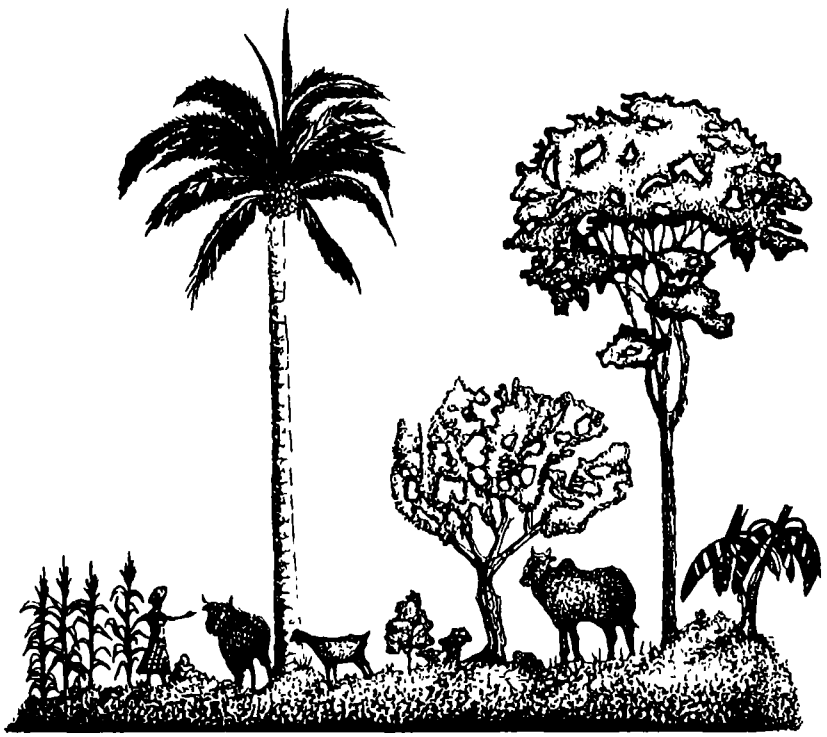
熱帯林情報No. 4

ISSN 1341-5611

アグロフォレストリー入門
（抄訳）

P.K.R. Nair 著
訳　熊崎　実（監訳）
　　佐藤　明
　　太田誠一
　　加藤　隆



財団法人 国際緑化推進センター

An Introduction to Agroforestry

P.K. Ramachandran Nair

Department of Forestry,
University of Florida,
Gainesville, Florida, U S.A.

Kluwer Academic Publishers
DORDRECHT / BOSTON / LONDON

IN COOPERATION WITH
International Centre for Research in Agroforestry

"Copyright (c) KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS B. V. 1993"

Kluwer Academic Publishers B V.,
P. O. Box 17, 3300 AA Dordrecht,
The Netherlands.

This Japanese edition published 1996 by
Japan International Forestry Promotion and Cooperation Center
(J I F P R O)

熱帯林情報「アグロフォレストリー入門(抄訳)」の発刊にあたって

私ども国際緑化推進センターでは、我が国の国際森林・林業協力を総合的に支援するため、協力を担う人材の養成・確保、技術情報の収集・整備・提供、ＮＧＯ等の民間協力活動の支援、国際緑化の普及啓発、熱帯での植林などの活動を行なっております。

そして、熱帯地域などでの森林造成に必要な情報として「熱帯林情報」を発刊し、当センターが行なう研修等の参考資料として使用するとともに、熱帯地域等で協力活動に従事する方々のための良き参考書としても活用頂いているところであります。

今回はアグロフォレストリーの分野で世界的に著名なＰ．Ｋ．Ｒ．ネアの「アグロフォレストリー入門」（"Nair:An introduction to Agroforestry"）を熊崎実 筑波大学教授を中心に翻訳して頂き「アグロフォレストリー入門（抄訳）」と題して、発刊いたすこととなりました。

熱帯林の保全・造成が急務となっている今日、熱帯地域の住民の生活基盤の向上を計るため、林業と農業、あるいは畜産業等との共存形態であるアグロフォレストリーが森林の保全・造成に有効であることが認識されるようになってきています。

しかし、我が国においては古来からのアグロフォレストリーの一形態である「木場作」もすでに実行されなくなって久しく、日本語で書かれたアグロフォレストリーのテキストブックも極めて少ない状況にあります。この「アグロフォレストリー入門（抄訳）」の発刊がこの空白を埋めてくれるものと確信しています。

ご多忙のなか翻訳に当たって頂きました筑波大学の熊崎教授と研究科生、森林総合研究所の佐藤、太田、加藤の３氏には衷心より感謝申し上げます。

また、本書の刊行にあたり、日本語訳についての許可を快く了解して下さったクルワール・アカデミック出版社(Kluwer Academic Publishers B.V.）に対しても厚く御礼申し上げます。

おわりに、本書が、今後、我が国の国際森林・林業協力の推進に大いに貢献出来ればと願うものであります。

1996年３月

㈶国際緑化推進センター
理事長　秋山　智英

目　次

ページ

はじめに

第Ⅰ部　導入 …… 1

第1章　アグロフォレストリーの歴史 …… 3

第2章　アグロフォレストリーの定義と概念 …… 11

第Ⅱ部　アグロフォレストリーのシステムと実施方式 …… 17

第3章　アグロフォレストリー・システムの分類 …… 19

3．1　システムの構造による分類 …… 22

3．2　システムの機能にもとづく分類 …… 26

3．3　生態的な分類 …… 26

3．4　社会・経済的基準にもとづいた分類 …… 28

3．5　分類のための枠組み …… 30

3．6　アグロフォレストリーのシステムと実行方法 …… 31

第4章　熱帯におけるアグロフォレストリー・システムの分布 …… 35

4．1　熱帯の環境 …… 35

4．2　熱帯のアグロフォレストリー・システムの分布 …… 36

4．3　熱帯のアグロフォレストリー・システムと農業生態地域 …… 41

第5章　移動耕作と改良休閑地 …… 48

5．1　移動耕作システムの概観 …… 48

5．2　土壌管理と移動耕作 …… 53

5．3　栽培休閑地の展開 …… 56

5．4　改良樹木休閑地 …… 61

第6章　タウンヤ …… 66

6．1　土壌管理 …… 68

6．2　タウンヤの代替と改良 …… 70

第7章　ホームガーデン …… 74

7．1　ホームガーデンの類型 …… 75

7．2　ホームガーデンの構造 …… 77

7．3　ホームガーデンでの食糧生産 …… 83

7．4　ホームガーデン・システムの研究 …… 84

第８章　プランテーション作物の結合 …… 86
８．１　プランテーション作物を含む統合的土地利用システム …… 87
８．２　ココナッツの小農システム
：統合的土地利用の注目すべき事例 …… 90
８．３　他のプランテーション作物との結合 …… 102
８．４　多層樹園地 …… 106
第９章　アリー・クロッピング …… 110
９．１　養分生産 …… 110
９．２　土壌の性質と保全への影響 …… 114
９．３　作物収量への影響 …… 117
９．４　将来の方向性 …… 122
第10章　その他のアグロフォレストリー …… 127
10．１　飼葉とシルヴォパストラル・システム …… 127
10．２　薪生産のためのアグロフォレストリー …… 130
10．３　規則的にまたは散らばって植えられた樹木の間での間作 …… 132
10．４　問題土壌の改良のためのアグロフォレストリー …… 136
10．５　土着のアグロフォレストリーにおける低開発樹種 …… 138
10．６　緩衝帯のアグロフォレストリー …… 139

第Ⅲ部　アグロフォレストリーにおける種 …… 143
第11章　植物における生産性の一般原理 …… 145
11．１　光合成 …… 145
11．２　植物の生産性 …… 149
11．３　アグロフォレストリーの光合成に対する取扱い …… 152
第12章　アグロフォレストリーにおける種：多目的樹種 …… 156
12．１　多目的樹種（ＭＰＴｓ） …… 157
12．２　草本種 …… 168
付録　アグロフォレストリー・システムに一般に用いられる
多目的樹種の主な用途・種特性の要点 …… 180
第13章　構成要素の相互作用 …… 220
13．１　正（増産）の相互作用 …… 222
13．２　負（減産）の相互作用 …… 227

13. 3 構成要素の管理 …… 233

第IV部 土壌の生産力と保護 …… 237
第14章 熱帯土壌 …… 239
14. 1 土壌分類：米国土壌分類体系とFAO土壌分類 …… 239
14. 2 熱帯土壌 …… 240
第15章 樹木が土壌に与える影響 …… 245
15. 1 有益な効果 …… 248
15. 2 不利な効果 …… 250
第16章 養分循環と土壌有機物 …… 252
16. 1 熱帯林生態系における養分循環 …… 252
16. 2 アグロフォレストリー・システムにおける養分循環 …… 257
16. 3 管理による養分循環効率の改善 …… 262
16. 4 土壌有機物 …… 264
16. 5 リターの質と分解 …… 267
16. 6 樹木とバイオマス生産 …… 272
16. 7 根の役割 …… 273
16. 8 結論 …… 276
第17章 チッソ固定 …… 279
17. 1 根粒菌植物 …… 280
17. 2 放線菌根粒植物 …… 284
17. 3 チッソ固定の推定 …… 285
17. 4 アグロフォレストリーにおけるチッソ固定樹木の利用技術 … 289
17. 5 アグロフォレストリーにおけるチッソ固定研究の将来方向 … 293
第18章 土壌保全 …… 296
18. 1 変化する概念と傾向 …… 296
18. 2 土壌侵食の測定 …… 298
18. 3 土壌侵食因子に対するアグロフォレストリーの影響 …… 300
18. 4 アグロフォレストリー下での土壌侵食速度 …… 301
18. 5 防風林・保護林帯としての樹林地 …… 305
18. 6 アグロフォレストリーの実施を通しての侵食防止 …… 310

第Ⅴ部　アグロフォレストリー・システムの設計と評価 …… 317
第19章　診断と設計の方法論 …… 319
19. 1　D&Dの起源 …… 319
19. 2　D&Dの概念と手順 …… 320
19. 3　D&Dの重要な特徴点 …… 321
19. 4　さまざまな規模のD&Dの手順 …… 325
19. 5　D&Dと他の類似の方法論の比較 …… 327
第20章　アグロフォレストリーの野外試験 …… 331
20. 1　アグロフォレストリー研究：異なる観点とさまざまな局面 … 332
20. 2　野外試験の原則 …… 336
20. 3　アグロフォレストリーの試験における特別の配慮 …… 337
20. 4　アグロフォレストリー試験の現状 …… 345
20. 5　アグロフォレストリー研究の今後の方向 …… 348
第21章　実際の耕作地での試験 …… 352
21. 1　一般的な配慮 …… 352
21. 2　耕作地を使った試験データの
安定性に関する修正された分析法 …… 354
21. 3　アグロフォレストリーにおける耕作地を使った研究 …… 357
21. 4　アグロフォレストリーにおける耕作地を使った研究の方法 … 358
21. 5　結論 …… 361
第22章　経済的配慮 …… 363
22. 1　経済分析の一般的原則 …… 363
22. 2　財務および経済分析 …… 368
22. 3　プロジェクトの分析 …… 369
22. 4　過去および最近のアグロフォレストリーに
関する経済的研究 …… 388
22. 5　結論 …… 392
第23章　社会文化的配慮 …… 393
23. 1　社会科学としてのアグロフォレストリー …… 393
23. 2　アグロフォレストリーにおける重要な社会文化的要素 …… 394
23. 3　樹木の植栽に関する農民の認識：専門家の無知 …… 399
23. 4　政府の政策とアグロフォレストリーの実行 …… 403

23. 5　アグロフォレストリーの社会的な受け容れられやすさ …… 405
第24章　アグロフォレストリー・システムの評価 …… 409
24. 1　生産性の評価 …… 409
24. 2　持続可能性の評価 …… 414
24. 3　適用性の評価 …… 417
24. 4　アグロフォレストリー・システムを
評価する方法論の発展に向けて …… 418

ま　え　が　き

アグロフォレストリーもこの15年ほどで著しく成熟した。その間にアグロフォレストリーはあらゆる側面で発展したが、なかでもその教育・訓練にかかわる活動と関心は驚くほどの高まりをみせている。今日、世界中の大学で、農学、林学、生態学などの正規の課程の一部として、アグロフォレストリーが取り入れられるようになった。この数年来この主題についての書物が何冊か出版されたが、1冊ですべてをカバーしたテキストブックはまだ出ていない。本書はこの空白を埋めるべく企画したものだ。

筆者は、5年ほど前に、フロリダ大学の大学院でアグロフォレストリーを教えることになり、テキストブックの必要性を痛感したのである。1988年の12月に同大学で開催された専門教育と訓練に関する国際ワークショップは、アグロフォレストリー教育を推進する重点事項として、入門的なテキストブックの編纂を勧告した。また筆者自身、さまざまな教育・訓練プログラムに関与していたし、世界各地でアグロフォレストリーを教えている教官や学生とも交流していたことも、本書を生み出すきっかけとなった。

アグロフォレストリーというのは恐ろしく複雑な学科である。多くの科目の混成物、アマルガムと言っていい。アグロフォレストリーは、何世紀にもわたって世界の各地、わけても熱帯の途上国において巧みに実行されてきた。近年、長年月のテストに耐えた、この方式について、その原理を明らかにし、また科学的な原理の適用により改善しようとする研究が盛んに行われるようになった。現在の段階ではっきりしてきたことは、アグロフォレストリーの科学は生物物理科学と社会科学の双方の調和のとれた融合であり、また融合でなければならないということである。すべての領域をカバーするのが入門的なテキストブックの使命とはいえ、別々に扱われてきた主題を一つのものに統合するというのは容易なことではない。本書はそれをあえてやろうとした。すべてとは言えないまでも主要な領域はカバーされているはずである。

本書は25章からなり、それが6部に分かれている。最初の第Ⅰ部でアグロフォレストリーの歴史的な展開をあとづけ、その根底にある考え方と原則を述べる。熱帯における主要なアグロフォレストリー・システムと最近の展開については第Ⅱ部（第3～10章）で論議し、第Ⅲ部をなす3つの章（11～13）の主題は植物の生産性や相互作用にかかわるものだ。なお第12章の末尾にはアグロフォレスト

リーで一般的に使われる多目的樹木と低木の50種ほどが概説されている。第Ⅳ部（第14～18章）は土壌の生産性を取り扱う。この部の論議は他にくらべとやや詳細にわたっている。それというのも、この主題が多くの研究者を引きつけてきたからであり、また土地の生産性の改善がアグロフォレストリー最大の強みとされているからである。第Ⅴ部（第19～23章）では、診断と設計、野外試験の設計、農場調査、経済的・社会的な調査、システムの評価規準などについて論議する。第Ⅵ部（第25章）は温帯のアグロフォレストリーについてである。

1992年11月　フロリダにて

Ｐ．Ｋ．Ｒ．ネア

日本語版について

原著者の「まえがき」にあるように、本書は6部、25章からなっているが、この訳書では最後の第Ⅵ部（温帯のアグロフォレストリー）を省略した。また原書の各章の末尾にある相当な数の文献も日本語版には入れなかった。関心のあるむきは原書を参照されたい。ただし本文に記されている限りの出所（文献の筆頭著者名と発行年）は訳書にもそのまま入っている。このほかに本文で省略したところもあるが、それは付け足し的な部分に限られ、量的にはごくわずかである。

日本語訳の分担は次の通り。全体の調整を熊崎がおこなった。

氏　　名　（所属）	分担箇所
熊崎　実（筑波大学農林学系） 宮国　凉、松下　香、樋山千春（筑波大学農学研究科）	第Ⅰ、Ⅱ部
佐藤　明（森林総合研究所生産技術部）	第Ⅲ部
太田誠一（森林総合研究所海外林業調査科）	第Ⅳ部
加藤　隆（森林総合研究所海外林業調査科）	第Ⅴ部

訳者を代表して

熊崎　実

第Ⅰ部　導　入

2章からなるこの導入部では、まず1960年代、70年代にアグロフォレストリーが確立していく過程を概観し、続いてアグロフォレストリーの概念と原則について論議する。ここでは、村落林業、農場林業、社会林業などの一般的な関連用語も説明される。

第１章　アグロフォレストリーの歴史

大昔から世界中の農民たちは、樹木と農作物を組み合わせた農耕を行ってきた。アグロフォレストリーの歴史を調べたKing（1987）によると、中世までのヨーロッパでは劣化した森林を伐倒・焼却して作物を栽培する際、農作物の播種と前後して樹木の苗を植えたり種子を蒔いたりする習慣が一般的になっていたという。このような農耕システムはもはやヨーロッパでは見られなくなっているが、前世紀の終わりまでフィンランドで広く行われていたし、ドイツの一部では1920年代まで実際にやられていたのである。

熱帯アメリカではいくつもの社会集団が、森林生態系がもたらす多様な恵みにあやかろうと森林に似せた状況をつくり出していた。例えば、中央アメリカの農民たちは、 0.1ヘクタールにも満たない土地に平均20種類以上の植物を栽培するやり方を長年にわたって培ってきた。ココナッツやパパイヤの下にバナナや柑橘類を植え、その下の低木層でコーヒーやココア、地表部でトウモロコシなどの一年生作物を栽培し、さらにカボチャのような被覆作物をつくるといった具合である。構造のちがうさまざまな作物のこうした組み合わせは熱帯林の多層構造を模したものだ（Wilken, 1977)。

アジアでは、フィリピンのハヌノオ族がもう少し複雑で込み入ったタイプの「移動」耕作を行っている。農耕用の土地を伐開するとき、彼らは意図的に特定の樹木を切らないで残しておくのである。残された樹木は、稲作が終わるまでに新しい葉を出して不完全な樹冠を形成し、土壌が強い日光にさらされるのを防いでくれる。樹木はハヌノオ族の農耕システムに不可欠なものであって、食料、薬、建築用木材や化粧品を得る目的で新たに植えられたり、もともと森林にあったものが保存されたりしていた（Conklin, 1957)。似たような農耕システムはアジアの湿潤熱帯の低地で広く営まれてきた。

アフリカでも状況はほとんど変わらない。ナイジェリア南部でよく見られるのは、ヤムイモ、トウモロコシ、カボチャやマメ類が、散在する樹木とともに栽培されるケースである（Forde, 1937)。ナイジェリア西部に住むヨルバ族は、草本、潅木、樹木作物を織りまぜた集約的な農耕システムを長年にわたって続けてきた。彼らの考えでは、このシステムは密な森林から獲得した限られたスペースを十分に活用して労働投下を節約する方式であり、土壌の肥沃さを維持すると同時に土壌浸食と養分流出を防ぐ安価な方法でもある（Ojo, 1966)。

同一の土地で樹木と農作物を組み合わせる伝統的な土地利用の事例は、世界中の多くの地域で数え切れないほど存在している。そのうちのいくつかが、現在、アグロフォレストリーとして認知されているものだ。樹木はこれらの農耕システムの不可欠の一部を構成しており、農業を維持するため意図的に農地に残されるのである。その究極の目的は食糧の生産にあるのであって、木材生産ではない。

しかし19世紀の終わりころになると、人工林あるいは農作物のプランテーションの造成がアグロフォレストリーの重要な目的となった。当初、この変化は意図的に行われたのではなかった。1856年に大英帝国の辺境の植民地、ミャンマー（ビルマ）のサラワディ州にあるトンゼ国有林で、ここに住むカレン族のU. Pan Hleが、「タウンヤ（taungya)」と呼ばれる方法を用いてチーク（*Tectona grandis*）のプランテーションを造成し、総督であったDietrich Brandis に献呈した。 Brandisは「もしこれが実行されるようになれば、チークを植える最も効果的な方法になる」と言ったと伝えられている（Blanford, 1958)。これを皮切りに、この方法は次第に広がっていった。早くも1887年には南アフリカに導入され（Hailey, 1957)、1890年には当時のビルマからインド植民地のチッタゴン、ベンガルに持ち込まれた（Raghavan, 1960)。タウンヤ・システムの基本的な考え方は、できる限り失業中あるいは土地無しの労働者を雇って人工林を造成するということであった。林業のための仕事をするかわりに、労働者は列状に植えられている稚樹の間の土地で農作物を栽培することが許される。タウンヤ・システムの基本はこのように単純なものだが、詳しくみると国や地域によって差異がある（第6章で詳述)。

当時の森林官の関心がもっぱら森林の造成と木材生産に偏していたため、これまで述べたような混合システムの研究においても、その主要な目的は次のような点に向けられていた。

- 林業用樹種へのダメージを減らすこと
- 林業樹種の成長が農作物との競争によってはなはだしく抑制されることがないようにすること
- 樹木の残存と急速な成長を確実にするよう、樹木あるいは農作物を植栽する場合の最適な時間、タイミングを明らかにすること
- 農作物種との競争に耐えうる樹種を見つけること
- その後の樹木の成長にとって最適な苗木の植栽間隔を明らかにすること

要するに、これらの研究は森林官が林業のために行ったものである。彼らはこ

のシステムが農業に対して重要な貢献をなし得るとは見ていなかったし、土地経営システムとしての可能性についても夢想だにしなかった（King, 1987)。

1970年代に生じたもろもろの変化の中で、アグロフォレストリーは農と林のいずれにも適用可能な土地管理システムとして一般的に受け入れられることになった。変化というのは次のようなものである。

- 世界銀行による開発政策の見直し
- 国連の食糧農業機関（ＦＡＯ）による森林政策の見直し
- 間作システム、農耕システムについての科学的関心が再び喚起されたこと
- 発展途上国の多くの地域で食料事情が悪化したこと
- 熱帯林の消失や生態的劣化が拡大したこと
- 1970年代のエネルギー危機とそれに伴う価格上昇、肥料不足
- カナダの国際開発研究センター（ＩＤＲＣ）によって、熱帯林業研究における優先事項確認のためのプロジェクトが開設されたこと

1970年の初頭に当時の開発政策とその手法の正当さに対して深刻な疑問が投げかけられた。とくに最も貧しい人びと、とりわけ農村貧困層の基本的な要求についての考慮がなされず、適切な処置が取られていないというのである。当時の世界銀行の総裁であった Robert McNamaraは、明らかにそれらに立ち向かう姿勢を見せた（McNamara, 1973)。

「発展途上国に住む20億人のうち、ほぼ３分の２、約13億人が農家の家族員で、そのうち年間の平均所得が 100ドル未満の人びとが約９億人いる．．．生存ぎりぎりの状態にある莫大な数の農民たちにとって、日々の生活は決して満足できるものでも人並なものでもない。空腹や栄養不足が彼らの家族を脅かしている。文盲が彼らの未来への扉を閉ざしているし、病気と死が彼らの村へいく度となく訪れ、なかなか去ろうとしない。やっと去ったと思えばすぐに再び訪れる。

緑の革命という奇跡が訪れたが、ほとんどの地域では貧しい農民たちはその革命に参加することができなかった。彼らは灌漑、農薬、肥料などにお金を使うことができず、あるいは土地そのものを確保するのが難しい。土地への権利は侵されやすく借地権もあいまいであるからだ。」

農村貧困層への憂慮を背景に、世界銀行は国レベルの林業計画への支援を積極的に検討するようになった。その結果出てきたのが1978年の林業政策（Forest

Sector Policy)である。1980年代に世界銀行が林業の各部門に対して行った資金貸与の多くは、この政策を基準にしていた!? 確かに、1980年代にかなりの拡大を見る社会林業のプログラムにはアグロフォレストリーに関する多くの要素を含んではいたが、伝えられる所によれば、食料生産の増大と環境保全を通して農民たちを援助すると同時に、在来の森林部局による木材生産、加工をも促進するように立案されていた（Spears, 1987)。

ＦＡＯにおいても1974年の林業局長の交替を契機に、第三世界に対して助言してきた政策のみならず、発展途上国で援助していた林業プロジェクトについても厳しい再評価を行った。見直しの結果、顕著な成功を収めた地域がある一方で、失敗した地域のあることが判明した。Westoby(1989) は後にこう言っている。

「ここ10年にわたって発展途上国において行われた森林、林業や林産業開発はほとんど輸出指向のものだった．．．大衆の基本的な森林産物に対する需要の充足度は、以前と比べても満足にはほど遠い．．．。

発展途上国の森林部局は、このような間違った森林、林業、林産業開発を促進することに最も関心を注いできた。林業が果たすべきもっと重要な役割、つまり農業の維持や農村福祉の向上といったものは、ほとんど無視されてきたのである。」

ＦＡＯは方針を転換して農村の貧困層を重視し援助の重点をそちらに向けることとした。ＦＡＯの新しい政策は、従来の林業開発を放棄したわけではないが、農村開発のための林業の重要性を強調したものであった（FAO, 1976)。食料、農産物生産に及ぼす樹木や森林の有益な効果に多大な関心が払われるならば、農民と国家双方へ利益が生じうるということにも焦点が当てられている。そして熱帯における土地経営者に対し、農耕システムの中に農業と林業を結合させ、「農業と林業の間違った二分法を避ける」（King, 1979）よう助言した。

この国際金融機関と国連の特別機関によって個別に展開してきた二つの森林政策の改善にむけて、時を同じくして、多くの熱帯土地利用の専門家や研究所による研究の成果が積み重ねられていた。森林消失と環境劣化の問題に直面して、これらの専門家や研究所は、社会的に受容され、生産基盤の持続性を確固たるものとし、多様な生産物への需要に対応できる適切な土地利用法の研究をおし進めた。地元住民が森林から直接に利益を得ることができるようなすぐれた計画を創り出

す努力がなされたことにより、社会林業のような新しい林業概念への道が開かれ、それらが多くの国々で実践された。

1960、70年代における農業研究・開発分野の発展によって、アグロフォレストリーの系統立った研究ができるようになった。国際農業研究協議グループ（ＣＧＩＡＲ）の後援のもと、主要な熱帯農作物（あるいは動物）の生産性を向上させる研究を遂行するために、国際農業研究センター（ＩＡＲＣｓ）が世界中のさまざまな地域に設立された。これらのセンターの共同研究や適切な国家計画によって、高収量品種穀物やそれに関連する技術が開発され、緑の革命がもたらされたのである（Borlaug and Dowswell, 1988)。しかし、まもなく緑の革命に伴う技術の多くは、肥料やその他の高価な投入物への需要をいちじるしく増大させ、発展途上国の資源を持たない多くの農民たちにとって手の届くものではないことがわかった。国際農業研究センターや国家計画のほとんどは、米、麦、トウモロコシ、ジャガイモといった作物と、これらのモノカルチャー（単一作物栽培）システムのための生産技術に関する研究に焦点を当てていた。しかし、農民、とくに貧しい農民は、複数の農作物、時には農作物と樹木とを混合させて栽培を行うことが多いのである。そのような状況下においては、おのおのの作物ごとに開発された生産技術は、ほとんど適用できない。これらの欠点が、多くの政策担当者によって認識されるようになった。

その結果、間作・統合的農耕システムという概念への関心が再び高まった。例えば、間作は単作よりもいくつかの利点を有していることが示されている。世界各地で行われた予備的な研究の結果によると、間作システムのもとでは日光、土地、水分のより効率的な利用が見られ、また間作システムが害虫や病気の問題に対しても有効であることを示している。つまりマメ科とその他の作物を混植する方が有利であり、その結果としていえるのは、単作システムと比較しても、複合栽培システムの方が単位面積あたりの収量がより高いということである（Papendick *et al.*, 1976)。

間作という分野において莫大な数の野外実験が行われてきたにもかかわらず、まだまだ未知の分野の多いことも明らかになってきた。とくに間作の研究ではより科学的な手法が必要であると痛感され、作物生理、耕種、収量の永続性、生物窒素固定、植物保護の観点からよりいっそうの研究が必要であると言われている（Nair, 1979)。ナイジェリア、イバダンにある国際熱帯農業研究所（ＩＩＴＡ）は農作物生産に樹木や潅木を統合させる研究へ手を広げている(Kang *et al.*,

1981)。その他の研究組織も、例えばゴムのようなプランテーションと動物との統合や、ココナッツの間作といったような研究に真剣に取り組み始めた（Nair, 1983)。

こういった科学的研究の成功を基礎として、農業研究にたずさわる科学者たちは、土壌の持つ生産性の維持と土壌浸食の抑制において樹木や潅木が果たす役割についての研究だけでなく、プランテーションやその他樹林地において間作が実行可能であるかどうかの調査も始めた。畜産経営の専門家も、農耕・牧畜生産混合システムの中で、土着樹種や潅木の若葉が重要であることを認め始めている。

熱帯林業・農業における土地利用変化のシオリオの中で、ここで述べたような変化や展開が出てきた一方で、環境に対する関心も非常に顕著になってきた。世界の熱帯地域で進む森林消失は、1980年代におけるすべての環境論議の中で「最新の重要問題」として位置づけられていた。森林の消失速度についてはいろいろな推計がなされているが、その帰結についてはおおむね意見の一致をみている。土壌の持つ生産力の減退、浸食作用の加速、ダムや貯水池における沈泥、野生生物のすみかの破壊、そして植物の遺伝的多様性の損失がそれだ（世界銀行, 1991)。また、森林消失の主な原因が、再定住計画、大規模農業、企業的林業や家畜生産のための森林の皆伐、そして特に移動耕作であることもよく知られている。1982年のＦＡＯの推定によると、熱帯アフリカにおける森林消失のほぼ70％が移動耕作によるもので、アフリカに残っている密林面積の26.5％、ラテンアメリカの密林面積の16％、熱帯アジアでは22.7％に相当する面積が移動耕作の休閑地となっている（FAO, 1982)。

森林消失という難題に直面して、それを抑制しこれに代わる土地経営戦略を求めて多くの研究努力が傾注されることになった。不幸にも森林消失を抑制することはできなかったが、さまざまな分野に属する多くの研究者たちの努力によって、堅実な戦略がいくつか開発されたのである。例えば、生態学者たちは森林や樹木が生態系の安定に対して良い影響を及ぼすという確固たる証拠をつかんだ。そして、残された森林を守り、土地経営システムにより多くの多年生木本植物を導入して農耕形態を変えていくことが要求されるようになった。改良された土地利用システムに対する農民の行動に関して、文化人類学者や社会科学者が行った研究は、伝統的文化における混合システムの重要性を明らかにし、これらの習慣にもとづいて新しい手法を開発する必要性を強調した。

これらの多くは共同研究という形はとらなかったが、作物、樹木や動物を用い

た混合生産システムの利点について重要な知識を提供した。しかし、アグロフォレストリーの発展をもたらした最も重要な契機は、おそらくカナダの国際開発研究センター（ＩＤＲＣ）によるものであろう。1975年７月に、ＩＤＲＣは疲れを知らないカナダ人、John Beneに次のような研究を遂行する権限を委ねた。

- 世界中の林業研究と訓練における重大な欠落点を明らかにする
- 熱帯の低所得国における林業と農業の相互関係について評価を行い、最適な土地利用につながる研究を企画する
- 発展途上国に相当な経済的・社会的好影響を確実に及ぼしうる林業研究計画を公式化する
- そのような研究を効果的、迅速に遂行するための制度的手配を行うよう勧告する
- 国際的な資金提供者の援助を得るための行動計画をつくる

当初の研究課題は熱帯林業における研究の優先順位を確定することに重点が置かれていたのであるが、Beneの研究チームは、熱帯における最適な土地利用のために、林業、農業そして（あるいは）家畜を統合させた混合生産システムを最優先事項とした(Bene *et al.*, 1977)。要するに、林業から、緊急性と長期的有効性双方を持つと思われる広い意味での土地利用概念へと、重点が移ったのである。

Beneや彼のチームが行ったアグロフォレストリー研究とはいったいどのようなものであったのだろうか。彼らは報告書の中で、次のように述べている。

「樹木と農作物を組み合わせた生産システムが持つ可能性のすばらしさが広く認められていること、そしてそのようなシステムの能力を発展させることを目的とした研究があちこちで計画、実行されていることは疑いのないことである。同様に、そのような方法で熱帯林居住者の運命を改善するためには、現在の研究成果のレベルも不十分であることは明らかである。

飢餓、不十分な住居や環境劣化との戦いの中て、新たな最前線を開くことができるし、また、開かなくてはならない。この戦いでは、有史以前から農民たちが兵器庫の中に蓄えてきた武器を使うことができる。彼らの生活形態の急激な変化は求められていないのである。熱帯における土地利用をよりよい方向へと導く包括的な計画を遂行するために、国際的な資金供給によって運営されるアグロフォレストリー研究の協議会を創設することが、これらのことを成し遂げる最も良い方法である。」（Bene *et al.*, 1977 ）

アグロフォレストリーが効果的に経営されるための基盤となる情報に対して、その必要性が次第に認識されるようになったにもかかわらず、研究の数が非常に少ないことは明らかであった。さらに、研究は無計画に行われてきた。そのため、国際開発研究センターのプロジェクト報告書は、農業と林業の土地経営システムを組み合わせる研究を世界レベルで支援、計画、調整するための国際組織の設立を勧告した。この提案は、国際機関や複数国が参加する機関によって広く受け入れられ、結果として国際アグロフォレストリー研究協議会（ＩＣＲＡＦ、International Council for Research in Agroforestry）が1977年に設立された。長年にわたる習慣として営まれてきたアグロフォレストリーが、はじめて制度化されたのである。

この時以来、人、概念、そして制度の変化が一致し、アグロフォレストリー発展のための人材と基礎が得られた。多くの人材、研究所は、1970年代からアグロフォレストリー概念の理解と発展に価値ある貢献をしてきたが、ＩＣＲＡＦ（1991年に国際アグロフォレストリー研究センター、International Centre for Research in Agroforestryと名前が変更された）は、情報収集、研究遂行、研究成果の普及、新しい方法やシステムの開発を行っている。そして全体としては、はっきりとした事実を提示して懐疑的な人びとによってまだ抱かれている疑念を晴らすための努力も行っており、これらの仕事を行う上で、先導的な役割を果たしてきた。

今日、アグロフォレストリーは発展途上国、工業国双方における大学の多くで、林業、そして農業コースの一部として教えられている。現在、アグロフォレストリーは、単に林業を補助するものというよりは、とくに小規模経営農民により農業システムの一つとして活用されることの方が多い。さらに、土壌改良・保全に関するアグロフォレストリーの能力も一般的に認められているところである。事実、アグロフォレストリーは、木材と食料の双方を収穫できると同時に生態系を保全し回復することのできる土地利用システムとして、急速に認められるようになりつつある。

注

1）1991年に見直しがなされた世界銀行の林業政策は、アグロフォレストリー及び「森林の外にある樹木」に対しより重点を置いている(World Bank, 1991)。

第２章　アグロフォレストリーの定義と概念

前章で明らかにしたように、アグロフォレストリーとは古くからの営みの新しい名称である。この言葉と概念は、土地利用に関する国際的な用語として比較的短期間のうちに受け入れられるよになったが、そこに至るまでにはいくつかの困難があった。まず最初に「アグロフォレストリーとは何か」という点で、多くの曖昧さと混乱が生じていた。1970年代後半から1980年代初期にアグロフォレストリーの経験と知識を積んだ人たちでさえ、アグロフォレストリーを明確に定義することができなかった。おそらく精密さを欠いた表現のため、この期間にアグロフォレストリーについて書かれた出版物をみると、その大部分は少なくとも一つの定義をもち、しばしば想像的でうっとりさせるような解釈がなされている。これも正確さの欠落を示すものであろう。そのような状況は『アグロフォレストリー・システム』創刊号（1982年）の巻頭論文「アグロフォレストリーとは何か」でレビューされており、いくつかの定義がならべられている。

Bjorn Lundgren（ＩＣＲＡＦ）はこれを次のように総括した。

「アグロフォレストリーの定義と目的と可能性とが混在している。たとえば、アグロフォレストリーを生産性と生態系の安定を達成した土地利用の成功例と定義するのは、勝手な思い込みというべきだろう。われわれとしてもそれをめざして努力し、また多くの生態的・社会経済的な環境のもとでアグロフォレストリーの手法は他のいかなる土地利用方法よりも高い可能性をもっているが、作物種の組み合わせを間違えたり、経営がまずかったり、人びとの動機や理解が不十分であれば、アグロフォレストリーも他の土地利用と同様に失敗に終わる。それでも言葉の客観的な意味ではアグロフォレストリーということになるだろう。

アグロフォレストリーの学術的に厳密な定義は、すべてのアグロフォレストリーに共通し、かつ他の土地利用と異なる次の２つの点を強調しなければならない。

- 空間的、時間的に同一の土地単位で農作物あるいは家畜と意図的に組み合わせて木本の永年作物を育成し、
- このシステムを構成する樹木作物と非樹木作物のあいだには生態的、経済的に重要な相互作用（プラス／マイナス）がある。

アグロフォレストリーを推進するにあたり、アグロフォレストリーが特定の目的を達成し得る可能性があることを強調しなければならないが、この場合樹木の

便益を理論的、質的に明確にするだけでなく、量的な情報を提供することがそれ以上に重要である」(Lundgren, 1982)。

このような考え方は、その後ＩＣＲＡＦの研究所内での議論でさらに深められて、次のような定義が示された。

「アグロフォレストリーは、空間的配置、あるいは時間的継起関係において同じ経営単位の土地で、木本の永年作物（樹木、灌木、パーム類、タケ類）を農作物や家畜と意図的に組み合わせて育てる土地利用のシステムと技術の総称である。アグロフォレストリーのシステムにおいては、それぞれの構成要素間に生態的、経済的な相互作用がある」(Lundgren and Raintree, 1982)。

この定義をさらに敷衍すれば、

- アグロフォレストリーは通常２種類ないしそれ以上の作物（あるいは作物と家畜）を含み、そのうち少なくとも一つは木本の永年作物であること。
- アグロフォレストリー・システムからは常に２ないしそれ以上の生産物が得られること。
- このシステムのサイクルは常に１年以上であること。
- 最も単純なシステムでも、単作の方式にくらべて生態的（構造的、機能的）にも経済的にも複雑であること。

この定義は、あらゆる面から見て「完全」というわけにはいかないが、ＩＣＲＡＦの出版物でよく用いられており、広く受け入れられるようになっている。

アグロフォレストリーの定義をめぐる活発な論議はしばらく収まり、その概念と原則、限界についてＩＣＲＡＦやその他の機関の出版物で論ぜられてきた。その意味ではアグロフォレストリーはもはや新しい用語ではない。樹木と農作物あるいは家畜とを意図的に組み合わせた土地利用方法として広く受け入れられている。ただ1990年代になっても「アグロフォレストリーとは何か」という問題がしばしば論議され、論文等でも提起されることがある（Somarriba, 1992 他）。しかし、この人たちにしてもあまり論議しても意味がないということに気づき始めている。農業や林業のような早くから確立された土地利用の分野でも完全に満足できる定義といったものは存在しないし、また普遍的に受け入れられる定義がなければ、その領域での進歩がないというわけではないであろう。

今日、アグロフォレストリーがさまざまな目的で実施されている点については意見の一致をみている。図2.1に示すように、これは農業と林業との接点であり、複合的な土地利用のやり方を包摂したものだ。こうしたやり方は、おおむね熱帯の途上国に特有なニーズと状況に対応して発展してきた。つまりは温帯で発達した通常の農業や林業の技術では満足に解決されなかったからでもある。アグロフォレストリーという用語は単純な焼畑耕作から生垣のある複雑な間作システムを包含し、さらには *Faidherbia (Acacia) albida* が散在するサヘルの雑穀畑や湿潤熱帯の密で多層のホームガーデン・システム、あるいは樹木が環境形成のサービス機能をになうシステム（防風林等）から商業作物を主産物とするシステム（プランテーションでの間作等）までさまざまなものをカバーしている（熱帯地域での種々のシステムの詳細についてはNair, 1989などがある)。すべてのアグロフォレストリーに共通するのは、すでに述べたように、同一の経営単位から複数の産物や利益を獲得する目的で、農作物や家畜と組み合わせ意図的に樹木を育成するか残存させることであり、これがアグロフォレストリーのエッセンスといえよう。

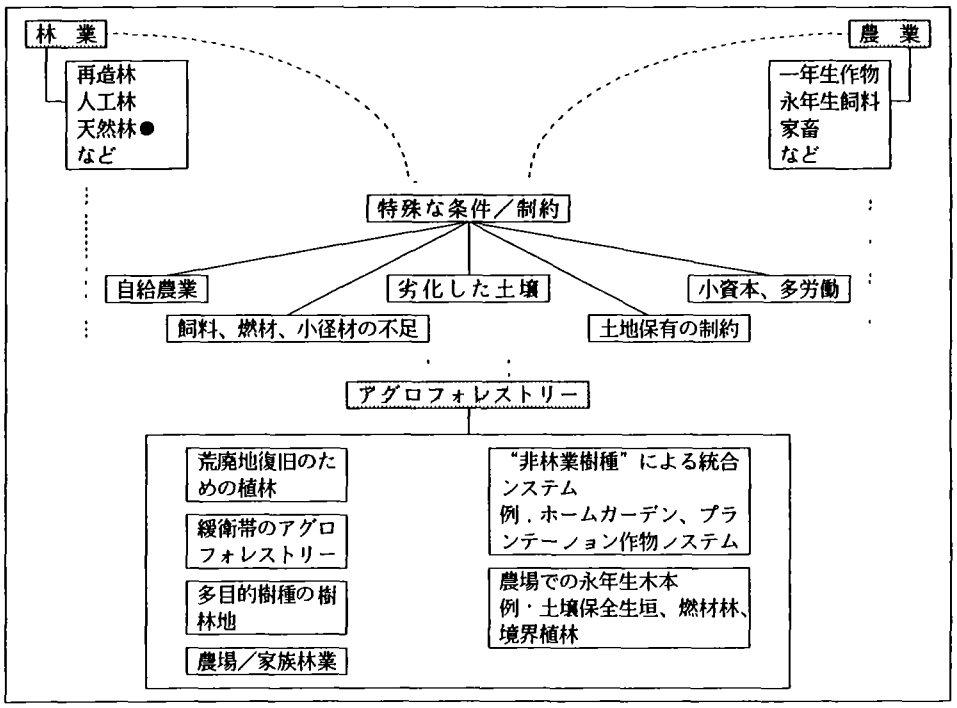


図2．1　アグロフォレストリーは、熱帯諸国の特殊なニーズと条件に対応した農業と林業のインターフェイスとして発展してきた。

加えて、すべてのアグロフォレストリー・システムがもつべき理論的な特質が3つある。

1．生産性：大部分のアグロフォレストリー・システムは、土地生産性の向上とともに目的とする産物の生産量の維持あるいは増加をめざしている。アグロフォレストリーで生産性を引き上げる方法はいくつかある。木材生産の増加、組み合わせた作物の収量の向上、作付け体系へのインプットの圧縮、そして労働効率の向上などがそれである。

2．持続性：樹木作物が土壌に良い影響を与え、資源基盤の生産可能性を保持することにより、保全と地力の維持向上に寄与する。

3．適用可能性：ここで使われる「適用」という言葉は、「受容」を意味し、「修正」や「変化」という意味ではない。アグロフォレストリーとは伝統的な方法を新しい言葉で表現したものであり、農村社会ですでに受け入れられてきたものである。改善された新しいアグロフォレストリーをある地域に導入する場合もその地域の農業のやり方に順応したものでなければならない。

これらは、すべてアグロフォレストリーの特徴であり、さまざまなシステムを評価するさいの基盤となる。

村落林業、農場林業、社会林業

1970年から89年までの20年間に植林活動に対する関心が世界的に急速に高まり、尾部に「林業」を付ける用語が増え普及した。その中でも代表的なのが、村落林業(Community Forestry)、農場林業(Farm Forestry)、そして社会林業(Social Forestry) である。これらの言葉はまだ明確な定義をもたないが、自助、つまり住民参加の面を重視した植林活動として一般に受け入れられている。これは必ずしもアグロフォレストリーのように農作物や家畜との組み合わせである必要はないが、社会的な目的が生産的な目的と同じくらいに重要視されている。社会林業は、とくに貧しい人びとの生活を改善するという社会的な目標をもって樹木を活用したり、植林したりすることをいう。「住民による、住民のための植林」ともいわれる。その社会林業の一形態である村落林業は、共有地やいわゆる入会地で村落によって実施される植林活動のことである。これは地域住民の直接的な参加を基本として林木を育成したり、木製品を加工したりするものだ。ただ入会地に恵まれた場所で村落林業か適切であるにしても、「共有地の悲劇」[1] のためにうまく行かない例がある。農場林業は農場での植林を意味し、主にアジアで使われて

いる。

アグロフォレストリーとこれらの言葉の主な相違点は、前者は複数の生産物やサービスを得るべく樹木作物（樹木と灌木）と農作物、家畜との相互関係を重視しているが、後者は植林活動や樹林地の造成を指している。いずれにせよ、多くの著者が指摘しているように（Dove, 1992 ; Laarman and Sedjo, 1992)、これら用語はすべて食糧、燃料、薬、飼い葉、建築材料、現金収入を得るために樹木を育て使用することに直接間接にかかわっており、それを分ける線は不明確で、すべてはアグロフォレストリーの概念と技術を含んでいる。専門家がどのように名付けようと、これらの言葉は土地利用の専門用語として類義的に使用され、ときには分脈から離れて使われることもある。

注

1）「共有地の悲劇」というのは、入会地のようなところはすべての人によって略奪的に利用され、誰も維持管理をやらないという状況を指す(Hardin, 1968)。

第Ⅱ部　アグロフォレストリーのシステムと実施方式

この第Ⅱ部の主題はアグロフォレストリーのシステムと実施方式についてである。以下の８つの章ではアグロフォレストリー・システムの複雑さと多様さを概観したのち、熱帯にみられるいくつかの一般的なシステムについて概説する。

第3章　アグロフォレストリー・システムの分類

第2章で述べたアグロフォレストリーの広義の定義や概念に照らして現存する土地利用システムを一瞥すると、世界中の生態的・地理的地域のすべてに、さまざまな形態のアグロフォレストリーを見いだすことができるが、とりわけそれが顕著なのは熱帯においてである。「アグロフォレストリー」という新しい言葉が生まれ、受け入れられる以前から、樹木と農産物生産とを組み合わせた将来性のある土地利用システムについて報告がなされ、そのシステムを改良するため革新的な科学研究も始まっていた。アグロフォレストリーの広がりと分布については、第4章で述べられる。

