

資源循環の最適化による農地由来の温室効果 ガスの排出削減

PM : 南澤 究 国立大学法人東北大学大学院 生命科学研究科 特任教授
PJ参画機関 : 国立大学法人東北大学、国立大学法人東京大学
国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構

微生物による地球冷却 —農地からの温室効果ガス削減を目指して—

ムーンショット型研究開発事業

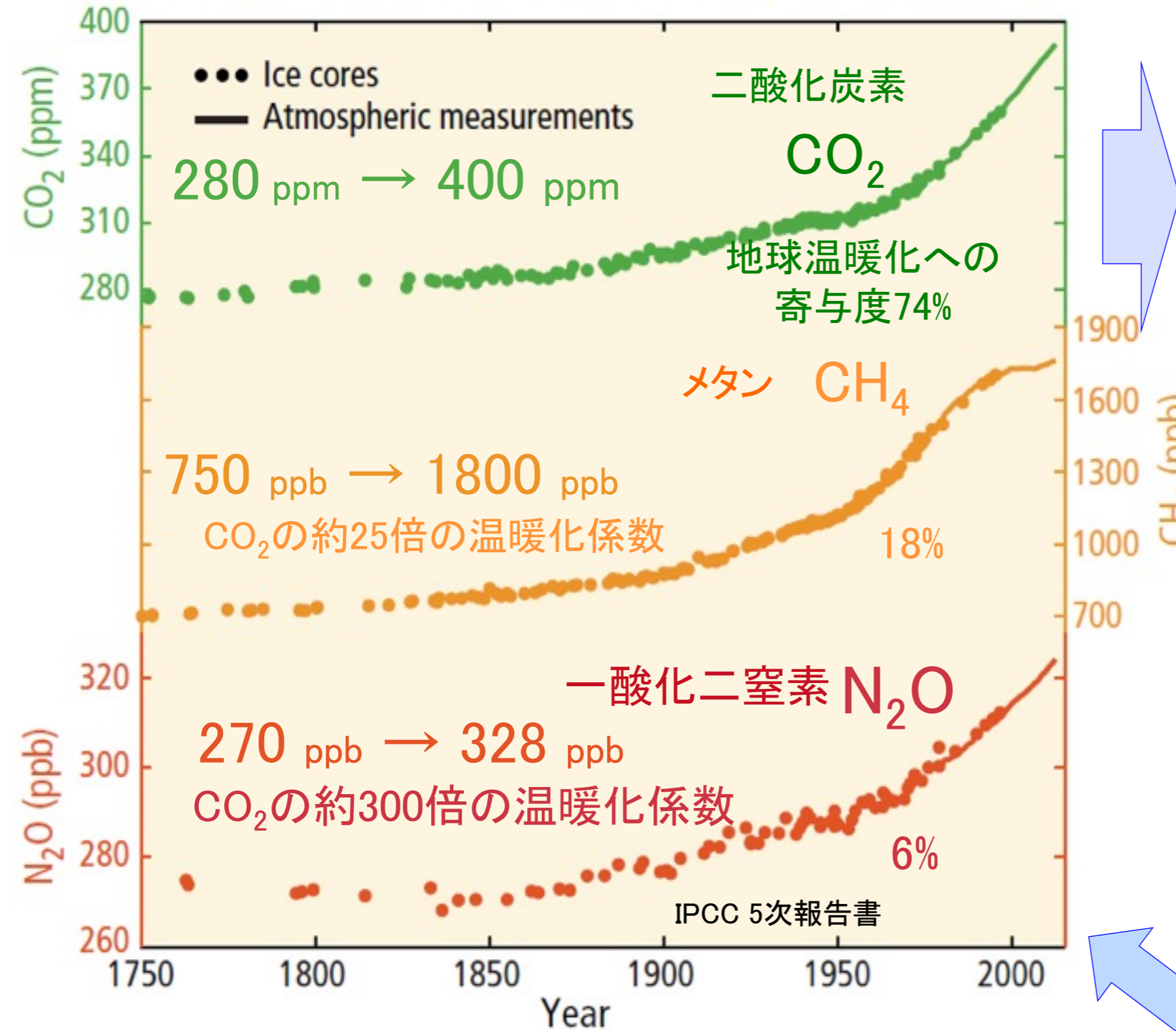
目標4: 地球環境再生に向けた持続可能な資源循環を実現
「資源循環の最適化による農地由来の温室効果ガスの排出削減」



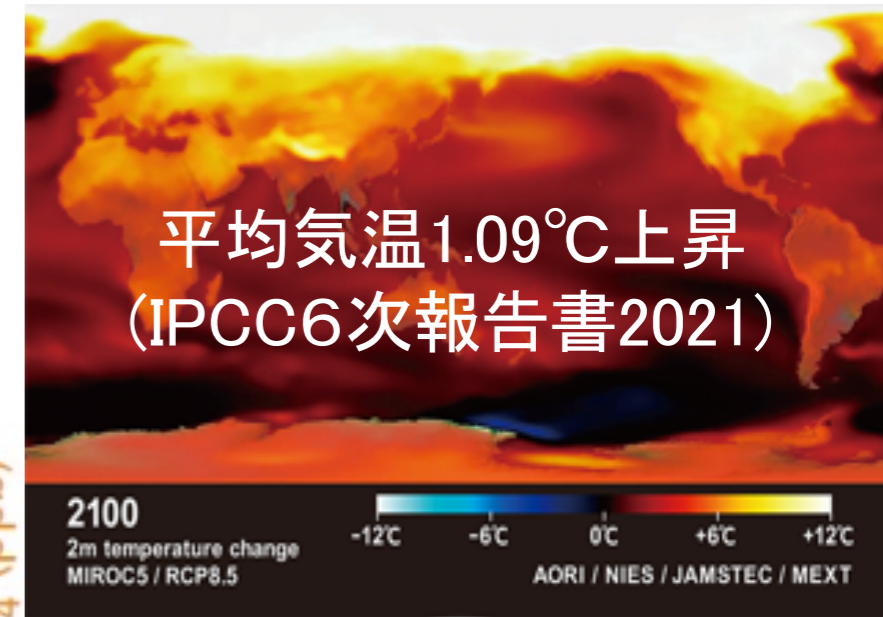
Cool Earth via
ASOIL

南澤 究 (東北大学大学院生命科学研究科)

