

B-5 熱帯アジアの土地利用変化が陸域生態系からの温室効果ガスの発生・吸収量に及ぼす影響の評価に関する研究

(4) 生態系変化のデータベース化とスケールアップに関する研究

独立行政法人 農業環境技術研究所

地球環境部 生態システム研究グループ

斎藤元也

生態システム研究グループ リモートセンシングユニット

永谷 泉・陳 金華・富久尾歩

地球環境部 食料生産予測チーム

岡本勝男・横沢正幸

(研究協力機関・研究者)

インドネシア 国立ボゴール農科大学 森林学科

Lilik Budi Prasetyo

平成11-13年度 合計予算額	11,916千円
(うち、平成13年度予算額)	3,900千円)

[要旨] 熱帯地域の陸域生態系変化を把握するため、温室効果ガス(GHG)の定点現地測定を行っているスマトラ島ジャンビ州中央部のPasirmayang地域のランドサットTMデータ(1999年4月9日、1995年6月17日、1993年6月11日の3時期)を入手し、1999年10月の現地調査結果と併せて、土地被覆変化の把握を行った。本プロジェクトで現地測定中間データ及び既存文献データにより、GHGフラックスについて土地利用毎の暫定値を決め、それぞれの年次での土地利用にGHGフラックス量を掛け合わせ、対象地域での放出量の推定を行った。

さらに、土地利用変化の大きいインドネシア共和国ジャンビ州東部低地の1989年、1992年、及び、1998年の土地被覆をランドサットTMデータにより明らかにし、この土地被覆面積と原単位の地上カーボン(C)量をかけあわせることにより、この研究対象地域内に貯蔵されているC量を推定する方法を確立した。

離散的なポイントのデータを連続的な面的データに変換するためのスケールアップ手法確立のためのケーススタディとして、1992年と1993年の気候値を使って、自然植生の潜在炭素固定量を推定し、純一次生産力(NPP)マップを作成した。この世界のNPPマップから、気候学的熱帯のアジア全体について、耕地、草地、林地、その他の土地被覆ごとに集計を試みた。

本プロジェクトにおいては、2001年8月に、スマトラ島ジャンビ州での広域GHGフラックス地上観測を実施しており、この広域観測に撮影して写真について、データベースの知識が無くても簡単に使用できる画像データベースを完成させた。

[キーワード] 土地利用変化、温室効果ガス、データベース、リモートセンシング、地理情報システム、

## 1. 序

アジア太平洋地域、特にアジア熱帯地域においては、人口の急激な増加とともに、熱帯林が消失して農耕地になっていくという生態系変化が急速に進行している。このことにより、土壌を含めた生物圏と大気圏との間の炭素や窒素の物質収支や循環、特に温室効果ガスの放出・吸収が大

大きく変化していると考えられている。

生態系変化が温室効果ガス発生に与える影響を解明するために、現地において各種温室効果ガスフラックスの継続的な測定を行い、また、温室効果ガス収支を把握するためのモデルを構築し、観測地点の年間でのGHGのフラックス収支の検討している。しかしながら、温室効果ガスのフラックスの継続的な現地測定は、多大な経費と労力を必要とする。このため、現地での温室効果ガス測定は、限られた場所のポイントでしか測定することができない。このため、広域の温室効果ガスの収支を推定する場合、離散的にしか存在しないポイントデータを広域な面的データに変換する必要がある。このため、点データである観測データをスケールアップし、面的なデータとする手法の開発が必要である。

また、地上でのGHG観測データと付属情報を蓄積でき、いつでも、簡単に引き出して、使用できるデータベースの作成が重要である。

## 2. 研究目的

温室効果ガスフラックスおよび土地利用等生態系変化のデータベースを構築し、ポイント観測データを面的に拡大する手法の開発を行う。このため、リモートセンシングデータを用いて時系列の土地被覆変化を明らかに、さらに、この土地被覆変化に伴う各種温室効果ガスの放出および吸収量の変化を明らかにするために、土地被覆毎のGHGフラックスの原単位と各々の土地利用毎の面積を掛け合わせるにより、地域での放出量の変化を明らかにする。

この原単位法はポイントデータを広域な面的データする一つの方法であるが、放出量をより高精度に求めるために、離散的にしか存在しないポイントデータを広域な面的データに変換する方法を検討する。

また、本プロジェクトは、広域でのGHGガスフラックスの地上地域環境因子との関連に基づいて明らかにするためのデータベースを構築する。まず、調査時点の位置情報とそこで撮られた写真データがサムネールカタログとして簡単に見ることができ、そこから画像データを引き出せるデータベースシステムを作成する。

## 3. 研究方法

### (1) 定点 GHG フラックス測定地域の土地利用変化とガス放出量の推定

研究対象地域は、インドネシア共和国スマトラ島ジャンビ州北西部に位置し、バタンハリ川に接する北側のパシルマイヤン地区とし、図1に示した。ランドサットTMデータは、1999年4月9日、1995年6月17日、1993年6月11日の3時期のデータにより土地利用変化の把握を行った。1999年4月9日の画像を用いて、1999年10月4日から11日まで現地調査を実施した。また、参考として2000年の画像を用いて1999年との1年間の変化を調べた。

