東京大学大学院　集中講義　生物環境情報工学特論II（１単位）

2022/09/01, 09/08, 09/15

担当： 奈佐原顕郎（筑波大学生命環境系　准教授）

１週目　2022/09/01 3~5限 【実験して実感する生物環境計測の物理学】
趣旨: 生物環境の調査研究では計測が重要である。近年は多くのセンサーが多くのデータを出してくれて, それをビッグデータとしてどのように扱うかが研究の焦点になりつつある。しかしその一方で, そもそもまだ測れないものや, 測れても何を見ているのかわからないデータも多い。そのような場合は計測の基礎となる物理学に戻って理解・議論することが有用・重要である。ところが物理学の厳密かつ体系的な学習に挫折して, 物理学は難しい・苦手という院生が多い。そこで, 本講では手軽な機材を使った実験を通して, 計測の基礎となっている物理学を経験的に実感・理解することで, 物理学的なアプローチの学び方を学ぶ。特に, 歳差と偏光は, 日常的経験で得た直感が通用しない興味深い現象でありながら, 遠隔計測（リモートセンシング）の重要な原理でもあるので, これらに絞って取り組む。これによって, 物理学に肯定的な印象と興味を持つことにつながれば, 各学生が各分野で自分の研究に幅と深さを得ることにつながるだろう。
3限: 講義 衛星軌道と力学・角運動量保存則; 実験 歳差運動
4限: 講義 光学の原理と偏光; 実験: 直線偏光と円偏光
5限: 実験: 偏光面の回転（コーナーリフレクタ, 複屈折, 光学異性体, ファラデー効果）

コロナのためオンラインになったので変更。
実験は２週目以降にやります。

２週目2022/09/08　【定点観測画像ビッグデータの生物環境情報工学】
趣旨: 生物環境情報で近年増大しているのが画像情報である。手軽なカメラや画像センサーが地上・空中・衛星などにばらまかれ, 自動的・継続的に画像が取得され蓄積する。その量と速さは, 人の目では到底、確認・判読が追いつかないレベルである。そのような豊富な画像ビッグデータを前に, どう処理すればよいのか途方に暮れる人も多い。本講では, 講師が関わってきた, 地上画像観測網とそのデータベースであるPEN (Phenological Eyes Network)と, 衛星画像（TRMM, GCOM-C等）ビッグデータを題材に, 実例をもとに工夫・失敗・教訓・成果を学ぶ。
3限: 大量画像の取得システムとデータベース処理
4限: 大量画像の自動処理と情報抽出

３週目　2022/09/15 【土地被覆・土地利用の変化に見られる生物環境の変動】
趣旨: 地域的あるいは全球的な環境の劇的な変動の中で, 土地被覆・土地利用の変化は大きな要素である。環境変動の影響は土地被覆・土地利用の変化に現れ, 土地被覆・土地利用の変化は環境変動に影響を与える。生物多様性の保全・理解においても土地被覆・土地利用変化は大きな要素である。また, 土地被覆・土地利用の計測・モデル化は, 様々な物理的手法による環境計測と画像ビッグデータの融合によって可能である。従って, 生物環境情報工学において土地被覆・土地利用変化は重要な対象である。本講ではこれまでの講義をもとに, 土地被覆・土地利用変化の研究の奥深さ・難しさ・面白さを, 講師が関与してきた実際のプロジェクト（JAXA高解像度土地被覆土地利用図）を事例にとって解説する。
3限: 土地被覆・土地利用の重要性と研究の現状
4限: JAXA高解像度土地被覆土地利用図の開発・検証・応用・課題

自己紹介　奈佐原 顕郎　なさはらけんろう

岡山県立岡山一宮高校卒（1988)

東京大学 理科I類入学＆ワンゲル部入部

東京大学 工学部計数工学科 数理工学コース卒（1992）

北海道大学 大学院理学研究科 地球物理学専攻修士卒（1994）

京都大学 大学院農学研究科 森林科学専攻博士卒(1998)

学振DC, PDを経て筑波大学農林工学系講師(1999)

モンタナ大学Numerical Terradynamic Simulation Group研究員(2000~2002)

改名: 西田顕郎 → 奈佐原顕郎 (2010年頃)

いつからか筑波大学助教授, そしていつからか准教授。

（この頃, 吉野先生とよく学内業務で一緒になって, 仲良くして頂くようになった気がする）

JAXA地球観測研究センター招聘研究員（生態系研究グループ） (2008~)

興味・関心：　衛星リモセンを環境科学・社会に役立てる。特に日本の衛星を!!!

農学部生の数学・物理学・ITの基礎教育＆リカレント教育。

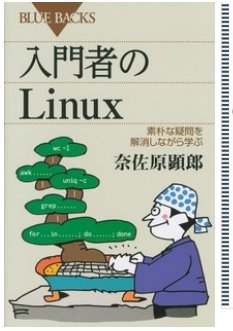
応用物理・
応用数学

$$\int_a^b f(x)\,dx$$

氷河研究

砂防研究

リモセン・
生態系研究

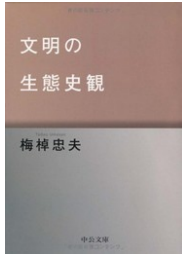


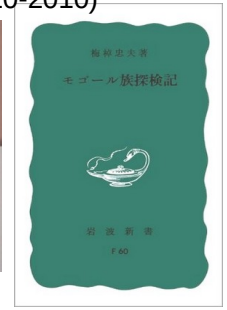
影響を受けた3人の巨人

リチャード・ファインマン
(1918-1988)

→ どんな理屈もシンプルに説明できる。
どんな現象も物理学で説明できる。
結局, 物理学がいちばん偉い。

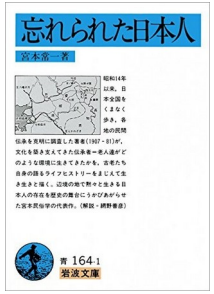
梅棹 忠夫
(1920-2010)

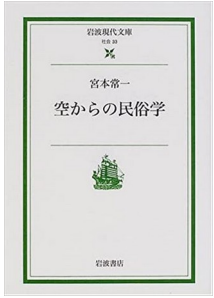




→ フィールドで考え, 発見する。
大胆でシンプルな学説を提唱する。
わかりやすい言葉で話し, 書き, 考える。

宮本 常一
(1907-1981)





→ フィールドで発見する。
地域の人の話を聞く。
景観の中に自然と人の共存の原理がある。

問題: この3人の名前を聞いたことありますか?

1: ファインマン, 2: 梅棹, 3: 宮本として, 「ある」番号を書いて下さい。1, 3みたいに。

授業のスタイル: 「手と頭を動かして一緒に考える授業」

受講者の理解・納得・開眼が最優先。その為には臨機応変にやり方や内容を変える。

授業と演習（問題）を繰り返す。質問・フィードバック歓迎。

伝えたいこと: 「測る」ということの奥深さ。

何かを測りたいときにどういう手法が有用でどういう手法がダメかが見通せるようになろう。

衛星リモートセンシングの話が多くなるが, それは単なる「例」。その奥にある「考え方」を。

論文を読んだり, 計測装置のカタログやマニュアルを読んだり, 人のプレゼンを聞いたりするときに,

気持ちがざっくりわかるようになろう。

計測工学

- 理想的な計測技術を実現する研究開発の営み
- 測れなかったものが測れるようになると世界は変わる。
- 測りたい量を電気信号に変換→物理学
- 測りたい量の周辺を測って推測→数学
- 測りたい量のそれっぽい特徴を抽出→機械学習

今日の授業を通して考えて欲しい問題

問題:ドローンではできない, 衛星ならではの観測は?

例: アクセス困難な場所の観測（戦場, 災害被災地等）

（でもウクライナではグローバルホークなど, むしろドローンは活躍している）

問題: 衛星観測の限界（どうやっても超えられない壁）は?

問題: それを乗り越えるにはどういうアイデアがある?