大気中の温室効果ガス(GHG)濃度の上昇



人為的なGHG排出による地球温暖化



気候変動リスクの増大

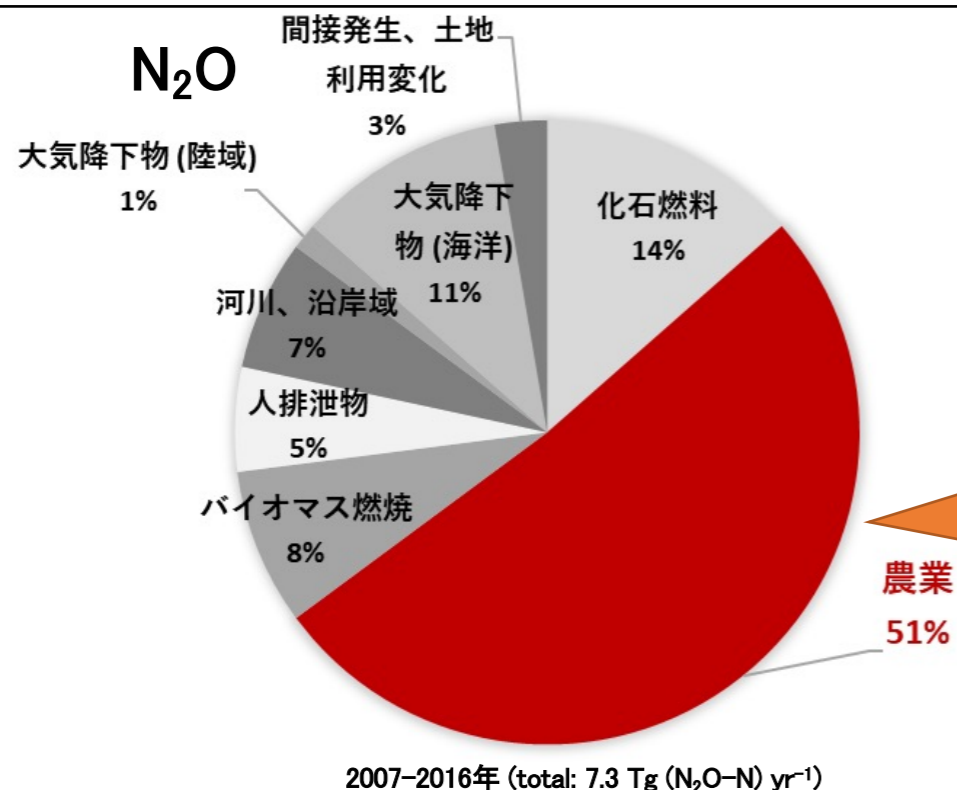
甚大な災害
生活基盤
の破壊



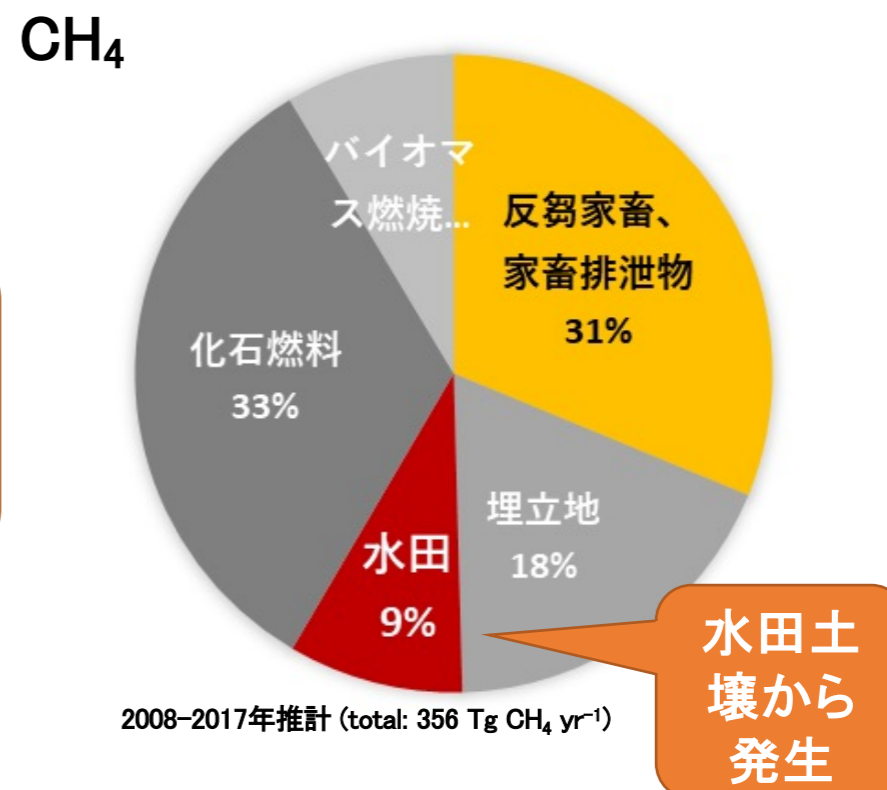
いかに CO_2 , CH_4 , N_2O の人為的な排出を削減するか？

気温上昇を産業革命時から1.5°C以内に抑える(パリ協定、COP26)ためには CO_2 以外の温室効果ガス削減も必須

農業はN₂OとCH₄の主要な人為的発生源



