

人口と食糧（1/20，第12講）

「作物生産を支える土壌：  
土壌肥沃度の維持・評価」

妹尾啓史（せのおけいし）  
生命化学・工学専修  
土壌圏科学研究室



# 講義内容

土壌の立場から見た

## 作物生産における課題の歴史的変遷

- これまで：作物生産性の向上と持続
- 今後：持続的作物生産と環境保全の両立

# 1. 植物の必須元素

- 多量必須元素

C, O, H, N, P, K, Ca, Mg, S

**NPK大量に必要**

- 微量必須元素

Fe, Mn, B, Zn, Cu, Mo, Cl

## 2. 土壌における植物養分の動態

- NPの事例
- 溶脱、収穫、固定により作物が使える養分は次第に減少

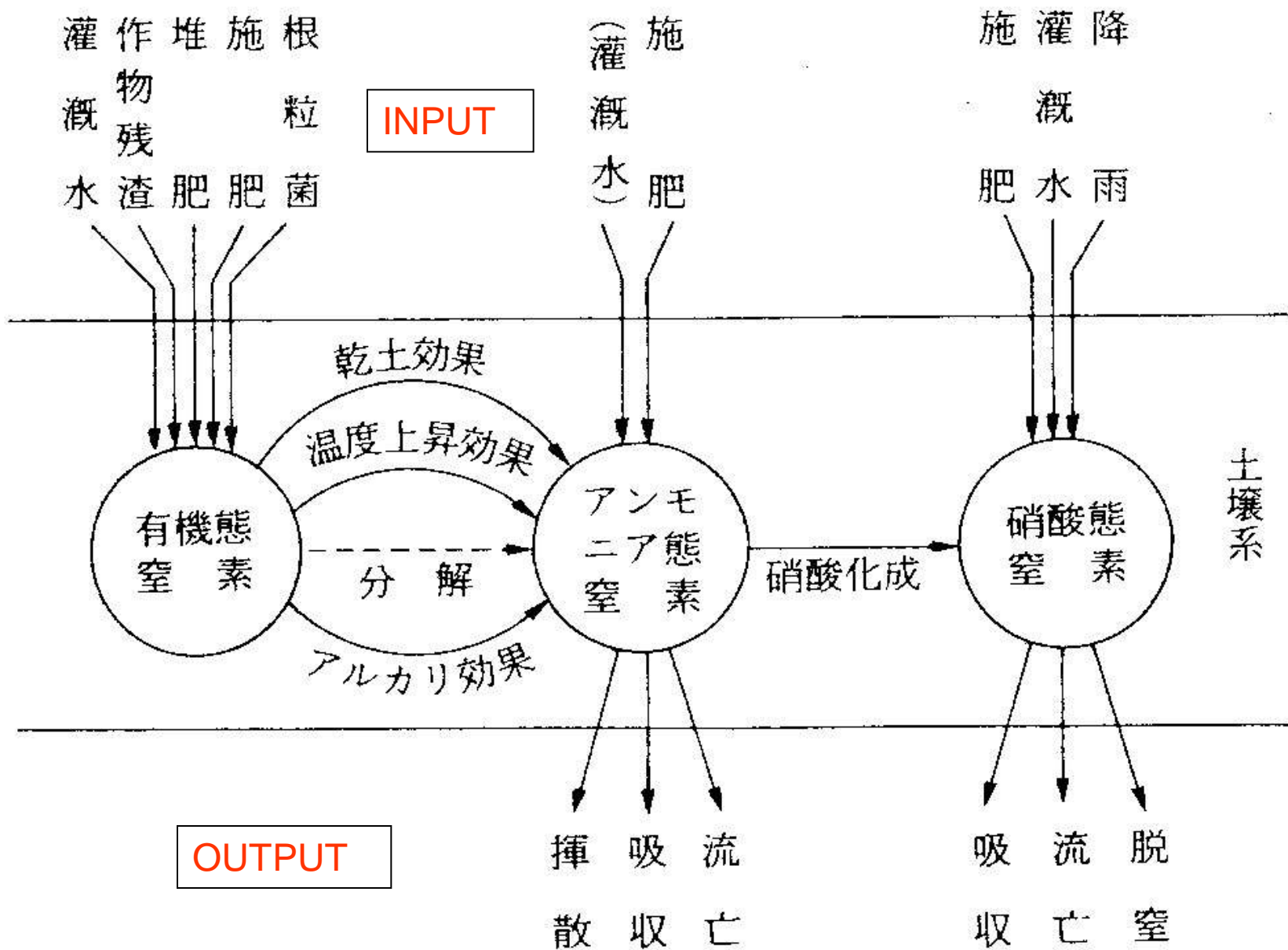


図 13.1 土壤系における窒素の動向

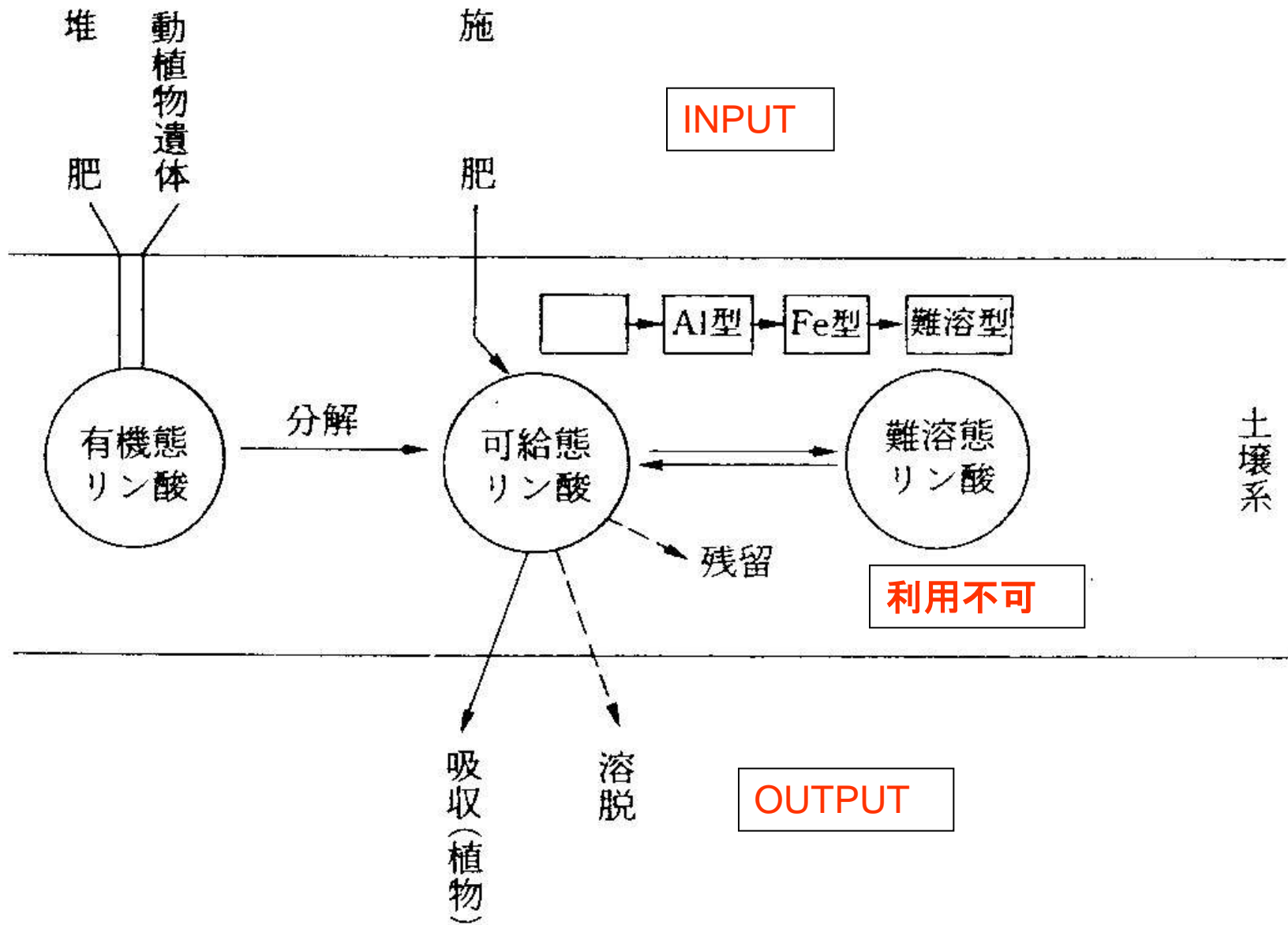
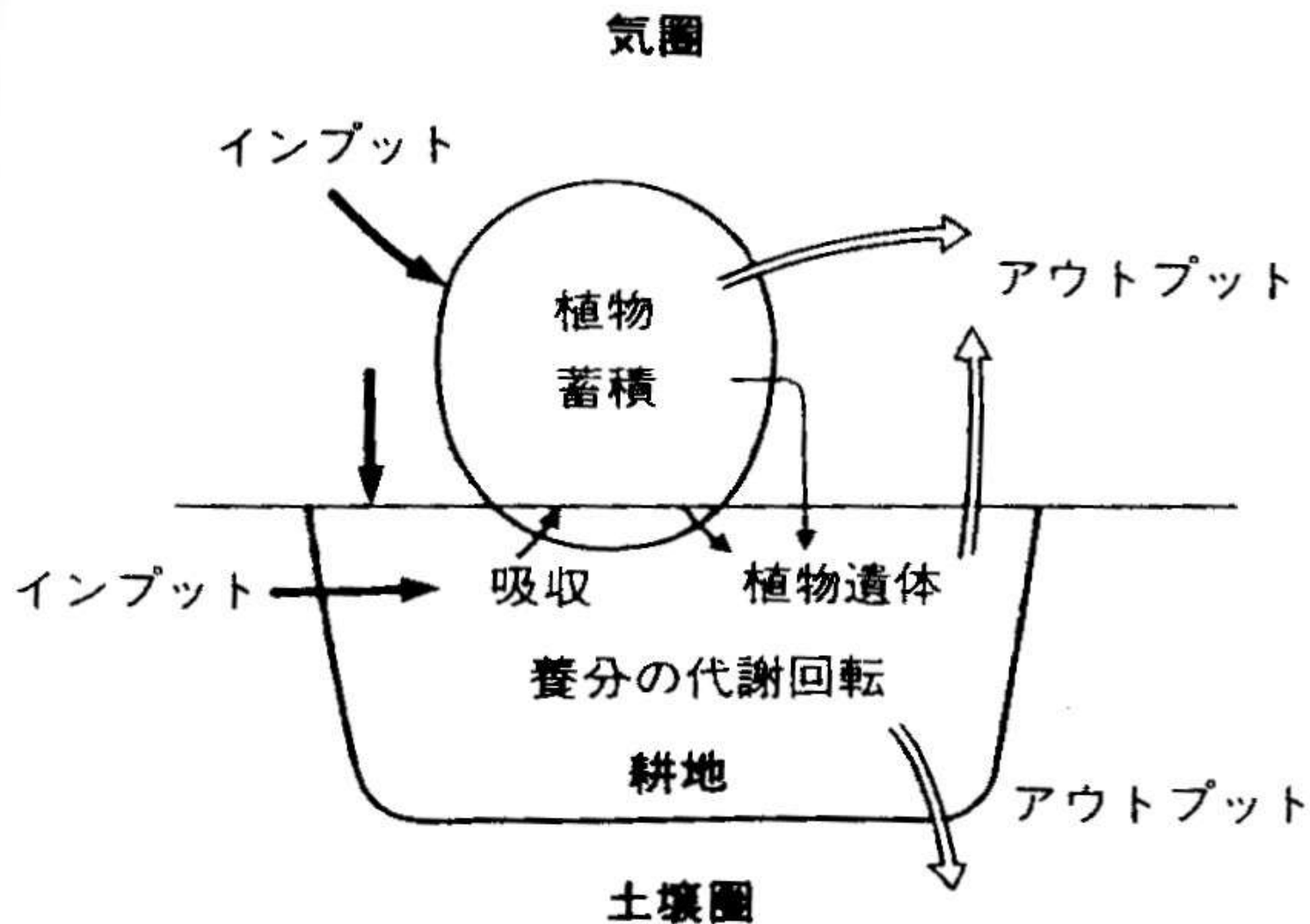


