

# インドネシア全土 20 年間の植生指数の変化

## —地球環境問題への示唆—

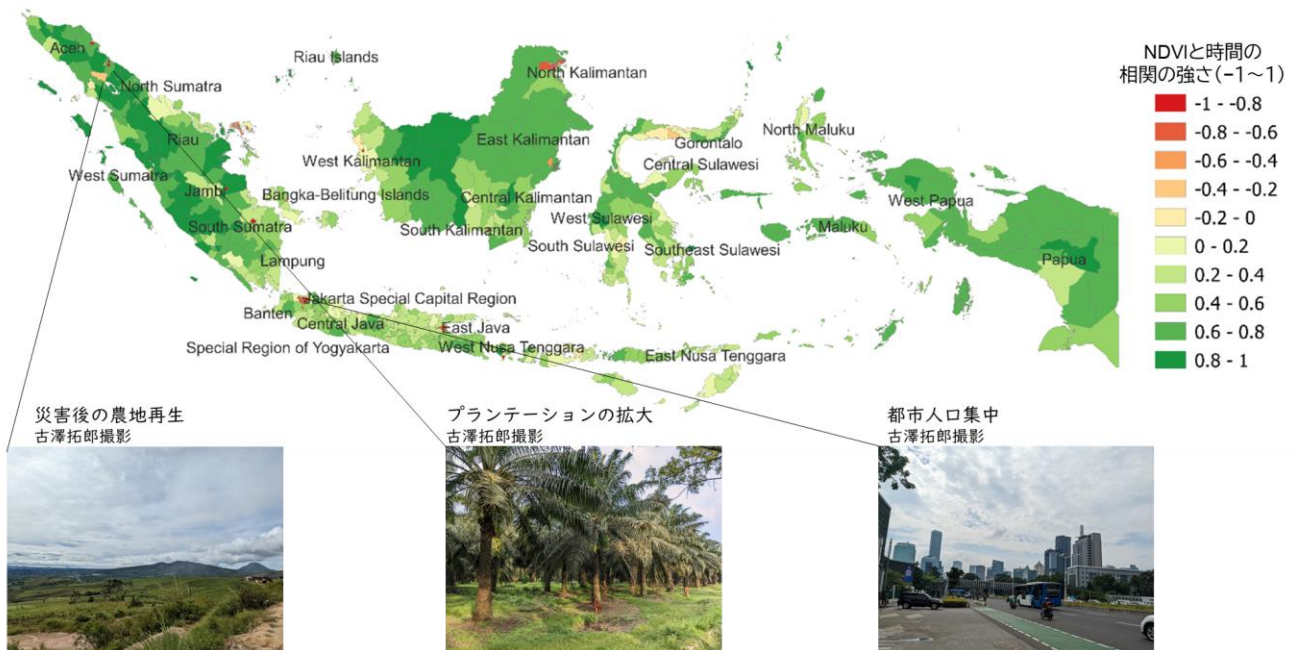
### 概要

世界有数の熱帯林と生物多様性を持つインドネシアの植生減少が世界的に懸念されていますが、一部で植生が増加したという指摘も出ています。京都大学大学院アジア・アフリカ地域研究研究科古澤拓郎教授、同松平一成特任助教、株式会社パスコ衛星事業部古恵良拓哉氏、同石岡義則氏、北スマトラ大学数理自然学部リクソン・シブリアン教授、ガジャマダ大学文学部アグン・ウィチャクソノ講師のグループは、インドネシア全土という広域を対象に、20年間という長期間にわたり、高い時間分解能と、細かい行政単位で、一貫性のある地球観測データを分析するという包括的な大規模分析を実施し、その結果都市を除いた、ほぼ全ての県で植生指数 (NDVI)[1]が増加していることを明らかにしました。フィールドワークと統計資料によるさらなる分析から、人口都市集中、農林業の拡大、森林保護の推進が、その主要因であると考えられました。この植生増加が、自然回復や二酸化炭素吸収源の増加につながるかは、さらなる研究が必要ですが、本研究は地球環境問題に取り組む機関や研究者にとって貴重な情報源となります。

