
農地・土壌侵食防止対策 技術マニュアル



平成 16 年 3 月

独立行政法人 緑資源機構



J-Green

発刊にあたって

緑資源機構(J-Green)は、日本国政府(農林水産省)の政府開発援助予算を受けて、開発途上国の農業農村開発に資するため、自然資源、社会経済、農業実態の調査とそれらに関する資料の収集・情報の整備を実施している。これらの活動の重点テーマとして地球環境問題への取り組みがある。

開発途上国においては、人口増加、食糧不足、貧困やその他の要因により、土地の劣化、水や自然植生等自然資源の枯渇が懸念されるなど、地球環境保全の観点からも重大な問題が生じている。

ラテンアメリカ地域は、世界の耕地面積の14%、熱帯林の46%、水資源の31%、動植物種類の50%を占める世界一の資源大陸である(FAO1996)。しかし、そこでは大規模な土壌侵食が進行し、土壌肥沃度の低下などによる土壌劣化、また、それによる生物多様性の減少等の問題が発生している。特に半乾燥地域の畑作農業は、土壌侵食を受けやすく、水と土壌の保全による持続的な農業生産の確保と土壌劣化の防止が緊急の課題となっている。

これに対処するため、緑資源機構は、ラテンアメリカ諸国の中で特に土壌保全対策への取り組みが遅れているボリビア国の渓谷地帯を対象として平成11年度から平成15年度までの5ヵ年間、「農地・土壌侵食防止対策実証調査」を実施した。

本調査では、農地における土壌侵食の原因を明確にし、現地で実際に農業活動を営む小規模農民が適用可能な土壌保全対策技術と、これらの保全技術をベースとした農業農村開発手法について、その適応性を具体的に農家の参加を得て実証、確立することを目的としている。

本技術指針は、この実証調査で得られた結果を取りまとめたものである。

技術指針は、アンデス渓谷地帯を対象に、a) 土壌侵食対策技術を取りまとめた「技術マニュアル」、b) その技術をベースとした農業農村開発手法を取りまとめた「ガイドブック」および c) 農民への技術普及教材である「農民指導テキスト」などで構成されている。

本技術指針が、水土保全対策をベースとした持続的農業農村開発を企画あるいは実施している多くの国々の人々に利用され、自然資源の持続的な利用、環境保全の進展に貢献できることを切に願うものである。

この技術指針を作成するにあたっては、国内外の多くの方々からご指導とご協力を頂いた。特に、農林水産省、在ボリビア日本国大使館、国際協力機構ボリビア事務所、国内検討委員会、ボリビア国農牧省(MACIA)、チュキサカ県、サンフランシスコ・ハビエル大学、そして、調査地域の住民に対して、ここに記して、改めて感謝の意を表する次第である。

平成16年3月

独立行政法人緑資源機構
海外事業部
部長 御前 孝仁

対象地区位置図



出展：World Atlas.com

目 次

発刊にあたって

対象地区位置図

序 章

- I. 農地・土壌侵食防止対策実証調査について……………
- II. 技術指針の利用について……………
- III. 技術マニュアルの利用について……………

第1章 アンデス渓谷地帯の土壌侵食

- 1. 1 アンデス渓谷地帯の概要……………
 - 1. 1. 1 自然条件……………
 - 1. 1. 2 社会条件……………
 - 1. 1. 3 農業実態……………
- 1. 2 アンデス渓谷地帯における保全技術の選択条件……………
 - 1. 2. 1 全般的な保全事業技術の評価 ……
 - 1. 2. 2 地域で利用可能な保全対策技術……………
 - 1. 2. 3 保全技術の選択……………
- 1. 3 土壌侵食のメカニズム、実態およびその推定……………
 - 1. 3. 1 土壌侵食のメカニズム……………
 - 1. 3. 2 アンデス渓谷地帯における土壌侵食の実態……………
 - 1. 3. 3 土壌侵食量の推定方法……………

第2章 土木的保全対策技術

- 2. 1 土木的保全対策技術……………
 - 2. 1. 1 土木的保全対策技術とは……………
 - 2. 1. 2 土木的保全対策技術の効果……………
 - 2. 1. 3 土木的保全対策技術の役割……………
 - 2. 1. 4 土木的保全対策技術を適用する際の注意点……………
- 2. 2 農地整備対策……………
 - 2. 2. 1 テラス工……………
 - 2. 2. 2 水路テラス工……………
 - 2. 2. 3 ベンチテラス工……………
 - 2. 2. 4 植栽テラス工……………
 - 2. 2. 5 排水路工……………
 - 2. 2. 6 浸透溝……………
 - 2. 2. 7 ガリ防止工……………
 - 2. 2. 8 石積み工……………

2. 2. 9	土塁	.....
2. 3	水管理対策	.....
2. 3. 1	貯水池	.....
2. 3. 2	小規模ため池	.....
2. 3. 3	貯水槽	.....
2. 3. 4	屋根を利用した貯水施設	.....
2. 4	農村基盤整備対策	.....
2. 4. 1	農道の改修	.....
2. 4. 2	営農飲雑用水施設	.....

第3章 営農的保全対策技術

3. 1	土壌管理	.....
3. 1. 1	畑土壌肥沃度の現状	.....
3. 1. 2	有機物資材による土壌改良	.....
3. 1. 3	緑肥による土壌改良	.....
3. 2	栽培管理	.....
3. 2. 1	輪作	.....
3. 2. 2	間作、混作	.....
3. 2. 3	表土被覆	.....
3. 2. 4	施肥管理	.....
3. 2. 5	耕うん作業	.....
3. 2. 6	主要作物の栽培法	.....

第4章 森林保全とその技術

4. 1	林業技術の採用	.....
4. 2	農村開発における有用な植林目標	.....
4. 2. 1	燃料確保の必要性 ー薪炭林の造成ー	.....
4. 2. 2	収入向上対策として ー木材生産林の造成ー	.....
4. 2. 3	環境財としての効果 ー環境林の造成ー	.....
4. 2. 4	農牧林業の一体化 ーアグロフォレストリーー	.....
4. 3	家族苗畑方式による苗木生産	.....
4. 3. 1	地域内生産の概念	.....
4. 3. 2	家族苗畑を設置するまえに	.....
4. 3. 3	育苗研修の実施	.....
4. 3. 4	家族苗畑の実施	.....
4. 3. 5	苗木生産者組合	.....
4. 4	半乾燥地の植林技術	.....
4. 4. 1	複層式植栽法	.....

4. 4. 2	石マルチによる乾燥対策	.....
4. 4. 3	播種床を用いた直播き造林法	.....
4. 4. 4	果樹栽培の可能性	.....
4. 5	植栽木の保護	.....
4. 5. 1	木製防護柵	.....
4. 5. 2	ペットボトルの活用	.....
4. 5. 3	棘のある枝の利用	.....
4. 5. 4	羊毛の活用	.....
4. 6	有用な植栽樹種	.....
4. 6. 1	樹木の用途	.....
4. 6. 2	土壌保全への効果	.....
4. 6. 3	農村開発等において有用な樹種	.....
4. 7	森林利用規則による資源管理	.....
4. 7. 1	目的	.....
4. 7. 2	規則制定の背景	.....
4. 7. 3	規則の概要	.....
4. 7. 4	残る問題点と対策	.....
4. 7. 5	森林利用規則(案)	.....

第5章 畜産対策技術

5. 1	家畜飼養の現状と土壌侵食	.....
5. 2	過放牧対策について	.....
5. 2. 1	過放牧の問題点	.....
5. 2. 2	過放牧対策	.....
5. 2. 3	対策の要点と内容	.....
5. 3	放牧頭数の適正化	.....
5. 3. 1	放牧頭数の削減について	.....
5. 3. 2	個体能力改善対策	.....
5. 3. 3	飼養形態改善対策	.....
5. 4	飼料生産利用対策	.....
5. 4. 1	飼料生産利用について	.....
5. 4. 2	草本飼料対策	.....
5. 4. 3	穀物飼料等生産対策	.....
5. 5	社会的規制による対策	.....

第6章 その他の対策技術

6. 1	穀物貯蔵家庭用サイロ	.....
6. 2	ミミズコンポスト	.....

参考・引用文献.....

付属資料

I. モデルによる土壌侵食量の推定方法.....

II. 有用樹種個別情報.....

序 章

Ⅰ．農地・土壌侵食防止対策実証調査について

(1) 調査の背景

近年、世界規模で進行する土壌侵食により農地の生産性が減少し、持続的な農業や住民の安定的な生活がおびやかされ、さらに下流側の社会インフラや生物多様性にも悪影響をあたえている。その中でもラテンアメリカ地域は、人口の増加と無秩序な農地拡大などを背景に、森林の破壊と土壌侵食を中心とした自然資源の劣化が世界で最も進んだ地域の一つになっている。

ラテンアメリカ地域は世界人口の10%を占めるに過ぎないが、世界の耕地の14%、熱帯林の46%、淡水資源の31%、動植物種の50%を占有する世界一の資源大陸である(FAO1996)。この地域において深刻な問題になっている降雨による土壌侵食は、地表の肥沃度を減少させるとともに、流下した土砂は下流側の河川やダムへ堆積し洪水発生の原因になり、また河川の閉塞が生物多様性に大きな打撃を与えている。このような状況から、世界環境保全基金(GEF)は1992年に土壌劣化を地球環境問題の重点分野に組み入れており、この対策を進めるための協力要請を各国に対し行っている。

このような背景の下、緑資源機構は農林水産省の補助金を受けて1995年から5年間、ラテンアメリカ地域を対象に、土壌侵食の現状および保全対策に関する基礎的データの収集を目的とした基礎調査を実施した。その結果、土壌侵食の要因、保全対策の取り組み状況、有効な保全技術、保全プロジェクトの優良事例とその要因等が明らかになった。

具体的には、農地の侵食防止には土木的な対策に加え、農家が実践できる持続的な営農技術の開発が重要であること、さらに農家に土壌侵食防止対策についての動機付け、インセンティブがあるような事業計画の立案と、計画段階から事業実施まで地域内の農民が全員参加できるようなシステムづくりが課題であることが明らかになった。また、事例調査を行った多くのプロジェクトが技術面、手法面で問題を抱え、結果として十分な成果を上げることができないでいる現状が明らかとなった。

この基礎調査結果を踏まえ、緑資源機構は、1999年から2003年までの5年間、土壌侵食の問題点を明確にし、小規模農民の持続可能な農業の実施と生活の安定化を図るために、現地に適応した農地の保全・土壌侵食防止対策をベースとした農業・農村開発計画の策定および侵食防止対策に必要な技術、手法を開発し、現地で実証することを目的とした「農地・土壌侵食防止対策実証調査」を実施した。

調査対象地域として、ラテンアメリカの中でも土壌保全対策の取り組みが遅れているアンデス渓谷地帯の中心に位置するボリビア国の渓谷地帯が選定された。ボリビアはアンデス山脈の山岳高地地帯とそこから低地に至る間の渓谷地帯が国土の4割を占め、渓谷地帯では大規模な土壌侵食の問題を抱えている。

(2) アンデス渓谷地帯における農地の土壌侵食と農業農村の現状

アンデス渓谷地帯における一般的な営農状況は、土地所有形態により状況が異なる。

小規模農家は自然条件が悪い傾斜地のやせた土地で自給的な農牧業を実施しているが、生産性が低く、常に食糧不足、貧困の状態にある。また、耕作適地の不足から農地の自然回復力を考慮しない収奪的な農業が行われており、これに起因する大規模な土壌侵食の発生、農地の劣化が小農の農業経営をさらに悪化させ、貧困を加速させている状況にある。

一方、中、大規模農家は比較的平坦で肥沃な優良農地において大規模な機械化農業を実施し、経済的には裕福である。しかし、土壌保全についての意識、知識の欠如から、土壌侵食に対する有効な対策がとられておらず、これらの農地でも水食による大規模な土壌侵食が発生している。

下表に示すとおり、アンデス地域の農業農村開発に係る最大の問題は土壌劣化であり、その原因は水食であると言っても過言ではない。

表 I -1 国別の土壌劣化のタイプ (単位：%)

国 名	水食	風食	化学的	物理的
アルゼンチン	37	47	3	13
ボリビア	59	23	18	<1
ブラジル	47	7	46	<1
チリ	66	32	<1	<1
パラグアイ	49	0	51	0
平 均	46	20	31	3

出典：DEGRADACIÓN DE SUELOS Y PROCUCCIÓN AGRÍCOLA EN ARGENTINA, BOLIVIA, BRASIL, CHILE Y PARAGUAY; FAO

土壌劣化を引き起こす主たる原因は、森林伐採、不適切な営農、過放牧、薪炭林の伐採などである(表 I -2 参照)。これは、地域農民が営む生活や営農活動の中で発生している、いわゆる人的な原因によるものである。しかし、それらの原因の多くは個々の農家が保全対策をとれば解決できるというのではなく、農民グループ、集落全体の問題として解決していく必要がある。例えば、ボリビアにおいて土壌劣化の最大の原因となっている過放牧対策としては、放牧をしている農家がその家畜頭数を減らせば済むように考えられるが、家畜頭数の減少は直接農家収入に跳ね返る問題であり、実際にはその実現は大きな困難を伴う。また、放牧家畜が、せっかく植林した苗木を食べてしまう問題も深刻であり、集落全体で森林管理をいかに行うか考えていくことが重要となる。

表Ⅰ-2 国別の土壌劣化の原因

(単位：百万 ha、%)

国 名	森林伐採		過放牧		薪炭過剰伐採		営農活動	
	面積	率	面積	率	面積	率	面積	率
アルゼンチン	9	17	16	30	12	22	16	31
ボリビア	4	35	7	63	<1	1	1	1
ブラジル	61	49	24	19	0	0	40	32
チリ	4	55	3	40	<1	<1	<1	5
パラグアイ	1	34	<1	2	0	0	2	64
平 均	79	39	50	25	12	6	60	30

出典：DEGRADACIÓN DE SUELOS Y PROCUCIÓN AGRÍCOLA EN ARGENTINA, BOLIVIA, BRASIL, CHILE Y PARAGUAY; FAO



写真Ⅰ-1 過放牧により、植生が自然回復できない状態にまで劣化している。



写真Ⅰ-2 植生が衰退すると土壌侵食が急激に進行する。

(3) 農地・土壤保全対策をベースとした農業農村開発の必要性

農地は、農業生産者の生産基盤であり、生活基盤でもある。その保全は、当然、所有者(または利用者)である農民自らが主体的に行うものである。しかし、現実には、その必要性に対する認識の欠如から、農地、土壤の劣化が起こっている状況にある。また、水食による土壤侵食対策は個々の農家が対策をとりさえすれば解決できるというものではなく、流域全体で対策を講ずる必要がある。

緑資源機構は 1995 年から 5 ヶ年かけて、ラテンアメリカ地域における土壤侵食に関する基礎調査を行った。多くの事例を調べた結果分かったことは、土壤侵食対策を行うにあたり、保全技術のみ、あるいは保全対策実施手法のみでは持続性のある対策は困難であること、また、既存の開発手法自体、その適応性において限界が見られるということであった。すなわち、「農家に受け入れられない技術は、技術ではなく科学である」と言われるように、技術の確立と農家への適合性、普及性を重視することはもちろんであるが、さらに、これらを用いて農業農村を持続的に発展させるための手法の開発は一体的に行う必要があるということが明らかとなった。

この経験を踏まえ、実証調査では、保全対策技術の開発と農業農村開発手法の開発、それらの現地適応性の実証を一体的に実施する戦略が採られた。

前述の基礎調査で確認された従来の保全事業の問題を要約すると次のとおりである。

① アプローチがトップダウンであった

従来の保全対策のアプローチは、トップダウンによる方法であった。中央政府からのトップダウンで保全事業実施地区が決定され、地元農家の要望に基づき、彼らの自発的参加を得て実施されたものではなかった。このような場合、農家は事業実施に伴う賃金や様々なインセンティブには興味を示すものの、保全事業自体については、自分たちの農地の改善に役立ち、継続して行っていくという意識に乏しく(オーナーシップの欠如)、政府、NGO等が実施した保全事業終了後は事業効果の継続性はなかった。

② 農家の生業を考慮に入れた計画が立てられなかった

従来の保全計画立案では土壤調査や対策技術については十分な調査が実施されたが、農地の使用者である農民とその家族に対する調査はほとんど実施されなかった。農家が保全対策を行わない理由は、単にその知識がないだけの場合もあるが、保全対策の知識を持っても対策を採らないことがある。これは土壤や農作業に係る調査だけでは判断できず、農民とその家族を含めた農家の生業、具体的には農業・畜産・林業などの生産システムと、出稼ぎや水汲みなどの生活システムを分析し、その原因を明かにする必要がある。このため、保全対策の担い手である農家の生業についての視点を欠いた保全事業は、持続的な効果を発揮できなかった。

③ 技術普及のアプローチに問題があった

保全対策技術は、農家に使用してもらうことによって初めて意味をなす。ラテンアメリカ地域には、零細農家が使用できるような廉価で簡単な在地の保全技術がたくさんあるが、それらが農家で使われていないという問題がある。その原因は、技術を農家に普及するアプローチに問題があったと言える。すなわち、普及員が農民に技術の指導を行う垂直型の普及方式では、広い範囲に普及することは困難であること、また、農民の姿勢が受け身となり、自らの考えで周辺農家の優良事例を真似るなどの姿勢の欠如が見られた。

④ 保全事業が虫食的に実施された

従来の保全事業の実施単位は、地方自治体である「村」であった。しかも、村の中で保全事業に興味がある農家だけが参加して事業が行われ、保全対策が行われる面的な位置関係に配慮したものではなかった。つまり、上から下に流れる水のコントロールを対象とした水食に対する保全対策事業にも関わらず、流域というコンセプトが取り入れられておらず、虫食的に保全事業が実施された。このため、河川下流で保全事業を実施しても、上流側の農地で保全事業が実施されない場合、上流で発生した土壌流亡のため、下流側の保全施設が壊れるなど十分な保全効果が発揮できなかった。

⑤ 土木的保全対策に偏って実施された

従来から実施されてきた保全対策は、土木的な対策による「土粒子そのものの移動を防止」する方法であった。このため、利益を受けるべき農家にとって保全事業は、生産性の向上が図れず経済的なメリットが少ない魅力のないものであった。この結果、保全事業実施後、農家が保全施設の十分な維持管理を行わなくなり、再び土壌侵食が起こるというケースが見られた。

従来の保全事業を評価すると、農家の経済的なメリットが少なく、農家が熱意を持って保全事業に参加するほどの魅力がないものであったと言える。また、農家に保全対策を導入してもらうためのアプローチにも問題があった。

保全事業効果を持続性のあるものにし、持続的農業開発を行うためには、農家の経済的なメリットがあるような事業計画の立案と、住民参加による事業の実施、および農家、住民が全員参加できるような農業農村開発のシステムづくりがきわめて重要となる。また、保全事業は単に土木的、営農的対策の実施では不十分であり、限りある自然資源を住民みんなで共有するという意識を醸成すること、および保全対策を実施するにあたって障害となる様々な制限要因を取り除きながら農家、農民グループ、集落を単位とする総合的な保全対策を行うことが重要である。

換言すれば、ラテンアメリカ地域の土壌侵食防止のためには、単なる土壌保全対策ではなく、「土壌保全対策をベースとした農業農村開発」を一体的に行う必要であると言える。

（４）実証調査の概要

１）調査実施方針

実証調査では、ボリビア国チュキサカ県のグランデ川流域の３集落に試験圃場・展示圃場を設定し、土壌侵食防止に有効な土本的・営農的対策、保全事業の実施手法等を農家の参加を得て実証する手法を採用した。

また、小規模農民が現地に適応した手段で持続可能な農地・土壌保全対策を実施できるようにするため、上記（３）の調査結果を踏まえ、次の戦略が採られた。

- ① 住 民 参 加 型：農民の参加を得て、農民も応分の責任を分担
- ② 農家世帯システム：農民家族の生産と生活活動の総合評価と改善対策
- ③ 水平普及方式：農民から農民への技術の普及方式
- ④ 小 流 域 単 位：小流域単位での計画策定
- ⑤ 総 合 対 策：農地保全と農村インフラ整備などを組み合わせた総合対策

なお、上記②については、調査の過程で、農家世帯レベルだけではなく、集落レベル、および村レベルのそれぞれのレベルで明かになった問題を総合的に改善するシステムとして、「農村システム開発方式」に変更された。

２）調査の枠組み

実証調査は次のような枠組みで実施された。

なお、調査の実施体制および調査対象地の概要は、図Ⅰ-1 およびⅠ-2 のとおり。

① フィールド調査（農地保全事業に関する実証調査）：

チュキサカ県の自然条件、営農条件、社会経済的条件の異なる３集落（小流域）を対象とする現地実証型保全モデル事業（通称：JALDA プロジェクト）の実施を通じて、対策技術、手法を現地実証。

② 試験圃場調査（農地保全事業に関する試験研究・展示）：

現地サンフランシスコ・ハビエル大学付属農場内に試験圃場（土壌侵食防止技術試験、土づくり技術試験、植林技術試験の各プロット）を設置し、科学的データを収集。別途、展示圃場を設置し対策技術の展示、および農家圃場における参加型試験を実施。

③ 技術指針確立調査（技術指針策定のための情報収集）：

NGO等の協力を得て既存の技術情報の収集、分析。農家経済調査、HDI 調査等。

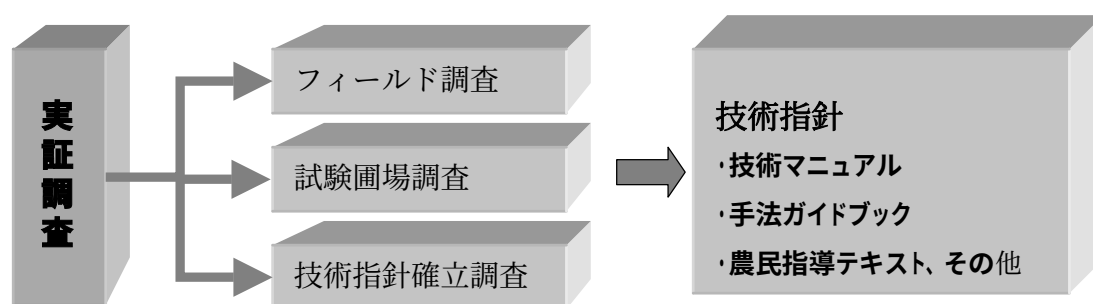
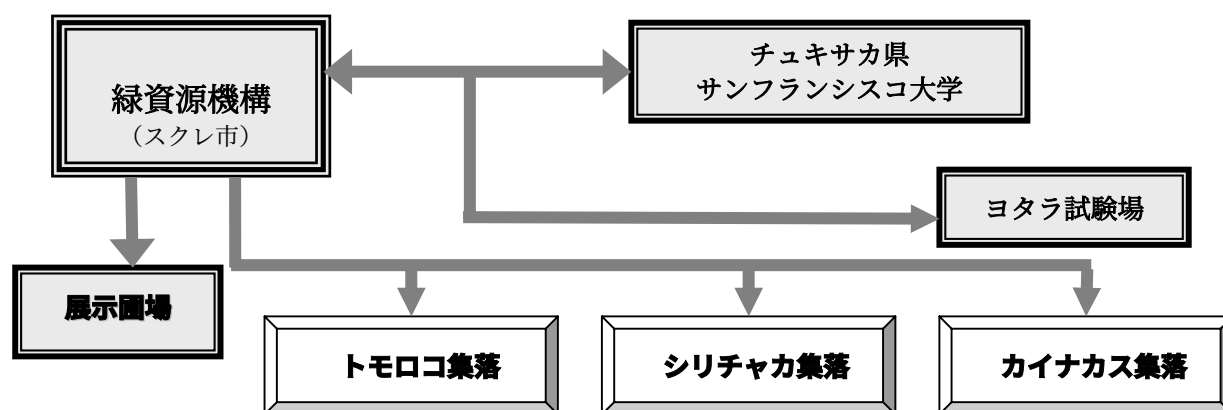


図 I -1 実証調査の実施体制



地 形	U 字型の谷底平坦地	台地上の平坦地	V字型の溪谷地
総 面 積	4,000ha	1,170ha	3,800ha
農地面積	400ha	200ha	230ha
標 高	2,600～3,000m	3,050m	2,500～3,100m
年降雨量	350mm	530mm	750mm
農 家 数	140	60	160
主な種族	ヤンパラ族	ヤンパラ族(モソ)	ハルカ族

図 I -2 実証調査の内容

II. 技術指針の利用について

(1) 技術指針の目的

本技術指針は、農牧地の土壌侵食などにより農牧生産性が低下し、離農、出稼ぎの増加、自給自足の未達成等様々な困難性に直面しているアンデス溪谷地帯において、その保全事業、農村開発事業を企画、計画、実施しようとしている技術者が必要とする技術的指針を提供し、アンデス溪谷地帯において持続的な農村開発に貢献することを目的に作成されたものである。

(2) 技術指針の利用者と適用範囲

本技術指針は、土壌侵食防止対策をベースとした農業・農村開発を担う政府関係機関、国際協力機関、NGO等の技術者が活用することを想定している。

本技術指針の適用範囲は、アンデス溪谷地帯（半乾燥、急傾斜地、天水農業地帯、小規模農民居住地）を対象としている。一方、政府の支援体制、支援を受ける農民の

経済社会的背景、自然条件が異なれば当然、プロジェクトの実施方法は変わってくる、また、変える必要がある。したがって、本技術指針の活用にあたっては、この点を十分考慮に入れる必要がある。しかし、ここに収録されている技術、手法の多くは、他の異なった条件の地域においても適応可能であると考えられる。

(3) 技術指針の構成と利用法

緑資源機構が作成した技術指針の内容は、表 II-1 のとおりである。

「技術マニュアル」にはアンデス溪谷地帯で使用可能な保全技術が記載されている。

「手法ガイドブック」にはアンデス溪谷地帯の保全概念、保全対策の実施に必要な一連の参加型の実施手法および現地実証調査で得られた経験などが記載されている。

「農民指導テキスト」は、現地実証調査において開発した農民指導用の研修教材である。また、「児童用環境教育テキスト」は、次世代の農地保全を担う子供たちに、自然資源、環境保全の重要性を教えるための小学校教師用テキストとして作成したものである。

農村開発における各技術指針の関わりを図 II-1 に示す。

表 II-1 技術指針の構成

1. 技術マニュアル ・ 土本的保全対策技術 ・ 営農的保全対策技術 ・ 森林保全とその技術 ・ 畜産対策技術 ・ その他の対策技術 2. 手法ガイドブック ・ 総合ガイド ・ 村レベルの意識改革手法 ・ 保全意識の醸成手法 ・ 保全リーダーの育成と組織化手法 ・ 女性グループの形成手法 ・ 現況診断と開発構想立案手法 ・ 水土保全対策の普及手法 ・ 農家所有地総合計画の策定手法 ・ 持続的な農村開発活動実施手法 ・ 参加型研修の進め方	3. 農民指導テキスト ・ 土壌侵食について ・ A型水準器の作製方法と使い方 ・ 石積み ・ 土塁 ・ 承水路 ・ 浸透溝 ・ ガリ防止工 ・ ベンチテラス ・ 個別テラス ・ コンポストの製造 ・ 緑肥 ・ 厩肥集積場建設 4. その他教材 ・ 児童用環境教育テキスト ・ 保全活動ビデオ ・ 実感シミュレータ、など
--	--

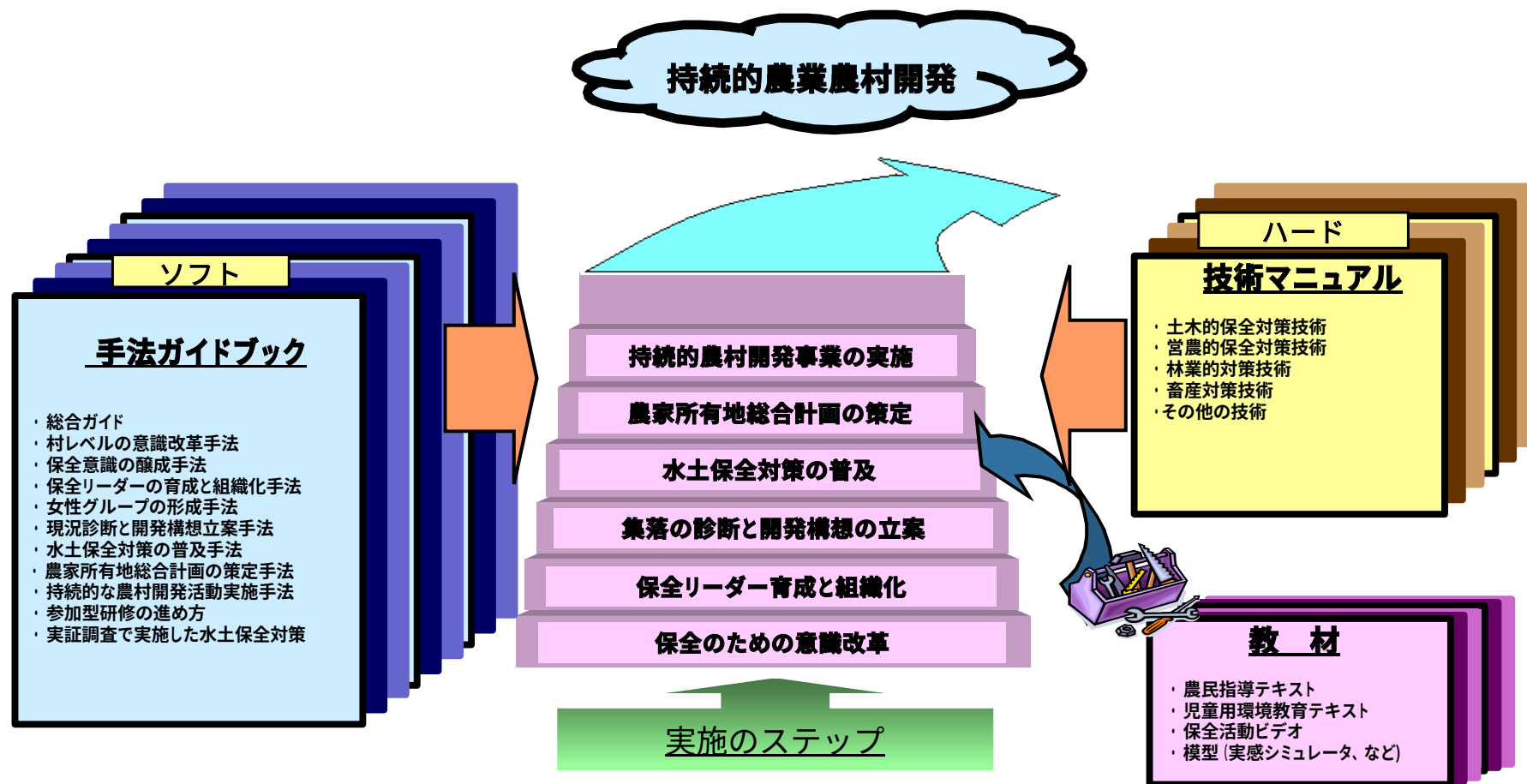


図 II -1 農村開発における技術指針の関わり



Ⅲ．技術マニュアルの利用について

（１） 技術マニュアルの目的

従来から実施されてきた土壌保全対策事業は、期待された効果の一部しか達成できていないと言われている。その主要な原因は、土壌保全対策の主役であるべき「農家」のニーズを十分に考慮しないまま、トップダウンで事業が実施されてきたことにあると考えられる。また、多くの場合、技術者が推薦する技術を農家が必ず使用するという前提で実施されてきたが、実際には、農家はそれらの技術をすぐには受け入れることができず、また、技術普及のアプローチにも問題があったと言われている。

このような従来からの問題点を踏まえ、住民参加型のアプローチや現地で農民に受け入れられる具体的な技術など、土壌保全事業をどのように進めるか（How to do ?）について記述した「ガイドブック」と具体的な適応技術（What to do ?）について記述した「技術マニュアル」が必要とされた。

本技術マニュアルは、アンデス渓谷地帯における農地の土壌侵食の軽減を図るために必要な、現地の人々が容易に実践し利用しうる保全対策技術をまとめたものである。

作成にあたっては、農民への適用性に重点を置き、在地の保全技術を実際に農家の圃場においてその保全効果、農家適応性を実証し、その結果を中心に、アンデス渓谷地帯に適用可能な保全対策技術マニュアルとして取りまとめている。

（２） 技術マニュアルの特徴

保全対策技術の普及にあたっては、その事業コストに対する意識が重要となる。農地の土壌侵食防止を担うのは、その所有者（使用者）である農民であり、したがって、高コストとなる土木施工機械による対策や、小規模農民が採用できないような高度な営農的保全対策技術は、その普及性、持続性から排除されることになる。

本技術マニュアルは、上記の観点から、現地の小規模農民が実践可能な保全対策を紹介している。したがって、結果として掲載されている技術はそれほど目新しいものではなく、既にいくらかの地域で実施されているものである。しかし、本技術マニュアルの特徴は、この各対策技術について、圃場試験での必要な科学的分析を踏まえ、利点・問題点・農家への適性を農民参加の下実際に現地で確認している点である。したがって、本マニュアルの現地適用性は極めて高いものとする。

（３） 技術マニュアルの構成と利用方法

技術マニュアルは、①土壌侵食のメカニズム、および具体的保全対策技術として、②土木的対策技術、③営農的対策技術、④森林保全による対策技術、⑤畜産対策技術、⑥その他の対策技術、を記載している。

土木的保全対策は、農地に「点的あるいは線的」に構造物などを設置する農地整備・水管理対策、また保全対策の実施にあたり制約となる要因の排除を目的とした農村基

盤整備による対策を記載している。

営農的保全対策では、農地の「面的対策」として土壌管理、栽培管理を通じた諸対策を記載している。

森林保全対策については、森林が土壌侵食防止効果のみならず、薪炭材、有用材、枝葉の家畜飼料としての活用、防風効果等様々な機能を持つことから、独立した章立てを行ない、対策技術を記載している。

さらに、畜産対策については、過放牧による地被植生の劣化が土壌侵食の最大の理由との観点から、放牧家畜の頭数を減らすための対策として、舎飼いに関する技術等を紹介している。

本技術マニュアルの活用にあたっては、現地の自然条件、資材の現地調達の可能性、農民の各対策についての興味・関心などを十分考慮に入れる必要がある。実際に保全対策を行う農民がどのような保全対策を好み、または採用したがるのはなぜか、などその背景についても十分に調べることが重要である。特定の保全対策が効果的であるからという理由で、農民の意向を無視して画一的に対策の導入を図ることは避けなければならない。むしろ農民自身が所有する有形、無形の資源（道具、時間、労働力、農地（の状態）、資金など）を有効に活用するための最適な保全対策の組み合わせを、本マニュアルの利用者である技術者が農民と一緒に考えていくことが望まれる。

最後に、繰り返しになるが、保全対策技術のみでは、農民にとって保全対策を行う動機とインセンティブに欠けることことから、その効果が持続し、また一般に広く普及することが困難であることは、これまでの多くの経験が物語っている。

したがって、本マニュアルを活用するにあたっては、特定の保全技術だけを採用した対策事業を計画するのではなく、ガイドブックと組み合わせて、総合的に実施することが肝要である。

第1章 アンデス溪谷地帯の土壤侵食

1.1 南米アンデス溪谷地帯の概要

南米大陸は、西側には大陸を南北に貫く標高 4,000～7,000 m、幅 150 ～320 km にも及ぶアンデス山脈がそびえ、東側には広大な平原が広がり、極めて多種多様な自然条件を有しており、そしてそれに対応した豊富な生物資源や、鉱物、水などその他の天然資源にも恵まれた世界一の資源大陸である。アンデス山脈尾根筋の標高の高い地域一帯は急峻な山岳あるいは起伏のなだらかな高原を呈しており、そこから下って大陸東側の広大な平原へと至るまでのアンデス山腹斜面一帯は、主に氷河や河川により激しく侵食を受けた起伏の激しい溪谷と盆地が混在した複雑な地形を呈している。ここでいう「アンデス溪谷地帯」とは、このような溪谷地形が広がる標高 2,000m 前後の地域一帯のことを指す。

1.1.1 自然条件

(1) 地形

アンデス溪谷地帯は、北からベネズエラ、コロンビア、エクアドル、ペルー、ボリビア、アルゼンチンと広範囲に及ぶが、ペルー南部からボリビア中西部を経てアルゼンチン北西部に至るまでの部分において面積的に大きな広がりがみられる。とくにボリビアでは国土面積 (1,098,581 km²) のおよそ 16%が本地帯に属している。この地帯は「溪谷地帯」(バグジェ="Valle") と呼ばれ、溪谷地帯より山頂側に位置し国土面積の 21%を占める「山岳高原地帯」(アルチプラノ="Altiplano")、そして溪谷地帯より東側に広がり国土面積の 63%を占める「平原地帯」(リャノ="Llano") と合わせた3つが本国の代表的な地域特性となっている。

(2) 気象

アンデス溪谷地帯は南北に長く延びているため、その気候条件は厳密には一様ではないが、概ね年平均気温 12～15 °C、年降水量 500～800 mm の雨季・乾季の区別が明確な温暖半乾燥地域の気候形態となっている。なお参考までに、本地帯の典型的な降雨パターンを有すると考えられるボリビア国チュキサカ県ヨタラ地区における降水量観測結果 (2000～2001 年) によると、本地区での 1 降雨事象あたりの平均降水量 14.7 mm、平均降雨継続時間 136 min、平均降雨強度 7.8 mm/h という値が示されており、比較的短時間に集中して降る土壤侵食力の強い雨が多いことがうかがわれる。

(3) 植生

ボリビア国を例にすると、国土の 51.4%が森林で、そのうちの 81.2%が低地平原地帯の森林 (多くはアマゾン河流域熱帯湿潤林) であるが、溪谷地帯では全体の 18.3%のみと極めて少ない(Ismael Montes de Oca,1997)。

ボリビア国の渓谷地帯では、乾燥少雨で冷涼な気候により生育可能な植生種は限られているうえ、過去 16 世紀にはスペイン統治時代に銀鉱山経営のための坑木や金属溶解のための薪材として、数百 km 離れた近隣県からも過度の伐採が繰り返され運搬されたと言われている。木材としても、Cedro(センダン科の一種)や Nogal(クルミ)等の高木丸太がチュキサカ県から多く伐り出された他、従来の農業は伝統的な焼き畑方式によるものであった。その結果、現在の多くの山地では自然植生が衰退しつつあり、灌木や有棘性低木及びサボテン等の多肉植物類からなる疎の植生が一般的に見られるようになった。

現在、焼き畑農業や産業伐採が減少したにもかかわらず、住民の日常生活における燃料材の採取、家畜放牧による植生への影響等があり植生が自然回復する見込みがない。このような状況の中で、植生の衰退が土壌侵食の誘発・助長、それに伴う農業生産性の低下や災害発生などの一因となっており、生活環境を脅かすものと懸念されている。

1. 1. 2 社会条件

(1)人口・民族

表 1.1.1 にアンデス渓谷地帯に属する諸国およびその周辺国の首都、独立年月日、国土面積、人口(1990～2001 年の各国センサスに基づく 2001 年の推計値、総務省)、人口密度、および主な民族を示す。南米各国は 1800 年代前半に次々と統治国より独立し、独立国としての歴史は比較的短い。南米大陸は世界全国土面積(南極大陸含まず)の約 13%を占めるが、人口は世界人口の約 5.5%に過ぎず、ほとんどの国で人口密度が世界平均の 44 人/km²(1999 年、総務省)の半分以上となっている。

また、主な民族については、アンデス渓谷地帯に沿った諸国では、先住民族のインディオとメスチーソ(インディオとヨーロッパ移民の白人との混血)の割合が多く、アルゼンチンおよびブラジルではヨーロッパ系の民族が大多数を占めている。

表 1.1.1 アンデス諸国およびその周辺国における面積・人口および主な民族

国名	首都	独立年月日	面積 (千km ²)	人口(万人) (2001年)	人口密度 (人/km ²)	主な民族
ベネズエラ	カラカス	1811.7.14	912	2,463	27	メスチーソ65%, ヨーロッパ系
コロンビア	サンタ・フェ・デ・ボゴタ	1810.7.20	1,139	4,280	38	メスチーソ50%, ムラート
エクアドル	キト	1822.5.24	284	1,288	45	インディオ40%
ペルー	リマ	1821.7.28	1,285	2,635	21	インディオ54%
ボリビア	ラ・パス	1825.8.6	1,099	827	8	インディオ65%
アルゼンチン	ブエノス・アイレス	1816.7.9	2,780	3,749	13	ヨーロッパ系98%
ブラジル	ブラジリア	1822.9.7	8,512	17,239	20	ヨーロッパ系, アフリカ系
チリ	サンティアゴ	1810.9.10	757	1,540	20	メスチーソ90%, スペイン系
パラグアイ	アスンシオン	1811.5.14	407	564	14	メスチーソ90%, スペイン系

(出典：帝国書院「新編 標準高等地図」)

(2) 産業・経済

アンデス渓谷地帯に属する諸国およびその周辺国における産業・経済の基礎指標として、産業別人口割合、国民一人当たり GNP およびその年平均成長率、GDP およびその年平均成長率、所得ジニ係数を表 1.1.2 に示す。

産業別人口の割合は、ボリビアとパラグアイを除く全ての国において第 3 次産業の割合が高く、ボリビアでは第 1 次産業の割合が最も高くなっている。また、国内で低平地の面積の多い国では次いで第 2 次産業の割合が高く、一方、エクアドル、ボリビア、ペルーでは第 2 次産業の割合が低いのが特徴的である。

GNP および GDP の成長率は国ごとに異なり、コロンビアおよびチリにおける伸び率が他国に比べて非常に高く、一方ペルーおよびブラジルの 2 国においては GNP がマイナス成長となっている。

ジニ係数は、イタリアの数理統計学者ジニが 1936 年に考案した指数である。所得などの不平等さを表すのに使われ、ジニ係数の値が小さいほど平準度が高い、すなわちここでの場合、国内の所得格差が小さいことを表す。表 1.1.3 に示されたジニ係数の値に関する一般的な目安を参考にすると、いずれの国においても、ジニ係数の値は 0.4 以上となっており、所得格差が極めて大きいことが示されている。とくに、コロンビア、ブラジル、チリ、パラグアイにおいては、「価格格差の是正が必要」とされる 0.5 を大きく上回っている。貧困層は、生産性の低い山岳高原地帯や渓谷地帯の先住民インディオにとくに集中している。

表 1.1.4 は、アンデス渓谷地帯に属する諸国およびその周辺国における国際収支の状況を表したものである。経常収支をみると、ベネズエラとチリで黒字となっているが、それ以外の国はすべて赤字となっている。とくに、チリについては、1980 年時点では大幅な赤字であったが、1995 年時点で黒字に転じている。

表 1.1.2 アンデス諸国およびその周辺国の産業・経済基礎指標

国名	産業別人口の割合			国民一人当実質 GNP		GDP		ジニ係数
	第 1 次	第 2 次	第 3 次	1995 年	年平均成長率 1985-95	1995 年	年平均成長率 1985-	
	%	%	%	US\$	%	100 万 US\$	%	
ベネズエラ	10	24	66	3,020	0.5	75,016	1.8	0.468
コロンビア	27	23	50	1,910	2.6	76,112	4.2	0.572
エクアドル	33	19	48	1,390	0.8	17,939	2.7	0.466
ペルー	36	18	46	2,310	-1.6	57,424	2.6	0.462
ボリビア	47	18	36	1,099	1.8	6,131	1.9	0.420
アルゼンチン	12	32	55	8,030	1.8	281,060	2.7	...
ブラジル	23	23	54	3,640	-0.8	688,085	2.7	0.601
チリ	19	25	56	4,160	6.1	67,297	5.7	0.565
パラグアイ	39	22	39	1,690	1.2	7,743	2.8	0.591

(出典：世界銀行「世界開発報告 1997」)

表 1.1.3 ジニ係数の目安

ジニ係数	めやす
～0.1	極めて平等。人為的な配分調整がなされている可能性が高い。
0.1～0.2	かなり平等。ただし、経済向上への意欲衰退が懸念される。
0.2～0.3	ごく一般的な所得配分型。
0.3～0.4	多少の所得格差あり。
0.4～0.5	所得格差大。
0.5～	基本的には是正を要する。

表 1.1.4 アンデス諸国およびその周辺国の国際収支

(単位：100 万 US\$)

国名	輸 出		輸 入		経 常 移 転				経 常 収 支		外貨準備総額	
					ネット労働者 送金		その他の ネットトラ ンスファー					
	1980	1995	1980	1995	1980	1995	1980	1995	1980	1995	1980	1995
ベネズエラ	22,232	22,406	17,065	20,262	-418	-173	-21	284	4,728	2,255	13,360	10,715
コロンビア	5,860	14,794	6,231	19,588	68	172	97	506	-206	-4,116	6,474	8,205
エクアドル	2,975	5,298	3,647	6,351	0	0	30	231	-642	-822	1,257	1,788
ペルー	4,832	7,382	5,080	12,097	0	334	147	157	-101	-4,223	2,804	8,653
ボリビア	1,046	1,283	1,112	1,794	0	-1	60	226	-6	-218	553	1,005
アルゼンチン	11,202	28,052	15,999	30,874	0	0	23	432	-4,774	-2,390	9,297	15,979
ブラジル	23,275	56,098	36,250	77,855	-80	2,773	224	848	-12,831	-18,136	6,875	51,477
チリ	6,276	20,014	8,360	20,214	0	0	113	357	-1,971	157	4,128	14,860
パラグアイ	781	...	1,399	4,173	2	...	-2	42	-618	-1,473	783	1,040

(出典：世界銀行「世界開発報告 1997」)

各国の農林水産業の状況は、表 1.1.5 に示されるとおりである。気候条件や地理条件などによって大きく異なり、各国の特徴がそれぞれ示されている。

表 1.1.5 アンデス諸国およびその周辺国の農林水産業の概要

国名	概要
ベネズエラ	農畜業 石油を中心とした経済発展を遂げたため、農畜業は衰退し、広大かつ肥沃な土地と豊富な水に恵まれながら、小麦等主要作物も輸入に依存している状況である。主要農産物は、米、トウモロコシ、パレイショ、バナナ、コーヒー、ココア等。
	林業 杉、マホガニー等の良質なものを生産している。森林公社等関係機関は、計画的に植林を実施しており、将来の紙・パルプ産業等用の需要増大に備えている。
	水産業 主に沿岸及びカリブ海での遠洋で行われている。主な漁種は、いわし、マグロ、エビ等。
コロンビア	農畜業 太平洋・大西洋沿岸地域では、料理用バナナ、生食用バナナ、パーム油、熱帯果実、カウカ川流域の暑熱帯では、サトウキビ、ソルガム、熱帯果樹、温暖地帯では、コーヒー、キャッサバ、カンキツ、トウモロコシ、温帯果実、冷涼地帯では、野菜、花キ、ジャガイモ、乳牛集約牧畜、マグダレナ川流域の暑熱帯では、米、綿花、大豆、温暖地帯では、コーヒー、柑橘、冷涼地帯では、野菜、花キ、ジャガイモ、乳牛集約牧畜、東部平地地帯では、肉牛用粗放牧畜、アマゾン・オリノコ流域では、インディオ焼き畑、麻薬栽培(コカ、ケシ)が主な生産の特徴となっている。
	林業 95年の木材伐採推定量は1,970千 m^3 で、自然林71.3%、植林材28.6%と推測され、地域別には、アマゾン地域が10%、アンデス地域が20%、オリノコ地域が3%、太平洋地域が63%と太平洋沿岸での伐採が著しい。
	水産業 大西洋・カリブ沿岸では、95年16千トンの漁獲高で、95/90比で189%と急激な伸びを示しており、その6割が92年より始まった外資系水産会社のマグロ漁獲によるものである。太平洋沿岸では、95年91千トンの漁獲高で、95/90比で121%の伸びを示しており、漁獲量の92%をマグロ(57%)、カタクチイワシ(35%)で占めている。
エクアドル	農畜業 伝統的な農産物は、熱帯地方特有のバナナ、カカオ、コーヒー、サトウキビが主要な産物であり、この他、国内消費用の各種農産物が生産されている。また、バナナ、カカオ、サトウキビ、コーヒーは何れもエクアドルの主要輸出品目であり、外貨獲得に大いに寄与しているが、問題はこれらの農産物の何れもが国際価格の変動に大きく影響される不安定な体質を持っていることである。
	林業 国土の56%は森林であり、特にオリエンテ地帯は80%が密林で覆われており、従来、計画的な商業生産ベースに乗った開発は行われていないが、燃料用として無差別に伐採されてきた。現在、丸太の輸出には制限措置が採られている。
	水産業 海老の水揚げ量が多く、海老は石油、バナナに次ぐ同国第3位の大輸出品目であり、かつ中国、インドネシア、タイに次いで、世界第4位の生産国となっている。
ペルー	農畜業 国土は、一般的に気候の異なるコスタ（海岸地帯）、シエラ（山岳地帯）、セルバ（森林地帯）に区別されている。地域別の主要農産物は、コスタは、米、さとうきび、とうもろこし（黄）、綿、養鶏、シエラは、小麦、大麦、とうもろこし（白）、じゃがいも、セルバは、米、とうもろこし（黄）、キャッサバ、コーヒー、カカオとなっている。
	林業 国土の60%が天然林と南米では第2位の森林面積を有しており、用材の生産を中心に営まれている。
	水産業 ペルー沖合は寒流と暖流がぶつかるため世界有数の漁場となっており、特に魚粉の原料であるカタクチイワシは総水揚げ量の約79%を占めている。なお、漁業は、総輸出額の17%程度を占めており、外貨獲得の重要な産業となっている。

（出典：農林水産省 海外政策課、2003）

表 1.1.5 アンデス諸国およびその周辺国の農林水産業の概要 (つづき)

国名	概要
ボリビア	農畜業 農業は、アンデス高原地帯や渓谷地帯を中心とする伝統農業(アイマラおよびケチュア農民による小規模零細農業が中心)と、東部および北部の低地で一般的な輸出型商品作物農業(大規模農業を中心とする生産)に大きく分類することができ、前者においては、ジャガイモ、とうもろこし、小麦等、後者においては、綿花、大豆、コーヒー、砂糖黍牛肉等が中心になっている。このなかで当国の輸出産品として重要な作物は大豆、綿花である。
	林業 主に用材(丸太)、木炭及び薪を生産している。
アルゼンチン	農牧業 国土の約1/4を占めるパンパ地帯で、小麦、とうもろこし、大豆等の栽培と牛、馬、羊の放牧を中心に営まれている。パンパ地帯以外では、主に北西部はたばこの栽培、アンデス山脈地域は果樹(ブドウ等)の栽培、パタゴニア地方は羊の放牧が営まれている。
	林業 森林面積は約5,000万haと推定されているが林業上の価値は低く、林業生産の6~7割が人工林での生産である。主要な樹木は松、ユーカリであり、主要生産品は製紙用丸太、薪炭類、電柱、枕木等である。
	水産業 200海里水域では大陸棚が広がり、メルルーサ、ミナミダラ等の底魚類、イカの好漁場となっている。漁獲量は、90年代に入って年々増大し、96年には100万トンを超えたが、メルルーサの過剰漁獲になっているとの指摘もある。
ブラジル	農牧業 広大な農地を利用した大規模農業で、穀物、野菜、豆類、畜産、果樹、またコーヒー、さとうきび等の工芸農作物など多様な農業生産が展開されている。
	林業 主に用材(丸太)、木炭及び薪を生産している。以前に比較すると供給源が天然林から植林(人工林)へと置き換わっているが、依然として北部のアマゾン地域では天然林に依存している姿となっている。
	水産業 7,500kmを越す海岸線と44,000kmに及ぶ河川に恵まれていることから、水産業開発の潜在的可能性は高いと考えられるが、現状ではまだまだ未開発な部分が多い。
チリ	農牧業 北部は乾燥地帯、南部は寒冷多雨地帯で、一般に農耕に適しておらず、中部地域を中心に農牧業が営まれている。近年、自然条件及び北半球との季節差を生かしたりんご、ぶどう、野菜等の栽培が積極的に行われ、代表的な輸出品目となり、外貨獲得に大きく貢献している。なお、穀物は国内で生産しているものの自給水準に達しておらず、輸入に頼っている状況である。
	林業 林業は、寒冷多雨の南部を中心に発達し、96年の森林面積は約903万haで、国土面積の約12%を占める。このうち、人工林は約12%で、ラジアタ松が3/4であるが、近年ユーカリの植林が増加している。中央部の半乾燥地帯においては、土壌浸食による国土荒廃が進んでいることから、植林を推進する政策がとられている。主要な林産物は、パルプチップ、木材、板材である。
	水産業 チリ北部海域は浮魚(スペインいわし、あじ、アンチョビ)の良好な漁場で、南部海域は低魚(メルルーサ等)の漁場である。このため北中部には魚粉の工場が、南部には魚加工場があり、有力な輸出品となっている。近年、さけの養殖が大幅に伸びており、日本、米国を中心に輸出されている。
パラグアイ	農畜業 1970年代から世界的な需要動向、国家生産計画等の影響で綿花、大豆、小麦等の生産が増加した。また、国土の半分以上が牧草地であり、牧畜業が盛ん。
	林業 豊富に存在していた森林は、農業開発、木材輸出、薪燃料として伐採され、このままでは5年後に森林がなくなるとの調査結果が発表されたが、法規制は行われていない。

(出典：農林水産省 海外政策課、2003)

(3) 国土利用

表 1.1.6 は、アンデス渓谷地帯に属する諸国およびその周辺国における国土の利用状況を表したものである。アンデス山脈の中央部に位置するコロンビア、エクアドル、ペルー、ボリビアでは、国土に占める森林面積の割合が大きく、耕地面積の割合が小さいのが特徴である。一方、広大なパンパの広がるアルゼンチンでは、森林の面積割合が非常に小さい。国土に占める耕地の割合は、全般的に世界の平均値（10.1 %）に比べて少ないといえる。また、耕地に占めるかんがい地の割合については、エクアドル、ペルー、チリ、コロンビアにおいて比較的高くなっているが、それ以外の諸国では、世界の平均（18.3%）に比べてかなり小さい。

表 1.1.6 アンデス諸国およびその周辺国の国土利用状況

国 名	国土面積	森 林	耕 地	かんがい地	恒 久 的	年間森林	年間植林	一人当たりの
	(国土に占める割合)	(国土に占める割合)	(国土に占める割合)	(耕地に占める割合)	牧 草 地	伐 採 率	率	国内再生可能な水資源
	1,000km ²	%	%	%	%	%	%	1,000m ³ /yr
	1993	1993	1993	1993	1994	1981-90	1981-90	1995
ベネズエラ	912	32.9	3.5	5.9	20	1.2	19	60.3
コロンビア	1,139	43.9	3.4	13.5	39	0.6	24	30.5
エクアドル	284	55.0	5.7	34.1	18	1.7	5	27.4
ペルー	1,285	66.0	2.6	37.6	21	0.4	9	1.7
ボリビア	1,099	52.8	1.9	8.3	24	1.1	5	40.5
アルゼンチン	2,780	18.4	9.0	6.8	52	0.6	1	28.7
ブラジル	8,512	57.3	4.9	6.7	22	0.6	7	43.0
チリ	757	21.8	5.3	31.8	18	0.8	12	32.8
パラグアイ	407	31.6	5.4	3.1	55	2.4	35	63.3

（出典：UNDP「人間開発報告書 1997」、世界銀行「世界開発報告 1997」）

(4) 農政

農林水産省海外政策課（2003）によると、アンデス渓谷地帯に属する諸国およびその周辺国の農政は表 1.1.7 のようにまとめられている。

表 1.1.7 アンデス諸国およびその周辺国の農政概要

国 名	農政の概要
ベネズエラ	・ 1988年までは農業者からの農産物買上価格及び販売価格の統制、輸入制限や関税障壁の設定等あらゆる農業分野の保護を行ってきたが、1989年以降はIMFとの協調のもと農業分野の改革（政府介入の限定、間接補助金の廃止等）が推進されつつある。 ・ 現在の一連の農業政策は、国民に対する食料供給の確保及び農産物の競争力強化を目的として進められている。しかし、国際競争力は未だ弱く、地域統合・自由貿易交渉の場では農業部門が最大の懸案となっている。
コロンビア	・ ケアンズグループの一員として、URでは国内保護の撤廃等を主張するとともに、EUや米国の補助金付き農産物輸出を強く非難している。 ・ 農業政策の策定にあたっては、地方貧困改善、自立継続可能な経済発展のため、生産者組合・地方組織の意識形成・強化を図りつつ、農業・農村の近代化、国際競争力の強化を図ることを基本理念としている。 ・ 具体的には、農産物の国内外価格調整政策、土地改良計画、農地改革、農村改善計画、農産物の多様化・市場化計画、植林計画等が実施されている。 ・ 農林水産業関連の環境政策として、農薬不適正利用の抑制、有機農業の推進、自然林伐採の許可制、漁獲量総枠の設定、漁獲許可制度等を実施している。
エクアドル	・ 国内消費向け農産物供給の保証と農牧分野の輸出拡大を目的として、調査、技術移転、支援を通じて生産性を向上を図っている。また、1990年の技術移転プログラムに沿って、農業普及活動が実施されている。具体的には、各種作物に対する技術指導、農業の機械化、土壤保全、動植物衛生等を実施している。 ・ 農村の環境整備を目的として、農民の組織化を奨励・促進している。この組織化により、道路の改良、橋架の建設、共同住宅の建設、植林が進められている。 ・ 農牧業の自由化を促進するため、資本、原料輸入、農産物価格及び流通システムに関する法律の整備・見直しを行っている。
ペルー	・ 農業政策は、フジモリ大統領就任以降、規制緩和、構造改革が行われた。 ・ 1990年までは主要食料品の価格を食料品価格補助金制度によって低く据え置く等の価格政策が実施されてきたが、政府が価格決定に介入していることは民間セクターの発展を阻害するものとして、それを廃止し、民間セクターの参加を促進している。 ・ 1991年の農業投資振興法により、農用地は個人、法人、外国人を問わず、自由に土地の売買、貸借が可能となった。
ボリビア	・ 農業政策における施策としては、1996年3月に外国からの資金調達を受けるためにパリCG会合に提出した「農業生産性向上戦略」を基本方針としている。 ・ 農業政策は、経済発展及び貧困撲滅を達成するため、農業分野における技術力向上、農村のインフラ整備、天然資源の適切な管理、作物の移送路及び灌漑開発に係る投資拡大に重点を置いて実施しており、国家開発計画に位置づけられている。

（出典：農林水産省 海外政策課、2003）

表 1.1.7 アンデス諸国およびその周辺国の農政概要 (つづき)

国名	農政の概要
アルゼンチン	・ ケアンズグループの一員として、URでは国内保護の撤廃等を主張するとともに、EUや米国の補助金付き農産物輸出を強く非難している。 ・ 過去の国内産業保護の失敗に対する反省から、政府の役割をマクロ経済の安定に限定し、個別分野毎の産業政策は極力廃止しようという姿勢である。 ・ 総輸出額の4割を占める農業は重要であり、政府は限られた予算の中で、動植物衛生計画、種子計画、非伝統作物の輸出促進計画、食肉輸出計画等を実施し、農産物の衛生条件や品質の向上、コスト低減、海外市場アクセス改善等による輸出促進を図っている。
ブラジル	・ ケアンズグループの一員として、URでは国内保護の撤廃等を主張するとともに、EUや米国の補助金付き農産物輸出を強く非難している。 ・ 農業政策は、経済インフラの整備、市場指向の導入、民営化、国際経済への参加を目指して実施されている。 ・ 近年では、従来の3大農業支援策である農業融資、最低保障価格制度、農業保険を根本的に見直し、補助金等への政府資金の注入を削減し、民間銀行に預金残高の一定割合を農業融資に義務づける等を行い、民間資金の導入を図っている。 ・ 国際競争力の強化と輸出促進の策として、河川・道路・鉄道の輸送路開発整備等インフラ整備による運搬コストの削減と新しい農業地の拡大を図っている。
チリ	・ ケアンズグループの一員として、URでは国内保護の撤廃等を主張するとともに、EUや米国の補助金付き農産物輸出を強く非難している。 ・ 小麦、食用油及びてん菜については、国内価格の乱降下を防ぐとともに、国内生産の安定を確保するため、84年から価格帯制度を実施している。価格帯(上限値、下限値)は、過去の国際市場価格を参考に定めている。 ・ 近年、野菜・果実を中心に、輸出奨励基金制度(95年開始)を利用した海外広報活動を行い、輸出促進が図られている。
パラグアイ	・ ケアンズグループの一員として、URでは国内保護の撤廃等を主張するとともに、EUや米国の補助金付き農産物輸出を強く非難している。 ・ 農牧政策指針は、農牧業の担い手を企業的農業者グループ、中小規模商品作物生産者グループ、小農グループの3つに区分し、グループ毎に支援策を策定している。特に、小農家に対する土地政策及び組織化、金融政策、情報提供、技術指導等が重視されている。 ・ 具体的な政策としては、(1)国内自給の確保、(2)輸出作物生産の多様化、(3)農産物加工業の振興、(4)畜産衛生のための技術研究・普及がある。

(出典：農林水産省 海外政策課、2003)

1. 1. 3 農業実態

(1) 農地面積

表 1.1.8 は、アンデス渓谷地帯に属する諸国およびその周辺国における農用地面積と、そのうちの耕地面積および永年作物地の面積を示したものである。なお、本表には表 1.1.6 と同じ項目も含まれるが、集計年度が異なるため、両表において値が一致しないことがある。

コロンビア、エクアドル、ペルーでは農用地が耕地として利用されている割合が比較的大きいが、それ以外の国では小さい。農用地の耕地以外の用途はおもに牧草地である。

表 1.1.8 アンデス諸国およびその周辺国の農地面積 (2000 年、単位：万 ha)

国 名	国土面積	農用地面積	耕地	永年作物地
ベネズエラ	9,121	2,164 (23.7)	244 (11.3)	96 (4.4)
コロンビア	10,387	546 (5.3)	392 (71.8)	154 (28.2)
エクアドル	2,768	304 (11.0)	162 (53.3)	142 (46.7)
ペルー	12,800	414 (3.2)	375 (90.6)	39 (9.4)
ボリビア	10,986	3,604 (32.8)	194 (5.4)	26 (0.7)
アルゼンチン	27,804	16,920 (60.9)	2,720 (16.1)	220 (1.3)
ブラジル	85,474	25,020 (29.3)	6,520 (26.1)	1,200 (4.8)
チリ	7,566	1,523 (20.1)	230 (15.1)	32 (2.1)
パラグアイ	4,068	2,408 (59.2)	238 (9.9)	9 (0.4)

()内の値・・・ 農用地面積 : 国土面積に占める割合(%)。

耕地・永年作物地：農用地面積に占める割合(%)。

(出典：農林水産省 海外政策課、2003)

(2) 農業人口

南米では、第1次産業従事者のほとんどが農業に従事しているため、各国における全人口に占める農家人口の割合、あるいは就業者人口に占める農業就業人口の割合は、第1次産業人口の割合にほぼ等しい。表1.1.9にアンデス渓谷地帯に属する諸国およびその周辺国における農業人口および農業就業人口を示す。アンデス渓谷地帯だけに絞り込むと、第1次産業の比率が多くなるので、農家人口および農業就業者人口の比率はこの表に示される値よりもっと大きくなると考えられる。

表 1.1.9 アンデス諸国およびその周辺国の農業人口（2000年、単位：万人）

国名	総人口	農家人口 (総人口に占める割合%)	就業者人口	農業就業人口 (就業者人口に占める割合%)
ベネズエラ	2,463	225 (9.1)	1,017	79 (7.8)
コロンビア	3,644	857 (23.5)	1,565	368 (23.5)
エクアドル	1,170	330 (28.2)	438	123 (28.1)
ペルー	2,394	825 (34.5)	878	285 (32.5)
ボリビア	852	364 (42.7)	349	153 (43.8)
アルゼンチン	3,703	375 (10.1)	1,500	146 (9.7)
ブラジル	17,256	2,746 (15.9)	8,030	1,295 (16.1)
チリ	1,540	240 (15.6)	634	98 (15.5)
パラグアイ	550	222 (40.4)	208	71 (34.1)

(出典：農林水産省 海外政策課、2003)

（３）農業生産

南米諸国では、表 1.1.10 に示されるような様々な農作物が生産されているが（ベネズエラはデータ入手できず）、その多くは比較的標高の低い平野部の気候条件に恵まれた地域において、大規模商業農家が機械化された近代的経営によって生産しているものである。標高が高く平坦な場所の少ないアンデス溪谷地帯では、小規模零細の先住民農家が自給と若干の現金収入を目的としてバレイショ、キヌア、コムギ、オオムギ、タルウィ（マメ類）、メイズ、飼料用アルファルファなどを生産し、かんがい可能な地域ではニンジン、タマネギ、キャベツ、果樹などの生産も行っている。また、溪谷地帯の中でも比較的温暖な地域では、トウコロコシやインゲンマメ、モモ・スモモ・ブドウなど果樹類の生産が盛んなところも見られる。しかし、アンデス溪谷地帯での土地生産性は概して低く、例えば表 1.1.11 に示されるように、ボリビア国チュキサカ県の土地生産性は、世界平均の 3 分の 1 程度しかない。

アンデス溪谷地帯における家畜の飼育については、溪谷地帯の中でも標高が 3,000 m 近い高原部ではリャマ、アルパカといったアンデス起源のラクダ科の動物や羊が多く飼育され、標高 2,000 m 付近の溪谷地帯中腹では山羊の飼育が中心となり、そしてそれより低い地域では牛や豚の飼育が多く見られるようになる。

表 1.1.10 アンデス諸国およびその周辺国の主要農産物（単位：万トン）

国名	コロンビア		エクアドル		ペルー		ボリビア	
年次	1998		1998		1998		2002	
	品 目	生産量	品 目	生産量	品 目	生産量	品 目	生産量
品 目 別 生 産 量	コメ	185	コメ	107	コメ	155	トウモロコシ	68
	トウモロコシ	120	トウモロコシ	69	トウモロコシ	93	ダイズ	117
	サトウキビ	3,200	サトウキビ	480	サトウキビ	710	サトウキビ	432
	コーヒー	73	コーヒー	12	コーヒー	12	バナナ	69
	果実類	593	果実類	907	果実類	298	ジャガイモ	90
	バナナ	220	バナナ	749	レモン・ライム	22		
	野菜類	129	野菜類	38	野菜類	158		
国名	アルゼンチン		ブラジル		チリ		パラグアイ	
年次	2000		2002		2002		2000	
	品 目	生産量	品 目	生産量	品 目	生産量	品 目	生産量
品 目 別 生 産 量	トウモロコシ	1,682	コメ	1,049	コムギ	182	ダイズ	298
	コムギ	1,615	トウモロコシ	3,548	リンゴ	110	コムギ	23
	ソルガム	335	ダイズ	4,190	ブドウ	172	トウモロコシ	65
	コメ	90	サトウキビ	36,056				
	ダイズ	2,021	コーヒー	239				
	サトウキビ	1,600	果実類	3,452				
	果実類	668	オレンジ	1,869				
	ブドウ	219	バナナ	637				
	リンゴ	83	野菜類	779				
	野菜類	313	トマト	352				
国名	世界全体							
年次	2000							
	品 目	生産量						
品 目 別 生 産 量	トウモロコシ	59,300						
	コムギ	58,499						
	ソルガム	5,797						
	コメ	60,064						
	ダイズ	16,123						
	サトウキビ	125,853						
	コーヒー	758						
	果実類	46,641						
	ブドウ	6,403						
	リンゴ	5,896						
	野菜類	69,189						
	トマト	9,762						

（出典：農林水産省 海外政策課、2003）

表 1.1.11 アンデス諸国およびその周辺国の作物別土地生産性（単位：kg/ha）

作物	世界平均	南米平均	ボリビア平均	チュキサカ県
コメ	3,689	3,007	2,623	1,100
トウモロコシ	3,776	2,771	2,027	1,388
オオムギ	2,058	1,649	739	774
コムギ	2,453	1,949	749	780
ダイズ	2,022	2,166	1,870	1,646
バレイショ	15,188	12,736	5,495	5,504

（出典：FAO「Production Year Book 1995」,INE「Encuesta Nacional Agropecuaria 1997」）

（４）農業技術

アンデス渓谷地帯における農業は基本的に零細であり、畜力とシンプルな構造の農機具を使った伝統的な農法により栽培作業がなされているところが多い。緑資源機構が実証調査を実施したボリビア国チュキサカ県では、耕起時にパロと呼ばれる木製の鋤を畜力（牛）で牽引するだけであとは手作業管理による非常にシンプルな栽培管理方法が用いられていた。

アンデス渓谷地帯のほとんどの地域では天水に依存した農業が中心である。地域や年によって若干異なるが、９月頃に雨季が始まると、最初の降雨によって地面が少し柔らかくなった時を利用して、以後の雨が地中に浸透しやすくなるように、パロを使って乾季中に形成された地表クラストの破壊作業が行われる。その後、作物に応じた適期（トウモロコシ：１０月～１２月、小麦・大麦：１１月～１２月、バレイショ：１０月～１１月）に再びパロを使って２度目の耕起を行い、播種を行う。そして、その後の施肥や除草、収穫までのほとんどすべての作業が人力のみによって行われることが多い。

