

熱帯泥炭湿地と地球環境問題

鳴村鉄也

熱帯の低湿地、とくに島嶼部では、水が溜まりやすい場所で植物遺体の分解がある段階で抑えられ、泥炭が堆積し熱帯泥炭湿地林とよばれる特異な景観が発達することがある。この泥炭は厚さが最大で20~30m程になり、ドーム状の地形を形成する。このドームの上では泥炭の厚さにしたがって、4-5種類の異なる植物群落が発達し、多様な植物が生育することが知られている。この泥炭湿地林の発達には、熱帯島嶼部の気候・地形・地質といった大きなレベルでの要因と、気候・地形の変化にともなう小さなレベルでの植生遷移によって成り立つ。この特異な景観では、生態系の維持機構が特異であるだけでなく、その開拓・開発過程も独特なものとなっている。また、その開発は多くの場合、失敗に終わっている。泥炭湿地の特異性や、社会的背景に対する理解不足のためである。本稿では、この泥炭湿地林の景観・成立過程・開発の歴史について概説し、泥炭地の特殊性とそれに起因した問題点を整理し、現在において不足し、必要とされる知見について概観する。

1. 泥炭湿地林の景観

東南アジアの低湿地では、海水~汽水域~淡水域にかけてマングローブ林がひろがり、そこから内陸部に向けて淡水湿地林や、泥炭湿地林といわれる森林が広がっている。なかでも泥炭湿地林は、植物遺体の分解が十分に進まずに堆積した泥炭とよばれる有機質土壌の上に森林が成立している。日本だと、尾瀬や釧路湿原の泥炭などが有名であるが、これらはミズゴケの遺体が冠水条件下で溜まったものであり、熱帯の泥炭とは異なる。熱帯の泥炭は植物の葉・幹・根など、とくに木質化した部分が冠水条件下で堆積したものである。また、湿地林とよばれるだけあって、地下水位は比較的高く、季節的に湛水する。このような泥炭はいわゆる通常の土壌と異なり、上から圧力を受けると簡単に沈んでしまう。そのため、道路の設置・維持は困難であり、道路網の発達には遅れていた。また、マラッカ海峡周辺の低湿地ではマラッカ海峡の潮の満ち引きの影響を受け、海嘯とよばれる現象が生じる。これは、満潮で上昇した海水が河に流れ込み、水を逆流させる現象である。河川の下流から大きな波が押し寄せてきて、一瞬にして水位を上昇させる。

この湿地帯には本流となる大きな河川とそれを支える小さな河川が網目状に張り巡らされている。支流の源流は丘陵地の下部に達しており、そこには村落がある。もともとはフタバガキ林や淡水湿地林があり、ゴム・アブラヤシなどのプランテーションの他に水田耕作が行われている。また、支流と本流の合流地点は交通の要となる場所であり、村落がある。河川沿いには自然堤防が発達しており、その後背湿地に泥炭湿地林が広がっている。村落はこの自然堤防の上から、后背湿地に向けて発達する。住居は高床式であり、家が水に浸からないようになっている。たいていの家庭では鶏が放し飼いにされていたり、経済的に余裕のある家庭は肉牛を所持したりしている。また、家の庭ではココヤシ・ランブータン・グアバ・ジャックフルーツなどが栽培されている。このような村の人口は増加中であり、若い世代は独立して森林を開いて家を建てる。このようにして村落は奥へと広がっていく。河川を挟んだ村落の反対側では、水田耕作が行われている。

村落を離れて泥炭湿地林にアクセスすると、タコノキ（パンダヌス）が下層～中層にかけて生い茂り、その上に高木層・突出木層に達する樹木がみられる森林が目の前に広がる。また、多くの樹木は、気根・板根・支柱根と呼ばれる異形根を発達させている。このような異形根は、冠水状態でも根が呼吸することができるようにするために発達したとされている。地面からまっすぐ突き出た棒状根や、曲げた膝が突き出しているように見える膝根、タコの足のように見える支柱根や、木の幹から板が張り出しているように見える板根などがある。初めて足を踏み入れた際には目を奪われること間違いなしである。これらの根は、冠水時にも、上部は大気と触れる位置にあり、地下部へと酸素を送り込んでいる(写真 1)。季節的には水たまりがみられ、その水は褐色であり、酸性となる。この褐色の水は、水抽出されたお茶のようなものと表現され、腐植酸・フルボ酸・ポリフェノールなどを含む。泥炭地で調査をする際には、この水を用いて炊飯をするのであるが、炊きあがる米の色は茶色となっている。この水は甘酸っぱく、旨くもないが、不味くもない。地表面には落ち葉が大量に敷き詰められており、その上に立つと、足下が数 cm 沈み、周囲の木がゆれるのがわかる。これは、近く植物が張り巡らした根の上に立っているからである。泥炭は非常に柔らかいものであり、根が無い場所に立てばたちまち膝から股下までその人は埋まってしまう。また、川を背に泥炭地の内部へ行くと、樹高が低く・樹種数も少ない林分に到達する。ここではルートマットとよばれる、ほとんど細根のみからなるマットが発達している。ここを歩くには、一步ごとにこのマットを踏み抜かなければならず、そのたびに足がどこで止まるかを気にしなければならない。さらには、冠水している時期には、水の下に何があるかわからず、歩くのが非常に困難になる。そのため、非常に足場は悪く、歩き慣れるのにそれなりに経験と時間を要する。地元の速度には到底か

