

環境分野の研究開発の国際ベンチマーク



		気候変動区分														環境汚染・健康区分											
		気候変動 予測				気候変動 影響予測 測・評価										大気汚染		水質汚染		土壌・地下水汚染		物質循環・環境動態		健康・環境影響		化学物質リスク管理	
		観測		地球システムモデル		水循環		自然災害		系自然生態		農林業		生活健康都市													
		現状	動向	現状	動向	現状	動向	現状	動向	現状	動向	現状	動向	現状	動向	現状	動向	現状	動向	現状	動向	現状	動向	現状	動向	現状	動向
日本	基礎																										
	応用																										
米国	基礎																										
	応用																										
欧州	基礎																										
	応用																										
中国	基礎																										
	応用																										
韓国	基礎																										
	応用																										

1つの研究開発領域について3名程度の専門家による主観評価をCRDSにて取りまとめたもの。根拠となる情報は報告書の国際比較表に記載。

- 基礎・応用 基礎：大学・国研などでの基礎研究レベル 応用：技術開発(プロトタイプの開発含む)・量産技術のレベル
- 現状 (日本の現状を基準にした相対評価ではなく絶対評価)
 - ◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている
 - ：ある程度の活動・成果が見えている
 - △：他国に比べて顕著な活動・成果が見えていない
 - ×：特筆すべき活動・成果が見えていない
- 動向
 - ↗：上昇傾向、 →：現状維持、 ↘：下降傾向

環境分野の研究開発の国際ベンチマーク



		生物多様性・生態系区分				循環型社会区分													
		生物多様性・生態系の把握・予測		生態系サービスの評価・管理		水循環		農林水産業の研究環境						リサイクル・廃棄物処理		資源・生産・消費管理		環境都市	
								農業		林業		水産							
		現状	動向	現状	動向	現状	動向	現状	動向	現状	動向	現状	動向	現状	動向	現状	動向	現状	動向
日本	基礎																		
	応用																		
米国	基礎																		
	応用																	○	
欧州	基礎																		
	応用																		
中国	基礎																		
	応用																		
韓国	基礎																		
	応用																	○	

1つの研究開発領域について3名程度の専門家による主観評価をCRDSにて取りまとめたもの。根拠となる情報は報告書の国際比較表に記載。

- 基礎・応用 基礎：大学・国研などでの基礎研究レベル 応用：技術開発(プロトタイプの開発含む)・量産技術のレベル
- 現状 (日本の現状を基準にした相対評価ではなく絶対評価)
 - ◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている
 - ：ある程度の活動・成果が見えている
 - △：他国に比べて顕著な活動・成果が見えていない
 - ×：特筆すべき活動・成果が見えていない
- 動向
 - ↗：上昇傾向、 →：現状維持、 ↘：下降傾向

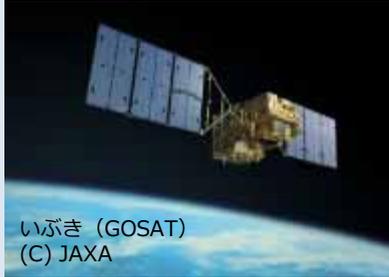
環境分野の研究開発動向・研究開発（科学技術）政策



日本	研究開発	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 全ての領域において高い研究開発レベルを維持。
	政策	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 特に水循環や農業の領域で存在感を示す。
	政策	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 「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	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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。

