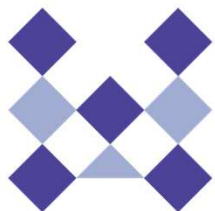


# JHPCN共同研究課題(2021年度) 「三次元強震動シミュレーションとリアル タイムデータ同化の融合」 (jh210022-MDH)



**Wisteria  
BDEC-01**



- 東京大学情報基盤センター
  - 中島研吾(代表)
  - 埴 敏博, 下川辺隆史
  - 芝 隼人, 河合直聡
  - 松葉浩也(日立製作所)
- 東京大学地震研究所
  - 古村孝志(副代表)
  - 鶴岡 弘
  - 市村 強, 藤田航平
  - 長尾大道, 伊藤伸一
- 国立環境研究所
  - 八代 尚
- 高度情報科学技術研究機構(RIST)
  - 荒川 隆
- 名古屋大学
  - 大島聡史
- 富士通株式会社
  - 坂口吉生
  - 野村征爾, 田中雄貴, 住元真司



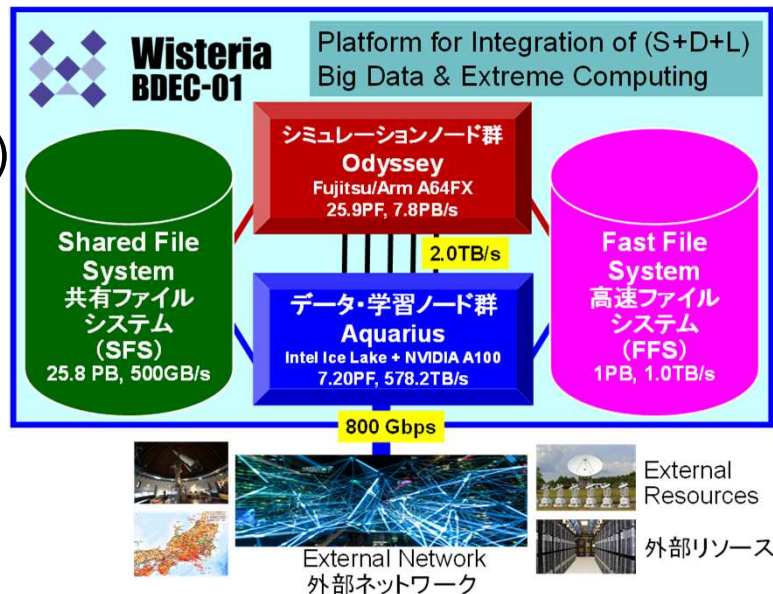
# 目的

- 本研究では, JDXnet(Japan Data eXchange network)によって得られる地震観測データを利用したリアルタイムデータ同化と高精度な三次元強震動シミュレーションの融合による計算手法, 機械学習による三次元地下構造モデルの改良手法, 及び関連するソフトウェア群の研究開発を実施する。
- 東京大学情報基盤センターのOakforest-PACS(OFP), Oakbirdge-CX(OBCX), Wisteria/BDEC-01(Wisteria)システムを使用した検証を実施する他, 開発したソフトウェア群を「富岳」を含むHPCI計算資源群等に展開し, 「シミュレーション(Simulation) + データ(Data) + 学習(Learning)(S+D+L)」融合の促進に資する。

# Wisteria/BDEC-01

- 2021年5月14日運用開始予定
  - 東京大学柏Ⅱキャンパス
- 33.1 PF, 8.38 PB/sec., **富士通製**
  - ~4.5 MVA(空調込み), ~360m<sup>2</sup>
- Hierarchical, Hybrid, Heterogeneous (h3)
- 2種類のノード群**
  - シミュレーションノード群(S, SIM) : Odyssey**
    - 従来のスパコン
    - Fujitsu PRIMEHPC FX1000 (A64FX), 25.9 PF
      - 7,680ノード(368,640 コア), 20ラック, Tofu-D
  - データ・学習ノード群(D/L, DL) : Aquarius**
    - データ解析, 機械学習
    - Intel Xeon Ice Lake + NVIDIA A100, 7.2 PF
      - 45ノード(Ice Lake:90基, A100:360基), IB-HDR
    - 一部は外部リソース(ストレージ, サーバー, センサーネットワーク他)に直接接続
- ファイルシステム: 共有(大容量) + 高速

BDEC:「計算・データ・学習(S+D+L)」  
融合のためのプラットフォーム  
(Big Data & Extreme Computing)



**Wisteria  
BDEC-01**

# Simulation Nodes Odyssey

25.9 PF, 7.8 PB/s

Fast File System  
(FFS)  
1.0 PB,  
1.0 TB/s

Shared File System  
(SFS)  
25.8 PB,  
0.50 TB/s

# Data/Learning Nodes Aquarius

7.20 PF, 578.2 TB/s

計算科学コード

シミュレーション  
ノード群, Odyssey

最適化されたモデル,  
パラメータ

計算結果

## Wisteria/BDEC-01

機械学習, DDA

データ・学習ノード群  
Aquarius

観測データ

データ同化  
データ解析



# Wisteria BDEC-01

サーバー  
ストレージ  
DB  
センサー群  
他



外部ネットワーク



外部  
リソース

## Simulation Nodes Odyssey

25.9 PF, 7.8 PB/s

Fast File  
System  
(FFS)  
1.0 PB,  
1.0 TB/s

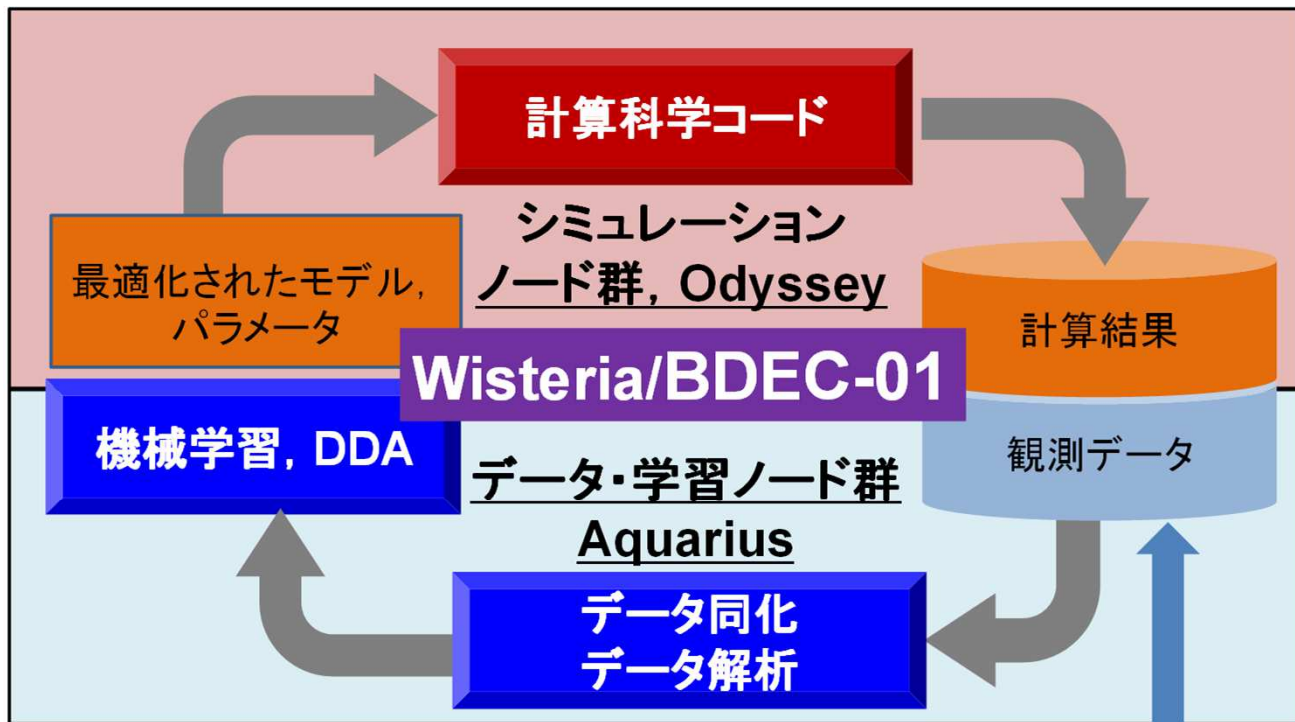
Shared File  
System  
(SFS)  
25.8 PB,  
0.50 TB/s

