

# 熱帯泥炭湿地における泥炭火災と それにともなう地球環境問題

高橋 英 紀

## はじめに

1997年 は熱帯泥炭地とその上に成立する森林にとって大変な災厄年であった。20世紀最大とも言われた1997/98年のエルニーニョ現象は、東南アジア各地に例年より長く厳しい乾季をもたらしたが、この長い乾季により熱帯泥炭林では地下水位が急激に低下し、それとともに表層泥炭の水分含量も減少した。泥炭地はもともと地下水位が高く地表近くが常に湿潤な状態で、植物が枯死した後に未分解のまま植物遺体が堆積した土地である。その泥炭地は湿潤のままであれば草木の生長と枯死の繰り返しが続く、泥炭の堆積が続けられる。しかし、その泥炭地の水バランスが何らかの理由で崩れ、乾燥化すると膨大な可燃物、すなわち燃料が地上に出現する。北海道の石狩泥炭地では昭和30年代ころまで多くの農家が泥炭を燃料として使用していたし、アイルランドでは現在でも泥炭を燃料とする火力発電所が稼働していることから、立派な燃料あることに間違いない。

熱帯泥炭地にはフタバガキ科が優先する湿地林が成立しており、厚い樹冠を通して入り込む陽光は弱く、泥炭表層は乾季でも乾くことなく湿っている。しかし、地表を厚く覆う樹林が伐採されると地表の状態は一変する。赤道直下の強烈な日射が直接地表に到達し、乾季には地表に横たわる倒木や草本類を瞬く間に乾燥させる。それらにタバコの火の不始末や、除草などを目的とした火入れからの飛び火が移

り、さらに乾燥した表層泥炭に燃え移ると人力では消火不能な泥炭火災が数ヶ月にわたって続くことになる。また泥炭火災は特有の濃い煙を発生し、その煙霧が東南アジアを覆い、航空機の墜落や様々な交通障害、人々の健康被害など、各地に計り知れない多様な悪影響をもたらした。

熱帯泥炭地とくに東南アジアに分布する熱帯泥炭地は、その高い炭素集積能力と豊富な炭素堆積量から地球温暖化への影響が注目され始めていた時期の火災であった。また、その火災の発生から拡大へといたった原因として、それまでに行われてきた無謀な泥炭地開発や不法伐採が背景として存在することも指摘されている。ここでは1997年におきた熱帯泥炭林火災の実態とその背景、地域および地球環境に及ぼした影響について紹介する。なお、ここで紹介する様々な研究成果は1997年から10年間にわたってインドネシア、中カリマンタンの熱帯泥炭地を主なフィールドとして、北海道大学がインドネシア科学院生物開発研究センターと組んで実施した日本学術振興会拠点大学交流事業を通じて得られたものの一部である。

## 1. 熱帯泥炭地の特徴

世界には日本総面積の約11倍に相当する約 $4.12 \times 10^6$  km<sup>2</sup>の泥炭地がある。国別で見るとロシアが最大で、カナダ、アメリカがそれに続き、さらにこれら3カ国で世界の泥炭地の79%を占めている<sup>1)</sup>。一方、ここで取り上げる熱帯泥炭地はインドネシア

を筆頭に、ブラジル、ペルー、パプアニューギニアとマレーシアなどに合計 10.4% が分布する。寒冷地域に発達する泥炭はヨシ、スゲの遺体が堆積した低位泥炭とミズゴケなどの貧栄養環境下に生育する植物の遺体が堆積した高位泥炭が主体であるが、熱帯には樹木が枯死堆積した木質泥炭が主に分布する。一般に、寒冷地域の泥炭の堆積速度は約 1 mm/年程度であるが<sup>2)</sup>、熱帯泥炭の場合にはその上に成立する森林の光合成能力が高く、年を通じて活動を続けていることから、泥炭として堆積される有機質の量も多い。バラツキは多いが西カリマンタンやスマトラ島で低炭層の年代測定から推定された堆積速度は 1-2 mm/年で<sup>3)</sup>、寒冷地域の堆積速度よりかなり大きいことがわかる。

