

湿潤熱帯低地の土地環境と土地利用に関する研究

大久保 悟

①

湿潤熱帯低地の土地環境と土地利用に関する研究

Studies on land system and land use in humid tropical
lowland - Peninsular Thai case study.

東京大学大学院農学生命科学研究科

生産・環境生物学専攻

平成7年博士課程進学

大久保 悟

指導教官： 東京大学教授 武内和彦

はじめに

1992年にリオデジャネイロで開かれた「環境と開発に関する国連会議（United Nations Conference on Environment and Development: UNCED）」、通称「地球サミット」において「持続可能な開発」が定義され、以降それに向けた対策案の提示が各国、もしくは多国間の協議により行われてきている。地球環境の視点から、乾燥・半乾燥地の砂漠化と並んで、湿潤熱帯における森林破壊が大きく取りざたされている。湿潤熱帯の森林、いわゆる熱帯林の破壊は、炭素の吸着量や生物多様性の問題として地球規模の関心事ではあるが、しかし森林破壊のもたらす問題は、地域社会における環境の悪化にあることも注目しなければならない。

“Think globally, act locally”という言葉がある。地球環境問題の対象である熱帯林とそれを含む湿潤熱帯特有の環境を持続的に利用していくためには、地域社会における地域資源をいかに持続的に、かつ有効に利用し、また保全していくかを解決しなければならないことを意味している。そのためにも地域スケールにおいて、地域の生物生産ポテンシャルに即した土地利用システムの構築が望まれることと認識している。

湿潤熱帯という環境は、私が生活し、これまで研究を行ってきた暖温帯・冷温帯に位置する日本の環境とは大きく異なる。ではどのように、どの程度異なるのかに関し、全くの無知であった私が、文部省科学研究費補助金創成的基礎研究費による五カ年プロジェクト「東アジアにおける地域の環境に調和した持続的生物生産技術開発のための基盤研究（研究代表者：佐々木恵彦）」に参加できたことは偶然でもあり幸運であった。このプロジェクトの目的は、まさに“Think globally, act locally”であり、東アジアにおける環境と生物生産との関係を、トレードオフの関係ではなく、それぞれの生態系における生産と環境との高い位置での調和点を探ろうとするものである。

そのなかで私は、生物生産力の評価システムの確立に関わるチームに所属しながら、タイ王国南東部に位置するナラチワ県での、熱帯湿地林における生物生産の維持メカニズムの解明と環境修復技術の開発に関わるチームに参加させていただいた。ここでは、淡水性の泥炭湿地が広がり、その農業利用のために開発が行われたが、泥炭層の下層にある海成粘土層の酸化による土壌の硫酸酸性化が進み、本来の生態系が失われた場所である。世界的に貴重な生態系である泥炭湿地の環境修復と、周辺の環境と一

体的に地域社会における持続的な生物生産システムの構築という2つのテーマに取り組む機会を与えられた。

本論文は、泥炭湿地をふくめ、湿潤熱帯地域においてどのような自然環境がみられるのかを明らかにしながら、人間の生物生産的利用というインパクトに対しどれだけの耐性があるかを生物生産力のポテンシャルから推定、持続的土地利用計画に関して考察したものである。

本論文をまとめるに当たり、多くの方々のお世話になった。東京大学大学院農学生命科学研究科武内和彦教授には、研究の方針と本論文全般にあたり懇切なご指導を賜った。さらに、地域環境を構成する地形・土壌、その上での人間活動をどうとらえるかを現地においてご教授いただいた。これは今後のフィールド調査において、地域の自然環境と人間の関わり合いを紐解くに、貴重な視点として活かされるものと確信している。同研究科恒川篤史助教授には、衛星画像を用いた環境把握の手法と、地域環境の構成をとらえる視点を賜った。

論文の審査に際し、東京大学大学院農学生命科学研究科石井龍一教授、東京大学大学院理学系研究科大森博雄教授、東京大学大学院農学生命科学研究科丹下健助教授より、それぞれのご専門の立場から、示唆に富むご指摘を賜った。これらについては、今後の研究活動の中で答えを出していきたい。

とくに不慣れな海外現地調査において非常に多くの方々にお世話になったことを、ここに記しておきたい。タイ国森林局の Tanit Nuyim 氏には、移動車両や調査補助員の確保に多大なご尽力を頂いた。同氏のスタッフには、現地での調査のみならず私生活の面でも様々なご協力、励ましをいただいた。また、同国 Pikun Thong Royal Development Study Center 所長 Chaiwat Sithibush 氏には、センターの施設利用に多くのご配慮をいただくとともに、現地調査に関して貴重なご助言を頂いた。同センター土壌部門部長 Apichart Jongskul 氏、同部門主任研究員の Benjaporn Charkranon 氏には、現地調査と土壌分析に関して多くのご助言を頂き、現場を前にして交わせた議論は大変刺激を受けるものであった。また、東京農業大学総合研究所の長野敏英教授には、タイ国との研究協力体制の調整にご尽力を頂いた。東京大学アジア生物資源環境研究センターの小島克己助教授には、生物生産力の推定方法についてヒントを頂いた。こうした方々の協力なしには、異国の地において何の滞りもなく調査を行うこ

とはできなかったであろう。この場をお借りして、厚く御礼を申し上げたい。

このほか様々な方々にお世話になった。東京大学大学院農学生命科学研究科の造林学研究室のみなさま、同作物学研究室のみなさま、最後に私の所属する緑地学研究室のみなさまには、それぞれの関心にあわせて様々な議論ができたことに感謝の意を示したい。またホームガーデンに関する調査は、東京大学農学部国際開発農学専修所属の奥村真紀子さんとの共同研究によるものである。

このように本論文を完成させる際にお世話になった方々のご恩に報いるためにも、この研究内容が現地における実際の計画に反映されるべく、さらなる調査・研究を続けていきたいと思う次第である。

1997年12月

大久保 悟

湿润熱帯低地の土地環境と土地利用に関する研究

目次

図表リスト	1
第1章 研究の背景と目的・方法	5
第1節 研究の背景	5
1) 持続可能な生物生産の理論的基礎	5
2) 持続可能性と生態学的安定理論	7
3) 湿润熱帯環境における持続可能性と土地荒廃	7
4) 研究の位置づけとその意義	11
第2節 土地環境と生物生産力のとらえ方	11
1) 土地環境のとらえ方	11
2) 生物生産力のとらえ方	12
第3節 本論文の構成	13
第2章 広域的にみた土地環境と土地利用の把握	15
第1節 半島タイにおける土地環境分類	15
1) 試料および手法	15
2) 土地環境分類の結果	21
第2節 衛星画像を用いた土地利用／被覆と土地環境の関連把握	24
1) 試料および土地被覆図作成手法	24
2) 土地被覆と土地環境の結びつきとその経年変化	25
3) 年累積植生指数による生物生産力の把握	30
4) 小括	31
第3章 地域スケールにおける土地環境の把握と生物生産力評価	32
第1節 地形・土壌による土地環境の把握	32
1) 事例地域の概要	32
2) 事例地域の地形・土壌カテナと土地利用との関連	35
3) 海成低地部における詳細調査	43

第2節 土地環境毎の生物生産力把握	50
1) 評価対象の抽出	51
2) ゴム林による丘陵緩斜面と台地高位面の生産力評価	54
3) <i>Melaleuca cajuputi</i> による泥炭湿地と砂堆列の生産力評価	56
4) ホームガーデンにおける生物生産の評価	58
5) 地域における生物生産力の総合評価	64
第4章 総合考察と湿潤熱帯低地における土地利用の考え方	71
第1節 持続可能な生物生産に向けた土地環境保全	71
第2節 湿潤熱帯低地における土地利用のあり方	73
第3節 今後の課題と展望	75
摘要	78
SUMMARY	83
参考文献	88

図表リスト

図 1-1 生態系の安定と平衡

Fig. 1-1 Stability and equilibrium of ecosystems

図 1-2 本論文の構成

Fig. 1-2 Study flow on this thesis

図 2-1 広域的な土地環境把握の対象地

Fig. 2-1 Study area of GIS derived land system classification, Southern Thailand

図 2-2 分析に用いた地形分類図

Fig. 2-2 Landform classification map divided into 30 x 30 second cells

図 2-3 分析に用いた土壌図

Fig. 2-3 Soil map divided into 30 x 30 second cells

図 2-4 分析に用いた表層地質図

Fig. 2-4 Geology map divided into 30 x 30 second cells

図 2-5 コレスポンデンス分析による土地環境要素と各セルの布置図

Fig. 2-5 Scatters of land system factors and cells ordinated by correspondence analysis

図 2-6 土地環境区分図

Fig. 2-6 Land system classification map on Southern Thailand

図 2-7 Landsat MSS による 1970 年代の土地被覆図

Fig. 2-7 Land cover classification map on 1970s

図 2-8 Landsat MSS による 1980 年代の土地被覆図

Fig. 2-8 Land cover classification map on 1980s

図 2-9 土地環境タイプと土地被覆の関連とその経年変化

Fig. 2-9 Relationship between land system types and land covers

図 2-10 土地環境タイプ別の土地被覆変化パターンの比較

Fig. 2-10 Comparing the patterns of land cover change by land system type

図 3-1 事例調査対象地の位置と Bacho 泥炭湿地周辺の地形図

Fig. 3-1 Location of study area and elevation map around the Bacho swamp

図 3-2 ナラチワ気象観測所における気候ダイアグラム

Fig. 3-2 Climatic diagram of Narathiwat averaged data from 1990 to 1995

図 3-3 模式地形・土壌断面と水平的配列

- Fig. 3-3 Schematic cross section along the study transect and catena
 図 3-4 地形・土壌による土地環境区分の特徴と土地利用
 Fig. 3-4 Characteristics of land system types and land use pattern
 図 3-5 泥炭湿地における地盤沈下の計測地点
 Fig. 3-5 Measuring points of subsidence on the Bacho swamp
 図 3-6 海成低地部における空中写真を用いた地形分類図
 Fig. 3-6 Land form classification map at lowland area
 図 3-7 砂堆列における模式断面図
 Fig. 3-7 Schematic cross section on strand plain
 図 3-8 集積層の空間的層位変化の調査地
 Fig. 3-8 Study site of spatial variation in accumulation layers
 図 3-9 砂堆列群 II における集積層の空間的層位変化
 Fig. 3-9 Spatial variation of accumulation layer on offshore bar group II
 図 3-10 ナラチワ県における木本作物の面積内訳
 Fig. 3-10 Planted area of fruit trees and tree crops in Narathiwat Province
 図 3-11 島状丘から台地高位面に立地するゴム林の地形土壌断面図
 Fig. 3-11 Land form - soil cross section on the rubber plantation
 図 3-12 地形・土壌断面に沿ったゴムの材積量変化
 Fig. 3-12 Variation of tree volume of rubber individuals along the cross section shown on Fig. 3-11
 図 3-13 自己間引き現象の模式
 Fig. 3-13 Self-thinning patterns
 図 3-14 異なる土壌条件における *Melaleuca cajuputi* の潜在生長量比較
 Fig. 3-14 Potential growing of *Melaleuca cajuputi* on three soil types
 図 3-15 多次元尺度法によるホームガーデンの類型化
 Fig. 3-15 Ordination of home garden by multi scaling analysis
 図 3-16 ホームガーデンの種数-面積関係
 Fig. 3-16 Relationship between area and species number in home garden
 図 3-17 立地間の種多様性の比較
 Fig. 3-17 Comparison of species diversity among the location of home gardens
 図 3-18 樹高階別にみた種多様性の変化
 Fig. 3-18 Changing pattern of species diversity by tree height classes
 図 3-19 丘陵緩斜面における樹高階別樹種構成
 Fig. 3-19 Species composition by tree height classes at the home garden on foot slopes

図 3-20 台地高位面における樹高階別樹種構成

Fig. 3-20 Species composition by tree height classes at the home garden on Upper uplands

図 3-21 砂堆列群 II における樹高階別樹種構成

Fig. 3-21 Species composition by tree height classes at the home garden on offshore bar group II

図 3-22 砂堆列群 IV における樹高階別樹種構成

Fig. 3-22 Species composition by tree height classes at the home garden on offshore bar group IV

図 3-23 材積量による種多様性の比較

Fig. 3-23 Comparison of species diversity by individual tree volume

表 1-1 熱帯雨林における土地利用転換パターン

Tab. 1-1 Development on tropical humid forests into other land uses

表 2-1 土地環境要素の凡例と出現頻度

Tab. 2-1 Land system factors and their frequency

表 2-2 土地環境タイプの特徴

Tab. 2-2 Characteristics of each land system type

表 2-3 土地被覆変化の複雑性の比較

Tab. 2-3 Complexness of changing patterns on land cover

表 2-4 年累積植生指数による生物生産力の比較

Tab. 2-4 Comparison on land productivity estimated by one year-accumulated NDVI

表 3-1 典型的な土壌断面における土壌の化学性

Tab. 3-1 Soil chemical characteristics of typical soil pits

表 3-2 Bacho 泥炭湿地における地盤沈下の様子 (Pikun Thong Royal Development Study Center, 未発表データ)

Tab. 3-2 Subsidence in the Bacho swamp from 1983 to 1993 (unpublished data)

表 3-3 典型的な土壌断面における砂堆列群の土壌理化学的比較

Tab. 3-3 Comparison of soil chemical characteristics among four offshore bar groups

表 3-4 水成ポドゾルの発達程度の比較

Tab. 3-4 Comparing the developing stage of hydropodzolic layer

表 3-5 海成粘土の X 線回折による成分比較

Tab. 3-5 Comparing of composition in marine clay by X-ray method

表 3-6 ナラチワ県北部における地形・土壌タイプと土地利用の関係

Tab. 3-6 Relationship between landform - soil types and land use

表 3-7 ナラチワ県における農業的土地利用の変遷

Tab. 3-7 Agricultural land use change in Narathiwat Province

表 3-8 ホームガーデン構成種の違い

Tab. 3-8 Variation of home garden composition

表 4-1 土地環境と土地利用マトリックスによる土地利用システムの提示

Tab. 4-1 Establishing Land use system by matrix of land system and land use

第1章 研究の背景と目的・方法

第1節 研究の背景

湿潤熱帯における人間活動の拡大は熱帯林を破壊し、土壌浸食などさまざまな土地荒廃をもたらした。とりわけ農業的土地利用の集中する湿潤熱帯低地には、本来集約的土地利用に適さない淡水泥炭湿地やマングローブまで開発が及んでいる。こうした湿潤熱帯低地において持続的生物生産を維持するためには、土地環境の特性を把握すると同時に、土地利用の適正を評価し、合理的な土地利用計画を策定することが不可欠であると考えられる。

ここでは、本論文における持続可能な生物生産の定義を行い、持続可能性に大きく関わる問題として、湿潤熱帯地域における土地荒廃現象を整理し、本論文における研究方針の提示を行った。

1) 持続可能な生物生産の理論的基礎

1992年に開催された「環境と開発に関する国連会議」を機に、持続可能な開発という言葉が世界的なキーワードになってきたが、これ以前より持続性(sustain)や持続可能性(sustainability)とあわせて、持続可能な開発(sustainable development)という言葉の定義が、様々な方面から行われてきた。代表的なものとして、World Commission on Environment and Development(1987)の『Our Common Future』に定義されたものがある。この中で持続可能な開発とは「この惑星において持続可能な状態というのは社会のシステムと物理的なシステムがともに安定した状態にあることで、次世代の可能性を損なうことなく現代の要求に見合う経済発展を行うことで達成される」と述べられ、これは1992年の国連会議における定義の基本となった。これより以前、生物生産における持続可能性も注目されてきた。Witwer(1978)が、「生産性を重視した農業における技術開発から、経済的、社会的、生態学的に健全な農業技術の開発が将来の研究課題となる」と提言して以来、「最大生産」から「最適生産」への流れの中で、生物生産の場における持続可能性が、農学者や生態学者、経済学者、政府関係者の間で広く注目されてきた(Brown *et al.*, 1987)。

そもそも生物生産的土地利用は、持続可能なシステムと考えられてきた。林業や漁業

においては、従来より最大伐採可能量 (Maximum Allowable Cut) や最大維持可能漁獲量 (Maximum Sustainable Yield) という、将来の生物資源を持続しながら、現在収獲可能な最大量を決定しようと言う考え方があり、実際の作業の中で資源の持続性は考慮されてきたといえる。しかし農地の拡大、集約的な土地の利用、先進技術の導入に伴う農業開発により、農地自体の荒廃のみならず、野生生物の多様性の減少や農業による周辺地域の汚染などの影響が顕著化した (Trenbath *et al.*, 1990)。これにより持続可能な生物生産が必然的に注目されるようになったといえる。その後持続可能な生物生産に関して様々な議論が行われてきた結果、持続可能性とは生態学的に健全で、経済的に意味を持ち、社会的に適したシステムに存在し、時間的に保証されているものである (Otzen, 1993) との共通の見解が得られるようになった。そのため実際に持続可能性を評価するには、生態学的、経済学的、社会的な要素を複合して行くべきものと考えられる。しかし Graham-Tomasi (1991) や Becker (1995) の指摘するように、持続可能性という言葉の定義は数多くの研究者らによって行われており言葉として明記されてきた一方で、実際に評価、調査した事例は未だ数えるほどしかない。Swaminathan (1991) の研究はその数少ない例の一つである。この論文では、持続可能な開発を「生態系の収容能力の範囲内で、人間生活の質の向上をはかる」と定義した上で、「持続可能な生活安全指数 (Sustainable Livelihood Security Index: SLSI)」をもとに評価を行っている。これは、1) その地域における現在の技術能力の元における人間と家畜の収容量を現地調査や経験則に基づき決定し、2) 村における経済能力のある成人の数を数え、3) 女性の識字率や雇用状態を計り、指数化したものである。そのほかの例として、Tabora (1991) の Agroecosystems Analysis Framework がある。これは様々な混合形態を持つアグロフォレストリーの持続可能性を、単一プランテーションと比較、評価する枠組みである。それぞれのアグロフォレストリーの形態について、1) 立地している生物、生態学的、物理的な環境、2) 経済的、社会的なインパクト、3) 政策や意思決定者の状況をカテゴリー化・点数付けを行い、総合的な評価を行っている。

この両者の事例のように、持続的な生物生産を複合的な観点から評価する事が理想である。しかし生物生産の場において、生態学的な制約要因はそのほかの持続性に関する要素以上に厳しい障壁となるのが実際である (Gliessman, 1990c)。もし生態学的に持続可能なシステムを確保できなければ、経済的な持続可能性もあり得ない。そのため本

論文では、生態学的に持続可能な生物生産システムの確立を目指すものとする。従来の生態学的な議論をもとに、持続的な生物生産のための土地システム考え、客観的に評価できる手法の確立を行わなければならない。

2) 持続可能性と生態学的安定理論

生態学的に持続可能な生物生産とはどうとらえるべきなのかについて、ここでは生態系の安定性に関する理論をもとに明らかにすることを試みた。

生態学の分野において、システムの安定性に関する議論がある (Pickett *et al.*, 1989)。均質な環境要素から成り立つ一つの生態系は、多くの環境要素からなる構造体である。生態学的に安定なシステムとは、一度外部から何らかの力が加わったとき、この構造が変化することなく、維持されるシステムのことを意味する (Sennhauser, 1991)。生態系を構成する個々の環境要因は、それぞれ静的な状態にあるのではなく、ある時間的サイクルを持って変動している。よって生態系自身も動的平衡に位置しているものであるが、システムに対し何らかの擾乱があった場合、不可逆的な変化によりシステムの安定性は失われる。生物生産を支える環境が不安定なシステムであることは、持続的に生物生産が不可能であることを意味する。生物生産を行うためには、その場所の生態系にある程度のインパクトがかかることを避けることはできない。そのために、システムを構成する要素のサイクルを逸脱しない範囲を明瞭化しなければならない。

擾乱に対するシステムの強度に関して、弾性 (resistance) という言葉がある。システムを外部から力が加わったときにシステムが安定であるかどうかは、生態系の種類によって異なる。粕谷 (1990)は、生態系の安定性を図 1-1 のように、ある程度の擾乱に対して安定であるシステム、わずかな擾乱に対して不安定なシステム、擾乱の大きさに対して安定性が異なるシステムの模式を示している。生物生産を行うには、その場所のシステムに対しある程度のインパクトを与えることは避けられない。そのため、生物生産が行われる場所が、人為的な擾乱にどれだけの耐性を持つのか明らかにする必要がある。インパクトに対しシステムが安定である閾値を越えた利用は、生態系の不可逆的な変化をもたらし、持続的な土地利用が困難になることを認識しなければならない。

3) 温帯熱帯環境における持続可能性と土地荒廃

持続可能な土地管理と土地荒廃 (land degradation) は対比して考えられる (Syers *et*

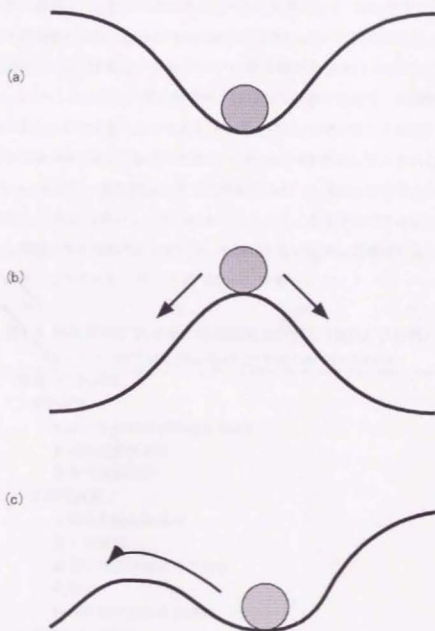


図1-1 生態系の安定と平衡。(a)は安定な平衡。(b)は不安定な平衡。(c)は平衡の安定性が外部から加わる変化の大きさに依存する例(粕谷, 1990より引用改変)。

Fig. 1-1 Stability and equilibrium of ecosystem (cited from Kasuya, 1990)

al., 1996)。ここでは湿潤熱帯環境の特性をふまえながら、持続可能な生物生産を不可能にする土地荒廃の現状を整理する。

湿潤熱帯の環境は人為を含む外的営力に対して非常に弱く、壊れやすいといわれ、生態系の安定性崩壊の危機にさらされる可能性が大きい。様々な開発行為によって土地システムが擾乱された場所は、東南アジアの熱帯地域も含めて世界中広くみられる (Grainger, 1993)。とくに、一般に熱帯林と呼ばれる森林の伐採が、湿潤熱帯における土地利用の変化の中で大きく取り扱われている (門村, 1995: 表 1-1 参照)。世界的にみた熱帯林の減少は、アジア地域で大きく、その減少は依然として大きいとされている (FAO, Rome, 1995)。森林伐採に伴う人間を中心とした環境への影響として、遺伝子資源の消失や、二酸化炭素のシンクが減少することによる地球温暖化の促進など地球環境に与える問題が考えられるのと同じく、土壌の劣化や侵食など地域社会の生物生産構造に変化を与えるものとしても大きい (Wood, 1990)。

表 1-1 熱帯雨林における土地利用転換 (門村, 1990より引用)

Tab. 1-1 Land use changes on tropical rain forest

農業的土地利用

移動耕作

伝統的長期休閑移動焼き畑耕作

短期休閑移動耕作

蚕食的移動耕作

永続的農業

永続的食糧作物栽培

魚介類養殖

政策的移住計画に伴う開拓

牧場化

樹木作物等換金作物栽培

非農業的土地利用

鉱物資源開発

電源開発

不法な麻薬栽培

道路・鉄道の建設

都市域の拡大

本論文では、地域社会に影響を与え、生態系の不可逆的な変化による安定性の崩壊に伴う生物生産力の減少プロセスを「土地荒廃 (land degradation)」として扱う。生物生

産の観点からみると、Lal *et al.* (1989)のいう、土壌の持つ潜在的生産性が自然あるいは人為的要因により低下し、資源としての能力を失うこと。すなわち土壌劣化 (soil degradation) が重要と考えられる。しかし特定の場所による劣化だけでなく、均質な個々の生態系の複合体からなる地域全体を考慮するならば、土地の持っている自然的な諸条件と人間による土地利用のミスマッチによって引き起こされる景観変化のプロセス (武内, 1996) として、土壌劣化も含む土地荒廃現象をとらえなければならない。

つぎに、湿潤熱帯地域においてどのような土地荒廃現象がみられるかを概観する。上に述べたように、湿潤熱帯環境は非常に壊れやすいと言われている。こうした環境のもと、不適切な開発は即座に土地システムの崩壊に結びつく。湿潤熱帯地域における持続可能な生物生産を考えると、農業開発のすぐ後に土地荒廃が潜んでいることを正しく認識しなければならない。そのため、この地域における持続可能性を考えるにあたり、土地荒廃の要因となり得る環境要因を、持続可能性を特徴づける生態学的要素としなければならない。そのひとつに土壌劣化が考えられる。湿潤熱帯の土壌は肥沃性が低いと言われる (久馬, 1984)。Dent (1980)は土壌の生物生産的利用における制約として、養分欠乏と酸性土壌、旱魃が主要因になると挙げている。また、Sanchez & Buol (1975)は、熱帯の土壌を high base status soils と acid infertile soils に二分し、南米において両者の農業利用における制限要因を詳細に調べた結果、前者は旱魃や浸食のような物理的な要因が、後者は保水性の小さいこと、リン酸や塩基類、微量要素の欠乏、アルミニウムの過剰が広く問題になるとしている。このことは高温による土壌風化や有機物の速い分解、激しい降雨による養分の流出・洗脱に由来し、熱帯の土壌からみた農業利用には制約があると考えられる。UNEP & ISRIC (1990)の人間活動による土壌劣化状況図 (World map on status of human-induced soil degradation) によると、湿潤熱帯アジア地域においては土壌の水食が土壌劣化の大きな原因としてあげられ、ついで化学的な劣化も無視できないと示している。

また湿潤熱帯のなかでも、程度の差はあるが雨季と乾季がみられる。年間における湿潤期と乾燥期の長さは、農業的土地利用に影響する。特に湿潤期は1年生作物の主生長期を決め、乾燥期の長さは多年生作物についての乾燥限界を決定していると考えられる。このように、土壌の保水性といった土壌の特性や、雨季・乾季の割合などが、具体的な持続可能性に影響する要因として考えられる。

4) 研究の位置づけとその意義

以上のことから、本論文では持続的な生物生産を行うために、土壌劣化を含む土地荒廃を生態学的な安定性の崩壊によりとらえ、それを起こさないための土地利用秩序の確立を探ることを目的とする。熱帯林その他の農業開発に伴う土地システムの対応は、システムを構成する自然因子の有機的複合体によって様々である(井手・武内, 1986)。そのため持続可能な土地利用計画を考える際、まず第一の条件としてその地域の環境特性を明らかにし、人間のインパクトに対する感受性を認識、土地利用の最適化を計っていかなければならないと考える。しかし現在のところ湿润熱帯地域の各土地環境に関する知見は薄く、ある土地利用管理手法に対してどれだけの弾性があるのか未知数である。熱帯林の破壊に関しても、世界規模での減少や単なる位置として紹介した例は多いが(たとえばマレーシアにおける事例: Brookfield & Byron, 1990; ブラジル・アマゾン地帯: Skole & Tucker, 1993)、どのような立地のもとで減少したのかに言及した研究は、減少に伴う地域環境の変化に注目した研究と比較して少ない。そのために、対象地より広い範囲における土地利用の変遷を、どのような環境のもとでどのような土地利用改変が起こり、その結果どのような荒廃がみられたかを概観しながら、それぞれの環境における持続可能性に関わる圧力要因を把握する一つの方策とする。また土地利用という人間活動を、個々の土地システムだけではなく等質な地域の有機的複合体としての地域を対象に、地域全体での潜在的生物生産力を低下させない土地利用秩序を考えながら、持続可能な生物生産と対比する土地荒廃現象の解明と回避を進めなければならない。

第2節 土地環境と生物生産力のとらえ方

では地域において、生物生産に関わる土地システムの構成要素をどうとらえ、地域全体での生物生産力を把握すればよいのであろうか。ここでは生物生産を行う場所として土地システムをどうとらえるかを検討し、土地環境と土地利用の関係、またそれによる現存する土地利用形態からみた生物生産力の評価手法を整理し、本論文における位置づけを行った。

1) 土地環境のとらえ方

持続可能な生物生産を考える際に、それが行われる土地システムの特性を明らかにし、

外部からの擾乱に対するシステムの弾性を把握していく必要がある。「土地環境」とは、地表を中心とする地形、土壌、地質、水、下層大気、植物などからなる自然環境複合体である(門村, 1979)。たとえば「地形環境」といった場合、「地形」とは異なり、地形に関与する主体の存在が不可欠であり、その主体に影響を与える要因として地形を考えたときに「地形環境」という言葉を使う(白井, 1981)。これをふまえると、「土地環境」も単なる様々な自然環境複合体だけでなく、人間という主体が存在し、この人間に働きかける要因として考えなければならない。本論文では、持続可能な生物生産を行う人間活動を主体と考え、それに影響を与える要因としての「土地環境」から、とくに地形と土壌、その上に成り立つ地域生物資源に重点を置いた「土地環境」を考える。

土地環境の把握に地形・土壌に注目することに関して、Young (1975)は、生物生産力評価を行う際にこれらの土地自然の構成要素による土地分類を単位としている。また Forman (1989)は、持続的なランドスケープを考える際に、ランドスケープを構成する生態学や人文的な変数のなかで、変化の割合が比較的ゆっくりとした要素に着目する重要性を示している。すなわち一度変化のサイクルが崩壊すると、もとの状態へ復元するのに時間がかかると考えられる構成要素が、土地システムの持続性を規定するものと考え、土壌や人間のニーズの変化が適当だとしている。以上のことから、本論文で地形・土壌に重きをおいた土地環境把握は妥当と考える。

また後述する生物生産力の評価は、土地の「ユニット」を基本として「土地」に対して行われるものである(Zonneveld, 1988)。武内 (1982)の指摘するように、土地の生産力推定とその規準をもとにした土地のランク付け(土地分級)を行う際に、評価の基礎単位として等質な地域を区分しなければならない。そのため先に述べた土地環境を、それを構成する要素をもとに等質な地域に分類し、土地環境のタイプ分けを行う必要がある。

2) 生物生産力のとらえ方

生物生産力を評価することは、土地環境の潜在的な利用の可能性と限界を予測する過程である(Paper, 1995)。これにより、過度な利用を回避しながら土地環境の適切な利用、ひいては持続的な利用を可能にする。ここでは従来までの生物生産力評価手法を整理し、持続可能な生物生産のための生物生産力評価について考察する。

生物生産力の評価手法は、多くの国々で発展してきた。世界的にもっとも広く受け入

られた手法は、FAO (1976)による「土地評価のフレームワーク (Framework for land evaluation)」である (Zonneveld, 1988)。生物生産力に関する評価手法の中で、土地環境の土壌や地形、降水量などの属性から、生物生産力を推定する方法がいくつか発展してきた。しかし生物生産力を評価する際に、評価主体である土地利用タイプをまず決定しておく必要がある。そのためには、まずそれぞれの土地環境タイプが歴史的にどのように利用されてきて、今後どのような動向なのかを把握することで決定することができる (武内, 1976)。

