



国際農林水産業研究センター

パラグアイにおけるクリーン開発メカニズムの仕組みを活用した農村開発手法の開発

アグロフォレストリーマニュアル



サンロレンソ - Paraguay

2010

アグロフォレストリーマニュアル

目次

目次	i
1 アグロフォレストリーの考察.....	1
1.1 背景.....	1
1.2 アグロフォレストリー概念.....	1
1.3 アグロフォレストリーの分類.....	3
1.4 アグロフォレストリーの便益.....	4
2 農林複合システム.....	5
2.1 農林複合システムの特徴	5
2.2 農林複合システムの確立手順.....	5
2.3 農林複合システムに適応する品種の特徴.....	7
2.4 農林複合システムがもたらす便益	9
3 林畜複合システム.....	10
3.1 林畜複合システムの特徴	10
3.2 林畜複合システムの種類	12
3.3 林畜複合システムの確立	13
3.4 林畜複合システムの便益	15
4 農林畜複合システム	17
4.1 農林畜複合システムの生産要素	17
4.2 農林畜複合システムに用いる樹種	20
4.3 農林畜複合システムにおける相互作用と便益.....	22
4.4 農林畜複合システムの採用を制限する要因.....	22
5 その他のアグロフォレストリーモデル - 防風林.....	23
5.1 防風林の概念と機能	23
5.2 防風林のための樹種	25
5.3 防風林がもたらす便益	27
参考文献.....	29

1 アグロフォレストリーの考察

1.1 背景

国際農林水産業センター(JIRCAS)は、2006 年より、パラグアイのパラグアリ県 San Roque González 市及び Acahay 市の低所得小規模農家が多数居住する地域において、植林によるクリーン開発メカニズム (CDM) の導入による農村開発を実施してきた (JIRCAS プロジェクト)。

植林 CDM の枠組みにおける 2007 年から 2008 年までの植林面積は 215ha で、167 戸、240 区画を対象としている。樹種としては、*Eucalyptus grandis*、*Eucalyptus camaldulensis* 及び *Grevillea robusta* の 3 種である。うち、*Grevillea robusta* はアグロフォレストリー用に導入したものである。本植林 CDM はパラグアイ初の国連 CDM 理事会登録プロジェクトで、年間 1,523tCO₂ の温室効果ガス (GHG) 吸収量を見込んでいる。

本マニュアルは、JIRCAS プロジェクトをベースに、アグロフォレストリーの導入のための留意事項を示したものである。

1.2 アグロフォレストリー概念

世界の多くの地域で、植林と農業又は畜産を組み合わせた土地利用について伝統的な技術が存在し、食料確保及び所得向上に貢献してきた。この複合的な土地利用システムがアグロフォレストリーである。

アグロフォレストリーを利用すれば、より持続性のある開発を実現することができる。JIRCASプロジェクト地域内の小規模農家は、土壌侵食、地力劣化による低生産性と低所得の悪循環に陥っており、持続性のあるアグロフォレストリーモデルは、問題解決方法の一つとなりうる。

アグロフォレストリーの技術者は、圃場内に樹木を取り入れるよう推奨するが、最終的に決定するのは農家である。農家は経験を重視し、技術者の意見どおりには行動しないので、技術者は普及方法を十分に検討する必要がある。

農家は樹木の残された農地の有効性を認識しており、作物を在来樹種(Yvyra Pyta、Peterevy、Cedro及びLapachoなど)間に混植し、10年から20年間、この生産システムを継続する場合もある。

農家にアグロフォレストリーを普及させる適切なプロセスとしては、地力の低下や薪・支柱などの木材資源の不足により、アグロフォレストリーへのニーズの高いコミュニティの選定から開始する。その後、コミュニティ単位で、アグロフォレストリーを指導し、農家の圃場条件に従って導入を図る。地力劣化が進み、耕作放棄した土地を有する農家は、このシステムの導入に期待し、プロジェクトに参加する可能性が高い。



写真: San Roque González de Santacruz の JIRCAS 展示圃場におけるアグロフォレストリー試験。

アグロフォレストリーの特徴は、林業と農業を同一の土地で行うことにより、農地の生産量の増加を可能とすることである。樹木は、木材、飼料、薪炭材、柱、有機物、薬剤、油類等に使用される。また樹木は、土壌保全、肥沃度の向上、微気象の改善、防風、区画の明確化、炭素蓄積、河川流域の安定化、生物多様性の確保、雑草防除等の効果がある。

アグロフォレストリーは、生産の多様化、最適化と同時に、持続可能性の高い効率的な生産モデルとなりうる。

アグロフォレストリーの目的は、自然条件等、地域によって異なるが、以下のとおりまとめることができる。

- 土壌侵食に対する保全、土壌の物理的及び化学的特性の向上。
- 生産の多様化による、中長期的な農業生産の安定化及び経済的利益の増加。

- ・ 薪炭材、柱、蜂蜜等の副産物の獲得。
- ・ 有機物量の増、マメ科樹木による窒素固定など、土壌肥沃度の改善。
- ・ 農作物からの養分の森林生産、畜産への利用。
- ・ 環境条件の改善。

1.3 アグロフォレストリーの分類

アグロフォレストリーは多年生植物(樹木)、食用作物及び飼料用植物（牧草地）という3要素で構成され、これにより以下の分類が可能である。

- 1) **農林複合システム**: 樹木及び農作物を同時に生産。
- 2) **林畜複合システム**: 樹木と飼料用作物又は林間での家畜の放牧を組み合わせた生産。
- 3) **農林畜複合システム**: 樹木生産下で、農作物と飼料用作物を交互に生産し、農業と畜産を維持。

