

博士（地球環境科学） アスワイン ウスプ

学位論文題名

Peat fire characteristics of tropical peatland  
in Central Kalimantan, Indonesia

（インドネシア・中央カリマンタン熱帯泥炭地における泥炭火災の特性）

学位論文内容の要旨

インドネシア・カリマンタンに分布する熱帯泥炭地は 8.6Mha でインドネシア全泥炭地面積の 44% に相当する。この熱帯泥炭地の大部分は内陸性で熱帯湿地林に由来する木質泥炭で構成されている。この熱帯泥炭地上に成立していた熱帯泥炭湿地林は、1990年代にはいると、農地開発にともなう森林の皆伐と大規模排水路建設による泥炭地の乾燥化や、合法あるいは非合法組織による経済木の伐採により荒廃した。そのため農地造成時の火入れや道路沿いでの失火などが原因で泥炭火災が発生し、1997/98 年のエルニーニョ現象にともなう大規模泥炭火災では地球温暖化物質である炭素が大量に放出される事態にいたった。1990年代にはこのような大規模泥炭火災は3-4年周期で発生するエルニーニョ現象による東南アジア地域の乾燥にともない発生していたが、2000年代にはいると、カリマンタンではエルニーニョ現象発生時以外にも発生するようになり、地球温暖化への影響がさらに懸念される事態となつた。しかし、熱帯泥炭火災の発生・延焼のメカニズムについての研究は少なく、防火対策をたてるための基礎情報が極度に不足しているのが現状である。そこで、本研究では(1)熱帯泥炭地における燃焼物質の構成とそれらが燃焼するプロセスを実際の泥炭火災における観測で明らかにするとともに(2)熱帯泥炭の諸燃焼特性を実験室で明らかにして、熱帯泥炭地における泥炭火災の発生・延焼のメカニズムを明らかにすることを目的とした。

泥炭火災の現地観測は中央カリマンタンの州都であるパランカラヤ市内、パランカラヤ大学敷地内に設けた泥炭火災実験場とパランカラヤ市と南南東約 70km に位置するプランピサウとを結ぶ国道周辺で2002年に発生した9箇所の泥炭火災現場を対象に行なつた。調査項目は泥炭層とその上に堆積しているリター層、草本・樹木などの植物層のバイオマス量、火災で焼失したバイオマス量、泥炭の燃焼温度、火災延焼の速度や延焼パターンなどである。熱帯泥炭の燃焼諸特性については、火災現場で採取した泥炭や樹木を持ち帰り、実験室において熱重量測定法 (TG-GTA)・ボンベ熱量計を用い、着火温度・可燃ガスピーク燃焼温度・チャーピーク燃焼温度および燃焼速度・発熱量などの燃焼物性を明らかにした。

熱帯泥炭地における火災は燃料となる物質の分布により大きく (1) 泥炭火災、(2) 地表火災、(3) 樹木火災の 3 つのタイプに分けられる。それらの火災は相互に影響しあいながら着火・延焼するが、本研究はその中の泥炭火災に焦点をあてたものである。

現地観測の結果、泥炭が着火するときの水分含量は 40 gr%以下で、泥炭火災の延焼プロセスには表層泥炭火災と下層泥炭火災の 2 つにタイプがあることが明らかとなった。表層泥炭火災は表層から次第に下層に向けて燃焼が進みながら燃焼面積を拡大するタイプで、一方の下層泥炭火災は生きている草本や木本類の根が密に分布する表層 20–30 cm を残してその下層に燃焼が進むタイプである。表層泥炭火災の燃焼前線の水平移動速度は 42–155 cm day<sup>-1</sup>で、寒冷泥炭地で観測された値と同程度であった。しかし、下層泥炭火災の場合は 12–60 cm day<sup>-1</sup>で、表層泥炭火災の 1/3 程度の移動速度であった。泥炭燃焼時の温度は燃焼前線では 275°C 前後を示したが、部分的には 400°C に達する部分もみられた。

地上部の燃焼物質が枯れ草の場合と乾燥した木片で覆われている場合の泥炭表面、表層、下層の温度を野外で測定し、枯れ草の場合には着火温度に近い高温の時間が 1–2 分で非常に短く、泥炭層が着火するにいたらなかった。しかし、木片の場合には 20 分以上も着火温度に近い高温状態がつづき、泥炭表層は着火燃焼した。このことは、表層泥炭の着火には地上部に乾燥した倒木などの多くの可燃物の存在が必要であることを示唆するものである。

泥炭火災時の燃料となるバイオマス量を深さ 1 m の泥炭層から地表のリター層、草本・木本層までを対象に測定した結果、泥炭層のバイオマス量は全体の 80% をしめ、地上部は 20% に過ぎなかった。また、2002 年の火災で観測した 9 地点で焼失したバイオマス量は 76% が泥炭層由来であった。焼失した泥炭層の深さは最深で 80 cm、平均で 39 cm であり、火災跡地では微地形が激変した。また、深さ 30 cm 以上の泥炭層が焼失したばあい、その土地に成立していた森林は激甚な被害をうけること、およびそれには下層泥炭火災が深くかかわっていることなども明らかとなつた。

