

統合的気候モデル高度化研究プログラム

領域テーマB「炭素循環・気候感度・ ティッピング・エレメント等の解明」

海洋研究開発機構
気候モデル高度化研究プロジェクト
プロジェクト長 河宮 未知生

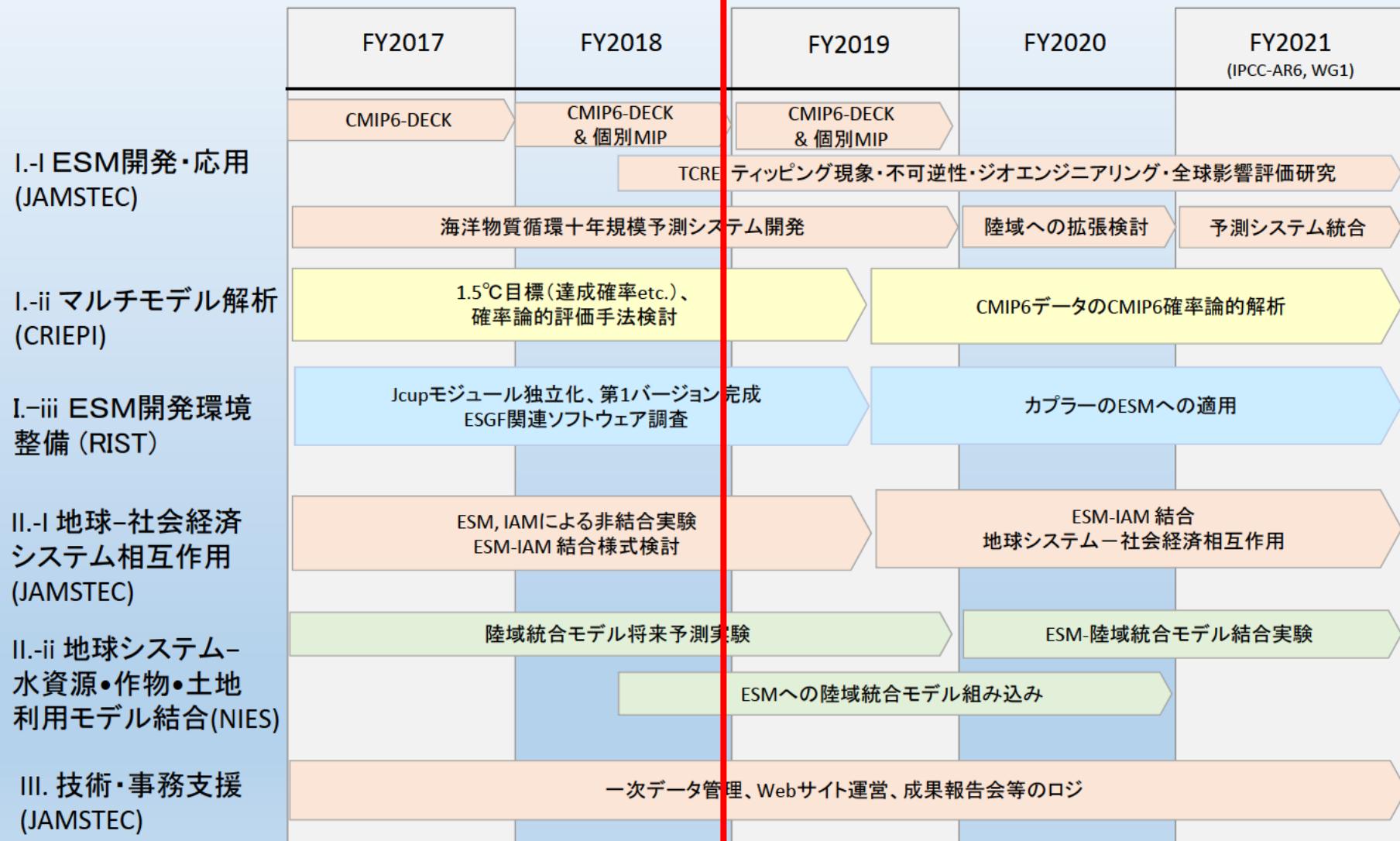
課題構成

- i. ESMの開発・地球システム解析
 - a. ESM開発・応用 (JAMSTEC)
 - b. マルチモデル解析による温度上昇の確率論的評価(電中研)
 - c. ESM開発環境整備 (RIST)
- ii. 地球－人間システム相互作用
 - a. 地球-社会経済システム相互作用 (JAMSTEC)
 - b. 地球システム-水資源・作物・土地利用モデル結合(環境研)
- iii. テーマ間連携のための技術・事務支援 (JAMSTEC)

