

平成12年度 森林総合研究所 研究成果発表会

21世紀の扉を開く

— 持続型社会に向けての環境保全 —

講 演 要 旨 集

農林水産省 林野庁
森林総合研究所

平成12年度 森林総合研究所 研究成果発表会

21世紀の扉を開く

— 持続型社会に向けての環境保全 —

日時：平成12年10月20日（金） 13：15～16：40

場所：三会堂ビル 9F 「石垣記念ホール」

東京都港区赤坂1-9-13 Tel. 03-3582-7451

発表課題

1. ランドスケープエコロジーに基づく里山ブナ林の保全
関西支所 風致林管理研究室 深町加津枝 1
2. 森林が気候に及ぼす影響をモデル化する
森林環境部 気象研究室主任研究官 渡辺 力 8
3. タイ熱帯林の生育環境と季節変化の観測
企画調整部 海外森林環境変動研究チーム長 沢田 治雄 ... 15
4. 環境と性能 —木質材料だけにできること—
木材化工部 複合化研究室主任研究官 渋谷 龍也 23
5. 虫とウッドチップを使って牛糞を堆肥にする
多摩森林科学園 森林生物研究室長 新島 溪子 28

ランドスケープエコロジーに基づく里山ブナ林の保全

関西支所 風致林管理研究室 深町加津枝

1. 背景と目的

ブナ林は多様な生物種を育み、地域文化の形成と深くかかわってきたが、孤立化や必要な管理の停止など保全に向けた多くの課題がある。その保全においては、複雑、多様化した社会的背景をふまえ、ブナ林をとりまくランドスケープ（森林、農地など相互に関連し合う様々な土地被覆のセット）の特質を包括的にとらえることが重要である。

本課題では、近畿地方におけるブナ林の分布状況を明らかにするとともに、ランドスケープエコロジーの観点から、里山ブナ林をとりまくランドスケープの構成要素の分布と変容パターンを明らかにした。そして、里山ブナ林及び周囲の里山林（主に薪炭林として利用された落葉広葉樹林）の利用履歴と生態的特性の関係に基づき、今後の里山ブナ林の保全計画のあり方を検討した。

2. 近畿地方のブナ林の分布と保全状況

図1には、近畿地方における潜在自然植生図、現存植生図上でのブナ林の分布を1kmメッシュデータで示した。現存植生図上のブナ林は潜在植生図上のブナ林の約10%を占めるにすぎず、そのうち75%は植林地など他の植生区分に隣接していた。

図2には、保全ブナ林リストにある70か所のブナ林の面積、最低標高及び保全規制との関係を示した。保全規制は、強い規制、弱い規制、内部規制、未規制（報告書等への掲載のみ）と区分した。約40%のブナ林は強規制の地域に属するが、面積が小さく最低標高が比較的低いブナ林には具体的な保全施策のないものが多かった。これらは主に地域社会の中で薪炭林などとして利用されてきた里山ブナ林であった。



図1. 潜在植生図及び既存植生図上のブナ林の分布

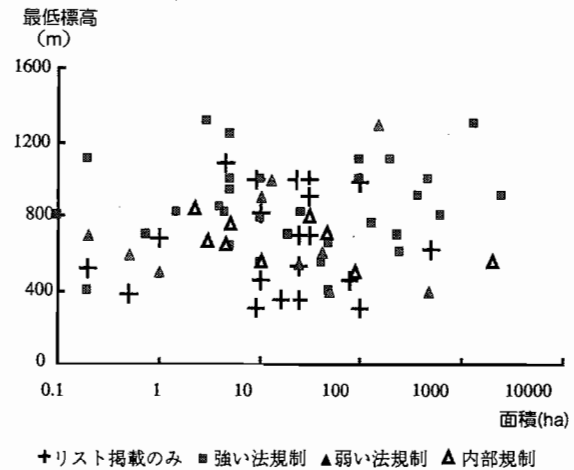


図2. 保全リストのブナ林の最低標高、面積と保全規制の関係

3. ブナ林をとりまくランドスケープの変容

保全施策が必要な里山ブナ林の事例として、京都府丹後半島の宮津市上世屋地区、大宮町五十河地区を選定した。図3は、両地区の里山ブナ林をとりまくランドスケープの主な構成要素となる土地被覆の変容パターンである。1900～1996年の間に、松枯れや薪炭利用の激減、過疎化に伴う水田の放棄など自然・社会環境にともない、異なった頻度や大きさで広葉樹の伐採や人工林化、水田の広葉樹林化などが起こった。そして、1996年には図4に示す樹種・林齢の空間パターンに見られる、複雑なランドスケープが形成された。

里山林は、このようなランドスケープの変容の中で、地域住民の生活や生産活動を物質的に支えてきただけでなく、村の領域を視覚的に形づくり、水田や採草地など他の構成要素とともに、一つのまとまりある里山ランドスケープの主要な構成要素として大きな役割を果たしてきた。そして、里山ブナ林は、集落から比較的遠距離にある、標高500～700m以上の高標高域に位置し、比較的高蓄積かつ大面積でまとまった里山林であった。

里山ブナ林は、大火の際の集落の復興用の炭焼き、家屋の自家用用材の伐採などが中心で利用圧が低く、主に非常時用の備蓄という役割を果たしてきた。里山ブナ林の分布は、地域住民との関連から見れば、地域独自の自然環境のもと、里山ランドスケープと深い関わりのあった伝統的な土地利用形態に組み込まれ、その一部と

