

食料増産と環境負荷軽減を 両立する**土壌**管理を求めて

福島国際研究教育機構

土壌ホメオスタシス研究ユニット

ユニットリーダー ふじい かずみち 藤井 一至

本日のメニュー

0. 自己紹介
1. 肥沃な土とは？
2. 日本の土はいい土か？
3. 土の持続性
4. みどり戦略への期待と課題
5. 水田のこれから
6. まとめ



0. 自己紹介



1981年 富山県生まれ 43才

京都大学農学部 博士 関西学生王将(アマ6段)

博士研究員

森林総合研究所 主任研究員

福島国際研究教育機構 土壌ホメオスタシス研究ユニットリーダー

恒常性

機能を一定に保つ仕組み

日本生態学会奨励賞

日本土壌肥料学会奨励賞

日本農学進歩賞

日本生態学会宮地賞

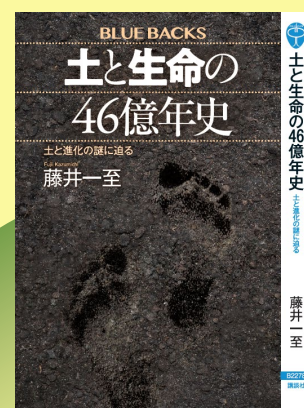
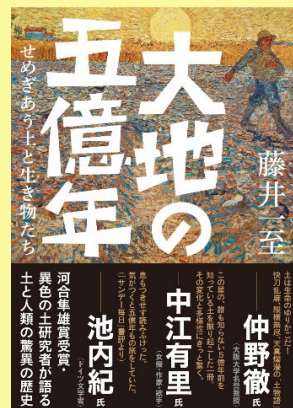
河合隼雄学芸賞

とやま賞

World OMOSIROI Award

講談社科学出版賞 New

藤井八冠



0. 土壌ホメオスタシス研究とは？

農学の課題と目標

- 土壌劣化抑止
/劣化(除染後)土壌再構築
- 環境負荷軽減
- 生産性向上

「秩序ある多収」

恒常性
喪失

土壌の健康
リスク

環境・社会変化

気候変動
高齡化(中山間地)
肥料価格高騰
食料危機
食需要変化(米騒動)

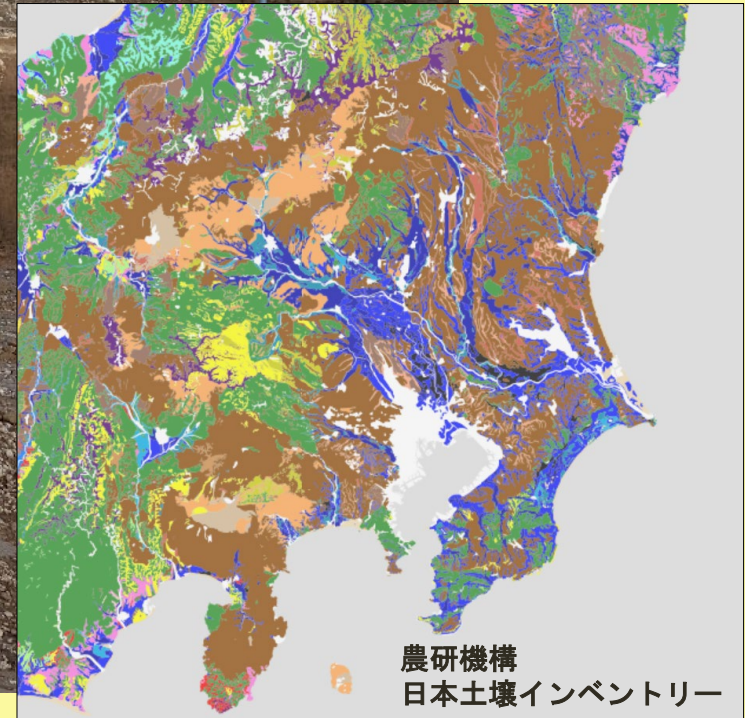
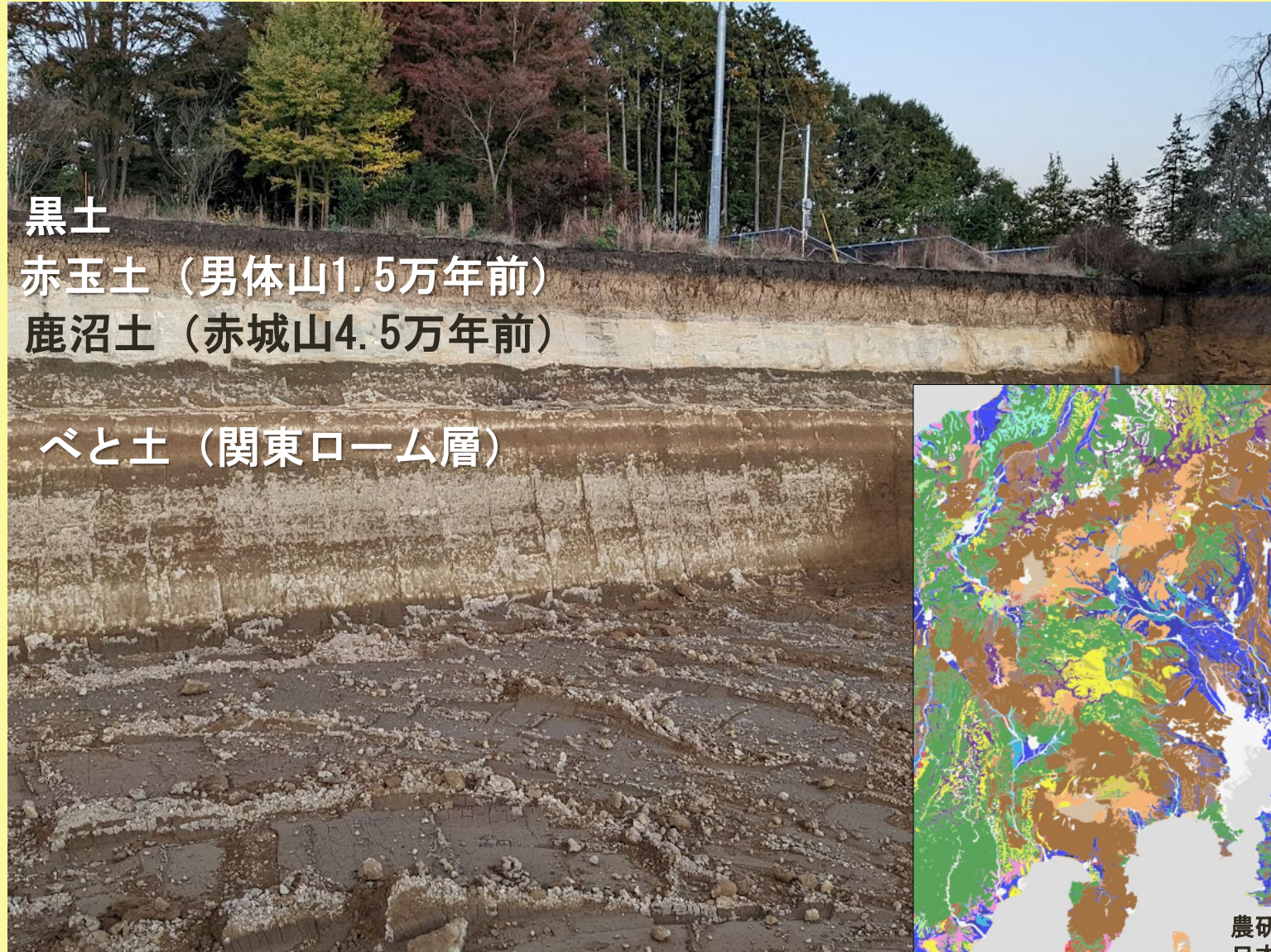
月
日

土壌の物質生産・循環の恒常性喪失・回復の機序を解明

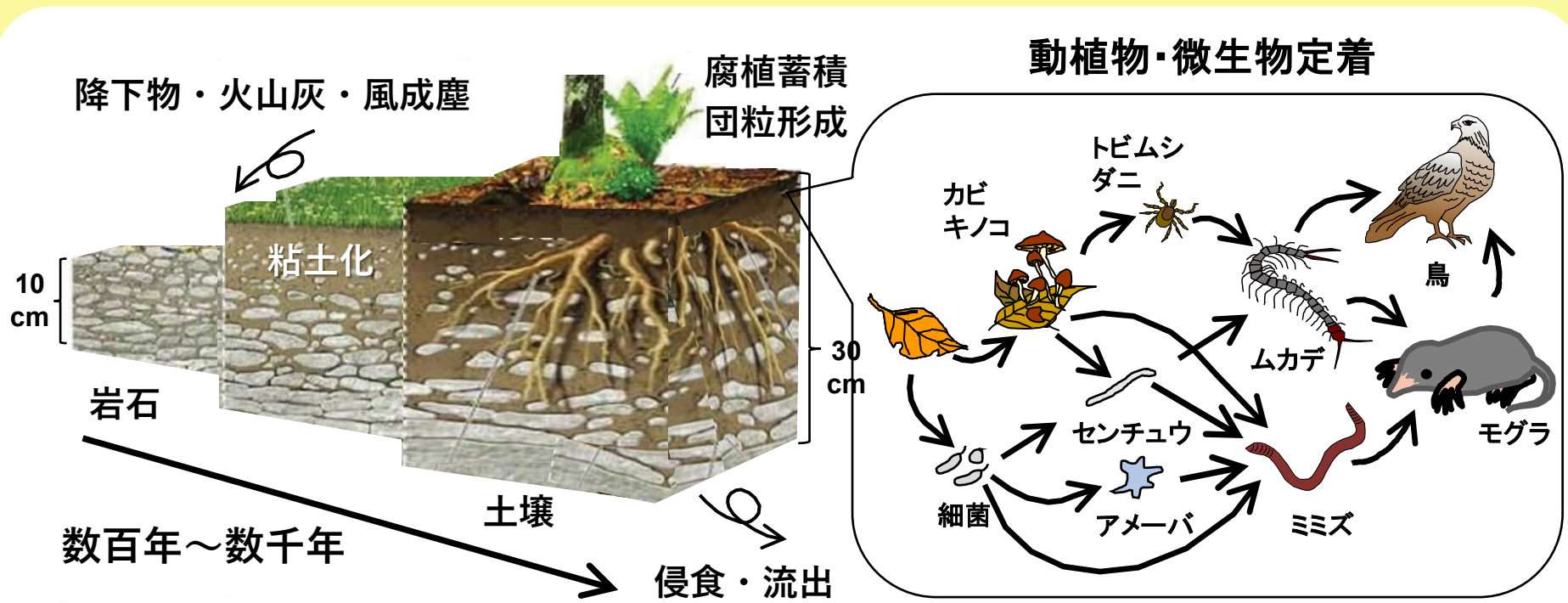
実用: 物質循環機能強化・模倣⇒ 肥料削減/炭素貯留

学術: 土壌本来の機能/価値の再構築

1. 土は食料生産の基盤

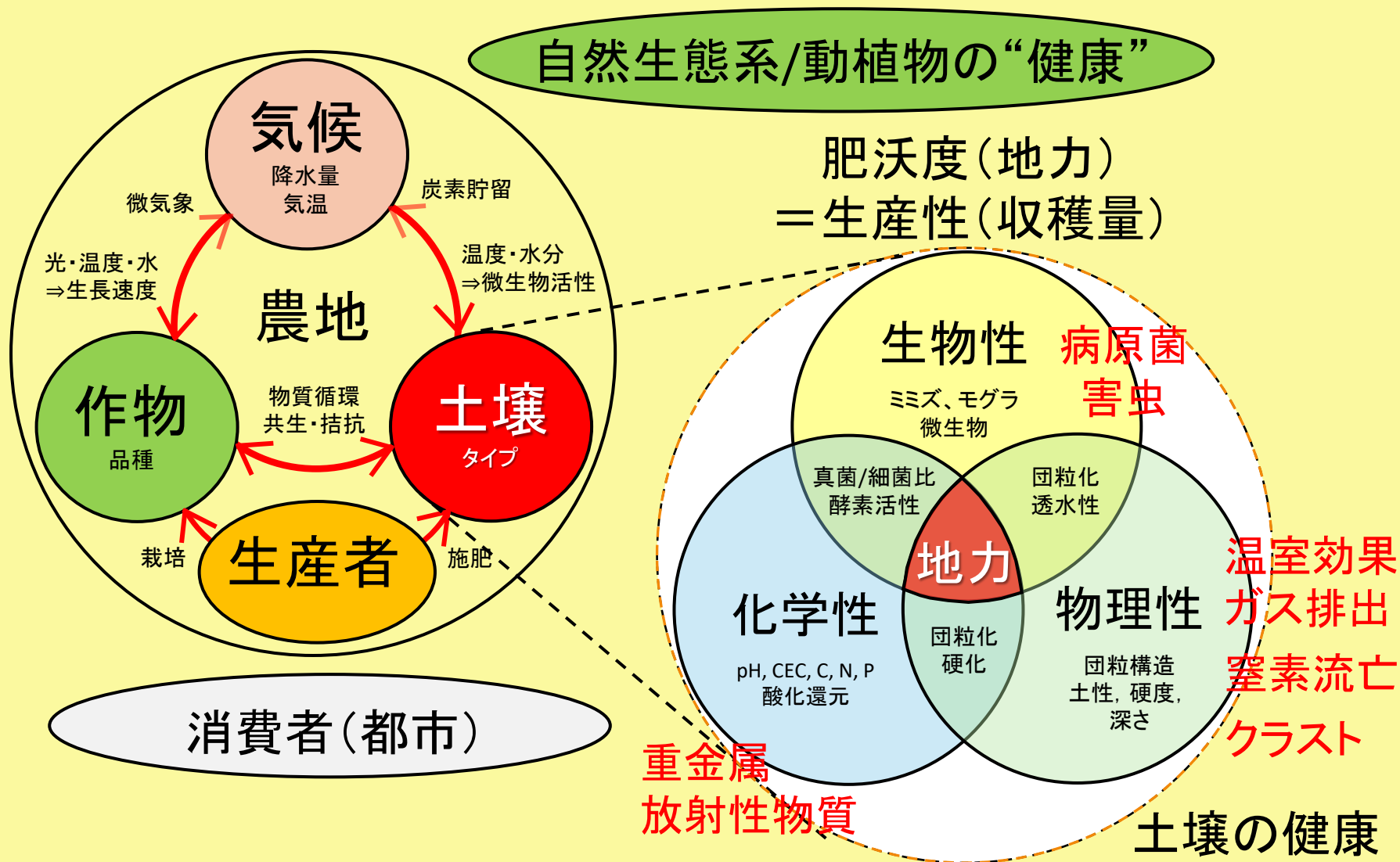


1. 肝心の「土」はゆっくり発達する



母材、気候、生物、地形、時間次第で違う土、働きになる

1. 土壌の肥沃度(生産性)と健康のちがい



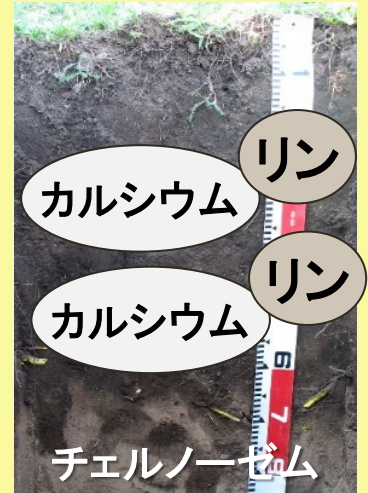
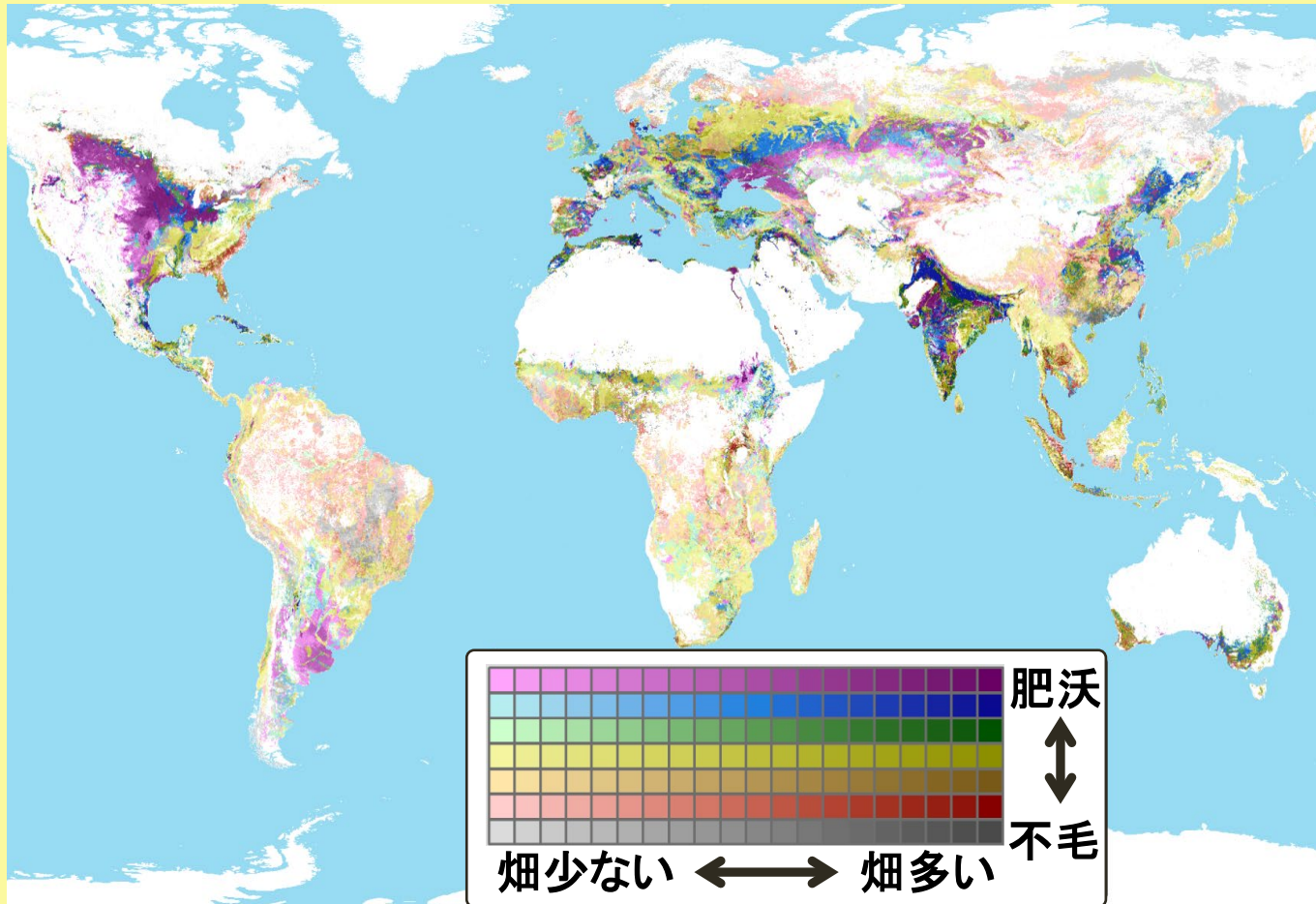
生産者も消費者も政策決定者も使える共通言語

