

平成 19 年度 グローバル COE プログラム
「生存基盤持続型の発展を目指す地域研究拠点」
次世代研究イニシアティブ 成果報告書

京都大学大学院 農学研究科 研究員 伊藤雅之

研究課題： 熱帯森林生態系における温室効果ガス動態解明のための安定同位体的研究

はじめに

地域規模、地球規模の温暖化など環境問題が深刻化するなかで、全陸域の約 45%もの地上バイオマスが存在する熱帯森林での温室効果ガス（二酸化炭素・メタンなど）動態の早急の把握が必要とされている。また、早急な炭素の吸収源対策への必要性から、熱帯地域の炭素循環の解明は喫緊の課題である。とくに現在アジア地域で進行している森林破壊による地域生態系の変化は全球規模の炭素循環機構のバランスに大きく影響を与えうするため、それへの人為的影響を明らかにする必要がある。

熱帯地域での温室効果ガス動態は全球レベルの温暖化に影響することが言われているが、これまで熱帯林、特にアジア域における物質循環に関する研究は極めて少ない。そこで、将来的な温暖化モデルをより精緻にするためには大規模な拠点観測による物質循環バランスの変動の現状の把握が必要となる。

とくに、二酸化炭素に比べて大気中の濃度は低いにもかかわらず、強い温室効果を持つメタンや亜酸化窒素と言った微量温室効果ガスが熱帯域の各土壌でどのように生成・消費され、結果として地表面から放出・吸収されているのかということについての情報を得ることは、今後の温暖化予測の精度向上にも貢献する非常に重要な研究課題と言える。

二酸化炭素を含め、これらの温室効果ガスの土壌中の動態は微生物活動に寄るものが多く、たとえばメタンであれば、湿地や水田のように嫌氣的（低酸素の）環境においてはメタン生成菌が活動し、土壌中への酸素の供給が比較的多い乾いた好氣的な森林土壌や畑地などではメタン酸化菌が活動する。また、亜酸化窒素の場合には、好氣的土壌における硝化過程（硝化菌）においても、嫌氣的土壌における脱窒過程（脱窒菌）においても生成される。よって、一般的には湿地や水田など湛水した土壌においてはメタンが生成され、森林など比較的乾いた土壌に置いてはメタンが吸収されと考えられる。しかしながら、実際の森林などの土壌内部には土壌団粒の内部に嫌氣的な部位が存在し、そこではメタンの生成も起こっていることが十分に考えられる。また、亜酸化窒素に関しては、様々な環境条件下で硝化由来と脱窒由来のものがどの程度の割合で生じるのかということが分からなければ、土壌中での動態解明は不可能なままであるといえる。

申請者らグループは、多くの自然科学的研究が行われ、東南アジアにおける生態学研究の拠点と言えるマレーシア Pasoh 森林保護区を対象に、森林大気間の温暖化ガス交換観測を進めてきた。森林生態系においてこういった自然科学的物質循環研究を進めることは、熱帯地域のバイオマスの大半を占める熱帯林の、水・炭素・窒素循環に関する理解の第一

歩となる。また、人為的な土地改変が強度に行われているインドネシアの泥炭湿地林においても観測を行った。

調査地概要・方法

1. 半島マレーシア Pasoh 森林保護区

マレー半島ネグリセンビラン州(2°59' N, 102°18' E)に位置する、Pasoh 森林保護区において、地表面からのメタン・亜酸化窒素・二酸化炭素の 3 種の温室効果ガスフラックス、各観測地点の土壌の炭素・窒素含有量、土壌の炭素安定同位体比、土壌の水分特性を観測した。観測対象サイトは低地フタバガキ林である。同時に、土壌空気中のそれぞれのガス濃度も測定した。各種のフラックス測定にはクロードドチャンバー法を用いた。サンプリングは 120m×220m のプロット内に計 34 個のチャンバーを設置して行った。現地で採取したサンプルは京都大学に持ち帰り、各種分析に供した。分析はメタン・亜酸化窒素はそれぞれ FID・ECD 検出器付きガスクロマトグラフを用い、二酸化炭素は現地で IRGA(赤外線ガスアナライザー)を用いて観測を行った。観測は、2006 年 8 月、2007 年 3 月、12 月、2008 年 3 月の計 4 回行った。