本プロジェクトでの現地測定中間データ及び既存文献データにより、GHGフラックス土地被覆毎の暫定値を決め、それぞれの年次での土地被覆毎にGHGフラックス量を掛け合わせ、地域としての放出量を推定する方法を確立する。

### (2) ジャンビ州東部低地における土地利用変化把握と地上炭素量の推定

土地利用変化の大きいインドネシアスマトラ島ジャンビ州東部低地の Muarasabak 地区 (図1)

の土地利用変化を明らかにするために、衛星画像により、1989年、1992年、及び、1998年の土地利用をまず明らかにする。つぎに、既存文献を参考に地上炭素(C)量の原単位の暫定値を決め、それぞれの年次での土地被覆面積に原単位C量を掛け合わせ、地上C量変化を推定する。LANDSAT/TM 画像は、Path125・Row61の撮影日1989.6.9・1992.5.16・1998.5.1のデータを使用した。

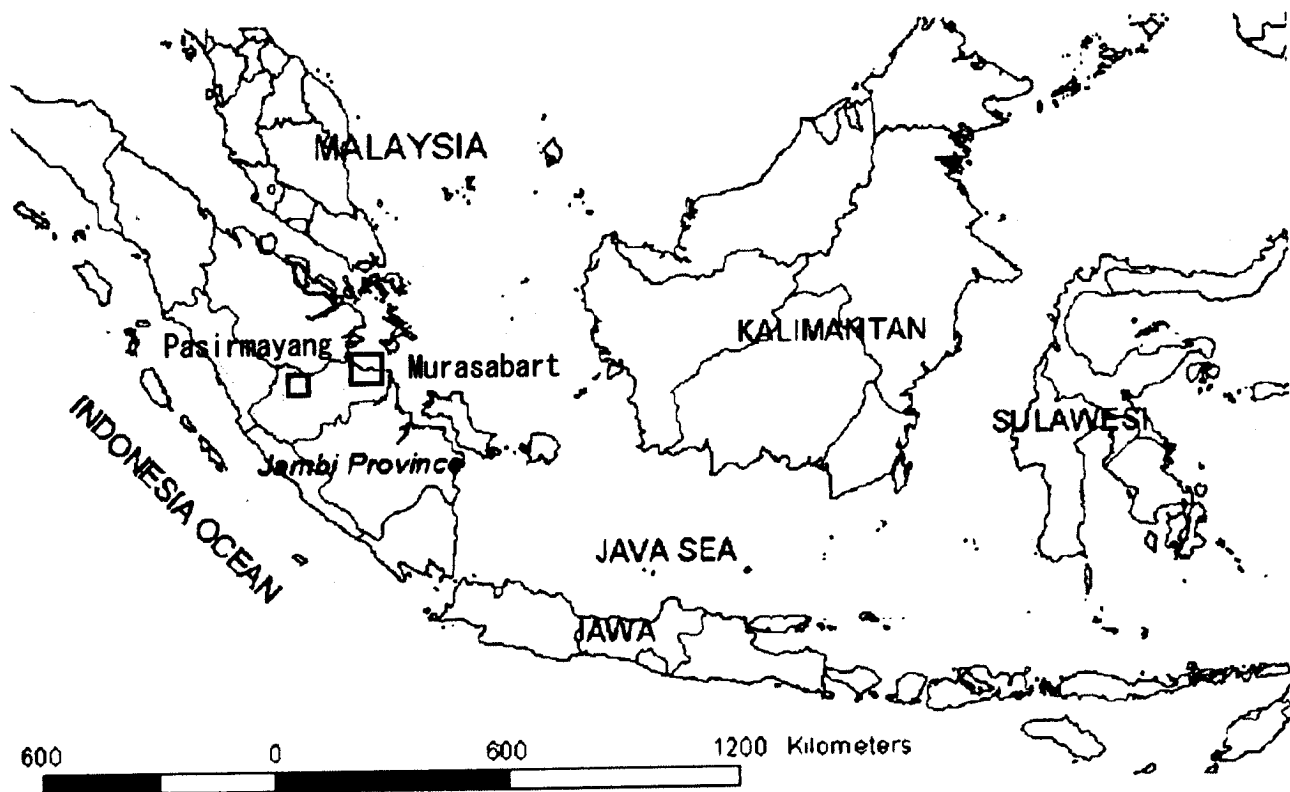


図1 研究対象サイトの位置

### (3) 気候学的純一次生産力マップの作成

さらに全球規模へのスケール拡大へ行うためのケーススタディとして、代表的な温室効果ガスであるCO<sub>2</sub>吸収能の広域推定データを取得するために、1992年と1993年の熱帯アジア地域における気候学的純一次生産力(NPP)を計算する。以下の順序で解析を行った。

①地理情報の収集：土壌呼吸データ、光・乾物変換効率データを収集する。土地利用データにはIGBP-DISの土地被覆分類図、気候データにはThe CRU Global Climate Dataset (1992-1993年)を用いる。

②NPPの計算：気候データから、Chikugoモデルを用いて1992年と1993年のNPPを月別に計算する。各年次を合計してこの期間のNPPを求める。

③データの統一：すべてのデータをProjection=Equiangular, Spheroid = Clarke(1866), Cell size = 1 kmで統一する。