1. 「いい土」とは？

- 通気性、排水性、軟らか・・・団粒、腐植
- 保水性、保肥性が良い・・・粘土、腐植
- 中性・・・・・・・・・・・・乾燥地、水田
- 病気にかかりにくい・・・・・・生物多様性高い(微生物・ミミズ)



2. はらつく肥沃度、回復力



陸地面積11%で60億人分の食糧生産⇒飢餓、貧困、戦争



泥炭土



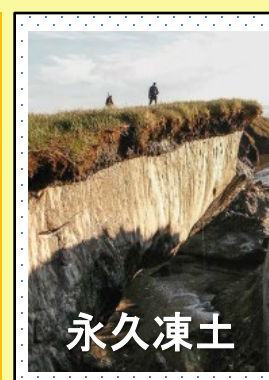
ポドゾル



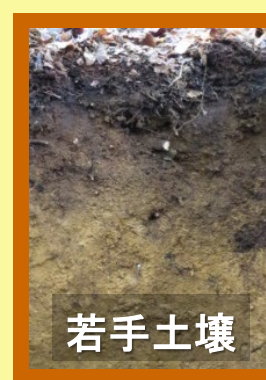
チェルノー
ゼム(黒土)



粘土
集積土壌



永久凍土



若手土壌



土なし
(岩場)



黒ボク土



砂漠土

未熟土



オキシソル



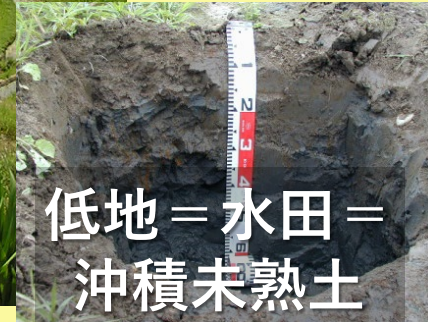
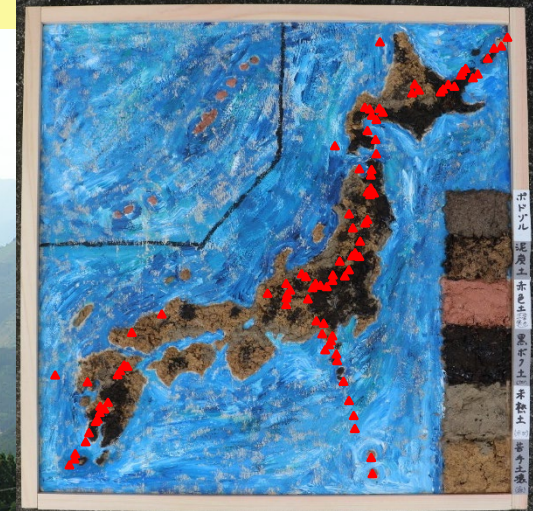
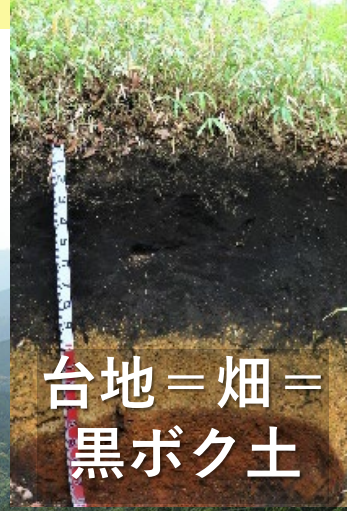
ひび割れ
粘土質土壌



強風化
赤黄色土

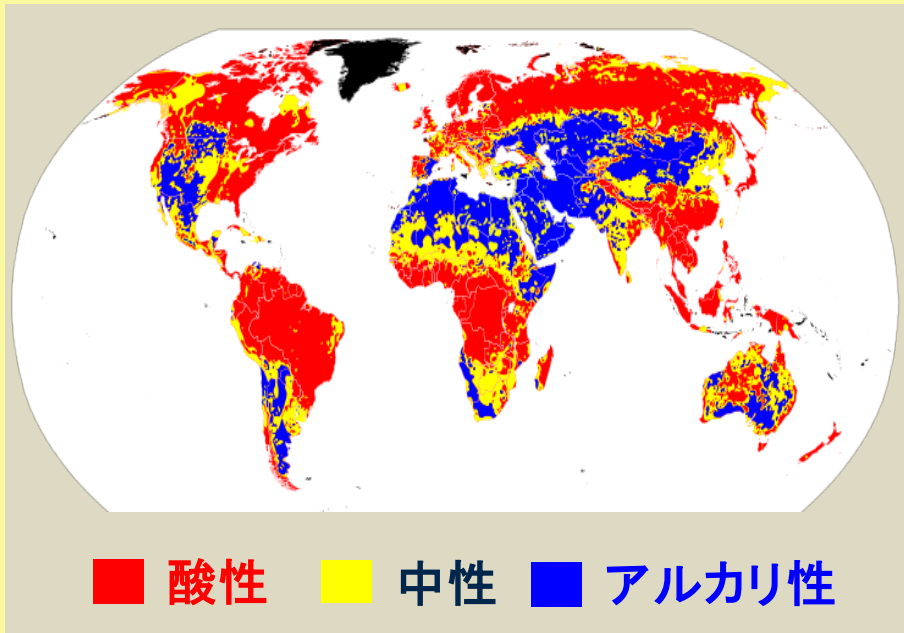
世界の土壌図

2. 日本の土は肥沃なのか？



土だけを見ると、答えは△。なぜか？

2. 欠乏害と酸性度



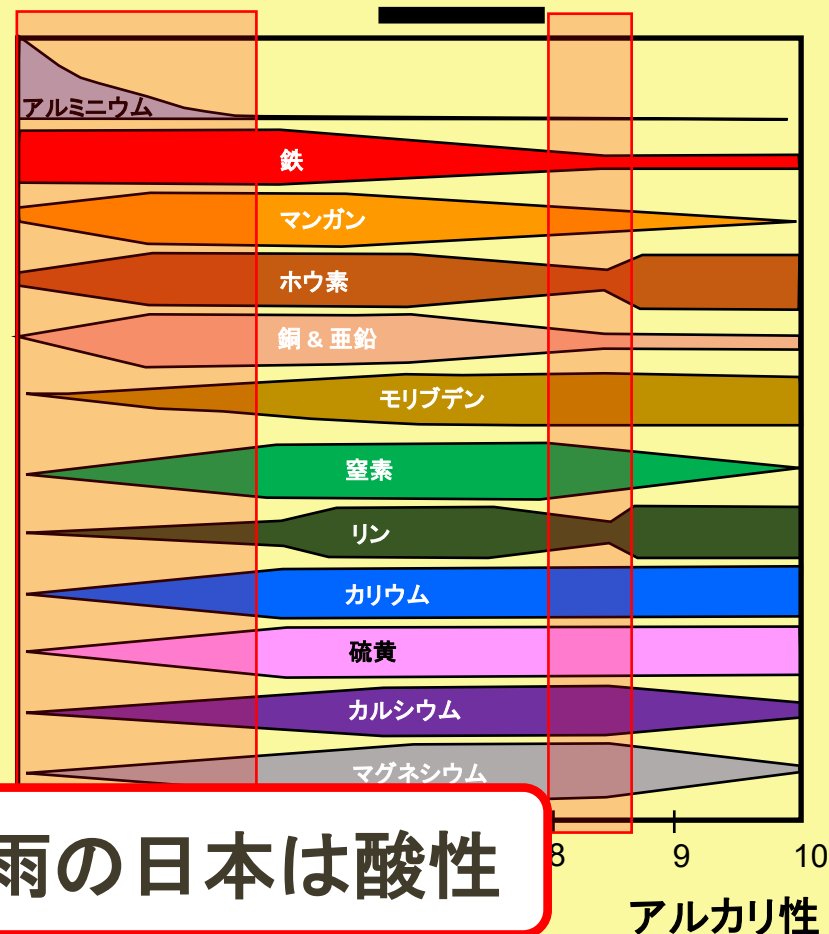
ソバ・ゴボウ・コマツナ・カブ
コンニャクイモ・カボチャ
ジャガイモ・ヤマイモ・スイカ
ラッカセイ・インゲン・イチゴ

