

Wisteria/BDEC-01 & h3-Open-BDEC (計算・データ・学習)融合によるSociety 5.0実現へ向けて <https://h3-open-bdec.cc.u-tokyo.ac.jp/>



**Wisteria
BDEC-01**

中島 研吾

東京大学情報基盤センター
(理化学研究所計算科学研究センター)

サイエンティフィック・システム研究会(SS研)
科学技術計算分科会2021年度会合 2022年1月20日(オンライン)

謝 辞

- 新エネルギー・産業技術開発機構(NEDO): 戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)第2期/ビッグデータ・AIを活用したサイバー空間基盤技術
- 科研費基盤研究S「(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(19H05662)」(代表: 中島研吾)
- 学際大規模情報基盤共同利用共同研究拠点(JHPCN)2021年度研究課題(jh210022-MDH)(代表: 中島研吾)



- h3-Open-BDEC (Co-PI)
 - 岩下武史(北海道大)
 - 八代 尚(国立環境研)
 - 長尾大道(東大・地震研)
 - 下川辺隆史(東大・情基セ)
 - 松葉浩也(東大・情基セ)
 - 荻田武史(東京女子大)
 - 片桐孝洋(名古屋大)
- 研究協力者
 - 河合直聡(東大・情基セ)
 - 芝 隼人(東大・情基セ)
 - 塙 敏博(東大・情基セ)
 - 古村孝志(東大・地震研)
 - 市村 強(東大・地震研)
 - 鶴岡弘(東大・地震研)
 - 藤田航平(東大・地震研)
 - 荒川 隆(RIST)

- 富士通関係者
 - 坂口吉生
 - 住元真司
 - 笠井良浩
 - 池田輝彦



北海道大学
HOKKAIDO UNIVERSITY



名古屋大学
NAGOYA UNIVERSITY



国立研究開発法人
国立環境研究所
National Institute for Environmental Studies



Tokyo Woman's Christian University
東京女子大学



東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO



東京大学情報基盤センター
INFORMATION TECHNOLOGY CENTER, THE UNIVERSITY OF TOKYO



中島 研吾

- 大学卒業後(工学部航空学科)
- 三菱総合研究所(1985-1999)
 - テキサス大学(Dept. Aerospace Eng. & Eng. Mechanics)(1991-1993)
- 高度情報科学技術研究機構(RIST)(1999-2004)
- 東京大学
 - **理学系研究科地球惑星科学専攻(2004-2008) COE特任教員**
 - 情報基盤センター(2008-)
- 海洋研究開発機構(非常勤)(2008-2011)
- 理化学研究所
 - 計算科学研究機構(非常勤)(2009-2018)
 - 計算科学研究センター・副センター長(2018-)
- 数値流体力学, 計算力学, 数値線形代数, 並列アルゴリズム

- 東大情報基盤センターのスパコン概要
 - Wisteria/BDEC-01
 - Oakbrige-CX(OBCX)
 - Ipomoea-01(大規模共通ストレージ)
- h3-Open-BDEC
- 観測データ同化による長周期地震動リアルタイム予測
- 「計算・データ・学習」融合へ向けた試み
- 将来構想等

東京大学情報基盤センター



東京大学情報基盤センター
INFORMATION TECHNOLOGY CENTER, THE UNIVERSITY OF TOKYO



東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO

- 東京大学大型計算機センター(1965年)
- 東京大学情報基盤センター(1999年～)
 - 全国共同利用施設
 - 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 中核拠点(2010年～)
 - 革新的ハイパフォーマンズ・コンピューティング・インフラ(HPCI) 構成機関(2010年～)
 - 最先端共同HPC基盤施設(JCAHPC)(2013年～)
 - 筑波大学計算科学研究センター・東大情報基盤センター: OFP
- 2022年1月現在
 - 3式のシステムを運用(富士通製)
 - Oakforest-PACS(OFP): 2022年3月末に運用終了
 - Oakbridge-CX(OBCX)
 - Wisteria/BDEC-01(「計算・データ・学習」融合スーパーコンピュータシステム): 2021年5月運用開始
 - データ活用社会創成プラットフォーム(mdx): 2021年3月設置(富士通製)



2001-2005

2006-2010

2011-2015

2016-2020

2021-2025

2026-2030

Hitachi SR8000
1,024 GF

Hitachi SR11000
J1, J2
5.35 TF, 18.8 TF

Hitachi SR16K/M1
Yayoi
54.9 TF

Hitachi
SR2201
307.2GF

Hitachi
SR8000/MPP
2,073.6 GF


OBCX
(Fujitsu)
6.61 PF

Hitachi HA8000
T2K Today
140 TF

Oakforest-
PACS (Fujitsu)
25.0 PF

OFP-II
100+ PF

Fujitsu FX10
Oakleaf-FX
1.13 PF

 Wisteria
BDEC-01 Fujitsu
33.1 PF

BDEC-
02
250+ PF

東京大学情報基盤 センターのスパコン

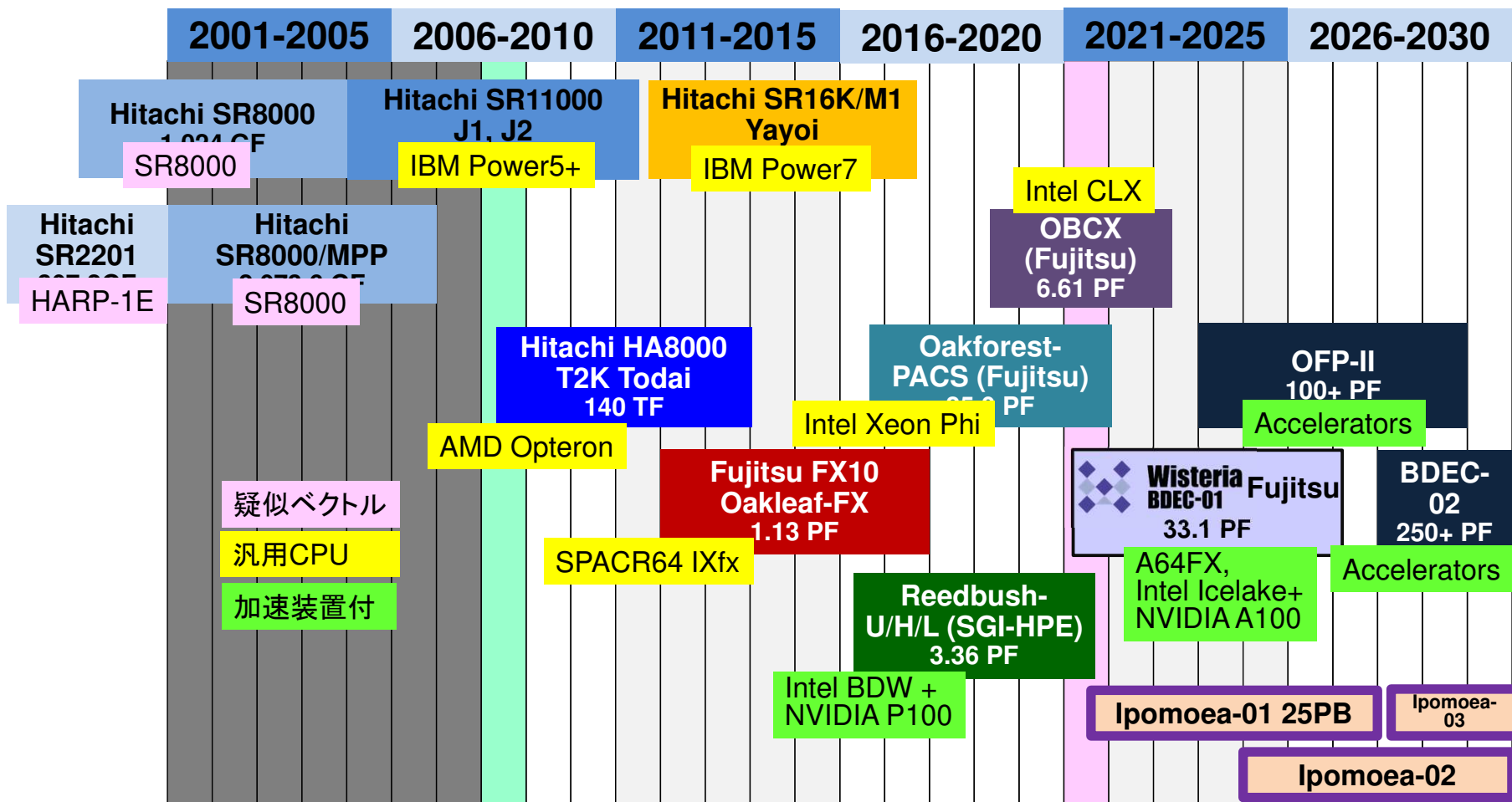
利用者2,600+名
55%は学外

Reedbush-
U/H/L (SGI-HPE)
3.36 PF

Ipomoea-01 25PB

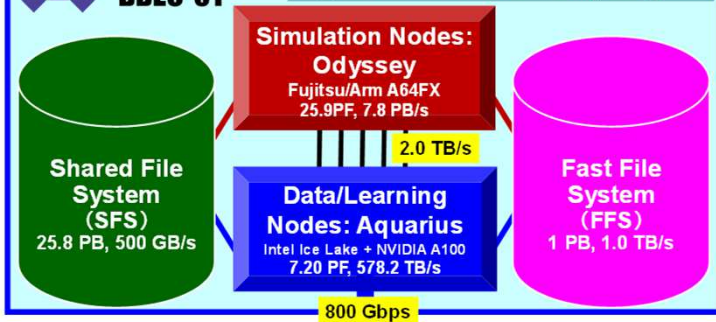
Ipomoea-
03

Ipomoea-02





Platform for Integration of (S+D+L)
Big Data & Extreme Computing



External
Resources



External Network



External
Resources



Simulation Nodes
(Odyssey)



Data/Learning Nodes
(Aquarius)



東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO



東京大学情報基盤センター
INFORMATION TECHNOLOGY CENTER, THE UNIVERSITY OF TOKYO

Reedbush (HPE, Intel BDW + NVIDIA P100 (Pascal))

- データ解析・シミュレーション融合スーパーコンピュータ
- 2016年7月～2021年11月末
- 東大ITC初のGPUクラスター, ピーク性能3.36 PF

Oakforest-PACS (OFP) (Fujitsu, Intel Xeon Phi (KNL))

- JCAHPC (筑波大CCS・東大ITC), 2016年10月～2022年3月末(予定)
- 25 PF, #39 in 58th TOP 500 (November 2021)

Oakbridge-CX (OBCX) (Fujitsu, Intel Xeon CLX)

- 2019年7月～2023年6月末(予定)
- 6.61 PF, #110 in 58th TOP500-June 2023 (Plan)



Wisteria/BDEC-01 (Fujitsu)

- シミュレーションノード群(Odyssey) : A64FX (#17)
- データ・学習ノード群(Aquarius) : Intel Icelake+NVIDIA A100 (#106)
- 33.1 PF, #17 in 58th TOP 500, 2021年5月14日運用開始
- 「計算・データ・学習(S+D+L)」融合のためのプラットフォーム
- 革新的ソフトウェア基盤「h3-Open-BDEC」
(科研費基盤(S) 2019年度～2023年度)



Reedbush



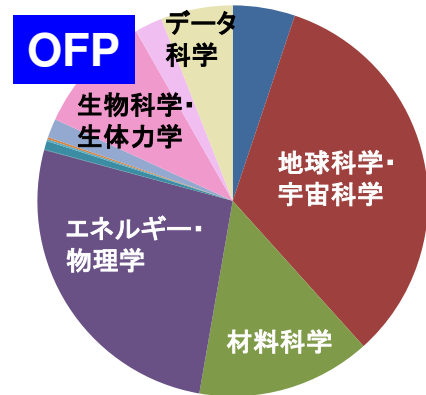
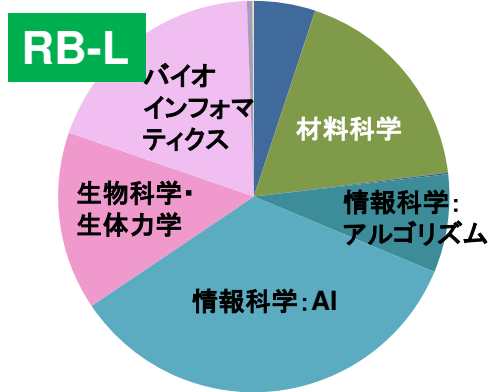
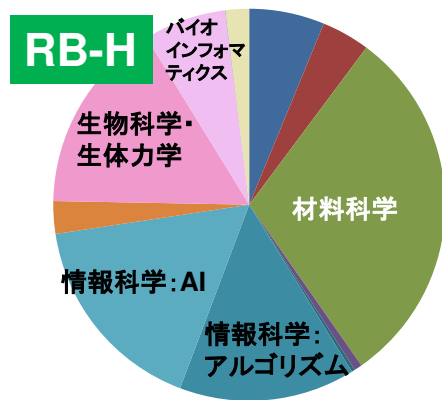
Oakforest-PACS



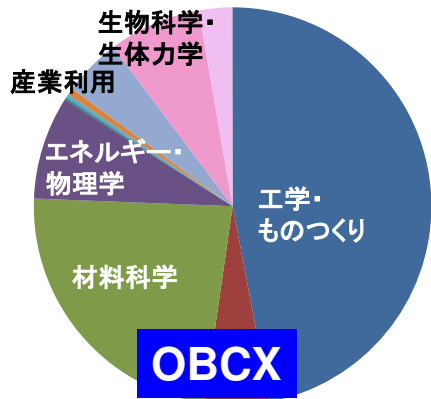
Oakbridge-CX

2020年度分野別

■ 汎用CPU, ■ GPU



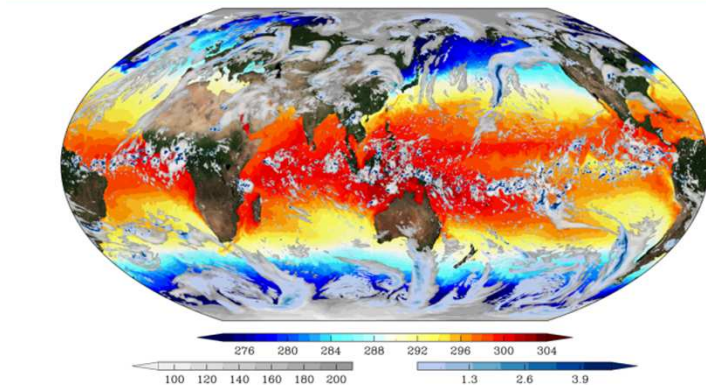
- 工学・ものづくり
- 地球科学・宇宙科学
- 材料科学
- エネルギー・物理学
- 情報科学: システム
- 情報科学: アルゴリズム
- 情報科学: AI
- 教育
- 産業利用
- 生物科学・生体力学
- バイオインフォマティクス
- 社会科学・経済学
- データ科学・データ同化



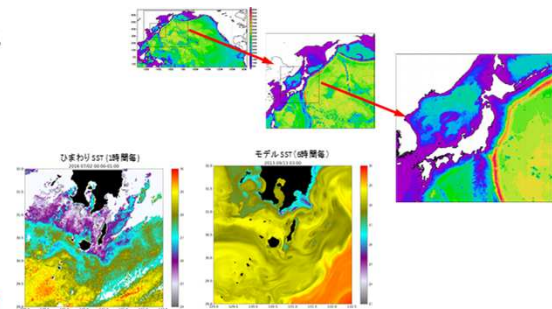
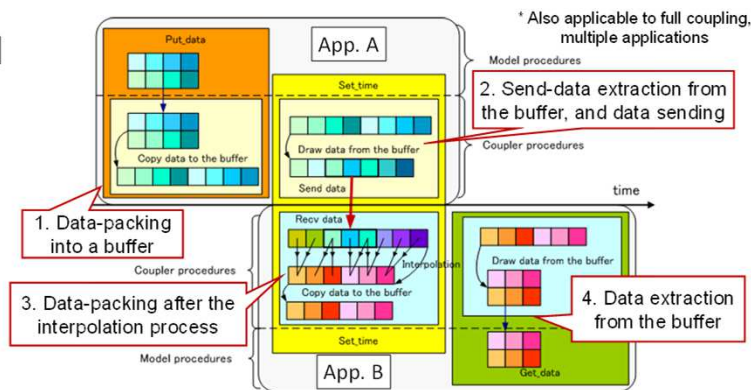
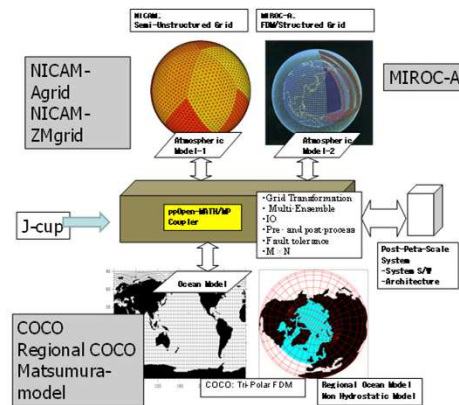
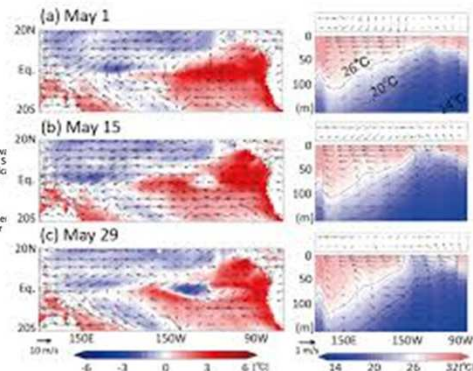
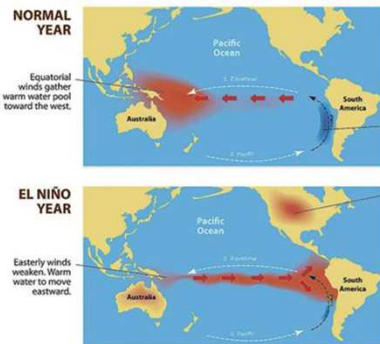
- 工学・ものづくり
- 地球科学・宇宙科学
- 材料科学

全地球大気環境シミュレーション

東大大気海洋研究所, 東大理学系研究科等



THE EL NIÑO PHENOMENON



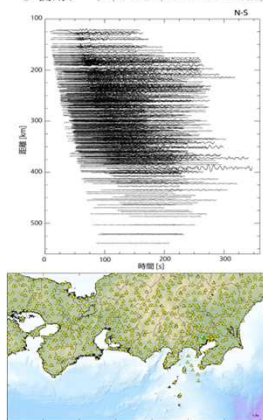
〔画像提供: 佐藤正樹教授・
羽角博康教授(東大・大気海洋研)〕

地震シミュレーション・地殻変動

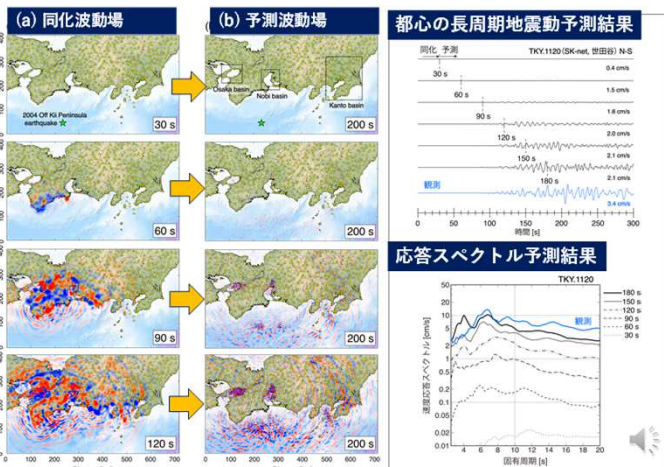
東大地震研究所, 東大理学系研究科等

〔画像提供: 古村孝志教授・市村強教授(東大・地震研)〕

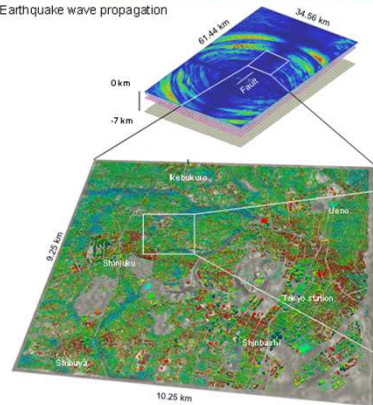
○ 使用データ (K-NET, KIK-net 446点)



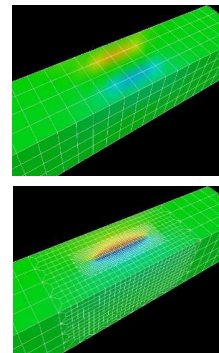
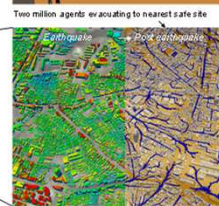
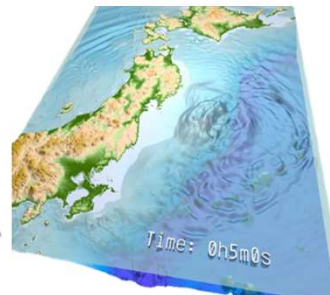
90秒間の同化→予測計算



a) Earthquake wave propagation



b) City response simulation



〔画像提供:
安藤亮輔准教授
(東大・理学系)〕

二酸化炭素地下貯留シミュレーション

大成建設, 理化学研究所等

〔画像提供:
山本肇博士(大成建設)〕

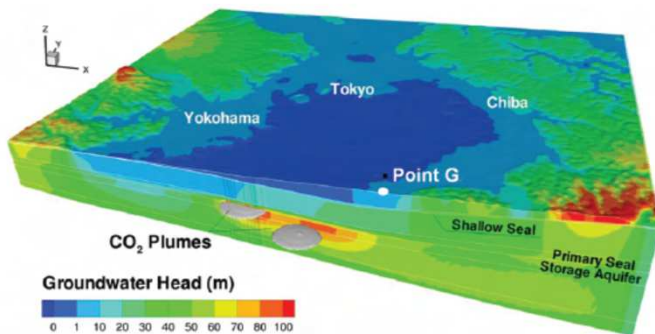
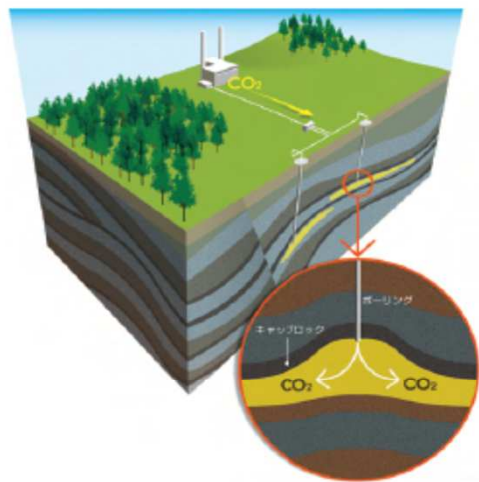
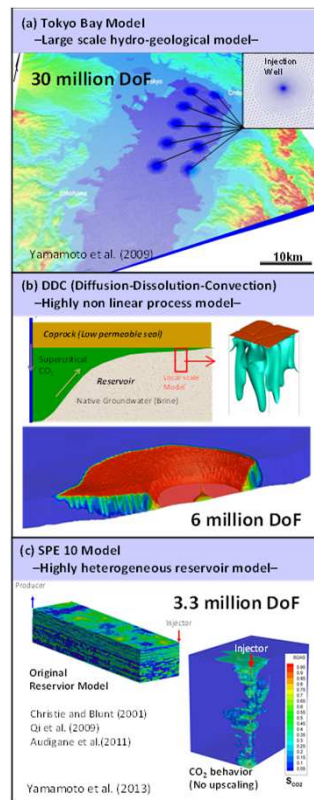
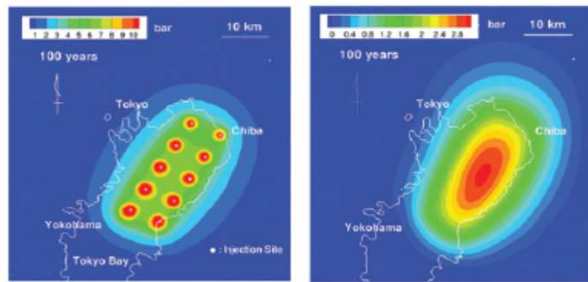


図-4 CO₂ 圧入後の地下水圧 (全水頭換算) の分布 (100 年後)

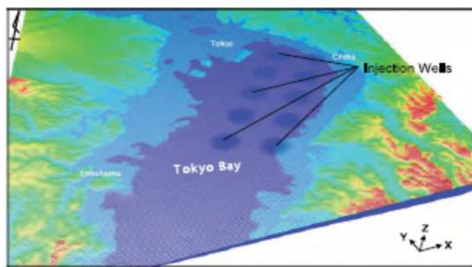
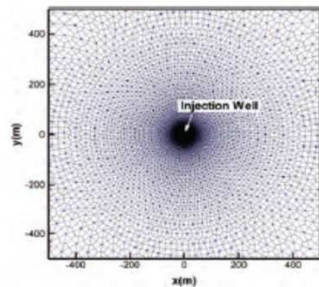


※DOF: degrees of freedom

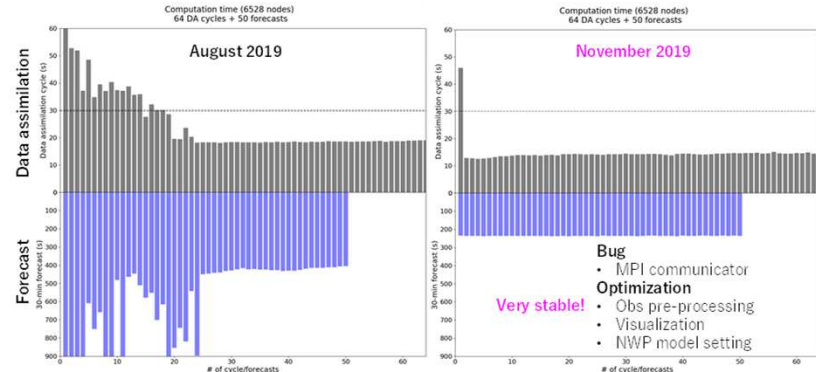
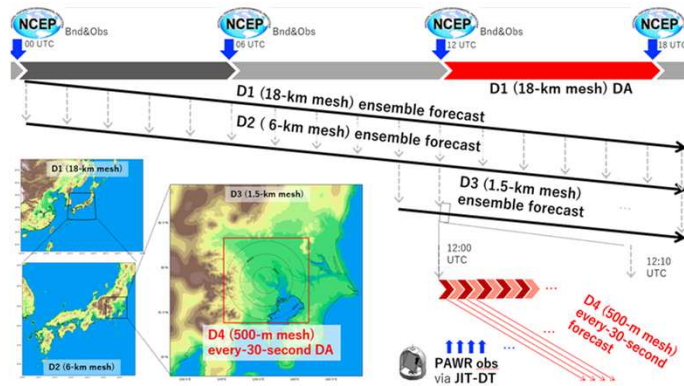


(a) 深部遮蔽層下面 (b) 浅部遮蔽層下面

図-5 圧力上昇量の平面分布 (初期状態からの増分、圧入開始から 100 年後)



ゲリラ豪雨予測のリアルタイム実証実験 (理化学研究所)



計算性能の向上。上段はデータ同化、下段は30分予報にかかった時間(秒)。

(左)2019年8月、(右)2018年11月

全体のワークフロー

15:30:00

15:40:00

15:50:00

FT=10min

FT=20min

PAWR
Obs

SCALE-
LETKF
Analysis

PAWR
Obs

SCALE
Forecast

dBZ

60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10



〔画像提供: 三好建正博士
(理化学研究所)〕

2019年8月24日の事例についてのテスト結果。(上)レーダー観測と(下)SCALE-LETKFによる解析で得られたレーダー反射強度(dBZ)を示す。

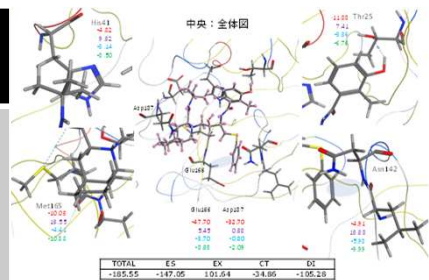
2019年8月24日の事例についてのテスト結果。(上)レーダー観測と(下)SCALE-LETKFによる予報で得られたレーダー反射強度(dBZ)を示す。

「COVID-19」対応HPCI臨時公募課題

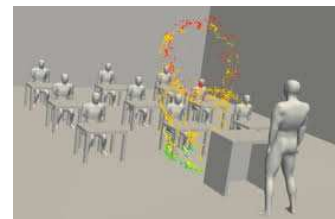
全14のうち6課題が東大システムを利用(2020年度)



課題名	代表者(所属)	使用システム
新型コロナウイルスの主要プロテアーゼに関するフラグメント分子軌道計算	望月 祐志 (立教大学)	Oakforest PACS
COVID-19治療の候補薬: chloroquine、hydroxychloroquine、azithromycinの催不整脈リスクの評価ならびにその低減策に関する研究	久田 俊明(株式会社UT-Heart研究所 / 東大)	
新型コロナウイルス表面のタンパク質動的構造予測	杉田 有治 (理化学研究所)	
計算機解析によるSARS-CoV-2増殖阻害化合物の探索	星野 忠次 (千葉大学)	Oakbridge CX
室内環境におけるウイルス飛沫感染の予測とその対策: 富岳大規模解析に向けたケーススタディ	坪倉 誠 (神戸大学)	
Spreading of polydisperse droplets in a turbulent puff of saturated exhaled air	Marco Edoardo Rosti (OIST)	



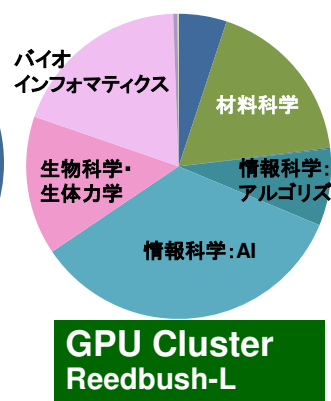
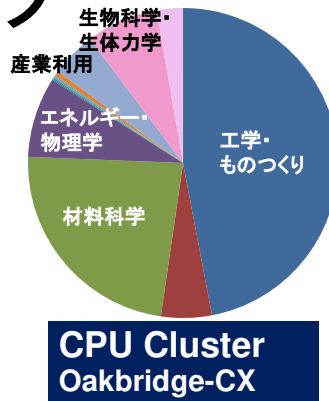
資料提供: 望月祐志教授(立教大学)



〔資料提供: 坪倉誠教授(神戸大学)〕

スーパーコンピューティング の今後

- ワークロードの多様化
 - 計算科学, 計算工学: Simulations
 - 大規模データ解析
 - AI, 機械学習
- (シミュレーション(計算) + データ + 学習) 融合 ⇒ Society 5.0 実現に有効, 2015年頃から取り組み
 - フィジカル空間とサイバー空間の融合
 - S: シミュレーション(計算) (Simulation)
 - D: データ(Data)
 - L: 学習(Learning)
 - Simulation + Data + Learning = S+D+L



- 工学・ものづくり
- 地球科学・宇宙科学
- 材料科学
- エネルギー・物理学
- 情報科学: システム
- 情報科学: アルゴリズム
- 情報科学: AI
- 教育
- 産業利用
- 生物科学・生体力学
- バイオインフォマティクス
- 社会科学・経済学
- データ科学・データ同化



(シミュレーション(計算)+データ+学習)融合(S+D+L)

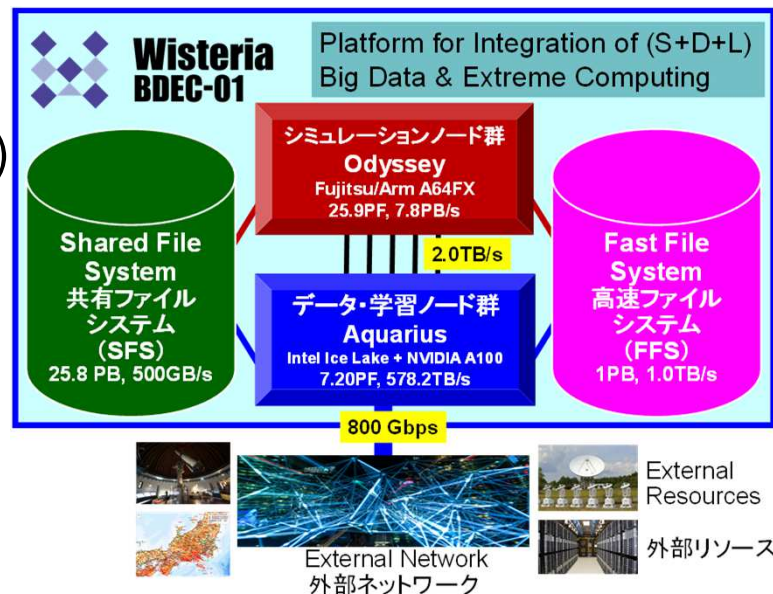
- 東大情報基盤センターでは、2015年頃から「(S+D+L)融合」の重要性に注目し、それを実現するためのハードウェア、ソフトウェア、アプリケーション、アルゴリズムに関する研究開発を開始
 - BDEC計画(Big Data & Extreme Computing)
 - 「データ+学習」による、より高度な「シミュレーション」
 - AI for HPC
 - 地球科学関連では自然な発想(すでに実施されている)
- 2021年5月に運用を開始した「Wisteria/BDEC-01」は「BDEC計画」の1号機
 - Reedbush, Oakbridge-CXは「BDEC」のプロトタイプと位置づけられる
 - 「計算・データ・学習(S+D+L)」融合を実現する、世界でも初めてのプラットフォーム



Wisteria/BDEC-01

- 2021年5月14日運用開始
 - 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), ~360m²
- 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**

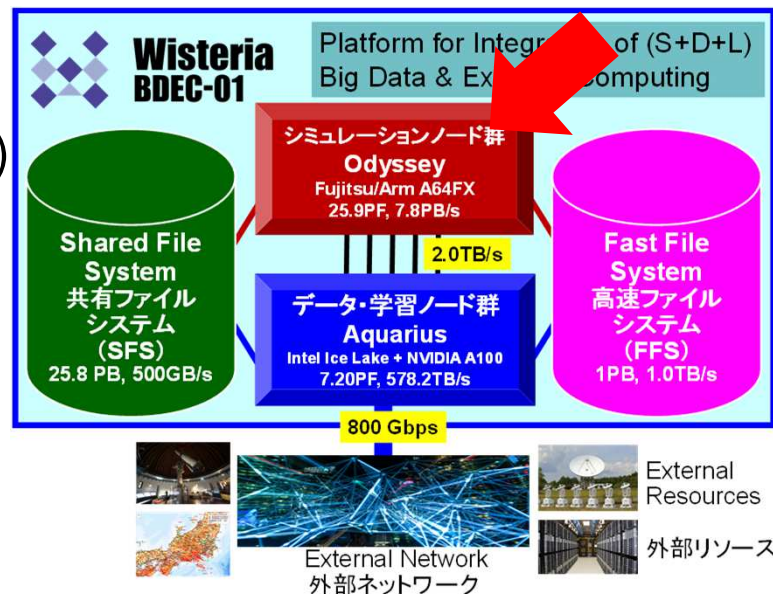
Wisteria/BDEC-01

- 2021年5月14日運用開始
 - 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), ~360m²
- 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)

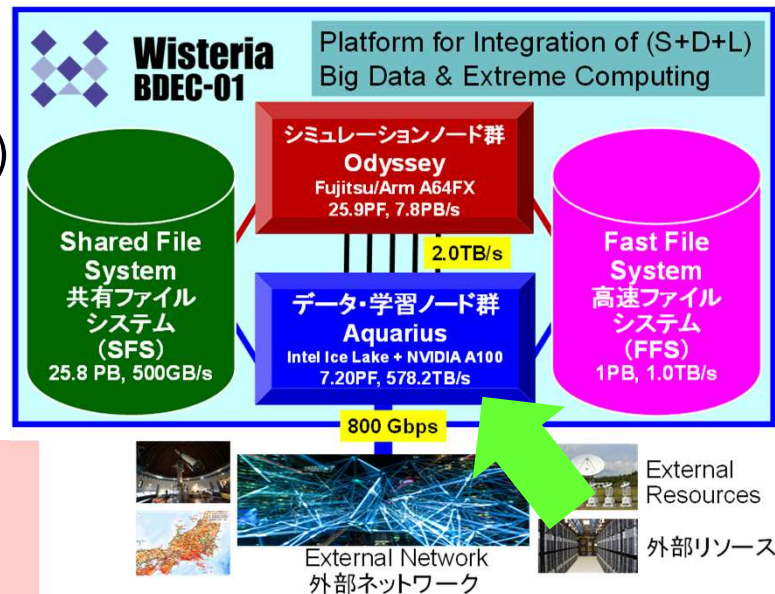


**Wisteria
BDEC-01**

Wisteria/BDEC-01

- 2021年5月14日運用開始
 - 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), ~360m²
- 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**



