

世界のCO₂収支 2020年版

説明者：丹羽 洋介 (niwa.yosuke@nies.go.jp)

中岡 慎一郎、三枝 信子、春日 文子

国立環境研究所, フューチャー・アース日本ハブ

本論文の概要

単位Gt C yr⁻¹

| | 直近10年間 (2010-2019年) | 2019年 |
|----------------------------|------------------------|------------|
| 人為的なCO ₂ 排出量 | 10.9 ± 0.9 | 11.5 ± 0.9 |
| 大気への蓄積量 | 5.1 ± 0.02 | 5.4 ± 0.2 |
| 海洋によるCO ₂ 正味吸収量 | 2.5 ± 0.6 | 2.6 ± 0.6 |
| 陸域によるCO ₂ 正味吸収量 | 3.4 ± 0.9 | 3.1 ± 1.2 |

- 2019年の化石燃料消費による排出量は2018年比で約0.1%増加
(増加速度の鈍化)
- 2020年はCOVID-19パンデミックにより、化石燃料消費による排出量が2019年比で約7%減 (見込み)
- 海洋や陸域生態系によるCO₂吸収傾向について、現在のところ大きな変化は見られていない

本研究に関わった研究者 86 人 | 68 機関 | 16 力国

**P Friedlingstein UK | M O’Sullivan UK | MW Jones UK | RM Andrew Norway | J Hauck Germany
A Olsen Norway | GP Peters Norway | W Peters Netherlands | J Pongratz Germany | S Sitch UK
C Le Quéré UK | JG Canadell Australia | P Ciais France | RB Jackson USA**

Simone Alin USA | Luiz E. O. C. Aragão Brazil | Almut Arneith Germany | Vivek Arora Canada | Nicholas R. Bates Bermuda | Meike Becker Norway | Alice Benoit-Cattin Iceland | Henry C. Bittig Germany | Laurent Bopp France | Selma Bultan Germany | Naveen Chandra Japan | Frédéric Chevallier France | Louise P. Chini USA | Wiley Evans Canada | Liesbeth Florentie Netherlands | Piers M. Forster UK | Thomas Gasser Austria | Marion Gehlen France | Dennis Gilfillan USA | Thanos Gkritzalis Belgium | Luke Gregor Switzerland | Nicolas Gruber Switzerland | Ian Harris UK | Kerstin Hartung Germany | Vanessa Haverd Australia | Richard A. Houghton USA | Tatiana Ilyina Germany | Atul K. Jain USA | Emilie Joetzjer France | Koji Kadono Japan | Etsushi Kato Japan | Vassilis Kitidis UK | Jan Ivar Korsbakken Norway | Peter Landschützer Germany | Nathalie Lefèvre France | Andrew Lenton Australia | Sebastian Lienert Switzerland | Zhu Liu China | Danica Lombardozzi USA | Gregg Marland USA | Nicolas Metzler France | David R. Munro USA | Julia E. M. S. Nabel Germany | Shin-ichiro Nakaoka Japan | Yosuke Niwa Japan | Kevin O’Brien USA | Tsueno Ono Japan | Paul I. Palmer UK | Denis Pierrot USA | Benjamin Poulter USA | Laure Resplandy USA | Eddy Robertson UK | Christian Rödenbeck Germany | Jörg Schwinger Norway | Roland Séférian France | Ingunn Skjelvan Norway | Adam J. P. Smith UK | Adrienne J. Sutton USA | Toste Tanhua Germany | Pieter P. Tans USA | Hanqin Tian USA | Bronte Tilbrook Australia | Guido R. van der Werf Netherlands | Nicolas Vuichard France | Anthony P. Walker USA | Rik Wanninkhof USA | Andrew J. Watson UK | David Willis UK | Andrew J. Wiltshire UK | Wenping Yuan China | Xu Yue China | Sönke Zaehle Germany

Atlas Team Members at LSCE, France
P Ciais | A Peregon | P Brockmann

Communications Team
N Hawtin | K Mansell | J Walton | E Pihl

日本の機関に所属する 6 名が参加
他にも日本発のデータが随所に貢献

多岐にわたるデータセットと日本の貢献

今回の報告で用いられた主なデータセット

Atmospheric CO₂ datasets

NOAA/ESRL (Dlugokencky and Tans 2020)
Scripps (Keeling et al. 1976)

Fossil CO₂ emissions

CDIAC (Gilfillan et al. 2019)
Andrew, 2019
UNFCCC, 2020
BP, 2020

Consumption Emissions

Peters et al. 2011
GTAP (Narayanan et al. 2015)

Land-Use Change

Houghton and Nassikas 2017
BLUE (Hansis et al. 2015)
OSCAR (Gasser et al. 2020)
GFED4 (van der Werf et al. 2017)
FAO-FRA and FAOSTAT
HYDE (Klein Goldewijk et al. 2017)
LUH2 (Hurtt et al. 2020)

逆解析

Atmospheric inversions

CarbonTracker Europe | Jena CarboScope | CAMS |
UoE In situ | [NISMON-CO2](#) | [MIROC4-ACTM](#)
国環研/気象研 JAMSTEC

Land models

CABLE-POP | CLASSIC | CLM5.0 | DLEM | IBIS | ISAM |
ISBA-CTRIP | JSBACH | JULES-ES | LPJ-GUESS | LPJ | LPX-
Bern | OCN | ORCHIDEEv3 | SDGVM | [VISIT](#) | YIBs
CRU (Harris et al. 2014) IAE/国環研
[JRA-55 \(Kobayashi et al. 2015\)](#)
気象庁

陸域生態系モデル

Ocean models

CESM-ETHZ | CSIRO | FESOM-1.4-REcoM2 | MICOM-
HAMOCC (NorESM-OCv1.2) | MOM6-COBALT (Princeton)
| MPIOM-HAMOCC6 | NEMO3.6-PISCESv2-gas (CNRM) |
NEMO-PISCES (IPSL) | NEMO-PlankTOM5

海洋モデル

pCO₂-based ocean flux products

Jena-MLS | MPI-SOMFFN | CMEMS
[SOCATv2019](#) | CSIR-ML6 | Watson et al.
国環研, 水産研, 気象庁

海洋観測データ

Full references provided in [Friedlingstein et al 2020](#)

CO₂収支に関する単位について

論文ではこちらの単位を使用

1 ギガトン (Gt) = 10 億トン = 1×10^{15} g = 1 ペタグラム (Pg)

1 kg カーボン (C) = 3.664 kg 二酸化炭素 (CO₂)

