

土壌圏の科学 12月4日

1. 前回の出席表へのコメント
2. 土壌浸食の影響
3. 米国の保全対策(CRP)
4. 水食の要点(降雨の浸入)

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/

砂漠化で毎年540億円の損失 4億人の生活に影響
「人民網日本語版」2008年11月26日より

- ・ 中国国務院発展研究センター工業交通貿易司の唐元司長は25日、中国の砂漠化による直接経済損失は毎年540億元に達し、4億人近くの生産と生活に影響を与えていることを天津市で行われた「第4回海洋強国戦略フォーラム」で明らかにした。「新華社」が伝えた。
- ・ 唐司長は、中国は世界でも砂漠化の危害が最も深刻な国の一つだとし、砂漠化は国土の18.1%にまで進んでいる。全国の水土流失面積は356万平方キロ、砂漠化土地面積は174万平方キロで、90%以上の草原が退化している。この砂漠化により、湖は干上がり、大量の粉塵が舞い上がり、砂嵐が頻繁に発生し、北京や天津など中国北部地域に住む人々の健康や生活にまで深刻な影響をもたらしている。

農地の劣化と食糧供給

- ・ 農地劣化(侵食)が世界の食糧供給に緊密に関わっている。
- ・ もっと広く言えば、侵食は大きな環境・社会問題

The Guardian Saturday February 14, 2004

An area big enough to feed Europe - 300m hectares (300万km²), about 10 times the size of the UK - has been so severely degraded it cannot produce food, according to UN figures.....

Soil erosion as big a problem as global warming, say scientists
Tim Radford in Seattle.....

農地の荒廃

- ・ 年間5~7万km²の農地減少に相当する生産力低下(UNEP,1983)
- ・ 途上国で0.37ha/人('80)⇒0.25ha/人(2000)
- ・ 人口増加に対応するため
 - 反収が不変なら1980年+1.5~2億haの造成が必要(FAO 1981)
 - 現状: 農地面積は頭打ち(造成分≒荒廃分)

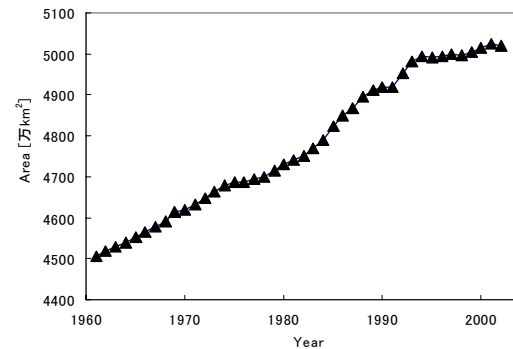


Fig. 世界の農地面積の推移 (FAOSTATより)

土壌保全の重要性

- ・ 平均的な土壌の厚さは表層30cm程度で、重さ換算では約 400,000 (t km⁻²)
- ・ 土壌生成速度は 100 to 1,000 (t km⁻²yr⁻¹).
- ・ 土の更新速度は気候によって異なるが大よそ 400 to 4000 年.
 - 侵食があっても収量はある程度上がるが将来的には必ず収量が低下する。
- ・ 人間の時間スパンで考えると、土は再生可能な資材ではない(どちらかと言うと化石資源と同じ類)

土壌の生成

一次鉱物(岩、レキ、砂)
二次鉱物(粘土) ← 物理的、化学的作用で一次鉱物から作られたもの(風化過程)
化学的風化: 溶解⇒反応⇒沈殿⇒粘土
風化: 温度(高いほど化学反応が進む)
水(反応の媒体)
物理的風化: 研磨、機械的に細粒化
1000年単位で進む現象

Soil ...2

- ・ Classes of particles size
 - レキ、岩 gravel and rock d>2.0 mm
 - (地盤工学では.....)
 - 砂 sand 0.02 < d < 2.0 mm
 - シルト silt 0.002 < d < 0.02 mm
 - 粘土 clay d < 0.002mm = 2 μm
- ・ シルト以上の大きな粒子は水中ですぐに沈降するが粘土は沈まない。(シルトでも10cm沈降に1分近くかかる)



