

森林・泥炭火災からの 大規模な二酸化炭素排出量計測

川崎 昌博
総合地球環境学研究所
京都大学

はじめに

地球温暖化をもたらす二酸化炭素(CO₂)の現在の
大気混合比は400ppmですが、年間2.0ppmのペースで増
加しています。このため今後20年には平均地上温度が0.4
度上昇し、世界中の食料供給、インフラ、健康、水資源、
沿岸システム、地球規模の生物地球化学的サイクル、氷
床、海洋及び大気の循環モードなどが変化し、気候変動
が引き起こされ、人類に影響を与えると予想されています。

化石燃料を起源とするCO₂が毎年330億トンも大気に
排出されている現状に対応するには、何らかの方策で排
出量を減らすことが急務であることはよく知られていま
す¹⁾。しかし、この排出量330億トンには森林火災、森
林伐採と森林減少後に残る地上バイオマスの腐朽、泥炭
火災及び干上がった泥炭土から発生するCO₂は含まれて
いません。自然起源CO₂は自然再生による炭素再固定が
あるので、統計上はCO₂排出とはみなさないからです。

2016年のCO₂総排出量の多い国順は、中国を1位と
して米国、インド、…日本(5位)、…インドネシア(10
位)です。しかし、人為起源と自然起源を足したインド
ネシアの総排出量は世界第3位であり、日本の年間12億
トンを超える20億トンに達すると推定されています²⁾。
その原因の一つは、CO₂換算1500億トンの炭素源であ
る森林・泥炭地の乾季における大規模な火災であり、そ
の排出量は年間5億トンと推定されます。数千年かけて
地下に蓄積した泥炭の火災は化石燃料燃焼と同様に回復
できない炭素放出です。この地下火災に加え、泥炭層が
乾燥すると泥炭が分解して年間3億トンのCO₂を放出す
るので、泥炭地からのCO₂排出量は合計年間8億トンと



現地カウンターパートと内藤氏とともに(中央が執筆者)

なります。

森林・泥炭火災を防ぐのに最も実効性があり、かつコ
ストが一番低い方策は、多数の小型貯水池を森林・泥炭
地に建設して地下水位を乾季でも高めることです。現地
の人手や現場の木材などを利用することで、現地雇用を
生み出す効果も期待できますが、その経費はインドネシ
アだけでは負担できないので国際協力が必須です。この
国際協力を実現するためには、その前提となるCO₂排出
量を正確に計測し、発生量を抑える技術援助プログラム
構築が不可欠です。また火災起源の煙はインドネシアか
ら遠く離れたフィリピンまで広がり、現地の人々の生活・
健康に支障をきたしているため、その防止はアジア地域
環境を保全するのに必須となっています。

温室効果ガスの計測

米国ハワイ州マウナロア山でのCO₂濃度観測データは、
冬夏の季節による上下を繰り返しながら右肩上がりです

昇しています。このような厳密な地上観測は、装置が大型であり観測ステーションは世界中でも限られており、また極寒・高温多湿などの過酷な条件下での観測ステーション維持は難しいのが現状です。簡便な装置を使えば、CO₂排出量のより正確な分布測定が世界各地で実施でき、将来予測モデル計算の精度がさらに向上します。つまり、世界中の多数の地域において大気中の温室効果ガスのカラム密度（注1）を計測するためには、多数の拠点による温暖化ガス計測ネットを構築でき、過酷な気象条件下でもインターネット制御のもとで無人で観測できる計測器が必要になります。その一例を図1に示します。これは光ファイバー技術を利用して我々が製作したもので、太陽光を望遠鏡で集め、太陽光スペクトル中のCO₂吸収線強度からカラム密度を計測するものです。



図1 太陽光近赤外スペクトル中のCO₂吸収線強度からCO₂カラム密度を計測する装置。背景に比叡山がうっすらと見えている。

温室効果ガスの発生量と大気濃度計測

温室効果ガスの排出インベントリは、発生源での個々の発生量を積み上げる原単位積上方式により作成されています。先進国では人為発生量の算出に必要な原単位や発生箇所数などの統計データが整備されており、積上方式の誤差は小さいです。一方、途上国などでは統計デー

