

杉山自然栽培研究農園



9年間の栽培を通じて、リンゴの無肥料・無農薬栽培技術の確立



緑肥や混作利用した耕起をしない自然農法による作物栽培技術。

農薬使用量多い国で発達障害の割合が高い

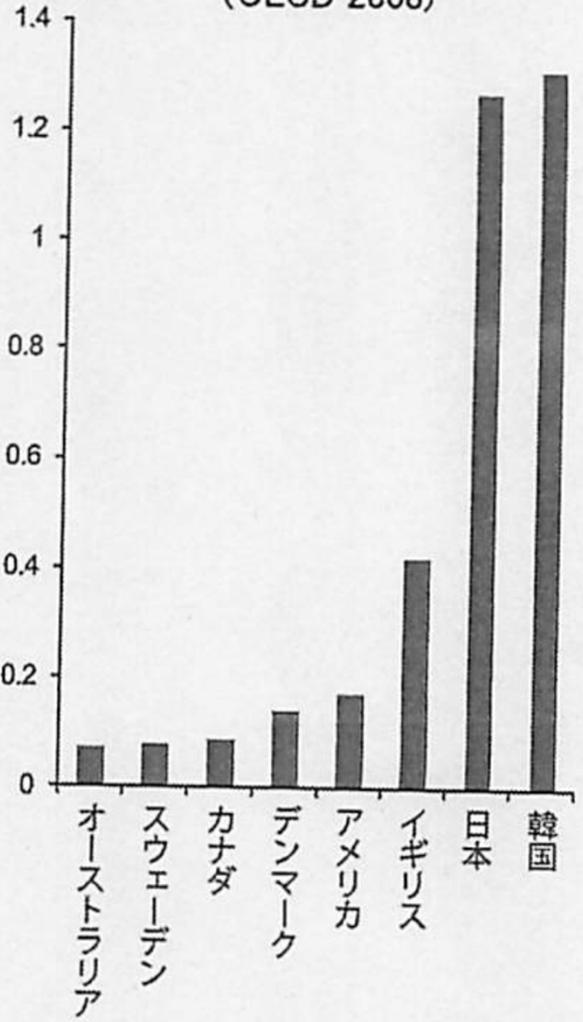
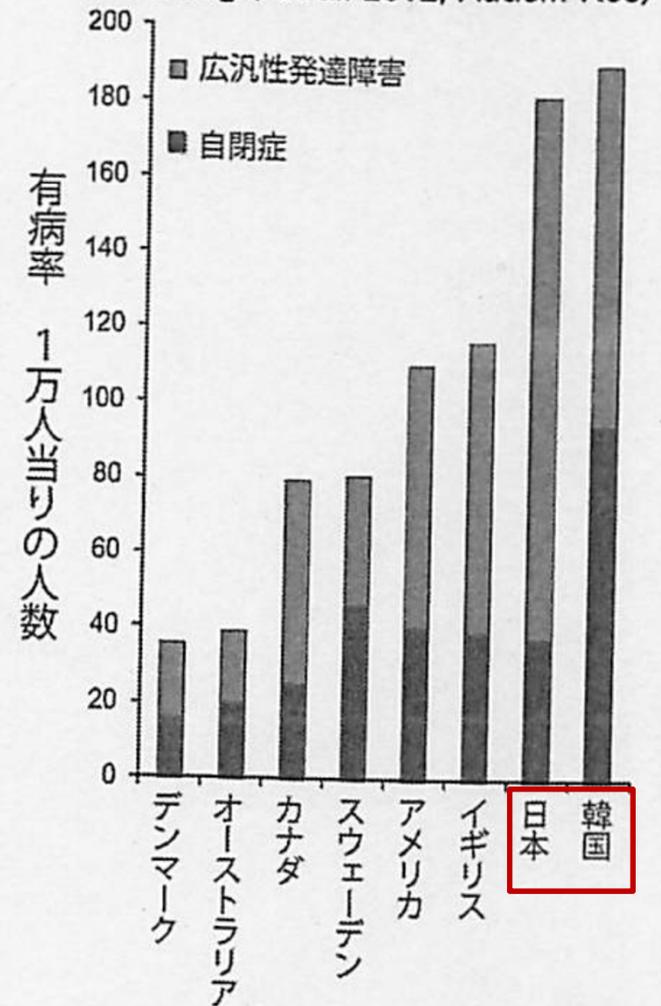
(黒田 2018)

発達障害率

農薬使用量

自閉症、広汎性発達障害の有病率
(Elsabbagh, et al. 2012, Autism Res)

農地単位面積当たり農薬使用量
(OECD 2008)



農地面積%でみた有機農業世界順位

順位	国名	%
1	リヒテンシュタイン	30.2
2	オーストリア	22.3
3	スエーデン	16.9
9	イタリア	11.7
23	ドイツ	6.5
25	オーストリア	5.6
83	アメリカ合衆国	0.5
98	中国	0.3
109	日本	0.2

日本の有機農業割合は世界109位

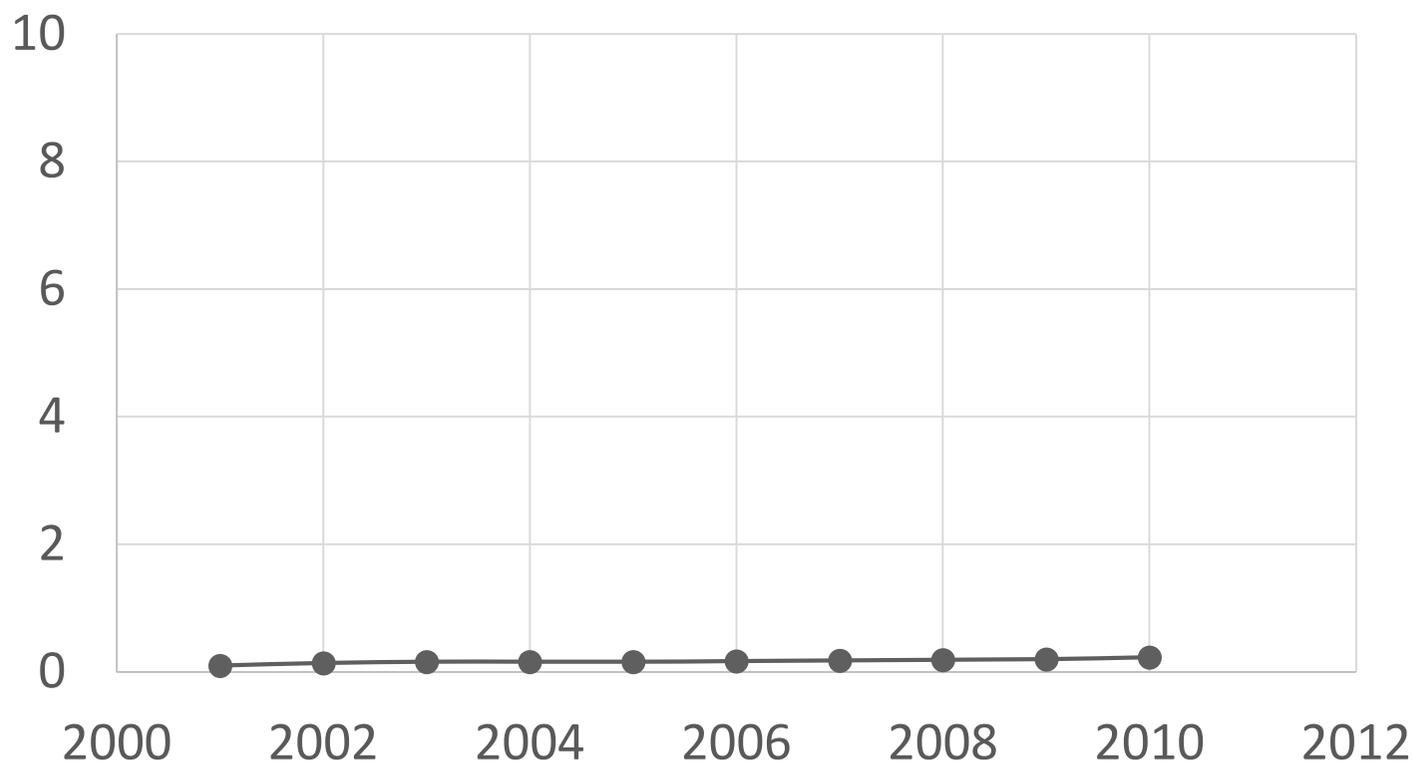
先進国では最下位

FiBL

The world organic agricultural statistics and emerging trends 2017

日本では有機農業は増えていない

有機認証農産物の割合は2000年から0.2%程度



(農林水産省ホームページ)