## 2. 熱帯泥炭火災の規模

熱帯泥炭地はその成立環境によりいくつかのタイプにわけられるが、大きくはマングローブ林に発達する海浜性泥炭地と、海水の影響を受けない内陸淡水性泥炭地の二つに大別できる。面積は内陸性淡水泥炭地の方が圧倒的に多く、泥炭火災もこの内陸性淡水泥炭地で起きている。したがってここで扱う熱帯泥炭火災は主として内陸性淡水泥炭地での火災である。東南アジアにおける森林火災の経年変化の一例として、1984年から2001年までのインドネシア

全域の森林火災面積を図1に示す。この中で泥炭地での火災は区分されていないが、1997年の場合、泥炭火災面積はイギリスの生態学者スーザン ページ<sup>5)</sup>らによりインドネシアに分布する熱帯泥炭地面積約 20.1 万 km<sup>2</sup> の 7.2-33.9% と推定している。いまその推定の間値として 12.1% (2.4 万 km<sup>2</sup>) が泥炭火災面積とすると、焼失した森林面積<sup>6),7)</sup> 0.26 万 km<sup>2</sup> は泥炭が燃えた土地面積の 10.8% に過ぎないことが分かる。すなわち、1997年にインドネシアを中心として発生した大規模森林火災は森林火災と言うよりも大規模泥炭火災と言うべき災害であった。この泥炭を中心とする火災でインドネシア全体から大気へ放出された炭素は 0.81-2.57 ギガ t<sup>1</sup> と推定され、世界で一年間に化石燃料の使用で放出される炭素量の 13-40% に相当した<sup>5)</sup>。日本全体から大気中に排出される炭素量は 2000年の例では 0.34 ギガ t であり、1997年のインドネシア泥炭火災により、日本の年間総排出量の 2.4-7.6 倍の炭素が大気中に放出されたことになる。マウナロア (ハワイ) の 1997年9月から1998年9月にかけてのガス濃度の増加は 3.77 ppm で、1970年から2007年にかけての平均的な年間炭酸ガス増加量年間 1.56 ppm の 2.4 倍と言う驚異的な値をしめした。この年の炭酸ガスの異常な上昇の原因をすべて熱帯泥炭火災に帰すること