1 GtC = 36.64 億トン CO₂ = 3.664 GtCO₂

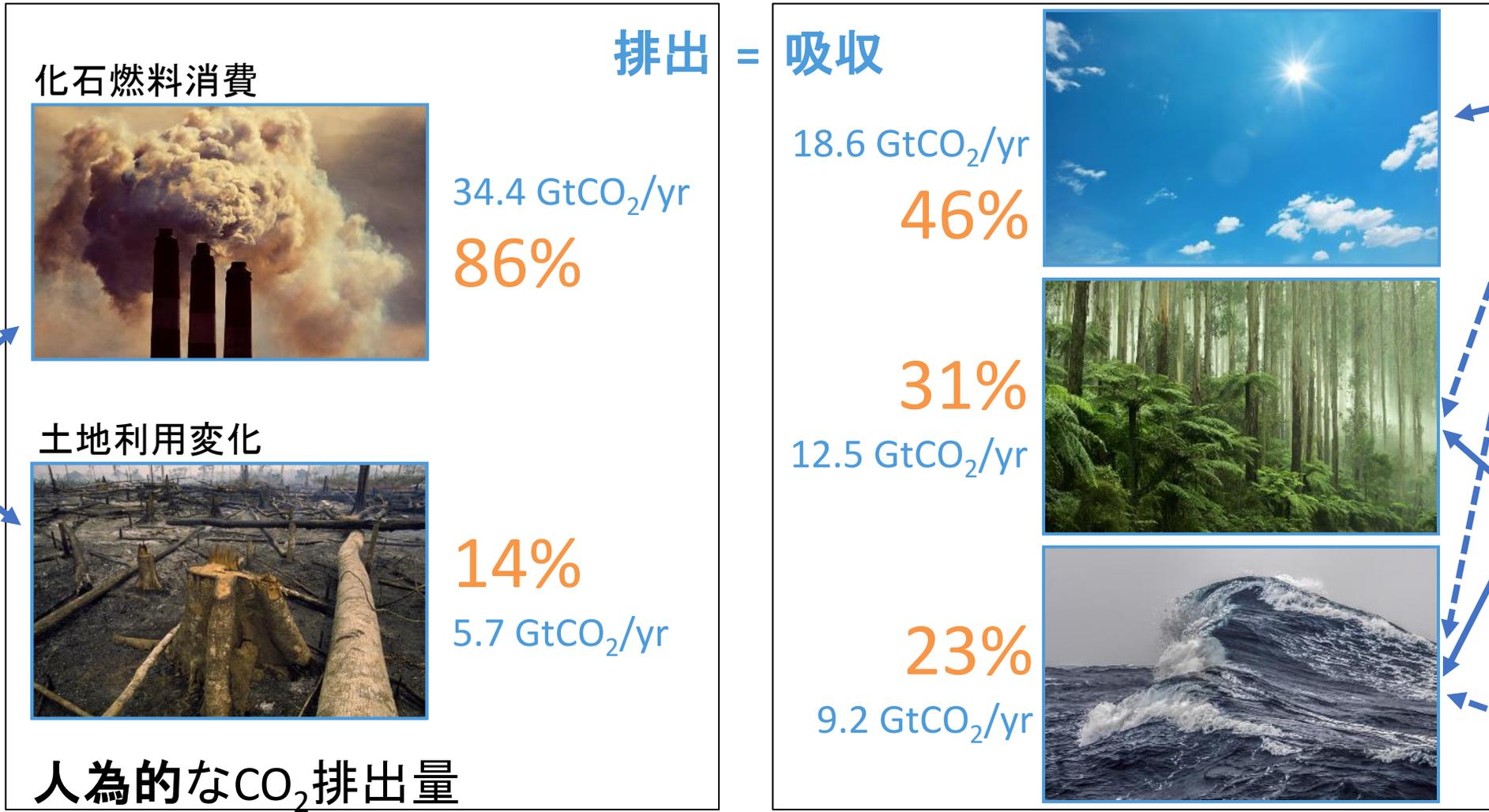
論文タイトル : 「Global Carbon Budget 2020」
=> 「世界のCO₂収支 2020年版」

発表資料ではこちらを使用

本発表でお示しします図の多くは
<http://globalcarbonbudget.org/carbonbudget>
よりダウンロード可能です

人為起源CO₂の行方 (2010–2019)