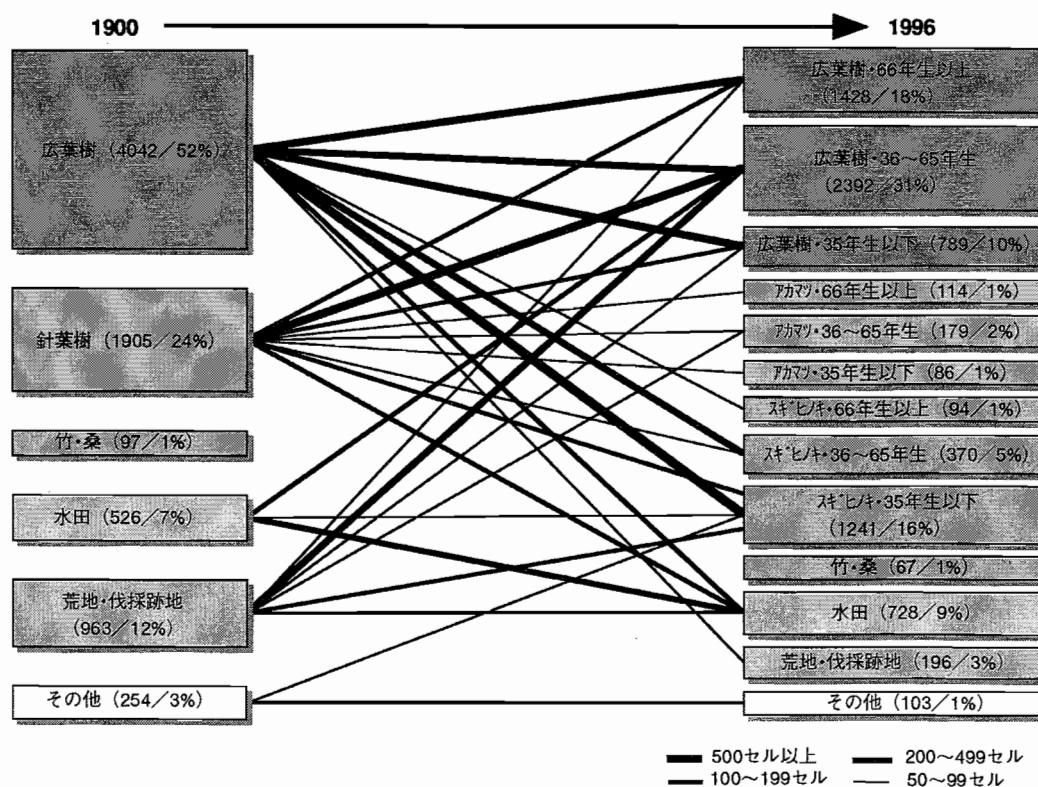


図3. 丹後半島山間部における土壌被覆の変容パターン

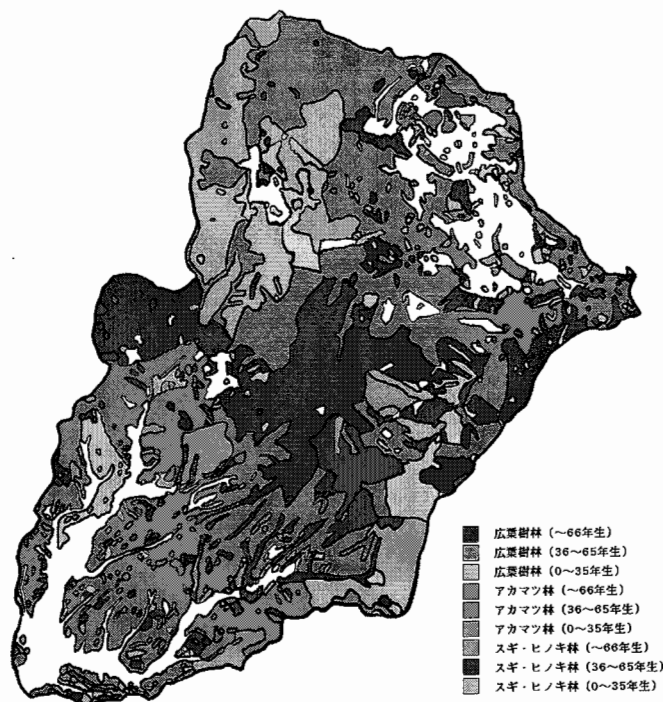


図4. 1996年の樹種・林齢分布の空間パターン

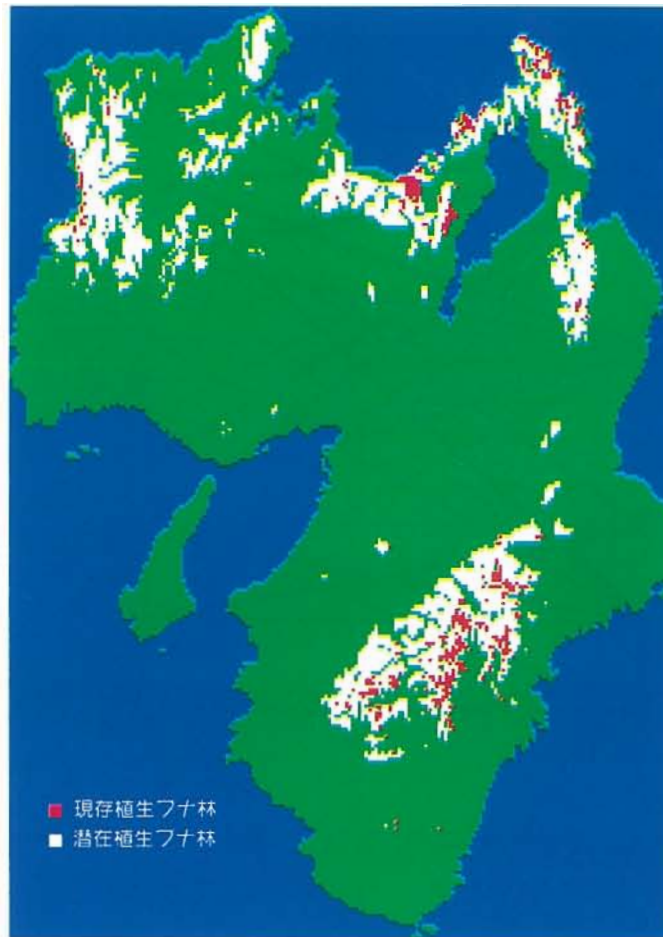


図 1. 潜在植生図及び既存植生図上のブナ林の分布

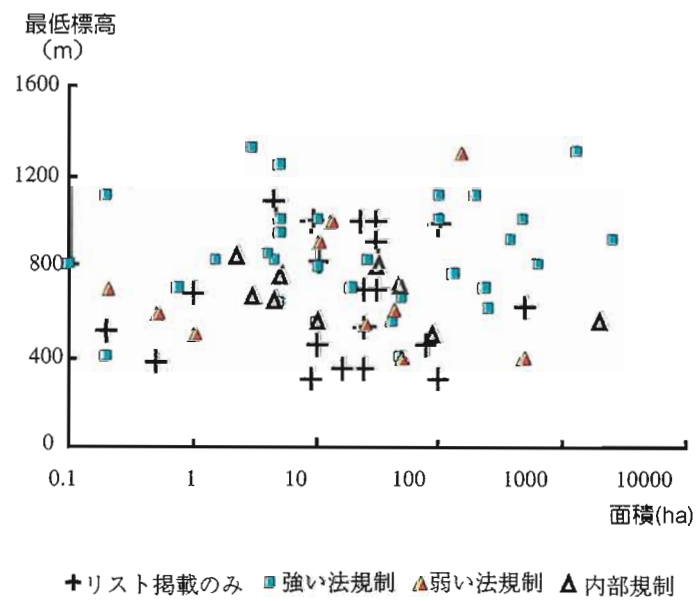


図 2. 保全リストのブナ林の最低標高、面積と保全規制の関係

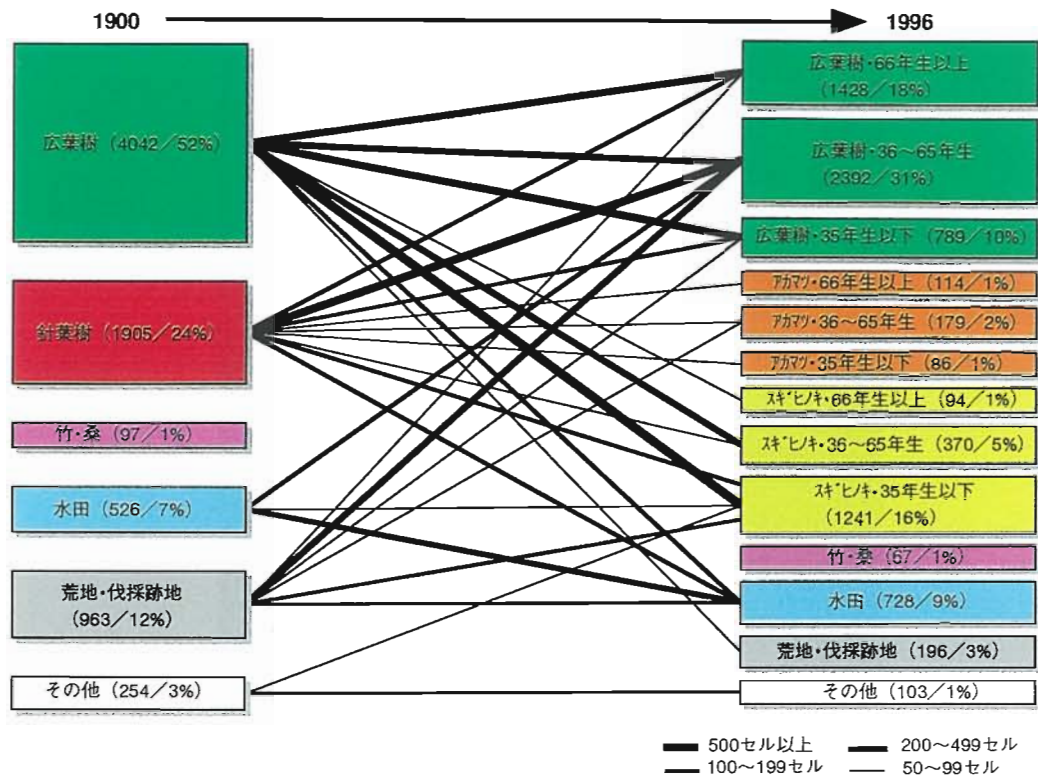


図3. 丹後半島山間部における土壌被覆の変容パターン

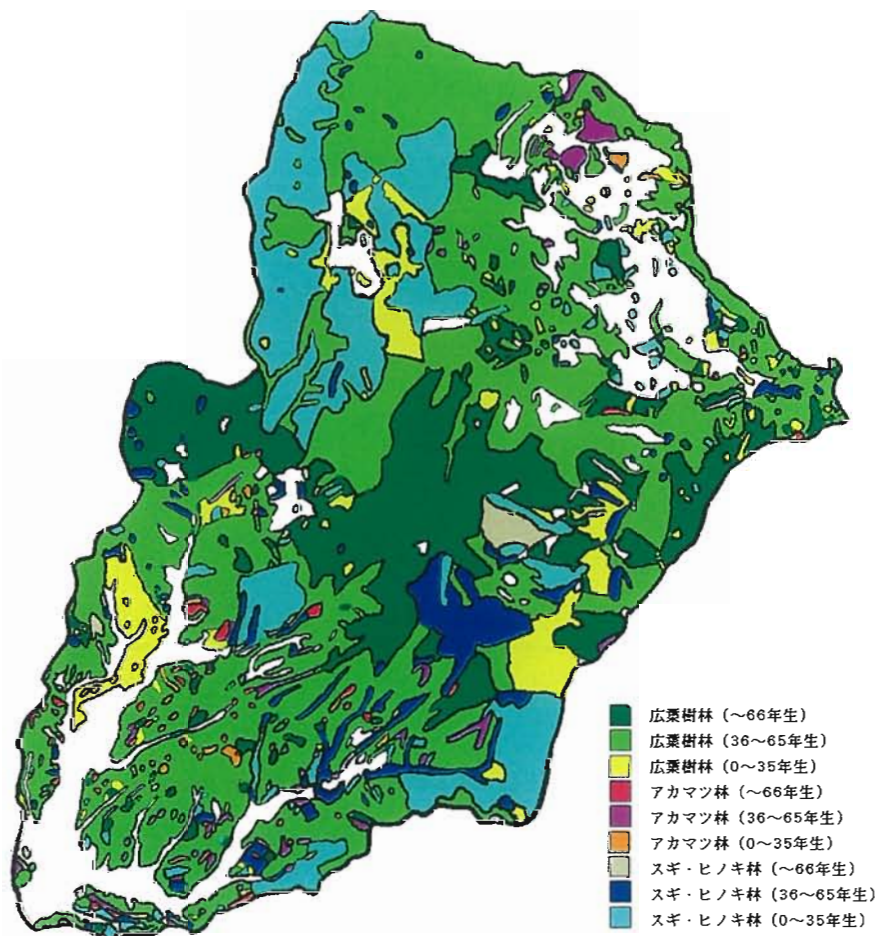


図4. 1996年の樹種・林齢分布の空間パターン

して環境要因に規定されながら、必然的な合理性をもって分布してきたものと考えられる。

しかし、1960年代からの薪炭材需要の低下や、地域住民の生活形態の変化など社会環境の変容に伴い、備蓄という資源価値は失われ、その存在自体についても地域住民の認識から遠ざかっていった。林道建設などによる利便性の増加は、このような里山ブナ林に対する、パルプチップ材としての利用などの外部からの伐採圧を高めることにつながった。そして、人工林化や他の植生への変化によってその面積が減少する傾向にあった。

4. 里山ブナ林の利用形態と生態的特性

上世屋・五十河地区の里山ブナ林は、利用目的や伐採周期などから、天然生区、選択的管理区、長伐期管理区に区分できた（表1）。そして、里山ブナ林の管理手法と植物の種組成、多様性、林分構造には特徴的な対応関係があった（表2）

天然生里山ブナ林では、木本種の多様性が低い傾向があったが、伐採周期の短い管理手法ほどブナ天然林に特有の種数が減少し、稀に出現する種が見られなくなる傾向があった。林床植生では、ササの出現状況や種組成が大きく異なっていた。天然生里山ブナ林ではチシマザサが優勢であったが、選択的管理、長伐期管理里山ブナ林では、刈り払い後の繁殖力の強いチマキザサが林床を覆っていた。

生活形でみた植物種の出現パターンはどの区分もほぼ同様であったが、調査区ごとに出現する草本種の違いは大きかった。これは管理手法の違いだけでなく、他の高木種などに比べ草本種が標高や微地形、周辺の植生の違いによる影響を受けやすいことも要因として考えられる。高さ2 m未満の林床植生ではチマキザサの出現率と林床多様度、均等度に正の相関があり、チマキザサが優占しやすい選択的管理、長伐期管理下にある里山ブナ林において、林床植生の多様性が高くなる傾向があった。

5. おわりに

里山ブナ林は、地域社会や文化と密接に結びついた長い利用の歴史から、その生態的な特性は地域の自然条件や社会環境に適応した独自の利用、管理手法の影響を

表1. 調査区ごとの管理類型、地形、経歴と生態的な特性

類型	調査区 関連集落	天然生里山ブナ林		選択的管理里山ブナ林		長伐期管理里山ブナ林			
		天然生区1 上世屋	天然生区2 上世屋	選択管理区1 内山	選択管理区2 内山	長伐期区1 上世屋	長伐期区2 上世屋	長伐期区3 上世屋	長伐期区4 内山
地形	最高 (m)	600~650	640~670	500~530	490~540	660~700	620~670	620~670	530~570
	傾斜 (°)	20	37	16	15	19	20	18	24
	斜面の向き	北東	南東	西	南西	南東	北西	西	西
経歴・管理	利用目的	ほぼ天然	ほぼ天然	ブナ材用心山	ブナ材用心山	炭焼き	炭焼き	炭焼き	炭焼き
	所有形態	共有林	国有林	私有林	私有林	共有林	共有林	共有林	私有林
	伐採周期	伐採なし	伐採なし	100年~	100年~	60年~	60年~	60年~	60年~
	伐採方法			択伐	択伐	小面積皆伐	小面積皆伐	小面積皆伐	小面積皆伐
	下刈り・除伐	なし	なし	粗放・部分的	粗放・部分的	なし	なし	なし	なし
高木	高木種数	51	48	50	40	48	41	40	29
	高木多様度(H')	1.80	1.56	3.05	2.79	3.25	1.76	2.17	2.23
	高木均等度(J')	0.39	0.36	0.65	0.62	0.67	0.39	0.48	0.58
	立木密度 (本/0.2ha)	166	150	127	140	220	231	250	239
	合計BA (cm)	107,231	88,423	101,274	79,984	74,949	99,307	86,565	55,916
	第二優占樹種	ミズナラ	コシアブラ	ミズナラ	ミズナラ	ミズナラ	ミズナラ	ミズナラ	コナラ
ブナ	ブナBA割合 (%)	71	81	51	37	15	71	58	54
	ブナBA平均 (cm)	1,194	2,040	1,080	1,462	428	474	451	365
	ブナ本数	64	35	48	20	27	148	112	82
	ブナ萌芽率 (%)	2	9	19	20	30	5	8	2
林床	林床種数	67	74	83	66	30	58	67	84
	林床多様度(H')	4.94	5.02	5.50	4.85	3.30	4.86	4.70	5.56
	林床均等度(J')	0.81	0.81	0.87	0.80	0.67	0.83	0.78	0.88
	チマキザサ出現率 (%)	11	0	71	95	100	55	83	36
	チシマザサ出現率 (%)	54	100	0	0	0	3	1	0
	ササ高さ (m)	30~170	150~200	30~120	20~100	120~180	70~120	30~100	50~120
	最頻出現種	オクノカンスゲ	チシマザサ	チマキザサ	チマキザサ	チマキザサ	ハイイヌツゲ	チマキザサ	ハイイヌツゲ

強く受けていた。里山ブナ林を保全することは、天然生、選択管理、長伐期管理など、それぞれ異なった生態的特質をもったブナ林を保全することである。例えば、天然生里山ブナ林は、面積のまとまった天然ブナ林を復元する場合のコアとなる森林として、重要な役割を果たすであろう。また、選択的管理里山ブナ林は、天然ブナ林に近い種組成、林分構造をある程度保ちながらも、地域において高い植物種の多様性を保っていくものと思われる。

今後の里山ブナ林の保全管理計画においては、里山ブナ林の空間上の分布特性の変化とともに、利用履歴に基づく生態的特性の相違を解明することが不可欠で

表2. 類型別里山ブナ林の種組成、多様性、林分構造

		天然生	選択的管理	長伐期管理
	管理	伐採サイクル 林床管理	なし なし	100年~ あり 60年~ なし
種組成	(高木種)			
	優占度大	ほぼ同様		
	中	ブナ林特有種		
	小	稀な出現種		
種組成	(林床)			
	生活形別種組成	ほぼ同様		
	種組成	調査区ごとに様々		
	ササの種類	チシマザサ	チマキザサ	チマキザサ
多様性	(木本)			
	種数	中~高	中~高	低~中
	多様度・均等度	低	中~高	中~高
	(林床)			
林分構造	種数・多様度・均等度	中	高	低~高
	胸高直径階	広	広	狭
	ブナ・イヌブナ平均BA	大	大	小
	ブナ・イヌブナ優占度	高	中	小~高
	萌芽率	低	高	中