大きい重い粒子が残る

千川明氏撮影

- ・ 粒子の径が大きいほうが
 - 土壌が流れない(重い)
 - 隙間が大きい⇒透水性が高い
- ⇒土壌構造、団粒の安定化
 - infiltration 浸透の維持促進
 - detachment 流亡に対する抵抗性増大



侵食の影響

従来型の問題 (土地生産性の劣化)

- 肥料成分の喪失
- 農業設備等の劣化 (水路、池、河床への堆積)

新しい問題 (農地周辺の環境劣化)

- 流亡土粒子に付着して移動する化学物質
重金属、ダイオキシン、農薬
- 濁水による生態系の変化

土壌流亡と生産性維持

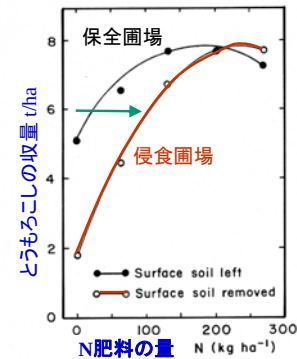


Fig. 20-2. Effect of N fertilizer on yield of corn grain on artificially exposed Marshall subsoil (Engelstad and Shrader, 1961).

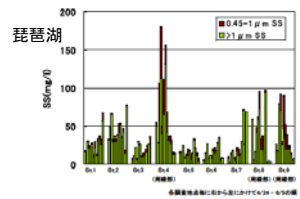
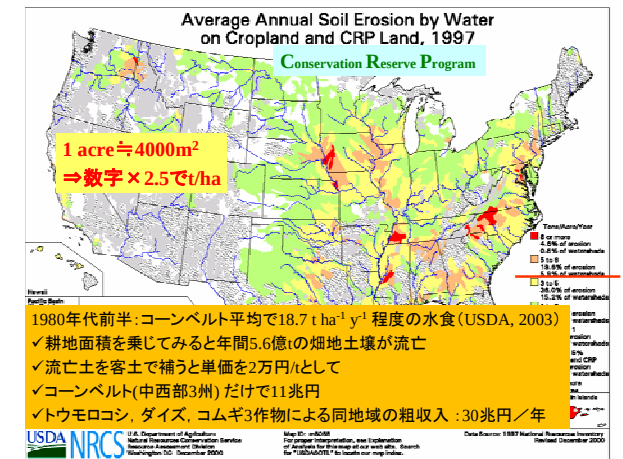


図2: モシ河におけるSS濃度

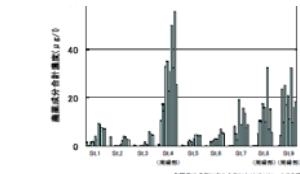


図3: モシ河における農薬成分の合計濃度
滋賀県水産試験場 (2006)

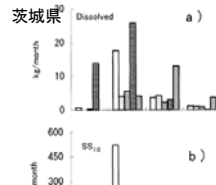
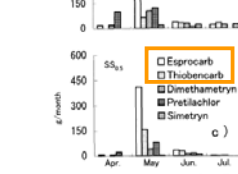
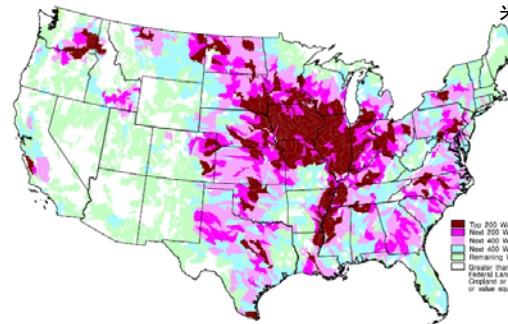


Fig. 4. Amounts of loading of pesticides as dissolved and adsorbed forms (SS₁₀ and SS₁₀₀) from April to July 2003, at Iinuma river.



