

先端公開シンポジウム 2025.8.20

衛星観測で分かる世界の林野火災



JAXA/EORC
棚田 和玖



[MEXT-Program]
SENTAN

■地球観測衛星による林野火災の観測

■林野火災の統計値

■林野火災の発生要因

■林野火災の過去と将来

現在、宇宙にいるJAXAの地球観測衛星

NEW

GOSAT-GW「いぶきGW」
2025年6月29日

GOSAT「いぶき」
2009年1月23日

GCOM-W「しずく」
2012年5月18日

ALOS-4「だいち4号」
2024年7月1日

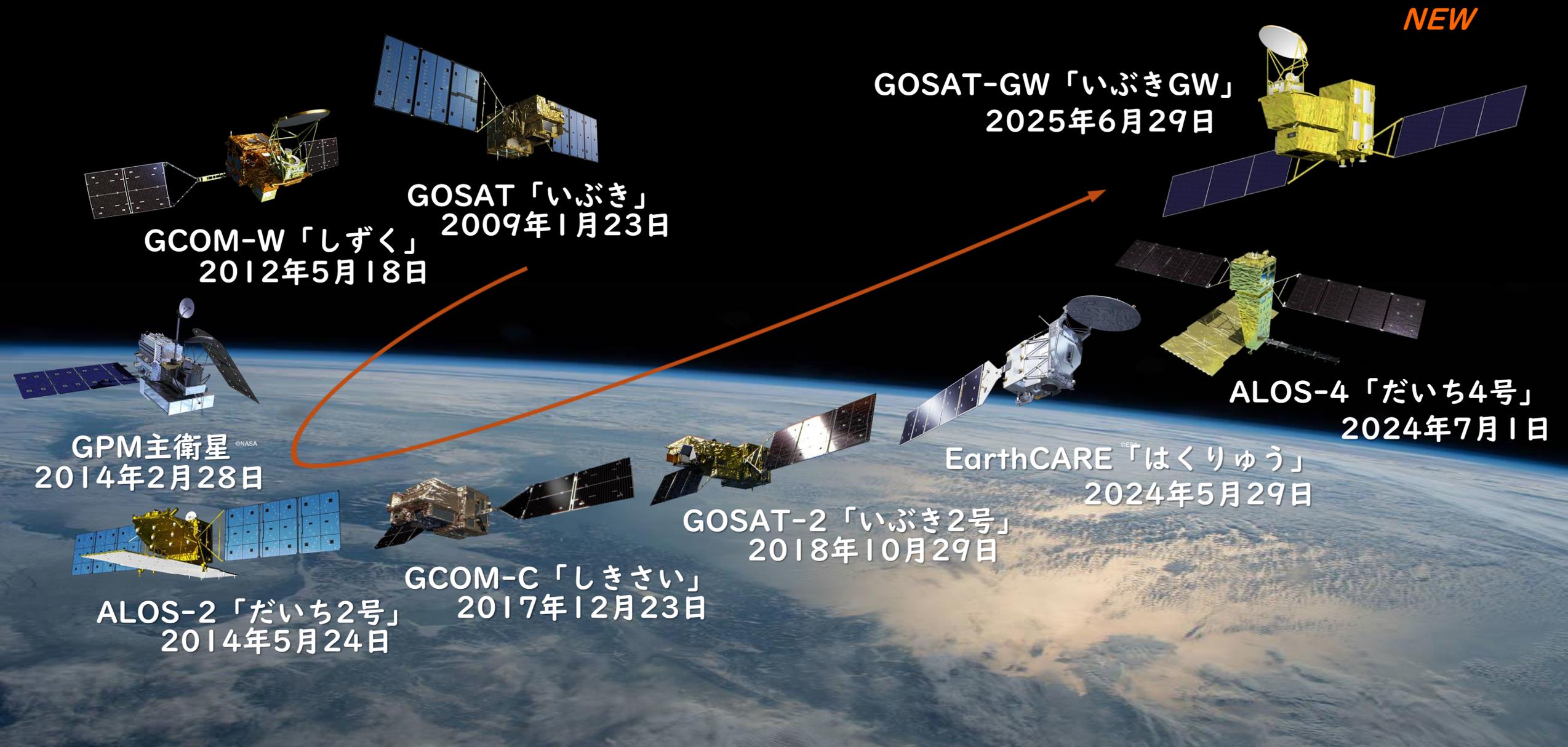
GPM主衛星 ©NASA
2014年2月28日

EarthCARE「はくりゅう」
2024年5月29日

GOSAT-2「いぶき2号」
2018年10月29日

GCOM-C「しきさい」
2017年12月23日

ALOS-2「だいち2号」
2014年5月24日



地球観測衛星の利用分野の例

実利用

だいち

- ・ 災害時等の緊急観測
- ・ 減災に繋がる判断情報の提供
- ・ 土地被覆分類等の国土管理

ひまわり, GPM
しきさい, しずく
はくりゅう

- ・ 水産・農業利用
- ・ 台風観測、降水量分布
- ・ 陸域植生・海洋観測

GOSAT-GW

- ・ 雲、エアロゾル観測

いぶき

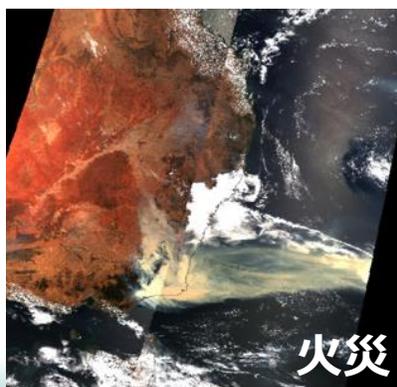
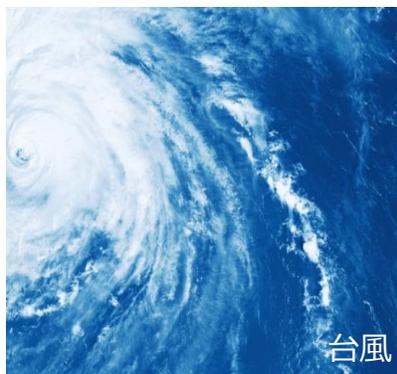
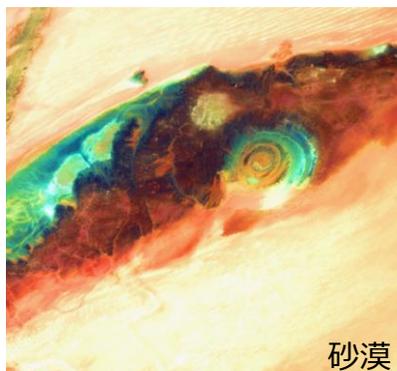
- ・ 温室効果ガス観測
- ・ 気候変動観測

