

「環境土壌学 1」

講義資料は下記 HP よりダウンロードして下さい。

<http://www.ipc.shimane-u.ac.jp/ecotech-soil/>

講義内容

1. 土壌の材料と生成
2. 土壌の分類と世界の土壌
3. 土壌の物理性
4. 土壌の化学性
5. 土壌の生物性
6. 作物の生育と土壌
7. 各種生態系における土壌環境の違い
8. 環境問題と土壌

「土壌の材料と生成」

1. 土壌の材料

1. 1. 造岩（一次）鉱物

- ・ マグマが冷却される過程で形成される均質な無機物
- ・ 岩石の構成成分
 - 火成岩：一次鉱物が主体
 - 堆積岩：一次鉱物の石英、長石と二次鉱物が主体
- ・ 2000 種以上あり、そのうち主要なものは
 - ケイ酸塩鉱物：長石、石英、輝石、角閃石、雲母、カンラン石など
- ・ ケイ素四面体の結合様式により 6 種類に分類され
 - 構造が複雑になるほど風化抵抗性が高まる

1. 2. 二次鉱物

一次鉱物が物理化学的な風化を受けて生成する（粘土化）

- ・ 層状ケイ酸塩鉱物（1 : 1、2 : 1、2 : 1 : 1 型）
 - カオリナイト、ハロイサイト、
 - スメクタイト群（膨張格子型鉱物：湿潤状態で膨張する）
 - バーミキュライト、イライト、ブルーサイト、クロライト
- ・ 非晶質、準晶質鉱物
 - アロフェン、イモゴライト
- ・ 酸化物、和水酸化物鉱物
 - オパーリンシリカ、アルミニウム鉱物（ギブサイト、ベーマイト）、
 - 鉄鉱物（ヘマタイト、ゲータイトなど）
- ・ リン酸塩、硫酸塩、炭酸塩鉱物

1. 3. 腐植

動植物残渣等の原型をとどめた有機物を除くすべての土壌中の有機物を土壌有機物

- ・ 鈹質土壌（岩石由来の比較的有機物の少ない土壌）：0.5-5%
- ・ 黒ぼく土壌：8-40%
- ・ 泥炭土：20-100%

腐植は次の二つの物質に分けて考えられる。

非腐植物質：植物成分や微生物の生産物で生化学的に既知の化合物

多糖類、タンパク質、ペプチド、脂質、有機酸など

腐植物質：植物残渣や微生物遺体から生成される暗褐色の高分子有機酸の混合物

リグニン、ポリフェノール、セルロースなど多糖類、アミノ酸化合物が分解を受けて残った難分解性部分が粘土や Al, Fe などと結合して複合体を形成しより安定化する。

腐植物質は土壌生態系のなかで多くの役割をはたしており、その機能は土壌の化学性、物理性、生物性のすべてに関わる

- ・ 植物養分供給能（分解して成分を放出）
- ・ 植物養分保持能（カルボキシル基などに由来する高い陽イオン交換能により養分を吸着保持する）
- ・ 植物生育促進能（土壌物理化学的環境の改善による植物の根系を発達効果）
（酸性土壌における活性 Al を Al 腐植複合体として不活化）
- ・ 団粒形成能（土壌微生物の活性化に伴う多糖類やウロン酸などの粘着物質の増加）

2. 土壌の生成

2. 1. 風化作用

風化作用とは：「地殻の表層にある岩石が地表に作用する様々な営力によって物理的、

化学的に破壊されてルーズな含水物質を、生じる作用である」

つまり地表に露出した岩石が風雨にさらされたり植物の根他生物の活動によって破壊されること

- ①物理的（機械的）風化作用 = 岩石の崩壊・破壊（水の氷結融解や氷河、砂、水による侵食）
- ②化学的風化作用 = 岩石の溶解、分解 → 鈹物種の変化

2. 2. 土壌生成作用

土壌生成作用とは：「生物および有機物の存在化において、母材から層位分化した

一定の形態的特徴をそなえた土壌体（土壌粒子その他の物質の集合体）が生成される過程」

常に風化作用と並進しており厳密に風化作用と分ける事はできない

物質の移動、変換、溶脱、付加 作用 → 層位の分化（視覚や触覚で違いが判別できる層）

- ・ リター集積、腐植集積、泥炭集積、塩基洗脱、粘土溶脱、ポドゾル化、グライ化、土壌攪乱など

土壌層位の記号 (O: 堆積腐植層, A: 腐植含有量の高い黒灰色の無機質層, E: 灰白色の漂白層
B: 鉄アルミの酸化物の集積・土壌構造の発達層, C: 構造の無い無機質層, R: 母岩)

次の要因が土壌生成に作用する

① 気候

太陽光の照射量の差が地域により生じる

→ 温度、降水量、蒸発散量、生物活性量に影響

② 生物

- ・物質の移動集積 (有機物の供給、Pの集積)
- ・土壌粒子の移動 → 土壌構造発達
- ・鉱物の溶解 (生物からの二酸化炭素や有機酸の放出)

③ 地形

地表での熱、水、風の再分配

- ・熱量変化による化学反応速度の変化 (日射量、高度)
- ・降水分布 (鉱物の溶解、物質移動)
- ・風 (物質移動)

④ 地質・母材

組成の違い → 土壌肥沃土

→ 風化・土壌生成速度

⑤人為

農林業、建設 → 物理、化学的作用、物質移動

工業 → 環境への物質放出、酸性雨、重金属

2. 3. 土壌の形態変化

- ・構造 三相 (気、液、固相) の割合、孔隙サイズ、分布
物理性の指標となる
 - ・植物の根の伸張
 - ・通水性、通気性
 - ・固さ
- ・色 化学組成の違い 水分、通気状態 酸化還元状態
化学性の指標、(養分状態など)
 - ・黒色: 有機物、Mn、硫化鉄の存在
 - ・赤、黄色: 酸化鉄 (古い土)
 - ・灰色: 還元鉄 (水の存在)
 - ・白 (透明) 色: ケイ酸 (無機養分の溶脱)
 - ・有色: 無機養分の存在
- ・層位の厚さ、種類 → 環境状態、変化の指標
 - ・厚いB層: 古い土壌、侵食が少ない
 - ・埋没土: 過去に地殻変動、洪水や火山噴火

「土壌の分類と世界の土壌」

1. 土壌の分類

土壌生成因子や特徴的な土層（黒ボク堆積、溶脱層など、ある特定の特徴を示す土層）の有無によって分類する

国や地域、分類の目的によりいくつもの分類体系が存在している

実用分類：作物生産など実際面の属性（有機物、水、肥沃度、硬さなどの因子）に重点

自然分類：実用的な利用を直接の目的とせず、土壌の自然像や生成に重点

施肥改善、地力保全調査に基づく土壌分類(1977)であり、実用的分類

例)

