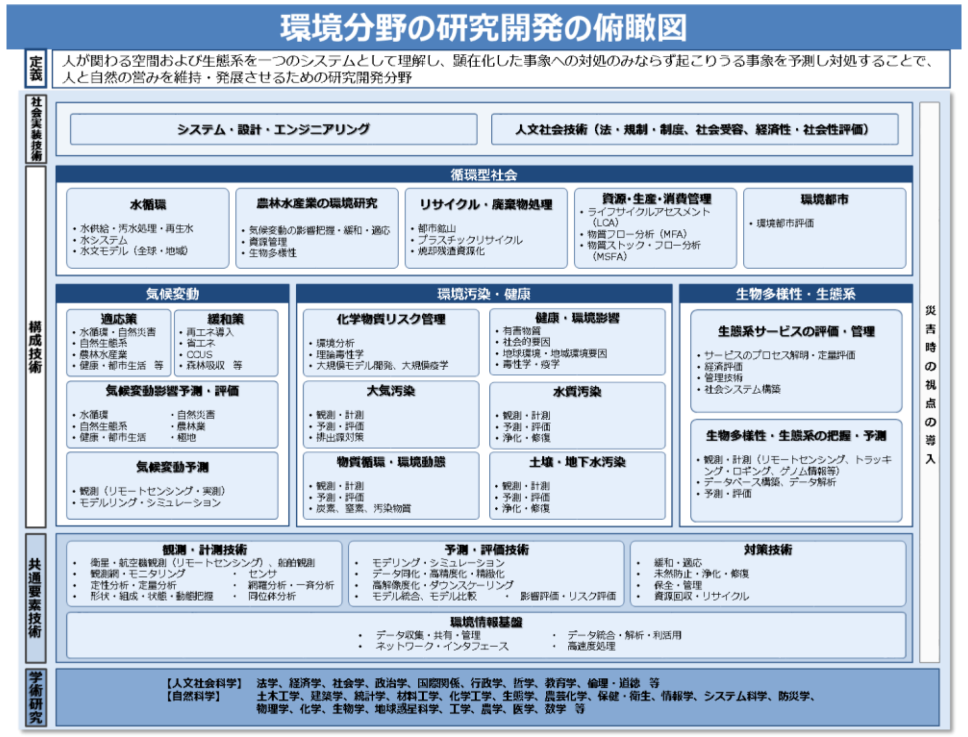
研究開発の俯瞰報告書概要

環境分野（2017年）

JST研究開発戦略センター
環境・エネルギーユニット

①分野の範囲と構造

■**分野の特徴と俯瞰の基本方針：**
- 地球規模の現象や課題が対象
- 課題解決型分野であるが、顕在化した課題の解決のみならず、将来顕在化しうる課題を予測し先手を打つという観点を重視



■**4区分、15研究開発領域を設定し俯瞰分析**

気 気候変動区分 :1-2	1.気候変動予測	5.土壌・地下水汚染	9.生物多様性・生態系の把握・予測	13.リサイクル・廃棄物処理
環 環境汚染・健康区分:3-8	2.気候変動影響予測・評価	6.物質循環・環境動態	10.生態系サービスの評価・管理	14.資源・生産・消費管理
生 生物多様性・生態系区分:9-10	3.大気汚染	7.健康・環境影響	11.水循環	15.環境都市
循 循環型社会区分:11-15	4.水質汚染	8.化学物質リスク管理	12.農林水産業の環境研究	