④土地被覆タイプ別の集計：耕地、非耕地(草地、樹林地、その他)別に、気候学的熱帯のアジア全体についてNPPを集計する。

#### (4) GHGフラックス広域現地地上調査付属情報データベース

現地でのGHGフラックス調査は、ガス採取装置を埋め込んで行われており、埋め込まれて場所の状況は、カメラにより画像として記録されている。また、この地点は、全球測位システム(GPS)により、緯度経度情報が入手されている。

この位置情報を利用し、調査地点を衛星画像と地図の上に示し、その地点で撮影した写真を誰もが簡便に取り出すことができるシステムを構築するため、以下の作業を行った。

現地調査地点を落とすために地図を用意したが、規制等もあるため詳細な地図を手に入れることはできなかった。そこで、付加的情報としてランドサット衛星画像を用意し、両方から調査地点周辺を把握することができるようにした。対象地域が東南アジアということで雲が多く、クラウド・フリーな衛星画像を得るのが困難であったため、多少の年度差は無視して比較的雲のない部分をモザイクし衛星画像ベースマップとした。地図と衛星画像が重なるようにジオレファレンス作業を行い、調査地点の経緯度情報をもとに、地図、衛星画像の双方に調査地点位置をプロットした。最終的には、全体把握と拡大視ができるよう、全体図及び拡大図3枚を用意した。

続いて、カメラにより得られた画像データを地点ごとのグループに分類し、サムネイル画像を作成し、HTML形式の画像アルバムを作成した。

最後に、地図及び衛星画像上の調査地点と画像アルバムをハイパーリンクで繋げ、トップへのショートカット等を整備し、さらに、地図と衛星画像を切り替えながら表示できるようリンクを作成し完成させた。

#### 4. 結果・考察

##### (1) 定点GHGフラックス測定地域の土地利用変化とガス放出量の推定

①このパシルマイヤン地区は、BIOTROPの原生保護林を含む様々な土地利用の存在する地域であり、この調査地域の多くを民間製材会社が管理している。一次森林、皆伐後木材用苗木を植えた地点、皆伐してゴムの苗木を植えた地点、皆伐して植えられたゴム園等が代表的な土地利用であり、これらの土地利用の代表的な地点で温室効果ガスのフラックス測定を実施していた。森林は大木から若木まで多く生育段階の樹木があった。しかし、皆伐後植栽したところの木の生育は良くなく、周りの草が圧倒していた。

②この現地調査地点の1993、1995、1999、2000のランドサットTM画像により土地利用変化が把握され、図2に示した。1993年は、バタンハリ川近傍のみに存在した農地が、北側の森林地帯に進出する形で拡大しつつある。図3は縦軸におおの土地被覆毎の%で横軸は年次を示しており、森林が年々減少し、他の土地被覆が増加している。毎年、対象地域では、3-5%の森林が伐採されていることが判明した。

③表1、表2、および、表3にそれぞれ、1993年、1995年、1999年の土地被覆割合、貯蔵C量、CO<sub>2</sub>放出量、N<sub>2</sub>O放出量、CH<sub>4</sub>放出量(CH<sub>4</sub>は-値であり吸収量)を示した。貯蔵C量は毎年減少し、CO<sub>2</sub>放出量、N<sub>2</sub>O放出量は毎年増加し、CH<sub>4</sub>吸収量は減少していることが示された。

##### (2) ジャンビ州東部低地における土地利用変化把握と地上炭素量の推定

LANDSAT画像を既存地形図によりUTM座標系に合わせ、3時期データを誤差1ピクセル以内

で重ね合わせ、対象エリアを切り出し、教師なし分類で統計的に分光特性が似かよった30クラスに分け、このクラスを8の土地利用分類に再統合した。使用したランドサット画像と分類結果を図4に示し、この土地利用毎の集計結果を第4表に示した。1989年から1998までの9年間でみると高密度森林が大幅に減少し、中密度森林は高密度森林からの変化と畑地および裸地への変化があり、面積的には変化が少なかった。畑地、裸地および住居／商工地が増加したが、水田は逆に減少傾向であった。

地上炭素量の原単位は、既存の文献およびジャンピ州パシルマイヤン地区原単位とを検討し、暫定的に、一次林での250ton/haを参考に、高密度森林は200ton/ha、中密度森林は100ton/ha、ゴム林・油ヤシ林は50ton/haとした。この原単位を表4に示した土地利用に掛けて、対象地域の地上炭素貯蔵量を求めた結果を表5に示した。地上炭素貯蔵量は、一次林に近い高密度森林の減少により、年次毎に、この値が低下している。

### (3) 気候学的純一次生産力マップの作成

①1992年と1993年の気候値を使って、自然植生の潜在炭素固定量(NPP)を推定した。1992年4～1993年3月のNPPを図5に示す。対応する期間の陸域全体では $52.8 \times 10^{12}$  kg C yr<sup>-1</sup> (非耕地は $37.2 \times 10^{12}$  kg C yr<sup>-1</sup>)であった。

②気候学的に熱帯に属するアジア地域についてNPPを集計した(表1)。1993年は、エル・ニーニョの影響で、オーストラリア東・西岸は1992年より小さくなったが、中国内陸～華南～インドシナ半島は大きくなった。

### (4) GHGフラックス広域現地調査付属情報データベース

現地でのGHGフラックス調査は、ガス採取装置を埋め込んで行われており、埋め込まれた場所の状況は、カメラにより画像情報として記録されている。また、この地点は、全球測位システム(GPS)により、緯度経度情報が入手されており、これらの情報を組み合わせて閲覧できるデータベースが作成された。

