

土地利用と侵食量

Table 1.1 Land use and rate of soil loss (Morgan (1986))

Land use	Rate of soil loss (kg m ² yr ⁻¹)	Rate of soil loss (mm yr ⁻¹)
Natural, undisturbed	0.003-0.3	0.003-0.3
Upland field	0.01-20	0.01-20
Bare land	0.4-36	0.4-36

土壌生成 < 0.1 kg m⁻² yr⁻¹ = 1 t ha⁻¹ yr⁻¹

* 乾燥密度を 1 Mg m⁻³ と仮定

4



担当 西村 (生物・環境工学専攻環境地水学研究室)
<http://soil.en.a.u-tokyo.ac.jp/> 資料もここに

年間許容侵食量

- USDA(1977) Soil and Water conservation act, 12.5 t/ha
 - 25% 農耕地が激しい侵食下
- 1.25~3.8t/ha が土壌生成と均衡(Sampson et al.)
 - これでも60%の米国の農地は侵食がひどいと区分される

5

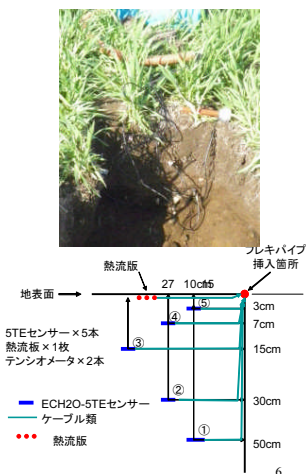
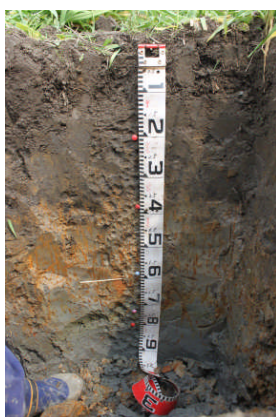
森林からのCs流出の評価の試み(2011.12.4~)

右: 伐採によって裸地に近い状態の林地
 下: 樹木や林床のリター層が残っている林地



2

福井県福井市の畑地



6

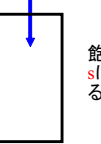
土壌保全(特に水食対象)

- 侵食: 風, 流水等の営力で土を失うこと
 - 水食: 降雨時の地表面流去水による侵食
 - 日本では, 降雨が多いことから水食が問題になることが圧倒的に多い

3

雨の浸入

降雨量, 降雨の土への浸入: 単位面積あたりの水深に換算して考えることが一般的



飽和透水係数(Ks)
sは水で飽和している状態を示す

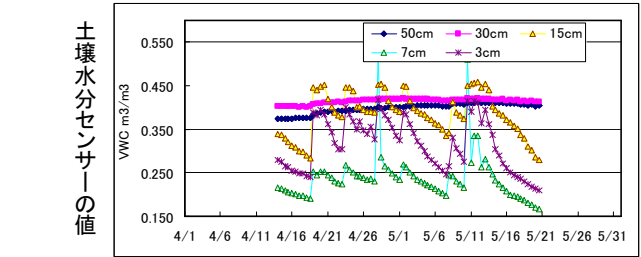
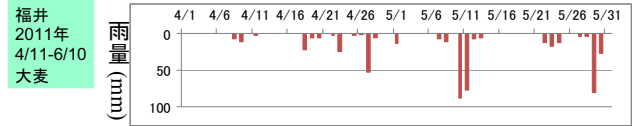
浸入速度: q の目安 (mm/hr)
およそKsで決まる