## Data/Learning Nodes Aquarius

7.20 PF, 578.2 TB/s



**Wisteria  
BDEC-01**

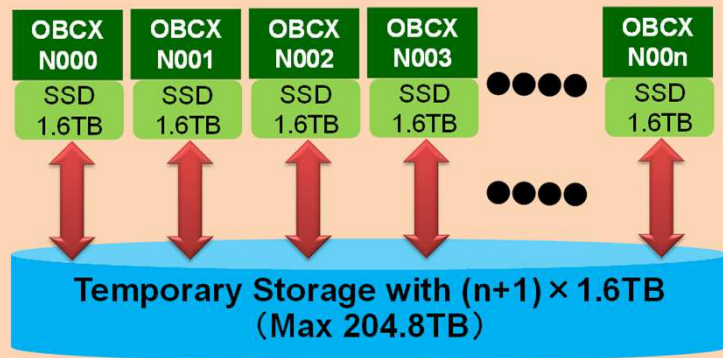


シミュレーションのためのモデル・パラメータのデータ解析, AI/機械学習による最適化 (S+D+L)

# Oakbridge-CX (OBCX) : BDECに向けた実験システム

- 全1,368ノードのうち128ノードにSSD (Solid State Drive) 搭載
  - Intel SSD+BeeGFS
    - 容量: 1.6 TB/node
    - 読み書き性能: 3.20/1.32 GB/s/node
    - BeeOND (BeeGFS-on-Demand) によって合計 200+TB (128 × 1.6) の高速ファイルシステムとして使用可能
  - データ科学アプリケーション
    - ソフトウェア類も充実
  - ステージング, チェックポイント
  - 128ノードのうち16ノードはSINET経由で外部リソース(サーバー, ストレージ, センサーネットワーク)に直接接続⇒外部接続ノード

## BeeGFS on Demand (BeeOND)



Total: 1,368 nodes

128 nodes  
with SSD

16

**OBCXの16ノード(外部接続ノード)**  
SINET経由で外部計算機資源に直接接続,  
BDECにおけるデータ・学習ノード群と同様の  
役割

SINET5

# 必要性

- 本研究は、東京大学地震研究所，同 情報基盤センター，名古屋大学，国立環境研究所，富士通株式会社，RIST等の産学官の計算科学，計算機科学，数値アルゴリズム，データ科学，機械学習の専門家の緊密な協力のもとに「シミュレーション+データ+学習(S+D+L)」融合を目指して実施される学際的な研究である。
- 本研究で利用予定のシステムのうちOBCX, Wisteria/BDEC-01は、高い計算能力のみならず、外部ネットワーク経由に直接接続し、JDXnetによる観測データの直接取得が可能であるとともに、データ解析、機械学習にも適したハードウェア、ソフトウェアを有し、「S+D+L」融合のためのプラットフォームとして最適である。
- 近年は、名古屋大、大阪大、九州大等にもヘテロジニアスなノード構成に基づき、「S+D+L」融合を指向したシステムが多数導入されており、本研究の成果をこれらのシステムに展開することによって、JHPCN各センターにおける「S+D+L」融合促進にも貢献する。



# 意義(1/4)

- 計算科学が「第三の科学(The Third Pillar of Science)」と呼ばれるようになって久しいが、近年は様々なデータ活用することによる新しい科学の開拓が盛んであり、スーパーコンピュータも従来の計算科学シミュレーション以外に、データ解析、機械学習等様々な用途に使われている。
- スーパーコンピューティングは、従来の計算科学・計算工学シミュレーションに加えて、データ科学、機械学習等の知見を融合した新しい手法の適用によって、サイバー空間とフィジカル空間の融合を通じた「Society 5.0」実現に大きく貢献すると期待される。
- 計算科学シミュレーションは多くの場合、非線形な問題を扱うため、多数のパラメータスタディが必要となる。東大情報基盤センターでは、中島(本提案代表者)を中心に、他機関とも協力のもと、OBCX, Wisteria等を念頭において、高性能なアプリケーションを容易に開発し、「S+D+L」融合を推進するための革新的ソフトウェア基盤「h3-Open-BDEC」の開発を進めている。

# (計算+データ+学習)融合によるエクサスケール時代の革新的シミュレーション手法(1/2)

<http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/h3-Open-BDEC/>

- エクサスケール(富岳+クラス)のスパコンによる科学的発見の持続的促進のため、計算科学にデータ科学、機械学習のアイデアを導入した(計算+データ+学習(S+D+L))融合による革新的シミュレーション手法を提案
  - (計算+データ+学習)融合によるエクサスケール時代の革新的シミュレーション手法(科研費基盤S, 代表: 中島研吾(東大情基セ), 2019年度~2023年度)



**Wisteria  
BDEC-01**



# (計算+データ+学習)融合によるエクサスケール時代の革新的シミュレーション手法(2/2)

<http://nkl.cc.u-tokyo.ac.jp/h3-Open-BDEC/>

- **革新的ソフトウェア基盤「h3-Open-BDEC」の開発**: 東大BDECシステム(Wisteria/BDEC-01), 「富岳」等を「S+D+L」融合プラットフォームと位置づけ, スパコンの能力を最大限引き出し, 最小の計算量・消費電力での計算実行を実現するために, 下記2項目を中心に研究
  - 変動精度演算・精度保証・自動チューニングによる新計算原理に基づく革新的数値解法
  - 階層型データ駆動アプローチ(hDDA: Hierarchical Data Driven Approach)等に基づく革新的機械学習手法
  - Hierarchical, Hybrid, Heterogeneous ⇒ h3