農地土壌や家畜排せつ物の管理から発生

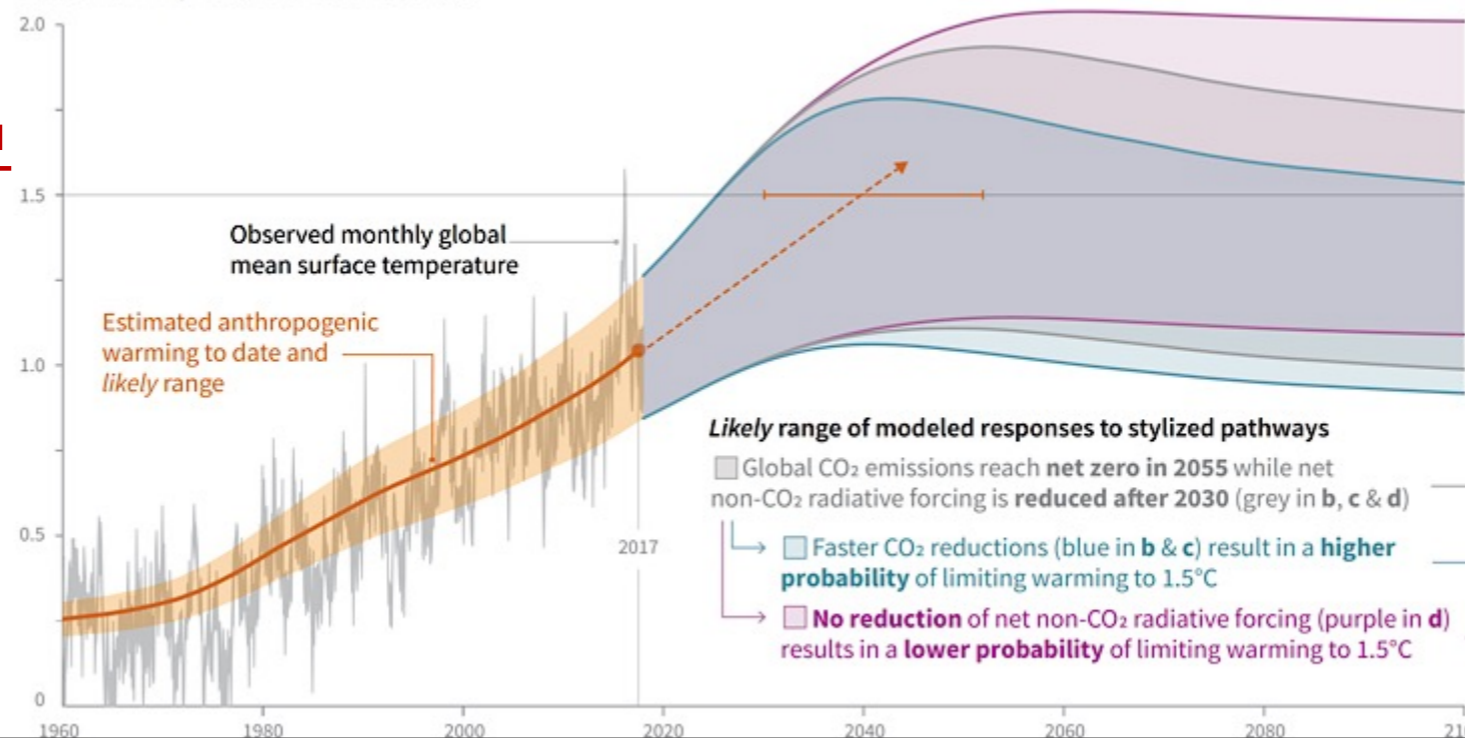


水田土壌から発生

世界のN₂OおよびCH₄の人為的発生源の内訳 (IPCC-AR6 WG1, 2021)

人為起源の排出に対する気温変化のモデル予測 (IPCC SR1.5°C, 2018)

Global warming relative to 1850-1900 (°C)



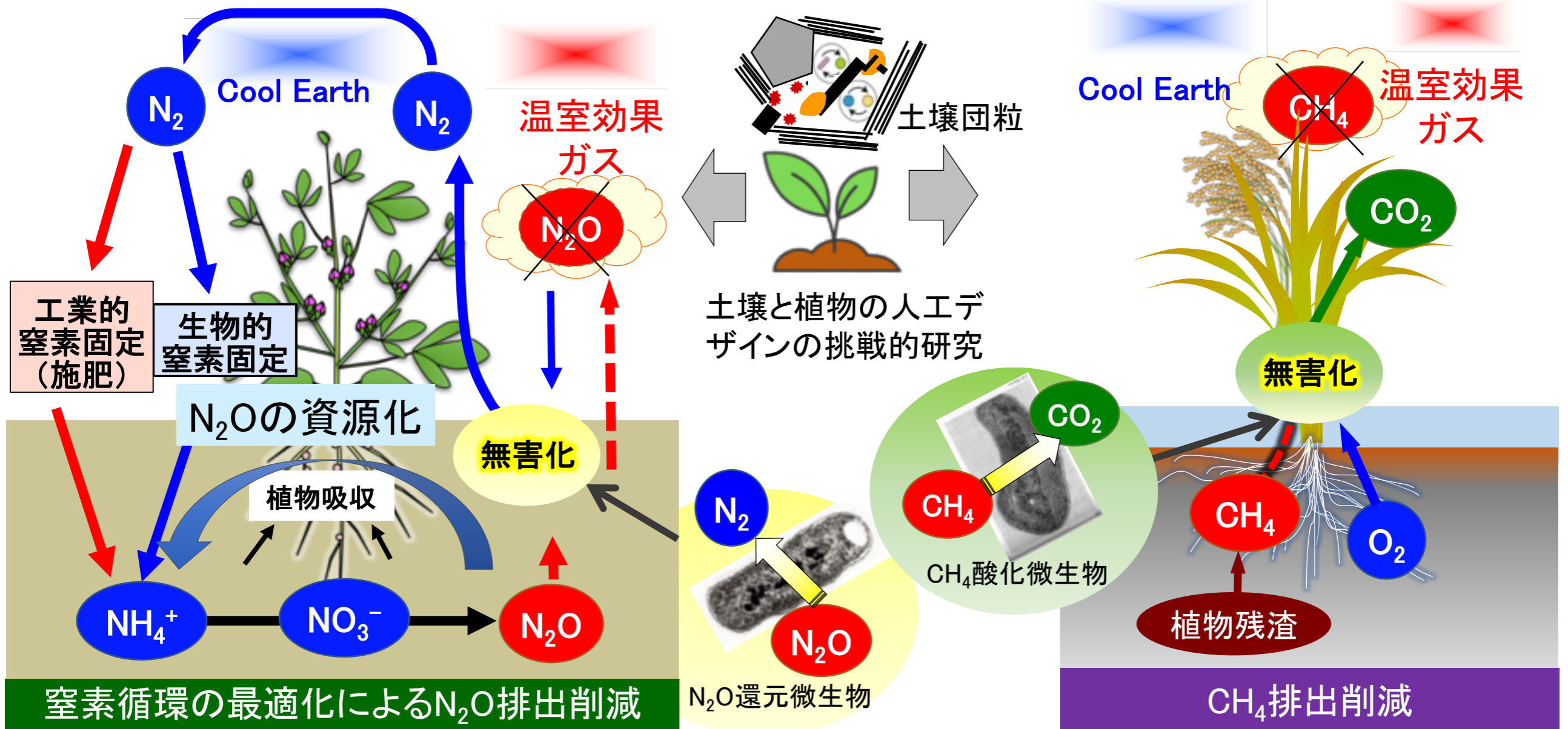
世界平均気温上昇を1.5°C以下に抑えるためにはCO₂削減に加え、N₂O・CH₄削減も重要