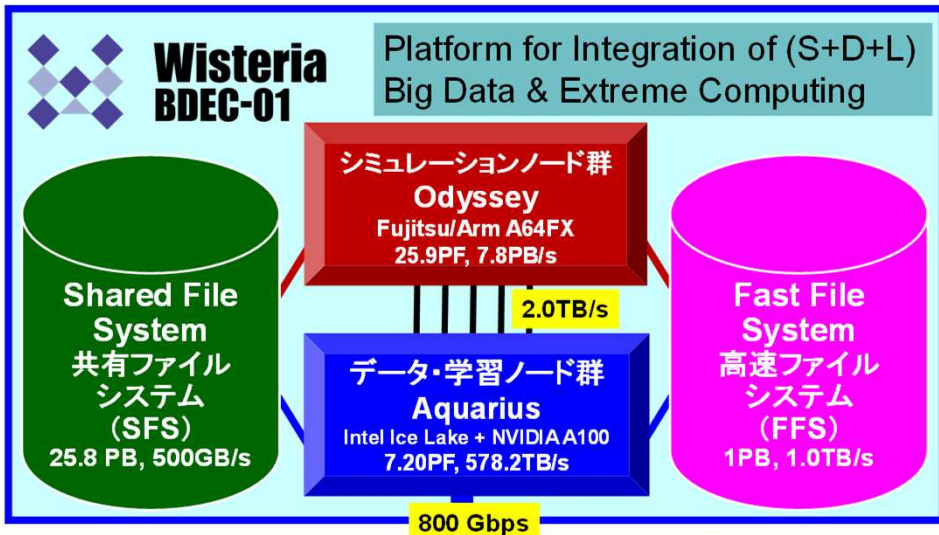
**Wisteria
BDEC-01**

Wisteria/BDEC-01 (S+D+L) 融合プラットフォーム



**Wisteria
BDEC-01**

Platform for Integration of (S+D+L)
Big Data & Extreme Computing



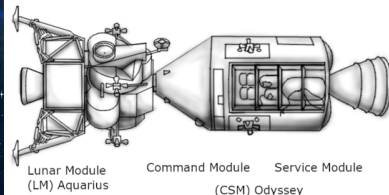
External Network
外部ネットワーク



External
Resources

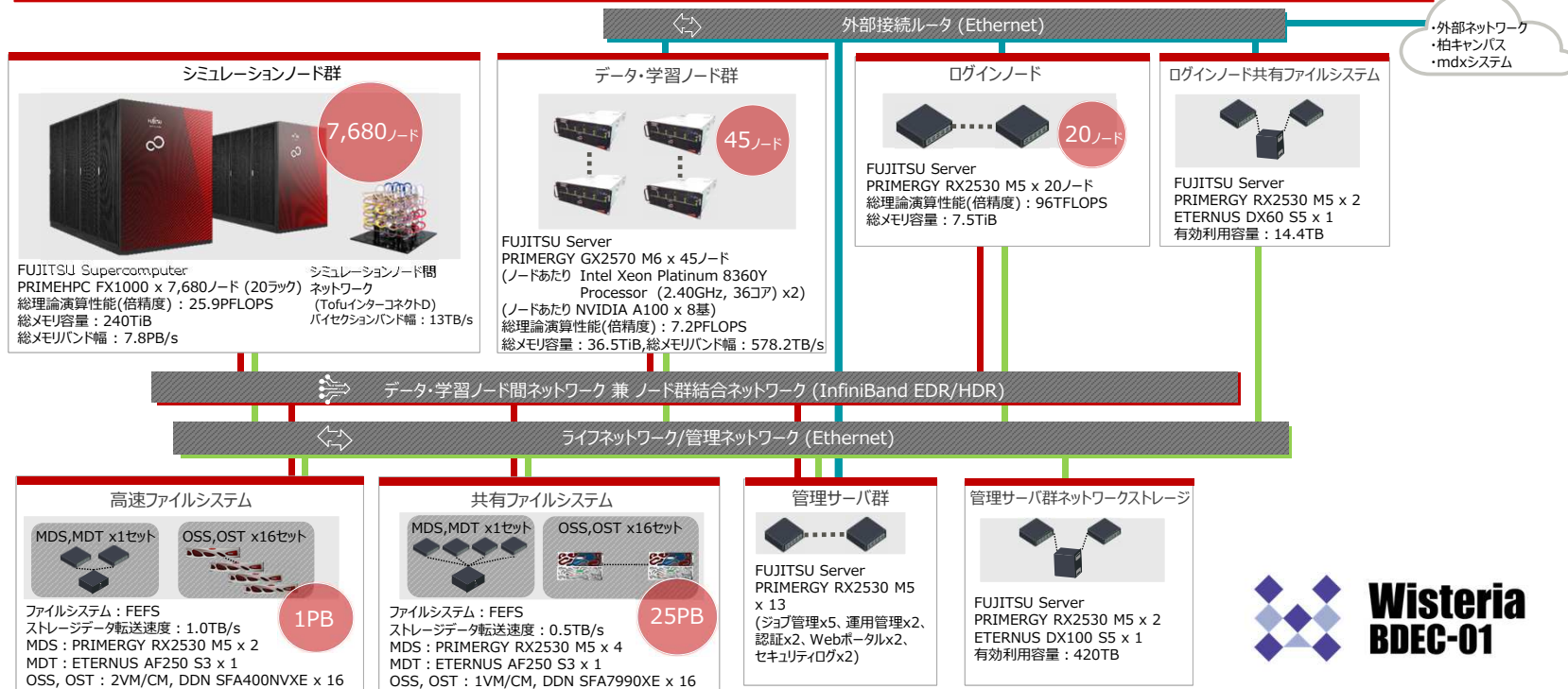
外部リソース

- Wisteria (紫藤)
 - 手賀沼(柏市)に伝わる「藤姫伝説」
- Odyssey
 - アポロ13号・司令船(Command Module, CM)のコールサイン
- Aquarius
 - アポロ13号・月着陸船(Lunar Module, LM)のコールサイン
- 人類と地球を護る



システム構成図

シミュレーションノード : 7,680ノード (総理論演算性能 25.9 PFLOPS、総メモリバンド幅 7.8 PB/s)
データ・学習ノード : 45ノード (総理論演算性能 7.2 PFLOPS、総メモリバンド幅 578.2 TB/s)



A photograph of a large supercomputer system, the Wisteria/BDEC-01, in a data center. The system consists of multiple tall, black server racks filled with green circuit boards and cables. Two workers in white protective suits and hard hats are standing in front of one of the racks, appearing to be working on it. The floor is light-colored and has some orange traffic cones. The background shows more racks and a windowed wall.

*The Wisteria/BDEC-01 is a supercomputer system
operated by the Information Technology Center,
The University of Tokyo.*

ソフトウェア群

項目	Wisteria-O (Odyssey)	Wisteria-A (Aquarius)
OS	Red Hat Enterprise Linux 8 (aarch64)	Red Hat Enterprise Linux 8 (x86_64)
コンパイラ	GNU コンパイラ	GNU コンパイラ
	富士通社製 コンパイラ (Fortran77/90/95/2003/2008、C、C++)	Intel コンパイラ(Fortran77/90/95/2003/2008、C、C++) NVIDIA HPC SDK (Fortran77/90/95/2003/2008、C、C++、OpenACC 2.7) NVIDIA CUDA SDK (CUDA C、CUDA C++)
メッセージ通信 ライブラリ	富士通社製MPI	Intel MPI、Open MPI

項目	Wisteria-O (Odyssey)	Wisteria-A (Aquarius)
ライブラリ	SuperLU、SuperLU MT、SuperLU DIST、METIS、MT-METIS、ParMETIS、Scotch、PT-Scotch、PETSc、Trillinos、FFTW、GNU Scientific Library、NetCDF、Parallel netCDF、HDF5、Parallel HDF5、CMake、Miniconda、Xabclib、ppOpen-HPC、MassiveThreads、Boost C++、mpiJava	
	富士通社製ライブラリ(BLAS、CBLAS、LAPACK、ScaLAPACK)	Intel社製ライブラリ(MKL)(BLAS、CBLAS、LAPACK、ScaLAPACK)、cuBLAS、cuSPARSE、cuFFT、MAGMA、cuDNN、NCCL
アプリケーション	OpenFOAM、ABINIT-MP、PHASE、FrontFlow/blue、FrontISTR、REVOCAP-Coupler、REVOCAP-Refiner、OpenMX、MODYLAS、GROMACS、BLAST、R packages、bioconductor、BioPerl、BioRuby、BWA、GATK、SAMtools、Quantum ESPRESSO、Xcrypt、ROOT、Geant4、LAMMPS、CP2K、NWChem、DeepVariant、Paraview、VisIt、POV-Ray、TensorFlow、Chainer、PyTorch、Keras、Horovod、MXNet	
		Theano
フリーソフトウェア	autoconf、automake、bash、bzip2、cvs、emacs、findutils、gawk、gdb、make、grep、gnuplot、gzip、less、m4、python、perl、ruby、screen、sed、subversion、tar、tcsh、tcl、vim、zsh、git など	
		Globus Toolkit、Gfarm、FUSE
コンテナ仮想化	Singularity Community Edition	

Simulation Nodes Odyssey

25.9 PF, 7.8 PB/s

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

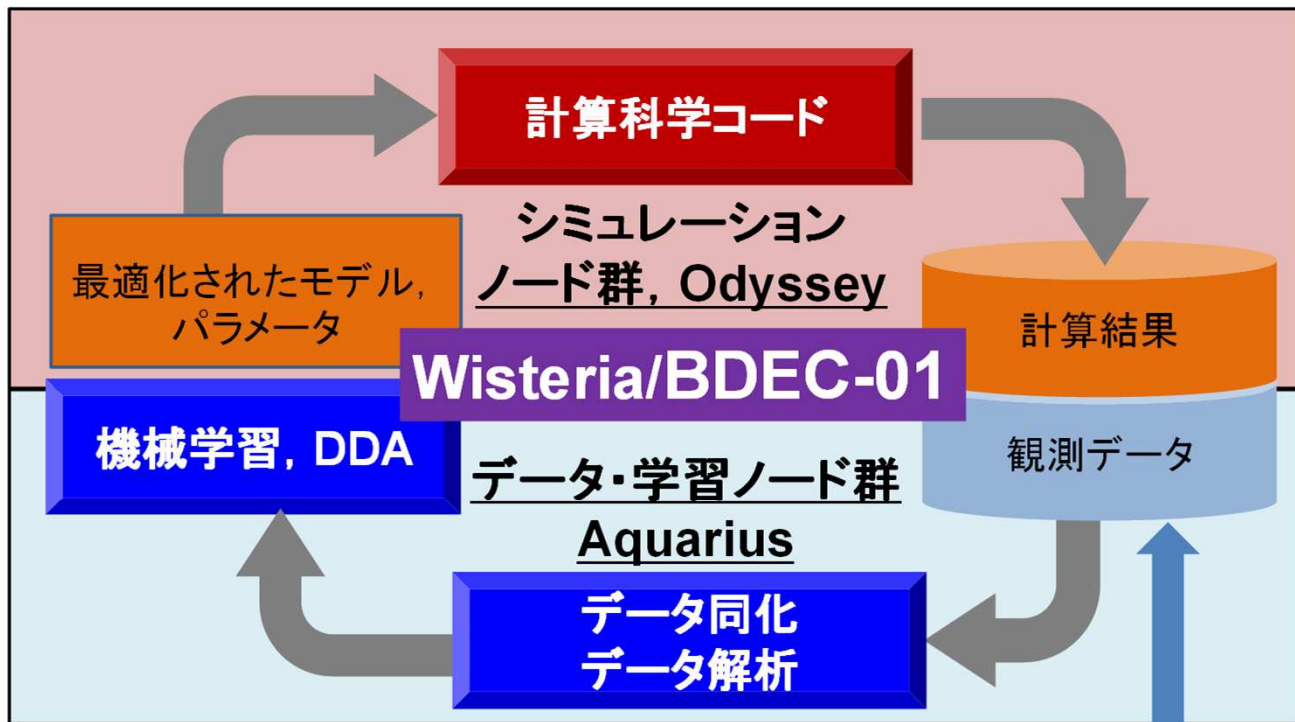
Shared File
System
(SFS)
25.8 PB,
0.50 TB/s

Data/Learning Nodes Aquarius

7.20 PF, 578.2 TB/s



Wisteria BDEC-01



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

June 2021 (ISC-HPC 2021 Digital)の諸ランキング

Wisteria/BDEC-01のシミュレーションノード群 (Odyssey) とデータ・学習ノード群 (Aquarius) は別々に測定・申請

System	TOP500	Green500	HPCG	Graph500	HPL-AI
Oakforest-PACS	32	58	23	-	-
Oakbridge-CX	97	55	67	-	-
Wisteria/BDEC-01 (Odyssey)	13	21	9	3	7
Wisteria/BDEC-01 (Aquarius)	93	10 (IceLake+ A100として は最高位)	53	-	-

November 2021 (SC21)の諸ランキング

Wisteria/BDEC-01のシミュレーションノード群 (Odyssey) とデータ・学習ノード群 (Aquarius) は別々に測定・申請

System	TOP500	Green500	HPCG	Graph500	HPL-AI
Oakforest-PACS	39	65	23	-	-
Oakbridge-CX	110	62	71	-	-
Wisteria/BDEC-01 (Odyssey)	17	27	9	3	9
Wisteria/BDEC-01 (Aquarius)	106	15	58	-	-

58th TOP500 List (Nov., 2021)

R_{\max} : Performance of Linpack (TFLOPS)
 R_{peak} : Peak Performance (TFLOPS), Power: kW

<http://www.top500.org/>

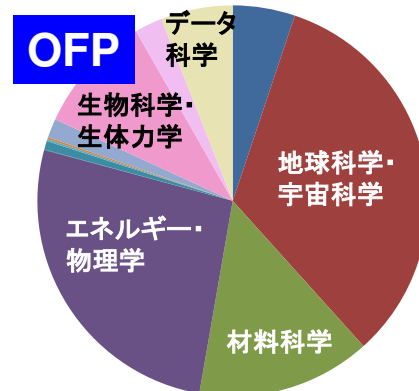
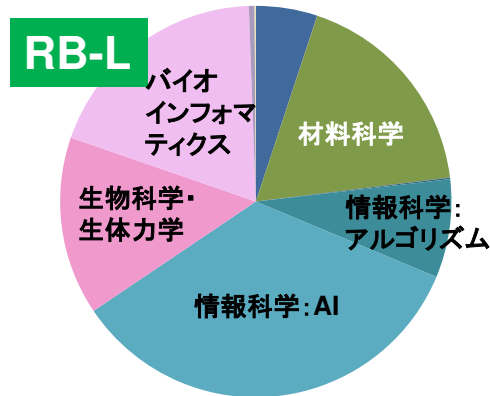
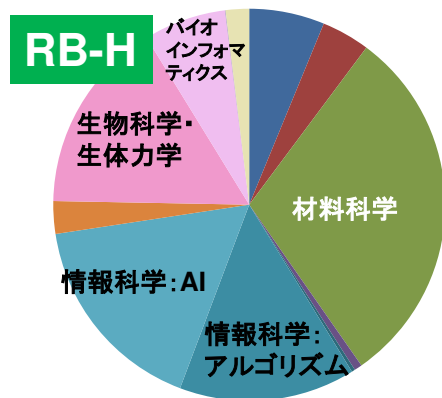
	Site, Year	Computer, Vendor	Cores	R_{\max} (TFLOPS)	R_{peak} (TFLOPS)	Power (kW)
1	<u>Fugaku, 2020, Japan</u> R-CCS, RIKEN	Fujitsu PRIMEHPC FX1000, Fujitsu A64FX 48C 2.2GHz, Tofu-D	7,630,848	442,010 (= 442.0 PF)	537,212.0	29,899
2	<u>Summit, 2018, USA</u> DOE/SC/Oak Ridge National Laboratory	IBM Power System AC922, IBM POWER9 22C 3.07GHz, NVIDIA Volta GV100, Dual-rail Mellanox EDR InfiniBand	2,414,592	148,600	200,795	10,096
3	<u>Sierra, 2018, USA</u> DOE/NNSA/LLNL	IBM Power System S922LC, IBM POWER9 22C 3.1GHz, NVIDIA Volta GV100, Dual-rail Mellanox EDR InfiniBand	1,572,480	94,640	125,712	7,438
4	<u>Sunway TaihuLight, 2016, China</u> National Supercomputing Center in Wuxi	Sunway MPP, Sunway SW26010 260C 1.45GHz, Sunway	10,649,600	93,015	125,436	15,371
5	<u>Perlmutter, 2021, USA</u> DOE/NERSC/LBNL	HPE Cray EX235n, AMD EPYC 7763 64C 2.45GHz, NVIDIA A100 SXM4 40 GB, Slingshot-10	761,856	70,870	94,750	2,589
6	<u>Selene, 2020, USA</u> NVIDIA	NVIDIA DGX A100 SuperPOD, AMD EPYC 7742 64C 2.25GHz, NVIDIA GA100, Mellanox Infiniband HDR	555,520	63,460	79,215.0	2,646
7	<u>Tianhe-2A, 2018, China</u> National Super Computer Center in Guangzhou	TH-IVB-FEP Cluster, Intel Xeon E5-2692v2 12C 2.2GHz, TH Express-2, Matrix-2000	4,981,760	61,445	100,679	18,482
8	<u>JUWELS Booster Module, 2020, Germany</u> Jülich (FZJ)	Bull Sequana XH2000, AMD EPYC 7402 24c 2.8GHz, NVIDIA A100, Mellanox InfiniBand HDR	449,280	44,120	70,980	1,764
9	<u>HPC5, 2020, Italy</u> Eni S.p.A.	Dell C4140, Xeon Gold 6252 24c 2.1GHz, NVIDIA Volta GV100, Mellanox InfiniBand HDR	669,760	35,450	51,720	2,252
10	<u>Voyager-EUS2, 2021, USA</u> Azure East US 2	ND96amsr_A100_v4, AMD EPYC 7V12 48C 2.45GHz, NVIDIA A100 80GB, Mellanox HDR Infiniband	253,440	30,050	39,531	
16	<u>ABCI 2.0, 2021, Japan</u> AIST	Fujitsu PRIMERGY GX2570 M6, Xeon Platinum 8360Y 36C 2.4GHz, NVIDIA A100 SXM4 40 GB, InfiniBand HDR	504,000	22,208	54,341	1,600
17	<u>Wisteria/BDEC-01 (Odyssey), 2021, Japan</u> ITC, University of Tokyo	Fujitsu PRIMEHPC FX1000, A64FX 48C 2.2GHz, Tofu interconnect D	368,640	22,121	25,952	1,468

GFLOPS (ピーク性能) 当たり利用負担 (円) : 電気代 GFLOPS/W (Green 500)

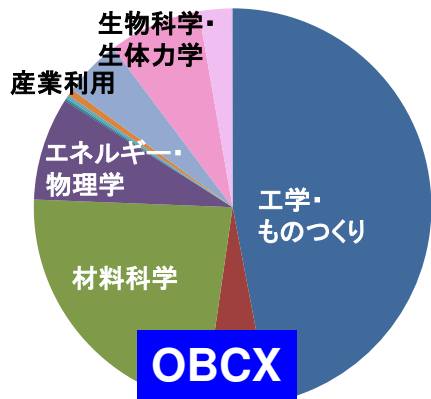
System	JPY/GFLOPS Small is Good	GFLOPS/W Large is Good
Oakleaf-FX/Oakbridge-FX (Fujitsu) (Fujitsu SPARC64 IXfx)	125	0.866
Reedbush-U (HPE) (Intel Xeon Broadwell (BDW))	61.9	2.310
Reedbush-H (HPE) (Intel BDW+NVIDIA P100x2/node)	15.9	8.575
Reedbush-L (HPE) (Intel BDW+NVIDIA P100x4/node)	13.4	10.167
Oakforest-PACS (Fujitsu) (Intel Xeon Phi/KNL)	16.5	4.986
Oakbridge-CX (Fujitsu) (Intel Xeon Cascade Lake)	20.7	5.076
Wisteria-Odyssey (Fujitsu/Arm A64FX)	17.8	15.069
Wisteria-Aquarius (Intel Xeon Ice Lake + NVIDIA A100x8)	9.00	24.058

2020年度分野別

■ 汎用CPU, ■ GPU

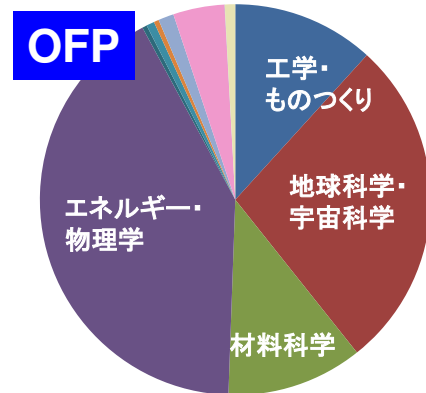
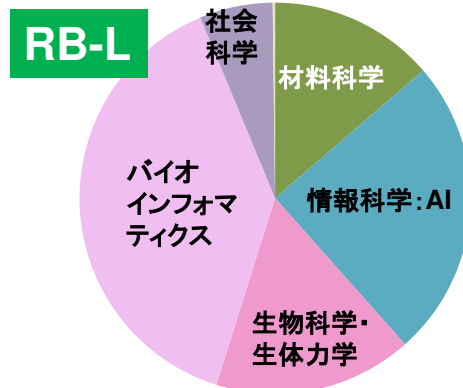
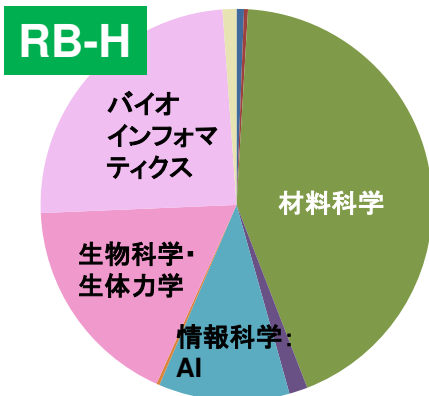


- 工学・ものづくり
- 地球科学・宇宙科学
- 材料科学
- エネルギー・物理学
- 情報科学: システム
- 情報科学: アルゴリズム
- 情報科学: AI
- 教育
- 産業利用
- 生物科学・生体力学
- バイオインフォマティクス
- 社会科学・経済学
- データ科学・データ同化

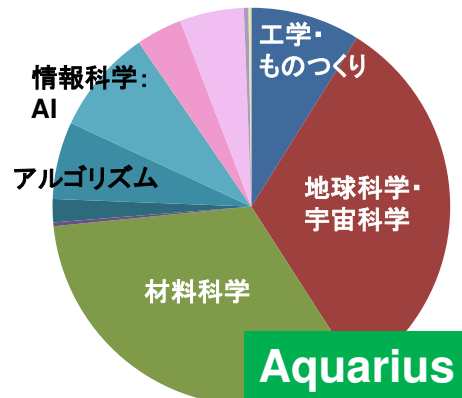
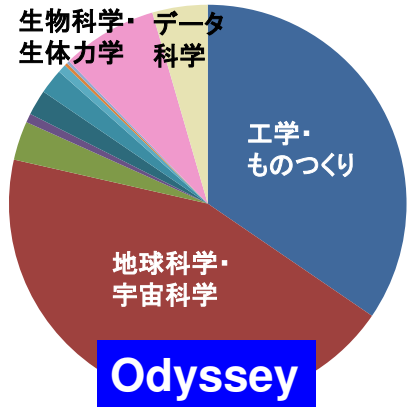
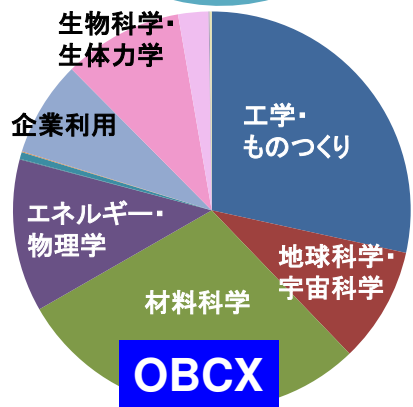


本年度分野別(12月末時点) ■汎用CPU, ■GPU

Odyssey, Aquariusは8月以降, RB-H, RB-Lは11月末時点



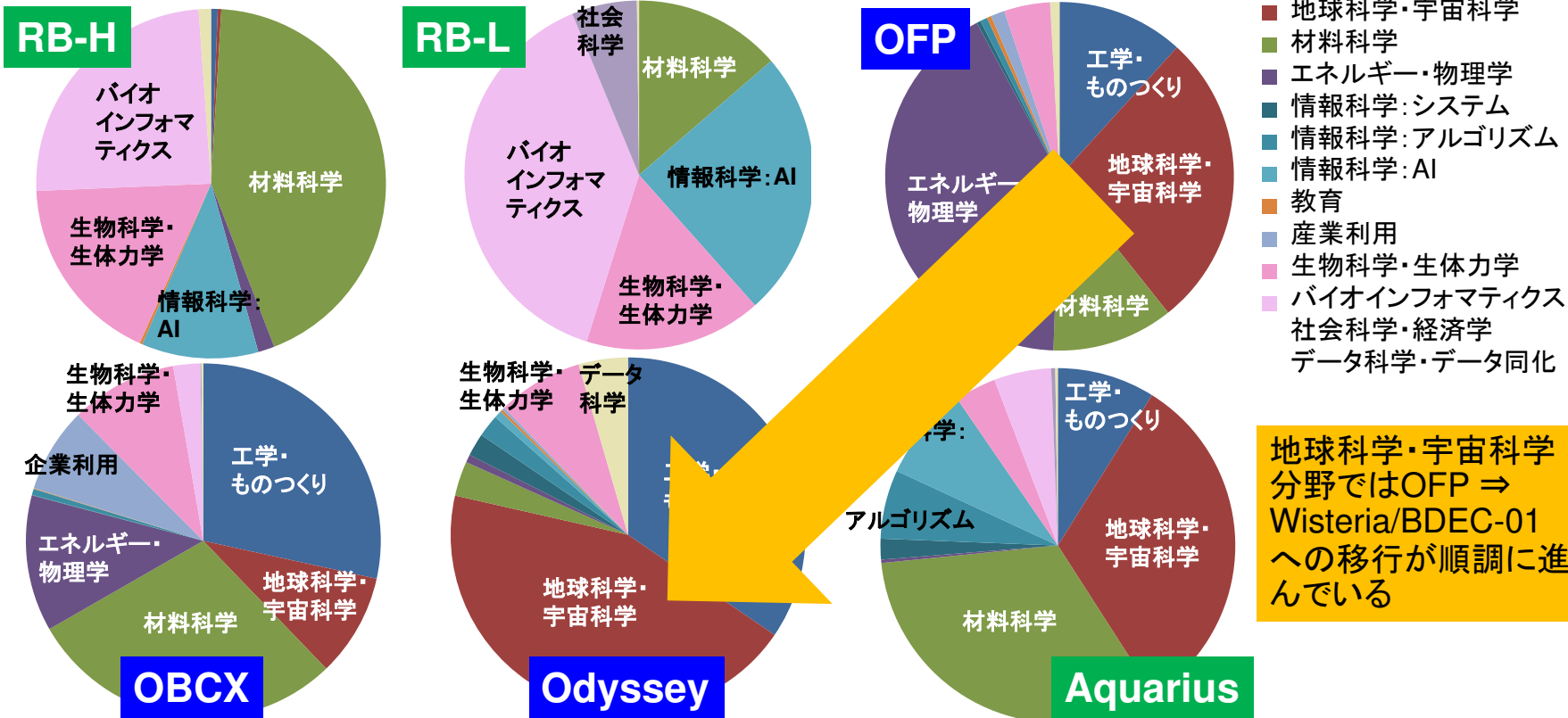
- 工学・ものづくり
- 地球科学・宇宙科学
- 材料科学
- エネルギー・物理学
- 情報科学: システム
- 情報科学: アルゴリズム
- 情報科学: AI
- 教育
- 産業利用
- 生物科学・生体力学
- バイオインフォマティクス
- 社会科学・経済学
- データ科学・データ同化



地球科学・宇宙科学分野ではOFP ⇒ Wisteria/BDEC-01 への移行が順調に進んでいる

本年度分野別(12月末時点) ■汎用CPU, ■GPU

Odyssey, Aquariusは8月以降, RB-H, RB-Lは11月末時点



技術的な特徴など



Wisteria
BDEC-01

- Odyssey
 - SVE (Scalable Vector Extension)
 - Armv8-A命令セットアーキテクチャをスーパーコンピュータ向けに拡張
 - FP16
 - 機械学習・AIワークロードへの適用
- Aquarius
 - HPC・計算科学への適用
 - CPU: Intel Xeon Ice Lake
 - 3rd Generation Intel Xeon Scalable Processors
 - 推論, 単独での利用は難しいが
 - GPU: NVIDIA A100 Tensor Core
 - Tensor Core + Tensor Float [TF32]
- Odyssey-Aquarius
 - InfiniBand-EDR

Oakbridge-CX (OBCX)

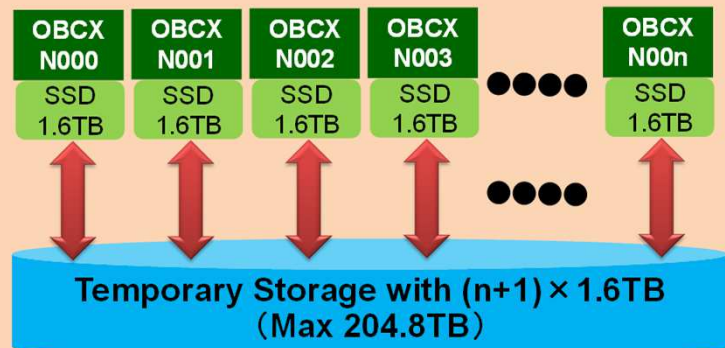
<https://www.cc.u-tokyo.ac.jp/supercomputer/obcx/service/>

- 富士通製
- Intel Xeon Platinum 8280 (Cascade Lake, CLX) (28コア) × 2
 - 合計1,368ノード, Omni-Path Architecture (OPA)
- 共有ファイルシステム (Lustre)
- 128ノードはSSD搭載, 総容量200TBの高速ファイルシステムとして運用可
 - SSD搭載128ノードのうち16ノードは外部ネットワークに直接接続しており(外部接続ノード), 外部リソース(サーバ, ストレージ, センターネットワーク等)との通信可能
- ピーク性能6.61 PFLOPS, TOP500で69位(2020年11月)
- 更に外部ネットワークに直接接続し, OBCX各計算ノードと連携するGPUサーバ(通称Mini-DP, Wisteria/BDEC-01の「データ・学習ノード」に相当)を利用可能

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



Oakbridge-CX (OBCX)

世界第110位
2021年11月現在



Fujitsu PRIMERGY CX2550 M5



Fujitsu PRIMERGY CX400 M1
シャーシ当たりCX2550 M5 × 4搭載

計算ノード

Chassis: PRIMERGY CX400 M4 x342 <4node / Chassis>

Node: PRIMERGY CX2550 M5 x1,240, CX2560 M5 x128



x1,368 node

全体性能

理論演算性能: 6.61PF
主記憶容量: 256.5TiB
メモリバンド幅: 385.1TB/s
ラック数: 21ラック
SSD搭載: 128ノード

ノード単体

理論演算性能: 4.8384 TF
主記憶容量: 192GiB
メモリバンド幅: 281.6GB/s



計算ノード間ネットワーク (Omni-Path Architecture)

通信性能 100Gbps

ログインノード



x10

FUJITSU Server
PRIMERGY CX2560 M5 x 10

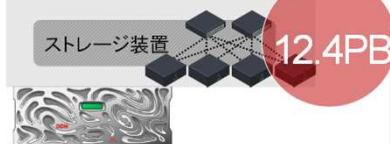
管理サーバ群



x15

FUJITSU Server
PRIMERGY RX2530 M4 x 15
(ジョブ、運用、認証、Web、
セキュリティログ保存)

並列ファイルシステム



12.4PB

ストレージ装置: DDN ES18KE x2セット
ファイルシステム: DDN ExaScaler
(Lustreベースファイルシステム)

スパコン利用にあたっての指針(1/3)

OBCX, Odyssey, Aquarius

- 基本的には、自作コード、オープンソースの利用を前提

- OpenFOAM(流体)

- OBCX, Odyssey
 - 今野雅博士(客員研究員): OpenFOAM関連チュートリアル

- FrontISTR, FrontFlow, ABINIT(東大生研)

- ppOpen-HPC, h3-Open-BDEC(東大センター)

- 商用コード

- Altair HyperWorks(汎用CAEコード)

- <https://www.altairjp.co.jp/hyperworks/>
 - OBCX, Aquarius(一部)
 - 国内大学教職員・学生のみ利用可能
 - 研究機関, 企業の場合は別途ライセンス取得が必要

- MATLAB(導入実施中)

- OBCX, Aquarius

- ノード固定オプションによる個別カスタマイズ可能



スパコン利用にあたっての指針(2/3)

OBCX, Odyssey, Aquarius

- 計算科学・大規模シミュレーション(S)
 - データ科学(D)
 - 機械学習・AI(L)
 - 「S+D+L」融合
-
- 全てのシステム(OBCX, Odyssey, Aquarius)がそれぞれの項目に対応可能
 - Aquarius(データ・学習ノード)でもシミュレーションはできる
 - データ科学(D), 機械学習・AI(L)
 - コンテナ仮想化(Singularity)により対応

スパコン利用にあたっての指針(3/3)

OBCX, Odyssey, Aquarius

	OBCX	Odyssey	Aquarius	O+A
計算科学	◎	◎	◎	-
データ科学	◎	◎	◎	-
機械学習・AI	○	○	◎	-
「S+D+L」融合	○	○	◎	◎
商用コード・ MATLAB等	○	×～△	○	-
その他の特徴	<ul style="list-style-type: none"> Intel Xeon CPUのため特殊なチューニングは必要なく、そこそこの性能が出る 外部接続ノード, SSD搭載ノード 	<ul style="list-style-type: none"> A64FX(Arm) チューニング必須 FP16 商用コードへの対応がやや遅れている 	<ul style="list-style-type: none"> CPU(Ice Lake): 高い推論性能 GPU(A100): Tensor Core + Tensor Float [TF32] 超大規模シミュレーションには不向き 	<ul style="list-style-type: none"> O-A連携についてはソフトウェア開発中(h3-Open-BDEC, WaitIO)

大規模共通ストレージシステム「Ipomoea」

- スーパーコンピュータの処理能力の向上に伴い、扱うデータ量も増加の一途
- 東大センターでは従来ストレージは各システムに附属して導入され、各システムのストレージは独立
- このような状況（注：ストレージがシステム毎に独立）は利用者に多大な不便を強いることになり、東大センターの全システムからアクセス可能な共通ストレージの導入が強く求められていた
- 各システムからアクセスできる「大規模共通ストレージ（Ipomoea）」導入決定
 - OFP運用終了が契機
 - 1システムを約5–6年使用し、約3年ごとに新しいストレージシステム（25+PB）を導入し、入れ替えることを想定している



大規模共通ストレージシステム「Ipomoea」

- スーパーコンピュータの処理能力の向上に伴い、扱うデータ量も増加の一途
- 東大センターでは従来ストレージは各システムに附属して導入され、各システムのストレージは独立
- このような状況（注：ストレージがシステム毎に独立）は利用者に多大な不便を強いることになり、東大センターの全システムからアクセス可能な共通ストレージの導入が強く求められていた
- 各システムからアクセスできる「大規模共通ストレージ（Ipomoea）」導入決定
 - OFP運用終了が契機
 - 1システムを約5-6年使用し、約3年ごとに新しいストレージシステム（25+PB）を導入し、入れ替えることを想定している



2001-2005

2006-2010

2011-2015

2016-2020

2021-2025

2026-2030

Hitachi SR8000
1,024 GF

Hitachi SR11000
J1, J2
5.35 TF, 18.8 TF

Hitachi SR16K/M1
Yayoi
54.9 TF

Hitachi
SR2201
307.2GF

Hitachi
SR8000/MPP
2,073.6 GF


OBCX
(Fujitsu)
6.61 PF

Hitachi HA8000
T2K Today
140 TF

Oakforest-
PACS (Fujitsu)
25.0 PF

OFP-II
100+ PF

Fujitsu FX10
Oakleaf-FX
1.13 PF

 Wisteria
BDEC-01 Fujitsu
33.1 PF

BDEC-
02
250+ PF

東京大学情報基盤 センターのスパコン

利用者2,600+名
55%は学外

Reedbush-
U/H/L (SGI-HPE)
3.36 PF

大規模共通
ストレージ
システム群

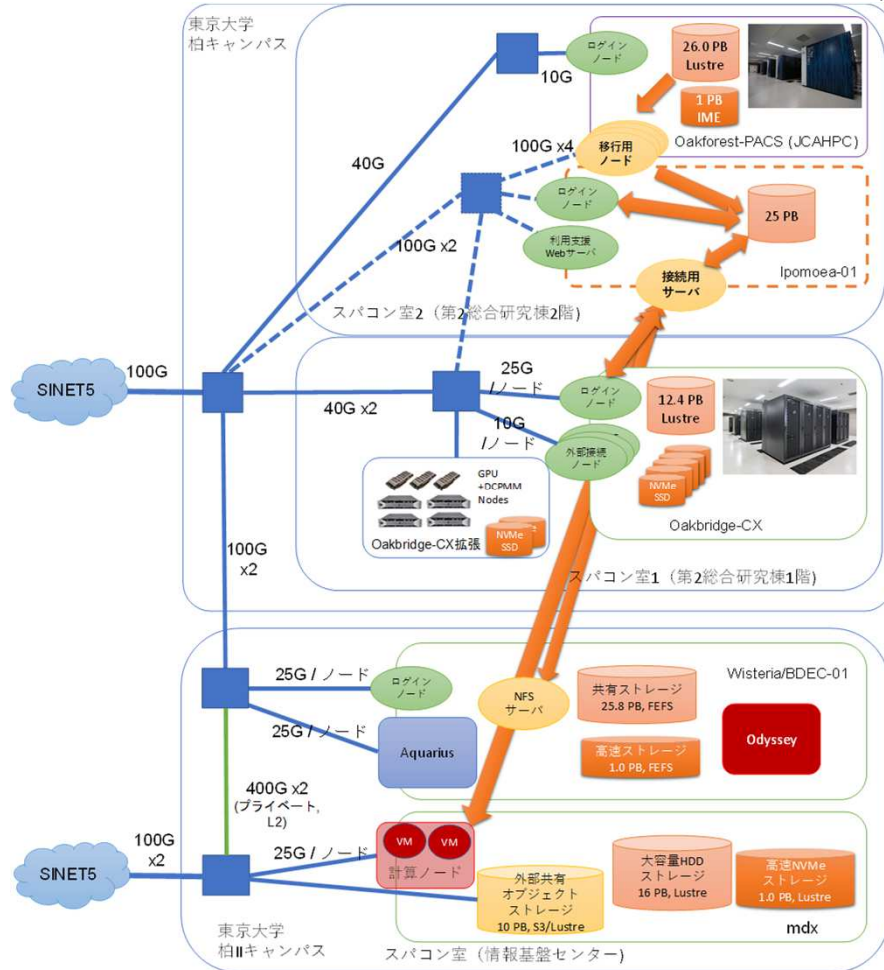
Ipomoea-01 25PB

Ipomoea-
03

Ipomoea-02

Ipomoea-01

- 2022年1月運用開始予定, 25+PB
 - 富士通製
- 2022年6月末までにOFPのLustre領域の必要ファイルの移行完了
- 割当容量
 - 東大センターのシステムのいずれかに利用者番号(教育利用, 講習会除く)を有する場合
 - 各利用者ごとに5TB
 - 各グループごとに登録システムで付与されている容量の15%を無償で付与
 - 追加負担金(企業はこの2割増し)
 - 7,200円/TB/年, 2,100,000円/PB/年
 - Ipomoea-01のみの利用申込みも可能