- ・ 林野土壌の分類：森林土壌の形態的、機能的特徴に基づく分類体系であり、特徴層位（土壌生成作用を異にする特徴的な土壌層）の発達程度や土壌構造の相違により区分する。
- ・ 土地分類基本調査の土壌分類(1971)：経済企画庁（現国土交通省）による農地や林地などの土地利用にとらわれない分類体系
- ・ 土地利用別の諸分類
 - 水田土壌分類
 - 桑園土壌の分類(1966) 絹は戦後の重要な輸出品であった
 - 開拓土壌分類(1961)

2. 世界の土壌

各土壌の分布は気候、生物（植生）、地形因子と関係している。大陸内部では緯度方向に平行な土壌配列がある。これを成帯性と呼び、気候帯や植生帯と対応する。

気候帯の変化 → 温度、降水量の変化 → 土壌の変化
→ 植生の変化

- ・ 世界に分布する土壌の 80% 近くは比較的生産性の低い土壌（アメリカ合衆国農務省の分類体系）
- | | | | |
|------------------------|-----------|---------|-----------------------------|
| Spodosols | スポドゾル | 2.58 % | （有機物や遊離 Fe, Al の集積層を持つ酸性土壌） |
| Aridisols | 乾燥地土壌 | 12.10 % | |
| Ultisols | 赤黄色土、古い土壌 | 8.52 % | |
| Entisols, Inceptisols | 若い土壌 | 26.20 % | |
| Oxisols | 老化土壌 | 7.56 % | |
| Gelisols | 永久凍土 | 8.61 % | |
| Shifting Sands or Rock | さばく | 14.07 % | |
| | | 79.64 % | |

ただし、アジアでは Inceptisol が水田として利用され高い生産性をあげている。

比較的生産性の高い土壌は：Histosols（泥炭土）、Vertisols（反転土壌）、Alfisols（成熟土壌）、Molisols（有機質土壌）Andisol（火山灰土壌）

「土壌の物理性」

物理性 は 保水、通水、排水性、通気性、易耕性、根伸長、物質の貯留と移動に関わる

1. 土壌の三相

固相、液相、気相（液相と気相が孔隙）

2. 三相分布と容積重

土性（粒径組成）		透水、保水性
有機物含量	三相分布	通気性
鉱物特性	→ 容積重に	→ 根伸長など
コロイド特性	影響	に影響する

粘土質土壌：保水性は高いが有効水分（植物の利用できる水分）は少ない

砂質土壌：透水・通気性が高いが保水性は低い

3. 粒団の生成と土壌構造

粒団：有機物、コロイド状ケイ酸、鉄、アルミニウムにより結合した粒子集合体

粒団同士は更に複合した粒団を形成する

良好な保水性と排水性、通気性を維持する

4. 水の保持

（圧力の単位） $1\text{kPa} = 102.5\text{ mmH}_2\text{O} = 0.01\text{ atm}$ （気圧）

参考） $pF = \log(-10.2\text{kPa})$ ： $pF\ 1 = 1\text{kPa}$ $1\text{mmHg} = 13.3\text{ mmH}_2\text{O}$

a. 毛管（小孔隙）による水の保持：毛管サイズが小さいほど保持力が大きい

砂質土 → 水分保持力が小さい

粘土質土 → 水分保持力が大きい

b. 粒子表面への吸着による保持

吸着水のポテンシャル＝大気（土壌空気）の水ポテンシャルと 平衡状態にある

c. マトリックポテンシャル 土壌粒子による毛管と吸着による吸水力

マトリックポテンシャルが小さい → 水保持量小さい（乾いている）

d. 土壌水分保持曲線

砂質土 → マトリックポテンシャルの変化に応じて水分保持量の変化が大きい

粘土質土 → 同上 変化が小さい

e. 水分恒数：所定のマトリックポテンシャルでの土壌環境

①最大容水量：飽和水量

②圃場容水量：降雨後24時間後の水分保持量

毛管孔隙に保持される水量

- ③毛管連絡切断含水量：③- ② 易有効水
- ④初期萎ちょう点：植物が一時的にしおれる 水をやると回復する
- ⑤永久萎ちょう点：植物がしおれて枯死する

5. コンシステンシー

- ：水分状態により土壌の力学的挙動が変化すること 例) 土壌の液状化現象
- ・農地の耕作性 (特に機械耕作に重要)
 - ・建築物の土台としての安定性

6. 水の移動

a. 透水係数

- ・孔隙の粗い土壌は透水係数が大きい
砂質土 ($10^{-4} \sim 1 \text{ cm/s}$) > 粘土質土 ($10^{-7} \sim 10^{-3} \text{ cm/s}$)
粘土質土壌でも構造 (粒団) の発達した土壌では大きくなる
- ・容積重が大きいと小さくなる

b. 不飽和浸透

実際の土壌条件下では、湛水土壌を除いて不飽和浸透

- ・マトリックポテンシャル、土壌の乾燥度合いに応じて変化する
湿条件 砂質 > 粘土質 (粗孔隙のバイパスフロー)
乾燥条件 (< -200kPa) 砂質 < 粘土質 (毛管浸透)

6. 土壌侵食

- a. 侵食 (erosion) : 風や水 (雨滴、表面流去、洪水) の営力
通常自然条件下で 山地 0.5 mm/年 (5 t/h a/年)
その他 0.05 mm/年 (0.5 t/h a/年)
しかし植生による被覆が失われると $1.5 \text{ mm} \sim 3 \text{ cm}$

b. 侵食性 (erodivity) 侵食を起こす要因の強さ

- ・降雨係数：雨の強さ
台風や集中豪雨の多い地域 > 積雪凍結地帯
- ・風 風速 3 と時間 (風の強さと量)
降雨と蒸発量 (土壌の乾燥度合い) を考慮
湿潤地域 < 乾燥地域

c. 受食性 (erodivility) 土壌の侵食に対する抵抗性

- ・土壌の構造 (粒団の安定性)
- ・水の土壌への侵入能 が受食性に影響

「土壌の化学性」

土壌の肥沃度や pH 変化に対する緩衝能に関わり、植物や微生物の生育環境としての質を表す指標となる

1. 土壌溶液

- ・土壌溶液とは土壌の微細間隙に保持され土壌中の様々な物質を溶けている水の事
- ・植物が吸収する養分（物質）は主に土壌溶液中に溶けている養分（物質）
- ・土壌溶液の組成は土壌の固相物質、土壌空気、生物との相互作用によって決まる
→ 土壌によって土壌溶液組成は異なる

2. 土壌のイオン吸着機構

a. イオンの吸着・交換反応

土壌の固相・液相は電気的中性を保つため、ある陽・陰イオンが吸着された時、他の陽・陰イオンが交換放出される。

b. 層状ケイ酸塩による陽イオン吸着

同型置換：層状ケイ酸塩鉱物中の Si や Al がより電荷の小さな金属原子の置換により粘土鉱物がマイナス電荷を持つ

c. 陽イオン交換容量：土壌肥沃度の指標

pH7 条件下あるいは現場条件下での最大の陽イオン交換容量

d. 交換性陽イオン組成

主要な陽イオン：Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺, Al³⁺, H⁺, Fe²⁺, Mn²⁺, NH₄⁺
塩基
還元条件下で存在

