



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



Ludwig van Beethoven  
1770-1827

# 「私たちの、過去、現在、未来」 苦悩から歓喜へ：T2K精神は永遠に



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

中島 研吾  
東京大学情報基盤センター



Hierarchical, Hybrid, Heterogeneous

**h3-Open-BDEC**

Big Data & Extreme Computing

PCCC21「『PCクラスタ』これからの10年」  
2021年12月9日

# 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



JCAHPC

- 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ス・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
- 2021年12月現在
  - 3式のシステムを運用
    - Reedbush-H, Reedbush-L
    - Oakforest-PACS(OFP):2021年度末に運用終了
    - 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

# 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



JCAHPC

- 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ス・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
- お陰様でなんとかやっているが、2008年4月に小生が赴任した当時は2006年から始まった改革の途上にあり、このままでは「共同利用・共同研究拠点」になれない、と言われていた。
  - 2006年からの改革⇒すなわちT2K路線への転換、これなくして東大センターは語れない
  - 危機感が漲っていたが、大学の部局としては異様な活気、毎日仕事が降ってくる
  - 急遽「共同研究プロジェクト」を立ち上げ知り合いに声をかけまくる(地惑、生研等)

# T2K東大が東大情報基盤センターにもたらしたもの

## 2010年7月12日 T2Kシンポジウムより

- 2006年から始まった「T2K」導入に向けての取り組みは、「センター史上初」の様々なことを開始する契機となった(予算はあったが、それまでほぼ何もしていなかった)
  - 他大学への営業活動, 公募型共同研究プロジェクト
  - お試しアカウント付き講習会, 利用者による発表成果登録, 公表
  - 可視化ソフト導入 (AVS/Express PST) などなど
  - 「ノード固定」⇒時代を先取りした利用法, GOSATデータ処理
- 「世界史」, 「日本史」と同じように「東京大学情報基盤センター史」というものがあるとすれば, 「癸丑甲寅以来」のごとく「T2K以前」, 「T2K以降」に明確に区分されることであろう
- 東大情報基盤センターでは2008年を「T2K元年」とする「T2K暦」を採用

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  
SR2201  
307.2GF

Hitachi  
SR8000/MPP  
2,073.6 GF

紀元前

T  
2  
K  
元年

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  
SR2201  
307.2GF

Hitachi  
SR8000/MPP  
2,073.6 GF

Post SR8000/MPP ?

紀元前

T  
2  
K  
元年

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  
SR2201  
307.2GF

Hitachi  
SR8000/MPP  
2,073.6 GF

Post SR8000/MPP ?

Switching to  
T2K

紀元前

T  
2  
K  
元年

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 Fujitsu  
BDEC-01  
33.1 PF

BDEC-02  
250+ PF

紀元前

T  
2  
K  
元年

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

Ipomoea-01 25PB

Ipomoea-03

Ipomoea-02

2001-2005

2006-2010

2011-2015

2016-2020

2021-2025

2026-2030

Hitachi SR8000

SR8000

Hitachi SR11000

IBM Power5+

Hitachi SR16K/M1  
Yayoi

IBM Power7

Hitachi SR2201

HARP-1E

Hitachi SR8000/MPP

SR8000

Intel CLX

OBCX  
(Fujitsu)  
6.61 PF

Hitachi HA8000  
T2K Today  
140 TF

Oakforest-PACS (Fujitsu)  
250 PF

OFP-II  
100+ PF

疑似ベクトル

汎用CPU

加速装置付

AMD Opteron

Intel Xeon Phi

Accelerators

Fujitsu FX10  
Oakleaf-FX  
1.13 PF

Wisteria BDEC-01 Fujitsu  
33.1 PF

BDEC-02  
250+ PF

SPACR64 IXfx

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

A64FX,  
Intel Icelake+  
NVIDIA A100

Accelerators

紀元前

T2K  
元年

Intel BDW +  
NVIDIA P100

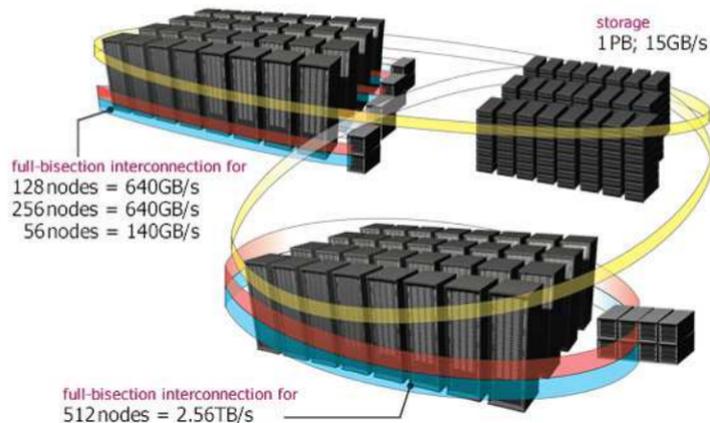
Ipomoea-01 25PB

Ipomoea-03

Ipomoea-02

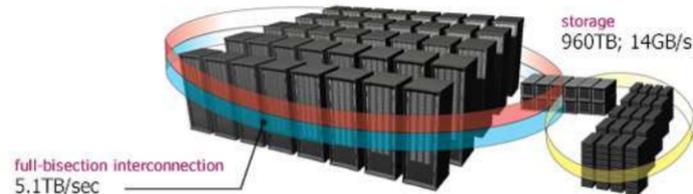
## University of Tokyo

# nodes = 952 Rpeak = 140.1TFlops Memory = 31TB



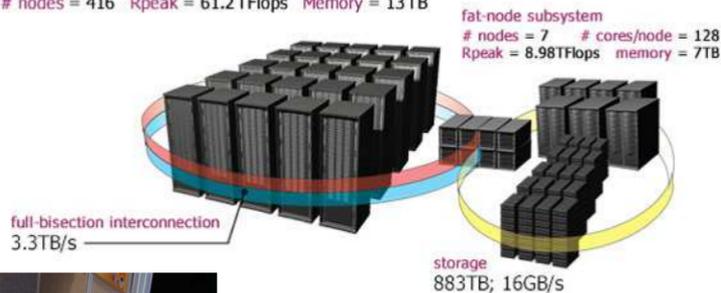
## University of Tsukuba

# nodes = 648 Rpeak = 95.4TFlops Memory = 20TB



## Kyoto University

# nodes = 416 Rpeak = 61.2TFlops Memory = 13TB



Center for Computational Sciences  
University of Tsukuba

Information Technology Center  
University of Tokyo

Academic Center for Computing and Media Studies  
Kyoto University



**Open**  
Hardware Architecture

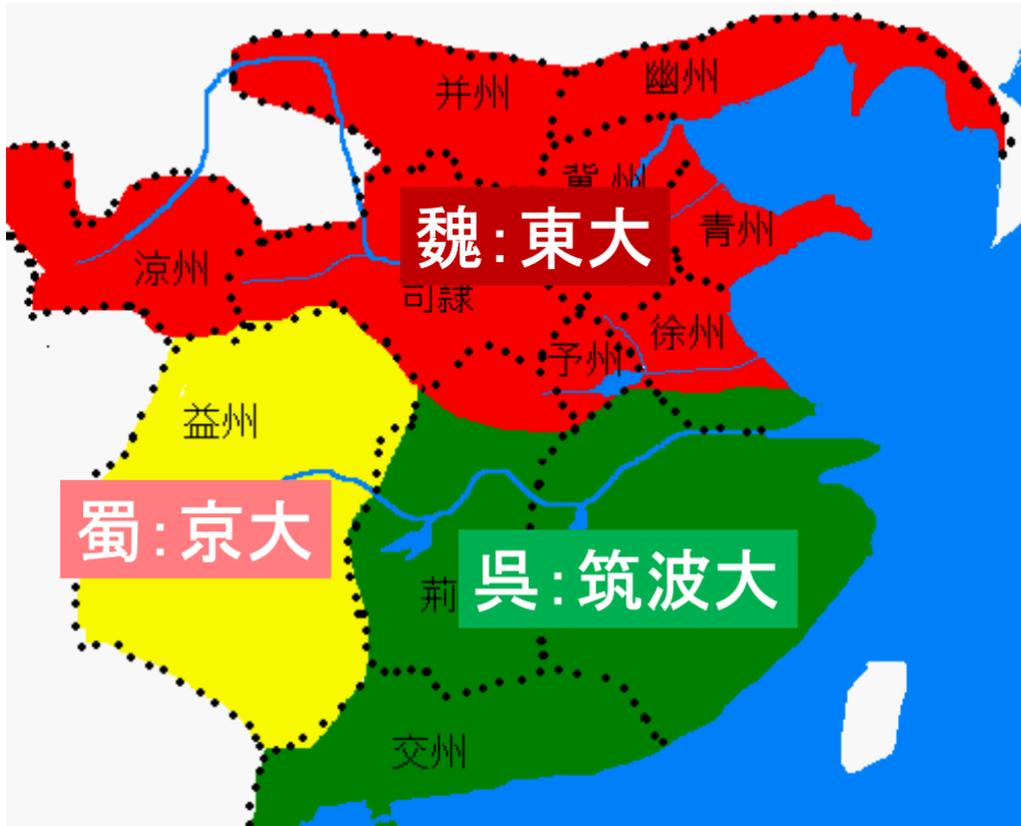
**Open**  
Software Stack

**Open**  
to User's Needs



# T2K三国志説(あまり流行らなかったが)

誰が曹操か？というあたりで話しが進まなくなる



蜀といえば諸葛孔明  
現代の孔明と言えばこの人



# 裏T2KとT2Kファミリー

- 表T2K, T2K次官 (t2k-jikan) (?)
  - T2Kの顔
  - 佐藤, 朴, 石川, 中島(浩)
  - 中島(研): 2008年のある時期からMLには入っていた
- 裏T2K
  - 当時の「若手」メンバー
  - 建部, 中島(研), 岩下: 創設メンバー⇒将来の夢を語り合う
  - 片桐
  - なぜか石川さんが興味を示していた(入りたかったのか?)
- T2Kファミリー (HT3NK2)
  - 筑波大, 東大, 京大, 東工大
  - 北大, 名古屋大, 九大



2016年6月  
カシマスタジアム



@JAXA

# 人工衛星による温室効果ガスの全球観測 GOSAT プロジェクト ～概要～



## 温室効果ガス観測技術衛星 (Greenhouse gases Observing SATellite: GOSAT)

愛称:「いぶき」

事業主体:宇宙航空研究開発機構(JAXA)、国立環境研究所(NIES)、環境省(MOE)

目的:主要な温室効果ガスである二酸化炭素とメタンの濃度を宇宙から観測する

打ち上げ:2009年1月23日(現在も運用中) (注:2014年5月の発表)

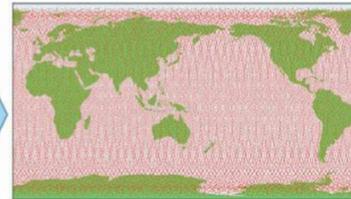
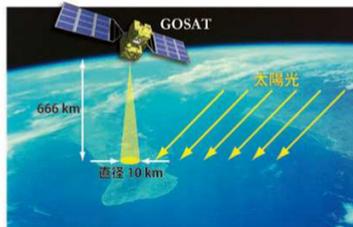
衛星の仕様:【高度】地上約666km(下記左図)

【回帰】3日間、約98分で地球を一周し44周回後元の位置に戻る

【観測可能点数】数万点(←地上観測局200点ほど(下記中図右図))

【センサ】温室効果ガス観測センサ (Fourier Transform Spectrometer; FTS) “TANSO-FTS”

雲・エアロソルセンサ (Cloud and Aerosol Imager; CAI) “TANSO-CAI”



GOSAT による観測概念図(左図)、地上観測点(中図)とGOSAT の軌道(右図、3 日間、44 周回分)



@JAXA

# 人工衛星による温室効果ガスの全球観測 GOSAT プロジェクト



## ～ 定常処理とT2K東大版の役割(処理システム) ～

### 【処理システム】

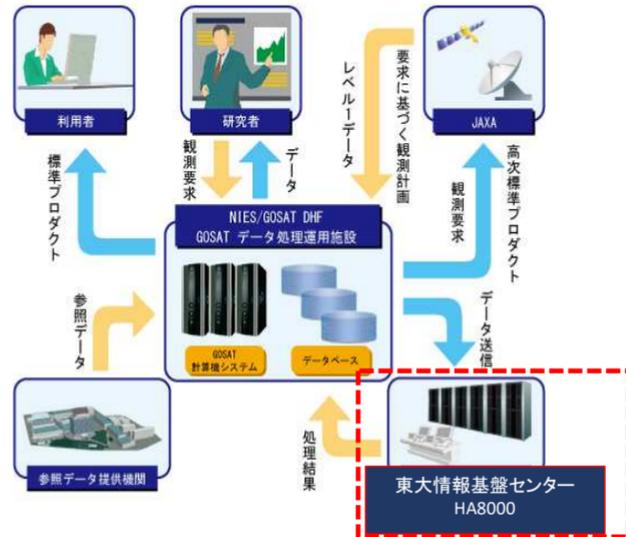
GOSAT データ処理運用処理施設(GOSAT DHF)、NIESスーパーコンピュータ、**T2K東大版**を利用