ある。そして、地域指定による行為規制にとどまることなく、里山ブナ林に特徴的な社会、生態的特性を維持してきた多様な管理手法を担保することが必要とされる。

森林が気候に及ぼす影響をモデル化する

森林環境部 気象研究室主任研究官 渡辺 力

1. はじめに

現在、地球環境の急速な悪化に対応するべく、各国で研究や技術開発、新たな政策の立案などの方策が模索されている。そのような中で、温暖化などの気候変動が今後どのように進んで行くのかを正確に予測することが求められている。気候変動の進行速度や程度によってとるべき対策やその効果が違ってくるためである。しかし、これまで多くの機関で数値モデルを用いた気候予測が試みられてきてはいるものの、その結果にはいまだに多くの不確実性が残されている。例えば、今後の気温上昇の見通しについても、使用するモデルが違っていると予測結果が異なるのが現状である。数値モデルの予測結果に不確実性をもたらす要因には、大気中の化学物質や雲・水蒸気などの挙動がモデルの中でうまく表現されていないことその他数多くあり、それらを解明する努力が今も続けられている。

森林総合研究所では、これら数ある問題のうち、森林をはじめとする植生地における、大気と地表面の間での熱や水蒸気及び二酸化炭素のやりとりをより正確にモデル化する研究を行っている。植生は、自身をとりまく環境が変化すると、その生理・生態的な特性に応じて蒸散や光合成の速度を変化させ、それを通して大気に対する影響を変化させる。そして、それが再び環境を変化させることにつながっていく。このようなフィードバック機構が、現在の数値モデルには十分に取り入れられておらず、気候予測の不確実性を増やす要因の一つになっている。また、植生は種類によって蒸散や光合成の機能が異なり、たとえ同じ種類であっても生育条件が違えば環境に対する応答の仕方が異なっている。このような複雑多様さは、植生が生き残るために獲得した本来の性質であるが、それが適切なモデル化を遅らせている原因にもなっている。

2. 森林が気候に影響を及ぼすしくみ

地球大気の上端に降り注ぐ日射のエネルギーは、大気の間を通過する間に雲に反射されたり大気成分に吸収されるなどして減少するものの、その約半分のエネルギーが地表面に到達する。そうして地表面に到達した日射のエネルギーは、一部が反射される他は、地表面を暖めたり地表面上の水分を蒸発させるのに使われる。地表面が暖まると、その上にある大気が下から直接加熱されることになる。また、蒸発によって大気中に放たれた水蒸気は、そのままでは何ら作用を及ぼさないが、いったん雲ができるとその中で膨大な凝結熱を放出し、大気を強く加熱することになる。日射のエネルギーは、こうして地表面を経由して大気に与えられるのである。

ところで、地球上には、海面、雪水面、森林、農耕地、草原、砂漠など様々な種類の地表面が混在している。地表面に水分の少ない砂漠などでは、吸収される日射エネルギーの大部分が地表面を暖めるのに使われるため、地表面温度が著しく上昇し、大気を下から強く加熱することになる。一方、森林など水分の豊富な地表面では、同じ量の日射エネルギーを吸収しても、その多くが水の蒸発に使われてしまうため、地表面の温度はあまり高くなり、結果として大気を加熱する割合は小さくなる。また、大気を加熱する割合が場所によって違えば、大気中の熱量分布にかたよりができる。すると、大気中に対流のような流れが起こり、熱が横方向に運ばれることになる。このようにして大気中に熱が配分された結果、各地の気候が決まることになる。

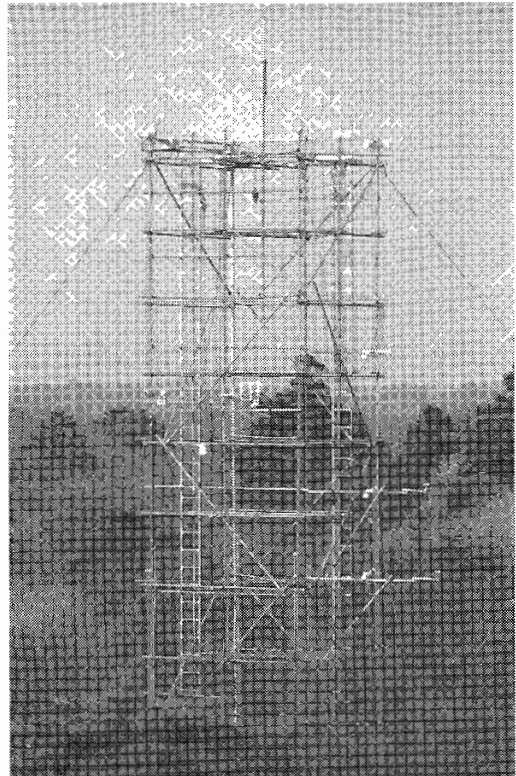
従って、今後の気候の変化を正確に予測するためには、各種の地表面において、日射エネルギーがそれぞれどのように使われているか、またそれが今後どう変化していくのかを正確に把握することが必要なのである。中でも、森林をはじめとする植生は、地球上の全陸地面の約半分を覆っており、気候の形成に対して重要な役割を果たしている。しかも、植生はその形態・生理的特性や環境条件に対する応答特性が多様であるため、その影響は複雑である。

3. 森林における熱や水蒸気のやりとり（実測データより）

森林総合研究所は、1995年に埼玉県川越市郊外の落葉広葉樹林（いわゆる武蔵野の雑木林）に川越森林気象試験地を設立した。ここには、気象を測定するための高さ25mの観測タワーが設置され（写真）、森林と大気との間での熱や水蒸気や二酸

化炭素などのやりとりを直接測定しているほか、森林内の微気象や土壌の温度・水分環境などが継続的に観測されている。このデータをもとに、森林では日射のエネルギーが実際にどのように使われているのかを見てみよう。

後に示すように、森林の葉量が増えると気象的な要素にもいろいろな影響が及ぶので、最初に葉量の季節変化を調べておく。図1は、1996年に測定された葉面積指数の季節変化である。ここで、葉面積指数とは、葉量を表す指数で、森林内の樹木についているすべての葉を重ならないように敷き詰めたととき、その面積が群落面積の何倍になるかという数字である。この図によると、この年は4月下旬から5月上旬にかけて葉が展開し、6～7月に葉量が最大になり、その後次第に葉を落とし、12月に入ってすべての葉がなくなったことが分かる。



写真、川越試験地の気象観測タワー

これと同じ期間において、森林が群落の上で日射を反射する割合（アルベードという）の季節変化を求めると、図2のようになった。アルベードが大きいと、森林が日射を反射してしまう割合が増え、そのエネルギーを吸収する割合が少なくなる。そのため、アルベードは熱や水蒸気のやりとりに影響を及ぼす重要なファクターである。さて、図2によると、まず落葉期（1～3月）には、アルベードの値は積雪が無い限り0.1以下と低い。そして、4月後半に群落全体の葉が一斉に開くのと同時に急上昇し、この直後に年間の最大値（0.14程度）を示す。若葉色の新緑が光をよく反射するためである。その後、夏に向けて葉が成熟し色が深まるにつれて、アルベードの値は次第に減少する。

また、森林に吸収された日射のエネルギーが、大気加熱（顕熱）、水分の蒸発（潜熱）、樹木および土壌の加熱（貯熱）のそれぞれにどのように振り分けられているのか、またそれがどのように季節変化しているのかを示したのが図3である。まず、冬（落葉期）には潜熱の割合が小さく、結果として日射エネルギーの大部分が顕熱となり、森林が大気を強く加熱する形になっている。この状況は、群落の葉が開くとともに急変し、潜熱の占める割合が大きくなる。樹木が活発に蒸散を行うよ

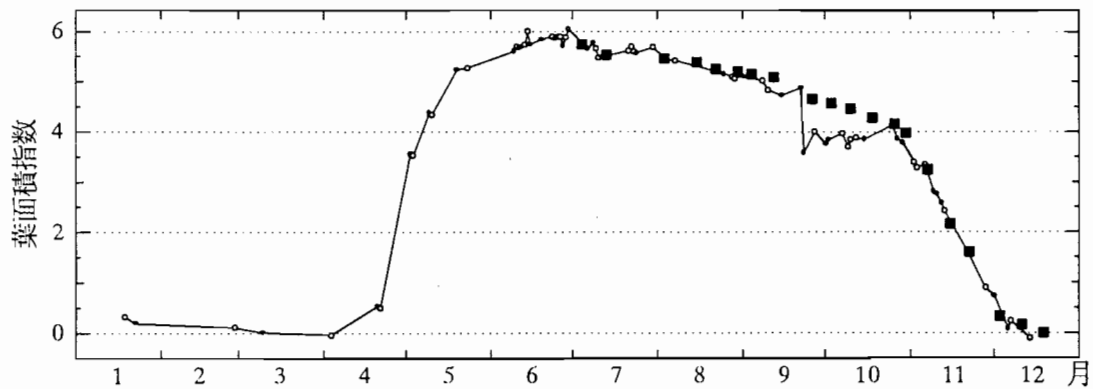


図1. 川越試験地における葉面積指数の季節変化
折れ線：林冠を通過する日射量からの推定値
黒四角：落葉量からの推定値

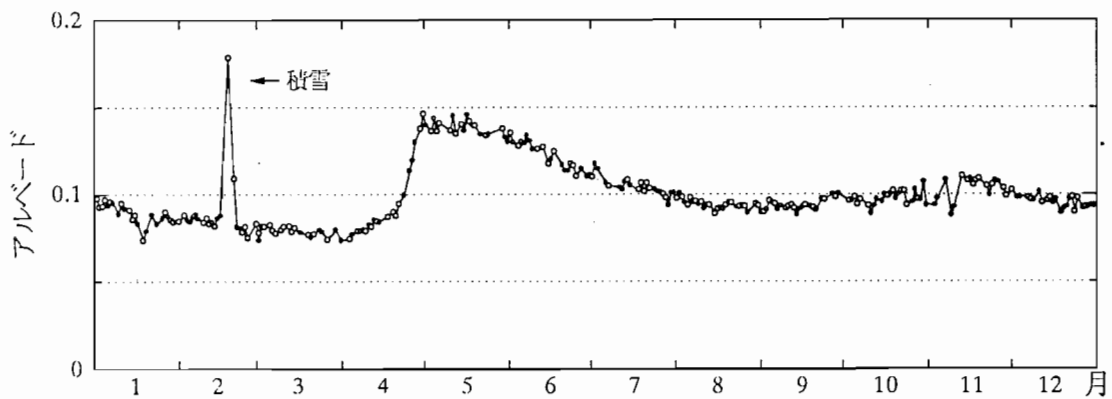


図2. 川越試験地におけるアルベード（日射の反射率）の季節変化

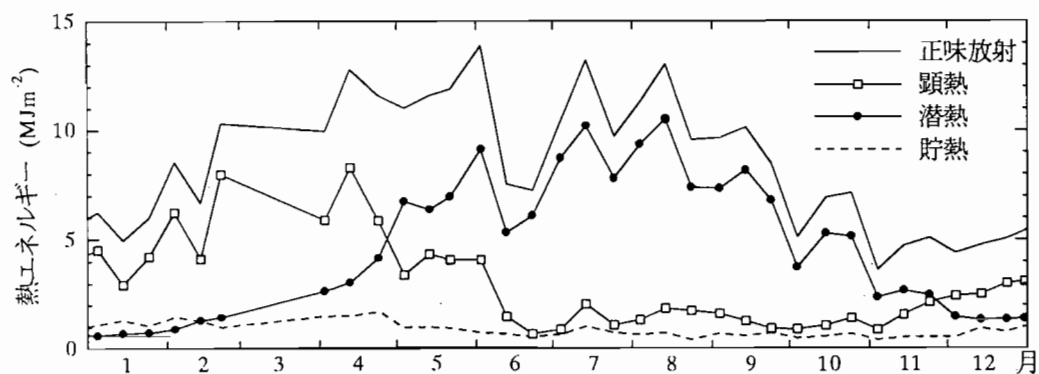


図3. 川越試験地における日射エネルギーの配分の様子
正味放射：ほぼ森林に吸収される日射エネルギーに対応
顕熱：大気を加熱するエネルギー
潜熱：水分の蒸発に使われるエネルギー
貯熱：樹木と土壌を加熱するエネルギー

