

第3章 アグロフォレストリー・システムと その取扱い

アグロフォレストリーの導入を行なうためには目標を定めた上でその要素となる植物、土壌、病虫害の取扱いを考察し、評価しなければならない。従って、本章では熱帯地域における生産システムとその取扱いの基礎について明らかにすることとする。

1 生産要素の取扱い

熱帯地域における農業、林業、畜産業を複合的に絡ませた生産システムを取扱う場合の目的には長期にわたる生産性レベルの維持を図るか、あるいは生産性の低下した土地の地力を回復させることにある。その上、利用可能な資源を保持させつつ生産に必要な土壌水分や養分を供給して物質循環のバランスを保たせるのである。それには作物と他の植物、とくに樹木の植栽、手入れなどの管理に注意が必要である。

熱帯地域における生産システムの取扱いと暖温帯地域でのそれとは一般的に大差は見られない。しかし、熱帯地域の湿潤土壌では高温多雨のため浸食や浸出が起こり、土壌の流出や養分の消失と高温による土壌分解が早い傾向を持っている。

(1) 植物の取扱い

利用すべき種を選択と長期にわたるシステムの設計はその取扱い上、最も基本になる部分である。ては植物を選択する際の基準を何に求めるかといえは、地域の植生の中から農民が熟知している有用種を取り上げることで、他地域で良く使われている種や新しいものは必ず予備テストすることである。よく知られている植物は発芽率、成長、植栽密度、生理生態など多くの情報を農民自身が経験によってよく知っているからで、例えばメイズは耐陰性が低いので Alley cropping やタウンヤ法の初期で

の種としては採用されるものの、陽光を過度に遮る樹木とは組合せることができない。できたとしてもほんの数年だけでしかない。窒素を多く要求するソルカムやキビなどは堆肥を利用すると効率的な耕作が可能であるが、窒素を必要としない作物では逆にうまく行かない。つぎに樹木については成長、結実、剪定、枝打ちが最も効果的に現れる時期がいつなのかも予備知識として熟知していなければならない。例えばコスタリカではコーヒーやカカオと組合せているエリセリーナは年に2～3度の剪定や枝打ちが可能であり、窒素を固定することができるので庇陰樹として利用されている。Alley cropping の場合は肥沃度の回復が乾期に行われる。何故ならこの期間休耕にしてしまうからである。乾燥に耐性のある *Gliricidia sepium* はこの期間、雑草の調節を果す庇陰環境をもたらせるからである。

以上のように利用すべき種の植物生理、生態的特徴を知っていることがアグロフォレストリーを効率的に推進するために役立つといえる。それだけに自生植物は農民に知識と経験が貯えられている点で有利だといえる。

つぎに、植栽密度と種間競争について考えてみると植栽密度を高くすると、雑草の侵入が阻止されるのは良いのであるが、異なった種が同時に存在する場合は相互の間で種間競争が早く起ることになる。この点から最適密度を考慮して生産性を高く保つことを考える必要がある。ルセナを用いた土地に Alley cropping を導入すると1年生作物の根で大部分が占有されるはずの地下10cmの層にはルセナの根が僅かにあるのみで樹木と作物との間に競争が起らないため、この両者を組合せても全く問題のないことが明らかにされている。

また窒素固定樹木を用いると他の植物もその根粒菌の恩恵に浴することができるので選択の余地があるが、逆に Allelopathy (他感作用 植物体から出るある種の物質が他の植物の発芽や成育を妨げるというもの。フェノール類やテルペンなど) があるときは良くない。ところが逆に雑

草制御のため、トウモロコシ、フリホーレス (*Vigna sinensis*) と同時に栽培されるカボチャでは雑草の制御にカボチャの葉が形成する日陰や葉から溶脱される化学物質によってもたらされるアレロパシーがあるから効果があるといわれている。

資源の完全な利用を促進し、種によってもたらされる利益を利用する組合せを設計するにはどうすれば良いのだろうか。この場合は植物の配置を水平的にするか垂直的にするかによって達成できるほか、植物間の成長速度の差を利用することによっても可能である。例えばソルガムやコショウのように比較的浅根性作物とアカシア類のなかでも根の深い樹木を植栽することによっても可能である。植物によっては1年間に違った方法で利用するなら個々の作物の成長の段階を考慮してシステムを組むことができる。例えばある苗木または幼齢期の樹木は日陰に対して耐性があるが成長するにつれて耐陰性が必要でなくなるので、各々の作物種を木の成長期に合わせて変えることもできる。方法としては①同じ高さには達しているが違った生命のサイクルをもった作物を植栽する。②違った高さの苗木を植栽する。③時期や年次を変えて植栽する。④葉が小さい種を利用して日陰を最少にするのである。

(2) 土壌の取扱い

熱帯地域では土壌侵食や浸出によって養分の流亡が起りやすいので、この危険性を減じ、肥沃度の維持、改良を図るような取扱い技術が必要となる。すなわち、

- 1) 土壌表面を保護するために年間を通して植生または落葉により地表に被覆を保つようにする。これは陽光や雨が直接的に土壌に与える影響を和らげ、エロージョンの危険度を減少させることができるからである。すなわち、落葉は降雨の衝撃を和らげ、高温から土壌を保護しうるのはもちろんのこと、作物によって土壌が覆われているときも同様の働きをする。