第3節 本論文の構成

本論文は、図1-2に示すように、本章を含む4つの章から構成される。本章では、持続可能な生物生産の理論的基礎を把握し、湿潤熱帯環境における土地荒廃現象を、持続可能な生物生産と対比させて整理し、地域の土地環境をとらえ、現存する土地利用形態による潜在的な生物生産力を把握する意義と本研究での位置づけを示した。第2章では、事例地域を含む半島タイ南部において土地環境の広域的把握を行い、湿潤熱帯にみられる土地環境と土地利用変化の関連について検討した。半島タイは、半島中央に脊梁山脈が位置し、東西にわたって台地、低地が分布する。とくに本研究で注目する湿潤熱帯低地には、湿潤熱帯に特有な環境を含み、集約的農業的土地利用の危機に瀕している場所である。このように様々な土地環境が狭い範囲の中で連続的にみられる場所であるため、湿潤熱帯低地を含む土地環境とその空間的配列を把握するのに最適な対象地として選抜した。第3章では、第2章で得られた広域スケールでの知見を検証するために、事例地域において詳細な土地環境を把握、さらに地域全体での総合的生物生産力評価を行った。対象地のタイ国ナラチワ県 Bacho 地域には、湿潤熱帯に特有の淡水泥炭湿地と水成ポドゾルの発達した砂堆列がみられる。この淡水性の泥炭湿地は、農業利用のために開発が行われたが、泥炭層の下層にある海成粘土層の酸化による土壌の硫酸酸性化が進み、本来の生態系が失われた場所である。こうした環境のもと、土地環境と土地利用のバランスを考えた持続可能な生物生産のための土地利用指針を提示する試みを行った。第4章では、前章の結果に基づき、土地環境と生物生産力の両面をふまえたうえで、湿潤熱帯における持続可能な生物生産に関わる土地管理について議論・検討した。

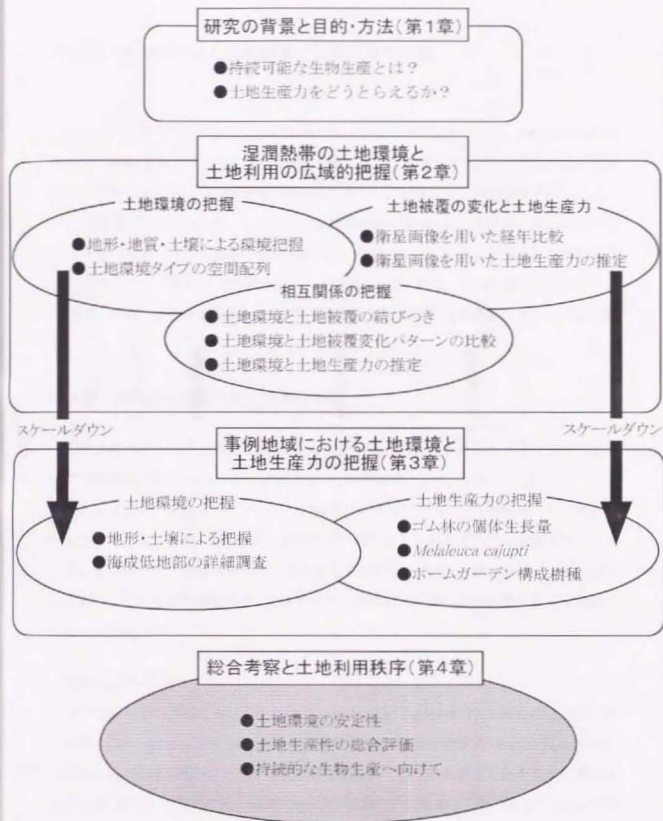


図1-2 本論文の構成

Fig. 1-2 Study flow on this thesis

第2章 広域的にみた土地環境と土地利用の把握

土地利用計画を考える前に、熱帯湿潤地域に特有の環境特性があり、それが農業利用に大きな制限を与えていることを正確に把握していく必要がある。特に今回対象とするマレー半島狭さく部には、急峻な山岳地帯が多く、土壌浸食などの危険性が高いこと、一方で低地部も広く見られ、マングローブ環境や泥炭湿地など、人為等の環境改変に対して非常に壊れやすい生態系が多数存在する。本研究では、こうした環境の空間分布を地理情報システムをもとに把握することを目的とした。また、各土地環境のもとでどのような土地利用変化があったかを、衛星画像から得られる土地被覆変化をもとに把握した。

第1節 半島タイにおける土地環境分類

湿潤熱帯に特有な土地環境の様々なタイプを含み、しかもそれらのタイプが狭い範囲の中で連続的にみられる半島タイを広域的な研究対象とした。具体的には、マレーシア半島のタイ国側、北緯6度15分から北緯7度のあいだになる。土地環境とは、地表を中心とする地形、土壌、地質、水、表層大気、植物などからなる自然環境複合体を意味する。そのなかで、生物生産を支える大きな基盤として地形、土壌、地質をここでは取り上げる。これらの環境要素は、土地の生産力評価を行う際の土地分類に広く使われている (Young, 1975)。

1) 試料および手法

用いた地理データは、Soil Survey & Classification Division (1992)発行の1:2,500,000土壌図、Geological Survey Division (1985)発行の1:250,000地質図、Royal Thai Survey Department (1986)発行の1:50,000地形図である。マレー半島狭さく部を東西に横切る北緯6度15分から北緯7度の幅45分のタイ国側を研究対象とした(図2-1)。この地域を、30秒×30秒のセルに分割した。大きさは約1km×1kmであり、日本の基準地域メッシュ(三次メッシュ)にほぼ一致する。その結果、緯度方向に90、経度方向に330、総数29700セルに分割された。

土壌、地質に関して、分割したセル内で最も優占するタイプを読みとった。地形に関

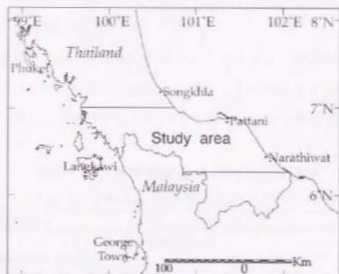


図2-1 広域的な土地環境把握の対象地

Fig. 2-1 Study area of GIS derived land system classification, South Thailand

しては、既存の地形図をもとに地形分類を行い、試料として用いた。地形とは、対象とする地域によって規定される地形営力の質によって左右され、単なる幾何学的な形態を示すものではない。そのため、各セルの標高や傾斜量だけではなく、周辺との相互関係をもとにした地形分類による把握が、地域の地形特徴を明らかにするのが理想である。さらに地形分類を客観的に行うため、数値地形情報による手法を用いた。従来地形分類には、空中写真を利用してきたが、その際分類に判読される、地表のきめや凹凸といった形態、地形の傾斜とその変換点を、数値地形情報から算出する方法が近年開発されている(岩橋,1994)。今回はその手法を元に、マレー半島狭さく部における地形分類を試みた。その方法は以下の通りである。

各セルごとに、その四隅とセルの中心点における標高を読み取った。この標高データを元に、各セルの傾斜度、セルの中の凹凸を算出した。傾斜度は、四隅の標高データをもとに、2本の対角線で決定される平面を仮定した上で算出した。地形の凹凸は、四隅の標高の単純平均でもとめられる標高と、中心点の標高からの差から判断した。この値が正の値を示すときは、そのセル内で凸型の地形であることを示し、負の時には、凹型の地形であることを示す。

各セル毎に得られた傾斜度と凹凸の尺度の平均を、マレーシア側と海域を除く15281セルを対象に求めた。それぞれの平均値を境に対象セルを2分し、2つの地形に関する尺度の組み合わせにより各セルは4つのカテゴリーに分割されることになる。また岩橋

(1994)と同様に、傾斜量の小さい地域を対象に再分割し、地形分類を行った。結果として6つのカテゴリーに分割された。

表2-1に、地形分類、地質、土壌図から得られたカテゴリーとその割合、実際の分布状況を図2-2、2-3、2-4を示した。これらの試料をもとに均質な土地環境の抽出を行った。カテゴリーデータの序列化手法としてコレスポンデンス分析を用いた (Hill, 1974)。

表2-1 土地環境要素の凡例と出現頻度

Tab. 2-1 Land system factors and their frequencies

Code	Classification	Counts
<u>Land form</u>		
L1	Convex Steep Slope	2157
L2	Concave Steep Slope	2563
L3	Convex Foot Slope	2448
L4	Concave Foot Slope	1411
L5	Flat	5142
L6	Flat (Concave)	1560
<u>Soil</u>		
S1	Sulfaquents	260
S2	Hapludults	679
S3	Quartzipsamments	52
S4	Haplohumods	268
S5	Tropofibrists	257
S6	Acid Epiaquepts	265
S7	Palcaquults	1808
S8	Palcudults	6188
S9	Kandiudults	618
S10	Slope Complex	4886
<u>Geology</u>		
G1	Quaternary (alluvial deposits)	3146
G2	Quaternary (terrace deposits)	4898
G3	Tertiary (semi-consolidated clastic rocks)	29
G4	Triassic (elastic rocks)	1627
G5	Permian (limestone)	80
G6	Carboniferous (clastic rocks)	444
G7	Carboniferous (shale intercalated with sandstone and chert)	166
G8	Carboniferous (chert & shale with cross-bedding)	1776
G9	Carboniferous (conglomeratic sandstone & shale with cross-bedding)	167
G10	Silurian-Devonian (clastic rocks, chert and bedded limestone)	337
G11	Ordovician (limestone)	428
G12	Cambrian (clastic rocks)	77
G13	Cretaceous (plutonic granite)	635
G14	Triassic (plutonic granite)	1210
G15	Post-Triassic (plutonic serpentinite & andesite)	261



図2-2 分析に用いた地形分類図

Fig 2-2 Landform classification map divided into 30 x 30 second cells



図2-3 分析に用いた土壌図

Fig. 2-3 Soil map divided into 30 x 30 second cells

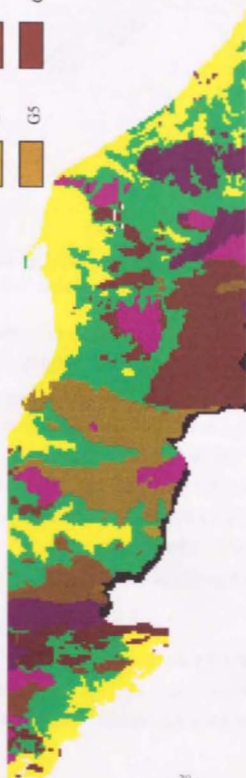
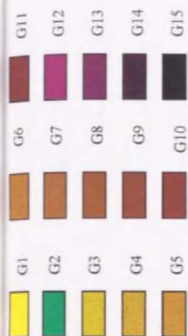


図2-4 分析に用いた表層地質図

Fig. 2-4 Geology map divided into 30 x 30 second cells

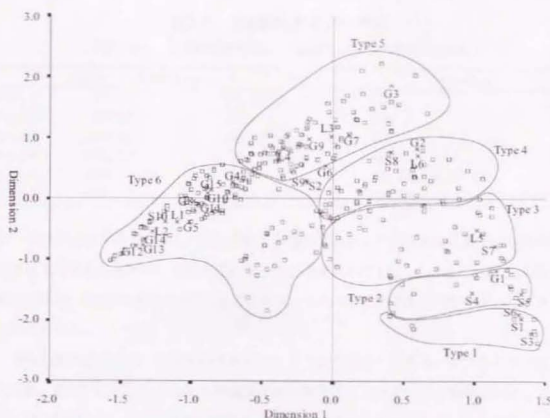


図2-5 コレスポネンシ分析による土地環境要素と各セルの布置図

Fig. 2-5 Scatters of land system factors and cells ordinated by correspondence analysis

これは群集生態学の分野で発達した、反復平均法と同じ手法であり、変数と地点の序列化を相互に行う分析手法で、アジア地域の土地分類を行った立入ら (1997)でも同様の手法を用いている。分析には、東京大学大型計算機センターの統計パッケージ SPSS の HOMAL プロシジャーを用いた。それぞれのセルを、得られた因子得点をもとに、非階層型クラスター分析 (k-means 法) を行い分類した。分類に際し、分類されたセル数が著しく小さくならない段階 (分析対象セル数の 1%) まで、分類数を増やした。結果 5 つのタイプに分類されたが、低地部の特徴を示すグループは、同様の分類によりさらに 2 つのタイプに分割した。低地部の特徴を示す分類群には多くの土壌タイプが含まれたため、このような処理を行った。最終的に対象地域を均質なタイプに区分した。

2) 土地環境分類の結果

コレスポネンシ分析の結果、2 次元空間に各土地環境要素の相互関係が再現された。また因子得点をもとに各セルを分類した結果、6 つのタイプに分割された。その様子を図 2-5 に示す。地形、地質、土壌の間にはそれぞれ強い関連がみられるため、各環境要

表2-2 土地環境タイプの特徴

Tab. 2-2 Characteristics of each land system types

	Count	Land form	Soil	Geology
Type 1	776	L5	S1, S3, S4, S5, S6	G1
Type 2	947	L5	S7	G1
Type 3	2404	L5	S7, S8	G1
Type 4	3818	L5	S8	G2
Type 5	5455	L3, L4	S8	G2, G3, G6, G7, G9
Type 6	1881	L1, L2	S10	G4, G8, G10, G11, G13, G14

素の布置状況は馬蹄形を示し、強い共線性が確認された。この現象は生態学の生物群集解析にもみられ、要素間の関係を歪めるものと考えられている。しかしこの目的は、縮尺の異なった地図情報を統合することが主であるため、共線性の効果を残したままの分類を行った。

分類の結果をもとに、実際の分布状況を示したのが図2-6である。6つのタイプはそれぞれ、表2-2に示したような土地環境要素に規定されたグループと解釈された。タイプ1は、傾斜量の小さい平地型の地形と、沖積性の地質、SulfaquentsやAcid Epiaquentsといった沿岸部の未発達土壌や、水成ボドゾルの発達したHaplohumods、泥炭湿地のTropofibristsなどにより特徴づけられるタイプで、海成低地部の土地環境タイプと考えられる。タイプ2は、同じく平地型の地形と沖積性の地質からなるが、Paleaquultsの過湿な水分レジームにある土壌を持つため、低位粘土質台地のタイプと解釈される。タイプ3は、タイプ2とタイプ4の中間的な特徴を持ち、過湿な水分レジームにあるPaleaquultsと適湿な状態にあるPaleudultsの土壌を持つため、山麓緩斜面および低位台地の中間に位置する高位台地から中位面の特徴を持つタイプと考えられる。そのタイプ4は、傾斜量の小さい地形と洪積性の地質からなり、Paleudultsの土壌により特徴づけられるグループで、高位台地面と考えられる。タイプ5は、同じく洪積性の地質を持つが、傾斜量が大きく、山麓緩斜面型の地形、土壌から構成されるタイプと解釈される。最後のタイプ6は、花崗岩等の深成岩や地質時代の古い固結堆積物の表層地質と、急斜面型の地形、有効土層の薄いSlope complexから構成され、山地・丘陵型と考えられる。

以上のように半島タイプの土地環境は6つのタイプに分類され、山地から低地部へのシークエンスに沿った形で表現された。この様子は実際の分布状況からも確認される。マレー半島北部から続く脊梁山脈の南端が対象地の西側に、またマレー半島の南部から続

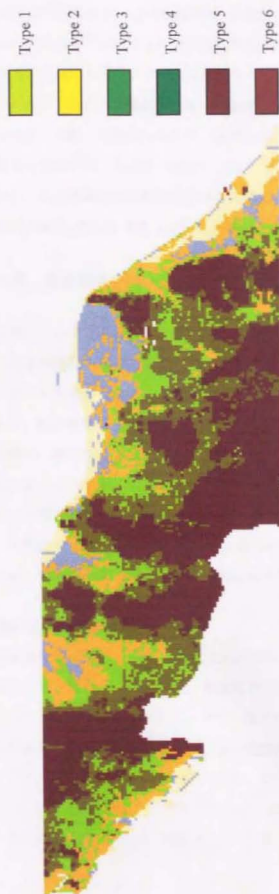


图2-6 土地环境区分图

Fig. 2-6 Land system classification map on South Thai

く脊梁山脈の北端が中央に確認される。これらの縁に丘陵地が分布する。この山地、丘陵地から派生するように山麓緩斜面、台地がみられ、沿岸部に海成低地型の土地環境が分布しているが、西海岸より東海岸に分布が偏っていることがわかる。これは、近海の下地状況の違いが反映されていると考えられる。このように空間的な広がりの差があるが、半島タイにおける地形・地質・土壌からみた土地環境の水平的配列を確認することができた。山地・丘陵地から台地、低地という地形の配列に対応するように、そこにみられる土壌のパターンがみられた。この一連の水平的に配列はカテナと呼ばれ（田村, 1981）、この地域の土地環境をとらえる際に、この地形・土壌カテナを一つの結節単位（武内, 1989）として考慮していく必要がある。

第2節 衛星画像を用いた土地利用／被覆と土地環境の関連把握

対象とする半島タイは、地形、地質、土壌による均質な土地環境タイプに分割された。これらを等質な土地環境をもつタイプと考え、それぞれの土地環境タイプのもと、どのような人間活動が行われてきたか、また生物生産という観点からどの程度生産力をもつのかを、衛星画像データをもとに把握することを試みた。衛星画像による土地利用状態の把握は、空中写真などと比較して画像の分解能は低い。また土地の被覆状態は限られた数によるスペクトルの組み合わせによって判断されるため、かならずしも正確な土地利用／被覆を表すものではない。しかし全球を覆うように、定期的に観測されるデータは、広域的な土地利用／被覆の様子を経年的に把握する有効な手段である。今回は、Landsat MSS の画像を用い、土地環境との重ね合わせを行った。

1) 試料および土地被覆図作成手法

対象地全域を覆う、1970年代と1980年代のLandsat MSSデータを用いて、土地被覆図の作成を行った。データは、米国航空宇宙局NASAの「Landsat Pathfinderプロジェクト」により収集されたデータの一部を利用した。このデータは、米国地質調査局USGSより一般に無料提供されている。実際に利用したデータは、1970年代の4シーン（ロウ137; パス55: 1973年2月28日、ロウ137; パス57: 1978年11月26日、ロウ138; パス55: 1973年3月1日、ロウ136; パス56: 1973年10月1日）、1980年代の5シーン（ロウ127; パス55: 1985年1月12日、ロウ127; パス56: 1988年8月7日、ロ

ウ 128; パス 55: 1987 年 4 月 16 日, ロウ 128; パス 56: 1985 年 3 月 23 日, ロウ 129; パス 55: 1987 年 3 月 12 日) である。

それぞれの画像において教師なし分類を行った。4つのバンドをもとに、非階層型クラスター分析の一種である ISODATA 法により 30 カテゴリーに各画像を分類した。分析には、ESRI 社製 ERDAS の分析ツールを用いた。2 時期において画像のモザイク化と、両時期の変化を把握するために、各画像で得られた 30 カテゴリーにおける 4 バンドの平均値を求め、比バンド輝光値をもとに階層型クラスター分析 (ユークリッド距離 Ward 法) を行った。比バンド輝光値を用いたのは、センサや衛星自体から生じる歪みや、太陽高度、大気中の水蒸気による歪みにより、時期による各バンドの輝光値にはばれが生じるため (リモートセンシング研究会, 1992)、この変異を小さくする目的である。結果得られた 2 時期の土地被覆図と、土地環境区分図との重ね合わせ、土地環境タイプ別の土地被覆変化パターンを把握した。

2) 土地被覆と土地環境の結びつきとその経年変化

上記手法により、雲域、水域、裸地、草地、現存量の小さい森林、現存量の大きい森林の 6 つのタイプに分類された。このうち雲域、水域を除いた 4 タイプを、土地被覆タイプとして以下の分析を行った。1970 年代、1980 年代両時期において、最も優占する土地被覆は現存量の大きい森林であり、それに続くのが草地であった。実際の分布の様子を図 2-7、2-8 に示した。それぞれ 2 時期の土地被覆図と土地環境区分図との重ね合わせを行った。その結果を図 2-9 に示す。土地環境と土地被覆には、両時期ともに強い対応関係が確認された (1970 年代: $\chi^2=952163.1$, $p<0.001$, 1980 年代: $\chi^2=974505.4$, $p<0.001$)。両時期を通じて、現存量の大きい森林は山地・丘陵地の特徴を持つタイプ 6 と強く結びついており、低地部の特徴を持つタイプ 8 と連続的に減少するのが確認された。また草地は、低位粘土質台地の特徴を持つタイプ 2 とよく結びついていることがわかった。このタイプにみられる草地は稲作地と考えられ、水田という土地利用形態が、低位粘土質台地の土地環境で行われていることを強く示している。

土地利用の経年変化をみると、すべての土地環境タイプで現存量の大きい森林の減少がみられる。逆に現存量の小さい森林の増加がすべての土地環境タイプでみられた。最も現存量が大きい森林が優占するタイプ 6 では、この土地利用の減少率が低く、山麓緩斜面や高位台地、中位台地の特徴を持つタイプ 3、4、5 での減少率が顕著であることが

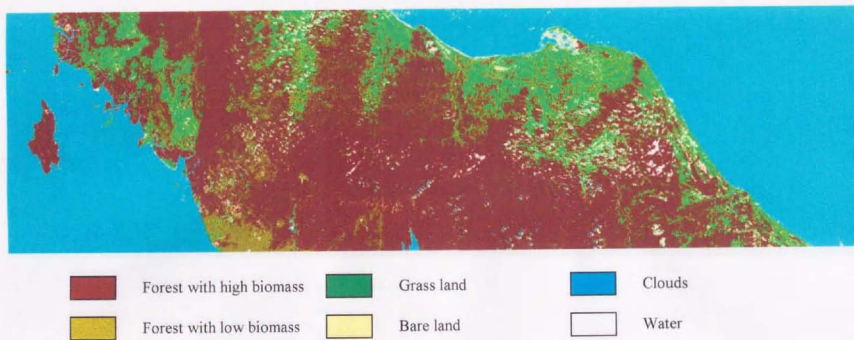


図2-7 Landsat MSSによる1970年代の土地被覆図

Fig. 2-7 Land cover classification map on 1970s

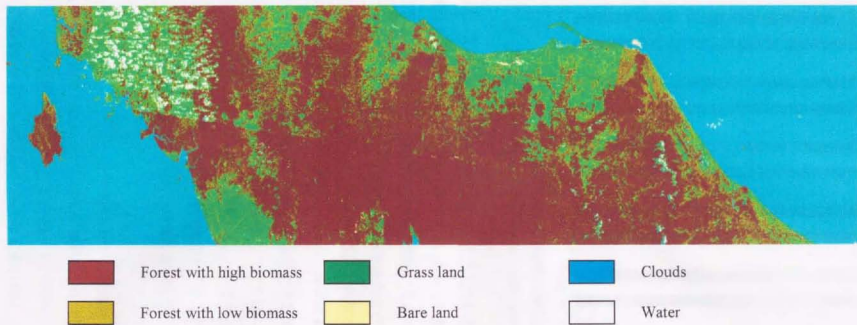


図2-8 Landsat MSSによる1980年代の土地被覆図

Fig. 2-8 Land cover classification map on 1980s

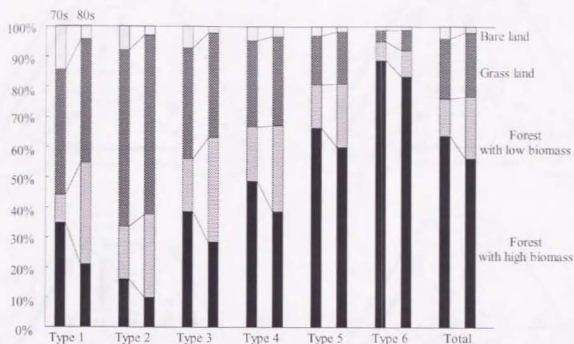


図2-9 土地環境タイプと土地被覆の関連とその経年変化

Fig. 2-9 Relationship between land system types and land cover types

わかった。また海成低地部の特徴を持つタイプ1でも同じ傾向がみられ、高位台地の特徴を持つタイプ3とともに、現存量の小さい森林の増加率が高いことがわかった。

それぞれの土地被覆タイプがどのように変化したかを、詳しくみたのが図2-10である。トータルによると、最も大きな変化は現存量の大きい森林から現存量の小さい森林へのもので、続いて草地への変化が大きいことがわかる。これは人間活動による森林の伐採やプランテーションへの土地利用の変化と考えられる。逆に現存量の小さい森林や草地から、現存量の大きい森林への変化も確認できたが、これら増加分を考慮しても、現存量の大きい森林は減少している。またタイプ1は、タイプ6と比較して、変化量だけではなく変化のパターンも複雑であることが確認できる。

次に、土地環境タイプ別に土地被覆の変化パターンがどれだけ複雑かを、群集生態学の分野で用いられる、Pielou (1969)の均衡性指数を用いて比較した。これは次式で算出される。

$$\text{Pielou's } H = -\sum p_i \log p_i$$

ここで、 p_i : 1970年代におけるある土地被覆タイプから1980年代における土地被覆タイプ*i*への変化の割合で、これを1970年代における土地被覆タイプそれぞれで求める。この値は1から0までの値を示し、1に近いほど、変化のパターンが複雑であるこ

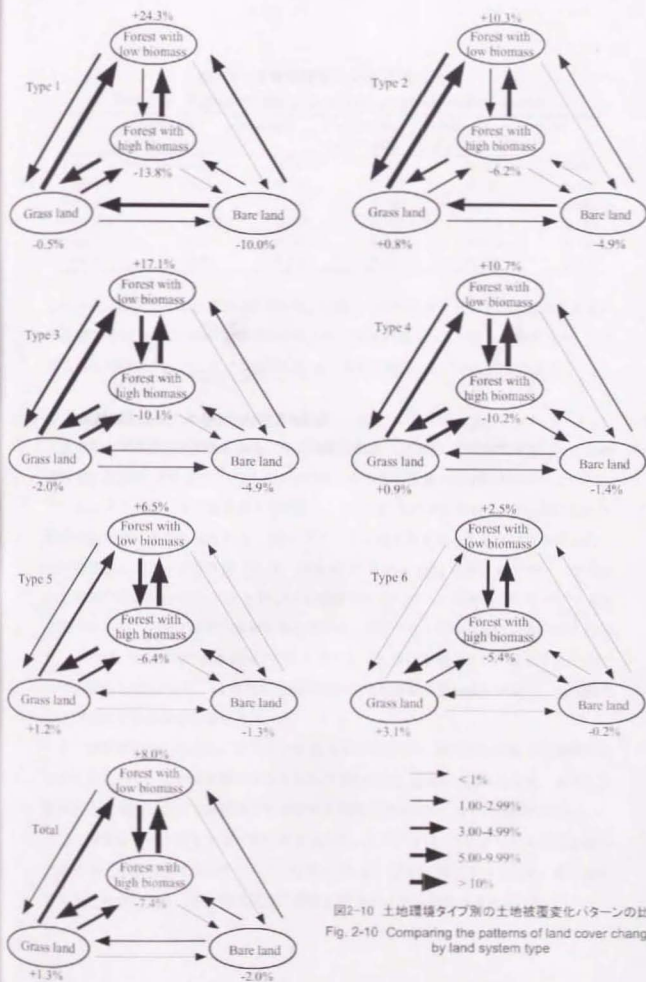


図2-10 土地環境タイプ別の土地被覆変化パターンの比較
Fig. 2-10 Comparing the patterns of land cover change by land system type

表2-3 土地被覆変化の複雑性の比較

Tab. 2-3 Complexity of changing patterns on land covers

	Bare land	Grass land	Forest with low biomass	Forest with high biomass	Total
Type 1	0.909	0.742	0.827	0.825	0.862
Type 2	0.826	0.584	0.715	0.846	0.720
Type 3	0.851	0.782	0.805	0.813	0.847
Type 4	0.928	0.829	0.798	0.799	0.863
Type 5	0.869	0.865	0.763	0.610	0.728
Type 6	0.600	0.831	0.602	0.385	0.431

とを示す。得られた結果が表2-3である。山地・丘陵地のタイプ6での土地被覆変化の多様度が特に小さく、なかでも現存量の大きい森林の値が小さいことがわかった。つまりこの土地環境タイプでは、現存量の大きい森林が維持されていることを示す。

3) 年累積植生指数による生物生産力の把握

また各土地環境の生物生産力を、年累積植生指数 (NDVI) による推定を行った。年累積植生指数は、その場所における植生の純一次生物生産量と相関関係があるといわれている。ここでは、米国地質調査局提供の、NOAA/AHVR 画像の10日間にわたる観測画像合成により作成された、1km グリッドの植生指数図をもとに分析を行った。一年間連続してデータが有効である、1992年10月から1993年9月までのデータを用いて年間の累積を行った。10日間の合成画像であるため1ヶ月間に3時期のデータが有効であるが、この3時期の画像を重ね合わせ、各ピクセルの最大値による合成を行った。これは、10日間の画像合成で除去できなかった雲の影響をさらに除去するためである。得られた12ヶ月、12枚の植生指数図から年累積植生指数図を作成し、土地環境タイプ別の生物生産量の推定を行った。

各土地環境においてどれだけの生物生産力があるのかを、純一次生産量と相関関係があると知られている年累積植生指数を用いて比較した。結果を表2-4に示す。山地・丘陵地から低地部にかけて連続的に年累積植生指数の値が減少していく様子がわかる。とくに土地環境タイプの1と2で低い値を示した。タイプ2は、先に述べたように水田の立地する土地環境タイプと考えられ、草地あるいは一時的に裸地化するため、低い値を示したと考察される。また海成低地の特徴を持つタイプ1で低い値を示した。

各土地環境においてどれだけの生物生産力があるのかを、純一次生産量と相関関係があると知られている年累積植生指数を用いて比較した。結果を表2-4に示す。山地・丘陵地から低地部にかけて連続的に年累積植生指数の値が減少していく様子がわかる。とくに土地環境タイプの1と2で低い値を示した。タイプ2は、先に述べたように水田の立地する土地環境タイプと考えられ、草地あるいは一時的に裸地化するため、低い値を示したと考察される。また海成低地の特徴を持つタイプ1で低い値を示した。

4) 小括

土地利用／被覆と土地環境の対応関係と、その経年変化をみた結果、現存量の大きい森林地帯は山地・丘陵部と結びつきが高いことが確認された。逆に言えば、山麓緩斜面や台地、低地には現存量の大きい森林が少ないことがわかる。さらにその減少率をみると、山地・丘陵地から低地部へと減少率が大きくなっていた。この土地利用形態の変化が、人間活動による森林開発の影響と考えられるなら、人間の影響は台地、低地部に偏っているといえる。一般に熱帯林の減少が世界的な問題となっているが、この現象は一樣に起こるのではなく、特定の場所に偏っていると示唆される。またこの傾向は、土地利用の変化パターンの複雑さを比較した結果でもいえる。このように、土地利用の変化から捉えられる人間活動は、台地、低地部の土地環境で大きく、さらに複雑であることから、これらの地域における土地利用秩序を優先的に考える必要がある。また、衛星画像から判断される生産力が海成低地部の土地環境で低かったことから、この地域における生物生産力の改善、もしくは生物生産力の再評価を行う必要もある。

第3章 地域スケールにおける土地環境の把握と生物生産力評価

農業利用の可能な土地の大部分が、すでに開発された東南アジアにおいて、最後の未利用地といわれるのが低湿地である。マレー半島には、淡水性泥炭湿地が広く分布する。この土地の大部分は、潜在硫酸酸性泥炭土壌である(久馬, 1983)。この土地の泥炭層の下には、海水ないし汽水によって供給される SO_4^{2-} と有機物により生成されるパイライト (FeS_2) が蓄積されている。この堆積物が、排水の影響を受けて脱水・酸化されると、高濃度の硫酸塩が生成し、土壌が著しく酸性化する。その結果、あらゆる土地利用が困難になった場所が多くみられる。

本研究では、泥炭湿地が広く分布するタイ国南部ナラチワ県を対象として、泥炭湿地を含め、その周辺地域において持続可能な生物生産的土地利用を策定することを最終の目的としたものである。ここでは、計画策定のための基礎となるこの地域の土地環境を土壌・地形からとらえ、その水平的配列(カテナ)を把握し、現在の土地利用との関連性を把握した。

第1節 地形・土壌による土地環境の把握

1) 事例地域の概要

研究対象地は、タイ国南部ナラチワ県に位置する Bacho 泥炭湿地とその周辺である(北緯 $6^{\circ}30'$ 、東経 $101^{\circ}45'$: 図3-1)。この地域には、広域スケールでの土地環境のタイプが、狭い範囲のなかで連続的に確認できる場所である。