なお、大規模商業農家による農業生産は、これとは逆に大型機械を導入した現代的農法によって行われている。

1. 2 保全技術の選択条件

1. 2. 1 全般的な保全事業技術の評価

ラテンアメリカ地域の中で一番技術が豊富だったのは、保全事業の進捗率がラ米地域で一番高いブラジルであった。当国のパラナ州とサンタカタリーナ州が先進地域で、合わせて 700 万 ha 以上の保全事業が実施されている。アルゼンチンの技術は平均勾配が 2%程度と極めて平坦なパンパ地域が主体であるため、主として保全的な耕起方法についての技術が多かった。パラグアイは中・大規模農民に対する不耕起栽培が主たるものである。

ブラジル・アルゼンチン・パラグアイの各国の不耕起栽培の普及面積は 1,000 万 ha 以上にもなり、世界的にも先進的な位置づけとなっている。この理由は、地域では大豆を主作物として裏作に小麦などを栽培していたが、従来型の耕起型栽培方法では次期作の作付けに間に合わないという時間的な問題点があった。不耕起栽培は、この問題点を解決する方法であったことも大きな理由の一つである。

チリの技術については保全事業の進捗が遅れており、一部の NGO などにより少々の保全対策が実施されていた。この場合の NGO は慈善団体ではなく営利を追求しないコンサルタントと考えた方がわかりやすい。

ボリビアは大きく平坦地域と傾斜地域に分けられ、平坦地域ではブラジルからの技術や JICA の日系人を対象とした普及により不耕起栽培が広がってきている。一方、傾斜地域では NGO を中心として点的に保全事業が実施されてきているが、農民の保全技術の受け入れ性が悪く技術が継続的に活用されていないことに問題がある。また、コチャバンバ市街地保護のための事業では公共事業的な土木的な対策をたくさん活用した技術があった。

メキシコでは現地適正化技術に特徴的なものがあった。それらの概要は次の通りである。

(1) ブラジル；パラナ州とサンタカタリーナ州

当地域の技術で特徴的なことは、不耕起栽培などの保全型耕起法、水路テラス、道路横断排水、営農雑用水対策技術などが、農民の収入の増大対策と一体的に実施されていることである。保全型耕起法は従来の耕転型による作物残滓を鋤込む耕起法ではなく、耕転をしないで前作の作物残滓を 30%以上土壌表面に残す耕起法で不耕起栽培や最少耕起法がこれに当たる。不耕起栽培は前作物の収穫後、除草剤を使って雑草を抑制し、一切の耕起・整地作業を行わず播種を行う方法である。

水路テラスは等高線状に連続して水路とその掘削土で土堤を造成する方法で、斜面長のカット、縦浸透の増大、沈砂、承水路の役割割りなどを果たすものである。道路横断排水は長い道路路面の侵食防止対策で、道路路面と側溝からの流出を下流に流下させないよう路面に簡単な起伏を設け、左右の畑地に誘導し浸透させる技術である。営農雑用水は防除に使用した噴霧器の残留農薬が河川に投棄され地域の環境が悪化して

いることから、この改善のため畑地に穴を掘り木炭を置いて、ここに投棄する水質保全対策である。

（２）アルゼンチン；パンパ地域

当地域は平坦な地域であることから大規模機械化農業地域である。機械の効率性の追求から圃場規模が極めて大きく、一辺圃場の長さが 1km を越えるのは一般的で、長い圃場になると 5km に達するものもあり、ここでは土壌の圧密による土壌透水性の減少から発生する水食、及び河川の下流部では洪水が発生している問題がある。また、土壌の粉状化から風食の被害が出ている。この地域の保全対策の特徴としては、ほとんどが不耕起栽培や最少耕起法などの営農的な対策が中心で、若干土木的な対策は示されているものの事例が少ない。

（３）ボリビア

半乾燥地に位置しているタリハ県で実施された保全事業は、ため池の造成、石垣の設置、砂防ダム、ベンチテラスなど殆どが土木的なものであった。営農的な技術は生け垣、コンポスト、緑肥、植林などがあったが事業規模が小さいものであった。また、他国で広がっている土壌表面に作物残滓を残す保全型耕起技術は事例がなかった。

コチャバンバ県のコチャバンバ市では、上流からの土砂流亡により市街地の家屋に被害がでているため、公共工事的な観点により大規模な蛇籠工や柵工などの土木的な技術により保全事業が実施されていた。

傾斜地域が多い渓谷地域では、たくさんの NGO などにより土木的な保全事業が実施されているが、各々の規模は極めて小さく点的に実施されているに過ぎない。具体的な技術としては、石垣の設置、水路テラス、植林などであった。また、これらの技術の農民の受け入れ性が悪く、事業効果の持続性に問題があるとの指摘があった。

（４）チリ；第 8 州

当地域は半乾燥地に位置していることから、水路テラスや井戸型の貯水槽などのウォーターハーベスティング技術などに特徴的なものがあった。しかし、これらは特定の NGO が実施しているだけで全体的には保全事業の規模が小さく技術普及が遅れていた。小農用の耕起法については畜力用の最少耕起技術はあるが、不耕起栽培技術はなかった。

なお、第 8 州にあるキアマップ農業試験場では、2000 年から 5 年間の予定で JICA の協力により保全対策の試験研究・普及計画が実施されている。

（５）パラグアイ

当国はブラジル・パラナ州の隣に位置し、気候もほとんど同じであることから既存技術はブラジルと同じであった。この中で不耕起栽培については土壌流亡対策としてブラジルから技術が導入された。その後、大豆作の後の小麦作の播種を適期にできる

など経済的なメリットが認識され日系農家を中心に急速に普及している。一方、綿作中心の小規模農家では不耕起栽培だけでは経済的なメリットが少ないことから、保全技術の普及が遅れている。

（６）メキシコ

半乾燥地であるグアナフアト州では、貴重な水資源を確保するための特徴的な技術があった。特に、現地の試験場で開発され農家に少しずつ普及している土壤浸透性を向上させるための最少耕起技術は、既存の鋤を改良した「耕起＋播種」の現地適正化技術として評価できる。また、多くの土木的及び営農的な保全技術が試験場で開発されていたが、農民の受け入れ性は良くなかった。

半乾燥地に位置するモレリア州には国の持続的農業試験場があるが、今まで試験された技術は耕起方法の改善技術だけで土木的な技術は考慮されていない。また、耕起方法の改善の普及面積は、大農の一部が取り入れている状態で、中・小農への普及が遅れている。

（７）エクアドル

アンデス諸国に位置するエクアドルは、ボリビアと同じように土壤侵食は大きな問題である。年間降雨量が 1,000mm 程度のクエンカ市周辺では、石垣の設置、生け垣、植林などが進められているが、規模は小さい。クエンカ大学では、農民に土壤侵食の発生プロセスや影響を学習してもらうためのシュミレーターが開発され特徴的であった。

１．２．２ 地域で利用可能な保全対策技術

農家個人が実施する保全対策技術は大別して、面的な営農的対策と、点的・線的に実施する土木的な対策に区分できる。ラテンアメリカ地域で利用可能な代表的保全対策方法は、表 1.2.1 の通りである。

表 1.2.1 代表的な保全対策方法

利用技術	目的	内容・材料等	コスト/便益	条件・問題点
作付け方式	植生カバーの増大、地力の維持	栽培密度、輪作、被覆作物、混作	雑草・病虫害防除、機械と労働力の適正な配分	営農技術力、適切な混作の組み合わせ、整地時期、作付け計画の策定
耕起法；不耕起、最少耕起	作物残さによる被覆、浸透性と保水性の増大、土壤流亡の抑制	トラクター用と畜力用不耕起播種機、畜力用最少耕起；チゼルブラウ、心土用ブラウ等	トラクター用不耕起播種機；\$ 1-1.5 万/台、畜力用；\$ 1,300-1,500/台、土壤物理性改善、作業時間短縮、燃料節約	栽培方式の大幅な変更、緑肥栽培と組み合わせた営農、除草剤が必要
緑肥の利用	植生カバー、残さによる被覆、浸透性と保水性の向上、土壤	豆科植物；ブラジルやパラグアイ；ムクナなど、ボリビア；	\$ 20-100/ha(種子、播種、雑草管理、整地)、肥料節約効果	乾期などの休閑期に栽培、管理や種子取りが簡単なもの

	有機物の増大	カラスエンドなど、チリ;フジマメなど		選定
等高線栽培	表面流出の抑制、土壌と肥料の流出抑制	等高線に平行に耕起し播種。普通畑と被覆作物を交互に作付け	作業コスト・時間の低減(チリの場合20%減少)	土地所有形態(幅が狭く長いタンザク型の圃場など)
石垣の造成	浸透性の増大、地表流出・速度の低減	等高線に沿って石垣の設置	\$ 70/100m 耕地からの石レキ除去、	利用できる石塊と大きさ
テラスの造成(ベンチテラス、水路テラス、幅広/幅狭テラス)	浸透性の増大、地表流出量と速度の低減	トラクター、モーターグレーダー、人力	\$ 10-280/km(土壌、傾斜、テラスの種類による)	機械力/大きな労働力が必要、比較的高い技術、一定の規模の面積、作業効率の低下、つぶれ地の増大
浸透溝、承水路、排水路、沈砂地	表面流出の抑制、浸透の増大、土砂の貯留	人力、又は、機械施工	浸透溝 \$ 25/10m、排水路(W0.6m、D0.5 m) \$ 65/10m	小流域全体についての流出分析、比較的高い技術力、維持管理、排水路の延長は100m以内
貯水槽、ため池	流水の貯留、表面流出の低減	人力、機械化施工	貯水槽(6トン) \$ 45、ため池は規模により異なる。貯水槽の水は蓋をして乾期の営農雑用水に使用	貯水槽は土砂が入らないような勾配(1%)必要、ため池は蒸散量が多い(半乾燥地)
ガリ防止工(芝堰、金網堰、石積み堰など)	ガリコントロール	ガリの囲い込み、斜面と底部への植生導入	金網堰; \$ 28/m ²	比較的高い技術力と投資、生物的保全対策との組み合わせ必要
水質保全(畜産污水対策、コーヒー污水対策、農業による汚染対策)	水質の保全、水源地の保護、農薬散布者の中毒改善、残留農薬の河川投棄防止など	畜産糞尿やコーヒー残さの農業利用、井戸等の建設による噴霧器に給水するための施設	営農雑用水給水所建設費; 重力式 \$1,000-4,000、深井戸式 \$12、000-15、000	水質試験が必要、深井戸方式は維持管理費が高い、糞尿や残さのコンポスト化
農道の整備(道路横断排水施設を含む)	道路に流出水を流さない、道路維持管理費の減少、年間の道路利用可能日の増加	路盤の盛り土。路面水の流下を止めるため 20-30m 毎に道路横断排水施設(40cm 程度盛り土)を設置し周辺の農地に浸透させる	道路路線状況により異なるが、\$ 3、750-6、500/km(敷き砂利含む)	農地の水を道路に流さない、道路周辺の農地所有者との協調が必要

***コストは主としてブラジル・パラナ州の1998年のものを使**

1. 2. 3 保全技術の選択

(1) 保全技術導入に当たっての制約

保全事業は営農的方法と土木的方法を組み合わせ実施される。土木的方法は気象条件など地域条件による適応性は問題が少ないが、営農的な方法は農業生態条件や農民の社会経済条件によって適正が大きく異なる。他地域で成功した営農的な方法を持ち込み失敗した事例は非常に多いため、対象地域における農家レベルの実証試験が不可欠である。実証に当たっての大まかな選択技術のための制約条件は、土壌、技術水準、農場の規模、可能な投資額、気候の少なくとも5項目が考えられる。各々の制約条件は次の通りである。

「A」；劣化した、または肥沃度の低い土壌。特定の技術導入に当たって考慮しなければならない条件。しかし、肥料、緑肥などによって条件を改善すれば制約の解除可能。

「C」；圧密状態の土壌。特定の技術導入に先立って改善が必要な土壌。

これらに該当しない場合は現在の技術水準で対応可能な事業である。

「大規模」；100ha 以上の農地面積。主に機械力を使用。

5) 気候

「C」；降霜による低温の発生。主に栽培方式に關係。

表 1.2.2 保全技術のための制約条件

[illegible]

緑肥の使用					*	*	*				*		*
輪作					*	*	*				*		*
生産の多様化	*	*	*	*	*	*		*			*		*
栽培の組み合わせ			*		*	*					*		*
コンポスト			*							*			
生け垣						*					*		*
「土木的対策」													
テラスの造成	*	*	*	*		*	*					*	
石垣設置			*			*			*	*		*	
浸透溝の建設	*		*			*				*		*	
ガリ・コントロール	*		*	*								*	
ため池	*	*	*	*		*						*	
貯水槽	*		*			*	*			*		*	

1.3 土壌侵食のメカニズム、実態およびその推定

1.3.1 土壌侵食のメカニズム

(1) 土壌侵食の形態

世界の土壌劣化面積は約 20 億 ha に及んでおり、このうちの 84% に相当する約 17 億 ha が土壌侵食によるものとされている。土壌侵食はおもに水または風のエネルギーによって表土が運び去られることによって生じる。とくに水に起因する土壌侵食を「水食」といい、一方風に起因するものを「風食」という。土壌侵食が起こると、表土と共にそれに含まれる養分も失われて土地の生産力が低下し、また力学的にも脆弱となるため土木構造物の安定性が損なわれることもある。

以下、水食および風食についてそれぞれ概説を行う。なお、本マニュアルにおいては、原則として水食による土壌侵食を対象としているため、風食については本節でその簡単な概要を述べるに留めた。

1) 水食

水食の形態としては、「面状侵食」・「リル侵食」・「ガリ侵食」の 3 つに分類されることが多い。

「面状侵食」は、地面がほぼ均一な侵食を受けるようなものをいい、英語では “Interrill erosion” と表現されることが多い。面状侵食はまた雨滴が地表面に直接落下する時にその落下衝撃によって地表の土粒子が剥離し、はじき飛ばされることによって生じる「雨滴侵食」(Raindrop erosion) と地表面に発生した薄層流 (Sheet flow) によって地面全体が均一に侵食される「シート侵食」(Sheet erosion) にさらに厳密に分類されることもある。雨滴侵食では、降雨イベント中に無数の雨滴によって土粒子が何度も空中にはじき飛ばされ、元の位置から移動したり構造がもろくなったりする。図 1.3.1 の(a)のように水平な地面に雨滴が鉛直方向に落下する場合には、土粒子の飛散に偏りが無いが、(b)のように雨滴の落下方向に偏りがある場合や(c)のように雨滴は鉛直でも斜面に落下する場合、土粒子の飛散に偏りが生じる。とくに斜面においては、飛散が下方側に偏る確率が高くなるため、斜面の土粒子全体が下方へ移動することになる。一方、シート侵食は、厳密な意味での全面均等な侵食はごくまれ

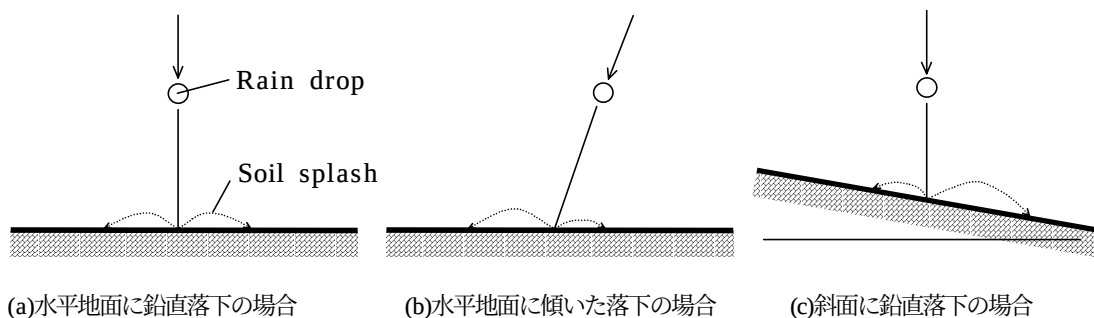


図 1.3.1 雨滴による土粒子の飛散

にしか見られないと言われており、通常は、後述の「リル侵食」に至らない軽微な侵食のことを指す場合が多いようである。また、ここでいう”Interrill”侵食の意味として「シート侵食」という言葉が用いられる場合も見られる。なお、面状侵食による侵食は外観的には比較的軽微なものが多いため軽視されがちであるが、面状侵食が生じると、表層土において、地表面の土壤間隙が微細な土粒子によって塞がれ浸透能が小さくなるという現象が生じ（＝クラストの形成）、雨水の有効土層への浸透の阻害や、生じ易くなった地表流出による侵食の増大を招く恐れがある。

「リル侵食」は、地面（おもに斜面）上に発生した流水のせん断力によって土壤が洗掘される現象であり、この洗掘によって生じた流路は「リル」と呼ばれる。リルが存在すると地面上の流水がそこにより集中しやすくなり、その結果、リルは降雨ごとに洗掘されてさらに拡大していく。後述の「ガリ」も発生原理は基本的に同じであるが、通常の耕起作業等によって比較的容易に修復が可能なものを「リル」と呼ぶ。リル侵食量の推定式の例として次式(1.3.1)がある。 D_r が正值のときは洗掘された土粒子は外部へ輸送されることを意味し、負値をとるときはそこに堆積することを意味する。

$$D_r = K_r (\tau - \tau_c) \left(1 - \frac{Q_s}{T_c} \right) \quad (1.3.1)$$

ここに、

D_r : リル堆砂輸送量 [$\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$]

K_r : せん断力に起因するリル受食性ファクタ [s m^{-1}]

τ_c : 土壤の限界せん断力 [Pa]

Q_s : リル流水中の堆砂負荷量 [$\text{kg s}^{-1} \text{m}^{-1}$]

T_c : 流れの堆砂輸送容量 [$\text{kg s}^{-1} \text{m}^{-1}$]

τ : 流れせん断ストレス [Pa] $=\rho g r s$

ここに、

ρ : 水の密度 [kg m^{-3}]

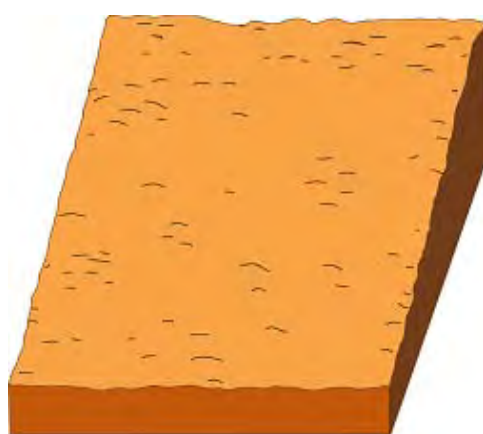
g : 重力加速度 [m s^{-2}]

r : 径深 [m]

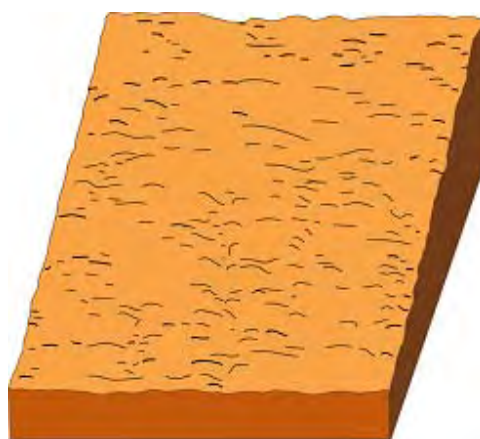
s : 動水勾配

「ガリ侵食」は、リル侵食と発生原理は同じであるが、地面に発生したリル流路の洗掘が通常耕起等では修復不可能なほどの規模まで進行してしまったものを意味し、そのような流路を「ガリ」と呼ぶ。

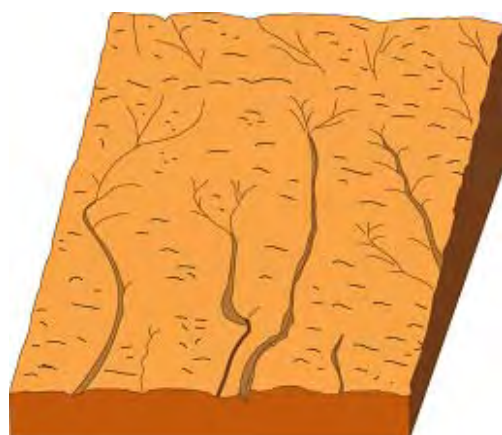
図 1.3.2 に土壤侵食の進行過程の概念図を示す。水食は、一般的には、面状（インターリル）侵食→リル侵食→ガリ侵食の順に進行していく。



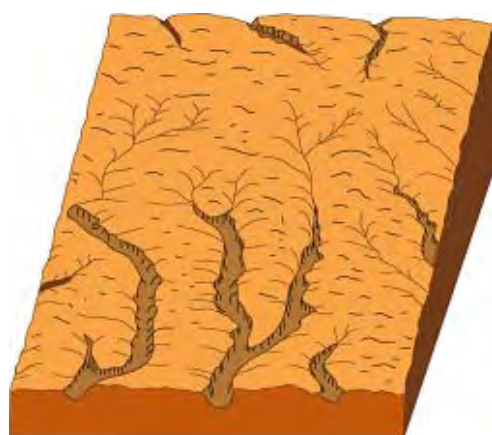
①現地形



②面状（インターリル）侵食



③リル侵食



④ガリ侵食

（①→②→③→④の順に侵食が進行する。）

図 1.3.2 土壌侵食の進行過程

2) 風食

風食は、降雨が少なく恒常的に土壌の乾燥している乾燥地や半乾燥地で広くみられる。風食については、水食における面状、リル、ガリのような侵食によって生じた形状による分類はなされないが、土壌の移動形態によって、「サルテーション」(Saltation)、「サスペンション」(Suspension)、「クリープ」(Creep)という分類がなされる。図 1.3.3 は各移動形態を概念的に示したものである。

「サルテーション」は、粒径 0.1～0.5 mm 程度の砂粒土が風のエネルギーによって地表から上昇し、その後空気抵抗と重力の影響によって間もなく地面に落下するような移動形態で、その軌跡が比較的明瞭なものをいう。サルテーションによる土粒子の上昇は、通常地表から 30 cm 程度であるとされている。

「サスペンション」は、地表面から巻き上げられた粘土やシルトのような微細な土粒子が風と共に数時間～数日浮遊しながら移動するもので、数 100～数 1,000 km というような長距離を移動することもある。

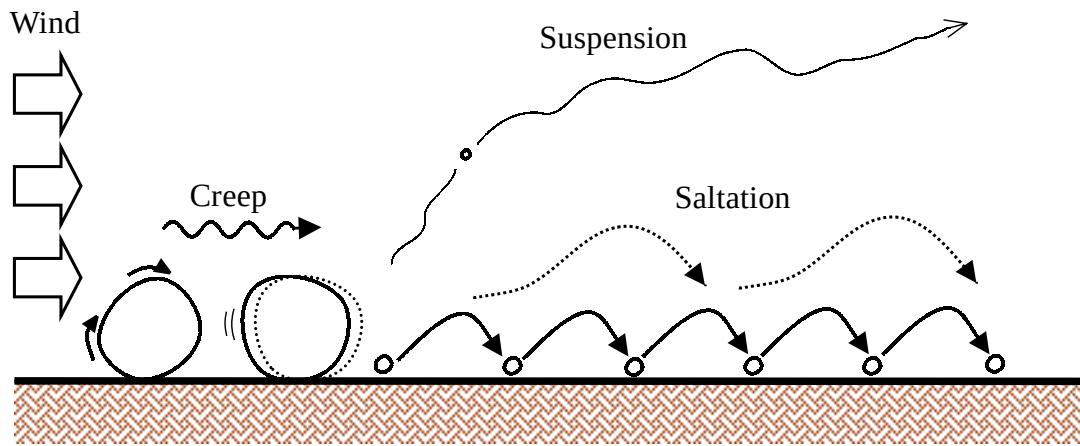


図 1.3.3 風食による土壌移動の形態

「クリープ」は、粗砂や時には礫岩が強風によって地面からほとんど離れずに回転や這うような形で移動するものをいう。

ある研究調査によると、風により輸送された土粒子全体のうちの大半はサルテーションによるもので、サスペンションによるものは3～10 %程度、クリープによるものは7～25 %程度となっている。

(2) 土壌侵食力 (Erosivity) に関する因子

1) 水

土壌侵食に直接に作用する因子としては、恐らく水が最も強い影響力をもつと考えられる。降雨・河川などあらゆる形態の水が土壌を洗掘し、土粒子を運び去ってしまう。

南米アンデス溪谷地帯では恒常的に水が存在する河川は少なく、この地帯で見られる土壌侵食は、ほとんどが高強度の降雨と、それによって生じる地表流出によるものである。降水量と土壌侵食量には明らかに深い関係があると考えられる。しかし、より多くの降水量がある地域の方が土壌侵食量も多いとは限らず、逆に同じ降水量でも地域によって土壌侵食量には大きな差異が見られ、統計学的にはこれらの間には高い相関があるとは言えない。土壌侵食に影響を与えるのは、降雨の総量だけでなく、強度および頻度もまた重要な要素となる。1年など比較的長期の総降水量が少なくても、高強度の降雨が頻繁に生じれば土壌侵食量は増大する。

2) 風

南米アンデス溪谷地帯では、風食による土壌侵食は水食に比べると面積的規模は小さいが、降雨が少なく風の強い地域で局所的に見られる。風食量との関係は地表付近の風速でほぼ決定されるため、平坦で裸地状態に近い土地ほど風食が進行しやすくなる。

3) 温度変化

水や風のように土壌侵食を引き起こす直接的な因子ではないが、温度変化もまた関係している。温度変化は物質の堆積の膨張・収縮を招き、土粒子同士の結合を弱める作用がある。また、とくに土壌の間隙や岩盤の亀裂に入り込んだ水が凍結・融解を繰り返すと、土壌の細粒化が加速され、その結果、水食や風食がより容易に生じやすくなることになる。

4) 生物

例えば、植物根や苔類が土壌の間隙や岩盤の岩の亀裂などに入り込み、さらに生長することによって、土壌や岩盤の劣化を促進することがある。ただし、生物は地表面を被覆するなどして、土壌侵食を抑制する働きもある。

(3) 土壌の受食性 (Erodibility) に影響を及ぼす因子

同じ土壌侵食力をもつ外部因子が発生しても、土壌の受食性によって侵食量は異なる。土壌の受食性を決定する主な因子として、「土壌特性」（とくに物理学的特性）、「地形」、「地表の状態」が挙げられる。

1) 土壌特性

これまでの数多くの研究成果によって、土壌の受食性の強さは、土壌団粒の耐水性、すなわち水に対する構造的安定性で決まることが明らかとなってきた。しかし土壌団粒の耐水性を定量的に計測することは容易ではなく、そこで研究がさらに進められた結果、土壌特性に表す数多くの項目のうち、「土性」(Soil texture)、「有機物含有量」(Organic matter content)、「透水量」(Infiltration および Percolation) の3項目が土壌の受食性と強い関わりをもつことが明らかとなった。**1. 3. 3(2)**で詳述するが、計算図法や回帰式によって、これら3項目を「受食性ファクタ」(通常 K で表現されることが多い。) という1つの数値に変換し、この値を指標として土壌の受食性を評価するという方法が普及している。

2) 地形

ごく簡単に表現すると、より勾配の大きい斜面の方が水平な地面よりも土壌侵食は生じやすい。これは、勾配が大きいほど各種因子の侵食力、土粒子飛散の偏向性、土粒子の輸送力など多くの要素が強くなる傾向にあるからである。

一方、同じ勾配なら、凸型斜面、平面型斜面、凹型斜面の順で斜面全体の土壌侵食量は多くなるとされている。これは、斜面内で生じた地表流出の流量および流速が最大となるのは斜面下流側であり、その部分において勾配がより大きいほど土壌侵食量が大きくなるためである。

また、凹凸の少ない平坦な斜面と凹凸の多い斜面を比べた場合には、地表流のもつエネルギーの分散・吸収力の小さい(＝粗度が小さい)平坦斜面の方が土壌侵食量は

多くなる。

3) 地表の状態

土壌特性や地形などの自然条件が同じであっても、土壌侵食量は地面の処理や管理方法によって異なってくる。例えば、土壌特性および地形が同じで地表の状態が異なる場合における土壌侵食量の差と、土壌特性および地形は異なるが地表の状態が同じ場合における土壌侵食量の差を比較すると、前者の方がその差は大きくなると言われている。つまり、地表をどのような状態に処理・管理するかが、土壌の受食性を決定する大きな要因となる。土壌の受食性を小さくするための要件として、とくに①地表に被覆を施すこと、②流路を分散させたり浸透性を高めたりして地表流のエネルギーを抑制することが挙げられる。

(4) 土壌侵食と人間活動の関係

1) 正常侵食と加速侵食

土壌侵食は、自然現象の1つとして世界中の至る所で発生している。風雨などの自然作用の中で、風化の過程と均衡を保ちながら徐々に進む侵食を「正常侵食」(Normal erosion)という。また、正常侵食は、「自然侵食」(Natural erosion)または「地質侵食」(Geological erosion)ともいわれる。

一方、人間活動による自然への作用、例えば、森林伐採、放牧、農業活動、産業活動、植生の採取、山火事などがあると、それが原因となって土壌侵食が加速的に進行することがある。このような侵食を「加速侵食」(Accelerated erosion)という。農地における土壌侵食は基本的には加速侵食である。

2) 人間活動による加速侵食の例

南米アンデス渓谷地帯では、土壌侵食が深刻な問題となっているが、この地帯では過放牧がその原因の1つだと言われている。緑資源機構がボリビア国チュキサカ県で実施した「農地・土壌侵食防止対策実証調査」(1999年～2004年)の中で行われたエロージョンプロット試験において、過放牧による土壌侵食への影響を示唆する興味深い結果が得られたので、ここで紹介する。

このエロージョンプロット試験は、サンフランシスコ・ハビエル大学農学部(ボリビア国チュキサカ県スクレ市)の付属農場(同県ヨタラ地区)内の1画において実施された。その敷地は面積約0.7 haの斜面(平均勾配約10%)で、家畜等の動物が入り込まないように鉄条網で周囲が囲われていた。

本試験の本来の目的は、傾斜農地の耕起具としてシンセルを導入することによって、従来耕起法(パロと呼ばれる木製鋤やディスクプラウなどによる耕起)に比べて土壌流亡が抑制されることを実証するものであった。(本試験の結果、大きな地表流出を伴う大雨時には効果は見られないものの、小降雨時にはシンセル耕起の方が従来法よりも土壌流亡が抑制されることが実証された。)

本試験では、22 m×3 m の傾斜方向に長い長方形型エロージョンプロットが 12 基設置され、そのうち 8 基は従来耕起およびシンセル耕起の処理が施され、シーズンごとに耕起と作物栽培が繰り返された。そして、残り 4 基は比較対照用プロットとして試験期間中、無耕起・無耕作の状態で管理され、うち 2 基（＝「プロット A」と呼ぶ）では年中除草管理が施されプロット内の地表が常に裸地の状態、残り 2 基（＝「プロット B」と呼ぶ）では除草もせずに完全放置（この 2 基は 1 年遅れの 2 年目より開始）の状態であった。

試験開始当初、全てのプロットが写真 1.3.1 に示されるような状態で、プロット内のみならず敷地一面植生がほとんど見られない状態であったが、試験開始 2 年目の終盤になると、比較対照用のプロット A および B はそれぞれ写真 1.3.2 および写真 1.3.3 のように、地表の被覆状態が明らかに異なる状態となった。

年総降水量は年ごとに異なるため、各プロットにおける総地表流出量（水＋土）および総土壌流亡量それぞれについて、他年の値を直接比較することはできないので、ここでは便宜上、プロット A に対するプロット B の割合として比較すると図 1.3.4 のようになる。この図を見ると、プロット B 内の地表部に雑草が生え始めた試験 2 年目においてはプロット A・B 間での差は比較的小さく、一方、シーズン初めから地表が雑草で完全に覆われていた試験 3 年目以降になると、プロット B からの地表流出量および土壌流亡量はいずれも激減し、プロット A での発生量の 5 % にも満たない量しか発生しなかったことがわかる。つまり、ここで得られた結果は、地表の被覆が土壌侵食防止に対していかに効果的な要素となるかを示すものといえる。

ところで、プロット B は、人為的な管理は全くないまま放置されていただけであり、本試験の一環として実施された土壌分析結果を見ても、組成、物理性、化学的特性、栄養成分など全ての項目において周辺一帯の土壌と比べて大きな差は認められなかった。つまり、周辺の至る所で、プロット B のような被覆状態が見受けられてもおかしくないはずである。しかし、乾季に現地の周辺の野山を見渡すと、農地のみならず、人為的な除草管理などなされるはずもないような所ですら、地表の状態はプロット B よりもむしろプロット A の区画内に見られる状態に近い。

南米アンデス渓谷地帯では、山羊、羊、牛などの家畜の飼育が広く普及しており、飼育者は貴重な財産である家畜を少しでも成長させようと、植生の存在する至る所に放牧を行う。放牧された山羊、羊、牛などの家畜は野山にわずかに芽生えた草や木の芽をついばみ、乾季の間に、農地に残された作物残さを食い尽くしてしまう（写真 1.3.4）。この結果、植生の生成速度と消滅速度のバランスが崩れ、表土の露出度が高められている。このことが現地における土壌侵食に少なからず影響を及ぼしていることは想像に難くない。家畜数を単純に減らすことはできないかもしれないが、こういった過放牧による土壌侵食への影響も考慮した適切な放牧管理が求められる。



写真 1.3.1 試験開始時 (1999 年 11 月) の状態
 プロット下流側より撮影。圃場全体の整備を行ったため、プロットおよび周辺には植生はほとんど皆無の状態であった。



写真 1.3.2 試験期間中、人為的管理により裸地状態を維持されたプロット A
 プロット上流側から撮影。3 mm 程度の小雨でも地表流出がすぐ生じてしまった。



写真 1.3.3 試験 2 年目の雨季終盤 (2001 年 3 月) のプロット B
 プロット上流側から撮影。プロット内および周辺一面に雑草が既に繁茂し、以後、試験終了までずっとこの被覆状態が維持されていた。10 mm 程度の雨でも土壌流亡はおろか、地表流出すらほとんど発生しなかった。

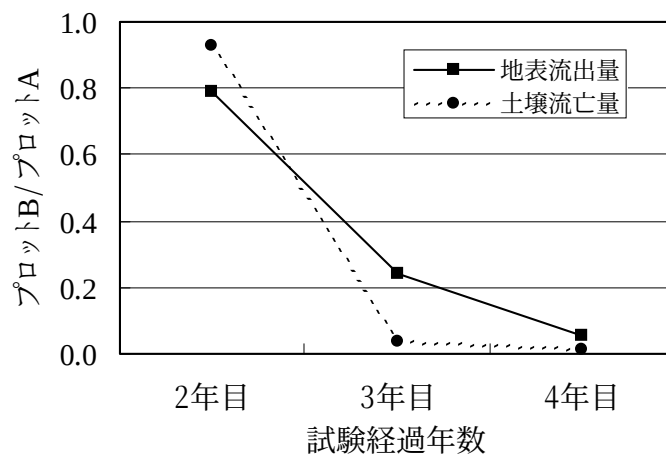


図 1.3.4 プロット A およびプロット B からの地表流出量および土壌流亡量の比較
 (プロット B は試験開始 2 年目から設置されたため、1 年目のデータは無し。)

1. 3. 2 南米アンデス溪谷地帯における土壌侵食の実態

(1) 広域的に推定された土壌侵食量

世界中で深刻な問題として認識されている土壌侵食の実態を全球規模で把握しようと、これまでにいくつかのプロジェクトによって試みられている。図 1.3.5 にそれらの例を示す。図には南米大陸における年間土壌侵食量の分布が3例示されているが、侵食強度や侵食量の分布がそれぞれ異なっており、アンデス溪谷地帯では $20 \sim 1,000 \text{ t km}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ と大きな差がみられる。しかし、いずれの結果においても、アンデス溪谷地帯は南米大陸の中では土壌侵食の激しい地帯であるという点では一致している。

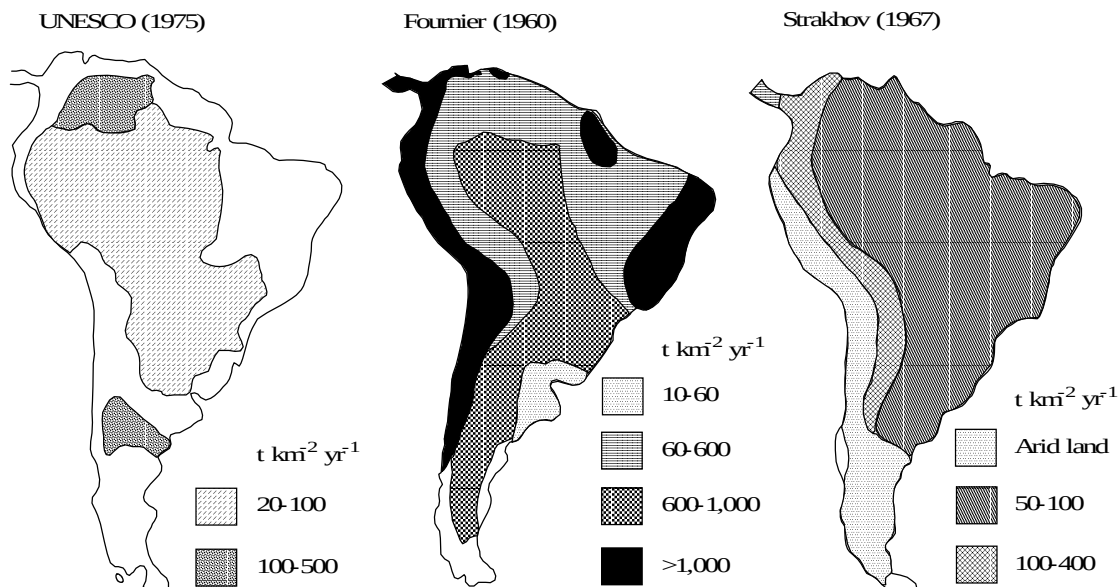


図 1.3.5 南米大陸における年間土壌侵食量の分布

(出典：「Soil Conservation」 p.33 掲載の図から再作成)

(2) アンデス溪谷地帯における土壌侵食状況の調査事例

1) ボリビア国における土壌侵食状況

アンデス溪谷地帯における土壌侵食状況として、本地帯のほぼ中央部に位置するボリビア国チュキサカ県を含むボリビア国全域での調査事例 (CORDECH による調査) を紹介する。

表 1.3.1 は、本国内の乾燥、半乾燥・半湿潤地域、すなわち 全国土面積約 110 万 km^2 の約 40%を対象に土壌侵食程度を分類したものである。これによると、「強度」の侵食程度 (侵食量 $51 \sim 100 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$) に属する地域が調査対象面積の 26.2%、これに次いで「やや強度」の侵食程度 (侵食量 $31 \sim 50 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$) が 24.7%となっており、これらを合わせると調査対象地域の過半数を超える。一般に、農業生産を持続的に維持するためには、農地からの土壌流亡量が $15 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 程度が許容の限界とされており、これを基準にしても本国における土壌侵食の激しい状況がうかがわれる。ちなみに、「やや強度」および「強度」の年間土壌侵食量は、 $31 \sim 100 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ となるが、

これは土壌のみかけの密度を 1.5 g/cm^3 (仮比重 1.5) と仮定すると、年間 2～7 mm の表土が流出していることになる。

表 1.3.1 ポリビア国における土壌侵食程度

段階	土壌侵食の程度	面積 km ²	構成率 %	土壌侵食量の 目安 t ha ⁻¹ yr ⁻¹
1	ほとんど侵食されていない	43,413	9.6	
2	軽度	44,497	9.9	10 以下
3	中程度	65,245	14.5	11～ 30
4	やや強度	111,543	24.7	31～ 50
5	強度	118,112	26.2	51～100
6	重度	41,870	9.3	101～200
7	極めて重度	4,019	0.9	200 以上
湖、塩湖、洪水地帯など農地として利用できない土地		22,243	4.9	
調査対象面積		450,942	100.0	

(出典: CORDECH 「Estudio integrado de los recursos naturales del departamento de Chuquisaca –Procesos de erosion-」, 1994)

2) チリ国における土壌侵食状況

チリの国土は、6,000 m 級のアンデス山脈からわずか 180 km で太平洋に達し、急傾斜地が極めて多い。したがって、全土にわたって土壌侵食を受けやすい地形構造となっている。1979 年に実施された調査結果によると、表 1.3.2 に示されるように国土の 46%において土壌侵食の危険があるとされている。また、零細農家はとくに土壌侵食の危険が高い条件不利地域で生活していることが多く、貧困な条件をさらに厳しくしている状況にある。

表 1.3.2 チリ国における土壌侵食状況（単位：1,000 ha）

州	面積	受食面積	土壌侵食の程度			土壌侵食割合 %
			高	中	低	
I	5,807	2,538	1,066	1,116	356	44
II	12,531	2,682	1,435	1,120	126	21
III	7,827	2,648	1,209	809	630	34
IV	3,965	3,460	654	1,426	1,380	87
V	1,638	894	283	147	464	55
首都圏	1,578	559	483	59	17	35
VI	1,595	973	743	211	20	61
VII	3,052	1,538	815	687	37	50
VIII	3,601	2,362	994	1,168	200	66
IX	3,247	2,475	875	1,533	67	76
X	6,904	4,846	1,023	1,628	2,195	70
XI	10,715	4,625	1,055	2,180	1,390	43
XII	11,231	4,888	900	3,464	524	44
全土	75,695	34,487	11,535	15,546	7,406	46

かんがい地、南極大陸は調査面積に含まれない。

（出典：Instituto Nacional de Investigacion de Recursos Naturales, CORFO, 1979）

3) アルゼンチン国における土壌侵食状況

平成 9 年度報告書（農用地整備公団、1997）によると、アルゼンチン国の土壌侵食状況について、定量的には示されていないが、北東地方西部の山岳地帯や標高の高い平原において、水食が激しく進行し、被覆植物の少ない高地の高原では過放牧による砂漠化も進行しているとされている。また、大規模な機械化農業が営まれている中部の盆地地帯でも土壌の侵食および劣化が激しいことが報告されている。

1. 3. 3 土壌侵食量の推定方法

(1) 目的と推定方法の決定

これまでに、水食による土壌侵食量を推定するための方法（モデル）が多くの研究者らによっていくつか提案されている。以下に、それらを形態別に4つに分けて紹介する。どのモデルを用いるべきかについては、その目的に応じて決定する必要がある。

例えば、流亡の過程はさておき土壌侵食量さえ算出できれば良いというような場合には、世界で最も広く用いられている USLE のような経験的モデルが適当であり、侵食過程の把握やシミュレーションを行う場合には、WEPP モデルのような物理則に基づく決定論的モデルが適当であろう。経験的モデルは、計算過程をブラックボックスとして簡素化されており、実測値に基づいて構築されるので比較的扱いが簡単であり、モデルが同定された地点と類似した物理的条件をもつ地域に対しては精度良く計算できるという利点があるが、一方、物理的条件の異なる地点や、流域条件変化に伴う土壌流亡量の変化予測というようなシミュレーションにはほとんど対応不可能である。

これに対し、侵食過程を物理的に考慮したモデルでは、通常、モデル内に多くの変数と計算過程が含まれ、それらすべてを同定することが困難なために経験的モデルに比べて誤差が大きくなる傾向がある。しかし、物理的モデルでは、物理的条件を変化させてシミュレーションを行うことが可能であり、さらにモデルが同定されたときの条件と異なる条件を持つ地域に対してもある程度対応可能である。また、後述の WEPP モデルは従来の経験的モデル並、あるいはそれ以上の精度で計算が行えるものとして、現在注目が集められている。

ところで、とくに農地における土壌侵食が問題となるのは、土壌侵食は生産性の低下を招くためであり、土壌侵食量そのものではなく、土壌侵食による生産性への影響の評価に関心がおかれることもある。こういった場合には生産性モデルが有用となる。生産性モデルは、基本的にはまず土壌侵食量を推定し、次にそれを用いて生産性への影響を評価するという手順により計算が行われる。生産性モデルとして一般に用いられるのは、EPIC モデルと PI モデルであるが、これらのモデルには膨大な入力データが必要なので、関連データがなかなか得られない開発途上国では適用が困難であるとされている。

また、土壌侵食により生じた流出物が河川へ流出し、下流域で化学的または物理的に影響を及ぼされることが問題となることもある。こういった場合には、土壌侵食が生じている区域だけでなく、流域全体を対象として、さらに土壌流亡区域や土壌堆積区域など区域ごとの状況に応じて正確に表現できる流域モデルが必要となる。

(2) 経験的モデル

土壌侵食量を推定するための経験的モデルとして、最も代表的なのは USLE(Universal Soil Loss Equation) とその改良版である RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) および MUSLE (Modified Universal Soil Loss Equation) であろう。USLE は(1.3.2)式で表され、多くの研究者らによって継承的に

開発されてきた静的モデルをベースにして、Wishmeier らが圃場実験データを用いながら実用的なモデルに確立させたものである。

$$A = R K L S C P \quad (1.3.2)$$

ここに、

A : 年間土壌侵食量 [$\text{t ha}^{-1} \text{y}^{-1}$]

R : 降雨流出の侵食力ファクタ (Erosivity factor) [$\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{y}^{-1}$]

K : 土壌の受食性ファクタ (Erodibility factor) [$\text{t h MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$]

L : 斜面長ファクタ (Slope length factor) [無次元]

S : 斜面勾配ファクタ (Slope steepness factor) [無次元]

C : 被覆管理ファクタ (Cover management factor) [無次元]

P : 保全対策ファクタ (Conservation practice factor) [無次元]

なお、 R および K については、算定方法によって異なった単位が用いられることもある。

以下、各ファクタについての概説を行う。なお、付属資料には各ファクタの算出方法等、さらに詳細な説明が既述されている。

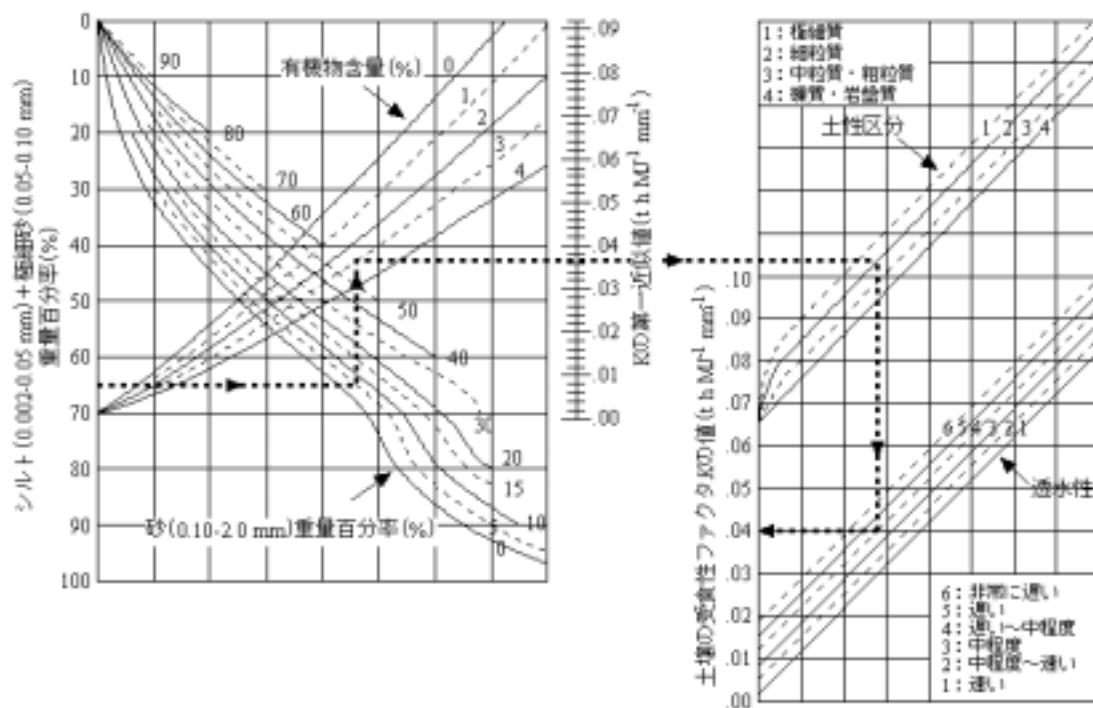
1) 降雨および流出水の侵食力ファクタ R

R は水食のエネルギー源となる降雨および流出のエネルギーの関数として与えられたものである。なお、 R には概念的には地表流出水の持つエネルギーも含まれるが、それは降雨の雨滴が持つエネルギーに比べると無視できるほど小さい（ある試算では雨滴の 256 分の 1）と考えられることから、実際には降水量と降雨強度のみに着目した関数となっている。

2) 土壌の受食性ファクタ K

K は土壌の被侵食度合いを表す係数であり、基本的には侵食対策の施されていない勾配 9 %、長さ 22.1 m の裸地斜面において現地計測された年間土壌流亡量 A を R で除することによって得られる。ちなみにアンデス渓谷地帯に属するボリビア国チュキサカ県では、 K は 0～0.7 の範囲の値をとるとされている (CORDECH、1994)。

裸地斜面からの土壌流亡量実測値の得られない地点において年間土壌流亡量を推定する場合には、現地土壌の組成・浸透性・有機物含量のデータさえ手に入れば、全米各地における膨大なプロット試験結果に基づいて作成された計算図表 (図 1.3.6) や回帰式 ((1.3.3) 式) を用いて K の値を求めることが可能である。ただし、この計算図表や回帰式はあくまでも米国におけるプロット試験結果に基づいて作成されたものであり、適用地域の条件によっては精度が劣る可能性があることに留意すべきである。



図中の矢印付きの太い点線は、シルト+極細砂 :65 %、砂 :5 %、有機物含量 :2.8 %、土性区分 :2、透水性区分 :4 の場合の K の算定手順を例示したものであり、この場合の K の値は0.04となる。

図 1.3.6 土壌の受食性ファクタ K の計算図表

(出典：「第4版 Soil and Water Conservation Engineering」p.101 掲載の図から再作成)

$$K = 2.8 \times 10^{-7} M^{1.14} (12 - a) + 4.3 \times 10^{-3} (b - 2) + 3.3 \times 10^{-3} (c - 3) \quad (1.3.3)$$

ここに、

M : 土壌粒度パラメータ (シルト [%]+極細砂 [%]) × (100-粘土 [%])

なお、シルト : 0.002~0.05 mm

極細砂 : 0.05 ~0.10 mm

粘土 : >0.002 mm

a : 有機物含量 [%]

b : 粒度組成コード (極細粒土 :1、細粒土 :2、中粒度 または粗粒土 :3、礫質土 :4)

c : プロファイル浸透性 (速い :1、速い~中程度 :2、中程度 :3、中程度~遅い :4、遅い :5、非常に遅い :6)

3) 斜面長ファクタ L

斜面長ファクタ L は、斜面長に対する補正を行うための係数である。 R と K の積は、標準斜面、すなわち侵食対策の施されていない勾配 9 %、長さ 22.1 m の裸地斜面における年間土壌流亡量を表す。しかし、実際の現場では、当然、斜面がこの標準より長いこともあれば短いこともあり、斜面長が標準より長くなると土壌流亡量は標準斜面に比べて大きくなり、短くなると小さくなる。 L の算出方法としては、従来、計算

図表によって後述の斜面勾配ファクタ S と積の形で求める方法が用いられていたが、McCool ら（1989）により作られた(1.3.4)式によって求める方法が簡便であろう。

$$L = \left(\frac{l}{22.1} \right)^m \quad (1.3.4)$$

ここに、

l : 斜面長 [m]

m : 無次元の指数

4) 斜面勾配ファクタ S

斜面勾配ファクタ S は、斜面勾配に対する補正を行うための係数である。 S の算出方法としては、先述のように従来は計算図法を用いて斜面長ファクタ L との積の形で求められていたが、現在では McCool ら（1987）により作られた(1.3.5)式によって独立に S を求める方法が利用されている。

斜面長 $l \leq 4$ m のとき、

$$S = 3.0 (\sin \theta)^{0.8} + 0.56 \quad (1.3.5a)$$

斜面長 $l > 4$ m かつ 斜面勾配 $s < 9$ % のとき、

$$S = 10.8 \sin \theta + 0.03 \quad (1.3.5b)$$

斜面長 $l > 4$ m かつ 斜面勾配 $s \geq 9$ % のとき、

$$S = 16.8 \sin \theta - 0.50 \quad (1.3.5c)$$

5) 被覆管理ファクタ C

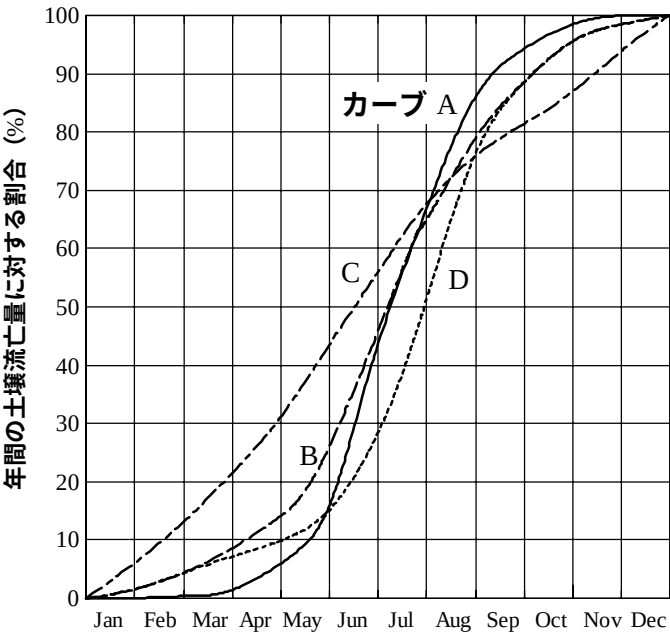
被覆管理ファクタ C には、被覆そのもの、多期作・多毛作を行う場合の作物の順序、生産性レベル、生育期間の長さ、耕起方法、残さ管理、そして侵食事象発生の時間分布などの影響が含まれる。これらの要素は地域ごとに大きく異なるため、どの地域にも通用するような C の決定方法を確立することは難しく、基本的には、USLE を適用する地域で圃場実験を行い、その結果に基づいて C の値を決定するのが最善である。

ただし、例えば、圃場実験を全国規模で展開させている米国では、膨大な実験結果を総括して、耕作方法（連作、輪作など）別に作物生育段階ごとの土壌流亡割合（%）を整理し、これと別途作成された月別土壌流亡割合（%）との積によって、当該地域における C を決定するという方法を確立させているので、これらを参考にすることは可能である。以下に、Wischmeier らによって作成された土壌流亡割合を示す表および月別土壌流亡割合のグラフを示す。

表 1.3.4 作付け方法 (および管理条件) の違いによる各生育段階での土壌流亡割合

作付け方法 (および管理条件*1)	春季植付け時		作物生育の各段階および樹冠被覆率の違いによる土壌流亡割合(%)*2							
	残渣量*2 (kg)	被度*3 (%)	作物生育段階 (樹冠被覆率(%))							
			荒起し (0～)	苗床 (～10)	苗立ち (～50)	生育 (～75)	成熟 (～80)	成熟 (～90)	成熟 (～96)	残渣 刈り株 (-)
連作										
トウモロコシ (RdL, ST, MBT)	5,000	-	36	60	52	41	-	24	20	30
小粒穀類	5,000	60	-	16	14	12	7	4	2	-
牧草							1			
輪作										
牧草→条植え作物			12	27	23	20	-	14	12	21
マメ→トウモロコシ (ST)			47	78	65	51	-	30	25	37
トウモロコシ→マメ (ST, MBT)			39	64	56	41	-	21	18	
伝統的作付け										
トウモロコシ→マメまたはトウモロコシ	5,000	60	-	13	11	10	-	10	8	20
マメ→トウモロコシ		30	-	33	29	25	22	18	14	33
トウモロコシ→小粒穀類	5,000	60	-	16	14	13	7	4	2	

- *1 RdL:トウモロコシ残渣を圃場内に残す。 ST:春耕起。 MBT:モールドボードプラウ耕起。
- *2 1haあたりの乾物重。春季植付け前の状態。オフシーズン中に放牧等によって前シーズン収穫直後に比べ残渣や被覆が減少することもある。収量が6～8t/ha得られる作物に対し、5,000kg/haの乾物残渣量が得られる。
- *3 作物播種後に残渣マルチによって被覆される地表面の面積割合。
- *4 それぞれ記された作付け順および管理方法が経年的に維持されると仮定した場合の土壌流亡割合。なお、単年だけ例年と異なる管理を行ったとしてもさほど大きな影響は無い。



- A:アイオワ北西部、ネブラスカ北部、サウスダコタ南部
- B:ミズーリ北部、イリノイ中部、インディアナ、オハイオ
- C:ルイジアナ、ミシシッピ、テネシー西部、アーカンソー東部
- D:ジョージアおよびカロライナの大西洋岸プレーン

図 1.3.7 月別土壌侵食割合 (%)

(出典:『第4版 Soil and Water Conservation Engineering』 p.103 掲載の図から再作成)

6) 保全対策ファクタ P

保全対策ファクタ P は、斜面にテラスなどの土壌保全対策による効果を反映させるための係数である。何の対策も施されていない場合を 1.0 として、施されている対策の効果の大きさに従って、1.0 以下の値が定められる。複数の対策が施されている場合には、それぞれの対策に対する係数の積が P の値となる。保全対策ファクタ P は、他のファクタに比べると精度的には粗いファクタである。また、地域の自然条件によって同じ対策でもその効果は異なるため、基本的には USLE を適用する地域で圃場実験を行い、その結果に基づいて P の値を決定する必要がある。

Wischmeier らは、 P の値として以下のような具体例を示している。

等高線栽培の場合：傾斜全体の勾配に従って 0.5～0.9（勾配の大きい程値は大きくなる）。

帯状栽培の場合　：4 年輪作のうち 2 年条植え作物なら 0.75 程度、1 年条植え作物なら 0.5 程度。

テラスの場合　　：0.1～0.2 程度。

(3) 物理的モデル

土壌侵食量を推定するための物理的モデルとして、現在最も期待されているのは WEPP (Water Erosion Prediction Project) モデルであろう。このモデルは USLE に代わるモデルとして NSERL (The National Soil Erosion Research Laboratory) -USDA (The United States Department of Agriculture) によって開発された動的モデルで、1 降雨イベントごとでも長期の土壌侵食予測でも対応でき、さらに面状侵食・リル侵食それぞれ区別して計算を行うことや、流砂や堆積も考慮することが可能である。このモデルの計算プログラムはアプリケーションソフトとして NSERL のインターネットサイトで公開されており、これを利用すれば現地に合わせて各種パラメータをセットするだけで簡単に計算を行うことができる。

WEPP モデルの丘陵斜面プロファイルへの適用は、USLE の適用と類似した点が多くつもある。プロファイルには、モデルを適用する圃場ないし地区の斜面、土壌、および作物管理の各種条件の代表値を選定する必要がある。通常、プロファイルには丘陵頂上を起点として、勾配の大きい受食エリア、そしてそれと連続的に続く勾配が比較的強く上流からの流出物が堆積する堆積エリアへと下流方向に進み、斜面流出を受ける承水路か圃場の末端までの範囲が選定される (USLE では斜面の受食エリアのみが対象となる点で異なる)。丘陵斜面の土壌や作物管理の条件が均一である場合には、単一の斜面エレメント (OFE=Overland Flow Element) として扱われ、単一の斜面エレメント内では水収支、植物生育、残さレベル、地表面粗度、浸透能、受食性パラメータの各値は一定であると仮定される。丘陵斜面内に土壌など各種条件が異なるエリアが存在する場合には、斜面エレメントを複数設定することにより対応できるようになる。以下では、WEPP 斜面モデルを、気象発生 (主に降雨)、かんがい、水文、

水収支、植物生育、残さ、地表流水理学、そして侵食の各コンポーネントに分けて概説を行う。なお、各コンポーネントの詳細については、付属資料を参照されたい。

1) 気象発生コンポーネント

WEPP モデルは日単位の時間ステップで計算される連続シミュレーションモデルである。流出－侵食過程を表現するために、まず気象データをインプットする必要がある。もちろん観測値があれば、それを用いればよいが、WEPP モデルの計算用に作られた気象発生プログラム CLIGEN (Climate Generator) を使って人為的に発生させて用いることもできる。

2) かんがいコンポーネント

WEPP では、固定式スプリンクラまたは畦間かんがいによる影響を考慮した計算が可能である。固定式スプリンクラかんがいでは、かんがい水は斜面エレメントごとに均等量がノズルを通じて散水されると仮定される。一方、畦間かんがいでは、斜面エレメントの傾斜方向に伸びる畦間の上流部に水が送水されると仮定される。また、かんがいスケジュールについては、かんがい日固定方式、水分消費レベル方式、またはこれらの混合方式の3タイプを設定することができる。水分消費レベル方式は、モデルは常に土壤水分量を監視し、規定の水分量を下回るとかんがいされるというものである。

3) 水文コンポーネント

土壤侵食量を推定する際に降雨－流出の情報が最も重要となるが、WEPP モデルでは水文学的要素として、浸潤、地表流出量、および土壤水収支の各過程が考慮され、降雨継続時間、有効降雨強度、流出高、ピーク流出量の4パラメータが用いられている。また、これらの4パラメータは、土壤侵食量の推定だけでなく、浸潤量の連続計算を通じて土壤水分変化の計算にも使用される。

4) 水収支コンポーネント

WEPP の水収支コンポーネントは、SWRRB (Simulator for Water Resources in Rural Basins)モデルと類似したコンポーネントをベースとし、降雨遮断、浸透、および土壤蒸発のパラメータを推定するために改良がなされたものである。水収支は、日積雪深、雪面蒸発量および融雪量、可能蒸発散量、土壤蒸発量、植物蒸散量、根群域における土壤水分量、浸潤水の下方向への浸透量を推定することにより求められる。図 1.3.8 に WEPP モデルでの斜面プロファイルの概念図を示す。

WEPP モデルでは、シミュレーション期間中における日可能蒸発散量の推定には、Penman 式または Priestly-Taylor 関数が用いられている。また、気象(気温、日射量、風向風速)、植物生育(葉面積指数、根深さ)、そして残さ残存率から、土壤蒸発量、植物蒸散量、および各土層からの水分移動量が計算される。

本モデルでは、深さ最大 1,800 mm までの土壤水分まで追跡し、根群域より深い部分への水の移動は考慮しない。土壤プロファイルについては、最も地表面に近い 2 層を厚さ 100 mm とし、それより下の層はすべて厚さ 200 mm である。連続したある 2 層において、上側の土層の水分が圃場容水量を超えると、下側の土層へと浸透するものとする。水の下方向への浸透は、下側の土層が飽和しているかどうかによって制限される。WEPP ではまた、地下水の横方向の流れおよび排水路への流出も考慮されている。

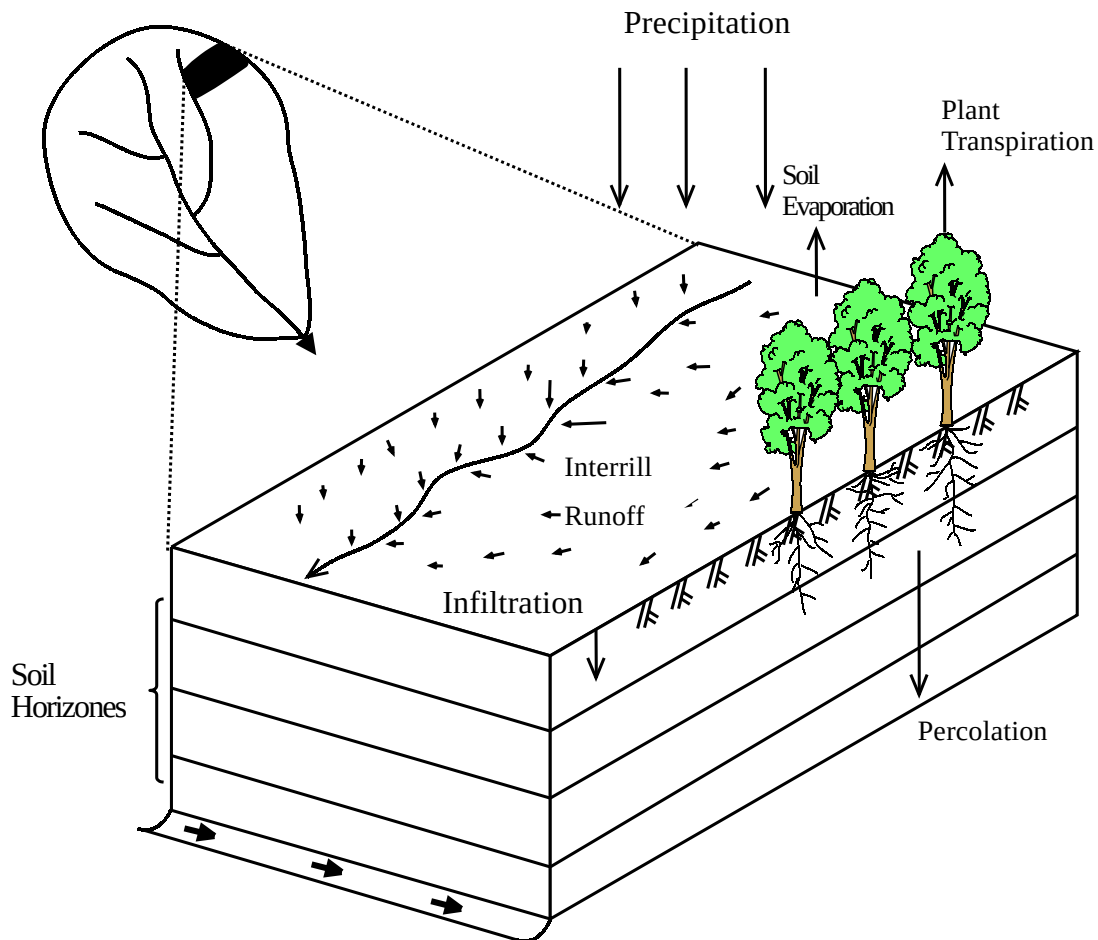


図 1.3.8 WEPP モデルでの斜面プロファイル概念図

5) 土壌コンポーネント

WEPP モデルの土壌コンポーネントは、ベースライン土壌浸潤と受食性に関する属性を推定する役割を担っている。推定されるパラメータは主に、粗度、畝高、土壌のみかけ密度、有効透水係数の 4 つである。このほか、侵食パラメータとして、面状侵食受食性、リル受食性、限界水理学的せん断ストレスの 3 つがこのコンポーネントに含まれている。これらのパラメータには多くの要因が影響を与えるが、農地上での最

も重要な要因は耕起操作の影響であるとされている。

6) 植物生育コンポーネント

バイオマスや残さの生成や、管理と環境の要因の相互作用は、土壌流亡推定のうえで大きな影響を及ぼすため、植物生育のシミュレーションは、連続シミュレーション型の土壌侵食推定モデルには欠かせない。WEPP モデルでは、農地と草地でそれぞれ異なったアプローチ手法により、植物生育のシミュレーションが行われる。

農地の植物生育については、後述の生産性モデルに属する EPIC(Erosion Productivity Index Calculator)モデルと類似したアプローチ方法が採用されている。この方法では、作物の生育は日ごとの熱量の累積関数で表現される。日ごとの植物生育ポテンシャルは、その日のバイオマスエネルギー変換率と光合成活動放射量(Photosynthetic active radiation)の積に基づいて決定される。樹冠面積、樹冠高さ、および葉面積指数は植生バイオマス量を推定するための関数となる。水または温度ストレス因子があると、バイオマス生産ポテンシャルが減少する。

草地の場合については、植生群落の生育特性を表す一峰性または二峰性のポテンシャル生育カーブが用いられている。入力情報としては、最大ポテンシャルバイオマス生産量とピークの発生時期が求められる。また、モデル適用地域における草類、低木、高木についての情報も必要となる。

7) 残さの分解・管理コンポーネント

土壌保全の目的を達成するための方法として、植物残さはしばしばコスト効率の良い素材となる。土壌侵食の連続シミュレーションを行う際には、作物生産、残さの分解および管理操作によって生ずる残さの増減についても考慮する必要がある。モデルでは、農地および草地における日々の残さ変化量として、個別の式が与えられている。また、残さの管理については、非常に柔軟な対応がなされている。耕起操作については、耕起方法ごとに値が定められている。

8) 地表流の水理学的コンポーネント

WEPP モデルでは、地表流は以下の2つの方法で表現される。

- ①流れは面状に広がる等流であると仮定され、地表流ハイドログラフは水理学的粗度（リル侵食エリアと面状侵食エリアの重み付き平均）を用いて計算される。
- ②面状侵食の計算に対しては、流れは等流が成立するように斜面エレメント内で分割され、リル侵食の計算に対しては、集中した流れで考える。

