

健康な土をつくる —ミミズが教えてくれること—

金子信博



## 本日の内容

土壌の健康とは？  
土壌生態系のしくみ  
FAOの保全農法  
リジェネラティブ農業  
不耕起草生栽培への転換  
土壌の健康と人の健康





# 金子信博 KANEKO Nobuhiro

2024年5月

横浜国立大学・福島大学名誉教授、農学博士  
福島大学農学群食農学類・特任教授  
環境放射能研究所（兼務）

## 研究

土壌生態学：

土壌生物の多様性と生態系機能の研究  
応用：生態学理論に基づいた土壌管理  
森林土壌からの放射性セシウムの除去

## 社会活動

日本土壌動物学会会長  
国際誌編集委員：Pedobiologia, J Forest Research, Ecological Research など  
環境省モニタリングサイト1000検討委員 など

## 主な著書

土壌生態学入門（東海大学出版会）  
土壌生態学（朝倉書店）  
土壌動物の多様性と機能解析（共立出版）  
ミミズの農業改革（みすず書房）

## 教育

京都大学大学院農学研究科（林学専攻）  
森林生態学について学ぶ  
学位論文「冷温帯の森林土壌における  
ササラダニ群集の生態学的研究」

## 職歴

1985～98年 島根大学農学部、生物資源科学部  
1991～92年 カナダ・カルガリー大学客員研究員  
1998～2000年 横浜国立大学環境科学研究  
センター  
2000～2018年 横浜国立大学大学院環境情報  
研究院  
2014～15年 総合地球環境学研究所客員教授  
2018～24年 福島大学食農学類、2024年定年

## 健康な土壌

健康な農地土壌とは、人々の要求に十分応える量や質を持つ食料や繊維の生産を支えることができ、同時に人々の生活の質や生物多様性の維持にかかせない生態系サービスを絶えずもたらしてくれる土壌のことを指している。

### 4つの機能

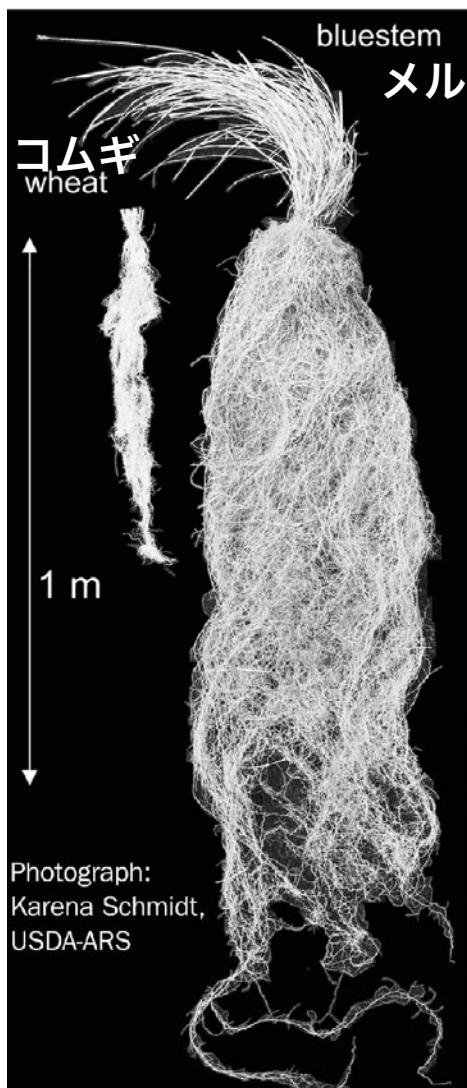
- ・炭素の変換
- ・養分循環
- ・土壌構造の維持
- ・病害虫の制御

# ダストボウル



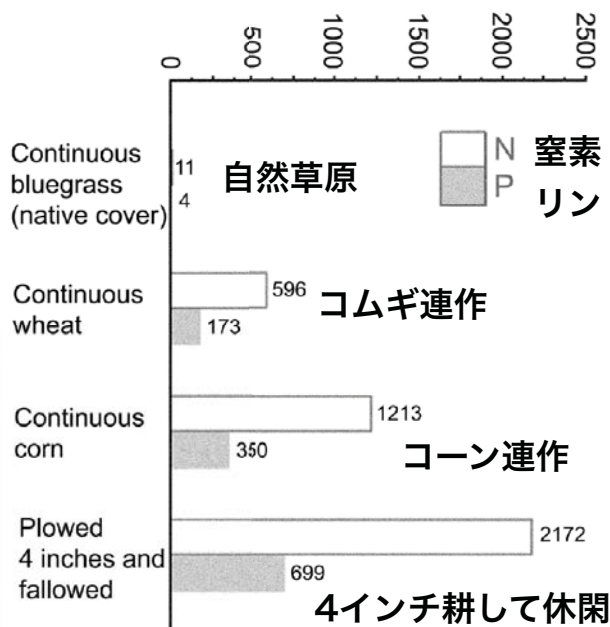
**Fig. 3.1** Extensive cultivation replaced drought-resistant native vegetation with drought-sensitive crops in the midwestern U.S. in the 1920s. In the “Dustbowl” era, a drought in the 1930s killed these crops and generated

massive dust storms, such as this one approaching Stratford Texas in 1935. Photograph courtesy of NOAA, <http://www.photolib.noaa.gov/htmls/theb1365.htm>



