

平成 21 年 5 月 15 日現在

研究種目：基盤研究 (B)
研究期間：2006～2008 年度
課題番号：18403001
研究課題名 (和文) 熱帯泥炭地の環境修復にともなう二酸化炭素放出量削減効果の評価
研究課題名 (英文) Assessment of the reduction of carbon dioxide emission from tropical peatlands through environmental restoration
研究代表者
平野 高司 (HIRANO TAKASHI)・北海道大学・大学院農学研究院・教授
20208838

研究成果の概要：

東南アジアの低平地に分布する熱帯泥炭地は膨大な量の土壌炭素を貯留しているが、開発による地下水位の低下などにより、大量の CO₂ を大気に放出する危険性が高まっている。そのため、CO₂ 排出量を抑制するために、排水路を堰上げする簡易ダムによる環境修復が実施されている。本研究では、生態系と大気との間の CO₂ 交換量をモニタリングし、ダムによる環境修復が熱帯泥炭の好氣的分解を抑制し、CO₂ 排出量を低減させることを実証した。また、衛星リモートセンシングを利用した地下水位の広域評価の可能性を示した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	6,900,000	2,070,000	8,970,000
2007 年度	3,900,000	1,170,000	5,070,000
2008 年度	3,900,000	1,170,000	5,070,000
年度			
年度			
総計	14,700,000	4,410,000	19,110,000

研究分野：生態気象学

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：大規模攪乱, 排水路, ダム, 地下水位

1. 研究開始当初の背景

東南アジアなどの熱帯地域で、排水不良のため常時湛水して酸性化が進んでいる地域には熱帯泥炭地が分布する。インドネシアには最大の熱帯泥炭地が存在し、そのうちの約 7 万 km² がカリマンタン (ボルネオ島南部) の低平地に分布している。このような熱帯泥炭地には泥炭林が発達し、長年にわたり大量の炭素を土壌有機物として蓄積してきた。しか

し近年、農地の拡大や木材需要の増大などにより、各地で熱帯泥炭林が伐採され、さらに排水路の掘削などによる地下水位の低下もあり、熱帯泥炭地の急速な荒廃が進行している。このような荒廃は泥炭地の乾燥化を引き起こし、泥炭の分解を促進する。結果として、大量の CO₂ が大気に放出されることとなる。

インドネシア中部カリマンタン州でも、1990 年代に熱帯泥炭地の大規模な農地開発が進行し、森林伐採および排水路の掘削によ

り泥炭地の乾燥化が進んだ。この開発計画は、経済状況の悪化などが原因で頓挫してしまい、数千 km² にもおよぶ荒廃地が放置され、泥炭の好氣的分解による CO₂ 放出が続いていると推測される。このような泥炭地の荒廃を防ぎ、環境を修復することを目的に、排水路を小規模なダムで堰止め、泥炭地の地下水位を上昇させる試みが EU などの予算を用いて進められている。地下水位の上昇により泥炭の分解が抑制され、CO₂ の放出量が減少することが期待されている。

2. 研究の目的

北海道大学とインドネシア科学院による拠点大学方式学術交流事業（日本学術振興会）の一環として、中部カリマンタン州の荒廃の進んだ泥炭地に試験区が開設された。申請者らは科学研究費補助金の交付を受け、大規模な環境攪乱が熱帯泥炭地の CO₂ 放出に与える影響の評価を目的に、この試験区において大気-生態系間の CO₂ 交換量を微気象学的方法（渦相関法）により連続観測してきたが、泥炭地の環境修復事業のモデルケースとして、2005 年に試験区内の排水路に 7 基のダムが建設された。ダムは今後広範囲に建設されることが期待されており、ダム建設による泥炭地保全効果の評価が急務となった。そこで本研究では、(1) これまでの観測を継続し、地下水位の変化（上昇）が熱帯泥炭地における CO₂ 収支に与える影響を評価するとともに、(2) 人工衛星による画像データを利用して地下水位の広域的な評価に関する基礎的研究を実施した。

