

JAXA/GCOM衛星利用シンポジウム
2019 12/20@御茶ノ水

温暖化予測研究からみた 「しきさい」「しずく」への期待

国立研究開発法人 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
地球システムモデル開発応用グループ
立入 郁

発表の内容

- (JAMSTECの)温暖化予測研究について
- 地球システムモデル(ESM)とは
- モデル改良における衛星データの重要性
- まとめ

JAMSTECにおける地球環境(変動)研究

第3期海洋基本計画（海洋環境の維持・保全や海洋状況把握（MDA）の能力強化）、国連の持続可能な開発目標（SDGs）等の**国内外の政策に貢献**

地球環境の状況把握と変動予測のための研究開発

- ① 観測による海洋環境変動の把握と観測技術開発
- ② 北極域における環境変動の把握と海水下観測技術開発
- ③ 地球表層と人間圏の相互作用把握
- ④ 地球環境の変動予測
- ⑤ 地球環境変動と人間活動が生物多様性に与える影響評価

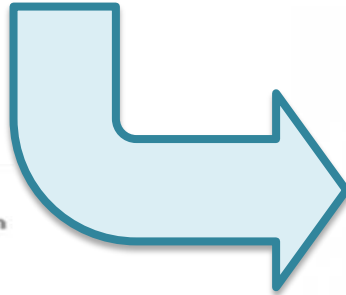
観測と予測の両
面研究が強み
世界的にも屈指
の総合力



United Nations
Educational, Scientific and
Cultural Organization



Intergovernmental
Oceanographic
Commission



SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS 17 GOALS TO TRANSFORM OUR WORLD



特に→

気候モデルによる変動予測

各モデルの特徴、得意分野を生かし、時空間レベルでシームレスな予測を実現する。

雲解像モデル領域



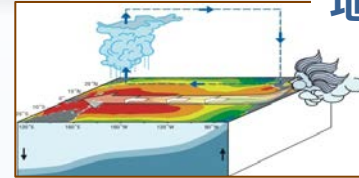
台風などの極端気象現象 (日～週スケール)

大気化学(サブ)モデル・陸面(サブ)モデル

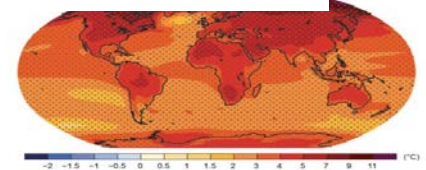


マッデン・ジュリアン振動 (対流活動が活発なエリアが1～2ヶ月で地球を一周する現象) などの季節内変動

地球システムモデル領域



エルニーニョ現象 (平年よりも太平洋の海面水温が東で高く・西で低くなる状態が1年ほど続く) など、数年～10年規模変動現象



地球温暖化や古気候変動など、100年以上の長期にわたる現象

時空間スケール・強みが異なる複数モデルを活用

↓
境界領域における相互作用の解明に向けた
比較・連携

極端現象予測
健康影響予測

極端減少発生確率予測手法の確立、数時間から季節程度の時間スケールでの大規模変動と台風などとの相互作用理解

収穫量予測、
早期警戒システム

**温暖化抑制策に資する
情報提供、北極評議会
等へのインプット**

地球システムモデルとは？ 物理気候モデルと何が違う？

グリッドごとに計算

地球システムモデルの構造

大気

物理モデル

化学モデル

海洋

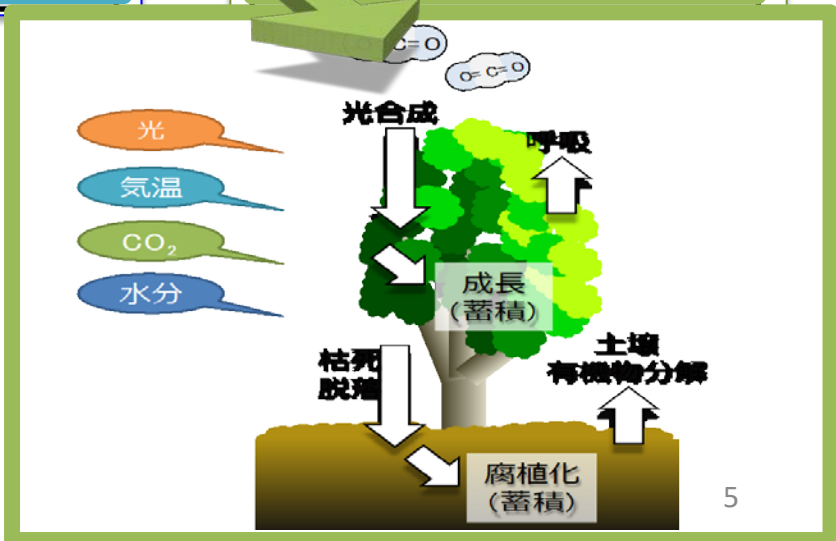
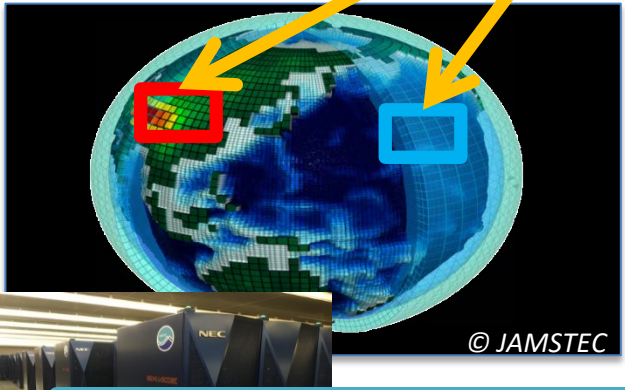
物理モデル