上記の関連を図化すると、下図のとおりである。

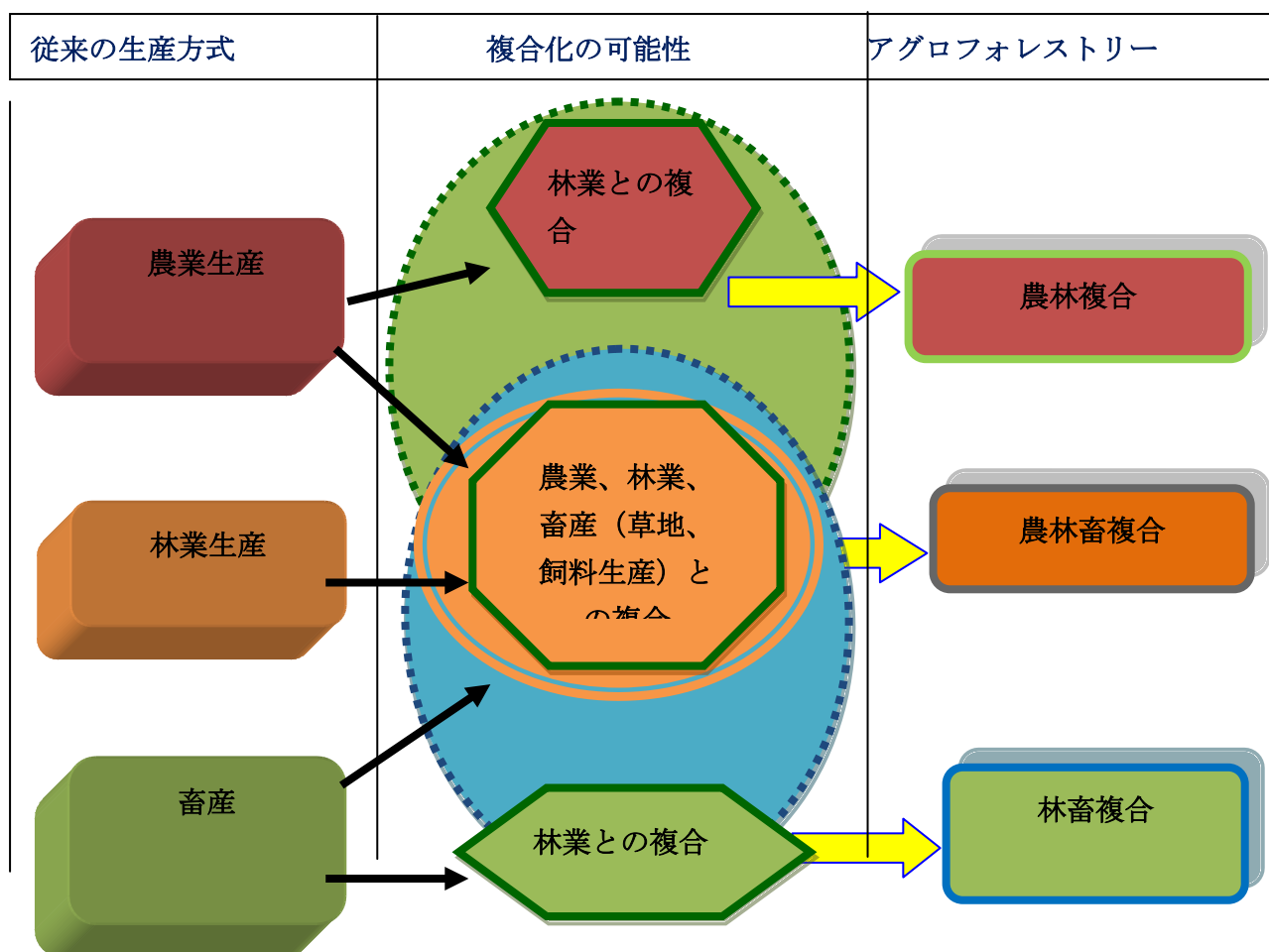


図: メキシコの SAGRAPA 作成したアグロフォレストリーの概念図。

農家は、自己の有する資源に応じて、1つ又は複数のアグロフォレストリーを選定することができる。

農家の土地のアグロフォレストリー利用は、以下の条件により決定される。

- 利用可能な土地面積と立地条件
- 自然条件(気候、地形、土壌、植生等)
- 土壌保全対策の必要性
- 農家の食料消費、燃料消費等の生活条件
- 市場での作物の需要

植林用の樹種として、中期的収入が可能なマツ、ユーカリ及びグレビレア等の早生樹種、及び長期的収入と多様な製品化が可能なLapacho、Cedro、Peterevy、Yvyra Pyta等の郷土樹種をいくつか取り入れることが望ましい。Trébol、Toona及び桐等の高級種は優良な代替樹種であるが、良好な土壌や気候条件を必要とする。

農地内には、在来樹種が生育しており、伐採から得られる製品(木材、薪炭材、枝条、果実、花卉など)の多様性により中長期的な収入源となっている。また、土壌、水路、生物多様性、景観の保全にもつながっている。これらの在来樹種については、樹木の更新サイクルを含む適正な管理が必要である。

1.4 アグロフォレストリーの便益

アグロフォレストリーの便益は以下のとおりである。

- **木材生産:** 木材は販売用又は自家消費用の建材、家具材又は木工材等に使用され、農家の追加収入となる。
- **土壌の保全:** 樹木による風速の軽減による風食の軽減、強度の雨滴の土壌侵食への影響の軽減、植物の根系の活着の促進が図られる。
- **燃料源:** パラグアイの農家の大部分は調理用に薪を使用しており、枝条や間伐材は薪材として利用できる。また、マテ茶や穀物の乾燥、レンガ製造用の薪としても使用される。
- **地力回復:** 樹木は地下部及び地上部でのバイオマスを増加させ、土壌構造の改善や保水力の向上等、圃場の地力及び保水力の改善に貢献する。