「ふたつの危機」

- 気候危機

- 生物多様性の危機

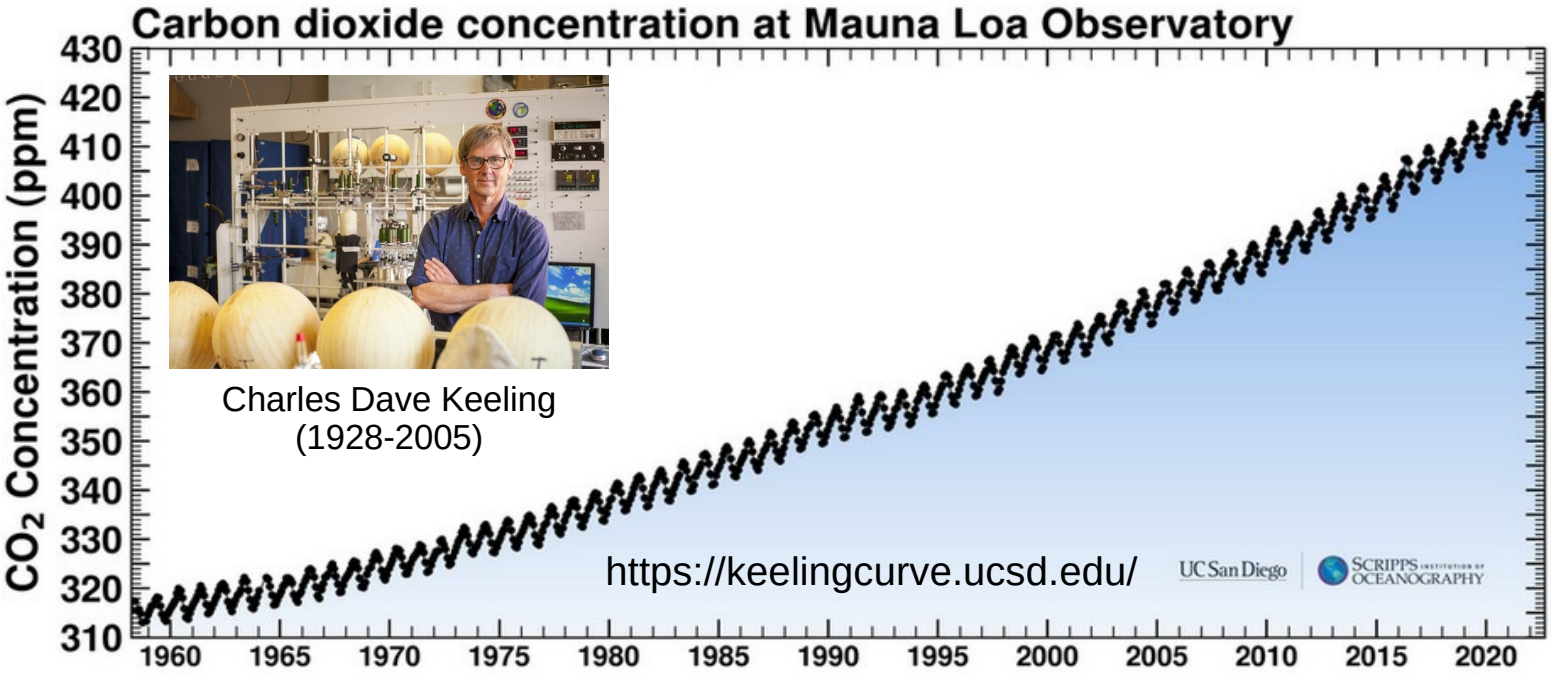
「ふたつの危機」

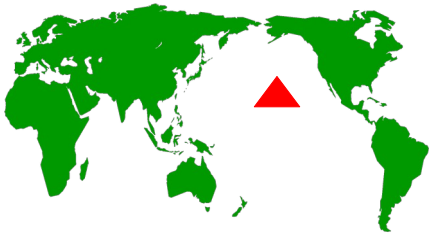
- 気候危機

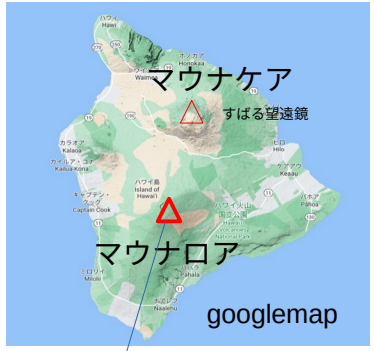
- 生物多様性の危機

大気中の二酸化炭素濃度の長期連続直接観測（マウナロア島）

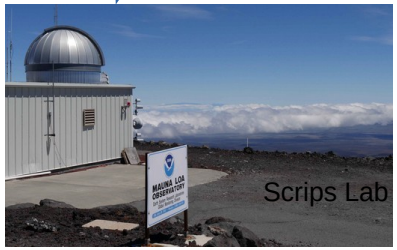
“Keeling Curve”







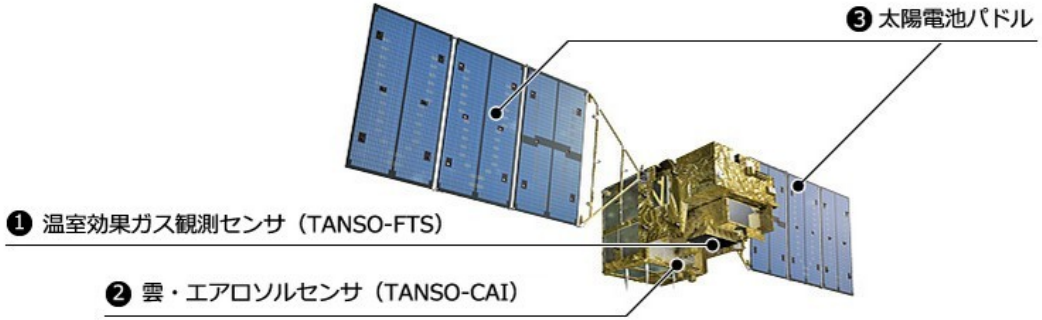
標高3397m

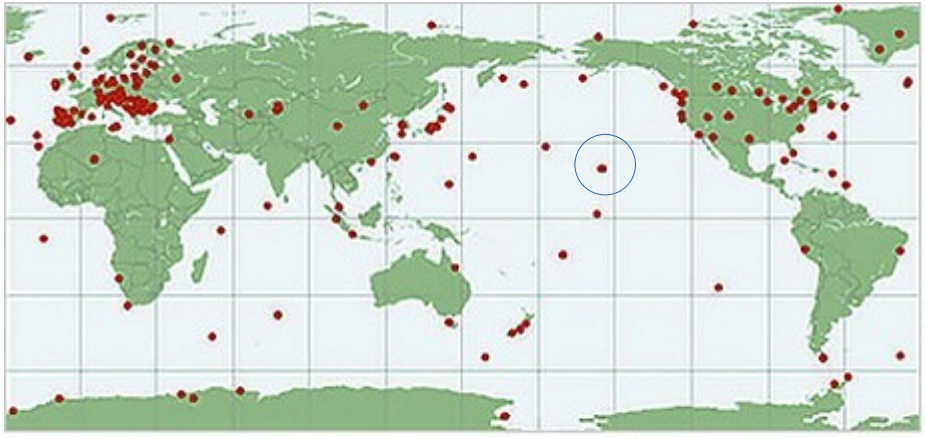


問題: なぜマウナロア島を選んだのか?