うになるためである。このため、夏（着葉期）には顕熱へのエネルギーの配分が小さくなっている。また、貯熱に費やされるエネルギーは年間を通して小さい。このように、森林が大気を加熱する割合は、季節や森林の葉量などによって大きく異なっている。

4. 熱や水蒸気のやりとりのモデル化

森林と大気との熱や水蒸気のやりとりは、上で示したように季節的に大きく変化するが、ここでは大気に対する森林の影響が最も現れやすい真夏について、モデル化の例を紹介しよう。

森林上に降り注ぐ日射のエネルギーは、一部が葉面などで反射され、別の一部が林冠を透過して地面に達するが、残りの大部分は葉などに吸収される。吸収されたエネルギーによって、葉などに含まれる水分が蒸発したり、それらに接する空気が暖められる。このと

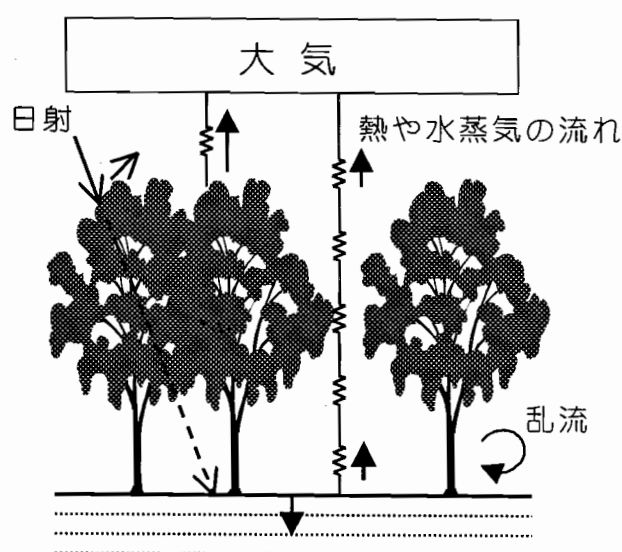


図4. 森林における熱や水蒸気のやりとりの模式図

き群落内の大気中に放たれた熱や水蒸気は、群落内を通り抜ける風の渦（乱流）によって群落の外へ運び出され、大気中へ広がっていく（図4）。森林ではこのような過程を経て大気との間で熱や水蒸気がやりとりされている。これを、森林の葉量、葉の光学的特性、風に対する抵抗係数、葉の熱交換特性、葉層と地面の蒸発効率（蒸発の起こりやすさを表す指数）などの指数を組み合わせることで表現できるモデルを開発した。ところで、植物は天候などに応じて葉の気孔を開閉し、光合成の速度を調節しているが、このとき同時に蒸散の速度も変化する。すると、日射エネルギーのうち蒸発に使われる割合が変化し、大気に及ぼす影響が変化することになる。つまり、森林などの植生地においては、植物の生理作用による気孔の開閉の様子をモデルに取り入れなければならない。今回開発したモデルでは、それを蒸発効率という指数の変化で表現している。その大きさは、日射量が大きいときに大きくな

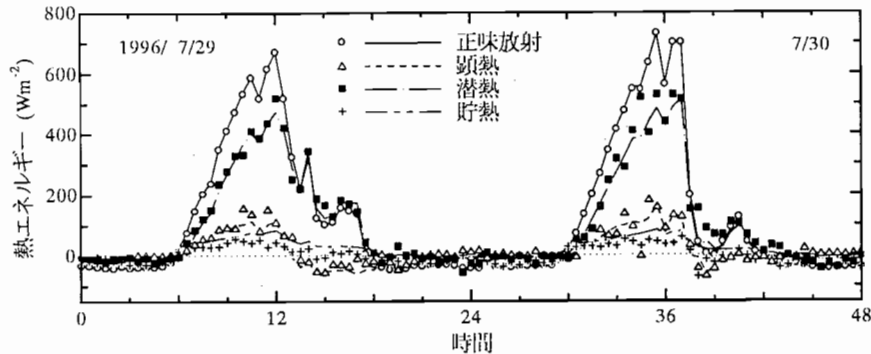


図5. 日射エネルギーの配分のシミュレーションの結果（2日間分）
点：観測値
折れ線：モデルによる計算値

り、乾燥した気象条件のときに小さくなるよう設定されており、植物の環境応答の効果が簡便に表現されている。

このモデルを使い、川越試験地で観測された真夏の気象条件の下でシミュレーションを行った結果が図5である。森林に吸収される日射のエネルギーが時間変化すると、それに応じて蒸発に使われるエネルギー（潜熱）や大気を加熱するエネルギー（顕熱）が変化する様子がよく再現されている。

5. モデルの応用例

森林が気候に及ぼす影響の一例として、日本の真夏の気温に対する影響を調べよう。日本の国土は約7割が森林に覆われているが、その森林における蒸散能力が一斉に半減してしまったらどうなるであろうか。図6がその計算結果である。この計算は、数百km四方の領域の風や気温などを予測する局地循環モデルに、上述した森林モデルを組み合わせで行ったものである。図6は、森林の蒸散能力を半減させた場合、通常の

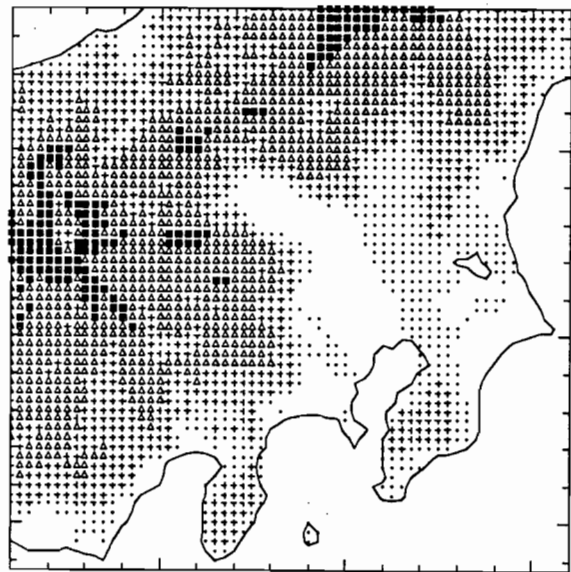


図6. 森林の蒸散能力を半減させた場合の気温の上昇量
(・：0.3～0.6℃，＋：0.6～0.9℃，△：0.9～1.2℃，■：1.2～℃)

場合に比べて気温がどの程度上昇するのかを示している。これによると、一般には森林の多い山地で気温が大きく上昇するが、松本や甲府などの盆地や伊那地方などの谷状地の底にあたる地域では、現地には森林が少ないにもかかわらず、気温が上昇する。これは、山地を広く覆う森林と大気との熱のやりとりが変化するために、いたるところで風の強さや分布が変化し、それによって水平方向への熱の移動量が変化するためである。

6. 今後の課題

前述したとおり、森林などの植生は、種類や生育条件によって光合成や蒸散の特性が異なり、大気に及ぼす影響が違ふ。これをうまくモデル化するには、何よりもいろいろな場所での観測データが必要である。現在、世界の各地でこのような目的のタワー観測が実施されており、それらのデータをネットワークを通して共有しようとする動き（フラックスネット）が始まっている。そのような中で、森林総合研究所は、川越試験地の他にも日本国内に5か所のタワー観測施設を設立し、それぞれ異なる樹種や異なる気候下におけるデータを取得しつつある。

また、長期的な視野で見ると、植生は気候の変化に適応して光合成などの特性を変化させたり、その分布域を変化させる。そして、そのことが再び気候に影響を及ぼすことにつながる。従って、長期の気候変動を予測・研究するには、植生と気候との間のこのような相互作用を考慮に入れていかなければならない。

タイ熱帯林の生育環境と季節変化の観測

企画調整部 海外森林環境変動研究チーム長 沢田 治雄

1. はじめに

タイなどに見られる熱帯季節林は、焼畑移動耕作、伐採、薪炭材の採取、大規模な農業・鉱業開発等が原因となって減少している。このため、洪水などの自然災害の増大、表土流出による土壌環境の悪化が進行している。さらには、これらの環境の破壊により野生動植物の減少等、生態系の破壊が深刻化している。しかし、熱帯林の減少に伴うこれらの変動機構の解明は十分にはなされておらず、植林等の熱帯林の保全・再生技術を効果的に活用するための熱帯地域に関する科学的なデータ及び知見も不十分である。

この研究は以上のような状況を踏まえて、平成2年から平成11年度にかけて行われた「熱帯林の変動とその影響等に関する観測研究（科学技術庁地球科学技術特定調査研究）」の成果の一部である。

2. 研究方法

人工衛星データを用いてタイの熱帯季節林地帯における季節的、経年的な変化を観測して、種々の森林型の分布とその生育環境の実態を調査した。具体的にはタイ北部の熱帯山地常緑林、中部の熱帯季節林及び南部のマングローブ林を研究対象地として（図1）、森林型の区分を行うとともに、変化のモニタリング手法の開発、焼畑移動耕作の実態把握、マングローブ林の変動分析等の観測研究を行った。

利用した衛星データは、主に、スペクトル分解能と地上分解能に優れたランドサットTMと、周期的な観測能に優れたノア衛星である。いずれのデータでも、季節変動解析を主な解析方法とするために、各対象地域でできるだけ多くの衛星データを収集・利用した。

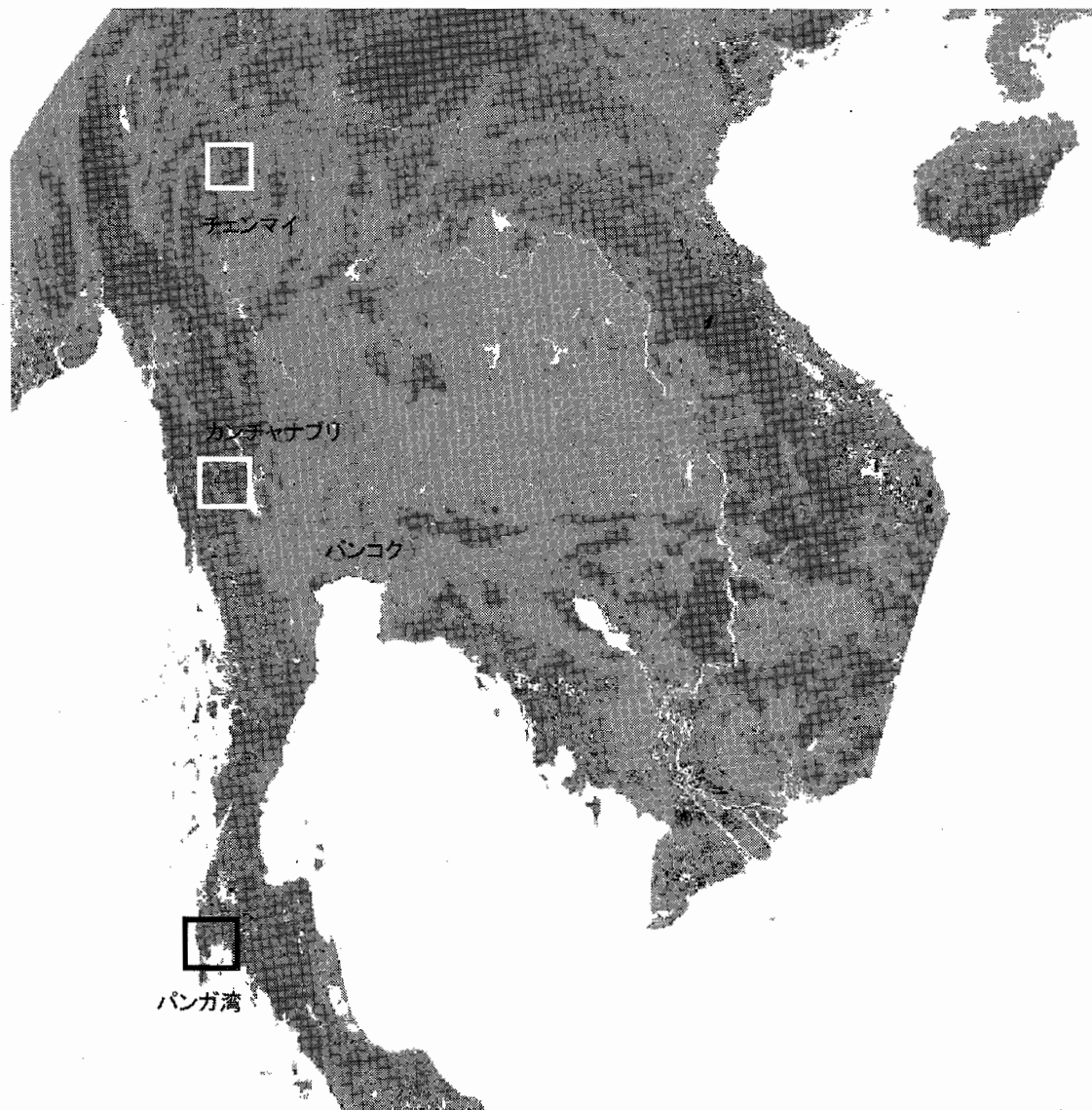


図1. 研究対象地

ベースの画像はノア衛星、比較的濃い部分は常緑林地帯

3. タイ北部（チェンマイ）の森林

タイ北部の森林地帯の時系列的なランドサットTMデータを収集して、森林植生分類を行い、常緑林や落葉林の分布図を作成した。また、TMデータと重なるデジタル標高データを作成して、その分類結果と比較したところ、常緑－落葉の移行帯が標高700～800mに現れることが示せた。