### 【T2K東大版利用形態】

ノード固定契約(年度毎の契約状況は、下記の通り)

T2K東大版 利用ノードとコア占有時間

年度	ノード数	コア占有時間計(秒)
21年度	64ノード	92,144,660
22年度	64ノード	1,090,481,276
23年度	48ノード	827,633,311
24年度	48ノード	767,977,659
25年度	48ノード	1,624,529,166



GOSATデータ処理の流れ

# お疲れ様でした(2014年3月10日)



# 様々な活動

## • 国内外プロジェクト

- eScience プロジェクト「シームレス高生産・高性能. プログラム環境」(文部科学省) (2008-2011) (T2K)
- Framework and Programming for Post Petascale Computing (FP3C) (JST-ANR, 2010-13) (日仏共同) (T2K+東工大=T3K) ⇒ 現在も様々な形で継続
- 将来のHPCIシステムのあり方の調査研究 (文科省, 2012-2013) ⇒ ポスト京 (富岳)
- ppOpen-HPC+ESSEX-II (JST-CREST・DFG-SPPEXA, 2011-2018) (裏T2K)
- ポスト京関連共同研究 (理研AICS・R-CCS, 2014-2020)
- h3-Open-BDEC (科研費基盤(S), 2019-2023) (裏T2K)

## • 最先端共同HPC基盤施設 (JCAHPC)

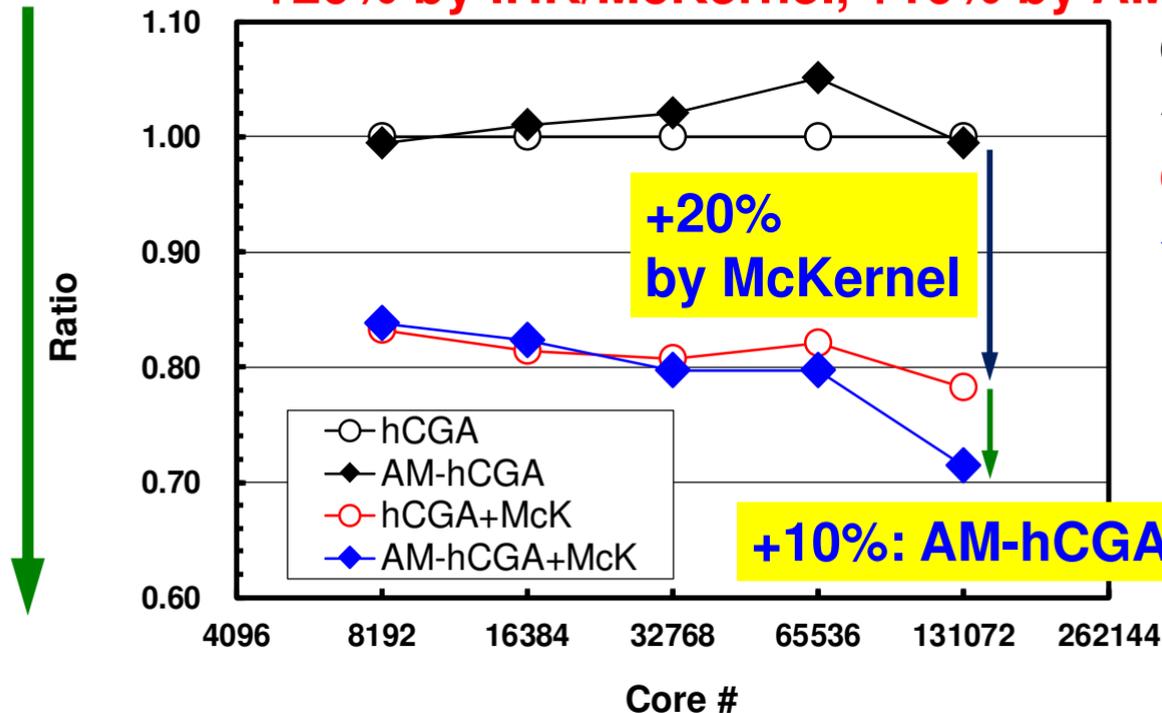
- 2013年発足, 筑波大・東大, PCCC・T2K活動の賜物
- Oakforest-PACS (OFP) 設計・導入・運用 ⇒ OFP-II
- 京～ポスト「京」の間を埋めるという「大義」
  - 複数機関で一緒にやればコスト削減につながる, くらいのモチベーションでは崩壊する・・・この話はまたそのうち





# “Tiny” Cases: Significant Improvement by IHK/McKernel and AM-hCGA [KN Scala19]

Computation time is normalized by that of *hCGA*  
 +20% by IHK/McKernel, +10% by AM-hCGA



- hCGA (=1.00)
- ◆ AM-hCGA
- hCGA+McK
- ◆ AM-hCGA+McK

K. Nakajima, B. Gerofi, Y. Ishikawa, M. Horikoshi, Parallel Multigrid Methods on Manycore Clusters with IHK/McKernel, ScalaA 19 in conjunction with SC19, 2019

# ありがとうOFP



京から富岳への狭間で咲いた大輪の花

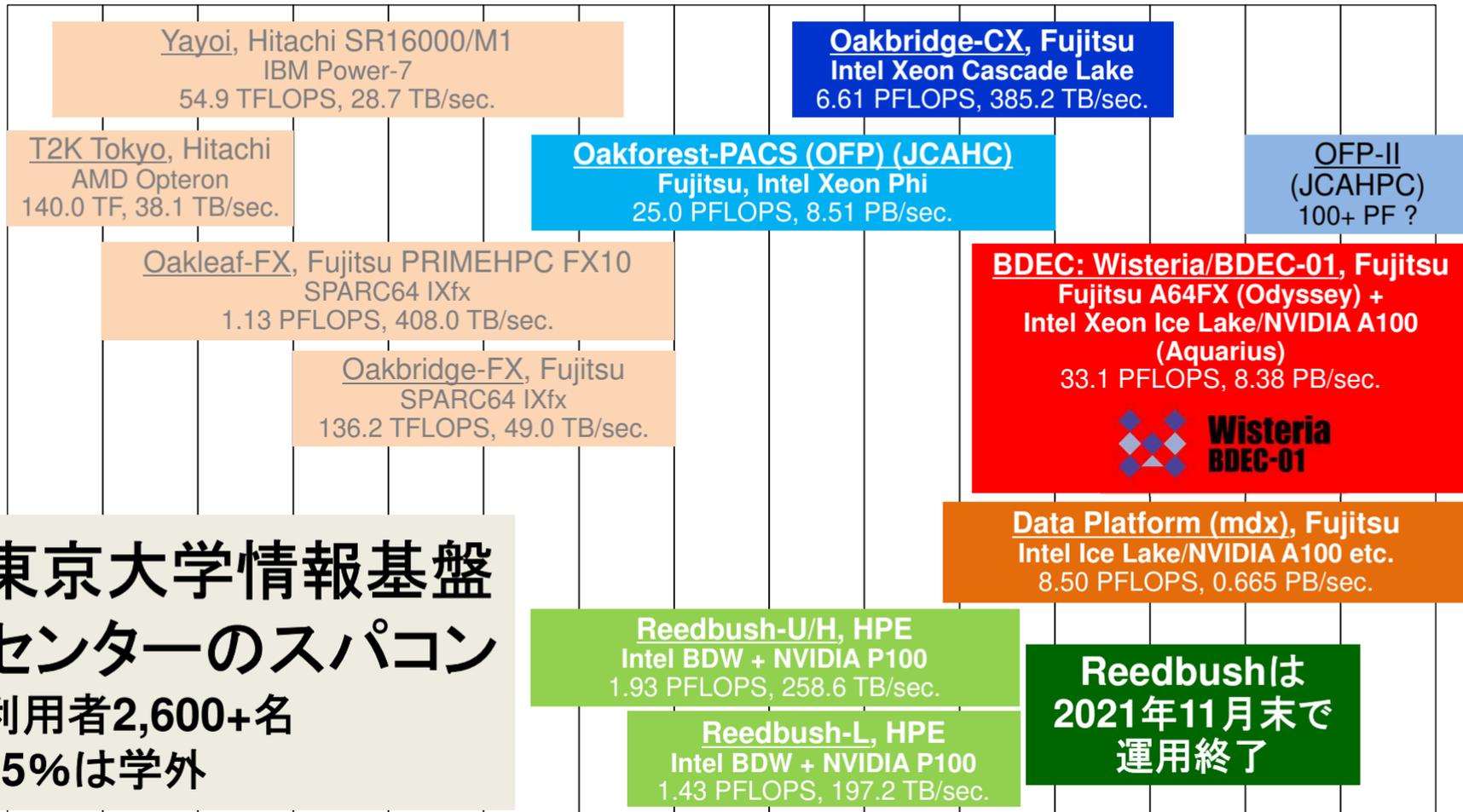
2022年5月27日(金)午後@東大・柏(ハイブリッド)

第1部	開会	
1300-1305	開会	田浦健次郎(東大)
1305-1320	来賓挨拶等	
第2部	OFP概要	
1320-1430	JCAHPC設立の経緯と理念	佐藤三久(理研)
1340-1400	OFP導入と概要	朴泰祐(筑波大)
1400-1415	京大 Camphor2	深沢圭一郎(京大)
1415-1430	北大 Polaire	岩下武史(北大)
1430-1445	ディスカッション	
第3部	OFPによる成果	
1455-1515	OFPの成果概要	中島研吾(東大)
1515-1535	研究事例1	三好建正(理研)
1535-1555	研究事例2	井戸村泰宏(JAEA)

第4部	次の一手	
1605-1625	筑波大現状・動向	朴泰祐(筑波大)
1625-1645	東大現状・動向	中島研吾(東大)
1645-1705	NGACI	近藤正章(理研)
1705-1725	OFP-IIへ向けて	埴敏博(東大)
1725-1740	ディスカッション	
1740-1745	閉会	石川裕(NII)

2022年5月27日(金)午後  
@東大・柏(ハイブリッド)

FY11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25



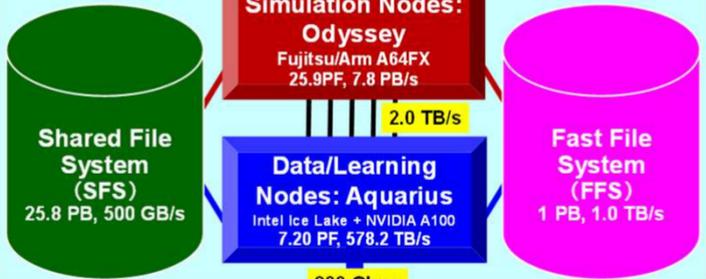
東京大学情報基盤  
センターのスパコン  
利用者2,600+名  
55%は学外

Reedbushは  
2021年11月末で  
運用終了





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 58<sup>th</sup> 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 58<sup>th</sup> 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 58<sup>th</sup> 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

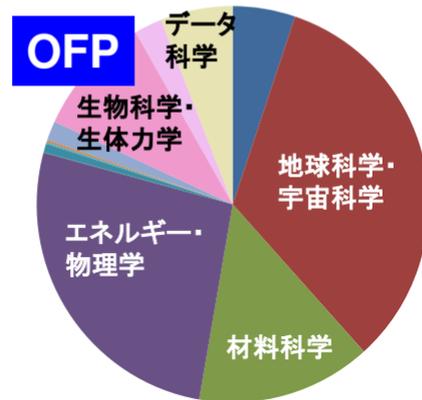
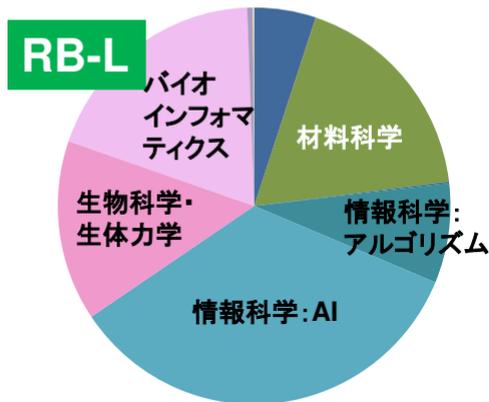
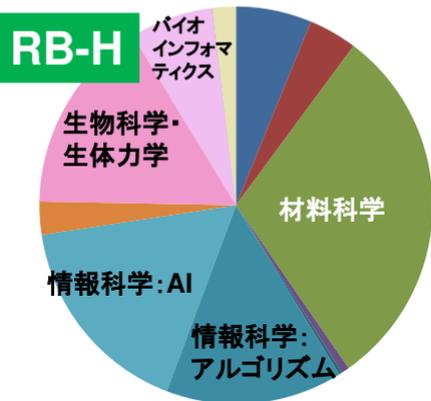