**Wisteria  
BDEC-01**



# h3-Open-BDEC

「計算+データ+学習」融合を実現する  
革新的ソフトウェア基盤



**Wisteria**  
**BDEC-01**

## h3-Open-BDEC

新しい計算原理  
数値アルゴリズム・ライブラリ

シミュレーション+データ  
+学習(S+D+L)  
アプリ開発フレームワーク

統合+通信+  
ユーティリティ  
制御 & ユーティリティ

**Hierarchical,  
Hybrid,  
Heterogeneous**

h3-Open-MATH  
高性能・高信頼性・  
混合/変動精度アルゴリズム

h3-Open-APP:  
Simulation  
計算科学アプリケーション

h3-Open-SYS  
制御 & 統合

**Big Data &  
Extreme  
Computing**

h3-Open-VER  
精度保証

h3-Open-DATA: Data  
データ科学

h3-Open-UTIL  
大規模計算向け  
ユーティリティ群

h3-Open-AT  
自動チューニング

h3-Open-DDA:  
Learning  
データ駆動・機械学習



## 意義(2/4)

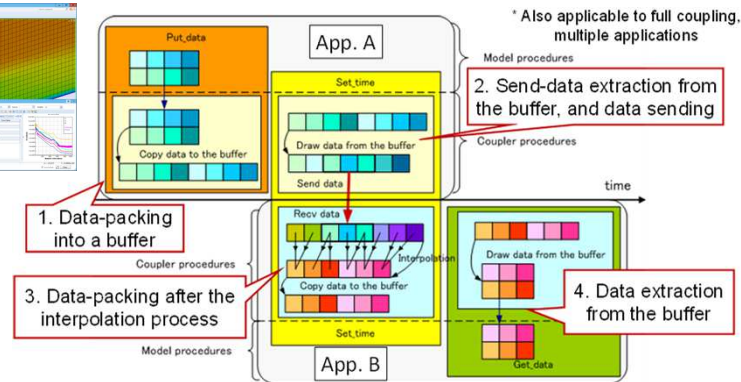
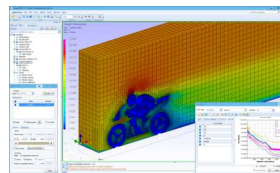
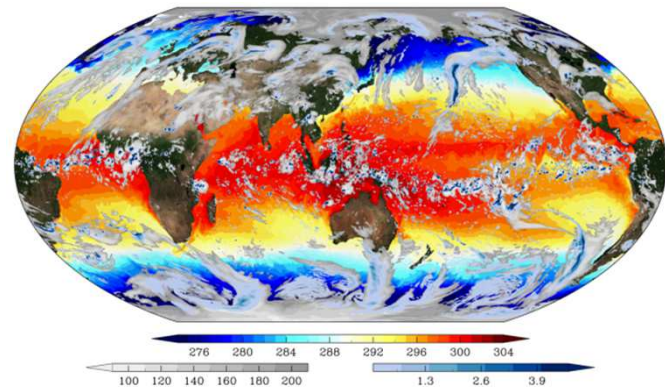
- Wisteriaのようなシステムを想定し、機械学習による最適パラメータ推定を、外部から取り込んだ実験・観測データによる同化と組み合わせて、正確な解をより短時間で求めることを目指している。
- h3-Open-BDECはそのようなアプリケーションの開発を支援する機能とともに、シミュレーションノード群(Odyssey)とデータ・学習ノード群(Aquarius)が協調したワークロードの実行を支援する機能(h3-Open-SYS/WaitIO, h3-Open-UTIL/MP)も提供する。これら機能は本提案メンバー(松葉(東大情基セ), 八代(環境研), 荒川(RIST))によって開発されたものである。
- 日本列島には約2,000の高感度地震観測点と約120の広帯域地震観測点が設置され、大学、研究機関により運用されている。JDXnetはこれらの地震観測点のデータの全国規模のリアルタイム流通ネットワークであり、鶴岡(東大地震研)はJDXnet構築、運営の中心人物の一人である。

# Wisteria/BDEC-01上における

## h3-Open-BDECを使用した(S+D+L)融合

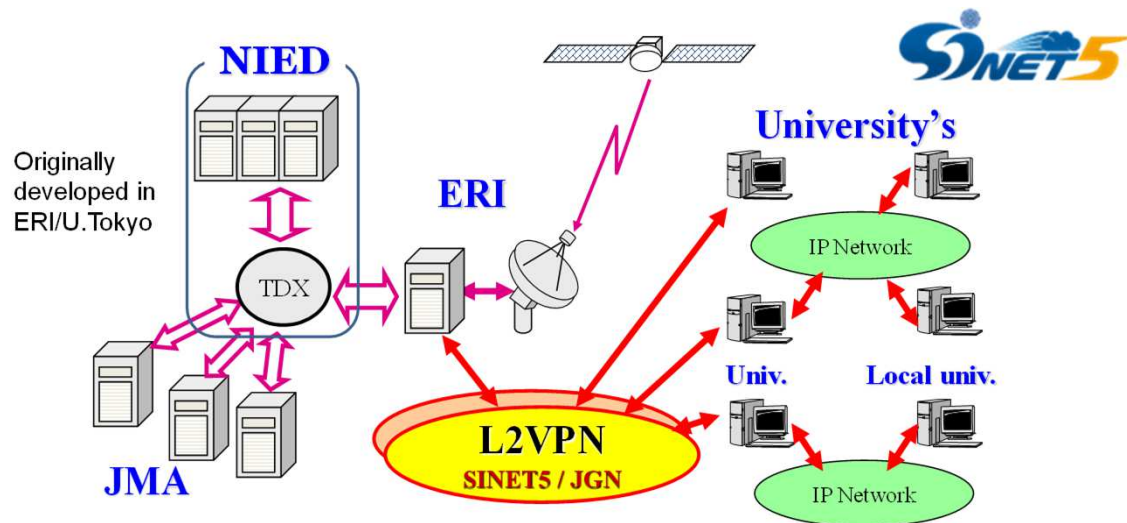


- シミュレーションとデータ同化の融合
  - 典型的・伝統的な(S+D+L)融合
- 気候・気象のための大気海洋連成シミュレーション
  - 東大大気海洋研, 理研, 国立環境研他
- **リアルタイム同化+三次元強震動シミュレーション**
  - **東大地震研**
- リアルタイム災害シミュレーション
  - 洪水, 津波
- 既存シミュレーションコードの(S+D+L)融合による高度化
  - OpenFOAM



# 全国地震観測データ流通ネットワーク「JDXnet」

- 国内地震観測点の観測データ(約2,000点, 100Hz, 3方向)をSINET経由でリアルタイムに取得可能
  - 気象庁, 東大地震研, 防災科技研, 各大学
  - 1日のデータ量: 100GB級



[資料提供: 鶴岡弘准教授(東大・地震研)]

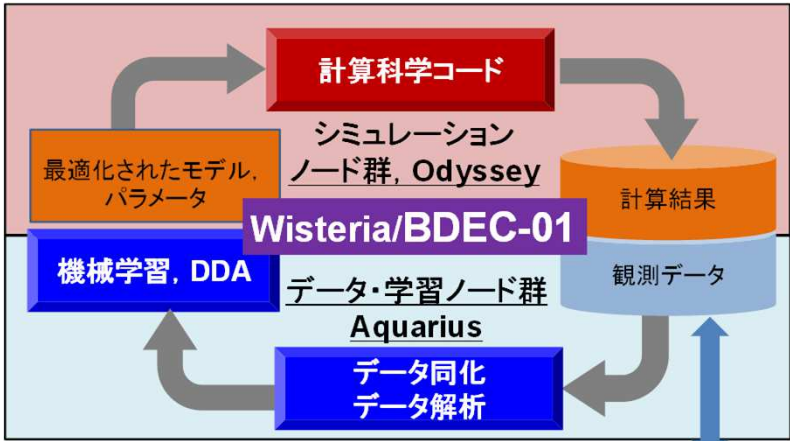
# 意義(3/4)

- 古村(東大地震研)等は、最適内挿法によるデータ同化と差分法による三次元強震動シミュレーションを組み合わせたSeism3D/OpenSWPC-DAF(Data-Assimilation-Based Forecast)の研究開発を実施しており、既に既存の地震観測データファイルを使用して「シミュレーション+データ同化」融合に成功している。
- 東大地震研と情報基盤センターは、h3-Open-BDECを元にして、2019年度からリアルタイム観測データを使用して「シミュレーション+データ同化」融合を実施するためのフレームワークの研究開発に着手しており、OBCXシステムの外部接続ノードを使用して、JDXnetから得られる観測データを直接利用可能となっている。
- 本フレームワークは、リアルタイム観測に基づくデータ同化と三次元シミュレーションの融合により、地震発生時の精度の高いシミュレーション実行を可能とし、より精密な避難計画の策定にも資するものである。

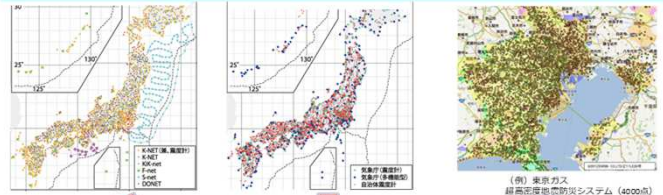


# 三次元地震シミュレーション+リアルタイムデータ同化/観測

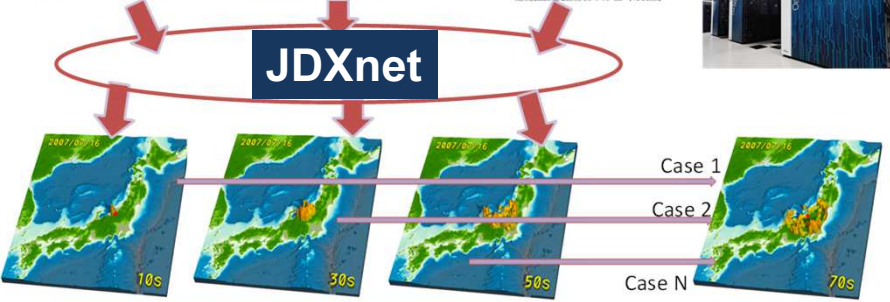
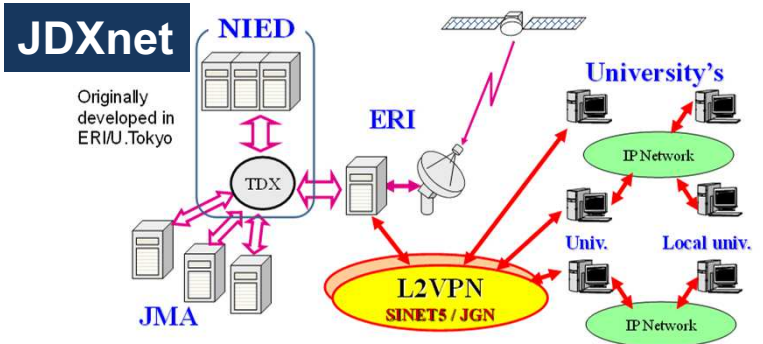
## JDXnetの観測データを利用したリアルタイムデータ同化/観測