一方、実験室で行った熱重量測定法による分析では表層 (0–20 cm) の泥炭層中で 2 mm のフルイに残る粗い泥炭素材の可燃物質含有率は 70% で、フルイを通過した細かな素材の 47% よりはるかに多かった。また、20–60 cm の深い層に含まれる粗い素材と細かな素材の可燃物質含量はそれぞれ 45% と 36% で表層泥炭に比べ少なかった。泥炭中の水分は、泥炭の着火に大きな影響を及ぼすが、93–151°C の範囲で全て蒸発し、泥炭中の可燃性ガスも 250°C 以下で放出され、ヘミセルローズやセルローズが熱分解する 256–277°C で泥炭の燃焼が発熱過程に入ることが明らかとなった。また、310–330°C の付近で発炎燃焼とチャーフィングをともなうピーク熱分解、また 411°C 付近でチャーフィングが生じていることが明らかとなった。この泥炭の燃焼過程で表層泥炭 (0–20 cm) の可燃物質の燃焼速度は 1.12–3.87 mg min<sup>-1</sup> であったが、深い泥炭層 (20–60 cm) は 0.56–1.43 mg min<sup>-1</sup> で、現地観測で確認された下層泥炭火災における燃焼前線の比較的遅い移動速度を説明するものである。なお、泥炭の発熱量は 18–19 kJ g<sup>-1</sup> で、深さや構成素材の粗細による差は少なかった。

以上の結果から熱帯泥炭地において頻発する泥炭火災の着火・延焼プロセスが明らかとなり、熱帯泥炭火災の防止に向けて貴重な情報を提供することができた。

## 学位論文審査の要旨

主査 教授 平川 一臣  
副査 教授 小野 有五  
副査 教授 福田 正己  
副査 助教授 早坂 洋史 (工学研究科)  
副査 教授 神谷 光彦 (北海道工業大学)  
副査 所長 高橋 英紀 (北海道水文気候研究所)

### 学位論文題名

### Peat fire characteristics of tropical peatland in Central Kalimantan, Indonesia

(インドネシア・中央カリマンタン熱帯泥炭地における泥炭火災の特性)

本研究は熱帯泥炭火災が頻発し広大な泥炭が焼失しているインドネシア中部カリマンタン州において 2002 年 8 月に実際に発生した泥炭火災 10 地点を詳細に調査し、泥炭火災を表層泥炭火災と下層泥炭火災に区分すると共にその火災前線の進行速度、燃焼時の泥炭温度と土壤水分状態などを明らかにした。また、泥炭火災時に燃焼した有機質量を地上部・泥炭層部に分けて計測し、2002 年の泥炭火災で焼失した有機質量は地上部の草・木が 24% であるのに対し、泥炭層が 76% で 3 倍以上も多いことを明らかにした。

地上部の燃焼物質が枯れ草の場合と乾燥した木片で覆われている場合の泥炭表面、表層、下層の温度を野外で測定し、枯れ草の場合には着火温度に近い高温の時間が 1-2 分で非常に短く、泥炭層が着火するにいたらなかった。しかし、木片の場合には 20 分以上も着火温度に近い高温状態がつづき、泥炭表層は着火燃焼した。このことは、表層泥炭の着火には地上部に乾燥した倒木などの多くの可燃物の存在が必要であることを示唆するものである。

泥炭の燃焼深さと森林樹木の枯死率の関係を比較した結果、深さ 30 cm 以上泥炭が焼失した場合に、森林の被害は国際熱帯林協会の基準による「重大な被害」が発生することが判明し、本研究で初めて明らかにした下層泥炭火災が熱帯泥炭火災を特徴づけるとともに、火災被害の拡大を左右する鍵であると言える。

泥炭火災時の着火・延焼メカニズムを明らかにするため、泥炭火災の燃料と

なる、泥炭・樹木について着火温度・可燃ガスピーク燃焼温度・チャーピーク燃焼温度および燃焼速度・発熱量などの燃焼物性を熱重量分析計 (TG-GTA)・ボンベ熱量計を用いて明らかにした。泥炭の着火温度はおよそ 260-280°C で泥炭表層の方が下層よりもやや低温で発火し、2 mm のふるいに残る粗い泥炭構成物質のほうが細かな泥炭構成物質より低温で着火することが明らかになった。この表層に分布する燃焼しやすい特性をもつ粗い泥炭構成物質が、表層泥炭火災発生と延焼プロセスを特徴づけると考えられる。また、下層泥炭がもつ遅い揮発性物質放出速度は、現地観測で得られた、下層泥炭の遅い燃焼前線移動速度をよく説明している。

以上の結果から熱帯泥炭地において頻発する泥炭火災の着火・延焼プロセスが明らかとなり、熱帯泥炭火災の防止に向けて貴重な情報を提供することができた。

審査員一同は、これらの成果を高く評価し、また大学院課程における研鑽や取得単位なども併せ、申請者が研究者として誠実かつ熱心であり、博士（地球環境科学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと判定した。