<sup>1</sup> ギガ t=10 億トン

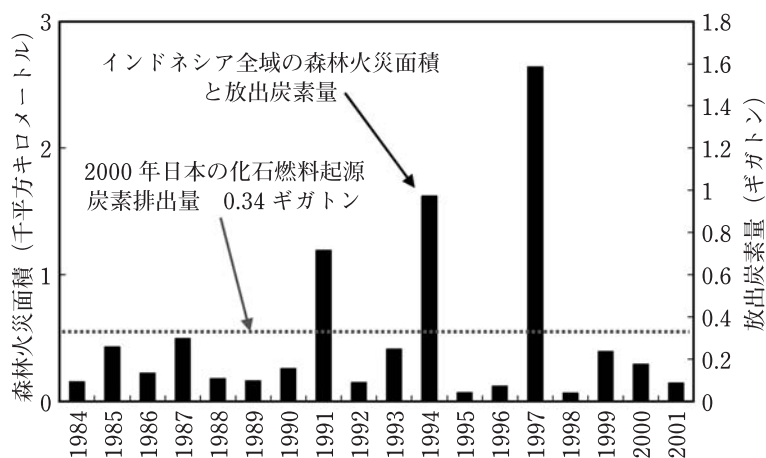


図1 1984年以降のインドネシアにおける森林火災面積と推定炭素放出量

はできないが、大きな原因であることには間違いはない。

### 3. 熱帯泥炭火災の実態

著者は1993年9月以来、インドネシア中カリマンタンの州都パラカラヤの熱帯泥炭湿地林で、英国ノッチングム大学、地元パラカラヤ大学と共同で森林生態・水文気象環境の調査研究を行ってきた。1997年からは日本学術振興会拠点大学交流事業の共同研究として引き継がれ現在にいたっている。中カリマンタンの南半分の泥炭地を南北に貫流するセバングウ川の右岸に広がる熱帯泥炭湿地林における地下水位・降雨量の観測結果によれば<sup>8)</sup>、1997年は6月に入ってから雨がほとんど降らず、湿地林内の地下水位は低下を続けた。7月の始めに40mmほどの雨があったが、地下水はほとんど回復することなく低下をつづけた。8月に入ると、農地開発地域で行なった火入れが周辺の雑草や森林に飛び火して延焼し、表層泥炭にも燃え移った。森林内の地下水位が地表下1m近くに低下した9月下旬には、火災で焼失する泥炭層の厚さも1mに達した(写真1)。その火災から発生する煙霧が空を厚く覆い始めると、視程は悪化し、地上に到達する日射も急激に減少し、9月下旬には、通常の40%の量にまで減少した。

泥炭層燃焼のメカニズムについては寒冷地域の泥炭について研究例はあるが、熱帯泥炭における調査研究例は非常に少ない。地下水位が地表50cm以下に下がると、表層泥炭は乾燥し重量含水比80%以下となる。ここまで乾燥すると飛び火してきた火種が容易に泥炭表層に着火するようになる。泥炭層が着火すると、泥炭は炎をあげて「燃焼」するのではなく、低酸素供給でも燃焼が継続する「燻焼」で燃え広がる。泥炭層は地下水が比較的高い場合には表層20cmほどが燃え広がるが、地下水位が深く、20cm以下の泥炭層が乾燥している場合や樹木の根の部分などのように根の下の泥炭組織が疎で空気が入りやすい場合には、表層は燃えずに深さ20-50cmの下層が燻焼で燃え広がる(図2, 写真2)。この燻



写真1 1997年中カリマンタンにおける泥炭火災跡地の状況

地下水位の深さ1mまで泥炭層が燃え、燃えづらい巨木の根が燃え残った。(スウィドー リミン氏提供)。

焼による泥炭火災前線の拡大速度は表層火災で1日あたり42-156cm、下層火災で12-60cmと非常に遅い。しかし、下層泥炭火災は地表からは見えないため、発見が遅れ大事にいたることがある。また、気づかずにその上を歩いて落ち込み大やけどをすることもあるのできわめて危険である。このような下層泥炭火災が広がると、樹木は幹が焼けずに根が焼けて立ち枯れとなったり、倒れて地上に横たわる(写真3)。この燃え残りの枯死木が乾燥して燃えやすくなり、次のエルニーニョによる乾燥時に泥炭火災の格好の燃料となり、被害を拡大する原因となる。図3は泥炭火災のタイプと被害の程度、繰り返し泥炭火災が発生するメカニズムを示したものであり、深さ1mの泥炭層とその上に成立している樹木や草本類を燃料として見ると、8対2の割合となる。