サイエンス

地上からの目線



宇宙からの目線



地球観測衛星の利点

◆ 地球のどこでも観測

人が直接行くことが困難な
海洋・雪氷・被災現場等

◆ 広範囲観測

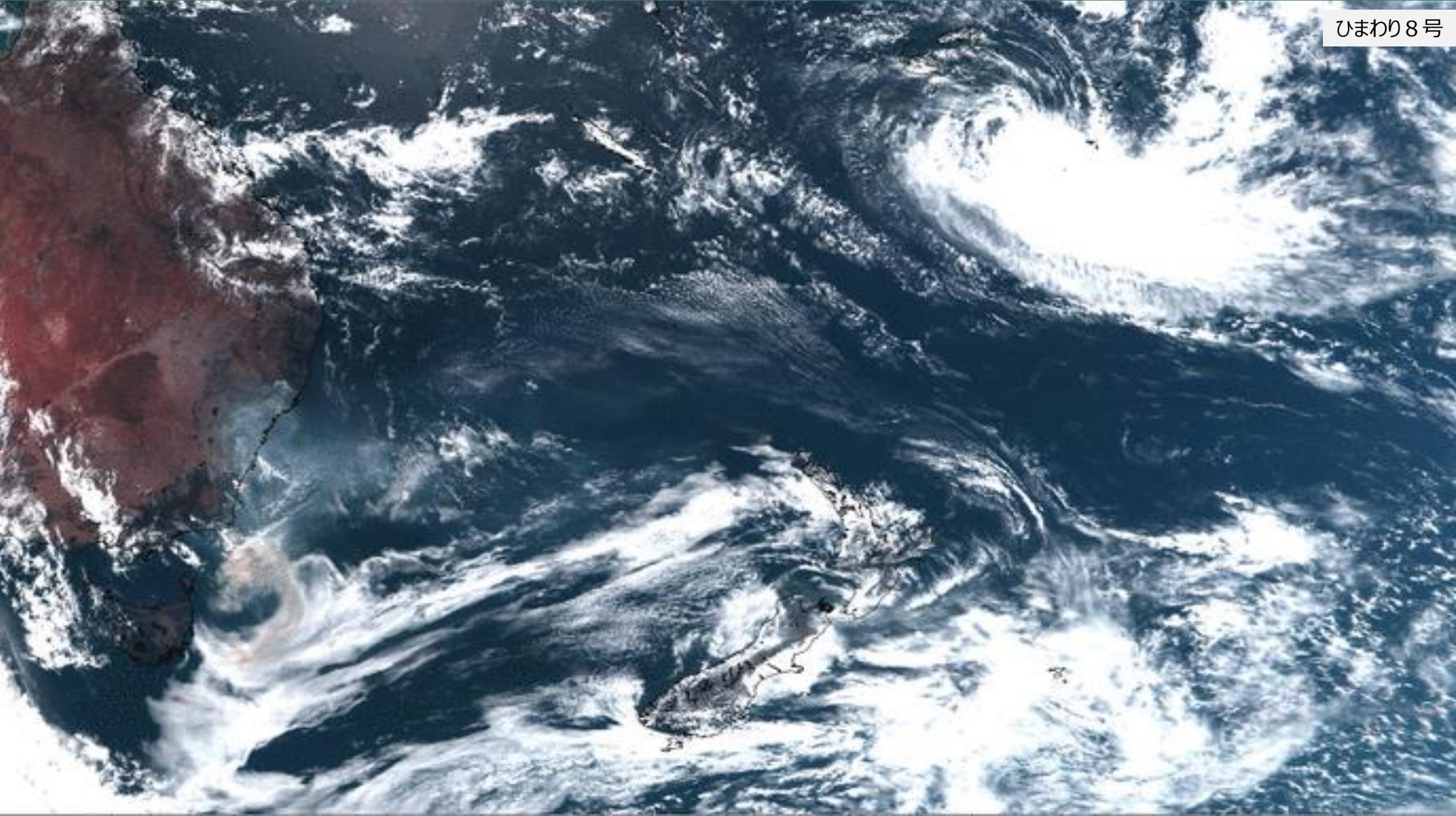
地上や航空機観測では捉え
きれない大規模な現象等

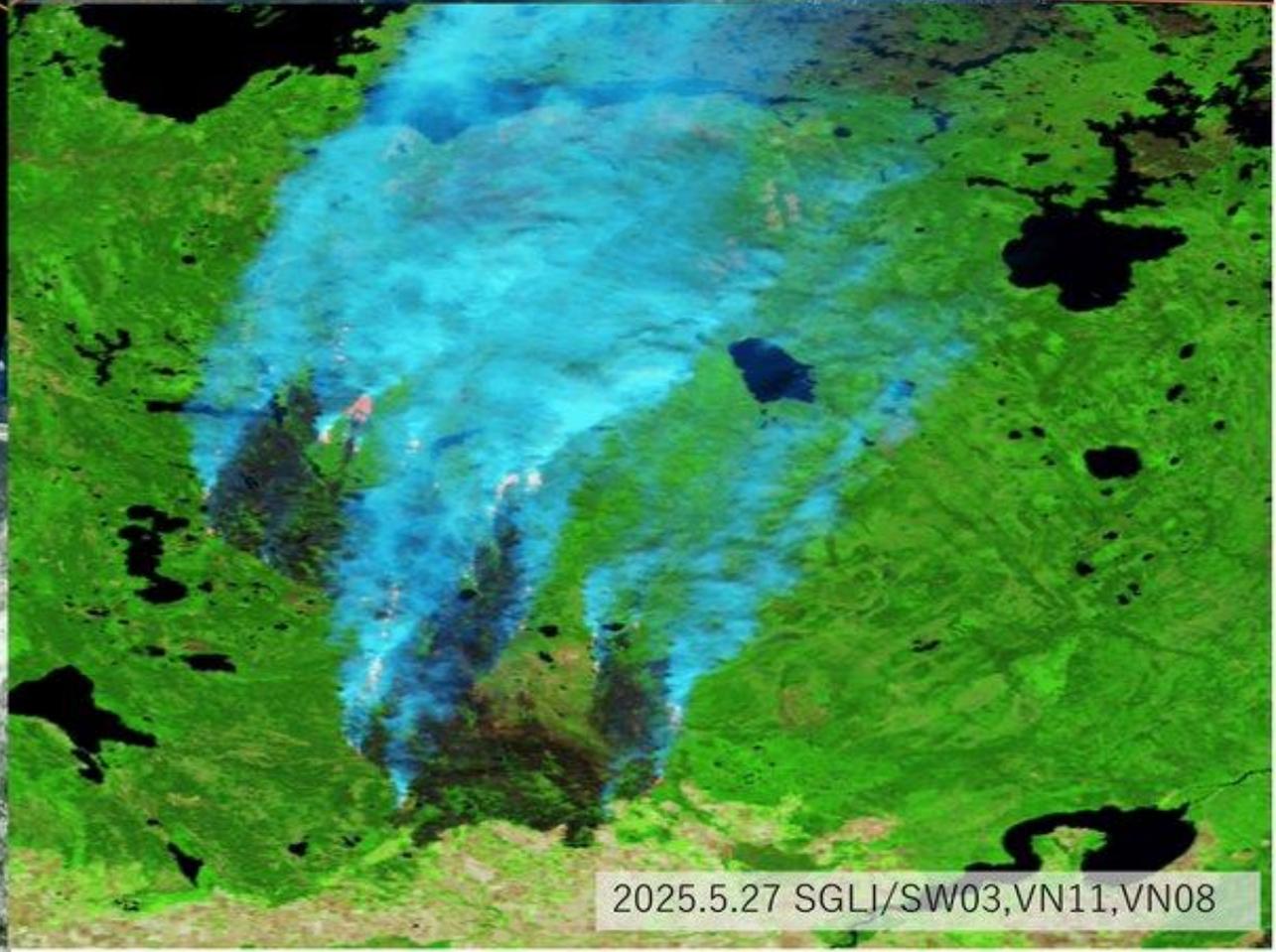
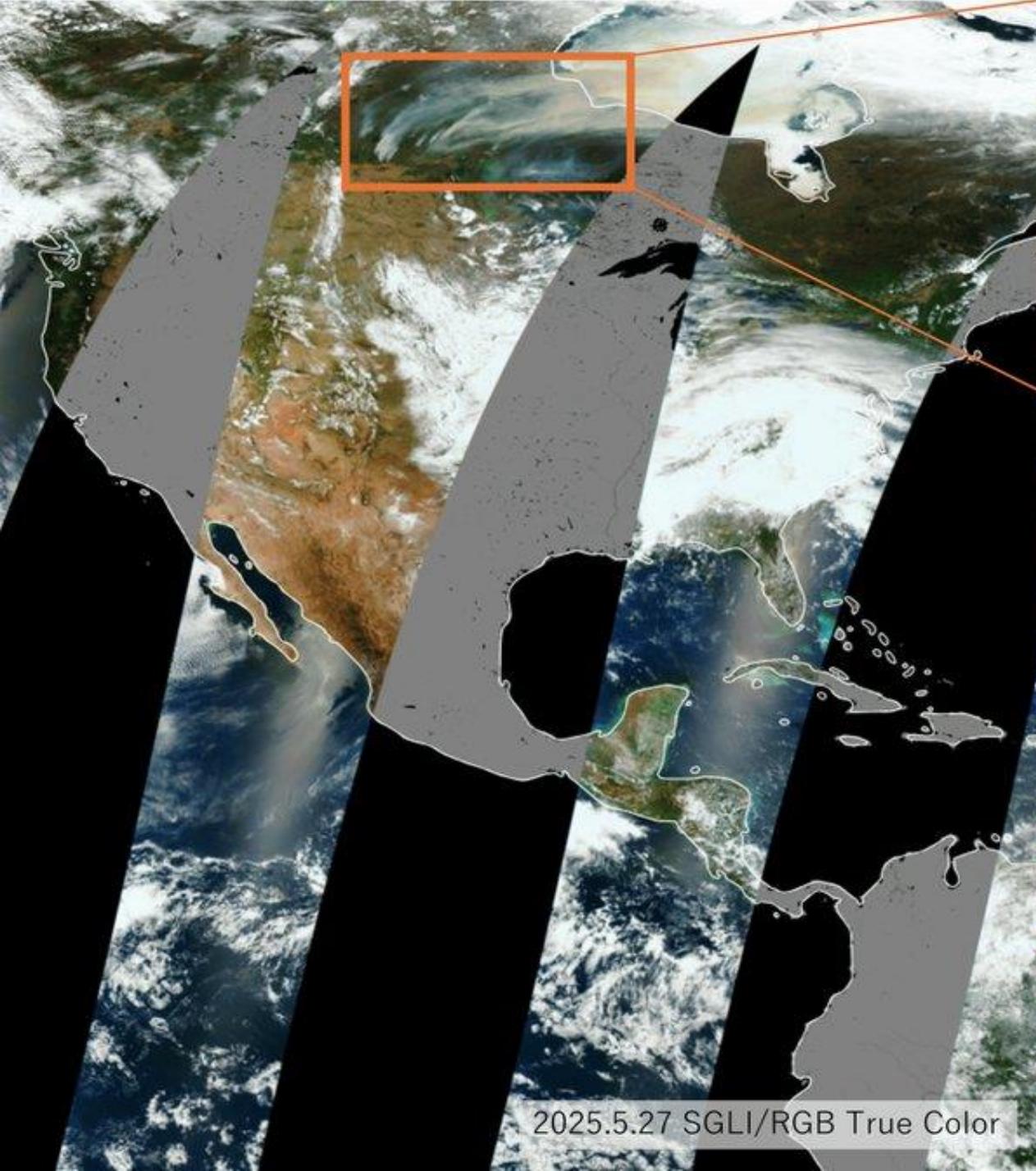
◆ 即時観測