- ii) 土壌の表面に有機物を堆積しておくことは養分の保持能力を改良し、水分の浸透を良好にするため、地表流を減少させて、その分だけ養分が土壌中に浸透する。
- iii) 収穫時に有機物の持出しを少なくすることは有機物や養分を農地に還元することになる。
- iv) 表層の養分を吸収しやすい根系を維持する。
- v) 焼畑地では火入れ回数を減じて、養分消失や揮発による窒素の消失、灰に含有されている養分の浸出を防ぐ。

といったことが必要であろう。具体的な方法は次の通りである。

a) 土地整備の方法

播種や植栽のために農地を整備したり地拵えする方法としては人力、あるいは機械化とし、その後除草剤、火入れなどを行うが森林伐採にはチェーンソーによる動力伐採が好ましく、重機による搬出は土壌の堅密化、土壌表面のかく乱をもたらせるので避ける。火入れは省力化に都合のよいこともあって熱帯地域の大部分では今日も伐採後の火入れは断たれないが、養分の消失に結びつく。また一時的に灰に含まれる養分が土壌に還元されて肥沃度が高くなることもある。除草剤は高価であるばかりでなく、公害上も問題があるのと作物に良い影響を与えない。

b) 耕耘の方法

耕耘は主に作物の直播きや植付けのためのほか、雑草の除去や苗木の植栽のためにも行われる。もっとも多いのは人力による鋤の利用と動力耕耘である。降水量が多く、高温のところでは耕耘を頻繁に行うと土壌の地力低下や流出をもたらすことがある。また重量のある耕耘機は土壌の物理性を壊し、堅密化させてしまうため、土壌による水の浸透能力が減ってしまう。また植栽時における耕耘は雑草の生育を疎害させるためであり、人力か軽量機を使うことによって行われるのが望ましい。ただ熱帯土壌を継続して

耕耘すると、作物栽培を3～5年間行なうとしても収量は減少することが観察されている。

c) エロージョンの制御

急斜面でエロージョンの危険性のあるところで植栽するには等高線沿いの植込み、防壁の構築、溝の造成がある。

d) 土壌の肥力度維持

熱帯土壌では地表流、養分消失が多く、施肥効果が少ない。しかも、肥料が高価であるため、経済的な土地生産力維持のために堆肥、落葉の利用のほか窒素固定樹木の利用を取りあけることができる。しかし、土壌が落葉等から有機性養分として攝取するには長時間かかるのが欠点である。

いま傾斜地土壌のエロージョンに対する落葉被覆の影響を考えると、傾斜度10%のとき、耕耘している裸地のエロージョンは 100 t/ha/yr であったが、haあたり2トンの落葉を適用したところエロージョン量は 10 t/ha/yr となった。同様に4トンの落葉を施すと 1 t/ha/yr 以下となった。しかし、 6 t/ha/yr での効果は期待できなかった。またこの実験で耕耘が行われていないシステムでは慣習的に耕耘しているシステムに $4\sim 6\text{ t/ha/yr}$ の落葉を適用した場合に匹敵していた。つまりアクロフォレストリーでの樹木の役割の大きさかわかるというものである。

(3) 病虫害の取扱い

植物種が多様になると作物に集まる昆虫も増すがそこには天敵もまたふえてくる。単作では害虫が容易に植物から植物へ移動するが植物が多様化していると或る種の化学物質を含んだ植物が存在する機会がふえる。たとえば物質が有害な毒性を有していたり、なかには肉食動物に対してまで影響するものもある。多角的作物栽培に比べて単作栽培の方が単一虫類による葉の消化量が多いことが示されている。また単作では葉の層

が単純なため生産面積が小さく、葉生産面積当りの虫類による葉消費量が大きくなる。しかし、Risch(1983)によると病虫害によって引き起こされた損害はアグロフォレストリーによって出来上がった生態系の方が他の生態系よりも小さかったと述べている。

このことからしても病虫害の取扱いでは組合せの種が共通した病虫害を持たず、また他の植物に影響を与える病原の寄生主でないことを確かめて組合せたり、ローテーションすることである。トウモロコシとタイズを同時に植えるのは虫害を防ぐためにはならないということである。そして薬剤は最悪の時だけ使用するようにすることが大切である。

2 アグロフォレストリー・システムとその取扱い

第2章においてアグロフォレストリーの分類をその組合せから述べたがどれが典型的なシステムだと断定はできない。むしろこの多種多様な柔軟性が地域に応じて適応できるので都合が良いこともある。そこで、実践的な面から広く利用されているシステムについて更めて述べるとともに、その取扱いについてもふれてみることにしよう。

(1) 遷移式（短期的）アグロフォレストリー・システム(Short term agro-forestry system)

農作物と樹木の生産には時間的な流れがあり、例えば休耕と作物栽培を繰り返す移動式焼畑による農業形態と、植栽された樹木が成長して樹冠を閉鎖するまでの数年間のみ農作物を同時並行的に栽培しその後は林木のみを育成する方法がある。つまり農業と林業の二つの要素が遷移する場合である。