悪く、歩き慣れる要する。地元の速度には到底か



写真 1. *Swintonia glauca* の板根と根が絡みあう泥炭湿地林の地表面

ンダーソンの泥炭説明されているルによると、熱段階として、沿緩やかになり沖グロブが侵入へ向かうにつれ動し、内陸部はいく。さらに堆林、淡水湿地林と同時に、内陸自然堤防が発達形は皿状になり、ズ状の泥炭が発マングローブ林

2. 泥炭湿地林の形成と発達

このような景観の発達は、ア炭湿地林形成モデルによって (Anderson 1961)。このモデル帯泥炭湿地林が形成される前岸域のデルタなど水の流れが積堆積物が多い場所へとマンするとされている。堆積物が沖でマングローブ林も沖へと移淡水湿地林へと置き換わって積が継続するとマングローブがともに海側に向かって進行する側では満潮時の河川の逆流によりする。この自然堤防で囲まれた地そこに泥炭が堆積を始め、凸レン達する。つまりこのモデルでは、だった場所が、淡水湿地林へと変化しさらに泥炭湿地林へと遷移していくという直感的に理解しやすいものである (図 1)。

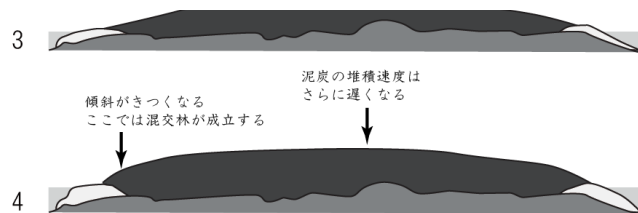


図 1. Anderson(1961)による感潮帯の泥炭堆積過程

3. 泥炭湿地林の植生

熱帯泥炭湿地林は熱帯域における代表的な森林の一形態であり、スマトラ島・ボルネオ島・ニューギニア島とマレー半島に多くこれらの森林はドーナツ状に発達した泥炭上に生育す流れ、泥炭の厚さによって、周縁につれて同心状示すことが知らブルネイの泥炭林型が識別され、炭湿地林では四られている。一般単位面積当たり

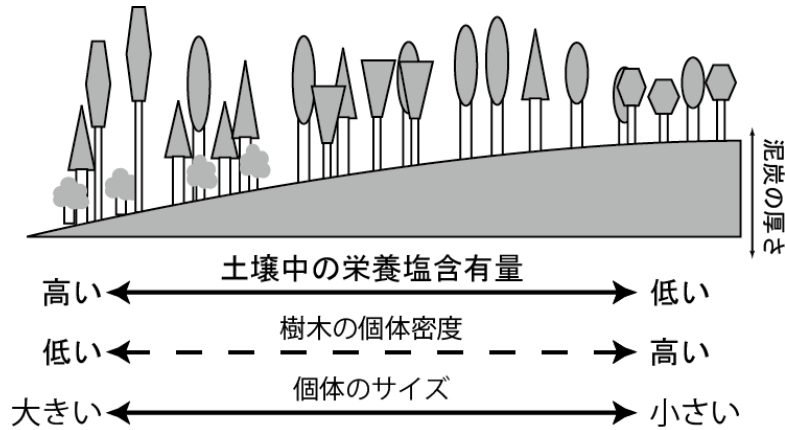


図2. ピートドーム上の植生変化の模式図

的に、この変化は (1) の種の減少、(2) 単位面積当たりの個体数の増加、(3) 樹木の直径の減少をともなうものとされている (表1)。中央カリマンタン州の泥炭湿地林では、河岸林、混交林、低木林型、高木林型の4相に大きく分けられている (図2)。

表1. 中央カリマンタン州の泥炭湿地林における河川の距離と森林の特徴 (Poesie et al. 2011より作成)

	河岸	混交林	混交-低木林	低木林1	低木林2
高木林					
河からの距離 (km)	0.4	2	4	7	9 12
種数	86	83	81	65	69 80
胸高断面積合計(m ² /ha)	41.9	38.0	48.0	37.4	41.3 42.9
個体密度(/ha)	3156	3138	3044	4331	4331 2481

