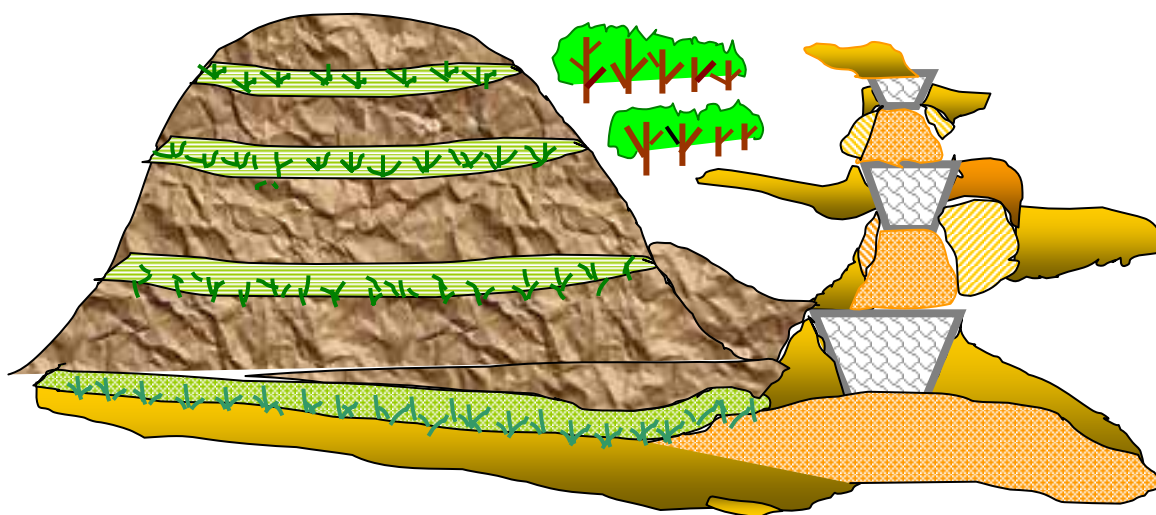
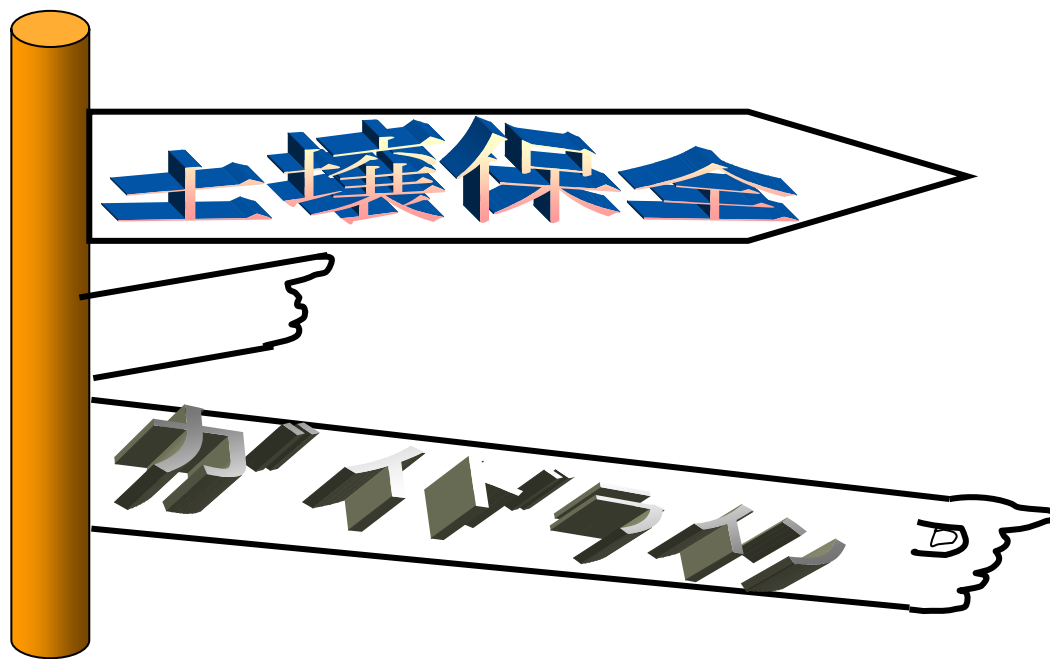


独立行政法人 国際協力機構
スワジランド国農業協同組合省



2004年 1月

国際航業株式会社
株式会社三祐コンサルタンツ

目 次

第1章	本ガイドラインの利用者および内容概要の紹介	1
1.1	利用者	1
1.2	内容概要	1
第2章	本ガイドラインの対象地域	1
第3章	調査対象地の現況荒廃状況と荒廃の動向	2
第4章	分岐峡谷状ガリー（RTG）を含む土壌浸食のメカニズムと発生要因	6
第5章	土壌浸食の規模と被害	17
第6章	土地利用と分岐峡谷状ガリー（RTG）が発達し易い地域	19
第7章	土壌保全の必要性と土壌保全対策についての一般的考察	21
7.1	土壌保全の必要性	21
7.2	土壌保全対策についての一般的考察	21
第8章	土壌保全計画策定にあたっての提言	24
8.1	「行政区ごとの土壌保全計画」を基本とした「チーフダム土壌保全計画」の策定	24
8.2	基礎学校教育における環境保全概念の導入の必要性	24
8.3	法的措置の導入を視野に入れた土壌保全計画の策定	25
8.4	土壌保全計画策定にあたっての技術的留意事項	25
8.4.1	土壌浸食防止及び既存RTGの安定化を考慮した土壌保全計画の策定	25
8.4.2	RTGの発生し易い地域の線引き及びその地域内での土地利用に関し留意すべき事項	26
8.4.3	既存RTGの措置対策にあたって考慮すべき事項	27
第9章	土壌保全の実施体制についての提言	28
9.1	農業普及員及び住民の訓練	28
9.2	各RDAに土壌保全官を配置及び土壌保全運動の準備	28
9.3	コミュニティごとの「放牧地パトロール集団」の結成	31
9.4	参加型作業のために使用する作業道具類の分配	32

9.5	牛の繋ぎ飼いによる利点を考慮した土壤保全実施体制の構築	32
9.6	放牧に関し望ましい長期的政策を考慮した実施体制の構築	33
9.7	土壤保全実施体制の構築に当たって導入すべき行政指導要綱	34
第10章	土壤浸食状況に応じた土壤保全対策の提案	38
付属書	39

表リスト

表 3-1: 調査地域内の総共有地面積に対する荒廃現況.....	2
表 3-2: 調査対象地域内の土地利用別面積と放牧地の土地荒廃状況.....	4
表 3-3: 「ス」国ミドルベルドにおけるガリーの発達速度.....	4
表 3-4: ターゲット・エリア内で測定された浸食面積.....	5
表 4-1: 各浸食形態の主要発生要因.....	7
表 4-2: ガリー生成過程.....	10
表 4-3: 既存ガリー発達過程の例示.....	11
表 4-4: 地表の植生被覆がガリーからの距離により変化する例.....	12
表 4-5: 将来の土壌浸食進行速度の推定.....	12
表 4-6: 異なる土地利用下における RTG の密度.....	13
表 4-7: 主要な断層帯 沿いのRTGの発生密度.....	13
表 4-8: ターゲット・エリア3地域内ガリー発生地地の地勢, 地質及び土壌学的特性.....	14
表 4-9: RTG の主な発生要因.....	14
表 4-10: 異なる斜面部位における腐食岩の性質.....	16
表 5-1: 層状浸食による年間最大推定土壌流亡量.....	17
表 5-2: SLEMSA 法で予測したターゲット・エリアにおける年間土壌流亡量.....	18
表 7-1: 土壌侵食・土地荒廃に起因する被害項目と損失量の試算結果.....	21
表 7-2: 耕地と放牧地の植物養分バランス.....	23
表 7-3: 衰弱した放牧地に対する一般的土壌保全対策.....	23
表 9-1: 土壌保全官と住民による地域土壌保全・土地復旧事業計画策定計画調査表 (案).....	29
表 9-2: 土壌状態による望ましい対応策.....	30
表 9-3: 調査の必要性.....	30
表 9-4: 現状把握の意義.....	31
表 9-5: 今後実施すべき比較的高度な調査項目と必要な器具・計器等.....	31
表 9-6: 土壌保全作業に最小限必要な用具類リスト.....	32
表 9-7: 3ヶ所のターゲット・エリアにおける適正牧養力 (DCC).....	34
表 9-8: 放牧管理事業を公的に推進する方策を適用する方が良いと考えられる優先地域... ..	35
表 9-9: 持続可能な牛群保有の一般的概念.....	37
表 9-10: 望ましい放牧を実現するための諸措置の実施期間(案).....	37
表 10-1: 土壌浸食の形態と対応策.....	38

図リスト

図 3-1: 調査対象地域内の土地利用と土地荒廃状況図.....	3
図 4-1: 地表の草生被覆が与える層状浸食への影響.....	6
図 4-2: 閃緑岩起源腐食岩上に発達したFerralsol（鉄礬土）の層序.....	15
図 5-1: 3ヶ所のターゲット・エリアで観察した表土の損失深.....	17
図 6-1: ガリーが密集する主要断層の位置図.....	20
図 9-1: 放牧管理事業を公的に推進する方策を適用する方が良いと考えられる優先地域の事例.....	36

第1章 本ガイドラインの利用者および内容概要の紹介

1.1 利用者

本ガイドラインは基本的にコミュニティの住民に土壌保全、持続的な営農および家畜の飼育方法等を指導する立場にある農業協同組合省の職員を対象に作成したものである。同時に、農業協同組合省の職員が本ガイドラインを教材として同省の農業普及員に対し土壌保全に係る理論と実践に係る教育を行うことにより、農業普及員本来の業務に加え、彼等が地域住民に土壌保全の必要性をアピールし、その具体的対策を提案できるようになることを目標として作成されたものである。また、本ガイドラインに添付されている多くのイラストは地域における土壌保全の手法を分かり易く示しており、これらは地域住民のみならず、地域の小中学校の教職員が生徒への環境教育の一環として土壌保全を推進する場合においてもテキストとして大いに役立つことが期待される。したがって、本ガイドラインは、政府関係者のみならず、地域住民、教職員および生徒等によって広く活用されることを念頭に置いている。

1.2 内容概要

本ガイドラインは土壌保全に係る理論に偏向することを避け、現場において土壌保全事業に取り組む人々にとって分かりやすいガイドラインであることに配慮し、多数の挿絵を盛り込み、平易で親しみ易い実践的内容となっている。すなわち本ガイドラインでは、土壌荒廃の現状の記述を踏まえ、1) 土壌保全計画策定の一般手法、2) 土壌保全実施体制、及び、3) 具体的な土壌保全対策について記述している。なお、土壌保全対策は地質、地形及び荒廃状況等により大きく異なるためにその対策は一様ではないが、出来る限りメニュー方式による対応策を示した。

第2章 本ガイドラインの対象地域

本ガイドラインはスワジランド国「荒廃地農村環境改善計画調査」の調査対象地域のうち、共有地 (SNL: Swazi Nation Land) 4,646km² (内訳は、ハイベルド: 2,979km²、高位部ミドルベルド: 1,667km²) を対象に作成している。なお、私有地 (TDL: Title Deed Land) は本ガイドラインの対象外である。

第3章 調査対象地の現況荒廃状況と荒廃の動向

調査対象地域の土地荒廃のパターンは層状浸食、水径（みずみち）浸食（リル浸食）及びガリー浸食、雨裂崩壊による浸食、外来植物の蔓延、土壌からの養分流亡など、その形態はさまざまである。これらの土地荒廃の多くは永年に亘る不適切な土地利用の結果として生じたものと考えられる。地目別に見ると土壌荒廃は、耕地や林地よりも、放牧地において遥かに大規模に観察される。その理由としては、耕地は等高線畝（草生帯）により、また林地は落葉などでその表面が保護されているためと考えられる。

同様に、乾燥地の方が湿潤な地域より土地荒廃が著しい傾向にあり、その理由としては、乾燥地では降雨が不足し、一旦植生が荒らされると回復に長時間を要するためと考えられる。この観点から見ると一般にハイベルドは高位部ミドルベルドと比較し、失われた植生の再生に有利な条件を持っている。また枝分かれしたガリー浸食（以下分岐峡谷状ガリーと言う）は土地荒廃の代表的状況を示すが、この種のガリーは主として高密度に牛、山羊が長期に放牧され、数10年に亘り植生が負の影響を受けてきた草地上に発達している。なお、参考資料としてAELDA（Actual Erosion and Land Degradation Assessment、本方式はFAOによって開発された）法によって、Dr.Remmelzwaal及びMcDermotlowerが1997年に実施した共有地における荒廃状況の調査結果を表 3-1に示す。

表 3-1: 調査地域内の総共有地面積に対する荒廃現況

単位：%

地域区分	観察年	共有地上の放牧原野 (A)	(A) のうち重度に受食した土地	(A) のうち中度に受食した土地
ハイベルド (面積：2,979km ²)	1997	57% (1,698 km ²)	31% (934 km ²)	23% (679 km ²)
高位部ミドルベルド (面積：1,667km ²)	1997	67% (1,117 km ²)	54% (894 km ²)	10% (168 km ²)

注1：重度の浸食：ガリーが発生し、植生被覆（樹冠及び草生）が30%以下の状態
 中度の浸食：リル浸食程度に留まり、植生被覆が30～70%の状態

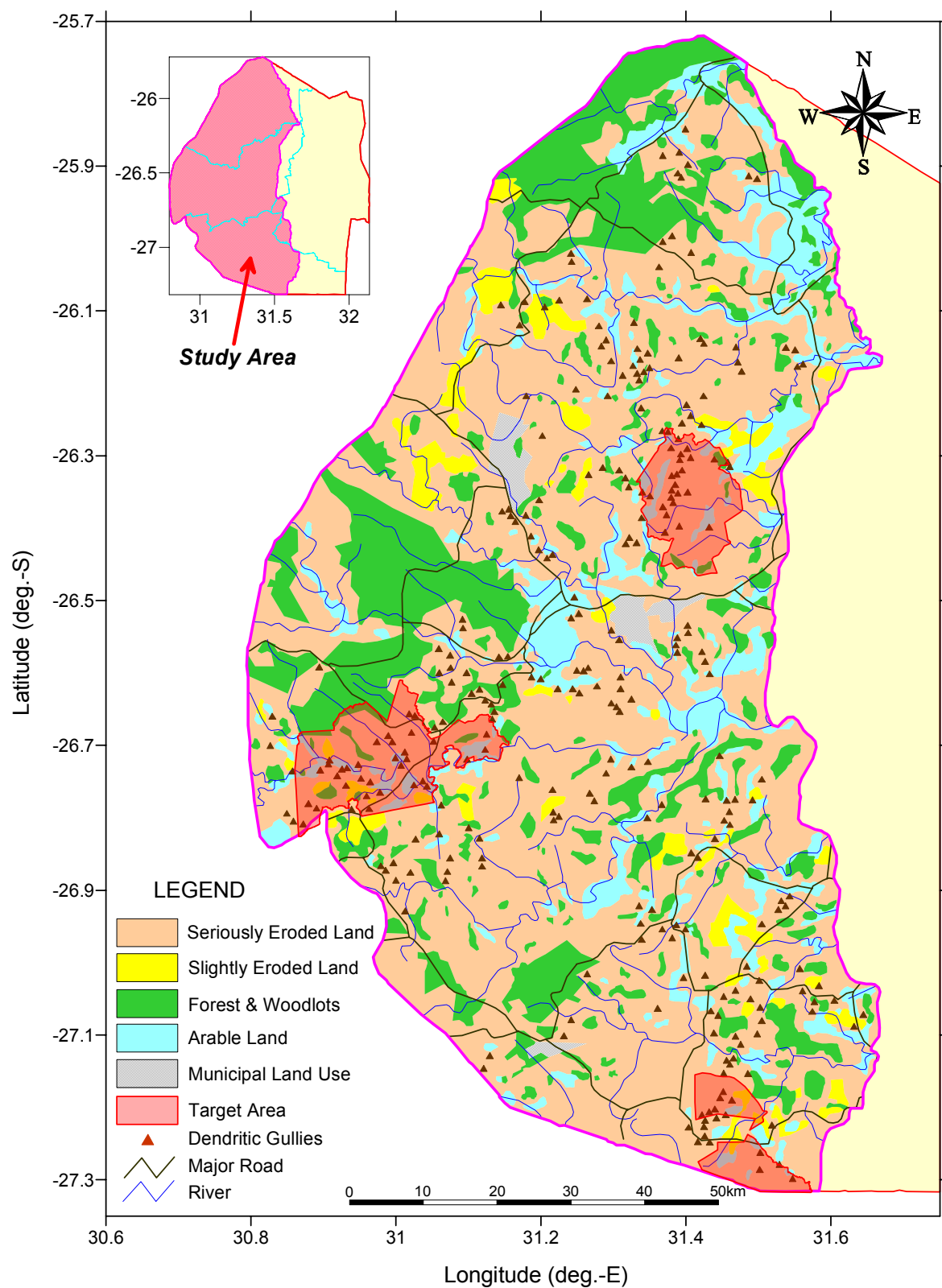


図 3-1: 調査対象地域内の土地利用と土地荒廃状況図

表 3-2: 調査対象地域内の土地利用別面積と放牧地の土地荒廃状況

(単位：km²及び%)

土地利用/浸食程度	調査対象地域内における面積	放牧地			林地及び樹園地	耕地	その他の土地	
		浸食の激しい草地面積	中程度～軽度に浸食された草地	浸食の無い草地				
共有地	ハイベルド	2,979	934 (31%)	679 (23%)	85 (3%)	149 (5%)	238 (8%)	894 (30%)
	高位部ミドルベルド	1,667	967 (58%)	33 (2%)	55 (3%)	95 (6%)	134 (8%)	383 (23%)
	計	4,646	1,901 (41%)	712 (16%)	140 (3%)	244 (5%)	373 (8%)	1,276 (27%)
私有地	ハイベルド	1,849	527 (29%)	134 (7%)	49 (3%)	1,010 (55%)	55 (3%)	74 (4%)
	高位部ミドルベルド	987	491 (50%)	68 (7%)	53 (5%)	227 (23%)	99 (10%)	49 (5%)
	計	2,836	1,018 (36%)	202 (8%)	92 (3%)	1,248 (44%)	142 (5%)	113 (4%)

注) 1. 面積は調査団の作成した図面に基づき算出したものである。

2. 浸食程度

浸食の激しい草地：AELDAにより分類された浸食の程度が重大及び非常に重大な草地。

中程度～軽度に浸食された草地：AELDAにより分類された普通及び許容できる草地(図 3-1参照)

上表から共有地の放牧地は面積的に大部分を占めるのみならず、共有地では深刻な土地荒廃が広範囲に亘っていることが分かる。一方、私有地(TDL)における土地利用は放牧地よりも林地・樹園地が大面積を占め、共有地ほどの土地荒廃は見られない。この差はなぜ生じたのだろうか？ 想定される理由の一つは植民地支配時代に西欧入植者が条件の良い土地を占有したことである。加えて、私有地の現所有者は、経済的余裕もあり、かつ土地荒廃を避け得る知識を持っていることから、これまで彼等の所有地を適切に管理してきたものと考えられる。

スワジランドではガリーの多発箇所が風化の著しい腐食岩から成る残積・崩積丘陵が広く分布するミドルベルドと重なっている。共有地が大部分を占めるこうした丘陵鞍部の4分の3以上は、現在、放牧地として利用されている。スワジランドにおけるガリーの発生と発達は、過去最も多い人口と家畜頭数を記録した1970及び1980年代に著しく加速された。この時期におけるガリー浸食の発達速度(空撮写真からの読み取りによる)は表 3-3に示す数値となっている。

表 3-3: 「ス」国ミドルベルドにおけるガリーの発達速度

程 度	極度	高度	中度	低度～皆無	平 均
ガリー発生密度	1 / 3ha	1 / 5ha	1 / 12.5ha	< 1 / 12.5ha	1 / 8.5ha
1972年時点	6.9 %	21.1 %	33.6 %	38.4 %	-
1990年時点	13.6 %	26.7 %	28.2 %	31.5 %	-
20年間の趨勢	+ 6.7 %	+ 5.6 %	- 5.4 %	- 6.9 %	-

出典: R.P.C. Morgan et al. Cranfield University, UK. Issued in Soil Technology 11 (1997)

JICA調査団が2002年に実施した現場観測に基づき推計した地域別浸食状況（面積比率）を表 3-4に示す。

表 3-4: ターゲット・エリア内で測定された浸食面積

(単位：地表面積の%)

浸食の種類	浸食の程度	ハイベルド	高位部 ミドルベルド	低位部 ミドルベルド	ターゲット・ エリア全体
層状浸食	強度	4%	6%	7%	5%
	中度	9%	20%	19%	14%
	軽度	9%	1%	2%	6%
小計		22%	27%	28%	25%
水径浸食	強度	0.3%	0.3%	1%	0.3%
小段状浸食	強度	0%	1%	0%	0.1%
	中度	6%	10%	4%	6%
小計		6%	11%	4%	6%
地滑り状浸食	強度	0.1%	0.2%	0.1%	0.1%
	中度	0.1%	1%	0%	0.3%
小計		0.2%	1%	0.1%	0.4%
分岐峡谷状浸食	激甚	2%	1%	3%	2%
	強度	0.5%	0.6%	1%	0.6%
小計		3%	2%	4%	3%
浸食面積計 %	*	31%	41%	37%	38%

(注：調査団による評価)

調査対象地内の分岐峡谷状浸食は景観上目立つ存在であるが、面積としては全面積の3%程度に過ぎない。地域の農業及び放牧にとって重大な被害はガリー浸食よりも層状及び小テラス状浸食であり、これらは土壌養分を流亡させ草地や農地を瘦薄化し、荒廃に至らせるものである。また、これらの浸食は裸地の発生に繋がり、下層の地層構造がガリー発達の条件を備えている場合は、将来的にガリー発生の引き金となる可能性が高い。

第4章 分岐峡谷状ガリー（RTG）を含む土壌浸食のメカニズムと発生要因

いかなる人為的作用にもよらない自然発生的土壌浸食もあるが、一般的には人為的攪乱が引き金となり土壌浸食が発生し、それが加速される場合が圧倒的に多い。土壌は降雨中または降雨後の地表流去水及び乾期の強風によって浸食を受ける。土壌表面の植被は地表土塊を破壊する雨滴のエネルギーを弱めるだけでなく、その根系が土塊を保持し、土壌の表流水による洗掘や垂直亀裂の下降発達を抑制し、土壌浸食に対し最大の抵抗作用を発揮する。浸食された土地を修復し、あるいは更なる浸食の速度を最小限に抑制するためには裸地化した地表部分に草生被覆を回復することが極めて重要である。図 4-1は地表の草生被覆を失うことがいかに層状浸食に影響を与えるかを示したものである。