- 東大情報基盤センターのスパコン概要
 - Wisteria/BDEC-01
 - Oakbrige-CX(OBCX)
 - Ipomoea-01(大規模共通ストレージ)
- **h3-Open-BDEC**
 - 概要
 - 低精度・混合精度演算, 精度保証
 - 階層型データ駆動アプローチ
- 観測データ同化による長周期地震動リアルタイム予測
- 「計算・データ・学習」融合へ向けた試み
- 将来構想等

(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 \Rightarrow 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
科研費基盤研究(S)(2019年度～23年度, 代表: 中島研吾)

<https://h3-open-bdec.cc.u-tokyo.ac.jp/>

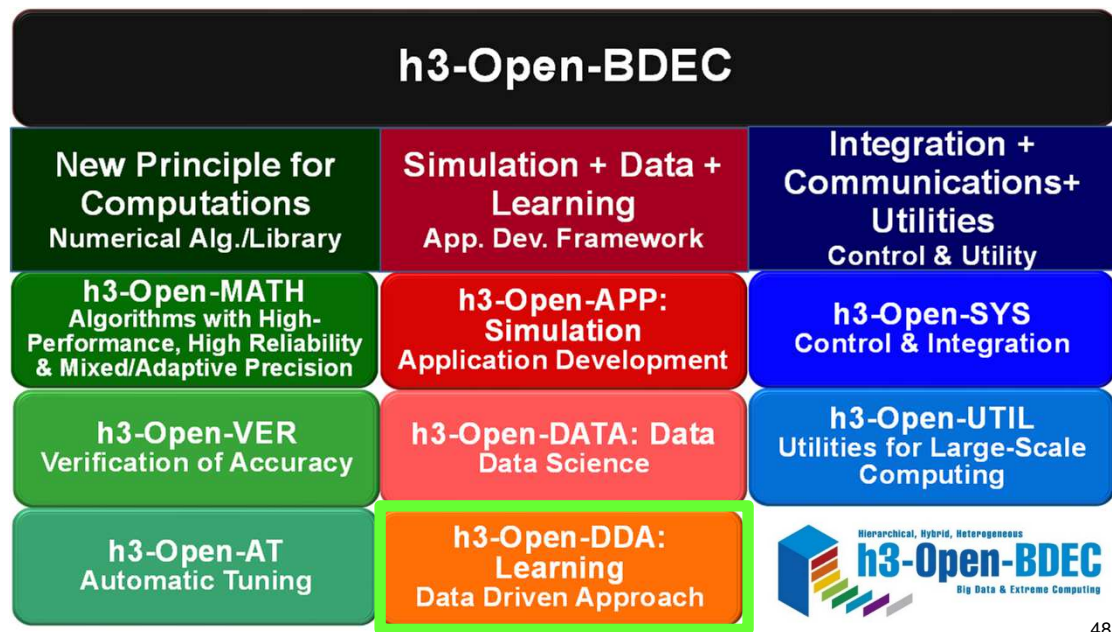
Hierarchical,
Hybrid,
Heterogeneous

Big Data &
Extreme
Computing

① 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

② 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



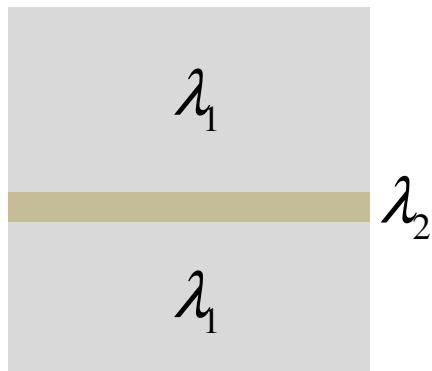
低・変動精度演算による新計算原理の必要性

- 低・変動精度演算
 - 計算量・計算時間・消費電力・メモリ容量・I/O削減
- 科学技術計算の多くは倍精度(64bit)で実施されているが、条件の良い問題であれば、単精度(32bit)・半精度(16bit)、混合精度でも可能
 - 我々は不必要に高精度な計算により貴重な時間やエネルギーを無駄にしている・・・かも
- 昨今、低精度演算の活用は盛ん
 - 混合精度演算の研究, アプリへの適用は既に行われている
 - Approximate Computing: 省電力のための研究
 - 元々は画像処理
 - FPGAを含むハードウェア, システムソフトウェア, コンパイラ
 - ポストムーア時代へ向けた重要な技術の一つ
- 悪条件問題では、低精度演算では正解が得られない場合がある。
 - 特に半精度演算は変数の範囲が限定されるため注意が必要であり、精度の要求されない反復法前処理等に適用するべきである。

三次元不均質ポアソン方程式 ICCG法

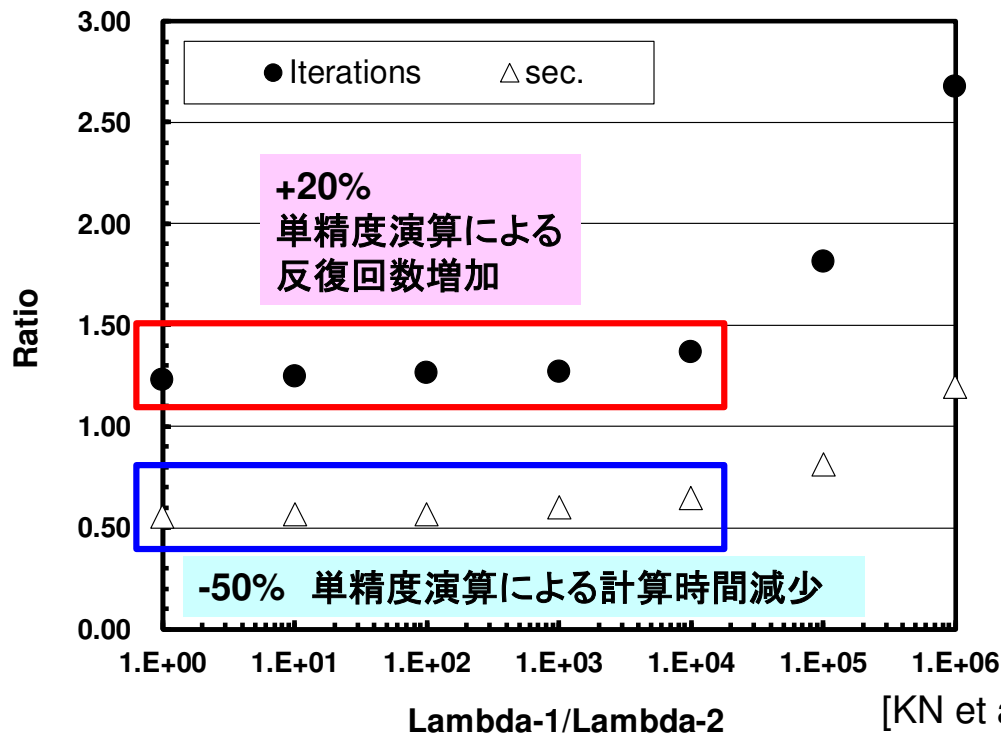
条件数(λ_1/λ_2)と反復回数・計算時間の関係

単精(FP32)／倍精度(FP64)の比: 少ないほどFP32速い, Intel BDW



$$\nabla \cdot (\lambda \nabla \phi) + f = 0$$

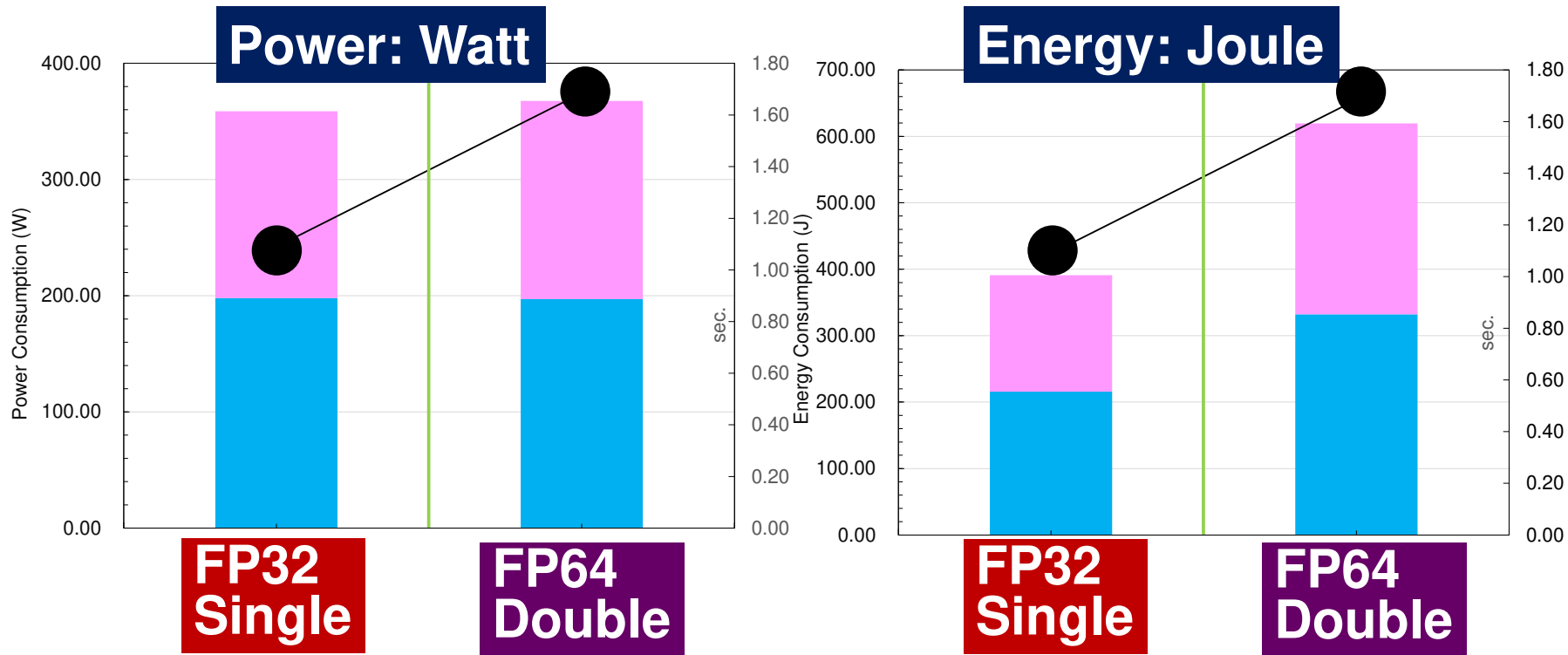
Reedbush:
Intel Xeon Broadwell-EP
Single Node:
18 cores x 2 soc's



Results on Intel Xeon BDW $\lambda_1 = \lambda_2$

[Sakamoto et al. 2020]

N=128³, ■: CPU, ■: Memory, ●: Time



低・変動精度演算による新計算原理の必要性

- 低・変動精度演算
 - 計算量・計算時間・消費電力・メモリ容量・I/O削減
- 科学技術計算の多くは倍精度(64bit)で実施されているが、条件の良い問題であれば、単精度(32bit)・半精度(16bit), 混合精度でも可能
 - 我々は不必要に高精度な計算により貴重な時間やエネルギーを無駄にしている・・・かも
- 昨今, 低精度演算の活用は盛ん
 - 混合精度演算の研究, アプリへの適用は既に行われている
 - Approximate Computing: 省電力のための研究
 - 元々は画像処理
 - FPGAを含むハードウェア, システムソフトウェア, コンパイラ
 - ポストムーア時代へ向けた重要な技術の一つ
- 悪条件問題では, 低精度演算では正解が得られない場合がある。
 - 特に半精度演算は変数の範囲が限定されるため注意が必要であり, 精度の要求されない反復法前処理等に適用するべきである。

低・変動精度演算の活用, 精度保証

- 実問題(悪条件問題)では精度保証が重要
 - 近年のApproximate Computingに関する研究で, 精度保証にまで立ち入った例はない: 計算できればOK
- これまでの精度保証研究は主として密行列対象
 - 疎行列・H行列の例は少ない: 条件の良い問題が中心
 - 一般に精度保証には求解の数倍の時間を要する
- 本研究で目指す精度保証手法(対象: 疎行列, H行列)
 - 高速・正確・悪条件に対応
 - 自動チューニングによる最適精度選択
- 荻田等による既存手法[荻田・後・大石 2001]
 - M行列向け(条件の良い行列, 全非対角成分が0以下, 全固有値の実部が正)
 - 現実的な時間で精度保証が可能なことは確認されたが, 悪条件問題向けにより精密な手法が必要(2018年度)⇒より精密な手法の開発(2019年度)

本研究の精度保証手法〔Ogita & KN 2019〕(1/2)

① 離散化によって得られた連立一次方程式 $Ax=b$ を解き, 得られた近似解を \hat{x} とする

② 連立一次方程式 $Ay=e$ (e はすべての要素が 1 のベクトル) を解く. 得られた近似解を \hat{y} とする

③ ②の \hat{y} を用いて係数行列 A の M 行列性の保証を行う

④ 残差 $r=b-A\hat{x}$ を精度保証付きで計算し, 残差の近似値を \hat{r} , 誤差限界を e_r とする.

⑤ 連立一次方程式 $Az=\hat{r}$ を解き, 近似解を \hat{z} とする.

⑥ 以下の誤差評価式の右辺について, 浮動小数点演算の丸めモードの変更を適宜使用しながら, 厳密な上限を求める (右辺第 2 項

の分母が 0 以下になった場合は精度保証失敗) :
$$\|x-\hat{x}\|_{\infty} \leq \|\hat{z}\|_{\infty} + \frac{\|\hat{y}\|_{\infty} \|b-A(\hat{x}+\hat{z})\|_{\infty}}{1-\|e-A\hat{y}\|_{\infty}}$$

本研究の精度保証手法〔Ogita & KN 2019〕(2/2)

- ICCG法の反復の停止条件
 - ICCG法の反復中に計算される見かけの残差ベクトルを使用

$$Ax = b, \|b - A\hat{x}\|_2 / \|b\|_2 < \varepsilon_1 (= 10^{-12})$$

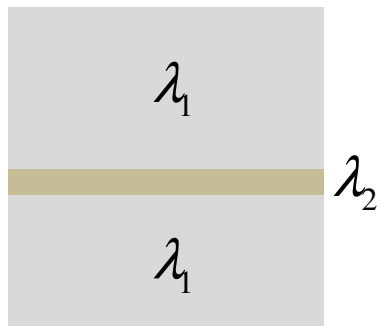
$$Ay = e, \|e - A\hat{y}\|_\infty < \varepsilon_2 (= 10^{-2})$$

$$Az = \hat{r}, \|\hat{r} - A\hat{z}\|_2 / \|\hat{r}\|_2 < \varepsilon_3 (= 10^{-9})$$

- 最大相対誤差上限・相対残差ノルム

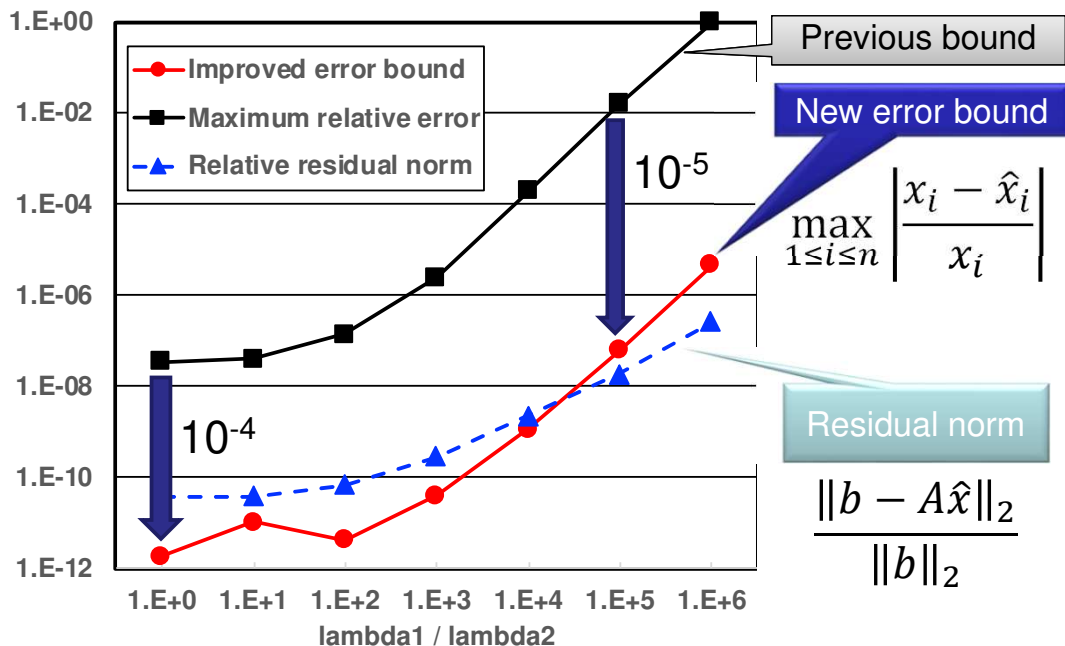
$$\max_{1 \leq i \leq n} \left| \frac{x_i - \hat{x}_i}{x_i} \right|, \quad \|b - A\hat{x}\|_2 / \|b\|_2$$

計算例(倍精度): $NX=NY=NZ=128$



$$\nabla \cdot (\lambda \nabla \phi) + f = 0$$

better



FY.2018

FY.2019

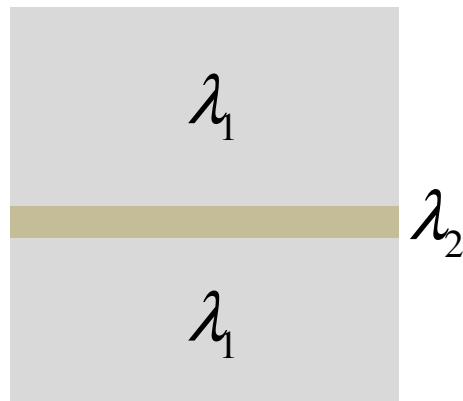
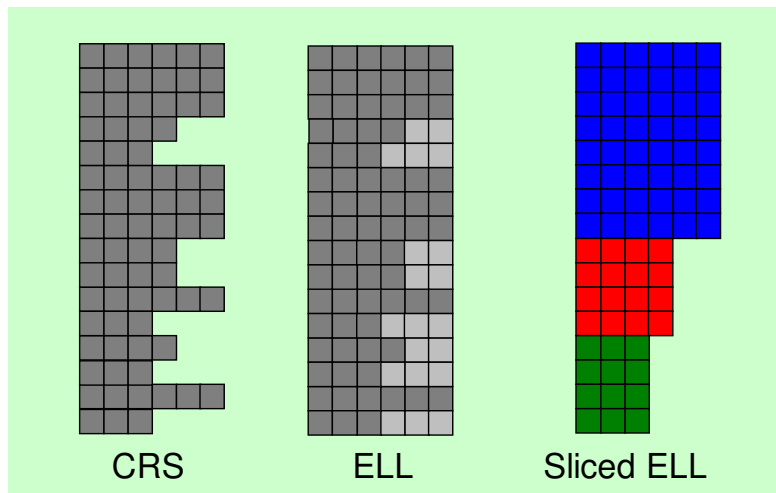
Computed error bounds are significantly improved!

[Ogita & KN 2019]

P3D: Steady State 3D Heat Conduction by FVM

- Various Configurations

- FP64 (Double), FP32 (Single), FP16 (Half) (just for preconditioning)
- Matrix Storage Format (CRS, ELL, SELL-C- σ etc.)



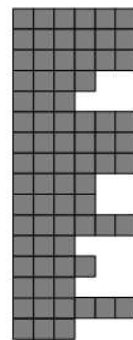
$$\nabla \cdot (\lambda \nabla \phi) + f = 0$$

System	Oakforet-PACS	Oakbridge-CX	Oakleaf-7 (FX700)
Abbreviation	OFP	OBCX	OL7
Architecture of CPU	Intel Xeon Phi 7250 (Knights Landing, KNL)	Intel Xeon Platinum 8280 (Cascade Lake, CLX)	Fujitsu A64FX (1.8GHz)
Core#/Socket	68	28	48
Socket#/Node	1	2	1
Peak Performance (DP) (GFLOPS)/Node	3,046	4,838	2,765
Memory Capacity (GB)/Node	MCDRAM: 16 DDR4: 96	192	32
Memory Bandwidth (GB/sec), Stream Triad	MCDRAM: 490 DDR4: 84.5	202	809
Compiler	Intel Parallel Studio 2019		Fujitsu FCC 4.0.0

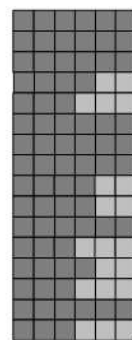
Ratio of Performance: FP64

Elapsed Computation Time for ICCG (DP),
Normalized by OFP with CRS, $\lambda_1/\lambda_2=1$

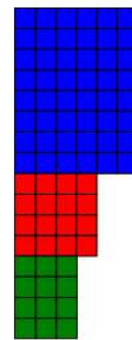
[KN et al. SWoPP 2020]



CRS

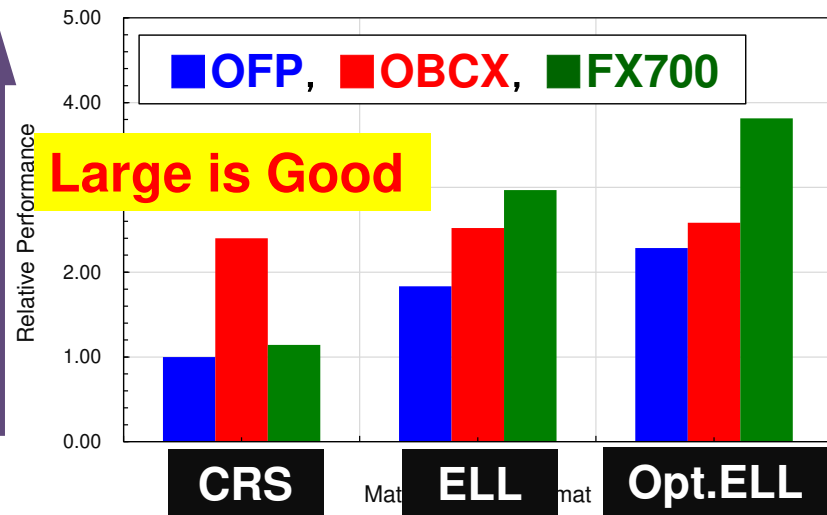


ELL

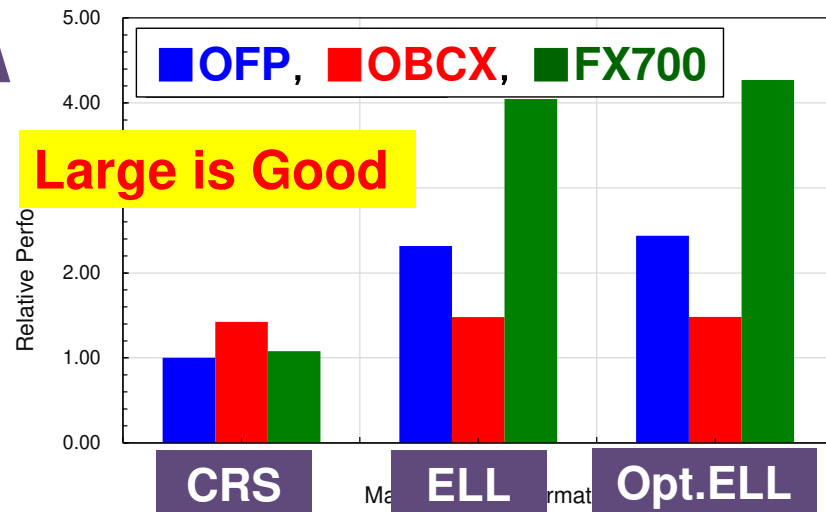


Sliced ELL

Medium : 128³



Large : 256³



Mixed Precision Computing of ICCG Solver for P3D on FX700

	SpMV, DAXPY, Dot Products	Preconditioning	Vectors for Preconditioning
D-D	FP64	FP64	FP64
D-S	FP64	FP32	FP32
D-H	FP64	FP16	FP32
S-S	FP32	FP32	FP32
S-H	FP32	FP16	FP32

Mixed Precision Computing for P3D on FX700

Implementation of Forward Substitution (CRS) in ICCG

[KN et al. SWoPP 2020]

FP64

FP32

FP16

```
!$omp parallel do private(ip, i)
do ip= 1, PESmpTOT
do i= SMPindex((ip-1)*NCOLORtot)+1, SMPindex(ip*NCOLORtot)
  Ws(i, Z) = W(1, R)
enddo
enddo
```

D-S

```
!$omp parallel private(ic, ip, ip1, i, WVALs, k)
do ic= 1, NCOLORtot
!$omp do
do ip= 1, PESmpTOT
ip1= (ip-1)*NCOLORtot + ic
do i= SMPindex(ip1-1)+1, SMPindex(ip1)
  WVALs= Ws(i, Z)
do k= indexL(i-1)+1, indexL(i)
  WVALs= WVALs - ALs(k) * Ws(itemL(k), Z)
enddo
  Ws(i, Z) = WVALs * Ws(i, DD)
enddo
enddo
enddo
```

!\$omp end parallel

(Backward Substitution)

```
!$omp parallel do private(ip, i)
do ip= 1, PESmpTOT
do i= SMPindex((ip-1)*NCOLORtot)+1, SMPindex(ip*NCOLORtot)
  W(1, Z) = Ws(1, Z)
enddo
enddo
```

```
!$omp parallel do private(ip, i)
do ip= 1, PESmpTOT
do i= SMPindex((ip-1)*NCOLORtot)+1, SMPindex(ip*NCOLORtot)
  Ws(i, Z) = Ws(i, R)
enddo
enddo
```

S-H

```
!$omp parallel private(ic, ip, ip1, i, WVALs, k)
do ic= 1, NCOLORtot
!$omp do
do ip= 1, PESmpTOT
ip1= (ip-1)*NCOLORtot + ic
do i= SMPindex(ip1-1)+1, SMPindex(ip1)
  WVALs= Ws(i, Z)
do k= indexL(i-1)+1, indexL(i)
  WVALs= WVALs - ALh(k) * Ws(itemL(k), Z)
enddo
  Ws(i, Z) = WVALs * Wh(i, DD)
enddo
enddo
enddo
```

!\$omp end parallel

```
!$omp parallel do private(ip, i)
do ip= 1, PESmpTOT
do i= SMPindex((ip-1)*NCOLORtot)+1, SMPindex(ip*NCOLORtot)
  Ws(i, Z) = W(i, R)
enddo
enddo
```

D-H

```
!$omp parallel private(ic, ip, ip1, i, WVALs, k)
do ic= 1, NCOLORtot
!$omp do
do ip= 1, PESmpTOT
ip1= (ip-1)*NCOLORtot + ic
do i= SMPindex(ip1-1)+1, SMPindex(ip1)
  WVALs= Ws(i, Z)
do k= indexL(i-1)+1, indexL(i)
  WVALs= WVALs - ALh(k) * Ws(itemL(k), Z)
enddo
  Ws(i, Z) = WVALs * Wh(i, DD)
enddo
enddo
enddo
```

!\$omp end parallel

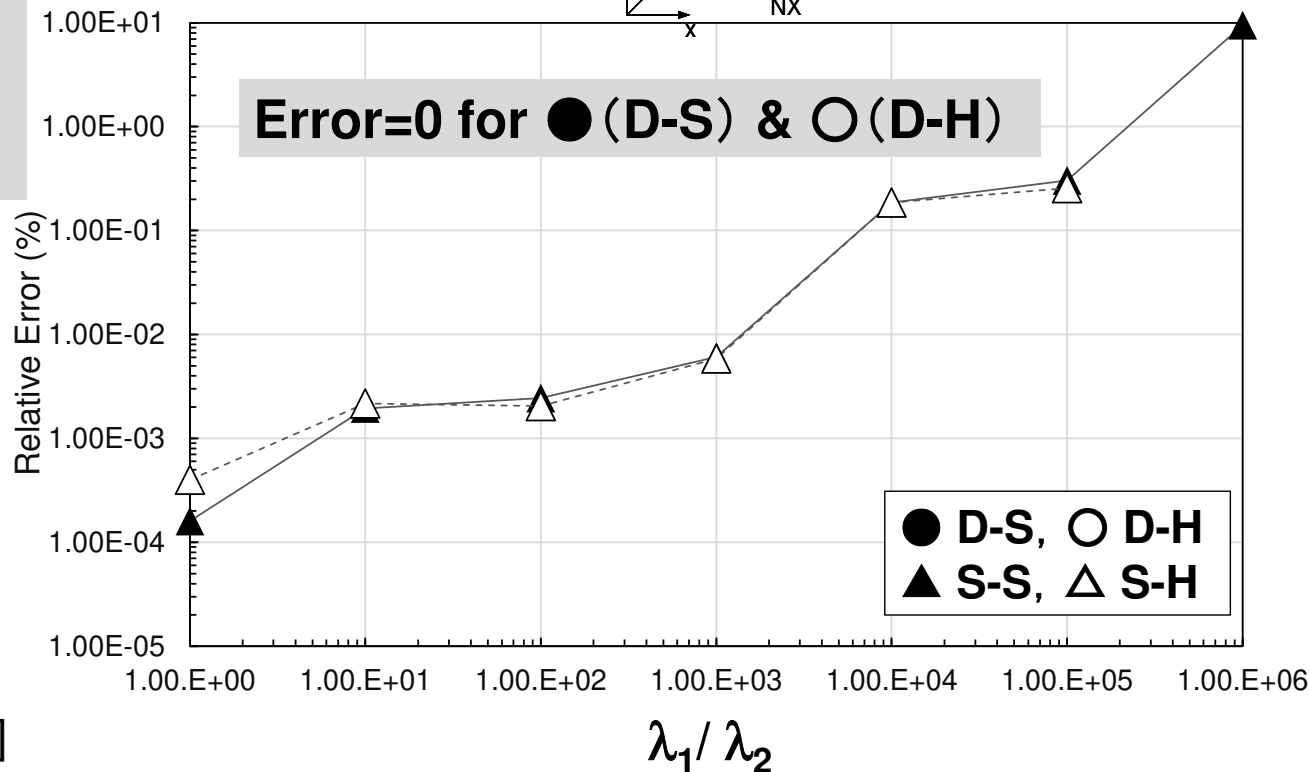
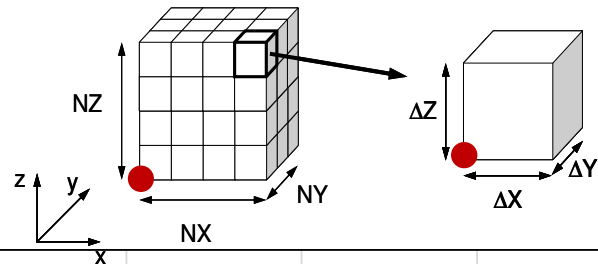
(Backward Substitution)

```
!$omp parallel do private(ip, i)
do ip= 1, PESmpTOT
do i= SMPindex((ip-1)*NCOLORtot)+1, SMPindex(ip*NCOLORtot)
  W(1, Z) = Ws(1, Z)
enddo
enddo
```

Mixed Precision Computation

D-H/S-H do not converge at $\lambda_1 / \lambda_2 = 10^6$

Relative Error
(%) compared to
D-D @ 



[KN et al. SWoPP 2020]

Mixed Precision Computation

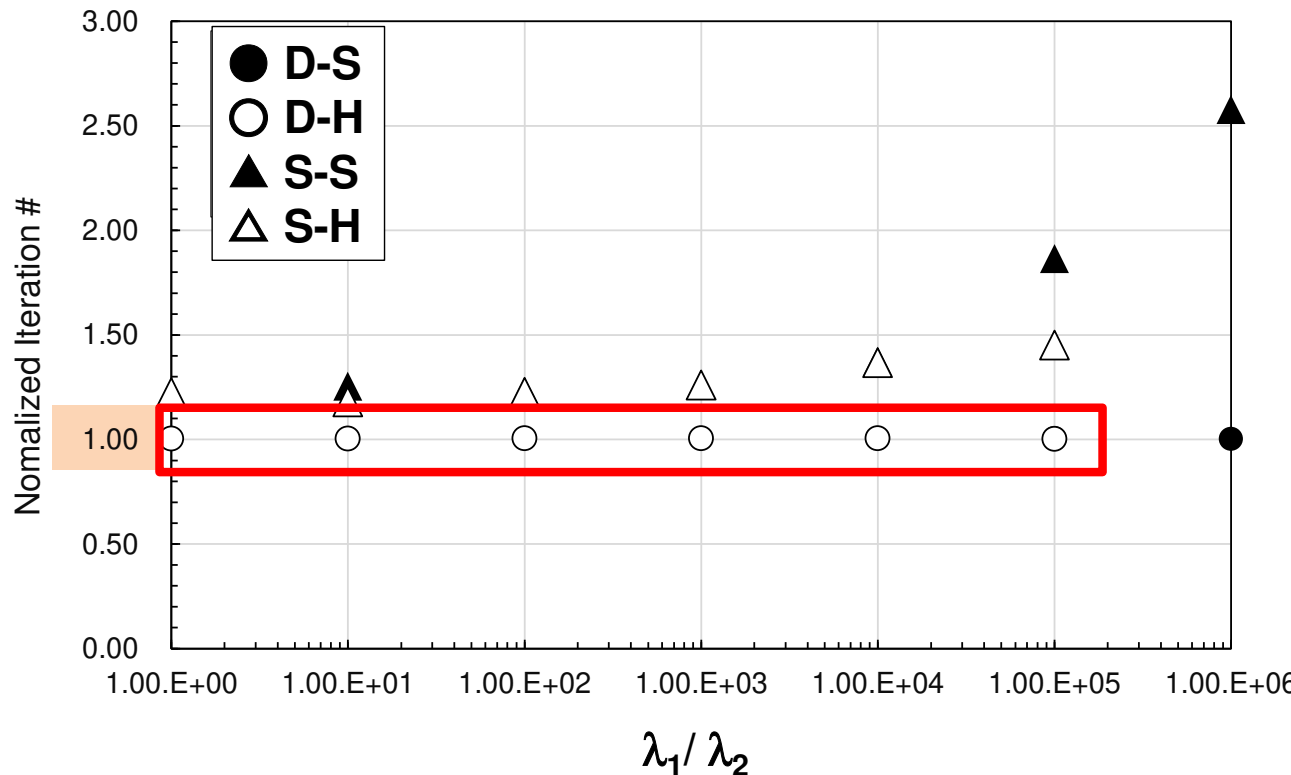
[KN et al. SWoPP 2020]

D-H/S-H do not converge at $\lambda_1/\lambda_2 = 10^6$

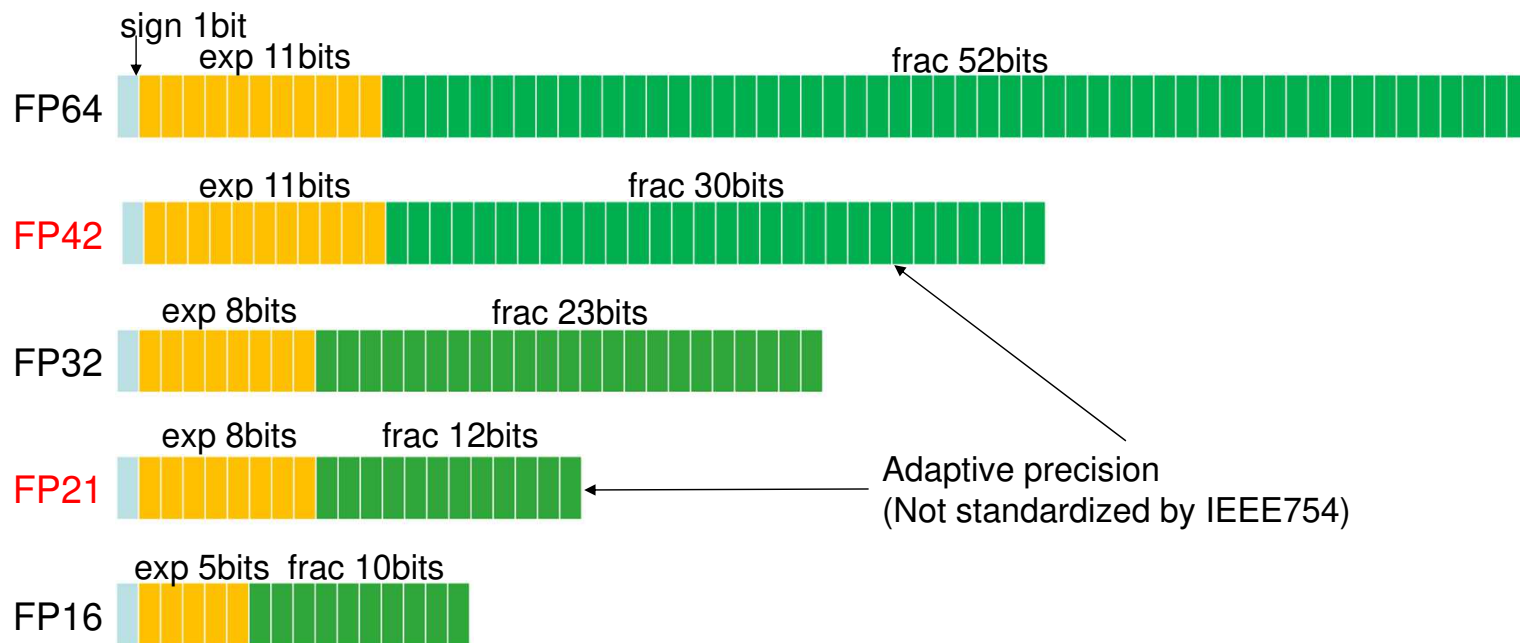
Number of
Iterations
(Normalized by
that of D-D)

● ~ ○ ~ D-D, ▲
~ △

Results of (D-S,
D-H) agree with
those of D-D (if
 $\lambda_1/\lambda_2 \leq 10^5$)



Considering following data formats

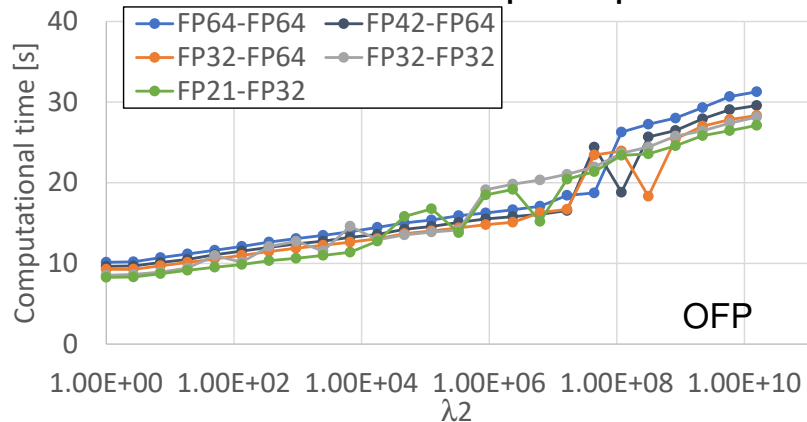


Use FP21 and FP42 reduces data transfer between memory and CPU to 2/3 compared with FP32 and FP64.