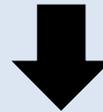
日本で有機栽培が増えない原因

問題点

化学肥料と同等に堆肥を与えると、慣行栽培と同じくらいの
病虫害・雑草被害が発生



合成農薬に比べ有機認証農薬は殺傷力が低い



生産者の病虫害・雑草防除の負担が高くなる

解決策

肥料・堆肥の使用を抑えた病虫害の管理

自然栽培では病虫害が抑えやすくなる

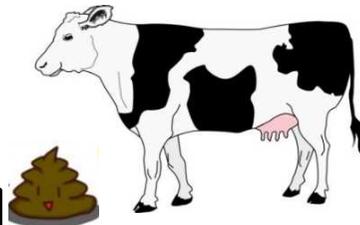
無肥料条件ではイモチ病は発生しない！

有機栽培と自然栽培の違い

慣行栽培



有機栽培



自然栽培



微生物



土壌に対する考え方の変更が必要

従来の考え方

土壌は作物を支持する物理的空間であり、作物を持続的に栽培するには肥料として外部から栄養塩を補給すること(施肥)が不可欠である

自然栽培の考え方

土壌は微生物を中心とする多様な生物が集まった複雑な生態系であり、外部に持ち出された栄養塩を自律的に供給する能力を持つ



自然栽培技術の核心は微生物生態系のコントロール

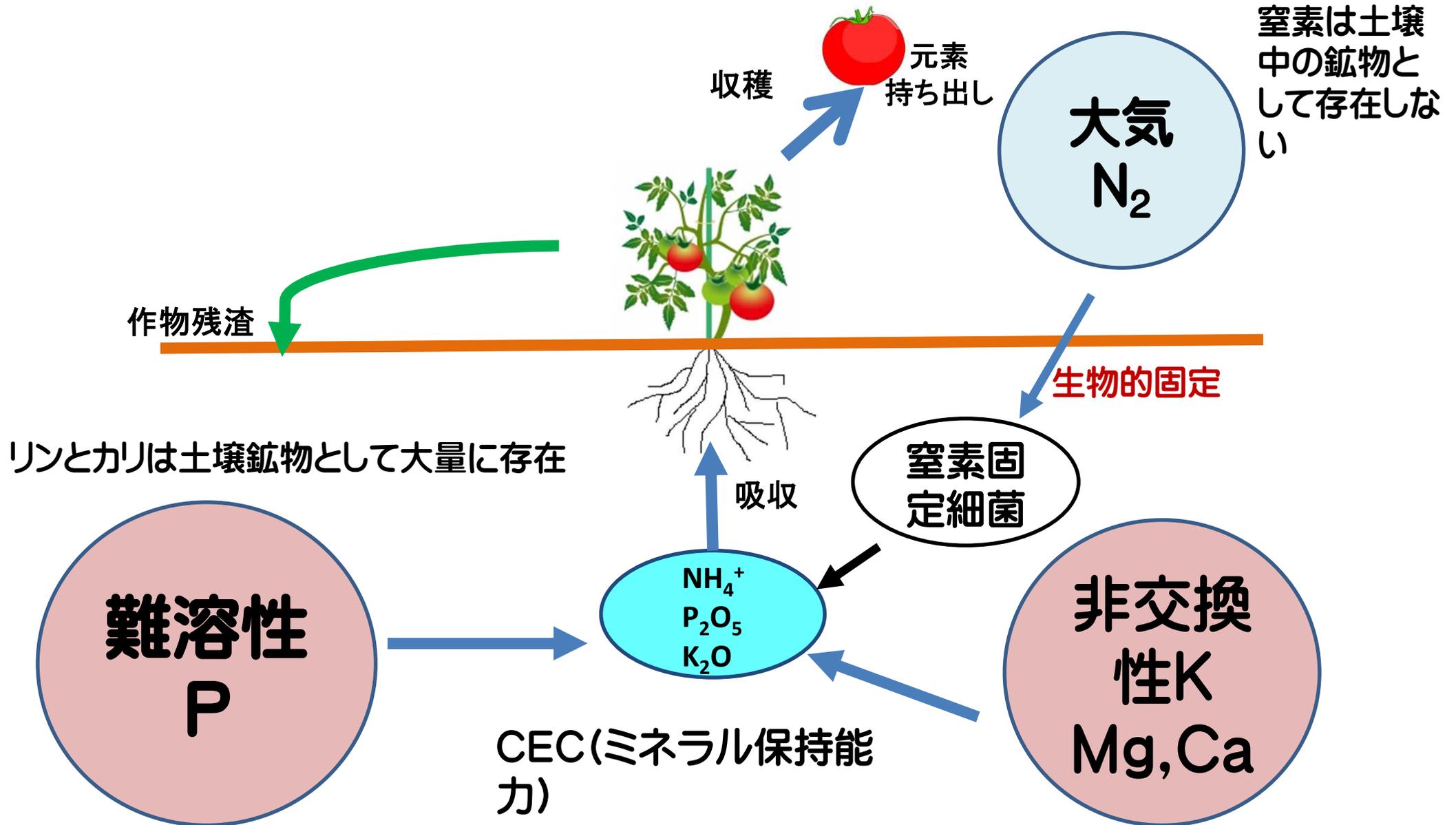
無肥料でなぜ作物を収穫できるか

窒素(N), リン酸(P), カリ(K)の施用試験

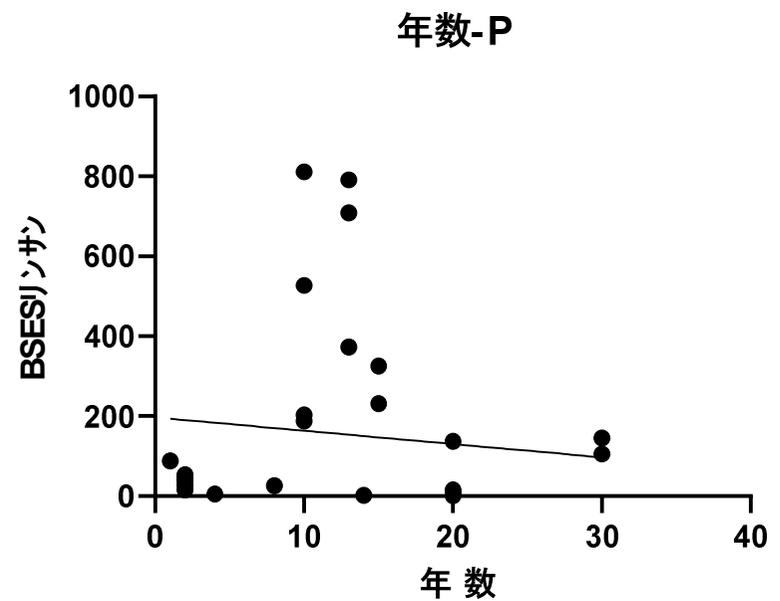
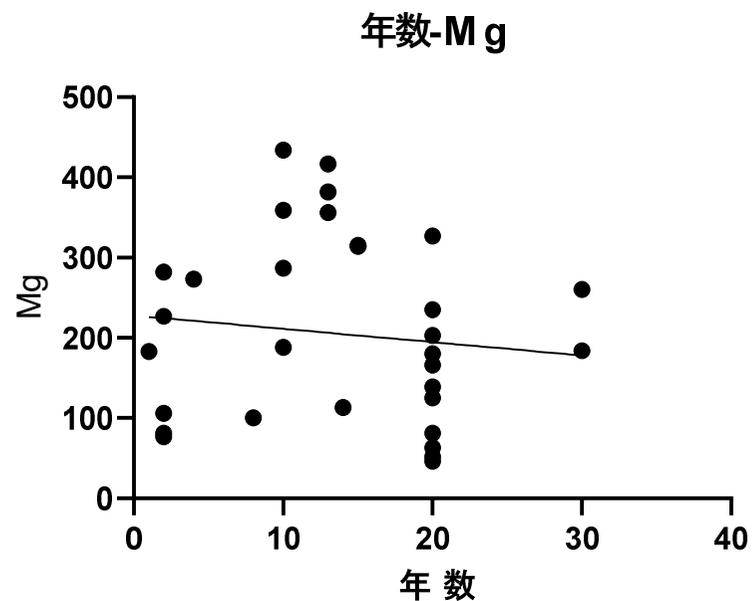
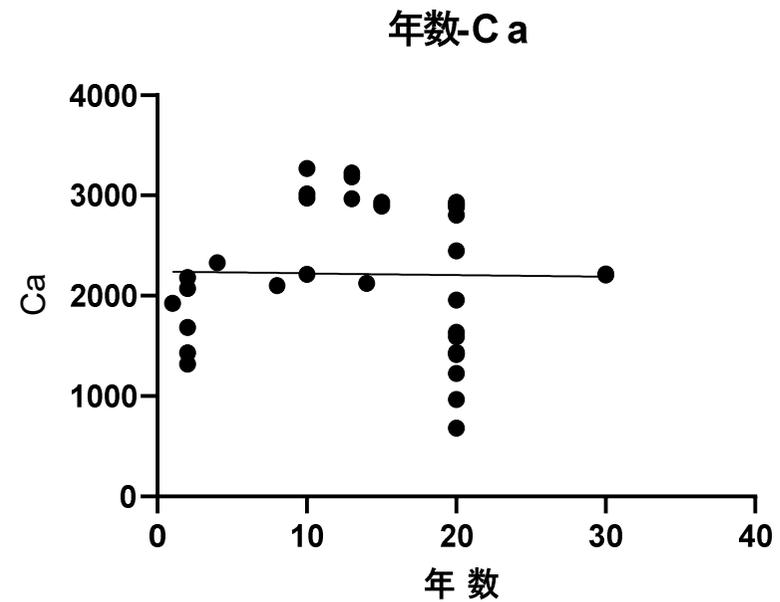
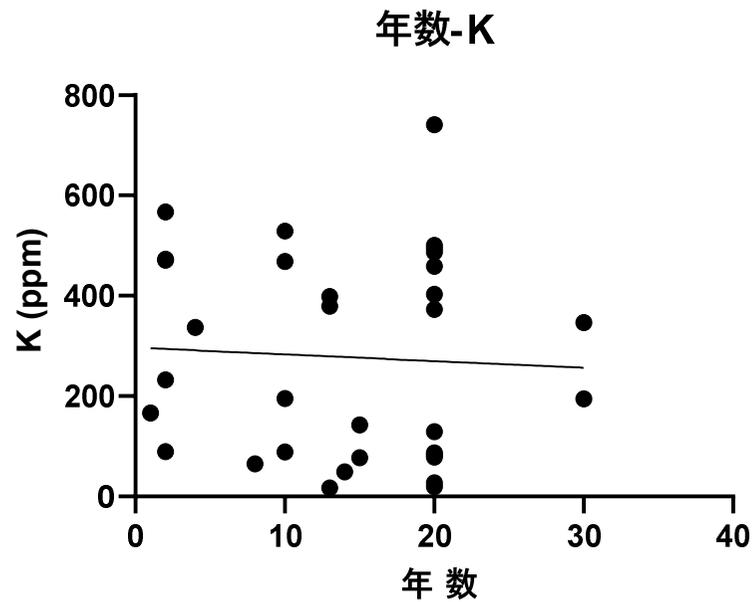


自然栽培における土壌ミネラル供給の持続性

長期無肥料栽培は土壌ミネラルの枯渇を招く？



自然栽培年数が30年でも、土壌のリン、カリ、マグネシウム、カルシウム含有量に減少は見られない。

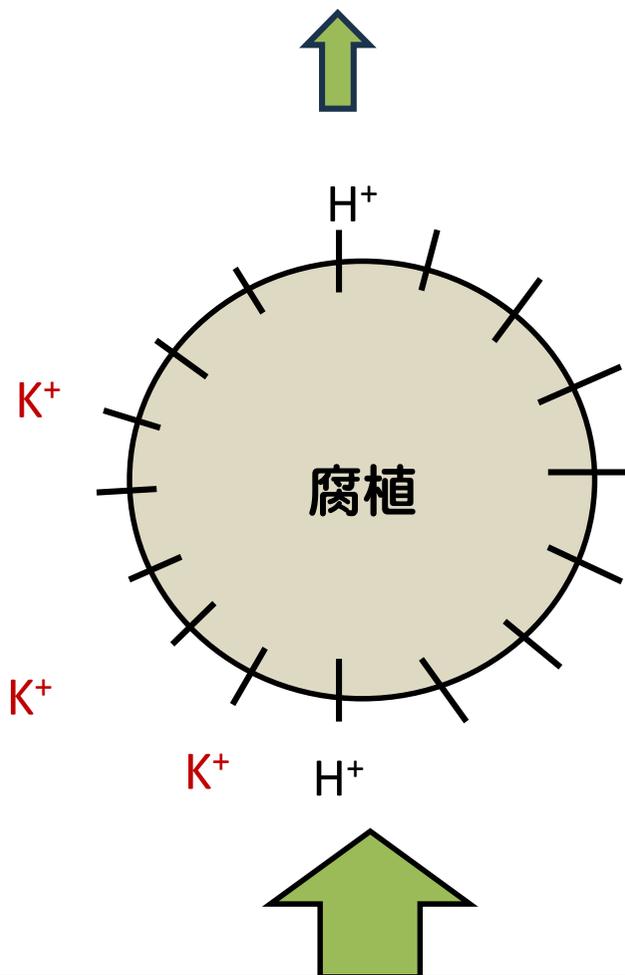


CEC(陽イオン飽和度)とは？

植物による吸収

CECは土壌が陽イオン(カリ, カルシウム, マグネシウムなど)を吸着する力を表す

腐植はマイナスイオンをもち、陽イオンと結合する。



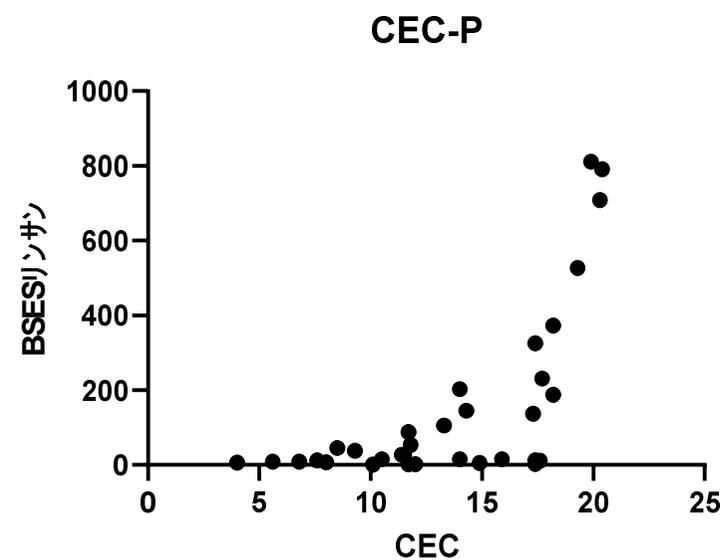
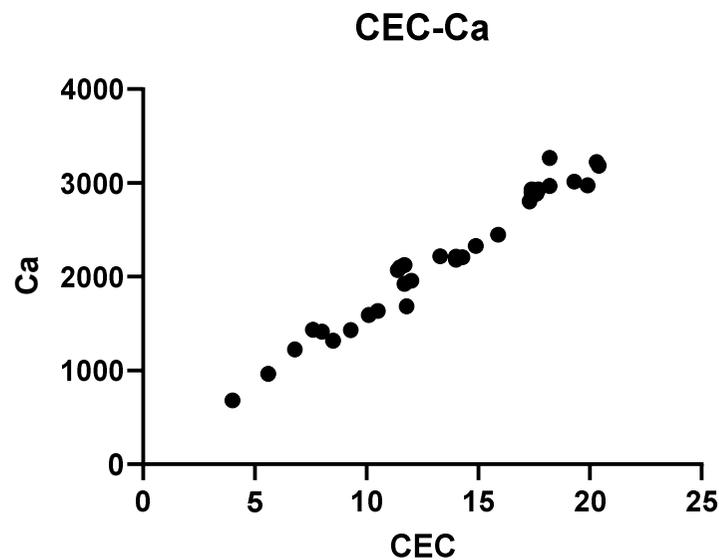
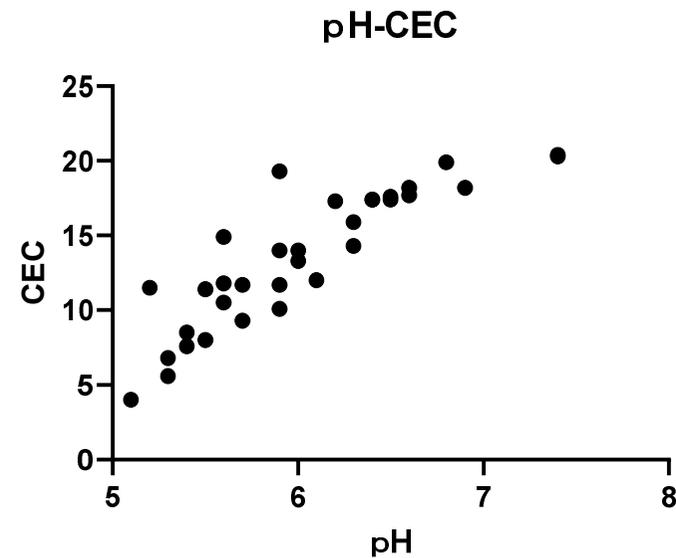
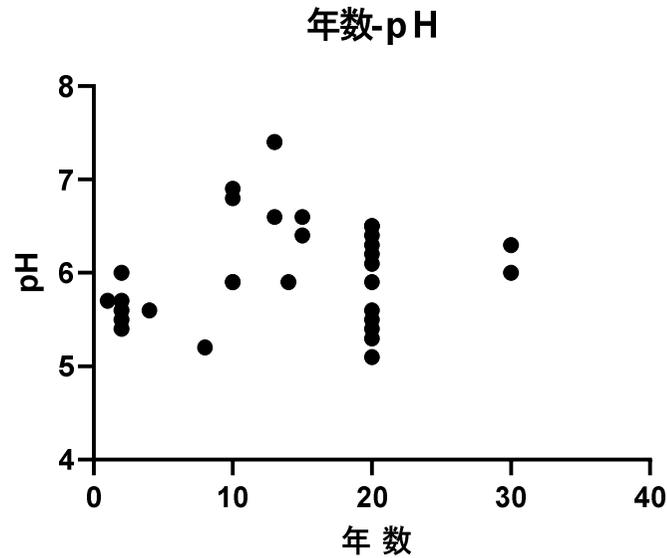
競合

pHを決めるH⁺も腐食に結合

K⁺
↓
流出

土壌の貯蔵性K(陽イオン)