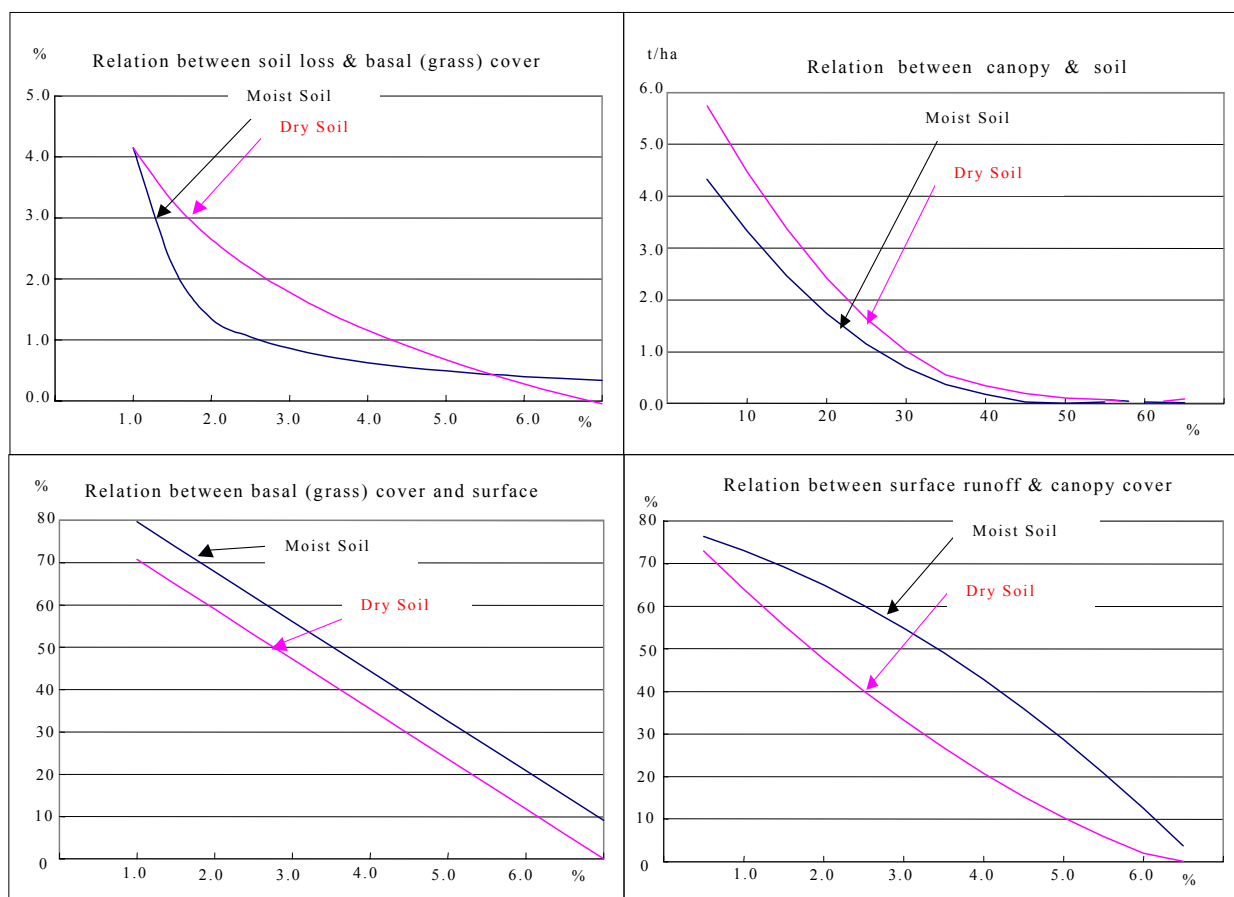


図 4-1: 地表の草生被覆が与える層状浸食への影響

表 4-1: 各浸食形態の主要発生要因

浸食形態	影響を被る母材	主要発生要因とメカニズム
層状浸食	斜面上のすべての土壌	過放牧、草地上火入れ、伐採、貧弱な作物被。
小テラス状浸食	同上で急斜面かつ放牧利用されている岩屑土	層状浸食の発達した1形態で浅い岩砕土上に牛の過放牧が行われた場合に生じ、しばしば露岩部分が菱形の小テラスを形成する。
地滑り状浸食	斜面上の薄い表土と下層に滑り面を持つ土壌	腐食岩上で雨期に過放牧が行われる際、家畜の体重で一時的不透水層上の土層が剥離滑落し雨裂断面を発生する。
水径浸食	斜面の露出部分とくに砂質・礫質土壌表面	水径は強度に層状浸食を受けた裸地斜面とくに家畜の往来通路、牛馬車道、土取り場、放棄畑の上に発生する。
ガリー浸食	カオリンなど受食性の強い粘土鉱物を含むすべての土壌	水径が深く洗掘され、または古い白蟻の巣や土取り場、洗掘された溪流崖などに端を発する地表の垂直裂開溝が洗掘され、溶解粘土地下水が流下排出されガリーが生成する。
分岐峡谷状浸食	コロイド化するカオリンを豊富に含む層	複数の前進する頭部の分岐を持ち、裸地化した牛群の通路や歩道上に沿って発生することが多い。多くの場合下層の腐食岩中に溶脱集積したカオリン塊が地下水浸潤作用によって溶解流去する結果地中空洞が発生し、上部の地層が崩れ落ち、地下谷に沿った峡谷が出現する。

分岐峡谷状ガリー（RTG：Ravine Type Gullies、以下同じ）の生成要因については現在いろいろな仮説が提出されているが、ここでは調査団が下記の説明及び上表に示した観察結果を取りまとめて紹介する。なお、ローベルドの崩積埋谷に見られるパイプオルガン状側壁を持つガリーはこの議論に含まれない。

- (1) RTGは広い範囲の標高、土壌のタイプ、表層地質に亘って分布しているが、（花崗岩、花崗閃緑岩など酸性の深成岩を母岩とする腐食岩で構成される）残積丘陵上に多く見出される。さらに、大規模なRTGは地殻変動に伴って生じた断層に沿って出現し、また極度に風化作用を受けた花崗岩、花崗閃緑岩団塊中にも集中的に発生している。その理由としては断層付近で繰り返された地殻変動に伴う摩擦が溶脱・集積粘土塊を生成したことが考えられる。なお、片麻岩などの変成岩や粗粒玄武岩に代表されるアルカリ岩類の卓越する地層ではRTGの発生は総体的に少ないと観察された。
- (2) 放牧地に比べ、作付けしている耕地にはたとえ斜面上にあっても一般に浸食の影響が少ないが、これは等高線沿いに設けられた草生テラスと雨期の作物葉被覆が裸地を保護しているためと考えられる。
- (3) ガリーの発達速度は年々異なるが雨量にほとんど関係しない。これはおそらく雨水の洗掘よりも地下の構造に空洞の発生が関係しているためと推察される。ガリー側壁の崩落は地下水が流下する地下谷に上流側に向かって進む傾向が見られる。
- (4) RTGは多くの家畜を毎日歩かせる牛群の通路、薬浴槽や水場への通り道の上または側方にできることが多いが道端の排水溝、暗渠の出口、土取り場跡にも発生している。

- (5) RTG の発生で退化している区域は共有地上の放牧地に圧倒的に多く見出されるが、私有の放牧地には少ない。この理由は後者において適切な放牧密度が保持され（家畜が単なる世帯財産として保有されるのではなく、商品として取引されていることが挙げられる）。
- (6) 人為的に生成したRTGは自然の下刻作用で凹地に発達する谷の先端よりも丘陵上の凸部である鞍部に向かって進むケースが少なくない。この理由は牛群が谷地を通らず明るく開けた稜線、鞍部沿いに毎日移動することと関連しており、（とくに雨期に）毒蛇や寄生虫の多い箇所を避ける牛群の本能に根差した動きと言える。また、谷地ではすでに集積粘土が溶解流去し尽くしており、不透水層下の岩盤に達していることも1つの理由であろう。
- (7) 大規模なRTG内部の側壁や島状残柱には常に集積粘土に富む層や集積したカオリンの団塊がある。これらは軟弱で脆く地下水や雨水表流水の浸潤によって容易に溶解、流去する。
- (8) 観察されたガリーの約10%で底床部に常時表流水が見られ、底床が難透水層に達しているために、これ以上深く発達しないと考えられる。表流水が乾期にも枯渇せず、底床部に池が出現しているガリーも見受けられる。
- (9) 溶脱した粘土は難透水層を覆う帯水層内に集積している場合が多く、その部位から雨期に白濁した地下水の湧出が見られる。RTG内の島状残柱や側壁に見られる桃色を呈する集積シルト堆積物は粒径の揃った粒度分布を示し、固結度があまりにも低く、また負荷応力も低いため上部の地層を崩落させる。また、家畜の泌尿によっても土柱が溶解し容易に流去する。
- (10) 水径浸食やガリー中に見られる空洞は乾期にも湿潤で、雨期には極度に脆い粘土・シルト集積層が地下水及び地表からの流入水によって常時洗掘された結果、生成・拡大する。
- (11) 多くの場合、ガリーの発達先端が丘陵頂部に到達すると停止するが、まれに丘陵鞍部を二分して深く発達する事例も見られる。
- (12) 底床に高い地下水位を保つガリーの中には灌木や外来植生などが内部に再生し安定化に向うが、場合により再活性化し、発達を再開するものもある。ガリーは花崗岩マントルの周囲に形成された崩積・残積丘陵上の凹部にも凸部にも発達する。

- (13) 一般にU字型断面を持つガリーはV U字型断面を持つガリーより生成後経過年代が古い、通常は後者も拡幅発達して次第に前者に移行する。但し、その断面は基岩の性質や風化状態によって異なる。
- (14) 一般に若いガリーほど伸長発達の速度は速いが、古いガリーの中にも発達を続けるものがあり、生成後1世紀を経てなお発達中のガリーも観察される。ガリー頭部の伸長や側壁の拡幅などの発達速度は乾期よりも雨期と雨期明けに早まる。腐食岩風化物中の通水孔隙量は少ないが、時に大きな動水勾配を示し、崖側に露頭する難透水層の上部から雨期に短期間湧水が滲出する場合がある。
- (15) RTGの出口は通常河川に開口する狭い溝であるが、多くのガリーの頭部に開口したり、（とくにガリー下流側の底床部が粗粒玄武岩シル露頭に到達している場合）底床の表流水が地下に伏流し丘陵尾根鞍部乃至中腹平坦部に直接開口したりしている場合もある。
- (16) ほとんどのRTGは粘土含量の低い腐食岩風化物中の裂虚を通して多量の水溶性土壌コロイドを流失するが、その大部分は風化2次鉱物のカオリンと見られる。ガリー側壁上部の土壌にはスメクタイト（2：1格子型粘土鉱物）が含まれ、これが乾湿履歴現象を繰り返す過程で垂直裂開を生ずる。
- (17) 単頭ガリーが多頭ガリーに分岐発達するメカニズムは未だ議論の余地が多いが、不透水層面が形成する地下谷の形状、地下水動水勾配、あるいは下方集積した粘土塊の偏った分布などに関係しているものと思われる。

上記の観察と既存収集データを総合して判断すれば、表面流去水は当初の水径浸食発生の引き金となる以外にはガリーの発達にほとんど関与せず、むしろ地下水の動向や地下の粘土集積状況がガリーの進行発達に影響する要因として重要であると考えられる。こうした成因を踏まえた対策の実施が無駄を省き投入を効率化する上で肝要である。

予測される地学的見地から言えば、発生したガリーは次第に地質的下刻作用が造り出す通常の侵食谷に移行して行く。水和したスメクタイト（2：1格子型粘土鉱物）は膨脹し、土塊の固結度は次第に失われ、乾期に入って表面のみ乾燥して垂直亀裂が入った段階で側壁下に雨期を通して空洞が形成され、支持を失った壁の表面は空洞下に崩落する。RTGの長さ、深さ及び幅員は地下の未風化岩体及び既風化腐食岩、集積陶土の分布や量、発達の段階（生成後の経過期間）などによって左右される。こうした背景から土壌データも地質

データもガリー発生発達の予測には余り役立たないが、断層の位置と残積/崩積表層中の2：1格子型粘土鉱物含量、集積粘土塊の有無と規模がRTGの出現と発達を予見する指標としては利用できると思われる。

表 4-2: ガリー生成過程

段階	関与要因	層位	当初のきっかけ：過放牧等の人工的地表攪乱
0	断層発生/断層粘土の生成と溶脱	腐植岩中の溶脱層全体	太古代地核変動が花崗岩体内部で断層発生を繰り返すその作用で断層粘土を生成。後、地下水が単格子構造粘土鉱物（カオリン）を溶脱し下部の不透水層上部に集積する。溶脱層は細粒子を失い自体の固結度が大幅に減少する。
I	降雨の地表面流出	土壌・腐食岩表層	過放牧、野草再生のための火入れ、道路排水工事、家畜通路の踏み荒しなどで地表の裸地部分が増加する。
II	水径の発生	土壌腐食岩の下層	攪乱された地表とくに裸地、排水工上に降雨で生ずる水径ガリーに成長し、縦の地表亀裂が表流水を地下に導き、水径洗掘洞穴を発生する。
III	雨水の地表浸透と下層	腐食岩～崩積層	リル内の流水は下部にある風化腐植岩層を浸透し、この水が集積したカオリン土塊を水和し易い状態に酸化し、洗掘浸食を助長する。
IV	地下水の土層内、地下谷における水平流下	不透水層上面の地下水勾配	地下水が溶脱し、下方集積したカオリン堆積物、滑石などを溶解して元の粘土塊集積部位は空洞化する。溶解した粘土白濁地下水となるが、スメクタイトを含む表層部を縦方向に生ずる亀裂を通して、あるいは風化した腐食岩内の石英脈を通して白濁地下水が失われる。
V	地下水の土層内、地下谷における水平流下	地下水流の作用	小空洞・空隙が生成し徐々に筒状に穴の空いた、または洗掘された空洞が化石土壌/残石土の下部に沿う腐食岩内に広がる。雨水は総体的に難透水性の片麻岩や貫入岩体の上部を水平方向に流れ洗掘された空洞に到達し、そこから粘土やシルトを更に溶解して空洞を拡大して行く。
VI	ガリー内側壁の乾燥と垂直亀裂の発生	集積粘土層の溶失で発生する空洞	水和粘土の移動が進んだ段階で空隙は大空洞に発達し、空洞上部にある土層・腐食岩層を支える支持力は急速に弱くなる。土層中に残っている腐食岩は急速に大気に曝されて酸化し、地表の土層中に含まれるスメクタイトが収縮して縦の亀裂を生じ、懸架している土層を分離する。
VII	側壁土柱の崩落	化石風化層の沈下	えぐられた空隙・空洞上部で亀裂により分離した懸架土（腐食岩）層はついに雨期または雨期明けにあたかも落盤を起こすかのように崩落し、ガリーは発達・進行する。
以下は純天然のガリーの発生過程を示す。			
I	地表の裸地 孔の出現	土壌B層 (A1層喪失)	地表の白蟻の巣が崩れ窪んだ穴が発生。穴から染み込んだ雨水が水和粘土を溶解し、上部の腐食岩層に酸素溶存水が侵入する。
II	地表亀裂の発生・発達	表層全体	狭い縦方向の地表亀裂が上部腐食岩の断層・節理に沿って地質構造張力により直線状に現われる。下層の腐食岩は曝気によって酸化が進行する。
III	亀裂の拡幅	腐食岩、砂その他	亀裂は下層にある化石土壌層、腐食岩層まで到達し、雨水が亀裂の側壁を洗いつつV字暗面を持つガリーが生成するまで拡幅が継続する。
IV	ガリーの分岐/土柱の形成	固い基岩上部全体	直線状に伸びるガリーは次第に分岐した形態に到るまで下刻作用が進行する。隣り合う分岐枝が融合してガリー内部に島状の土柱が残る場合もあるが、後にそれも底に崩れて底部がU字状に広がる。

さらに、こうした発生予測手法における重要な手掛りとして垂直、水平方向の透水係数、容易に水に溶解するあるいは膨脹収縮性の粘土鉱物含量が挙げられる。これらは腐食岩中の粘土及びシルトの地下水中への溶解流去を通して巨大ガリーが発達するのを助長する要因と考えられるからである。

1970年代に南アのPretoriaで出版されたJ.W. Rowland氏の著書“The Conservation Ideal”にはガリーその他の浸食についての記述がある。それによればガリーは地下の洞窟への地盤沈下が原因で生成され、その後上部地層の崩落によって隠れていた地下の峡谷が永久に残る地表の傷痕として出現し、その大部分は修復が極めて困難であり、せいぜい続発を防止することが考えられる程度であると述べられている。

表 4-3: 既存ガリー発達過程の例示

順序	時期	断面形態	形状	深さ (m)	地質及び土壌	植生被覆
I	数年	長方形	平坦な窪み	0.5-1	あらゆる基岩	地表は裸地状態
II	10年	V字か長方形	線状	1-2	土壌深度の範囲内	草、羊歯以外に無し
III	10-20年	V字又はU字	分岐開始	2-5	風化した腐植岩	羊歯繁茂か裸地
IV	20-30年	U字又はV字	複数谷頭	5-20	ガリー底の硬岩	暗所以外樹木も生長
V	30-50年	U字又はV字	強度に分岐	5-20	が無い場合	下流部に樹木が生育
VI	50-80年	底が広いV字	自己埋没状	3-15	ガリーは埋没し	ガリー頭部にも樹木出現
VII	100年	一般の谷状	樹枝状	2-10	通常の谷に移行	谷全面に樹木が繁茂

巨大なRTGの発生は前世紀後半以来活発化し、発生件数は2,500以上に達している。ハイベルド及び高位部ミドルベルドにはその約65%が分布(発生密度は方キロ当たり0.2本)している。3ヶ所のターゲット・エリアにおいては下表の密度(0.9 - 3.3 /km²)で発生している。*注: 平均的なRTGの想定規模は長さ200m幅20m深さ4m程度であるが、2003年時点で長さは2km、幅は200m、深さは30mに達するものが確認されている。

上述のように、巨大ガリー発生危険地帯はおおまかに現在の地質断層分布から予測できる。なお、南北に走る主要断層東西幅5km以内におけるRTGの空撮写真確認による分布密度はハイベルド及び高位部ミドルベルド全体の分布密度の2.3倍に相当する(表 4-7参照)。

いうまでもなく、現に発達中のRTGの90%以上が特定の土地利用すなわち放牧地と非舗装道路近辺に発生していることから、人為的な経済活動がとくに地殻変動で破碎された地表で巨大ガリーの発生を誘引・加速したことは否めない。さらに、発生している巨大ガリー周辺は裸地化している場合が多い。表 4-4はガリーからの距離と天然野草の草生密度を測定した結果であり、ガリーの進行する土地の不毛性を示唆している。ただし、分岐したガリー頭付近で崩落した表層に草が生えている例も見られる。

表 4-4: 地表の植生被覆がガリーからの距離により変化する例

項目/ ター ゲット・ エリア	草株の1m ² 当たり本数			草種の数 (多様性)			地表の草生被覆密度		
	ガリー頭 近傍	ガリー端 50m 前方	ガリー端 100m前方	ガリー頭 近傍	ガリー端 50m 前方	ガリー端 100m前方	ガリー頭 近傍	ガリー端 50m 前方	ガリー端 100m前方
TA 1	43	41	83	4	4	5	40	50	75
TA 2	45	78	0	5	6	0	25	50	0
TA 3	65	47	49	8	7	9	40	20	30

(2002年6月に調査団が行った観測結果による)

浸食の進行状況と将来の展望について1972年と1990年の同一地点空撮図判読に基づく比較研究がSoil Technology 11 (1997)にR.P.C.Morganらによって発表されている。この研究に採り上げられた地域には本調査におけるターゲット・エリアTA1 全体とTA3の一部が含まれている。この研究で判明したガリー進行の趨勢は表4-5に示すとおりであり、過去20年間の趨勢は最下欄に示してある。層状浸食の趨勢はAELDA法の基準に基づき、ガリー密度対層状浸食の平均比率を用いて計算し、その結果を表の最下欄に示した。

表 4-5: 将来の土壤浸食進行速度の推定

浸食の程度	激甚な土地	強度発生	中度発生	軽微～無	平均
ガリー本数密度	1/3ha	1/5ha	1/12.5ha	<1/12.5ha	1/8.5ha
1972 年時点の分布	6.9 %	21.1 %	33.6 %	38.4 %	-
1990 年時点の分布	13.6 %	26.7 %	28.2 %	31.5 %	-
20年間の試算趨勢	+ 7.0 %	+ 5.9 %	- 5.7 %	- 7.2 %	-
層状浸食に換算した値	+ 35 %	+ 29 %	- 28 %	- 36 %	-

激しく浸食を受けた放牧地の牧養力は、単位面積当たり牧草株数の測定値から見て、浸食の軽微な草地の牧養力の半分以下と見積もられる。上表は仮に何の対策も講じない場合、毎年ス国内放牧牛の1.6%相当が飼育できなくなることを示唆している。極度の浸食作用と土壤の流亡によりこの速度で牧養力の減退が進めば2060年にはス国内にほとんど放牧牛が居なくなる計算になる。なお、下表に示すように、人口林内には巨大なRTGが生ずることはほとんど無い。またガリー発生頻度を共有地と私有地で比べると、共有地ではハイベルドで私有地の2.7倍、高位部ミドルベルドで私有地の6.4倍にも達する。この事実は放牧地の内、とくに激しい浸食を受けている部分の割合と密接な関係がある、すなわち、共有地ではハイベルドで95%、高位部ミドルベルドで97%が激しい浸食を受けているのに対し、私有地ではハイベルドで79%、高位部ミドルベルドで88%といずれも共有地の値を下回っている。換言すれば、放牧地においては層状浸食の強度に応じて、ガリーの発生頻度が変化するということである。

表 4-6: 異なる土地利用下における RTG の密度

地域区分	土地利用形態	地表面積 (ha)	観察された RTGの本数	RTGの密度 (1本あたり面積ha)
ハイベルド	人口林	102,200	4	25,550
	私有地内放牧地	71,200	10	7,120
	共有地内放牧地	280,100	106	2,642
高位部ミドルベルド	私有地内放牧地	61,900	13	4,762
	共有地内放牧地	100,500	134	750

表 4-7: 主要な断層帯沿いのRTGの発生密度

地域区分	断層帯の名称	断層帯の長さ (km)	断層帯内の土地 (km ²)	RTG発生本数	RTG 1本あたり km ² (密度)	
共有地	ハイベルド	Mahaleni	15	75	8	9
		Central *	120	600	3	200
		Empini	23	115	9	13
		Mahlangatsa	25	125	16	8
	高位部ミドルベルド	Zanzana (TA1)	23	115	26	4
		Markerns Depression	45	225	23	10
		Olwandle	8	40	8	5
		Kapunga~Hlathikuru	43	215	31	25
		Kamlotsa~Mahanga	60	300	12	25
		Ndlotane	4	20	13	2
小計		366	1,830	149	12	
共有地+私有地		-	7,482	267	28	