②研究開発動向・研究開発（科学技術）政策

日本	研究開発	• 全体的に研究開発レベルは高いが少数精鋭。生物多様性・生態系区分では欧米豪加が優位。
	政策	• 第5期科学技術基本計画では、資源の安定的な確保と循環的な利用、地球規模の気候変動への対応、生物多様性への対応等を提示。地球環境情報プラットフォームの構築を推進。
米国	研究開発	• 全ての領域において高い研究開発レベルを維持。
	政策	• 2017年度科学技術関連予算の編成方針を示す覚書には、優先分野として、気候変動、地球観測、海洋・北極問題が記載。 • 環境保護庁（EPA）では、複合的・複雑化している環境の研究や対策技術について、システムアプローチによる研究開発を推進。エネルギー省（DOE）や国立科学財団（NSF）でも食糧・エネルギー・水の複合問題について分野融合の研究を推進。
欧州	研究開発	• 全区分で研究開発レベルが高く活発。技術開発だけでなく規格化や政策決定に資する情報構築を進め、ビジネス展開までを視野に入れた戦略を持つ。
	政策	• Horizon2020の３本柱の１つ「社会的課題への取り組み」で「気候への対処、資源効率および原材料」を設定（7年間で31億ユーロ）。 • 第7次環境行動計画（2013年）のもと、循環型経済、グリーン経済、競争力のある低炭素経済への転換を推進。
ドイツ	研究開発	• 何れの区分も研究開発レベルが高く、注目すべき活動を多数展開。
	政策	• 第6次連邦政府エネルギー研究プログラムで掲げたビジョン「環境適合性及び信頼性を備えたエネルギー供給構想」に基づき課題や優先事項を設定。その他、放射線防護、気候・気候保護・地球変動、沿岸・海洋・極地・地球科学、環境・持続性の研究、エコロジー・自然保護・持続的利用の分野の研究を推進。 • 気候変動対策の中に、資源効率性の向上、森林管理、草原・湿原保全なども位置付け。
英国	研究開発	• 環境分野の研究開発に歴史と蓄積があり、特に気候変動や生物多様性・生態系などの区分で強み。
	政策	• 地球温暖化の緩和に向けた低炭素社会の構築を国家としての主要な取り組みとして推進。 • 自然環境研究会議（NERC）の主要テーマとして、気候システム、生物多様性、天然資源の持続可能な使用、地球システム科学、自然災害、環境・公害・健康、（環境関連）技術が該当。 • 先進的かつ時勢を得たテーマ抽出とファンディングを実行。
フランス	研究開発	• 特に水循環や農業の領域で存在感を示す。
	政策	• EUのHorizon2020との整合性を重視したSNR France Europe 2020では、社会的課題として、資源管理および気候変動への対応、持続可能な輸送と都市システム、横断的テーマとして、地球系：観測、予測、適応が記載。
中国	研究開発	• 全体的に他の国・地域と比較して顕著な成果はみられないものの、精力的に研究開発を推進。
	政策	• 「国家イノベーション駆動発展戦略綱要」（2016～2030年）では戦略的ミッションを設定。「知的･グリーンな製造技術の推進」「グリーン･安全･高効率な現代農業技術の推進」「グリーン･安全･高効率なエネルギー技術の推進」「資源の高効率利用技術と生態保護技術の推進」などが記載。エネルギー開発一辺倒ではなく環境配慮を重視。
韓国	研究開発	• 世界を先導する研究開発や成果、大きな特徴はみられない。
	政策	• 第3次科学技術基本計画（2013-2017年）では、クリーンで便利な生活環境の構築として、気候変動対応力の強化（CCS）、環境保全・復元システムの高度化（汚染物質制御および処理技術）、生活空間の便利さの向上（高効率エネルギー建築物技術、未来先端都市建設技術）を提示。

③科学技術トピックス

気 環 生 循：4つの区分（項目①参照）
統 大 高 可 ネ 研：技術革新の潮流（項目④参照）

衛星観測の強化 【気】【大】
●**温室効果ガス**
GOSAT (日) 2009
OCO-2 (米) 2014
TanSat (中) 2016
GOSAT-2 (日) 2017
MicroCarb (仏) 2020
●**雲・エアロゾル**
CATS(米) 2015
大気ライダATLID(日欧のEarthCARE衛星) 2018
●**森林**
GEDIミッション(米)2019
MOLIミッション(日)2021
●**表層水・海洋**
SWOTﾐｯｼｮﾝ(米仏) 2021

気候変動を予測する地球システムモデルの開発 【気】【統】
●現在多くの研究機関が窒素循環過程に取組む
●多数のサブモデル結合のためのカプラー（ソフトウェア）開発が盛ん

ダウンスケーリング アンサンブルシミュレーション 【気】【可】
●各地域で対策を行うための時空間的な詳細化（ダウンスケーリング）が活発
●極端現象予測等の不確実性の定量化を目指したアンサンブルシミュレーションの実施