1) 移動式農業(Shifting cultivation)

移動式農業は食糧、燃料などの生活必需品をその場所で充足し、住居も簡素な一時的なものを構築するもので、生活資材が得られ

なくなれば放棄して他の場所へ移動するが、いずれ数年後には元の場所へ戻って来て同じ生活を繰り返すものである。このシステムは多様で遊牧民による狩猟・動物飼育を行なうものから種族の生活の安定化をねらいとするもののほか、焼畑農業、山地農業などがある。この種の農民は世界の総人口の5%にあたる3億人が世界の農地の30%にも相当する144億haで実施しているといわれているが、今日ではむしろ森林破壊の最大の原因ともなっている。

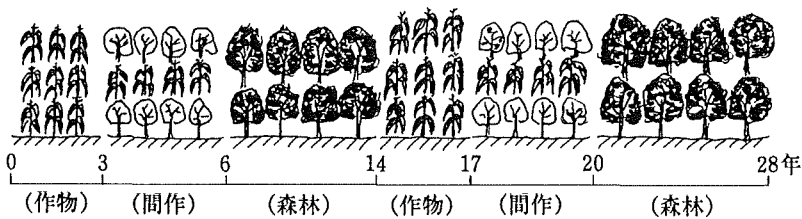
移動式農業は森林を伐開した後に火入れを行ない、土壌が肥沃な数年間だけ耕作して生産性が劣ると新しい場所を求めて移動してしまう。この休耕期は数十年前は10~20年であったが最近は早くなり3~5年の回帰といわれている。この方法では樹木は天然資源に頼っているため更新は必ずしも良好とはいえず、時折、ギャップを作るもとにもなっている。こうした土地の一時的な利用は如何にして物質循環を早くさせるかにあり、雑草の増加こそが土地を放棄する際に期待する重要な要因となる。

休耕期間中に二次植生によって土地がうまく占有されると養分循環も進むようになる。そして数年以上経過すると徐々に作物栽培が可能な状態に回復する。ジャワ島東部の先住民が行っているKebuntalunでは作物栽培が終了すると土地を放棄するのではなく、計画的に休耕させる方法をとっている。この遷移的アグロフォレストリー・システムは熱帯各地の先住民が利用しているが、伝統的な形態は今も儀式、祭典、信仰に深く結びついた文化や社会的生活の一部として定着している。しかし、現代の社会的な流れをみているとこのままでは非生産性を招くシステムといわれても仕方のないものであり、林業サイドから見れば近隣地から山引き苗を選び植栽することが加わればもう少し改善され、不法侵入耕作者などといわれなくなるのではないだろうか。

つぎに移動式農業の取扱いを考えると、重要な特徴として土地整備、火入れ、休耕の過程が注目される。全体的には労働力の配分と休耕期間中の土壌の肥沃度の回復である。このうち、休耕の取扱いではこの期間に利用可能な種を播種しておくことは前述の山引き苗を植えることと同じ意味を持っている。なかでも初回に果樹を導入しておくことは将来のためにも有利となるであろう。

ii) タウンヤ・システム(Taungya system)

移動式農業のうちで樹木と作物が一時的な遷移によって確立されているタウンヤ・システムでは農作物は林分が完成するまでの期間のみ樹木と混生して存在し、その後は樹木だけが成育するシステムであるが、たとえ数年間の農作物栽培期間であっても、その収入は農地を持たない農民にとってはかけがえのないものである。



図一七 タウンヤ方式による一時的アグロフォレストリー

タウンヤ・システムの発端についてはアグロフォレストリーの歴史の部分で少しふれたようにチーク(*Tectona grandis*)の再造林コストを低下させることを目的に1806年(一説に1856年というものもある)にビルマ(現ミャンマー)で開発され、その後ラテンアメリカをはじめ熱帯アフリカなど数多くの熱帯諸国で実施され普及したシステムである。

ナイジェリアでは木材や食糧の生産を目的として北部の乾燥熱帯と南部の湿潤熱帯とで採用されているが、そこで採用されたタウンヤ・システムには賃金式と所有式とがある。

多くの国で見られる賃金式は自分の土地をもたない農民が農作物の耕作を許可してもらい木を植えて耕作できる数年間農作物を収穫し、木の手入れを行なうのであるが、ナイジェリアの場合は収穫物の所有権や特定の地区を割当てられない代わりに政府から給料を受取るのである。また所有式というのは森林の特定地区で耕作を行なうもので、農民は森林を伐採後火入れして森林局の指導のもとで作物の植付けを行ない、その後森林局との契約で作物の列間に樹木を植える。すなわち農民は除草と保育の義務を負わされることになる。そして樹木の生育状況によって契約金が支払われる。作物栽培は樹冠が作物に触れるまでの3～4年間継続され、この時点で農民に他の土地が割り与えられるという方法である。