ガリーの発生・進行過程がおもに集積粘土の溶脱を伴う風化した腐食岩の存在とその地下賦存量に支配される限り、下表に見られるように気候、傾斜その他の地形条件、土壌及び表層地質の状態、生態系などには関係なくガリーは家畜の移動経路や道路工事など、地表攪乱行為によって発生・発達する。RTGはハイベルド及び高位部ミドルベルドを通じ、林業区域を除いて広範囲に発生分布している。あたかも火山脈上に住む民族が地震災害のリスクを常に念頭に置いて災害に備える必要があるように、ス国民も自らがかくも脆弱な地盤の上に住んでいることを自覚し、それに備えた行動をすべきである。

上表に示したように、RTGは花崗岩及び花崗閃緑岩が風化した腐食岩層を走る主要な断層帯に沿って分布し、断層帯上の発生密度はハイベルド及び高位部ミドルベルドにおける全体の発生密度の2倍を超える。ただ1つの例外は最長の中央断層線であり、断層上の主要部が人工林で覆われているため発生がほとんど見られない。

表 4-8: ターゲット・エリア 3 地域内ガリー発生地の地勢、地質及び土壌学的特性

性質・特徴	TA 1 (高位部ミドルベルド)	TA 2 (低位部ミドルベルド)	TA 3 (ハイベルド)
地勢	崩積扇状地上、残積丘陵丘麓部が Labandzi, Mhlambanyoni, Phowe, Mbuludzi 川により下刻を受けた起伏に富む台地	崩積扇状地上、Hlobane 丘陵及びSivule 丘陵の丘麓部/急崖部に発達した侵食谷と盆地状地形	Ngwempisi 川の流域全体に石礫のない沖積扇状地(最大の原野は Nkhanyezini 平野)が残積丘陵鞍部に連なる
地質	Mhlambanyoni 川が南北に走る断層谷の中を流下、断層は角閃石花崗閃緑岩地向斜中を縦断。中に貫入した地帯にはガリー発生が少ない。花崗閃緑岩質片麻岩中にもガリーがほとんど発生しない。	中粒質花崗岩体上、また粗粒玄武岩を頂く花崗岩との境界に粘板岩の露頭を伴う急崖部に群生する。粗粒玄武岩や斑レイ岩を頂くSivule丘陵やMsila丘陵上にはこれらの岩体が腐食岩にまで風化していないため発生が見られない。	粗・中粒質花崗岩(風化度少)を頂く Mbeka 丘陵 Ntabamphlophe 丘陵を除くほとんどの地層に分布する。ガリーは広範に分布するトナライト質片麻岩、角閃石黒雲母トナライト質片麻岩上に発生するが、蛇紋石を含む角閃岩上には少ない。
土壌	Regosols 及び層の厚い Ferralsols に群生するが、Acrisols, Cambisols 及び Gleisols 上にも発生する。	Regosols、 Ferralsols、 Acrisols、 Lixisols、 Vertisols、 Cambisols など各種土壌上に発生する	Regosols 上に頻繁に発生が見られるが、Ferralsols、 Vertisols、 Cambisols、 Acrisols、 Pheozem や Lixisols にも発生している

(注：表にはパイプオルガンタイプのガリーは含まれていない。この種のガリーは低中位一低位ベルドに圧倒的に多い)

今までに確かめられ、あるいは提唱されたガリーの発生要因は下表に纏めてあるが、ここにあるすべての要因は植被を弱らせ土壌に悪影響を及ぼす可能性を持っている。

表 4-9: RTG の主な発生要因

	畜産分野の原因	土地利用耕作の原因	建設工事の原因	天然の原因
具体的原因 1	家畜移動通路	用地への火入れ	排水溝 / 道路造成	河川の浸食作用
具体的原因 2	過放牧の継続	表土の耕作	土取り場の掘削	白蟻の巣孔

上表に纏めた観察結果から、高い受食性を有する丘陵麓部、における将来の土地利用には注意すべき点がある。ガリーの発生し易い地域には緩い傾斜のある表面に転石の少ない風化の進んだ腐食岩層が地表に露出しており、腐食岩層はしばしば花崗片麻岩そのたの酸性岩に由来する崩積層に被覆されている。上記の地層断面を図 4-2に示す。

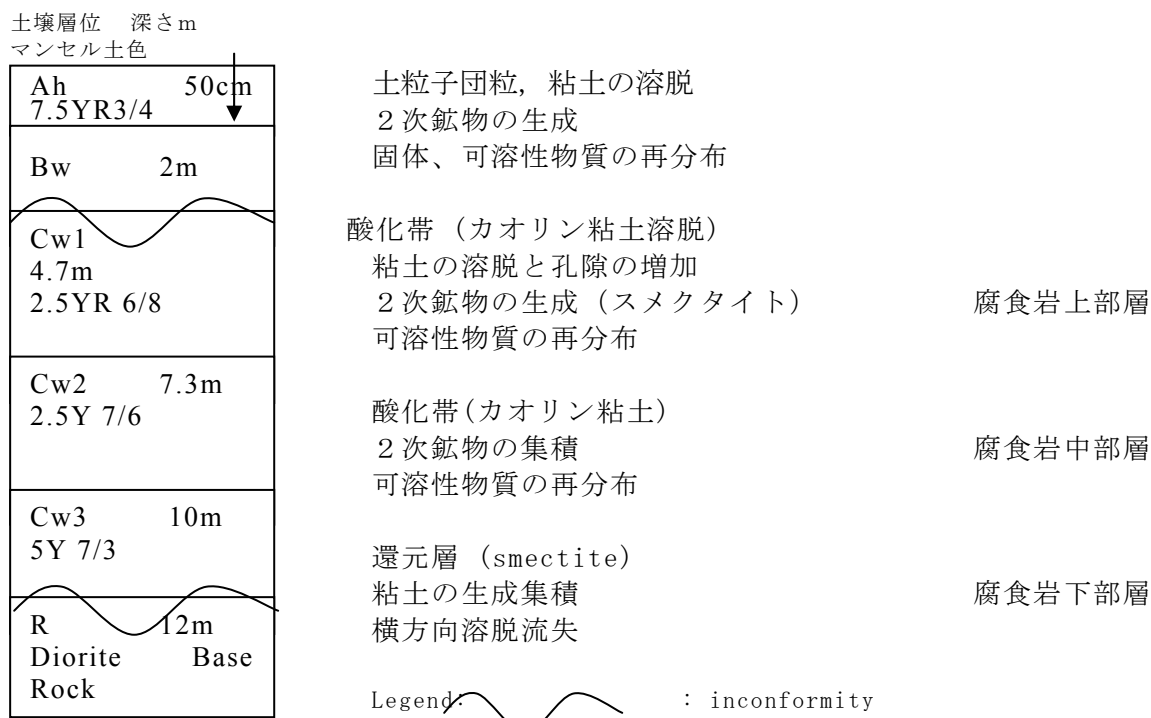


図 4-2: 閃緑岩起源腐食岩上に発達したFerralsol (鉄礬土) の層序

ターゲット・エリアやそれらの周辺において上記のように生成した腐食岩はそれらが花崗閃緑岩、細粒花崗岩あるいは閃緑岩質の基岩層ならほとんどあらゆる場所に分布する。こうした腐食岩中に（断層摩擦）粘土が生成しそのうち（珪酸とアルミ層が1:1型の粘土は地下水浸透の過程で溶脱して上層から下層へと移動し、最終的に不透水層上に集積して粘土層または粘土塊を生ずる。集積層が曝気されると堆積粘土は地下水に溶解し易くなり、溶解・流去した跡に球形の空洞部分ができる。この空洞上にある土層には2:1型の粘土が含まれ、これが乾期に分子内水を失って無数の縦の亀裂を生じ、横方向の粘着支持力が失われることにより洞下部へ崩壊落下するに至る。こうして峡谷状のガリーが発達して行く。地下水は分岐状の地下谷を流下するために、ガリーは地下谷の形状を再現しつつ発達する。

結局、RTGは表土の性質や地形勾配に関係なく厚い集積粘土の埋蔵されている場所に発達する。ガリーは表土の深い垂直亀裂あるいは地表の水径が埋蔵されている集積粘土の酸化を助長しつつ形成される。酸化された1:1型の粘土は地下水に溶解し易くコロイドとなって流亡し帯水層中の地下水流は埋蔵層から巨大な粘土塊を運び去って空洞を生じガリーが出現する。

表 4-10: 異なる斜面部位における腐食岩の性質

地名	斜面部位	標高(m)	傾斜角度 (度)	基岩の種類	卓越土壌タイプ	腐食岩層位
Kukanyeni	頂上部	825	0-2	granodiorite	Rhodic Ferralsols	下部
	斜面上部	780-820	8-12	granodiorite	Rhodic Ferralsols	中-下部
	斜面中部	690-780	5-9	granodiorite	Haplic Ferralsols	全て
	斜面下部	675-690	6	granodiorite	G-Umbic Ferralsols	下部
Mawelawela	頂上部	1,225	0-3	microgranite	Umbric Leptosols	-
	斜面上部	1,050-1,200	24-37	microgranite	Umbric Leptosols	-
	斜面中部	900-1,050	9-15	gabbro	Rhodic Ferralsols	中-下部
	斜面下部	800-900	6-11	diorite	Haplic Ferralsols	全て
Ntondozi	頂上部	920	0-6	quartz-diorite	Umbric Leptosols	-
	斜面上部	800-900	11-15	quartz-diorite	U-Humic Cambisols	中-下部
	斜面中部	720-800	5-9	quartz-diorite	L-Rhodic Ferralsols	全て
	斜面下部	695-720	4-7	quartz-diorite	M-Gleic Cambisols	中-下部

注: G-; Gleyi, U-; Umbli, L-; Lixi, 全てのサイトはマンジニ周辺、ミドルベルド、及びスワジランド中央部に位置している。

第5章 土壌浸食の規模と被害

調査対象地域において土壌浸食により流亡した土壌の量は、浸食を免れかつ攪乱されていない同種の土壌が付近に同定されれば、それを基に推定することが可能である。しかしながら、攪乱されていない土層を放牧地内及び林地で見つけることは容易ではない。表5-1に示す数値は、マスタープラン策定の対象地区、TA1、TA2及びTA3地域において浸食を受けた斜面放牧地とその近傍の樹冠で被われた未攪乱地点との土壌断面を比較し、それぞれの放牧地から流亡した表土の厚さを推定した結果である。

表 5-1: 層状浸食による年間最大推定土壌流亡量

ターゲット・エリア	TA1(アッパーミドルベルド)	TA2(ローアーミドルベルド)	TA3(ハイベルド)
観測された表土の厚さ	24 cm	16 cm	33 cm
推定放牧経年数	50 years	35 years	80 years
土の比重	1.04	1.33	1.16
年間表土損失量	4.8 mm	4.6 mm	4.1 mm
ha当たり年間流亡表土量	50 ton / ha	61 ton / ha	48 ton / ha

(注:数値は調査団の調査による)

また、異なる土地利用下での最大浸食量を比較するため、SLEMSA(Soil Loss Estimation Method in South Africa、南アフリカで採用されている土壌損失推定法の1つ)によって「ス」国における環境条件を適用し、土壌流亡量を推定した結果を表5-2に示す。この表より急傾斜の放牧地で予測される土壌流亡は測定に基づく前表の最大土壌流亡量よりも小さいことが分かる。

単位 : cm

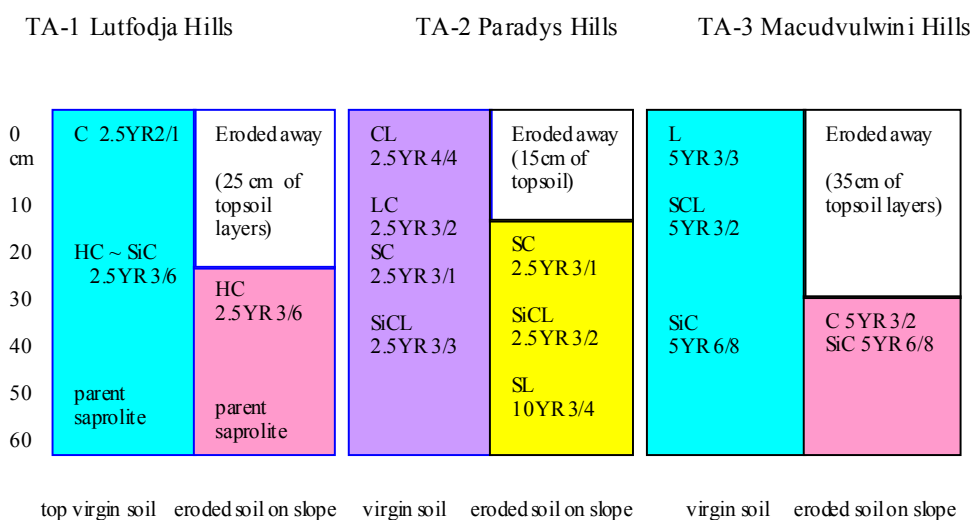


図 5-1: 3ヶ所のターゲット・エリアで観察した表土の損失深

表 5-2: SLEMSA 法で予測したターゲット・エリアにおける年間土壤流亡量

(単位: Ton/ha)

土地利用 形態/傾斜	TA 1			TA 2			TA 3		
	放牧地	農地	林地	放牧地	農地	林地	放牧地	農地	林地
平坦	5.7	0.2	-	6.4	0.4	-	4.2	0.3	-
緩やか	11.3	0.4	-	14.6	0.6	-	9.2	0.5	-
やや急	20.7	0.5	1.9	35.8	0.7	4.8	17.7	0.6	2.4
急	36.3	-	4.8	54.2	-	9.5	32.0	-	5.6
平均	18.50	0.28	3.35	27.75	0.43	7.15	15.78	0.35	4.00

(注:傾斜の分類: 急: 12%, やや急: 8%, 緩やか: 4%, 平坦: 0 - 2%)

一般に地表を流下する雨水は4,000ppmの濃度を持つ土壤粒子群を流去することが可能であると言われている。この濃度下で、例えば、年間800 mmの降雨が運搬できる表土の量を計算すると（雨水の流下速度を1 m/秒、土粒子の比重2、雨水の流出率を100%と仮定）、1ha当たり64トンとなる。この量は、ターゲット・エリアの土壤の厚さに換算すれば年間約0.3 cmに相当する。一方、ターゲット・エリアの未攪乱表土の厚さは平均20cm程度であることから、単純に計算するとターゲット・エリア内の表土は裸地状態で降雨に晒された場合、70年で全てなくなってしまうことになる。実際に、多くの荒廃した放牧地では表面が礫で覆われ土壤の痕跡が礫の間に辛うじて見え、裸地部分が無数に分布している状態を呈している。ここで注意を喚起しておきたい点は裸地化した地表面は、土壤表面と言うよりは平坦な腐食岩表面の露頭である場合が多く、これは見掛けだけでは岩と土壤を区別し難いためである。岩の表面に草を生やすことは至難の技であるが、樹木の若木は雨期に移植すれば岩の割れ目にも根づくことができる。礫で覆われた尾根を植林の1つの候補地に推奨した理由はここにある。土地荒廃により、地域住民及び地域社会は現在下記のような被害を蒙っている。

- (1) RTG(Ravine Type Gully : 分岐溪谷状ガリー)による地方道路網分断により、付け替え道路の建設が必要となり、多大な建設費を要している。また、RTGは村民の往来に不便を招いている。
- (2) RTGに近接する畑は土壤水分が速く枯渇し旱魃に陥り易い傾向にある。
- (3) RTG内はすでに帯水層が流去しており、地下水の貯留能力が減退している。
- (4) 層状浸食と水経浸食はハイベルド及び高位部ミドルベルドにおいて毎年39,000トンの表土を流亡させている。これはSLEMSA法で試算すると、強度に浸食された地表で8トン/ha、軽度に浸食された地表で4トン/haの年間流亡量に相当する。これらの浸食は植物養分の流亡を招くのみならず浸食の進む流域の下流部に建設されたダムの有効貯水容量を減じる結果を招いている。

第6章 土地利用と分岐峡谷状ガリー（RTG）が発達し易い地域

RTGが発達し易い地域は前述した理由から土壌分類図より、表層地質図に拠る方が特定し易い場合がある。RTGは多くの土壌で見出され、その代表としてOxisols、いわゆるラテライト質土壌が挙げられる。調査対象地域においてRTGが集中的に観察されるのは、Lochel, Mswati、及び（片麻岩を伴う）花崗岩ならびに（Usutu統及び風化岩帯の）変成岩類を伴わない花崗閃緑岩（注：英字名称はいずれも地名に由来）に覆われる地域である。これらの基岩は風化によってOxisols、Inceptisols、その他多種類の土壌を生成するが、これらの土壌に共通することはカオリンを2次鉱物として必ず含むことである。カオリンはRTGから流去する土砂の主要な構成部分と考えられ、集中的にRTGが確認される地域とこれらの鉱物が分布する地域とはかなりの精度で一致する。一方、RTGは玄武岩や堆積岩上では見られず、粗粒玄武岩、輝緑岩上でもめったに生成せず、これらの岩類は風化しても2次鉱物としてカオリンを生じない。

一方、これまで「ス」国で作成されているガリー分布図によると土壌、表層地質に関係なく商業林地を除くハイベルド及び高位部ミドルベルドのあらゆる地域にガリーが分布している。これらの事実を考慮すると、RTGの発生地域を地質層群のみで特定することはかなり困難であり、特定土壌目を用いてRTG発生地域を線引きすることは更に困難であると思われる。調査団は、今回の調査期間中にRTGが花崗岩及び花崗閃緑岩の主要断層の周囲に多く発生することを見出した。RTGが集中的に発生する場所では、断層粘土と呼ばれる土壌が断層とその周辺の破碎帯で顕著に観察される。一般にアフリカ大陸の河川の多くは大きな断層に沿って流れ下刻作用を営み、これがRTGの発生に寄与しているものと考えられる。このような例として、TA1を流れるMhlambanyoni川及びPhowe川、TA3西部を流れるSibhowe川及びMtambe川が挙げられる。調査対象地域内の風化度の進んだ花崗閃緑岩の残積丘及びその断層で破碎された地塊の分布を図6-1に示す。これらの地域においては更なる土地荒廃を防ぐために、既に水径浸食が生じている家畜通路の囲柵、RTGへの発達を食い止めるための対策、また極度の層状浸食を受けた土地及び丘陵尾根付近の礫露出部への再植林等の措置をとることが望ましい。土地利用とRTG発生に関連について見ると、RTGは商業的植林地及び耕地には希にしか見られない。この事実は攪乱されていない地表、或いは雨水の制御が適切になされた土地ではRTGは容易に発生しないことを示唆するものである。この理由は人工林上に蓄積した厚い落葉落枝が水径の発生を妨げ、耕地を横断す

る草生帯が、地表の土壌団粒を破壊する雨滴の打撃エネルギーを弱めることにより、その発生を抑制するためと考えられる。

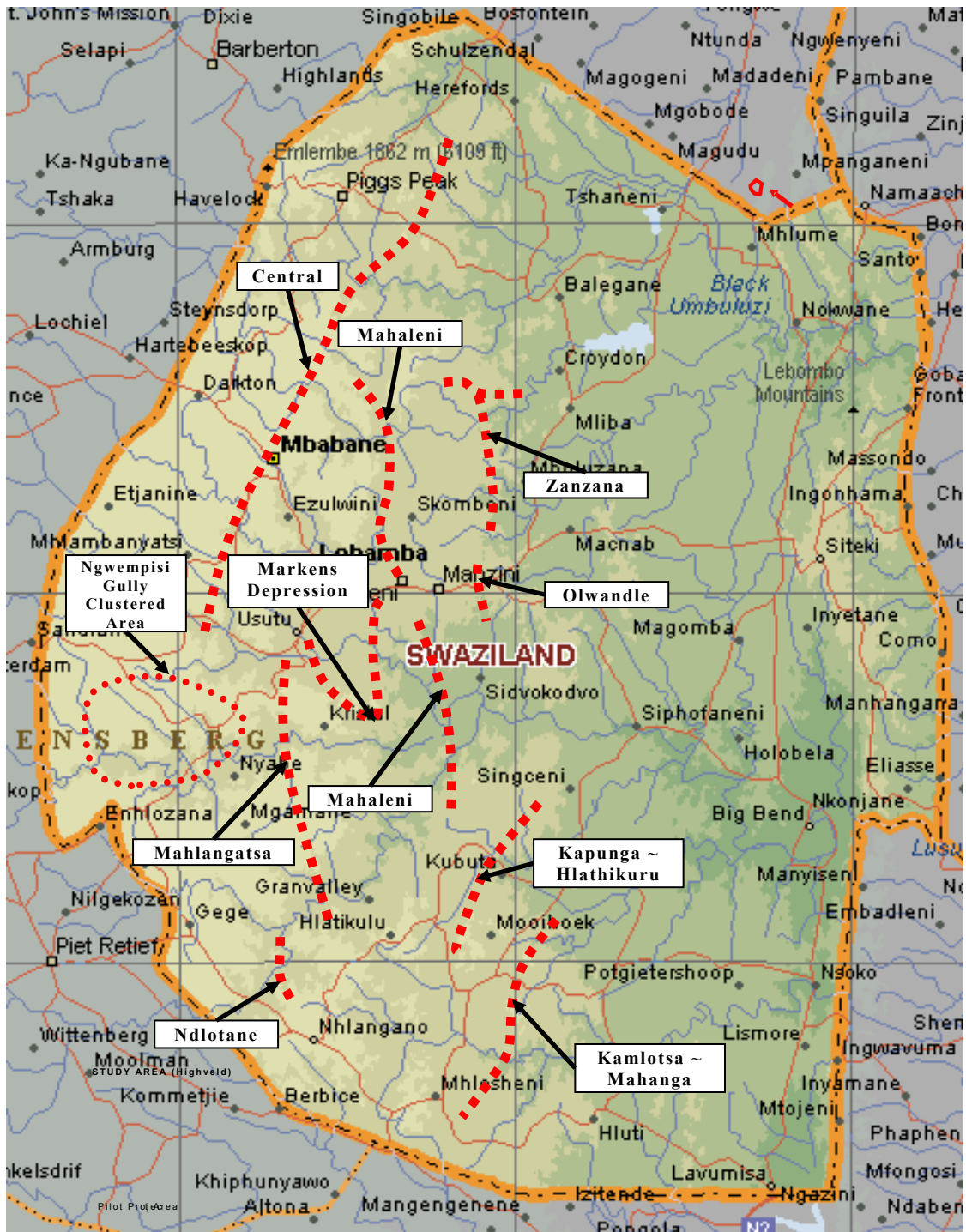


図 6-1: ガリーが密集する主要断層の位置図
(表 4-7参照)

第7章 土壤保全の必要性と土壤保全対策についての一般的考察

7.1 土壤保全の必要性

調査対象地区について、土壤荒廃がもたらす被害や損失量の試算結果は表 7-1に示すとおりである。表より明らかなように土壤荒廃がもたらす被害は甚大であり、これらの損失を未然に防ぐためにも、早急に土壤保全対策を実施する必要がある。土壤保全対策を放置すれば被害は年々拡大することは明らかである。