Observation Network for Earthquake:  $O(10^5)$  Points



[c/o Furumura]



Real-Time Data/Simulation Assimilation  
Real-Time Update of Underground Model

[資料提供: 古村孝志教授 (東大・地震研)]

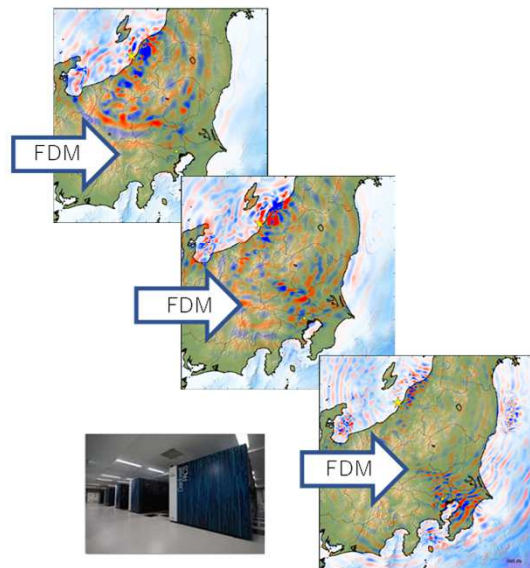
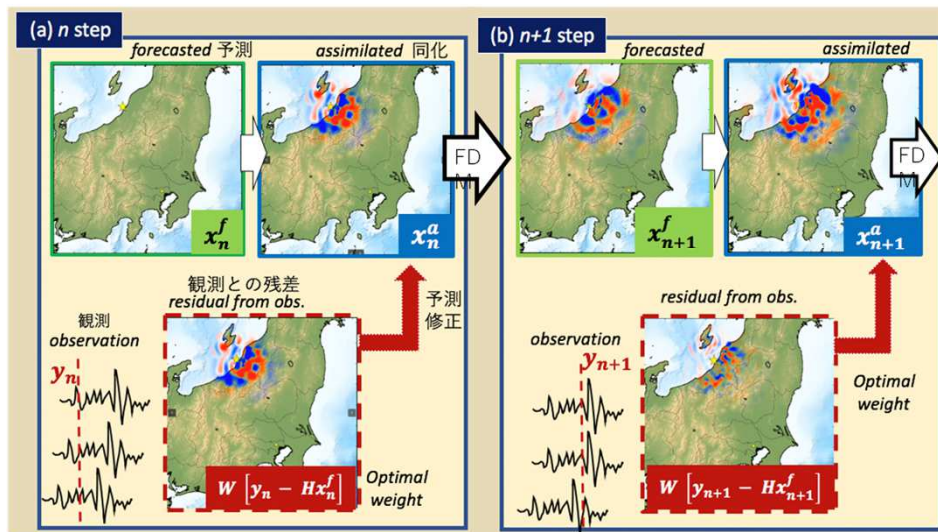
# 最初は「A:同化+シミュレーション」⇒「B:シミュレーション予測」へ移行

$$\begin{array}{l}
 \text{Assim. Comp.} \quad \text{Residual} \quad \text{Obs.} \quad \text{Comp.} \\
 x_n^a = x_n^f + W(y_n - Hx_n^f) \\
 \text{Comp.} \quad \text{Assim.} \\
 x_{n+1}^f = Fx_n^a \quad F: \text{Wave Propagation simulation}
 \end{array}$$

$n$ : Time Step  
 $W$ : Weighting Matrix

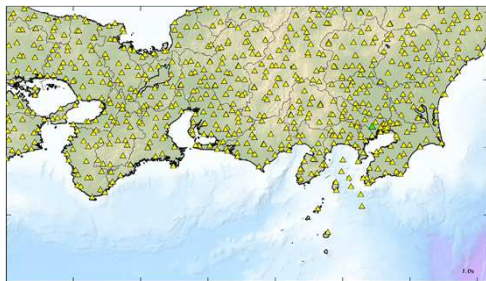
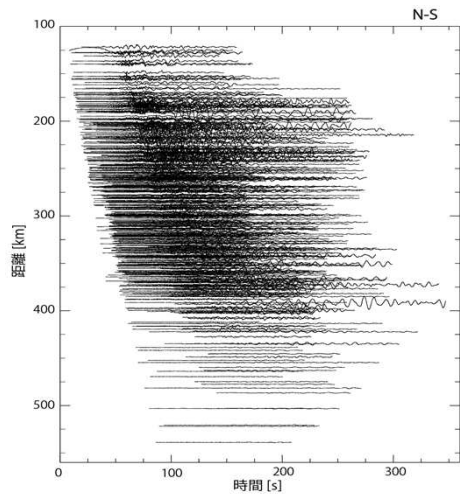
(A) Assimilation+Simulation

(B) Pure Simulation/Forecast

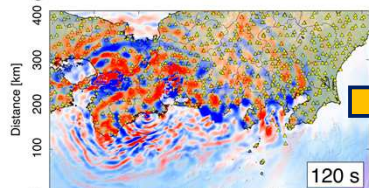
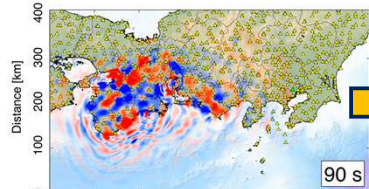
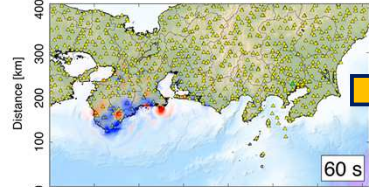


# 紀伊半島南東沖地震 (2004年, Mw 7.4) [c/o Oba & Furumura]

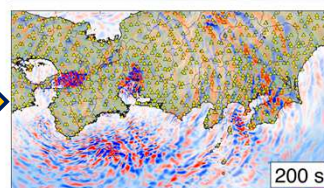
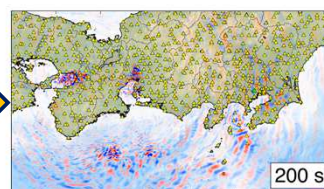
○ Observation (K-NET, KiK-net 446 pts)



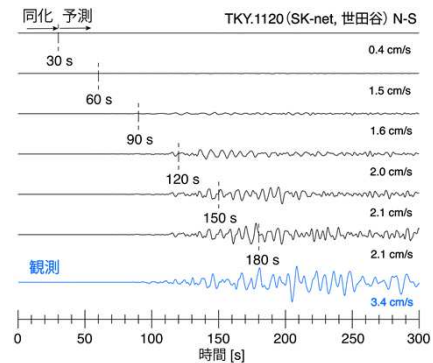
(a) Sim. + Assim.