いずれの方法も植栽の費用を軽減させている点で土地所有者の国や国営企業、公社などが経費の節約と保有管理を農民に委譲することによって双方が利益を得られるのである。だから本システムでは樹木による遮光が強くなると作物栽培が終了し、それからは樹木のみによる森林生産が始まることになるのである。もし林木密度が高くなるか、成長か速やかであるときには作物栽培期間が短くなるが枝葉の拡張しない樹種を選定すれば日光が射し込むため作物栽培期間を延ばすことができる。

つぎにタウンヤ・システムにおける社会経済的なメリットについて考えると第1の利点は森林造成のための費用の低減が可能になる。ナイジェリアの例では賃金式は60%、所有式で40%もコストタウンできたことが Mercer(1985)によって報告されている。第2の利点は所有式では参加農民が作物収入の他に現金収入も可能になったことである。しかし逆に農民が作業に熱心でなく、樹木の手入れを怠ることがある。これは樹木の手入れを行っても直接利益に結びつかないからである。また作物栽培期間の延長を常に望む農民と行政側との間でトラブルを生じることであ

る。同様に作業内容、植栽計画、契約内容などで農民サイドと行政サイドとの間でキャップを生じることが多い。

この遷移式システムにおける焼畑移動農業ではもともと植林する意志がなく、あくまで天然更新による修復に期待しているのに対してタウンヤ・システムでの目標はあくまで人工林の造成にあるところが異なっている。

タウンヤ・システムの取扱いについて考えてみよう。このシステムでは社会的側面に注意を払うことが必要である。その理由は作物や樹木が必ずしも農民の所有となっていないからであり、移動式農業と同時に生活のための重要な部分をも含めるからである。したがって、このシステムを実践に移す際には社会の受入の度合、農民にとっての経済的価値を考慮しなければならない。アグロフォレストリーでは森林の生産物から土壌に還元される養分を作物が利用しているが収穫により土地から持出される量は作物の方が多い。肥沃度に関しては元の森林の伐採方法、土地利用、伐採からアグロフォレストリー・システムの設定までの期間がこれに関係してくる。このため地力が低下してしまった土地にシステムを設けても樹冠が閉鎖するまでの期間に地力を回復させることは困難だからである。

タウンヤ・システムを行なうことにより期待される成果の1つにエローションの防止がある。このことも取扱い上考慮に入れておかねはならない。このことはシステムで取扱う作物種の選択と樹種の植栽密度にも関係することで、例えば収穫時に樹木が妨げになるような塊茎を形成する作物は必ずしもタウンヤ・システムに適した種とは言えない。単年作物で収穫までの期間が短いものではローテーションが早いだけに収益は高くなり農民にとって喜ばれるが、地力は早く衰退するので少しでも養分循環を早くすることのできる樹種選定が必要となる。植栽密度が低い場合は樹木の分枝活動が盛んに行われるので、木材生産が目標の場合には剪定や枝打が必要となり、それだけ労働力が増すので労働配分を考えて

おこななければならない。

既に設定されている人工林に作物を導入する場合は樹木の整枝、剪定を前もって実施しておく必要がある。

(2) 同時式（長期的）アグロフォレストリー・システム(Long-term agroforestry system)

同時式のシステムは農業や林業が長期にわたって、同一土地に共存するもので、遷移式が初期の数年間だけのシステムであったのとは対象的である。

このシステムの利点は生産物の多様性と、作物と樹木が共生的な関係を保ち、生産性の向上と収入が毎年確実に期待できることである。した



写真7 コーヒーとマメ科樹木(エリセリーナ)の組合せによる
システムは多い (ラ・スイサ、コスタリカ)

がって、この方式には多種の商業的な活用ができ、例えばココヤシのプランテーションと作物栽培、コーヒーとマメ科樹木の植栽、トウモロコシとマメ科樹木、木材用樹種とカカオのプランテーションなどがある。

この種のシステムの一つを写真7に示した。システムの要素間の関係の一つは庇陰と微気象の調整である。養分の循環は樹木から土壤へ、作物から家畜を経て土壤へ行くかあるいは作物から直接土壤へ、家畜から林木へと多岐にわたっている。庇陰樹として窒素固定のできる樹木が利用されることは多くみられる。作物同士の競争は作物の生産性にマイナスの面を与えるので、コーヒーやトウモロコシは単作栽培とする方が良好な収穫をあげることができる。

同時式アグロフォレストリー・システムが作物栽培上に与える利点を挙げると次のようになる。

- a) 毎年作物の収穫が着実に期待できる。
- b) 生産性の収穫量や質が改善される。
- c) 生産物を多様化させることにより経済的危険度を減少できる。
- d) 作物の生産性が単作に比べて低下することもあるが ha あたりの単位生産量は単作を上廻る。

つぎに典型的な同時式アグロフォレストリー・システムとして、①永年作物と樹木との組合せ (Agri-silviculture)、②植栽樹木間での1年作物栽培 (Alley cropping)、③混作自家農園 (Home garden)、④混牧林 (Silvo-pastoral) を考えることにする。

1) 永年作物と樹木の組合せ (Agri-silviculture)

