

B-51 温室効果ガスの人為的な排出源・吸収源に関する研究

(2) CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O 排出・吸収に関する研究

②熱帯の土地利用変化等に伴う CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O 収支に関する現地調査<sup>注1)</sup>

研究代表者 農業環境技術研究所 環境管理部 影響調査研究室 鶴田治雄

農林水産省 農業環境技術研究所

環境管理部 影響調査研究室

鶴田治雄・秋山博子・中島泰弘

須藤重人 (科学技術特別研究員)

農林水産省 林野庁 森林総合研究所

北海道支所 育林部 土壌研究室

石塚成宏

(委託先) 千葉大学園芸学部

犬伏和之 アブデュル・ハディ

平成8-10年度合計予算額 71,814千円<sup>注2)</sup>

(平成10年度予算額 24,522千円)

[要旨] 熱帯アジアでは、広大な面積を占める熱帯林や泥炭湿地が消失して、農耕地やプランテーションなどに移行する土地利用変化が急速に進行しており、温室効果ガスの発生・吸収に大きな影響を及ぼすと推測されているが、これまで組織的な調査研究が行われていなかった。そこで、インドネシア・スマトラ島のジャンビ県内の湿潤熱帯林とその周辺の異なる土地利用形態の6地点で、CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O の土壌から大気中へのフラックスを年間を通して測定した。その結果、CH<sub>4</sub> は土壌へ吸収されていたが、CO<sub>2</sub> と N<sub>2</sub>O は大気中へ放出されていた。N<sub>2</sub>O の発生は、一次林から択伐林そして伐採・焼却されていくと次第に大きくなり、その後植林されると再び小さくなった。CO<sub>2</sub> の発生は、一次林から択伐林への移行とともに増加したが、伐採・焼却後は減少し、その後植林されると次第に増加していった。一方、CH<sub>4</sub> の吸収は、一次林から択伐林への移行とともに減少し、伐採・焼却地ではほとんど吸収しなくなったが、その後の植林でふたたび増加した。このような変化は、調査地点で採取した土壌の培養実験による温室効果ガスの発生・吸収ポテンシャルの結果と一致しており、熱帯林が伐採・焼失して裸地化することによって、温室効

注1) 本課題は、平成9年度に実施した次の二つのサブサブ課題(B-9.1とB-16(1)①)が、平成10年度だけ一つに合体したものである。

B-9. アジア太平洋地域土地利用変化が地球温暖化に及ぼす影響に関する研究

(1) 土地利用変化に伴うメタン・亜酸化窒素の収支及び土壌中の炭素・窒素の収支に関する現地調査研究 (平成8-9年度)

B-16. 地球温暖化抑制のための CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O の対策技術開発と評価に関する研究

(1) 農耕地から放出されるメタンと亜酸化窒素の発生抑制技術に関する研究

① 水田及び畑地から放出されるメタンと亜酸化窒素の発生抑制技術に関する研究 (平成7-9年度)

注2) 上記2つのサブサブ課題の3年間における合計予算である。

果ガスの発生・吸収量が大きく変化することが明らかになった。また、深さ別の土壌培養実験によれば、N<sub>2</sub>O と CO<sub>2</sub> の生成は表層土壌（0～5 cm）で最大であった。一方、CH<sub>4</sub> の吸収は深さ10cm 以下の土壌のほうが表層土壌より大きかった。カリマンタン島南部のバンジャルマシンの泥炭湿地で、温室効果ガスのフラックス測定を 1998 年 12 月に初めて実施し、CH<sub>4</sub> の発生量は熱帯のアマゾン地域よりも少なく、N<sub>2</sub>O については非常に大きな放出量を示す地点があることが明らかになり、泥炭湿地の土地利用変化が影響を及ぼしていると推測された。

[キーワード] インドネシア、湿潤熱帯林、泥炭湿地、土地利用変化、温室効果ガス、発生・吸収量

## 1. はじめに

アジア太平洋地域では人口の急増に伴い、土地利用形態が大きく変化しつつある。特に熱帯地域では、熱帯林が消失して農耕地などに急速に変化しつつある。このような土地利用／土地被覆の変化によって温室効果ガスの放出量や吸収量が変化し、地球温暖化に影響を及ぼしていると推測されている。しかし、熱帯アジア地域では、これらの研究はこれまで実施されていなかったため、その実態は、まったくわからなかった。そこで、インドネシアの研究者と共同研究に関する覚え書きを結び、共同でインドネシアにおいて現地調査研究を開始した。なお、インドネシアでは、広大な面積を持つ湿潤熱帯林だけでなく泥炭湿地も、調査研究の対象とした。世界のメタン発生量の約 20% は自然湿地から発生していると推定されているが、熱帯アジアの泥炭湿地からの温室効果ガスの発生・吸収に関する調査研究は、これまで行われていなかったからである。さらに、この泥炭湿地地域も一部では急速に農耕地へ移行しつつあり、その土地利用変化によってこれらのガスの発生・吸収にも大きな影響を与えると推測される。

## 2. 研究目的

本研究の目的は、これまで測定例のない熱帯アジアの湿潤熱帯林や泥炭湿地及びその周辺地域において温室効果ガスのフラックスを測定するとともに、それらの地域が伐採や焼き畑によって消失し、農耕地やプランテーションへ移行するという土地利用変化に伴う、土壌からの N<sub>2</sub>O 発生量と CH<sub>4</sub> 吸収量の長期変動を明らかにし、同時に室内実験から、土壌の物理性、化学性及び生化学性の変化が N<sub>2</sub>O と CH<sub>4</sub> の発生・吸収に与える影響を明らかにすることである。