図 13.2 土壌系におけるリン酸の動向



図II-3 耕地生態系の必須栄養素循環

# 土壌における植物養分は・・・

- 収穫、溶脱、固定により作物が使える養分は次第に減少
- 減少分を補わなければ持続的な食糧生産は不可能
- つまり、「肥沃度の維持」が課題

### 3. 土壌の肥沃度(地力)維持の 努力、その歴史

# 生産者の誰もが抱く願望

- 一定の面積から良質で最大の収穫量を得たい
- 一定の面積から最小の労力で最大の収入を得たい
- 毎年収穫量と収入を維持、あるいは増やしていきたい
- しかし、何も手を加えないと耕地の生産力は低下する

# 3.1 輪作など伝統的方法

(ローテーションにより肥沃度回復の機会を設ける)

(中世ヨーロッパ)

(18-19世紀西ヨーロッパ)

封建的農法段階  
三圃式(主穀式)

過渡的農法段階  
穀草式(輪換式)

近代的農法段階  
輪栽式

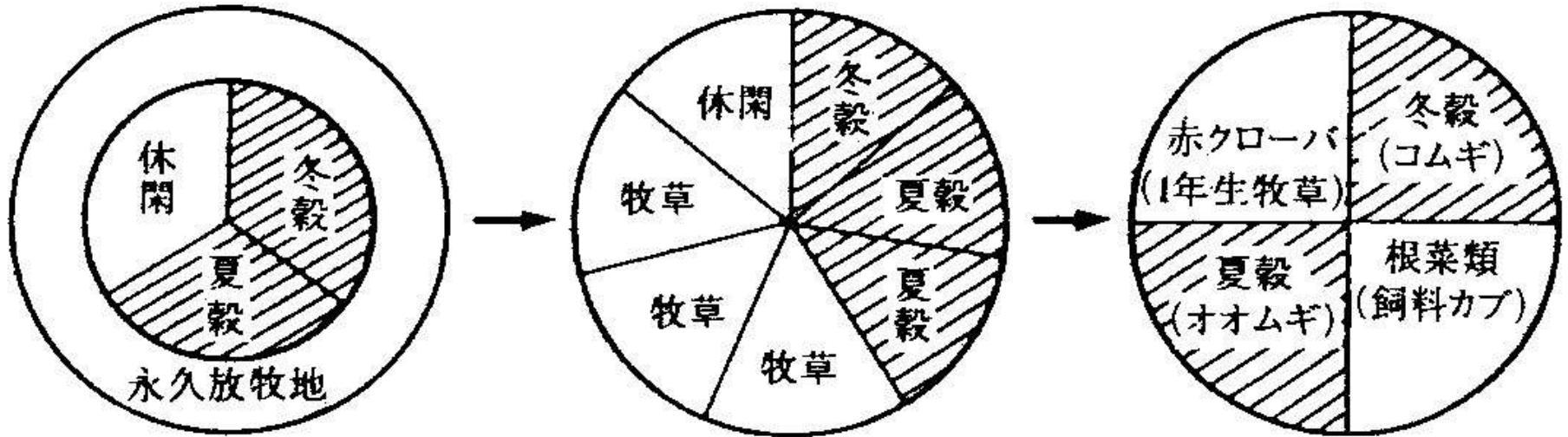


図 9.1 各農法段階における土地利用方式 (模型図) (加用, 1996 による)

表 9.1 農法と地力維持方式の特徴 (加用, 1996)

農法 項目	三圃式農法	穀草式農法	輪裁式農法
作付方式	穀物連作と休閑の組み合わせ方式 (冬穀—夏穀—休閑). 共同放牧地, 採草地がある.	穀物連作と多年生牧草との交替方式 (冬穀—夏穀—夏穀—牧草—牧草—牧草—休閑). 共同放牧地を補充的に利用する.	茎葉作物 (根菜と1年生マメ科牧草) と穀物との輪作方式 (冬穀—根菜—夏穀—赤クローバ). 休閑地と共同放牧地の廃止.
家畜飼育方式	放牧方式. 晩秋に大部分を屠殺し, 冬季にはワラ, 干草で飼育.	放牧および栽培牧草の給与.	舎飼い方式. 飼料作物の周年給与.
地力維持方式	放牧家畜の夜間と冬季のきゅう肥を休閑区へ施用 (草地から耕地への家畜を媒介とした地力移転方式).	耕地内の多年生牧草区における家畜放牧. きゅう肥施用. 多年生牧草による土壌構造の改善.	地力維持増進方式の確立 (栽培飼料増加→家畜生産力増大→きゅう肥増加→地力増進). 輪作による地力の合理的利用と施肥効果の増進.