## 草原を畑地に転換して土壌劣化

失われた窒素とリンの量  
kg N or P per km<sup>2</sup> per yr



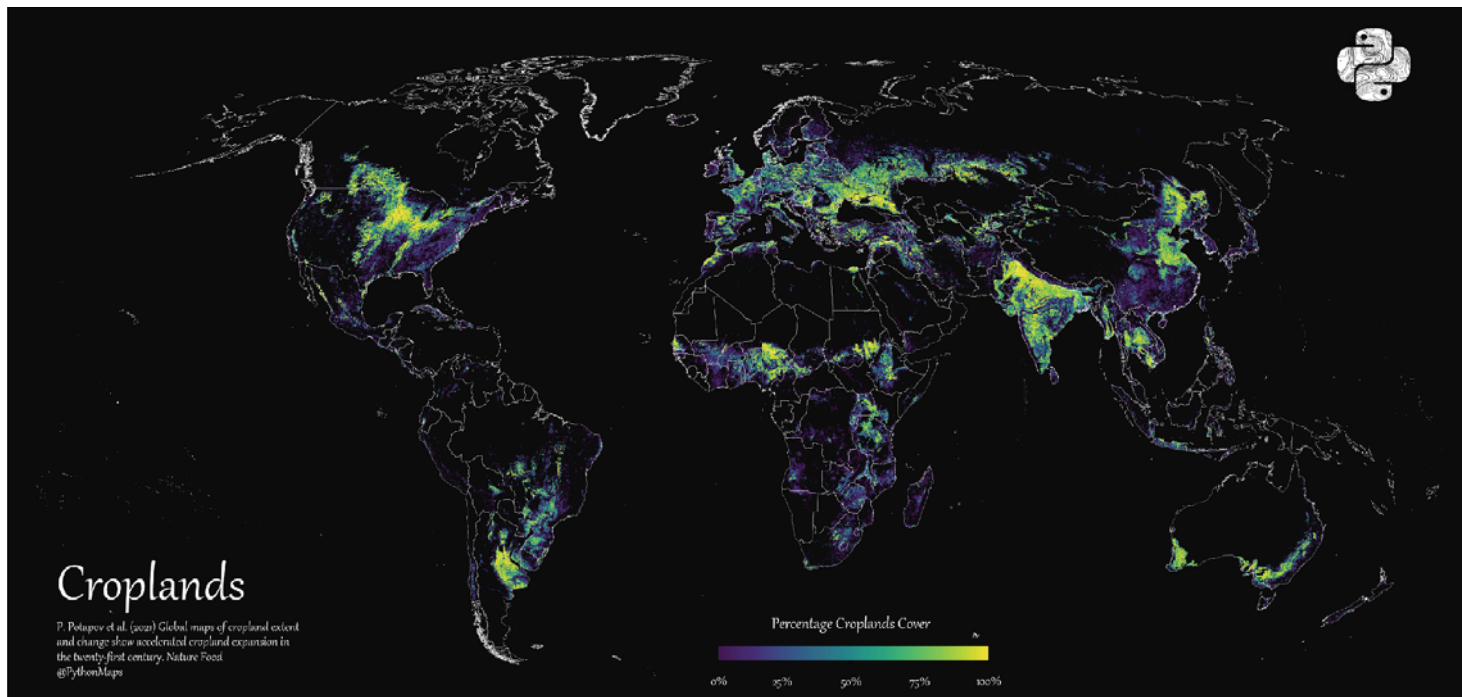
# 地球の土壌の状態

土地劣化 (Land degradation) : 世界の陸地の33%

土壌劣化 (Soil degradation)による飢餓 : 約9億人

土壌炭素の12%が農地土壌に蓄積

アメリカでは農業の開始後、30-50%の炭素を失った

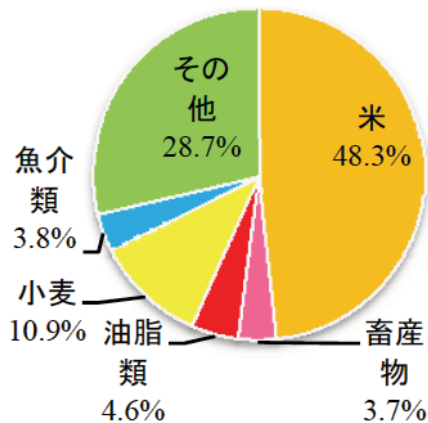


## 私たちの食物の95%以上は直接, 間接的に土壌で作られている

○国民一人一日当たりの供給熱量の構成の推移

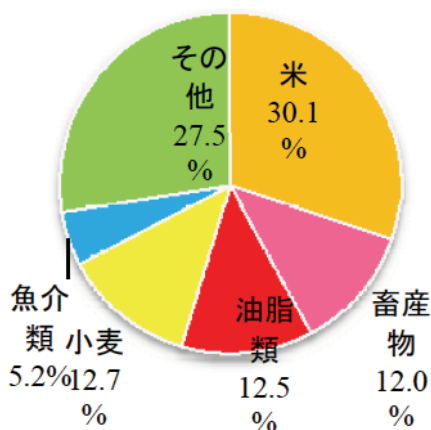
昭和35年度

2291kcal



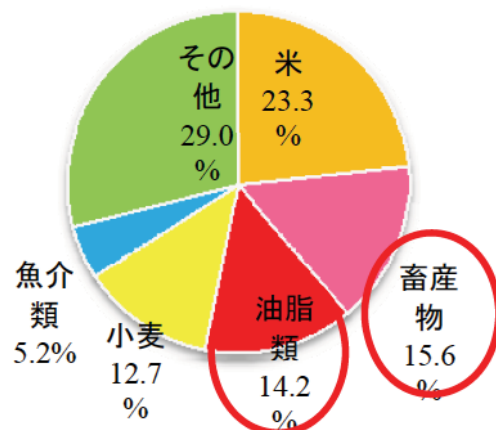
昭和55年度

2562kcal



平成20年度

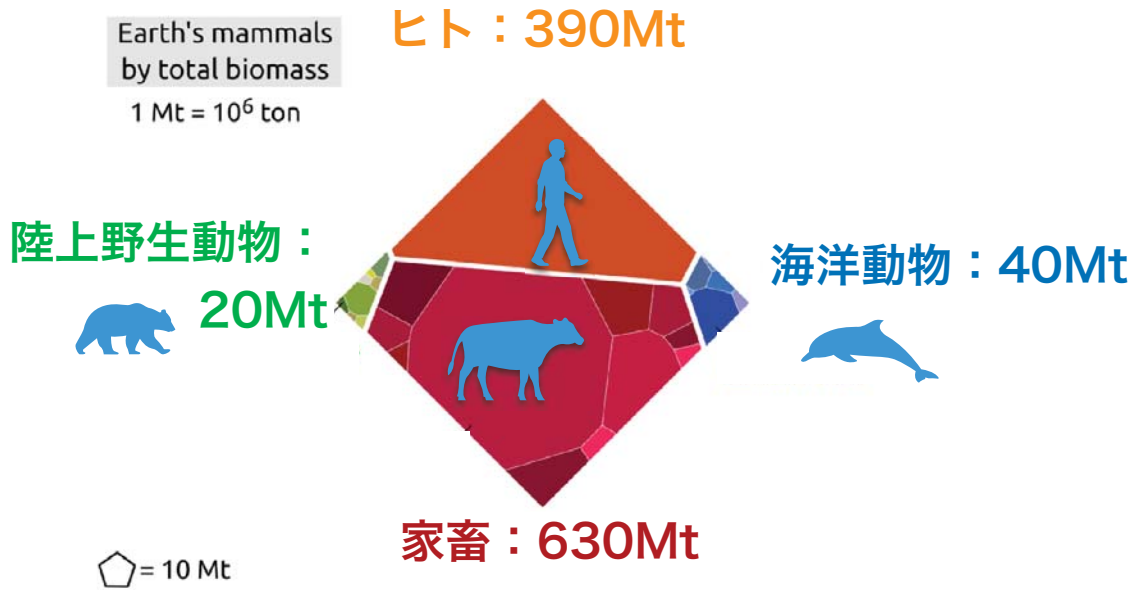
2473kcal



資料: 農林水産省「食料需給表」



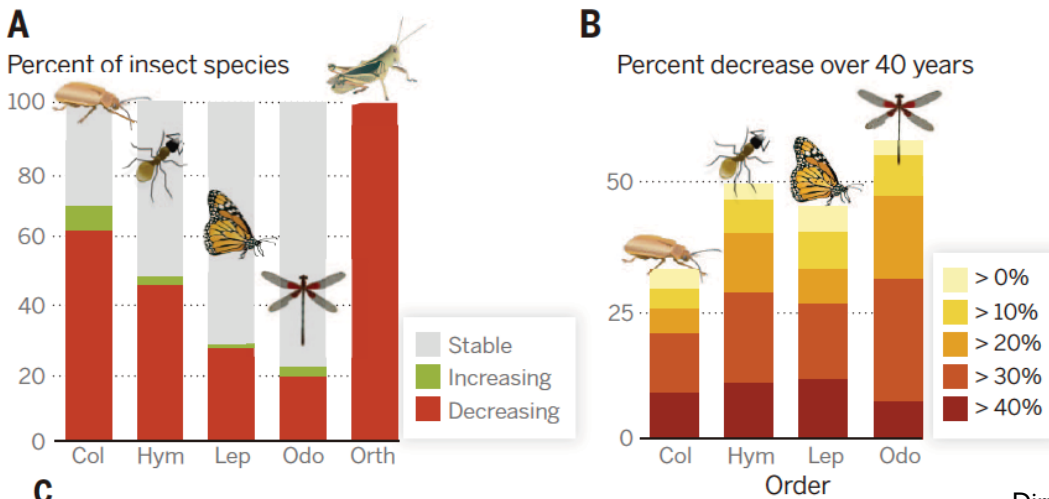
# 地球全体の哺乳類の体重を比べると？



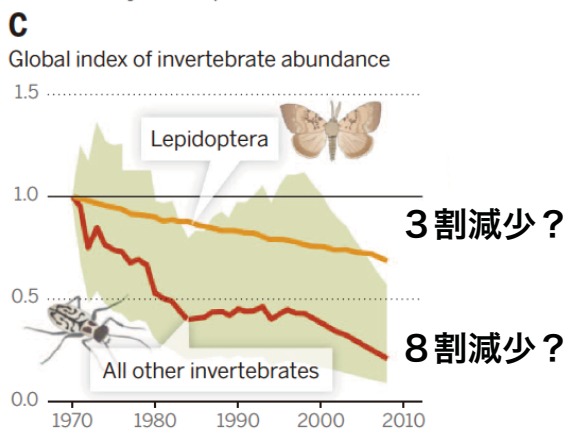
野生動物よりヒトと家畜のほうがはるかに多い

Greenspoon et al. 2023

## グローバルな昆虫の減少



Dirzo et al., 2014 Science

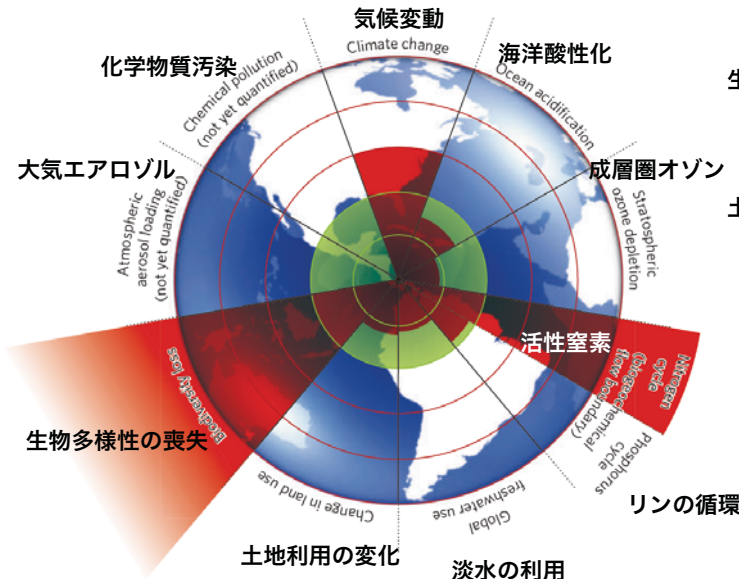


- 生息地の破壊
- 農業の集約化 (農薬使用)
- 気候変動
- 外来種
- 化石燃料の燃焼による窒素汚染
- 旱魃・降雨パターンの変化

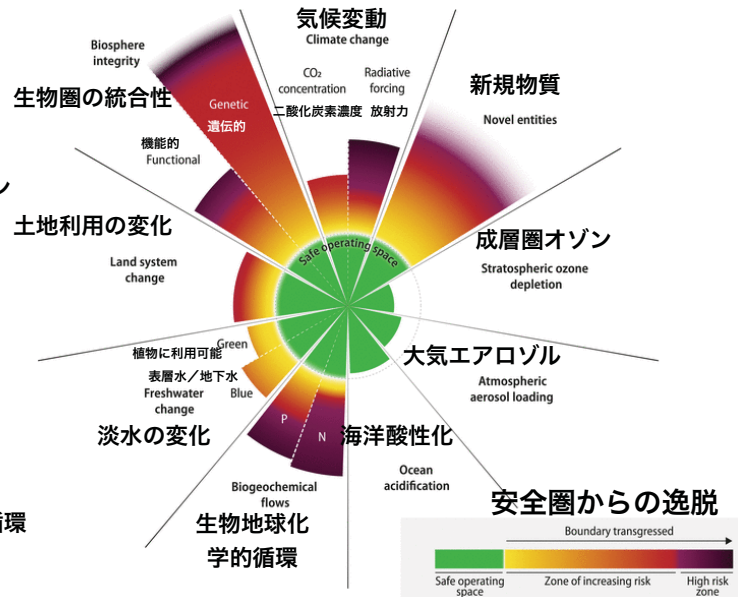
Wagner 2020 Ann Rev Entomology

# プラネタリーバウンダリー

## 惑星の限界



Rockstrom et al., 2009



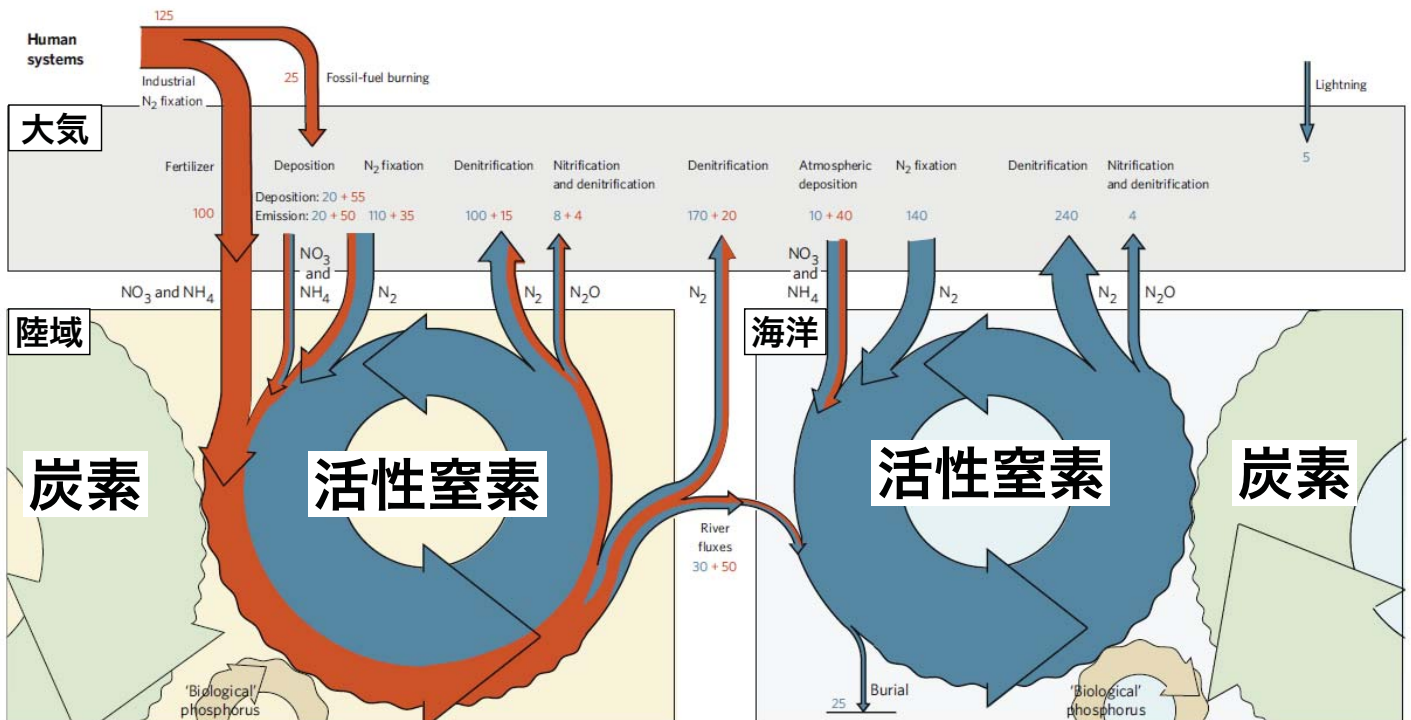
安全圏 高リスク

ScienceAdvances

SIGNIFICANT RESEARCH GLOBAL IMPACT

# 地球規模の炭素と窒素,リン循環のカップリング

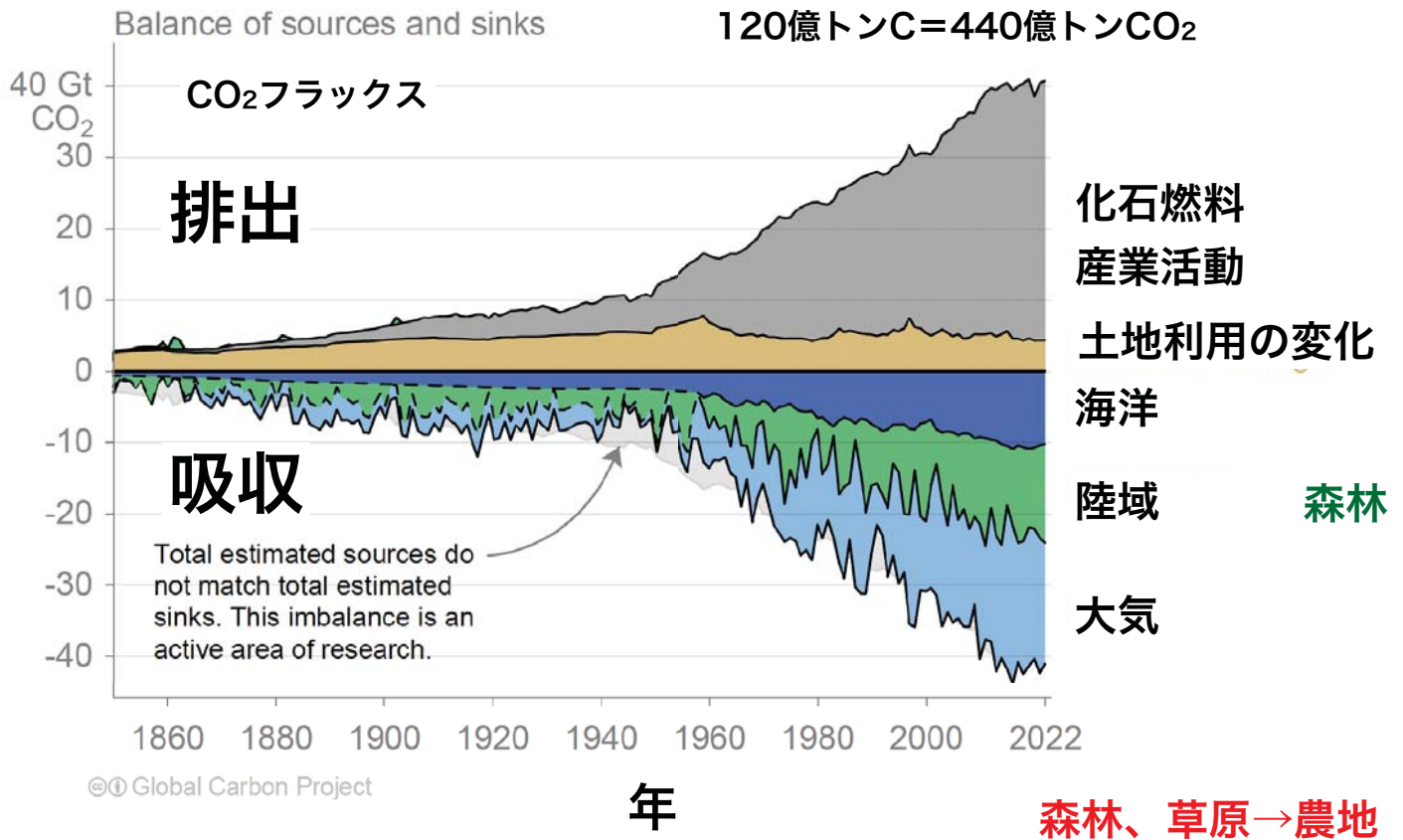
## 人為起源



Gruber & Galloway, 2008



# 人間活動と全球の炭素収支



Source: [Friedlingstein et al 2023](#); [Global Carbon Project 2023](#)