リン, K, Ca, Mgの土壌含有量は栽培年数ではなく土壌pHの影響が大きい。pHが陽イオン保持力(CEC)を高めることが原因



CEC(陽イオン飽和度)には土壌炭素, pHが関係

H⁺が増え, 陽イオンと結合できる手が少なくなる

腐植(マイナスイオン)が少なく, 結合する手が少なくなる

可給態K

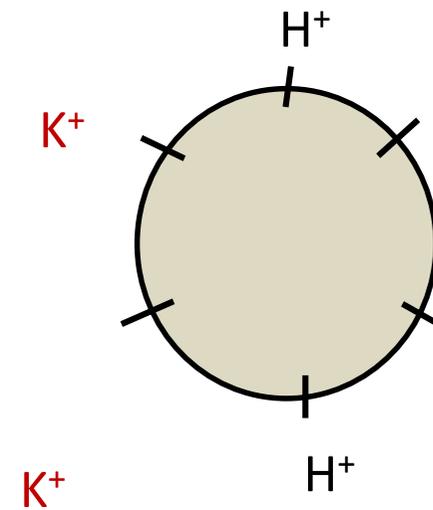
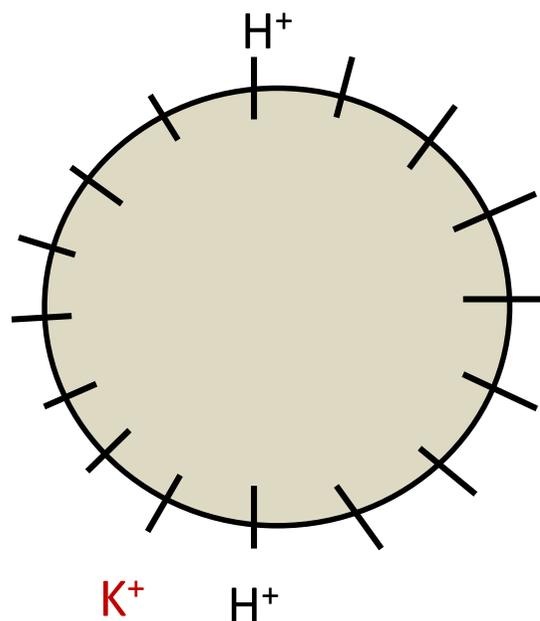
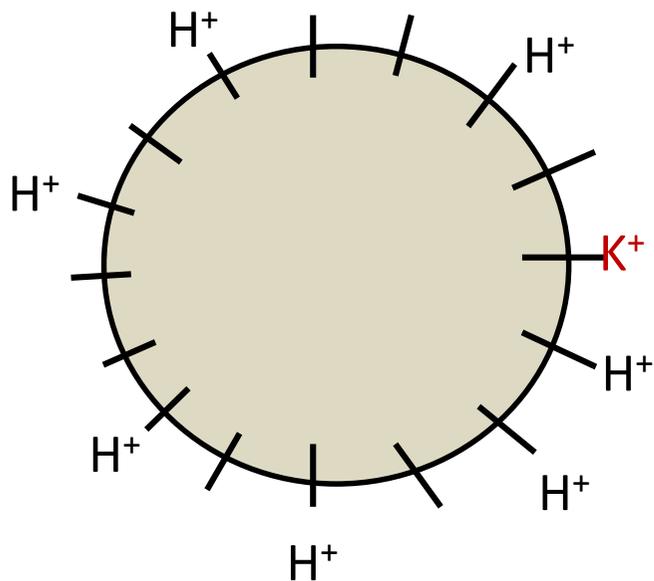


低pH

CEC高

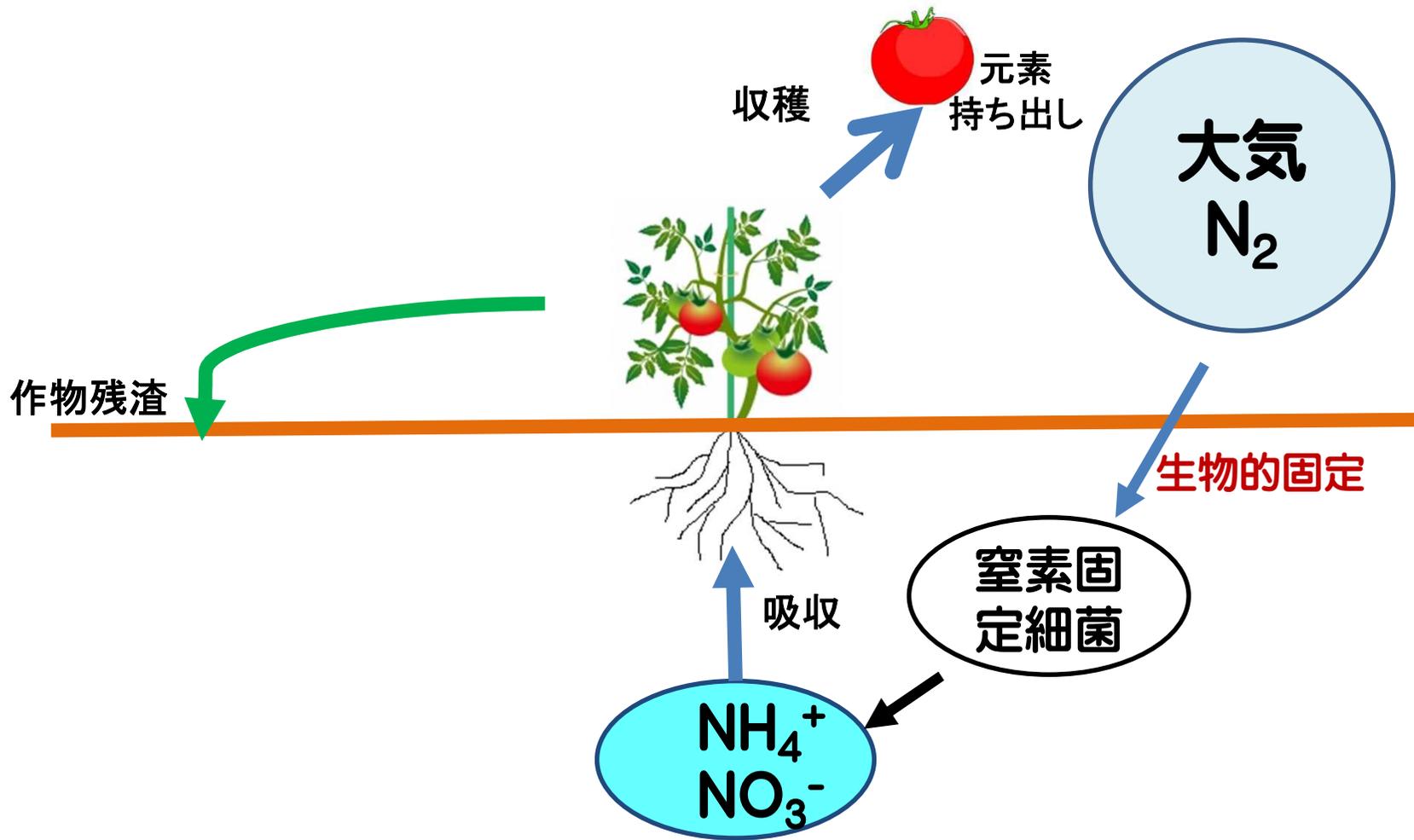
低炭素

CEC低



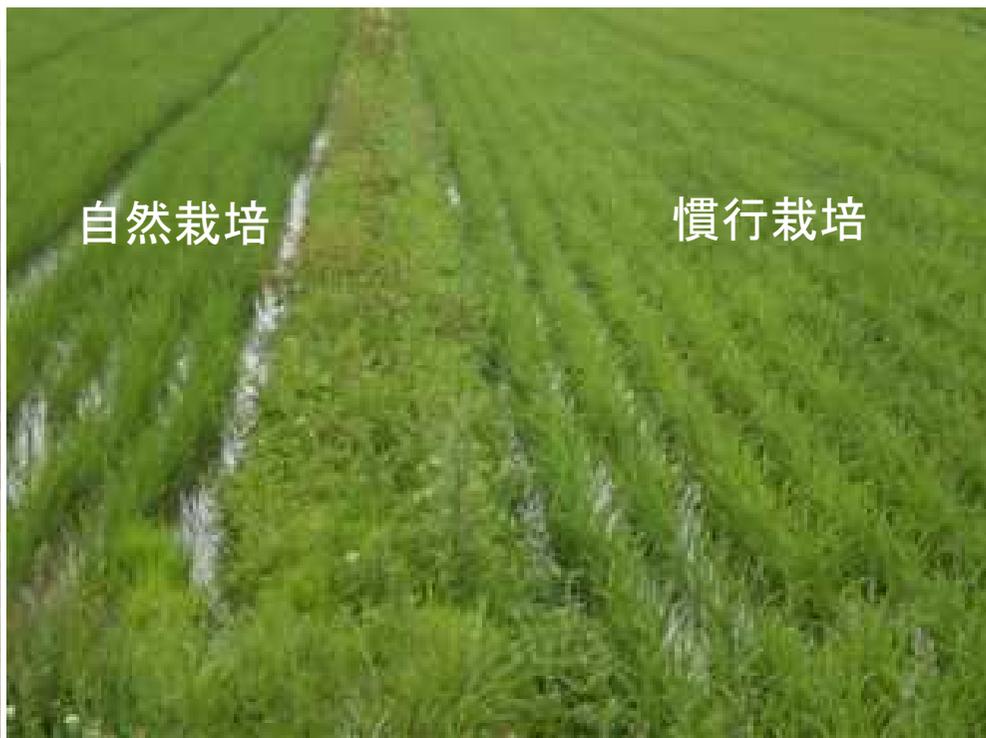
土壌の貯蔵性K

自然栽培における窒素の循環



窒素は土壌中の鉱物として存在しない！

自然栽培で持続的に収量400kgを超える水田



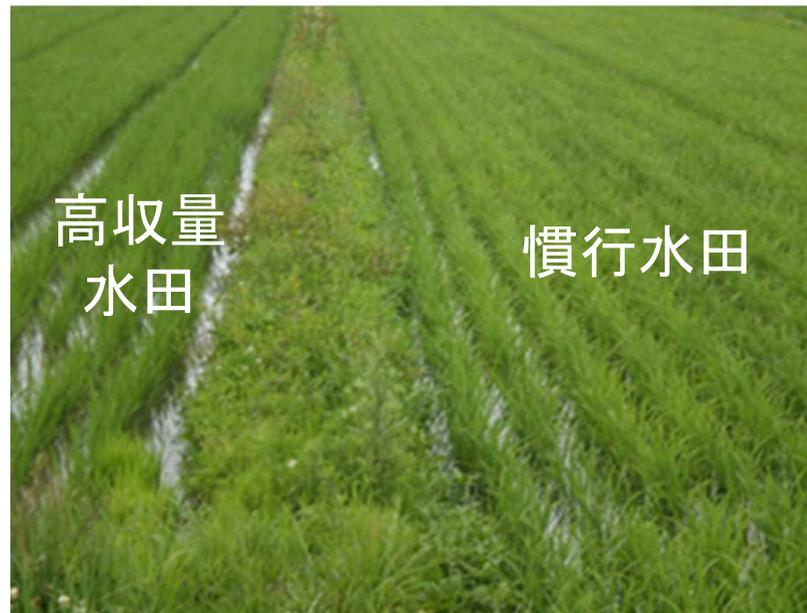
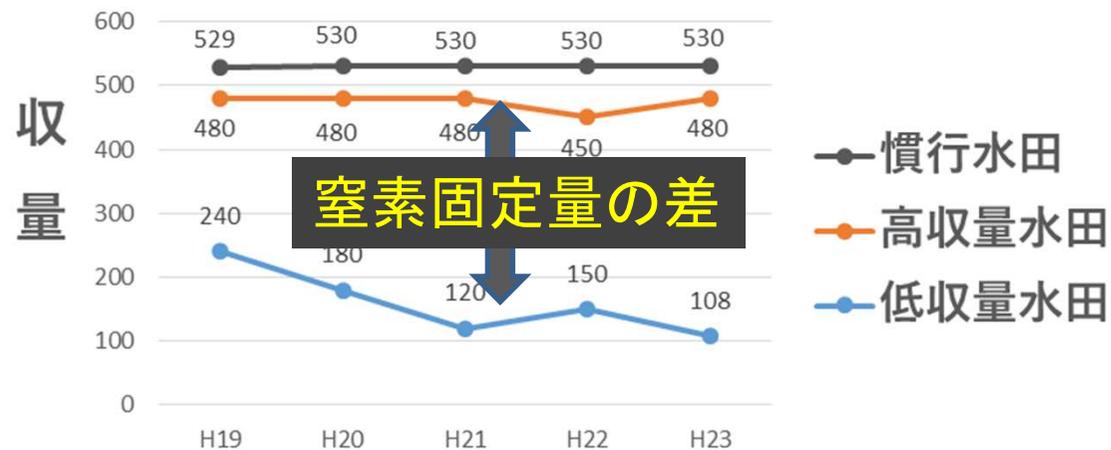
2013年6月30日

黒澤重雄さん水田(宮城県涌谷町)