Narathiwat 観測所における気象データによると、年平均気温はおよそ 27°C で年較差は少ない。年平均降水量はおよそ $2,500\text{mm}$ で多雨地帯ではあるが、年間降雨量の約50%が11月と12月の2ヶ月に集中し、月降水量が 100mm を切る月が2~3ヶ月間みられ、熱帯モンスーン気候に近い気候条件にある(図3-2)。

この地域の地形を特徴づけるのが、沖積低地(riverine coastal plain)である。これは海岸線の移動に伴ってアジア大陸から張り出した海深 100m 以下のスンダ陸棚の一部が隆水し、砂州や浜堤等の砂堆列の繰り返しによって形成される浜堤列平野(strand plain: Currey et al., 1967, 海津, 1994より引用)と、河川の堆積作用によって形成され

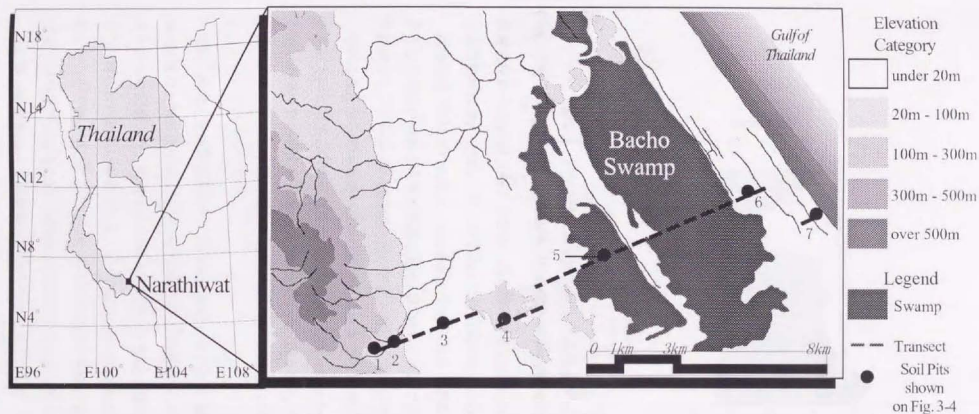


図3-1 事例調査対象地の位置とBacho泥炭湿地周辺の地形図

Fig. 3-1 Location of study area and elevation map around the Bacho swamp

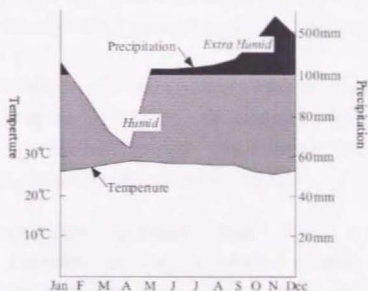


図3-2 ナラチワ気象観測所における気候ダイアグラム

Fig. 3-2 Climatic diagram of Narathiwat Based on the data 1990-1995

た沖積平野 (alluvial plain) を含む。海岸線に平行に形成される数本の砂堆の背後に、大きな後背湿地が立地し、砂堆列の低みには砂堆間低地がみられる。

内陸には花崗岩性の島状丘 (Inselberg) がみられる。標高は 300m から 600m である。こうした地形は雨季と乾季が明瞭な地域に特徴的とされており (田村ほか, 1995), この地域がモンスーン性の気候帯に近いことと密接に関連している。

今回は残丘から泥炭湿地や浜堤を横切る海岸までのトランセクトを設定し、表層土壌の垂直方向と水平方向の層位変化を調査した。トランセクトは、海岸線とほぼ垂直にこの地域の環境要素をすべて含むように設定した (図 3-1)。トランセクトに沿って、クリノメーターを用いて簡易地形断面測量を行い、中地形・小地形による地形区分を行った。

次に、地形と土地利用から見て典型的な場所において土壌断面調査を実施した。深さ 1m 前後の土壌断面を全体で 33 地点作成し、土壌層位を土色、土性、層位の厚さと深さとともに記載した。総長 2m の検土杖を用いて 25m 間隔に水平的変化の補足を行った。得られた観測結果をもとに、Soil Taxonomy の基準に従って土壌垂目の段階に分類した。その際、場合によっては土壌の粒径分布や有機物量、塩基飽和度、Al や Fe の含量が分類基準となるため、実験室に試料を持ち帰り分析を行った。

この地形断面測量と土壌地理学的調査の結果をあわせて、トランセクト上における地

域区分を行った。地形・土壌による地域区分は土地評価のひとつの方法である(Young, 1975)。地域区分の結果で得られた各類型区分において、土地利用を同時に記録し、両者の関連をみた。

またこの地域を特徴づける泥炭湿地を含む砂堆利平野は、第2章で示したように生物生産量が低いと推測された。そのため、これらの土地環境において生物生産の制限要因を探るために、空中写真を使った地形分類と、詳細な土壌断面図を行った。用いた資料は、タイ政府による空中写真(1975年3月撮影)である。

2) 事例地域の地形・土壌カテナと土地利用との関連

この地域は、地質学的に、花崗岩丘陵とその堆積物からなる部分と、海成の堆積物からなる部分に大きく2分割される(Geological Survey Division, 1979)。地形・土壌による土地環境区分とその水平的配列を模式化したのが図3-3である。また土地利用との関連性をまとめたのが図3-4である。土壌断面柱状図は、各類型区のなかで典型的な特徴を持つ地点のものを記載した。土壌表記はSoil Taxonomy上の分類名とあわせて、FAO/UNESCOによる分類名も示した。また、それぞれ典型的な土壌断面における科学的特徴を表3-1に示した。ただし、土層の薄いSlope complexと、土壌の発達が見られないPsammentsは除いた。残存丘陵から海岸まで、丘陵中腹凸型急斜面-Slope Complex、丘陵緩斜面-Udults、粘土質台地低位面-Aquults、粘土質台地高位面-Udults、海成低地-Fibrists、海成低地-Humods/Orthods、海成低地-Psammentsの順に7つの類型区の配列が見られた。つぎにこのカテナに沿って、土地環境の様子と土地利用との関連性をまとめる。

i) 丘陵中腹凸型急斜面-Slope Complex

花崗岩丘陵地の中腹では有効土層が薄く、すぐに花崗岩の基盤がみられることから、風化および土壌の侵食が進んでいると考えられる。このような土壌条件ながら、樹高20mを越えるフタバガキ科などの熱帯常緑樹林が成立していることが確認された。人為の介入は少ないと考えられるが、部分的にバナナやロンコンといった果樹のプランテーションがみられ、集約的な利用がなされており、後述する丘陵緩斜面と比較しても土地の生産性は高いと考えられる。

ii) 丘陵緩斜面-Udults, 粘土質台地高位面-Udults

本研究対象地内で最も集約的に利用されているのが、次にみられる丘陵緩斜面から粘

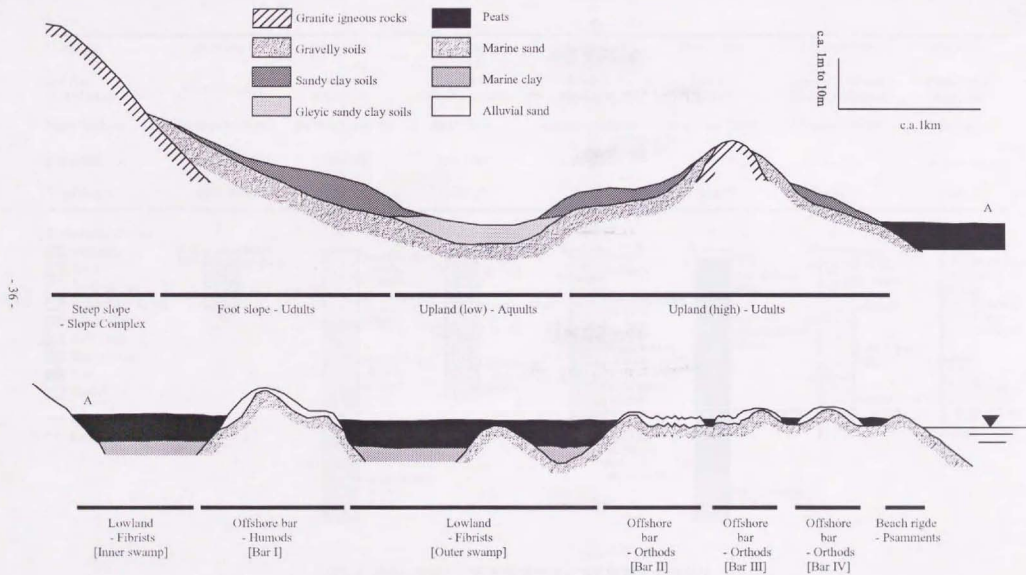


图3-3 模式地形·土壤断面与水平的配列

Fig. 3-3 Schematic cross section and catena along the study transect

Land form	Steep slope	Foot slope	Upland (low)	Upland (high)	Peat swamp	Off shore bar	Beach ridge
Soil type (FAO/UNESCO)	Slope Complex	Udults (Acrisols)	Aquults (Gleyic Acrisols)	Udults (Acrisols)	Fibristis (Histisols)	Humods/Orthods (Humic Podisols)	Psamments (Regosols)
Major land use	Dipterocarp forests	Rubber plantation	Paddy field	Rubber plantation	<i>Melaleuca</i> forest	<i>Melaleuca</i> forest	Grass land
Elevation	50m - 100m	10m - 50m	5m - 10m	10m - 30m	Under 5m	Under 5m	Under 5m
Slope degree	20° - 30°	2° - 5°	Under 2°	2° - 10°	Under 2°	Under 2°	Under 2°

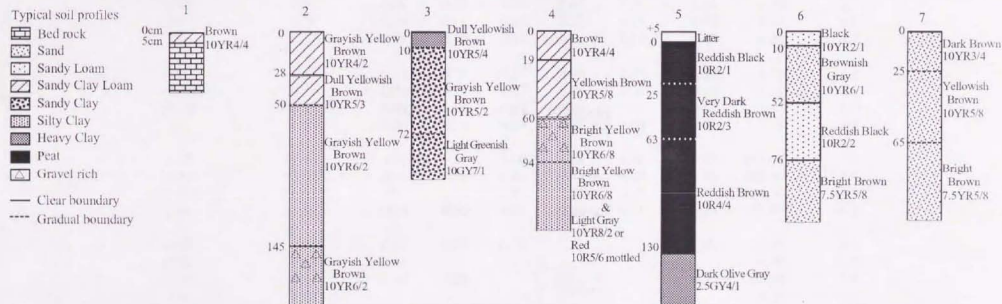


図3-4 地形・土壌による土地環境タイプの特徴と土地利用

Fig. 3-4 Characteristics of land system types and land use patterns

表3-1 典型的な土壌断面における土壌の化学性
Tab3-1 Soil chemical characteristics of typical soil pits

Pit No.	Depth (cm)	Organic Carbon (%)	Total Nitrogen (%)	Extractable Bases (cmol/kg)					CEC (cmol/kg)	pH (H ₂ O 1:1)
				Ca	Mg	Na	K	Sum bases		
2	0-28	0.44	0.03	1.03	0.17	0.03	0.08	1.31	1.81	4.5
	28-50	0.33	0.03	0.54	0.04	0.03	0.03	0.64	1.92	4.0
	50-145	0.21	0.02	0.14	0.06	0.03	0.04	0.27	2.13	3.7
	145-	0.15	0.07	0.12	0.07	0.03	0.05	0.27	2.54	3.9
3	0-10	1.05	0.08	0.53	0.40	0.05	0.26	1.24	4.70	4.7
	10-72	0.78	0.06	0.11	0.05	0.03	0.18	0.37	3.52	4.8
	72-	0.14	0.02	0.21	0.09	0.03	0.14	0.47	3.23	4.7
4	0-19	1.68	0.11	0.20	0.25	0.08	0.29	0.82	3.63	4.2
	19-60	0.51	0.05	0.04	0.03	0.04	0.08	0.19	2.37	4.1
	60-94	0.27	0.03	0.05	0.04	0.03	0.05	0.17	2.17	4.0
	94-	0.27	0.06	0.15	0.09	0.03	0.04	0.31	2.93	4.0
5	0-25	76.95	0.87	1.51	5.70	0.24	1.10	8.55	152.60	3.3
	25-63	93.05	0.89	1.79	6.81	0.16	0.89	9.65	142.50	3.4
	63-130	86.03	0.91	1.71	5.13	0.04	0.89	7.77	105.30	3.8
	130-	11.86	0.21	0.90	4.91	0.10	0.31	6.22	19.40	4.5
6	0-10	1.08	0.03	0.40	0.10	-	-	0.50	2.90	4.2
	10-52	0.20	0.01	-	-	-	-	-	0.30	5.0
	52-76	4.32	0.10	0.20	-	-	-	0.20	24.90	4.4
	76-	0.12	-	-	-	-	-	-	0.20	5.2

土質台地低位面、粘土質台地高位面にあたる部分である。

丘麓緩斜面や粘土質台地高位面では有効土層は厚く、地表から 1m 以下に灰白色の粘土集積層 (Argillic horizon) がみられること、地表から 1.8m 深さの塩基飽和度が 35% 以下 (10% 以下) であることから、土壌は Udults に分類された。粘土集積層に赤色化した粘土斑紋が確認され、かなり深層まで風化されていることが確認された。湿潤熱帯における風化殻は数十 m に及ぶといわれている。粘土集積層からもわかるように表層からの養分の洗脱が起こりやすい土壌であり、一般的には肥沃度は低いと考えられている。しかしこの地域の中で限ると、相対的に生産力の高い場所であり、ゴムのプランテーションや熱帯果実のプランテーションなど集約的な土地利用がみられ、多くの集落も立地していた。

この丘麓緩斜面と台地高位面、後述する台地低位面は、島状丘の麓に発達した堆積物が隣り合う丘陵の堆積物と連合・拡大して形成された場所と考えられる。こうした丘麓緩斜面からひろがる台地状の地形にみられるわずかな地形の凹凸 (高位面、低位面) は、湿潤熱帯の環境下に広くみられる地形とされている (田村, 1997)。このなだらかなわずかな起伏のある地形の形成過程については、基岩の原位置風化による「剝削説」、河川による浸食・堆積による「段丘説」、ごく近接した基岩の風化物などが、水流あるいは斜面に沿って移動・堆積した土壌から形成される「Local alluvio-colluvium 説」が考えられている (田村, 1997)。本研究対象地にも、海成低地の内陸に広がる台地状の地形に、低位面とあわせて高位面が確認された。その形状は、地形の中心部がわずかな凸状を示すものと、平坦面である 2 種類の高位面が空中写真により判読された。それが堆積によるものか、基岩の原位置風化による土壌なのかを特定できなかったため、本論文では「台地高位面」として、両者をあつかった。

iii) 粘土質台地低位面 - Aquults

この台地上において 2~3m ほど比高が低く、地下水位の高い粘土質台地低位面は、雨季にかけて表層土壌が飽水するために表層ではグライ化作用が認められ、土壌は Aquults に分類された。この類型区には水田が立地し、降雨量の増える 9 月に植付けをはじめ、乾季となる 3 月に収穫する 1 期作の稲作が行われている。作付け法は我が国にみられるような移植栽培である。ただし用水は丘麓緩斜面の表面流を直接利用し、移植用の苗床は丘麓緩斜面や台地微高地にみられる。このように、この地域の稲作はそれ自

体は台地低位面で行われるものの、水供給源および育苗場所として丘陵緩斜面や粘土質台地微高地に大きく依存していると考えられた。

iv) 海成低地—Fibrists

今回のトランセクトでは、台地微高地から海成低湿地に移行する配列であったが、これはこの地域で一般的にみられる地形配列である。中央の砂堆を挟んで位置するふたつの泥炭湿地は、泥炭層の下層に大きな違いがみられた。海側の湿地の下層は海砂層の上下変動が大きく、地表付近にまでみられるところもあった。一方内陸側では海砂層はほとんどなく、大部分が海成粘土層であった。内陸側の海成粘土層にはパイライトの酸化によって生じるジャロサイトの痕跡がみられ、熟成の過程ですでに酸化していると考えられた。さらに内陸側の下層には、花崗岩由来の陶土層がみられた。この陶土層は中央の砂丘列の内陸側の下層にもみられた。これらのことから、中央の砂丘列を境に両湿地の成立時代は異なると考えられる。

両湿地とも、1970年代よりタイ政府による農地開発が行われたが、そのうち水田開発は失敗に終わり (Chakuranon *et al.*, 1995)、現在はフトモモ科の *Melaleuca cajuputi* の純林が成立している。現在内陸側と海岸側の泥炭湿地は、それぞれ保全区域と開発区域に指定されている。開発区域では排水が進み、ここ10年間で約50cmほど地盤沈下が起こっている (表3-2: Pikun Thong Royal Development Study Center, 未発表データ)。この沈下速度も、内陸側の泥炭湿地と海岸側のものとの間に大きな差がみられた。沈下の原因として、泥炭層自体の分解によるもの以上に、次層の海成粘土層が熟成、コンパクト化の過程で生じていると考える。海岸側の泥炭地では、未熟成の海成粘土層が年々熟成していると考えられ、それによるパイライトの酸化が心配される。これについては、第2節で説明する。

v) 海成低地—Humods/Orthods. 海成低地—Psamments

今回のトランセクトでは複数の砂堆列が確認できた。これらの砂堆列は、砂堆間低地における泥炭層の発達程度、現在の汀線に対する斜行の程度から、5本の砂堆列群に分けて考えられる (図3-6)。1本は大きな後背泥炭湿地に挟まれている (砂堆列群 I)。残りの内1本は、現在の海浜にあたる (砂堆列群 V)。現在の海浜を含む海側2本の砂堆列 (砂堆列群 IV, 砂堆列群 V) の土壌は、腐植層がほとんどなく、層位分化も明瞭でないため、Psamments に分類された。これと比較して陸側3本の砂堆列の土壌は、

表3-2 Bacho泥炭湿地における地盤沈下の様子(Pikun Thong Royal Development Study Center, 未発表データ: 単位cm)

Tab. 3-2 Subsidence in the Bacho swamp from 1983 to 1993 (unpublished data: cm)

Station No.	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
1	0.0	-4.0	1.1	-5.7	-11.0	-13.5	-15.2	-52.0	-53.0	-55.0	-55.5
2	0.0	0.0	-0.7	-5.0	-11.0	-17.8	-10.5	-12.8	-17.5	-41.0	-42.0
3	0.0	0.0	0.2	-4.8	-22.0	-34.5	-35.3	-38.2	-39.0	-42.0	-45.6
4	14.0	13.0	20.5	1.4	-21.0	-24.1	-29.4	-34.2	-36.5	-42.5	-41.5
5	-3.0	-0.6	1.3	-2.2	-9.0	-6.7	-10.2	-18.5	-17.0	-20.0	-19.0



図3-5 泥炭湿地における地盤沈下の計測地点

Fig. 3-5 Measuring points of subsidence on the Bacho swamp

数 cm の腐植層の下に約 50cm ほどの灰白色の溶脱層がみられ、さらに下層には有機物と Al の集積層 (Spodic horizon) が広範囲にわたって確認されたため、Spodosols に属す。砂堆列群 I は、集積層の有機炭素含有率が 6% 以上であるため、Humods に分類されたが、その他の砂堆列群では有機炭素含有率が 6% に満たないため、Orthods に分類される。集積層の発達程度は局所的に変化する。とくに泥炭湿地に挟まれた砂堆列では、集積層の位置は 20cm 程度と非常に浅く、集積層の強い固結化が認められた。土壌試料の分析によると、この砂堆はいずれの層においても他の砂堆と比べて Al、Fe、有機物量が多いことがわかった (表 3-3)。これらの物質は泥炭湿地より供給されていると考えられ、他の砂堆列とは土壌成分の供給に関して異なる性質を持つ。

一般に Entisols や Spodosols と呼ばれる土壌は農業利用には適さないといわれており、本研究対象地でも泥炭湿地にみられた *M. cajuputi* が点在した植生しかみられなかった。しかし同じ土壌条件に立地する集落の周辺では、ココナツのプランテーションがみられた。

表3-3 典型的な土壌断面における砂堆列群の土壌理化学的比較

Tab. 3-3 Comparison on soil chemical characteristics among four offshore bar groups

Site of Pedon	depth (cm)	pH 1:1 H ₂ O	Organic Carbon %	Fe ppm	Mn ppm	Extr.Al me/100 g	Sand %	Silt %	Clay %
Bar I	0-2	3.9	7.47	143	1.90	0.58	94.6	3.8	1.6
	2-54	5.8	0.11	12	0.08	nil	97.6	1.9	0.5
	54-60	4.3	6.14	25	0.10	12.45	89.4	9.5	1.1
	60+	4.8	2.69	3	0.08	2.48	94.8	4.7	0.5
Bar II-1*	0-10	4.4	3.28	13	0.90	0.68	96.3	2.2	1.5
	10-30	5.6	0.14	6	0.08	0.10	97.9	1.6	0.5
	30-51	5.3	3.58	5	0.14	11.47	96.0	3.5	0.5
	51-56	5.4	2.47	5	0.08	1.68	97.5	2.0	0.5
	56+	5.7	0.65	2	0.06	0.32	99.0	0.5	0.5
Bar II-2**	0-5	5.1	2.26	65	0.34	0.79	94.8	4.7	0.5
	5-20	5.5	0.43	3	0.06	0.44	94.8	0.2	5.0
	20-36	5.4	2.37	2	0.06	1.08	93.5	6.0	0.5
	36-50	5.8	1.10	2	0.06	0.46	97.0	2.5	0.5
Bar III	0-5	5.5	1.63	38	0.84	0.25	94.2	2.3	3.5
	5-18	5.7	0.56	4	0.12	0.16	94.2	3.6	2.0
	18-50	6.1	1.10	5	0.08	0.06	96.2	3.3	0.5
	50-70	6.3	0.04	18	0.10	0.01	97.2	2.3	0.5
Bar IV	0-10	4.8	1.94	52	14.04	0.11	91.8	5.2	3.0
	10-30	5.8	0.27	17	1.72	0.15	97.4	2.1	0.5
	30-50	6.2	0.45	18	1.20	0.14	97.9	1.6	0.5

* B horizon is well accumulated and very hard

** B horizon is accumulated but weak

3) 海成低地における詳細調査

前述したように、海成低地の泥炭湿地、砂堆列の生物生産力は低いと推測された。ここでは、生物生産に影響を及ぼす要因を明らかにし、その空間分布を把握することを目的とした。砂堆列には、熱帯の土壌の中でもっとも不毛な土壌といわれる水成ポドゾルが発達しており、植生学的にも固有の景観を持つものとして注目されている（松本、1995）。そこでこの土地環境における水成ポドゾルの生成過程を、砂堆列の地形的発達と比較した。また対象地域で大面積を占める泥炭湿地では、泥炭層の利用困難とあわせて、下層の海成粘土層の酸化により生じる硫酸酸性塩が生物生産の観点から注目されるため、海成粘土層の空間的分布とその理化学性を明らかにすることを試みた。

i) 砂堆列と水成ポドゾルの発達

湿潤熱帯の低地部にみられる砂質土壌では、地下水位の激しい変動により、鉄、アルミニウム、可溶性有機物の溶脱、次層への集積がみられる。この溶脱層、集積層の存在は、ココナツなどの木本植物の生育に大きく影響すると考えられている。

砂堆列の形状を図3-7に模式図として表現した。また各砂堆列で典型的な土壌断面を持つ地点における層位と理化学性を示したのが表3-3である。2つの大きな荒廃泥炭湿地の間に存在する砂堆列Ⅰは、幅数百mの平坦面を海側前面に持ち、その内陸側の堤間低地をはさんで、比高1~2mの砂堆が位置する。この砂堆の内陸側背面には花崗岩成堆積物と思われる陶土が砂丘砂の下層に見られ、明らかに他の浜堤群と性質を殊にする。

残す4つの砂堆列群は、大きな後背泥炭湿地より海側に位置する。これらの4つは、砂堆の規模、現在の汀線との斜行から分類された。砂堆列群Ⅱは、砂堆とその間の低地が細かく交互に繰り返す。他の浜堤群に見られるような、明らかにドーム状の構造を持った砂堆が確認されない。また砂堆の方向が、後背泥炭湿地の縁に対し平行ではなく斜行している。これは南側の縁に残丘とその堆積物が位置し、この砂堆列群が成立する以前の潮流の方向が変化していたためと考えられる。

砂堆列群Ⅱと砂堆列群Ⅲは、浜堤群Ⅱにみられる堤間湿地よりも幅が広く、泥炭層の発達が50~100cm程度みられる堤間湿地をはさんで区分される。この砂堆列群は、数本の堤間湿地に刻まれた砂堆列からなり、幅100m程度のドーム構造を持つ形状の砂堆である。

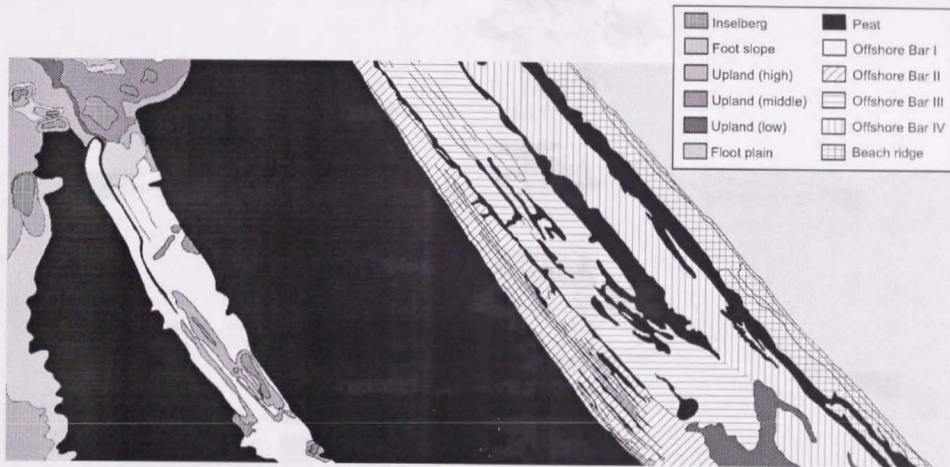


図3-6 海成低地部における空中写真を用いた地形分類図

Fig. 3-6 Land form classification map at lowland area

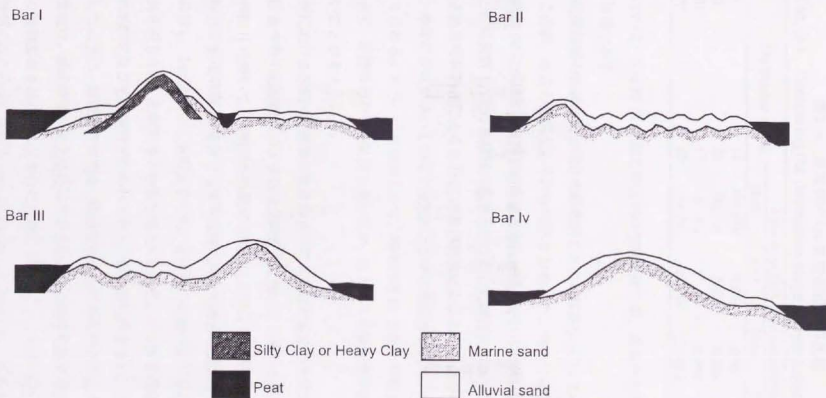


図3-7 砂堆列における模式断面図

Fig. 3-7 Schematic cross section on offshore bars

表3-4 水成ポドゾルの発達程度の比較

Tab. 3-4 Comparing the developing stage of hydropodzic horizon

	The number of site	Characteristics of Accumulation Horizon			
		Hard	Soft	None	Depth (S.D.:cm)
Bar I	12	100.0%	0.0%	0.0%	47.1 (8.7)
Bar II	26	96.2%	3.8%	0.0%	55.9 (20.6)
Bar III	17	47.1%	47.1%	5.8%	54.6 (12.6)
Bar IV	62	24.2%	48.4%	27.4%	54.9 (16.7)

砂堆列 IV は、浜堤列 III と似た砂丘列の形態を持つが、比高が大きく、その幅も大きいのが特徴である。

つぎに集積層の固結程度と深さを砂堆列ごとに比較を行った。この結果を表3-4に示した。この際、現在の海浜である砂堆列群 V は除いた。内陸に位置する砂堆列群 I から砂堆列群 IV にかけて、集積層の固結程度は減少していくのがわかる。さらに砂堆列群 III と砂堆列群 IV では集積層の確認されなかった調査区がみられた。これは砂堆列の形成された時間的差によるものと、砂堆の形状によるものと2つの理由が考えられる。つまり、砂堆の形成が早いものほど溶脱およびその集積が進んでいることが、1つの理由と考えられる。もう一つの理由として、砂堆列群 III と砂堆列群 IV では砂丘列の規模が大きく、堤間湿地からの比高も高いため、地下水の季節変動の影響を受けにくい場所が多いことが考えられる。

砂丘列における溶脱・集積層の発達のメカニズムは明確化されておらず、そのため集積層の位置やその固結程度のミクロな空間変化に関しても明らかにされていない。そこで浜堤列群 II において、集積層の特徴が空間的にどのように変化するかを調査した。浜堤列群 II と浜堤列群 III を分ける堤間湿地に対して垂直な調査ラインを、500m 間隔で3本設置し、2m 間隔で土壌断面を作成、集積層の位置的变化を記録した。調査ラインの位置を図3-8に、土壌断面の結果を図3-9に示す。この浜堤列群は、1970年代後半より、農地開発及び宅地開発が行われており、地表面は改変され、平坦化されている。図に示したように、集積層の発達、海成砂を中心にみられることがわかる。集積層の深さの変化は、海成砂層の変化に応じてみられ、この海成砂層の変化は、ライン右手にみられる堤間湿地を基点として平行に位置していることがわかった。各ラインの右手には、集積層のみられない場所が10m 程度に渡って確認され、これらの位置も、堤間湿地と平行に分布している。ライン1上では、砂堆における環境修復の一環として、造林施

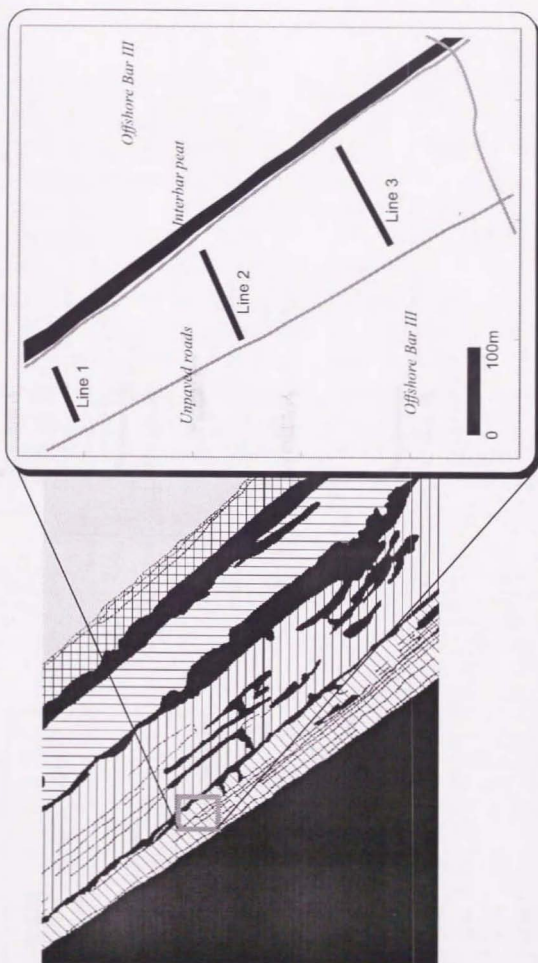
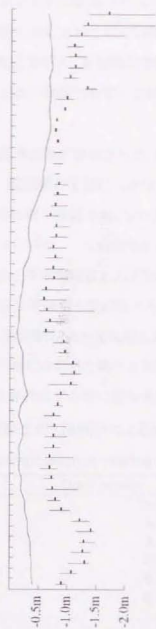
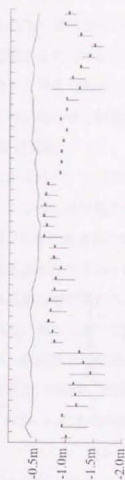
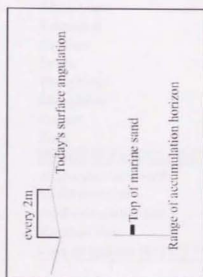