CO₂のみ削減では1.5°C以下の確率低

CO₂とCO₂以外のGHG削減で1.5°C未満確率上昇

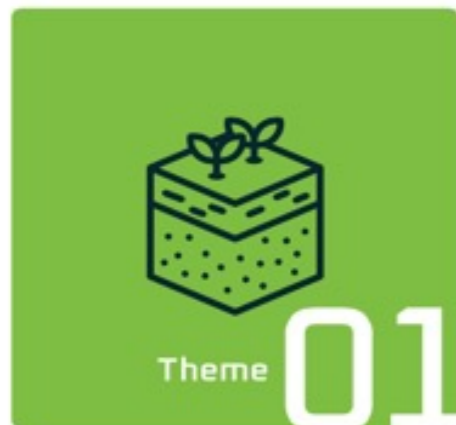
CO₂急激な削減+CO₂以外GHG削減で1.5°C以下の確率高

2050年までに農地由来温室効果ガス N_2O と CH_4 の80%削減！
 N_2O ・ CH_4 を無害化する微生物を土壌団粒や植物のデザインにより利用



自然界の微生物多様性やあらゆる知見・技術を総動員して、人為的GHG発生の削減や持続的な窒素・炭素サイクルの実現を目指しています。

南澤MSの大課題(愛称、研究ユニット数)



土壌構造



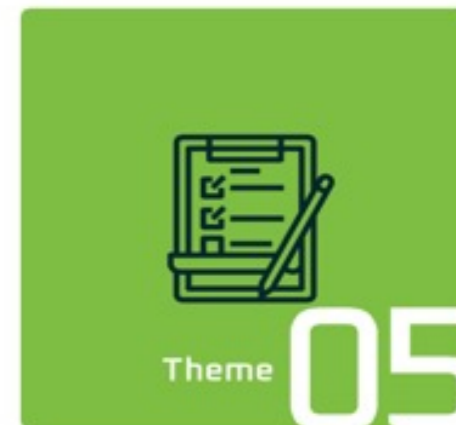
N₂O循環



資材設計

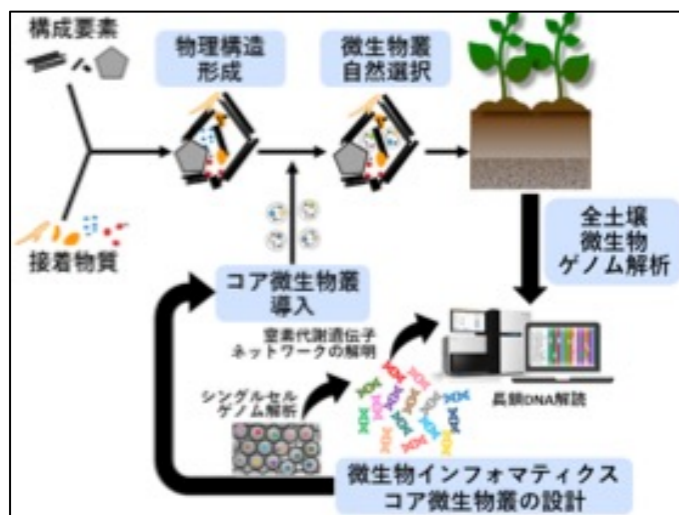


CH₄循環

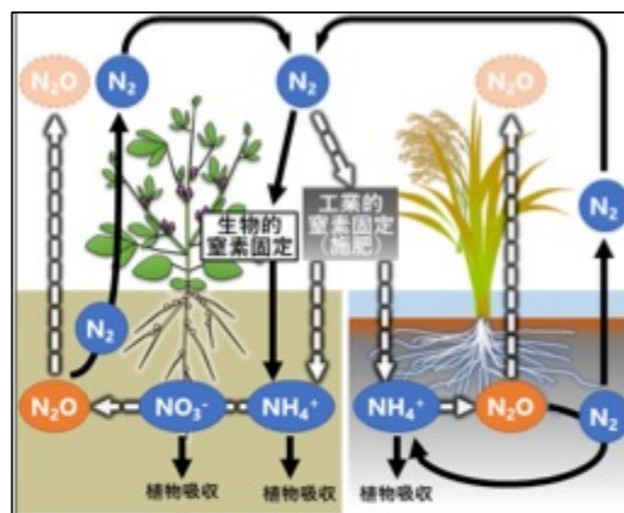


評価とモデル

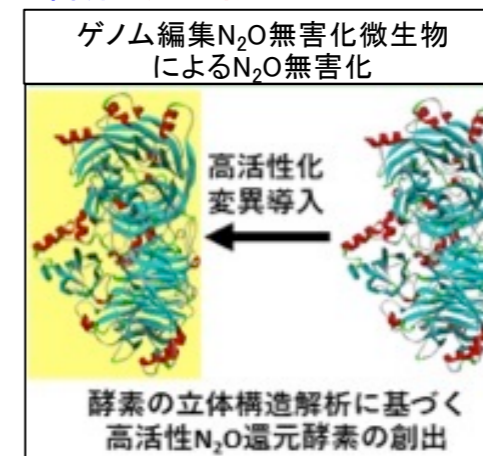
I. 土壌生態系デザイン(土壌構造)(7)



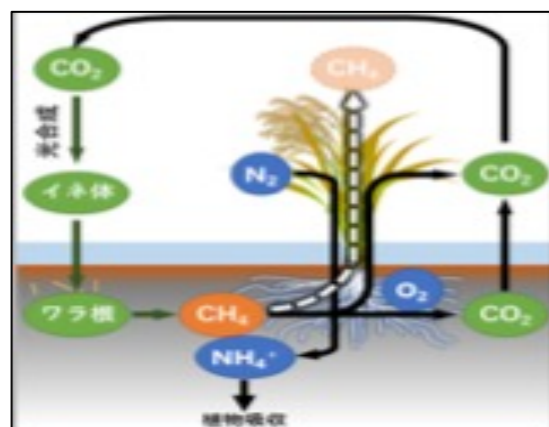
II. N₂O無害化・資源化微生物(N₂O循環)(12)