## 3. 調査研究方法

インドネシアのスマトラ島とカリマンタン島（図 1）で現地調査を開始したので、ここではそれぞれの調査研究方法について述べる。

### 3.1. 湿潤熱帯地域

#### （1）調査地点の選定

スマトラ島中部のジャンビ県北方のパシルマヤン（図 1）にある BIOTROP 試験地及びそ

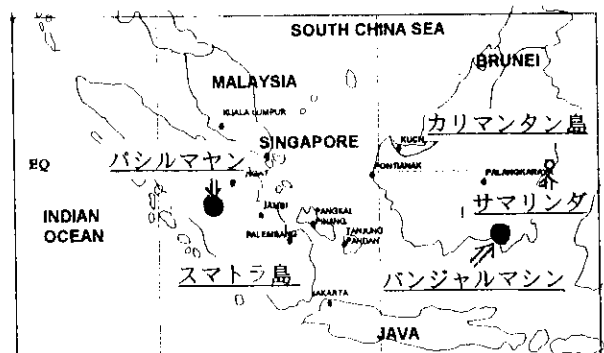


図 1 インドネシアの現地調査地点

の周辺を現地調査地域に選定し、一次林、択伐林（過去に伐採された履歴を持つ森林地域）、皆伐・焼却直後の植林地、初期ゴム林など、異なる土地利用形態を持つ 6 地点で次の調査を実施した。

#### （2）温室効果ガスのフラックス測定

上記の 6 地点で土壌表面から大気への温室効果ガス（CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O、CO<sub>2</sub>）のフラックスを、1997 年の 1,3 月に各 1 回、及び 1997 年 9 月からは毎月 1 回、クローズドチャンバー法で測定を実施中である（各地点とも 3 連）。なお、CO<sub>2</sub> の解析結果は別のサブサブ課題 B-51-(1)-①で報告されている。また、いくつかの地点では土壌中の温室効果ガスの鉛直分布を測定した。

#### （3）調査地点の土壌の分析と室内培養実験

上記の調査地点で土壌試料（攪乱土壌と、100mL 土壌円筒による非攪乱試料）を採取し、土壌の化学的、生化学的分析結果から、ガス発生・吸収の主要因を抽出した。土壌の化学性の分析項目として、pH、全炭素、全窒素、無機態窒素（硝酸態窒素とアンモニア態窒素）、形態別リン、含水比、三相組成、仮比重を、土壌の生化学的分析項目として、微生物バイオマス炭素量（クロロホルム薫蒸抽出法）、リン酸酵素活性（石塚ら<sup>9</sup>の方法）、硝化活性（びん培養法）を測定した。さらに、室内実験により、環境変動がこれらの温室効果ガス発生・吸収に与える影響を定量化するために、100mL の土壌円筒試料を採取し、ガス生成の培養実験およびガス拡散係数の測定を行った。

### 3.2. 泥炭湿地地域

カリマンタン島南部のバンジャルマシ州の湿地（図 1）において、現地の水位変動、土地利用変化、植生などの情報を収集したうえで、調査地域の特定を行ない、つぎのような現地調査と室内実験を行った。各調査地点で、チャンバー法により CH<sub>4</sub> および N<sub>2</sub>O フラックス測定のためのガスサンプルを採取し、日本に持ち帰って分析した。またガス採取地点の水位および泥炭の深さを現地で測定した。また、湿地土壌を深さ別に採取し、室内培養実験によって CH<sub>4</sub> および N<sub>2</sub>O の生成機構とその制御要因を明らかにすることを試みた（現在分析中）。さらに、湿地土壌試料の CH<sub>4</sub> 酸化能を好気および嫌気条件で測定し、CH<sub>4</sub> 生成と CH<sub>4</sub> 酸化量の収支を解析した（現在分析中）。

## 4. 結果と考察

### 4.1. スマトラ島の湿潤熱帯林とその土地利用変化地域

#### （1）調査地域と土地利用形態

1997 年 1 月、スマトラ島ジャンビ県のバシルマヤンにある BIOTROP 試験地に固定調査地点を設定した。試験地の位置は図 1 に示すように、スマトラ島中央部に位置し、土壌は Gibbsite Feralsols であり、地形は概ね平坦あるいは緩斜面である。当試験地周辺の土地利用について聞き取り調査の結果、スマトラ島中央部の森林の施業は以下のように概観できる。一次林(以下一次林(P)) → 商品価値の高い林木の抜き切り(通常は secondary forest と呼ばれることが多い、以下択伐林(L)と呼ぶ) → さらに商品価値のある材の抜き切りを行い(この状態も、通常 secondary forest と呼ばれる) → 数年内(通常 1 年内)に皆伐をおこない、乾季に火入れをおこなう(以下伐採地(O)) → それぞれの目的でゴム(以下ゴム林(R))、油ヤシ(以下油ヤシ林(Y))、

表1 スマトラ島ジャンビ県内の各調査地点の土地利用形態とその特徴

試験地名	P1	P2	L1	L2	L3	O	R	Y
土地利用	一次林	一次林	択伐林 '98年2月に最終伐採 98年3月に燃焼	択伐林	択伐林	皆伐・燃焼後、 植林	ゴム林	油ヤシ林
斜面・地形	緩斜面 斜面中部	平坦面 鈍重尾根	緩斜面 斜面上部	平坦面 平地	平坦面 平地	平坦面 鈍重尾根	平坦面 平地	平坦面 平地
設置日時	'97/1	'97/9	'97/1	'97/9	'98/9	'97/1	'97/9	'98/9
その他	数十年間 伐採記録 なし	数十年間 伐採記録 なし	98年伐採・ 燃焼後 <i>Paraserianthes</i> 植栽	研究用 保護林		96秋皆伐・燃焼 <i>Gmelina arborea</i> を植林。	林床は Alan-alan 5年生(?)	'91に植栽