タが十分整備されておらず、原単位も標準値を使っているケースが多く、さらに、事実と異なる政治的な改変も指摘されています。先進国を含め広く薄く分布する農業関連の発生量や、調査がしにくい化石燃料採掘や輸送にかかわる発生量、森林・泥炭火災など突発的な発生量などでは、誤差が30~50%程度あると考えられ、これらの誤差の低減とデータ透明性の向上による排出削減を実現することは、地球温暖化予測における重要な課題の一つです。これらの問題に対応するため、人為発生や森林の炭素収支推定において、原単位積上方式による見積に加えて、大気濃度の観測から発生量を見積もることが望ましいのです。

森林・泥炭火災による温室効果ガスの発生

赤道直下の熱帯にあるインドネシア・中央カリマンタンでは、泥炭地を稲作農地とするプロジェクトが失敗し、夏季に乾燥化した地中の泥炭火災が森林火災に伴って発生します。その煙はシンガポール・タイ・フィリピンまで届き、空港閉鎖などの事態となる国際問題にまで至っています。実際に大きな森林・泥炭火災があった年には地球全体の大気中のCO₂濃度が急激に上がっています。これらの年はエルニーニョによる森林火災発生率が上がり、他の地域でも炭素放出が多かった可能性もありますが、インドネシアの森林火災がその原因の一部だろうと考えられます。

さて、泥炭層は保水性に富むため乾季でも自然の状態では着火しにくいのですが、カリマンタンの泥炭地では、メガライスプロジェクトと呼ばれる農業開発と、それに伴う20万人の移民政策で、泥炭地である湿原に排水溝を建設し農地転換を図った歴史があります。しかし、酸性土壌・貧栄養という土質のため農業は失敗し、現在は一部の土地で乾燥土壌を好むヤシからヤシ油の生産がおこなわれています。そのヤシ油生産地域をふくむ農業地域では灌木や雑草を除去するため乾季に入火を行っており、それが乾燥化の進んだ農業放棄地での大規模な火災の原因となっているのです。

火災を防ぐには火種となる焼き畑を禁ずるのが一つの方法です。既に、インドネシア政府により禁止措置が取られているにも関わらず、有効性を持っていない現実があります。そこで、最も実効性のある方法は、多数の小型貯水池を建設して泥炭地の水位を乾季でも高めることです。熱帯地方は雨期には大量の降水があり、泥炭地は