## 3.2 化学肥料の登場

- N肥料：硫酸アンモニウム、チリ硝石、尿素、石灰窒素、油粕など
- P肥料：リン酸アンモニウム、焼成リン、リン鉱石、魚肥など

1843:リン酸石灰      1895:石灰窒素

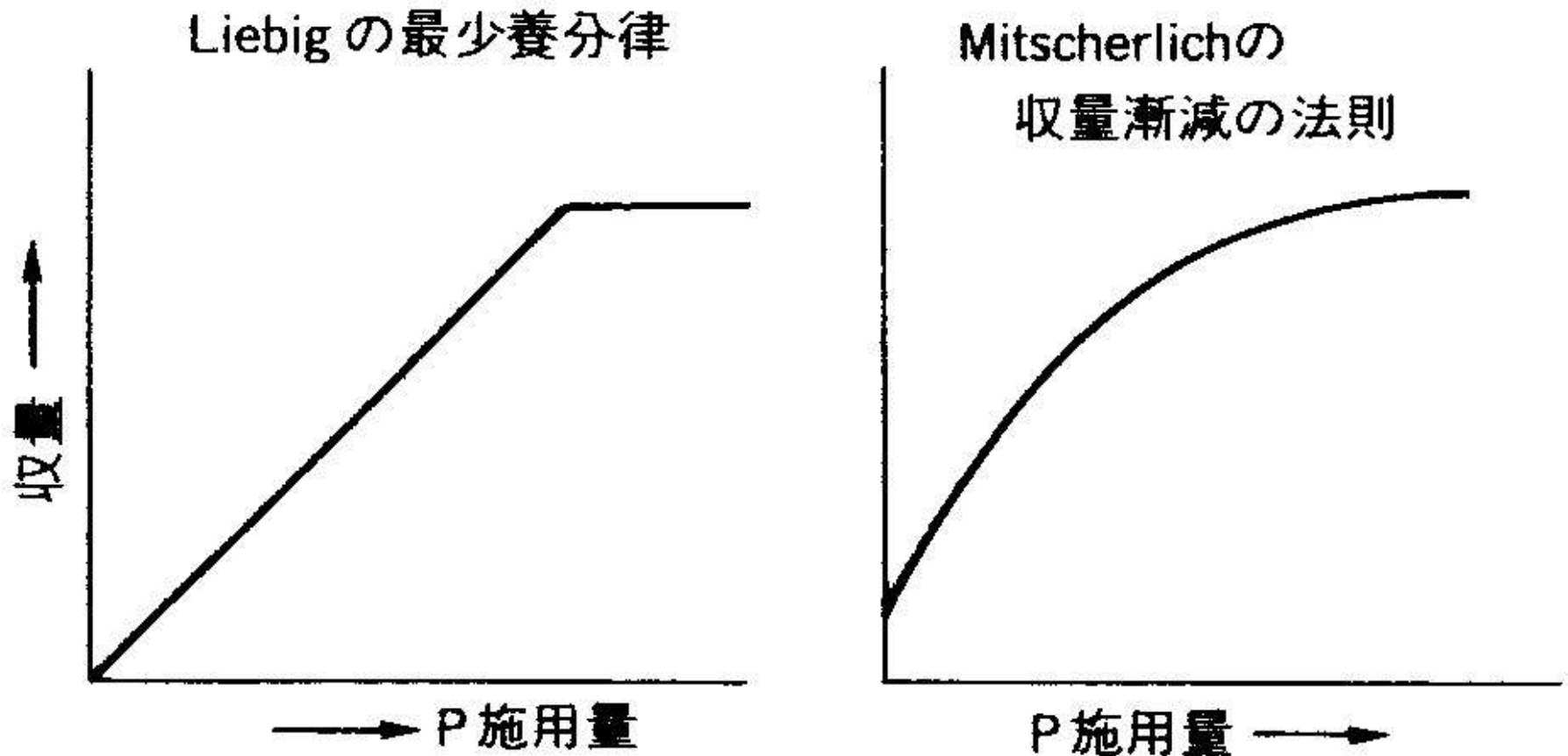
1913:合成硫安(ハーバー・ボッシュ法)

## 3.3 施肥設計の理論

- 与えた養分を効率的に植物に吸収させ、最大の収量を得たい・・・

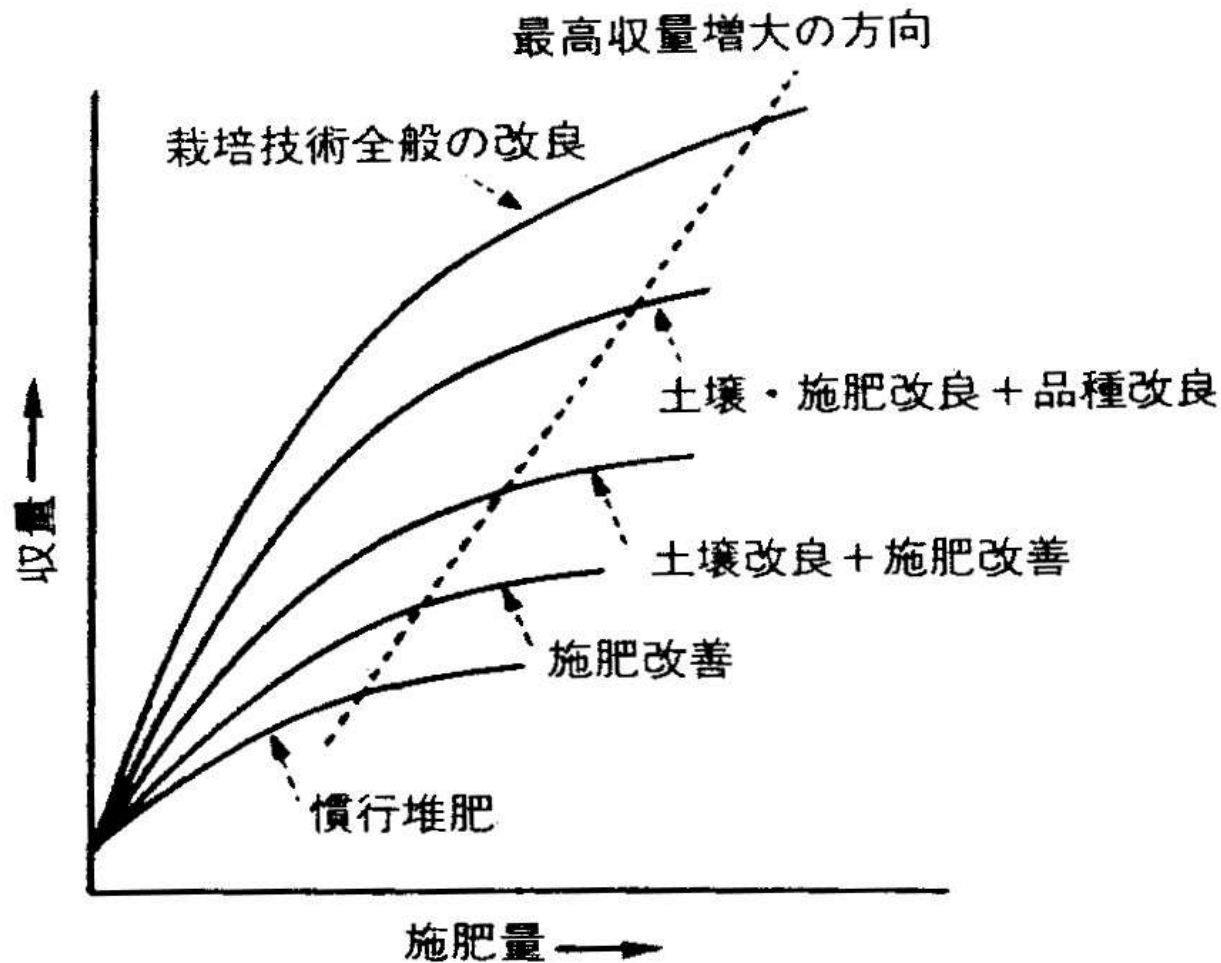
# (1) 収量漸減の法則

→ 肥料のやりすぎはムダ



図VIII-1 最少養分（ここではP）の施用量と収量の関係

# 技術改善による収量漸減の法則の克服



図VIII-2 稲作技術の改善と収穫漸減の法則の克服 (村山 登, 1987)

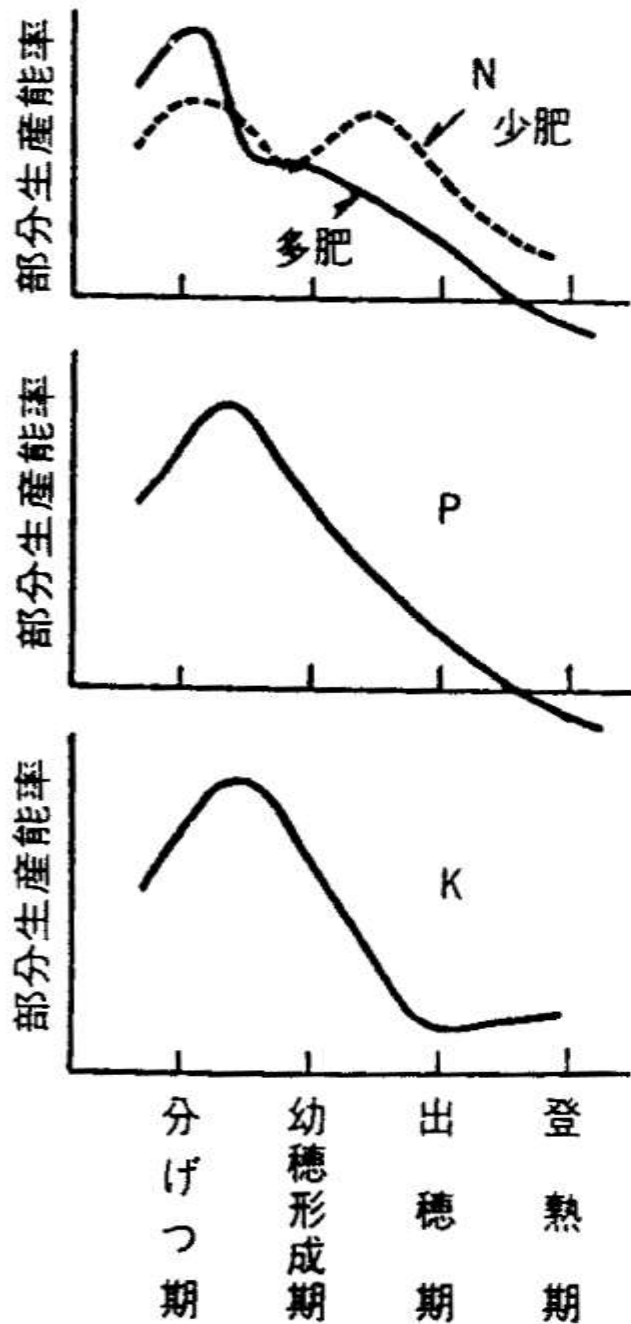
## (2) 生産能率

### (1 単位の養分の子実生産への貢献)

表VIII-1 主要農作物における三要素の生産能率

作物	窒素 (N)	リン酸 ( $P_2O_5$ )	カリ ( $K_2O$ )
コムギ (穀実)	33	88	39
トウモロコシ (穀実)	48	87	34
カンショ (イモ)	256	909	161
バレイショ (イモ)	200	476	139
エンドウ (豆)	20	76	42
アズキ (豆)	17	46	15
ナタネ (子実)	13	26	11
イネ (玄米)	47	128	43