早生樹の *Paraserianthes* や *Gmelina arborea*(この植栽された早生樹は数年で 10m前後に育つが、この林も現地では secondary forest と呼ばれている)などが植栽される。以上のことから、現地での「secondary forest」という土地利用区分が時系列的にも広範囲にわたるあいまいな区分であることが明らかになった。土地利用区分を明瞭にするため、各調査地点を上述した様に再区分して、各地点の特徴を表1に示した。一次林は2地点(P1, P2)、択伐林も2地点(L1, L2)であるが、L1は調査期間中の1998年初期に最終的に伐採されて焼却され、その後に植林が始まった。L1地点の隣に位置するO地点は1996年の乾期に伐採・焼却されたが、1998年9月の調査時点では、樹木の高さは2m以上に成長していた。さらに、ゴム林(R)は企業ではなく移民者が小規模に始めたばかりで、林床はアランアランであった。なお、1998年9月に調査した択伐林(L3)と油ヤシ林(Y)の各地点は、空間変化をみるためにこのときだけ設定した地点である。

### (2) 温室効果ガスのフラックスの季節変化

図2に示すように、N<sub>2</sub>Oは全ての地点で土壌から発生していたが、CH<sub>4</sub>は逆にP2を除く全ての地点で土壌に吸収されていた。つぎに、フラックスの季節変化を述べる。

- 1) 一次林(P1)では、N<sub>2</sub>Oは季節変化が見られなかったが、CH<sub>4</sub>吸収は雨期に少し小さくなった。
- 2) L1地点では、択伐林が伐採・焼却されて裸地に変化していく過程でのフラックスの時間変化を測定することができた。すなわち、N<sub>2</sub>Oは択伐林のときには数 $\mu\text{gNm}^{-2}\text{h}^{-1}$ と小さかったが、伐採・焼却されて土壌の無機化が進行して大きくなり(最大40 $\mu\text{gNm}^{-2}\text{h}^{-1}$ )、その後は次第に減少しつつある。一方CH<sub>4</sub>は、択伐林が伐採・焼却されて吸収フラックスがわずかに減少した。
- 3) アランアランが密生している初期ゴム林(R)では、N<sub>2</sub>OフラックスはP1地点と同様に小さく季節変化は見られず、またCH<sub>4</sub>吸収フラックスもほとんど季節変化を示さなかった。

### (3) 土地利用形態別年間平均フラックス

- 1) N<sub>2</sub>Oの平均フラックスは、一次林(P1)とゴム林(R)で数 $\mu\text{gNm}^{-2}\text{h}^{-1}$ と最小で、L1地点で17 $\mu\text{gNm}^{-2}\text{h}^{-1}$ と最大であった。
- 2) CH<sub>4</sub>の吸収フラックスは、一次林(P1)とゴム林(R)で最大でL1地点で最小であった。なお、