現存するアグロフォレストリーのシステムを理解して評価し、その改良のための実行計画を発展させるには、これを共通の規準によって分類する必要がある。1982年から1987年にかけてＩＣＲＡＦは途上国におけるアグロフォレストリーのシステムと実施方式に関して地球規模の調査を行った。これはこのシステムを理解するための最も組織的な試みであって、世界中から関連する土地利用のデータを系統的に収集し、まとめ、評価するという手続きがとられた（Nair, 1987a)。アグロフォレストリーの多数の事例についてその構造と機能、利点と欠点などの情報が集められたのは初めてのことだ。この情報はきわめて包括的で広い範囲にわたっていたから、応用範囲の広い分類方式を開発するためのデータベースとなり、またその一方でこうした分類の方式がないと情報の編集と加工が困難であった。Nair（1985a)はこの情報を用いて以下に述べるよう分類方式を発展させた。

分類の主な目的は、現存するシステムについての情報を統合・分析し、将来性のある新しいシステムを開発するための実践的枠組みを提供することである。システムの改良戦略の中でどこに重点を置くかによって枠組みの性格は異なるであろうから、いかなる分類方式も次の条件を備えていなければならない。

- システムの生産を支える主な要素に関してグループ分けする論理的方法が含まれること
- そのシステムの経営方式が含まれること（経営面への介入でそのシステムの効率改善が可能かどうかを示す）
- 情報の再分類ができるような柔軟性があること
- 簡単に理解でき、たやすく処理できること（実用性）

これらの込み入った要求を単一の分類方式で満たすのは難しく、それぞれの目

的に応じて特定の規準をもつ数種類の分類が必要なのかもしれない。アグロフォレストリー研究の初期には、このシステムを分類するためいくつかの試みがなされた（Combe and Budowski, 1979; King, 1979; Grainger, 1980; Vergara, 1981; Huxley, 1983; Torres, 1983)。しかし、これらは実地のデータにもとづいてアグロフォレストリー・システムを評価・分析するさいの助けになるというよりは、むしろ概念的な試行から生まれたものであった。

アグロフォレストリー・システムを分類する最も明確で使いやすい規準は、構成要素の空間的・時間的配置、構成要素の重要性とその役割、そのシステムの目的や生産物、そして社会・経済的特徴である。それらは、システムの構造、機能（生産物)、社会・経済的性質、または生態的（環境的）広がりと一致する。これらの特徴は分類体系の持つ主要目的をも示している。そのため、アグロフォレストリー・システムは下のような規準の組み合わせにしたがって分類することができる。

- 構造的基準：構成要素の組み合わせにかかわるもので、樹木要素の空間的配置、構成要素全体の垂直方向の層状配置、異なった構成要素の時間的配列など
- 機能的基準：システムの主要機能と役割にかかわるもので、通常樹木によって提供される（例えば防風、土壌保全などのような保護的性格のものもある）
- 社会・経済的基準：経営における投入量のレベル（低投入、多投入)、経営の集約度や規模、生産目標（自給、商業目的、その中間）にかかわるもの
- 生態的基準：システムの環境条件と生態的適合性にかかわるもので、あるタイプのシステムは特定の生態的条件に、より適合するという前提がある。例えば、乾燥地、半乾燥地、熱帯高地、低地湿潤熱帯、その他といった地域ごとにアグロフォレストリー・システムを分類することができる

アグロフォレストリーの分類のこうした基準は、決してそれぞれが独立、排他的なものではない。実際には相互に関連すべきものなのである。多くの場合、構造的・機能的基準はシステム内の樹木の生物学的性質と関係があるし、社会・経済的・生態的基準は、地域の支配的な（社会・経済的、または生態的）条件によって形成されるシステムの構成と関連している。入り組んだアグロフォレストリーの分類をすっきりさせる一つのやり方は、まず最初に構造的・機能的側面によってシステムを類別し、次いで社会・経済的、農業生態・環境的（同様に自然や社会に関する他の）要素を基準にしながら明確な目的にしたがってシステムの階層化・グループ分けを行うことである。表3. 1はこうした分類手法によるもので

ある。

表３．１　アクロフォレストリーのシステムと実行方式を分類する主要な観点

A　構造と機能にもとづいたンステムの分類
A-1　構造（構成要素、特に樹木の特徴と配置）
A-1-1　構成要素の特徴
アグリンルヴィカルチャー（農作物と樹木、/菌木／樹木と樹木を含む）
ンルヴォパストラル（牧草／動物と樹木）
アグロンルヴォパストラル（農作物、牧草／動物と樹木）
その他（多目的樹木園、樹木と養蜂、樹木と養殖魚業なと）
A-1-2　構成要素の配置
空間的配置
混合・密植（例　ホームガーデン）
混合・疎植（例．牧草地の中の樹木システムほとんど）
帯状植（帯の幅は、樹木１本以上）
緑状植（農地や農場の境界に樹木を植栽）
時間的配置
*同時型
*付随型
*重複型
*分離型
*補完型
A-2　機能（構成要素、特に樹木の役割やその生産物）
生産的機能
食料
飼料
燃材
その他木材
その他の生産物
保護的機能
防風林
保護林帯
土壌保全
水分保持
土壌改良
被陰（農作物、動物、人間のため）
B　分布域と経営によるンステムの分類
B-1農業生態的環境への適応性
低地湿潤熱帯
高地湿潤熱帯（海抜1,200m以上、マレーシア）
低地半湿潤熱帯（例．アフリカのサハンナ南アメリカのセラト）
高地半湿潤熱帯（熱帯高地、例．ケニア、エチオピア）
B-2社会・経済的、経営的水準
投入技術の水準
低投入（限界地）
中間
多投入
費用／便益の関係
商業的
中間的
自給的

* これらの用語については図３　２（２５ページ）を見よ
出所：Nair（1985a）

3．1　システムの構造による分類

システムの構造は、その構成要素と、構成要素それぞれに対し期待される役割や機能（アウトプットで表現）によって定義づけられる。しかし、構成要素のタイプに加えて、その配置を考慮することも重要である。

3．1．1　構成要素の性質にもとづく分類

アグロフォレストリー・システムにおいては、土地利用者の管理にかかわる3つの基本的な構成要素がある。それは、樹木あるいは木本多年生植物、草本植物（牧草を含む農作物）と動物である。第2章で見たとおり、土地利用システムがアグロフォレストリー・システムと呼ばれるためには、木本多年生植物をその中に有していなくてはならない。アグロフォレストリー・システムのほとんどは草本種も含んでいるが、特記すべき例外として、樹木を伴う養蜂や水産養殖、二つの木本多年生植物の組み合わせ、例えばコーヒーとゴム、コーヒーとカカオ、日よけの樹木と茶、といったものがある。動物は、いくつかのアグロフォレストリー・システムに含まれるのみである。これらの関係は図3．1のようなダイアグラムに描くことができる。

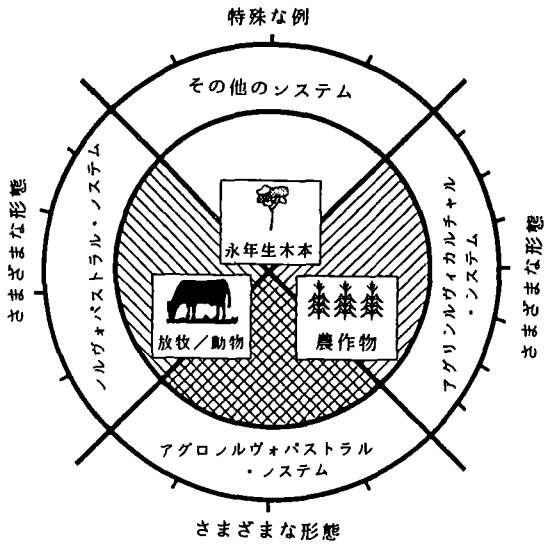


図3．1　構成要素のタイプにもとづいたアグロフォレストリーシステムの分類
アグリシルヴィカルチャー：農作物（潅木やつる植物を含む）と樹木
シルヴォパストラル　　：放牧／動物と樹木
アグロシルウォパストラル：農作物、放牧／動物と樹木
出所：Nair（1985a）

上に述べたように、その他にもいくつかのシステムがある。多目的樹園地（他の生産要素と経済的、生態的に相互作用があり、そのためアグロフォレストリーの定義の範囲にはいる）、樹木を用いた養蜂、漁業と樹木や潅木の組み合わせ（水産林業と呼んだらいいだろうか？）など、前に並べた範疇には属さないものもある。こういう形態のアグロフォレストリーを含むより良い言葉がないため、それらは皆「その他」という範疇にまとめてある。

アグロフォレストリー・システムの三つの主要な型[1]への類別は、どちらかというと基本的なことである。システム内の基本的構成要素が何であるかを正確に説明するため、これら三つの型の名前うち一つを、他の範疇の用語に接頭辞として便宜的にくっつけることもできる。例えば、低地湿潤熱帯において生存水準を満たすための食料生産を行うアグリシルヴィカルチュラル（agrisilvicultural）システム、低地半湿潤（または乾燥）熱帯における飼い葉と食料生産のための商業的シルヴォパストラル（silvopastoral）システム、高地湿潤熱帯における食料生産と土壌保全のためのアグロシルヴォパストラル（agrosilvopastoral）システム、などである。そのため、構成要素をアグロフォレストリーの階層的分類における基本的な基準と見なすことは、論理的で矛盾がなく、実用的であるように思える。

アグリシルヴィカルチャー（agrosilviculturではなくagrisilviculture）という用語は、樹木と農作物との組み合わせを示すために用いられる一方、アグロシルヴォパストラル(agrisilvipastoralではなくagrosilvopastoral)は、農作物と動物、あるいは牧草と樹木の組み合わせに対して用いられるといえよう。これは何を意味しているかというと、アグリシルヴィカルチャー（agrisilviculture）を農作物と樹木を組み合わせたものに限定しようということである。アグロシルヴィカルチャー（agrosilviculture）は、樹木を用いるすべての形の農業（畜産を含む）を包含しており、つまりはアグロフォレストリーの言い換えなのである。また、それはアグロシルヴォパストラル（agrosilvipastoral)の中にある「アグロ」という包括的な意味を持つ接頭辞を用いた理由でもある。このように考えると、「アグロフォレストリー」という言葉の発生過程からすると、一部の人びとが、言語的見地より、農業と林業の組み合わせを示す適切な名称は「アグリフォレストリー」であって、アグロフォレストリーではないという見解を抱くのももっともであろう（Stewart, 1981)。しかし、そういった言語上の決定や不適切さにもかかわらず、アグロフォレストリーという言葉は強固に人びとの間に植え込

まれてしまったため、同じ概念を示す異なった用語が一般化すれば非常な混乱を引き起こすことになる。言語の正確な慣用から離れた専門用語の例は他にいくらでもある。

3．1．2　構成要素の配置にもとづく分類

構成要素の配置とは（とくにシステムが植物と動物を含む場合）システム内の植物のそれである。複数種の組み合わせの中での植物の配置は空間と時間の次元で考えることができる。アグロフォレストリー内での植物の空間的配置は、（ホームガーデンのような）密な混植から（シルヴォパストラル・システムのような）疎植までさまざまである。さらに植物種はいろいろな幅で帯状に植えられることがあり、これにも狭い帯状の配置（交互に配列される場合）から広い帯状の配置まで数種類ある。帯状方式の中で一般的に知られているのが生垣間作（アリー・クロッピング、第9章を参照のこと）である。帯状作の極端な例としては、多様な目的あるいは生産物（果物、飼い葉、燃材、垣根による防護、土壌保全、防風など）のために、小地面や農地の周縁に樹木を植栽する方式がある。また、考えようによれば極端に広い帯状配置が単作システムであるともいえよう。しかし、異なった構成要素が結び合わされて相互に作用し合っているかどうかが、広い帯状配置のアグロフォレストリーと単作システムとの境界を決定する基準になる。

アグロフォレストリーにおける植物の時間的配置にはさまざまな形態があり得る。一つの極端な例は、2～4年間耕作し、15年以上の休閑サイクルをもつ伝統的な移動耕作で、この間に特定の樹種ないしは雑多な樹種が植栽されたり自然に更新されたりする（第5章を参照）。同じように、シルヴォパストラル・システムでは、牧草と樹木種とが輪作され、数年間にわたる牧草期にも同種の草本がその土地に残存しているような事例をいくつか挙げることができる。こういったアグロフォレストリー内における構成要素の時間的配置は、同時、付随、部分的重複（極端な場合にはリレー・クロッピングとなる）、分離、入れ込み、その他の用語で表現される（Huxley, 1983; Kronick, 1984）。これらの用語の説明については図3．2を参照のこと。

時間的配置	図 解	例
同時型		日除け用の樹木とコーヒー樹木下での放牧
付随型		タウンヤ
断続型 （空間的配置が重要）		ココナッツと一年生作物樹木のある放牧地における季節的な牛の放牧
入れ込み型 （空間的・時間的）		ホームガーデン
重複型		黒コショウとゴム
分離型 （時間的）		移動耕作における休閑改良樹種

時間

（時間のスケールはそれぞれの組合わせによって異なる）

樹木性要素　　非樹木性要素

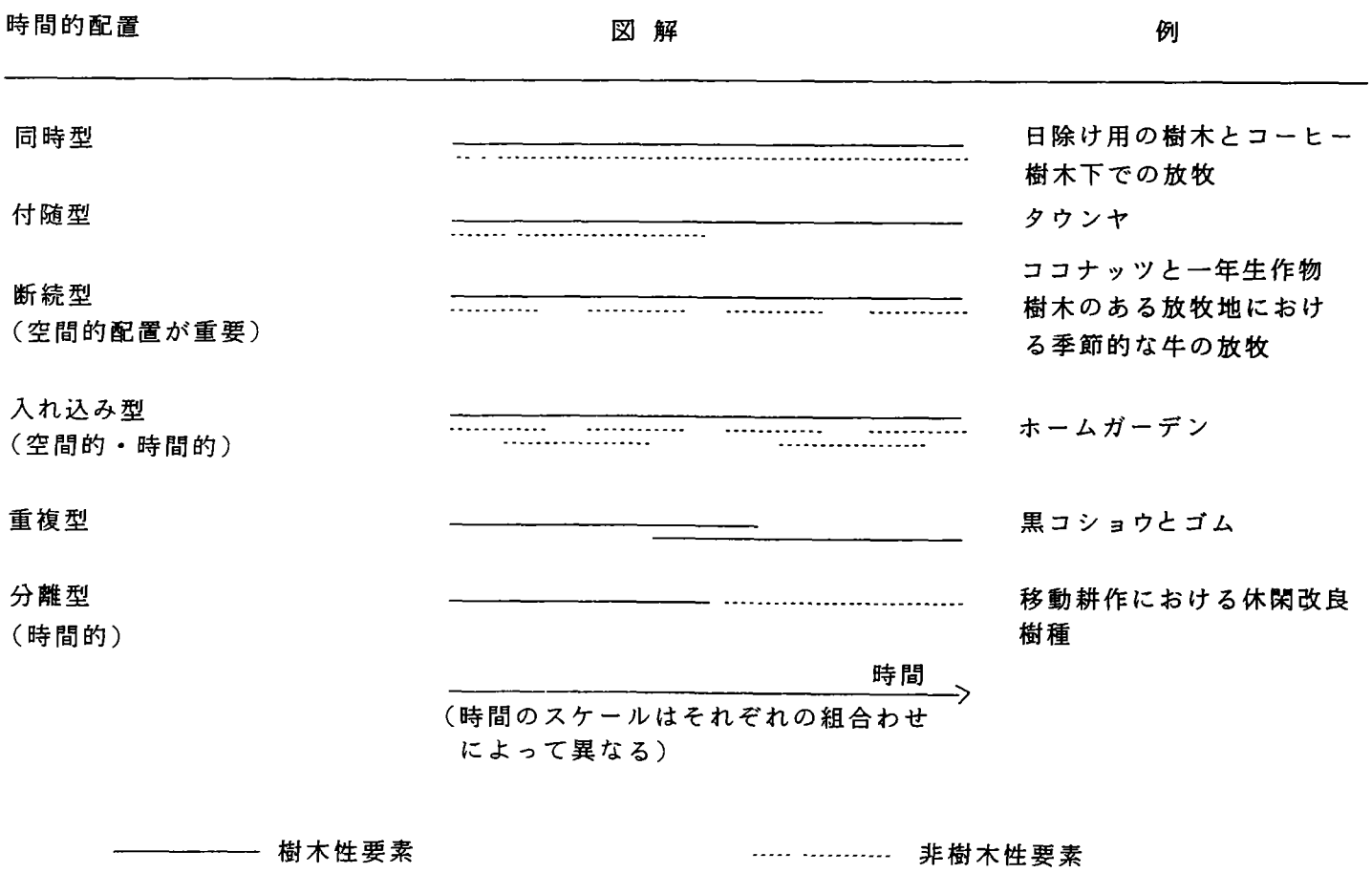


図3．2　アグロフォレストリーシステム内の構成要素の配置
出所．Nair（1985a）

3．2　システムの機能にもとづく分類

生産と（持続性の基礎である）保護は、第2章で説明したように、論理的にはアグロフォレストリー・システムの2つの基本的属性である。これは、アグロフォレストリー・システムが、通常、基本的要求を満たす一つあるいは複数の生産物を収穫する生産的機能とともに、サービス的な機能（生産水準を保護・維持する役割）をもっているということなのである。Raintree（1984）は、いかなる土地利用システムも、食糧、エネルギー、防風、原料や現金といった基本的な必需物を産出するという観点から叙述、評価されるべきである主張した。これは、ＩＣＲＡＦによって開発されたアグロフォレストリーの診断・計画法の中の、基本的必需品アプローチのもととなる論理である（第19章を参照)。さらにこの手法は、木本多年生植物のサービス機能が、一つあるいは複数の基本的必需物の生産に貢献する要素であることを認めている。例えば、適切なアグロフォレストリーの実施によって土壌が保全された場合、アグロフォレストリーは作物生産の持続性の増大に貢献したことになる。同様に、樹木と農作物が適切な形で配置されることで（例えば防風林）微気候が改善されたならば、農作物の収穫に及ぼす影響でもって評価されうる。

しかし、生産物の産出を強調するあまり持続性の重要性を軽視すべきではない。生産はアグロフォレストリーにおいて非常に重要な問題ではあるが、アグロフォレストリーが他の土地利用と異なる点はその持続性であり、さらにすべてのアグロフォレストリー・システムが複数の基本的必需物を生み出すことである（これは木本多年生植物の多用途性によるところが大きい)。そのため、多かれ少なかれ生産的、保護的役割の双方を有しているのであって、このどちらを優先するかで生産的なものと保護的なものとに分けられる。したがって特定の生産物の生産を唯一の規準としてアグロフォレストリー・システムを分類すべきではない。もちろん利用可能なアグロフォレストリーを実際に選択する評価規準ということであれば、単一の生産物の生産はじめその他いかなる指標をも選ぶことができる。

3．3　生態的な分類

1970年代の末から1980年代の初頭にかけて、さまざまな地域におけるアグロフォレストリー方式がセミナーや研究集会で発表された。その中でも重要なの

は、コスタリカにあるＣＡＴＩＥ（de las Salas, 1979)、ナイロビのＩＣＲＡＦ（Buck, 1981; Chandler and Spurgeon, 1979; Hoekstra and Kuguru, 1982; Huxley, 1983; Nair, 1987b)、ナイジェリアのイバダンにあるＩＩＴＡ（McDonald, 1982）での討論であろう。特定のシステムについて編纂された文献もいくつかある。西アフリカのアカシア・アルビダ（*Acacia(Faidherbia) albida*）・システム（Felker, 1978; Vandenbeldt, 1992)、西インドのプロソピス・シネラリア（*Prosopis cineraria*）・システム（Mann and Saxena, 1980)などである。それらに加えて、国や地域レベルでの全体像が描きだされ、フランス語圏のアフリカ（FAO, 1981a)、インド亜大陸（FAO, 1981b)、ラテンアメリカ（Montagnini, 1986; Padoch and de Jong, 1987）におけるアグロフォレストリーが再評価されるにいたった。その他にも注目に値する書物が出版された（Lundgren and Raintree, 1982; Nair, 1983b; 1983c; 1984)。ＩＣＲＡＦのアグロフォレストリー・システム調査プロジェクト（Nair, 1987a)の主な成果は『アグロフォレストリー・システムズ』という雑誌に掲載されている。これは現存するアグロフォレストリー・システムの記録を目的とする共同研究によって生み出された、最新の業績である。

アグロフォレストリー・システムのもつ特質は、各地域における特定の生態的条件と関連していることが多い。例えば高地半湿潤熱帯（あるいは一般的に言えば熱帯高地）には特有の方式があり、タンザニア、キリマンジャロ山におけるチャガ（Chagga）・システム（Fernandes *et al.*, 1984)、ネパール西部の丘陵地農業（Fonzen and Oberholzer, 1984)、ルワンダの高地における多目的樹木の利用（Neumann, 1983)、パプア・ニューギニアのモクマオウ（casuarina)とコーヒーの混植システム（Bourke, 1984）などを挙げることができる。同様にしてそそ他の生態地域についても数多くのアグロフォレストリー・システムがある。例えばルワンダの丘陵地域（Nair, 1983a)のような特定の農業生態地域や、あるいは傾斜地（Young, 1984)や酸性土壌（Benites, 1990)など土壌に制約された地域において、アグロフォレストリー技術が推奨されている。

特定の農業生態地域に関して、現存のシステムの記述にしても、あるいは有望な方式の推奨にしても、その中には（構成要素の配置のみでなくそれらの性質という点に関して）さまざまな形態のアグロフォレストリーの複合が含まれている。あらゆる生態地域にはアグリシルヴィカルチャー、シルヴォパストラルあるいはアグロシルヴォパストラル・システムが存在するであろう。例えば、Young(1984)

は、ＩＣＲＡＦのアグロフォレストリー・システム調査プロジェクトなどが収集した一次データと世界各地の傾斜地に存在する８つのシステムを用いて傾斜地におけるアグロフォレストリーの可能性を分析し、アグロフォレストリーの３つの基礎範疇（アグリシルヴィカルチャー、シルヴォパストラル、そしてアグロシルヴォパストラル）のすべてを傾斜地という特定の土地利用型の中で見いだしている。似たようなやり方でNair（1985b)は湿潤熱帯の伐開地でどのようなアグロフォレストリーの選択肢があるかを検討した。

以上のことをまとめると、アグロフォレストリーの範疇のほとんどがすべての農業生態地域に出現しており、農業生態的な地域区分はそれだけではアグロフォレストリー・システムを分類する基礎とはなりえない。しかし、農業生態的特徴はアグロフォレストリー・システムをデザインする際の基礎となるだろう。というのも地理的地域が違っても似たような生態地域が存在し、類似した生態地域のアグロフォレストリー・システムは（種の構成から見て）構造的に似ているからである。このことについては次の章で詳しく論議しよう。要するに、いくつかのタイプのアグロフォレストリー・システムと実行方式は（現存しているものも潜在的に可能なものも）主要な農業生態地帯に対応しており、その地帯の特定の条件に応じて、システムや実行方式の力点が変わっていくということだ。例えば、人口密度が低い半乾燥サバンナにおいては、家畜と燃材を生産するシルヴォパストラル・システムがより一般的であるのに対して、熱帯高地ではアグロフォレストリーの保護的役割（土壌保全能力）が主要な問題となってくる。

３．４　社会・経済的基準にもとづいた分類

生産の規模、技術投入と経営の水準といった社会・経済的な規準も、アグロフォレストリー・システム分類の基礎として用いられてきた。例えば、Lundgren（1982）は、アグロフォレストリー・システムを商業的、中間的、自給的システムにグループ分けした。

商業的という用語は、販売用生産物（通常単一の商品）の生産がシステムの主要目的である場合に用いられる。これらのシステムでは経営規模が中規模から大規模なものであることが多く、土地所有は政府所有、法人あるいは私的所有であろう。労働に対して通常賃金が支払われるか、あるいは請負契約が結ばれている。具体的には、ゴム、アブラヤシ、ココナッツのプランテーション作物の下で食料

用の多年生作物の栽培や家畜の放牧を行うもの、上層の日除け用樹木のもとでコーヒー、茶、カカオなと耐陰性プランテーション作物を生産するもの、樹木の成長を確実にするための造林法として用いられているタウンヤ方式（樹木と食用作物の輪作システム）、木材・パルプ用の大規模人工林のもとでの商業的放牧や牧場経営といったものを含んでいる。

「中間的」アグロフォレストリー・システムとは、生産や経営の度合いが商業的と自給的との間にあるものを指す。すなわち、多年生換金作物と自給用作物の生産が中規模から小規模農場において行われ、換金作物は現金への欲求を満たし、食用作物はその家族が必要とする食料となるのである。土地を所有するか長期借地権を有する農民たちは、通常彼らの土地に住んでそこで働き、臨時的に雇用されて補助的な収入を得ている。商業的システムと中間システム、自給システムと中間システムとを識別するのは、土地保有規模と経済的な豊かさの水準である。世界の各地のアグロフォレストリー・システムのうち、いくつかは中間的システムと見なすことができ、コーヒー、カカオ、ココナッツといったプランテーション作物を用いたものがその例である。またアジア・太平洋地域では、数多くの果樹木を基礎にしたもの（Nair, 1984）、フィリピン（Pollisco, 1979）やインドネシア（Nair, 1985b）の短伐期樹種（アルビジア）を用いたものなど、いくつかの中間的アグロフォレストリー・システムが存在している。

人類学者の定義によると、自給農民[2]というのは彼らが消費するもののほとんどを生産する農民、あるいは彼らが生産するもののほとんどを消費する農民である。家族のための需要を十分みたすだけ生産しない、あるいはできない農民たち（例えばハイチの多くの農民たち）もこの範疇に入ると考えられる。自給アグロフォレストリー・システムは、土地が基本的需要を満たす目的で利用され、土地所有者あるいは土地占有者とその家族によって経営されるものである。余剰作物の販売を含めて換金作物も一部には入っているが、それはあくまで補助的なものだ。発展途上国の多くの地域で営まれているアグロフォレストリー・システムのほとんどは自給的なものであり、熱帯の全域で見られる伝統的移動耕作はその典型である。しかし、すべての自給的アグロフォレストリー・システムが必ずしも移動耕作と同じように資源浪費的で「好ましくない」というわけではない。例えば、人口密度の高い地域でよく見られるような、多種の植物が統合されたホームガーデン・システムは生態的にも健全なアグロフォレストリーシステムである（Wiersum, 1980, Michon *et al.*, 1986）。同様に、自給的性格を持ったいくつかの

持続的システムがその他多くの地域で見受けられる。ラテンアメリカ(Wilken, 1977)、西アフリカ（von Maydell, 1979; 1987; Le Houerou, 1987)、西アフリカ湿潤地域（Getahun *et al.*, 1982)、インド（ICAR, 1979）などにおける事例がこれまでに記録されてきた。

アグロフォレストリー・システムを社会・経済的、経営的な規準にしたがってグループ分けするのは、目的意識的な行動計画のための、もう一つの階層的な分類方法である。そのような手法は開発努力などには有効であろう。しかし、これを主たる規準としてシステムを分類するとなると、いくつかの欠点が露呈する。まずさまざまな範疇を定義する規準が簡単には数量化できない。区別する目安はその地域の一般的な社会・経済状況を反映するであろう。ある地域において「自給的」システムと見なされているものが、他の地域では「中間的」あるいはより高次の範疇に含まれることさえある。さらにこれらの区分の境目は時間とともに変化しうる。よい例に、スーダンのアラビアゴムの生産システムがある。かつては、ゴムを生産すべく *Acacia senegal* を７～12年で計画的にローテーションさせる「中間的」システムが隆盛であった。 *Acacia senegal* は、飼い葉や燃材も供給し、土壌の肥沃度まで改善した（Seif-el-Din, 1981)。しかし、アラビアゴムに替わる人工の代替物の出現により、現在は *Acacia senegal* と雑穀のシステムは自給システムとなり衰退の一途をたどっている。これらのことから、社会・経済的要因は時間とともに変化しやすく、経営状況は厳密には客観的な分類体系の基礎とはならない。ただ、ある明確な目的や実行計画のために、システムをグループ化する場合は、その基準として活用できる。

３．５　分類のための枠組み

以上の論議から明らかなように、アグロフォレストリー・システムと実行方式を分類する一般的に用いられている規準としては次のものがある。

- システムの構造（構成要素の性質と配置）
- システムの機能（構成要素の役割と産出物）
- システムが存在するか適用可能な農業生態地域
- システムの社会・経済的規模と経営水準

これらの基準はそれぞれ、特定の状況下においては利点と有効性を有しているが、限界も同時に持ち合わせている。言い換えれば、単一の分類体系を普遍的に

用いることはできないのである。それゆえ、アグロフォレストリー・システムの分類は目的志向とならざるをえない。システムの構造と機能面がシステム分類の基準となり、農業生態面と社会・経済面がより細かいグループ分けの基準として用いられるならば、複雑さはいくらか緩和されよう。

すべてのアグロフォレストリー・システムにおいて、土地利用者により管理される構成要素は3つしかなく（木本多年生植物、草本植物、動物)、アグロフォレストリー分類の論理的な第一段階はこれらの構成要素の性質を基礎にすべきであって、これには前に論議したように3つの範疇がある。

- アグリシルヴィカルチャー
- シルヴォパストラル
- アグロシルヴォパストラル

第一段階としてこのように分類したならば、続いて目的志向の基準にそったグルーピングができ、このグループのそれぞれに上の3つの範疇を接頭辞として付ければよい。例えば次のようにである。

- 熱帯サバンナにおける畜牛生産のためのシルヴォパストラル・システム
- 熱帯高地における土壌保全と食糧生産のためのアグリシルヴィカルチャー・システム

このやり方は論理的で単純なうえに、実用的で目的志向型であり、本書のアグロフォレストリー・システムの分類はこれを用いる。

3．6　アグロフォレストリーのシステムと実行方法

「システム」と「実行方法（practices)」という言葉は、アグロフォレストリーに関する文献の中では、しばしば同義語として用いられているが、両者は少し違っている。一つの「アグロフォレストリー・システム」は、環境、植物種とその配置、経営、そして社会・経済的機能により特徴づけられた、アグロフォレストリーの実行方式の「特定の地域における事例」である。「アグロフォレストリーの実行方式」とは、空間的・時間的な「構成要素の特有な配置」を示している。たくさんのアグロフォレストリー・システムが記録されているが、それらはすべて約２０からなる別個のアグロフォレストリーの実行方式からなっている。言い換えると、異なる状況下にあるさまざまなシステムの間で、同じか、あるいは類似した実行方式が見られるのである。表3．2は、熱帯全域にわたる多様なアグロ

フォレストリー・システムを構成する、最も一般的なアグロフォレストリーの実行方式を並べたものである。システムと実行方式の双方が同じような名前で呼ばれていることがわかるであろう。しかし、システムはそれが存在する特定の場所か地域、あるいはその他特有な特徴と関係をもっている(はずである)。

表３．２　主要なアグロフォレストリーの実行方式とその主な特徴

アグロフォレストリーの実行方式	簡単な記述（構成要素の配置）	構成要素の主要グループ	農業生態的分布域
アグリシルヴィカルチャーのシステム（農作物－潅木／つる植物／樹木作物を含む－と樹木）			
(1) 改良休閑地	「休閑期」に木本種が植えられ、放置される	w 早生樹、マメ科がよい h 普通の農作物	移動耕作地
(2) タウンヤ	人工林造成の初期段階における木本と農作物種との結合	w:通常は人工林林業用樹種 h:普通の農作物	（タウンヤが行われている）すべての生態地域、改良の余地あり
(3) アリー・クロッピング（生垣間作）	垣根を木本種でつくる垣根の間の列に農作物を植える、列間に帯状に配置	w:盛んに萌芽更新するマメ科早生樹 h:普通の農作物	高い人口密度と脆弱な土壌（生産性は高いが劣化しやすい）を持つ半湿潤～湿潤地域
(4) 多層樹園地	多数種、多層の密な植物群集、系統だった配置はなされていない	w:異なった形態、成長の様式を持つ様々な木本の構成要素 h 通常はない、耐陰性を持つ種が植えられることもある	肥沃な土壌、豊富な労働力、高い人口密度を有する地域
(5) 農地における多目的樹種	樹木か無秩序に分散、あるいは堤防、段々畑、農地／農場の境界に沿って整然と分布	w:多用途樹木とその他の果樹 h:普通の農作物	すべての生態地域、特に自給農業地域 通常、動物飼育と組み合わされる
(6) プランテーション作物の結合	(I) プランテーション作物の組み合わせによる多層の（混合、密植）混合物 (II)プランテーション作物の交互のあるいはその他規則的な配置 (III)日除け用のプランテーション作物が分散している (iv)農作物との間作	w:特に(i) の場合は、コーヒー、カカオ、ココナッツその他のプランテーション作物と果樹 特に（III)の場合、燃材通常、／飼料用の樹種 h:(iv)の場合は普通植えられている (i)の場合は、植えられることもある 耐陰性を持つ種	湿潤低地、あるい亜熱帯湿潤／半湿潤高地（植えられるプランテーション作物による） 小規模自給システム
(7) ホームガーデン	ホームガーデンの周囲において様々な樹木と農作物とが密接に組合わさった多層の結合物	w.果樹がほとんど その他の木本種やつる植物などもある h:耐陰性を持つ農作物種	すべての生態地域、特に人口密度の高い地域

(8) 土壌保全・改良用の樹木	堤防、段々畑、塚などに樹木が植えられる草が生えている場合とそうでない場合かある土壌改良ための樹木	w:多目的樹木や果樹 h:普通の農作物	傾斜地、特に高地 劣化土壌、酸性土壌、アルカリ性土壌の改良、砂丘の安定
(9) 保護林帯、防風林、生垣	農場／農地周辺の樹木	w.樹高が高く、枝が大きく広がる樹木の組み合わせ h·その地域特有の農作物	風の被害を受けやすい地域
(10)燃材生産	農用地やその周辺で燃材用樹種を間作	w:燃材用樹種 h:その地域特有の農作物	すべての生態地域
シルヴォパストラルのシステム（樹木＋放牧や動物）			
(11)放牧地や牧草地の樹木	樹木か無秩序に分散、あるいは幾分整然と配置される	w 多目的樹種、飼料用 h:ある a ある	粗放的な放牧地
(12)タンパク質バンク	刈取り用飼料のために農地や放牧地にタンパク質の豊富な飼料用樹木を植える	w·マメ科の飼料用樹木 h·ある f·ある	通常、人口密度の高い地域
(13)牧草、動物とプランテーション作物	例：東南アンアと南太平洋地域におけるココナッツ下での牛の飼育	w:プランテーション作物 f ある a·ある	プランテーション作物にあまり圧迫がかからないような場所
アグロシルヴォパストラルのシステム（樹木＋農作物＋放牧／動物）			
(14)ホームガーデンと動物	多層をなす樹木、農作物と動物との緊密な組み合わせ	w 果樹か主、その他の木本種もある a·ある	人口密度が高いすべての生態地域
(15)多目的樹木の生垣	飼料用若葉、マルチ、緑肥、土壌保全その他のための樹木の生垣	w:早生で萌芽する飼料用の潅木や樹木 h （アリー・クロッピングと土壌保全に類似）	湿潤～半湿潤の丘陵地と傾斜地
(16)樹木と養蜂	蜜生産のための樹木	w 蜜生産（その他の構成要素も含まれうる）	養蜂の実行可能性に依存
(17)アクアフォレストリー	養魚池の周囲の樹木、樹木は魚の「飼料」として用いられる	w 魚にとって好ましい樹木や潅木（その他の構成要素も含まれうる）	低地
(18)多目的樹林地	様々な用途に用いられる（木材、飼料、土壌保全、土壌改良その他）	w 多用途樹種、特殊な地域固有の種（その他の構成要素も含まれうる）	様々な地域

注　w=木本、h=草本、f=放牧用飼料、a=動物
出所　Nair (1991)

この他よく使われる用語に「アグロフォレストリーの技術（technology)」がある。それは現存するシステムや実行方式を修正したり新たなものを開発したりする技術革新あるいは改良のことで、通常科学的な介入をとおして行われる。そのような技術は、現存するシステムや実行方式とは異なっていることが多く、容易に区別し特徴づけることができる。しかし、システムと実行方式との違いはあいまいなものであり、それらの理解や改良にとって決定的というわけでもない。そのためシステムと実行方式という用語は、他の形態の土地利用の場合と同様、アグロフォレストリーにおいても同義的に用いられる。

注

1）アグロフォレストリーの異なる型と区分を示す用語はこの他にもいくつか使われている。例えば、agri-horticulture 、horti-agriculture 、agri-silvi-horti、silvi-pasture、sylvopastoralなどが出版物に出ているけれど、それらの用語を定義する理論的根拠や基準はほとんど説明されていない。

2）この用語のより詳しい説明については、第8章の脚注1）（107ページ）を参照のこと。

第4章　熱帯におけるアグロフォレストリー・システムの分布

「熱帯」の地理学的な定義は、赤道をはさむ南北緯23.5度の間に位置する世界ということになっているが、土地利用について論議する場合にはあまり意味をなさない。本書では熱帯という言葉をごく一般的意味で用い、地理的な熱帯の国々と類似した農業生態的、社会・経済的な特徴と土地利用問題をもつ亜熱帯の発展途上国をも含むことにする。また、正確には許されないことだが、熱帯という言葉を「発展途上国」と同義に用いる。

4．1　熱帯の環境

本書の読者は、熱帯の一般的な自然的、生物的、社会・経済的特徴について理解しておくべきなのであるが、ここで詳しくは扱わない。熱帯の土壌については、第14章で少し取り扱う。その他の事柄については、関連する書籍がいくつかあるのでそれらを参考にしてもらいたい。例えば、Sanchez(1976, 第1章)、Evans（1992, 第1章）には、熱帯環境について一般的なことが書かれている。一方、ワシントンの世界資源研究所が出している年次報告『世界の資源』などは、世界の環境や資源がおかれている現況について最新の情報を与えてくれる。

熱帯において、その地域の環境を決定する主要な気候的変数は、降雨（量と季節的分布）と気温である。標高が変わると、気温のみならず、土地の起伏も大きく変化するため、標高も重要な要因だ。アグロフォレストリーの観点からは、ＦＡＯの『農業年次報告』（ＳＯＦＡ）で用いられている生態的地域区分、つまり、温帯、地中海、乾燥、半乾燥、半湿潤熱帯（低地)、湿潤熱帯（低地）および高地という区分が使えるであろう。これらは、最初のもの（そしておそらく2番目のもの）を除き、熱帯亜熱帯にあってアグロフォレストリー・システムが現に存在するか適用し得る地域である。主要な生態地域の特徴が表4.1にまとめられている。

熱帯はまた、その気候や生態的な特徴のみならず、その貧しい社会・経済と低開発の状態によっても特徴づけられている。熱帯という言葉を発展途上国と同義に用いるのはそのためだ。熱帯の諸国と人びとはその大部分が貧しい。一人当たりの国内総生産はほとんどの国で低く（年間約 100～ 150ドル)、経済発展が人口増加についていけない。大多数の人びとは、彼らの生活を土地に依存している。

表4．1　熱帯および亜熱帯において、重要なアグロフォレストリーが存在する主な生態的地域の特徴

特徴	湿潤／半湿潤低地	乾燥地（半乾燥および乾燥）	高地
気候	暑く、年間を通じてあるいは1年のほとんどが湿潤、降雨は＞1000mm，時に年間1回またはそれ以上の長い乾季がある，ケッペンの気候区分ではAf、Amおよび、Aw特にAw'の一部に属する	暑く、1または2回の雨季と少なくとも1回の長い乾季がある，降雨は1000mm，ケッペンの気候区分では（ある地域は）Aw''、Aw'そしてBに属する	気温は低く、半湿潤あるいは湿潤（乾燥高地はアグロフォレストリーの適応可能性が低い），標高は1000mm以上，ケッペンの気候区分ではCa、Cw(農作物が成長できる期間は120日以上である)
植生と土壌	常緑あるいは半常緑植生；アルティゾル（アクリゾル）、オキシゾル（フェラルゾル）とその他の酸性、低塩基含有の熱帯土壌帯土壌	低－高木および低木のサバンナ（Aw）；川低木林とステップの草地(BS)、バーティゾル、アルフィゾル（ルビゾル、ニトゾルとエンティゾル	常緑～半常緑植生。降雨に左右される。オキシゾル(腐食性のフェラルゾルとアルティゾル（腐食性のアクリゾル）、アントゾル（火山灰土壌）
主要な地理的広がり（アグロフォレストリーが重要な地域）	すべての大陸の熱帯地域、特に東南、南アジア、西アフリカ、中央、南アメリカ，熱帯地域の約35%	アフリカのサバンナとサハラ砂漠以南、南アメリカのセラト、インド亜大陸の半乾燥、乾燥地、熱帯地域の45%	アジア（ヒマラヤ地域、インド南部、東南アジア）、アフリカ東部と中央部の高地、アンデス，熱帯地域の約20%
主要な土地利用システム	商業的林業、樹木農作物のプランテーション、水田（特にアジア）、放牧（南アメリカ）、移動耕作、畑作	畑作、粗放的な放牧あるいは遊牧、より湿潤な地域に近いところでは多年生作物農業、林業	畑作、プランテーション農業、林業、放牧（南、中央アメリカ）、移動耕作
土地利用と生態的側面に関する主要問題	過度の森林消失（およびその結果として休閑地の短縮など）、過放牧、土壌の酸性化とそれに伴う土壌肥沃度の低下、降雨による高い侵食率	干ばつ（降雨の少ない地域）、過度の耕作、過放牧による土壌肥沃度の減退、落葉林の劣化、燃材／飼料の不足	土壌侵食，休閑地の不足，過放牧、森林消失と生態系の劣化，飼料／燃材不足
アグロフォレストリーにおける重要な側面	休閑地の改良、土壌肥沃度の改善と保全、食料生産	燃材／飼料生産、土壌肥沃度の改善、防風林、食料生産	土壌保全、飼料／燃材生産、流域管理、生態系の安定化と希少種の保護

出所　Nair (1989)

単位面積あたりの農業生産の水準はいまだ非常に低いままになっている。これらの諸国の特徴ともいえる政治的な不安定と動揺という不幸によって、状況はますます深刻となり、経済的発展はいちじるしく阻害されてている。

4．2　熱帯のアグロフォレストリー・システムの分布

アグロフォレストリー・システムの調査（第3章）の結果、熱帯と亜熱帯における土着のシステムに関する出版物がいくつか出された。この情報は『熱帯のアグロフォレストリー・システム』(Nair, 1989)として一冊にまとめられている。このほか1980年代後半から1990年代にかけて何冊かの出版物が出され、多くの土着のアグロフォレストリー・システムが描き出されたのである。Rocheleau *et al.* (1988) による『アフリカ乾燥地のアグロフォレストリー』、『アグロフォレストリー：その分類と経営』(MacDicken and Vergara, 1990)、『アグロフォレ

ストリーと砂漠化』(Baumer, 1987)、『アグロフォレストリーのシステム』(Montagnini, 1986)、『中国のアグロフォレストリー・システム』(Zhaohua *et al.*, 1991) などがある。1980年代に開催されたアグロフォレストリーに関係のさまざまな会議の主要なテーマは、現にあるアグロフォレストリー・システムの記述であったといっても過言ではない。今日では土着のシステムについての文献は莫大な数に上っている。

熱帯と亜熱帯の各地に存在する、最も一般的なアグロフォレストリー・システムについては表4．2にその全体像[1)]が示されている。世界中のさまざまな生態的・地理的地域におけるシステムの分布をより詳しく見てみると、両者間に明かな相関のあることが分かる。以下、熱帯に存在する三つの主な生態地域についてこの関連を検証してみよう。

4．2．1　低地湿潤・半湿潤熱帯

低地湿潤・半湿潤熱帯（以下、湿潤熱帯と呼ぶ）は、ほぼ一年中暑くて湿潤な気候と常緑あるいは半常緑の植生によって特徴づけられる。そこに住む人口の大きさ、面積の広さ、アグロフォレストリーその他の土地利用システムの多様さという点からみて、もっとも重要な生態地域である。恵まれた気候条件のもとで莫大な数の植物種が急速に成長するため、人口密度の高い地域でさまざまなタイプのアグロフォレストリーの植物群集を見ることができる。そこではさまざまな形態のホームガーデン、プランテーション作物の組み合わせ、多層の樹園地が広く存在している。人口密度の低いラテンアメリカの低地セルヴァ（南米の熱帯雨林）のような地域では、樹木のある放牧地、移動耕作の改良休閑地、多用途樹木の樹園地といったようなものが、主なアグロフォレストリー・システムとなっている。この地帯における一般的なアグロフォレストリー・システムをまとめてみると、