(村山 登, 1984 を改変)

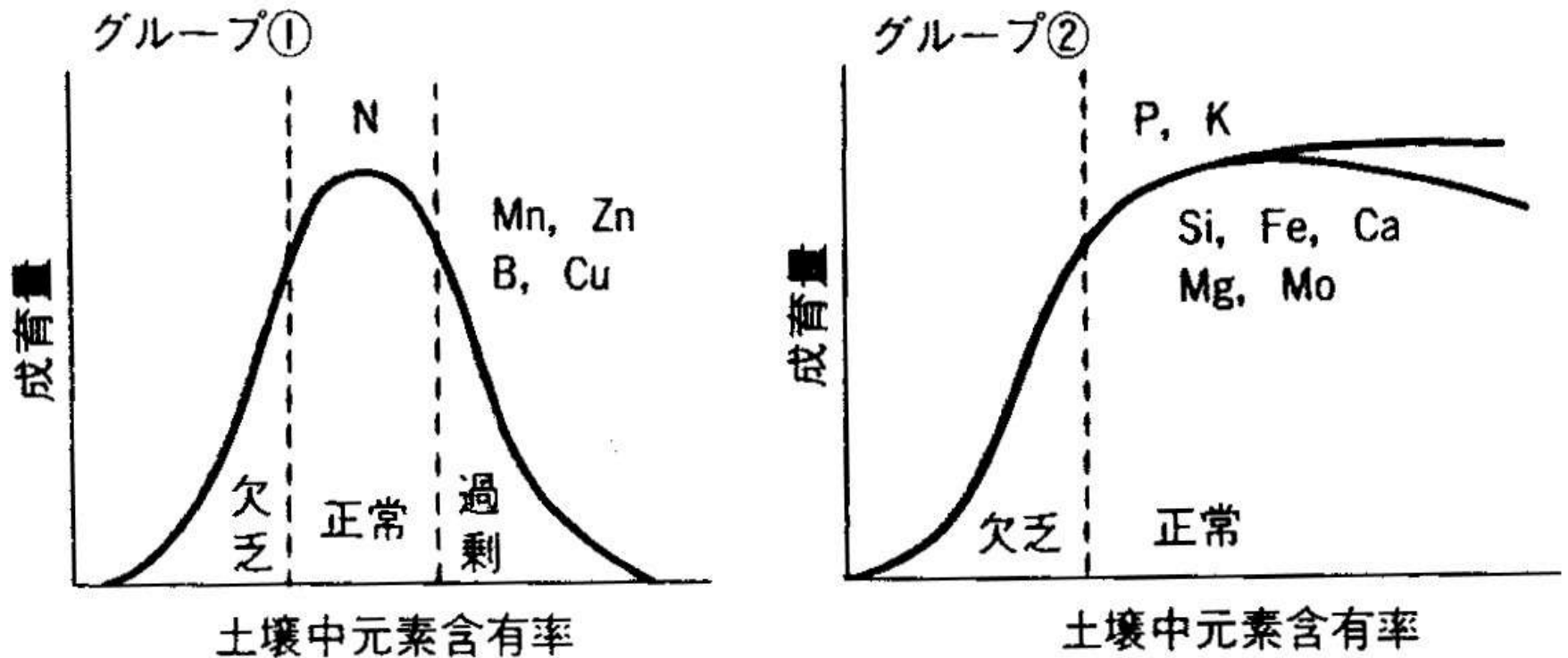


## 部分生産能率 (施肥のタイミング)

図VIII-4 イネ成育各期の N, P, K の部分生産能率 (林 成周, 1951; 木内和美, 1952; 田中 明, 1959)

# (3) 施肥の最適化

① 最適な元素濃度：欠乏、過剰にならないよう



図VIII-5 土壌中元素濃度の作物生成量への影響 (渡辺和彦, 1986)

## ②肥料の利用率と必要施用量

**N利用率(%) =**

**{(N施用区のN吸収量－無施用区のN吸収量)／N施用量}  
× 100**

**(N:20 ～ 60%, P:10 ～ 20%, K:40 ～ 70%)**

**必要施用量:**

**イネ玄米目標収量: 600kg／10aとりたい**

**N無施用区の収量: 360kg／10aだったとする**

**イネ玄米のNの生産能率: 47**

**Nの利用率: 40% とすると**

**$N = (600 - 360) / 47 / 0.4 = 12.8 \text{ kg}$  施用すればよい**

# 4. 土壌調査、診断、改良による 肥沃度の評価・保全

(土の健康診断)