生物/化学モデル

陸域

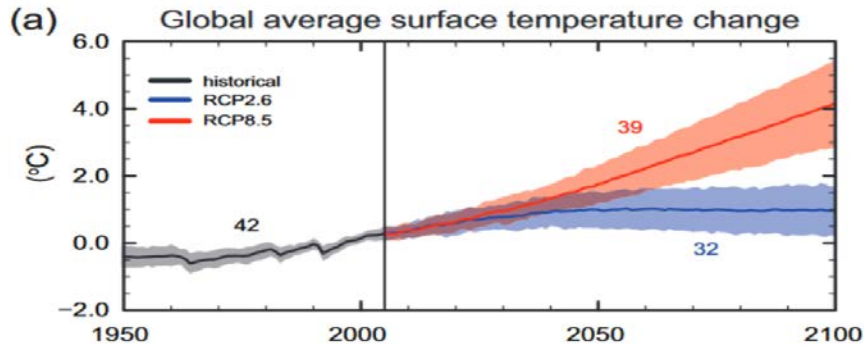
物理モデル

生物/化学モデル



TCRE

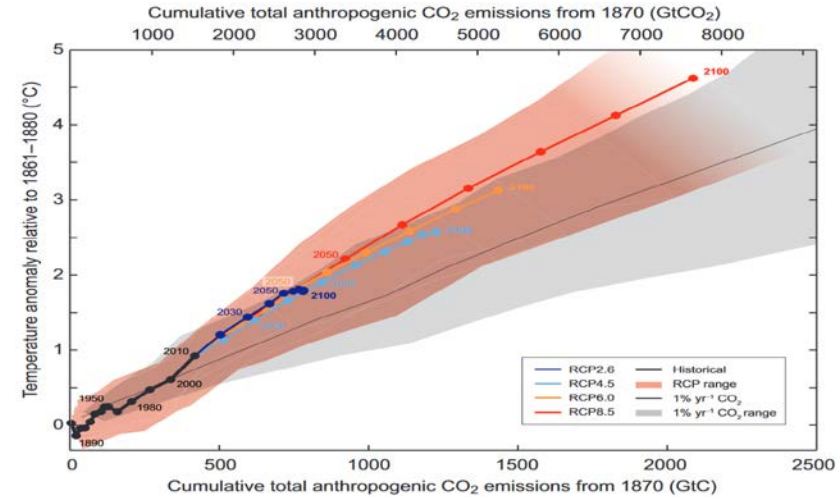
(Transient climate response to cumulative carbon emissions)



- IPCC/AR5/WG1 Fig. SPM 7a

Figure SPM.7 | CMIP5 multi-model simulated time series from 1950 to 2100 for (a) change in global annual mean surface temperature relative to 1986–2005.

Time series of projections and a measure of uncertainty (shading) are shown for scenarios RCP2.6 (blue) and RCP8.5 (red). Black (grey shading) is the modelled historical evolution using historical reconstructed forcings. The mean and associated uncertainties averaged over 2081–2100 are given for all RCP scenarios as colored vertical bars. The numbers of CMIP5 models used to calculate the multi-model mean is indicated.