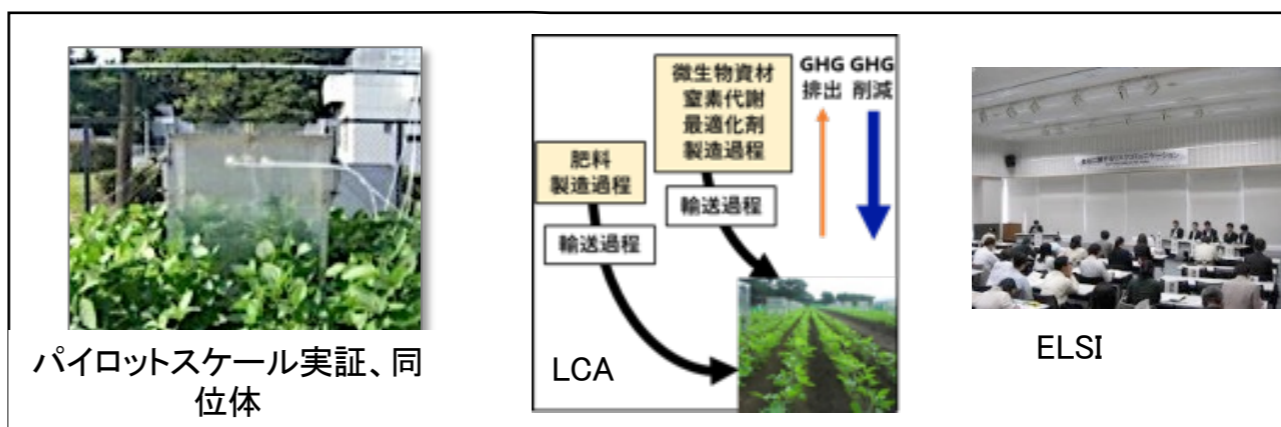
III. 微生物最適利用技術・窒素制御剤(資材設計)(3)



IV. 水田由来CH₄削減(CH₄循環)(3)



V. パイロットスケール実証・評価(評価とモデル)(6)



運営体制

内閣府戦略委員会



NEDO_PD 山地憲治 RITE 所長
NEDO_サブPD 石井正治 教授
第2分科会

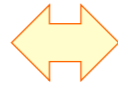
NEDO

運営委員会

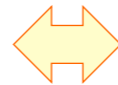
PM補佐	各課題代表者、副代表者
蛸島武尚 (東北大)	課題Ⅰ：和穎朗太、岩崎渉
板倉学 (東北大)	課題Ⅱ：妹尾啓史、今泉温子
佐藤修正 (東北大)	課題Ⅲ：山崎俊正、菅野学
早津雅仁 (NARO)	課題Ⅳ：常田岳志
秋山博子 (NARO)	課題Ⅴ：秋山博子

南澤MS

小川 隆由 (INPIT)
知財、事業化支援



南澤究PM
運営委員会



アドバイザー

八木一行氏 (地球環境戦略研究機関 PM)
鎌形洋一氏 (産総研 生命工学領域長補佐)
柴田大輔氏 (東北大生命科学客員教授)
用貝広幸氏 (JST CRDS, 住友化学上席研員)

NEDOからの委託
(3機関)

東北大学

農研機構(NARO)

東京大学

再委託

研究組織全体 (18機関)

再委託
(15機関)

東京農工大学
静岡大学
森林研究・整備機構
京都大学
名古屋大学

岩手大学
産業技術総合研究所
国立環境研究所
愛媛大学
理化学研究所

帯広畜産大学
茨城大学
龍谷大学
東京工業大学
bitBiome 株式会社

実施体制

南澤
PM

東北大

- 課題Ⅰ：土壤微生物完全解明による土壤生態系デザイン
- 課題Ⅱ：生物的 N_2O 無害化・資源化技術の確立
- 課題Ⅳ：微生物-イネ共生系の最適化による水田 CH_4 排出削減
- 課題Ⅴ：温室効果ガス発生削減技術のパイロットスケール実証および評価

再委託

農工大 / 岩手大 / 帯畜大 / 静岡大

- ・根粒菌と植物共生系を利用した N_2O 無害化・再資源化技術の確立 (Ⅱ-1)

NARO

- 課題Ⅰ：土壤微生物完全解明による土壤生態系デザイン
- 課題Ⅱ：生物的 N_2O 無害化・資源化技術の確立
- 課題Ⅲ：ゲノム・メタゲノム情報に基づく N_2O 無害化微生物最適利用技術の確立
- 課題Ⅳ：微生物-イネ共生系の最適化による水田 CH_4 排出削減
- 課題Ⅴ：温室効果ガス発生削減技術のパイロットスケール実証および評価

再委託

森林総研 / 愛媛大・土壤構造と微生物生存の解明 (Ⅰ-1)

京大・全土壤微生物ゲノムの解析および N_2O 無害化ポテンシャルの応用 (Ⅰ-2)

茨大・根粒菌と植物共生系を利用した N_2O 無害化・再資源化技術の確立 (Ⅱ-1)

龍谷大・土壤環境の最適化による N_2O 無毒・資源化を高効率化した栽培系の構築 (Ⅱ-3)

産総研・土壤構造をベースにした微生物安定化技術 (Ⅲ-3)

・イネ体内部における CH_4 酸化窒素固定菌の機能発現による CH_4 の無害化と

・窒素の資源化 (Ⅳ-2)

名大・イネ根圏土壤の CH_4 酸化促進による CH_4 の無害化 (Ⅳ-1)

・イネ体内部における CH_4 酸化窒素固定菌の機能発現による CH_4 の無害化と窒素の資源化 (Ⅳ-2)

東工大・安定同位体を用いた N_2O ・ CH_4 の生成および無害化の評価 (Ⅴ-2)

国環研・モデルによる削減技術の広域評価 (Ⅴ-4)