モデルにはリルの間隔および幅を入力する必要がある。リルの間隔については、平均的な値として農地では 1.0 m、草地では 0.5～5.0 m が設定されることが多い。またリルの幅は一定とするか、または経験式を用いれば降雨ごとに幅が変化することを考慮することもできる。

9) 土壤侵食コンポーネント

WEPP による斜面プロファイルシミュレーションでは、侵食過程をリル溝における流れせん断侵食と、雨滴による衝撃また薄層の雨水流によって生じる面状侵食に分けて考えられている。

プロファイル下流地点における堆積負荷量および正味の侵食量または堆積量の推定には、定常状態の連続方程式が用いられている。

(4) 生産性モデル

農地における土壤侵食が世界中で問題視される最も大きな理由の1つは、土壤侵食が進むと生産性が低下することである。そこで、土壤侵食量そのものを推定するのではなく、土壤侵食による生産性の損失を推定するモデルがいくつか提案されている。生産性の低下量を推定するモデルの多くは、まず土壤流亡量を推定し、そしてその求められた流亡量をもとにして生産性への影響を評価するという2つのステップにより計算が行われる。この種類に属するモデルとしては EPIC モデルおよび PI モデルが有名である。これらのモデルは米国で開発されたものであるが、通常、これらのモデルには膨大な入力データが必要であるため、データの入手が厳しい開発途上国においては、これらのモデルの適用は困難であるとされている。以下、EPIC モデルおよび PI モデルについて概説する。

1) EPIC (Erosion Productivity Impact Calculator) モデル

EPIC モデルは生産性モデルの中で最も一般的とされる。このモデルの構成要素は、経験式に基づく部分と物理則に基づく部分を融合させたものとなっている。このモデルを使って計算を行うためには、膨大な入力データを必要とする。このモデルは、各種条件の空間分布が均一だとみなせる 1 ha 程度の狭いエリアに適用するのが最も有効であるとされている。土壤プロファイルは 10 層まで分割して計算させることができ、各プロファイルの土壤特性は異なっても可能である。地表流出量は、物理的モデルである CREAMS と類似した手順により推定され、他に必要な水文学的要素は、降水量、浸透量、排水量、蒸発散量である。土壤流亡量の推定は、USLE に基づいており、これに窒素およびリンの養分が考慮される。

2) PI (Productivity Index model) モデル

PI モデルは土壤侵食による長期的な影響（例えば 50 年）を推定するために考案された。EPIC と同様に、土壤の化学的および物理的特性、作物収量、各種土層における浸透能、土地面積、土地利用、土地所有形態、受食状態などの情報を含む膨大な入力データを必要とする。生産性指数 (PI) には、各層における土地生産性を決定する属性の適正や、層ごとの作物根部の比率も考慮される。土地生産性を決定する属性には、有効水分量、間隙率、みかけ密度、pH、EC が含まれる。なお、栄養分については、施肥によって変動が大きいという理由により、含まれていない。

（５）流域モデル

侵食されて流亡した物質の堆積などによる、下流域への化学的または物理的な汚染の影響を把握する必要があるような場合、侵食が生じている区域のみならず、流域全体で検討を行う必要がある。こういった場合、USLE などのように被侵食エリアでの物質の移動のみを評価の対象とするモデルでは対応できない。この問題を解決するために、USLE に土壌流亡輸送率を考慮させたものや、侵食成分に堆積を推定する要素を加えたモデルなども開発されている。しかし、こうしたタイプのモデルのほとんどは、ガリや河岸侵食、あるいは道路や市街地のような農地以外の侵食には対応できない。

いくつかの流域モデルには、流域を多数のユニットに分割し、ユニットごとに個別に分析できるようにすることで、農地、そして農地以外の土地利用についても対応できるようにして、この問題を解決しようと試みられているものがある。また、別の流域モデルでは、水文モデルに堆砂量を推定する要素を付加しているものもある。こうしたモデルは、ときに面源モデルとも呼ばれ、USLE とは構築方法が大きく異なっているものが多く、例えば、降雨の影響については、USLE におけるファクタ R ではなく、総雨量とピーク雨量から計算されるファクタが用いられるなどされる。

既述の WEPP モデルでは流域コンポーネントも組み込まれているため、斜面プロフィールのみならず流域モデルとしても利用することができる。

第 2 章 土木保全対策技術

第2章 土木的保全対策技術

2.1 土木的保全対策技術

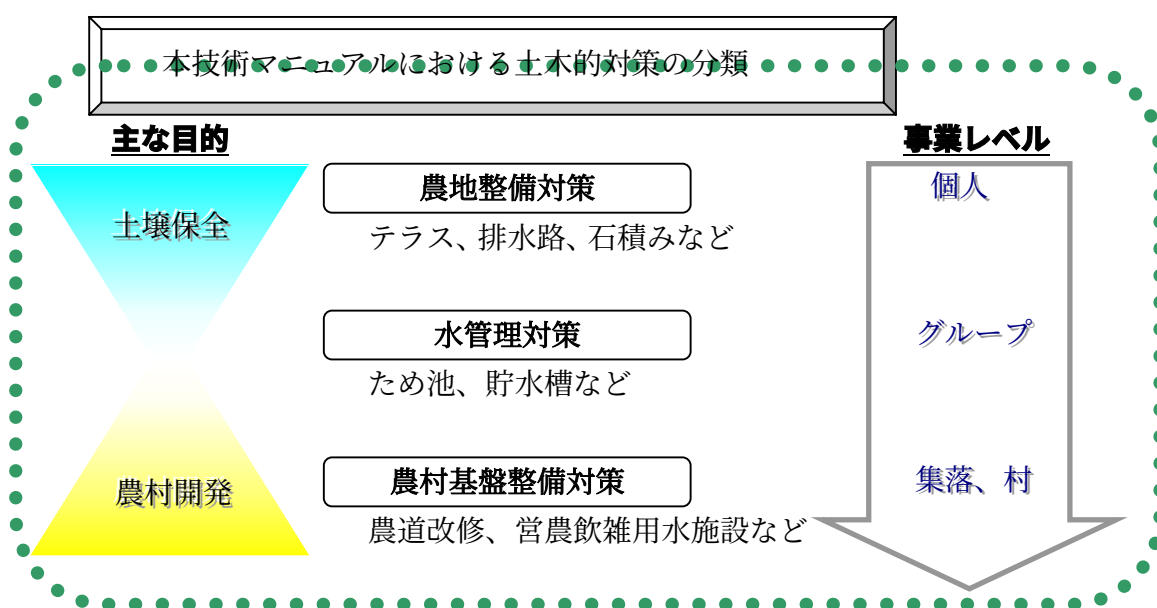
農地保全技術には、営農の過程で実施する営農的保全対策と、土木構造物を設置して実施する土木的保全対策がある。本章では土木的保全対策技術について記述する。

2.1.1 土木的保全対策技術とは

土木的保全対策技術は、水の流れをコントロールするために土木的な構造物を建設する方法であり、毎年の作期ごとに対策を講じる必要がある営農的保全対策技術に比較して、基本的な維持管理を必要とするものの、その形状が変化しない固定資産であるといえる。このことから本マニュアルでは「表面流去水および浸透水を管理・制御することを目的とした技術的な土木構造物を設置することにより農地を保全する技術」を土木的保全対策技術（以下、土木的対策とする）と定義する。

本章ではこの土木的対策を以下のとおり、**農地整備対策**、**水管理対策**および**農村基盤整備対策**の3つに分類して記述する。

- (1) **農地整備対策**には、農地からの流出を抑制する技術対策、すなわち農地の斜面長・勾配を管理する①テラス②排水路③石積みなどがある。
- (2) **水管理対策**は、農地からの流亡水土を管理すると共に、雨水を貯水し、有効利用するために①ため池②貯水槽などを建設する対策である。
- (3) **農村基盤整備対策**は、土木工事や構造物の設置が主体であり、工事面積や受益者が多いことから、公共事業としての性格が強い。①農道の改修②営農飲雑用水施設の建設といった基盤施設の建設・維持管理が挙げられる。



ここで注意すべきは、**農地整備対策**、**水管理対策**および**農村基盤整備対策**の効果・役割の違いについてである。前者の2対策は「**土壌保全を目的とした土木的対策**」として、後者の対策は「**農村開発を目的とした土木的対策**」として捉え、効果・役割を明らかにしたうえで実施する必要がある。

「**土壌保全を目的とした土木的対策**」は、広範囲の土地を対象とし一体的に取り組む必要があることから、農民が主体となって積極的に取り組むことが不可欠である。このため、対策に対するオーナーシップ意識を農家に醸成させ、将来にわたって彼ら自身が対策の維持管理を実施することが期待できる、農民が受け入れ易い廉価で容易な技術を採用する必要がある。

「**農村開発を目的とした土木的対策**」は、土壌保全活動の推進にあたって障害となる要因を取り除くことにより、新たな土壌保全対策の選択肢を増やし、大きな前進を生むことを目的として実施する対策である。つまり、自然条件などが良好でないために採用できる対策が限られ、土壌保全の重要性を認識していても実施できない現状にある地域に対して農村基盤を整備する対策である。

このことから土木的対策を、①土壌保全を目的とした在地の技術を活用した土木的対策と、②土壌保全対策に対するポテンシャルを高めることを目的とした農村開発を目的とした土木的対策に分けて考える必要がある。

2. 1. 2 土木的保全対策技術の効果

土壌侵食現象の一過程である、降雨や流出水による土粒子の剥離・移動を抑制することを目的として、

- ①土壌を降雨から保護すること（土壌被覆の増加）
 - ②流出を減少させるために土壌の浸透能力を増加させること
 - ③土壌の団粒構造を安定させること
 - ④動水勾配の緩和を図ることで流出水の速度を減少させること
- が土壌保全の取り組みとして有効な手段と考えられる。

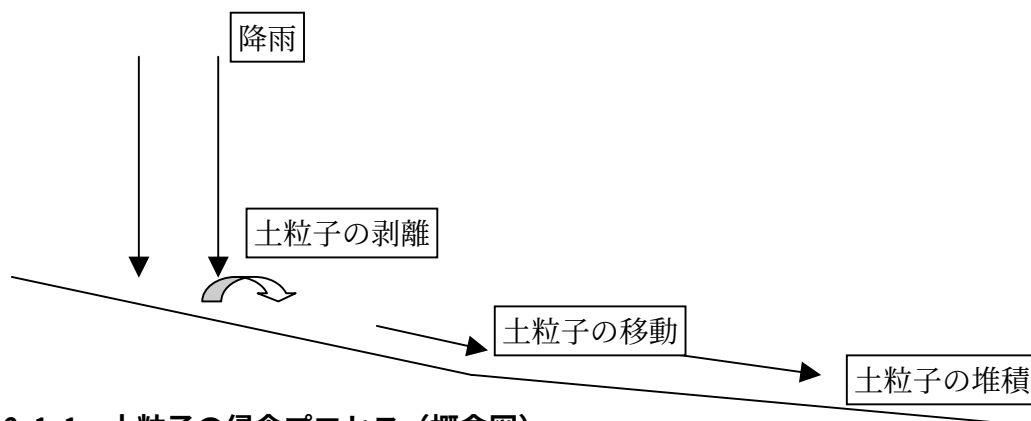


図 2.1.1 土粒子の侵食プロセス（概念図）

このうち、土木的対策は上記の主に②、④に相当し、土壌、水、養分等の流亡をできるだけ抑制することにより土壌の保全を図ることを目的としている。土粒子の剥離と移動の両方に抑制効果がある営農的保全対策に対して、土木的対策は土粒子の移動を最小限に抑えるという意味で効果的であるが、雨滴の衝撃による土粒子の剥離を減少させるにはほとんど無力である。言い換えれば、土木的対策は、農地からの、そして農地への流出水をどのように防止するのかという線的あるいは点的な対策技術であり、営農的保全対策は面的な対策技術といえる。

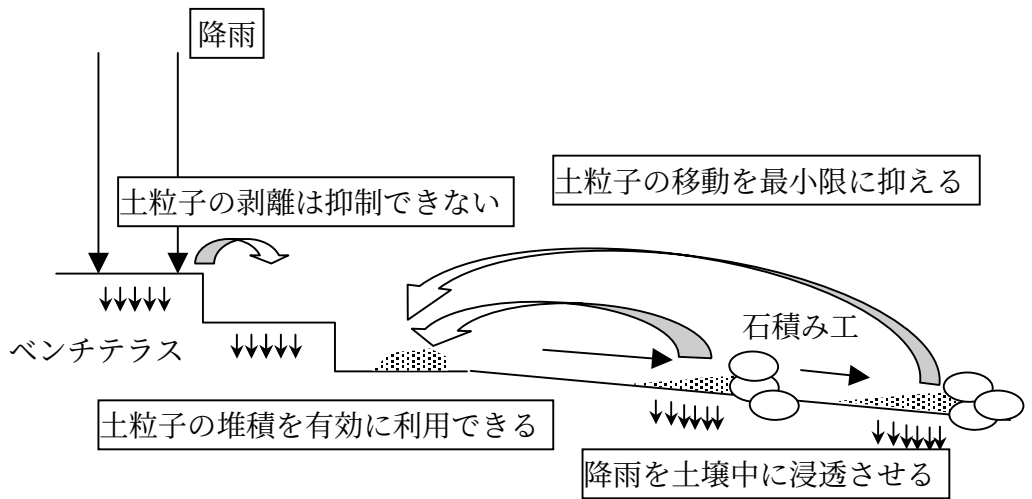


図 2.1.2 土木的保全対策の効果（概念図）

表 2.1.1 代表的な土壌保全対策技術の効果（モーガン 1996 年）

技術の種類	抑制しようとする要因					
	雨滴の衝撃		表流水		風	
	剥離	移動	剥離	移動	剥離	移動
営農的対策 (土壌の被覆など)	*	*	*	*	*	*
土木的対策 (水路テラスなど)	—	+	+	*	—	—

—：制御不可 +：適度に制御 *：制御可能

※対策の実施方法等にみられる営農的対策に対する土木的対策の優位性は、表 2.1.2 を参照のこと。

2. 1. 3 土木的保全対策技術の役割

土木的対策においては、表流水および土砂をいかに圃場内で捕捉するか、また圃場から流れ出て次第に集中し多量になった流出水をいかに安全に導くか、というような線的あるいは点的な処理技術が必要となる。この処理技術には、流出水を安全に流下させる排水路の設置および流亡土砂を堆積させる土砂溜や沈砂池の掘削といった水食を未然に防ぐための対策と、すでに形成されたガリの進行を抑制したり堆積土砂をリルの埋め戻しに使用するなどの水食を修復する対策がある。

このように土木的対策の役割は主に過剰水の流れをコントロールすることであるため、降雨の衝撃による土粒子の剥離を防止する営農的保全対策と併せて実施することにより一層の保全効果が期待できる。つまり社会的な背景や経済水準から地域に相応しい営農的対策をすでに慣行的に展開しているのであれば、これを活かす土木的対策を実施することが望ましい。

また、農地が広い場合は、営農的保全対策を基本として実施する方が労働力および経済面からも有利であるが、農地面積が小規模であるうえに分散している場所では土木的対策が重視されることが多い。

2. 1. 4 土木的保全対策技術を適用する際の注意点

営農的対策との比較による土木的対策に係る注意点を以下の表に取りまとめた。このように他の対策と比較することにより、土木的対策の特徴を明らかにしたうえで期待できる効果を総合的に把握することができ、適切な対策の選定に役立つ。

表 2.1.2 土木的対策の特徴比較表

項 目	営農的保全対策	土木的対策
①効果発現までの期間	遅い	早い
②対策の実施時期	主に雨季に限られる	一年を通じて実施可能
③効果の持続期間	主に耕作期の単年度	年間を通じて数年に及ぶ
④効果が発揮される形状	面	線、点
⑤対策に係る労力	少ないが毎年必要となる	初期投入が多大、後は僅か
⑥対策に係る資金	少ないが毎年必要となる	初期投入が多大、後は僅か

実証調査においては、この①②③の長所から「意識改革」、「開発計画の立案」が終了した時点、つまり農民が自然資源の重要性を理解し、対策の実施を望んでいる時点に、効果の発現が早急に視覚的に確認できる土木的対策を実施させた。

次に④⑤⑥の短所をカバーするために「組織化」を促進させるグループを形成させ対策に取り組ませる実施方針を採った。なお、この組織化は土木的対策の実施に必要なであるばかりではなく、自立的な発展を促す際に非常に重要なポイントとなる。

これらの長短所を配慮して実証調査では、「土壌保全を目的とした土木的対策」をコンクール手法により、全ての農民を巻き込み、現地にある受け入れ性の良い廉価で容易な対策を実施した（詳細は手法ガイドブック No. 6 を参照）。

一方、「農村開発を目的とした土木的対策」は、農村開発の阻害要因を対象として将来、水土保持に繋がる事業について、負担金、条件事業を課して実施するとともに、受益者に維持管理研修を受講させ施設等の機能の持続性を高めた（詳細は手法ガイドブック No. 8 を参照）。

2.2 農地整備対策

農地整備対策は、土木的対策技術の中でも特に広大な範囲を対象として実施される対策であり、高度な技術を要しないために広く知られており多くの場所で実施されている。この一方で、本対策は現地の適用条件を十分に考慮せずに不適切に採用した場合は対策の効果が発揮されず、費やした労力・費用が無駄に終わることが多い。このため、対策を適用する際には適用条件を総合的に検討したうえで実施することが望ましい。

同じ対策でも土壌タイプ、地形条件、技術力および労働力などの様々な条件が絡み合い、適する条件は一樣ではないため、全てを網羅する完全な基準は存在しない。しかしながら、検討する際に概ねを把握できるように参考として、第1章 1. 2. 3 に各対策の一般的な特性を取りまとめたので参考にされたい。

2.2.1 テラス工

テラスとは、斜面長を短くすることにより表面流出水を遮断し、流出水を侵食が起らない速度まで安定させると共に、排出口へ導水することを目的として斜面上に構築する土木構造物である。テラスの設置に当たっては、テラスの間隔や長さ、テラス排出口の位置、水路テラスの勾配と大きさ、各種テラスの配置等を考慮しなければならない。テラスは以下のように分類される。

- ①水路テラス：表面水を水路によって流下させるテラス。または、限りなく水平に設置し、可能な限り浸透させるテラス。
- ②かんがい水保持テラス：丘の斜面などに造成される水平なテラス。
- ③ベンチテラス：樹木や商品園芸作物を植栽するためのテラス。険しい法面が石や被覆植物で保護される階段状に造成されるテラス。

急傾斜地では、土壌保全と農作業の効率を改善させるため、ベンチテラス工が採用される。一方、勾配が比較的緩やかで圃場規模が大きい場所では、斜面長を短縮し、なおかつ土壌への雨水の浸透を促進させるため、水路テラス工などが施工されることが多い。

2. 2. 2 水路テラス工

1) 水路テラス工とは

水路テラスとは、傾斜農地の土壌侵食を防止するために等高線に沿って設けられる緩やかな勾配を有する、または水平な区画であり、水路と畝立て（堤体）から構成される。水路テラスの設置によって、上部にある農地からの流出水の色度と量を緩和させて表流水の浸透と流亡土壌の沈殿の促進を図るとともに、水路から適切な排出口に流出水を安全に流す。勾配の大きさは、通常、1/250 程度である。浸透を主目的とした浸透型テラスでは、降雨を地表面下へ浸透させ、余剰水を水路によって流出させる。

2) 水路テラス工の機能

水路テラスは農地の斜面を分割、区分することによって、流出水を抑制し、水食を防止する役割を有する。テラスとテラスの間の距離が短いほど、流出水の色度を減じ侵食を抑制させるが、逆に農作業にとっては支障となる。他にも以下の機能がある。

- ①土壌、肥料、種子の損失の減少
- ②土壌浸透量の増加
- ③流去水に含まれる沈殿物の減少
- ④河川における濁流の減少
- ⑤ガリ侵食の防止
- ⑥作物収穫量の減少や土壌肥沃度喪失といった生産性低下の防止

3) 建設にあたっての留意点

水路テラスの種類を選定する際には、農道や排水溝の位置、農作業機械の使用状況等の現況を検討するだけでなく、土壌の物理的性質（土性、土壌構造、層厚、透水性）や降雨強度等の自然条件のほか、流出水路工の建設用地、土工量、造成コスト、植生状況等の施工、管理面に影響を及ぼす農地の特徴も考慮する必要がある。

水路テラスの構造については、幅が広く平らなテラスのほうが耐用年数は長い。一般的には、以下の事項を考慮しないとテラスの機能が低下するおそれがあるので注意を要する。

- ①水路テラスの適切な間隔
- ②水路テラスの適切な規模と構造
- ③水路の適切な位置
- ④水路テラスの適切な流入水量
- ⑤農作業用機械による盛土の沈下
- ⑥表土扱いなどの盛土上での作物栽培に対する配慮
- ⑦造成した水路テラスの保守や清掃等適切な維持管理
- ⑧農業用作業の走行性を考慮したテラスの勾配

（耕作用小機械：14°以下、自動刈り取り機：8.5°以下など）

水路テラスは他の工法と比較したうえで、より簡易で低コストの工法を用いても侵食防止が不十分な場合に実施する。

4) 普及上のポイント

- ① 表面流出水が水路テラスを流下する際に水路内に土壌が堆積することによって、水路断面積が減少するため、乾季には水路内の清掃が必要となる。
- ② 様々な原因で破壊を起こす恐れがある。
- ③ 土壌への雨水の浸透機能を併せ持つテラスの場合、近くに過剰水を処理する場所を設ける必要がある。
- ④ 流下した土砂を下流に流さない施設を計画的に配置する必要がある。

5) 建設コスト（事例）

ブラジルのパラナ州の事例として、建設費は1キロメートル当たり約 US\$20～300であった。このように建設費は建設条件によって大きく異なり、主に傾斜の程度、土壌・テラス・機材の種類や横断面によってテラス造成の工費が左右された。

1985年から89年、パラナ州は、土壌の物理的性質や気象等に関する要因を考慮せず、規模の大きい浸透型テラスを建設し失敗した事例がある。

水路テラスの分類

- 1. 取り込まれた流出水の方角による分類
 - ① 浸透型テラス ② 排水テラス ③ 混合型テラス
- 2. 横断面の形状や地形による分類
 - ① 狭幅地盤テラス ② 中位幅地盤テラス ③ 広幅地盤テラス ④ 急峻な堤防後背面をもつテラス ⑤ 詰込み型テラス ⑥ Zinc 型テラス ⑦ 個別型テラス
- 3. 造成方式による分類
 - ① ニコルス式 ② マングム式
- 4. 輪郭による分類
 - ① 平行テラス ② 非平行テラス



2.2.3 ベンチテラス工

1) ベンチテラス工とは

ベンチテラス工は急傾斜地である農地において、圃場区画を階段状に造成することにより、圃場の斜面長を短縮させ、傾斜度を平坦に近づける対策である。このことによって表面流去水の流出量と流去速度を緩和させ、農地の保全を図るものである。ベンチテラス工は、農地の保全と耕作地の確保のために世界の多くの場所で古くから広く採用されている技術である。



写真 2.2.1 ベンチテラス

2) ベンチテラス工の機能

水路テラス工と同じ。

3) 建設にあたっての留意点

- ①現況の傾斜度が 35%以上の農地での施工は困難である。
- ②造成できる畑地面積に対し、切盛土の土工量および運搬距離を最小限に抑えるように断面を決定する。
- ③法面の勾配を急にすると畑地面積が増加するが、法面の保全を考慮して無理な勾配としない。
- ④被覆植物の播種等といった各テラス間の法面の保全対策が必要である。

4) 普及上のポイント

- ①盛土部は切土部に比較して水食を受け易いため、盛土法面には植生被覆や石積みなどの対策により斜面が安定するようにすることが必要である。
- ②法肩に承水路を設けるときは、流亡土砂が堆積し承水路が埋没しないように維持管理を行う必要がある。
- ③特に造成初期には、畑斜面には速やかに適切な作物の作付けを行い、営農面からも土壌侵食を防止する対策を講じる必要がある。

5) 建設コスト（事例）

実証調査において人力により建設した際の歩掛りは以下のとおりである。

表 2.2.1 ベンチテラスの造成歩掛

区 分	100m ² 当り作業員数 (人・日)	1 人 1 日 当り 施 工 量 (m ² /日)
平坦地・土壌極堅固	—	—
緩傾斜・土壌やや堅固	2.6	38.1
急傾斜・土壌少し堅固	5.3	18.9
平 均	4.7	21.4

2.2.4 植栽テラス工

1) 植栽テラス工とは

ベンチテラス工などの施工が不可能な、有効土層が浅い急傾斜地においては植栽テラス工が有効である。これは等高線に沿った、水平あるいは逆勾配のテラスを作り、樹木を植栽するものである。比較的幅の狭いテラスには、防災と収穫を兼ね果樹類を植栽することが多い。また、植栽木の周辺をそれぞれ石などで囲み、植栽木の生育環境の向上および土壌侵食防止を図ったものを個別テラスといい、本マニュアルでは植栽テラスの一種として取り扱う。

2) 植栽テラス工の機能

植栽テラスは植栽木の周辺を個別に分割、区分するため、概して農地での採用は適さず、農業不適地の活用として果樹等を植栽する際に採用されることが多い。植栽テラスの機能は以下のとおりである。

- ①流去水受容による浸透量の増加
- ②急傾斜地の利活用
- ③ガリ侵食の抑制
- ④植栽木の生長促進

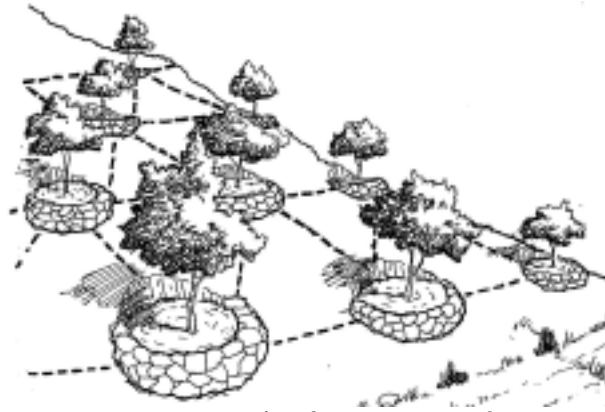


図 2.2.1 個別テラスの配列

3) 建設にあたっての留意点

45°以上の急傾斜地にも設置することが可能である。ただし、農地保全をより強固なものとするために各テラスの間の傾斜地には被覆植物を植えて効果的な保全対策を図ることが望ましい。

なお、個別テラスについては各々が点状に位置するため、面的に千鳥格子状に配置することにより土壌侵食防止機能を向上させる（上図を参照）。

4) 普及上のポイント

水路テラス工に同じ。

5) 建設コスト（事例）

実証調査において施工した個別テラスの歩掛りは以下のとおりである。

表 2.2.2 個別テラスの設置歩掛

区 分	100 個当り作業員数 (人・日)	1 人 1 日当り施工量 (箇所)
平坦地・土壌極堅固	6.2	16.2
緩傾斜・土壌やや堅固	—	—
急傾斜・土壌少し堅固	11.9	8.4
平 均	9.5	10.6

2.2.5 排水路工

1) 排水路とは

農地に設置された排水路は、流出水を制御する土木的構造物の一つとして、雨水を流入させ、農地の土壌侵食の原因となる表面流出水を侵食が起こらない速度で排除する。排水路は水路テラス等他の土木的対策技術と組み合わせて使用される。計画の策定にあたっては、排水路の間隔、農地の最大流出水量、排水路の最大長を基本として設計する。排水路は、その役割によって次の2つに区分される。

①集水路：斜面の下で流出水を自然河川に導水する。

②承水路：流去水の畑地内への流入を防ぎ、集水路へ導水する。

また、表面流出水を迂回させる目的で分散排水路または分散排水溝が設置される。

これらの対策を慣行的に実施している地域が多く見られるが、排水路を経験のみに頼って新設したことによって新たにガリを発生させる問題を生じている場合も多く見受けられる。このような事態を防ぐためには排水路の役割を理解し、設置位置などを技術的な観点から検討し、承水路および集水路を系統的に配置し降雨の分散流下を図る必要がある。

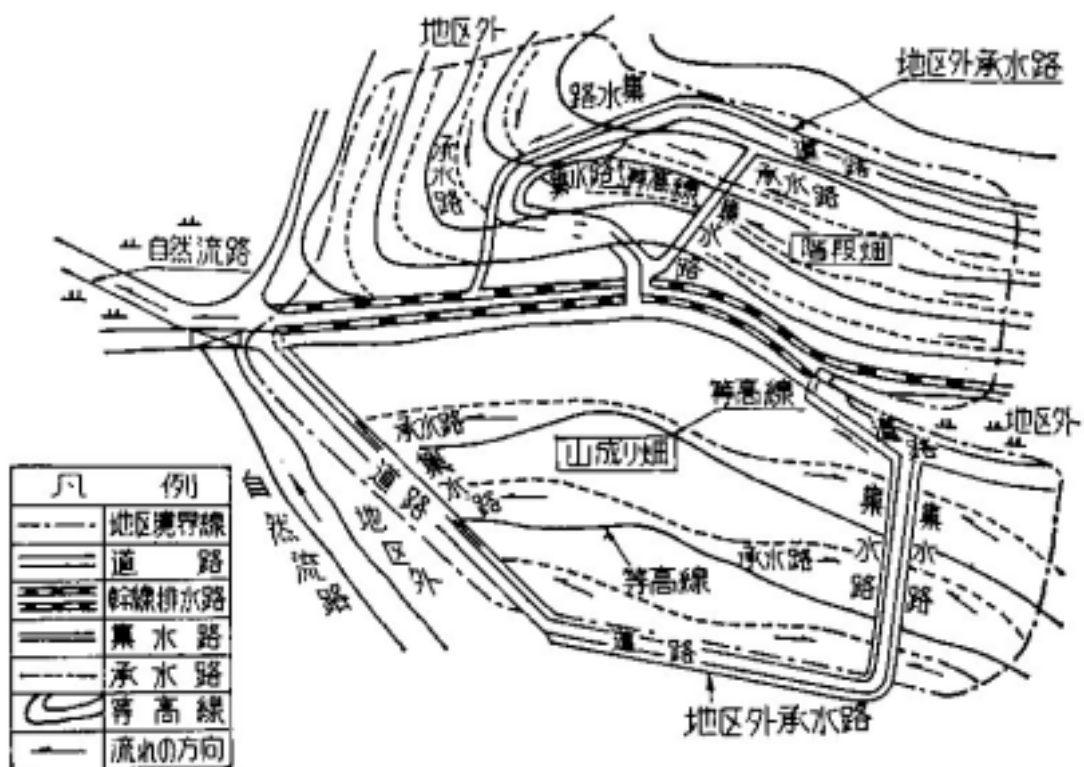


図 2.2.2 排水路系統の配置例

2) 排水路の機能

排水路は設置される場所の状況に応じて以下のような役割をもつ。

①保水効果

表面流出水を堰止め、一時的に貯留する。土壌の保水状態を改善し、植物の生長を促進させる。

②浸透効果

特に土壌の浸透性が低い場所では、限りなく水平に設置することにより、排水路内においても浸透効果を促すものである。表面流出水の量と速度を減少させる。

③排水効果

過剰な表面流出水を堰止めて排除するために設置される。表面流出水の速度と量を減少させることによって土壌侵食を軽減する。

3) 建設にあたっての留意点

断面が三角形の場合、傾斜が緩やかで面積の小さい地域に適している。余剰水を速やかに排除できることから土砂の堆積を防ぎ、小排水用として採用される。テラスエプラウとモーターグレーダーで掘削することができる。台形型の水路は、パワーショベルやブルドーザを使って工事され、傾斜が急な場所に適している。

分散排水路の断面は、農業用機械の使用に支障がなく、農民の受け入れ性を考慮して、保守作業を簡単に行うことのできる大きさとする。農作業機が横断できるように、三角形の斜面勾配は 10 対 1、台形型の斜面勾配は 8 対 1 とする。排水路の規模と農場内の位置選定に当たっては、十分な技術力を要するため慎重に検討する。

過剰な地表流出水を堰止める U 字形の排水溝の水路には、4 メートル間隔で突起部を設置し、斜面は植生または張り石で保護する。現況地盤の傾斜が急なほど各排水路の間隔を短くする。排水路の大きさは、通常、10 年確率降雨量进行处理できる程度の断面が経済的な観点からも望ましい。ただし人力施工による排水路の規格は、スコップなどの道具の大きさから底幅 30 センチメートル、深さ 50 センチメートル、上幅 60 センチメートルなどと決定することも多い。

4) 普及上のポイント

(利点)

- ①排水路はあらゆる圃場において設置することができるが、適切な設計を行うためには農民への技術指導が不可欠である。
- ②排水路は人力でも建設が可能であり、比較的安価である。
- ③農地内に表面流出水が流入する場所に排水路を設置すると効果的である。

(注意事項)

- ①維持管理は、常に点検と保守作業を必要とし、特に雨季には定期的に保守作業を行い、流出水が円滑に流れるように、排水路内の障害物を除去する。

- ②石塊が露出したり、平坦な場所での排水路の設置は困難となる。
- ③水路の洗掘防止および経済的断面とするため、一般的に水路の勾配は 2% 以内、水路長は 100 メートル以内とする。

5) 建設コスト（事例）

排水路の建設費用は、使用する機材の種類や排水路の大きさによって異なる。以下に実証調査の事例を用いて、排水路を人力で掘削した場合の承水路の歩掛りを示す。実証調査では、スコップの大きさから作業の効率性も含めて考慮した結果、下図の標準断面にて施工した。

表 2.2.3 承水路の設置歩掛

区 分	100m 当り作業員数 (人・日)	1 人 1 日当り施工量 (m)
平坦地・土壌極堅固	3.3	30.0
緩傾斜・土壌やや堅固	2.4	41.0
急傾斜・土壌少し堅固	3.8	26.0
平 均	3.1	32.2



写真 2.2.2 承水路の設置

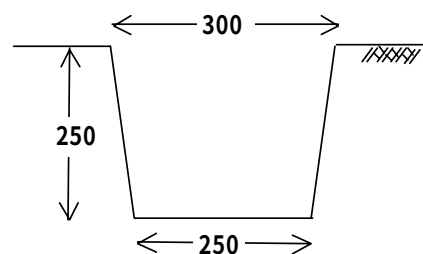


図 2.2.3 事例における標準断面
(単位は mm)

2. 2. 6 浸透溝

1) 浸透溝とは

浸透溝とは、排水路に仕切りを設けて長方形に区切られた溝である。表面流去水により押し流された土粒子を捕捉するとともに水を土壌中に浸透させることを主な目的として農地に設置される。効率的に流去水を受容するため等高線に沿った素掘りによる設置を基本とする。浸透溝内に雨水を捕捉し流亡土砂量を減少させることで土壌侵食を軽減するとともに、土壌内の水分を保持するために作物生産性の向上の観点からも有効な技術である。

2) 浸透溝の機能

排水路の機能である①保水効果②浸透効果③排水効果のうち、余剰水の土壌への浸透を促進させる機能、①および②に特化したものである。

3) 建設にあたっての留意点

浸透溝の内部が満水すると、過剰水が越流し傾斜の急な方向へ流下する。この結果、浸透溝の内壁が崩壊し、貯留されていた雨水が泥流となって新たなガリを発生させることがある。このため、貯留水が浸透溝を越流しないように農地規模から適切な設置間隔および容量を検討する必要がある。また想定以上の流亡量があった場合に備えて吐口を設けることが望ましい。設置間隔は流出水の速度を加速させないように、急斜面では間隔を狭く緩斜面では広く設置する。

4) 普及上のポイント

(利点)

- ①毎年、浸透溝に堆積した土砂の底浚いを実施することにより漸進的に小テラスが形成される。
- ②半乾燥地においては、雨水の貯留および土壌への浸透による土壌水分保持効果によって作物の生育に非常に有効である。

(注意事項)

- ①自重による滑落を防ぐために、浸透溝に堆積した土砂は上部に埋め戻す。
- ②上部盛土部に植生を施すことにより、表面流去水を減勢させるとともに流亡土砂の一部を堆積することで、保全効果がより高められる。

5) 建設コスト（事例）

①ボリビア国チュキサカ県の事例

浸透溝の設置にあたっては地形条件が大きく影響した。また下層の状態によって、浸透溝に貯留された雨水が地下に浸透することなく作物が根腐れをおこすなど適切に機能しない事例も見られた。ただし上部からの堆積物を堰止める効果については確認できた。浸透溝の設置に係る歩掛りは以下の表のとおりである。

表 2.2.4 浸透溝の設置歩掛

区 分	100m 当り作業員数 (人・日)	1 人 1 日当り施工量 (m)
平坦地・土壌極堅固	—	—
緩傾斜・土壌やや堅固	4.8	21.0
急傾斜・土壌少し堅固	8.8	11.4
平 均	6.8	14.7



写真 2.2.3 浸透溝

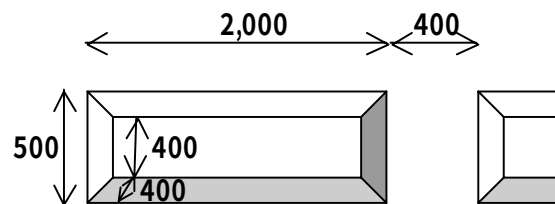


図 2.2.4 事例における標準平面図
(単位は mm)

②チリ国第 8 州の事例

浸透溝の規模は土壌の物理性、土地の用途、降雨量、植生状態によって決まる。溝と溝の間隔は土地の傾斜によって異なるが、農地として利用するために、通常 15～20 メートル程度の範囲内にあった。人夫を雇った場合、10 メートル掘削するための概算費用は、経験者 1 名が US\$25、未経験者が US\$12～17 と賃金に開きが見られる。これはチリ国の平均的な日当の約半分にあたる額である（1995 年のチリ国の GDP などから一部推定値を使用した）。

③ブラジル国パラナ州の事例

ブラジル国には浸透溝に類似した大型浸透溝が施工されており、その規模は特定期間の最大降水量の平均値から算出される。平均的な大きさは、長さ 2～3 メートル、幅 3 メートル、高さ 2 メートルである。クローラー式トラクターやパワーショベル等の施工機械を使用して建設され、1 つの大型浸透溝（12～18 立方メートル）で US\$20～30 を要した。

2.2.7 ガリ防止工

1) ガリ防止工とは

ガリ侵食は、面状侵食（第1章1.3参照）が広く深く進んだもので、大量の地表流出水が長期間流れたり加速した場合に発生する。傾斜が大きいほど深く発達する。ガリ侵食は深さと流域面積によって分類される。深さによる分類では、5メートル以上であれば深いガリ、1～5メートルであれば中程度のガリ、1メートル以下であれば浅いガリである。

ガリ防止工は以下のように分類される。

①簡易ガリ阻止堰工

ガリ発生部に簡単な堰止め工を設けて土砂を堆積させ、そこに植生を配置してガリ侵食の防止を図る工法。金網堰、芝堰、石積堰、板堰などがある。

②ガリ阻止堰工

ガリの発生を阻止するために設置される工法。アースダムや石積ダムがある。



図 2.2.5 石を用いたガリ防止工



図 2.2.6 木杭によるガリ防止柵

2) ガリ防止工の機能

ガリ防止工は、窪地の回復が技術的に困難で、経済的にも成り立たない場合、その安定化を目的として実施される。特に家畜がいる場合、窪地の縁の部分に設置された柵は、動物が窪地へ侵入するのを防ぐ。

3) 建設にあたっての留意点

以下のとおり、使用する材料によって生じる長短所などを考慮のうえ、ガリの発生規模などの状況に応じた工法を選択して設置する必要がある。

金網堰：狭い谷部のガリに適する。

芝堰：設置コストを安くしたい場合。

石積堰：耐久性を必要とする場合。

板堰：ガリが広範囲におよぶ場合で設置コストが軽減される。

4) 普及上のポイント

(利点)

- ①ガリ侵食を被った窪地と傾斜面を安定させる。
- ②窪地の頭部を保護することによって、傾斜地での植物の生長と周辺部の植林が可能となる。

(注意事項)

- ①特にネットを使う場合は、費用面から、窪地の一部や頭部だけの実施となる。
- ②窪地を土砂で埋戻す場合には、安定のため窪地の植物を除去した後に施工する。
- ③水源地进行を調査、確認し、管轄行政機関とともに対応策を検討する。



写真 2.2.4 ガリ防止工の設置

5) 建設コスト (事例)

①チリ国第8州の事例

窪地の管理と傾斜地の保護のため、侵食防止ネットが使用された。これは、高密度ポリエチレンで作った二重ネットを使う方法で、ネットの耐用年数は3年以上であり、その間に傾斜地で植物が根を張ることが可能となる。ネットの大きさは 100×4 メートルである。ネットは平方メートル当たり US\$4 である。工事に慣れたものなら、1 日にネット 20 平方メートルを設置することができる。

②ボリビア国チュキサカ県の事例

上写真のような幅 0.5～1.5m、設置間隔 2 m 程度の谷頭への石積みによるガリ防止工の設置に係る歩掛りは以下のとおりである。

表 2.2.5 ガリ防止柵の設置歩掛

区 分	100m 当り作業員数(人・日)	1 人 1 日当り施工量 (m)
平坦地・土壌極堅固	11.5	8.7
緩傾斜・土壌やや堅固	10.6	9.4
急傾斜・土壌少し堅固	24.7	4.0
平 均	15.2	6.6

2.2.8 石積み工

1) 石積み工とは

人力もしくは歯状レーキを取り付けたクローラー式トラクタショベル等を使って、農地に散乱している石塊を集め、等高線沿いに積み置くものである。圃場の除礫作業として有効であるほか、積まれた石塊が斜面長を短く区切ることで表面流去水の流速を減勢し土壌侵食を防止する。

2) 石積み工の機能

石積みの設置により以下のような効果が生じる。

- ①地表流出水の速度を緩和する。
- ②土壌侵食の抑制によって圃場外への流亡土砂量を減少させる。
- ③かんがい水や雨水の浸透を促進させることにより土壌の保水状態が良好となる。

ボリビア国のデータでは、農地から1年当り6～60ton/haの流亡土砂量を堰止めた効果が確認されている。

3) 建設にあたっての留意点

石積み工の目的は水を減勢することであって、水を堰止めることではない。しかしながら、ある程度の流亡土砂や流亡有機物を留め堆積させるために、大小の石を組み合わせるにより継ぎ目を合わせ、頂部は高さを揃える必要がある。



図 2.2.7 石積みの設置手順

4) 普及上のポイント

(利点)

- ①石積みの上流側にテラスが形成され、農地の傾斜が緩やかになる。
- ②多大な労力や高度な技術を要しないため、多くの農民に対して受け入れ性の良い対策である。

(注意事項)

- ①石積みの設置には大量の石塊が必要である。
- ②石塊の移動、集積に機械等が必要な場合はコストが高くなり制約条件となり得る。

5) 建設コスト（事例）

実証調査で実施した石積み工の歩掛りは以下のとおりである。

表 2.2.6 石積み工の設置歩掛

区 分	100m 当り作業員数 (人・日)	1 人 1 日当り施工量 (m)
平坦地・土壌極堅固	3.6	27.7
緩傾斜・土壌やや堅固	5.0	20.2
急傾斜・土壌少し堅固	6.5	15.4
平 均	5.4	18.5



写真 2.2.5 石積みの設置 1
(等高線の測量と石材の収集)



写真 2.2.6 石積みの設置 2
(溝掘りと石材の設置)

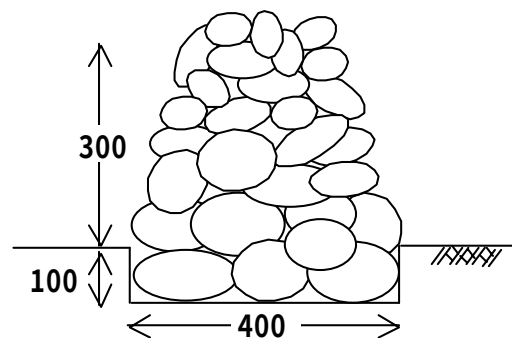


図 2.2.8 事例における標準断面
(単位は mm)

2.2.9 土塁

1) 土塁とは

表面流去水の流速を減じ、余剰水を土壤中に浸透させる目的で等高線沿いに土手を築くものである。設置したい場所に土を盛り立てればよいことから設置が比較的簡単である。



写真 2.2.7 土塁+浸透溝の設置

2) 土塁の機能

石積み工に同じ。

3) 建設にあたっての留意点

- ①下方部分を掘削し上部に盛土する。
- ②掘削部分は排水路として利用する。
- ③表面流去水が一部に集中し土塁が決壊しないように等高線に沿って設置する。
- ④やむなく長大となる土塁を設置する場合は洪水吐を設ける。

4) 普及上のポイント

設置場所、構造および目的などは基本的に石積み工と同じであるが、流去水を通過させる石積みと、通過させない土塁の材料から生じる特徴の違いを下表にまとめた。

表 2.2.7 石積み工と土塁の比較表

石 積 み 工	土 塁
急斜面にも採用できる	緩斜面の場合のみ適用する
材質が堅固	材質は脆い
表面流去水を通過させる	表面流去水を通過させない
表面流出水の流速を減じる	表面流出水を堰止める
余水吐が不必要	洪水吐が必要不可欠
家畜に破壊される可能性がある	雨滴により侵食する恐れあり
補修作業が容易	補修作業に時間・労力を要する



5) 建設コスト（事例）

実証調査における土塁の設置に係る歩掛りは以下の表のとおりである。

表 2.2.8 土塁の設置歩掛

区 分	100m 当り作業員数 (人・日)	1 人 1 日当り施工量 (m)
平坦地・土壌極堅固	3.0	33.7
緩傾斜・土壌やや堅固	2.5	39.8
急傾斜・土壌少し堅固	4.0	25.3
平 均	3.0	32.5

2.3 水管理対策

水管理対策は、表面流去水を管理することによって下流側の土壌侵食を防止する機能を持つ「土壌保全を目的とした土木的対策」であるとともに、安定的な水資源を確保し農業農村の発展に寄与する「農村開発を目的とした土木的対策」としての機能も併せ持つ。

アメリカにおける畑地かんがいの技術基準によれば、年間降水量が 375mm 以上あれば耕作が可能であるとされている。ところが、アンデス渓谷地帯の大部分では年間降水量が 500mm 程度であるにもかかわらず、満足な収量を得ていない。一方、半乾燥地に属するにもかかわらず、当該地域では降雨強度の強い降雨により水食が発生している。これらは極めて偏った降雨分布特性が原因であり、その偏りをなだらかにするために採られる水の有効利用技術がウォーターハーベスティング技術（以下、WH 技術という）である。

水の有効利用技術としては、植林することにより水源の涵養力を増加させたり、降雨分布の不利を補うために畑地の面全体で降雨を受容し、土壌の保水性を改善するマルチ栽培や最少耕起法といった対策は重要な WH 技術として扱われるが、本節では土木的対策による貯水技術のみを対象として、「貯水池」「小規模ため池」「貯水槽」「屋根を利用した貯水槽」の 4 対策における WH 技術の取り組み方法および対策上の問題点について記述する。

また、WH 技術の観点から実施する水管理対策に共通する注意事項は以下のとおりである。

- ① 収集する流出水は、主として表面流出を対象とする。
- ② 流出受容地の近くから水源を求めることとし、自然降雨にともなう地表流出およびガリ侵食により発生した河道を含む河川等の流水を収集する。
- ③ 大規模な主かんがい施設ではなく、補給かんがいや多目的に利用できる家庭規模の施設を対象とする。
- ④ 小農にも普及することが可能で、受益者の経済レベルに応じた技術を採用する。
- ⑤ 他の保全対策と相容れる技術とし、総合的なシステムを目指す。

2.3.1 貯水池

1) 貯水池とは

河川水を締切って水を貯留する目的で造られるものを貯水池と呼び、小規模ダムとの建設を伴うことが多い。貯水池は農業利用を目的としたものであり、流亡土砂の堆積を目的とした砂防ダムと目的が別であるため、二つの機能を同時に持たせるべきではない。ダムの中でもアースダムが最も経済的である。

2) 貯水池の機能

- ①流出水の抑制と洪水の調節
- ②地下水位の上昇
- ③淡水魚の養殖
- ④飲用、家畜用用水および生活用水
- ⑤小規模かんがい用水の供給



3) 建設にあたっての留意点

- ①河川幅が一番狭く締切面積の最小地点、良質な堤体材料が付近に得られる地点を選定し河川水を締切るダムを設置する。
- ②築堤、締固めはブルドーザによる施工とする。ダム崩壊、漏水の主な原因は、築堤材料と接合部（取水パイプ、取水口、洪水吐け、ダム盛立基礎地盤、法面など）の施工不良によるものがほとんどである。この部分は粘土分の多い材料を用い、人力で入念に締固めを行う必要がある。
- ③洪水吐を設置する。洪水吐の周囲は洗掘されやすいので施工を入念に行う。

4) 普及上のポイント

（利点）

- ①水汲み労働からの解放、家庭菜園、家畜飼育、日干しレンガ作り、野菜栽培を可能にするなど、本施設の効果は非常に大きい。

（注意事項）

- ①地盤の地質条件の制約が大きい。
- ②ダム等と組み合わせて施工する場合、建設費用が高くなり問題となる。
- ③貯水池の機能を損なう沈砂を防ぐための施設を計画的に配置する必要がある。

5) 建設コスト（事例）

機械施工によるアースダムの建設は非常に高価である。800m³の貯水池を造成するために床掘する場合、バックホーを約 30 時間使用する必要がある（1 バケットあたり山積みで 0.8m³ とし礫質土と仮定した）、その賃料はボリビア国タリハ県では US\$1,800、ブラジル国パラナ州の場合は US\$1,050 である。一方、法面整備に係る資材は約 US\$70 である。

2.3.2 小規模ため池

1) 小規模ため池とは

圃場規模で水資源の確保を目的とした農地周辺の降雨表面流去水を貯留するものにため池がある。貯水池とため池の違いは施設の構造、貯水の使用目的などで区別されるが、本マニュアルでは、窪地あるいは平地の掘り込みにより建設された小規模の貯水池をため池とする。

2) ため池の機能

貯水池に同じ。

3) 建設にあたっての留意点

- ①必要貯水量、利用目的および降雨からの集水可能な量や時期から規格を決定する。
- ②建設位置は配水方法を考慮し、農地あるいは農家より標高が高く、取水、集水が可能な場所に建設し、重力による配水を基本に検討する。
- ③地下水に塩分を含み、水位が高い場合、ため池の建設により地下水の上昇、貯留水の塩類化を招くことから、別途、防水シートの敷設、排水渠の設置等といった対策を講じる必要がある。
- ④建設に先立って、地盤からの漏水に関する地質調査を行う。
- ⑤ため池の外法面の崩壊を抑えるため、植生や石により被覆を施す。
- ⑥土砂の流入、堆積によって、ため池の貯水機能を損なわないように、流入口に沈砂を目的とした施設を設け、集水域へも植物による被覆、側溝の設置を実施する。
- ⑦取水口がパイプの場合、土砂流入防止用のフィルタを取り付ける。石礫を詰めた2リットルペットボトルに無数の小さな穴をあけることで代用が可能である。
- ⑧施工は規模の大きな順にブルドーザ、バックホー、人力により掘削する。



写真 2.3.1 小規模ため池

4) 普及上のポイント

(利点)

貯水池に同じ。

(注意事項)

- ①本施設の利用にあたっては、利用目的、配水方法、水管理が重要なポイントとなる。また、上流にいる者が有利とならないよう、可能であれば集団利用の場合は閉水路による配水とする。開水路で配水する場合は、利用者に不公平感が生じないよう、水管理規則を定めるなどの対策を講じる必要がある。
- ②本施設は維持管理が重要であり、建設前から維持管理規則を定め、利用者に徹底しておく必要があり、利用者の維持管理に対する同意が得られてから建設に着手することが望ましい。
- ③水利用、配分の公平性が確保できない場合は、コストはかかるが農家個々に個人用の小規模ため池を建設する方法も選択肢として考えられる。

5) 建設コスト（事例）

ため池の建設にあたっては建設材料、規模により建設費用が大きく異なる。このことから実証調査において、特に費用に大きく関わると思われる遮水壁について様々なタイプで個人用の小規模ため池を建設した。この結果を下表に示す。

表 2.3.1 各ため池タイプごとの建設費

(単位：US\$)

遮水壁のタイプ	貯水量 (m ³)	資材 費	労務 費	m ³ 当り 建設費	耐用年 数(年)	合 計
不透水性ゴムシート	13.0	206.8	61.0	20.6	10	267.8
モルタル練石積み	13.0	131.0	100.4	17.8	20	231.5
亀甲金網補強コンクリート	11.5	164.2	100.2	23.0	20	264.4
石灰＋モルタル練石積み	14.5	133.4	147.3	19.4	20	280.7
石灰＋砂練石積み	30.0	197.5	276.3	15.8	15	473.8
ビニールシート	13.0	99.6	73.4	13.3	5	173.0

※建設に係る作業量（人日）は、労務費を US\$2.5（1日あたりの人夫賃）で割ると概数が算出できる。



**写真 2.3.2 小規模ため池の建設状況
（不透水性ゴムシートタイプ）**



**写真 2.3.3 小規模ため池の建設状況
（モルタル練り石積みタイプ）**

2.3.3 貯水槽

1) 貯水槽とは

貯水槽は雨季の余剰水を、乾季に使用するために貯留しておく施設である。地下に貯留する貯水槽の一例として、深さ 2.5 メートルの穴を掘り、周囲に木材を張りつけ、厚さ 0.2 ミリメートルの大きなポリエチレン袋を二重にして内側に敷設し、貯留水の蒸発を防ぐために断熱材の覆いをして、木材の蓋をしたものがある。

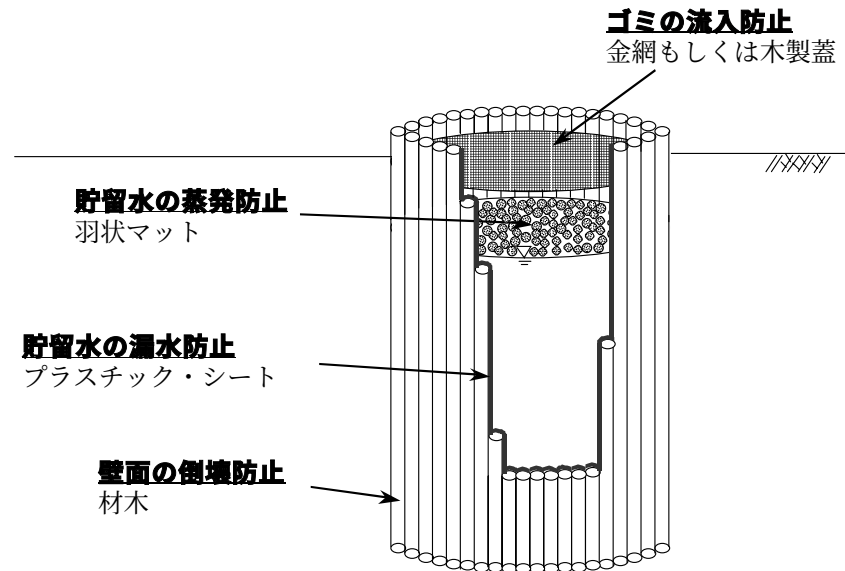


図 2.3.1 貯水槽の一例

2) 貯水槽の機能

水資源が枯渇している地域においても貯水槽を設置することにより、乾季でも水を蒸発させることなく、利用上都合の良い場所に貯留しておくことができる。圃場より高い場所に設置すれば、水の位置エネルギーによって、圧力ポンプがなくても散水器や小型スプリンクラーを用いた散水が可能となる。また、水中に含まれる不純物を除去するフィルタを設置することにより生活用水としての利用も可能となる。

3) 建設にあたっての留意点

- ①半乾燥地においては、必要水量から貯水槽の規模を決定するのではなく、貯水容量から農業水利を決定する必要がある。
- ②貯水槽から余剰水をオーバーフローさせ土壌侵食を誘発させぬように、貯水槽の規模から適切な集水域を設定するとともに、余剰水を安全に排水させる。
- ③土砂などの堆積により施設の機能を阻害しないように維持管理を行う。
- ④設置する位置は重力による配水が可能となるような場所を選定する。

4) 普及上のポイント

(利点)

- ①簡便に貯水でき、しかも土壌侵食防止効果がある。
- ②乾季にも水を利用できる。
- ③農作業の邪魔にならないような離れた場所に設置できる。
- ④高い場所に貯水すれば、位置エネルギーを利用した散水が可能である。

(注意事項)

- ①長期間貯水すれば水質が悪化する可能性がある。
- ②侵食を抑制する対策として、貯水槽への集水路の勾配を1%程度に設定する。

5) 建設コスト（事例）

半乾燥地では水の確保に多大な労力を費やしている。チリの第8州では乾季の水確保が困難であり、近くの湧水地から毎日、水を運ぶ必要があった。しかし、雨季の約半年間で約 800～1,000 ミリメートルの降水量があることから、雨季に集水した降雨を乾季まで蒸発を防止しつつ貯水する試みがなされてきた。これを技術的に確立させたものが貯水槽である。傾斜地からの水を貯留する目的で、浅井戸状の穴を掘削し、大きなビニール袋を敷設し、貯水した後に蓋をして蒸発を防ぎ、乾季に使用する。この貯水槽による貯水方法により、1カ所あたり約 US\$45 で約6立方メートルの生活、家畜、かんがい用水が確保でき、運搬労力が大幅に軽減できたとともに貴重な水資源の損失が減少した例がある。



写真 2.3.4 貯水の利活用

2.3.4 屋根を利用した貯水施設

1) 屋根を利用した貯水施設とは

屋根を集水面として利用することにより、雨水を貯留し有効活用を図る施設である。雨どいあるいはパイプを通じて下部に設置している貯水槽に雨水を溜める。屋根の規模に制限されるため、貯水量は概して少ないが、雨水を直接貯留できることから水質は良好であり、飲料水などに利用することもできる。

2) 屋根を利用した貯水施設の機能

貯水槽に同じ。

3) 建設にあたっての留意点

貯水槽に同じ。

4) 普及上のポイント

(利点)

- ①屋根から集水するため比較的衛生的な雨水を貯水でき、飲料水として使用できる。
- ②家屋の近くに貯水するため、利用の際に便利である。

(注意事項)

- ①施設容量の割に建設費用が高い。

5) 建設コスト（事例）

実証調査では受益農家の経済レベルに配慮して、異なるタイプの貯水施設を建設した。屋根の大きさは平均 100m²程度であるため、計算上 10mm の降雨で満水することになる。受益者は貯水施設に貯留された雨水を雨季（期間降水量は 450mm 程度であった）の終わりから 2 ヶ月半の間、飲料水等の生活用水に利用することができ、水汲み労働の軽減等が図られた事例も見られた。この際の建設費を下表に示す。



写真 2.3.5 屋根を利用した貯水施設

表 2.3.2 屋根を利用した貯水施設の建設費（単位：US\$）

タイプ	規格 (W*L*D)	建設費用
コンクリート	1.0*1.0*1.0	161.6
レンガ積み	1.0*1.0*1.0	128.0
練り石積み+消石灰	1.0*1.0*1.0	89.1

2.4 農村基盤整備対策

土壌侵食が発生している場所は、持続的な農業を営むには困難な地域にあることが多い。特に半乾燥地では水資源が不足しているといった理由から、農地保全対策を講じようとしても採用できる技術が制限されることが多い。さらに、一般的に貧困な農民ほど食料の確保が最優先の関心事であり、保全対策の重要性を認識していても、その対策が農業生産性の向上には直ぐには結びつかないことから、その実施には消極的にならざるを得ないのも現状である。

このことから農地保全を効果的かつ持続的に実施するためには、保全対策だけを散発的に実施するのではなく、農家が積極的に取り組み、保全対策に持続性を持たせるように、農家レベル、集落レベル、村レベルで保全対策推進にあたっての制限要因を取り除くことを目的とした対策も併せて実施する必要がある。

この制限要因としては、農地や市場への「アクセス」の悪さ、「集落基礎インフラ」の未整備、集落での「話し合いの場」の欠如などが挙げられる。これらの改善対策を農民から聞き取ると要望は非常に大量で多岐にわたり、予算の制約からも全ての要望に応えることはできない。このため自然資源に関する研修を実施し農民の理解が進んだ後に、ワークショップ手法を活用して彼ら自身で集落開発計画を策定させ、土壌保全と深い係りがある事業を対象として、集落における優先順位を決定させる。この事業の実施を農民が希望する場合は、事業の実施後も持続性を高めるために、土壌保全活動などを条件事業として付し、また事業費の一部を農民に負担させることを条件に支援するような実施手法を採る必要がある（詳細は手法ガイドブック No.9を参照）。

本節では様々な農村基盤整備対策の中でも、ほぼ全ての半乾燥地において農民の要望が高いと考えられ、かつ土壌侵食防止対策と深い関連がある①道路の改修②営農飲雑用水施設の建設について記載する。

実証調査の聞き取りで要望があった農村基盤整備事業

1. トモロコ集落

①上水道施設②かんがい用施設③水質汚染④収穫処理施設⑤集落集会所⑥集落道路の改修⑦学校の宿泊施設⑧地域集会所⑨歩道橋⑩運動場の整備⑪家屋の改修

2. シリチャカ集落

①貯水ダム②上水道施設③電気④各家庭の便所⑤学校の屋根の修理⑥学校の家具⑦闘牛場の整備⑧墓地の整備⑨女性用研修施設⑩製粉所の建設

3. カイナカス集落

①集落集会所②学校の増設③女性用研修施設④家屋の改修⑤WH施設⑥小規模の貯水槽⑦製粉所の建設⑧集落道路の改修⑨かんがい用施設⑩運動場の整備⑪歩道橋⑫蛇籠による護岸

2.4.1 農道の改修

1) 農道とは

主に農業用として利用される道路を農道という。農道には基幹的農道とほ場内農道があるが、基幹的農道は農産物を市場へ搬送する際などに利用され、集落間を連絡したり、農村地域と国道や県道を結んで農村地域の基幹となる農道である。農村と都市との社会生活上の交通にも利用される。ここでは、長大な斜面を有することが多いことから、土壌侵食を誘発させやすい基幹的農道についての技術を主として記載する。

2) 農道改修の機能

一般に、農地からの流出水や路面上に降った雨水が農道流れ、路面の状態を悪化させると同時に、途中で圃場に流入して土壌侵食を助長する場合が多々見られる。このように土壌侵食が原因となって、道路の維持管理費が増加している問題が発生している。同様に、農道を適切に管理することは土壌侵食の抑制に非常に意味がある活動である。

3) 建設にあたっての留意点

特に土壌保全の観点から、農道の維持管理を実施する場合には以下の点に留意しなければならない。

- ①特に道路が長大な斜面を有する場合は、路面上の流出水を横断排水する。
- ②道路上に貯留した雨水は、排水溝を設置して速やかに排除する。
- ③路体盛土については法面に小段を設け、傾斜長を短く区分する。

4) 普及上のポイント

(利点)

- ①道路改修によって、表面流出水が安全に流下し、雨季でも道路走行性に対する悪影響を回避できる。
- ②道路の維持管理を農作業と一体的に計画することによって、レベルの高い土壌保全計画を策定することができる。

(注意事項)

- ①農道の改修を円滑に進めるためには、周辺の受益者全体との意志統一を図り、行動を共にする必要がある。
- ②未舗装道路については、特に損耗が激しいため、雨季入り前、雨季後に定期的に補修作業を行う。



写真 2.4.1 農業用道路の改修作業

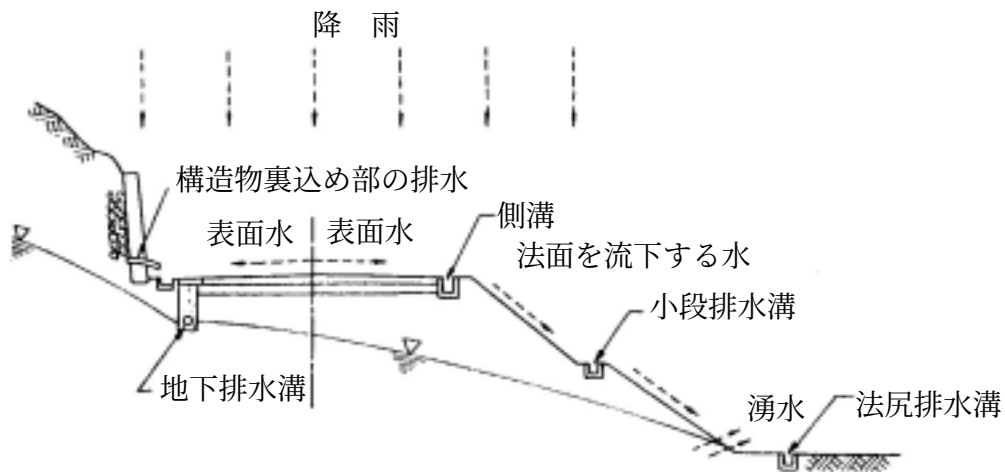


図 2.4.1 農道の排水施設（横断面図）

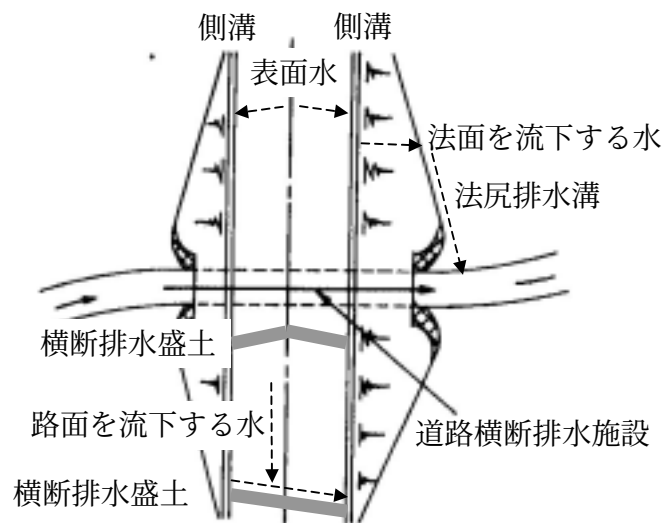


図 2.4.2 農道の排水施設（平面図）



5) 建設コスト（事例）

工事費は施工機械の必要性や工事区間に存在する砕石等の自然条件によって大きく異なる。南米においても何件もの施工事例があるが、工事費に大きな幅があった。ここでは参考までに、実証調査で実施した2件の施工事例の概要を挙げる。

①集落放牧場へ通じる進入道路

延長： $l=4.0\text{km}$ ，車道幅員： $w=3.0\text{m}$ ，最急勾配： $i=15.0\%$ ，路面の種類：未舗装，原地盤：一部に岩が露出、侵食激しい，建設方法：ブルドーザと人力による掘削、整地，総事業費：US\$19,978

②既存道路の拡幅整備工事

延長： $l=10.0\text{km}$ ，車道幅員： $w=3.0\text{m}$ ，最急勾配： $i=20.0\%$ ，路面の種類：未舗装，原地盤：一部に岩が露出、侵食激しい，建設方法：ブルドーザと人力による掘削、整地，総事業費：US\$10,501

2.4.2 営農飲雑用水施設

1) 営農飲雑用水施設とは

営農飲雑用水施設は、農村部において農薬や除草剤などの噴霧器を洗浄したり、末端給水設備へ給水したり、飲料水、入浴、洗濯等の生活用水として使用するために設置された給水設備のことである。

営農飲雑用水施設からの配水方式により以下の3通りに分類できる。

- ①重力式：水源に堰を設置する等して十分に水位を高くして、パイプを設置し配水する方式。
- ②高架式：ポンプの動力で水源から高架式貯水タンクまで揚水した後、給水施設まで配水する方式。
- ③深井戸方式：深井戸を掘削し、ポンプを用いて揚水し、貯水タンクに貯留した地下水を配水する方式。工事費は他の方式に比べて割高である。

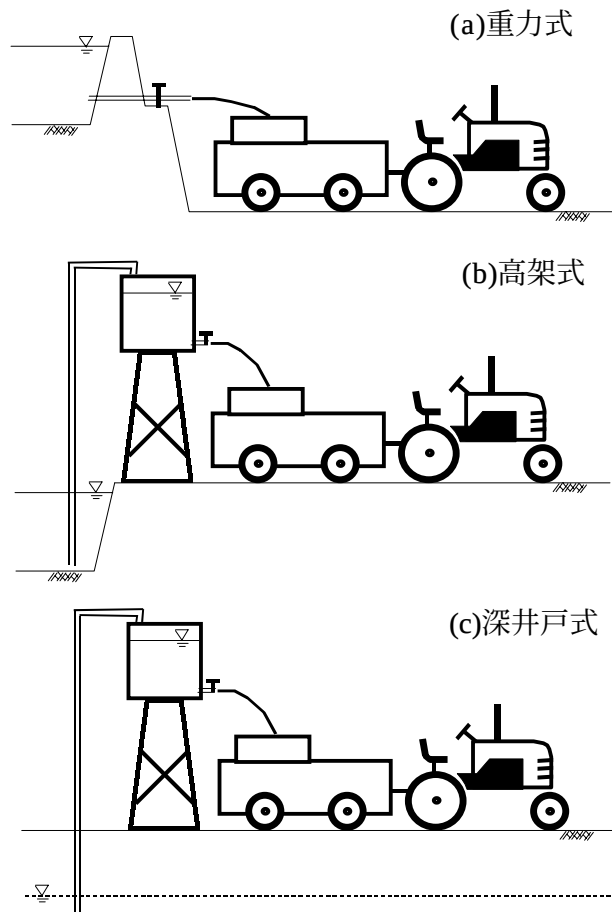


図 2.4.3 営農飲雑用水の分類

2) 営農飲雑用水施設の機能

営農飲雑用水施設を設置することにより、農薬噴霧器がもたらす河川の水質汚染問題を回避できる。また、噴霧器への給水等の農業用水の取水に必要な時間が短縮できる。

また実証調査の対象地域のような水資源に乏しい地域で農業を営む貧困農民にとっては、施設の建設は土壌保全対策の推進に以下のような高い関連性があることが明らかになった。