Kawakami 他, J. Pestic. Sci. 31(1):6-13 (2006)

土壌水食危険度マップとそれに基づいた対策 米国の例



集水域の土壌水食危険度マップ(1997年)

<http://www.nrcs.usda.gov/technical/NRI/pubs/wqpost2.html>

第2表 農地保護プログラム(CRP)実施項目の例 USDA Farm Service Agency, Conservation Reserve Program Statistics,

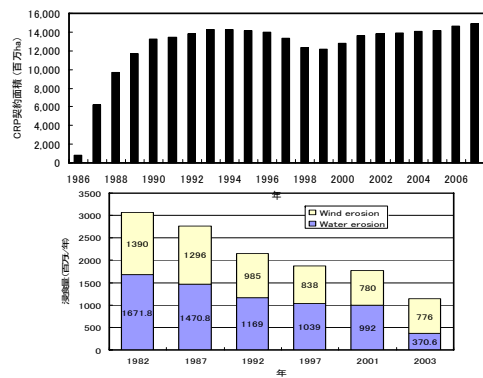
第2表 CRP 実施項目上位 (2007 年度)	
保全行為	2007 会計年度 登録面積 (万 ha)
導入済みの草本・豆類被覆	620.8
在来の草本の新規導入	291.3
草本・豆類被覆の新規導入	136.6
恒久的な野生動物生息域の設定	105.9
湿地の回復	67.0
貴重種・減少種の生息域設定	49.6
既存の林地	46.7
草生帯	42.9

CRPを実施する契約→補助金の支給

15

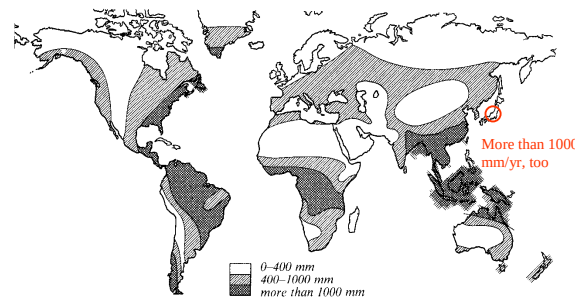
農地保全プログラム(CRP)契約数(1986年開始)と侵食量

USDA Farm Service Agency, Conservation Reserve Program Statisticsから作成



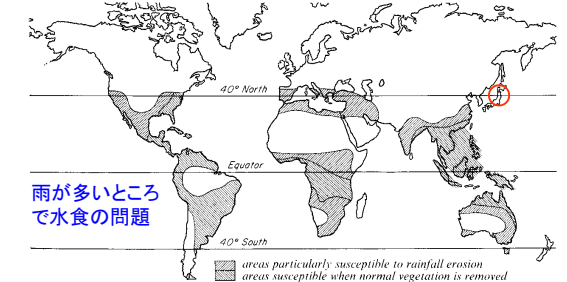
16

Rainfall in the World



Soil Conservation (Hudson, 1995)から

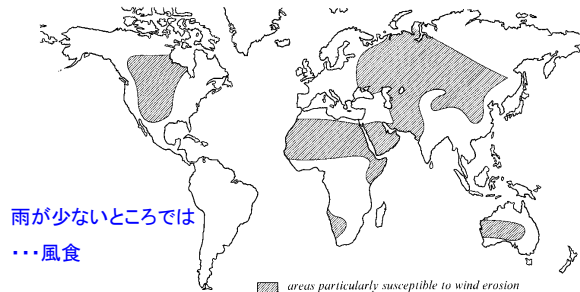
Water Erosion in the World Corresponding to regions having high precipitation