東大

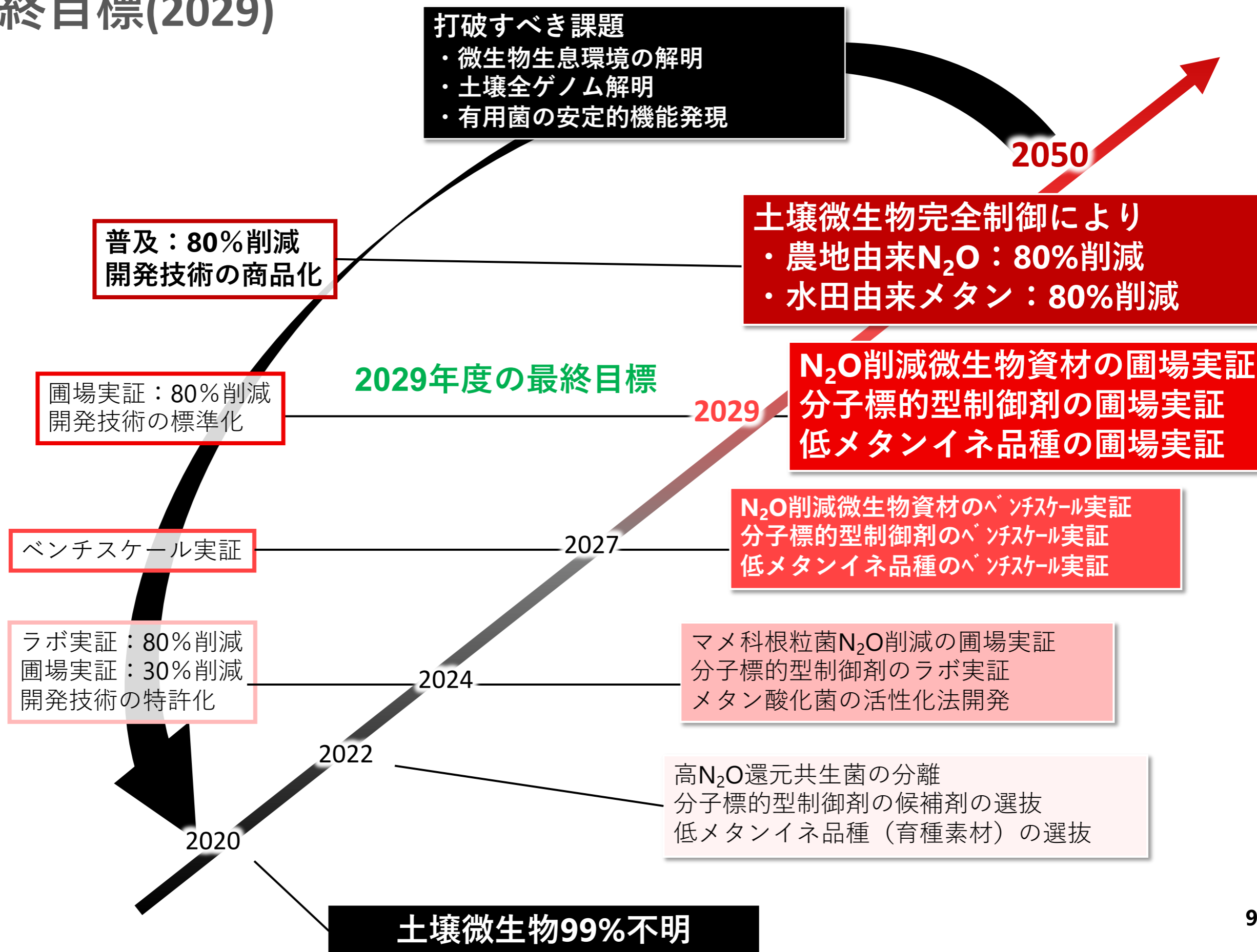
- 課題Ⅰ：土壤微生物完全解明による土壤生態系デザイン
- 課題Ⅱ：生物的 N_2O 無害化・資源化技術の確立

再委託

理研 / bitBiome

- ・全土壤微生物ゲノムの解析および N_2O 無害化ポテンシャルの応用 (Ⅰ-2)

実施期間/開発スケジュール と最終目標(2029)

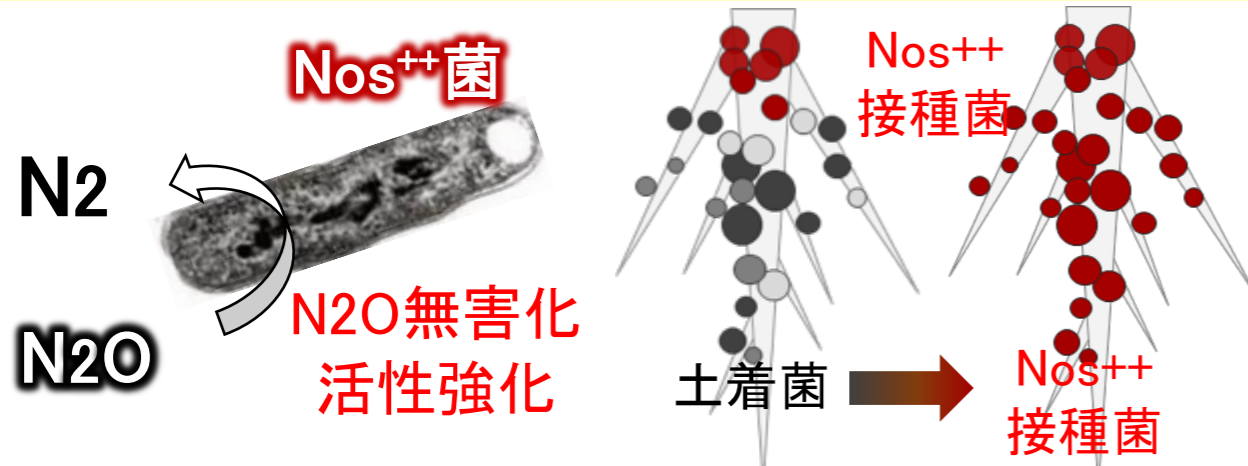


本プロジェクトの社会実装のイメージ例

2020 → 2024 → 2029

N₂O無害化根粒菌

・N₂O還元活性強化株(Nos++)の探索・作出



・宿主作物の最適化によるNos++菌優占化

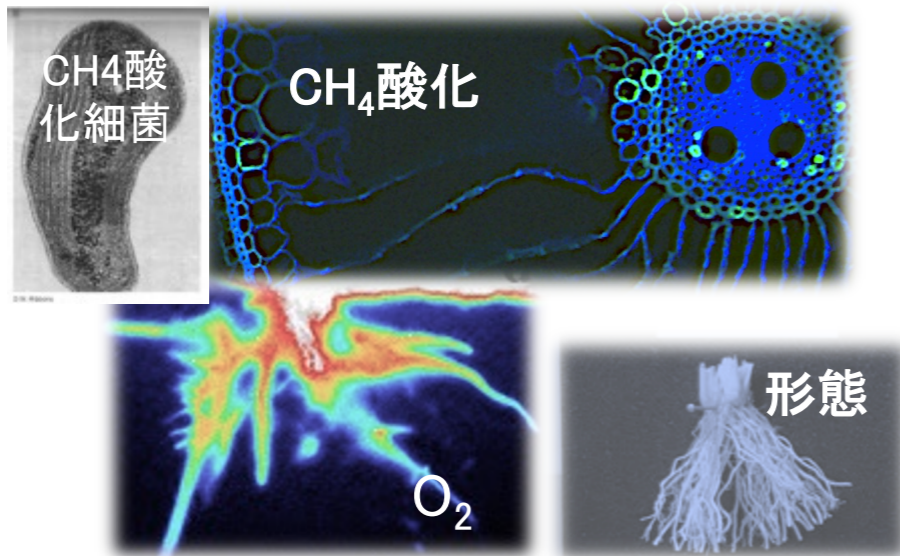
微生物 + 種子 + キャリア

Cool Erathのための微生物接種等の社会受容



CH₄無害化イネ栽培

イネの低メタン化技術の開発



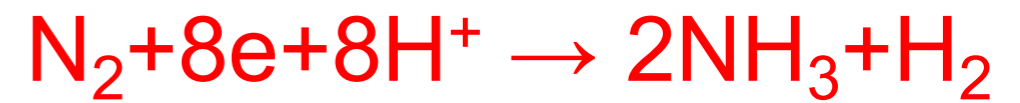
低メタン化イネ

主要品種の低メタン化 + (メタン酸化菌)