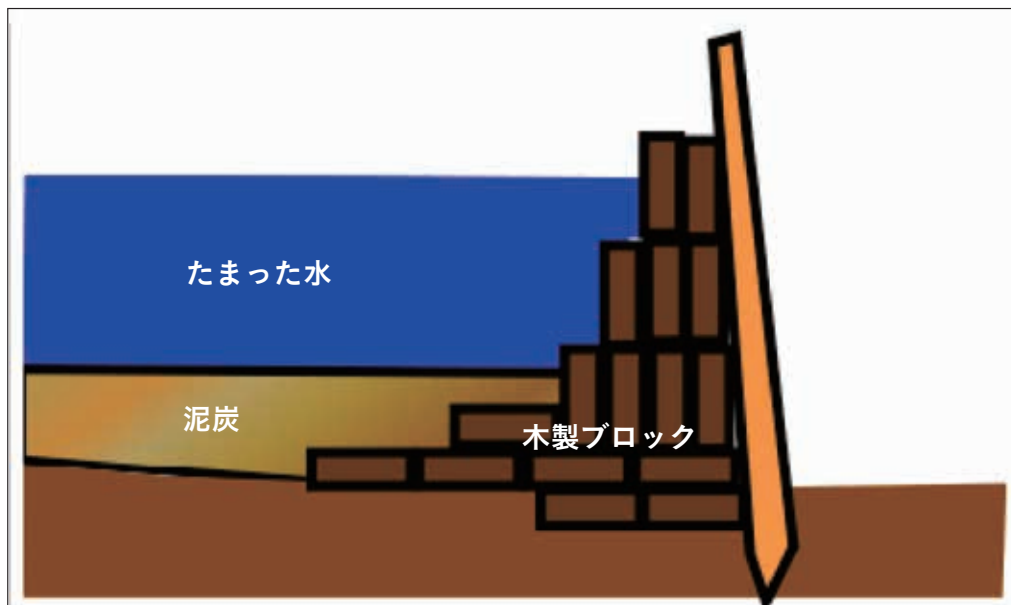


図2 小規模な貯水池の模式図。ピートにわずかな量の重合ポリマーを添加し圧縮形成したブロックを現地調達して建設する。



図3 タンジュンバン村における小規模貯水池の設置 2014年10月：住民イニシアティブによるコーザン・メソッド泥炭地湿地化の例（甲山による）

それを保持し、乾季にも水位を高く保っているのが自然の姿でした。ところが、農業用排水溝の敷設により雨期の降雨を排水してしまったため保水が出来なくなったことが火災発生の原因です。排水溝の建設は泥炭が柔らかいこともあり極めて効率よく実施できましたが、これと同じ泥炭で埋め立てても、一旦、水の流水路ができているので雨期の大量の流水により流されてしまいます。そこで、流失しない人為的な貯水池を建設することが有効となるわけです。図2で模式的に示されている小規模な貯水池を多数個建設すること、これら貯水池を水路の勾

配の大きい場所では高密度で配置することが最も効率的であるということは水文モデルで証明されています。小規模貯水池の建設は、現地の人手や現場で入手できる木材などを利用し、泥炭が流失しないサンドバックの利用などの初歩的な土木技術で可能であり、図3のように本プロジェクトメンバーの甲山さんにより実践されています。

このように森林・泥炭火災を防止するには泥炭地の水位を上げることが最も現実的であり、その経費をCDM（注2）などの国際協力で実現するためには、国際協力の

前提となるCO₂排出量を正確に計測する計測システムを構築し、CO₂発生量を抑える技術的援助プログラムが不可欠です。京都議定書におけるDCMは、森林火災の防止活動を含んでいませんが、既に述べたように地中にある泥炭火災は化石燃料の燃焼と同様であるという立場からDCMとして認め、大きな発生源である泥炭火災を防止することは、地球規模の温暖化対策として意義のあることです。DCM認定を実現するためには、森林・泥炭火災でどれだけのCO₂が排出されているかを正確に計測することが必要なのです。

炭素ストック（蓄積量）からのCO₂排出量の推定

森林の炭素蓄積量は、現場で樹木を伐採し、その重量を測定して乾燥重量や炭素量を算出する方法が、基本的に正確な方法です。伐採した樹木の葉・枝・幹・根を切り分けてそれぞれの重量を測定します。林床の草本や落葉落枝も同様に測定します。土壤に含まれる有機物は、土壤を乾燥した後、高温で燃焼させその前後の重量変化や燃焼により発生したCO₂量を測定することにより計測するのです。しかし、このような毎木調査を大規模に行うことは不可能なので、樹種毎に樹高や胸高直径（人の胸の高さでの樹木の幹の直径）の測定値と、伐採計測で測定した炭素量（バイオマス）の関係をもとめ、以降は

胸高直径のみ、あるいは、それに樹高データを加えて、その樹種のバイオマスを算出します。土壤炭素量（落葉落枝と、その構造がなくなり土壤に含まれる有機物を含めて）は、その樹種や気象・土壤条件により異なり複雑なので、森林を大まかに分類し、地上探査による単位面積当たりの土壤炭素量の測定値に森林総面積をかけて推定する方法がとられています。樹種の少ない亜寒帯林や温帯林では、数少ない地上探査データでも総量が推定できます。

さて、航空機、衛星やドローンからレーザー距離計などの遠隔計測で樹高や地表面の高度を測定することが可能であり、特に現場での調査が極めて難しい熱帯林では有用な手段です。また、同様の測定を衛星搭載のレーザーで測定する方法、衛星から立体画像を測定する方法など、衛星観測データの利用も精度が高まってきました。これらの方式で地表面の高度分布を正確に測定し、火災の前後の変化から焼失した森林のバイオマスを推定したりすることが可能です。しかし、現実には火災で全ての樹木が燃えるわけではなく、幹だけが残った樹木や倒れた樹木を焼失したと間違えて判断し、過剰に焼失量を算定する危険性が残ります。

材木目的の森林伐採においては、葉、枝などは伐採現場に残され、根系は枯死するので、伐採現場では時間遅れがありますがこれらは大気中に排出されます。しかし、木材は現場から消費地に輸送され、建物や家具などに利