図3-8 集積層の空間的層位変化の調査地

Fig. 3-8 Study site of spatial variation in accumulation horizon



zero point revised by water level
on the channel located at right side

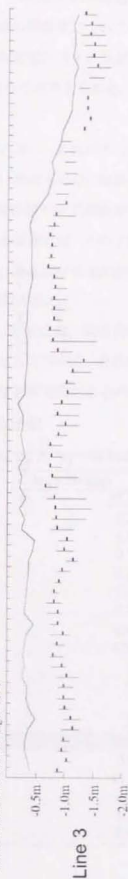


図3-9 砂堆列群IIIにおける集積層の空間的層位変化

Fig. 3-9 Spatial variation of accumulation layer on offshore bar group II

行が行われている。砂丘地において比較的成長の良い *Acacia mangium* でみると、集積層がみられない場所での生長量は高いという結果が得られている。これが集積層のあるなしに起因するものかについては明らかにされていないが、その可能性については十分にあり得ると考えられる。この調査結果から、集積層の空間的変化のパターンが特定できた。これはあわせて植物の生長がよい場所の特定にも結びつくと考えられる。

ii) 後背泥炭湿地

前述したように、2つの大きな後背湿地が確認された(図3-6)。あわせて土壌調査の結果、2つの泥炭湿地の間には、泥炭層の下層に大きな違いがみられた。海側の泥炭湿地では、下層に海成粘土層と海成砂層が確認され、特に海成砂層の上下変動が大きく、一部では地表面から10cm程度にみられた。一方内陸側の泥炭湿地では、その下層の大部分が海成粘土層で構成され、その上下変動はほとんどなく、地表面から2m前後に位置していた。また一部分には花崗岩成堆植物由来の陶土も確認された。

つぎに、海成粘土層の成分をX線回析によって比較した。分析には、両後背湿地の海成粘土層と、内陸側の泥炭地の下層にみられた陶土を試料として用いた。分析結果を表3-5に示す。この地域の泥炭湿地を利用する際に最も大きな制限要因になるのが、海

表3-5 海成粘土のX線回析による成分比較

Tab. 3-5 Comparing of composition in marine clay by X-ray method

Component		Outer swamp	Inner Swamp
Total content of Silicon	%	25.60	37.30
Aluminum	%	9.78	8.33
Iron	%	5.13	1.51
Titanium	%	0.48	0.75
Sodium	%	0.15	0.11
Magnesium	%	0.42	0.23
Potassium	%	1.21	0.37
Calcium	%	0.34	0.02
Sulfur	ppm	31755	4705
Phosphorus	ppm	140	90
Manganese	ppm	225	90
Copper	ppm	10	5
Zinc	ppm	80	26
Pyrite	%	5.53	0.79
Acid-extractable sulfur	ppm	15	335
Residual sulfur	ppm	31740	4370
Acid-extractable iron	%	0.88	0.24
Residual iron	%	4.25	1.27
Loss on ignition (450°C)	%	18.60	6.31

成粘土層のバイライトである。バイライトの酸化によって硫酸酸性塩が生じ、あらゆる土地利用を困難にするのであるが、この量が両泥炭湿地間で大きく異なるのがわかる。これは本来より含有率に差があったのではなく、内陸側の湿地では、すでにバイライトの酸化が起り、硫酸が流出したもとの考えられる。これは、内陸側の海成粘土層にバイライトが酸化して生じるジャロサイトの痕跡が確認されたことから理解される。海側の泥炭湿地では、地表面の沈下が観測されているが、これは泥炭層の分解によるものではなく、海成粘土層の熟成過程による土壌容積の影響と考えられる。それに伴い、硫酸塩の生成が行われるため、現在表層の泥炭層の酸性化が進んでいるのが確認された。

このように、砂堆および泥炭湿地の成立年代の違いが、現在における土地利用を著しく制限する要因と結びついていることが確認された。この違いは、土地利用計画の際に留意すべき空間要素とすべきである。海成粘土層の酸化過程には、明らかに人為的な促進作用がある。一方砂堆列における水成ポドゾルの発達に、人間活動がどの程度関与しているかについては確認できなかった。松本(1995)によると、この土壌の発達には自然状態で数百年あるいは数十年オーダーと考えられている。あわせて、森林の伐採により植物体を通した水分の蒸発量が減少するために、地中水の増加・地下水面の上昇が起り、このプロセスを促進している可能性があることを示唆している。このことから、水成ポドゾルの発達に、人間活動が促進作用として関わっている可能性があると考えられる。

第2節 土地環境毎の生物生産力把握

本研究では、丘陵地から丘陵緩斜面、海成低地部までを地形・土壌の連続体と捉え、地域全体の持続的な生物生産を考える。前節では、地形・土壌による土地環境区分とその配列をみた。ここでは、前節の地形・土壌の配列に沿って、現在の土地利用形態をもとに生物生産力を連続的に評価することを試みた。最後に、地域全体での生物生産性を評価する際の留意点を示し、総合評価の一指針を示した。

まず土地環境タイプと現在の土地利用を重ね合わせることで、生物生産力を評価する対象の抽出を試みた。また過去の土地利用の変遷も考慮した。抽出された土地利用形態により、それと結びつきが高かった地形・土壌単位ごとに生物生産性の評価を行った。結果に示すように、丘陵緩斜面から台地高位面にかけて広範に立地し、近年の面積

拡大が大きいゴム林、泥炭湿地から砂堆列にみられ、薪炭林として利用されている *Melaleuca cajuputi*。丘陵緩斜面と台地高位面、砂堆に位置し、潜在的な土地利用を示すホームガーデンの3つを評価対象とし、生物生産力の比較を行った。

1) 評価対象の抽出

この地域における生物生産性を現状の土地利用形態をもとに把握するために、地形・土壌タイプ別に典型的な土地利用形態の抽出を試みた。分析の対象は、本研究対象地を含むナラチワ県北部（北緯6度25分より北部）とした。地形・土壌図として、タイ国土壌調査部発行の100,000分の1土壌図を用いた（Soil Survey Division, 1975）。この土壌図は、土壌図の凡例とともに、各土壌タイプが立地する地形的な特徴も示されている。この情報と、前回得られた Bacho 地域の地形・土壌区分をもとに、地形分類タイプとの結びつきを確認しながら、地形・土壌区分への再構成を行った。土地利用の読み取りには、タイ王国調査局発行 50,000 分の 1 地形図を用いた（Royal Thai Survey Department, 1986）。各地図を 15 秒単位（約 450m）のグリッドに分割し、グリッド内に優占する土壌タイプ、土地利用を読みとった。2つの地図情報を重ね合わせ、Bacho 地域にみられた地形・土壌タイプにおいて、特徴的な生物生産的土地利用形態を抽出した。

クロス集計の結果を表 3-6 に示す。水域と生物生産に関係のない都市域、総グリッド数が 5 に満たない土壌タイプを削除した結果、8000 グリッドが分析対象となった。用いた土壌図は、Soil Taxonomy の分類体系に基づき 32 の土壌単位に分類されているが、Bacho 地域で確認された地形・土壌区分をもとに類似する土壌タイプを統合した結果、13 の地形・土壌タイプが得られた。また表に示す土地利用タイプは、タイ王国調査局発行 50,000 分の 1 地形図の凡例に従った。凡例の「dense forest」は、林冠密度が 80% 以上の森林を、「open forest」は、林冠密度が 60% 以上 80% 未満の森林にあたる。

カイ二乗検定の結果、土壌タイプと土地利用形態の間には極めて強い結びつきが確認された ($df=78$, $\chi^2=6,479.05$, $p<0.001$)。次に Bacho 地域でみられた地形・土壌区分の配列に沿って、土地利用との結びつきをみた。

dense forest と open forest は、丘陵頂部から丘陵急斜面の Slope Complex と強い結びつきがあることがわかった。丘陵部から平地部にかけての丘陵緩斜面や台地高位面の赤黄色ポドゾル性土壌 (Red-Yellow Podzolic soils) には、ゴム林をはじめとするブラ

表3-6 ナラチワ県北部における地形・土壌タイプと土地利用の関係

Tab. 3-6 Relationship between landform - soil types and land use in the southern part of Narathiwat.

Soil Classification	Landform Type	Dence forests	Open forests	Plantation	Rice fields	Swamp forests	Grass lands	Villages	Total
Slope Complex	Hill top and steep slope	587*	490*	337	40	3	0	20	1477
Red-Yellow Podzolic soils	Foot slope	154	167	1196*	157	25	0	24	1723
Reddish-Brown Lateritic soils	Foot slope	0	1	55	8	8	0	3	75
Red-Yellow Podzolic soils	Upland (high)	10	17	237	84	17	0	14	379
Gray Pozolic soils	Upland (high)	66	26	166	95	0	0	17	370
Low-Humic Gley soils	Upland (low)	8	96	352	360*	18	1	61	896
Hydromorphic Alluvial soils & Low-Humic Gley soils	Upland (low)	26	32	511	318	25	0	63	975
Peat and Muck soils	Back marsh	62	125	112	84	489*	42*	11	925
Low-Humic Gley soils & Red-Yellow Podzolic soils	Flood plain	1	0	75	35	7	0	6	124
Hydromorphic Alluvial soils	Natural levee	1	0	12	41	2	0	0	56
Hydromorphic Alluvial soils	Offshore bar	18	37	81	140	90	2	28	396
Ground-Water podzol soils	Offshore bar	0	8	48	21	35	0	25	137
Hydromorphic Alluvial soils	Former tidal flat	2	70	136	65	152*	15	27	467
Total		935	1069	3318	1448	871	60	299	8000

*: positive relationship ($p < 0.01$)

表3-7 ナラチワ県における農業的土地利用の変遷
(Narathiwat Provincial Statistical Office, 1994より引用・改変: ha)
Tab. 3-7 Agricultural land use change in Narathiwat Province (ha)

Year	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
Paddy land	39269	39832	38157	31949	32080	33118	26256	25619
Field crops	337	279	257	191	205	224	214	199
Fruit trees and tree crops	95501	98502	101800	124389	142150	154585	165101	180227
Vegetable and flowers	142	195	178	220	212	209	204	220
Livestock farm area	472	550	723	1312	900	1260	776	1123
Idle land	7419	7059	8698	6501	6797	5974	5186	4961
Housing area	5096	4962	5091	4189	4344	4454	4564	4808
Forest land	87393	86600	84248	81961	79735	79700	75634	71775
Total	235629	237979	239152	250712	266421	279523	277935	288932

ンテーションとの結びつきが高かった。台中位面から低位面の低腐植地下水還元粘土性土壌 (Low-Humic Gley soils) には、水田がつよく結びついていた。海成低地の泥炭湿地土 (Peat and Muck soils) には、当然ながら湿地林がみられ、さらに草地との結びつきが確認された。この地域の湿地林はすでに開発されており、その多くは *M. cajuputi* であることは上述したとおりである。この湿地林は砂堆の水成ポドゾル性土壌とのむすびつきも高かった。実際この土壌にも *M. cajuputi* が分布しているが、堤間低地部に泥炭土がみられ、今回用いた土壌図の精度が土地利用図より低かったために、堤間低地がグリッドとして反映されなかったことも原因と考えられる。

ナラチワ県の統計資料 (Narathiwat Provincial Statistical Office, 1994) をもとに、1981年から1991年までの土地利用変遷を示したのが表3-7である。これによると果樹または木本作物の増加がきわめて大きいことが確認される。1993年における果樹および木本作物の内訳をみると、面積からゴム林 (*Hevea brasiliensis*)、ココナツ (*Cocos nucifera*)、ロンコーン (*Lansium domesiticum* var. *duku*)、ドリアン (*Durio zibethinus*) の割合が高いことがわかる (図3-10)。近年この地域における土地利用要求は、こうした木本作物があることが考えられる。

この地域では、地形・土壌と土地利用との結びつきが強いことがわかった。そのなかで、丘陵緩斜面から台地高位面にかけてゴム林のプランテーション、泥炭湿地と砂堆列における *M. cajuputi* の結びつきが強く、それぞれの立地における評価対象とした。統計資料からみて将来的に果樹園が拡大していくと示唆されたため、上述した以外の果樹を多く包含しているホームガーデンを用いて、立地の違いによる生育可能な樹種の推定

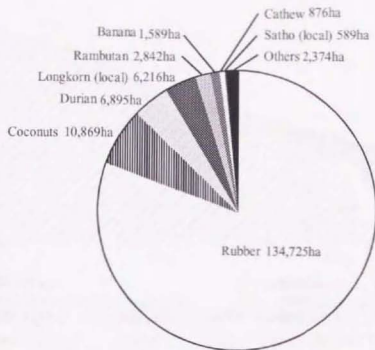


図3-10 ナラチワ県における木本作物の面積内訳
(Narathiwat Provincial Statistical Office, 1994)

Fig. 3-10 Planted area of fruit trees and tree crops in Narathiwat Province
(Narathiwat Provincial Statistical Office, 1994)

とその潜在性を探る意味からも、立地間の比較と生産力評価を行った。

2) ゴム林による丘陵緩斜面と台地高位面の生産力評価

ゴムのプランテーションは、この地域に最も優占する土地利用形態である。近年果樹園への転換が増え、徐々に面積が減少しつつあるが、依然この地域での主要な農産物である。ここではゴムの生長量をもとに、残丘・丘陵緩斜面から台地高位面にかけての生物生産力の評価を行った。

残丘頂部から台地まで、同時期に植林された10年生のゴム林を対象に、地上部現存量の変化を連続的に把握した。残丘頂部から幅20mのトランセクトを設置し、10m毎にゴムの地上部現存量の変化を比較した。ここでいう現存量は、胸高断面積と樹高の積で求められる体積とした。調査区内にみられるすべての個体で現存量を測定し、各調査区ごとの平均値を、10年間の累積生産量として考えた。また調査区内の地形計測と土壌断面調査により、地形・土壌断面図を作成した。得られた結果をもとに、10年間の累積生長量と、地形・土壌の関係をみた。

調査結果を図3-11と図3-12に示す。残丘頂部から順に見ていくと、有効土層の薄い

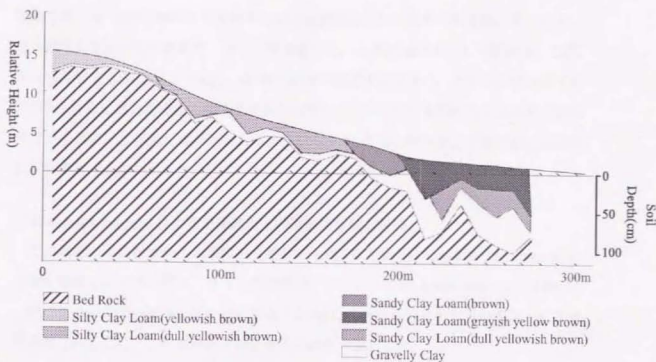


図3-11 鳥状丘から台地高位面に立地するゴム林における地形・土壌断面図

Fig. 3-11 Landform - soil cross section on the rubber plantation.

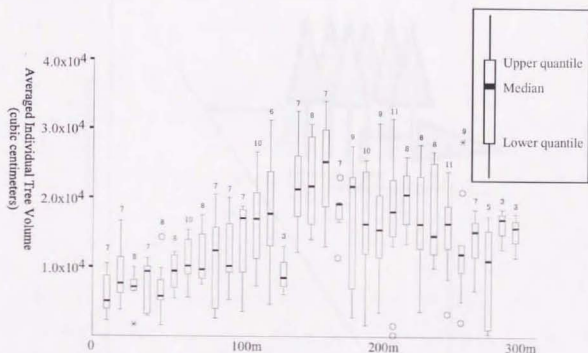


図3-12 地形・土壌断面(沿ったゴムの材積量変化:
ボックスの上に示した数字は観測された個体数

Fig. 3-12 Variation of tree volume of rubber individuals
along the cross section shown on Fig. 3-11

頂部では、10年間の蓄積生長量は小さい。丘麓緩斜面にかけて有効土層が厚くなり、地上部現存量も増加を見せた。さらに斜面を下と、A層の土性がシルト質埴壤土 SiCL から砂質埴壤土 SCL へと変化し、砂質の割合が増加するに従い、再び現存量は減少を見せた。さらに斜面を下と地下水位面が相対的に高くなり、季節的な冠水の様子を示すグライ色を呈する還元斑がみられるようになった。それに伴いゴムの現存量も漸次的に減少することがわかった。

3) *Melaleuca cajuputi* による泥炭湿地と砂堆列の生産力評価

この地域の泥炭湿地やその開発の失敗した土地、浜堤地上に分布する *M. cajuputi* は、薪炭や建材として地元住民にとって有効活用されている (Brinkman and Xuan, 1991)。一般に生産力の低い場所に広く分布するこの林は、これからの有効利用が期待される地域資源であるため、この樹種を生物生産性の評価対象とした。

この種は同種同齢の林分を構成する。こうした林分では自己間引き現象が起こり、自

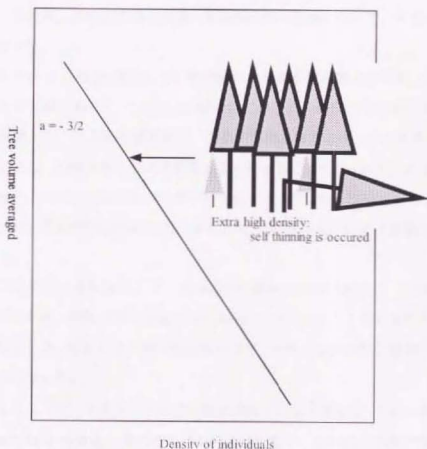


図3-13 自己間引き現象の模式
Fig. 3-13 Self-thinning schema

己間引きの起こっている林分における平均個体重 b と単位面積当たりの個体数 d には、次のような比例式が成り立つことが知られている（図 3-13 参照）。

$$b \propto d^{1/2}$$

この式から、ある密度における最大地上部現存量、つまり潜在生産量を推定できる。さらに、上記比例式を土壌条件の異なる林分で算出し、ある立木密度での潜在的な最大生産量の差を推定できる。今回は、泥炭地から砂堆へのシークエンスを考え、泥炭層の厚い湿地、薄い泥炭地（泥炭層 1m 未満）、砂堆列の 3 つの土壌条件を選抜し、*M. cajuputi* による生産力の変化を比較した。

調査は、上記 3 つの土壌条件の下、生育段階の異なる林分に 10 x 10m の調査区を設定した。場所によっては均質な林分がこの範囲でとれなかったため、調査区の大きさを縮小したところもある。この場合、100m²あたりの値に変換して後の分析に使用した。調査区を設定するときに、自己間引きの起こっている林分かどうかの判定は、樹冠が密閉しているかどうか、自己間引きにより枯死している個体が見られるかどうかで行った。調査区数は、砂堆列、泥炭層の薄い湿地、泥炭層の厚い湿地において、それぞれ 13、5、8 調査区となった。

各調査区において、林冠を構成している全個体の胸高直径と樹高を計測した。本来個体重を測定する必要があるが、ここでは各調査区における一個体の平均地上部現存量を個体重に置き換えた。現存量の推定値は、胸高断面積と樹高の積により推定した。

各調査区ごとに、一個体あたりの平均現存量の推定値と、100m²あたりの立木密度を求め、各土壌タイプごとに両対数の回帰分析を行った。得られた回帰式をもとに、それぞれの土壌で持ち得る潜在的な最大現存量を比較、*M. cajuputi* による生物生産力の変化を把握した。

回帰分析の結果を、図 3-14 に示す。泥炭の厚い湿地と砂堆において、1%水準で有意な回帰式が得られた。泥炭の薄い湿地では、調査区の少なかったこともあり有意な回帰式は得られなかった。しかしその散布状況から見て、砂堆と泥炭の厚い湿地の中間に位置することがわかった。

方法に示したように、本来なら回帰式の傾きは-1.5 でなければならない。今回得られた回帰式の傾きは-2 前後と、予想値より小さくなったが、これは個体重ではなく材積を用いたこと、材積を円柱による推定値で代表させたことが考えられる。しかしここで

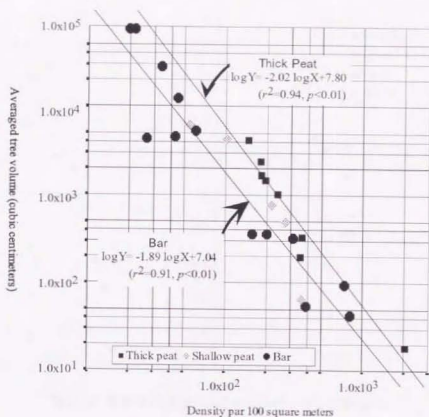


図3-14 異なる土壤条件における *Melaleuca cajuputi* の潜在生長量

Fig. 3-14 Potential growing of *Melaleuca cajuputi* on three soil types.

注目すべきは、回帰式以上に、立木密度 200 本/100m² 付近にある平均個体の現存量が、3つの土壤条件下で異なることである。

この回帰式から、砂堆から泥炭の薄い湿地、泥炭の厚い湿地へと、ある立木密度における一個体あたりの現存量が増加することがわかった。つまり一個体がある一定の材積に達するのに要求する土地面積は、この順に狭くなることを意味し、この順に単位面積当たりの *M. cajuputi* の生育ポテンシャルが高いと解釈できる。

4) ホームガーデンにおける生物生産の評価

ホームガーデンは、持続可能な土地利用形態として近年大きな注目を浴びている。ここは、ホームガーデンがどのような種類の植物から構成されており、その構成が立地の違いによりどのように異なるかを明らかにすることを目的とした。

集落が多く成立している丘陵緩斜面、台地高位面、砂堆列を比較対照とした。ただし砂堆列には、1975年に政府援助により区画整備された集落（砂堆列Ⅱに位置する）と、

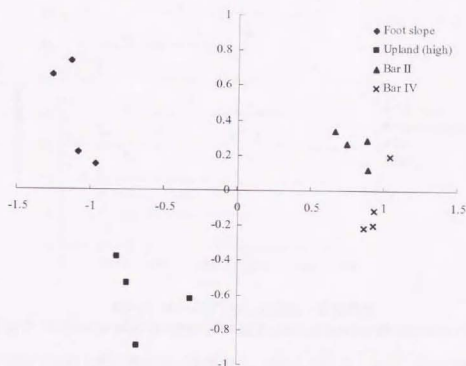


図3-15 多次元尺度法によるホームガーデンの類型化

Fig. 3-15 Ordination of home garden by multi scaling analysis

自然発生的なもの（砂堆列 IV に位置する）とがあったため、両者は分けて調査・分析を行った。また砂堆列において、植物の生育に影響を及ぼすと考えられる水成ボドソルの発達程度が、内陸から現在の海岸線に向かって連続的に変化することが確認されているため、この意味からも、内陸側の集落と現在の海岸線に近い集落を分けて調査を行った。それぞれの立地において、平均的な家屋の形態と、家屋周辺の庭がある程度の広がりを持って確認された家を4軒、総数16軒を選び、調査を行った。調査内容は、家屋周辺にみられる庭を構成する、樹高1.5m以上の樹木を対象に、胸高断面積と樹高を測定し、種名とともに記録した。

得られたデータをもとに、立地の違いによるホームガーデンの構成樹種が異なるのかを明らかにするために、各樹種の出現回数による調査地の類型化を行った。調査地の序列化には、各樹種の出現回数をもとにしたパーセント類似による多次元尺度構成法を用いた。その際対象地の面積が異なったため、10aあたりの個体数に換算して類似度の算出を行った。また立地の違いによる樹種の多様性を比較し、ホームガーデンの構成樹種からみた各土地環境の潜在的な生産力の比較を行った。

ホームガーデンを構成する樹種の出現回数による調査地の類似性を、多次元尺度法に

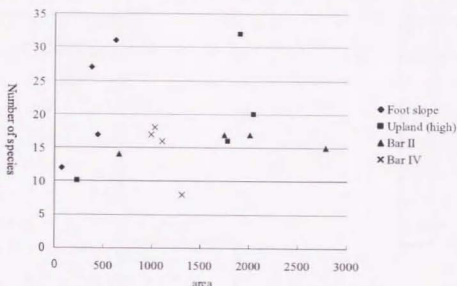


図3-16 ホームガーデンの種数-面積関係

Fig. 3-16 Relationship between area and species number in home gardens

より第2軸まで布置した結果が図3-15である。図からわかるように、立地の違いによりホームガーデンを構成する樹種の出現パターンが異なることが明らかになった。第1軸で、丘陵緩斜面と台地高位面のホームガーデンと、砂堆に位置するホームガーデンが大きく分かれ、第2軸で、丘陵緩斜面と台地高位面が大きく分かれた。

立地の違いによりどのような樹種の違いがあるのかを、表3-8に示した。表内の数値は、単位面積あたりの出現個体数を示し、小数点以下は四捨五入して整数部だけを表示した。全地点に共通して出現する樹種は、マンゴーやグアバ、ジャックフルーツといった果樹であった。丘陵緩斜面と高位台地面に特徴的な樹種として、ロンコーンやバナナ、ドリアンなどであり、これらは商品価値が高い果実である。これら2つの立地は、多次元尺度法の結果によると出現パターンが異なることが示された。この違いを反映し、丘陵緩斜面に特徴的な樹種として、キャッサバ、ランブータン、パパイアといった果樹があげられた。また砂堆列に特徴的な樹種として、ココナッツとカシューナッツがあげられた。砂堆列に立地するホームガーデンの中で、現在の海岸線に近い場所ではライムや、建築材として砂堆列の集落に限らず広く用いられるバヨームやマオがみられた。このように、立地によるホームガーデンの構成樹種の違いが明らかになった。

次に、種の多様性によるそれぞれの立地の潜在的な生物生産力を比較した。調査地の家屋部分をのぞいた庭の面積と、種数の関係を示したのが図3-16である。均質な植物群集では、面積と種数には対数級数則の関係があることが知られている(Arrhenius,

表3-8 ホームガーデン構成種の違い
Tab. 3-8 Variation of home garden composition

Common name	Species	Family name	Main usage	F1	F16	F17	F2	U10	U11	U3	U9	Ib5	Ib6	Ib7	Ib8	Ob20	Ob21	Ob22	Ob24	Total
Mango	<i>Mangifera indica</i>	Anacardiaceae	eating fruit	13	8	2	5	1	2	17	1	11	16	15	4	14	8	3	6	124
Guava	<i>Psidium guajava</i>	Myrtaceae	eating fruit	13	3	3	1	1	1	7	3	2				2			1	36
Neem tree	<i>Azadirachta indica</i>	Meliaceae	building material	10	11	2	1	1	8	1	25		4			5				68
Jack-fruit tree	<i>Artocarpus heterophyllus</i>	Moraceae	eating fruit	13			5	1	0		1	4	5	7	2	3	1	1	3	46
Tamarind	<i>Tamarindus indica</i>	Caesalpinaceae	eating fruit		5	6		2				1		1	1		5	1	1	22
Pomelo	<i>Citrus grandis</i>	Rutaceae	eating fruit		5		2	1			2						2	2		15
Satho (local)	<i>Parkia speciosa</i>	Fabaceae	eating fruit	3	5	2	2	2	4	1	5	2			2		1	0	0	28
Wax apple	<i>Eugenia javanica</i>	Myrtaceae	eating fruit	8	2		1		13		1	1	2	1		3	0	2		33
Longkorn (local)	<i>Lansium domesticum var duku</i>	Meliaceae	eating fruit	92	160	54	52	13	39	59	66								1	537
Banana	<i>Musa spp.</i>	Musaceae	eating fruit	66	63		2	23	0	17		5						1		177
Santol	<i>Sandoricum indicum</i>	Meliaceae	eating fruit	10	5		2		4		1	2	1							25
Duku (local)	<i>Lansium domesticum var. typicum</i>	Meliaceae	eating fruit	10	2	2			0	8										23
Durian	<i>Durio zibethinus</i>	Bombacaceae	eating fruit	16			1	3		3										23
Rambai	<i>Baccaurea molleyna</i>	Euphorbiaceae	building material	3	2		1	0	1											6
Areca-nut palm	<i>Areca catechu</i>	Palmae	building material			32	11	4	3											50
Cassava	<i>Manihot esculenta</i>	Euphorbiaceae	eating root	66	3	2						3				8		0		81
Rambutan	<i>Nephelium lappaceum</i>	Sapindaceae	eating fruit	13	13	16		1	1	2									0	46
Khileg (local)	<i>Cassia stamea</i>	Caesalpinaceae	cooking leaf	13	10	2			1			1	7			2	1	1	0	38
Papaya	<i>Carica papaya</i>	Caricaceae	eating fruit	13	3	2	2	1			1	1				2		1		25
Nieng (local)	<i>Pithecellobium jiringa</i>	Fabaceae	eating fruit	18																18
Jumada	<i>Artocarpus integra</i>	Moraceae	eating fruit	10	3	2		1						1						17
Star goose berry	<i>Phyllanthus acidus</i>	Euphorbiaceae	eating fruit	5	2			1		1		1								9
Orange	<i>Citrus spp.</i>	Rutaceae	eating fruit	5			1											0		6
Marian plum	<i>Bouca spp.</i>	Anacardiaceae	eating fruit	5			1													6
Sapodilla	<i>Achras zapota</i>	Sapotaceae	eating fruit			2	2													6
Cocoanuts	<i>Cocos nucifera</i>	Palmae	eating fruit	13		14	2	10	14		5	30	26	23	26	18	10	10	12	216
Cashew	<i>Anacardium occidentale</i>	Anacardiaceae	eating fruit			3		4	1			7	11	3	11	14	1			54
Lime	<i>Citrus aurantifolia</i>	Rutaceae	eating fruit			3						2				5	2	14	1	28
Sugar apple	<i>Annona squamosa</i>	Annonaceae	eating fruit										1	1		2	8	3	3	17
Payom (local)	<i>Strychnos spp.</i>	Loganiaceae	building material													18				18
Mao (local)		Myrtaceae	building material													2			0	3
Soursoy	<i>Annona muricata</i>	Annonaceae	eating fruit			2			0			7								9
Bougainvillea	<i>Bougainvillea spp.</i>	Nyctaginaceae	enjoying flower			2											2	1		5
Rubber	<i>Hevea brasiliensis</i>	Euphorbiaceae	sapping					1	3				1							4
Flat tery	<i>Morinda citrifolia</i>	Rubiaceae	eating fruit			3								1						4
Croton	<i>Condiacum variegatum var pictum</i>	Euphorbiaceae	enjoying leaf		3				1											4
Mangosteen	<i>Garcinia mangostana</i>	Clusiaceae	eating fruit						2		1									3

1921)。本調査の場合、人工的に作られた空間であるため、この関係は成り立たないが、面積の異なる対象地が混在する中で、立地の違いによる種組成の多様性を知る一つの規準として、種数-面積の関連をみると、丘陵緩斜面に立地するホームガーデンは、面積が小さいにも関わらず種数が豊富であることがわかった。そのほかの立地では、面積の違いによる種数の変化はみられなかったが、高位台地面の調査区の1つで種数が豊富であり、内陸の砂堆列で種数の少ない調査地が1つ確認できた。出現個体数をもとに、Shannon-Weaver の多様性指数による各立地間の比較を行ったのが図 3-17 である。立地の違いによる違いは確認されず、いずれのホームガーデンも複雑な種構成を持っていることがわかった。しかし樹高階別の種構成をみると、樹高階の低いところでは立地の違いが確認されないが、樹高階が高くなるにつれて、砂堆列におけるホームガーデンは多様度が急激に減少していくのがわかった(図 3-18)。実際の種構成をみると、砂堆列のホームガーデンでは高木層のほとんどがココナッツで構成されているのに対し、丘陵緩斜面と高位台地面では高木層も多くの樹種から構成されていることがわかった(図