4. 泥炭湿地に含まれる泥炭

熱帯泥炭湿地林は地下部に膨大な量の炭素を含み、そこから発生する二酸化炭素といった温室効果ガスの放出量は膨大であり地球環境問題と関連して多くの注目を集めている。森林を育てることが、植物による二酸化炭素の固定をつうじて、地球温暖化の抑制になるといわれる。一般に森林の樹木が占める断面積の割合は1%以下で、せいぜい0.8%である。した高さ20-30mまでの空間の0.8%を樹応じた炭素を固定していることとな壤であるから、地下部のほぼ100%を深さが10mを越えるものも多くあ体がその基質となっているために、量の炭素を含む。したがって、単位面る炭素量は、地上部の炭素量のみがなる他の森林とは比べものにならなに含まれている炭素が、温室効果ガ放出される過程には、以下の二通り泥炭は水に浸かっている時は安定し



写真2. 小規模排水路

がって、森林では木が占め、それになる。一方、泥炭は土占めており、そのる。泥炭は植物遺植物とほぼ同等の積当たりに蓄積すその計測の対象とい量となる。泥炭スとして大気への過程が存在する。ているのであるが、

何らかの要因によって乾燥するとたちまち不安定なものになる。泥炭湿地林を開発するためには、森林内に排水路を掘り、皆伐を行う。伐採された樹木は排水路を通じて搬出される。農地に転換する際は排水によって乾燥した泥炭に火入れを行う。このようにして排水された泥炭地は農地として使い物にならなくなることがあり、放棄される。すると、森林が伐採されチガヤが繁る荒廃地が広がることとなる（写真2）。この荒廃地の泥炭は、水位が低下する乾季には乾燥する。この状態のまま泥炭を放っておくと、それまで酸性の水に浸かっているために抑制されていた微生物の活動が活発になり、泥炭の分解が進行し、固定されていた炭素が二酸化炭素として大気中に放出されることとなる。また、乾燥した泥炭は非常に燃えやすく、野火などにより燃焼することで膨大な量の炭素が大気へと放出されることとなる。これら分解と燃焼という二つの経路が、泥炭から大気へと温室効果ガスを放出する機構となっている。

5. 泥炭湿地林の開発史 農地開発とその問題

泥炭の開発は泥炭の厚さが薄い周辺部から着手される。人里から近いという理由の他に、開発のために伐採をおこなった際に周辺部の樹木が高く売れるということ、泥炭が薄く排水が行いやすいこと、土壌中の養分が中心部よりも多いなどの理由がある。可耕地への転換は、泥炭地を乾燥させ、皆伐し、焼き払うことによって達成される。この過程は、泥炭地を劣化させ、さまざまな環境問題を引き起こす。ここでは、インドネシア・中央カリマンタン州での大規模開発とそれが引き起こした問題について概説を行う。

中央カリマンタン州の泥炭湿地は1950年代まで現地先住民であるダヤック族によって利用されていた。これらの利用は、小規模な林産物の取得や漁労といった持続的なものであり、生態系に対する影響は小さいものであった。1960年代中期以降にこれらの土地は、移民によって開発がなされるようになった。その規模は1980年代に政府の移民政策に伴う開発とともに増大した。当初移民は泥炭地の開墾に着手したが、多くの開発は失敗に終わった。そのため、多くの移民は生業を農業から、違法伐採へと変えるようになった。この違法伐採は多くの泥炭湿地林を劣化させることとなった。1995年に政府は大規模水田開発計画（メガライスプロジェクト）に着手した。このプロジェクトは当初の目的を達成できず、その結果としてその結果として100万haの土地のうち80%の泥炭地が、劣化した状態で残された。

メガライスプロジェクト以降にエルニーニョ現象によって引き起こされた火災の影響はさらに深刻である。エルニーニョ現象に伴う乾燥は、泥炭地での大規模火災を引き起こす。1997年の大規模火災によって、インドネシア一国からは0.8-2.6Gtの炭素が泥炭地の火災によって放出されたとされている。これは地球上の化石燃料の消費量の13-40%に相当する（Page et al. 2002）と推定されている。

このようにメガライスプロジェクトでは大規模開発によって森林が失われただけでなく、土地が火災に対して脆弱な土地となり、耕作地としての価値も失われている。そして、開発された土地の大部分は放棄農地となっており、人為的な管理がなされていない。その大部分では、チガヤが密生し、一部残存する泥炭が薄い場所ではガラム（*Melaleuca leucadendra*）と呼ばれる樹木の純林となっている。他の一部の場所では、オイルパームやゴムのプランテーションや、耕作が行われているが、火災は頻発し深刻な煙害などが引き起こされている。