- 移動耕作
- タウンヤ
- ホームガーデン
- プランテーション作物の組み合わせ
- さまざまな間作システム

低地湿潤熱帯には天然生の多雨林があって、そのような地域では更新の速度以上に森林が伐採されるという共通の問題をかかえている。これが移動耕作のサイ

表4　2　熱帯におけるアクロフォレストリー・システムの概観

サブシステムと実行方式	南太平洋	東南アジア	南アジア	中近東と地中海	アフリカ東部と中央部	アフリカ西部	熱帯アメリカ
			アグリシルヴィカルチャー・システム				
改良休閑地（移動耕作地）		タイの林業村，インドネシアでは休閑地の種として様々な果樹とプランテーション作物が用いられる	移動耕作の改良，例えばインド北東部におけるような手法がいくつかある		例えばスーダンのゴム園(gum garden)のような、移動耕作の改良	*Acioa barteri*、*Anthonata macrophyla*、*Gliricidia sepium* などが休閑種として試験されている	いくつかの形態をとる
タウンヤシステム	*Anthocephalus* および Cedrela の木とタロイモ、その他の形態	広く行われている　タイの林業村はそれを改良したもの	いくつかの形態、いくつかの名称かある		Shambaシステム	いくつかの形態をとる	いくつかの形態をとる
樹園地	果樹栽培を伴う	果樹が優占する	すべての生態的地域区分に存在する	Dehesaシステム、'Parc Arboree'			例えばパラグアイの Paraiso 樹園地
生垣間作（アリークロッピング）		*Sesbania grandiflora*、*Leucaena leucocephala* と *Calliandra calothyrsus* の広範囲の利用	例えばスリランカにおける保全的農業のような試験的手法がいくつかある		ザイールの回廊システム	*Leucaena* や他の木本多年生種をもちいたアリークロッピングの試験的なシステム	試験中
農地での多目的樹木・灌木栽培	主に果樹か堅果をつけつける木、例えば *Canarium*、*Pometia*、*Pandanus*、*Barringtonia*、*Artocarpus altilis*	果樹が優占する，またインドネシアには *Acacia mearna* 作付システムがある	例えばインドの乾燥地におけるKhejriシステムやネパールの丘陵地農業のように、低地や高地においていくつかの形態がある	オアンスシステム，イナゴマメ(carob tree）との作物結合，Dehesaシステム；オリーブと穀類，灌漑システム	様々な形態をとる；タンザニア高地のChaggaシステム，ルワンダのNyabisinduシステム	乾燥地の *Faidherbia (Acacia) albida* のシステム，ButyrospermumとParkiaのシステム 'Parc arboree'	すべての生態的地域区分にいくつかの形態が存在する
プランテーション作物との結合	プランテーション作物と多用途樹木、例えばパプアニューギニア高地の *Casuarina* とコーヒー　また、カカオと *Gliricidia* および *Leucaena*	プランテーション作物と果樹，プランテーション作物と結合した小農システム　プランテーション作物と香辛料用樹木	小農地における統合的生産システム，プランテーションにおける緑陰樹；その他様々な香辛料生産樹をもちいた作物混合	灌漑システム，オリーブと穀類	統合的な生産，商業的プランテーションにおける緑陰樹，高地における混合システム	プランテーション作物との混合，小農生産システム	プランテーション作物との混合，商業的プランテーションにおける緑陰樹；小農地における混合システム；香辛料生産樹；ババスーヤシ(babassu palm)システム
アグロフォレストリーにおける燃材生産	集落周辺での多目的燃材用樹木の栽培	様々な生態的地域区分においていくつかの事例が見られる	社会林業を含む様々な形態をとる		様々な形態をとる	乾燥地に広く分布	乾燥地においていくつかの形態がある

防風林、土壌保全用の生垣	高地では防風林、土壌改良用として、*Casuarina oligodon* が用いられる	急傾斜地における段々畑の安定化	防風林として *Casuarina* spp を用いる；数種の防風林	浸食を制御するための樹種	ルワンダのNyabisinduンステム	様々な形態をとる	特に高地における生垣、防風林
			シルヴォパストラル・システム				
タンパク質貯蔵（刈取り・運搬）飼料生産	まれ	特に高地で、非常によく見られる	特に高地では、農地の中あるいは周辺に多用途樹木がある		非常によく見られる	非常によく見られる	非常によく見られる
飼料用樹木の生垣	時折り見られる	*Leucaena*、*Calliandra* などが、粗放的に利用されている	*Sesbania*、*Euphorbia*、*Syzigium* などが一般的		すべての生態的地域区分において、非常によく見られる		高地で非常によく見られる
放牧地の樹木と潅木	ココナッノ、松、*Eucalyptus deglupta* の下で牛の飼育	ココナッソやその他のプランテーション作物の下で放牧	いくつかの樹種がかなり広く利用されている	乾燥地では非常によく見られる；Dehesaシステム	ケニア、ソマリア、エチオピアの乾燥地における*Acacia* の優占するンステム	油ヤンの下での牛の飼育；ココナッノの下での牛と羊の飼育	湿潤地域と同様に乾燥地域でもよく見られる。例えばブラジルで行われているプランテーション作物の下での放牧
			アグロシルヴォパストラル・システム				
飼料用若葉、マルチ、緑肥、土壌保全などを目的とする木本性の生垣	様々な形態をとる，*Casuarina oligodon* がマルチや堆肥生産に広く用いられている	様々な形態をとる	特に低地には多くの形態がある		一般的；Shambaシステムの変形	非常によく見られる	特に丘陵地域にある
ホームガーデン（かなりの数の草本、木本植物および／あるいは家畜が用いられる）	いくつかの形態のホームガーデンや家庭菜園がある	非常によく見られる，ンャワのホームガーデンは良い事例としてしばしば引き合いに出される，数種の果樹も用いられている	すべての生態的地域区分でよく見られる，通常果樹を含んでいる	オアシス・システム	様々な形態がある，Chaggaホームガーデン，Nyabisinduンステム	湿潤低地の屋敷地内農地	人口密度の低い地域に非常によく見られる
			その他のシステム				
アグロシルヴォフィシャリー（アクワフォレストリー）		マングローブ地域における造林；養魚地の堤防の樹木	時折見られる				
様々な形態の移動耕作	よく見られる	焼畑(swidden farming)やその他の形態	非常によく見られる，様々な名称が付けられている		非常によく見られる	低地で非常によく見られる	すべての生態的地域区分で非常によく見られる
樹木と養蜂	よく見られる	よく見られる	よく見られる	よく見られる	よく見られる	よく見られる	

出所・Nair (1989)

クルで休閑期の短縮を引き起こし、土壌の生産性低下と土壌侵食の促進につながっているが、これらの問題に立ち向かうためには、将来にむけた土地利用戦略の中で、適切なアグロフォレストリー・システムがもつ潜在的な可能性を切り開いていかねばならない。

4．2．2　半乾燥・乾燥熱帯

半乾燥・乾燥熱帯は、アフリカのサバンナからスーダン、サヘルにかけて広がり、また南アメリカのセラドのほか、インド亜大陸にも広く見られる。年に一度か二度の雨季（Köppenの分類によるとそれぞれAwあるいはAw"と示される）と少なくとも一度の長い乾季により特徴づけら地域であって、乾燥が強くなると干ばつに見舞われる。

この地帯における主要なアグロフォレストリー・システムも、人口圧力の影響も受けている。ホームガーデンや多層樹園地は、人口密度が高くより湿潤な地域で見ることができる。しかし、概して言えば、この地帯における優占的なアグロフォレストリーシステムは次のようなものである。

- さまざまな形態のシルヴォパストラル・システム
- 防風林
- 耕地に植栽された多用途樹種、とくにアフリカにおける*Faidherbia(Acacia) albida* システム、インド亜大陸における*Prosopis* 属を用いたアグリシルヴィカルチャー・システムが挙げられる。

現在知られているようなアリー・クロッピングは半乾燥熱帯では広く用いられていないようだが、アグロフォレストリーそのものがこれらの地域になじまないということではない。それどころか、最も有名なアグロフォレストリー・システムのうちのいくつかは半乾燥地域で見つけられたものである。例えば、アフリカの乾燥地域における*Faidherbia(Acacia) albida* を用いたシステム（Felker, 1978; Miehe, 1986; Vandenbeldt, 1992）や、インドの乾燥地で見ることのできる *Prosopis cineraria* のシステム（Mann and Saxena, 1980 ; Shankarnarayan *et al.*, 1987）がある。

燃材不足は半乾燥・乾燥熱帯の大部分で最も重要な問題である。アグロフォレストリーがどれだけ燃材を生産できるのか詳細な調査もなされている（例えばNair, 1987)。同様に、砂漠化や飼い葉不足もこの地帯の主要な土地利用問題であ

り、アグロフォレストリーの手法を用ることにより、これらの問題にある程度まで対処することができる(Rocheleau*et al.*, 1988)(第10章も参照のこと)。

4．2．3　熱帯高地

熱帯の約20%が標高 900～1800mにある。中央・南アメリカのアンデス高原のおおよそ半分、ベネズエラとブラジルの一部、カリブ諸島の山岳地域、東・中央アフリカの多くの地域、カメルーン、インドのデカン高原、そして東南アジア大陸部の一部分がそれに含まれる。熱帯地域の約３%は標高が1800mを超えており、アンデス、エチオピアとケニヤの高地、ミャンマー（ビルマ）北部、パプア・ニューギニアの一部地域がこれに含まれる。亜熱帯地域ではヒマラヤの高地が最も重要である。

湿潤あるいは半湿潤地域は、高地熱帯の中でもアグロフォレストリーの潜在的な可能性は大きいが、乾燥気候地域になるとそれが非常に低くなる。高地の土地利用も、同じような気候条件にある湿潤低地や乾燥低地と同様の問題をかかえているが、これに加えて傾斜地での土壌侵食が大きな問題だ。さらに気温の低下により（熱帯では 100m高く上るにつれ、年間平均気温は 0.6℃低くなる)、特定の低地熱帯の植物が生育できなくなる。

熱帯高地における主要なアグロフォレストリーシステムとしては、

- 小規模ないしは商業的システムのもとで、コーヒーや茶のようなプランテーション作物を栽培する生産システム
- 土壌保全と土壌の肥沃度を維持するための木本多年生植物の活用
- 改良休閑地
- シルヴォパストラル・システム

熱帯の主要なアグロフォレストリー・システムの類型が、表4．３にまとめてある。

4．3　熱帯のアグロフォレストリー・システムと農業生態地域

特定の地域でどのような種類のアグロフォレストリー・システムがあるかは、ある程度まで農業生態的な要因によって決定される。しかし、人口圧力、労働力の利用可能性、市場との距離といったいくつかの社会・経済的要因も重要な決定

表4．3　熱帯におけるアグロフォレストリー・システムの主要なタイプ

湿潤低地
移動耕作
タウンヤ
プランテーション作物との結合
多層樹園地
間作システム
半乾燥低地
シルヴォパストラル・システム
防風林と保護林帯
飼料および燃材生産のための多目的樹木
農地における多目的樹木の利用
高地
土壌保全のための生垣
シルヴォパストラルの組み合わせ
プランテーション作物との結合

因子であり、似たようなあるいは全く同じ農業気象条件のもとでも、非常にたくさんの変種が見られることがある。場合によっては社会・経済的な要因が生態的要因よりも優位になることも少なくない。ほとんどの生態的・地理的地域に出現する移動耕作やタウンヤのようなシステムでさえ、特定の社会・経済条件に対応して数多の変種が存在する。ごく一般化していえば、ある地域においてアグロフォレストリー・システムの主要な類型を決定するのは生態的要因であるが、そのシステムの複雑さと経営の集約度は人口密度と土地の生産性に比例して高まっていく。

多種・多層のホームガーデン・システムでこの点を見てみよう。このシステムの中心は主に湿潤低地であるけれど、その他の生態地域でも人口密度の高くなると局所的に出現する（第７章を参照のこと）。Fernandes and Nair (1986)は、さまざまな生態地域における10ほどのホームガーデン・システムの構造と機能の分析を行い、ホームガーデンの平均規模が 0.5ｈａ以下であるのに非常にたくさんの木本種、草本種からなっていることを明らかにした。ホームガーデンは、３～５つの樹冠がさまざまな高さに配置され、構成要素それぞれが全体の中で特定の場所と機能を占めるように注意深く構成されていた。

農業生態的要因はアグロフォレストリーの実行方式と機能的な面で関係が深い。例えば、傾斜地におけるアグロフォレストリーの第一の機能は侵食の抑制と土壌保全であり、風の強い地域では防風が主目的となる。また燃材の不足地域では燃材生産に重点がおかれるであろうし、劣化した土地や荒廃地（例えば、かなりの侵食、過放牧を被った土地、あるいは塩分濃度が高い土地、アルカリ性の強い土地）の回復のための特殊なアグロフォレストリーの手法も存在する。肥沃な低地や農業の潜在力のきわめて高い地域ではホームガーデンやその他の多種システムが優勢になり、逆に非常に低い地域では粗放的なシルヴォパストラルの方式が優勢になるだろう。そしてこの中間にさまざまなシステムがある。これらの例から明らかなように、ある地域の生態的な潜在能力が特定のアグロフォレストリー・システムの分布と適用範囲を決定する主要な要因である。

Nair（1989）は、世界中の主要なアグロフォレストリー・システムの生態的・地理的分布を模式的に示している（図4. 1）。いうまでもなく、この種の「アグロフォレストリー地図」は全般的な分布パターンを示す目的で作成されたものであって、特定なシステムが頻出する地域をあらわしている。熱帯には場所ごとに特有のアグロフォレストリー方式が数え切れないほどあるが、それらは特定の視点からは重要であっても地域全体の経済や土地利用パターンから見ると地球規模の地図に書く込むほどの重要性はもっていない。逆に言えば、農地への多用途樹種の植栽といったものは、ほぼすべての生態的・地理的地域で見られるが、個別のアグロフォレストリー・システムとして分類されアグロフォレストリー地図に含まれるのは、例えば*Faidherbia(Acacia)albida*や *Prosopis* 属を用いた乾燥地帯のシステム（Shankarnarayan *et al.*, 1987)のようなものを除くと、ごく少数である。

以上のように、それぞれの地理的地域における社会・文化の違いにもかかわらず、アグロフォレストリー・システムの主要タイプは、似たような生態的条件のもとにあれば構造的に類似したものになる。したがって、農業生態地域はアグロフォレストリー・システムをデザインする際の基準として利用できるであろう。その根底にある考え方は、類似した生態的条件下にある地域には構造的に類似したアグロフォレストリー・システムがあるということだ。ＩＣＲＡＦはアフリカにおけるアグロフォレストリー研究ネットワーク（ＡＦＲＥＮＡs)を構想する際に採択したのはこの方法である（ICRAF, 1987)。Nair（1992）はこの考え方をさらに展開させ、三つの主要な熱帯農業生態地域について、最も普遍的な土地利用

の制約ないしは問題点とともに、これらの問題の解決に役立つアグロフォレストリーの大まかな類型を示すマトリックスを提案した（図4. 2）。農業生態的条件とアグロフォレストリーの実行方式を対置させたマトリックスはどのような地域についても作成することができる。しかし、農業生態的状況と、アグロフォレストリーの生物学的、社会・経済的特徴は、かなり複雑・多様であるため、これらすべての情報を、単純なモデルとして統合するのはなかなか難しい。エキスパート・システムのようなコンピュータを用いた手法がこの種の問題を処理するのに適しているかもしれない。アリー・クロッピングの計画作成のためにWarkentin *et al.* (1990)が開発したエキスパート・システムがその例である。

注

1）熱帯のさまざまな生態地域におけるアグロフォレストリーシステムのタイプとそれぞれに用いられている樹種については、Nair, P.K.R.(ed.) (1989), Agroforestry Systems in the Tropics, pp.74-84. に詳しい情報がある。

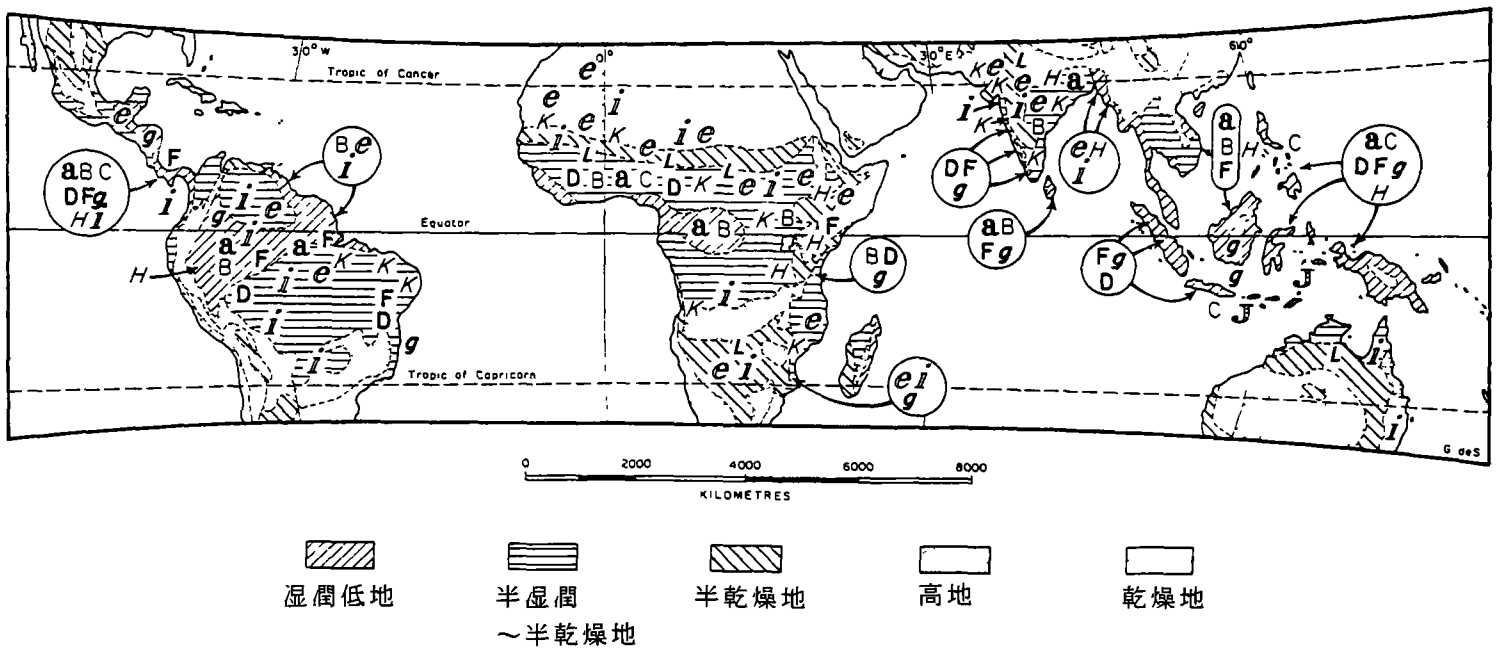


図4．1　熱帯および亜熱帯のさまざまな生態地域における主要なアグロフォレストリー・システム（次ページの凡例を参照）。
出所：Nair（1989）

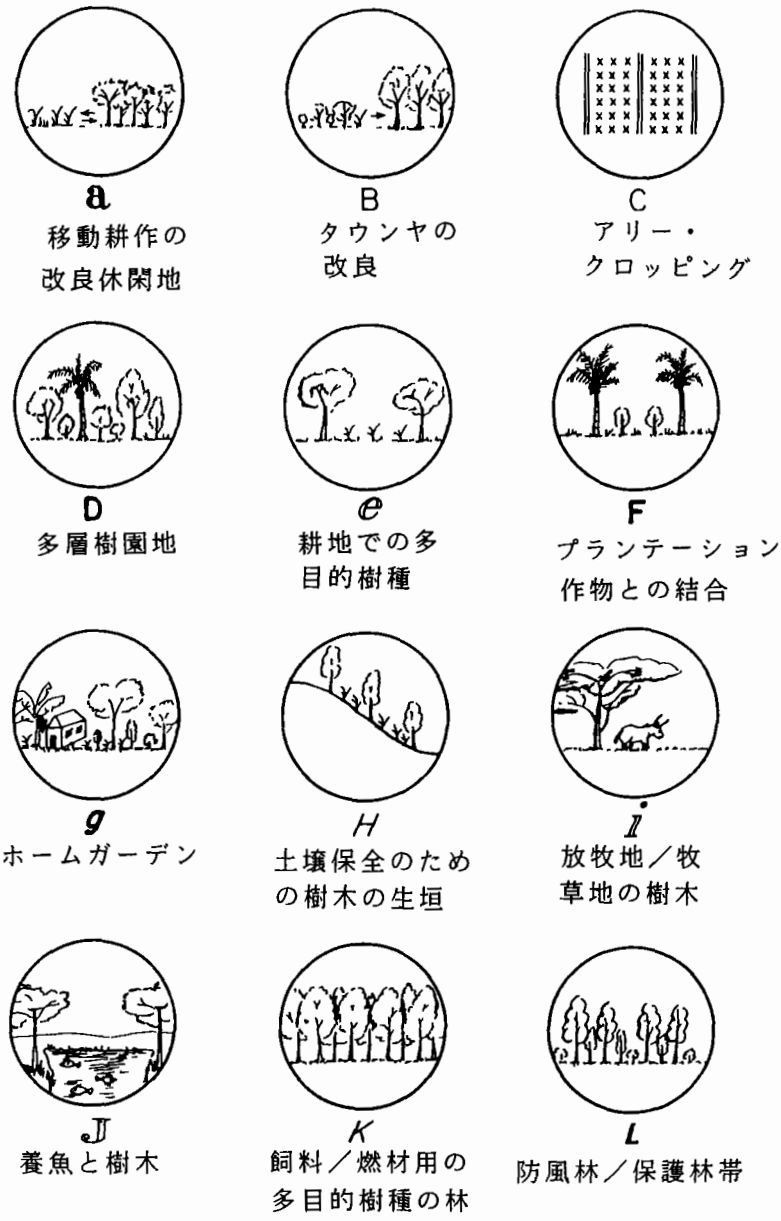

a
移動耕作の
改良休閑地
B
タウンヤの
改良
C
アリー・
クロッピング
D
多層樹園地
e
耕地での多
目的樹種
F
プランテーション
作物との結合
g
ホームガーデン
H
土壌保全のため
の樹木の生垣
I
放牧地／牧
草地の樹木
J
養魚と樹木
K
飼料／燃材用の
多目的樹種の林
L
防風林／保護林帯

図4．1A．（凡例）

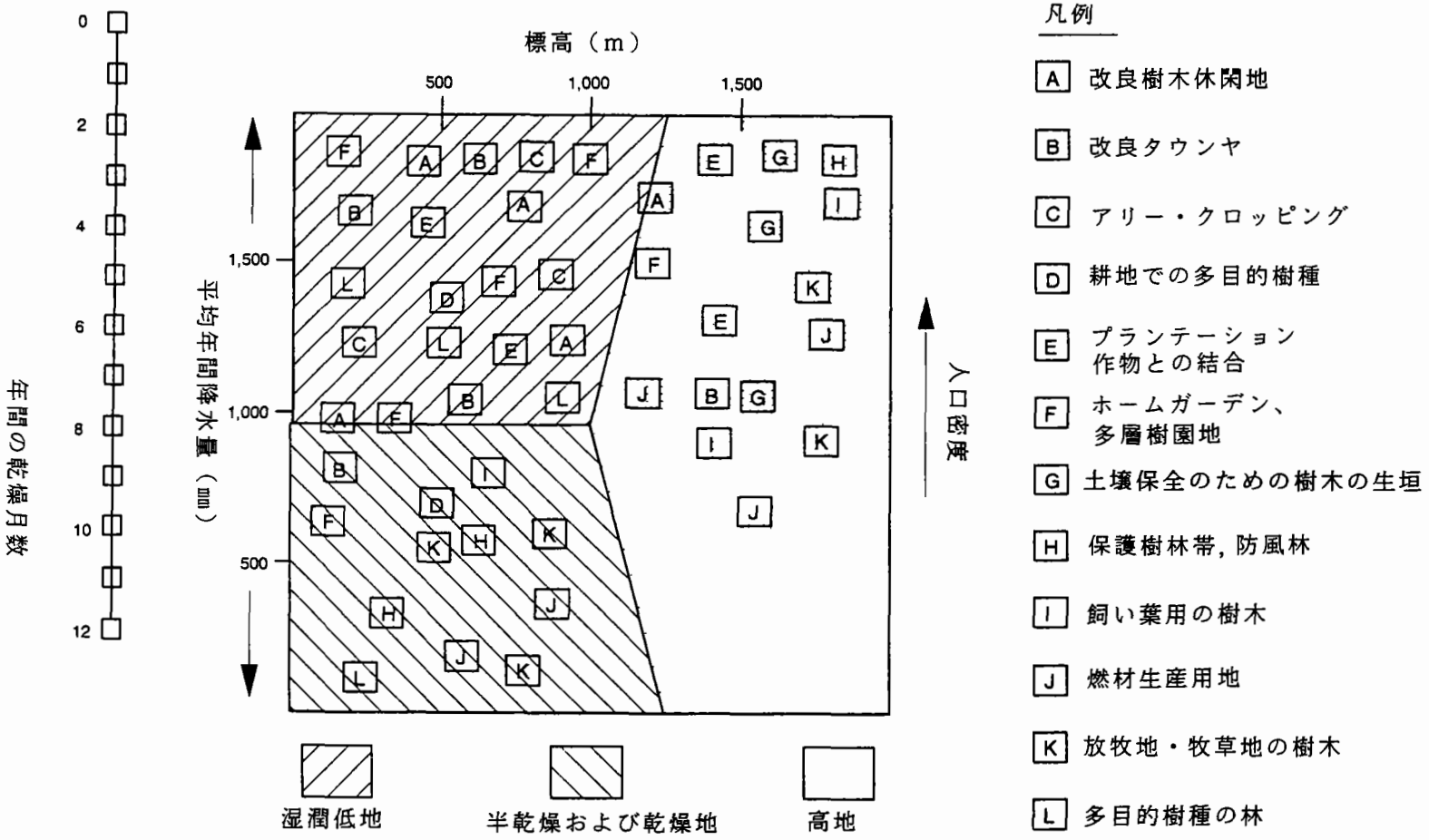


図4．2　熱帯および亜熱帯におけるアグロフォレストリーと農業生態的な枠組み
出所：Nair（1992）

第５章　移動耕作と改良休閑地

「移動耕作」というのは、天然の植生が切り開かれ、数年にわたる農作物栽培の後、放置されて天然植生が更新されていく農耕・農業システムのことである。耕作期間は通常短い（２～３年）が、休閑期あるいは潅木休閑期といわれる更新期間は非常に長い（伝統的には10～20年)。通常、簡単な道具を用いて樹木を切り倒しこれを焼き払う（スラッシュ・アンド・バーン農業の別名はここからきている)。有用な樹木や潅木は切らずに残され、時には軽く枝打ちされることもある。また一部のものは、更新の促進やつる作物の支柱にするため、さまざまな高さの切り株を残して刈り込まれる。栽培期間と休閑期間の長さはかなり多様であり、とくに栽培期間は変化しやすい。通常、休閑期間は栽培期間の数倍の長さである。休閑期間の長さは、移動耕作が成功するかどうか、持続性に実行できるかどうかを決める重要な要素である。耕作期間中に枯渇してしまった肥沃度が、休閑期間における木本植生の更新作用によって再び取り戻されることになるからだ。

５．１　移動耕作システムの概観

移動耕作は今なお熱帯および亜熱帯の広大な地域において伝統的な農耕システムの中心をなしている。移動耕作が行われている面積については各種の推計があるが、よく引用されるのは世界の利用可能な土壌の30％に当たる約３億６千万ｈａで実行され、２億５千万人の人びとの生活を支えているというＦＡＯの推測値（FAO, 1982)である。Crutzen and Andreae(1990）は、熱帯では約２億人の人びとによって３億～５億ｈａ以上の土地で移動耕作が行われていると推測した。移動耕作が卓越したシステムになっているのは、主に人口密度の低い低開発の地域で、肥料や農業機械といった進んだ農業技術の投入が不可能な場所においてであるが、熱帯のほとんどの地域、とくにアフリカとラテンアメリカの湿潤・半湿潤熱帯に見られ、人口密度の高い東南アジアにおいてさえ、いくつかの地域では主要な土地利用となっている（Spencer, 1966; Grandstaff, 1980; Ruthenberg, 1980; Kyuma and Pairinta, 1983; Denevan *et al.*, 1984; Padoch *et al.*, 1985; Padoch and de Jong, 1987)。

世界の各地で行われている移動耕作は、互いに驚くほどの類似点をもちあわせている一方で、その土地の環境、社会・経済状況と、何世紀にもわたって土地利

用システムの発展に影響を与えてきた歴史的な状況により、細部では差異があり、それが世界各地で用いられているこのシステムの名称にもある程度反映されている（Spencer, 1966; Okigbo, 1985, 表5. 1）。移動耕作は数世紀前までヨーロッパで広く行われていた（Nye and Greenland, 1960; Greenland, 1974)。ヨーロッパのように資源が豊富にある場合は、移動耕作はゆっくりと技術指向型で収益の多い土地利用に置き換えられ、以前とはまったく異なったものに変わっていく。人口密度の低い発展途上国では農民たちの自由になる土地が十分にあって、ある特定の地政学的単位や地域内ならば耕作地を自由に選ぶことができ、休閑期間と耕作期間の比も10対1に達する。このシステムは安定しており生態的にも健全なものだ。しかし、人口増加の圧力が強まると休閑期は急速に短くなり、深刻な土壌浸食、土壌の肥沃度と生産性の低下をもたらすのである（図5. 1を参照)。

表5. 1　熱帯の様々な地域における移動耕作の地域名

	名称	国または地域
A. アジア	Ladang	インドネシア、マレーシア
	Jumar	シャワ
	Ray	ベトナム
	Tam-ray, rai	タイ
	Hay	ラオス
	Hanumo, caingin	フィリピン
	Chena	スリランカ
	Kaden	日本、朝鮮
	Taungya	ビルマ（ミャンマー）
	Bewar, dhya, dippa, erka, jhum, kumri, penda, pothu, podu	インド
B. アメリカ大陸	Coamile	メキシコ
	Milpa	メキシコ、中央アメリカ
	Roca	ブラジル
C. アフリカ	Masole	ザイール
	Tavy	マタガスカル
	Chitimene, citimene	ザイール、ザンビア、ジンハフエ、タンザニア
	Proka	ガーナ

出所：Okigbo（1985）

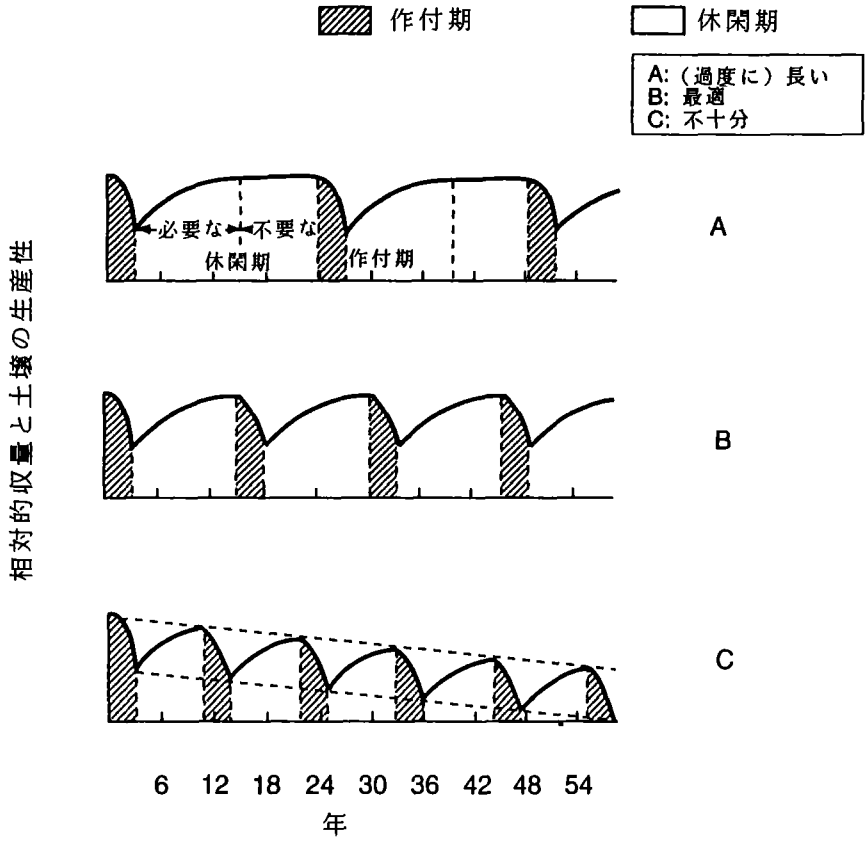


図5．1　移動耕作における休閑期間の長さの変化とそれによって生じる収量と土壌生産性の推移（模式図）。
出所：Okigbo（1985）をRuthenberg（1980）にならって改変

移動耕作のやり方に違いが出てくる最大の原因は、おそらく生態的条件によるものであろう。低地湿潤熱帯林の移動耕作においては、乾季（あるいは降雨の最も少ない季節）に小面積の森林が伐開され、強い雨が降る直前にその場で燃やされて、トウモロコシ、稲、マメ類、キャッサバ、ヤムイモやプランテーン（バナナの一種）といった作物の栽培が行われる。人手を使って除草することもある。間作のパターンは不規則なことが多い（図5．2）。2～3年の耕作のあと、その土地は放棄され、森林が急速に回復していく。農民は5～20年で同じ土地に戻ってきて、その土地を再び伐開し、このサイクルが繰り返される。

西アフリカのサバンナでは草地に樹木や潅木が分散する植生が支配的であり、ここでの移動耕作は乾季に伐倒と焼却が行われる（図5．3）。そのあと土を盛って高さ約50cmの土手をつくり、そこに通常ヤムイモなどの根栽作物が栽培される。

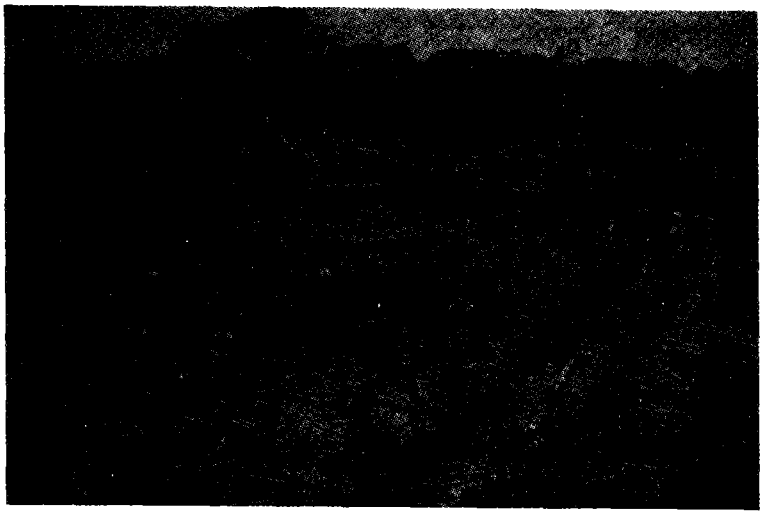


図５．２　低地湿潤地帯の移動耕作。列状栽培や肥料の使用といった農業改良的なやり方がいくつかの移動耕作地域で提唱されてきたが、農民たちがそれを実行した例はほとんどない。

トウモロコシ、マメ類その他の作物は土手の間に植えられる。ヤムイモの１年目の栽培が終わると、土手はならされる。その後２～３年間はトウモロコシ、雑穀、落花生といったさまざな作物が栽培される。その後その土地は休閑地となり、雑草雑木が再生していく。この期間は約10年間に及ぶ。森林地における移動耕作と違い、この形態の農業のもとでは、土壌にはより細かく手が加えられており、耕作期間も長く、そのため雑草の侵入が深刻である。さらに乾季の伐倒・焼却のあと土壌かむき出しになると侵食の危険率も高くなる。

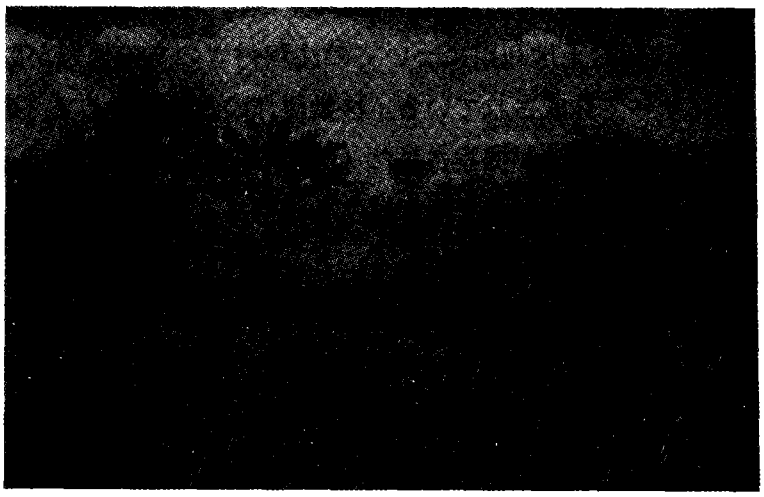


図５．３　サバンナの移動耕作。主に草本とまばらな樹木と潅木からなる植生を乾季に切り倒して焼き、次の雨季に作物をつくる。

移動耕作を分類するために、さまざまな試みがなされた。ＦＡＯ／ＳＩＤＡ（1974）の詳細な考察やRuthenberg（1980）のレビューがその例である。これらの分類でほぼ共通してとられている指標は耕作の集約度であり、これには土地利用係数（Ｌ）[1]を基準にすることができる。

$$L = \frac{C+F}{C}$$

Ｃ＝耕作期間の長さ（年）
Ｆ＝休閑期間の長さ（年）

移動耕作の初期段階では休閑期間が長く、Ｌ＞10となる。しかし定着・永年耕作段階に達すると、屋敷地内農地（compound farm)のようなところではＬ＝１となる。さらに移動耕作の多様なシステムが農業景観の中に混ざり合っていることがある。とくにアフリカではそのような傾向が強く、同じ場所で移動耕作と永年生産システムとが同時に営まれているのを見ることができる。このように、移動耕作は休閑・耕作か交互に循環するという一般的形態に従いながらも、場所によって異なった特徴を有しているのである。

移動耕作を種々の観点から論じた文献はたくさんあり、またよく記録されている。Grigg(1974）は農業システムとしての移動耕作の発展について考察し、Conklin(1963）は移動耕作の文化人類学的、地理学的情報を収集している。またSanchez(1973)、Greenland(1976)やRuthenberg（1980）は移動耕作のさまざまな形態を記録し、Nye and Greenland(1960)、Newton（1960)、ＦＡＯ／ＳＩＤＡ（1974)、Sanchez(1976）らは、移動耕作地の土壌について優れた研究を行った。移動耕作やその代替的土地利用についての注釈付きの文献目録がRobinson and McKean(1992)によって作成されている。移動耕作の改良、そして（あるいは）代替案としてさまざまな手法が提案された（FAO, 1985)。それらのほとんどは、休閑期間のみでなく耕作期間にまで樹木植生を維持あるいは結合することが、土壌のもつ生産性を維持する重要な鍵であることを強調している。樹木の組み込み方によっては、アリー・クロッピング（Kang and Wilson, 1987)や、その他の形態のアグロフォレストリー（Nair and Fernandes, 1985)、あるいはその他の改良永年生産システム（Okigbo, 1985）にもなりうる。これらの選択枝について論議しようとすると、土壌の生産性とその維持に樹木が果たす役割を明らかにし、あわせて熱帯および亜熱帯の移動耕作地における土壌管理の主要な問題点について概観しなければならない。前者については第Ⅳ部で詳細に考察することとし、ここ

では後者について述べておく。

5．2　土壌管理と移動耕作

湿潤・半湿潤熱帯において、現在移動耕作やそれに似た伝統的農耕システムが行われている地域の多くは、いわゆるもろい畑地土壌に覆われている。湿潤熱帯においてはアルティゾルとオキシゾルなどの土壌タイプが卓越し、半湿潤熱帯ではアルフィゾルと関連する土壌が分布している。これら主要な土壌グループの分布と特徴は第14章て述べられるが、その多くは、特有の制約、特異な管理上の要求、その他作物生産に不利な影響を及ぼす特徴のゆえに、低活性粘土土壌（ＬＡＣ）として分類される（Juo, 1980; Kang and Juo, 1986)。

ここ数十年にわたって熱帯にあるいくつかの研究所は持続的な食糧作物の生産のために、これらの畑地土壌のもつ制約と管理上の問題を明らかにする研究を精力的に進めてきた。これらの研究の結果（Charreau, 1974; Lal, 1974; Sanchez and Salinas, 1981; Kand and Juo, 1986; Spain, 1983, El-Swaify *et al.*, 1984）と結論のいつくかを以下で述べる。アルティゾルとオキシゾルは酸性、アルミニウムの毒性、低い養分含有、養分のアンバランス、各種の養分の不足といった問題を抱えている。アルティゾルも、とくにむき出しの傾斜地で侵食されやすいことが明らかとなってきた。またアルフィゾルとその仲間には重大な物理的制約がある。極端に固まりやすく、締め固めと侵食を起こしやすいし、その水分保持能力の低さは、しばしば水分ストレスを作物にもたらす。加えて耕作が続くと酸性化しやすく、とくに中～強度の施肥が行われた場合にそれか顕著になる。熱帯土壌とその管理に関する詳しい論議については、Sanchez（1976）を参照のこと。

適切な長い休閑期をもつ伝統的移動耕作が、その土地の生態的・社会的環境にうまく適応した健全な土壌管理の方法であることは、広く認められることろである。森林が伐られなければ土壌と森林をつなぐ閉じた養分循環が存在する。この系の中では養分のほとんどがバイオマスや土壌表層に蓄えられており、雨食（すなわち葉からの浸出)、落葉落枝、根の分解、植物による吸収といった物理的・生物的なプロセスによって、系の一部分から他の部分への継続的な養分の移転が行われている。Lundgren（1978）は、熱帯における18の地域に関する文献をもとに、天然の閉鎖林から土壌中へ加えられる落葉落枝は平均８～９トン／ｈａ・年で、

成分でいうと窒素 134（ｋｇ／ｈａ・年、以下単位同じ)、リン７ｋｇ、カリウム53ｋｇ、カルシウム 111ｋｇ、マグネシウム32ｋｇが付加されているとした。この系から失われる養分量は無視しても差し支えないほどに小さい。

植生を伐倒焼却によりこの閉した養分循環が崩壊する。火入れによって土壌温度が高まり、その後むきだしになった土壌表面に太陽光線か照りつけることで土壌温度と気温が高まる（Ahn, 1974; Lal *et al.*, 1975)。このような温度の変化は土壌内の生物学的活動に変化をもたらす。また火入れによって土壌に灰が加えられ、土壌の科学的属性と有機物の含有量が変化する（Jha *et al.*, 1979; Stromgaard, 1991)。一般的に、置換可能な塩基と利用可能なリンが火入れの後に少しずつ増加する。ｐＨ値も上昇するか、通常それは一時的なものに過ぎない。また植生が燃え残っているため火入れにより有機物含有量の増加が予想される（Sanchez and Salinas, 1981; Nair, 1984)。

伐開・火つけ後、土壌はこのように変化して利用可能な養分が増加するため、最初に作付された作物はかなりの恩恵をこうむることになる。その後、土壌は次第に生産力を失い、収量が減少していく。図5. 4にはさまざまな土壌、気候、植生タイプをもつ異なった移動耕作地において、無施肥で継続して耕作を行った場合の収量低下の事例がいくつか挙げてある。この状況を一般化して描いたのが図5. 5である。作物の収量が低下する主要因は、土壌の持つ肥沃度の枯渇、雑草侵入の増加、土壌の物理的属性の劣化、そして病害虫による被害の増加である（Sanchez, 1976)。そのため最終的に農民は、これ以上そこで耕作を行うことは困難で引き合わないと考え、その地を放棄して他へ移動する。しかし彼らは放棄した土地が天然植生によって回復することをよく知っている（森林休閑地)。休閑期間に土壌はその肥沃度と生産性を再び取り戻し、農民は数年後にその土地に戻ってこれるのである。

移動耕作が何世紀にもわたって継続されてきた多くの地域では、生産性のレベルが低いとはいえ、このサイクルが無限に繰り返されてきた。しかし長い年月にわたって人口が着実に増加し、休閑期間が次第に短くなっている。その結果、肥沃度の回復が不十分な前の放棄地に農民たちは再び帰ってこざるを得なくなった（図5. 1)。また工業用作物と作物生産の近代的方法が導入され、伝統的な農耕方式で重要視されてきた休閑期間が次第に省みられなくなっている。

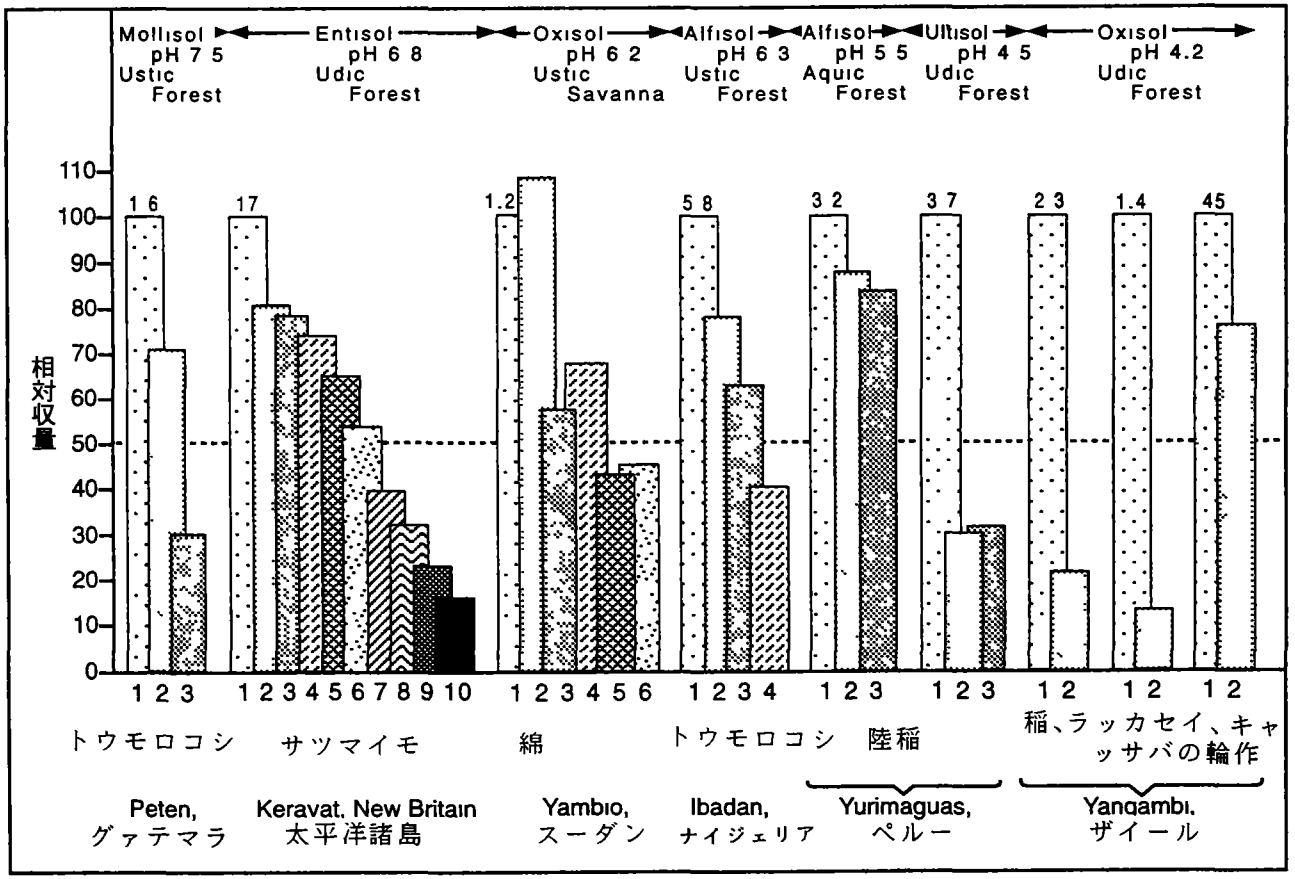


図5．4　移動耕作地で無施肥で継続して作付を行った場合の収量低下の事例。土壌、気候、植生との関連も示している。棒グラフの上の数字は経済的作物収量(t/ha)を、X軸の数字はその後の収穫回数を示している。
出所：Sanchez (1976)。（John Wiley & Sons, Inc. の許可のもと掲載）