本成果は、2023年5月23日に国際学術誌「*Scientific Reports*」にオンライン掲載されました。

### 時間経過と植生指数増減との相関の強さ (緑色が増加)

16日ごとの衛星観測値から季節周期や観測誤差を取り除いた結果



## 1. 背景

インドネシア（面積＝約 192 万平方キロメートル、人口＝約 2.7 億人）は世界有数規模の熱帯林と生物多様性を持つ国であり、その森林減少と生態系劣化は世界的な懸念事項です。その一方、一部地域の研究では、荒地をアブラヤシプランテーションにすることや、農地に植林をすることで植生が増加しつつあるという報告もあり、加えてインドネシア政府も森林保護政策を進めています。しかし、インドネシア全体の傾向については明らかになっていませんでした。広域を一貫した基準によって、長期間にわたって分析する研究が必要になっていました。

本プロジェクトは、一地域における土地利用の変化や気候変動が、伝統的な暦や生業に及ぼす影響や、気候変動が異なる島々に及ぼす影響を調べる中で、気候条件に関わりなく植生が増加傾向にあることが分かったことがきっかけとなり、国際的な産学連携の研究グループを形成してより大規模な研究に取り組みました。

## 2. 研究手法・成果

米国の地球観測衛星から生成された MODIS（Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer）の正規化差分植生指数（NDVI）のデータ（MOD13Q1）は、ほぼ毎日全地球を観測し、それを欠損値補正などして 16 日毎に 250 メートル四方の解像度で、観測値をまとめたものです。全インドネシアをカバーするためには毎時点 12 枚の画像が必要であり、それを 2001 年 1 月 1 日から 2020 年 12 月 19 日まで 460 時点分、合計 5520 枚ダウンロードしました。それを、インドネシアの全都市・県である 513 の自治体毎に分け、さらに雲に覆われたピクセルなどを除き、各時点各自治体の植生指数を算出しました。そして、状態空間モデル[2]という時系列解析の手法を用いて、季節周期などを除いて、長期間の傾向（トレンド）を求めました。その結果、2001 年と 2020 年を比べると 90.3%の自治体で植生指数は増加していました。さらに、そのような増加が、たまたま 2020 年に植生が活性化していたのではないことを確かめるために、増加と時間との相関関係を分析したところ、86.2%の自治体で有意な相関関係、つまり時間に対して一貫した植生指数の増加があることが分かりました。逆に、一貫して減少していたのは 8.4%の自治体であり、残る 5.5%の自治体は有意に一貫した傾向はみられませんでした。なお有意に一貫した減少があった自治体は都市であり国土に占める面積は 0.9%相当であり、増加した自治体は国土の 97.1%に相当しました。

さらに、各自治体の人口・経済統計や、州レベルの長期的な降水量変化が、このような植生指数増減に影響したかを調べたところ、高人口密度や、もともとの気候、地域の違い、GDP に占める農林水産漁業の割合などが要因として現れました。降水量の変化や、災害などは、一時的な変化に影響するものの、長期的な影響は見られませんでした。

これらのことから、都市では人口集中による植生減少がみられるものの、国土の大半を占める農村地域では、農業・林業や森林保護等という人間の要因により、植生指数が増加したと考えられました。

## 3. 波及効果、今後の予定

この研究手法は、植生指数によって全インドネシアを調べましたが、この指数は天然林と人工林やプランテーションを区別しないため、天然林が回復したことを示すものではありません。また、必ずしも植物の生物量（バイオマス）を測るものでもないため、二酸化炭素吸収源が増加したと断定するものでもありません。

それでも、高い時間解像度で長期間の植生被覆を一貫して分析する初めての研究から出された結果は重要です。私たちの研究成果は、インドネシアや世界の環境問題に取り組む機関や研究者にとって貴重な情報源となります。今後もより詳細な分析や関連するテーマの探求を行い、持続可能な発展に資する研究を行ってまいります。

#### 4. 研究プロジェクトについて

このプロジェクトは、京都大学と株式会社パスコ、およびインドネシアの北スマトラ大学とガジャマダ大学の研究者による共同研究として実施されました。

競争的資金としては、以下を使用いたしました。

科研費・挑戦的研究(萌芽)「アジアの伝統暦法は「異常気象」を予測できるか」(京都大学) 19K21663

科研費・基盤研究(A)「オセアニアの海面上昇と適応策が地域にもたらす影響解明と社会への将来シナリオの提示」(京都大学) 20H00045

##### <用語解説>

1. 植生指数 (NDVI) : 衛星データの可視域赤と近赤外域の値から算出し、植物が反射する光の特徴をとらえるもので、植物の量や活性などを反映します。
2. 状態空間モデル: 時間経過とともに変化するデータに用いられる分析手法であり、観測値から水準の変化、季節による周期的変化、観測誤差などを算出できます。

