



ポスト統合について: 気候予測DX, 連携課題, etc.

海洋研究開発機構

地球環境部門 環境変動予測研究センター

センター長 河宮未知生

今後の気候変動研究の方向性 (主な研究テーマの具体例)

ハザード統合予測モデルの開発 **D**

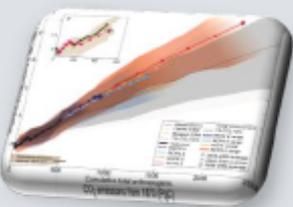
気候予測データ等も活用し、陸域を中心に、気候変動を踏まえた洪水・高潮・熱波と旱魃等の複合災害等を対象に、水循環のメカニズムの解明等により、ハザード統合予測モデルを開発。



陸域ハザード統合モデル

予測シミュレーション技術応用研究 **B(要望枠)**

予測シミュレーション技術を活用し、全球規模で許容される温室効果ガス排出量 (カーボンバジェット)、脱炭素シナリオの評価や将来予測情報を活用した再生可能エネルギーの評価等を実施。

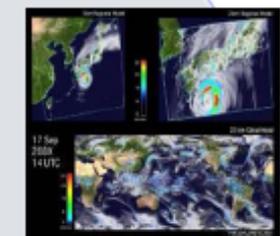


カーボンバジェット評価

一体的かつユーザーを意識した研究開発

日本域気候予測データの高精度化 **C**

我が国における全ての気候変動対策の基盤となる日本域の気候予測データについて、ニーズ等を踏まえ高精度化や、大規模アンサンブルデータの高度化等を実施。



領域予測データの例

全球規模の気候変動予測シミュレーション技術の高度化 **A+B**

気候変動予測を可能とする「全球気候モデル」を核として、衛星データとの融合や、炭素循環をはじめとする物質循環、それに関わる生態系モデルを結合したシミュレーション技術の高度化を実施。



気候モデルの高度化

気候変動対策のデジタルトランスフォーメーション化

ユーザーニーズを踏まえ、更なるデータ利活用 (データを活用した気候変動対策等) を強化するため、ユーザーと連携し、ユーザーフレンドリーかつ、AIも活用した時系列データ等を創出する技術開発。

*ユーザーとのコミュニケーションにおいては、受け取る側の立場やバックグラウンドの違いを意識しながら、効果的な伝え方 (モデルの不確実性も含め) をしていくことが重要。あわせて、本プログラムで開発したデータについては原則オープン化。

構成員（五十音順、◎：主査、○：主査代理）

- 秋元 圭吾 公益財団法人地球環境産業技術研究機構 地球環境産業技術研究所
システム研究グループ グループリーダー・主席研究員
- ◎ 江守 正多 国立研究開発法人国立環境研究所 地球環境研究センター 副研究センター長
沖 大幹 国立大学法人東京大学大学院 工学系研究科 教授
嶋田 知英 埼玉県 環境科学国際センター 研究企画室長
高村 ゆかり 国立大学法人東京大学 未来ビジョン研究センター 教授
竹ヶ原 啓介 株式会社日本政策投資銀行 設備投資研究所 エグゼクティブフェロー
筒井 純一 一般財団法人電力中央研究所 環境科学研究所 研究参事
- 本郷 尚 株式会社三井物産戦略研究所 国際情報部 シニア研究フェロー

開催実績

- 第1回 令和3年4月 7日
第2回 令和3年5月21日
第3回 令和3年6月18日
第4回 令和3年6月29日



TOUGOU

気候変動を巡る国内外の主な動向等④

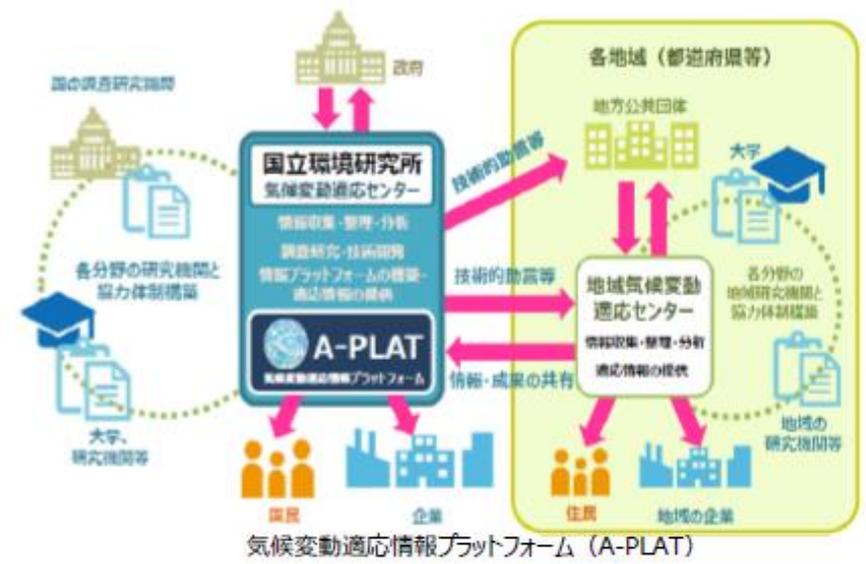


③データ利活用

- 研究交流のリモート化や、研究設備・機器への遠隔からの接続、データ駆動型研究の拡大など、世界的に研究活動のDX（デジタルトランスフォーメーション）（研究DX）の流れが加速。また、DXを通じて、より付加価値の高い研究成果を創出していくことが重要。
- 気候変動対策に関する情報基盤として、予測データ等の地球環境データを蓄積・統合解析するデータ統合・解析システム（DIAS）や、気候変動適応策を支援するための気候変動適応情報プラットフォーム（A-PLAT）が整備されているところ。
- 気候変動分野においては、予測データを科学的根拠（エビデンス）として活用する例※15や民間企業でのリスク評価での活用事例が出てきたが、現在の研究成果（予測データ等は、まだまだ専門家向けのデータであり、予測精度の不足もあり、活用の範囲は限定的）。

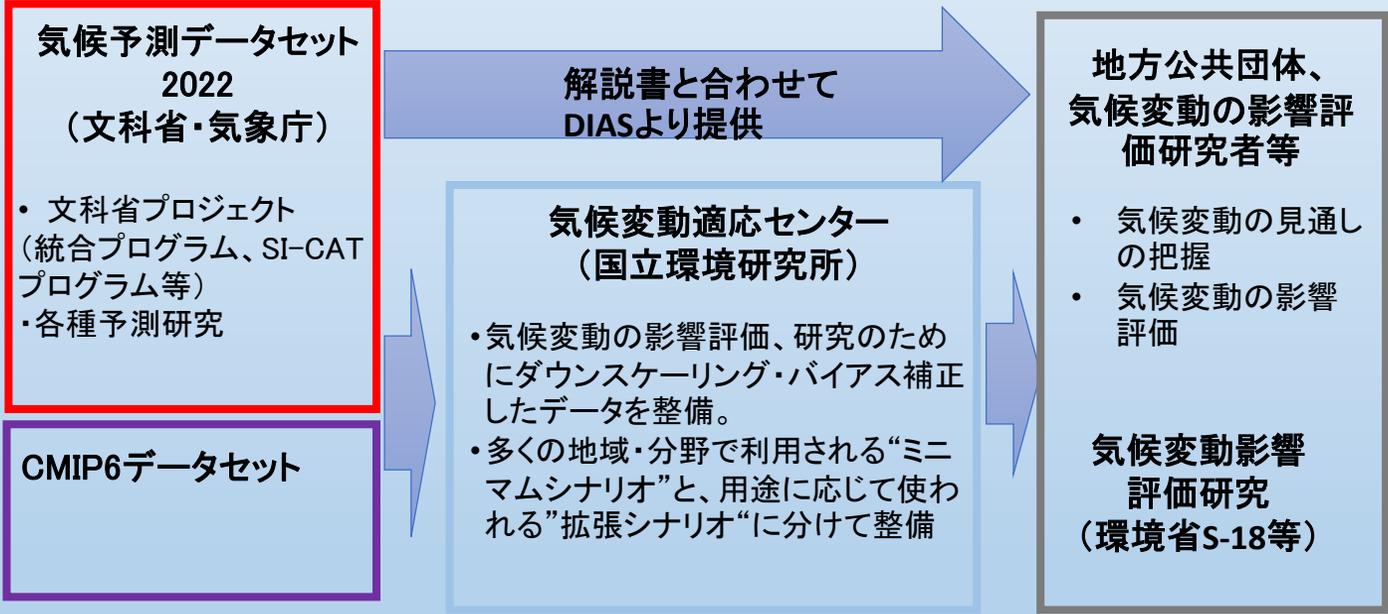
※15 国土交通省による気候変動を踏まえた治水対策や河川堤防や、防潮堤等のインフラ整備は50年以上先を見据えた整備事業において活用