5．3　栽培休閑地の展開

耕作システムにおける持続可能な生産性の水準は、資源基盤のもつ潜在能力と経営の水準に大きく左右される。言い換えると、高い生産性がもたらされるのは、広範な資源の枯渇なしに、持続性に必要な経営集約度が達成される場合に限られるということだ。熱帯の栽培システムの進化傾向を見ると、持続的な生産の可能な経営集約度が導入されるのは、通常、資源（とくに更新不可能な土壌）の深刻な枯渇・劣化が生じてからである。

ここまでに見てきたように、伝統的な移動耕作において、土壌のもつ生産性を再生させる上で休閑期が重要な役割を担っている（Nye and Greenland, 1960)。

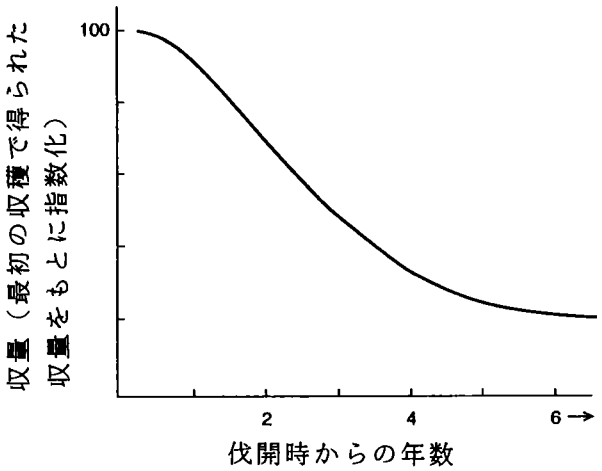


図5．5　土地を開いたあと同じ土地（低活性粘土土壌）で連続的に作物を栽培した場合に生じる収量低下の一般的な傾向。

土壌生産性が回復する速さと限度は、休閑期の長さ、休閑地の植生、土壌の性質と経営集約度によって決まってくる。休閑期に生育する植生はその根の広がりに応じて土壌のさまざな深さから養分を摂取している。養分の大部分がバイオマスに保持されている一方で、残りは落葉落枝により土壌表面に戻されるか、浸出、浸食その他により失われる。また休閑期には腐食した落葉落枝と残渣が土壌に還元されて有機物の量を大きく増加させる。

熱帯における各種の作付システム（Benneh, 1972; Ruthenberg, 1980; MacDonald, 1982)にもとづき、図5.6に示してあるような、湿潤熱帯の伝統的な作付システムの進化経路に関する理論的枠組みがKang and Wilson(1987）によっ

て提案された。この経路は作付システムの主要な変化に焦点があてられており、さらなる資源の劣化を防ぐため栽培休閑地やその他のアグロフォレストリー的手法の導入がどこで可能であるかを示している。

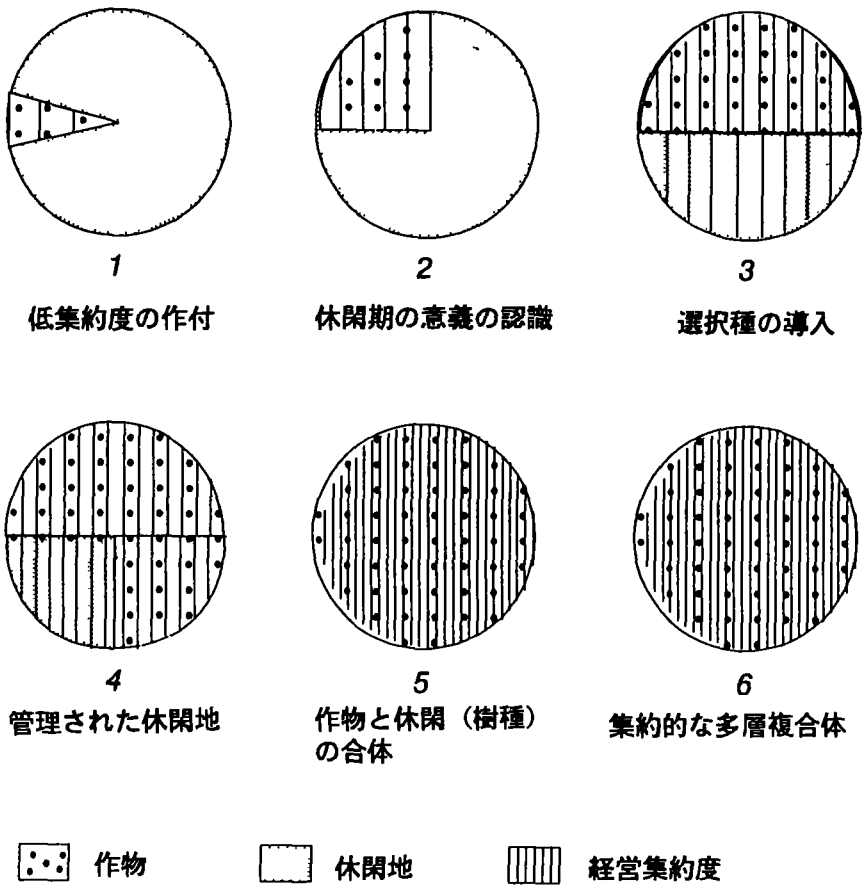


図5．6　湿潤熱帯の移動耕作地における管理された休閑地および複層耕作の進化段階
出所：Kang and Wilson (1987)

この経路はまず一時的なアグロフォレストリーの単純な繰り返しから始まる。非常に短い作付期間とそれに続く非常に長い休閑期がその特徴である。これだけの休閑期があれば、土壌回復能力の低い植物種でも地力を回復させることができよう。労働あるいはエネルギーの投入に対する経済的な収益率は高い。経営は低投入で行われ、それは耕作期間のみに限定されている。第2の段階では人口圧力などにより作付期間と耕作面積が拡大する。エネルギー投入に対する収益率は低下しはじめ、経営の集約度は増していく。この段階になると休閑システムにおける各種の樹木の役割（例えば土壌を回復させる性質など）が認識されるようになる（Benneh, 1972)。 第3段階では、すでに短くなってしまった休閑期において肥沃度の回復を確実にするため、休閑地の種を操作する試みがなされる。一例を挙けると、ナイジェリア南西部では、*Dactyladenia*（*Acioa*と異名同種） *barteri*、*Alchornea cordifolia*、*Dialium guineense* と *Anthonata macrophyla* が土壌の肥沃度を効率よく回復させるために維持、利用されている（Obi and Tuley, 1973; Okigbo, 1976; Getahun *et al.*, 1982)。またナイジェリアのイバダン近くに住む農民たちは、*Gliricidia sepium* がヤムイモの支柱に使われた場合、その後休閑地を占領し、他の種の場合よりも土壌の肥沃度をより速く回復することを知り、現在ではヤムイモが栽培されなくても*G. sepium* を休閑地に残すようになった（Kang and Wilson, 1987)。第4段階においては、単なる休閑地の操作や、望ましい種の天然更新だけでは不十分で、選択された種が休閑地へ植栽されるようになる。栽培休閑地の有用性や実行可能性は実験的に証明されているが(Webster and Wilson, 1980)、まだ広く普及してはいない。この段階では、アリー・クロッピング（第9章）やマルチ（Wilson, 1978）のような技術の導入も可能である。

これら一連の段階において、作付期間は次第に延長され、これとともに休閑期は短縮される。延長された作付期間では、土壌の劣化が続き、そのダメージは短縮した休閑期では回復できない。そういった場合、効果的に土壌回復ができる種が休閑地を優占したとしても、劣化した資源基盤からは低い水準の収量しか得られない。

第5（作付期間と休閑期間の合体）と第6（集約的な複層の組み合わせ）の段階は、その前の段階から進化していくということも考えられるが、それを証明する確固たる証拠があるわけではない。樹木と農作物を組み合わせた複層作付けや集約的なアグロフォレストリー・システム（Nair, 1979; Michon, 1983）が優占する地域でも、第4、5段階があるという証拠がみあたらない。人口が増加する

と、第3段階の土地利用が可能な面積は縮小し、第6段階（具体的には果樹が主要な構成要素となる集約的経営のホームガーデン）の土地利用面積が拡大する、という説明が最も説得力をもっている。この2つの段階の土地利用が合わさると、より能率の良いホームガーデンに修正が加えられ、複層生産システムが展開していくことになるのである。

仮にこのような進化パターンがあるとすれば、資源がいちじるしく劣化・枯渇する「前に」、保護と回復の方法を導入して、高い生産性の持続ができるようになるはずである。湿潤熱帯では、作付システムの進化の最終段階と考えられる複層複合体を第1あるいは第2段階において導入するのが理想的であろう。しかし現実にはそれぞれの地域の気候や社会経済的条件のために、これがどこでもできるわけではない。そのために栽培休閑地のような他のタイプのアグロフォレストリーシステムが必要となってくる。

熱帯で栽培休閑地を導入しようとする試みは、主に緑肥の生産を目的としたマメ科草本の利用から始まった(Milsum and Bunting, 1928; Vine, 1953; Webster and Wilson, 1980)。それについて多くの研究者たちの報告は肯定的なものであったが、必ずしも広く採用されたわけではなかった。その後の研究によって、マメ科草本を用いた緑肥は、多くの熱帯気候、とくに主要な播種季節の前に長い乾季があるような地域においては適用できないことがわかった（Willson *et al*., 1986)。ほとんどの草本種は乾季には生き残ることができず、緑肥は用をなさないからである。しかし、*Pueraria phaseoloides* 、*Centrosema pubescens*、*Calopogonium muconoides* 、そして*C. caeruleum* といったマメ科草本は、湿潤地域における樹木作物のプランテーションで地表被覆として広く用いられている（Pushparajah, 1982)。また熱帯で除草剤や無起耕栽培が導入されると、*Mucuna utilis*、*Pueraria phaseoloides*、*Centrosema pubescens* や*Psophocarpus palustris* といった被覆作物が、最小限の耕耘で生産を可能にする天然マルチとなりうることがわかった（Lal, 1974; Wilson, 1978)。

いくつもの報告が明らかにしているように、樹木や潅木は深い根系をもっており、草本休閑地よりも養分を効率的に摂取、循環することができる(Jaiyebo and Moore, 1964; Nye and Greenland, 1960; Lundgren, 1978; Jordan, 1985）。初期の研究者の中にも、Milsum and Bunting (1928) のように、マメ科草本は熱帯においては好ましい緑肥源ではないと主張する人たちもいて、*Crotalaria* 種や*Cajanus cajan* のような多年生植物を含むマメ科の潅木のほうがより適当であ

るとし、特定の緑肥源となる場所で葉を刈って、それを農作物の栽培地へ肥料として与えるという、刈り取り・運搬方式をも提唱していた。*Cajanus cajan* は根系が深く、乾季にもたいていは生き残り、落葉落枝や葉が豊富なことから、雨季に入る前に緑肥を供給することができる。伝統的農業を行う農民たちは、*Cajanus cajan* などのマメ科潅木を導入し、天然の再生にまかせるよりは効率よく肥沃度を回復させ増収になることも知っていた（Nye, 1958; Webster and Wilson, 1980)。

しかし科学肥料の投入が増加すると、はたして休閑は必要なのか、または農作物生産を持続させるのに最低限必要な休閑期の長さはどれくらいか、という問題が繰り返し真剣に検討されるようになった。図５．６に示してあるような伝統的な休閑システム（第１、２段階）の欠陥は、安定的な生産を維持するためには広大な土地が必要なことである。一方、継続的な耕作により食糧を増産すべく温帯から導入された近代的技術は、低活性粘土土壌[2)]では成功を収めることができなかった。継続的な耕作による急速な生産性の低下は補足的に肥料を用いても止めることはできない（Duthie, 1848; Baldwin, 1957; Moormann and Greenland, 1980; FAO, 1985)。世界的な調査の結果から、Young and Wright（1980）は、現在の利用できる技術では、実行不可能か採算無視の投入がないかぎり、熱帯土壌を劣化させずに食用作物の栽培することはいまだ不可能であると結論した。さらに彼らは、何らかの投入を伴う農業のあらゆるレベルで、土壌・気候条件に応じて土地を一時的に休閑させるか他の用途に用いることが必要であるとも述べている。Higgins *et al.*(1982）は、さまざまな気候、投入のもとで主要な熱帯土壌が必要とする休耕期についていくつかの推定を行った。表５．２に示される耕作係数Ｒというのは、前述の土地利用係数Ｌの逆数であって、投入量の増加とともに必要な休閑期は短くなる。

畑地の低活性粘土（ＬＡＣ）土壌では休閑が不可欠だが、1970年代にナイジェリア、イバダンの国際熱帯農業研究所（ＩＩＴＡ）の科学者たちは革新的なアグロフォレストリー的手法、つまり低活性粘土土壌での経営に樹木を用いる方法を考案した。これは現在アリー・クロッピング・システム（第９章を参照のこと）として知られている手法の開発へとつながるものであった。栽培休閑地とアリー・クロッピングではともに、より集約的な経営によって持続性がもたらされる。すなわち、作物を生産しない構成要素（休閑あるいは樹木種）は、その中を流れていくエネルギーの大部分を作物生産へ再び差し向けるように制御され、資源の

表５．２　伝統的な（低投入の）毎年作付のもとで、主要な熱帯土壌が必要とする休耕期間

$$\text{耕作係数の値、R} = \frac{\text{耕作年数}}{\text{耕作年数＋休閑年数}} \times 1000$$

土壌タイプ	一般的性質	熱帯地面積に占める割合(%)	生態地帯→ (ecozone)	多雨林	サバンナ	半乾燥地
			成長期間→ (１年間の日数)	>270	120～270	<120
オキシゾル	ラテライト；浸出作用を受けた	23		15	15	20
アルティゾル	浸出作用を受けた；オキシゾルより粘土が多い	20		15	15	20
アルフィゾル	浸出作用を受けた；中程度の肥沃度	15		25	30	35
バーティゾル	赤色土；中程度の肥沃度	5		40	55	45
エンティゾル	沖積土；砂質	16		10	15	20
インセプティゾル	茶色；森林土壌	14		40	55	75

出所：Young（1989）

劣化と枯渇を防ぐのである。こうした方式が、作付パターンの初期の進化段階で導入されれば、資源基盤を高い水準に維持し、集約的経営に対する反応もより効果的になるであろう。

５．４．　改良樹木休閑地

改良樹木休閑地は、伝統的移動耕作と同様の栽培作物との循環において、好ましい樹種を休閑種として用いる輪作システムである。そのような樹木を用いる理由は、有利な生産物の生産か、より速い土壌改良のいずれか、またはその双方である。樹木休閑地を伴うこの種の単純な輪作はまれにしか見られない。Bishop（1982）は、２年間の食用作物栽培の後、８年間にわたってバナナと飼料用マメ科植物の間に*Inga edulis* を入れるエクアドルの「休閑」アグロシルヴォパスト

ラル・システムについて記述をしている。飼料用マメ科植物はブタに与えられ、Ingaからの落葉落枝は土壌の肥沃度を高めるためのものだ。ペルーでは、Ingaからのバイオマス生産は草本休閑よりも大きく、天然林と同じか、あるいはそれを上回ることが報告されている(Szott *et al.*, 1991)。1年以下といった短期の樹木休閑も可能である。北ベトナムては稲作地のただ中で樹木休閑が伝統的に行われてきた (Tran van Nao, 1983)。インド北西部では、 *Sesbania cannabina* が麦作と稲作の間の65日ほど灌漑で育てられ、7,300kg／ha の乾物と165kg／ha の窒素を供給する (Bhardwaj and Dev, 1985)。アジアの農耕システムにおけるマメ科樹木の利用については、いくつかの事例があることをNair (1988) は確認した。しかし、それらの事例のほとんどは、季節あるいは年ごとに特定の作物と樹木を単に交替させるというよりは、樹木と間作されるさまざまな草本作物を輪作するというものであった。

これらの複合栽培は多様な種や構成要素を含んでいて、これが時間的・空間的にいろいろに配置される。伝統的な移動耕作システムは、休閑期と作付期が交互にくる時間的・連続的配置である (表3.2を参照のこと)。「改良樹木」という言葉は、休閑期において改良された樹木や潅木を用いることを意味しているが、前に検討したように、それはまた管理技術や配置の面での改善がともなっていなければならない。地域条件によっては、タウンヤのような単純な2要素の同時混合から、ホームガーデンのような空間的・時間的に込み入った多種混合へと、集約度が向上することもある。そのため、改良樹木休閑システムという用語は、実際には移動耕作の休閑期の改良を意味することになり、アリー・クロッピング (第9章) もその意味では改良された (永久的) 休閑システムということができよう。

移動耕作に代替するか、あるいは改良しようとする際、農作物との輪作および (あるいは) 間作に適した樹種として、いろいろなものが推奨されている。理想的な休閑種は、成長が速く、システム内の利用可能な養分を効率よく摂取し循環させ、肥沃度を回復するのに必要な時間を短縮できる樹種であろう。土壌改良という特性に加えて、現在では、これらの樹木から得られる経済価値も重要視されている。このように、サービス的な便益のほか、経済的な生産能力 (生産的役割) が重要な基準となり、潜在的な休閑樹種のリストに、果樹や堅果を生産する樹木が加えられている。

Young(1989) は、他の研究者たちが以前行った調査をもとにして、土壌の肥沃

表5．3　土壌改良のための樹木と潅木[1]

種	重要性
Acacia auriculiformis	1
Acacia mangium	2
Acacia mearnsii	1
Acacia senegal	2
Acacia tortilis	2
Acrocarpus fraxinifolius	2
Alchornea cordifolia	2
Albizia lebbeck	2
Alnus spp., *nepalensis, acuminata* を含む	2
Cajanus cajan	
Calliandra calothyrsus	2
Cassia siamea	
Casuarina spp., 主に*equisetifolia*	2
Cordia alliodora	
Dactyladenia (*Acioa* と同じ) *barteri*	2
Erythrina spp., (*poeppigiana, fusca*)	2
Faidherbia (*Acacia* と同じ) *albida*	1
Flemingia macrophylla	1
Gliricidia sepium	2
Inga spp., (*edulis, jinicuil, dulce, vera*)	2
Lespedeza bicolor	
Leucaena diversiflora	2
Leucaena leucocephala	1
Paraserianthes (*Albizia* と同じ) *falcataria*	1
Parkia spp., (*africana, biglobosa, clappertonia, roxburghii*)	2
Parkinsonia aculeata	
Pithecellobium dulce	2
Pithecellobium (*Samanea* と同じ) *saman*	2
Prosopis spp., (*cineraria, glandulosa, juliflora*)	2
Robinia pseudoacacia	2
Sesbania spp., (*bispinosa, grandiflora, rostrata, sesban*)	2

[1] 土壌改良への重要性として示される（ＮＦＴＡ：窒素固定樹木協会Nitrogen Fixing Tree Association）
1＝最も重要、2＝次に重要；Young（1989）を改変。これらの種のうち多くのものが第12章に記述されている。

度の維持向上に適した樹木の属と種を数えたところ、31の属と53の種に及んでいた。Nair（1988）もアジアの農耕システムで広く利用されているマメ科多年生植物の一覧を作成している。これらの種はすべて土壌改良特性を有していると思われるが、その特性にも大きな格差があり、多くはいまだ科学的には証明されていない。評価の定まった種としては、科学者によって選択・改良されたもの（例えば*Leucaena leucocephala*）もあるし、農民によって最初に認められたもの（例え

ば*Faidherbia (Acacia) albida*）もある。表5．3は土壌改良のための樹木や潅木の一覧である。これは耕作システムで広く使われいること、科学的な根拠があること、そして（証拠立てられていないが）有望視されているといったことを基準にして選んだものであり、これらの種についての簡単な説明は第Ⅲ部で行う。

これらいくつかの多目的樹種の生殖質（ジャームプラズム）のスクリーニングと機能評価は、第20章で検討するように、現在、熱帯の多くの地域におけるアグロフォレストリー研究計画の経常的なテーマになっている。しかし改良休閑地モデル（ないしは移動耕作の実行可能な代替案）に大規模に適用して成功した例や事例研究といったものはまだあまり出ていない。

移動耕作の改良樹木休閑地に適した種についての論議は、通常土壌改良特性をもった樹木、潅木に限定されている。土壌改良は間違いなく主要な問題だが、移動耕作の性質それ自体が変化してきており、短い作付期間と長い休閑期という伝統的なやり方が、より短い休閑期のものに取って替わられた（あるいは急速に替わりつつある)。今日の移動耕作民は、各世帯あたりの土地面積が減少したために（多くの場合、移動できなくなったために）以前の世代ほどには居住地を動かさなくなり、定着の度合いを強めている。そのため、彼らの窮状に心を痛める研究者のみならず、農民たちも休閑期の土地から何かが得られる土地経営システムを捜し求めるようになった。休閑期の樹木の下で間作するのも移動耕作の代替案の一つであり（Bishop, 1982)、都市に近い地域であれば果樹木が有望な潜在的「休閑」種として本格的な研究に値しよう。Borthakur *et al.*（1979）は、インド北東部における移動耕作の代替案として、（休閑というよりは）「無作物」の期間にも農民が土地を利用していけるような農耕システムの原型をいくつか推奨した。ただ、こうした代替的土地利用がどれほど移動耕作民に受け入れられるかは、提唱された代替案の生物学的利点よりも、社会的・経済的・人類学的な条件によって左右される。移動耕作の代替と改良に関する社会的観点からの研究がいくつか行われているが（例えばFAO, 1985; 1989)、こうした研究にもかかわらず、移動耕作民は依然として貧しい。

移動耕作を永年耕作へ転換させる哲学に賛成しない学派もある。それでもなお、（長い休閑期をもつ）伝統的な方式の移動耕作が継続できるとは考えられない。移動耕作を改良する現実的な手法としては、休閑期短縮の要求と妥協していくしかない。実際には、これらの短くなった休閑期は、最も「奇跡的」な休閑種を用いても期待された土壌改良の水準に達するのが不可能なほど短くなりつつある。

こうした休閑期の短縮が、移動耕作による悲惨な結果を生む本当の原因である（土壌浸食、土壌の肥沃度の損失、雑草の蔓延、害虫と病原体の集積など)。伝統的な移動耕作の利点をいくつか取り入れた、管理された永年耕作システムの方が、野放図で休閑のくなった伝統的移動耕作よりは好ましいと認めるのが論理的であろう。不可避的に永年耕作へつながる休閑地改良の手法は、改良タウンヤ、ホームガーデン、プランテーション作物システム、アリー・クロッピング、農地・放牧地への樹木の導入といったものを含む。これらについては以下の諸章で検討していく。

注

1）関連する用語としては、Lの逆数の耕作係数（R）がある（表5. 2）。

$$R = \frac{C}{C + F}$$

ただしC＝耕作期間、F＝休閑期間

2）低活性粘土（LAC)土壌については第１４章を参照のこと。

第6章　タウンヤ

熱帯におけるタウンヤ・システムは、移動耕作と同様に、アグロフォレストリーの先駆である。この言葉は、第1章でふれたように、ミャンマー（ビルマ）に起源を発しており、丘陵（Taung)耕作（ya）という意味をもっている（Blanford, 1958)。もともと、それは移動耕作のローカル名だが、後に造林の意味で使われるようになった。1856年、 Dietrich Brandis が当時イギリス領インドの一部であったビルマにいた頃、移動耕作が広く行われており、保存林の囲い込みで村人との間でトラブルがあり、裁判沙汰にまでなっていた。木材資源管理における移動耕作の決定的な影響を認識していたBrandis は、森林で農作物をつくるドイツの有名なWaldfeldbauシステムを下敷きにして「タウンヤの助けを借りたチーク（*Tectona grandis*)の更新」を促進したのである（Blanford, 1958)。20年後、このシステムは非常に効果的でチーク人工林がすこぶる低コストで造成できることが証明された。村人たちは、人工林造成の初期段階で食用作物を栽培する権利を与えられ、森林破壊の罪による裁判で自分たち自身を弁護する必要がなくなった。彼らは伐開された土地にチークの種子を蒔き造林を促進した。タウンヤ・システムは、イギリス領インドの他の地域にもすぐ導入され、その後アジア、アフリカ、ラテンアメリカにも広がっていったのである。

タウンヤ・システムの基本は人工林造成の初期に林業用の樹種と一年生の農作物をいっしょに栽培することである。土地は森林局あるいは大規模借地人に属しており、彼らは自給農民に農作物の作付けを許可している。農民たちは、林業用の稚樹の世話をするよう命ぜられるが、その見返りとして生産された農作物の一部あるいはすべてを得ることができる。この契約は、林業用樹種が生育して樹冠が大きくなるまでの2～3年のあいだ継続される。通常、この期間中に土壌の肥沃度は減退し、土壌の一部は侵食で失われ、雑草がはびこるために、農作物生産は不可能でないにしても見返りがなくなってしまう。図6. 1と図6. 2は、タイのタウンヤ人工林の1、2年目の写真で、肥沃度が減退していることを示している。

今日、タウンヤ・システムには他の名前もつけられている。そのうちのいくつかは（表5. 1に列挙されているように）かつて移動耕作を意味するものであった。インドネシアの Tumpangsari、フィリピンのKaingining、マレーシアのLadang、スリランカのChena、インドのKumri、Jhooming、Ponam、Taila、Tuckle、東アフリカのShamba、プエルトリコのParcelero、ブラジルのConsorciarcaoなどである

図6．1　林業村計画（タイ）におけるチーク（*Tectona grandis*）とユーカリ（写真中にはない）のプランテーション、造成の一年目の状態。陸稲が主要な農作物である。
出所　Nair（1989）

図6．2　図6．1と同じ林業村計画におけるチークとユーカリの2年目の様子。図6．1の一年目の稲の成長と比較すると、その弱い成長力から土壌の肥沃度の減退が既に明らかとなっている。
出所：Nair（1989）

（詳しくはKing, 1968を参照のこと）。熱帯世界で造成された人工林のほとんど、とくにアジア、アフリカではタウンヤ・システムが起源となっている（von Hesmer, 1966, 1970; King, 1979）。

タウンヤ・システムは移動耕作からアグロフォレストリーへ移行するもう一つのプロセスとして考えることができる。移動耕作が樹種と農作物栽培との連続システムであるのに対し、タウンヤは、人工林造成の初期段階においてこの二つの要素が同時に組み合わさっているといえる。タウンヤ・システムでは木材生産が究極的な目的であるが、それを実行しようとする直接的な動機は、移動耕作の場合と同じように、食料生産なのである。土壌管理の観点からはタウンヤと移動耕作のシステムのどちらも似たようなものである。植え付けの時点までに樹木によって回復、改善されてきた土壌の肥沃度を最大限に利用すべく農作物がつくられる（ただしタウンヤ人工林が荒廃した農地ではなく伐開された森林に造成された場合に限る）。移動耕作での作付け期間は土壌がどれだけ収量を支えられるかによるが、タウンヤでは主に植栽木の配置によって決まる空間と日光の物理的な利用可能性に左右される。

タウンヤを分類する場合、「統合的なもの」と「部分的なもの」に分けられることがある。部分的タウンヤというは、「換金作物の栽培、入植、不法居住者の農業のように主として参加者の経済的利益が主眼」になっている。これに対して統合的タウンヤは、「より伝統的、通年的で、共同体的な広がりをもち自給自足的で、儀式に律せられる生活様式」（Conklin, 1957）にもとづいている。言い換えれば、「統合的タウンヤ」の概念は農村開発に対するより完全で文化的な側面にまで配慮した土地利用方式の理念にかかわっており、それは単なる一片の土地の一時的な利用や貧困水準の賃金を得るということではなく、多様で持続的なアグロフォレストリー経済に公平に参加する機会なのである。

6．1　土壌管理

さまざまなタウンヤの実行方式とそのシステムでの植物の成長については多くの報告がある（Aguirre, 1963; Anonymous, 1979; Cheah, 1971; George, 1961; Manning, 1941; Mansor and Bor, 1972; Onweluzo, 1979; Jordan *et al.*, 1992;ナイロビ、ケニア農業研究所でのshambaについての未発表の報告書）。しかし、土壌肥沃度の変化やその他土壌管理の観点から見た研究データは少ないよ

うに感じられる。Alexander *et al.*（1980）は、インド、Kerala（北緯約10度、降水量 2,500～ 3,000mm／年）のオキシゾルの土地で2年間にわたる研究を行っている。そこでのタウンヤの最大の問題は、農作物栽培のための整地によって引き起こされる侵食であって、地表層が部分的に侵食され、地表下の層が次第にむき出しになっていく。土壌表層に作物の残りかすを加えるのが、土壌の損失と露出を最小限にくい止める非常に効果的な方法であることがわかった。Ojeniyi and Agbede（1980）は、ナイジェリア南部で行われているアグリシルヴィカルチャーの研究を行い、*Gmelina arborea* の幼樹の間にトウモロコシ、ヤム、あるいはキャッサバを作付けることで、土壌中の窒素とリンがごくわずかに増加して有機物中の炭素が減少し、Gmelinaだけの人工林と比較すると、置換可能な塩基とｐＨには変わりがないことを発見した。Ojeniyi *et al.*（1980）は、ナイジェリア南部の3つの生態地域の調査から似たような結果が出たとして、幼樹の人工林と食用作物の間作は土壌の肥沃度に不利な効果を及ぼすことはない、と結論した。これとは対照的に、ナイジェリアの Sapoba における研究（Nwoboshi, 1981）は、樹木の苗床（植林地に植えられる前にある期間、時には3年間ほど稚樹が維持される第2苗床）で行う集約的な栽培が、1、2年の間に土壌の肥沃度を失わせてしまうことを示している（表6. 1）。植林地での樹木は通常苗床よりも6～12倍の幅をとって植えられるが、農作物を人工林で栽培するのは、土壌肥沃度の枯渇の点から見ると、苗床での継続的な栽培の場合と似たような効果をもつことが立証された。

表6　1　チーク、マホカニーの苗床における土壌の性質。新たに伐開、火入れを行った場所と比較。Sapoba、ナイジェリア。

土壌の深さ	0～5cm			5～15cm			15～30cm		
土壌の性質	1	2	3	1	2	3	1	2	3
pH(H_2O)	8.65	7 45	6 58	7 73	7.51	6 57	7 11	7.12	6 32
発火による損失(%)	6.16	4.14	4 32	4.06	3 06	3 52	3 23	2 66	3.28
全窒素(%)	0 014	0 003	0 005	0 016	0 002	0 004	0 016	0 004	0 005
利用可能なリン(P)(ppm)	52 10	34 80	28 40	49 30	18 80	18.00	40 10	12 20	14 90
全置換可能塩基（ミリ当量/100g)	14.23	6 65	6 01	10.00	6 11	4 01	4 28	3 81	3 18

1 新たに伐開、火入れされた場所
2 チーク（ *Tectona grandis*)苗床
3 マホカニー（ *Swietenia macrophylla*)苗床
出所　Nwoboshi（1970）

これらの報告から、ほとんどのタウンヤ・システムにおける土壌管理上の問題というのは、土壌の肥沃度よりも侵食の被害であると結論できそうである。しかし土壌の肥沃度に及ぼす長期的影響は、最初の伐開とそれに続く回復段階での経営管理のやり方に大きく左右されている。いかなる場合においても、土壌の肥沃度とそれに関連する土壌管理の方式は、伝統的なタウンヤ・システムの継続を決定するうえで、おそらく二次的な重要性しかもたないであろう。ほとんどの場合、上層に広がる樹冠の下で継続的に作付するのが生物学的に困難になるため、2～3年もすると耕作の続行は不可能になる。

6．2　タウンヤの代替と改良

タウンヤの代替、改良は、さまざまな場所でいく度か試みられている。そのほとんどはタウンヤ農民の生活や社会的条件の向上を目的としており、よく引用される事例の一つにタイの林業村計画がある(Boonkird *et al.*, 1984など)。この事業の考え方は、農民に移動耕作をやめさせ、より定着的な農業システムを選択させるよう促進・援助すると同時に、林業用人工林の造成のために必要な労力を得ることであった。計画への参加に賛同した農家には、家屋を建設しホームガーデンを造成するため、村の中にそれぞれ最低1.6ha の土地を与えられる。農民はまた、林産業公社（ＦＩＯ）の立てた計画にそって（図6．3）人工林造成を手伝うとともに、その植林地の幼樹の間で農作物を栽培することを許されている。各林業村に対してはＦＩＯの任命した専門家からなる「開発チーム」が農業、教育、医療サービスを提供することになっている。この事業のおかげでＦＩＯは少ない費用で人工林が造成できたという。表6．2は、村落林業計画の人工林とそれ以外のＦＩＯの人工林とで造成費がどのように違うか示したものだ。1980年代初期にはＦＩＯのこの事業で約4,000ha のタウンヤ人工林が耕作の対象になっていた。この計画からの経済的利益は地域の条件によって異なっており、表6．3にはタイのいくつかの地域における収入が要約されている。

林業村の考え方は、ケニア、ガボン、ウガンダ、インド、ナイジェリア、カンボジアなどでも試みられるところとなった。その成功の度合いはさまざまである。それは伝統的なタウンヤよりも（林業局にとっては）より多くの支出を必要としたが、天然林資源が豊富で移動耕作民や土地無し農民がたくさんいる国々には適していた。さもなければ森林での違法耕作に走る土地なしの人びとに食糧生産の

図6．3　タイ北東部の林業村の家屋とそれを取り囲むホームガーデン
出所：Nair（1989）

ための適切な林地利用を可能にするからである。

タウンヤ・システムはしばしば最も成功した人工林造成のためのアグロフォレストリーとして賞賛される一方で、労働の搾取として批判もされてきた。それは、森林に依存している貧しい農民の食糧不足につけこんで、ほんの短期間の耕作権と引換に、人工林造成に必要な労働力をただで提供させようとしているからである。タイの林業村計画のような「改良」は、技術的、社会経済的、そして制度的な不適切さから、大きな成功を得るには至らなかった。実際問題としてこのシステムを改良していくための包括的な生物学的研究はまったく行われず、システム管理にかかわる各方面の技術的情報が不足することになった。社会的・政治的な要因も従来のタウンヤの展望と継続性に大きな影響を及ぼしている。著者は熱帯の各地、とくに東アフリカと南アジアにおけるタウンヤの性質、広がりと分布について1978～1979年に調査したことがある。林業局と農民の間で交わされた法的拘束力のある契約文書を手に入れることができたが、ほとんどの場所でこれらの法的契約は守られるよりも破られていることのほうが多かった。時がたつとともに、契約は破棄されるか、効力が弱まるか、無視されるかのいずれかである。従来のタウンヤ(と移動耕作)が、前に述べたタイの林業村計画（Boonkird *et al.*, 1984）のような組織的な再定住計画にとってかわられた地域もいくつかある。他の地域でもタウンヤがインドのKeralaのように農業入植地に変えられてしまい

表6　2　タイの林業村計画内および計画外におけるＦＩＯ人工林造成費用（haあたりＵＳ$）[1]

	林業村計画外		林業村計画内	
	チーク	非チーク	チーク	非チーク
1年目				
労働	205.60	235.05	71.20	82.07
管理費用	287.28	287.28	287.28	287.28
固定費用（家屋、機械その他）	74.00	74.00	74.00	74.00
根株(stump）または苗木、および移植の費用[2]	19.57	32.61	17.93	29.89
林業村への出費	-	-	168.29	168.29
合計	586.45	628.94	618 70	641.53
2年目				
労働および／または報酬	74.46	95.92	74.46	95.92
根株／苗木	3.26	8.15	1 63	4.08
合計	77.72	104.07	76.09	100.00
3年目				
労働および／または報酬	56.79	66.86	56.79	68.86
根株／苗木	1 63	4.08	0.82	2.04
合計	58.42	72.94	57 61	70 90
4、5年目				
1年間の管理・保護費用	52.45	52 45	52.45	52.45
2年間の合計	104.90	104.90	104.90	104 90
6～10年目				
1年間の管理・保護費用[3]	20 65	20.65	20 65	20 65
5年間の合計	103 25	103.25	103.25	103.25
10年間の合計	930.74	1,014 10	960 55	1,020.58

[1] 1日・人の労働賃金は＝Ｂ（バーツ）３８；１ＵＳ$＝Ｂ２３（1983）
[2] チークの根株1つの費用＝ＵＳ$０．０３；非チークの苗木＝ＵＳ$０．０４；移植は「林業村計画内」で２０％、「林業村外」では１０％の割合で行われた。
[3] 間伐費用については、間伐生産がその費用を償うために含まれていない。
出所：Boonkird *et al.* (1984)

表6．3　タイの森林計画（forest scheme）で栽培された3種の農作物の、１９８１年における生産面積および全価値。

作物	人工林内での耕作面積(ha)	収入(US$)
トウモロコシ	1,661	163,568
キャッサバ	1,782	75,874
ケナフ(kenaf)	380	49,348

出所：Boonkird *et al.* (1984)

(Moench, 1991)、そのためある林業局はタウンヤ農民に土地を貸すのをためらうようになった。また一部の国々では、人口増加の圧力により、タウンヤ・システムにしたがって農民が利用していた土地に彼らの所有権を認めるという政治的決定を行っている。この場合前提とされているのは、いったん農民が土地所有権を得ると、彼らはほとんどの場合、タウンヤをやめてホームガーデンを造成したり、その他ほぼ自給的な農業システムへ移行するであろうということである。このことをよく示している興味深い事例として、ケニアのシャンバ・システムの変化が挙げられる。このシステムはタウンヤの一形態であり、1900年代初期にケニア（政府）の林業局がケニア全体に人工林を造成すべく採用したものである。社会的・政治的な配慮から、政府は1976年にタウンヤ農民たちを林業局における正規の職員として雇用した。しかし、いったん彼らが公務員の地位と報酬を保証されると、農業をしなくてもよくなり、土地も自動的に彼らに配分されなくなった (Oduol, 1986)。当然、従来のタウンヤは実行できなくなる。しかし、だからと言って、タウンヤがそれらの農民にとって最高の土地利用形態であるということにはならないし、従来のタウンヤを永遠に継続すべきであるということにもならない。

要するに、タウンヤ・システムは人工林造成の方法として、いくつかの地域ではいまだ評判が高いが、改善の遅れた土地利用方式にとどまっている。

第７章　ホームガーデン

ホームガーデンは多くの熱帯諸国で長きにわたって培われてきた伝統がある。熱帯のホームガーデンは、樹木、潅木、つる植物、草本を含む植物か集合したものであり、家屋に近いところ、あるいは家屋の敷地内につくられている（図７．１、７．２）。これらのホームガーデンは、世帯の構成員により栽培、管理されていて、その生産物は主に自家消費にまわされる。ホームガーデンはまた観賞用の価値があるし、人ひとや動物たちに木陰を提供する。「ホームガーデン」という用語は、裏庭の菜園から立体的な多層のシステムまで多様な実行方式を漠然と指す言葉として使われてきた。ここでは、多目的樹木や潅木と一年生・多年生の作物が密接に組み合わさっていて、家族労働によって管理されているものを指す。個々の家屋の敷地内に家畜かいる場合は、農作物・樹木・動物の全体が対象となる。

図７　１　シャマイカのホームガーデン
バナナ、ヤムイモ、タロイモ、マンゴーといった食用作物とその他さまざまな果樹が共通した構成要素となっている。

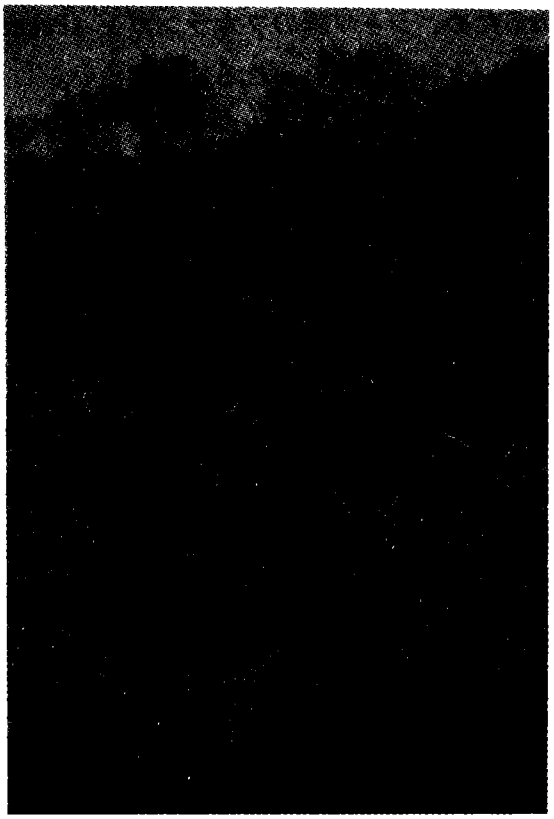


図7．2　メキシコ、ベラクルスのホームガーデン。
柑橘類とプランテーンが伝統的ホームガーデンの主要な構成要素となっている。
写真：L. Krishnamurthy

7．1　ホームガーデンの類型

ホームガーデンについては、これまでに多くの記述がなされている。それら出版物のほとんどは、家屋周辺で行われている伝統的な土地利用方式の質的な描写であった。著者たちはそれぞれ、これらの方式を表現するためにさまざまな用語を用いている。例えば、mixed-garden horticulture (Terra, 1954)、mixed gardenあるいはhouse garden (Stoler, 1975)、home-garden (Ramsay and Wiersum, 1974)、Javanese homegarden (Soemarwoto *et al.*, 1976; Soemarwoto, 1987)、compound farm (Langemann, 1977)、kitchen garden (Brierley, 1985)、household garden (Vasey, 1985)、homestead agroforestry (Nair and Sreedharan, 1986; Leuschner and Khalique, 1987)などが含まれる。熱帯におけるホームガーデンの著作は、ほとんどがさまざまな形態のジャワ式ホームガーデンによ

って占められているため、ジャワ語のプカランガン（Pekarangan）やタルンクブン（Talunkebun）という言葉が用いられることが多い。

ジャワ式ホームガーデンが熱帯のホームガーデンの多様性と複雑性を示す事例であることは事実だが、他の地理的地域においても、それぞれ独自の特徴をもった別の形態のホームガーデンがいくつか存在しているのである。実際、ホームガーデンは、自給的土地利用システムが優勢なほとんどすべての熱帯・亜熱帯の生態地域にあるといってよい。

カカオ、ココナッツ、コーヒー、黒コショウといったプランテーション作物は、湿潤熱帯にある多くのホームガーデンの主要な構成要素となっていることが多い。これらのシステムは、通常プランテーション作物との組み合わせ（第8章参照）とも呼ばれる。構造的には、これら二つの方式の間にはっきりとした違いは見られない。かりにあったとしても、それは社会経済的なものである。ホームガーデンの主眼は自家消費のための食料生産であるが、プランテーション作物との組み合わせでは、通常プランテーション作物の商業的生産に焦点が当てられている。しかし実際には、小規模な自給レベルのホームガーデンから、非常に大規模な（数ヘクタール）のプランテーション作物との組み合わせまで、その変化は連続したものであり、それらを区分する特定の境界線は存在しない。これに関連したアグロフォレストリーで、ホームガーデンの一つとされるものに、いわゆる多層樹園地（mutlistory tree garden）がある。これは通常の林業樹種とその他の商業的樹種、通常は木本の香辛料作物（tree spices)からなる混合樹種のプランテーションであり、外観は経営林の様相を呈している。これらの樹園地についても第8章で検討する。

ホームガーデンは、アグロフォレストリーの多くの特徴を示している。例えば、多様な農作物と多目的樹種が密接に混じり合って地域住民の基本的需要のほとんどを満たしており、また、ホームガーデンの多層構成と高度な種の多様性が、単作生産システムによって引き起こされがちな環境劣化の抑制に貢献している。さらに、資源を最も効率的に利用しながら何世紀にもわたって収量を維持してきたのである。構成要素の特徴と類型にもとづいたアグロフォレストリー・システムの分類（第3章）にしたがうと、ホームガーデンはほとんどが草本作物、多年生樹木、動物を含むアグロシルヴォパストラル・システムであり、いくつかは最初の二つの要素を含むだけのアグリシルヴィカルチャー・システムである。

さまざまなホームガーデンを記述した文献がいくつか出版された（例えば、

Bavappa and Jacop, 1982; Fernandes and Nair, 1986; Fernandes *et al.*, 1984; Langemann, 1977; Michon, 1983; Okafor and Fernandes, 1986; Soemarwoto *et al.*, 1976; Wiersum, 1982; Reynor and Fownes, 1991)。1985年に出版された熱帯のホームガーデンに関する注釈付き参考文献一覧（Brownrigg, 1985)には、その当時までの関連情報が記載されている。また1985年にインドネシアのバンドンで開催された熱帯ホームガーデンの国際的研究集会（Landauer and Brazil, 1990）では、ホームガーデン・システムについての、さらにいくつかの報告や討論が生み出された。