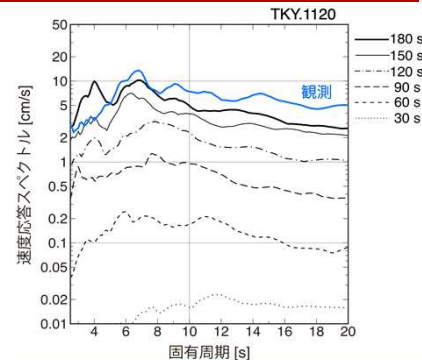
(b) Pure Simulation

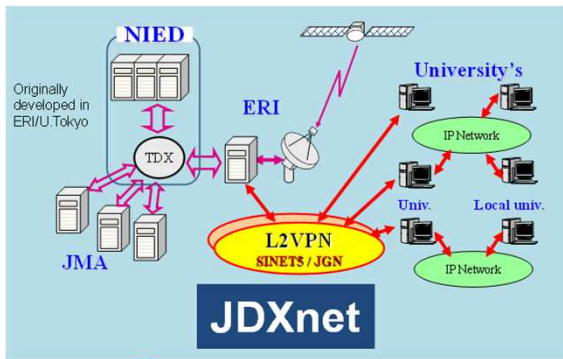


Long Wave Propagation in Tokyo

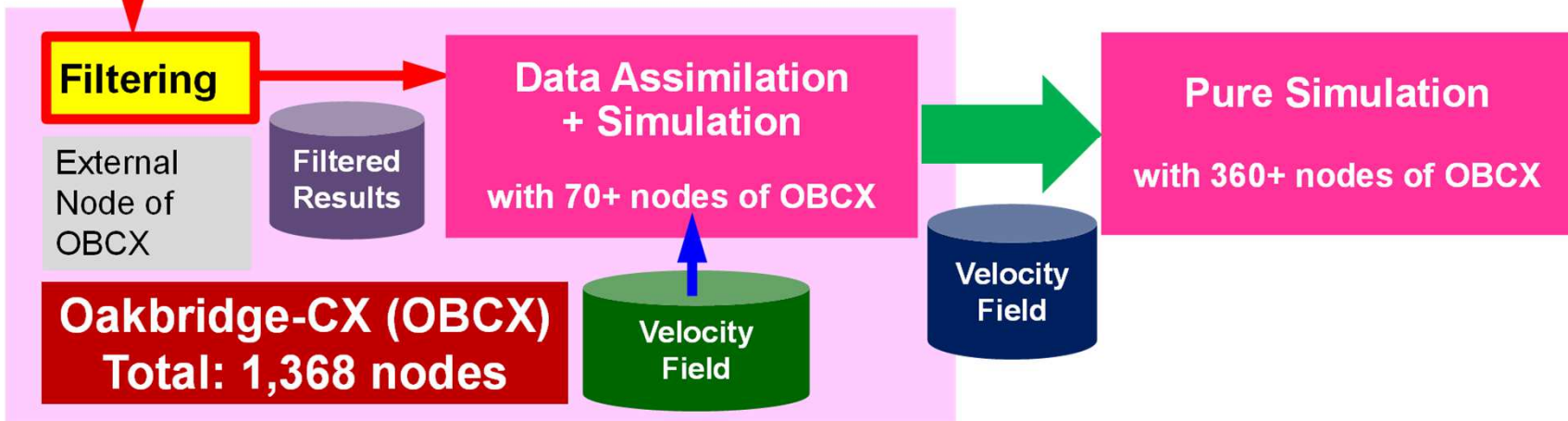


Response Spectrum



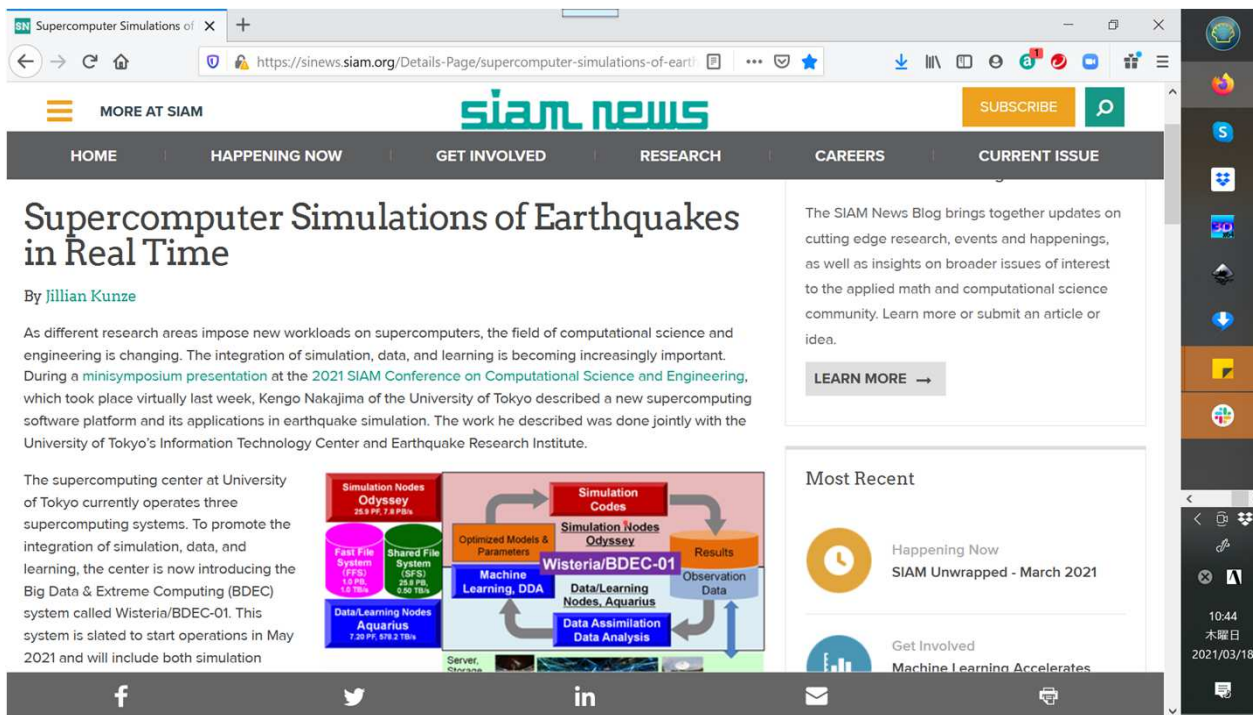


三次元地震シミュレーション＋  
リアルタイムデータ同化/観測  
JDXnetの観測データを利用したリアルタイム  
データ同化/観測  
2019・2020年度はOBCXの外部接続ノード  
を使って、JDXnetの観測データ取得



# The article on my presentation@CSE21 appears in *SIAM News*

<https://sinews.siam.org/Details-Page/supercomputer-simulations-of-earthquakes-in-real-time>



The screenshot shows a web browser displaying the SIAM News website. The article title is "Supercomputer Simulations of Earthquakes in Real Time" by Jillian Kunze. The article text discusses the integration of simulation, data, and learning in computational science and engineering, specifically mentioning a minisymposium presentation at the 2021 SIAM Conference on Computational Science and Engineering. A diagram titled "Wisteria/BDEC-01" illustrates the system architecture, showing the flow of data between various components: Simulation Nodes Odyssey, Simulation Codes, Simulation Nodes Odyssey, Results, Observation Data, Data/Learning Nodes, Aquarius, Data Assimilation Data Analysis, Machine Learning, DDA, Data/Learning Nodes, Aquarius, Optimized Models & Parameters, Shared File System (SFS), Fast File System (FFS), and Data/Learning Nodes, Aquarius. The diagram also includes a box for "Server, Storage".