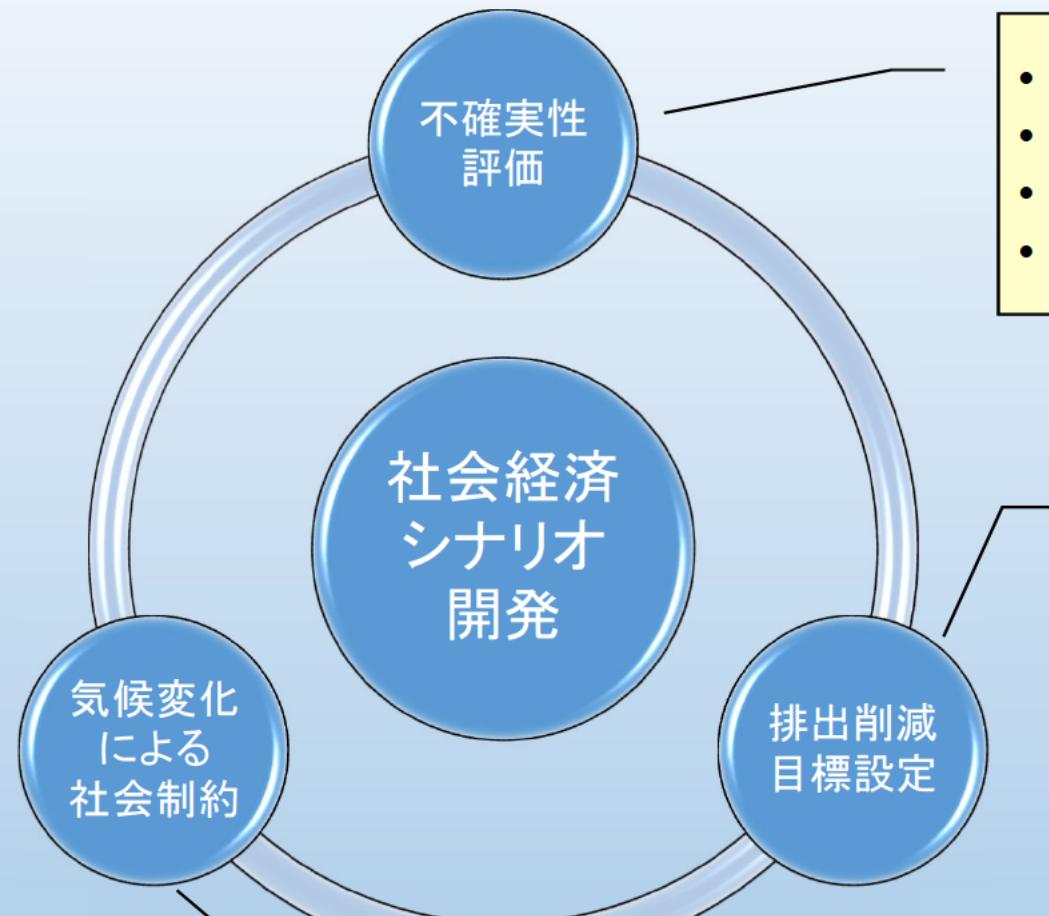


グローバル・ストックテイク等、温暖化緩和抑制策立案に
資する科学的知見の獲得

タイムライン



ESM予測を通じた緩和抑制策立案への貢献



- 気候感度, TCRE (i-a,b)
- 窒素循環導入(i-a)
- ESM高度化(i-a,c)
- ...

- ティッピング現象:
過去、将来(i-a)
- ジオエンジニアリング(i-a)
- 十年規模予測(i-a)
- ...

- エネルギー・水・食料連環(NEXUS, ii-b)
- 農業生産性と土地利用変化(ii-a,b)
- 気候-社会経済相互作用(ii-a)
- ...



研究の背景に代えて(1): パリ協定

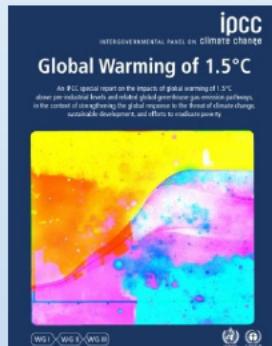


- 国連気候変動枠組み条約(UNFCCC)実施のため、2015年のCOP21(パリ)で採択
 - 2020年以降の気候変動対策の枠組み
 - 参加国は、自主設定した排出削減目標達成のため努力(Intended National Determined Contributions, or INDCs)
 - 2023年を皮切りにした、気候変動対策の再検討(グローバル・ストックテイク)を行う
 - 抑制目標: 2 °C以内, できれば1.5 °C 以内に抑えるよう努力

背景説明に代えて(2):

1.5°C特別報告書の要点 (WG1に関して)

残余カーボンバジェット^{※1}の評価が上方修正された。(C1.3)



2018年時点での残余カーボンバジェット(単位:CO₂換算で億トン)

	AR5 ^{※2}	SR1.5
1.5°C目標	1,200	5,700-7,700 または 4,200-5,800 (温度の定義の仕方による)
2°C目標	7,200	13,200

赤字: SR1.5(SPM)に記載されている数字

青字: SR1.5に記載されている数字を基に、説明者が計算した値

現在の排出量: 每年420±30 億トン(CO₂換算)

現在までの累積排出量: 2兆2,000億トン(CO₂換算)

※1 残余カーボンバジェット: 温暖化抑制の目標を達成するまでに、
排出可能なCO₂量

※2 AR5: IPCC第5次評価報告書(2013)

「表面気温」の定義の問題やハイエイタスなどもあり、AR5時点での昇温が炭素循環モデルで過大評価されていたことが主な原因の一つ



i-a: ESM開発・応用(JAMSTEC)

ESM・要素モデル開発、CMIP6, カーボン・バジェット、
10年規模予測、ティッピング、古気候、…

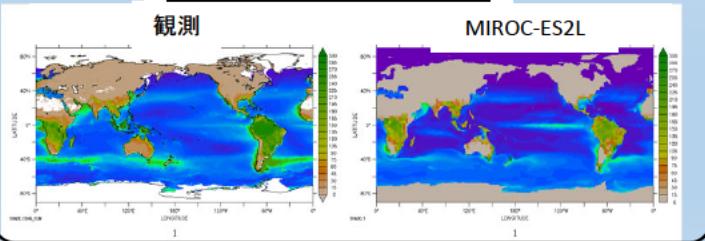


CMIP6進捗状況

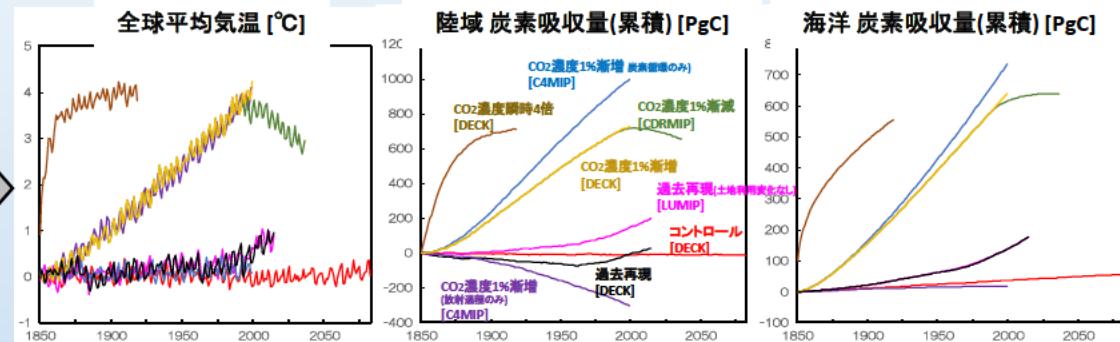


- ・創生プロ/統合プロで開発
- ・最新気候モデル MIROCを物理コアに使用
- + 全球の物質循環過程が高度化
→これまで考慮できなかった生態系CO₂吸収への栄養塩制約、農業(施肥)といった人間活動の影響も予測に反映