3. 研究の方法

(1) 試験区内の 3 地点のタワーサイト（未攪乱の熱帯泥炭林UDF、排水された熱帯泥炭林DF、排水された熱帯泥炭林伐採跡地DC）において、オープンパス方式の渦相関法により、大気と熱帯泥炭生態系との間の CO₂ 交換速度（CO₂ フラックス）を連続観測した。同時に、自動開閉型チャンバーシステムを用いて土壌呼吸速度の連続観測、および気象要素、地下水位などの連続観測を行った。得られた観測結果をもとに、正味生態系 CO₂ 吸収量（NEP）、総一次生産量（GPP）、生態系呼吸量（RE）などを求め、サイト間の比較、季節変化、環境（温度、土壌水分、地下水位、日射量など）依存性を解析した。

(2) 2001~2008 年の 7 年間の 16-days 正規化植生指数（NDVI）データを使用した。不正なデータや雲ピクセルを除外するために、前後の期間を含めた 3 時期の画像を用いた中央値によるフィルタリング、各画像においてあ

る 1 pixel を対象とした近傍 pixel を含む 3 × 3 の 9 pixel からの中央値によるフィルタリングを施した。これら補正画像を時系列に 7 年分でデータセット（161 枚）とし、それぞれの観測地点における NDVI 変動をプロットした。各地点の地下水位（GWL）、NDVI に関し、全計測期間における平均±標準偏差（ $GWL_{AV} \pm \sigma_{GWL}$ 、 $NDVI_{AV} \pm \sigma_{NDVI}$ ）を算出し、平均から標準偏差を減じた値（ $GWL_{AV} - \sigma_{GWL}$ 、 $NDVI_{AV} - \sigma_{NDVI}$ ）を低下基準値とした。このような低下基準値を下回る状態をそれぞれ GWL 低下イベント、NDVI 低下イベントと定義し、解析を行った。

4. 研究成果

(1) 3 サイトの NEP を年積算した結果を図 1 に示す。未攪乱の泥炭林を含む全ての生態系で NEP が負となり、これらの生態系が大気に対する CO₂ ソースとして機能していたことがわかった。また、3 サイトの結果を比較すると、攪乱の程度が強いほど CO₂ 放出量が多いことが明らかとなった。排水路の影響を受けた泥炭林（DF サイト）の年積算 NEP は -400 gC m⁻² yr⁻¹ 程度であった。このサイトにおける地下水位と夜間 NEP（生態系呼吸量）の関係（図 2）をみると、地下水位がほぼ -0.7 m 以下に低下すると生態系呼吸量が増加することがわかる。低水位における生態系呼吸量の増加は、泥炭の好氣的分解が促進されたことによるものと考えられる。なお、DF サイトでは雨季においても地下水位が -0.2 m 以上に