Oakforest-PACS

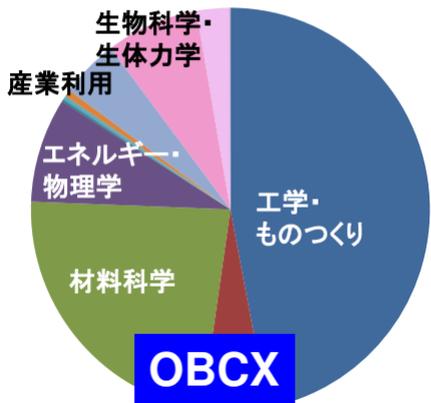


Oakbridge-CX

# 2020年度分野別 ■汎用CPU, ■GPU

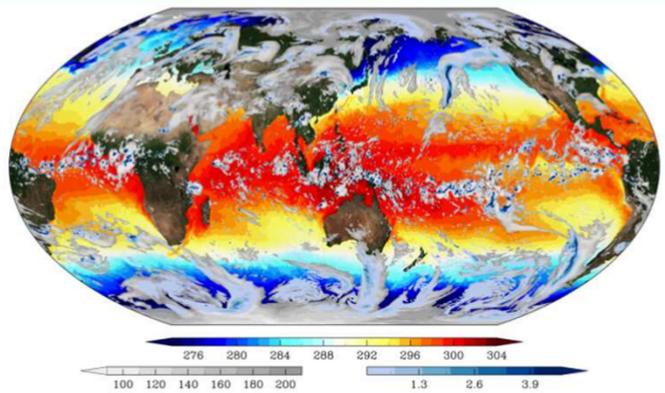


- 工学・ものづくり
- 地球科学・宇宙科学
- 材料科学
- エネルギー・物理学
- 情報科学: システム
- 情報科学: アルゴリズム
- 情報科学: AI
- 教育
- 産業利用
- 生物科学・生体力学
- バイオインフォマティクス
- 社会科学・経済学
- データ科学・データ同化

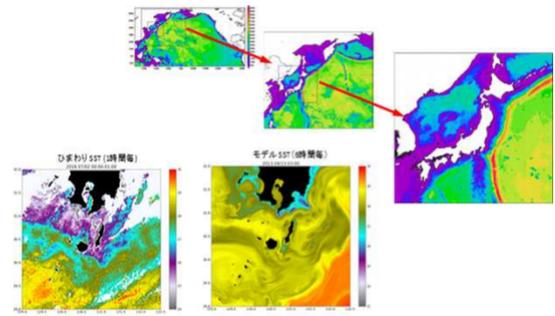
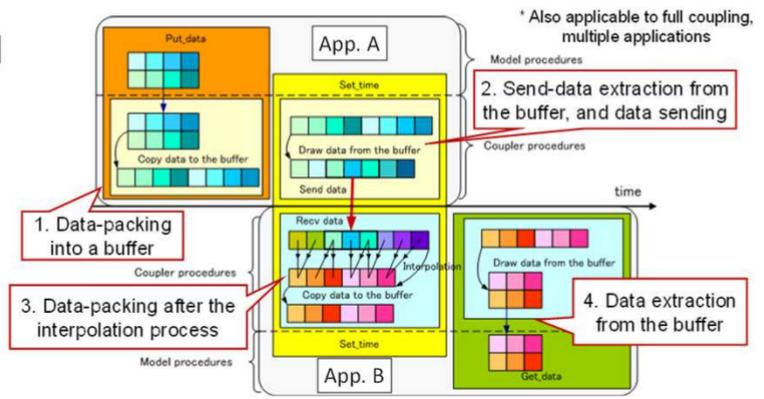
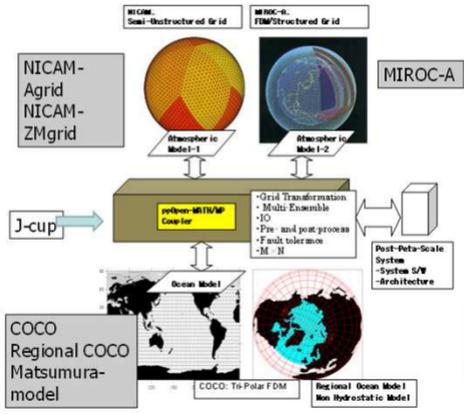
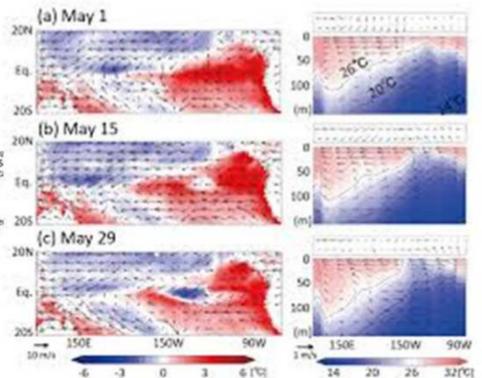
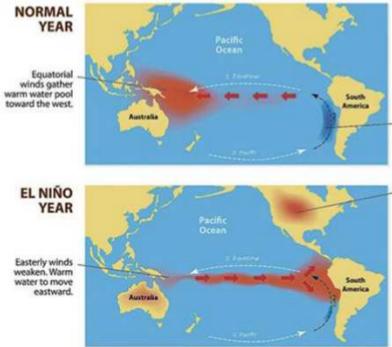


# 全地球大気・海洋シミュレーション(気候・気象)

## 東大大気海洋研究所, 東大理学系研究科等



### THE EL NIÑO PHENOMENON



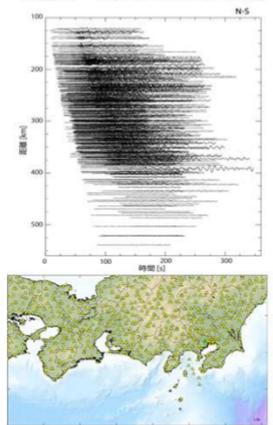
[画像提供: 佐藤正樹教授・羽角博康教授(東大・大気海洋研)]

# 地震シミュレーション・地殻変動

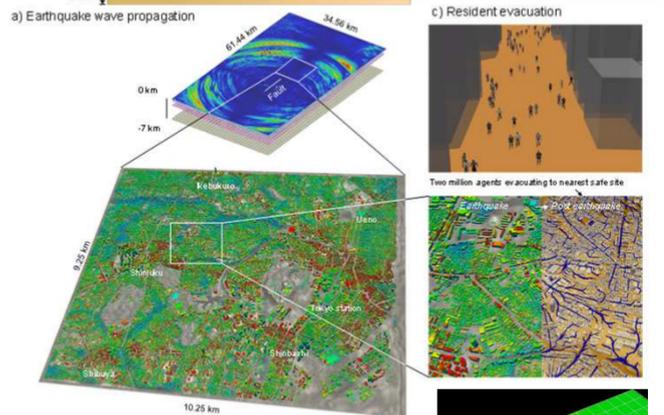
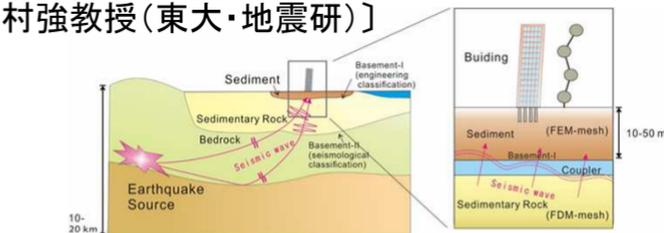
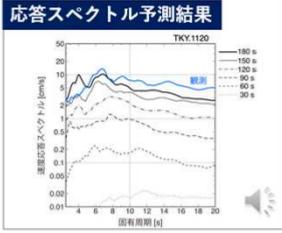
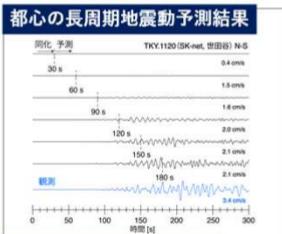
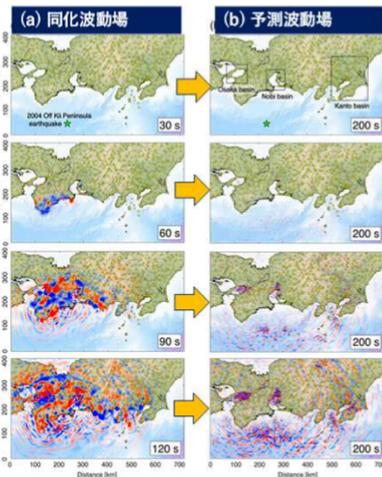
## 東大地震研究所, 東大理学系研究科等

[画像提供: 古村孝志教授・市村強教授(東大・地震研)]

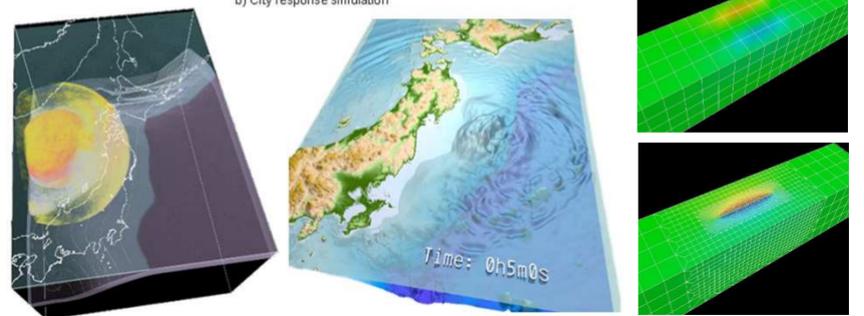
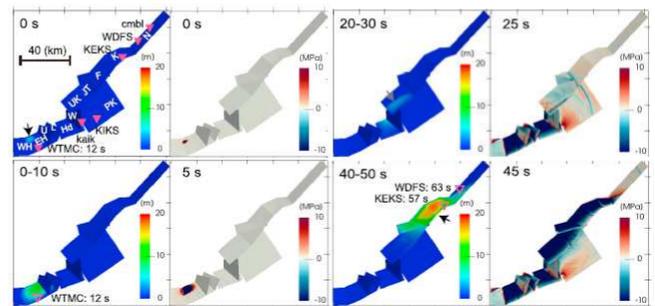
○ 使用データ(K-NET, KIK-net 446点)



90秒間の同化→予測計算



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)〕

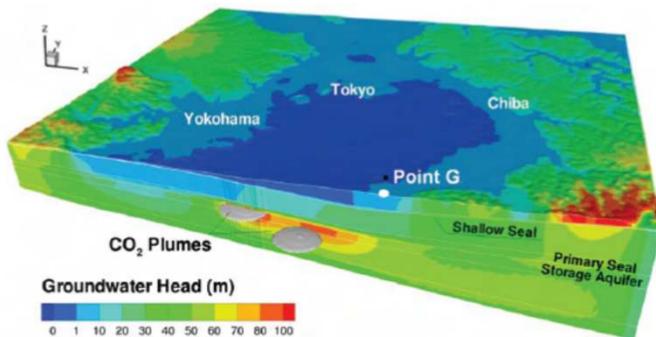
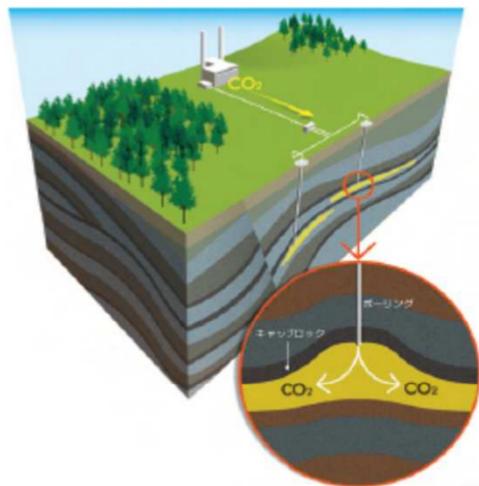
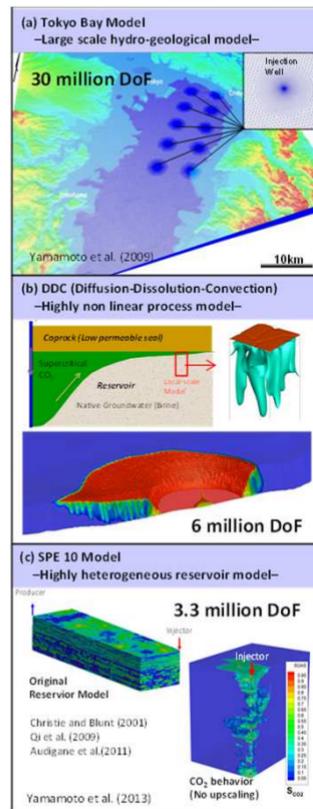
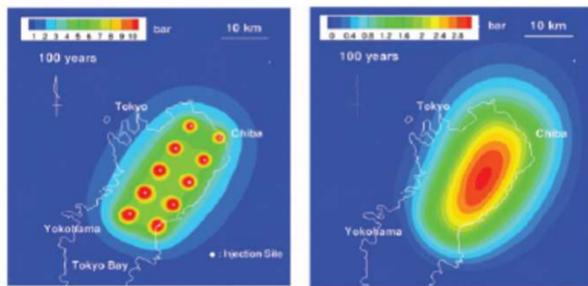