- 防災対策や脱炭素対策等の様々な気候変動対策において経験則による対策からデータを活用した対策へのパラダイムシフト（DX）が進んでおり、今後、更に進んでいくことが見込まれている。



気候予測データセット2022（案）について

- 目指すべきデータセットの方向性を踏まえ、ユーザーニーズ、技術動向等を踏まえ、現時点での最先端のデータセットとする。
- 文科省プロジェクト(統合プログラム、SI-CATプログラム等)により創出した予測データセットを中心に整備



※気候予測データセットは、上記影響評価以外に産業における気候変動のリスクマネジメント等へも活用可能。

DXとは（Wikipediaより）

エリック・ストルターマンによる定義

初出：2004年にスウェーデンのウメオ大学教授のエリック・ストルターマン（Erik Stolterman）が“Information Technology and the Good Life”の中で提唱。「ITの浸透が、人々の生活をあらゆる面でより良い方向に変化させる」と唱えた。

以下の特徴を提示：

- DXにより、情報技術と現実が徐々に融合して結びついていく変化が起こる。
- デジタルオブジェクトが物理的現実の基本的な素材になる。
- 今日の情報システム研究者は、より本質的な情報技術研究のためのアプローチ、方法、技術を開発する必要がある。

気候予測DXについての私見

ストルターマン氏が提示する特徴と対比して考えると:

- DXにより、情報技術と現実が徐々に融合して結びついていく変化が起こる。
 - 高解像度かつ多様なプロセスを含むモデル開発により、気候モデルの結果を「もう一つの地球」として捉えることが可能になる。
- デジタルオブジェクトが物理的現実の基本的な素材になる。
 - 気候モデルによる予測が観測データと同様、社会インフラ構築や産業活動展開を検討するうえでの基礎データとなる。
- 今日の情報システム研究者は、より本質的な情報技術研究のためのアプローチ、方法、技術を開発する必要がある。
 - DIAS, ポスト統合の技術部門の関係者らが、使いやすいUIを開発する。

ポスト統合検討会

- A-D各テーマから3-4名ずつメンバーを選出
- 4回のオンライン会合とネット経由の議論などを通し、「ポスト統合提案書」作成
 - オンライン会合開催日：2020年8月21日、9月23日、9月29日、11月26日
 - 提案書リンク：<https://bit.ly/39DZj9w>
- 標語：「行動につながる気候科学」
 - DXの推進と整合的

「提案書」中のデータに関する部分(1): (ポスト)テーマC

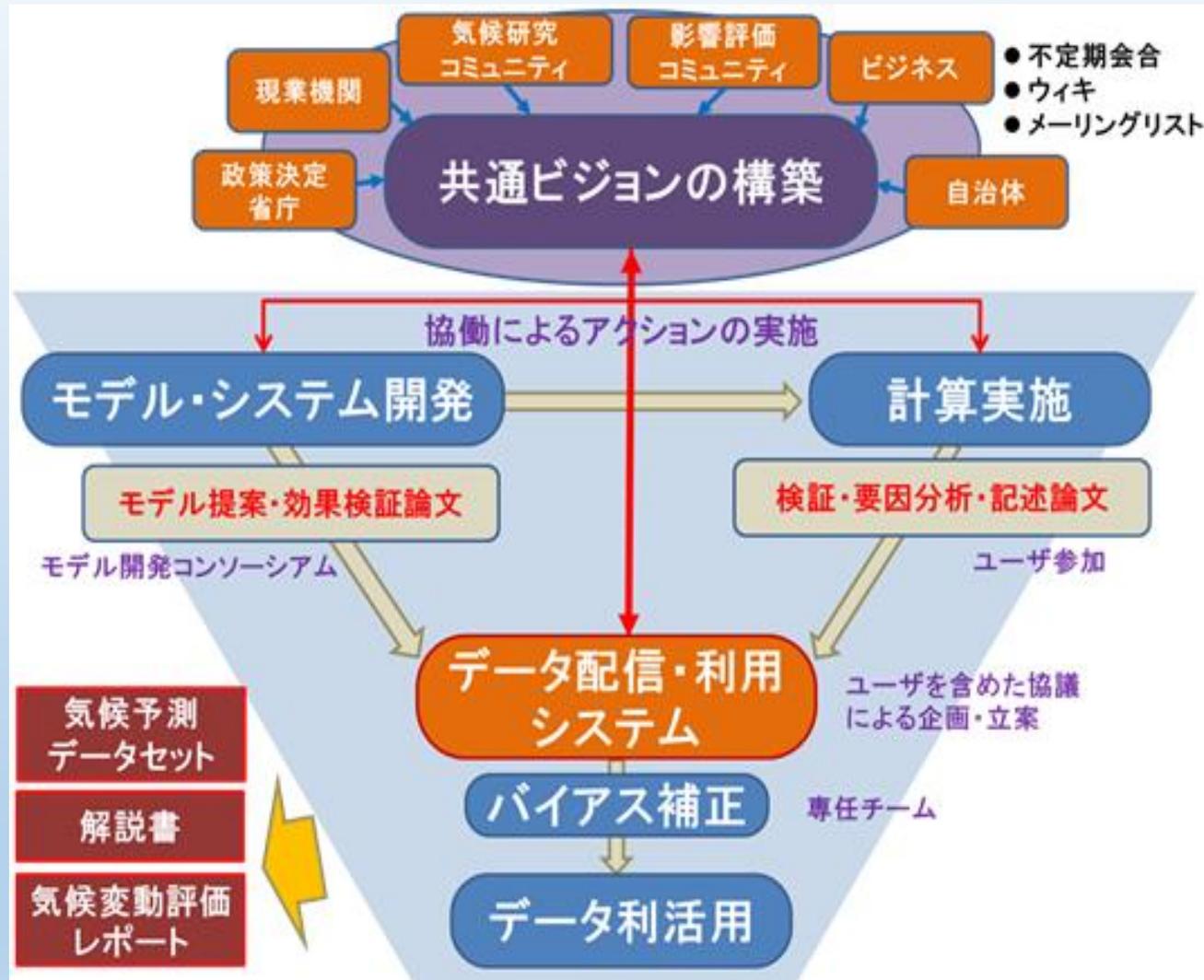
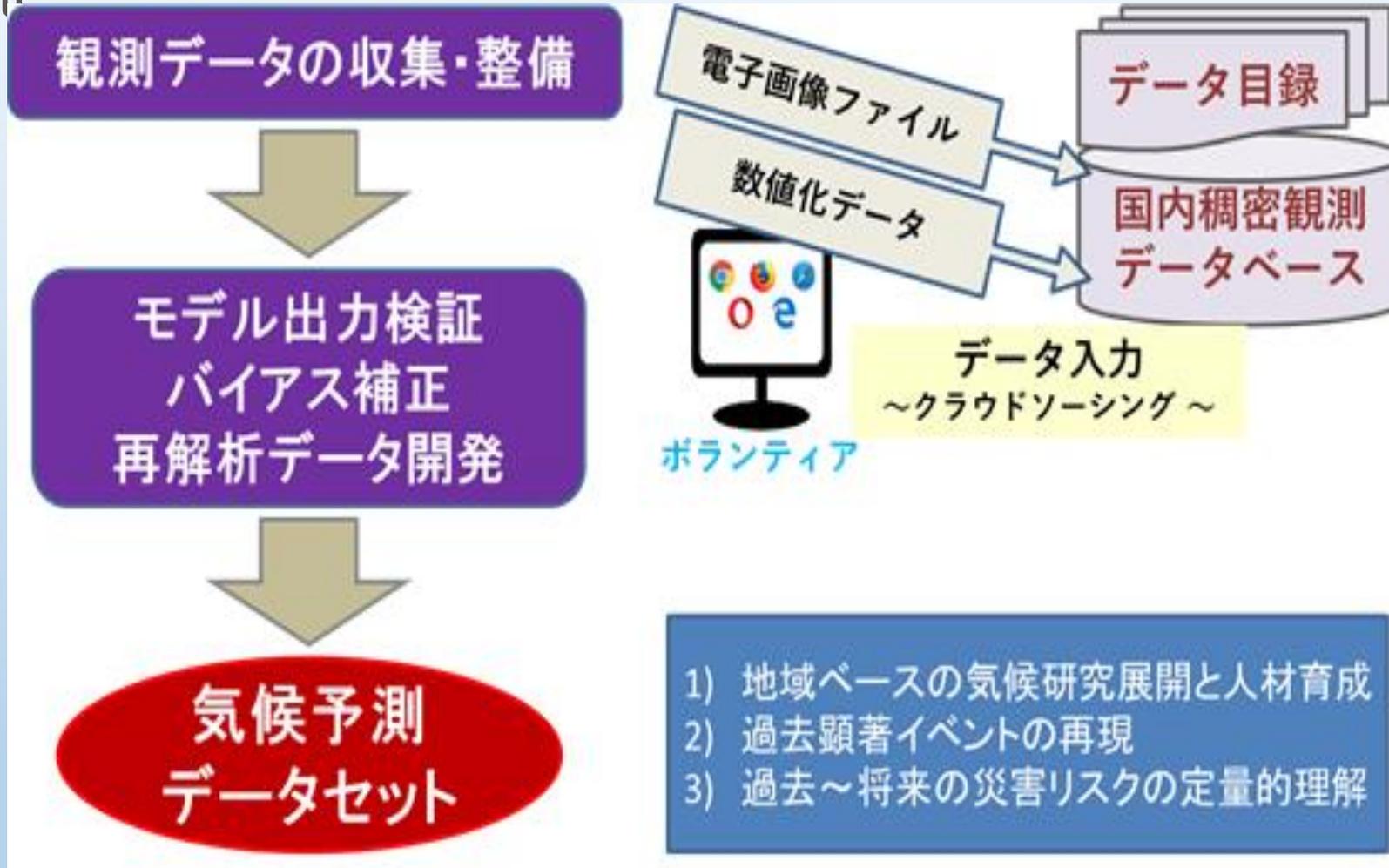