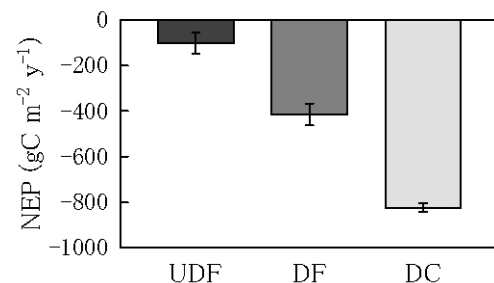


図 1 NEP（正味生態系 CO₂ 吸収量）の年積算値の 3 サイト間での比

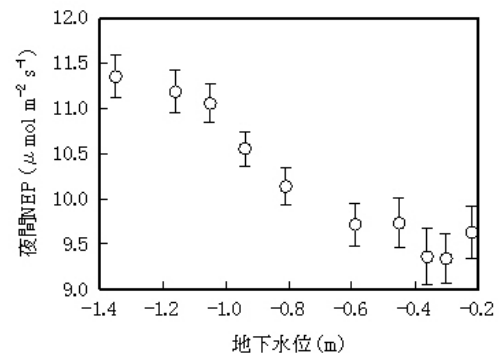


図 2 DF サイトにおける地下水位と夜間 NEP（生態系呼吸量）の関係

なることはほとんどなく、また UDF サイトでは地下水位が -0.7 m 以下に下がることはなかった。UDF サイトに比べて地下水位が低下した DF サイトでは、乾季に泥炭の分解が促進され、雨季には泥炭の分解が抑制されず、結果として年間で約 $400\text{ gC m}^{-2}\text{ yr}^{-1}$ の CO_2 を放出することになったと考えられる。一方、泥炭林の伐採跡地 (DC サイト) の CO_2 放出量は最も大きく、約 $800\text{ gC m}^{-2}\text{ yr}^{-1}$ となり、DF サイトの約 2 倍であった。

DC サイトにおける土壌水分 (地下水位に対応) と土壌呼吸速度の関係から、土壌の乾燥にともなって泥炭土壌の好氣的分解が促進されることが明らかとなった。排水路を堰上げするダム建設前後で DC サイトの乾季における土壌呼吸速度を比較すると、ダムによる地下水位の上昇により、土壌呼吸速度 (泥炭分解にともなう CO_2 放出速度) が低下することが明らかとなった。以上より、今回建設されたダムは、現地ですぐに入手可能な材料を用いた簡易なものではあるが、特に乾季の地下水位の低下を制限し、泥炭の好氣的分解を抑制して、熱帯泥炭生態系からの CO_2 排出量を低減させることが明らかとなった。

(2) 全ての地点においてエルニーニョ現象時 (2002 年, 2006 年) の乾期には NDVI 低下イベントが発生し、非エルニーニョ時には一地点 (site-F2) のみにおいて NDVI 低下イベントが発生したことが明らかとなった (図 3)。また、GWL 低下イベントはエルニーニョ時には全ての地点で発生し、非エルニーニョ時にも一地点 (site-01) 以外の全地点の乾期に発生している。NDVI 低下イベントは比較的大きな GWL 低下イベントに伴って発生していることが示唆された。

NDVI_{AV}・GWL_{AV} とイベント内での最小値

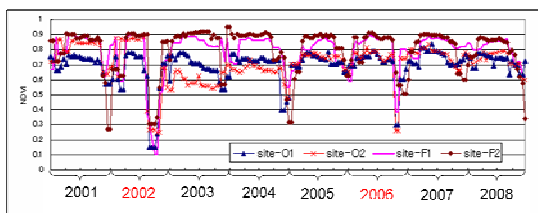


図 3 各地点における NDVI 変遷

(NDVI_{MIN}・GWL_{MIN}) との差を最大低下量とし、 σ の倍数で表した。その結果、NDVI 低下イベントでは全地点の最大低下量における平均は $2.19\sigma_{\text{GWL}}$ (± 0.67), $3.33\sigma_{\text{NDVI}}$ (± 1.2) となり、GWL 低下イベントでは $1.23\sigma_{\text{GWL}}$ (± 0.3) の値を示した。NDVI の最大低下量が σ_{NDVI} の 3 倍程度の値を示す時期を抽出することにより地下水位の大きな低下 (平時地下水位低下量の 2 倍) を広域に推定できることが示唆された。さらに NDVI 低下イベント内で NDVI と GWL の低下基準線と最初に交わる時期の差を

イベント発生ラグとし、これを計算した結果、GWL 低下後 67 日 (± 15) で NDVI 低下が始まることが示された。今回得られた結果は、衛星リモートセンシングを用いた熱帯泥炭地の地下水位広域推定に大きく貢献することが期待できる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 6 件)