図-4 CO<sub>2</sub> 注入後の地下水圧 (全水頭換算) の分布 (100 年後)



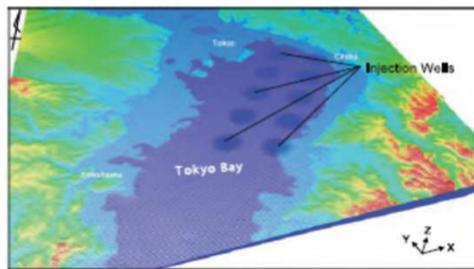
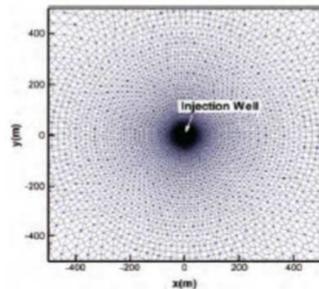
※:DOF: degrees of freedom



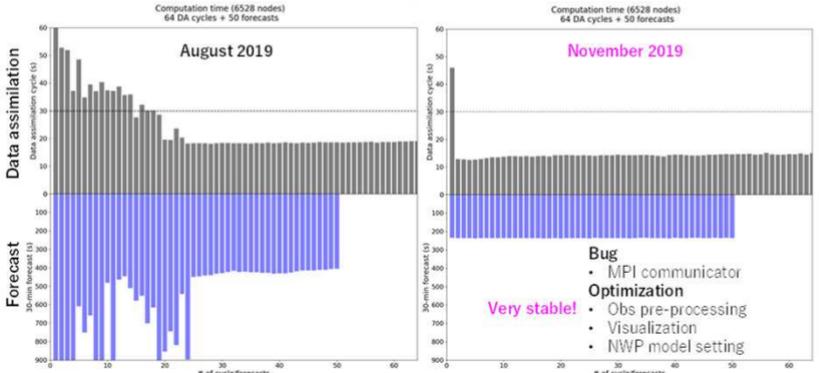
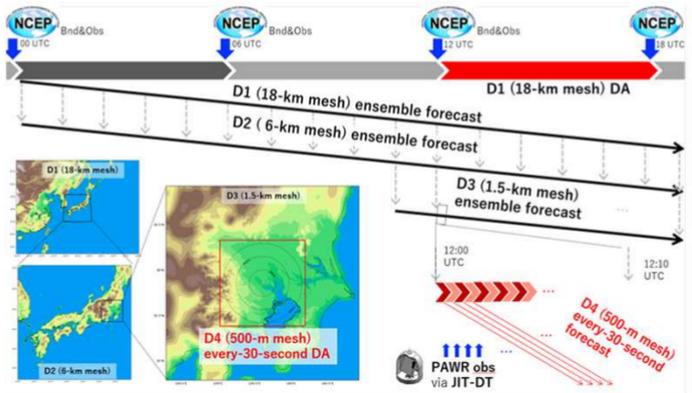
(a) 深部遮蔽層下面

(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、注入開始から 100 年後)

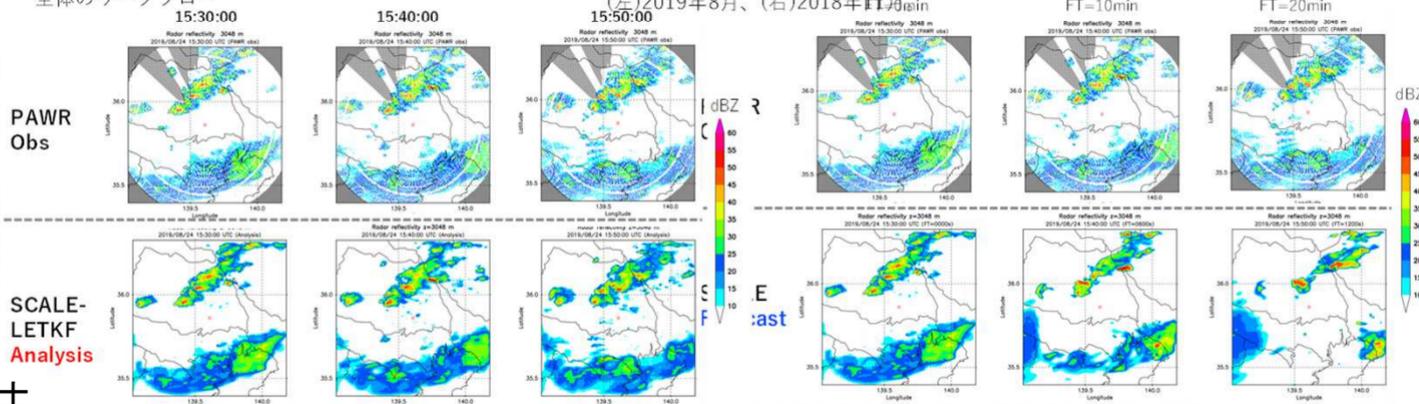


# ゲリラ豪雨予測のリアルタイム実証実験 (理化学研究所)



全体のワークフロー

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

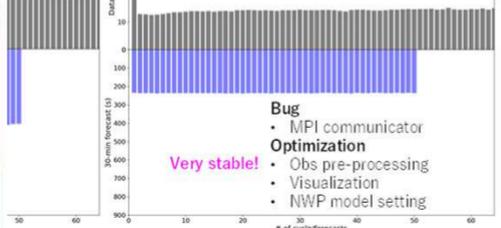
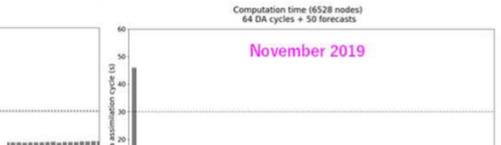
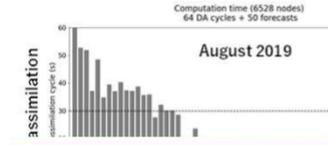
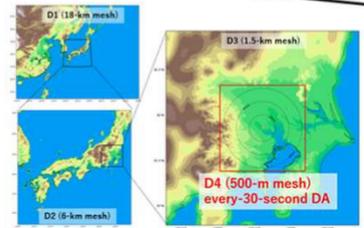


[画像提供: 三好建正博士 (理化学研究所)]

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。

# ゲリラ豪雨予測のリアルタイム実証実験 (理化学研究所)

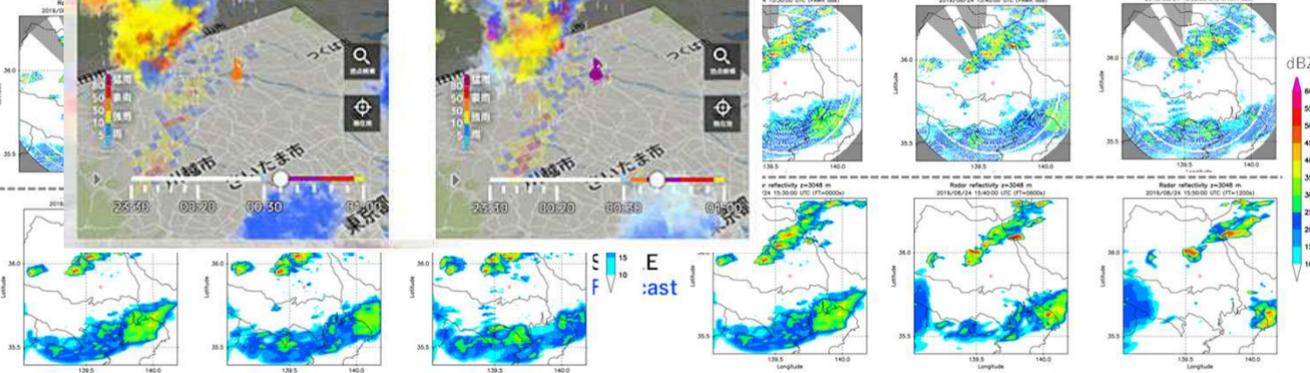


全体のワークフロー



PAWR Obs

SCALE-LETKF Analysis



[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による予測で得られたレーダー反射強度(dBZ)を示す。

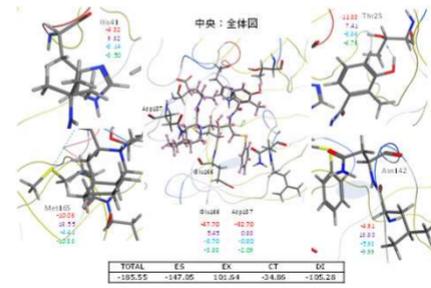
# 「COVID-19」対応臨時公募採択課題

全国9国立大学等のスパコンによる課題

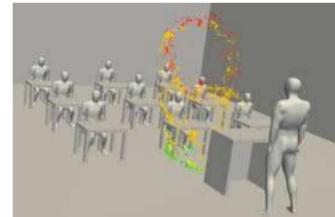
全14のうち6課題が東大システムを利用(2020年度)



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)	OFP
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)	OBCX
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)	
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

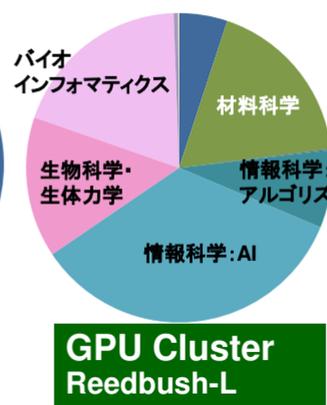
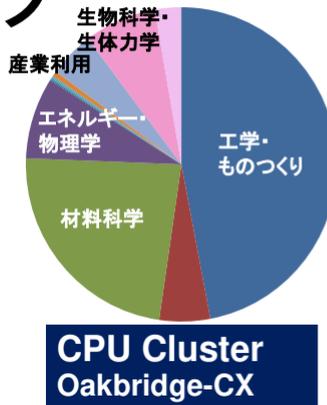
- 計算科学, 計算工学: Simulations
- 大規模データ解析
- AI, 機械学習

## (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)

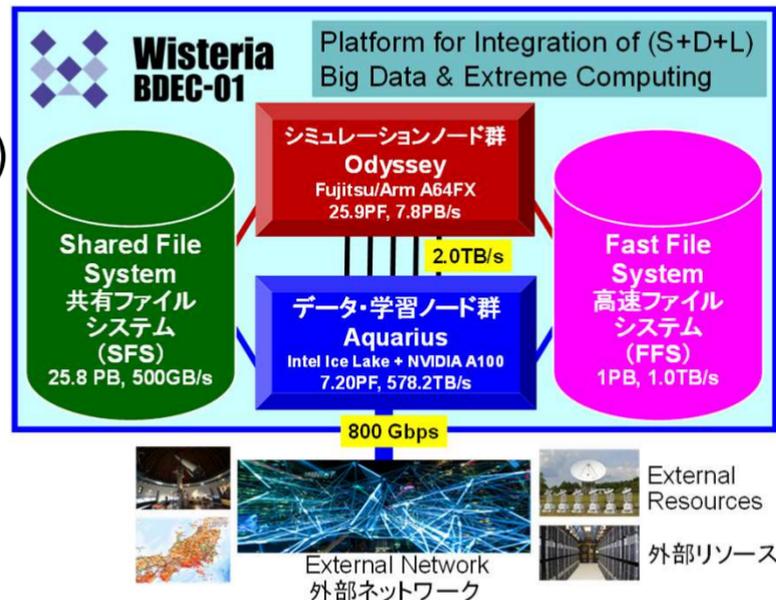
- 東大情報基盤センターでは、2015年頃から「(S+D+L)融合」の重要性に注目し、それを実現するためのハードウェア、ソフトウェア、アプリケーション、アルゴリズムに関する研究開発を開始
  - BDEC計画(Big Data & Extreme Computing)
  - 「データ+学習」による、より高度な「シミュレーション」
  - 地球科学関連では自然な発想(すでに実施されている)
- 2021年5月に運用を開始した「Wisteria/BDEC-01」は「BDEC計画」の1号機
  - Reedbush, Oakbridge-CXは「BDEC」のプロトタイプと位置づけられる
  - 「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

External Resources

外部リソース

# 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), ~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**

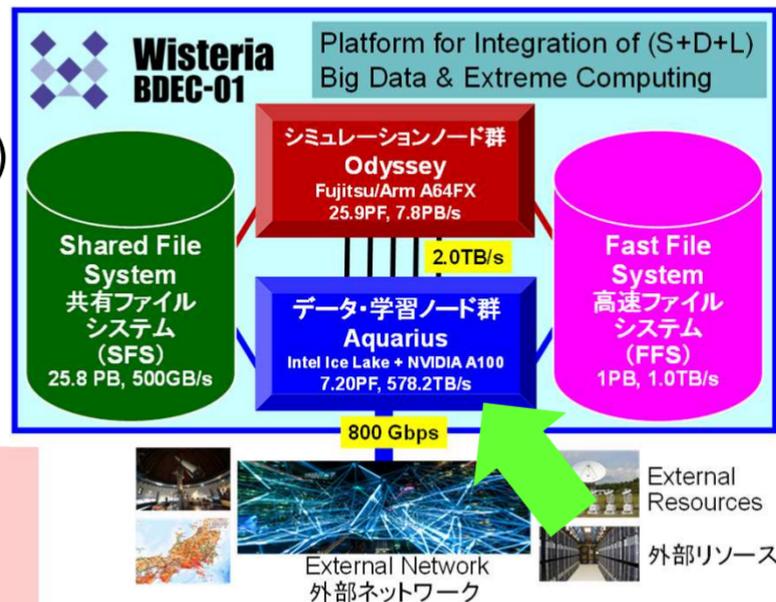
# Wisteria/BDEC-01

- 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), ~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