Sands	粗粒	> 20
Sandy/Silty soils		10-20
Loams		5-10
Clayey soils		1-5
Sodic clayey soils	細粒	< 1

$$q = -K_s \left(\frac{dH}{dz} \right) = -K_s \left(\frac{dh}{dz} + \frac{dz}{dz} \right)$$

q: 流束 (単位時間あたりに単位面積を通過する量)
量 (m³/断面積(m²)/時間(sec) = cm/sec

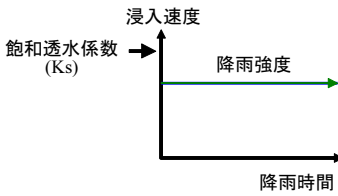
H: 全水頭 (水圧の水深表示) cmH₂O
h: 水圧の項 (水と土の相互作用)、サクション cmH₂O
z: 位置エネルギーの項 (重力) cmH₂O
土の水分が低いほどhの値は低くなる (負値になる)
Ks: 飽和透水係数 (cm/sec) 土の特性を反映する。



降雨が土壌に浸入すると、土壌水分が高くなる

ケース1: 透水係数(mm/hr) >> 降雨強度(mm/hr)

雨の浸入

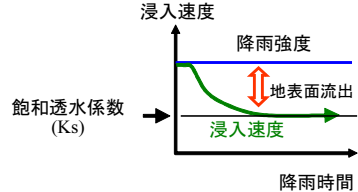


✓ 砂利や砂は大きな透水係数を持つ
✓ 砂浜で水たまりを見ることは無い

飽和透水係数(Ks, mm/hr)

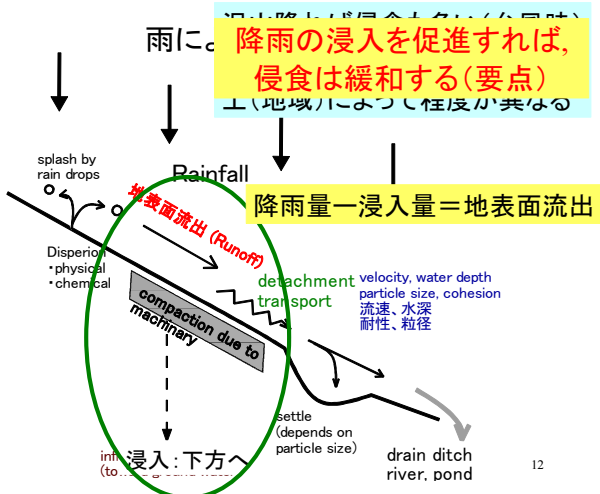
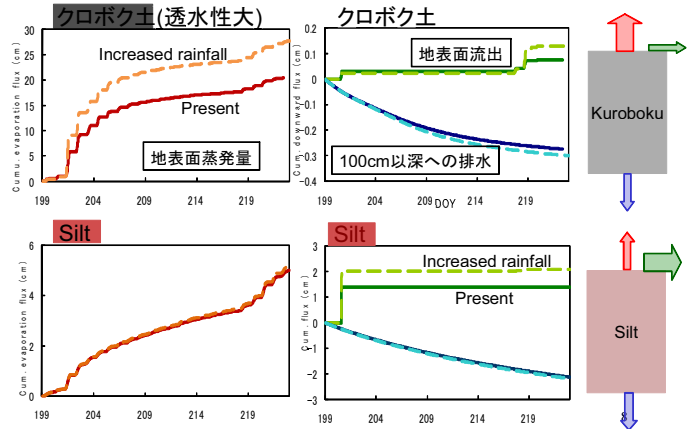
Sands	粗粒	> 20
Sandy/Silty soils		10-20
Loams		5-10
Clayey soils		1-5
Sodic clayey soils	細粒	< 1

ケース2: 透水係数 < 降雨強度 (初期に乾燥している一番単純な場合)



降雨開始直後は、透水係数よりも大きな浸入速度を示すが、時間が経つにつれて、透水係数と同じ値に漸近する。地表面流出も漸増。

クロボク土とシルト質土の降雨浸透と地表面流出 (将来予測)