・交換性陽イオン組成の決定要因

- ・土壌溶液の組成：塩基の溶脱や酸化還元状態により変化
- ・イオン交換基の選択性

3. 変位荷電と陰イオンの吸着

土壌（溶液）の pH で変化する荷電

鉱物粒子縁辺部の O²⁻イオン（破壊原子価）：酸化鉄鉱物の Fe-OH、

層状ケイ酸塩鉱物の縁辺部やアロフェンなどの非晶質アルミニウムケイ酸塩表面の Si-OH や Al-OH

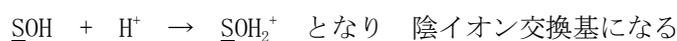
腐植物質のカルボキシル基：R-COOH

H⁺に対する選択性が高く通常はイオン交換基として働かないがこれらは弱酸性あるいは両性の表面官能基であり、pH 条件によって、陽・陰イオン両方の交換基となる。

・弱酸- アルカリ溶液中では



・強酸（pH4 以下）溶液中では



陰イオンの選択性は $\text{H}_2\text{PO}_4^- \gg \text{SO}_4^{2-} \gg \text{NO}_3^-, \text{Cl}^-$

4. リン酸イオンと Fe, Al (のオキソ酸イオン) の配位子交換による吸着

Fe・Al 酸化物鉱物やアロフェン表面の Fe や Al イオンに配位 (共有結合) した OH-がリン酸イオンと交換して吸着するので配位子交換反応と呼ばれる

ホウ酸やヒ酸もリン酸と同様に Fe, Al と配位子交換する

5. 酸化と還元

土壌中の酸化還元反応とその特徴

たんすい条件など大気から分子状酸素が土壌への侵入が制限された条件では、微生物が呼吸のために、分子状酸素ではなく酸化鉄、水酸化鉄、酸化マンガン、硫酸イオン、硝酸イオンなどを還元する反応を触媒する酵素を生産し有機物の酸化 (呼吸) を行う。土壌中での重要な酸化還元による物質変化である。

- ・ たん水した土壌における酸化還元反応と物質変化
- ・ たん水にすることのメリット : 鉄の還元によるリン酸の溶出
- ・ デメリット : Fe^{2+} , Mn^{2+} の過剰害 HS の発生による根の障害

6. 土壌の酸性とアルカリ性

a. 土壌 pH と土壌における酸・塩基 : 通常の土壌の pH 範囲は 3.5 - 10

・ 酸 (H^+ を放出する)



・ 塩基 (H^+ を受け取る)



b. 土壌の酸性化

低 pH、低塩基含量、高 Al^{3+} 、Mn, Zn, Cu, Fe により

細菌の活性低下、根の障害、養分欠乏、リン酸固定、重金属などの過剰害

①酸性化の機構

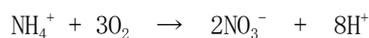
1) 降水

二酸化炭素や化石燃料の燃焼により生じた酸が降水に溶解し酸性となり、土壌中の塩基を溶脱する (降雨量 > 蒸発散量 の条件下において)

2) 生物残査由来や植物分泌物の有機酸

3) 施肥

尿素や硫酸アンモニウムなど酸根を持った化学肥料の酸化



4) 海洋性堆積物の酸化 干拓地など

パイライト (黄鉄鉱 FeS_2) の酸化 硫酸の生成



5) 植物の選択的な陽イオン吸収 根からの H^+ 放出

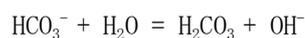
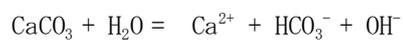
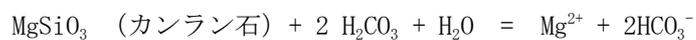
c. 土壌のアルカリ化

Caによるリン酸固定、溶解度低下による微量養分欠乏 Pb, Cu, Zn, Mn

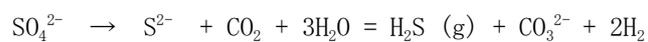
$\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NH}_3$ アンモニア揮散

①乾燥-半乾燥地におけるケイ酸塩鉱物の炭酸により溶解や炭酸塩の溶解

塩基と炭酸水素イオンを生成する



②土壌の強い還元



炭酸イオン、水素イオンがH⁺を消費する

d. 土壌の緩衝能

水素イオン、水酸化物イオンを中和あるいは保持できる酸・アルカリや交換基の量

①酸中和容量(ANC, acid neutralization capacity)

②アルカリ中和容量

「土壌の生物性」

1. 土壌中の生物

1. 1. 土壌生物の種類

- ・土壌微生物は各種物質の分解や酸化・還元反応など土壌の化学性に関与
- ・土壌動物は土壌の孔隙形成や構造発達など土壌の物理性に関与

a. 細菌(bacteria)

- ・細胞壁を有する単細胞の原核生物（ラン藻も） ・肥沃な土壌 1 g 当たり 1 0 億

b. 放線菌(actinomycetes)

- ・菌糸状の形態をとる細菌の総称 ・多用な有機物を栄養源にする
- ・糸状菌細胞壁構成成分キチンの分解 ・各種抗生物質生産→土壌伝染性病原菌の抑制

c. 糸状菌(fungi)

- ・真菌門のうち栄養繁殖期に菌糸状をなす接合菌、子のう菌、担子菌などの総称
- ・肥沃な土壌表層では菌糸長が土壌 1 g 当たり数 1 0 0 m に達する
- ・耐酸性で酸性土壌での有機物分解の担い手（森林生態系など） ・リグニン分解

e. 原生動物(protozoa)

- ・単細胞生物の総称：アメーバ、繊毛虫、鞭毛虫など
- ・動植物遺体や各種微生物を摂食 ・物質循環に寄与するが働きに不明の点が多い

f. その他

- ・藻類(algae)：緑藻やケイ藻 ・土壌動物(soil animals)：ミミズ、ダニ、トビムシほか

1. 2. 微生物のエネルギー源と栄養要求性 (p. 56 表 5.2)

- ・エネルギー獲得方法：光（光合成微生物）、無機、有機化合物（化学合成生物）
- ・炭素源：CO₂（独立栄養微生物）、有機物（従属栄養微生物）
- ・微生物のエネルギー利用＝呼吸
 - 電子供与体（有機物、H₂S, NH₄⁺, H₂ など）の酸化と
 - 電子受容体（O₂, NO₃⁻, SO₄²⁻, CO₂, 有機酸）の還元
 - O₂ 利用（好気性微生物）、それ以外（嫌気性微生物）