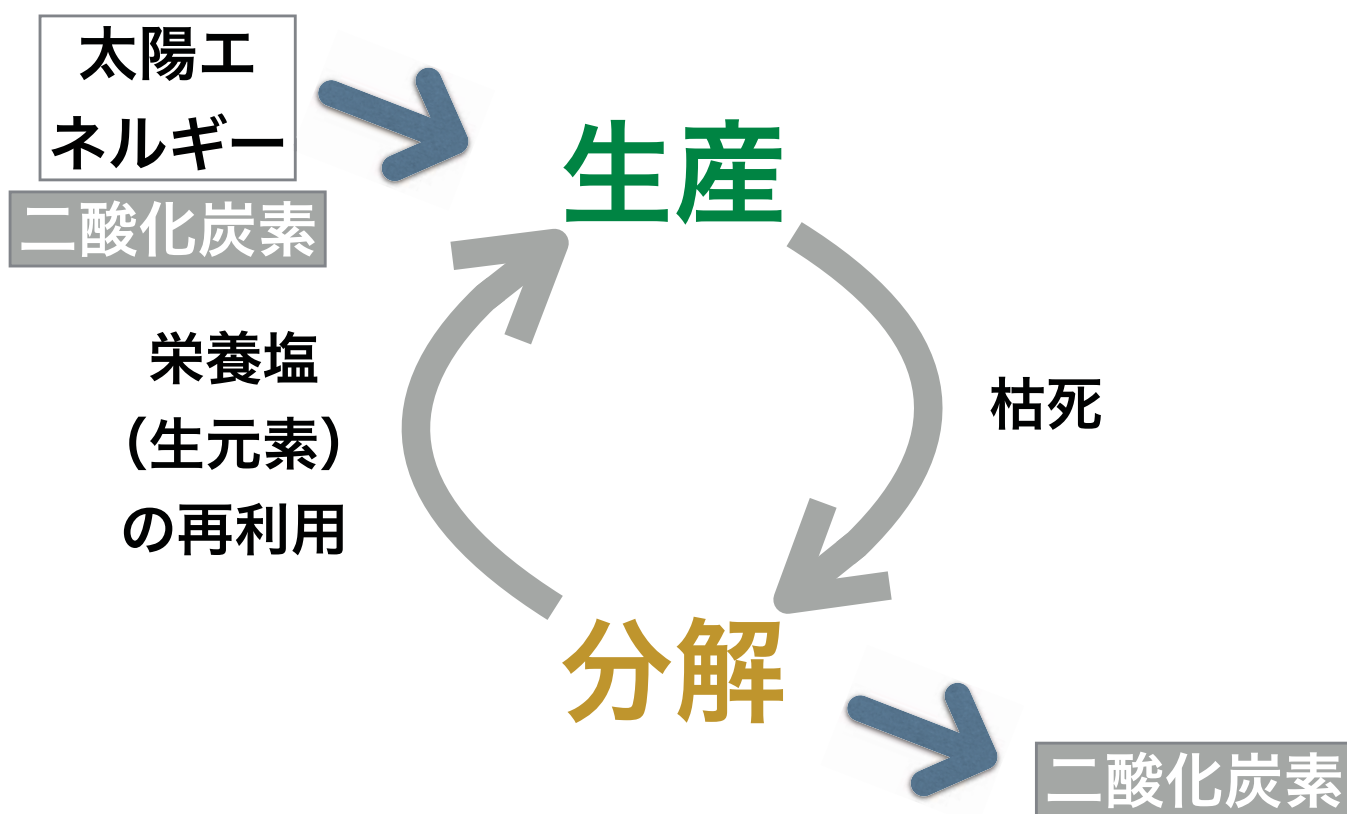
## 農と食の環境負荷

世界のフードシステムは

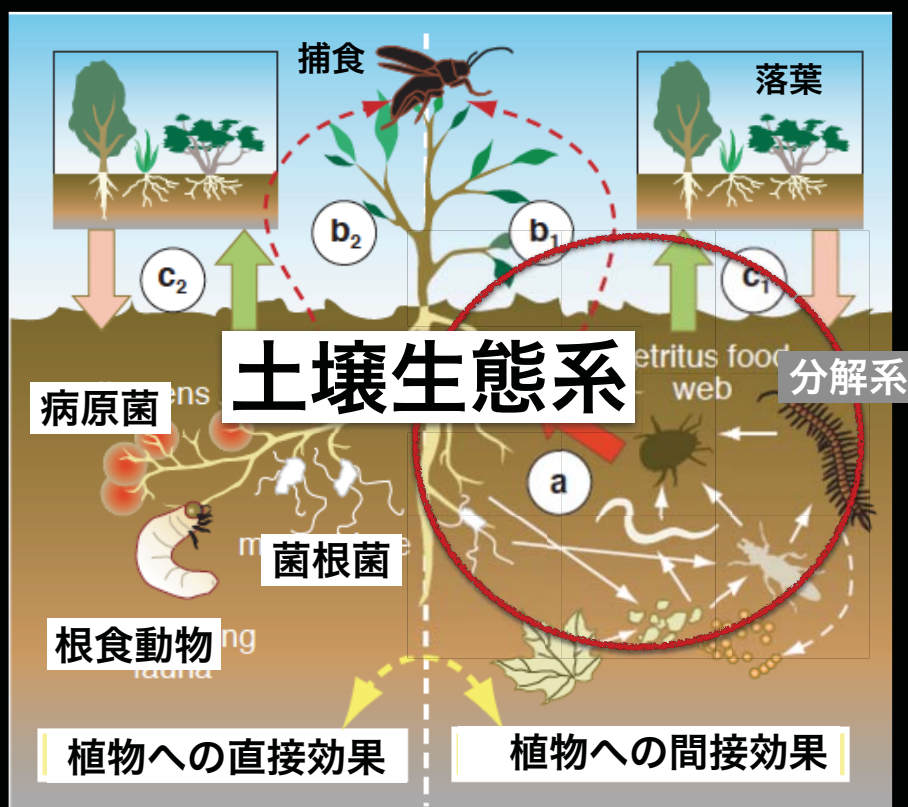
温室効果ガス排出の1/3

生物多様性への人為影響の1/2

# 生態系の一次生産は分解系と一体



## 地上を支える土壌生態系

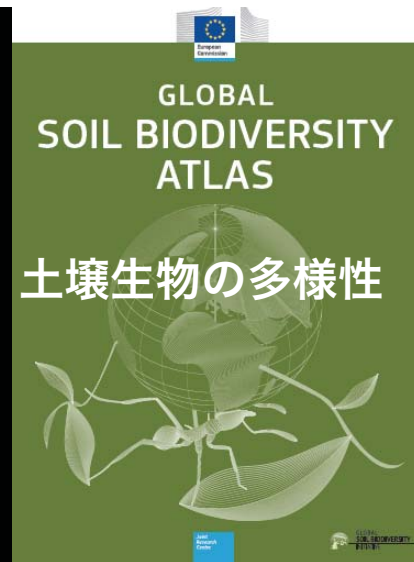
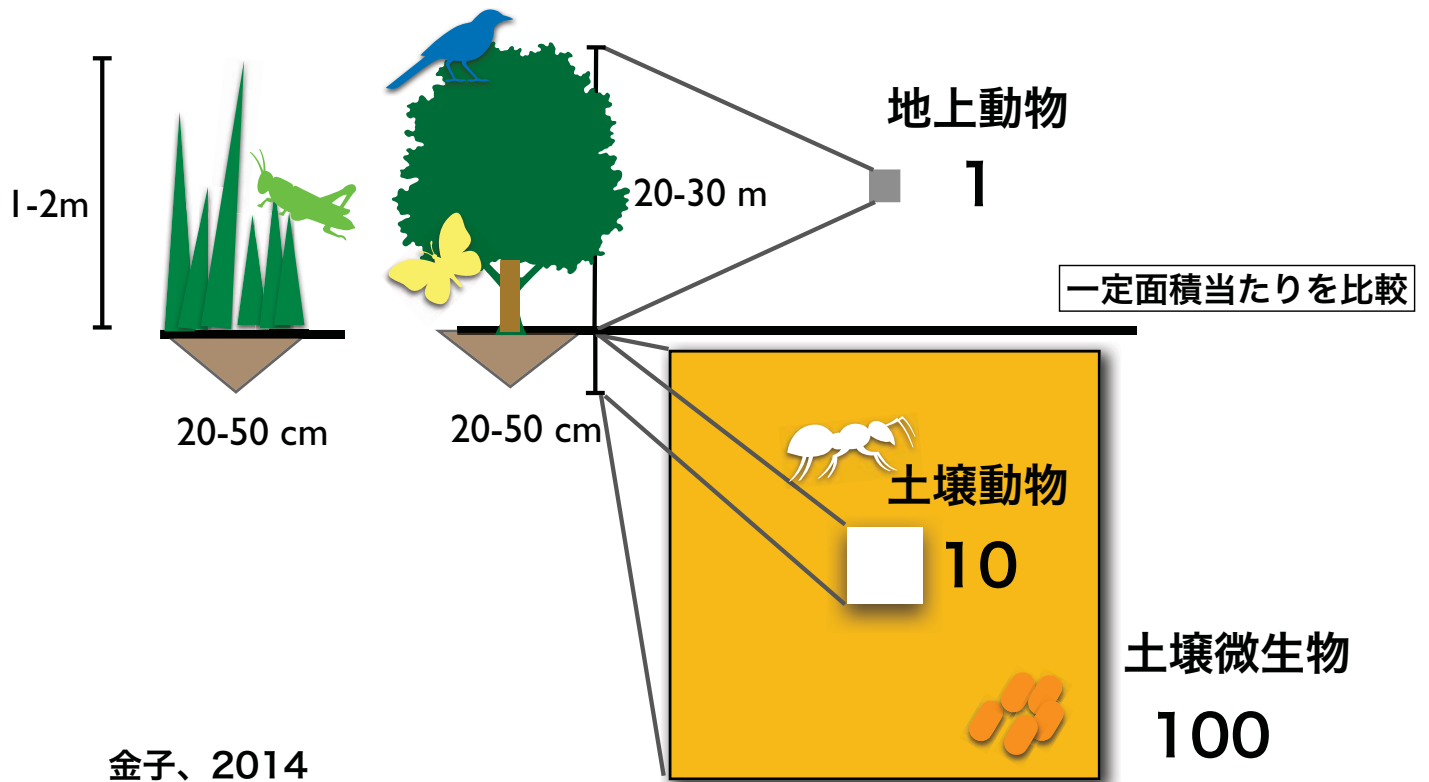


Wardle et al., 2004

私たちは、生態系の半分も見えていない



# 地上動物、土壤動物と土壤微生物の現存量



Global Soil Biodiversity Atlas (2016)





Andy Murray

# 地球の生物の59%は土壌性



Fig. 3. Graphical overview of the share of species living in soil. Doughnuts reflect the percentage of species in soil versus all other ecosystems combined (e.g., marine, freshwater, built environment, host organisms such as human). The larger doughnut on top shows the total share of species, and smaller doughnuts show individual shares for the most speciose and well-known groups ordered from greatest to least specialized in soil. Illustrations by Michael Dandley ©.



# 地球上の生物の重さ (炭素換算)

Table 1. Summary of estimated total biomass for abundant taxonomic groups

Taxon	Mass (Gt C)	Uncertainty (-fold)		
Plants	450	1.2	植物	450 Gt C
Bacteria	70	10	バクテリア	70 Gt C
Fungi	12	3	真菌	12 Gt C
Archaea	7	13	アーキア	7 Gt C
Protists	4	4	原生生物	4 Gt C
Animals	2	5	動物	2 Gt C
Arthropods, terrestrial	0.2			
Arthropods, marine	1			
Chordates, fish	0.7			
Chordates, livestock	0.1			
Chordates, humans	0.06			
Chordates, wild mammals	0.007		野生哺乳類	7 Mt C
Chordates, wild birds	0.002			
Annelids	0.2		ミミズ	200 Mt C (Phillips et al. 2019)
Molluscs	0.2			
Cnidarians	0.1			
Nematodes	0.02		センチュウ	31 Mt C (van den Hoogen et al. 2019)
Viruses	0.2	20		
Total	550	1.7		

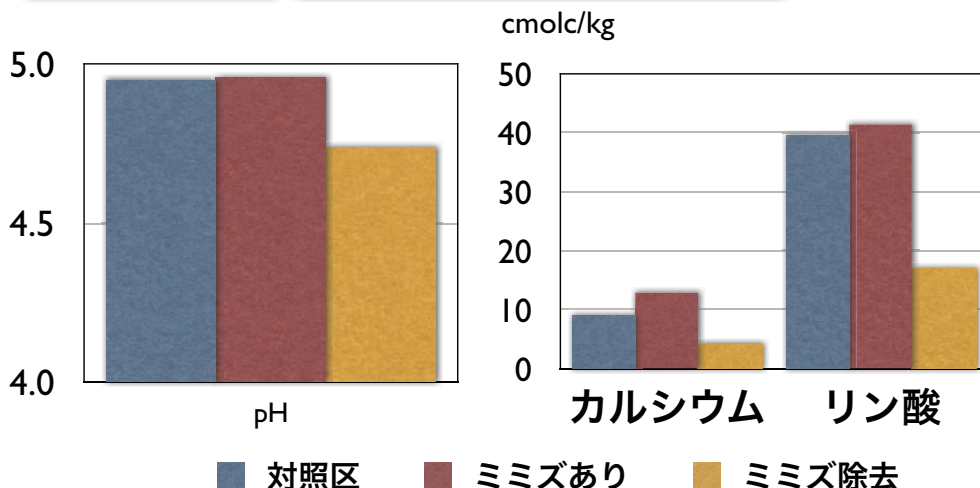


Bar-On et al. (2018)

## 北海道の森林におけるミミズ除去試験



2003年から2007年までミミズを除去したら、pH, Ca, Pが低下した。



広葉樹林のpH、Ca, Pはミミズがいることで動的に維持されている

# 作物の窒素利用効率は土壌食物網が多様なほど高い

複雑

単純

ポット試験で比較

**Table 2** N use efficiency (unit plant N uptake per unit N input), N use inefficiency (N loss per unit N input), and net N efficiency (unit plant N uptake without directly corresponding N losses) for maize plants grown in lysimeters inoculated either with a moderately simplified (MSC) or strongly simplified (SSC) soil community inoculum.

	複雑 MSC	単純 SSC	% Change in SSC vs MSC
<b>窒素利用効率</b>	N use efficiency (NUE)		
	Plant N uptake per kg N input (kg ha <sup>-1</sup> )	1.97 (0.10) 1.81 (0.08)	-8.2 <sup>ns</sup>
<b>窒素損失率</b>	N use inefficiency (NUI)		
	N lost per kg N input (kg ha <sup>-1</sup> )	0.83 (0.07) 1.54 (0.13)	+86.6 <sup>***</sup>
<b>総窒素利用効率</b>	Net N efficiency (NNE = NUE - NUI)		
	N uptake without direct environmental cost (kg ha <sup>-1</sup> )	1.14 (0.07) 0.27 (0.11)	-76.7 <sup>***</sup>

Mineral soil N at the time of sowing and fertilizer inputs were considered as N input. Numbers in brackets indicate standard errors. Statistical differences between treatments are indicated as: ns,  $P > 0.05$ ; \*\*\*,  $P < 0.001$ .  $n = 8$ . Statistical tests have been performed using linear mixed-effects models. ns, not significant.

Bender et al. 2023

# 土壌生物の多様性と植物生産

複雑

単純

ポット試験で比較

## 窒素動態

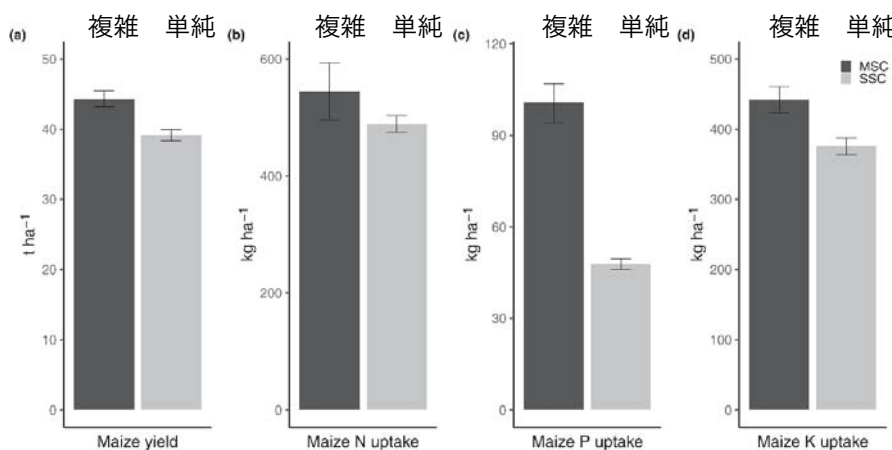
収量

窒素吸収

リン吸収

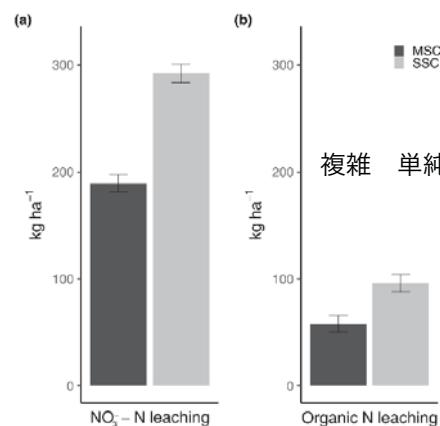
カリウム吸収

硝酸態窒素溶脱



**Fig. 1** Maize (*Zea mays*, L.) yield (a) and total amounts of plant nutrients (b-d) taken up over the entire growing season from lysimeters inoculated either with a moderately simplified (MSC) or strongly simplified (SSC) soil community inoculum. Error bars = ±1SE (n = 8).

有機態窒素溶脱



**Fig. 2** Cumulative (a) Nitrate and (b) organic nitrogen leaching losses over the entire growing season from lysimeters either inoculated with a moderately simplified (MSC) or strongly simplified (SSC) soil community inoculum. Error bars = ±1SE (n = 8).



# FAO 保全農法の3原則

小規模家族農家に推奨

## 物理的な土壌攪乱を最小限に

(i.e. no tillage) through direct seed and/or fertilizer placement.

クリンパー、不耕起播種機



## 地表面を有機物で保護

(at least 30 percent) with crop residues and/or cover crops.

少なくとも面積の3割以上



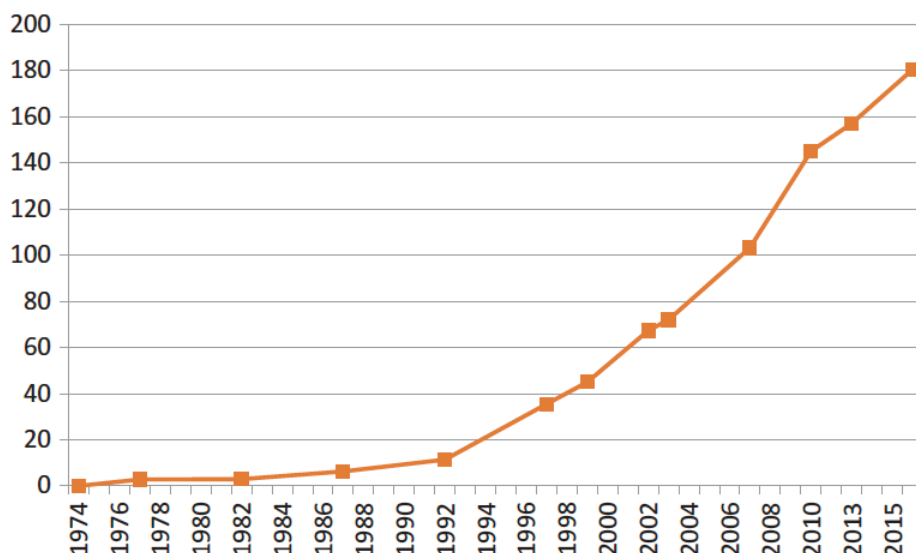
## 栽培システムの多様化

through varied crop sequences and associations involving at least three different crops.