**Simulation Nodes Odyssey**  
25.9 PF, 7.8 PEx

**Fast File System (FFS)**  
1.8 Mx, 1.8 TEx

**Shared File System (SFS)**  
25.9 PEx, 7.80 TEx

**Optimized Models & Parameters**

**Simulation Codes**

**Simulation Nodes Odyssey**

**Results**

**Observation Data**

**Data/Learning Nodes, Aquarius**

**Data Assimilation Data Analysis**

**Machine Learning, DDA**

**Data/Learning Nodes, Aquarius**

**Server, Storage**

**Wisteria/BDEC-01**

The supercomputing center at the University of Tokyo currently operates three supercomputing systems. To promote the integration of simulation, data, and learning, the center is now introducing the Big Data & Extreme Computing (BDEC) system called Wisteria/BDEC-01. This system is slated to start operations in May 2021 and will include both simulation

# 意義(4/4)

- 伊藤・長尾(東大地震研)等は, 先端的なデータ同化手法の研究を実施しており, 「2nd-Order Adjoint法」による, 不確実性評価可能な新しい四次元変分法に基づくデータ同化手法(4DVar)を提案している。
  - 本研究では4DVarの他, Ensemble 4DVar, 4DEnVar等も考慮し, 最先端研究成果に基づくデータ同化手法に関するフィージビリティスタディを実施する。
- 広域にわたる地下構造の分析は十分に進んでおらず, より精密な三次元地下構造モデルの構築が強く望まれている。
- 市村・藤田(東大地震研)等は, 地下構造の不確定を考慮し, 機械学習, 人工知能の手法を導入して, 精度の高い三次元強震動シミュレーションを実施する手法を提案し, 国際的にも高い評価を得ている。
  - 本研究では, 緊急時対応を目指した研究開発の他, 通常の小規模な地震時に得られるデータを対象として, 観測結果+シミュレーション結果に基づき, 機械学習による地下構造法推定法の研究開発を実施し, 精度の高いシミュレーションを実施するための, より現実に近い三次元地下構造モデルの構築に貢献する。

# 計画(1/4)

- 本研究は2年計画, 実施項目は下記である:

- ① リアルタイム観測データ同化との融合による高精度な三次元強震動シミュレーション手法の研究開発及び検証
- ② 機械学習による三次元地下構造モデルの改良手法の研究開発及び検証
- ③ 関連するソフトウェア群の研究開発, 実装及び①, ②への適用, である。本研究は2年計画として実施する。

# 計画(2/4)

- ①: 古村等によるSeism3D/OpenSWPC-DAFを元に研究開発
  - Seism3D/OpenSWPC-DAFは三次元差分格子を対象とし、フィルタリング等の処理済みの時系列観測データを入力として、最適内挿法によるデータ同化と差分法による三次元強震動シミュレーションを組み合わせたものである
  - JDXnet経由で取得した観測データにフィルタリング処理を施し、データ同化コードへの入力データを生成するプログラム、Seism3D/OpenSWPC-DAFを拡張した三次元データ同化コード及び三次元強震動シミュレーションコード、結果可視化コードの開発(2021年度)(中島, 古村, 鶴岡, 塙, 坂口, 野村, 田中)
  - 各コードOFP, OBCX, Wisteriaへの実装, 最適化, 検証(2021・2022年度)(古村, 藤田他)
  - 最適内挿法その他, 様々なデータ同化手法(四次元変分法(4DVar)[1], Ensemble 4DVar, 4DEnVar)予備検討(2021年度), 実装, 適用, 検証(2022年度)(長尾, 伊藤, 河合)



# 計画(3/4)

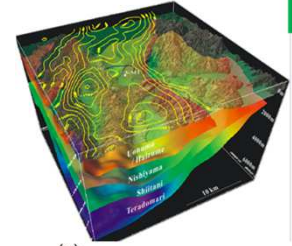
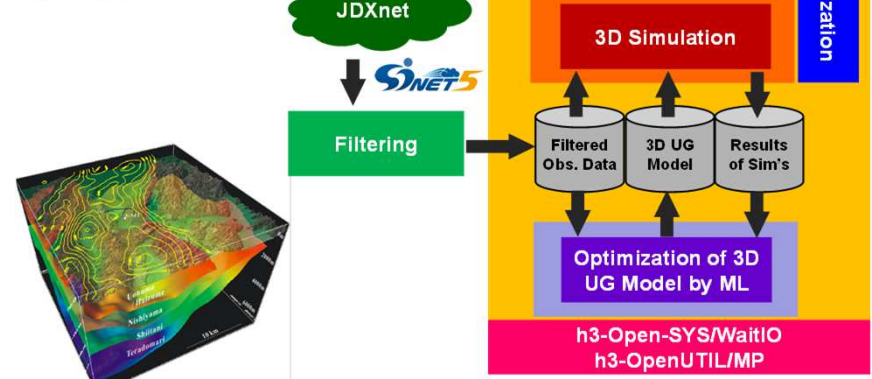
- ②: 高頻度で得られるデータを活用して, TensorFlow, PyTorch等を利用して, 機械学習等により地下構造を推定するフレームワークの研究開発を, Wisteria上で実施する:
  - 地下構造推定手法のプロトタイプの研究開発(2021年度)(市村, 藤田, 下川辺, 芝)
  - ①で開発したコード群との連携(2022年度)(図4)(市村, 藤田, 下川辺, 芝)
- ③: h3-Open-HPCの機能の一部である, h3-Open-SYS/WaitIO(ヘテロジニアス環境によるデータ受け渡しライブラリ), h3-Open-UTIL/MP(マルチフィジックス用カプラー, データ同化・強震動シミュレーションの連成に使用)を整備し, ①, ②の各プログラムの連携に使用する.
  - 2021年度は, h3-Open-SYS/WaitIOをWisteriaのシミュレーションノード群とデータ・学習ノード群連携を実現するためのライブラリとして整備
    - Odyssey-Aquarius間をつなぐIB-EDR(2TB/sec)を活用
  - 2022年度は, JHPCNの各センターと協調し, 名古屋大の他, 大阪大, 九州大等の同様のシステムへの展開も図る(松葉, 八代, 荒川, 大島, 坂口, 野村, 田中)。

# 計画(4/4)

- 2021年10月末までは、①のコード群に対してOBCXを使用し、外部接続ノード等によってJDXnetから観測データを取得、フィルタ処理、高速SSDを有する計算ノードでデータ同化、シミュレーションを実施する。
- ②における学習用データ作成のためにOFPを利用する。
- **2021年8月以降**はWisteriaが利用可能となるため、観測データ取得、フィルタ処理、機械学習部分をデータ・学習ノード群、データ同化、強震動シミュレーションをシミュレーションノード群で、高速ファイルシステムを経由して実施する。

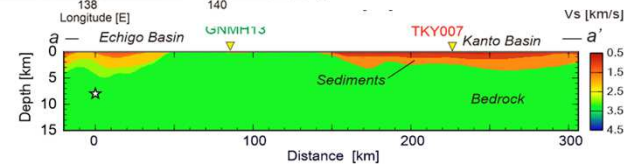
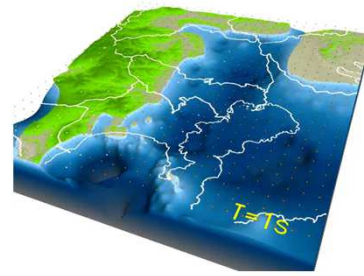
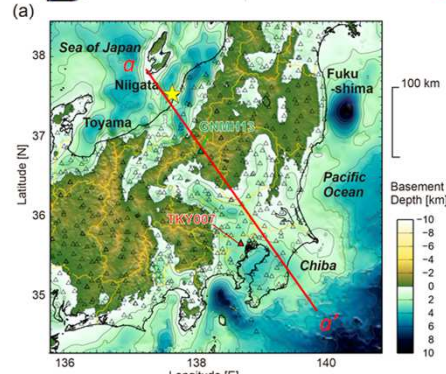
# リアルタイムデータ同化＋ 3D強震動Sim. 融合 (1/2)

- 大地震時: 正確な地震波動伝播予測
  - 地震波観測データを同化して得られる変位分布を初期条件として入力
  - 60秒先の予測を10秒以内に計算
  - 的確な避難計画の策定



## 通常時: 地下構造モデル改良

- 地下構造は複雑, 不均質, 実はよくわかっておらず, 大小の地震時の逆解析等によりモデルを少しずつ改良する, のが現状
- 観測データ・三次元シミュレーション・データ解析を元に地下構造モデルの改良に使う
  - ✓ 例えばMw=3.0+の地震が起きた場合
  - ✓ 機械学習により精度高いモデル生成
- ⇒ (S+D+L) 融合へ