2. 土壌生物を介する各種元素の循環

a. 窒素の循環

- ・窒素固定、有機物の分解によるアンモニア化成、硝化、脱窒、有機化

b. リンの循環

- ・リン動態に関する微生物の働き
 - ①難溶性無機態リンの溶解促進：キレート物資の放出
 - ②微生物態への吸収、有機態リンの合成、
 - ③有機態リンの分解によるリン酸生成

c. イオウの循環

- ・微生物や植物による吸収と有機化、有機態イオウの分解、無機化、還元と蓄積
- ・鉱物の風化によるイオウの供給と硫酸イオンの土壌からの溶脱
- ・生物による硫酸の還元（従属栄養生物）：アミノ酸（吸収同化）、 H_2S （嫌氣的有機物分解）
- ・イオウの酸化（独立栄養生物）： $S^{2-} \rightarrow S^0 \rightarrow SO_4^{2-}$

3. 土壌酵素

- ・土壌酵素とは増殖中の土壌生物体内の酵素（体内酵素）を除く酵素群
- ・土壌中の有機物、無機物の形態変化には生物由来の酵素が関わっている
- ・土壌酵素は、粘土、土壌コロイド、腐食に吸着結合して安定化

4. 微生物バイオマス

- ・微生物バイオマス養分 (N, P, S) が作物の養分吸収にかなり寄与している
養分の放出速度：微生物バイオマス > 土壌有機物（腐植）
- ・土壌全炭素を 100 とすると、微生物バイオマス C は 2-3、N は 0.3-0.5、P は 0.1-0.2
土壌全炭素含量 2%、作土深 10cm、仮比重 1 の場合、微生物バイオマス C は 400-600、
N は 60-100、 P_2O_5 は 40-90 kg/ha に相当する
- ・微生物バイオマスの代謝回転速度：1.69 年（ローザムステッド試験場、100 年以上施肥試験）
- ・土壌を乾燥後再び湿潤状態に戻すと窒素の無機化量が増加：代謝速度の増加

5. 森林、草地、畑、水田の土壌生物

a. 森林土壌

- ・表層に堆積したリター層
針葉樹林では厚い堆積層（モル型土壌）：針葉中にリグニン、ポリフェノール
が多い葉が分解しにくい
広葉樹林では比較的薄い（ムル型土壌）：土壌中の有機物が深部まで多く土壌が発達
- ・落葉落枝の分解は主に糸状菌の働き

b. 草地土壌 土壌生物層は森林と畑の中間的な性格を有する

c. 耕地土壌（畑土壌、水田土壌）

- ・土壌動物相が貧弱：耕耘や農薬散布の結果
- ・好気性細菌が畑に多い
- ・嫌気性細菌、硫酸還元菌、脱窒菌は水田土壌に多い：還元状態
- ・下層土の肥沃土：水田 > 畑

d. 作物生産において重要な土壌微生物群

1) 窒素固定菌 Nitrogen Fixer

2) 菌根菌 Microrrhizal fungi

- ・植物の根に共生して菌根を形成する真菌類
- ・菌根菌の植物生育に対する効果：
乾燥や過湿に対する耐性、P の吸収促進、土壌病害に対する抵抗性増進

6. 植物根と微生物

a. 根圏と非根圏

- ・根近傍の土壌部位を根圏のことであり養分の減少や有機物分泌物、炭酸ガスの放出など根の活動により根から遠く離れた土壌部位（非根圏）の環境と異なる。
- ・根圏と非根圏ではそれぞれの環境条件の違いから土壌微生物群が異なる

b. 根圏微生物の変動要因（微生物の種類や数）

植物根から供給される有機物の量、組成

これらを変動させる要因として：

- ・植物側の要因：植物の種類、生育段階、根の部位、植物の栄養状態、植物の病気や障害、栽培密度、葉面散布剤
- ・環境要因：土壌の種類、土壌 pH、土壌水分量、土壌中の酸素や炭酸ガス濃度、土壌溶液の組成と濃度、生育温度、光量、微生物の根への感染など

c. 植物の生育に対する働き

- ①植物の養分吸収の増加
- ②土壌病原菌の感染抑制
- ③微生物の生理活性物質による成長促進
- ④植物の形態変化（小型化、地上部／根比の増加）
- ⑤植物のストレス耐性の強化

「作物生育と土壌」

1. 食料生産と土壌

- ・耕地面積の拡大は限界 → 単位面積当たりの生産量増加が必要
- ・最大効率、最小汚染農法が重要
土壌の潜在能力の最大限活用、低環境負荷の施肥管理

2. 土壌肥沃土の要因

a. 土壌肥沃度と土壌生産力

- ・土壌肥沃度：植物の生育に必要な土壌養分の供給力
- ・地力：植物の生育に関わる土壌の化学的・物理的・生物的諸性質の総合
- ・土壌生産力：地力と栽培環境（気象条件、栽培法）の組み合わせで成り立つ作物生産能力

基準項目：①表土（作土）の厚さ

②有効土層（作物根が伸長できる深さ）

③表土のれき含量

④耕耘性（難易さ）

⑤湛水透水性（畑作では除く）

⑥酸化還元性（畑作では除く）

⑦土地の乾湿（水稲では除く）

⑧自然肥沃度：保肥力、固定力、土層の塩基状態（p180、表 11.1）

⑨養分の豊否：交換性 Ca, Mg, K、有効態 N, P, Si、微量元素含量、酸度

⑩障害性

⑪災害性

⑫傾斜（水稲では除く）

⑬侵食のおそれ（水稲では除く）

b. 作物栽培における下層土の役割

- ・作物の根域：根菜類だけでなく作物の生育に非常に重要
- ・有効土層を厚くすること：作物の水・養分吸収 施肥成分の系外への流出防止

3. 土壌物理性の要因

a. 土壌構造とコンシステンシー

- ・団粒構造の発達により保水性、排水性、通気性、易耕性と侵食に対する抵抗性が向上
- ・作物の生育には 1~5mm が適当、これ以下では通気性悪化、以上では幼植物根の生育阻害
- ・コンシステンシー：含水比に応じて力学的性質が変化する現象

b. 耕耘：作物収量を向上させるために良好な土壌物理性に整える作業

①地表面を膨軟にし孔隙を増やし、水と空気の保持量と大きくする

②反転による地表面の雑草や病害虫の防除

③作物残渣や堆きゅう肥などの有機質肥料、土壌改良資材の混和による地力の増進

④砕土による最適な発芽環境や初期生育の確保

- ⑤ 土壌養分の偏りをなくす
- ⑥ 物理性の改善による根域の拡大や微生物活性の促進

c. 降雨によるクラストの発生 (クラスト：皮殻や土膜と呼ばれる)