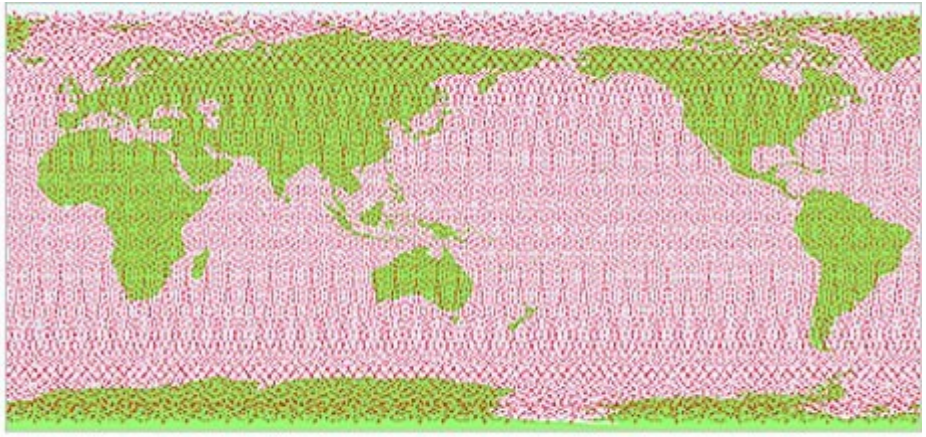
（Keeling本人が選んだのだろうか...?）

GOSAT (Greenhouse gas Observation Satellite) 「いぶき」





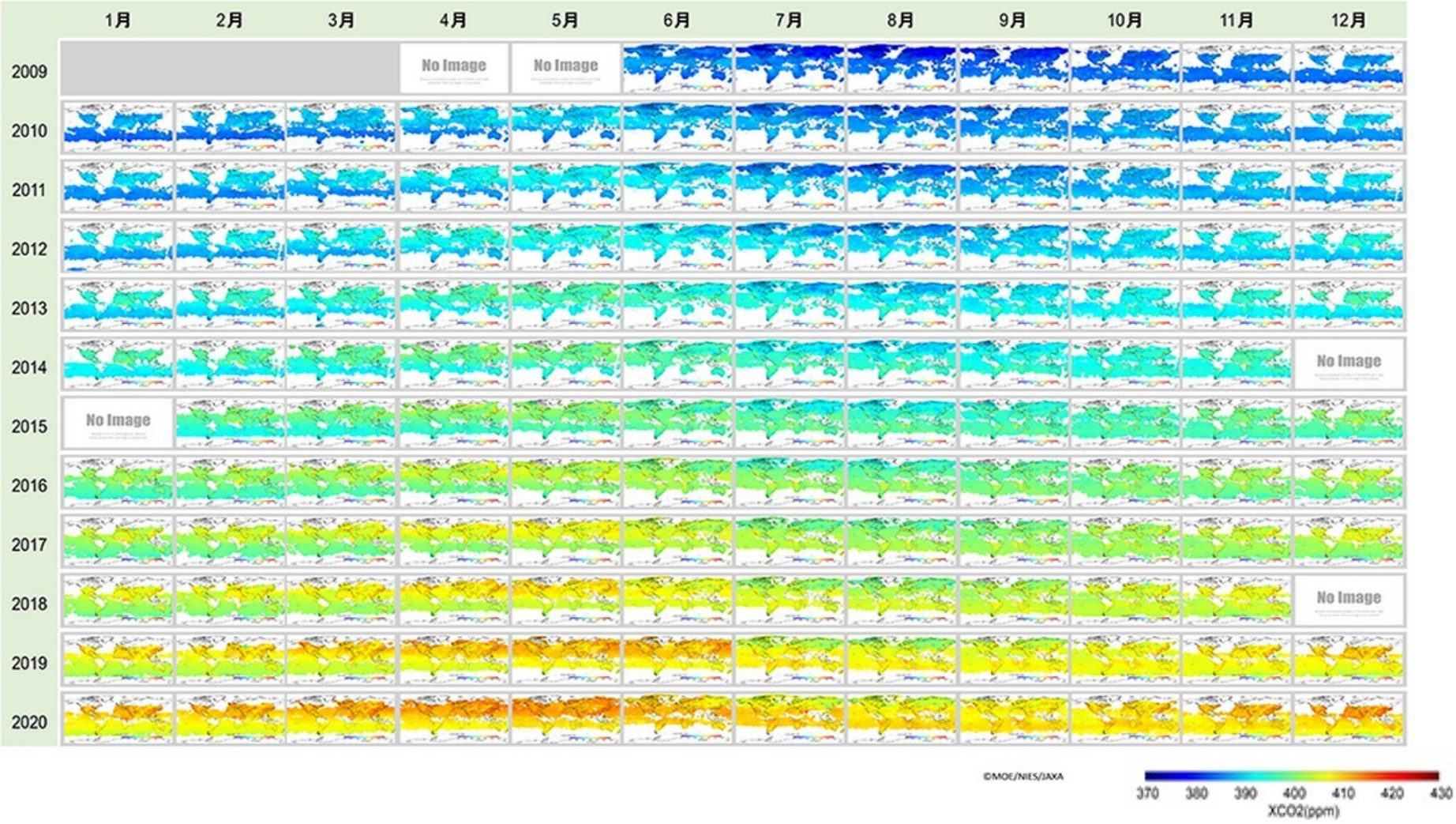
地上の観測点：約348点（2013年1月現在）



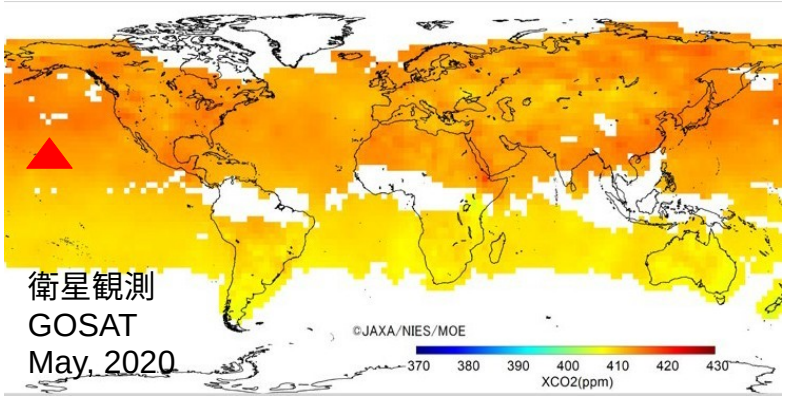
GOSATの観測点：56,000点

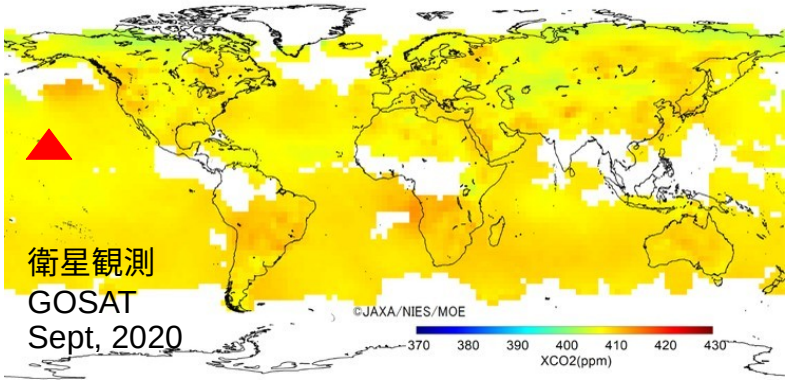
問: 衛星でCO2が測れるようになったら, 地上観測はもう不要なのか?

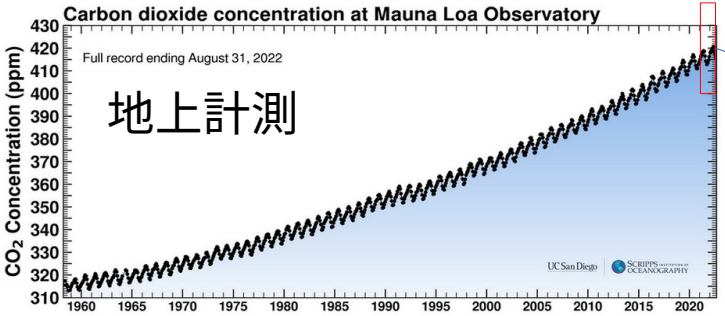
GOSAT (Greenhouse gas Observation Satellite) 「いぶき」

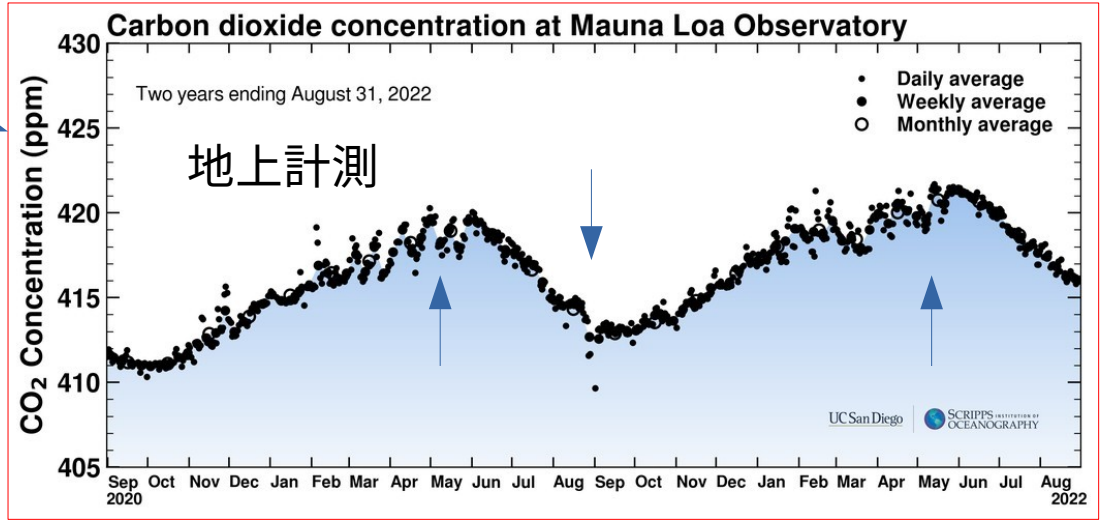


問題: 大気二酸化炭素濃度は5月頃に極大, 9月頃に極小になるのはなぜか?