ＩＣＲＡＦによるアグロフォレストリー・システムの地球規模の調査（第３章）にもとづいて、Fernandes and Nair（1986）は、熱帯のさまざまな地域におけるホームガーデン・システムを10ほど選択し、その構造と機能について評価を行った。その研究で採用された、ホームガーデンの生物物理的および社会経済的側面については表7.１に、そしてその主要な構成要素と参考文献については表7.２にまとめてある。熱帯および亜熱帯におけるほとんどの生態的地域がこの研究でカバーされているにもかかわらず、対象地域の大部分は低地湿潤熱帯であった。また半乾燥の Burkina Faso のKa/Fuyo ガーデンと太平洋諸島のホームガーデンの事例を除いて、ここに選ばれたホームガーデンが存在するすべての地域で人口密度が高くなっている。さらに、表のすべての事例でホームガーデンの平均規模は１ヘクタールよりもかなり狭く、自給的性格が強い。このうちの全部が数種の食用作物を含み、樹木もその多くが果物やその他の食物を生産している。ホームガーデンの最も重要な機能が食料生産にあることを示すものだ（本章の後で述べる食料生産に関する種の構成を参照のこと)。しかし、ホームガーデンはいくつかの副次的な生産物を生み出している。例えば、ジャワでの研究によると、ホームガーデンは地元の世帯が消費する燃材の15～20％を供給する（K.F. Wiersum, 1977、私信および未出版の報告書)。多くの多目的樹種の混合林が多様な生産物を供給するのは当然のことだろう。植物の立体的な複層構成によって環境保護も達成している。しかし、それはホームガーデン・システムの副次的効果であることが多く、その方式を実行する動機となることはまれである。

７．２　ホームガーデンの構造

平均経営規模が非常に小さいにもかかわらず、ホームガーデンは種の多様度が

表７　１　いくつかの熱帯ホームガーデンにおける生物物理的および社会経済的側面

地域	ンステムの地元名	場所	人口密度 (/km²)	生態地帯	降雨量の幅 (mm)	標高の範囲 (m)	平均的な経営規模(ha)	経営規模の範囲(ha)	市場への志向性
東南アンア	プカランカン (Pekarangan)	シャワ、インドネンア	700	湿潤低地		0〜600	0.6	0 01〜3 0	自給的／商業的 (50.50)
	ホームガーデン	フィリピン	400	半湿潤〜湿潤；だいたい低地	1000〜3000	0〜1500	0 05	0 01〜1 0	自給的、補助的に販売
大平洋	ホームカーデン	南太平洋諸島	40	湿潤低地	2000〜2500	0〜100	データなし	データなし	自給的、補助的に販売
南アシア	カンデーカーデン (Kandy gardens)	スリランカ	500	湿潤；中程度の標高	2000〜2500	400〜1000	1.0	0.4〜2.2	商業的、補助的に自給生産
	屋敷地内庭園 (Compound gardens)	ケララ（イント南西部）	500	湿潤低地〜中程度の標高	2000〜2500	0〜1000	0 5	0 1〜4.0	自給的〜商業的
アフリカ	屋敷地内農地 (Compound farms)	ナイジェリア南東部	500	湿潤低地	2000〜4000	0〜300	0.5	0 2〜3 0	自給的、補助的に販売
	Chaggaホームガーデン	キリマンジャロ山、タンザニア	500	高地	1000〜1700	900〜1900	0 68	0 2〜1.2	商業的、補助的に自給生産
	Ka/Fuyo ガーデン	Hounde 地域ブルキナファソ	50	半乾燥〜半湿潤低地	700〜900	200〜500	0.50	0.1〜0 8	自給的
熱帯アメリカ	Huertos Familiares（家庭菜園）	タバスコ、メキシコ	（不定）	湿潤低地	1500〜5000	0〜500	0.50	0.1〜1 0	自給的
	家庭菜園	グレナダ、西イント諸島	300	湿潤低地	1500〜4000	0〜300	0.15	0.01〜0.5	自給的、補助的に販売

出所．Fernandes and Nair (1986)

表7　2　いくつかのホームガーデンにおける主要な構成要素

ンステム名	植物要素						家畜のタイプとその重要性
	報告された木本の通常の種数		報告された草本種		主要な換金作物	鉛直方向における通常の樹冠層数	
	合計	食料生産用	数	主要な食料作物			
プカランガン（ンャワ）	152	48	39	陸稲、トウモロコシ、野菜、ココナッツ、果樹	果樹と野菜	5	家禽、魚、ヤギ、羊、牛、水牛(肉と厩肥)
ホームガーデン（フィリピン）	34	28	40	サツマイモ、ココナッツ、バナナ	トマト、ナス、カボチャ(squash)、豆類(pea)、マンゴー	4	家禽、豚肉
ホームガーデン（太平洋）	53	35	19	ココナッツ、colocasia、ヤムイモ	ココナッツ	4	データなし
カンデーガーデン（スリランカ）	18	15	11	ーー	丁字、コショウ、茶、ココナッツ	3	家禽
屋敷地内庭園（インド南西部）	25	8	12	塊茎作物、陸稲、バナナ、野菜	ココナッソ、ビンロウ、カカオ、コショウ、カシューナッツ、香辛料	4	家禽(肉、卵)、牛(牛乳)
屋敷地内農地（ナイシェリア南東部）	64	62	73	ヤムイモ、タロイモ タロイモ(cocoyam)、バナナ	コラ(cola)、油ヤシ	4	ヤギ、羊、家禽，ツェツェバエの制約
Chaggaホームガーデン（タンザニア北部）	53	13	58	バナナ、豆類(bean)、colocasia、xanthosoma、ヤムイモ	コーヒー(arabica)、カルダモン(cardamon)	5	牛、ヤギ、豚、家禽(肉、乳、厩肥用)
Ka/Fuyoガーデン（ブルキナファソ）	7	5	7	トウモロコシ、red sorghum	タバコ	2	ヤギ、羊、家禽（厩肥および儀式用）
Huertos Familiares（メキシコ南東部）	28	24	45	トウモロコシ、豆類(bean)	カカオ	4	豚と家禽(肉と厩肥用)
家庭菜園（グレナダ）	24	21	27	colocasia、xanthosoma、ヤムイモ、トウモロコシ、キマメ(pigeon pea)	バナナ、カカオ、ナツメグ	4	家禽、豚、羊、ヤギ（肉および換金用）

出所　Fernandes and Nair (1986)

高く、かつ通常縦方向に3～4層の樹冠をもっていて（図7．3）、これが関係の密な植物群集を形作っている。チャガ（Chagga）のホームガーデンとジャワ式ホームガーデンの樹冠構成が図7．3および図7．4に模式的に描かれている。このシステムの特徴をもっともよくあらわすいくつかの樹木と草本種もその中に示してある。

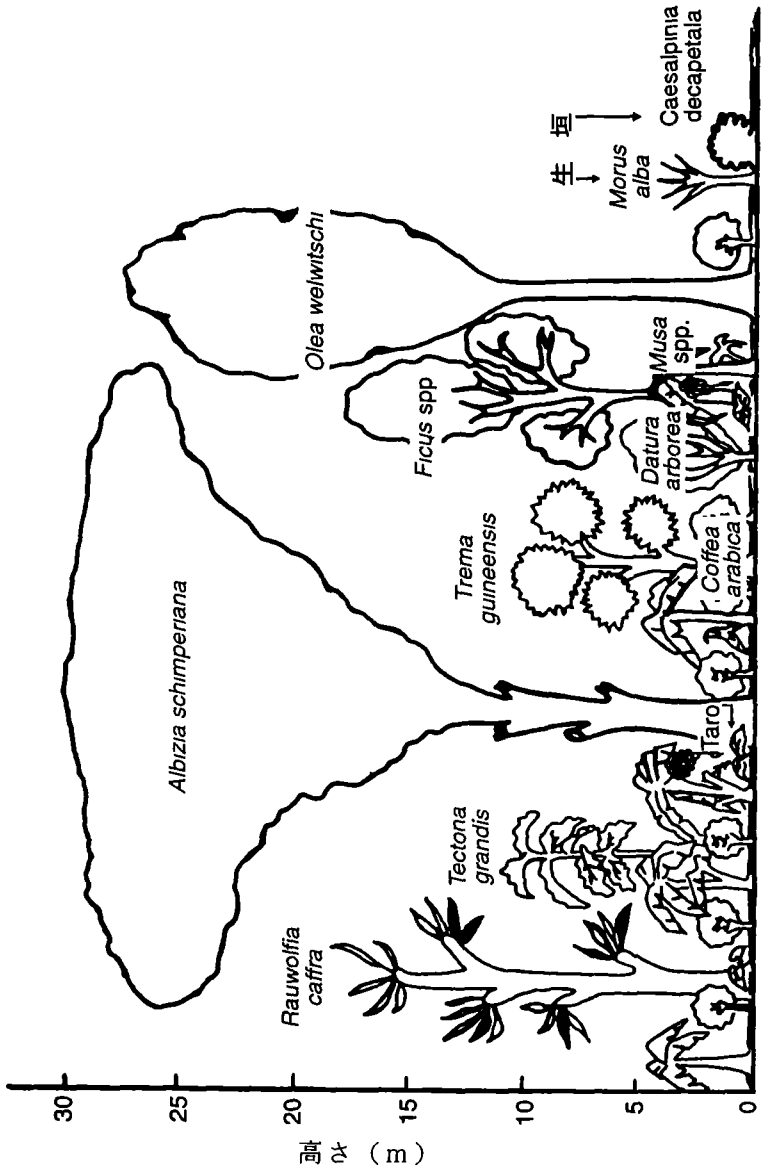


図7．3　タンザニア、キリマンジャロ山の傾斜地にあるチャガのホームガーデンの典型的な樹冠構成の模式図。
出所：Fernandes et al.（1984）

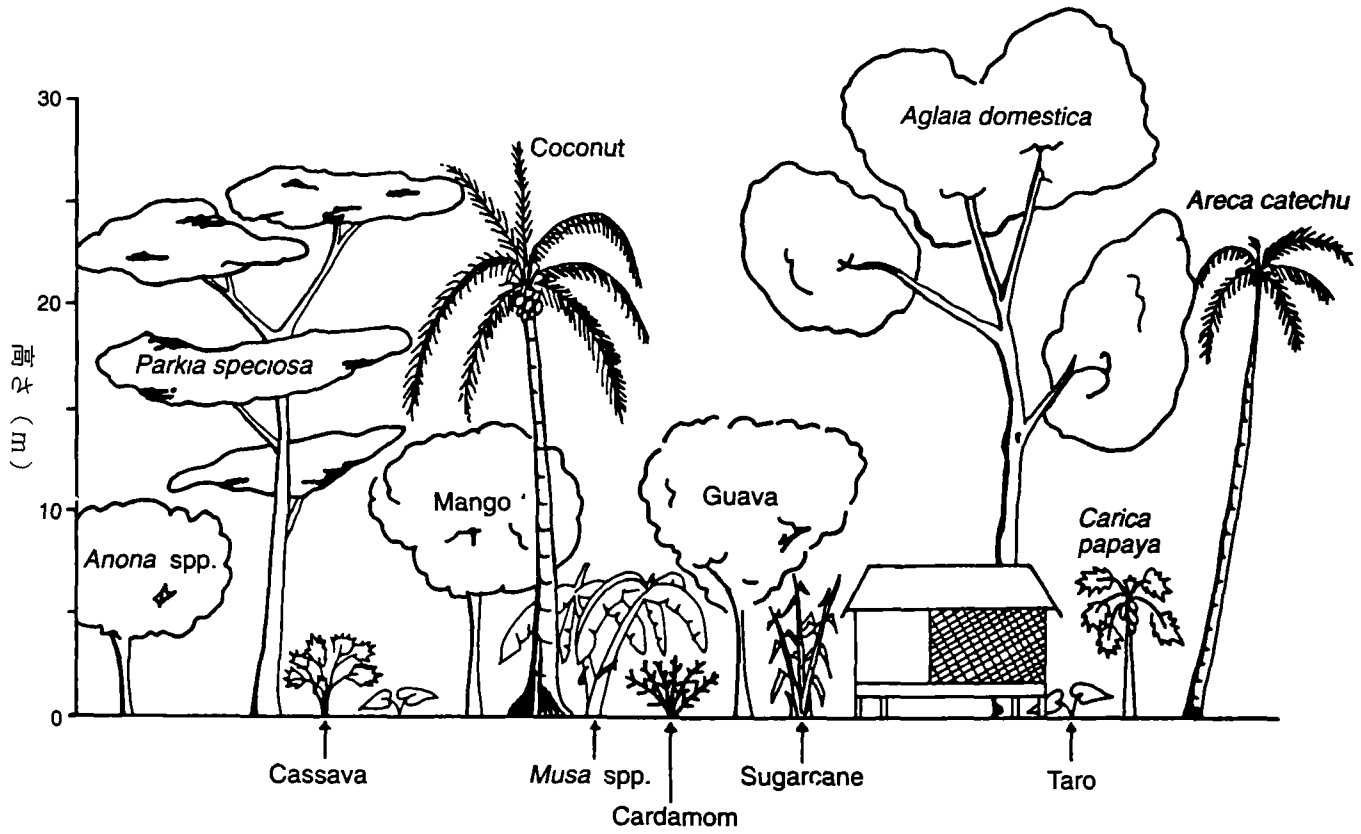


図7．4　ジャワのホームガーデン（プカランガン）の構造配置の模式図
出所：Fernandes and Nair（1986）（Michon, 1983を改変）

層状の樹冠構成と親和性をもつ種の混合は、ホームガーデンのもっとも顕著な特徴である。不規則な配置に見えるけれど、すべての構成要素は特定の位置と機能をもち、ガーデン全体は慎重に構成されたシステムになっている。家屋を囲むジャワのプカランガンは、清潔で注意深く手入れがなされているシステムであり、さなざまな背丈と樹形の植物が、規則的に植えられたわけではないのに、縦横方向に利用できる空間を実にうまく占有している（Wiersum, 1982; Soemarwoto and Soemarwoto, 1984)。Michon (1983) は、西ジャワのCitarum流域におけるプカランガンの構造を分析して、5層の樹冠構造をもっていることを確認した。すなわち、最下層は高さ1m以下で樹冠全体量の14%を占め、下から2番目の層は1～2mで9%、3番目の層は2～5mで25%、4番目は5～10mで36%、そして最上層は10m以上で16%であった。太平洋諸島のホームガーデンは、流域の方位と起伏の特徴にしたがって、よりはっきりとした種の空間的配置がなされている。西アフリカの屋敷地内農園（Okafor and Fernandes, 1987）は、たくさんの背丈の高い土着果樹が優占する4層の樹冠が特徴で、樹冠の構成を分析すると樹冠分布は上層が大きな割合を占めていた。チャガのホームガーデン(Fernandes *et al.*, 1984）は、本質的に、アラビアコーヒーとバナナを基礎とする商業的システムであるため、下から2・3番目のコーヒー・バナナの層が占める容積は、他の層を圧倒している。

一般的に、すべてのホームガーデンは地表近くに草本層、上層には樹木層、そしてその間に中間層を含んでいる。下層は通常さまざまな野菜や薬用植物が優占する最下層（高さ1m以下）とキャッサバ、バナナ、パパイヤ、ヤムイモなどからなる2番目の層（高さ1～3m）の二つに分けられる。上層の樹木層も2層からなっていて、25mを超える最上層は完全な成長を遂げた大きな木材用の樹木と果樹木で占められ、次に高い層は10～20mの中くらいの樹木からなる。高さ3～10mの中間層には、さまざまな果樹があり、それらの一部は成長してもっと高くなることがある。この層状構造は決して静止しているわけではない。補充種のプールが、システム全体の構造と機能を維持しながら、常に動的な生産的構造を生み出している。

多数の種からなるホームガーデンの根系パターンや配置については、ほとんど報告がなされていない。落葉の継続的な付加とその分解による除去によって、庭園の林床では有機物と養分の動的な均衡が成立していると見てよかろう。したがって、すべての種の吸収根は地表面あるいはそれに近いところに集まると考えら

れる。土壌の深いところでは、さまざまな種の根の分布は、樹冠層の縦方向の構成におおむね比例している可能性が高い。しかしこの点については今後の重要な研究課題となっている。

7．3　ホームガーデンでの食糧生産

ホームガーデン・システムの生産の大きさと速度は、維持管理の容易さと周期性とともに、種の構成に左右される。どういった種を選択するかは、食習慣とその地域市場の需要や環境要因、社会経済要因によって決まってくるが、それぞれの場所での異なったホームガーデンの間に、種の構成、とくに草本の構成要素に関して、驚くべき類似性がある。これは草本種の主たる役目が食糧生産であることと、上層には樹木があるため耐陰性のものでなければならないという2点に原因がある。タロイモ、キャッサバ、ヤムイモ、サツマイモといった根系作物が優占するのは、これらは部分的に日影になる木陰での下層種としてそれほど手間をかけずに栽培でき、かつ炭水化物の豊富な収穫物がかなりの量期待できるからである。収穫は家族の需要に応じて数週間にかけてずらすことができる。

ホームガーデンの樹木作物要素の顕著な特徴は、果樹[1]その他の食料生産用樹木が優占していることである。各種の食用生産物を安定的に供給するのみならず、これらの樹木類はシステム内の他の構成要素と、生物学的にも環境的にも、共存しているのである（Nair, 1984)。 アジアのホームガーデンで多いのは、グアヴァ、ランブータン、マンゴー、マンゴスチンのような果樹と、*Moringa oleifera* や*Sesbania grandiflora* のようなその他の食料生産用樹木である。また西アフリカの屋敷地内農場には、葉野菜（*Pterocarpus spp.*）、調理用果物（*Dacroydes edulis*)、香辛料（*Pentaclethra macrophylla*）を生産する土着樹木が卓越する。これら樹木のおかげで地元の人びとが必要とするエネルギーと栄養分のかなりの部分がまかなわれている。Terra（1954）とStoler（1975）は、ジャワのホームガーデンは地元農村が必要とする全エネルギーの40%以上を供給していると報告した。Soemarwoto and Conway（1991）は、ジャワの水田と比較すると、ホームガーデンは生産物の多様性がより大きく、通常より大きな純収入をもたらすとした。西ジャワでは、ホームガーデンの池で魚の生産が広く行われており、同じ面積で稲作を行う場合よりも2～2．5倍の収入がある。同じようにSommers(1978）はフィリピンでホームガーデンをもつ40世帯を調査し、ほぼす

べての世帯がホームガーデンから日常必要とされるビタミンのAとC、鉄分、カルシウムを得ていること、さらにこれら世帯の半分は、必要なチアミン（ビタミンB_1）、リボフラビン（ビダミンB_2またはG）、ナイアシンをホームガーデンから得ており、4分の1の世帯はホームガーデンの生産物で必要なタンパク質とエネルギーを満たしていた。Okafor（1981）は、ナイジェリア南東部の屋敷内農場にあるいくつかの樹木の食用部分(果実、種子、堅果)の分析を行い、それらのほとんどがかなりの量の脂肪とタンパク質を含んでいることを報告した。*Irvingia gabonensis*の種子、*Tetracarpidium conophorum* の堅果、*Dacroydes edulis* の果実の果肉は脂肪を豊富に含んでいるし（44～72%）、*T. conophorum* と *Pentaclethra macrophylla* の堅果にはタンパク質が多い（15～47%）。

このようにほとんどのホームガーデンの主要な機能と役割は食料生産である。アラビアコーヒーが優占作物であるチャガのホームガーデンは、おそらく唯一の例外であろう。この場合でも元来は自給用食料生産システムとして発展し、市場向けのコーヒーは1890年頃にヨーロッパ人移住者が持ち込んだものである。そして現在においても農民たちがコーヒーと食料作物（バナナ、野菜、根栽）とのバランスを注意深く維持し続けているため食物生産の能力を失ってはおらず、コーヒーの市場価格や食料への需要に応じて生産物を切り替えることができるのである。

ホームガーデンにおける食料生産のもう一つの特徴は、ほとんど年中継続して生産できるということだ。異なった生産サイクルや周期を持つ作物を組み合わせることによって、食用生産物の比較的連続した供給が可能となる。気候その他の環境に左右されて、各種の生産物の収穫には繁閑があるけれど、ほとんどのホームガーデンでは毎日何らかの生産物が収穫される。これらの生産はおおむね自家消費に向けられるが、販売できる余剰があれば不作に備えたり端境期の食料確保に役立つであろう（例えば、ジャワとスリランカの米、タンザニアのコーヒーとトウモロコシ、インド南西部のココナッツと米など)。そのうえ、これらの作物の収穫と維持は家族構成員の比較的わずかな労働量ですむ。

7．4　ホームガーデン・システムの研究

ほとんどすべてのホームガーデンシステムは、資源的な制約のもとで歳月をかけて発展してきた。つまりその背景には、人口が増加して利用可能な土地と資本

が希少になったこと、遠隔地といった物理的制約のために住民たちは基本的必需品のほとんどを自給しなければならなかったこと、生産物の適当な販路がなく農民たちは彼らの必要とするすべてのものを少しずつ生産せざるを得なかったこと、などがあげられる。これらの伝統的システムの改良については、これまで科学的関心がほとんど向けられなかった。実状を知らない科学者たちは、このシステムの重要性と農業発展への貢献の可能性が理解できないのである。またモノカルチャーの農業や林業に慣らされた研究者からすると、ホームガーデンは自給的土地利用に適応した非常に特殊なシステムで、複雑すぎて操作・改良には適さないと考える。その一方で、ホームガーデンの詳細な調査を行って、そのシステムの価値を認め、植物の相互反応についての豊富な情報を評価する研究者の小さなグループがある。このグループからはスリランカの混合庭園での試験（Bavappa and Jacob, 1982)やナイジェリアの屋敷地内農場の土着樹種の改良(J.C. Okafor、私信）といった先駆的な報告がなされた。しかし、そういった努力は多分に臨時的で散発的なものであり、したがって相互調整や継続性を欠いている。

ホームガーデンは、かなり入り組んだ構造とたくさんの構成要素をもつ非常に複雑なシステムである。他方、研究者というのは一つの研究領域あるいは商品に関する専門家である。ホームガーデンを経営する農民たちは、種の選択とその組み合わせ、経営管理について彼ら自身の認識と確信に導かれて実行しており、専門家の画一的な指導とは相入れない。農場というのはそれ自体が特殊化された統一体なのである。こうした状況がホームガーデンの組織的研究の主な障害となっている。しかしこれらのシステムはもっと真剣に検討さるべきである。研究の枠組みとしてシステム・アプローチをとることができるだろうし、この場合は生物学的側面と社会経済的側面の両方の研究を含むべきである。量的なデータと実地実験が緊急に必要であって、かなりの数の研究トピックスをすぐにでも列挙できる（例えば、インドネシア、バンドンで１９８５年に開催された熱帯のホームガーデン・システムに関する国際研究集会での勧告に対するLandauer and Brazil (1990)を参照のこと)。しかし不幸にも、ひときわすぐれた長所をもつこれら伝統的システムの研究を強化することに対して、制度的・政策的支援を提供する真剣な努力がなされてこなかった。

注１）これらの果樹についての詳細は表１２．３を参照のこと。

第8章　プランテーション作物の結合

熱帯の多年生プランテーション作物は、発展途上国における全耕作地の約8％を占めている。これらの作物のうちいくつかは、広くは栽培されておらず、国民経済のなかでも小さな役割しか果たしていないが、その一方で国際市場向けの高価格の生産物もあり、それを生産する国々にとっては経済的、社会的に重要な意味をもっている。本章で扱うのは後者のグループで、油ヤシ、ゴム、ココナッツ、カカオ、コーヒー、茶、カシューナッツ、黒コショウなどである。サイザル麻とパイナップルは主要作物ではあるが、その形態や成長特性が他の作物と異なっており対象としない。

これらの作物には1900年代に市場向けの収穫をかなり増加させたものもあれば、いちじるしく停滞的なものもある。前者の顕著な例はゴム（*Hevea brasiliensis*）であって、平均収量は19世紀の栽培化以来17倍にも増加している。後者の例としては、かなり古い時代から栽培されてきたココヤシがある。ココヤシから生産される多くの生産物の経済的価値についてはかなり認識されているものの、その平均収量は長い間低いままであった。この対照的な状況はこれらの作物に注がれた研究努力と関係が深い。ゴム、コーヒー、カカオや油ヤシといった作物についてはかなりの研究が行われ、市場向けの生産が増加した反面、ココナッツやカシューナッツといった作物は、研究の恩恵をそれほど受けてこなかった。

熱帯のプランテーション作物の研究努力は本質的に商品生産を志向したものであった。土地利用に関する生産戦略に変化がなかったため、現代のプランテーションは伝統的な特徴をなお維持している。輸出用作物の単一栽培、土地の粗放的利用（またある場合は不十分な活用）、労働多投的性格がそれだ。 Johnson（1980）が指摘したように、プランテーションの所有者は、農園造成の初期段階での間作以外は、一年生作物に関心をもつことがほとんどない。同様に、プランテーション自体が必要としないかぎり、家畜の飼育もやらなかった。人口密度が急速に増加し土地利用の集約化が必要になったため、熱帯の発展途上国の計画立案者や政策立案者はプランテーション作物と一年生作物、家畜生産、林業との統合に関心を示すようになった。いくつかのプランテーション作物（例えばココナッツ）は、耕作方法と成長特性の面で他の作物（例えばゴム）よりもそのような統合になじみやすい。これらの事例は第Ⅲ部分で詳しく検討することにしよう。

8．1　プランテーション作物を含む統合的土地利用システム

ゴム、コーヒー、油ヤシのように近代的な商業プランテーションは、管理が行き届いていて収益が多く、環境的にも安定した熱帯の土地利用である。これらの作物の商業生産は単一作物の生産を目的として発展したものであり、大規模プランテーションでは多目的な資源開発が無理だと考えられてきた。そのために、プランテーション造成の初期段階を除けば、複数の作物を統合していく余地は限られており、多様化の生産戦略はかえって経営の近代化と効率化の障害になるかもしれない。またそれを経済的に魅力のあるものにするような技術開発もなされてこなかった。

しかしながら土地と資本が制限されている小規模保有[1)]の耕作条件のもとでは、まったく状況が異なっている。農民の目的は単一商品の生産を最大化することではない。とくに人口密度の高い地域では、農民たちは通常、主に彼ら自身が必要とする食料を得るために自給作物や家畜を多年生作物とを組み合わせている。多年生作物の群集と統合的な土地利用方式が次第に重きをなし始めているのは、こうした無数の小規模保有においてである。[1)]

一般的な見解に反して、Ruthenberg（1980)、Nair（1983)、Watson（1983)、Nair（1989）によって明らかにされているように、熱帯のプランテーション作物のかなりの部分は小農たちによって栽培されているのである（図8．1と8．2)。例えば、ガーナとナイジェリアのカカオ生産のほとんどは小規模保有によって行われている。カカオは普通、とくに植え付け後の4年間ほどトウモロコシ、キャッサバ、バナナ、キュウリ、サツマイモのような特定の作物と組み合わせて栽培される。土地の保有規模は農家によってさまざまだ。トリニダドでは、カカオは主に森林用の種であって、緑陰樹の下で栽培され、肥料や殺虫剤は用いられない。東南アジアとナイジェリアの小規模保有者によるゴムプランテーションはゴムと大豆、トウモロコシ、バナナ、落花生、果樹、黒コショウ、ココナッツなどの作物との結合を基本としているし、マレーシアではゴム園で家禽類を飼育することが一般的で有利なやり方になっている（Ismail, 1986)。コーヒーがその他の作物および（あるいは）家畜と結合されている小農システムとしては、東アフリカのバナナとコーヒーの小面積保有、エチオピア高地の Jimmaにおけるコーヒーとトウモロコシの農場、コロンビアの傾斜地におけるコーヒーとプランテーンのシステム、ケニアのコーヒーと酪農牛乳生産システムといったものが、目立った事例

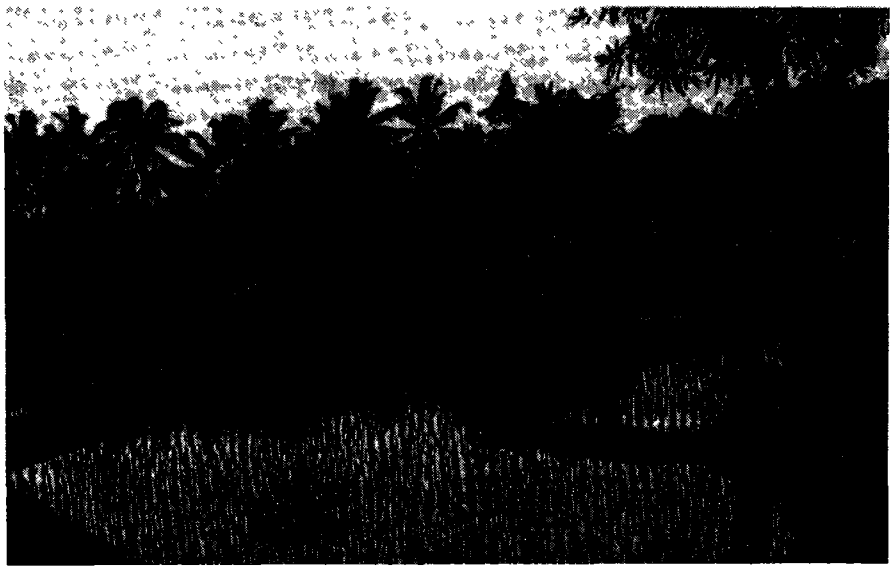


図8．1　インドネシア、ジョグジャカルタにおけるココナッツを結合した土地利用システム。前方に水田があり、後ろ側にはさまざまな農作物がある。
写真　Winrock International

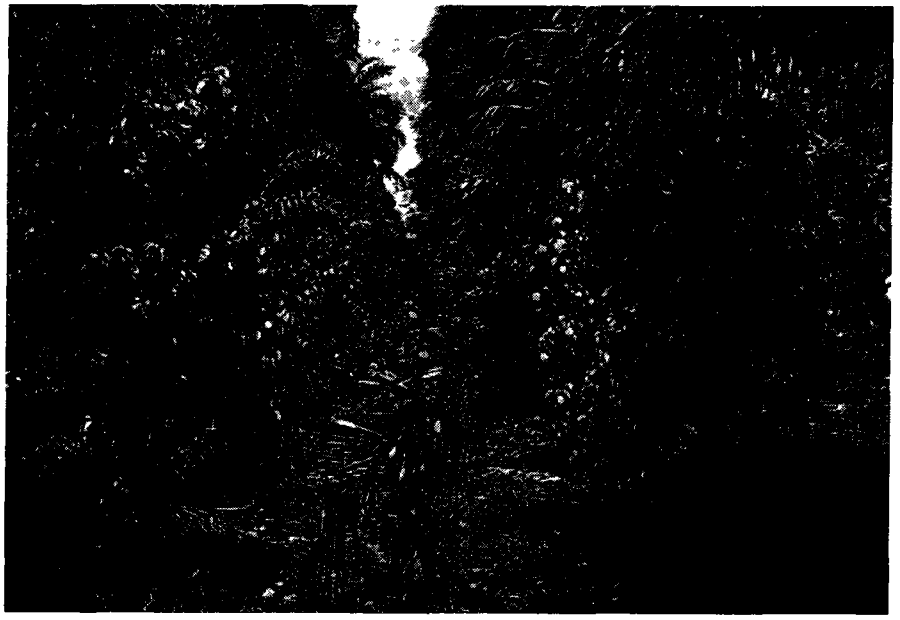


図8　2　ブラジル、Bahia州における、ピーチ・パーム（*Bactris gasipaes*）、黒コショウ、カカオといったプランテーション作物を結合した土地利用システム。

として挙げられる。インド、フィリピン、スリランカ、太平洋諸島におけるココナッツ生産のほとんどは、小規模保有者が各種の一年生・多年生作物と組み合わせて栽培している。カシューナッツは、ほかの種がほとんど生き残れないような荒廃地を含めて広い範囲の生態的条件下に生育しているが、インド、タンザニア、モザンビーク、セネガルでは、小農民が他の作物といっしょに栽培することが多く、一見カシューナッツが農地に不規則に分散しているように見える。カシューナッツの下での放牧はとくに東アフリカ海岸沿いの小規模保有地でかなり一般的に行われている。

すべての小規模保有に共通した社会経済的、生物的特徴がいくつかある。まず、農民たちか利用できる資源は、資本を含めて、改良の機会を著しく制限されている。次に農地規模が小さく、家族労働は通常年間を通して十分に活用されていないのに、農繁期には労働力が不足する。また小規模な家族経営では「無料」の家族労働あるいは低賃金の雇用労働が使われており、大規模なプランテーションと比較すると労働者あたりの労働日数が多く、一日の労働時間も長い。商業的プランテーションに適合した近代的な生産技術を適用しようとしても、農民たちがそれに必要な資源をもたないために、導入できないのである。

しかし、一年生作物と比較すると、多年生作物は農民たちを定着的な生活に誘導し、永久的な家屋と農地改良（例えば灌漑システム）へ投資する動機を強める一因となる。多年生作物は、しばしば家族の富と安全の基礎と考えられることがある。さらに、例えばココナッツやゴムのような多年生作物は収量が比較的安定しており生産に季節性がない。天水に依存した季節性の強い熱帯作物は常に不作の危険があり、多年生作物はそれに対する合理的な保険となってきた。

多年生植物の結合を含む作物システムは、永久的な植物被覆と土壌への落葉落枝の付加（詳しくは第Ⅳ部を参照のこと）によって、土壌とその肥沃度を保全する可能性を高め、時には耕耘作業を軽減するのに役立つ。多年生作物栽培の不利な点としては、植え付けから採算が合うようになるまでのタイムラグが比較的長いこと、土地が数年あるいは数十年も占拠されるということ、資本と労働コストの初期投資が大きいこと、いくつかの作物は加工を必要とすること、通常特殊な経営能力と多様な管理作業を必要とすることが挙げられる。

8．2　ココナッツの小農システム：統合的土地利用の注目すべき事例

プランテーション作物の結合に関する研究は、アグロフォレストリーが生まれる前の1970年代から行われてきたけれど、その成果についてはほとんど公表されることがなかった。利用できるデータのほとんどは、インド（Nair, 1979; Nelliat and Bhat, 1979)、スリランカ（Liyanage *et al.*, 1984; Liyanage *et al.*, 1989)、極東と太平洋諸島（Plucknett, 1979; Steel and Whiteman, 1980; Smith and Whiteman, 1983）におけるココナッツを基本とするシステムのものである。

ココナッツは熱帯において最も広く栽培されている樹木作物の一つである。そのほとんどは島嶼、半島、海岸に分布し、 600万ha以上の面積を占めている。この作物の90％はアジアとオセアニアにあり、主要な生産国はフィリピン、インドネシア、インド、スリランカ、マレーシアおよび太平洋諸島である。ココナッツはしばしば大規模プランテーション作物と見なされているが、世界全体の生産量のほとんどは無数の小規模保有からもたらされるものである（表8．1を参照のこと)。

8．2．1　ココナッツの下での間作

ココナッツが栽培されている小農地域では、その地域の人口学的、社会経済的性格およびココヤシの成長特性からして、土地利用システムが集約化し統合されていくのは、ほぼ必然的な成りゆきであった。ヤシ植栽後の8～25年間を除けば、十分な日光が下層に届き、ほかの作物も一緒に育てられる。さまざまな樹齢のグループからなるヤシ木立での日光の透過とココナッツの樹冠による被覆のパターンは図8. 3に示されている。加えて、経営下にあるヤシの根系の形をみると（図8. 4)、ほとんどの根が幹の近くにあり（Kushwah *et al.*, 1973)、そのためヤシと間作種の根系の重なりは最小限にとどめられていた。Nair（1979）はココナッツの樹齢に対応して作物とのさまざまな結合があり得ることを示し、両者の関係を詳しく調べている（図8. 5)。

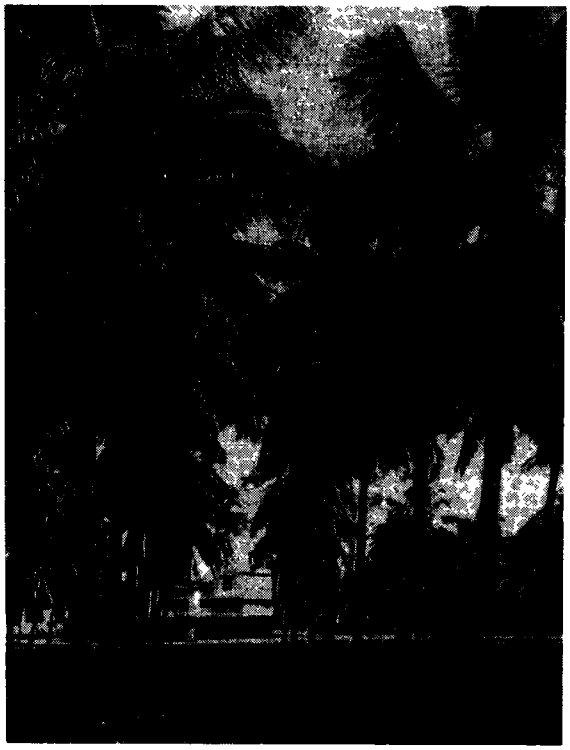
小規模保有によるココナッツ栽培地では、ヤシの間隔、植栽パターンあるいはヤシの樹齢に規則性があまり見られないが、間作にも規則性あるいは規則的な型というものがない。多くの場合、たくさんの作物が同じ土地に栽培されていて複

表8　1　ココナッツの全栽培面積および小農地面積の推測値と、ココナッツを用いた一般的土地利用システム

国／地域	全ココナッツ栽培面積(1,000ha)	小農地面積（全栽培面積の%）	小農地の規模(ha)	ココナッツ栽培地における一般的土地利用システム
フィリピン	2100	90	0 1～20	食料作物および換金作物との間作；牛の放牧
インドネシア	1800	>90	わからない	食料作物との間作，牛の放牧
インド	1100	>90	<2	食料作物および換金作物との間作
スリランカ	445	75	<8	間作；牛の放牧
パプアニューギニア	250	33	わからない	間作，牛の放牧
マレーシア	246	87	<40	多年生換金作物および食料作物との間作
オセアニア	297	データなし	わからない	間作；牛の放牧
アフリカ	208	データなし	わからない	間作，牛の放牧
中央および南アメリカ	108	データなし	わからない	間作，牛の放牧
西インド諸島	79	データなし	わからない	間作，牛の放牧

* ココヤシは地域全体に広く分布し、一般的に様々な集約度のもとで植物が結合されているために、ココナッツ栽培面積に関する信頼できる統計を得ることか困難となる。

出所：Nair (1983)



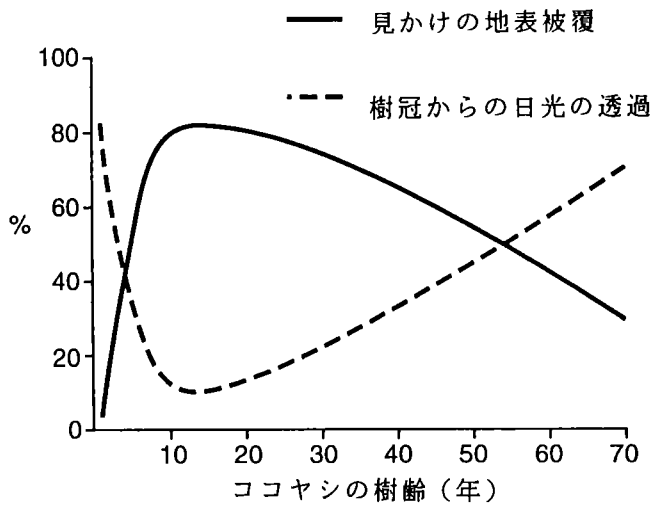
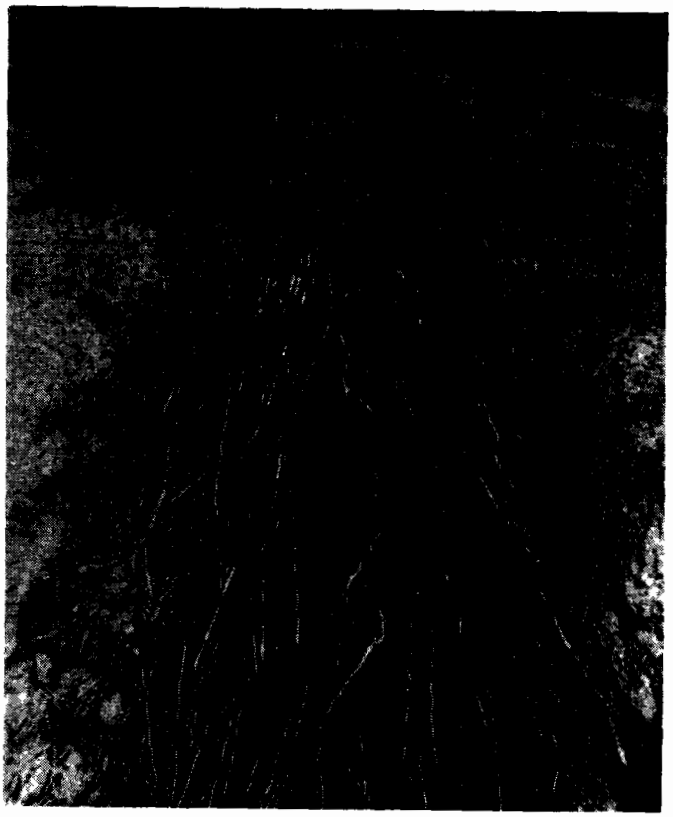


図8．3　ココヤシによる地表被覆
（上）成熟し果実をなしているココナッツ・プランテーションの写真。樹冠の標定と地表被覆を示している。
（下）7 5 × 7.5mで植えられたヤシ林における日光の樹冠透過率。
出所：Nair（1979）



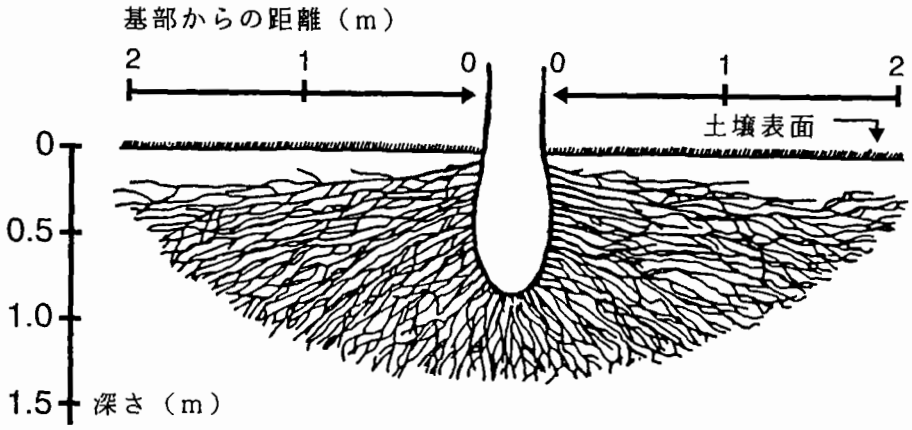


図8．4　ココヤシの根系
（上）根の断面の写真。
（下）模式図解。
出所：Nair（1979）（Kushwah *et al.*, 1973を改変）

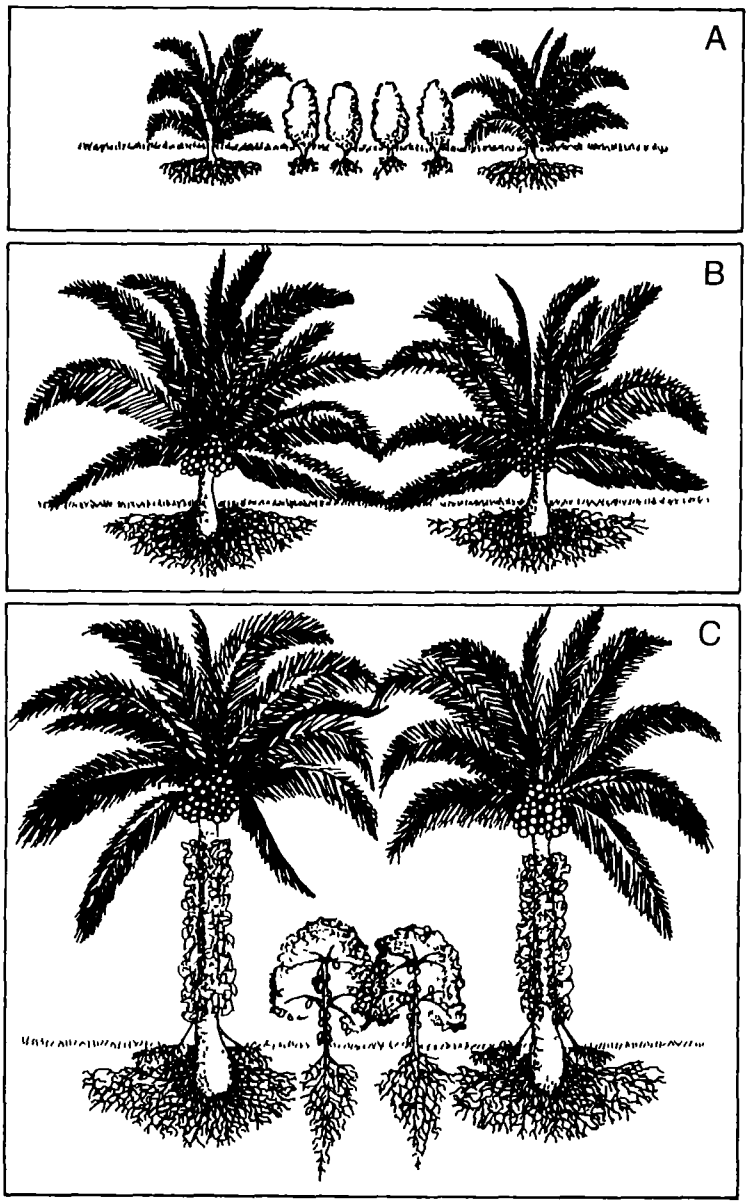


図8．5　ココヤシの成長局面と作物の導入の可能性

A．初期。8年目まで：樹冠が次第に発達する。間作の余地かなりある。

B．中期。約8～25年目・樹冠の地上被覆がより大きく、間作はほとんどできない。

C　後期。約25年目以降：間作の余地が増える。ここではココナッツ、カカオ、黒コショウの複層の結合が描かれている。

出所：Nair (1979)