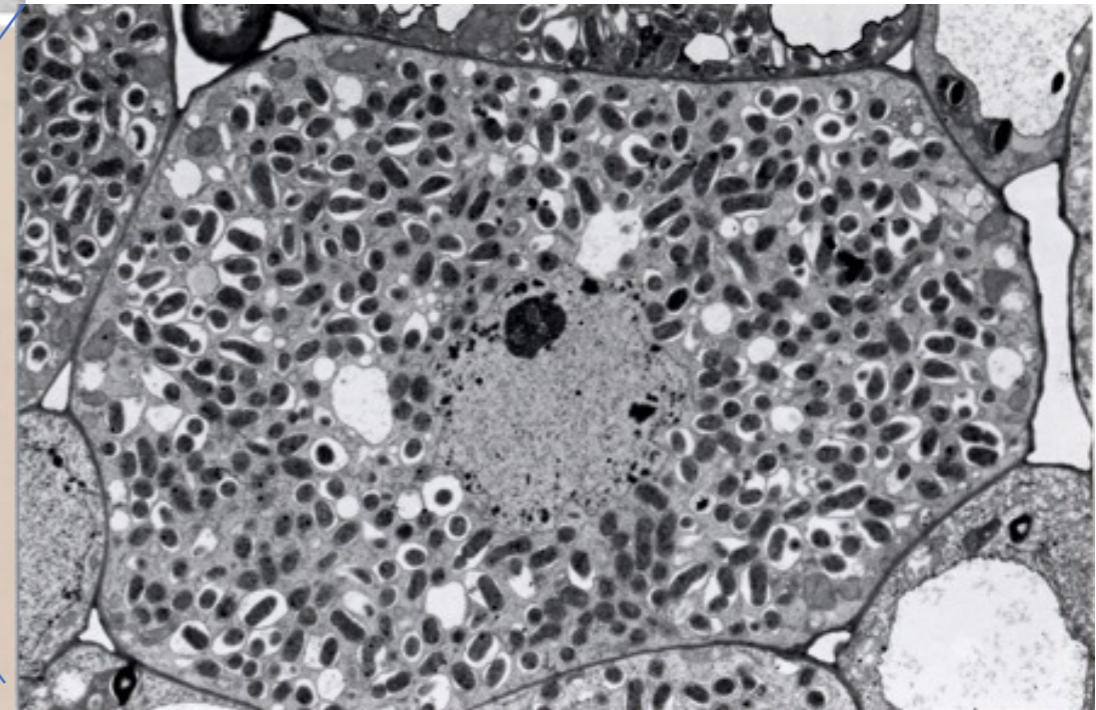
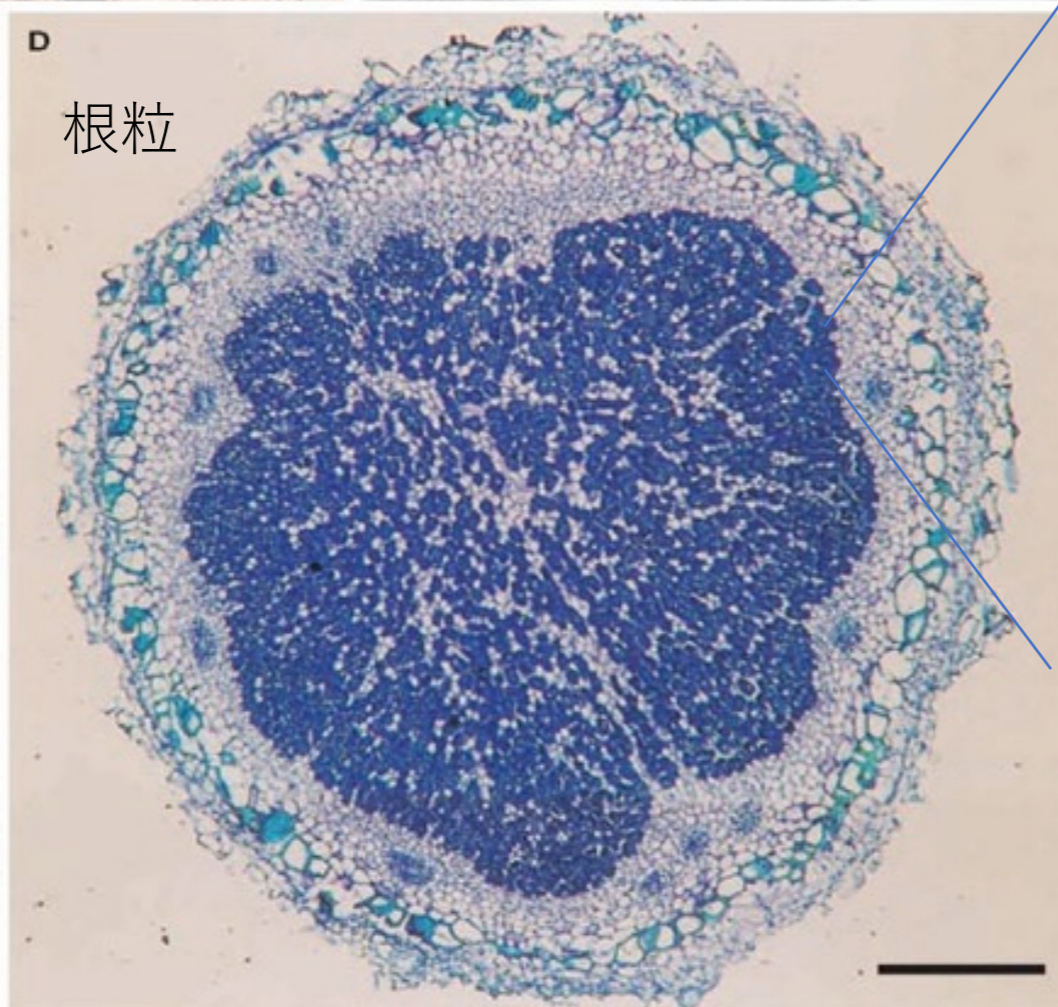