このデータベースシステムは、HTMLにて構築されているため、WWW表示ソフトウェアであるインターネットエクスプローラ等により、直感的な操作で表示することができ、特別なデータベースに関する知識なしで利用することができる。その主だった画面を図6に示した。

パーソナルコンピュータ(PC)の画面に、調査時点の位置が、衛星画像上または地図の上に示され(図6の1番上)、その地点にマウスポインタを当て、クリックすると地点名と写真のグループ名が示される(図6の2番目)。写真のグループ名をクリックすると、撮られた写真データがサムネールカタログとして見ることができ(図6の3番目)、そのサムネイル画像をクリックすることにより、データを引き出せる(図6の1番下)。

地図及び衛星画像と組み合わせて調査地点の画像情報が得られることにより、現地写真のみではわからない、調査地及び周辺の地形的特徴などを把握することが可能となり、調査地点の場所のイメージが把握しやすくなった。また、現場の写真は撮影者だけが所有していた情報であり、共同研究者でも使うことが難しかったが、本システムにより、広く共同研究者に提供できる様になり、現場での撮影写真の有用性を向上させた。

表1 1993年のPirsirmayang地区における地上炭素量とGHG放出量

	Area		Carbon stock		CO2		N2O		CH4	
	ha	(%)	Ton/ha	Total ton	mg/m <sup>2</sup> /h	ton/hour	mg/m <sup>2</sup> /h	ton/hour	mg/m <sup>2</sup> /h	ton/hour
Forest	63,239	75.3	155.2	9,814,615	352.3	222.8	10.7	6.8	-14.33	-9.1
Bush or Shrubs	9,230	11.0	15.0	138,446	580.7	53.6	20.0	1.8	-0.04	0.0
Rubber or Sec veg.	5,996	7.1	35.5	212,858	473.6	28.4	20.3	1.2	-0.02	0.0
Grasslands	2,888	3.4	6.0	17,325	603.6	17.4	11.0	0.3	0	0.0
Barelands	1,146	1.4	0.0	0	624.9	7.2	13.4	0.2	-7.42	-0.1
River	892	1.1								
Water surface	610	0.7								
Total	84,000	100.0		10,183,244		329.4		10.3		-9.2

Note : Above ground biomass was estimated using the data of BIOTROP, Indonesia.

The calculation of GHG fluxes was based on mean value of 10 months (10 time) measurement.

The measurements were made in Jan., Feb., Mar., June, July, Aug., Sep., Oct., Nov. and Dec

表2 1995年のPirsirmayang地区における地上炭素量とGHG放出量

	Area		Carbon stock		CO2		N2O		CH4	
	ha	(%)	Ton/ha	Total ton	mg/m <sup>2</sup> /h	ton/hour	mg/m <sup>2</sup> /h	ton/hour	mg/m <sup>2</sup> /h	ton/hour
Forest	58,283	69.4	155.2	9,045,444	352.3	205.3	10.7	6.2	-14.33	-8.4
Bush or Shrubs	9,480	11.3	15.0	142,204	580.7	55.1	20.0	1.9	-0.04	0.0
Rubber or Sec veg.	10,459	12.5	35.5	371,286	473.6	49.5	20.3	2.1	-0.02	0.0
Grasslands	3,212	3.8	6.0	19,271	603.6	19.4	11.0	0.4	0	0.0
Bare lands	811	1.0	0.0	0	624.9	5.1	13.4	0.1	-7.42	-0.1
River	1,145	1.4								
Water surface	611	0.7								
Total	84,000	100.0		9,578,204		334.4		10.7		-8.4

注：表1と同じ

表3 1999年のPirsirmayang地区における地上炭素量とGHG放出量

	Area		Carbon stock		CO2		N2O		CH4	
	ha	(%)	Ton/ha	Total ton	mg/m <sup>2</sup> /h	ton/hour	mg/m <sup>2</sup> /h	ton/hour	mg/m <sup>2</sup> /h	ton/hour
Forest	46,560	55.4	155.2	7,226,034	352.3	164.0	10.7	5.0	-14.33	-6.7
Bush or Shrubs	14,936	17.8	15.0	224,036	580.7	86.7	20.0	3.0	-0.04	0.0
Rubber or Sec veg.	9,010	10.7	35.5	319,864	473.6	42.7	20.3	1.8	-0.02	0.0
Grasslands	6,638	7.9	6.0	39,827	603.6	40.1	11.0	0.7	0	0.0
Bare lands	5,577	6.6	0.0	0	624.9	34.9	13.4	0.7	-7.42	-0.4
River	1,259	1.5		0						
Water surface	21	0.0		0						
Total	84,000	100.0		7,809,761		368.4		11.3		-7.1