7月28日

慣行水田と二つの無肥料水田の収量推移

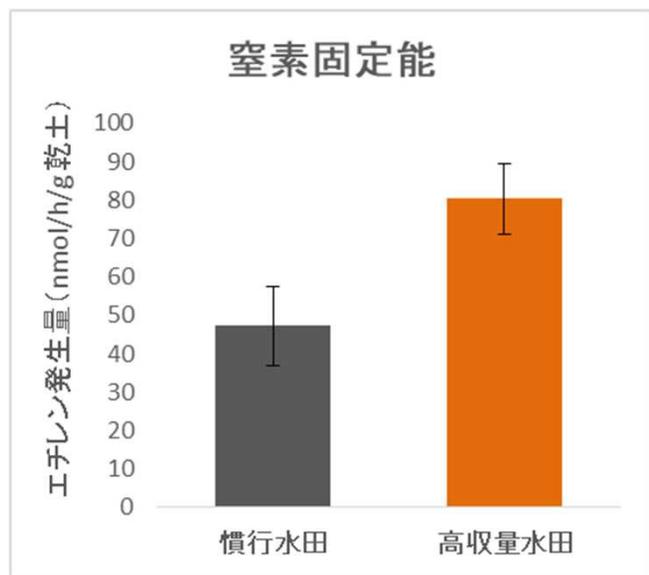
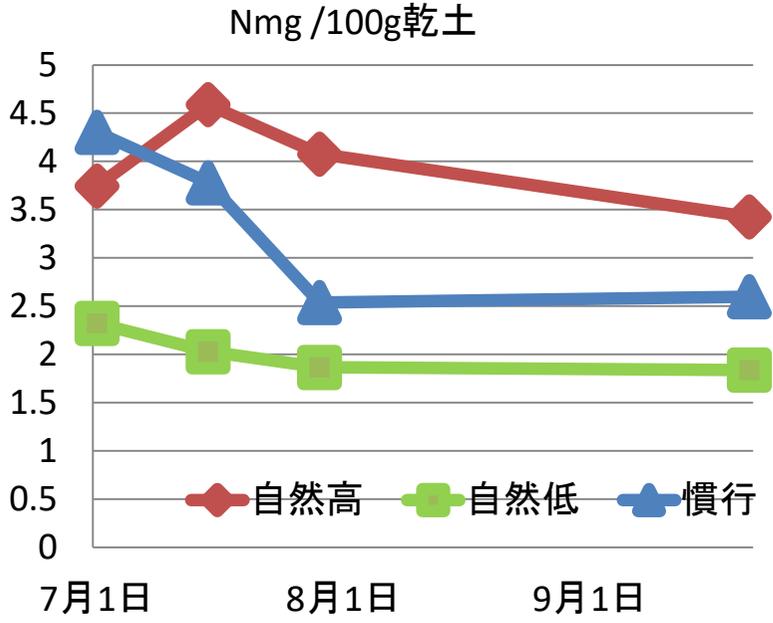
(H19~H23)



なぜ**長期間**無肥料なのに**高収量**を達成できるのか？

土壤微生物による**窒素固定**が収量に大きく関与

自然栽培水田は慣行栽培より登熟期の窒素濃度高い



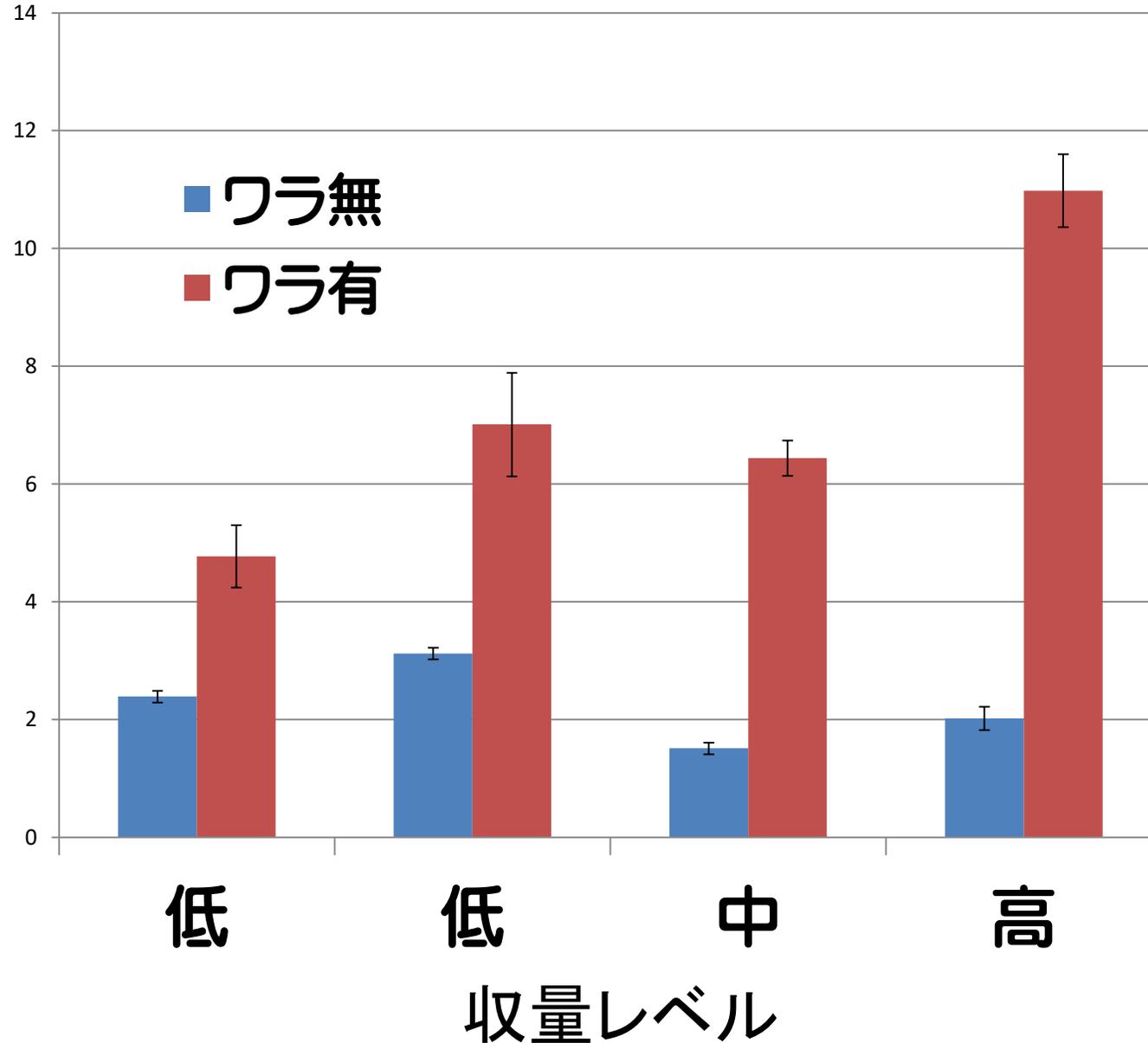
ワラの分解試験

稲ワラ



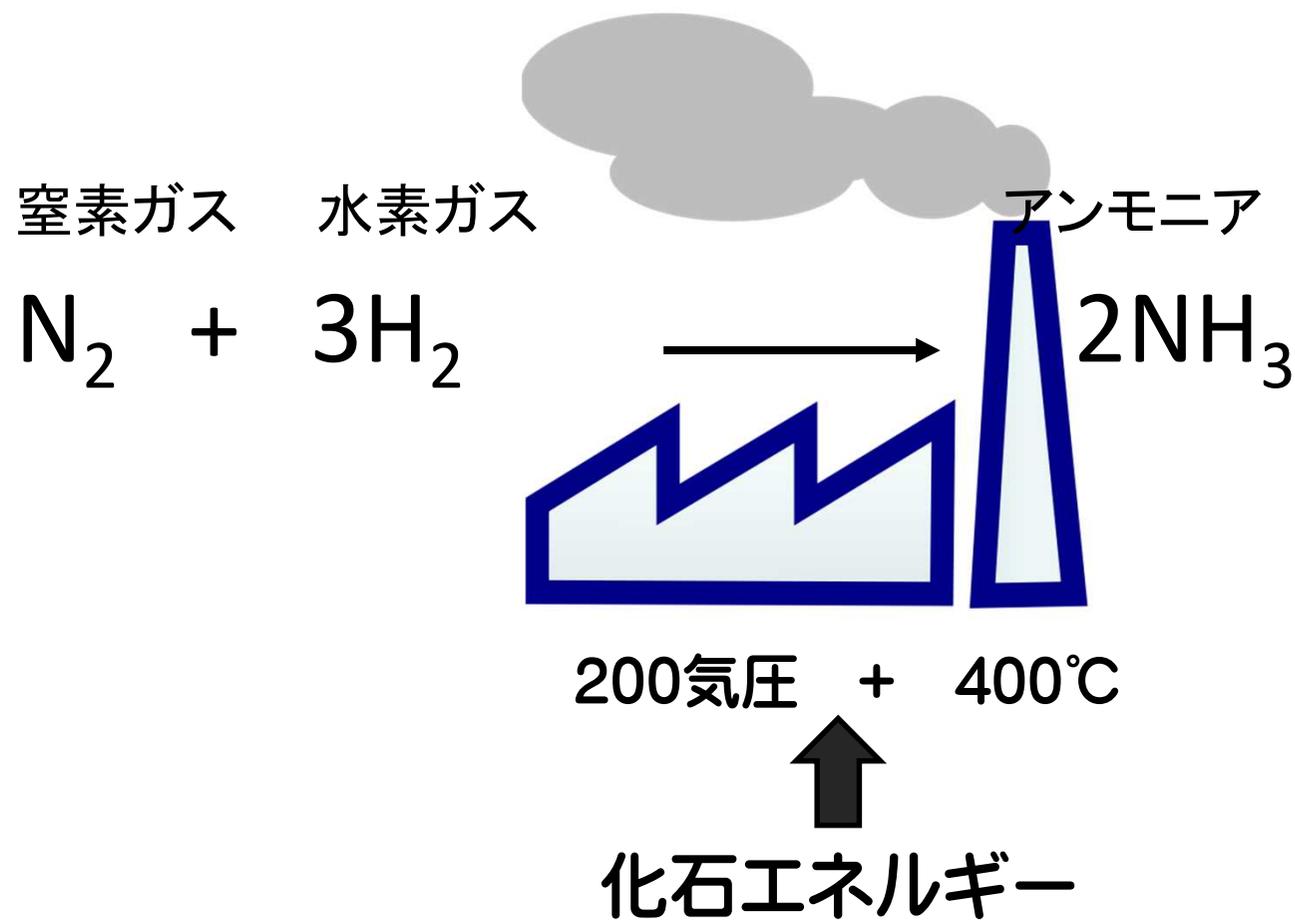
土壌中の窒素量はワラの周辺で増える

土壌窒素(mg/g土)

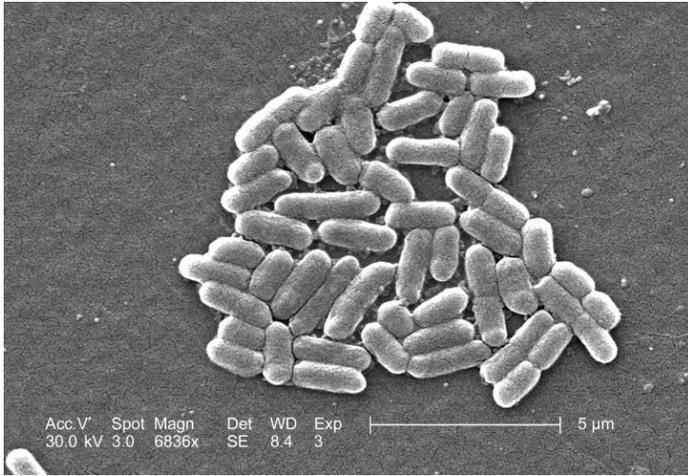


有機物を充分に与えることが窒素固定力を高める

窒素肥料の工業的製造



細菌による生物的窒素固定



酸素

ニトロゲナーゼ

NH₄⁺



エネルギー源

リン酸

(様々な有機物)

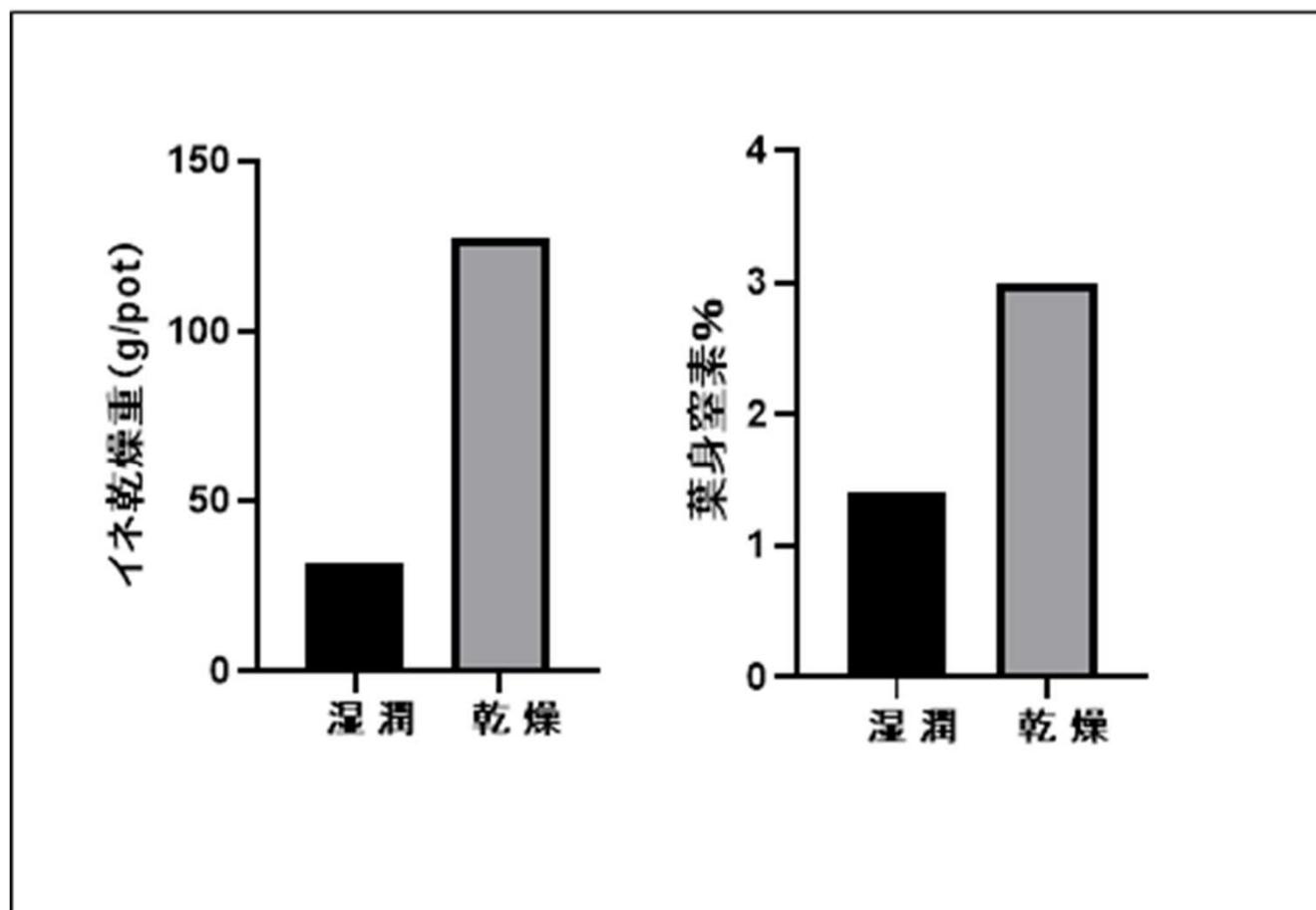
窒素固定反応を促進する条件

- (1) 反応を進めるためのエネルギー源がある → 有機物
- (2) アンモニア態窒素がない(窒素欠乏条件) → 無肥料
- (3) 酸素がない(嫌気条件)
- (4) リン酸がある