例) 生物生産力の季節変化

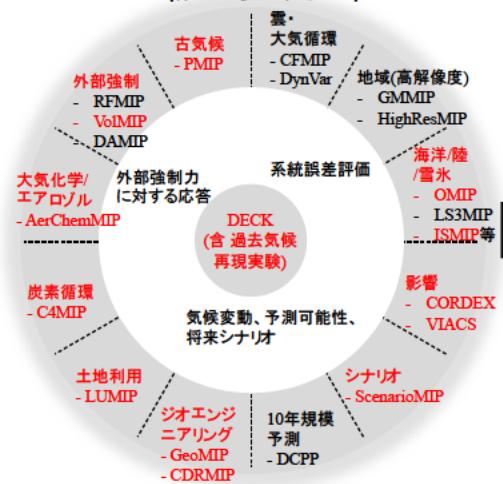


MIROC-ES2を用いたCMIP6実験遂行(進行中)



CMIP6参加とデータ配信

(赤字が参加するMIP)



データ配信と研究への利活用

IPCCへの貢献



IPCC-AR6

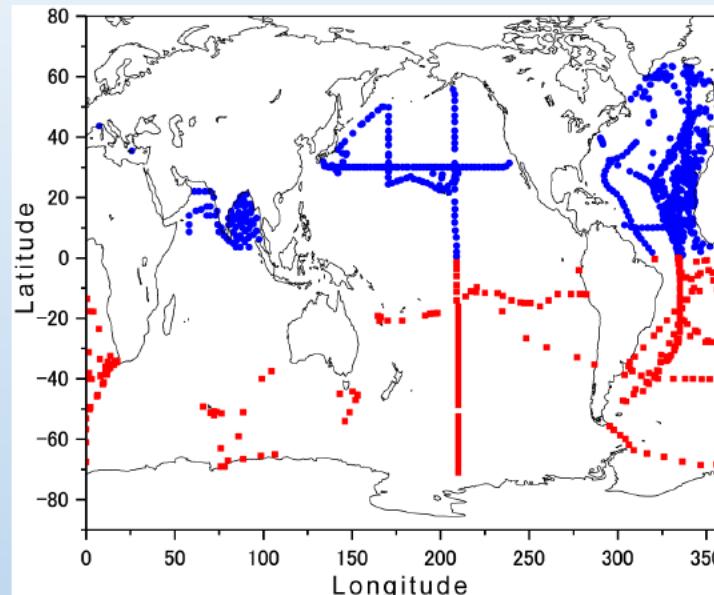
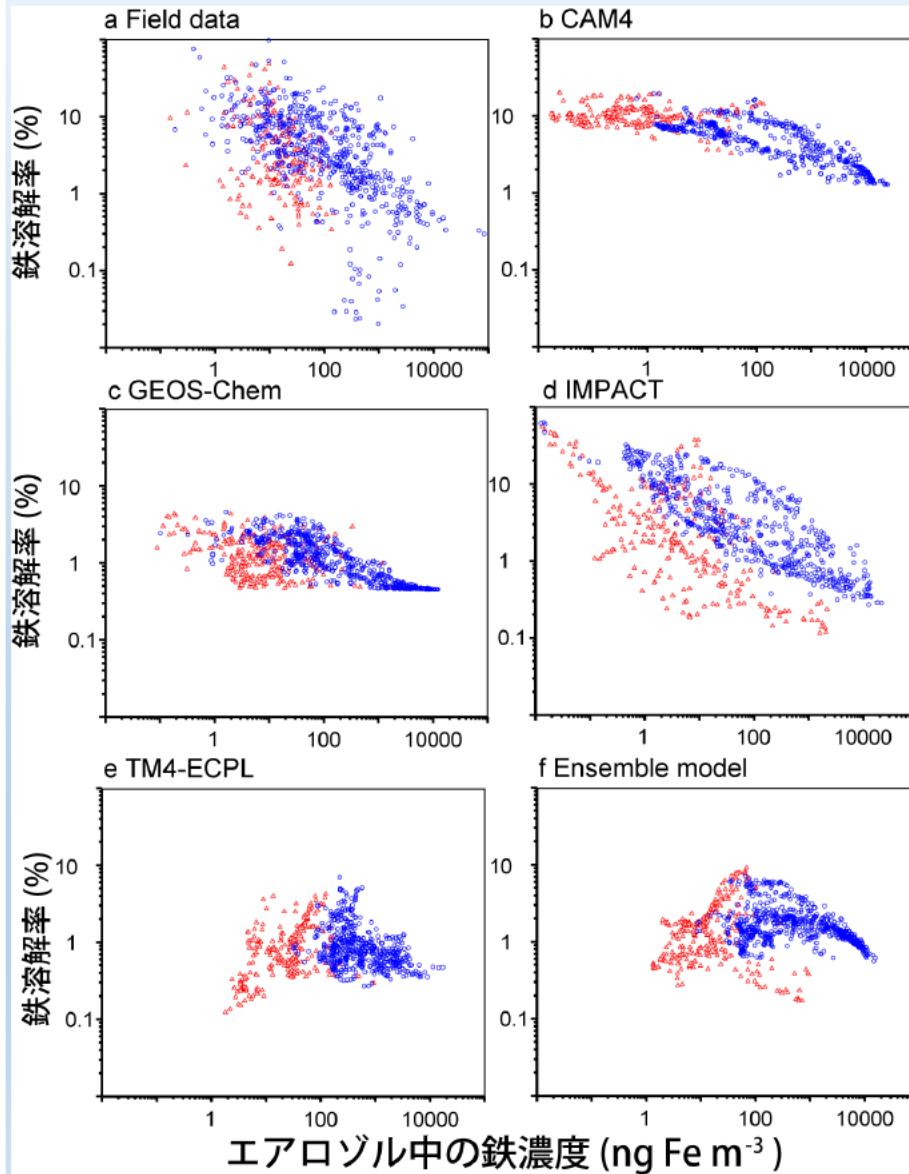
ipcc