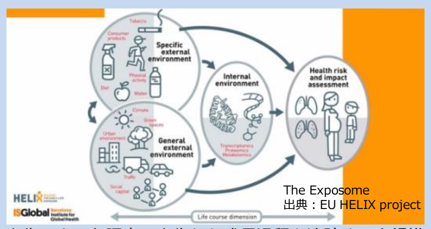
開発される様々なモデルの国際的な比較 【気】【可】【研】

ACCESS1.0	CESM1 (WACCM)	GFDL-CM2.1	HadGEM2-AO	MPI-ESM-LR
ACCESS1.3	CESM1 (FASTCHEM)	GFDL-CM3	HadGEM2-CC	MPI-ESM-MR
BCC-CSM1.1	CMCC-CESM	GFDL-ESM2G	HadGEM2-ES	MPI-ESM-P
BCC-CSM1.1(m)	CMCC-CM	GFDL-ESM2M	INM-CM4	MRI-AGCM3.2H
BNU-ESM	CMCC-CMS	GFDL-HIRAM-C180	IPSL-CM5A-LR	MRI-AGCM3.2S
CanCM4	CNRM-CM5	GFDL-HIRAM-C360	IPSL-CM5A-MR	MRI-CGCM3
CanESM2	CSIRO-Mk3.6.0	GISS-E2-H	IPSL-CM5B-LR	MRI-ESM1
CCSM4	EC-EARTH	GISS-E2-H-CC	MIROC4h	NCEP-CFSv2
CESM1(BGC)	FGOALS-g2	GISS-E2-R	MIROC5	NorESM1-M
CESM1(CAM5)	FGOALS-s2	GISS-E2-R-CC	MIROC-ESM	NorESM1-ME
CESM1 (CAM5.1.FV2)	FIO-ESM v1.0	HadCM3	MIROC-ESM-CHEM	

出典：東京大学大気海洋研究所
例：比較プロジェクトCMIP5に参加した54の気候モデル
※CMIP5：第5次結合モデル相互比較プロジェクト。結果はIPCC AR5で活用。

ビッグデータ・地球観測データの活用 【環】【大】
例●大気汚染による若年死亡率への寄与の地球規模解析
●熱波の夜の最低温度が高い地域で高齢者の死亡率高
●感染症伝播への人間移動の寄与度分析

健康影響の長期・多面的把握 【環】【大】



The Exposome
出典：EU HELIX project

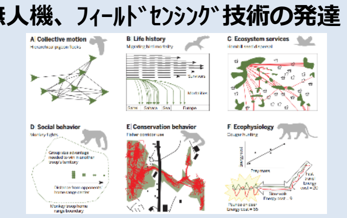
●出生コホート調査：出生から成長過程を追跡する大規模疫学
●エクスポソーム：化学的、物理的、生物学的、精神的、社会的環境ストレスなど多様な環境要因への生涯曝露

AOP研究（Adverse Outcome Pathway）への注目 【環】【高】
●代謝研究と分析技術の進展を受け、化学物質への曝露から影響発現までの途中過程を明らかにするAOPが注目。

新規汚染物質の把握・影響解明 【環】【高】
●医薬品および日用品等由来化学物質（PPCPs）
●マイクロプラスチック

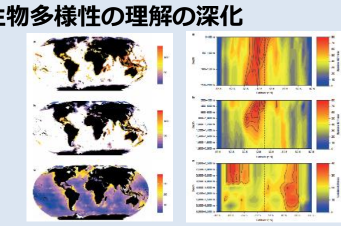
同位体研究の進展と物質循環の理解深化 【環】【高】
例●軽元素：分子内部位別同位体比を区別しながら測定する技術により、物質の起源・生成過程の解明、同位体温度計開発が進展。
●有機物：腐植物質など天然の無定形有機物の分子式まで確定できる超高分解能フーリエ変換イオンサイクロトロン型質量分析器FT-ICRMSが発展、炭素循環等で重要な役割。

無人機、ﾌｨｰﾙﾄﾞｾﾝｼﾝｸﾞ技術の発達 【生】【ネ】



例●トラッキングデータから分かること：
A集合体の動き、B生活史、C生態系サービス、D社会的行動、E保護行動、F生態生理学
R. Kays, et al., "Terrestrial animal tracking as an eye on life and planet." SCIENCE, VOL348, ISSUE6240, 2015.

生物多様性の理解の深化 【生】【高】



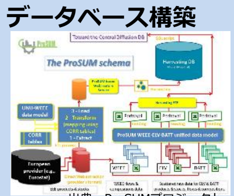
例●深海の生物多様性のﾊﾟﾀｰﾝとｴﾈﾙｷﾞｰの利用可能性
S.N.C. Woolley, et al., "Deep-sea diversity patterns are shaped by energy availability." Nature, VOL533, 2016.