# 4.1 土壤調査と土地分級

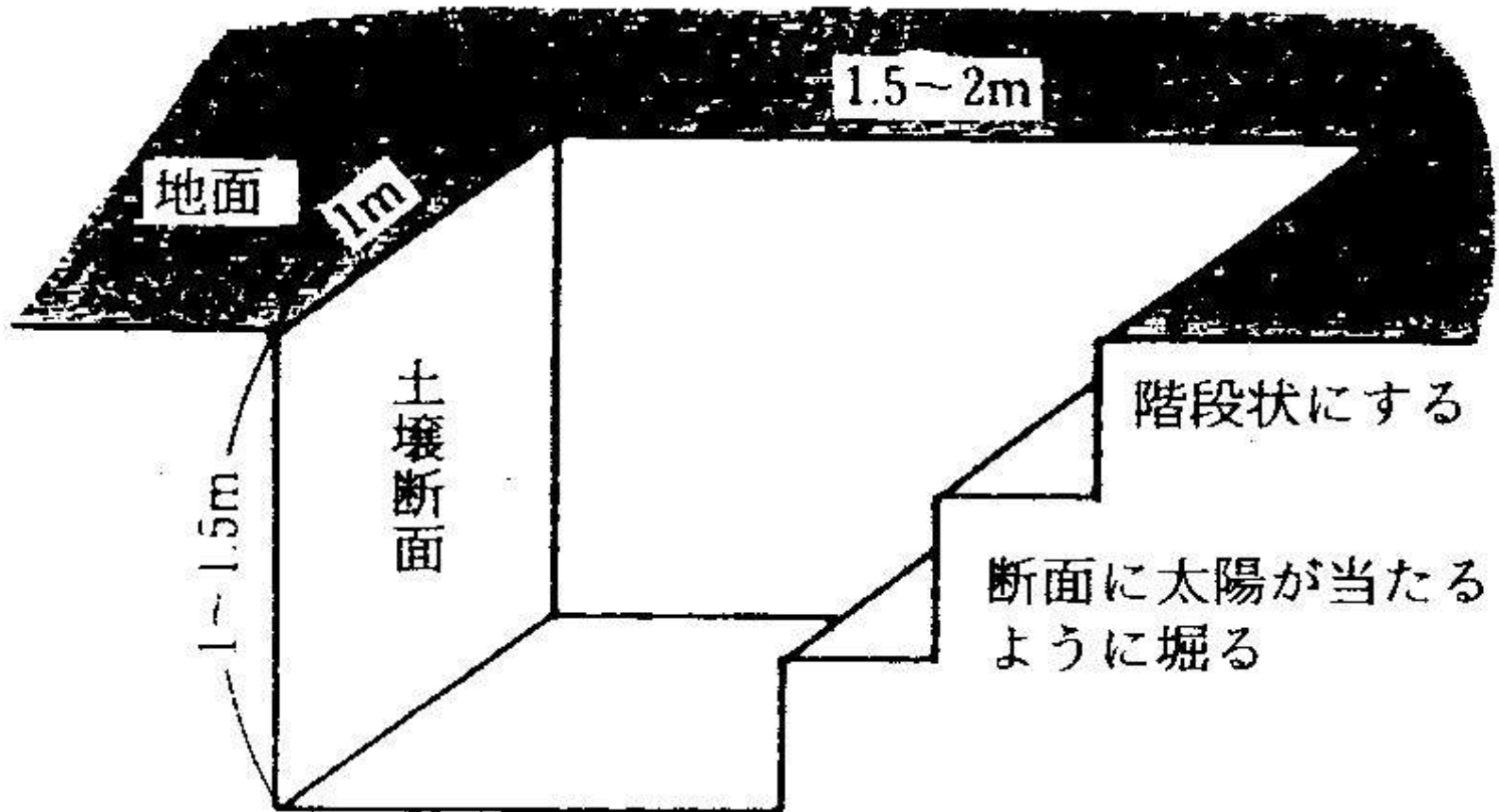
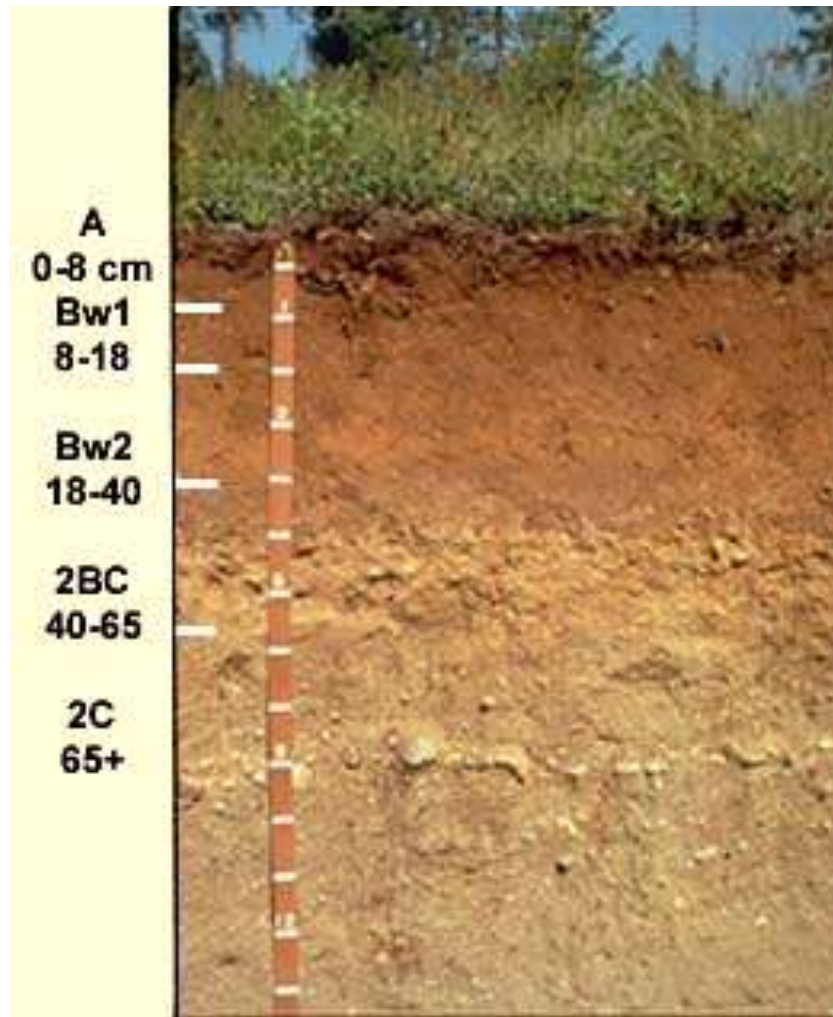
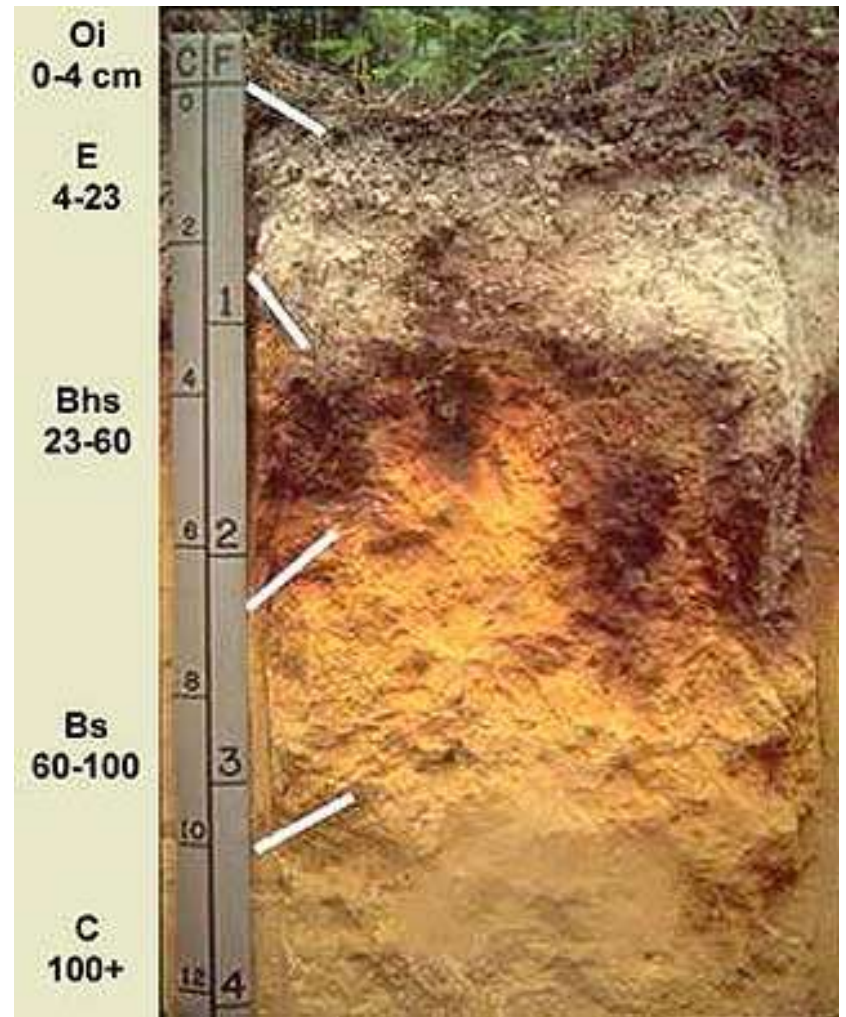


図 12.6 土壤断面 (模式図)



火山灰土壤の断面



スポドゾルの断面

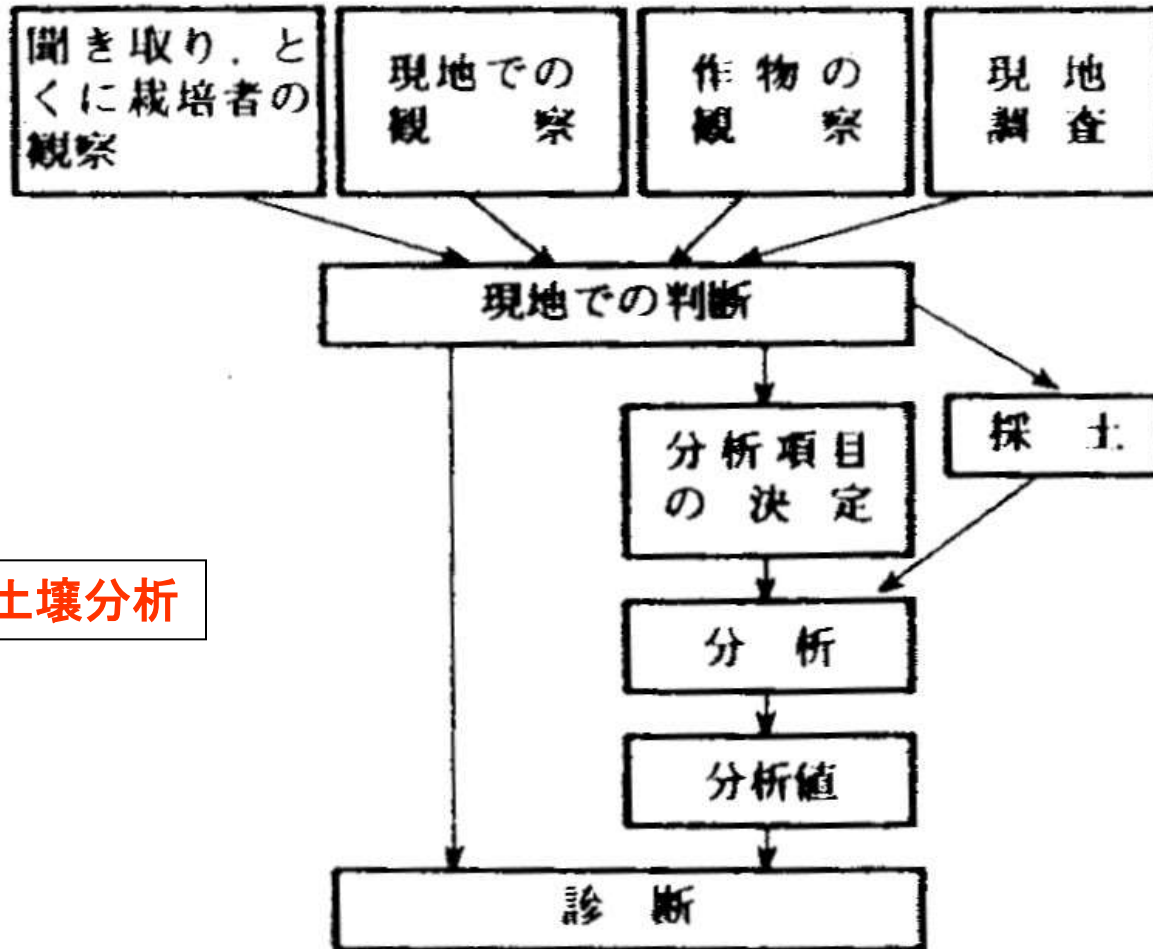
# 作物生産のための土壌の評価項目

- 表土の厚さ・有効土層の厚さ
- 表土の礫含量・耕うんの難易・透水性
- 酸化還元・土地の乾湿・自然肥沃度
- 養分の豊否
- 障害性（重金属、灌漑水汚染、盤層など）
- 災害性（冠水、地すべりなど）
- 傾斜・侵食の程度

