

# 熱帯泥炭地は温室効果気体の巨大排出源である

～排出量推定法の開発と排出削減への貢献～

## ポイント

- ・ 広大な熱帯泥炭地における二酸化炭素とメタンの排出量マップの月単位での作成に成功。
- ・ 湿地林の農地開発や干ばつによる排出量の変化を解明。
- ・ 土地利用や農地管理の適正化による排出量削減の進展に期待。

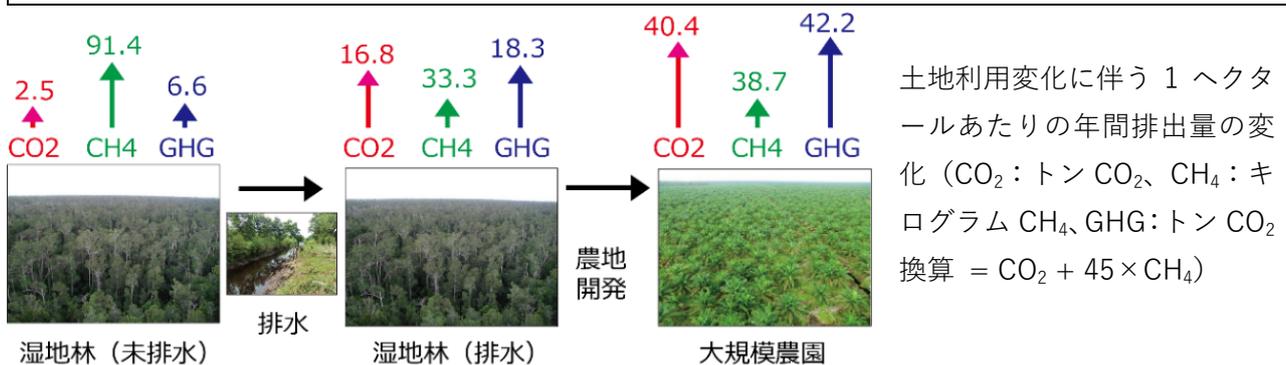
## 概要

北海道大学大学院農学研究院の平野高司教授らの研究グループは、東南アジアの低平地に広がる熱帯泥炭地（18万 km<sup>2</sup>）からの温室効果気体（GHG = 二酸化炭素（CO<sub>2</sub>） + メタン（CH<sub>4</sub>））の排出量を推定し、詳細な分布図（空間分解能 463 m）を月単位で作成することに世界で初めて成功しました。

東南アジアに広がる泥炭地は湿地林と共生してきました。地下水位が高いため枯死木の分解が遅く、膨大な量の有機炭素を泥炭として地中に蓄えてきましたが、近年の大規模農地開発で地下水位が低下して泥炭分解が進み、大量の CO<sub>2</sub> が排出されるようになりました。エルニーニョ現象による干ばつ時には CO<sub>2</sub> 排出量が更に増加します。一方、CH<sub>4</sub> 排出量は地下水位の低下によって減少します。

先行研究では、土地利用ごとに一定の排出係数（単位面積当たりの年間排出量）を適用して、泥炭からの CO<sub>2</sub> と CH<sub>4</sub> の排出量の年間値のみを推定しています。それに対して本研究では、公開されている降水量マップから地下水位マップを作成し、さらに 11 か所の観測地点の実測値を基に作成したモデルを用いて地下水位から月単位で排出量マップを作成しました。得られた排出量は、樹木の光合成による CO<sub>2</sub> 吸収などを含んでおり、生態系スケールでの正味の排出量になります。10 年間の推定結果から、1) 泥炭の分解により湿地林と農地から日本の年間排出量の約 30% に相当する GHG が排出されている、2) 未排水の湿地林が排水され、さらに農地に転換されることで GHG の排出量がそれぞれ 2.8 倍、6.4 倍に増加する、3) 干ばつにより排出量が 16% 増加することを明らかにしました。

なお、本研究成果は、2025 年 12 月 16 日（火）公開の AGU Advances 誌にオンライン掲載されました。



## 【背景】

インドネシアとマレーシアを中心とした東南アジアの島しょ部の低平地には広大な泥炭地が存在しており、湿地林と共存してきました。地下水位が高いため土壤中の酸素濃度が低く、枯死した樹木の分解が遅いため、膨大な量の有機炭素（66～70 ギガトン）が泥炭として地中に蓄えられています。しかし、近年、大規模な農業開発による地下水位の低下によって土壤中の酸素濃度が上昇したため泥炭の分解が速まり、大量の CO<sub>2</sub> が排出されていると考えられています。さらに、数年おきに発生するエルニーニョ現象が引き起こす干ばつによっても地下水位が低下し、CO<sub>2</sub> 排出量が急増します。一方、酸素濃度の上昇は土壤中で発生する CH<sub>4</sub> の酸化を促進するため、CH<sub>4</sub> の排出量は減少します。なお、単位質量当たりの温室効果を比較すると、CH<sub>4</sub> は CO<sub>2</sub> の数十倍になります。