Soil Conservation (Hudson, 1995)から

Wind Erosion in the World

Where we have less water erosion



Soil Conservation (Hudson, 1995)から

干川明氏撮影

石垣島

~ 2000mm/yr



5になったキジ苗はもう一度植え替えねばならない。上からの長さ150m下の市10m



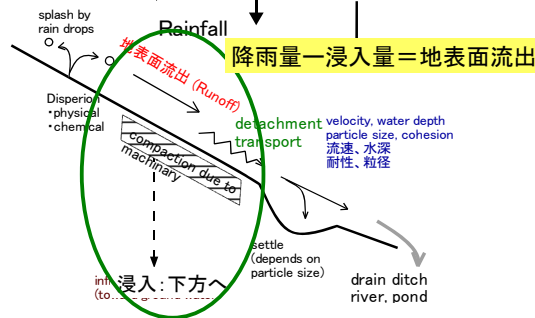
左図の上流部分。深さ40cm、11m長さ50m



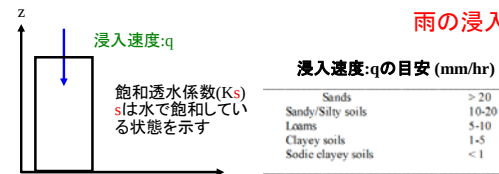
大区画圃場の浸食

Kansas 2004 Strong wind and dust

雨に、沢山降れば浸食も多い(台風時)
傾斜していればさらに増える
土(地域)によって程度が異なる



降雨量 - 浸入量 = 地表面流出



雨の浸入

浸入速度: qの目安 (mm/hr)

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

土中の水の流れ

ダルシー式 (仏の水道技術者Darcyが提案)

一次元の時 (鉛直上向きをz軸の正方向とする)

$$q = -K \left(\frac{dH}{dz} \right)$$

$$H = h + z$$

q: 流量 (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) = m/sec

H: 全水頭 (水圧の水深表示) mH₂O

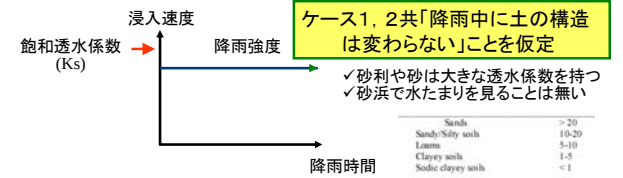
h: 水圧の項 (水と土の相互作用)、サクシオン mH₂O

z: 位置エネルギーの項 (重力) mH₂O

土の水分が低いほどhの値は低くなる (負値になる)