- IPCC/AR5/WG1 Fig. SPM 10

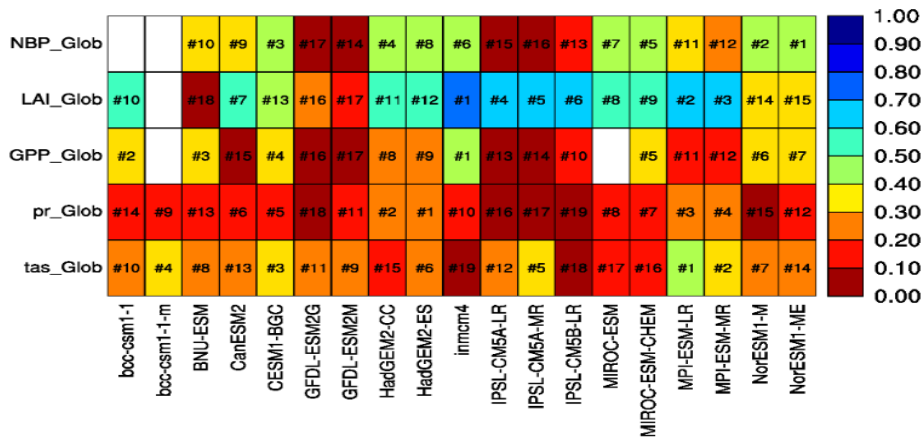
Figure SPM.10 | Global mean surface temperature increase as a function of cumulative total global CO₂ emissions from various lines of evidence. Multi-model results from a hierarchy of climate-carbon cycle models for each RCP until 2100 are shown with coloured lines and decadal means (dots). Some decadal means are labeled for clarity (e.g., 2050 indicating the decade 2040–2049). Model results over the historical period (1860 to 2010) are indicated in black. The coloured plume illustrates the multi-model spread over the four RCP scenarios and fades with the decreasing number of available models in RCP8.5. The multi-model mean and range simulated by CMIP5 models, forced by a CO₂ increase of 1% per year (1% yr⁻¹ CO₂ simulations), is given by the thin black line and grey area. For a specific amount of cumulative CO₂ emissions, the 1% per year CO₂ simulations exhibit lower warming than those driven by RCPs, which include additional non-CO₂ forcings. Temperature values are given relative to the 1861–1880 base period, emissions relative to 1870. Decadal averages are connected by straight lines.

衛星データの重要性

- 温暖化の影響の確認
- 衛星データをモデル改良に利用する

観測との比較による モデルの性能評価

RMSD – Global



Eyring et al. (2016, GMD)

ILAMB

* International Land Model Benchmarking
<https://www.ilamb.org/>

エアロゾル気候影響の不確実性

大気上端での放射強制力

- ・冷やすエアロゾルと温めるエアロゾルがある
 - ・エアロゾルが雲を変質させる効果は、特に不確実性が大きい
 - ・正味で冷却と考えられているが、不確実性が大きい
- 「しきさい」データによる不確実性低減の期待

エアロゾルおよびその前駆体

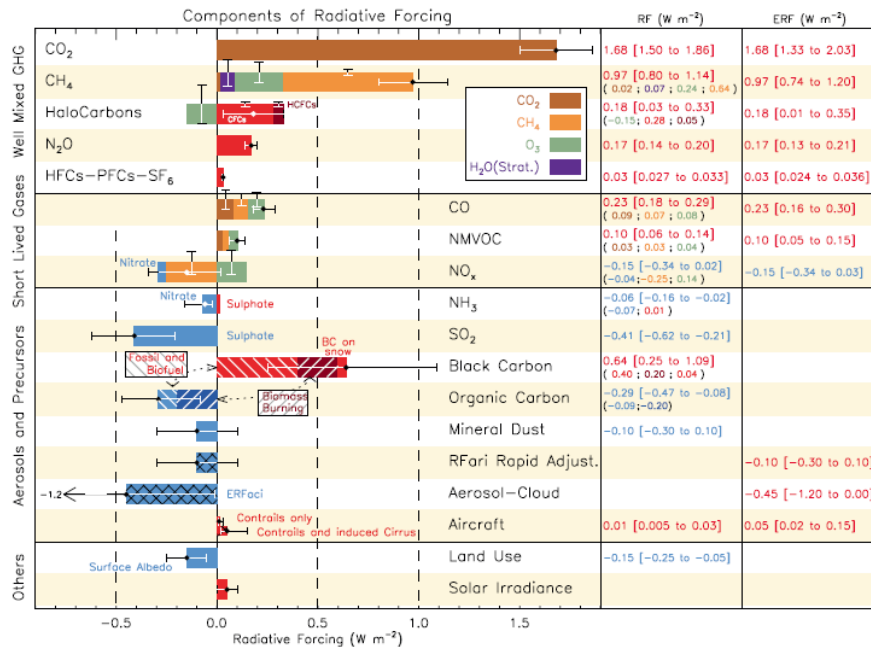
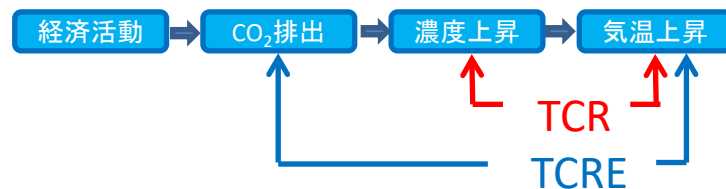