イネ・レンコン・サトイモ・ダイズ・キュウリ
・トウモロコシ・ニンジン・サツマイモ

サツキ ミ
チャノキ ハ
ブルーベリー

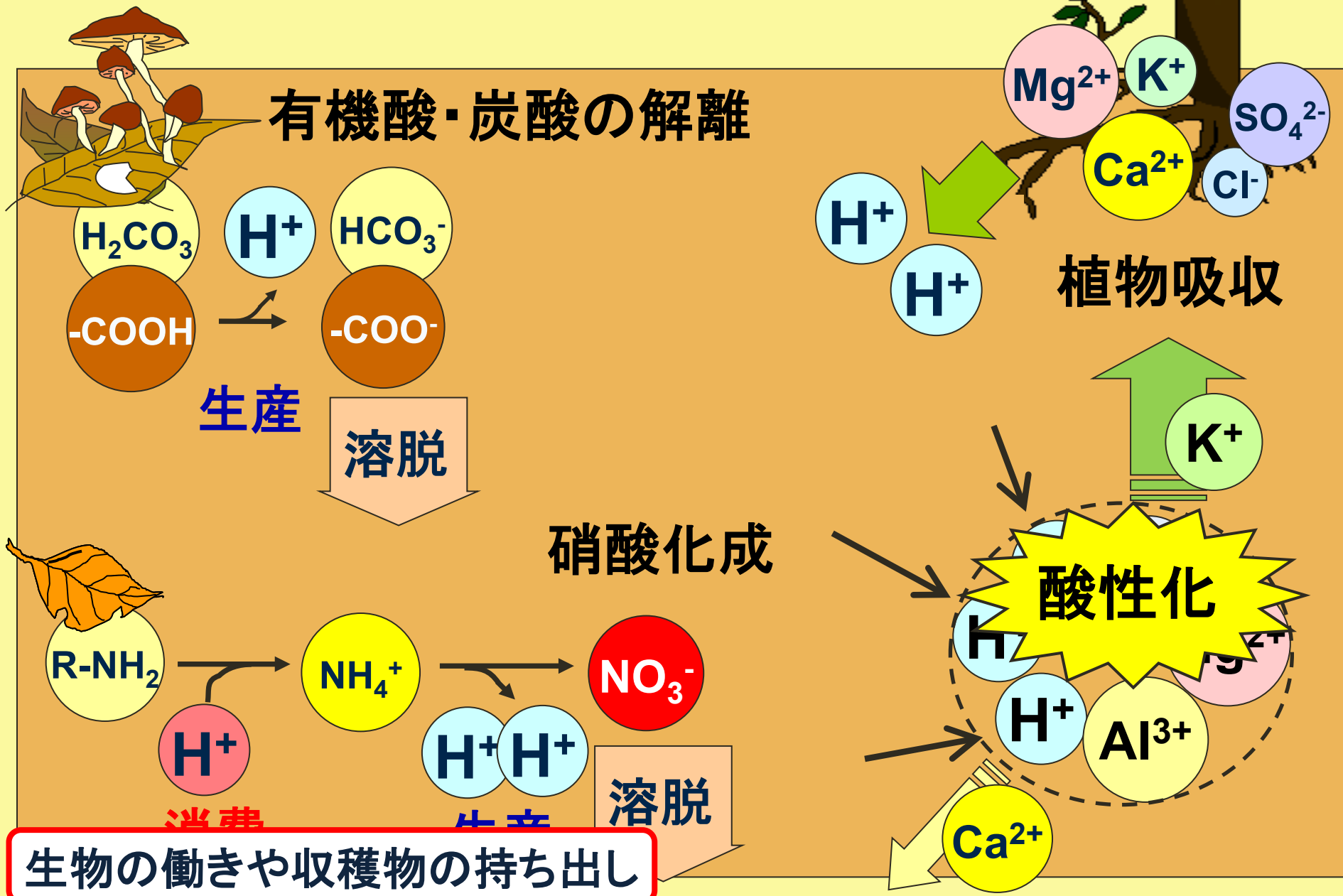
ミカン
パイナップル

コムギ・キャベツ・ネギ・ヒマワリ
 ホウレンソウ・アスパラガス
 トマト・ピーマン・ナス・オクラ

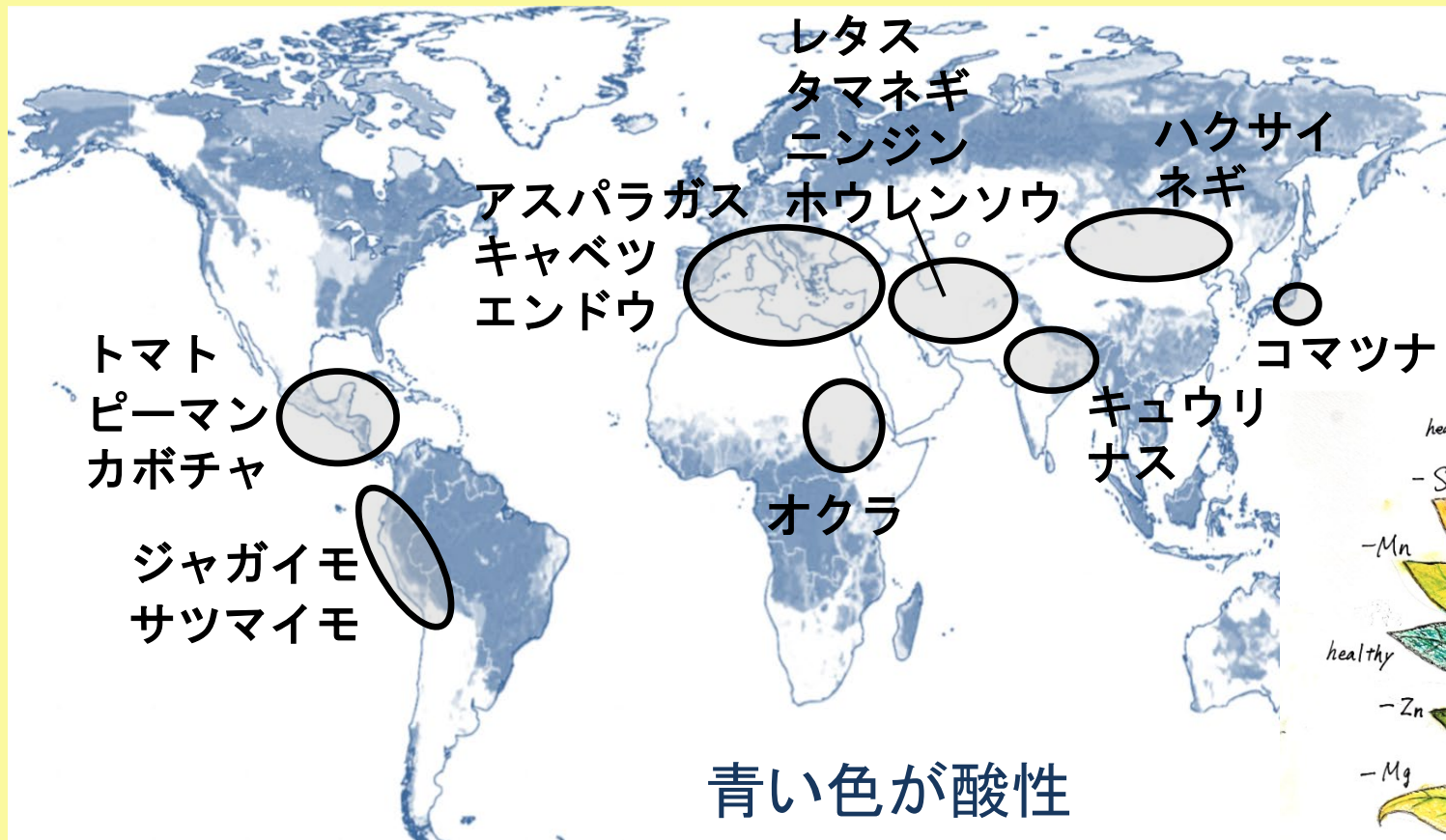


水と栄養分は両立しにくい 多雨の日本は酸性

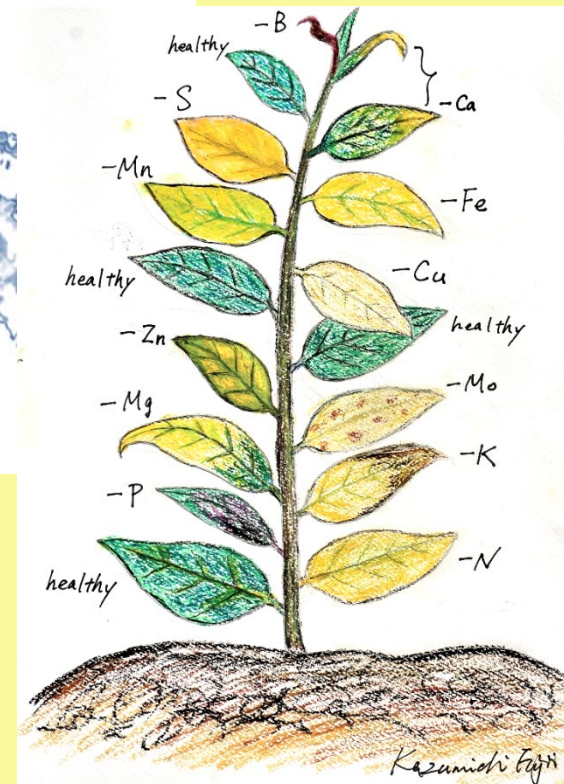
2. なぜ土が酸性になるのか？



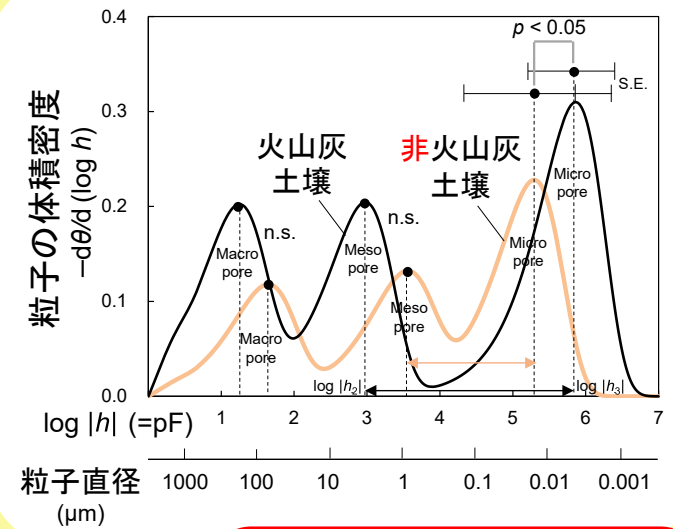
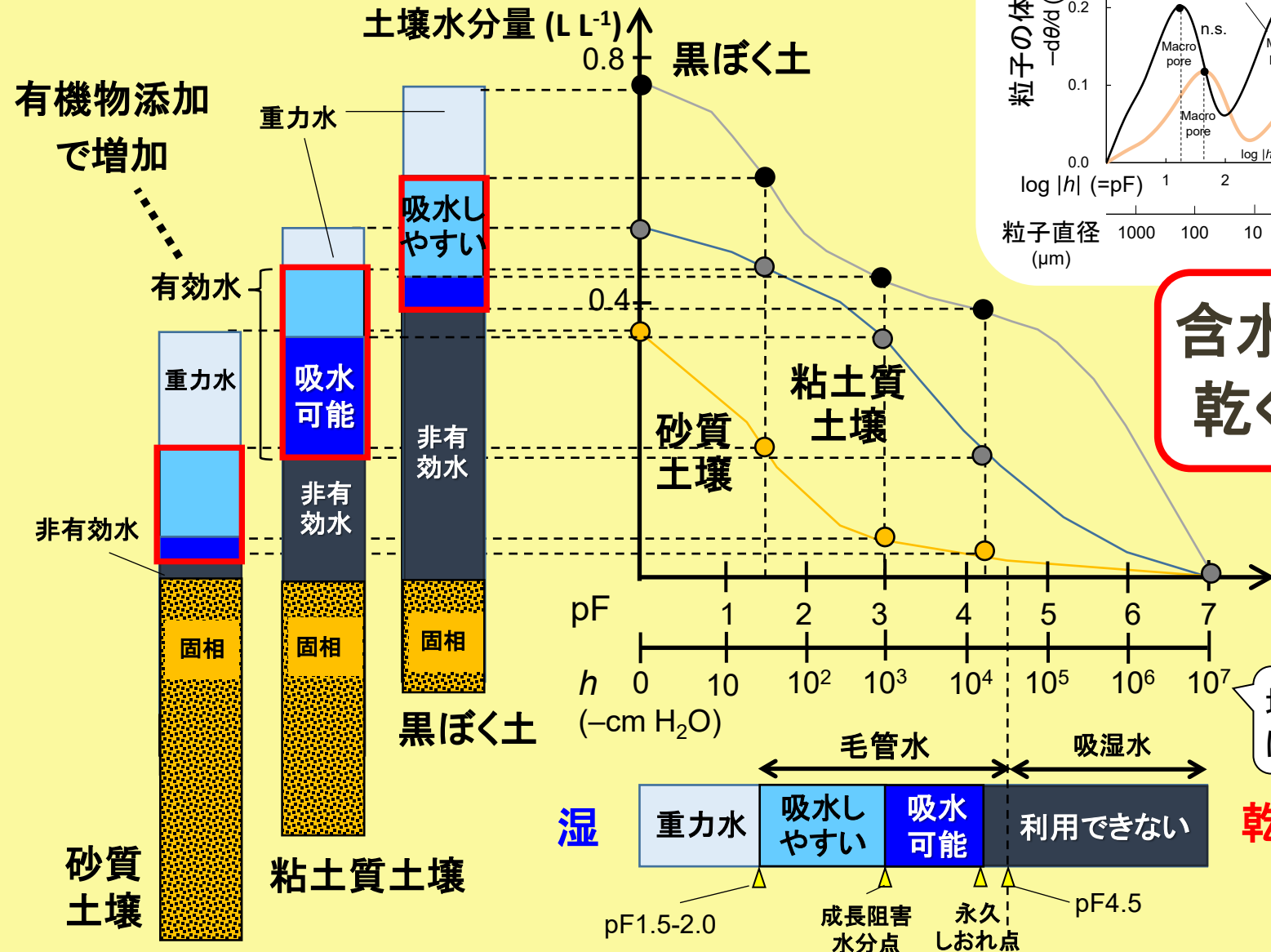
2. 原産地の土に寄せるための石灰



石灰または堆肥で酸性緩和
堆肥で微量元素補給



2. 土の保水力



含水率以上に
乾く黒ボク土

地下水面が 10^7 cm
にある状態に相当

2. 3Dの土壌物理



沖縄赤土
(重粘土)



真砂土



黒土



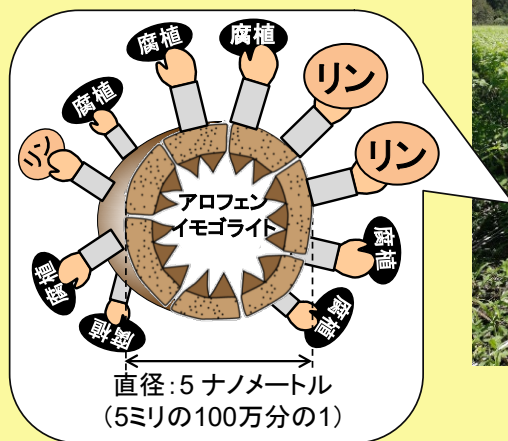
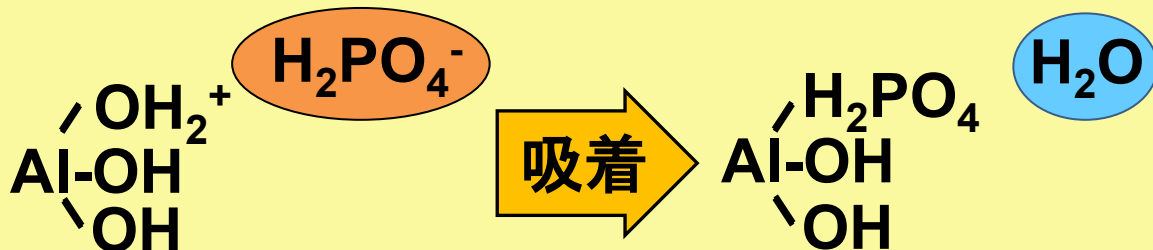
赤玉土(男体山軽石)
鹿沼土(赤城山軽石)

表層の透水性と下層の保水性

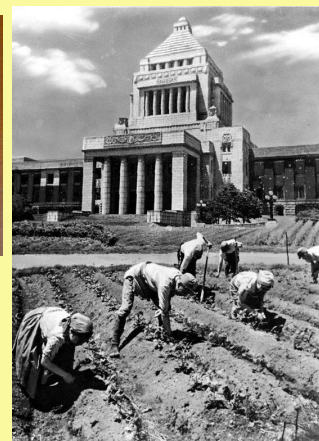
砂質なら堆肥、重粘土なら堆肥・川砂で改良

2. 日本の土はすごい？

黒ぼく土の悩み = 酸性 + リン吸着



有機酸
有機酸



戦後の野辺山開拓時代

有機物≡微生物活性は高い

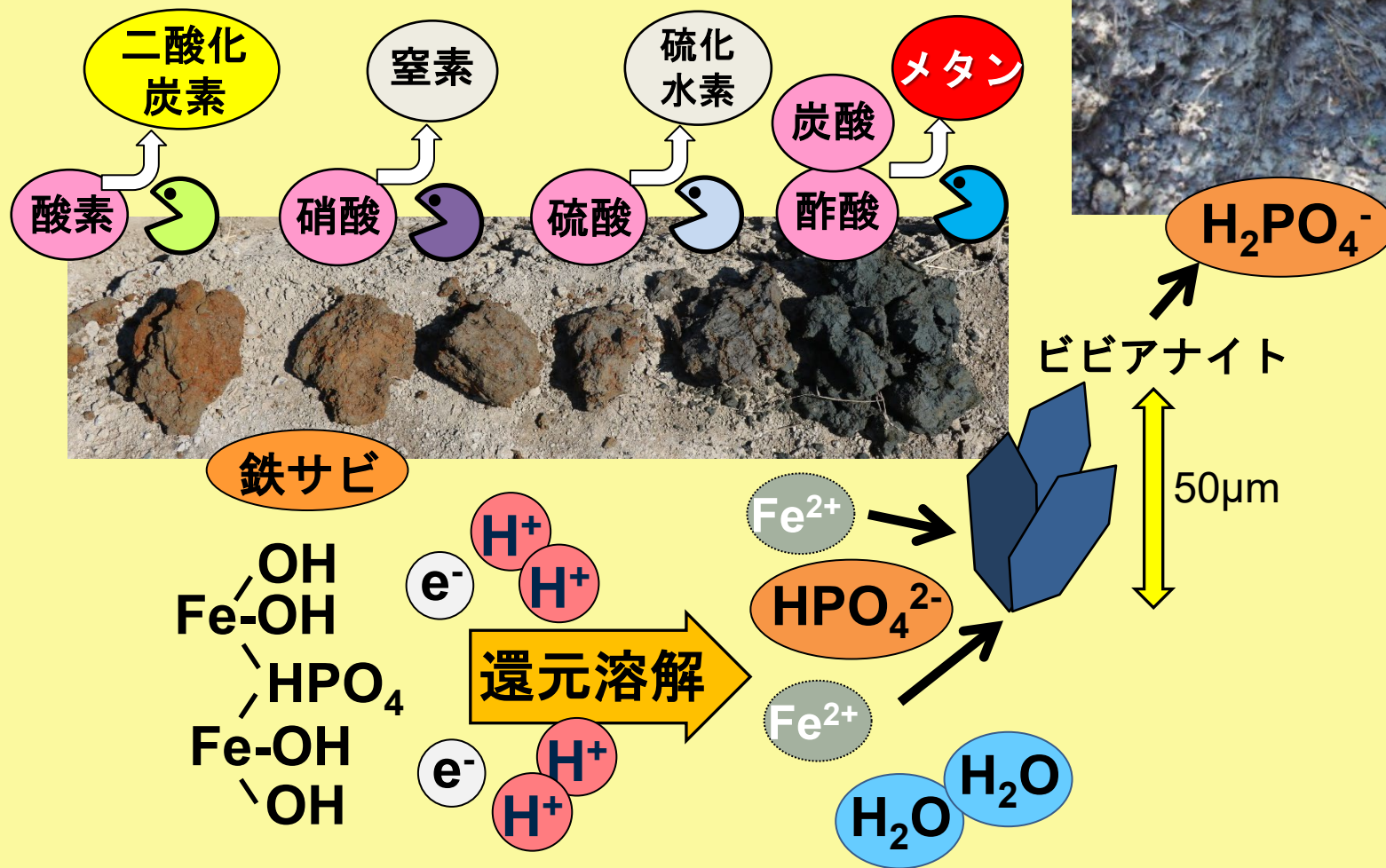
But 低温（高地）＋ 水不足（台地）

問題を石灰・堆肥、肥料
で克服⇒畑作適地に

男体山 ⇒ 戦場ヶ原 ⇒ イチゴ

富士山 ⇒ 上九一色村

2. 田んぼの土はすごい



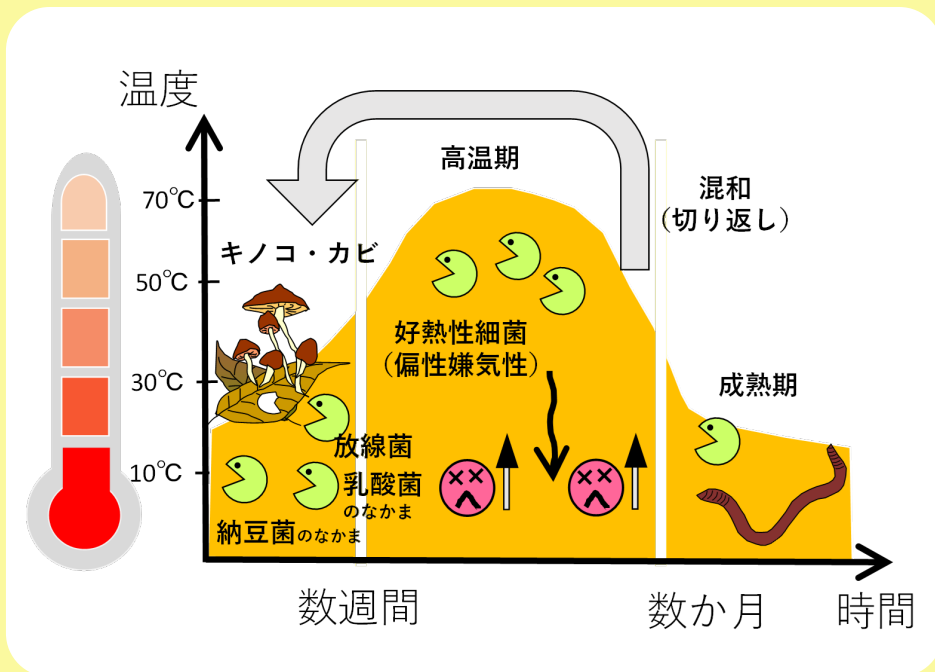
水田の強み = 酸性矯正 + リン解放 $\Leftrightarrow$ 水消費とメタン排出