災害・気象といった即時性
が求められる事象等

◆ 長期間定点観測

気候変動といった数年-数十年の地球の変化等





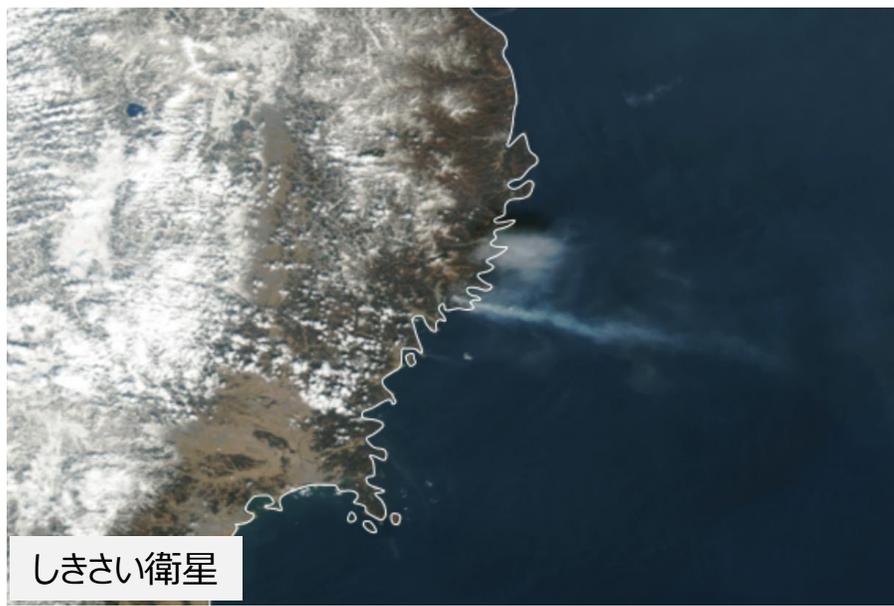
■ 地球観測衛星によって林野火災に関する様々な情報が得られる

- 火災の場所
- 火災の煙の広がり
- 火災によって燃えた面積（焼失面積）
- 火災によって排出されるCO2やエアロゾルの量 など

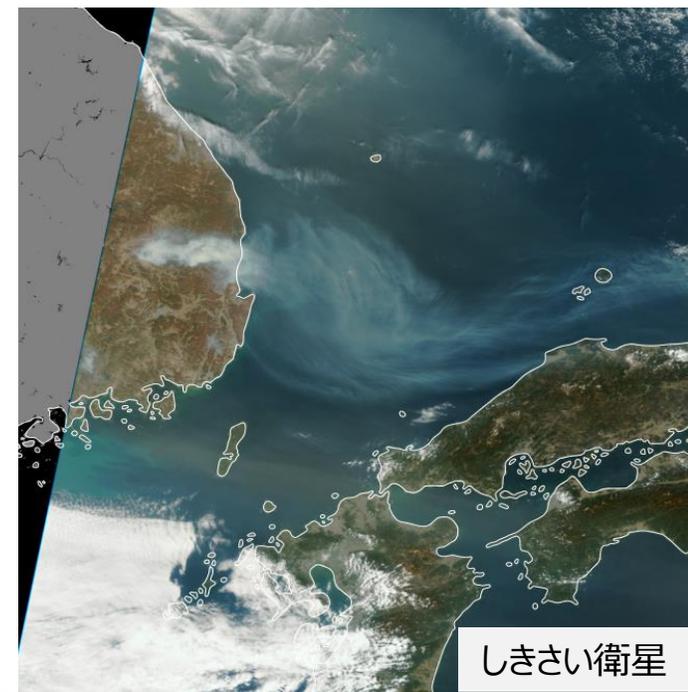
ロサンゼルス
2025.1.9



大船渡
2025.3.1



韓国
2025.3.26



地球観測衛星と林野火災：防災・減災の取り組み事例

フェーズ

衛星が提供する情報

自治体や政府での利用

具体例

1. 火災リスク
評価と予防

衛星データとモデルを組み合わせ、植生の状態や土壌乾燥度、風速などから火災リスクを事前に把握



防火帯の設置や住民への早期警告

2. 早期検知と
通報

火災発生の検知および火災源の位置をリアルタイムに把握



住民避難の判断や消火の初動対応

3. 消火活動・
避難の支援

延焼状況の把握および、煙の動きや風速などから火災や煙の広がる方向を予測



消火作戦の意思決定および住民避難判断

4. 被害評価と
復旧支援

被害状況・焼損面積の把握および生態系の回復モニタ



復旧活動の意思決定や対策の検討

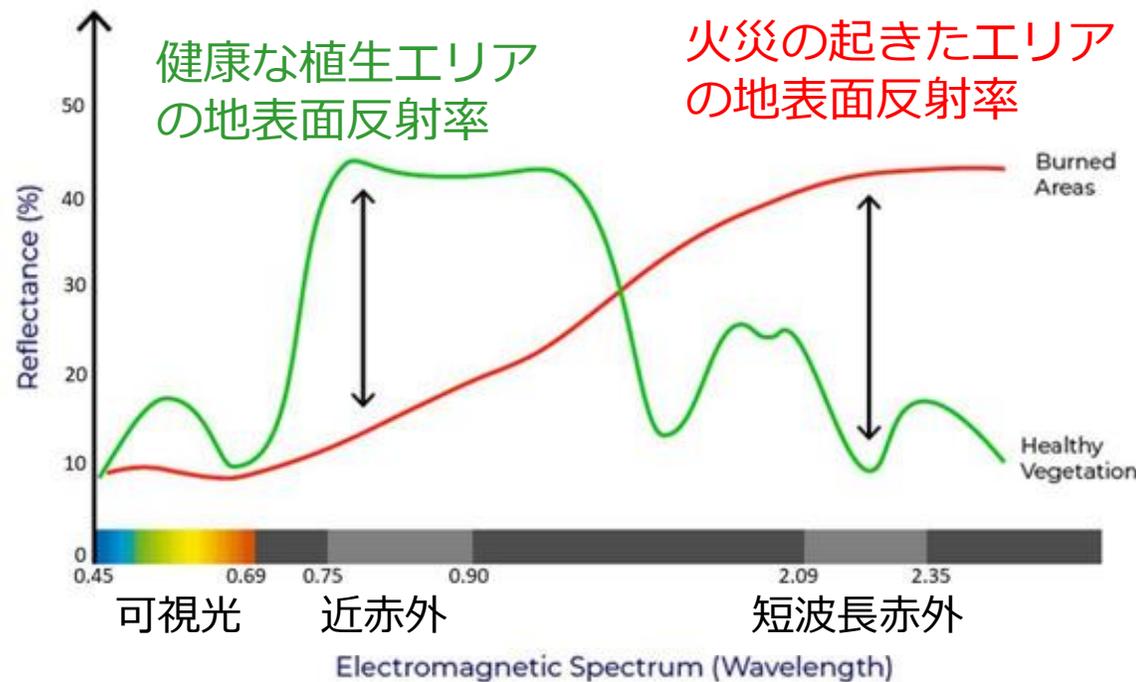
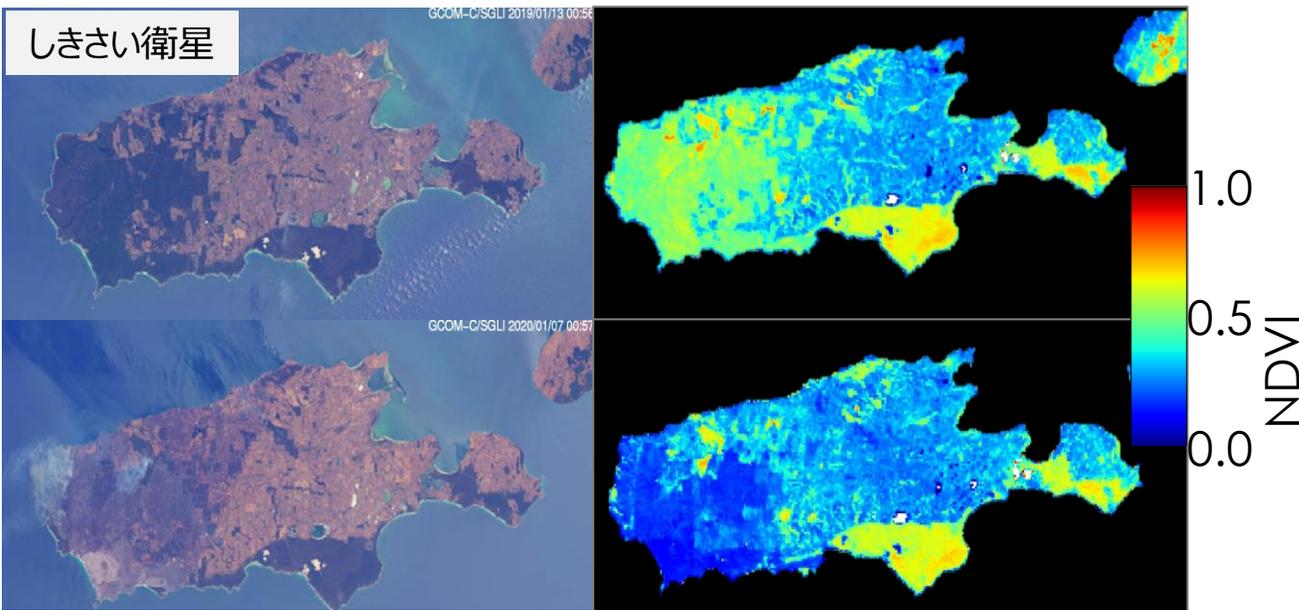


CAL FIREの火災マップ
(The California Department of Forestry and Fire Protection)

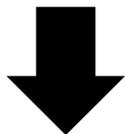
■ 多波長光学衛星を用いることで、火災による焼失面積を推定することが可能

RGB True Color

正規化植生指数 (NDVI)