ケース1: 透水係数 >> 降雨強度

雨の浸入

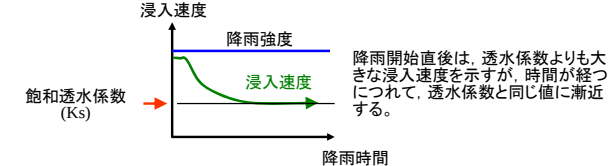


ケース1, 2共「降雨中に土の構造は変わらない」ことを仮定

✓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

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

ケース2: 透水係数 < 降雨強度 (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。

保水性 (水分量 (θ) とサクシオン (h) の関係) は土によって大きく異なる

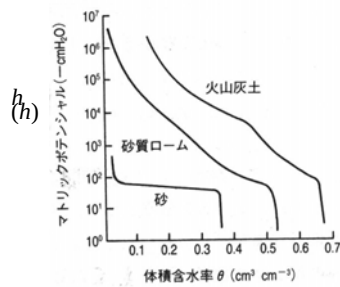


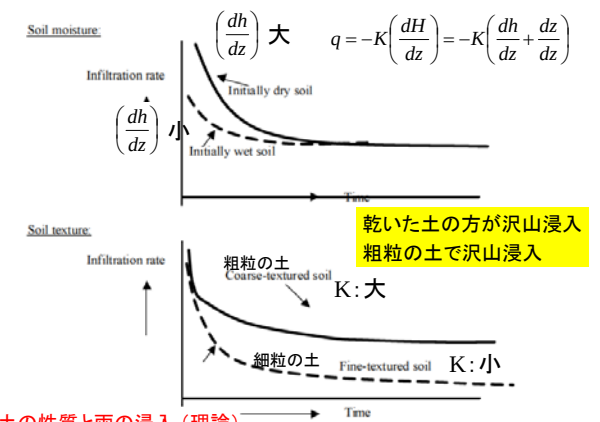
図 1.4 水分特性曲線 (中野ら, 1995)

サクシオンと土の状態

不飽和地盤の挙動と評価 (地盤工学会)

保水性の試験方法	土中水のポテンシャル値	土の状態	
		農学上の用語	工学上の用語
$\log(-\psi_r)$ ψ_r : kPa	$\log(-\psi_r)$ ψ_r : kPa	$pF = \log(-\psi_r)$ ψ_r : cmH ₂ O	
5.5 5.2	6.0		乾燥
3.5 3.2	4.5	5.5	気乾燥
3.2	3.2	4.2	永久しおれ点
3.0	3.0	3.5	初期しおれ点
2.5	2.0	3.0	成長阻害水分
1.5	0.5	1.8	圃場容水量
1.0	0.5	1.5	液性限界
0.5	0.5	0	最大容水量

植物の生育は水の量よりもサクシオンで決まる。



土の性質と雨の浸入 (理論)

実際にはどうなるか・・・理論どおりになるか？

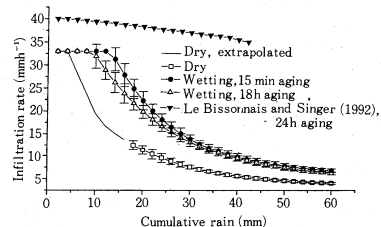


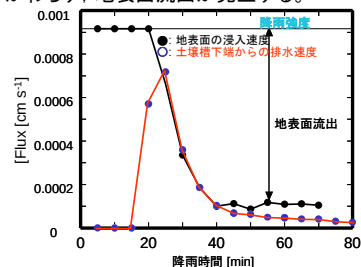
図-4 初期水分と Grumusol への降雨の浸入の関係 (●, △は -0.2 kPa, ▼は -1.0 kPa で初期水分を調 3, 図中の縦棒は, 2 標準偏差を示す。) (Levy et al.1997)

Text books usually say **dry soil may accept more rainfall**, however, drop in infiltration as a function of rainfall behaves differently. **Initially dry soil shows quick drop in infiltration rate during a rainfall.**