図4: 気候予測データセット検討・開発・提供・利用体制

「提案書」中のデータに関する部分(2): 連携課題



150年気候解析研究の成果を含め、気候予測シミュレーションデータと併せた、総合的気候データセットとしてリリース。Obs4MIPに類似したデータ集積、配信を想定。

図8: 観測データセット整備の概要

「提案書」中のデータに関する部分(3): 連携課題

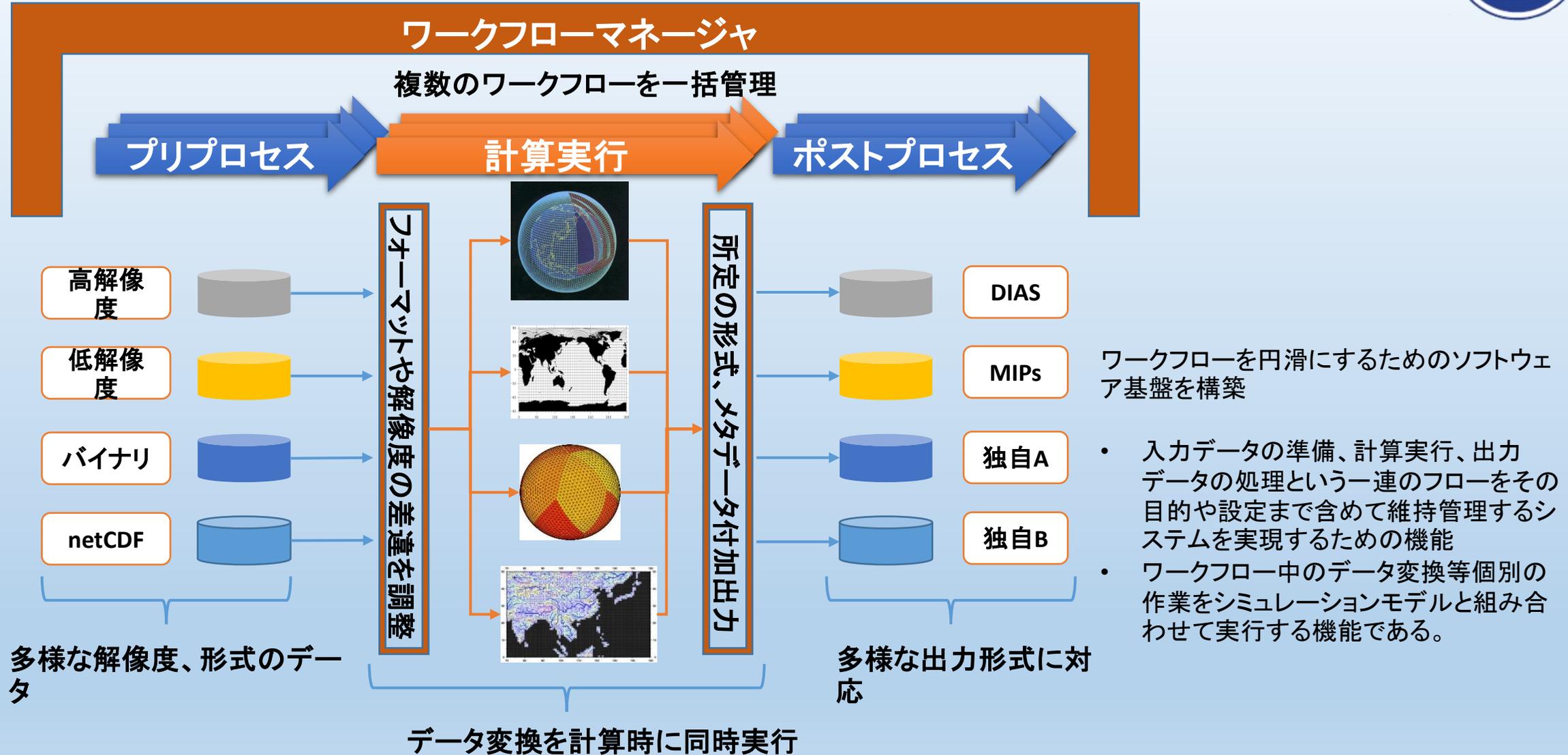


図9: 大規模シミュレーションのためのソフトウェア基盤概要

④ 諸外国・国際機関の研究動向

(EU)

- 2020年11月に欧州グリーンディールとデジタル戦略の一環として推進するイニシアチブを欧州議会で採択。
- 複数のデジタルツインから構成される地球システムモデルを開発。自然環境や人間活動のモニタリングやシミュレーション、将来社会シナリオの検証、各種政策的意思決定への活用などを想定。
- コペルニクスプログラムなどからの各種データ、情報処理・データ解析基盤、モデル（デジタルツイン）、サービスを構成要素とする統合的な基盤の構築を目指している。

タイムライン：2023年…プラットフォームと2つのデジタルツイン初期バージョンをクラウド上に公開。

2025年まで…プラットフォーム上に4~5の実用デジタルツインを統合し、公的セクター向けのサービスを開始。

2025~30年まで…デジタルツインを完全公開。

(米国)

- 2020年9月に公表された人工知能と機械学習の科学への応用に関するレポート※16では、様々な分野への展開を視野に入れ検討され、地球・環境科学に係る「主要（グランド）チャレンジ」は以下の通り：
 - 環境リスクを予測し、変化する環境下でのレジリエンスを高める
 - 変化する環境下での地球システムの予測的理解を深める
 - 変化する環境下での水セキュリティを確保する

※16 エネルギー省（DOE）先端科学コンピューティング研究局にとっての新たな機会やチャレンジを分析することを目的として作成

(WCRP（世界気候研究計画）)

- 世界気候研究計画（WCRP）の新たな体制(2021-)では、近未来予測を含めた予測精度の高度化、モデルと観測を適切に統合したデジタルかつ動的な地球システムの開発、主要SDGsの達成に向けた道筋の探索等が示されている。