アグロフォレストリーでは、便益のほかに、下記の不利益も発生させる。

- 過剰な樹木数又は作物と共生が困難な樹種の使用により、農作物生産が減少する。

- 樹木が伐採され、区画内から除去されると、地力低下が発生する。
- 機械作業を行う区画では、樹木が円滑な作業の障害となる。

環境便益に関しては、アグロフォレストリーは保水力向上及び温室効果ガスの蓄積に貢献する。

また樹木の被覆率が高まると、生態系の回復や微気象が改善され、急激な気候変化による農作物への悪影響も軽減される。

アグロフォレストリーによる防風効果と、作物栽培による地表部の被覆により、土壌侵食及び水分蒸発率が20%程度まで低下し、農作物の乾燥ストレスを軽減する。

2 農林複合システム

2.1 農林複合システムの特徴

農林複合システムの主な特徴は、圃場全体の空間を最適な方法で利用できることである。農林複合システムは、相互に作用する複数の生産要素により、一定の均衡状態を保つものである。

農林複合システムは、単一栽培、低肥沃度、土壌侵食、雑草、病虫害等に係る問題点を軽減するのに役立つ。

農林複合方式では、複数の植生層を用いることで、空間を最大限活用し、生物学的効率を向上させる。

農林複合方式は、農家間で工夫された実践的な営農方式である。乱開発による商用樹種の枯渇、土壌肥沃度の低下、生態系の劣化、薪炭材の減少に直面した農家の多くは、所有地の一部を休耕して自然林とするようになる。この結果、郷土樹種及び郷土果樹で構成される果樹園、生垣及び低木を含む庇陰林の草地への植栽という、土壌保全と森林の調和を目的とした初期形態の農林複合システムが確立されてきた。

樹木との共生により、農林複合システムでは生産性及び持続可能性に有利な状況が生まれ、養分循環、資源利用の複層化、微気象改善、土壌保全、病虫害被害の抑制等への効果が発現することとなった。

2.2 農林複合システムの確立手順

農林複合システムを圃場に導入する場合、樹木及び作物を規則正しく配置することが重要である。最もよく見られるのは帯状林の樹木間に作物を作付けする方法である。気候、地形並びに土壌条件に応じて、システムを設計することが推奨される。また、適切な枝条の剪定、間伐を含め、樹木を適切に管理し、植栽後数年間の育林期間中に良質の

樹木を育成し、一方で日光と空間の不足によるストレスを作物に与えないようにする必要がある。

農林複合システムを確立するためには、以下を検討することが重要である。

- 設計密度：樹木間の空間は、食用作物が生育するだけの十分な広さがなければならない。樹種及び作物によって異なるが、樹間は 3m～15m 程度である。樹木間に植栽される作物は、食用作物又は果実作物が多い。
- 植栽密度は樹種、樹木の用途によって異なり、植栽段階では 280～1,100 本/ha の範囲で、最終的には 150～250 本/ha に仕立てる。
- 森林樹種：パラグアイにおいて、比較的よく利用される外来樹種は *Paraíso gigante*、*Grevillea robusta*、*Ovenia* 及び *Toona* 等で、在来種は *Yvyra Pyta*、*Peterevy*、*Cedro* 及び *Yvyra Yu* 等である。



写真: *Grevillea robusta*を列間5m、苗間4m(1ha当たり500本)で植栽した農林複合システム。JIRCAS プロジェクト、San Roque González。

- 食用作物：農林複合システムでは、トウモロコシ、ポロト豆、キャッサバ、エンドウ、ピーナッツ、タルタゴなどの様々な伝統作物が作付けされる。樹木の庇

陰効果を活用して、パイナップル、バナナ、メロン、スイカなどの果菜生産を改善することも可能である。また野菜栽培にも利用することができる。

- 生産システムの管理: 適切に管理されれば、農林複合システムによって長期的に高品質の用材樹を育成する一方で、果樹等の非用材樹を導入し、短期収入を得ることができる。

2.3 農林複合システムに適応する品種の特徴

農林複合システムは、農家側のニーズに対応し、農家が受入れ易い状態で設定されなければならない。このため、システムの確立に適応させる意図で、農家側の便益が大きい樹種や食用作物を選定すべきである。



写真: バナナと *Grevillea robusta* の等高線栽培。JIRCASプロジェクト、San Roque González。

アグロフォレストリーに用いる農作物の特徴

- 植栽後 1 年は、樹木が順調に生育するように、作物栽培を密に行わないほうがよい。栽培可能な作物はピーナッツ、ポロト豆、キャッサバ、タチナタマメ、ルーピン等である。

- 樹高が低い間は、各種のつる性の豆類 (Kumanda guazú など) 及びムクナ等の作付けは避ける必要がある。
- 肥沃度の低い土地では、大気中の窒素を固定するため、ポロト豆、エンドウ、ルーピン、キマメ等の豆科植物が望ましい。
- 農家を取り入れやすく、栄養確保や収入となる作物が望ましい。

農作物と混植する樹種の特徴

- 可能な限り、Paraíso Gigante、Grevillea、Toona、Ovenia 等の成長が速く、木材の商業価値が高い外来樹種を導入すべきである。
- 在来樹種によるアグロフォレストリーを導入する場合は、相対的に成長が速く、農家に知られている Yvyra Pyta、Peterevy、Cedro、Yvyra Yu 等 が望ましい。
- Lapacho や Curupay kuru など、作物との相性が良くない樹種、及び Inga や Timbo 等の樹冠が閉鎖し易い広葉低木樹種を導入すべきではない。
- 樹木の幹がまっすぐに育つよう仕立て、枝条の剪定が容易な状態を保つ必要がある。

時には、樹間に日影を好む永年生作物を作付けることがある。該当する作物は、25% 程度の日陰を必要とするコーヒーやマテ茶等である。アグロフォレストリー向けの樹種としては、特に、Grevillea robusta、Cedro、Yvyra Pyta、Peterevy、Toona、ギンネムが望ましい。



写真: JIRCASプロジェクトにおいて農家の圃場で実施されたアグロフォレストリー (Grevillea robustaとキャッサバ)。San Roque González 市、Rincón Costa。