少なくとも3種以上



# 保全農法の世界的な拡大



2015/16年

- 1億8000万ヘクタール
- 耕地面積の12.5%
- 年間1000万ヘクタールのペースで増加
- 78カ国で実施（日本はゼロ）
- 中国900万ヘクタール
- 韓国2万3千ヘクタール



Kassam, Friedrich, Derpsch 2018

# 日本では不耕起栽培は無理？

- 温帯モンスーン気候で梅雨に雨が集中する日本では、雑草害が強くて不耕起+草生栽培は不可能
- 新たな農法に移行してもうまくいくまで時間がかかる
- 不耕起栽培に移行したくても、それに適した農業機械がない

## 自然農法、自然農、自然栽培

No-tillage with extensive weed management  
“Natural farming”



福岡正信

FUKUOKA Masanobu (1913-2008)

One straw revolution

岡田茂吉

OKADA Mokichi (1882-1955)



川口由一

KAWAGUCHI Yoshikazu (1939-2023)



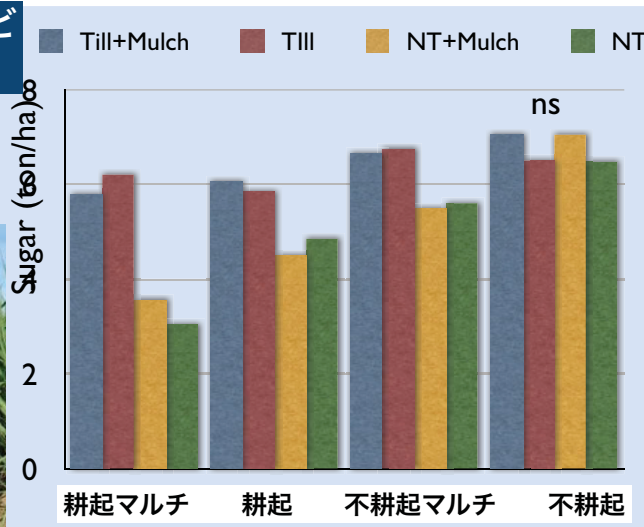


# 保全耕起試験における生産量

Yields in the CA experiments

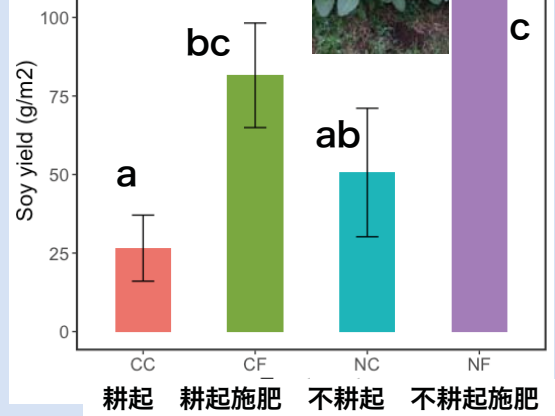
## サトウキビ

Sugar cane



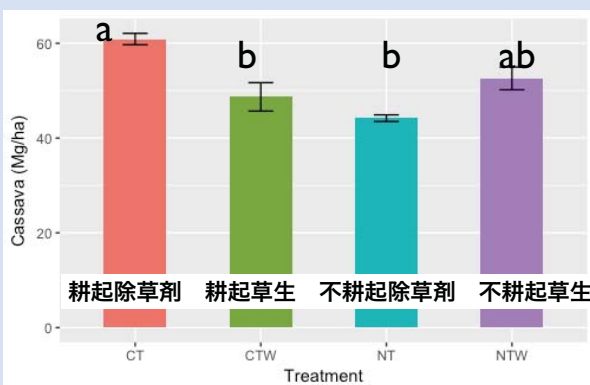
## ダイズ

Soy bean



## キャッサバ

Cassava



生産量 (収量) は、慣行と不耕起栽培の差は無い

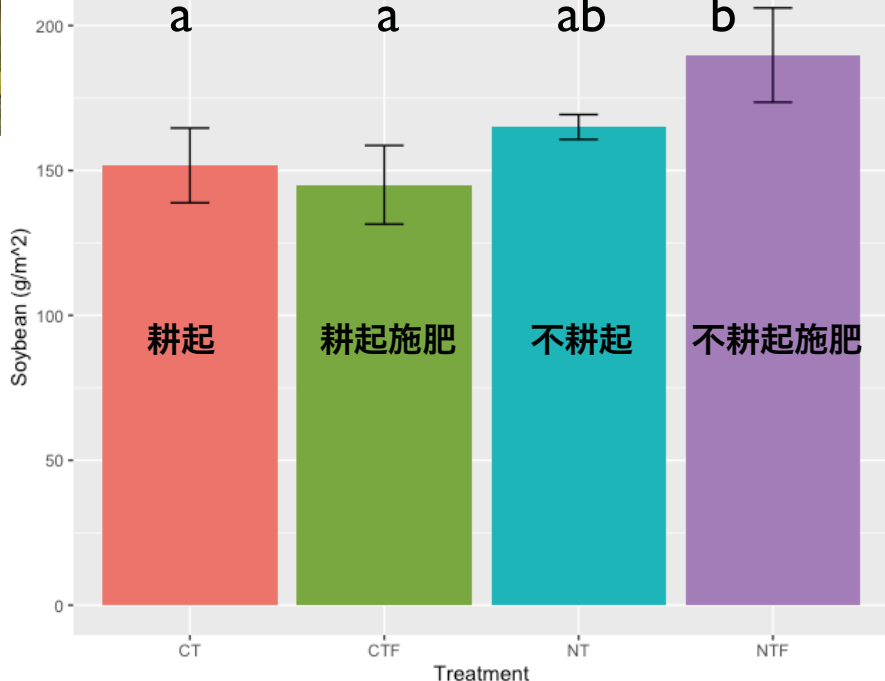
福島県飯舘村試験地

耕起

2020年11月2日

不耕起草生

大豆収量 (g/m²)



大豆の栽培試験では、不耕起+施肥で耕起栽培より有意に収穫量が増加 (金子 未発表データ)



# 松沢正満さん（愛知県新城市） 福津農場

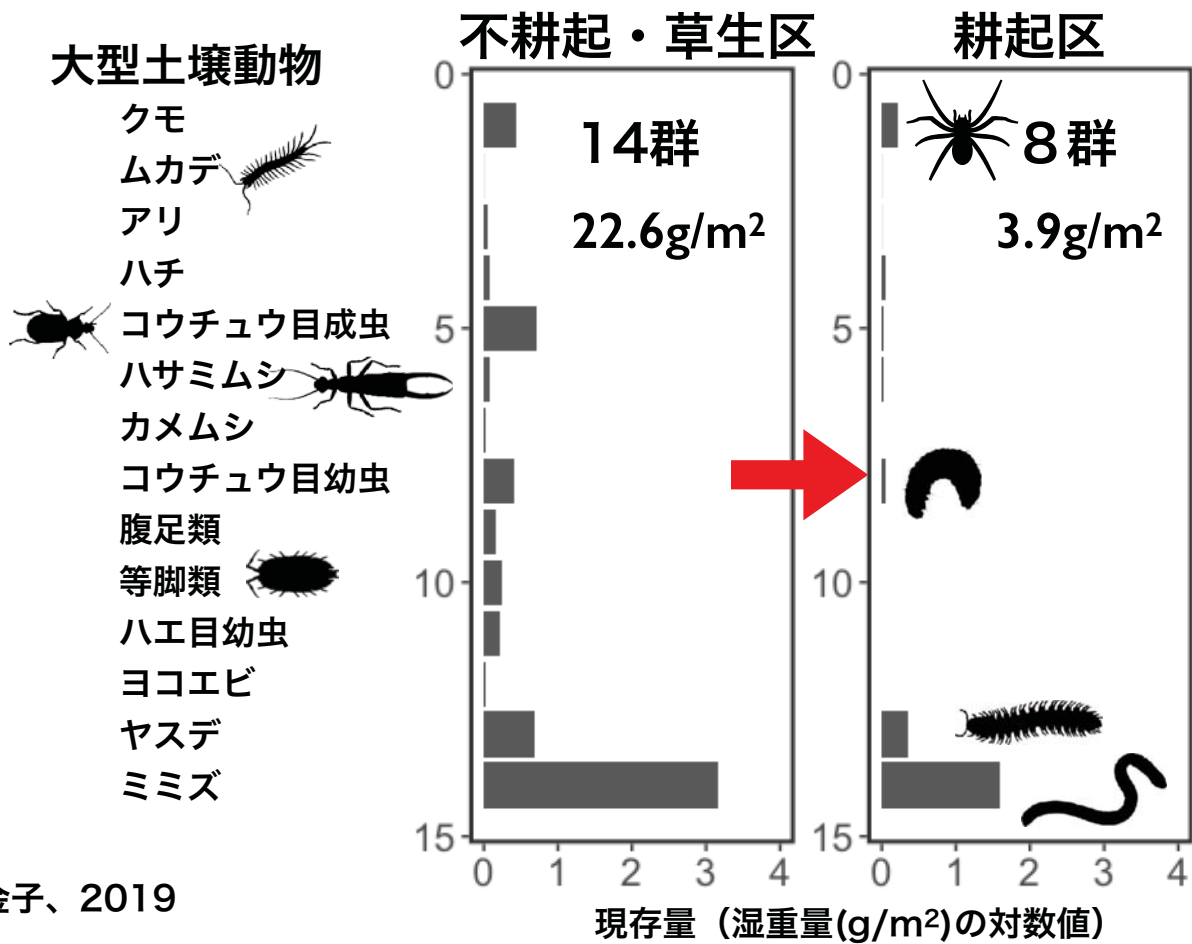


# 松沢正満さん（愛知県新城市） 福津農場

- ・水田15a、畑作12a、果樹35a、  
採草地15a、山林32a、養鶏300羽
- ・年間200品目を宅配、ファーマーズマーケットで販売
- ・畑地はイタリアンライグラスの自然再生を利用し、ドラム缶  
で押し倒し、不耕起で栽培、施肥は鶏糞のみ
- ・果樹の周りにも草の上から野菜の種子を蒔き、ハンマーモ  
アで草を破碎するだけで、不耕起栽培
- ・多品目が圃場内にモザイク状に栽培されている



# 耕起による土壌生物多様性の減少



## 福津農場と慣行農業の比較

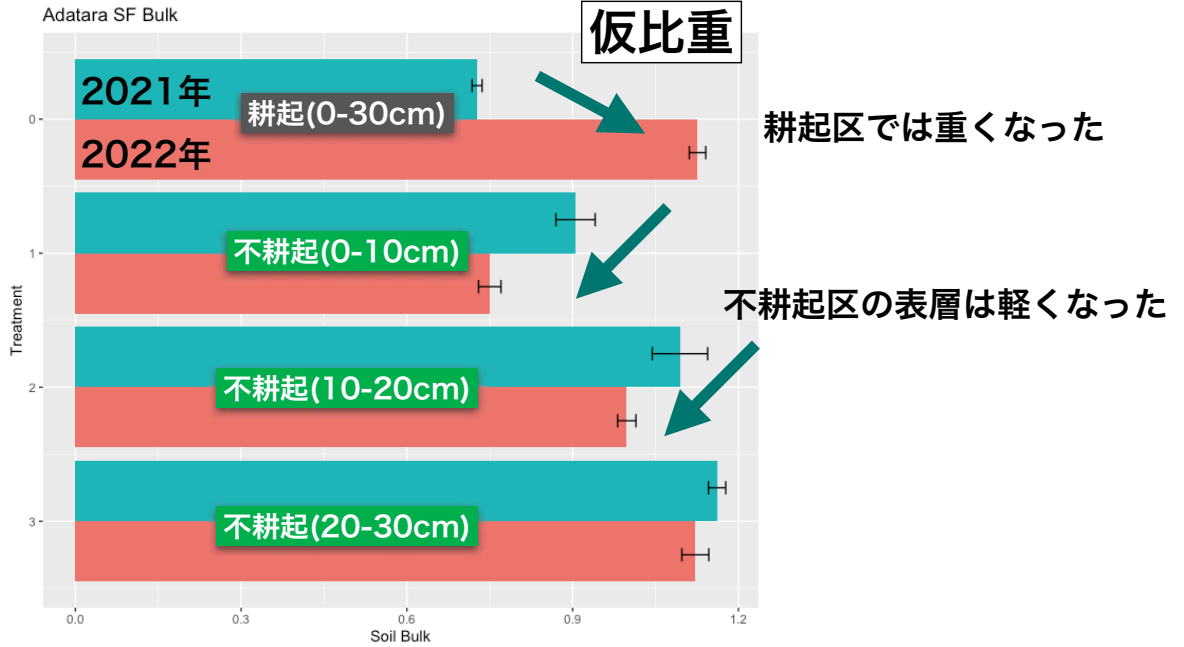
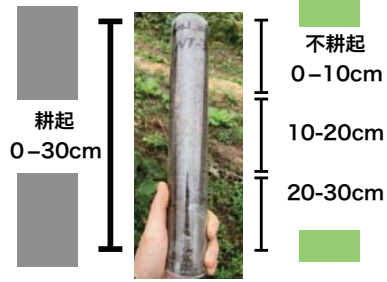
農業体系	品目数	土壌炭素含有率 (%)	大型土壌動物多様性	大型土壌動物現存量 (g/m <sup>2</sup> )	残渣の還元量 (g/m <sup>2</sup> )	農業粗収益 (千円)	農業経営費 (千円)	農業所得 (千円)
福津農園	約200	4.96	14	22.6	200	3,872	1,164	2,708
慣行農業	少品目	2.13	8	3.9	ほとんど0	6,023	3,683	2,340

多様性を生み出す管理

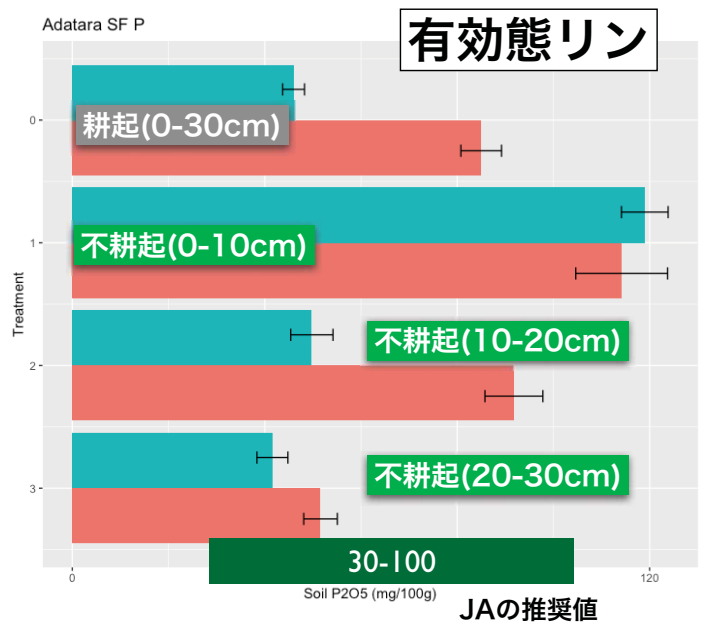
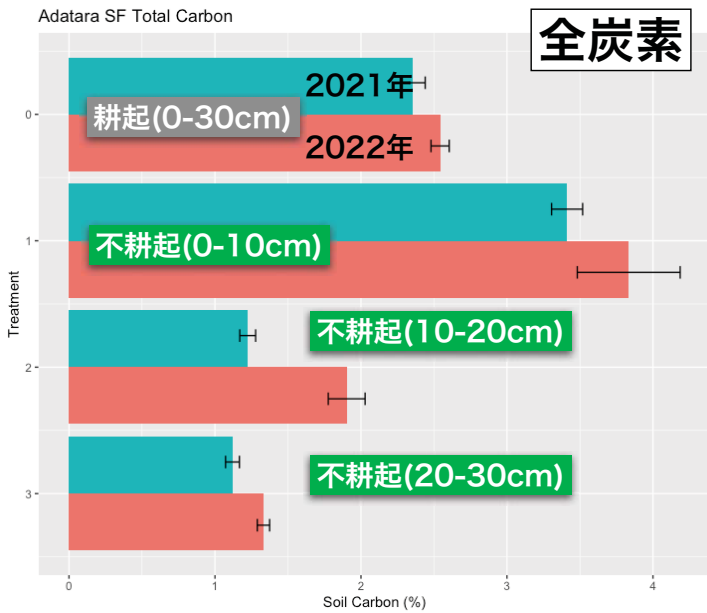
自然資本と土壌保全