中南米では作物の栽培と組合せる樹木としてクロフ、コム、ヤシ類といった商品作物のほかユーカリ類、コルディアなどの用材樹種とカカオやコーヒーの組合せがある。なかでもコーヒー栽培と庇陰樹としてのマメ科樹木の組合せはラテン・アメリカの各国で実行されているように、高地や肥沃地においてはこのシステムが基本になっている。また東アフリカでは多層生産システムが多く普通に行われている。*Albizia spp* や *Grevillea spp* も庇陰樹として用いられ、インゲンやバナナが組合せられたりすることもある。



写真8 第1層にコーヒー、第2層に庇陰樹のエリセリーナ、第3層に家具材となるコルデアからなる立体的システム(ラ・スイサ、コスタリカ)

通信網や流通機構が整備されていて、市場を持っているようなところでは肥沃土壌という条件が重なると問題なく成功するシステムである。それだけにこの組合せでは単位面積あたりの土地生産性を高め、土地利用をも有効にすることができる。従来から単作で農薬などのコストの高いものを使用していて経済的にも不利になり、肥料代すらまかなえないという事例ではこのシステムを導入して商業ベースに乗せうるような定期的収入を得られる方法であることも認められている。

ii) 単作作物と樹木の組合せ (Alley cropping)

1年生作物と樹木の関連は前述のシステムとごく類似しているが、このアレイクロッピングと呼ばれる樹木の列間に作物を栽培する方法は耐陰性の高くない作物にも利用できる。例えばトウモロコシ、大豆、インゲン、ピーナツなどと樹木との組合せがある。この方法はナイジェリアで開発され、マメ科樹木の間には1年生作



写真9 マメ科樹木とユーカリ樹の間に植えられているパイナップルとのアレイクロッピング (ラチャブリ、タイ)

物を栽培している。そしてこのシステムが持っている利点は土壌の肥沃度が高められることである。しかし、反対に作物栽培面積が樹木にも占有されるために生産量が減ることとシステムを確立する際に多少労働力を必要とするためにコストが掛ることである。

単年生ならびに永年生作物と樹木の組合せにおける取扱いにおいての課題は樹種の選択にあり、これが遮光の度合を決めたり、土壌中の有機物や無機物の含有量に関係するからである。もちろん落葉は土壌表面の堆積層として保護と被覆の働きもする。この庇陰樹として望まれる性質には根と被覆の構造が明らかなこととその機能的性質が知られていることである。浅根性で地表面に沿って太い根が走行すると耕耘が困難になり、また根が切られることにより樹木の生育が阻害されるからである。

今一つの樹木の働きは微気象の調整である。本致密度が高くな

ると病原菌にとって好ましい温度や湿度条件を作る可能性を生じること、コーヒーの黒菌病が発生するチャンスが増加するので、剪定や枝打の取扱い1つにしても組合せた作物の結実、着花に影響を与えるのみならず、収穫量や品質にまで影響が及ぶからである。コスタリカではコーヒーの庇陰樹として広く使われている *Erythrina* spp では剪定や枝打ちを少なくとも2回は実施することにより、コーヒーの実の熟成を均一化させたり、遅延または促進させている。

(3)農家園または混作自家農園 (Home garden, Farm garden)

自家農園は移動式農業と同様に極めて古くから食糧確保のために農家が無意識のうちに行ってきたアグロフォレストリーの一形態と考えることができる。つまり家族や共同生活体の食糧や生活必需品を自給するために利用されたもので、場合によっては余剰生産物を販売して現金を稼いだり、物々交換することさえある。従って、混作自家農園や農家園は樹木、作物、場合によっては家畜など多様な要素による複雑な多層構造によって特色づけられているほか、多種多様な種を利用し、小面積ではあるが年間を通して何かが生産できるように組合せたり、家族が必要とする食糧を供給できるという基礎的な役割りを演じることが可能である。

農園ではフルーツ、野菜、薬用植物、香辛作物、繊維植物、観葉植物のほか鶏、牛、魚というあらゆる食料から商品作物までが計画に従って組合せられる。

そこで混作自家農園の特色をまとめてみると次のようになる。

- a) 年間を通じての労働配分が必要とされ、短期間に労働の集中化を生じないようにできる。
- b) 労働力は殆ど家族中心である。
- c) 収入は少ないが支出は一定で、家族または小さい共同体の消費にとっては安定した生産力を持つシステムである。

- d) 資本力の乏しい人のためにも経済的需要を満たすことのできるエコシステムである。
- e) 生態的には種の多様性、太陽エネルギーの高い吸収能力、生物的な抑制のメカニズム、閉鎖系の養分循環、空間の効率的利用、高い安定性などを持っているため、エコシステムにとっては過酷な農業システムである。
- f) 生産物が多様化しているので市場の不安定、不確実性に耐えうる農業システムである。

伝統的なジャワ島の家庭農園は、農薬を使うことなく続けられてきているし、小規模で投資資本や労働力が不足していても、生産性は経済的にみて傑出したものがある。タンザニアのチャカ族の自家農園では土地不足でこのシステムの拡大ができないという問題はあるが、同一土地で食糧、商用作物、家畜、多目的樹木が組み込まれている。すなわち、樹木はコーヒーの庇陰のほか生垣柵に使用したり、飼料用や土壌のマルチ用に葉を利用する。花木は養蜂用として利用しているし、混植が病虫害の発生に対して保護作用を果している。