2.4 農林複合システムがもたらす便益

農林複合システムの主な便益は以下のとおりである。

1) 経済的便益

- 短期的には農産生産の増加による農家の食料確保及び収入増。
- 枝打ち(薪炭材)、間伐(支柱)による派生材、又はパイナップル、バナナ、マテ茶のような多年生作物の収量増による中期的収入の増。
- 産業向け(木工材、板材、建築材など)の木材からの長期的収入の増。
- 蜂蜜、飼料、在来種果実、薬用物質等の用材以外の林産物からの収入増。
- アグロフォレストリーを適切に行うことによる農家の土地管理能力の改善。
- 土地の長期的価値の増加。

2) 地力回復及び保全に係る便益

- 樹木による土壌侵食防止、並びに土壌の物理性及び化学性の改善を通じ、劣化土壌の地力回復・保全が図られる。
- 植物残渣の増により土壌の肥沃度が改善し、有機物含有率を増加させる。
- Yvyra Pyta、Leucaena、Kumanda yvyra-i 等のマメ科樹木による土壌への空中窒素の固定。
- 短中長期的な生産計画を通じて圃場の生産性と持続可能性が向上する。

3) 環境便益と社会的便益:

- 農村景観の改善、生態系の回復。
- 水土保持効果による流域保全と水源涵養。



写真：在来樹種を使ったアグロフォレストリー、JIRCASプロジェクト、San Roque González。

3 林畜複合システム

3.1 林畜複合システムの特徴

パラグアイでは、肥沃度の低い、森林伐採及び森林火災によって開かれた土地で、放牧利用が盛んとなった。このような土地では土壌侵食を受け易く、傾斜地や砂質土壌地域ではその傾向が強くなっている。

一方で、生態学的かつ経済的に実行可能な放牧システムを求める動きがあり、この結果、植林と牧畜業を組み合わせた林畜複合システムが実施されるようになった。

パラグアイには、放牧に適した土地が広く存在し、これらの地域は植林にも適していることか、持続可能な生産方法として、林畜複合システムが選択肢の一つとなりうる。

林畜複合システムはアグロフォレストリーに含まれ、同じ区画内で畜産と植林を同時に実施するものである。

この生産システムには、樹木と(放牧用の)草又は飼料作物という2つの要素がある。

林畜複合システムでは、これらについて以下の相互作用が期待できる。

- マメ科の樹木は空中窒素の固定を促進し、草地の生産性を向上させる。
- 樹木は牧草の利用できない深い土壌から養分を吸い上げ、これらの養分は樹木のバイオマス、根系により牧草にも効果を及ぼす。
- 樹木の遮光効果により、空間、日光及び養分摂取で牧草と競合する低木の繁茂を抑制する。



写真：林畜複合システムのため農家の圃場に植栽した*Eucalyptus camaldulensis*の成功例、San Roque González。

林畜複合システムは、牧草の育成に有利な微気象を創出し、適切な草種及び樹種を導入することで、土壌の理化学性の回復に資するシステムである。このことにより放牧地の生産性が向上し、特に干ばつ時に効果が発揮される。

林畜複合システムの便益は以下のとおりである。

- 土壌が保全され、土壌水分が保持されることで、飼料の安定生産が可能になる。
- 放牧家畜を強い日光から保護することで、出生数、増体量、乳量が増加する。
- 家畜の廃棄物が放牧地に還元され、樹木の成長を促進する。

- 林畜複合システムの適切な実施により、樹木の枝打ち、間伐コストを軽減できる。
- 景観が向上する。
- 林畜複合システムの確立によって、収入増が見込まれる。



写真: *Eucalyptus camaldulensis*を自然草地に植栽した林畜複合システム、JIRCASプロジェクト、San Roque González

林畜複合システムを発展させる試みはこれまでも行われてきたが、様々な理由で普及しなかった。大きな理由は、放牧単独の土地利用方式が根強いためである。しかし近年は、アルゼンチンミシオネス州で技術的に確立されたこのシステムが普及しつつある。

3.2 林畜複合システムの種類

林畜複合システムの導入に当たり、検討すべき事項は以下のとおりである。

- 適切な牧草、飼料作物、植林樹種及び家畜種を選択すること。
- 土壌条件を考慮した、適切な植林間隔。

林畜複合システムの種類は、以下のとおりである。

- **自然林を利用した放牧システム**: 伝統的な林畜複合システムで、欧米で実践されてきた。計画や投資はほとんど必要ない。
- **林業のための林畜複合システム**: 商業用の植林地において、(1)樹木が成長する期間に追加収入を得る、(2)下草をコントロールしながら森林火災のリスクを低下させる、という理由から実施されている。このシステムは中規模以上の農家又は企業で実施されることが多く、十分な計画と投資が必要である。
- **牧草地における林畜複合システム**: 自然草地に植林し、林畜複合システムとするもので、大きな可能性がある。自然草地の肥沃度の低い土壌では、*Eucalyptus camaldulensis* 等の早生外来樹種を植栽するのが一般である。また、生産性の高い牧草の導による自然草地の改良を同時に実施すれば、効果的である。
- **牧草地と飼料樹木又は低木との統合**: 飼料用の樹木を自然草地又は人工草地に導入するものである。飼料となる樹種としては、*Leucaena* 等のマメ科が適切で、等高線状に生垣のように植栽する方法がある。このシステムはまだほとんど普及していないが、熱帯地域の畜産に関しては大きな可能性がある。
- **果樹園での放牧**: 一部の区域では、特に雑草防除と防火を目的とした果樹園での放牧が古くから行われている。熱帯地方では、かんきつ類の果樹園で馬やヤギを飼育する農法が行われている。これは、果樹の幹や葉に損傷を与えずに熱帯地方の強い雑草を防除できるからである。
- **集約的システム**: マメ科の樹種を植栽した土地で、栄養価の高い優良牧草を集約的に生産するシステムで、化学肥料や外部資材の軽減を図り、牧草の質を高め、経費節減するものである。主に酪農の採草地として利用される。