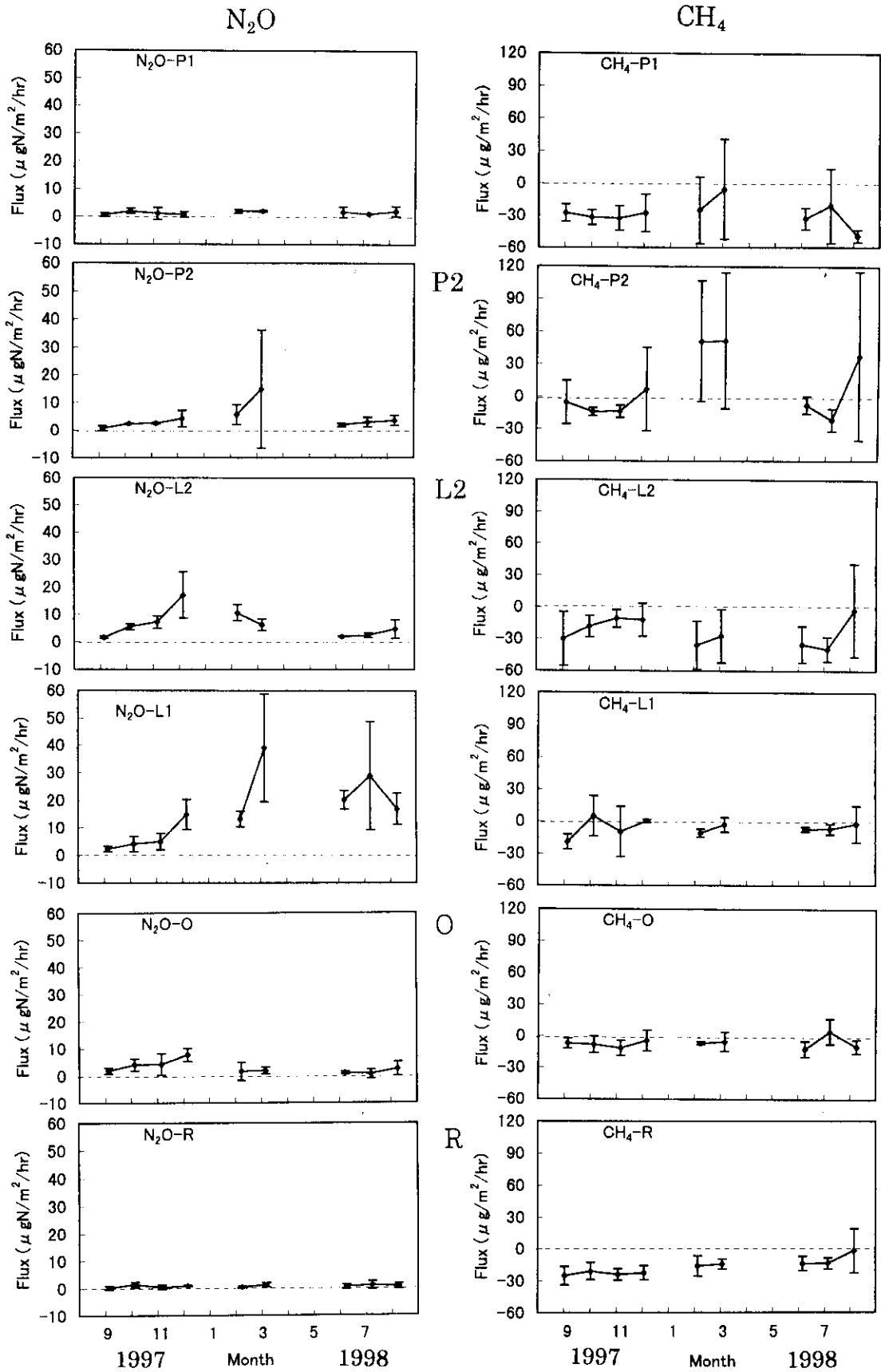


図2 6地点 (P1, P2, L2, L1, O, R) の  $N_2O$  (左図) と  $CH_4$  (右図) のフラックスの季節変化 (スマトラ島バシルマヤン: 1997年9月~1998年8月)

一次林でも P2 地点は、CH<sub>4</sub> はしばしば土壌から大気中へ放出されていた。この原因が、微生物活動によるものかシロアリによるものかは、今後の研究課題である。

3) 各地点の温室効果ガスのフラックスの年平均値を、図 3 に示した。図 3 の横軸の土地利用形態別の調査地点は、熱帯一次林が伐採の履歴のある択伐林となり、伐採・焼却されて森林が消失して環境が質的に変化し、さらにゴム林へと土地利用変化していく、という長期的な時間変化に置き換えることが可能である。そこで図 3 から、各温室効果ガスの長期変動をつぎのように推測した。N<sub>2</sub>O の発生については、一次林から択伐林へと移行するにつれて次第にフラックスが大きくなり、伐採・焼却後に急増し、その後に減少し、最初の一次林の値に近づくという変化が推定された。一方、CH<sub>4</sub> の吸収は、一次林で最大であったが択伐林へ移行するにつれて吸収量は減少し、伐採・焼却後に吸収はほとんどなくなり、その後は次第に吸収量が再び増加していく、という変化が推定された。最後に CO<sub>2</sub> の発生は、N<sub>2</sub>O と同様に一次林から択伐林へ移行するにつれて次第に増加するが、伐採・焼却後は N<sub>2</sub>O とは逆で増加せず減少し、その後は再び増加していく、という変化が推定された。