Figure TS.7 | Radiative forcing (RF) of climate change during the Industrial Era shown by emitted components from 1750 to 2011. The horizontal bars indicate the overall uncertainty, while the vertical bars are for the individual components (vertical bar lengths proportional to the relative uncertainty, with a total length equal to a $\pm 50\%$ uncertainty). Best estimates for the totals and individual components (from left to right) of the response are given in the right column. Values are RF except for the effective radiative forcing (ERF) due to aerosol-radiation interactions (ERFaci) and rapid adjustment associated with the RF due to aerosol-radiation interaction (RFarapid Adjust.). Note that the total RF due to aerosol-radiation interaction (-0.35 W m^{-2}) is slightly different from the sum of the RF of the individual components (-0.33 W m^{-2}). The total RF due to aerosol-radiation interaction is the basis for Figure SPM.5. Secondary organic aerosol has not been included since the formation depends on a variety of factors not currently sufficiently quantified. The ERF of contrails includes contrail induced cirrus. Combining ERFaci $-0.45 [-1.20 \text{ to } -0.00] \text{ W m}^{-2}$ and rapid adjustment of ari $-0.1 [-0.3 \text{ to } +0.1] \text{ W m}^{-2}$ results in an integrated component of adjustment due to aerosols of $-0.55 [-1.33 \text{ to } -0.06] \text{ W m}^{-2}$. CFCs = chlorofluorocarbons, HCFCs = hydrochlorofluorocarbons, HFCs = hydrofluorocarbons, PFCs = perfluorocarbons, NMVOC = Non-Methane Volatile Organic Compounds, BC = black carbon. Further detail regarding the related Figure SPM.5 is given in the TS Supplementary Material. (Figure 8.17)

TCRE*の不確実性

(*:単位累積CO₂排出量あたり気温上昇)

ESMs	TCRE(°C/1000PgC)
BNU-ESM	2.4
Can-ESM	2.4
MIROC-ESM	2.2
HadGEM2-ES	2.1
CESM1-BGC	1.9
MPI-ESM-LR	1.6
IPSL-CM5A-LR	1.6
BCC-CSM1-1	1.4
IPSL-CM5B-LR	1.2
GDFL-ESM2M	1.1
INMCM4	1
GDFL-ESM2G	0.8
NorESM-ME	1.6
MPI-ESM-MR	1.6
IPSL-CM5A-MR	1.6



ESMの特徴を評価する指標

→TCREは次のように分解できる

$$\boxed{\text{累積C排出} \rightarrow \text{気温}} = \frac{\boxed{\text{CO}_2 \rightarrow \text{気温}}}{1 + \boxed{\text{CO}_2 \rightarrow \text{C吸収}} - \boxed{\text{気温} \rightarrow \text{C排出}}} \times \boxed{\text{CO}_2 \rightarrow \text{気温}}$$

CO₂→気温 : CO₂濃度上昇に対する気温の上がりやすさ
(気候感度から海の熱吸収分を引いたもの)

CO₂→C吸収 : CO₂濃度上昇に対する陸・海のCO₂吸収の増加
(CO₂が多い方が光合成が進む)

気温→C排出 : 気温上昇に対する陸・海のCO₂排出の増加
(気温が高い方が呼吸・分解が進む、水へのCO₂溶解度が下がる、など)