- ・ 生成過程
 - ① 雨滴で団粒構造が破壊され細粒化した土壌がさらに雨滴の力で圧密されて形成
 - ② 土壌表面停滞水中で土壌粒子が分散した後、沈降する過程で粒径の小さな粒子が再堆積して形成される
- ・ クラストの影響：孔隙量が少なく雨水の浸透を阻害し水食や干ばつを助長
乾燥すると土壌硬度が高くなり作物の発芽を阻害
風食を軽減
- ・ クラスト被害の軽減法：砂客土による粘土比率の低下
石膏施用による粘土の分散性の抑制

d. 土壌コンパクションと作物の生育

- ・ 大型機械の走行による粗孔隙の破壊と圧密層の形成
根系の伸長抑制、透水不良による湿害や表面流去水による土壌浸食の発生 (畑地)
水田では漏水防止のため意図的に圧密層 (すき床) を作る
- ・ 土壌圧縮は土壌水分が -100kPa (毛管連絡切断含水量) 付近で最も進行しやすいので大型機械による作業は -100kPa より乾燥した条件で行うことが望ましい

g. 耕起の問題

- ① 農作業の中で耕耘の所用エネルギーが大きい
- ② 耕耘後圃場が裸地となり土壌浸食を受けやすい
- ③ 地耐力が減少し降雨後の機械作業に支障を起こすことがある
- ④ 耕耘播種後の強雨ではクラストが発生しやすく発芽障害を起こすことがある
- ⑤ 深耕すると下層土が混入し生産力が低下

h. 不耕起栽培

- ・ 利点
 - ① 風食や水食被害の軽減
 - ② 耕起、碎土、整地作業の省力化
 - ③ 地耐力が大きく天候に左右されない適期作業が可能
 - ④ 作物残渣の土壌表面被覆で鳥害の軽減
 - ⑤ 浸潤性や保水性に優れ乾燥地で有利
 - ⑥ 作物残渣の地表面への富化による地力の維持
- ・ 欠点
 - ① 土壌硬度の増大 → 生育不良や湿害の発生
しかし日本の黒ぼく土や水田では問題にならない
 - ② 肥料の利用効率の低下

緩効性肥料などの利用により改善される

- ③植物残渣による地温低下、発芽不揃い、病虫害の発生
- ④除草剤の使用量の増大と表面施肥であるため脱窒、揮散による環境負荷の増大
対策が可能
- ⑤根菜類の栽培が困難

4. 作物の必須要素と要求量

a. 作物の必須元素（欠乏すると正常な生育ができなくなる元素）

- ・多量必須元素：C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, S
- ・微量必須元素：Fe, Mn, Cu, Zn, B, Mo, Cl, Ni

これらのうち、C, H, O, は大気や土壌水より十分に供給され、Cl は要求量が少なく海水の飛散や降水によって十分量が供給されている

その他の元素は管理が必要

- ・三大要素：N, P, K
- ・有用元素：水稻やサトウキビの Si、テンサイの Na
- ・必須元素ではないが、作物として家畜の必須元素である Co, Na, Se などの肥培管理も重要

b. 作物の養分要求量

- ・リービッチの最小養分率：作物の生育収量はその不足した養分の量によって規制される
- ・各養分の供給量と作物収量の関係
 - ①養分供給量に応じてある程度までは増収するがそれ以上ではほぼ一定となるグループ
P, K, Ca, Mg, Fe, Mo
 - ②ある程度までは増収するがそれ以上ではむしろ減収となるグループ
N, Mn, Zn, B, Cu （養分欠乏- 適性レベル- 養分過剰）
- ・養分要求量は、作物の種類、生育時期、収量レベルによって異なる

c. 要素欠乏

- ・クロロシス（白化）、ネクロシス（壊死）、葉の形態異常など
- ・Ca, B, Fe：植物体内での移動性が乏しい → 生長点に欠乏症状発生
- ・N, P, K, Mg：移動性が大 → 不足時古葉から新葉に転流 → 下位葉に欠乏症状発生

5. 土壌の養水分供給と作物による吸収

a. 養分供給能と作物の吸収

1) 土壌中における養分の動態と作物の吸収

- ・養分の形態：土壌鉱物や腐植、難溶性沈殿、土壌コロイド表面に吸着された交換態
土壌溶液中に溶解したイオン
- ・養分の作物根圏への移動：マスフロー、拡散、根の生長による養分吸収領域の拡大
- ・作物根による養分の吸収：元素の種類によって能動的（積極的）にあるいは受動的に吸収

2) 耕地土壌の養分供給

- ・養分保持能：土壌コロイド（粘土）の量と質によって大きく異なる
- ・天然供給：土壌母材（土壌の岩質、粒径、風化程度による）、大気、灌漑用水
前作の持ち越し：作物残渣、施肥養分の蓄積
- ・母材の質：酸性岩（Fe, Mg, Ca, Mn）、塩基性岩（K, Na, Si）

3) 耕地土壌における養分の蓄積と有効化

i) 窒素供給

- ・土壌中の無機態窒素 数 kg/10a 以下
有機態窒素 水田 360kg/10a、畑地 380kg/10a
- ・有機態窒素の無機化パターン：有機物の質、土壌で異なるが累積温度で説明される

ii) リンの供給

- ・無機リン：Al, Fe による特異的な吸着保持・固定されるので土壌溶液中リン濃度低い
アルカリ土壌では Ca による固定
- ・有機リン：イノシトールリン酸が主体、核酸やリン脂質
日本の黒ぼく土では全リン酸の約半分を占める

iii) カリの供給

- ・有機化合物を作らない
- ・利用効率が高い、子実への移行が少なく穀類では茎葉を土壌還元すれば再利用される
- ・K の吸収は Ca や Mg と拮抗する
→ K の多用施肥や堆きゅう肥の連用は交換性 K を過剰集積し Ca、Mg 欠乏を発生
Ca60, Mg25, K15（当量比）が適切なバランス

4) 土壌有機物管理

- ・有機物の分解と養分放出特性：有機物の種類、C/N 比、温度
- ・土壌中 N の固定：植物の窒素飢餓

b. 圃場の水分供給能と作物の生育

- ・圃場の水分供給能：根圏の土壌水の厚さ
- ・作物の要水量：トウモロコシ 200t/10a、ダイズ 600t/10t（土壌水の厚さでは 200 と 600mm）
- ・有効水分量＝圃場容水量（33kpa 水分）－ 永久いちょう点水分（1.5Mpa）
土壌種で異なる
- ・300mm の土壌水を得るためには：黒ぼく土 111cm、褐色森林土 200cm

「各種生態系における土壌環境の違い」

・森林生態系：樹木を主体とした森林植物と、そこに生息する動物、微生物などの（多様な）生物間の相互作用および、また大気、水、岩石・土壌などの環境要因と生物間の相互作用の上に物質およびエネルギーが授受され、流れあるいは循環している。 閉鎖系

・農業生態系（畑、水田）：物質およびエネルギーの流れが、食糧生産の効率化を目的として人為により制御される、人間が管理する生態系であり、植物と動物の種の多様性はなく、生物、環境の相互作用の関係が単純な構造となっている。 開放系