また、乾季の初めと終わりのデータを重ね合わせてその変化を抽出すると、新たに開発された焼畑移動耕作地が明瞭に確認できた（図2）。この解析によってチェ

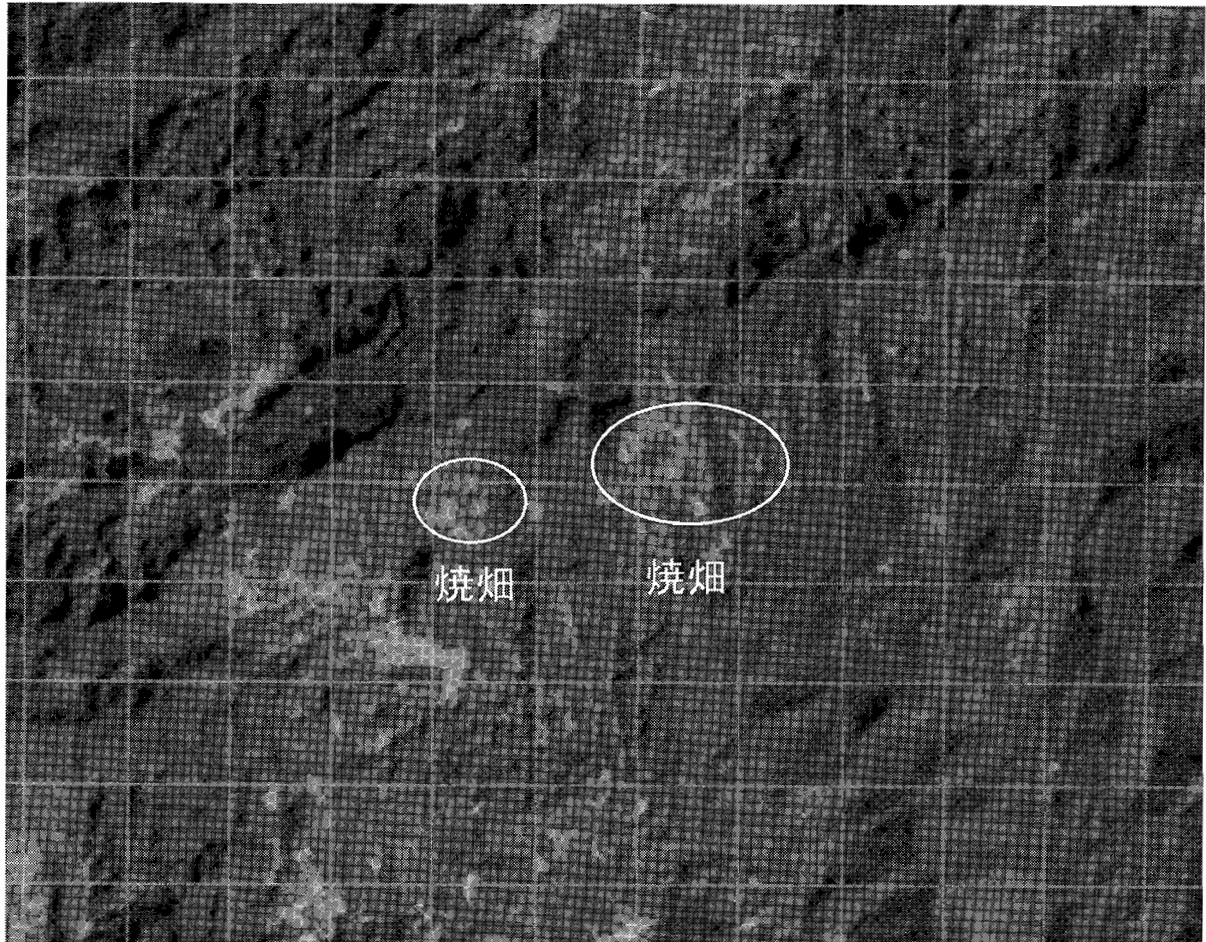


図2. チェンマイの熱帯山地常緑林地帯の焼畑

ンマイ地域での焼畑移動耕作は常緑林と落葉林の移行帯が終わった直後の常緑林地帯に標高に沿って分布する様子がとらえられた。

4. タイ中部（カンチャナブリ）の森林

タイ中部の熱帯季節林地帯でも時系列的なランドサットTMデータを利用して森林被覆度（図3）と常・落混交率を推定し、デジタル標高データと比較すること

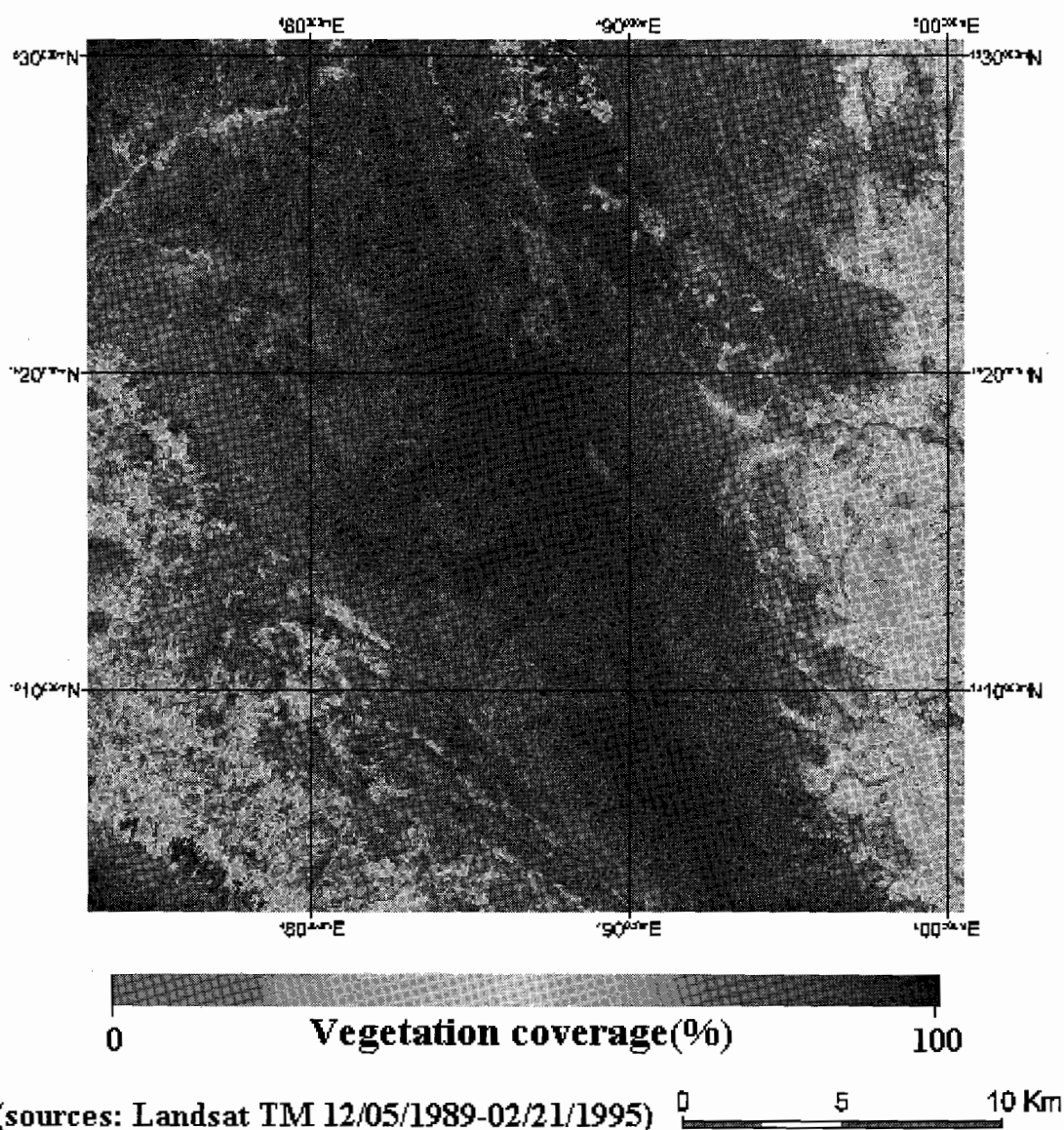


図3. ランドサットTMデータによる植生被覆率推定図

で、標高が上がるに従って常緑樹が増えるようすなどを明らかにした。

また、ランドサットTMデータを用いて画素ごとに水分含有を推定できる水分含有指数LWCIを開発した。月平均のLWCIと降雨量との相関は高い(図4)。リターの乾燥重量との関係(図5)は、タイムラグがあるがLWCIが乾燥度を示していることを伺わせるものである。植生観測に一般的に使われている正規化植生指数NDVIとの比較では、水分含有指数の方が乾燥による植生の変化に敏感で、その差は2か月程度あることが確認できた。この指数で作成した画像を用いたクラスタリングによって、水分含有状況の類型化を行った。この結果から、各対象地域の地形条件が地域