### 4. なぜ熱帯泥炭火災が頻発するようになったか

自然のままの熱帯泥炭地は常に地下水が高いか、

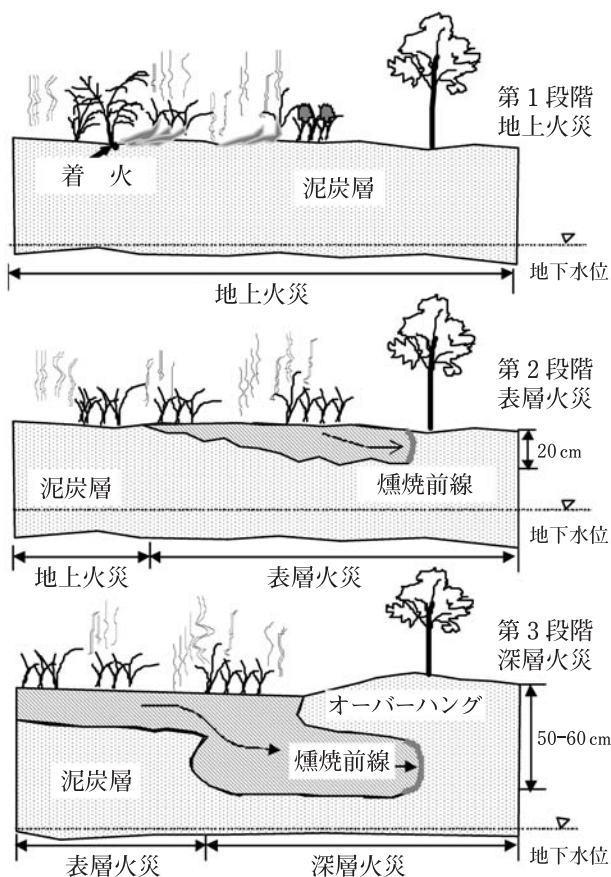


図 2 泥炭層の燃焼過程と地下水の関係

第1段階では地表の枯れ草や乾燥した倒木などが燃える。地下水位が50 cm程度まで低下すると、表層泥炭に延焼し、地下水位が1 m近くまで低下すると深さ数10 cmの泥炭層まで燃える。

あるいは長期にわたって湛水状態にあり、植物遺体の堆積がその分解速度を上回るところで発達する。ただし、熱帯では平均気温が年間を通じて20-25°Cであるため、地下水位が低下して、酸素の供給が盛んになると、泥炭の分解速度も早まり、泥炭の堆積は進まない。伐採があまり入っていない自然状態に近い熱帯泥炭林では、地下水位が一時的に深さ1 m近くまで低下しても、20-30 mの高木層が厚く覆い、林床に到達する太陽光を樹冠上部の10-20%にまで減衰させているため、林床の植物や植物遺体を極端に乾燥させることはない。しかし、排水路を設けて人為的に地下水位を低下させた森林では地表ま



写真 2 2004年9月、中カリマンタン、クアラカプアス付近の泥炭火災現場で見られた、泥炭深層への燻焼火災の進入跡  
深さ20~50 cmの部分がえぐれるように燃えている。