WHO UNEP

The GESAMP atmospheric iron deposition model intercomparison study Myriokefalitakis, Ito, et al. (2018)



複数の全球大気化学輸送モデル予測データと様々な海域の観測データの統計解析



Science Advances



Pyrogenic iron: The missing link to high iron solubility in aerosols

Akinori Ito^{1*}, Stelios Myriokefalitakis^{2,3}, Maria Kanakidou⁴, Natalie M. Mahowald⁵, Rachel A. Scanza⁶, Douglas S. Hamilton⁶, Alex R. Baker⁶, Timothy Jickells⁶, Manmohan Sarin⁷, Srinivas Bikkina⁷, Yuan Gao⁸, Rachel U. Shelley⁹, Clifton S. Buck¹⁰, William M. Landing⁹, Andrew R. Bowie¹¹, Morgane M. G. Perron¹¹, Cécile Guieu¹², Nicholas Meskhidze¹³, Matthew S. Johnson¹⁴, Yan Feng¹⁵, Jasper F. Kok¹⁶, Athanasios Nenes^{3,17,18}, Robert A. Duce¹⁹

i-b:マルチモデル解析による温度上昇の確率論的評価(電中研)

確率論的評価手法、簡易モデル、“Ensemble of opportunity”, ...

i-b マルチモデル解析による温度上昇の確率論的評価(電力中央研究所)

・方法論

- AOGCM/ESMの全球量を模擬するエミュレータを使用
- 個々のAOGCM/ESMに最適化した結果から、マルチモデルの気候感度等の分布を把握し、確率論的評価に応用する

・実施概要

- 大気上端のエネルギー不均衡と地表温度偏差の関係を分析する新しい方法を開発
- CMIP6の6モデル(2019年2月末時点)とCMIP5の25モデルで気候感度関連のパラメータを比較
- 非CO₂因子の有効強制力を簡便に定式化する方法を検討
- シナリオイニシアティブの活動として、IPCC 1.5°C報告書やカーボンバジェットをテーマに情報交換会議を実施

以下、1, 2点目を説明



ii-a: 地球-社会経済システム 相互作用 (JAMSTEC)

地球-社会経済システム相互作用、1.5°Cシナリオ、...

労働生産性を通じた気候変化の経済への影響解析

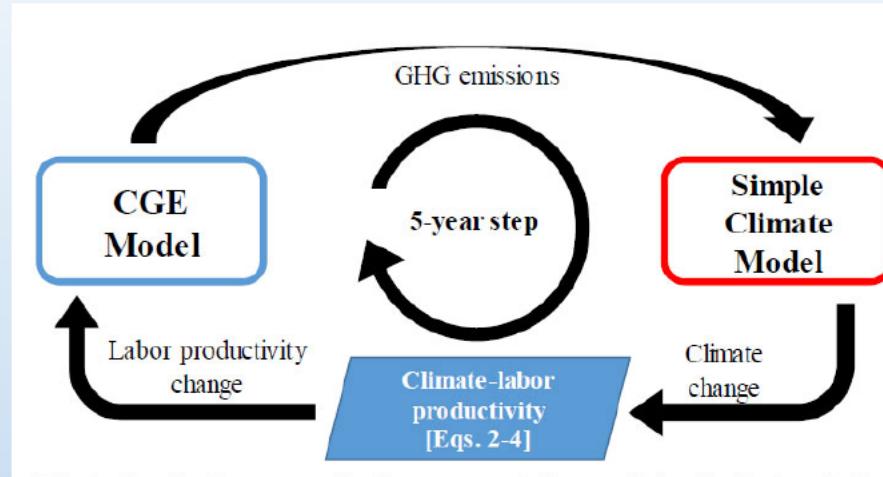
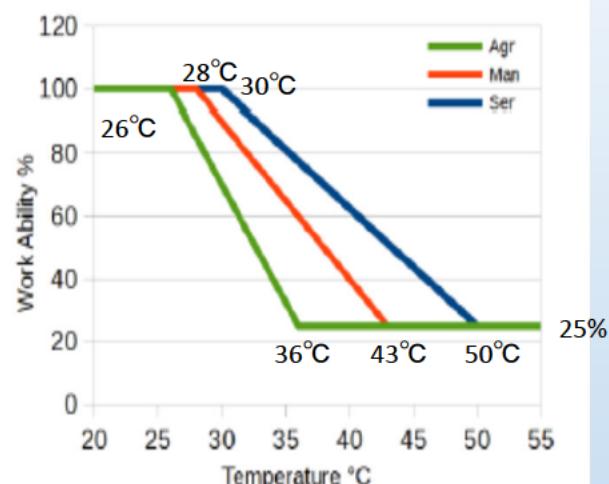
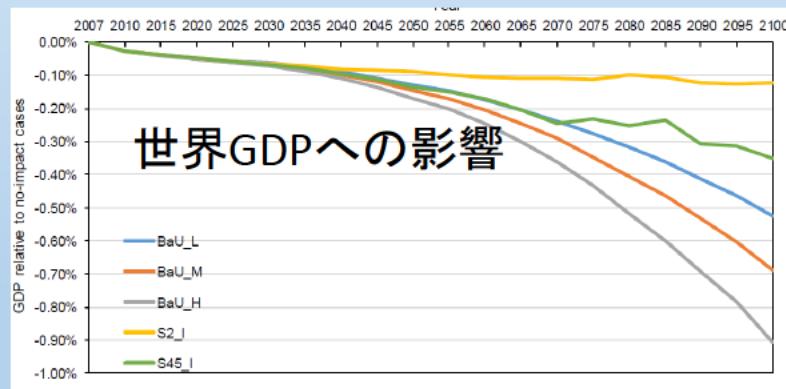
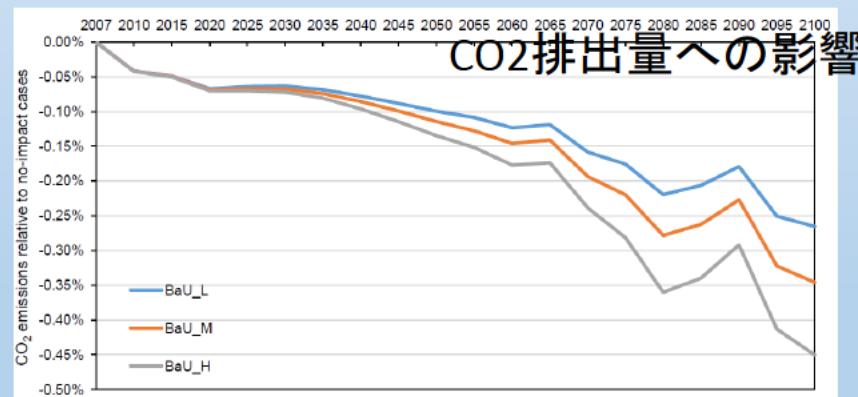


Fig 1. Study framework; first step of the model calculation is 3 years.