2. インドネシア中央カリマンタン州泥炭湿地林

インドネシア中央カリマンタン州のパランカラヤ近郊の 3 サイトで行った。原始的な森林である Setia Alam (過去に伐採のために表層のみ排水が行われたが、現在は水位回復工事が行われた)、一度伐採のために排水を行ったが、泥炭の分解を防ぐために水位回復工事を行った Kalanpangan、そして排水・伐採・火入れが行われた後に放棄され Galam (*Melaleuca* sp.) の純林が形成されている Buntoi 村の 3カ所で行った。Buntoi では 2005 年に火入れが行われている。現存する泥炭の厚さはそれぞれ 2m、6m、50cm 程度であり、地下水面はそれぞれ地下 10、20 と地上 5cm であった。

分析項目は各種溶存イオン濃度、溶存メタン・二酸化炭素濃度、それらの炭素安定同位体比、溶存有機炭素濃度とその炭素安定同位体比である。観測は 2007 年 2 月と 9 月に行った。

結果と今後の展開

1. 半島マレーシア Pasoh 森林保護区

一般に、乾燥した土壌においては土壌中のメタン酸化がメタン生成に比べて卓越するため、地表面においてメタンは土壌中に吸収されることが多い。本観測地においても、乾期にはメタン吸収が雨期に比べて大きく、土壌水分とメタン吸収の間には負の相関が見られた。このことは、メタン酸化が温度の変動などによっても影響される温帯などの土壌と異なり、高温で維持される熱帯に置いては、降水量の変動に伴う土壌水分条件の変動がメタン吸収の時間変動の主な支配要因になっていることを示した。また、温帯の森林などでよく見られる、湿潤時の土壌中のメタン生成に起因するメタンの放出は高土壌水分時においてもほとんど見られなかった。このことは、本観測地においては温帯森林土壌にくらべて、土壌中のメタン生成菌の活性が低い可能性を示唆した。一方、非常に乾燥した条件下では、時折非常に大きなメタン放出が見られたが、これに関しては熱帯特有の土壌中のシロアリの腸内

細菌によるメタン生成が寄与している可能性が考えられた。亜酸化窒素に関しても、温帯森林土壌では温度変化と水分の変動に影響される時間変動が見られることが報告されているが、本観測地においては年間を通じて地表面からの亜酸化窒素の放出は小さく、明瞭な時間変動は見られなかった。しかし、2008 年 12 月の雨期の土壌が水分飽和に近い条件下においては、ほとんどの観測地点で非常に大きな亜酸化窒素の放出が観測された。二酸化炭素に関しても、2007 年 12 月の雨期に年間を通じて観測される値の最大値がえられ、本試験地では湿潤な条件下でも土壌からの二酸化炭素放出の制限はおこっていないと考えられた。本研究のこれまでの結果から、熱帯森林土壌ではこれまでの観測結果が多い温帯とは異なる機構が温室効果ガスの動態を制御していることが明らかになってきた。とくに降水量の変動に伴う土壌水分条件の変化がこれらの温室効果ガス動態に関わる要因に対して大きな影響を及ぼしていると考えられた。今後は、各種要因の分離のために安定同位体比の解析を進めてゆく。

2、インドネシア中央カリマンタン州泥炭湿地林

インドネシア泥炭湿地の地下水の酸化還元電位はどの地点においても日本の泥炭湿原などの観測地に比べてかなり高い値であった。一般に土壌中の貧酸素の条件下で嫌氣的に有機物の分解が進むと、還元的な環境が形成されるため、湛水した土壌においては酸化還元電位は負の値を取ることが多い。特にメタン生成には -200mV の還元環境が必要と言われており、これらのことから、本観測地においては排水の有無にかかわらず、比較的酸化的条件であることがわかった。また、地下水中に含まれる溶存二酸化炭素・メタンの濃度は温帯泥炭湿原である深泥池（京都市）と比較するといずれも $1/100\sim 1/1000$ 程度であり、非常に低い濃度であることが明らかになった。これらのことから本来熱帯泥炭の地下水は温帯湿原と比較して好氣的にも嫌氣的にも有機物分解が進んでいないことが予想された。溶存二酸化炭素の炭素安定同位体比に関しても、たとえば深泥池などでは嫌氣的に二酸化炭素が還元されメタンになる際におこる同位体分別によって、溶存二酸化炭素の炭素安定同位体比は元の植生の値（約 -27‰ ）にくらべて非常に高い値になることが多いが、本観測地においては植生の値とほぼ同等のまま維持されていた。地下水中の溶存有機炭素濃度などは温帯のそれに比べて同等かさらに高い値であるため、分解の基質としての炭素そのものが不足しているとは考えにくい。これらのことから、今後はなぜ熱帯泥炭が好氣的にも嫌氣的にも分解されにくいのかという機構を明らかにすることで熱帯泥炭湿原における温室効果ガス動態の解明を目指す。