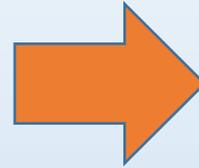


図の掲載元: WCRPホームページ (<https://www.wcrp-climate.org/wcrp-ip-la>) 13

出典 気候変動研究に関する検討会第2回(CRDS説明資料)より作成

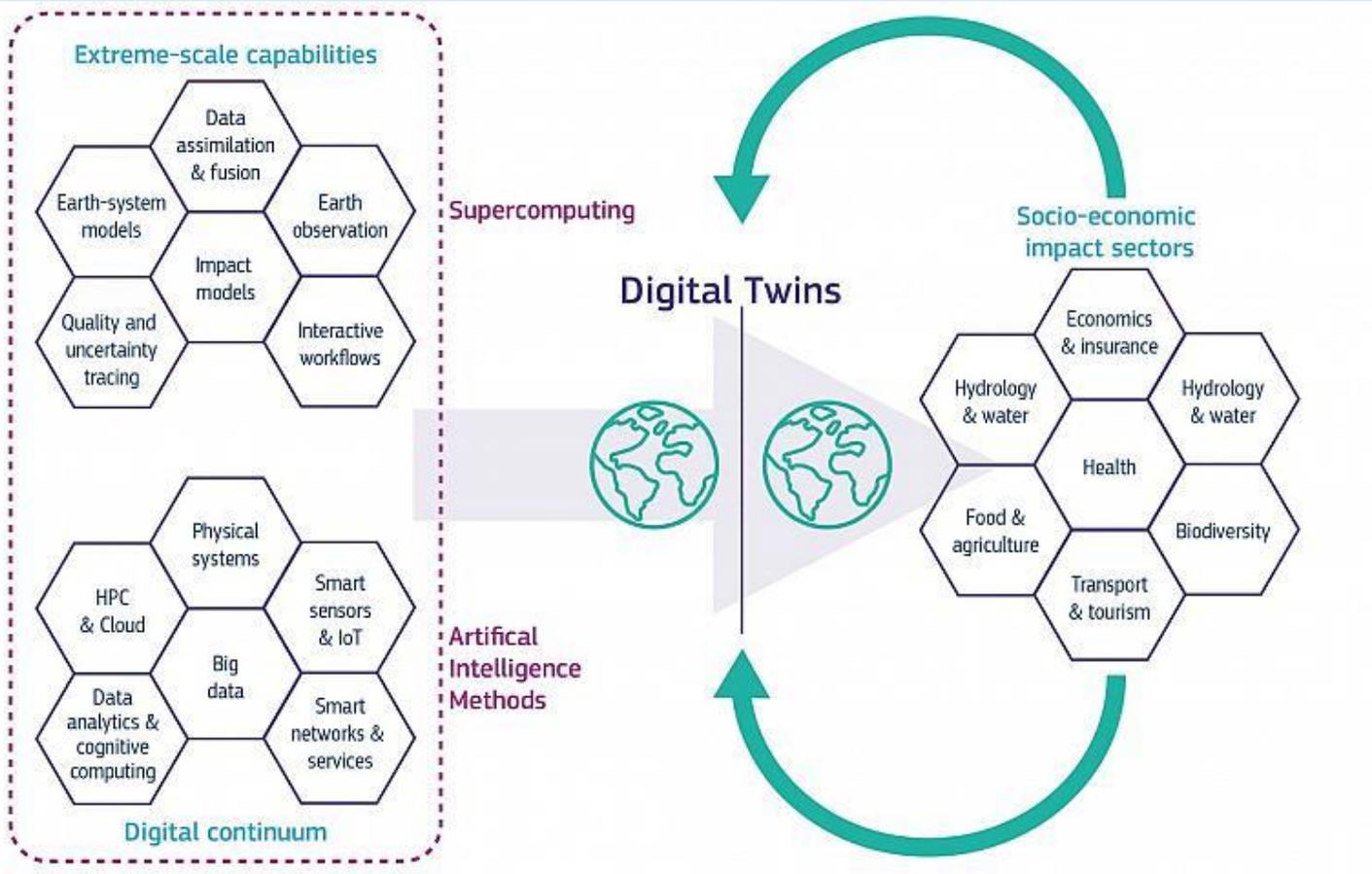
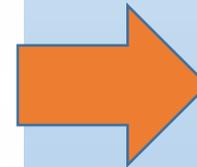
海外の取り組み例：EUの“DestinE”

データ同化、大型計算機、AI、社会経済モデルとの結合など、**最新の地球システムモデリング技術を駆使して地球の「Digital-twin(*)」を開発。**



- ある温暖化緩和政策をとった際の
 - 山火事は？
 - 農作物収量は？
 - 洪水対策は現状で十分か？
- CO₂と非CO₂の排出規制を、どう組み合わせると目標を達成するのが効果的か

・・・といった問題の**対話的な検討ツール**に。



* WCRPの“Digital Earths”とは関連は深いですが別物と捉えた方が良さそう。

Nature Climate Changeのコンセプトペーパー

comment Check for updates

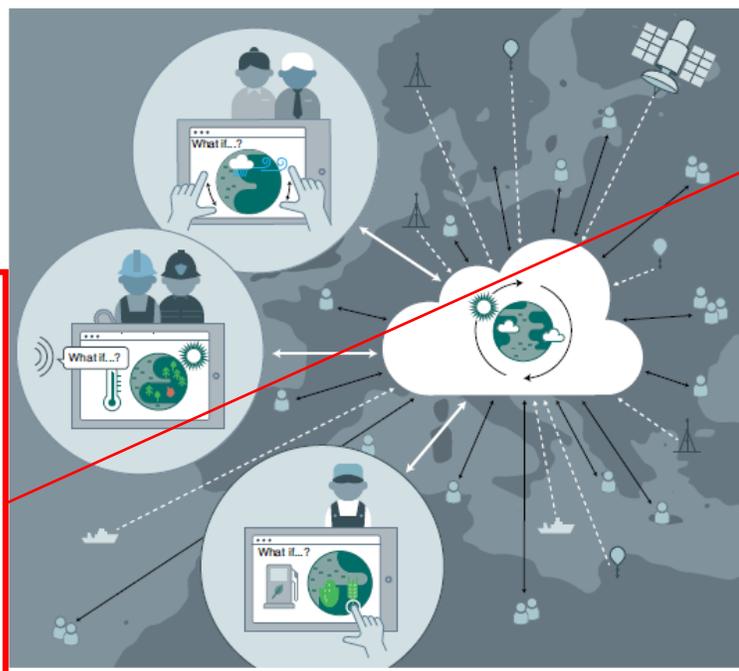
A digital twin of Earth for the green transition

For its green transition, the EU plans to fund the development of digital twins of Earth. For these twins to be more than big data atlases, they must create a qualitatively new Earth system simulation and observation capability using a methodological framework responsible for exceptional advances in numerical weather prediction.

Peter Bauer, Biorn Stevens and Wilco Hazeleger

The European Union (EU) intends to become climate neutral by 2050, and the set of policies designed to bring about this green transition — the European Green Deal — was announced in December 2019 (ref. 1). Accompanied by €1 trillion of planned investment, Green Deal policies aim to help the world's second-largest economy sustainably produce energy, develop carbon-neutral fuels and advance circular products in energy-intensive industrial sectors with zero waste and zero pollution.

A key element of the Green Deal is its dependence on the 'digital transformation' — an openly accessible and interoperable European dataspace as a central hub for informed decision making. The EU identified two landmark actions to support the necessary information systems: GreenData4All² and Destination Earth³. Whereas GreenData4All will develop the European approach to discover, manage and exploit geospatial information, Destination Earth aims to construct highly accurate models, or 'digital twins', of the Earth to monitor and predict environmental change and human impact in support of sustainable development. Aligned with the new Digital Europe funding programme⁴, Destination Earth is expected to start in 2021, and the first, high-priority digital twins serving extremes prediction and climate change adaptation will start production in 2023 (ref. 5).



Credit: Map of Layerace / Freepik

グリーンディールの重要な要素は、「デジタルトランスフォーメーション」に依存していることです。つまり、情報に基づいた意思決定を行うための中心的なハブとして、オープンにアクセスでき、相互運用可能な欧州のデータスペースが必要なのです。EUは、必要な情報システムをサポートするための2つの画期的なアクションを特定しました。それがGreenData4AllとDestination Earthである。GreenData4Allは、地理空間情報を発見、管理、活用するための欧州のアプローチを開発するものであり、Destination Earthは、持続可能な開発を支援するために、環境変化や人間の影響を監視、予測するための高精度な地球モデル、すなわち「デジタルツイン」を構築することを目的としています。Destination Earthは、新しいデジタルヨーロッパプログラムに沿って、2021年に開始される予定であり、極端な気候変動の予測と気候変動への適応に貢献する、優先度の高い最初のデジタルツインは2023年に製造が開始される予定です。

Bauer, Stevens, Hazeleger (2021, NCC)



Climate
Change

DestinE, Green Deal & Digital Europe

Key initiative, announced in:



A European Green Deal (2019)



A European strategy for data (2020)



Shaping Europe's digital future (2020)