表 7-1: 土壤侵食・土地荒廃に起因する被害項目と損失量の試算結果

層状浸食からの被害	年間損失数量	点状浸食による被害*	年間損失数量
放牧地牧養力の減退	成牛20,000頭	道路洗掘破壊の延長	15km
植物養分の流亡	尿素350,000 t	家屋敷地へのガリー侵入	2軒/年
雨水貯留能の低下	1,500百万t	家畜の転落死	150 頭/年
ダム敷堆砂被害	4.3百万 t	ダム敷堆砂被害	11,000t
外来植物の侵入	-	耕地上の崩落被害	200 ha
放牧地牧養力の減退	5,000万 E	道路洗掘破壊の延長	300万 E
植物養分の流亡	7,000万 E	家屋敷地へのガリー侵入	10万 E
雨水貯留能の低下	18,000万 E	家畜の転落死	30万 E
ダム敷堆砂被害	6,000万 E	ダム敷堆砂被害	100万 E
試算された土壤侵食・土地退化関連被害年間総額			36,400万 E

注：.Eは「ス」国通貨単位エマランゲニ * 点状浸食には水径、ガリー、地滑り及び滑落浸食を含む。
 数値は調査団調査による。

7.2 土壤保全対策についての一般的考察

土壤保全対策を考察するにあたっては既述した「The Conservation Ideal」は多くの示唆に富んでいる。以下「」内の文章はその一部を引用したものである。

「土壤保全対策は土壤荒廃の原因とメカニズムを十分理解した上で取り組む必要がある。裸地化した地表は土壤荒廃に関わるあらゆる問題を惹起する可能性を孕んでいるので、住民は地表に裸地化した草地部分を発生させないよう、また雨期に裸地を放置しないようあらゆる努力をすべきであり、仮にやむを得ない経済活動によって攪乱された地表が生じた場合（耕地を除く）裸地を植草、植樹あるいは礫やアスファルト等によって覆うべきである。また、住民は牛や他の家畜を当該草地の牧養力を超えて放牧した場合、それによって生ずる甚大な土地荒廃について意識すべきである。任意の国の国民が著しく荒廃した土地を一掃しそれを許容できる程度にまで復旧しようとするならば、国は土地利用を規制する強力な体制づくりを有効な立法規制措置によって土地利用者に課すべきである。こうした措置が無ければ住民が問題の土地を引き続き利用しようとする過程における全ての努力は、たとえ適切な助言が行われたとしても、無駄になることになる。

また、住民が荒廃した土地の利用権を保有している以上、第3者が土地の取扱いに介入することはきわめて難しい。しかしながら、土地利用者及び所有者が問題に目覚めること、適切な理解を持つこと、加えて直面する問題に対処する適切な法的措置が加われば荒廃した現状を救うことは可能であり、これらは若い世代に対する科学や公衆道徳を含む基礎教育を通して習慣化することもできる。RTGで荒れた「ス」国共有地はいわば公共の入会地であるため、人々はそこで土地の劣化荒廃について関心が薄い。土地利用者が良識と公德心を持ち合わせ、土地をできるだけ利用価値のある状態に保つよう努めない限り、現に遭遇している土壌問題や退化を克服することは難しい。住民は、70年以上を経たガリーが未だに発達分岐を続け年々深くなっている事実を認識すべきである。」

また、上で引用した「The Conservation Ideal」は「ス」国における土壌浸食とガリーの浸食作用を軽減するために下記の7項目を実施することを提案している。

- (1) Usutu / Komati 流域における大規模な植林
- (2) 過放牧地帯上に草生被覆を再生できるよう畜群の再配置システムの構築
- (3) 雨水の地中浸透を促進するための承水路の設置
- (4) 溪流岸における植樹護岸
- (5) 5月1日から9月30日まで放牧地の火入れを2年に一回以上の頻度で行うことを禁止している Grass Fires Proclamation (野焼きに関する布告) の励行
- (6) すべての耕地における草生帯の設置
- (7) 急傾斜面における耕作を差し控えること

これらの勧告のうち、(6)については現在ほぼ遵守されているが、他の勧告に対してはほとんど対応策がとられていない。また、USAID¹は過放牧の悪影響を警告し、1970年代に行った放牧改善プロジェクトにおいて家畜頭数の再編を勧告しているが、この勧告は現地住民には受け入れられなかった。こうした状況にもかかわらず、「ス」国の家畜頭数は70年代から80年代にかけて最多を記録した。それ以降、できる限り多くの頭数を飼育したいという住民の意向に反して家畜頭数は減少傾向にある。この事実は放牧地の荒廃をもたらした牧養力の低下と世界的な温室効果による天候不順に起因することはほぼ間違いないと思われる。また、表7・2に示すように放牧地は耕地に比べ植物養分均衡の減耗状態に長期間置かれているが、これが草被を弱め土地荒廃の兆候である裸地部分の拡大をもたらしてい

¹ United States Agency for International Development

る。それにもかかわらず、家畜所有者は天然野草の不足を収穫した飼料で補い牛群に飼料投与を行おうとしない。また、その他の方法によって放牧地の負荷を軽減しようとしな
 い。結局、アフリカ大陸のほとんどの放牧地は常に収奪と搾取の対象になっている。

表 7-2: 耕地と放牧地の植物養分バランス

土地利用	養分の投入	養分の取り出し
耕地	家畜囲い場から集められる堆肥は耕地の作物に施用されてきた。圃場によっては化学肥料の投与が行われている。	トウモロコシの茎葉残滓は家畜の畑上放牧で消費されるが畑での糞尿排泄によって一部が畑の土壤に還元される。
放牧地	過放牧や侵食で失った養分の補給は放牧家畜の糞尿排泄以外何の補給措置も講じられていない。火入れによって腐食含量も消耗低下する一方である。	野草は放牧で家畜に摂取され、過放牧で過剰に消費される場合が多い。また、農家の屋根葺きにも消費される。これらが土壤浸食と相俟って平衡が破れる。

土壤保全を「土壤をもとの場所に保つ努力」と定義すれば放牧地の侵食に対する一般的諸対策は表 7-3のように整理分類される。

表 7-3: 衰弱した放牧地に対する一般的土壤保全対策

必要な措置/作業の難易度	容易な作業	中程度に困難な作業	かなり困難な作業
地表の雨水流去を最小限に抑制	等高線テラス畝立て	水径・ガリー内部に堆砂貯留堤の設置	土壤性の改良
地表植被の改良	野草の植え付け / 野草は種	踏み荒された家畜通路の囲柵閉鎖	灌木樹種の植樹・造林
土地利用 / 放牧上の工夫	囲柵による輪換放牧	フィードロット内飼育, 飼料作物の栽培・給餌	一部繫牧などの工夫による常時放牧頭数の調節

住民は持続的な十分保全された生態系を創出するために現状の放牧方法から脱却すべきであるが、これはその達成に時間を要する目標である。そこで、当面は濃厚飼料による近代的家畜飼養へ移行する遷移的過程として推奨できる直接的な手段としては放牧地の傾斜に応じた間隔で等高線テラスを造成し、これに沿って早生種灌木を植え、また間接的手段として有害無益な外来侵入樹種・草種を一掃して役立つ粗飼料・飼料木に置き換えていくことが必要となろう。

第8章 土壌保全計画策定にあたっての提言

8.1 「行政区ごとの土壌保全計画」を基本とした「チーフダム土壌保全計画」の策定

パイロットプロジェクトで実施した幾つかの土壌保全事業の経験から、今後実施する土壌保全事業は行政区（インクンドラ）ごとに策定することが望ましい。その理由は、土地荒廃状況、社会・経済環境、自然環境等は各行政区に含まれるチーフダムによって大きく異なるからである。以上を踏まえて、土壌保全計画策定にあたっての具体的提案を以下に述べる。

- (1) 農業協同組合省は3つのターゲット地区内のパイロット・エリアですでに実施した調査を参考にして類似調査（土壌、社会、経済調査等）を行い、その結果を踏まえたインクンドラ毎の土壌保全計画を策定する。なお、この計画は関係するインクンドラに配布する。
- (2) インクンドラに所属するチーフダムの長は配布された計画を検討し、当該チーフダム内の必要に応じて開発委員会を開催し、当該チーフダムにおける土壌保全計画を樹立するための手続き及び準備について検討する。
- (3) 土壌保全計画を策定する過程で開発委員会の役員は、「放牧地パトロール集団」（第9章9.3参照）、及びその他の団体から当該チーフダムの土壌浸食及び土地荒廃の存在と程度に関する情報を収集し、その結果を開発委員会に報告し、開発委員会が対策を立案し、会議に諮るものとする。また、必要に応じ、開発委員会は当該チーフダムを管轄する普及員の出席を求め、直面する土地荒廃問題に対処するための可能かつ適切な対策の選択について普及員と協議する。
- (4) 土壌保全計画の策定にあたって、当該チーフダムを管轄する普及員は被害を受けている土地の面積や範囲の測定方法等について地域住民に対し必要な助言を行うと共に、被害区域の復興や土地荒廃の被害を最小限に留めるためにコミュニティで入手可能な素材の調達方法についても提案を行う。

8.2 基礎学校教育における環境保全概念の導入の必要性

土壌は公共的利益のための資産である。これを永続的に保全するために「ス」国政府は学校教育の中に土壌保全の意義、基礎的野外観察及び保全対策のための訓練を含める必要がある。また、高学年の社会科学習要領に土壌保全課程を設けるべきである。

8.3 法的措置の導入を視野に入れた土壌保全計画の策定

「ス」国政府機関は利害関係者、とりわけ住民の自覚、対処能力の創出及び行動力が高揚されるよう、実践的な土壌保全計画を策定すべきである。世界的に見てほとんど例外無しに、政府が土地利用者に課せられる罰則付き義務規則の公布し、それを適用することが、著しく浸食された土地を回復するのに大きな効果がある。このような法的措置下においては、土地の収奪的酷使により環境を汚した行為は公害と見なされ、汚染者が被害を蒙った環境とその受益者に対して補償し、あるいは修復費用を負担することになる。例えば、前世期末にかけて中国では、脆弱地の無理な耕作や過放牧のために極度に荒廃した土地を安定した緑の沃野に蘇らせるのに成功したが、これには耕作者や放牧者を否応無しに被害地域から強制的に立ち退かせるという厳しい決断を必要とした。このように法的措置を導入することは、その施行に当たって困難な一面があるが、今後土壌保全計画の策定にあたって検討すべき課題の1つである。

土壌保全計画をより具体的なかたちで策定するために、上述した土壌保全計画の大枠に加え、1) 土壌浸食防止対策及びRTGの安定化を考慮した土壌保全計画、2) RTGの発生し易い地域の線引き及びその地域内での土地利用に関し参考すべき事項、3) 既存RTGの措置対策にあたって考慮すべき事項等、土壌保全計画をより具体的なかたちで策定するための技術的留意事項を以下に述べる。

8.4 土壌保全計画策定に当たっての技術的留意事項

8.4.1 土壌浸食防止及び既存RTGの安定化を考慮した土壌保全計画の策定

土壌浸食は層状浸食を激しく受けた放牧地及び裸地化した地表において顕著な傾向にあり、その程度は丘陵地の場合離れた場所から容易に観察できる。こうした観察に基づき、土地利用者は自分が使用している土地に対する診断を下す必要がある。次に浸食の激しい区域とガリーが密に発生している区域について地図上で線引きを行う。線引きは普及員の技術指導を受けながら土地利用者自身が行うことが望ましい。

土地利用者は線引きした荒廃地を再生するのにどのような方策を講ずるべきかを本ガイドラインや参考資料（FAO、UNDPによる土壌に関する報告書等）を利用し、あるいは普及員と相談しながら決定する。土地利用者が特定のコミュニティ或いはインクンドラに所属する場合、決定した方策をコミュニティの会合に提出して必要な討論及び協議を行い、

最終的な土壌保全対策を決定する。土壌保全対策を実行する上で最も適した時期は層状浸食が未だ進行中の段階であり、大きな水径ガリーが発生していない時期である。この段階では予防措置が安価でかつ僅かな努力で実現できる。水径ガリーがすでに発生している場合にはそれらを更に発達させないために、また土地の肥沃度・生産性を保持するために適切な方策を講ずる必要がある。このための具体的処置・行動は、水径ガリーの年代、規模、性格等を考慮して決定しなければならない。浸食がRTGにまで進んだ場合は、それに対処する経済的対策は容易に見出せない。

8.4.2 RTGの発生し易い地域の線引き及びその地域内での土地利用に関し留意すべき事項

RTGが発生した地域及び発生の可能性が高い危険地域は表層地質図、及び（薄い崩積堆積物で覆われ強度に風化された残積丘陵を探るための）電気探査等で得た結果を活用し、ランドサット衛星画像上に線引きすることができる。RTGは永年的に作付けが行われている耕地に発生することは稀であるが、その理由は、耕地がガリーの発生し易い高度に受食性の土壌の上にあっても、耕地内に設けられた水平草生帯が水径浸食の発生を予防する機能を果たすためである。この事実はRTGの発生を予防し、かつその発達を抑止するための対策を樹立するに当たり参考になる。RTGに対し既に試みられた対策に関する観察結果もまたRTGに対処するに当たって参考となる。主な観察結果を列記すると以下のとおりである。

- (1) 水径ガリー内底部に旱魃に対し抵抗力のある樹木を育成すれば既存RTGを安定化することができる。安定化のための植物種としてはウチワサボテン、アロエ、剣麻、*Cynodon dactylon*のような乾燥に強い牧草、*Diospyros lycioides*, *Syzygium coratum*, *Euhorbia ingens*などの自生在来種常緑樹がある。
- (2) 地表に設ける構造物、例えば地表流去水を遮断する土堰堤、地上植林などは既存ガリーの安定化にほとんど効果が無い。
- (3) 水径ガリー内部に発達初期の段階で設置した垂直構造物はガリーの進行速度を緩めるのに役立つが、その発達を抑止する根本的な解決策とはなりにくい。
- (4) 多くの水径浸食が発生している地域では水径内処置に対策の優先度を置くべきである。優先的に対処すべき箇所としては、平行して水径が走り、牛群が毎日通っている通路が挙げられる。最も有効な対応策は浸食被害の著しい通路部分を柵で囲い封鎖した後、水径内処置作業を柵内で行う方法である。なお、地質断層周辺にある腐食岩露頭上に発生中の水径は容易かつ急速に発達してRTGになるので、適切な処置を早急に行う必要がある。

なお、調査団の観察によれば放牧地では牛の移動に際して、永年、同一経路が使われている。このことが分岐峡谷状ガリーを発生させる引き金となっている。したがって、牛の移動が一箇所に集中することを避け、かつこれまで牛の通路になっていた場所における植生の回復を図るためには、フェンスで囲まれた別の通路を設置することも放牧地における分岐峡谷状ガリーの発生を抑制する一つの方法として有効である。

私有地（Title Deed Land: TDL）や最近政府が取得した共有地（SNL）の多くは退化の程度が軽微であるが、その土地が長らく牛群や山羊の群れに曝されると早晚退化が進行する。こうした土地が望ましくない浸食進状態に進行して行くのを阻止するためには特別な喚起が必要である。

8.4.3 既存RTGの措置対策にあたって考慮すべき事項

進行中のRTGには2つのタイプ、すなわち鞍部凸斜面上のRTGと谷部凹斜面上のRTGがある。前者は明らかに表流水による影響が後者より少ないので、対策としてはガリー内部の処置に限定してよい。一方、後者は一般に表流水にも底部の伏流水にも影響を受けるので、このタイプのガリーに対しては表流水の流入を防ぐために、ガリー先端部に土堰堤を設置すると共に、ガリー内底部に堰止め構造物を設置することが必要となる。進行が止まり、安定化に向いつつあるガリーにはその内部の側壁や底部に厚い植生が発生している場合が多い。この事実は、ガリー外部よりむしろガリー内部に植生被覆を行う方が効果的であることを示唆するものである。一般に植生のあるRTGの底部の土壌は植生の無いガリーの土壌よりも水分を多く含み、地下水位も高く、通年に亘って土壌水によってガリー内部の植生が維持されている。このため陽光がガリー内部に届けば植生被覆は容易にガリー内部に定着繁茂することができる。

この意味で、ガリー底部に構造物設置して堆砂を促し、ガリー底を浅くして陽が当たるようにすることはガリーの安定化促進の一助になる。このような構造物としては、価値の低いグワバなど外来侵入樹の大枝、小枝を束ねた粗朶、砂9とセメント1の混合物を充填した土嚢、あるいは、礫の多い場所においては石積み工等が挙げられる。これらの構造物は堆砂で上流側が満杯になった時点で上積みし、さらに堆積を促し、底が浅くなるようにする。また、堆砂の上部に果樹、灌木などを植樹すれば植生の定着が図られる。なお、十分発達し、かつ進行中のガリーの処置は将来の課題として残り、これらのガリーについては今後試行錯誤を繰り返し、経済的に妥当な対策を確立して行く必要がある。

第9章 土壌保全の実施体制についての提言

既述した土壌保全計画を円滑に実施するために、農業協同組合省及びコミュニティは土壌保全実施体制の強化を目途に以下の事項を実施することが望ましい。

9.1 農業普及員及び住民の訓練

農業協同組合省は同省の畜産担当の普及員に対し、土壌保全事業における彼等の指導的役割を強化することを目途とした教育・訓練課程を設け、実施に移すことを提言する。教育・訓練を受けた普及員は住民に対し、彼等よる過放牧、草地の火入れ等の伝統的習慣が自らの土地を危うくしているという認識に至るまで住民を教育する。更に普及員は、住民が自らの手で土壌浸食・外来植物侵入状況地図を作成し、それに対する適切な対応策を提案できるようなるまで住民を継続的に教育・訓練する。

9.2 各RDAに土壌保全官を配置及び土壌保全運動の準備

不適切な土地利用の結果、近年、土地荒廃が加速しているため、国家施策の一環として今や世界的に優先度が置かれる分野は環境保護である。この点、「ス」国も例外ではなく、著しく荒廃した土地を早急に改善、或いは復旧するための適切な対策を講ずる必要に迫られている。しかしながら、増大する土壌・水保全の重要さと緊急性にもかかわらずこの分野を取り扱う公務員は現在一人も現場に任命されていないのが実情である。このことが次世代のため天然資源を保全し確保しようとする関係者の真摯な努力を阻んでいる。

このような状況を改善するために農業協同組合省は各RDAに土壌保全官を新たに任命・配置し、コミュニティ住民に対し、荒廃して行く自然に対し危機感を全員が感じ取るまで危機意識を導入し、彼等の自覚を高める運動を展開していく必要がある。この運動を継続することによって、コミュニティの住民が自発的に自然環境の悪化を助長するような慣習行為を自粛し、更なる環境破壊を予防する行動を起こし、またすでに荒廃してしまった環境を復旧する行動を起こすに至るまで住民が成長して行くことが期待される。このために土壌保全官は、以下の日常業務を遂行するよう提言する。

- (1) 学校を訪問し、児童に環境保護と土壌保全に関する知識を伝え、野外観察と児童に対する土壌保全のための訓練の場を用意する。
- (2) 既存のガリー内部を構造物で処置し、また放牧中の斜面に人力で掘削した等高線テラスを設置する等の実践を通して若い世代及び成人に対する環境教育を展開する。

- (3) 斜面耕地、放牧地その他の土地利用下における雨水流去と土壤流亡損失の実態を住民と共に診断し、発生に対する従前の予防的努力、作業内容及び作業実績を評価・検証する。
- (4) 住民が組織した参加型土壤保全実施組織の適切な運用を念頭に置き、土壤保全及び土地復旧事業計画を住民と共に樹立する。なお、計画項目には再植林、踏み荒されて多数の水径を発生した家畜通路の囲柵保護、水径及びガリーの処置、外来雑草・樹種の伐採及び駆除等を含めることが望ましい。

上記(4)で記述した土壤保全及び土地復旧計画を樹立するに当たっては、一案として表9-1に示す調査表を作成し、この調査結果に基づき、土壤保全官と住民は相互に協力して地域に適合した計画を策定することが望ましい。


表 9-1: 土壤保全官と住民による地域土壤保全・土地復旧事業計画策定計画調査表 (案)

コミュニティ名 ○○○○○	放牧地面積 □□□. □(ha)	耕地面積 □□□. □(ha)	家畜頭数 △△(頭)	現況放牧密度 ×××(頭/ha)
------------------	---------------------	--------------------	---------------	---------------------

チェック項目

共有地SNL放牧地の土壤状態		保全対策	現在のSNL放牧地占有状況	土地荒廃の程度
放牧地の地表	1. 礫 / 石が露出している	1. 牛頭数/放牧期間の制限	1. コミュニティ住民の 0~10%	退化度: S1
	2. 常時湿潤状態の色調である	2. 輪換放牧囲柵	2. コミュニティ住民の 11~30%	退化度: S2
	3. 乾天時は乾燥した色調である	3. 牛の繋牧	3. コミュニティ住民の 31~50%	退化度: S3
	4. 小テラス状 / 地滑り状浸食が発生している。	4. 人工給餌	4. コミュニティ住民の 51~70%	退化度: S4
	5. 完全に草生被覆されている	5. 草地への火入れ	5. コミュニティ住民の 71~100%	退化度: S5
放牧地の荒廃状況	1. 巨大ガリーが発達中	1. 被害箇所の囲柵保護	1. コミュニティ住民の 0~10%	退化度: S1
	2. 若いガリーが発達中	2. ガリー内部の処置	2. コミュニティ住民の 11~30%	退化度: S2
	3. 家畜通路上に水径が発生	3. ガリー外縁の囲柵	3. コミュニティ住民の 31~50%	退化度: S3
	4. 家畜通路上の裸地化	4. 水径内石積み処置	4. コミュニティ住民の 51~70%	退化度: S4
	5. 線型浸食未発生	5. 樹木 / 牧草の植栽	5. コミュニティ住民の 71~100%	退化度: S5

注: 退化度 S1: 草生状態が退化中
 退化度 S2: 土壤表面が裸地化中
 退化度 S3: リルが多発中
 退化度 S4: ガリーが発生進行中
 退化度 S5: 峡谷状ガリーが発生進行中

 本の土壤保全官と住民による地域土壤保全・土地復旧事業計画策定計画調査表 (案)