季節変化と長期変化のシンプルな関係を見出す →季節変化の観測を用いて絞り込む

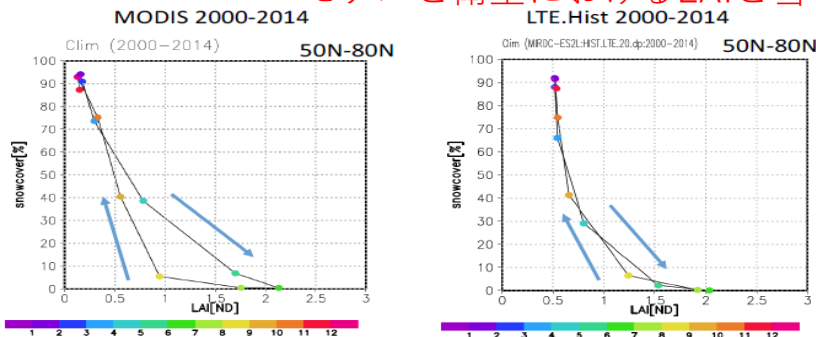
- 例1 Wenzel et al. (2016)
<https://www.nature.com/articles/nature19772>
- 大気CO₂濃度の季節変動の強さを観測で
制約→植物生産力のCO₂濃度への応答を
制約(高緯度、亜熱帯)

気温→C排出 (陸)

- 例2 Cox et al. (2013)
<https://www.nature.com/articles/nature11882>
- 各年のCO₂濃度増加率の気温への感度を
観測で制約→呼吸の気温への応答を制約
(熱帯)

ESM高度化への貢献

✓ モデルと衛星におけるLAIと雪の関係



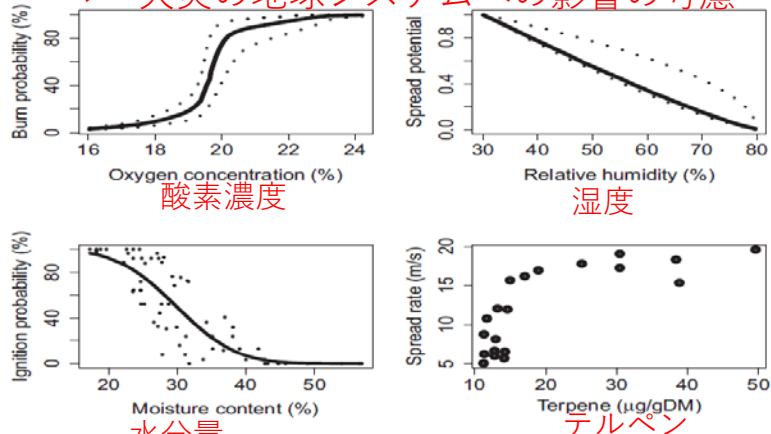
✓ 植物プランクトンによる遮光効果

Lim et al.
(2017, Clim Dyn)

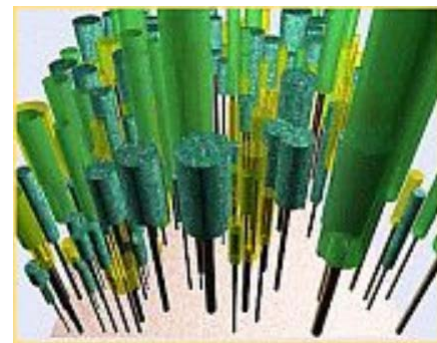
<https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00382-017-4036-8>

✓ ねらい：ヒステリシスの再現 (Hajima et al., 2019, GMD)

✓ 火災の地球システムへの影響の考慮



✓ 森林の三次元構造？



Archibald et al. (2018, ERL)

http://seib-dgvm.com/oview_j.html

「しきさい」「しずく」データへの期待

しきさい

- エアロゾル(大気補正向上による他変数の精度向上)
- CO2濃度変化、気温変化に対する生態系の応答の評価

しずく

- 積雪深・量と植生の関係、土壌水分(火災、ダストなど)。

共通

- モデル評価用データ群の一翼を担う。(他のデータの例: MODIS, SeaWiFS, GOSAT(TANSO), AMSR)
- (他の同変数データとの組み合わせによる)観測データ不確実性の評価・低減。
- アルゴリズム開発者との緊密な連携

→長く安定的にデータ提供されることが重要。

まとめ

- 地球システムモデル(ESM) = 物理気候モデル + 生態系(物質循環)。排出量から気候変化を予測可能。

この改良・高度化のため:

- TCRE:累積排出量と気温上昇の関係。CO₂濃度上昇、気温上昇に対する陸・海の炭素量の感度が重要
- →短期間の応答(←衛星で検知可能な)を用いて長期的応答を制約できる場合がある→「しきさい」「しずく」のデータ利用ができるのではないかと期待
- モデル評価用データの一翼
- プロセス高度化への貢献

その他:

- (他の同変数データとの組み合わせによる)観測データ不確実性の評価・低減。
- アルゴリズム開発者との緊密な連携

→「しきさい」「しずく」の多様なプロダクトを用いたESMの評価・改良・不確実性低減の可能性(長期データ提供して頂けるとありがたい)。