- ①水汲みや洗濯場まで行く時間が軽減されることにより、女性や子供による自宅周辺を中心とした土地管理への時間が増大することが期待できる。
- ②多量の水を必要とする日干しレンガ作りが乾季である農閑期でも可能となることにより、家畜小屋など土壌保全にかかる施設建設が容易となる。
- ③家庭菜園や果樹園を造成する際は水の有効利用を図るためのテラスなどが建設されることから保全対策に貢献する。
- ④自宅周辺に植林用の苗床が設置できるようになることから、苗木が確保され水源上流側の未植林地への植林が期待できる。
- ⑤家畜用水の確保が常時可能となることで、自宅周辺での十分な家畜管理が可能となり、

家畜糞尿を蓄積かつ利用でき、土壌への有機物投入量が増加し生産性も向上する。

3) 建設にあたっての留意点

- ①施設の建設には多大な費用を要するため、取水可能な水量、建設コスト、便益などを考慮し慎重に投資額の基準に照らし合わせて建設の妥当性を検討する。
- ②施設の設置場所を検討する際には、営農形態などの状況も含めた利用者の意向を十分に取入れた配水システムを組み立てる。特に、施設の建設候補地として配慮すべき項目は、ア．利用者の便宜（アクセス）、イ．農家の集中地点、ウ．地表水や地下水が汚染されている危険性の少ない地点、エ．不透水層がある地点、オ．農薬等の保管管理施設がある地点、などが挙げられる。
- ③配水管の材質は給水作業に支障を来さないものとし、管径は必要水量から算定する。ノズルの開閉は、取り扱いが容易なものを選定する。

4) 普及上のポイント

(利点)

- ①小流域の水土保持計画に共同給水施設を策定した場合、効果的に農薬や除草剤等の汚染を防止することができる。
- ②良質の水を取水することにより飲料水などにも利用できる。

(注意事項)

- ①農薬等が水源に流入しないように留意する。
- ②施設に対する水質検査の技術も農家に普及する必要がある。
- ③機能の持続性を図るため貯水施設の清掃、補修等を行う維持管理組織を設置する。

5) 建設コスト（事例）

①ブラジル国パラナ州およびパラグアイ国東部の事例

ダイズやコムギを作っている中・大規模な農業地帯では、病虫害防除のため大量の農薬を使用している。農薬散布後、残留した農薬をそのまま河川に投棄することによって、以下の問題が発生した。

- A. 魚が大量に死亡する事故が多く発生しており、同様に下流側住民の健康への被害が心配されている。
- B. 大型の噴霧器に河川から水を入れて使用しているが、ゴミが混入するためにノズルが目詰まりし、そのゴミを取るために作業員がノズルを吹いたり吸ったりしたために作業員の健康障害が問題になっている。

このため、作業員の健康保持と下流側住民のための水質保全を図る対策として営農飲雑用水施設が建設された。営農飲雑用水施設の総事業費は以下のとおりである。

- ア．重力式：US\$1,000～4,000
- イ．高架式：US\$4,000～8,000
- ウ．深井戸式：US\$12,000～15,000

②ボリビア国チュキサカ県の事例

実証調査では対象3集落において、受益農家合計135戸725名に対して136.8千US\$の資金協力を行い、営農飲雑用水施設の建設を支援した。施設には様々な規模やタイプがあるが、ここでは代表的な2タイプについての事例を示す。なお、下表の建設費用には受益者負担である労務費、骨材などの現地発生資材に係る費用は含まれていない。

表 2.4.1 実証調査で施工した施設の代表例

(単位：US\$)

施 設 名	受益者数 (農家数)	概要	規 格	建設費用
共同飲雑用水施設 (重力式)	115 (27)	取水堰 1基	5.2*1.5*0.4	125.0
		送水管 8,000m	φ50	2,817.8
		貯水槽 15.0m ³	3.5*3.5*1.2	1,060.0
		配水管 10,000m	φ50	3,522.2
		取水施設 27箇所		2,835.0
				合計 10,360.0
個人用飲雑用水施設 (重力式)	5 (1)	取水堰 1基	1.5*0.8*0.3	26.7
		送水管 160m	φ25	70.8
		貯水槽 2.25m ³	1.5*1.5*1.0	68.0
		取水施設 1箇所	φ12	17.4
				合計 182.9



写真 2.4.2 水道施設の建設状況

このとおり本施設の建設にあたっては多大な費用を要することから、施設の設置によって生じる土壌侵食防止効果および農村開発事業効果等を考慮したうえで、建設の是非を慎重に検討する必要がある。ここでは、実証調査において営農飲雑用水施設を建設した際に算定した農家一戸当りの1年間の便益を参考として下表に示す。

表 2.4.2 農家一戸当りの施設の効果 (単位：US\$)

効 果	算定額
水汲みに係る労働力の軽減（飲料水）	130.3
水汲みに係る労働力の軽減（洗濯）	16.9
日干しレンガの作成	51.4
家庭菜園や果樹園の造成	23.9
苗床の設置	70.0
合 計	292.5

この結果を基に、農家一戸当りの便益の平均値を US\$292.5 と仮定し、実証調査にて建設した施設の総事業費 US\$136,800、受益者総数 135 戸、施設の年間維持管理費 US\$13.3、施設の耐用年数を 10 年とした場合の内部収益率を計算すると 23.39% となった。なお、この便益の算定には、家畜用水の確保や堆肥の製造が可能となったことなど他の多くの便益が計上されていない。実際にはこれらの便益および間接的な便益を含めて考えると本対策事業が効果的な事業であることは明らかである。

以上のことから農村基盤整備対策を実施するにあたっては、農家のニーズを盛り込んだ集落開発計画のみから優先事業を決定するのではなく、①事業実施の妥当性の観点から事業費と生じる便益の比較②農民のニーズに反映され難い長期展望にたった土壌侵食防止対策との関連性を念頭に入れ、十分に検討したうえで実施することが必要不可欠である。

営農飲雑用水施設の効果の一例

1. 水汲み労働力が軽減された（飲料水）
飲料水を確保するために、往復 800m（40 分）の道のりを、5 リットルの水を担いで 1 日に 3～4 回運搬していた。
2. 水汲み労働力が軽減された（洗濯）
洗濯場までの往復 1,000m（54 分）の道のりを、1 週間に 2 回登り降りしていた。
3. 日干しレンガ作りが可能になった。
以前は日干しレンガ 100 個作成するのに 2 人で 4 日間を費やしたが、施設設置後は時期を選ばず、2 人で 1 日で可能と 4 分の 1 に労力時間が短縮された。
4. 乾季にも作物栽培ができるようになった
小規模なら乾季にも収量を見込めるようになり、200m² 程度での野菜栽培が可能になるなど作物生産に多様性が見られるようになった。
5. 苗畑を設置・運営することができるようになった
苗木を枯死させないように安定した水資源を手に入れ、年間 3,000 本程度の苗木生産が可能になった。

第3章 営農的保全対策技術

営農的保全対策技術は、作物の栽培方法を工夫することによって土壌侵食を防止するもので、土壌肥沃度並びに作物栽培に関する総合的な管理を行う。土木的保全対策技術が、排水路、石積み工、ため池等の構造物を設置して圃場内外の水の流れを制御し、農地からの水の流出を軽減するのに対し、営農的保全対策技術は、適切な栽培管理を行い、直接あるいは間接的に土壌侵食を軽減し、農地の生産性向上を図るものである。

豊かな緑の葉をつける枝は丈夫な幹に支えられ、頑丈な幹は地中深く張った健全な根に支えられて育つ。そして、健全な根を支えるのは土壌である。

健全な植物は、健全な土壌に育つ

作物の生育に最も適した土壌条件

- 作物生育に必要な養分が過不足なくあること
- 水、空気が充分にあること
- 根の伸長に必要な深さの土層があること
- 適度の温度を保っていること
- 生育を阻害する有害物質がないこと

土壌侵食は、土壌劣化をもたらす最大の要因で、土壌、地形すなわち傾斜や斜面長等の自然的要因の他、土壌管理、栽培法等の営農技術によって影響される。本章では、アンデス溪谷地帯の小規模農家に適した営農的保全対策として、土壌管理および栽培管理技術について記載する。

実証調査では、土壌保全に関する各種技術の効果を調べるために参加型圃場試験（IP 試験）を実施した。これは、土壌の保全並びに生産性の向上を目的とし、農家圃場において試験を実施して各種技術の効果を調べ、試験農家から他の農家へ技術の普及を図るものである。本章では、この試験で得られた結果についても記述する。

3.1 土壌管理

土壌管理は、土壌侵食を防止し、作物の発芽・生育に最適の土壌環境を整えるために行う。土壌侵食を防止するために、土壌管理の観点からは、

有機物による団粒の形成を促進し、

透水性、保水性、通気性、易耕性および耐食性の改善

を図ることが最も重要な課題である。

3.1.1 畑土壌肥沃度の現状

アンデス溪谷地帯では、畑作物の単収は非常に低い。低収の主因は、土壌肥沃度が極めて低いためと考えられる。

実証調査対象地域の土壌は、主に古生代の海成層に由来し、氷河侵食、河川侵食の影響を受け、基盤岩が露出しているところ、その上を河川・湖沼堆積物が覆っているところなどが複雑に入り混じっている。海成層は、シルトや砂岩の互層で、鱗片状、塊状の非常に崩れやすい地層になっている。農地の大半は傾斜地に位置し、水食によって土壌が失われた結果、礫が大量に存在し、土層が浅く、肥沃度の劣悪な土壌である。

アンデス溪谷地帯の畑土壌肥沃度に関しては、分析データが少なく不明の点が多い。特に、土壌の物理性に関するデータはほとんど無い。畑土壌肥沃度の現状を知るために、32ヶ所のIP試験圃場において試験終了年の作物収穫後に土壌断面調査を行い、土壌の理化学性を分析、土壌肥沃度の実態を調べた。調査結果の概要は以下のとおりである。

(1) 土壌の物理性

IP 試験における調査事

土層、土性、団粒

- ✧ 作土の層厚：平均 13.3cm、勾配の大きい圃場では作土層が浅くなる傾向
- ✧ 土性：砂壤土が多い、粘土含有量は 15%以下、砂が半分以上
- ✧ 仮比重：平均 1.48 ± 0.09 、すべての土壌が 1.2 以上
- ✧ 団粒：耐水性の団粒が非常に少ない

問題点

- ✧ 有効土層が浅く、下層土への根の伸長が抑制されている
- ✧ 非常にち密で、乾燥すると非常に硬くなるコンパクトな土壌
- ✧ 有機物の施用による物理性の改善が最重要課題

IP 試験における調査事例

三相分布、硬度、仮比重

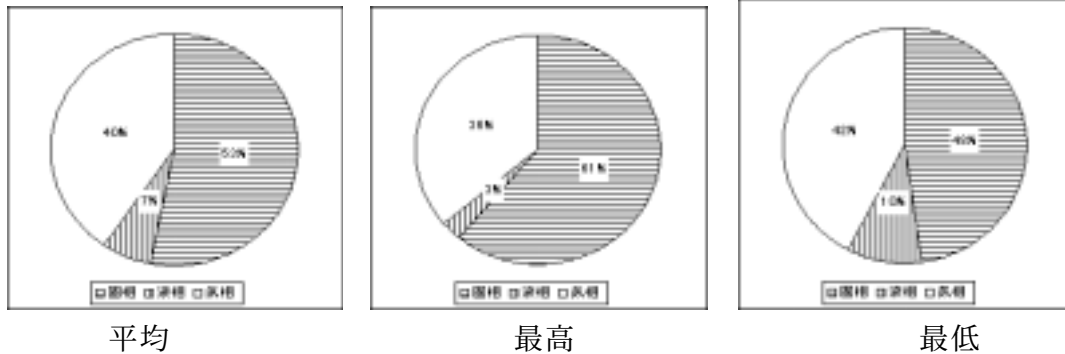


図 3.1.1 三相分布

- ◇ 三相分布：固相率が高く、液相率が低い
- ◇ 硬度（ち密度）：作土 13、下層土 27(山中式硬度計による)

問題点

- ◇ 非常にち密な土壤
- ◇ 有機物の施用による団粒の形成促進、固相率の低下が不可欠な土壤

注 固相率 50%以下、液相+気相(孔隙率)50%以上が望ましい

硬度 20 以上になると耕うんに大きなエネルギー必要、25 以上では根の伸長困難

IP 試験における調査事例

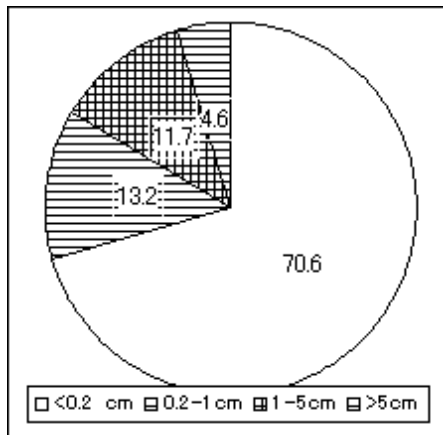


図 3.1.2 粒径別礫含有率

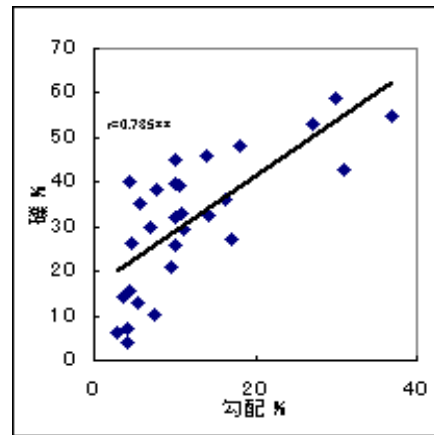


図 3.1.3 圃場の勾配と礫含有率の

関係

- ✧ 表土が侵食によって失われているため、礫が多い
- ✧ 表土の礫含有率と圃場の勾配の間には正の相関



写真 3.1.1 圃場の礫

いずれの圃場も礫含有量が非常に多い。礫含有率が10%以下の圃場は、32 圃場のうち僅か4圃場である。

農作業の妨げとなる中礫以上の礫は、畑から持ち出して圃場外に堆積、あるいは石積み工として利用されており、圃場内に残っている大きな礫は比較的少ない。しかし、中礫以下の礫は、量が多過ぎてすべて取り除くのは不可能であるため、写真 3.1.1 にみられるとおり、畑には多量の礫がある。礫は農作業の妨げになるばかりでなく、農機具の消耗を早めている。

勾配の大きい圃場では、水食に伴い土壌は流亡するが礫は残留するので、土壌流亡に伴い礫の含有率が高くなる。圃場の勾配と礫含有率との間には正の相関 ($r=0.735^{**}$) がみられ、勾配の大きい圃場ほど侵食による土壌の流亡量が多いことを示している。

(2) 土壌の化学性

土壌断面調査において、作土土壌を採取し分析した。土壌化学性の分析は、CIAT(ボリビア・サンタクルス市)に依頼した。土壌化学性の平均値を表 3.1.1 に、ボリビアにおける土壌の診断基準を表 3.1.2 に示した。

表 3.1.1 土壌の化学性

pH	置換性塩基 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$			有効態リン	有機物
(1:5)	カルシウム	マグネシウム	カリ	mg kg^{-1}	%
6.3 ± 0.7	3.3 ± 3.2	1.8 ± 1.0	0.9 ± 0.5	10.5 ± 9.3	1.6 ± 0.6

表 3.1.2 ボリビアにおける畑土壌肥沃度の診断基準値

分類	pH	置換性塩基 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$			有効態リン	有機物
	(H_2O , 1:5)	カルシウム	マグネシウム	カリ	mg kg^{-1}	%
高	>7.5	>2.5	>1.01	>0.65	>15.1	>4.1
適	$6.5-7.4$	$1.01-2.49$	$0.51-1.0$	$0.21-0.64$	$6.1-15.0$	$2.1-4.0$
低	<6.4	<1.0	<0.5	<0.20	<6.0	<2.0

IP 試験における調査事例

土壌の化学性

- ◇ pH：土壌診断基準値より低い土壌が多い
- ◇ 置換性塩基：カルシウム、マグネシウム、カリ共に診断基準値を満たしており量的な問題はない。塩基間のバランス（カルシウム／マグネシウム比、マグネシウム／カリ比）が適切でない土壌がみられる
- ◇ 有効態リン：基準値以下の土壌が多い
- ◇ 有機物含有量：基準値以下の土壌が非常に多い

問題点

- ◇ 大部分の土壌は、有機物含有量が非常に少ない
- ◇ リン欠乏土壌が多い

対 策

- ◇ 堆厩肥等の有機物資材や緑肥の施用
- ◇ リン不足を補うための化学肥料の施用

pH は、約 70%の土壌が基準値より低く、石灰を施用し矯正する必要がある。

ボリビアの有効態リン（Olsen 法）診断基準値は、諸外国に比べ低い値に設定されている。それでも、44%の土壌が基準値以下である。有効態リンが比較的多い土壌は、いずれも家畜糞の施用量が多く、かつ化学肥料を施用している圃場である。リン肥料の施用が不可欠であるが、現実には非常に困難であり、鶏糞などリン含有量の多い有機物資材の施用が必要である。

有機物含有量は平均 $1.63 \pm 0.57\%$ 、最高でも 2.9%で全般に非常に低レベルである。診断基準値を満たしている土壌は、僅か 19%に過ぎない。

3.1.2 有機物資材による土壌改良

アンデス渓谷地帯の農業は、肥沃度の劣悪な土壌で営まれている。前記のとおり、有機物不足土壌が非常に多い。土壌有機物に関しては、以下のような多くの問題を抱えている。

土壌有機物を巡る問題点

- 土壌の有機物含有量が非常に少ない
- 堆厩肥の材料となる作物残さ等の有機物資源が非常に少なく、利用できる野草もほとんどない
- 家畜糞や作物残さを利用して良質の堆厩肥を作る技術・習慣がない
- 有機物の施用対象作物は、主にバレイショで、他の作物に施用されることは極めて稀である

対 策

- 有機物資材の投入
- 緑肥の導入

(1) 有機物の施用効果

アンデス渓谷地帯の畑土壌は、有機物含有量が非常に少なく、生産性が劣る主因である。堆厩肥等の有機物の施用は、土壌肥沃度を維持していくうえで不可欠である。

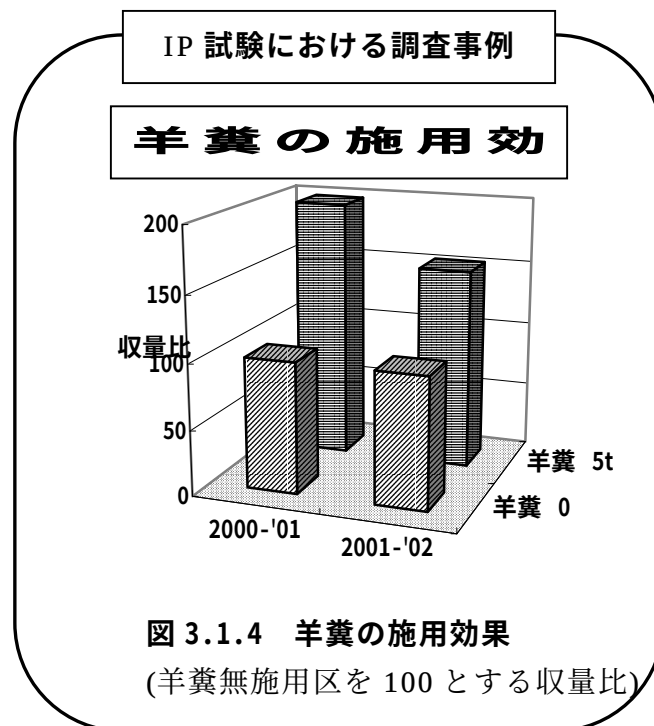
この地帯では、作物残さや家畜糞等の有機物資源が極度に不足している。畑地に施用される有機物資材は主に家畜小屋等から集めた糞である。家畜糞が施用効果の大きい良質の厩肥に加工されることはなく、そのままの状態で使われている。家畜糞は、主に羊糞、山羊糞が使用されている。堆肥や緑肥のような家畜糞以外の有機物資材が施用されることは極めて稀である。トウモロコシやコムギの茎葉等の作物残さは家畜の餌として貴重な資源であり、堆厩肥の材料として使用する余裕がなく、家畜糞を麦わらなどと混合し、堆積腐熟させて得られる良質の厩肥は普及していない。雑草の生育も極めて貧弱で、野草が利用されることもない。

有機物資材の効果

- 物理性の改善：耐水性団粒の形成促進による土壌の通気性、透水性および保水性改善
- 化学性の改善：有機物の分解に伴う養分の供給
- 微生物性の改善：土壌微生物の増殖・相の多様化促進

1) 有機物の施用による畑作物の収量増加

有機物の不足している土壌では、有機物資材を施用すれば畑作物の生育が良くなり、その効果が顕著に現れる。アンデス渓谷地帯では、ほとんどすべての農家が家畜糞を利用しており、主にバレイショに施用している。



現状では、ほとんどすべての農家が有機物資材として家畜糞を施用している。施用対象作物は主にバレイショで、施用量は少なく 3～5 t/ha 程度である。バレイショ以外には、トウモロコシに家畜糞を施用する農家が少しある。トウモロコシに対する有機物の施用量は 1 t/ha 以下で、バレイショに比べるとはるかに少ない量である。その他の畑作物に対して有機物資材が施用されることはない。

2) 羊糞の施用量と作物の収量

有機物資材の施用効果は、施用量の限界はあるが、一般に施用量が多いほど効果が大きく現れるものである。

実証調査において羊糞の施用量に関する試験を行った。当初の 2 年間は所定量の羊糞を施用し、3 年目にはその残効を調べるために羊糞無施用で栽培した。羊糞の施用量は、2, 5 および 10 t/ha の 3 段階とした。

初年目のバレイショ塊茎、2 年目のトウモロコシ子実の収量は、羊糞の施用量が多いほど多く、その施用効果が明らかである。羊糞を施用しなかった 3 年目のオカの収量は、羊糞 2 年間連用の残効が認められ、羊糞施用量が多いほど収量が多い。このことから、羊糞を 2 年間連用した場合には、残効があるので、3 年目には無施用で栽培しても差し支えないと言える。

初年目のバレイショについて、羊糞と収穫物の価格を比べると、羊糞の施用による経済効果が認められる。羊糞 10 t/ha 施用によって、粗収入は約 35% (Bs 1,500) 増加した。

IP 試験における調査事例

羊糞の施用量と作物収量

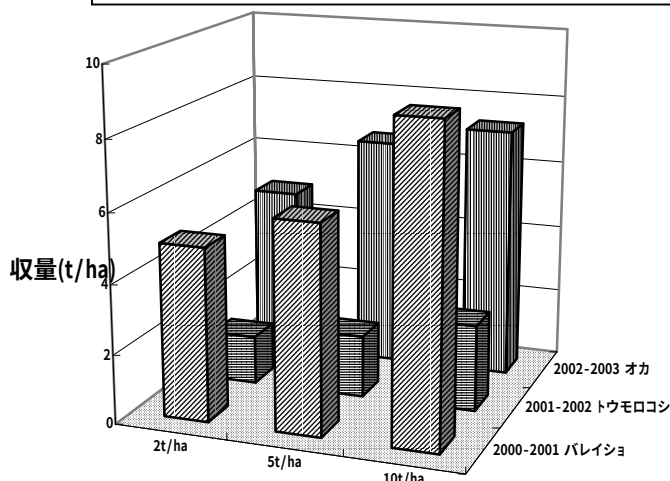


図 3.1.5 羊糞の施用量と作物収量

3) 落ち葉による土壌理化学性の改善事例

土壌有機物は、その種類を問わず、土壌肥沃度を改善する効果がある。落ち葉によって土壌の理化学性が大幅に改善された事例を以下に記す。

IP 試験における調査事例

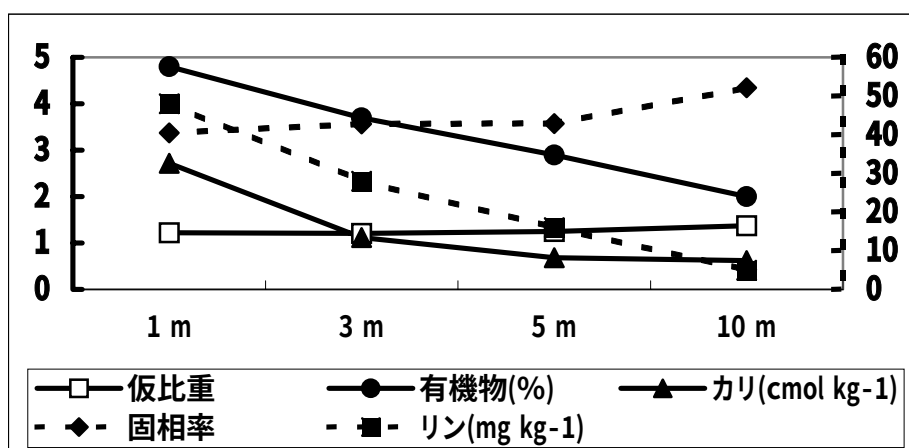


図 3.1.6 Molle の木の根元からの距離と土壌の理化学性 (破線は Y 軸右目盛)

農家の圃場内に樹冠直径 10m を超える Molle の大木があり、樹冠下の土壤の理化学性が落葉によって改善されていると思われた。そこで、根元から 1, 3, 5 および 10m の地点から土壤を採取し理化学性を調べた。

図 3.1.6 から、根元に近い地点ほど、落葉による土壤理化学性の改善効果が顕著にみられる。根元に近いところでは、団粒が多く、仮比重が小さく土壤が膨軟になっている。

固相率は、根元からの距離が遠くなるほど増大する。有機物、置換性カリ、有効態リン含有量も根元からの距離による違いが顕著にみられる。

このことは、土壤肥沃度が極度に低い土壤でも、有機物を毎年補給することにより土壤の性質が著しく改善され、理想的な土壤に近づくことを示すものである。

4) 有機物資材の種類と施用効果

有機物資材は、その種類によって養分含有量や効果の発現の様相が異なるので、資材の特性を把握して施用することが肝要である。

<有機物からの養分供給>

有機物資材に含まれる養分の量は、その種類によって、また作り方によって大幅に変動する。家畜糞など有機物資材の養分含有率を調べた結果は、以下のとおりである。

IP 試験における調査事例

表 3.1.3 有機物資材の養分含有率（対乾物％）

分類	チッソ	リン	カリ
羊糞	1.71	0.29	2.18
牛糞	1.48	0.34	1.66
鶏糞	2.26	1.23	1.83
コンポスト	1.06	0.2	1.32

糞の養分含有率は家畜の種類によって異なり、チッソおよびリン含有率は鶏糞が最も高い。鶏糞のリン含有率は 1.2％で、牛糞や羊糞に比べると著しく高い。実証調査対象地域では、鶏糞は入手が困難であるため農家ではそれほど使用されていないが、養分供給の面では最も優れた資材といえる。

家畜糞の養分含有率は、生産国によっても大差がみられる。ボリビアの鶏糞の養分含有率は他の国に比べると低い。日本産の鶏糞のチッソ、カリ含有率はボリビア産に比べ約 2 倍、リンは 4 倍以上と大差がある。牛糞に関しても、国によって大差がみられる。外国のデータに基づいて施肥設計を考える際、この点を考慮

すべきである。これは、主に飼料の違いによると思われる。

＜家畜糞の種類と作物収量＞

家畜の種類によって糞の養分含有量に大差がある。家畜糞の種類の違いが作物の収量に及ぼす影響を展示圃場で調べた。鶏糞、牛糞および羊糞の施用量をそれぞれ 5 t/ha として 2 年間連用し、3 年目は残効をみるために家畜糞を施用せずに栽培した。

鶏糞施用区の作物収量は、初年目(バレイショ)、2 年目(トウモロコシ)ともに羊糞、牛糞施用区よりはるかに優り、鶏糞の養分供給力が優れていることを示している。また、糞無施用で栽培した 3 年目のコムギ収量も鶏糞施用跡地の方が牛糞、羊糞区より多いことから、鶏糞 5t/ha を 2 年間連用した場合、その効果が次作物にまで及ぶことが明らかである。跡地土壌の分析結果から、鶏糞施用によって土壌の有効態リンおよび置換性カリが僅かではあるが増加することを認めた。

IP 試験における調査事例

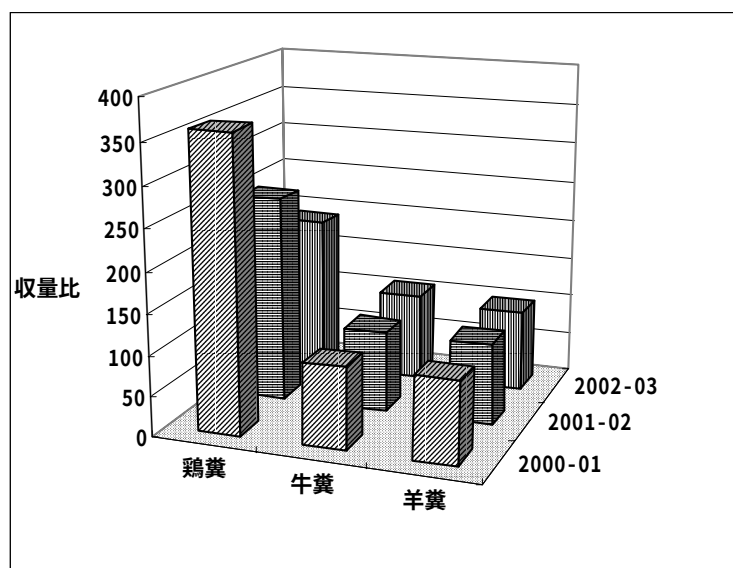


図 3.1.7 家畜糞の種類と作物の収量(羊糞を 100 とする収量比)

(3) 有機物の肥効発現

有機物に含まれる窒素とリンは有機態で、カリは無機イオンの状態で存在する。窒素とリンは、まず土壌微生物によって分解され、無機態に変化してから作物に吸収・利用されるので化学肥料のような速効的な効果はない。カリはそのままの状態で作物に吸収利用される。

有機物を施用した年に作物が利用できる有効成分量は、資材の種類によって異なる。チッソの有効化率は 20～80%で、炭素率 (C/N 比) が大きいコンポストの

ような資材では低く、鶏糞のように C/N 比の小さいものは高い。リンの有効化率は 60～90%、カリは 90%以上である。

（４）厩肥の製造法

有機物は、堆積・発酵・分解させて完熟したものを施用することが望ましい。材料として、家畜の糞、作物の残さ、刈り草、台所の廃棄物、落ち葉等あらゆる有機物を活用し、土壌肥沃度の増強を心がけるべきである。

堆肥化の過程は、次のような 3 段階に分けられる。

- ①糖分解期：細菌や糸状菌がたんぱく質、アミノ酸、糖などの分解しやすい有機物を分解する堆積始めの過程
- ②セルロース分解期：温度が高くなってセルロースの分解が始まり、堆積物の温度が 60～80℃に上昇し、セルロース分解菌の活動が活発になる過程
- ③リグニン分解期：温度が下がり、担子菌などが関与する過程、ミミズの活動も活発になる過程

堆肥化する場合、関与する微生物が良好な生育をするように、以下の条件下で作ることが肝要である。炭素率（C/N 比）と温度および水分管理が最も大切である。

堆厩肥製造における留意事項

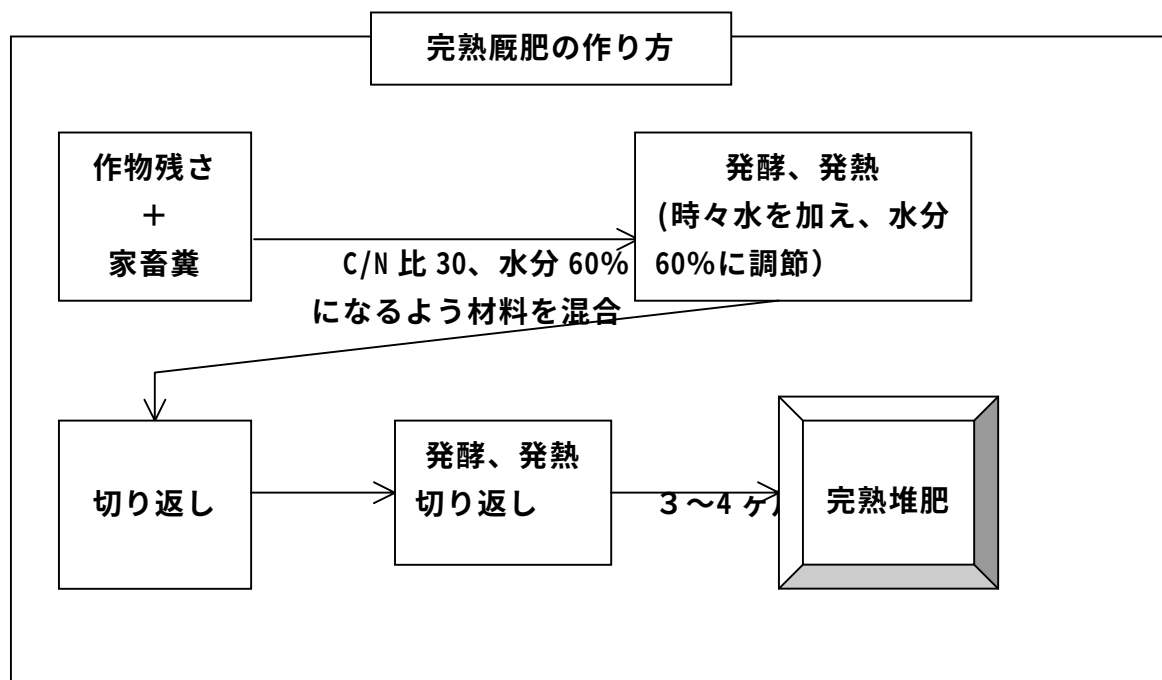
- 最適 C/N 比は 30 前後であるので、C/N 比が大きい資材には窒素源を添加し、逆の場合には炭素源を添加して C/N 比を調整する必要がある。各種資材の C/N 比は、牛糞 15～20、鶏糞 10、羊糞 25～30、麦わら 50～60、刈り草 30 を目安としておおよその混合割合を決めるとよい。
- 大部分の微生物の活動に適した温度は、高等生物と同様、20～40℃である。ところが、微生物のなかには活動の最適温度がこの範囲より高い、あるいは低いものがある。前者を好熱性または高温性微生物、後者を好冷性または低温性微生物という。堆肥をつくる際には、好熱性の微生物が大切な働きをするので温度管理が重要である。
- 水分は 60%程度に保つことが望ましい。材料の水分は、生の牛糞 80～90%、鶏糞 70～80%、麦わら 10～20%、刈り草 70%を目安とし、

堆積法による厩肥の製造法は以下のとおりである。

有機物資材をよく混和し、堆積枠に堆積する。枠の大きさは、羊 30 頭規模の場合には、2x2x1mの枠が適している。枠は、木製あるいは日干し煉瓦などで作ることができる。木製枠の場合、2x2x0.5mの枠を 2 段重ねて使うようにすれば取り扱

いが容易である。堆積場には、排水と通気のために、中央部と周辺部に幅 15～20cm の溝を掘っておく。材料の C/N 比が約 30 になるように資材を混合する。堆積してしばらくすると内部に熱が蓄積して、60～80℃程度になる。この段階では、普通の微生物の活動は弱まり、熱に弱い大腸菌等は大部分が死滅し、好熱性のセルロース分解菌が活動するようになり、繊維の分解が始まる。分解が終われば温度は下がってくるので、切り返しを行う。セルロース分解菌は嫌気性菌であるので、その活動のためには温度を高く保ち空気をさえぎった状態にしなければならない。繊維の分解が終わってから切り返しを行い、内部にまで空気を供給することによって、次に好気性菌が活動しやすい条件になり、次の分解過程へ進むことになる。このような作業を行うことにより、通常約 3 ヶ月で良質の厩肥ができる。

実証調査対象地域では、一部の農家は、直径 2 m、深さ 1.5～2 m の穴を掘り、その中にわらと家畜糞を混ぜて積み、厩肥を作っている。この方法では覆いがないため、雨水が流入して嫌気性分解が起こること、さらに、切り返し作業が困難なためにあまり行われず、厩肥の品質が著しく低下する。切り返し作業のしやすい堆積枠を作って堆肥化することが必要である。



(5) 堆厩肥の品質判定

堆厩肥の製造では、使用資材の質、量、堆積条件などによって必ずしも標準的な堆肥化が進むとは限らない。品質を判定して、もし未熟であれば更に時間をかけて堆肥化が進むように処理して完熟化したものを施用しなければならない。品質を簡単かつ正確に判定する方法はないが、簡易判定法の一例を示す。

表 3.1.4 堆肥の品質判定基準(五十嵐、2002)

項目	良質堆肥	やや未熟堆肥	未熟堆肥
臭気	堆肥臭	アンモニア臭、カビ臭	生糞臭、腐敗臭
手触り	サラサラとしている。手で握ると固まるが、離すと割れる。	手で握っても固まらない。または、握ると固まるが、離しても割れない。	ベトベトした感じ。
色	黒～黒褐色	黒褐色～褐色	褐色～黄色
堆積 期間	家畜糞だけ 2 ヶ月以上	家畜糞だけ 20 日～2 ヶ月未満	家畜糞だけ 20 日未満
	作物残さとの混合物 3 ヶ月以上	作物残さとの混合物 20 日～3 ヶ月未満	作物残さとの混合物 20 日未満
	木質物との混合物 6 ヶ月以上	木質物との混合物 20 日～6 ヶ月未満	木質物との混合物 20 日未満

(6) 有機物資材の施用法

バレイショに対する家畜糞の施用は、パロで溝を掘り、一人が溝の底部に糞を一行に播き、もう一人がバレイショの種子を糞の上に置いていく方法が慣行的に行われている。

堆厩肥は耕起作業を行う前に散布し、耕起作業によって土壌とよく混合することが望ましい。地力維持のためには毎年 5～10 t/ha 施用することが必要である。しかし、実証調査対象地域では有機物資材が不足しており、現実にはバレイショに対してのみ施用され、施用量は通常 5 t/ha 以下である。したがって、有機物資材の施用は数年に一回程度である。この程度では、化学肥料を補わない限り土壌の肥沃度は年々確実に低下する。

留 意 事 項

- 家畜糞は、堆積・発酵・分解させた良質の厩肥として施用すること
- 良質の厩肥であれば、肥効の発現が早まり、初期生育の確保が容易になる
- 作物残さ、山野草、落ち葉、台所廃棄物等、利用可能な有機物資

3. 1. 3 緑肥による土壌改良

緑肥は、堆厩肥とともに土壌の生産力を高めるための手段として古くから用いられている。ボリビアのアンデス渓谷地帯では、一戸当りの農地面積が2～3 ha程度と少なく、収穫物を得られない緑肥を単独で栽培する余裕がないため、緑肥は普及していない。この地帯では、有機物資源が極めて乏しく、有機物資材としての家畜糞は主にバレイショに施用され、他の作物にはほとんど施用されていない。しかも、その施用量は2～5 t/ha 程度で作物の養分吸収量に比べはるかに少ない量である。土壌有機物含有量が少なく僅か1～2 %程度のこの地帯では、緑肥の導入によって土壌の理化学性を改善し、土壌侵食の軽減を図ることは重要な課題である。

(1) 緑肥の種類

緑肥植物の種類は多く、マメ科植物と非マメ科植物に大別される。マメ科植物はさらに草本と木本に、非マメ科植物はイネ科、アブラナ科などに分けられる。ボリビアでは主に以下のような緑肥植物が栽培されている。

ラブラブ (*Lablab purpureum* L.)

クロタラリア (*Crotalaria spectabilis* Roth, *Crotalaria juncea* L.)

ビシア (*Vicia villosa* Roth, *Vicia sativa* L.)

(2) 緑肥の効果

緑肥の効果

- 肥料効果
- 土壌理化学性の改善
- 土壌有機物増加 → 団粒構造発達 → 固相率低下、孔隙量増加、容積重減
少、保水性、透水性、孔隙分布改善

<その他の効果>

緑肥の効果は養分供給や土壌改良効果の他に、以下のような効果がある。

マメ科のムクナは他感性物質を含み、雑草の生育を抑制する効果がある。さらに、マメ科植物の根は鉄溶解作用のある有機酸を含んでおり、鉄の可動化、鉄と結合しているリンを可給化する作用があることも知られている。また、緑肥植物の根等から分泌される物質が有害線虫の密度を低下させる働きがあることも知られている。これらの効果の他、土壌生物相に対する影響も知られている。

緑肥は C/N 比が小さいため、鋤き込みによって可給態窒素を増加させる効果は堆肥などより大きい。土壌中での有機物の蓄積効果は小さいものの、連用によっ

て徐々に土壤有機物が蓄積する。

緑肥の養分含有率は作物の種類によって異なるが、実証調査対象地域で収集した緑肥作物の養分含有率は、表 3.1.5 にみられるように、チッソ、カリ各 2～4 %、リン 0.1～0.4 % 程度である。養分の量は、バイオマス 10 トン当り、チッソ、カリは 100 kg/ha 以上、リンは 5～10 kg/ha になる。

緑肥作物のバイオマス生産量は、作物により異なり、ソラマメは 5 t/ha、エンドウ、タルウィは 10 t/ha、ビシア 10～15t/ha 程度である。

IP 試験における調査事

表 3.1.5 緑肥の養分含有率 (%)

緑肥作物	チッソ	リン	カリ
エンドウ	2.10	0.14	1.10
ソラマメ	4.17	0.18	2.59
タルウィ	3.33	0.32	2.60
ビシア	0.35	0.35	2.54

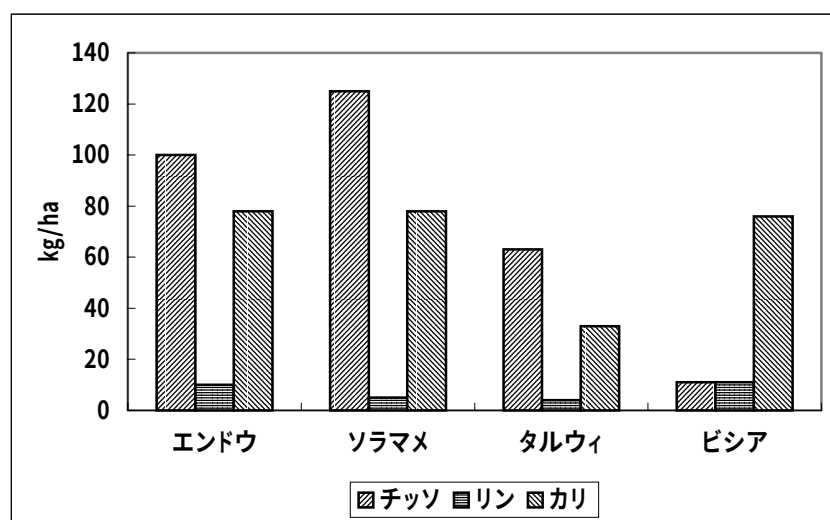


図 3.1.8 緑肥 10 トンに含まれる養分量 (kg)

(3) 緑肥の栽培

アンデス溪谷地帯の小規模農業では、緑肥の単独栽培は普及し難い。この地帯での緑肥の導入は、緑肥植物の単作ではなく、以下のようにマメ科作物を栽培する方法あるいはビシアとの混作が推奨される。

1) マメ科作物の緑肥利用

ソラマメ、エンドウなどのマメ科作物を栽培し、青実を2・3回収穫する。そして、茎葉が未だ緑色を保っている時期に緑肥として鋤き込む方法である。青実収穫によってある程度の収入を得ることができ、農家に受け入れられやすい方法である。

2) 主作物とビシアの混作栽培

実証調査対象地域では、ビシアの生育は概して良好で、10t/ha 以上のバイオマス生産を確保することは容易であると思われる。IP 試験では、ビシアのバイオマス生産量は、最高 40t/ha であった。ビシアの単独栽培ではなく、主作物と混作する方法がよいと思われた。

ビシアの生育は、表 3.1.6 に示したように、混作する作物の種類によって異なり、バイオマス生産量はトウモロコシと混作した場合に最も多くなる。バレイショと混作した場合、光に対する競合の他に、中耕作業がビシアの生育に影響する。また、コムギと混作した場合、コムギの収穫作業が困難になるなどの不利な点もある。

表 3.1.6 主作物と混作したビシアの生育

混作物	草丈 (cm)	バイオマス生産量 (t/ha)
バレイショ	40	6.1
コムギ	80	11.7
トウモロコシ	150	16.9

実証調査で行った試験では、写真 3.1.2 にみられるように、トウモロコシと混作したビシアの生育は非常に旺盛であった。ビシアとトウモロコシを混作した場合、両者間の水分競合よりも、ビシアが繁茂して土壌表面を被覆し、水分蒸発を抑制する効果の方が大きく、土壌表面の乾燥防止に役立つことを認めた。トウモロコシと匍匐性のビシアは光に対する競合が少ない。トウモロコシの収穫期になってもビシアは緑色を保っており、播種 10 ヶ月後に莢が形成される。匍匐性のビシアは、トウモロコシの収穫作業の妨げにならない。ビシアの生育期間は 10 ヶ月以上で、年間数回刈り取りが可能で、1 番草、2 番草を家畜の飼料とし、最後に緑肥として鋤き込めば飼料を得ることもできる。

ビシアの種子は高価で、自家採取が難しいとされている。全量を鋤き込まないで一部を採種用とすれば、手間はかかるが種子の確保が可能である。

(4) 緑肥の鋤き込み適期

緑肥作物の鋤き込みは、作物体の C/N 比が小さく、水分が多い開花期が最も適している。エンドウの青実を 1・2 回収穫後であれば時期的な問題はない。雨季

の間に鋤き込むのが望ましい。

(5) 普及上の留意事項

留意事項

- バイオマス生産量が大きい植物の選定
- 気象条件に対する適応性
- 初期生育の旺盛な植物
- 家畜の嗜好性

アンデス溪谷地帯では、緑肥植物を単独栽培し、鋤き込むことは農家に受け入れられ難い。乾季(冬季)の主作物を栽培していない期間には土壌が非常に乾燥しており、緑肥植物を栽培することは非常に困難である。エンドウ、ソラマメ等のマメ科作物を栽培し、青実を収穫した後、植物体がまだ緑色を保っている間に鋤き込む方法が効果的で実行可能なやり方である。あるいは、マメ科作物を間作に取り入れ、鋤き込むことによっても土壌の改良ができる。



写真 3.1.2 トウモロコシと混作したビシアの生育

3.2 栽培管理

土壌侵食を軽減するためには、作付体系、播種前の準備作業、播種法、施肥法、病虫害のコントロール等、以下に述べるような様々な技術を取り入れた栽培管理を行うことが必要である。

3.2.1 輪作

輪作とは、土壌肥沃度を維持し、連作障害を回避する目的で数種の作物の栽培を数年間隔で定期的に繰り返すことである。実証調査対象地域で行われている最も代表的な輪作体系は、バレイショートウモロコシ―コムギ―休耕のサイクルである。休耕は、土壌肥沃度を回復させるために行われ、その期間は1～2年、場合によっては長期間休耕した後、再びバレイショを栽培する。輪作サイクルの3年目までのバレイショートウモロコシ―コムギは共通で、4年目にオオムギ又はマメ科作物を栽培し、5年目に休耕するサイクルもある。主な輪作のパターンは以下のとおりである。

4年輪作：バレイショートウモロコシ―コムギ―休耕

バレイショートウモロコシ―コムギ―マメ科作物

バレイショートウモロコシ―コムギ―オオムギ

5年輪作：バレイショートウモロコシ―コムギ―マメ科作物―休耕

バレイショートウモロコシ―コムギ―オオムギ―マメ科作物

バレイショートウモロコシ―コムギ―オオムギ―休耕

バレイショートウモロコシ―コムギ―コムギ―オオムギ

6年輪作：バレイショートウモロコシ―コムギ―コムギ―オオムギ―オオムギ

バレイショートウモロコシ―コムギ―コムギ―オオムギ―マメ科作物

このような輪作体系では、バレイショには必ず施肥をするが、2年目以降は通常無肥料で栽培されている。

数年間の輪作サイクルが終了した後、何年間か休耕し、再び輪作を始めることになる。休耕地は、放牧地として利用される。休耕地に移動式の牧柵を設置し順次柵を移動することにより、家畜糞が圃場に投入されることになり地力の回復に役立つ。

休耕期間中に裸地として放置せず、マメ科の牧草等を播種すれば地力の回復が早まる。輪作は、雑草や害虫管理のうえでも効果がある。これらの自然環境におけるサイクルを輪作によって中断することによって、雑草や害虫の過度の繁殖を

制御でき、それらの密度を管理可能なまでに減少できる。

バレイショの後作として被覆作物を二毛作栽培することも土壌侵食の軽減に有効である。バレイショは収穫時期が他の作物より早く、雨季が終わる前に収穫できる。収穫とほぼ同時にイネ科やマメ科の作物を播種すれば二毛作が可能で、食用、飼料用あるいは鋤き込み材料として利用でき、有機物の増加、土壌侵食の軽減に役立つ。

休耕後、次のバレイショを栽培する前、雨季の終了直後にパロを2～3回掛ける作業が行われている。休耕地を再び耕作地とする場合には、後述のように、この作業の他に雨季入り前にシンセル耕起を行い播種時の保水量を増やすようにすることが推奨される。

3.2.2 間作、混作

間作、混作は、複数の作物を同時に栽培することで、通常主作物の間に他の作物を栽培する方法である。

(1) 間作

間作は、複数の作物を等高線に沿って交互に帯状に栽培する方法である。帯の幅は、圃場の面積、作物の種類や作業の都合を考慮して決めればよい。通常は幅5m以下とし、各作物とも同じ幅、あるいはトウモロコシのような主作物を広く、マメ科作物を狭くする場合もある。

間作の利点

- 害虫や病害の蔓延防止、気象や病虫害による被害の分散、播種時期や収穫時期の分散
- 様々な作物の栽培が食生活を豊かにする
- 狭い土地における輪作が可能

問題点は特にないので、農作業の時期等を考慮し、積極的に取り入れるべきである。作物の選定に当り、マメ科作物を組み入れ、青実を収穫後、緑肥として鋤き込み土壌肥沃度を改善することが望ましい。

実証調査での試験結果から、以下のような作物の組み合わせがよいと思われた。

エンドウーオオムギーソラマメ

コムギータルウィーコムギ

トウモロコシータルウィー トウモロコシーエンドウ

オオムギーエンドウーオオムギータルウィー

バレイショータルウィーバレイショーソラマメ



写真 3.2.1 トウモロコシとタルウィの間作

（２）混作

混作とは、主作物としてトウモロコシ、バレイショを栽培、その間に種々の作物を同時に又は時期をずらして播種し、複数の作物を栽培する方法である。混作では、主作物の間に複数の作物を栽培するので、狭い土地から多種類の作物を収穫できる。主作物を条播し、その間に混作物を散播する方法、条播した主作物の条間に細い帯状に他の作物を播種する方法などが行われている。

混作の利点

- 土壌表面がより多く被覆され、雨滴の衝撃から保護される
- 表流水の流去速度が減少し、土壌侵食の軽減に役立つ
- トウモロコシとエンドウやヒョウタンを混作した場合、トウモロコシが支柱の役目を果たす
- 単作に比べると多様な作物を栽培でき、食生活が豊かになり、栄養改善につながる
- 一つの作物が異常気象や病虫害の被害を受けても、全ての作物に被害が及ぶことなく、残りの作物を収穫できる
- 病虫害や雑草の蔓延を抑制できる

実証調査対象地域では、以下のような作物の組み合わせによる混作が行われている。

バレイショとアマランサス、キヌア

バレイショとウリ類

トウモロコシとウリ類

トウモロコシとソラマメ、エンドウ

バレイショとソラマメ

3.2.3 表土被覆

表土被覆は、圃場を被覆作物で覆う、あるいは作物残さ、刈り取った草や灌木の枝葉、石等で土壌表面を被覆することである。

表土被覆の効

- 風食や水食の軽減
- 土壌水分の蒸発抑制
- 温度の上昇抑制

(1) 被覆作物の栽培

主作物と同時、あるいは主作物の収穫後に被覆作物を播種する。バレイショの収穫後、あるいは収穫作業と同時にエンバクやオオムギを播種すれば、圃場が引き続き被覆されることになるので、水食、風食が軽減する。被覆作物の収穫により、家畜の飼料が得られる。また、土壌有機物が増加する等の利点がある。一方、放牧家畜が侵入して畑を荒らすことがある。播種が遅れると土壌水分不足のため生育しない場合がある。

(2) マルチ

作物残さ、雑草、灌木の枝葉等の植物残さで土壌表面を覆い作物を栽培する方法である。

マルチの効果

- 雨滴の衝撃から土壌表面が保護され、土中への浸透水量が増加する
- 表面流去水が減少し、土壌侵食が軽減する
- 表土からの水分蒸発の抑制に伴い表層土壌の保水量が増加する
- 温度が低く保たれる
- マルチ材料の有機物が分解するには長期間を要するが、土壌有機物含量が増加する

放牧家畜がマルチ資材を食べるために圃場に侵入し畑作物に被害を及ぼすこと

がある。また、風によって圃場外に飛散する。雨が多い場合には過湿になり作物に悪影響を及ぼす等の欠点がある。

実証調査において、麦わらおよび灌木の枝葉をマルチ資材とし、3年間マルチに関する試験を実施した。マルチにより作土の土壌水分が約2%高く保たれた。作物の収量は、その差は有意ではないものの、枝葉マルチ区で多く、次いで麦わらマルチ区で、マルチによって慣行の無マルチに比べ生育・収量がやや優る傾向がみられた。



写真 3.2.2 マルチ栽培
(右:わらマルチ、左:枝葉マルチ)

(3) 石マルチ

多量の石が散在している圃場では、石が農作業の妨げになっている。石を地表に並べ石マルチを施すことによって、土壌侵食の軽減や水分の保持に役立てることができる。

果樹や樹木の苗を植えたところにわら等のマルチを施し、その上に石を並べる。樹木の代わりに牧草の種子を播種するのもよい。圃場の一部に石マルチを施すことによって、石が有効に利用されて圃場内の石が整理され、荒廃した土地を利用できるようになる、また土壌の保水力が高まる。牧草を栽培すると、家畜が牧草の根まで食べ尽くすことができないので草地の回復が早くなる。



写真 3.2.3 石マルチ

3.2.4 施肥管理

ボリビアには肥料工業がなく、国内で消費される化学肥料はすべて輸入又は外国からの援助に頼っている。化学肥料の消費量は極めて少なく、ヘクタール当りの施用量は非常に少なく 3.4kg で、近隣諸国の 1.5～6%、世界平均の 3 %である。

化学肥料利用状況

- 化学肥料の施用経験が無い 41%
- 時々施用する 25%
- 毎年施用している 34%

- 施用作物 バレイショ、極一部でトウモロコシ
- 肥料の種類 尿素（46-0-0）
リン酸二アンモニウム（DAP、18-46-0）

有機質肥料は、主に羊糞、山羊糞および牛糞が使用されている。

養分含有量、特にリン含有量が多く施用効果の大きい鶏糞は入手が困難で、ほとんど用いられていない。

堆肥（コンポスト）は、材料の確保が困難であるため普及していない。

前述のように、家畜糞は、移動牧柵や家畜小屋から集めた糞をそのままの状態で使用しており、堆積・発酵させて得られる良質の厩肥の施用は未だ普及していない。

家畜糞の施用量は、前述のとおり、3～5 t/ha 程度で極めて少なく、土壤肥沃度を維持するためには不十分な量である。

3.2.5 耕うん作業

耕うんは、種子の発芽に最適な環境をつくり、作物の良好な初期生育を保証するために行われる。耕うん作業によって、クラストや不透水層が破壊されて一時的に土壌を膨軟にし、透水性、通気性を良好にして根圏領域を拡大させる効果がある。しかし、耕うん作業は、団粒の形成や土壌構造を発達させる働きはない。

土壌の表面に施用された肥料を土壌とよく混合し、土を小粒子にするためにはロータリー耕が行われる。有機物などを土壌に混入させるためには土を反転耕起する必要があり、プラウ耕などが行われる。畜力による作業の場合には、主としてプラウ耕が行われる。

経営規模の小さい実証調査対象地域では、耕起・整地作業は主にパロと呼ばれる鋤を用いた畜力によるプラウ耕が行われている。傾斜が緩やかで礫の少ない圃場では、トラクターによる賃耕が行われている。

トラクター耕起の場合でも、播種作業は慣行法であるパロを用いる方法で行われている。

新規開墾地や休閑地では、雨季の終わりに近い2月中旬から5月の間に荒起こしを行い、碎土・整地は9月～11月の間に行う。既耕地の場合には9月～11月の間に耕起作業を行う。

土壌がち密で水分が少ない場合には耕起作業が非常に困難であるので、通常は、雨が降った後に最初の耕起作業が行われる。

土壌侵食を防止、軽減するための栽培法として、シンセル耕起および不耕起栽培について以下に記す。

(1) シンセル耕起

実証調査対象地域のように降水量が少なく、土壌が乾燥しているところでは、シンセル耕起の導入が推奨される。トラクターによる作業はできないので、畜力シンセルを採用するとよい。

写真 3.2.4 は、メキシコ INIFAP における試験結果を基に開発した畜力シンセルで、2頭立ての役牛で牽引し、垂直耕起を行うものである。鉄製のシンプルな構造で、先端の刃の部分は強化金属製で硬い土でも容易に貫入する。深い溝を掘るためには、土壌水分の少ない時期に使うとよい。雨季入り前の土壌水分が少ない時期に、等高線に沿って深さ 15cm の溝を 30cm 間隔で掘るようにする。これによって雨季の初期に降る雨を、より多く土中に浸透させることが可能になり、土壌水分の保持、土壌侵食軽減に役立つ。シンセル耕起後の整地・播種等の農作業は、従来どおりパロで行う。シンセル耕起を行った圃場では、播種時にパロによる整地作業を省略することができる。

実証調査において、シンセル耕起、不耕起直播および慣行パロ耕起の比較試験を行った。その結果、雨季入り前に畜力シンセル耕起を行うことによって播種時

の土壤水分が約2%高まり、作物の発芽・初期生育が促進された。トウモロコシおよびコムギの収量は、慣行のパロによって整地・播種した場合に比べて30~40%増加した。シンセル耕起を行うことによって播種時の土壤環境が改善され、慣行のパロ区に比べ発芽・初期生育が促進されて生育が旺盛になり、収量が増加した。なお、シンセル耕起を行った区でも、播種時の作業は慣行に従いパロを用いて行った。

(2) 不耕起栽培

不耕起栽培は、土壤侵食の防止、適期播種、省エネルギー等の面で有利な栽培法で、アメリカやブラジル等の大規模機械化農業地帯で行われている。ブラジルの畑地は、傾斜地が多いために雨期に土壤侵食が生じやすく、また、降雨直後にトラクターによる作業ができず、適期に播種できない場合がある。このような地帯では、専用の施肥・播種機を用いた不耕起栽培の導入により、適期播種が可能となり、同時に土壤侵食量を慣行

栽培の10%にまで軽減できる。収量レベルは、変わらない場合が多く、増収事例も多い。

不耕起栽培は、作物を収穫した後、刈り株や残さをそのまま圃場に残しておき、耕起作業を行うことなく播種を行う栽培法である。ブラジルで行われている不耕起栽培の方法は、前作物の収穫後に発生した雑草を除草剤で枯死させた後、専用の施肥・播種機を用い、深さ数センチの播種溝に施肥と播種を同時に行うもので、作物は夏作にダイズ、トウモロコシ、冬作にコムギが最も多い。

不耕起栽培の利点

- 土壤侵食の軽減・防止
- 労働日数、生産費の軽減
- 適期播種が可能
- 土壤有機物増加による物理性改善
- ミミズなどの土壤動物による土壤構造の改善

欠点

- 出芽の不安定、個体数の減少
- 表土水分過多による湿害の発生
- 雑草との競合
- 土壤表層部の硬化
- 農薬などの直接経費が高い

不耕起栽培では、作土の硬度が増すが、表面に発生した亀裂に沿って大孔隙ができ、肥沃な土が落下する、また根の下方伸長が促進される。表土にダニ類、ミミズ等の小動物が増加し、団粒の形成が促進されると同時に微生物相も変化する。土面からの水分蒸発が減少し、下層からの毛管水上昇が多くなって作土の水分が増し、発芽、生育に好影響を与える。



写真 3.2.4 畜カシンセル



写真 3.2.5 畜力不耕起直播播種機



写真 3.2.6 畜力パロ
種機)



写真 3.2.7 マトラッカ（人力播



写真 3.2.8 畜力パロによる播種作業

実証調査対象地域のような小規模農業地帯では、写真 3.2.5 のような畜力播種機を用いた不耕起栽培が可能である。これは、ボリビア・コチャバンバの CIFEMA と共同開発した直播播種機である。先端にシンセル耕起用の刃を持ち、種子を入れる円筒の下部に孔のあいた回転板がついている。シンセル耕起爪で細い溝を掘り、同時に播種をする。トウモロコシ、コムギ、エンドウ、タルウィ等種子サイズのほぼ均一な種子の播種が可能である。穴の大きさ、間隔の異なる円板を使用することによって種子の種類、播種の間隔を調節できる。

マトラッカ(写真 3.2.7)と呼ばれる人力施肥・播種機を用いて、施肥・播種同時作業を行うことができる。畜力ではできないような傾斜地でも施肥・播種作業を行うことが可能である。作業はすべて人力で行うので、播種の間隔や深さを調節できる。

不耕起栽培の導入における問題点は、有機物資源に乏しいアンデス溪谷地帯では作物残さは家畜の飼料として重要で、圃場に残しておくことができない場合が多いこと、播種機のための新たな投資、雑草管理等の問題を解決しなければならない等である。農薬の使用量が極めて少ない実証調査対象地域では、除草剤の使用は現実的ではない。また、不耕起栽培の収量が安定するまでに数年かかることも念頭におくべきである。数年に一回はプラウ耕を行うのが望ましい。輪作サイクルのなかで、数年に一回は必ずバレイショを栽培するので、その折にパロで耕起すればよい。

3.2.6 主要作物の栽培法

実証調査対象地域では、トウモロコシ、バレイショおよびコムギが主要作物として栽培されている。これら 3 作物の栽培法について以下に述べる。

(1) バレイショの栽培法

バレイショは、自家消費用および換金作物として最も重要で、輪作サイクルの初年目に栽培される作物である。ボリビアでは、自給率がほぼ 100% の作物である。

1) 品種

農家は、病虫害や異常気象による被害を回避するために、2～3 種類の品種を栽培している。

主要品種の特性は以下のとおりである。

Sani：耐寒性があり標高の高い寒冷地に適している。生育期間はやや長く 5～6 ヶ月、地上茎は直立型、塊茎は丸型で肉色は白く、皮は茶色で紫の斑点がある。調理特性に優れ、澱粉質でスープに適する。品質がよく、市場価格が高い。

Malcachu：晩生種で生育期間が 5～7 ヶ月と長いので早めに播種する必要がある。草型は直立型、塊茎はオカのように細長い楕円形、肉色はクリーム色である。

貯蔵期間中に塊茎が腐敗し難いので長期間の貯蔵に適する。調理特性に優れ、煮た場合に崩れ難い。

Wayc'u：塊茎は楕円形、生育期間は5～6ヵ月でやや長い。乾燥や病気に対する抵抗性があり、株当りの塊茎数は多く、40個に達することがある。調理特性にも優れ、調理に必要な時間は短く10分程度である。Wayc'uとはケチュア語で皮をつけたまま調理できるという意味である。

Desiree：オランダから導入された早生種で、生育期間が100日程度と短い。塊茎は大きく、皮は赤色、肉色は黄色、澱粉質ではないのでフライドポテトに適する。土壌肥沃度の高い圃場が適しており、化学肥料に対するレスポンスが高い。

種芋の大部分は自家採取したもので、購入種芋の使用割合は30%以下である。そのため、病虫害に侵され品質の劣るものが多く、生産性に大きく影響している。少なくとも数年に一度は健全な種子を購入して更新するのが望ましい。

2) 整地

整地作業は、パロを2～3回掛け、整地と同時に雑草管理を行う。休耕地で雑草が50cm以上に繁茂している場合には、ツルハシで掘り起こして株全体を除去した後にパロを掛ける。バレイショを栽培する畑は休耕地の場合が多く、雑草管理の観点からも整地作業は他の作物の場合に比べると丁寧に行うことが必要となる。

休耕地に栽培する場合、雨季の終わりに近い2月から5月の間にパロで荒起こしを行い、雨季の初期に降る雨がより多く土中に浸透するようにする。碎土・整地は9月から11月の間に行う。

パロによる耕起作業は、1回目は荒起こしを行い、次に荒起こしの耕起方向と斜めに交差するように方向を変えて2、3回目の作業を行う。耕起の幅と深さは、土性や石の量、土壌の水分によって異なるが、1回目の作業では幅30～40cm、深さ10cm以下、2回目には幅30cm、深さ10～15cm、3回目には幅30cm、深さ15cm以上になる。パロを3回掛ける場合、ヘクタール当りの必要労働日数は12日（6～7時間／日）、出力80HPのトラクターの場合は3～4時間である。

新規開墾地の場合には、パロを4回掛けることが望ましい。パロを用いた耕起作業では、畝幅30cm、耕起深15～20cmとする。

3) 施肥

バレイショ栽培では、大部分の農家は有機物資材と化学肥料を施用している。有機物資材として主に羊糞、山羊糞が用いられ、その量は家畜の飼養頭数によって異なり、2～5t/ha程度である。羊糞、山羊糞は、家畜小屋などから集めた糞をそのままの状態です施用しており、堆積・発酵させて良質の厩肥が作られることは極めて稀である。

施肥は、農家の約3割は家畜糞のみ、約7割が家畜糞と化学肥料を併用してい

る。化学肥料は尿素とリン酸二アンモニウムの2種類で、施用量はそれぞれ50～60 および 180～230kg/ha 程度である。これ以外には、カリを含む化成肥料（15-15-15）が稀に使われることがある。

バレイショ作付け予定の休耕地に家畜糞を投入するために、Majada と呼ばれる方法が一部で行われている。これは、牛やロバなどを圃場内の杭に繋いでおき、糞尿を圃場に直接還元させる方法である。家畜をつないでおく期間が数週間以上と長いため、圃場が踏み荒らされ、土壌が踏み固められる。また、有刺灌木の枝で作った移動式の追い込み柵を圃場内に設置し、放牧から戻った家畜を夜間に柵の中に入れておき、糞尿を圃場内に還元させる方法も行われている。追い込み柵は、数日から1週間間隔で移動させ、圃場全体に行き渡るようにする。このような方法では、糞を長期間放置することになり養分の損失が大きくなりやすいが、有機物添加の効果は大きいと思われる。

施肥量を決める場合、養分の収支を試算することが必要である。表 3.2.1 が一応の目安となる。

表 3.2.1 バレイショ栽培における養分量と利用率

項 目	チッソ	リン	カリ
塊茎収量 10t/ha の場合の養分吸収量(kg/ha)	50	20	70
羊糞 5 トンに含まれる養分量(kg)	26	4	33
羊糞成分の利用率 (%)	20-50	50	90
化学肥料成分の利用率 (%)	50	20	90

4) 植付け

植付け作業は、まずパロで深さ 15cm 程度の溝を掘り、肥料（有機物および化学肥料）を条施したところへ種芋を 30～40cm の間隔に植え付け、再びパロを掛けて覆土する。植付け間隔は品種によって異なるが、畝間 50～70cm、株間 35cm 程度で、栽植密度はヘクタール当り 4～5 万株になる。植付け時期は、10 月から 11 月の間が多く、降雨の状況によって左右される。かんがいのできる場所では、9 月に植え付け作業が行われる。種芋の使用量は 1,000kg/ha 程度である。

植付け後の管理は、パロによる中耕作業を 2 回行う。

5) 貯蔵

バレイショの貯蔵方法は、種芋用、食用ともに、土の中に埋めておく方法が最も普及している。また、ダンチクで作った直径 1 m 程度の Pirhua と呼ばれる円形柵のなかに貯蔵されることもある。これ以外には、袋に入れて貯蔵する方法も一部で行われている。