において提案しているチェック項目に係わる、1) 放牧地の土壤状態に応じた望ましい対

応策、2) 各対応策の意義及び必要性、また3) 現状把握(調査)の必要性とその意義等について表 9-2、表 9-3及び、表 9-4 にまとめて記述する。

表 9-2: 土壤状態による望ましい対応策

共有地SNL放牧地の土壤状態		対応する望ましい対策
放牧地の地表	1. 礫 / 石が露出している	すでに表土が流亡し尽しており、すぐに対策を講ずる必要はない。灌木を植樹して長期的に土壤生成を待つ。
	2. 常時湿潤状態の色調である	植生被覆が荒廃していても回復が早いので繁茂し易い野草や好ましい樹種を植林すれば効果が期待できる。
	3. 乾天時は乾燥した色調である	植生被覆が荒廃している場合、簡単に回復し難いのでテラス造成によって更なる土壤流亡を取りあえず食い止める。
	4. 小テラス状 / 地滑り状浸食が発生している。	牛など大家畜の過放牧が長期間継続した証拠であり、繫牧や輪換放牧など放牧圧力の軽減策を講ずる必要がある。
	5. 完全に草生被覆されている	今後過放牧が継続すると荒廃してしまうため、草の再生力に応じた放牧管理を土地使用者に対し訓練する。
放牧地の荒廃状況	1. 巨大ガリーが発達中	ガリー底部に土留め工を施し、これ以上ガリー内部から崩壊土砂が流失しないようにし、自然に安定化に導く。
	2. 若いガリーが発達中	この状態は対策を行う優先度が高く、ガリー周辺に対策を行っても無駄なので底部に土留め工を施工し安定化に導く。
	3. 家畜通路上に水径が発生	最も対策優先度の高い状態であり、水径内の土留め工を徹底的に施工する。なお、程度により問題部分を鉄条網で囲柵し牛群から隔離する。
	4. 家畜通路上の裸地化	受食性の強い土壤が分布する場合は発生を助長する大型牛群の通行を回避するための手段を考慮し、これを適用する。
	5. 線型浸食未発生	表土を浸食から保護するためには植生変化に対する周到な監視と放牧圧力を軽減する努力が欠かせない。

表 9-3: 調査の必要性

保全対策	対策樹立に左記の事項を調査する理由
1. 牛頭数/放牧期間の制限	過放牧は土壤荒廃の元凶であり、放牧頭数や期間を知って対策に反映する必要がある。
2. 輪換放牧囲柵	囲柵の構築利用が行われた過去の措置や現在の囲柵の有無、あるいは機能状況等は今後の対策樹立に参考になる。
3. 牛の繫牧	過去に私有地等で実施された事例があればその経験、実施方法、効果などの情報が計画樹立の参考になる。
4. 人工給餌	近隣私有地で実施された事例があればその方法、目的、粗飼料の供給源、肥育貢献度等の情報が計画樹立の参考になる。
5. 草地への火入れ	この行為は土壤荒廃の原因となるため、既往の火入れ範囲・頻度などの情報が計画樹立の参考になる。
1. 被害箇所の囲柵保護	近隣で実施された事例があればその方法、規模、効果などの情報が計画樹立の参考になる。
2. ガリー内部の処置	自主的、または官庁指導の下に実施された事例があればその方法、規模、効果などの情報が計画樹立の参考になる。
3. ガリー外縁の囲柵	牛の転落死防止などのため実施された事例が近隣にあれば、その方法、規模、効果などの情報が計画樹立の参考になる。
4. 水径内石積み処置	石積みやサボテン植栽などの実施例が近隣にあれば、その方法、規模、効果などの情報が計画樹立の参考になる。
5. 樹木 / 牧草の植栽	過去にNGOや官庁指導の下に実施された事例があればその方法、規模、効果などの情報が計画樹立の参考になる。

表 9-4: 現状把握の意義

現在のSNL放牧地占有状況	左記調査の意義	土地荒廃の程度	左記調査の意義
1. コミュニティ住民の0～10%	コミュニティ住民の占有率が低いほど地元の土地荒廃に向けられる関心が低くなり勝ちである。逆に占有率が高ければ自然に関心も高まり、対策への意欲も出て来る。この状況をベースにして対策を考える必要がある。なお、シサシステムが行われる放牧地では多くの牛が不在地主に保有され、地元住民は放牧労力のみ提供するのみで関心が薄く、対策を樹立しても、実施意欲は牛の所有者及び飼養者共に低いことに注意する必要がある。	退化度: S1	放牧地における土地退化の程度は放牧に利用する地表の野草繁茂の程度で判断され、退化度が低いほど対策の効果が発顕し易く、高いほど効果発顕に時間が掛かるばかりか選択できる対策も限定される。退化度S3が岐路で、最も緊急に対策を要する状態と考えられる。S5まで進むと回復が著しく困難となり、対策を実施しても効果はほとんど望めない場合が多い。
2. コミュニティ住民の11～30%		退化度: S2	
3. コミュニティ住民の31～50%		退化度: S3	
4. コミュニティ住民の51～70%		退化度: S4	
5. コミュニティ住民の71～100%		退化度: S5	

上記で提案した諸調査は、農業協同組合省の普及員及びコミュニティの人々が保有する簡易な機材を使用することによって、比較的容易に実施できるものに限定している。

なお、参考のために、今後実施すべき比較的高度な調査項目とそれらの調査に必要な器具・計器等を表 9-5に示す。農業協同組合省は、表 9-5に示す調査が早期に実施できるよう努力することが望まれる。

表 9-5: 今後実施すべき比較的高度な調査項目と必要な器具・計器等

調査項目	左記調査の目的	調査に必要な器具・計器	実施上の問題点
1. 地形傾斜	浸食危険度の設定、対策の選択と設計	GPS、巻尺、またはハンドレベル・クリノコンパス	測定に用いる測定器具の不足
2. 土壤のコンシステンシー	浸食による土壤流亡難易度の推定	ラボラトリー・テストで応力測定	測定装置や分析委託予算の不足
3. Middleton 氏の土壤分散率	浸食による土壤流亡難易度の推定	ラボラトリー・テストで検体測定	同上
4. Atterberg 氏の液性限界	浸食による土壤流亡難易度の推定	ラボラトリー・テストで検体測定	同上
5. その他AELDAに記載されている調査事項	浸食危険度の設定、対策の選択と設計	各種測定用機材	現在、現地の農業普及事務所は一般的な測定器具を備えていない。

注：AELDA；1990年にFAOが策定した土壤浸食現況調査要領
 (Criteria of Actual Erosion and Land Degradation Assessment)

9.3 コミュニティごとの「放牧地パトロール集団」の結成

土壤保全計画の円滑な実施・推進の一環として、各コミュニティの住民で構成された「放牧地パトロール集団」を組織することを提言する。これらの組織はコミュニティ内部の放

牧地を定期的に巡回し、土壌浸食の発生を確認し、応急的措置を行う。また、浸食に対する対策を共同で立案し、その対策の実施を行政に働きかける役割を担うものとする。

9.4 参加型作業のために使用する作業道具類の分配

住民による土壌保全事業の実施を支援するために、農業協同組合省はパトロール集団に対し、最小限表 9-6に示す用具類・資機材を購入或いは貸し出すよう提言する。

表 9-6: 土壌保全作業に最小限必要な用具類リスト

作業の種類	農業協同組合省が購入すべき用具類 (1集団あたり)	RDAが貸し出すべき機械類
等高線テラス造成作業	等高線水準器 1セット、巻尺50m用 1本 スコップ 3本、鍬 3丁、鶴嘴 3丁	(必要に応じ)リッパー付きトラクター 1台、オペレーター 1名、燃料
ガリー安定化作業	一輪車 2台、土嚢用袋、スコップと鍬各4 本、鶴嘴 3本、鉄製掛矢 1丁	(必要に応じ)リッパー付きトラクター 1台、オペレーター 1名、燃料
水径浸食処置作業	必要な長さの有刺鉄線、鍬 4丁、一輪車 1台	(必要に応じ)リッパー付きトラクター 1台、オペレーター 1名、燃料

注：上表に示す用具類は基本的に浸食の初期状況にある土地及び小規模のガリーの処理を対象としている。

なお、参考として浸食が進んだガリーを処置しようとし、土砂、廃棄物その他の材料で埋め立てることの不合理性を以下に列記する。

- (1) ガリーを埋め立てるためには多くの場所から大量の土を運んで来なければならない。
 このため掘り返し、裸地になる土取り場が必要となるが、それが別のガリー発生要因となる恐れがある。
- (2) ガリーは地下水の動向によって発達するので、たとえガリー内の下流部に水密な堰堤を設けても埋め立てた土砂が度重なる豪雨で再び洗掘され押し流される可能性がある。
 埋め立て処理したガリーに隣接して発生したガリーを通して埋め立てた土砂が流される危険すらある。
- (3) 既存のガリーを埋め立てるための客土素材にも水溶性の細粒土粒子が含まれ、少なくともその粒子は既存ガリー内部に働く強力な溶脱・洗掘作用によって流失する恐れがある。

9.5 牛の繋ぎ飼いによる利点を考慮した土壌保全実施体制の構築

土壌浸食に関する深刻な問題は「ス」国に限らず、アフリカ、アジア、東欧やラテンアメリカ諸国でも生じている。RTGは中国、インド、トルコ、ロシア、南アフリカなどでも見られる。現在、土地の制約、保健上の理由、或いは放牧原野での頻繁な事故などの理由等により、ほとんどすべての先進国で牛はパドックや屋根付きの牛舎内に飼養されている。

このような牛の人工飼育（繋ぎ飼い）は販売価値のある牛を育成するために不可欠な飼養法である。繋ぎ飼いの利点は以下の通りである。

- (1) 繋牧された牛は牛群の水場への通路や通り道を踏み荒す大きな群れを作らない。
- (2) 繋牧された牛は刈り取った草や濃厚飼料を給餌しながら飼育しなければならないが、放牧時のように嗜好性の高い草ばかりを選択採食することが無くなるので天然草地の草種が偏らない。また、繋牧は当然、荒廃草地で野草の早期再生に貢献する。
- (3) 牧童が野草の再生を促す放牧前の野焼きをする必要が無くなり、ひいては森林火災や地表植生の退化をもたらす危険が少なくなる。
- (4) 牧童を雇うなど、放牧管理への支払いの必要が無くなる。
- (5) 作期中、栽培畑への放牧牛の侵入による食害の心配が無くなる。
- (6) FMDなどの伝染病に感染する機会が少なくなる。

9.6 放牧に関し望ましい長期的政策を考慮した実施体制の構築

天然草地上の放牧は最も粗放的な土地利用形態に属し、「ス」国のような土地の少ない国にとっては明らかにふさわしくない。1980年代においては、年間、国内牛の僅か4-11%が屠殺されたに過ぎず、天然斃死率を含めても牛の総頭数の80 - 85%は国家経済に貢献することなく、老齢化して行く牛群は農家の財産という形で無為に保有されていたに過ぎない。このため、耕地に若干の堆肥をもたらしたものの放牧地の質の低下を招いた。したがって、今後「ス」国が実施すべきことは、干し草・サイレージ用作業機付きのトラクター等を用いた飼料作物栽培や改良草地造成をベースに、「放牧ゼロの牛の飼養」が可能になるように、逐次機械化農業への転換を図ることである。参考のために現在の過放牧の例と望ましい頭数についてターゲット・エリアを例に採り表 9-7に示す。

表 9-7: 3ヶ所のターゲット・エリアにおける適正牧養力 (DCC)

場所	総面積 (ha)	うち、放牧地 (ha)	極度受食地 (VSE) ha	重度受食地 (SE) ha	中度受食地 (ME) ha	軽度受食地(A) ha
TA 1	19,700	12,489	3,621	2,623	3,872	2,373
TA 2	11,500	7,340	1,615	609	2,481	2,635
TA 3	30,600	19,151	2,681	2,681	9,959	3,830
3地区	61,800	38,980	7,917	5,913	16,312	8,838
CCC	実飼養頭数	全DCC	VSE上のDCC	SE上のDCC	ME上のDCC	A上のDCC
TA 1	15,700	5,345	724	787	1,936	1,898
TA 2	11,900	3,855	323	183	1,241	2,108
TA 3	18,500	9,384	536	804	4,980	3,064
3地区	46,100	18,584	1,583	1,774	8,157	7,070

注：DCC: Desirable Carrying Capacity (適正牧養力) CCC: Current Carrying Capacity (現在の牧養力、この数値は過剰である), VSE: Very Seriously Eroded (極度に浸食された地域), SE: Seriously Eroded (浸食が激しい地域), ME: Moderately Eroded (中程度に浸食された地域)

この体質改善を実施することにより「ス」国における過放牧を一掃し、従来の自由放牧に代わって全ての家畜が牛舎、飼養棟、肥育場で飼育され、または繋牧されることにより、RTGが全く発生しないような土地状況を創出する可能性が生まれる。

この目的を達成するため、農業協同組合省は既存の全国17ヶ所の農業開発センター (RDA) に草地用機械を今以上に配備し、家畜飼養体系を根底から変えようと挑戦する農民のニーズに応える必要がある。このための方策の1つとして、ドナーが供与した農業機械を無料または利用者の燃料負担で貸出して、農民が機械化飼養管理を通して放牧地を順次飼料作物畑に転換できるよう支援していくことが考えられる。

9.7 土壤保全実施体制の構築に当たって導入すべき行政指導要綱

土地荒廃に対する国家的措置に関し、その計画及び実施対象地域の決定、実施体制等は「ス」国政府の政策決定事項であるので、ここでは導入すべき行政指導方針(案)の一部を以下に提案するに留める。

行政指導方針(案) 1

「政府または地方自治体 (以下“政府等”と略記) は浸食の発生の危険度が他の地域より高い地域においては牛及び山羊の強制的繋牧を開始することができる。政府等はRTG発生の危険度が高い断層谷及び破碎帯に沿った区域を優先度Aの地域として線引きできる。ここでは水径、若いガリーの処置から成る予防対策が導入されるべきである。その後、政

府等は関係住民に、以前からある共有地に比べ浸食が少ない共有地を等高線テラスの造成と家畜通行路の囲柵で保護するよう勧告できる。」

行政指導方針(案) 2

「政府等は重大な被害を受けている古い共有地に存在する放牧地を囲柵飼料作物畑に転換する処置を行うことができる。更に、政府等は浸食により土壌が全て流失し、石礫片に覆われている原野を飼料木の灌木林に転換し、そこで季節的放牧を許可することができる。また、政府等は嗜好性の低い牧草種や侵入した外来雑草を駆除し、自然野草を改善するための行動を開始することができる。同時に、高収量の牧草種子を播種し、草地への火入れを通年禁止して草地の改良を行うことができる。」

これらの基本方針策定のために必要な1) 放牧管理事業を公的に推進する方策を適用する優先順位の決定、2) 持続的放牧管理の総合的構想、その施策の策定についての一例を表 9-8、表 9-9、及び図 9-1に示す。

表 9-8: 放牧管理事業を公的に推進する方策を適用する方が良いと考えられる優先地域

優先度	放牧地の位置、状態	ハイベルド内の占有率 (%)	高位部ミドルベルド内の占有率 (%)
A	断層谷及び破碎帯	3 %	2 %
B	最近購入された共有地 (SNL)	2 %	0 %
C	重度に浸食された地表	7 %	6 %
D	放牧地上に露出する石礫に覆われた土地	1 %	0 %
E	その他の浸食された放牧地	1 %	1 %

注：優先度A,Bの%はハイベルド及びアッパーミドルベルドの総面積に対する比率、優先度C,Dの%は極度に浸食された地域の10%を選び、これを基に計算した%、また優先度Eの地区ではRTGが一部家屋に地近づきつつある。なお、図 9-1に優先度に応じて公的に放牧管理事業を実施すべき地区の事例を示す。

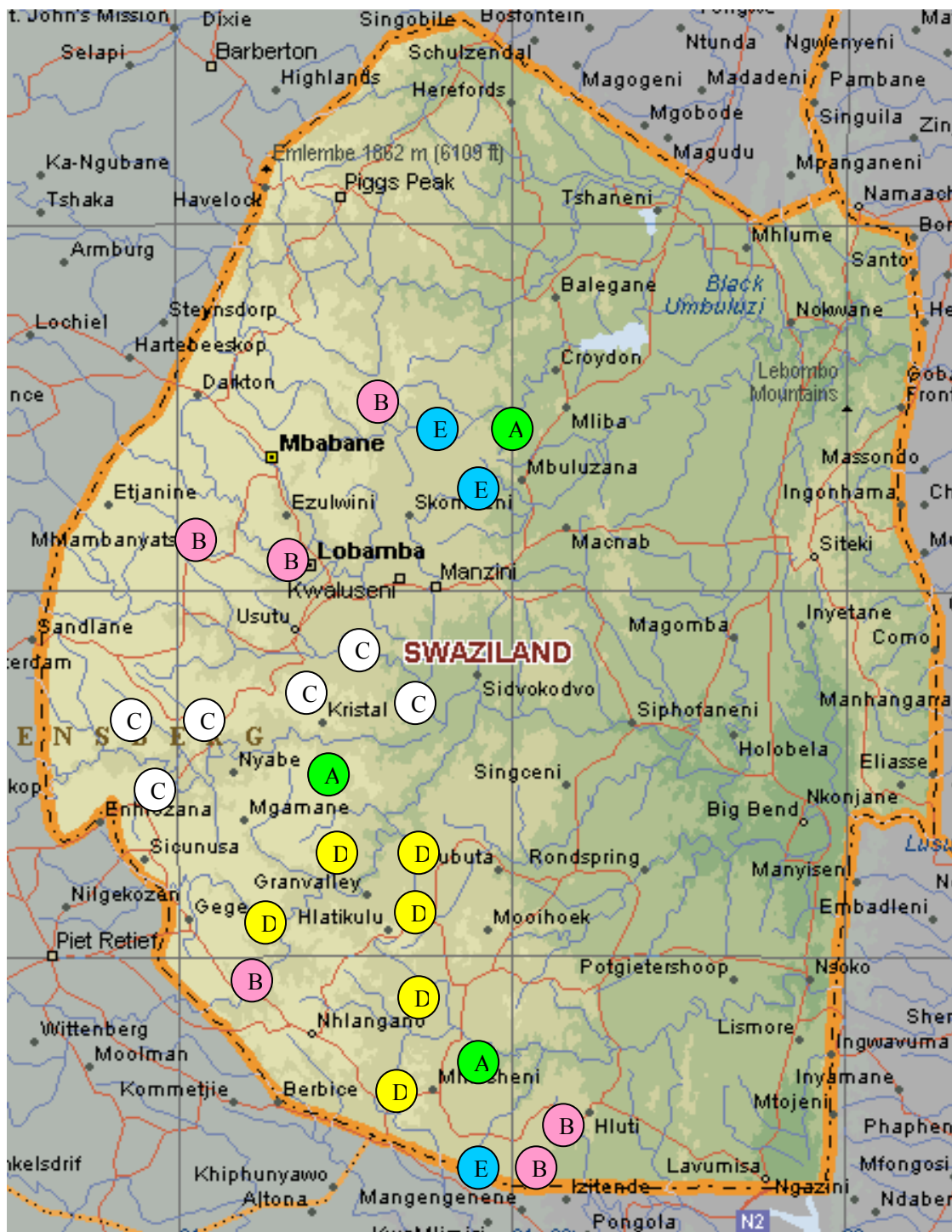



図-1: 放牧管理事業を公的に推進する方策を適用する方が良いと考えられる優先地域の事例

表 9-9: 持続可能な牛群保有の一般的概念

実施 難易度	方策	目的
易  難	囲柵輪換放牧 + 等高線テラスの造成	放牧圧の軽減
	放牧地の一部を飼料作物生産畑に転換	土壌・土地に被害を与えずに現況頭数を維持
	一部の牛群を繋牧し粗飼料を給餌	土壌・土地に被害を与えずに現況頭数を維持
	さらなる粗飼料生産への転換	放牧圧の軽減
	粗飼料給餌のため繋牧頭数を増加	土壌・土地に被害を与えずに現況頭数を維持
	牛群の間引き、間引いた牛を売却または屠殺し、売り上げを銀行に預金	放牧圧の軽減
	放牧地を改良草種の播種と侵入雑草の駆除により改良	浸食被害を受けた放牧地の維持及び復旧
	放牧地上に飼料木樹種を植林	浸食被害を受けた放牧地の維持及び復旧

これらのアクションの実施に先立ち、政府等は普及員を訓練し、彼等が関係住民を適切に指導できるよう事前の準備を行うべきである。同時に、政府等は次世代が政府の対策を円滑に受け入れられるよう学校教科課程に環境保護に関する科目を導入することが望ましい。また、政府等は一般住民の理解を促すため、実証調査で施工した各種土壤保全対策工の見学、学習等を実施することが望ましい。これらのアクションの実施期間（案）を表 9-10 に示す。

表 9-10: 望ましい放牧を実現するための諸措置の実施期間（案）

	提案する期間（年）	2004-2010	2011-2020	2021-2030	2031-2040	
住民に対する啓蒙、普及活動	初等教育において環境教育を教科の一部に加え、これを実施する	←→				
	普及員の訓練	←→				
	実証調査期間中に施工した各種土壤保全対策工の見学及び学習	←→				
	放牧地全体の牛・山羊繋ぎ飼い		←→			
土地に対する実施対策	優先度 A: 水径及び若いガリーの処置	←→				
	優先度 B: 放牧地の等高線テラス工	←→				
	優先度 C: 飼料作物畑への転換	←→				
	優先度 D: 飼料木の植樹		←→			
	優先度 E: 野草の改良			←→		

- 1) 表 9-10において「住民に対する啓蒙、普及活動」の実施を提案している。その内、1) 初等教育の一部に環境教育を盛り込むこと、2) 実証調査期間中に施工した各種土壤保全対策工の見学・学習等の提案はマスタープランには含まれていない。ガイドラインでそれらを提案した主旨は、1) 今回の調査を通して若い世代に対する早期環境教育の必要性、2) 若い世代が各コミュニティで実施された土壤保全事業を見学し、土壌保全の実際を知ることにより、地域における土壤保全事業の広域的展開が期待できることが判明したためである。マスタープランは基本的に土壤保全事業の実施機関である農業協同組合省を対象とし策定しているため、環境教育等についての提案は行わず、より広い利用者層が期待される本ガイドラインにおいて環境教育の必要性等を提案した。
- 2) 表 9-10に示す各アクションの実施時期は一応の目安であり、地域によって異なる

第10章 土壤浸食状況に応じた土壤保全対策の提案

土壤保全対策は、地質、地形、雨量、地下水位のみならず、地域の社会・経済的要因にも左右されるために一概にメニュー方式で示すことは難しい。しかしながら、これまでの議論を踏まえ、土壤浸食の形態に応じた予防、軽減策を例示すれば表 10-1のようにまとめられる。