経済性

# 耕さなくても土が軽くなった



# 「不耕起・草生」で土がよくなった



投入なしで土壤炭素が増加。

有効態のリン濃度が不耕起で高くなる。

2年目ではより深い層で変化が起きた。



# 土壌動物群集

保全農法の採用で、土壌生物多様性が向上し、生態系サービスが向上

5分類群

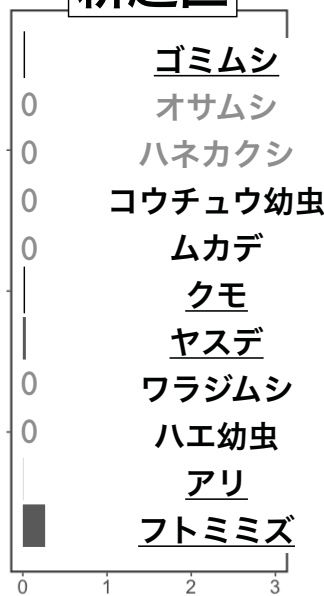
面積あたりの乾燥重量

1.09g/m<sup>2</sup>

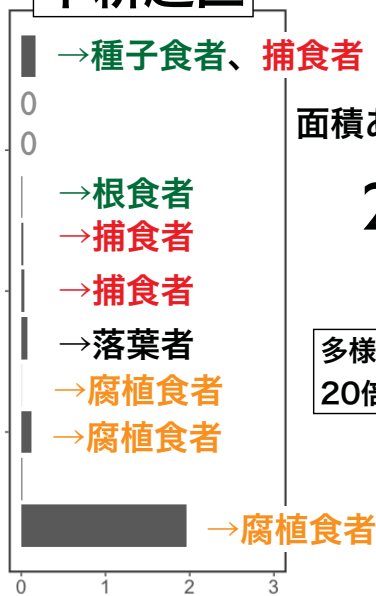
多様性低く、捕食者がいない

分類群名に下線があるものは両方に出現

耕起区



不耕起区



9分類群

面積あたりの乾燥重量

21.2g/m<sup>2</sup>

多様な分類群、現存量が20倍以上多い

現存量 (乾燥重量(g/m<sup>2</sup>)の対数値)

## 大型土壌動物

50cmx50cm深さ20cm

耕起

不耕起

施肥なし



施肥なし

施肥あり



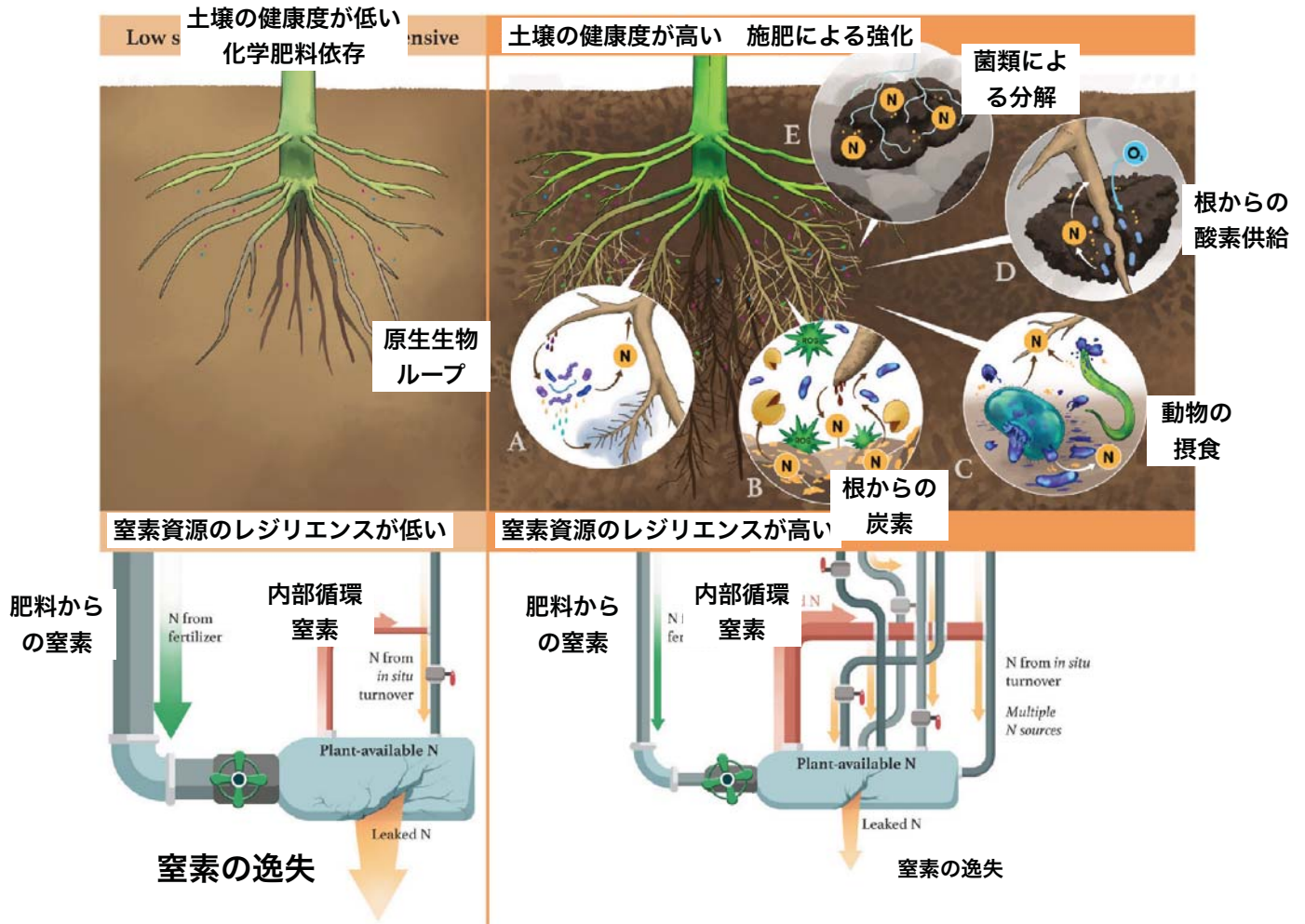
施肥あり

耕起

不耕起



# 土壌の健康と食物網



## 柵沢試験地

ダイズ

不耕起 vs 耕起、草生 vs 手除草、堆肥 vs 化学肥料



耕起+手除草区

不耕起+草生区

2024年9月12日





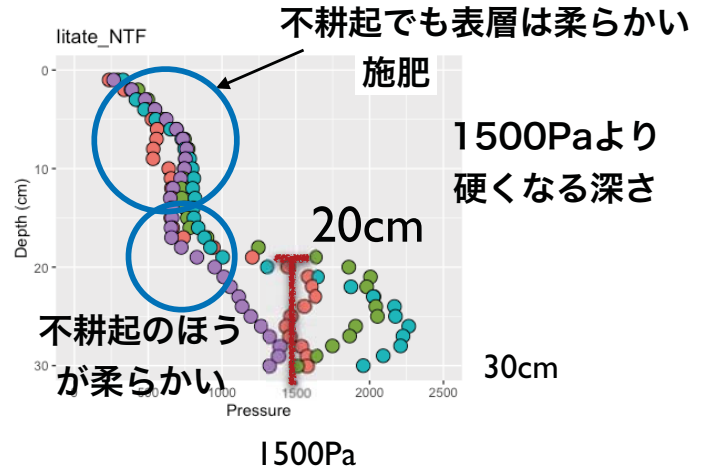
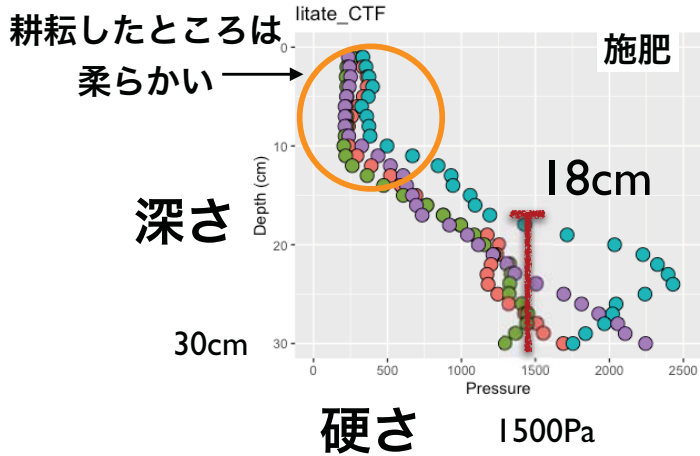
土壤硬度計

# 耕さないほうが土は柔らかくなる

土の硬さを測定する

**耕起**

**不耕起草生（三年目）**

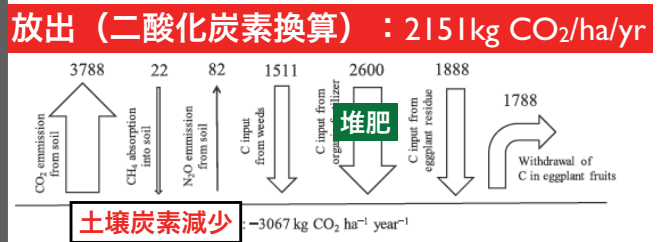
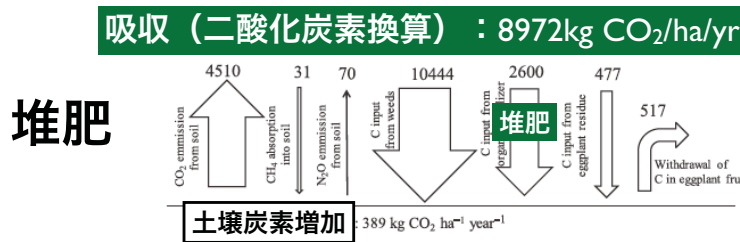
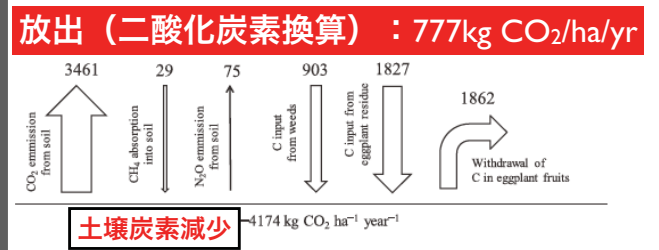
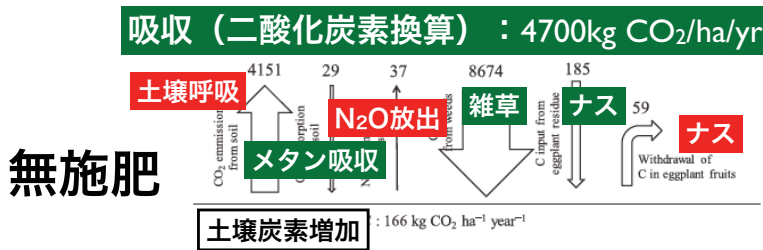


福島県飯舘村 2020年6月

## 不耕起栽培による温室効果ガスの吸収

不耕起草生

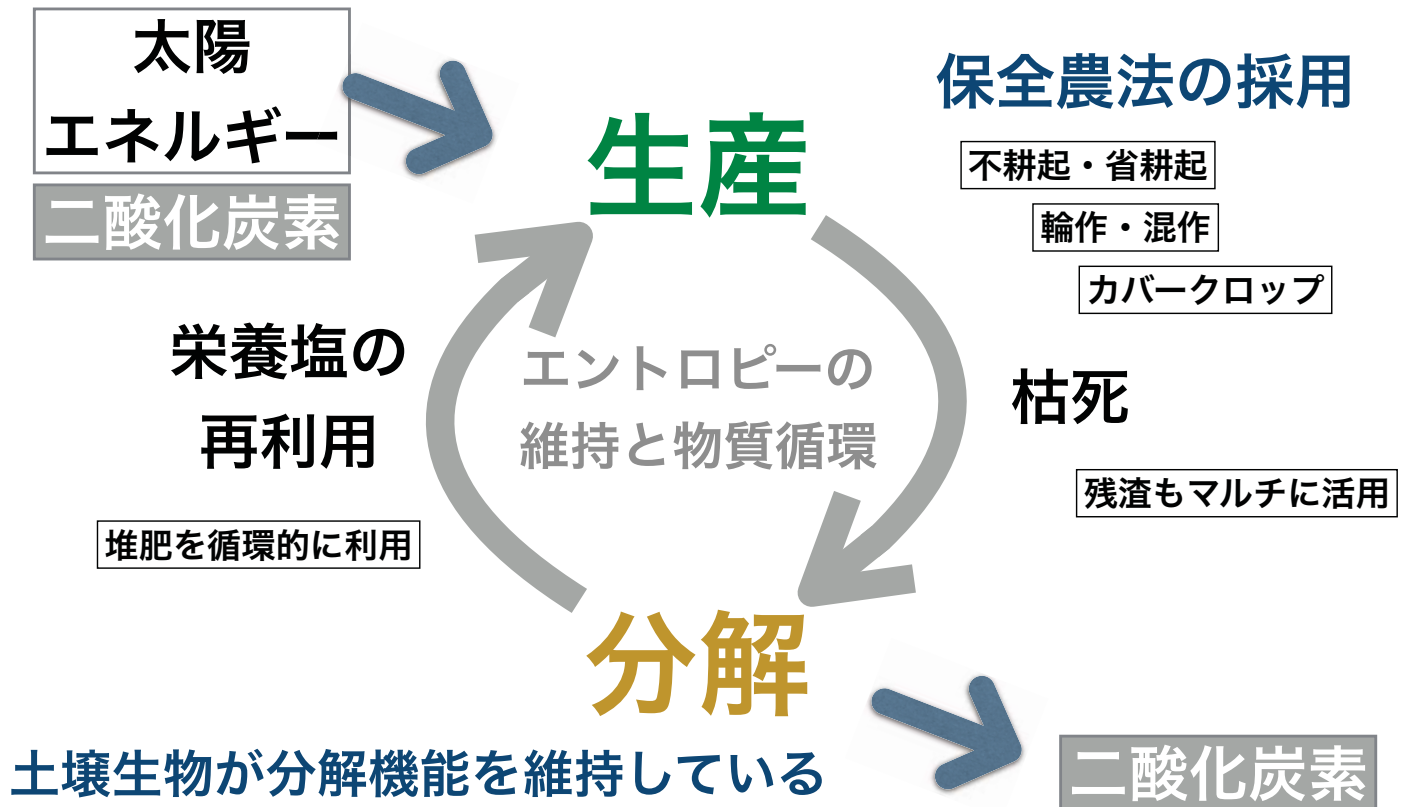
耕起



不耕起栽培の採用で、農地が温室効果ガスの吸収源となる



# 生態系の持続可能性



## リジェネラティブ農業とは？

### 管理手法に基づく定義

- 外部からの投入を減らす
- 家畜と組み合わせる
- 農薬を使わない
- 化学肥料を使わない
- 耕うんを減らす
- 輪作
- 作物の多様化

### 効果に基づく定義

- 生態系、土壌、水の健康の改善
- 生物多様性の向上
- 土壌炭素隔離
- 社会の福利の向上
- 農家の収益向上

### 農法の改善

農法の改善が必ずしも農業生態系の変化をもたらすとは限らない

### 生態系サービスの向上

どの方法で効果が得られるかわからない

- 正確な定義はない
- 少なくとも使う前に各自が定義する必要がある (Newton et al., 2020)

# 慣行農法

# 再生農法

# 有機農法

# 環境再生 有機農法

## CONVENTIONAL

Generally, conventional farming relies on the use of chemical intervention—pesticides, herbicides, synthetic fertilizers—and genetically modified organisms (GMOs) to grow crops.