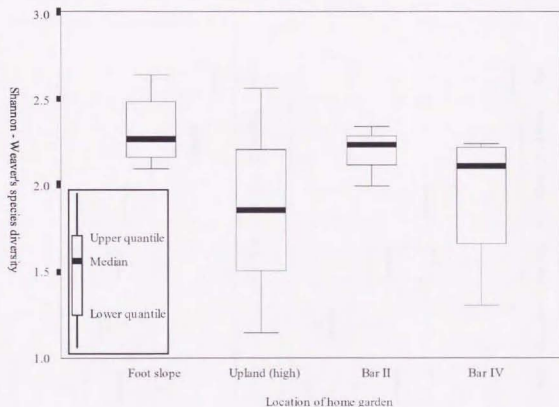


図3-17 立地間の種の多様性

Fig. 3-17 Comparison of species diversity among the location of home garden

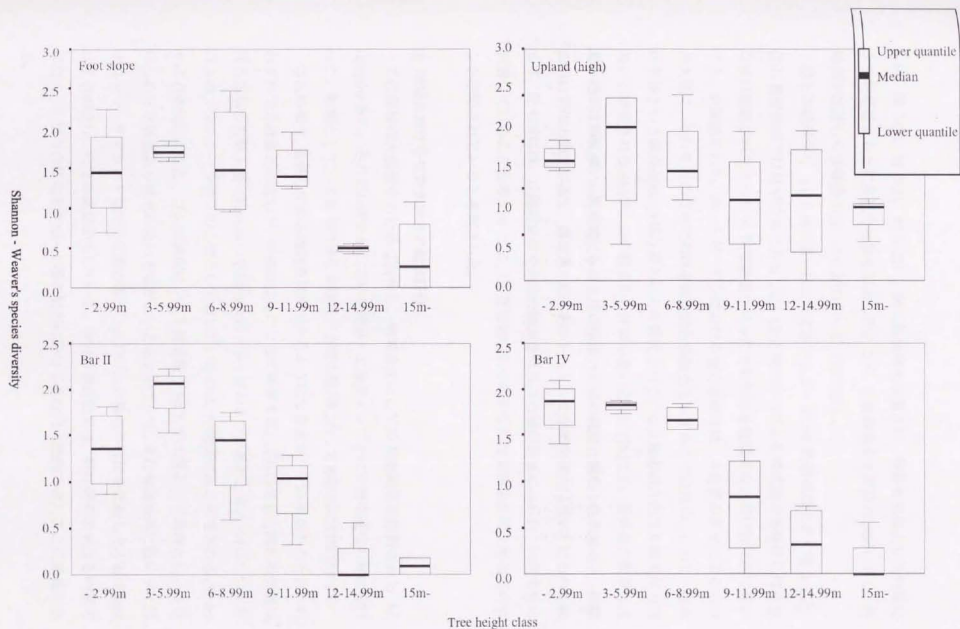


図3-18 樹高階別にみた種多様性の変化

Fig. 3-18 Changing pattern of species diversity by tree height classes

3-19, 図 3-20, 図 3-21, 図 3-22)。胸高断面積を底面とし、樹高を垂線とした円錐による材積量をもとに多様度指数を算出したところ、丘陵緩斜面と高位台地面に対し、砂堆列では著しく多様度が低いことがわかった(図 3-23)。

以上の結果から、(1)立地の違いによってホームガーデンの種構成は大きく違うこと、(2)丘陵緩斜面では種が豊富であること、(3)立地の違いによる構成種の多様性には有意な差は確認されなかったが、階層構造からみた多様性は丘陵緩斜面と高位台地面で高いこと、が確認された。ホームガーデンにおける種の多様さは、所有者の意志によるものが大きく、それぞれの立地における潜在的な多様さを示すものではない。しかし、樹木の生長という観点から、多様な高木により構成されている立地の潜在的な生物生産力が高いと評価される。しかしこの観点から評価が低い立地においても、種構成の複雑さが高い結果は興味深い。広域的にみた土地の生産力評価の結果と照らし合わせると、樹高の高い個体の密度が低く、構成種も限られ、トータルな生物生産力は低い。にもかかわらず、低木層には、丘陵緩斜面や高位台地面とは異なる種が豊富にみられ、日常生活に密着していることを考えると、こうした立地におけるあらたな生物生産的土地利用のヒントが隠されていると考察された。

5) 地域における生物生産力の総合評価

この地域の大部分を占めるゴム林と、地域資源としての有効利用が期待される *M. cajuputi* から、それぞれが立地している地形・土壌タイプごとに生物生産性の評価を行った。結果として、生産力の変化を地形・土壌の配列に沿って連続的に把握できた。

ゴムの場合、造林してから樹液を採取できるようになるまで7~10年かかると言われ、わずかな立地適正の違いが、将来の収益に大きく影響する。ゴムの生長に関わる要因は、残丘頂部の有効土層と段丘面の季節的な地下水上昇の2つがあると考えられた。つまりゴムのプランテーションの立地として適しているのは、丘陵緩斜面と示唆される。Syers *et al.* (1995)によると、ゴムの適地にシルト質壤土 SiCL が土性として最適とし、さらにしめった状態より排水の良い土壌がよいと示されている。また本調査地に近いタイ国ナコンシ・タマラート県で、立地の違いによるゴムの樹液の収量を比較した Van Ranst *et al.* (1996)も、同様の結果を示している。今回の調査結果は、既往研究の単なる再現ではなく、生産力の変化を地形・土壌の配列に沿って連続的に把握できたことに意義がある。

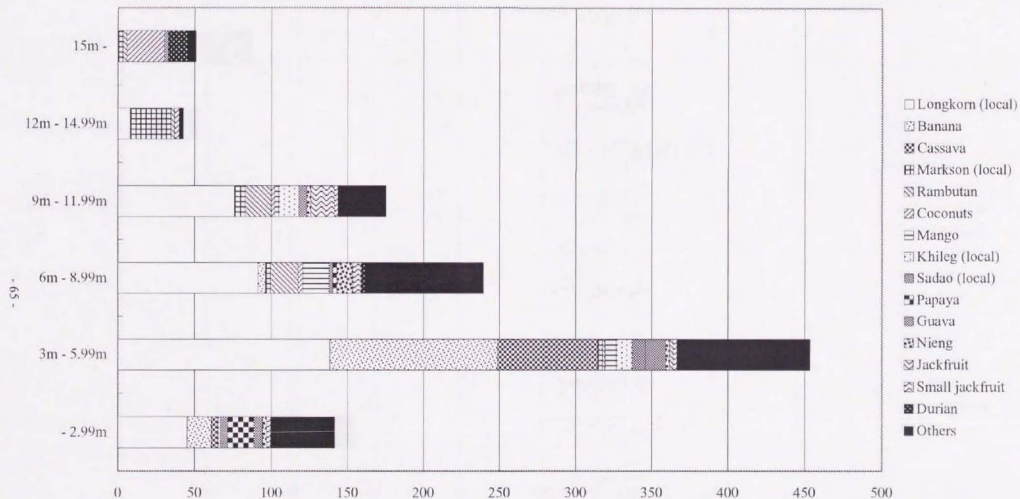


図3-19 丘麓緩斜面における樹高階別種構成

Fig. 3-19 Species composition by tree height class at the home garden on foot slopes

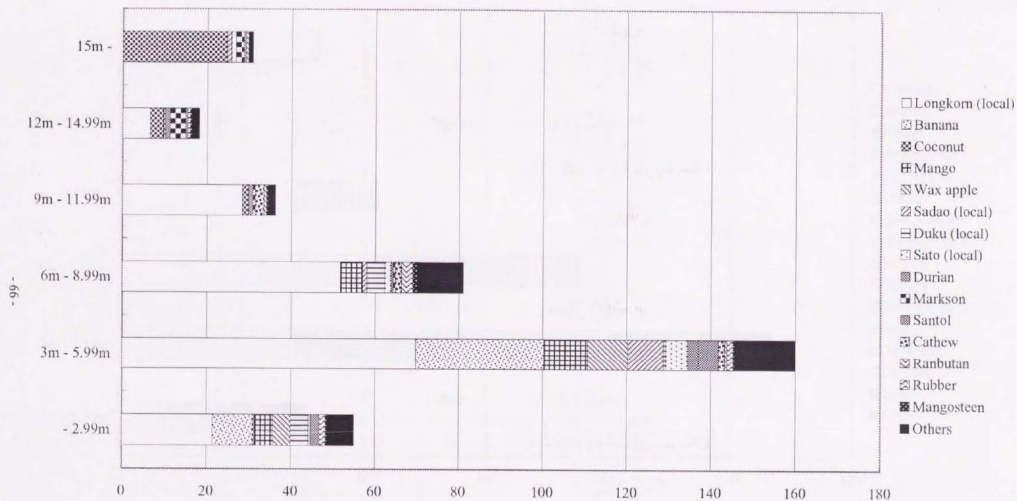


図3-20 台地高位面における樹高階別種構成

Fig. 3-20 Species composition by tree height class at the home garden on high upland

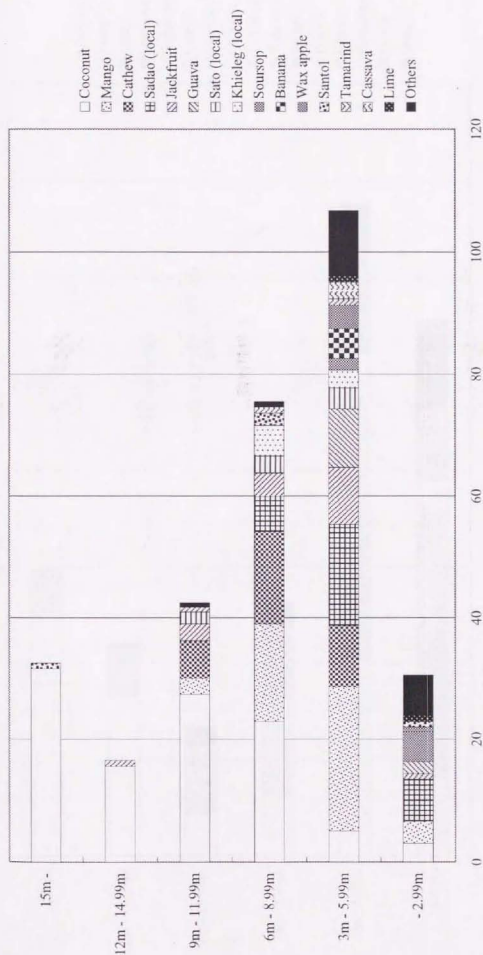


図3-21 砂堆列群IIIにおける樹高階別種構成

Fig. 3-21 Species composition by tree height class at the home garden on bar group II

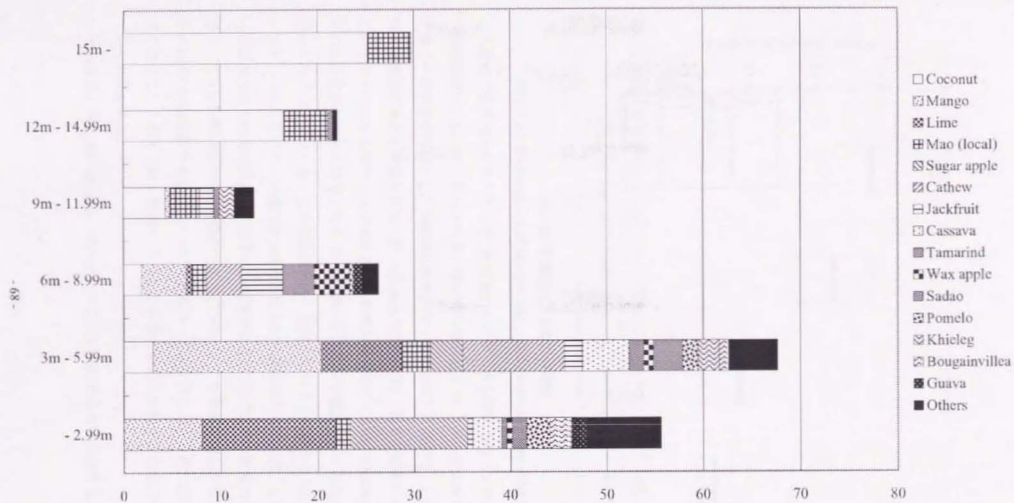


図3-22 砂堆列群IVにおける樹高階別種構成

Fig. 3-22 Species composition by tree height class at the home garden on bar group IV

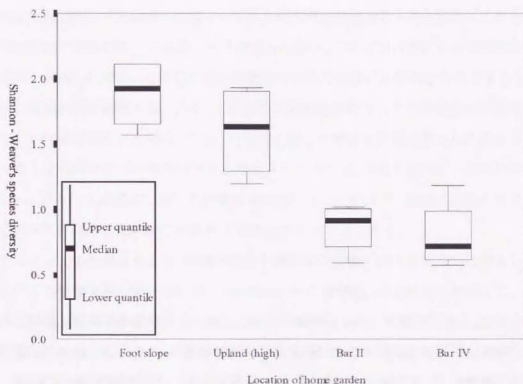


図3-23 材積量による種の多様性

Fig. 3-23 Comparison of species diversity by individual tree volume

この地域で農業利用を考えると、泥炭地の存在が大きな問題となっている。泥炭の厚い湿地の部分において、もっとも高い潜在的な生長量を *M. cajuputi* はみせたが、決して驚くべき結果ではない。この植物は本来泥炭土壤に適した植物で、生理的適地がこの土壤環境にあると考えられる。*M. cajuputi* の生長には、通常の植物には毒性を持つというアルミニウムが不可欠であるという結果が報告されている (Osaki *et al.*, 1995)。そのため泥炭の厚さの影響と別に、泥炭の厚いところの下層にみられる海成粘土から供給されるアルミニウムを、この植物は巧みに利用していると示唆される。

また、ホームガーデンの構成種とその多様性から評価を行った結果、生物生産力が低いと推測された砂堆列においても多様な樹種が生育しており、その樹種群を明らかにできた。こうした種は砂堆列に特徴的であることから、この環境に適した樹種と予測される。本来の分布域まで今回は明らかにできなかったが、砂地という潜在的な生産力はあまり高くはないと考えられる場所も、もうした樹種による土地利用と生産力の評価を行っていく必要がある。

今回はゴム林と *M. cajuputi*、ホームガーデンの構成種とその多様性を対象に、それ

ぞれが生育適地とする地形・土壌タイプの生物生産力評価を行った。しかしこれらが絶対的な評価ではないことに留意しなければならない。例えばゴム林によって泥炭湿地と砂堆列を評価した場合、おそらく泥炭湿地での生産力は低いと評価されるであろう。一般的に農業利用が困難と考えられる、潜在的に硫酸酸性化のおそれがある泥炭湿地において高い評価が得られたのは、こうした環境に適した植物を評価基準とした結果である。様々な土地環境タイプの複合体である地域スケールでは、生物生産力を一義的に評価できない。個々の土地環境に適した評価対象を用いることにより、地域全体の生物生産力を多面的に評価し、最終的に統合化する方法をとるべきである。

そこで以上の結果をもとに、湿潤熱帯の土地環境の生物生産力を総合的に評価した。ゴムによる生物生産力の評価には、Van Ranst *et al.* (1996)による研究も参照した。この際潜在的な土地利用の多様性を考慮し、総合評価を行った。広域的な過去20年の土地被覆変化にみられたように、丘陵緩斜面から台地高位面の可能な土地利用の多様性は高く、さらに経済的価値の高いゴムや果樹の生産力も高いと評価され、この地域において最も生物生産力が高い土地環境と評価された。他の土地環境では可能な土地利用の多様性は低い、それぞれの土地環境に適した植物による生産力の評価は高く、とくに泥炭湿地に生理的適地を持つと考えられる *M. cajuputi* は、さらなる有効利用が期待される。砂堆における生物生産力は、広域的、事例地における把握の両方においても生物生産力は低いと評価されたが、砂堆列群に特異なホームガーデンの構成樹種群による土地利用は、潜在的に可能と考えられ、今後の詳細調査が期待される。

以上のことを考慮して、持続的生物生産のための土地利用を策定する際には、それぞれの土地環境に適した土地利用形態の抽出が求められる。ホームガーデンの樹種構成もそうであるが、台地低位面の水田利用がその典型であると考えられる。さらに泥炭湿地という土地環境に適した植物は、経済的価値こそ高いとはいえないが、生産力の観点から高い評価を得た。本来土地が荒廃したといえる土地環境でも、適当な評価対象を選抜できれば、生物生産力の評価も変化することに注目しなければならない。

第4章 総合考察と湿潤熱帯低地における土地利用の考え方

第1節 持続可能な生物生産に向けた土地環境保全

今回示したような、地形・土壌分類による環境特性の把握は、農業的土地評価の基礎となり、実現性のある土地利用計画を策定するのに必須なものである (Dijkerman and Miedema, 1988)。この論文では、土地環境がどれだけ外的な変化に対して耐性があるかをとらえ、持続可能な生物生産のために必要な、生態学的に安定なシステムの確保を主眼として研究を進めてきた。湿潤熱帯低地とその周辺における土地環境特性を地形・土壌からとらえた結果、持続可能な生物生産にかかわる要因として、開発に対し不可逆的な変化を示す土地環境と、潜在的に生物生産力の低い土地環境の存在という、2つの問題点が整理された。開発に対し脆弱な土地環境として、泥炭湿地があげられる。また潜在的に生物生産力が低い土地環境として、砂堆列があげられる。

外部からの作用により不可逆的な変化を示す泥炭湿地の中で、下層に熟成度の低い海成粘土層を持つ泥炭湿地は、とくに硫酸酸性化の危険性が高い。不適切な排水による地下水位の低下は、著しい土地の硫酸酸性化につながることを考慮しなければならない。今回の調査結果によって、泥炭湿地の下層には海成砂や熟成度の異なる海成粘土、花崗岩由来の陶土がみられ、それぞれの深さは様々であることがわかった。この下層の状況が表層に大きく影響することを考えると、とくに下層に海成粘土層があるところの空間的位置と、層位を明確にすることが重要となる。また同じ海成粘土でも、熟成過程の途中にあるものは、自然状態で脱水収縮を受けるため、より硫酸酸性を産出する可能性があることに留意すべきである。今回示されたように、砂堆列を挟むふたつの泥炭湿地のうち、海側の開発区域に指定されている湿地にみられる海成粘土層は、ほとんど熟成していないという結果が得られた。このため、この区域の泥炭湿地の開発は、内陸側の泥炭湿地よりも十分な注意をはらう必要がある。

つぎに潜在的に生物生産力が低い土地環境タイプとして、砂堆列があげられる。衛星画像による広域的な生物生産力の推定結果と、地域スケールで確認された特定の土地利用に対する生物生産力や、土地利用の可能性を比較した結果においても、この土地環境タイプの生物生産力は低いことがわかった。また、この土地環境下に立地するホームガ

ーデンの樹種構成を、丘陵緩斜面や台地高位面に立地するホームガーデンと比較した結果、ホームガーデンの階層構造は単純であり、とくに高木層における種多様性が低いことがわかった。この土地環境タイプでは、高木層を構成する樹種に限りがあることが原因と考えられる。*M. cajuputi* でみても、同種間の競争が同じ状態の林分での最大収量は、泥炭湿地より 10cm^3 オーダーで低く、高木種を支えるだけの生物生産力が小さいと考えられる。しかしこうした条件においても、ホームガーデンの低木層は多くの樹種から構成されていた。つまりこの土地環境下では、砂堆列に特異的なホームガーデンの低木構成樹種を用いた利用が可能であり、これをふまえた将来の土地利用が考えられる。

ここで挙げた海成低地部の土地環境のなかで、とくに生物生産に関与する土地環境特性は、地形・土壌の発達過程に大きく左右されていることも考慮しなければならない。砂堆列平野の成立は、内陸から沿岸に向けて断続的に繰り返される。この地形の発達・成立年代の差が、泥炭湿地における海成粘土の熟成の違いや、砂堆列における溶脱・集積層の発達程度に反映されていることが、今回の調査結果から示唆された。前述のように、こうした土地環境特性がそれぞれの土地環境における生物生産力と、その持続性に影響すると考えられる。そのため、地形の発達史をふまえた土地環境特性の把握を行う必要がある。

湿潤熱帯の環境では、極めて微妙なバランスの上になり立っている。伐採や火入れといった人間活動により、微妙な養分循環が崩壊し、急激に森林の後退・草地化が進む。比較的生産力の高い場所においても、人間の影響に対し繊細である。様々な利用に対し高い生物生産力をもつ土地環境でも、その潜在的な生物生産力を維持するため、上記のような土地環境とあわせて一体的な土地利用を行っていかなければならない。そのなかで地域住民は、土地の生産力の違いに依存することなく、100年以上にわたり自分の家屋周辺の土地を、ホームガーデンという土地利用形態として適切に利用している（現地ヒアリング調査による）。土地環境の保全には、土地環境と土地利用のミスマッチを避けていく必要がある。そのためには、今回示したように土地環境の特性をまず明らかにし、それぞれの土地環境で行われてきた伝統的な土地利用形態の特徴を再認識しながら、地域における土地利用システムを提示していかなければならない。

第2節 湿潤熱帯低地における土地利用のあり方

本論文では、湿潤熱帯と土地利用の結びつきを、様々な土地利用からみた土地環境タイプごとの生物生産力に着目ながら把握してきた。また、多様な土地利用が可能であるかを指標に加え、地域スケールにおける生物生産力の評価を行った。この評価結果を、実際の土地利用計画に反映する際に、様々な土地環境タイプから構成され、様々な土地利用の可能性が考えられる現実の地域を考えると、土地環境と土地利用との両方の特性を考慮した土地利用システムの提示を行う必要がある。

これまで、土地の生物生産力を評価基準にした土地利用計画の策定が多く行われてきた。その代表的なもののFAOの手法は、特定の商品作物による一義的なものであり、土地利用の選択肢と代替案は提示されてこなかった(Zonneveld, 1988)。また、アメリカ農務省(USDA)による生物生産からみた土地評価手法は、“Land Capability Classification”として有名である。この手法では、土壌の物理性と化学性をもとに、農業利用の適正をランク付けするが、一般的な土壌の肥沃さを表す土壌特性をもとに優劣を付ける方法である。しかし、本研究で取り上げた *Melaleuca cajuputi* 林のように、泥炭湿地で最も生産力が高くなる土地利用形態は、USDAの手法では評価できない。つまり土壌の肥沃さと、特定の土地利用形態を指標にした場合の生物生産力は異なる場合もあることを認識しなければならない。そのため、単に地域の中で生物生産力の優劣を付けるのではなく、それぞれの土地環境の特性を活かしながら、地域全体で持続的な生物生産を可能にするように土地利用システムを構築していかなければならない。その結果、特定の土地環境に土地利用が集中するのを回避し、土地環境の特性に適した土地利用を行うことで、地域における持続的な生物生産が可能になるのである。

本研究で提示した土地評価と土地利用システム策定の手法は、上記の問題点を解決するための一つの方策である。表4-1に示すように、土地環境タイプと土地利用タイプのマトリックスをもとに、地域全体での土地利用システムを調整していく。土地利用システムの提示のために、2段階の手順を踏む。まず、複数の土地利用形態を評価対象にした生物生産力評価を行い、それぞれの土地環境の特性に適した土地利用形態の選抜を行う。その際、それぞれの土地環境タイプと強く結びつく土地利用形態を対象にし、新たな土地利用形態の導入を、ここでは考えない。次に、土地環境と土地利用の結びつきが一義的な対応を示さない場合、つまり一つの土地環境タイプで複数の土地利用が可能な

表4-1 土地環境と土地利用マトリックスによる土地利用システムの提示

Tab. 4-1 Establishing land use system by matrix of land system and land uses

	ゴム林	果樹群1*	水田	<i>Melaleuca cajuputi</i>	果樹群2**
丘腹急斜面 - Slope complex	△	—	—	—	—
丘麓緩斜面 - Uduits	○	○	—	—	—
台地高位面 - Uduits	△	○	—	—	—
台地低位面 - Aquults	—	—	○	—	—
泥炭湿地 - Fibrists	—	—	—	○	—
砂堆 - Orthods/Humods	△	—	—	△	○

* 丘麓緩斜面と台地高位面のホームガーデンに特有の果樹群

** 砂堆のホームガーデンに特有の果樹群

場合、土地利用の選択基準として、各土地利用形態の生物生産力が最大になるように、他の土地環境タイプ間で調整を行う。この段階を経て、それぞれの土地環境の特性を活かした土地利用と、地域全体での生物生産力を向上させる土地利用システムの構築が可能になる。

本研究の結果を例にとって示すと、今回生産力の推定は行わなかったが、水田という土地利用形態と強く結びつく台地低位面や、*Melaleuca cajuputi* 林と強く結びつく泥炭湿地は、それぞれ土地利用形態と土地環境タイプが一对一の対応で結びついており、さらにそれぞれの土地利用形態に対して高い生物生産力を持つと考えられる。そのためこの土地環境タイプでは、一義的に土地利用が決定される。砂堆の土地環境タイプでは、いずれの土地利用形態に対しても生物生産力は高くはないが、他の土地環境タイプとホームガーデンの構成樹種を比較した場合、この土地環境タイプに特有の樹種群が確認された。この樹種群は他のホームガーデンにはみられないため、砂堆に一对一で結びついた土地利用形態と考えられ、この土地環境タイプでの土地利用形態が提示できる。問題は、丘麓緩斜面と台地高位面である。これらの土地環境タイプでは、複数の土地利用が考えられ、それぞれ生産力が高いと評価された。この場合2番目のステップによってそれぞれの土地利用が決定される。本研究では、2つの土地環境タイプの生物生産力をゴム林の生長量によって比較した。その結果、丘麓緩斜面のほうが台地高位面より高く評価され、さらに丘麓緩斜面の生産力はこの地域で最も高いため、台地高位面でゴム林を行うより適していると考えられる。そのため、丘麓緩斜面ではゴム林を選択し、台地高位面ではその他の土地利用、ここではホームガーデンにみられた果樹による利用が適していると

考えられる。このように、土地環境タイプと複数の土地利用形態とのマトリックスをもとに、土地環境の特性と、土地利用の土地環境に対する要求をクロスさせて考えることにより、地域における土地利用システムの提示が可能となる。

またこの手法は、より細かい作物の選定にも有効である。たとえば台地高位面と砂堆におけるホームガーデン内の果樹の選択において、低木種に関しては、それぞれに特有の樹種があるため、これらを用いた土地利用が考えられる。しかし高木種に関しては、ココナッツなど両方に生育している樹種がある。台地高位面ではココナッツ以外の果樹も多く生育している一方、砂堆ではココナッツがその大半を占めているのが確認された。この場合、砂堆でも生育可能なココナッツを、砂堆のホームガーデンで行い、台地高位面ではココナッツ以外のドリアンなどの果樹を選択したほうが、地域全体の生物生産力を配分できると考えられる。逆に、広域的な土地利用システムの提示においてもこの手法は有効である。地域スケールで確認された土地環境タイプは、半島タイにおける土地環境タイプの一セットであるため、地域スケールで提示できた土地利用システムを、広域スケールの土地利用システムに応用できる。また、今回含めなかった土地利用形態を導入した場合、導入しようとする土地利用形態が、まず今回示した土地利用形態のうち、どのタイプに類似するか判定することで、適地となる土地環境タイプを予測可能にするだけでなく、土地環境特性と土地利用のミスマッチにより引き起こされる土地後輩減少も回避できるものと示唆される。また、上記の土地環境タイプと土地利用形態のマトリックスに項目を追加し、同様のステップにより、地域全体での土地利用システムを再提示することが可能になると考えられる。

第3節 今後の課題と展望

本研究では、生物生産を支える土地環境要素として、地形・土壌に注目してきた。広域的に半島タイに典型的な地形・土壌タイプの抽出を行い、事例地における詳細調査を行った。しかし、本調査で明らかにできなかった地形・土壌タイプも数多く湿潤熱帯地域には存在している。たとえばマングローブ環境などもその一つである。マングローブ環境も、人間の利用活動による土地荒廃が起こる危機に頻している場所である。今後は、こうした環境も対象として、湿潤熱帯環境を包括的にとらえた持続的な土地管理を行っていかねばならない。また事例対象地の中でも、明らかにできなかった地形・土壌

タイプもある。本論文であつかった「台地高位面」には、前述したように、基盤の高まりと原位置による風化物によるものと、河成堆積物のもの、もしくは海成侵食による堆積物のものが混合している。これらが生物生産力にどのように関わるかについても明らかにされなかったが、下層における粘土集積の程度に違いがあることが予測される。今後は、こうした場所における土壌調査の徹底と、生物生産力との関わりを把握していかなければならない。

また生物生産力の把握にも問題点がないわけではない。今回の評価手法は、現在の土地利用条件下で、それぞれの評価指標に対する土地生産力を相対的に示したものである。本研究の最終的な目的である持続的な土地生産力の確保を考えると、対象となる土地環境の本来持っている土地生産力の絶対的基準に従って、評価していく必要がある。絶対的な基準として、本来それぞれの土地環境に立地し、それぞれを生育適地とする自然植生の生物生産力が考えられる。しかし人間の介入は、現在まで行われてきており、とくに今回の研究対象である湿润熱帯低地でみると、自然状態の植生が残されている場所はわずかであるため、自然状態での生物生産力評価は困難である。現在の土地利用形態、とくに今回評価指標で用いたゴム林は、30年以上維持されてきた土地利用形態であり、それによる著しい土地荒廃は現時点で確認されておらず、現段階までは持続的な土地利用の一形態としてとらえることも可能である。しかしゴム林の面積は年々拡大しており、今後ゴム林に適さない場所で土地荒廃が起こる危険性がある。とくに持続可能性を考慮するには、時間的な側面を無視するわけにはいかない。今回は、著しい生物生産力低下に関わる土地荒廃を起こさないための指針を考えてきたが、長期間かかって徐々に土地の生産力が落ちる現象もあることをふまえないといけない。そのためにも、今後は長期モニタリングを通じた、持続性の評価を行う必要がある。その点からも、地域住民によって行われてきた土地利用形態は、長期にわたりその土地を利用してきた見本である。砂堆という水成ボドソルの発達した劣悪な土地環境においても、日常生活に密着したホームガーデンの中には有用な樹種がみられたことを考えても、地域住民の培った知恵を一つの基準として、持続的な生物生産的土地利用を評価することは、非常に有意義なことである。今後は、ホームガーデンを含めた地域生物資源の把握を含めた、長期的生物生産力評価を行っていかなければならないであろう。また、地域スケールにおける土地利用システムの提示手法も、台地低位面における生物生産力の評価が行われていない。

今後は、現存する土地利用形態を、広域的に探り、土地環境特性との関連を把握しながら、湿潤熱帯環境における、持続的な生物生産を可能にする土地利用システムの確立を目指していかなければならない。

摘要

研究の背景と目的・方法

湿潤熱帯における人間活動の拡大は、熱帯林の破壊や土壌侵食の加速化などさまざまな土地荒廃をもたらしてきた。とくに、人間活動の集中する湿潤熱帯低地では、本来集約的土地利用に適さない泥炭湿地やマングローブ域まで開発が及び、土地荒廃の進行が著しい。こうした湿潤熱帯、とりわけ低地において生物生産を持続させるには、土地利用を支える土地環境の特性を把握するとともに、土地利用適正を評価し、土地環境の特性に合致した合理的な土地利用計画を策定することが不可欠である。

そこで本研究では、まず広域スケールにおいて、地形、地質、土壌を指標に用いて土地環境を類型化し、土地利用やその変化との関連性を明らかにした。つぎに地域スケールにおいて、土地環境と土地利用の空間的な結びつきを把握し、類型化された土地環境タイプごとの生物生産力を評価し、合理的な土地利用のあり方を検討した。