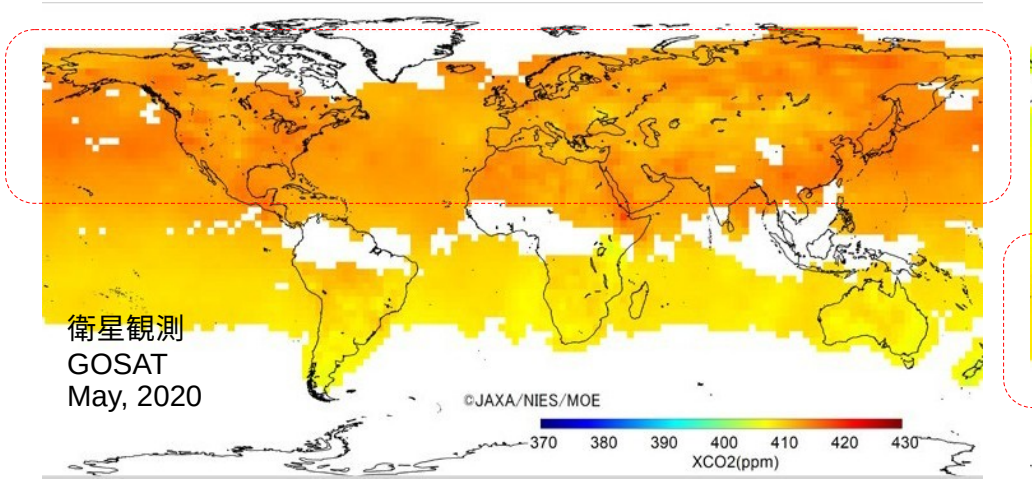


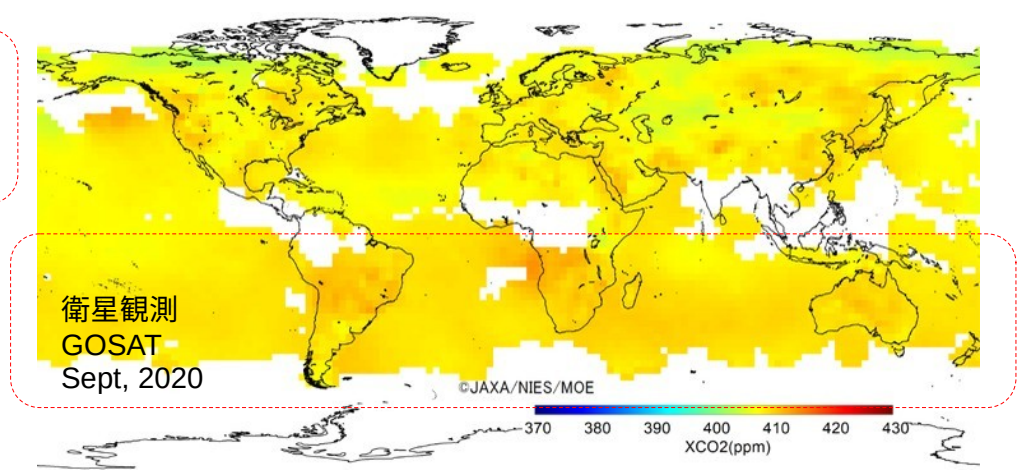




問題: 大気二酸化炭素濃度は5月頃に極大, 9月頃に極小になるのはなぜか?

… 北半球と南半球で様子が違う。。。なぜ?



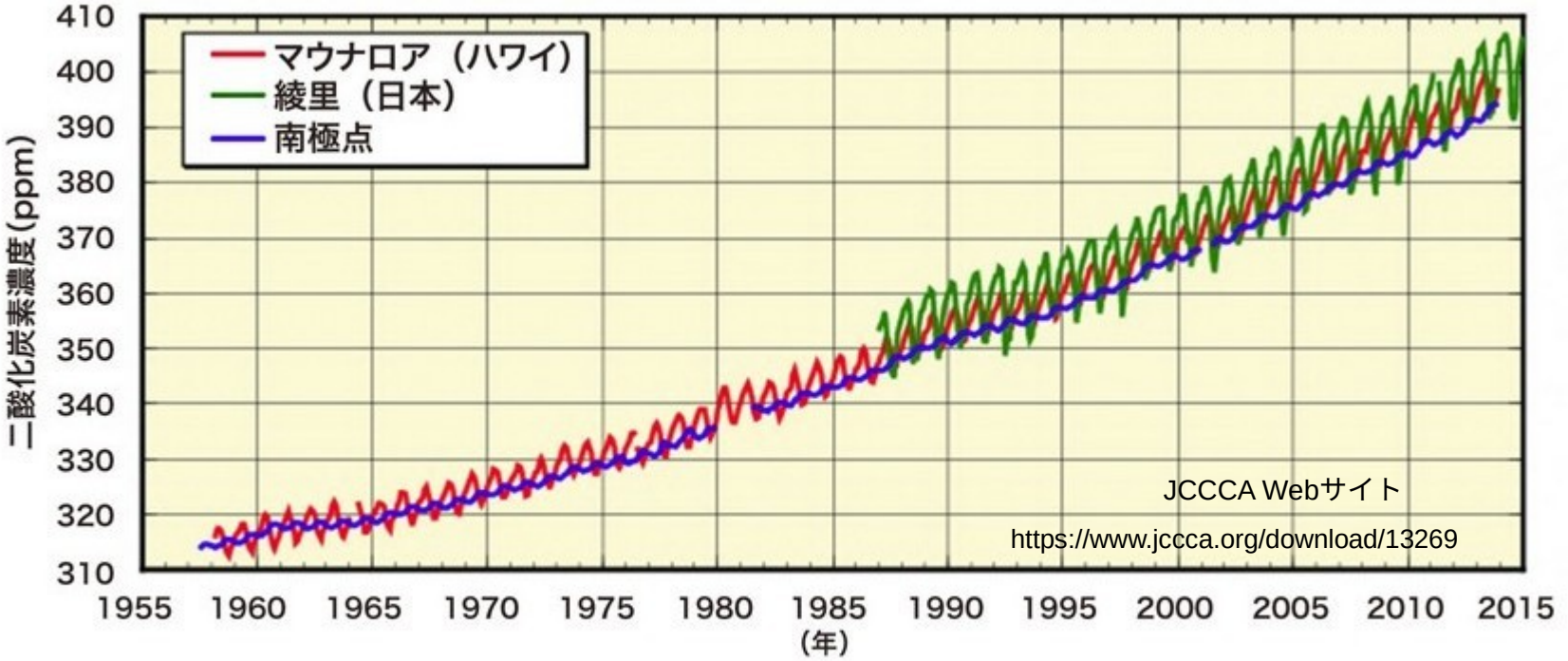


5月: 北半球は高濃度。南半球は低濃度。

9月: 北半球は低濃度。南半球は中?濃度。

北半球での地上観測データを見てみよう。

気象庁 綾里大気環境観測所（岩手県）における大気二酸化炭素濃度観測



出典）気候変動監視レポート2014

問: 計測は測りたい現象よりもずっと高い精度（オーバースペック）でやるべきものか?

https://www.data.jma.go.jp/gmd/env/ghg_obs/station/station_ryori.html

大船渡の大気観測所が再開　温室効果ガス監視

2011年5月20日20時21分

Check 印刷

中央奥の柱の上部にある管から大気をとりこみ、温室効果ガスを分析する。手前は大気の濁りをみる機器＝岩手県大船渡市三陸町綾里の大気環境観測所、中山写す

拡大

東日本大震災による停電で観測不能に陥っていた大気環境観測所（岩手県大船渡市）が試験的にデータ収集を再開した。国内に３カ所しかない気象庁の温室効果ガス観測所のひとつで、アジア最長となる２４年間連続観測を記録していた。現在精度を確認中で、正式な再スタートは間もなくだ。

二酸化炭素やメタンなどの温室効果ガスを測る気象庁の観測所は、離島の南鳥島と与那国島、大船渡市の綾里の３カ所だけ。地球規模の大気環境をとらえる世界気象機関の計画にも参加し、観測データを世界に提供している。

なかでも綾里の観測所は最も古く、１９８７年１月から二酸化炭素を観測してきた。増え続ける濃度の傾向をとらえるには、データを途切れさせないことが最重要で、四半世紀もの連続観測は国際的にも評価され、昨年は人事院総裁賞も受賞していた。