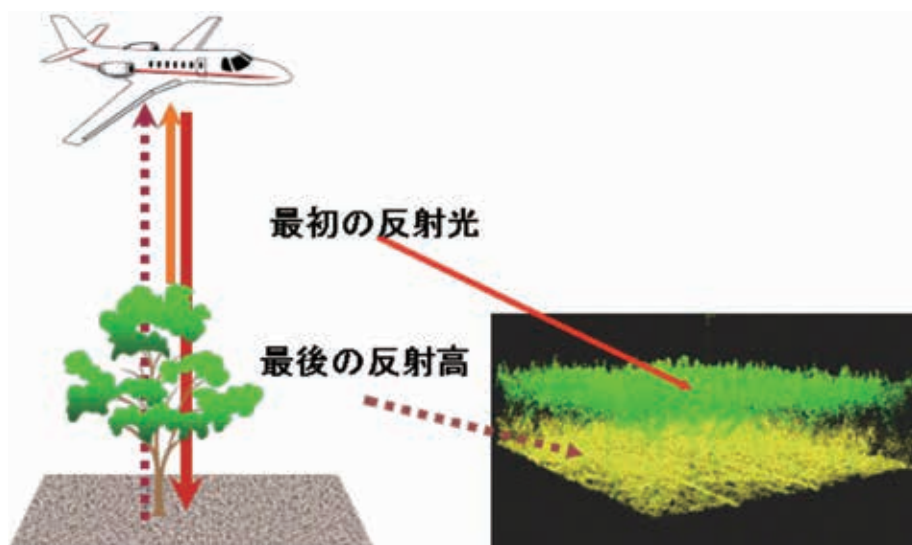


図4 上空から地表に向けてレーザーパルス光を照射する。地表で反射し戻ってきたパルス光には、地面からと樹冠からの2種があり、それらの時間差から樹高が求まる。広い面積を短時間で計測できる。

用されるので何十年後に焼却・埋立により処分されるまでは大気中にCO₂は排出されません。リサイクルが進んだパルプは、数年後に大気中にCO₂として放出されます。森林の農地転用のため、焼き畑などで森林が消滅する場合は即時的な排出になります。このように化石燃料や木材の生産と、実際の大気へのCO₂排出とは時間的な遅れがあり、CO₂として排出される場所も生産地とは異なります。これは排出インベントリの重大な欠陥であり、その改善が削減努力の公正な評価のために必要です。すなわち、現実にCO₂発生が起こっている場所とその量を評価することが、温室効果ガスの効果的削減のために必要と考えられます。

水平フラックスからのCO₂排出量の推定

森林でのCO₂フラックスの計測は、主として渦相関法と呼ばれる微気象学的方法が広く用いられています。これは1km程度に均一かつ定常的な発生・吸収がある正常な森林には適用できますが、火災のように局地的発生に対しては適用できません。また、土壌からのフラックスは、地面に置いた箱の中にCO₂が蓄積する速度を測定するチャンバー法が広く用いられているが、火災には適用できないことは明白です。

森林・泥炭火災など、局地的なCO₂発生量は、大気中に放出された後に風により水平に輸送されるいわゆる煙（プルーム）の観測が有効です。ある断面上での濃度と風速を掛け算したものがフラックスであり、プルーム全体のフラックスは、プルームの断面上で濃度と風速を図5のように測定し、その積を断面上に渡って積分することで計算できます。この方式は、森林の渦相関法による鉛直フラックスの測定に対比して、水平フラックス測定と呼ばれています。ここに、図1のカラム密度の遠隔計測が役立つと考えています。なぜなら太陽光直達光スペクトルの分光観測は、地上から上空までの濃度の積算値を森林奥深くでも自動測定することができるからです。

1) <http://www.globalnote.jp/post-3235.html>

2) 佐藤百合、JETRO アジア経済研究所 http://www.ide.go.jp/Japanese/Research/Region/Asia/Radar/20111202_satoyuri.html

注1 CO₂カラム密度：地表から空を見上げた時、単位面積当り存在するCO₂分子の全量。

注2 CDM (Clean Development Mechanism)：途上国の排出量削減や吸収量増加に関する事業を行い、その事業によって生じた排出量の削減分の一部を認証排出削減量とし、先進国の温室効果ガス排出量の削減分に加えることができる制度。先進国が持つ温室効果ガスの削減技術や豊富な資金が、途上国に導入されるのを促すことによって、途上国の持続可能な開発を促進すること、世界全体での温室効果ガスの削減を促し、先進国の温室効果ガス削減をより容易にすることなどがその目的です。