統計
データ



大気
観測

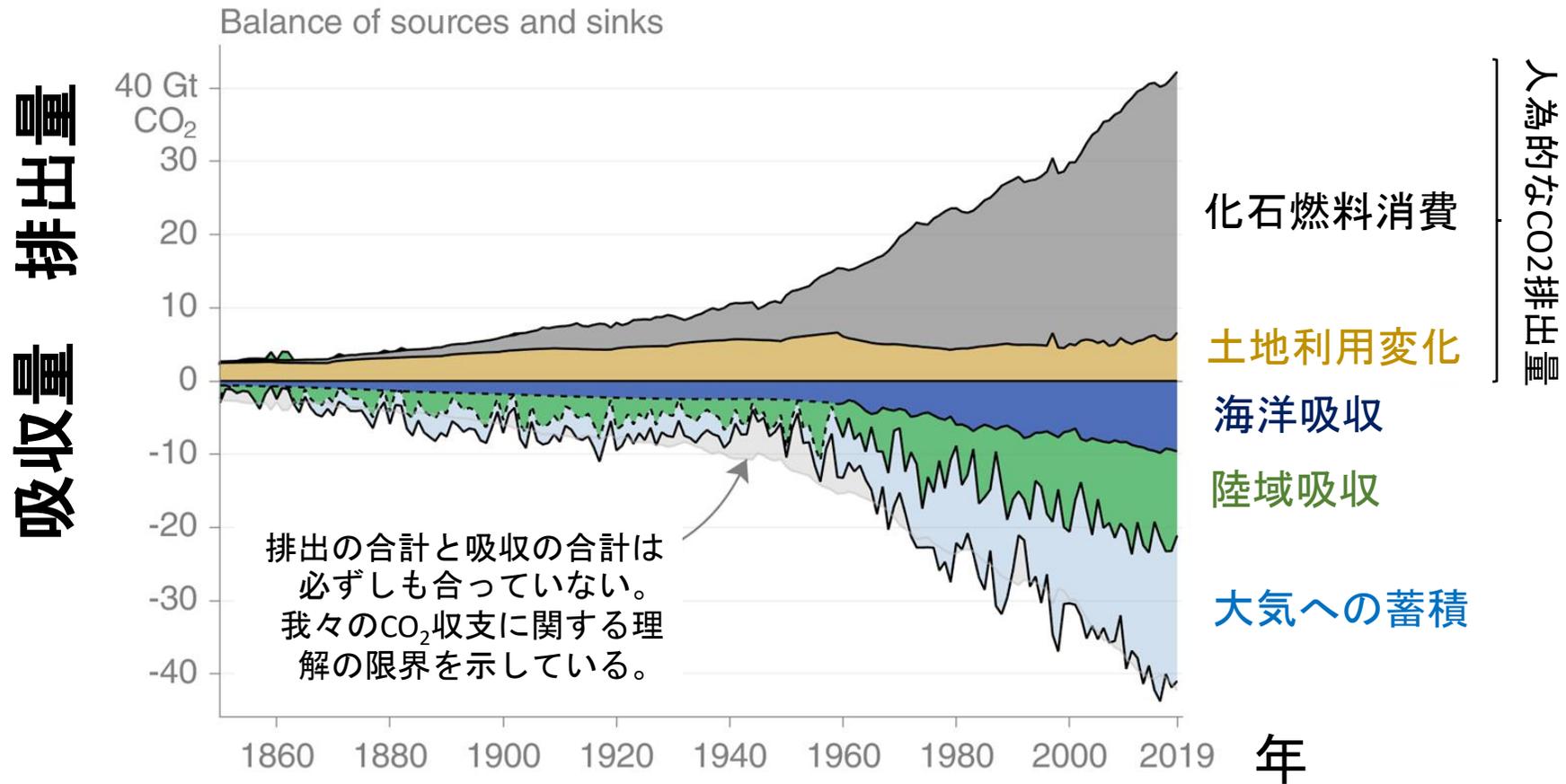
数値シミュ
レーション

海洋
観測

収支不整合:
(上記の排出と吸収の合計の差) **0.4%**
0.2 GtCO₂/yr

人為起源排出の年々増加とそれに応答したCO₂収支の変化

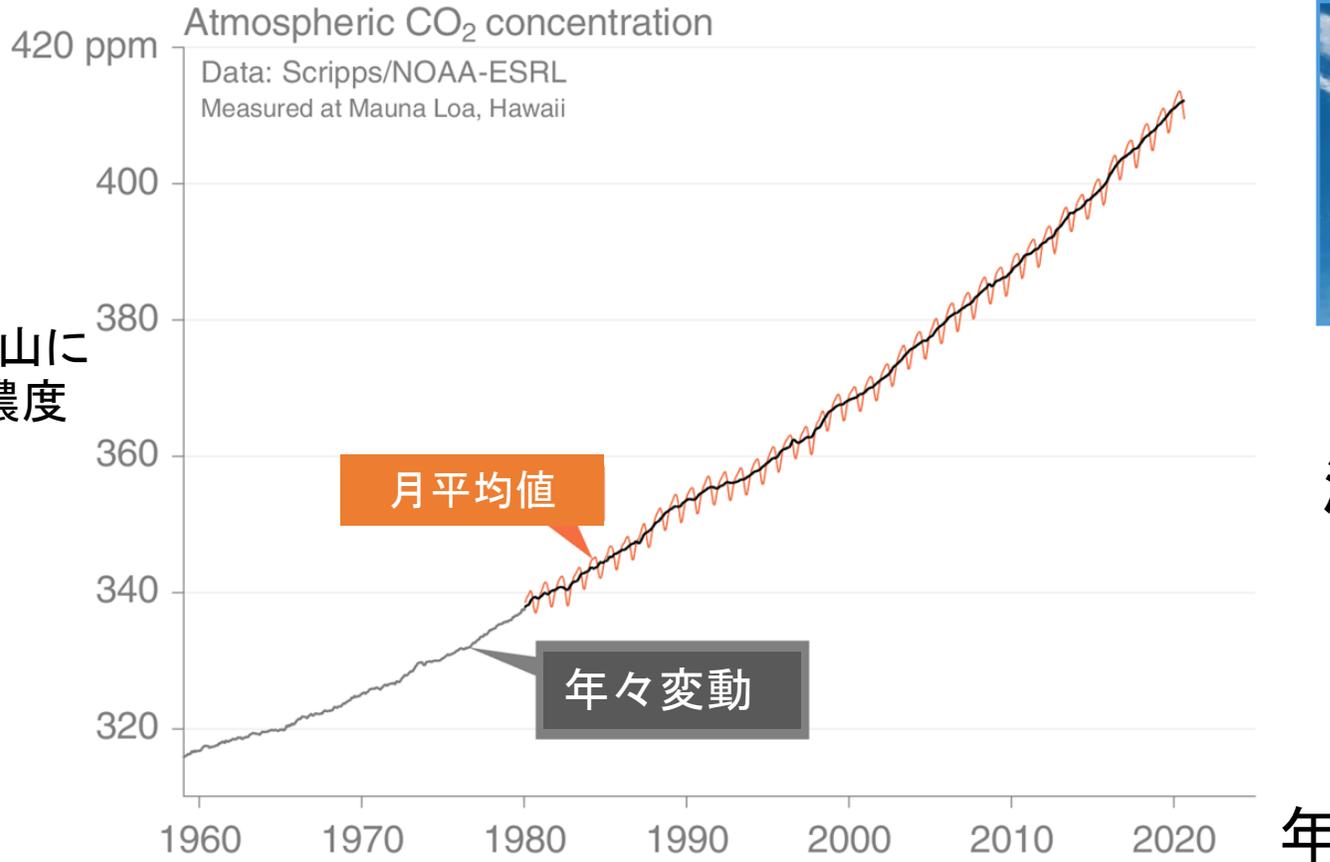
人為起源排出の増加（主に化石燃料消費による）に伴い、大気への蓄積量が増加（濃度増加）。さらに、海洋、陸域の吸収量も増加している。



© Global Carbon Project • Data: GCP/CDIAC/NOAA-ESRL/UNFCCC

止まらない大気CO₂濃度の増加傾向

地球全体のCO₂濃度は2019年に410 ppmに
(1750年の277 ppmから約48%増加)



濃度を表す単位 : ppm
(=0.0001%)

© Global Carbon Project

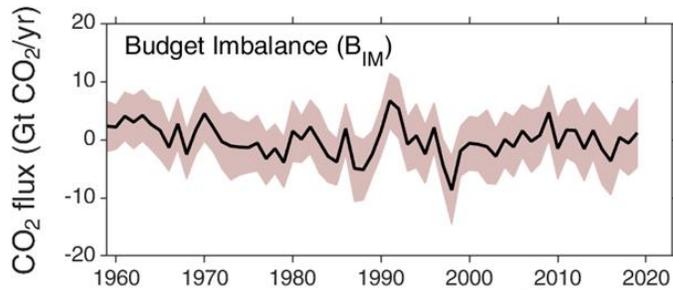
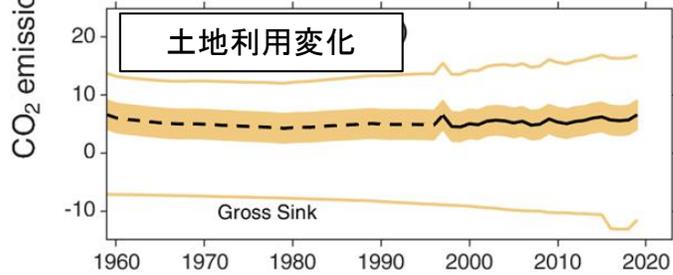
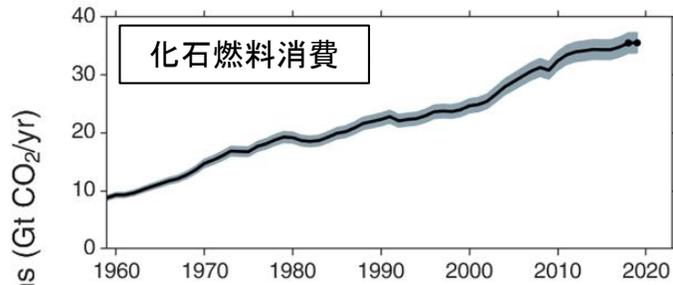
Globally averaged surface atmospheric CO₂ concentration. Data from: NOAA-ESRL after 1980; the Scripps Institution of Oceanography before 1980 (harmonised to recent data by adding 0.542ppm)
Source: [NOAA-ESRL](#); [Scripps Institution of Oceanography](#); [Friedlingstein et al 2020](#); [Global Carbon Budget 2020](#)

ハワイ・マウナロア山に
おける大気中のCO₂濃度

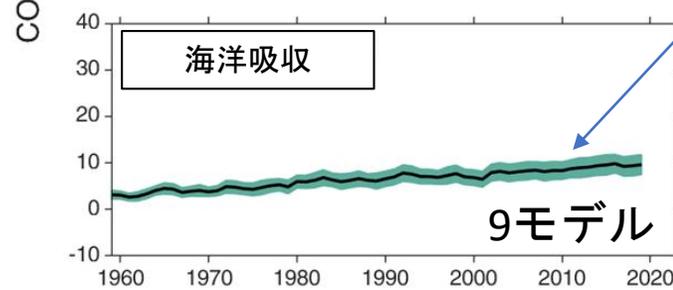
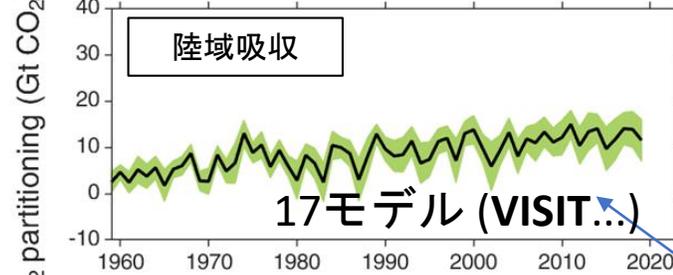
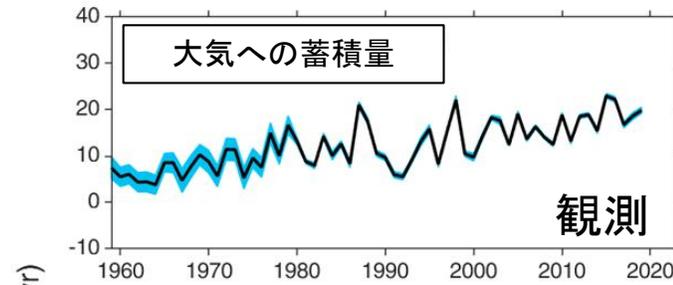
大きく変動するCO₂収支の変動