雑なシステムになっている。これらのシステムを記述するにも多様な用語が使われている。例えば、インドで間作（intercropping)というのは多年生木本の下層で一年生作物あるいは他の短命な作物を栽培する方式のことであり、混作（mixed cropping）と呼んでいるのは、多年生植物のプランテーションの間隙に他の多年生植物をいれることである。また多層作（multistoried cropping)は一年生、多年生の双方を含む多種の組み合わせをいい（Nelliat *et al.*, 1974; Nair, 1977)、混合農業（mixed farming)は作物と家畜との結合を指す。

ココナッツが栽培される条件は多様であるため、間作される作物の種類も非常に多くなる。通常、粗放に経営される農地ほど種の多様性が大きくなる。よく管理された農地では農民たちはココナッツの間で育てる作物の種類を注意深く選択するが、当然のことながら多少の日影でも収量の上がる食用作物が選ばれている。例えば、キャッサバ、サツマイモのような根茎作物や各種のヤムイモ、いくつかの種類の野菜が一般的である。ココナッツと一緒に栽培してもよく生育するものとしては、ショウガやターメリックのような一年生植物、バナナ、パイナップル、カカオ、丁字、シナモンのような多年生植物もある。単位面積あたりのヤシ本数が少なく他の条件が良好な場合、穀物やマメ科穀類のような豊富な日射を必要とする作物の栽培も有利である。

世界中の小規模農場でココナッツと一緒に広く栽培されている作物の一覧が表8. 2に示してある。間作作物は主食作物から換金・輸出用作物までさまざまだ。

間作作物の種類と間作のパターンの選択は、生産物への需要ないしは市場条件、気候と土壌の特性、ヤシの樹齢と管理の水準、間作作物の成長特性といった要素によって決められる。インド西海岸の降水量の多い地域での間作作物の栽培暦が図8. 6に示してある。Santhirasegaram(1967）は、スリランカで間作の適合性にもとづいてココナッツ栽培地を「湿潤」「中間」「乾燥」に区分し、それぞれに異なる間作のパターンを提示した。ただ、ココナッツは適度に分散した1000mm以上の降水量がないと生育が悪く、上記の分類の「乾燥」とは通常の意味での乾燥・半乾燥地域ではない。

さまざまな条件下でのココナッツ間作の収量については、多くの報告書が出ている。予想されたようにその違いは大きい。例えば、インド西海岸の試験場においてココナッツの下で栽培された間作作物の収量が表8． 3に示されている。これらの実験ではココナッツと間作作物は別々に肥料が与えられ管理も適切であった。

表8．2　ココナッツと一緒に栽培されることの多い作物（被覆作物と飼料用の種を除く）

作物	学名	国	重要な参考文献*
1. 穀類			
米	*Oryza sativa*	インド	CRCRI, 1976; Child, 1974
シコクビエ（finger millet）	*Eleusine coracana*	インド	Child, 1974;
（およびその他の雑穀）		スリランカ	Albuquerque, 1964
トウモロコシ	*Zea mays*	フィリピン	Celino, 1963
2. 豆類			
ヤエナリ（緑豆）	*Vigna radiata*	インド	Albuquerque, 1964; Nair,
（grean gram, mung bean）			1979
ブラックグラム	*Vigna mungo*		
（black gram）			
キマメ（pigeon pea）	*Cajanus cajan*		Child, 1974
カウピー（cow pea）	*Vigna unguiculata*	スリランカ	PHILCOA, 1974
大豆	*Glycine max*	フィリピン	
落花生	*Arachis hypogaea*		
3. 根栽類			
キャッサバ	*Manihot esculenta*	インド	Nair, 1979
		スリランカ	Child, 1974
		フィリピン	Celino, 1963
サツマイモ	*Ipomoea batatas*	インド	
ヤムイモ	*Dioscorea* spp.		Nair, 1979
レファントフットヤム	*Amorphophallus*		
（elephant foot yam）	*campanulatus*		
タロイモ（taro, cocoyam）	*Colocasia* spp.		
	Xanthosoma spp.	フィリピン、フィジー	Gomez, 1974;
			Hampton, 1972
4. 香辛料および薬味用作物			
ショウガ	*Zingiber officinale*	インド	Nair, 1979; Balasundaram

ターメリック (tumeric)	*Curcuma longa*		and Aiyadurai, 1963;
その他の香辛料	例えば、*Coriandrum sativum* *Trigonella foenum-graecum*		Menon and Pandalai, 1958
シナモン	*Cinnamomum zeylanicum*		
トウガラシ	*Capsicum cnnuum*	スリランカ	Child, 1974
丁字	*Syzygium aromaticum*	タンザニア (ザンジバル)	
		セーシェル	Child, 1974
黒コショウ	*Piper nigrum*	インド、フィリピン	

5. 果実

パイナップル	*Ananas comosus*	インド	
マンゴー	*Mangifera indica*	スリランカ	Nair, 1979
バナナ	*Musa* spp.	フィリピン	Celino, 1963
パパイヤ	*Carica papaya*	マレーシア	Child, 1974
パンノキ	*Artocarpus altilis*	太平洋諸島	Gomez, 1974
		カリブ海	

6. 樹木作物

ビンロウ (arecanut)	*Areca catechu*	インド	Menon and Pandalai, 1958
カカオ	*Theobroma cacao*	インド、マレーシア	
コーヒー	*Coffea canephora*	フィリピン	Child, 1974
		オセアニア	

7. 他の作物

棉	*Gossypium* spp.	イント、スリランカ	Albuquerque, 1964; Child, 1974
ゴマ	*Sesamum indicum*		
マニラアサ (abaca)	*Musa textilis*	フィリピン	Seshadri and Sayeed. 195
サトウキビ	*Saccharum officinarun*		

* これら参考文献の完全な引用文については原本を参照のこと

出所：Nair (1983) (Plucknett, 1979を改変)

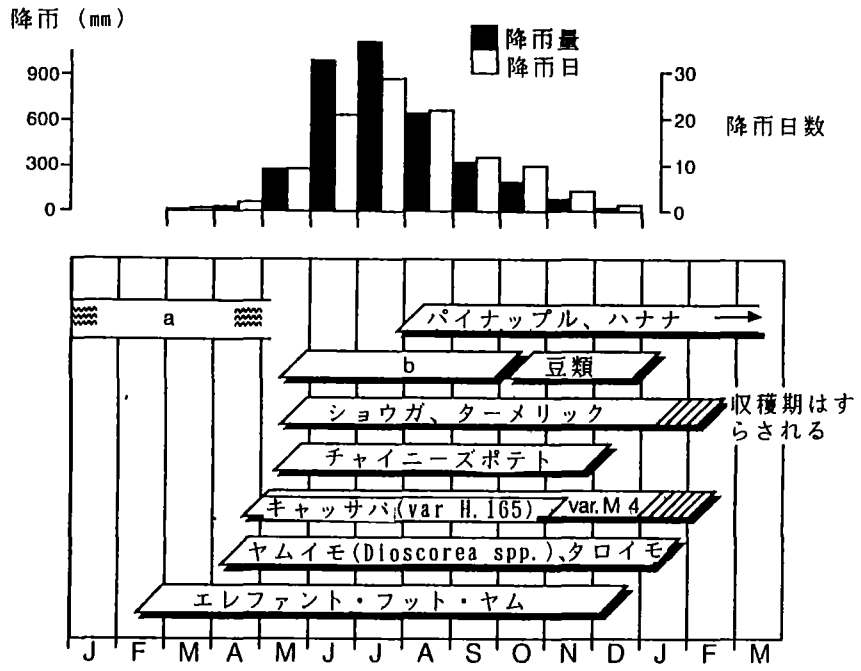


図8．6　インド南西海岸部のKasaragodにおける、ココナッツの間作暦と平均的降雨パターン。
a 栽培作物にたいし随時灌漑が行われる。
b. サツマイモ、陸稲
出所：Nair (1979)

8．2．2　小規模農場における統合的混合農業

間作システムに加えて、小規模農場ではココナッツと家畜生産を結合した労働集約的な統合システムも見られる。これらのシステムに関する実験は、1970年代からインドの Kasaragod にある中央プランテーション作物研究所(CPCRI)で行われてきた。約1haのココナッツ畑を保有して数頭の搾乳用家畜を飼育している農家を経営の単位として、ココナッツの間には飼料用のイネ科草本とマメ科植物を植え、牛糞と納屋からのゴミが肥料として施用された。牛糞の分解で生じるメタンガスは農民の自家用エネルギーになっている。キャッサバ、バナナ、ヤムイモやその他適当な食用作物が1列あるいは2列に農地の周縁部で栽培され、農民に補助的な食料を提供する。植え付けと収穫は時期をずらしながら1年を通じて行われる。

ＣＰＣＲＩでの実験によると、1haの調査地で行われた混合農業での農民の年間純所得はココナッツのみの農地よりも50%多かった（CPCRI, 1979; Nair, 1979)。グアテマラグラス（ *Tripsacum laxum*)、雑種のネピアグラス（*Pennisetum*

purpureum)、ギニアグラス（*Panicum maximum*）からは、年間50～60トン／haの飼料がとれるが、マメ科の飼料作物stylo(*Stylosanthes guianensis*）とカウピー（*Vigna unguiculata*）は30トン／haである。1頭につき1日30～35kgの飼料（イネ科草本とマメ科植物3：1）が必要だが、1haのココナッツ農地で4頭の乳牛が飼育できる。

8．2．3　ココナッツの下での放牧

熱帯のココナッツ畑では、前に述べた飼い葉の刈り取り・運搬方式とは別に、放牧もよくやられていて、これが重要な土地利用になっている。牛の飼育に供される草は通常自然に生えたものだが、時には特定の飼料用作物が植えられることもある。飼料になる草本種はたくさんあり、自然植生で最も重要なのは、やはりイネ科草本とマメ科植物である。ココナッツ畑に一般にみられる自然の草本種の一覧が表8.4に示されている。

ココナッツ園では雑草となるいくつかの種も飼料に用いられる。さらに、クズ（*Pueraria phaseoloides*）、centro（*Centrosema pubescens*)、calopo（*Calopogonium mucunoides*）といった被覆作物も天然放牧地で見ることができる。

未改良の天然放牧地の牧養力は、植物の種類、気候条件、ヤシの樹齢と密度、雑草の多さなどの要因に左右されて、大幅に変わってくる。Plucknett(1979）が入手可能な文献で調べたところ、だいたい天然生草地の牧養力は1～2haで牛1頭であった。ココナッツの下でのこの種の放牧は、経営インプットの非常に少ない粗放な土地利用システムである。通常、これらの天然生草地には、たくさんのイネ科草本、広葉の植物、潅木が雑草として生育しており、飼料用飼い葉の質と生産量を低下させている。

改良牧草種と良好な放牧地経営技術は、いくつかのココナッツ生育地域、とくに太平洋諸島に共通したもである。一般的な牧草種は表8.4の通り。経営面での工夫としては、放牧頭数と放牧の集約度の調整、肥料の利用、適切な牧草種や混作種の選択、雑草の制御、囲い作りなどだが、経営のシステムは、気候要因（特に降雨)、土壌の種類や農民の能力によって大きく変わってくる。放牧と改良放牧経営技術がココナッツの収量に及ぼす影響については、とくにスリランカのココナッツ研究所で詳しい研究がなされている。間作の場合と同様、もし肥料が双方

に用いられるならば、放牧はヤシの収量を減少させることはない、という結果が出ている。

表8．3　ココヤシの下で間作された天水作物からの平均収量および収益率。Kasaragod、インド。

間作作物	ココナッツ栽培地1haにつき		耕作費用1単位あたりの純収益
	収量(t)	エネルギー当量(GJ)*	
エレファントフットヤム（elephant foot yam、地域固有品種）	13.46	44.29	1.37
キャッサバ（雑種、H.165）	14.82	96.96	1 52
サツマイモ（H.42）	8.38	42.00	0 93
大ヤム（greater yam、地域固有品種）	13.61	76.42	1.64
小ヤム（lesser yam、地域固有品種）	9.26	51.67	1.38
チャイニーズポテト（Chinese potato、地域固有品種）	7.32	14.96	1.71
ショウガ（栽培変種Rio-de-Janeiro）	8.61	24.04	1.92
ターメリック（栽培変種Armoor）	10.94	39.67	0.36

* ＧＪ＝ギガジュール（Giga Joule）；Ｊ×１０^{9}、１ジュール＝０．２４カロリー
出所：Nair（1979）

8．2．4　ココナッツを用いた土地利用集約化を推進する要因

ココナッツ畑での土地利用が集約化する最大の理由は経済的な利益があるからである。小規模土地保有でのいくつかの間作システムについて、労働必要量、耕作費用、経済的純収益、所得換算率[2)]がNair（1979）とNellian and Bhat（1979）より報告された。

これらの経済的な便益とは別に、長期的な生産性の観点から間作の望ましさがたびたび言われてきた。既存の報告書や試験結果から判断すると、生産性は経営水準に左右され、主要作物と間作作物の双方に適切な施肥がなされ、よく管理されるならば、間作はココナッツ生産にとって有害ではない。これは、ＣＰＣＲＩでのいくつかの調査で証明されている（CPCRI, 1979; Nair, 1979)。

一方、付加的な作物が主要作物に「寄生」するようなことになると、この両方の収量に悪い影響が出てくる。つまり、この種の混作の生産性は、植物と植物の競争関係の程度が問題であって、隣接する植物が、地上・地下において同一の環境資源のプールに依存していることがしばしばある。下層の種との作物の結合で

表8．4　ココナッツの下に生えている放牧用および飼料用の種で一般的なもの

俗名	学名	分布および利用に関する説明
天然放牧地のイネ科草本		
Carpet grass	*Axonopus compressus*	太平洋諸島、ジャマイカ
Sour paspalum	*Pasapalum conjugatum*	太平洋諸島の多雨地域
Bermuda grass（バミューダグラス）	*Cynodon dactylon*	太平洋諸島
Buffalo grass	*Stenotaphrum secondatum*	ニューヘブリディーズ（バヌアツ
Guinea grass（ギニアグラス）	*Panicum maximum*	広い適応性をもつ
マメ科		
Sensitive plant（オジギソウ）	*Mimosa pudica*	広く分布している
Desmodium	*Desmodium trifolium*	マレーシア、インドネシア、西サモア
Hetero	*Desmodium heterophyllum*	南太平洋地域
Centro	*Cetrosema pubescens*	ふつう被覆作物として用いられる
Alyce clover（マルバタケハギ）	*Alysiacarpus vaginalis*	スリランカ
改良放牧地のイネ科草本		
Palisade grass	*Brachiaria brizantha*	広い適応性をもつ
Signal grass	*B. decumbens*	
Cori grass	*B. miliiformis*	
Koronivia grass	*B. humidicola*	
Para grass	*B. mutica*	
Congo grass	*B. ruziziensis*	
Alabhang	*Dicanthum aristatum*	東アフリカ、インド
Rhodes grass（アフリカヒゲシバ）	*Chloris gayana*	
Pangola grass（メヒシバ）	*Digitaria decumbens*	
Batili blue grass	*Ischaemum asistatum*	フィジー
Molasses grass	*Melinis minutiflora*	
Guinea grass（ギニアグラス）	*Panicum maximum*	
Scrobic	*Paspalum commersonii*	ふつう飼料として用いられる
Napier grass（ネピアグラス）	*Pennisetum purpereum*	飼料用種
マメ科		
Green leaf desmodium	*Desmodium intortum*	より湿潤な亜熱帯
Kaimi clover	*Desmodium canum*	太平洋諸島
Perennial soya bean	*Glycine wightii* (*G Javanicaと同種*)	東インド諸島
Leucaena（イピルイピル）	*Leucaena leucocephala*	（酸性土壌を除いて）飼料用として広い適応性をもつ
Siratro	*Macroptilium atropurpureum*	
stylo(Brazilian lucerne)	*Stylosanthes guianensis*	痩せた土壌に適応できる飼料用としても用いられる

出所：Nair（1983）（Plucknett, 1979を改変）

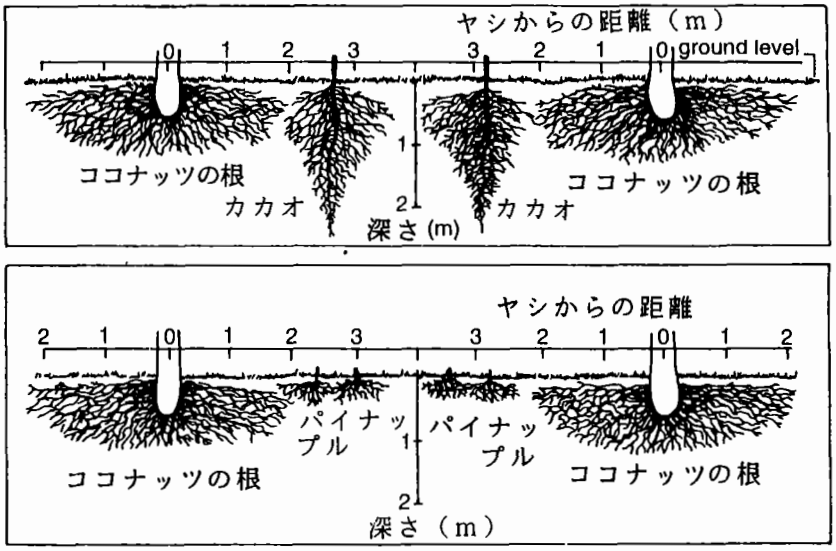
は、ココナッツが競争するのは地上の資源だけであって、日影でもある程度の収量が確保できる有用な植物種はたくさんある（Nair, 1980と表8.2）。おのおのの種がもつ根の分布パターンは非常に重要であるが、ココナッツ、カカオとパイナップルからなる複層の作物の結合における好ましい根の配置が、図8.7に示してある。

隣合った植物の相互作用は必ずしもネガティブなものとは限らない。[3)] 植物は、共有するプールの中で互いに補い合い、そのためより完全に資源を利用することもできるだろう。それらはまた、種の結合が有利となるよう微気象にも影響を与えることがある。そのような生物学的な相補性の事例は、ＣＰＣＲＩでのココナッツとカカオの作物結合において指摘されている。ココナッツのみの場合と比較して、カカオと組み合わせて栽培した方がココナッツの収量が増加した。その土地では、カカオは常に木陰で栽培されるため、カカオを単一の作物として比較するのは意味がない。たくさんの要因がこの有利な相互作用、例えば微気象の改良（Nair and Balakrishnan, 1977）、有益な微生物の働き（Nair and Rao, 1977）をもたらしている。こうした有益な相互作用を活用することで、混作システムでのココナッツや他種の生産性をかなり向上させることができる。

現存するココナッツ地域で土地利用を集約化していく場合、問題や制限がないわけではなく、またどこでも集約化できるというものでもない。これが適用できるのは、土壌やその他自然条件が適切な地域に限定される。環境資源の制限は作物の種類と作付パターンを限定するであろう。作物結合が適切に経営されなければ、好ましくない効果が生まれ、２つ以上の作物を一緒に栽培することが特定の病害問題を大きくする。これらの植物の相互作用については、第13章でいくらか詳しく検討している。間作が行える土地がどれくらいあるかについては、栽培間隔によって決められるヤシの被陰が最も決定的な要因である。

８．３　他のプランテーション作物との結合

コーヒーと緑陰樹、カカオと緑陰樹の結合を目指した研究は、主として、コスタリカのＣＡＴＩＥを中心にかなりなされてきたが、この研究のほとんどは養分に関する問題に集中していた。1977年に創設され La Montana として知られている長期的な反復実験は、有機物、養分循環、落葉落枝、水分の浸透といった問題に関するかなりの量のデータを生みだした。この実験で用いられた樹木種、



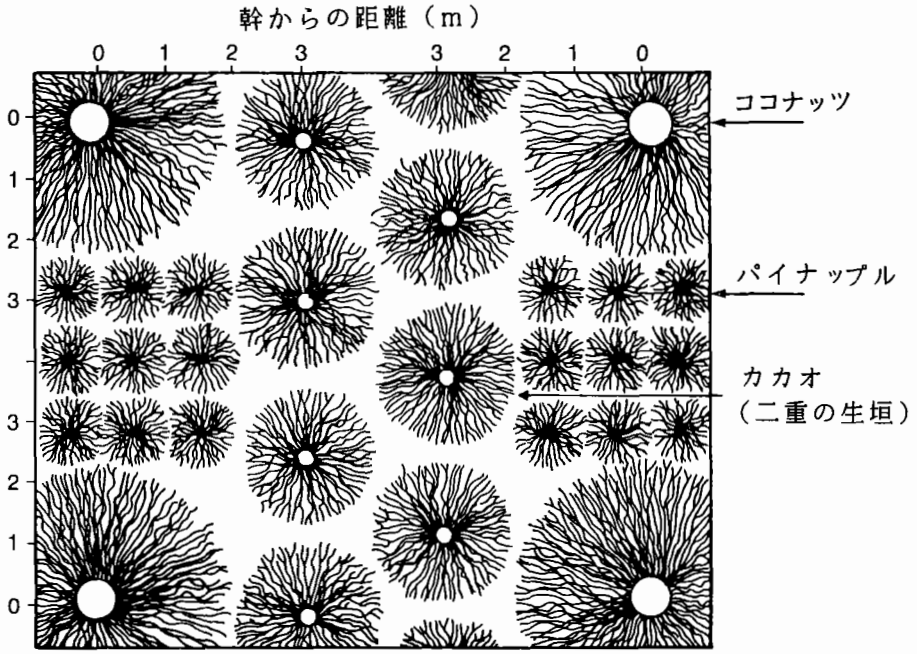


図8．7　ココナッツ、カカオ、パイナップルの複層作物結合における作物それぞれの根系の縦方向（上）および横方向（下）の分布。
出所：Nair（1979）

*Erythrina poeppigiana*は定期的に剪定され、また価値の高い木材を産出する種、*Cordia alliodora*は定期的に間引かれた（Alpizar, 1985; Alpizar *et al.*, 1986; Fassbender *et al.*, 1988; Heuveldop *et al.*, 1988; Imbach *et al.*, 1989)(図8. 8と8. 9)。この二つの種を比較する研究でBeer（1987, 1989とBeer *et al.*, 1990）は次のような結論を得た。*E. poeppigiana* は、1年に2～3回枝打ちされてそれが土壌に加えられると、落葉落枝層への養分の還元が多くなり、その養分量はコスタリカにおいて最も高い割合で無機肥料が与えられるコーヒーのプランテーションと同じくらいになる（270kgN／ha・年、60kgP／ha・年、150 kgK／ha・年)。この落葉落枝への年間の養分還元率は、 *E. poeppigiana* の場合地上バイオマスの養分ストックの90～ 100%に相当する。*C. alliodora* では、枝打ちされないと樹幹の養分ストック、わけてもカリウムが少なくなって、作物や樹木の成長を阻害する潜在的な要因ともなり得る。これが示唆するように、施肥の行われるカカオとコーヒーのプランテーションにおいても、緑陰樹の落葉落枝の生産性は重要であって、おそらく窒素固定よりも重要な要因になるであろう。ＣＡＴＩＥにおける10年間の実験結果をまとめたFassben-der *et al.*(1991)は、*C. alliodora*と *E. poeppigiana* の被陰下で栽培された樹齢6～10年のカカオ豆の平均収穫量は、それぞれ 1,036と 1,057kg／ha・年に達するとの報告をしている。 *C. alliodora* の全幹量は、 9.6m³／ha・年ほど成長していた。5年にわたる自然のおよび剪定による落葉の降下量は表8. 5に示してある。これらのシステムでの土壌の生産性要因については第Ⅳ部で詳しく論議しよう。

この他にプランテーションと農作物とのさまざまな結合がある。

- ケニヤ海岸部におけるカシューナッツとココナッツ（Warui, 1980）
- ブラジル北東部（Johnson and Nair, 1984)、ブラジルのBahia(Alvim and Nair, 1986）におけるプランテーション作物
- ブラジルのババッス（babassu)パーム（*Orbignya phalerata*）(May*et al.*, 1985)
- インドのビンロウ（Areca catechu)との作物結合（Bavappa et al., 1982）
- 西アフリカの油ヤシとゴム（Watson, 1983）

これらほとんどは、現存するシステムの記述にとどまっていて量的な実験データは含んでいない。

ココナッツをもとにしたシステムの成功例は、他の小規模保有の多年生プランテーションに対しても改善の指針を与えてくれる。密接に関連し合う作物の群集

図8．8　コスタリカ、ＣＡＴＩＥのLa Montanaの実験。コーヒーと*Erythrina poeppigiana*、*Cordia alliodora*。
写真：R.G. Muschler

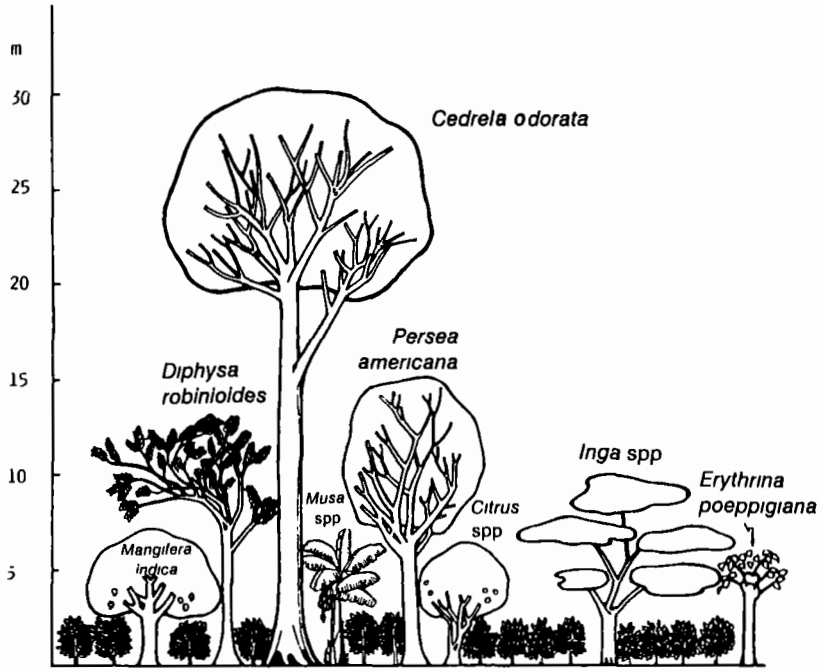


図8　9　コスタリカにおける、コーヒーと緑陰樹の結合の構造模式図
出所：Langemann and Heuveldop (1983)

をつくり上げることで、小面積の土地の高度利用と収益性の向上が可能になる。[4] モノカルチャーで注意が払われるのは一つの作物だが、すべての混作作物にも注意を向けるやり方で経営されることになれば、その効果がとくに大きい。集約的土地利用は適切な研究によって支えられなければならず、それなしで技術の革新や普及をやろうとすると悲惨な結果を生むおそれがある。

8．4　多層樹園地

第７章で述べたように、多層樹園地（multistory tree garden）と混合樹園地（mixed tree garden)というのは、混交樹木プランテーション（mixed tree plantation）のことであって、在来的な林業樹種とその他の商業樹種、とくに木本性香辛料から構成され、外観は管理された混交林（mixed forest）の様相を呈している。個々の家屋を取り囲むホームガーデンとは対照的に、これらの樹園地は、通常家屋から離れたところにあり、インドネシア（ジャワとスマトラ）のように、一般に村の居住地区を囲む共同保有地に見られる（図8.10)。このシステムが行われている場所の特徴と条件によって、さまざまな形の樹園地が見ることができる。そのなかで重要なのは、

- ジャワの樹園地（kebunあるいはtalun）(Wiersum, 1982)、スマトラのアグロフォレストリー・ガーデン・システム（Michon *et al.*, 1986)
- ナイジェリア南東部の屋敷地内農園（庭園）（Okafor and Fernandes, 1987）
- ブラジル、南東 Bahiaにおけるカカオと他のプランテーション作物の結合（Alvim and Nair, 1986)

これら樹園地システムの特徴と機能は、相対的な重要性において違いがあるものの、類似していることが多い。Wiersum(1982）は、樹園地の共通の特徴を次のように列挙している。

- 樹園地の特徴は、さまざまな植生層に多種類の多目的植物があって（時には鶏などの動物もいる)、それが水分、養分、日光のような環境要素を効果的に利用していることである。この多様性により年間を通じて多種多様な産物が生み出される。
- ほとんどのシステムは、一年生作物よりも多年生作物が優占しており、土壌中に蓄えられている養分よりも植生中の養分の割合が相対的に高くなっている。こ

れによって効率的な養分循環が維持され、浸出と侵食による被害を比較的小さくしている。深い根を持つ多年生植物が深い土壌層から無機養分を吸収する一方で、降雨と、マメ科植物の窒素固定で無機養分が効果的に捕捉され、好ましい養分状態がさらに維持されていく。

●ほとんどの樹園地は、毎年耕作される農地などとともに農場システム全体の一部をなしている。通常、後者（毎年耕作される農地）は高いカロリーの主食（米、トウモロコシ、キャッサバ）生産に用いられるが、樹園地は多くの栄養分を含む補助的産物（タンパク質、ビタミン、無機養分)、薬用植物、香辛料、燃材、飼料用作物、建築用木材の産出に用いられている。果樹も樹園地システムの重要な構成要素である。

●ほとんどの樹園地は小量の補助的作物を継続的に生産して、自給に向けたり一部の余剰を地元の市場に出しているが、自然条件や社会的事情で不測の事態が起これば、生産と販売の水準が一時的に高まることがある。

●一般的な耕作のやり方はおおむね標準化しているが、樹園地は社会経済的条件のみでなく、気候と土壌によっても多様に変化する。

これらの樹園地が食料供給で果たす役割は、栽培種の構成によって変わってくるが、一般的にホームガーデンほどには食料生産が重視されていない。樹園地の重要な価値は、木材、製材用丸太、小丸太、種々の果実、香辛料といった多様な（食用あるいは非食用の）生産物の販売を通じて、農民の現金収入を増やしていることである。また樹園地は保護林周辺の効果的な緩衝地帯としても潜在的な利用価値を有している。同様に、ブラジルの南東Bahiaのシステム（Alvim and Nair, 1986）のような、果樹を含む多目的樹木の下に換金作物を栽培するやり方は、気候的・社会経済的制約が許す範囲内で多くの地域に広げることができよう。ただ食料生産に対する樹園地の最大の寄与は、やはり大変な種類の果樹木の活用によって得られるであろう（表12.3を見よ)。

注

1）「小規模保有（small holder)」 あるいは「小規模農民（small farmer)」には、明確な定義がなく、直観的な理解のまま、広く用いられるている。小規模農場（small farm）の広さも場所によってまちまちで、バングラデシュなら1ha程度、ブラジル北部にいくと50～ 100haとなる。生態的に高い能力を持つ地域の小規模農場は、能力の低い地域よりもその面積が小さくなる。社会経済的な用語と

しては、通常「農民（所有者）が利用できる土地と労働などの資源に関してこれを改良する機会が厳しく制限されているような農場」を小規模農場と「定義」しているが、この定義にも限界がある。実用的な定義としては、農場経営の決定が事業利益よりも世帯の必要にもとづいてなされる「家族経営」ということであろう。

2）この用語の論議に関しては、第24章1を参照のこと。

3）第13章を参照のこと。

4）第24章1の論議を見よ。

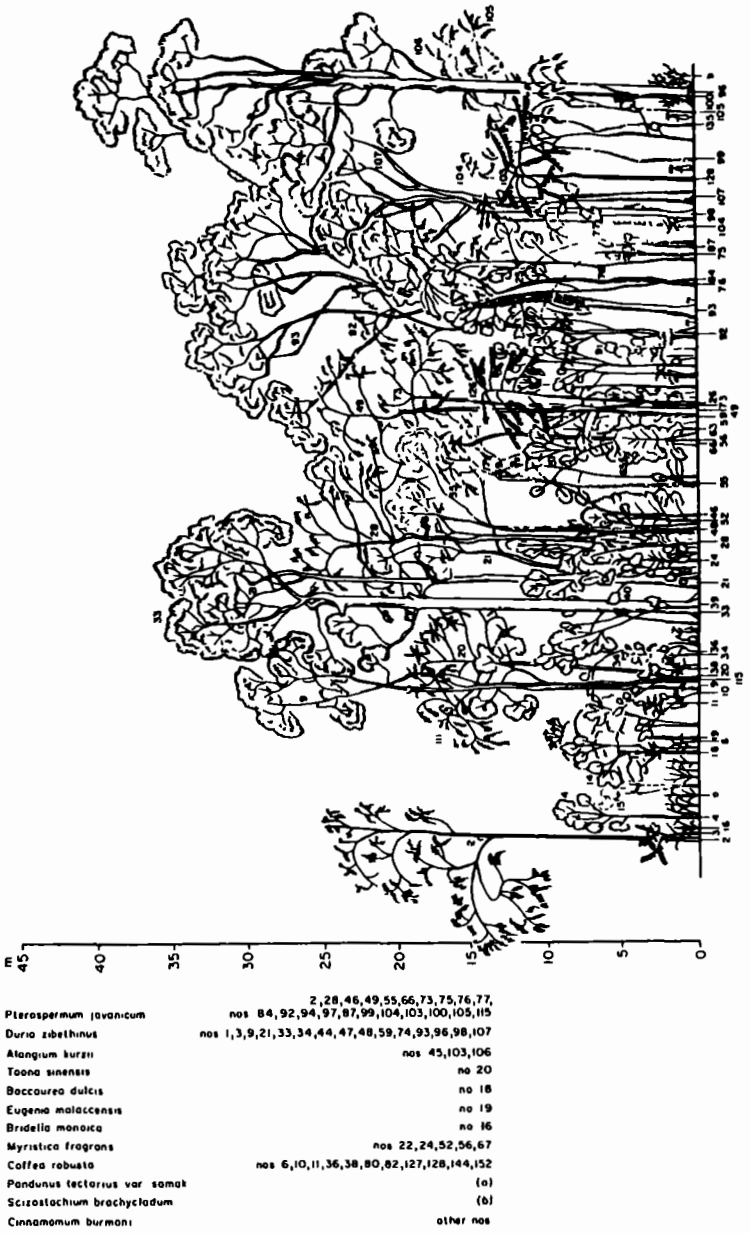


図8．10　主にドリアン、木材生産用樹種、シナモン、ナツメグからなる複層樹園地の模式図。インドネシアのスマトラ。
出所．Michon *et al.* (1986)

第9章　アリー・クロッピング

湿潤と半湿潤熱帯でもっとも将来性のあるアグロフォレストリー技術は、この10年間に開発されてきたアリー・クロッピングである。アリー・クロッピングでは植栽された潅木と樹木の生垣（マメ科の種が好ましい）の間で食用作物が育てられる。作物の成長期には生垣が定期的に剪定されるが、この目的はバイオマスを土壌に提供して土壌の養分状態と物理的特性を改善することと、成長する作物が日陰にならないようにするためである。

このように、アリー・クロッピングはいわゆる生垣間作[1]の一つの形態であり、潅木休閑システムの強い更新力と食料作物生産とを組み合わせたものである。この技術の研究で先鞭をつけたのは、1980年代初期、ナイジェリアにある国際熱帯農業研究所（IITA）の B.T. Kangとその共同研究者たちであった。この技術の基礎をなす原理は、作物生産を行う土地において、早成で、できるなら窒素固定力のある潅木と樹木を継続的に維持することにより、養分の再循環、雑草の抑制、傾斜地における侵食の制御など、移動耕作の休閑期にみられる土壌改良の効果を期待したものである。アリー・クロッピングは、最近、熱帯の多くの地域（図9．1）のみでなく温帯地域でも評価されるようになった。この技術に関しては非常に多くの文献が出ているが、最も包括的なものはKang *et al.*(1990）のレビューである。これまでアリー・クロッピングに関する多くの研究は生物学的観点からのものであり、近年、社会経済的観点からの研究も始められた（第22章参照)。

9．1　養分生産

アグロフォレストリー・システム全般、とくにアリー・クロッピングにおいて、土壌肥沃度の改良に果たす窒素固定樹木の役割が次第に強調されるようになり（Brewbaker *et al.*, 1982; Dommergues, 1987; Nair, 1988)、たくさんの場所でいくつかの野外試験が行われてきた。これらの研究が示しているように、樹種の違いによって、窒素固定に関する推測値はかなり異なっており（第17章を見よ)、さらに多くの情報が必要なのは明らかである。

無施肥のアリー・クロッピングの場合、木本多年生植物による窒素供給（土壌に加えられたバイオマスの分解から得られる利用可能な窒素）が農作物の最も重

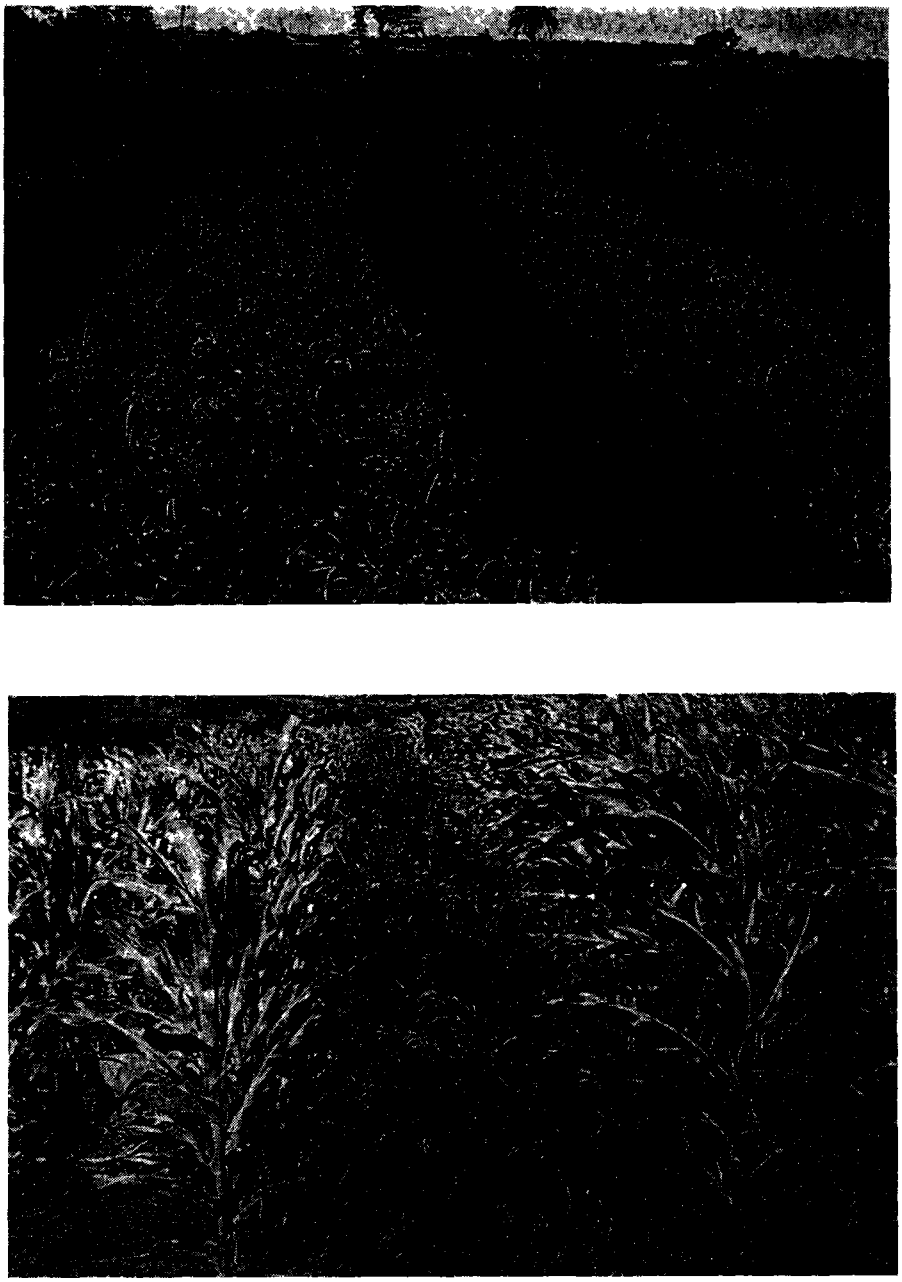


図9．1　アリー・クロッピング
（上）ナイジェリア、Ibadanの*Leucaena leucocephala* とカウピー。
（下）ケニヤ、Machakosの*Leucaena leucocephala* とトウモロコシ。

要な窒素源になっている。窒素の増加量は、大体において樹木のバイオマス（と窒素）の産出に対応したものであり、これはまた樹種、経営方式、立地に左右される。前に述べたように、窒素供給は根粒のこぶのついた根の回転率とともに、窒素固定の早さにも影響されよう。

ナイジェリア、イバダンのアルフィゾルで、異なった経営システムにより栽培された木本4種のバイオマス収穫量のデータが表9．1に示されている。Kass（1987）は、コスタリカのＣＡＴＩＥで*Erythrina poeppigiana* を生垣種とするアリー・クロッピングの研究を実施し、似たようなデータを報告している。Torres（1983）は、だいたい8週間ごとに伐採される*Leucaena leucocephala* の年間窒素収穫量は生垣1ｍにつき45ｇであると推測した。もし生垣が5ｍおきに配置されたならば、窒素量は90kgN／ha・年となる。生垣種として *L. leucocephala* あるいは*Gliricidia sepium* を用いた野外試験ではこれよりも多い窒素供給が得られたとの報告がある（Yamoah *et al.*, 1986a; Budelman, 1988)。さまざまな剪定方式の影響については、 *L. leucocephala*、 *G. sepium* と *Sesbania grandiflora* を用いた比較研究で、Duguma *et al.*(1988）は、3つの種すべてにおいて、隔年で 100cmの丈で剪定を行うと最も高い生産量が得られることを発見した（それぞれ 245.1、 205.6、 110.8kgN／ha・年)。

表9　1　ナイジェリア、ＩＩＴＡにおける、食料作物のアリー・クロッピングにおける木本種からの平均剪定枝収穫量。

種	剪定枝収穫量（乾重量ｔ／ha・年）
Alchornea cordifolia	3 77
Dactyladenia (Acioa) barteri	2.07
Gliricidia sepium	5.18
Leucaena leucocephala	8.64
LSD(0 05)	1.52

注　3年生の古い生垣；２５cmごとに一列に植えられている，生垣の列の間隔は２ｍおよび4ｍ；生垣は1年間に5回剪定される，肥料は生垣間に植えられる作物に対して、窒素（N）、リン（P）、カリウム（K）それぞれ４５－２０－２０kg／ha、９０－４０－４０kg／haの２レベルで与えられた

出所　Kang *et al*　(1990)

生垣の剪定も重要な養分源になっている。表9．2は、ナイジェリアのＩＩＴＡで行われた研究にもとづいて養分収穫量のデータを示したものだ。コートジボアールで行われた研究では、 *G. sepium*、 *L. leucocephala*、*Flemingia macrophylla* (*F. congesta* と同種）から3カ月間にわたって、それぞれ44、59、37kg／haのカリウムが得られた（Budelman, 1988)。

表9．2　5種の木本生垣から得られた5種類の剪定枝からの養分収穫量（4×0．5mの配置）。ナイジェリア、ＩＩＴＡより。

	養分収穫量（kg／ha・年）				
種	N	P	K	Ca	Mg
Alchornea cordifolia	85	6	48	42	8
Dactyladenia (Acioa) barteri	41	4	20	14	5
Gliricidia sepium	169	11	149	66	17
Luecaena leucocephala	247	19	185	98	16

出所．Kang *et al.*（1989）

アリー・クロッピングの養分に関するデータ量は増えているが、生垣の樹木から生産される養分が、生垣の間に植えられる作物の養分必要量をどの程度満たすことができるのかについては、あまり研究がなされていない。生垣樹種の分解パターンと養分放出特性についていくつかの情報がある。Budelman（1988）は、*L. leucocephala*、*G. sepium* および*F. macrophylla* の分解における半減期は、それぞれ30.7、21.9、53.4日であったと報告している(第16章の論議を参照)。*F. macrophylla* の消化率（digestibility)は他の2種の半分であったが、これらの半減期は生体外（in vitro)[2)] における有機物の消化率と相関関係にある。簡単に言うと、半減期が短いほどマルチの分解が早く、その結果、土壌への養分の放出がより速やかに行われるのである。Yamoah *et al.*(1986a) は、120日間の生垣の葉の分解速度について野外調査を行ったところ、*G. sepium*、*F. macrophylla*および*Cassia siamea* の剪定枝の乾物重量の減少は、それぞれ96、58、46%であった。*G. sepium* からの窒素の無機化によって、トウモロコシ生産に必要な窒素の71%が供給されたが、*F. macrophylla* の場合は26%にとどまっていた。ペルーのアマゾン川流域で行われた似たような研究で、Palm and Sanchez（1988）は、*G. sepium* の葉はこの地域に自生する10種と比較しても窒素無機化の水準が非常に高かったと報告している。同じ場所でPalm（1988）は、溶解性のフェノール（soluble phenolics)と窒素の割合は、あり得べき窒素放出を示すよりよい指標となることを発見した。これらの研究から、ペルーのアマゾン流域のかなり強い酸性土壌においては、*G. sepium* と*Erythrina* が養分増加に適している一方、*Inga edulis* と*C. siamea* は、その葉の分解速度が遅いために侵食制御や土壌内の有機物増加に用いることができるという結論が得られた（この問題に関する詳しい論議は第16章を参照のこと)。

9．2　土壌の性質と保全への影響

アリー・クロッピングの最も重要なポイントは、有機物マルチ、とくに養分の豊富なマルチを与えることによって、土壌の物理的、化学的性質、さらには作物の生産性を改善することである。しかし、アリー・クロッピングが土壌の性質に与える長期的効果についてはあまり報告されていない。その数少ない報告のほとんどは、アリー・クロッピングについて長い研究歴をもつＩＩＴＡからのものである。