3.3 林畜複合システムの確立

樹木と放牧家畜を含む牧草地の組合せは多様であり、例示すると以下のとおりである。

- 植栽本数を 1,100～1,600 本/ha として高密度で森林造成する林畜複合システムでは、一定年数経過後、2～3 回に分けて間伐を行い、草地が良好な状態に維持されるよう管理する。
- 植栽本数 400～500 本/ha 程度の低密度の植林を行う場合、牧草の生育にとって条件がよいので、間伐回数は少なく、最終的には 200～250 本/ha に仕立てる。
- 適度な密度で複数の孤立した林地を形成する場合は、牧草の生育に支障のない樹間を確保する。
- グレビレアやユーカリ等の早生樹種を導入する場合、2、3 年後には家畜の放牧が可能となる。

牧草地を適切に管理するためには、牧草地を複数区画に区分し、区画ごとに順次家畜の放牧を行い、放牧後の牧草地が十分に回復できるよう計画する。このためには電牧がよく使用され、牧草地の区分を経済的に行うことができる。

林畜複合システム向け牧草品種では、Jesuita Gigante (*Axonopus catarinensis* Valls) が有望である。この品種は1986年にEPAGRI(ブラジル)の技術者によって発見された。同じ品種はAlto Valle de Itajaí (ブラジル)で、Pasto Misionero (*Axonopus jesuiticus*)とPasto Chato (*A. scoparius*) の自然交配からも得られた。実際には、アルゼンチンミシオネス州にあるINTAのEstación Experimental Agropecuaria de Cerro Azulで1996年に導入された。

Jesuita Gigante (*Axonopus catarinensis*) の特徴は以下のとおりである。

- ▶ 夏季の多年生草種。
- ▶ 長い匍匐枝によって広がる習性を有する(種子は作らない)。
- ▶ 耐寒性がある。
- ▶ 家畜の踏圧に耐性がある。
- ▶ 家畜が好む。
- ▶ 日影に強い。
- ▶ 移植後の雑草との競合に負けない。
- ▶ 湿潤に強い。
- ▶ 乾物の生産量 17 t/ha. (アルゼンチンミシオネス州)。
- ▶ タンパク質 13%、乾物の消化率 65%。

育苗は、ポットで行ない、年中生産可能であるが、春の生産が望ましい。植え付け間隔は1～3mで、苗間は1mが適当である。生育期間中は、植栽されたばかりの林地や、作物にもなじみがよい。圃場への植え付け期間は、土壌、気候、雑草の状況によるが、年間6～10ヶ月間である。

アルゼンチンミシオネス州のINTA Cerro Azulの試験結果では、Jesuita GiganteはBrizanta、Dwarfed及びColonial Elephant等の品種よりも耐陰性が高いとのことである。また、ブラジルのEPAGRIでは、平均161kg/頭の家畜を4.3頭/ha～5.4頭/haの割合でJesuita Giganteの草地に放牧したところ、12カ月後の平均体重は435kgとなり、1頭当たり平均増体量は750g/日であったとのことである。

パラグアリ県San Roque González市のJIRCAS展示圃場では、この牧草の順調な成長が観察され、現在も増殖し続けている。



写真: Jesuita Giganteの順調な生育、JIRCAS展示圃場、パラグアリ県、San Roque González。

3.4 林畜複合システムの便益

樹木の牧草地への導入は、家畜に便益をもたらしている。主な便益は以下のとおりである。

1) 庇陰効果

- 熱帯地域の樹木下の気温は通常より 2～3°C 低く、場合によっては 10°C 近くまで低くなることがある。この温度差は体表面からの除熱を助長し、家畜の放熱の負荷を軽減するため、増体率が向上する。
- 庇陰林は家畜の活動、生殖及び生存に直接影響する。
- 庇陰林により、家畜の食物消化率が向上し、飼料の効率化が可能となる。
- 庇陰林内の家畜は、水分の必要摂取量が少なくなり、干ばつ時に効果的である。



写真：酷暑の時間帯に日陰で草を食べる家畜、JIRCAS展示圃場、パラグアリ県、San Roque González。

2) 飼料

- 養分の転換効率が向上し、体重及び産乳量が増加する。
- 飼料用低木の植栽により、飼料の品質が向上し、濃厚飼料の利用量が減少する。

3) 家畜の繁殖

- 繁殖の早期化、繁殖率の向上、定期的な出産サイクル及び生殖寿命の増加。
- 子牛の死亡率低下。

4) 牧草生産

- 良質の牧草生産に適した微気象が得られる。
- マメ科の樹種を導入した場合、空中窒素の固定作用により窒素肥料の使用が軽減できる。

林畜複合システムを適切に実施するためには、以下に留意する必要がある。

- 牧草の量が十分であれば、家畜は樹木の葉を食べない。
- 植林後の最初の数年間で、牧草地は順調に回復し、牧草量が増加する。

- 樹冠率の増加にしたがい、牧草生産量は徐々に減少するが、耐陰性の牧草種を導入することで生産量は安定する。
- 春季には牧草によって樹木の萌芽が保護される。
- 乾季に牧草地の生産性が低下した場合、家畜は樹木の葉や樹皮を食するため、林地の生産性が低下する。この時期には家畜を植林区画に入れてはならない。
- 樹木数が 200 本/ha 程度の場合は、牧草が成長できる十分な陽光が圃場に得られるが、良質の木材を収穫するためには、最初に植栽数を増やし、最良の木を選択できるようにする方法が望ましい。
- 樹木を疎植すると枝量が発達し、樹冠の成長に伴って樹幹も生育するが、良質の用材とするためには、枝打ちの手間が増加する。

4 農林畜複合システム

4.1 農林畜複合システムの生産要素

農林畜複合システムの基本的特徴は、圃場の生産を最適化することで、農家の収入を向上させることである。樹木は農家に収入をもたらすとともに、土壌保全、肥沃度向上、微気象の改善、区画の境界設定、炭素蓄積、河川流域の保全、生物多様性の向上にも寄与する。

特に劣化土壌の回復が重要で、低生産性により耕作放棄された土地をアグロフォレストリーにより回復させ、生産システムに取り入れる。農林畜複合システムもこの一つである。



写真：小規模農家の圃場(休耕地)内の劣化区画の様子。パラグアリ県、San Roque González。

農林畜複合システムを構成する異なる生産要素(森林、農業、家畜)は、圃場内に適切に配置する必要がある。計画に当たっては、圃場の地形(平地又は起伏)、水域、土壌及び農家のニーズと経済的便益などに配慮した上で、樹種、農作物、牧草及び家畜を選定する。