人為起源排出に比べて、陸域生態系による吸収は大きく変化。
陸域生態系、海洋の吸収は共に増加傾向

温暖化によってこれらの吸収（能力）が変化する可能性 => 現在のところ大きな変化は見られていない



© Global Carbon Project • Data: GCP



温暖化

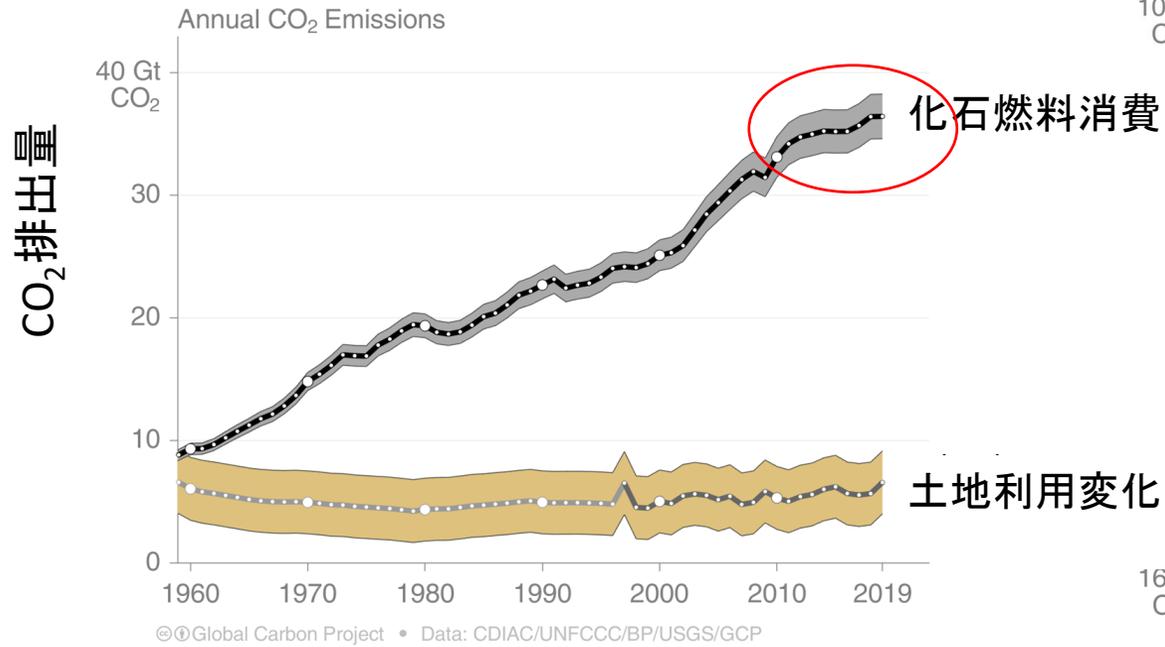


シミュレーション

フィードバック?

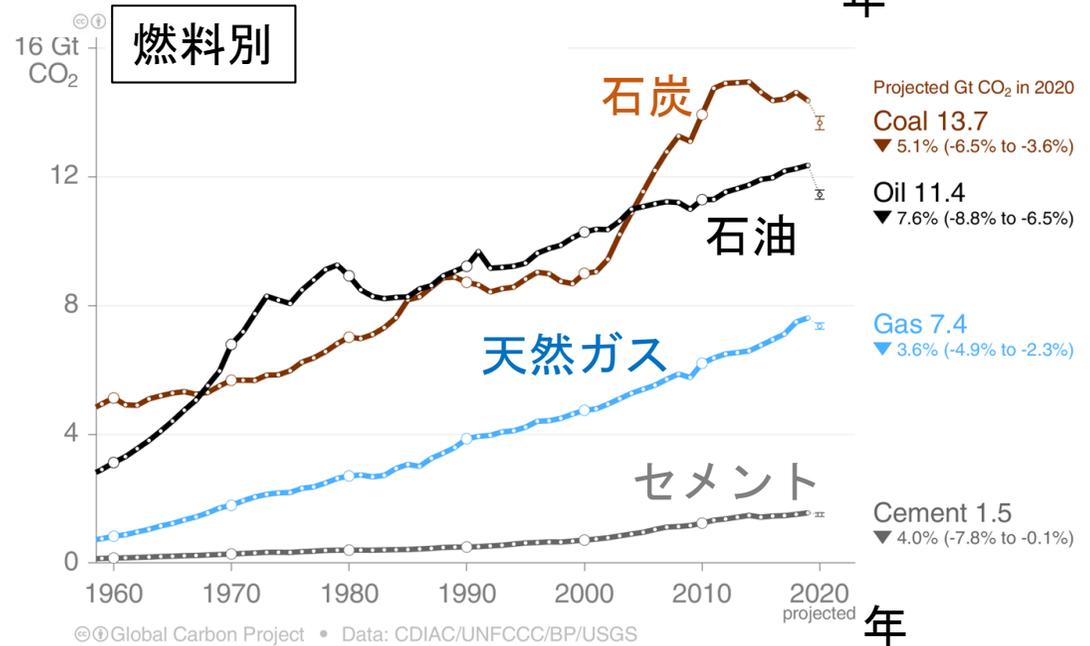
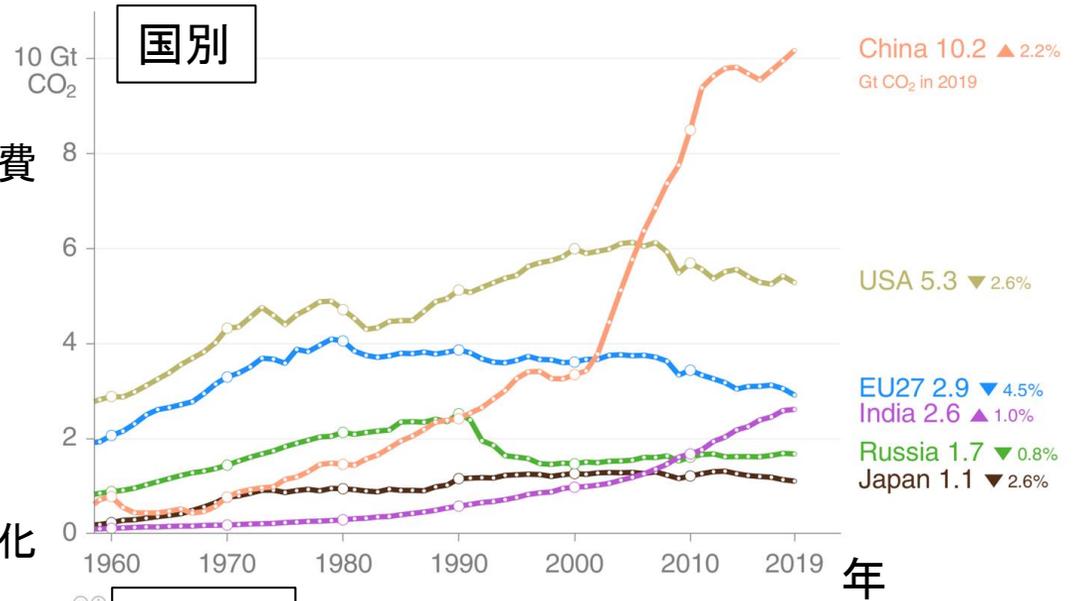
The budget imbalance is the total emissions minus the estimated growth in the atmosphere, land and ocean.
It reflects the limits of our understanding of the carbon cycle.
Source: [Friedlingstein et al 2020](#); [Global Carbon Budget 2020](#)