## REGENERATIVE

Regenerative farming aims to enrich the soil, but lacks any standards prohibiting the use of conventional pesticides, herbicides, synthetic fertilizers, and GMOs.

## ORGANIC

Organic farming does not use chemical intervention or GMOs because it prioritizes building healthy soil. Instead, natural methods such as composting are relied upon, for the growth of healthy food.

## REGENERATIVE ORGANIC

Regenerative Organic farming is rooted in organic farming. It abides by a high standard of land management to sequester carbon in the soil, and prioritize welfare of farm animals and fairness for farmers and workers.

リジェネラティブ

リジェネラティブ・  
オーガニック

### COMMON TOOLS



Pesticides and Herbicides



Synthetic Fertilizer



GMOs



Compost



Crop Rotations



Cover Crops



No GMOs

農薬

除草剤

化学

肥料

遺伝子組み

換え作物

堆肥

輪作

カバー

クロップ

No

GMOs

Rodale Institute, 2020

## 土壤侵食

雑草

# 不耕起+除草剤

# 遺伝子組替作物

# 除草剤耐性雑草

Ofstehage & Nehring, 2021

環境再生農業(Regenerative)

# +除草剤

# 耕起

雑草

# 不耕起+カバークロップ

環境再生有機農業  
(Regenerative organic)

# ライムギ+ローラーリンパー

# 土壤保全



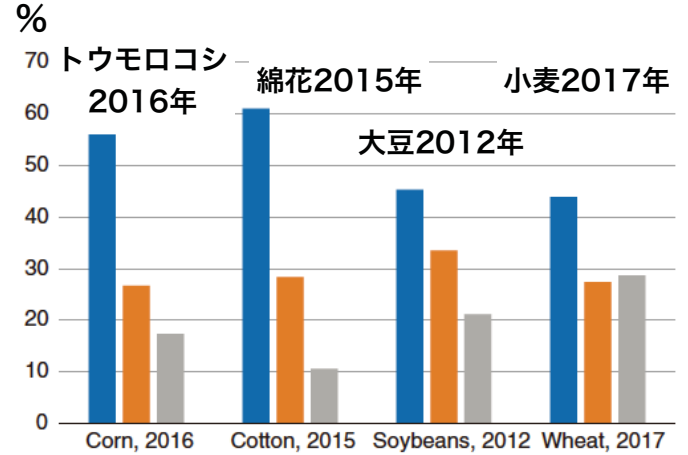
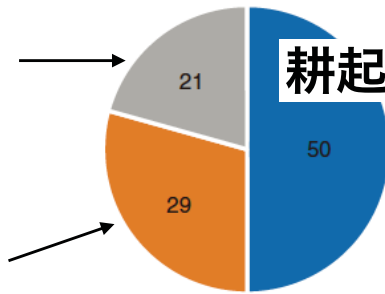
# アメリカ農業における 不耕起・省耕起の取組



トウモロコシ、綿花、大豆、小麦

完全な不耕起

不耕起と耕起  
を交互に行う



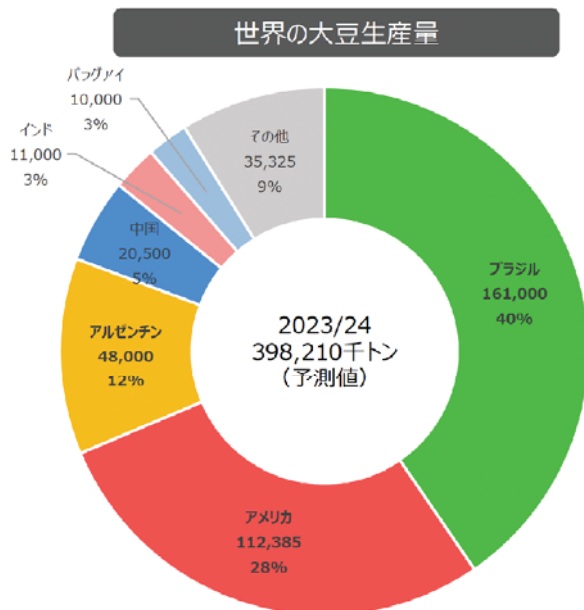
USDA, 2018

燃料消費は 1973年に比べて2002年には 60% に減少  
収穫量あたりの燃料消費は 40%に減少

Triplett, Dick 2008

## 15-1 世界の大豆の生産動向

- 世界の大豆生産量は約3.6億トン。このうち、**ブラジル、米国、アルゼンチン**での生産が約8割を占める。
- 世界の大豆の単収は品種改良、栽培技術の向上により増加しており、大豆生産主要国である**アメリカ、ブラジル**では300kg/10a以上の高単収となっている。



〔 参考：主要国の大豆の単収 〕

	単収 (kg/10a)
世界平均	286
<b>ブラジル</b>	<b>353</b>
<b>アメリカ</b>	<b>335</b>
アルゼンチン	293
中国	196
インド	85
パラグアイ	282
カナダ	309
日本	158

資料：米国農務省 (USDA) 「Production, Supply and Distribution」



# ブラジルの不耕起栽培

x1000 ha

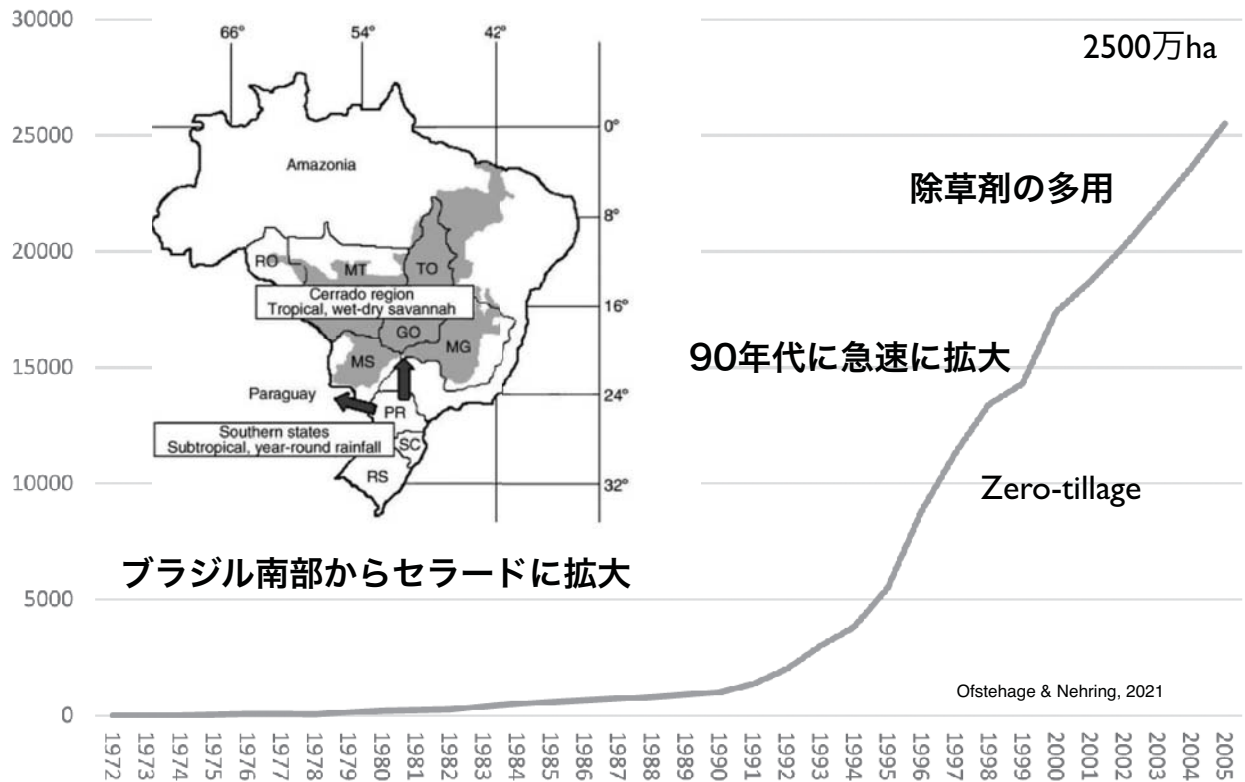
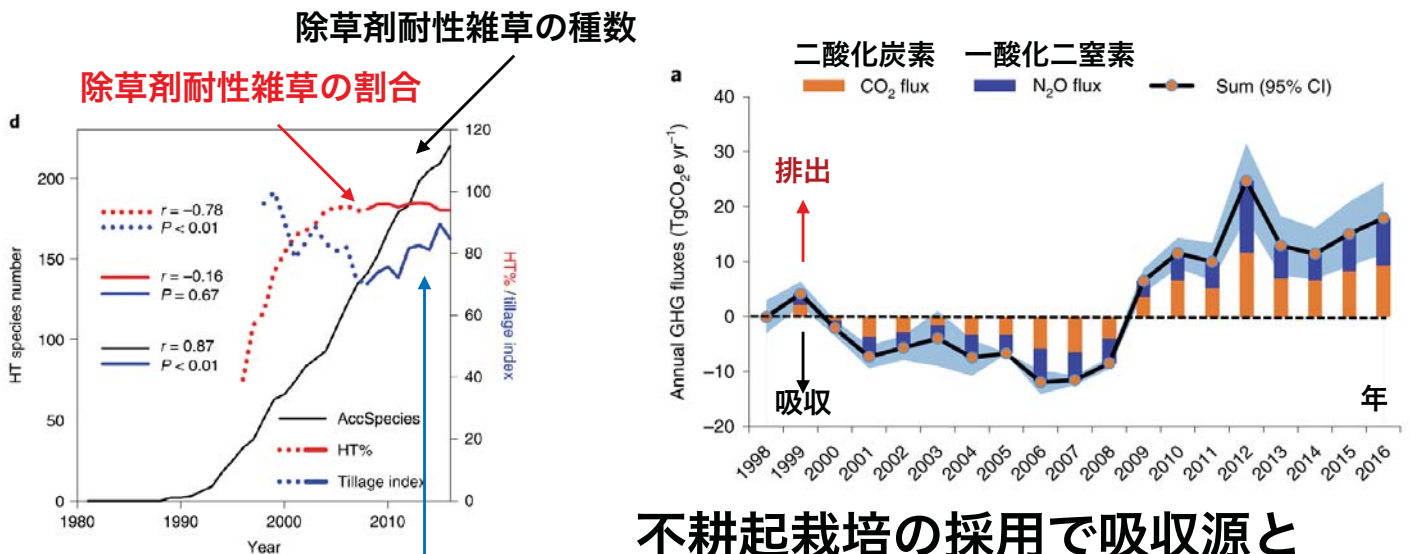


Figure 1. Expansion of zero tillage (in 1000s of hectares) in Brazil from 1974–2006 (revised from de Freitas and Landers 2014).

## 除草剤耐性雑草の増加と 温室効果ガス排出量の変化



耕うん指数  
一度低下したが、その後増加

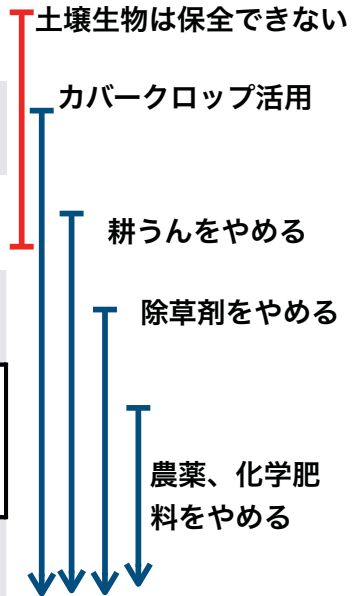
不耕起栽培の採用で吸収源と  
なったが、除草剤耐性雑草対策  
のため耕うん強度が増え、排出  
が増加

# 保全的な農法と特徴的な管理

絶対的技術

場に応じた技術

農法	農薬	化学肥料	除草剤	耕起	カバー クロープ	有機物 マルチ	輪作・ 混作	遺伝子 組み替え
有機JAS	禁止	禁止	禁止	耕起				禁止
環境保全型農業	削減	削減	使用	耕起	推奨			
環境再生型農業 Regenerative Ag	使用	使用	使用	不耕起 省耕起	推奨	推奨		使用
保全農法 Conservation Ag	削減	削減	削減	不耕起 省耕起	必須	必須	必須	
環境再生型 有機農業 Regenerative Organic Ag	禁止	禁止	禁止	不耕起 省耕起	必須	必須	必須	禁止
自然農	使用 しない	使用 しない	使用 しない	不耕起 省耕起	雑草利用	必須	必須	使用 しない



金子, 2023

## 耕すと表土が失われる

畑から土をとって水と混ぜる



不耕起  
+ 除草剤

不耕起  
除草剤なし

耕起  
+ 除草剤

耕起  
除草剤なし

不耕起でも除草剤を使  
うと団粒ができない

土壌生物が作った  
耐水性団粒が豊富

福島大学樹沢試験地



# なぜ耕さないほうがいいのか？



落葉層  
豊富な根  
非攪乱



土壌生物  
多様性の向上  
土壌構造  
肥沃度  
病害虫抑制



環境負荷の  
少ない農業

## ライ麦マルチから始める不耕起栽培



ロダール研究所のジェフ・モイヤーさんが開発

- 秋にライ麦を蒔き、春に刈らずに倒す
- 倒す時期は乳熟期（実を潰すと汁がでる）
- 同じ方向に倒すこと
- その方向に播種機を走らせる
- 1平方メートルあたり乾燥重で1kgのライ麦が育てば抑草が可能



# 世界中で不耕起有機栽培の技術革新が進んでいる



## ライ麦押し倒しと不耕起播種

### ライ麦のアレロパシー



Allelopathy gradient

Allelopathy ring

**Figure 2.** Gradient of allelopathic activity of rye on lettuce causing chlorosis and stunting (left). Inhibition of lettuce emergence by a highly allelopathic rye line forming a bar ring at the base of the plant.