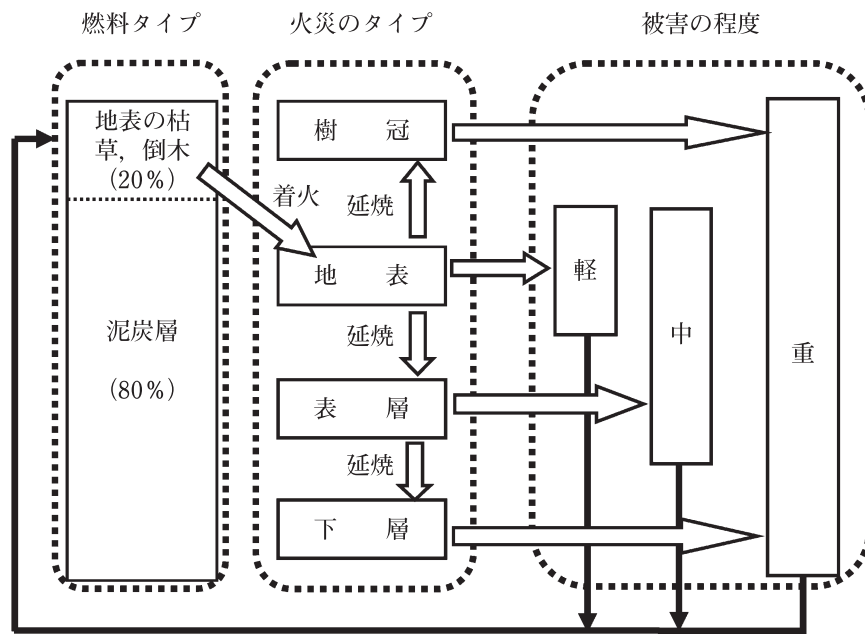


写真 3 2004年9月、中カリマンタン、カランパンガン付近の森林火災跡地

この地域はメガライズプロジェクトで建設された排水路に隣接しているが、1997年の大火災では類焼をまぬがれた森林が残っていた。しかし、2002年の乾季に1997年の火災跡地から出火した火により、泥炭層が燃え、地表には枯死した樹木の山ができていた。この枯死した樹木の山が次の火災を引き起こす元凶となる。

で地下水位が達することがなく、表層泥炭も次第に乾燥し、植物遺体の乾燥も進んでくる。この様な、森林に火が入ると、乾燥した表層泥炭が燻焼で燃え広がり、貴重な森林資源を失うことになる。

1990年代はじめころから徐々にすすめられた中カリマンタンの熱帯泥炭地の農地開発事業、いわゆ



燃え残った立木は1-2年で倒れ、乾燥して3-4年後に泥炭火災の焚き木となる

図3 泥炭火災の発生・延焼・被害の拡大と災害の反復性

泥炭層が燃えると樹木の根は燃え残っていても根としての生理的な機能は失われ、樹木は枯死する。枯死した樹木は1-2年後には倒れ、乾燥して、次の泥炭火災の焚き木となる。

るメガライズプロジェクトは、1997年の泥炭火災発生最大の原因となった。乾燥すれば絶好の燃料となる木質泥炭地を覆っていた厚い熱帯林を伐採して裸地化し、その上に巨大な排水路を縦横に建設した結果は、同地域の1997年の泥炭/森林火災を誘発し、排水路が建設された地域百万haの55.5%が被災した。

### 5. 熱帯泥炭湿地林修復に向けて

中カリマンタンにおけるメガライズプロジェクトの問題に関してはイギリスを中心としたEU諸国と北海道大学を中心とした日本の研究者が早くから警鐘をならすとともに、実証的な研究をつづけている。その研究はこれからも継続されるが、数年前から荒廃した熱帯泥炭湿地林の修復活動も始まっている。その修復活動はまだ大きなうねりとはなっていないが、熱帯泥炭地における泥炭火災の抑制と湿地林回復のための活動は、熱帯泥炭地に埋蔵されてい

る莫大な炭素とその生態環境の脆弱性から地球温暖化抑止の鍵となることが期待されている。熱帯泥炭湿地林を修復し、そこからの炭素放出を抑止することが地球環境に有益な事業(CDM: クリーン開発メカニズム)として認められれば、当事国であるインドネシアばかりではなく、投資国側や地域住民への経済的な利益還元が見込まれる。そのためには図4に示すように、湿地林を育てるため、乾燥化した泥炭地を元の湿潤状態のもどす地域水管理事業、在来樹種を積極的に植える植樹事業、CDM事業として収益を獲得するための炭素収支評価事業の3事業をセットで進めなければならない。その成果あるいは利益としては地球温暖化抑止効果、地域環境(特に大気汚染)改善効果、当事国・投資国のカーボントレードによる利益と地域社会活性化にともなう経済効果などが見込まれる。