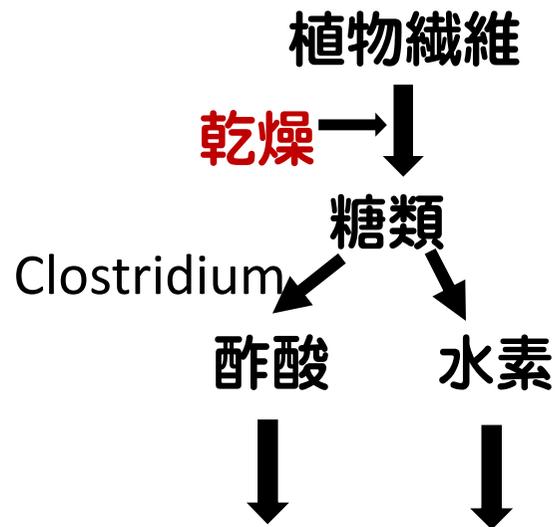
土壤乾燥はイネの生長量を3倍に、 葉身窒素濃度を2倍に増加



湿った土 乾いた土



水田における有機物分解プロセス



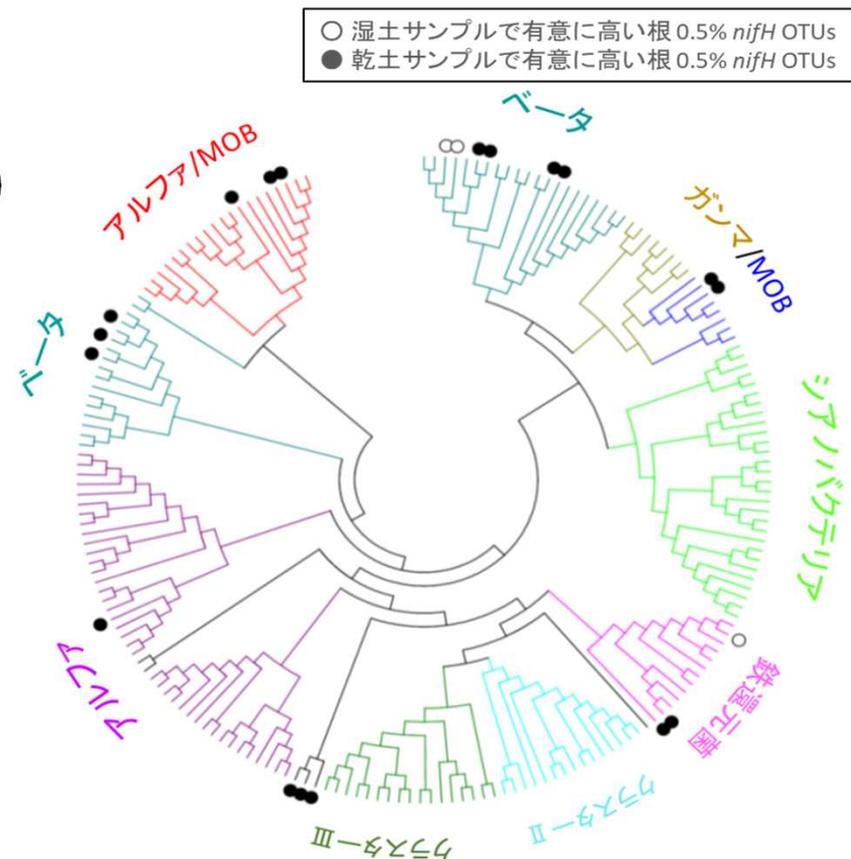
土壌乾燥が植物繊維の分解を促進して窒素固定細菌を活性化させる

硝酸還元菌	$\text{NO}_3^- \rightarrow$	N_2	3030 (KJ/mol)
鉄還元菌	$\text{Fe}^{3+} \rightarrow$	Fe^{2+}	1330 (KJ/mol)
硫酸還元菌	$\text{SO}_4^{2-} \rightarrow$	H_2S	380 (KJ/mol)
メタン生成菌	$\text{CO}_2 \rightarrow$	CH_4	350 (KJ/mol)

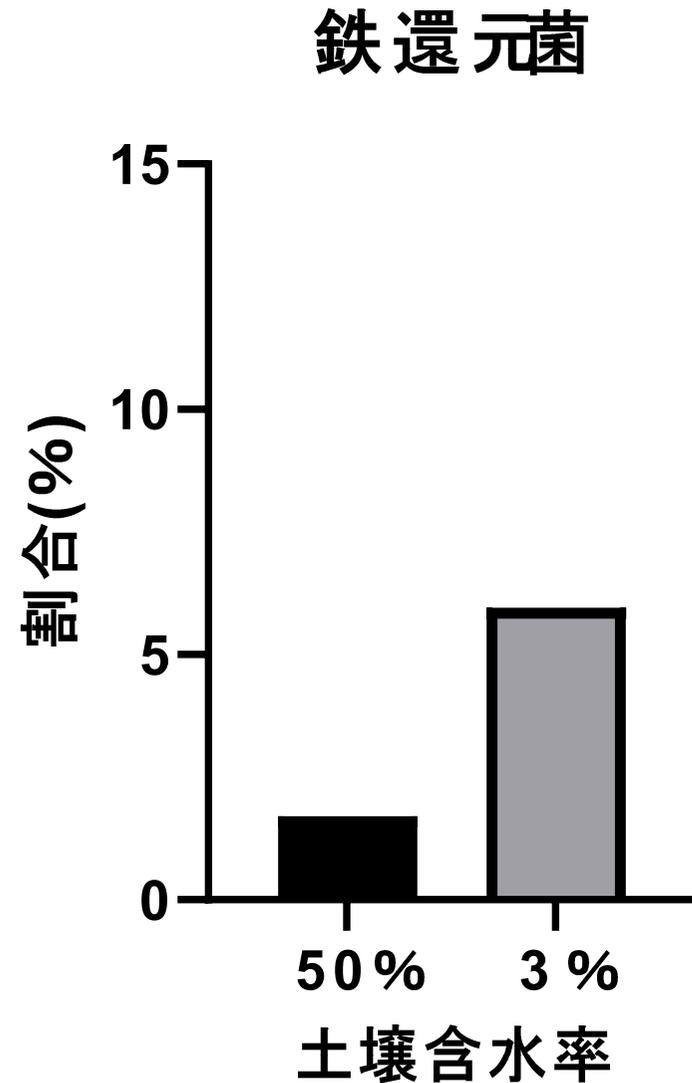
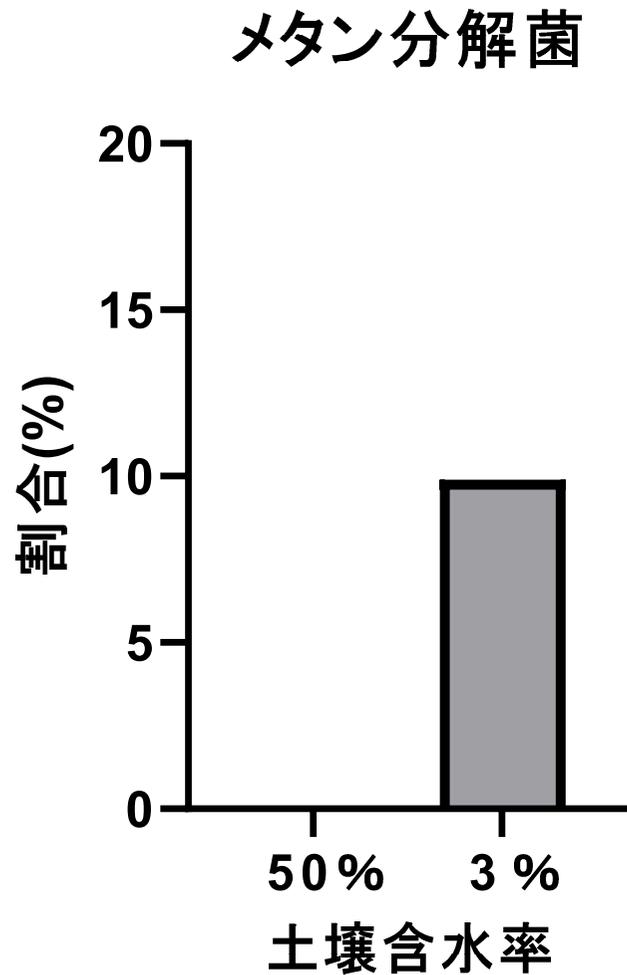
↓ **メタン分解菌**