1. Hirano T, Jauhiainen J, Inoue T and Takahashi H, Controls on the carbon balance of tropical peatlands. *Ecosystems* (査読有), DOI:10.1007/s10021-008-9209-1, 2009.
2. Fisher J, Malhi Y, de Araújo A, Bonal D, Gamo M, Goulden M, Hirano T (他 16 名), The land-atmosphere water flux in the tropics. *Global Change Biology* (査読有), DOI: 10.1111/j.1365-2486.2009.01869.x, 2009.
3. Segah H, Tani H and Hirano T, Detection of fire impact and vegetation recovery over tropical peat swamp forest by satellite data and ground-based NDVI instrument. *International Journal of Remote Sensing* (査読有), 2009 (in press).
4. 平野高司, 熱帯泥炭湿地の炭素収支に関する研究の紹介, 海外の森林と林業 (査読無), 73, 2008, 2-7.
5. Hirano T, Segah H, Harada T, Limin S, June T, Hirata R and Osaki M, Carbon dioxide balance of a tropical peat swamp forest in Kalimantan, Indonesia. *Global Change Biology* (査読有), 13, 2007, 412-425.
6. Shimada S, Takahashi H and Limin S, Hydroperiod and phenology prediction in a Central Kalimantan peat swamp forest by using MODIS data. *TROPICS* (査読有), 15, 2006, 419-424.

[学会発表] (計 10 件)

1. Hirano T, Comparison of CO_2 balance among three disturbed ecosystems in tropical peatlands. International Workshop on Wild Fire and Carbon Management in Peat Forest, 2009 年 3 月 5 日, ジャカルタ

2. 島田沢彦, インドネシア・中央カリマンタンにおける MODIS を用いた地下水位モニタリングの可能性. 計測自動制御学会第 16 回リモートセンシングフォーラム, 2009 年 3 月 2 日, 東京
3. Hirano T, Current SE Asia flux towers and research in tropical forests and peatlands. International Workshop on Monsoon Asia Tropical Forest Dynamics and Sustainability, 2009 年 1 月 10 日, コンケン
4. 平野高司, 熱帯泥炭林の CO₂ 収支. 日本生態学会第 55 回大会, 2008 年 3 月 15 日, 福岡
5. Shimada S, Phenological parameters for Bornean land surface classification using MODIS EVI time series, Land Conversions and Ecosystem Consequences under Climate Change in the Tropical Rain Forests of Borneo. Developing Societal Adaptability with Integrated Ecosystem Management, 2007 年 12 月 14 日, 京都
6. Hirano T, Comparison of CO₂ balance among three disturbed ecosystems in tropical peatlands. AsiaFlux Workshop 2007, 2007 年 10 月 19 日, 台北
7. 平野高司, 熱帯泥炭の炭素収支. 熱帯泥炭の CDM 化に関するワークショップ, 2007 年 8 月 29 日, 札幌
8. 島田沢彦, MODIS-EVI 変動を用いた中央カリマンタン熱帯泥炭地における地下水位変動推定の可能性. 日本リモートセンシング学会 2007 年大会, 2007 年 5 月 10 日, 東京
9. Hirano T, Energy balance of a tropical peat swamp forest in Kalimantan, Indonesia. AsiaFlux Workshop 2006, 2006 年 11 月 30 日, チェンマイ
10. 平野高司, 熱帯泥炭林の二酸化炭素収支に与える人為攪乱の影響. 農業環境工学関連学会 2006 年合同大会, 2006 年 9 月 12 日, 札幌

[図書] (計 1 件)

1. 島田沢彦, 古今書院, 自然環境解析のためのリモートセンシング・GIS ハンドブック「I.2 リモートセンシングによる解析」(長沢他編), 2007, 8-27.

[その他]

1. 平野高司, 熱帯泥炭林の炭素収支についての説明, 「地球危機 2008」, TV 朝日, 2008 年 1 月 3 日
2. 平野高司, 「熱帯雨林, CO₂ 放出」, 朝日新

聞朝刊 (科学欄), 2007 年 10 月 19 日

6. 研究組織
(1) 研究代表者

平野 高司・北海道大学・大学院農学研究院・教授・20208838

(2) 研究分担者

谷 宏・北海道大学・大学院農学研究院・准教授・80142701

井上 京・北海道大学・大学院農学研究院・准教授・30203235

島田 沢彦・東京農業大学・地域環境学部・准教授・90349811

山田 浩之・北海道大学・大学院農学研究院・助教・10374620

(3) 連携研究者

なし