# 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
<b>Oakforest-PACS</b>	<b>39</b>	<b>65</b>	<b>23</b>	-	-
Oakbridge-CX	110	62	71	-	-
Wisteria/BDEC-01 (Odyssey)	17	27	9	3	9
Wisteria/BDEC-01 (Aquarius)	106	15	58	-	-

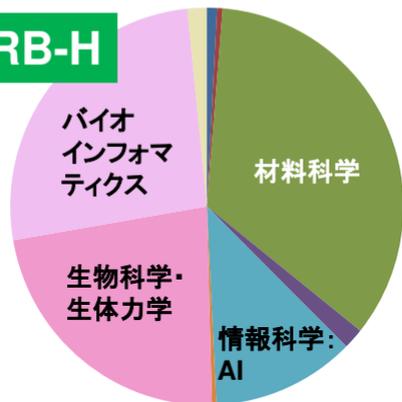
# GFLOPS (ピーク性能) 当たり利用負担 (円) : 電気代

System	GFLOPSあたり電気代 (円) : 年間 小さいほど効率的
<b>Oakleaf-FX/Oakbridge-FX (Fujitsu) (Fujitsu SPARC64 IXfx) (2012年度-2017年度) : 「京」商用機</b>	<b>125</b>
Reedbush-U (HPE) (Intel Xeon Broadwell (BDW))	61.9
Reedbush-H (HPE) (Intel BDW+NVIDIA P100x2/node)	15.9
Reedbush-L (HPE) (Intel BDW+NVIDIA P100x4/node)	13.4
Oakforest-PACS (Fujitsu) (Intel Xeon Phi/KNL)	16.5
Oakbridge-CX (Fujitsu) (Intel Xeon Cascade Lake)	20.7
<b>Wisteria-Odyssey (Fujitsu/Arm A64FX)</b>	<b>17.8</b>
<b>Wisteria-Aquarius (Intel Xeon Ice Lake + NVIDIA A100x8)</b>	<b>9.00</b>

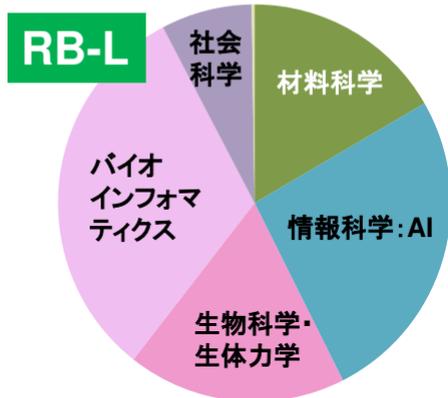
# 本年度分野別(9月末時点) ■汎用CPU, ■GPU

Odyssey, Aquariusは8月・9月分

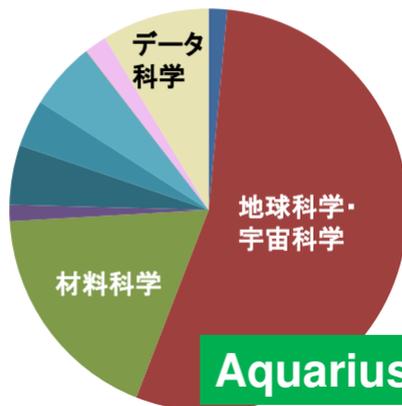
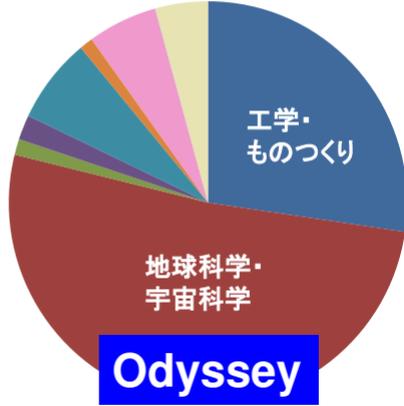
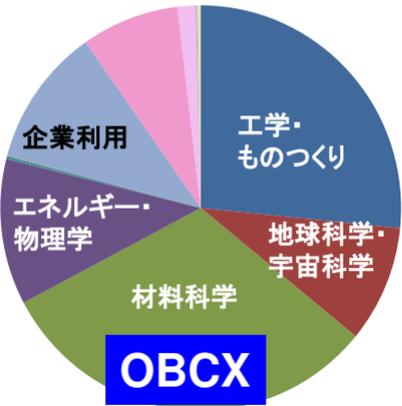
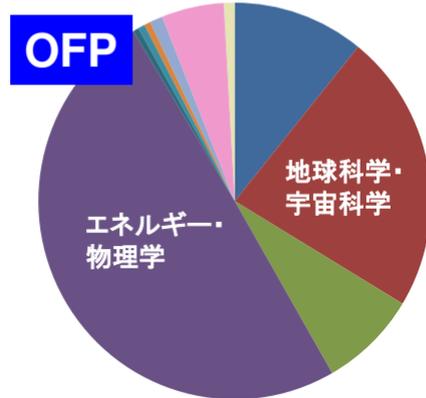
RB-H



RB-L



OFP



- 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

# 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/>

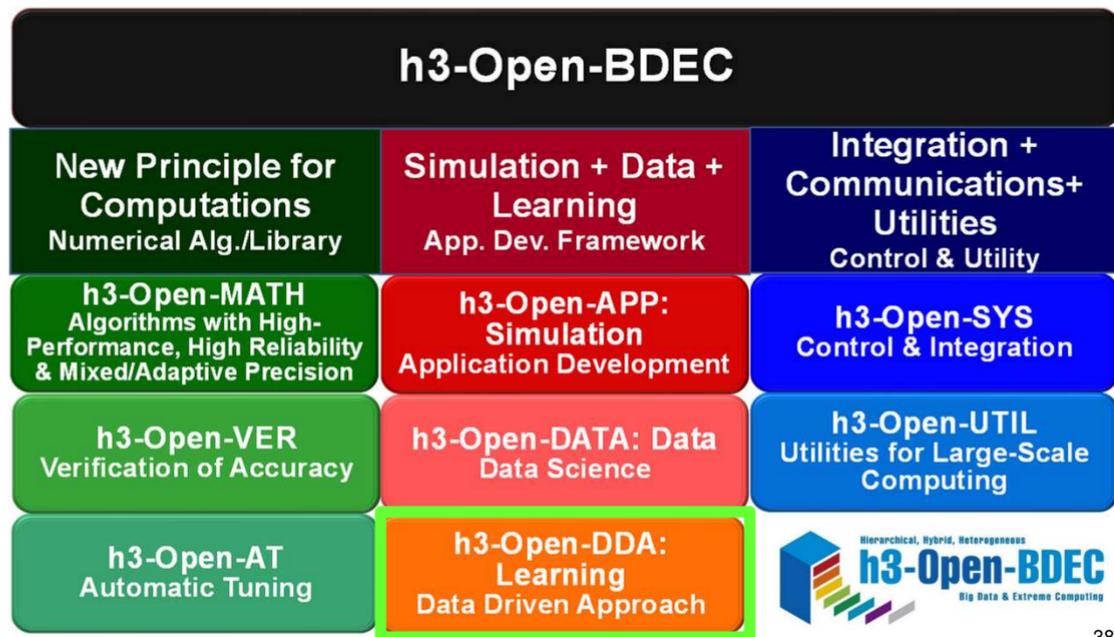
Hierarchical,  
Hybrid,  
Heterogeneous

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



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



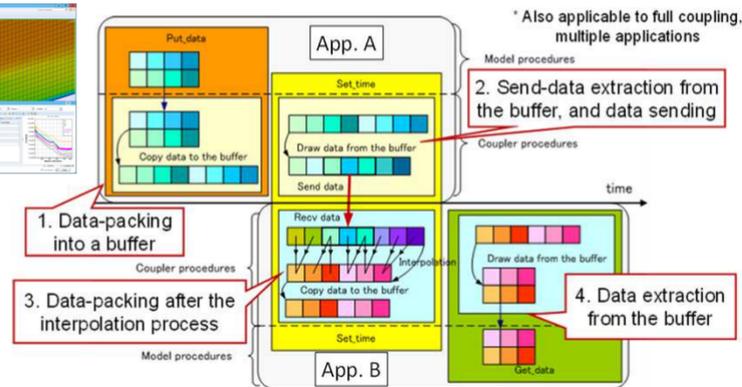
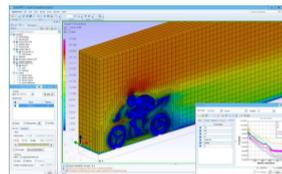
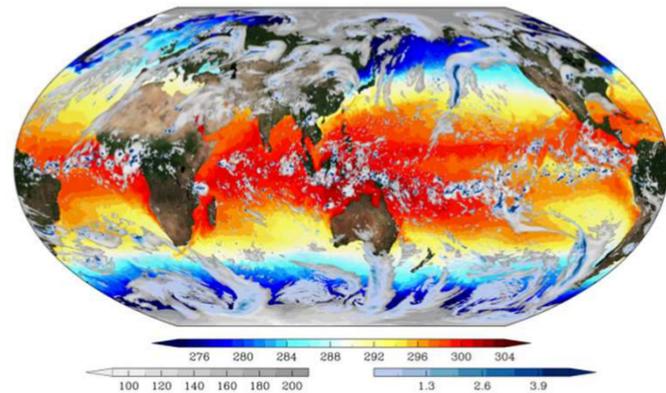
外部  
リソース

# Wisteria/BDEC-01上における

## h3-Open-BDECを使用した(S+D+L)融合

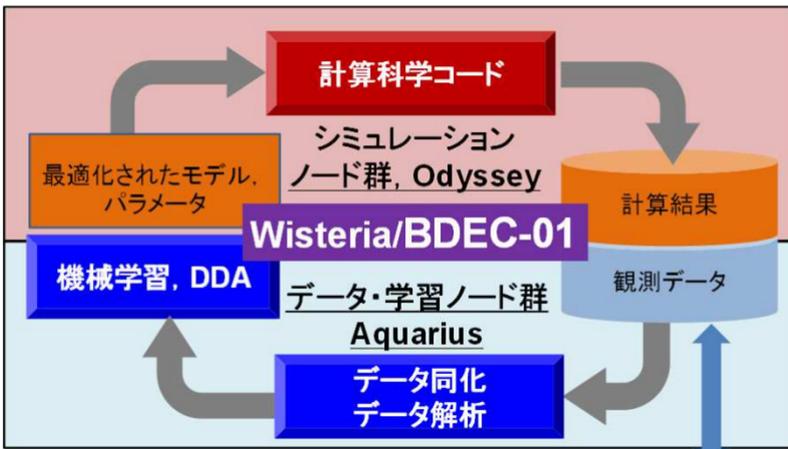


- シミュレーションとデータ同化の融合
  - 典型的・伝統的な(S+D+L)融合
- 気候・気象のための大気海洋連成シミュレーション
  - 東大大気海洋研, 理研, 国立環境研他
- リアルタイム同化+三次元強震動シミュレーション**
  - 東大地震研(後述)
- リアルタイム災害シミュレーション
  - 洪水, 津波
- 既存シミュレーションコードの(S+D+L)融合による高度化
  - OpenFOAM



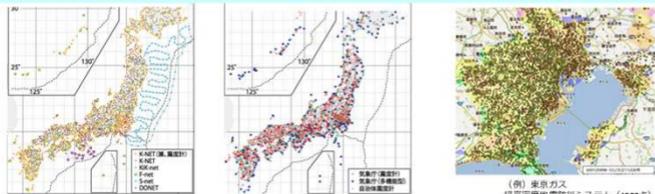
# 三次元地震シミュレーション+リアルタイムデータ同化/観測

## 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

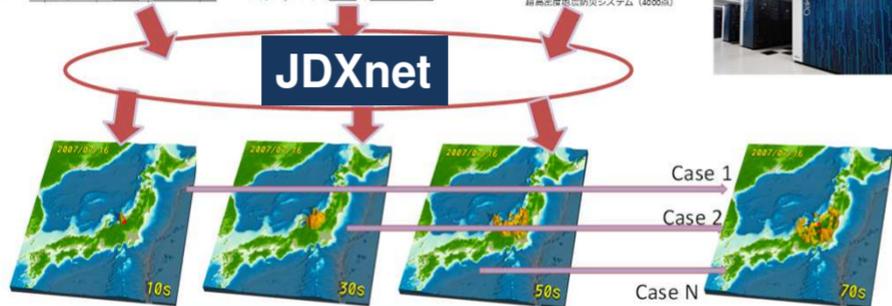
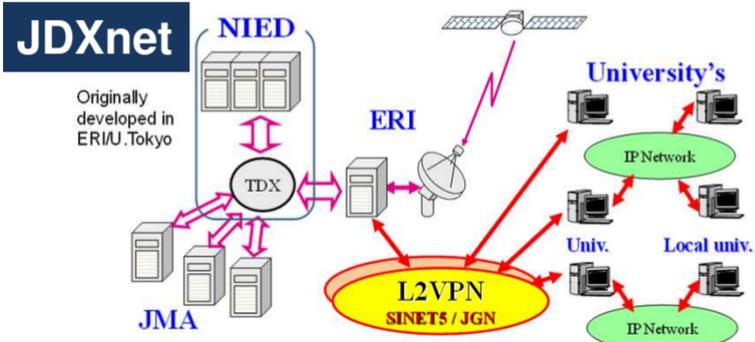