# リアルタイムデータ同化＋3D強震動Sim 融合 (2/2)



## Wisteria BDEC-01

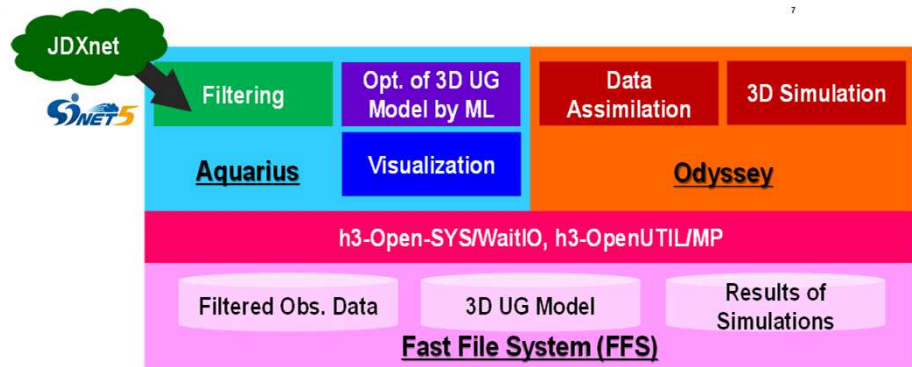
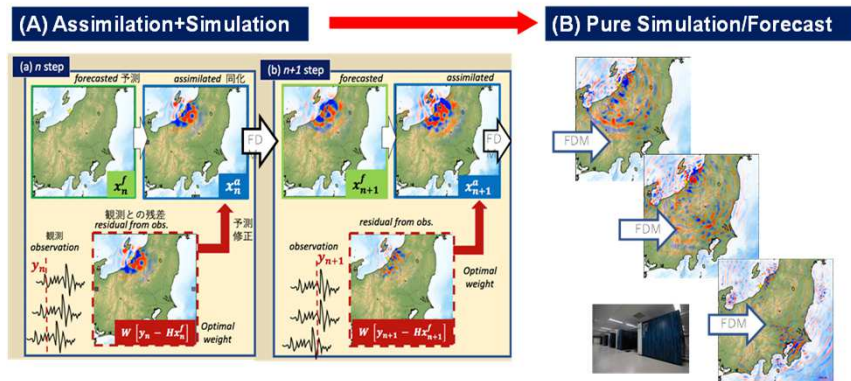
- Wisteria/BDEC-01の利用
- データ同化＋シミュレーション
  - Optimal Interpolation Technique: 高速
- 三次元地下構造モデル高度化
  - リアルタイム性はそれほど重要ではない
  - より高度なデータ同化手法 (e.g. 四次元変分法) を適用

### Odyssey

- データ同化, シミュレーション

### Aquarius

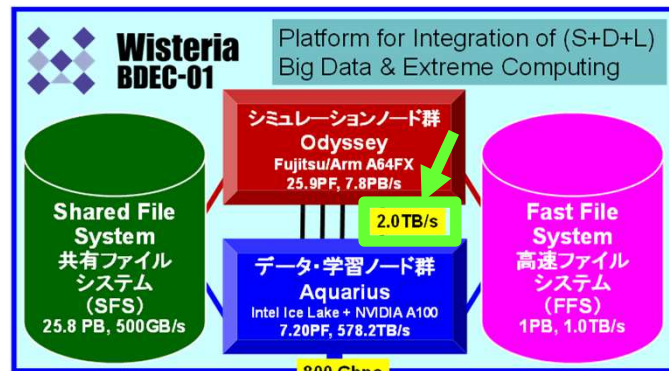
- フィルタリング, 機械学習, 可視化



# AI for HPC の実現



- Odysseus-Aquarius連携
  - MPIによる通信は不可
    - O-Aを跨いでMPIプログラムは動かない
  - Odysseus-Aquarius間はInfiniband-EDR (2TB/sec)で結合されている
- ソフトウェア開発
  - O-A間通信: h3-Open-SYS/WaitIO
    - IB-EDR経由
    - 高速ファイルシステム (FFS) 経由連携
  - 高機能カプラー: h3-Open-UTIL/MP

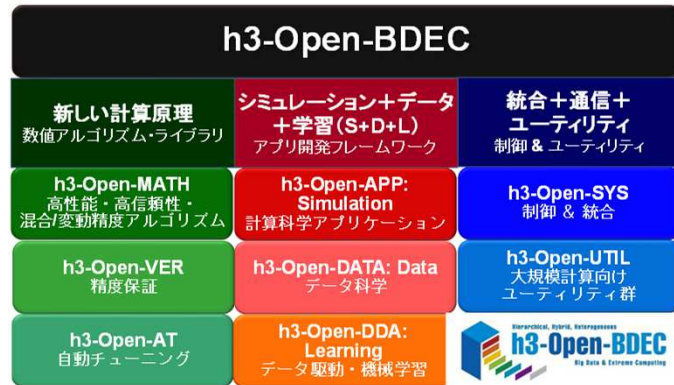


h3-Open-BDEC		
新しい計算原理 数値アルゴリズム・ライブラリ	シミュレーション+データ +学習 (S+D+L) アプリ開発フレームワーク	統合+通信+ ユーティリティ 制御 & ユーティリティ
h3-Open-MATH 高性能・高信頼性・ 混合/変動精度アルゴリズム	h3-Open-APP: Simulation 計算科学アプリケーション	h3-Open-SYS 制御 & 統合
h3-Open-VER 精度保証	h3-Open-DATA: Data データ科学	h3-Open-UTIL 大規模計算向け ユーティリティ群
h3-Open-AT 自動チューニング	h3-Open-DDA: Learning データ駆動・機械学習	

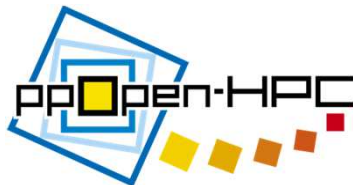
# h3-Open-SYS/WaitIO

## データ受け渡しライブラリ[松葉, 2020]

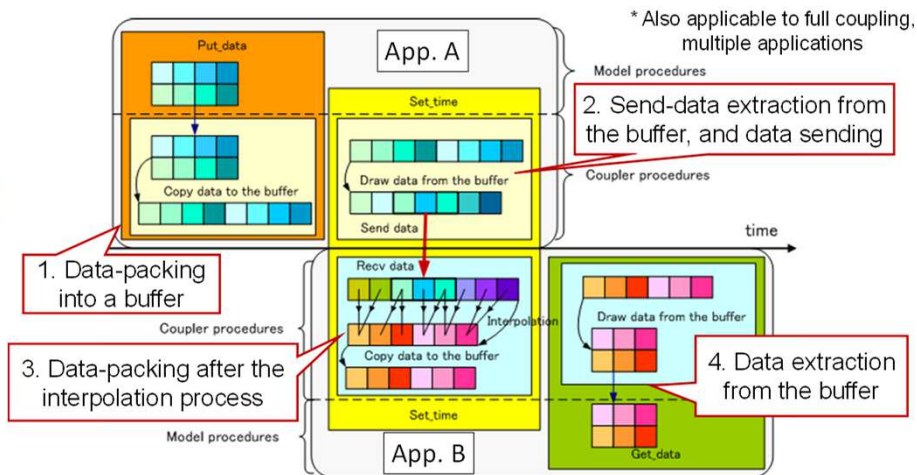
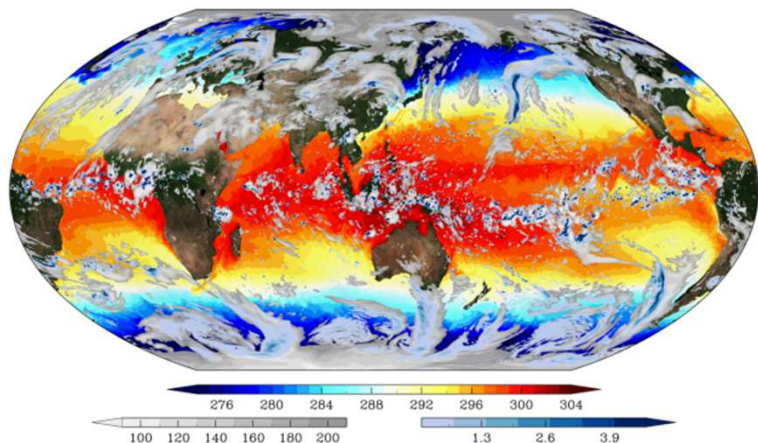
- ヘテロジニアス環境下での異なるコンポーネント間ファイル経由連携ライブラリとして考案
- 機能
  - ✓ Odysseey~Aquarius間連携
    - IB-EDR経由通信
    - ファイル経由
  - ✓ 外部からのデータ取得(観測データ等)
  - ✓ 読み込み・書き出しの同期
- API: C/C++, Fortranから呼び出し可能
  - ✓ MPIライクなインタフェースを提供
- 多機能カプラー(h3-Open-UTIL/MP)との連携