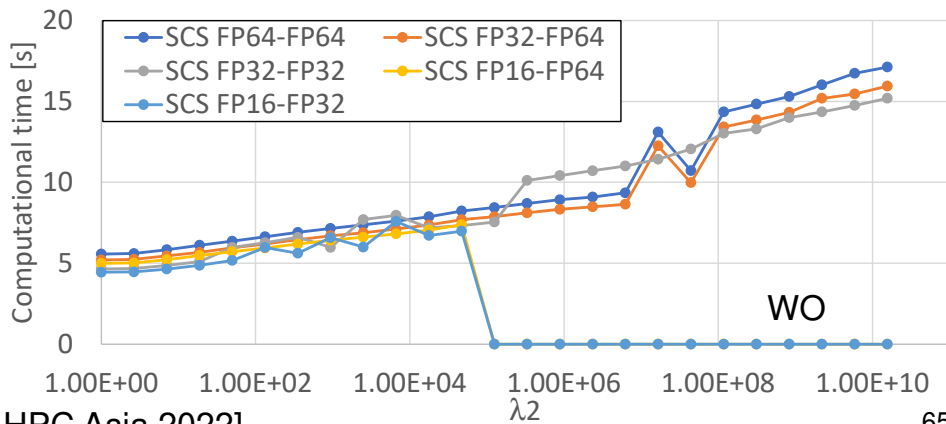
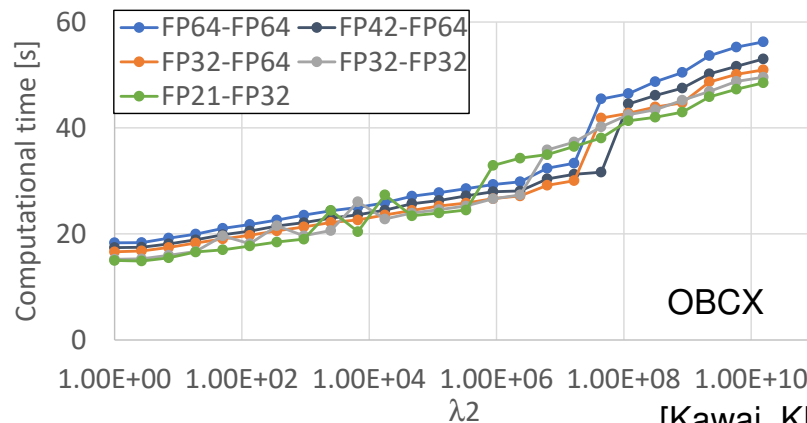
For computing FP21 and FP42, it require data casting because of unsupported by FPUs.

Performance improvement by low/adaptive precisions

Low/Adaptive precision shows reduce computational time.



- FP16-FP32 was the fastest within the good condition.
 - 17.3% compared with FP64-FP64
- FP21-FP32 was the fastest within the good condition, on OFP and OBCX.
 - 18.4%(OFP), 18.6%(OBCX)
- FP32-FP64 was the fastest in intermediate conditions.
- FP21-FP32 was faster in worse condition, again.
 - 12.6%(OFP), 13.7%(OBCX)



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
科研費基盤研究(S)(2019年度～23年度, 代表: 中島研吾)

<https://h3-open-bdec.cc.u-tokyo.ac.jp/>

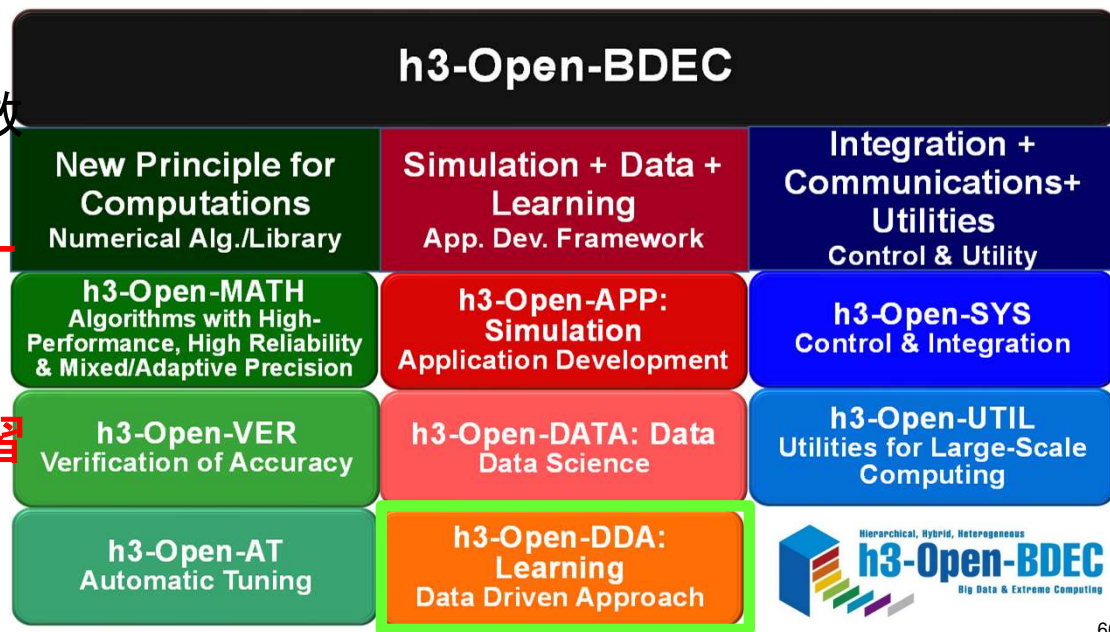
Hierarchical,
Hybrid,
Heterogeneous

Big Data &
Extreme
Computing

① 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

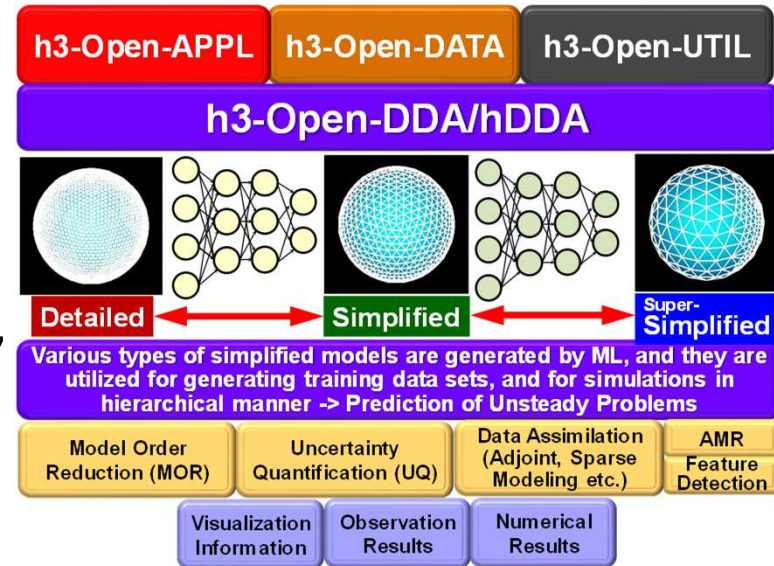
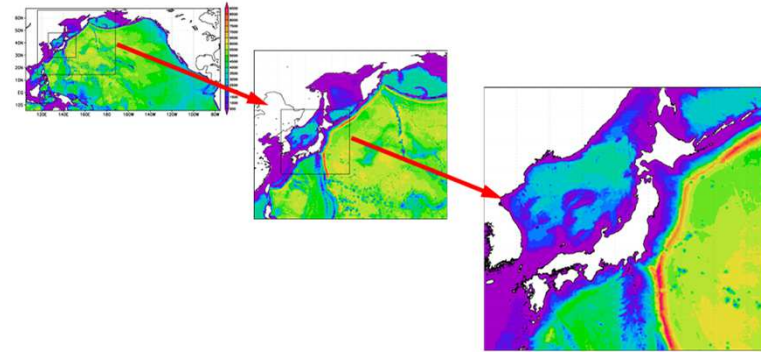
② 階層型データ駆動アプロー
チ(hDDA: Hierarchical
Data Driven Approach)
等に基づく革新的機械学習
手法

✓ Hierarchical, Hybrid,
Heterogeneous ⇒ h3

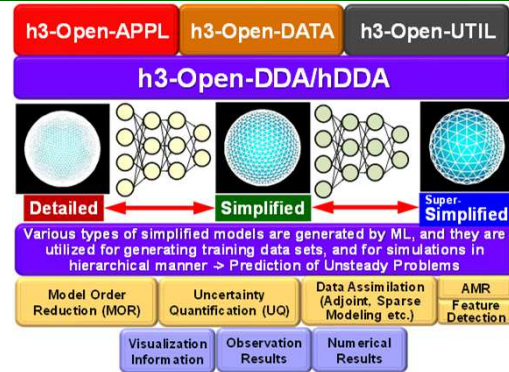
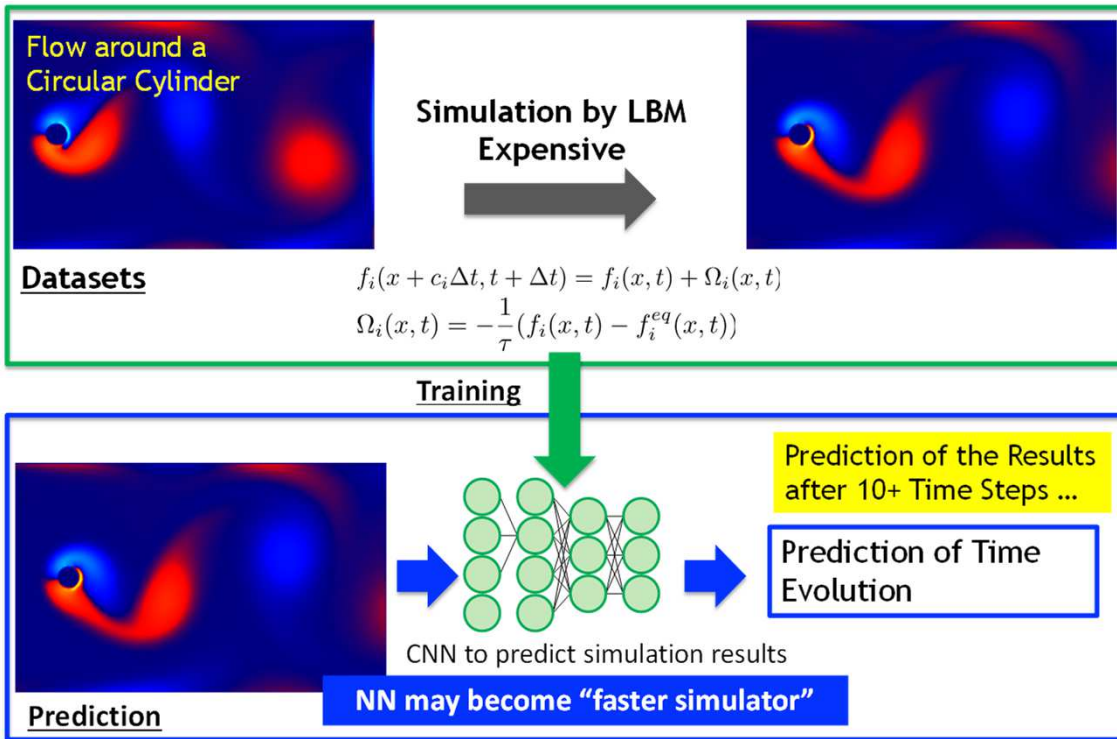


階層型データ駆動アプローチ: hDDA

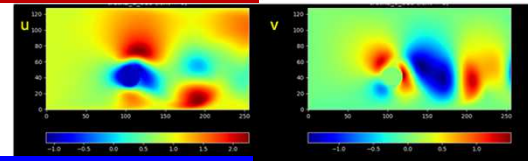
- シミュレーションに機械学習を適用して異なるパラメータでの解を予測するデータ駆動アプローチ (DDA, Data Driven Approach) では、計算を繰り返して教師データを生成する必要がある。
- 階層型DDA (hDDA) は、特徴検知, MOR (Model Order Reduction), UQ (Uncertainty Quantification), スパースモデリング, 適応格子等の諸機能を駆使して、計算量(メッシュ数, 粒子数)を削減した簡易モデルを、機械学習により自動生成, 教師データ生成用モデルとして利用する
 ✓ やや詳細なSurrogate Model



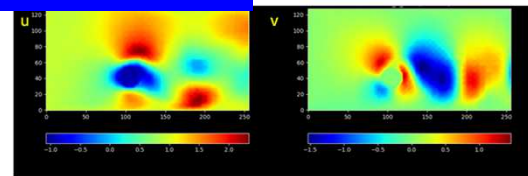
機械学習による非定常数値流体力学シミュレーション高速化 (計算+データ+学習(S+D+L))融合の実例



シミュレーション結果

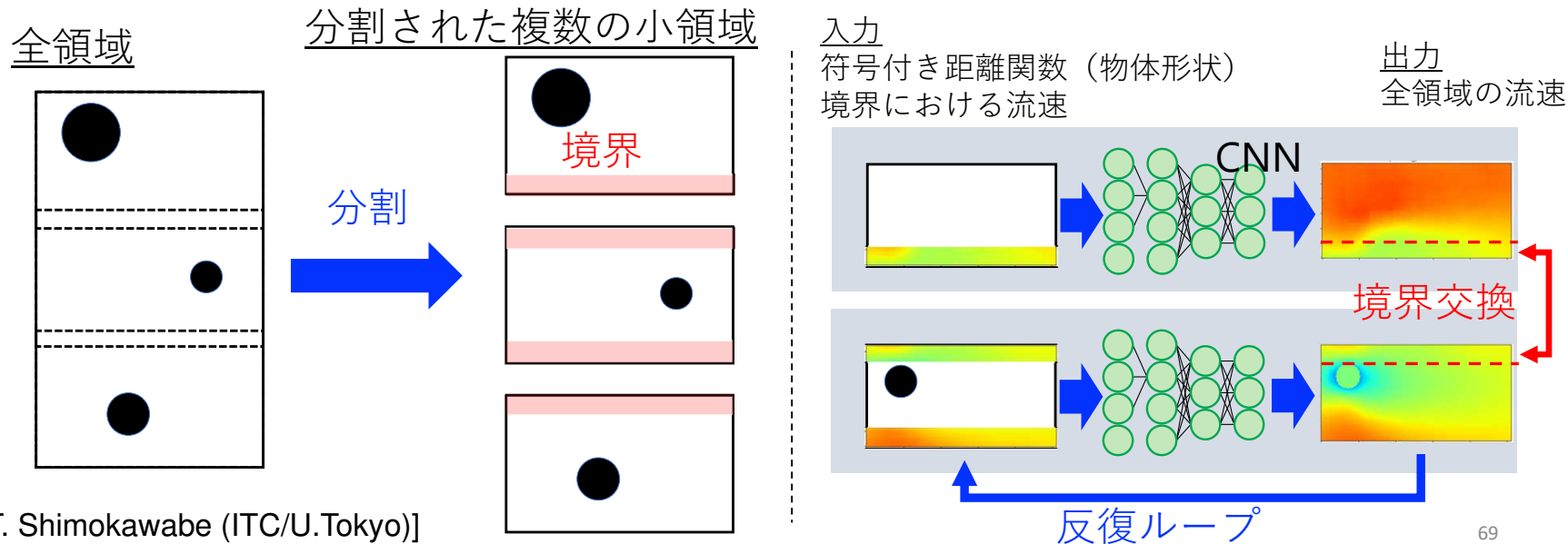


機械学習による予測

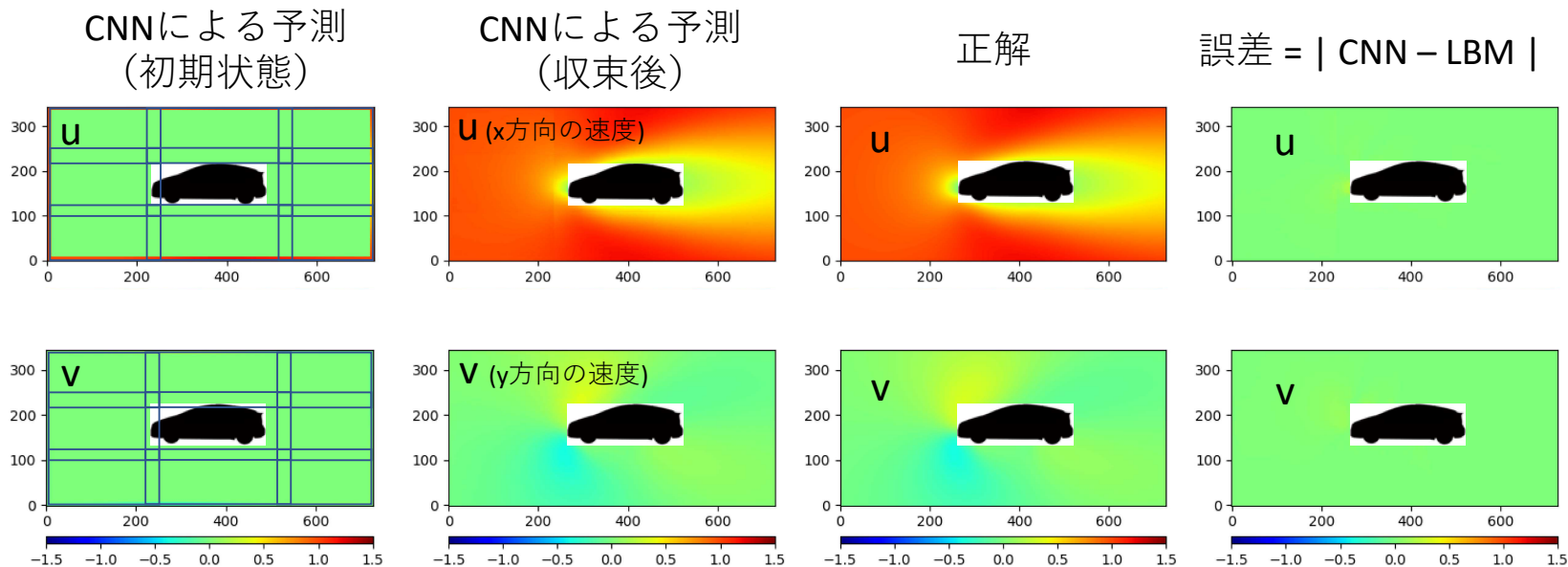


CNNと境界交換による複数領域における予測手法

- 単一領域予測：学習に用いた領域サイズの予測しかできない、GPUメモリ容量に制限
- 計算領域を複数小領域に分割し、複数小領域にまたがるシミュレーション結果を予測
 - ・ 単一領域に対し学習したネットワークモデルで各小領域の結果を予測
 - ・ 複数の小領域間で予測値の**整合性を保つ**ため、隣接する分割領域間で境界交換し、推論し、予測値が収束するまで、これを繰り返す



境界交換による2次元計算の予測結果



予測サイズ：748x364(分割数9)

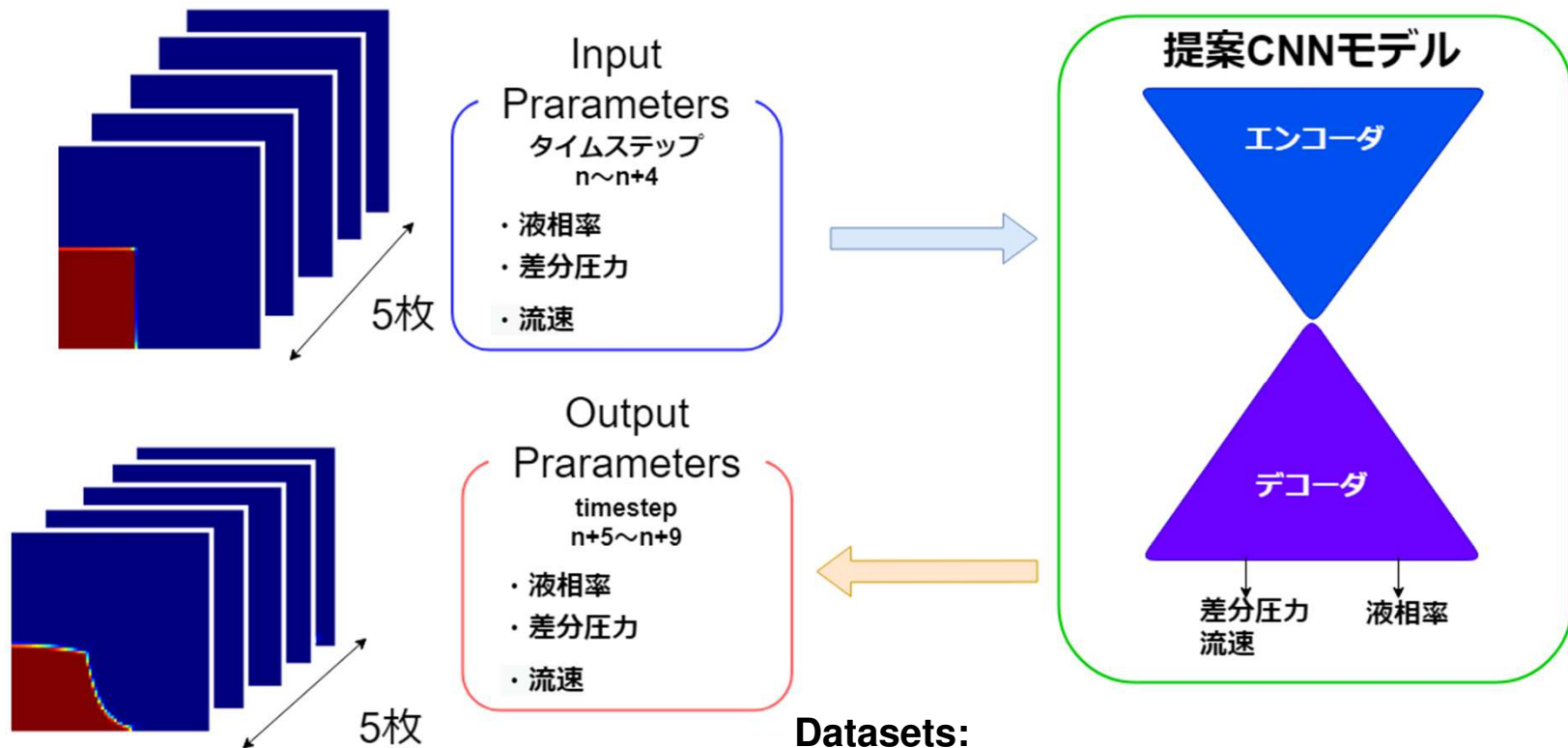
平均誤差：3.89%

計算時間：3.82 s



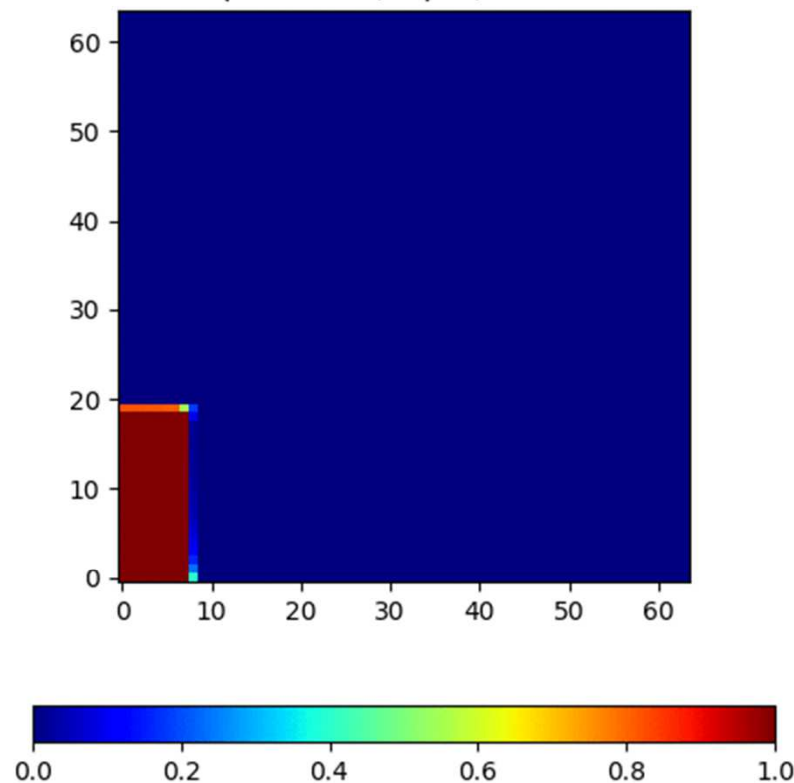
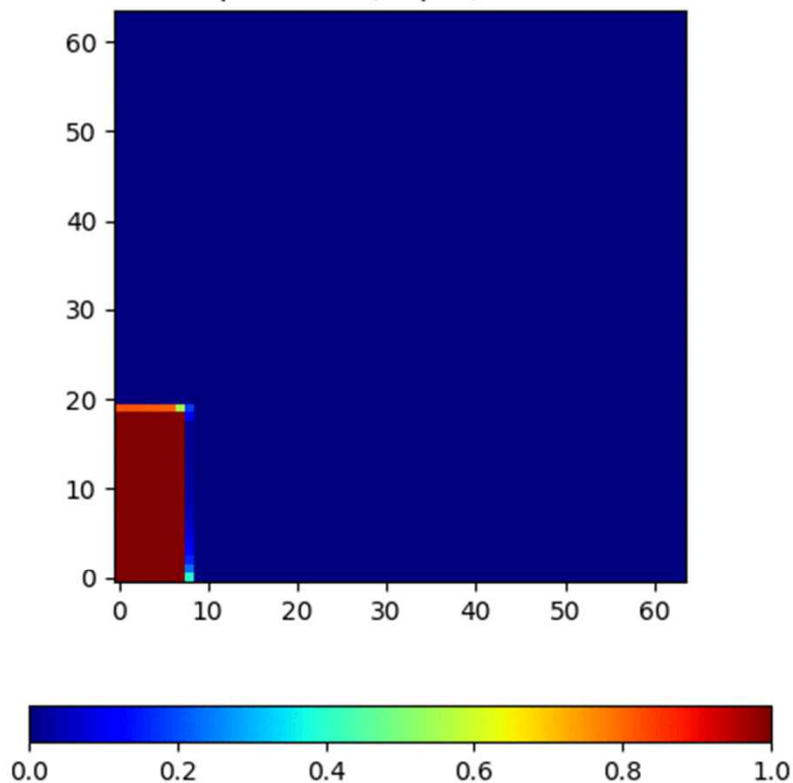
高速かつ高精度に予測可能

時間発展予測CNNモデル



Datasets:
OpenFOAM simulation results (50 cases)

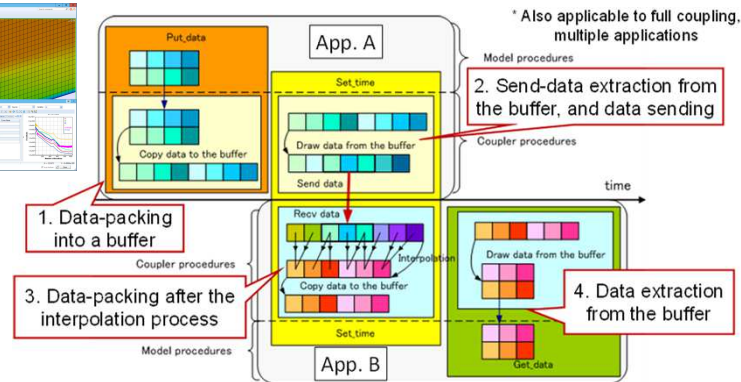
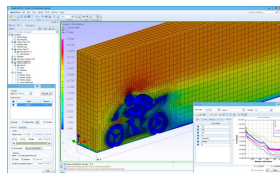
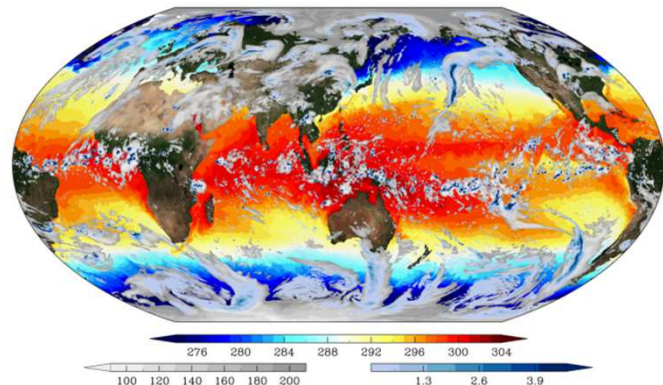
再帰的な適用による予測結果（液相率）の比較



Wisteria/BDEC-01上における h3-Open-BDECを使用した(S+D+L)融合



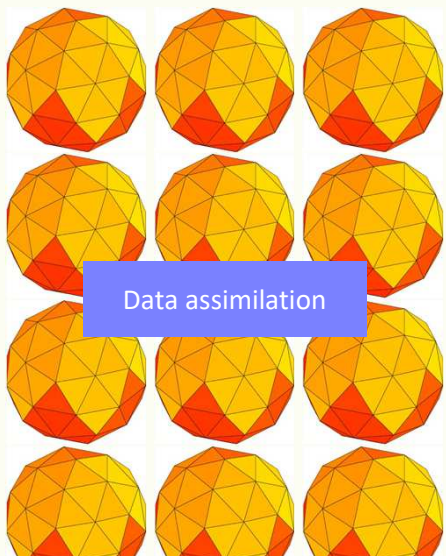
- ・ シミュレーションとデータ同化の融合
 - 典型的・伝統的な(S+D+L)融合
- ・ 気候・気象のための大気海洋連成シミュレーション
 - 東大大気海洋研, 理研, 国立環境研他
- ・ **リアルタイム同化+三次元強震動シミュレーション**
 - **東大地震研(後述)**
- ・ リアルタイム災害シミュレーション
 - 洪水, 津波
- ・ 既存シミュレーションコードの(S+D+L)融合による高度化
 - OpenFOAM



Challenges on Wisteria/BDEC-01(1)

Multi Detailed-level + Ensemble coupling

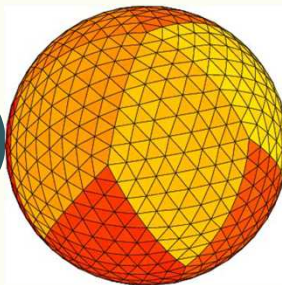
Low-resolution Ensemble



Data assimilation

Good at large-scale atmospheric state and climatology

High-resolution



Good at detailed local weather



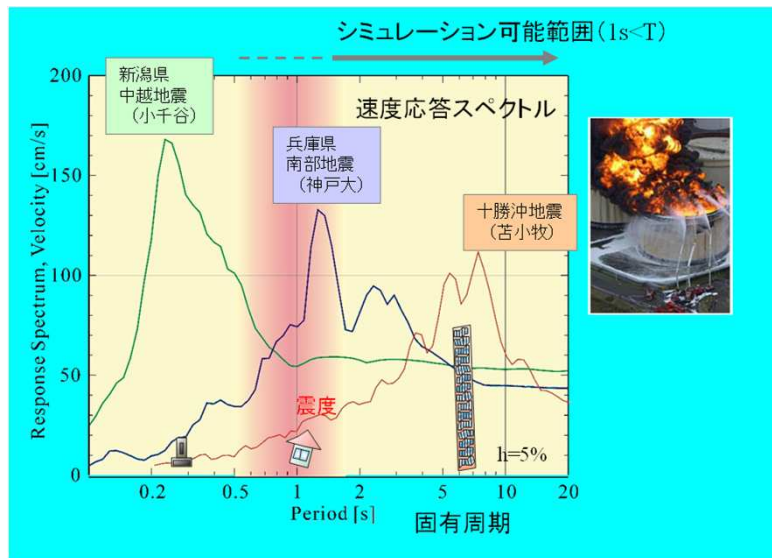
Nudging large-scale (low-wavenumber) states

Faster than high-resolution ensemble data assimilation!