# 日本の土地分級

- **1等級:問題なし (7455 ha, 0.1%)**
- **2等級:若干の問題 (2451821 ha, 47.9%)**
- **3等級:かなり問題 (2497328 ha, 48.8%)**
- **4等級:耕地として不適當 (165635 ha, 3.2%)**

## 4.2 土壌診断



現地調査と土壌分析

図 14.2 土壌診断の手順

# 土壌診断の調査項目

表 14.1 土壌診断の調査項目

診断の方法	項目	内容
1. 圃場での観察・調査	地形 土壌 土性 圃場のくせ 作物の生育	丘陵地，台地，低地の別，平坦地，傾斜地の区分など 火山灰土か非火山灰土か，有機質土壌かどうか，礫があるかないか 粘質，壤質，砂質 陽あたり，風あたり，水はけ，水持ち，水温 生育ムラ，品質，病虫害，雑草の多少
2. 土壌断面による観察・調査	表 12.4 参照	表 12.4 参照
3. 土壌分析による調査	pH (H <sub>2</sub> O) Eh EC 腐植 可給態窒素 可給態リン酸 石灰，苦土，カリ CEC 微量元素  三相組成 透水性 地耐力	酸性かアルカリ性か 酸化還元の程度のみやす 塩類集積のみやす，硝酸性窒素含量の推定 有機物含量，有機物施用の必要性を診断 潜在的な窒素生成量の推定 リン酸供給力 土壌中の塩基含量と塩基バランスを知る 保肥力がどのくらいあるか 作物の症状からも判断する。ホウ素，モリブデン，マンガンなど 土壌中の土・水・空気の割合を知る 飽和透水係数 土壌貫入抵抗測定器，硬度計，作業機械の圃場への導入可能性をみる



# 5. High-put農業による環境負荷

表VIII-6 農業による主な環境負荷

原因	環境負荷の内容	可能な対策の例
開墾	生物多様性の低下 環境浄化能の低下	喪失遺伝子源の保存，生態系の修復 既墾地の高度利用，未墾地の環境浄化能の強化
耕うん	表土の流出，堆積	土壌侵食の防止
➔ 栄養塩類の流出	水圏の汚染	養分利用効率の向上，土壌侵食の防止
有害物質の混入，蓄積 (農薬，重金属類，内分泌 攪乱物質，放射性物質)	農産物の汚染 耕地や水系の汚染 生態系の攪乱	農薬使用量の削減 汚染源の排除と蓄積有害物質の除去
温室効果ガスの放出 (CH <sub>4</sub> ，N <sub>2</sub> O，CO <sub>2</sub> ，CO)	地球温暖化の促進	メタン生成抑制，脱窒の抑制，作物残渣の焼却防止，CO <sub>2</sub> 固定能の強化
土壌劣化	塩類集積，砂漠化，酸性化	土壌利用管理の適正化

栄養塩類の流出＝硝酸による地下水・水系の汚染

# 世界の化学肥料窒素消費量の推移

「農業と環境汚染」西尾道徳(農文協)

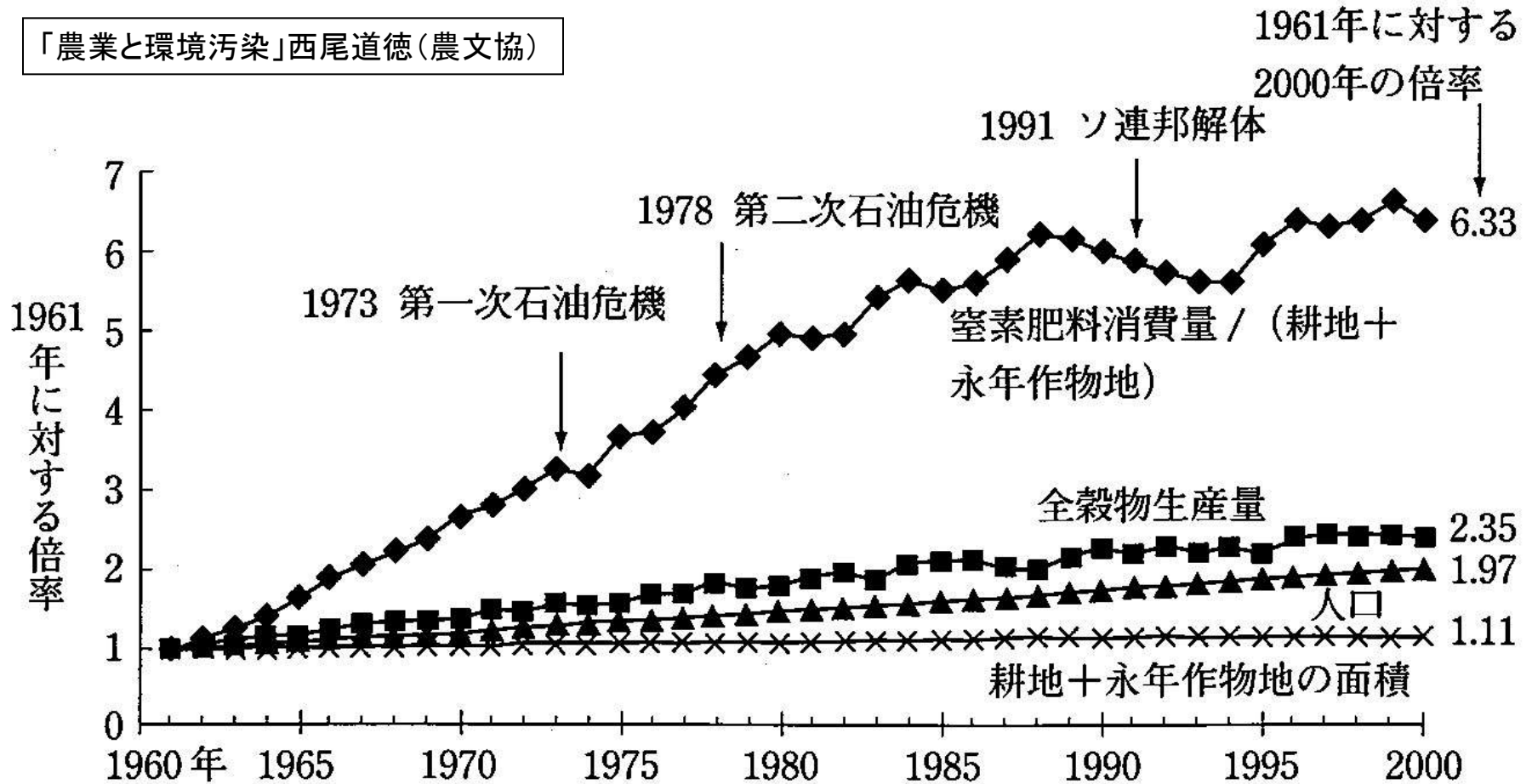


図2-1 世界における人口、全穀物生産量、農地（耕地+永年作物地）面積および化学肥料窒素消費量の推移 (FAOSTATから作図)