気候変動区分

衛星観測の強化



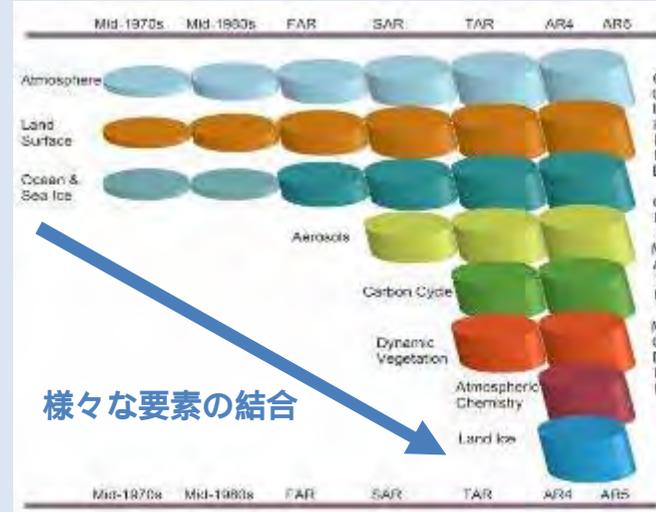
いぶき (GOSAT)
(C) JAXA

- 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: 355nm, 532nm, 1064nmの3波長のライダ(米) 2015
 大気ライダATLID: 355nm(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

大規模化

気候変動を予測する気候システムモデルの開発



様々な要素の結合

統合化

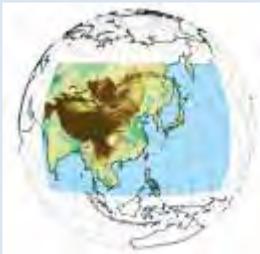
現在多くの研究機関が窒素循環過程に取り組む

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

出典：Climate Change 2013: The Physical Science Basis (IPCC AR5 WG I)

ダウンスケールンク アンサンブルシミュレーション

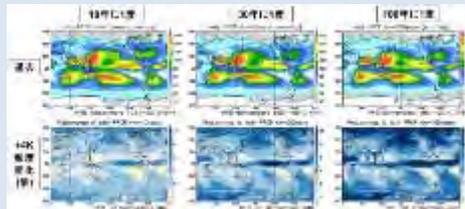
可視化



各地域で対策を行うための
時空間的な詳細化（ダウンスケールンク）が活発

CORDEX East Asia
出典：CLM-Community

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



90メンバー平均の日降水量分布 出典：d4PDF

開発される様々なモデルの国際的な比較

可視化

	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		PSL-CMSA-LR		MRI-AGCM3.2S
	CanCM4		CNRM-CMS		GFDL-HIRAM-C360		IPSL-CMSA-MR		MRI-CGCM3
	CanESM2		CSIRO-Mk3.6.0		GISS-E2-H		IPSL-CMSB-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.FV3)		FIOR-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CIMP5に参加した54の気候モデル

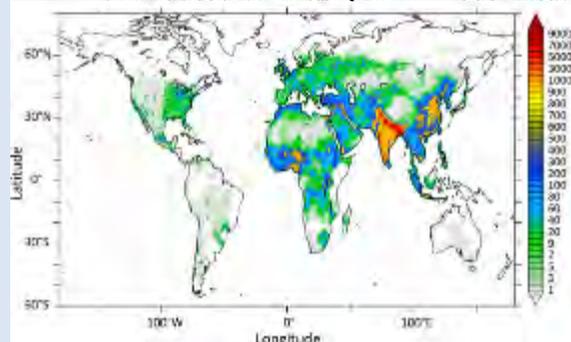
※CIMP5：第5次結合モデル相互比較プロジェクト。結果はIPCC AR5で活用。

環境汚染・健康区分

ビッグデータ・地球観測データの活用

大規模化

2010-2050年の大気汚染関連死亡の増加（色は100km四方の死者数）

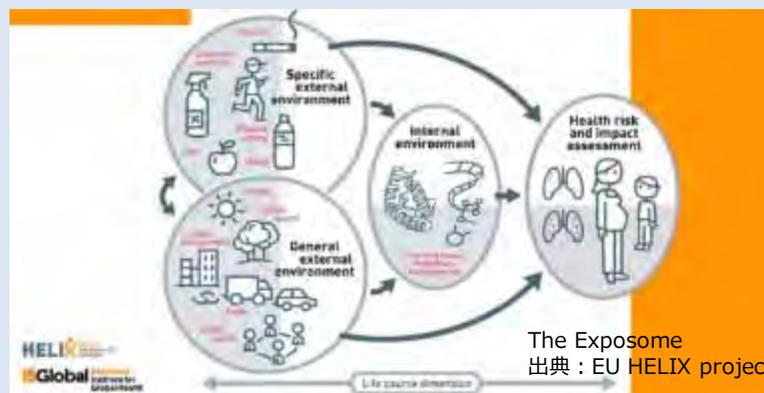


例： J. Lelieveld, et al. "The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale." Nature, Vol.525(2015):367-371.