2. 土作りとは？ 堆肥と土の違い

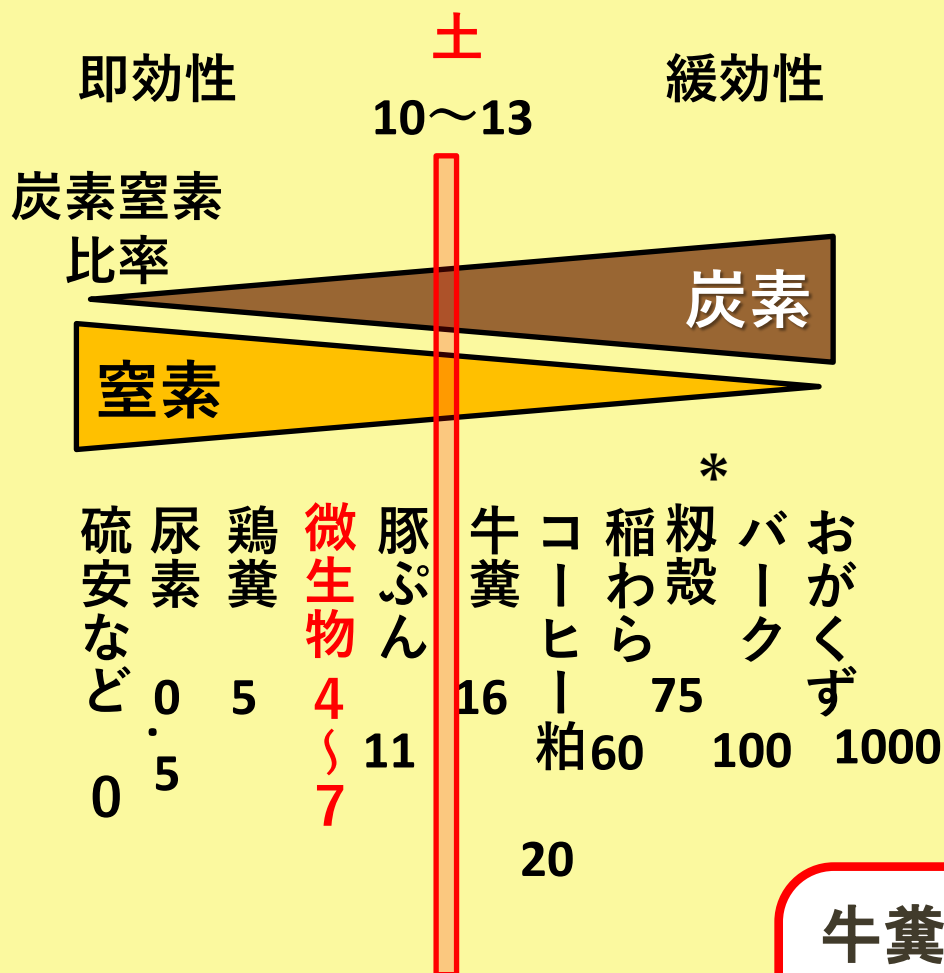
- 通気性、排水性、軟らか ⇒ **堆肥**、砂、暗渠
- 保水性、保肥性 ⇒ **堆肥**
- 酸性 ⇒ 石灰、**堆肥**
- 病気にかかりにくい ⇒ **堆肥**

堆肥 = **堆積肥料** ≠ 腐植

特に動物性堆肥にはNaが豊富

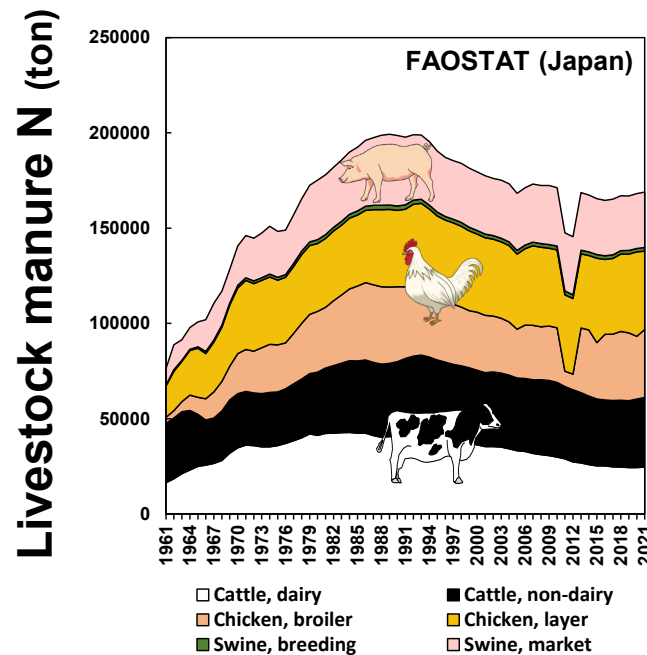


2. 堆肥の材料の違い



＊市販品は堆肥化・混合によって10~30に調整してあることが多い。

土壌に還元される家畜由来窒素量



全国均質にまけたなら、40 kg N/ha
化学肥料100 kg N/ha

牛糞：炭素多 ⇒ ふかふか 局在 重

豚糞：窒素多 ⇒ 肥料

鶏糞：窒素リン多 ⇒ 肥料 遍在 軽

2. 即効性肥料のメリット・デメリット

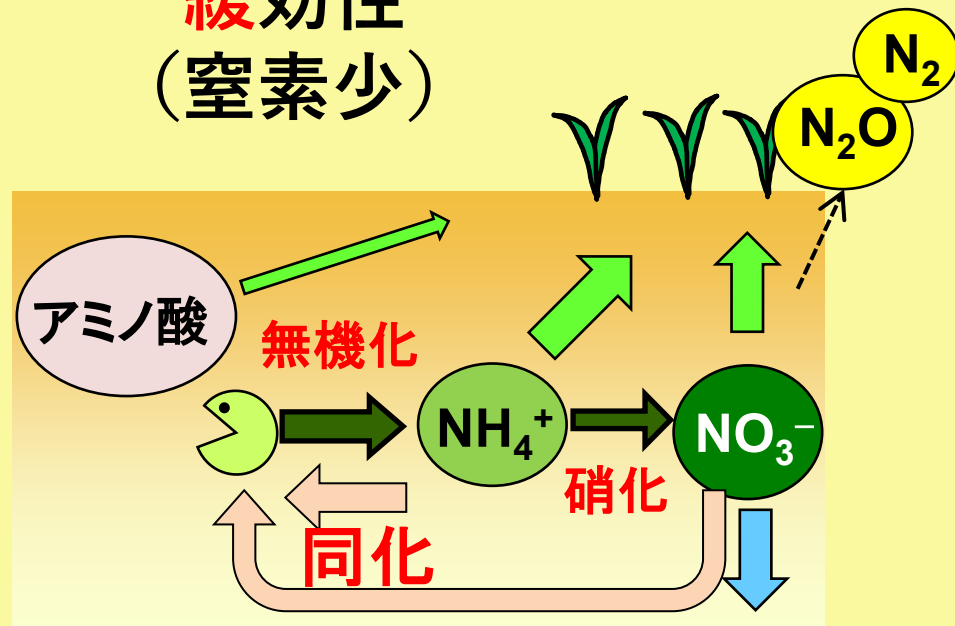
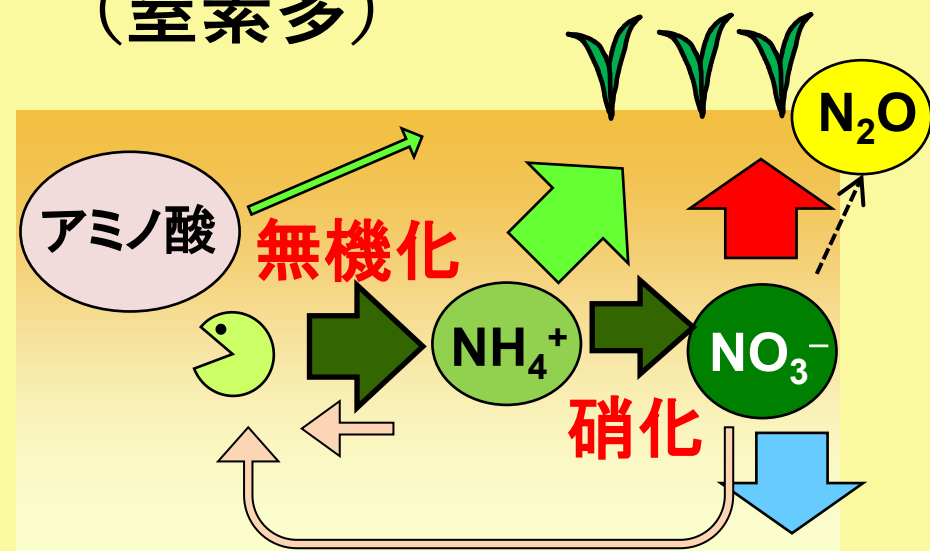


ホウレンソウ

⇒ 有機酸を含む粒で問題なし
(窒素多めのサイン)

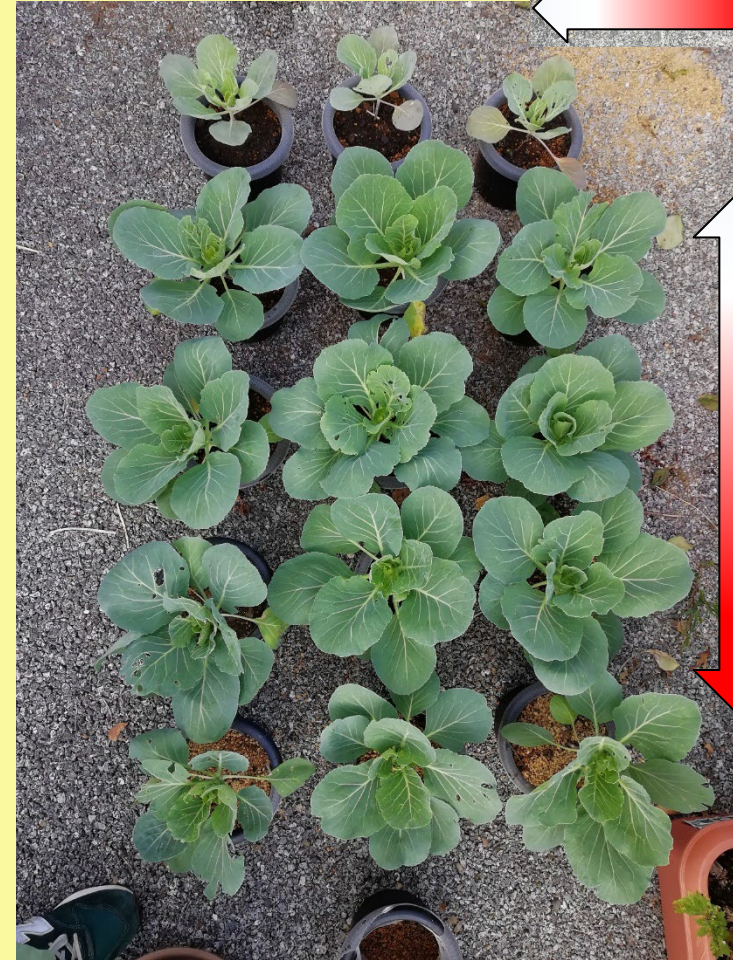
即効性
(窒素多)

緩効性
(窒素少)



供給速度を計算しやすい vs. 溶脱によるロスも多い

2. 土(根域確保)も肥料も大事

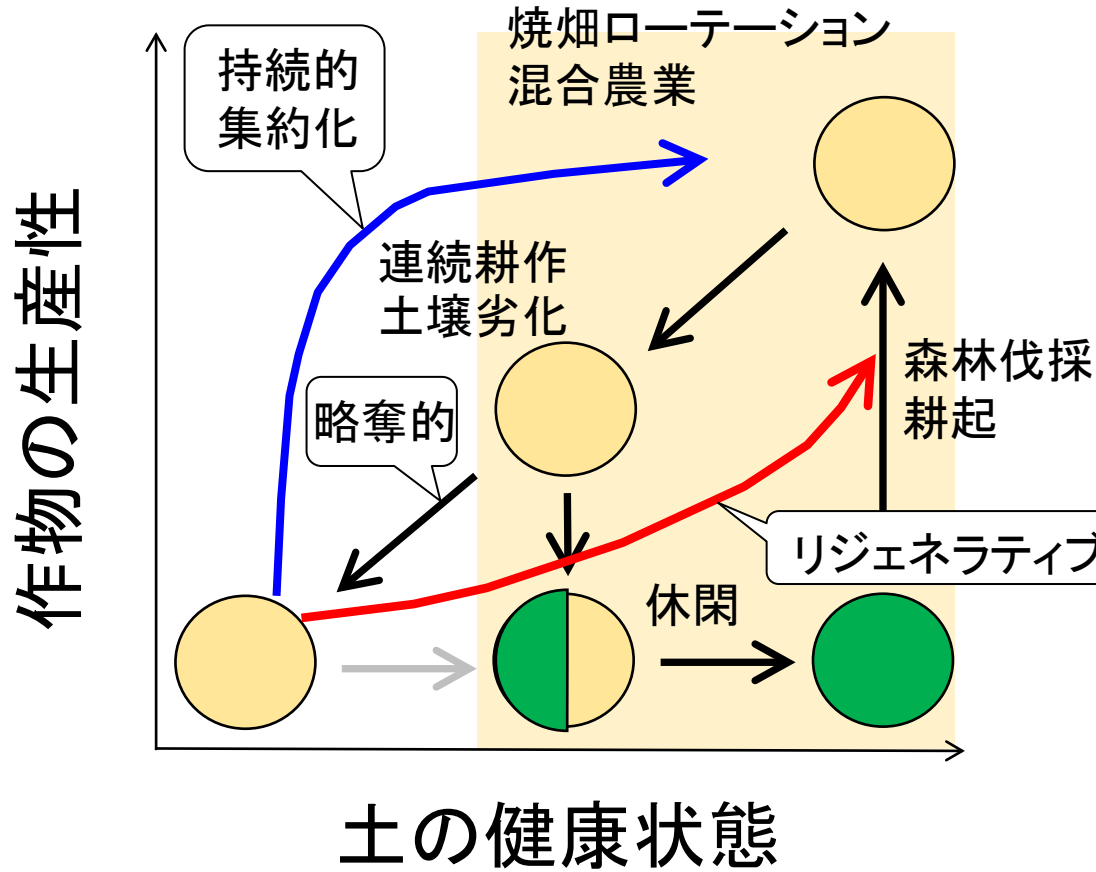


無施肥

過剰

(無施肥)地下部へ大量資源投資 $\Leftrightarrow$ (過剰施肥)根未発達

3. 土も劣化するし、肥沃にもなる＝土づくり



企業も本気。サプライチェーン持続性強化

Modified from
Bernard Van
lauwet (2013)

3. 土の肥沃度を維持するために

焼畑、里山



藤井画伯

糞尿リサイクル

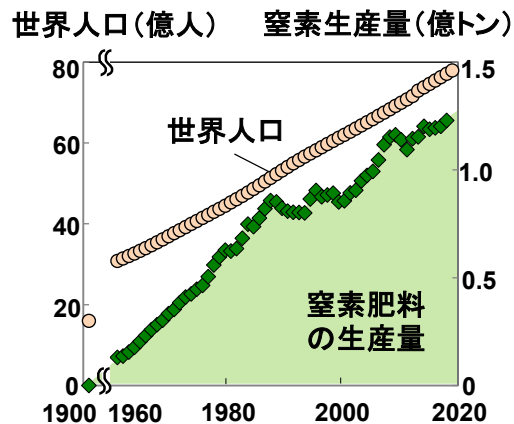


『日本農書全集26 農業図絵』(農文協)