# 家畜排泄窒素の農耕地への潜在負荷量

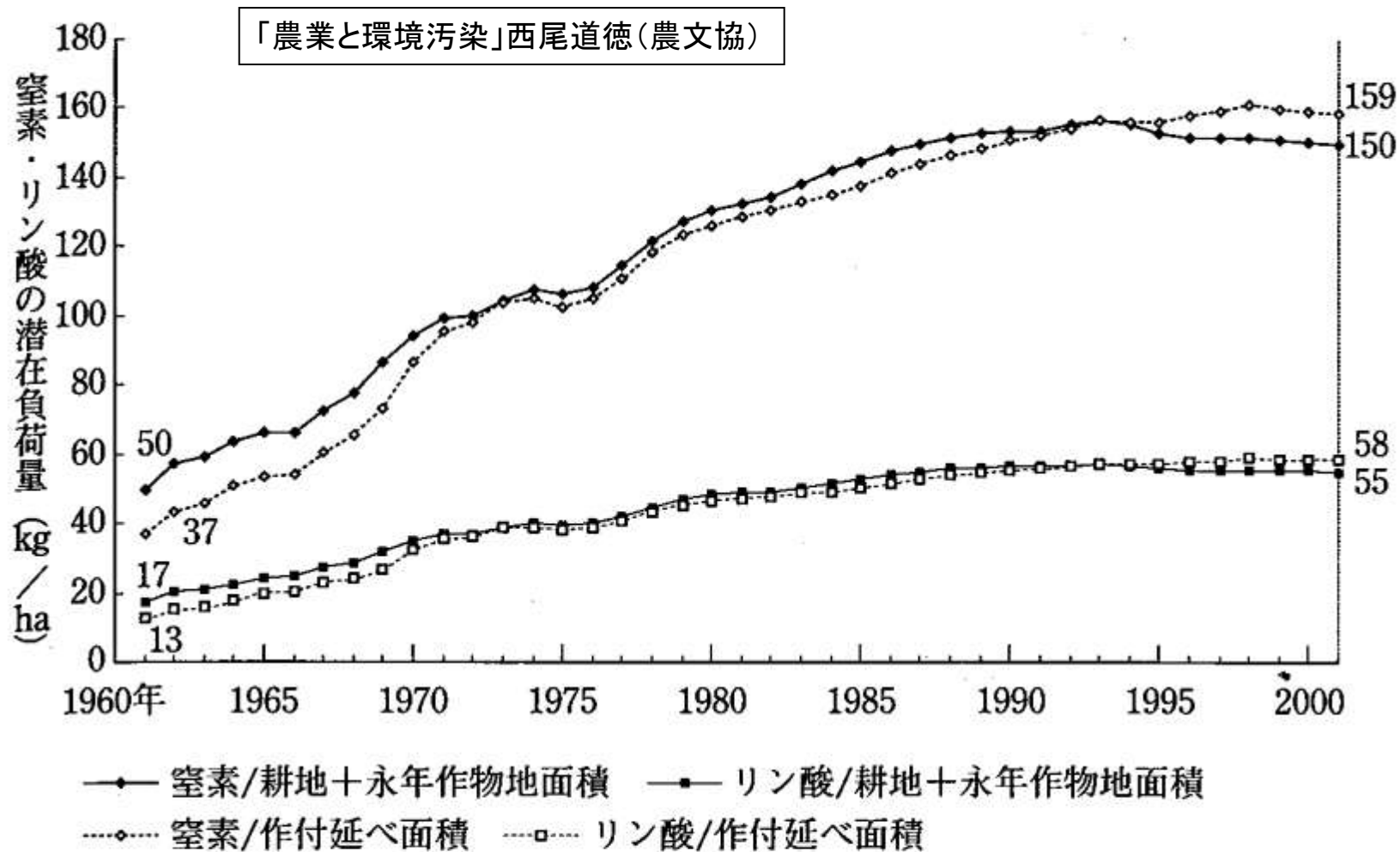
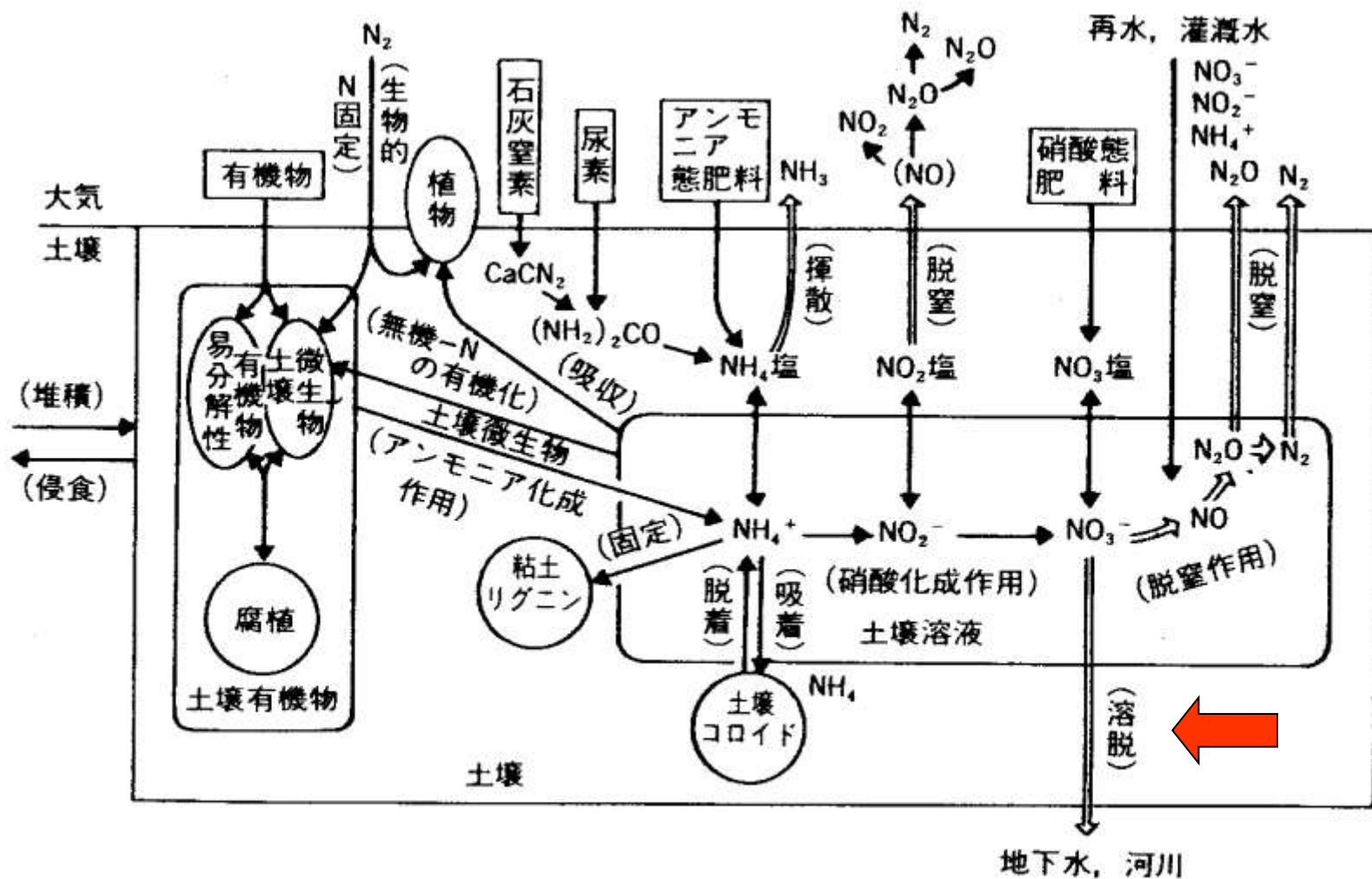


図3-8 日本における耕地十永年作物地面積および作付延べ面積当たりの家畜排泄窒素とリン酸の潜在負荷量の推移 (畜産統計, FAOSTATなどから作図)

# 土壤中のNの動態と環境への流出経路 (硝酸による地下水・河川の汚染)



図VIII-7 土壌中におけるNの動態と環境への流出経路

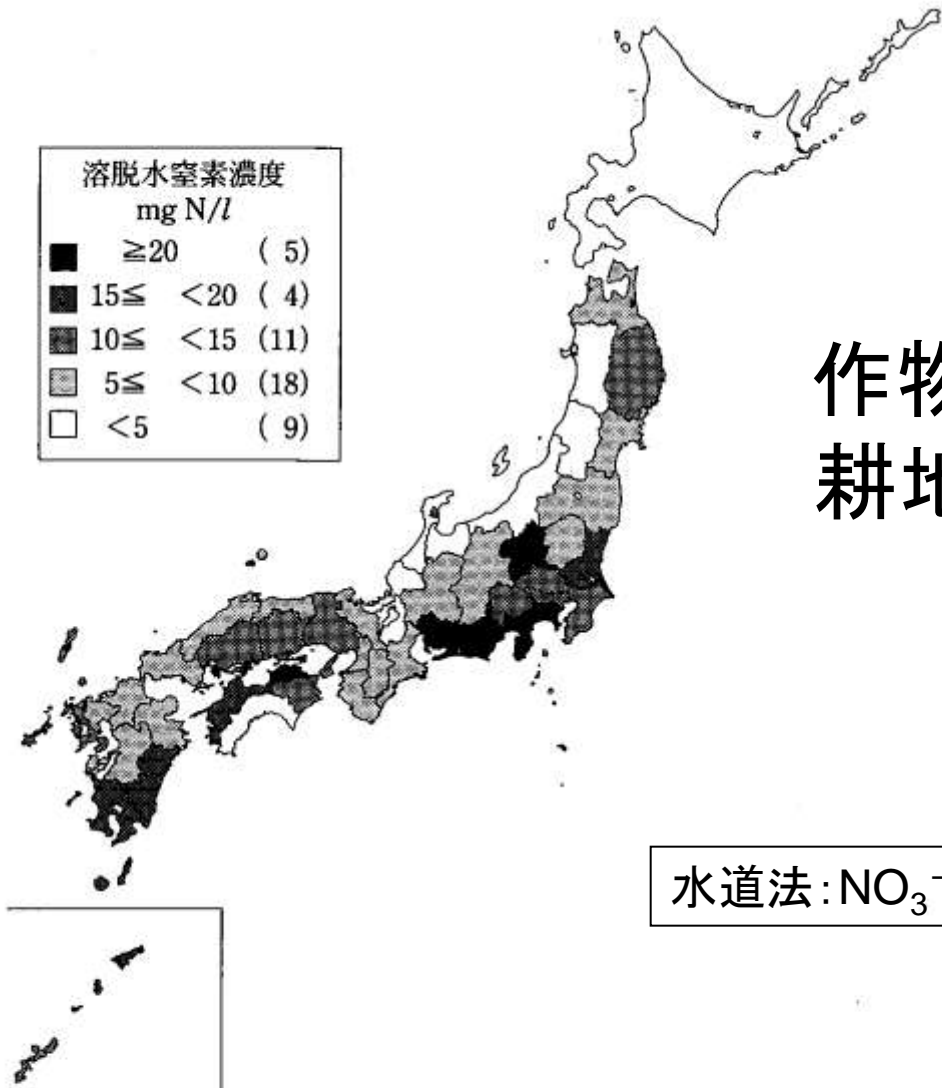
# 日本の農地におけるNのフロー

表VIII-7 わが国の農地における N のフロー (1990 年)

		kg N/ha・年
農耕地への流入量 (318)	化学肥料	121
	堆厩肥	102
	作物残渣	51
	生物的 N <sub>2</sub> 固定	25
	降 水	13
	生活廃棄物	4
	灌漑水	2
	農耕地の保有量	土壌 N
農耕地からの流出量 (319)	溶脱, 蓄積	133
	作物収穫物	77
	作物副産物	62
	脱 窒	47



農林水産技術会議事務局, 研究成果 No. 353 (2000.3) のデータから作表.