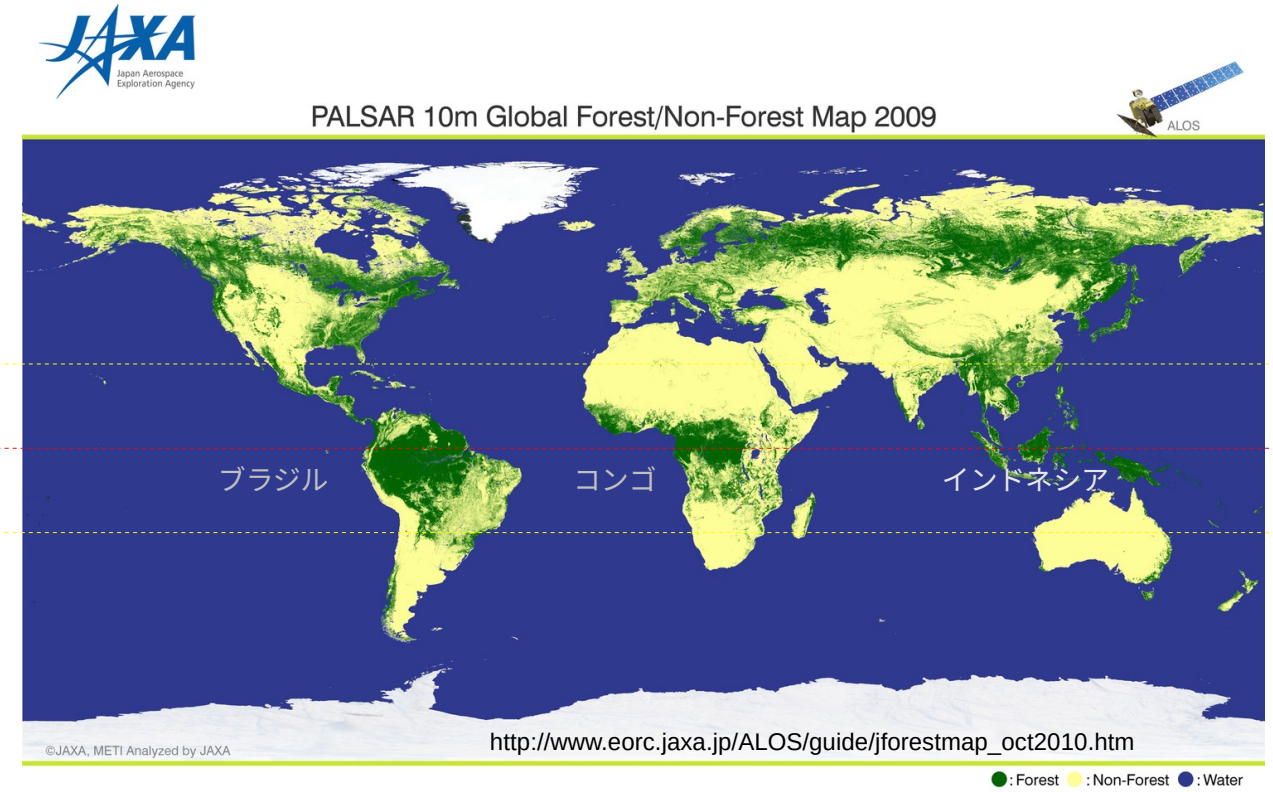
太平洋を見下ろす綾里崎の標高２６０メートルに立つ観測所は津波被害は免れたものの、停電で観測がストップ。電気が復旧したのは震災から約４０日後だった。

春は植物活動の影響で二酸化炭素濃度が年間で最も高くなる。毎年のように最高値を更新してきた４月にデータがとれなかったため、年平均や経年変化を見るのに影響が出るという。

須藤幸男所長は「残念だが、これからまた貴重なデータを積み重ねていきたい」と話している。

「大陸と太平洋の間にある綾里は、植生の影響を見るためにも重要な拠点」と井上長俊・気象庁環境気象管理官付課長補佐はいい、一刻も早い再開を待ちわびていた。（中山由美）

ALOS (Advanced Land Observing Satellite)「だいち」による, 世界の森林分布



森林は熱帯と亜寒帯に多い。

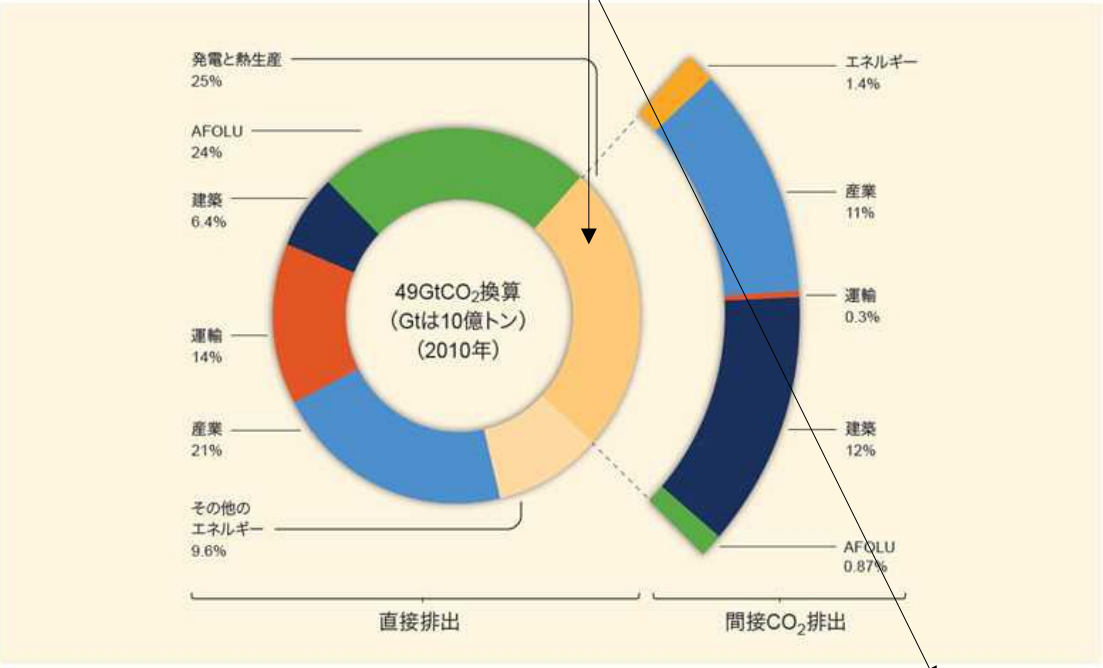
南半球は亜寒帯がほぼ無い （そもそも陸が少ない）→ 森林が少ない。

従って, 森林（地上植生）による二酸化炭素吸収は主に北半球の夏。

問題: ではなぜ大気二酸化炭素濃度は北半球の夏（7, 8月)ではなく秋（9月頃）に極小になるのか?

森林・農地などの土地被覆とその変化は, 温室効果ガスの主要な排出・吸収源！
しかも, よくわかっていない!

AFOL (Agriculture, Forest, and Other Land Use) 農林業・その他の土地被覆



- AFOLU部門は、正味の人為起源のGHG排出量の約１/4を占め、森林減少と土壌・施肥管理、家畜由来の農業の排出が主。
- AFOLU部門の過去の正味の排出量における不確実性は他の部門より大きい。

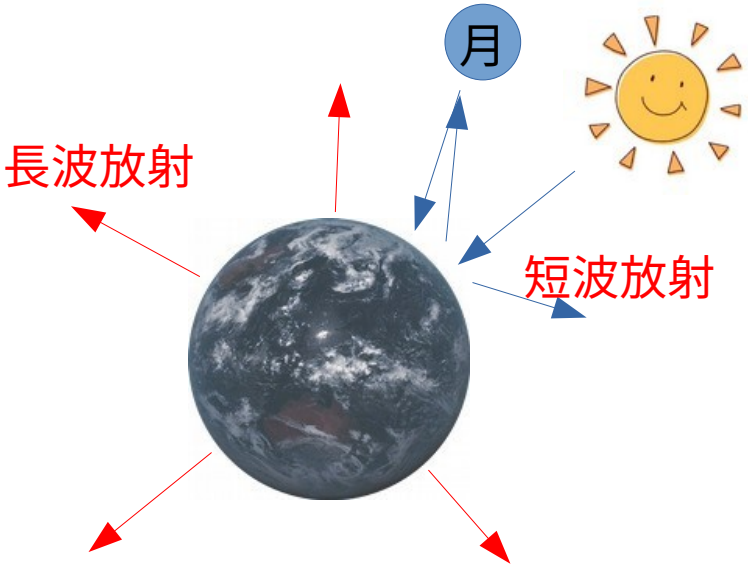
IPCC AR5 WG3 SPM p.24(環境省による翻訳・抜粋)