##### <研究者のコメント>

もともとは、インドネシアの一地方における植生の変化と、伝統暦や暮らしについての研究でした。フィールドワークから生まれたアイデアが、共同研究になり、世界的に重要な研究に育ちました。パンデミック期であっても、衛星画像解析や大規模データ解析を取り入れることで、有意義で新しい東南アジア地域研究が実施できました。(古澤拓郎)

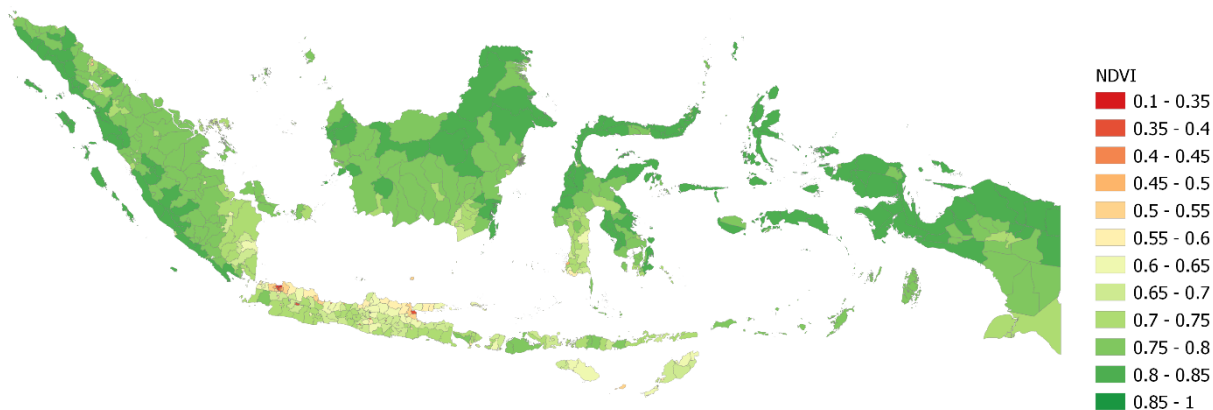
##### <論文タイトルと著者>

タイトル: Time-series analysis of satellite imagery for detecting vegetation cover changes in Indonesia (インドネシアにおける植生被覆変化検出のための衛星画像時系列解析)

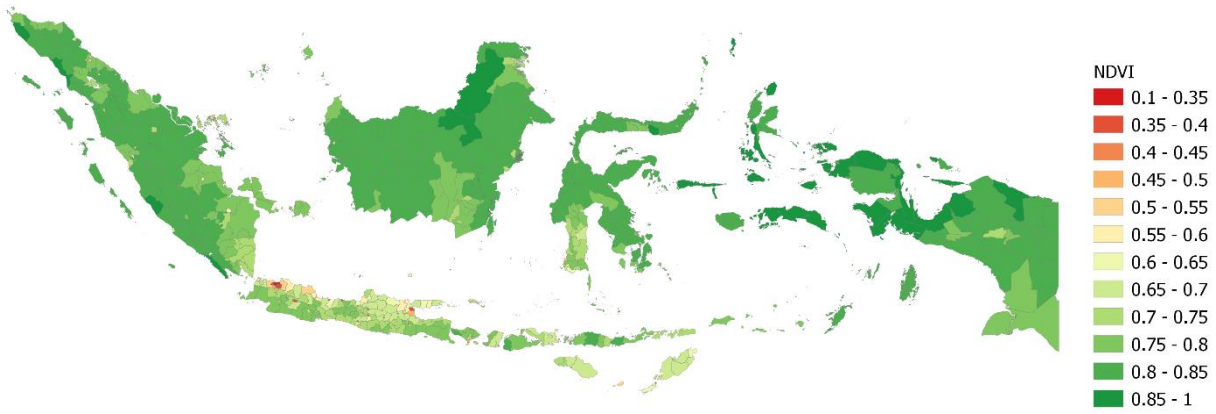
著者: Takuro Furusawa, Takuya Koera, Rikson Siburian, Agung Wicaksono, Kazunari Matsudaira & Yoshinori Ishioka