熱帯泥炭地における CO<sub>2</sub> と CH<sub>4</sub> の排出量に関する先行研究はいくつかありますが、それらは IPCC（気候変動に関する政府間パネル）が定めた土地利用ごとの排出係数（単位面積当たりの年間排出量）を用いて年間値を推定したもので、泥炭からの排出量のみを対象にしているため、光合成による CO<sub>2</sub> 吸収や樹木からの CH<sub>4</sub> 放出などは含まれていません。なお、温度の季節変化が小さい熱帯泥炭地では、CO<sub>2</sub> と CH<sub>4</sub> の排出量は主に地下水位に依存することが知られていますが、これまでの研究では対象地域全体で同じ排出係数を適用しており、降水量の地域的な変化に伴う地下水位の変動が考慮されていませんでした。

## 【研究手法】

本研究では、生態系スケールでの CO<sub>2</sub> と CH<sub>4</sub> の正味の排出量を、地下水位の空間的、また時間的な変動を考慮して推定することに世界で初めて成功しました。

研究エリア（スマトラ島、ボルネオ島、マレー半島；泥炭地の総面積は 18 万 km<sup>2</sup>）の 11 地点（図 1）の地下水位と渦相関法<sup>\*1</sup>で観測された生態系と大気間の CO<sub>2</sub> と CH<sub>4</sub> の正味の交換量（生態系スケールでの正味の排出量に相当します）のデータを利用しました。生態系スケールでの観測結果なので、樹木の光合成なども含まれています。

まず、公開されているデータを用いて研究エリア内の泥炭地をマップ化し、さらに独自に作成した土地利用図（森林、大規模農地など）と公開されている排水路情報を用いて、泥炭地を未排水の湿地林、排水された湿地林、農地（大規模農地＋小規模農地）に分類しました。土地利用ごとに、降水量と地下水位の関係をモデル化し、JAXA（宇宙航空研究開発機構）が公開している降水量マップ（GSMaP）から 2011～2020 年の各月の地下水位マップを作成しました。さらに、地下水位と温室効果気体（GHG）排出量の関係をモデル化し、地下水位マップから排出量マップを作成し、地域別、土地利用別、干ばつの有無などで排出量を集計しました。

## 【研究成果】

公開されている降水量マップから、地下水位及び CO<sub>2</sub> と CH<sub>4</sub> の生態系スケールでの正味の排出量の空間分布を 1 か月単位で推定する方法を世界で初めて開発しました。また、10 年間の推定結果から、1) 泥炭の分解により、総面積 12 万 km<sup>2</sup> の湿地林と農地から日本の年間排出量の約 30% に相当する大量の GHG が排出されていること（図 2）、2) 未排水の湿地林が排水され、さらに農地に転換されることで、GHG の排出量（CO<sub>2</sub> 換算）がそれぞれ 2.8 倍、6.4 倍に増加すること、3) エルニーニョ現象によって生じる干ばつにより排出量が 16% 増加すること（図 2）を明らかにしました。

## 【今後への期待】

本研究で開発された手法は、降水量の時間的、空間的変動を反映したものであり、従来の方法に比べて推定結果の信頼性は高いと考えられます。また、10 年間の結果から、インドネシアとマレーシアの州ごとに生態系スケールの排出量の 1) 10 年間の平均値、2) 通常年（7 年間）の平均値、及び 3) 干ばつ年（3 年間）の平均値を示しており、これらは排出量の見積もりにおける信頼性の高い排出係数として利用可能です。したがって、本研究の成果は、土地利用や農地管理の適正化を促進し、排出量削減に貢献することが期待されます。なお、東南アジアの泥炭地では干ばつ年に大規模な火災が発生し、大量の GHG が排出されます。本研究では火災に伴う排出量は対象にしていませんが、そちらの推定にも取り組