BAU_L/M/H: 気候モデルの不確実性を考慮した際の下から17/50/83%のもの(元のBAUからの減少率)。

S2_I, S45_I: 2°C、RCP4.5シナリオについて、それぞれの下のシナリオからの減少率。



BAUのみ(2°Cシナリオ、RCP4.5は排出量シナリオを与えるので変化しない)



ii-b: 地球システム-水資源・作物・ 土地利用モデル結合(環境研)

陸域統合モデル開発・応用、水-食料-エネルギーNEXUS、....

陸域統合モデルMIROC-INTEG1の開発

気候(陸面過程モデル MATSIRO)

陸面過程モデルを用いて、土壤温度・水分などを計算。

全球0.5度
～1度

水資源 H08

水資源モデルを用いて、人間活動(農業や工業)による水の利用を計算。河川からの灌漑を考慮。窒素負荷なども検討。

農作物収量



作物 PRYSBI2

農作物生産モデルを用いて、穀物収穫量を計算。温暖化対策のためのエネルギー作物の栽培などを考慮。温室効果ガス排出や環境窒素負荷などを求めることを検討。

浸食

水の利用 (農業・工業・生活)

森林火災によるCO₂排出
土地利用によるCO₂排出

温室効果ガス 収支

生態系 VISIT

陸域生態系モデルを用いて大気-植物-土壤の間の物質(C, N)分配を計算。温室効果ガス収支の変化などを求める。

土地利用 TELMO

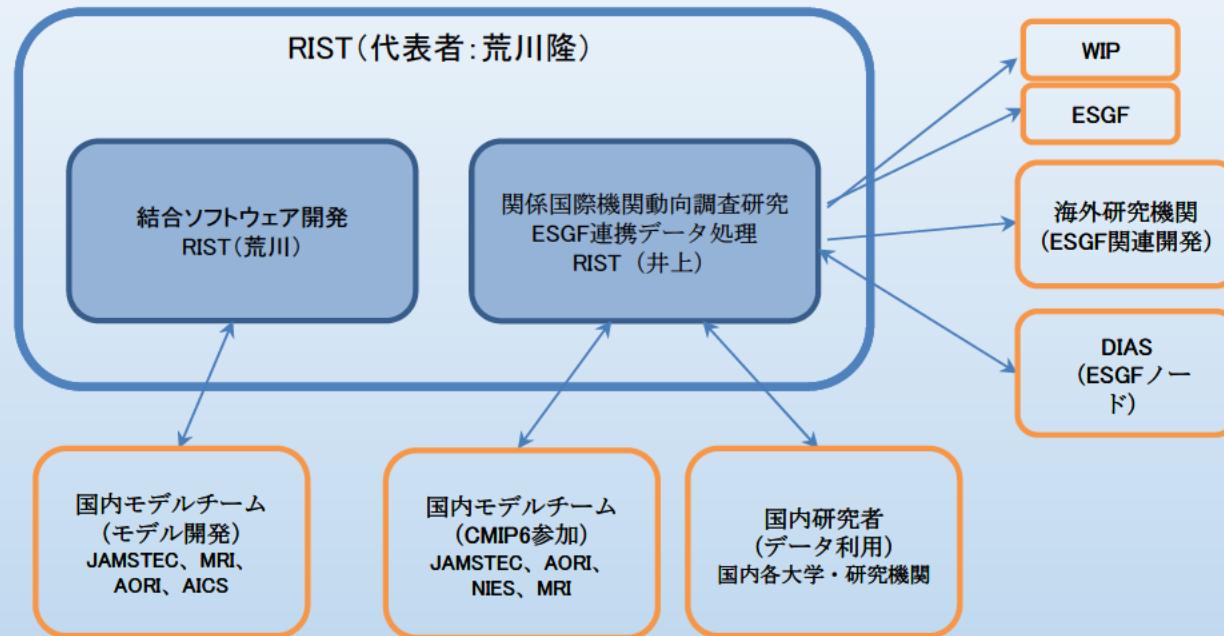
土地利用モデルを用いて、将来シナリオにもとづき土地利用変化(農地-森林)を計算。貿易などの経済活動と傾斜などの自然条件を考慮する。

→ 森林伐採

i-C: ESM開発環境整備 (RIST)

カプラー開発・実装、ESGF(データ配信システム)調査、…

サブ課題i-c：ESM開発環境整備



- 結合ソフトウェア開発
 - 国内モデルチームと連携しつつモデル開発に資するソフトウェア環境の整備構築
- データ処理に係る国際機関動向調査研究
 - WIPやESGFといった国際機関の動向に関する調査研究。国内関係者との情報交換を行う。

背景

CMIP6データに関する動向調査

CMIP6のデータ総量は約20PBと予想され、そのデータの取扱いはCMIP5の経験・反省を踏まえて様々な(特にテクニカルな)点で変更・改善が行われている。

目的

CMIP6へのデータや情報の提出要領、およびCMIP6データの利用方法について改めて情報収集し、対応する。

実施項目

国際的な動向を継続的に調査する必要:

- ✓ 特にCMIPデータの収集・配布インフラの開発・運用を行うESGFについて

国内関係機関をサポートする必要:

- ✓ モデルグループのデータ提出に必要な情報の収集・展開
(仕様や提出すべき情報について)
- ✓ 研究者のデータ利用に有用な情報の収集
(データ解析ワークフローの改善に資する情報)