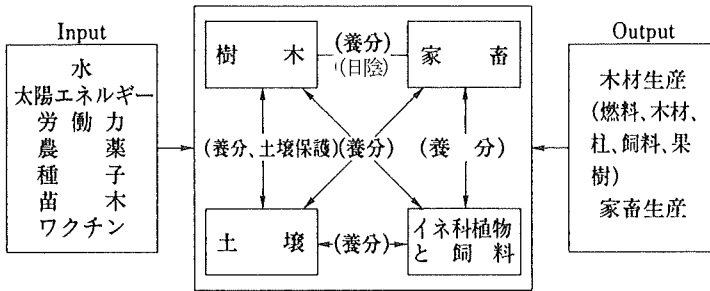
熱帯アメリカにもこうした混作自家農園が多く、古いシステムから新しく改良されたものまでバラエティに富んだものが見られる。

このシステムの取扱いでは種の選択技術、農園の設計などが重要であるがこうした点は農民の方がより熟知しているほどで、肥沃度を保持するために残飯、糞尿の利用や堆肥、窒素固定植物の利用も考えられている。大径木となった樹木は伐採して利用するのはもちろんであるが、明るくなった空間を使って一年生作物を新たに導入することができるなど経営方針さえしっかりしていると農家にとって楽しいシステムでもある。

(4)混牧林 (Silvo-pastoral)

この混牧林システムは果樹を含む樹木と家畜飼育を組み合わせただけで、大規模な産業造林と家畜を放牧した組み合わせから、農家が数頭の

家畜を飼育するといった小規模なものまである。大規模なものとしてはカリヒアマツを植林した林内に馬を放牧しているコスタリカの例がある。マツ林の林内は光の透過も十分でそこでは草が心行くまで繁茂していた。



図ー8 シルボ・パストラル・システムの概念

このシステムの要素間の特徴には以下のようなことが考えられる。

- 家畜の存在によって養分循環が促進される。
- 樹木は家畜に都合のよい日陰を与える。
- 家畜が種子を食べて排出することが発芽を助長する。
- 家畜の放牧密度が高いと、土壌が堅密化され、作物や樹木の成長に影響を与えるほか樹幹を傷つけることがある。
- 林内の雑草は家畜の食物嗜好によって必ずしも均一に食べられないため、成長に影響することがある。

従って、このシステムは功罪相半ばする面もあるが、経済的にみると家畜にとっても樹木にとっても収入確保は可能になる。しかし、牧場としての土地利用効率は劣るものの薪、用材、果実が収穫されたり、飼料としての枝葉の利用を考えると生態的にも価値のあるシステムで、マメ科樹木の利用は牧草収穫量を高めうるので、生産性や安定性を改善することができ、また飼料価値の高い樹木を利用すると乾燥期にも牧草を維持できる。ただ多くの農民は大規模な牧草地を作りうるだけの土地を所

有していないが小規模経営者や生垣柵として利用する場合は可能であるし、マルチパーパス・ツリーを植えれば飼料や薪として以外にレジンなども採取することができる。樹種選定にあたっては *Glucida sepium* のほかに飼料樹木としての各国で植栽されている *Leucaena leucocephala* があるが、これは平坦な低地や土壌の pH が 5.5 以下では成長率は極めて低い特性をもっている。熱帯土壌では乾燥化の著しい地域で塩性土壌のところが多数現れてきており、ハワイでの実験で得られたこの樹種の ha/年あたり葉量 11~14ton、枝量 9~10ton の生産量を得ることはかなり厳しく、幹の生産量すら 3~5 m³ にしかならないことが多い。中央アメリカの *Erythrina poeppigiana* や *E. berteroana* では萌芽性や枝葉の生産量が大きいために利用されている面積も広い。

つきに混牧林システムの代表として牧草と樹木の組合せ、樹木や果樹と放牧の組合せモデルを述べることにする。

1) 牧草と樹木の組合せ

このシステムは牧場経営を主目的とし、植林された樹林は家畜の日陰地となる。樹木が成長すれば薪、木材などの利用も可能で



写真 10 牧場内にグアシモの小林分を作り、家畜の休息所とする。

(グアナカステ、コスタリカ)

あるが生産は2次的とするものである。もともと森林を伐開して牧場を造成するときは樹木を全て伐り倒して林地を野焼きすることが多いが中央アメリカではセドロ (*Cedrela odorata*) やローレル (*Cordia alliodora*) といった家具用の高価値材は伐らずに残す方法がとられている。この残された有用樹は家畜のための日陰地や避難場所として利用するが将来は用材として売却することになる。本数が少ないときは植栽して、単純な牧草地とならないようにする。これによって土壌のエロージョンを抑えることも可能となる。

ii) 林木、果樹植栽地における放牧

このシステムは薪炭材、用材林、果樹林といった樹木の植栽地内に家畜が放牧されるタイプで、雑草の抑制ができると同時に、伐期もしくは果実の収穫期以外には家畜を放つことができる。この組合せができるのは樹木の植栽後、家畜によって樹木が被害を受けなくなる樹齢に達してからである。草類は家畜が食べるので造林地の除草費が軽減される点で牧草と樹木の組合せの場合と同