外部リソース  
Server, Storage, DB, Sensors他

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)]

# AI for HPCの実現へ向けて

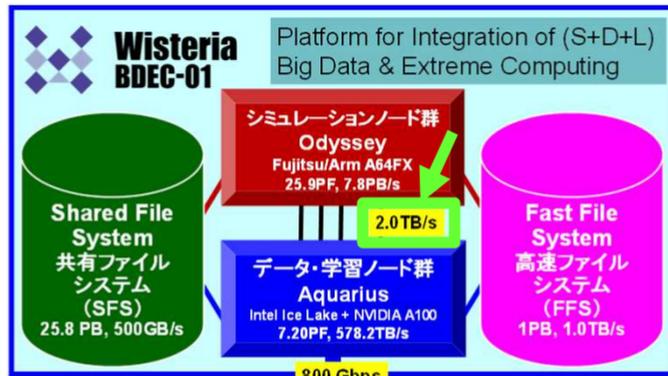


## Odyssey-Aquarius連携

- 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)
- 高性能カプラー: 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	Hierarchical, Hybrid, Heterogeneous Big Data & Extreme Computing

# h3-Open-BDEC

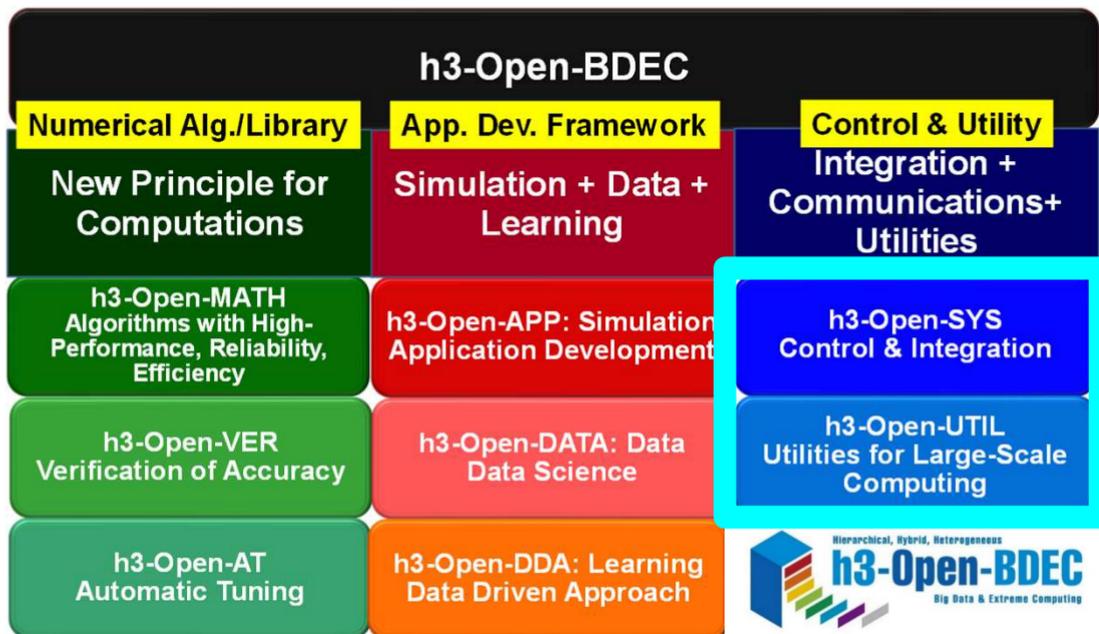
「計算+データ+学習」融合を実現する革新的ソフトウェア基盤  
科研費基盤研究(S)(2019年度~23年度, 代表: 中島研吾)

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

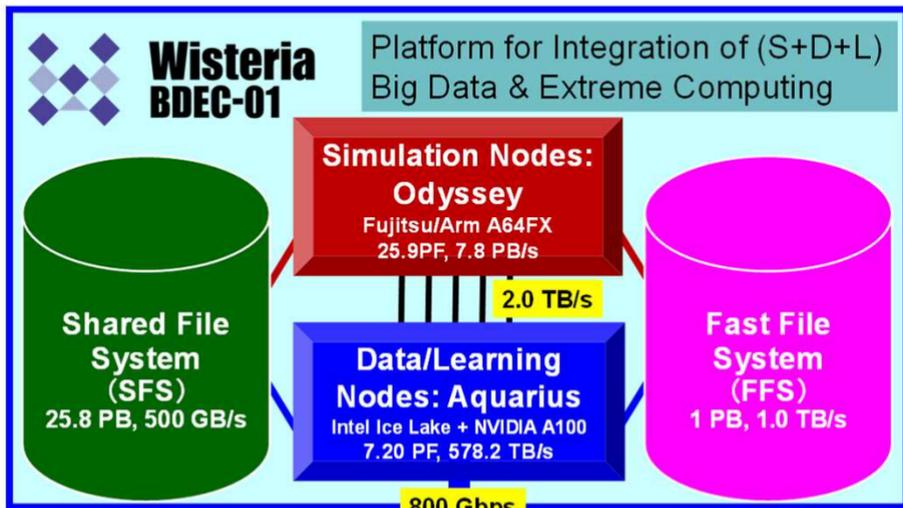
Hierarchical,  
Hybrid,  
Heterogeneous

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



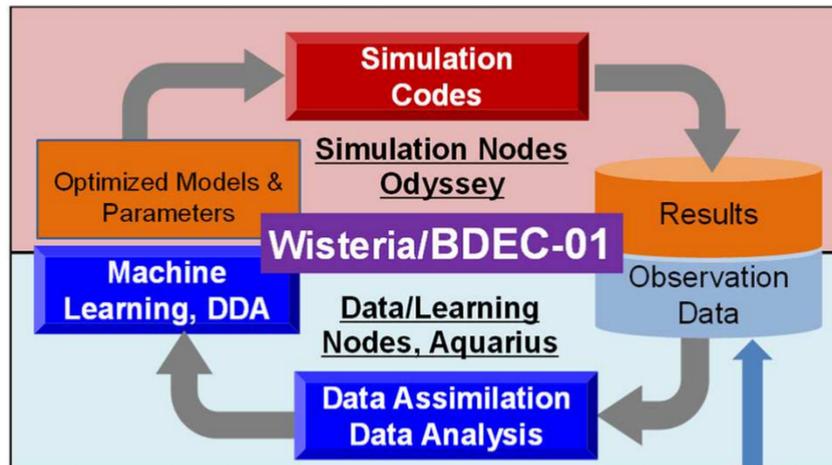
External Resources



External Network



External Resources



Server,  
Storage,  
DB,  
Sensors,  
etc.



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

- ✓ Odysseus～Aquarius間連携

- IB-EDR経由通信 (WaitIO-Socket)
- ファイル経由 (WaitIO-File)

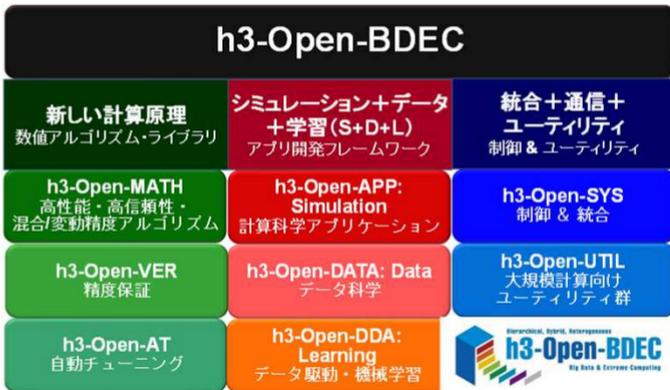
- ✓ 外部からのデータ取得 (観測データ等)

- ✓ 読み込み・書き出しの同期

- API: C/C++, Fortranから呼び出し可能

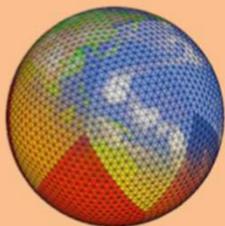
- ✓ MPIライクなインタフェースを提供

- 多機能カプラー (h3-Open-UTIL/MP) との連携



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

## ARM: A64FX



A huge amount of  
simulation data  
output

HPC App  
(Fortran)

h3o-U/MP

## IceLake+A100

Analysis/ML  
App  
(Python)

F<->P adapter

h3o-U/MP

Surrogate  
Model

Visualization

Statistics

Coupling

**IB-EDR**



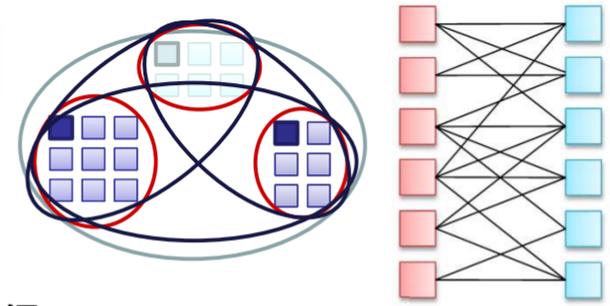
**Wisteria  
BDEC-01**

**Odyssey**



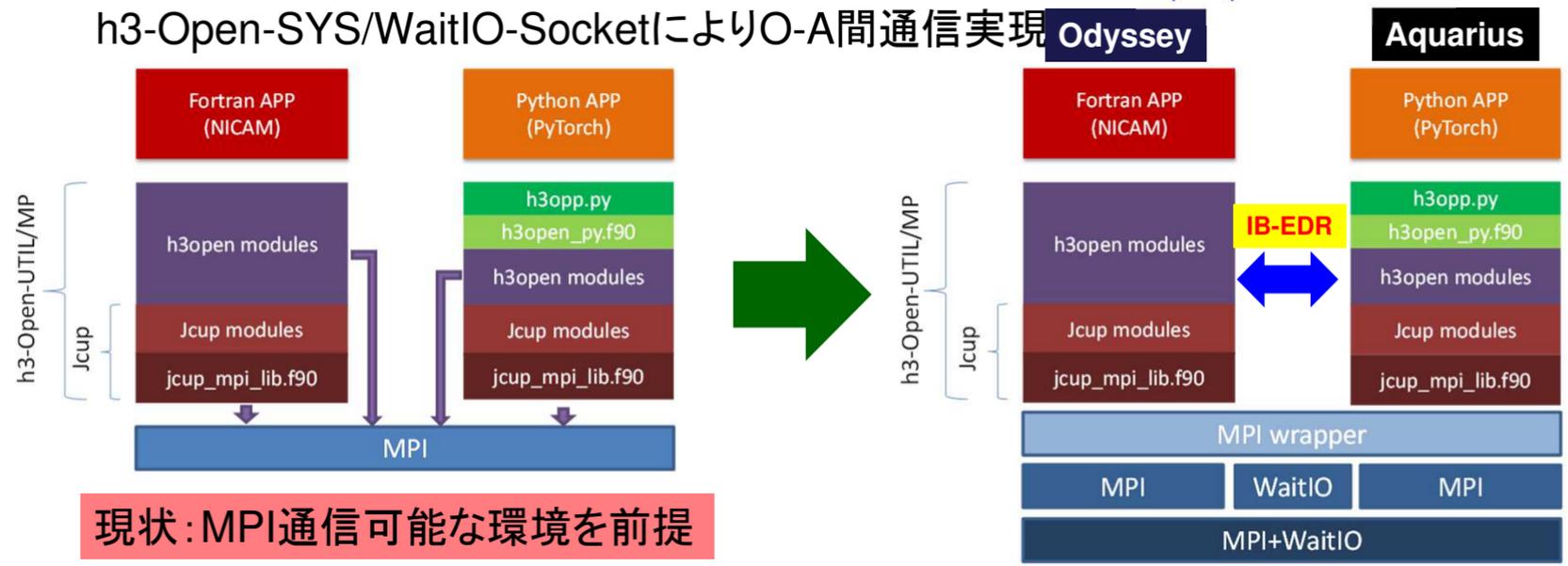
**Wisteria  
BDEC-01**

**Aquarius**



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

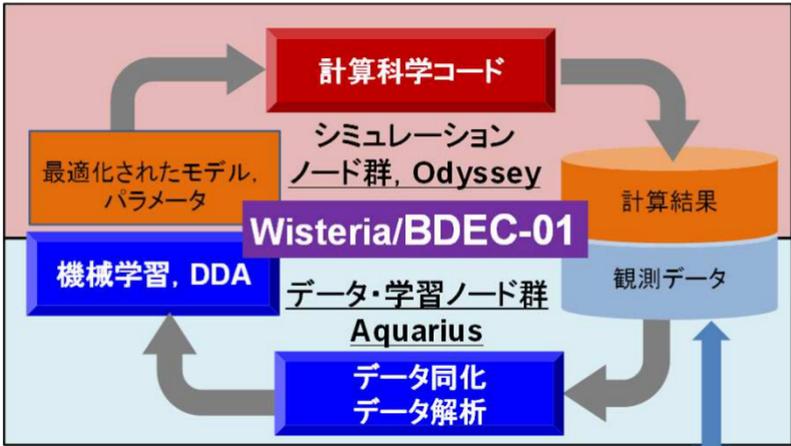
- h3-Open-UTIL/MP
  - (現状)MPIによるコンポーネント間通信: 1対1, 集団通信
  - Odyssey-Aquarius間はMPIによる通信は不可⇒  
h3-Open-SYS/WaitIO-SocketによりO-A間通信実現