貯蔵期間中の損失で最も多いのはジャガイモ蛾 *Polilla(Phthorimaea operculella)*、次いでアンデスゾウムシ *Gorgojo(Rhigopsidius tucumanus)*による被害である。ジャガイモ蛾に侵された塊茎は種子として使用できず、苦味があって食用にもならない。貯蔵中の損失は 30～50%に達する。

80%以上の農家は、塊茎を貯蔵する前に病害虫に侵されたものや、収穫時に傷のついた塊茎を選別している。

塊茎の大きさは通常 3 等級に区分されている。直径 5 cm 以上のものは販売用又は自家消費用、3～5 cm のものは種子用、1～3 cm のものは自家消費あるいは種子用として用いられる。

(2) トウモロコシの栽培法

トウモロコシは、通常、輪作体系のなかでバレイショの後に栽培される。また、住居周辺で鶏糞などを施用して栽培されることも多い。ボリビアでは、輸出作物である。

1) 品種

主な品種の特性は以下のとおりである。

Maiz criollo amarillo：子実は黄色で、主にチチャという農家が好んで作る地酒の原料として、また家畜の飼料として用いられる他、生食用および製粉用としても利用されている。生育期間が 4～5 ヶ月の中生種で、草丈、雌穂および穀粒の大きさは中程度である。市場での価格が白色種より約 30%安価である。

Maiz criollo blanco：黄色種に比べると晩生で、生育期間は 6～7 ヶ月、草丈が高く頑丈である。生食（塩茹で）に適し、各種の料理に使用される。雌穂は大きく、個体当たり 2 個収穫できることがある。穀粒は白色で大きく、製粉特性にすぐれている。貯蔵中に *Polilla* の被害を受けることが多い。肥沃で湿潤な土壤に適する。

2) 整地

トウモロコシを栽培するための播種前の耕起作業は、バレイショの場合と比べると簡略化されている。播種の一週間前までに整地を行う。耕起作業は、バレイショの場合とは異なり、通常パロを一回だけ掛ける。耕起の方向は、斜面に沿ってあるいは斜め方向に行われる。播種作業の際には、等高線に沿ってパロを掛ける。耕起の幅は 25～30cm、深さは 15cm 前後である。整地に必要な日数は、4～8 日/ha で、土壌水分や雑草量に左右される。特にイネ科の雑草が多い場合には作業効率が低下する。播種前に整地作業を行わない農家も多く、バレイショを収穫した後の畑にパロで溝を掘り、播種作業を行う。

3) 施肥

トウモロコシは、通常無肥料で栽培されている。また、住居周辺の圃場で鶏糞を施用、あるいは Majada を行い、トウモロコシを連作している。連作栽培では、ソラマメ等のマメ科作物と帯状に間作し、作付け場所を毎年交互に変えて連作障害を回避する方法が一般に行われている。雨季入りが遅く、播種作業が遅れた場合、初期生育促進のために化学肥料を施用する農家もある。

4) 播種

種子は、自家採取したものを使用している。収穫後あるいは播種前に粒径が大きく、完熟した粒のついた虫害に侵されていない雌穂を選別する。

播種作業は、まずパロで播種溝を掘り、点播する。播種溝の深さは平均 13cm、畝幅 50~60cm、株間は 15~18cm として 1~2 粒点播する。播種後、パロで覆土する。覆土の厚さは土壌水分によって異なるが 8~15cm、平均 12cm で、深播きになる傾向がある。種子量は、25~45 kg/ha である。パロによる播種所要日数は、4 日/ha である。

5) 栽培管理

雨季に過湿となることを防ぐため、パロにより中耕作業を行い高畝とする。この作業は、除草の他、盛土によって不定根の伸長を促し、倒伏を防止する効果がある。トウモロコシは生長が早いので雑草の生育は抑制された状態となっている。

(3) コムギの栽培法

コムギは、輪作サイクルのなかで 3 年目に栽培されることが多い。ボリビアでは、輸入量が生産量をはるかに上回っている。

1) 品種

種子は、すべて自家採種したものを使っている。バレイショやトウモロコシと同様、農家は複数の品種を播種時期を変えて栽培している。

主な品種の特性は以下のとおりである。

Redencion：粒がやや大きく、やや不透明で生育期間 4~5 ヶ月の早生種、寒冷な気候に適する。穂には野毛があり脱粒しやすい品種である。

Guenda：**Redencion** 種に比べると生育期間が短く 110 日程度の早生種で寒冷から温暖まで幅広い気候に適する。粒はやや不透明、野毛がある。高収品種で肥沃な土壌であれば 3 t/ha、通常 1.5 t/ha 収穫が可能である。

Chajilla：粒は **Redencion** 種に比べると小さく、生育期間は長く 6 ヶ月程度である。収量レベルの低い品種である。

Charcas：**PROTRIGO** プロジェクトによって開発された品種で、形態的特徴は **Guenda** 種に似ている。

2) 整地

ほとんどの農家は播種前に整地作業を行っている。整地を行う時期は、播種の一ヶ月前から播種の前日までと様々である。整地作業は、30cm 間隔、深さ 12～20cm にパロを一回だけ掛けている。

3) 播種

コムギの播種は、11 月中旬から 12 月中旬の間に行われる。雨季入りが遅れると 1 月中旬になることもある。

播種の方法は、パロを用いて 90～150cm 間隔に溝を掘って Melga という幅の広い区画を設け、種子を散播する。散播したところにパロを掛けて種子と土壌を混和・覆土する。覆土の深さは 8～15cm で一般に深播きである。播種深さは、土壌の水分状態によって変えることが望ましく、水分が少ない時期に播種する場合には深播きの方が発芽・初期生育が良好になる。トラクターを用いる場合には、Melga の幅は 100～120cm とする。播種に必要な労力は、パロによる畜力播種では 8 日/ha、トラクターを使用する場合、ディスクハローでは 4 時間、ツースハローを用いる場合には 3 時間/ha である。

種子の量は、畜力播種の場合には 80～90kg/ha、トラクターを用いる場合には覆土の深さが一定せず発芽率が低下するので 110kg/ha 播種する。パロやディスクハローで覆土を行う場合、覆土を均一に行うことは難しいので、ツルハシ等を用いて地表に残っている種子の覆土を行う必要がある。覆土の厚さは、畜力の場合平均 8 cm、トラクターの場合変動が大きく 5～20cm、平均 10cm 程度である。

第4章 森林保全とその技術

4.1 林業技術の採用

第1章で紹介しているように、アンデス渓谷地帯では様々な原因により植生が衰退しており、環境や農民の生活に直接的・間接的に影響を与えている。それにもかかわらず不適切な農業や家畜放牧は、一部では依然として行われていることから環境等への負荷が増し、今後も土壌劣化を助長することが懸念される。

特に薪の採取や家畜の放牧飼養など住民が日常的に行う活動により自然資源の利用は増大傾向にあるが、住民はそれを補うために植林や牧草育成等を行ってはいない。

このような状況を改善するため、地域で今後も薪等の使用量が増加することを考慮すると、現存する木質資源等の保全とその増大を計画し実行していくことが急務となるであろう。

本章は、林業技術による対策を用いて、将来アンデス渓谷地帯の植生が改善できるような技術及びその利用時に取るべき手順を示した。一般的に「林業」とは、木材を初めとした林産物を得ることが主な目的であるが、その他にも水源かん養、土砂流出の防止、地温変化の緩和等環境財としての機能も価値が高い。特に半乾燥地においては、樹木を木材として利用するだけでなく、治山的導入やいわゆるアグロフォレストリ等多くの方向性が考えられる。これらの対策は地域住民によって受け入れやすく、これらが持続的に行われていくことで、他の営農的・土木的対策と相まって土壌侵食防止や土壌肥沃度改善など、農業生産性の向上に寄与するものと思われる。



地域住民による植林を行って、将来の有効利用を目指す。

4. 2 農村開発における有用な植林目標

本技術指針の示す農村開発手法のなかでは、「農民の意識を改善し積極的に活動させるための手法」と「農業生産性向上に資する受け入れやすい技術」の確立の二つに分かれている。もともと農業開発の中で植林活動は、農業生産に直接関連が無く、生産期間も大きく異なることからその位置づけは異質であった。通常、植林の重要性が説かれるのは単に木が少ないという理由からだけであり、もう少し明確な目的が必要と感じられた。

そこで、アンデス溪谷地帯の状況を勘案すると、土壌侵食防止及び農村の生活に寄与できる個別の対策として林業技術を導入することに効果があり、具体的には次の4方向で植林等を行うことが有効であるとわかった。

4. 2. 1 燃料確保の必要性 —薪炭林の造成—

(1) 木質燃料の状況

近年、農村地帯には、定期バスが発達してプロパンガスが流通するようになったが、ガスを使えるのは収入がある家に限られているので、実質のガス普及率は0%と言って良い。そのため、現在でも農村地帯の主燃料は薪が使われている。



農村では既に森林資源が衰退しており、もはや十分な量の薪を地域内で調達することが難しくなっている。普段でも枯れ木の枝や根を利用している他、採取場所が以前に比べ益々遠くなっているなど、また、出稼ぎ農家のように収入のある家では他地域からの購入が進んでいるなどが現状であり、このままではいずれ生活の基盤さえ失ってしまう恐れがある。

薪炭材確保のためには、資源の節約と生産の両方から対策を行わなければならない。節約の面では、①ガス器具等の普及による薪使用量削減対策(改良カマド、太陽エネルギー利用を含む)と②法、規範による利用量制限がある。そして、生産の面では、植林によって木質資源量を増大させる対策となる。植生が衰退した今、天然力による資源の生長増加量は、住民による利用量を下回っている。そのため植林対策によって薪炭林の造成を行うことは、住民の生活基盤を確保するだけでなく、植生被覆によって土壌侵食防止にも大きく貢献可能である。



（２）ある集落の薪の消費

ある集落を例にすると、１家族（５人家族）が１週間に消費する薪の量は平均で約 106 kgである。この量から積算すると、１家族当たり年間薪消費量は^{*1} 約 11 m³と推計され、集落世帯数約 800 家族（約 4,000 人）が平均的に薪を消費すれば、計 8,800 m³の薪が必要となる。これは、^{*2} ユーカリ丸太に換算して 132 千本に相当する量で、1ha あたり 1,100 本の林分 120ha の面積が毎年必要である。

この集落では、中高木だけでなく低灌木類も枯渇しつつある。従って現在は、枯れ木の根を採取したり、他集落から薪を購入している最悪の状態にある。また、人工造林地は、過去に県が植栽したユーカリ林が 80 ～ 100ha あるのみで、地域として木材資源が**既に不足している**ことが判断できる。この集落の人口推移は 1.2 ～ 0.2 %でその増加率は徐々に低下してきているものの、この状況が続けば、更に遠方へ薪採取に行くか、遠方から購入しなければならなくなるであろう。このことから薪炭材の確保は農村部にとって急務であり、資源量を増加させる植林による対策が必要である。



←植林したマツの枝は、育成途中で採取可能な優良燃材となる。

現在は徒歩片道1時間半をかけて谷底まで薪を採りに行く。→



4. 2. 2 収入向上対策として ー木材生産林の造成ー

近年農村地帯でも、服装の変化、自給不可能な物品の調達などにより、生活のために現金が必要となってきた。そのため農村開発計画の中には、農畜林業の改善だけでなく経済的にも向上し生活に変化を与えるようにしなければならない。

アンデス溪谷地帯では、過度の伐採により用材となるような大径木はほぼ枯渇してしまっているので、木工に利用する木材は他地域から取り寄せている状況にある。これは主に材質の良い在来種であるが、木工品として一段階質の低いものとして、近年盛んに当地域で植栽されたマツ類、ユーカリ類の材が使用されている。

農村には農業生産地以外にも多くの未利用地があり、それを利用して植林を行うことができる。ここで木材生産を行うことによって近隣地域への木材供給が可能であ

*1 木材比重を0.5として

*2 胸高直径=12cm，材長=10mとして

る。農村での木材生産は、一般材では他地域から移入するよりも地理的に有利であるため、今後発展すると予想される。

実例としては、ボリビア国スクレ市近辺にある小規模の林業地域で丸太が取引されているように、電柱材や杭材としての販売実績があり、土地所有者が実際に収入を得ることができるようになった。

以上のことから、近隣地域向けの一般材生産を目的とした木材生産林の造成は有効な収入向上対策となる可能性がある。

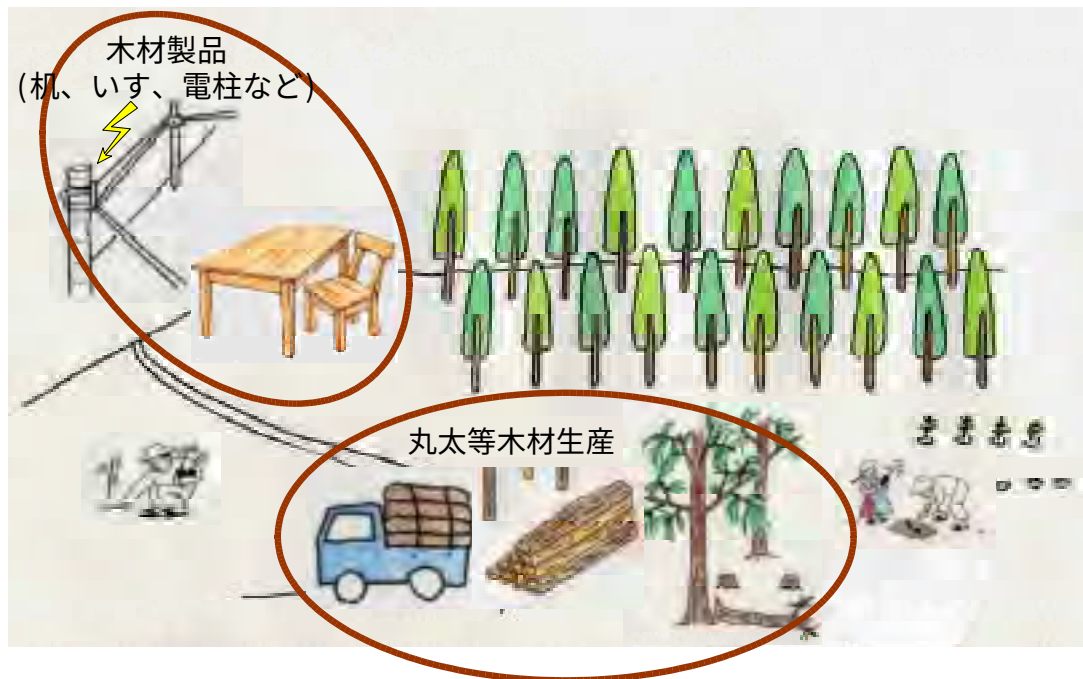


図4.2.1 木材生産林：植林を行い地域で木工品の原料調達や丸太販売を行うことができる。

4. 2. 3 環境財としての効果 —環境林の造成—

半乾燥地に見られる自然植生が衰退した土地では、植生が無くなったことによっていくつもの悪影響が出る。水資源の減少・枯渇、土壌侵食、風を遮る物がなくなったことによる居住地や畑への影響や地温の変化並びに景観の悪化などがそれである。これらは全て、地域住民の日常生活や生産活動に直結する問題となっている。

このような状況に対して、人工植栽の方法によってある程度の対策を取ることが可能である。しかし、水源かん養林等の造成や山地緑化には長期間を要し、かつ集落全体の協力体制が不可欠である。

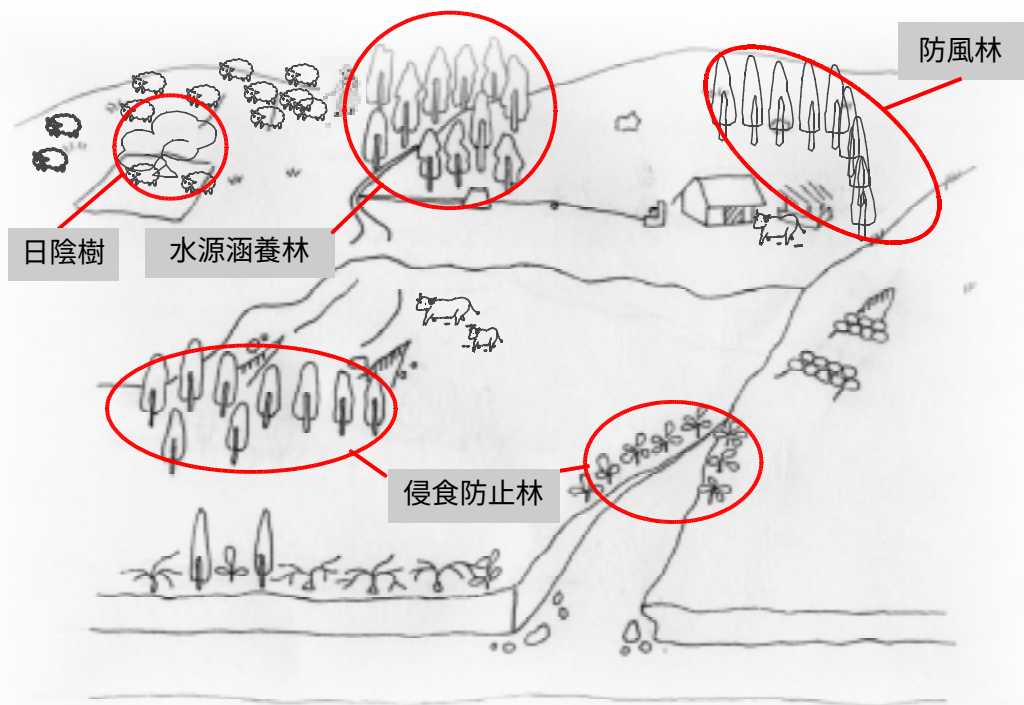


図4.2.2 環境林：住居・畑の保護、水源涵養や日陰を作り、また斜面を固定して侵食を防止する。

4. 2. 4 農牧林業の一体化 –アグロフォレストリー

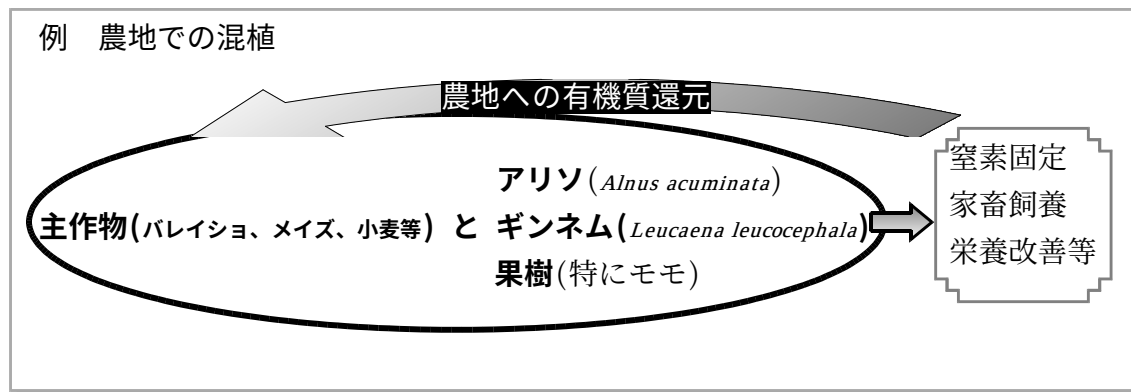
内村(2000)の整理によると、アグロフォレストリとは、「ある土地に樹木または木本性植物(果樹、香木、ヤシ類などを含む)と農作物もしくは家畜をほぼ同時期に植栽したり放牧する。そして樹木等の多年生植物の生長度合いに応じて、農作物を短期的あるいは永久的に栽培、飼育し、植物資源を常に保有しつつ土地を有効に利用し、生産するシステムである。」としているが、World Agroforestry Centre(旧 ICRAF)が「アグロフォレストリとはアグロフォレストリという言葉を使った人と同じほどの定義の仕方がある。」と言ったように、ひとつの形式に定まらない方式でもある。

他国におけるアグロフォレストリには次のような例がある。

- ・「ココナッツ、マメ科樹木－コーヒー、カカオ」：熱帯アメリカ
- ・「マメ科樹木－ヤムイモ、メイズ等」：熱帯アフリカ
- ・「スギ林－水稻」：日本
- ・「チーク林－マメ、メイズ」：ミャンマー(Taungya-system)

このように樹木と作物を組み合わせるということでは同じであっても、導入の目的、方法が少しずつ異なっている。アグロフォレストリでは、地域住民が何を求めているのかということを最初に知ることが重要である。

アンデス渓谷地帯ではどうであろうか。例えば一例をあげると下記のようなになる。



アンデス渓谷地帯には、コーヒーやカカオのような特産品がないため、樹木とバレイショ等の主作物を組み合わせるようになる。樹木には、窒素固定をし落葉量が多量の *Alnus acuminata*(カバノキ科)、また、ギンネム (*Leucaena leucocephala*) やパーキンソニア (*Parkinsonia aculeata*)、ティーパ (*Tipuana tipu*) 等の早く育ち飼料木になりうるマメ科低木(低温に弱いので地域により変更可能)の導入が考えられる。

圃場内への果樹(モモ、スモモ、リンゴ、アボガド、イチジク)植栽もまたアグロフォレストリの一例である。果実の採取によって、自家消費では栄養改善や販売対象にすることも考えられる。

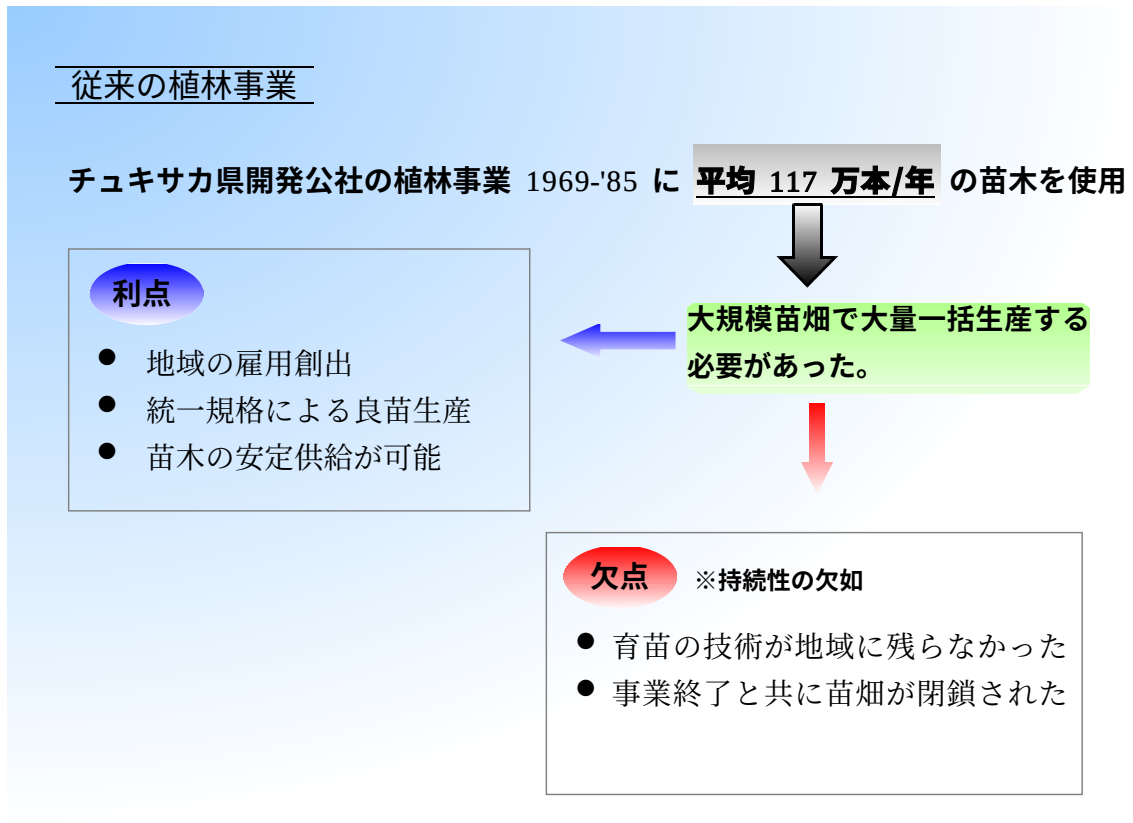
実証調査の事例では、作物と混植せず圃場周囲に植栽したが、水分条件が悪く、生育ムラが生じている。果実は仮に販売するとしても、市場では供給過剰気味であるため、大玉を生産するなどの付加価値がない限り商品価値は低い。これより、品質の良い果樹園芸ができるようになるまでは自家消費を目的とした圃場内での栽培を行うなどの農民の営農規模に応じた体系を取る必要がある。

4.3 家族苗畑方式による苗木生産

4.3.1 地域内生産の概念

従来実施された植林事業では、事業規模が大きく大量の苗木を必要としたため、大規模な苗畑施設を設置して一括生産一括供給を行い、苗木を無償提供することが多かった。

以下に示すように、大規模苗畑施設には、生産の面では有利な点が多いが、事業持続性の面で大きな欠点もあった。



持続的農村開発の中では、植林活動もまた持続的に農民により実施されていかなければならない。それには、以下の二つの事柄が重要となる。

持続的農村開発における植林活動

- ・ 農家の自主的・持続的な参加による植林活動
- ・ 農家の植林に対する所有者意識を高めるための農民負担(労力、一部経費)

そして、このような植林事業を行うためにはまず、「**地域内で独自に苗木生産ができるようになること**」が前提条件である。^{*1}

これはつまり、農家が主体的に土壤保全事業を行う場合には、前記したように大量に苗木を作る必要がないこと、自らが生産することによって植林木の所有者意識を向上できることや苗木を安定的に入手することができ、また後記するように家族で生産することによって親から子へ技術が受け継がれ、ひいては地域に技術が定着するという利点がある。そのような点から大規模苗木生産に比べて家族苗畑で生産することに意義が大きい。

4.3.2 家族苗畑方式とは

家族苗畑方式とは、「集落において、各農家が所有地に植栽する植林用苗木を生産するため、家族単位で、自己が開設する個人苗畑施設を使用して、持続的な植林活動を続けていく基盤とするために行う苗畑の形式」である。

その特徴を見ると次のとおりである。

表4.3.1 家族苗畑方式の特徴

長所	短所
(1) 自家生産自家消費を行うので他から買わずに済む。 (2) 余剰苗が生じた際、他者に販売できるため収入向上対策となる。 (3) 地域内生産を行うことにより植栽時の土地への順応性が高い。 (4) 家族運営のため、親から子、兄弟へ技術が移転される可能性が高く持続的である。 (5) 小規模設営のため、維持・管理の負担が小さい。	(1) 突発的、大量発生 of 病虫害への対処が難しい(薬剤、機材等の購入時、知識の不足など)。 (2) 集落内での苗木規格が不揃いとなる。 (3) 販売時の需給調整が困難(特に過剰生産時の損失が大きい)。

但し、この「短所」は、農家にとって苗木販売が主の活動となった場合（苗の余剰に関係なく）に生ずる問題点であり、このことは後記する苗木生産農家による生産者組合の設立により解消可能と考えられる。

以上、家族苗畑方式は、持続的に植林が行われ、将来環境の改善、経済的な向上

^{*1} もちろん苗木の供給だけでなく、持続的に植林を実施するだけの農民に与える強い“ Incentive ”が必要で、最も強いと思われる順に、1.現金収入、2.水資源涵養、3.農業への寄与がある。

に結びつくと考え推奨する方式である。



写真4.3.1 研修用苗畑



写真4.3.2 研修の実施



写真4.3.3 研修後家族苗畑へ移行

4. 3. 3 家族苗畑を設置するまえに

(1) 関心を持たせること

今まで仕事として苗木生産に取り組んでいなかった農家を苗木生産者にするには一定期間の技術研修を要する。実証調査時の農民の話によると、以前集落では県による植林事業はあったものの、自然資源の大切さや植林の重要性、方法を教えてくれた人はいなかったと言う。そのため、どの様にしたら薪等の木質資源を手に入れられるのか判らずじまいだったという。農家が自然資源の重要性と自分自身で植林などを行っていく必要があるということを認識し、実行していくためには、農家に自然資源に対する関心を起こさせることを考慮しなければならない。



本技術指針では、農民に対して行う「**自然資源に関する研修**」等がこの関心を起こさせるために有効であるとしている。同研修の中では、集落内の木質資源の状況、樹木や森林があることによって水資源を涵養する効果や土砂の流亡を抑制する効果があること、生活に直結した資源（特に燃料として）であること、見た目に美しいこと（景観木）等々あらゆる面から説明を行い、図や模型を活用して理解度を高めた。

(2) 研修希望者の募集

自然資源に関する研修の終了後、植林に関心を持ち、苗木を作ることに興味を持った農家を対象として希望者を募集し育苗研修を行った。この時は農民が単に「**興味を持っている**」ことが必要条件となる。この時点で、将来家族苗畑になるだろう個々の所有地の水利や性格（将来やめるかも知れないと性格から判断する等）等で研修の対象から外すようなことを行わない。実証調査では、募集当時 50 人以上の農家が研修を希望し、最終的に 27 人が残った。

なお、研修農家からは、他事業と同様に負担金を徴収した。この研修では、必要な資材（ジョウロ、柵資材、ポット、一輪車、スコップ、柵設置に必要な資材）の合計額に対して 20 %相当額を人数割りし、また施設建設と育苗中の管理作業にかかる労力は農民の労務提供とした。

4. 3. 4 育苗研修の実施

(1) 研修の概要

図 4.3.1 に示すように、育苗研修では各集落につき 1 人の技術者を配置して、研修希望農家を対象として生産の理論を講習し実技の練習を行う。この技術者には、過去の植林事業で苗木生産を行っていた経験者を採用することが望ましい。

研修終了後には、技術的にも苗畑設置の立地条件としても十分な農家だけが自己

の苗畑を設置し、生産を開始することができる。その後農家らは、後の「指導者農家」となり、新たに苗畑の開設を希望する農家の先生役となれるよう、一通りの手順や作業に精通していかなければならない。

なお、研修で行った課程の概要は表 4.3.2 のとおりである。

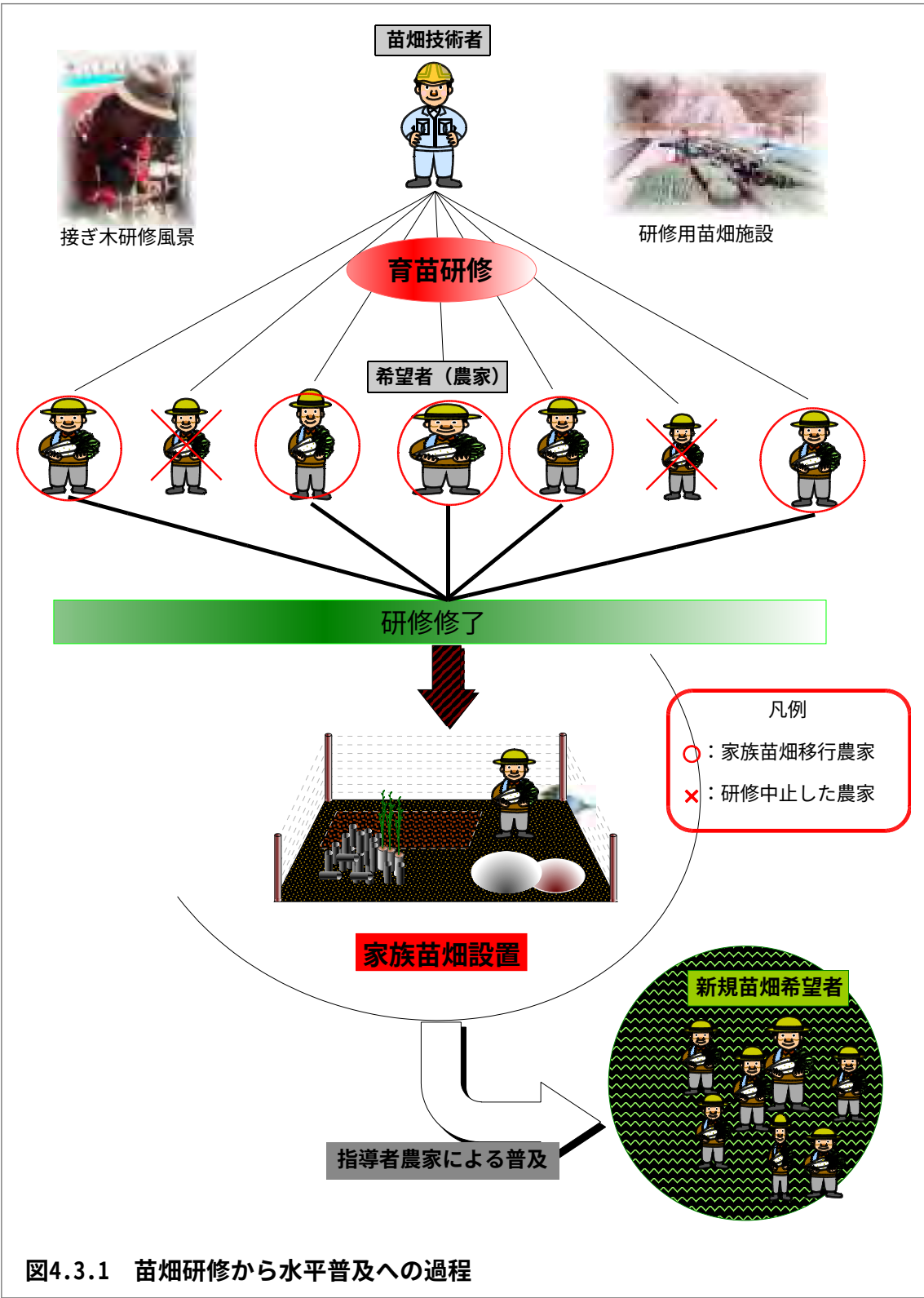


表4.3.2 育苗研修課程の標準項目

順序	研修項目	研修内容
1	苗畑施設設置研修	研修用苗畑の構造、必要な施設（播種床、育苗床、水道）や用具について、その規模、数量、使用法等について研修を行う。
2	生産樹種に関する研修	地域では、どの様な樹種が適するか、また用途や経済的な価値の面から生産樹種を決定する。
3	苗木生産カレンダーに関する研修	全体的な生産形態や各種作業の開始時期等について研修を行う。
4	種子の調達に関する研修	現地調達可能な樹種については、どこに母樹があり、いつ採種を行うのが適当か、また購入種子については、一般的な購入先や価格等について研修する。
5	種子の発芽前処理に関する研修	種子は、発芽を抑制する機構を持つものがあり、どの樹種が無処理で播種可能か、どの樹種はどの様な方法をもって発芽率を向上させることができるのかについて研修を行う。
6	播種作業に関する研修	生産予定本数に対して、播種床の規模に対して、どの程度の量を播種すべきか、またポット苗の場合は発芽率に応じて何粒の種を直播きすべきかなどについて研修を行う。
7	かん水作業に関する研修	かん水は、播種後苗木出荷までの間休み無く行われる作業であることから、どの様な苗木の状態でどのくらいの水量をまく必要があるのかについて研修を行う。
8	用土調合等に関する研修	ポットに詰める用土は、通常黒土、白砂、有機質を適度に配合して使用する。その割合や用土の土壤消毒法、用土のポットへの詰め方について研修を行う。
9	移植作業に関する研修	播種床で発芽後、適当な時期にポットへの移植が行われるが、実生に損傷を与え失敗するのもこの時期が多い。適切な実生の抜き取り方、作業中の乾燥を防ぐ方法、及び確実な移植の方法について研修を行う。
10	日射管理等に関する研修	育成段階では、過度の日射、降雨、雹や極端な気温低下は害となる。これらの気候管理のために必要なビニールシート、寒冷紗等の使用法について研修する。
11	施肥・殺菌等に関する研修	苗木の均一な生長を図るための施肥法や一般的によく見られる土壌中の菌等による病害の防除・対処について研修する。

注)なお、基本的な研修時間は1日とした。

(2) 研修用苗畑の設置

この研修の実施にあたっては、実地訓練をする場所として、1 集落につき 1 箇所の研修用苗畑を設置する必要がある。研修用苗畑では苗畑技術者と共に実際に苗木を作りながら各行程の講習を受ける。農家は苗木の管理(かん水、根切り、選別等)にかかる労役を交代で実施することになる。

研修用苗畑では、苗木生産技術の習得を主目的とし、大量の生産を行わないため、必要最低限度の施設等を設置することとする。対応人数は 1 人の技術者と 20 人程度の農家とし、生産目標を約 10 種 2 万本程度と想定して設置した。以下は、その条件を考慮した研修用苗畑施設の経費事例(表 4.3.3)及び設置概略図(図 4.3.2)である。

表4.3.3 研修用苗畑設置に掛かった経費事例

分類	項目	数量	経費(US\$)	備考
施設	土地	1,708 m ²	0.0	集落からの借地
	レンガ	300 個	16.0	
	有刺鉄線	3 巻	54.0	1巻=500m
	金網(w=0.6m,1roll=55m)	2 巻	21.3	木製柵下部に設置
	釘	5 kg	5.3	
	杭(長さ2m)	90 本	60.0	ユーカリ杭
	木製の門扉	1 式	80.0	
	水道設備部品	1 set	111.6	塩ビパイプ等
	鉄製アーチ	30 本	12.0	カバーシートを掛けるためのアーチ
用具	一輪車	2 台	58.7	
	スコップ	2 本	6.7	
	ツルハシ	4 本	24.0	
	鉄棒	2 本	10.7	掘削用
	熊手	2 本	6.7	
	クワ	2 本	6.7	
	金槌	1 本	4.7	
	スパナ	2 本	6.7	
	金切りバサミ	1 本	8.0	
	スクリュードライバ	1 本	2.7	
	ジョウロ	2 個	6.7	
	ホース	50 m	14.7	灌水用
	消毒薬噴霧器	1 台	37.3	消毒・殺菌用
	篩(ふるい)	4 台	24.0	用土選別用
	カバーシート(w=4m)	50 m	300.0	霜除け
	ドラム缶(100ℓ)	1 台	5.3	半サイズ
	計量器(125ℓ用)	1 台	5.3	
	計量器(20kg用)	1 台	8.0	
	巻き尺(50m)	1 個	9.3	
	南京錠、チェーン	1 式	10.7	
労賃	貯水槽の左官工労賃	1 式	133.3	
	その他人夫賃	136 人日	362.7	1日・1人当たりUS\$2.7
育苗資材	用土(黒土)	10 m ³	153.3	運搬委託
	用土(白砂)	16 m ³	173.3	"
	用土(有機質)	3 m ³	21.3	"
	種子(13種)	14 kg	226.7	
	ポット用袋(9×18cm)	64 kg	238.9	
	ポット用袋(14×23cm)	55 kg	205.3	
計		—	2,431.9	※1m ² 当たりUS\$1.4

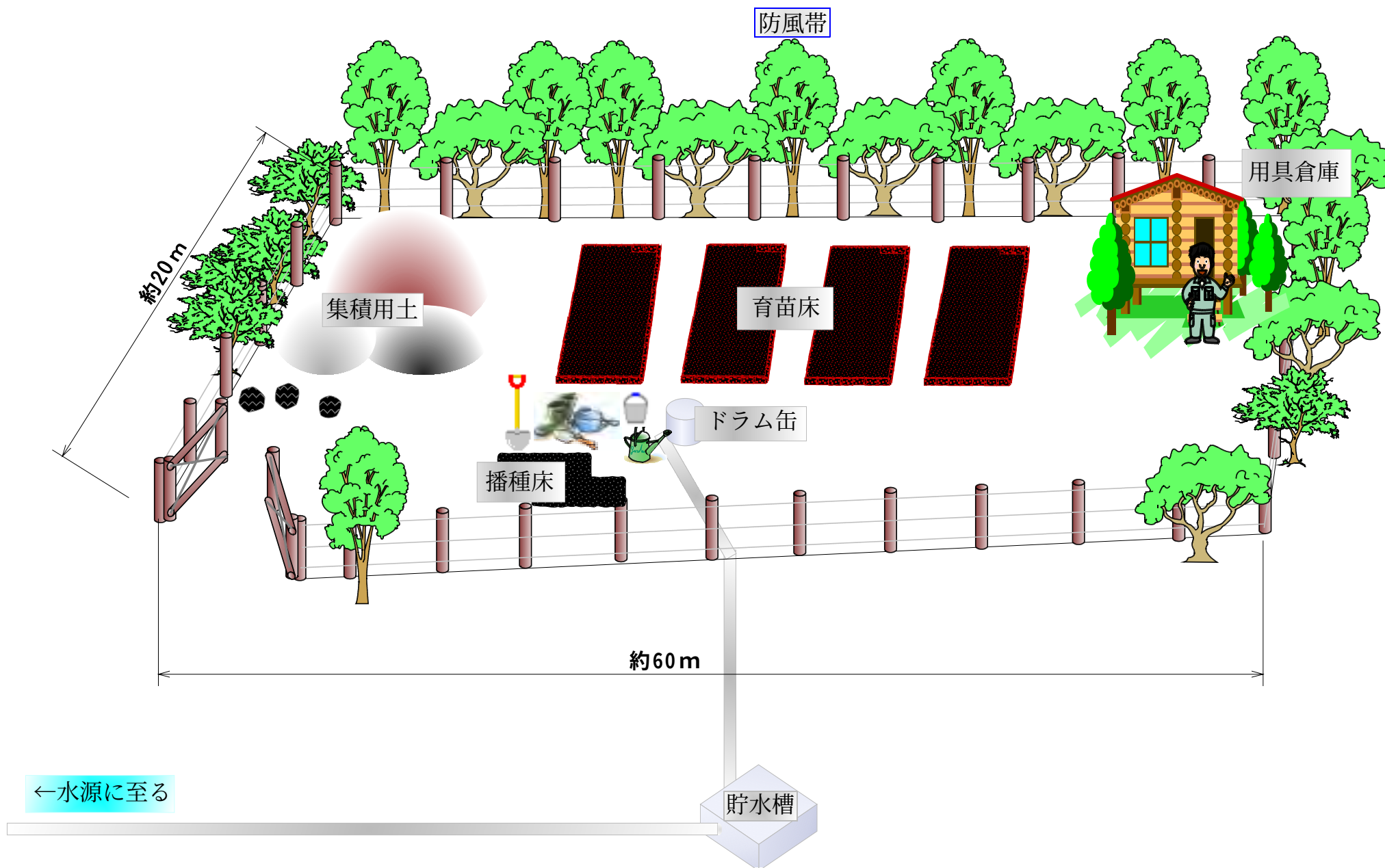


図4.3.2 研修用苗畑設置概略図

4. 3. 5 家族苗畑の実施

(1) 家族苗畑への移行

研修苗畑では、約 1 年間で行う苗木生産の各行程を通して、農家は一通りの知識を得ることができる。しかし、技術的には長年の経験によってその質を高めることになるため、農家は通常、理解度は高まるが他人に教える程のレベルに達しない。また、病虫害など未経験のことが起きた時には十分な対処をできない場合がある。その技術向上のため、2 年目に家族苗畑への移行段階として、個人の苗畑を開設し、その活動の中で技術者が実地テストを行い、作業に対する理解度、習熟度について確認していく必要がある。

他の機関による苗木生産研修では、極めて短期間の内に多くのことを講習することが多いが、生産には半年から 1 年をかけて行う作業（樹種によって異なる）であることから段階的に、細かく、そして農家の習熟度に応じて個別に技術指導をしていくことが重要である。

表4.3.4 苗木研修から家族苗畑への移行

	1 年目	2 年目	3 年目	...
研修期間	●	●		
試験・確認期間		●	●	
家族苗畑への移行			●	

(2) 家族苗畑の設置経費

家族苗畑の施設設置に当たっては、土地の調達・選定やかん水用の水道等の導入をすべて自己責任で行わなければならない。また、建設にかかる労働力は本人と家族で賄わなければならない、あるいは人夫を雇う必要も生じる。資材経費も同様に全て自己負担となる。

以下は、実証調査において開設された家族苗畑の設置に掛かる設置条件および標準的経費(表 4.3.5 参照)、つぎに、最低限生産に必要な用具・消耗品にかかる経費事例(表 4.3.6 参照)について掲載した。また、図 4.3.3 は、家族苗畑施設の設計事例（概略図）である。

事例

－家族苗畑の設置経費等について－

A. 設置条件

- ・場所：農民の自己所有地内に設置
- ・立地：緩傾斜平均7°、元耕作地
- ・水利：沢水から約500mの直線距離、簡易水道により配管済み
- ・地利：最寄り道路まで上り直線500m、徒歩道
- ・面積：10.0 × 10.0 m=100 m²

※周囲延長を斜距離で計測する場合は勾配に応じて補正が必要。

B. 施設経費

表4.3.5 施設設置費用

項 目	事業量	単 位 当 た り 数 量	延べ数	単価 (US\$)	金額 (US\$)	備 考
地代					<u>0.0</u>	
購入又は借地代	100 m ²	適宜計上する。			0.0	自己所有地では0
労賃					<u>12.0</u>	
整地・刈り払い等	40m	75m	0.5 人	2.7	1.3	線上幅 1m
(柵設置延長)	40m	—	—	—	—	
杭穴掘削	16 穴	25 穴	0.6 人	2.7	1.6	柱間 2.5m 間隔
杭木埋設	16 本	40 本	0.4 人	2.7	1.1	0.6m 打ち込み
鉄線等貼付け	400m	200m	2.0 人	2.7	5.3	有刺鉄線 10 段設置
播種床設置	1 台	1 台	1.0 人	2.7	2.7	
資材費					<u>37.5</u>	
杭材	40m	2.5m/間隔	16 本	0.7	10.7	末口 10 cm, 長 2.1m 以上
有刺鉄 線	440m	500m/巻	1 巻	16.0	16.0	延長+1 割増
釘	190 本	—	0.1 kg	1.1	0.1	杭 1 本当たり 12 本使用
金網	44m	50m/巻	1 巻	10.7	10.7	延長+1 割増
合計					<u>49.5</u>	

注) 労賃にはボリビアアンデス地域における一般的な人夫賃 Bs.20 を US\$換算した。

C. 用具等の経費

小規模苗畑で使われる用具等は簡易なものに限られているが、農業への併用から稼働時間が長くなり、その破損、消耗は激しい。特に、一輪車の車輪、荷台の取り付け、スコップやツルハシの柄などは破損・消耗の激しい用具である。事前にそれらの修理をするか必要により新たに購入しなければならない。

また、必要な肥料、殺虫・消毒剤、ポリエチレンバッグ(以下「ポット」という。)は購入しなければならない。これらの購入はグループでの共同購入が望ましい。

表4.3.6 家族苗畑で必要な用具等

(金額単位：US\$)

品名	単価	数量	価格	備考
一輪車	24.7	1 台	24.7	60*70*15cm
スコップ	4.0	1 本	4.0	
ツルハシ	4.0	1 本	4.0	
剪定ばさみ	1.3	1 本	1.3	
工具類 (ペンチ、金槌)	4.7	1 式	4.7	
ジョロ	4.0	1 個	4.0	
噴霧器	26.7	1 台	26.7	共同利用可能
篩(ふるい)	3.3	1 台	3.3	
日除けシート (寒冷紗)	4.7	2 m	9.4	
雨雹除けシート (ビニルシート)	4.7	2 m	9.4	
水道ホース	0.5	10 m	5.0	
ポット(幅 9 × 長 18 cm)	3.3	8.6kg	28.4	50 kg/巻,350 枚/kg
計	—	—	US\$124.9	

注) この他、購入種子(マツなど時期、購入先により大きく異なる。)、肥料、殺菌・殺虫剤などが必要となる場合がある。

ポットは、3,000 本分の数量とする。



写真4.3.4 子供たちによる用土詰め作業

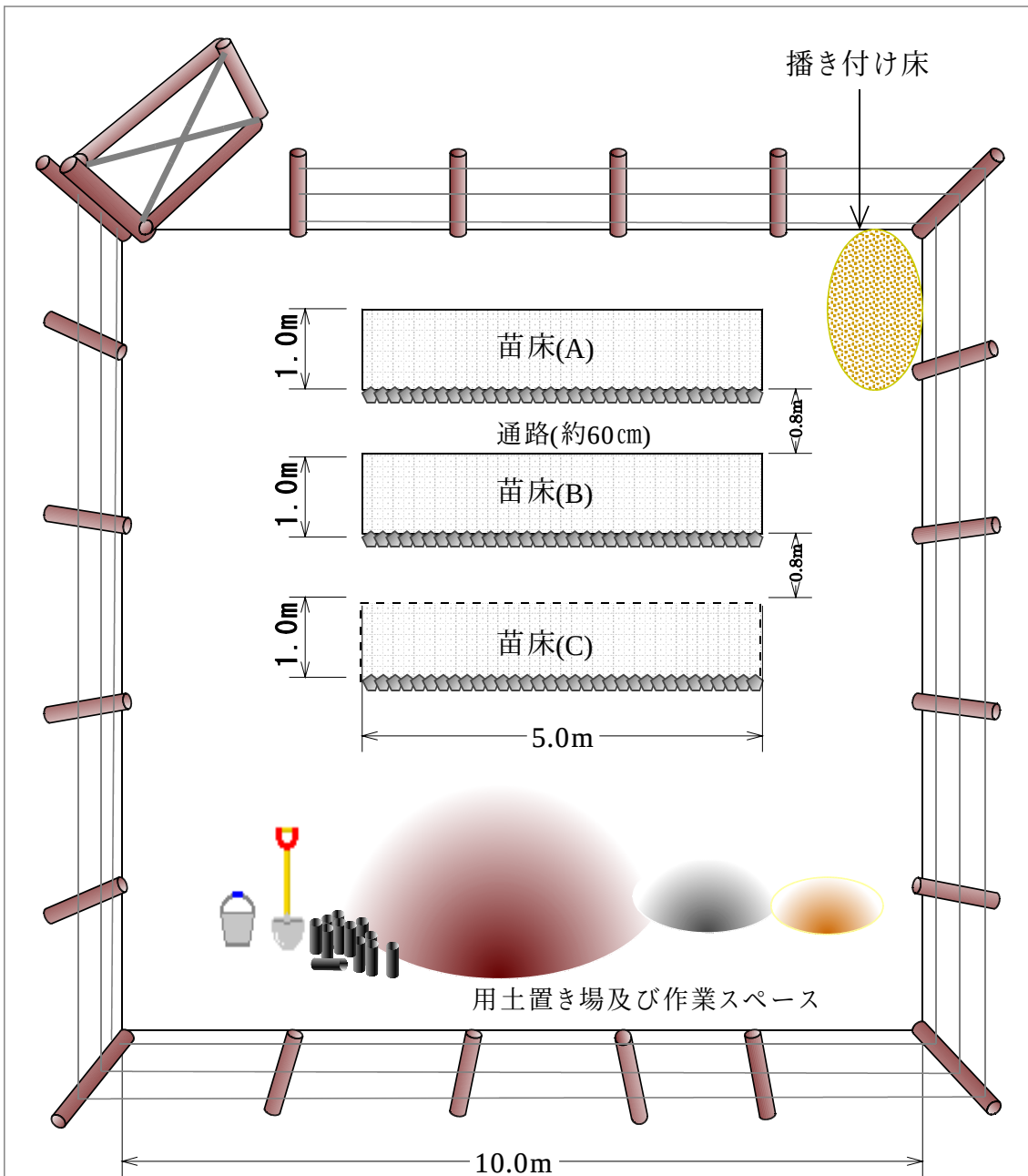


図4.3.3 家族苗畑設計例

〈設計例解説〉

- ・ 9×18 cmのポットを使用して約 3,000 本(最大 3,375 本)の生産を行う場合
- ・ 溪谷地帯での設置を想定し、育苗床は石積みを利用したテラス状とした。
- ・ 育苗床は幅 1.0m × 長 5.0m で最大 1,125 本の定置スペースとなる。
- ・ 水道は農家毎に事情が異なるため表示していない。

4. 3. 6 苗木生産者組合

(1) 生産者組合設立の必要性

家族苗畑方式による育苗は、基本的には各農家により自家生産自家使用が行われ、また、他者へ譲渡等する場合は余剰苗が生じた時のみを想定している。しかし実際には、農家が育苗技術を身につけた結果、この活動が優れた経済的向上対策となった場合には、販売を主目的とした苗木生産が行われることも考慮しなければならない。

主に苗木を販売する場合、現在の家族苗畑方式では以下の問題点がある。

①病虫害への対処が困難

②生産苗木の規格が不揃い

③生産数量の需給調整が困難

このような問題点は、農家が独立して生産を行った場合に見られる。苗畑農家が持続的に運営していけるようにするためには、集落単位で各苗木生産農家による生産者組合を設立し、組織的に運営していく必要がある。

(2) 病虫害への対処

苗木生産過程では、何かしらの病虫害が発生する確率が高い。苗畑は、同じ種の苗木を集団で管理しているため、Dumping off(土壤中の菌類による芽の死滅)のように一斉に発症する病害を受けやすい環境にある。

育苗研修には殺菌法等の病虫害に対する処方も含まれており、農家はひと通りの対処を知っていることになっている。しかし実際には、偶発的に発生する病虫害に対して農家が個人的に行える対処には限度がある。なぜなら農家は、病虫害防止のための殺菌・消毒剤や苗を健全に育てるための肥料等を各個人で購入することは金銭的に困難であり、また、未知の病虫害にひとりで対処することに大きな不安を抱えているからである。

この状況を改善するため、農家らが共同して対処することができれば、不安なく生産を継続することができる。病虫害への対処として組織的に活動を行うことの利点は以下の2点である。

①機材、薬剤、肥料等の共同購入を行うことができる。

②苗木に発生する病虫害に対する共同作業を行うことができる。

(3) 苗木規格の設定

苗木が集落の内外で販売されるようになった時には、苗木の品質としての問題が発生することがある。苗木はある程度成熟した状態で出荷すべきであるが、規格管理を行わないために未成熟苗が植栽に使用されることがある。

個人で苗木生産を行うと、播種時期の遅れや施肥の有無等の理由から、同集落内で苗木の生長に大きな差が出ることがある。しかし、植林の時期は決まっているため、雨季になれば生産者は未熟苗でも出荷しようとしてしまう。

実証調査では、苗木生産を開始した初年度にこのような事例が見られ、アカシアの苗で苗長 5 cm 程度で出荷されたものがあった。そのため、次年度から苗長 20 ～ 25 cm を目安にして出荷することを義務づけた。

前述したように、販売目的の苗木生産が行われることを想定すると、品質を維持するためにこのような苗木規格の設定が必要となる。一般的に商品の売買では、顧客は安くても良い品質のものを購入しようとし、先の事例のように未熟苗が出荷されるようになると次の年からその生産者は購入希望者から敬遠されかねない。

このことから、「**生産規格を設定し、組織的に管理することによって、集落内での苗木の品質向上に努める。**」ことが肝要である。

(4) 生産数量の需給調整

農家の自家使用目的のみの苗木生産であれば、自己責任において無計画に生産することには何ら問題はない。しかし、販売目的で苗木生産を行う場合、農家独自の判断で生産することによって本来の需要に見合った生産量とならない場合がある。それには以下の二つが考えられる。

① 需要予測困難による生産量の過不足（マツ苗の場合）

下表は、苗木の生産期間と植栽時期の関係を示したものである。これによるとマツ苗の場合、前年度に生産された苗木が出荷されるよりも前に当年度苗木の播種を行うことになる（マツは概ね 13 ヶ月、ユーカリ、その他在来種は概ね 5 ～ 6 ヶ月）。この時、前年度の余剰苗数と当年度の需要量を予測して当年度苗のための播種量を決定しなければならない。しかしそれらの予測は難しく、当年度用苗木の播種量を決定する根拠がない。結果として農家は、前年度の生産量と同数程度あるいはそれ以上を作るようになる。この場合出荷時に苗木が不足する場合と過剰となる場合が生じるが、いずれも経営上の利益の低下を生じさせる。

表4.3.7 生産と植栽時期の関係

分類 \ 月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
前年度活動			出荷	植栽時期													
マツ類	播種																
ユーカリ									播種							出荷	植栽時期
在来種									播種								

なお、ユーカリとその他在来種は、播種期に既に前年度苗木の余剰数を確定でき、植栽時期が近づいていることから、需要をより正確に把握することが可能なためこのような問題がない。

②私利私欲から来る過剰生産

苗木の販売による収入は、販売数量が一定量を超えれば家族苗畑のような小規模施設であっても十分な利益を生むことが過去の調査で判明している。そのため、更なる利益を求めて毎年無計画に大量の苗木を生産する者が出てくることがあり、その場合地域内で供給過剰となる。

そのような地域での全体的な需要を無視した活動は、他の農家の活動に悪影響を及ぼしかねない。

以上のように、農家の個人的な判断による生産は、個人のみならず地域全体に悪影響を与える恐れがあるため、関係する農家の参加による組織的な経営管理が必要となる。そのための苗木生産組合は、地域の需要量を把握することができ、それに応じて適正と判断された生産量を決め、各農家の生産能力に応じた生産割当を行うなど需給調整のために有効に機能する。

(5) コストの算出と苗木価格の決定

その他として、組合が苗木販売に必要な業務を挙げる。実証調査では、できる限り早く苗畑を軌道に乗せるため、約8割の経費援助と販売先の確保を行ったが、そのため、当初から苗木を作るまでにどのくらいの経費が掛かっているかということを農家は意識しなかった。単に売れるか否かではなく、次年度に必要な資材や自分達の報酬等が価格に含められるかというコスト意識を持っていなければ、結局農家の収入向上対策とはならないからである。

この作業もまた農家個々に行うのは困難であろう。よって、組織として大まかな数字（経費の）を出した上で、生産した苗木の価格をどの位が適当なのか判断しなければならない。これもまた、持続性を持たせるための重要な事項である（表 4.3.8 参照）。

表4.3.8 苗木生産のコスト

(単位：人，US\$)

大分類	中分類	小分類	延べ人数	設定労賃(US\$/日・人)		
				0.00	2.67	3.33
A．苗木生産経費						
労賃	—	—	31.8	0.0	84.9	105.9
資材費	—	—	—	57.1	57.1	57.1
計(A)		—	—	57.1	142.0	163.0
B．苗畑施設経費						
初年度経費	施設設置費	地代	—	0.0	0.0	0.0
		労賃	4.5	0.0	12.0	15.0
		施設資材費	—	37.4	37.4	37.4
		計	—	37.4	49.4	52.4
	用具費		—	41.0	41.0	41.0
	計		—	78.4	90.4	93.4
次年度以降 経費 (4年分)	施設維持費	地代	—	0.0	0.0	0.0
		労賃	1.8	0.0	4.8	6.0
		施設資材費	—	15.0	15.0	15.0
		計	—	15.0	19.8	21.0
	用具費		—	5.7	5.7	5.7
	計		—	20.7	25.5	26.7
計(B)			—	99.1	115.9	120.1
”計(B)1年分相当額 (計(B)/5)”			—	19.8	23.2	24.0
合計(A+B/5)			—	76.9	165.2	187.0
苗木1本当たり経費			÷1000	0.08	0.17	0.19

注1 マツ 1,000 本を面積 100 m²の苗畑で生産した場合の標準的経費である。

注2 設定労賃は、実証調査地で一般的であった Bs.20 および Bs.25 を US\$1=Bs.7.50 で換算した金額および無報酬の場合 US\$0.00 を適用した。

4.4 半乾燥地の植林技術

半乾燥地及び乾燥地では、植林を行う際、ポット苗を使用して定植することが多い。これは、単に裸根苗では根が乾燥に耐えられないことと土壌が劣化していることから養分を含んだ用土でしばらくの間苗を守るという意味がある。ほとんど降雨を期待できない地域では、かん漑施設により点滴かん漑を行う方法などもあるが、今のところポット苗造林が最も扱いやすく普及しやすい一般的な方法であると思われる。

実証調査においてもポット苗を使用した植栽を行ったが、植栽全体の考え方や植栽後の管理の面で付け加えるべき点が見られたので以下に記載する。

4.4.1 複層式植栽法

(1) 従来植林法の問題点

従来の植林事業には、ユーカリ類、マツ類を用いた単層林の造成が多く見られた。特に半乾燥地域では、早期に森林を作る必要性からそれらの外来種を導入したが、自然植生がほとんど衰退してしまっているために、植林を行っても地面は貧弱なままである。

また、明確な生産目標を持たないまま植栽されたことにより、必要以上に密に植栽されたり、萌芽後管理されないまま植栽木が過密状態となり、全体的に被圧木が多くなっている。これは施業体系に問題がある。

自然の森林とは、多種多様な植物が混在し各層をその生態域として占めながら形成されたものであり、それによって肥沃な土壌が形成され維持されてきた。しかし、一旦土壌劣化が起きてしまえば、植林によって森林を復元しようとしても、自然の力で地面を被覆する植物の回復が期待できず、土壌侵食防止のうえではその効果は大きく期待できない。

本項では、人工植栽、特に単層林形式の植栽における上記のような問題点を改善するため、土壌侵食防止を目的とした森林づくりのための複層式の植栽を提案する。

(2) 複層式植栽法とは

複層式植栽法とは、森林の垂直方向に対して複数の層をなす樹木群が存在するように様々な樹木の特徴を利用して植栽導入する方法である。ある時は同一樹種の導入時期を段階的に遅らせて造成する場合、異なる樹種の生長特性を利用して造成する場合などが考えられる。

図 4.4.1 に示すように、ここでは、後者の異なる樹種の生長特性を利用して 10 数年後に上層及び下層からなる人工林を造成し、両層の効果及び多少の湿潤状態になった後には期待できる自然植生の侵入により、より完全な土地の被覆を行うことができる植林の形態を目指している。

この図では、単層林では樹木が生長した時に樹冠の占有密度が低くなり、樹木個

々の生長にムラが出る状態を示している。これは、適度な密度で植栽し（南米の多くの植栽マニュアルでは 1,000 本/ha）、その後適切な間伐（間引き）を行うことによって回避できるが、

他植林事業の森林調査結果から、生育不良木の多い森林には現存本数が 2,000 本/ha 以上で当初の植栽密度が高かったか（マツ、ユーカリ共）、または主植栽木の間伐を行わなかったことと萌芽の処理を行わなかったこと（ユーカリのみ）等の原因が考えられる。

この問題を改善するため、植栽当初において上層木となる樹種（生長の早い種）と下層木となる樹種（生長の遅い種）を単層林と同じ密度で植栽した場合を考えてみた。これによって、上層木の樹冠占有割合が増し、生長を阻害しないだけでなく、下層木は下層の被覆として機能するため、地表を比較的露出せずに済む。この方法によって、土壌侵食防止の効果をより期待することができる。

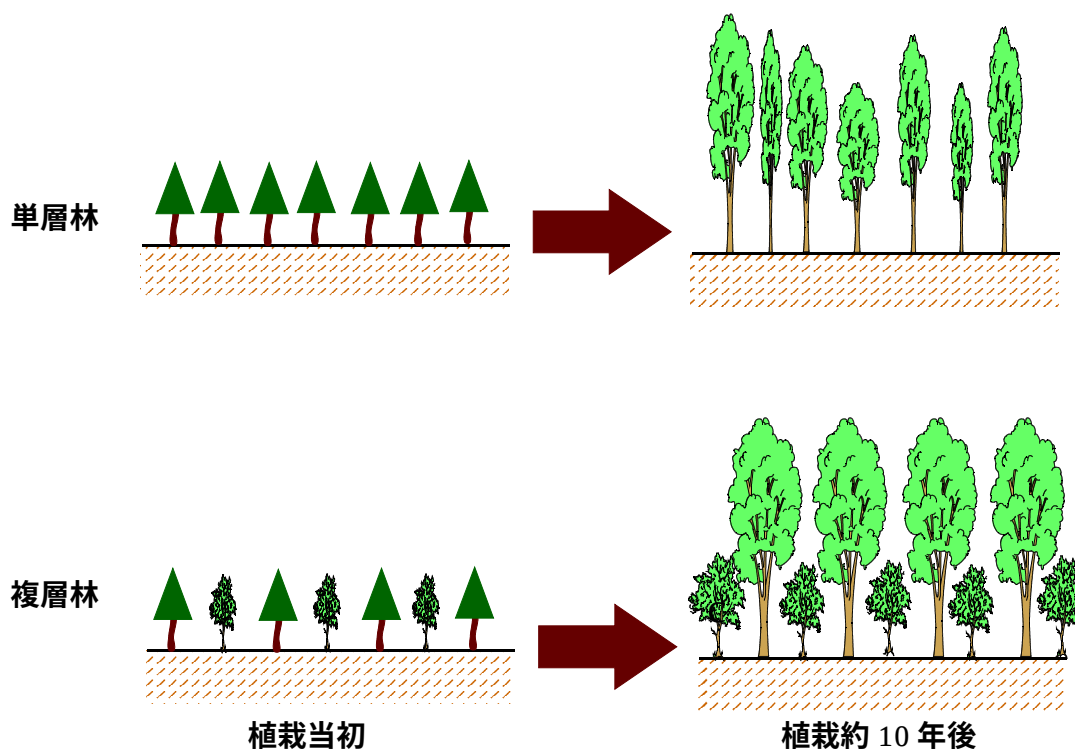


図4.4.1 単層林と複層林の違い

(3) 経費・労力等

この方式による作業方法は、従来の植林法と何ら変わらない。なお、植え付け穴掘削及び植え付けにかかる労力は概ね次のとおりである。

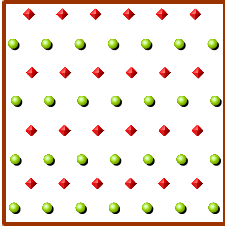
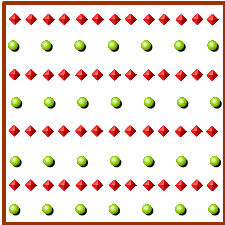
表4.4.1 植え付けにかかる労力

区分	単位当たり数量	備考
植穴掘削	30 ～ 50 穴/日人	乾燥時～湿潤時
苗木植付	200 ～ 300 本/日人	

(4) 施業体系の具体例

実際にこの方式により植栽を行う場合の施業体系例を以下に示す。

表4.4.2 複層式植栽の施業体系例

区 分	上 木	下 木
樹種	<i>Eucalyptus globulus</i> <i>Pinus patula</i> <i>Pinus pseudostrobus</i> <i>Pinus montezumae</i>	<i>Spartium junceum</i> <i>Dodonaea viscosa</i> <i>Baccharis sp.</i> <i>Alnus acuminata</i>
植栽間隔・形態	3 m間隔、千鳥格子植え (又は 3m 間隔列状植え)	3 m間隔、千鳥格子植え (又は 1.5 m間隔列状植え)
植栽密度	500 本/ha	500 本/ha ※列状植えの場合 1,000 ～ 3,000 本/ha
植栽配置例	 [千鳥格子状植栽] 上層木、下層木とも均等な間隔で最も近い 3 本が正三角形に配置される。全体植栽密度は、$N=10,000/(d^2 \times 0.866)$ で求められる。 : d は、正三角形の一辺長(m)。  [列状植え] 上層木、下層木とも列状に植栽する。下層木は 0.5 ～ 1.5 m の間隔で密に植栽する。下層木の植栽密度は $N=(3.0/d \times 500)$ で求められる。: d は、下層木の植え付け間隔(m) 注 :  は上層木の配置  は下層木の配置	

4. 4. 2 石マルチによる乾燥対策

(1) 目的

苗木の植栽後、土壌水分の蒸発をできる限り抑制し、早期に活着させ以後の生長を助けるため、植栽木根元への石マルチは乾燥対策として樹木に対しても有効である。

(2) 特徴

(利点)

- ①天然資材利用のため、資材の入手が容易で経費が掛からない。
- ②施工が単純容易で特別な知識を必要としない。
- ③植栽木周囲の土を固定できる。

(注意事項)

- ①自然石の調達が困難な地域では施工できない。
- ②植栽本数に比例して作業量が増え、農民が面倒がることもある。

(3) 実施時期

植栽完了直後に行う。苗木の植え付け（定植、埋め戻し、踏みつけ）とマルチの施工はセットで実施するよう習慣づける。

(4) 経費・労力等

- ①作業種別：全人力作業
- ②歩掛かり：概ね次表のとおり

表4.4.3 石マルチ設置にかかる労力

区分	単位当たり数量	備考
設置	50 箇所/日人(石材調達困難地)	概ね直径 40 cm円形配置、石材運搬を含 資材量：石 10 ～ 15 個(10 ～ 20 cm大)
	100 箇所/日人(石材調達容易地)	

(5) 設置概略図

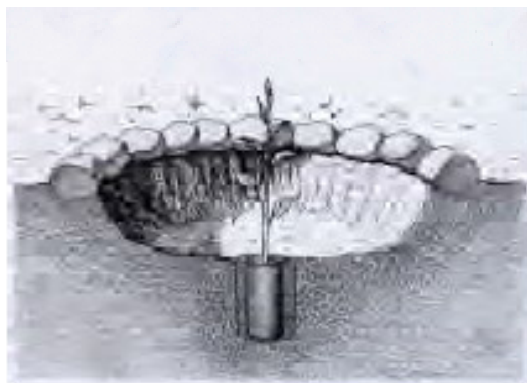


図4.4.2 石マルチ設置前の状況



写真4.4.1 石マルチ設置後

注) 通常の植え付け後の状態 (左図: すり鉢状にする) の内部に 10 ～ 20 cm大の石を敷き詰める (写真右)。

4. 4. 3 播種床を用いた直播き造林法

(1) 目的

ポット苗の造林法に比較して安価かつ技術的に容易に実施することができるため、圃場内のような管理可能な場所で飼料木、生垣、境界木等を定着させることを目的とした方法である。