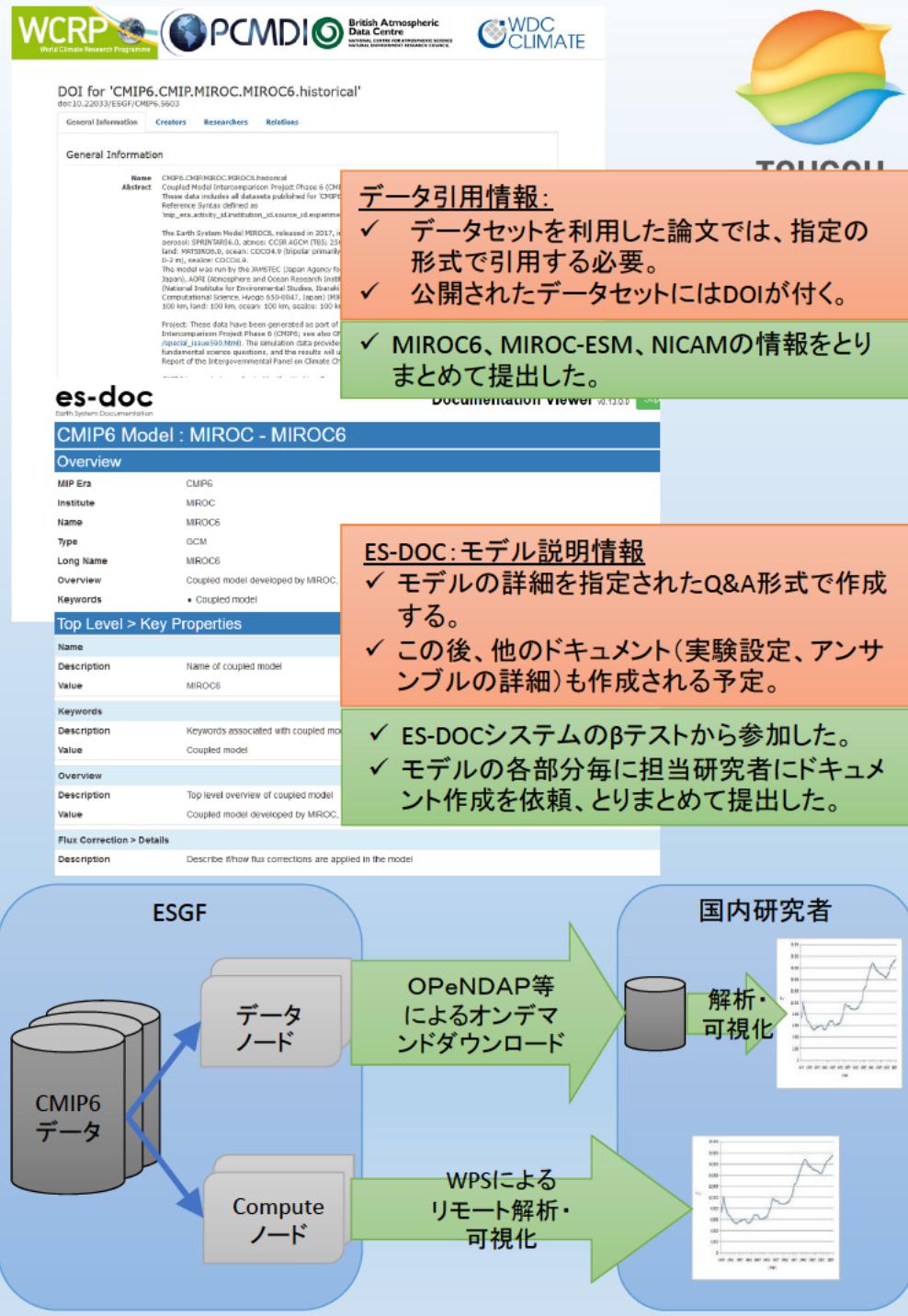
実施内容

データ提出関連事項:

- ✓ データ仕様・要領に関する情報収集・確認を行った。
- ✓ DIASとモデルグループとの連携をサポートした。
- ✓ データ引用情報のとりまとめ・提出した。
- ✓ ES-DOC向けモデル説明情報のとりまとめ・提出した。

データ利用関連事項: ESGFが提供する機能の情報収集

- ✓ オンデマンド検索・ダウンロード機能: OPeNDAP, Globus等について調査し、とりまとめた。
- ✓ ComputeノードとWeb Processing Service (WPS)について、調査・検討中。





iii: テーマ間連携のための技術・事務支援 (JAMSTEC)