写真 1 1 牧場に果樹（グアバ）を植栽した混牧林の例

（ラ・スイサ、コスタリカ）

一である。

このシステムの運営上注意すべき点は果実に被害を与えないようにすること、特定の場所に害虫(蝶類)の繁殖や土壌の pH の変化を起させないこと(牧草の成長に影響を与える)などがある。

シルボパストラル・システムでは飼料の生産量、栄養的な成分が年間を通じてみると、たとえ熱帯という条件の下でも変動があるので、飼料内容の供給を安定化させる必要がある。また家畜の取扱い上の基本は ha あたりの放牧頭数にあるので牧草の生産量と家畜の種類が関係する。他の重要な点は牧場のローテーションの取扱いである。家畜については体重の増加、牛乳、妊娠している頭数、妊娠の間隔、飼料の生産の栄養価などがポイントになる。つぎの問題として牧草の生産がある。過度の放牧による踏みつけは土壌の堅密化をもたらせ、また、斜面での放牧はエロージョンを起こしやすくなるので注意が必要となる。

(5)生垣柵(Live fence, Hedge)

本来、畜産経営では牧場の所有範囲と家畜の逃亡を防ぐために木杭と有刺鉄線による柵が作られる。この場合、木杭の耐久年数は5、6年ぐらいが普通で、大面積の牧場を所有しているオーナーにとってはこの修理も並大抵のことではない。そこで考えられたのが生垣柵であって、中米諸国でその例がみられる。気候や成育条件によって多種多様な樹種が利用されているが萌芽性の盛んな種かマメ科樹木を植栽することが多い。この生垣柵の利点としてつぎの幾つかが見出される。

- a) 植栽する樹種によって食糧、飼料、薬品、薪などの経済的価値のある生産物を供給することができる。
- b) 斜面ではエロージョンを阻止する防壁として役立ち、土壌に対して有利な働きをする。
- c) 長期間利用ができる。

- d) コストが低い。
- e) 風の当る場所での生垣柵は防風林の役割りをも果し、強風から牧草や家畜を保護することができる。



写真 1 2 *Gliricidia sepium* による生垣柵 (ゲアピレス、コスタリカ)

生垣柵の取扱いにおいては作物と動物との関連が明瞭でなく、他のシステムほど集約的でない。したがって取扱い技術は樹木をどう選ぶか、あるいは維持の方法に注意が集中される。まず樹種を選択には成長が早く、剪定、枝打後の早期再生萌芽、分枝の盛んなこと、病虫害に対して抵抗性のあること、柱、薪、飼料にも提供できるものが好まれる。さらに繁殖については“さしき”のできる方が実生によるものよりも早く柵が完成することなどを挙げる事ができる。こうした性質を有する *Gliricidia sepium* がコスタリカでは最も一般的に使われている。この樹種はメキシコ南部からパナマにかけての太平洋側に天然分布し、湿度の多いところや砂礫地では活着率は必ずしも良くない。

(6)防風林(Wind break, Shelter belt)

農家の畑や家を風から守るために常風を受ける地域では数世紀も前から防風林が試みられてきた。アメリカやロシアでは砂漠からの砂と過剰な土壌水分の蒸発に悩まされていたことがあった。ロシアではウラル川を越して西側に移動する土砂防止のためにウクライナとウラル川の間160haのシェルター・ベルトを造成した。同様にアメリカでも29000kmのシェルター・ベルトが7年がかりで作られ、タコタの小麦収量が50%増加したといわれている。いずれも1930年頃のことであった。中国やインド西部のタール砂漠でも植栽されたが、その後アフリカでの試みとして、エジプトでの造成やサハラ砂漠の北側で実施された。やがてシェルター・ベルトの防風林効果が農耕地の飛砂防止のみならず、農作物の乾燥を抑えたり、土壌の保水力にも有効であることが明らかになるにつれて、チュニジアやスーダンでも実行されるようになった。つまり防風林としての樹木の存在によって農作物が収穫されるようになったとすれば、これはアグロフォレストリー・システムの1つとして見做すことが出来る。

このシステムで大切なことは樹種の選定にあたって、まず風に対する抵抗性を持ち、倒れない地下構造を有するものが望まれる。すなわち、直根性の樹種で、耐乾性があり、樹冠に枝葉量が多くて風圧は受け易いが風に対して強い樹種が望まれる。さらに早生樹は防風効果を早く現わすことができ、植栽方法では主風の方向に列状に複数列植えるとか、樹高による風上、風下側の水分蒸発阻止効果や減速などを考えねはならない。もちろん作物自体も種類や形態によって耐風、耐乾性を異にするので微気象の変化や強風に対する保護効果を考慮する必要がある。ナイジェリアではベルト巾を9列27mに植栽しているが、主風方向に平行して3m間隔、直角方向に2m間隔で1haあたり1600本植とし、ベルトの長さを32km続けている。ベルト相互の間隔は200mとしている。一般に風上側で樹高の5倍、風下側では20~30倍の距離まで効果が認めら