初期水分と雨の浸入の実験結果

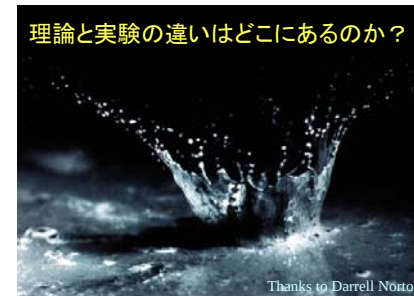
実際にはどうなるか(その2) 透水係数の大きな土における降雨の流出

下图の条件: 降雨強度32mm/hr, 飽和透水係数360mm/hr にもかかわらず, 地表面流出が発生する。



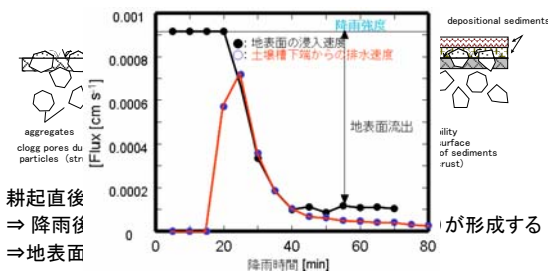
乾いたクロボク土(山梨県産)の例

理論と実験の違いはどこにあるのか？



- ①水クラウンで舞い上がった土粒子が沈降・堆積する。
- ②土壌中の間隙に流れ込んで目詰まりする。

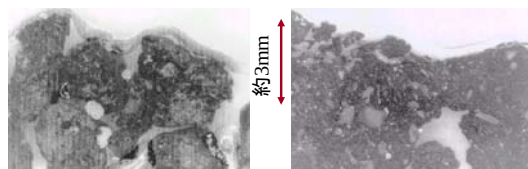
どうして降雨の浸入が減るのか？ 降雨中の降雨による土壌構造の変化



耕起直後
⇒ 降雨径
⇒ 地表面

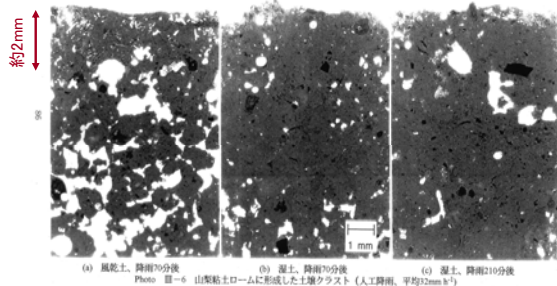
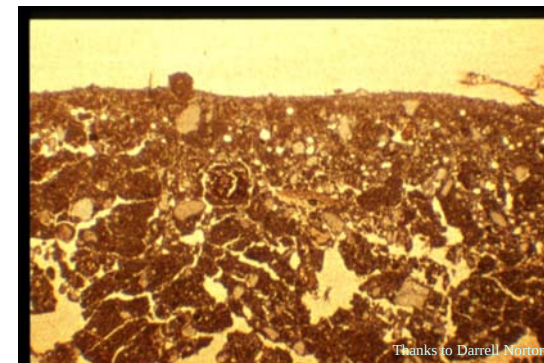
が形成する

降雨後の地表面の土壌構造



凝集的な条件下: 団粒構造が安定

分散的な条件下: 団粒が分散して、塊が消失した。
クラストの形成



(a) 風乾土, 降雨70分後 (b) 湿土, 降雨70分後 (c) 湿土, 降雨110分後
Photo 図-6 山梨粘土ロームに形成した土塊クラスト (人工降雨, 平均32mm h⁻¹)

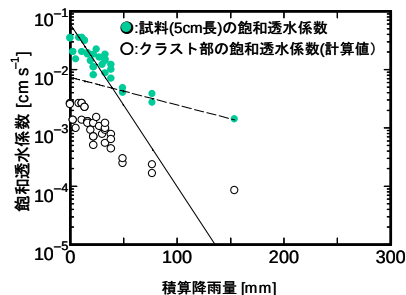
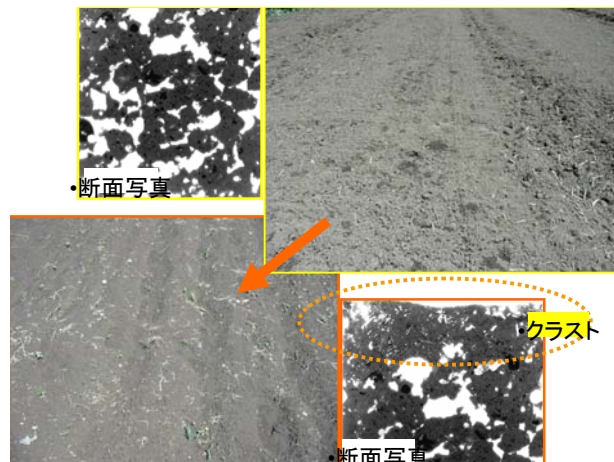


Fig.5 クラスト形成に伴う透水係数の低下
(山梨粘土ローム)

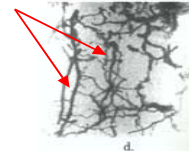




保全耕法 (不耕起、減耕起)