Aim and goals

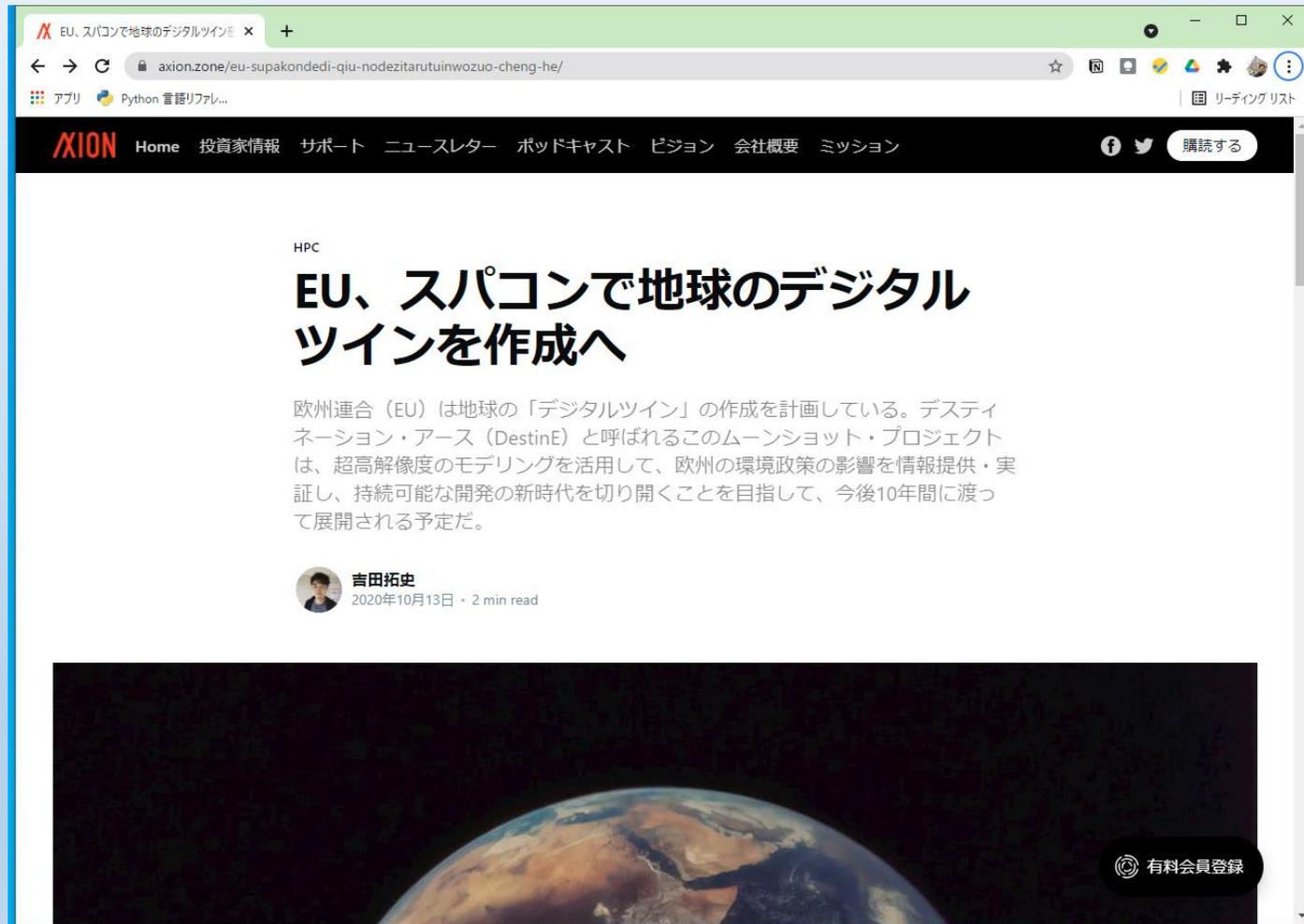
Develop a **very high precision digital model of the Earth (Digital Twin)** of the Earth to monitor and simulate natural and human activity and to develop and test scenarios for

- more sustainable development and achievement of the EU green deal objectives
- saving lives
- avoiding large economic downturns
- **support EU policy-making and implementation**
- reinforce Europe's industrial and technological capabilities in advanced computing, simulation, modelling, predictive data analytics and Artificial intelligence (AI)

€7.6 billion Digital Europe Programme 2021-2027:
Supercomputers, Artificial intelligence, Cybersecurity and trust, Digital skills, Digital transformation of public administration and interoperability



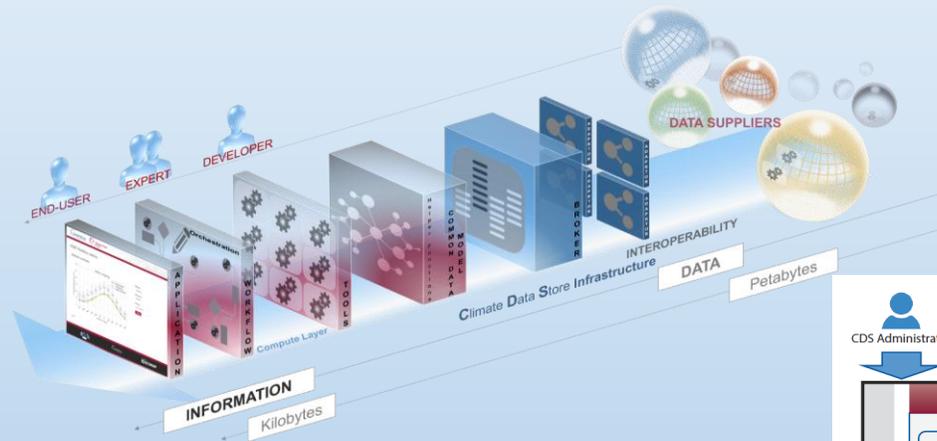
日本の投資家向けサイトでも報道



海外の例: Copernicus Climate Change Service (C3S)

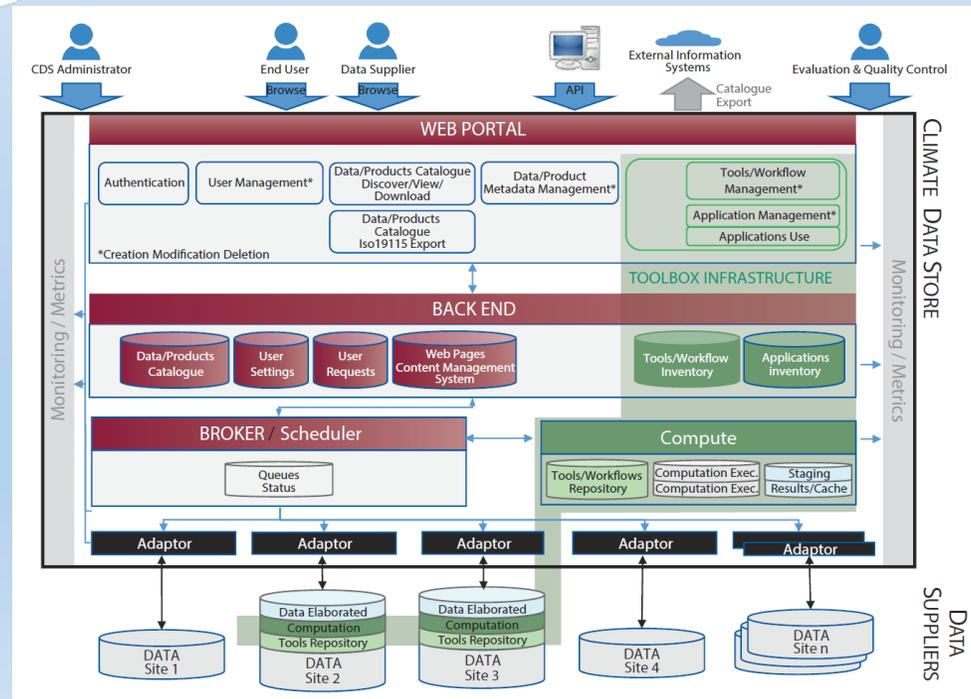
Climate Datastore:

- 様々な分野のデータユーザーを想定し, 統一されたプラットフォームを提供.
- 計算基盤も包含
- ポータルサイトからあらゆるデータが検索, ダウンロード可能.