Kang et al.(1989) およびKang and Wilson(1987) は、 *L. leucocephala* の剪定枝を継続的に加えることで土壌内の無機物と養分の水準が高まることを報告した（表９．３を見よ)。Atta-Krah *et al.* (1985) は、アリー・クロッピングの土壌は樹木がない場合よりも、無機物と窒素含有がより高いことを示した。Yamoah et al.(1986a)は、アリー・クロッピングの試験において、*C. siamea* 、*G. sepium* および *F. macrophylla* の効果を比較し、*C. siamea* のもとで土壌無物と養分状態がより高い水準で維持されることを発見した（驚くべきことに、これは窒素固定種ではない）。ＩＩＴＡからの他の報告として、Lal(1989) は、６年間（12回の作付季）にわたる窒素、ｐＨ、土壌中の置換可能塩基などの相対的減少速度は、対照区である非アリー・クロッピング（樹木なしでの継続的作付）と比較して、アリー・クロッピングのほうがかなり小さいことを示した（表９．４参照)。*L. leucocephala* の生垣造成後３、４年目に土壌のｐＨ、置換可能な塩基がほんの少し増加したという証拠があることから、これらの研究はこの生垣がもつ潜在的な養分循環能力を示唆している。

表９．３　*Leucaena leucocephala*とトウモロコシおよびカウピー（cowpea）のアリー・クロッピングにおける６年後の土壌の科学的性質。ＩＩＴＡ、ナイジェリア。

トリートメント (kgN/ha)	*Leucaena* の剪定枝	pH-H_2O	有機物中の炭素（C）(mg kg)	置換可能な陽イオン (Exchangeable cations)		
				K	Ca	Mg
0	除去された	6.0	6.5	0.19	2.90	0.35
0	維持された	6.0	10.7	0.28	3.45	0.50
80	維持された	5.8	11.9	0.26	0.28	0.45
LSD(0.05)		0.2	1.4	0.05	0.55	0.11

出所：Kang *et al.* (1990)

土壌の他の側面へのアリー・クロッピングの効果については、ほとんど研究がなされていない。コートジボアールの Abidjan 近くで Budelman (1989) は、*F. macrophylla* 、*G. sepium* および*L. leucocephala* を乾重量5000kg／haの割合で施した３種のマルチの効果について比較したところ、表９．５が示しているように、３種のすべて、とくに*F. macrophylla* は土壌温度と水分保持に好ましい効果を与えていた。ＩＩＴＡでの試験をもとにしたLal(1989) の報告によると、非アリー・クロッピングと比較して土壌全体密度 (soil bulk density)と侵入度計の抵抗 (penetrometer resistance)が低下し、土壌の水分維持と植物の利用できる水分容量が高まっている (表９．６参照)。

表９．４　異なる経営システムのもとでの土壌中の窒素と有機物中の炭素含有量の変化。ＩＩＴＡ、ナイジェリア。

	1982		1986	
トリートメント	0-5cm	5-10cm	0-5cm	5-10cm
土壌中の窒素（％）				
犂耕	0.214	0.134	0.038	0.042
非耕うん	0.270	0.174	0.105	0.063
Leucaena - 4m	0.397	0.188	0.103	0.090
Leucaena - 2m	0.305	0.160	0.070	0.059
Gliricidia - 4m	0.242	0.191	0.066	0.067
Gliricidia - 2m	0.256	0.182	0.056	0.038
LSD(0.05)	0.01		0.01	
有機物中の炭素（％）				
犂耕	1.70	1.12	0.42	0.28
非耕うん	2.50	1.41	1.08	0.52
Leucaena - 4m	3.01	1.59	0.90	0.91
Leucaena - 2m	2.35	1.10	0.71	0.65
Gliricidia - 4m	2.26	1.53	0.63	0.60
Gliricidia - 2m	2.38	1.47	0.62	0.61
LSD(0.05)	0.12		0.12	

出所：Lal (1989)

表9．5　乾重量５０００kg／haの割合で３種類の異なるマルチを与えた後の、６０日間にわたる平均温度および土壌水分含有量。

トリートメント／マルチ素材	15.00hにおける観測数	高さ5cmにおける平均温度（℃）	深さ0-5cmの平均土壌水分（%）
マルチなしの土壌	40	37.1	4.8
Leucaena leucocephala	40	34.2(-2.9)	7.1(+2.3)
Gliricidia septum	40	32.5(-4.6)	8.7(+3.9)
Flemingia macrophylla	40	30.5(-6.6)	9.4(+4.6)
LSD		1.20	1.84

注：括弧内の値は、マルチなしの土壌と比較した場合の相違。
出所：Budelman（1989）

表9　6　アリー・クロッピングおよび非耕うんシステムのもとでの、アルフィゾルがもついくつかの物理的特徴の変化。ＩＩＴＡ、ナイジェリア。

	120分間の浸透速度（cm/h）			全体密度（bulk density）（g/cm³）		
作付システム	1年目	3年目	5年目	1年目	3年目	4年目
犁耕	24 2	23.2	21.4	1 36	1.51	1.42
非耕うん	18.0	12.4	5.0	1 30	1.47	1.62
アリー・クロッピング						
Leucaena 4m	39 8	13 0	22.2	1.26	1 44	1.50
Leucaena 2m	13.6	22.4	22.8	1 40	1.39	1.65
Gliricidia 4m	18.8	18.8	16.8	1.30	1.35	1 57
Gliricidia 2m	13.8	21.0	19.61	1.33	1.45	1.55
LSD(0 1)		5.8			0.03	

出所　Lal（1989）

熱帯各地で行われた多くの野外調査から、等高線に沿った生垣が土壌保全に効果があるのは間違いないように思われるが、これについてはわずかな報告しかない。土壌保全へのアグロフォレストリーの有益な効果について説得力ある主張を展開したYoung(1989) の論評の他に、1989年に出された２つの報告書が言及に値しよう。

そのうちの一つ、Ghosh *et al.* (1989) の報告は、インド南部の降雨1700mm／年の地帯で行われた研究にもとづいたものである。５～９％の傾斜地で*L. leucocephala*と*Eucalyptus*（種については述べられていない）の生垣をつくり、キャッサバと落花生と野菜を間作し、*L. leucocephala* の生垣を１年後から60日ごとに１mの高さに剪定した。研究の２年目で裸の休閑地における土壌損失の推測値は11.94ｔ／ha・年であり、一方 *L. leucocephala* と *L. leucocephala*＋キャッサバ栽培地ではそれぞれ 5.15ｔ／ha・年および2.89ｔ／ha・年であった。

ナイジェリアで行われたLal(1989)の研究によると、*L. leucocephala* の試験地と*G. sepium* の試験地における浸食は対照区の犂耕がなされた試験地のそれぞれ85%および73%であった。等高線に沿って２mおきに植えられた*L. leucocephala* の生垣は、侵食と地表流の制御に関して非起耕試験地と同じくらいの効果をもっていた（第18章を参照）。加えて、非アリー・クロッピング試験地よりも、アリー・クロッピング試験地の方が地表流による塩基濃縮(concentrations of bases)がより著しく、生垣の多年生植物による養分増進効果が認められる。この研究は、乾季において生垣は防風林として働き、風による乾燥化を軽減することも示している。深さ０～５cmにおける土壌内の水分含有は、一般的に非アリー・クロッピング試験地よりも生垣の近くで高かった。

９．３　作物収量への影響

アリー・クロッピングの望ましさを評価するのに最も広く用いられている指標は、これが作物収量へ及ぼす影響である。事実、ほとんどのアリー・クロッピング試験は作物収量以外のデータがほとんどなく、通常これらは比較的短期間の試験から得られたものである。

多くの試験で有望な結果が得られた。ナイジェリア南部の砂質土壌でKang *et al.*(1989, 1990) が行った８年間にわたるアリー・クロッピング試験では、 *L. leucocephala* の剪定枝のみを用いた場合、トウモロコシの収量は２ｔ／haという

「妥当な」水準に維持された一方、*Leucaena* の剪定枝および肥料なしでは0.66t／haであった（表９．７参照)。80kg／haの窒素に剪定枝を加えることによって、

表９　７　カウピーとの輪作を伴うアリー・クロッピングでのトウモロコシ収量（ｔ／ha)。ＩＩＴＡ、ナイジェリア。

トリートメント[1]	年						
	1979	1980	1981[2]	1982	1983	1984†	1986
0N-R		1.04	0.48	0.61	0.26	0.69	0 66
0N+R	2 15	1 91	1.21	2 10	1.91	1.99	2 10
80N+R	2 40	3 26	1.89	2.91	3 24	3 67	3.00
LSD(0 05)	0.36	0 31	0.29	0.44	0 41	0.50	0.18

注・† １９８５年に休閑した試験地

1 窒素は８０kg／haの割合で与えられた；(-R) *Leucaena* の剪定枝が試験地から除去された；(+R) *Leucaena* の剪定枝が試験地内に維持された。全ての試験地では基礎的肥料であるリン（Ｐ)，カリウム（Ｋ)、マグネシウム（Ｍｇ)、亜鉛（Ｚｎ）が用いられている。

2 干ばつの影響を受けたトウモロコシ収量。

出所：Kang *et al* (1990)

トウモロコシ収量は 3.0t／haまで増加した。不幸にも肥料のみで*Leucaena* の剪定枝を付加しなかった場合の効果については試験がなされなかった。 Yamoah *et al.* (1986b) は、*C. siamea* 、*G. sepium* および *F. macrophylla* を用いたアリー・クロッピングでトウモロコシの収量を受容できる水準まで増加させるためには、窒素を付加することが不可欠であると報告している。しかし、Kang et al. (1981)の初期の報告書では、10ｔ／haほど生きた *Leucaena* の剪定枝を用いると、トウモロコシ収量に 100kg／haの窒素を加えた場合と同じ効果が現れたとしている。ただし、それだけの *Leucaena* の葉を得るためには、生垣だけでなく他の場所からのもので補足しなくてはならない。

Kang and Duguma(1985) は、４ｍ間隔で植えられた *L. leucocephala* の生垣からの葉材を用いて得られるトウモロコシの収量は、40kg／haの窒素が使われた場合の収量に相当することを示した。フィリピンで行われた研究でO'Sullivan (1985) は、トウモロコシが*L. leucocephala* と間作された場合に、 2.4ｔ／ha（肥料あり）および 1.2ｔ／ha（肥料なし）の収量が得られたと報告している。これに対応して、*L. leucocephala* が用いられなかった場合のトウモロコシ収量は、それぞれ 2.1および 0.5ｔ／haであった。しかし、この研究では、与えられた肥料の量や実験期間など実験の詳細が明らかにされていない。

他のアリー・クロッピング試験の成果についてはそれほど有望ではない。例えば、ペルー、Yurimaguasの痩せた酸性土壌での試験では、カウピー（cowpea）を

除き実験で使われた作物すべての収量は極端に低く、アリー・クロッピング試験地から得られた収量は全体的に対照区の試験地と同じかそれよりも低かった（表９．８参照)。ローテーションの４、６年目にあたる米の収量は対照区の無施肥

表９．８　異なる作付システムにおける作物の穀物収量と乾物（dry matter）生産量。Yurimaguas、ペルー。

輪作される作物	作付システム[1]における収量（kg/ha）[1]							
	Ｃｃ	Ｉｅ	Ｎｃ	Ｆｃ	Ｃｃ	Ｉｅ	Ｎｃ	Ｆｃ
	穀物[2]				乾物			
1. トウモロコシ	634a		390a	369a	1762b		2268b	4339a
2. カウピー	778ab	526b	1064a	972ab	1972b	1791b	2597b	4766a
3. 米	231a	211a	488a	393a	1138b	1160b	1723b	3718a
4. 米	156c	205bc	386b	905a	929b	1151b	2121b	5027a
5. カウピー	415a	367a	527a	352a	1398b	1353b	1404b	3143a
6. 米		386b	382b	1557a		1054b	1037b	4897a

注：乾物中の穀物に関して、一つの横の列の中であとに同じ文字がつく数値の平均値の間には、ダンカン法による確率p=0.05における検定によると有意差がない。

1. Ｃｃ＝ *Cajanus cajan*、アリー・クロッピング；Ｉｅ＝ *Inga edulis*、アリー・クロッピング；Ｎｃ＝無施肥、マルチ無しの対照標準（control）；Ｆｃ＝施肥、マルチ無しの対照標準。
2. トウモロコシの穀物収量には１５．５％の水分が含まれている；米とカウピーの穀物収量には１４％の水分が含まれている。 *Inga* 試験地における１番目、*Cajanus* 試験地の６番目の輪作地では作付がなされなかった。

出所：Szott（1987）

試験地よりも著しく少なかった。２、５年目のカウピー収量は対照区の無施肥試験地で最も高かった。Szott(1987) とFernandes(1990) はこれらのデータから、アリー・クロッピングの処理で作物収量が比較的少ないのは根の競合と遮光であるとした。Fernandes(1990) は生垣と作物どうしの根の競合による作物収量の減少が生垣造成の11カ月後に認められ、その競合は生垣の年齢とともに増していく。そして生垣に近いところほど作物収量の減少が大きい。その他の原因としては、表面のマルチが物理的に発芽を阻害すること、マルチの分解が一時的に養分の固定化を引き起こし、幼苗の生育にとって決定的な段階で利用可能な養分量がかなり減少すること、土壌中の養分がもともと低い水準にあるため樹木の根による循環メカニズムが妨げられる、などが考えられる。

別の研究が示唆するところによると、アリー・クロッピングは水分が制限要素となるようなところでは、あまり効果的ではない。インドのハイデラバード近く

にある半乾燥熱帯国際作物研究所（ICRISAT)で行われた4年間の研究によると、水分量が制限されている場合、生垣樹種の成長は作物の成長より大きく、作物収量が減少する（Corlett *et al.*, 1989; ICRISAT, 1989; Rao *et al.*, 1990)。ナイジェリア北西部（Odigi *et al.*, 1989）とケニア（Nair, 1987; ICRAF, 1989; Coulson *et al.*, 1989）の半乾燥地においても似たような観察結果が出ている。インド北西部の6年にわたる研究で、*L. leucocephala* を生垣としたアリー・クロッピングの場合、トウモロコシ、ブラックグラム、クラスタービーンの収量は、単作の場合よりも低くなることが示された（Mittal and Singh, 1989)。アリー・クロッピングにおける*L. leucocephala* からの飼料および燃材も、通常の生垣からの収量の方が大きかった。ただしこの研究では、*L. leucocephala*の剪定枝は緑肥として土壌に還元するかわりに飼料として持ち去られているようだ。

Lal(1989）による（前述した）ＩＩＴＡの研究は、アリー・クロッピングにおけるトウモロコシとカウピーの収量は、一般的に単作の場合よりも低いことを示している（表9. 9および9.10を参照)。この研究では、間隔の狭いアリー・クロッピングでは降雨が通常よりも少ない年には収量低下がより激しいことが認められ、生垣と作物の間で水分をめぐる競合が著しいことを示している。Ehui *et al.* (1990)によるＩＩＴＡの最近の研究は、異なった休閑経営システムのもとでの累積する土壌損失とトウモロコシの収量との関連を明らかにした。ただし、（移動耕作地およびアリー・クロッピングそれぞれにおける）休閑地と生垣地を考慮に入れ[3]、（作付面積の減少により）生じ得る損失を勘定に入れてトウモロコシの収量を調整した場合に、最も高い収量はアリーの幅が4ｍの場合に得られ、反対に収量が最も低かったのは9年の休閑の試験区であった。

ケニアのMachakosにあるＩＣＲＡＦの研究センターで最近終了した試験で、Jama-Adan(1993）はアリー・クロッピングの生垣種として*Cassia siamea* と *Leucaena leucocephala* を用い、相対的なパフォーマンスを比較した。彼は、半乾燥（平均降水量が 700mm、降水分布ではピークが2回ある）の条件下での6度の作付季（1989～1991；1年に2度の作付季）において、トウモロコシ収量は、Cassiaのアリー・クロッピングのほうがLeucaenaよりも大きかった（図9. 2)。確かに、Leucaenaのアリー・クロッピングでのトウモロコシの収量は、非アリー・クロッピングの対照区よりも低かったが、対照区とcassiaのアリー・クロッピング試験区における収量はほぼ同じであった。この結果は、半乾燥の条件下にお

表9．9　6年にわたってアリー・クロッピングのもとで栽培されたトウモロコシの穀物収量の平均値。ＩＩＴＡ、ナイジェリア。

システム	トリートメント		トウモロコシの穀物収量（t/ha）					
	多年生の種	間隔（m）	1982	1983	1984	1985	1986	1987
A	犂耕	−	4.1	4.9	3.6	4.3	2 7	2 3
	非耕うん	−	4.0	4.1	4 0	5.0	2 4	2 7
B	*Leucaena*	4	3.7	3.3	3.7	4.8	2.1	2.0
	Leucaena	2	4.4	3.6	3.8	4.2	1 7	2.5
C	*Gliricidia*	4	3.9	3.9	3.6	4.5	2 6	2 2
	Gliricidia	2	3 8	3 2	3.3	4.8	1.6	2.8
平均値			4 0	3 8	3.7	4 6	2.2	2.4
LSD				(0.05)		(0.01)		
(i)　システム（S）				0.27		0.22		
(ii)　トリートメント（T）				0.34		0.28		
(iii) 年（Y）				0.48		0 39		
(iv)　S×T				0.48		0 39		
(v)　T×Y				0.83		0.68		

出所：Lal（1989）

表9．10　6年間にわたる、トウモロコシーカウピー輪作のアリー・クロッピングにおけるカウピーの穀物収穫量。ＩＩＴＡ、ナイジェリア。

システム	トリートメント		カウピーの穀物収量（kg/ha）					
	多年生の種	間隔（m）	1982	1983	1984	1985	1986	1987
A	犂耕	−	720	442	447	435	992	369
	非耕うん	−	1520	829	1193	784	1000	213
B	*Leucaena*	4	1000	514	581	409	285	222
	Leucaena	2	730	319	503	159	146	236
C	*Gliricidia*	4	950	600	670	590	452	207
	Gliricidia	2	700	533	678	405	233	233
平均値			937	540	679	464	518	319
LSD				(0 05)		(0.01)		
(i)　システム（S）				120		99		
(ii)　トリートメント（T）				147		121		
(iii) 年（Y）				208		171		
(iv)　S×T				208		171		
(v)　T×Y				361		297		

出所：Lal（1989）

いてCassiaはLeucaenaよりもアリー・クロッピング用の種として適していることを示している。アリー・クロッピング用の適当な種を選択することがいかに重要かは、この研究からみても明らかである。

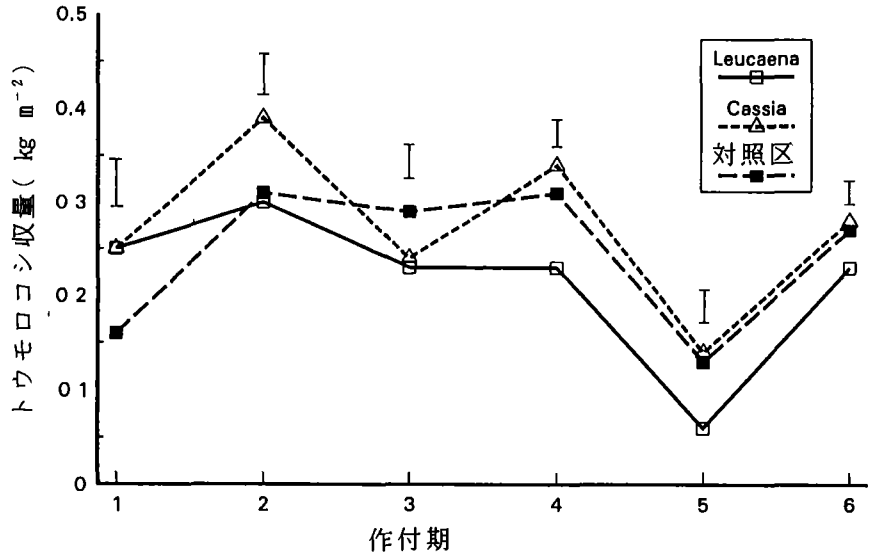


図9．2　ケニアの半乾燥条件のもとでの、6回の作付季（1989～1991）における*Cassia siamea*と*Leucaena leucocephala*のアリー・クロッピング。トウモロコシの収量が非アリー・クロッピングの対照区と比較してある。
出所：Jama-Adam (1993)

9．4　将来の方向性

アリー・クロッピングに関する多くの研究が、現在熱帯の各地で行われている。まもなく利用可能なデータの数は急速に増えるであろう。より多くのデータが利用できるようになると、そのデータの解釈はより洗練され矛盾のないものになるはずである。多くの専門家たちは、これまでに得られた業績を解釈するにあたって極端な立場をとってきたように思える。ある者はアリー・クロッピングを擁護するためにどんなデータでも使い、他の者はそれをけなすことに専念するといった具合である。しかし、アリー・クロッピングの利点と欠点を単一の基準や短期の結果にもとづいて判断することはできない。土壌肥沃度の改善や飼料と燃材の収穫といった収量以外の利点については、必要な労働量、作付面積の損失あるいは病害虫管理の問題といった不利益を考慮にいれて慎重に評価しなくてはならない。

鍵となる論点は生態的な適応性である。多くの研究成果は、アリー・クロッピ

ングは湿潤および半湿潤熱帯においてかなりの可能性を持っていることを示唆している。Kang and Wilson(1987) によって提唱された、潜在的な便益と利点を総括したのが図９．３である。ただし、より乾燥した地域では話は違ってくる。アリー・クロッピングの基本的な特徴である、マルチの分解による養分供給は、マルチを施す量、質および時期に左右される。もし、生態的条件のために、適当な時期に十分な量の養分に富んだマルチが生産できなければ、アリー・クロッピングの目につく利点はなくなってしまう。

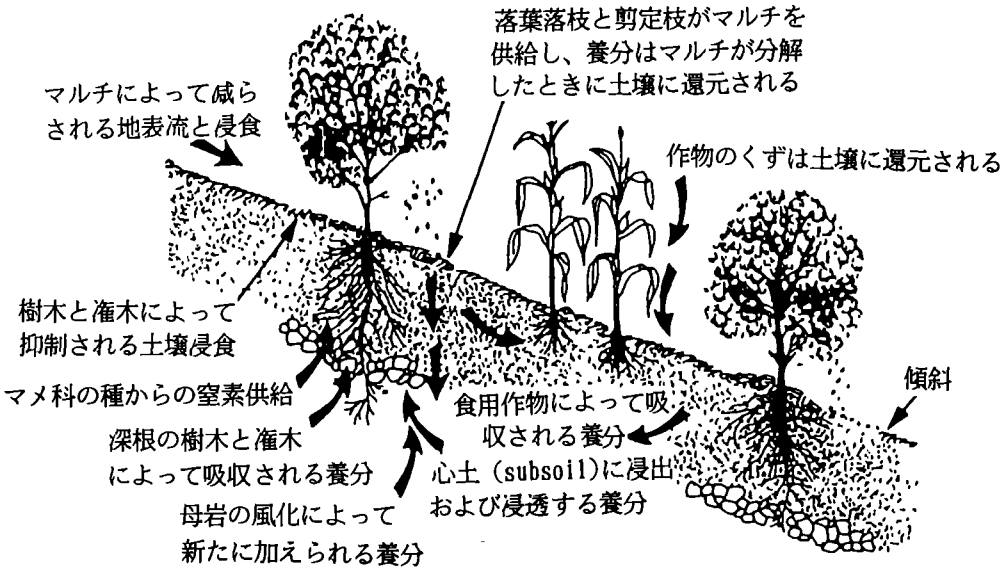


図９．３　アリー・クロッピングシステムにおける養分循環と侵食制御の利点の模式図
出所：Kang and Wilson (1987)

一つの事例として１haの土地からの生産可能量を計算してみよう。ここには５m間隔で長さ 100mの*L. leucocephala* の生垣が20本はいるとする。仮に生垣が１作付季に３回剪定され（作付季直前に１回、作付季に２回)、降雨条件が年２回の作付を可能とするとすれば、一年に６回剪定されることになる。１mの生垣が１回の剪定で乾重量 375ｇほど生産（刈りたての重量では 1.5kg）すると仮定するならば、バイオマス収穫量の合計は乾重量で4500kgとなる(375ｇ×2000m×６回の剪定)。もし、乾重量のうち平均３％が窒素であるとすると、窒素収穫量は合計 135kg／ha・年で、当季の作物によって摂取されると考えられる量の約半分になる。

しかし、この潜在能力が発揮されるのを妨げるいくつかの要因がある。なかで

も土壌中の水分が重要だ。ほとんどの半乾燥地域では、降雨には2回のピークがある一方で4カ月間は降雨量が少なくなる。それゆえに、剪定の回数は最高で3回に減らされてしまう。そのためマルチの収穫量と窒素供給も少なくなり、作物に対して実質的な便益を供給するほどには窒素が得られなくなる。降雨とアリー・クロッピングの能力との一般的関係が図9．4に示されている。加えて、生垣がつくる陰の影響と、作物生産に用いられる土地の減少もある（20の生垣はそれぞれ1m幅の陰を 100mにわたって投げかけ、1haあたり2000m² 、全体面積の25%を覆う)。 生垣を維持し剪定するために必要な追加的労働も制限要因として働く。さらに農民たちは、ハイチの事例のように(Bannister and Nair, 1990)、除去したマルチを土壌に加えるのではなく動物の飼料として使ってしまうこともある。

現在ではよく知られていることだが、以上のような制限ゆえに、 *Leucaena leucocephala* のような種がとくに重要視されている半乾燥地域では、アリー・クロッピングは有望な技術にはなりにくいであろう。半乾燥熱帯に適するアリー・クロッピングの生垣種を探索しなければならない。むろん、これらの地域でアグロフォレストリーが向いていないということではない。実際には、飼料と燃材用樹木をもちいたシステムのような、最も有名なアグロフォレストリー・システムが半乾燥熱帯で発見されているのである（第10章参照)。

心に留めておくべき重要な点は、低地湿潤熱帯のようなアリー・クロッピングに適する条件下では、低い生産性水準に対しても、高い生産性水準に対しても、この技術が適用できるということである。作物の高い生産性水準を目指すのであれば、ほとんどの場合施肥を必要とし、アリー・クロッピングでもって肥料に代えることはできない。だが、アリー・クロッピングをやると施肥の効果がかなり向上する（Kang *et al.*, 1989; 1990)。ペルーのアマゾン川流域のように極度に酸性の砂質土壌では、肥料のような外部からの投入がどの程度用いられたかによってアリー・クロッピングの成否が左右される（Szott *et al.*, 1991b; Trop-Soils, 1988)。このような状況のもとでは、痩せた酸性土壌に適応できる生垣種を選択することも、経営上の重要な問題である。

アリー・クロッピングの生物学的利点を増進するこれらすべての努力と並んで、社会的な受容性と適応の可能性を高める努力も重要である。研究所で開発された改良農業技術を農民たちに普及しようとすると、多くの困難に直面するのが普通であるが、アリー・クロッピングはその利点を相殺し広い適応をむずかしく

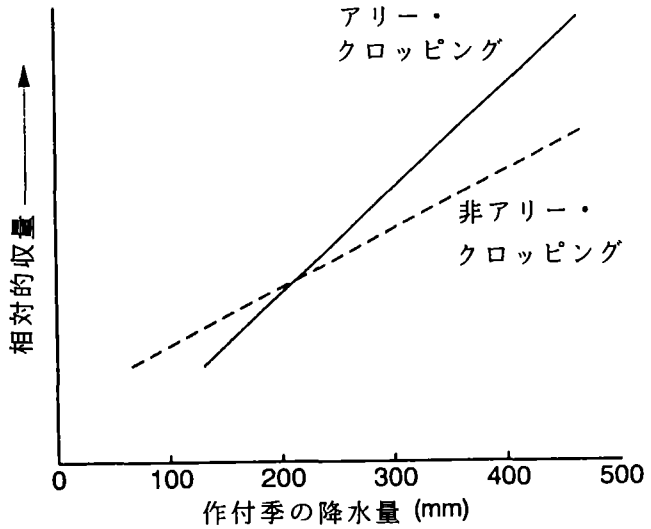


図9．4　半乾燥条件でのアリー・クロッピングと非アリー・クロッピングにおける作物（トウモロコシ）収量。作付季の降雨量との関連を示す概念図。
出所：Nair（1990）

する難点をもっている。すなわち、

- 生垣の剪定とマルチの適用のためにさらなる労働力と技術が必要なこと。
- 生垣のために作付面積が削られること。
- 農作業の機械化が困難なこと。
- 生垣種が雑草または（あるいは）病害虫と病原体の宿主になったり、穀物を食べる鳥の隠れ家にもなり得ること。
- とくに乾燥した条件下でシロアリの害が増やす可能性があること。

研究・開発機関は、現在これらの問題と取り組み、いくつかの問題にたいしてはすでに答を見いだしている（第21章と22章の農場レベルの実地研究と経済的側面のそれぞれを参照のこと）。アフリカのアリー・ファーミング・ネットワーク（AFNETA）のような大規模な研究では、さまざまな条件下で各種の修正を加えながらこの技術についての入念な野外試験を行っている。たとえ適応可能な技術ができあがったとしても、それぞれの場所の生物物理的および社会経済的条件に応じて、これがさまざまな形態をとることは明らかである。

注

1）生垣間作（hedgerow intercropping）は、構成要素を混ぜ合わせないで、帯

状に配置することである。帯の幅はさまざまだが、アリー・クロッピングの場合は、木本植物の１本ないし複数本の列があって、生垣の形を維持するため成長を制限する管理がなされる（Huxley, 1986）。

２）生物学では、生体外（in vitro）とは、自然にまかせたプロセス、あるいは浸食の制御と土壌有機物の増加のために利用されるプロセスのことを指している（この点についてのさらなる論議については第16章を参照のこと）。

３）アリー・クロッピングの試験では、木本と草本の混作で慣例とされているように、作物の単位面積当たりの収量は、生垣と作物用の土地面積の合計を分母として表現される。またこの収量は生垣を横断して測定される。つまり、生垣に最も近い列から最も遠い列までのすべての作物の列である（第20章、Rao and Coe, 1992）。

第10章　その他のアグロフォレストリー

さまざまなアグロフォレストリーが、熱帯のほとんどの生態地域と温帯の一部で行われている。その形態は複雑にして多様であり、数え切れないほどだ。これまでの諸章で述べた一般的なものに加えて、その土地特有のもので、あまり知られていない多くのやり方がある。これらの構成要素と実施方式は広い範囲にわたっており、飼料木とシルヴォパストラルの組合せ、燃材林、農場に散らばる多目的樹木、土地改良と土壌改善のための植林、食料生産用の樹木、さらには砂漠化防止のため防風林のアグロフォレストリーの技術を利用するといったものまである。こうしたシステムや技術の一部については記載があるが、なかには質的な記述さえ欠くものがある。前の諸章で触れなかった重要な事例を本章でとりあげよう。

10. 1　飼葉とシルヴォパストラル・システム

シルヴォパストラル・システムとは樹木や潅木が家畜の飼育や放牧と組合わさっている土地利用システムである。この広義のカテゴリーにはいくつかのタイプがあり、構成要素である樹木や潅木（この両者を集合的にトラップtrubと呼ぶことがある）の役割によって区別される。すなわち、

集約的な経営

●刈り取り・運搬方式（ないしタンパク質銀行）：樹木や潅木をある程度まとまった場所や境界沿いなどに植えて、枝葉を定期的に刈り込み、畜舎にいる家畜の餌にする（図10.1)。

●柵の支柱：飼料木が大きな樹木に育っていくあいだ、放牧地などを囲む柵の支柱となる（図10.2)。この場合にも定期的な刈り込みが行われ、刈り取り・運搬方式と同様に飼葉や小丸太が生産される。

粗放的な経営

●若葉喫食：葉（とくに柔らかい小枝、茎や葉）や、時として果実やさやが消費される。

●放牧：家畜は放牧地で植物、たいていは草木種を食している。シルヴォパストラル・システムとされるのは、樹木が存在して、それが家畜生産と密接な関連を

図１０　１　刈り取り・運搬のシステム。マラウイでの飼料・燃材用の *Leucaena leucocephala*の収穫。
写真：ICRAF

図１０．２　*Gliricidia sepium* を柵の支柱として生きたまま利用する。コスタリカ。
写真．G. Budowski

もつ場合である（例えば、家畜に日陰を提供する、草の生産を促進する、飼葉や他の樹木生産物を供給するなど）。若葉を喫食するシステムでの樹木の役割は、放牧システムのそれよりも直接的である。

これまで各地で記載されたシルヴォパストラル・システムは、樹種と経営集約度においてすこぶる多様であり、粗放な遊牧民のものから集約度の高い刈り取り・運搬方式まであるが、最も組織的で市場志向型の放牧システムは、温帯の針葉樹の植林地内で行われる牧畜（マツ＋牧畜）である。ここては熱帯での事例に焦点を合わせよう。

家畜は多くの発展途上国において農業生産の主要な構成要素である。例えば、西アフリカのスーダン＝サヘル諸国（ニジェール、チャド、スーダン、マリ、ブルキナファソ、セネガル）では、家畜が農業の国内総生産（ＧＤＰ）の30～40％を占め、モーリタニアでは、農業生産の80％が家畜に関係したものだ。インドは１億8200万頭の牛と6100万頭の水牛を所有するが（搾乳用と役畜用）、これは世界の総計のそれぞれ15％と50％に相当する。アフリカ全土の１億4700万頭の牛は、主に食料生産のために飼育されていて、その大部分は大陸の乾燥した地域に分布する。というのは、雨量の多い地域には、トリパノソーマ症（眠り病）を媒介するツェツェバエがいて牛が飼育できないからである。熱帯の乾燥地帯では飼料木や若葉を喫食させる方式が一般的であるが、雨量の多い地域の放牧システムでは、樹木と潅木がそれほど重要な役割を果たしていない。その結果、よく知られた飼料木の多くは、乾燥地域に適応したものである。ある概算によると(FAO、1985)、シルヴォパストラル生産システムにおける潅木と樹木は、熱帯の６億6000万頭の家畜のうちの５億頭以上の基本的な飼料となっている。これは２億1800万ＴＬＵ（熱帯家畜単位）のうちの１億6500万ＴＬＵに相当する（１ＴＬＵ＝約 250kg家畜重)。多くの研究の示すところによれば、これらの生産システムにおいて樹木に由来する飼料が家畜飼料全体の平均10～20％になっているが、木質からのもは、とくに乾季におけるタンパク質とミネラルの重要な給源であって、質的にみると見かけよりはずっと価値が高い(Le Houerou, 1987)。

熱帯各地のさまざまなシルヴォパストラルの方式については、かなりの文献があり、実例も挙げられている。例えば、アマゾン地域での伝統的な森林放牧（Kirby, 1976; Bishop, 1983)、アフリカのシルヴォパストラル・システム（Le Houerou, 1980; 1987; von Maydell, 1987)、東南アジア及び太平洋におけるココナ

ツ・プランテーションでの放牧（Reynolds, 1978; 1981; Plucknett, 1979）、とくにマレーシアでのゴム林での放牧（Embong, 1978; Ismail, 1984）、ケニアでのカシューナッツの下での放牧（Goldson, 1981; Warui, 1981）、また例えばフィジー（Bell, 1981）やコスタリカ（Somarriba and Lega, 1991）におけるカリビアマツの植林地での森林放牧等である。しかし大部分の報告書が扱っているのは、トラップの種、わけてもマメ科の飼料木であって、それの管理、生産性、栄養的価値、嗜好性について記述している。熱帯のシルヴォパストラル・システムで使われるいくつかの樹木と潅木については第12章で触れる。結論として言えることは、熱帯の飼料木の生産性を改善し、シルヴォパストラル・システムの設計を改良していく余地がまだまだ残されているということだ。

10. 2　薪生産のためのアグロフォレストリー

燃材不足の問題を論じた文献は多い。Eckholm(1975）はこの問題に注意を喚起し、「もう一つのエネルギー危機」と呼んだ。1970年代の初期から中期の時点で彼は次のように推定した。「発展途上国の15億の人びとはエネルギーの少なくとも90％を樹木や木炭から得、さらに10億の人びとはエネルギー必要量の少なくとも50％をこの方法で満たしている。この必要不可欠な資源が今や根底から脅かされており、発展途上の世界では、石油危機と同じくらい深刻な薪不足に直面している」。その後こうした憂慮がさらに広がり、いくつかの詳細な研究や包括的な報告書が出版された。このなかには燃料樹種についての著名な報告（NAS, 1980, 1983）も含まれる。燃材問題の環境インパクトにも関心が集まり、薪の採集が熱帯林破壊の一因に数えられている。これを実証するのは難しいが、資源への圧力の大きい農業地帯では、燃材採取が土地資源の劣化に関与していることはほとんど疑いない（Mercer and Soussan, 1992）。

燃材不足は個々の家庭のみならず、国家的また国際的な資源の利用と保全にもかかわる深刻な問題になってきた。いくつかの対策が提案されているが、最も重要なのは燃材生産のための植林の促進である。とくに乾燥熱帯では1970年代の終わり頃から1980年代の初めにかけて、燃材生産を主眼とした規模の大きい植林事業が始められた。これらのプログラムのいくつかは、農場または共有地への農民による植林を含んでいたため、（燃材生産のための）アグロフォレストリーまたは社会林業プロジェクトとして知られている[9]

かなりの数の樹種が燃材生産樹種として分類されている。これらの種の一般的な性質については第12章を見られたい。アグロフォレストリーやその他の植林計画ではこれらの樹種をいくつも組み入れてきた。燃材需要の大部分は農家からきているため、農場の家族が彼らの要求量に見合い、また販売するための余剰を生み出すのに十分な樹木を育てることが、問題解決の鍵であると一部で信じられてきた（例えば、Gregersen *et al.*, 1989)。

ところが、燃材生産のための植林プロジェクトの成果は、一般的に言って、かんばしいものではなかった（Floor, 1987)。その基本的な理由は、たとえ薪不足がどんなに深刻であろうとも、小規模農家が好む植林樹種はたいてい多目的な樹種であるからである。また、多くの場合共有地で植林が行われたため、植林木の維持管理を誰がするのか、そして最終的な林産物を得るのは誰なのかがはっきりせず、これもうまくいかなかった一因である。加えて地域の人びとは必ずしも薪の欠乏を現存する差し迫った問題であるとは考えていない。というのは、薪が不足する地域では農産物の残しや家畜の糞、小枝や木の皮等で代用されてしまうからである。建築用材や飼葉の不足などのほうが、しばしば薪よりも重要な問題と見なされる。[2] こうした問題点の多くは、1980年代の「ケニヤ木質燃料開発プロジェクト」のような大規模な事業の経験を通して明確になった。個別の農家の植林でめざましい成功をおさめた例は、インドのグジャラート州で1980年代に広く行われた社会林業プロジェクトなどたくさんあるが、その最終生産物は普通、薪よりむしろ高い価値のある小丸太やパルプ用材である（World Bank, 1986; Arnold *et al.*, 1987; Marcer and Soussan, 1992)。Foley and Barnard(1984) によると、植林プログラムの多くは、薪不足が悪化しているため人びとは自動的に燃料用樹種を植えるだろうという間違った信念にもとづくものであった。多くの場合、人びとが熱をいれるのは家畜の飼葉やその他の必要を満たす樹木の植林であり、燃材は主要なお目当てというよりも副産物と見なされている。

樹種の選択に当たっては、その地域で求められ販売できるということが大切である。例えば、ニジェールの都市の薪市場では、*Combretum* の木材が好まれる反面、20年以上の間サヘル地域で広く奨励されてきたニーム（*Azadirachta indica*）やユーカリのような樹種は、いまだ人気がない。同様にして、インドでは州の機関が、Leucaenaや Casuarina、ユーカリのような外来種を用いて大規模な燃材植林を実施してきたが、実際の市場で支配的なのは、*Acacia nilotica* 、*Tamarindus indica*、*Prosopis* などのローカルな樹種である（Vandenbeldt, 1990)。[3]

これらの教訓と経験から次のことが言える。

●農民たちは、政府や開発機関が喧伝する燃材危機をそのまま受け入れることはめったにない。

●アグロフォレストリー（または社会林業）プログラムを通して燃材生産を増加させる可能性は大きいが、これを成功させるには、薪を第一の最終生産物としてではなく、むしろ付属的な便益として位置づけておくべきである。

●小農民や共同体は薪だけを生産する樹種よりも、収入源となり多様な生産物を生み出し、地域的に受け入れられ適応しているような樹木を一貫して選択する。

10. 3　規則的にまたは散らばって植えられた樹木の間での間作

樹木の下でのさまざまな間作方式は、熱帯だけでなく温帯の先進国でも、しばしばアグロフォレストリーの一般的な例として引き合いに出されるが、熱帯で一般に注目されているのは、ココナツなどのプランテーションの下での*Faidherbia (Acacia) albida*（Felker, 1978; Miehe, 1986; Poschen, 1980; Vandenbeldt, 1992）や*Prosopis cineraria*（Mann and Saxena, 1980）の間作である。これと並んで、地域に適応した各種の多目的樹種を広く農場に散在させる粗放な間作システムも、アグロフォレストリー会議の記録（De las Salas, 1979; MacDonald, 1982; Huxley, 1983; Gholz, 1987; Jarvis, 1991)やその他の編纂書(von Maydell, 1986; Steppler and and Nair, 1987; Rocheleau et al., 1988; Nair, 1989; Young, 1989; MacDicken and Vergara, 1990)に報告されている。これらの初期のいくつかの報告は、既存のシステムの分布、構成要素、重要性に関する記述に終わっているが、（1990年以降の）最近の報告ではそのシステムと実行方式の生物学的／社会経済的側面について、より鋭い分析がなされている（1990年以後の『アグロフォレストリー・システム』を参照)。この傾向はこれらの古くからの方式の詳細な研究の重要性が認められていることを示すものだ。

伝統的な間作システムにおいては、農場内に組織的に植えられたり、散在したりする樹木の下で農作物がつくられるが、種の多様性は生態的な条件とのかかわりが深い。地域での雨量が増加するにつれて、種の多様性が増し、システムは複雑になっていく。そのため、湿潤地帯ではより多様で多層のホームガーデンが出現し、乾燥地帯では種の数が少なく２層の樹冠（樹木＋作物）のものが増加する。ホームガーデンやその他の比較的複雑なシステムについては前述した。ここ

ではより多様性の小さい粗放な間作システム、とくに農場に散らばる樹木に焦点を合わせよう。

アフリカのような、生存レベルの農業の卓越する熱帯地域では、散在する樹木がその景観を特徴づけている。アフリカのサヘル・スーダン地帯におけるサバンナでは、農耕地や最近の休閑地に意図的に樹木が残されていて（Kessler, 1992）、それらの外観は何世紀もほとんど変わらなかったように見える（Pullan, 1974）。Kessler(1992）はこれらのサバンナではおよそ20の異なる樹種が一般的であり（表10.1）、よく知られた多様な生産物（木材、飼葉、果実、薬等）をもたらている。農場に散らばる樹木については、南インド(Jambulingam and Fernandes, 1986）やベネズエラ（Escalante, 1985）でも記述されている。

表１０．１　サバンナの農地に一般的にみられる樹木と低木、その分布と枝下ろしの適性（＋＝適当）。西アフリカのサヘル・スーダン・ゾーン。

学名	英／仏名	地帯＊	枝下ろし
Acacia nilotica		1 2	
Acacia senegal		1 2	
Acacia tortilis		1 2	
Adansonia digitata	baobab	1 2 3 4	
Afzelia africana	mahogany bean	4	+
Anogeissus leiocarpus		2 3 4	+
Balanites aegyptiaca	desert date	1 2 3	
Bombax costatum	red flowered silk cotton	2 3 4	
Borassus aethiopum	fan palm/ronier	3 4	+
Ceiba pentandra	silk cotton	4	
Faidherbia albida	winterthorn	1 2 3	
Hyphaene thebaica	dum palm/doum	1 2 3	
Khaya senegalensis	mahogany	3 4	+
Lannea acida	raisinier	2 3 4	
Parkia biglobosa	locust bean/néré	2 3 4	+
Prosopis africana		2 3 4	+
Sclerocarya birrea	prunier	2 3 4	
Tamarindus indica	tamarind/tamarinier	1 2 3 4	+
Vitellaria paradoxa	shea butter/karité	2 3 4	

＊1．北サヘル・ゾーン（年降水量　150-350mm）
　2．南サヘル・ゾーン（年降水量　350-600mm）
　3．北スータン・ゾーン（年降水量　600-900mm）
　4．南スータン・ゾーン（年降水量　900-1200mm）
出所：Kessler(1992)

そのような樹木と間作される農産物の間の相互作用についての科学的な研究は、現在までのところきわめて少ない。西アフリカの *Faidherbia(Acacia) albida* (Felker, 1978; Weber and Hoskins, 1983; Raison, 1988; Vandenbeldt, 1992) (図10.3) やインド砂漠の*Prosopis cineraria* (Mann and Saxena, 1980) のような、2、3の樹種に限られる。この両者とも、樹木下の作物収穫量は一般的に解放地での収穫量よりも高いと報告されている。これは、樹木による局所的な養分供給によるものとされてきた(Nair, 1984; Young, 1989; 16節参照)。Kessler (1992) とKater *et al.*, (1992) の二つの研究は、ブルキナファソとマリで、シアバターの木として知られる*Butyrospermum paradoxum* (syn. *Vitellaria paradoxa*) と*Parkia biglobosa* (nere) の影響を調べたものだが、樹木の下で利用可能能な日光が減り、ソルガムの穀物収穫量は50～70%減少している。著者たちは、収穫量の大幅な減少を防ぐための経営の選択として、とくに *Parkia* の枝の刈り込みを推薦する (図10.4)。しかし樹木生産物からの利益が穀類収穫量の損失を上回ることがしばしばあり、それが農場に樹木を残す理由になっている (Kessler, 1992)。Jama and Getahun(1991)は、ケニヤの海岸州でメイズやグリーン・グラムと*Faidherbia* (*Acacia*) の間作を5年間試験し、樹木の密度が増加すると作物の収穫量が減少すると報じている。[4)]