またこの方法は、浸透溝状の播種床を用いることによって少ない降水を活用することができる半乾燥地に適した技術である。

(2) 特徴

(利点)

- ①苗木を作る必要がない(生産費がかからない)。
- ②作業が簡単で誰にでもできる。
- ③失敗しても同じ季節内にやり直しできる。
- ④播種床を用いることによって降水を活用し発芽させるため、灌水を行わない。

(注意事項)

- ①播種後、無降雨期間が続くと失敗する可能性がある。
- ②大規模造林には向かない(樹種、目的限定)。
- ③発芽後、蟻、兎等による食害の発生に留意する。

(3) 実施時期

比較的降雨日が連続する**雨季中期に播種する方が成功率が高い**。

播種床の作設を雨季初期に入ると共に事前に準備を行う。

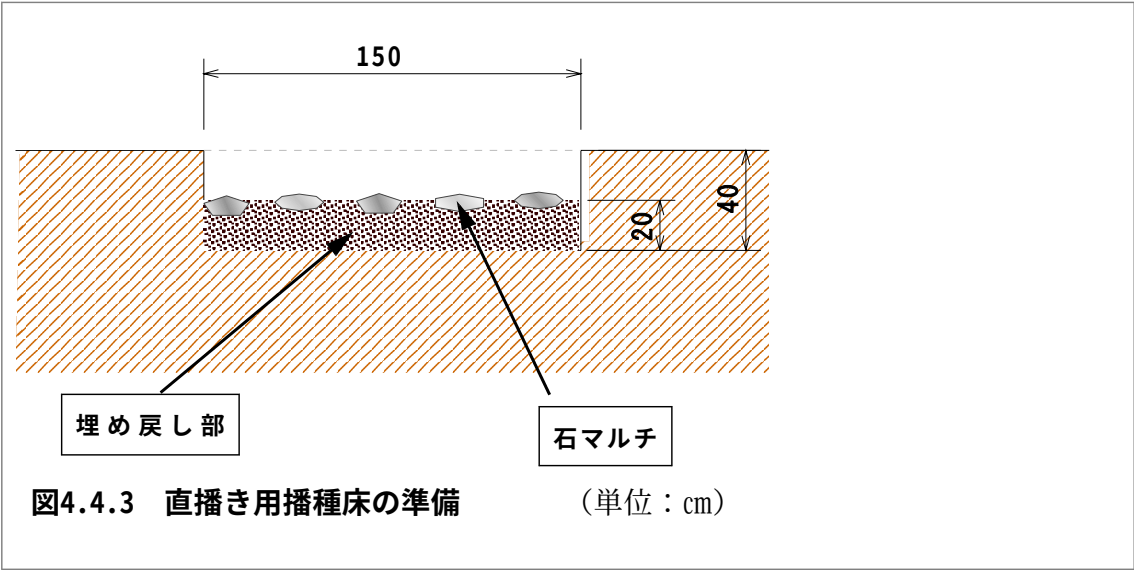
(4) 経費・労力等

- ①作業種別：全人力作業
- ②歩掛かり：概ね次表のとおり

表4.4.4 直播き造林にかかる経費・労力

区分	単位当たり数量	備考
浸透溝設置	6 基/日人(緩傾斜) 12 基/日人(急傾斜)	幅 30 cm×長 150 cm×深 40 cm、20 cm埋戻、面積比 5 割程度を石マルチで被覆する。
播 種	—	1 基当たり 30 秒程度なのでほとんど無し
追 い 播 き	—	//
種子播種量	60 ～ 120 粒/基	Acacia visco の場合(1 万粒/kg), US\$20 ～ 25

(5) 設置概略図



(6) その他実施上の留意点

- ①播種後ある程度の乾燥期間があることを考慮して、**発芽促進処理は行わない**。
- ②発芽後の根の伸長を促進させるため、掘削した土砂から石礫を排除し残した土を使用して、浸透溝内を深さ約 20 cmまで埋め戻す(軟らかい層を作っておく)。
- ③浸透溝内に概ね内部面積の 5 割程度に石マルチを敷く。
- ④播種後、5 mm程度の覆土をし、マルチの上に乗った種子、土を最後に掃いておく。

(7) 直播きに適した樹種

- ①発芽開始までの期間が短い樹種
- ②発芽率が高いこと
- ③未処理で発芽可能なこと

表4.4.5 直播きに適した樹種と標準播種量

区 分	樹 種
最 適	Jarca(<i>Acacia visco</i>):60 粒
有 望	Leucaena(<i>Leucaena leucocephala</i>),Cina-cina(<i>Parkinsonia aculeata</i>),Retama(<i>Spartium junceum</i>):各 120 粒

4. 4. 4 果樹栽培の可能性

(1) 目的

果樹栽培は、農村における住民の栄養改善、食料の多様化、販売などを目的として行うことができる。アンデス溪谷地帯は主に半乾燥地ではあるが、海拔 2,000 m以下の谷部では霜も少なく比較的温暖多雨で果樹栽培の適地が存在する。また、熱帯地域の果樹が半乾燥地域においても一定水準で栽培されている事例が見られる。

(2) 特徴

(利点)

- ①ビタミン等の摂取により栄養改善ができる。
- ②果実を販売し、現金収入を得ることができる。

(注意事項)

- ①良い形質の品種を導入すること。
- ②接ぎ木、挿し木生産技術や病虫気象害対策を指導する必要がある。

(3) 導入可能性のある果樹の例

下表のとおり。個別には附属資料Ⅱ.2 を参照のこと。

表4.4.6 果樹一覧表

一般名	学名	科名	利用法
イチジク	<i>Ficus carica</i>	クワ科	果肉生食、乾果、加工食
アボカド	<i>Persea americana</i>	クスノキ科	果肉生食
クルミ	<i>Juglans sp.</i>	クルミ科	子実乾果
ビワ	<i>Eriobotrya japonica</i>	バラ科	果肉生食
リンゴ	<i>Malus pumila</i>	バラ科	果肉生食
モモ	<i>Prunus persica</i>	バラ科	果肉生食
レモン	<i>Citrus limon</i>	ミカン科	果汁飲用、料理
ブドウ	<i>Vitis sp.</i>	ブドウ科	果実生食、飲用、酒原料
トケイソウ	<i>Passiflora sp.</i>	トケイソウ科	果実生食、飲用
パパイヤ	<i>Papaya carica</i>	パパイヤ科	果肉生食
チリモヤ	<i>Annona cherimolia</i>	バンレイシ科	果肉生食
マンゴー	<i>Mangifera indica</i>	ウルシ科	果肉生食
グワバ	<i>Psidium guajava</i>	フトモモ科	果肉生食
トマトノキ	<i>Cyphomandra betacea</i>	ナス科	果肉生食、調理用
オリーブ	<i>Olea europaea</i>	モクセイ科	加工食品、食用油
トウナ	<i>Opuntia sp.</i>	サボテン科	果肉生食

4.5 植栽木の保護

植林を実施するに当たり、植栽後の苗木がある程度生長するまでの間保護することは必要な作業である。植林が成功しない理由のひとつとしてよく挙げられるのは動物等による被害の発生である。例えば、アンデス地域の農民生活の中では家畜の役割や価値は極めて大きく、その飼養のために自由放牧を行うのが一般的である。この放牧家畜の存在が、植林活動に大きな支障を与えることがある。

また、家畜以外では、野生動物（主に野兎）による食害やハキリアリの営巣に伴う被害がよく見られる。そのほか住民によるしつとやいたずらによる植栽木への加害も発生している。

以上のように植林を実施しても、幾多の災難を取り除かなければ多くの場合植林は成功しない。本項では、これらの対策として効果的と思われる方法について掲載する。

表4.5.1 植栽木保護対策の比較

対策	防除対象	効果程度	コスト	設置難易
木製防護柵	山羊、羊等の家畜、人	高	高	難
ペットボトル	野兎等野生小動物	高	低	比較的容易
有棘植物利用	山羊、羊等の家畜	中	低	比較的容易
羊の毛	ハキリアリ	中	低	普通



山羊による植物への食害は復元不可能なほど強度である。



アリによる被害は時に苗木を丸裸にしてしまう。

4.5.1 木製防護柵

(1) 目的

丸太（又は鉄棒など）、鉄線、釘等を用いて、対象となる区域を囲い閉鎖してしまうことにより人畜の侵入を防ぐ。最も一般的な防除法のひとつ。これは、全く新しい対策ではないが、植栽木を保護する上で重要な選択肢となる。

(2) 特徴

(利点)

- ①家畜等大型獣の侵入を阻止することができる。
- ②植栽木が生長するまで、比較的長い期間使用可能である。
- ③同時に土地所有境界の明示が可能であり、他人の侵入に対しても効果がある。

(注意事項)

- ①設置経費が高価、維持経費も連年必要である。
- ②小型獣（幼齡家畜、野兎等）の侵入を阻止できない。

(3) 実施時期

植栽完了前までに設置する。

最も大きな労力を要する杭の設置は、前年雨季のうちに完了させる。

(4) 経費・労力等

- ①作業種別：全人力作業
- ②経費・労力等：下表のとおり

表4.5.2 木製防護柵設置に掛かる経費・労力 (1,000m 当たり)

分類	項目	数量	単位	単価	金額(US\$)	規格等
資 材 (P)	杭材	400	本	0.7	280.0	2.5m 間隔,l=2.1m
	有刺鉄線	22	巻	16.0	352.0	10 段, ひと巻 500m
	金網	22	巻	10.7	235.4	ひと巻 50m
	釘	2	kg	1.1	2.2	1 kg約 2,500 本
	用具	1	式	37.3	37.3	耐用年数：3 年
	金槌	1	本	(2.0)	-	
	ペンチ	1	本	(2.7)	-	
	スコップ	1	本	(4.0)	-	
	ツルハシ	1	本	(4.0)	-	
	一輪車	1	台	(24.7)	-	
	(小計)	-	-	-	906.9	

表4.5.2 （続き）

分類	項目	数量	単位	単位当 たり数量	延人数	金額 (US\$)	備考
	整地・刈り払い等	1,000	m	75m/人日	13.3	35.9	幅 1m
	杭穴掘削	400	穴	25 穴/人日	16.0	43.2	
	杭木埋設	400	本	40 本/人日	10.0	27.0	
	有刺鉄線張り付け	10,000	m	200m/人日	50.0	135.0	
	(小計)					241.1	
計 (A+B)						1,148.0	

注)1日当たり労賃は、US\$2.7 として計算した。

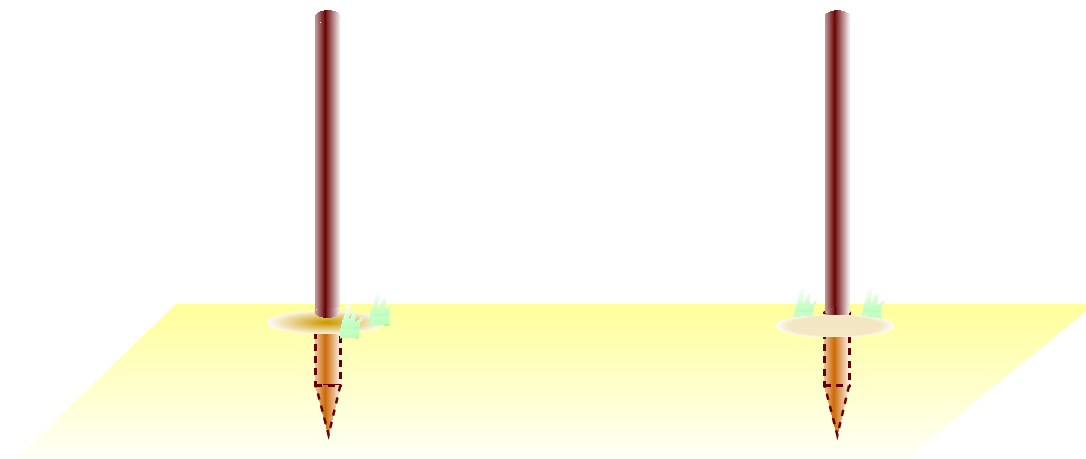


図4.5.1 木製防護柵の設置図

注)有刺鉄線最下段からの侵入を防ぐため、有棘枝、石、日干し煉瓦、サボテンの植栽等により補強すると更に防止効果が上がる(上図参照)。

注)また、やむを得ず有刺鉄線の段数を少なくする場合は、家畜が無理矢理入ろうとすることがあるので、杭間の中心点で全ての鉄線を縦に結合させておくが良い(右写真参照)。

写真4.5.1 家畜の侵入

4. 5. 2 ペットボトルの活用

(1) 目的

堅固な保護柵を通り抜けてしまうような野生小動物（特に野兎）は、乾季、植栽木に対し食害を多々発生させるが、これに対しては、植栽木個別に保護対策をとることが効果的である。

農村地帯では高価な林業用資材を手に入れることが困難なため、現地で入手容易な清涼飲料のペットボトル（2リットルが適当）等を加工し使用することによって、安価にかつ確実に専用資材同様の効果を得ることができる。

(2) 特徴

(利点)

- ①安価かつ廃棄物の再利用が可能である。
- ②特別な技術なく加工・設置が可能
- ③添え木の追加により植栽木の生長に合わせ資材を積み増すことができる。

(注意事項)

- ①枝の発生数が少なくなり肥大生長が抑えられるため、食害の危険性が低くなつてから（概ね小動物の体長以上に生長するまで）資材を外す必要がある。
- ②添え木を打ち込むことによって風倒が減少する。
- ③太陽光により「焼ける」というイメージが強く敬遠されがちであるが、実際には熱による枯損は発生していない。普及に当たって事実の適切な宣伝が必要。
- ④違う飲料メーカーのボトル同士を接続するとはずれ易い（多段接続の場合）。

(3) 実施時期

植栽木の新規植え付けと同時に実施する。従って野兎害多発地域では、この行程に併せて植栽計画（本数）の減少を検討する必要がある。

添え木の打ち込みは、雨季の土壌が軟らかい時期に集中して行い、再び軟らかい時期に打ち増しを行うことが好ましい。

(4) 経費・労力等

①作業種別：全人力作業

②経費・労力等

表4.5.3 ペットボトルの設置に掛かる経費・労力

区 分	数 値 等
資材費	飲用後の廃棄物を利用するため基本的に経費は US\$0
労 力	加工 15 本あたり 1 時間 装着 概ね 150 本/人日 添え木の打ち込み 概ね 150 本/人日

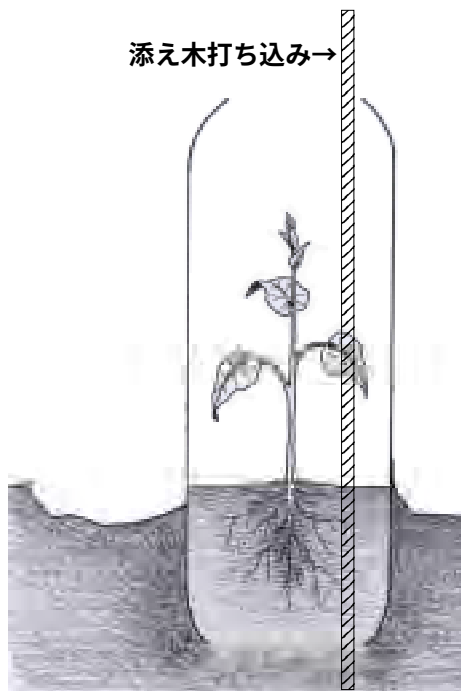


図4.5.2 ペットボトルによる植栽木防護

- (1) **加工部位**：ペットボトル上部及び下部を切断する。
- (2) **加工注意**：飲み口部のカーブは必ず残す。
- (3) **添え木**：1m 程度の細杭をボトル内部に打ち込む。内部に打ち込むことによってボトルの外れを防ぎ、後記する段追加が可能となる。杭が無い場合は左図のようにボトル下部を粘土で固めることにより固定する。
- (4) **段追加**：同様に加工したペットボトルを添え木に通し順に重ねていく。緊結等は必要ない（下写真参照）。



写真4.5.2 ペットボトルの多段接続

4.5.3 棘のある枝の利用

(1) 目的

この方法は、植栽木を棘で囲うことにより動物の食害がなくなることから、地域の天然資材でもある有棘樹木（Prosopis sp., Acacia sp. 等）の枝を利用して、容易に植栽木を保護する方法として推奨する。

(2) 特徴

(利点)

- ①地域で資材を調達することができる。
- ②太陽光を遮らず、植栽木の生長を妨げない。
- ③経費がかからない。

(注意事項)

- ①風で飛ばされやすい（固定を工夫する必要がある。）
- ②地域植生の種類と量に依存する。
- ③植栽木を囲う量が少ないと隙間から小動物が侵入することがある。

(3) 実施時期

植栽木の植栽直後に設置する。また、植栽後日に行うのではなく、植栽と同時にその都度設置しなければ、その間に食害を受ける可能性がある。従って、枝条の採取は、事前に行っておく必要がある。

(4) 経費・労力等

- ①作業種別：全人力作業
- ②経費・労力等：現地資材のためかからない。



写真4.5.3 有棘性灌木の利用

4.5.4 羊毛の活用

(1) 目的

植栽木へ害を与える動物の中には、蟻のように柵や個別の防護資材では侵入を防げない場合がある。蟻のなかでもハキリアリは1日にして全ての葉を切り取ってしまう程の被害を与える。蟻害は、偶然のきっかけで蟻に見つけられた植物が集中的に被害を受けるため発生時期の予想が困難である。設置及び資材の入手が容易な羊の毛を植栽木に絡ませることによって防除を行うことができる。

(2) 特徴

(利点)

- ①蟻が植栽木を伝って這い上がるのを防ぐことができる。
- ②殺虫剤に比べ安価かつ資材入手容易である。
- ③設置は個々に行うため多少手間がかかるが、知識や技術を必要としない。

(注意事項)

- ①大量の蟻には対処できない恐れがある
- ②食用油等を染み込ませると効果的

(3) 実施時期

可能な限り植栽の都度実施する。

(4) 経費・労力等

- ①作業種別：全人力作業
- ②経費・労力等：現地資材のため経費は掛からない。また、労力を伴うほどの作業とならない。



図4.5.3 羊毛の毛の使用



写真4.5.4 羊毛巻きつけの様子

4.6 有用な植栽樹種

この章では、農民が植林を行う際に有用な樹種として、農民の要望、地域の用途、試験植栽から得られた耐乾燥性及び初期生長から選択した物であり、その一覧と個別情報を掲載する。

なお、この選択に当たって注意した点は次のとおりである。

4.6.1 樹木の用途

農民が主体となっていく植林事業などでは、農民が利用できる樹木を採用していくことが好ましい。それにはまず樹木の用途を調べる必要がある。実証調査対象地域内では、*Schinus molle* というよく見られる在来種は、ある地域では好まれるが、一方では縁起の悪い木として忌み嫌われている場合もある。又、用法も地域によって違う場合も多々見られる。このように同樹種でも用途・用法が異なれば農民の要望度に差が出てくることがあるので、事前に調べておくが良い。

農村部での樹木の用途として主なものは次のとおりである。

ー農村地帯の樹木の用途ー

- | | | |
|--------------|---------|-------------|
| ・土木建築用材(杭・梁) | ・枕木材 | ・染料、タンニン |
| ・木工用材 | ・薪炭材 | ・蜜源、薬用 |
| ・家具材 | ・食料(果実) | ・日陰樹、境界木 |
| ・工具、農具材 | ・飼料 | ・防風林、土砂流出防止 |
| ・楽器用材 | ・景観木 | ・水源涵養林 |

4.6.2 土壌保全への効果

樹木は様々な形態・性質を持つので土壌保全を目的にした場合には種を限定する必要がある。そのために考慮すべき樹種の条件は次のとおりである。

土壌保全に有効な樹木の特質・条件

- ①深根性であること
- ②萌芽力が強いこと
- ③落枝、落葉量が多いこと
- ④樹冠の拡がりあり地面を多く被覆していること

4.6.3 農村開発等において有用な樹種

土壌保全を基礎とした農村開発事業では、前記したような様々な理由・用途を考

慮して樹種を選択する。また、用途が単一で限られている場合でも、他の樹種との組み合わせにより植栽することも効果が高い。

表 4.6.1 は、以上を考慮して挙げた、有用と思われる樹木の一例である。これらの詳細については樹種個別情報として、附属資料Ⅱに掲載した。

なお、この他にも地域の環境に適した近親種が数多く存在するので、渓谷地帯の中でもそれぞれの地域的状況に合わせて、樹種導入試験等の適地確認を行う必要がある。

表4.6.1 農村部で要望の高い樹木

分類	№	一般名	学 名	科・亜科	科・亜科（日本語）	樹木の用途																		備 考			
						建築用材	木工用材	家具材	工具、農具	生垣、垣根	アグロフォレストリ	燃料材（薪）	燃料材（木炭）	果実採取	飼料木	景観木	染料採取	タンニン採取	養蜂蜜源	薬用	杭木	坑木	日陰樹		防風林	土壌侵食防止	水源かん養	窒素固定	境界木
外来種	1	Ciprés	<i>Cupress macrocarpa</i>	CUPRESSACEAE	ヒノキ科	○		○							○						○				○	イトスギ	
	2	Eucalipto	<i>Eucalyptus globulus</i>	MYRTACEAE	フトモモ科	○	○	○	○			○					○	○	○	○	○					ユーカリ	
	3	Leucaena	<i>Leucaena leucocephala</i>	MIMOSOIDEAE	マメ科ネムノキ亜科										○									○		ギンネム	
	4	Paraíso	<i>Meria azedarach</i>	MELIACEAE	センダン科		○					○			○	○			○							タイワンセンダン	
	5	Pino	<i>Pinus patula</i>	PINACEAE	マツ科	○	○	○	○			○							○		○	○			○	マツ	
	6	Pino	<i>Pinus pseudostrobus</i>	PINACEAE	マツ科	○	○	○	○			○							○		○	○			○	マツ	
	7	Acacia negra	<i>Acacia melanoxylon</i>	MIMOSOIDEAE	マメ科ネムノキ亜科	○	○					○										○		○			
	8	Retama	<i>Spartium junceum</i>	CAESAL PINIOIDEAE	マメ科ジャケツイバラ亜科					○	○						△	○					○				
在来種	9	Churqui	<i>Acacia caven</i>	MIMOSOIDEAE	マメ科ネムノキ亜科					○		○			○					○				○			
	10	Jarca	<i>Acacia visco</i>	MIMOSOIDEAE	マメ科ネムノキ亜科					○		○			○							○		○			
	11	Aliso	<i>Alnus acuminata</i>	BETULACEAE	カバノキ科		○	○				○			○			○		○	○		○	○	○	ヤシャブシの一種	
	12	T'ola	<i>Baccharis sp.</i>	COMPOSITAE	キク科					○		○										○					
	13	Kiswara negra	<i>Buddleja tucumanensis</i>	LOGANIACEAE	フジウツギ科						○	○													○		
	14	Chacatea	<i>Dodonaea viscosa</i>	SAPINDACEAE	ムクロジ科					○		○														ハウチワノキ	
	15	Ceibo	<i>Erithrina falcata</i>	PAPILIONOIDEAE	マメ科ソラマメ亜科		○	○							○									○		デイゴの一種	
	16	Tarco	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	BIGNONIACEAE	ノウゼンカズラ科							○				○						○				ジャカランダ	
	17	Kewiña	<i>Polylepis sp.</i>	ROSACEAE	バラ科		○	○				○							○			○	○				
	18	Algarrobo	<i>Prosopis sp.</i>	MIMOSOIDEAE	マメ科ネムノキ亜科							○		△	○			○							○		P.alba,P.laevigata
19	Molle	<i>Schinus molle</i>	ANACARDIACEAE	ウルシ科					○		○				○		○			○	○						
20	Tipa	<i>Tipuana tipu</i>	PAPILIONOIDEAE	マメ科ソラマメ亜科	○				○		○				○						○	○		○			
果樹	21	Higo	<i>Ficus carica</i>	MORACEAE	クワ科						○			○												イチジク	
	22	Palto	<i>Persea americana</i>	LAURACEAE	クスノキ科							○			○												アボカド
	23	Nogal	<i>Juglans sp.</i>	JUGLANDACEAE	クルミ科							○			○												クルミ
	24	Níspero Japonés	<i>Eriobotrya japonica</i>	ROSACEAE	バラ科							○			○												ビワ
	25	Manzano	<i>Malus pumila</i>	ROSACEAE	バラ科							○			○												リンゴ
	26	Durazno	<i>Prunus persica</i>	ROSACEAE	バラ科							○			○												モモ
	27	Limón	<i>Citrus limon</i>	RUTACEAE	ミカン科							○			○												レモン
	28	Uva	<i>Vitis sp.</i>	VITACEAE	ブドウ科							○			○												ブドウ
	29	Tumbo	<i>Passiflora mollissima</i>	PASSIFLORACEAE	トケイソウ科							○			○												トケイウ、ハ° ッションフルーツ
	30	Papaya	<i>Papaya carica</i>	CARICACEAE	パパイヤ科							○			○												パパイヤ
	31	Chirimoya	<i>Annona cherimolia</i>	ANNONACEAE	パンレイシ科							○			○												チリモヤ
	32	Mango	<i>Mangifera indica</i>	ANACARDIACEAE	ウルシ科							○			○												マンゴー
	33	Guayava	<i>Psidium guajava</i>	MYRTACEAE	フトモモ科							○			○												グアバ
	34	Tomate de árbol	<i>Cyphomandra betacea</i>	SOLANACEAE	ナス科							○			○												トマトノキ
	35	Oliva	<i>Olea europaea</i>	OLEACEAE	モクセイ科							○			○												オリーブ
	36	Tuna	<i>Opuntia sp.</i>	CACTACEAE	サボテン科							○			○												ウチワサボテンの実

* 用途のうち「○:用途多」、「△:用途少」

* 果樹(21～36)は、「4.4.4果樹栽培の可能性」掲載種である。

4. 7 森林利用規則による資源管理

4. 7. 1 目的

森林利用規則は、対象集落における自然資源の増大と土地の保護を目的として行われる全ての植林及び育林活動を維持・推進するために必要な、全ての自然木、植栽木を保全するために規定するものである。

この規則の制定によって、**集落が秩序に則り自発的・持続的に資源を管理**し、将来にわたって継続的に資源を有効利用できるようにすることが目的である。

4. 7. 2 規則制定の背景

アンデス溪谷地帯に住む農民は、過酷な環境の中で生活しているため、少ない資源を最大限に活用している。特に現金収入のほとんど無い彼らにとっては、生活のための燃料材は、買うものではなく地域から採取するものである。また、家畜は農家にとって蓄財の意味があり、その飼養のために稀少な牧草地を利用している。

アンデス溪谷地帯では、自然植生が貧弱で枯渇しつつあるため、上記の生活活動のため十分に供給できないほど少ない資源量となった。しかし、農民にとっては生活が優先されるため、資源を求めて他人の土地やさらに遠くへ足を踏み入れるようになった。

アンデス先住民の間では、乾季のある時期を過ぎると自由放牧が許されるという風習がある。この日を過ぎると他人の土地に自分の家畜を入れても良いことになっているが、実際のところ農民は、他人が自由に自分の土地に入ることをこころ良く思っていない。

このような地域における自然資源衰退の大きな原因は、燃料材の無秩序な伐採と家畜放牧が管理されていないことである。将来にわたっても農民らが燃料材や牧草地を利用していくためには、住民が一体になった地域社会による土地管理が必要である。そのために本項に記載する森林利用規則を提案したが、この規則は農民のために農民自身により行われるものでなければならない。

4. 7. 3 規則の概要

この規則の内容は概ね次のとおりである。

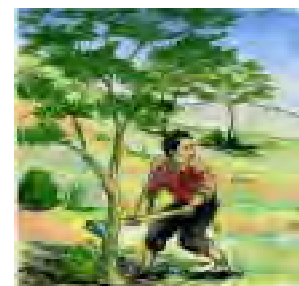
表4.7.1 規則の概要

項 目	内 容
1.対象物	集落に位置する土地、自然草木及び植栽された樹木
2.対象者	集落住民
3.基本的遵守事項	他人の土地・草木に故意に損傷を与えないこと、また所有する家畜等が損害を与えないように管理を怠らないこと。
4.処分方法	違反に対して罰則を適用する
5.罰則対象者	他人の土地・草木に損傷を与えた人並びに家畜の所有者
6.罰則内容	罰金又は樹木の植栽による現状復元 (例：所有する家畜が他人の植栽した1年生の植栽木に被害を与えた時 →同じ場所に2倍の本数の植栽を行わなければならない。)
7.執行体制	農民リーダー、自然資源係、係争係が集落総会において執行、調査、処分を行う。



←野放しにされている家畜を管理することが植林の成功を左右する。

無秩序な樹木伐採も深刻な問題のひとつとなっている。 —————→



4. 7. 4 残る問題点と対策

(1) 地域全体の関与 -人の目、地域の目-

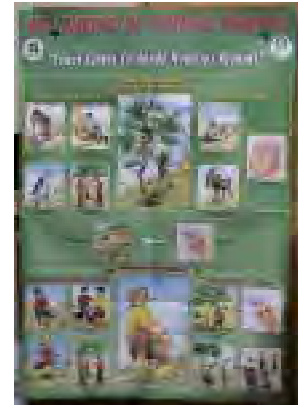
この規則の運営は主に集落 3 役によって行われる。当然、広い面積の集落全体に目を光らせていることは到底不可能である。逆に集落内の人間関係は狭く、親類縁者が多いことから、ひとたび事件となっても親戚を告発することは難しい。そのため、公の拘束力をさらに強める必要がある。

実証調査対象地では、規則制定後 10 件を超える当事者不明の被害報告があった。集落役員が総会においてそのことを糾弾すると、徐々に口を開く者が現れた。最後には当事者が判明したのだが、そのときの加害者の「集落が本気で規則により規制をするとは思わなかった。」という言葉が、地域全体で進めていく必要性を語っている。常に人の目、地域の目、又は神の目(キリスト教なので)があることを思い知らせることが大事である。



(2) 政府の関与

さらに規則を高級なものにするために、森林管理規則を公的な規則にする必要がある。ボリビア国では既に数例の集落による森林利用規則が官報により告示されている。このことによって、森林監督当局の存在を感じさせることができる。ボリビアでは樹木の伐採は許可無くして行うことはできない。他の南米諸国においても森林は森林法により規制されており、農民に対してその存在を周知していかなければならない。



(3) 規則の対象範囲

森林規則の規制対象は、集落内の土地・植生と集落民である。従って、規則の対象とならない隣接集落へ家畜を連れて行ったり、逆に隣接集落から侵入してくる場合も発生する。このようなことが起きないように、隣接集落同士の間で協定を結び互いに損害を被らないよう調整していかなければならない。

普及用ポスターを使って、
集落内の周知に努めた。

(4) 他地域への見学

規則を適正に執行するために、他の地域で実施されている先例を集落住民に見学させることは意識を変える上で有効な方法である。

具体的に見学の対象となるような地域とは、既に森林規則が運用されている集落、慣習的に伐採等の制限が行われている集落、木材生産業が成立していて、森林管理の観念が出来上がっている地域等である。

4. 7. 5 森林利用規則原文

集落において、実際に規則を取り決める際の参考として、実証調査で使用した規則原文を以下のとおり掲載する。

〇〇集落森林利用規則

(実証調査における事例：J-Green2002年3月作成)

第1条（目的）

本規則は、対象集落における自然資源の増大と土地の保護を目的として行われる全ての植林及び育林活動を維持・推進するために必要な、全ての自然木、植栽木保護の遵守事項について規定することを目的とする。

第2条（規則の対象地・対象物）

本規則の対象は、_____県_____郡_____村_____集落に位置する全ての土地、当該土地に植栽された自然木、植栽木及び自然草地とする。

第3条（遵守義務者）

全ての集落住民は、当該集落総会の決議及び当該地区森林委員会の同意を経た後に本規則に基づき遵守義務者とする。

第4条（準遵守義務者）

当該集落組合は、隣接集落組合と協議のうえ、隣接集落から家畜を伴い通行する集落民について、本規則を遵守すべき準遵守義務者とする。

第5条（統括責任者）

本規則は、集落組合代表3役（集落総務、自然資源係及び係争係）により執行される。なお、当該3役は、信念と誠実さを持って職務にあたらなければならない。

第6条（遵守義務者の権利）

- 1 対象集落住民は、自己の植栽木もしくは自己所有地に影響を与えるような全ての活動についての的確に知る権利を持つ。
- 2 対象集落住民は、本規則に違反し、自己所有地又は他人の所有地に被害を与えた者を知ったときは、集落代表3役に通報しその処罰を要求することができる。
- 3 対象集落住民は、自己所有地に樹木等を植栽する際は、家畜の嗜好の有無にかかわらず希望する種、希望する量を植栽することができる。

第7条（遵守義務者及び準遵守義務者の義務）

- 1 遵守義務者及び準遵守義務者は、他人の植栽木もしくは他人の所有地に影響を与えるような全ての活動について、当該土地所有者に対し事前に通知し了解を得なければならない。

- 2 遵守義務者及び準遵守義務者は、他人の植栽木もしくは他人の所有地に影響を与えないような処置を常に講じなければならない。
- 3 遵守義務者及び準遵守義務者は、他人の植栽木もしくは他人の所有地に損害を与えた場合は、第 10 条に基づき罰則に従わなければならない。
- 4 遵守義務者及び準遵守義務者は、自己の家族のうち成年に満たない被扶養者が行った違反行為に対しても罰則に従わなければならない。

第 8 条（統括責任者の担当業務）

- 1 集落総務は、集落組合代表 3 役内で協議のうえ、規則を違反した者に対して罰則を適用する業務を行うことができる。
- 2 集落総務は、植栽木の生長や被害に関する状況調査を他の集落住民に求めることができる。
- 3 前項 2 の結果により必要と認められたときは、集落総務は自然資源係と共にその調査を行うことができる。
- 4 自然資源係は、植栽木及び自然木等の保全に関する活動について、集落住民に対し普及活動を行わなければならない。
- 5 係争係は、植栽木の被害が発生した際、集落内で解決できない問題について、当該地区担当の森林監督局に対し適切な指示を求めることができる。

第 9 条（統括責任者の任期）

統括責任者は、当該任務を集落組合の任期中一年間遂行するものとする。ただし、止むを得ない事情により任務遂行が不可能となった場合には、任期終了前に集落総会の可決により変更することができる。

第 10 条（罰則）

- 1 家畜による害は、その家畜の所有者が下記の責務を負う。

被害程度	被害分類	罰 則
全 体 的 被 害	植栽後 1 年目の 在来種及び導入種(1)	被害木 1 に対して 2 の割合で同一区域に補植を行う。なお、再び同一の行為を行った際は、「植栽後 2 年目以上…」の場合の罰則を適用する。
	植栽後 2 年目以上の 在来種及び導入種(2)	被害木 1 に対してその植栽木が将来得たであろう商業的価値の弁済を行う。
部 分 的 被 害	植栽後 1 年以上の 在来種及び導入種(3)	被害木 1 に対して 1 ポリビアーノを現金で支払う。※ US\$1=Bs.7.5(Bs.はポリビアーノ)
そ の 他	個人の自然放牧地(草地等)で許可無く放牧をさせた場合(4)	50 ポリビアーノを現金で支払わなければならない。

注) なお、「全体的被害」とは、植栽木が再び芽生える可能性が無く完全に枯死した状態を言い、「部

分的被害」とは、植栽木のある部分にのみ被害がある場合で生存の見込みがあるが通常見込まれる生長を遅らせると判断される場合を言う。

2 集落住民による害

被害程度	被害分類	罰 則
全 体 的 被 害	植栽後1年目の 在来種及び導入種(1)	被害木1に対して4の割合で同一区域に補植を行う。なお、再び同一の行為を行った際は、「植栽後2年目以上…」の場合の罰則を適用する。
	植栽後2年目以上の 在来種及び導入種(2)	被害木1に対してその植栽木が将来得たであろう商業的価値の弁済を行う。
部 分 的 被 害	植栽後1年以上の 在来種及び導入種(3)	被害木1に対して2ポリビアーノを現金で支払う。
そ の 他	私有地の利用中、天然 生在来種(4)	50 ポリビアーノを現金で支払わなければならない。
	植栽木又は牧草への放 火(5)	被害の程度により統括責任者が罰則を定めるかまたは、森林監督局等担当政府機関に対し上申する。

3 他集落の家畜及び住民による害

本規則第4条に基づき、他集落の家畜及び住民による害が発生した場合においては、前号2及び3の規定を準用し、罰則の適用を受けるものとする。

第11条（徴収物の帰属）

前条の適用により植栽された植栽木あるいは罰金の帰属は次のとおり定める。

- 1 植栽木により補填された場合においては、その植栽木の所有は被害農家に帰属する。[第10条第1号第1項及び同条第2号第1項]
- 2 罰金により補填された場合においては、罰金額の4分の1を集落組合へ、4分の3を被害農家へ帰属するものとする。[第10条第1号第2項ないし4号及び同条第2号第2項ないし第4号]

第12条（効力開始日及び有効性）

本規則は、_____県_____郡_____村_____集落総会において
_____年 _____月 _____日承認され、同日より効力を有する。また、_____年 _____月 _____日
ポリヴィア国森林監督局の承認を得た公的規則であることを申し添える。

_____年 _____月 _____日

[署名欄] ・集落総務（農民リーダー）、・自然資源係、・係争係

[承認欄] ・サブセントラル、・村役場

第5章 畜産対策技術

5.1 家畜飼養の現状と土壌侵食

5.2 過放牧対策について

5.2.1 過放牧の問題点

5.2.2 過放牧対策

5.2.3 対策の要点と内容

5.3 放牧頭数の適正化

5.3.1 放牧頭数の削減

5.3.2 個体能力改善対策

5.3.3 飼養形態改善対策

5.4 飼料生産利用対策

5.4.1 飼料生産利用について

5.4.2 草本飼料対策

5.4.3 穀物飼料対策

5.5 社会的規制による対策

第5章 畜産対策技術

アンデス渓谷地帯の土壌侵食は、自然条件の劣悪性とともに、不適切な営農形態等による人為的な原因が関わっているといわれている。中でも家畜の放牧は恒常的に過放牧であり、土壌侵食が進行している。本マニュアルでは、農地をターゲットとした土壌侵食防止対策についての諸対策技術を対象としているが、農地以外の広大な山間地における放牧による土壌侵食も間接的には農地に影響するものであり、畜産的な対策も重要なものである。本章ではこうした課題について本調査の実施手法にそった対策について記すこととする。

5.1 家畜飼養の現状と土壌侵食

南米諸国における家畜飼養の形態は国土の高度地形、気候等に則し違いがある。飼料資源に恵まれた平坦地における大規模な肉牛飼養から、わずかな野草、灌木等の飼料資源による山岳・渓谷地域における牛、山羊、羊、その他ラクダ科家畜の粗放的な飼養など極めて幅が広い飼養形態となっている。

中でも、本実証調査地域のような山岳・渓谷地域における家畜飼養は、耕作の際の役用、肥料供給源、また、生活面では貴重な蛋白供給源、毛糸供給源となっており、さらに現金収入を得る糧や貯蓄の手段ともなっている。このように、家畜飼養は農家生産システムの中で重要な位置を占めるものであり、家畜飼養を除外しては彼らの生活は成り立たない状況にある。

しかし、その飼養方法の現状は貴重な飼料資源である野草、灌木等の資源量に見合った放牧頭数が考慮されているとはいえない。その要因としては、上記のような飼養目的から個々の農民としては飼料資源とのバランスを考慮する意識をもたず、常に増頭意欲が働いている。加えて、放牧地は自己有地や共有地を利用するが、中には土地なし農民も多数存在し、常に草資源は不足の状況にある。

その結果、恒常的な過放牧状態をきたし土壌侵食の進行を早め、ますます飼料資源の減少をきたしている。

このような状況に対し、本実証調査では、集落レベルの自然資源管理の重要性についての意識改革を図り過放牧の解消により土壌侵食防止につなげることで持続的な牧畜ひいては持続的な農村開発の必要性について検証した。

5.2 過放牧対策について

5.2.1 過放牧の問題点

アンデス溪谷地帯における放牧家畜は、主に役畜として牛、ロバの飼養、収入源および蛋白源等として山羊、羊、ラクダ科家畜が飼養されている。そのうち、一部の農家を除き、戸あたりの牛、ロバの飼養頭数はそれほど多くはない。しかし、山羊、羊については、飼養頭数が多く過放牧の主要な原因となっている。

過放牧は、放牧頭数と飼料資源のアンバランスにより、恒常的にバイオマスが家畜に採食され、それに伴う土壌管理が行われないことから土壌劣化の悪循環により裸地化し、雨、風により侵食されていくものといえる。

特に、山羊、羊の放牧は、灌木の茎葉や野草の地際まで採食することから、それらバイオマス資源の再生長を次第に阻害する。また、当該地域のような多くの半乾燥地域では、乾季における飼料不足時においても放牧を継続させなければならない飼養形態であり、自然資源の保全・再生産等が考慮されているとはいえない。

5.2.2 過放牧対策

自然資源の保全・再生産が考慮されていないこのような飼養方式も農家の経済的・技術的現状を反映した方法ともいえる。したがって、こうした生産システムを大きく変更させるような対策は難しいだけでなく、性急な対策の実行は不可能といえる。なぜなら、農家自体の技術力、資金力、労働力、また、行政機関等のサポート体制もそのことを全面的に可能にできる状況にあるとはいえない。

よって、畜産先進地域におけるような集約的な改善対策のように、多岐にわたる先端技術を駆使するのではなく、農家自身が低コストで地道に取り組める対策か、地元の行政機関等が重点的に取り組んでいるサポート事業などのうち地域の実情に即した対策を少しずつ選択し取り込んでいくことが必要である。

このような観点から、農家レベルで実施可能な過放牧対策についても、現場の問題点を洗い出し、採り得る方法を吟味する必要がある。

5.2.3 対策の要点と内容

過放牧に対する技術的な対策としては、家畜の生産性を向上させることにより**放牧頭数の適正化（削減）を図る対策**ならびに**飼料資源の生産を図り放牧による土壌への負荷を軽減する**ということが挙げられる。また、社会的な対策としては放牧看視を適正化し、野草、灌木などの飼料資源を適正利用すること、物理的な対策としては牧柵設置によりバイオマス資源管理を徹底させるといった対策が挙げられる。

このうち、放牧頭数の削減については、単に頭数を減らすというものでは農家に受け入れ難く、**経済的な価値を維持することを念頭において頭数を削減する**必要がある。また、飼料確保対策については、土壌劣化が進行した広大な放牧地を対象とした対策ではなく、**農産物残さのロス削減や、小規模な面積での飼料作物生産**が農家レベルで取りう

る対策といえる。

一方、放牧看視の現状は、飼料資源の看視よりも、農作物や植林された苗木の食害防止が優先される状況にある。集落内の共有地等における放牧についてはまさしく共有という原則に基づき多くは自由に利用され放牧看視は徹底されていないが、自然資源の意識改革を徹底させ、看視体制の強化を図る必要がある。

牧柵設置については広範囲な放牧地を対象としては費用の点から難しい対策と考えられる。

畜産対策は農民が持続的に取り組み可能な対策とする

1. 畜産技術による放牧頭数適正化対策

①放牧頭数削減対策

経済的な価値を変えないで放牧頭数を削減する

②飼料生産利用対策

小規模な飼料作物生産や飼料資源のロス削減

2. 社会的規制による対策

①自然資源に対する意識改革に基づく放牧看視の強化

5.3 放牧頭数の適正化

5.3.1 放牧頭数の削減について

放牧頭数を削減するためには、単純に頭数を減らすだけでは農家経済が成り立たなくなることから、それを踏まえた対応が求められる。

したがって、頭数削減を補完するような対策として個体生産性を向上させる対策や代替家畜への転換などが挙げられる。しかし、こうした対策を持続させるためには、個体生産能力向上に見合った総合的な飼養管理条件を整える必要がある。

(1) 現状の問題点

個体生産性に関する現状の問題点としては、山羊、羊などの放牧適応家畜のみならず、豚、鶏についても放し飼いによって飼養されており、多くは近親交配が進み繁殖能力、産肉能力、産卵性などの能力が著しく低下している。

こうした生産性に係わる現状の問題点と利点は次のとおりである。

<問題点>

- 家畜疾病に対する対策はほとんど実施されておらず、事故率が高い
- 飼料資源は野草、灌木、農作物残さが主体で、栽培飼料はほとんどない
- 低い経済的能力の家畜が飼料資源量以上に多頭数飼養されている
- 給水、飼料条件が整っておらず、家畜にとっての移動負担が大きい

一方、このような劣悪条件下でも生存できるよう次のような資質を獲得している。

<利点>

- 貧栄養など劣悪な飼料条件に対する適応性を確保している
- 耐病性など地域の環境条件に対する適応性を確保している

上記のような現状の家畜の生産性に関する課題を改善するためには、育種、衛生、飼料、飼養管理など多岐にわたる技術が関連し、かつ、それらの課題が有機的に連携する必要がある。したがって、各課題に対して単独で対処してもその効果は限定されたものとなる。しかし、総合的に解決しようとするれば多額の資金と農家の技術力向上が必要となる。よって、こうした対策の実行に当たっては、行政による支援体制や農家の経済的負担、技術能力など現状を踏まえて実施することになる。

(2) 放牧頭数の適正化の方法

放牧頭数を適正化する方法としては、次に示すように1) **個体能力の改善による対策**と2) **飼養形態を改善**する対策が考えられる。即ち、単に放牧頭数を削減することは農家にとって資産価値の減少となることから資産価値を維持した形で削減を図る考え方である。また、こうした対策は、集落の放牧地を共用している多数の農家が参加し改善

しなければその効果が持続性あるものにはならない。

放牧頭数削減対策

1. 家畜の**個体能力を改善**させ放牧頭数の削減を図る

- ① 家畜改良対策
- ② 家畜衛生対策

2. **飼養形態を改善**し放牧頭数の削減を図る

- ① 舎飼いにより放牧強度の削減を図る
- ② 放牧適応型家畜から舎飼い適応型家畜への転換を図る

5. 3. 2 個体能力改善対策

(1) 家畜改良対策

1) 家畜改良の現状

個体の資質改善を図るためには優良種畜の導入が必要となる。しかし当該地域の現状は、こうした対策はほとんど行われておらず近親交配による資質の低下を招いている。理由は資金不足および家畜改良と平行して改善が求められる飼養管理技術、飼養環境が整わないことによる。

さらに、各国内の育種改良は集約的な畜産のための改良が進められる傾向にあり、当該地域のような劣悪な飼養環境に適した家畜育種は行われていないのが現状である。

2) 対策方針

通常、家畜改良を進めるには事前に飼養環境に応じた目標を設定する必要があるが、改良目標の設定は極めて幅広い。本地域のように、飼養環境に大きな変更が望めないような場合の対策としては、近親交配の継続を断ち切ることが現実的な対策といえる。

即ち、経済的な資質を改善しようとすれば、平行して総合的に飼養環境も改善する必要がある、そうでなければ、改良した家畜の能力が発揮できなくなる。しかし、現状では高度に改良された品種に合った飼養環境の改善を急速に進めることは難しい。したがって、性急な生産性の向上まで結びつかなくても生産性の低下を防止する対策から手がけ、周辺環境に即した対応を順次進めていくことが求められる。

3) 対策の具体的な方法

家畜改良の基本は、優良な形質が固定された雄雌を交配して初めて改良の効果が得ら

れるものであり、不良な形質のもの同士の交配では資質向上は見込めない。

しかし、優良品種の導入による高度な資質改善を目指すことが難しい状況の中で、農家レベルで取りうる当面の対策としては、近親交配の回避が現実的である。

その場合の具体的な方法としては、近隣の類似環境地域から種畜を導入することであろう。しかし、そうした類似地域からの種畜も個体能力は低い、既存の環境適応性を確保しつつ資質の低下を防ぐことができる。近隣からの導入では、種畜の交換が経費の点でもまた、家畜の輸送によるロスも軽減できることになる。

（２）家畜衛生対策

１）疾病対策の現状

家畜飼養管理のためには家畜疾病予防、治療が求められる。疾病によっておこる事故率を低減させることは生産性の向上に直結するもので、効果的な対策といえる。

しかし、家畜疾病には、伝染性の強い重篤な疾病から寄生虫のように生産性の減少をきたすが家畜の生存にあまり影響しないもの、あるいは人畜共通の危険なものまで多様にある。また、こうした疾病への取り組みは行政も含めて組織的に実施しなければならないものから農家レベルで実施できるものまである。

しかし、多くの国では組織的な体制は未整備であり、本地域のような資金的な問題を抱えているような場合、ほとんど対策は取られていないのが現状であり、急速に改善される見込みはない。

２）具体的な対策

こうした現状を踏まえた上で、求められる改善対策は、罹患した場合の経済的な損失が大きく、かつ取引、移動の禁止措置等が課せられ、また、単に地域的な問題としてではなく、国レベルの問題となるような疾病、さらに人畜共通伝染病のように地域住民に直接影響するような疾病については、優先的に対処しなければならない。

また、一方、僅かな費用しかかからず、農家レベルでも対処できるような寄生虫対策のようなものについては一定の効果は期待できるので積極的に対応すべきである。

上記のうち特に牛取引で問題になるのは、ブルセラ病、狂犬病、トリパノゾーマ症等であるが、このうち国際間の取引にまで影響するものとしては、口蹄疫が最大の障壁となっている。本疾病については、一地域の問題に留まらず、当該国の畜産全体に係わるものとして対策が講じられているものである。したがって、行政支援は欠かせないものであるが、それを現場レベルで実行するためには一定のエリア、例えば、山岳・渓谷地域のようなところでは集落(小流域)単位ごとに実施していくことが効果的である。畜産先進地域のようなところでは、そうした対策を実行する場合でも強い動機付けが出来るが、後進地域では情報の不足等もあり集落住民の防疫に対する意識改革研修からはじめ、ワクチン接種方法等についての技術を取得させることで、費用の低減、疾病予防に対する意識の醸成を図る必要がある。



写真 5.3.1 集落全体によるワクチン接種のための牛捕獲作業・注射の訓練

5.3.3 飼養形態改善対策

放牧頭数の減少を図る方法の一つとして、飼養管理対策からの試みとして舎飼いへの変更を図ることが考えられる。

この場合、飼養家畜としては、山羊、羊などの放牧適応家畜を舎飼いに変更する方法もあるが、豚、鶏への転換は放牧強度を一層減少させる効果は大きい。ただし、こうした対策も集落全体の取り組みがあって初めて効果を発揮するものであり、一部の農家だけに留まっていたのでは効果は上がらない。

(1) 山羊、羊の舎飼い（ボリビアの渓谷地域では囲い込み飼養）

1) 実施方法

過放牧状態にある山羊、羊の放牧強度を減少させるためには、単純に一定の時間を舎飼にする方法がある。舎飼いについては、獣害対策や家畜排泄物を確保するため、夜間屋敷周りで飼う方法が伝統的に行われている（営農の保全対策の 項参照）。その場合の収容施設は、日干し煉瓦や灌木による囲いが用いられている。

放牧強度を低減させるために行うこうした対策を、多くの農家に普及させるためには、農家にとってメリットがあるかどうかにかかってくる。しかし、直接的なメリットが見出し難い本対策については、自然資源管理による持続的な牧畜のためであるという意識改革を農家に徹底させる必要がある。それには、自然資源に対応しうる対策が取れるかどうか十分現地の状況を考慮した上で取り進めるようにしなければならない。

2) 対策

収容施設については、伝統的な囲い柵で問題はないが、給与飼料および水の確保が必要となる。このうち、水の確保については、本実証調査においては土木的対策の中で実施しており、その設置目的の一つとして、家畜の舎飼いによる放牧の削減があり、土壌

侵食防止対策の考え方に沿った対策としている。なお、飼料確保対策については、5. 4. 1 に記載してある。



写真 5.3.2 屋敷周りの囲い柵：左(灌木製で移動式) 右(日干し煉瓦製・固定式)

(2) 山羊、羊の飼養から豚、鶏等への変換

1) 実施方法

収益性を下げずに放牧による自然資源に対する影響を減少させる方法として、舎飼いに適した家畜に転換させていく方法が考えられる。その場合の畜種は、豚、鶏が放し飼いはあるが、多くの農家で普通に飼育されていることから、取り組み易い。しかし、ここでの飼養方式は従来型の放し飼い方式の延長ではなく、一定の生産性を確保する飼養形態を目指すべきであろう。ただし、自家消費や、近隣の狭い地域を消費の対象とせざるを得ない状況を脱するには、克服すべき多くの局面があることから、給与飼料が自家調達できる範囲の飼養を前提とする。

2) 実施に当たっての留意点

(a) 畜種の選択

畜種の選択について、農家の置かれた諸条件によっても違ってくるが、鶏飼育が給与可能な飼料の量に応じて羽数が調整でき、少羽数では飼料負担も少ないことから取り組みやすい。また、産肉性にかかわる飼料要求率、世代の交代の迅速性、卵の販売による現金収入が得られやすいこと、食材が増えることによる栄養改善等の効果が期待できる。

(b) 導入品種について

生産性等を重視して高度に改良された品種は、栄養、衛生管理等が十分に行われて初めてその能力を発揮するように改良されている。したがって、自然環境、飼養環境が悪い状態のもとでは、逆に生産効率は悪くなる。

したがって、導入する品種については、畜産先進地向けに高度に改良されたものではなく、生産性が多少劣っても出来るだけローカル品種の資質を残した改良種を選択すべ

きである。また、そのような品種がない場合でも一定量の穀物飼料以外は放し飼い飼養を前提とした品種の導入を図るとよい。

例えば鶏の場合、強健性、粗食に耐える品種としては卵肉兼用種のロードアイランドレッド種がよく導入され、交配の素畜として利用される。また、豚については、3元交雑種のような大型で飼料要求量が高い品種は飼料確保のうえからも農家の負担が大きい。特に、残飯の発生も少ない地域であり、飼料資源は極めて限られていることから、地域内にあるの主要な作物であるバレイショの利用が望める品種が望ましい。

（c）持続性の確保

この飼養形態も一部の農家に限って行われるのであれば持続的なものとはならない。特に、豚の場合、持続的な飼養のためには種雄豚の飼養が必要であり、それには一定規模のメス豚がいなければ飼養効率が悪くなる。しかし、飼養に対しての生理的な嫌悪感や飼養技術、飼料確保等の問題から多くの農家が実施できるかが課題となる。このような制限要因があることから、実施に際しては、事前に農家の意向確認、飼料確保可能性などの調査を踏まえた上で始める必要がある。

さもないと、集落全体を対象として進めることはできず、その結果当初の目的を達成できなくなるばかりか、初度投資資金が無駄になる恐れがある。

（3）舎飼いのための畜舎について

放牧から舎飼いへ転換させる場合、畜舎の設置が必要となる。しかし、山羊、羊のような草食家畜については、既述した囲い飼いで大きな支障はない。

豚、鶏についても従来型の飼養方式では、畜舎は夜間の獣害対策用の施設程度で十分であった。しかし、生産性を確保するため高度に改良された品種でなくても改良種を導入した場合、舎飼いにすることで生産効率は高まる。

特に、豚、鶏とも繁殖性、肥育効率、寒冷期における子畜育成などに関し畜舎の有無は生産性に大きく影響する。特に、子畜育成時の疾病等による事故は生産性に直結するものであり、寒冷、防風対策は必須である。一方、成畜になると逆に体熱の放散機能が乏しいことから暑熱対策が大切になる。

畜舎に備える要件としては、家畜側からかあるいは飼養者側からの要件を満たすのかによって、作り方が違ってくる。一般的には次のような作業性、居住性、安全性、経済性、社会性といった点が考慮される。

しかし、当該地域のような小規模飼育の場合は、家畜側からの要件を中心に設置すればよく、次の点を特に留意する。

- 生育には気温の影響が大きく、子畜では寒冷対策、成畜では暑熱対策が必要
- 日光浴、運動は健康保持に欠かせないので、運動場はかならず設ける
- 給水施設には常に水がある状態とする
- 豚舎では、親豚の寝返りによる子豚圧死防止柵が有効

表 5.3.1 豚、鶏の適温

畜 種		生後日週令・体重	適温
豚	子豚	生後 1～3 日	25～32℃
		4～7 日	28～30℃
		8～45 日	20～25℃
	育成豚	15～50kg	20～25℃
		50～90kg	18～20℃
鶏	ヒナ	生後 1～4 週	31～33℃
	中雛	4～6 週	20～24℃
		6 週以降	13～28℃

畜舎の要件

作業性：管理者が作業しやすいようなスペース、動線計画を考慮する

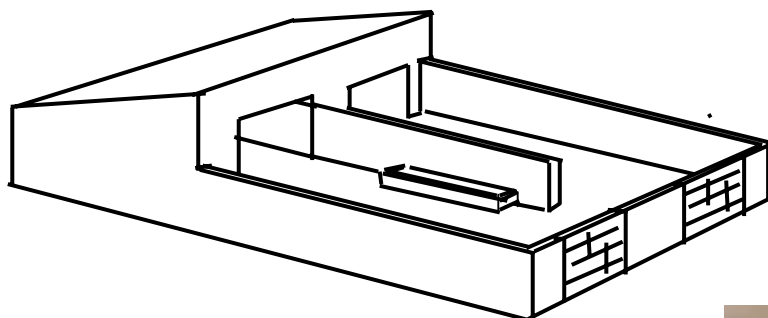
居住性：家畜の潜在的な生産力を十分発揮させるよう考慮する

- 劣悪な自然環境から守るため
- 畜舎によって損なわれる舎内環境を改善するため

安全性：人畜にたいして危険がないよう考慮する

社会性：当該地域では問題になりにくいだが、汚水などの環境面を考慮する

経済性：上記の諸条件と関連するが、設置コストを考慮する



豚舎の仕様(母豚2頭飼いの場合)

規格 : 長辺 5m × 短辺 4m (20 m²) 程度
 形態 : 一部屋根付き
 壁 : 日干レンガ＋モルタル仕上げ
 屋根 : トタン、萱等の植生材葺き
 給水施設 : モルタル仕上げ
 床 : コンクリート打ち(放し飼いをしない場合は、一部土間としておく)



図 5.3.1 豚舎の事例

5.4 飼料生産利用対策

5.4.1 飼料生産利用について

過放牧に対するもう一つの対策として、飼料作物の生産が考えられる。しかし、ほとんどの農家は、粗放的な放牧形態を伝統的に行っている農家で、飼料作物を栽培した経験がない。よって、こうした対策を実施するためには技術的、資金的な問題に加え、栽培への動機付けから始めなければならない。また、劣悪な気候条件、土壌劣化の進行など飼料作物栽培には不利な条件が重なっている。

(1) 現状の問題点

飼料不足は半乾燥地域においては恒常的な問題であり、飛躍的にこの問題を解決することは難しい。それは、投下する資本の問題もあるが土壌条件や気象条件に適した作物の選択と栽培技術にも課題が多い。特に、土壌劣化の著しい広大な渓谷地域に放牧用の牧草を導入し維持管理することは極めて難しく、現実的な対策とはなりえない。

(2) 対策

農家レベルでの飼料生産利用対策としては、余剰農産物や農産物残さの利用効率向上や緑肥植物の利用あるいは未利用地での飼料作物の栽培などが効果的といえる。こうした対策の中には従来より伝統的に行われているものもあるが、それを少しでも効率的に実施すること、あるいは、農家生産システム全体を通じて効果的に家畜飼料を生み出すことを考える必要がある。飼料生産対策としては、牛、山羊、羊など草食家畜のための草本性飼料の確保と、鶏、豚などのための穀物飼料の確保に分けられる。

飼料生産利用対策

1. 草本飼料の確保対策

- ① 農産物残さの有効利用
- ② 緑肥植物を飼料として利用
- ③ 補助飼料の採草用牧草栽培

2. 穀物飼料対策は、次のような対策がある

- ① 食用作物の余剰分を利用する
- ② 2毛作による飼料作物の栽培

5.4.2 草本飼料対策

(1) 農産物残さの有効利用

1) 現状

トウモロコシ、小麦などの農産物残さはこれまでもほとんど乾季用家畜飼料として利用されている。しかし、現状では保管方法等の不備により相当のロスが生じている。したがって、これらを少しでも改善することは、貴重な資源のロスを有効活用することにつながるものである。

当該地域での一般的な保管方法は、トウモロコシ茎葉は樹木の上に乗せ家畜の採食を防いでいるが、麦稈類はほとんどが野積みとなっている。

2) 対策

作物残さには主要な栄養素はほとんど含まれておらず、繊維質（乾物）が確保されている状態で保管されるが、草食動物にとっては貴重な飼料資源であり、貯蔵中のロスの減少を図ることは必要な対策といえる。

農家で取りうる方法としては、飛散によるロスの削減や天日による繊維質の劣化等に対し梱包化と貯蔵施設での保管が考えられる。梱包のためには簡易な木製の梱包機、貯蔵庫については、日干し煉瓦作りの倉庫で対応できる。



写真 5.4.1 トウモロコシの茎葉保管：左は現状で樹木の上に保管 右は梱包化して保管

(2) 緑肥植物の利用

1) 現状

緑肥植物の導入は確実に土壌改良の効果が得られ、農作物の収穫量も増加することから、輪作体系の中や、未利用地を農地化する場合有効な対策である。ここでは、農産物利用の一環として、緑肥を飼料仕向けとする対策について述べる。

営農的対策分野の報告にもあるとおり、農家の耕地面積は少なく現状ではほとんど緑肥栽培は行われていない。また、緑肥目的のみの栽培は農家に受け入れ難く、収穫可能な豆類の収穫ができ、かつ緑肥植物としても利用できる作物栽培が志向されている。こ

の場合は、豆の収穫後茎葉を土壤に鋤きこむことから家畜飼料としての利用は望めないが、土壌改良だけを目的とした緑肥植物のうち年間数度の刈り取りが可能な緑肥植物は飼料仕向けとしての利用が望める。

2) 対策

一般の作物と同様、緑肥栽培にあたっても一定の栽培環境が整わなくてはならない。特に降水量は半乾燥地域においては、最も重要な制限要因といえる。本調査地域において得られたデータでは、降水量が 800mm 程度の集落ではビシアが年に 3 回～4 回の収穫が可能であり、収量が 10～40t/ha、生育期間が 10 ヶ月にも及び乾季に入っても一定期間は収穫できることから、家畜飼料としての利用にも適している。当然、最後には緑肥として鋤きこむこととなる。

給与方法は、刈り取り給与方式となる。ただし、乾季には貴重な養分に富んだマメ科作物であり、それを単品給与するのではなく、他の飼料と併給することで有効利用を図る。栽培方法に関しては、営農的保全対策を参照のこと。

ビシア生産による羊の飼養可能頭数試算

ビシアの生産量 (5～15kg)	: 15 t /ha (年間) とする
羊 1 頭当たり年間必要草量	: 910kg (生草)
ビシア刈り取り回数	: 4 回
うち 3 回分を飼料仕向け	: 12 t
羊 1 頭当たり必要面積	: 約 760 m ²
ビシアの給与割合を 30% とすると	: 約 230 m ²

(3) 舎飼いのための牧草栽培

1) 現状

広大な山間放牧地を対象とした牧草栽培は既述したとおり資金的、技術的にも取り組み難い。こうした放牧地に適する草種は通常イネ科の多年生であり、特に条件不利地における適草種を選抜し、定着させることは極めて難しく、肥培管理も出来ない地域では一層困難といえる。また、有用野草のうちから適草種を選抜することも考えられるが、概して条件不利地における野草の多くは、家畜の嗜好性が悪い草種のみが残っている。

2) 対策

このように、広大な集落レベルの山地を牧草地化することは難しいが、当面の対策として小面積の未利用地で、採草型の牧草栽培を行うことは農家レベルでも取り組み可能なものといえる。牧草栽培は緑肥栽培と同様、現金収入や食用に直結しない作物であり、農家が受け入れにくい対策であるが、未利用地の有効活用という観点でマメ科牧草を栽培することで飼料確保はもとより、土壌改良にもつながり、将来農地への転換が可能となる。

3) 留意点

適草種の選定、播種時期の適正化、播種方法、肥培管理、刈り取り管理等が生産性に影響する。

- 適草種の選定

研究機関等による奨励品種があればそれを採用するが、多くの場合そのようなものは少なく、かつ現地での適応性まで調査されていない。よって、先進地視察などにより適草種を選択する必要がある。

当該地域のようなところでは永年性牧草の適草種は見出しにくい。また、通常肥培管理は行われないのでマメ科牧草を中心とした単年性の草種を選択する。

- 播種時期の決定

牧草類の栽培にとって播種時期は重要な要因である。乾季と雨季が分かれているような地域での播種時期は、雨季の始めとなる。ただし、降雨の状況は毎年大きく変化しており、雨を想定して播種すると失敗につながりやすいので降雨を待ってから播種するほうが失敗は少ない。

- 播種の方法

種が降雨によって流れないように比較的傾斜が小さい場所を選び播種後の覆土・鎮圧は必ず行う。

- 採種

単年性牧草とすることから種子購入を避けるためには出来るだけ採種して持続性を保つ必要がある。したがって、採種用としての区画を確保しておく必要がある。

5.4.3 穀物飼料等生産対策

(1) 2毛作等による生産

1) 現状

豚、鶏用の飼料としては、穀物飼料の確保が必要となる。しかし、現状では、これら畜種用の穀物生産は行われていない。理由は、農地面積が限られており食用作物の生産が優先されること、それに伴い飼料用の品種自体の流通が少ないこと等による。飼料の調達は食用のトウモロコシ、ムギ等の余剰分を若干給与している程度であり、購入してまで給与することもほとんどない。したがって、豚、鶏等を飼養する場合には何らかの対策により飼料の調達が必要となる。

2) 対策

限られた農地で飼料作物を栽培する方法として、2毛作や2期作がある。もちろん栽培条件が整っている必要があるが、実証調査地域の中でも、雨季の降水量が800mm程度の集落ではバレイショの後作として、オオムギやライムギの栽培や小規模灌漑施設の導入によりバレイショの2期作も可能となった。

もちろん、バレイショは食用あるいは販売用として利用されるものであるが、豚の飼料としての可能性を示すものである。ムギ類の子実は豚、鶏に、麦稈は草食家畜の飼料として利用できる。家畜の栄養としては穀物の中でもトウモロコシが適しており、ムギ類のみでは偏りがあるが、炭水化物の量を確保する意味は大きく、トウモロコシの給与量を削減できる。

しかし、こうした農地の高度利用は当然土壌養分の補給も考慮しなければならない。既述した緑肥栽培を取り入れた輪作など計画的な作付け体系の下で実施する必要がある。

5.5 社会的規制による対策

実証調査地域における土地所有形態は、農家の個人所有地以外の山地はほとんど共有放牧場として利用されている。しかし、その放牧形態は慣行的に自由放牧となっており、集落内での取り決めはなく、既述したとおり社会的規制については、苗木、農地への進入防止の観点から行われているにすぎない。

(1) 実施方法

飼料資源が極端に乏しい地域において、放牧のための社会的規制を設けることは農家にとっても死活問題であり難しい。特に、この対策を単独で実施することは困難であり、本実証調査の実施戦略のように集落全体の自然資源に対する意識改革、リーダー養成、集落全体を対象とした総合的な対策などを行う中で、その一環として実施しなければ実現できないものと思われる。

そのためにも、これまで述べてきたような放牧頭数の削減対策や飼料生産利用対策などを組み入れることは必要であろう。

(2) 放牧方法

放牧形態には、山林原野に家畜を自由に放牧させる場合と、管理放牧としては放牧地に一定の区画を設定し輪換する方法や繋牧等がある。いずれの方法も古くから行われている。輪換放牧の場合、現在では牧草の集約栽培と輪換放牧を組み合わせたものを一般的に輪換放牧といっている。また繋牧についても一定の草資源がある場合に行われる方法であり、看視を怠ると逆に過放牧になりやすい。

当該地域のように粗放的な放牧形態の地域でも、土壌侵食防止および持続的な牧畜の観点からは一定の管理放牧による効果は期待できる。

次に示す表 5.5.1 は、ボリビア国農牧省から出されている家畜飼養頭数を算定する家畜単位(表 5.5.2)および家畜単位あたりの必要面積(表 5.5.3)から試算した野草の生産量である。

表 5.5.1 半乾燥地域(III)における野草の生産量推計

	体重 (kg)	U. G. (家畜単位)	採食量(乾物) kg/日	採食量(生草) kg/日	生草量kg/年間	1頭の必要面積(ha)	野草の生産量 (生草) /ha・年間
雄牛	600	1.50	15.0	37.5	13,688	19.5	約700kg
雌牛	400	1.00	10.0	25.0	9,125	13.0	
子牛	300	0.75	7.5	18.8	6,844	9.8	
子牛	200	0.50	5.0	12.5	4,563	6.5	
山羊	45	0.11	1.1	2.8	1,004	1.4	
羊	40	0.10	1.0	2.5	913	1.3	