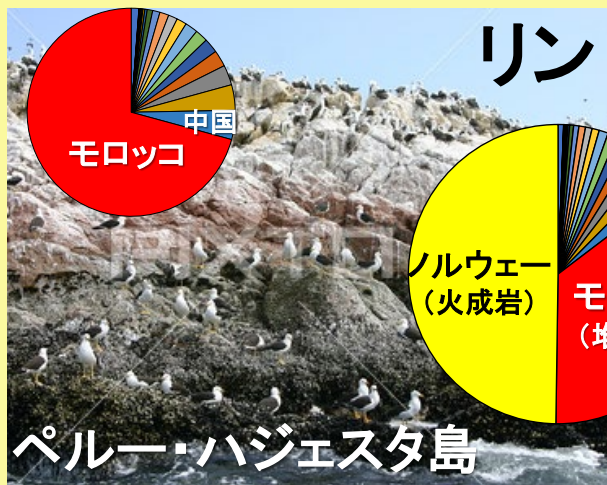
家畜糞など堆肥



窒素



リン



カリウム

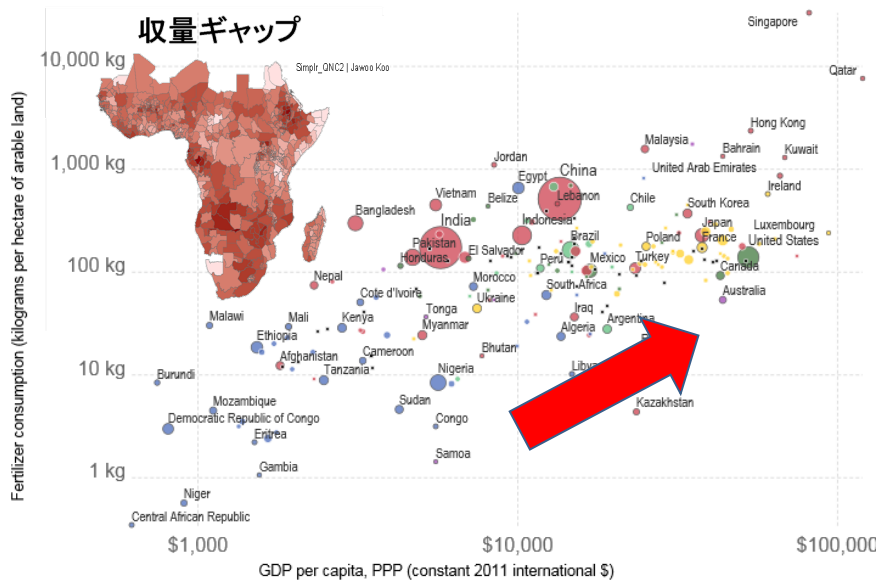


有限で競合。埋蔵量があっても、買えるとは限らない。

3. 肥料とコカ・コーラの逆説

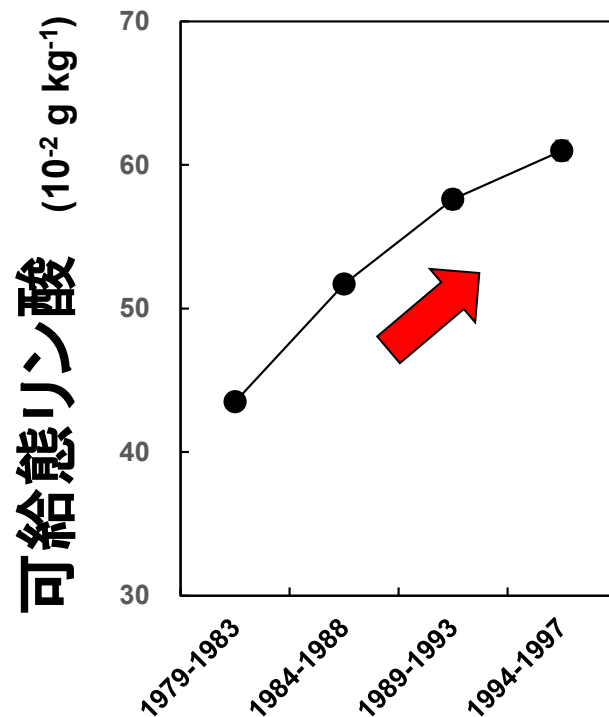
一人あたりの肥料消費量

Fertilizer consumption per hectare vs. GDP per capita, 2015
Average fertilizer consumption, measured in kilograms per hectare of arable land versus gross domestic product (GDP) per capita, measured in 2011 international- $\$$.



一人あたりのGDP

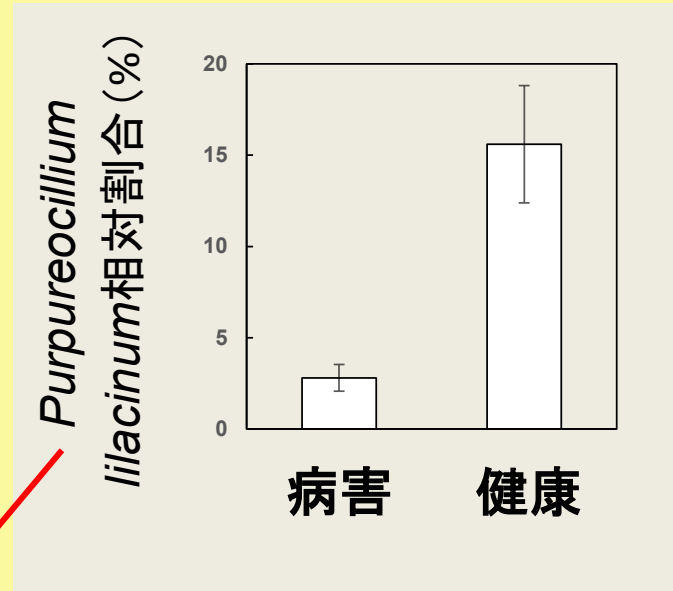
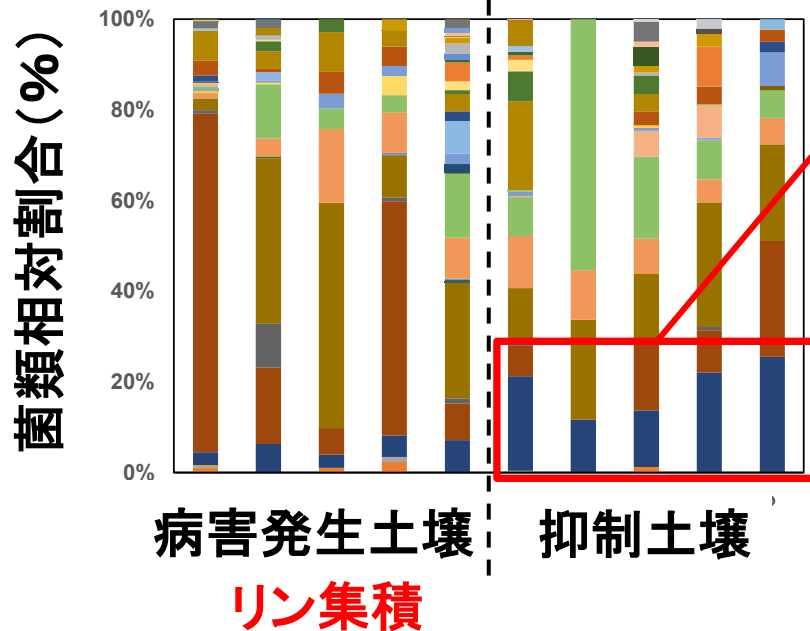
全国の農地調査



(小原 & 中井, 2004, 土肥誌)

最も肥料を必要とする人々に届いていない問題

3. 土壌病害への統合的アプローチ

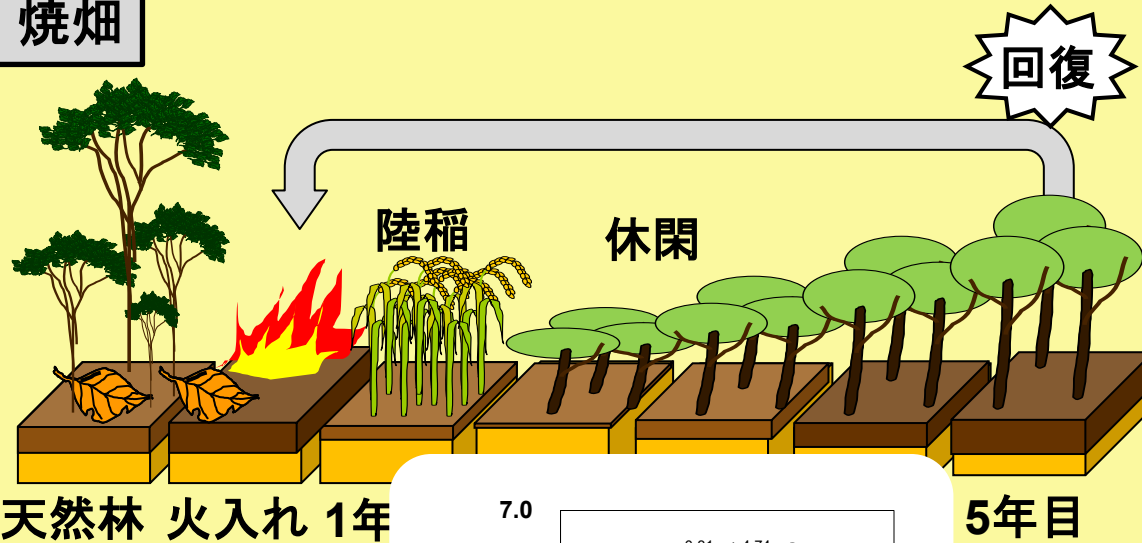


天敵微生物単独の移植は困難
肥料分の引き算は困難
⇒ バーク堆肥など低栄養成分の組み合わせによる改良が必要か

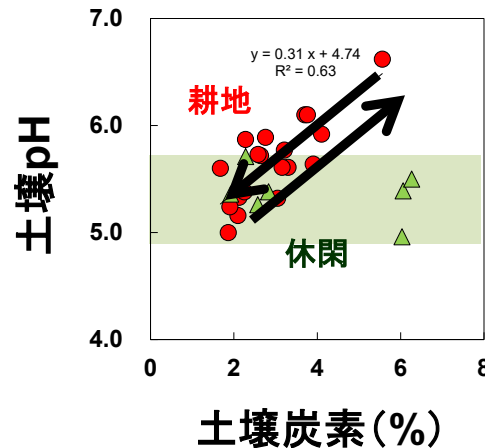
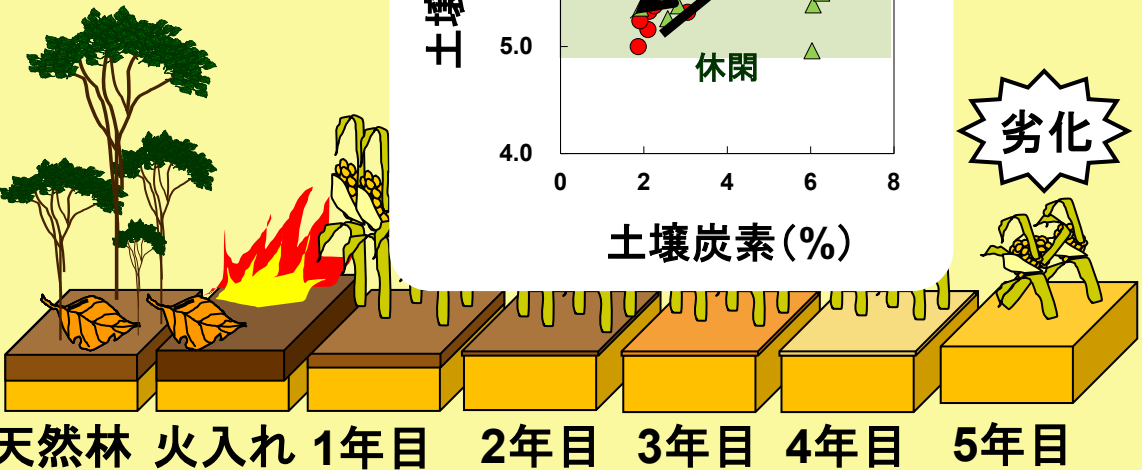
3. 焼畑と二つの土壌酸性化



焼畑



常畑



劣化

1970年代インドシナ戦争
モン族難民化・タイに流入

1992

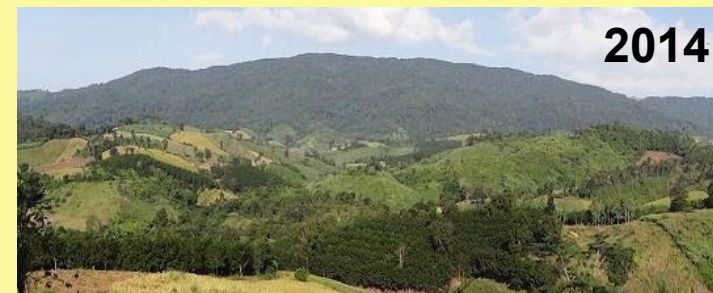


トウモロコシ連続耕作
⇒土壌劣化⇒肥料必要

2004



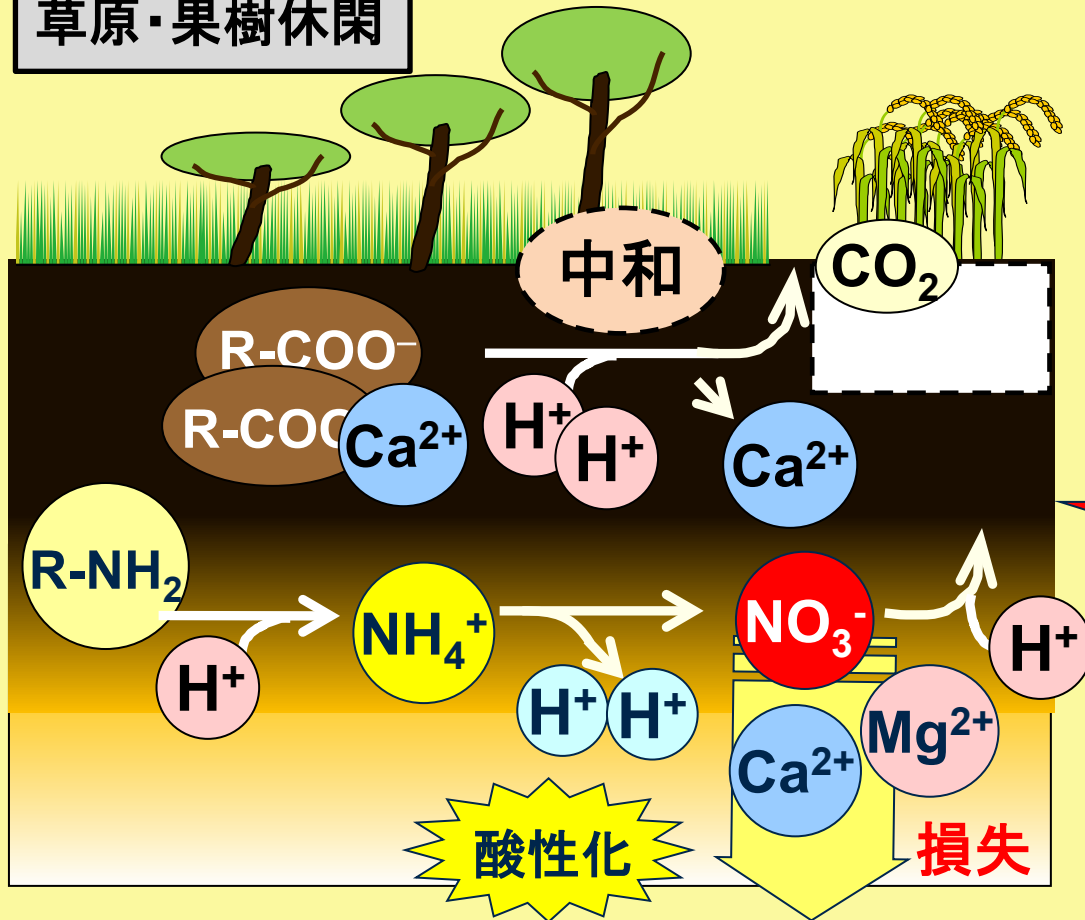
2014



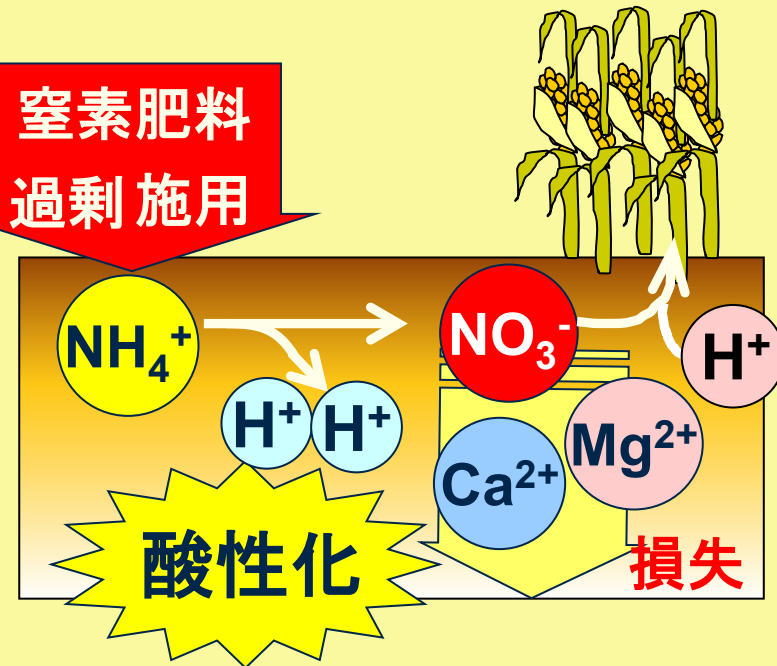
3. 常畑⇒荒廢地の回復メカニズム

草原・果樹休閑

常畑(有機物施用なし)