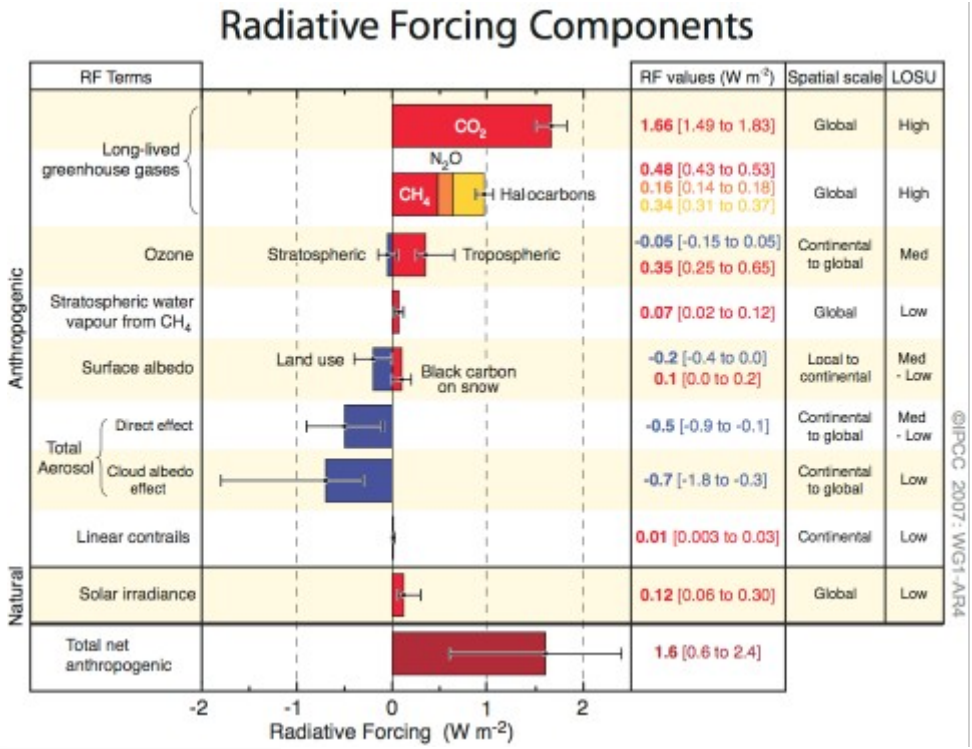
でも気候危機（温暖化）の本質はそこ（温室効果気体）ではない。

問題: 気候危機（温暖化）をもたらしている本質的な物理プロセスは何？

そのためには何を測るべき？

地球と地球外とのエネルギー交換（≒光エネルギー）のつりあい（収支）が本質





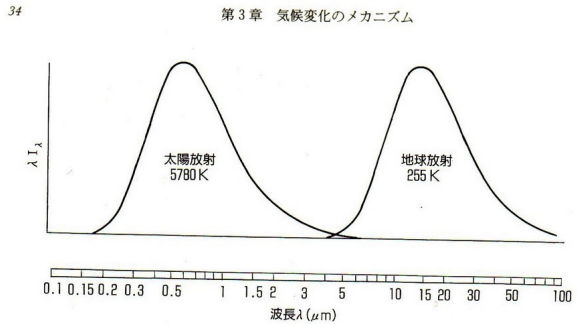
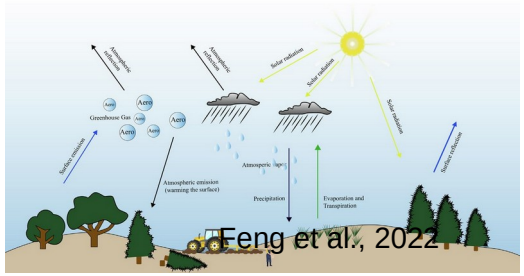


図3.2　太陽と地球の放射強度
ただし，縦軸は，両者のスケールの違いが大きいので λ を I_λ にかけてある。(R. Goody, 1964)



Feng et al., 2022

衛星で観測した地球全体の放射収支

Table 1. CERES and ERA5 Southern Hemisphere (SH), Northern Hemisphere (NH) and Global ASR, −OLR and NET TOA Flux Average, Monthly Anomaly Standard Deviation (Stdev) and Trend for March 2000-February 2020

	ASR			−OLR			Net		
	SH	NH	Global	SH	NH	Global	SH	NH	Global
CERES									
Mean (Wm^{-2})	241.0	240.9	241.0	−239.6	−240.9	−240.2	1.39	0.076	0.73
Stdev (Wm^{-2})	0.98	0.94	0.67	0.74	0.83	0.51	0.89	0.88	0.69
Trend (Wm^{-2} dec^{-1})	**0.65** **(0.29)**	**0.72** **(0.28)**	**0.68** **(0.24)**	−0.27 (0.33)	**−0.26** **(0.26)**	**−0.26** **(0.24)**	**0.38** **(0.32)**	**0.46** **(0.27)**	**0.42** **(0.23)**
ERA5 Forecasts									
Mean (Wm^{-2})	242.2	243.4	242.8	−241.6	−242.7	−242.1	0.66	0.71	0.68
Stdev (Wm^{-2})	0.89	0.76	0.52	0.69	0.72	0.41	0.82	0.79	0.61
Trend (Wm^{-2} dec^{-1})	0.10 (0.29)	0.19 (0.24)	0.15 (0.24)	−0.11 (0.28)	−0.13 (0.22)	−0.12 (0.21)	−0.01 (0.29)	0.06 (0.26)	0.026 (0.25)

JGR Atmospheres

Research Article | Open Access

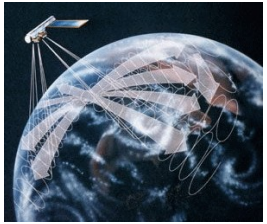
Evaluating Twenty-Year Trends in Earth's Energy Flows From Observations and Reanalyses

Norman G. Loeb, Michael Mayer, Seiji Kato, John T. Fasullo, Hao Zuo, Retish Senan, John M. Lyman, Gregory C. Johnson, Magdalena Balmaseda

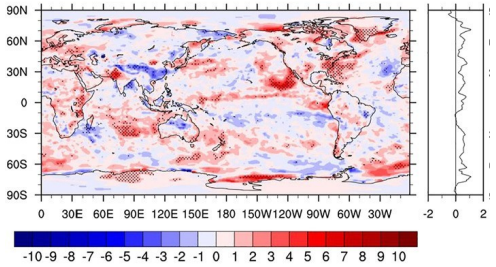
First published: 31 May 2022 | https://doi.org/10.1029/2022JD036686

CERES: Clouds and the Earth's Radiant Energy System

1997-1998 on TRMM
1999- on Terra (10:30, 22:30)
2002- on Aqua (13:30, 01:30)
2011- on Suomi NPP (13:30, 01:30)
2017- NOAA-20 (13:30, 01:30)



(a) CERES-EBAF



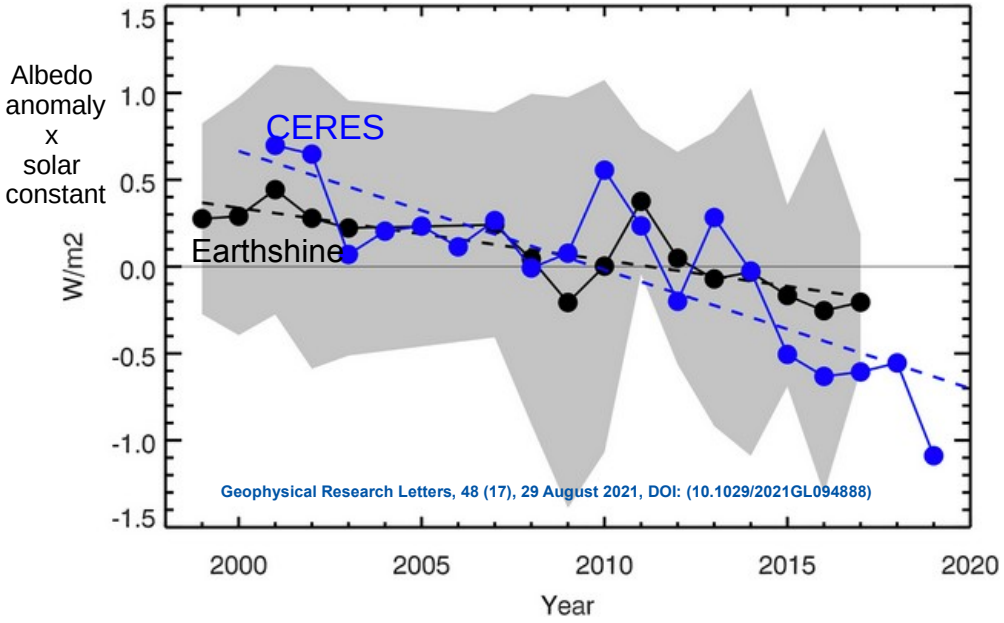
Wm^{-2}/decade

問題2: この衛星観測に欠点があるとしたらどういうことか?

問: 0.7 W/m2の正味放射のインパクトを見積もろう。地球の全表面に深さ1 mのプールを作ったとしたら, その水は0.7 W/m2の正味放射によって, 1年間で何℃くらい温まるか?

衛星とは別の観測でクロスチェック

地球照（太陽光が地球に反射してそれが月で反射して地球に戻って来た光）で観測した地球の反射率（アルベド）



Geophysical Research Letters

Research Letter | Open Access

Earth's Albedo 1998–2017 as Measured From Earthshine

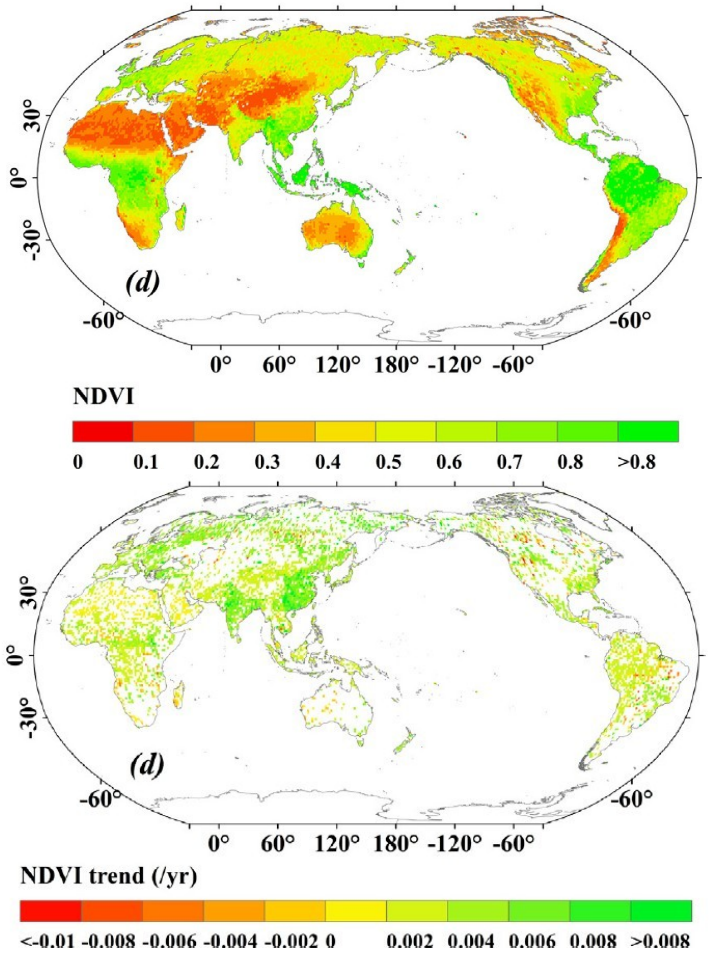
P. R. Goode, E. Pallé, A. Shoumko, S. Shoumko, P. Montañes-Rodriguez, S. E. Koonin

First published: 29 August 2021 | https://doi.org/10.1029/2021GL094888

問題: なぜアルベドが低下しつつあるのだろう?