林地を設定する場合、商品価値の高い樹木があれば、圃場内に残す。また、Jesuita Giganteなどを移植する場合は、早生樹の植栽時期に合わせて実施することが望ましい。農林畜複合システムでは、2段階で展開する。

- 第1段階: 最初にアグロフォレストリーを前提とした早生樹の植林を行い、樹間で農作物を栽培する。



写真：緑肥作物と混生する1年目のEucalyptus grandis植林地。JIRCASプロジェクト、San Roque González。

- 第2段階：早生樹の植栽から2～3年後に、農作物を Jesuita Gigante などの牧草に置き換える。この段階で林畜複合システムに切り替えるが、樹木は既に十分生育しており、家畜の被害を受けることはない。

いずれの段階でも、樹木、農作物、牧草及び家畜は同程度に重要であり、適時の手入れが必要である。これらの種類の選定及び組合せ方法は、農家の生産目的によって変わる。

農林畜複合システムの確立に当たって検討すべき事項は以下のとおりである。

- 導入する樹木、作物、牧草の品種は、共存性、生育管理の容易性及び生産性に優れ、市場価値のあるものを選定する。
- 樹木の植栽、作物や牧草の播種時期は、暑すぎず、降水量の多い時期に行う。
- 樹種及び植栽密度はシステム全体の効率性に影響するので、十分な検討を行う。
- 農家に普及するためには、在来技術と農家が関心を寄せる新技術のバランスを考慮する。



写真: *Eucalyptus camaldulensis* (2年生) による農家の林畜複合システム。JIRCASプロジェクト、パラグアリ県San Roque González。

4.2 農林畜複合システムに用いる樹種

農林畜複合システムでは、在来種と外来種の樹種を組み合わせることで導入すれば、多様な空間構造を確立することができる。

農林畜複合システムに利用可能な在来種及び外来種は、以下のとおりである。

1) 主な在来種

- *Yvyra pyta* (*Peltophorum dubium*): これは天然更新に優れた早生マメ科樹種で、パラグアイ東部に生育する。あらゆる種類の土壌に適応し、用材、薪炭材、柱等多数の用途がある。広葉樹のため、植林時は十分な間隔を設ける。
- *Cedro* (*Cedrela fissilis*): *Meliaceae* 科に属す樹木で、自然林に多く見られるが、良質材のため乱伐が進み次第に消滅しつつある。防除の難しいマホガニーシンクイムシ (*Hypsiphyla grandella*) の被害を受けやすい問題があるため、他の樹種との混植が望ましい。



写真: Cedroを使った農林複合システム、JIRCASプロジェクト、San Roque González。

- Peterevy (*Cordia trichotoma*): 市場価値の高い樹木で、干ばつや降霜に強く、繁殖力も高いが、種子の発芽力は低いので、増殖し過ぎることはない。
- Yvyra ju (*Albizia hassleri*): 極早生種のマメ科植物で、パラグアイ中央部に多く生育する。農林複合、林畜複合システムへの適合性に優れているが、木材は主として薪炭材向きである。
- Yvyra ro (*Pterogyne nitens*): 自然更新に優れたマメ科植物で、パラグアイ中央部に多く生育する。用材、薪炭材及び柱材として使用されることが多い。

2) 主な外来種

- *Grevillea robusta*: オーストラリア原産の **Proteaceae** 科で、国内でよく利用される早生種である。木材は家具や建築に利用され、枝は薪炭材になる。アグロフォレストリーには 500 本/ha (5m×4m) 以下の植栽密度が望ましい。
- Paraíso gigante(*Melia azederach*): センダン科に属す早生種で、高級木材として薄板に使用され、枝は薪炭材、葉と果実は自然殺虫剤として利用可能である。アグロフォレストリーには適するが、林畜複合システムには適さない。この品種は感染すると黄化し枯死する **Fitoplasma** 病に弱いという欠点がある。

- ギンネム (*Leucaena leucocephala*): マメ科植物で、どのような土壌にも高い適応性がある。劣化土壌の地力回復に利用され、動物の飼料にも利用可能である。枝や幹は薪炭材向けである。
- ケンポナシ (*Hovenia dulcis*): 日本原産でクロウメモドキ科に属す。遮光樹として利用されることが多いが、用材や薪炭材にも利用できる他、飼料にも用いられる。農林複合、林畜複合システムによく適応する。
- Toona (*Toona ciliata*): センダン科。トーナ材は実際には Cedro と同じ技術特性を有する。早生種だが、初期の育成段階では手入れが必要で、霜に弱い。アグロフォレストリーでは 500 本/ha (5m×4m) 以下の植栽密度が望ましい。

4.3 農林畜複合システムにおける相互作用と便益

農畜林複合システムで生じる相互作用は、以下のとおりである。

- 樹木と農作物及び牧草の相互作用
- 樹木と家畜の相互作用

この相互作用は、正と負の双方に働く。しかし、農畜林複合システムを導入するのは正の相互作用を最大限活用するためである。

農畜林複合システムの環境、社会経済的便益として、以下を挙げることができる。

- 圃場の空間利用と利用時期を効率化できる。
- 微気象環境が改善される。
- 農林畜複合システムでは、共生する農作物や窒素固定能を持つ飼料作物が生産するバイオマスによって養分が補足される。
- 種の多様性の増加は土壌生態系を安定させると共に、病虫害の発生率を低下させる。
- 生物多様性に有利に働く。
- 樹木により、長期的な便益が確保される。
- 単一作物への依存がなくなり、気候変動等の予期しないリスクへの適応力が高まる。