具体的なデータ:

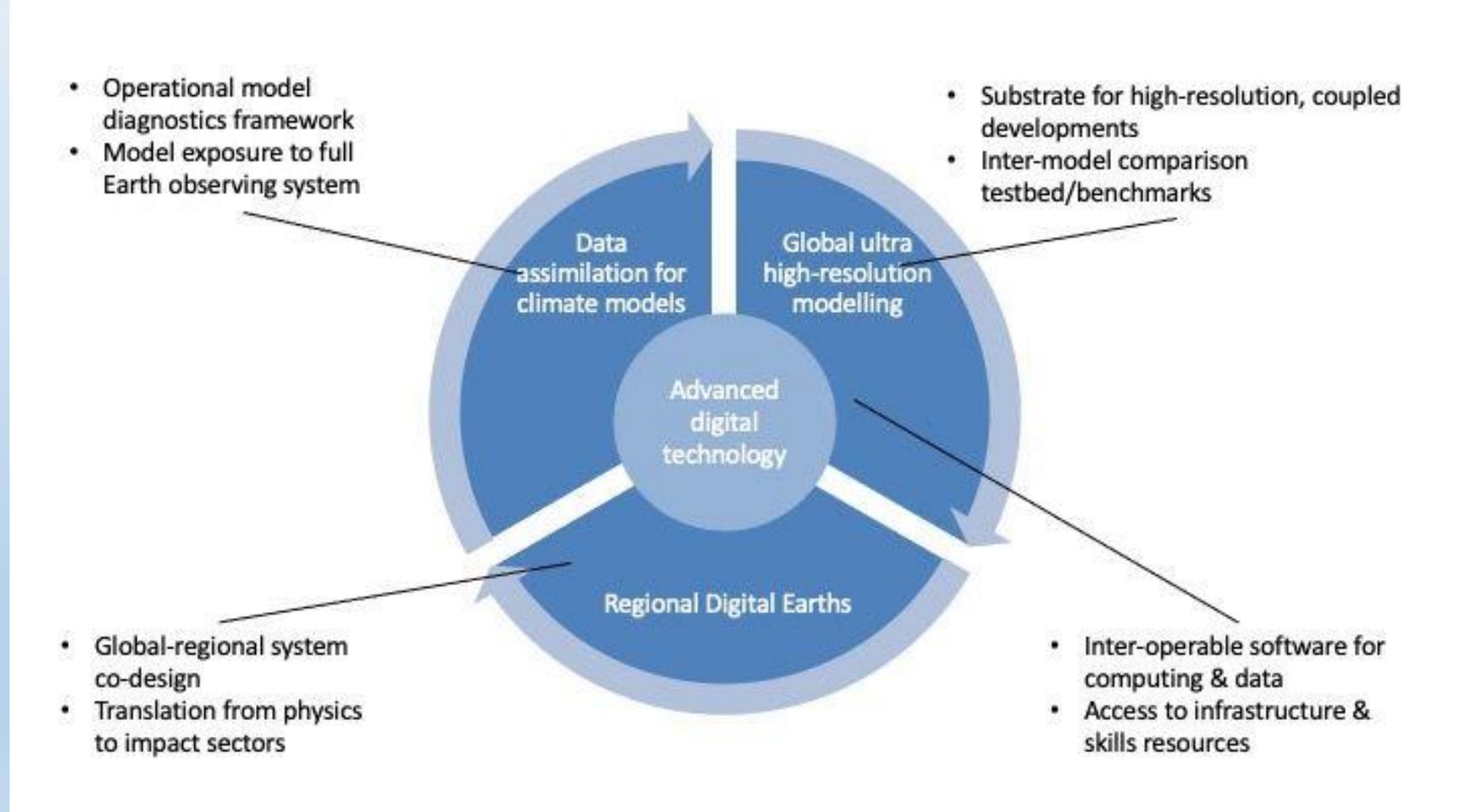
- <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/search?type=dataset>
- 海洋・水産データやCMIP6解析データも含めた多様なデータ群
- 欧州向け, 亜大陸以上のスケールのデータに偏り気味?



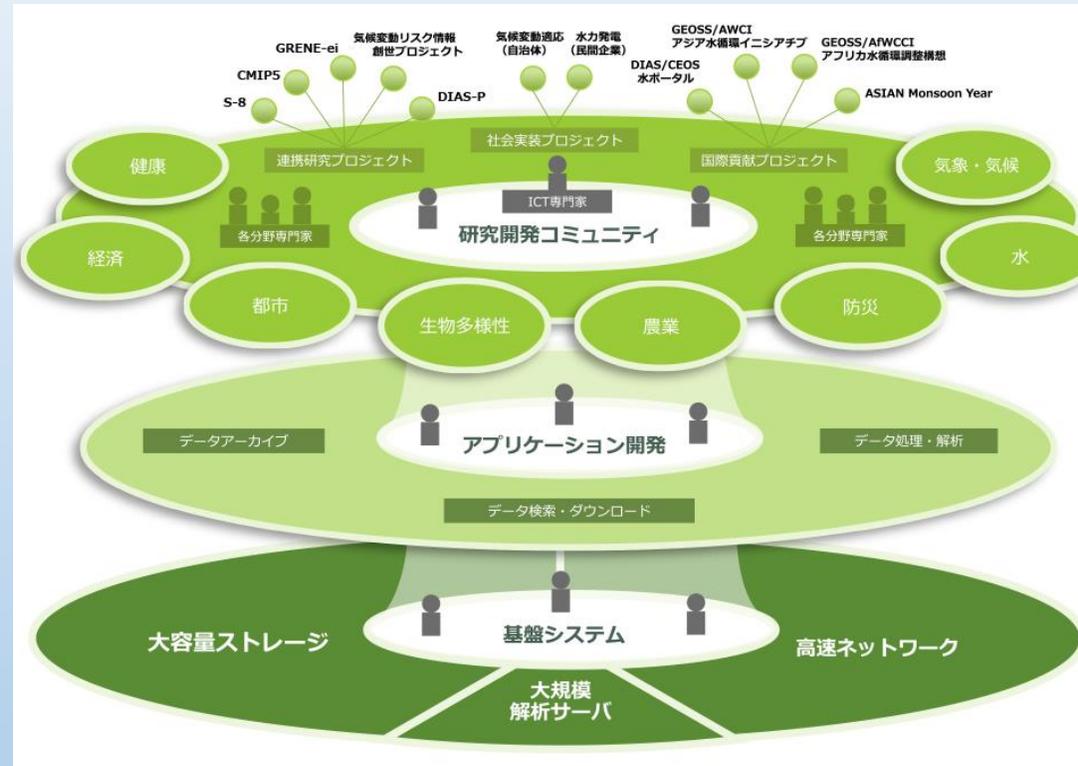
海外の例: Digital Earths (WCRP Lighthouse Activities)



- 右図下半分の箇条書きは DX と親和性が高いように見える。
- 現状、上半分の議論が先行？
- DestinEのWCRP窓口



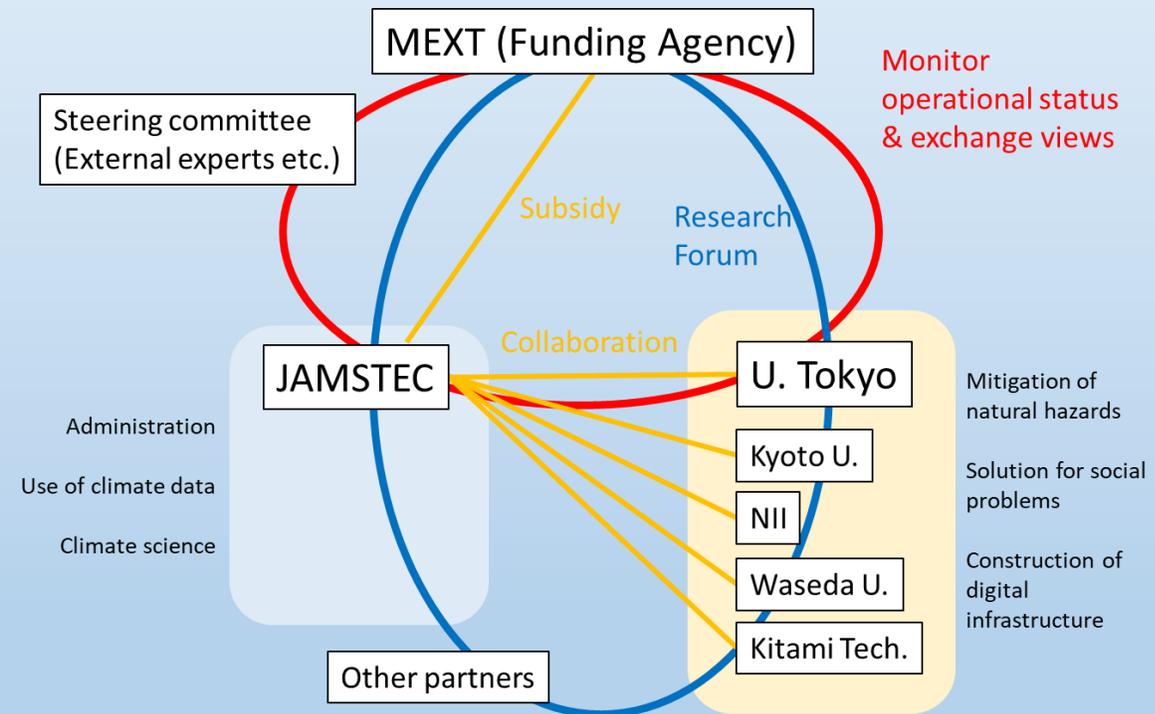
データ統合・解析システムDIAS (Data Integration and Analysis System)