化石燃料起源CO₂排出量の増加速度の鈍化



2019年の化石燃料消費による排出量

- 364 億トン CO₂
- 2018年比 約0.1%の増加

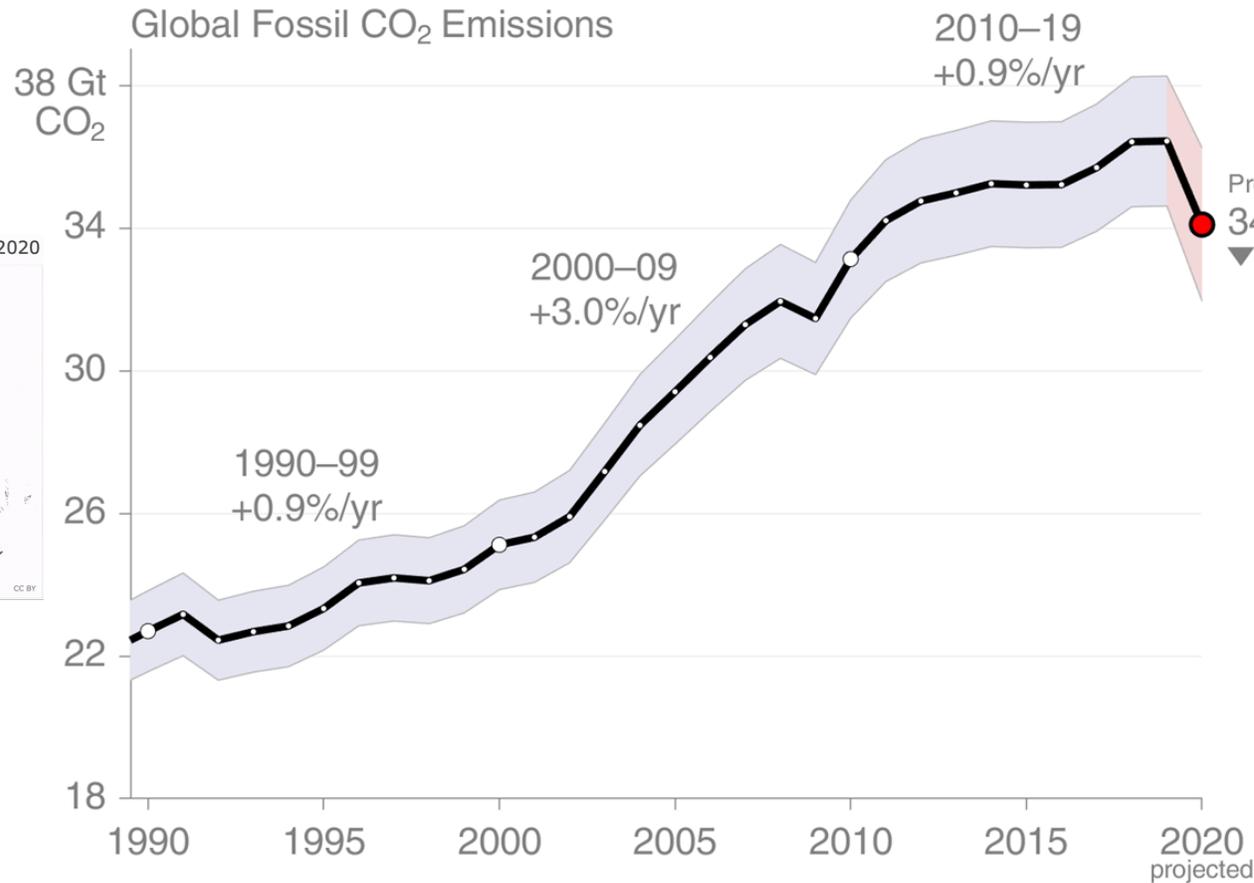


COVID-19パンデミックによる排出量の減少

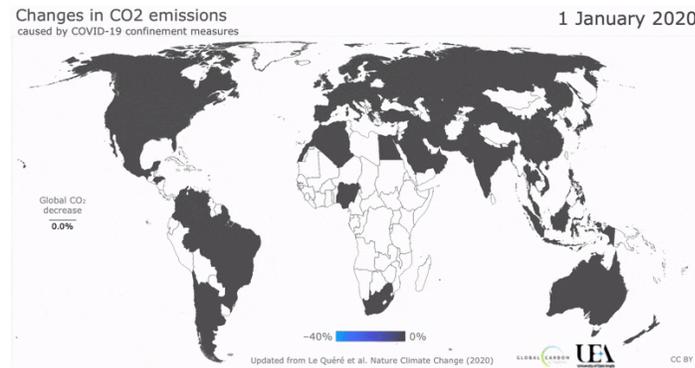
Global fossil CO₂ emissions: 36.4 ± 2 GtCO₂ in 2019, 61% over 1990

● Projection for 2020: 34.0 ± 2 GtCO₂, about 7% lower than 2019

2019年比で約7%
減少する見込み



Uncertainty is ±5% for one standard deviation (IPCC “likely” range)



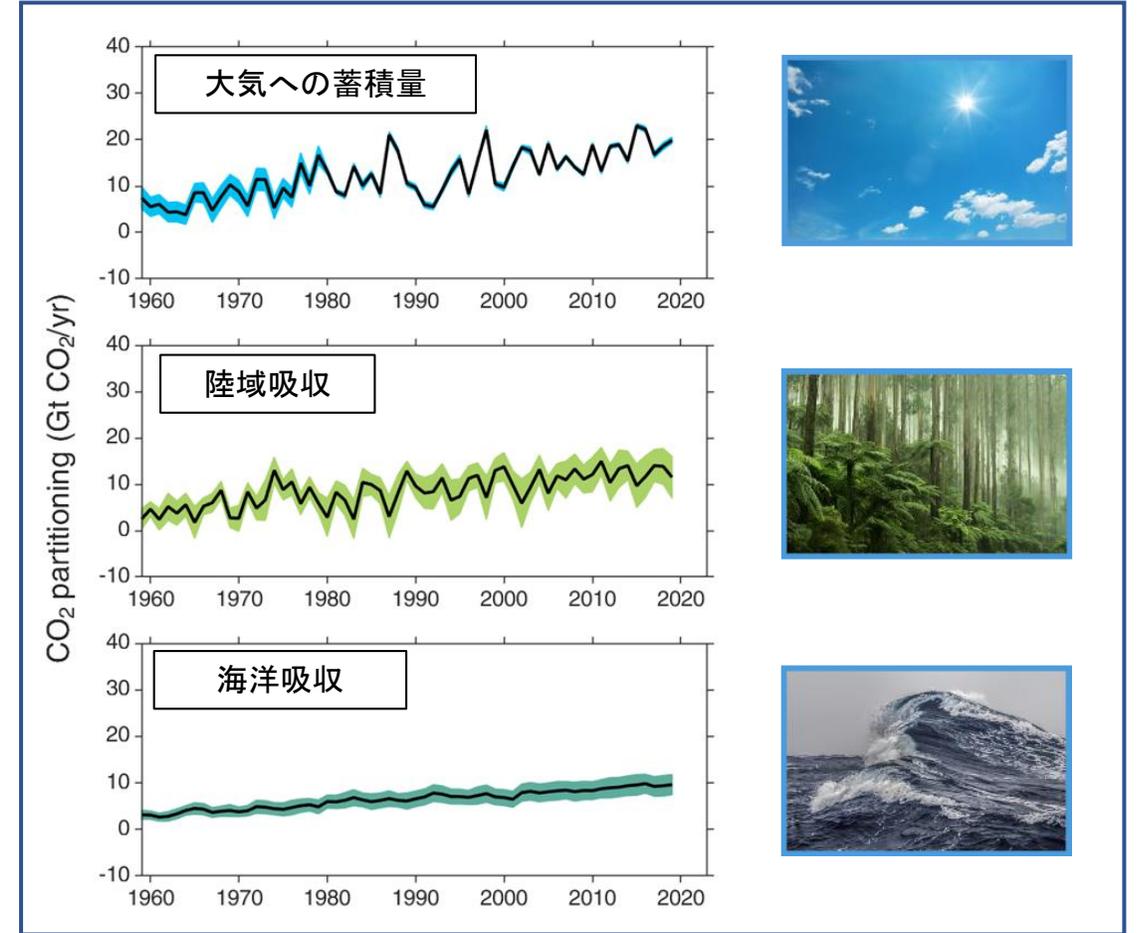
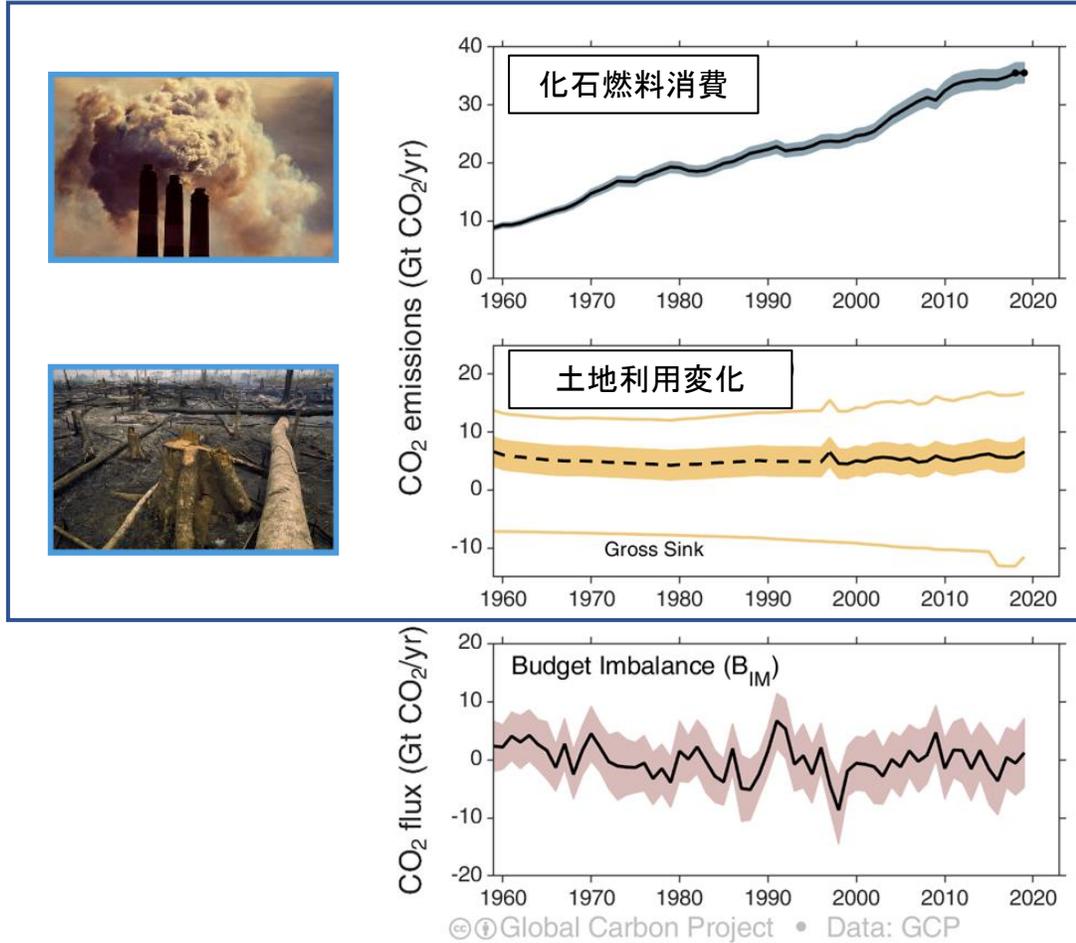
© Global Carbon Project • Data: CDIAC/GCP/BP/USGS