火災前後の差分を取ることで
焼失面積を推定することが可能



1471 km²



Alcaras et al. 2022



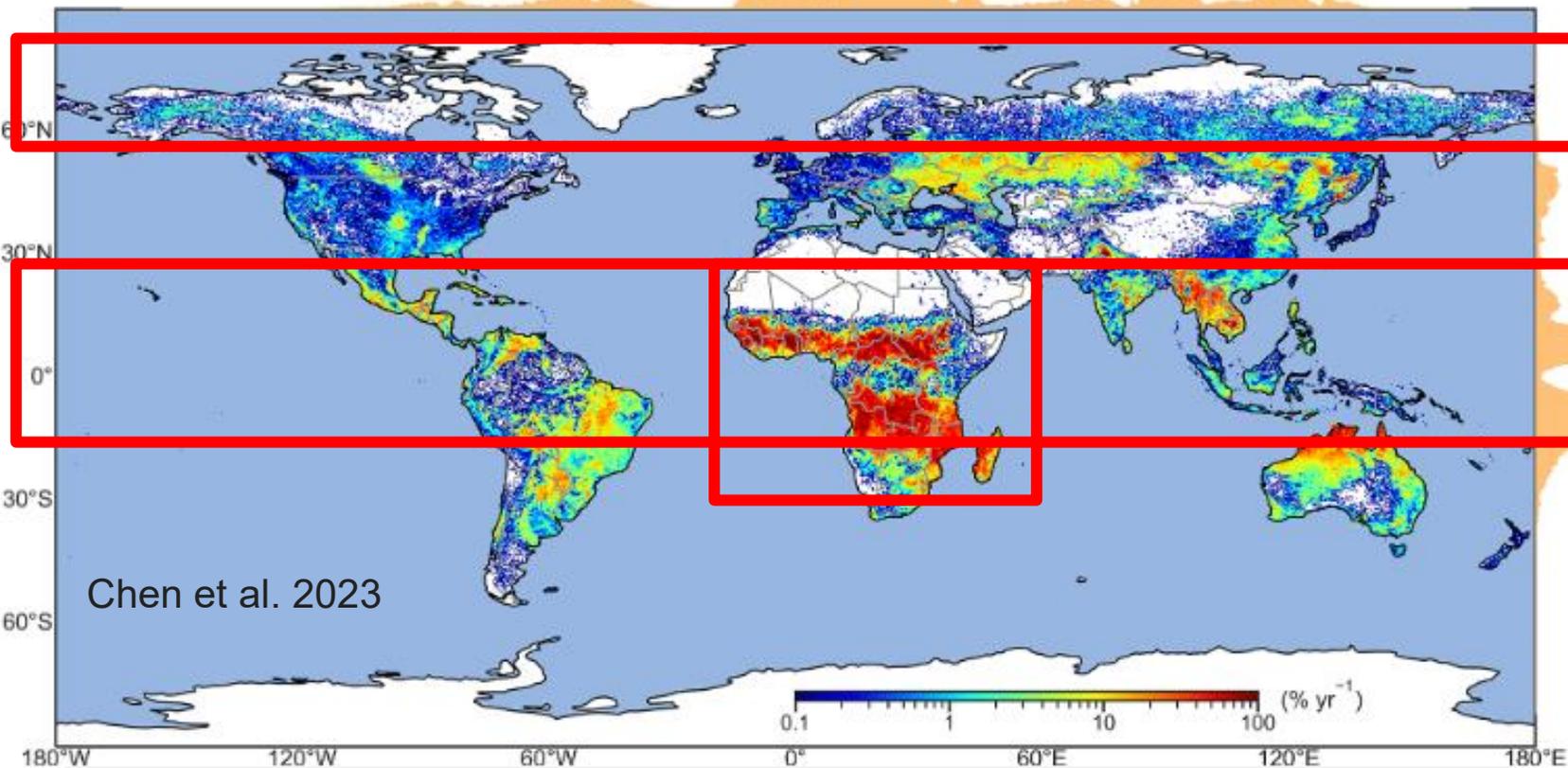
林野火災とは、森林、草地、原野で発生する自然起源及び人為起源の火災のこと。

林野火災の統計値

世界の森林面積	: $4 \times 10^8 \text{ km}^2$ (全陸地面積の約30%)	Global-Forest-Goals-Report-2021
林野火災による年間焼失面積	: $5 \times 10^6 \text{ km}^2/\text{yr}$ (森林面積の約1~4%)	Wu et al. 2021 Giglio et al. 2013 Randerson et al. 2012
	※日本では、 $1 \text{ km}^2/\text{yr}$ (林野庁報告)	
世界の年間炭素排出量	: $\sim 10 \text{ Pg C}/\text{yr}$ (1 Pg C = 3.7 Gt CO ₂)	IPCC2014
林野火災による年間炭素排出量	: $2.2 \text{ Pg C}/\text{yr}$ (総排出量の約23%)	van der Werf et al. 2017
植生の再生を踏まえた実質排出量	: $0.6 \text{ Pg C}/\text{yr}$ (総排出量の約6%)	van der Werf et al. 2017
世界のエアロゾル発生量	: $3.53 \text{ Gt}/\text{yr}$	
林野火災によるエアロゾル発生量	: $0.14 \text{ Gt}/\text{yr}$ (総発生量の約4%)	IPCC1996

■ 世界における林野火災の分布

- 世界で見ると、火災は特定の領域に集中している
- 特にアフリカ大陸に集中（多くはサバンナ・草原における人為起源火災：農業や放牧地の管理（例：耕作地の更新、放牧地の再生、害虫駆除、狩猟のための火入れ）を目的として意図的に火が付けられる場合が多い）



Chen et al. 2023

GFED5 (Global Fire Emission Database) による
2001年～2020年の年間平均焼失面積（1ピクセルあたり割合）

地域特性

熱帯域（23.5N-23.5S）

全炭素放出量の80%以上を占める

アフリカ大陸

全炭素放出量の63%を占める

赤道アジア（特にインドネシア）

焼失面積は全体の0.6%だが
炭素放出量は8%、
メタン放出量は23%を占める

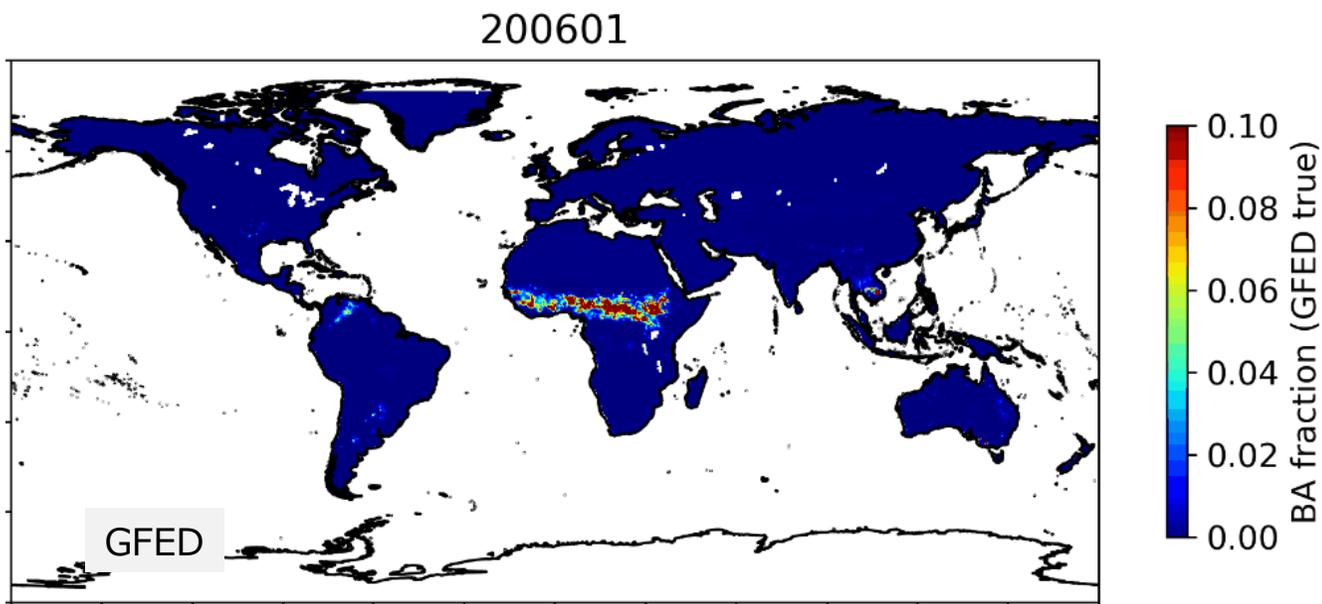
北方林

焼失面積は全体の2.5%だが
炭素放出量は9%、
メタン放出量は15%を占める

Emission
Factor
(泥炭)
が寄与

■ 林野火災の季節変化

- 場所によって火災の原因は異なる
- そのため場所によって火災のピークとなる季節が異なる



地域特性

北アフリカ

乾季の終盤（11-2月頃）にかけて火入れを行うことで耕作地や放牧地の再生や効率化を促す

南アフリカ

乾季の終盤（6-9月頃）にかけて火入れを行うことで耕作地や放牧地の再生や効率化を促す

北方林

落雷や火の不始末等による発火のため、火が燃え広がりやすい夏季に発生しやすい（＝高温、乾燥）

南アメリカ

土地利用のための森林伐採のために、乾季終盤（8-10月頃）に（コストの安い）火を用いる。

林野火災の発生要因



■ 着火要因：人為起源 vs. 自然起源

- 場所によって割合は異なる

✓ カナダ（北方林）

- カナダにおける発火件数の約50%が落雷起源
- 焼失面積の85%が落雷起源（落雷起源の方が大規模化しやすい?）

※Canadian National Fire Database (CNFDB)