共有サーバシステム構築・運用、テーマ間連携、ロジ支援、…

CMIP6で要求される変数リスト

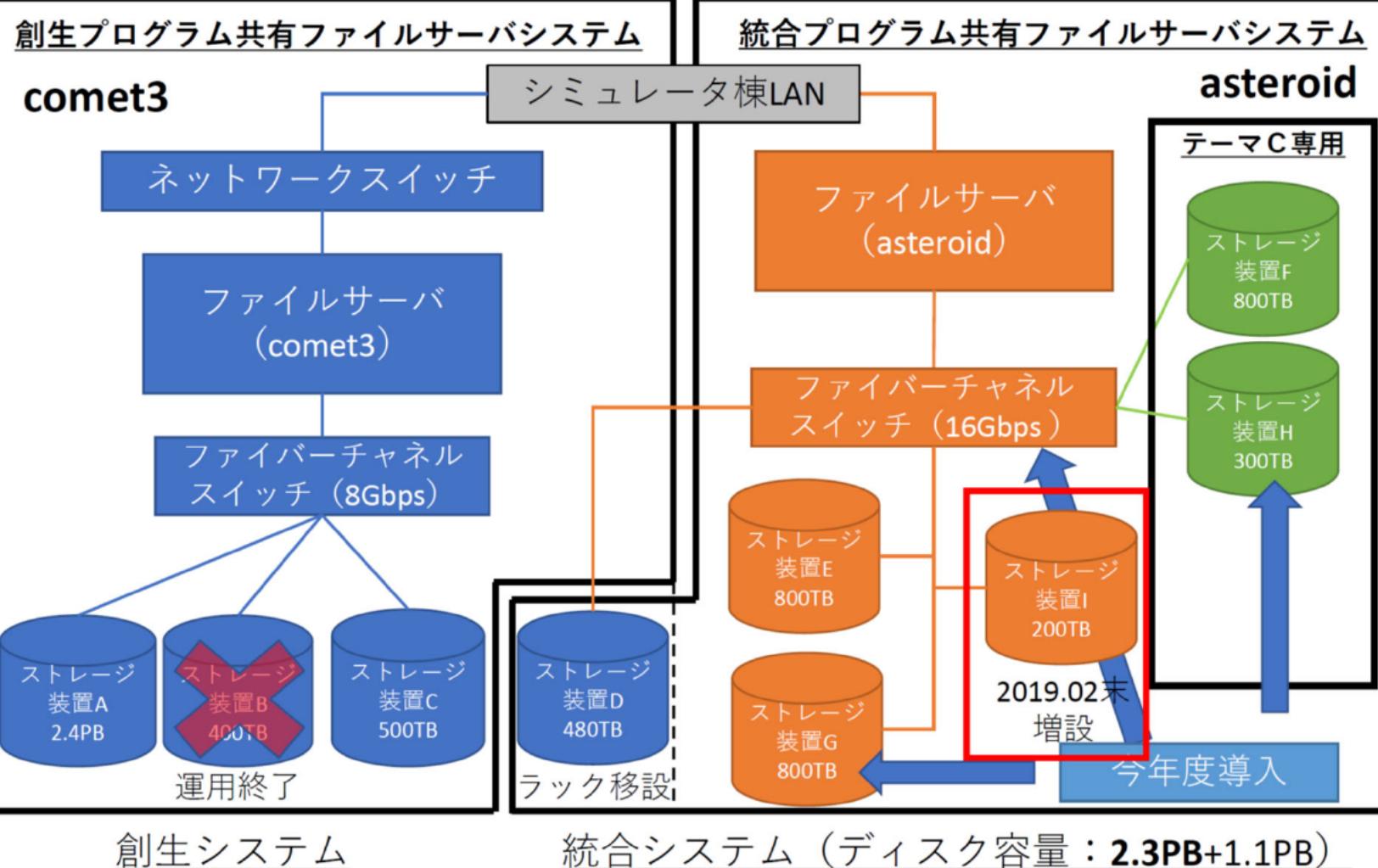


union - Excel

Priority	Long name	units	description	comment	Variable Name	CF Standard Name
2	net primary production allocated to other pools (kg m ⁻² s ⁻¹)		added for completeness with npp_root		nppOther	net_primary_production_allocate
3	Needleleaf deciduous tree fraction	%	as specified by C4MIP		treeFracNldDecid	tree_fraction_needleleaf_decid
4	Carbon mass in vegetation on tree tiles	kg m ⁻²			cVegTree	vegetation_carbon_content_for
5	Frozen water content of soil layer	kg m ⁻²			mrslf	frozen_moisture_content_of_so
6	Tendency of Mole Concentration of Organic Carbon mol m ⁻³ s ⁻¹		as specified by C4MIP		ppoco	tendency_of_mole_concentrati
7	Total water storage in a grid cell	kg m ⁻²	Primary (organic carbon) production by the picophytoplankton (<2 um) component alone		mrws	total_water_storage
8	Carbon Mass in Vegetation Components other than kg m ⁻²		as specified by C4MIP		cOther	other_vegetation_components
9	biological nitrogen fixation	kg m ⁻² s ⁻¹	E.g. fruits, seeds, etc.		fBNF	biological_nitrogen_fixation
10	Deforested biomass that goes into atmosphere as kg m ⁻² s ⁻¹		When land use change results in deforestation of natural vegetation (trees or grasslands) then natu		fDeforestToAtmos	DeforestToAtmos
11	Rate of Change of Dissolved Inorganic Carbon dmol m ⁻² s ⁻¹		vertical integral of net biological terms in time rate of change of dissolved inorganic carbon		fbdotic	rate_change_dissolved_inorga
12	Net Mass Flux of 14C between atmosphere and kg m ⁻² s ⁻¹		as specified by C4MIP		netAtmosLandC14Flux	net_atmos_to_land_C14_flux
13	Carbon mass in soil on tree tiles	kg m ⁻²			cSoilTree	soil_carbon_content_for_trees
14	Rate of Change of Dissolved Inorganic Nitrogen dn mol m ⁻² s ⁻¹		vertical integral of net biological terms in time rate of change of nitrogen nutrients (e.g. NO3+NH4)		fbdotN	tendency_of_ocean_mole_conte
15	Rate of Change of Dissolved Inorganic Phosphate nmol m ⁻² s ⁻¹		vertical integral of net biological terms in time rate of change of phosphate		fbdotP	tendency_of_ocean_mole_conte
16	Broadleaf deciduous tree fraction	%	as specified by C4MIP		treeFracBldDecid	tree_fraction_broadleaf_deciduo
17	net primary production on Shrub tiles	kg m ⁻² s ⁻¹	Total NPP of shrubs in the gridcell		nppShrub	net_primary_production_of_shru
18	Total Nitrogen lost to the atmosphere (sum of NH ₃ kg m ⁻² s ⁻¹)		as specified by C4MIP		fNloss	nitrogen_loss_to_atmosph
19	Total Carbon Mass Flux from Vegetation to Soil atm kg m ⁻² s ⁻¹		needed to separate changing vegetation C turnover times resulting from changing allocation versus		fvegSolSenescence	seesnecence_vegtosol_carbon
20	Total N loss to leaching or runoff (sum of ammonium kg m ⁻² s ⁻¹)		fvegSolSenescence		fleach	land_nitrogen_loss_to_leaching
21	Rate of Change of Net Dissolved Inorganic Carbon mol m ⁻² s ⁻¹		as specified by C4MIP		fbdotC	tendency_of_ocean_mole_conte
22	Total Carbon Mass Flux from Vegetation to Litter kg m ⁻² s ⁻¹		needed to separate changing vegetation C turnover times resulting from changing allocation versus		fvegLitSenescence	sesnecence_litter_carbon
23	Nitrogen Mass in Coarse Woody Debris	kg m ⁻²	fvegLitSenescence		fLitterCwd	litter_wood_debris_nitrogen
24	Carbon Mass in Soil Pool below 1m Depth	kg m ⁻²	needed to separate changing vegetation C turnover times resulting from changing allocation versus		fSoilLabw1m	soil_carbon_content_below_1m
25	net primary production allocated to stem	kg m ⁻² s ⁻¹	fSoilLabw1m		nppStem	net_primary_production_allocate
26	total N added for cropland fertilisation (artificial) kg m ⁻² s ⁻¹		fSoilLabw1m		nfertil	fertiliser_of_nitrogen onto_lan
27	Nitrogen Mass in above ground litter (non CWD)	kg m ⁻²	relative to total land area of a grid cell, not relative to agricultural area		fLitterSurf	surface_litter_nitrogen_content
28	Rate of Change of Net Dissolved Inorganic Phosphate nmol m ⁻² s ⁻¹		vertical integral of net time rate of change of phosphate		fbdotP	tendency_of_ocean_mole_conte
29	Mass Flux of 14C into Atmosphere due to Hetero kg m ⁻² s ⁻¹		as specified by C4MIP		rhct3	heterotrophic_respiration_c13_f
30	Carbon mass in litter on shrub tiles	kg m ⁻²	Percentage of entire grid cell covered by C3 crops		cLitterShrub	litter_carbon_content_for_shrub
31	Percentage Cover by C3 Crops	%	as specified by C4MIP		cropfracC3	crop_fraction_C3
32	Mass Flux of 14C into Atmosphere due to Hetero kg m ⁻² s ⁻¹		Percentage of entire grid cell covered by C3 crops		rhct4	heterotrophic_respiration_c14_f
33	Carbon Mass Flux from Litter, CWD or any non-living kg m ⁻² s ⁻¹		as specified by C4MIP		fLitterFire	fire_CO2_emissions_from_litter
34	Carbon mass in soil on shrub tiles	kg m ⁻²	Required for unambiguous separation of vegetation and soil + litter turnover times, since total fire f		fSoilShrub	soil_carbon_content_for_shrubs
35	Vegetation height averaged over the tree fraction m		reqd		veglheightTree	canopy_height
36	Carbon mass in litter on grass tiles	kg m ⁻²	as specified by C4MIP		cLitterGrass	litter_carbon_content_for_grass
37	Surface Downward Abiotic 14CO ₂ Flux	kg m ⁻² s ⁻¹	Gas exchange flux of abiotic 14CO ₂ (positive into ocean)		f14co2abio	surface_downward_masse_flux_14
38	Carbon Mass Flux into Atmosphere due to Hetero kg m ⁻² s ⁻¹		Needed to calculate litter bulk turnover time. Includes respiration from CWD as well.		rhLitter	heterotrophic_respiration_carbo
39	3D field of transported CO ₂	kg km ⁻¹	report 3D field of model simulated atmospheric CO ₂ (requested for all Emissions-driven runs)		co3D	CO2_3D_tracer
40	Fraction of grid cell burned due to all fires includin				burntFractionAll	burned_area_fraction_OF_area