- 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

大規模化



- 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

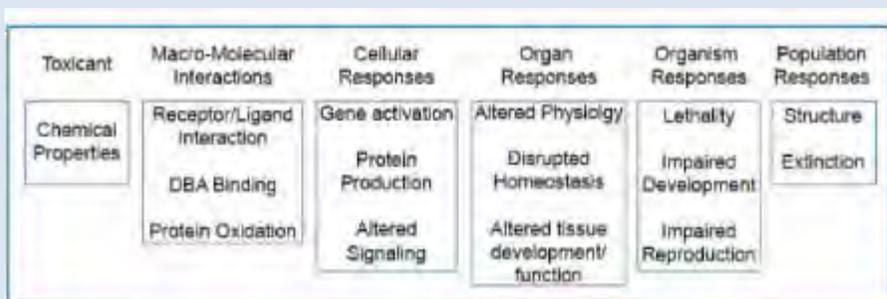
新規汚染物質の把握・影響解明

高度化

- 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
プラスチック自体の物理的影響、酸化防止剤や難燃剤などの添加剤、プラスチックに吸着した化学物質などによる影響

AOP (Adverse Outcome Pathway) 研究への注目

高度化

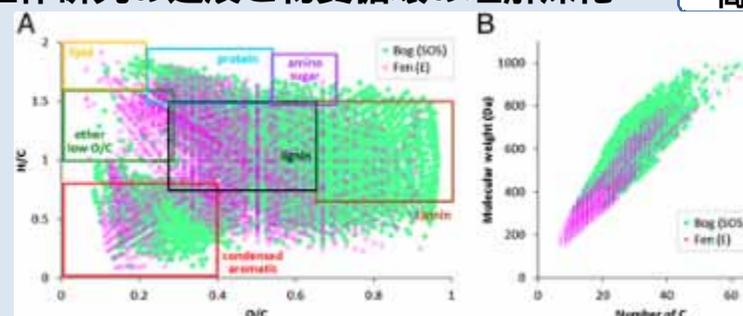


AOP 出典：OECD

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。

同位体研究の進展と物質循環の理解深化

高度化



例： S. B. Hodgkins, et al. "Changes in peat chemistry associated with permafrost thaw increase greenhouse gas production." PNAS, Vol.111 no.16(2014):5819-5824.

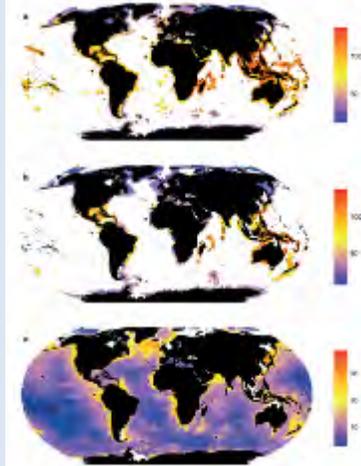
- 軽元素：分子内の部位別同位体比を区別しながら測定する技術により、物質の起源・生成過程の解明、同位体温度計開発が進展。
- 有機物：腐植物質など天然の無定形有機物の分子式まで確定できる超高分解能フーリエ変換イオンサイクロトロン型質量分析器FT-ICRMSが発展、炭素循環等で重要な役割（図）。