# 連成シミュレーションのためのカプラー 〔荒川, 八代〕



- 従来のカプラー (Coupler) : ppOpen-MATH/MP
  - 複数 (通常2つ: 大気 (NICAM) + 海洋 (COCO)) のアプリケーションの弱連成 (Weak Coupling) をサポート
  - 各アプリケーションは1種類の計算をやる



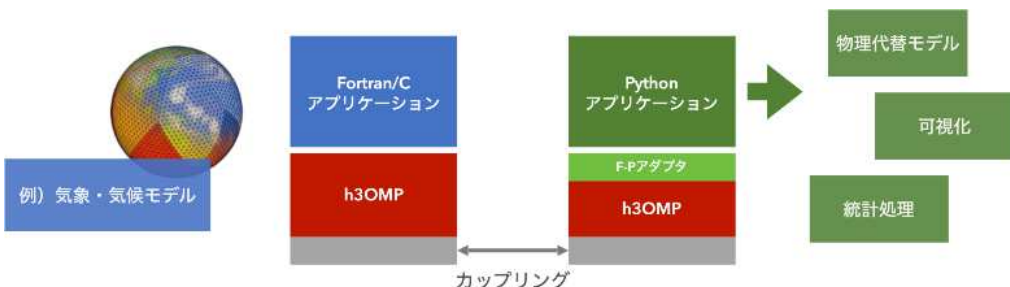
# 「計算＋データ＋学習」融合を支援する 多機能カプラーh3-Open-UTIL/MP



- 異なる物理モデル連成のアンサンブル実行を支援・統合するための機能
  - MPI通信、時刻同期、格子系間マッピング等の管理機能の他、従来のカプラーには無い、複数の弱連成結合シミュレーションのアンサンブル実行、片側のモデルのみをアンサンブル実行する多対1の弱連成結合が可能
  - スパコン上で、全地球大気海洋連成シミュレーションによって動作検証済み

## Fortran/Cコード(物理モデル)とPythonコードの弱連成を実現する機能

- FortranやCで記述されたプログラム同士の連成計算に限って開発を行ってきたカプラーを、Pythonによって記述されたAI・機械学習、可視化処理系のワークロードから活用できるように機能拡充。

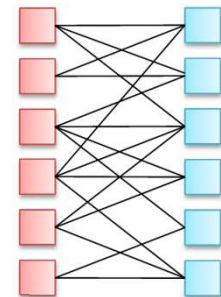
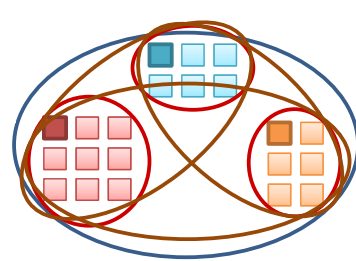


Fortran/CアプリとPythonアプリの連成計算の模式図  
〔八代・荒川 2020〕

- O-A利用: WaitIOとの連携

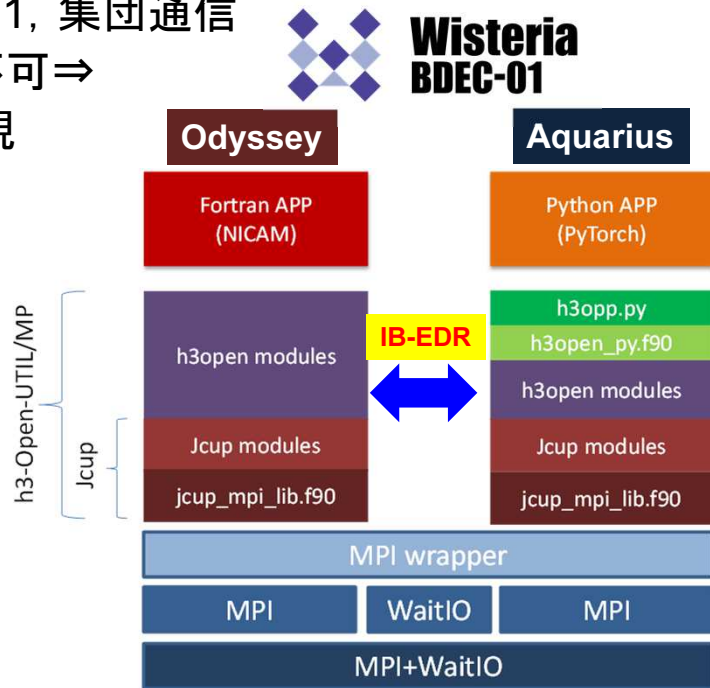
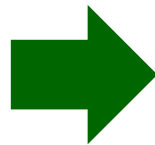
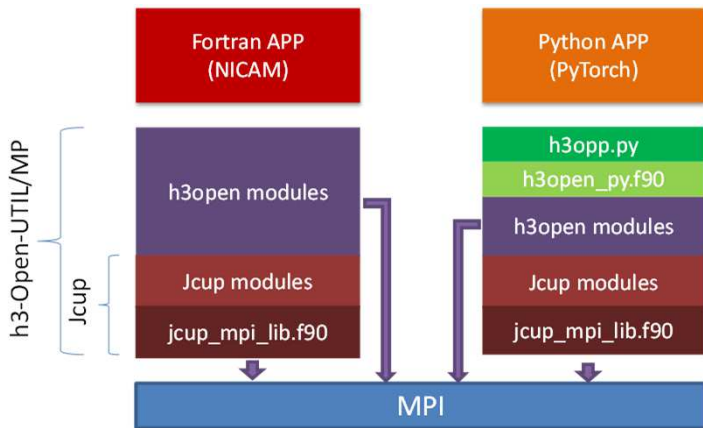


# h3-Open-UTIL/MP · h3-Open-SYS/WaitIO連携



## • h3-Open-UTIL/MP

- (現状)MPIによるコンポーネント間通信: 1対1, 集団通信
- Odyssey-Aquarius間はMPIによる通信は不可⇒  
h3-Open-SYS/WaitIOによりO-A間通信実現



**Wisteria  
BDEC-01**

**Odyssey**

**Aquarius**

Fortran APP  
(NICAM)

Python APP  
(PyTorch)

Fortran APP  
(NICAM)

Python APP  
(PyTorch)

h3open modules

h3opp.py

h3open\_py.f90

h3open modules

Jcup modules

Jcup modules

jcup\_mpi\_lib.f90

jcup\_mpi\_lib.f90

MPI

IB-EDR

h3open modules

h3opp.py

h3open\_py.f90

h3open modules

Jcup modules

Jcup modules

jcup\_mpi\_lib.f90

jcup\_mpi\_lib.f90

MPI wrapper

MPI

WaitIO

MPI

MPI+WaitIO

現状: MPI通信可能な環境を前提

# 整備・公開のスケジュール

- h3-Open-SYS/WaitIO
  - 2021年10月 (Odyssey+Aquarius, 直接通信)
  - 2022年度 (O+A, FFS経由)
- h3-Open-UTIL/MP (HPC+Python)
  - 2021年10月 (Oのみ)
- h3-Open-UTIL/MP+h3-Open-SYS/WaitIO
  - 2022年1月~4月 (O+A, 直接通信)
  - 2022年度 (O+A, FFS経由)