<森林土壌>

1. 森林生態系の炭素の循環と土壌

大気中 CO₂ が森林樹木など植物により固定され、植物の諸器官が枯死した遺体あるいは植物が動物に被食されそれらの遺体が有機物として土壌に供給される。この流れにより年々土壌に有機物が供給され増加していく。その後、長年月を経て十分な発達を遂げた段階の森林は、動的な平衡状態（樹木は更新するがバイオマスは安定）に達し、土壌中炭素（有機物）含量も定常状態に達すると考えられる。

・農地土壌と比べて炭素含量が高く、炭素シンクとして重要

2. 日本の森林土壌の分類と分布の概要

- ・日本は南北に長く、海岸から高山まで起伏に富み、気候条件の変異の幅が大きい特徴を反映して、亜寒帯林、亜高山帯林、冷温帯林、暖温帯林、亜熱帯林など多様
- ・この多様な森林植生下、変異の大きい気候や地形の影響を受けて多様な土壌が生成
- ・林野庁の分類体系では7つの土壌群と未熟土に区分される（p123 表 8.3）
ポドゾル、褐色森林土、赤・黄色土、黒色土、暗赤色土、グライ、泥炭土
日本では、褐色森林土群が75%を占める
- ・褐色森林土は環境条件、特に水分環境の違いにより形態が異なり細分類される（管理のため）

3. 森林土壌の生産力

- ・土壌の生産力の指標：地位指数（植林した密度に左右されない樹高成長で評価する指数。例、スギやヒノキは年齢40年時の樹高＝地位指数）
- ・生産力は皆伐（森林樹木をすべて伐ること）により、容易に劣化する
皆伐→裸地化による土壌侵食→養分流亡や表層土壌の物理性悪化

4. 水循環生起場としての森林土壌

- ・緑のダム：日本の国土は2/3が山地や丘陵地であるにもかかわらず、国土に水が保たれているのは、森林の水源涵養機能のおかげである
- ・水源涵養機能：土壌孔隙での水の保持
- ・全国の森林土壌の貯水量：482億トン（真下1974）
- ・森林の管理方法（履歴）の違いは土壌の水源涵養機能（貯水能）に影響し、その流域の河川の流出特性に影響する

<畑土壌>

1. 作物栽培と地力維持

1) 作物栽培の目的と地力維持

作物栽培の目的：省労力化（単位収量の増加）を伴った収穫・収入の増加

作物栽培により地力は低下するので地力を維持に努力してきた

2) 地力維持の手段

- ・ 休閒：作物栽培を何年間に一度休み、地力の回復を自然に任せる
- ・ 野草の利用：耕地外の自然の草木を耕地に投入する
- ・ 牧草の利用：イネ科やマメ科の牧草を栽培し、土壌物理性の改善と、
有機物（+窒素）を土壌に供給する
- ・ 堆きゅう肥施用：植物遺体を単独あるいは家畜の糞尿と混合して発酵した有機資材
- ・ 輪作：異なる種類の作物を一定の順序で循環して栽培する作付体系
病虫害の抑制、養分収奪の低減などの効果を目的とする

3) 農法の歴史

農法：技術的・生産力的視点からみた農業の生産様式

- ・ 作物と家畜の生産および地力維持を目的として、穀物生産、家畜の飼料生産、
家畜生産を結合させた
- 社会変化（人口増加、食糧需要、農機具の進歩など）に関連して農法は変化
してきた
- 三圃式（主穀式）農法 → 穀草式（輪換式）農法 → 輪栽式農法

2. 土壌の養分供給能

土壌の養分供給能は土壌の種類、作物の種類、土壌の条件（畑、水田）などの自然条件と人為的な施肥や土壌管理の履歴などにより変化する

a. 日本における主要な普通畑土壌および樹園地土壌の種類は

- ・ 普通畑：黒ぼく土（47%）>褐色森林土、褐色低地土、黄色土
- ・ 樹園地：褐色森林土（37%）>黒ぼく土、黄色土、褐色低地土、赤色土

地域別では

- ・ 黒ぼく土：関東、九州、東北、北海道
- ・ 褐色森林土：中四国、近畿、東北
- ・ 褐色低地土：北海道、関東、東北
- ・ 黄色土、赤色土：東海以西の西日本

b. 三要素試験

- ・作物栽培の際に畑に施用する主要な養分である窒素、リン、カリが三要素
- ・三要素の施用の有無を組み合わせ合計 8 処理で栽培試験を行うことにより、土壌からの三要素それぞれの供給能を算出できる

1) 土壌の種類（各地域の土壌）と養分供給能の関係

土壌の種類により養分供給能は異なり、地力維持方法を土壌別に考える必要がある
 養分供給能に影響する因子：養分保持能、固定能、酸化還元、生物性、など

2) 土壌の養分供給能の変化

土壌管理法、施肥法、栽培法により変化する

- ・養分の収奪- 投入のバランス、
- ・上記の因子の変化

3) 作物別の土壌養分供給能

作物によって養分吸収能が異なる

c. 普通畑作物における土壌窒素と肥料窒素の役割

1) 施肥窒素の利用率

- ・作物の種類、根系の発達程度、降雨量などで異なる

九州（雨が多い）：ハウレンソウ 21-34%、コマツナ 12-27%、畑イネ 37%
 冬コムギ 61%

関東（雨が中程度）：陸稲 53%、オオムギ 45%、青刈りトウモロコシ 50-67%

北海道（梅雨なし）：トウモロコシ 64-89%、テンサイ 63-86%、

ジャガイモ 62-78%、秋まきコムギ 36-67%

2) 作物の土壌窒素依存と肥料窒素依存

- ・生育初期は基肥由来の肥料窒素の割合が大きいが、生育が進むにつれ土壌窒素の割合が大きくなる → 地力の向上の重要性

例) 収穫期には土壌窒素が陸稲 60%、オオムギ 83%

- ・マメ科作物では、根粒が固定した窒素に大きく依存する。生育後期では 50-70%

3) 土壌タイプ別の土壌窒素供給量と施肥窒素供給量

- ・作物によって窒素施肥量や肥料窒素の利用率が異なる条件下で
- ・肥料窒素の利用率は土壌間で差がない
- ・土壌窒素の吸収量は 沖積土壌 > 湿性火山灰土壌 > 乾性火山灰土壌であったつまりこの順で土壌の窒素供給能が大きいといえる → 作物の生育・収量に影響する
- ・窒素以外に火山灰土壌ではリン酸の固定量が大きい

d. 露地野菜における肥料窒素と土壌中残存窒素

野菜栽培では多量の施肥を行うため、養分欠乏よりも、養分過剰やアンバランスから生じる問題が多い

1) 露地野菜の窒素の標準施肥量、吸収量、土壌還元量、土壌中残存量

- ・野菜の施肥量は普通作物に比べて多い
果菜類 \geq ネギ類 \geq 葉菜類 \geq 根菜類
- ・吸収に対する施肥量の比：N1.5、P3.7、K1.1 程度
- ・収穫後に土壌中に残存する施肥窒素は5割程度 → 硝酸溶脱、環境汚染のもと
→ 近年、土壌診断に基づいた施肥、肥効調節型肥料の利用、マルチの利用で溶脱削減を試みている