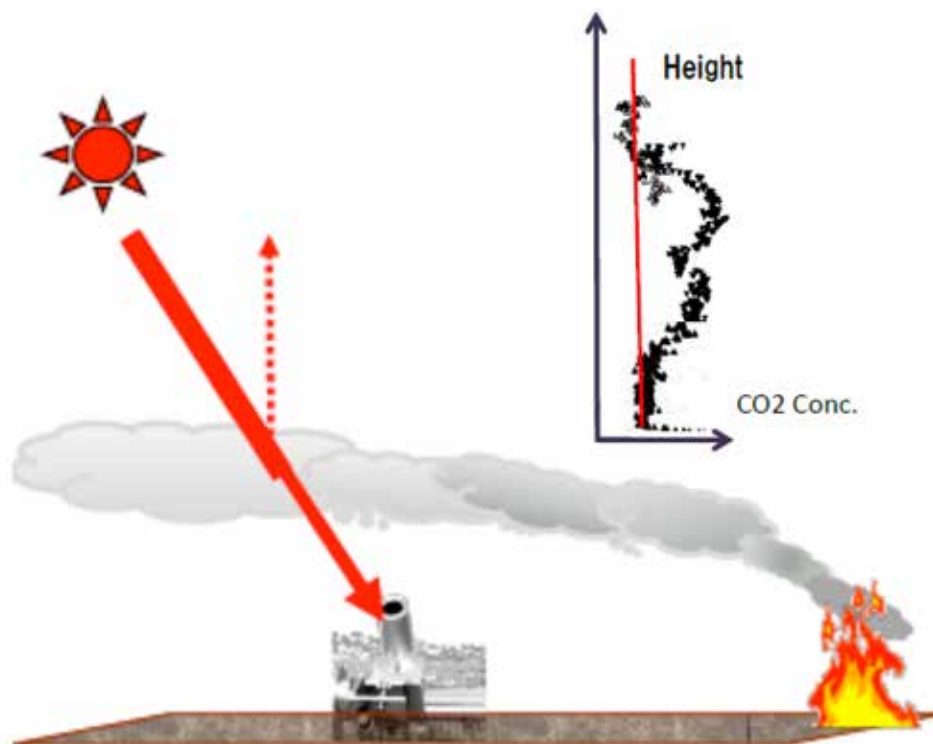


図5 森林・泥炭火災における煙（プルーム）中のCO₂発生量の計測法である水平フラックス法。挿入図はCO₂濃度の高度分布をあらわす。プルーム中ではCO₂濃度が高いことを示している。

研究・調査の紹介

統治チームによる合同現地調査の報告

長谷川 拓也 筑波大学

住民社会・企業・統治・経済発展班のサブグループである統治チームは、政治学、公共政策、経済学、情報学、地理学、環境社会学など様々な専門を異にするメンバーによって構成されており、岡本正明がリーダーとして取り纏めています。チームとして、泥炭地回復政策に関する制度やアクターに焦点をあてて調査を進めています。今回、統治チームは2017年12月5日から9日にかけてジャカルタとリアウ州を訪問し、合同で聞き取り調査を行いました。統治チーム所属の長谷川がこの調査の成果の一部を紹介させていただきます。合同調査は、岡本、長谷川、本名純、亀田堯宙、そして、ジャカルタからワフユ・プラスチックワンが参加しました。

初日と2日目はジャカルタに滞在し、泥炭地回復庁、環境林業省を訪れ、中央政府の取り組みについて聞き取りをしました。3日目にはリアウ州のプカンバル市に移り、州の環境林業局で自治体の取り組みについて聞き取りを行い、午後はHakikiという村落の地図作りを支援しているNGOの事務局を訪れました。4日目にはブンカリス県のタンジュン・ルバン村を訪れ、村落の取り組みについて聞き取りを行い、最終日は再びプカンバル市に戻り、州の官僚やJikalahariという森林破壊を監視するNGOの活動家に聞き取り調査を行いました。専門や研究テーマの異なるメンバーが合同で調査をしたことにより、質問は多岐に渡り、多くの情報を得ることができました。以下では、私自身の問題関心に沿って、2点に絞って今回の調査の成果を紹介します。

州の環境林業局の機能強化

2014年に成立した新地方行政法では、教育、林業、エネルギー・鉱物資源、海洋・漁業など多くの分野で、県・市の権限が州に奪回されています。林業分野において、県・市は管轄内の森林公園の運営以外の権限は無くなりました。これまで県・市