表 10-1: 土壤浸食の形態と対応策

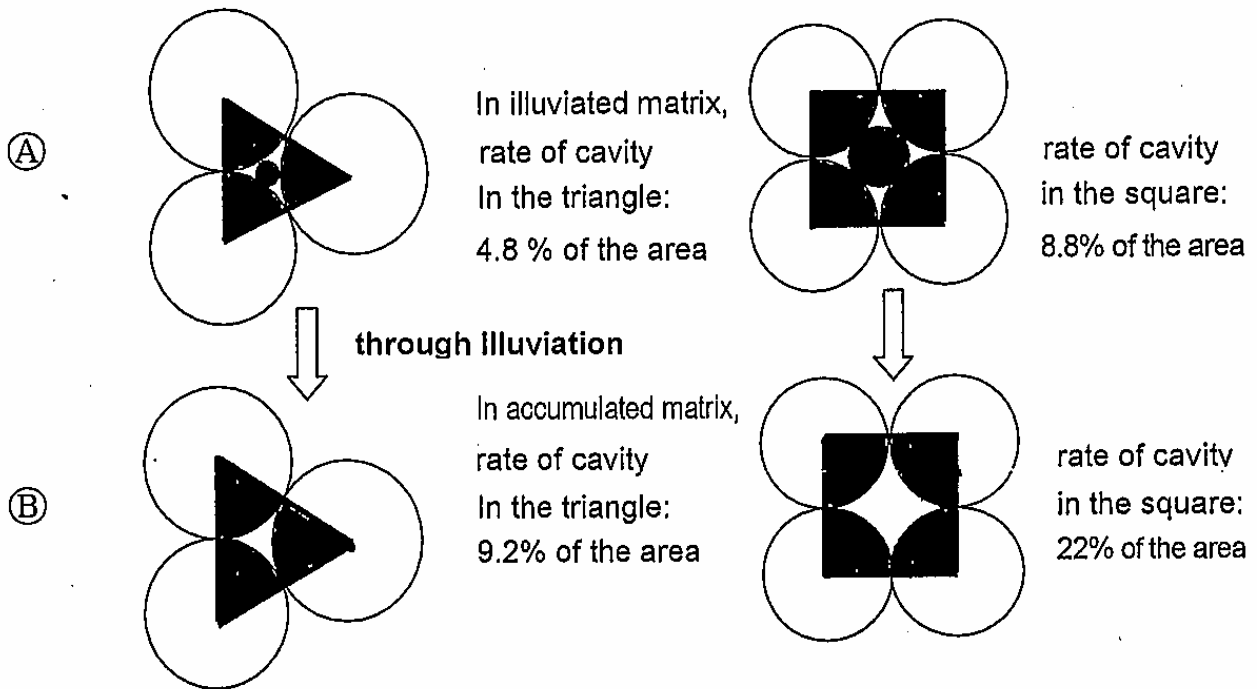
土壤浸食の形態	発生原因, 自然条件	発生場所・部位	予防・軽減対策
層状	過放牧、傾斜、気候乾燥化による地表裸地化	放牧地及び灌木叢生地、道路、庭等	等高線沿いテラスの造成、輪換放牧のための囲柵を行う。
小テラス状	同上、ただし浅土層並びに急傾斜地における家畜放牧による負荷の増大が同時生起	急傾斜面で石礫の多い丘陵鞍部上の放牧地	同上、フィードロット上の飼養と繋牧とを組み合わせる。
地沁り / 地表剥離	浅部に帯水層あり / 岩盤上に低密度の土層あり / 放牧による負荷が大きい	急傾斜、石礫の多い放牧地、地沁りの発生し易い場所	同上、フィードロット上の飼養と繋牧とを組み合わせる。
水径	牛群の通路上の裸地、傾斜があり、浸食を受け易い土壤が表面を覆う場合	大抵の場合家畜の通路上に発生、排水路・排水溝下流	従来の家畜通路を囲柵封鎖した後、水径内構造物の設置により処置する。
ガリー	水径から発生、水径下に高度に受食性の腐食岩がある場合	道路側溝、暗渠下流部、土取り場、ダニ駆除舎、家畜通路	ガリー内部に石積みまたは堰を造成し、底部堆積を促進する。また、安定化・脱活性化のために底部に植樹する。
表層礫で覆われた尾根における浸食	長期間過放牧に曝された急傾斜破砕帯において降雨や強風により土壤がすべて運び去られた場合	長期間過放牧に曝された急傾斜放牧地	牧養力を回復するためには灌木・飼料木(草は生えない)を植林して植被を回復させる以外に有効な方法がない。

このガイドラインの内容の大部分は、既にこれまで多くの国際機関や援助国によって繰り返し指摘されて来たことを記述している部分が多い。多くの国々に共通する土地荒廃問題の解決は、国によって異なる結論が導き出されることはほとんど無く、何れの国においてもほぼ同様な解決策に至る。終わりに、「ス」国の土壤荒廃を阻止することが出来るのは政府関係者、NGO、外国人ではなく、荒廃する土地環境の中で生活する地域住民の意識変革と主体的行動に依存する所が大である、ことを記すと共に、本ガイドラインが多くの人々によって活用され、「ス」国の荒廃地の改善に役立つことを願うものである。

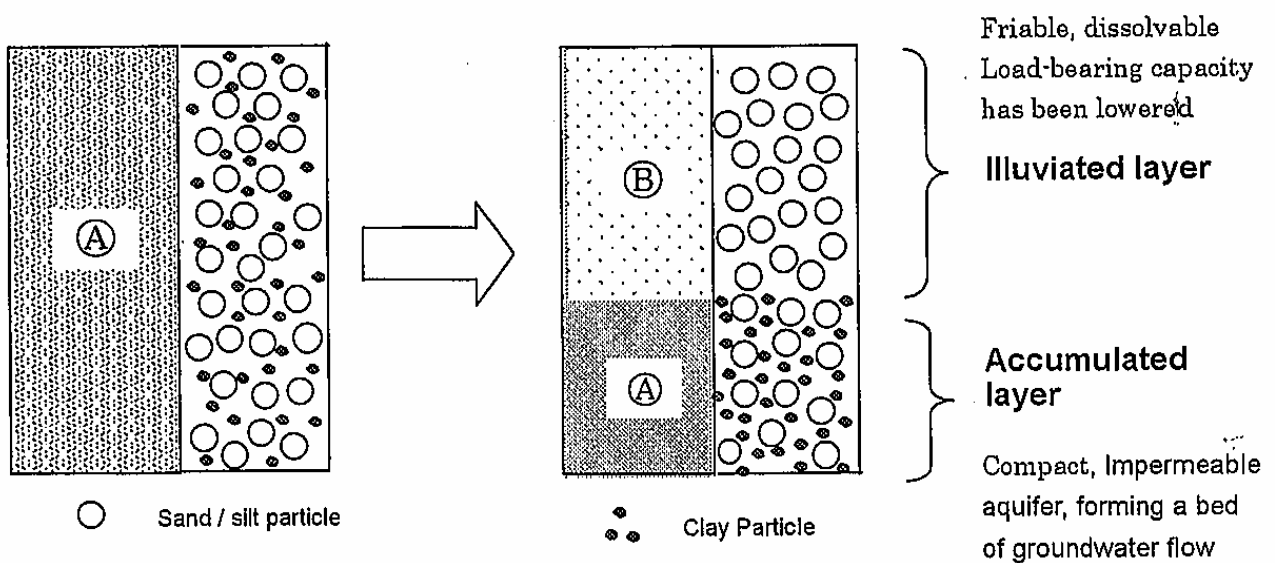
付属書

Property of Weathered Rock/Soil Inside Gullies / Rills

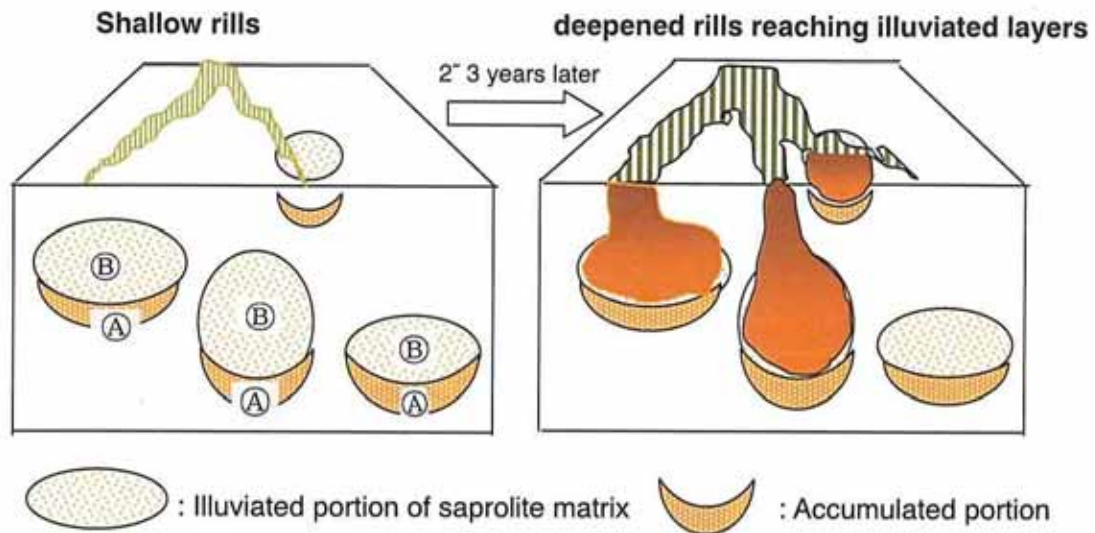
Cavity in soil / weathered rock matrix grows bigger when particle sizes are well-sorted, or consisting of similar sizes, often observed in highly weathered, illuviated saprolite matrix.



Therefore, if illuviation of clay particles from a horizon to lower lying one happened, the illuviated upper layers have higher water permeability and lower consistency.



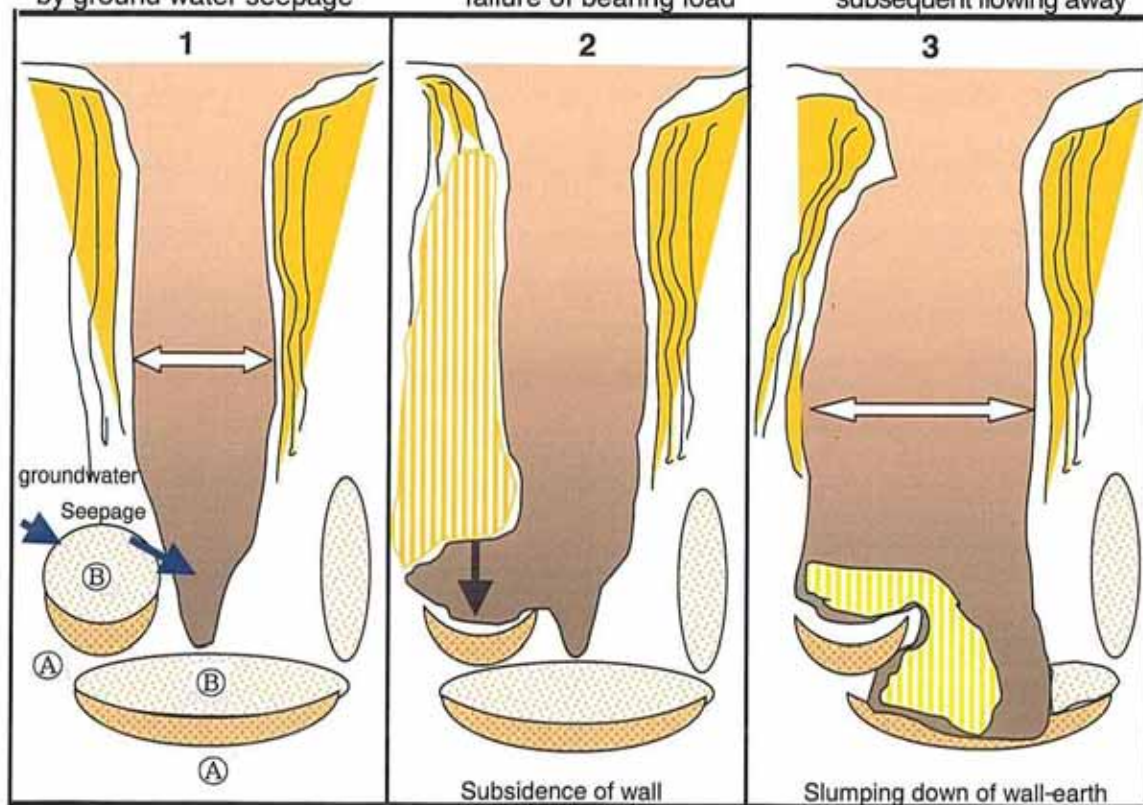
Scouring process of rills and gullies



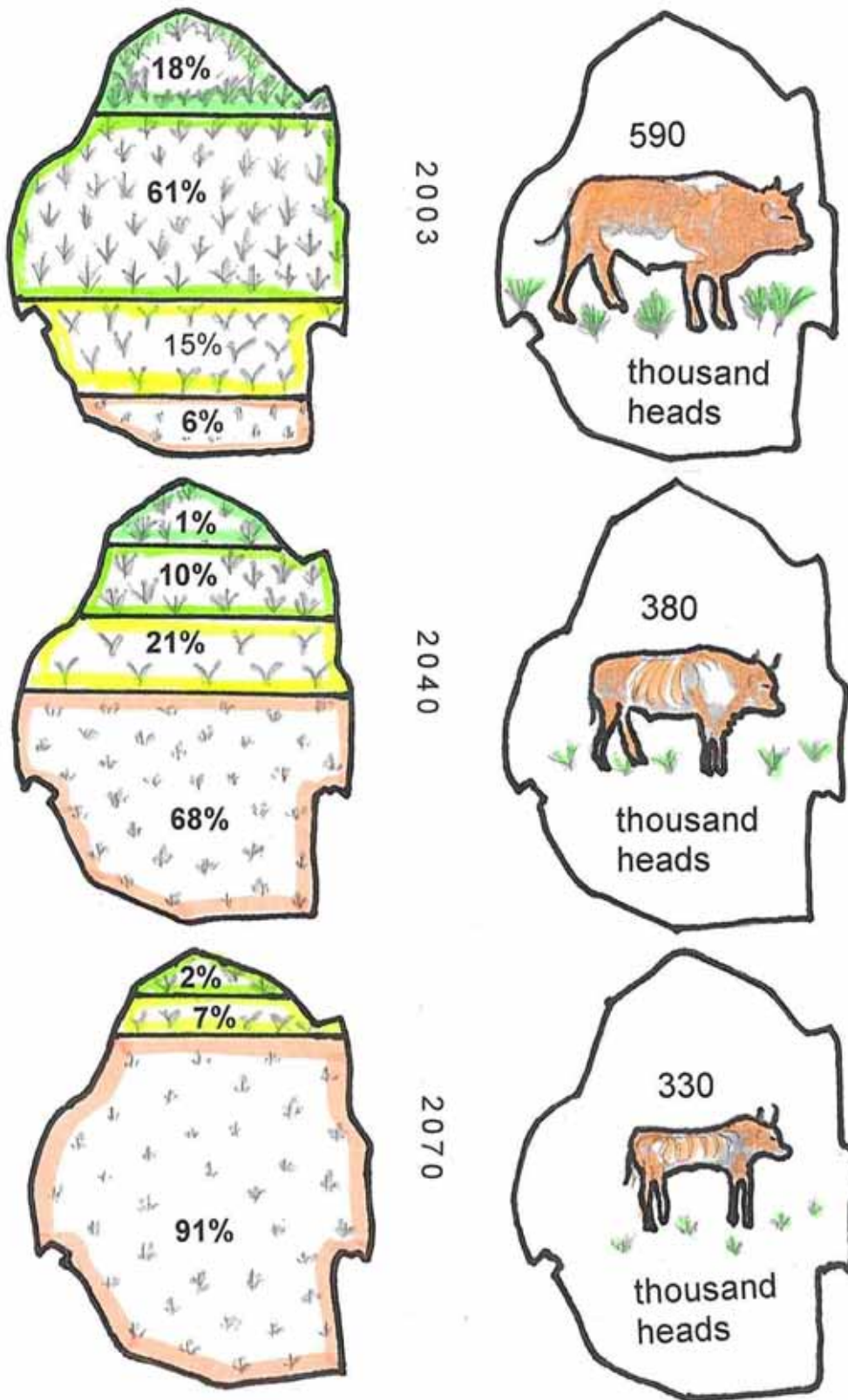
1. emergence of hollow
 at the gully floor scoured
 by ground water seepage

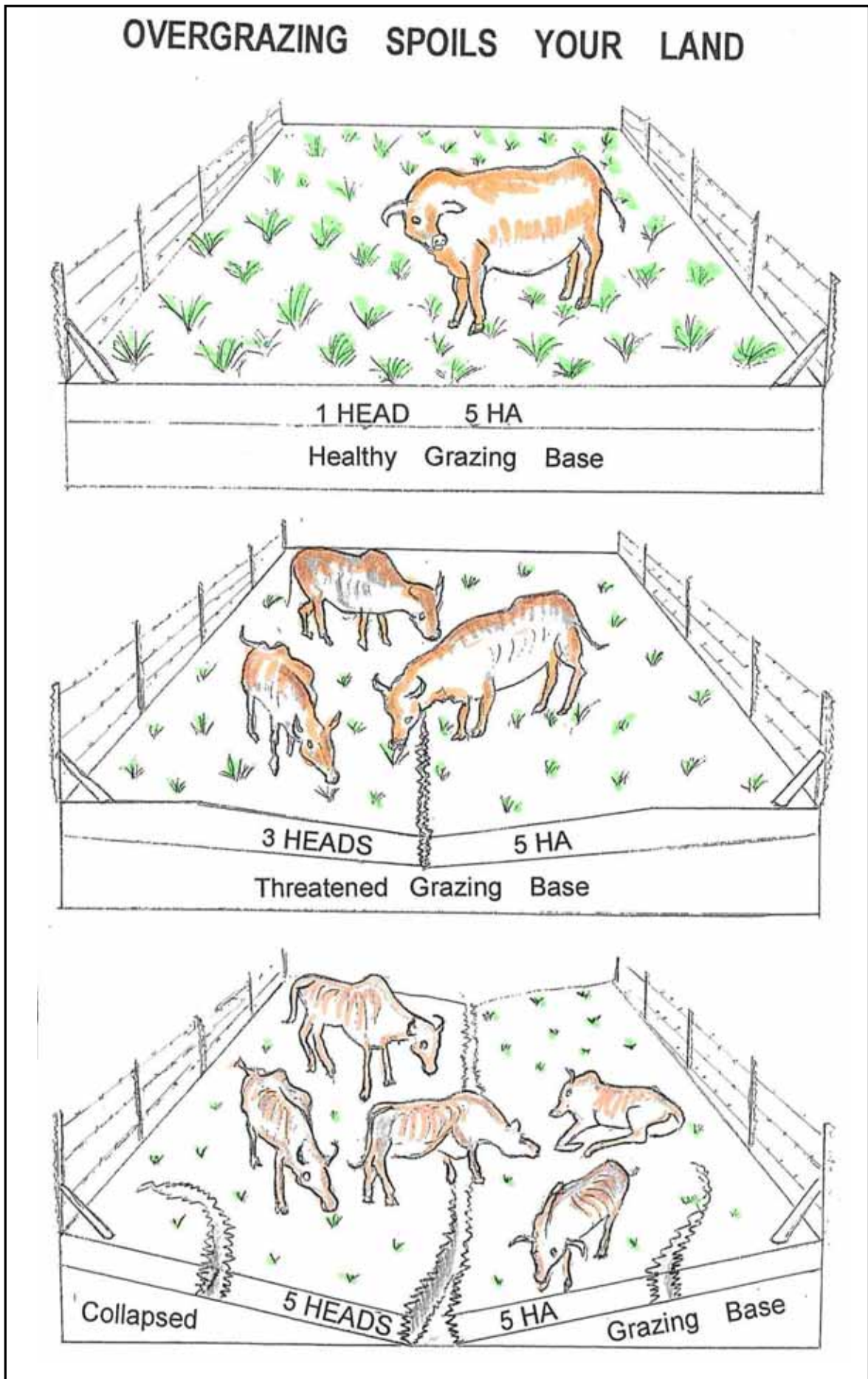
2. scouring out of
 hollow, subsequent
 failure of bearing load

3. slumping of gully
 wall on the bottom floor
 subsequent flowing away

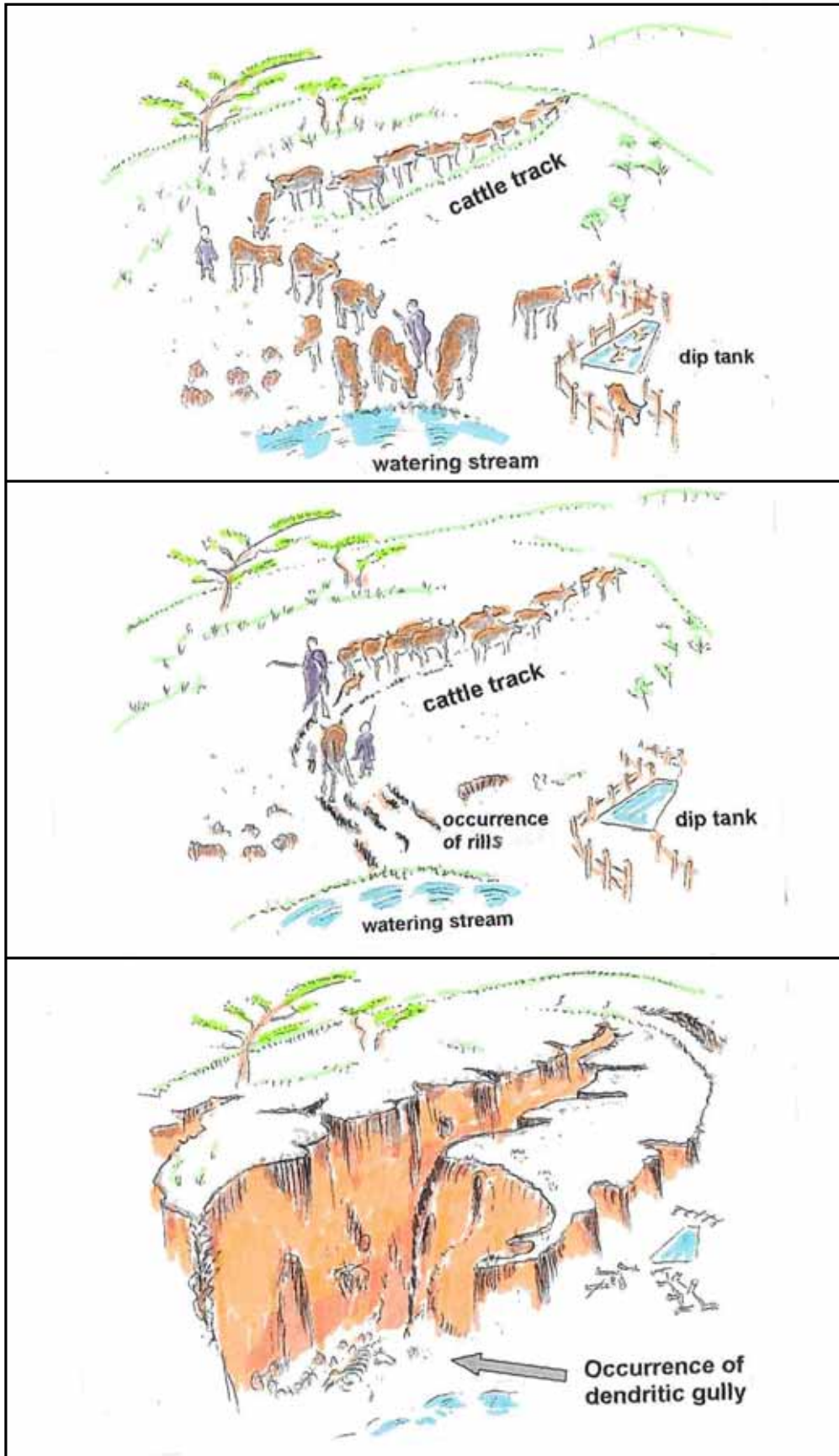


Your Grazing Land will be able to Sustain Less Cattle Unless You Take Measures to Properly Conserve it