- 大規模な環境科学データベースを擁した知識創造サイバー空間
- 温暖化予測プロジェクトのデータ配信国際共同システムの日本ノードとして機能
- 2021年度よりJAMSTECが運営を担当

DIAS entering a new phase

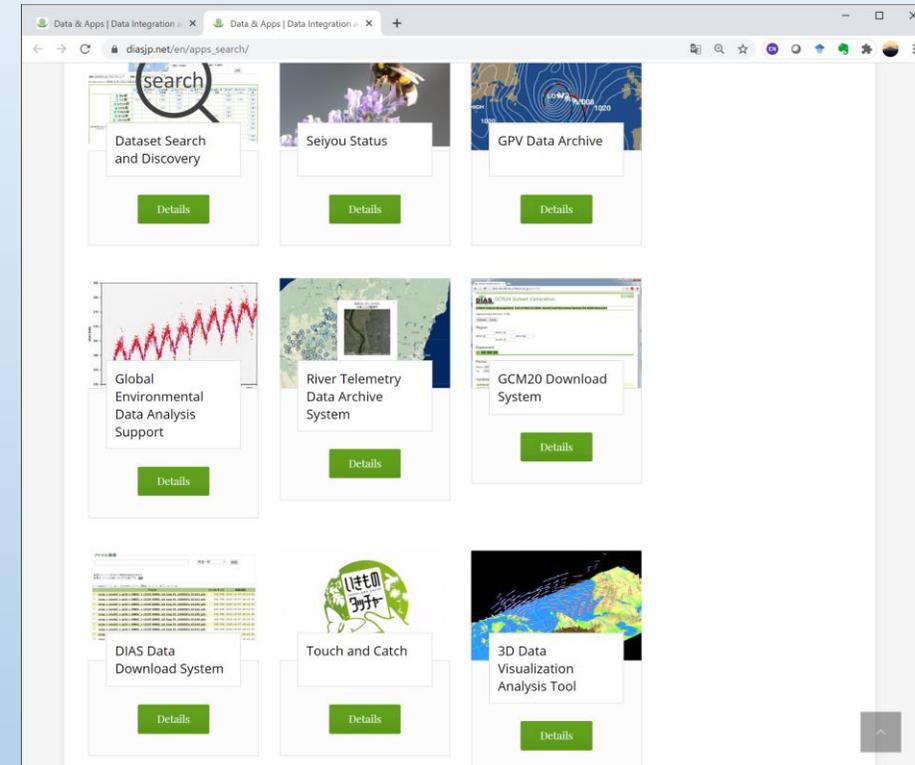
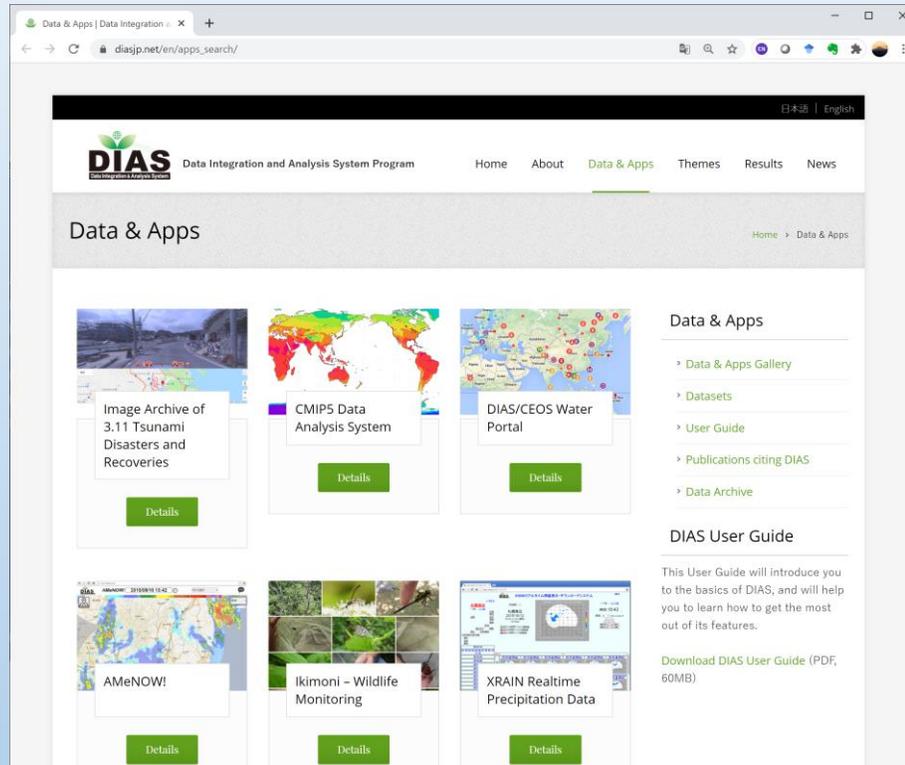
- From April, 2021, JAMSTEC is the administrative entity for DIAS.
 - More emphasis on climate science
 - Room for new activities
- 10-year subsidy from MEXT
 - Aiming to be operational
 - May not be suitable for a permanent archive ☹️
 - Potential to be a long-lasting activity of JAMSTEC



JAMSTECでのDIAS運用方針

- 付加価値情報創生部門(VAiG)の中期計画
 - 「四次元仮想地球」: 地球科学データと付加価値付与のためのツール群
 - 「数値レポジトリ」: 集積されたソフトウェア(モデル)群
- VAiGの中期計画と連動しながら, ES4との連携も視野に入れ, DIASの成果を発展させながら, ユーザの拡大を図る.
- 11月30日午後にVAiGシンポジウム(含: DIASの将来)を開催予定. 専門家向けだが, 誰でも参加可能. 詳細は後日公開.

DIAS: cyberspace for knowledge creation in environmental sciences



https://diasjp.net/en/apps_search/

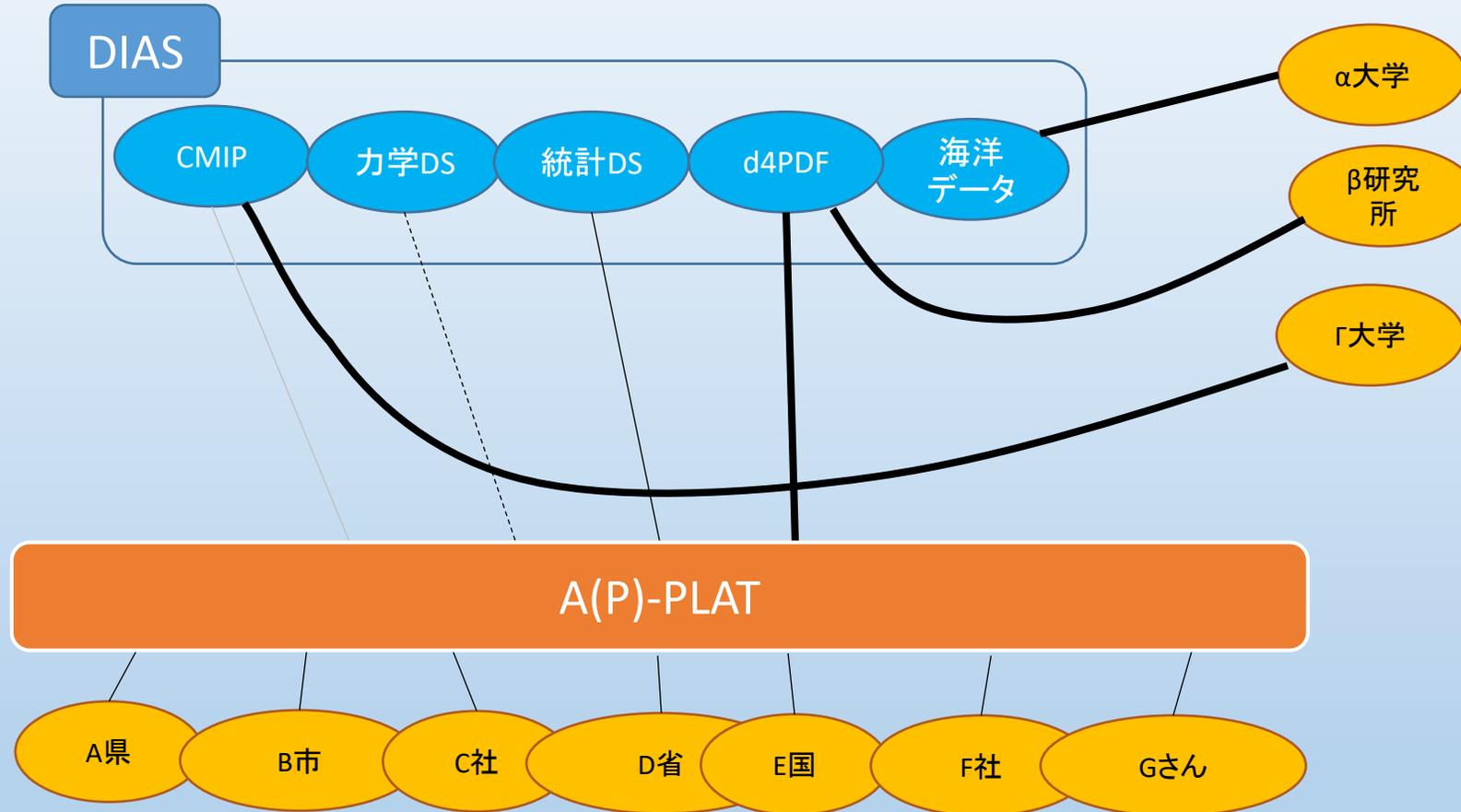
DIAS accommodates diversified types of environmental data, not necessarily climate-centric.