んでいます。

### 【謝辞】

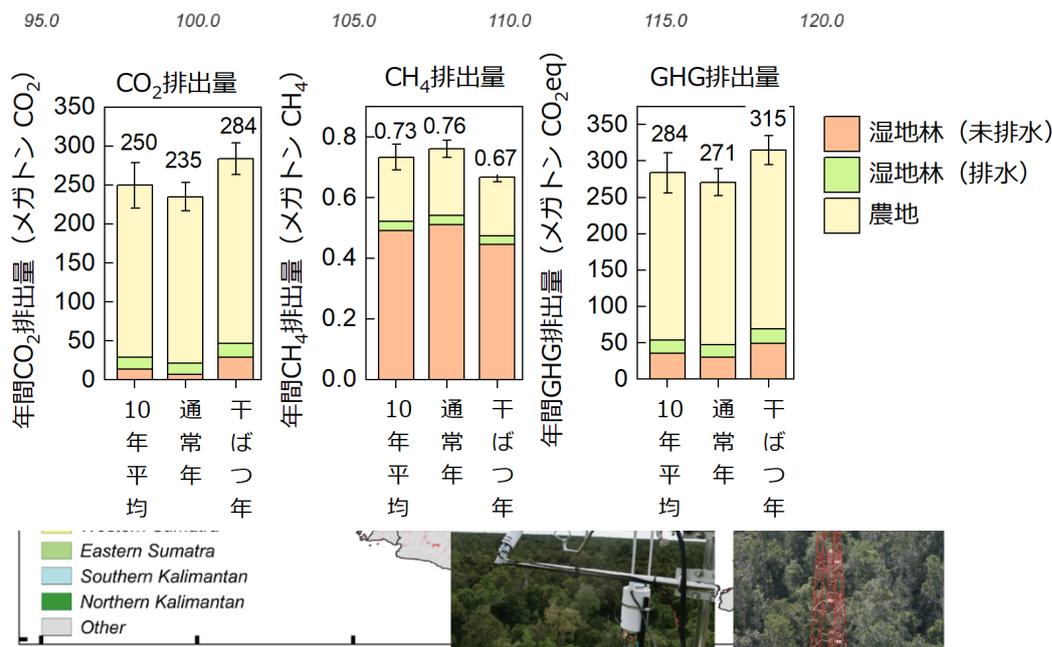
本研究は JSPS 科研費 JP19H05666 の助成を受けたものです。

### 論文情報

|     |   |
|-----|---|
| 論文名 | Impact of land use change and drought on the net emissions of carbon dioxide and methane from tropical peatlands in Southeast Asia (東南アジアの熱帯泥炭地における二酸化炭素とメタンの正味放出量に与える土地利用変化と干ばつの影響)  |
| 著者名 | 平野高司 <sup>1</sup> 、白石知弘 <sup>2</sup> 、平田竜一 <sup>3</sup> 、林 真智 <sup>3,4</sup> (研究当時)、Chandra Shekhar Deshmukh <sup>5</sup> 、Lulie Melling <sup>6</sup> 、Bettycopa Amit <sup>7</sup> 、伊藤雅之 <sup>8</sup> 、加藤知道 <sup>1</sup> 、Frankie Kiew <sup>6</sup> 、Sofyan Kurnianto <sup>5</sup> 、Kitso Kusin <sup>9</sup> 、Nardi Nardi <sup>5</sup> 、Nurholis Nurholis <sup>5</sup> 、Tiara Nales Nyawai <sup>7</sup> 、Elisa Rumpang <sup>7</sup> 、坂部綾香 <sup>10</sup> 、Ari Putra Susanto <sup>5</sup> 、Joseph Wenceslaus Waili <sup>6</sup> 、Guan Xhuan Wong <sup>6</sup> ( <sup>1</sup> 北海道大学大学院農学研究院、 <sup>2</sup> 日本文理大学工学部、 <sup>3</sup> 国立環境研究所、 <sup>4</sup> 宇宙航空研究開発機構地球観測研究センター、 <sup>5</sup> Asia Pacific Resources International Ltd.、 <sup>6</sup> Sarawak Tropical Peat Research Institute、 <sup>7</sup> Malaysian Palm Oil Board、 <sup>8</sup> 京都大学生存圏研究所、 <sup>9</sup> University of Palangkaraya、 <sup>10</sup> 京都大学農学研究科) |
| 雑誌名 | AGU Advances (アメリカ地球物理学連合 (AGU) 出版の地球物理学の専門誌)   |
| DOI | 10.1029/2025AV001861  |
| 公表日 | 2025年12月16日(火) (オンライン公開)  |

### 【参考図】

図 1. 研究対象エリアの地図と 11 か所の観測タワーの位置 (白丸)。地図中の赤い部分が泥炭地。



右側の写真は観測タワー、左側の写真はタワーに取り付けられた観測機器。

図 2. 研究対象エリアからの CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、GHG の年間排出量の比較：10 年平均、通常年の平均 (7 年間)、干ばつ年の平均 (3 年間)。

### 【用語解説】

\*1 渦相関法 … 地表付近の大気乱流の渦による大気中の物質 (CO<sub>2</sub> など) の鉛直輸送量を、鉛直方向の風速と物理量の変動の共分散から直接測定する手法のこと。主に、森林などの生態系と大気の間で交換される CO<sub>2</sub> の単位面積・時間あたりの輸送量 (フラックス) を測定するための標準的方法。