降雨の浸入を促進すれば、
侵食は緩和する(要点)
土(地域)により性質が異なる

$$\text{降雨量} - \text{浸入量} = \text{地表面流出}$$

土の中の水の流れ
ダルシー式(仏の水道技術者Darcyが提案)
水分飽和した土中の水の流れを良く表現することができる
鉛直一次元の水の流れを考えると

$$q = -K_s \left(\frac{dH}{dz} \right) = -K_s \left(\frac{dh}{dz} + \frac{dz}{dz} \right)$$

q: フラックス(単位時間に単位断面積を通過する量, cm/s)
h: 水圧(水分量の関数), z: 高さ(位置)(cm), 上向きを正
H: h+z (水理学的ポテンシャルまたは全水頭)(cmH₂O))
Ks: 飽和透水係数(cm/s)

近似的に、降雨中の下方への水の流れを $q \approx K_s$ と定できる

もし、詳細を知りたいければ金曜日1時限の土壌物理学(7A棟114-115教室)

土壤保全法(水食対策)

Problem to be solved

- 地表面流出の頻度と量:
 - 降雨浸入の促進
 - ↑ 土壤構造の安定(透水性を高く維持)
- 地表面流出の流速と流路を制御:
 - (Mechanical(physical) works、土木)
 - 均平、テラス
 - 表面摩擦 (fence, mulch, bigger aggre.)
 - 承水路,排水路 drainage ditches and water ways

16

砂 (2mm>d>0.02mm),
シルト (0.02mm>d>0.0002mm)
粘土 (d<0.0002mm)

- 砂, 砂質土の方が雨の浸入は多いが,
- 生物生産能力は, 砂よりも, 粘土分を多く含んだ壤土, 埴土の方が高い
- 粘土分が無くなったら土は土ではなくなる
 - 汚染浄化におけるジレンマな課題

13

土壤保全法(水食対策)

地表面流出の抑制⇔浸透の増大

- 硬盤破壊(深耕)
- マルチ(クラスト形成防止)
- 化学的に土壤構造を安定化(石膏(CaSO₄), ポリアクリルアミド)
- 被覆植物cropping canopy plants
 - 永年性の牧草perennial pastures etc.
 - 混植 アグロフォレストリ
- 不耕起, 減耕起
 - 乾燥地では水の確保と兼用で行う(一石二鳥)

17

土壤侵食を減らす = 土壤保全



石垣島2004.10.17

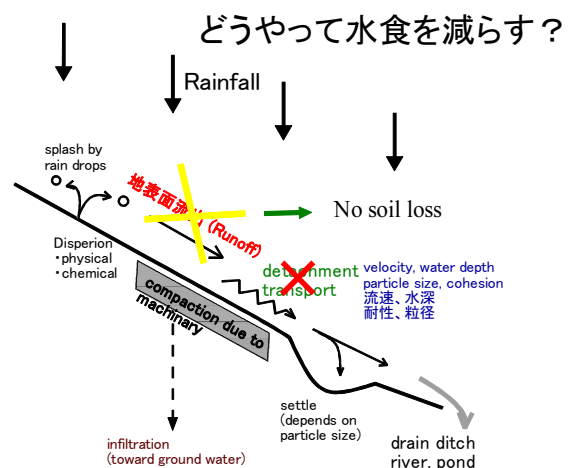
14

土壤保全法(水食対策)

- 表面流去水の制御 - 減速
 - 均平, テラス: 傾斜を緩く
 - 表面摩擦 (グリーンベルト, マルチ)
 - 承水路,排水路, 畝の設計
 - 砂防ダム, 沈砂池

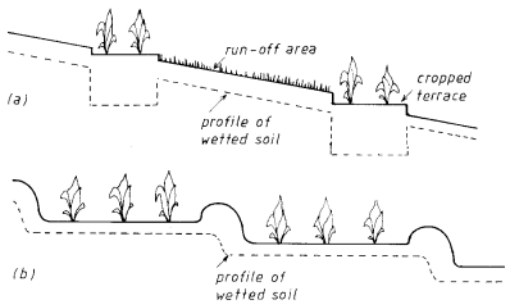


18



15

土・水保全工法(一石二鳥)