気候変動適応情報プラットフォーム (A-PLAT)



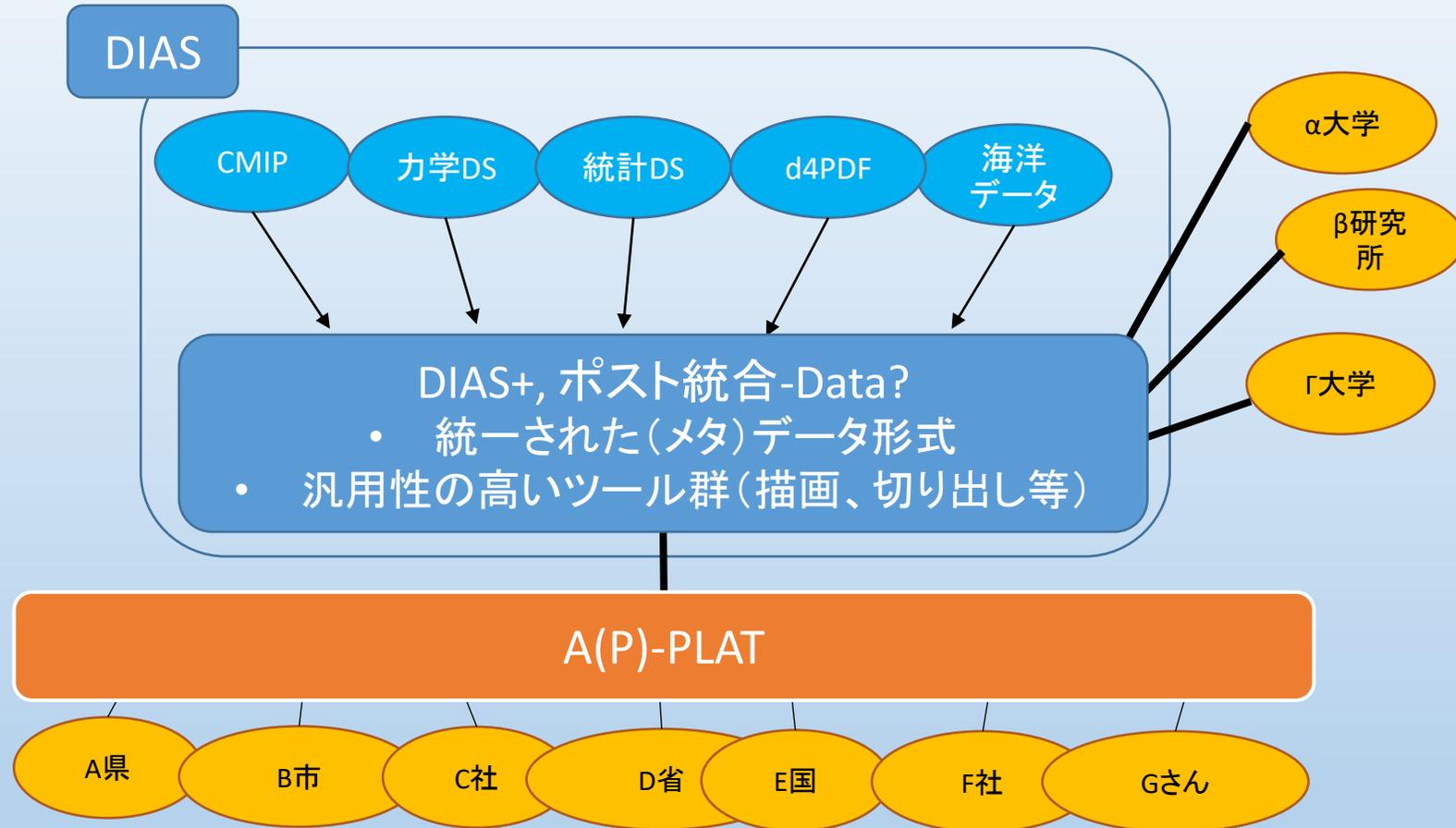
- 気候変動適応法に基づき国立環境研究所に設置
- 地方公共団体, 事業者, 個人などの主体が適応策に取り組めるよう情報発信
- 気温, 降水量など基本的データの表示ツールを装備

これまでのデータ発信体制



- A-PLAT担当者が実務者とやりとり -> 「既製品」データで対応
- 「テーラーメイド」データはDIAS等から調達 -> データセットにより扱いが異なり、自由にアクセスできるデータは限定される。

あるべきデータ発信体制（私見）



- 多様なデータセットを、統一的(メタ)データ形式と汎用ツール群で管理・処理
 - データセット間の「互換性」確保
 - すべてのデータセットに対するA-PLAT管理者や研究者のアクセス性向上
- システム構築には、A-PLAT担当者や関連分野研究者との密な情報交換が必須

DX: Society 5.0 の方向性とも一致

ソサイエティ Society 5.0

仮想空間と現実空間の高度な融合 → 人間中心の社会

Society 1.0 狩猟社会

この辺も獲物が減ってきたな

Society 2.0 農耕社会

この辺も大きくなったね

Society 3.0 工業社会

蒸気機関の力で大量生産ができる

Society 4.0 情報社会

いろんな情報が得られるわ

仮想空間で AIワルートを教えてくれる

仮想空間で街を丸ごと再現

仮想空間で大規模災害のシミュレーション

AIのおかげで温室が早く見つかった

AIのデータが温室の位置を特定してくるよ

データと連携する電子機器・通信技術

仮想空間の中でいろんな解法を提案してくれるよ

コンピュータ上に作る仮想空間

コンピュータ

暮らしやすい社会になったわ

安全・安心と連携する社会

一人ひとりの多様な幸せ (well-being) を実現できる社会

安全・安心と連携する社会

安全・安心と連携する社会

大規模災害のシミュレーション

現実空間が再現できるよ

大規模自然災害

大規模災害のシミュレーション

大規模災害のシミュレーション

この絵の解説動画を見よう!

Society 5.0動画

動物の狩猟を中心とする狩猟社会 (Society 1.0) から、農耕の普及によって農耕社会 (Society 2.0) が、蒸気機関等の発明によって工業社会 (Society 3.0) が、ICTの進展によって情報社会 (Society 4.0) が形成されてきましたが、Society 5.0では、コンピュータ上に創る「仮想空間」と、私たちが喜ぶ「現実空間」とを高度に融合させることによって、社会をより良い「人間中心の社会」に変えていくことを目指します。

令和3年版科学技術・イノベーション白書

一つ一つの絵にストーリーがあります。詳細は文部科学省のホームページでご覧いただけます。

https://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/html/hpaa202101/detail/1421221_00020.html

文部科学省

MINISTRY OF EDUCATION, CULTURE, SPORTS, SCIENCE AND TECHNOLOGY (MEXT)

まとめ

- **ポスト統合**
 - キーワード「行動につなげる気候科学」のためにDXは必須
- **海外の先行例**
 - DestinE: EUの地球システムモデル(ESM)開発, データ・モデル公開計画
 - Digital twin と称した高解像度で多様なプロセスを導入したESMを, 実問題に対して対話的に利用可能に
 - Copernicus Climate Change Service (C3S)
 - 気候変動に関する様々なデータセットに, 統一的なUIでアクセス可能に
 - DestinEの一環?
- **ポスト統合に向けてのDIAS-UI検討**
 - 気候変動DXを実現する第一歩