- 草末の参考資料から推計した生草採食量と野草生産量
- 乾物 1kg を生草に換算：水分含有率を概ね 60%とした
- U.G.：家畜体重 400kg を 1 単位とし、その乾物摂取量を 10kg/日としたもの

＜参考＞ ボリビア国における家畜飼養頭数の算定について

放牧可能頭数は、飼料資源のバイオマス生産量と家畜の採食量から概算できる。そうした目的のため、多くの国で家畜単位といわれるものが設定されており、家畜を体重等によって単位化し、単位あたりの採食量を決めている。

ボリビア国においても、体重による家畜単位(Unidad Ganadera：U.G)を定め、バイオマス生産量も降雨状況の違う地域別に基準化されている。表 5.5.2 および表 5.5.3 は、ボリビア農牧省が作成した家畜単位(U.G)および 1UG あたりの必要面積を示している。しかし、こうした基準単位は当該地域のすべてに当てはまるものではなく、各地域の実態を十分考慮し地域補正等により調整をおこなうことになっている。

特に、採食量は放牧の場合の移動エネルギー等が考慮されているか、飼料資源の賦存量は地域の実態に合っているかを事前に十分検討したうえ採用する必要がある。

表 5.5.2 ボリビア国における家畜単位

家畜の種類		家畜単位 (U.G.)
雄牛	600kg	1.50
雌牛	400kg(授乳期)：350kg+50kg	1.00
子牛	300kg	0.75
子牛(1才)	200kg	0.50
山羊	45kg	0.11
羊	40kg	0.10
馬	380kg	0.95
ラクダ科動物	120kg	0.30

＊ 家畜単位(U.G)：生体重 400kg を 1 単位としている。

＊ 1U.G の採食量は乾燥重量で 1 日 10kg としている。

上記の 1 U.G 当たり 10kg の乾物摂取量は、家畜の食い込み量としては高い水準といえる。実証調査地域のようなところでは、特に乾季のバイオマス生産量が乏しく、これほどの摂取量はないものと考えられる。

なお、乾物 10kg は生草に換算すると概ね 25kg に相当する。(日本の野草から類推)

参考（日本標準飼料成分表より）
 野草の水分含有率（生草ベース）
 原野：59.1%、山地：64.1%

表 5.5.3 家畜単位あたりの必要面積

地域		年間降水量	家畜 1U.G. 当りの必要 面積(ha)	
I	湿潤地域	1500mm 以上	4 (5)	ベニ A サンタクルス A
II	半湿潤地域	900～1500mm	6 (8)	サンタクルス A パンド B ベニ A ラパス A コチャバンバ A
III	半乾燥地域	500～900mm	11 (14)	ラパス A コチャバンバ A オルーロ A ポトシ A タリハ A チュキサカ A サンタクルス A
IV	乾燥地域	500 未満	15 (19)	チャコ南部 アルチプラーノ

* A：その県の一部をさす

* B：その県の全体をさす

* () 内は気候条件補正として 30%増とした場合

第6章 その他の対策技術

6.1 穀物貯蔵家庭用サイロ

(1) 家庭用サイロとは

収穫後ロス※1は小規模零細農家にとって深刻な問題である。不適切な取り扱い、害虫などにより、穀物では収穫物の25%※1が失われていると言われている。作物の収量を25%増加させることは容易なことではないが、収穫後ロスを減じることは、穀物の場合それほど困難ではない。収穫後ロスの最大の原因は湿気による発芽・腐敗と害虫・小動物・鳥による食害である。この対策として、ブリキ製の家庭用小型サイロが効果的である。

その製造は比較的容易であり、数回の研修で農民が自ら作ることが可能である。

(2) サイロの機能

穀物を気温変化、湿度変化、病虫害などから守り、品質を維持し、衛生的な状態で貯蔵することができる。

また、穀物を種子用として貯蔵する場合には、発芽率の低下を軽減することができる。

(3) 普及上のポイント

- ① 本体のサビを避け穀物の取り出しを容易にするため台を設け、その上に設置する。
- ② 屋外に設置する場合は、管理が容易となるように家の近くが良い。また、風通しの良い冷暗所、雨滴の入らない屋根付きの場所に設置する。
- ③ 貯蔵する量が多い場合は、容量を大きくするか、複数基設置するか、利用頻度、穀物の種類を考慮し検討する。
- ④ サイロに入れる穀物は十分乾燥させる。水分量が多い場合、発芽したり、カビが発生したりする恐れがある。
- ⑤ 害虫を薰蒸するためガス発生剤を使用する場合は、薬品事故が起こらないよう農民にその取り扱いを十分指導する。

(4) 製造方法

1) サイズ

サイロの大きさは、貯蔵する作物の種類、量、貯蔵の目的、貯蔵場所などの条件を考慮に入れて決定する。種子用に貯蔵するのであれば大きな容量はいらない。

表 6.1.1 サイロの規格等

規 格	単位	2.2qq	2.6qq	6.0qq	12qq	20qq	22qq	40qq
容 量	M3	0.13	0.16	0.38	0.72	1.20	1.35	2.43
高 さ	M	0.76	0.92	0.88	0.98	0.98	1.98	1.98
直 径	M	0.48	0.47	0.74	0.97	1.25	0.93	1.25
価 格	US\$	35	25	55	80	90	90	140

出展：Cartilla del participante, Proyecto FAO GCP/RLA/114/ITA, Santa Cruz, Bolivia

また、家屋内にサイロを設置する場合、戸口から内部に運び込める大きさにする必要がある。以下にボリビアで用いられているサイロの規格及びその価格を示す。

※1 Prevención de pérdidas de alimentos poscosecha: Introducción, FAO, 1993

2) 材料、材質

材質はブリキが安価で加工し易く、また耐久性があることから一般に用いられている。製造に必要な材料は以下のとおりである。

表 6.1.2 サイロの大きさ別材料数量表

材料	単位	2.2qq	2.6qq	6.0qq	12qq	20qq	22qq	40qq
ブリキ板	枚	1.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00
溶接棒	Kg	0.50	0.27	0.80	0.97	1.13	1.13	1.42
酸	リットル	0.025	0.013	0.039	0.048	0.055	0.056	0.070
苛性ソーダ	リットル	0.35	0.19	0.56	0.68	0.79	0.80	1.00
サビ止めペイント	リットル	0.080	0.050	0.163	0.150	0.170	0.200	0.250

出展：Cartilla del participante, Proyecto FAO GCP/RLA/114/ITA, Santa Cruz,Bolivia

3) 製造コスト

実証調査において導入したものは、380 リットルタンクが主流である。この容量にしている理由は、設置場所として家屋内が大半であり大きな容量だと家に入らないこと、および、貯蔵すべき量も多くはないことがあげられる。

サイロ 1 基あたりの製造コストは、工賃込みで約 40 ドルである。

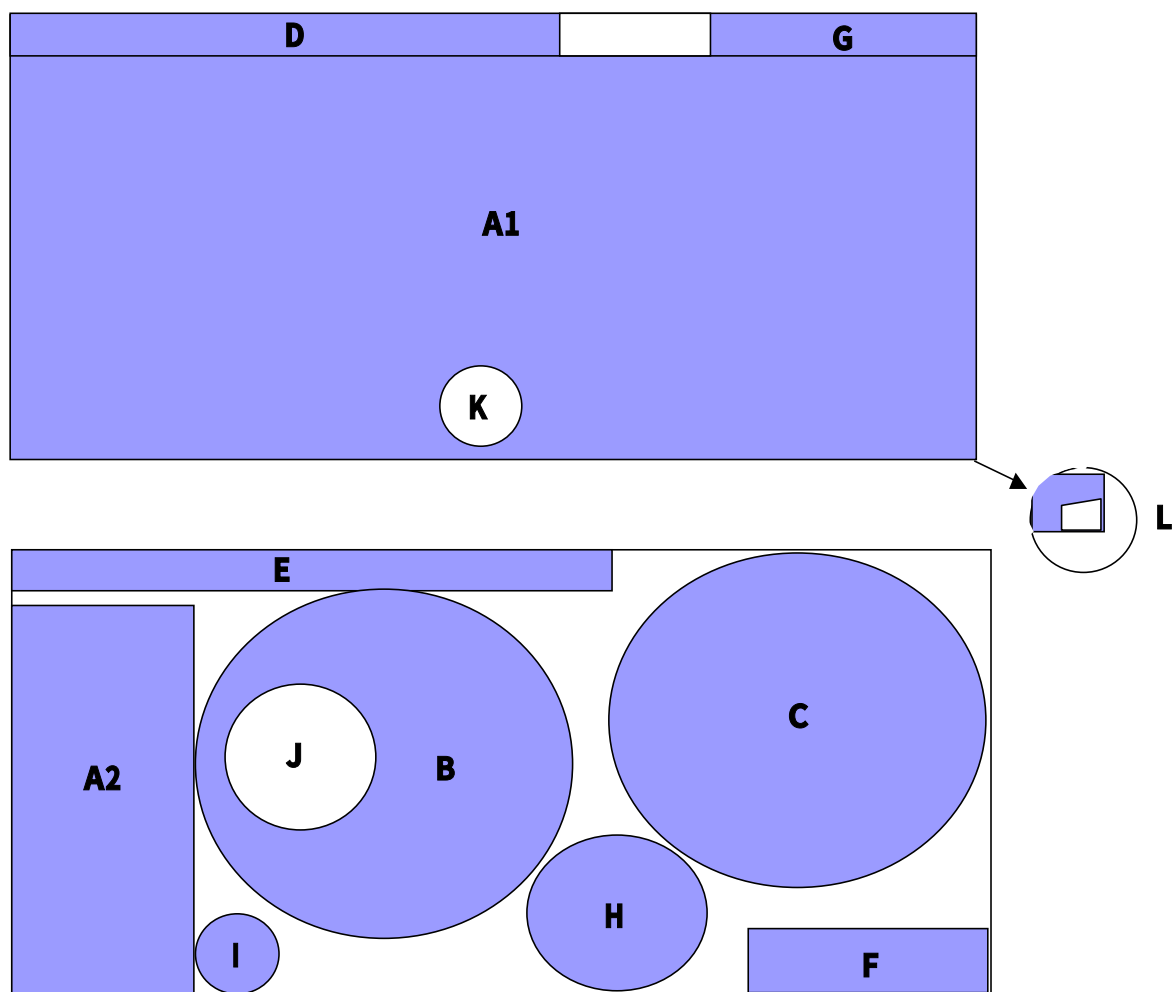
工賃 Bs.100 (4 人日／基)

材料費 Bs.200

計 Bs.300 (約 40 ドル)



写真 6.1.1 家庭用小型サイロの製作研修



規格：6.0qq、容量：0.38

A1：本体側部 1 (89x200)

A2：本体側板 2 (89x34.9)

B&C：天蓋、底蓋($r=38$)

D：投入口内側板(11x118.2)

E： 取出口外側板(7.5x119.2)

F：取出口内側板(16x49.1)

G：取出口外側板(11x50.1)

H：投入口フタ($r=19.6$)

I：取出口フタ($r=8.6$)

J：投入口切取り($r=18.5$, 縁より 25cm)

K：取出口切取り($r=7.5$ 縁より 10.5cm)

L：接合用切り欠き(0.5x0.7 斜め)

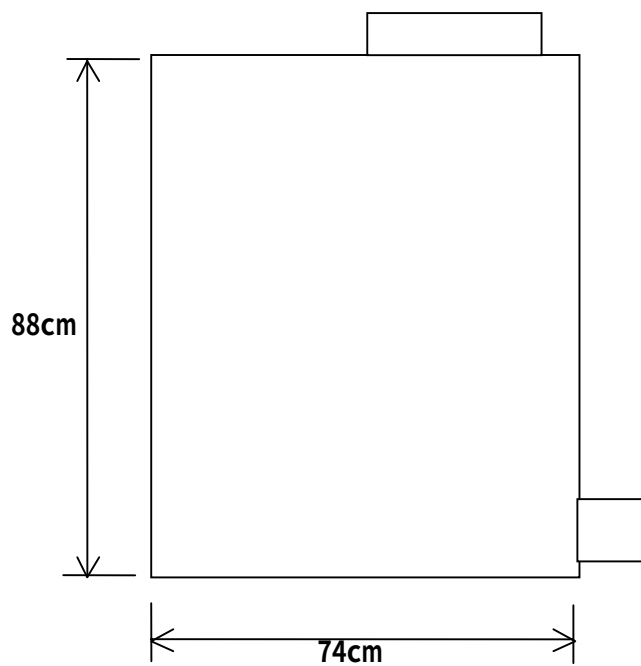


図 6.1.1 家庭用サイロ展開図

6.2 ミミズコンポスト

地中には、モグラや野ネズミなどの哺乳動物から、体長 0.2mm以下の原生動物まで、様々な小動物が生存している。

土壌小動物の分類(五十嵐、2002)

- 扁平な脚や頭で土を削るもの：モグラ、ケラ、糞虫など
- 大顎などの口器で土を削り運び出すもの：アリ、コガネムシなど
- 土を飲み込んで運ぶもの：ミミズ

土壌小動物は、有機物を分解し、土壌の生成・肥沃度維持に大きな役割を果たしている。植物遺体などの有機物は、土壌動物によって分解される。

土壌小動物による 有機物の分解過程(渡辺、1998)

- 第一段階：ミミズ、ヤスデ、ダンゴムシなど大形の小動物が落葉、腐敗根などの植物残渣をかじり、摂食活動によって有機物を裁断、粉碎する。
- 第二段階：動物の消化管を通過する間に更に磨砕され、糞として排出される。ミミズの場合、年間糞塊生成量・耕うん量は 30～200t/ha に達する。
- 第三段階：土壌小動物は地中にトンネルを作って移動するので、土壌と有機物をあらゆる方向に混合・攪拌し、糞の周辺の有機物と土壌粒子の結合、土壌中の団粒が形成され、土壌の肥力が増大する。

土壌小動物のなかで、ミミズは最も重要なものの一つである。

ミミズは土を食べて生きている。土はミミズの口から入って外に出ると、また土になる。しかし、ミミズの口へ入る前の土と、ミミズが外へ出した土とは、土の性質がまるで違っている。第一に、土と飲み込まれた新鮮な草の葉や半腐れのわらなどが、ミミズの体内の分泌液によって豊かな黒い土になって出てくる。第二に、出てきた土は細かい団粒状であるから、空気が通りやすく、ふわふわと柔らかなものになる。ミミズの糞塊生成量・土壌耕うん量については多くの報告があるが、年間 30～200t/ha 程度とみられる。

ミミズは、植物遺体と一緒に土壌を体内に取り込み、消化の際にカルシウムを

分泌するのでその糞はカルシウムに富む有機物と土壌の混合物となり、土壌の腐熟化を促進する。また、地中での活発な移動は、土壌の攪拌を促す(山本、1994)。

ミミズの働きでできるコンポストは優れた土壌改良資材である。

ミミズコンポストには、*Eisenia foetida* と *Lumbricus rubellus* の 2 種類が最も効率的であると言われている。

ミミズコンポスト

- 様々な有機廃棄物からミミズによって作られる腐植土
- ミミズの糞と分解された有機物が含まれる
- 大量生産は難しいが、野菜栽培や苗床での利用が効果的
- ミミズは一日に体重の半分から同等以上の有機物を処理する

実証調査対象地域において、数十箇所の畑で土壌断面調査の折にミミズの有無を調べたが、ミミズを見つけたのは SF 大学の畑一箇所だけであった。ここは、大きな Molle の木の下で、作土には生存していなかったが、水分のやや多い下層土にミミズを一匹だけ見つけることができた。実証調査対象地域の土壌は、土壌有機物に乏しく、乾燥した土地でミミズの生存が非常に困難な環境であると思われる。

ミミズコンポストの作り方

- コンポスト材料を混合、水分を 60% に調節する
- 枠にコンポストの材料を入れ、ミミズを混ぜる
- 時々攪拌、水分を調節する（3～6 ヶ月）
- 完熟ミミズコンポストができたなら、コンポストとミミズを分離する（1～2 週間）
- コンポストを取り出す
- 野菜畑、苗床などに利用

コンポストができたなら、ミミズを分離しなければならない。コンポストからミミズを分離するには、下記のような方法でミミズを移動させるとよい。

- 水平分離：隣接する複数の枠を用意し、出来上がったコンポスト枠と材料を入れた隣接枠の間の仕切り板を外す。ミミズは、1～2 週間

で隣の枠に移動する。

- b. 上下分離：出来上がったコンポストの上に、新しい材料を入れたネットを重ねて置く。ミミズは、1～2週間でネットを通過して上部へ移動する。

実証調査では、写真 6.2.1 のような連続した 3 個の枠(1x1.5x0.5m)を使用し、ミミズコンポストを作った。材料は、麦わらと羊糞を使用、得られたミミズコンポストは、野菜栽培に利用した。



写真 6.2.1 ミミズコンポストの製造

I. 1 モデルによる土壌侵食量の推定方法

これまでに、水食による土壌侵食量を推定するための方法（モデル）が多くの研究者らによっていくつか提案されている。以下に、現在世界中で広く利用されている、ULSE および WEPP モデルについて紹介する。

流亡の過程はさておき土壌侵食量さえ算出できれば良いというような場合には、世界で最も広く用いられている USLE のような経験的モデルが適当であり、侵食過程の把握やシミュレーションを行う場合には、WEPP モデルのような物理則に基づいた決定論的モデルが適当であろう。経験的モデルは、計算過程をブラックボックスとして簡素化されており、実測値に基づいて構築されるので比較的扱いが簡単であり、モデルが同定された地点と類似した物理的条件をもつ地域に対しては精度良く計算できるという利点があるが、一方、物理的条件の異なる地点や、流域条件変化に伴う土壌流亡量の変化予測というようなシミュレーションにはほとんど対応不可能である。

これに対し、侵食過程を物理的に考慮したモデルでは、通常、モデル内に多くの変数と計算過程が含まれ、それらすべてを同定することが困難なために経験的モデルに比べて誤差が大きくなる傾向がある。しかし、物理的モデルでは、物理的条件を変化させてシミュレーションを行うことが可能であり、さらにモデルが同定されたときの条件と異なる条件を持つ地域に対してもある程度対応可能である。また、後述の WEPP モデルは従来の経験的モデル並、あるいはそれ以上の精度で計算が行えるものとして、現在とくに注目が集められている。

(1) USLE モデル

土壌侵食量を推定するための経験的モデルとして、最も代表的なのは USLE(Universal Soil Loss Equation) とその改良版である RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) および MUSLE (Modified Universal Soil Loss Equation) であろう。USLE は(I.1.1)式で表され、多くの研究者らによって継承的に開発されてきた静的モデルをベースにして、Wishmeier らが圃場実験データを用いながら実用的なモデルに確立させたものである。

$$A = R K L S C P \quad (\text{I.1.1})$$

ここに、

A : 年間土壌侵食量 [$\text{t ha}^{-1} \text{y}^{-1}$]

R : 降雨流出の侵食力ファクタ (Erosivity factor) [$\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{y}^{-1}$]

K : 土壌の侵食性ファクタ (Erodibility factor) [$\text{t h MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$]

L : 斜面長ファクタ (Slope length factor) [無次元]

S : 斜面勾配ファクタ (Slope steepness factor) [無次元]

C : 被覆管理ファクタ (Cover management factor) [無次元]

P : 保全対策ファクタ (Conservation practice factor) [無次元]

なお、 R および K については、算定方法によって異なった単位が用いられることもある。

以下、各ファクタについてももう少し詳細に説明を加える。

1) 降雨および流出水の侵食力ファクタ R

R は水食のエネルギー源となる降雨および流出のエネルギーの関数として (I .1.2) 式で与えられる。なお、 R には概念的には地表流出水の持つエネルギーも含まれるが、それは降雨の雨滴が持つエネルギーに比べると無視できるほど小さい (ある試算では雨滴の 256 分の 1) と考えられることから、実際には降水量と降雨強度のみに着目した関数となっている。

$$R = \sum_{i=1}^n E_i I_{30i} \quad (\text{I .1.2})$$

ここに、

E_i : 任意の降雨事象 i における降雨の運動エネルギー [MJ ha^{-1}]

I_{30i} : 任意の降雨事象 i における 30 分最大雨量 [mm h^{-1}] (単位に注意)

n : 年間降雨事象数

任意の降雨事象 i における運動エネルギー E_i は、(I .1.3)式により算出される。

$$E_i = E_{0i} r_i \quad (\text{I .1.3})$$

ここに、

E_{0i} : 降雨 1mm あたりの運動エネルギー [$\text{MJ ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$]

r_i : 任意の降雨事象 i における降水量 [mm]

降雨 1mm あたりの運動エネルギー E_{0i} は降雨強度 I_i [mm/h]の関数によって計算される。その関数には様々な式が提案されているが、例えば Foster らによる (I .1.4)式がある。

$$E_{0i} = 0.119 + 0.0873 \log I_i \quad (\text{I .1.4})$$

・ Example 1 : $E_i I_{30i}$ の計算例

表 I.1.1 に示される降雨の場合、

$$r_i = 31.0 \text{ [mm]}, \quad I_i = 31.0 \text{ [mm]} / 180 \text{ [min]} = 10.3 \text{ [mm/h]}$$

$$I_{30i} = 23.0 \text{ m/h} \quad (0:40 \text{ 以降} \sim 1:10 \text{ までの間で最大})$$

となるから、(I.1.4)および(I.1.3)式より

$$E_{0i} = 0.207 \text{ [MJ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}\text{]}$$

$$E_i = 0.207 \times 31.0 = 6.42 \text{ [MJ ha}^{-1} \text{]}$$

よって、

$$E_i I_{30i} = 6.42 \times 23.0 = 148 \text{ [MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{]}$$

となる。これを年間の各降雨に対して適用すれば、(I.1.2)式により R が算出される。

表 I.1.1 降雨記録の例

Time	Amount (mm)
0:30	0.0
0:40	5.0
0:50	2.5
1:00	5.5
1:10	3.5
1:20	1.5
1:30	1.5
1:40	1.5
1:50	1.0
2:00	1.5
2:10	1.0
2:20	1.5
2:30	1.0
2:40	1.0
2:50	1.0
3:00	0.5
3:10	0.5
3:20	0.5
3:30	0.5
3:40	0.0
3:50	0.0
Total	31.0

2) 土壌の受食性ファクタ K

K は土壌の被侵食度合いを表す係数であり、基本的には侵食対策の施されていない勾配 9 %、長さ 22.1 m の裸地斜面において現地計測された年間土壌流亡量 A を R で除することによって得られる。ちなみにアンデス溪谷地帯に属するボリビア国チュキサカ県では、 K は 0～0.7 の範囲の値をとるとされている (CORDECH、1994)。

裸地斜面からの土壌流亡量実測値の得られない地点において年間土壌流亡量を推定する場合には、現地土壌の組成・浸透性・有機物含量のデータさえ手に入れば、全米各地における膨大なプロット試験結果に基づいて作成された計算図表 (図 I.1.1) や回帰式 ((I.1.5) 式) を用いて K の値を求めることが可能である。ただし、この計算図表や回帰式はあくまでも米国におけるプロット試験結果に基づいて作成されたものであり、適用地域の条件によっては精度が劣る可能性があることに留意すべきである。

$$K = 2.8 \times 10^{-7} M^{1.14} (12 - a) + 4.3 \times 10^{-3} (b - 2) + 3.3 \times 10^{-3} (c - 3) \quad (\text{I.1.5})$$

ここに、

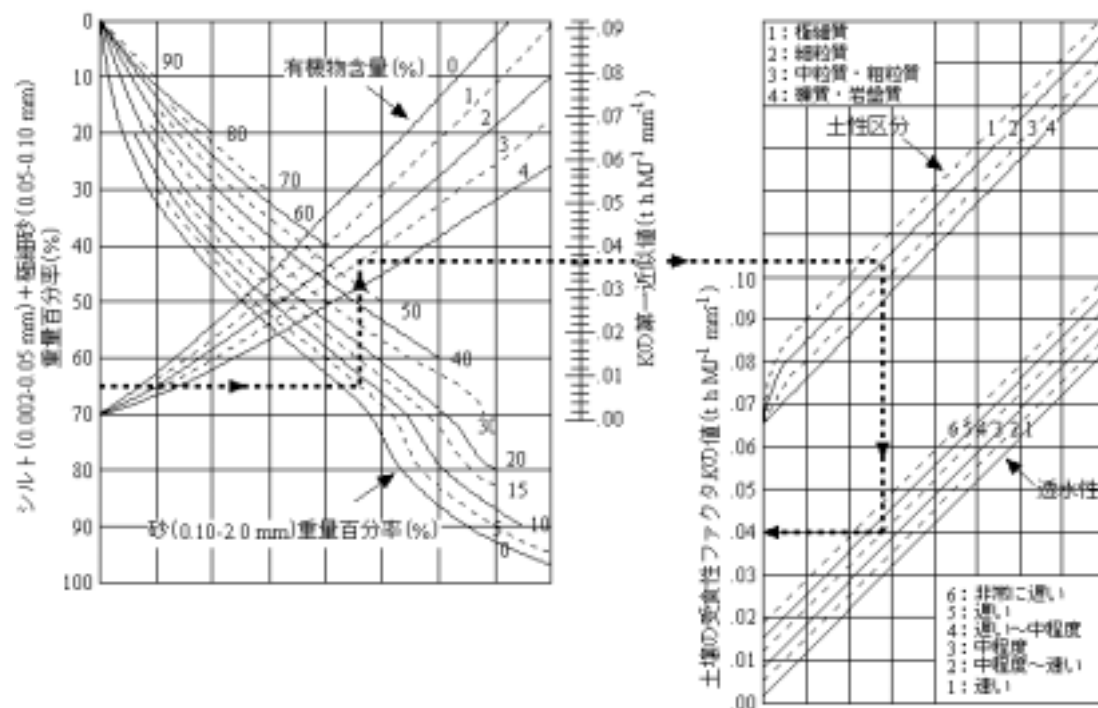
M : 土壌粒度パラメータ (シルト [%] + 極細砂 [%]) $\times$ (100 - 粘土 [%])

なお、シルト : 0.002～0.05 mm、極細砂 : 0.05～0.10 mm、粘土 : >0.002 mm

a : 有機物含量 [%]

b : 粒度組成コード (極細粒土 :1、細粒土 :2、中粒度 または粗粒土 :3、礫質土 :4)

c : プロファイル浸透性 (速い :1、速い～中程度 :2、中程度 :3、中程度～遅い :4、遅い :5、非常に遅い :6)



図中の矢印付きの太い点線は、シルト+極細砂 :65 %、砂 :5 %、有機物含量 :2.8 %、土性区分 :2、透水性区分 :4 の場合の K の算定手順を例示したものであり、この場合の K の値は 0.04 となる。

図 I.1.1 土壌の受食性ファクタ K の計算図表

(出典：「第 4 版 Soil and Water Conservation Engineering」p.101 掲載の図から再作成)

3) 斜面長ファクタ L

斜面長ファクタ L は、斜面長に対する補正を行うための係数である。 R と K の積は、標準斜面、すなわち侵食対策の施されていない勾配 9 %、長さ 22.1 m の裸地斜面における年間土壌流亡量を表す。しかし、実際の現場では、当然、斜面がこの標準より長いこともあれば短いこともあり、斜面長が標準より長くなると土壌流亡量は標準斜面に比べて大きくなり、短くなると小さくなる。 L の算出方法としては、従来、計算図表によって後述の斜面勾配ファクタ S と積の形で求める方法が用いられていたが、McCool ら (1989) により作られた (I.1.6) 式によって求める方法が簡便であろう。

$$L = \left(\frac{l}{22.1} \right)^m \quad (\text{I.1.6})$$

ここに、

l : 斜面長 [m]

m ：無次元の指数

なお、 m の算出には、(I .1.7)式が与えられている。

$$m = \frac{\sin \theta}{\sin \theta + 0.269(\sin \theta)^{0.8} + 0.05} \quad (\text{I .1.7})$$

ここに、

$$\theta: \text{斜面勾配 [deg]} = \tan^{-1} \left(\frac{s}{100} \right)$$

s ：斜面勾配 [%]

なお、(I .1.6)式が最も有効なのは、適用地域において標準斜面の条件下でリル侵食と面状侵食の発生が等しい場合であり、面状侵食が卓越している場合（シルトや砂質土の割合の高い土壌など）には、 m の値を 75%程度増加させ、リル侵食が卓越している場合（斜面長が短いときや、粘土質の土壌など）には m の値を 50%程度小さくすると良いとされている。

4) 斜面勾配ファクタ S

斜面勾配ファクタ S は、斜面勾配に対する補正を行うための係数である。 S の算出方法としては、先述のように従来は計算図法を用いて斜面長ファクタ L との積の形で求められていたが、現在では McCool ら (1987) により作られた(I .1.8)式によって独立に S を求める方法が利用されている。

斜面長 $l \leq 4 \text{ m}$ のとき、

$$S = 3.0 (\sin \theta)^{0.8} + 0.56 \quad (\text{I .1.8a})$$

斜面長 $l > 4 \text{ m}$ かつ 斜面勾配 $s < 9 \%$ のとき、

$$S = 10.8 \sin \theta + 0.03 \quad (\text{I .1.8b})$$

斜面長 $l > 4 \text{ m}$ かつ 斜面勾配 $s \geq 9 \%$ のとき、

$$S = 16.8 \sin \theta - 0.50 \quad (\text{I .1.8c})$$

5) 被覆管理ファクタ C

被覆管理ファクタ C には、被覆そのもの、多期作・多毛作を行う場合の作物の順序、生産性レベル、生育期間の長さ、耕起方法、残さ管理、そして侵食事象発生の時間分布などの影響が含まれる。これらの要素は地域ごとに大きく異なるため、どの地域にも通用するような C の決定方法を確立することは難しく、基本的には、USLE を適用する地域で圃場実験を行い、その結果に基づいて C の値を決定するのが最善である。

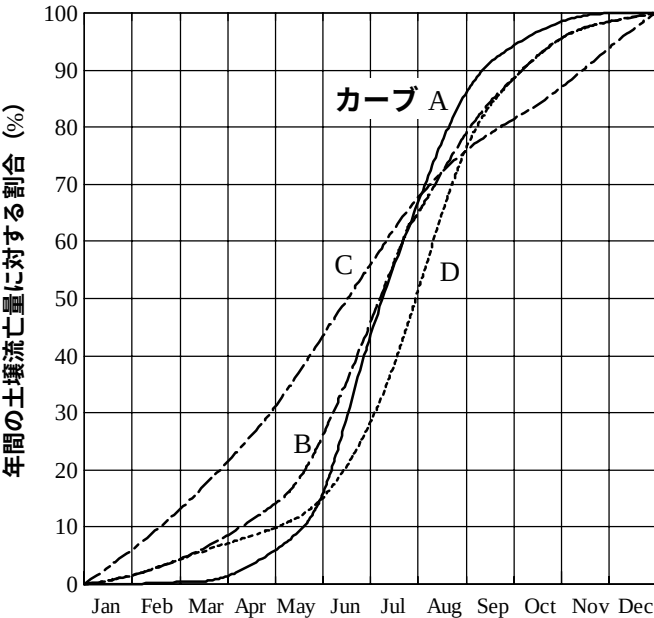
ただし、例えば、圃場実験を全国規模で展開させている米国では、膨大な実験結果を総括して、耕作方法（連作、輪作など）別に作物生育段階ごとの土壌流亡割合（%）を整理し、これと別途作成された月別土壌流亡割合（%）との積によって、当該地域

における C を決定するという方法を確立させているので、これらを参考にすることは可能である。以下に、Wischmeier らによって作成された土壌流亡割合を示す表および月別土壌流亡割合のグラフを示す。

表 1.1.2 作付け方法 (および管理条件) の違いによる各生育段階での土壌流亡割合

作付け方法 (および管理条件 ^{*1})	春季植付け時		作物生育の各段階および樹冠被覆率の違いによる土壌流亡割合(%) ^{*2}							
	残渣量 ^{*2} (kg)	被度 ^{*3} (%)	作物生育段階 (樹冠被覆率(%))							
			荒起し (0~)	苗床 (~10)	苗立ち (~50)	生育 (~75)	成熟 (~80)	成熟 (~90)	成熟 (~96)	残渣 刈り株 (-)
連作										
トウモロコシ (RdL, ST, MBT)	5000	-	36	60	52	41	-	24	20	30
小粒穀類	5000	60	-	16	14	12	7	4	2	-
牧草							1			
輪作										
牧草→条植え作物			12	27	23	20	-	14	12	21
マメ→トウモロコシ (ST)			47	78	65	51	-	30	25	37
トウモロコシ→マメ (ST, MBT)			39	64	56	41	-	21	18	
伝統的作付け										
トウモロコシ→マメまたはトウモロコシ	5000	60	-	13	11	10	-	10	8	20
マメ→トウモロコシ		30	-	33	29	25	22	18	14	33
トウモロコシ→小粒穀類	5000	60	-	16	14	13	7	4	2	

- *1 RdL: トウモロコシ残渣を圃場内に残す。 ST: 春耕起。 MBT: モールドボードプラウ耕起。
 *2 1haあたりの乾物重。 春季植付け前の状態。 オフシーズン中に放牧等によって前シーズン収穫直後に比べ残渣や被覆が減少することもある。 収量が6~8t/ha得られる作物に対し、5,000kg/haの乾物残渣量が得られる。
 *3 作物播種後に残渣マルチによって被覆される地表面の面積割合。
 *4 それぞれ記された作付け順および管理方法が経年的に維持されると仮定した場合の土壌流亡割合。 なお、単年だけ例年と異なる管理を行ったとしてもさほど大きな影響は無い。



- A: アイオワ北西部、ネブラスカ北部、サウスダコタ南部
 B: ミズーリ北部、イリノイ中部、インディアナ、オハイオ
 C: ルイジアナ、ミシシッピ、テネシー西部、アーカンソー東部
 D: ジョージアおよびカロライナの大西洋岸プレーン

図 1.1.2 月別土壌侵食割合 (%)

(出典:「第4版 Soil and Water Conservation Engineering」p.103 掲載の図から再作成)

6) 保全対策ファクタ P

保全対策ファクタ P は、斜面にテラスなどの土壌保全対策による効果を反映させるための係数である。何の対策も施されていない場合を 1.0 として、施されている対策の効果の大きさに従って、1.0 以下の値が定められる。複数の対策が施されている場合には、それぞれの対策に対する係数の積が P の値となる。保全対策ファクタ P は、他のファクタに比べると精度的には粗いファクタである。また、地域の自然条件によって同じ対策でもその効果は異なるため、基本的には USLE を適用する地域で圃場実験を行い、その結果に基づいて P の値を決定する必要がある。

Wischmeier らは、 P の値として以下のような具体例を示している。

等高線栽培の場合：傾斜全体の勾配に従って 0.5～0.9（勾配の大きい程値は大きくなる）。

帯状栽培の場合：4 年輪作のうち 2 年条植え作物なら 0.75 程度、1 年条植え作物なら 0.5 程度。

テラスの場合：0.1～0.2 程度。

(2) 物理的モデル

土壌侵食量を推定するための物理的モデルとして、現在最も期待されているのは WEPP (Water Erosion Prediction Project) モデルであろう。このモデルは USLE に代わるモデルとして NSERL (The National Soil Erosion Research Laboratory) -USDA (The United States Department of Agriculture) によって開発された動的モデルで、1 降雨イベントごとでも長期の土壌侵食予測でも対応でき、さらに面状侵食・リル侵食それぞれ区別して計算を行うことや、流砂や堆積も考慮することが可能である。このモデルの計算プログラムはアプリケーションソフトとして NSERL のインターネットサイト URL (<http://topsoil.nserl.purdue.edu/nserlweb/>) で公開されており、これを利用すれば現地に合わせて各種パラメータをセットするだけで簡単に計算を行うことができる。

WEPP モデルの丘陵斜面プロファイルへの適用は、USLE の適用と類似した点がある。プロファイルには、モデルを適用する圃場ないし地区の斜面、土壌、および作物管理の各種条件の代表値を選定する必要がある。通常、プロファイルには丘陵頂上を起点として、勾配の大きい受食エリア、そしてそれと連続的に続く勾配が比較的長く上流からの流出物が堆積する堆積エリアへと下流方向に進み、斜面流出を受ける承水路か圃場の末端までの範囲が選定される (USLE では斜面の受食エリアのみが対象となる点で異なる)。丘陵斜面の土壌や作物管理の条件が均一である場合には、単一の斜面エレメント (OFE=Overland Flow Element) として扱われ、単一の斜面エレメント内では水収支、植物生育、残さレベル、地表面粗度、浸透能、受食性パラメータの各値は一定であると仮定される。丘陵斜面内に土壌など各種条件が異なるエ

リアが存在する場合には、斜面エレメントを複数設定することにより対応できるようになる。以下では、WEPP 斜面モデルを、気象発生（主に降雨）、かんがい、水文、水収支、植物生育、残さ、地表流水理学、そして侵食の各コンポーネントに分けて説明を行う。

1) 気象発生コンポーネント

WEPP モデルは日単位の時間ステップで計算される連続シミュレーションモデルである。流出－侵食過程を表現するためにまず気象データをインプットする必要がある。もちろん観測値があればそれを用いればよいが、WEPP モデルの計算用に作られた気象発生プログラム CLIGEN (Climate Generator) を使って人為的に発生させて用いることもできる。CLIGEN では、日降水量、降雨継続時間、降雨強度特性、日最大最低気温、露点温度、日射量、風向・風速を発生させることができる。降水量は、晴天日に続く雨天日、そして雨天日に続く晴天日の条件確率を用いての 2 段階マルコフ連鎖による予測値である。これらの確率値は長期の気象観測所のデータに基づいて月ごとに与えられる。ある日の前日が雨天か晴天かという初期条件を与えれば、CLIGEN は発生させた乱数と晴天－雨天確率値との比較によって任意の日において降雨が発生するかどうかを決定する。

降水量（水深）は、歪み正規分布からのサンプリングによって決定される。降雨継続時間は 30 分降水量の月平均値を用いた指数関数から予測される。ピーク降雨強度は次式により計算される。

$$r_p = -2P \ln(1 - rl) \quad (\text{I.1.9})$$

ここに、

P : 1 イベントにおける総降水量 [mm]

rl : 月平均 30 分雨量の Γ 分布から得られる無次元パラメータ。

ピーク降雨強度に達するまでの時間は、15 分降雨強度データから得られるピークまでの時間の累積分布のサンプリングによって予測される。

日最低気温、日最高気温、露点温度、および風速は正規分布に従うという仮定の下で、次式 (I.1.10) を使って予測される。日射量は (I.1.10) 式とほぼ類似した関数を使って予測されるが、標準正規偏差の代わりに標準正規変量が用いられる。日ごとの風向については、ランダムに設定される。

$$W_{pred} = W_{meanobs} + ST_{obs} (v_{sn}) \quad (\text{I.1.10})$$

ここに、

W_{pred} : 気候変数（日最低気温、日最高気温、露点温度、または風速）

$W_{mean\ obs}$: 各気候変数の観測データの長期月平均値

ST_{obs} : 各気候変数の長期観測値の標準偏差

v_{sn} : 標準正規偏差

なお、CLIGEN のプログラムは URL (<http://forest.moscowfsl.wsu.edu/fswepp>)にて公開されており、誰でも使用することができる。

2) かんがいコンポーネント

WEPP では、固定式スプリンクラかんがいまたは畦間かんがいによる影響を考慮した計算が可能である。固定式スプリンクラかんがいでは、かんがい水は斜面エレメントごとに均等量がノズルを通じて散水されると仮定される。一方、畦間かんがいでは、斜面エレメントの傾斜方向に伸びる畦間の上流部に水が送水されると仮定される。また、かんがいスケジュールについては、かんがい日固定方式、水分消費レベル方式、またはこれらの混合方式の 3 タイプを設定することができる。水分消費レベル方式は、モデルは常に土壤水分量を監視し、規定の水分量を下回るとかんがいされるというものである。

スプリンクラかんがい水は、自然の降雨が発生した時と同じ浸透能、流出、土壤流亡の計算方法により計算される。一方、畦間かんがいの場合は、畦間の壁面への 2 次元の流れを予測するためにコスタコフ・ルイスの浸透関数が使われている。畦間水路に対するピーク流量を解くために質量および運動量保存則が用いられている。WEPP によって扱われる畦間での流れは、浸潤、継続、減少、逡減の 4 段階で表現されるものとされている。また、畦間かんがいでは、侵食要素に直接的にかかわる重要なパラメータとなる、ピーク流量およびトータル流出量が含まれている。さらに、畦間かんがい中、リル侵食についても計算される。

3) 水文コンポーネント

土壤侵食量を推定する際に降雨一流出の情報が最も重要となるが、WEPP モデルでは水文学的要素として、浸潤、地表流出量、および土壤水収支の各過程が考慮され、降雨継続時間、有効降雨強度、流出高、ピーク流出量の 4 パラメータが用いられている。また、これらの 4 パラメータは、土壤侵食量の推定だけでなく、浸潤量の連続計算を通じて土壤水分変化の計算にも使用される。

累積浸潤量の推定には、非定常降雨用に修正されたグリーン-アンプト-メイン-ラーソンモデルが用いられている。浸透は、(1)地表面が湛水されている状態と、(2)湛水がなくなった状態の 2 つの状態に明確に分けられる。非定常な降雨が続いているとき、この 2 つの状態が何度か交互に発生することになる。土壤表面が湛水されている時、浸潤量は降雨分布と無関係に一定となり、一方、湛水されていない時は、降雨全てが浸潤するものと考えられる。

くぼ地貯留量は、斜面の粗度と勾配の関数として推定される。雨水は最初、土壤へ

浸潤、またはくぼ地へ貯留されるが、全てのくぼ地が満水になると、雨水の余剰は地表流出の発生へとつながる。

ピーク流出量は、WEPP モデルにおいては、流出水深とせん断力の計算に用いられる極めて重要なパラメータである。WEPP モデルでは、ピーク流出量を決定するために、Kinematic Wave モデルの準解析解または近似解が用いられている。複数の斜面エレメントから構成される斜面の場合、流出高を最下端の斜面エレメントからのピーク流出量で除することによって、ある1つのイベントに対する流出の有効継続時間が決定され、その後、各斜面エレメントの流出高をこの有効流出継続時間で除することによって、全ての斜面エレメントに対するピーク流出量が決定される。

4) 水収支コンポーネント

WEPP の水収支コンポーネントは、SWRRB (Simulator for Water Resources in Rural Basins)モデルと類似したコンポーネントをベースとし、降雨遮断、浸透、および土壌蒸発のパラメータを推定するために改良がなされたものである。水収支は、日積雪深、雪面蒸発量および融雪量、可能蒸発散量、土壌蒸発量、植物蒸散量、根群域における土壌水分量、浸潤水の下方向への浸透量を推定することにより求められる。

図 I .1.3 に WEPP モデルでの斜面プロファイルの概念図を示す。

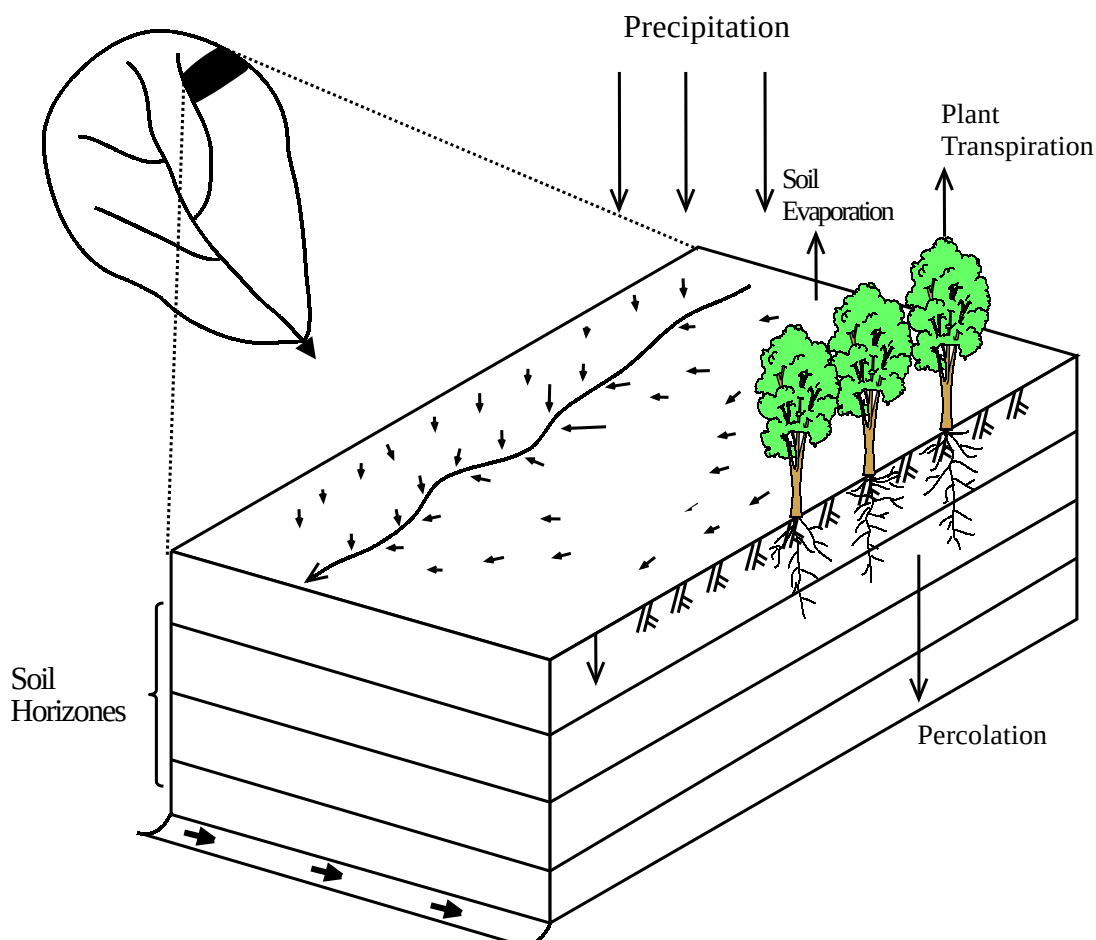


図 I .1.3 WEPP モデルでの斜面プロファイル概念図

WEPP モデルでは、シミュレーション期間中における日可能蒸発散量の推定には、Penman 式または Priestly-Taylor 関数が用いられている。また、気象（気温、日射量、風向風速）、植物生育（葉面積指数、根深さ）、そして残さ残存率から、土壌蒸発量、植物蒸散量、および各土層からの水分移動量が計算される。

本モデルでは、深さ最大 1,800 mm までの土壌水分まで追跡し、根群域より深い部分への水の移動は考慮しない。土壌プロファイルについては、最も地表面に近い 2 層を厚さ 100 mm とし、それより下の層はすべて厚さ 200 mm である。連続したある 2 層において、上側の土層の水分が圃場容水量を超えると、下側の土層へと浸透するものとする。水の下方向への浸透は、下側の土層が飽和しているかどうかによって制限される。WEPP ではまた、地下水の横方向の流れおよび排水路への流出も考慮されている。

5) 土壌コンポーネント

WEPP モデルの土壌コンポーネントは、ベースライン土壌浸潤と受食性に関する属性を推定する役割を担っている。推定されるパラメータは主に、粗度、畝高、土壌のみかけ密度、有効透水係数の 4 つである。このほか、侵食パラメータとして、面状侵食受食性、リル受食性、限界水理学的せん断ストレスの 3 つがこのコンポーネントに含まれている。これらのパラメータには多くの要因が影響を与えるが、農地上での最も重要な要因は耕起操作の影響であるとされている。以下では、有効透水係数と受食性の 2 パラメータについて説明を加える。

まず、有効透水係数は、WEPP モデルによるシミュレーションで極めて重要なパラメータである。この値がどのような値をとるか、あるいはどのように補正されるかによって、浸潤や流出に直接的な影響を与えられる。モデルでは透水係数として定数を与えることも、経時的に変化するものを与えることもできる。とくに農地において、透水係数のより有効な与え方は、ベースラインとして与えられた農地の土壌の透水係数に、管理・作物・土壌・残さの状態に応じて補正を加えながら時期ごとに変化させる方法であろう。ベースライン有効透水係数を決定するために、実際に現場透水係数を計測することは困難なことも多いので、通常は、現地に流出試験プロットを作成し、そこから得られたデータを用いて最適化手法によって決定されることが多い。ある文献（Harmon ら、2001）によると、農地でのベースライン有効透水係数として、次式が与えられている。

粘土成分が 40 %以下のとき、

$$K_b = -0.265 + 0.0086SAND^{1.8} + 11.46CEC^{-0.75} \quad (I.1.11a)$$

粘土成分が 40%を超えると、

$$K_b = 0.0066e^{(244/CLAY)} \quad (I.1.11b)$$

ここに、

K_b : ベースライン有効透水係数 [mm h^{-1}]

$SAND$: 表土の砂成分 [%]

$CLAY$: " 粘土成分 [%]

CEC : 表土の陽イオン交換容量 [$\text{meq}/100\text{g}$]

また、草地に対しては、リル侵食の発達状況に応じて有効透水係数を変化させる次式が提案されている。

リル侵食が地表面の 45 %未満のとき、

$$K_{erange} = 57.99 - 14.05 \ln(CEC) + 6.20 \ln(ROOT10) - 473.39 BASR^2 + 4.78 RESI \quad (I.1.12a)$$

リル侵食が地表面の 45 %以上のとき、

$$K_{erange} = -14.29 - 3.04 \ln(ROOT10) + 0.3783 SAND + 2.0886 ORGMAT + 398.64 RR - 27.39 RESI + 64.14 BASI \quad (I.1.12b)$$

ここに、

K_{erange} : ベースライン有効透水係数 [mm h^{-1}]

CEC : 表土の陽イオン交換容量 [$\text{meq}/100\text{g}$]

$ROOT10$: 深さ 10 cm までの部分における根部バイオマス [kg m^{-2}]

$BASR$: リル発達区における植生による被度と区域全体における植生による被度の積

$RESI$: 面状侵食発達区における残さ等（植生以外）による被度と区域全体における残さ等（植生以外）による被度の積

$SAND$: 表土の砂成分 [%]

$ORGMAT$: 表土の有機物含量 [%]

RR : 地上表面の粗度 [m]

$BASI$: 面状侵食発達区における残さ等（植生以外）による被度と区域全体における植生による被度の積

次に、土壌の受食性パラメータは、面状侵食およびリルの発達するエリアにおける土壌流亡量に直接的な影響を与えるものである。以下に、農地および草地における受食性パラメータの算定式の一例を挙げる。

• 農地

表土の砂成分が 30 %以上のとき、

$$K_{ib} = 2728000 + 192100 VFS \quad (I.1.13a)$$

$$K_{rb} = 0.00197 + 0.00030VFS + 0.03863e^{-1.84 \cdot ORGMAT} \quad (I.1.14a)$$

$$\tau_c = 2.67 + 0.065CLAY - 0.058VFS \quad (I.1.15a)$$

農地の砂成分が 30 %未満のとき、

$$K_{ib} = 6054000 - 55130CLAY \quad (I.1.13b)$$

$$K_{rb} = 0.0069 + 0.134e^{-0.204 \cdot CLAY} \quad (I.1.14b)$$

$$\tau_c = 3.5 \quad (I.1.15b)$$

ここに、

K_{ib} : ベースライン面状侵食受食性パラメータ [kg s m^{-4}]

K_{rb} : ベースラインリル侵食受食性パラメータ [s m^{-1}]

τ_c : ベースライン限界せん断ストレス [Pa]

VFS : 表土における極細砂成分割合 [%]

$CLAY$: 表土における粘土成分割合 [%]

$ORGMAT$: 表土における有機物含有割合 [%]

農地では、面状侵食受食性パラメータは、樹冠・地面被覆度・根の発育状況・シーリングおよびクラスティング・凍結・融雪などの各種要因の状況に応じて日ごとに補正される。また、限界せん断ストレスは、粗度・シーリングおよびクラスティング・凍結・融雪などによって日ごとに補正される。

・草地

$$K_{irange} = 1810000 - 19100SAND - 63270ORGMAT - 846000\theta_{fc} \quad (I.1.16)$$

$$K_{rrange} = 0.0017 + 0.000024CLAY - 0.000088ORGMAT - (0.00088BD_{dry}/1000) - 0.00048ROOT10 \quad (I.1.17)$$

$$\tau_{crange} = 3.23 - 0.056SAND - 0.244ORGMAT + (0.9BD_{dry}/1000) \quad (I.1.18)$$

ここに、

K_{irange} : ベースライン面状侵食受食性パラメータ [kg s m^{-4}]

K_{rrange} : ベースラインリル侵食受食性パラメータ [s m^{-1}]

τ_{crange} : ベースライン限界せん断ストレス [Pa]

BD_{dry} : 土壌のみかけの乾燥密度 [kg m^{-3}]

θ_{fc} : 0.033 Mpa 下での土壌の体積含水率 [$\text{m}^3 \text{m}^{-3}$]

6) 植物生育コンポーネント

バイオマスや残さの生成や、管理と環境の要因の相互作用は、土壌流亡推定のうえで大きな影響を及ぼすため、植物生育のシミュレーションは、連続シミュレーション型の土壌侵食推定モデルには欠かせない。WEPP モデルでは、農地と草地でそれぞれ異なったアプローチ手法により、植物生育のシミュレーションが行われる。

農地の植物生育については、後述の生産性モデルに属する EPIC(Erosion Productivity Index Calculator)モデルと類似したアプローチ方法が採用されている。この方法では、作物の生育は日ごとの熱量の累積関数で表現される。日ごとの植物生育ポテンシャルは、その日のバイオマスエネルギー変換率と光合成活動放射量(Photosynthetic active radiation)の積に基づいて決定される。樹冠面積、樹冠高さ、および葉面積指数は植生バイオマス量を推定するための関数となる。水または温度ストレス因子があると、バイオマス生産ポテンシャルが減少する。

草地の場合については、植生群落の生育特性を表す一峰性または二峰性のポテンシャル生育カーブが用いられている。入力情報としては、最大ポテンシャルバイオマス生産量とピークの発生時期が求められる。また、モデル適用地域における草類、低木、高木についての情報も必要となる。

7) 残さの分解・管理コンポーネント

土壌保全の目的を達成するための方法として、植物残さはしばしばコスト効率の良い素材となる。土壌侵食の連続シミュレーションを行う際には、作物生産、残さの分解および管理操作によって生ずる残さの増減についても考慮する必要がある。

農地における日々の残さの変化量は次式により表現されている。

$$M_{t,j} = M_{t-1,j} e^{ENVINDj \cdot ORATEj} \quad (I.1.19)$$

ここに、

t : 時刻(day)

j : 残さタイプ

$M_{t,j}$: 時刻 t における残さ量 [kg m^{-2}]

$M_{t-1,j}$: 時刻 t より 1 日前の残差量 [kg m^{-2}]

$ENVINDj$: 次式により表される環境ファクタ

$$ENVIND = \text{Minimum}(WFC, TFC) \quad (I.1.20)$$

ここに、

WFC : 日ごとの水ファクタ

TFC : 日ごとの温度ファクタ

一方、草地に対しては、次式が与えられている。

$$R_{g,t} = R_{g,t-1} \left(1 - \left[\alpha_f (S_{mi} T_{avg}) / C_n \right]^2 \right) - B_c \quad (\text{I.1.21})$$

ここに、

$R_{g,t}$: その日の残さ量 [kg m⁻²]

$R_{g,t-1}$: 前日の残さ量 [kg m⁻²]

α_f : 残さ腐食係数

S_{mi} : 過去 5 日の総降水量 [m]

T_{avg} : 日平均気温 [°C]

C_n : 残さの C/N 比

B_c : 昆虫や齧歯類動物による残さ消費量 [kg m⁻²]

また、残さの管理については、非常に柔軟な対応がなされている。耕起操作については、耕起方法ごとに値が定められている。

8) 地表流の水理学的コンポーネント

WEPP モデルでは、地表流は以下の 2 つの方法で表現される。

- ①流れは面状に広がる等流であると仮定され、地表流ハイドログラフは水理学的粗度（リル侵食エリアと面状侵食エリアの重み付き平均）を用いて計算される。
- ②面状侵食の計算に対しては、流れは等流が成立するように斜面エレメント内で分割され、リル侵食の計算に対しては、集中した流れで考える。

モデルにはリルの間隔および幅を入力する必要がある。リルの間隔については、平均的な値として農地では 1.0 m、草地では 0.5～5.0 m が設定されることが多い。またリルの幅は一定とするか、または例えば次式のような経験式により降雨ごとに幅が変化することを考慮することもできる。

$$w_{rill} = 1.13(Q_{rill})^{0.303} \quad (\text{I.1.22})$$

ここに、

w_{rill} : リル幅 [m]

Q_{rill} : 流出量 [m³ s⁻¹]

WEPP モデルでは、リルは矩形断面であると仮定し、Darcy-Weisbach 式を使って流れの特性を表現している。

9) 土壌侵食コンポーネント

WEPP による斜面プロファイルシミュレーションでは、侵食過程をリル溝における流れせん断侵食と、雨滴による衝撃また薄層の雨水流によって生じる面状侵食に分け

て考えられている。

プロファイル下流地点における堆積負荷量および正味の侵食量または堆積量の推定には、定常状態の連続方程式が用いられ、その支配方程式は以下の通りである。

$$dG/dx = D_f + D_i \quad (\text{I.1.23})$$

ここに、

G : 堆積負荷量 [$\text{kg s}^{-1} \text{m}^{-1}$]

x : 下流方向の距離 [m]

D_f : リル侵食量 [$\text{kg s}^{-1} \text{m}^{-2}$]

D_i : 面状侵食堆砂輸送量 [$\text{kg s}^{-1} \text{m}^{-2}$]

面状侵食堆砂輸送量 D_i は、次式により推定される。

$$D_i = K_{adj} I_e \sigma_{ir} SDR_{RR} F_{nozzle} (R_s / w_{rill}) \quad (\text{I.1.24})$$

ここに、

K_{adj} : 補正された面状侵食ファクタ [kg s m^{-4}]

I_e : 有効降雨強度 [m s^{-1}]

σ_{ir} : 面状侵食流出量 [m s^{-1}]

SDR_{RR} : 堆砂輸送量率

F_{nozzle} : スプリングラかんがいによる衝撃エネルギーを説明するための補正ファクタ（自然降雨の場合 1.0）

R_s : リル間隔 [m]

w_{rill} : リル幅 [m]

有効降雨強度は次式により与えられる。

$$I_e = (1/t_e) \int I dt \quad (\text{I.1.25})$$

ここに、

I_e : 有効降雨強度 [m s^{-1}]

I : 雨量が浸潤量を超えた時点以降の降雨強度 [m s^{-1}]

t : 時間 [s]

t_e : 雨量が浸潤量を超えている時間

面状侵食の堆砂輸送率 SDR_{RR} は次の 3 つのステップにより決定される。

・第 1 ステップでは、面状侵食粗度ファクタが次式により計算される。

$$RIF = -23RR + 1.44 \quad (\text{I.1.26})$$

ここに、

RIF : 面状侵食粗度ファクタ

RR : 対象斜面エレメントの粗度。

粗度の値は0.0061～0.0496となり、これに伴って RIF の値は1.0～0.0の値をとる。

・第2ステップでは、 RIF と土粒子の粒径ごとの沈降速度を用いて、粒径別の堆砂輸送率 DR_i が計算される。WEPP モデルでは、粘土、シルト、砂、小礫、大礫の5段階の粒径区分が設定されている。

沈降速度 v_{fi} が 0.01 ms^{-1} 未満の粒径に対しては、

$$DR_i = az(RIF)^{bz} \quad (\text{I}.1.27)$$

なお、

$$az = \exp(0.0672 + 6.59v_{fi}) \quad (\text{I}.1.28)$$

$$bz = 0.1286 + 2209v_{fi} \quad (\text{I}.1.29)$$

沈降速度 v_{fi} が 0.01 ms^{-1} 以上の粒径に対しては、

$$DR_i = 2.5RIF - 1.5 \quad (\text{I}.1.30)$$

添え字 i は、粒径区分 (1～5) を表し、 DR_i は 0～1 の間の値をとる。

・最終ステップでは、次式によって SDR_{RR} が決定される。

$$SDR_{RR} = \sum f_{deti}(DR_i) \quad (\text{I}.1.31)$$

ここに、

f_{deti} : Foster らの式

これに加えて、面状侵食エリアからリル侵食エリアへと輸送される粒径別堆砂量 ($fidel_i$) は、次式で計算される。

$$fidel_i = f_{deti}(DR_i / SDR_{RR}) \quad (\text{I}.1.32)$$

また、リル侵食量 D_f は、次式により求められる。 D_f が正値をとるとき流亡を意味し、負値をとるときは堆積を意味する。

$$D_f = K_{radj}(\tau - \tau_{cadj})[1 - (G/T_c)] \quad (\text{I}.1.33)$$

ここに、

K_{radj} : 補正リル受食性ファクタ [s m^{-1}]

τ : 流れせん断ストレス [Pa]

τ_{cadj} : 土壌の限界補正せん断ストレス [Pa]

G : 流出水中の堆砂負荷量 [$\text{kg s}^{-1} \text{ m}^{-1}$]

T_c : 流れの堆砂輸送容量 [$\text{kg s}^{-1} \text{ m}^{-1}$]

リル内での堆積は、流出水中の堆砂負荷量が堆砂輸送容量を超えたときに生じ、このとき、リル侵食量は次式によって計算される。

$$D_f = (\beta v_{eff} / q) [T_c - G] \quad (\text{I.1.34})$$

ここに、

β : 雨滴によって発生する乱れファクタ

(雨滴による衝撃がある場合 :0.5、その他、融雪・畦間かんがいのような場合 :1.0)

v_{eff} : 堆砂の有効沈降速度 [$\text{kg s}^{-1} \text{ m}^{-1}$]

q : 単位幅での斜面流 [$\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$]

有用樹種個別情報



農地・土壌侵食防止対策
技術マニュアル

表 ii.1 農村部で要望の高い樹木

分類	№	一般名	学 名	科・亜科	科・亜科（日本語）	樹木の用途																		備 考		
						建築用材	木工用材	家具材	工具、農具	生垣、垣根	アグロフォレストリ	燃料材（薪）	燃料材（木炭）	果実採取	飼料木	景観木	染料採取	タンニン採取	養蜂蜜源	薬用	杭木	坑木	日陰樹		防風林	土壌侵食防止	水源かん養	窒素固定	境界木
外来種	1	Ciprés	<i>Cupress macrocarpa</i>	CUPRESSACEAE	ヒノキ科	○		○								○					○				○	イトスギ
	2	Eucalipto	<i>Eucalyptus globulus</i>	MYRTACEAE	フトモモ科	○	○	○	○			○						○	○	○	○					ユーカリ
	3	Leucaena	<i>Leucaena leucocephala</i>	MIMOSOIDEAE	マメ科ネムノキ亜科											○								○		ギンネム
	4	Paraíso	<i>Meria azedarach</i>	MELIACEAE	センダン科		○					○				○	○									タイワンセンダン
	5	Pino	<i>Pinus patula</i>	PINACEAE	マツ科	○	○	○	○			○							○			○	○		○	マツ
	6	Pino	<i>Pinus pseudostrobus</i>	PINACEAE	マツ科	○	○	○	○			○							○			○	○		○	マツ
	7	Acacia negra	<i>Acacia melanoxylon</i>	MIMOSOIDEAE	マメ科ネムノキ亜科	○	○					○											○	○		
	8	Retama	<i>Spartium junceum</i>	CAESAL PINIOIDEAE	マメ科ジャケツイバラ亜科					○	○							△	○				○			
在来種	9	Churqui	<i>Acacia caven</i>	MIMOSOIDEAE	マメ科ネムノキ亜科					○		○				○				○				○		
	10	Jarca	<i>Acacia visco</i>	MIMOSOIDEAE	マメ科ネムノキ亜科					○		○				○						○		○		
	11	Aliso	<i>Alnus acuminata</i>	BETULACEAE	カバノキ科		○		○			○			○			○		○		○		○	○	ヤシャブシの一種
	12	T'ola	<i>Baccharis sp.</i>	COMPOSITAE	キク科					○		○										○				
	13	Kiswara negra	<i>Buddleja tucumanensis</i>	LOGANIACEAE	フジウツギ科					○		○													○	
	14	Chacatea	<i>Dodonaea viscosa</i>	SAPINDACEAE	ムクロジ科					○		○														ハウチワノキ
	15	Ceibo	<i>Erithrina falcata</i>	PAPILIONOIDEAE	マメ科ソラマメ亜科		○	○								○								○		デイゴの一種
	16	Tarco	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	BIGNONIACEAE	ノウゼンカズラ科							○					○						○			ジャカランダ
	17	Kewiña	<i>Polylepis sp.</i>	ROSACEAE	バラ科		○		○			○							○			○	○			
	18	Algarrobo	<i>Prosopis sp.</i>	MIMOSOIDEAE	マメ科ネムノキ亜科							○		△	○			○							○	
19	Molle	<i>Schinus molle</i>	ANACARDIACEAE	ウルシ科				○		○	○				○		○			○		○				
20	Tipa	<i>Tipuana tipu</i>	PAPILIONOIDEAE	マメ科ソラマメ亜科	○			○			○				○						○	○		○		
果樹	21	Higo	<i>Ficus carica</i>	MORACEAE	クワ科						○			○												イチジク
	22	Palto	<i>Persea americana</i>	LAURACEAE	クスノキ科						○			○												アボカド
	23	Nogal	<i>Juglans sp.</i>	JUGLANDACEAE	クルミ科						○			○												クルミ
	24	Níspero Japonés	<i>Eriobotrya japonica</i>	ROSACEAE	バラ科						○			○												ビワ
	25	Manzano	<i>Malus pumila</i>	ROSACEAE	バラ科						○			○												リンゴ
	26	Durazno	<i>Prunus persica</i>	ROSACEAE	バラ科						○			○												モモ
	27	Limón	<i>Citrus limon</i>	RUTACEAE	ミカン科						○			○												レモン
	28	Uva	<i>Vitis sp.</i>	VITACEAE	ブドウ科						○			○												ブドウ
	29	Tumbo	<i>Passiflora mollissima</i>	PASSIFLORACEAE	トケイソウ科						○			○												トケイウ、ハッショソフルーツ
	30	Papaya	<i>Papaya carica</i>	CARICACEAE	パパイヤ科						○			○												パパイヤ
	31	Chirimoya	<i>Annona cherimolia</i>	ANNONACEAE	パンレイシ科						○			○												チリモヤ
	32	Mango	<i>Mangifera indica</i>	ANACARDIACEAE	ウルシ科						○			○												マンゴー
	33	Guayava	<i>Psidium guajava</i>	MYRTACEAE	フトモモ科						○			○												グアバ
	34	Tomate de árbol	<i>Cyphomandra betacea</i>	SOLANACEAE	ナス科						○			○												トマトノキ
	35	Oliva	<i>Olea europaea</i>	OLEACEAE	モクセイ科						○			○												オリーブ
	36	Tuna	<i>Opuntia sp.</i>	CACTACEAE	サボテン科						○			○												ウチワサボテンの実

* 用途のうち「○:用途多」、「△:用途少」

* 果樹(21～36)は、「4.4.4果樹栽培の可能性」掲載種である。

Ciprés/Cypress

Cupressus macrocarpa Hartweg

外来種

CUPRESACEAE/ヒノキ科

1. 樹種の特徴

- (1) 全 容 幹通直、樹高 25 m、直径 1 mに至る、生長速、樹冠円錐状で枝密に発生。
- (2) 葉 鱗片葉、針葉、濃緑色～暗緑色、分岐多く密に発生、常緑。
- (3) 花 雌雄別体、鱗片状花、雄花序 10 cm程度、雌花 2.5 cm程度の穂状で下垂。
- (4) 実 直径 0.5 ～ 1 cmの球果、亀裂が入り開果する。
- (5) 種 2 mm以下、不定形で小翼を持つ、茶色。
- (6) その他 球果、種子共に原産地では更に大きい。

2. 分布域

- (1) 自 生 地 北米カリフォルニア地方原産
- (2) 導 入 地 —
- (3) 自生環境（又は自生限界）
 - ①地形等 水はけの良い適度に水分のある深い土層を好む。少々の含塩地に耐える。
 - ②標 高 2,000 ～ 4,000 m
 - ③気 温 14 ～ 20 °C/年平均
 - ④降水量 700 ～ 1,600 mm/年

3. 一般的な用途

用 途	食用	飼料	燃料	建築	農具	木工	杭木	坑木	枕木	樹脂	薬用	養蜂	土壌防	水涵	その他
				○											◎

注) ◎：よく利用される，○：利用される，△：一部で利用される

【特記事項】

良材は建築材、家具材に利用され、防風帯、境界木、景観木にも良く利用される。

4. 育苗に関する情報

- (1) 種 子 12 万粒/kg、湿気のない条件下では最低 1 年間発芽勢を保つ。保存には密閉容器に入れ 2 ～ 4 °C に冷蔵する。
- (2) 発芽促進 未処理では発芽率 20 ～ 25 %程度、播種床に巻き付け覆砂を 2 mm以上掛けないこと。播種後は水管理に留意し、寒冷紗等で覆う。
実生による場合は種子 100g で育苗 1,100 本/ha 可能。播種後 20 日～ 30 日で発芽、
- (3) そ の 他 移植は 5 ～ 7 cmで行い、直射日光を極力避ける。

5. 開花と結実

項目 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
開花時期			←			→						
結実時期					←		→					

6. 植栽時の注意点

低温、乾燥によく耐えるが、生長が抑制される。枝の生育が良く防風帯として良く利用されるが、半乾燥地では植栽後 10 ～ 15 年程度でも樹高 4 ～ 5 m 程度までしか生長しない。乾燥地での大径材の生産は困難と思われる。できる限り河川敷、谷部等比較的水分の多い場所を選択する必要がある。

7. 耐性・病虫獣害

家畜による食害は見られない。低温、乾燥に耐える。

8. 写真

全景



花



葉



果実・種子



Eucalipto/Blue gum

Eucalyptus globulus Labill

外来種

MYRTACEAE/フトモモ科

1. 樹種の特徴

- (1) 全 容 通直性高木、樹高 30 m(原産地では 40 m以上)、直径 1 m以上となる、生長早い。
- (2) 葉 単葉（卵形～鎌形被針形）、幼齡時対生し以後交互に対生葉と枝が規則的に発生、白色粉を伴った淡緑色、常緑。
- (3) 花 直径 2 cm程度の花序、果実成熟期まで咲き続ける。
- (4) 実 直径約 2 cmのコマ型球果、十字の亀裂が入り開果する。
- (5) 種 粉状種子、1～2 mm、黒色。
- (6) その他 樹皮剥がれやすく青みがかった灰色。

2. 分布域

- (1) 自 生 地 オーストラリア南東部、タスマニア島原産。
- (2) 導 入 地 広く世界中で導入されている。
- (3) 自生環境（又は自生限界）
 - ①地形等 水はけの良い適度に水分のある低地の深い土層を好むが、乾燥した高地で冷涼気候下でも生育は可能である。
 - ②標 高 0～3,000 m
 - ③気 温 4～35℃：温暖気候で良好に生育する。
 - ④降水量 500～1,000 mm/年：それ以上では良好に生育する。

3. 一般的な用途

用 途	食用	飼料	燃料	建築	農具	木工	杭木	坑木	枕木	樹脂	薬用	養蜂	土壌侵防	水涵	その他
			○	◎	○	○	◎	◎			◎	◎			

注) ◎：よく利用される，○：利用される，△：一部で利用される

【特記事項】

材は淡黄色，強靱，耐久性大で電柱，枕木，建築，橋梁，車両，家具，パルプなど。葉より精油が採れ，薬用。庭園樹，防風林としても植栽されている多用途樹種である。

4. 育苗に関する情報

- (1) 種 子 28～45 万粒/kg、50 g で 1,100 本の育苗可能、播き付けは 12 g/m²、播種後 1 週から 1 月の間に発芽、播種後覆土は薄、乾燥を防ぐ寒冷紗、ビニールを掛ける。
- (2) 発芽促進 未処理では発芽率 80 %以上、あるいは湿った布に 6 時間巻き付けて処置する。
- (3) そ の 他 発芽後 4～6 cm長、本葉が 3～4 枚発生後移植可能、約 6～8 ヶ月で 30～40 cmに生長する。

5. 開花と結実

項目 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
開花時期	→									←		
結実時期				→								←

6. 植栽時の注意点

低温、乾燥によく耐えながら良く育つが、劣化地ではあまり太らない。樹高は植栽後1年程度で2～3m、5年で8～10mとなることもある。河川敷、谷部等比較的水分の多い場所への導入では良成績を示すが、水量を減少させることがあり、植栽地の選択に注意を要する。

7. 耐性・病虫獣害

病害、家畜による食害は見られないが、時にハキリアリによる被害がある。低温、乾燥に耐える。

8. 写真

全景



花



葉



果実・種子



Leucaena

外来種

Leucaena leucocephala Lam.