問題: それを知るにはどういう計測が必要・有用だろう?

衛星で観測した世界の植生の増減



NDVI for 2001 to 2020. Only the trends that are significant at $p < 0.05$

ELSEVIER

Available online at www.sciencedirect.com

ScienceDirect

Advances in Space Research 70 (2022) 324–335

ADVANCES IN SPACE RESEARCH (a COSPAR publication)

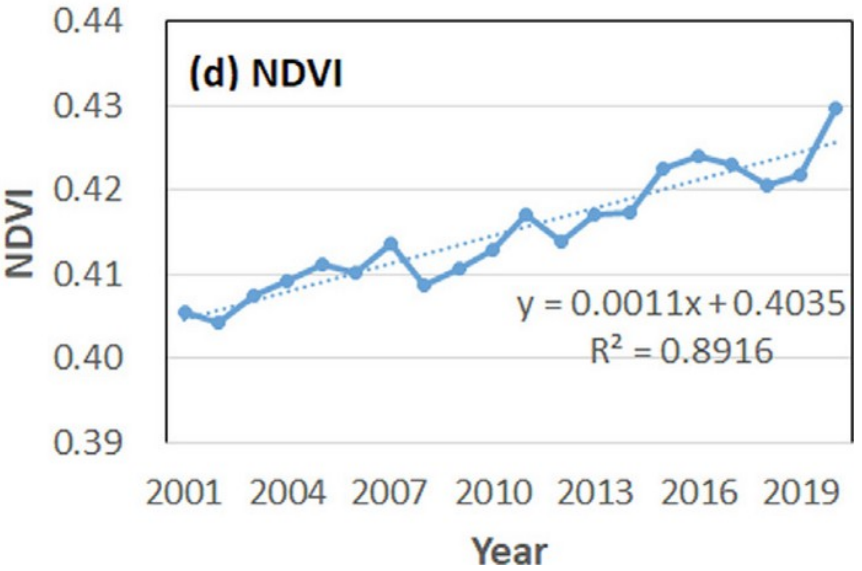
www.elsevier.com/locate/asr

Vegetation change enhanced the positive global surface radiation budget

Huihui Feng [a,b], Jian Xiong [a], Shuchao Ye [c], Bin Zou [a,b], Wei Wang [a,b,*]

[a] School of Geosciences and Info-Physics, Central South University, Changsha 410083, China
[b] Key Laboratory of Metallogenic Prediction of Nonferrous Metals and Geological Environment Monitoring of Chinese Ministry of Education, Changsha 410083, China
[c] Department of Land Surveying and Geo-Informatics, Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China

Received 11 February 2022; received in revised form 10 April 2022; accepted 14 April 2022
Available online 22 April 2022



→ ここ約20年で世界的に植生が増えている!!

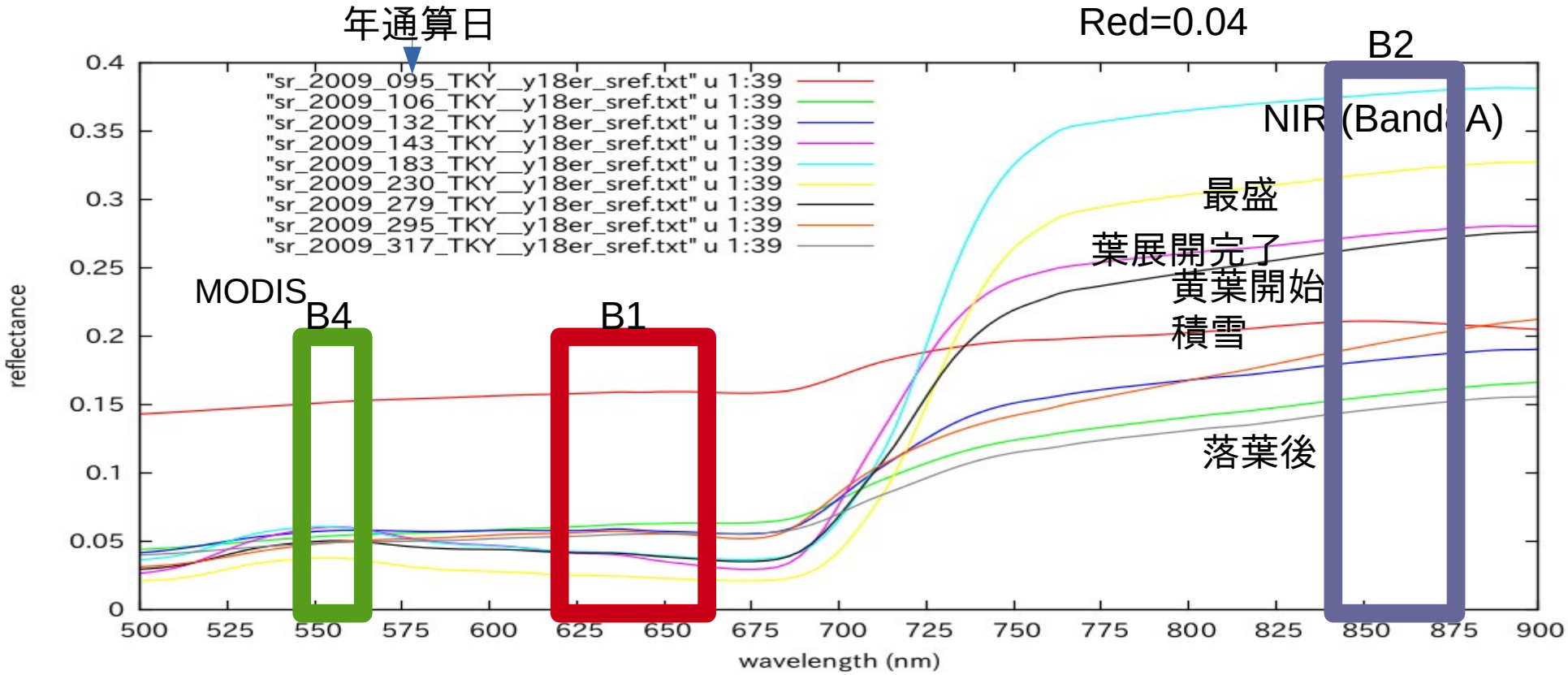
問: 植生は世界的に増えていると実際思うか?

問: 植生が増えるとアルベドはどうなるか?

植生の分光アルベド（波長ごとの反射率）

NDVI = (NIR-Red)/(NIR+Red)