1. 広域的にみた土地環境と土地利用／土地被覆の把握

湿潤熱帯地域の土地環境を把握するために、湿潤熱帯に特有な土地環境の様々なタイプを含み、しかも異なる土地環境が狭い範囲の中で連続的にみられる半島タイを広域的な研究対象とした。この対象地域において、土地環境と土地利用／土地被覆およびその関連性を、衛星画像をもとに把握し、土地利用／土地被覆変化の特性を明らかにした。

(1) 半島タイにおける土地環境分類と土地利用／土地被覆分類

対象地を 30 秒幅のグリッド (約 1km² メッシュ) に分割し、地形、地質、土壌を用いた土地環境分類を試みた。土地環境要素と各グリッドを、コレスポンデンス分析を用いて 2 次元空間に布置し、非階層型クラスター分析 (k-means 法) により各グリッドを分類した。その結果、対象地域は 6 つの土地環境タイプに分類され、それらは、①山地・丘陵地—深成岩—Slope Complex 型、②山麓緩斜面—深成岩—固結堆積岩—Uduits 型、③台地高位面—固結堆積岩—Uduits 型、④台地中位面—固結堆積岩—Uduits・Aquults 型、⑤台地低位面—固結・半固結堆積岩—Aquults 型、⑥海成低地—未固結堆積物—Aquents・Humods・Fibrists 型である。これら土地環境タイプの空間分布を見ると、山地から低地部へという環境の傾度に沿って、規則的に配列されていることがわかる。

つぎに、衛星画像を用いて対象地域の土地利用／土地被覆分類を行った。対象地全域をカバーするように、1970年代と1980年代のLandsat MSSデータを用いて教師なし分類を行い、比バンド輝度値を基準に、現存する土地利用図と比較し、現存量の大きい森林、現存量の小さい森林、草地、裸地の4つの土地利用タイプを抽出した。

(2) 土地環境タイプと土地利用／土地被覆・土地利用／土地被覆変化の関連性把握

土地環境タイプと、土地利用／土地被覆および2時点の土地利用／土地被覆変化の関連性を、土地環境分類図と土地利用／土地被覆図との重ね合わせにより把握した。その結果、土地環境タイプと土地利用／土地被覆には強い対応関係が確認された。とくに森林域は、山地・丘陵地に代表される土地環境と強く結びついていた。土地利用／土地被覆変化との対応については、各土地環境タイプごとの土地利用／土地被覆変化の多様さを、Pielouの均衡性指数で把握した。その結果、山地部では土地利用／土地被覆変化の多様度は小さいのに対し、低地部では変化が非常に多様であることがわかった。すなわち、現存量の大きい森林の減少は、台地、低地に代表される土地環境下で多く起こっていることが明らかになった。

各土地環境タイプごとの生物生産力を、NOAA/AHVRによる年累積植生指数を用いて比較した。その結果、山地・丘陵地から低地部にかけて連続的に年累積植生指数の値が減少し、海成低地を指標とするグループで最も低い値を示した。

以上の分析の結果から、1) 丘陵地緩斜面および低地部における土地利用／土地被覆の変化が大きく、これらの地域における土地利用秩序を考える必要性が高いこと、2) 衛星画像から判断される植物の生産力が海成低地部で低く、これらの地域における生物生産力の改善や再評価を行う必要性が高いこと、が示唆された。

2. 地域スケールにおける土地環境の把握と生物生産力評価

広域的に把握された、湿润熱帯の土地環境特性と生物生産力の推定結果を実証するために、上記に示した土地環境が、狭い範囲のなかで連続的に確認できる半島タイ南東部ナラチワ県Bacho地域を対象に、空中写真などをもとに地形・土壌による土地環境区分を行うとともに、空間的配列を調査し、現在の土地利用条件下における土地環境タイプごとの生物生産力評価を行った。

(1) 地形・土壌による土地環境特性の把握

事例地域を対象に、地形と土壌の成立過程をふまえながらその土地環境特性を明らか

にし、土地環境タイプの空間的配列を調査した。広域的な土地環境特性の把握によって認められた山地から海成低地に至る土地環境タイプの空間配列を現地調査で確認するために、海岸線に直行するトランセクトに沿って、空中写真による地形分類と、土壌断面調査を行った。対象地の地質は、花崗岩とその堆積物、および沖積物からなり、分布の様子は地形や土壌と対応が強いため、このスケールの土地環境把握から除いて考えた。その結果、①丘陵中腹凸型急斜面-Slope Complex、②丘陵緩斜面-Uduits、③台地低位面-Aquults、④台地高位面-Uduits、⑤海成低地-Fibrists、⑥海成低地-Orthods/Humods、⑦海成低地-Psammentsの7つの地形・土壌タイプが確認され、この順に、丘陵地から海岸にかけての土地環境タイプの空間的配列が認められた。

また広域的な土地環境把握によって、植物の純一次生産量と相関関係のある年累積植生指数が低い値を示した低地泥炭湿地と砂堆列において、詳細な土地環境特性の調査を行った。その結果、海進と海退の繰り返しにより発達した後背湿地と砂堆列群では、地形・土壌の成立時期の違いと成立過程の違いを反映した土壌層位の変化が認められた。とくに生物生産の制限要因として考えられる、泥炭湿地の次層にみられる海成粘土層に含まれるパイライト量は、堆積時代の新しい湿地側で多いことがわかった。また砂堆列の次層にみられる水成ポドゾルは、内陸側の砂堆列ほど発達しており、海岸側に移動するにつれて、固結程度と層分化の程度が弱くなることが確認された。

(2) 土地環境タイプごとの生物生産力把握

過度な利用による土地荒廃を避けるためには、潜在的な生物生産力を把握し、それに従った適切な土地利用を行う必要がある。ここでは、様々な土地利用が展開される土地環境のもつ生物生産力を総合的に評価するために、3つの異なる土地利用形態について生物生産力の評価を行った。

土地利用形態としては、1) 丘陵緩斜面と台地高位面に広く分布するゴム林、2) 硫酸酸性化した泥炭湿地と砂堆列に分布し、薪炭林として利用されている *Melaleuca cajuputi* (フトモモ科) 林、3) 面積は小さいものの丘陵緩斜面や台地高位面、砂堆上に分布し、果樹など地域住民の生活に密着した多様な樹種が確認されるホームガーデンの構成樹種群を、それぞれ生物生産力の評価対象としてとりあげた。

残丘から台地高位面にかけてゴム林の生長量をもとに生物生産力を評価した結果、丘陵緩斜面で最も高い値が得られた。その原因を解析した結果、残丘頂部から丘陵斜面で

は有効土層の薄さが、台地高位面では地下水位の季節的上昇が制限要因となっていることが示唆された。

つぎに、*M. cajuputi* 林の単位面積当たりの最大収穫量をもとに、厚さの異なる泥炭湿地と砂堆の比較を行った。自己間引きの法則に従う林分において、単位面積あたりの平均個体の最大材積量は、泥炭の厚い湿地で最も高く、砂堆で最も低い値が得られ、泥炭層の厚い湿地、泥炭層の薄い湿地、砂堆の順に生物生産力が高いことがわかった。

さらに、ホームガーデンの構成樹種群により、丘陵緩斜面と台地高位面および砂堆で生物生産力の評価を行った。その結果、丘陵緩斜面と台地高位面のホームガーデンでは、階層構造が複雑であり、高木層の種多様性が高いのに対し、砂堆上のホームガーデンでは階層構造が単純で高木層の種多様性が低い結果が得られた。一方樹種の多様性は、いずれの土地環境タイプでも高く、それぞれの土地環境に適した樹種がホームガーデンの構成樹種として選択されていることが確認された。

以上の結果をもとに、湿潤熱帯の土地環境が保持している生物生産力を総合的に評価した。土地の利用可能性を考慮すると、広域的な過去 20 年の土地利用変化にみられたように、丘陵緩斜面から台地高位面では、多くの土地利用形態が考えられ、さらに経済的価値の高いゴムや果樹に対する生物生産力も高いと評価された。他の土地環境タイプでは土地の利用可能性は低い、それぞれの土地環境に適した土地利用を選択すれば、生物生産力はかならずしも低くない。とくに泥炭湿地に生理的適地を持つと考えられる *M. cajuputi* 林は、一つの土地利用とみなすことができれば、生物生産力は決して低くない。また砂堆における生物生産力は、広域スケールおよび地域スケールにおける把握の両方においても低いと評価されたが、砂堆列群に特異なホームガーデンの構成樹種群を用いれば、高い生物生産力を保つことも可能である。

3. 総合考察と湿潤熱帯低地における土地利用の考え方

湿潤熱帯低地とその周辺における土地環境特性を地形・土壌からとらえた結果、1) 開発に対し不可逆的な変化を示す土地環境と、2) 潜在的に生物生産力の低い土地環境が、生物生産を制約する土地環境タイプであると認められた。

開発に対して不可逆的な環境変化を起こす土地環境タイプとして、泥炭湿地があげられる。熟成度の低い海成粘土層を下層に持つ泥炭湿地では、硫酸酸性化の危険性が高いため、不適切な排水による地下水の低下は、著しい土地の硫酸酸性化につながることを

考慮しなければならない。

つぎに潜在的に生物生産力が低い土地環境タイプとして、砂堆列があげられた。この土地環境下では、砂堆列に特異的なホームガーデンの構成樹種を用いた利用が、生物生産の向上と土地環境の保全という観点から必要と考えられる。

FAO の手法に代表される従来の作物生産力評価は、特定の商品作物による一義的なものであり、土地利用の選択肢と代替案は提示されてこなかった。本研究で提示した生物生産力に着目した土地評価手法は、いくつかの土地利用形態を評価対象にした生物生産力評価を行い、それぞれの土地環境の特性に適した土地利用形態の選抜と、それぞれの土地利用形態に対し生物生産力を最適にする土地環境の選抜との組み合わせにより、土地利用システムの提示を行うものである。様々な土地環境タイプから構成され、様々な土地利用の可能性が考えられる現実の地域では、土地環境と土地利用との両方の特性を考慮した土地利用区分が望ましいと考えられる。

Studies on land system and land use in humid tropical lowland

- Peninsular Thai case study

Summary

Background and purpose of this study

In humid tropics, human activities are extended to tropical forests and are caused of land degradation, or soil degradation such as soil erosion. The developments for agricultural use are especially spread to lowland area like peat swamps or mangroves, that are not suitable for intensive land use. In such tropical lowlands, it is rapidly necessary to recognize the characteristics of land system, to evaluate the suitability of each land use, and to establish an optimal land use system.

To achieve these purpose, two researches with different scales were conducted. One is the research at macro scale study. Land system composed by landform, soil and geology was classified into homogeneous land units to characterize the land system of humid tropical lowland in this scale. The other is at micro scale study. Spatial relationship between land system and land use was recognized, and land potential productivity was evaluated by each land system unit. Finally, the method to establish sustainable land use system was presented.

1. Land system classification, land use/cover and its change in South Thailand

The objective of this study is making the land system map as a base map for a land use planning in humid tropics. Peninsular Thai was selected, where typical land system of humid tropics are found continually from mountain to coast. Relationship between land system and land use/cover derived from remote sensing imagery and its temporal change were recognized.

(1) Land system and land use/cover classifications

To classify land system units, the study area was divided into cells sized 30 seconds by 30 second rectangular. Land system types were extracted by combining the

factors of geology, land form and soils. These factors and cells were ordinated by correspondence analysis and classified by cluster analysis. In results, the study area was classified into six homogenous units as i) mountain/hill-igneous rocks-Slope complex type, ii) foot slope-igneous rocks/conglomerated clastic rocks-Udults, iii) high upland-conglomerated clastic rocks-Ultisols, iv) middle upland- conglomerated clastic rocks-Ultisols/Aquults, v) low upland-conglomerated or semi conglomerated clastic rocks-Aquults, vi) coastal lowland-quaternary deposits-Aquents/Humods/Fibristis. These units were represented the sequential change from mountain environment to coastal one.

Based on this classification map, the difference of land cover/use patterns and their changes from 1970s to 1980s, which were calculated by Landsat MSS imagery, was compared by each land system unit. Land cover and its change were significantly related to land system types. Remote sensing imageries were classified into six units using ISODATA method. Each units was translated as forest with high biomass, forest with low biomass, grass land, bare land, water area, and clouds.

(2) Relationship between land system and land use/cover, and its temporal changes

Relationship between land system and land use/cover, and its temporal change patterns were recognized by overlay method. In results, there was significant relation in both terms. Especially, forest area were related with the land system types as mountain/hill and foot slope. Diversity of land use/cover changes was calculated by Pielou's evenness index. In results, changing diversity was higher in lowland land system types than in mountain type. Land use/cover type of forest with high biomass was decreased more in upland and lowland types than mountain type.

Land potential productivity by each land system type was estimated by accumulated NDVI (Normalized Vegetation Index) calculated with NOAA/AHVR. In results, this value was decreased gradually from mountain lowland, and was the lowest at coastal land system types.

I concluded that it was necessary to focus on land use system in the land system types as foot slope and lowland, where land use/cover was changed more than the others types, and to re-evaluate or improve the potential productivity at coastal

lowland area, where accumulated NDVI was the lowest.

2. Land system characteristics and evaluation of potential productivity in regional scale

To investigate the results in the macro scale studies above mentioned, micro scale study site was selected at the Bacho swamp and its surroundings, in the Narathiwat Province, Southern Thailand, where typical land system types are found continually and compactly. Tropical land systems are originally fragile. In the most case, soils are major limiting factor. To achieve the sound land use planning, it is the first step to recognize the land system characteristics based on physical properties as landform and soil. At the second, evaluation of land potential productivity for recent land use types was estimated.

(1) Recognition of land system characteristics based on landform and soil

The transectional approach from mountain area to coastal area was taken to know the variety and the relationship of land system attributes, in particular, landform and soil. Landform types were classified by aerial photographs and field surveys. Soil types were classified along Soil Taxonomy by soil profilings. In results, study area was classified along the survey line into seven land units, namely, i) convex middle slopes-Slope complex, ii) foot slope-Udults, iii) low upland-Aquults, iv) high upland-Udults, v) lowland swamp-Fibrists, vi) offshore bars-Orthods/Humods, and vii) Beach Ridges-Psamments. The spatial landform-soil catena was found in order of presented types.

Detailed soil surveys were conducted in coastal lowland as offshore bars and peat swamps, where land potential productivity calculated from accumulated NDVI was the lowest. In results, soil profile variations reflecting the difference of the formation times were found at these land system types located on strand coastal plain. The amount of pyrite included in marine clay sub-soil was more contented in latter formed peat swamp. Spodic horizon found at sub-soil on offshore bars was more developed in inner ones than outer ones.

(2) Evaluation of land potential productivity by each land system type

To avoid the land degradation caused by over-use, it is necessary to recognize potential land productivity and establish the suitable land use system along the

potentials. Optimizing the land use system is needed for sustainable biological products in a regional scale. The objective of this study is to recognize potential land productivity in relation with catenary sequence of land form and soils in coastal area, Peninsular Thailand. Three land use types were selected as follows for the evaluation of land potential productivity in the result of the combination between landform-soil types and land use types. i) Rubber plantations, which are widely spread on foot slopes and high uplands; ii) *Melaleuca cajuputi*, which is used by making charcoal and grows on peat swamp with low pH and offshore bars; iii) home garden species, which were composed by tropical fruit trees providing the useful products for daily uses, and located on foot slopes and one on offshore bars.

The results are as follows. i) Growing size of rubber trees for 10 years was the highest on foot slopes among the sequence from hill tops to foot slopes and high uplands. ii) Ecological carrying capacity of *M. cajuputi* was the highest in thick peat swamps among others with different peat depth and offshore bars. iii) Both species diversity of tree layer and vertical structure of valuable trees in home gardens were higher on foot slopes and high uplands than on offshore bars. However, species diversity of shrub layer was high in all land system types. This means that home garden shrub trees are selected by local people and suitable for each land system types.

Based on these results, land potential productivity of humid tropical land system was evaluated synthetically. Considered land use possibility, foot slopes and high uplands had high potentials and high productivity for rubber and orchard plantations with high economical values. Other land system types had low possibility, but they had high productivity for land uses, which are suitable for each land system characteristics. Especially, peat swamps had higher productivity for *M. cajuputi* forests. Offshore bars was evaluated that biological productivity was lower in both macro and micro studies. But it will be possible for this land system to be able to keep high potential if this type is used by unique home garden species.

3. Establishing land use system in humid tropic lowlands

Based on the results from characterizing land system by landform and soil in humid tropic lowlands, I concluded that i) peat swamp as a fragile land system type to

human activities, and ii) offshore bars as a land system type with low productivity were derived.

There are many problems in traditional methods for evaluating land potential productivity. For example, the FAO land evaluation method is evaluated by a just specific land use type with high economic value, and can not present alternatives. A matrix method presented here is to establish one alternative land use system. In this method, the matrix of land system types and land use types is used for deriving a suitable land use type to specific land system types, and a optimal a land system to maximize the productivity for specific land use types. Selecting the appropriate land use types, and evaluating from various angles might be needed for potential land productivity evaluation in a regional scale, which is the complex of diverse landform-soil.

参考文献

- Arrhenius, O. (1921): Species and area. *Journal of Ecology* **19**, 95-99.
- Becker, B. (1995). Indicator plants for sustainability assessment of tropical agricultural production systems. *Angewandte Botanik* **69**, 145-151.
- Brinkman, W. J. and Xuan, V. T. (1991): *Melaleuca leucadendron*, a useful and versatile tree for acid sulphate soils and some other poor environments. *The International Tree Crops Journal* **6**, 261-274.
- Brookfield, H. and Byron, Y. (1990): Deforestation and timber extraction in Borneo and the Malay Peninsular - the record since 1965. *Global Environmental Change* **1**, 42-56.
- Brown, B. J., Hanson, M. H., Liverman, D. M. and Merideth Jr., R. W. (1987). Global sustainability -towards definition. *Environmental Management* **11**, 713-719.
- Chakranon, B., Sitthibuth, C., Jongskul, A., Eiamoon, P and Vijarnsorn, P. (1995): Subsidence of organic soil (Narathiwat series) in swamp area Narathiwat Province, In Department of Land Development, Thailand eds. *Proceeding of the 3rd annual technical conference of Department of Land Development*, 421-432.
- Conway, G. R. (1983). *Agroecosystem analysis*. Imperial College of Science and Technology, London.
- Dent, F. J. (1980): Major production systems and soil-related constraints in southeast Asia, In IRRI ed., *Soil-related constraints to food production in the tropics*, pp. 79-106. IRRI, Los Banos.
- Dijkerman, J. K. and Miedema, R. (1988): An Ustult-Aquult-Tropept catena in Sierra Leone, West Africa I -characteristics, genesis and classification. *Geoderma* **42**, 1-27.
- Dumanski, J., Eswaran, H., Pushparajah, E. and Smyth, A. (1991): Evaluation for sustainable land management in developing world Vol. 1 -towards the development of an international framework. Bangkok, Thailand. *IBSRAM Proceedings* **12**, 81pp.
- FAO (1976): A framework for land evaluation. *Soils Bulletin* **32**, Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome.
- FAO (1995): Forest resources assessment 1990 - global synthesis. *FAO Forestry Paper* **124**, p. ix and Annex 1, pp. 18-21.
- Farshad, A and Zinck, J. A. (1993). Seeking agricultural sustainability. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **47**, 1-12.
- Ford, E. D. (1975): Competition and stand structure in some even-aged plant monocultures. *Journal of Ecology* **63**, 311-333.
- Forman, R. T. T. (1989). Ecologically sustainable landscape -the role of spatial configuration. In Zonneveld I. S. and Forman, R. T. T. eds., *Changing Landscape*, p.

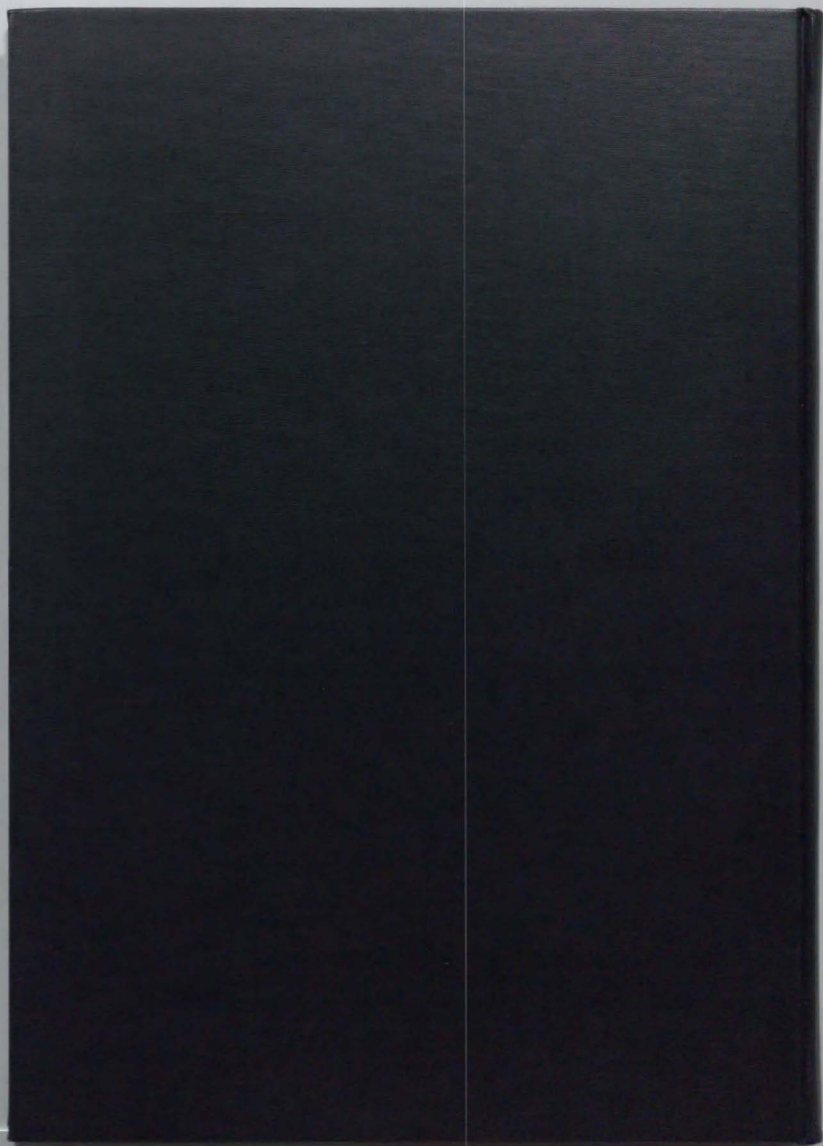
- 261-278. Springer-Verlag, New York.
- Francis, C. A. and Youngberg, G. (1990). Sustainable agriculture -an overview. In Francis, C. A., Flora, C. B. and King, L. D. eds, *Sustainable agriculture in temperate zones*, p. 1-23. John Wiley & Sons, New York.
- Geological Survey Division (1979): *Geological map of Thailand 1:250000*, Bangkok: Royal Thai Survey Department.
- Gillespie, A. R., Knudson, D. M. and Geilfus, F. (1993). The structure of four home gardens in the Peten, Guatemala. *Agroforestry Systems* **24**, 157-170.
- Gips, T. (1984). What is sustainable agriculture? *Manna* July/August.
- Gliessman, S. R. (1990a). Agroecology - researching the ecological basis for sustainable agriculture. In Gliessman, S. R. ed, *Agroecology*, p.3-10. Springer-Verlag, New York.
- Gliessman, S. R. (1990b). Integrating trees into agriculture - the home garden agroecosystem as an example of agroforestry in the tropics. In Gliessman, S. R. ed, *Agroecology*, p.160-168. Springer-Verlag, New York.
- Gliessman, S. R. (1990c). Quantifying the agroecological component of sustainable agriculture- a goal. In Gliessman, S. R. ed, *Agroecology*, p.366-370. Springer-Verlag, New York.
- Grainger, A. (1993); *Controlling Tropical Deforestation*. Earthscan, London, 310pp.
- Graham-Tomasi, T. (1991). Sustainability - concepts and implications for agricultural research policy. In Pardey, P. G., Roseboom, J. and Anderson, J. R. eds, *Agricultural research policy*, p. 81-102. ISNAR, Cambridge University Press, Cambridge.
- Hill, M. O. (1974): Correspondence analysis - a neglected multivariate method. *Applied Statistics* **23**, 340-354.
- Holling, C. S. (1973): Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecological Systems* **4**, 1-23.
- Host, G. E., Polzer, P. L., Mladenoff, D. J., White, M. A. and Crow, T. R. (1996): A quantitative approach to developing regional ecosystem classifications. *Ecological Application* **6**, 608-618.
- Hubert, N., van Lier, and (1994). *Sustainable land use planning*. Elsevier, Amsterdam and New York.
- 井手久登・武内和彦 (1985): 「自然立地の土地利用計画」, 東京大学出版会, 東京, 227pp.
- IDRC (International Development Research Centre, 1992): *Our common bowl -global food interdependence*, IDRC, Ottawa, 63pp.
- 岩橋純子 (1994) 数値地形モデルを用いた地形分類手法の開発. 国土地理院時報 **80**, 52-58.
- Johnson, A. K. L. and Cramb, R. A. (1996): Integrated land evaluation to generate risk-efficient land-use options in a coastal catchment. *Agricultural Systems* **50**, 287-305.
- 門村浩 (1995): 熱帯雨林-その環境, 利用と破壊の現状, 保全と持続的利用のための戦

- 略: 田村俊和・島田周平・門村浩・海津正倫編, 「湿潤熱帯環境」, pp. 76-87, 朝倉書店, 東京.
- Kang, B. T. (1997): Alley cropping - soil productivity and nutrient recycling. *Forest Ecology and Management* **91**, 75-82.
- 粕谷英一 (1990): 「行動生態学入門」. 東海大学出版会, 東京, 316pp.
- Koudokpon, V., Brouwers, M. N. and Budelman, A. (1994). Priority setting in research for sustainable land use - the case of the Adja plateau, Benin. *Agroforestry Systems* **26**, 101-122.
- 久馬一剛 (1983): 東南アジア低湿地の土壌 - その 2 湿地林下の有機質土壌. 東南アジア研究 **20**, 492-511.
- 久馬一剛 (1984): 「熱帯の土壌」, 熱帯農業シリーズ熱帯農業要覧 No. 3. 国際林業協力協会, 東京, pp124.
- Lal, R., Ghuman, B. and Shearer, W. (1990): Sustainability of different agricultural production systems for a rainforest zone of southern Nigeria. *14th International Congress of Soil Science*, Kyoto, Japan, VI, pp. 186-191.
- Liverman, D. M., Hanson, M. E., Brown, B. J. and Merideth Jr, R. W. (1988). Global sustainability - towards management. *Environmental Management* **12**, 133-143.
- Lockeretz, W. (1990). Major issues confronting sustainable agriculture. In Francis, C. A., Flora, C. B. and King, L. D. eds., *Sustainable agriculture in temperate zones*, p. 423-438. John Wiley & Sons, New York.
- 町田貞・井口正男・貝塚典平・佐藤正・榎根勇・小野有五 (1981): 「地形学辞典」. 二宮書店, 東京, 767pp.
- 松本栄次 (1983): 完新世海面変化と海岸環境. 地理 **28**, 21-26.
- 松本栄次 (1995): ブラジル北東部大西洋沿岸地域の開発と環境変化: 田村俊和・島田周平・門村浩・海津正倫編, 「湿潤熱帯環境」, pp. 146-170, 朝倉書店, 東京.
- Matsumoto, E. and Watanabe, T. (1986): Site condition and formation of white sand in Northeast Brazil. *Latin American Studies* **6**, 1-13.
- Meertens, H. C. C., Fresco, L. O. and Stoop, W. A. (1995). Farming systems dynamics, impact of increasing population density and the availability of land resources on changes in agricultural systems - the case of Sukumaland, Tanzania. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **56**, 203-215.
- 目黒守男編 (1990): 「地域資源管理学」, 現代農業経済学全集 **20**. 明文書房, 東京, 282pp.
- Mohler, C. L., Marks, P. L. and Sprugel, D. G. (1978): Stand structure and allometry of trees during self-thinning of pure stands. *Journal of Ecology* **66**, 599-614.

- Narathiwat Provincial Statistical Office (1994): *Statistical reports of Changwat Narathiwat* – 1994 edition. National Statistical Office, Office of the Prime Minister, Bangkok, 92pp.
- 日本リモートセンシング研究会編 (1992) 「図解リモートセンシング」, 312pp, 日本測量協会.
- 農林水産技術会議事務局編 (1964): 「土地利用区分の手順と方法」. 農林統計協会, 東京, 396pp.
- 大久保悟・武内和彦 (1997): タイ南部ナラチワ県における地形・土壌からみた環境特性の水平的配列と土地利用分布: ランドスケープ研究 **60**, 507-510.
- Osaki, M., Sittibush, C. and Nuyim, T. (1995): Nutritional characteristics of plants growth in peat and acid sulfate soils distributed in Thailand and Malaysia. In Vijarnsom, P., Suzuki, K., Kyuma, K., Wada, E., Nagano, T. and Takai, Y. eds, *A tropical swamp forest ecosystem and its greenhouse gas emission*, 63-76pp. Tokyo University of Agriculture, Tokyo.
- Otzen, U. (1993). Reflections on the principles of sustainable agricultural development. *Environmental Conservation* **20**, 310-316.
- Pickett, S. T. A., Kolasa, J., Armesto, J. & Collins, S. (1989): The ecological concept of disturbance and its expression at various hierarchical levels. *Oikos* **54**, 129-136.
- Pielou, E. C. (1966) Shannon's formula as a measure of specific diversity – its use and misuse, *American Naturalist* **100**, 463-465.
- Pimm, S. L. (1984): The complexity and stability of ecosystems. *Nature* **307**, 321-326.
- Rossiter, D. G. (1996): A theoretical framework for land evaluation. *Geoderma* **72**, 165-190.
- Royal Thai Survey Department (1986): *1:50,000 scale topographic map*: Royal Thai Survey Department, Bangkok.
- Sakurai, K., Kozasa, S., Yuasa, T., Puriyakorn, B., Preechanya, P., Tanpibal, V., Muangnil, K. and Prachaiyo, B. (1996): Changes in soil properties after land degradation associated with various human activities in Thailand. *Soil Science and Plant Nutrition* **42**, 81-92.
- Sanchez, P. A. and Buol, S. W. (1975): Soils of the tropics and the world food crisis. *Science* **188**, 598-603.
- Sennhauser, E. B. (1991): The concept of stability in connection with the gallery forests of the Chaco region. *Vegetatio* **94**, 1-13.
- 白井哲之 (1981): 地形環境. 町田貞・井口正男・貝塚爽平・佐藤正・榎根勇・小野有五: 「地形学辞典」, p. 388, 二宮書店, 東京.
- Skole, D. L. and Tucker, C. J. (1993): Tropical deforestation and habitat fragmentation

- in the Amazon – satellite data from 1978 to 1988. *Science* **260**, 1905-1910.
- Skole, D. L., Chomentowski, W. H., Salas, W. H. and Nobre, A. D. (1994): Physical and human dimensions of deforestation in Amazonia. *Bioscience* **44**, 314-322.
- Smith, N. J. H., Fik, T. J., Alvim, P. de T., Falesi, I. C. and Serrao, E. A. S. (1995): Agroforestry developments and potential in the Brazilian Amazon. *Land Degradation & Rehabilitation* **6**, 251-263.
- Smyth, A. J. and Dumanski, J. (1995): A framework for evaluating sustainable land management. *Canadian Journal of Soil Science* **75**, 401-406.
- Soil Survey Division (1975): *Detailed reconnaissance soil map of Narathiwat Province: Province series No. 4*, Soil Survey Division, Bangkok.
- Stewart, B. A., Lal, R., El-Swaify, S. A. and Eswaran, H. (1990): Sustaining the soil resource base of an expanding world agriculture. *14th International Congress of Soil Science*, Kyoto, Japan, VI, pp. 186-191.
- Swaminathan, M. S. (1991): Sustainable agricultural systems and food security. *Outlook on Agriculture* **20**, 241-249.
- Syers, J. K., Hamblin, A. and Pushparajah, E. (1995): Indicators and thresholds of the evaluation of sustainable land management: *Canadian Journal of Soil Science* **75**, 423-428.
- Syers, J. K., Lingard, J., Pieri, C., Ezcurra, E. and Faure, G. (1996): Sustainable land management for the semiarid and sub-humid tropics. *Ambio* **25**, 484-491.
- Tabora Jr., P. C. (1991): Analysis and evaluation of agroforestry as an alternative environmental design in the Philippines. *Agroforestry Systems* **14**, 39-63.
- 立入郁・恒川篤史・武内和彦 (1997): 環境特性に基づくアジア地域の土地分類と耕作強度・土壌荒廃パターンとの関連性. 環境情報科学論文集 **11**, 69-74.
- 武内和彦 (1976): 景城生態学的土地評価の方法. 応用植物社会学研究 **5**, 1-60.
- 武内和彦 (1982): 地域分級論の基礎概念. 農村計画学会誌 **1**, 10-15.
- 武内和彦 (1991): 「地域の生態学」. 朝倉書店, 東京, 254pp.
- 武内和彦 (1996): 東南アジアの土地荒廃と持続的土地利用システムの確立. 農村計画学会誌 **14**, 3-6.
- 田村俊和 (1981): カテナ, 町田貞・井口正男・貝塚爽平・佐藤正・榎根勇・小野有五: 「地形学辞典」, p. 103, 二宮書店, 東京.
- 田村俊和 (1997): 東北タイの地形-乾湿の交替する熱帯の砂質岩従順地形, 貝塚爽平編, 「世界の地形」, pp. 321-333, 東京大学出版会, 東京.
- 田村俊和・島田周平・門村浩・海津正倫編 (1995): 「湿润熱帯環境」. 朝倉書店, 東京, 257pp.