The 2020 projection is based on preliminary data and modelling.
Source: [CDIAC](#); [Friedlingstein et al 2020](#); [Global Carbon Budget 2020](#)

CO₂収支の不整合

排出

吸収（大気への蓄積含む）

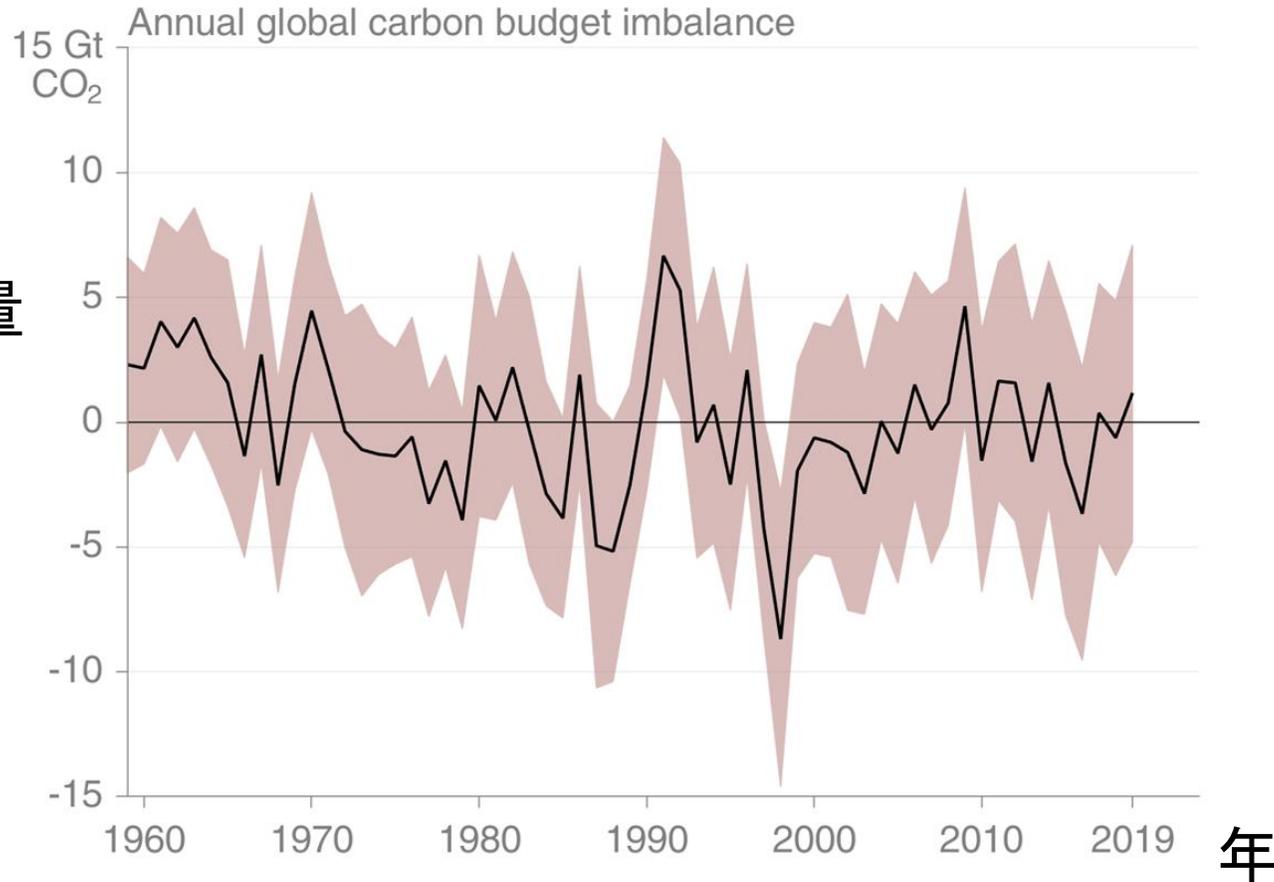


The budget imbalance is the total emissions minus the estimated growth in the atmosphere, land and ocean. It reflects the limits of our understanding of the carbon cycle. Source: [Friedlingstein et al 2020](#); [Global Carbon Budget 2020](#)