✓ アメリカ-ワシントン州

- 60%が人為起源、40%が落雷起源
- ※米Federal records及び米National Forest Service

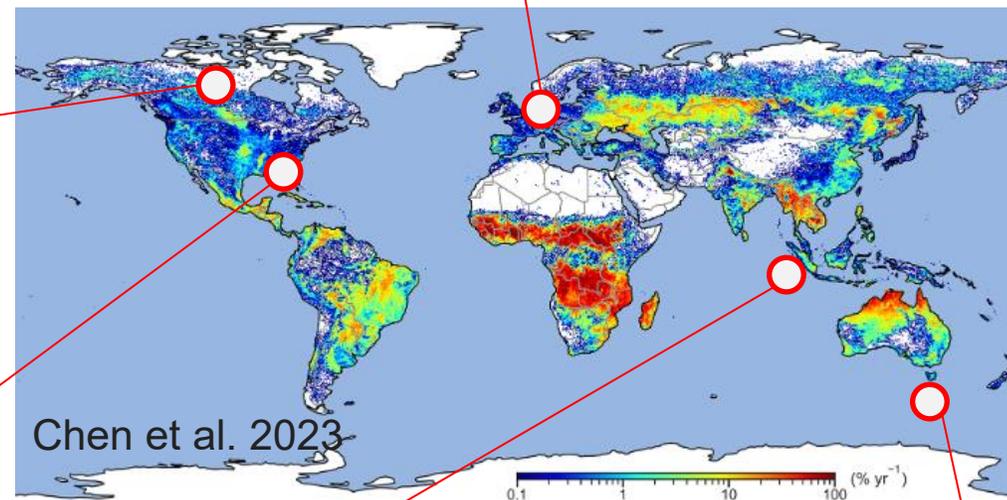
✓ 東南アジア泥炭地（インドネシア等）

- 基本的には人為起源（農地造成、排水、火入れなど）

※Cattau et al. 2016

✓ 欧州

- 96%が人為起源
- ※Dijkstra et al. 2022



✓ オーストラリア-タスマニア島

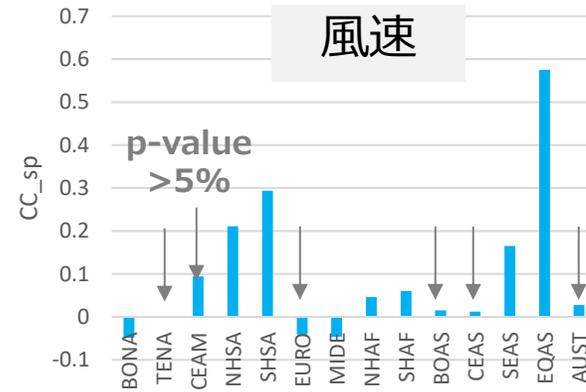
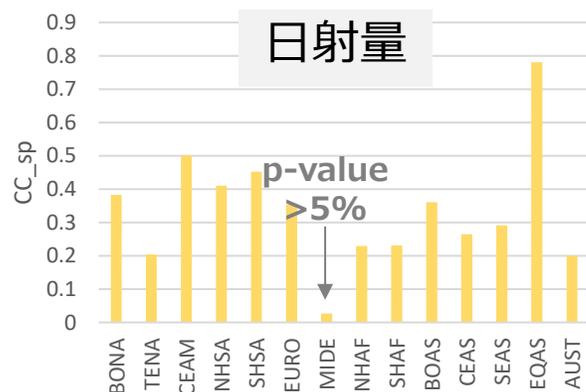
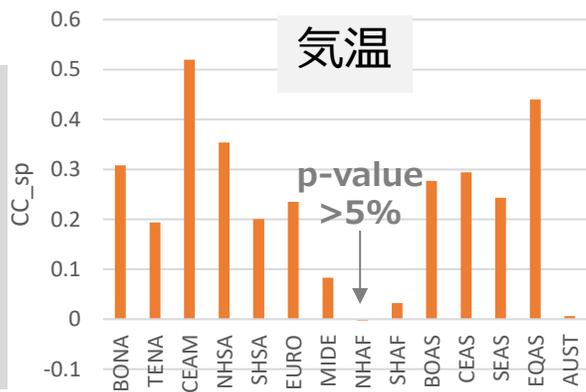
- 人為（放火11%+計画的焼却22%）、落雷（7%）、偶発的（25%）、不明（36%）
 - 焼失面積の53%が落雷起源
- ※Nampak et al. 2021

林野火災の発生要因：延焼原因

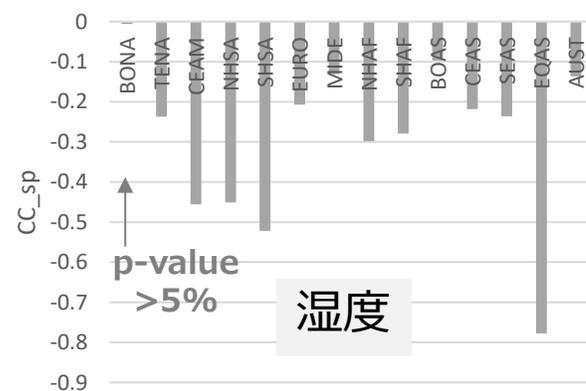
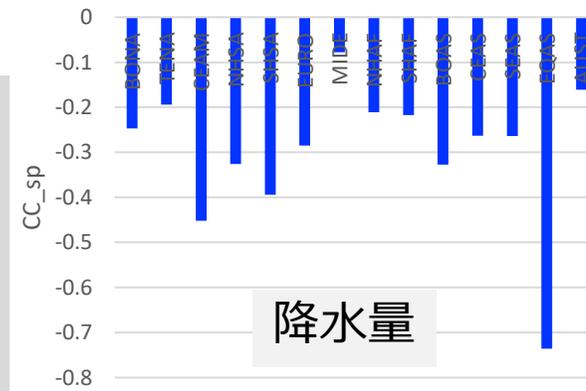
■ 延焼要因：焼失面積と環境条件の相関

- 気温、日射量、風速は基本的には正の相関
- 降水量、湿度は基本的には負の相関

正の相関



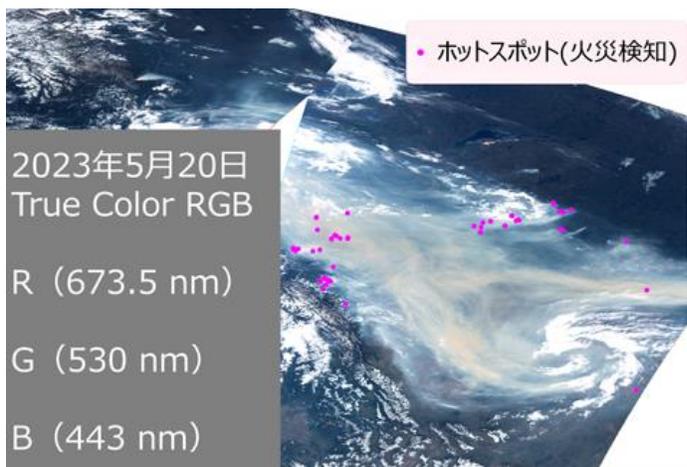
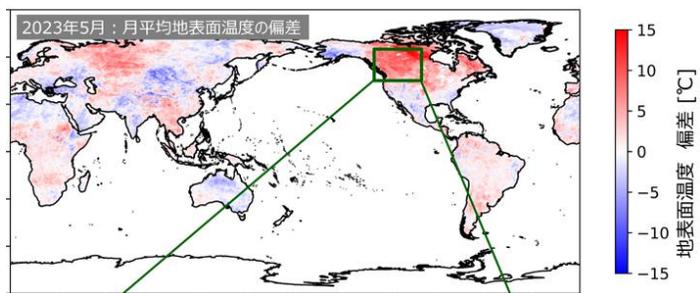
負の相関