- 東大情報基盤センターのスパコン概要
 - Wisteria/BDEC-01
 - Oakbrige-CX(OBCX)
 - Ipomoea-01(大規模共通ストレージ)
- h3-Open-BDEC
- 観測データ同化による長周期地震動リアルタイム予測
- 「計算・データ・学習」融合へ向けた試み
- 将来構想等

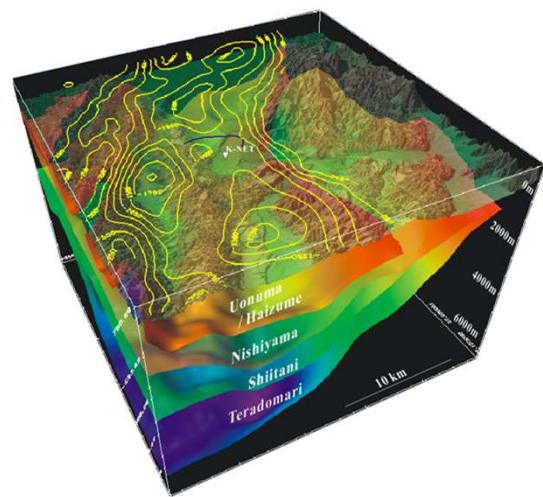
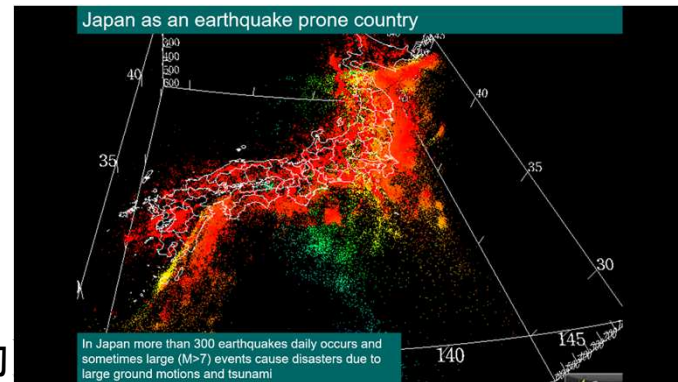
- 地震発生サイクル
 - プレート境界・断層面応力蓄積
 - 数十年～数百年
 - 境界要素法, 境界積分法
- 動的破壊
 - 応力蓄積⇒破壊, 地震のソースターム
 - 数十秒～数分
 - 境界要素法, 境界積分法
- 波動伝播
 - 地震波動伝播, 強震動
 - 数十秒～数分
 - 有限要素法, 差分法

- ✓ 長い固有周期
- ✓ 大きな建物を長時間揺らす
- ✓ 遠くまで伝わる



地震シミュレーション： 不確実性(Uncertainty)と 隣り合わせ

- 地震シミュレーション(強震動シミュレーション)
 - 応力蓄積過程⇒動的破壊⇒地震波動伝播(強震動)
- 地下構造⇒不均質・不確定
- シミュレーション・観測融合が不可欠
- 伝統的なシミュレーション
 - いわゆるフォワードモデリング
 - 「メカニズムの理解」の域を出ない
- データ同化・リアルタイム観測と融合した手法の開発が必要
 - シミュレーション(Simulation): 予測+観測・データ同化(Data Assimilation): 補正



〔画像提供: 古村孝志教授(東大・地震研)〕

地震波動伝播(強震動) シミュレーション

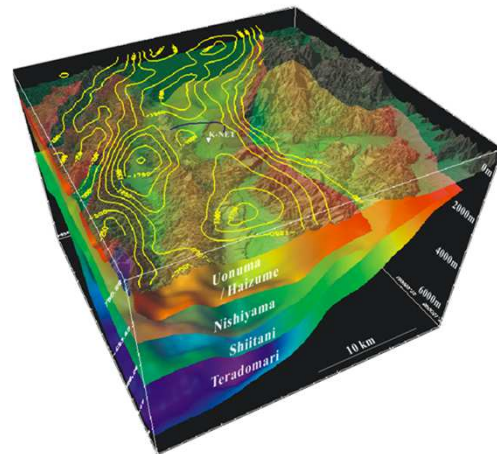
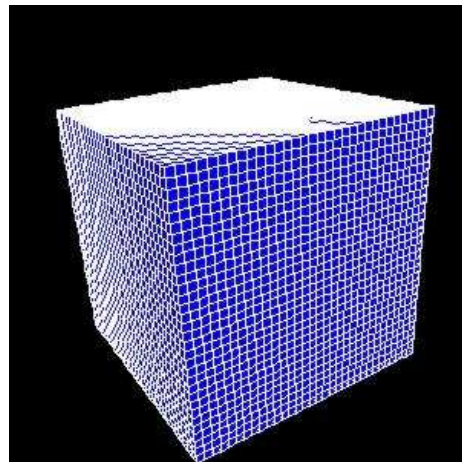
Seism3D/OpenSWPC-DAF
[Furumura et al.]

Seismology : 地震学

- 偏微分方程式(三次元運動方程式)を差分法(Finite Difference Method)によって解く

$$v_p^n = v_p^{n-1} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \sigma_{xp}^{n-1/2}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yp}^{n-1/2}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zp}^{n-1/2}}{\partial z} \right) \Delta t \quad (p = x, y, z)$$

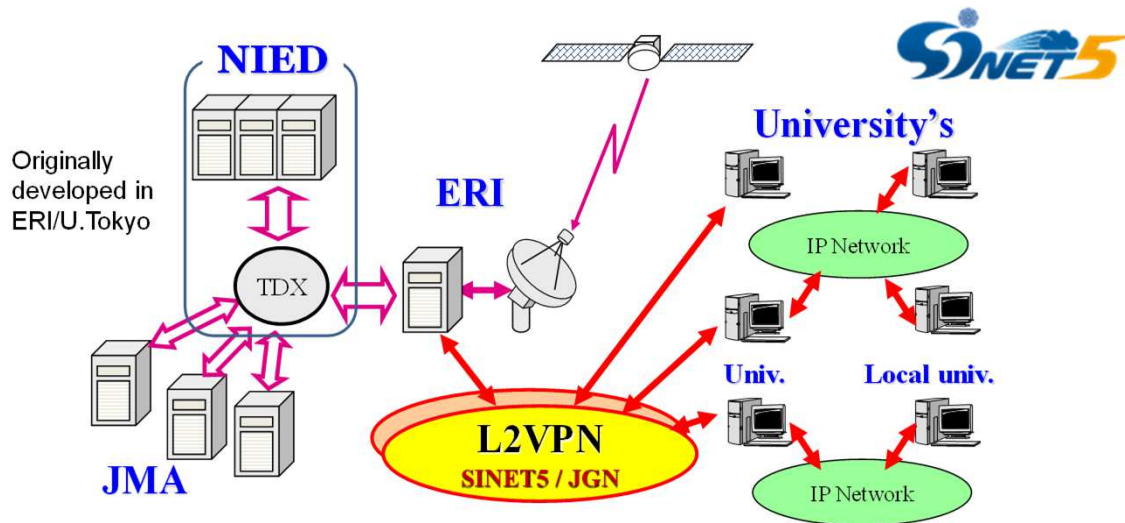
- 差分法⇒空間を細かい格子(メッシュ)に分割する
 - 直方体・立方体: 規則正しい均一なメッシュ
 - 分割が細かいほど, 精度は上がるが計算量が増える⇒スパコンが必要
 - 今回の2007年中越沖地震では9億近いメッシュ数



〔画像提供: 古村孝志教授(東大・地震研)〕

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)〕

「リアルタイムデータ同化+シミュレーション」融合（大場，古村）

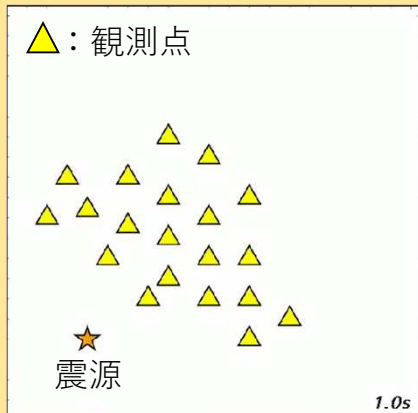
・最適内挿法によるデータ同化

$$\begin{array}{c}
 \text{Assim.} \quad \text{Comp.} \quad \text{Residual} \quad \text{Comp.} \quad n: \text{Time Step} \\
 \mathbf{x}_n^a = \mathbf{x}_n^f + \mathbf{W}(\mathbf{y}_n - \mathbf{H}\mathbf{x}_n^f) \\
 \text{Comp.} \quad \text{Assim.} \\
 \mathbf{x}_{n+1}^f = \mathbf{F}\mathbf{x}_n^a \quad \mathbf{F}: \text{Wave Propagation simulation}
 \end{array}$$

\mathbf{W} : Weighting Matrix

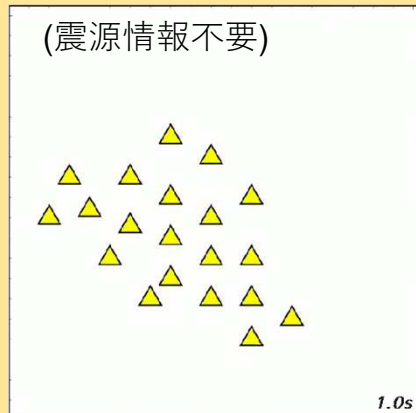
(A) Pure S :

従来型シミュレーション

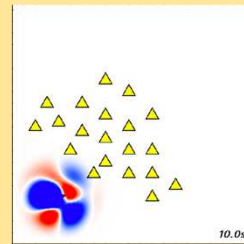


(A) A+S

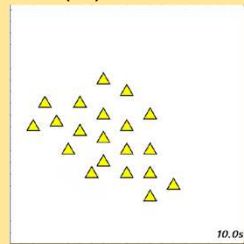
シミュレーション+データ同化



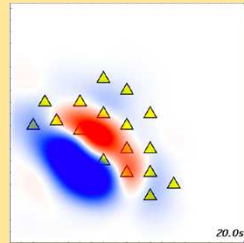
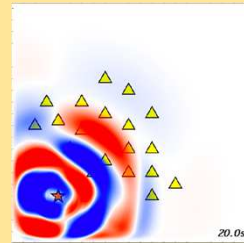
(A) Pure S



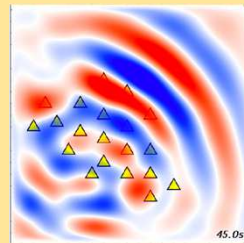
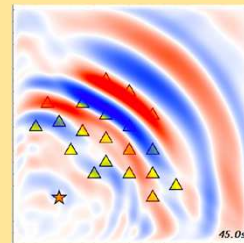
(B) A+S



10 sec.



20 sec.



30 sec.

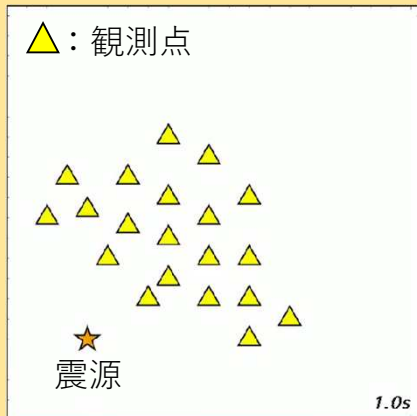
「リアルタイムデータ同化+シミュレーション」融合（大場，古村）

・最適内挿法によるデータ同化

$$\begin{array}{c}
 \text{Assim.} \quad \text{Comp.} \quad \text{Residual} \quad \text{Comp.} \quad n: \text{Time Step} \\
 \mathbf{x}_n^a = \mathbf{x}_n^f + \mathbf{W}(\mathbf{y}_n - \mathbf{H}\mathbf{x}_n^f) \quad \mathbf{W}: \text{Weighting Matrix} \\
 \text{Comp.} \quad \text{Assim.} \\
 \mathbf{x}_{n+1}^f = \mathbf{F}\mathbf{x}_n^a \quad \mathbf{F}: \text{Wave Propagation simulation}
 \end{array}$$

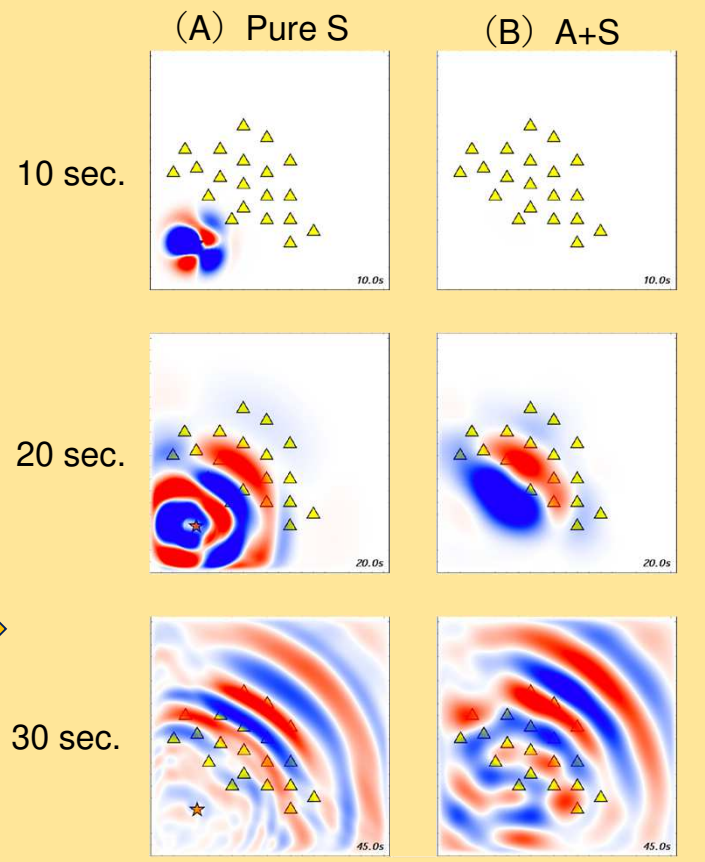
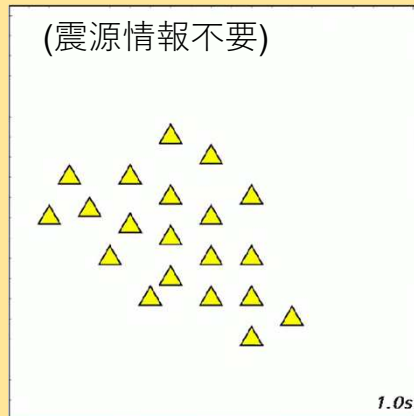
(A) Pure S :

従来型シミュレーション



(A) A+S

シミュレーション+データ同化

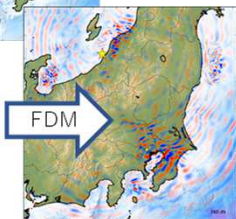
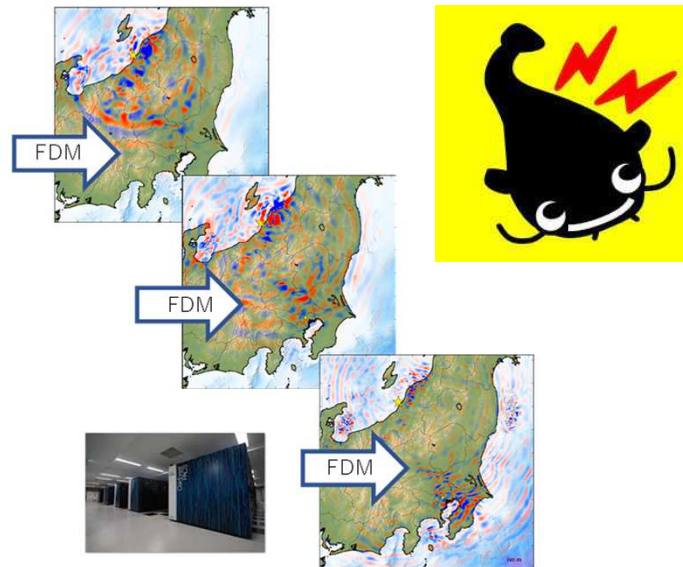
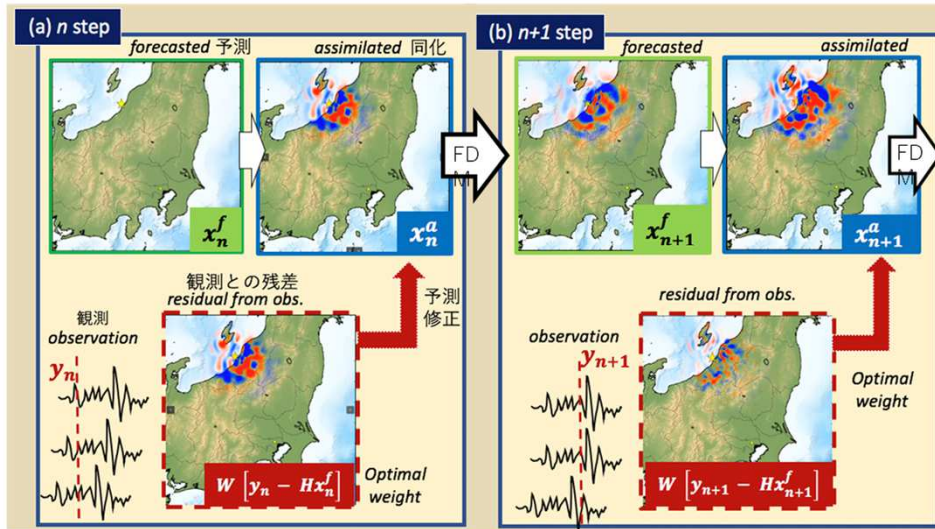


「A+S:同化+シミュレーション」⇒「Pure S:シミュレーション予測」

Assim. Comp. Obs. Residual Comp.
 $x_n^a = x_n^f + W(y_n - Hx_n^f)$
 Comp. Assim.
 $x_{n+1}^f = Fx_n^a$
 F : Wave Propagation simulation
 n : Time Step
 W : Weighting Matrix

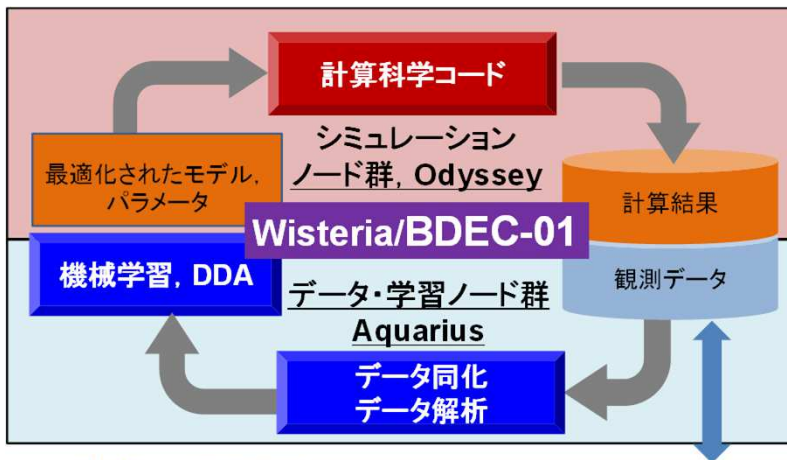
(A+S) Assimilation+Simulation

(Pure S) Pure Simulation/Forecast

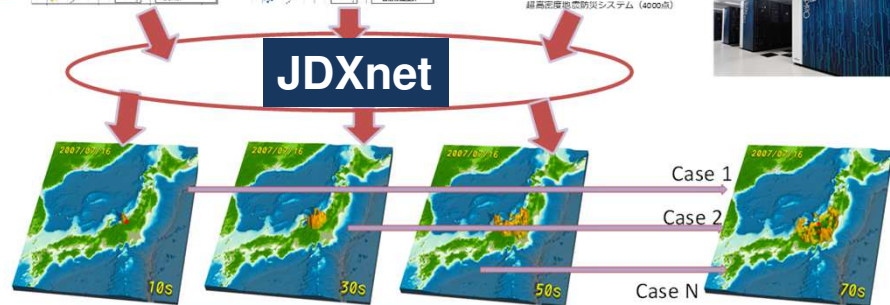
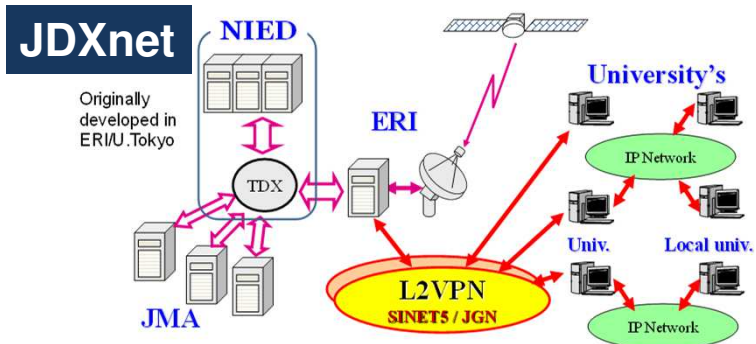
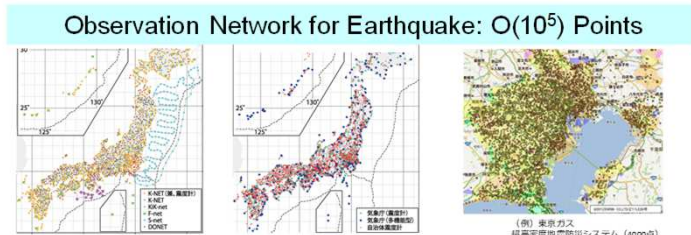


三次元地震シミュレーション+リアルタイムデータ同化/観測

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



外部リソース
Server, Storage, DB, Sensors 他



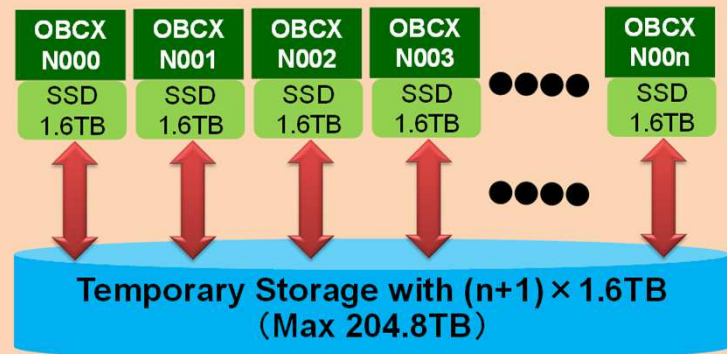
Real-Time Data/Simulation Assimilation
Real-Time Update of Underground Model

〔資料提供: 古村孝志教授
(東大・地震研)〕

Oakbridge-CX (OBCX)

- 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) により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)



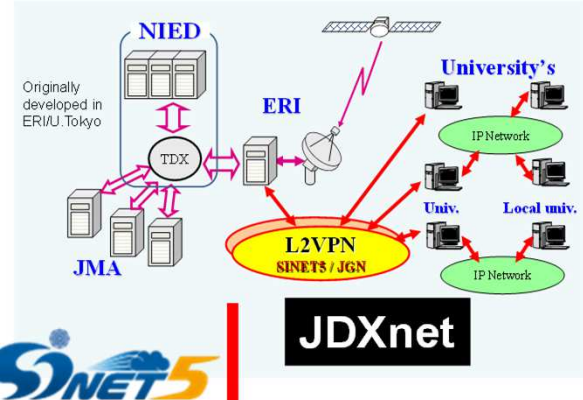
Total: 1,368 nodes

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

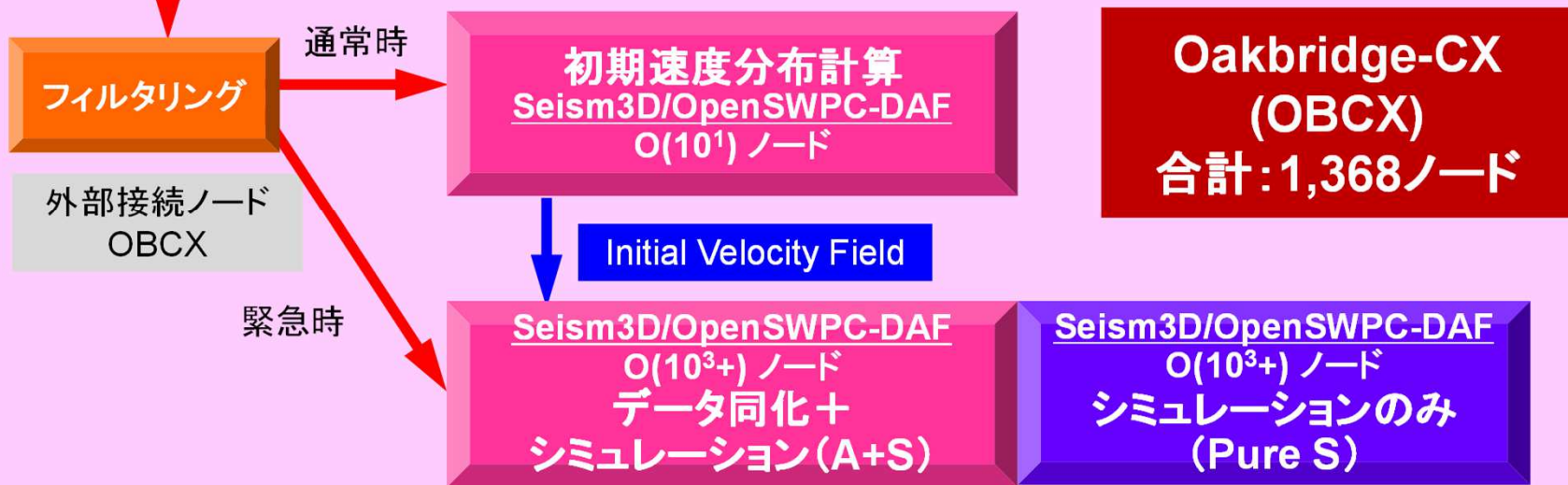




三次元地震シミュレーション＋リアルタイムデータ同化/観測

JDXnetの観測データ:リアルタイムデータ同化/観測

- ・通常時:フィルタリング⇒観測データ内挿
- ・緊急時:データ同化＋シミュレーション

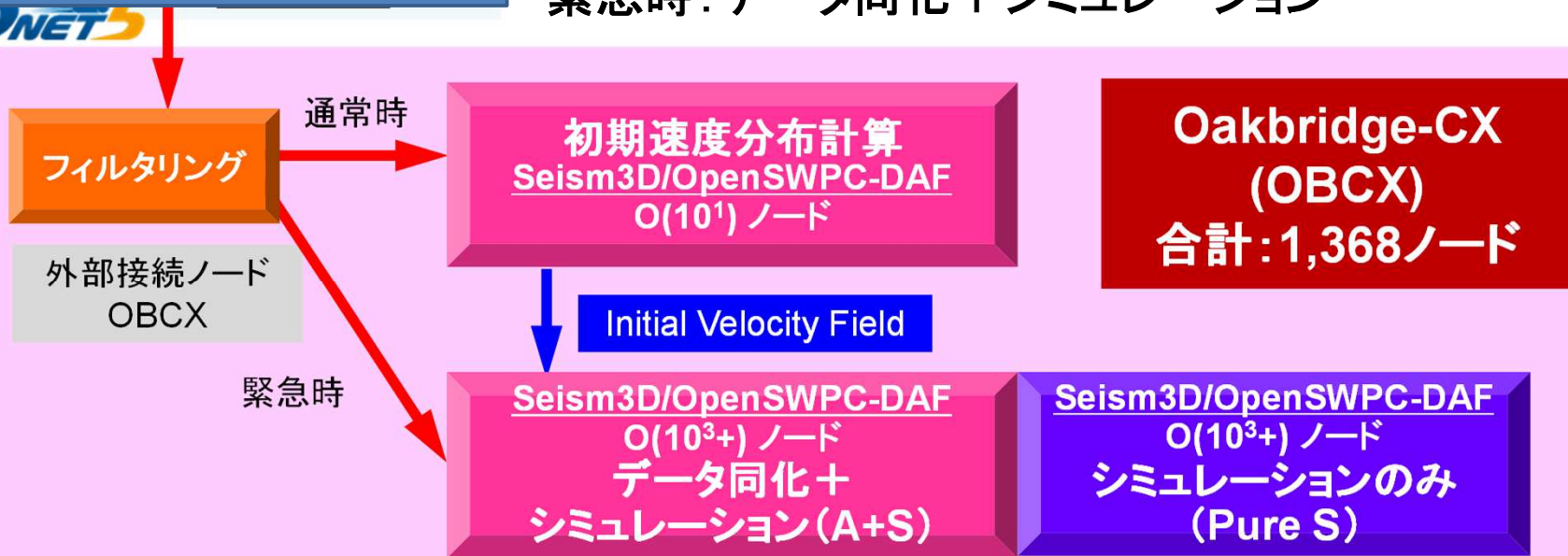


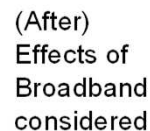
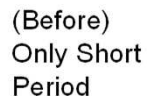
External Server

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:リアルタイムデータ同化/観測

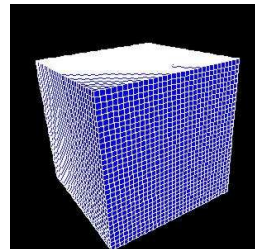
- ・通常時:フィルタリング⇒観測データ内挿
- ・緊急時:データ同化＋シミュレーション





計算例: 2007年新潟県中越沖地震(Mw=6.6)

- 観測データ: あらかじめ外部サーバ(mini-mdx)に格納
- OBCX外部接続ノードで受け取ってフィルタリング
- 「データ同化+シミュレーション(A+S)」と「シミュレーション予測(Pure S)」は分離したプログラムだが, 使用ノード数は同じで実施
 - 実はフィルタリングとは連動していない
- 動画処理はシミュレーション終了後実施(O(10)秒)
- Seism3D/OpenSWPC-DAF
 - 三次元有限差分法(Finite Difference Method), Optimal Interpolation Technique
 - メッシュ数 $1,920 \times 1,920 \times 240$ (約8.85億)
 - メッシュ幅 240m(立方体)
 - 460.8 km \times 460.8 km \times 57.6 km

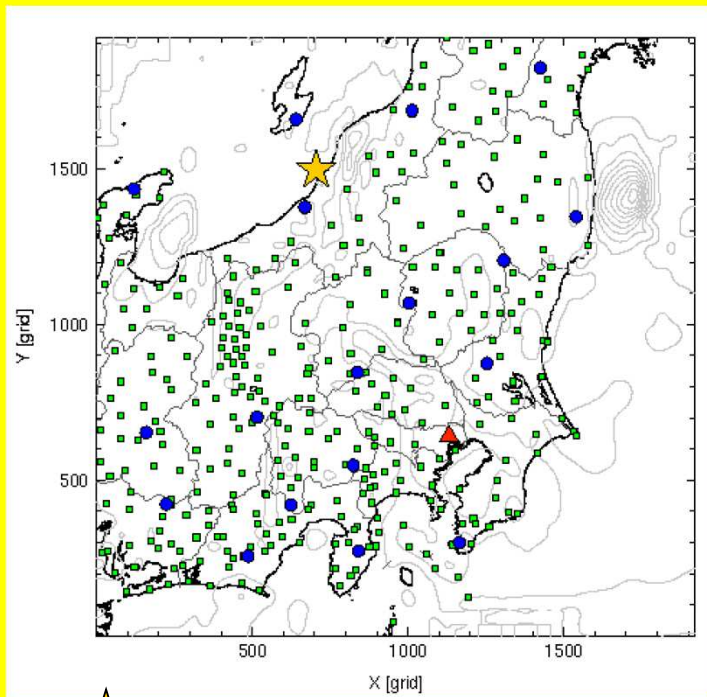


$$v_p^n = v_p^{n-1} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \sigma_{xp}^{n-1/2}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yp}^{n-1/2}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zp}^{n-1/2}}{\partial z} \right) \Delta t \quad (p = x, y, z)$$

$$\begin{array}{l} \text{Assim. Comp.} \quad \text{Residual} \quad \text{Comp.} \\ \mathbf{x}_n^a = \mathbf{x}_n^f + \mathbf{W}(\mathbf{y}_n - \mathbf{H}\mathbf{x}_n^f) \\ \text{Comp.} \quad \text{Assim.} \\ \mathbf{x}_{n+1}^f = \mathbf{F}\mathbf{x}_n^a \end{array} \quad \begin{array}{l} n: \text{Time Step} \\ \mathbf{W}: \text{Weighting Matrix} \\ \mathbf{F}: \text{Wave Propagation simulation} \end{array}$$

2007年新潟県中越沖地震(Mw=6.6)

[c/o Prof. T. Furumura,
ERI/U.Tokyo]

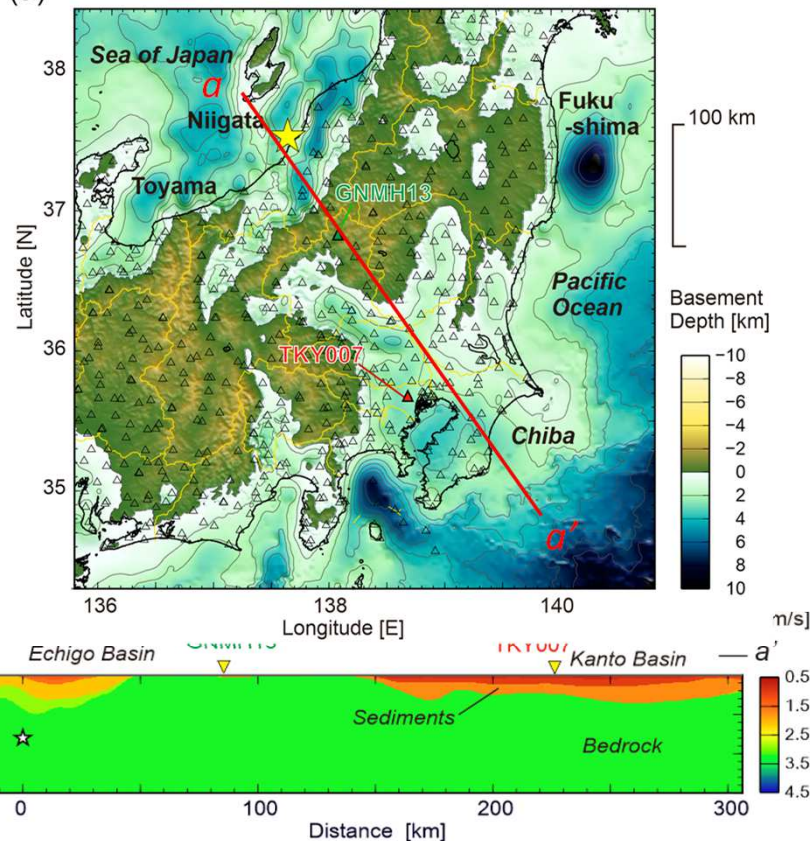


★ 震源 (Epicenter)

■ Hi-net (Short Period) 349 pts

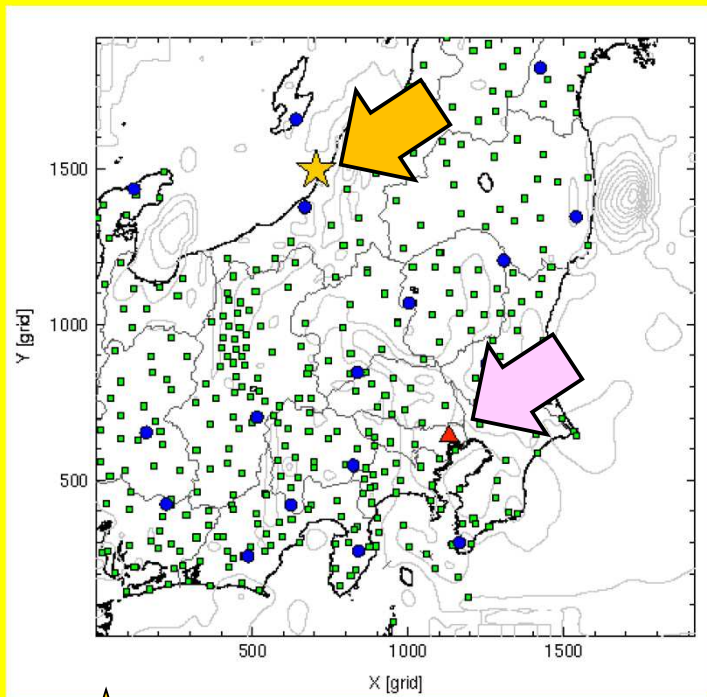
● F-net (Broadband) 18 pts

(a)



2007年新潟県中越沖地震(Mw=6.6)

[c/o Prof. T. Furumura,
ERI/U.Tokyo]

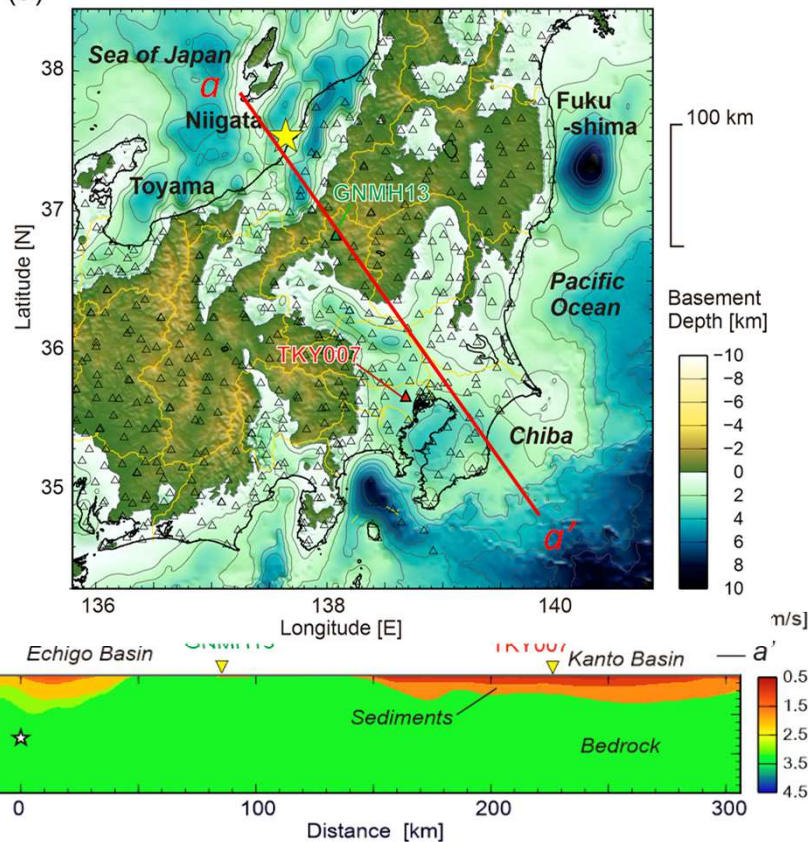


★ 震源 (Epicenter)