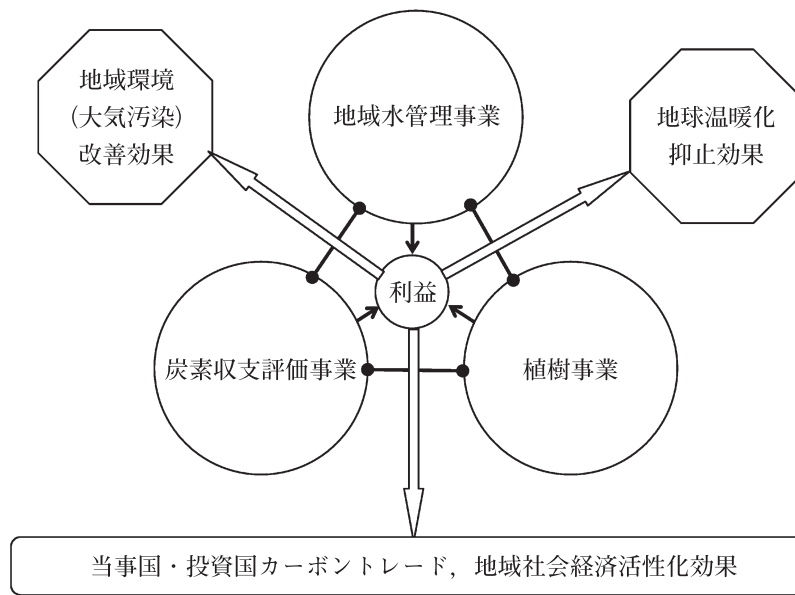


図 4 地域水管理・植樹・炭素収支評価の各事業の連携とそれとともなって得られる地球温暖化抑止、地域環境改善、カーボントレードと経済活性化の各効果創出の仕組み

## おわりに

現在、中カリマンタンの熱帯泥炭地の森林修復活動は北海道大学と NPO 法人北海道カリマンタン交流協会、NPO サスティナビリティ・アジア塾などが地元のパラカラヤ大学とともに進めつつある。地域水管理に関しては、巨大な排水路に止水ダムを多数建設しなければならない。その事業にはかなりの投資が必要である。インドネシアの熱帯泥炭湿地林を含む熱帯林で多くの木が伐採され、そのかなりの部分が日本へ輸出されてきた 20 世紀後期の現実を考えると、発展途上国の森林管理への先進諸国の役割が重視されつつある国際環境を考えると、膨大な炭酸ガス排出源であるインドネシアの熱帯泥炭湿地林の修復事業に果たすべき日本の役割はきわめて大きいと言わなければならない。

〔参考文献〕 1) The Global Peatland Initiative website : <http://www.wetlands.org/projects/GPI/>  
 2) 五十嵐八枝子, 1991 : 時間目盛りとしての泥炭の堆積速度. ジオサイエンス技術研究報告, 3, 60-66. 3)

Neuzil, S.G., 1995 : Onset and rate of peat and carbon accumulation in four domed ombrogenous peat deposits, Indonesia. Biodiversity and sustainability of tropical peatland, 55-72. 4) Yulianto, E., K. Hirakawa, and H. Tsuj, 2004i : Charcoal and organic geochemical properties as an evidence of Holocene fires in tropical peatland, Central Kalimantan, Indonesia. TROPICS, 14 (1). 5) Page, S.E., F. Siegert, J.O. Rieley, H.D.V. Boehm, Adi Jaya and S.H. Limin, 2002 : The amount of carbon released from peat and forest fires in Indonesia during 1997. Nature, 420, 61-65. 6) MacKinnon, K., Gusti Hatta, Hakimah Halim and Arthur Mangalik, 1996 : The ecology of Kalimantan, The ecology of Indonesia series Vol. 3, pp 802. 7) Indonesian Ministry of Environmental and UNDP, 1998 : Forest and land fire in Indonesia : impact, factor and evaluation. 211pp. 8) 高橋英紀, 1999 : カリマンタン内陸泥炭湿地の水文気象環境—特に森林火災の影響に着目して—. TROPICS, 9 (1), 17-25. 9) Usup, A., Y. Hashimoto, H. Takahashi, and H. Hayasaka, 2004 : Combustion and thermal characteristics of peat fire in tropical peatland in Central Kalimantan, Indonesia. TROPICS, 14 (1), 1-19.