- Trenbath, B. R., Conway, G. R. and Craig, I. A. (1990). Threats to sustainability in intensified agricultural systems - analysis and implications for management. In Gliessman, S. R. ed., *Agroecology*, p.337-365. Springer-Verlag, New York.
- Turner, R. K. (1988). *Sustainable environmental management - principles and practices*. Belhaven Press, London.
- 堤利夫 (1987). 「森林の物質循環」, UP Biology 67. 東京大学出版会, 東京, 124pp.
- 海津正倫 (1994): 「神積低地の古環境学」. 古今書院, 東京, 270pp.
- UN., Department for Policy Coordination and Sustainable Development (1996): *Indicators of sustainable development - methodology sheets*, 367pp.
- UNEP and ISRIC (1990): *World map on status of human-induced soil degradation*. Boom-Ruygrok, Haarlem.
- Van Ranst, E., Tang, H., Groenemans, R. and Sinthurath, S. (1996): Application of fuzzy logic to land suitability for rubber production in peninsular Thailand: *Geoderma* 70, 1-20.
- WCED (World Commission on Environment and Development) (1987). *Our Common Future - the Brundland Report*. Oxford University Press, Oxford.
- Whitmore, T. C. (1984): *Tropical rain forests of the far east*, 2 ed. Clarendon Press, Oxford.
- Witwer, S. H. (1978). The next generation of agricultural research. *Science* 199, 375.
- Wood, W. B. (1990): Tropical deforestation - balancing regional development demands and global environmental concerns. *Global Environmental Change* 1, 23-41.
- World Resources Institute, United Nations Environment Programme, United Nations Development Programme and The World Bank (1997): *World Resources 1996-97 - a guide to the global environment*. (石弘之訳監 (1997): 「世界の資源と環境 1996-97」. 中央法規, 東京, 368pp.)
- 八木久義 (1994): 「熱帯の土壌—その保全と再生を目的として—」. 熱帯林造成技術テキスト 4: 財団法人国際緑化推進センター, 東京, pp160.
- Young, A. (1975): Rural land evaluation, In J. A. Dawson and J. C. Doornkamp eds. *Evaluating the human environment*, pp. 5-33, Arnold, London.
- Zinck, J. A. and Farshad, A. (1995): Issues of sustainability and sustainable land management. *Canadian Journal of Soil Science* 75, 407-412.
- Zonneveld, I. S. (1988): Basic principles of land evaluation using vegetation and other land attributes. In Kuchler, A. W. and Zonneveld, I. S. eds., *Vegetation mapping*, pp. 499-517, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.



都市近郊の分断された平地二次林における高木種の補充に関する研究

大久保 悟*
加藤 和 弘**

Recruitment of Arbor Species in highly Fragmented Secondary Forests

Satoru OHKUBO
Kazuhiro KATOH

平成 6 年 3 月

造園雑誌第 57 巻第 5 号抜刷

Reprinted from Zōen-zasshi, Journal of the
Japanese Institute of Landscape Architects

VOL. 57 No. 5

MAR. 1994

は じ め に

本学会では、学会会員の学術活動を拡大強化するために、学会本部主催の大会研究発表会を春季に、またこれとは別に関東・関西・九州支部主催の大会研究発表会をそれぞれ秋季に開催している。本部主催の研究発表会では、①発表論文は概要でなく本論文の提出を求め、これについて審査を行っている。②学会内で各関連分野の学識経験者の中から校閲者を選び、本年度は下記の委員に校閲を依頼した。③これらの校閲制度の適用を受けた論文を収録したものが、この「造園雑誌Vol.57No.5、研究発表論文集（12）」である。この研究発表論文集が選となり優れた論文が今後とも発表されることを期待したい。

なお、本論文集に掲載された論文は平成5年10月16日までに申込みを受け、同年11月11日までの提出期限内に到着、前記校閲を経て受理されたものである。

また、今回、校閲委員ならびに担当編集幹事の方々には御多忙にもかかわらず精力的に校閲編集していただいたことをここに厚く感謝の意を表するとともに、本論文が、わが国の造園学の進展に貢献することを切に願うものである。

平成6年3月24日

社団法人 日本造園学会
校 閲 委 員 長 熊谷洋一
研究発表論文集刊行委員会委員長 奥水 肇

研究発表論文集校閲委員（50音順）

青木 陽二（国立環境研究所）	赤坂 信（千葉大学園芸学部）
浅川昭一郎（北海道大学農学部）	浅野 二郎
麻生 恵（東京農業大学農学部）	安部 大就（大阪府立大学農学部）
尼崎 博正（京都芸術短期大学）	雨宮 悠（千葉大学園芸学部）
石川 幹子（東京大学農学部）	井手 久登（東京大学農学部）
井手 任（農林水産省農業環境技術研究所）	石井 弘（千葉大学園芸学部）
石坂 健彦（建設省土木研究所）	伊藤 太一（筑波大学農林工学系）
伊藤 精治（信州大学農学部）	猪爪 範子（地域総合研究所）
岩河 信文（明治大学農学部）	牛川 喜幸（奈良国立文化財研究所）
岡本 謙明（大阪府立大学農学部）	小松 純一（京都精華大学人文学部）
小野佐和子（千葉大学園芸学部）	親泊 素子
勝野 武彦（日本大学農獣医学部）	加藤 和弘（東京大学農学部）

- 河原 武敏 (東京農業大学農学部)
 木下 勇 (千葉大学園芸学部)
 興水 肇 (明治大学農学部)
 斎藤 馨 (東京大学農学部)
 佐々木邦博 (信州大学農学部)
 塩田 敏志 (東京農業大学農学部)
 藤原 修 (東京大学工学部)
 島尾 勝 (日本緑化センター)
 清水 正之 (大阪芸術大学芸術学部)
 下村 孝 (大阪芸術大学芸術学部)
 白井 彦衛 (千葉大学園芸学部)
 進士五十八 (東京農業大学農学部)
 鈴木 登 (近畿大学農学部)
 鈴木 雅和 (筑波大学芸術学系)
 武内 和彦 (東京大学農学部)
 田中 正大 (東京農業大学短期大学部)
 田村 正人 (東京農業大学短期大学部)
 千葉 鑫三 (岡山大学農学部)
 仲 隆裕 (千葉大学園芸学部)
 中瀬 勲 (姫路工業大学自然・環境科学研究所)
 中村 一 (京都造形芸術大学芸術学部)
 濱野 周泰 (東京農業大学農学部)
 平野 侃三 (東京農業大学農学部)
 藤崎健一郎 (日本大学農獣医学部)
 堀 繁 (東京工業大学工学部)
 前中 久行 (名城大学農学部)
 増田 拓朗 (香川大学農学部)
 丸田 頼一 (千葉大学園芸学部)
 三沢 彰 (千葉大学園芸学部)
 宮城 俊作 (千葉大学園芸学部)
 本中 真 (奈良国立文化財研究所)
 守山 弘 (農林水産省農業環境技術研究所)
 養父志乃夫 (鹿児島大学農学部)
 吉田 鉄也 (京都大学農学部)
 横張 真 (農林水産省農業環境技術研究所)
- 岸塚 正昭 (東京農業大学農学部)
 熊谷 洋一 (東京大学農学部)
 近藤 公夫 (神戸芸術工科大学)
 坂本 圭児 (岡山大学農学部)
 佐藤 治雄 (大阪府立大学農学部)
 重松 敏則 (大阪府立大学農学部)
 柴田 昌三 (京都大学農学部)
 島田 正文 (日本大学短期大学部)
 下村 彰男 (東京大学農学部)
 下村 泰彦 (大阪府立大学農学部)
 白幡洋三郎 (国際日本文化研究センター)
 杉本 正美 (九州芸術工科大学芸術工学部)
 鈴木 誠 (東京農業大学農学部)
 高橋理喜男 (日本大学農獣医学部)
 田代 順孝 (千葉大学園芸学部)
 田畑 良寿 (千葉大学園芸学部)
 依 浩三 (専修大学北海道短期大学)
 恒川 篤史 (国立環境研究所)
 永嶋 正信 (東京農業大学農学部)
 中村 攻 (千葉大学園芸学部)
 西田 益温 (西日本短期大学)
 薬山 嘉一 (日本大学農獣医学部)
 藤井英二郎 (千葉大学園芸学部)
 古谷 勝則 (千葉大学園芸学部)
 本條 毅 (東海大学開発工学部)
 横村 久子 (奈良文化女子短期大学)
 増田 昇 (大阪府立大学農学部)
 丸山 宏 (京都大学農学部)
 斎茂寿太郎 (東京農業大学農学部)
 宮本 克己 (東京大学農学部)
 森本 幸裕 (大阪府立大学農学部)
 屋代 雅充 (ラック計画研究所)
 油井 正昭 (千葉大学園芸学部)
 吉田 博宣 (京都大学農学部)
 渡辺 達三 (東京大学農学部)

1. は
わが
である
や落葉
林であ
て、そ
値が低
る状態
管理
されて
行する
たもの
したも
る。都
利用に
ける。
散布が
まうこ
では、
い。こ
農村地
水平方
を試み
いては
チ状に
策定が
がおか
管理

都市近郊の分断された平地二次林における高木種の補充に関する研究

大久保 信*
加藤 和弘**

Recruitment of Arbor Species in highly Fragmented Secondary Forests

Satoru OHKUBO
Kazuhiro KATO

摘要: 薪炭林や農用林としての管理が放棄され、他の土地利用によって強く分断されている平地二次林に補充されている高木種の、種組成と個体の樹元直径を調査した。若に近年の補充状況を把握するために、樹高1.5m以下の実生及び幼樹木を対象とした。TWINSPANにより種と調査区を分類した結果、種組成を特徴づけるのは二次林の外部から補充される種であり、母樹からの距離と調査区内の植生構造によって規定されていることがわかった。また個体のサイズ分布から、シタカシ、及びヤワラ、ヒノキは群落への定着が良好であると考えられた。最後に近年の高木種の補充状況に影響を与えている要因を考慮し、今後の樹林地管理・保全の上で重要な点を考察した。

1. はじめに

わが国の暖温带から冷温带下部に広く分布する二次林であるアマツツリやコナラ林は、定期的な伐採、下刈りや落葉掻きなど集約的管理のもとに維持されてきた薪炭林である(奥富ら, 1976)¹⁾。しかし都市化の影響によって、その面積は急激に減少している。薪炭林としての価値が低下し、残ったものについても管理は放棄されている状態にある。

管理という人為的影響によって遷移の中途段階に保持されてきた二次林は、管理が放棄されることで遷移が進行する。こうした変化について、林床植生に視点をあてたものや(重松, 1988)²⁾、林冠層構成種の変化に注目したもの(石坂, 1989; 達・大沢, 1992)³⁾⁴⁾などがある。都市近郊や農村地域に残存する二次林は、他の土地利用によって分断されており、常に外部からの影響を受ける。それに加えて分断が強度になると、花粉や種子の散布が制限されることで、樹林地間の連絡が断たれてしまう(McClanahan, 1986)⁵⁾。このためこうした地域では、樹林地間の相互関係が重要視されなければならない。この考え方を基盤に井手ら(1992)⁶⁾は、二次林を農村地域における自然環境の一つと捉え、植生単位間の水平方向のつながりを種子の供給を通じて把握することを試みている。このように分断され残存する樹林地においては、個々における植生管理のみならず、地域内にパッチ状に残存する樹林地を統合的に考えた植生管理計画の策定が現在必要とされる。そのためには、現在の樹林地がおかれている状況を明らかにすることが喫緊とされる。

管理の放棄された二次林では、人手による伐採後の萌

芽による更新がなくなるため、種子由来の個体による更新が中心となる。種子は、林内からと林外の両方から補充される。特に樹林地の外から補充される高木種の種子に関しては、種子源からの距離や散布者の有無、散布される場所の植生構造に左右される(McClanahan and Wolfe, 1993)⁵⁾。そのため樹林地内外の状況によって補充される高木種の種組成の相違が生じ、管理が放棄された後の時間的経過とともに起こる遷移の進み方に影響する(Vitousek and Walker, 1989)⁷⁾。補充される種の相違を、井手ら(1992)⁶⁾のように種子そのもので捉える方法もあるが、McClanahan and Wolfe (1993)⁵⁾のいうように散布された種子の種組成と実生の種組成は大きく異なることもあり得る。管理が放棄された後の二次林の遷移を考える上でも、現在の林床に存在する高木種の実生を指標とするのが適切である。そこで本研究では、都市近郊地域に残存する平地二次林のおかれた状況を、高木種の実生及び幼樹木から把握することを試みた。実生及び幼樹木に注目した研究としては石坂(1989)¹⁾があるが、これは林床管理の影響を主に検討したものであり、本研究のように樹林地の分断の影響を検討した事例は我が国には少ない。

管理が放棄されることで実生からの更新が望まれること、分断されることで外部からの影響を受けることから、次の問題点について検討した。1) 補充されている高木種の種組成に空間的な差はあるのか、あるなら、その要因は樹林地の外的なものか内的なものか。2) 補充されている高木種は、将来高木層を構成する可能性があるのか。これらの問題を検討するため、周辺環境と内部の植

*東京大学大学院農学系研究科 **東京大学農学部農業生物学科

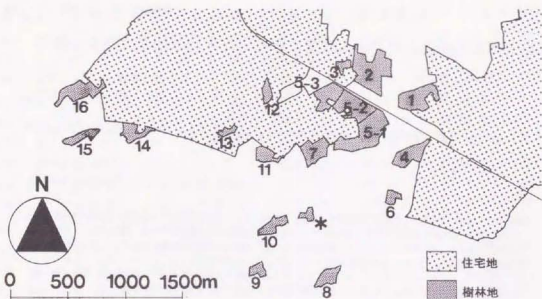


図-1 調査対象樹林地の位置：住宅地は、敷地が連続して1ha以上ある範囲を示す。

生構造が異なる複数の樹林地において、高木種の実生及び幼樹木の種組成に影響する要因を検討した。さらに個体群生態学の考え方に基づき高木種個体のサイズを種毎に集計し、サイズ分布を比較することで高木種の実生及び幼樹木段階からみた群落への定着状況を把握した。

2. 調査地及び調査・解析手法

埼玉県所沢市西部の、武蔵野台地上に点在する平地二次林16ヶ所を対象とした(図-1)。樹林地を選択する上で、面積が小さく、林縁の影響が内部まで及んでいるものや、林床管理されていて実生が除去されている樹林地は除いた。樹林地5は樹冠がつながっているが道路によって分断されている上に、植生が多少異なったために3つに分断した。樹林地の3、12、13が市街地の中に位置する他は、農地にその周りを囲まれている。図に見られるように、各樹林地は強く分断されている。加藤(未発表データ)によると、対象となる二次林の現在の植生構造は、高木層はコナラが圧倒的に優占し(階層別相対胸高断面積=43%)、次いでアカマツ(10%)、クヌギ(9%)、ヤマザクラ(6%)、サワラ(6%)、ヒノキ(5%)である。亜高木層はエゴノキが優占し(57%)、コナラ(11%)、リュウノヒゲ(7%)、アオハダ(6%)がそれに続く。低木層にもエゴノキが優占し(57%)、シラカシ(7%)、ヒノキ(5%)の順である。

各樹林地において、3×3mの方形区を計151ヶ所設置した。各調査区において、高木になり得る樹種を対象に、一つの個体に対して、種名とその根元直径を0.1mm単位で測定し記録した。特に近年の補充状況を把握する

ために、樹高1.5m以下の実生及び幼樹木を対象とした。

調査区内の出現個体数と絶断面積を各植物種ごとに集計した。各調査区における補充状況の相違を知るために、出現個体数をもとに調査区と高木種の類型化をTWINSPAN (Two Way Indicator Species Analysis; Hill, 1979)⁴⁾を用いて行った。TWINSPANは、信頼性の高い群集及びその構成種の分類手法の一つである(Gauch, 1982)⁵⁾。解析は、出現個体数を、0、1、2から4、5から9、10から19、20個体以上、の6段階にまとめて行った。

また本来の二次林の高木層構成種ではない種については、現況の高木層・亜高木層の違いに対応する差があるかを検討した。

TWINSPANによって分類された調査地点の分類群ごとに、各高木種の実生及び幼樹木の個体群構造を根元直径分布の形で把握し、地点群間、種間の比較を行なった。

3. 結果

調査区において26種の高木種が確認された(表-1)。ネズミモチは低木種であるが、実生の段階でトウネズモチとの区別が困難であったため、本研究ではトウネズモチに含めてネズミモチ類と記載した。調査区は、TWINSPANにより次の7グループに分類された。①ネズミモチ類とイヌシデの出現が顕著で、さらにネズミモチ類の個体数が極めて多いグループ、②ネズミモチ類とイヌシデの出現が顕著で、コナラ、サワラが出現するグループ、③エノキが出現し、さらにコナラの個体数が



山地
林地

を対象とした。
植物種ごとに果
実の形状を
種の類型化を
species Analy-
VINSKANは、
母法の一つであ
る。0, 1,
以上の 6段階

い種について
示す差がある

地点の分類群
群構造を根元
比較を行なっ

いた(表-1)。
①でトウネズミ
②ではトウネズ
③調査区は、
類された。④
さらにネズミ
⑤ネズミモチ類
⑥が出現する
⑦の個体数が

7 (5), 1994

表-1 調査区に実生として出現した高木種。出現個体数が10個体以下の、ネムノキ(n=1)、イヌマキ(n=2)、カキノキ(n=2)、アカメガシワ(n=3)、ケヤキ(n=4)は本研究の分析から排除した。

種名	学名	コード	総個体数	出現回数	個体のサイズ分布 (単位: mm)		
					平均 ± 範囲	最小値	最大値
クヌシ	<i>Quercus acutissima</i>	QUAC	11	10	5.7 ± 4.9	1.5	19.8
クヌシ	<i>Castanea crenata</i>	CACR	16	12	3.6 ± 3.1	1.5	7.4
シシ	<i>Cornus controversa</i>	COCO	33	24	4.0 ± 2.9	0.9	13.7
コナ	<i>Magnolia kobus</i>	MAKO	38	25	3.9 ± 2.2	1.4	9.5
シシ	<i>Cryptomeria japonica</i>	CRJA	43	12	7.5 ± 6.2	1.1	26.8
ヒシ	<i>Chamaecyparis obtusa</i>	CHOB	47	20	9.6 ± 7.1	1.8	22.1
ヤマシ	<i>Prunus jamasakura</i>	PRJA	54	34	3.7 ± 4.4	0.3	12.3
クヌシ	<i>Prunus grayana</i>	PRGR	81	42	3.7 ± 2.1	0.5	14.6
ムシ	<i>Aphananthe aspera</i>	APAS	100	54	3.1 ± 2.5	0.3	13.3
イシ	<i>Carpinus ischonokii</i>	CATS	109	40	5.2 ± 5.5	0.5	17.2
シシ	<i>Neolitsea sericea</i>	NESE	129	41	3.3 ± 1.5	1.1	39.9
イシ	<i>Ilex macropoda</i>	ILMA	172	77	5.9 ± 5.9	0.6	27.1
コナ	<i>Syrax japonica</i>	STJA	177	62	3.5 ± 2.2	0.7	42.9
シシ	<i>Chamaecyparis pisifera</i>	CHPI	181	35	8.0 ± 6.5	1.3	24.3
シシ	<i>Clethra barbinervis</i>	CLBA	202	27	4.5 ± 4.3	0.7	19.7
コナ	<i>Quercus serrata</i>	QUSE	293	68	1.7 ± 0.8	0.7	4.8
シシ	<i>Celtis sinensis</i>	CESI	335	76	2.0 ± 1.5	0.4	10.5
シシ	<i>Ligustrum spp.</i>	LIGU	343	74	2.6 ± 1.6	0.4	23.7
シシ	<i>Quercus myrsinaefolia</i>	QUMY	539	94	7.0 ± 6.4	1.0	95.4

* 対象とする樹林地内に成熟木のない種を示す。

** 限られた対象樹林地にしか成熟木がない種を示す (シラカシ: 樹林地6, 8; シロダモ: 樹林地9)

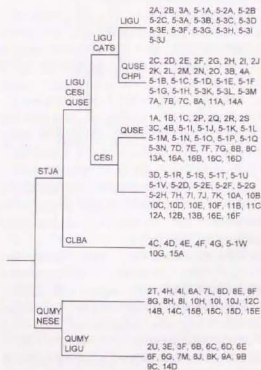


図-2 TWINSKANによる調査地点の分類。調査地点番号の先頭の数字は樹林地番号を示す。また図中の4文字コードは分類の指標になった種を表わす(コードについては表-1を参照)。

造園雑誌 57 (5), 1994

多いグループ。④エノキが出現する他に出現個体数の多い種がないグループ。⑤リュウブの出現が顕著なグループ。⑥シラカシ及びシロダモの出現が顕著なグループ。⑦シラカシの個体数が極めて多いグループ(図-2)。

一つの樹林地内の調査区は、それぞれ同一か類似性の高いグループに分類される傾向がみられた。これは次のことが原因と考えられる。

1) トウネズミモチの並木が樹林地2と5-3の間に存在する。このためここが種子源となっており、その周辺の樹林地に多くネズミモチ類の実生が見られる結果になったと考えられる。

2) 樹林地6, 8, 9には、高木層に達して結実しているシラカシ(樹林地6, 8)とシロダモ(樹林地9)が存在する。そのためこれら樹林地内の調査区が多くが、シラカシとシロダモが顕著なグループに属す結果となった。また樹林地10の近くに存在する塚(図-1中の*印)には、シラカシの巨匠木が数個体生育しており、その周辺に位置する樹林地内の調査区はこのグループに属した。樹林地2, 3や14, 15については、それぞれの樹林地の周辺にシラカシを含む屋敷林が存在するため、それが種子源と考えられる。

3) また樹林地4の調査区はほとんどがリュウブの顕著なグループに属した。これは樹林地内に高木層・亜高木層に到達したリュウブが、他の樹林地より極めて多く見られるためである(加藤、未発表データ; 相対胸高断面積=9.4%, U-test $p < 0.05$)。

表-2 二次林外から補充される高木種の出現特性

種名	調査区あたりの平均個体数		
	常緑樹下	落葉樹下	有意水準
ネズミモチ類	3.40	1.63	$p<0.005$
シロダモ	1.17	0.68	$p<0.001$
シラカシ	4.50	1.36	$p<0.001$

常緑樹下: 55調査区; 落葉樹下: 96調査区。
シロダモとシラカシについては、高木層・亜高木層に同種の個体が存在する調査区(シロダモ: 1調査区; シラカシ: 5調査区)を除いた。

4) またグループ④に分類された調査区の多くでは、林床にアズマネザサが繁茂しており、樹林地10, 12, 13, 16で顕著である(加藤, 未発表データ; これら樹林地におけるアズマネザサの被度は、それぞれ57%, 90%, 98%, 45%)。また萌芽して間もない若齢林(樹高8~10m)に補充されている高木種は種数、個体数共に少なかった(調査区番号5-1R-5-1V: 調査区あたりの平均種数=3.6, U -test $p<0.1$; 同平均個体数=7.8, U -test $p<0.05$)。

本来の二次林の高木層構成種でない高木種の出現パターンは、種子源との空間上の位置関係以外に、現況の高木層・亜高木層の構成種の違いにも影響される。コブシについては統計的に有意ではなかったが、明らかに多くの実生が常緑樹の下に出現していた(表-2)。

TWINSPANによって分類されたグループを、5つのタイプにまとめた(グループ①と②: タイプ1, グループ③と④: タイプ2, グループ⑤: タイプ3, グループ⑥: タイプ4, グループ⑦: タイプ5)。タイプごとの高木種の実生及び幼樹木のサイズ分布をみたところ、いずれのタイプにおいてもエノキとコナラのサイズは小さかった。シラカシの個体数が極めて多いタイプ5以外では、サイズの大きいシラカシ個体が存在した。各タイプで、シラカシに次いで個体サイズの大きい種は、ヒノキ、サワラであった(表-3)。

4. 考察

(1) 高木種の補充に与える外的要因

補充されている高木種の実生及び幼樹木の種組成は調査区で大きく異なった。その類型化には、ネズミモチ類やシラカシ、シロダモといった本来の二次林の高木層構成種以外の種が指標となった。そのためこれらの種の母樹が近くに存在するからといって、つまり空間上の位置によって、調査区は分類された。特にネズミモチ類は、街路樹として植栽されているトウネズミモチからの補充が主であると推測された。このように街路樹や庭園木として植栽されている種が、周辺の林分に散布されることはよく知られている(井手ら, 1987)¹⁾。

このように樹林地の外から個体が補充されるには、種

子の散布媒体の存在を無視できない。シラカシをはじめとするカシ類の種子は、その生理的構造から埋土種子として存在不可能であるため、毎年種子が散布されなければならない。堅果類の種子は、カケスやヤマガラ、及び森林性のげっ歯類によって運ばれる(山岡ら, 1976; Kikuzawa, 1988)²⁾³⁾。屋敷林から連続したアカマツ林に拡散されているシラカシの実生を調査した山岡ら(1976)²⁾によると、拡散の最長距離は700mである。本研究においても、母樹と思われる個体から距離が遠くになるとサイズの小さい個体は確認できなかった。しかしサイズの大きな個体は、対象樹林地群全域に渡って出現した。近年樹林地の分断化が進んでおり散布者の移動が限定されていること、以前は現在より母樹が多かったなどの様々な要因が考えられるが、いずれも予測の域を出ない。今後その検証が課題である。

またシロダモやトウネズミモチの果実は液果であり、鳥類に被食されることで散布される。Debusche et al. (1982)¹⁾は、被食動物散布型である成果実生の実現パターンは、母樹からの距離と反比例するようなカーブを描くとしている。このことは、トウネズミモチの実生が母樹からごく近い樹林地で多く確認された今回の結果を裏付ける。

(2) 高木種の補充に与える内的要因

高木種の補充パターンには、上記のような要因の他に、補充される場所の植生構造も重要である。本来二次林の高木層構成種ではない種が、常緑樹の下に多く補充されているという本研究の結果は、主要な種子の散布者の行動により説明できる。Ishaki et al. (1991)³⁾によると、鳥類が安心して休息やねぐらに利用できる場所に、種子が散布されやすい。このことから、常緑の樹木が鳥類に対してこうした場所を提供しているために、種子の散布に偏りが生じたと考えられる。

本研究の成果からは、調査地の二次林の林床におけるアズマネザサは、高木種の補充に対して阻害要因となっているとみられる。ブナ林の天然更新については、ササが阻害要因として働くといわれている(Nakashizuka and Numata, 1982)¹⁰⁾。

若齢林に補充される高木種は、種数、個体数共に少なかった。この理由としては、林内での種子の補充が少ないこと、及び階層構造が発達していないため、鳥による林外からの種子の投入が抑えられていること(McDonnell and Stiles, 1983)¹⁰⁾が考えられる。

(3) 補充された高木種の将来

補充された種の個体群構造をみると、本来の二次林の高木層構成種のほとんどは生育段階の早い段階で死滅していると推定される。特にコナラの場合にこの傾向が顕著で、根元直径が最大でも4.8mmであった(表-1)。Matuda (1986)¹⁰⁾によると、野外におけるコナラの生

ラカシをはじめ
造から埋土種子と
が散布されなけれ
やヤマガラ、及び
(山岡ら, 1976;
継続したアカマツ
と調査した山岡ら
700mである。本
から距離が遠く
なかった。しかしサ
域に置いて出現し
散布者の移動が限
樹が多かったなど
も予測の域を出な
実には果実であり、
Debusseche et
る効果実生の出
列するようなカー
ウズミモチの実
思された今回の結

ような要因の他に、
る。本来二次林の
下に多く補充され
種子の散布者の行
(1991)¹⁾による
目できる場所に、
常緑の樹木が鳥
のために、種子の

本の林床における
阻害要因となっ
つては、ササ
(Nakashizuka

個体数に少ない
種子の補充が少な
いため、鳥による
こと (McDon-
ら。

本来の二次林の
い段階で死滅し
にこの傾向が顕
た(表-1)。
けるコナラの生

表-3 高木種のサイズ分布(樹林地タイプ別)

	Type1	Type2	Type3	Type4	Type5
アサキ	4.5	3.9	3.0	3.7	
	2.8-10.1	2.1-7.1	2.5-8.3	2.8-6.0	
イヌギ	3.8	2.1	7.1		8.8
	2.2-7.1	1.8-4.7	4.6-12.9		7.9-9.6
クヌギ	3.1	3.1	1.8		1.2
	2.3-5.3	2.2-4.0	1.4-3.1		0.9-3.1
コナラ	1.8	2.0	2.3	7.6	6.0
	1.3-4.7	1.5-2.9	2.2-2.3	7.6-7.7	4.4-8.0
エビ	1.4	1.5	1.8		1.6
	1.0-2.6	1.1-2.4	1.6-2.1		0.9-2.5
ササ	7.2	2.9			3.4
	7.2-7.2	2.6-7			3.4-3.4
ササ	2.8	2.8	2.2		4.7
	2.0-5.0	2.1-6.1	1.9-2.4		3.5-5.8
コナラ	1.7	1.5	1.2	1.5	1.5
	1.3-2.0	1.2-2.0	1.1-1.2	1.4-1.7	1.5-1.5
コナラ	1.7	3.5	3.8	3.7	3.3
	2.2-4.7	3.3-4.5	2.7-5.1		2.7-3.9
ササ	4.7	9.1	7.0	7.2	
	3.2-8.2	6.2-13.8	4.6-9.5	4.3-12.0	
シロダモ	8.6	7.2	9.0	8.0	3.0
	5.6-12.8	4.3-11.2	4.8-10.4	4.6-11.8	2.2-5.3
シロダモ	2.6	3.0	2.1	2.3	1.8
	1.5-6.2	2.4-4.0	1.3-3.1	1.7-4.2	1.6-2.4
ササ	1.7	2.8	5.3	10.3	
	1.5-5.0	2.1-3.4	4.1-9.7	10.2-11.6	
ササ	1.8	1.7	4.1	3.2	4.6
	1.2-2.5	1.3-2.2	1.8-6.0	1.8-5.9	2.6-5.8
ササ	9.2	8.2		8.6	13.3
	6.3-13.2	8.0-8.5		5.4-10.4	13.5-13.5
ササ	3.4	3.0			
	1.9-4.5	1.7-5.8			
ササ	2.5	2.5	4.6	2.4	2.4
	1.4-3.8	1.8-4.0	2.7-6.4	2.1-2.7	2.0-3.7
ササ	3.5	1.8	4.3		
	2.2-6.2	1.2-5.2	4.3-4.3		
ササ	3.8	2.5	3.9	4.0	
	3.0-4.9	1.5-5.0	1.7-7.3	2.3-5.3	