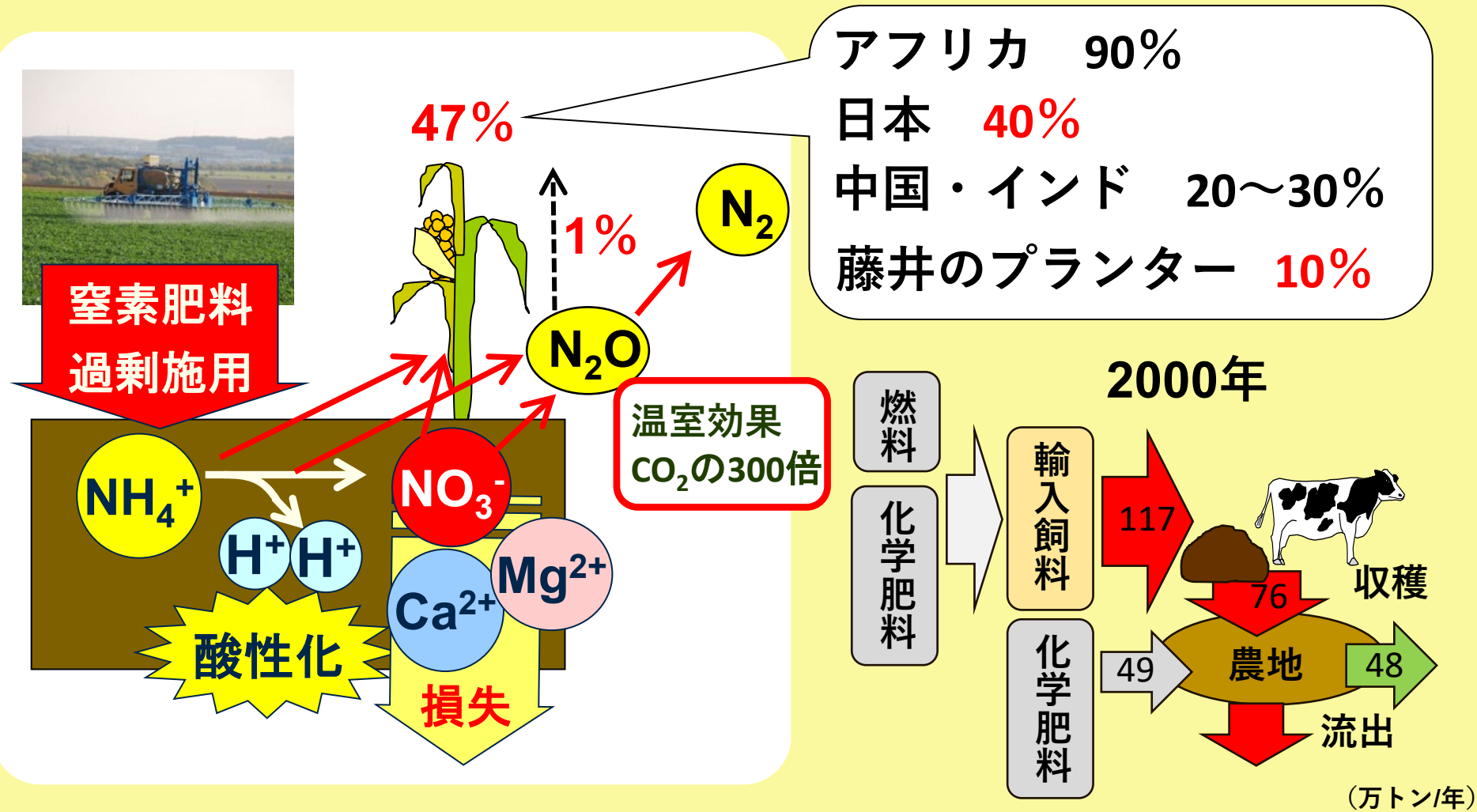


窒素肥料
過剰施用



有用樹種（果樹）による有機物回復・酸性化緩和

3. 窒素肥料と環境問題



窒素過剰 ⇒ N_2O 増加、酸性化、みどりの食料戦略

4. 化学肥料はどこまで削減できるのか？



東京人造肥料会社（⇒日産化学）設立
高峰讓吉（1887年）

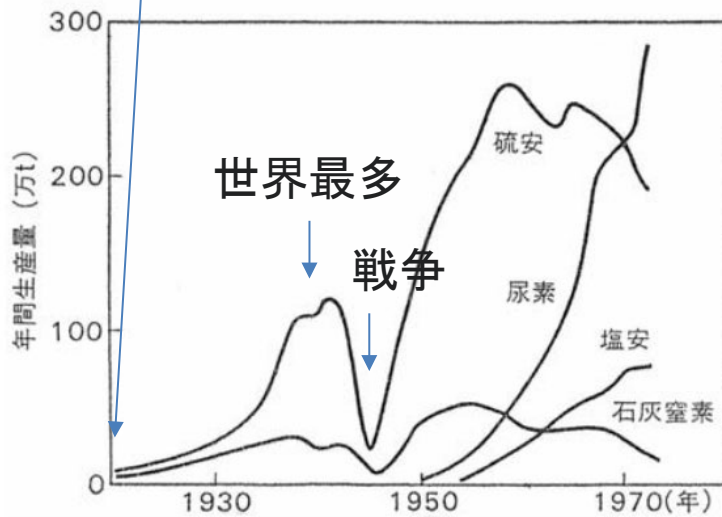
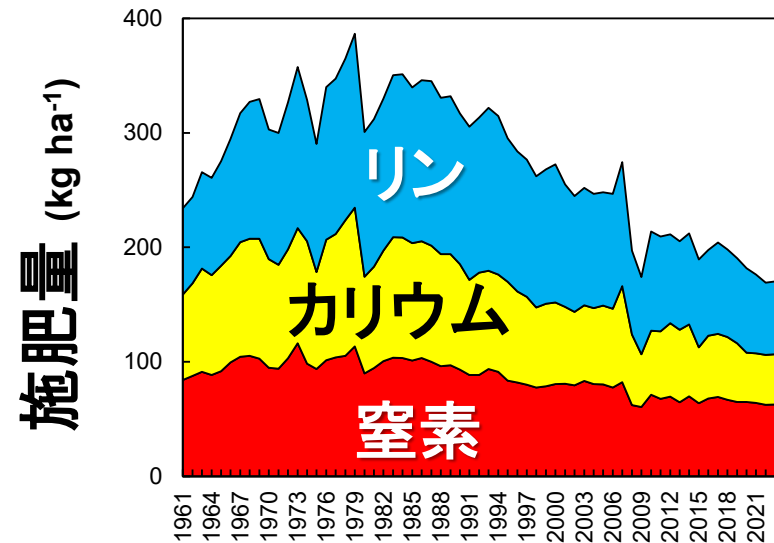


図2.13 我が国の窒素肥料の種類と生産量の推移³⁴⁾
(牧野, 2008年)



有機肥料も化学肥料依存。基本は輸入。いかに地域の循環（静脈物流、消化液や汚泥）を高められるか？

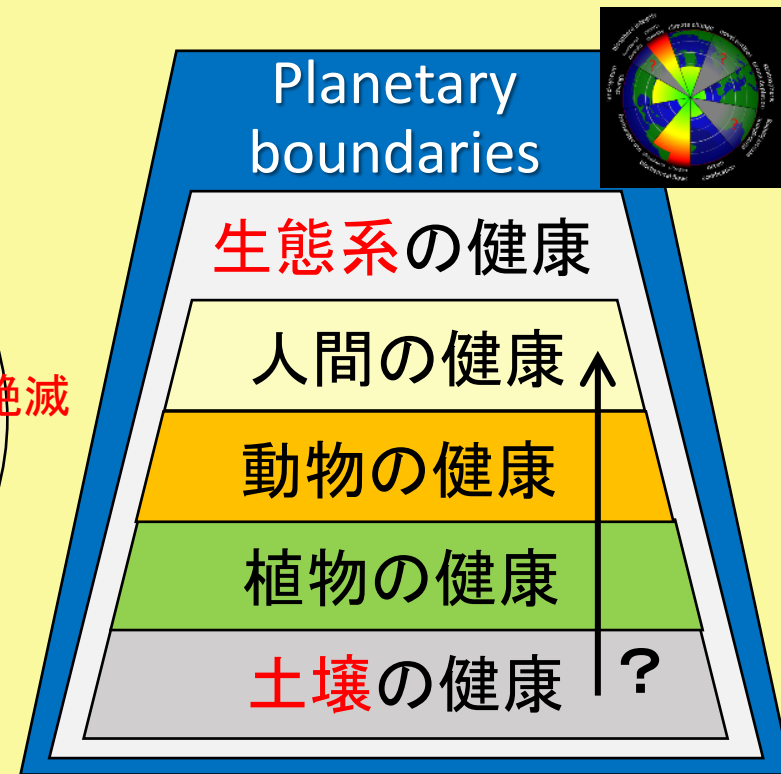
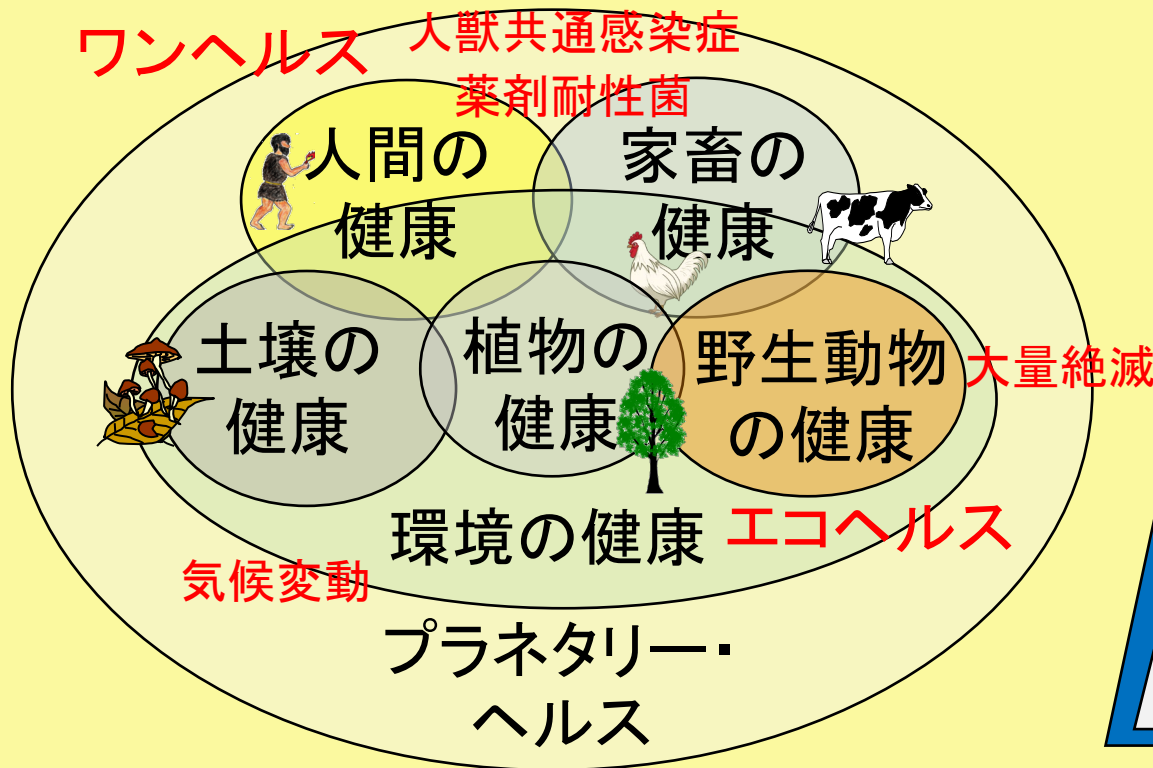
4. 期待される有機農業と「土の健康」

有機農業とは、化学合成の肥料・農薬を使用**せず**、遺伝子組換え技術を利用**せず**に、自然循環を活かし、環境負荷を**低減**した農業

(有機農業推進法)

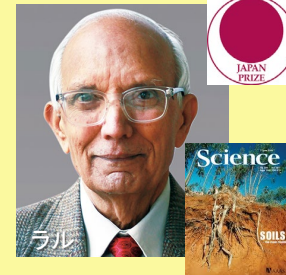
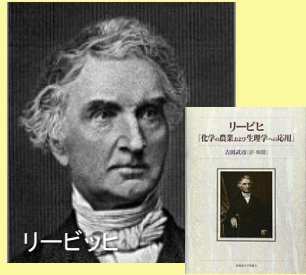
Organic farming sustains **health** of planet, people, animals, plants, and **soil**.
Enhancement of **soil** fertility, biodiversity, fairness, and well-being

(IFOAM,
1972, 2008)



軽視されるリスク vs. 短絡化リスク(土壌の健康⇒人間の健康?)

4. 意外と根深い「土の健康」問題



Chem appl. physiol. (Liebig, 1840) Permanent agriculture (King, 1911) Soil and health (Howard, 1946) (Carson, 1962) (Lal, 2004)

略奪農業批判
⇒化学肥料

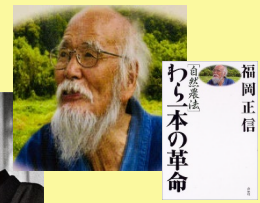
Living soil & Dead soil (Harshberger, 1911)
土壌劣化指摘