LEGUMINOSAE-MIMOSOIDEAE/マメ科ネムノキ亜科

1. 樹種の特徴

- (1) 全 容 樹高 3 ～ 15 m、直径 10 ～ 50 cmに至る藪状低木～中木
- (2) 葉 6-9 対の二重羽状複葉、羽状複葉の小葉は 5-10 cm長、9-16 mm長で長楕円形の小さ葉が 13-21 対付く、高温時、低温時、乾燥時には葉が畳まれる。
- (3) 花 100-180 の花序がひと纏まりとなって直径 12-21 mmの頭状花（ボンボリ状花）を形成し、2-6 花毎に葉腋から発生、白色～青白色で leu-cocephala は白い頭状花の意。
- (4) 実 鞘は 11-19 mm長、15-21 mm幅の先端が尖った形状で平ら、1 頭状花に対して 5-20 鞘が結実、橙茶色、無毛、8-18 の種子を有する。
- (5) 種 堅実、濃茶色、堅外種皮に包まれ、7-10 mm長、4-6 mm幅
- (6) その他 若齢で樹皮は滑らか、灰色～灰茶色

2. 分布域

- (1) 自 生 地 熱帯アメリカ（起源は不明）
- (2) 導 入 地 世界中の温暖～熱帯地域
- (3) 自生環境（又は自生限界）
 - ①地形等 石灰質土壤に生育するが、塩類土壤地でも分布する、アルカリ土壤では pH8 まで耐える。酸性土壤や水分停滞地では耐性がない。
 - ②標 高 0 ～ 1,500 m（最高 2,100 mまで）
 - ③気 温 25 ～ 30 °C/年平均気温
 - ④降水量 650 ～ 3,000 mm/年平均降水量

3. 一般的な用途

用 途	食用	飼料	燃料	建築	農具	木工	杭木	坑木	枕木	樹脂	薬用	養蜂	土壌改良	水涵	その他
		◎													◎

注) ◎：よく利用される, ○：利用される, △：一部で利用される

【特記事項】

16 世紀以前から栽培されたといわれ、近年では高タンパクのため飼料木として、またカカオの日陰樹として良く導入された。

4. 育苗に関する情報

- (1) 種 子 15 千～ 20 千粒/kg、無処理で 50-80 %以上の発芽率が期待される。
- (2) 発芽促進 熱湯浸 1 分、その後水浸 24h 処理により 80 %以上の発芽率を得られる。
- (3) そ の 他 —

5. 開花と結実

項目 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
開花時期								←		→		
結実時期		→									←	

6. 植栽時の注意点

特になし

7. 耐性・病虫獣害

低温に弱く、高地では発芽率が低い。

8. 写真

全景



花



葉



果実・種子



Paraíso, タイワンセンダン
Melia azedarach L.

外来種

MELIACEAE / センダン科

1. 樹種の特徴

- (1) 全 容 落葉高木、通常樹高 7 ～ 15 m、直径 30 ～ 60 cm、樹高 30 m、直径 1 m に至、傘状に広がった樹冠、樹皮は淡緑色～黒緑色～暗褐色に変化、裂け目あり皮目多。
- (2) 葉 2 ～ 3 羽状複葉（奇数、不規則）、互生、小葉は卵形～卵状長楕円形、鋭尖頭、有柄、不規則な鈍鋸歯、長さは 20 ～ 40 cm、小葉は 3 ～ 6 cm、1 ～ 5 対（3 ～ 11 枚）
- (3) 花 当年枝の基部に集散した花序群を形成、全体は 8 ～ 20 cm 長、花弁 5、倒被針形、約 10 mm 長、白～淡紫色
- (4) 実 直径 1 ～ 1.5 cm、当初黄色～橙色、毒あり。
- (5) 種 3.5 × 1.6 mm、ひとつの実に 3 ～ 5 粒。
- (6) その他 生長が早い

2. 分布域

- (1) 自 生 地 日本（四国、九州）、台湾他アジア諸国
- (2) 導 入 地 中東、アフリカ、中国、中南米、ヨーロッパ、イギリス他広範囲
- (3) 自生環境（又は自生限界）
 - ① 地形等 深く肥沃な水はけの良い砂質壤土
 - ② 標 高 250 ～ 3,300 m
 - ③ 気 温 23 ～ 27 °C（最高 35 °C、最低 0 °C）
 - ④ 降水量 350 ～ 2,000 mm

3. 一般的な用途

用 途	食用	飼料	燃料	建築	農具	木工	杭木	坑木	枕木	樹脂	薬用	養蜂	土壌侵防	水涵	その他
		○	◎			○					○				◎

注) ◎：よく利用される，○：利用される，△：一部で利用される

【特記事項】

葉は飼料に、幹は燃料に良く利用される。材は軟らかく加工しやすい。毒を含み下剤、吐剤、虫除けとして良く利用される。しかし一般的なものは公園などの景観木である。

4. 育苗に関する情報

- (1) 種 子 4,000 ～ 6,000 粒/kg、250 粒で 1,000 本生産、播種後 20 ～ 40 日で発芽
- (2) 発芽促進 水浸 24h、約 80 % 期待
- (3) そ の 他 ー

5. 開花と結実

項目 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
開花時期									←		→	
結実時期										←	→	

6. 植栽時の注意点

植栽後は灌水を十分に行う。

7. 耐性・病虫獣害

肥沃土を好むがある程度の高温と零下への耐性が高く、多くの土壤に適合する。

8. 写真

全体



花



葉



果実・種子



Pino patula
Pinus patula Don.

外来種

PINACEAE/マツ科

1. 樹種の特徴

- (1) 全 容 本来通直、樹高 10 ～ 30 m、時に多分岐することがあるが、占有面積が広い場合枝張りが広く尖頂型となる。
- (2) 葉 15-25 cm長の 3-4 針葉、稀に 5 針葉、常緑、濃緑色、縁は鋸状、垂れ下がる
- (3) 花 雄花、雌花がある。
- (4) 実 茶褐色のコーン形状。
- (5) 種 茶～黒色、5 mm程度の小型種子、翼があり 17 mm程度となる。
- (6) その他 樹皮は溝有り、鱗状で赤みを帯び成熟期には灰茶色となる。

2. 分布域

- (1) 自 生 地 メキシコ北部～中米
- (2) 導 入 地 20 世紀初頭ニュージーランド、南アフリカに導入
- (3) 自生環境（又は自生限界）
 - ①地形等 適湿な深い土壌で生長する。中性～酸性土で水はけの良い場所に適する。
 - ②標 高 500 ～ 3,000 m
 - ③気 温 最高 30 °C、最低 6 °Cが生育限界
 - ④降水量 750 ～ 2,000 mm/年平均降水量

3. 一般的な用途

用 途	食用	飼料	燃料	建築	農具	木工	杭木	坑木	枕木	樹脂	薬用	養蜂	土壌侵防	水涵	その他
			○	◎		◎	◎								◎

注) ◎：よく利用される，○：利用される，△：一部で利用される

【特記事項】

用材（廉価な家具、工具、農具）として利用できる。材は軟らかく加工容易、建築、木工、パルプや燃料にも利用される。その他防風林や境界木、土壌侵食防止にも有効。

4. 育苗に関する情報

- (1) 種 子 10 万～ 15 万粒/kg、無処理で 60 %以上の発芽率を得られるが、通常マツ種子は数ヶ月以上の冷蔵（5 °C以下）期間を経て播種すると発芽が促進される。
- (2) 発芽促進 冷蔵処理はあまり実施されず、水浸（12h）が行われる。
- (3) そ の 他 発芽後 4-5 子葉が発生した後 5 cm程度で移植可能、Mycorrhiza 菌の接種あるいは感染木の近くで育苗することにより生長促進が可能である。

5．開花と結実

項目 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
開花時期			←			→						
結実時期					←		→					

6．植栽時の注意点

岩石露出地でも土壌と降雨があればある程度の生長が期待できる。高地を避けて、ユーカリ類よりも下位斜面に植えると良い。この他 *P.pseudostrobus*, *P.montezumae* 等中米産の適応性が高く *P. ponderosa* も可能性が高い。一方、*P.radiata* は、病害、樹幹・根系の発達不良から慎重を要する。

7．耐性・病虫獣害

特になし。

8．写真

全景



花



葉



果実・種子



Pino pseudostrobus
Pinus pseudostrobus Lindley

外来種

PINACEAE/マツ科

1. 樹種の特徴

- (1) 全 容 本来通直、樹高 20 ～ 25 m、時に多分岐することがあるが、占有面積が広い場合枝張りが広く尖頂型となる。
- (2) 葉 20-28 cm長で 5 針葉、常緑、濃緑色
- (3) 花 雄花、雌花、枝先端部に形成される。
- (4) 実 茶色のマツかさ、8-12 cm長、堅固な 12-16 mmの鱗状模様が時に尖っている。
- (5) 種 茶～暗茶色、6-8 mmの小型種子、通常翼がある。
- (6) その他 樹皮は粗く灰色、溝は赤みがかっている。

2. 分布域

- (1) 自 生 地 メキシコ北部～中米
- (2) 導 入 地 ー
- (3) 自生環境（又は自生限界）
 - ①地形等 水はけの良い土地を好み、乾燥した砂質、岩石地、貧土壤地でも良く育つ。
 - ②標 高 3,000 m以下
 - ③気 温 最高 30 °C、最低 6 °Cが生育限界
 - ④降水量 400 ～ 900 mm/年平均でも育つとされているが、900-1,500 mmで良く育つ。

3. 一般的な用途

用 途	食用	飼料	燃料	建築	農具	木工	杭木	坑木	枕木	樹脂	薬用	養蜂	土壌侵防	水涵	その他
			○	◎	○	◎	◎								◎

注) ◎：よく利用される，○：利用される，△：一部で利用される

【特記事項】

用材（廉価な家具、工具、農具）として利用できる。材は軟らかく加工容易、建築、木工、パルプや燃料にも利用される。その他防風林や境界木、土壌侵食防止にも有効。

4. 育苗に関する情報

- (1) 種 子 25 千～ 40 千粒/kg、無処理で 60 %以上の発芽率を得られるが、通常マツ種子は数ヶ月以上の冷蔵（5 °C以下）期間を経て播種すると発芽が促進される。
- (2) 発芽促進 冷蔵処理はあまり実施されず、水浸（24h）が行われる。
- (3) そ の 他 発芽後 4-5 子葉が発生した後 5 cm程度で移植可能、Micorriza 菌の接種あるいは感染木の近くで育苗することにより生長促進が可能である。

5. 開花と結実

項目 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
開花時期			←			→						
結実時期					←		→					

6. 植栽時の注意点

Pinus patula と同様によい成績を示す。岩石露出地でも土壌と降雨があればある程度の生長が期待できる。高地を避けて、ユーカリ類よりも下位斜面に植えると良い。

7. 耐性・病虫獣害

稀にフォックステールが見られるが、その他病虫獣害はない。

8. 写真

全景



葉



果実・種子



Acacia negra
Acacia melanoxylon R.Br.

外来種

LEGUMINOSAE-MIMOSOIDEAE/マメ科ネムノキ亜科

1. 樹種の特徴

- (1) 全 容 6-15 m常緑高木、生長旺盛、幹通直。
- (2) 葉 灰緑色、仮葉を持ち発生時羽状複葉であるが後に線形の単葉に変化する。
- (3) 花 6-40 mmの総状花序、3-5 の花序群となる、乳白色。
- (4) 実 平らな鞘で赤茶色、湾曲し、螺旋状にねじれる。3-15 mm長、4-8 mm幅、革質～木質。
- (5) 種 卵形、黒色で光沢有り、縦に配列されている。
- (6) その他 樹皮は灰色、骨張ったような表面で後に丸くなる。材は黒色。

2. 分布域

- (1) 自 生 地 オーストラリア
- (2) 導 入 地 19 世紀にインドへ導入され帰化植物となった。日本にも導入されている。地中海沿岸、アフリカ大陸他。
- (3) 自生環境 (又は自生限界)
 - ①地形等 あらゆる地形、地質に適応する。
 - ②標 高 1,500-2,300 m
 - ③気 温 6-19 °C
 - ④降水量 750-2,300 mm

3. 一般的な用途

用 途	食用	飼料	燃料	建築	農具	木工	杭木	坑木	枕木	樹脂	薬用	養蜂	土壌防	水涵	その他
		○	○	◎		○									◎

注) ◎：よく利用される，○：利用される，△：一部で利用される

【特記事項】

劣化土壌でも旺盛に生長する樹木で、治山緑化、崩壊防止に大きな効果を示す。その他、材木としての用途もあり、経済林の対象樹種としても採用可能である。

4. 育苗に関する情報

(1) 種 子	15 万粒/kg前後、適切な発芽促進後 30-60 %の発芽率を示す。発芽後 10 ～ 30 日で発芽を開始する。
(2) 発芽促進	熱湯浸 1 分その後水浸 24h。
(3) そ の 他	直播き、挿し木、萌芽更新が可能、400 粒で 1ha 分の苗木生産が可能。

5. 開花と結実

項目 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
開花時期										←		→
結実時期	←		→									

6. 植栽時の注意点

冷涼～熱帯のどの気候下でも高原・海岸端、岩石地等あらゆるところで繁殖可能である。山火事後の復旧や治山造林に直播きで緑化が可能な程繁殖力が高く、乾燥地での成績も良い。水分を得やすい土地では、雑草化することが懸念されるため計画的に導入すべき樹種である。

7. 耐性・病虫獣害

霜害、凍害、気温低下、乾燥条件下で高い耐性を示す。

8. 写真

全景



葉



花



果実・種子



Retama

Spartium junceum L.

外来種

LEGUMINOSAE-CAESALPININOIDEAE/マメ科ジャケツイバラ亜科

1. 樹種の特徴

- (1) 全 容 3-5 m落葉低木、生長旺盛で多岐に分岐しハウキ状となる。
- (2) 葉 淡緑色、0.5-1 cmの被針形・単葉で互生、全縁、葉はほぼ退化
- (3) 花 雌雄同株の総状花序、ほぼ一年中開花する。
- (4) 実 5-7 cm長、5-7 mm幅の鞘、結実頃明緑色で後成熟期に赤茶色、6-12 粒の種子を持つ。
- (5) 種 4-6 mm長、2-3 mm幅、卵形、濃茶～黒色、縦に配列されている。
- (6) その他 樹皮は後に木質化、枝は径 2-4 mmで直線上に伸びる。

2. 分布域

- (1) 自 生 地 地中海沿岸
- (2) 導 入 地 南アメリカ、ヨーロッパ、アフリカ他
- (3) 自生環境（又は自生限界）
 - ①地形等 乾燥地、傾斜地、谷部のどの様なところにも生育する。適湿潤条件が良。
 - ②標 高 2,500-3,800 m
 - ③気 温 -5-28 °C、温暖な気候、低温・零下に耐える。
 - ④降水量 400-700 mm/年

3. 一般的な用途

用 途	食用	飼料	燃料	建築	農具	木工	杭木	坑木	枕木	樹脂	薬用	養蜂	土壌防	水涵	その他
											◎	△			◎

注) ◎：よく利用される，○：利用される，△：一部で利用される

【特記事項】

耐乾燥性の高い樹木で、低温にも耐え、一度被害を受けても回復しやすい。土壌固定能力も高く、土壌侵食防止、生垣、アグロフォレストリに有用である。その他景観木として用いられ、花は販売用（飾り、薬用）とする。

4. 育苗に関する情報

- (1) 種 子 64 千-75 千粒/kg、通常 70 %以上の発芽率が期待できる。
- (2) 発芽促進 無処理でも発芽可能、熱湯浸 30 秒＋水浸 24h でさらに向上する。
- (3) そ の 他 約 25 g の種子で 1ha 分(1,100 本)の苗木生産が可能。但し、未成熟種子が多く混ざることがあり種子の選別如何で更に向上できる。

5. 開花と結実

項目 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
開花時期				←	←	←	←			←	←	←
結実時期	←	←			←	←	←	←			←	←

6. 植栽時の注意点

植栽場所を選ばないが、できれば適湿の砂質土、有機質を適度に含む土地で植栽する方がよい。動物の食害を受けやすく植栽後の保護が肝要である。

7. 耐性・病虫害

乾燥条件下で高い耐性を示す。育苗段階で *Oidium* sp.による病害が発生し生長が遅れることがあるが、水洗浄で対処可。家畜、野生小動物の被害を受けやすく保護が必要。

8. 写真

全景



葉



花



果実・種子



Churqui

Acacia caven Molina

在来種

LEGUMINOSAE-MIMOSOIDEAE/マメ科ネムノキ亜科

1. 樹種の特徴

- (1) 全 容 樹高 2-3 mの落葉低木、枝が根元から多分岐し、樹冠は逆ハウキ状に広がる。
- (2) 葉 偶数二重羽状複葉、5-7 cm長、3-5 cm幅、小葉は線形長楕円形、3-4 mm長
- (3) 花 雌雄同株、直径 1.5 cm程度のボンボリ状の総状花序が葉柄基部から多数発生する。
黄～山吹色。
- (4) 実 非裂開性のカプセル型果実、楕円形で両端が尖っている、5-7 cm長、1.5-2 cm幅、初期緑色～成熟期赤紫色となる。15-20 の種子を配列する。
- (5) 種 5-7 mm長の硬質種子、淡緑色。
- (6) その他 鋭い 1-2 cmの 1 対の棘を持つ。

2. 分布域

- (1) 自 生 地 ボリビア周辺半乾燥地域。
- (2) 導 入 地 ー
- (3) 自生環境（又は自生限界）
 - ①地形等 アンデス山中の傾斜地から平坦地の乾燥土地
 - ②標 高 1,600-2,600 m
 - ③気 温 5-25 °C
 - ④降水量 500 mm以上

3. 一般的な用途

用 途	食用	飼料	燃料	建築	農具	木工	杭木	坑木	枕木	樹脂	薬用	養蜂	土壌改良	水涵	その他
		○	◎												◎

注) ◎：よく利用される，○：利用される，△：一部で利用される

【特記事項】

家畜飼料、燃料、生垣に良く利用される。また成木で日陰樹となる。

4. 育苗に関する情報

- (1) 種 子 2 千～3 千粒/kg、無処理では発芽率 20 %程度。
- (2) 発芽促進 熱湯浸 1 分、後水浸 48 時間、又は硬質部分を削り取る。どちらでも 80 %以上の発芽率が期待できる。
- (3) そ の 他 発芽後第 3・4 葉が発生し 5 cm程度になったら移植。

5. 開花と結実

項目 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
開花時期					←→	←→			←→	←→		
結実時期						←→	←→			←→	←→	←→

6. 植栽時の注意点

乾燥に良く耐えるが、土の深い適湿地と尾根の極乾燥地では後の生長量に大きな差を生む。

7. 耐性・病虫獣害

乾燥条件下で高い耐性を示す。菌と昆虫（蛾）の寄生が認められている。

8. 写真

全景



葉



花



果実・種子



Jarca

在来種

Acacia visco Griseb.

LEGUMINOSAE-MIMOSOIDEAE/マメ科ネムノキ亜科

1. 樹種の特徴

- (1) 全 容 樹高 5-7 mの落葉低木、樹冠はキノコ状で主幹は直径 50 cmに至る。
- (2) 葉 偶数二重羽状複葉、4-10 対の小葉、1 小葉は約 7 cm長前後、1 小葉に 20-40 対の小葉が付く。葉全体は 15-20 cm長、幅は 5-10 cm
- (3) 花 雌雄同株、直径 1 cm程度のボンボリ状の総状花序が葉柄基部から多数発生する。黄～山吹色、葉柄基部に付く。
- (4) 実 平らな莢、5-12 cm長、1.5-2 cm幅、裂開性、楕円形、初期明緑色～成熟期薄茶色、5-10 の種子を配列する。ひとつの柄に莢が対生して付く。
- (5) 種 約 1 cm長の大型種子、やや軟質、淡黄色～明茶色。
- (6) その他 棘はない。樹皮に裂け目。

2. 分布域

- (1) 自 生 地 ボリビア周辺半乾燥地域。

- (2) 導 入 地 ー

- (3) 自生環境（又は自生限界）

- ①地形等 溪谷地帯の適潤・谷部～乾燥・尾根部まで見られるが、適潤地を好む。
- ②標 高 2,200-3,300 m
- ③気 温 5-25 °C
- ④降水量 500 mm以上

・一般的な用途

用 途	食用	飼料	燃料	建築	農具	木工	杭木	坑木	枕木	樹脂	薬用	養蜂	土壌改良	水涵	その他
		○	◎		○								○		◎

注) ◎：よく利用される，○：利用される，△：一部で利用される

【特記事項】

地域では燃料や農具としての用途しかないが、乾燥に対する耐性、生長、根張りなどから土壌侵食地への植栽に適する樹種のひとつである。

・育苗に関する情報

(1) 種 子	8 千～9 千粒/kg、無処理でも発芽率 90 %以上
(2) 発芽促進	必要ない。水浸等の播種前処理はかえって逆効果。
(3) そ の 他	発芽後第 3・4 葉が発生し 5 cm程度になったら移植。

5. 開花と結実

項目 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
開花時期										←→		
結実時期	←→											

6. 植栽時の注意点

乾燥に良く耐えるが、多少土の深い適湿地と尾根の極乾燥地では後の生長量に大きな差が生じる。
乾燥地ではほぼ生長を止めてしまうので、尾根部よりも谷部へ植えると良い。

7. 耐性・病虫害害

乾燥条件下で高い耐性を示す。結実期に種子に虫が入りやすい。

8. 写真

全景



葉



花



果実・種子



Aliso

在来種

Alunus acuminata H.B.K.

BETULACEAE/カバノキ科

1. 樹種の特徴

- (1) 全 容 幹通直、樹皮銀暗灰色、樹高 10 ～ 15 m、直径 20 ～ 35 cm、生長早、耐凍霜性高。
- (2) 葉 単葉、長さ 8 ～ 20 cm、幅 3 ～ 6 cm、長楕円形、互生、全周に不規則な重鋸齒、羽状脈 15 対、濃緑色に光沢、半落葉性（乾季）
- (3) 花 雌雄別体、雄花序 10 cm 程度、雌花 2.5 cm 程度の穗状で下垂する。
- (4) 実 1.5 ～ 3 cm 長の松かさ状球果、熟期には茶変。
- (5) 種 1 ～ 3 mm、長円形、2 つの翼を持つ。
- (6) その他 葉の分解早く大量の有機質を形成、土壌改良に有益、肥料木（窒素固定）。

2. 分布域

- (1) 自 生 地 中南米地域（アルゼンチン北部～ボリビア～メキシコ）、アンデス地方固有
- (2) 導 入 地 —
- (3) 自生環境 （又は自生限界）
 - ①地形等 溪谷及び傾斜地に定着、好湿潤土壌（湿潤地、川沿い、河川敷、谷部傾斜地（但し、乾燥土壌でもガリ内部など水の通り道となる場所や浸透溝、テラスとの組み合わせで植栽可能。）
 - ②標 高 1,000 ～ 3,800 m
 - ③気 温 4℃～ 27℃に適応
 - ④降水量 400 ～ 1,500 mm

3. 一般的な用途

用 途	食用	飼料	燃料	建築	農具	木工	杭木	坑木	枕木	樹脂	薬用	養蜂	土壌改良	水涵	その他
		◎	◎		○	○	○						◎		△

注) ◎：よく利用される，○：利用される，△：一部で利用される

【特記事項】

家畜飼料として良好、日陰樹、窒素固定、染料、境界木、アグロフォレストリ(肥料)

4. 育苗に関する情報

- (1) 種 子 40 万～ 50 万粒/kg、発芽勢落ちやすく採取直後の播種が良いが、5℃以下の冷蔵で4年間保存可。あまり均質でなく発芽率に幅が大きい(40～70%)。
- (2) 発芽促進 実生による場合は種子 50g で育苗 1,100 本/ha 可能。播種後 2 週程で発芽、移植は 3 ～ 5 cm で 2 ～ 4 葉時実施、約 8 ヶ月で苗長 30 ～ 40 cm、挿木・実生引苗良好。
- (3) そ の 他 新鮮な種子を利用する。

5. 開花と結実

項目 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
開花時期				→								←
結実時期		←				→						

6. 植栽事例

家畜等の食害を受けやすいため防護対策無しには困難。小崖地の下部で家畜が届かない所に植栽した方法では食害を受けなかった。一般的には河川敷、谷部、侵食地内など水が集まる地帯に植えると成績がよい。

7. 耐性・病虫獣害

菌7種、葉の食害虫・木喰い虫など8害虫が知られる。家畜による食害が多い。

8. 写真

花



幹



葉



全体(ガリ内の天然生群落)



T'ola

在来種

Baccharis dracunculifolia DC.

COMPOSITAE/キク科

1. 樹種の特徴

- (1) 全 容 樹高 1-2.5 mの常緑低灌木
- (2) 葉 10-35 mm長、2-6 mm幅の単葉、互生、長円形～被針形、全縁または葉上部に鋸歯有り
- (3) 花 雌雄異株、黄、1 cm長の花序が枝先端に集合する。。
- (4) 実 ー
- (5) 種 ー
- (6) その他 葉、枝に樹脂分が多く付着する。

2. 分布域

- (1) 自 生 地 ボリビア周辺半乾燥地域。
- (2) 導 入 地 ー
- (3) 自生環境（又は自生限界）
 - ①地形等 溪谷地帯の乾燥した斜面でよく見られるが、適潤地を好む
 - ②標 高 2,500-3,800 m
 - ③気 温 5-25 °C
 - ④降水量 500 mm以上

3. 一般的な用途

用 途	食用	飼料	燃料	建築	農具	木工	杭木	坑木	枕木	樹脂	薬用	養蜂	土壌侵防	水涵	その他
			◎												◎

注) ◎：よく利用される, ○：利用される, △：一部で利用される

【特記事項】

パンを焼く際の燃料として欠かせない。自然条件下では、乾燥地に Chacatea と共に自生する耐乾燥性の高い植物で、下層の土壌被覆植物として有効である。また、生垣にも適する。

4. 育苗に関する情報

- (1) 種 子 通常種子からの育苗を行わない。種子供給機関でも取り扱わない。
- (2) 発芽促進 ー
- (3) そ の 他 自然に生育している個体の内、10-15 cm程度の実生を採取して仮植えし育苗するか、又は乾燥しないよう保存・運搬して即時植栽する。

5. 開花と結実

項目 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
開花時期							←	→	→	→	→	→
結実時期	→	→									←	←

6. 植栽時の注意点

乾燥に良く耐え耕作放棄地に良く自生する。多少土の深い適湿地では、1年で樹高1mを越す。生垣樹種として最適で、石垣や柴垣との組み合わせ、単独30cm間隔の植栽で土留効果のある生垣となる。木製柵工内側の植栽にも良好。

7. 耐性・病虫獣害

乾燥条件下で高い耐性を示す。家畜、小動物は加害しない。

8. 写真

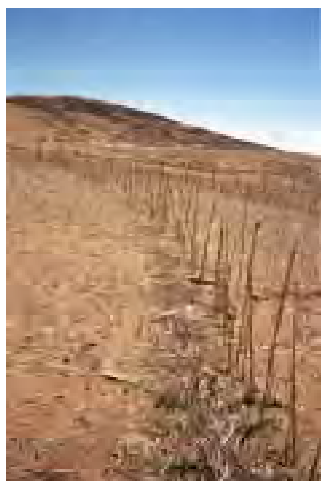
全景



葉



生垣造成（植栽当時）



生垣造成（植栽後2年経過）



Kiswara

在来種

Buddleja coriacea Remy.

LOGANIACEAE/フジウツギ科

1. 樹種の特徴

- (1) 全 容 樹高 2-4 mの常緑低灌木、枝は多分岐し地際から発生する。樹皮に裂け目、乾燥・日照不足に弱く、低温や常に吹く風には強い。
- (2) 葉 3-5 cm長、1-1.5 cm幅の単葉、対生、無柄と有柄があり、革質、暗緑色、茶褐色～黒色、光沢有り、裏面は軟毛に覆われている。
- (3) 花 雌雄同株、1 花序に初期淡黄色から後に橙色に成熟につれて変化する。
- (4) 実 卵形～楕円形のカプセル型で、白色～淡黄色
- (5) 種 非常に細かい粉状種子
- (6) その他 ー

2. 分布域

- (1) 自 生 地 ボリビア周辺半乾燥地域
- (2) 導 入 地 ー
- (3) 自生環境 (又は自生限界)
 - ①地形等 溪谷地帯の乾燥した高地の斜面で見られる。
 - ②標 高 3,300-4,200 m
 - ③気 温 2-25 °C
 - ④降水量 600 mm/年程度の地域で最も生長がよい。

3. 一般的な用途

用 途	食用	飼料	燃料	建築	農具	木工	杭木	坑木	枕木	樹脂	薬用	養蜂	土壌改良	水涵	その他
			○												◎

注) ◎：よく利用される，○：利用される，△：一部で利用される

【特記事項】

境界木、生垣、防風帯等にも利用する。

4. 育苗に関する情報

- (1) 種 子 約 2 百万粒/kg、非常に種子が細かく純度が低くなるため、通常発芽率はかなり低い。1,000 本の苗木を作るのに 50 g (約 10 万粒) 必要。
- (2) 発芽促進 処理できない。
- (3) そ の 他 本葉が 2-4 枚発生した後、苗長が 4-6 cmになった時点で移植できる。
実生以外には、挿し木での育苗が可能。

5. 開花と結実

項目 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
開花時期					→				←			
結実時期					←					→		

6. 植栽時の注意点

乾燥に良く耐える。土の深い適湿地では、約1年で樹高1 mを越す。生垣樹種として適し、石垣や柴垣との組み合わせ、単独 30 cm間隔の植栽で土留効果のある生垣が造成可能。

7. 耐性・病虫害

乾燥にも耐えるが、低温への耐性が高い。家畜、小動物は加害しない。

8. 写真

全景



葉



生垣造成（植栽当時）



生垣造成（植栽後2年経過）



Chacatea

在来種

Dodonaea viscosa Jacq.

SAPINDACEAE/ムクロジ科

1. 樹種の特徴

- (1) 全 容 樹高 4 m程度の常緑低灌木、地上付近から多く分岐し丸い形状となる。
- (2) 葉 7-10 cm長、被針形の単葉、互生、全縁、葉に樹脂が付着する。
- (3) 花 雌雄同株、緑系黄色、花卉が無く目立たない。
- (4) 実 球状のカプセル型、3つの膜状の翼を伴う。
- (5) 種 1-2 mmの楕円形、黒色。
- (6) その他 葉、枝に樹脂を多く含む。

2. 分布域

- (1) 自 生 地 ボリビア、熱帯各地(World Agroforestry Centre によれば、オーストラリア、アフリカ他熱帯原産となっている。)
- (2) 導 入 地 ー
- (3) 自生環境 (又は自生限界)
 - ①地形等 溪谷地帯の乾燥した高地の斜面で見られる。
 - ②標 高 1,400-3,400 m
 - ③気 温 ー
 - ④降水量 ー

3. 一般的な用途

用 途	食用	飼料	燃料	建築	農具	木工	杭木	坑木	枕木	樹脂	薬用	養蜂	土壌防	水涵	その他
			○												◎

注) ◎：よく利用される，○：利用される，△：一部で利用される

【特記事項】

生垣や燃料として利用する。

4. 育苗に関する情報

- (1) 種 子 約 70-75 千粒/kg、無処理で 90 %以上の発芽率が期待される。
- (2) 発芽促進 必要ない。播種前の種子の純度を高めることに留意する。
- (3) そ の 他 ー

5. 開花と結実

項目 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
開花時期				→				←				
結実時期					→					←		

6. 植栽時の注意点

乾燥に良く耐え耕作放棄地に良く自生する。多少土の深い適湿地では、約1年で樹高1mを越す。生垣樹種として適し、石垣や柴垣との組み合わせ、単独30cm間隔での植栽で土留効果のある生垣が造成可能。

7. 耐性・病虫獣害

乾燥に良く耐える。家畜、小動物は加害しない。

8. 写真

全景



葉



花



実、種子



Ceibo / Cuñuri
Erythrina falcata Benth.

在来種

LEGUMINOSAE-PAPILININOIDEAE/マメ科ソラマメ亜科

1. 樹種の特徴

- (1) 全 容 樹高 10-15 mに至る落葉中木、幹は通直、表面にひび割れがあり、葉・枝・幹に鋭い棘を持つ。溪谷地帯でよく見られる種。本来熱帯地方の樹木で琉球地方で知られるデイゴの近種。
- (2) 葉 3 出複葉、互生、約 20 - 25 cm長、約 10 - 15 cm幅、小葉は 10-15 cm長、5-7 cm幅、卵形～被針形で先端尖る、長い葉柄。
- (3) 花 雌雄同株、不規則に発生、3-5 cm長、鮮やかな赤色。
- (4) 実 10-15 cm長の平らな莢、3-6 粒の種子を持つ。
- (5) 種 熟すと茶褐色で 10-15 mm長の大型種子。
- (6) その他 ー

2. 分布域

- (1) 自 生 地 ボリビア
- (2) 導 入 地 ー
- (3) 自生環境 (又は自生限界)
 - ①地形等 溪谷地帯の谷部等土壌の深い適潤地、又は石礫地、水はけの良い土地を好む。
 - ②標 高 1,600-3,400 m
 - ③気 温 12-30 °C
 - ④降水量 600 mm/年以上

3. 一般的な用途

用 途	食用	飼料	燃料	建築	農具	木工	杭木	坑木	枕木	樹脂	薬用	養蜂	土壌改良	水涵	その他
						○									◎

注) ◎：よく利用される，○：利用される，△：一部で利用される

【特記事項】

ボリビアでは溪谷地帯でよく見られる郷土樹種だが稀少。そのため、現在の利用法は景観木とするのみだが、家具材としても利用された。

4. 育苗に関する情報

- (1) 種 子 2,000-2,500 粒/kg、5 °C以下で冷温保存する。70 %以上の発芽率が期待できる。
- (2) 発芽促進 熱湯浸 1-3 分(種子の大きさにより変える)、その後水浸 24h
- (3) そ の 他 1ha 分(1,100 本)の苗木を生産するのに 1 kgの種子が必要。実生に 2-4 の本葉が発生し、3-5 cmとなったところで移植可能。

5. 開花と結実

項目 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
開花時期	→								←			
結実時期			→								←	

6. 植栽時の注意点

乾燥にもある程度耐えるが、自生種は谷部、住宅地、公園等に多く残っている。土が深く有機質に富み水管理が適切に行える所では良好な生長を見せる。

7. 耐性・病虫獣害

育苗期に *Oidium sp.* 菌による生長阻害が発生することがあるが、殺菌あるいは洗浄により対処可能である。その他特に害は認められない。

8. 写真

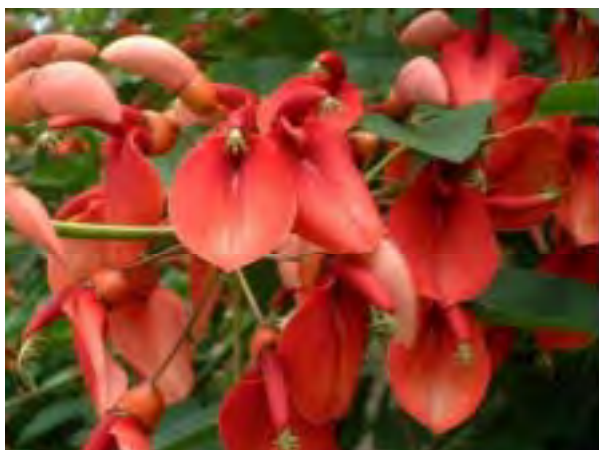
全景



葉



花



Tarco, Jacaranda

Jacaranda mimosifolia (D.Don)

在来種

BIGNONIACEAE / ノウゼンカズラ科

1. 樹種の特徴

- (1) 全 容 樹高 15 ～ 20 m、直径 40 ～ 50 cmに及ぶ落葉性中高木、樹冠は横に大きく広がり、樹皮は淡茶色で細い縦溝を持つ、深根性。
- (2) 葉 葉長 30 ～ 40 cm、偶数二重羽状複葉、小葉は奇数羽状複葉で 15 ～ 30 対からなる。
- (3) 花 3 ～ 4 cm長、薄紫～青紫色、ベル型で落葉期にも咲くことがある、雌雄同株。
- (4) 実 直径 5 ～ 7 cm、円形で縁は波状、二枚貝のような形状で開果するサヤを持つ。
初期に淡緑色～濃緑色、成熟期に茶色に変化し木質化する。
- (5) 種 1 ～ 1.5 cm長、薄い翼があり翼を除くと 5 ～ 7 mmの大きさ、莢の中に 20 ～ 30 対。
- (6) その他 葉に独特のにおいがある。

2. 分布域

- (1) 自 生 地 ブラジル、アルゼンチン
- (2) 導 入 地 南米各地、アメリカ合衆国、アフリカ、アジア地域
- (3) 自生環境 (又は自生限界)
 - ①地形等 砂質で層が深く、水はけが良く適度に湿った土壌を好む。
 - ②標 高 2,000 ～ 2,900m
 - ③気 温 20 ℃
 - ④降水量 400 ～ 600 mm

3. 一般的な用途

用 途	食用	飼料	燃料	建築	農具	木工	杭木	坑木	枕木	樹脂	薬用	養蜂	土壌改良	水涵	その他
			○								○		○		○

注) ◎：よく利用される，○：利用される，△：一部で利用される

【特記事項】

よく景観木として、また、葉を傷薬等として利用する。山地斜面に良く自生し、土壌保全にも有効。

4. 育苗に関する情報

- (1) 種 子 粒数は種々データが異なるが、BASFOR では 67,000 あるいは 92,000 ～ 100,000 粒と表示、発芽促進なしでも 50 %以上の発芽率を得ることができる
- (2) 発芽促進 特に必要としない
- (3) そ の 他 150 g の種子で約 1,000 本の生産が可能、移植は真葉が発生して 6 ～ 8 cm になってから行う、発芽は播種後 12 日～ 25 日の間に始まる

5. 開花と結実

項目 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
開花時期									←	→		
結実時期	→	→	→	→	→						←	→

6. 植栽時の注意点

山地斜面の水はけの良い適湿地で日当たりの良い温暖な気候を好む。零下では冷害を受け先枯れする。よって、日陰、窪地を避け植栽するよう注意する。

7. 耐性・病虫害害

葉軸にカイガラムシやアブラムシが付着することがある。また、気温の低下に弱く0度まで下がると葉や先端が枯れることがある。

8. 写真

全体



葉、花



果実



種子



Kewiña, Quewiña
Polylepis besseri Hieron.

在来種

ROSASEAE / バラ科

1. 樹種の特徴

- (1) 全 容 高さ 10 m、直径 40 cm 程度となる中木、幹は赤茶色で剥がれやすく曲がりくねっている。分岐多。
- (2) 葉 奇数羽状複葉、5～7 枚の小葉を持ち、細かい鋸歯、表面無毛、裏面有毛、いくつかの葉が単位を作って叢生する。
- (3) 花 5～7 mm 長、雌雄同株、総状花序
- (4) 実 5×4 mm で核果有り
- (5) 種 不定形、5 mm 程度、有毛
- (6) その他 高地に自生することから、風の影響を受け変形していることが多い。

2. 分布域

- (1) 自 生 地 ペルー南部～ボリビアアンデス地帯
- (2) 導 入 地 －
- (3) 自生環境 (又は自生限界)
 - ①地形等 一般的に貧栄養土で生育可。湿潤～半湿潤の酸性土壌で石礫を多く含む深い土層、標高 3,000 m を超す風当たりの強い斜面に自生する。
 - ②標 高 3,000 ～ 4,700 m
 - ③気 温 － 10 ～ 18 °C に耐える
 - ④降水量 500 ～ 1,000 mm に

3. 一般的な用途

用 途	食用	飼料	燃料	建築	農具	木工	杭木	坑木	枕木	樹脂	薬用	養蜂	土壌防	水涵	その他
			○		○	○	○						○		◎

注) ◎：よく利用される，○：利用される，△：一部で利用される

【特記事項】

高品質の薪、木柵、防風林、土壌侵食防止に利用される。

4. 育苗に関する情報

- (1) 種 子 8,000 ～ 9,000 粒/kg、通常発芽率は 10 % 以下と極めて低い。
- (2) 発芽促進 特になし
- (3) そ の 他 発芽率が低いことから種子よりも挿し木からの育苗が効率的、実生苗を生産する場合は 1,100 本の生産に 500 ㌦の種子を必要とする。苗長 25 ～ 30 cm に達するまでに 11 ヶ月を要する。

5. 開花と結実

項目 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
開花時期					→						←	
結実時期					←						→	

6. 植栽時の注意点

特になし

7. 耐性・病虫獣害

特になし

8. 写真

全景



葉



Algarrobo

在来種

Prosopis alba Griseb./*P.laevigata* (Willd.) M.Johnston

LEGUMINOSAE,MIMOSOIDEAE / マメ科ネムノキ亜科

1. 樹種の特徴

- (1) 全 容 幹多枝に分かれ逆ハウキ状の樹形、樹高 5 ～ 15 m、直径 1 m に達するが生長鈍足、樹皮は薄く溝が有り灰～茶色、棘有り種と棘無し種がある。
- (2) 葉 二重羽状複葉、互生、無毛、鋸歯なし、全体の葉長 5 ～ 12 cm、幅 10 cm 強、小葉は 20 ～ 50 対、小葉長 5 ～ 10 mm、幅 1 ～ 2 mm で線状、灰緑色、落葉性（乾季）。
- (3) 花 7 ～ 11 mm 長、総状花序でキツネの尻尾状、緑白～黄。
- (4) 実 鞘状、長さ 12 ～ 25 cm、幅狭く細長い、屈曲、緑～黄色～褐色(熟期)、鞘は開かない。
- (5) 種 平らな楕円形、長さ 5 ～ 7 mm、鞘の中で更に個別に種子が包まれ、12 ～ 30 個配列。
- (6) その他 実と種子の間の部分は甘く嗜好品として食されることがある。

2. 分布域

- (1) 自 生 地 アンデス渓谷地帯、ペルー～北アルゼンチン
- (2) 導 入 地 モロッコ、セネガル、スーダン、パキスタン等(近縁種の導入もあり)
- (3) 自生環境（又は自生限界）
 - ①地形等 乾燥、半乾燥地帯で地下水の存在する土壤が深い場所、谷底などの湿潤、砂質土壤を好む、pH4.5-6.0、粘土質・砂質土や石礫地・表土の浅い土地でも生長する。
 - ②標 高 1,000 ～ 2,000 m
 - ③気 温 6 ～ 15 °C
 - ④降水量 100 ～ 700 mm

3. 一般的な用途

用	食用	飼料	燃料	建築	農具	木工	杭木	坑木	枕木	樹脂	薬用	養蜂	土壌改良	水涵	その他
途	△	◎	◎									○			○

注) ◎：よく利用される，○：利用される，△：一部で利用される

【特記事項】

鋭い棘を持つがヤギが好む。棘を利用して土地境界の家畜進入防止に利用する。

4. 育苗に関する情報

- (1) 種 子 6,500 粒/kg、無処理で発芽率 20 % 程度、常温で長期保存が可能、虫害に遭いやすく保存場所に注意が必要。
- (2) 発芽促進 発芽処理なしでは発芽率は 30 % 以下と極めて低い。次の処理で比較的向上する。
 - ①殻切り取り＋水浸 12h、②熱湯浸 1 分＋水浸 5 日

(3) その他

5. 開花と結実

項目 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
開花時期									←→			
結実時期	→	→	→									←

6. 植栽時の注意点

乾燥地で高い耐性を示す反面生長が極めて遅い。育苗期にも生長が遅いため、規格以下の苗木が出されることが多く、時間を掛けて育苗する必要がある。

7. 耐性・病虫害害

乾燥に対して高い耐性を持つ、また、塩類含有土壌への耐性がある。ヤギ、ウサギ等動物が特に好む。種子に虫が寄生することが多い。

8. 写真

全景



果実・種子



葉



内殻つき種子



Molle, Pepper tree

Schinus molle (L.)

在来種

ANACARDIACEAE / ウルシ科

1. 樹種の特徴

- (1) 全 容 樹高 3 ～ 15 m の常緑中高木、枝垂れており、幹は短く、樹皮は濃茶色、深裂有
- (2) 葉 20 ～ 40 枚の小葉を持つ羽状複葉、互生、小葉は線形～被針形、長 2 ～ 5 cm
- (3) 花 長さ 30 cm の垂れ下がるように咲く総状花序、淡黄色、雌雄別体。
- (4) 実 約 3 mm の球状、緑色～赤紫色（成熟期）
- (5) 種 ひとつの実につきひとつの種子、直径 2 mm 程度の球状、茶色
- (6) その他 傷を受けると粘着性樹液が出る。胡椒に似た匂いがある。

2. 分布域

- (1) 自 生 地 アルゼンチン～ペルー、低地～アンデス溪谷地帯では、3,000 m まで分布。
- (2) 導 入 地 USA 南部～中南米諸国、オーストラリア、ドミニカ、ギリシャ、アフリカ他。
- (3) 自生環境 （又は自生限界）
 - ①地形等 半乾燥～乾燥地でも地下水位の高い湿潤地、川沿い、河川敷、谷部底地で深い砂質土壌を好む、岩の多いところは不適。
 - ②標 高 100 ～ 3,300 m
 - ③気 温 10 ～ 20 °C (但し、零下によく耐える)
 - ④降水量 300 ～ 600 mm

3. 一般的な用途

用 途	食用	飼料	燃料	建築	農具	木工	杭木	坑木	枕木	樹脂	薬用	養蜂	土壌改良	水涵	その他
		○	○		○					○	◎		○		◎

注) ◎：よく利用される，○：利用される，△：一部で利用される

【特記事項】

家畜の飼料の保存場所として、耕起具パロの部材として、葉の抽出物は眼炎、リウマチや下痢など多くの病気への薬として利用されている。また、畑地では日陰樹に適している。

4. 育苗に関する情報

- (1) 種 子 2 万～4 万粒/kg、10 °C、9-12 % の温湿度で数年活力を維持できる。甘みがあり虫害に遭いやすく保存場所に注意が必要
- (2) 発芽促進 実生による場合は種子 50g で 1,100 本生産可能。播種後 10 日～30 日で発芽、移植は 3 ～ 5 cm で 2 ～ 4 葉になった時行う。概ね 8 ヶ月で苗長 30 ～ 40 cm となる。
- (3) そ の 他 発芽処理なしでも発芽率は 40 ～ 80 % の報告がある。更に発芽を安定させるためには洗剤を使って種子周囲の成分を除去すると良い。その後水浸を 24h 行う。

5. 開花と結実

項目 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
開花時期									←	→		
結実時期	←	→										

6. 植栽時の注意点

適地を選ぶ。主に沖積層の水分が集まりやすく水はけの良い土地で良く育つ。粘土質の多い土壌を避ける。

7. 耐性・病虫害害

高温、零下の気温や塩分に耐える。また、柑橘類から感染する病気がある。

8. 写真

全体



葉、果実



葉、花序



種子



Tipa

在来種

Tipuana tipu (Benth.) O.Kuntze

LEGUMINOSAE, PAPILIONOIDEAE / マメ科ソラマメ亜科

1. 樹種の特徴

- (1) 全 容 20 mに達する落葉性高木、まれに 30 m、樹冠幅広く分岐、樹皮赤茶色、樹齡と共に亀裂が生じ平行した縦溝となり、幹は通常は太く通直で直径は 60 ～ 70 cm。
- (2) 葉 長さ 13 ～ 27 cmの奇数羽状複葉で互生し稀に対生、小葉は 11 ～ 31 枚(5 ～ 15 対)長楕円形で長さ 3 ～ 4 cm、全縁、小葉頭に切れ目あり葉柄は短い、薄緑色。
- (3) 花 花序は 5 枚で鐘状、長さ 2 cm程度の黄色からオレンジ色。枝先集合して開花する。
- (4) 実 1 実 1 種子、翼あり、黄～緑色～灰茶色。
- (5) 種 長さ 1 ～ 1.5 cm、1 枚翼。
- (6) その他 アンデス渓谷地帯の代表樹種。

2. 分布域

- (1) 自 生 地 ボリビア他南米の乾燥・準湿潤の準アンデス地方渓谷地帯。
- (2) 導 入 地 オーストラリア、ケニア、タンザニア、ウガンダ、ヨーロッパ、アメリカ合衆国。
- (3) 自生環境 (又は自生限界)
 - ①地形等 陽当たり良好地、沖積層～傾斜地下部、水はけ良く適湿で有機質豊富な土壌。
 - ②標 高 天然分布 2,000 m以上の高地とされるが低地での生育可
 - ③気 温 —
 - ④降水量 400 ～ 900 mm

3. 一般的な用途

用 途	食用	飼料	燃料	建築	農具	木工	杭木	坑木	枕木	樹脂	薬用	養蜂	土壌改良	水涵	その他
		◎	○	△	◎							○	○		

注) ◎：よく利用される、○：利用される、△：一部で利用される

【特記事項】

葉は動物がよく好み飼料に適し、材は燃料の他、建築材や農具に利用される。花は養蜂に良い蜜源となる。他に日陰樹として利用される。

4. 育苗に関する情報

- (1) 種 子 2,700 ～ 7,000 粒/kgと幅が大きいが BASFOR 保存の種子は 1,800 粒/kg、翼はあるが硬殻種子でない。通常発芽率は 8 割以上、樹上で虫の害を受けることが多い。
- (2) 発芽促進 翼を切り取り水浸を 24 h 行うかまたは湿った砂の層に 10 日間浸しておく
- (3) そ の 他 1 kgの種子で 1,000 ～ 1,200 本の生産が可能。播種後 10 日～ 35 日の間に発芽し、小葉が 2 ～ 3 枚発生して 4 ～ 6 cmに生長したら移植する。

5. 開花と結実

項目 \ 月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
開花時期	→									←		
結実時期		→									←	

6. 植栽時の注意点

土壌の深い適湿地で温暖な条件を好む。草のように軟らかく自立しないので添え木が必要。食害防除を行わないと成功困難。

7. 耐性・病虫害

乾燥によく耐えるが、種子は結実後すぐに虫害を受けることが多い。家畜、ウサギが良く好む。

8. 写真

全体



葉、花



種子



天然生群落(中央 10 本)：カイナカス



果樹の部

①イチジク、Higo(*Ficus carica* Linn.)：クワ科(MORACEAE)

全容：アラビア南部原産、落葉低木、高さ3～6 m、多枝分岐する。現在は世界的に栽培果樹となっている。挿し木で繁殖する。

葉：長さ10～20 cmの裂片葉を持ち葉脈は掌状

花：雌雄異花

果実：洋なし型又は倒卵形、果肉を形成し、果皮は当初黄又は緑色、後に熟すと褐色、暗紫色又は黒色となる。食用（生食、乾果、ジャム等）。



画：「世界果樹図説」：中村(1978)より

②アボカド、Palto(*Persea americana* Mill.)：クスノキ科(LAURACEAE)

全容：栽培品種はメキシコ、西インド、グアテマラの3系統に大別される。常緑高木又は低木、主に接ぎ木により繁殖するが実生でも可。

葉：長さ5～8 cmの単葉、互生、革質、全縁、葉形は品種により被針形、楕円状被針形、楕円形等様々。

花：多花、総状花序、枝の先端に着く

果実：洋なし型、倒卵形で大きさは品種によって異なり300 g～1 kg程度の物まである。結実時緑色後に暗紫色から黒色に変化。食用（主に生食）でカロリーが高く世界的に認知度の高い果実である。



画：「世界果樹図説」：中村(1978)より

③クルミ、Nogal(*Juglans sp.*)：クルミ科(JUGLANDACEAE)

- 全容：20 mに達する落葉高木、アンデス
溪谷地帯では在来種である(*J.boliviana*, -honored, -neotropica)。過去には大木
が存在しており丸太で供給された。
- 葉：小葉 10 枚前後の奇数羽状複葉、互
生、小葉は鋸歯を持つ長楕円被針形
- 花：雌雄異花
- 果実：直径 3 ～ 4 cmの球状、内部に殻果を
持ち子葉部を食用とする。タンパク
質と脂肪に富み風味があるため料理
に多用される。



画：「世界果樹図説」：中村(1978)より

④ビワ(*Eriobotrya japonica* Lindl.)：バラ科(ROSACEAE)

- 全容：日本、中国原産、温暖な気候を好む、
10 mに達する常緑小～高木、繁殖
は接ぎ木、家庭菜園、中庭などで栽
培される。
- 葉：単葉、互生、被針状長楕円形、鋭形、
長さ 15 ～ 20 cm、鋸歯有、やや革質
で有毛後に脱毛して滑沢
- 花：円錐花序、白色
- 果実：直径 4 ～ 6 cmの球状～洋なし型、後
に熟して橙色、直径 1 cm程度の種子
を 2 ～ 3 個持つ、食用（生食）とす
る。



画：「世界果樹図説」：中村(1978)より

⑤リンゴ、Manzano(*Malus pumila* Mill.)：バラ科(ROSACEAE)

全容：落葉中高木、高さ 15 m程度、幹短く、樹冠円形、品種多、西アジア原産で欧州で最も古くから栽培された果樹のひとつ、繁殖は接ぎ木。

葉：広楕円形・鋭突形、単葉、鋸歯有

花：白～薄紅色、花弁 5 枚

果実：亜球形で改良品種では直径 7～10 数cm、果皮は光沢有るが品種により色は赤色系、黄色系、緑色系などと異なる。甘酸っぱい風味と芳香があり食用（生食、調理）にする。



画：「世界果樹図説」：中村(1978)より

⑥モモ、Durazno(*Prunus persica* Sieb. et Zucc.)：バラ科(ROSACEAE)

全容：落葉小高木、高さ 8 m程度、中国原産、品種多数有り、温暖温和な気候を好み、比較的地味を選ばないため土壌劣化地での栽培も可能、繁殖は接ぎ木。

葉：長さ 8～15 cm長楕円状被針形・鋭突形、鋸歯有、単葉

花：白色～紅、赤色の単立、直径 2.5～3.5 cm、

果実：亜球形、果底は窪み、当初乳白色から黄色、後に熟して、桃色～赤色となる。果肉は多汁、甘く、芳香があり生食で好まれるが缶詰もまた良く生産される。



画：「世界果樹図説」：中村(1978)より

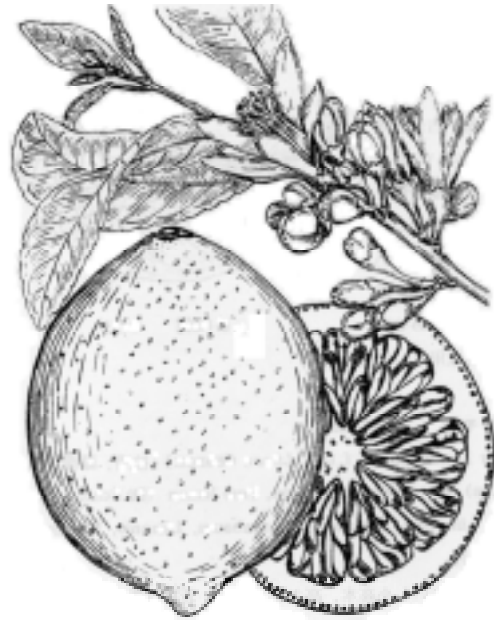
⑦レモン、Limón (*Citrus limon* Burm.f.) : ミカン科(RUTACEAE)

全容：インド原産、常緑低木～小高木、高さ 3～6 m、柑橘類代表格のひとつ、乾燥・温暖な気候を好む。溪谷地帯谷部温暖地域での栽培可能性が高い。

葉：卵状広楕円形、鋭形、長さ 11 cm 程度、幅 5.5 cm 前後、柑橘によく見られる翼葉はない。

花：腋生、単立又は総状に束生、直径 3～5 cm、花弁は内側白色、外側紫色。

果実：卵形ないし紡錘形、頂部に乳頭があり、長さ 7～8 cm、果皮は平滑で光沢が有り黄色。多汁・強い酸味があり飲料、料理に世界中で用いられる。



画：「世界果樹図説」：中村(1978)より

⑧ブドウ、Uva (*Vitis* sp.) : ブドウ科(VITACEAE)

全容：つる性木本植物、野生種は谷部湿潤地域に自生し、栽培種は河川敷等の砂地に導入される。温暖地域から冷涼地域まで 10 種程度があり、それを基本として多数の品種がある。

葉：単葉、直径 5 cm 程度～手のひら大まで大きさは様々、浅い 3～5 片の裂片と掌状脈を持つ、縁は広い歯状縁、

花：雌雄同株、花束状花序で葉と対生。

果実：直径 5～15 mm の球形果、房状に生る、1 果実に付き 2～4 の種子、多汁、生食用の他酒原料とする。



画：「世界果樹図説」：中村(1978)より

⑨モリシマトケイソウ、Passion fruits(*Passiflora mollissima* H.B.K.)

: トケイソウ科(PASSIFLORACEAE)

全容：常緑つる性木本植物、南米低地熱帯地域からアンデス高地まで幅広く分布栽培される果実でペルー、チリ、ベネズエラ、ボリビアなどのアンデス地域で見られる、近種多し。

葉：深裂片のある三出葉様の 7～10 cm の葉、鋸歯有、裂片は卵状被針形

花：直径約 7.5 cm、白色に薄紫色、桃色が混ざる、花柄から花床までの基部が膨張、花卉は 10 枚

果実：長楕円形、細かい軟毛があり乳白色・黄色、長さ 7～12 cm、果皮は革質、果肉は黄色、果肉は粒毎に 1 つずつ種子を持つ、酸味があり多汁、芳香有り



画：“Lost Crops of the Incas” (1989)より

⑩パパイヤ、Papaya(*Papaya carica* Gaertn.)

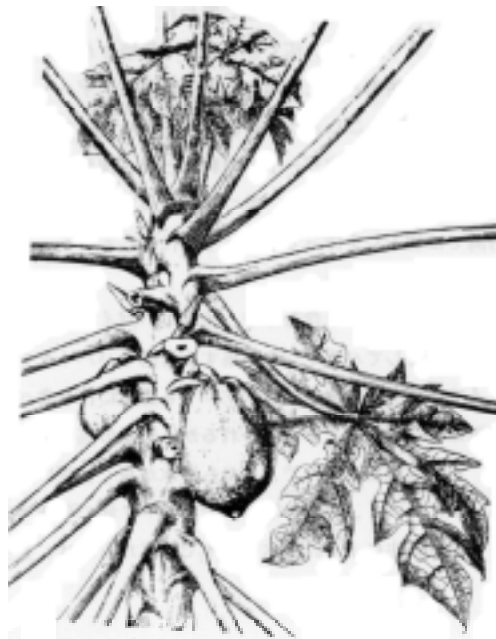
: パパイヤ科(CARICACEAE)

全容：半木本状常緑樹、高さ 10 m に至る、若幹は中空、老熟時に繊維が増え木質化する、通常単幹通直。南米山岳地帯原産で高標高、低温によく耐える。現在は熱帯地方で栽培され世界中で流通する経済的作物のひとつ。

葉：直径 40～50 cm になる大型の 6～11 片の裂片葉で単葉、1 m 近い葉柄により幹頂端部にのみ不規則に発生、すぐに脱落する。

花：雌雄異株、同株、中間型と様々、雌花は長さ 3 cm 程度と小さく、雄花は集散花序で花柄が 25～100 cm。

果実：果実は葉腋につき、倒卵形多く、品種により大小長短と様々、橙色～緑黄色、果肉は軟らかく淡い甘みがあり芳香がある、中心に多量の黒褐色の種子がある。主に食用（生食、調理）とされる。



画：「世界果樹図説」：中村(1978)より

⑪チリモヤ、Chirimoya (*Annona cherimolia* Mill.) : バンレイシ科(ANNONACEAE)

全容：熱帯アメリカ原産、常緑低木、冬温暖夏冷涼な乾燥気候を好む、実生により繁殖可能。

葉：卵形～卵状被針形、長さ 10 cm～25 cm位、品種により異なる。

花：香気を帯び長さ約 2.5 cm位、単立ち又は 2～3 花ずつ葉腋に束生する。

果実：多肉質、多数の心皮が融合した集合果、数 10 g～2 kg以上の物まで様々、果皮淡緑色、果肉白色で軟らかく甘い、生食用。



画：「世界果樹図説」：中村(1978)より

⑫マンゴー、Mango (*Mangifera indica* Linn.) : ウルシ科(ANACARDIACEAE)

全容：熱帯アジア原産と言われる。常緑高木、高さ 30～40 mに達する、現在は世界中の熱帯地域で栽培される、繁殖は接ぎ木、アンデス溪谷地帯では谷部の比較的温暖な地域でのみ小型の果実を栽培することが可能、栽培成績は土性、気温、降雨形に依存する。

葉：単葉、互生、革質で被針形又は長橢円形、先端鋭形、長さ 15～30 cm、全縁。

花：不規則な総状花序で頂生（枝の先に着く）、1 総状花序の長さ 15～30 cm、500～2,000 花序の集合体。

果実：直径 4～5 cmから重量 3 kg以上のものまで品種により大きさが異なる。

形状も心臓形、長橢円形、卵形と様々、果肉は淡黄色ないし橙色、多汁で甘み強く香り強い、繊維質が多く食べにくい、扁平の大型種子を 1 個持つ、生食用。



画：「世界果樹図説」：中村(1978)より

⑬グワバ、Guayava(*Psidium guajava* Linn.)：フトモモ科(MYRTACEAE)

全容：熱帯アメリカ原産、熱帯各地に分布、
低木、高さ7～8 m。

葉：単葉、対生、長楕円形又は卵形、長さ10～20 cm、全縁。

花：単立、白色。

果実：円形、卵形又は洋なし形、長さ2.5～10 cm、通常黄色、果肉白色、紅色又は橙色、果汁少、甘く酸味、香氣有、種子白色、多数、生食用、ビタミンCを多く含む。



画：「世界果樹図説」：中村(1978)より

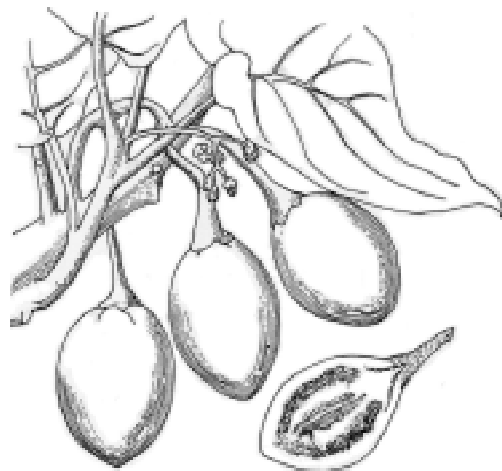
⑭トマトノキ、Tomate de árbol(*Cyphomandra betacea* Miers.=*Solanum fragrans* Hook.)：ナス科(SOLANACEAE)

全容：半木本性低木、高さ約3m、

葉：単葉、互生、心臓形先尖る、長さ約12 cm

花：ナス科特有の5弁花、白色

果実：成熟果は赤色、トマトに似た甘酸っぱい味で、生食用調理用。



画：「世界果樹図説」：中村(1978)より

⑮オリーブ、*Oliva*(*Olea europaea* Linn.)：モクセイ科(OLEACEAE)

全容：アフリカ原産の中高木、高さ約 12m、地中海沿岸、カリフォルニア方面で栽培、比較的寒さに強く、乾燥温暖気候を好む。

葉：細長楕円形、鋭形、単葉で対生、長さ約 5 cm、幅約 1.5 cm、裏面有毛で銀白色。

花：白色、小さく、複総状花序をなし腋生

果実：円形又は楕円形、長さ約 3 から 4 cm、果皮薄く、成熟果で紫黒色、油漬け等に加工試食用、又は食用油を採取。



画：「世界果樹図説」：中村(1978)より

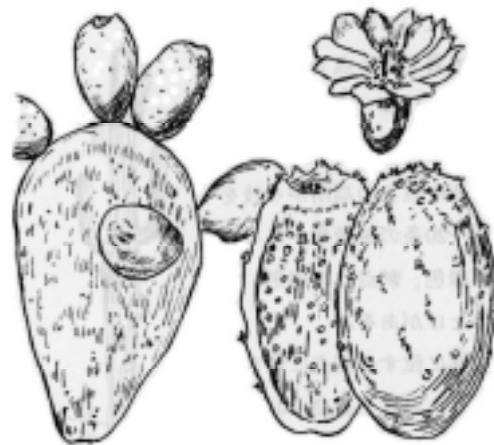
⑯トゥナ(ウチワサボテンの実)、*Tuna*(*Opuntia* sp.)：サボテン科(CACTACEAE)

全容：高さ 3 ～ 4 m の木本状多肉植物類、中南米原産の乾燥性植生を表す指標植物、幹は基部が木質化、乾燥に対して対生が強い。

葉：葉と幹の明確な区別なく、柱状サボテンと異なり 20 ～ 30 cm 長の逆楕円（基部細い）形の葉状幹を不規則に進展させる、有棘。

花：葉状幹に雨季の始まり頃直径 7.5 ～ 10 cm 程度の黄色花を開花

果実：長さ 10 cm、直径 5 ～ 6 cm 程度の長楕円形・球状、有棘、果肉赤く甘い、小種子多く含まれる。メキシコでは食用として輸出されている、生食。



画：「世界果樹図説」：中村(1978)より