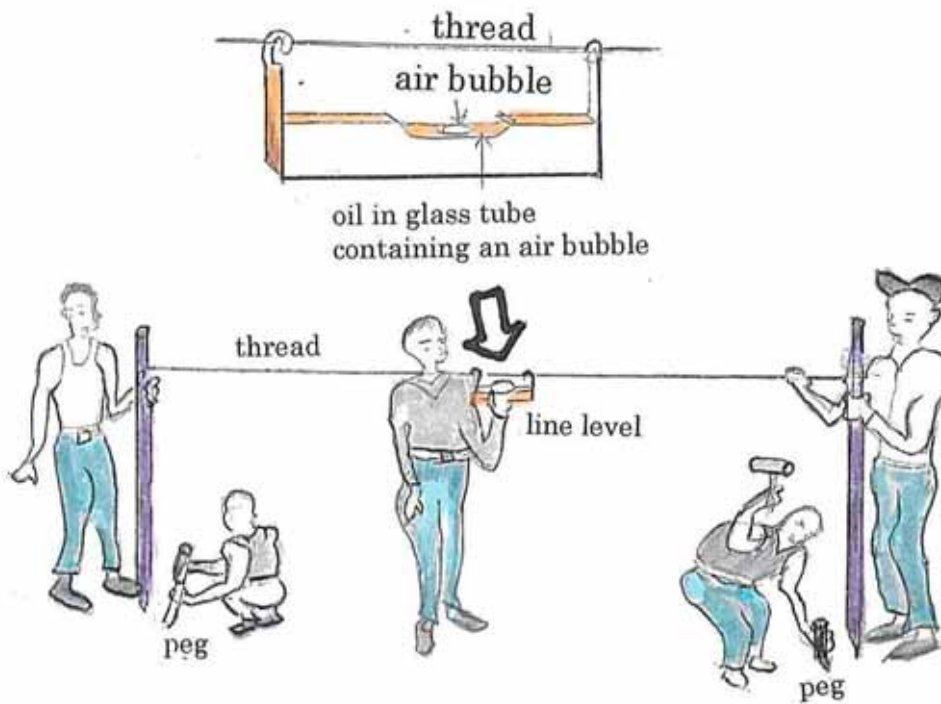
CATTLE TRACKS SPLIT INTO GULLIES



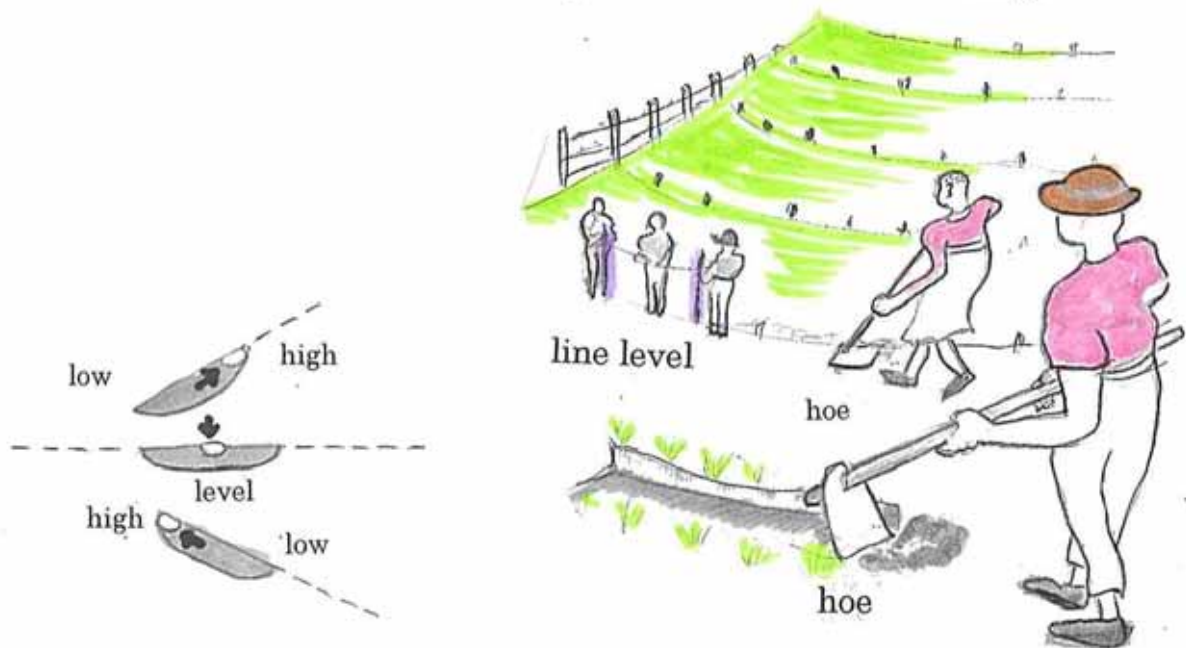
HOW TO MAKE CONTOUR TERRACES

On your grazing field

- ① Use a "line level" to lay out horizontal terraces.

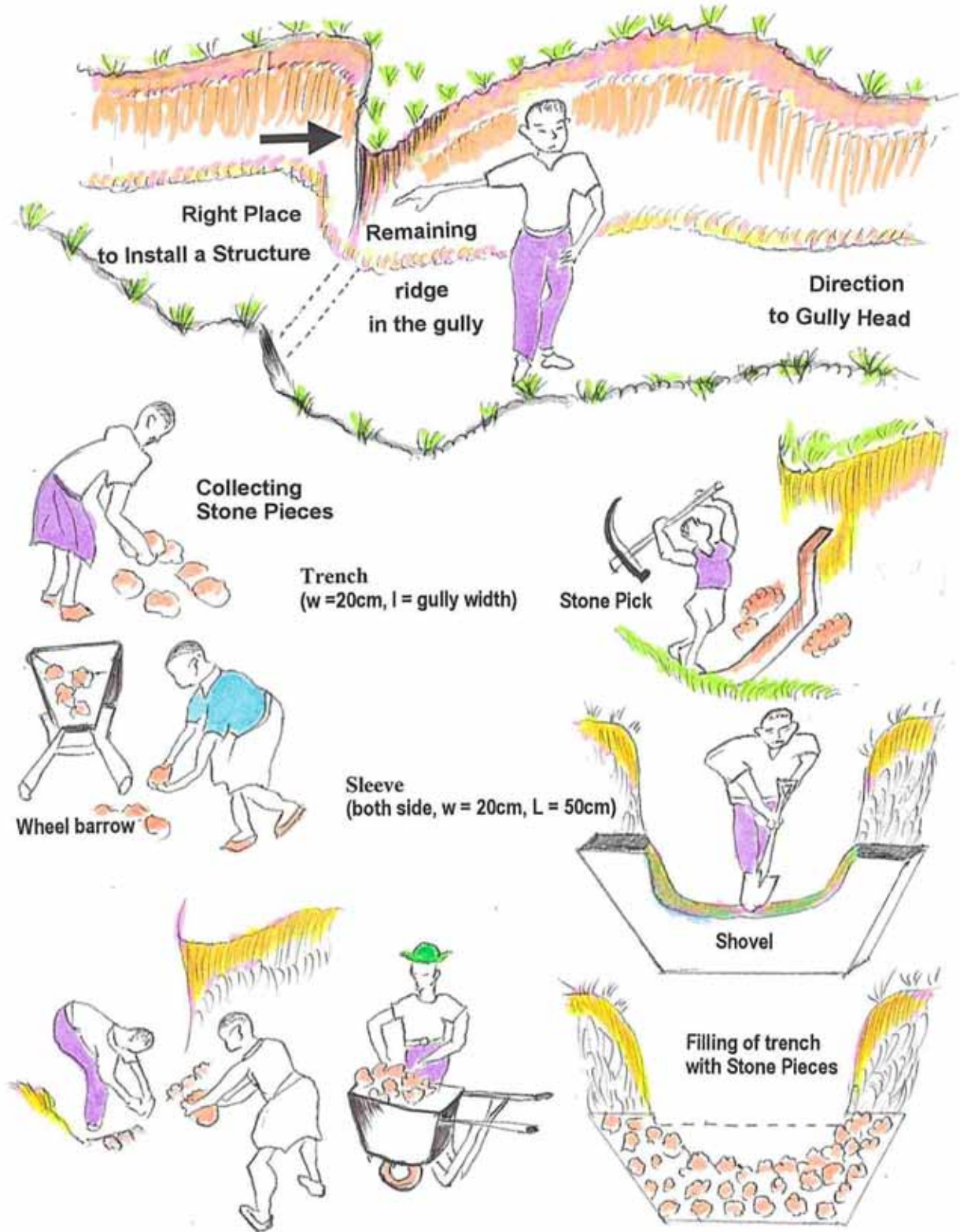


- ② Use "hoes" to cut terraces (better than machine cutting)

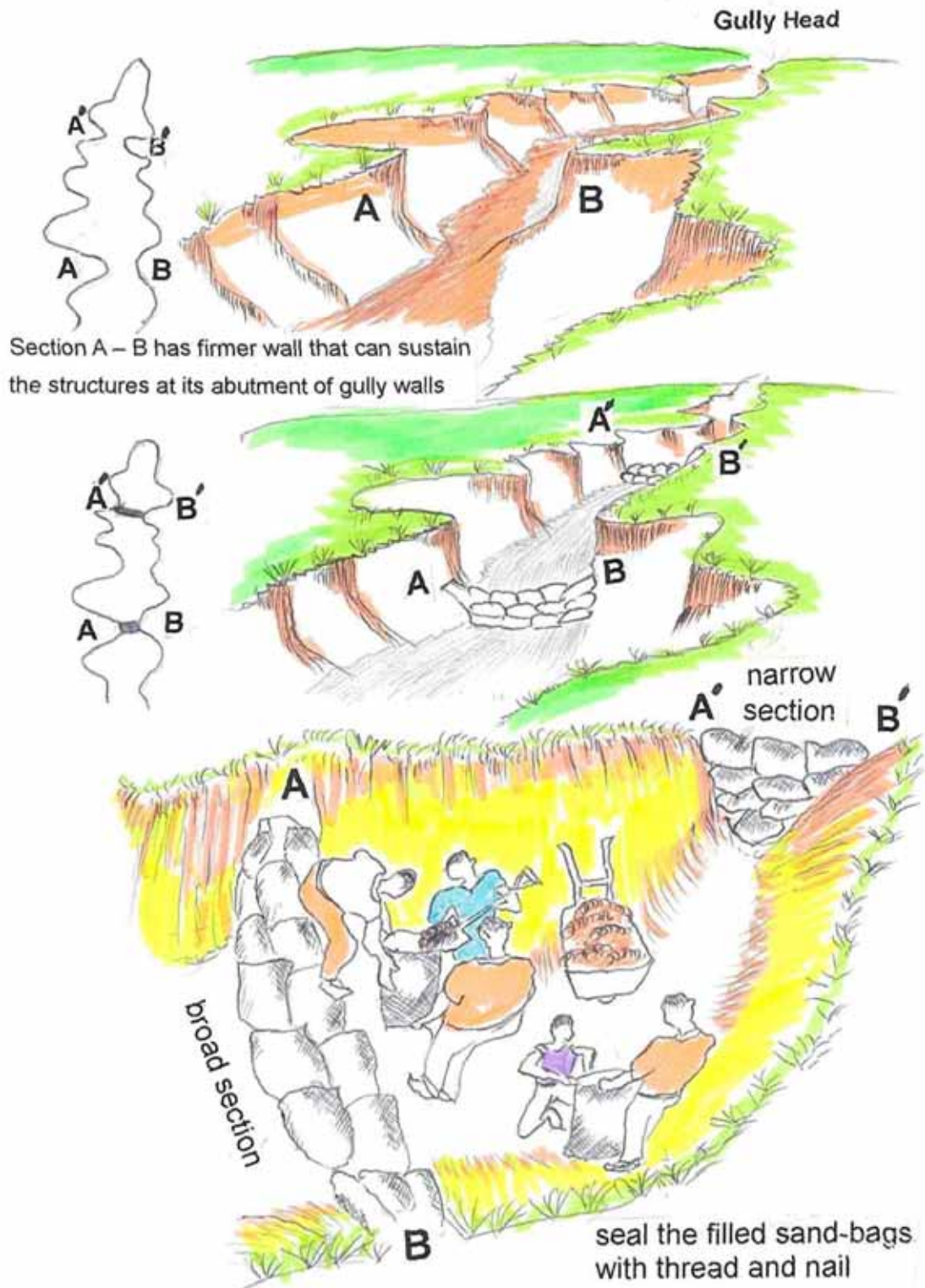


How to Make Inner Gully Structure

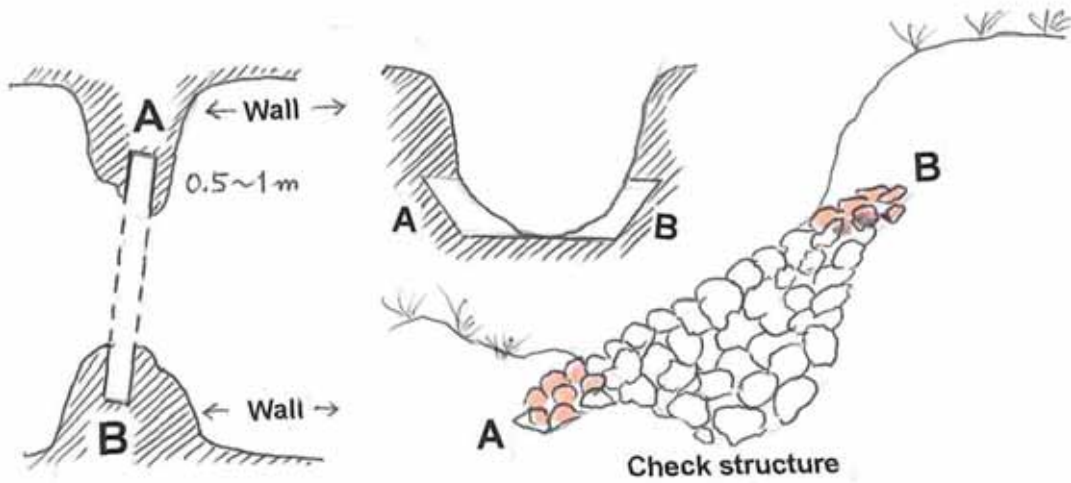
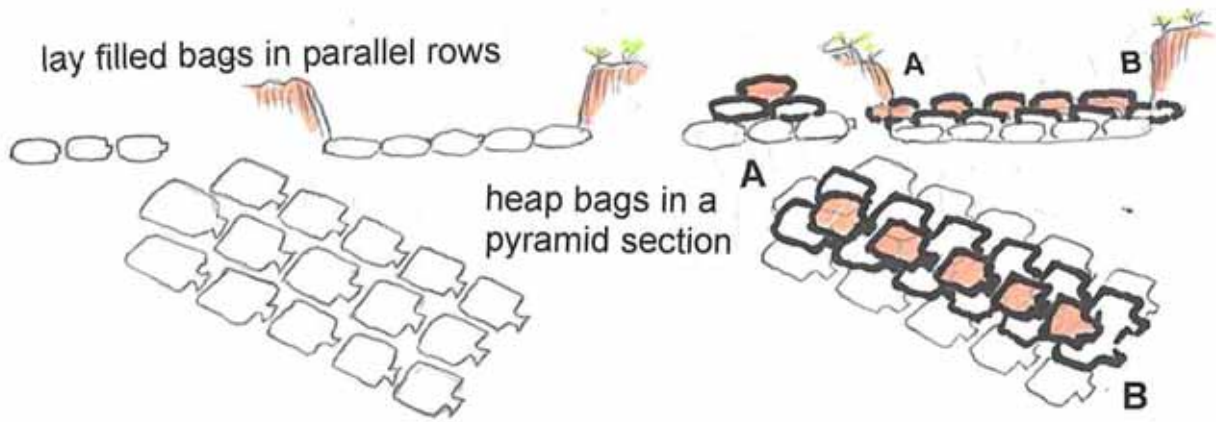
(with Stone Pieces)



How to Retain Eroded Earth in Gullies



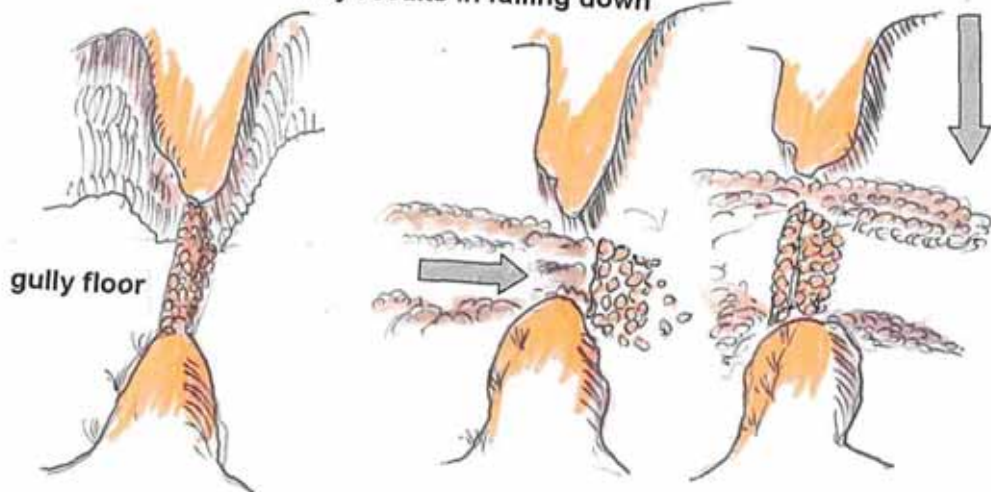
How to Retain Eroded Earth in Gullies



Excavate pivot ditches
 into remnant ridges
 in the gully to fix checks

Works without pivots
 May results in falling down

Or leakage of sediment flow
 from both sides of the check



Use Readily Available Material for Training Gullies

- ◆ Use stone pieces where a lot of stone pieces are found over the ground



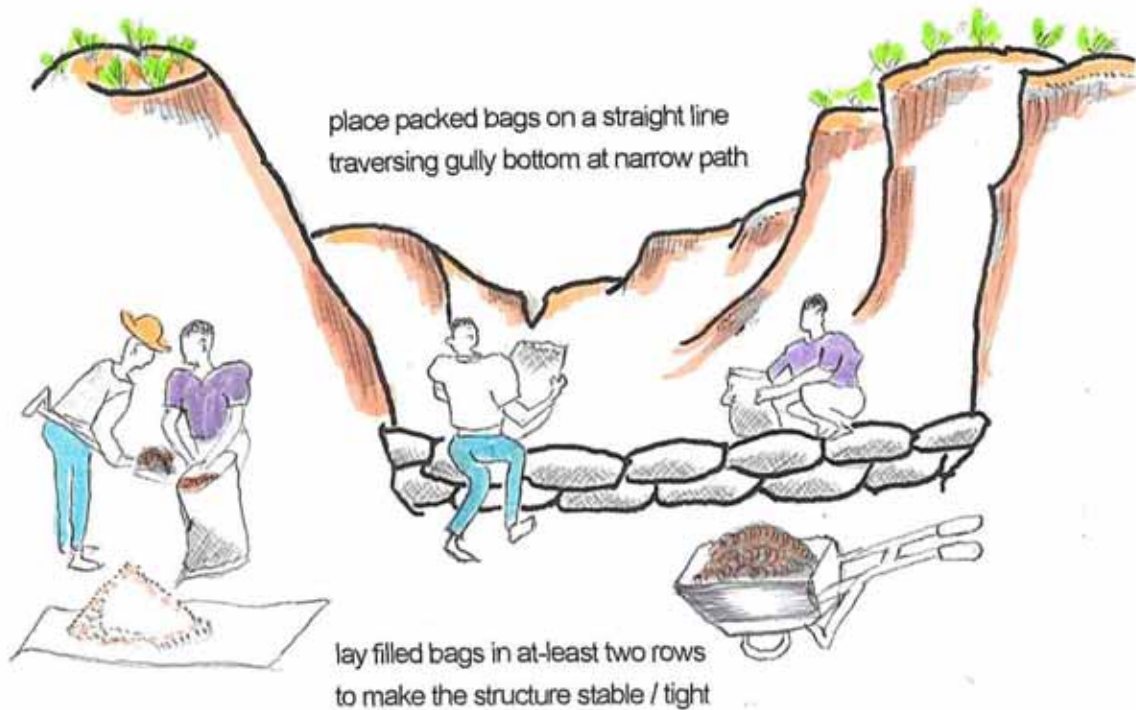
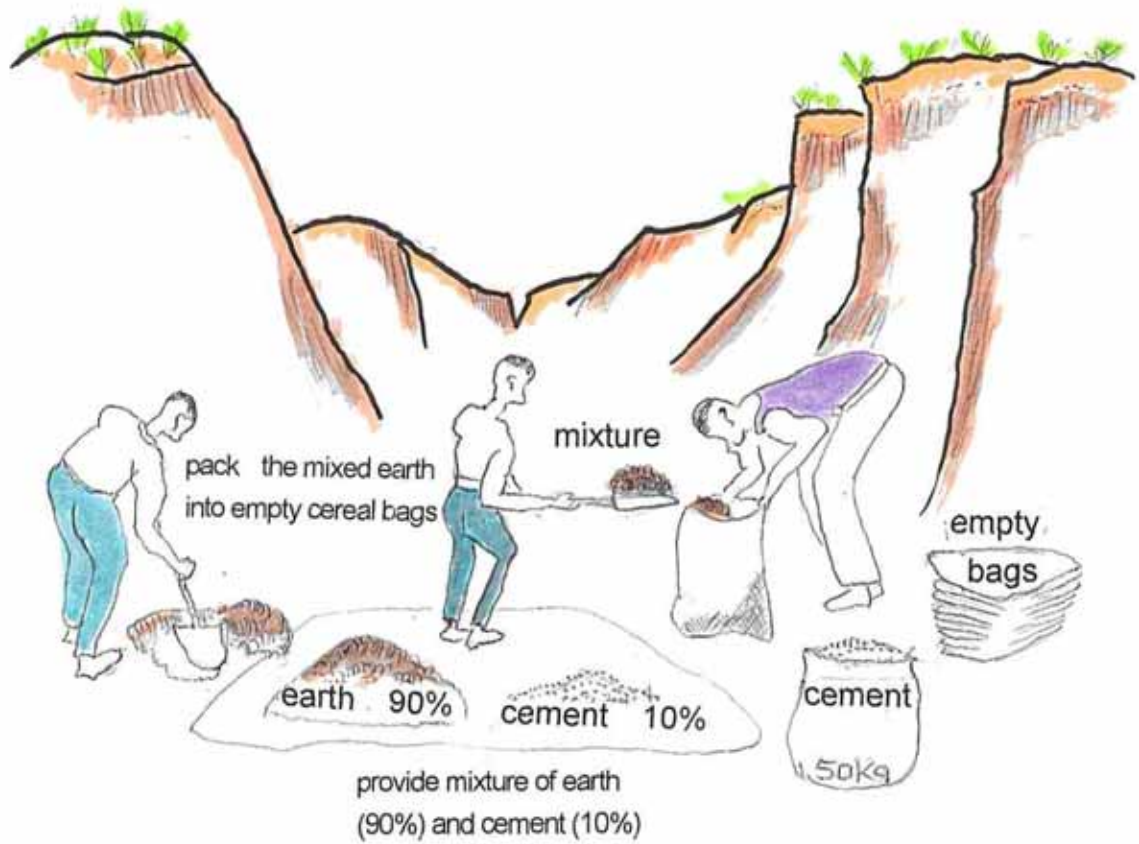
- ◆ Use branch bundles where there are many shrubs of alien tree species