注：表1と同じ

表4 アジャンビ州東部低地(Muarasabak 地区)の土地利用変化

	1989		1992		1998		1989-1998
	ha	(%)	ha	(%)	ha	(%)	%
高密度森林	128792	(24.7)	84965	(16.3)	30249	(5.8)	-18.9
中密度森林	142874	(27.4)	192860	(37.0)	140631	(27.0)	-0.4
ゴム林・油ヤシ林	53675	(10.3)	51768	(9.9)	68515	(13.2)	2.9
水田	64830	(12.4)	64769	(12.4)	49273	(9.5)	-2.9
畑地	107024	(20.5)	100343	(19.3)	125285	(24.1)	3.6
森林火災跡地・裸地	6016	(1.2)	6811	(1.3)	88689	(17.0)	5.8
住居・商用地	1109	(0.2)	1307	(0.3)	2358	(0.5)	0.3
水域	16589	(3.2)	18085	(3.5)	15908	(3.1)	-0.1
計	520909	(100)	520908	(100)	520908	(100)	0

表5 アジャンビ州東部低地(Muarasabak 地区)における地上炭素量変化 (暫定値を使用)

	原単位 (ton/ha)	1989	1992	1998
		( $10^6$ ton)	( $10^6$ ton)	( $10^6$ ton)
高密度森林	200	26	17	6
中密度森林	100	14	19	14
ゴム林・油ヤシ林	50	3	3	4
水田	0	0	0	0
畑地	0	0	0	0
森林火災跡地・裸地	0	0	0	0
住居/商用地	0	0	0	0

表6 1992年と1993年の熱帯アジア地区のNPP ( $\times 10^{12}$  kg C yr<sup>-1</sup>)

Land use/Land cover	1992年	1993年
Cropland	2.37	2.47
Grassland	0.41	0.42
Forest	1.90	1.91
Others	0.01	0.01
Total	4.69	4.80

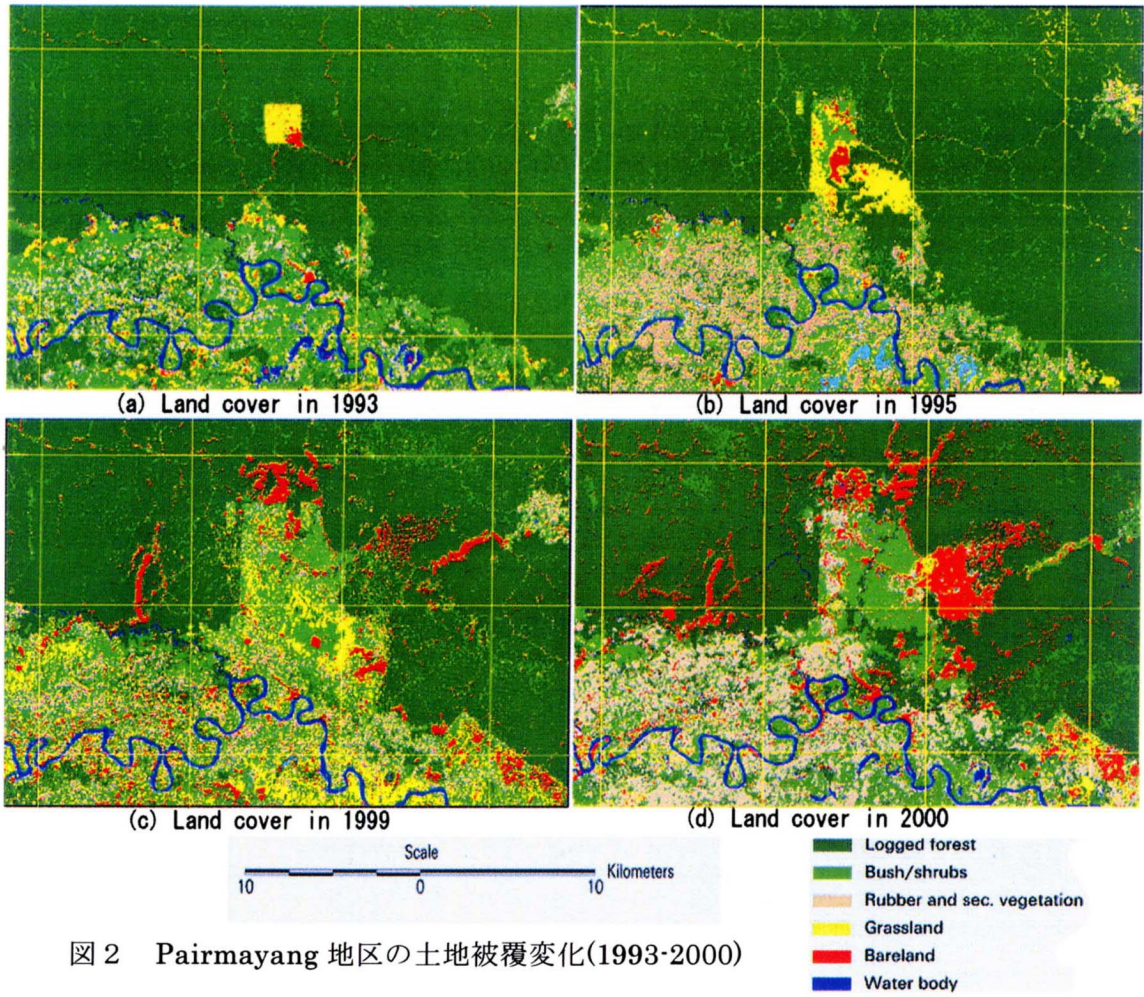


図2 Paimayang 地区の土地被覆変化(1993-2000)