化学肥料批判
⇒有機農業

農薬汚染 指摘 不耕起栽培 ⇒炭素貯留



土壌を健康に保て！

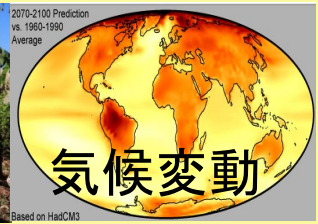


自然農法

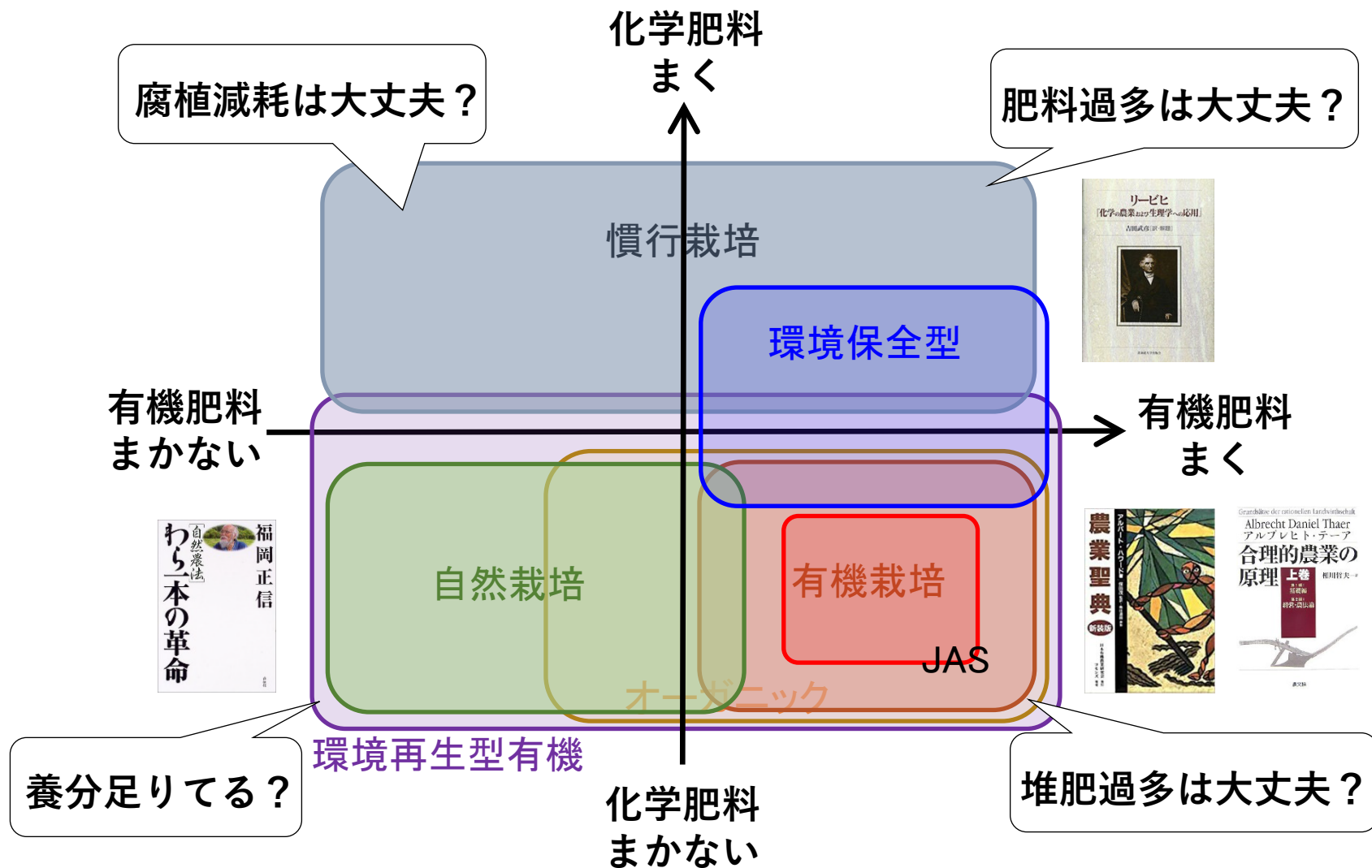
環境保全農業
環境再生型農業

食料問題・土壌劣化＋
気候変動＋生物多様性
＋健康不安 が背景

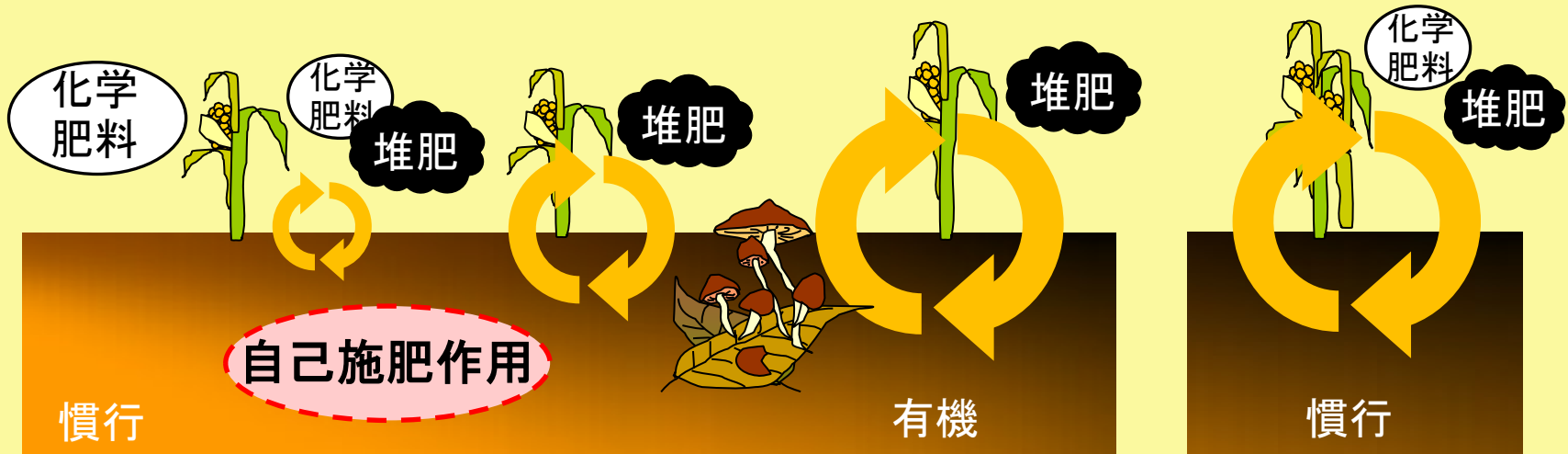
「血と土」
農本主義と融合



4. 栽培法ごとの施肥の違い



4. 有機農業そのものより土と養分フローを考える

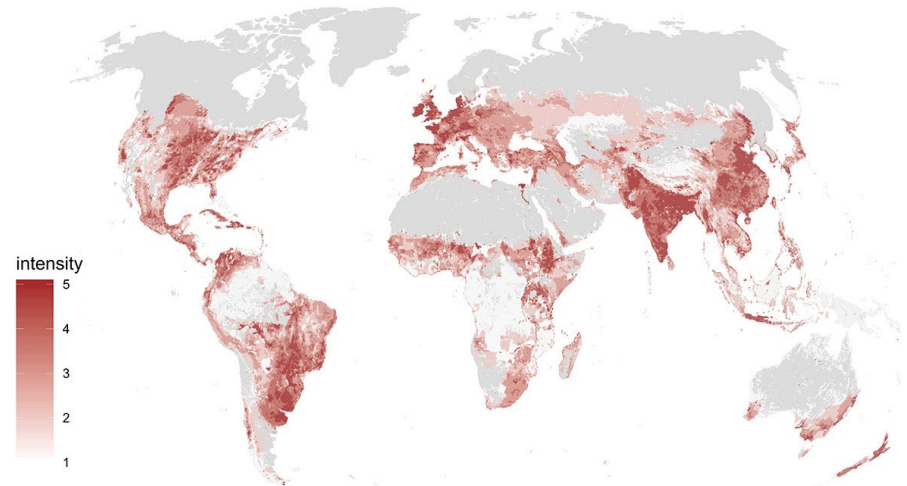


スリランカでは失敗

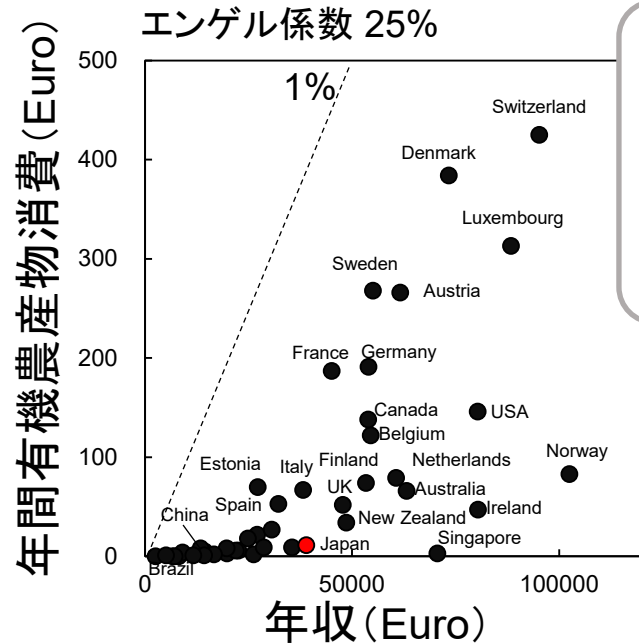
ブータンでは成功

自己施肥で土作り
資源はあるのか？
市場はあるのか？

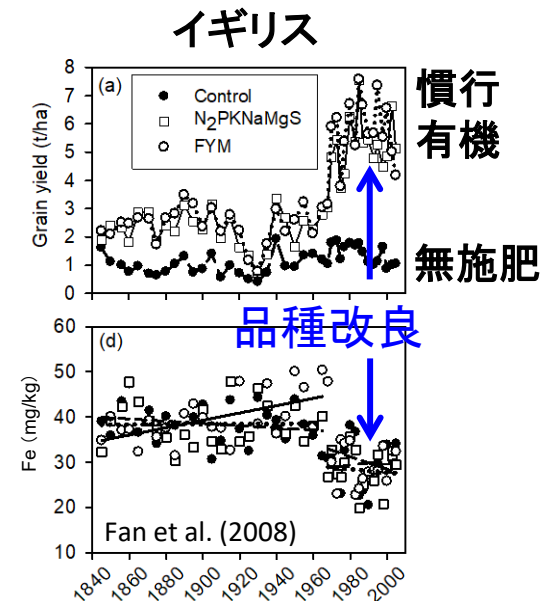
たい肥リンの存在比率



4. 有機農業を制限する要因

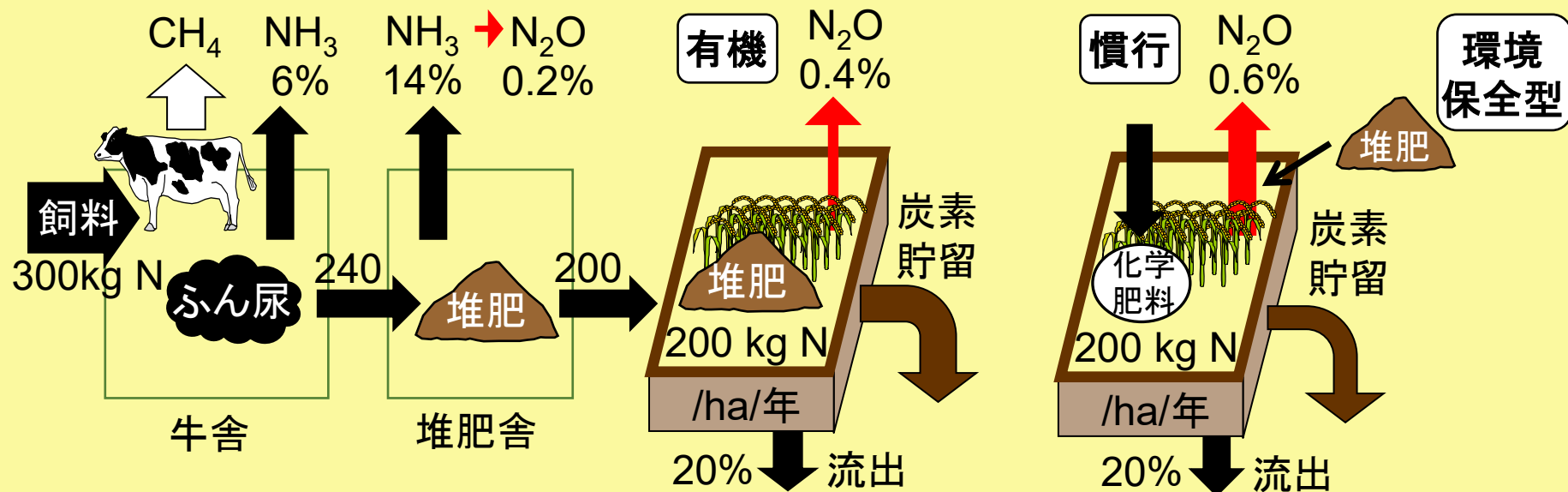


子どもが経済を理由
にアクセスできないの
はちょっと違うかも
(給食有機化の方々へ)



- ・安全・安心・健康志向 (?) ⇒ 科学的エビデンスが必要
- ・収量が落ちてでも収益が上がればいい? ⇒ 販路・希少価値が前提
- ・適地が手に入るわけではない ⇒ 有機栽培は土に強く依存
- ・土づくりは大切 ⇒ みんな知っている。労働力・コスト問題
- ・環境にやさしい (?) ⇒ 検証が必要

4. 有機農業は健康と環境に優しい？



EU Green Deal: 有機物施用量 上限 $170 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$

オランダ $250 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$

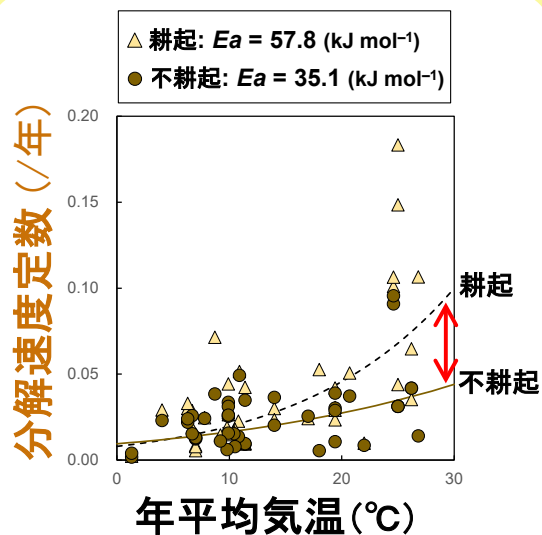
No Deal: 「家畜減らすとか無理」⇒ デモ ⇒ Farm to Fork 停止

日本: 施用量 **上限なし** $\sim 500 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ⇒ 畜産廃棄物処理を期待

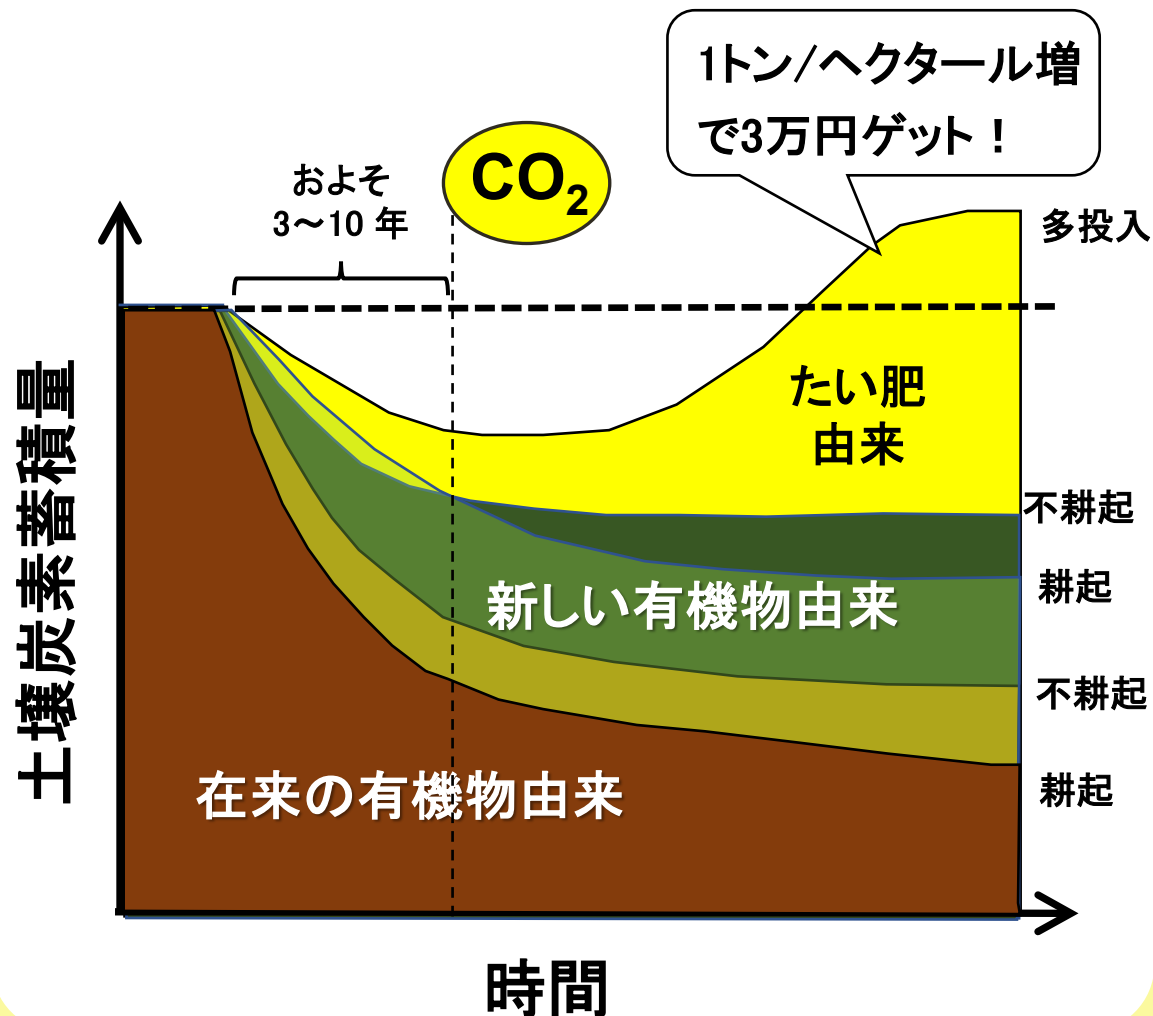
植物の自己施肥を活用。例外条項を設けつつ上限設定すべき

4. 不耕起栽培で良い？

検証しないとグリーン・ウォッシュのリスク



不耕起栽培/有機農業の炭素蓄積効果



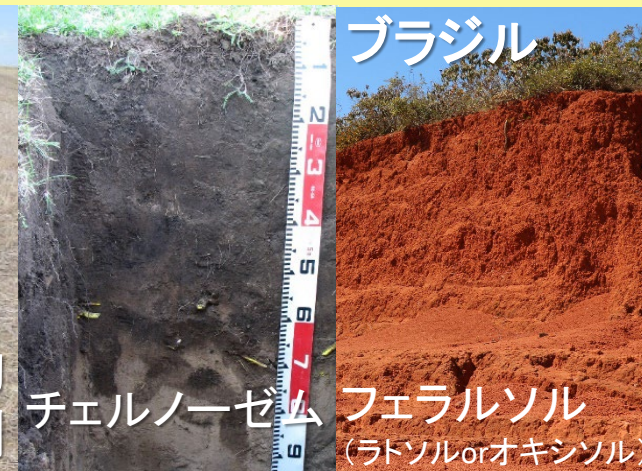
4. 耕起は愚かだったのか？

耕起

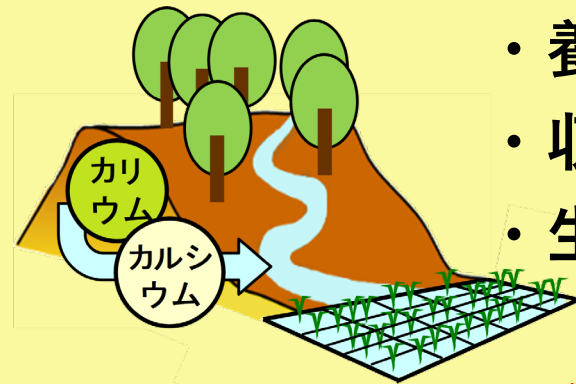
- ✓ 雑草軽減
- ✓ 蒸散抑制(水温存)
- ✓ 団粒破壊・侵食
- ✓ 排水改善(うね)
- ✓ 分解促進＝養分放出
- ✓ 有機物減少？