掲載誌: *Scientific Reports* 13, 8437 (2023) DOI: [doi.org/10.1038/s41598-023-35330-1](https://doi.org/10.1038/s41598-023-35330-1)

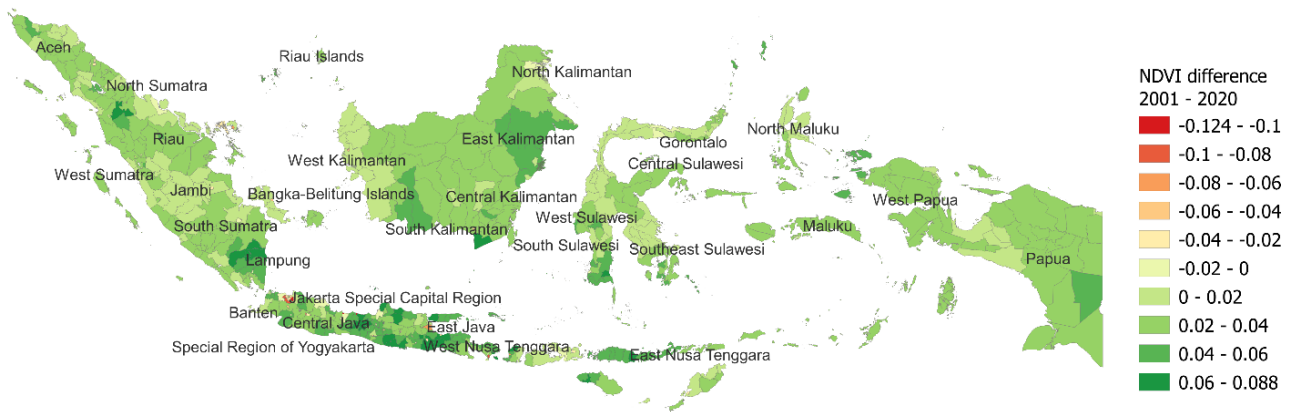
##### <参考図表>



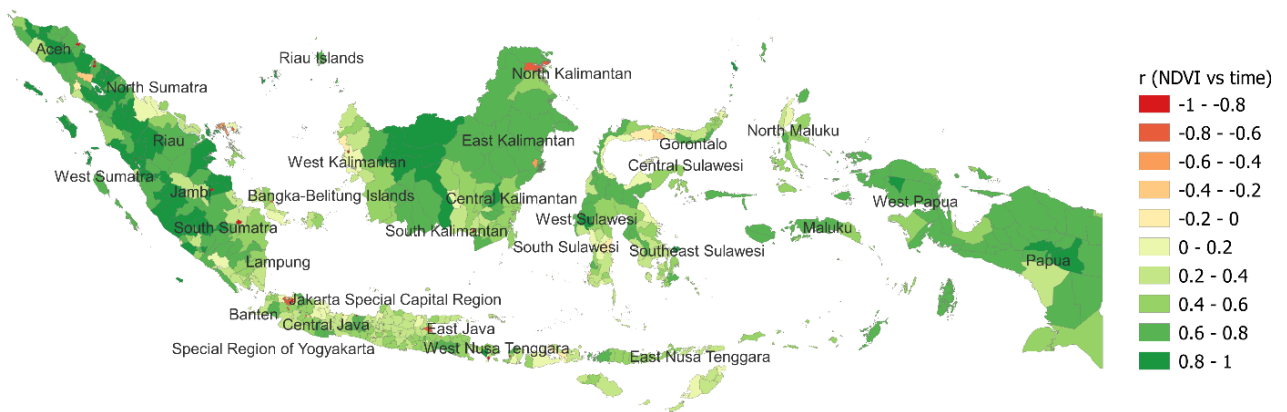
2001年のNDVI 平均値



2020 年の NDVI 平均値



2001 年から 2020 年までの NDVI 増減量（緑色が増加）



NDVI 増減の一貫性（緑色が増加）