■ Hi-net (Short Period) 349 pts

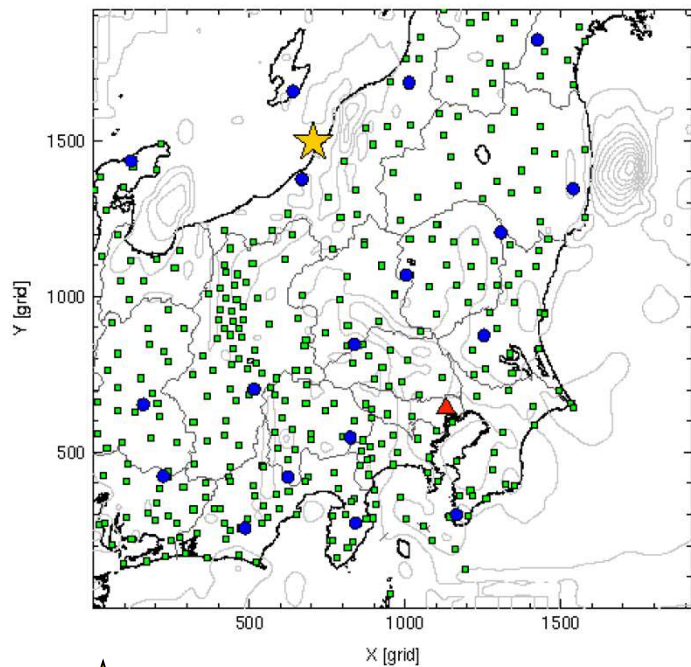
● F-net (Broadband) 18 pts

(a)



2007年新潟県中越沖地震(Mw=6.6)

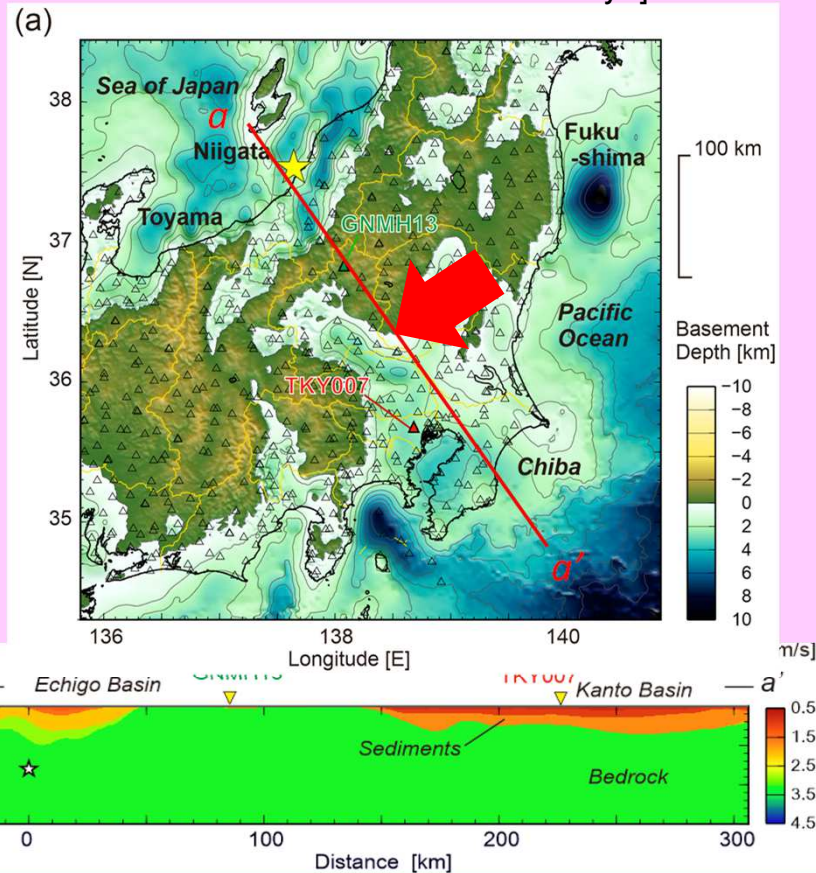
[c/o Prof. T. Furumura,
ERI/U.Tokyo]



★ 震源 (Epicenter)

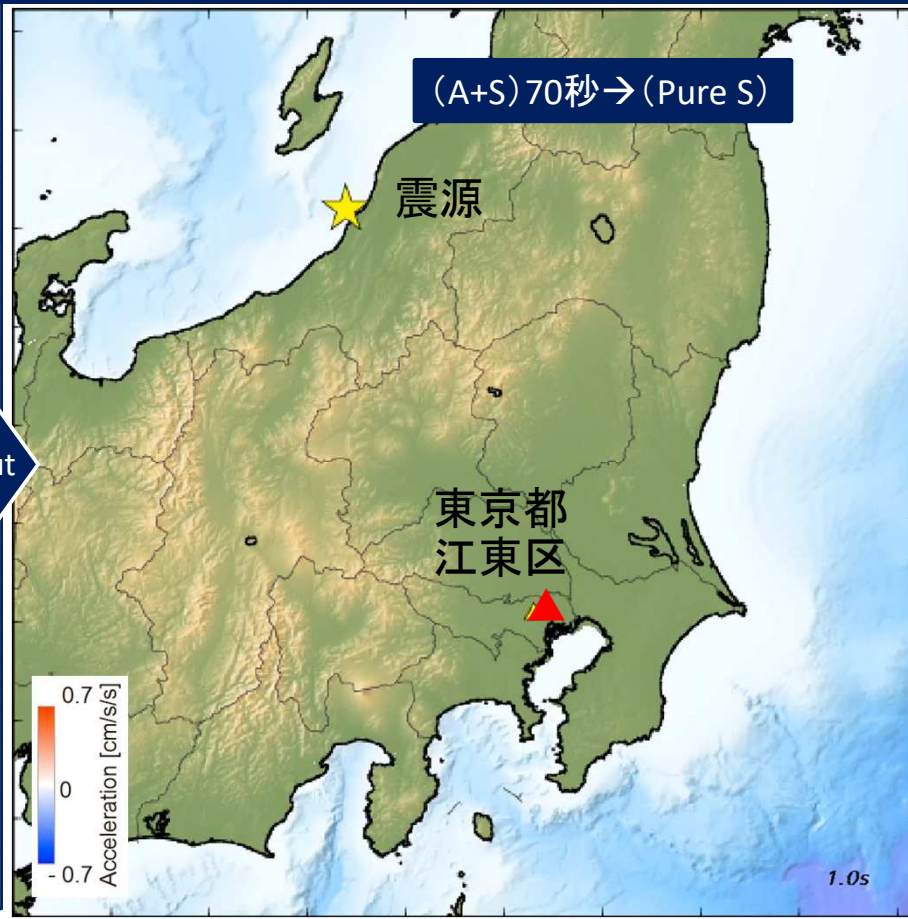
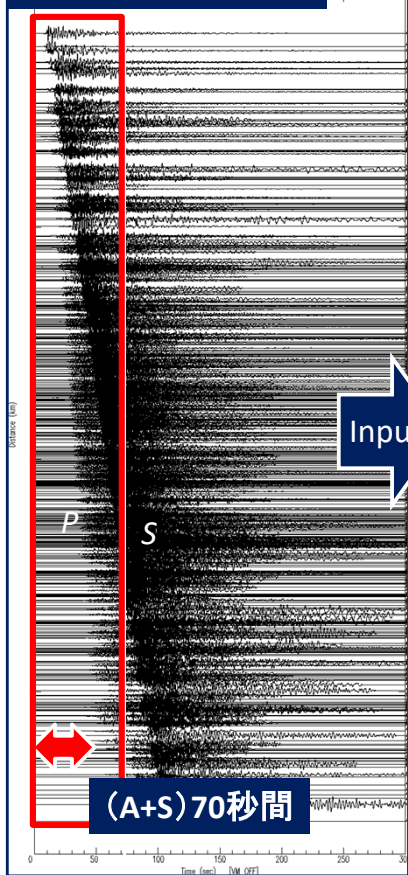
■ Hi-net (Short Period) 349 pts

● F-net (Broadband) 18 pts

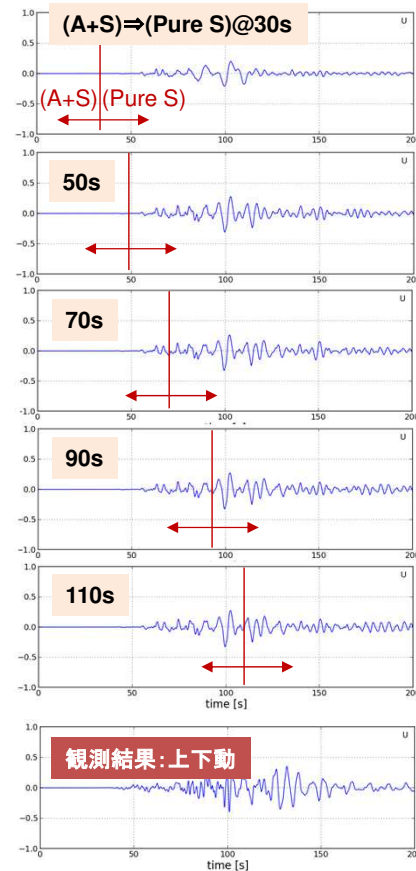


2007年新潟県中越沖地震(Mw=6.6)

482 K-NET, KiK-net Observation



東京都江東区 ▲ (N.KOTH)
N 35° 37.0'
E 139° 46.9'



計算例:

2007年新潟県中越沖地震(Mw=6.6)

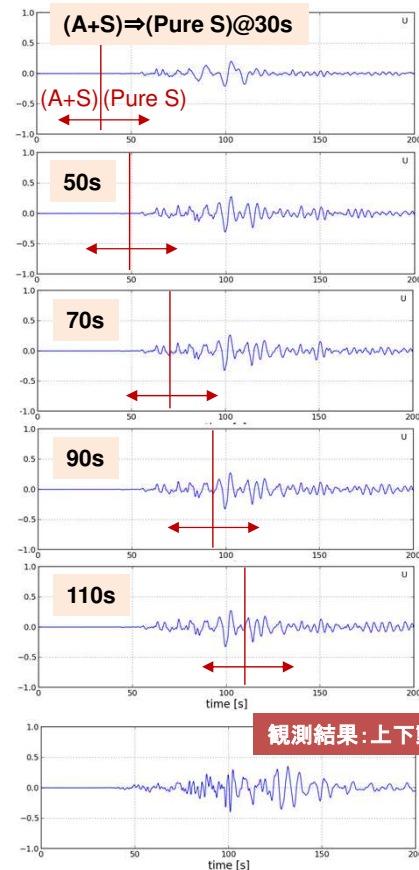
- (A+S)

- 観測結果を受け取りながら実施するため、実時間よりは前に進めない
- ただ、フィルタリング等の前処理を考えると、実現象の半分くらいの時間で計算できると良い

- (Pure S)

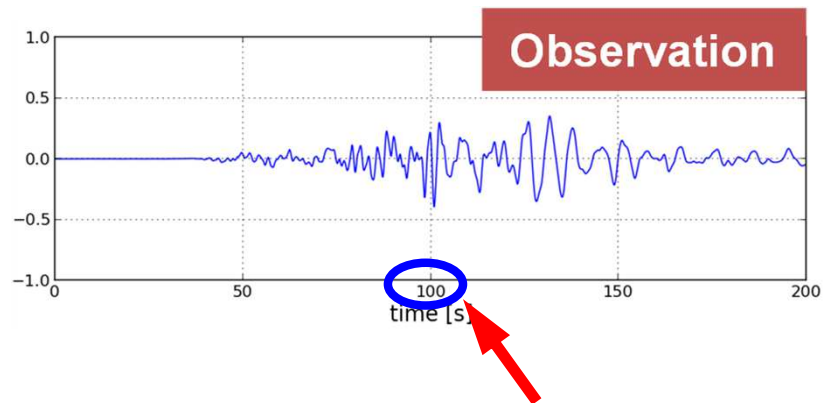
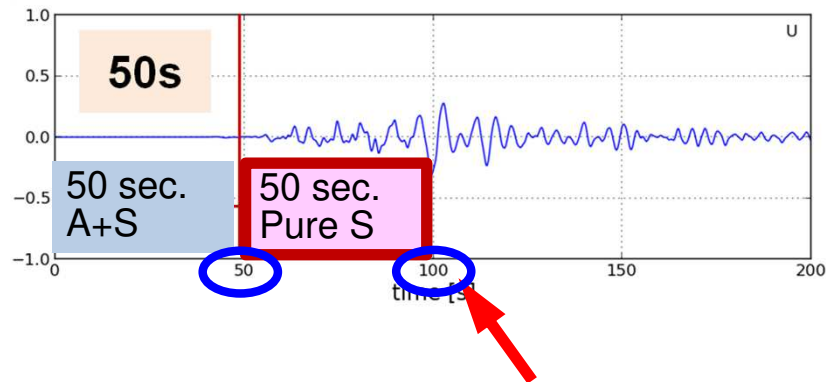
- 実現象の10分の1くらいで計算ができると良い
- 例えば、50秒で(A+S)⇒(Pure S)へ切り替え、さらにその後の50秒分を5秒で計算できれば、震源から約250km離れた東京にピーク波が到着する時間(地震発生から100秒程度)を十分に予測できる

東京都江東区 ▲ (N.KOTH)
N 35° 37.0'
E 139° 46.9'



計算例： 2007年新潟県中越沖地震(Mw=6.6)

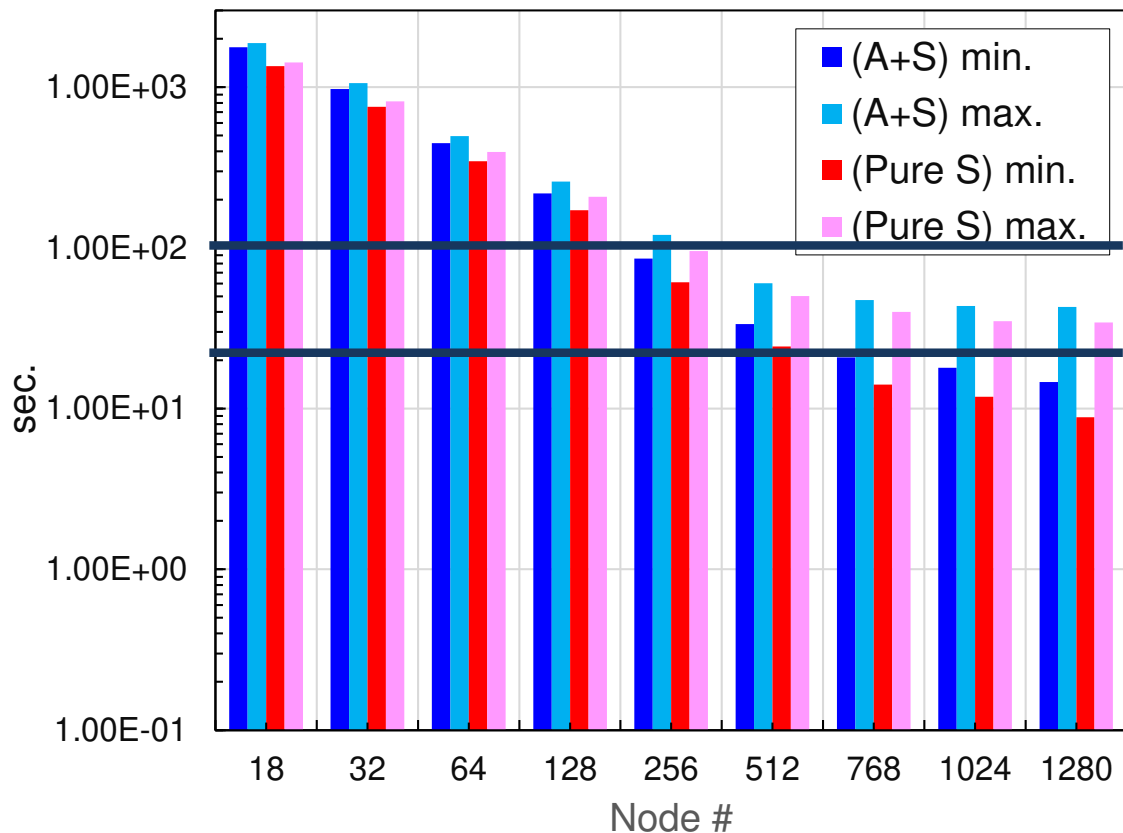
東京都江東区 ▲ (N.KOTH)
N 35° 37.0'
E 139° 46.9'



- (Pure S)
 - 実現象の10分の1くらいで計算ができると良い
 - 例えば, 50秒で(A+S)⇒(Pure S)へ切り替え, さらにその後の50秒分を5秒で計算できれば, 震源から約250km離れた東京にピーク波が到着する時間(地震発生から100秒程度)を十分に予測できる

計算時間:200秒分

- I/O用通信が含まれている
 - min.:通信含まず
 - max.:通信含む
- (A+S)
 - 現実の半分(100秒)で計算できれば良い
 - 300-400ノード程度
- (Pure S)
 - 現実の10分の1(20秒)が求められる
 - 1,000ノード以上



計算時間:200秒分

- I/O用通信が含まれている

- min.:通信含まず
- max.:通信含む

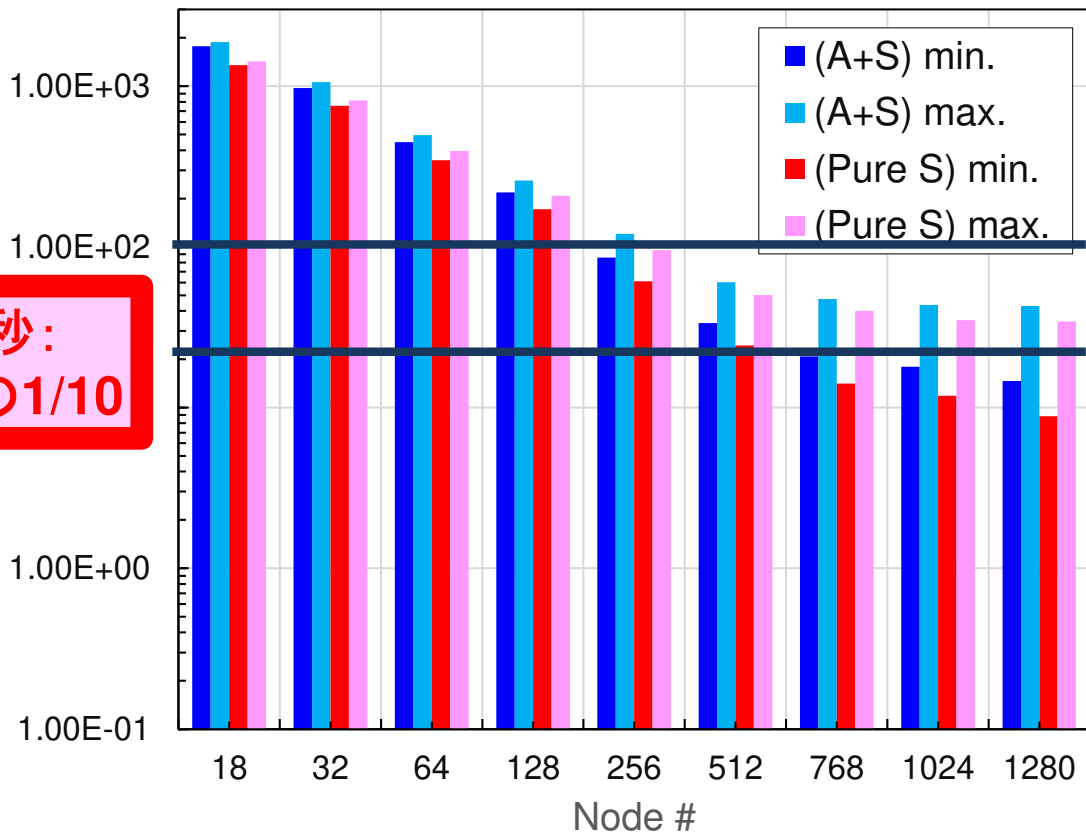
- (A+S)

- 現実の半分(100秒)で
できれば良い
- 300-400ノード程度

- (Pure S)

- 現実の10分の1(20秒)が求
められる
- 1,000ノード以上

**20秒:
現実の1/10**



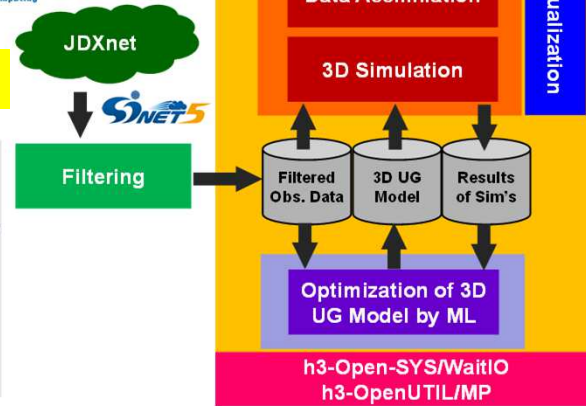
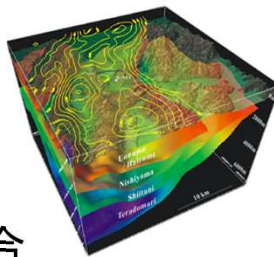
- 東大情報基盤センターのスパコン概要
 - Wisteria/BDEC-01
 - Oakbrige-CX(OBCX)
 - Ipomoea-01(大規模共通ストレージ)
- h3-Open-BDEC
- 観測データ同化による長周期地震動リアルタイム予測
- 「計算・データ・学習」融合へ向けた試み
 - 地震シミュレーション on Wisteria/BDEC-01
 - ソフトウェア開発: h3-Open-SYS/WaitIO, h3-Open-UTIL/MP
 - 萌芽研究課題「AI for HPC」
- 将来構想等

リアルタイムデータ同化＋ 3D強震動Sim. 融合(1/2)

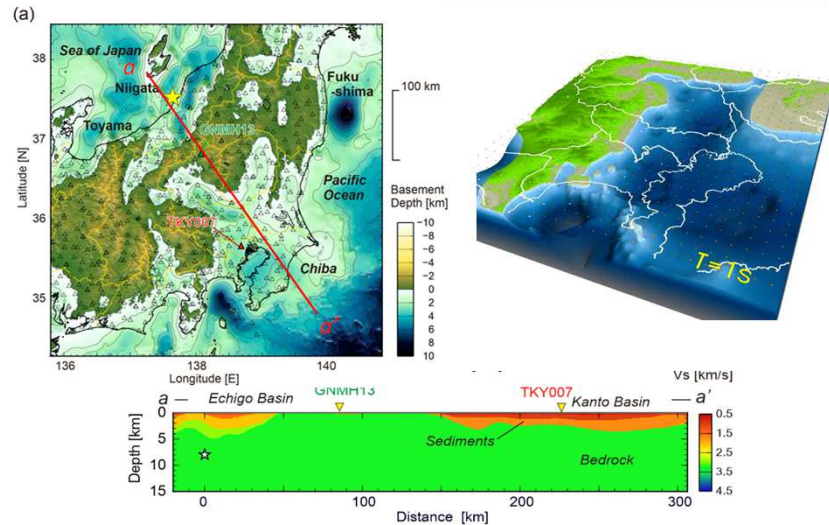


jh210022-MDH

- 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
 - 100秒先の予測を10秒以内に計算
 - 的確な避難計画の策定, 震源は遠い場合



- 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



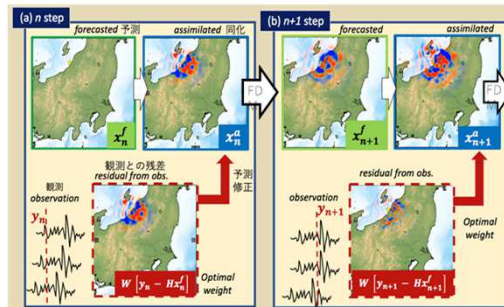
リアルタイムデータ同化＋ 3D強震動Sim 融合 (2/2)



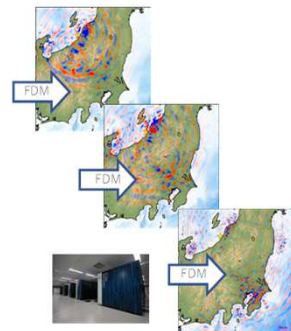
**Wisteria
BDEC-01**

- 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

(A) Assimilation+Simulation



(B) Pure Simulation/Forecast



JDXnet



Filtering

Opt. of 3D UG
Model by ML

Data
Assimilation

3D Simulation

Aquarius

Visualization

Odyssey

h3-Open-SYS/WaitIO, h3-OpenUTIL/MP

Filtered Obs. Data

3D UG Model

Results of
Simulations

Fast File System (FFS)

Simulation Nodes Odyssey

25.9 PF, 7.8 PB/s

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

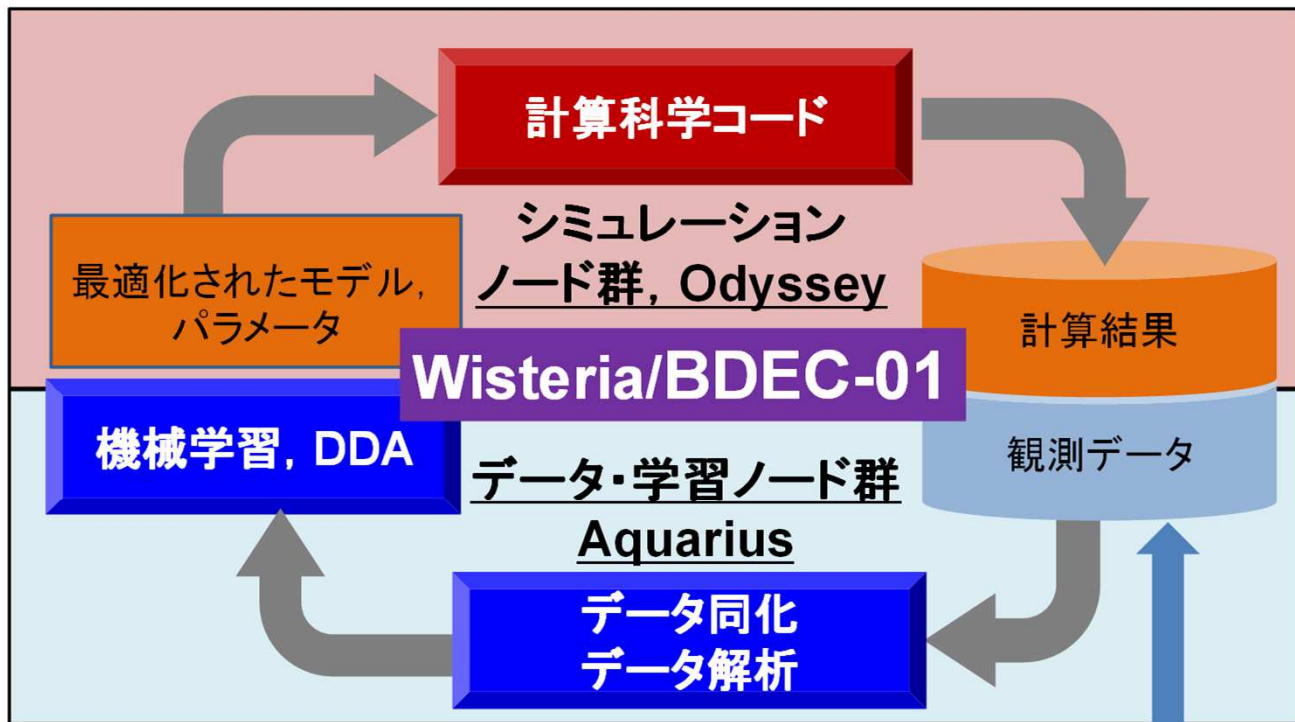
Shared File
System
(SFS)
25.8 PB,
0.50 TB/s

Data/Learning Nodes Aquarius

7.20 PF, 578.2 TB/s



Wisteria BDEC-01



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

AI for HPCの実現へ向けて



Odyssey-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

– Odyssey-Aquarius間にはInfiniband-EDR (2TB/sec)で結合されている

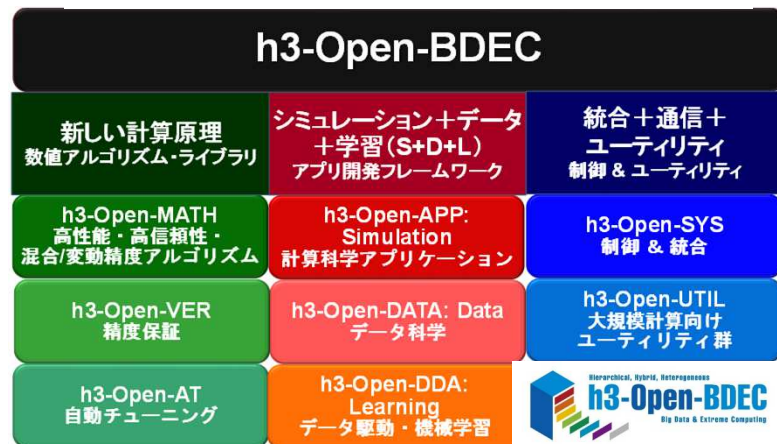
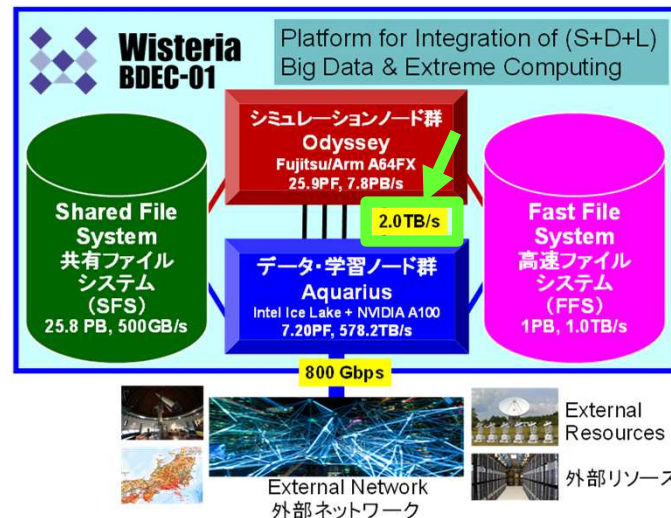
ソフトウェア開発

– O-A間通信: h3-Open-SYS/WaitIO

• IB-EDR経由 (WaitIO-Socket)

• 高速ファイルシステム (FFS) 経由連携 (WaitIO-File)

– 高機能カプラー: h3-Open-UTIL/MP



h3-Open-BDEC

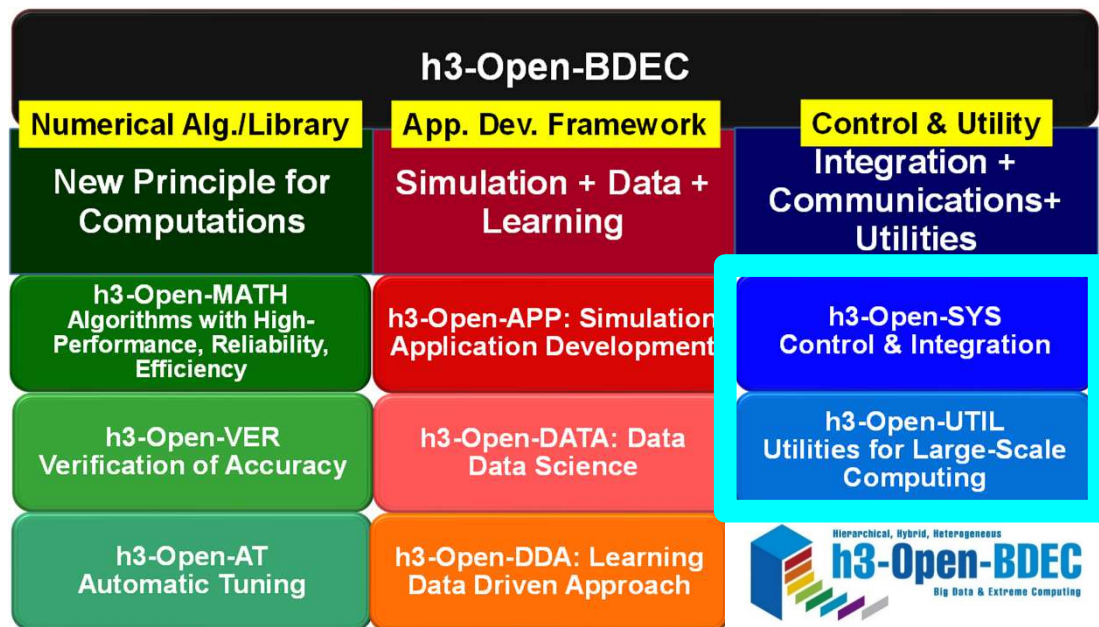
「計算＋データ＋学習」融合を実現する革新的ソフトウェア基盤
科研費基盤研究(S)(2019年度～23年度, 代表: 中島研吾)

<https://h3-open-bdec.cc.u-tokyo.ac.jp/>

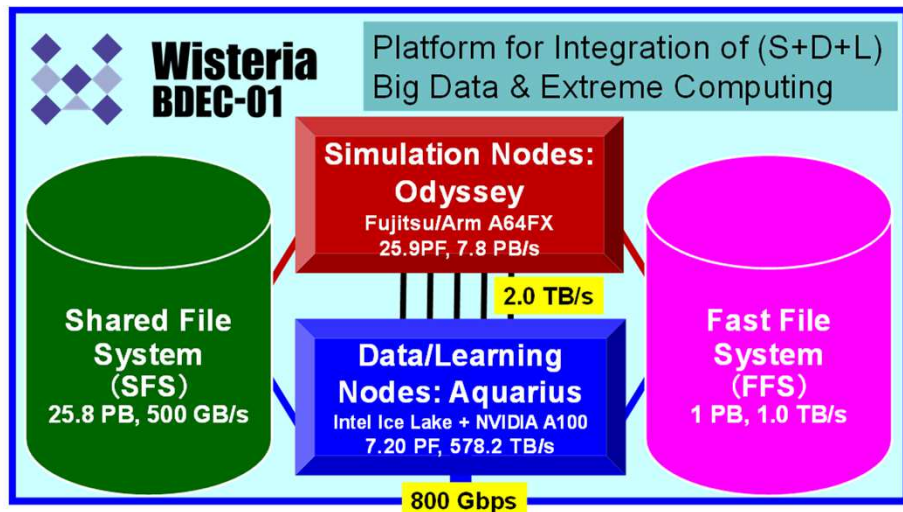
Hierarchical,
Hybrid,
Heterogeneous

Big Data &
Extreme
Computing

- ① 新計算原理に基づく革新的数値解法
- ② 革新的機械学習手法
- ③ ヘテロジニアス環境(e.g. Wisteria/BDEC-01)におけるソフトウェア, ユーティリティ群(第3の柱)