- すべての変数につき、定義、出力頻度、出力期間を確認のうえ、出力変数に合わせ、シミュレーションモデルコードを改変。
- プロトコル中の実験ごとに異なる出力変数を対応できるようリストを作成。

共有ファイルサーバシステムの最新状況



2019/01/18 統合プロB FY2018第2回運営委員会

2019/3/15

統合プログラム成果報告会

21



その他、今年度の諸活動



2018年度の活動(1): 研究集会等

- テーマB全体会合:4月13日、12月5日
- 運営委員会:7月10日、1月18日
- 研究調整委員会(統合P共通):5月23日
- 日本地球惑星科学連合大会(JpGU)2018:5月20-24日
 - 気候-人間システムの相互作用(コンビーナ:立入郁、横畠徳太、田中克政、高橋潔)
 - 招待講演:Victor Brovkin (MPI), Brian O'Neil (NCAR)
→ 来年度以降の国際ワークショップなどにつながった。
- 海洋学会秋季大会:
 - 「地球システムモデルを用いた気候研究の課題検討」(コンビーナ:建部洋晶、辻野博之、渡辺路生)
- Workshop on Climate Change and Variability: 3月5, 6日、ホノルル
 - テーマA中心に開催、B,C からも参加有
- その他、月1回程度のJAMSTEC内での定例会議開催、テーマA定例会議(POCKIE)にはBからも積極参加





2018年度の活動(2): 社会活動、アウトリーチ、等

- IPCC LA 会合 :6月25-29日、広州、中国；1月7-12日、バンクーバー、カナダ
 - P. Patra 参加
- IPCC第48回総会:10月1-6日、仁川、韓国
 - 1.5°C特別報告書承認 -> 創生B成果引用
 - 筒井、河宮が日本代表団メンバーとして参加
- 1.5°C特別報告書記者レク:10月8日
 - 説明者:筒井、立入、河宮
 - カーボンバジェット、GMSTなどについて
- メディアフォーラム:3月23日
 - テーマ: イベント・アトリビューション、テーマBでロジ担当
- プレス発表、メディア掲載等
 - NHK NW9 (12月7日放送、ジオエンジニアリングについて、対応:渡辺(真)、西本、河宮)、
 - 黒色エアロゾルの放射強制力評価、伊藤、6月に記者向け資料配布
- 関連情報、波及効果
 - 記者レク: GCOM-CデータのESM開発への活用
 - 12月20日、GCOM-Cデータ提供開始に伴う記者レク、対応:立入、JAXA資金
 - メディア取材:永久凍土融解の可能性
 - 10月12日放送、報道ステーション、対応:齊藤(和)、環境省推進費



まとめ

i. ESMの開発・地球システム解析

- CMIP6実験進行中
- 國際コミュニティを先導する論文成果
- 気候感度と過渡応答の関係性
- カプラ実装、データ発信に関する調査・調整、など

ii. 地球一人間システム相互作用

- MIROC準拠の1.5°Cシナリオ開発
- 収量変化にともなう土地利用変化の考慮、など

iii. テーマ間連携のための技術・事務支援（JAMSTEC）

- 共用サーバの計画的運用、更新
- 本日満員御礼、など