LWCI and precipitation

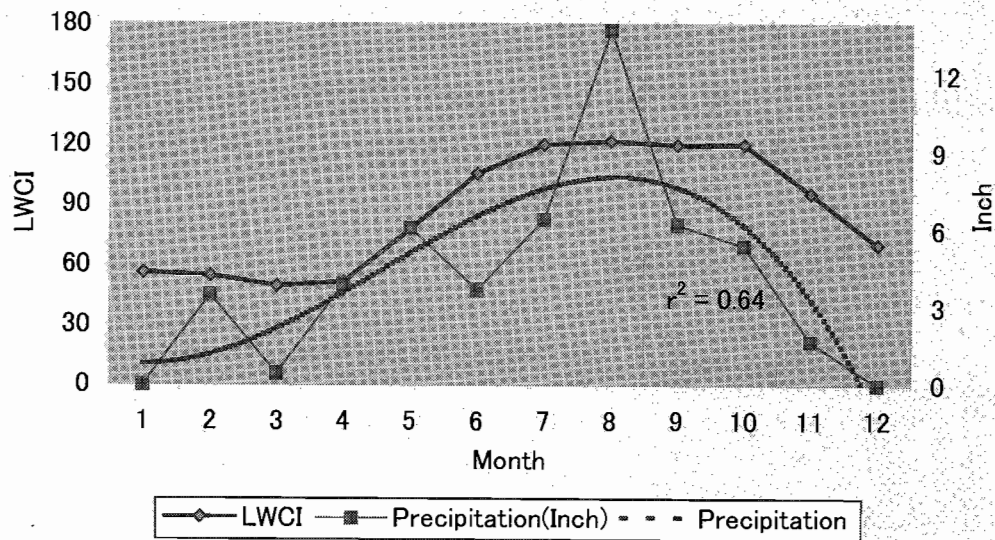


図4. 水分含有指数（LWCI）と降雨量との関係
時間差が見られるが、両者の間の相関は極めて高い

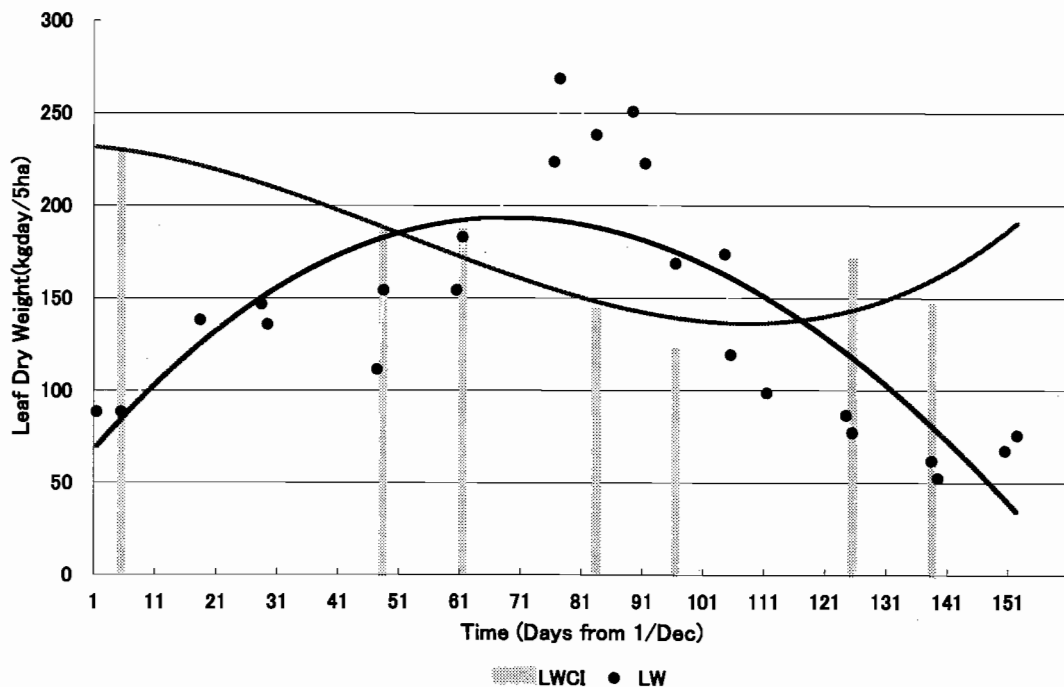


図5. 水分含有指数（LWCI）とリター乾燥重量との関係
乾季に水分含有が減少するにつれてリター量は増加するが、2月にピークを迎え、それ以降は減少する。一方 LWCIは3月に最小となる。

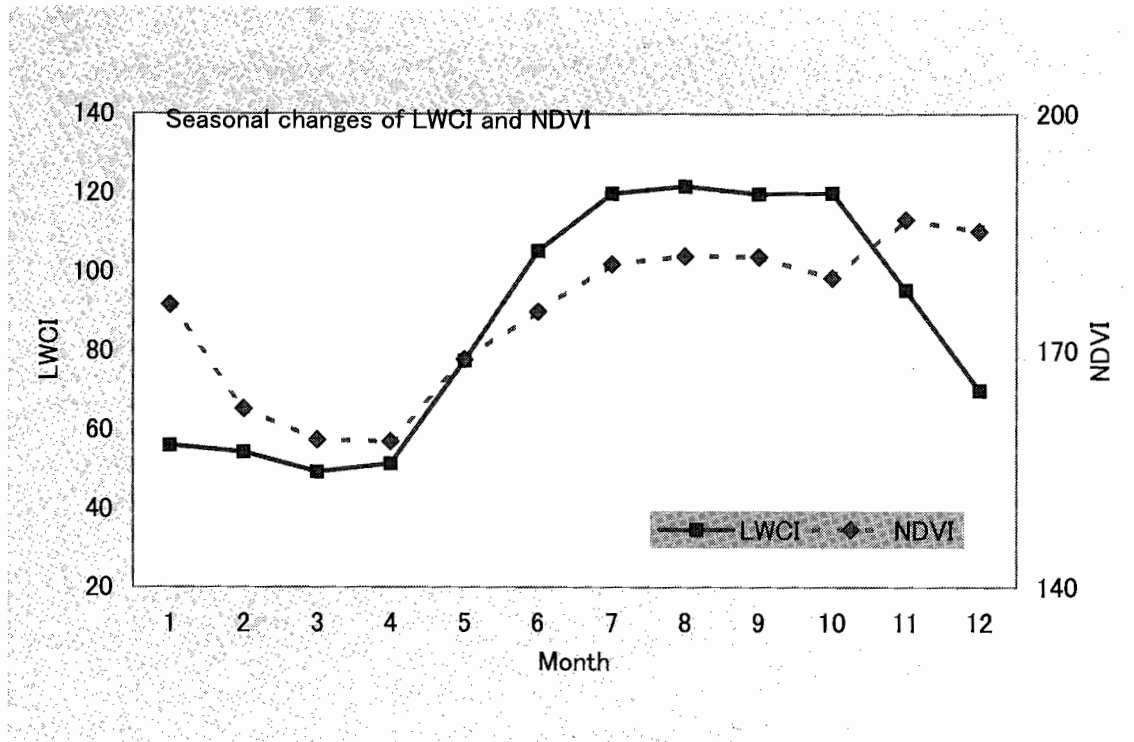


図6. 植生指数（NDVI）と水分含有指数（LWCI）との関係
LWCIは乾季の到来をすぐに反映する（11月、12月）。

的な水分環境特性をよく現すものであることなどが確認できた。

5. タイ南部（パンガ湾周辺）の森林

マングローブ林を主体とするパンガ湾地域では、マングローブの分布とその変動を高精度に把握する手法を開発した。具体的には、TMデータからのマングローブ林抽出はFuzzy C Means分類法が最適であることが明らかになった。それによって、マングローブ林の減少と、エビ養殖池の拡大の様子が確認できた。また、水、植生、土壌のスペクトルパターンをもとに類型化するパターン展開法がマングローブ地帯の遷移や冠水状況の把握に極めて有効であることが示された。

6. 地上調査法

地上調査に当たっては、当初からGPSを用いた調査で衛星データと地上調査と

の対応を可能にした。また、GPSカメラの利用によってその有効性はさらに高められた。調査期間にわたってGPSカメラ写真をデジタル化してデータベース化し、衛星データ解析結果の評価に利用できるようにした（図7）。

また、カンチャナブリでは40mタワーの上に自動撮影カメラを設置して、毎日写真を撮ることで森林植生の季節的な変動観測データを蓄積できた。これは、衛星データの観測時の森林状況を示す補助情報として利用できることを示した。

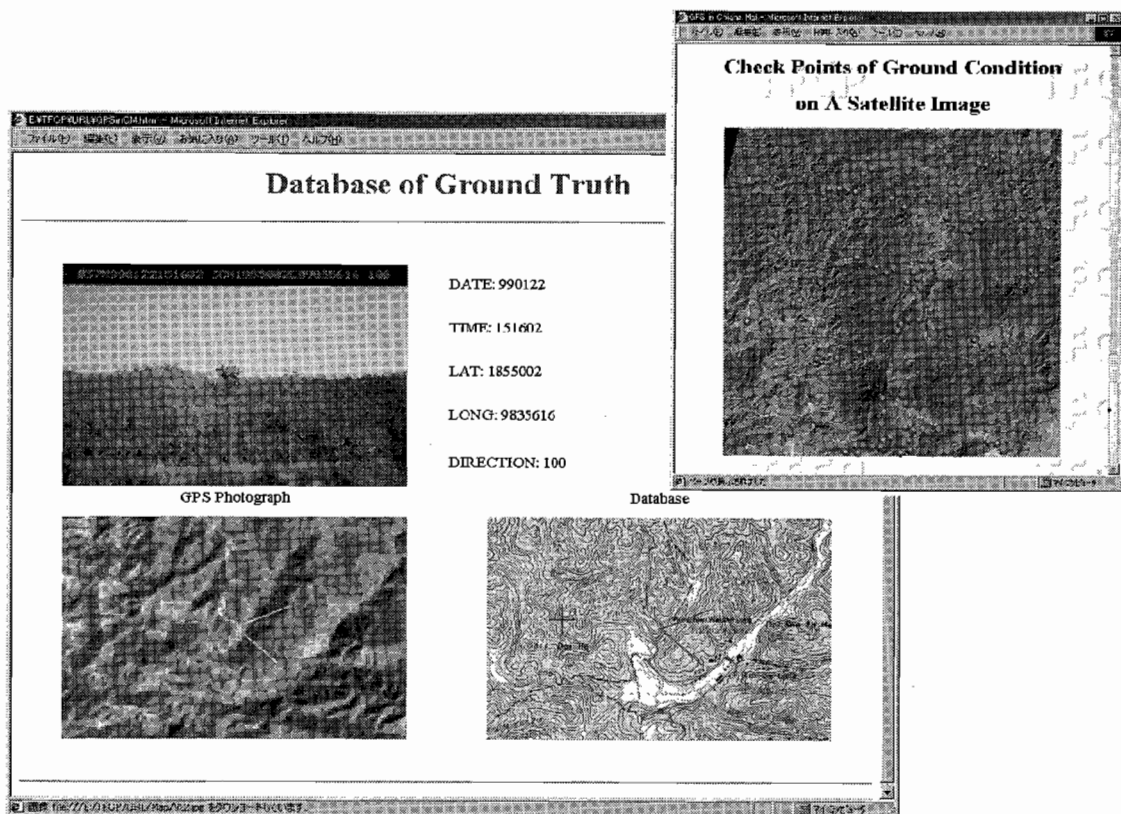


図7. GPSカメラによる現地調査記録と衛星画像との比較

7. まとめと今後の展望

熱帯季節林地帯の典型的な森林を対象として、森林環境の実態と経年的な変動及び季節的な変動を観測する技術を開発し、森林変動の実態を明らかにすることができた。特に、水分含有指数は植生の乾燥状態をよく示すことが明らかになり、火災危険度の評価や、砂漠化の進行などを早期に捕らえることが可能だと考えられる。

また、今後、利用可能性が向上する超高分解能衛星などによって森林の質的・物理的な計測を行うとともに、季節変動をモニタリングして、植生の成長量を把握し、森林の炭素固定能を高精度に評価する技術の開発が期待されている。

環境と性能 ―木質材料だけにできること―

木材化工部 複合化研究室主任研究官 渋澤 龍也

1. 木質材料とは

古来、木材は最も身近な工業材料の一つであった。建築物や家具をはじめ、我々の生活に欠かせない、多くの物が木材から造られてきた。科学技術が発展するとともに、より安全かつ快適な生活を多くの人が望むようになり、木材についても高性能・多機能な製品が求められるようになった。しかし、木材は天然物由来の材料であるため、性能のばらつきが大きく、腐る・燃える等の欠点がある。これらの欠点を克服するために開発されたのが木質材料である。木質材料とは、木材を一度小さな構成要素（エレメント）に細分化した後、接着剤等の結合剤を用いて再構成した材料である。特に、板状に成形した木質材料を木質ボード類と呼び、エレメントの形状によって合板・OSB・パーティクルボード・MDF等に分類される（図1）。木質ボード類の主な特徴は、原料の選択性が広いこと、均質な製品が得られること、任意の寸法の製品が製造可能なことで、建築物の床・壁や家具などに広く用いられている。さらに、これらの木質材料に化学的な改質や異種材料との複合化を行うことで新しい機能を付与した材料が開発され、住まいやオフィスの快適性・耐久性の向上に寄与してきた。

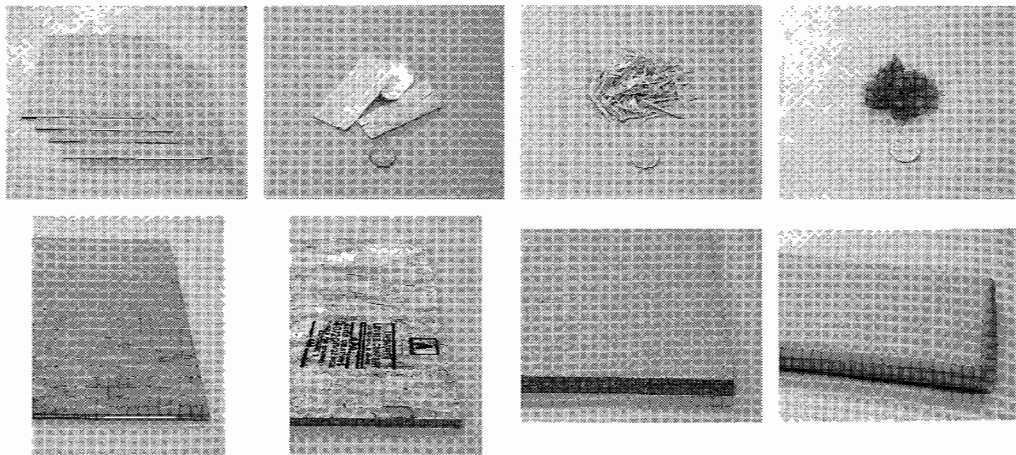


図1. 木質ボード類のいろいろ
左から、合板、OSB、パーティクルボード、MDF

2. 木材資源と環境

木材は再生資源であり、加工に必要なエネルギーも他材料より少ないため、本来、環境に対する負荷は小さい材料である。木材資源の理想的な利用法について見てみよう

(図2)。森林に生えている樹木を伐採すると、木材が得られる。伐採した所には、必ず植林を行う。得られた木材は、木造住宅の柱や梁などの構造材として長期間使用する。樹木は大気中のCO₂(二酸化炭素)を吸収・固定する