2) 野菜の窒素施用量と溶脱窒素量

- ・多肥により野菜による窒素吸収量は増えるが、利用率が低下し溶脱量が増加

3. 土壌改良対策

a. 作土深、有効土層の確保

作土：つねに耕耘、施肥など人為が加わり、攪乱されている表層土壌

有効土層：作物の根が自由に伸張し正常に養水分を吸収できる土層

- ・畑土壌の作土深の改良目標は20-25cm
- ・粘土含量の多い土壌では浅耕化が生産力の阻害要因となりやすい
- ・深耕や心土破碎により改良する
- ・近年、トラクターの走行踏圧により下層に緻密な層が形成され生産阻害要因となっている

b. 有機物の施用

- ・畑地の地力維持のためには完熟堆肥2-3t/10a/年が必要
- ・各有機物資材ごとの、成分や養分放出特性（無機化速度）に留意して施用する必要がある
収穫物残査（稲わらなど）、緑肥、バーク堆肥、コンポスト、各種汚泥など

c. 土壌改良資材による土壌化学性の改善

- ・日本の酸性土壌条件下では石灰、苦土、リン酸
- ・畑土壌の改良目標値：石灰飽和度40-50%、苦土飽和度10-20%、
リン酸10-20mg/100g

d. 侵食の防止（傾斜地や大型圃場などでの水食や海岸線など強風のふく地域での風食）

- ・敷きわらなど種々のマルチ
- ・作物導入による裸地化の解消
- ・適切な耕耘（土壌構造を維持し、水浸透性を高める）
- ・等高線栽培
- ・法面保護（傾斜部の保護）
- ・防風林の設置 など

<水田土壌>

1. 水田土壌の特性

- ・耕地の中で水田が占めている割合は世界全体で 10%、アジアで 30%、日本で 50%程度
- ・水田は湛水され、その土壌は畑地や草地、森林などとは大きく異なる
 - 大気からの O_2 供給阻害、作土層における O_2 消費 → 還元状態
- ・作土層表面は田面水から供給される O_2 と藻類が発生する O_2 により酸化している
- ・作土層の直下には、緻密な土層（すき床層）が発達し、水の下降浸透を抑制
 - すき床層にはしばしば Fe や Mn が集積
- ・湛水の効果：雑草の発生抑制、連作障害の回避、肥沃度維持、リン酸などの無機養分の有効化
- ・湛水の不利点： H_2S などの還元性物質、有機酸などの生成 → 根ぐされ
 - 中干し（一時的な落水）、間断灌漑により土壌を一時的に酸化状態にして障害回避
 - これは窒素の無機化など有機物として土壌に含まれる養分の有効化も促進する

2. 湛水条件下の水田土壌の酸化還元状態と物質変化

- ・湛水時間が長くなるにつれ、Eh（酸化還元電位）が低下していき、作土層の Eh は +0.4V 内外から湛水後期には -0.2V 内外の値に達する。
- ・Eh の変化に伴い、まず O_2 や NO_3^- が消失し、 Mn^{2+} や Fe^{2+} の生成、 H_2S や CH_4 などが発生する
- ・表 10.3 の酸化還元反応の多くに微生物が関与
- ・水田土壌では、反応性の高い第 2 鉄(III)化合物（酸化・水酸化鉄＝遊離鉄）が重要な酸化剤
 - この第 2 鉄化合物を多く含む土壌では酸化還元反応が第 2 段階に移行しにくい
- ・作土層表面の酸化層では硝化作用が進行しその硝酸・亜硝酸が還元層で脱窒する
- ・還元状態の発達に伴い、酸性土壌、アルカリ土壌とも pH が 7 に近づく
- ・リン酸の可給化：第 2 鉄の還元によりリン酸鉄からリン酸イオンが遊離したり、土壌 pH がリン酸塩の溶解に有利な pH 7 に近づく → 水田ではリン酸無施用でも施用区の 80% の収量が保たれる（畑のムギ栽培では無リン酸区では 1/5 ～ 1/3 の収量）

3. 水田土壌の生産力管理と施肥

a. 水田土壌の有機物の性状

- ・水田の作土は畑地より有機物含有量が高い
- ・湛水条件下で酸素が少なく、主なリグニン分解者の糸状菌や他の好気性菌、土壌動物などの活性が抑えられ植物遺体など有機物の分解が進まず、腐植化の程度の低い有機物が集積するからである。

b. 水田土壌における長期間にわたる有機物分解と集積の予測

- ・肥料効果について：添加した有機物の炭素率（C/N 比）が大きくなるほど資材が窒素を不動化し地力窒素の発現を抑える期間（窒素飢餓期間）が長くなる
- ・土壌改良資材（地力増強資材）として：炭素率だけでなく有機物の質の違い（リグニン含有量など）により、土壌に残存（蓄積）される有機物の割合が異なる

例) 各種有機物を 100～200kg/年連用した場合、リグニンに富むオガクズ(C/N 比>300)で 30 年、

小麦わら(C/N比 100-200)で6-7年、稲わら(C/N比 50-100)で半年程度残存する

- ・ 余剰汚泥（污水处理過程で発生する汚水中の有機物や菌体などの懸濁物質）や乾燥牛糞などはC/N比が10-20と低く分解されやすく添加初年度から100%の窒素を放出する
- ・ バーク（樹皮）堆肥や稲わら堆肥などは土壌有機物として蓄積される割合が大きい

有機物の質を考慮し、目的に応じた（肥料、地力向上など）資材の施用が必要

c. 水田土壌の窒素無機化と施肥

- ・ 水稻の窒素吸収量：地力窒素 50-80kg、施肥 30-60kg
→ 地力窒素（土壌窒素）の無機化量とその発現パターンが重要
- ・ 地力窒素：易分解性有機物、緩やかに分解する有機物 由来
- ・ 乾土効果：水田において土壌をいったん乾かしてから湛水すると土壌中の易分解性有機物の分解が進み、窒素の無機化が促進され、水稻の栄養成長に影響する。
- ・ 気候条件、地温など温度条件によって緩やかに分解する有機物由来の窒素の発現は変化する
- ・ 地力発現パターンの推定

収量確保と過剰な施肥による環境汚染を抑制する最適な追肥量と追肥時期の決定に利用例) $Y = k \{(T - 15) D\}^n$ (吉野、出井 1977) Y: アンモニア態窒素生成量、