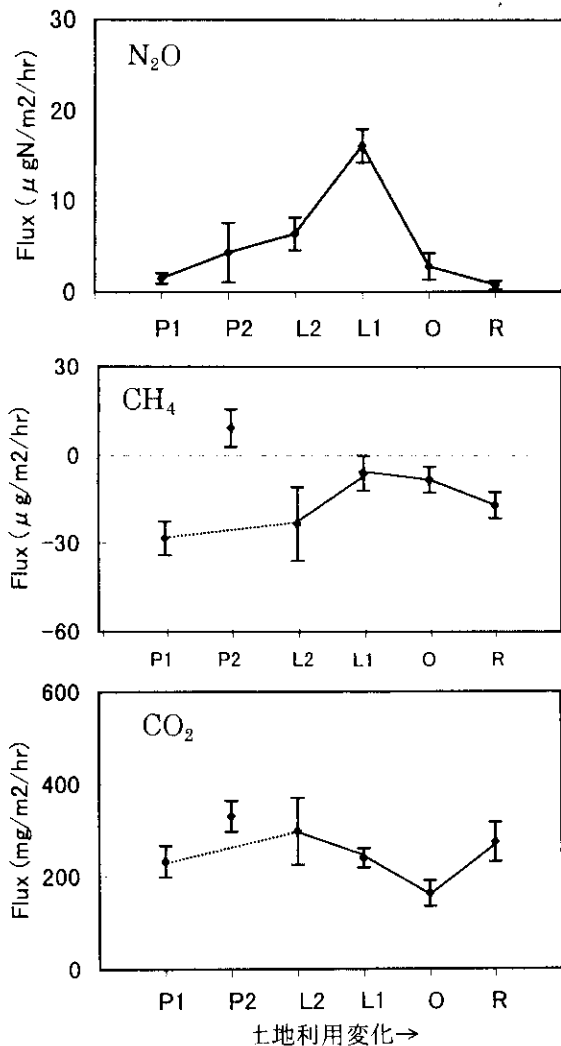


図 3 温室効果ガス（上から N<sub>2</sub>O、CH<sub>4</sub>、CO<sub>2</sub>）の各地点のフラックス年平均値

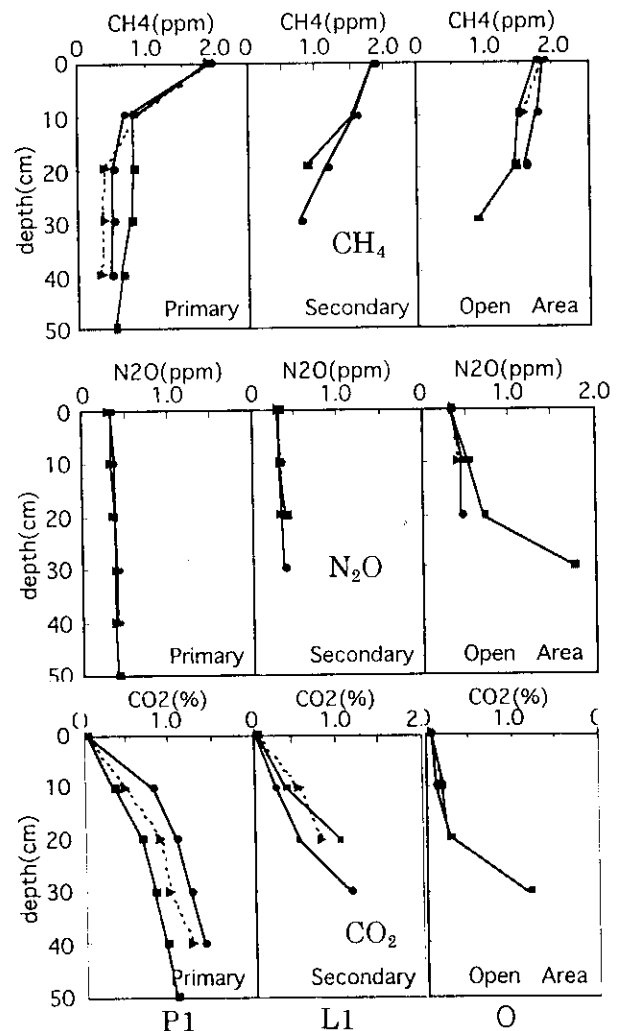


図 4 3 地点（左から P1, L1, O）における土壌中の温室効果ガス濃度の鉛直分布（1997 年 1 月）

表2 L1 地点土壤の伐採前、伐採直前、伐採・火入れ後の最表層土壤（0～10cm）の変化

	pH	含水比 (kg/kg)	C (mg/g)	N (mg/g)	phosphates			NH <sub>4</sub> ( $\mu$ g/g)	NO <sub>3</sub>	Pase ( $\mu$ mol/g/hr)	Bio C ( $\mu$ gC/g)	
					Bray II ( $\mu$ gP <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /g)	Water org-P	inorg-P					
97/1 (伐採前)	4.6	0.30	35	2.4	3.9	1.0	101.6	22.3	5.5	9.4	38.6	471
97/9 (最終伐採前)	4.8	0.27	21	1.4	6.5	3.9	160.7	22.3	195.9	28.8	157.2	1670
98/9 (伐採・燃焼後)	4.3	0.23	16	1.3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	38.7	119

#### (4) 土壤ガスの鉛直分布

1997年1月に、3地点(P1,L1,O)で測定した表面から深さ50cmまでの温室効果ガスの鉛直分布を、図4に示した。表層土壤中のCH<sub>4</sub>濃度の深さに対する減少度は一次林(P1)で最大であり択伐林(L1)から伐採・焼却地(O)へ移行するにつれて減少度は小さくなった。また、P1では土壤表面から深さ10cmまでの間でCH<sub>4</sub>が急激に減少していた。一方、N<sub>2</sub>Oの深さに対する増加度は、一次林(P1)で最小であり、択伐林(L1)から伐採・焼却地(O)へ移行するにつれて次第に増加した。CO<sub>2</sub>は、一次林・択伐林から伐採・燃焼値へ移行するにつれて表層土壤内の濃度は低くなった。

#### (5) 土壤の諸性質

1)表層土壤のpHは非常に低かった(P1;4.3, L1;4.8, L2;4.0, L3;4.0, Op;4.0, R;4.7, Y;4.4)。Oでは無機態のリンが多く含まれ、伐採後の有機物の燃焼によって無機態のリンが多量に土壤に供給された結果と考えられた。

2)リン酸酵素活性は比較的高い値(18.2(Y)~65.6(P1) $\mu$ molg<sup>-1</sup>hr<sup>-1</sup>)を示し、微生物バイオマス炭素量(292(Op)~657(P1) $\mu$ gCg<sup>-1</sup>)当たりのリン酸酵素活性は日本の土壤(30~45 $\mu$ molg<sup>-1</sup>hr<sup>-1</sup>の酵素活性に対し1100~2000 $\mu$ gCg<sup>-1</sup>の微生物バイオマス炭素量(小川学術参考林の場合))よりも高かった。これは、この地域での微生物の活動が活発であることを示唆している。

3)L1の伐採前、伐採直後、火入れ直後の土壤の変化を表2に示す。択伐林は皆伐することによって種々の有機物を地表面に供給すると考えられるが、土壤中の炭素含量にはほとんど変化がなかった。一方、有機態リンは増加し、無機態窒素量はアンモニア態・硝酸態ともに著しく増加した。また、微生物バイオマス炭素量は4倍に増大し、リン酸酵素活性も4倍に増大した。さらに、皆伐後の火入れによって、微生物バイオマス炭素量は著しく減少し、リン酸酵素活性も減少した。これらの結果は、伐採によって、微生物活性が増大し、種々のガスを発生・吸収するが、燃焼によって生物活性が抑制され、ガス発生・吸収は減少する可能性を示唆している。

#### (6) 土壤円筒を用いた培養実験による温室効果ガスの発生・吸収ポテンシャル

1)採取した土壤を500mL容の密封容器に入れ、定期的にこの容器の気相中のガス濃度を測ることにより、各種ガスの発生・吸収ポテンシャルを測定した。その結果の一例を図5に示す。

2)CH<sub>4</sub>の土壤への吸収に関しては、Oを除くすべての地点で最表層よりも10cm以下の土壤の方が吸収活性は高かった。Oの最表層ではメタン吸収活性がほとんどなかった。N<sub>2</sub>Oの発生は