The effect of terraces in water conservation

表 5.4.7 土地傾斜による土地分級

土地分級	傾斜%	適正な土地利用と保全対策
耕作に適した土地 I	0 ~ 1	緑肥と輪作によって持続的営農が可能
II	1 ~ 3	带状作付、等高線栽培、テラス工などの保全対策が必要
III	3 ~ 5	グリーンベルト、带状作付などの総合的な農学的対策が必要
IV	5 ~ 8	テラス工、侵食防止工などの対策を講じて営農を行う必要がある
耕作に適さない土地 V	8 ~ 12	開発のち牧草地として利用できる
VI	12 ~ 18	開発のち放牧地として利用できる
VII	18 ~ 25	テラス工、排水路工などの保全対策が必要
VIII	傾斜度 25%以上	対策工を講じた上、林地などとの一体開発と営農が必要



急峻な山の斜面に造る棚田 (p.106)



中央の斜面では2人の農民が植えた稲を管理中 (山崎1998-161頁)

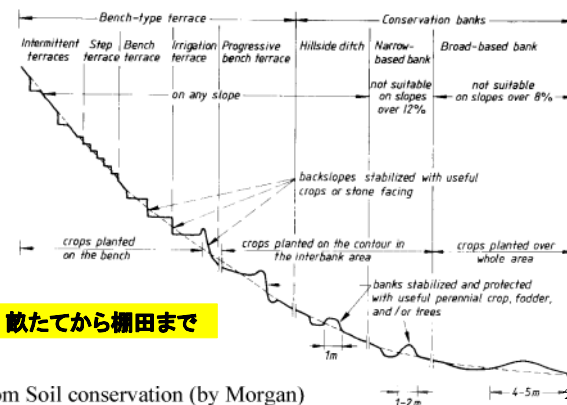
適切な維持管理をすれば非常に環境保全効果が高い

←2000年を超える棚田農業



左: バナウエ, Philippines
右: 大山千枚田, 千葉県

Soil Conservation Practice



From Soil conservation (by Morgan)

排水促進と土壌保全のジレンマ

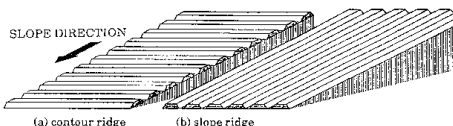
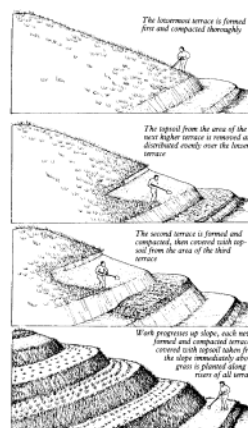


Fig. 2.2.2 Typical Ridge Farming Methods

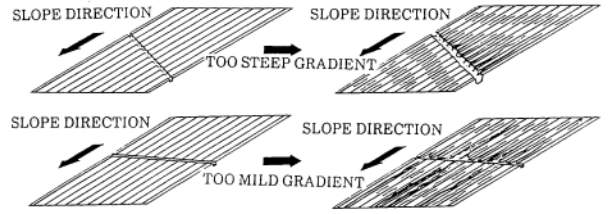


From Soil conservation (by Morgan)



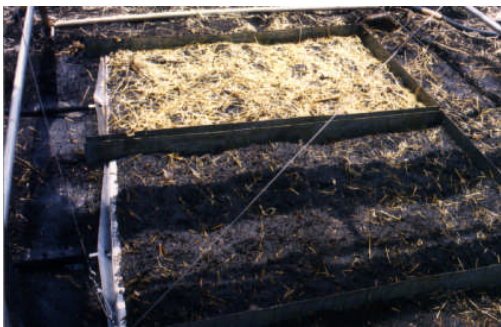
成長したキビに被覆されると

土壌保全法: 地表面流出の制御



Arrangement of **drain ditch**: effective surface drainage, smaller runoff velocity, strengthen flow path