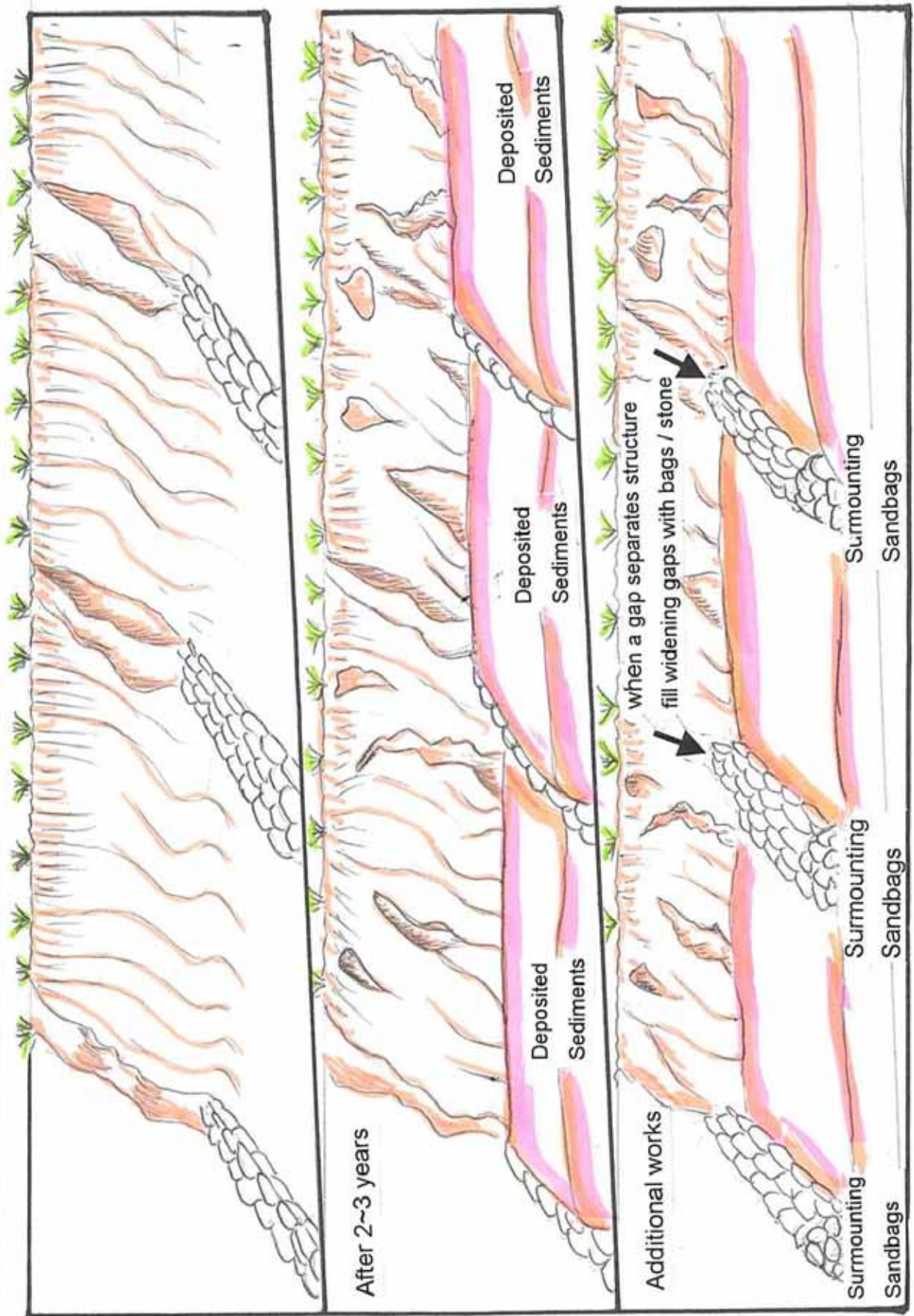
- ◆ Use sandbags & cement where no bestowd resource is available



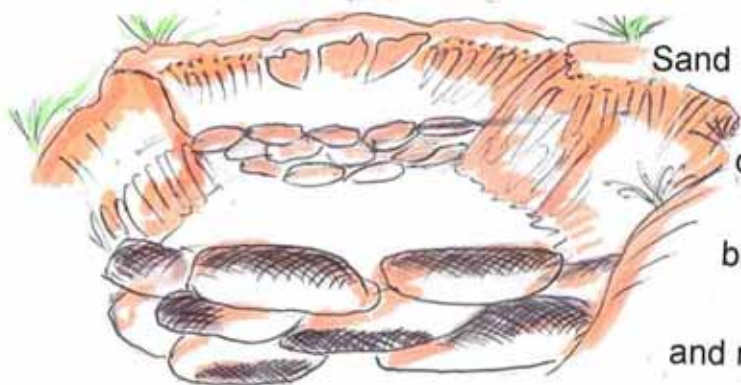
How to Train Gullies with Sandbags



Maintenance of Inner-Gully Structures (with Sandbags or Stone-pieces)



Sand-bag Structure



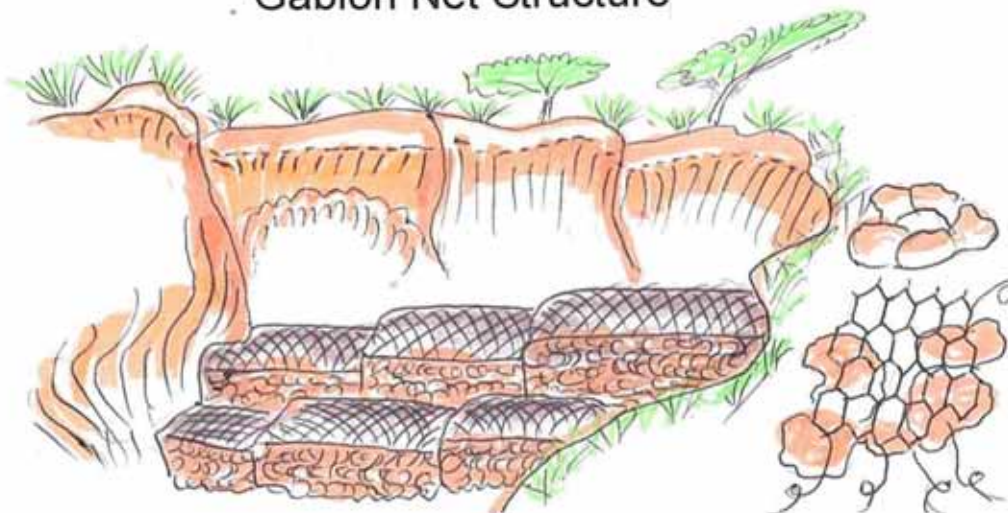
Sand bag structure has the same durability as gabion net one but the cost is much cheaper and material is readily available.

Cost Comparison of Gully Training with Empty Bags and Gabions

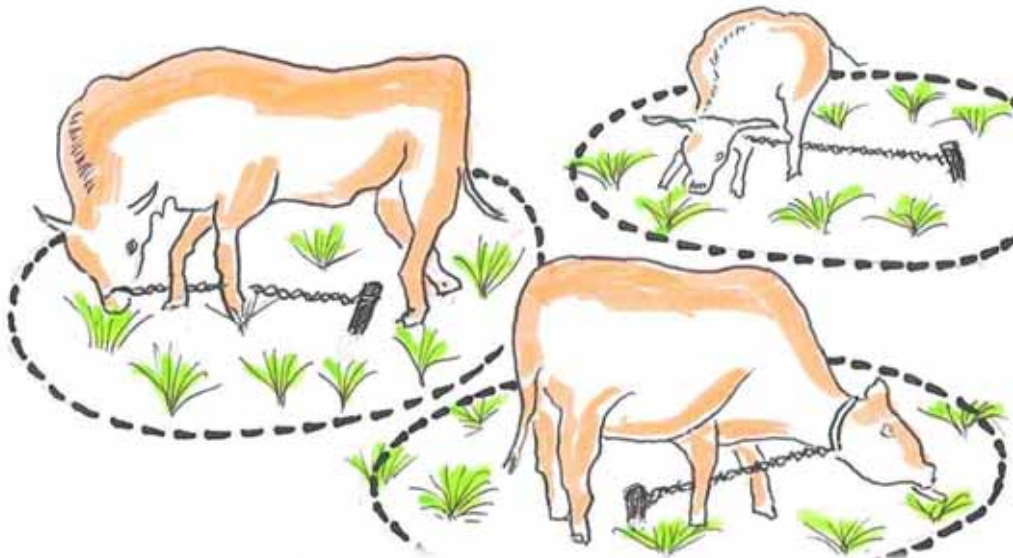
Unit work scale: section height 3m x width 10m

Item	spec/size	Quantity	Unit Cost	Amount(E)	US\$ equiv.
empty bag	3m x 10m	120	18	2,160	297.9
cement	0.6ton	12	55	660	91.0
shovel	scew tip	3	80	240	33.1
stone-pick	10 kg	2	120	240	33.1
labor	2psn x 4d	8	25	200	27.6
wheel barrow	100kg	1	280	280	38.6
insurance		8	15	120	16.6
misceraneous	8%	15%		585	80.7
Works with sand-bags				4,485	618.6
Gabion baskets	2m x 1mx	30	174	5,220	720.0
weavier deprec.	0.02	1	160	160	22.1
Creosoted poles		6	26	156	21.5
shovel	scew tip	3	80	240	33.1
stone-pick	10 kg	2	120	240	33.1
labor	4psn x 6d	24	25	600	82.8
wheel barrow	100kg	2	280	560	77.2
misceraneous	8%	15%		992	136.9
Works with gabion-baskets				8,168	1,126.7
if a structure creates 10m x 15m = 150 m ² ,				cost to estore 1ha will	
amount to :	sandbags;	41,241	gabions :	75,112	US\$ equiv.

Gabion Net Structure



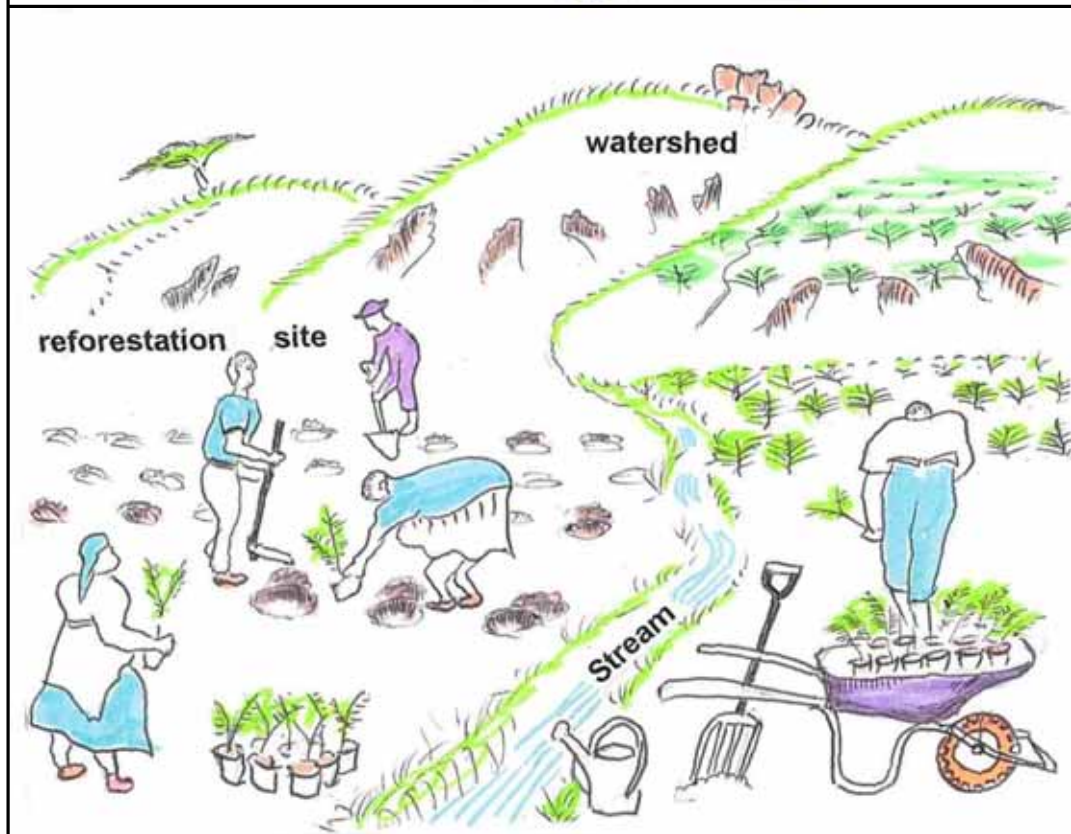
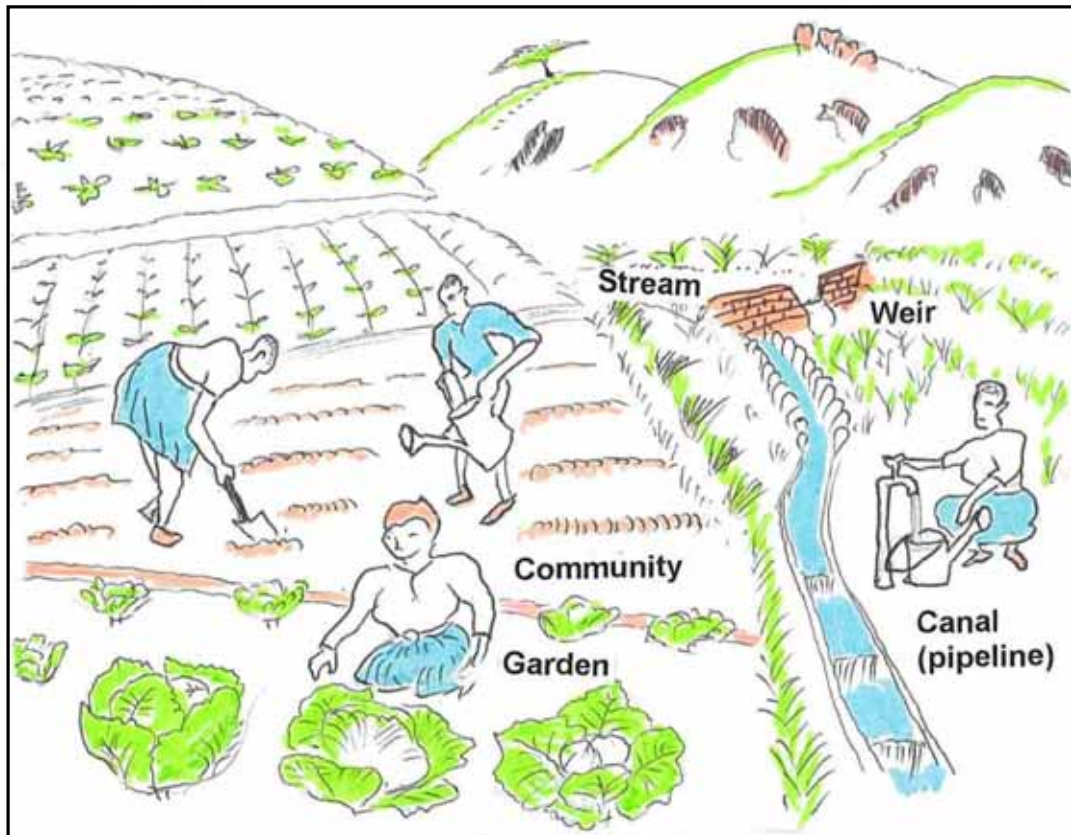
Tethering, a Final Solution to Stop Erosion



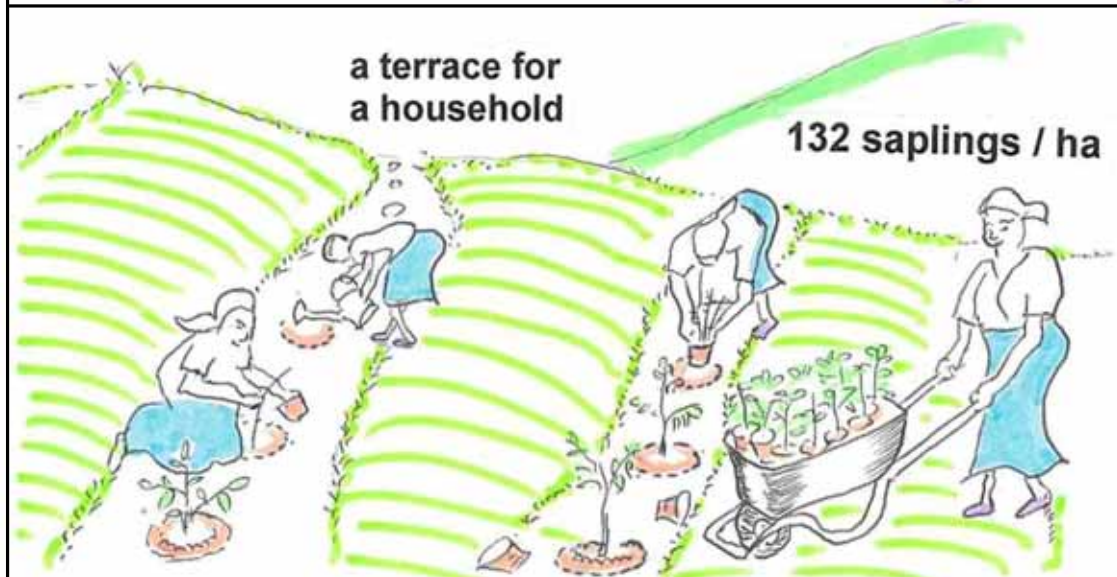
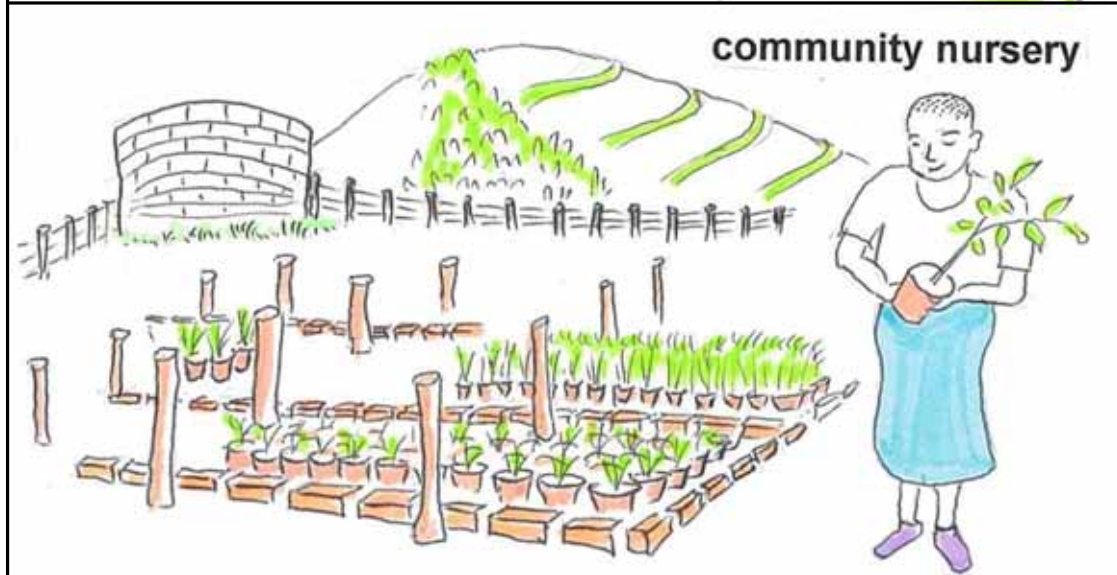
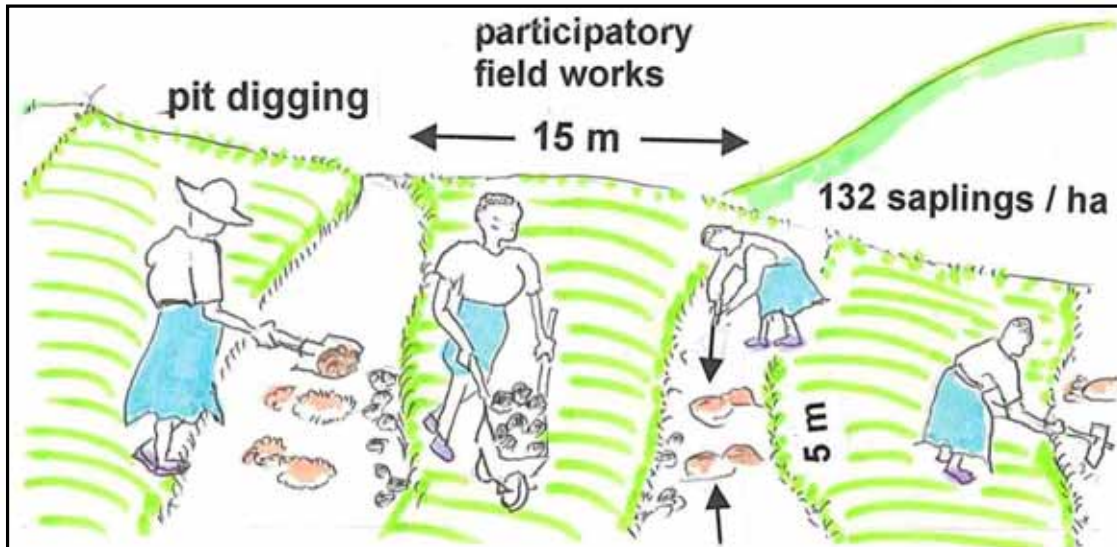
Tethering requires feeding by herd keepers, with cropped feeds.
Tethering doesn't allow cattle to flock, flocked herd harms ground
It can save cattle's energy to graze around grassless futile land.
All modern countries keep cattle by tethering or in barns/feedlots
Large cattle herds can only properly grazed by transhumancy.



Keep Watershed Green by Reforestation Otherwise Water for Garden Depletes



Let's Plant Fruit Trees on Contour Terraces



Why are Improved Stoves Needed ?