上記は個体群の中央値、下記は四分位範囲を示す(単位:mm)。
表内の空白は個体がいかなる部分を示す。斜体は出現個体数が
10個体未満であることを示す。

存率は1年目までで20%で、死亡原因はゾウムシによる
種子の食害や発芽した後の子葉の食害による。群落への
定着が良好な種はサワラやヒノキ、シラカシといった種
である。補充されている高木種によって調査区を分類し
た際に指標種となった。ネズミモチ類やシロダモの生育
はあまり良好ではないと思われる。

本研究では一時点における静的な個体群構造しか把握
していない。この構造が時間の経過と共に変化するこ
ともあり得る。そのため断定はできないが、このまま管理
が放棄され続けるとの更新が実生によるものにほぼ限定さ
れた場合、本調査地においては、コナラ等現在の高木層
構成種の更新が行なわれず、さらにシラカシ及びサワラ、
ヒノキが十分に補充される樹林地においては、それらの
樹種が林冠の下層において優占していくと考えられる。
シラカシは本研究地における潜在自然植生の優占種と考

えられており(奥富ら, 1976)¹⁾、この結果は、シラカ
シに関する限り、従来いわれていたことと符合する。一
方、シラカシとともにサワラやヒノキが今後優占してい
くことを示唆するような既往研究は見当たらない。サワ
ラやヒノキは土地の境界木として植栽されたもので、こ
れらに由来して補充がなされていると考えられる。これ
らの樹種が下層において優占した後、そのまま高木層ま
で生育していくのか、更に別の変化が生じるのか、につ
いては更なる調査が必要である。

(4)今後の樹林地管理のあり方

本研究の結果の中から、樹林地管理の上で重要と思わ
れる点をまとめると以下のようになる。

①コナラやエゴノキなど現在の二次林による主要な構成木は、
林冠が密閉されている林床では実生による更新はほとん
ど期待できない。現状では、実生及び幼樹木の段階にお
いてシラカシが個体数と個体のサイズでともに他の種に
優っているほか、ヒノキ、サワラの実生が大きなサイズ
まで生長している。

②母樹との位置関係が、実生及び幼樹木の種組成に大きな
影響を与えている。またそれには散布媒介者の存在や、
その移動が重要となる。

③樹林地内における階層構造の発達、ならびに高木層・
亜高木層に常緑樹が存在することが、散布者を誘引する
ことによって、シラカシ、ネズミモチ類、シロダモとい
った樹種の補充を促進している。逆に林床にアズマネザサ
が繁茂することは、あらゆる高木種の補充を抑制する。
高木種の補充を促進するという観点からは、植生構造の
複雑さを維持し、適切に林床の処理を行うなどの管理が
必要となる。

各々の観察事実の普遍性を確認し、その背景にある仕
組みを明らかにするために、今後更なる調査を行なう必
要がある。

謝辞

本研究をまとめるにあたって、東京大学農学部井手久
教授、武内和彦助教授には、様々な角度から御指導を
いただいた。この場を借りて深謝の意を表したい。

参考及引用文献

- 1) 達良俊・大沢雅彦(1992):都市景観域における放
棄アカマツ植林の二次遷移とアカマツの一斉枯死に
よる影響:日本生態学誌 42, 81-93.
- 2) Debusseche, M.(1982):Ornithochory and plant
succession in mediterranean abandoned
orchards: Vegetatio 48, 255-266.
- 3) Gauch, H. G. (1982): Multivariate analysis
in community ecology: Cambridge Uni-
versity Press, Cambridge, pp.297

- 4) Hill, M. O. (1979) : TWINSPLAN - a FORTRAN program for arranging multivariate data in an ordered two-way table by classification of the individuals and attributes: Department of Ecology and Systematic, Cornell University, New York, pp.60
- 5) 井手任・守山弘・原田真樹 (1987) : 果実食鳥によって街路樹植栽より林内に散布されたエンジュの分布特性について : 造園雑誌 50, 161-166.
- 6) 井手任・守山弘・原田真樹 (1992) : 農村地域における植生配置の特性と種子供給に関する生態学的研究 : 造園雑誌 56, 28-38.
- 7) 石坂健彦 (1989) : 大規模緑地の植生管理に関する群落構造的研究 : 緑地学研究 9, pp.110.
- 8) Izhaki, I., Walton, P. B. & Safriel, U. N. (1991) : Seed shadows generated by frugivorous birds in an eastern mediterranean scrub : Journal of Ecology 79, 575-590.
- 9) Kikuzawa, K. (1988) : Dispersal of *Quercus mongolica* acorns in a broadleaved deciduous forest. 1. Disappearance : Forest Ecology and Management 25, 1-8.
- 10) Matuda, K. (1985) : Studies on the early phase of the regeneration of a konara oak (*Quercus serrata* Thumb.) secondary forest II. The establishment of current-year seedlings on the forest floor : Japan Journal of Ecology 35, 145-152.
- 11) McClanahan, T. R. (1986) : The effect of a seed source on primary succession in a forest ecosystem : Vegetatio 65, 175-178.
- 12) McClanahan, T. R. and Wolfe, R. W. (1993) : Accelerating forest succession in a fragmented landscape: The role of birds and perches : Conservation Biology 7, 279-288.
- 13) McDonnell, M. J. & tiles, E. W. (1983) : The structural complexity of old field vegetation and the recruitment of bird-dispersed plant species : Oecologia 56, 109-116.
- 14) Nakashizuka, T. & Numata, M. (1982) : Regeneration process of climax beech forest with the undergrowth of Sasa : Japan Journal of Ecology 32, 57-67.
- 15) 奥富清・辻誠治・星野義延 (1976) : 南関東の二次林植生-コナラ林を中心として- : 東京農工大学演習林報告 12, 55-66.
- 16) 重松敏則 (1988) : レクリエーションを目的とした二次林の改良とその林管理に関する生態学的研究 : 大阪府立大学紀要, 農学・生物学 40, 151-211.
- 17) 山岡景行・守山弘・重松孟 (1976) : 都市における緑の創造, 第2報-歴史的農業地帯における屋敷林・二次林の生態学的役割 : 東洋大学紀要教養課程編 (自然科学) 20, 17-33.
- 18) Vitousek, P. M. & Walker, L. R. (1989) : Biological invasion by *Myrica faya* in Hawaii : Plant demography, nitrogen fixation, ecosystem effects : Ecological Monographs 59, 247-265.

Summary : In suburban areas, management of fragmented forests have become to an important problem. To estimate the future species composition of tree layer, present species composition and size distribution of seedlings and saplings of arbor species were investigated in the suburbs of the Tokorozawa city, Japan. The results are as follows. 1) The species composition were varied with the distance from parent trees, and the internal factors such as vegetative structures and understory coverage. 2) Almost individuals of the present canopy species such as *Quercus serrata* and *Celtis sinensis* were very small (max. = 4.8mm), but that of *Q. myrsinaefolia*, *Chamaecyparis pisifera*, and *C. obtusa* were comparatively larger. The latter of the results indicates that *Q. myrsinaefolia*, *C. pisifera*, and *C. obtusa* may dominate under canopy in the future.

sion in a forest
-178.

le, R. W. (1993)
ion in a frag-
of birds and
y 7, 279-288.

W. (1983) : The
i field vegeta-
bird-dispersed
109-116.

., M. (1982) :
ax beech forest
Sasa : Japan
f,

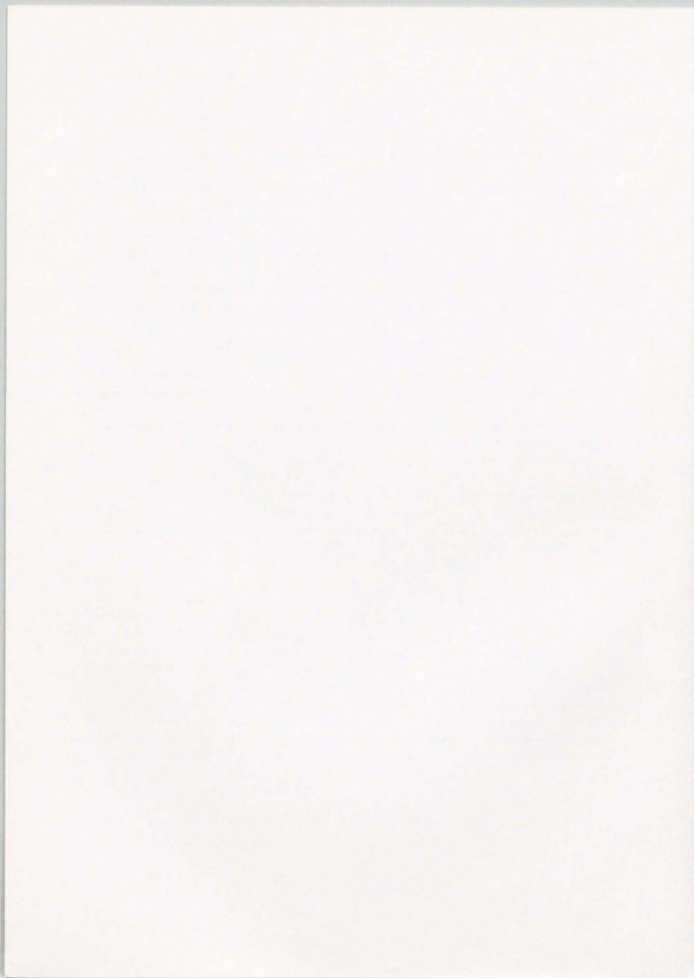
) : 南関東の二次
: 東京農工大学演

ンを目的とした
る生態学的研究 :
40, 151-211.

) : 都市における
における屋敷林・
紀要教養課程編

L. R. (1989) :
a *faya* in Ha-
nitrogen fixa-
logical Mono-

n important
composition
the suburbs
sition were
e structures
s *Quercus se*
olia, Cham-
ts indicates
uture.



分断された二次林の内部における植生の空間分布と 遷移管理に関する研究

Spatial Distribution of Plant Species in Fragmented Secondary Forests and Succession Management

大久保 悟* 加藤和弘**

Satoru OHKUBO Kazuhiro KATOH

VOL. 59 NO. 5

March, 1996
ISSN 1340-8984



分断された二次林の内部における植生の空間分布と遷移管理に関する研究

Spatial Distribution of Plant Species in Fragmented Secondary Forests and Succession Management

大久保 悟* 加藤和弘**
Satoru OHKUBO Kazuhiro KATO

概要: 埼玉県所沢市内のコナラ二次林内で本林種の分布を調べ、二次林の空間的な構造とそれに影響する要因を考察し、二次林の遷移管理のあり方を検討した。二次林内には個体サイズの大きいシラカシの実生・稚樹や低木が多く確認され、管理が放棄された場合シラカシ林への遷移が進む可能性が高いことがわかった。一方アオハダ、イヌシデ、エゴノキは亜高木から低木、雑樹の各層で多くの個体が確認され、一時的にもこうした種が優占する林分が出現する可能性が示唆された。また多くの種で空間的な分布が不均一であることがわかった。二次林のこのようなパッチ状の構造は、今後二次林の植生管理を考慮する際に注目すべきものと考えられる。

1. はじめに

管理という人為的影響によって遷移の中途段階に保持されてきた二次林は、管理が放棄されることで遷移することが予測され、多くの論文で指摘されているが、実際にどのような遷移が起こるのかについては未だ明らかにされていない。特に都市近郊にみられる二次林は、他の土地利用形態によって分断され残存しており、大面積で残った二次林とは異なる遷移が進むと考えられる(山本, 1987)¹⁰。

本論文の目的は、分断され残存する二次林を対象に、薪炭林や農用林としての管理が放棄されてからの時間経過に伴い、どのような植生変化が生じるのかを把握し、その遷移過程を考慮した植生管理(「遷移管理(succession management)」)のあり方を提示することである。遷移管理とは、植生構造は時間・空間を通じて変化すること、留意し、様々な植生タイプの位置関係や遷移方向を考慮して管理を行うものである(Luken, 1990)¹¹。本研究では、比較的大面積で残存するコナラ二次林を対象に、遷移の方向と木本種の空間的分布を把握し、二次林における遷移管理の適用可能性を考察した。

2. 試料および分析方法

埼玉県所沢市西部の比較的大面積で残存する二次林内に、30m×30mの調査区2カ所、36m×36mの調査区を1カ所設置した(図-1)。各調査区は、薪炭林としての管理が放棄され、低木が密集する林分である。調査は1994年の5月から10月にかけて行った。

管理の放棄された二次林の遷移方向を捉えるために、植生の垂直構造を把握した。各調査区で、樹高2m以上の木本を対象に、根元位置と種名、樹高を記録した。樹高2m未満の稚樹層に関しては、サブ調査区ごとに出現状況を把握した。サブ調査区は、30m×30mの調査区1辺を10等分したものとした。ただし、36m×36mの調査区は、他の調査区と統一をとるために、1辺を12等分した。そのためサブ調査区の大さは3m×3mである。つる植物を除く高木層・亜高木層構成種に関しては個体数も記録した。将来高木層・亜高木層を構成する可能性のある種は、下層の植生に影響を与えることから、植生の遷移を考えるとき重要な位置にあるため、ここでは林冠構成種とそうでない低木層と分けて考えた。また、本調査地の二次遷移を考える上で重要とみ

られるシラカシは、全個体の根元直径を測定し、記録した。いずれの場合でも、同一株から萌芽しているものは1個体とした。

次に、二次林内で各植物種がどのように分布しているかを把握した。管理が放棄された二次林の遷移を考えるため、分析対象を、樹高2m以上で、現在林冠を構成していない個体や林冠に樹冠が接していない個体を除いた低木層と、樹高2m未満の稚樹層に属する個体とした。個体位置のわかる低木層では、最も近い同種の個体までの距離を全個体について計算した。このとき最近接同種個体は調査区の特内に限った。これを各種ごとに平均し、個体がランダムに分布した場合の期待値と比較、検定した(詳しくはClark and Evans, 1954を参照)¹²。このときの期待値は、空間内に個体がランダムに分布しているとき、空間内の任意の点から最も近くにある個体までの距離はポアソン分布の期待値になることから算出した。期待値より実際の値が小さいと分布が集中していることを表す。

稚樹層の個体については、分布の不均一性をサブ調査区に単位にジョーン統計量(Upton and Fingleton, 1980)¹³を算出することで分析した。高木層・亜高木層構成種に関しては、サブ調査区における出現個体数があるなしデータに変換する際、特にコナラなどはほぼ全てのサブ調査区に出現すること、サブ調査区によって個体数が大きく異なることを考慮し、次のような作業手順を組



図-1 調査対象地図

*東京大学大学院農学生命科学研究科 **東京大学農学部附属緑地植物実験所

んだ。まず各調査区において、サブ調査区を1単位とし、ある種の出現個体数を計量とする集団を考えた。この集団の第3四分位を求め、サブ調査区内に出現したある種の個体数が、それより大きい場合にその種の個体が存在するとし、それ以外は個体なしとして分析を行った。

3. 結果

3つの調査区を併せて高木種31種、低木種44種が確認された。

表-1, 2, 3に主要な種の樹高別の頻度分布を示す。

いずれの調査区でも、林冠層で優占するコナラの実生はきわめ

て多くみられるが、次の生育段階の稚樹や低木に達している個体は非常に少ないことがわかった。その他現在林冠を構成しているクワミズザクラやヤマザクラ、クリ、クスノキなども、低木にまで生長している個体は少なかった。現在亜高木として圧倒的で優占するエゴノキは、どの樹高層にも比較的多くの個体のみられた。

また樹高10m以上の階級に個体のないイヌシデやアオハグは、稚樹層に多くの個体のみられた調査区がほとんどで、低木にまで生育しているものも多々確認された。シラカシは樹高の高い個体が多く確認された。しかし稚樹層の根元直径の分布をみると、当年生のもと考えられるサイズのものがみられないことがわかっ

表-1 調査区1における主要な種の樹高別頻度分布 (カッコ付きは、種の出現したサブ調査区数を示す)

種名	学名	実生・稚樹	2m-4m	4m-6m	6m-8m	8m-10m	10m-
コナラ	<i>Quercus serrata</i>	5386	0	0	0	0	42
クワミズザクラ	<i>Prunus grayana</i>	255	1	0	1	0	1
トウモロコシ	<i>Ligustrum lucidum</i>	158	0	0	0	0	0
イヌシデ	<i>Carpinus tschonoskii</i>	140	5	1	0	0	0
アオハグ	<i>Ilex macrospora</i>	138	27	4	0	0	0
エゴノキ	<i>Styrax japonica</i>	129	12	17	24	4	6
シラカシ	<i>Quercus myrsinaefolia</i>	102	25	0	1	0	0
ヤマザクラ	<i>Prunus jamasakura</i>	102	2	2	1	2	0
低木種							
ヤマザクラ	<i>Rhus trichocarpa</i>	(43)	114	21	0	0	0
ミズナギ	<i>Viburnum dilatatum</i>	(41)	27	0	0	0	0
ヤマザクラ	<i>Rhododendron obtusum</i> var. <i>kaempferi</i>	(26)	4	0	0	0	0
ナツハグ	<i>Vaccinium oldhamii</i>	(22)	11	0	0	0	0

表-2 調査区2における主要な種の樹高別頻度分布 (カッコ付きは、種の出現したサブ調査区数を示す)

種名	学名	実生・稚樹	2m-4m	4m-6m	6m-8m	8m-10m	10m-
コナラ	<i>Quercus serrata</i>	1851	1	3	3	5	55
エゴノキ	<i>Styrax japonica</i>	419	17	45	40	28	13
ミズナギ	<i>Chamaecyparis obtusa</i>	367	11	2	0	1	17
ヤマザクラ	<i>Chamaecyparis pisifera</i>	260	9	2	1	0	2
シラカシ	<i>Quercus myrsinaefolia</i>	194	25	2	0	0	0
イヌシデ	<i>Carpinus tschonoskii</i>	162	14	1	2	2	0
ヤマザクラ	<i>Prunus jamasakura</i>	74	0	0	0	0	3
トウモロコシ	<i>Ligustrum lucidum</i>	69	0	0	0	0	0
アオハグ	<i>Ilex macrospora</i>	59	3	1	0	0	0
クワミズザクラ	<i>Prunus grayana</i>	52	2	0	1	0	0
低木種							
ヤマザクラ	<i>Rhus trichocarpa</i>	(114)	9	2	0	0	0
ミズナギ	<i>Viburnum dilatatum</i>	(103)	8	0	0	0	0
ナツハグ	<i>Vaccinium oldhamii</i>	(66)	5	0	0	0	0
ヤマザクラ	<i>Rhododendron obtusum</i> var. <i>kaempferi</i>	(46)	11	0	0	0	0
ゴッソノイ	<i>Euscaphis japonica</i>	(41)	8	6	0	0	0

表-3 調査区3における主要な種の樹高別頻度分布 (カッコ付きは、種の出現したサブ調査区数を示す)

種名	学名	実生・稚樹	2m-4m	4m-6m	6m-8m	8m-10m	10m-
コナラ	<i>Quercus serrata</i>	2168	2	2	0	0	32
シラカシ	<i>Quercus myrsinaefolia</i>	227	59	5	1	0	0
エゴノキ	<i>Styrax japonica</i>	111	17	14	26	4	2
クワミズザクラ	<i>Prunus grayana</i>	89	1	1	0	1	1
トウモロコシ	<i>Ligustrum lucidum</i>	66	0	0	0	0	0
ヤマザクラ	<i>Prunus jamasakura</i>	47	0	0	0	0	2
ミズナギ	<i>Chamaecyparis obtusa</i>	39	23	3	0	0	0
ヤマザクラ	<i>Chamaecyparis pisifera</i>	30	5	1	0	0	0
アオハグ	<i>Ilex macrospora</i>	17	8	1	1	0	0
イヌシデ	<i>Carpinus tschonoskii</i>	11	17	1	1	0	0
低木種							
ヤマザクラ	<i>Rhus trichocarpa</i>	(77)	97	7	0	0	0
ナツハグ	<i>Vaccinium oldhamii</i>	(58)	11	0	0	0	0
ミズナギ	<i>Viburnum dilatatum</i>	(54)	20	0	0	0	0
ヤマザクラ	<i>Rhododendron obtusum</i> var. <i>kaempferi</i>	(37)	16	0	0	0	0

た(図-2)。

また街路樹などから二次林の中に移入してその動態が注目されるトウネズミモチは樹高2 m以上に生長した個体は全くみられなかった。逆に二次林内の土地所有の境界に植栽されているヒノキ、サワラ高木に由来すると考えられるこれらの種の稚樹では、低木層に達している個体が多く確認された。

低木層では、調査区3を除いてヤマウルシの個体数がきわめて多く確認された。またいずれの調査区においてもガマズミやヤマツツジ、ナツハゼの個体数が多かった。

表-4に主要な種についての結果を示す。表には集中分布の有意水準を示し、空白部分は有意差がなかったもの、横線は分析・統計処理に耐えられる個体数(5個体未満)がなかったものを示す。

高木層・亜高木層構成種のコナラとイヌシデはいずれの調査区においても稚樹層で個体の分布が集中していた。本研究対象地の二次林で遷移が進行するとき鍵となるシラカシも、稚樹層で集中分布する傾向が2つの調査区で見られ、低木層においても有意ではながい傾向が見られた(調査区1: $p=0.17$, 調査区2: $p=0.14$)。ヒノキやサワラについても、稚樹層で多くの調査区で集中分布が確認された。低木層に多くの個体がみられるアオハダやエゴノキは、集中分布をする傾向がみられなかった。

低木層では、個体数の多いヤマウルシが低木層で分布が集中する傾向にあった。ゴズンイは、調査区3を除いて集中分布の傾向がみられる。低木層の中でヤマツツジは、稚樹層と低木層において、かなり強く分布が集中した。

4. 考察

定期的な伐採や下草刈りを行うことで遷移の進行を止め、二次林は維持されてきた。林冠の閉鎖した場所では、確かにコナラやクマギ、クリの低木はなく、根元直径からみた稚樹層の個体群構造もサイズの小さい方に偏っていることが確認されている(大久保・加藤, 1994)¹³。しかしエゴノキやイヌシデ、アオハダは稚樹層でも比較的大きな個体がみられ、さらに低木層にも多くの個体がみられた。将来林冠にギャップが生じた際に、閉鎖した林冠内でも前生的に低木層・亜高木層に生育しているこうした種のほうが、コナラなどよりすばやく更新できる可能性を持つと考えられる。

表-4 稚樹層と低木層における個体分布の集中度

種名	調査区1 稚樹層 低木層	調査区2 稚樹層 低木層	調査区3 稚樹層 低木層
コナラ	***	-	***
イヌシデ	***	*	**
シラカシ	-	*	*
クマギ	-	***	***
ヒノキ	-	**	-
ヤマウルシ	***	-	**
ガマズミ	*	-	-
コナラ	-	***	-
イヌシデ	-	-	**
クマギ	-	-	**
低木層			
ヤマウルシ	***	-	***
ガマズミ	-	**	-
ヤマツツジ	**	***	***
ゴズンイ	*	*	*
アサギ	-	*	-
ヤマウルシ	-	***	-
クマギ	-	-	*
イヌシデ	-	-	*
アサギ	-	-	*
シラカシ	-	-	*

* $p<0.05$ ** $p<0.01$ *** $p<0.001$

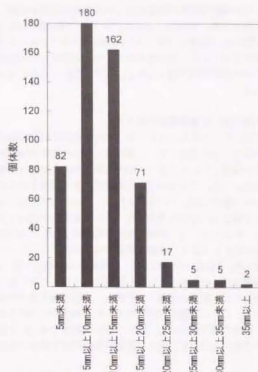


図-2 シラカシ実生・稚樹の根元直径度数分布

つと考えられる(Martinez-Ramos and Soto-Castro, 1993)¹¹。これが遷移の進行なのか後退かは別として、現状とは逆の植生構造が生じる可能性がある。アカマツ林におけるアカマツ一斉後の遷移を研究した達・大沢(1994)¹²によると、林冠層が開いた場所への高木種の侵入順序はアカマツ型、コナラ型、イヌシデ・サクラ型、ムクノキ型、シロダモ型であったことを確認している。特にこの研究では、先駆的種であるムクノキ・エノキが一時的にも林冠層を形成することを示唆している。本研究地のコナラ・アカマツ林においては、第一にエゴノキが、それに続いてイヌシデ・アオハダが一時的に林冠層を構成する可能性が植生構造の現状から予測された。

一般にこの地域で二次林が放棄された遷移が進行するとシラカシ林になるといわれている。本研究の結果から閉鎖された林冠内でも低木層にシラカシが優占しつつあり、シラカシ林が成立すると示唆できる。しかし根元直径の小さい個体が少ないことから、この種の種子の移入が近年制限されていると考えられる。今回その原因を明らかにできなかったが、浜端(1980)¹⁴は、重力散布型の種子を持つ種が樹林地の孤立化の影響を受けると結論づけていることから、他の土地利用形態によって分断されたコナラ二次林ではシラカシ林に遷移しない可能性が増加すると考えられる。

また二次林内で土地所有の境界に植栽されているヒノキやサワラが稚樹層に多くみられ、さらに低木層に達している個体が多いことから、こうした種も二次林の遷移の中で重要な位置を占めると示唆される。

また多くの本木種で集中分布する傾向が確認された。その要因として、1) 種子の移入段階もしくは埋土種子の状況に偏りがあった、2) 生育する段階で生長に適した環境がパッチ状に存在することが考えられる。これまでコナラ二次林の埋土種子集団の分布に空間的な不均一があることが確認されている(浜田・倉本, 1994)¹⁵。しかし稚樹層で集中分布する種も低木層でその傾向が確認されなかった種もあり、また両層において集中分布する種でも、集中する場所が異なる。また調査区の間に差があることから、調査区の空間的位置と現在の土層の種組成や構造、さら

に過去の管理強度や管理が放棄されてからの時間経過が影響したためと示唆される。今回は、3m×3mのサブ調査区を単位として、空間分布を把握したが、サブ調査区の大きさによって分布様式が変化することも十分にあり得る。今回確認された木本種の分布の不均一性の原因は様々であり、また時間的にも変化すると思われる。

5. 二次林における遷移管理のあり方

結果で明らかにされたように、多くの高木種が林冠を構成する可能性があることを考慮すると、新炭林としての管理が放棄された二次林が遷移していく段階で、多様な植生が成立する可能性があることと示唆される。これは将来林冠を構成する可能性のある種の多くが林内で集中分布していることから、その分布に配慮しながら管理区を設定し、適切な管理を行うことで実現性が增加するであろう。これまでコナラ二次林の植生管理に関する多くの研究は、丘陵地を対象にしており、武蔵丘陵森林公園のコナラ二次林を対象にした石坂 (1989)¹⁾の研究では、微地形単位で植生が異なることが指摘され、それをもとに植生管理計画が立てられてきた。今回対象とした二次林は台地上に位置し、土地環境はほぼ均質と考えられる。こうした場所で植生管理、特に遷移管理計画を策定する際、現在の植生構造からどのような方向に遷移するのかを把握し、個々の種の空間分布を捉え、遷移管理の単位を設定するの

1つの方法として提案できる。

個々の種についてみていくと、シラカシは、閉鎖された林冠でも生長し、二次林の遷移が進む中で優占していくと考えられる。しかし近年その補充が制限されていることから、二次林をシラカシ林に遷移させようとするとき、問題となるであろう。またエゴノキやヌメダ、アオハダは一時的にいても、林冠が開いたときに優占する可能性を持つと示唆される。現在林冠層に優占するコナラなどは、閉鎖された林冠では生長する期待が薄く、従来行われてきた二次林の維持管理 (伐採) によって維持していくのが適当と考えられる。問題は、境界木として植栽されてきたヒノキやサワラが閉鎖林冠下でも生長できると示唆されるため、こうした種を二次林の遷移の中にどう位置づけ、評価するかである。

今後は今回確認されたような現象が、他の平地二次林でも同様なのかを確認し、管理の放棄された二次林の遷移に関して考察を深め、遷移管理の可能性をさらに探っていくたい。

謝辞

東京大学大学院農学生命科学研究科の井手久登教授、東京大学アジア生物資源環境研究センターの武内和彦教授には、本論文をまとめるにあたり様々な角度からご指導をいただき、貴重なご意見を賜った。また調査の際に東京大学緑地学研究室の皆様にはご協力を得られたことを、この場をお借りして御礼申し上げたい。

参考および引用文献

- 1) Clark, P. J. and Evans, F. C. (1954): Distance to nearest neighbour as a measure of spatial relationships in populations: *Ecology* 35, 445-453
- 2) 達良俊・大沢雅彦 (1992): 都市景観域における放棄アカマツ植林の二次遷移とアカマツの一斉枯死による影響: *日本生態学会誌* 42, 81-93
- 3) 野田拓・倉本寛 (1994): 実生出現法によるコナラ林の埋土種子集団の研究及びその植生管理への応用: *ランドスケープ研究* 58, 76-82
- 4) 浜端悦治 (1980): 都市化に伴う武蔵野平地二次林の草本層組成の変化—都市近郊の森林植生の保全に関する研究 I—: *日本生態学会誌* 30, 347-358
- 5) 石坂健彦 (1989): 大規模緑地の植生管理に関する群落構造的な研究: *緑地学研究* 9, 110pp
- 6) Luken, J. O. (1990): *Directing ecological succession*: 251pp, Chapman and Hall, London
- 7) Martínez-Ramos, M. and Soto-Castro, A. (1993): Seed rain and advanced regeneration in a tropical rain forest: *Vegetatio* 107/108, 299-318
- 8) 大久保信・加藤和弘 (1994): 都市近郊の分断された平地二次林における高木種の補充に関する研究: *造園雑誌* 57, 205-210
- 9) Upton, G. J. G. and Fingleton, B. (1990): *Spatial data analysis by example Volume 1 - point pattern and quantitative data*: 410 pp, John Wiley & Sons, London
- 10) 山本進一 (1987): 孤立林のダイナミクス: *生物科学* 39, 121-127

Summary: The objective of this study is to recognize possible succession pattern of secondary forests, and to establish succession management systems.

In the suburbs of the Tokorozawa city, Kanto district, Japan, three quadrats (two 30m×30m quadrats and one 36m×36m quadrat) were placed within fragmented and abandoned secondary forests dominated by *Pinus densata* and *Quercus serrata*. From May 1994 to October 1994, the vegetation structure, especially woody species was investigated in each quadrats to analyze spatial pattern of plant distribution.

Many individuals of ever-green species, *Quercus myrsinaefolia* were found in the seedling/sapling and shrub layers. This species was thought to grow under closed canopy and to have a lot of opportunity to be dominant in the abandoned secondary forests in the future. In the other hands, there were some deciduous species, like *Ilex macrospora*, *Carpinus tschonoskii* and *Styrax japonica*, found in the herb, shrub and also higher layers. We suggested that such species could compose the canopy in the passing stage during succession in the secondary forests. It was distinctive characteristic that a number of large sized individuals of *Chamaecyparis obtusa* and *Chamaecyparis pisifera*, which seem to be regenerated from the trees planted as the landmark of the land ownership, were found in this study sites.

The spatial distribution of individuals of some species in the secondary forests were not random but clustered. This patchy structures were very important in thinking of vegetation management, especially succession management and restoration of the secondary forests.