現状: MPI通信可能な環境を前提

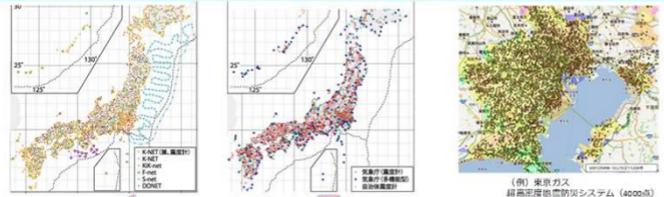
# 三次元地震シミュレーション+リアルタイムデータ同化/観測

## 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

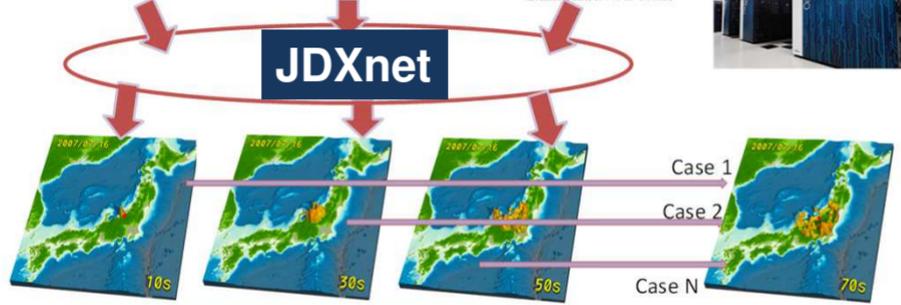
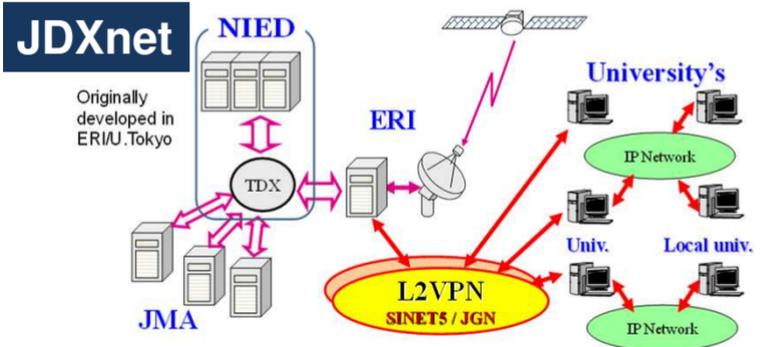


外部リソース  
Server, Storage, DB, Sensors他

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



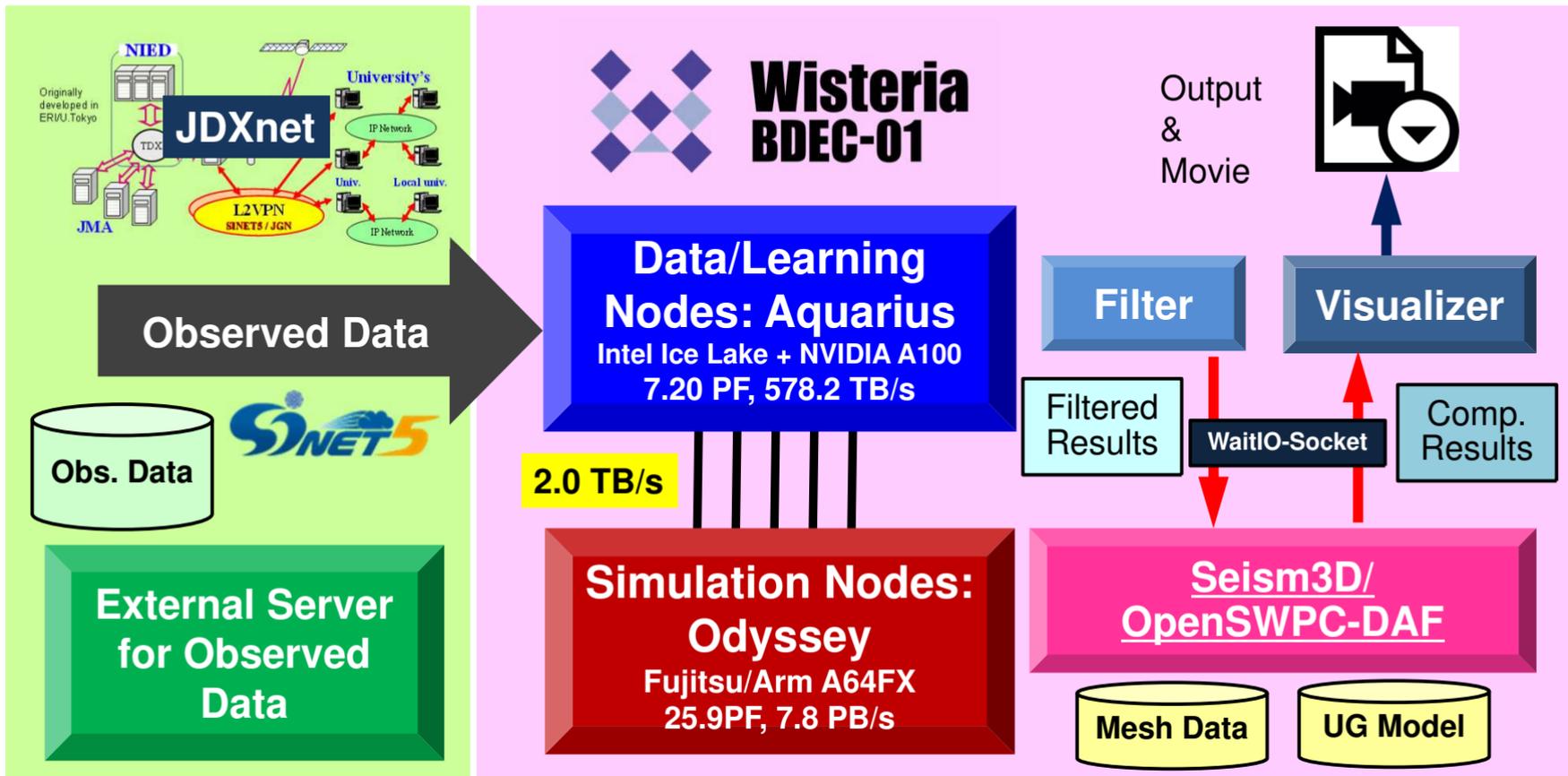
[c/o Furumura]



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)]

# 長周期地震動シミュレーション＋観測データ同化



# 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)

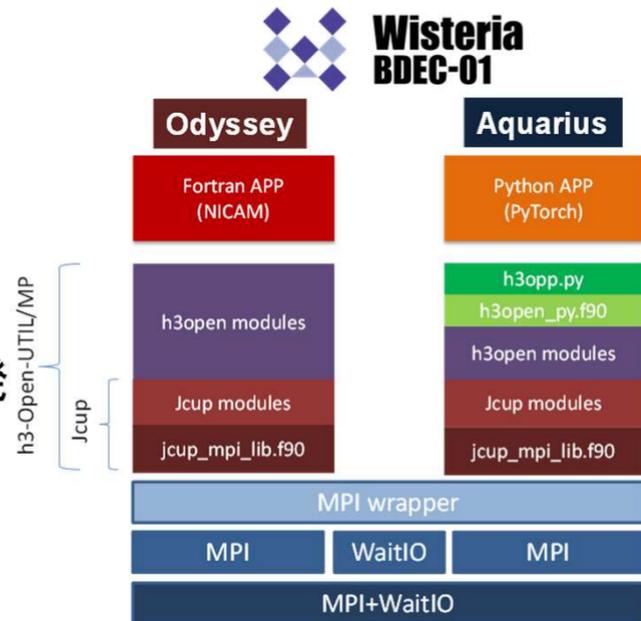
<https://www.cc.u-tokyo.ac.jp/guide/exploratory/AIforHPC/>

- (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
  - 次回は2022年年明け, 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	