- 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、上図のように土を撈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。

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



X-ray photograph: cross section of soils

Conservation Tillage (validation)



...sometimes problem in plant nutrition, nitrate starvation arises. ⇒ needs consultation of soil chemists

<http://www.rolf-derpsch.com/notill.htm>

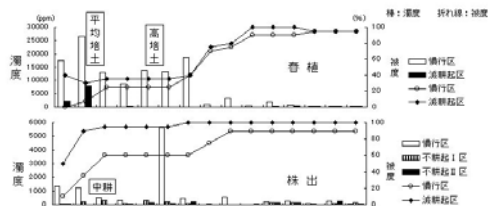


図2. サトウキビ畑における地中(トラッシュと種)と地表水の濃度の変化 (株出の不耕起I区は下部種生帯+サトウキビまで、2区はサトウキビのみ不耕起管理)

図2 サトウキビ畑における地中(トラッシュと種)と地表水の濃度の変化

サトウキビ畑の減耕起更新法(香穂)および不耕起管理法(株出)による土砂流出防止 [要約]

減耕起更新法を香穂で機械収穫後のうね間に行うと、旧株の萌芽芽による坡度の急激な増加によって、土砂流出が抑制される。また、不耕起管理法を全層破砕機を利用して株出で行うと、表面の作物残渣が残って土砂流出が大幅に抑制される。 沖縄県農業試験場・作物部・農作研究室、経営機部・農業機械研究室

不耕起によるN、Cの蓄積

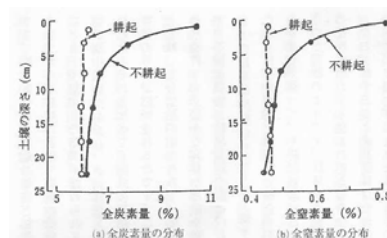


図3(6) 耕起および不耕起による窒素・炭素量の分布 (金沢, 1993) 当然のことであるが、耕起土中の炭素量・窒素量の分布は一般となっている。不耕起土中の炭素量・炭素量が耕起土のそれより多い。

生物多様性への利点

- 耕起⇒土壌動物の虐殺→不耕起の有利性
 - 雑草対策が不可欠(とくに湿潤の日本では)
 - 不耕起では溶脱が増す(⇒地下水汚染)
- 堆肥や有機農法の優越性も生物多様性に関連する？
- 農家は、これを受け入れることができるか？
 - 粗放的農業と集約的農業
- 多様性の評価はいかにして????

マルチ
表面被覆があればもう少しましかな？



マルチがあると少なくとも流出水が濁りにくい



マルチは効果的 but マルチの材料の確保とマルチの施工の人件費が課題

圃場内における対策

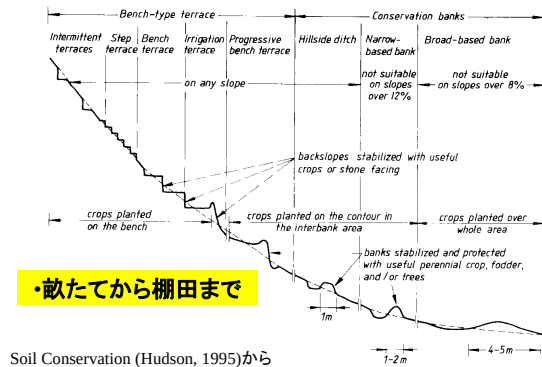
土壌の透水性を維持→減地表面流出
水たまりを作らないように

団粒化(土塊化)を促進→減土壌流出
流出水が濁らないように

土壌中の粘土を凝集的な状態に維持することが重要

...が、それが難しい！！

•Soil Conservation Practice



•畝たてから棚田まで

•Stop water erosion: control runoff



農業土木学会誌口絵写真より



日本の水田世界の水田 (田淵俊夫)より

•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