CO_2

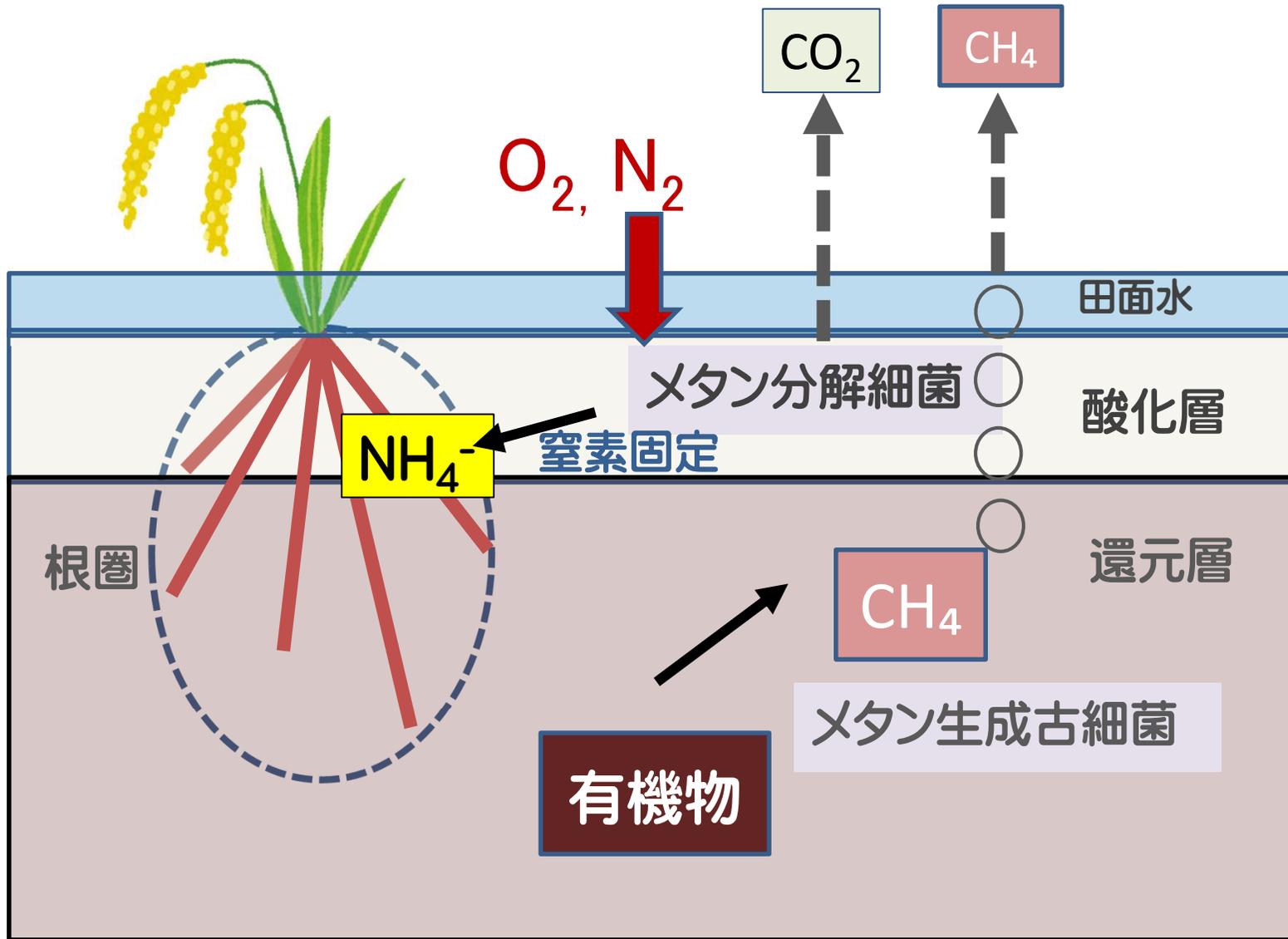
赤は窒素固定をする微生物



水田での窒素固定の主体はメタン分解菌と鉄還元菌 土壌乾燥で有機物分解が促進されN固定が著しく増加



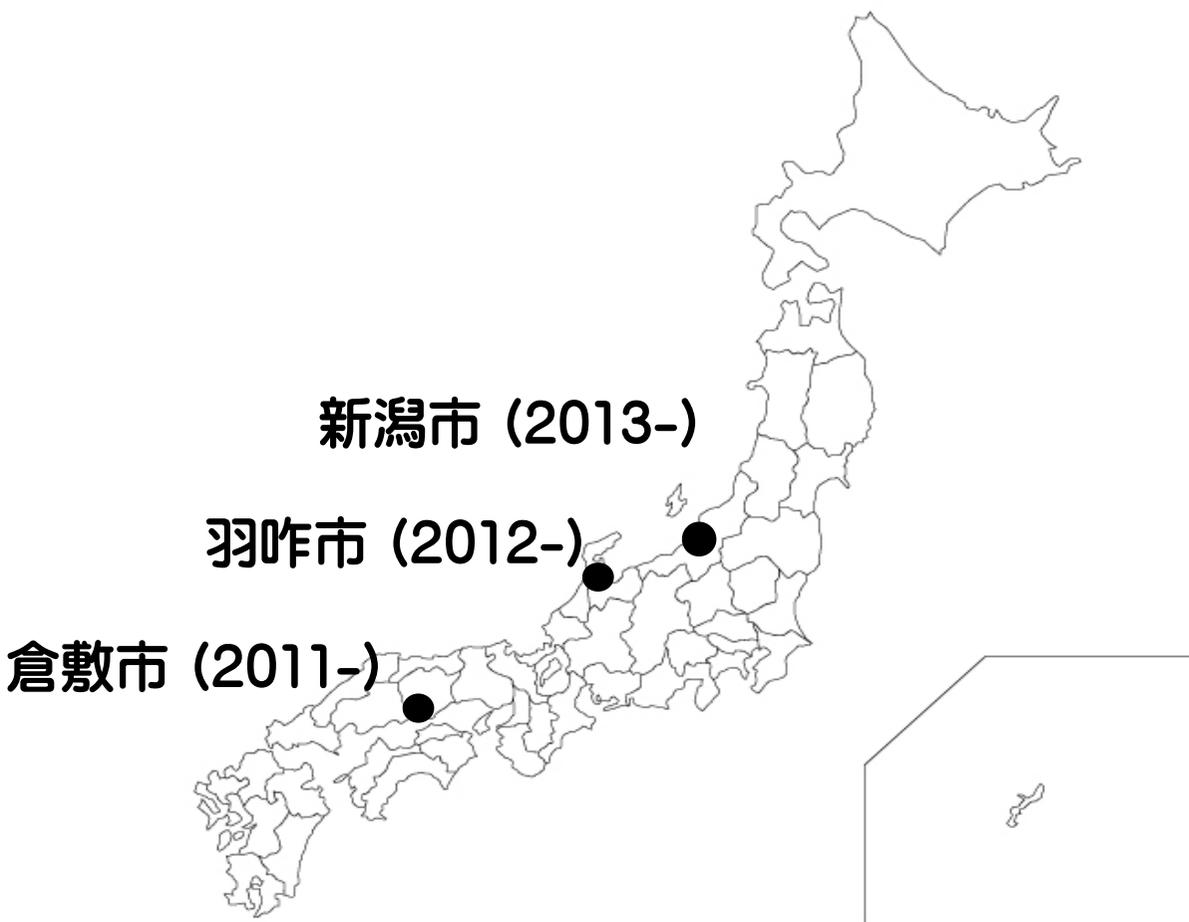
除草による田面水の攪乱は窒素固定を促進する



空中の酸素と窒素ガスの酸化層への流入の増加がメタン分解菌による窒素固定を促進する

イネ自然栽培の10年後

収量の大幅増で400kg/10aに達する
500kg/10aを越す水田も出現

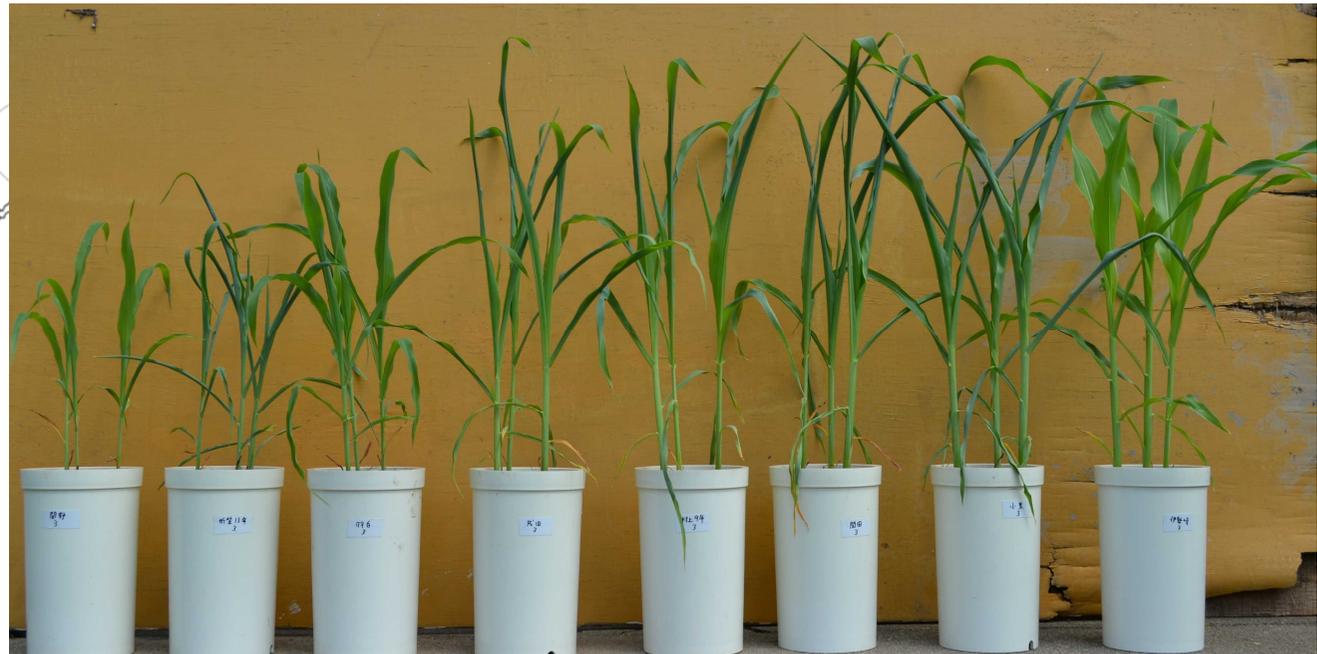


岡山県倉敷市 (2021)



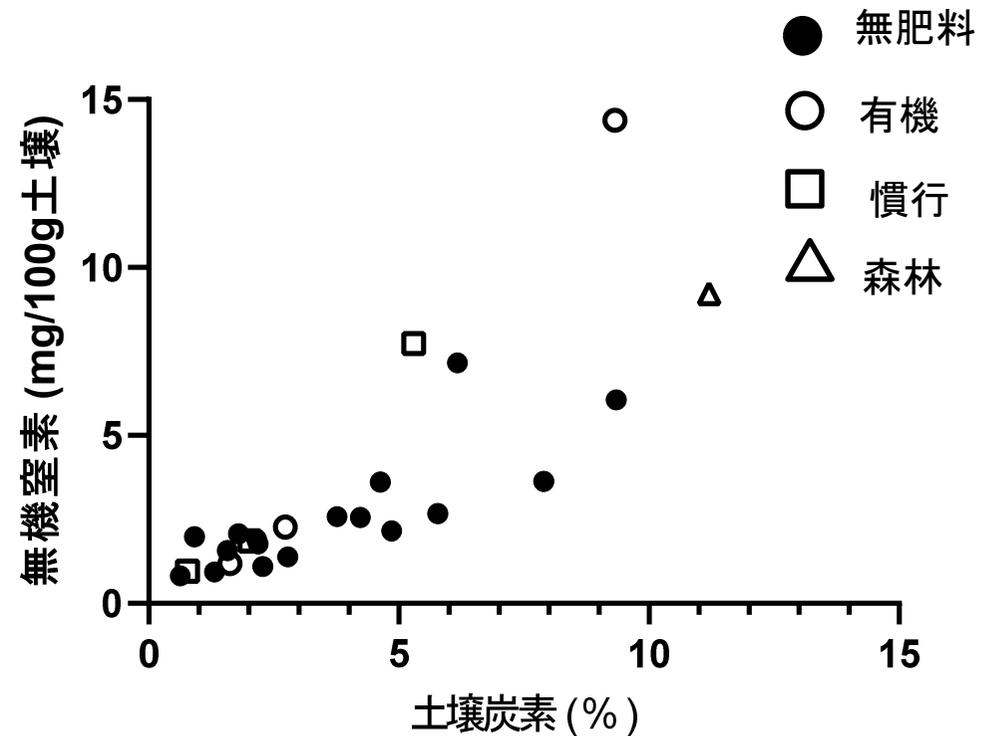
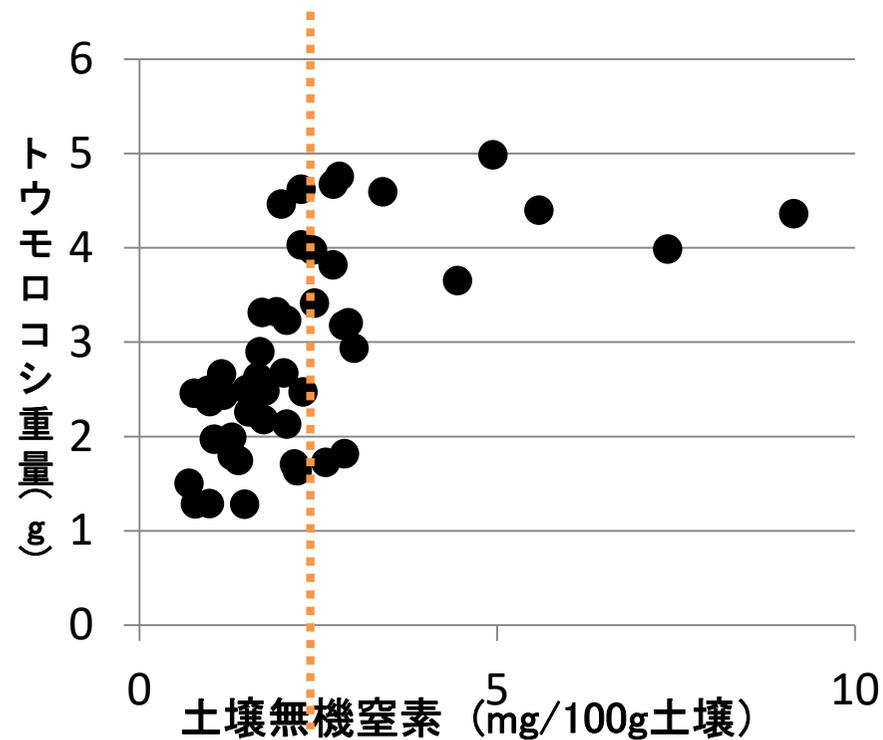
石川県羽咋市 (2022年)