多くの課題が残るCO₂収支の推定

現状の我々の理解では説明できない・十分ではない（シミュレーションできない）
CO₂収支変動が存在

排出量と吸収量の合計値の差

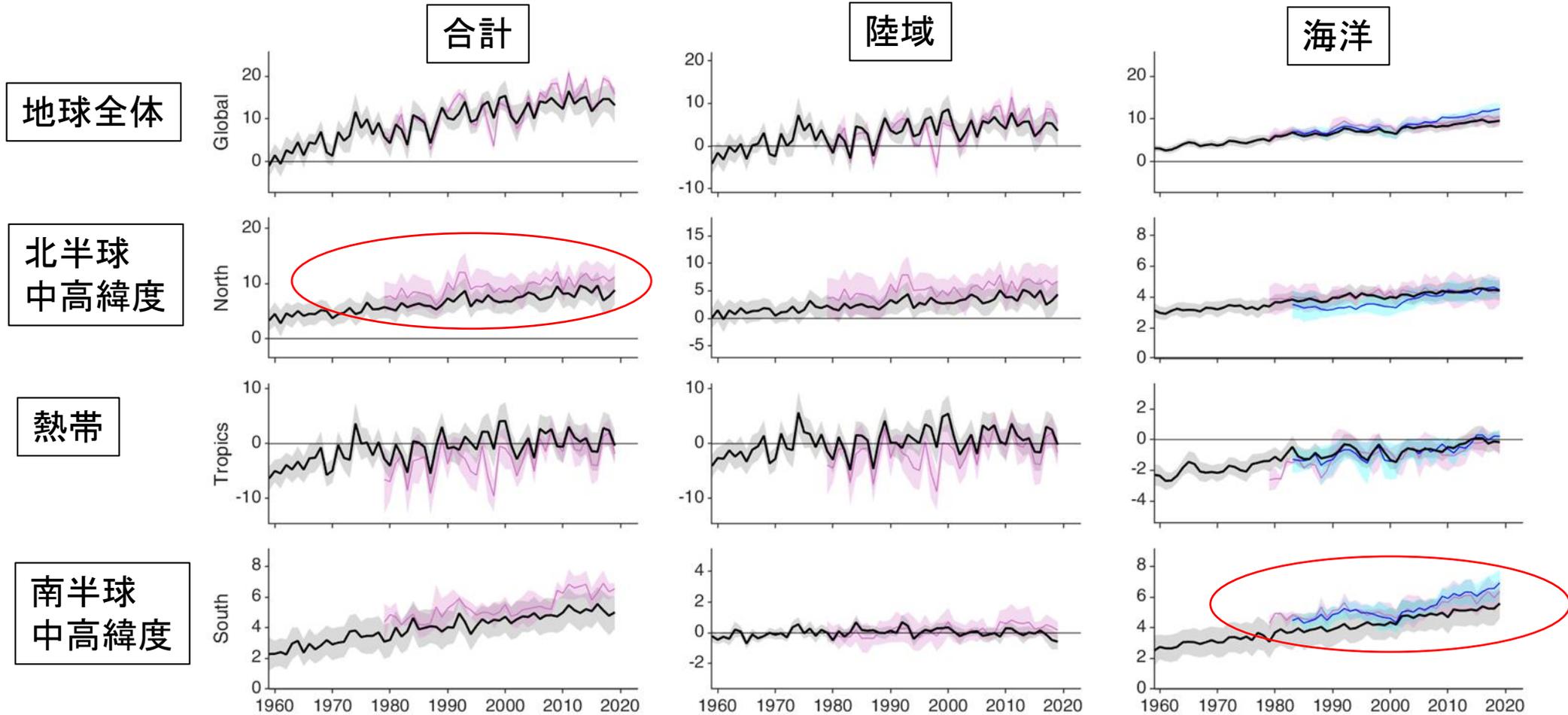


The budget imbalance is the carbon left after adding independent estimates for total emissions, minus the atmospheric growth rate and estimates for the land and ocean carbon sinks using models constrained by observations

Source: [Friedlingstein et al 2020](#); [Global Carbon Budget 2020](#)