れるとされる。しかし樹高の4倍以内の風下側では樹高と関係なく、風速は40%減少される。またベルト巾は広いほど和らげる効果が大きく、



写真13 強風の吹くサバンナに造られた幾条もの*Eucalyptus camaldulensis*の緑の防風林 (ザリア、ナイジェリア)



写真14 上記の防風林によって風速が緩和されて農耕が可能となったため、農民が戻ってきた (ザリア、ナイジェリア)

横断面の形が山形か台形か長方形かなどもによっても効果が異なることが知られている。こうした効果は *Eucalyptus camaldulensis* で飛砂と水分蒸発が抑制されて、ミレットの収量を 87%、ピーナッツ 148%、バンバラナッツ 16%の増収を得ている。(ナイジェリア北部の事例)。

アメリカやロシアからの報告では 1～3 列の植栽で防風効果もあがっているがイエメンのように低地から吹上げる場所や風向が一定しない場所ではチェス板のようにジグザグにする方法も提案されている。

広大な土地を保護するためには地形によって風向きに変化を与えることと植栽列に沿って灌木を植栽することも可能である。

なお、参考としてインドのラジャスタン州で行われた数樹種による防風林の防風効果試験(表-1)では樹種による差と時期による差が見られたほか、土壌流亡量の調査結果については(表-2)降水量や降雨の強さによる違いが大きいと思われるが、防風林の有無による差は極めて明確である。

表-1 インドでの防風帯樹種による風化の風速低下率 (%)

防風林の樹種	乾季 (October~June)			雨季 (July~September)		
	防風林からの距離(樹高 h の倍数)			防風林からの距離(樹高 h の倍数)		
	2h	5h	10h	2h	5h	10h
<i>Prosopis juliflora</i>	33	17	12	38	26	21
<i>Cassia siamea</i>	36	17	13	46	36	24
<i>Acacia tortilis</i>	36	25	13	46	36	20

(Gupta et al. 1984 による)

表-2 インドでの異なった防風林による土壌流亡量

防風林の樹種	土壌流亡量(Kg/ha) (雨季初期の4月20日~6月26日の調査)		
	1979	1980	平均値
<i>Prosopis juliflora</i>	93.2	609.3	351.2
<i>Cassia siamea</i>	91.5	277.1	184.3
<i>Acacia tortilis</i>	106.0	494.1	300.0
裸地(無防風林)	262.7	831.0	546.8

(Gupta et al. 1984 による)

3 アグロフォレストリー・システムの評価

アグロフォレストリーは極めてダイナミックで、時間の経過につれて条件が変動するため、目標が果されているかどうか時折、取扱い計画を評価する必要がある。ひどい時には目的すら変っていることがあるので再評価の必要性が生まれてくる。

システム評価のポイントは次のようである。

- a) 実践に移してから農場が以前と比較して変わったかどうか。
- b) システムによる生産性はどうなったか。
- c) システムが循環に何らかの影響を与えたかどうか。土壌浸食、汚染などが生じたかどうか。
- d) 地域の他の農民へ普及して行ったか。
- e) 地域への普及度はどうか。

こうした評価にあわせて、変動した生態、経済条件にシステムを適合させたとき、収益性、生産性、維持性などがどうなったかについても取組まなければ真の評価は得られないであろう。

4 システムで利用される樹木と作物

アグロフォレストリー・システムで利用される樹木の役割には①将来は用材やパルプ材を採取する、②農作物を直射日光から守るための庇陰樹とする、③地域の木質エネルギー用の薪炭材とする、④家畜の飼料とする、⑤環境保全の役目を果たす、⑥マルチパーパスに利用する、⑦果実を採取する、⑧その他といったように極めて多様な目的を持っている。したがってシステムが地域社会やその地域の自然条件、さらに住民や農民のニーズを背景として組立てられる以上、樹種も極めて多様である。

作物種についても同様に①食糧となるもの、②香辛料や香料となるもの

の、③フルーツの穫れるもの、④嗜好料となるもの、⑤薬用となるもの、⑥繊維のとれるもの、⑦抽出物の得られるもの、⑧その他数多くの種類の樹木がある。

こうした見方からすれば樹種を選択するにあたっては、①早生樹種か長伐期樹種か、②利用の用途は上記のどれに当るのか、③立地条件はどうなっているか、④種子や原材料の入手は容易かどうか、⑤活着率は良いかどうか、⑥地域の人々が求めているのは何か、⑦その他などが関係する。作物についても、①比較的短期間に換金もしくは利用できるのかどうか、②生育が立地や気象条件に適しているのか、③短期作物か、長期あるいは連作できるのか、④労働量が多いか少ないか、⑤その他などについて考慮した上で選択が決定されるであろう。

現在使用されている代表的な樹種については主要な国別に作物と併せて巻末の別表1に示した。また農作物や有用作物については栽培可能な標高や年降水量などをも示しながら一覧表として別表2に示してみた。いろいろな条件を考慮するとさらに多くの種類の樹木や作物が利用できるので、いかにアグロフォレストリー・システムの内容が多彩であるかが分るであろう。なおアグロフォレストリーでは土壌改良や空中窒素の固定を期待してマメ科の樹木が多用されるので、とくにそれらを別表3にまとめておいた。