マルチによる侵食抑制実験



• 農法的保全法Agronomic Practice

- 地表面の被覆Covering soil surface
 - マルチ (窒素飢餓のリスク)
 - 混植・・・アグロフォレストリ
- 地表面流出水速度制御 Reduce runoff velocity
 - 等高線栽培、マルチ
- 土壌構造、透水性の維持
 - 不耕起、減耕起
 - 深耕、耕盤破壊deep dillage, subsoiling

表面被覆があればもう少しましですか？



降雨時の裸地からの表面排水

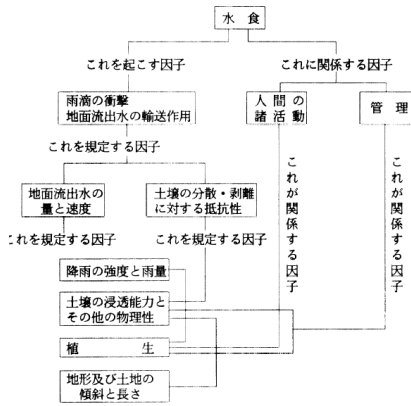


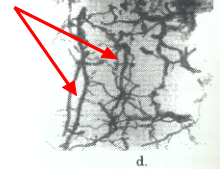
図 4.4.1 水食を支配する因子の相互関係

保全耕法 (不耕起、減耕起)

- 不耕起、減耕起は、燃料、人件費の削減だけではなく、土壌中の粗孔隙の保存により透水性を維持する効果がある。
- 慣行耕起は、上図のように土を攪拌し柔らかくする一方で、粗孔隙を減らし、クラスト形成の影響を顕在化する。
- 耕起には、雑草対策の意味があり、不耕起を進める場合は、雑草管理の方策を検討する必要がある。(特に日本の場合)



Macro pores disintegrated roots, soil fauna, etc. Enhances saturated permeability



X-ray photograph: cross section of soils

表 4.4.10 熱帯地方で水及び土壌保全に活用されている被覆作物の種類 技術マニュアル(水土総研)

被覆作物名	使用国	備考
牧草		
Axonopus micay	コロンビア	Perea Rivas (1983)
Brachiaria brizantha	スリランカ	Roberts (1981)
Brachiaria dicumvans	コロンビア	Perea Rivas (1983)
Brachiaria mjtica	フィリピン	Pacardo (1983)
Cinchrus ciliaris	パエジエカ	Paez et al (1983)
Eragrostis curuua	スリランカ	Manipura (1972)
Panicum antidotala	インド	Bajpalet al (1975)
Panicum coloratum	ケニア	Thomas (1975)
Paspalum notatum	中国	Jean and Juanh (1979)
Paspalum copjugatum	マレーシア	Liang (1978)
Pennisetum Purpureum	インド	Bajpai et al (1975)
マメ科の植物		
Centrosema Pubescens	マレーシア、フィリピン	Pacar do (1983)
Desmodium byergeri	中国	Qang et al (1975)
Ocuna pruriens	西アフリカ	Ukigbo and Lal (1977)
Phaseolus aconitifolius	インド	Bajpai et al (1975)
Psophocarpus palustris	西アフリカ	Ukigbo and Lal (1977)
Pueralia phaseoloides	コロンビア	Perea Rivas (1983)
Stylosanthes deeringianu	ナイジェリア	Wilson and Lal (1982)

土壌保全法(水食対策)

Problem to be solved

- 地表面流出の頻度と量:
 - 浸入の促進
 - ↑土壌構造の安定(透水性を高く維持)
- 地表面流出の流速と流路を制御:
 - (Mechanical(physical) works、土木)
 - 均平、テラス
 - 表面摩擦 (fence, mulch, bigger aggre.)
 - 承水路,排水路 drainage ditches and water ways