生物多様性・生態系区分

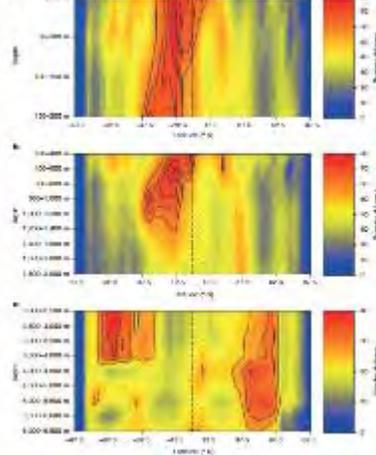
生物多様性の理解の深化

高度化

Global patterns of ophiroid species richness



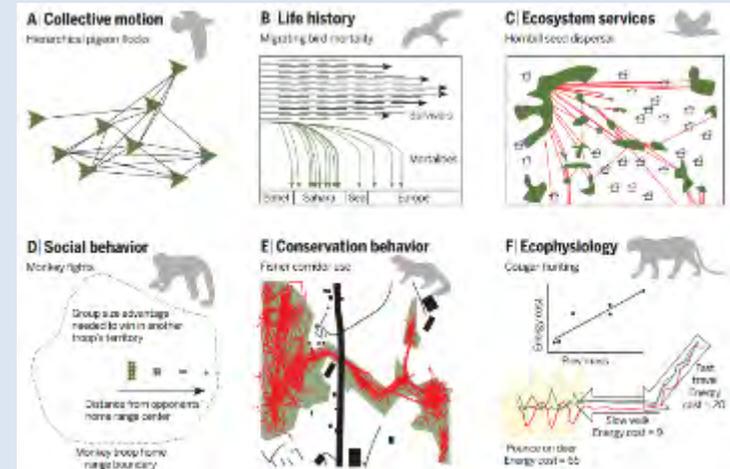
Estimated mean ophiroid species richness plot as a function of depth and latitude



例：深海の生物多様性のパターンとエネルギーの利用可能性
S. N. C. Woolley, et al. "Deep-sea diversity patterns are shaped by energy availability." Nature, Vol533(2016):393-396.

無人機、フィールドセンシング技術の発達

ネットワーク化

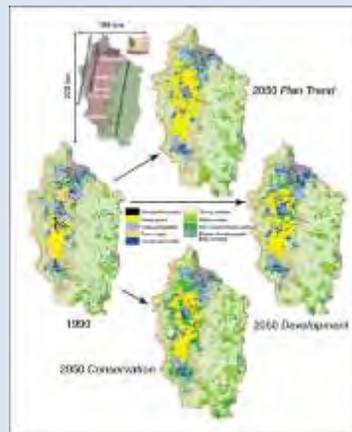


例：トラッキングデータから分かること

(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).

生態系サービス評価ツールの開発と利用

可視化



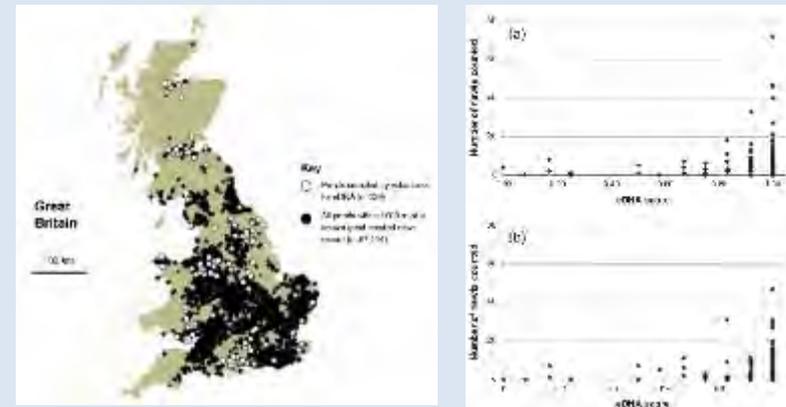
例：将来の土地利用シナリオに応じた生態系サービスの地図化 (InVEST)

E. Nelson, et al. "Modeling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and tradeoffs at landscape scales." Frontiers in Ecology and the Environment, Volume 7, Issue 1(2009).

市民科学への注目

ネットワーク化

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



例：ホクオウクシモリの環境DNAを使った市民参加型研究

J. Biggs, et al. "Using eDNA to develop a national citizen science-based monitoring programme for the great crested newt (*Triturus cristatus*)." Biological Conservation, 183(2015).