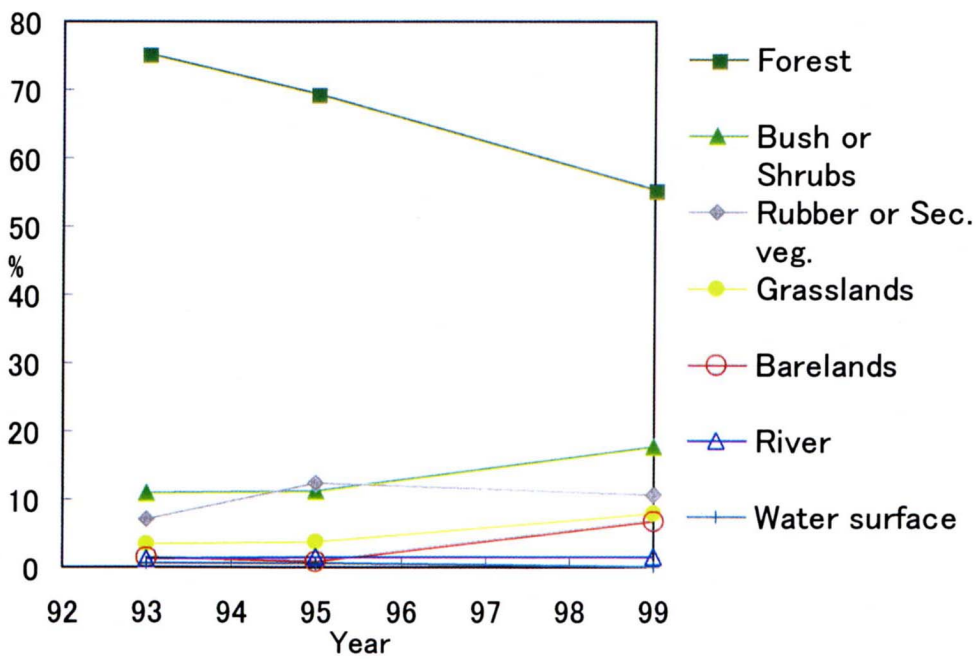


図3 Pasirmayang 地区の土地被覆変化



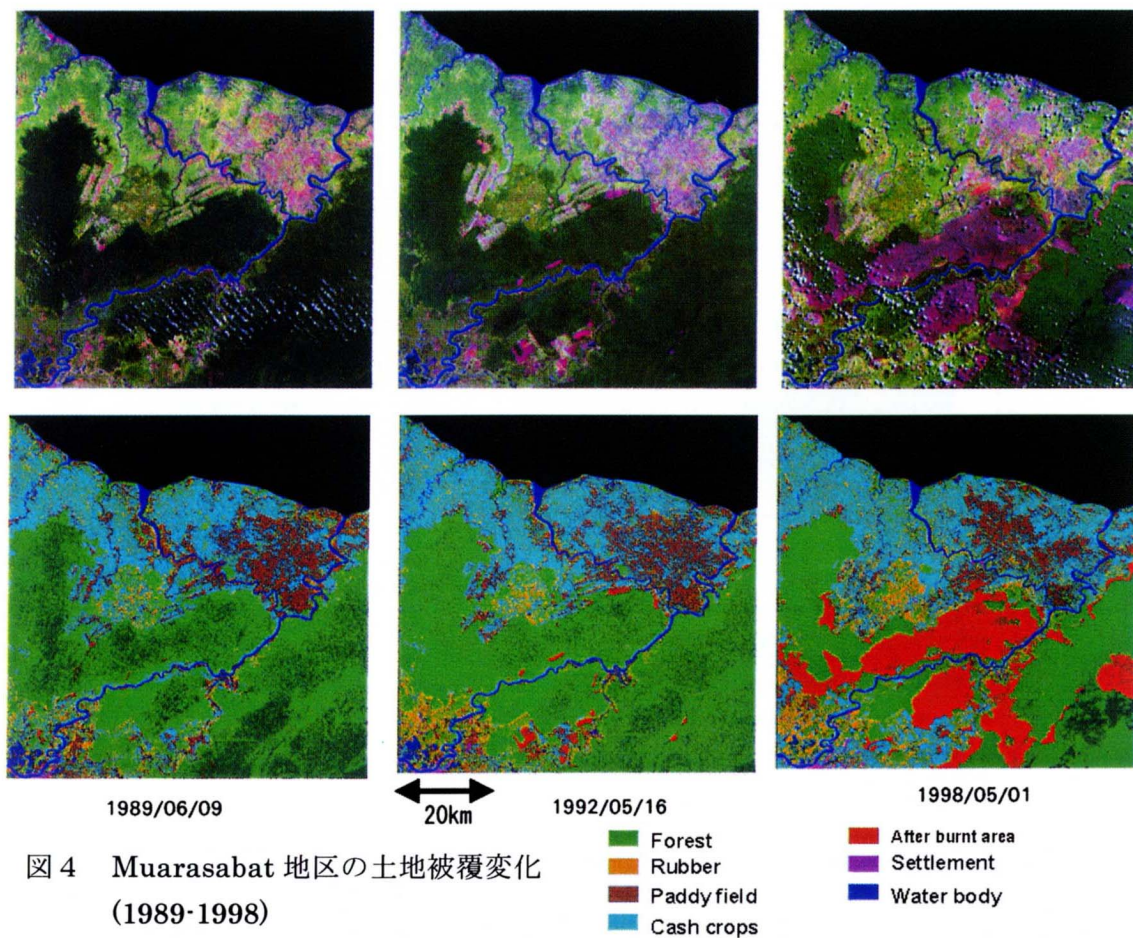


図4 Muarasabat 地区の土地被覆変化 (1989-1998)