生態系ｻｰﾋﾞｽ評価ﾂｰﾙの開発と利用 【生】【可】
例●InVESTによる将来の土地利用シナリオに応じた生態系サービスの地図化

市民科学への注目 【生】【ネ】
市民によるモニタリングやサンプリングで、試料収集と意識向上を図る市民科学が注目

人間活動を含む全球水文モデル開発 【循】【統】
主要4モデル：
●WaterGAP　フランクフルト大学他（独）
●PCR-GLOBWB　ユトレヒト大学（オランダ）
●LPJmL　ポツダム気候影響研究所（独）
●H08　国立環境研究所・東京工業大学・東京大学（日）

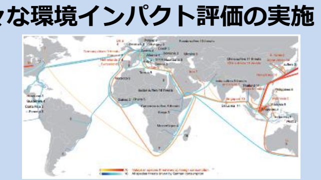
リサイクル技術の高度化 データベース構築 【循】【高】【可】



出典：ProSUMプロジェクト

例
●ARENNAソータ（産業技術総合研究所）
●廃棄プラスチックのリサイクル（高付加価値物変換、有用品回収等）
●EUのProSUMﾌﾟﾛｼﾞｪｸﾄ：DB構築、DB連携、物質フロー可視化

様々な環境インパクト評価の実施 【循】【可】



例●大規模な産業連関データを用いて、サプライチェーンを通じた資源利用と生物多様性への影響を解析
M. Lenzen, et al., "International trade drives biodiversity threats in developing nations." Nature, VOL486, 2012.

社会的側面も含む多面的な影響や価値の可視化 【循】【可】
例●多様な利害関係者に結びつく社会影響を見るSocial LCA

④技術革新の潮流

■統合化 【統】
- 気候変動や汚染、生態系、資源利用等も含めた統合的研究への発展
- 地球システムモデルへの関連要素の取り込み
- Food-Energy-Water Nexus概念の反映
- 環境面・社会面・経済面を考慮した持続可能性の概念の反映

■大規模化 【大】
- 衛星観測の飛躍的向上（情報の質・量・種類）
- 人間活動データや地球観測データを活用した健康影響の把握
- 出生コホート調査やエクスポソームの把握
- 水銀などの有害物質の全球動態モデル

■高度化 【高】
- AOP（Adverse Outcome Pathway）への注目
- 同位体研究の進展による物質循環理解の深化
- 医薬品および日用品等由来化学物質（PPCPs）やマイクロプラスチックなど新汚染物質の認識と対応
- 選別技術等のリサイクル技術の高度化

■可視化 【可】
- モデル比較、ダウンスケーリング、アンサンブルシミュレーション
- 生態系サービスの定量評価
- リサイクル技術のDB構築とDB連携、物質フローの可視化
- 環境的側面に加え社会的側面のインパクト評価技術の開発と応用

■ネットワーク化・共有化 【ネ】
- 衛星や地上局等の観測ネットワーク構築と得られたデータの共有

■研究スタイルの変化 【研】
- 問題設定とデータ収集、シミュレーション設定を共通化し、参加モデルを横断的に分析して論文を執筆する形式に変化

⑤日本の挑戦課題

□統合的な研究開発の実施
気候変動や環境汚染、健康影響、生態系管理、資源利用と循環、経済、社会等の関連要素全体を扱う統合的な研究開発への発展
- 対策間のトレードオフ・シナジー効果の解明
- 社会的側面も含む多面的な影響や価値の可視化、経済や社会への反映
- 社会・経済データを含むビッグデータや地球観測データの活用
- エクスポソームの把握
- 持続的な土地、水、生物資源の利用
- 資源循環研究や技術の高度化・システム化（水、希少資源、廃プラ、廃素材や廃機器等）

□地球システムモデル・気候変動影響予測モデルの開発と応用
- 予測精度向上：人間活動を含む多様な要素の取込み、さらにESMでは炭素排出に対する気候過渡応答（TCRE）の評価精度向上や高度な海洋生態系モデルの結合等
- データ保管・配信・解析やモデル結合作業を支援するシステム開発
- ダウンスケーリング、アンサンブルシミュレーション
- 影響予測・評価の強化と対象の拡大
- その他の環境変動予測・評価

□観測や評価の低コスト化・省力化
- 効率的かつ省メンテナンスで統計学的にも優れた観測手法の開発
- AOP研究の推進（毒性試験の省力化・迅速化）

体制面の課題
◆ モニタリングやシステム開発の継続性と研究プラットフォーム（衛星や観測船等）維持・強化（長期間の継続的な観測によるデータ蓄積が研究開発の深化と発展に不可欠）
◆ 要素技術だけでなくシステム化の研究開発の推進
◆ 計算機資源の拡充
◆ 社会受容性のための技術評価とリスク評価
◆ 技術資源のデータベース化