写真1 タンジュン・ルバン村事務所

は、生産林地域における土地利用許可の付与など多くの役割を担っていたので、これは大幅な権限の縮小と言えます。

これにより、ほとんどの県・市自治体におい

て単体での林業局は無くなり、そこで働いていたものの多くは州の環境林業局に移っています。代わりとして、州は県・市に事務局（UPTD）において、森林地域の管理行政を担うようになりました。今回の調査では、リアウ州でもそうした変化を確認することができました。また、UPTDと県・市自治体との連携不足という新たな課題も出てきているようです。

上記とは別に、中央で林業省と環境省が合併された流れで、地方でも林業局と環境局が合併され、局としての機能が強化されています。リアウ州では、2016年に再編があり、環境林業局が設立されています。こうした制度変化が泥炭地回復政策に与える影響について、今後とも調査していきたいと考えています。

村落予算の大幅な増加

同じく2014年に成立した新村落法により、中央や県・市から村落に大幅に資金が移転されるようになってきました。中央政府からは、村落基金(Dana Desa)が継続的に村落に移転されるようになりました。また、県・市から村落へ移転される村落交付金(ADD)も、この法律により大幅に増加しています。

今回訪問したタンジュン・ルバン村の村長によれば、県・市からの村落交付金は2011年頃から6億ルピア（日本円で460万円程度）程あったようですが、それは2016年から一気に約17億ルピアに増加しています。これに加えて、2015年から中央からの村落基金も入ってきており、それは2016年以降平均して毎年7億ルピアあるようです（村落基金の額に

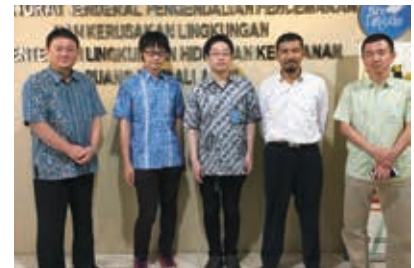


写真2 環境林業省にて現地カウンターパートとプロジェクトメンバーとともに（中央が執筆者）

については内務省で入手したデータでも確認できるので、村長の証言は信用していいと思います)。したがって、両方を合計すると、現在村の予算は約24億ルピア（日本円で1845万円程度）にもなります。

今回訪問した村は、泥炭地回復のための国際支援

も多く入っており、こうした予算がそのために使われることは少ないと言えます。私は今後、全体的な傾向として、村落予算が泥炭地回復に向けて使用されているのかについて調査していきたいと考えています。

2018年2月の リアウ州泥炭火災に関する 被害面積報道のまとめ

大澤 隆将

リアウ州の沿岸部においては毎年1月～3月および5月～6月にかけて少雨期を迎え、地下水位の減少と泥炭地の乾燥からしばしば泥炭火災が発生します。本年においては、昨年末から1月にわたって降水量が減少し、2月の中旬から3月にかけて各地で火災が頻発しました。3月末時点で火災は局地的・断続的に発生しているものの、多くの地域では3月の半ばにはほぼ沈静化した模様です。

3月16日時点における、リアウ州防災局発表の森林火災の被害にあった土地の総面積は1,538Haであり、各州市の内訳は以下の通りです。

リアウ州の行政区分	被害面積 (Ha)
ムランティ諸島県	894.11
シアク県	131.5
インドラギリ・フル県	121.5
ブンカリス県	117
ドゥマイ市	110.25
プララワン県	56
ロカン・ヒリール県	36.5
プカンバル市	31
インドラギリ・ヒリール県	24
カンパール県	15.25
ロカン・フル県	1

(3月16日付Tribun Pekanbaru.comより引用)

しかしながら、この被害面積には異論があります。リアウ州防災局は、2月26日の時点において、リアウ州全体の被害面積を735.5Haとし、そのうちムランティ諸島県の被害面積を213Haとしていました(2月26日付Tribun Pekanbaru.com)。その数日後に、リアウ大学の研究チームがドローンと衛星画像を用いた詳細な調査の結果を発表しました。これによると、ムランティ諸島県の東トゥビン・ティ

ンギ郡ルクン村のみで、火災被害にあった面積は1,224Haに達しています(3月1日付Fokus Riau)。泥炭地回復庁(BRG)はこの研究を学術的な側面から支持



しましたが(3月8日付Mongabay)、ムランティ諸島県防災局はリアウ大学による研究と泥炭地回復庁の支持を「非常に不合理である」と批判しています(3月15日付Tribun Pekanbaru.com)。