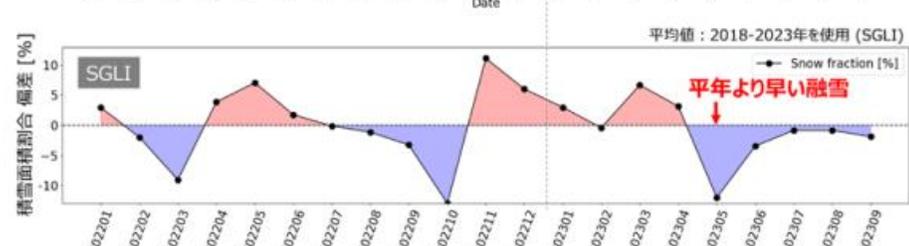
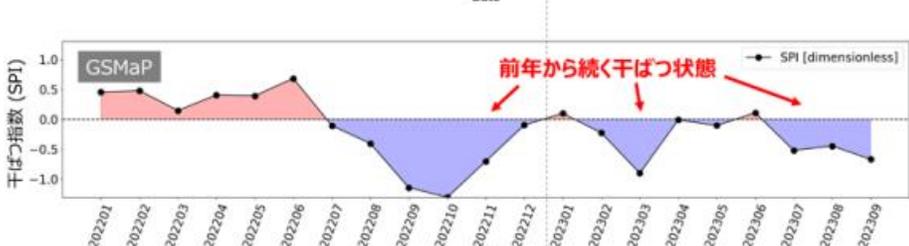
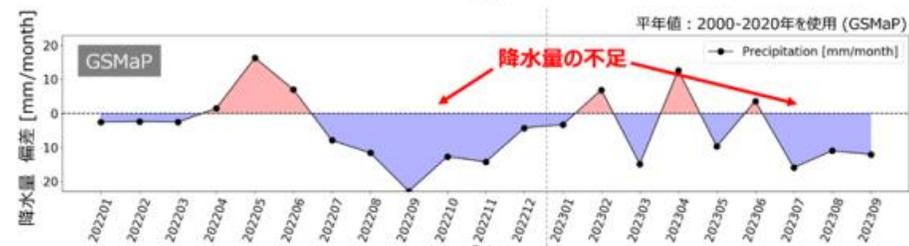
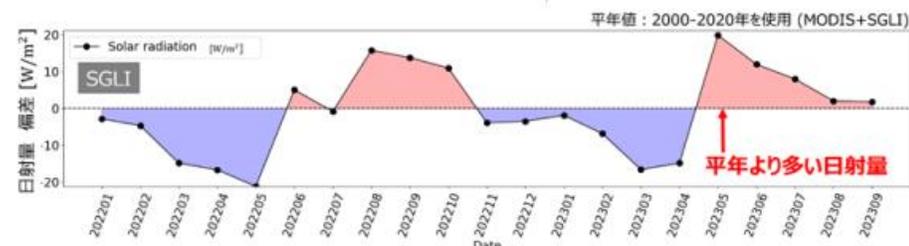
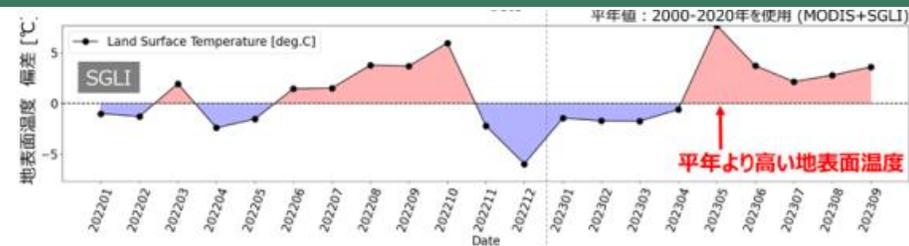
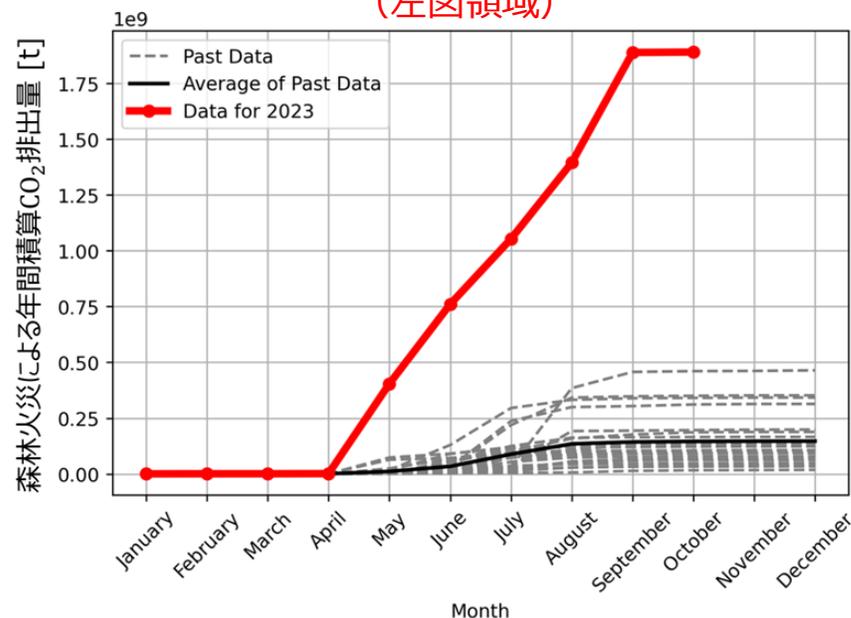
(参考) 林野火災の発生要因：近年の大規模火災要因

■ 2023年カナダの林野火災

- 2023年のカナダ火災は過去20年で最大規模となった
- 衛星観測による日射量、地表面温度、降水量等の偏差から要因を探る

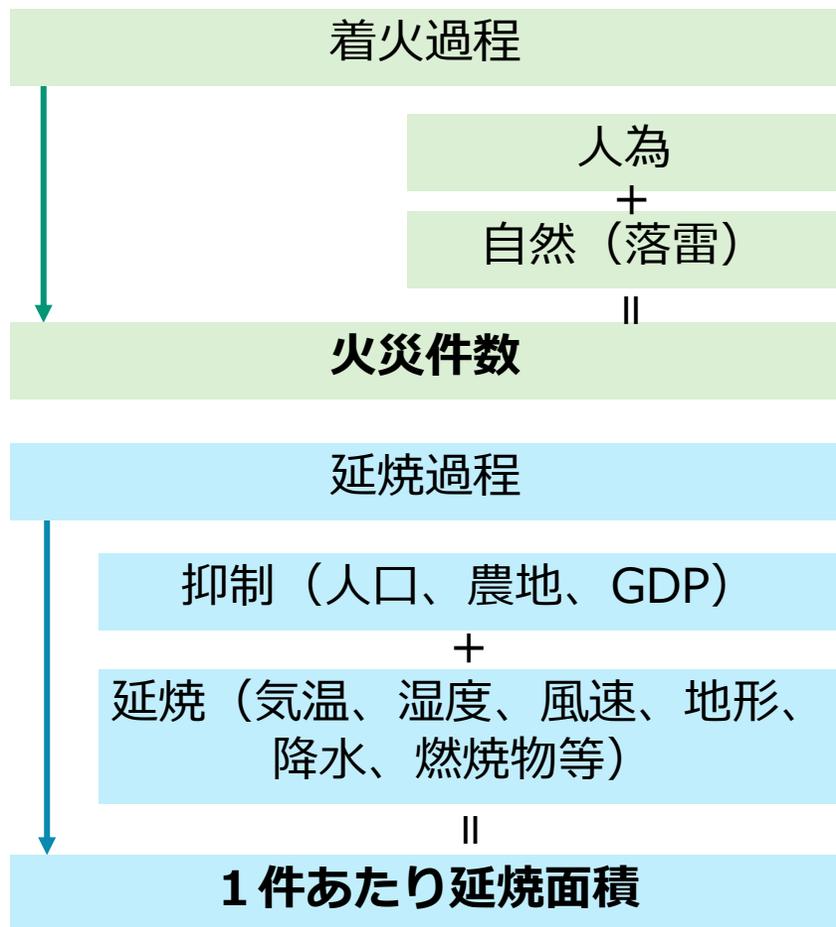


2023年の積算CO2排出量 (左図領域)



■ 一般的な林野火災モデルの考え方

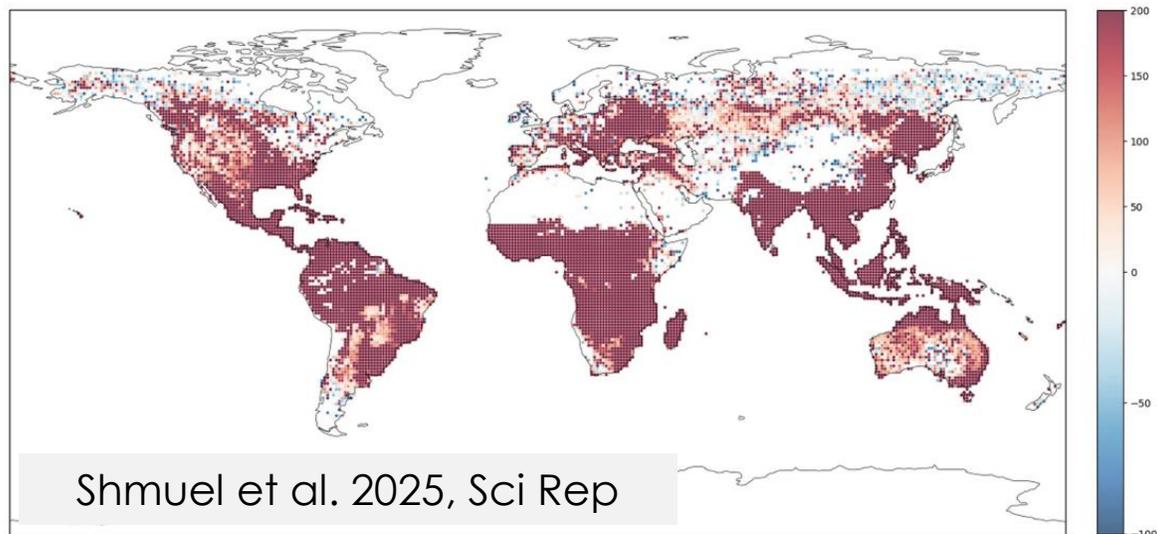
$$\text{焼失面積} = \text{火災件数} \times \text{1件あたり延焼面積}$$



気候変動で変わり得るパラメータ

■ 落雷は地球温暖化で増加する？

- 一般的に、気温が上昇すると水蒸気量が増加し、対流活動が活発化することにより積乱雲といった雷を伴う雲が発達しやすくなる
- 米国における落雷に関する研究では**気温1°C上昇で、約12%落雷が増加**すると示唆されている (Romps et al., 2014, Science)
- **落雷による発火リスクは今世紀末までに世界的に50%程度増加すると予測されている** (Shmuel et al. 2025, Sci Rep.)