Rebong et al 2023



# ライ麦カバークロープにおける 不耕起野菜栽培

Agron. Sustain. Dev. (2019) 39: 55



Fig. 1 Pepper plant transplanted into a narrow furrow created by the ILRC after flattening the ASCs in Spain. Author: Alejandro Pérez-Ferrer

Navarro-Miró et al. 2019

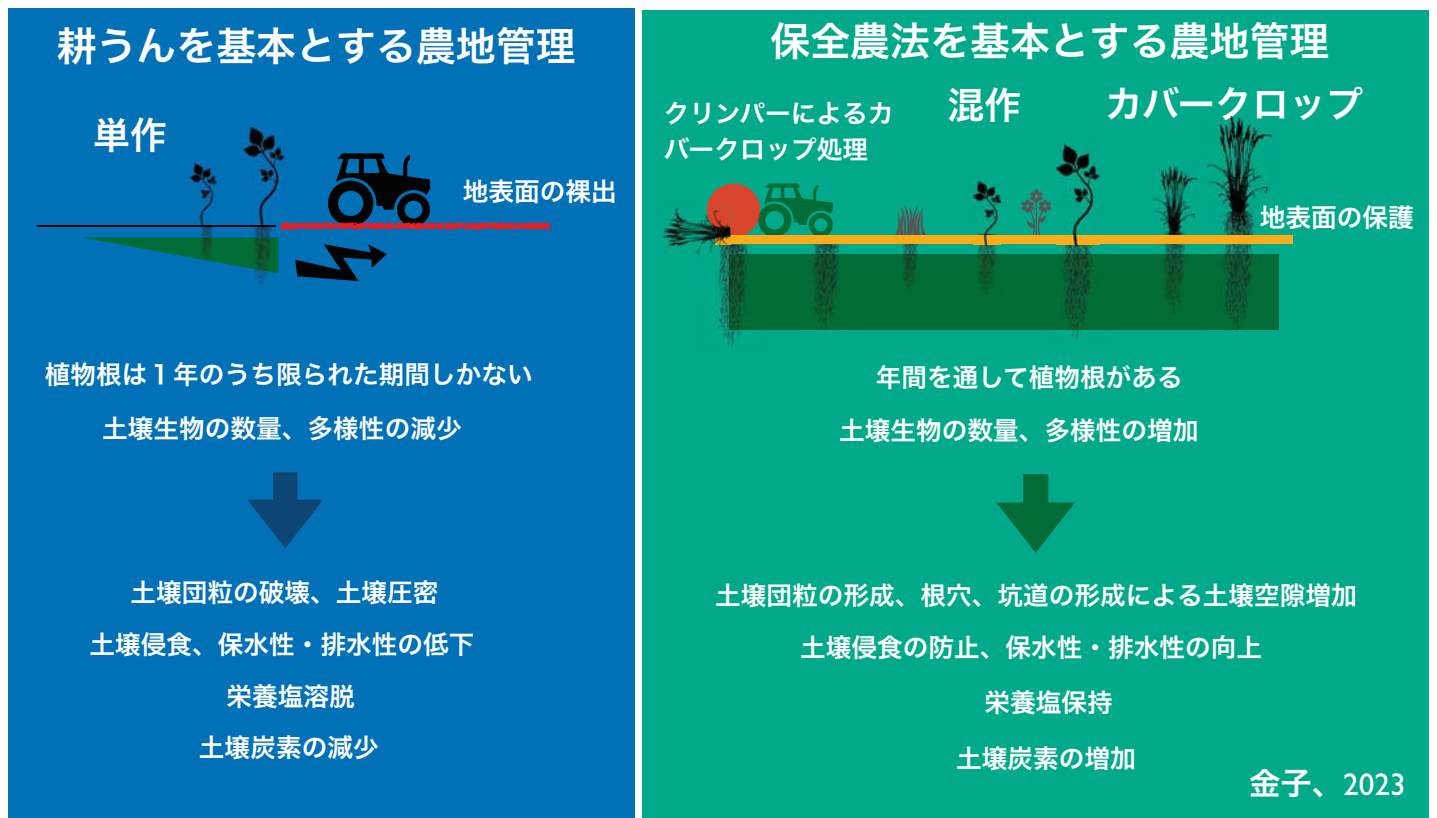
ASC: Agroecological Service Crops

ILRC: In-line tillage/roller crimper



Canali et al. 2013 Fig. 1. Modified roller crimper for transplanting bed preparation (in-line tillage/roller crimper).

## 耕やす農業から不耕起の農業へ



# 緑肥・カバークropp

土壤に新鮮な炭素と窒素を供給する

炭素：作物以外の植物で光合成→根から糖類を土壤へ  
窒素：マメ科植物の活用

化学肥料はドリンク剤のようなもの  
ブドウ糖とタンパク質

越年性

ライ麦、ヘアリーベッチなど

1年性

エン麦、ソバ、ヒマワリ、ダイコンなど

刈らずに倒すクリンパー

ライ麦：乳熟期、ヘアリーベッチ：開花期  
1年性：梅雨明けからお盆までに倒す

不耕起栽培で取り組みやすいもの

ダイズ、トウモロコシ、ワタ、果菜  
コムギ、オオムギ、秋野菜

## 不耕起草生栽培の道具

### クリンパー

- ロデール研究所で開発（ローラークリンパー）
- トラクターのサイズにあわせる
- 120から160kg
- 手作りフットクリンパー（角材、アングル、紐）
- 刈らずに折るのがポイント
- 刈ると農作業に支障
- マルチ（ライ麦の場合乾燥重で1kg/m<sup>2</sup>）、発芽抑制物質



### 不耕起播種機



クリーンシーダー  
(Agritecno Yazaki)

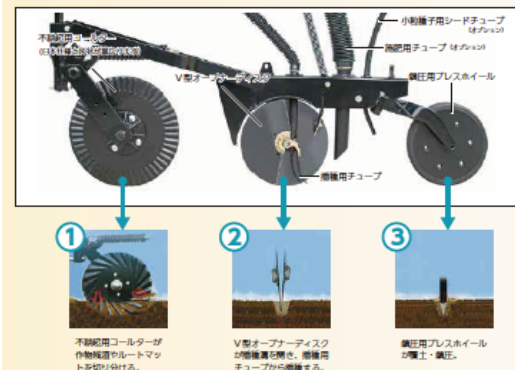


シードマチック・ミニシーダー

#### 独立追従式播種ユニット

- ・ 条毎に独立してほ場に追従することで、凹凸が多い畑や傾斜地でも高い播種精度を実現します。
- ・ オプションの施肥装置を装備することで、同時施肥が可能になります。（3P605NT、606NTを除く）

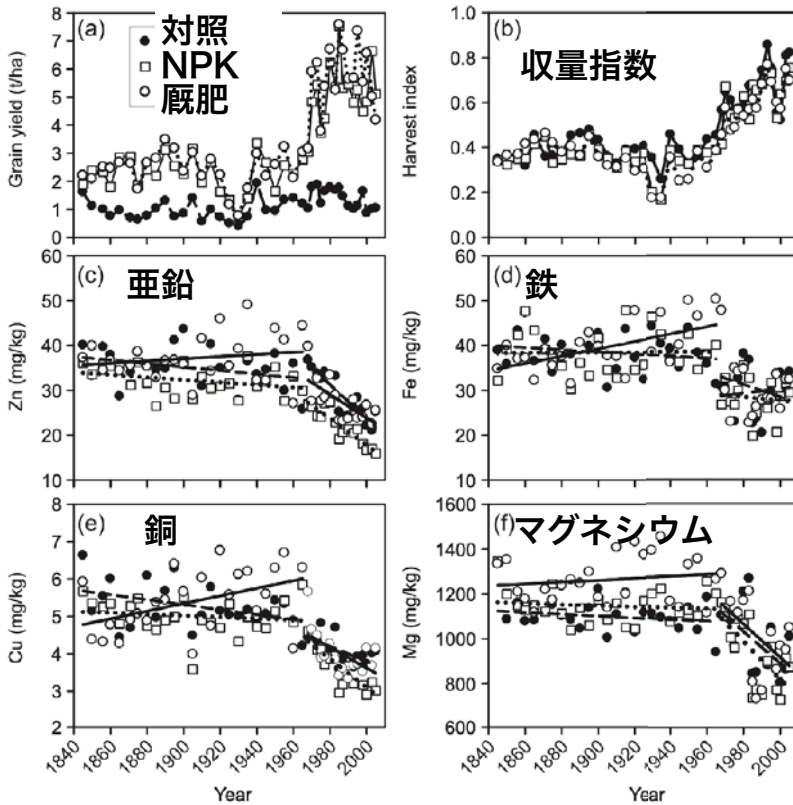
効率・労力を  
実現する  
メカニズム



グレートプレーンズ(クボタ)



# 小麦の微量元素の長期変動



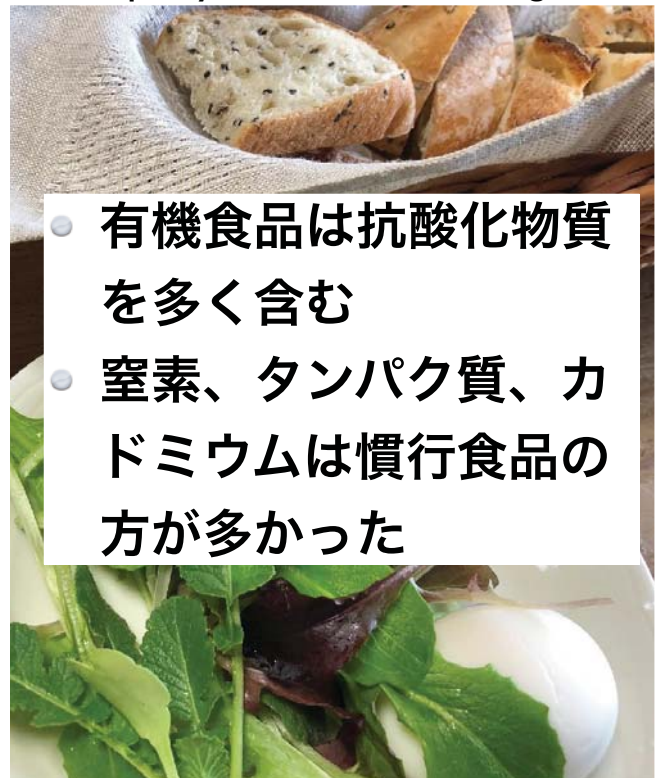
イギリス・ロザムステッド試験地

「緑の革命」による増収から始まってから小麦の微量元素は急激に低下

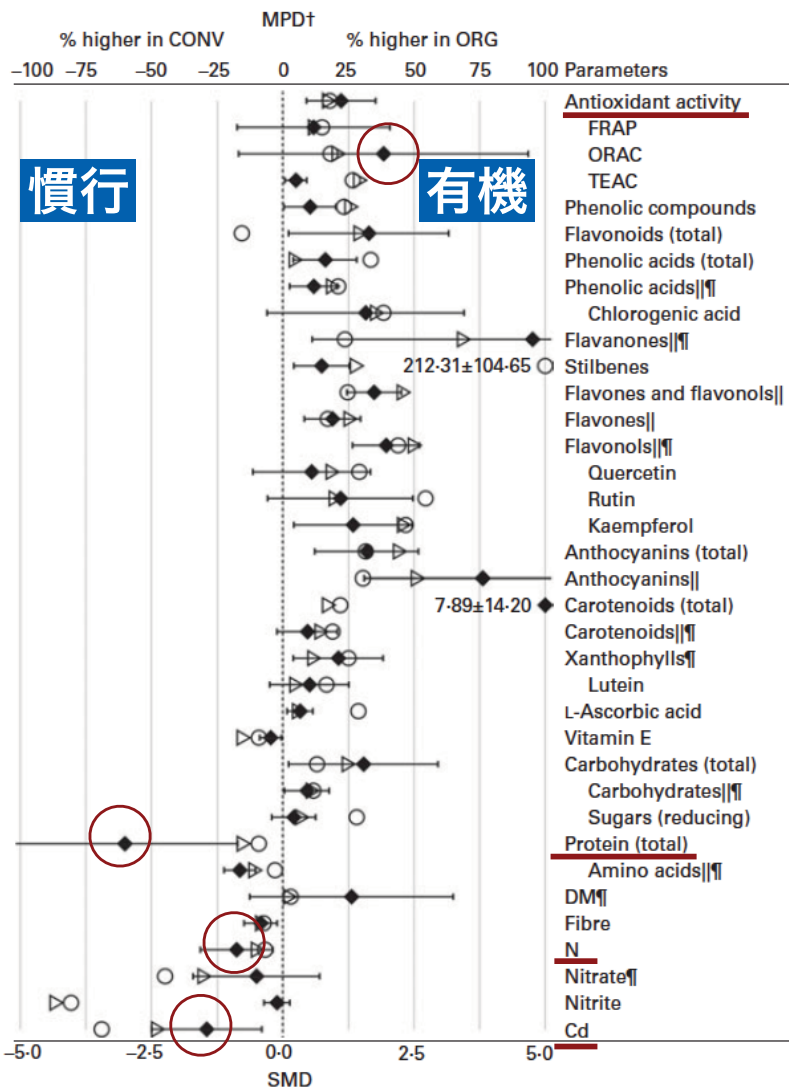
Fang et al. 2008

## 慣行と有機の食品比較

Food quality of conventional vs. organic



- 有機食品は抗酸化物質を多く含む
- 窒素、タンパク質、カドミウムは慣行食品の方が多かった



Baranski et al., 2014 *The British J Nutrition*

# フランスの大規模食生活調査



Key Findings of the French BioNutriNet Project on Organic Food-Based Diets: Description, Determinants, and Relationships to Health and the Environment

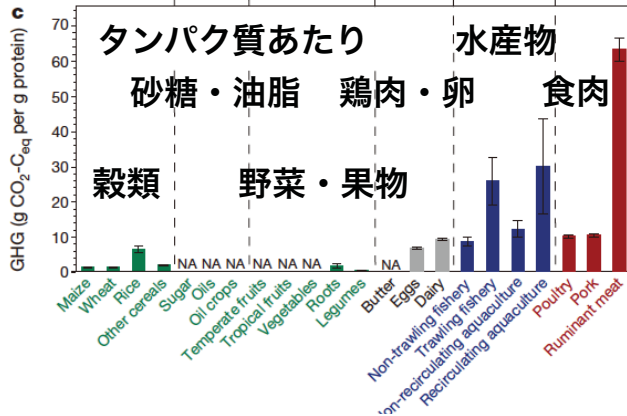
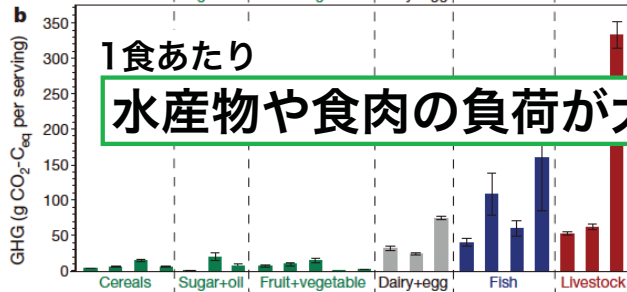
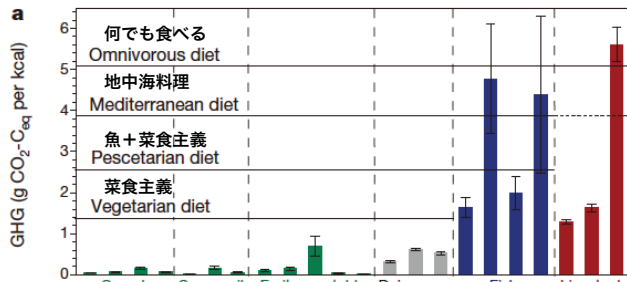
Kesse-Guyot et al. 2022 *Advances in Nutrition*