このように、1カ月間の泥炭火災の総面積のデータについて大きな齟齬が生まれています。この齟齬の背景には、調査方法の違い、火災被害地の認定基準の違い、さらには政治的な立場の相違があると考えられます。なぜこのような齟齬が生まれてくるのか、またどうしたら齟齬が最小化されるのか。泥炭回復の道筋を研究するにあたり、観測と政治の両側面から研究を進めていく必要があります。

参考資料

- Fokus Riau (2018) "BPBD Riau catat kebakaran lahan di Meranti 213 hektare, akademisi malah hitung 1.224 hektare". 1 Maret, 2018 [last accessed March 28, 2018 from Fokus Riau website: <http://m.fokusriau.com/berita-bpbd-riau-catat-kebakaran-lahan-di-meranti-213-hektare-akademisi-malah-hitung-1224-hektare.html>]
- Mongabay (2018) "Hutan Riau masih berasap, anggaran tangani kebakaran malah terpengkas". 8 Maret, 2018. [last accessed March 28, 2018 from Mongabay website: <http://www.mongabay.co.id/2018/03/08/hutan-riau-masih-berasap-anggaran-tangani-kebakaran-malah-terpengkas/>]
- Tribun Pekanbaru. com (2018) "Terjadi di 11 daerah ini luas lahan yang sudah terbakar di Riau sejak Januari, capai ratusan hektar". 26 Februari, 2018. [last accessed March 28, 2018 from Tribun Pekanbaru.com website: <http://pekanbaru.tribunnews.com/2018/02/26/terjadi-di-11-daerah-ini-luas-lahan-yang-sudah-terbakar-di-riau-sejak-januari-capai-ratusan-hektar>].
- Tribun Pekanbaru. com (2018) "BRG ungkap karhutla di Desa Lukun capai 1.224 hektare, BPBD Meranti: Datanya tidak masuk akal". 15 Maret 2018. [last accessed March 28, 2018 from Tribun Pekanbaru.com website: <http://pekanbaru.tribunnews.com/2018/03/15/brg-ungkap-karhutla-di-desa-lukun-capai-1224-hektare-bpbd-meranti-datanya-tidak-masuk-akal>].
- Tribun Pekanbaru. com (2018) "Sudah 1.538 hektar lahan di Riau terbakar, ini rinciannya" 16 Maret, 2018. [last accessed March 28, 2018 from Tribun Pekanbaru.com website: <http://pekanbaru.tribunnews.com/2018/03/16/sudah-1538-hektar-lahan-di-riau-terbakar-ini-rinciannya>].

Report

熱帯泥炭地回復に関する国際シンポジウム開催の報告

2018年2月22日、インドネシア・ジャカルタにて“Joint Symposium on Tropical Peatland Restoration –Responsible Management of Tropical Peatland following up to the Jakarta Declaration–”が開催されました。この国際シンポジウムは私たち熱帯泥炭社会プロジェクトをはじめ、インドネシア泥炭地回復庁（BRG）、京都大学、そしてJICAによる共催となりました。

本シンポジウムの目的は、世界中の異なる分野の専門家が集い、これまでの泥炭研究を検討するとともに、熱帯泥炭地における責任ある管理と将来的な回復戦略に関する内容を議論することです。

午前の全体セッションでは、水野プロジェクトリーダーを含む9名の方々が登壇し、持続可能な熱帯泥炭地回復の戦略や地下水位マッピングに関する話題を提供しました。

午後はパラレル形式でセッションが展開され、泥炭地の管理・回復に関する問題、地域社会・地域住民による泥炭地回復への参加、政策および経済問題、国際比較、生態系サービスや生物多様性、パルディカルチャー、泥炭火災・煙害と二酸化炭



素排出の問題、などの興味深いテーマが実施されました。インドネシア、オランダ、ベトナム、ロシア、そして日本から研究者が数多く参加し、幅広い分野の発表と熱い議論が展開されました。プロジェクトのメンバーも各セッションのモデレーターを務め、さらに各研究チームで実施している研究成果の発表をしたことで、より多くの方々に地球研・熱帯泥炭社会プロジェクトの活動を周知できました。

このように、今回の国際シンポジウムは朝から夜まで非常に内容の濃いものとなりました。次回の国際シンポジウムでも、ご参集いただきますようお願い致します。



お知らせ

総合地球環境学研究所・熱帯泥炭社会プロジェクトのホームページができました。



<<http://www.chikyu.ac.jp/peatlands/>>

ホームページには **Facebook** ページへのリンクも載せていますので、プロジェクトの最新情報などはそちらもご覧ください。