観測をもとにした推定値との差異

大気と陸域・海洋間のCO₂収支の変動



地球全体

北半球
中高緯度

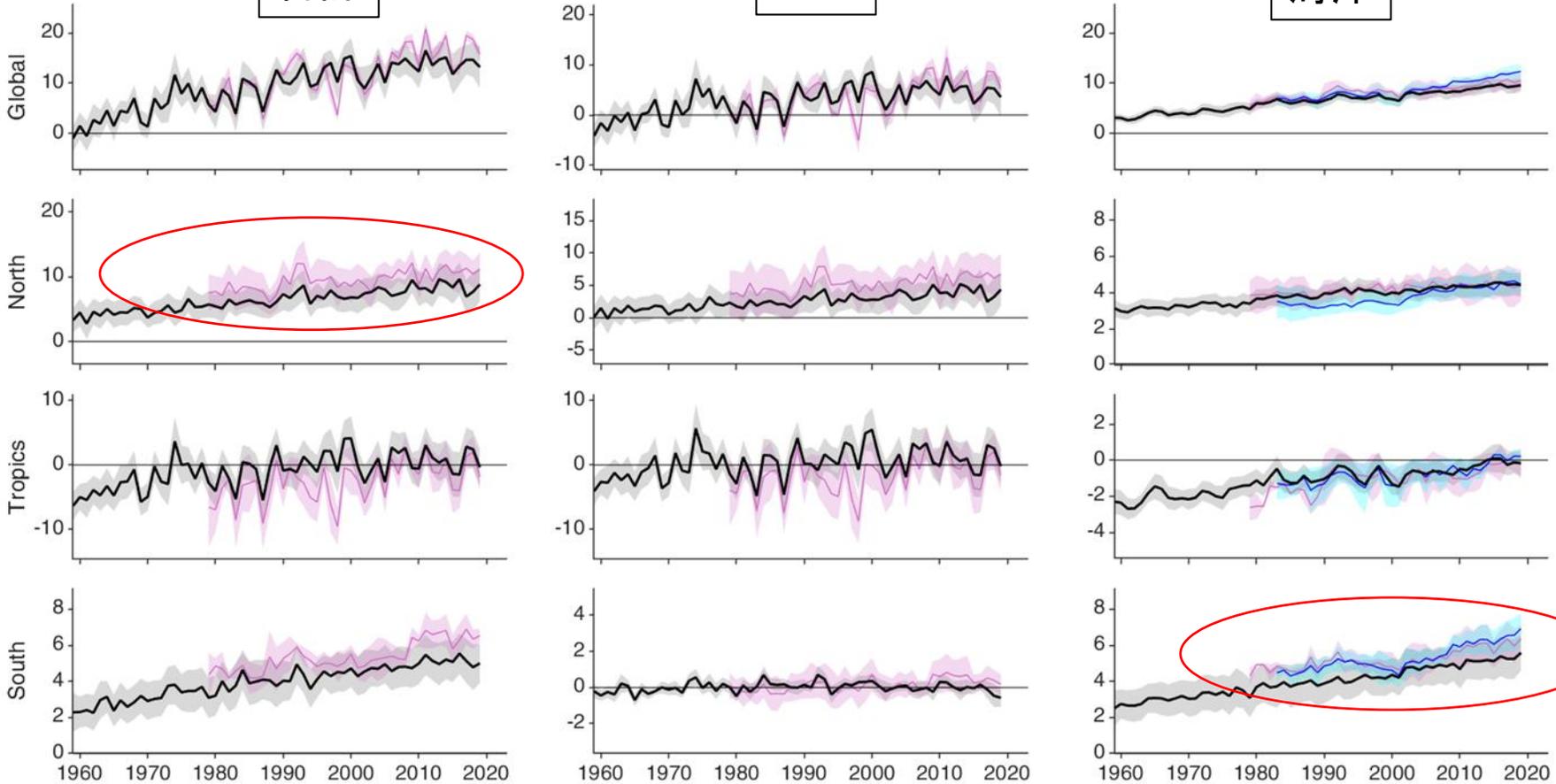
熱帯

南半球
中高緯度

合計

陸域

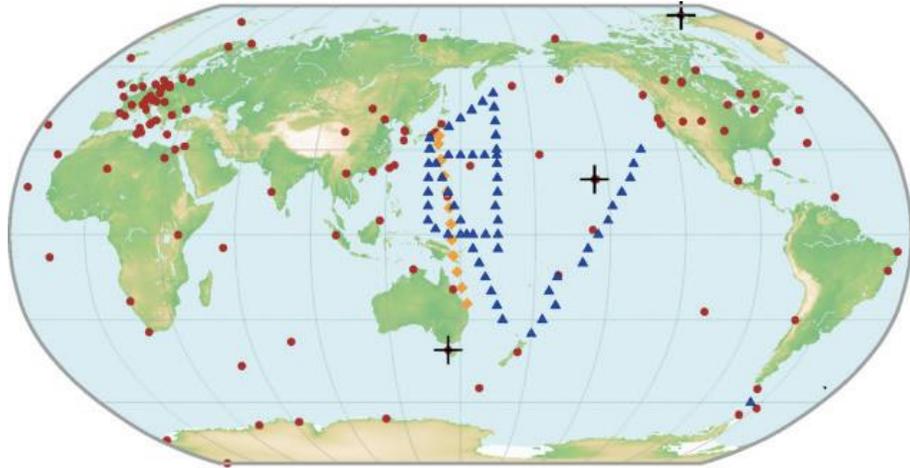
海洋



逆解析モデルと陸域生態系モデルとの差

逆解析

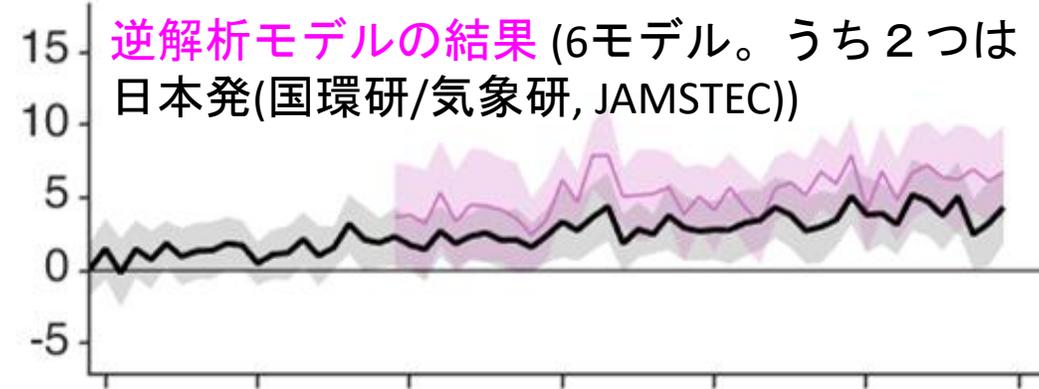
世界各地で取得された大気CO₂濃度の観測データ



WMO(世界気象機関) 温室効果ガス年報 (2020)より



スーパーコンピュータ



逆解析モデルの方が北半球中高緯度陸域の吸収量を大きく推定している

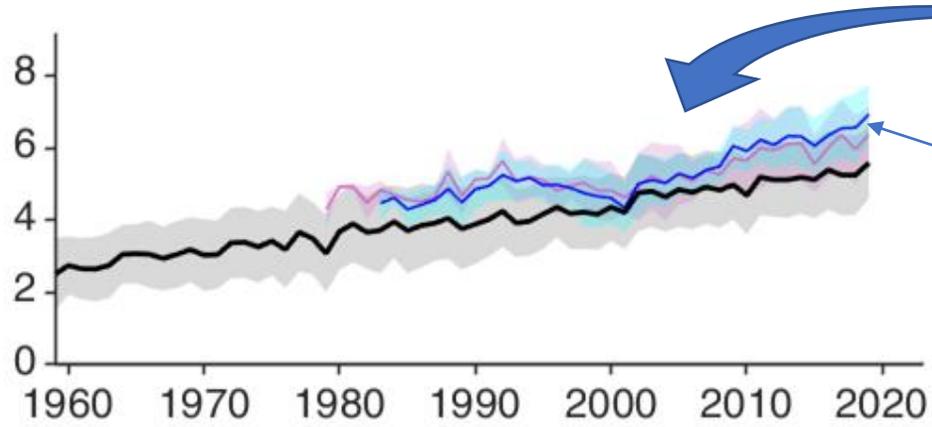


温室効果ガス観測技術衛星GOSAT (いぶき)



CONTRAILプロジェクト

船舶観測データと海洋モデルとの差



船舶観測に基づくデータ
この船舶観測には、
国環研, 水産研, 気象庁などが貢献



国環研による
貨物船を使った観測

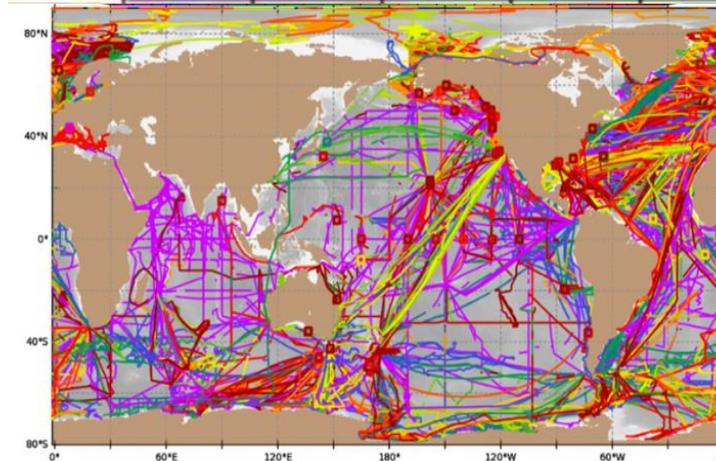


気象庁の観測船

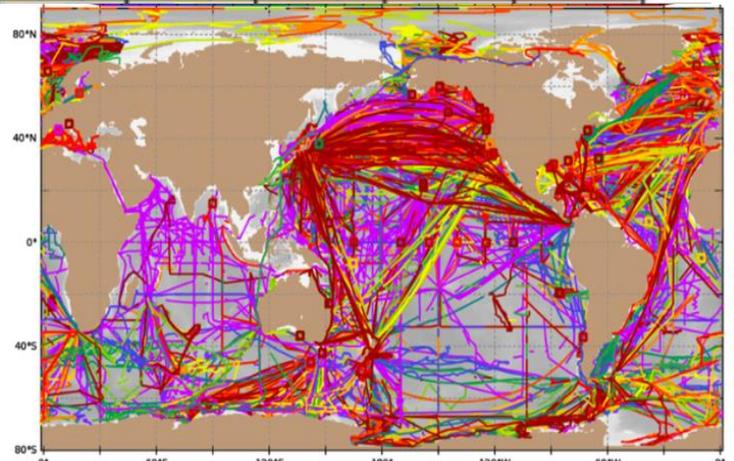
国際データベースに登録された観測データ分布。色は観測年を表す。



船舶観測に基づくデータの方が南大洋の吸収量を大きく推定している



国内機関の観測なし
約5200航海



国内機関の観測あり
約6400航海

日本の研究機関だけで全体の約20%ものデータを提供

本論文の概要

単位Gt C yr⁻¹

| | 直近10年間 (2010-2019年) | 2019年 |
|----------------------------|------------------------|------------|
| 人為的なCO ₂ 排出量 | 10.9 ± 0.9 | 11.5 ± 0.9 |
| 大気への蓄積量 | 5.1 ± 0.02 | 5.4 ± 0.2 |
| 海洋によるCO ₂ 正味吸収量 | 2.5 ± 0.6 | 2.6 ± 0.6 |
| 陸域によるCO ₂ 正味吸収量 | 3.4 ± 0.9 | 3.1 ± 1.2 |

- 2019年の化石燃料消費による排出量は2018年比で約0.1%増加
(増加速度の鈍化)
- 2020年はCOVID-19パンデミックにより、化石燃料消費による排出量が2019年比で約7%減 (見込み)
- 海洋や陸域生態系によるCO₂吸収傾向について、現在のところ大きな変化は見られていない

本論文の概要

単位Gt C yr⁻¹

| | 直近10年間 (2010-2019年) | 2019年 |
|----------------------------|------------------------|------------|
| 人為的なCO ₂ 排出量 | 10.9 ± 0.9 | 11.5 ± 0.9 |
| 大気への蓄積量 | 5.1 ± 0.02 | 5.4 ± 0.2 |
| 海洋によるCO ₂ 正味吸収量 | 2.5 ± 0.6 | 2.6 ± 0.6 |
| 陸域によるCO ₂ 正味吸収量 | 3.4 ± 0.9 | 3.1 ± 1.2 |

年々の排出量、吸収量の合計値は必ずしも一致していない
(最大1 GtC yr⁻¹ほどの差)

- 土地利用変化による排出量
- 北半球中高緯度陸域における吸収・排出量
- 南大洋などの熱帯域以外の海洋における吸収量

について、異なる手法による見積もりに不一致

観測の継続・拡充、新たな解析手法の導入が必要。
今後もGlobal Carbon Project
によって更新。
(定期健診)

Carbon “Bucket”

The carbon budget for 1.5 degrees