Wisteria/BDEC-01: The First “Really Heterogenous” System in the World



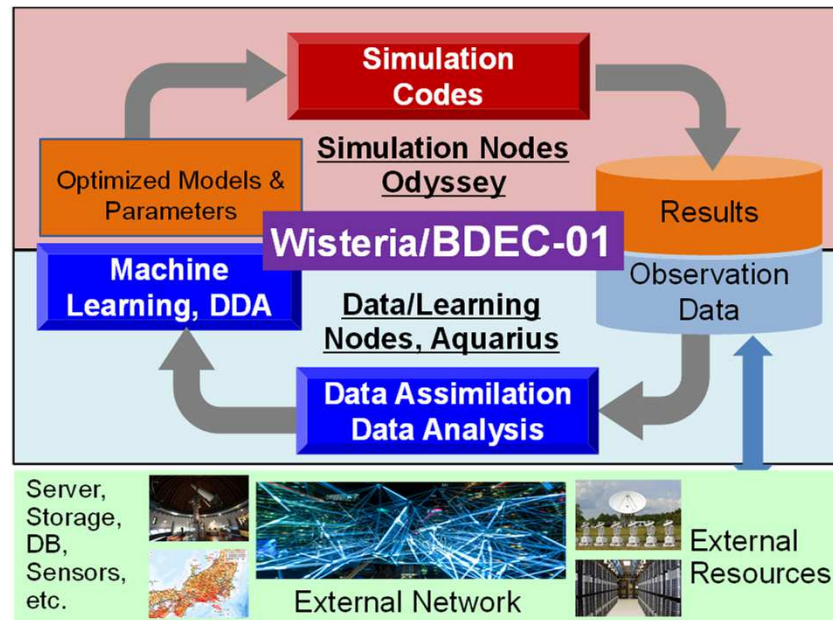
External Resources



External Network



External Resources

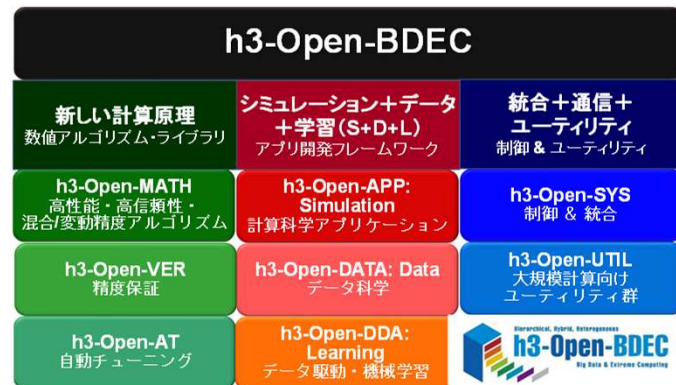


h3-Open-SYS/WaitIO

データ受け渡しライブラリ〔松葉, 2020〕

〔住元他, HPC-181, 2021〕

- 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
 - ✓ Odyssey～Aquarius間連携
 - IB-EDR経由通信 (WaitIO-Socket)
 - ファイル経由 (WaitIO-File)
 - ✓ 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



h3-Open-SYS/WaitIO-SocketのAPI

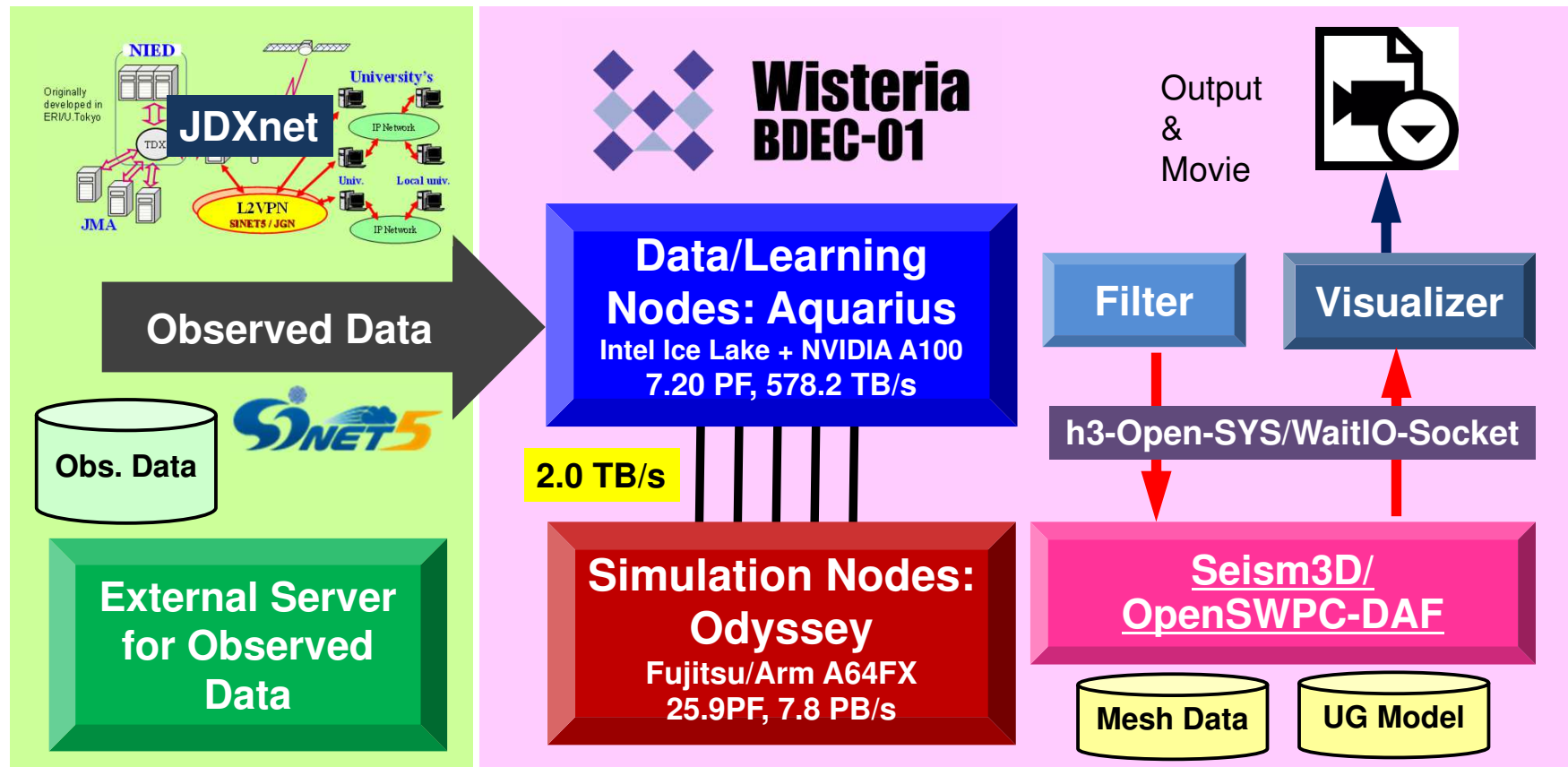
■APIは通信実現の最小限に限定

■グループ作成、isend(), irecv(), wait()とmisc関数を提供

- TAGサポート(64bit), ANY_SOURCE, ANY_TAGサポートなし

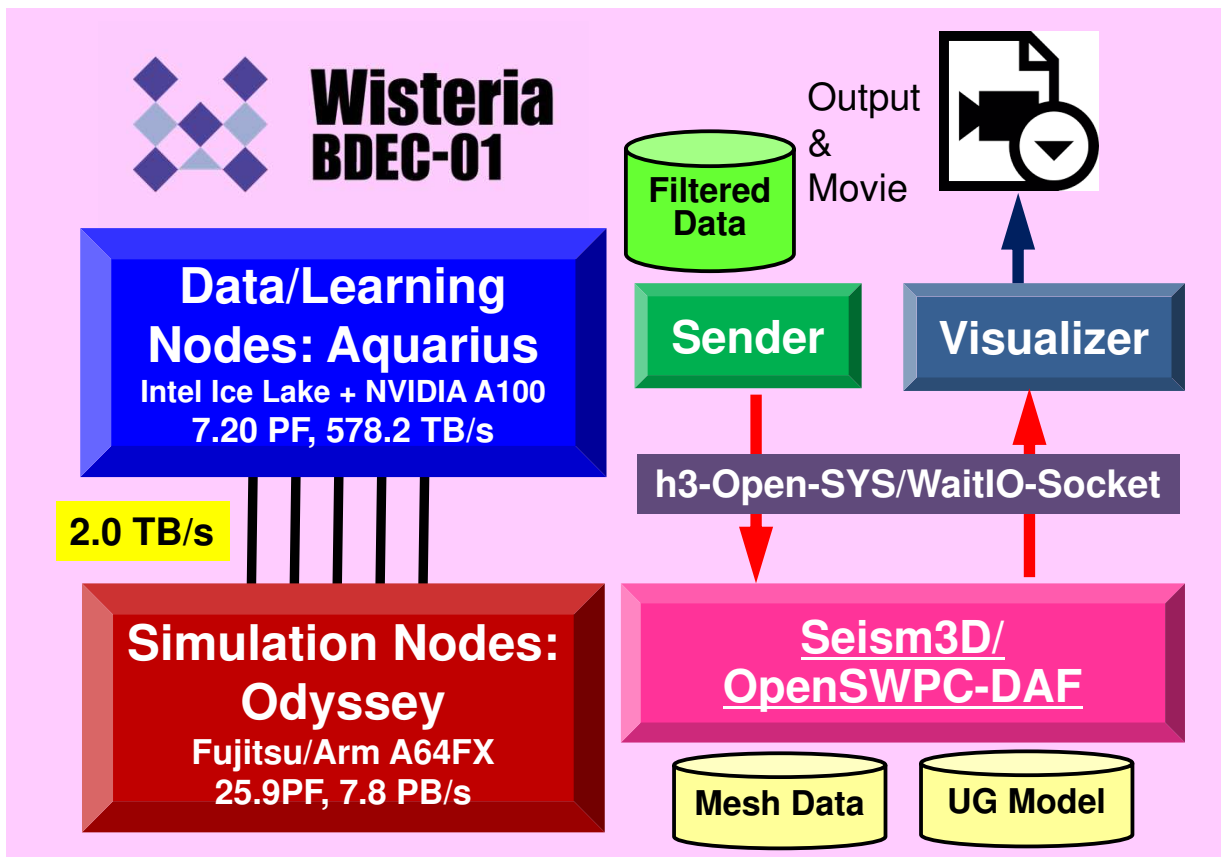
WaitIO API	概要
waitio_isend	Non-Blocking送信
waitio_irecv	Non-Blocking受信
waitio_wait	送受信完了待ち合わせ
waitio_init	WaitIO初期化
waitio_get_nprocs	PB毎の参加プロセス数獲得
waitio_create_group waitio_create_group_wranks	PB間通信グループ生成 (メンバ配列指定、関数指定)
waitio_group_rank	グループ内Rankの獲得
waitio_group_size	グループサイズの獲得
waitio_pb_size	全PBのサイズ獲得
waitio_pb_rank	全PB内Rankの獲得

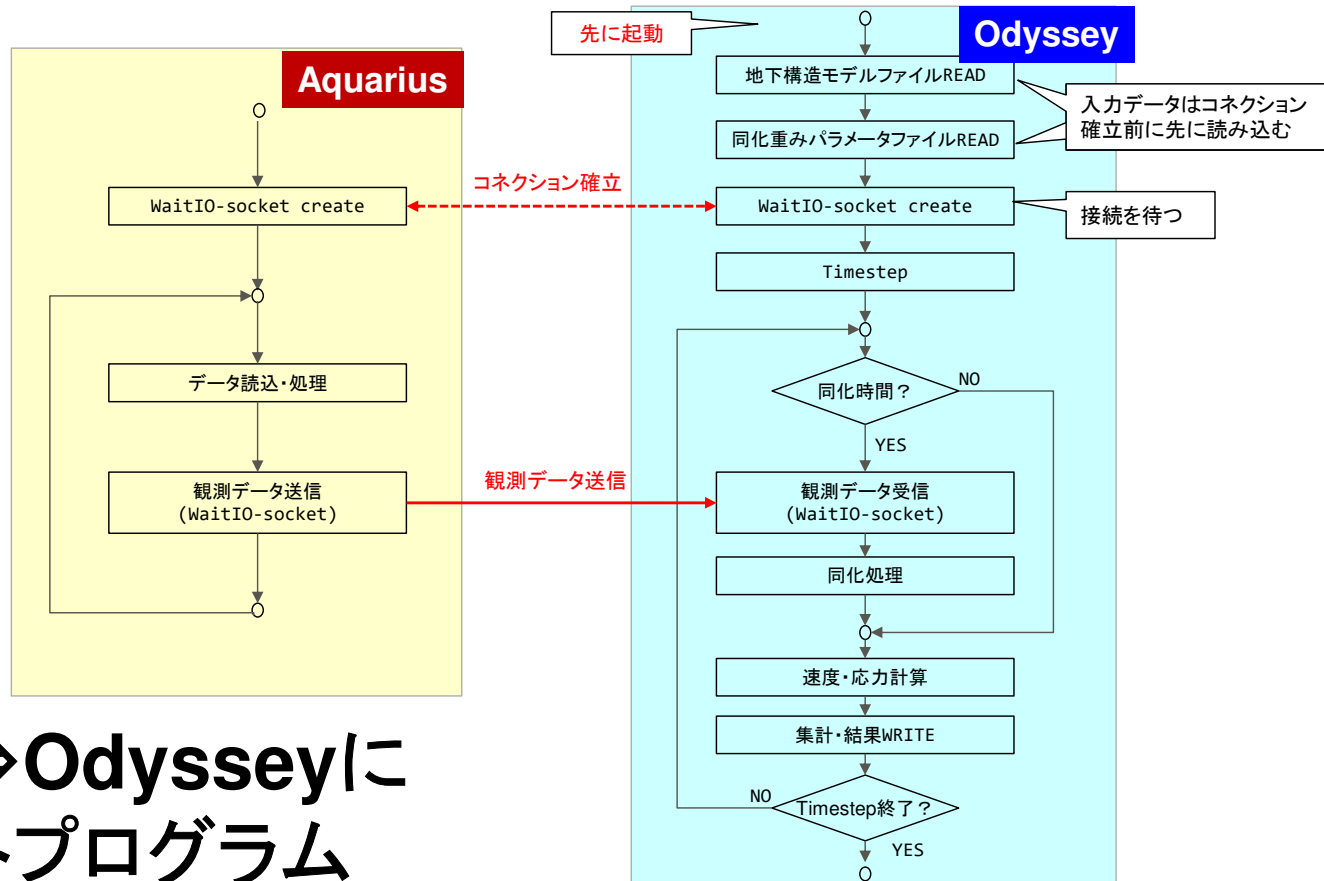
長周期地震動シミュレーション＋観測データ同化



動作確認用システム(現状)

- WaitIO-Socketの動作確認のため, フィルタリング済みデータをWisteria/BDEC-01上に置いて実施
- 「Sender」が1秒ごとに送信





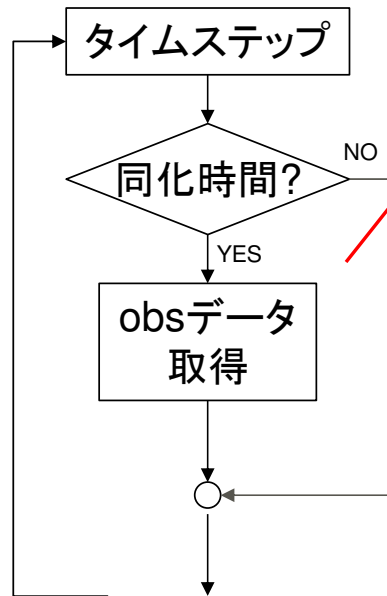
Aquarius⇒Odysseyに おけるテストプログラム WaitIO-Socket通信

WaitIO-Socketによる通信 (Aquarius側)

```
program dmy_filter
<省略: 型宣言等>
call mpi_init (ierr)
call mpi_comm_size (MPI_COMM_WORLD, nprocs, ierr)
call mpi_comm_rank (MPI_COMM_WORLD, myrank, ierr)
call WAITIO_CREATE_UNIVERSE (WAITIO_COMM_UNIVERSE, ierr)

if (myrank==0) then
  open(100,file='./obsfile_list.txt', form='formatted', status='old', iostat=ierr)
  do i=1,300
    <省略: obsデータ読み込み処理>
    print *, "Send obs data ..... "
    call WAITIO_MPI_ISEND (NTMAX1_o, 1, WAITIO_MPI_INTEGER, 2,1, WAITIO_COMM_UNIVERSE,req(1,1), ierr)
    call WAITIO_MPI_ISEND (DT_o, 1, WAITIO_MPI_FLOAT, 2,2, WAITIO_COMM_UNIVERSE,req(1,2), ierr)
    call WAITIO_MPI_ISEND (NST_o, 1, WAITIO_MPI_INTEGER, 2,3, WAITIO_COMM_UNIVERSE,req(1,3), ierr)
    call WAITIO_MPI_ISEND (AT_o, 1, WAITIO_MPI_FLOAT, 2,4, WAITIO_COMM_UNIVERSE,req(1,4), ierr)
    call WAITIO_MPI_ISEND (T0_o, 1, WAITIO_MPI_FLOAT, 2,5, WAITIO_COMM_UNIVERSE,req(1,5), ierr)
    call WAITIO_MPI_ISEND (ISO_X_o, NSMAX, WAITIO_MPI_INTEGER, 2,6, WAITIO_COMM_UNIVERSE,req(1,6), ierr)
    call WAITIO_MPI_ISEND (ISO_Y_o, NSMAX, WAITIO_MPI_INTEGER, 2,7, WAITIO_COMM_UNIVERSE,req(1,7), ierr)
    call WAITIO_MPI_ISEND (ISO_Z_o, NSMAX, WAITIO_MPI_INTEGER, 2,8, WAITIO_COMM_UNIVERSE,req(1,8), ierr)
    call WAITIO_MPI_ISEND (ISTX_o, NST, WAITIO_MPI_INTEGER, 2,9, WAITIO_COMM_UNIVERSE,req(1,9), ierr)
    call WAITIO_MPI_ISEND (ISTY_o, NST, WAITIO_MPI_INTEGER, 2,10, WAITIO_COMM_UNIVERSE,req(1,10), ierr)
    call WAITIO_MPI_ISEND (ISTZ_o, NST, WAITIO_MPI_INTEGER, 2,11, WAITIO_COMM_UNIVERSE,req(1,11), ierr)
    call WAITIO_MPI_ISEND (STC_o, 6*NST, WAITIO_MPI_CHAR, 2,12, WAITIO_COMM_UNIVERSE,req(1,12), ierr)
    call WAITIO_MPI_ISEND (VxAll_obs, NST*NOBS_LEN, WAITIO_MPI_FLOAT, 2,13, WAITIO_COMM_UNIVERSE,req(1,13), ierr)
    call WAITIO_MPI_ISEND (VyAll_obs, NST*NOBS_LEN, WAITIO_MPI_FLOAT, 2,14, WAITIO_COMM_UNIVERSE,req(1,14), ierr)
    call WAITIO_MPI_ISEND (VzAll_obs, NST*NOBS_LEN, WAITIO_MPI_FLOAT, 2,15, WAITIO_COMM_UNIVERSE,req(1,15), ierr)
    call WAITIO_MPI_WAITALL (15,req, status, ierr)
    call sleep(1)
  enddo
  close (100)
endif
call WAITIO_FINALIZE (ierr)
call mpi_finalize (ierr)
end
```


WaitIO-Socketによる通信 (Odyssey側)



```
OPEN(40, FILE=trim(IN_OBS),FORM='UNFORMATTED',  
      STATUS='OLD', IOSTAT=IER)
```

<略>

```
READ (40) NTMAX1_o, DT_o, NST_o  
READ (40) AT_o, T0_o  
READ (40) ISO_X_o, ISO_Y_o, ISO_Z_o,  
          ISTX_o, ISTY_o, ISTZ_o, STC_o  
READ (40) VxAll_obs  
READ (40) VyAll_obs  
READ (40) VzAll_obs
```

WaitIO-socketに変更

```
call WAITIO_MPI_IRECV (NTMAX1_o, 1, WAITIO_MPI_INTEGER, 0,1, WAITIO_COMM_UNIVERSE,...)  
call WAITIO_MPI_IRECV (DT_o, 1, WAITIO_MPI_FLOAT, 0,2, WAITIO_COMM_UNIVERSE,...)  
call WAITIO_MPI_IRECV (NST_o, 1, WAITIO_MPI_INTEGER, 0,3, WAITIO_COMM_UNIVERSE,...)  
call WAITIO_MPI_IRECV (AT_o, 1, WAITIO_MPI_FLOAT, 0,4, WAITIO_COMM_UNIVERSE,...)  
call WAITIO_MPI_IRECV (T0_o, 1, WAITIO_MPI_FLOAT, 0,5, WAITIO_COMM_UNIVERSE,...)  
call WAITIO_MPI_IRECV (ISO_X_o, NSMAX, WAITIO_MPI_INTEGER, 0,6, WAITIO_COMM_UNIVERSE,...)  
call WAITIO_MPI_IRECV (ISO_Y_o, NSMAX, WAITIO_MPI_INTEGER, 0,7, WAITIO_COMM_UNIVERSE,...)  
call WAITIO_MPI_IRECV (ISO_Z_o, NSMAX, WAITIO_MPI_INTEGER, 0,8, WAITIO_COMM_UNIVERSE,...)  
call WAITIO_MPI_IRECV (ISTX_o, NST, WAITIO_MPI_INTEGER, 0,9, WAITIO_COMM_UNIVERSE,...)  
call WAITIO_MPI_IRECV (ISTY_o, NST, WAITIO_MPI_INTEGER, 0,10, WAITIO_COMM_UNIVERSE,...)  
call WAITIO_MPI_IRECV (ISTZ_o, NST, WAITIO_MPI_INTEGER, 0,11, WAITIO_COMM_UNIVERSE,...)  
call WAITIO_MPI_IRECV (STC_o, 6*NST, WAITIO_MPI_CHAR, 0,12, WAITIO_COMM_UNIVERSE,...)  
call WAITIO_MPI_IRECV (VxAll_obs, NST*NOBS_LEN, WAITIO_MPI_FLOAT, 0,13, WAITIO_COMM_UNIVERSE,...)  
call WAITIO_MPI_IRECV (VyAll_obs, NST*NOBS_LEN, WAITIO_MPI_FLOAT, 0,14, WAITIO_COMM_UNIVERSE,...)  
call WAITIO_MPI_IRECV (VzAll_obs, NST*NOBS_LEN, WAITIO_MPI_FLOAT, 0,15, WAITIO_COMM_UNIVERSE,...)
```

計算結果 (A+S: 60秒, Pure S: 240秒)

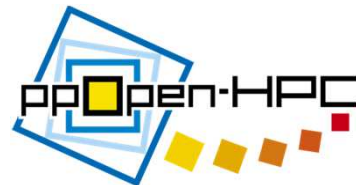
Odyssey with A64FX: 実はOBCXより少し遅い, OFP並

ノード数	(A+S) 60秒分	(Pure S) 240秒分
256	61.1	134.6
512	61.6	84.12
1,024	62.1	62.95
2,048	60.1	27.84

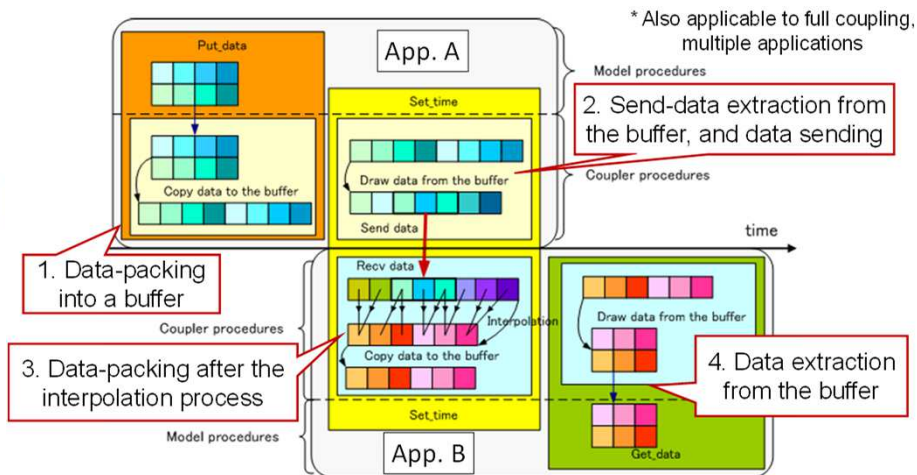
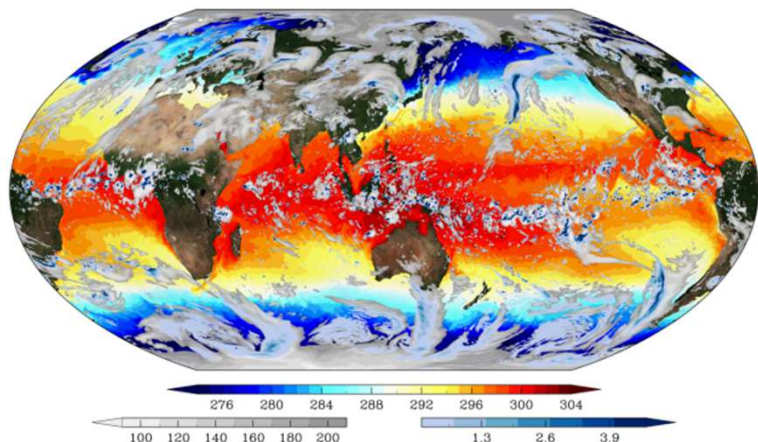
まとめ・今後の計画等

- h3-Open-SYS/WaitIO-Socketを利用することによって, AquariusとOdysseyという異なるアーキテクチャによるノード群間の通信と連携をMPIとほぼ同じインタフェースで実現できることを示した。Wisteria/BDEC-01とh3-Open-BDECを使用した「計算・データ・学習」融合へ向けて有用な知見が得られた。
- 現状では, フィルタリング済みの結果をAquariusからOdysseyへ送っているが, 今後は観測データ受信, フィルタリング処理も含めて実施するシステムを, 本年度内を目標に構築
 - 多機能プラh3-Open-UTIL/MPの活用も検討
- 計算部分の最適化 on Odyssey with A64FX
 - 「計算+通信」オーバーラップ
 - IO削減, 通信効率化
- リアルタイム化は技術的な困難多い・・・地下構造推定の方が役に立つかも
 - 震源が遠くになければならない・・・

連成シミュレーションのためのカプラー 〔荒川，八代〕



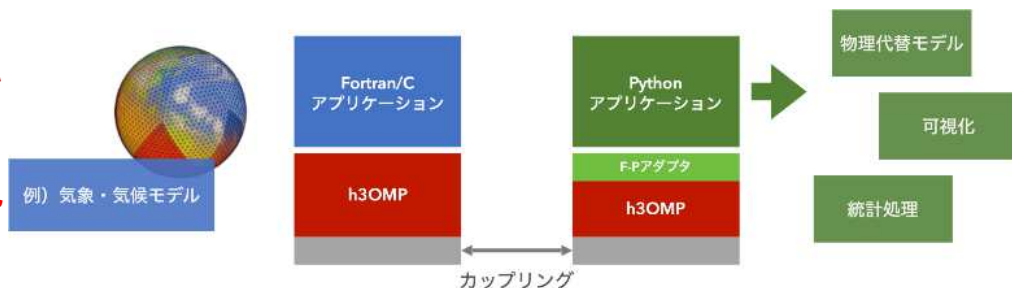
- 従来のカプラー (Coupler) : ppOpen-MATH/MP
 - 複数 (通常2つ: 大気 (NICAM) + 海洋 (COCO)) のアプリケーションの弱連成 (Weak Coupling) をサポート
 - 各アプリケーションは1種類の計算をやる



「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。



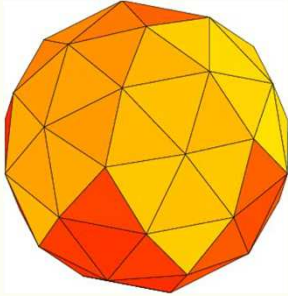
Fortran/CアプリとPythonアプリの連成計算の模式図
〔八代・荒川 2020〕

- O-A利用: WaitIOとの連携

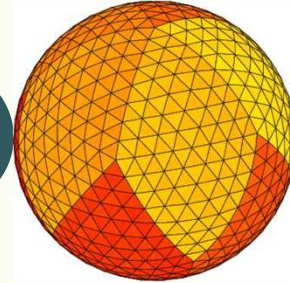
Multi Detailed-level Coupling

[Yashiro et al.]

Low detailed level



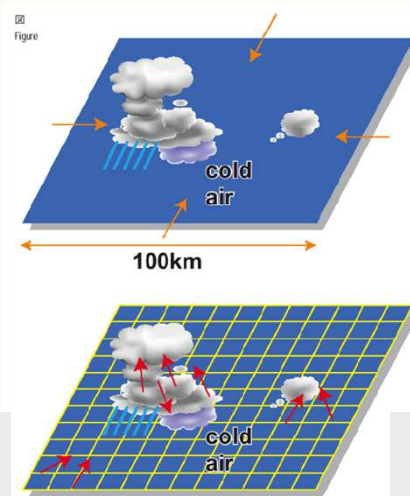
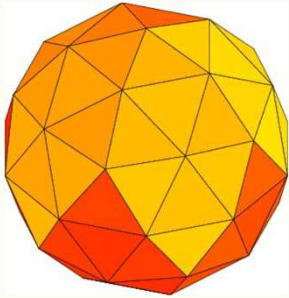
High detailed level



Coupling

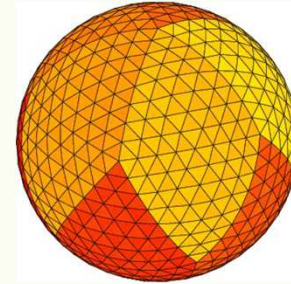
The process components (solvers) are resolution-dependent

Low-resolution
Atmospheric model



- Clouds and convections are parameterized
- Poor to reproduce heavy rainfall
- Climatology is well-tuned to the real world
- Light workload

High-resolution
Atmospheric model

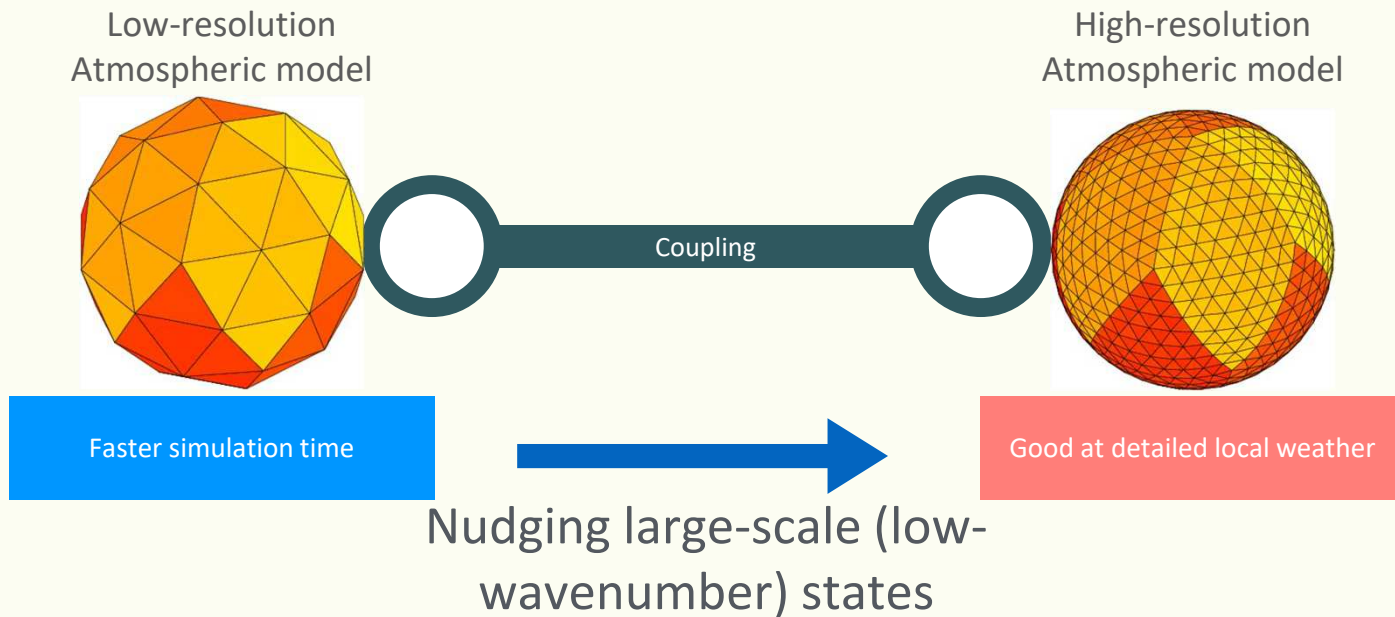


- Clouds and convections are solved more explicitly
- Reproduce detailed meteorological phenomena
- There is non-negligible climatological biases
- Heavy workload (more than x1000!)

[Yashiro et al.]

Multi Detailed-level Coupling (low->high)

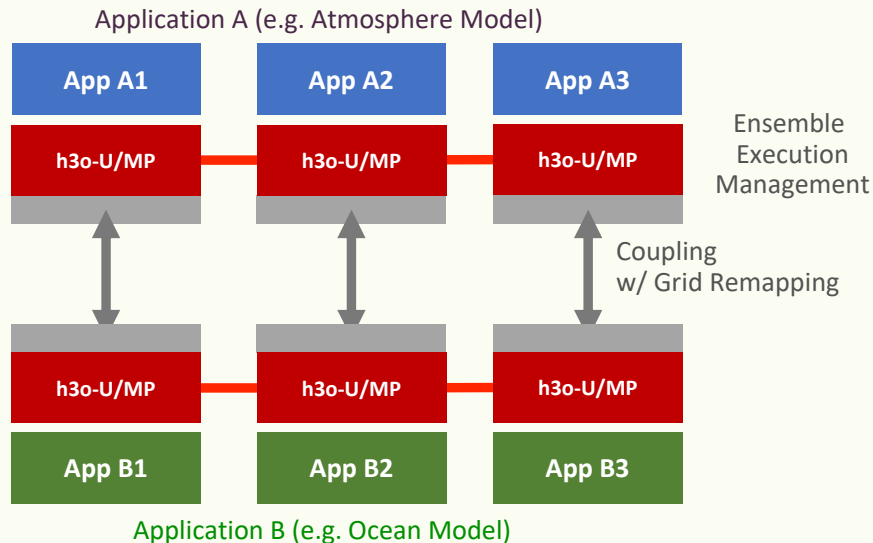
[Yashiro et al.]



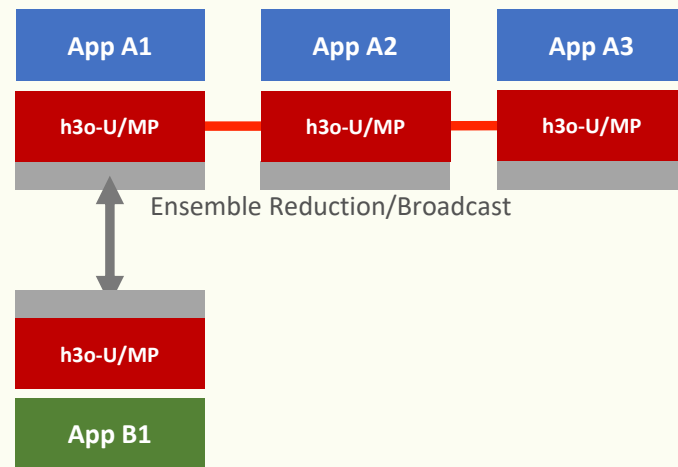
- If low-res simulations have some additional value in climatological reproducibility, it can be helpful for covering the weakness of high-res simulations

Ensemble Coupling

[Yashiro et al.]



$M \times (A + B)$ execution



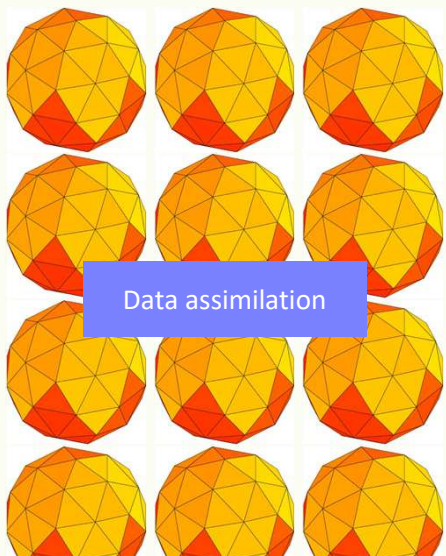
$(M \times A) + B$ execution

Challenges on Wisteria/BDEC-01(1)

[Yashiro et al.]

Multi Detailed-level + Ensemble coupling

Low-resolution Ensemble



Data assimilation

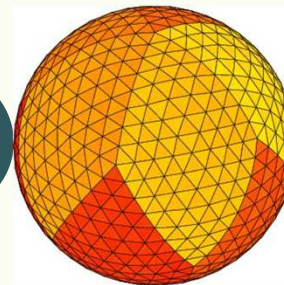
Good at large-scale atmospheric
state and climatology



Coupling

Nudging large-scale (low-
wavenumber) states

High-resolution

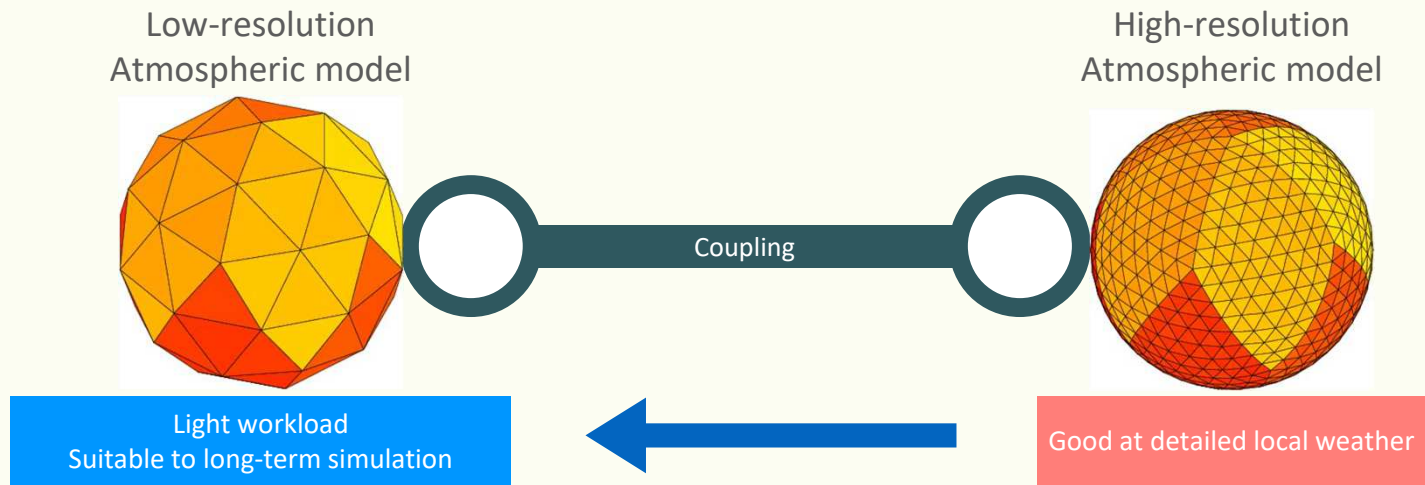


Good at detailed local weather

Faster than high-resolution ensemble data assimilation!

Multi Detailed-level Coupling (high->low)

[Yashiro et al.]

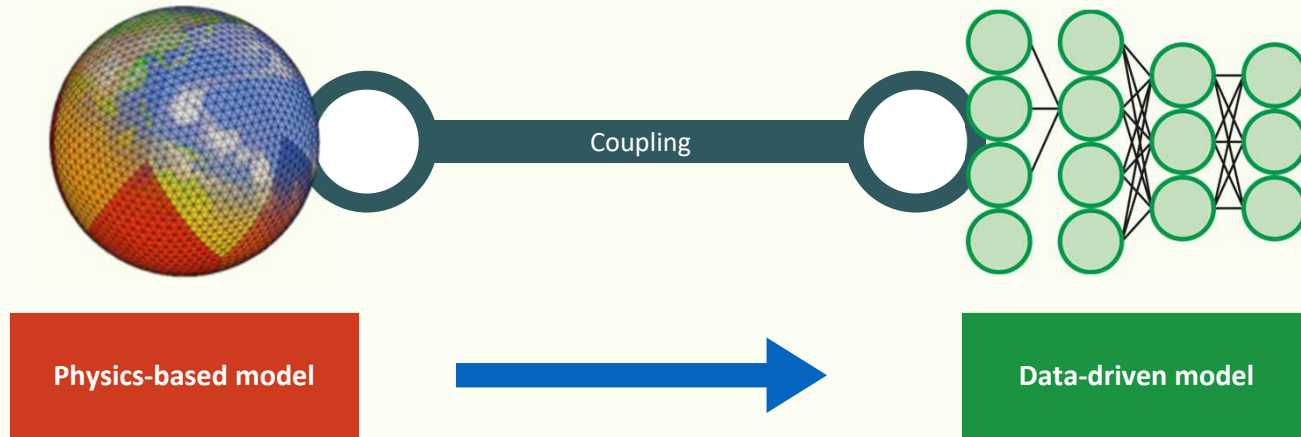


Can we use the results of high-resolution simulations to further reduce uncertainty?