# 作物と家畜生産にともなう 耕地からの溶脱水中の窒 素濃度

水道法:  $\text{NO}_3^- \text{-N} + \text{NO}_2^- \text{-N}$  10 mg N / L 以下

図5-15 2001年における都道府県別の作物および家畜生産にともなう耕地からの溶脱水中の窒素濃度の分布

(寶示戸ら, 2003 から作図)

「農業と環境汚染」西尾道徳(農文協)

# 農業由来の硝酸による環境汚染

- メトヘモグロビン血症

血液の酸素運搬が阻害

乳児・家畜で発症

水道法： $\text{NO}_3^-$ -N +  $\text{NO}_2^-$ -N 10 mg N / L 以下

- 富栄養化

河川・湖沼・沿岸部

微生物・プランクトンの大増殖

酸素欠乏

## 6. 食糧生産と環境保全の両立

- EUの「硝酸指令」(1991)
- 加盟国は具体的国内法を制定
- 水系の硝酸濃度・富栄養化をモニタリング
- 農業者は硝酸排出抑制の行動が義務
  - 冬季に肥料や家畜糞尿を施用しない
  - 科学的施肥基準の遵守
  - etc

# 日本：環境保全型農業の推進（1992）

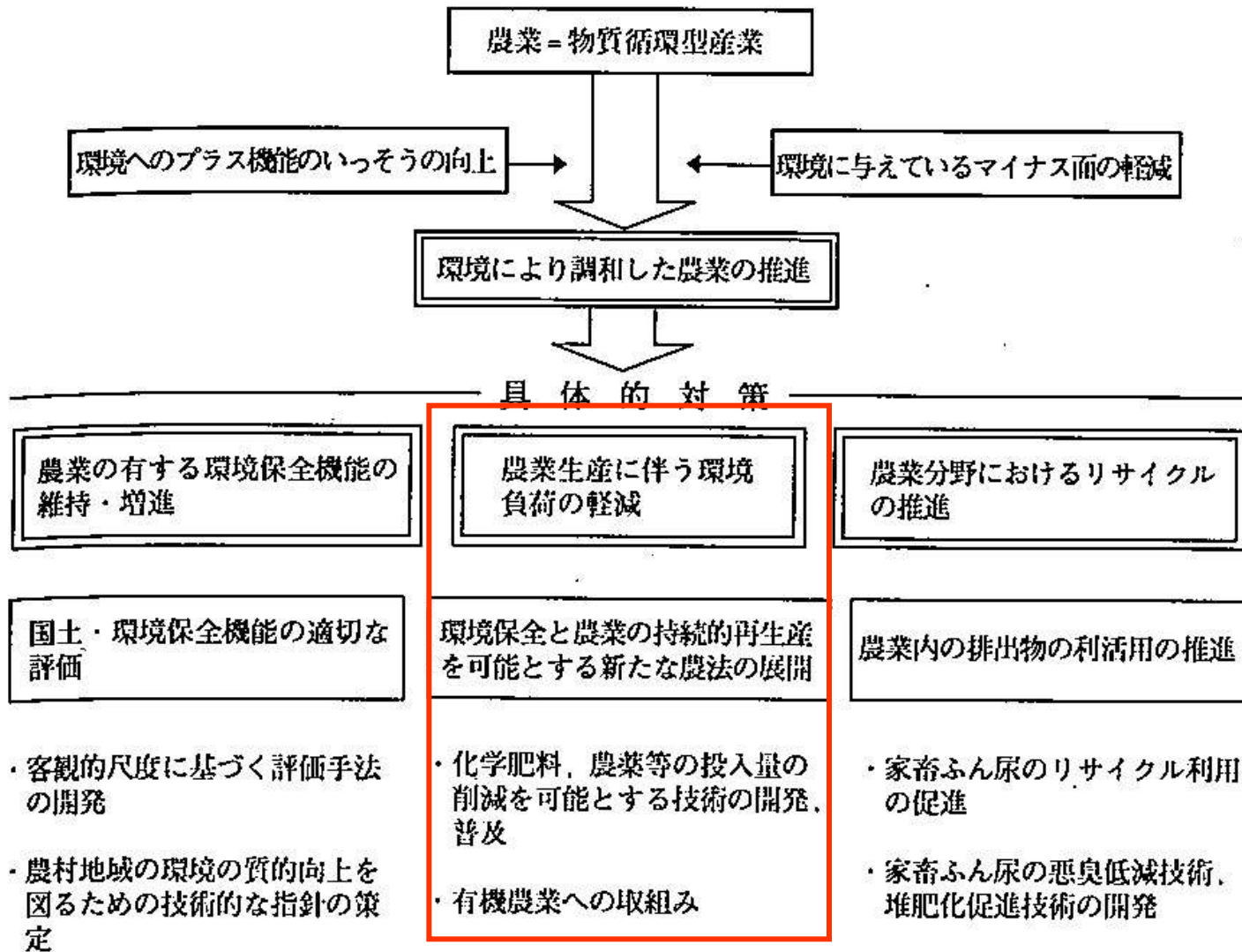


図1-2 環境保全型農業の推進に関する概念図

(農林水産省, 1992)

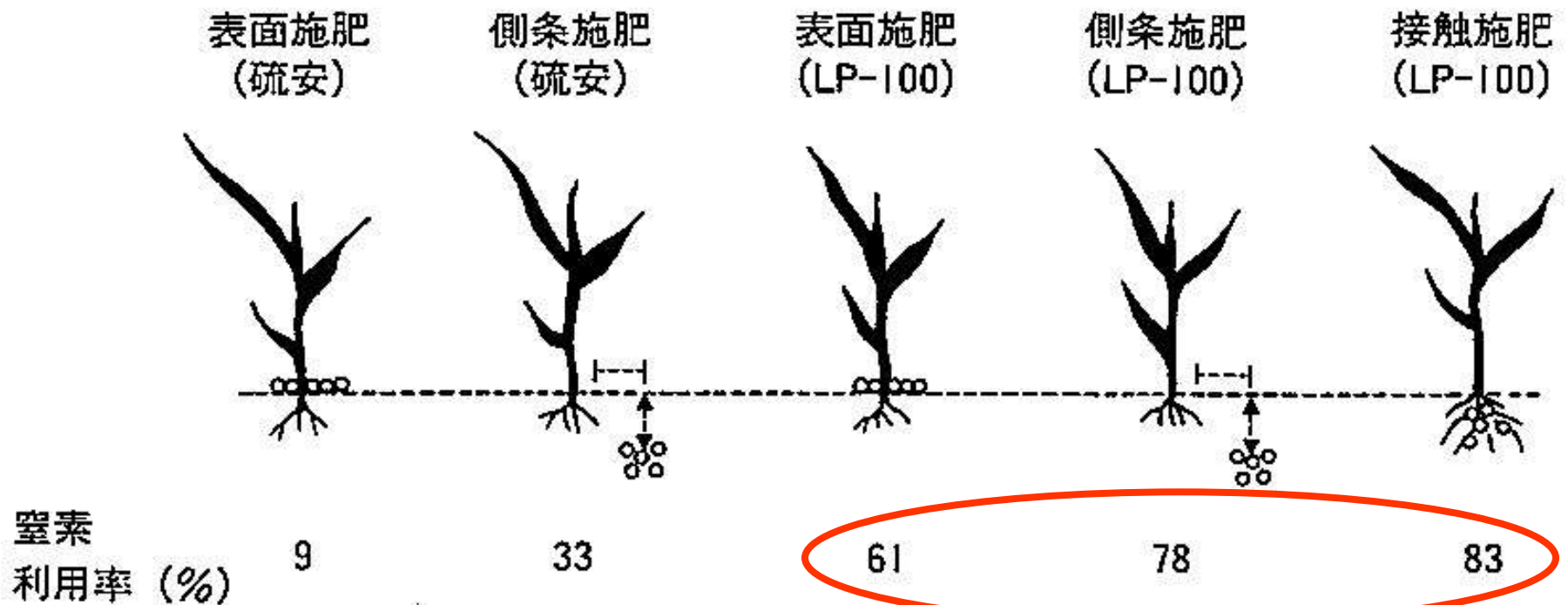
# 最大効率最少汚染農業

(Maximum Efficiency and Minimum Pollution  
Agriculture, MEMPA) (三枝)

- 施肥成分の利用率を最大に
- 環境への負荷を最少に
  
- 養分を少しずつ放出する肥料(有機、無機)
- 施肥時期、施肥法などの工夫

# 窒素肥料の形態、施用位置とイネの窒素利用率

(LP-100: 肥効調節型の被覆尿素)



図IV-6 基肥窒素の形態と施肥位置が水稻の窒素利用率に及ぼす影響  
品種：あきたこまち，1990～1991年。  
(金田吉弘，1995)

# レポート課題

- 日本あるいは海外において「持続的作物生産と環境保全の両立」のために実施（あるいは模索、提案）されている農業技術や農業政策について調べ、説明せよ（参考文献、ウェブサイト等を示すこと）。または自分自身で考案・立案し、提示せよ。