$(T - 15) D =$ (培養温度- 15) 培養日数: 有効積算温度

k: アンモニア態窒素生成係数、n: 0.6-1.3の値

- ・ 肥効調節型肥料：肥料を樹脂で被覆し、肥料成分の溶出を稲の生育に合わせて制御した肥料
肥料成分を効率よく吸収させることができる。
- ・ 施肥法：表面施肥<側条施肥<接触施肥の順で窒素利用率が高い
肥効調節型肥料の接触施肥により窒素利用効率が80%を超える

d. 田畑輪換水田土壌の管理（田畑輪換：近年の減反政策に伴い増加している）

- ・ 適切な排水工事が行われた水田で適切な管理が可能
- ・ 田畑輪換の効果：畑作における連作障害の回避、雑草や病害虫の抑制、土壌構造の発達、乾土効果による地力窒素の発現
- ・ 畑2-3年、水田2-3年の輪換方式が地力維持と安定な生産性に適している

4. 水田の機能

- ・ 米の生産機能
- ・ 水保全：洪水防止、水資源涵養、流況安定、水質浄化
- ・ 集水域よりの侵食土壌の貯留（地質学的施肥）による土壌更新
- ・ 農地土壌の侵食防止、地下水涵養による地盤沈下防止や下水汚泥などの廃棄物処理受入場所
- ・ 光合成や土壌呼吸、有毒ガス成分の浄化による大気保全
- ・ 土壌生物や水田生物の保全 ・ 景観保全（観光資源）

「環境問題と土壌」

1. 土壌汚染

a. 重金属汚染

- Cu, Cd, Zn, Hg, Pb, As (ヒ素), Ni, Cr など
- 鉱山排水、精錬工場排水、排煙などに含まれ環境の放出
1880年足尾銅山事件（鉱滓堆積場が決壊し渡良瀬川流域の水田に流入し汚染）
→ 現在は鉱山の多くが閉山しその後も厳しく管理され、新しい汚染の発生は僅少
- 1970年：土壌汚染防止法制定、特にCu, As, Cdは特定有毒物質として厳しく規制

- 動植物への影響：過剰害
しかし多くの重金属は動植物にとって必須元素でもある
植物：Cu, Zn, Ni, Mo, Mn
動物：Cu, Zn, Ni, Mo, Mn, As,
- 土壌は自然条件でも重金属を含有し、天然賦存量は主に地質学的な循環で決定される
母材中含有量、地形など
- 重金属の害や毒性の有無は形態で異なる：酸化還元状態、キレート（錯体）
水田：湛水され SO_4^{2-} が S^{2-} に還元され重金属と結合し稲への吸収抑制（p199 図12.1）
Asは還元状態で毒性の強い亜ヒ酸となる
畑：重金属の溶出増加、Asは毒性の弱いヒ酸となる
- 汚染土壌に対する対策、修復方法
 - 1) 汚染源の特定と汚染物質の環境への放出規制
 - 2- 1) 客土、
 - 2- 2) 生物を用いた重金属の除去、bioremediation

b. 農薬汚染

- 汚染範囲が広く（土壌圏、水圏、大気圏）、汚染経路も複雑
- 微量でも高い毒性、残留性が高い（自然環境中で分解しにくい）
 γ -ヘキサクロロシクロヘキサン、DDT、PCB → 使用禁止
→ 現在は分解性の高い低毒性の農薬が開発されている
- 種類によって土壌への吸着性が異なる
土壌に強く吸着（陽電荷を持つ）→ 農薬の効果は持続するが分解しにくく残留しやすい
土壌への吸着が弱い→ 土壌中の移行性高い→ 防除目的以外の生物への影響
環境中へ拡散、溶脱
- 目的に応じた薬剤の選択が必要（土壌への吸着特性、分解性などを考慮する）
- 同種の農薬を連用することにより、土壌微生物の分解能が向上する（微生物フローラの変化）

2. 人工放射能による土壌汚染

- ①核爆発実験によって生成した放射性降下物（スリーマイル島）
- ②通常の状態で運転されている原子力施設から放出される物質

- ③原子力施設が事故を起こしたことによる放出物（1986年チェルノブイリ事故、2000年日本）
 ④放射性物質の製造と利用に伴う廃棄物（放射性物質を含む残土の放置）

- ・ 土壌有機物量、土性などで土壌への吸着保持量は異なる
- ・ 土壌だけでなく、動植物が接種する事により土壌表面に留まる
- ・ ヨウ素-131は半減期は短いが出量が多く、動植物への取り込み・濃縮が起りやすい
 天然ヨウ素の摂取により生体内への蓄積を予防

3. 地球環境問題と土壌

土壌が地球環境の維持修復に果たす役割：環境修復作用、緩衝作用を発揮し生物の生命を保護
 環境問題の深刻化により土壌がその機能を失う

a. 砂漠化

乾燥、半乾燥、半湿潤地域において気候変動や人間活動などさまざまな要因によってもたらされる土地の劣化（土壌の持つ作物生産機能が減退・破壊されること）のことである。

砂漠化とは砂丘のように砂の世界になることではない

- ・ 砂漠化（土壌劣化）の発生要因
 - 1) 不適切な土壌管理- 過剰耕作
 - 2) 過放牧
 - 3) 森林の消失（耕地の拡大のために伐採、薪炭材として利用）
 これらにより土壌肥沃度の減退、土壌浸食の促進が起こる

b. 塩類化（詳細は土壌の化学性の章を参照）

乾燥、半乾燥地域で、主に不適切な灌漑によってもたらされる土壌表層への塩類の集積

c. 酸性化（詳細は土壌の化学性の章を参照）

- 1) 降水（二酸化炭素や化石燃料の燃焼により生じた酸が降水に溶解し酸性となる）
- 2) 施肥（尿素や硫酸アンモニウムなど酸根を持った化学肥料の酸化）
- 3) 海洋性堆積物の酸化 干拓地など

これらが、地域や地球規模での酸性化の原因である。

酸性化に伴い、塩基成分の溶脱促進→土壌の酸性化→養分欠乏、酸・アルミニウム害

4. 農業と環境

上述の農薬や肥料が農地の外に放出され、周辺環境の汚染を引き起こす事がある。

肥料成分について、作物栽培のために施用された窒素は、作物の収穫あるいは脱窒により系外へでるか、有機化あるいは無機態窒素として土壌中に残る。リン酸も、植物に吸収され作物の収穫で農地外に取り出された以外の部分は土壌に残る。土壌中に残った肥料成分は、土壌侵食や雨水・灌漑水による溶脱により河川や地下水に流れ、その量が大きい場合汚染の原因となる。

農地からの栄養塩や農薬の流出を防ぐためには、適切な時期に適量を施用する必要がある。

また、畜産、露地野菜台地からは高濃度の硝酸がしばしば流出し下流域や地下水が汚染されるが、林地-台地（畜産、樹園地、畑地）-低地水田 という地形利用により、低地の水田により浄化される日本型の環境保全的土地利用システムを活用し、農業に伴う汚染を抑制することも現実的で有効な対策である。