ことで成長しているため、使用期間中は樹木が蓄えたCO₂は大気中に放出されず、木材としてストックされる。住宅が解体されて発生する廃材は、木質ボード類や製紙原料として再利用する。最終的に廃棄物として処分する必要が生じたときに、森林の樹木が伐採した量と同じだけ成長していれば、その期間に樹木が固定したCO₂の量と処分によって排出される量とは釣り合うため、環境に対する負荷は0となる。木材の加工等にかかわるエネルギー消費には環境負荷が伴うが、エネルギー消費の少ない加工方法を採用し、排出されるCO₂を樹木が固定するのに必要なだけ使用期間をのばせばよい。さらに長い期間使用すれば、大気中のCO₂を減少させることすら可能である。適切な使用によって環境保護に寄与しうるのは、化石資源にはない長所である。

木材のリサイクルの現状について見ると、製材工場や合板工場などの木材工業から発生する木質廃棄物は約95%が再利用されている。しかし、建築解体材や梱包材などの木材工業以外で発生する木質廃棄物約2180万m³のうち、再利用されているのは約20%に過ぎず、木質ボード類の原料として利用されるのは、さらにそのうちの10%程度しかない。快適性・耐久性の向上のために新しい機能を付与したことによって通常の木材と異なる性質を持つことが、建築解体材の再利用を阻害する主要因となってしまっている。

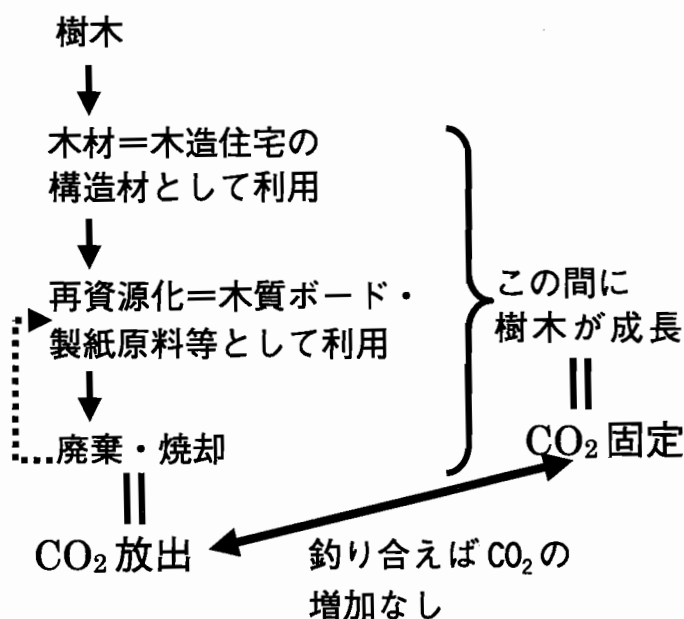


図2. 環境に付加を与えない木材資源の利用法

3. 木質材料による環境保全の試み

建築解体材を再び建築材料としてリサイクルすることで環境保全に寄与することを目的として、解体材由来の木質廃棄物からパーティクルボードを製造する研究を行った。パーティクルボードは建築物の床材料として多く使用されている。通常、パーティクルボードのエレメントは、木材チップを刃物により切削することで加工される。しかし、木質廃棄物を原料として切削加工を行うと、乾いていること、異物の混入があることから、刃物の摩耗が早く、エネルギー消費量が増大してしまう。そこで、刃物を使用せず、エネルギー消費の少ない加工方法である破碎加工を取り上げ、エレメントのサイズと加工方法の違いが製品性能に与える影響について検討した（図3）。

建築物の床に使用される板材料には鉛直方向の力が加わるため、折り曲げる力に対する強度性能（曲げ強さ）が要求される。また、木質ボード類は湿度の影響で膨張・収縮による寸法変化をしてしまうため、寸法安定性能（厚さ膨張率）も重要な

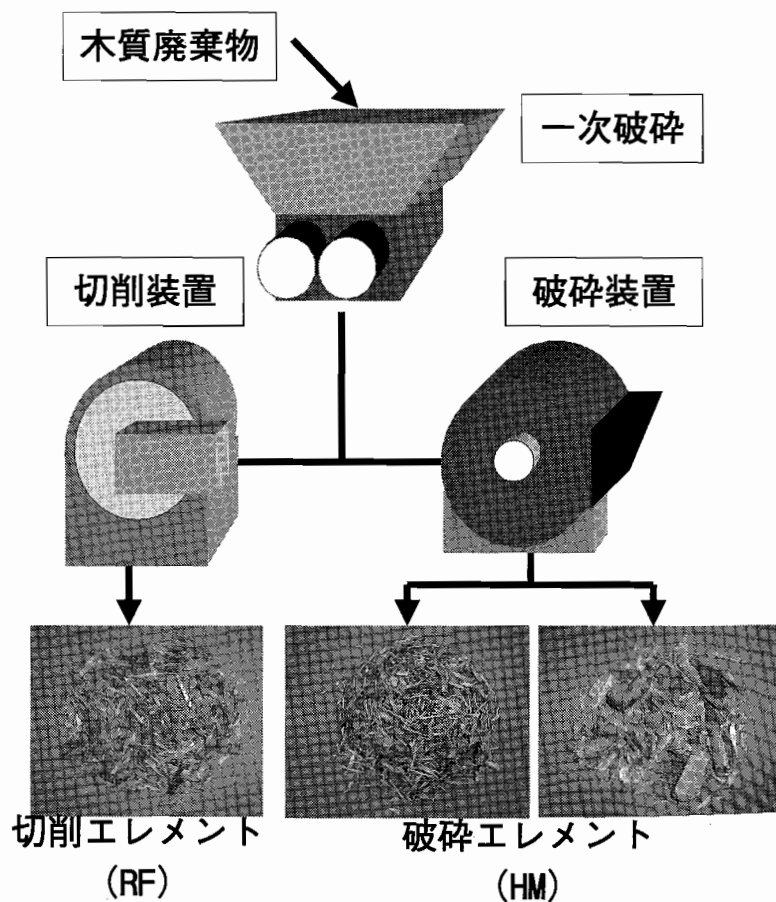


図3. エレメントの加工方法

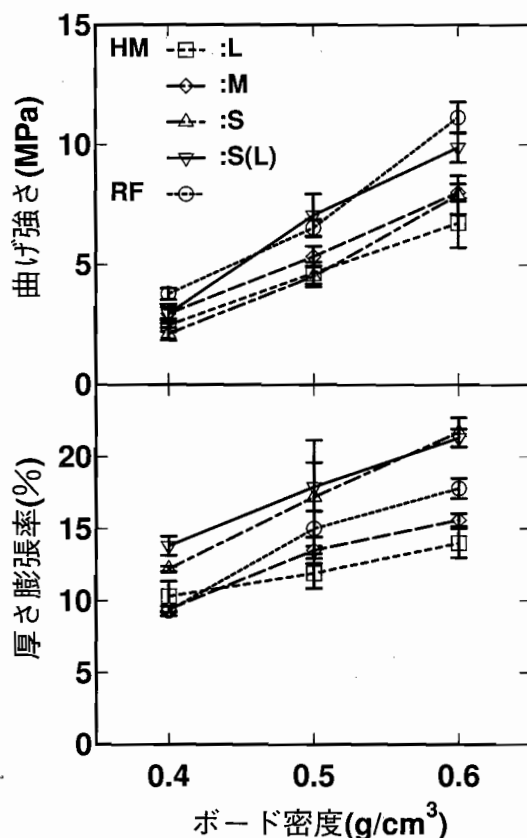


図4. エレメントの加工方法とサイズによる性能の違い
HM: 破碎エレメント
L: サイズ大, M: サイズ中, S: サイズ小, S (L): サイズ小からダスト分除去
RF: 切削エレメント

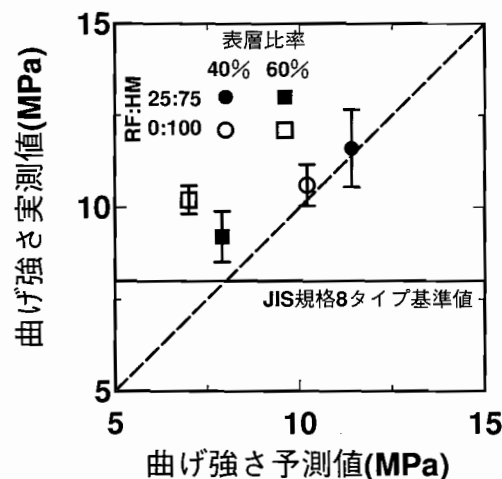


図5. 3層ボードの曲げ強さの予測

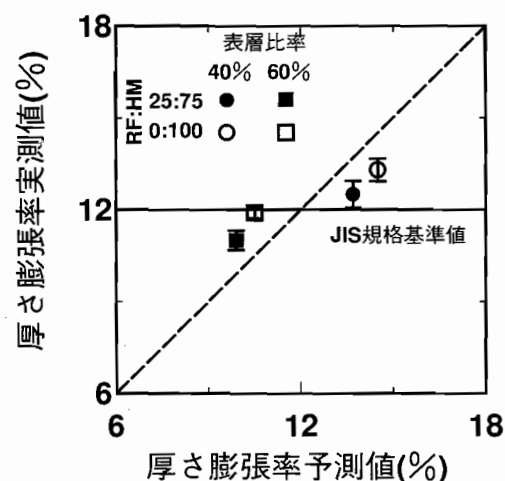


図6. 3層ボードの厚さ膨張率の予測

性能である。破碎エレメント (HM) を用いて製造したパーティクルボードの場合、エレメントのサイズが小さいほど曲げ強さは高くなるが、寸法安定性能は低く (厚さ膨張率は高く) なる傾向が見られた (図4)。切削エレメント (RF) によるボードと比較すると、いずれのサイズでも十分な性能は得られなかった。そこで、最もサイズの小さい破碎エレメント (S) からダスト分を除去して切削エレメントと同じサイズにしたエレメント (S (L)) を用いると、切削エレメントと同程度の曲げ強さが得られたが、寸法安定性能は改善されなかった。

破碎エレメントを用いたパーティクルボードの強度性能と寸法安定性能の両者を

向上させるための最適な製造条件を決定する性能設計法を考案した。強度性能を向上させるために、破碎エレメントに切削エレメントを混合した。また、寸法安定性能を向上させるために、細かいエレメントを表層に配置した3層構造とした。切削エレメントと破碎エレメントの混合率と表層比率を用いて、性能の予測値を算出した。強度性能（図5）、寸法安定性能（図6）ともに予測値と実測値は良い一致を示し、破碎エレメントの重量混合率が75%以上であっても、表層比率を60%とすれば、JIS規格8タイプ基準値を満たした。この設計法を用いれば、廃棄物を環境負荷の低い方法で加工した原料を用いて、通常のパーティクルボードと同等の性能を持つ製品を製造することができる。

参考文献

- 有馬孝禮（1994）エコマテリアルとしての木材，（社）全日本建築士会，pp.8-38.
大熊幹章（1998）炭素ストック，CO₂収支の観点から見た木材利用の評価，木材工業，53，54-59.
（財）日本住宅・木材技術センター（1996）平成7年度木質廃棄物利用促進事業報告書。

虫とウッドチップを使って牛糞を堆肥にする

多摩森林科学園 森林生物研究室長 新島 溪子

1. はじめに

家畜排泄物は悪臭や水質汚濁などの原因となり、畜産経営の大規模化に伴って処理しきれなくなりつつある。これを堆肥化するには水分調節のための副資材を必要とするが、従来使われてきたオガクズや稲わら等が品不足となったことも事態を悪化させる一因となっている。一方、緑化樹の剪定枝葉や間伐材等の木材は分解しにくいことから、利用されずに廃棄されることが多い。そこで、木材を副資材として家畜排泄物の水分を調節し、腐植食性土壌動物を導入して木材の分解を促進することにより、安価で良質な堆肥製造技術を開発することを目的として研究を行った。