# 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



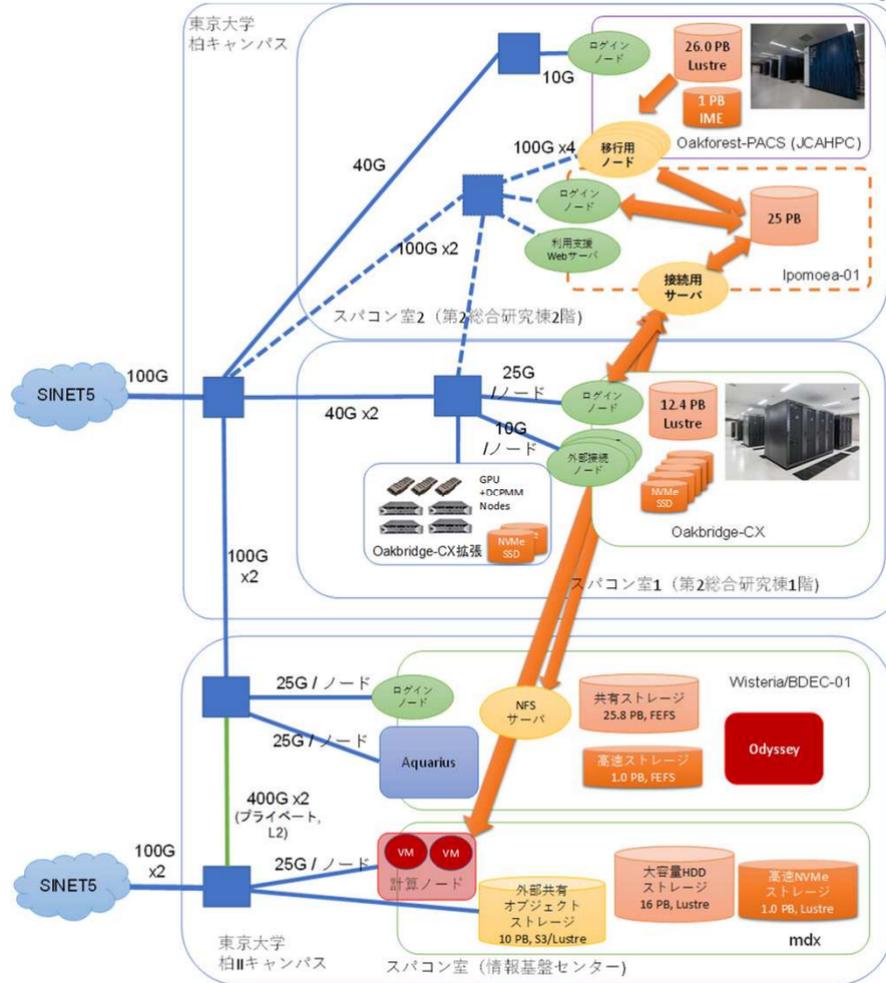
# 大規模共通ストレージシステム「Ipomoea」

- 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



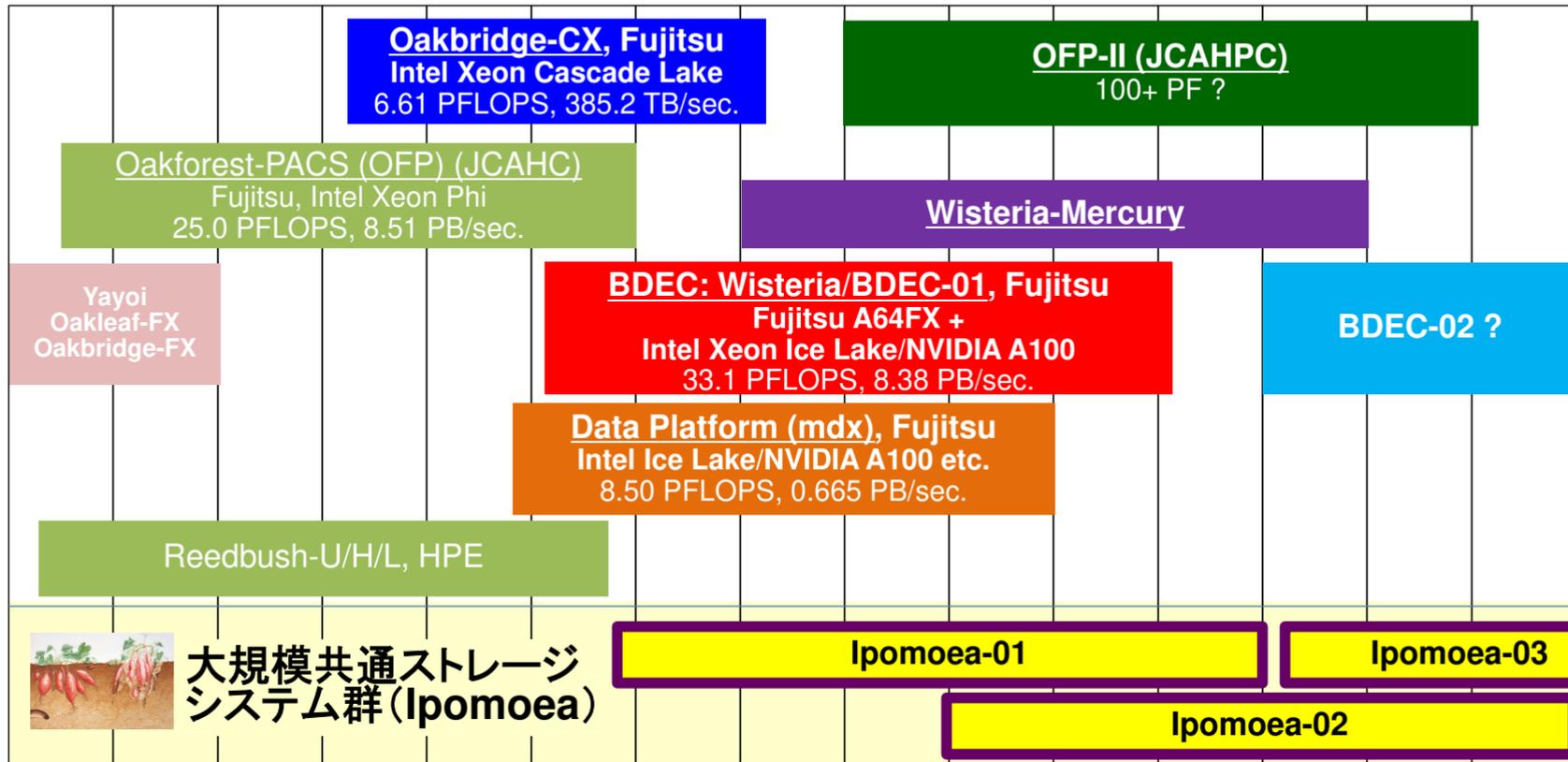
# Ipomoea-01

- 2022年1月運用開始予定, 25+PF  
– 富士通製
- 2022年6月末までにOFPのLustre領域の必要ファイルについて移行完了
- 既存システム(2021年3月末)
  - OFP 50億ファイル 11 PB
  - OBCX 8.5億ファイル 2.6 PB



# 東大情報基盤センターのスパコン

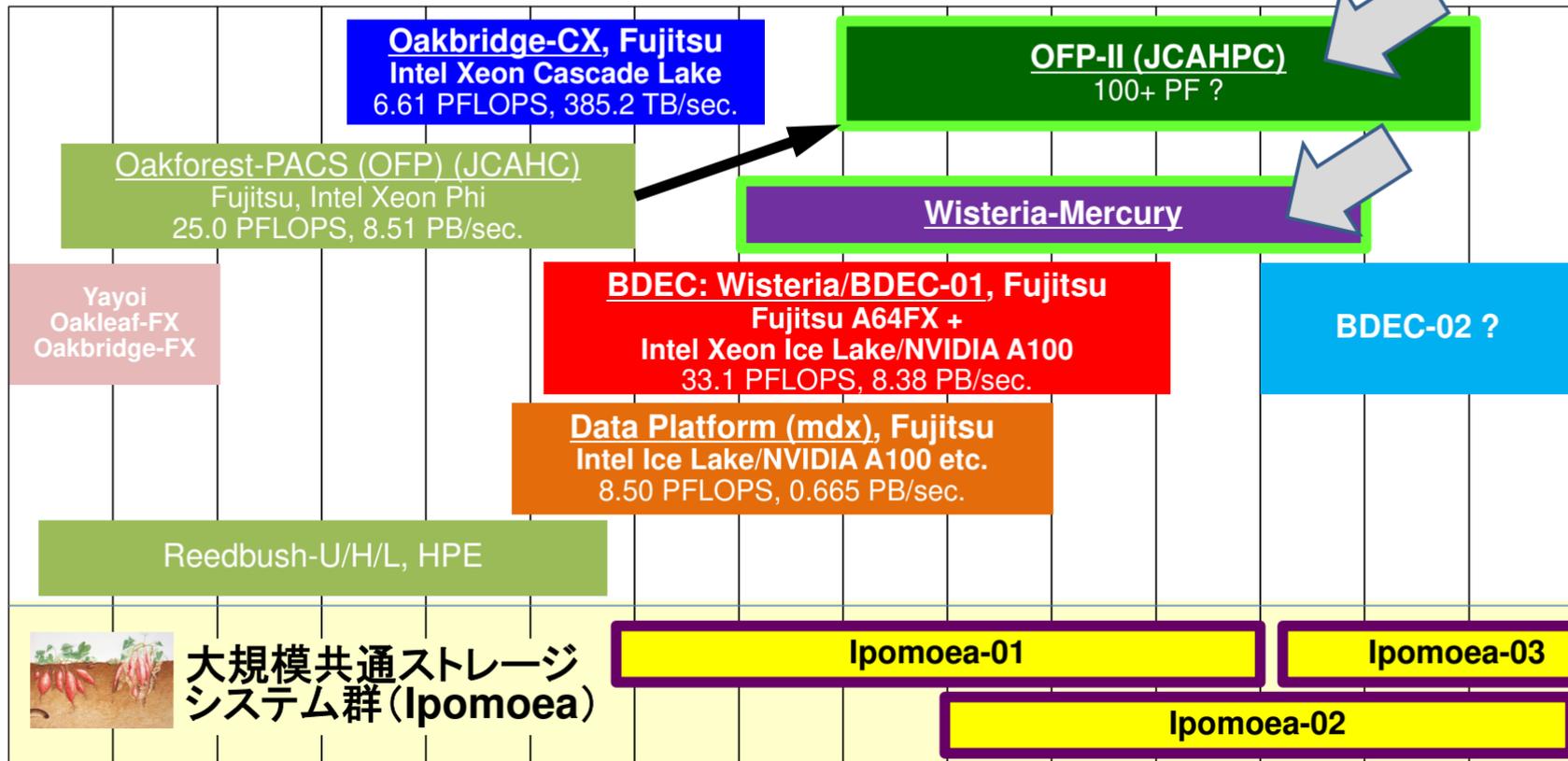
FY16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30



大規模共通ストレージシステム群 (Ipomoea)

# 東大情報基盤センターのスパコン

FY16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30



# 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**

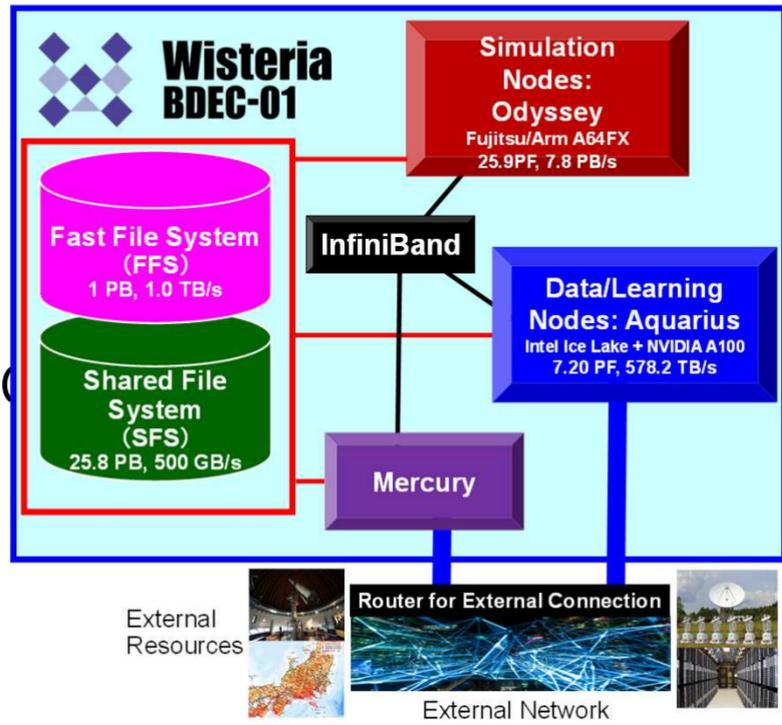
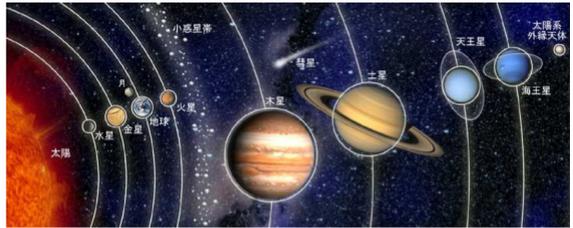
- Wisteria-Mercury
- 当初はAquariusを補助するCPUのみのノード群として計画されていたが, 現状では次世代加速器を搭載したシステムとして検討中
  - 実は「Messenger」というIcelake 6ノードから構成される「Mercury」のプロトタイプは既にある
  - OFP-IIのプロトタイプとしての位置づけもある
- ピーク性能6+PF程度を想定(128+ GPU's)
- 2022年初頭に資料招請開始

- **BDEC-02:2028年4月運用開始予定**

# Wisteria-Mercury

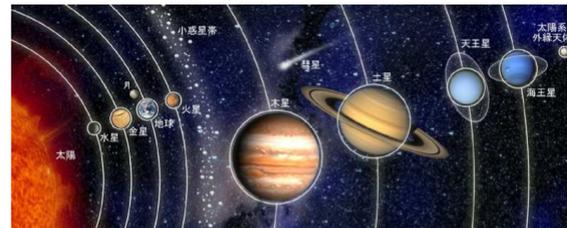
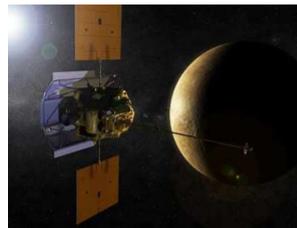
## Winged Messenger

- **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 + InfiniBand

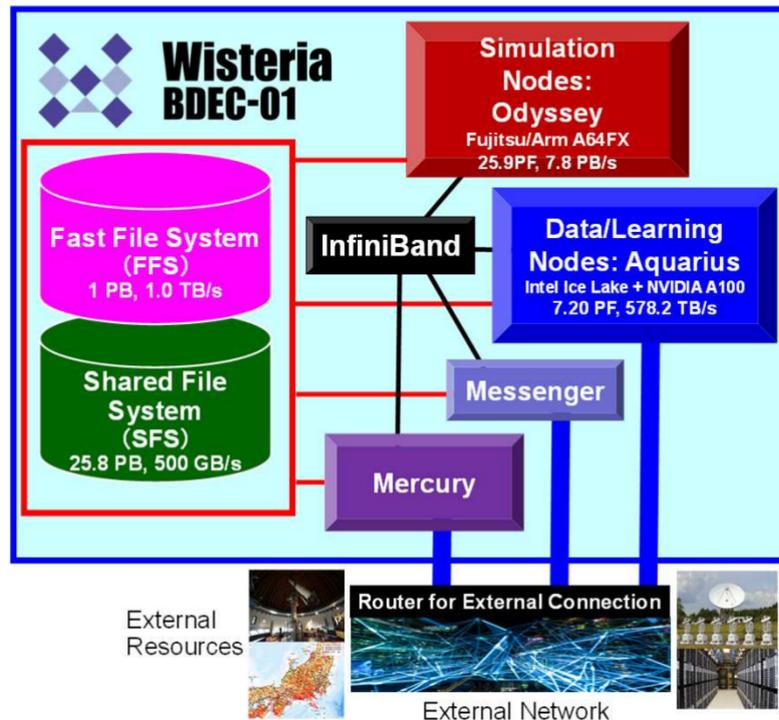


# Wisteria-Messenger

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

- 「計算・データ・学習」融合を掲げて6年あまり、2021年は特筆すべき年
  - 「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
  - 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
- 20年, 30年先を見据え, T2K精神のもと, 様々な挑戦を続けていく
  - ここ数年はアプリ開発基盤を軸としていた

# まとめ(続き)

- スパコンへの性能要求, 省電力, 脱炭素化⇒加速器搭載は不可避
  - なんか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(ここにいる人には・・・)
  - 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場としてPCCCが機能してくれれば, と思ふ
  - 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



# [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