不耕起

- ✓ 雑草害(除草剤どうする？)
- ✓ ミミズ各種生物増加
- ✓ 団粒形成促進・侵食抑制
- ✓ (表層)排水改善⇒(下層)保水改善
- ✓ やや酸性化＝分解、養分放出抑制
- ✓ (表層)有機物増？(下層)減少

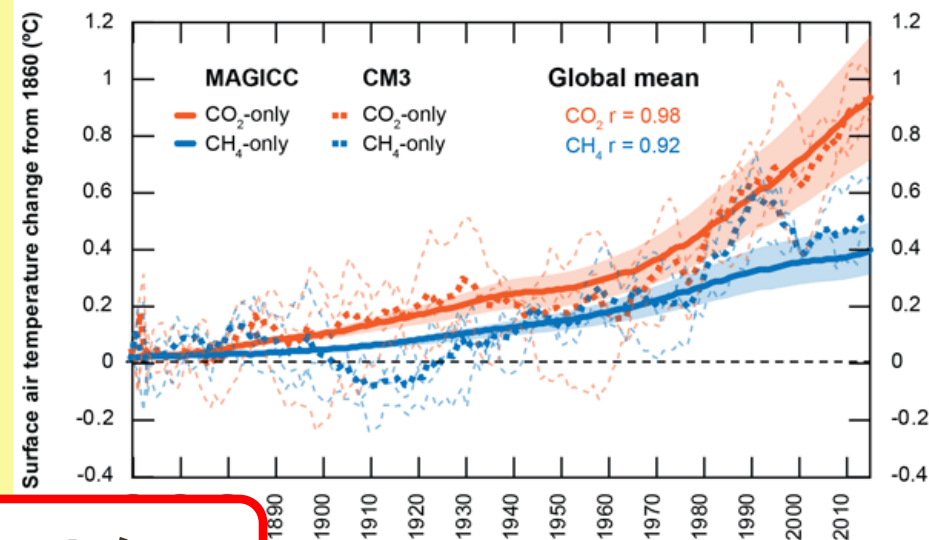
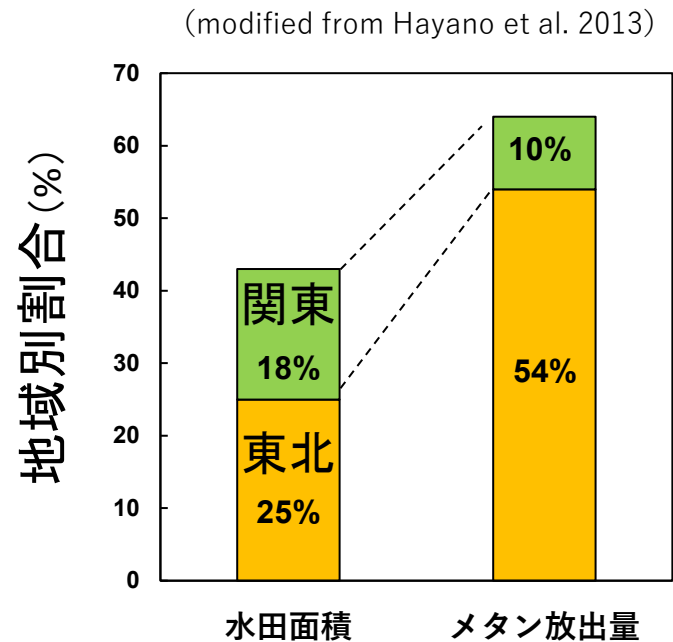
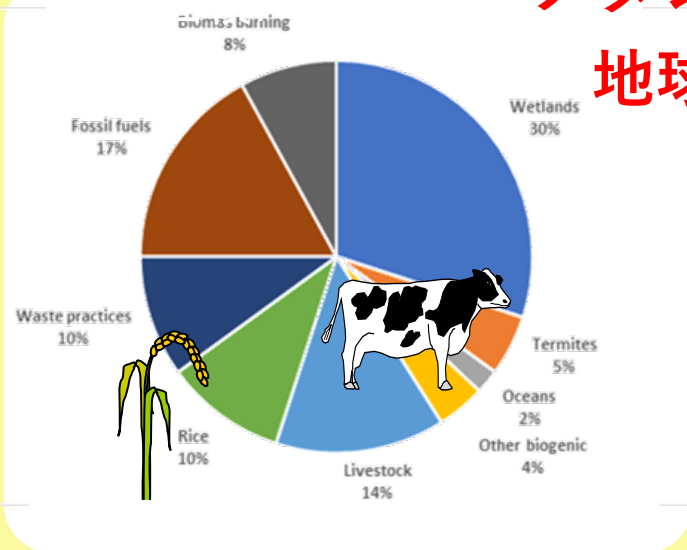


5. 田んぼはメタンの発生源



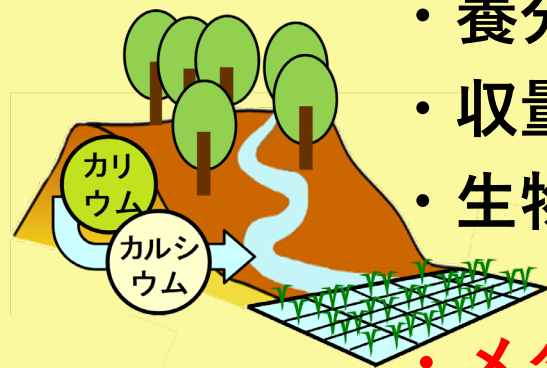
- ・ 養分補充・中和
- ・ 収量安定
- ・ 生物多様性....

・ **メタン放出**
地球全体の10%



牛のゲップと争っている場合ではない

5. 中干し延長、節水、不耕起で水田土壌の健康は？

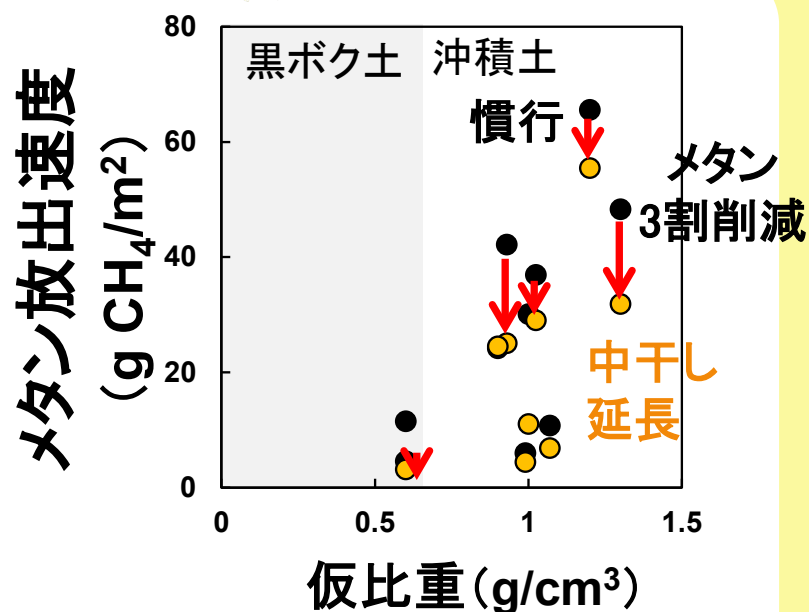


- ・ 養分補充・中和
- ・ 収量安定
- ・ 生物多様性....

・ **メタン放出**

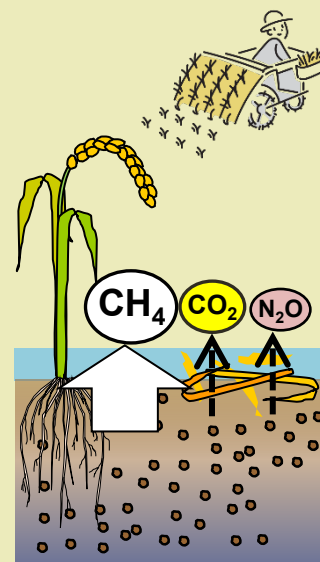


“乾田直播” Googleトレンド(2025)

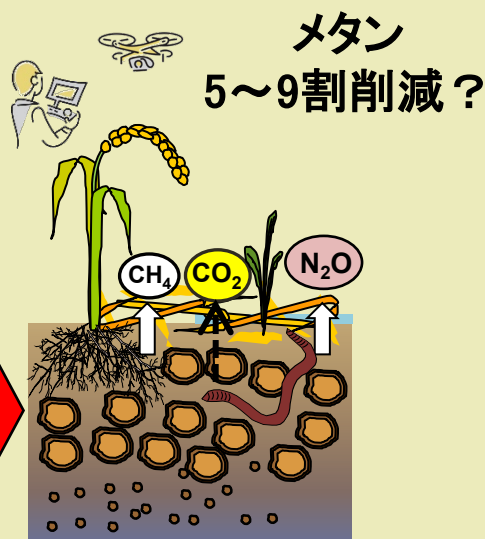


Ito et al. (2011) AEE, 前田ら(2003) 作物学会誌

<従来型>

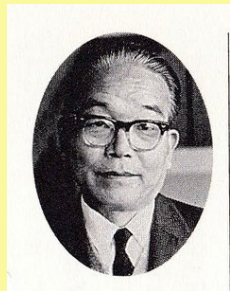


<節水型>



メタン
5~9割削減？

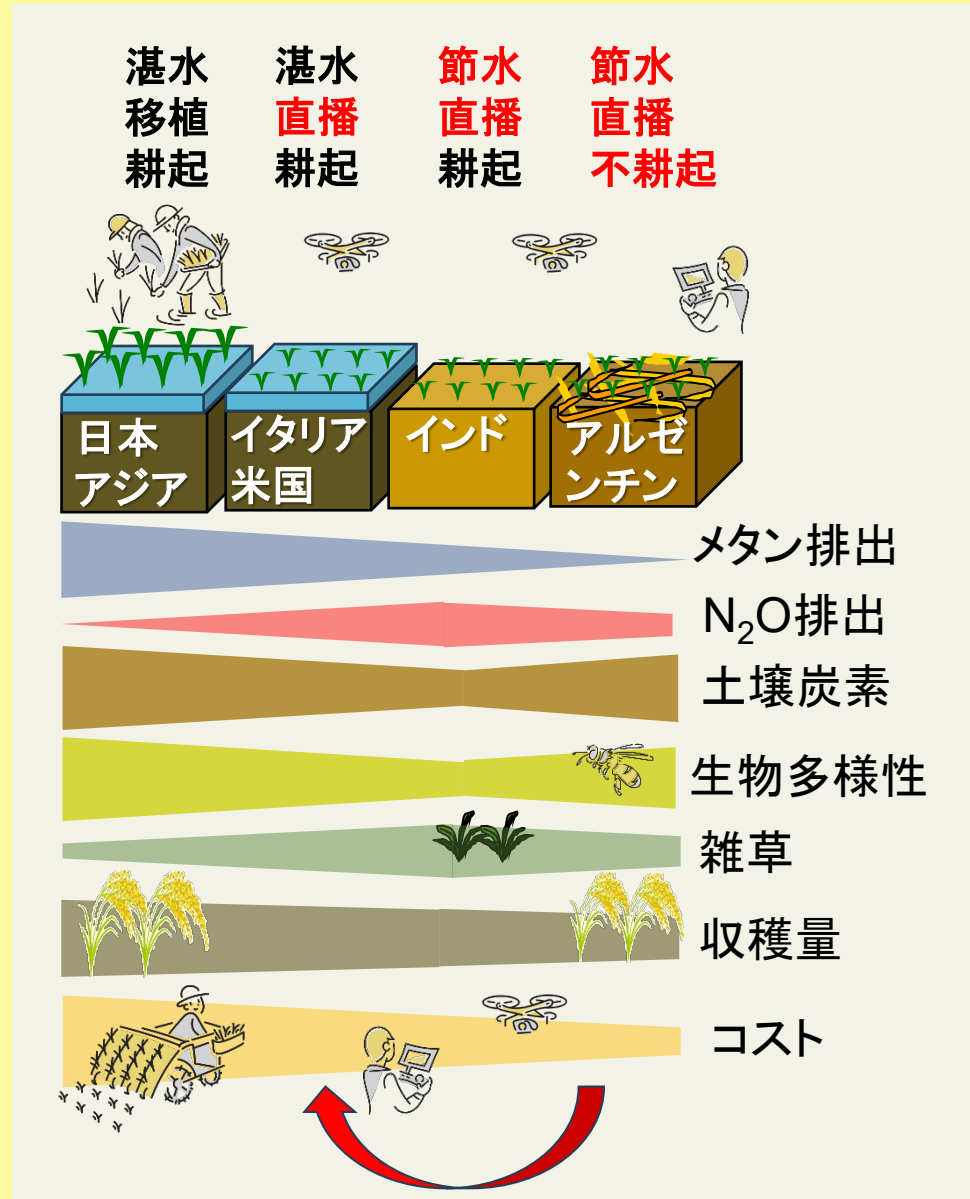
5. 乾田直播・節水栽培のメリット・デメリット



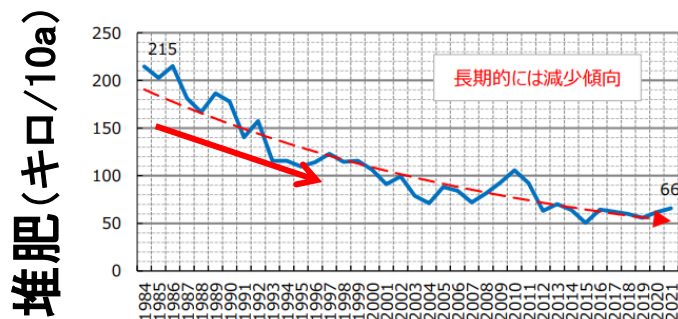
吉岡金市

金沢経済大学初代学長
イタイイタイ病の原因をCdと特定

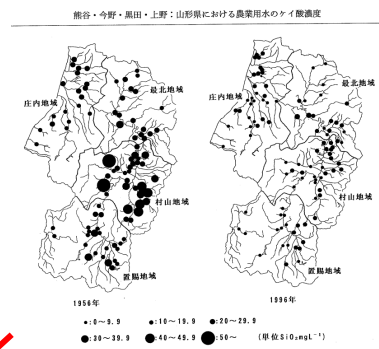
「いつか直播の
時代が来る」



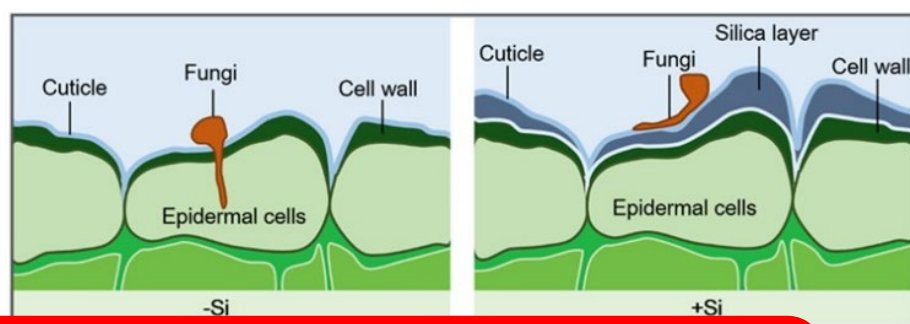
ケイ酸カルシウム出荷量(万トン)



(2017)



シリカ・クチクラ二重層 による防御力が弱まる



6. まとめ

- 肥沃で健康な土を維持するのは土づくり、堆肥
- 堆肥が多すぎだと本末転倒 ⇒ 上限値が必要
- 堆肥もケイ酸資材も激減 ⇒ 水田土壌のケイ素低い地域は病虫害に注意
- 不耕起栽培(炭素貯留)、節水栽培(メタン削減)は一つのオプション。適地選抜が重要
- 政策は科学とともに。土壌の健康、ワンヘルスも同じ。

調査へのご協力など
よろしくお願いします