2. 家畜排泄物の堆肥化に役立つ土壌動物

家畜排泄物や木質系の廃材を食べてこれを分解する土壌動物を検出するため、畜舎付近の林内にウッドチップと牛糞を混合したものを放置し、そこに集まる土壌動物を調査した。その結果、シマミミズ、ヤケヤスデ、ワラジムシ、オカダンゴムシ、甲虫幼虫等が検出された。

これらの虫を大量に増殖させるために、牛糞とウッドチップ混合物を餌とし、チップの種類と混合比を変えて虫を飼育した。その結果、甲虫幼虫は排泄直後の牛糞中でも生存し、他の4種は2週間以上放置した牛糞で飼育できた。甲虫幼虫とシマミミズは広葉樹チップを好む傾向が見られたが、4か月以上経過したチップでは樹種による違いが見られなくなった。

虫が食べることによって肥料成分がどのように変わるかを明らかにするために、餌と虫フンと食べ残しの成分について、炭素(C)と窒素(N)を全炭素窒素分析計(CNコーダ)、リン(P)を比色法、カリウム(K)、カルシウム(Ca)、マグネシウム(Mg)を原子吸光法で測定した。甲虫幼虫を飼育した餌、虫フン及び食べ残しの化学成分を比較すると、虫フンの方が餌よりN、K、Ca、Mgが多くてC/N値が低

下し、食べ残しはその逆の傾向が見られた（表1）。

表1. 甲虫幼虫の摂食に伴うチップ混合牛糞の化学性の変化

分析試料	N	C	C/N	P	K	Ca	Mg	pH	飼育個体	生重量 (mg)	日数
餌 ナラチップ+牛糞	0.63	50.8	81	0.04	0.28	0.45	0.11	7.0			
シロテンハナムシ幼虫フン	1.47	45.2	31	0.03	0.50	1.72	0.28	-	10	22.2	14
同上食べ残し	0.41	46.1	112	0.11	0.22	0.42	0.09	-			
カブトムシ幼虫フン	1.43	40.3	28	0.06	0.58	1.40	0.31	-	6	117.7	14
同上食べ残し	0.51	49.0	96	0.10	0.25	0.28	0.08	6.3			
餌 スギ古チップ+牛糞	0.61	46.8	77	0.09	0.27	0.41	0.10	7.3			
シロテンハナムシ幼虫フン	1.78	42.1	24	0.05	0.74	1.61	0.29	-	25	67.0	21
同上食べ残し	0.50	50.9	102	0.26	0.20	0.22	0.06	7.3			
カブトムシ幼虫フン	1.50	43.2	29	0.04	0.68	1.59	0.29	-	6	119.2	21
同上食べ残し	0.60	54.2	90	0.03	0.24	0.26	0.07	7.2			
餌 スギ新チップ+牛糞	0.60	40.9	68	0.13	0.29	0.52	0.12	7.5			
カブトムシ幼虫フン	2.30	43.0	19	0.04	0.63	1.65	0.28	-	6	117.3	21
同上食べ残し	0.50	49.2	98	0.08	0.21	0.35	0.09	7.2			

3. 牛糞、ウッドチップ混合物の堆肥化と土壌動物導入効果

含水率（生重量ベース）約45%の生木チップを天日乾燥して約5%に落とした後に、含水率（生重量ベース）約80%の牛糞と容積比で1:1の割合で混合すれば、含水率は65~70%になる。これを10日に1回切り返して発熱発酵が終了するまでアンモニア臭と温度、含水率の変化を測定した。約1か月後に混合物を2分して一方に土壌動物を培地（牛糞、チップ、落葉堆肥）ごと導入し、混合物の体積の変化と、虫の侵入と定着状態を経時的に調査した。牛糞混合物のアンモニア臭は10日後に2.5ppmに、20日後に0.5ppm以下に減少し、ウッドチップにすぐれた消臭効果があることが判明した。牛糞、チップ混合物の温度上昇は、伐採後3か月以上放置されたものは60℃に達したが、伐採直後のチップは60℃に達しなかった。牛糞、ウッドチップ混合物にカブトムシ幼虫を導入すると、シママミズも増殖し（表2）、堆肥体積の減少速度が促進された（図1）。

上記各試料の肥料効果を明らかにするため、試料と下層土を1:1の比率で混合し、素焼鉢に入れてコマツナの種子40粒を播種し、20日後に成長量を測定した。各種資料の成分はCNコーダ及び元素分析装置（ICP）で分析した。また、熟成中の堆肥に侵入した樹木根の量を測定した。その結果、牛糞、ウッドチップ混合物は混合後2か月目から肥料効果を示したが、ヤスデ飼育土はさらにすぐれた肥料効果を示

表2. 牛糞+ウッドチップ堆肥化試験9か月目の土壌動物

動物名	処理区			虫の現存量(g/チップ・乾重kg)		
	スギ	ナラ	ナラ+虫	スギ+チップ	ナラチップ	ナラ+虫
カブトムシ幼虫	-	-	1	-	-	15.6
シママミズ	39	61	190	4.7	4.0	9.9
シママミズ卵包	11	25	37	0.2	0.3	0.4
ヤケヤスデ	6	3	5	0.2	0.1	0.2
オカダンゴムシ	+	1	-	+	0.1	-
計	56	90	233	5.1	4.5	26.1

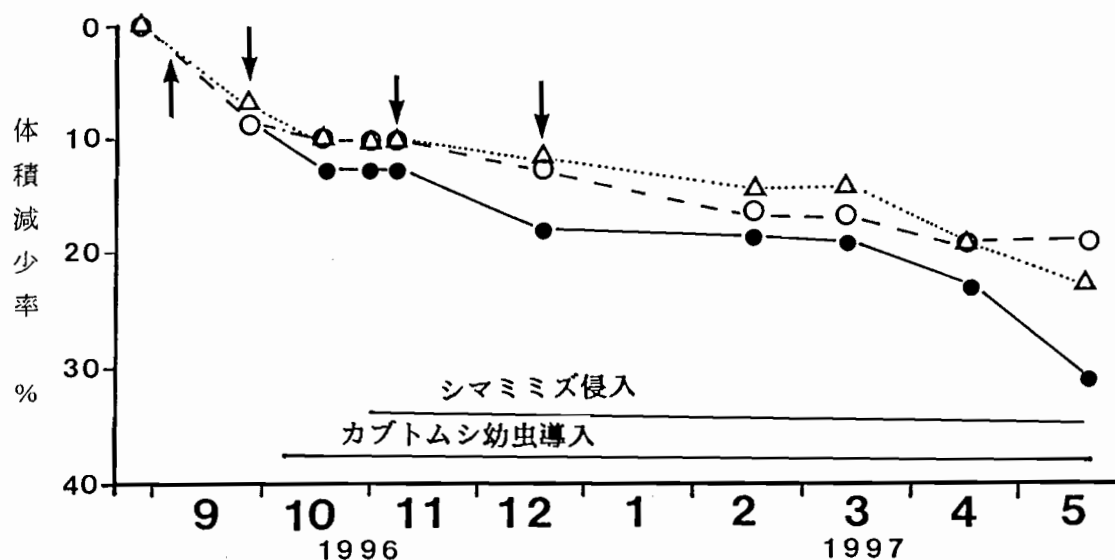


図1. 牛糞+スギチップ (△) と牛糞+ナラチップ (○) 及び牛糞+ナラチップ、カブトムシ幼虫導入区 (●) の体積減少、切り返し時期 (↓) 及び虫の侵入と導入経過

し、牛糞を混合しない場合は3か月経過しても幼植物の発育障害が見られた(表3 a, b)。牛糞+イイギリチップを混合後2か月目では肥料効果を示さなかったが、虫を導入したものではコマツナが対照区の2.5倍に成長した(表3 c)。堆肥枠周囲のサクラは木枠内の堆肥に最長113cm、生重量30~660gの根を延ばしたことから、樹木の発根促進にも役立つことが明らかになった。

表3. コマツナの生育と試料の化学成分

a '98.8.19-9.8試験, 平均気温23.8℃										
処 理	草丈 総重量		化学組成 (%)							
	cm	g	C	N	C/N	P	K	Ca	Mg	Al
対照区土のみ	5.6	6.8	6.5	0.56	11.7	0.10	0.11	0.31	1.28	79.6
牛糞+スクラップ*54日目	9.9	19.0	40.9	1.99	20.6	0.68	1.47	1.68	0.61	0.6
牛糞+スクラップ*83日目	11.7	33.0	41.7	3.59	11.6	0.93	1.89	3.04	0.73	1.3
スクラップ*のみ98日目	4.0	2.7	50.1	1.69	29.6	0.21	1.10	2.07	0.26	0.2
b '98.7.27-8.17試験, 平均気温25.4℃										
対 照 区	4.5	7.4	6.6	0.55	11.9	0.10	0.10	0.29	1.25	69.7
牛糞+スクラップ*1年目	9.7	20.8	35.6	2.28	15.6	0.68	0.28	1.86	0.79	5.9
ヤスデ飼育土	16.9	84.4	27.2	1.61	16.9	0.29	0.68	4.66	1.05	14.0
c '99.9.6-9.27試験, 平均気温23.9℃										
処 理	生育数		本葉数		草丈cm	総重量g				
対 照 区	39		2.2		5.5	10.1				
牛糞+イイギリチップ35日	37		1.7		3.5	5.5				
牛糞+イイギリチップ56日	40		2.0		4.4	10.0				
牛糞+イイギリチップ+虫56日	39		2.9		8.9	24.6				

4. 土壌動物を導入した家畜排泄物, ウッドチップ混合堆肥製造手順とその問題点

以上の結果をふまえ、図2のような土壌動物とウッドチップを用いた牛糞堆肥化手順を作成した。木材は家畜排泄物堆肥化のための副資材として有効であることが判明したので、今後、緑化樹の剪定枝葉、間伐材等、焼却処分または林内に放置されることの多いこれらの資源を有効利用する可能性が得られた。また、土壌動物を導入することにより、より肥料効果の高い良質な堆肥の製造が可能となった。ただし、この実験は小規模に手作業で堆肥を製造したために良好な結果を得られたものである。虫の大量飼育に時間がかかること、機械を導入した場合、土壌動物が傷つく恐れがあることなどの理由から、大規模に実用化するにはさらに検討を必要とする。

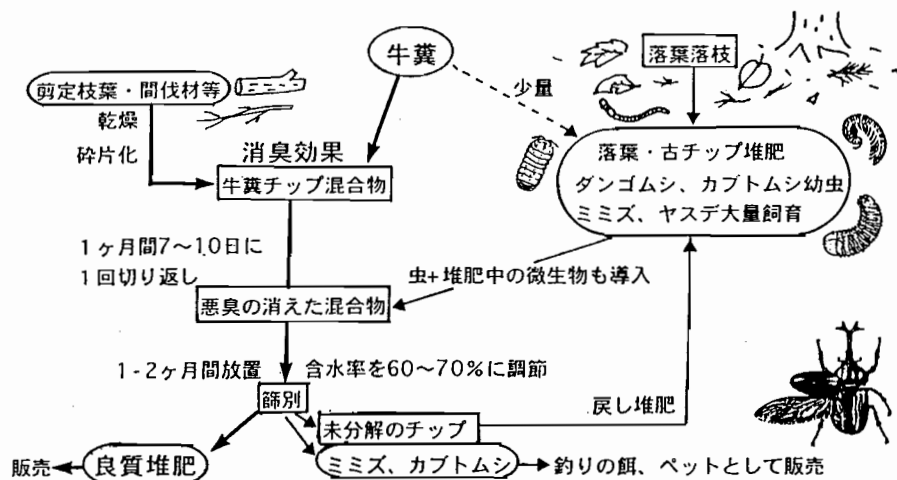


図2. 土壌動物とウッドチップを用いた牛糞堆肥化手順

平成12年10月16日発行

平成12年度 森林総合研究所

研究成果発表会講演要旨集

編集・発行 農林水産省林野庁 森林総合研究所

〒305-8687 茨城県稲敷郡茎崎町松の里1

Tel. 0298-73-3211 Fax. 0298-74-8507

URL <http://www.ffpri.affrc.go.jp/>