NIR=0.35
Red=0.04



2009, 岐阜大学高山試験地, 落葉広葉樹(ミズナラ･ダケカンバ),
地上自動連続分光測定

衛星で観測した世界の植生の増減

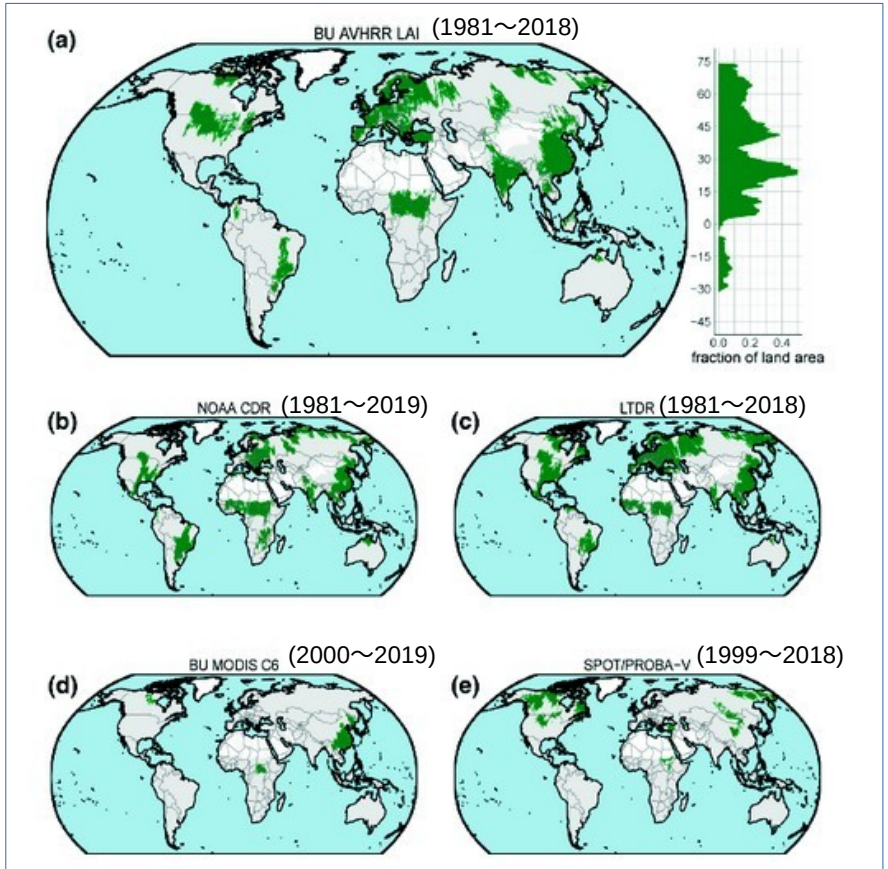


Figure 1. Significant LAI trends in each of the datasets, using the Mann-Kendall trend test, after correcting for multiple hypothesis testing. Green indicates a significant increasing trend at $\alpha = 0.10$. No browning is detected. Grid cells with no statistical significance are shown in gray. No hypothesis test performed for grid cells in white (barren land). Blue represents water. The distribution of significant greening by latitude is shown for BU AVHRR LAI. LAI, leaf area index.

AGU ADVANCING EARTH AND SPACE SCIENCE

Geophysical Research Letters

RESEARCH LETTER
10.1029/2020GL091496

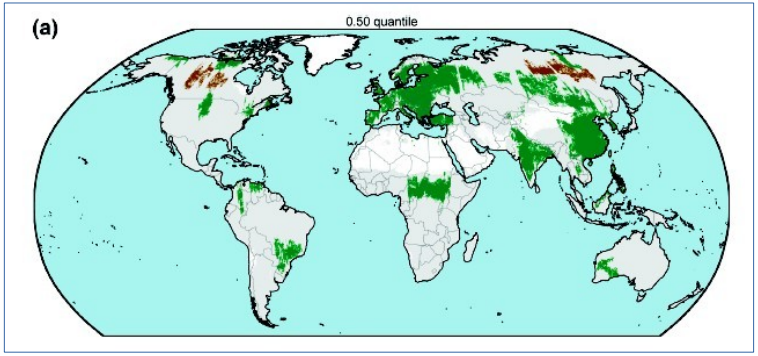
Where Are Global Vegetation Greening and Browning Trends Significant?

José Cortés[1,2], Miguel D. Mahecha[2,3,4], Markus Reichstein[2], Ranga B. Myneni[5], Chi Chen[5], and Alexander Brenning[1]

[1]Department of Geography, Friedrich Schiller University, Jena, Germany, [2]Max Planck Institute for Biogeochemistry, Jena, Germany, [3]Remote Sensing Centre for Earth System Research, Leipzig University, Leipzig, Germany, [4]Remote Sensing Centre for Earth System Research, Helmholtz-Centre for Environmental Research, Leipzig, Germany, [5]Department of Earth and Environment, Boston University, Boston, MA, USA

Key Points:

- Many studies have consistently reported on global greening trends, but repeatedly without rigorous significance testing
- Although global greening has been overestimated, significant greening can still be rigorously detected
- We observe an increase in the seasonal amplitude of leaf area index around the glob



↑検定を入念にやった場合（茶色が「減少」）

→ ここ約40年で世界的に植生が増えている!!

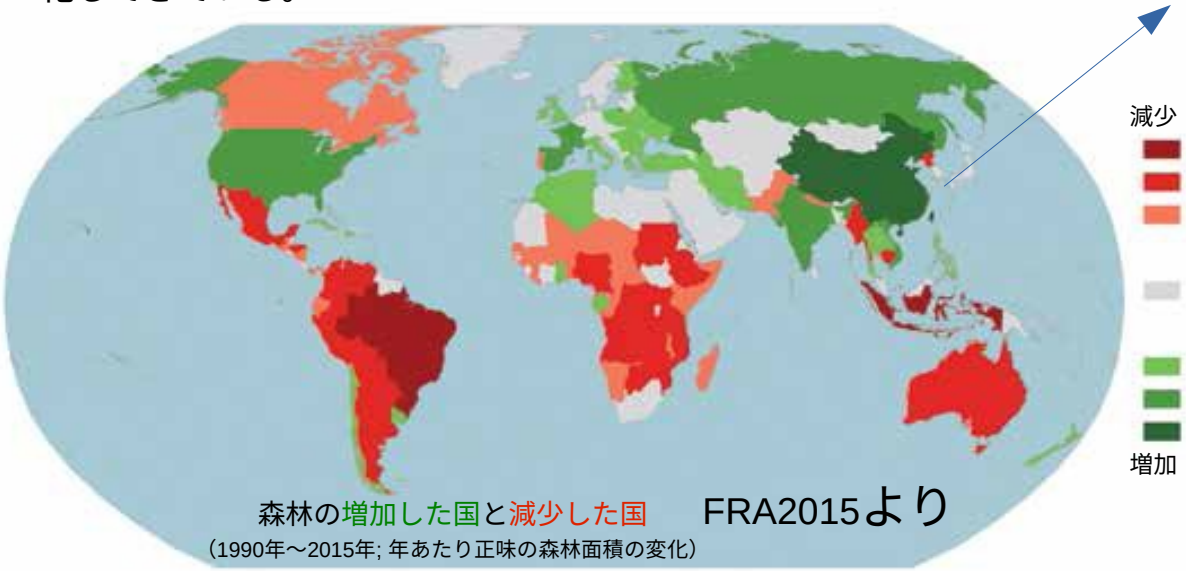
疑問: 衛星データの品質はOKか?（特に雲）

疑問: 衛星が違うと結果が違って見えるが?

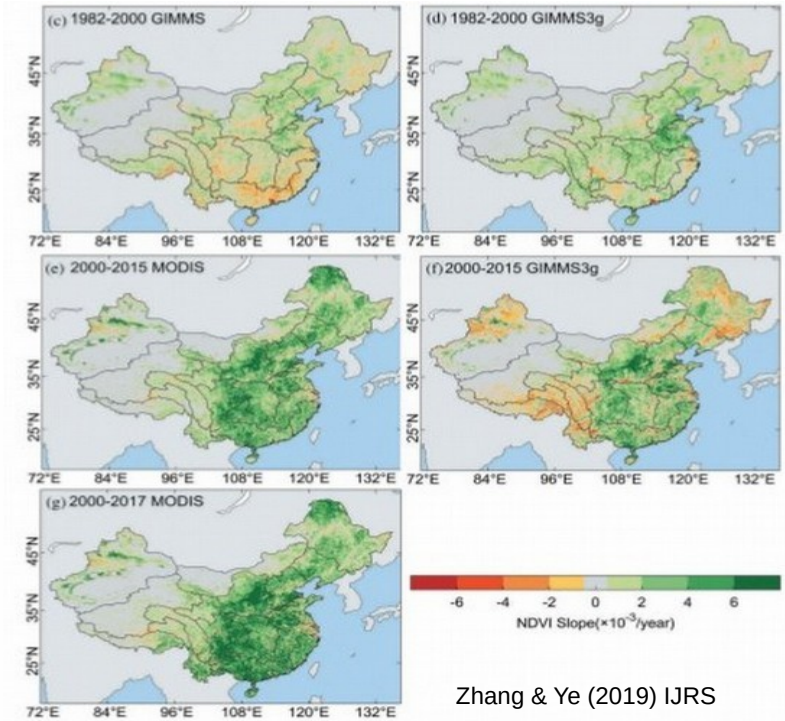
世界森林資源評価 Global Forest Resources Assessment（FRA2020）

… 各国の森林統計資料の集約

“世界の森林面積は2010年から2020年の間に世界全体で年平均470万ha減少。1990年から2000年の間の森林が純減する速度は年平均780万haであり、森林が純減する速度は低下傾向にあるが、減速ペースは鈍化してきている。”



森林の増加した国と減少した国　FRA2015より
（1990年～2015年; 年あたり正味の森林面積の変化）



Zhang & Ye (2019) IJRS

Figure 7. Slope in NDVI for mainland China, 1982–2017.

特に中国で激増中。その他の国も, 経済発展が進むと植生は増加に転じるらしい。

各国で調査法や基準がバラバラ。
衛星で確認が必要。

問1: 森林（植生）は本当に増えているのか?
問2: どういう計測をしたら確認できるのか？