先行研究による落雷起因による発火リスクの差分
(2100 - 2014-2021)

SSP245 シナリオのもとで EC-Earth3-CC モデルを使用

(a) Mean annual difference in the model's prediction of ignition risk between 2014–2021. (b) Increase in wildfire risk between present day and 2100. The figure was generated using the Cartopy library³⁶.

■ 延焼しやすさは気候変動で増加する？

IPCC AR6 Figure SPM.5

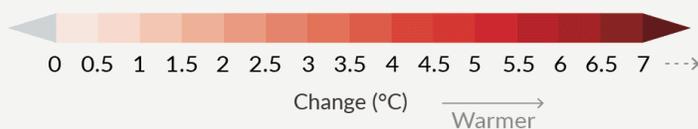
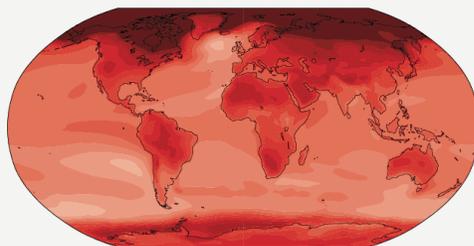
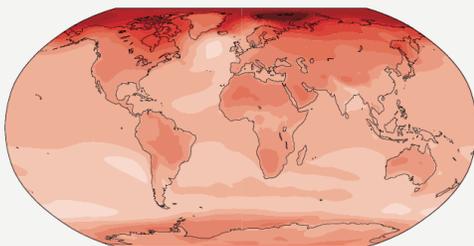
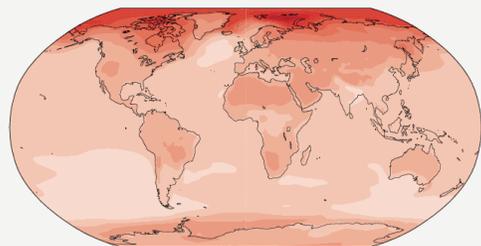
(b) Annual mean temperature change (°C) relative to 1850-1900

Across warming levels, land areas warm more than ocean areas, and the Arctic and Antarctica warm more than the tropics.

Simulated change at 1.5°C global warming

Simulated change at 2°C global warming

Simulated change at 4°C global warming



気温変化

- 温暖化により特に陸域や極域で顕著に気温上昇

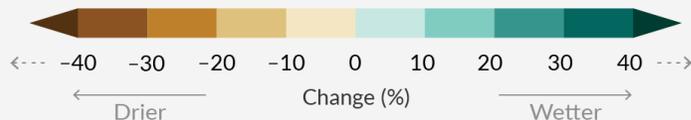
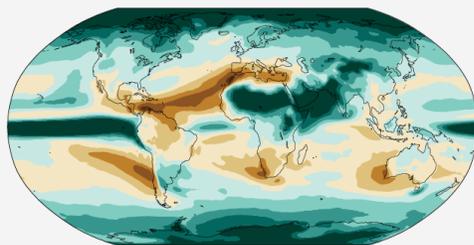
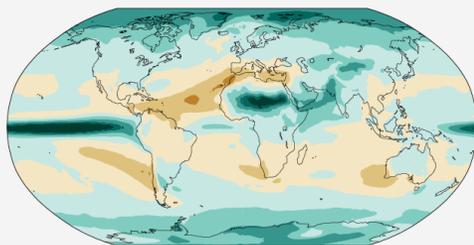
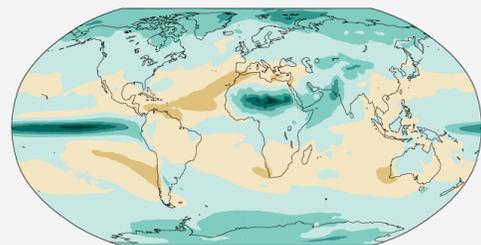
(c) Annual mean precipitation change (%) relative to 1850-1900

Precipitation is projected to increase over high latitudes, the equatorial Pacific and parts of the monsoon regions, but decrease over parts of the subtropics and in limited areas of the tropics.

Simulated change at 1.5°C global warming

Simulated change at 2°C global warming

Simulated change at 4°C global warming



降水量変化

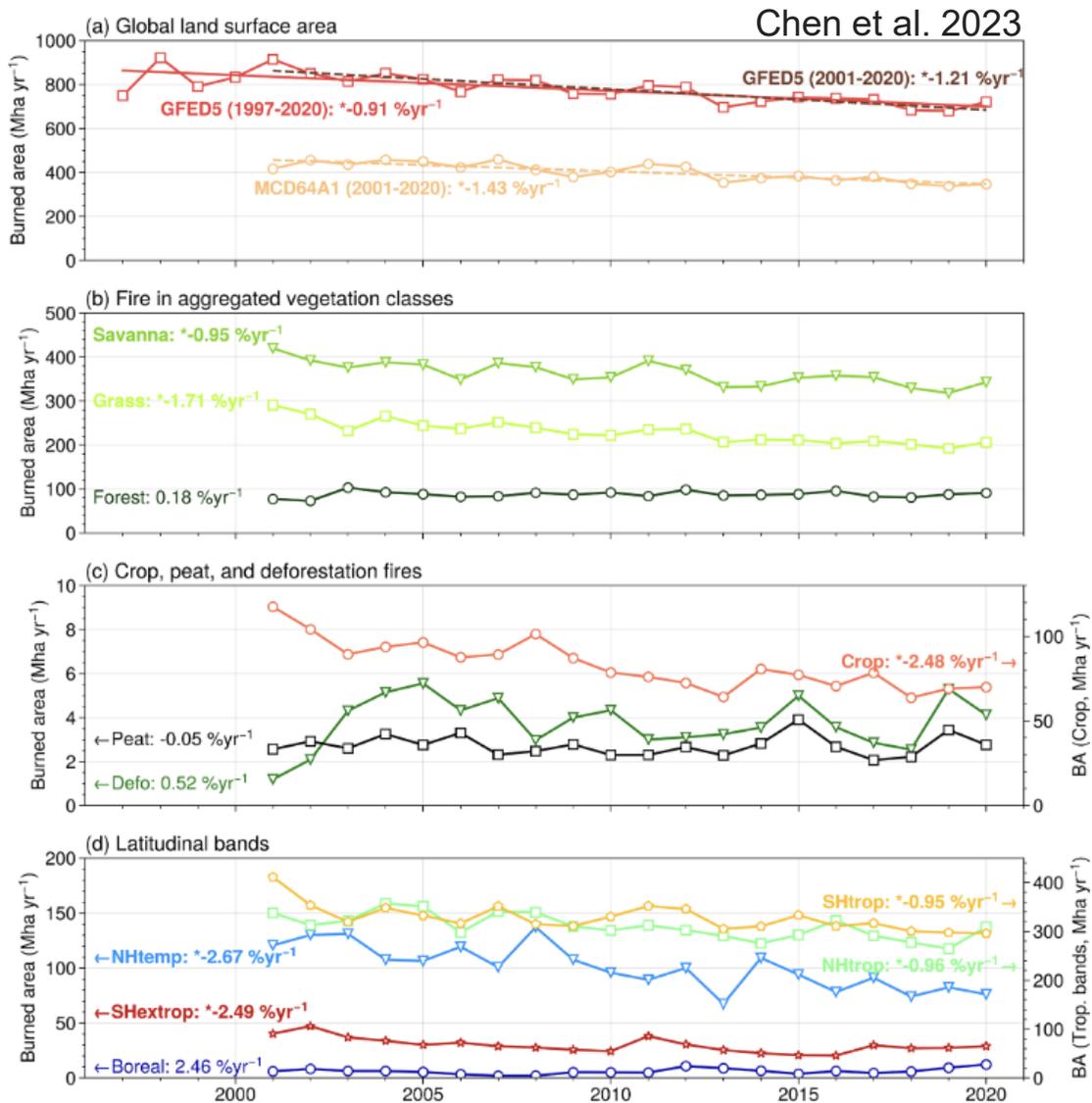
- 温暖化により特に極域とアフリカ北部、インド、アジアなどで降水増加
- 一方で、南アメリカ、オーストラリア、欧州などで干ばつ化

Relatively small absolute changes may appear as large % changes in regions with dry baseline conditions

→少なくとも**気温上昇&乾燥**が進む南アメリカ、欧州、アメリカ西部や、**気温増加が著しい**高緯度の北方林では、**火災の延焼しやすさは増加する可能性が高い**

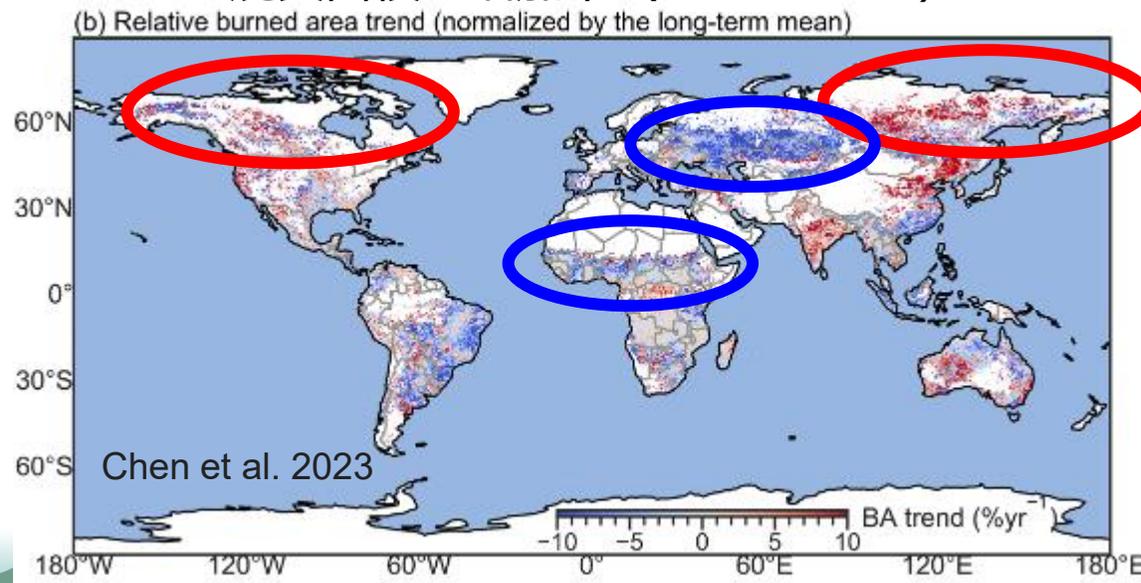
気候変動と林野火災を考える：過去20年の林野火災のトレンド

■ 過去20年間で世界の林野火災面積は減少している??