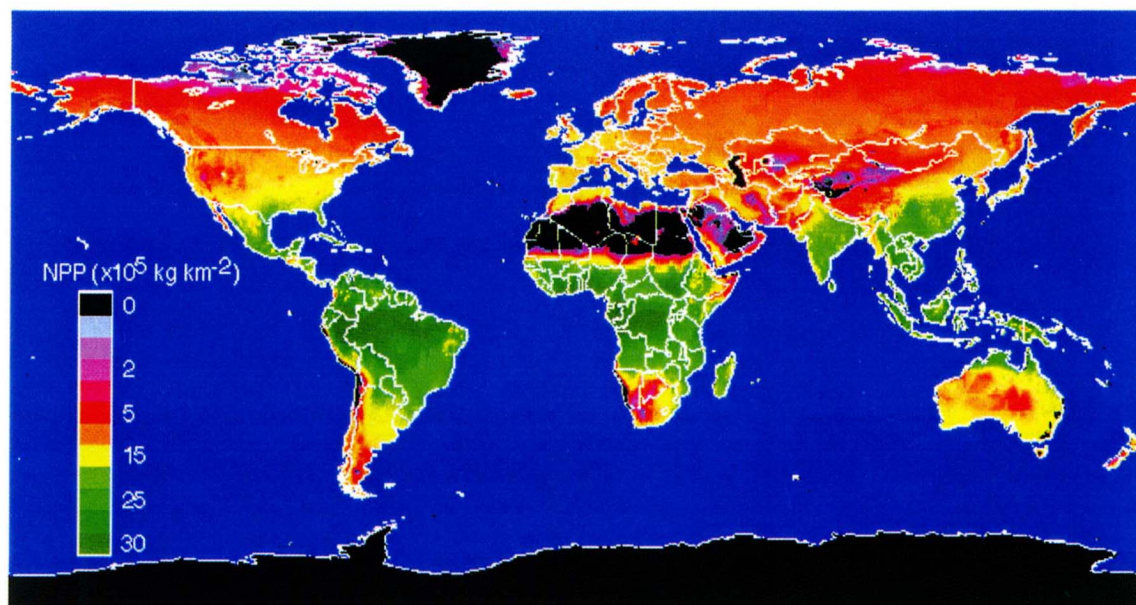


図5 気候値から推定した 1992 年 4 月～1993 年 3 月の全球陸域の NPP 分

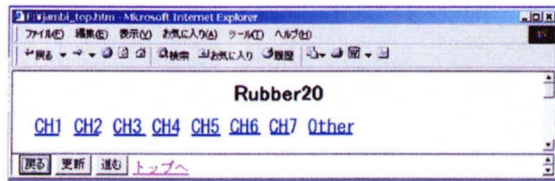
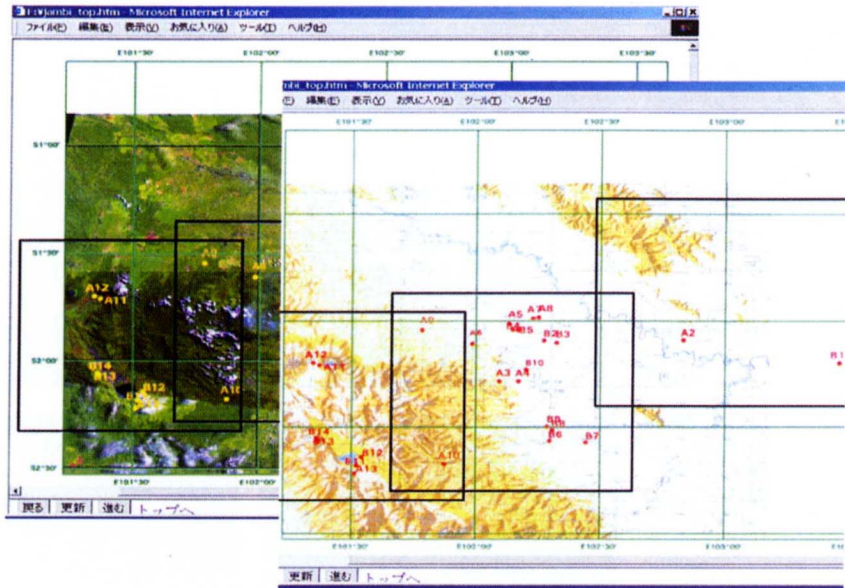


図6 現地調査画像のデータシステム

## 5. 本研究により得られた成果

インドネシアジャンビ州中央部のPaimayabng地区において、時系列の土地被覆変化を明らかにし、その土地被覆変化によるGHG放出量の算出を行った。GHGフラックスについて、地上調査データをもとに土地利用毎の暫定値を決め、それぞれの年次での土地利用にGHGフラックス量を掛け合わせ、地域放出量の推定を行った。