4.4 農林畜複合システムの採用を制限する要因

小規模農家にアグロフォレストリーを導入するに際し、農家の大多数は資源の急速な劣化を認識しているものの、新たな技術の採用を制限する社会経済的要因が複数存在する。

主な制約要因は以下のとおりである。

- 農家の従来の営農方式。自然草地における農業生産と放牧は、小規模農家の従来の営農方式であるため、農林畜複合技術を採用することは難しい。
- 短期収益の必要性。農家は家族の生存のための食料生産と短期収入の獲得に強い関心があるので、植林のような中長期的な収益に係る生産活動には取り組まないことが多い。
- 労働力の制約。農林畜複合システムの運営に当たり、各生産要素の管理に対し労働力を必要とする。しかし農村では、都市部へ季節労働に出る若年労働者が多く、労働力の高齢化、減少傾向が生じ、新技術に対する追加的な労働の配分を困難にしている。
- 土地資源の劣化。圃場の多くは、土地が劣化し、土壌保全、地力回復の作業が必要である。これに加えて、手間のかかる農林畜複合システムの導入を図ることは容易でない。
- 長期貸付金の不在。農林畜複合システムは長期的な便益を生じさせるが、金融機関からの貸付金の返済期間は 1～最大 3 年である。このため、資金不足により農林畜複合システムの導入が制限される。
- 支援の不足。農林畜複合システムを普及するための、農家の意識改革、研修、技術導入等への支援が不足している。

5 その他のアグロフォレストリーモデル - 防風林

5.1 防風林の概念と機能

防風林は、作物にダメージを与える強風や塵埃を防ぐ障害物で、十分に密集した1列又は複数列に配置した樹木又は低木群である。防風林は防風効果だけでなく、アグロフォレストリーの代替手段にもなる。栽培目的で圃場内に配置した樹木又は低木群は、家畜を風から守る役割を果たす。

風が有害となるのは風速**2m/秒**を超える時であり、主風向に直角となるよう設置されなければならない。

防風林の主な役割は圃場を保護し、風力を軽減して作物や家畜への被害や土壌侵食を防ぐことである。

農家の圃場では、強風が発生すると、トウモロコシ、キャッサバ、綿、ゴマその他の農作物が倒伏し多くの損害が発生する。冬季になると、区画内に南風が吹き込むため、土壌中の水分量が減少し、霜害が発生する。

防風林の目的をまとめると、以下のとおりである。

- 風食による土壌肥沃度の低下を避けること。
- 強風による作物及び家畜への物理的被害を軽減すること。
- 微気象の条件（気温、湿度など）を調節すること。
- 圃場における植物の蒸散を軽減すること。
- 風による土壌の移動を抑制すること。



写真： 区画を分離する意図で1号線付近に造成された防風林。セントラル県Itáの農家の圃場。

防風林は複数列の樹木及び低木を異なる層に整然と配置されるよう設計されなければならない。

防風林の設計については以下に配慮する必要がある。

- 植栽間隔。樹種に応じて、植栽密度は 1 列当り 1.5～2.5m、列間 2.0～3.0m の範囲とする。
- 防風林を構成する樹種及び列数。
- 風速、風向、及び保護すべき対象物(農作物、家畜、家屋、水路など)。

防風効果が直接及ぶ範囲は、通常、樹高の倍の長さである。間接的な減風効果は、防風林の樹高の10倍から30倍の距離まで及ぶ。

防風林が風と直角方向に設置されると、垂直方向に乱気流が発生する。この乱気流の力は防風林の密閉度に比例する。つまり、枝条や葉による被覆度が高いほど防風効果が増加する。

防風林設置のための留意事項は以下のとおりである。

- 透過性: 風に対する抵抗性の比率として示される。透過性が低い防風林は、農作物を風害から保護することができないため望ましくない。防風林の透過性は50%程度に設定する必要がある。
- 外形: これは防風林の横断面形状である。長方形は山形より、防風林上で発生する乱気流に対する防風効果が大きくなる。
- 林帯幅: 林帯幅は減風効果にあまり重要ではない。林帯幅が狭く透過性が中程度の防風林は幅広のものと同じ防風効果を示す。防風林の幅は植林地の地形と十分な透過性を確保するのに必要な最低列数によって決定する。
- 樹高: 防風林の保護範囲は樹高に比例し、風速に反比例する。
- 設置方向: 防風林は、主風向と直角な方向に設置しなければならない。
- 総延長と連続性: 総延長は樹高の10倍以上24倍以下が望ましい。特定箇所で風速が増加しないよう、防風林の連続性を確保する必要がある。

5.2 防風林のための樹種

必要な防風範囲が広い場合は、どの場所も風害が生じないよう防風林を造成すべきである。早急に防風機能を確保するためには早生樹種の植栽が必要である。選定された樹木の根系は、深く根付いて防風効果を高めるものが望ましい。

防風効果を高めるためには、強風、中風及び弱風の風力レベルに合わせた3段階又は3層構造を検討する。これは主林帯(強風層)、二次林帯(中風層)及び補助林帯(弱風層)である。設置場所はそれぞれ外側、中間及び内側である。

防風林の利用は、中央部チャコ地方のように特定時期に降雨量が少なく、卓越風が発生する地域で広がりつつある。防風林の列数は密閉度を確保するために、1～5列の範囲とする。苗間及び列間の距離は、成長時に葉の重なりができるように、樹高と枝の成長を検討しなければならない。

植栽以外にも、植林後の維持管理、枯死した樹木の植替え、雑草、病虫害への対応が必要である。

防風林に利用可能な主な樹種は、以下のとおりである。

- *Grevillea robusta*: パラグアイでは、グレビレア種は主として防風林及び屋内装飾用板材として導入されたため、国内各地に樹齢約20～30年の樹林が存在する。グレビレア種は深根性で、養分や水分で農作物と競合することはないため、ア