自然栽培畑土壤の管理



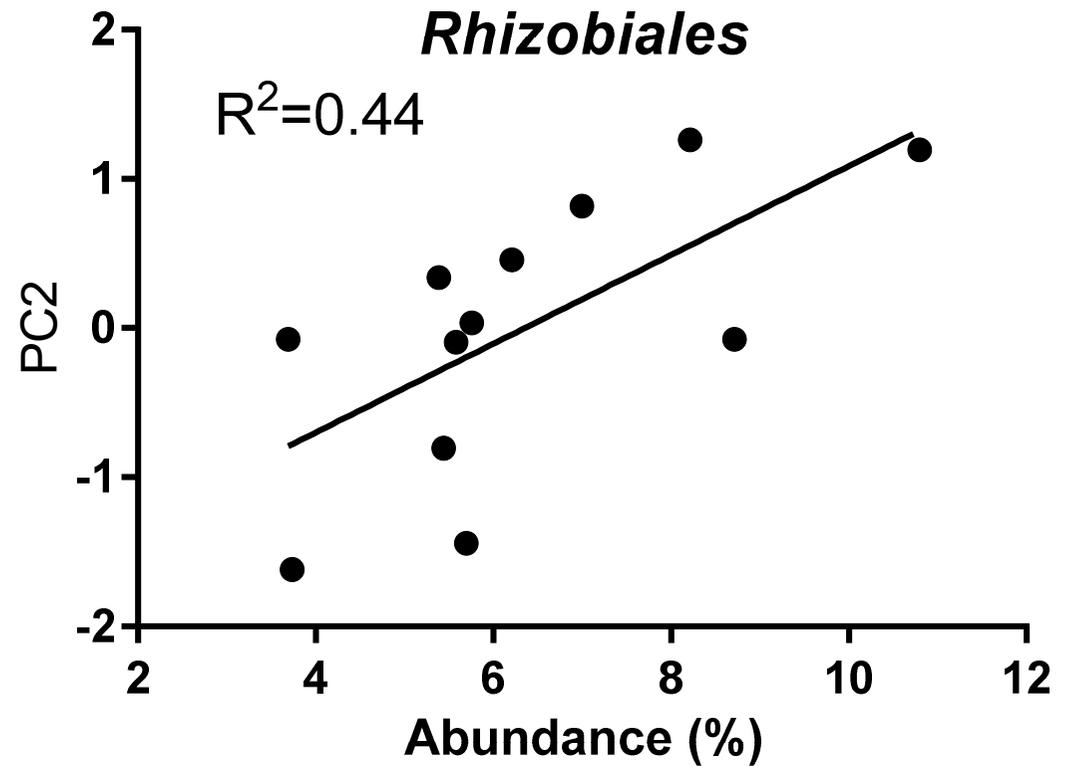
自然栽培畑土壌の比較

無機窒素2mg/100g以上が必要



土壌の有機物が多いことが作物の生育をよくする

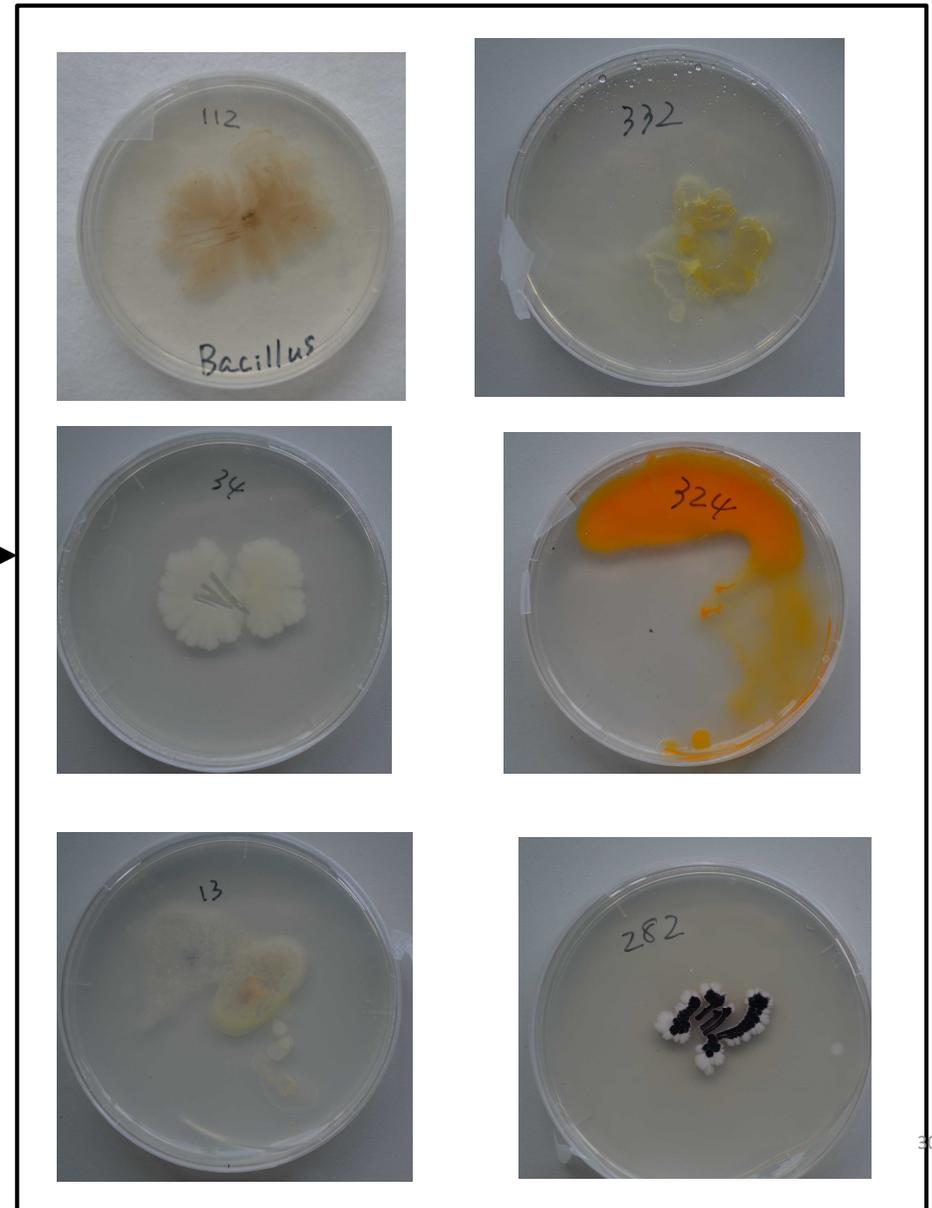
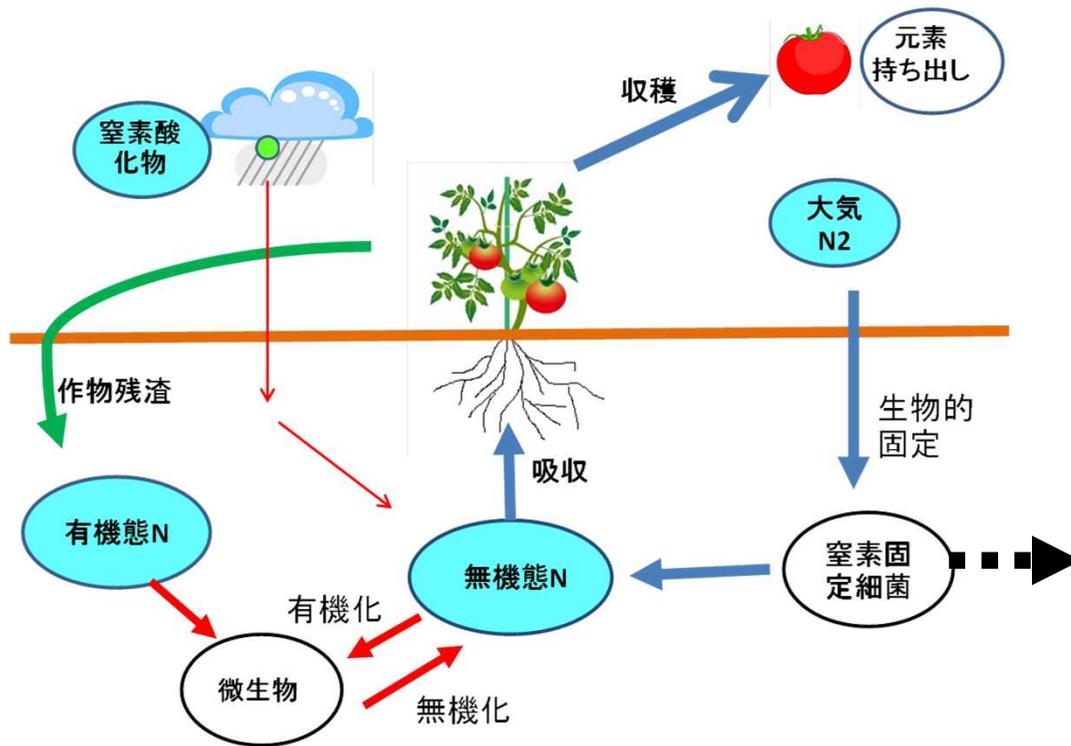
地力を上げる細菌(窒素固定菌)の存在



無肥料条件では窒素が作物成長を最も抑制

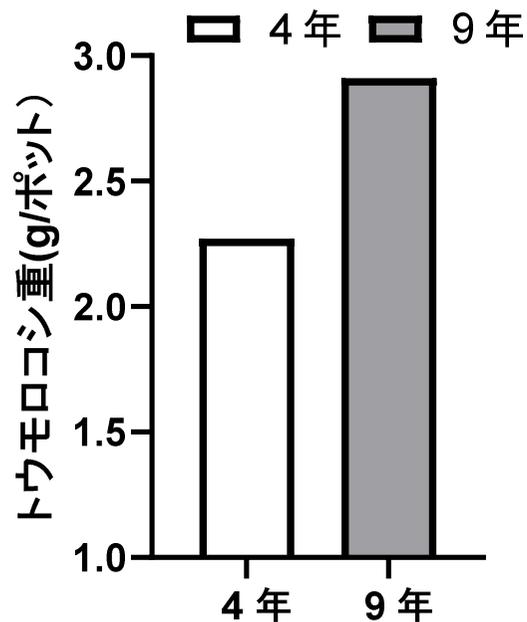
自然栽培における窒素固定細菌の役割

肥料の代わりにする土壌細菌。
窒素を含まない培地で木村リンゴ園土壌
から分離された窒素固定細菌。

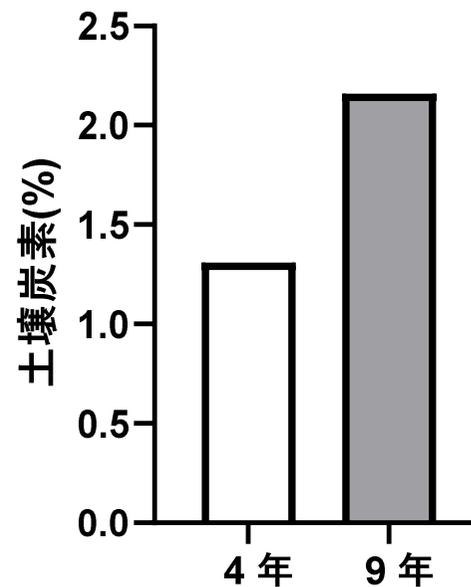


自然栽培転換後の4年目と9年目の圃場の比較

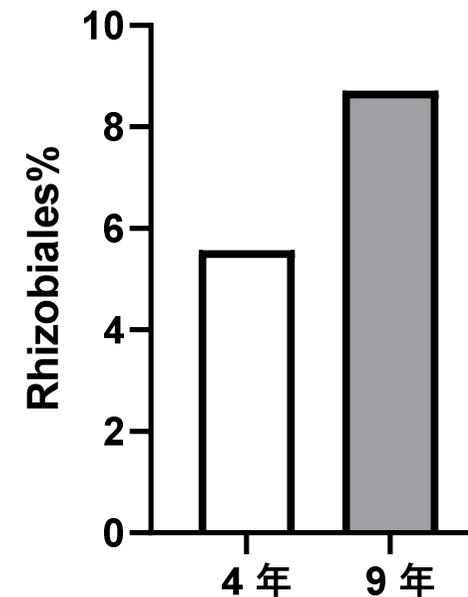
年数が増すと土壌炭素が増え、
Rhizobiales割合が増し、土壌の生産力が
上がる



トウモロコシ成長量

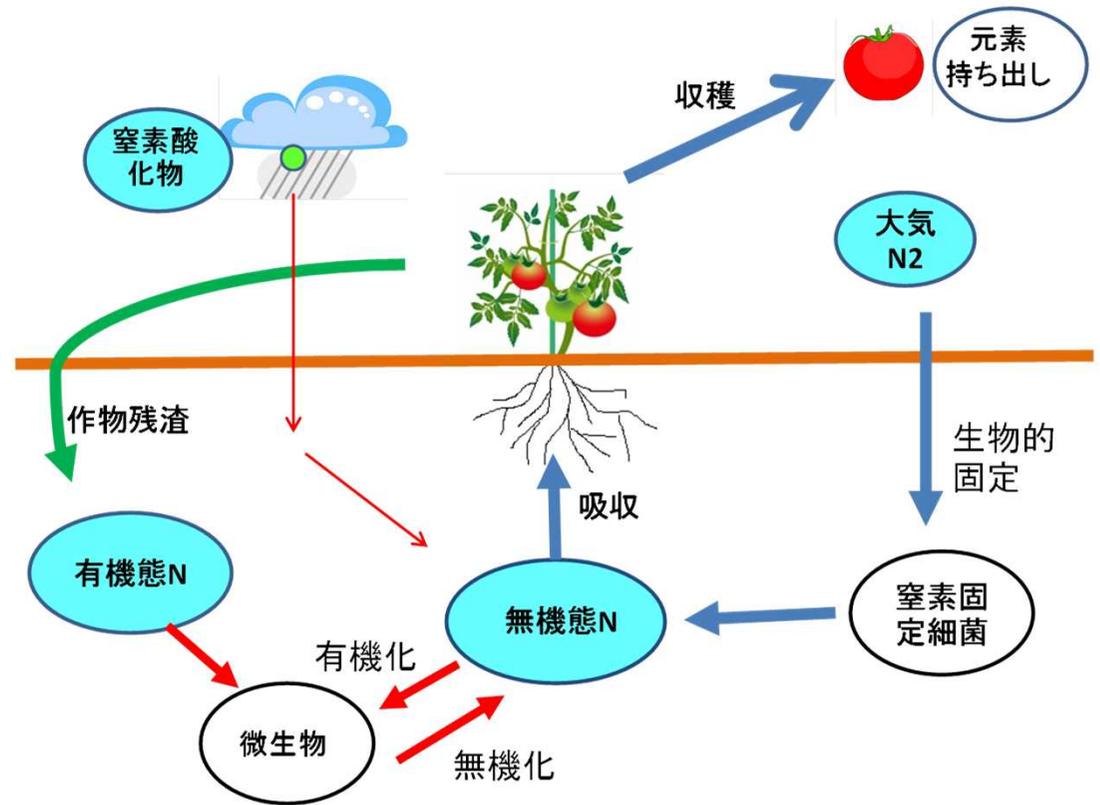
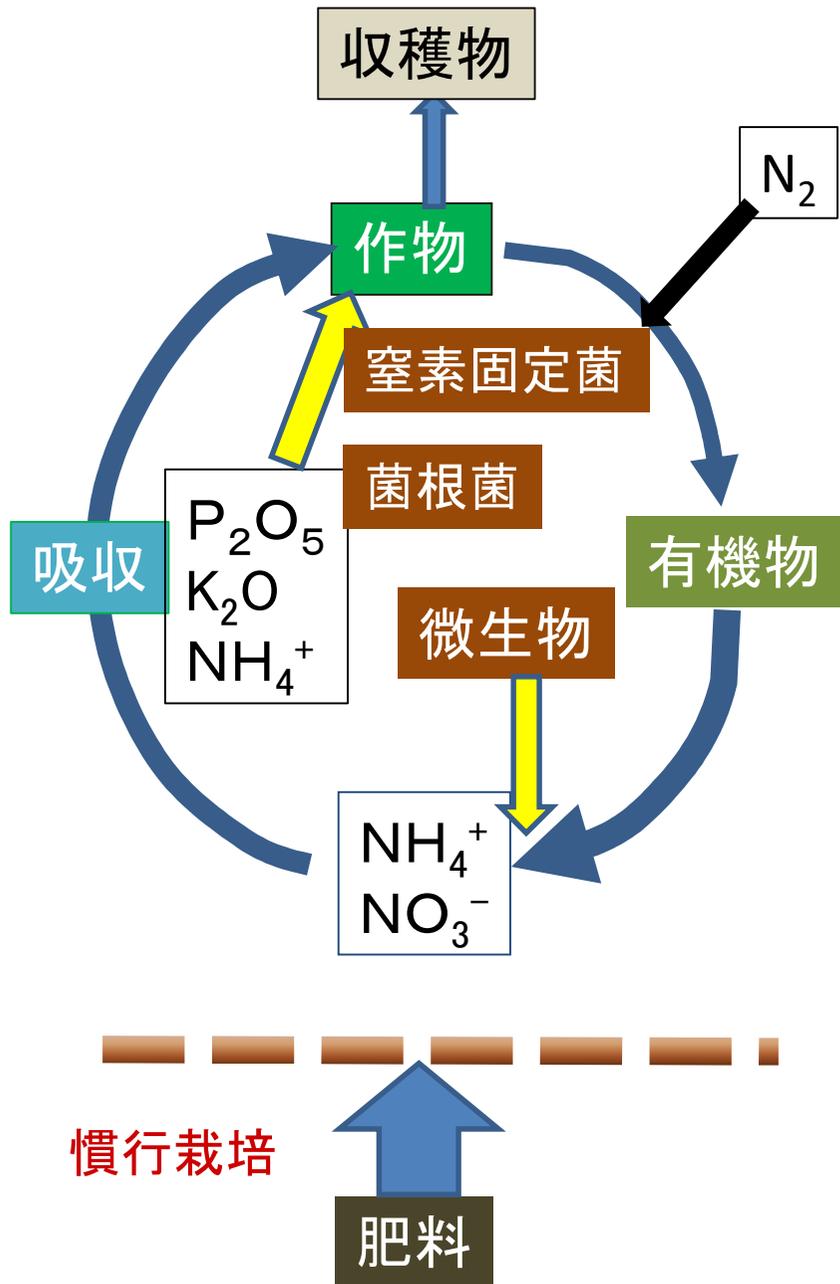