- ✓ 最新の衛星観測に基づく研究によると、世界全体の焼失面積は緩やかな減少傾向にある（約-1%/年）
- ✓ 特にサバンナ、草原、耕作地などでは有意に減少
- ✓ 一方、北方林などでは2.5%/年で増加しているが、アフリカやユーラシアステップなどの減少幅（絶対値）に埋もれている
- ✓ 森林焼却や泥炭火災は有意な変化はなし

焼失面積の増加率（2003-2020）



■ 過去20年間で世界の林野火災面積は減少している??

1999-2014のトレンド

- 耕作地、人口密度が増加した地域は炭素排出量が減少傾向にある
- 特にアフリカのサバンナ域で顕著
- 世界全体の火災トレンドはほぼ熱帯域のトレンドに依存するため世界で見ても減少傾向

耕作地増加の影響

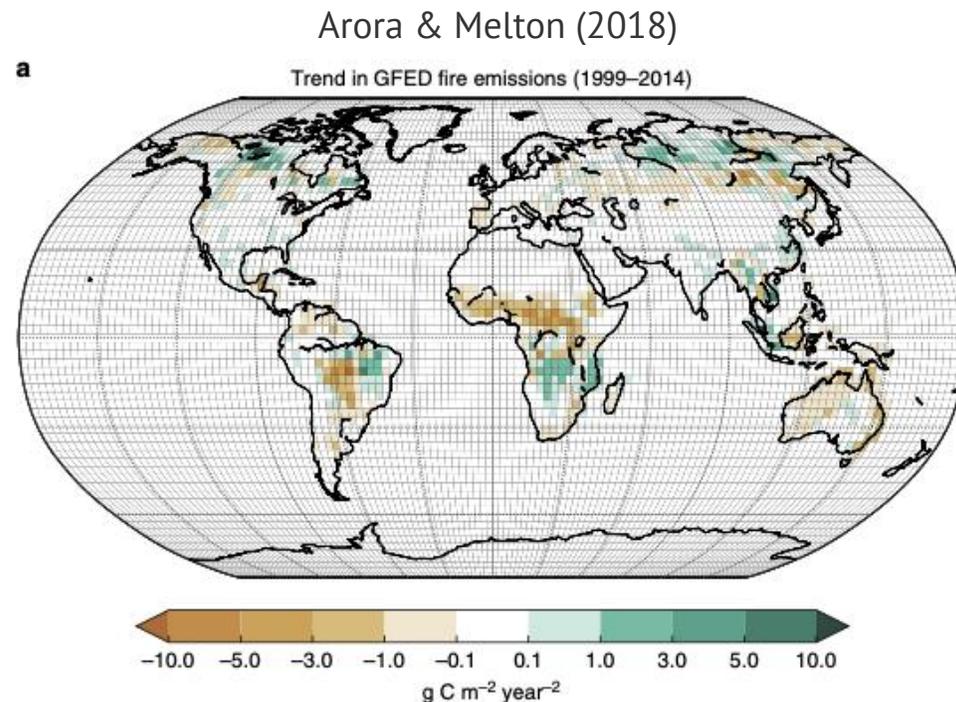
- 基本的に森林を伐採して耕作地を作る
- 耕作地は森林よりもバイオマス量（燃料）が少ない
- 整備された耕作地は火災が拡散しにくい
- 一方、耕作地の管理のために火入れが増える

⇒炭素排出量は両者の兼ね合い

人口（GDP密度）増加の影響

- 人口が増加すると失火件数は増えるため火災件数も増加する
- 一方、人口が増加すると火災の消火も早くなり、火災継続時間が減る

⇒炭素排出量は両者の兼ね合い



気候変動と林野火災を考える：将来の林野火災

■ 気候変動によって、将来の林野火災はどうか？

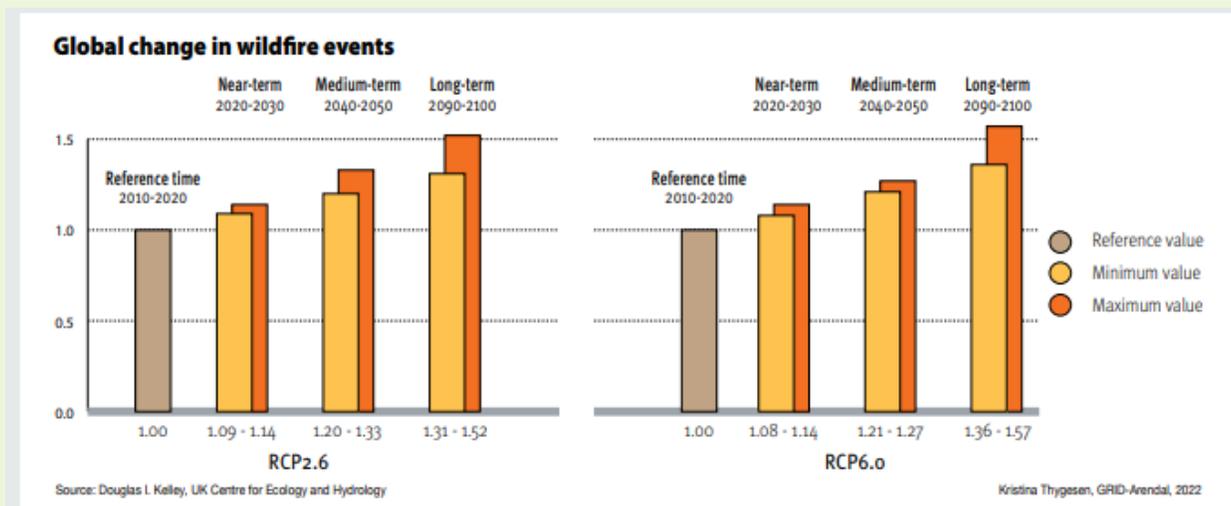
■ IPCC特別報告書2021

永久凍土の融解及び雪の減少は、北極域及び山岳地域における土壌の乾燥を引き起こす。
森林火災は今世紀末まで、ほぼ全てのツンドラ地帯及び北方、並びに一部の山岳地域で増加すると予測され、同時に気候及び植生の移動の間の相互作用によって将来の火災の強度及び頻度が影響を受ける（確信度が中程度）。

✓ 世界全体ではないが、一部地域で増加が予想

■ 国連環境計画（UNEP）火災リスクに関する報告書（2022年）

排出を最も抑えたシナリオでも、大規模火災の発生確率は今世紀中に30-50%増加する。



(1) 直接的要因

- ・自然起源は **dry lightning**
- ・人為起源は土地利用、焼き畑、放火

(2) 間接的要因

- ・ **干ばつ** 増加
- ・ 気温上昇（**熱波** 増加）
- ・ 風速の変化

✓ 1件あたりの火災サイズ、継続期間の大規模化が予想

Figure 2.7. By the end of the century, the likelihood of catastrophic wildfire events will increase by a factor of 1.31 to 1.57. Even under the lowest emissions scenario, we will likely see a significant increase in wildfire events. See appendix for construction.

■ 地球観測衛星による林野火災の観測

- ✓ 火災の場所、火災の煙の広がり
- ✓ 火災によって燃えた面積（焼失面積）
- ✓ 火災によって排出されるCO₂やエアロゾルの量 など

■ 林野火災の統計値

- ✓ 世界の森林面積の1-4%が毎年燃えている
- ✓ 林野火災起源の炭素放出量は全体の20%近くあるが、植生の再生を踏まえると実質的には6%程度と言われている
- ✓ 焼失面積の8割近くは熱帯域（特にアフリカの耕作地など）

■ 林野火災の発生要因

- ✓ 着火の要因は人為起源（失火等）と自然起源（落雷等）
- ✓ 延焼の要因は気温や湿度、風速などの環境条件や、傾斜や高度などの地域特性

■ 林野火災の過去と将来

- ✓ 過去20年間で見ると世界全体では減少トレンド（主にアフリカやユーラシアステップにおける土地利用=人間活動の変化に起因）
- ✓ 一方で気候変動による落雷の増加や気温の上昇、降水量の減少などによって、地域的には火災の増加や大規模化が予想されている