6. おわりに——

熱帯泥炭湿地林は1990年代までほとんど研究が行われてこなかった場所であるらしい。古川（1992）によると、19世紀末のオランダ人によるスマトラ横断記録がはじめらしいと書かれている。また、山田（1986）は熱帯泥炭湿地林の研究例は少ないとし、Anderson（1961）の一連の仕事を東南アジアの泥炭湿地林についての唯一のまとまった仕事であるとしている。Andersonは、泥炭湿地林の植物群集が泥炭の厚さに伴い変化することを示し、その植物群集の記載を詳細におこないタイプ分けや、花粉分析による植生の復元なども行った。日本でも1980年代から古川らのグループが泥炭湿地林に関する総合的な研究を行い、その集大成として

『インドネシアの低湿地』という本（古川 1992）が出版されている。この本は、膨大な量の観察と調査に基づいて書かれている優れたモノグラフである。

その後、2000年代になり、地球温暖化問題との関連から泥炭の炭素蓄積量に関する研究が数多く出版されはじめる。なかでも S. E. ペイジ（Susan Page）が発表した論文（Page 2002）は、泥炭湿地の焼失が大気へと放出する炭素量が膨大であることを知らしめた論文である。これを皮切りに、炭素収支の測定や、土地利用変化にともなう炭素動態の変化などに関する知見が数多く発表されてきた。しかしながら、それらの大部分は炭素動態に関連するものがほとんどであり、バランスを少々欠いたものとなっているような印象をうける。

一方で、泥炭湿地林における生物の営みを取り扱った研究の数はきわめてかぎられている。それどころかここに生育・生息する生物の記載すらしっかりと行われているのかどうか疑問である。現在、泥炭湿地林は減少しつつあるが、そこに生育する生物は植物や大型哺乳類を除いて、満足な記載すらされていないのが現状である。このことは、多くの生物種が、その存在を知られることなく、泥炭湿地林とともにその姿を消しているということである。

他の熱帯域の生態系と比較して、泥炭湿地林の生物多様性は低いと思われて無視されてきたこと、この無知と無視により、保全すべき生態系が失われていることが指摘されている（Dennis and Aldhous 2004）。この記載すら満足に行われていない状態でも、オラン・ウータンをはじめとするほ乳類や鳥類の生態や動態に関する研究はある程度成果をあげている。また、動物と植物の開花結実に関する研究成果が幾つか発表されたりしているが、まだまだその数は不十分であると言わざるを得ない。

さらに少ないのは、泥炭湿地林という環境を利用してきた住民生業や歴史に関する研究である。現在、泥炭湿地林はその固定する膨大な炭素量によって、多くの注目を集めるようになってきた。これは、温室効果ガスの生成という全人類に関わる問題と強く関連しているためである。しかしながら、この環境と向き合って生活をしている地元住民は、温室効果ガスの問題などよりも差し迫った問題を抱えていることが多い。もちろん、森林の消失や泥炭の焼失に危機を覚える人も多くいるが、実際にそれに対して何らかの行動をおこす余裕のある人々というのはごく一部である。劣化した泥炭湿地を森林へと戻すのに、少なくとも数十年は必要である。つまり、泥炭という非常に脆弱な土壌を数十年という期間、安定的に維持しなければならないのである。そして、この泥炭を安定的に維持するためには、地元社会が数十年の間、安定していることが不可欠なのではないだろうか。もちろん、その森林を管理するためにも、生物の営みに関する基本的な知見も必要となるであろう。泥炭湿地林を巡る環境問題とは、温室効果ガスや炭素動態のみの問題ではなく、生物・環境・人間社会の問題として総合的に捉えるべきものである。

引用文献

- Anderson, J. A. R. "The Ecology and Forest Types of the Peat Swamp Forests of Sarawak and Brunei in Relation to Their Silviculture" (PhD diss., University of Edinburgh, 1961).
- Dennis, C. and Aldhous, P. 2004. "Biodiversity: A Tragedy with Many Players", *Nature*, 430:396-398.
- 古川久雄 1992. 『インドネシアの低湿地』勁草書房
- Page, S. E., Siegert, F., Rieley, J. O., Boehm, H. D. V., Jaya, A. and Limin, S. 2002. "The Amount of Carbon Released from Peat and Forest Fires in Indonesia During 1997", *Nature*, 420:61-65.
- Poesie E. S., Shimamura, T., Page, S. E., Ninomiya, I. and Limin, S. H. 2011. "Species Composition and Phylogenetic Diversity in a Tropical Peat Swamp Forest, Central Kalimantan, Indonesia", *TROPICS*, 19:93-105.
- 山田勇 1986. 「東南アジア低湿地の植生」熱帯農業研究センター編『東南アジアの低湿地』農林統計協会, 104-196 頁.