## 2014年にインターネットで食生活を調査

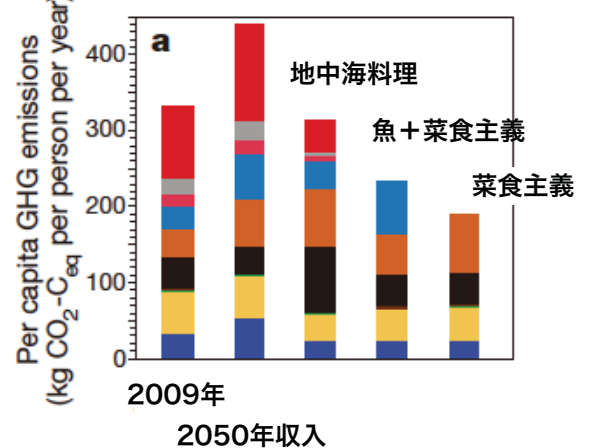
- ・35,000人が参加
- ・食生活と残留農薬のデータなどを解析

- 有機農産物を食べる人のほうが食費の出費が多いが、より植物主体の食を摂っており、健康であった
- 農薬などの毒性物質への暴露が低いため肥満、2型糖尿病乳がん、リンパ腫の発症リスクが低い
- 有機農産物は健康によい効果があるが、環境負荷を減らすため、さらに植物主体の食生活に変更する必要がある

## 食生活と温室効果ガスの排出



### 温室効果ガス排出量



食生活の見直しが必要



# 抗微生物剤と耐性菌の関係



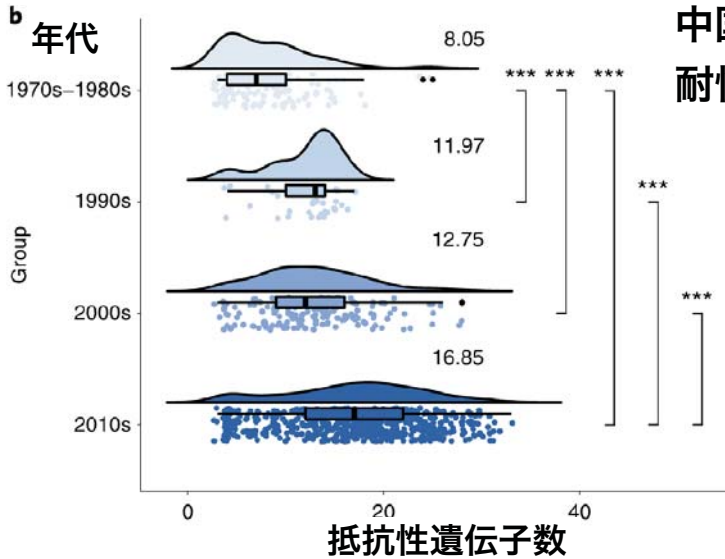
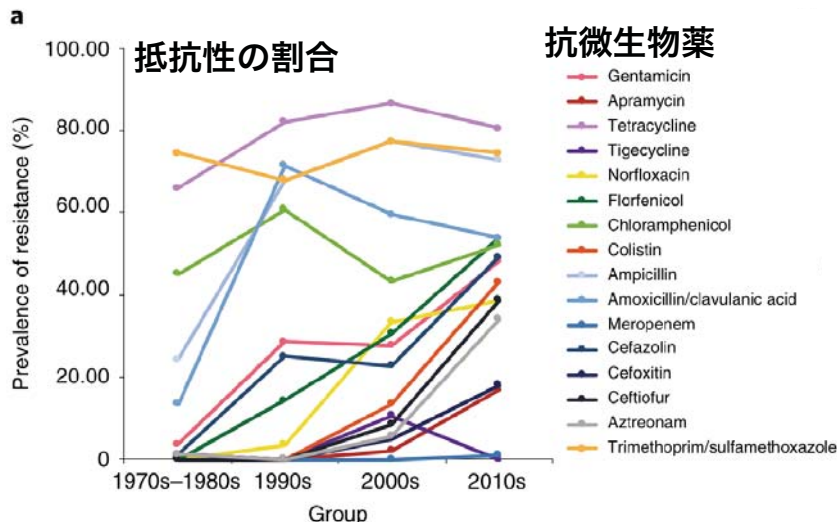
FIG 1 Pathway map of AMA and AMR dissemination within agriculture, the environment, and the food processing industry. Movement of AMA or AMR is indicated by overlapping circles and arrows, respectively; different colors define different groups of reservoirs. Stars indicate the hot spots of ARG and ARB with high bacterial densities, nutrient availability, and selective pressure in the digestive tract of livestock and humans, in manure storage facilities, wastewater treatment plants, and in the rhizosphere. Asterisks indicate possible hot spots of ARG and ARB in water, sediments, and biofilms in aquaculture, rivers, lakes, and irrigation systems, as well as in slaughterhouse facilities and on plant surfaces.

## 家畜の抗微生物剤の使用と移動

- カナダでは年間1,000トンの抗微生物剤が畜産で使用されている。
  - 投与された薬剤の30-90%が糞尿中に移行。
- Xu et al., 2021

- 中国では年間30億トンの家畜糞尿が発生し、84,000トンの抗微生物剤が畜産で使用されている。
  - 投与された薬剤の約58%が環境中に移行し、その約半分が土壌に投与される。
  - 16s RNA遺伝子のうち最大10分の1が耐性遺伝子である。
  - 畜糞堆肥（厩肥）の施用による耐性菌の増加は、  
 耐性菌を含む堆肥による増加  
 元から存在する耐性菌を増加させる  
 畜糞堆肥に残留する抗生物質による選択効果、をひきおこす。
- Xie et al., 2018

# 大腸菌における耐性菌の変化

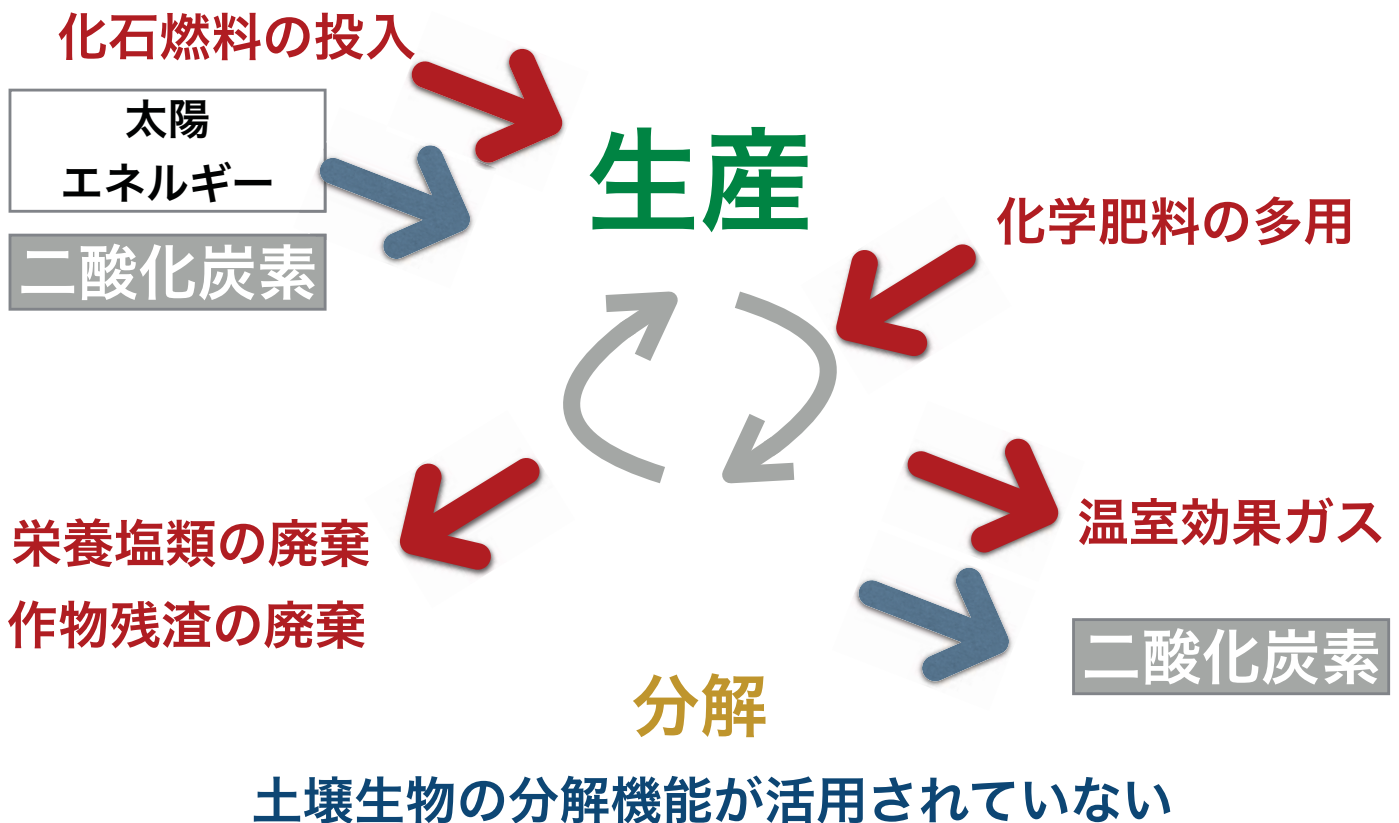


中国における大腸菌の抗微生物剤への耐性遺伝子は1970年代に比べると急増

抵抗性遺伝子数の変化

Yang et al. 2022

## 持続可能でない農業システム





# 生態学的強化

## Ecological intensification

生態系機能

自然への介入, 環境負荷

森林  
自然草原

野菜工場

植生を制御 栄養塩を制御 病害虫を制御 気象を制御

自然農

耕起/慣行栽培

+温室

耕起/有機栽培

生態学的強化

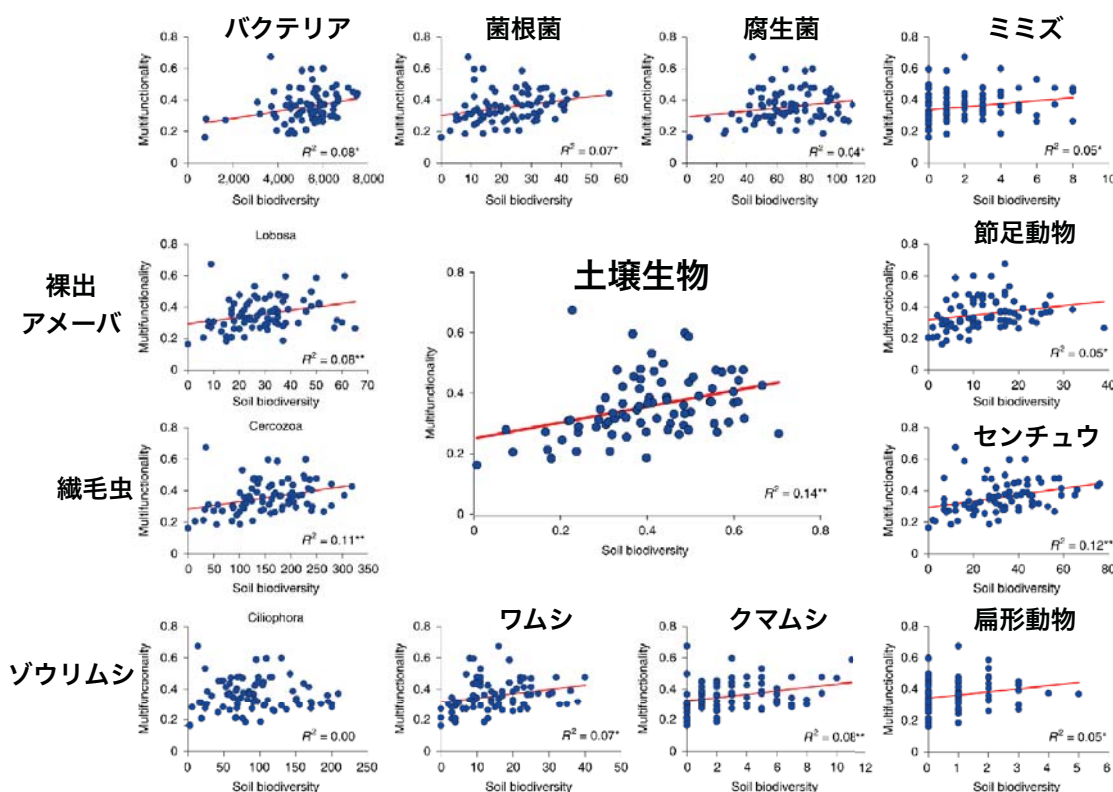
「地面を大切に！」

不耕起  
雑草草生

不耕起  
カバークロップ

アグロフォレストリー

## 土壌の生物多様性と生態系マルチ機能

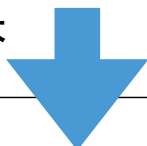


Delgado-Baquerizo et al 2020

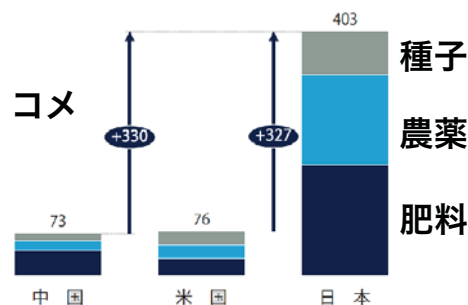
生態系の機能には微生物以外にも、多くの土壌生物の多様性が正の影響

# アグロエコロジーによる農業経営の革新

化石燃料、化学肥料だけでなく種子も海外に依存している  
主要作物の生産コストはアメリカ、中国の3から7倍  
担い手がなく、耕作放棄地が増大  
食料自給率が極端に低い



## 日本農業を根本的に作り替える必要



資料: 米国農務省、中国NRDC、農林水産省、フィリップス・マクドゥガル、世界銀行、マッキンゼー分析

## フランスはアグロエコロジーを農政の中心に

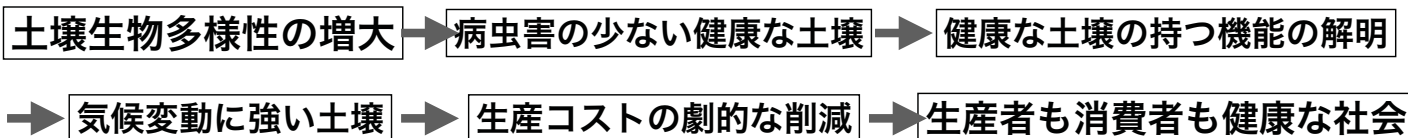
MINISTRY OF AGRICULTURE, AGRIFOOD AND FORESTRY April 2016

農業に関する先入観を捨て、農業システムを再構築  
アグロエコロジーの採用で、経済、環境、社会の高いパフォーマンスを達成可能

- ・農業全体をシステムとして捉え直し、生物間相互作用を活用する
- ・農場の自律的な運営とレジリエンスを支援する



## アグロエコロジーで日本農業を再構築



# 持続可能な農業への転換

・土壌生態系の仕組みを活用することで、環境負荷を抑えつつ低コストでの栽培が実現する

・「耕さない」ほうがよい

- 収穫量はほとんど減らない
- 管理コストの大幅削減が可能
- 気候変動への耐性
- 使いやすい農業機械の開発が必要

・低コストで健康にもよい農法＝持続可能





2023年12月初版

2024年3月重版

2024年10月3刷

## 書評

信濃毎日新聞 (2024年1月27日)

読売新聞 (2024年1月28日)

日本経済新聞 (2024年2月10日)

四国新聞、北國新聞など (配信)

日本農業新聞 (2024年3月31日)

「土と健康」(2024年11月)

## 紹介記事

文藝春秋3月号

聖教新聞 (2024年2月15日)

朝日新聞夕刊 (2024年2月15日)