グロフォレストリー向きである。農家の多くは、グレビレア種を家屋周囲や圃場の境界に1列又は複数列植栽すれば防風効果があることを認識している。



写真: 防風林の役割を果たす *Grevillea robusta* の植生地。パラグアリ県、Yaguarón の農家の圃場。

- *Cunninghamiana Casuarina*: 樹高 20m、幹径 65cm まで成長する樹木で、枝量が多く、樹冠は広がり、円錐形である。砂質土壌でよく育ち、土壌の窒素量を増大する。メノニータの農家では、単列で防風林に利用している。木材は柱、薪炭材及び建材に利用される。
- キマメ (*Cajanus cajan*): マメ科植物の低木で耐高温、耐干ばつ性があるため、パラグアイの気候に順応する。劣化土壌でも育ちやすい。植栽一年目は一年生作物と組み合わせることができる。緑肥として優れた機能があるほか、実は食用となる。
- ギンネム *Leucaena leucocephala*: ギンネムはパラグアイ全土で栽培されるマメ科植物であり、年間降雨量が 500~2000mm の地域でよく育つ。また、長期的な干ばつに強い。早生樹で pH5~8 の土壌、つまり酸性でもアルカリ性土壌でも育つ。高品質の飼料木であり、優れたたんぱく源である。薪炭材に利用できる。ギンネムは生垣、アグロフォレストリーへの利用も可能である。



写真：飼料木及び薪炭材としても利用されるLeucaenaの防風林。セントラル県の農家の圃場。

5.3 防風林がもたらす便益

農業的観点から見た防風林の便益は以下のとおりである。

- チャコ地域のような平坦な砂礫地において風食を軽減する。
- 土壌の水分及び肥沃度の減少を軽減する。
- 農作物に有利な微気象を生じさせる。
- 強風及び乾風による蒸発散を軽減する。
- 農作物の物理的損傷を軽減する。
- 病虫害の影響を軽減し、生態系の回復に資する。
- 土地の境界設定となる。

放牧地に防風林がない場合、家畜は強風を避け、溝、斜面又は丘陵に移動する。このような遮蔽物がない場合、家畜にダメージを与えることがある。放牧地内の防風林は、U字型（北側をオープンにする）、または逆T型（Tの下棒が北向き）に設置する方法が効果的とされている。防風林の種類は、グレビレアのように下部から上部にかけて枝が盛んに出る樹木が適している。

放牧地に防風林を導入する利点は以下のとおりである。

- マメ科の飼料木を導入した場合、飼料の質と量が増加する。
- 長時間の強風による家畜ダメージの軽減。
- 微気象の良好化。
- 厳寒期での家畜の保温効果。

一方小規模農家は、防風林が提供する便益にもかかわらず、農林畜複合システムの導入と同様の理由で、防風林への投資に対しても消極的である。

参考文献

- 1) Ávila, G. G. 2006. Barreras Rompe Vientos. Proyecto Comunidades y Cuenca. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. 5 p.
- 2) Fassola, H.; Keller A. 2002. El Sistema Silvopastoril y la Nueva Generación Empresaria. INTA, Montecarlo. Technical report. Misiones, Argentina. 240 a 244 p.
- 3) Hernández, M. C. y Andrade, H. J. 2005. Sistema Silvopastoril. Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria. COPOICA, Regional Diez, Colombia. 12 p.
- 4) Instituto Forestal, Red Agroforestal Nacional. 2004. Sistema Productivo Integrado para una Agricultura Sustentable. Cartilla Agroforestal N° 1. Concepción, Chile. 7 p.
- 5) Instituto Forestal, Red Agroforestal Nacional. 2004. Sistema Silvopastoriles, una opción productiva para el Agricultor. Cartilla Agroforestal N° 2. Concepción, Chile. 6 p.
- 6) Instituto Forestal, Red Agroforestal Nacional. 2005. Sistemas Agro silvícolas, el árbol en beneficios de los cultivos agrícola. Cartilla Agroforestal N° 3. Concepción, Chile. 6 p.
- 7) INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y EXTENSIÓN AGRARIA. 2001. Sistemas Agroforestales. Informe Técnico de Agroforestería. Lima, Perú. 3p.
- 8) López, G. 2005. Sistemas Agroforestales. Ficha Técnica N°8. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural y Pesca. Subsecretaría de Desarrollo Rural. Puebla, México. 7 p.
- 9) Lugano, L. 1997. Sistema de Producción Silvopastoril. Gacetilla del Proyecto Forestal de Desarrollo, INTA. Rio Negro, Argentina. 3p.
- 10) MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. 2002. Aprovechamiento y Manejo de Recurso Bosque, Sistemas Agroforestales. Mocoa, Colombia. 15 p.
- 11) Navia, J. F.; Restrepo, J. M.; Villada, D. E. 2003. Agroforestería: Opción Tecnológica para el Manejo de los Suelos. Manual de Capacitación. FIDAR, CIAT. Santiago de Cali, Colombia. 31 p.
- 12) Polla, M. A. 2000. Experiencias en Sistemas Productivos Agroforestales y Silvopastoriles en Uruguay. MGAP, División Forestal. Montevideo, Uruguay. 22 p.
- 13) Proyecto JALDA. 2003. Conservación de Bosques y su Tecnología. Manual de Técnicas. J-GREEN. Sucre, Bolivia. 120 a 209 p.
- 14) Proyecto Manejo Sostenible de Recursos Naturales. 2007. Manual de Agroforestería. MAG-GTZ, Asunción, Paraguay. 45 p.

- 15) Sánchez, M. D. 2007. Sistemas agroforestales sostenible para la producción animal en Latinoamérica. FAO, Roma, Italia. 9 p.
 - 16) Sotomayor, A.; García, E.; González, M.; Lucero, A.; Vargas, V.; Villarroel, A.; Barrales, L.; Soto, H.; Moya, I. 2008. Modelos Agroforestales. Sistema Productivo Integrado para una agricultura sustentable. INFOR-INDAP. Chile. 80 p.
-

【著者】 Justo López Portillo

【翻訳】 松原英治

【連絡先】

〒305-8686 茨城県つくば市大わし 1－1

(独)国際農林水産業研究センター 農村開発領域

担 当：松原英治

電 話：029-838-6686

F a x：029-838-6693

E-mail：eijimatu@affrc.go.jp