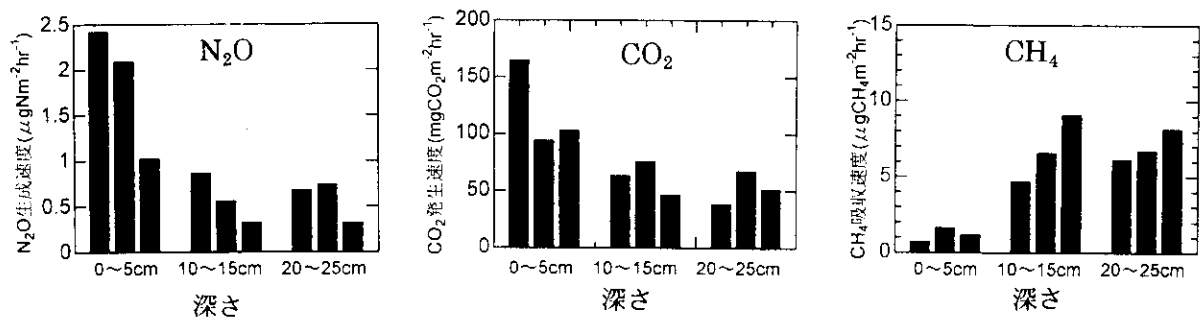


図5 培養実験による L1 土壌の N<sub>2</sub>O および CO<sub>2</sub> 発生と CH<sub>4</sub> 吸収ポテンシャル

P1 と R でほとんど認められなかったのに対し、L1, L2 および O でばらつきが非常に大きいものの、検出された円筒が存在し、N<sub>2</sub>O の生成は最表層土壌からであった。これらの測定結果はフラックスのデータと相補的であり、信頼できるものであった。

3) ガス拡散係数の測定結果から、気相率とガス拡散係数はほぼ比例することが明らかになり、下層まで気相率の高い L2、R は深さ 25cm までガス拡散係数が大きく、L1, L3 の最表層もガス拡散係数が高かった。土壌中の CH<sub>4</sub> 吸収能に上述したような垂直的変異があるので最表層のガス拡散は重要であると考えられるが、今回の実験結果からは直接これを示唆するデータは得られなかった。

### (7) 総合考察

土地利用変化を P1, P2 → L2 → L1 → O → R, Y と簡略化して考え、土地利用変化による温室効果ガスの発生・吸収量の長期的変化を推定して、図 6 に示した。

1) CH<sub>4</sub> に関しては一次林で概ねメタンを吸収していたものが、択抜によってややその吸収量が減少し、さらに裸地化することによってほぼその吸収が無くなり、やがて植林によってその吸収量が回復するという模式図ができあがる (図 6)。また、N<sub>2</sub>O に関しては、一次林ではほとんど発生していないが、択抜によって発生する場所ができ、さらに裸地化することでもこの傾向は継続する。これが植林によってその発生量が減少する (図 6)。なお、CO<sub>2</sub> に関しては、択伐によって発生が増加するが、伐採・焼失によってむしろ減少し、その後の植林で発生量が回復する、と考えられる。

2) 以上のように、スマトラで行われている上述の様な土地利用変化が土壌に与える影響としては、伐採時の温室効果ガスに及ぼすインパクトが大きいこと、そして、伐採後はなんらかの植栽が行われれば土壌の能力は回復し、温室効果ガスの収支に与える影響は少ないこと、が明らかになった。この他の土地利用変化、特に農耕地への転用に関しては今後の課題である。

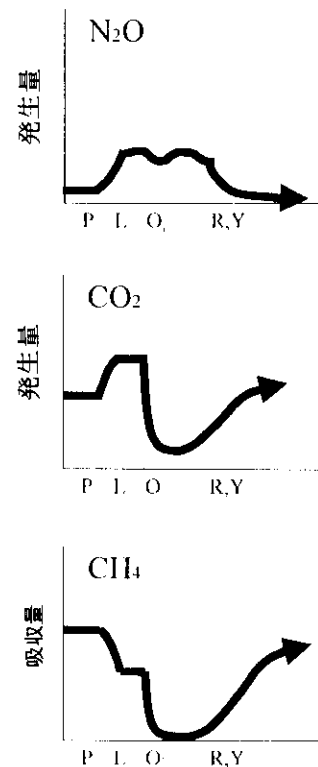


図6 土地利用変化に伴う N<sub>2</sub>O と CO<sub>2</sub> の発生量と CH<sub>4</sub> 吸収量の変化予想図



## 4.2. カリマンタン島南部の泥炭湿地での測定

### (1) 調査地域

図7に1998年12月に実施した調査地点10カ所の位置を示す。自然湿地および一部農耕地として利用されている地点を含む。調査地点の泥炭層の深さ・水位・植生・土地利用形態などの概要を表3に示した。また各調査地点で採取したガスおよび土壌試料と調査実施項目を表4に要約した。調査時期が雨期に入っていたため、水位が高い地点では土壌試料採取やガスフラックス測定が困難であった。

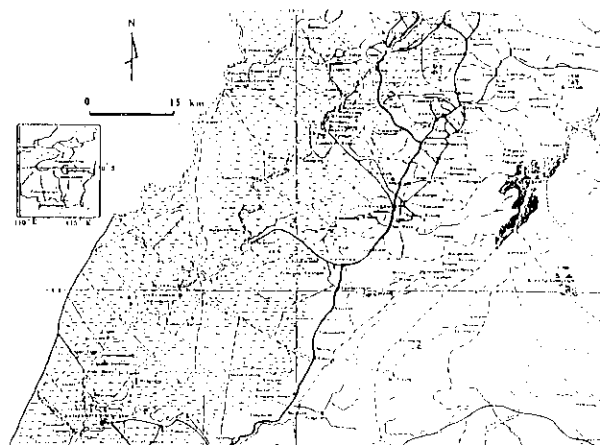


図7 調査地の位置図

(インドネシア、南カリマンタン、バンジャルマシ州)

### (2) 温室効果ガスのフラックス測定

ガスフラックスが測定できた地点のうち、N<sub>2</sub>O フラックスは、図8, 9に例示したように大きい地点も見い出された。この地点ではキャッサバの栽培が開始されており、土壌中に施肥由来と考えられる高濃度のアンモニア態窒素が検出された。現在、室内培養によって施肥窒素のN<sub>2</sub>O生成への影響と生成メカニズムを確認中である。