土壌炭素



窒素固定細菌

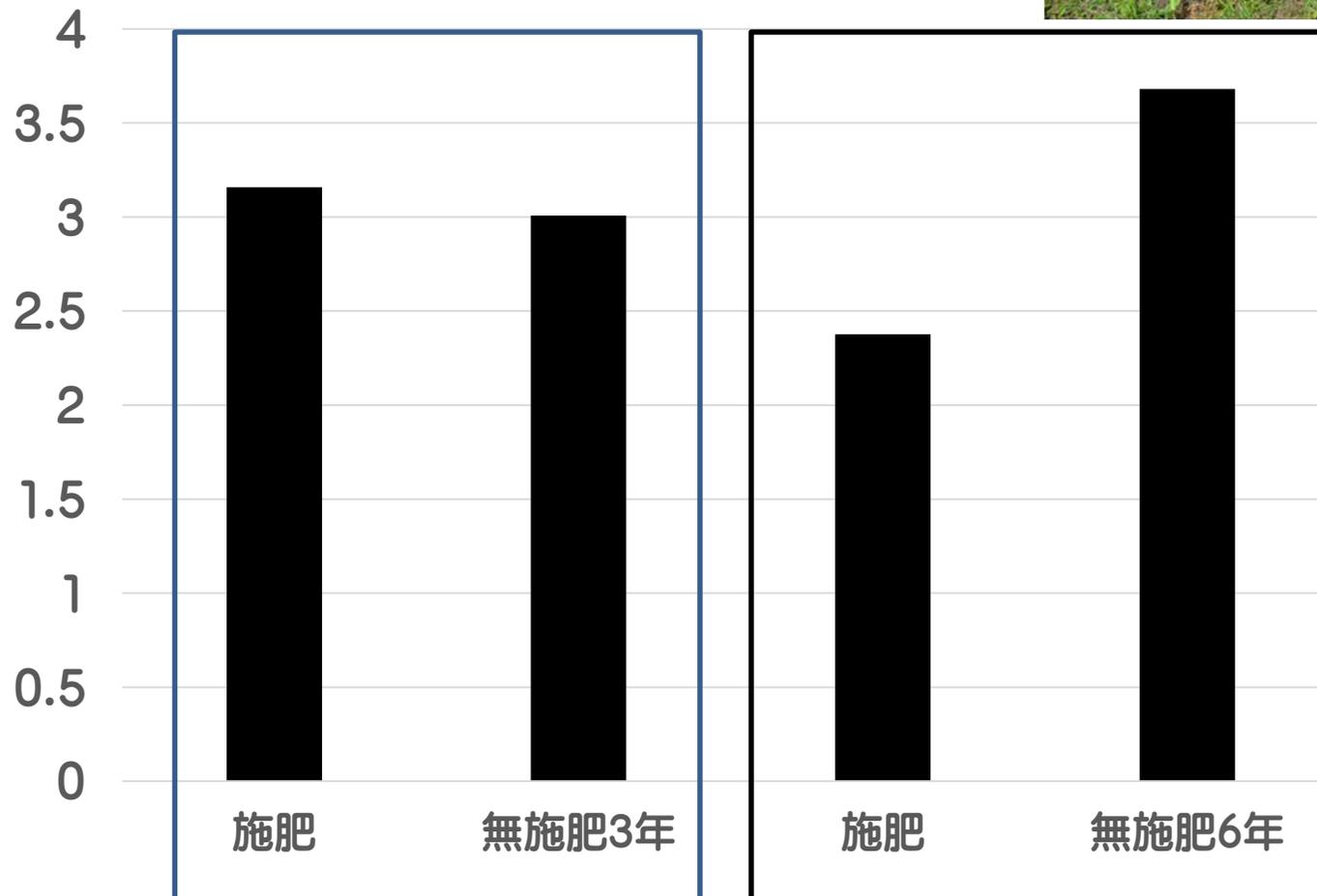
土壌の自律的栄養塩供給システムは微生物の活性化を通じて生じる



土壌の窒素固定細菌が増えるには時間がかかる



Rhizobiales (%)



窒素固定細菌を増やす資材 (雲母鉱物)



(セリファーム)
(有)Choei
弘前市

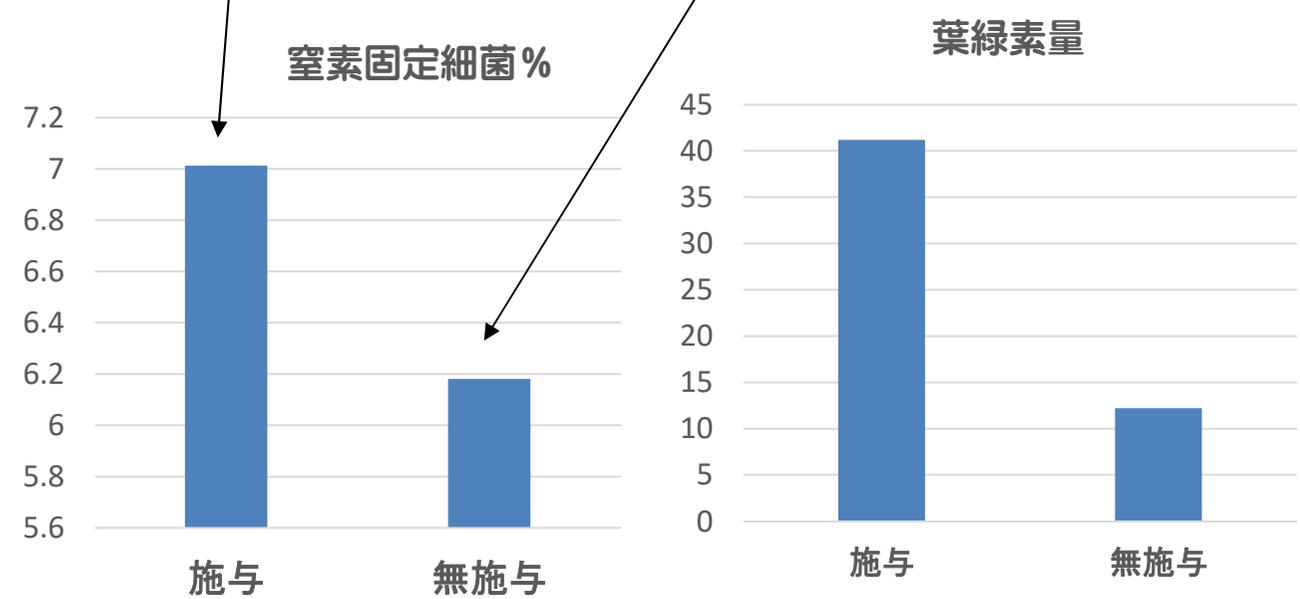
施与数ヶ月で窒素固定細菌の増加と作物の葉緑素増加

施与

無施与



成分名	含量(%)
SiO ₂	39.1
Al ₂ O ₃	9.22
CaO	23.5
MgO	0.54
Na ₂ O	0.12
K ₂ O	1.95
Fe ₂ O ₃	1.05
TiO ₂	0.12
MnO	0.01
強熱減量	21.2



ミネラル資材 (太古からの贈り物) による窒素固定菌の活性化

(照沼勝浩氏提供)



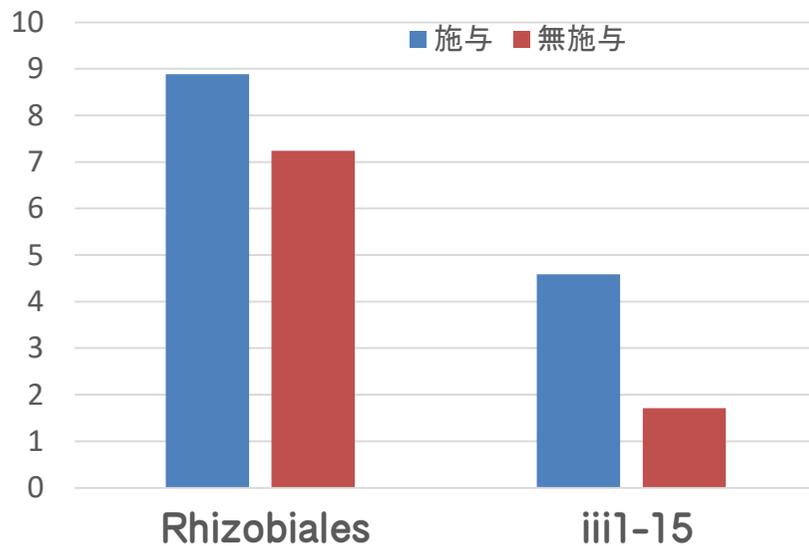
成分	割合(%)
ケイ酸	61.43
カルシウム	2.03-4.03
マグネシウム	1.2
マンガン	0.05
鉄	2.51
硫黄	0.43
ホウ素	0.006
塩素	0.01
フッ素	0.23
有機物	2.08
pH	7.2

自然栽培2年目サツマイモ圃場
千葉県 佐倉市

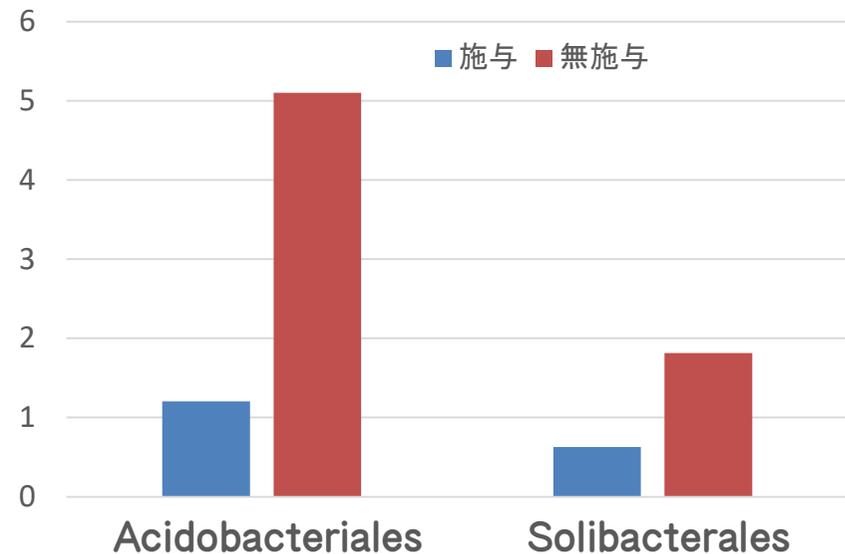


「太古の贈り物」施与による土壌微生物群集の変化

高い地力土壌で増える細菌 (%)



低い地力土壌で増える細菌 (%)



・「太古の贈り物」の施与により土壌微生物の構成が変化。Rhizobialesやiii1-15のように地力の高い土壌で優占する細菌が増え、AcidobacterialesやSolibacterialesのように地力の低い土壌で優占する細菌が減少。

・Rhizobialesのように窒素固定に関わる細菌が増えて、土壌の窒素供給力を高めたと考えられる

土壌に対する新しい考え方が必要

従来の考え方

土壌は作物を支持する物理的空間であり、作物を持続的に栽培するには肥料として外部から栄養塩を補給すること(施肥)が不可欠である

新しい考え方

土壌は微生物を中心とする多様な生物が集まった複雑な生態系であり、外部に持ち出された栄養塩を自律的に供給する能力を持つ



好ましい微生物を増やす方法を理解するために生物社会についての理解が必要