→Let's train parameterized component models!

Multi Approach Coupling

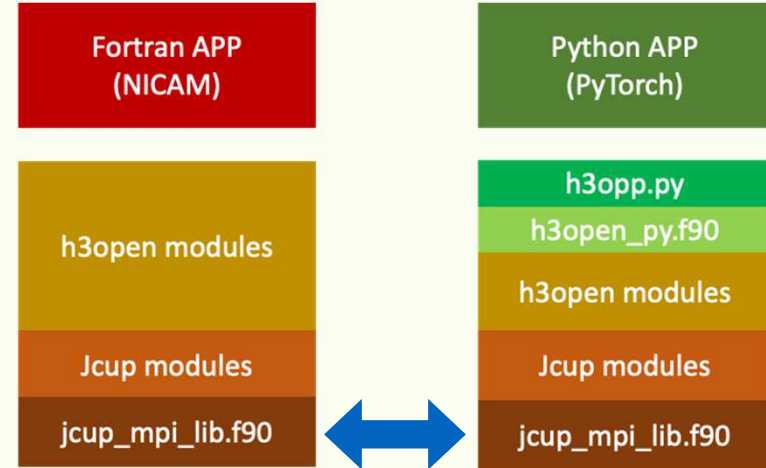
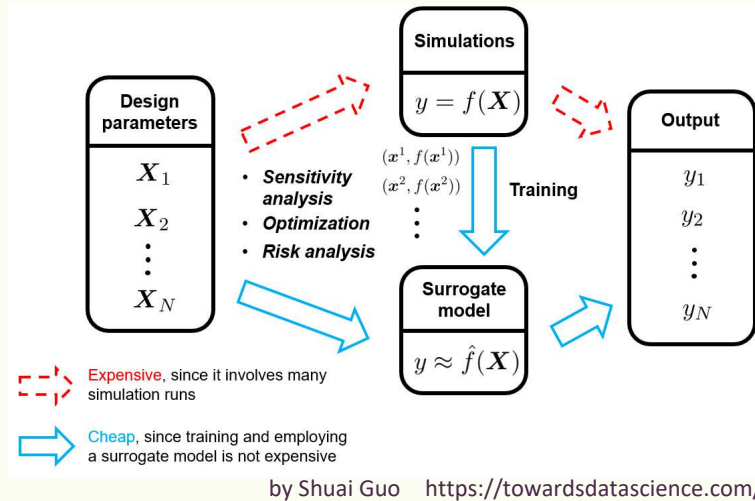
[Yashiro et al.]



- Provide teaching data on-the-fly
- Plug-in to target component of the application
 - To make the surrogate model in the component-level
 - Gradual transition from physics-based models/legacy application

Multi Approach Coupling

[Yashiro et al.]

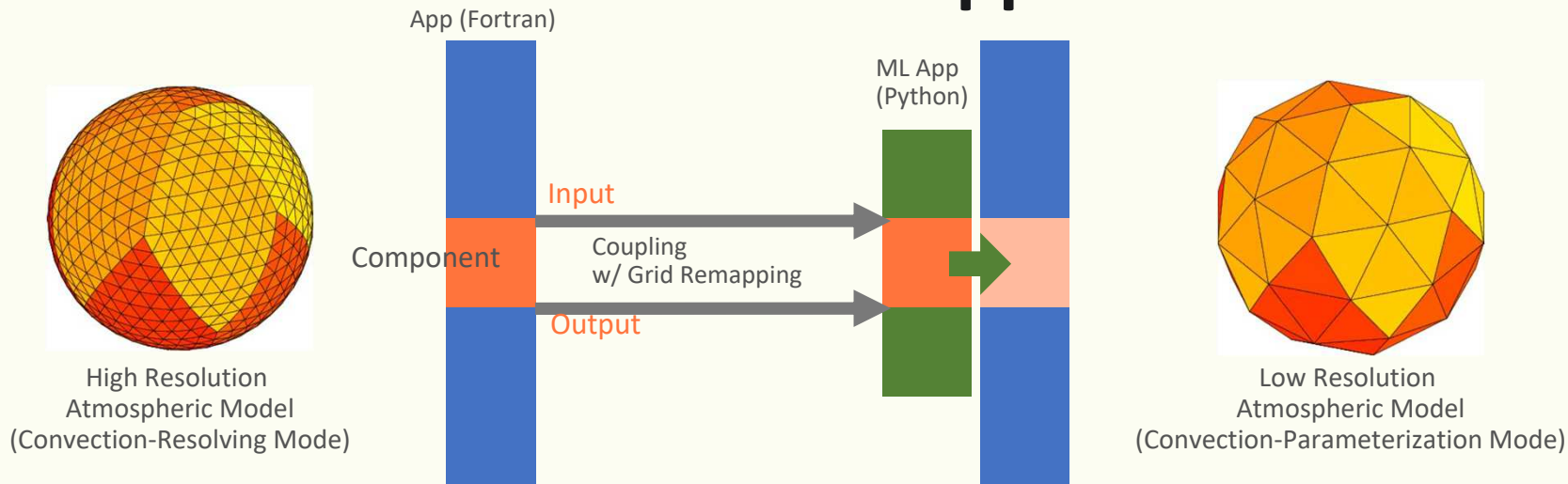


- Coupling with a legacy fortran application and a modern python ML library

Challenges on Wisteria/BDEC-01(2)

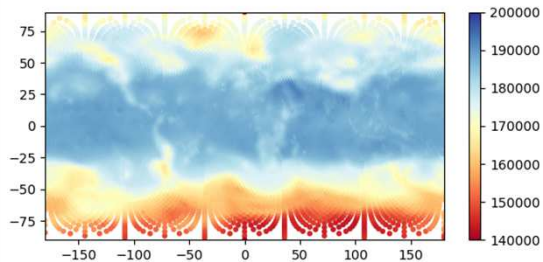
[Yashiro et al.]

Multi Detailed-level + Multi Approach



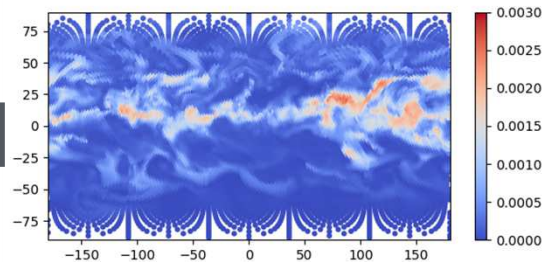
- Extract input/output datasets of the cloud microphysics component from high-res simulation
- Transfer datasets from high-res to low-res with spatial remapping
- Train NN with the coarse-grained high-res input/output datasets
- Then, trained NN is used as a cloud component (surrogate model) in low-res simulation

Temperature

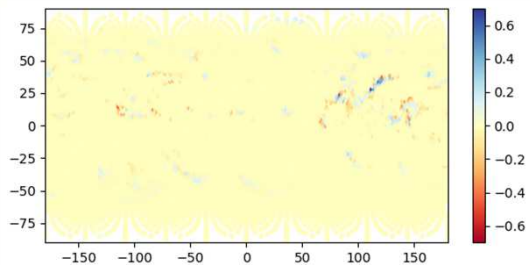


States

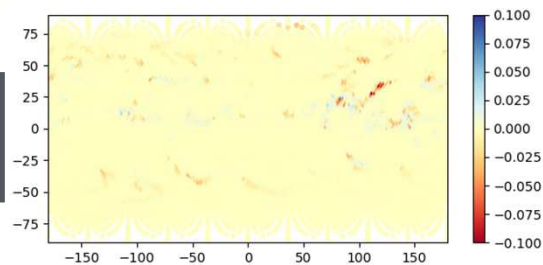
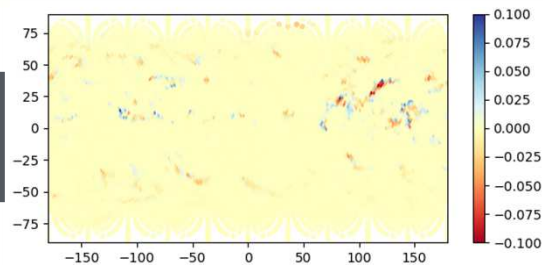
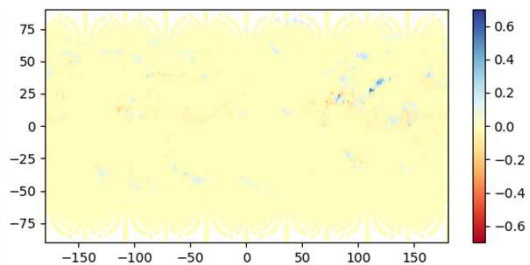
Water vapor



Tendency
(reference from high-res)



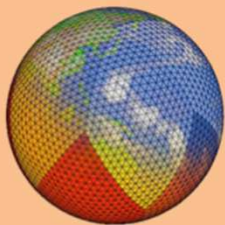
Tendency
(predicted by NN)



[Yashiro et al.]

h3-Open-UTIL/MP (h3o-U/MP) + h3-Open-SYS/WaitIO

ARM: A64FX



A huge amount of
simulation data
output

HPC App
(Fortran)

h3o-U/MP



**Wisteria
BDEC-01**

Odyssey

IceLake+A100

Analysis/ML
App
(Python)

F<->P adapter

h3o-U/MP

Surrogate
Model

Visualiztion

Statistics

Coupling

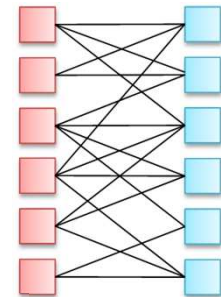
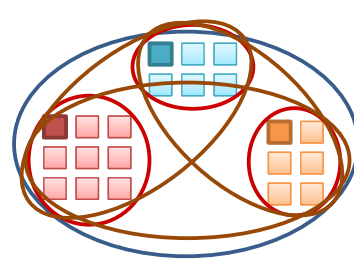
IB-EDR



**Wisteria
BDEC-01**

Aquarius

h3-Open-UTIL/MP・ h3-Open-SYS/WaitIO連携



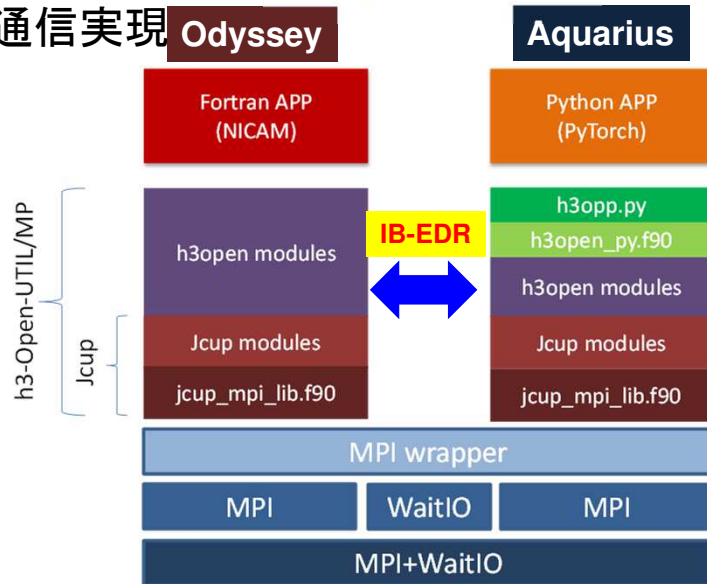
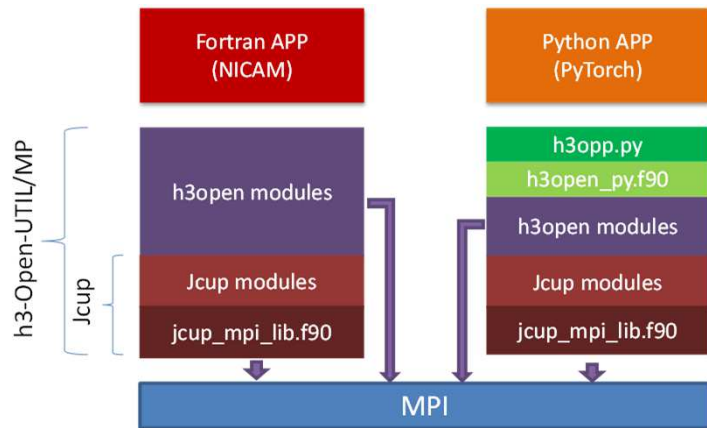
• h3-Open-UTIL/MP

- (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-SocketによりO-A間通信実現



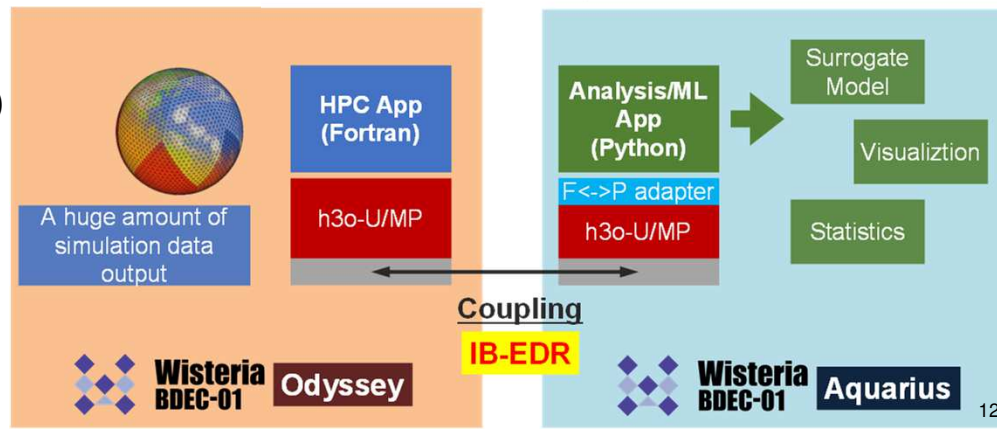
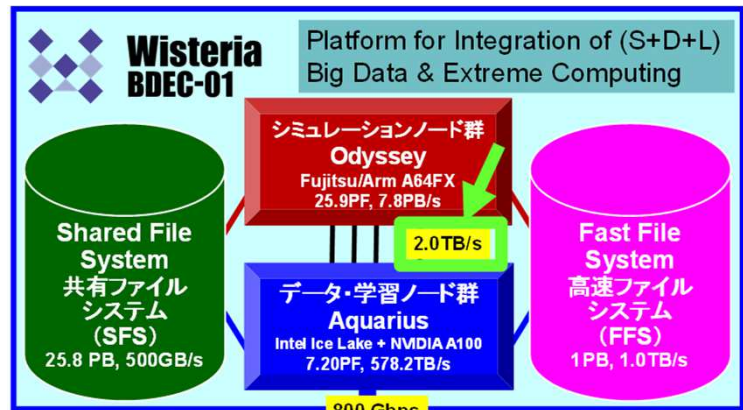
**Wisteria
BDEC-01**



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-Socket
 - 2021年冬 (Odyssey+Aquarius, 直接通信)
- h3-Open-SYS/WaitIO-File
 - 2022年度 (ファイルシステム経由)
- h3-Open-UTIL/MP (HPC+Python)
 - 2021年10月 (Oのみ)
- h3-Open-UTIL/MP+h3-Open-SYS/WaitIO-Socket
 - 2022年1月～4月 (O+A, 直接通信)
- 協力者求む！
 - 2022年度 AI for HPC応募



**Wisteria
BDEC-01**



h3-Open-BDEC
Hierarchical, Hybrid, Heterogeneous
Big Data & Extreme Computing



**Wisteria
BDEC-01**

Odyssey

IB-EDR



**Wisteria
BDEC-01**

Aquarius

AI for HPC: Society 5.0実現へ向けた人工知能・データ科学による計算科学の高度化(試行)(1/2)

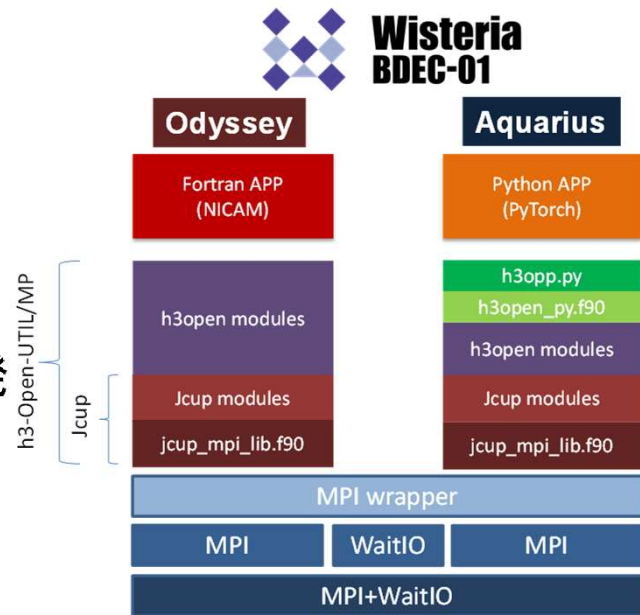
<https://www.cc.u-tokyo.ac.jp/guide/exploratory/AlforHPC/>

- (計算+データ+学習(S+D+L))融合実現, データ科学, 機械学習, 人工知能による計算科学の高度化を目指す提案を募集
- 原則として, 計算科学シミュレーション(自作またはオープンソース)を, データ科学, 人工知能, 機械学習等によって高度化, 効率化することを目的とする
 - 大規模データ同化と人工知能を融合するような研究も受け付ける。
 - プログラム本体のチューニング, アルゴリズム高度化などは対象外ですが, 自動チューニングによって最適アルゴリズムを選択するような提案は歓迎いたします。
- 応募者グループ・センター教員の共同研究として実施
 - 代表者: 居住者(大学・研究機関・企業), メンバー: 非居住者参加も可能
 - 次年度JHPCN共同研究課題応募を目指す

AI for HPC: Society 5.0実現へ向けた人工知能・データ科学による計算科学の高度化(試行)(2/2)

<https://www.cc.u-tokyo.ac.jp/guide/exploratory/AIforHPC/>

- 原則年1回募集
 - 2022年2月28日締切, 2022年4月開始
- 計算機資源を無償で提供(負担金50万円相当)
 - OFP(2021年度), OBCX, Wisteria/BDEC-01
 - Wisteria/BDEC-01(Odyssey+Aquarius)利用推進
- Wisteria/BDEC-01向けソフトウェア群の共同開発
 - h3-Open-BDEC
- 成果公開
 - 報告書(ニューズレターへの寄稿), 報告会



これまでの採択課題

地球科学, 計算 + データ同化 + 機械学習融合

年度	代表者	課題名	使用計算機	備考
2020	澤田洋平 (東京大学工学系 研究科・准教授)	地球科学シミュレーションの 不確実性定量化の新展開	Oakforest-PACS	
2021	澤田洋平 (東京大学工学系 研究科・准教授)	超巨大アンサンブル 計算と機械学習の協調によ る地球科学シミュレーション の不確実性定量化	Wisteria/BDEC-01 (Odyssey) Wisteria/BDEC-01 (Aquarius)	h3-Open-BDECの提供する Odyssey-Aquarius連携ライ ブラリの開発にも貢献しても らう予定
2021	菊地淳(理化学研 究所環境資源科学 研究センター・チー ムリーダー)	数値シミュレーションと機械 学習との融合による東京 湾の赤潮予測	Wisteria/BDEC-01 (Aquarius) Oakbridge-CX	

- 東大情報基盤センターのスパコン概要
 - Wisteria/BDEC-01
 - Oakbrige-CX(OBCX)
 - Ipomoea-01(大規模共通ストレージ)
- h3-Open-BDEC
- 観測データ同化による長周期地震動リアルタイム予測
- 「計算・データ・学習」融合へ向けた試み
- 将来構想等

2001-2005

2006-2010

2011-2015

2016-2020

2021-2025

2026-2030

Hitachi SR8000
1,024 GF

Hitachi SR11000
J1, J2
5.35 TF, 18.8 TF

Hitachi SR16K/M1
Yayoi
54.9 TF

Hitachi
SR2201
307.2GF

Hitachi
SR8000/MPP
2,073.6 GF

OBCX
(Fujitsu)
6.61 PF

Hitachi HA8000
T2K Today
140 TF

Oakforest-
PACS (Fujitsu)
25.0 PF

OFP-II
100+ PF

Fujitsu FX10
Oakleaf-FX
1.13 PF

Wisteria
BDEC-01 Fujitsu
33.1 PF

BDEC-
02
250+ PF

Reedbush-
U/H/L (SGI-HPE)
3.36 PF

大規模共通
ストレージ
システム群

Ipomoea-01 25PB

Ipomoea-
03

Ipomoea-02

東京大学情報基盤 センターのスパコン

利用者2,600+名
55%は学外

将来計画

- OFP-II:2024年4月運用開始予定

- Oakforest-PACS (OFP) の後継機
- JCAHPCとして筑波大学と共同で導入, 運用の予定
- ピーク性能100+PF(目標値), 加速器付きノード群を含む
- 「計算・データ・学習」融合路線を継承(予定)

- Wisteria/BDEC-01 (Mercury):2023年4月運用開始予定

- Wisteria-Mercury
- 当初はAquariusを補助するCPUのみのノード群として計画されていたが, 現状では次世代加速器を搭載したシステムとして検討中
 - 実は「Messenger」というIcelake 6ノードから構成される「Mercury」のプロトタイプは既にある
 - OFP-IIのプロトタイプとしての位置づけもある
- ピーク性能6+PF程度を想定(128+ GPU's)
- 2022年初頭に資料招請開始

- BDEC-02:2028年4月運用開始予定

将来計画

- OFP-II:2024年4月運用開始予定

- Oakforest-PACS (OFP) の後継機
- JCAHPCとして筑波大学と共同で導入, 運用の予定
- ピーク性能100+PF(目標値), 加速器付きノード群を含む
- 「計算・データ・学習」融合路線を継承(予定)

- Wisteria/BDEC-01 (Mercury):2023年4月運用開始予定

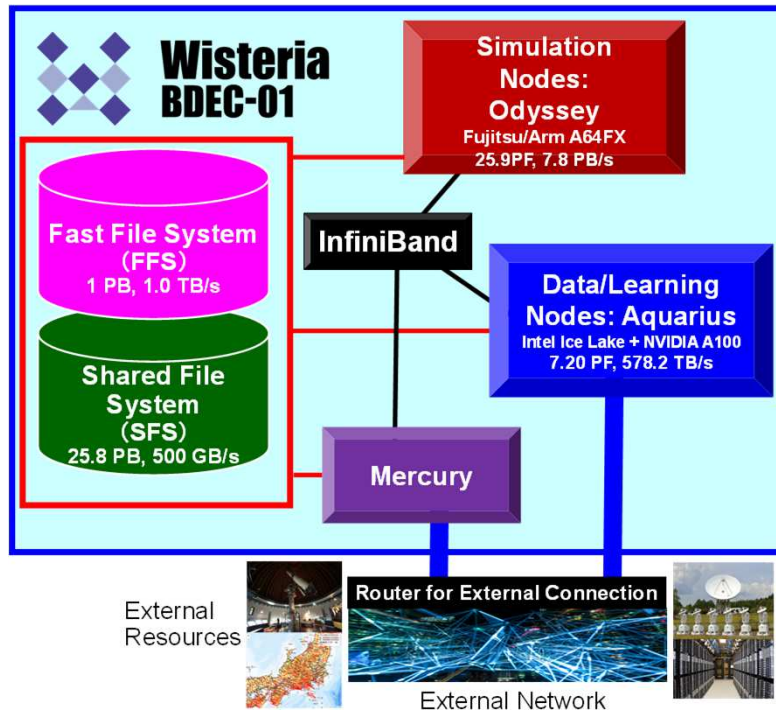
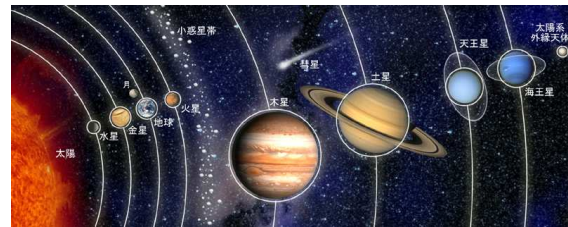
- Wisteria-Mercury
- 当初はAquariusを補助するCPUのみのノード群として計画されていたが, 現状では次世代加速器を搭載したシステムとして検討中
 - 実は「Messenger」というIcelake 6ノードから構成される「Mercury」のプロトタイプは既にある
 - OFP-IIのプロトタイプとしての位置づけもある
- ピーク性能6+PF程度を想定(128+ GPU's)
- 2022年初頭に資料招請開始:もうすぐ導入説明会やります

- BDEC-02:2028年4月運用開始予定

Wisteria-Mercury

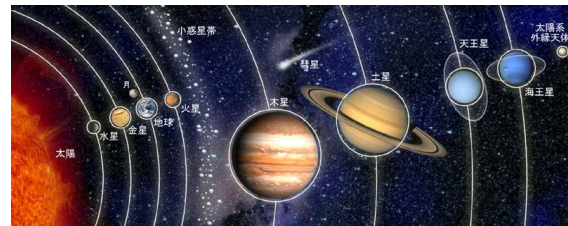
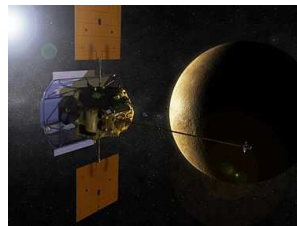
Winged Messenger

- **General Purpose CPU + Accelerators**
 - Target Performance: 6+ PF, 128+GPU's
 - Prototype of OFP-II
- Supporting “Aquarius”
 - Also used for HPC Workload
 - Direct Link to External Network
 - Working with “Odyssey” directly
- Some of infrastructures of Wisteria/BDEC-01 are shared
 - Login Nodes, HW for Management
 - SFS, FFS, Job Management System etc.
- Operation starts in April 2023
 - Intel SPR, AMD, Arm, NVIDIA + IFB

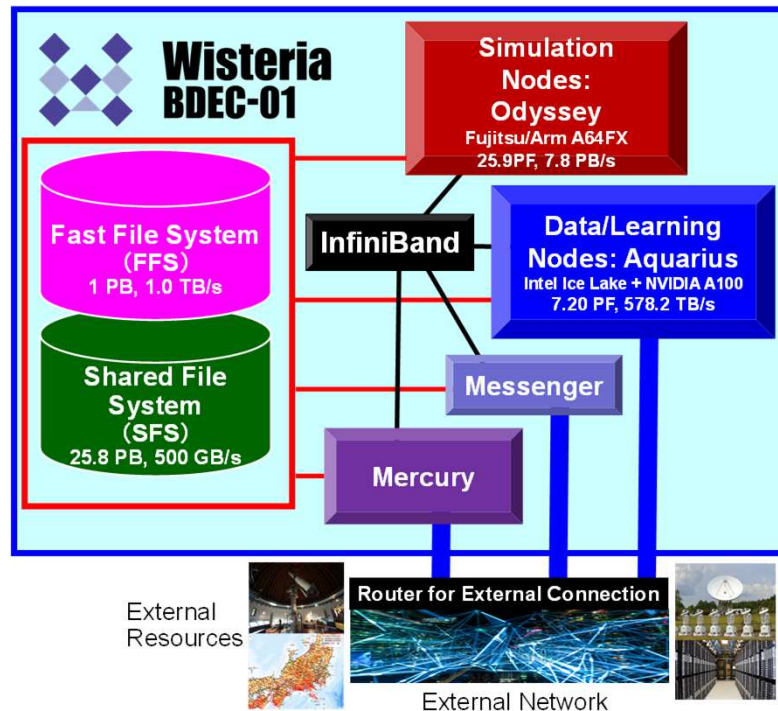


Wisteria-Messenger

Prototype of “Mercury”
CPU Only



- Intel Xeon Gold 6348 (IceLake)
 - 2.6 GHz, 28 cores/socket
 - 2 sockets × 6 nodes
 - IB-HDR
- Directly working with “Odyssey” for supporting “Aquarius”
 - e.g. “Filtering” in the Earthquake Simulation
 - h3-Open-SYS/WaitIO-Socket
- Under Operation
 - Public use after January 2022
 - Various types of investigation for “Mercury”



まとめ(1/2)

- 「計算・データ・学習」融合を掲げて6年あまり, 2021年度は特筆すべき年
 - 「計算・データ・学習」融合スーパーコンピュータシステム「Wisteria/BDEC-01」の導入, 運用開始
 - 革新的基盤ソフトウェア「h3-Open-BDEC」開発の進展
 - 地球科学を中心とした様々な分野への応用⇒Society 5.0への貢献
 - 萌芽型研究「AI for HPC: Society 5.0実現へ向けた人工知能・データ科学による計算科学の高度化」
- Wisteria/BDEC-01は「計算・データ・学習」融合を実現する, ヘテロジニアスなシステムとしては世界でも初めてのもの
 - HPCI, JHPCN構成機関とも協力して「計算・データ・学習」融合推進を継続する
- 増大するデータ⇒Ipomoeaシリーズの導入
 - 東大センターとしては初の「共通ストレージ」システム

まとめ(続き)

- スパコンへの性能要求, 省電力, 脱炭素化⇒演算加速器搭載は不可避
 - 最近急速に多様化が進んでいる
 - 東大センター: 約3,000人のユーザー
 - プログラミング環境, コード移植が大きな問題
- 「OpenMP+MPI」をそのまま使えるというのが理想・・・と言っていたが, これはアプリ側から見れば切実な問題
 - 移植に当てる時間も人員もない, 「理想」ではなく「必須」と言ってもよい
 - というようなことを, 産学官, ユーザー, ベンダー間で議論することが必要
 - スパコン調達・運用: 研究開発要素が増大
- 量子コンピュータ等(広義のDPU, IPU等も含む)
 - 2019年頃から「Fujitsu Digital Annealer」を利用
 - 組み合わせ最適化: Reordering⇒Intel PIUMA他
 - BDEC-02(2028年4月運用開始): プログラミング・アプリ開発環境



[Form]<JCAHPC>Survey of program for consideration of successor to Oakforest-PACS.

日本語

Purpose of the survey



Dear Users of Oakforest-PACS

Greetings and requests from the Joint Center for Advanced High Performance Computing (JCAHPC).

First of all, thank you very much for using our supercomputer systems.
We hope our systems have been useful for your research and development.

The Oakforest-PACS (OPF) system, which is our former Flagship system operated by JCAHPC (<http://jcahpc.jp/eng/index.html>) under collaboration with University of Tsukuba and the Information Technology Center, The University of Tokyo, will be shut down in the end of March 2022. The Post-OPF (OPF-II) also by JCAHPC is scheduled to start its operation in April 2024, and we are now discussing about the design of the OPF-II. Currently, we plan to introduce accelerators such as GPU to the OPF-II, for maximum performance of computing under limitation of electric power and footprint.

We understand that many of you are NOT necessarily familiar with GPU computing. Therefore, it is needed that we support you for porting your application codes to GPU's. Thus, all of you can start to use the OPF-II WITHOUT any problems on April 1st, 2024.

As a preliminary survey, we would like to know about the application codes, which you are using now on our supercomputers. Your surveys will help us for decision of CPU's and GPU's on the OPF-II system. Please fill out the following form. Please make sure **'One Form for One Code'**.
If you have multiple application codes, please submit multiple forms.

Moreover, we are also asking the possibility of further collaboration with you (e.g. developing/providing benchmark programs based on your application program(s)). If you can kindly collaborate with us on this issue, we will give priority to services for supporting GPU porting. We really appreciate your cooperation in this survey.

We also understand the necessity of Non-GPU nodes, because some applications are not suitable for GPU. Because we plan to consider the results of this survey for decision of GPU/Non-GPU ratio in the OPF-II, please answer the survey even if YOU DO NOT USE GPU's.

[次へ](#)

パスワードを記憶しないでください。 [不正使用を報告する](#)

4

Name of your program. *

Please answer 'None' when the program does not have a name because it is self-made program, etc.

5

Executable filename on the computer.

6

Type of code *

7

What is the current situation of porting your program to the GPU? *

[戻る](#)
[送信](#)

パスワードを記憶しないでください。 [不正使用を報告する](#)

このコンテンツはフォームの所有者が作成したものです。送信したデータはフォームの所有者に送信されます。Microsoftは、このフォームの所有者を含むお客様のプライバシーやセキュリティの取り扱いに関して一切の責任を負いません。パスワードを記憶しないでください。

Powered by Microsoft Forms | このフォームの所有者は、応答データの使用方法についてのプライバシーに関する声明を提供していません。個人情報や機密情報を記憶しないでください。

[量子情報処理] 革新的な量子情報処理技術基盤の創出

[← トップに戻る](#)

戦略目標

「量子コンピューティング基盤の創出」

研究総括



富田 章久（北海道大学 大学院 情報科学研究院 教授）

概要

量子ビットの集積と制御技術によって量子コンピュータハードウェアを「作る」研究に対し、本研究領域では量子を「賢く使う」研究を行います。「賢く使う」とは、量子力学の与える制約や制限されたリソースを巧みに利用した情報処理技術、現実的な物理環境下での大規模量子計算など、何らかの制約の中でも実行可能である、あるいは逆に制約を活用する技術を創造することを意味します。

研究内容としては、フォールトトレラント量子コンピュータを実現するための量子アーキテクチャや量子ソフトウェアから、古典的手法よりも効率よく問題を解く量子アルゴリズム、量子センサと量子コンピュータを統合した高度な量子情報通信技術、量子技術と古典IT技術とを融合した情報処理システム、量子アルゴリズムを利用して社会的問題を解決するアプリケーションまで、ハードウェア開発以外の広範なテーマを対象とします。

さまざまな学術領域の融合・協働により、こうした革新的な情報処理手法の研究開発を進め、社会実装可能な量子コンピューティングを実現するための技術基盤を作り上げることを目指します。

本研究領域は、文部科学省の選定した戦略目標「[量子コンピューティング基盤の創出](#)」のもとに、2019年度に発足しました（リンク先は国立国会図書館インターネット資料収集保存事業（WARP）となります）。

領域アドバイザー

井上 弘士	九州大学 大学院 システム情報科学研究院 教授
門脇 正史	（株）デンソーAI研究部 AIビッグデータ研究室 量子コンピューティング研究課長
金本 理奈	明治大学 理工学部物理学科 准教授
小松崎 民樹	北海道大学 電子科学研究所 教授
高柳 匡	京都大学 基礎物理学研究所 教授
徳永 裕己	日本電信電話（株）コンピュータ&データサイエンス研究所 特別研究員
中島 研吾	東京大学 情報基盤センター 教授／理化学研究所 計算科学研究センター 副センター長
根来 誠	大阪大学 量子情報・量子生命研究センター 准教授
藤井 啓祐	大阪大学 大学院 基礎工学研究科 教授
増原 英彦	東京工業大学 情報理工学院 教授
湊 雄一郎	blueqat（株） 代表取締役
山下 茂	立命館大学 情報理工学部 教授

採択課題一覧

2022年度向け利用説明会(オンライン)

- 2021年10月8日(金)1300-1500(全般, HPCI中心)
 - <https://www.cc.u-tokyo.ac.jp/events/seminar/20211008.php>
- 2021年11月25日(木)1300-1500(JHPCN)
 - <https://www.cc.u-tokyo.ac.jp/events/seminar/20211125.php>
- 2022年1月21日(金)1300-1600(企業, 若手・女性, AI-for-HPC)
 - <https://www.cc.u-tokyo.ac.jp/events/seminar/20220121.php>
- 2022年7月(予定)(企業, 若手・女性)
- 諸制度
 - 若手・女性 <https://www.cc.u-tokyo.ac.jp/guide/young/>
 - 企業利用 <https://www.cc.u-tokyo.ac.jp/guide/company/>
 - AI-for-HPC <https://www.cc.u-tokyo.ac.jp/guide/exploratory/AIforHPC/>

YouTubeチャンネルのご紹介



研究事例紹介や、セミナー・講習会の録画などをご覧になれます。

- 「東京大学情報基盤センター」チャンネル

<https://www.youtube.com/channel/UC2CHaGp1AO-vqRIV7wmU0-w>

- Wisteria/BDEC-01システム紹介

https://www.youtube.com/watch?v=SXjYtatz0-4&list=PLobjSv_ny85IW03OAPUJ9DWJoHhNiQgvY&index=3&t=104s

- 第10回JCAHPCセミナー

https://www.youtube.com/playlist?list=PLobjSv_ny85mfPTuCC2i7r_sPQYKZvy2e

- 柏キャンパス一般公開

https://www.youtube.com/playlist?list=PLobjSv_ny85kr1lg2m-bUiMC2a9W6k53u
<https://www.youtube.com/watch?v=q-0QtU7Ops4&t=116s>

- JCAHPCセミナー:「人類と地球を護るスーパーコンピューティング」

https://www.youtube.com/playlist?list=PLobjSv_ny85l-z-VJCy690ZjiAA04xCRA

- お試しアカウントつき講習会

https://www.youtube.com/playlist?list=PLobjSv_ny85kXY2Mtnhn1k7pM-epQaD2y