一方、CH<sub>4</sub> フラックスは概して低く一部では吸収も見られた(図10)。培養実験の結果、土壌のメタン生成活性は低いことが見い出された。この原因として、泥炭土壌中での有機物分解が

表3 調査地点の泥炭層の深さ、水位、植生、土地利用形態などの概要

Location	Site code	GPS position	Altitude (ft)	Water Level (cm)	Peat layer depth	Type of Underlined Material	Type of Vegetation-crop	Land use history	Other
Kolam kiri, Baranba	B-1	2°59.5575S 114°42.3711E	200	60	20	Clayey	Purun tikus <i>Hgusa</i>	3 years bare after last rice (local variety Pandak, 3 ton/ha) Reclaimed 10 yrs ago by introducing canals	
	B-2	2°59.5508S 114°42.3691E	200	+/-0	40	Clayey	Rice	Rice seed bad	
	B-2'	the same as site B-2	200	10	50	Clayey	Cassava	Cassava (started this year) after rice	5 m apart from site B-2
Panggalaman, Gambut	G-3	3°25.3495S 114°40.33941E	100	10	65-75	Sandy	Sphagnum, Gelam, Japanese cress	Rice seed bad	
	G-4	3°25.4658S 114°40.2191E	nd	3.8	7-10	Sandy	Hiring, gelam, Japanese cress	Light slush and burn	500m after site G-3
Gambut Km 17.5	G-5	3°25.7865S 114°41.2241E	nd	30	>300	?	Sphagnum, Gelam, Kerangas forest, Akasia	Secondary forest	Just after rotary from B. Masin
Rawa Muning, Margasari	M-6	2°57.0068S 114°59.2821E	nd	20-40	20-40	Clayey	Gelam, Sphagnum, Hiring Japanese cress	Reclaimed area, burned every year	
Pulau Damar, Batu Mandi	D-7	2°26.3515S 115°22.8781E	nd	20	20-40	Clayey	1 month after harvest of rice	Crop rotation: rice-soybean	
	D-8	the same as site D-7, 50 m apart	nd	10	60-60	Clayey	Parupuk, Japanese cress	Secondary forest, slush and burn every year since 19990	Ground level was higher than site D-7

nd, not determined

表4 調査地と調査項目の概要

Site	Eh	Soil	Gas			Pore water
			Flux	Emi.	Diss.	
B-1	●	●			●	●
B-2	●	●	●		●	●
G-2			●			●
G-3	●	●	●			●
G-4	●		●			●
G-5	●				●	●
M-6	●			●	●	●
D-7		●		●	●	●
D-8				●		

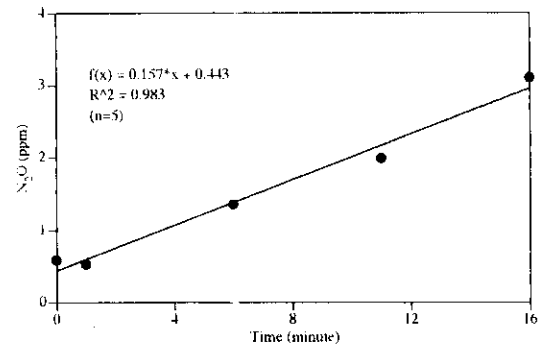


図8 チャンバー内の亜酸化窒素濃度の変化(B-2)

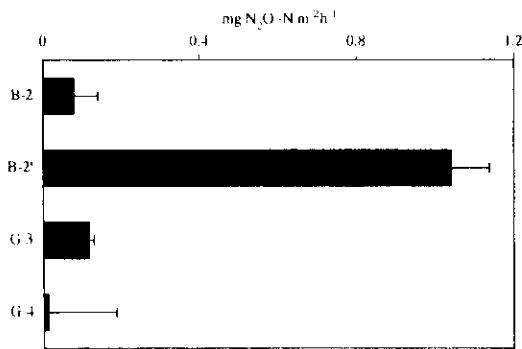


図9 N2O フラックス

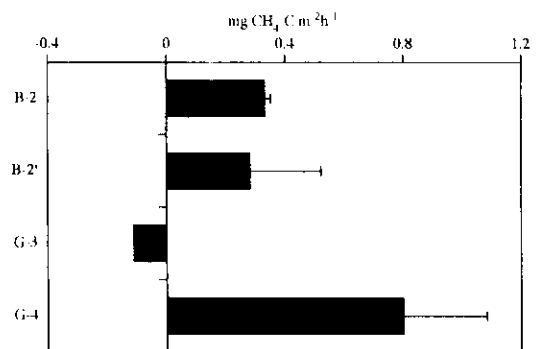


図10 CH4 フラックス

緩慢なことが主な CH<sub>4</sub> フラックスの支配因子であると推察された。

マレーシア、サラワク州での泥炭湿地林での CH<sub>4</sub> フラックスの測定結果<sup>2)</sup>では、土壌中での CH<sub>4</sub> 生成は多いものの、土壌表面からの CH<sub>4</sub> 放出は少なく、土壌表面付近での CH<sub>4</sub> 酸化活性が高いことが報告されている。インドネシア、カリマンタンでの土地利用変化の進む泥炭湿地でも同様な微生物反応が進んでいるか、さらなる検討が必要である。

## 5. 本研究によって得られた成果

(1) インドネシアのスマトラ島ジャンビ県内のバシルマヤンで、湿潤熱帯林地域とその周辺の土地利用形態の異なる6地点で、温室効果ガス(N<sub>2</sub>O、CH<sub>4</sub>、CO<sub>2</sub>)の土壌から大気中へのフラックスの季節変化と空間変化を測定した。また、土壌の温室効果ガスの発生・吸収ポテンシャルを測定するために、各地点の土壌を採取して室内培養実験を行った。これらの野外測定と室内実験の結果はよく一致した。すなわち、N<sub>2</sub>Oの発生量は、一次林から択伐林へと移行するにつれて次第に増加し、伐採・焼却による裸地化で非常に大きくなるが、その後の植林で再び小さくなる。CO<sub>2</sub>の発生は、伐採・焼却後に小さくなるが、その後の植林で再び増加する。一方、CH<sub>4</sub>の吸収は、一次林から択伐林に移行するにつれて次第に小さくなり、伐採・焼却後はほとんど吸

