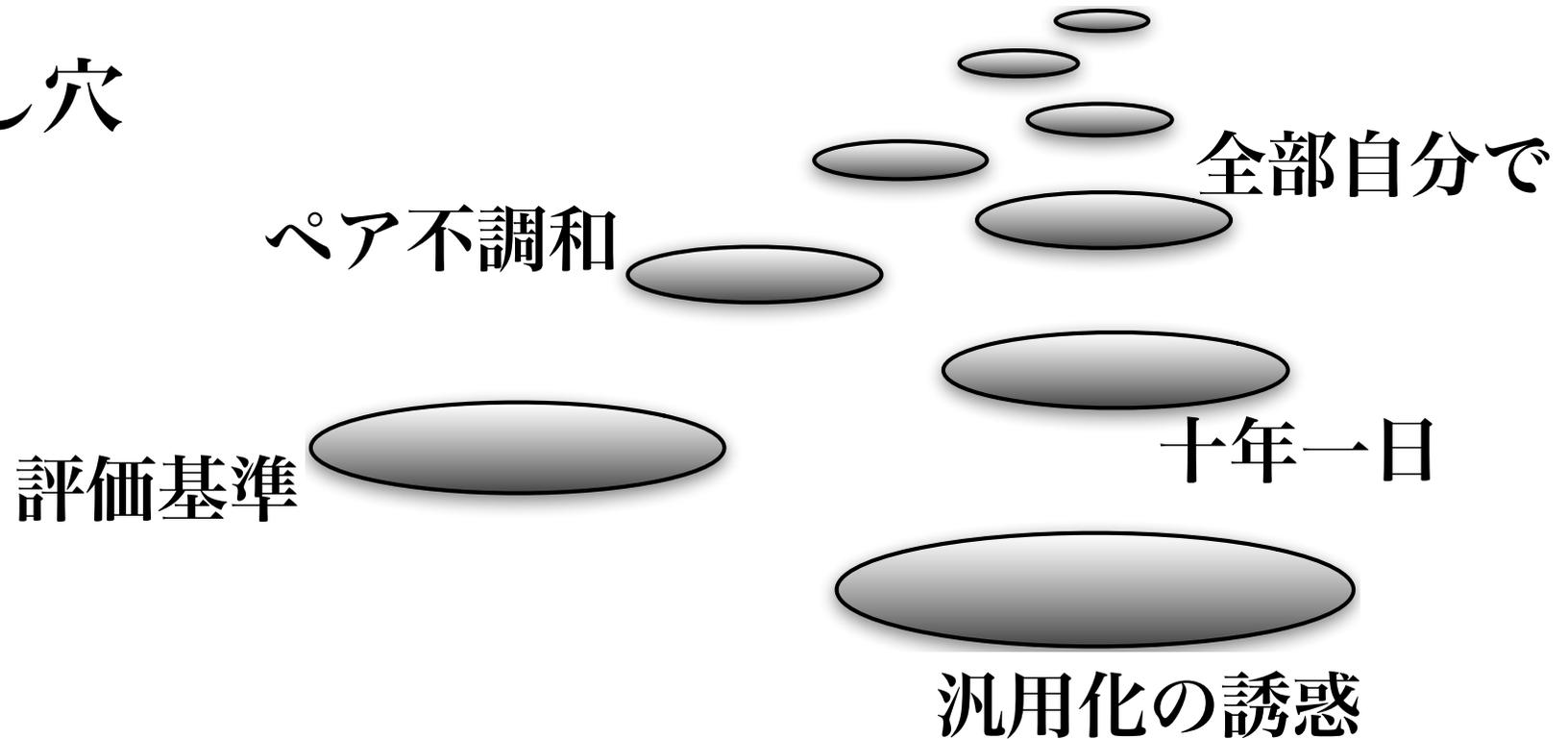
地震波シミュレーション



まとめ

HPCと可視化：夢と現実

- 現実
- 落とし穴



「HPC+可視化」研究の落とし穴

● 可視化側

VR可視化 (VFIVE & Multiverse)

▶ 汎用化の誘惑

- 自分のツールを無駄に汎用化しようとする

▶ 研究者としての評価に振り回される

- 可視化研究の最先端 \neq HPCに必要な可視化

研究としての可視化

v.s.

サービス (?) としての可視化

「HPC+可視化」研究の落とし穴

- HPC側

- ▶ 十年一日症候群

- 「自分の研究には〇〇ツールが最適・十分」

- ▶ 「全部自分で」症候群

- 「シミュレーションも可視化も全部自分が」

- ▶ 可視化研究者とうまくペアを組めない

- 「自分の指示通りに綺麗な絵をつくってくれ
れるだけでいい・・・」

最後に：どうすればよいか？

- シミュ研究者はもっと可視化研究を勉強する
- 可視化研究者はシミュ研究者の動機を理解する
- 若者へ：シミュと可視化を両方を習得する
- HPC可視化の研究評価・・・？
- HPCも可視化も大きなツールの一部
 - ▶ BIAC（生体相互作用コンピュータ）