インドネシアスマトラ島ジャンビ州東部低地のMuarasabak地区において、時系列の土地被覆変化を明らかにし、その土地被覆変化による蓄積C量変化を推定した。

離散的にしか存在しないポイントデータを広域な面的データに変換する方法の例題として、気候値を使って自然植生の潜在炭素固定量(NPP)の推定を行い、良好な結果が得られた。

GHGフラックス広域現地地上調査付属情報データベースを完成させ、撮影者だけが所有していた写真情報を、広く共同研究者に提供できるようになった。

## 6. 参考文献

Burrough, A. 1986. Principles of geographical information system for land resources assessment, Oxford, Clarendon Press. Oxford, 193 p

Adger, N. etc. 1994. Land-use and the causes of global warming. John Wiley & sons. New York. 271p

### [国際共同研究等の状況]

インドネシアボゴール農科大学との共同研究として、本研究を推進した。本研究に関連するインドネシアでの調査研究レポートはインドネシアボゴール農科大学より提供された。毎年、共同で現地調査を実施し、衛星データ解析も共同で実施した。

### [研究成果の発表状況]

#### (1) 誌上発表

①Lilik Budi Prasetyo, Genya SAITO and Haruo TSURUTA (2000.12): Development for Data Base for Eco-system changes and Emission Changes of GHG Using Remote Sensing and GIS in Sumatra Island, Indonesia, Proceeding of the 21st Asian Conference on Remote Sensing, pp591-596, Taipei, Taiwan

②Genya SAITO and Lilik Budi Prasetyo: Spatial Database Development for Estimation of Emission of Greenhouse Gases Using Remote Sensing and GIS in Sumatra Island, Indonesia, Proceedings of the 6th JIRCAS International Symposium "GIS Applications for Agro-environmental Issues in Developing Regions, pp19-27

③Okamoto, K., Yokozawa, M., and Kawashima, H., 2000, Impact of climate change on agricultural production and carbon cycle. EMEA2000 in Kanazawa: 2000 International Symposium on Environmental Monitoring in East Asia -- Remote Sensing and Forests -- held in Kanazawa on 31 July - 2 August 2000, (Kanazawa: Kanazawa University, Ishikawa Prefecture and Kanazawa City, ISSN: 1345-1553), 103-118.

④Lilik Budi Prasetyo, Genya SAITO and Haruo TSURUTA (1999.11): Estimation of Emission Changes about Greenhouse Effect Gases by Land-Cover Changes Using Remote Sensing and GIS in Sumatora Island, Indonesia, Proceeding of the 20th Asian Conference on Remote Sensing 568-576, Hong Kong, China

⑤Kawashima, H., and Okamoto, K., 1999, Global distribution of arable land, cereal yield and nitrogenous fertilizer use. JASS, 15(1), 73-76.

⑥岡本勝男・横沢正幸, 1999, 気候変動シナリオからみたアジアの農業生産力変動. システム農学, 15(2), 104-110.

⑦Chen, J., G. Saito, and L. Prasetyo, 2001. Data base development for eco-system changes and GHG emission changes using remote sensing and GIS-case studies at upland and lowland in Sumatra Island-, Proceedings of International Symposium on LUCC Contribution to Asian Environmental Problems, CD-ROM, Tokyo, Japan.

(2) 口頭発表

①Lilik Budi Prasetyo, G.Saito, H.Tsuruta, Upik Rosalina and Daniel Murdiyarso : Impacts of land-use/land cover change on above ground carbon stock and green house gases emission of soil surface, 日本写真測量学会平成 11 年度年次学術講演会・日本リモートセンシング学会第 26 回学術講演会合同学術講演会論文集, 119-122

②Genya SAITO and Lilik Budi Prasetyo: Spatial Database Development for Estimation of Emission of Greenhouse Gases Using Remote Sensing and GIS in Sumatra Island, Indonesia, The 6th JIRCAS International Symposium "GIS Applications for Agro-environmental Issues in Developing Regions, Program and Abstracts, 10

③Yokozawa, M., Yonemura, S., and Okamoto, K., 2000, Geographical distribution of methane emission strength of rice paddies in Japan. In Proceedings of ASAAQ2000: Seventh International Conference on Atmospheric Sciences and Applications to Air Quality and Exhibition, and Workshop on Air Quality Modeling Challenges -- held in Taipei, Taiwan on 31 October-3 November 2000, P.273.

④Okamoto, K., Yokozawa, M., and Kawashima, H., 2000, Impacts of climate change on regional cropping system. In Proceedings of ASAAQ2000: Seventh International Conference on Atmospheric Sciences and Applications to Air Quality and Exhibition, and Workshop on Air Quality Modeling Challenges -- held in Taipei, Taiwan on 31 October-3 November 2000, Taipei Municipal Government), P.341.

(3) 出願特許：なし

(4) 受賞等

岡本勝男：システム農学会論文賞（平成12年5月17日）

「地球規模の穀物生産量推定のためのリモート・センシングおよび GIS 的アプローチに関する研究」

(5) 一般への公表・報道等：なし

(6) その他成果の普及、政策的な寄与・貢献について

本共同プロジェクトの研究終了（報告書および学会誌発表）後に、本プロジェクトに係わるデータおよび関連情報を、「GHGフラックス広域現地調査付属情報データベース」として、簡単に利用できるように整理して、CD-ROMまたはDVDに収録して配布する。