収が見られなくなるが、その後の植林でふたたび吸収量が大きくなる。N<sub>2</sub>O と CO<sub>2</sub> の発生は、表層土壌（深さ 0～5 cm）で最大であったが、CH<sub>4</sub> の吸収は表層では非常に小さく、それより深い場所で大きな吸収が見られた。

（2）本研究期間中は、エルニーニョ(1997 年)・ラニーニャ(1998 年)現象により、通常年と異なる気象状況であったため、さらに測定を継続して、年変動の把握をする必要がある。択伐林は L3 を含めて 3 地点の試験地のデータが取れたが、その他の土地利用形態に関しては 1 点の試験地しか設けることができなかつた。代表性のことを考えた場合、さらに多くの地点での空間分布の観測が必要となる。また、本研究の試験地周辺では、森林から農耕地への転用がほとんど行われていなかったので、今後は農耕地（特に肥料を使用する農業）での測定が必要である。

（3）インドネシアの、カリマンタン南部のバンジャルマシ州内に位置する自然湿地からの CH<sub>4</sub> と N<sub>2</sub>O の発生・吸収量を総合的に評価するために、1998 年の 12 月に現地で CH<sub>4</sub> および N<sub>2</sub>O フラックスを測定するとともに、泥炭湿地土壌中のこれらのガス生成および吸収を支配する要因を明らかにすることを試み、CH<sub>4</sub> は概して発生量が少ないが N<sub>2</sub>O は放出量が多い場合もあることを見出した。今後はさらに測定地点と回数を多くして、季節変化と空間変化を明らかにする必要がある。

## 6. 参考文献

- 1) 石塚成宏・石塚和裕 (1996): 森林土壌への土壌酵素活性測定法の適用、土肥誌、67, 190-193
- 2) Inubushi, K., Hadi, A., Okazaki, M. and Yonebayashi, K.: Hydrol. Process., 12, 2073. 1998

### 【国際共同研究等の状況】

1. インドネシアの Southeast Asian Regional Centre for Tropical Biology (SEAMEO BIOTROP)及び BIOTROP-GCTE Asian Impacts Centre (BIOTROP-GCTE-IC-SEA)との共同研究である。インドネシア側の contact person は、Dr. D. Murdiyarso である。

2. IGBP (生物圏—地球圏国際共同研究計画) のコアプロジェクトの一つである IGAC (国際地球大気化学研究) の一環である。

### 【研究成果の発表状況】

#### (1) 口頭発表

- ①Inubushi, K., Hadi, A., Razie, F., Purnomo, E., Yusran, F.H. and Tsuruta, H.(1999) : Dynamics of methane and nitrous oxide in the tropical peat wetland, Workshop on Land-use/Cover Change and Greenhouse Gas Emission in Humid Tropical Environment, February 1999, Bogor, Indonesia
- ②Ishizuka, S. and H. Tsuruta (1999): Relationship between trace gas flux and soil properties in BIOTROP-BPTC research site., Workshop on Land-use/Cover Change and Greenhouse Gas Emissions in Humid Tropical Environment, 12-13 Feb. 1999, Bogor, Indonesia
- ③Tsuruta, H. S. Ishizuka, S. Ueda and D. Murdiyarso(1999) : Flux measurements of greenhouse gases (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) from the soils of different land-use in Jambi, Sumatra, Workshop on Land-use/Cover Change and Greenhouse Gas Emissions in Humid Tropical

Environment, 12-13 Feb. 1999, Bogor, Indonesia

④Tsuruta, H., G. Saito, K. Okamoto, S. Ishizuka, M. Hayashi, S. Ueda, K. Inubushi, A. Hadi, D. Murdiyarso, L. B. Prasetyo and U. B. Wasrin (1999): The influence of land-use/cover change on greenhouse gas emissions in tropical Asia, in Abstracts of the Second IGBP Congress, 7-13 May, 1999, at Shonan Village, Japan, 29-30.

⑤Inubushi, K., Hadi, A., Furukawa, Y., Bueno, C. and Wassmann, R. : Effect of soil dressing on CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O emissions and organic matter decomposition in peat soil, 日本土壤肥料学会 1999年7月に札幌で発表予定

⑥石塚成宏・鶴田治雄・D. Murdiyarso (1999):スマトラ島ジャンビ州の異なる土地利用形態における温暖化ガスのフラックスと土壌の諸性質との関係。1999年7月の日本土壤肥料学会で発表予定。

⑦鶴田治雄・石塚成宏・上田真吾・D. Murdiyarso (1999): スマトラ島ジャンビ州の異なる土地利用形態の土壌からの温室効果ガスのフラックス測定、1999年7月の日本土壤肥料学会で発表予定。

(2) 論文発表

①Hadi, A., Inubushi, K., Razie, F., Purnomo, E., Yusran, F.H. and Tsuruta, H. : Formation and emission of nitrous oxide in response to land-use changes of the tropical peatlands, CHEMOSPHERE, 投稿中

②Tsuruta, H., G. Saito, K. Okamoto, S. Ishizuka, M. Hayashi, S. Ueda, K. Inubushi, A. Hadi, D. Murdiyarso, L. B. Prasetyo and U. B. Wasrin (1999): The influence of land-use/cover change on greenhouse gas emissions in tropical Asia. (to be submitted)