図10　3　*Faidherbia (Acacia) albida*のもとでのソルガムの間作。マリ
写真　E.P Campbell

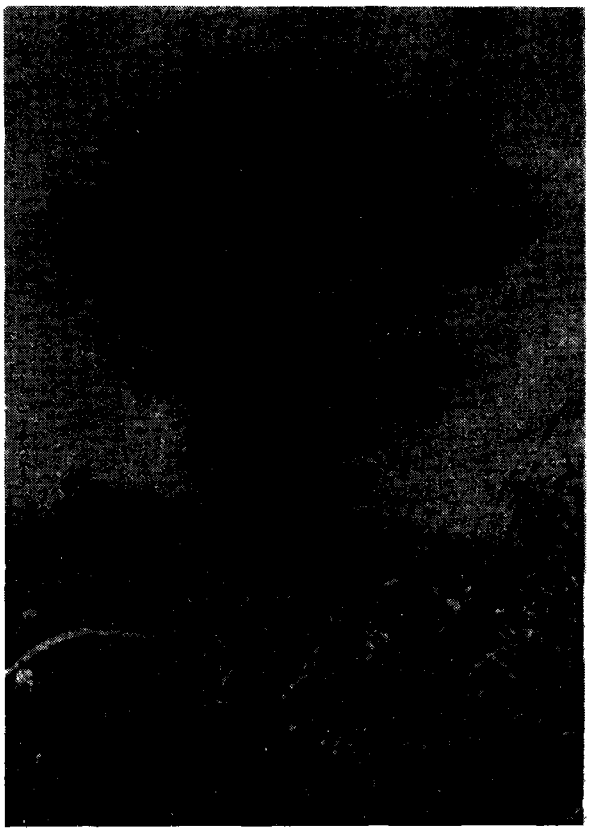


図１０　４　枝下ろしされた *Parkia* の木とソルガムの間作。西アフリカのスーダン・サヘル地帯のサバンナの農地。
写真：J.J Kessler

樹木の下に穀類を間作する方式としては、境界への植林（図10.5）ないしは農耕地でのラインプランティングがある。これは列間を広くとる代わりに列内では比較的詰めて植えるもので、インドとパキスタンのインドーガンジス平原に見られる小麦畑にその良い例がある。列内の樹木間隔は、ふつう 1.5m以上であるから、防風林とはならない。一般的な樹種はアカシア類、ユーカリ類、*Dalbergia sissoo*、ポプラ類などである。ポプラとの間作は中国に多い。列状の樹木の近隣の作物への影響については、収量の減少を引き起こすという報告があるが(Akbar *et al.*, 1990; Grewal *et al.*, 1992; Sharma, 1992)、アフリカのサバンナにおけるシステムのように、農民は価値のある見返りがあるため穀物生産の損失を受け入れているようである。

図１０．５　*Grevillea robusta* の境界植林。ケニア
写真：ICRAF

散在する樹木との間作は、アグロフォレストリーの最も単純で最も一般的な形態である。それは太古からの小規模農業の基本的な形態であり、このまま続くことが予想される。この広く行われている方式の生産性を高める要請は強く、またその余地は大いにある。

10. 4　問題土壌の改良のためのアグロフォレストリー

世界の広大な土地はその物理的・化学的な制約のゆえに、植物の成長が抑えられている。湛水、強い酸性、乾燥、高い塩分濃度とアルカリ性、さらには過剰な粘土、砂、れきなどがそれである。こうした自然条件のみならず、間違った農業や土地管理が荒廃地の面積を年ごとに増加させている（Lal, 1989)。ある推定によると、熱帯の総土地面積の65%、つまり49億haは「荒廃地」であるという（King and Chandler, 1978)。そのような地域の例として挙げられるのは、熱帯　雨林を家畜／穀物生産システムに転換したことで形成された南米の酸性サバンナ、東南アジアやアフリカで厳しい土壌侵食と除草問題に直面する焼畑跡地、またインド亜大陸のインドーガンジス平原で潅漑システムの拡大によってもたらされた広大な塩分集積土壌である。

このような地域の土地を改良する一つの方策として、問題土壌にも強い多目的樹種を植林するアグロフォレストリーの技術が提案されてきた（King and Chandler, 1978)。例えば、経済的に利用価値のある樹木のなかても耐塩性のある仲間かいくつかの確認されていて、*Tamarix* (NAS, 1980; Tomar and Gupta, 1985), *Atriplex* (Le Houerou, 1992), *Casuarina*(NAS, 1984; El-Lakany and Luard, 1982), *Prosopis* (Felker and Clark, 1980; Felker *et al.*, 1981, Ormazabal, 1991) などかそれである。アグロフォレストリーに使える耐酸性の樹木や潅木としては、*Gmelina arborea* (Sanchez *et al.*, 1985)、*Erythrina* spp.、Inga spp. (Szott *et al.*, 1991)かある。これらの樹種を用いた経営のやり方は、1）管理された休閑システム（第5章）と同じようにブロック状に植栽して数年間維持し、その後草本の作付け地に転換する方式と、2）アリー・クロッピングやその他の作付け計画に組み入れて植林する方式がある。早生樹種を密に植えて、厚い樹冠をつくるやり方は、*Imperata cylindrica* のような日光を要求する雑草を減らすのに効果がある。また、土壌が流出し劣化している放牧地を改良するのに、多目的樹種（とくに飼料木や燃料木）の植栽が推奨されている。

しかしながら、そのような技術の実用的な効果と有望性を示唆する報告はあまり出ていない。成功例を1、2挙げると、インド西部の塩類に影響された土壌に植林したところ土壌が改善された（Singh *et al.*, 1988;Ahmed, 1991)。使用された樹種は、*Acacia nilotica, A. tortilis, Prosopis juliflora, Butea monosperma, Eucalyptus* spp. で、ジプズム（石膏）と自給堆肥を施した場所では樹木の成長が早く生存率も高かった。酸性土壌における植林の　壌改良については、ペルーの Yurimaguas(Sanchez, 1987; Szott *et al.*, 1991) やアマゾンの他の部分（Unruh, 1990)、インドネシアのカリマンタン(Inoue and Lahjie, 1990)、トーゴ（Drechsel *et al.*, 1991）などて、焼畑耕作地での休閑期の改良戦略として一般的な調査が行われている。詳しくは第5章と第16章で述べる。植林を通してガリー侵食地や峡谷の改良をめざす野外プロジェクトも開始されているが、まだ科学的な文献にはあらわれていない。推薦できる取り組みの一つは、インド農業研究協議会の支援を得てヒマラヤて現在行われている Sukh-Majriプロジェクトの事例である。アグロフォレストリーの技術、なかでも多目的樹種の植林は、熱帯の広大な荒廃地を改良する大きな可能性を秘めているのは疑いない。これらの多目的樹種の植林がアグロフォレストリーの実行方式てあるかどうかは論議のあるところだが、大切なのは、これが荒廃地や劣化した土地の改善に貢献

する可能性をもち、かつその樹木が多様な産物と便益をもたらすという点である。

10. 5　土着のアグロフォレストリーにおける低開発樹種

「低開発の（underexploited）」種と「土着の(indigenous)」種については第12章で述べるが、本章での論議はそのような樹種を用いたシステムの話に限定される。

アフリカの乾燥地域の農業・牧畜地域において、Becker(1983)は、土着の木本性永年植物のうち食糧生産に向けられるものがどれくらいあるか、詳細な研究を行ない、サヘルでは人間の食料になりそうな 800種類の野生種を同定した。ケニアの Turkanaや Samburu地域とセネガルの Ferlo地域を中心にして調査したところ、葉と果実の毎年の収穫量はサハラ・サヘルで 150kg／ha、特徴的なサヘルで 300kg／ha、スーダン・サヘル地域で 600kg／haに達することが分かった（Becker, 1984)。サヘル地域の「通常」の生態系では、樹木・潅木・ヤシの非木質バイオマスの年間増加量はおおむね雨量（mm）に等しくなるという経験則があるが、この場合もそれが当てはまる。東・西アフリカからの報告によると、そのバイオマスの約15％は可食であるとされており、上記の生態的地域では、年間ha当たりそれぞれ23、45、90kgの食べられる物質が生産されることになる。これらの数字を１人/km²という平均人口密度と関係づけて考えると、葉と果実の割合を４：１と仮定した場合、樹木や潅木から得られる可食果実は年間１人当たり 450から1800kgになる（大人１人１日当たり1.25～５kg)。しかも果実や他の可食の生産物が年間を通して利用できる点に注意したい。

セネガルの Ferlo 地域におけるバオバブの木(*Adansonia digitata*) の研究では、典型的な地域で平均して１人当たり５．５本の樹木があるとしている。この葉は栄養に富んでおり、 100ｇの生葉（乾燥重量23ｇ）は 3.8ｇの粗タンパク質、700mgのカルシウムと 50mgのアスコルビン酸（ビタミンＣの別名）を含んでいて、広く食用に供されている。さらに価値が高いのは、その果物の果肉であって、ビタミンＢ１とＣに富み、乾燥果物から作られる粉末は乾燥重量ベースで48％以上のタンパク質と２％のビタミンＢ１を含む（Becker, 1984)。

これらの樹木や潅木のこと、さらにはその生産物や加工法に関する土着の知識については、あまり知られていなかったり、無視されたり、低開発のままになっ

ているが、これを十分に活用することで、発展途上国のたくさんの人びとの栄養摂取水準と経済福祉を改善することができる。アグロフォレストリーは、これらの低開発種を含む伝統的なシステムの改良とその普及に大いに役立つアプローチである。

10. 6　緩衝帯のアグロフォレストリー

森林保護地域周辺の緩衝帯（buffer-zone)にアグロフォレストリーを導入することにより、森林資源への圧力を減らし、同時に保護地域周辺に住む住民の生活水準を改善することができる（van Orsdol, 1987)。この緩衝帯の考え方はUNESCO(1984)に由来するもので、保護されるコア・エリアの周囲を同心円状にとりまく一連の帯をいう。普通、このコア・エリアは国立公園やウィルダーネス・エリア、森林保護区に指定されていて、その生物多様性が注意深く維持されている。このコア・エリアを直接取り囲む第一緩衝帯では研究や訓練、教育や観光が行われる。この第一緩衝帯の周辺は第二次または移行緩衝帯によって囲まれ、後者では地元住民の持続的な資源利用が認められている。アグロフォレストリーによる改革の余地があるのはこの移行帯においてである。

緩衝帯の主要目的は、手つかずの森林システムを人間の侵入から保護することであるが、なかでも生態系の生物多様性の維持が重要である。そのために大部分の緩衝帯システムではコアの森林の周囲に樹木のあるゾーンを置いている（Oldfield, 1986)。移行帯の森林では択伐のような人間活動も許される（Johns, 1985)。もう一つのやり方は、コア・エリアのすぐ際まで農業活動を許容することだが、これは「エッジ効果」と呼ばれる悪い影響を原生林に与える恐れがある（Janzen, 1983)。つまり、農業が近くで行われるとコア・エリアに先駆種や外来種が侵入して、原生林の生物的統合性を脅かすのである。原生的な森林システム保存の要請と人口増加のもとでの食糧生産の要請とが鋭く対立することになるが、これを克服する方式として、 EisenburgとHarris(1987)は混合的な土地利用パターンをを提示した。これは人間による利用の度合いが順次高まるような性格のものであって、まず原生的なコア・エリア、これを取り囲む択伐の実施林、さらにこれを囲む混合農業地域があって、ここにアグロフォレストリーを組み込むことができる。しかし現実には、統合された経営管理やアグロフォレストリー計画を通して、二重の緩衝帯もうけるＵＮＥＳＣＯシステムのようなものを維持する

のは容易ではない。その理由はたくさんあるが、とくに社会的なものだ。実際的なやり方としては、地域の状態を考慮した代替的な計画のほうがより効果的かもしれない。例えば半野生の地域と農業地域の両方で構成される緩衝帯を設けることもできよう。

緩衝帯の経営管理のためのアグロフォレストリーの戦略がいくつか考えられる。図10.6は、van Orsdol(1987)によって示されたのモデルであるが、混合プランテーションや土着種からなる混合樹林は、森林動物にとってそれほど敵対的な環境ではない。タウンヤ法は、周辺住民の社会経済的な（資源の利用可能性の限界によって引き起こされる）苦難を軽減する一方で、小さな森林地を次第に広げていくのに使えるであろう。緩衝帯アグロフォレストリーはいくつかのプロジェクトで実施され成功をおさめている。ブルンジでのブルリ森林プロジェクト（USAID,1987）やウガンダ村落林プロジェクト（CARE,1986)、カメルーンでのオク山地保全プロジェクト（MacLeod,1987; van Orsdol,1987)がそれだ。これらの事例に共通する重要な点は、システムの計画段階で有用な土着樹種を組み入れるべく配慮していることである。

すでに述べたように、多様な条件に対応してこの他にも多くのタイプのアグロフォレストリー・システムがある。それらのいくつかは現在、研究／開発の対象となっているが、手のつけられていないものも少なくない。しかし、これまでの記述で、熱帯におけるアグロフォレストリー・システムの複雑さ、多様さ、およびその可能性がいくらかなりとも明らかにされ、これがアグロフォレストリー・システムの機能を科学的に分析する際のバックグランドとなり、改善を進める際の洞察の一助となればと思っている。

注

1）アグロフォレストリー、社会林業、村落林業には概念上の違いはあるが、開発の分野ではその差が不明確になっている。第2章を参照。

2）これには明らかにジェンダー（性）の問題がからんでいる。女たちは薪不足を問題視するけれど、男たちは問題とは見ないかもしれない。多くの地域で燃焼木の植林に女たちは関心を示すが、男たちは示さない。女たちも現金収入のある樹種に興味をもつが、男にくらべると、それ以上に、限られた時間を燃材木の植林に投下しようとするだろう。村人たちが燃材不足を問題視しないのは、女性の

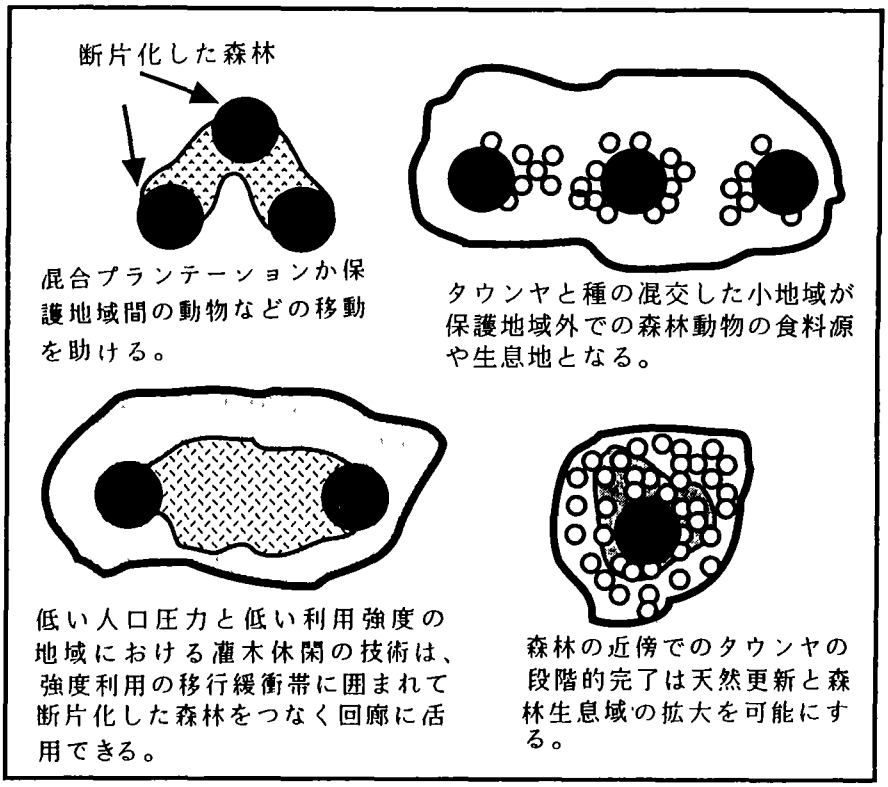


図１０．６　緩衝帯アグロフォレストリーのいくつかのタイプ
出所：van Orsdol(1987)

意見が聴取されていないせいでもある。

３）農民たちの植林に関する選好については第23章でも論議する。

４）この研究で興味深いのは、*F. albida* が通説のように雨季に葉を落とさず乾季のあいだ葉をつけていたことである。これは西アフリカのサヘルで降雨の山が年に一つの地域においてよく見られるもので、非常に有益な現象である。この樹種の同様の振る舞いは、降雨分布に二つの山をもつ半乾燥地、ケニアのMachakos でも観側されている。この樹木の特殊な生物季節（アグロフォレストリーにとっては大変な利点だが）についての、われわれの知識は明らかに不完全である。

第Ⅲ部　アグロフォレストリーにおける種

この部では、アグロフォレストリー・システムにおける樹種や作物種とそれらの生産性について取り上げる。第１１章は、植物の生産性に関する一般法則の概要を述べる。アグロフォレストリーの科学的基礎の中心となる多目的樹種（ＭＰＴ）における議論は第12章で記し、アグロフォレストリーで一般に使われる約50種のＭＰＴの種特性の要点もまたこの章で述べる。アグロフォレストリーの組合せにおける植物群落内での相互作用は、第Ⅲ部のまとめの章、第13章の主題となる。

第11章　植物における生産性の一般原理

植物における生産とは、生物学的概念では太陽エネルギーを転流や貯蔵のできる化学エネルギーに転換するシステムであるということができる。この転換は、光合成として知られる反応を通して起きる。この過程の基礎原理は十分に解明されており、生産システムを管理していくにも、植物の生産ポテンシャルを最大限に利用していくにも重要なので、どうしたら光合成を高度に利用できるかを念頭におきながら、それらについて復習しよう。主題の整理や光合成の完全な理解のために、有用な植物生理学の教科書を参照することを改めて助言しておきたい。

11. 1　光合成

光合成は、本質的には太陽光の存在の下で二酸化炭素と水を用い植物の緑色素内において炭素を固定するシステムである。全体の反応は

$$CO_2 + 2H_2O \longrightarrow (CH_2O) + H_2O + O_2$$

と表せる。植物の光合成器官は1～10μmの幅をもつレンズ状の形をしたクロロプラスト（葉緑体）である。これは2つの部分からなる：光合成の色素が集中している場所のラメラ（細胞膜）と、多くは液体で満たされ、色素の密度の低いストローマと呼ばれるものである。光合成は2つの反応から成り立っている、いわゆる光反応（光リン酸化）と暗反応（二酸化炭素固定）である（図11.1）。光反

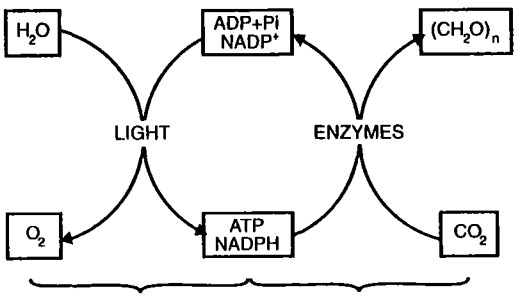


図11.1　光反応と暗反応が光合成を作り上げる。エネルギーは光（放射）から高エネルギー中間化合物（ATPとNADPH）へ、さらに有機分子を炭素原子で繋ぐ結合としてエネルギーは固定化される。
出所：Gardner *et al.* (1985)

応は、ラメラの中で起き、そしてニコチンアミドーアデニンージヌクレオチッドリン酸（ＮＡＤＰＨ）を還元する形で化学エネルギーの生成と水の酸化から成り、アデノシン２リン酸（ＡＤＰ）からアデノシン３リン酸（ＡＴＰ）が生成するリン酸化反応といえる。ＡＴＰは生物学的システムの中ではエネルギーと同意語である。ＮＡＤＰＨとＡＴＰの双方は、二酸化炭素を安定した有機分子に換えるために必要なもので、この過程は暗反応の間で起きる。

光合成に有効な放射エネルギーは太陽からやってくる。地表で垂直面で受けられる太陽光線は、晴天下で 1.4～ 1.7 cal・cm^{-2}・ min^{-1}の範囲である。可視光（ 400～ 700nmの波長）は大気に入ってくる全太陽放射の44～50％に等しい。植物が光合成に用いているこの可視光域は、光合成有効放射（ＰＡＲ）と呼ばれる。光量子理論によれば、光はフォトン（光子）と呼ばれる微粒子の流れの中で移動し、１光子の持つエネルギーは量子と呼ばれている。ＰＡＲの測定は通常400 ～ 700nmの波長内の光子フラックス密度をもとにしているので、ＰＡＲは光合成光子フラックス密度（ＰＰＦＤ）といわれる。アインシュタイン（Ｅ）が測定単位で、光子の１分子として定義され、ＰＡＲはしばしばμＥ（もしくはμmol)、・m^{-2}・s^{-1}として表される。

1960年代以前、CO_2 の還元はカルビン回路として知られる経路に従ってのみ生じると信じられていた。この過程においてCO_2 は、３リン酸グリセリック酸（３－ＰＧＡ）の２分子と最終的なヘクソースを生み出すために５炭糖リブロース２リン酸に反応する。放射性のCO_2($^{14}CO_2$)を加えて測定できた最初の産物が炭素３つの１分子（３－ＰＧＡ）であったので、この経路はC_3 回路として知られ、これによって炭素を固定する種をC_3 植物と呼ぶ。

一方、 Hatchと Slackは、1960年代にCO_2 固定に他の経路を持ついくつかの種の存在を証明するような調査結果を明らかにした。ここでCO_2 は、４炭素化合物（オキザロ酢酸、リンゴ酸やアスパラギン酸）を生成するためフォスフェノールピルビン酸（ＰＥＰ）と反応し、その後、ピルビン酸に変えるため維管束鞘細胞に転流する。この経路において光合成の初期産物が４－炭素分子であったので、この回路はC_4 回路として呼ばれ、こうした植物種はC_4 植物として知られるようになった。

第三のメカニズムは有機酸代謝（ＣＡＭ）として知られ、パイナップルなどの種に起こっていることが解ってきた。ここではCO_2 の吸収は主に暗い中で生じ、その時気孔は開いたままである；蓄えられた有機酸は、光反応が必要とする

エネルギーが得られる日中に、炭水化物や他の生成物に変換される。日中は気孔を閉じているのでCO_2の吸収はほとんどない。しかし、適した水分条件では、多くのCAM植物は気孔の機能を変え、C_3植物と同様の回路をたどる。

以上のように、C_3とC_4の回路が光合成回路の双璧である。C_3植物は、コムギ、カラスムギ、オオムギ、イネ、ライムギのような多くの単子葉植物やマメ、ワタ、タバコ、ジャガイモのような双子葉植物とほとんど全ての樹種を含む。C_4植物には、トウモロコシ、ソルガムやサトウキビのような暖温性の単子葉草本が該当する。CAM植物は、低蒸散が適応機構である乾燥条件に適応した多くの多肉性の草本である。ほんの数種のみが農業用にも重要なCAM植物種に分類される；それにはパイナップルやサイザルの仲間が含まれる。

表 11.1　光合成のC_3、C_4とCAM回路の特性とそれぞれの植物の比較

	C_3	C_4	CAM
	冷涼系草本 (ｺﾑｷﾞ、ｶﾗｽﾑｷﾞ、ﾗｲﾑｷﾞ) 双子葉:ﾏﾒ科、ﾀﾊﾞｺ ｼﾞｬｶﾞｲﾓ	温暖系草本 (ﾄｳﾓﾛｺｼ、ｻﾄｳｷﾋﾞ) 双子葉:主要作物 はない、数種の草	約10家系 (ﾊﾟｲﾅｯﾌﾟﾙ、ｻｲｻﾞﾙ ｳﾁﾜｻﾎﾞﾃﾝ)
分類・多様性	非常に広い	多くの草 樹木はまれ／ない	まれ
解剖			
葉緑体	維管束鞘内にない	維管束鞘内に存在	
CO_2固定 (酵素)	RuBPｶﾙﾎﾞｷｼﾗｰｾﾞ	PEPｶﾙﾎﾞｷｼﾗｰｾﾞ	夜間；ｸﾞﾘｺﾘｼｽからｴﾈﾙｷﾞｰ
生育地	決まっていない	陽空地、温暖、塩生	同左
光呼吸	高い	低い	低い
光飽和点	65,000 (lux)	>80,000	65,000
最大光合成速度	30 ($mg \cdot dm^{-2}h^{-1}$)	60	3
最大成長率	1 ($g \cdot dm^{-2}d^{-1}$)	4	0.02
要水量	600 ($gH_2O \cdot gCO_2^{-1}$)	300	50
CO_2補償点	50 (ppm)	5	2 (暗黒中)
気孔　日中	開	開	閉
夜間	閉	閉	開

表11.1はC_3，C_4とCAM植物種の比較をしたものである。C_3とC_4植物間の主な違いの1つは、後者の光合成効率が大きいことである。その理由は、C_4植物は光呼吸（明るい中での呼吸）がないかほとんどないのに対し、C_3植物は光呼吸をする、すなわち、それらの仲間では光の中でCO_2を発生（損失）していくことにある（11.2節の呼吸の説明参照）。

一般に利用できる光（PAR）の量が増すと、光合成もあるレベルまで増加する。光補償点はCO_2の吸収と呼吸で排出されるCO_2が等しいときの光条件で、換言すれば、炭素交換率（CER）がゼロのときである。もし光レベルが連続して増加すれば、CERは光飽和レベルと呼ばれる点まで増加し、その後は光量が増してもCERの増加はみられない（図11.2）。多くのC_4植物の光飽和レベ

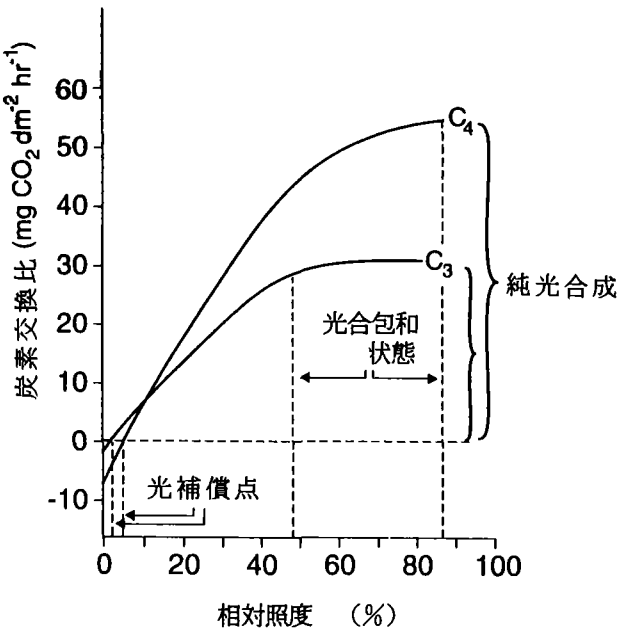


図11.2 C_3, C_4 植物の一般的な光反応曲線
光補償点は光合成として吸収するCO_2量と呼吸として排出するCO_2量が等しいときの放射レベルである。言い替えれば、光補償点は、放射が増加しても炭素交換率（CER）は正でも負でもない放射レベルをいう。
出所：Gardener *et al.* (1985) から改変

ルはC_3植物に比較してより高い。これは、C_4植物によるCO_2吸収がC_3植物のそれよりより高い光レベルまで（もしくは被陰の全くない満度の太陽光に近づくまで）連続して増加することを意味する。さらに、C_4植物は薄暗く調光された光もC_3植物より上手に使う。しかし、ある一定以下の光レベルでのCO_2吸収効率は、一般にC_4植物よりもC_3植物のほうが高い。それは、CO_2を還元するためのエネルギー必要量がC_4植物でより多いためである。

C_3植物の場合、CO_2を還元するのに要するエネルギーが少なくなっていく以上に、温度が上昇する時、光呼吸における炭素の損失量が大きくなってくるので、C_3植物の量的な収量（E吸収量当たりのCO_2固定モル）は、C_4植物のそれより相対的に低くなる。このように、C_4植物の高い光合成効率は、主として被陰がないなどの生育環境下で認められる（Tieszen, 1983）。

11. 2　植物の生産性

植物の生産性、つまり、成長の総量はある与えられた期間内に植物によって光合成された総生産量（Ｐｇ）と呼吸量（Ｒ）の差である純生産量（Ｐｎ）で示され、以下のような関数で表される：

$$Pn = Pg - R$$

呼吸には、糖や脂肪のような化合物の酸化（あるいは分解）も含んでいる。一般的な反応は：

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \text{エネルギー}$$

（グルコース）　［いくつかの段階を経て］

と表現できる。光合成と呼吸は、多くのところで似ているが反対の作用である。呼吸は、光合成からのエネルギーを使っている。光合成はCO_2を吸収することにより乾燥重量の増加をもたらすが、一方、呼吸はCO_2を放出するので、乾燥重量を減少させている（表11.2）。双方のプロセスは、植物にとってなくてはならない本質的なものである。光合成によって作られた単純な炭水化物は、植物の成長と生育のために必要となる代謝物質となり、そして組織や貯蔵物質の呼吸によって変換、消費される。最適条件下では、呼吸として光合成産物の約33%が損失もしくは減少させている勘定となる。

作物生理学において、葉面積指数（ＬＡＩ）は成長解析に広く用いられている概念である。ＬＡＩは地表面積に対する植物の葉の面積（１面のみ）の比を

表11.2　　光合成と呼吸の単純な比較

光　合　成	呼　　吸
1　葉緑細胞中のみ	1　生きている全ての細胞中
2　明るい状態のみ	2　常時
3　水とCO_2を使用	3　光合成産物を使用
4　酸素を放出	4　水とCO_2を放出
5　太陽エネルギーを化学エネルギーに変換、炭水化物を生成	5　炭水化物や脂肪を燃焼しエネルギーを放出
6　重量増加を起こす	6　重量減少を起こす

意味する。作物草冠の生産性は、普通、単位時間当たり単位土地面積当たりの乾物積算値で表され、作物成長率（ＣＧＲ）の用語が使われる。それは、通常、$g \cdot m^{-2}$（土地面積）・ day^{-1}と書き表される。葉の表面は一次光合成産物の器官であるので、収穫成長はときどき純同化率（ＮＡＲ）、すなわち単位時間当たり葉面積当たりの乾物積算値で$g \cdot m^{-2}$（葉面積）・ day^{-1}とも表現される。このＮＡＲは、植物葉冠における単位葉面積当たり平均純CO_2交換率の約数である；それゆえ、

$$NAR \times LAI = CGR$$

となる。

これまでにも植物生産性に関する様々な計算、推定そして生産力の予測が催された。Loomis・Williams(1963)は、仮想最大乾物生産率を推定し、示唆に富んだ分析を行った。様々な仮説をもとに、彼らは、アメリカのある地域の６月１日から９月８日までの 100日間の最大ＣＧＲ（つまり潜在生産性）は、77$g \cdot m^{-2} \cdot day^{-1}$であると推定し、ha当たり１日の総量は 770kg、つまり１年間のha当たりの乾物生産は 281トンになるとした。理想的な条件の下でいくつかの農作物で記録された短期間のＣＧＲの実際の値は、この数値の17～54％の範囲に入る(Gardner *et al.*, 1985)。

農業先進地域において、光合成効率（エネルギー単位に換算して太陽エネルギーを炭水化物に変える効率を意味する）は、たった 2.0～ 2.5％しか得ていない。世界的に見ると、それは１％に満たないとするのが常識である(San Pietro

1967)。 3毛作を含めた多毛作と年間 340日以上の期間耕作する高集約農業における北部インド（北緯29度、東経79度、海抜 240m）では、Nair *et al.* (1973)によれば1.70～2.38%の範囲の光合成効率であったと報告されている。極端に高い短期間の生産性はいくつかの自然草原生態系から報告されている。例えば、20g・m^{-2} day^{-1}以上を示す地上部純一次生産力（ＡＮＰＰ）の中で40g・m^{-2} day^{-1}（＝146ton・$ha^{-1}yr^{-1}$）に匹敵するのは、タンザニアの Serengeti 生態系の雨期に得られたものである；これらは世界中のどんな管理された草原や自然の草原よりも高い（Sinclair・Norton-Griffiths 1979)。

森林生態系では、平均純一次生産力の値が熱帯雨林および熱帯季節林でそれぞれ年間ha当たり10～35トンおよび10～25トンと報告されている(Jordan 1985)。しかしながら、これらの値はサンプル誤差、立地の選択や林分の種構成のような要因によって影響されている；このため、実行可能な目標としてこれらの生産力の値を掲げるのは十分な注意を要する。しかし、それらの値は、達成しようとする潜在的な生産力としての目安にはなる。

しかしながら、このような光合成効率や生産性の数値を求める野外測定法は、アグロフォレストリー・システムでは役に立っていない。第16章で述べた Young (1989)の計算では、湿潤な低地で遂行されているアグロフォレストリー・システムの生産性の控えめな推定として年間ha当たり20トンの乾物生産を得ている。根の構成割合は全体の光合成産物のおおざっぱに33%と考えられるので、多くの高投入農業システムの値と比較するため、地上部乾物生産が20 ton・$ha^{-1}yr^{-1}$とあるとすると全乾物生産は30 ton・$ha^{-1}yr^{-1}$となるといえるだろう。アグロフォレストリー・システムの生産性を高投入農業システムのそれと比較して、もし高投入農業システムのそれより良くないと推定されているなら、多くの場合、理に叶っている値であると思われる。

しかしながら、このような全乾物生産の比較にはいくつかの限界がある。実用上、全生産力の値より、経済的に有用な値を用いて分数としたもののほうがより意味がある。収穫指数がその用語で、関数は以下のように定義されて使われる：

収穫指数＝経済学的生産力／生物学的生産力

収穫指数の有用性とそれを含めた生産性の他の測定法の論議は第24章（24・1節）で行う。

11. 3　アグロフォレストリーの光合成に対する取扱い

アグロフォレストリーにおいて用いられる種の選択は、環境要因と同様、文化的、経済的な要因に基づかなくてはならない。しかし、光合成回路と関連したいくつかの一般法則は、アグロフォレストリー・システムにおいて種を選ぶときにも有益な目安となろう。例えば、熱帯、亜熱帯における健全な農業経営のもとでは、C_4 植物の単作システムのほうがC_3 植物のそれより高い生産性があるといえる(Monteith 1978)。1年生あるいは季節性のタイプでは、できるだけすばやく葉面積を広げられることが生き残るために欠かせない特性といえる；C_4 植物はこの機能を備えている最も代表的なものである。しかし、上層を永年木本種が占めている状態では、選択の余地はない。大部分の樹木はC_3 回路を持つ；このため、上層はC_3 植物となろう。もし日陰を必要とするならば、下層にはC_4 植物より低照度下でCO_2 の固定がよいC_3 植物にすべきである。しかし、もし上層が開いていれば、下層にはC_4 タイプの植物を用いるほうが効率が良いだろう(Tieszen 1983)。異なる光合成回路をもつ種が存在することは、アグロフォレストリーにとって有望な地方種の選別や新しい種の探索を実施する際、植物生理学的な考察が重要であることを示唆している。

光合成速度に影響する他の要因としては、大気中のCO_2 濃度がある。CO_2 の大気濃度は、主に化石燃料の消費と森林や他のバイオマスの燃焼、林地の開発に起因し、1960年代の約300ppm（0.03%）から1980年代後半には約340ppmに増加した(Crutzen, Andreae 1990)。一般に、CO_2 濃度が増加したとき、光合成速度も増すと期待される。しかし、主要な環境問題としての関心事は、CO_2 の大気濃度の高まりが（近赤外域の光の吸収を通して）地球的規模で温度を上昇させる可能性があること、および気候パターンの変化によるさまざまな不利な影響が生じるとみられることに集中している。しかし、実際上は、大気中のCO_2 レベルがアグロフォレストリー・システムの生産性に大きな影響を持つほど変動するとは思えない。

光合成速度に影響を与える他の大きな要因は、温度と利用可能な水分と養分である。アグロフォレストリーの組み合わせは、それらの成長要因（第13章を参照）による影響を相当大きく変動させるが、実際の野外条件下では、このような変動が光合成速度に影響を及ぼすまでに至らないかもしれない。しかしながら、様々な植物が存在するので、被陰と養分、あるいは被陰と温度などのように互い

に作用する効果に対して違った反応を示すものがあるたろう。被陰と土壌の肥沃度に対する作物の一般的な反応をいくつかの共通群に分け、大まかに表現すると図11・3のように示される（Canell, 1983)。特有な反応を有する作物品種を選別すること、そして目標に応じてそれらの反応メカニズムを使い分けることがアグロフォレストリーにおける将来のあるべき姿であろう。

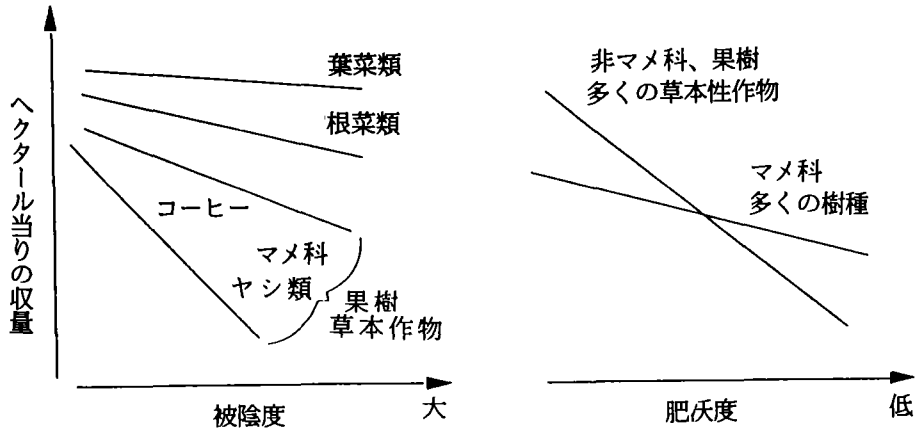


図11.3　一般作物の被陰と土壌の肥沃度性に対する反応の違いの概略模式図（図13.3も併せて参照)。
出所：Canell（1983)

アグロフォレストリー・システムにおいて植物群落の光合成を最大限にする方法は、現在は、光（放射）配分の制御が中心になっている。植物群落において太陽光を効率的に使うためには、光の大部分を光合成器官である葉によって吸収されるようにしなければならない。一方、種の選択と種の配置および葉の角度、配列、数や大きさなど光合成を行う葉面積の空間的な取扱いが、植物群落全体の光合成効率を決める重要な要因といえる。多くの種からなるアグロフォレストリーの植物群落、例えばホームガーデンは、明らかに葉群が多層構造をなし、単一種からなる群落より高いＬＡＩをもつことから、しばしばより高い光合成速度を得ることが可能となる。

しかし、より高いＬＡＩが常にＬＡＩに比例してより高い光合成速度を導くというわけではない。いわゆる緑の革命を導いたイネやコムギのような穀物の高収量品種の開発において、当初より十分念頭に入れて考慮した事柄の１つは、上層の葉によって下層の葉の被陰をほとんどないか少なくすることによってもたらされる最適ＬＡＩで草冠を維持する品種を開発することであった。

林冠を形成する個々の個体の樹冠の間に生じる垂直的な大きなギャプをあわせ

もつ多層樹冠構造は、それぞれの葉群階層で太陽エネルギーを遮断するので、各階層における葉群単位の量的変化とＰＡＲの分布が、混植の生産性を決める重要な要因といえる。穀物のような連続する草冠の光の遮蔽とその分布は、 Beer-Lambert 法に従う：

$$I_1 / I_0 = e^{-kL}$$

ここで、I_1は下から１番目の葉の層のＰＡＲ、I_0は草冠上のＰＡＲ、ｅは自然対数（ 2.71828)、ｋはＬＡＩや葉の形質で変わる（減衰係数と呼ばれる）常数、ＬはＬＡＩてある。日常的な言葉でいえば、上式は樹冠を透過する放射（ＰＡＲ）量は葉の形質と投入放射量に左右されることを意味する。この基本式を様々に変更したものは、アグロフォレストリーでの混植のような不連続な樹冠における光の透過パターンを描く場合にも応用できる（例えば Jackson 1983, Jackson ・ Palmer 1979, 1981)。

アグロフォレストリー・システムの生産性を予測するにあたっては、与えられたそれぞれの時の各階層におけるＰＡＲを推定することを基礎に、樹冠が空間をどのように占めるかを考え、これらをもとに各要素をシステム化し、シミュレートしていくことである。立木の列間のもとで間作するシステムでの作物の生産性は、もし樹冠が利用できる光の大部分を遮断してしまうのなら、理論的には無視できるほど少ないのだろう。しかし、多くの樹木が生育していっても放射エネルギーの遮断は完全でない、なぜなら林冠を閉鎖するのに時間を要するからだ。さらに、林冠が閉鎖しても、その年のある時期の光の遮断は（生物学的にあるいは経営的に判断して）完全でないかもしれない。これが、ココナツのような植物と組み合わせた多くの間作地で成功した根本的な原因である(Nair 1979, 1983;第８章参照)。多層構造のアグロフォレストリー・システムにおいて生物学的な効率の向上を考えると、上層において葉が小さく、立っている葉を持つ（ｋが低い）樹種を植え込むこと、そして地上近くでは水平に大きくひろげた葉（ｋが高い）の植物を用いることでより効率が大きくなるといえる。

しかし、ここで注意を要する；Jackson(1983) がすでに指摘しているように、類推による一般化はしばしば過ちを導くかもしれないということである。例えば、混植した植物群落の取扱い方法として太陽放射を効率的に分配するという方法は、アグロフォレストリー・システムにおける生産性のアセスメントや経営管理の中で机上の空論に属す危険な要素をはらんでいるといえるかもしれない。すなわち、純光合成曲線は多くのC_3植物にとって庇陰のない満度な太陽光の約

25%で飽和し、一定になってしまう（図11.2);従って、どんな葉も、これ以上の強い光を受けても残りの光量は無駄にしているといえよう。

いくつかのアグロフォレストリーは、十分な日光を受けられる梢端部と、光が十分でないそれ以下の層に位置する葉群を持つ多層植物を有していることになるが、それらの全階層で光合成速度をそのピークやピークの近辺で取り扱う方法はまだ確立されていない。

第12章　アグロフォレストリーにおける種：多目的樹種

重要な土地利用形態としてアグロフォレストリーが出現したことで、“アグロフォレストリーにおける種”の問題が出てきた。つまり「何がアグロフォレストリーの種か」ということに加えて「どれを使うか」という問題である。伝統的なアグロフォレストリー・システムに使われている多くの種は、通常の農業や林業に用いられる植物か、農林業以外でも経済的価値をもつ植物としてよく知られているものである。農業と林業を別々の学問分野としてその発達の歴史を調べてみると、農業の種に分類されているもののほとんどは、相当な注意を払って栽培され、その経済的な生産物を反復して収穫されるものだ。すなわち、同じ種のものを短いインターバルで世代を繰り返すか、同一の植物から繰り返し継続的に収穫するかである（ここでは果樹も農業の一分野としておこう)。一方、林業にグルーピングされているのは、植え付け後あまり保育されず、多くの場合木材産物を得るため、長い生産周期で収穫される種である(Nair 1980)。また、農業とも林業ともはっきり分けられない、あまり重要でなく、しかも比較的未利用な種もある。アグロフォレストリーは、土地利用システムへの適性を基準に植物を類型化していく際、従来とは異なった視点を持ち込むことになった。

アグロフォレストリーに用いる上で最も重要な種特性の基準は、（間作のように）組み合わさった場合の作付けシステムへの馴染みやすさであって、農業用とか林業用、あるいはその他用などとレッテルを貼ることではない。多くの比較的開発の進んでいない、もしくはよく知られていない種－草本、木本の双方－のほうが、よく知られた多くの種に比べて、アグロフォレストリーではしばしば利用度が高い。いくつかの土着のアグロフォレストリー・システムは、広く知られていない、そして通常の農業や林業にも使われていないこのような種を多数含んでいる。アグロフォレストリーが有望視される一つの理由は、疑いもなく、未開発の種やよく知られていない種の“開発の可能性”[1] や利用法を開拓していく余地があるからだ。さらに、アグロフォレストリーでは、よく知られていない木本性の種の活用を特に重視している。というのも、木本の種は（十分論証できることだが）草本性のものよりさらに数が多く、開発が遅れている（だからこそさまざまな状況のもとで成功する可能性が大きい）からであり、さらにいえば永年性の樹木は第２章で見てきたようにアグロフォレストリーの概念の中心となるものだからである。

このように、“アグロフォレストリーにおける種”という用語は、多くの場合、木本種を指していて、多目的樹木（ＭＰＴｓ）や多目的樹木＋低木種（ＭＰＴＳ）として知られるようになってきた（ここでは全ての多目的樹木、低木や他の木質系永年植物をＭＰＴ［その複数形としてＭＰＴｓ］の略号で表示する)。アグロフォレストリーの重要な木質系永年植物は、果樹、飼料木や燃材を含んでいるが、ＭＰＴｓという言葉はこれらの全て、特に飼料木と燃材を含む。

しかし、「アグロフォレストリーにおける種」をＭＰＴｓのみからなるとするのは正確でない；実際、草本種もアグロフォレストリーでは等しく重要である。ただそれらの種の多くは通常の農業用の種であり、教科書にも出ていて、農学のカリキュラムの一部になっている。一方、アグロフォレストリーで使われるＭＰＴｓの大半は、従来の林業や農業の教科書に載っていないし教育課程にも入っていない。特に強調してここに記載するのはそのためである。

12. 1　多目的樹種（ＭＰＴｓ）

全ての樹木は、多目的であるといわれている；しかし、いくつかの樹木は他に比べてさらに用途が広い。アグロフォレストリーでいえば、多目的樹種というのは、「一つ以上の用途、生産物ないしはサービスを生産するために意図的に維持管理される樹木や低木のことであって、多品目生産の土地利用でこれらの樹木が残されたり栽培されたりする理由は主として経済的なものだが、生態的な動機によることもある」となる。簡単にいうと、アグロフォレストリーのために樹木を応用したときの”多目的”というのは、アグロフォレストリー・システムで一つ以上のサービスや生産機能にそれらを利用することである（Burley・Wood 1991)。先に述べたように、ＭＰＴはアグロフォレストリーの最もはっきりした構成要素であり、実効性のある土地利用としてのアグロフォレストリーが成功するかどうかは、これらの多目的樹種（その多くは自生地外の地域ではほとんど知られていない）の潜在的な可能性を現実のものにできるかどうかにかかっている。

アグロフォレストリーで一般的に用いられるＭＰＴｓに関する情報はかなり多く、よく知られたソースとしては下記のものがあげられる。

●アメリカ国立科学アカデミー（ＮＡＳ）の燃材種に関する出版物(NAS 1980, 1983）とギンネム（*Leucaena*)、アカシア（*Acacia*)、モクマオウ（*Casuarina*)やカリアンドラ（*Calliandra calothyrsus*）のようないくつかの樹種の単行本