根粒菌の共生

マメ科作物根に根粒を形成し、窒素固定を行う土壌細菌



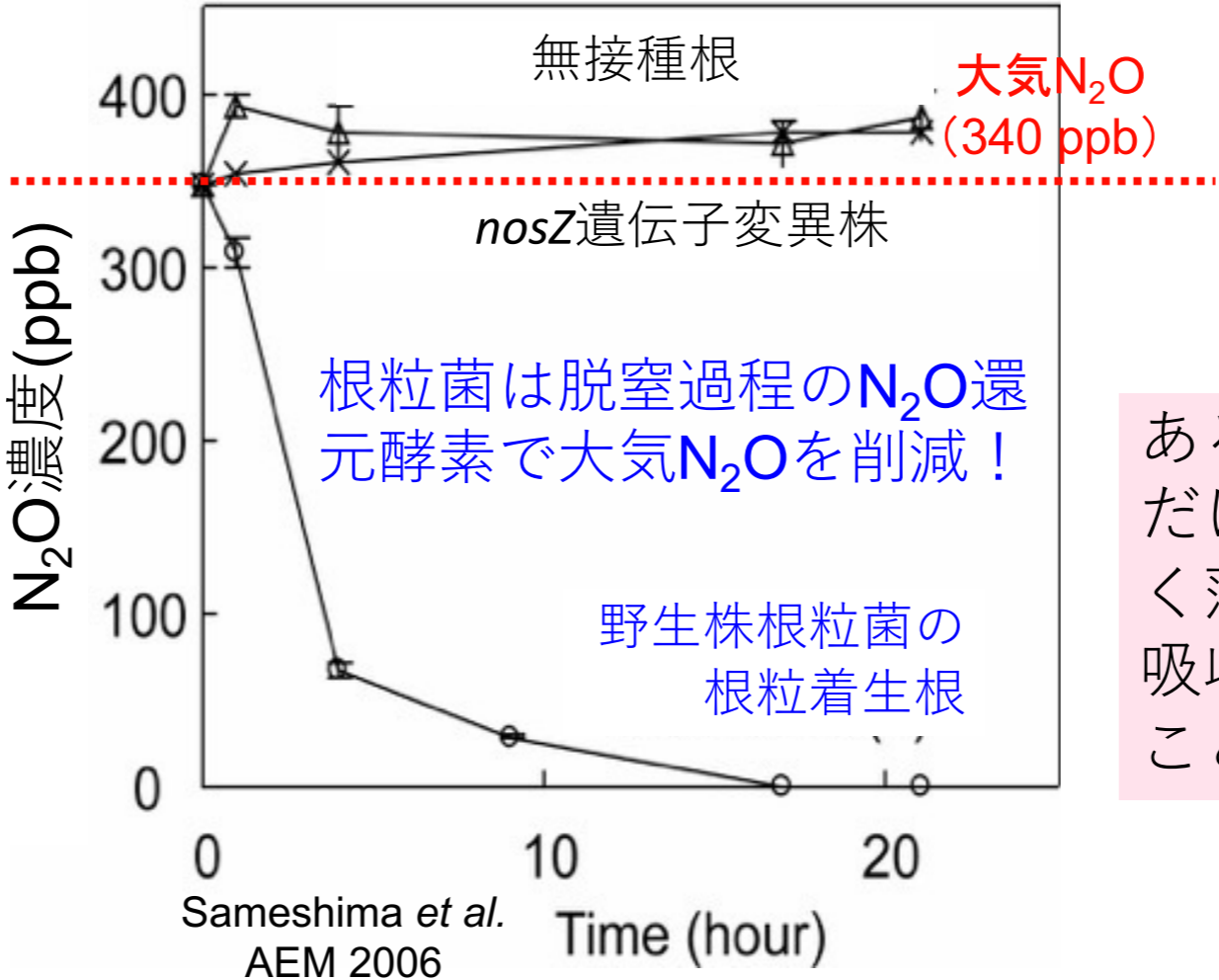
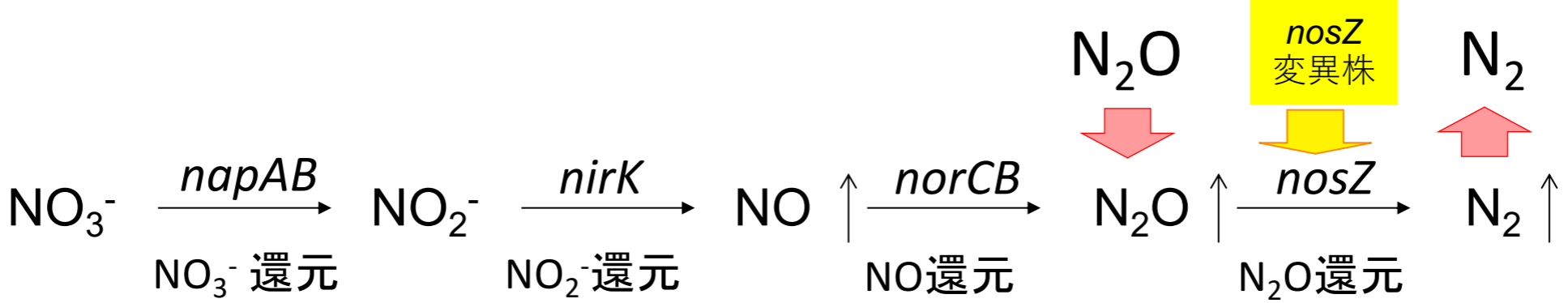
窒素ガス(N₂)をアンモニアへ



A ダイズ, **B** 培養した根粒菌の超薄切片像, **C** 根粒, **D** 根粒横断面の光顕像. 根の表皮, 皮層に包まれた組織中央に, 青く染まった根粒菌感染細胞が観察される. 共生窒素固定を支えるために, 維管束が発達している. Bars : **B** 0.5 μm ; **D** 0.5mm,

ある種の根粒菌は温室効果ガスN₂Oを削減する

ダイズ根粒菌(*B. diazoefficiens*)の脱窒過程



ある種の根粒菌が窒素固定だけでなく「大気中の（ごく薄い）」N₂O(340 ppb)を吸収する機能を持っていることを見出した。

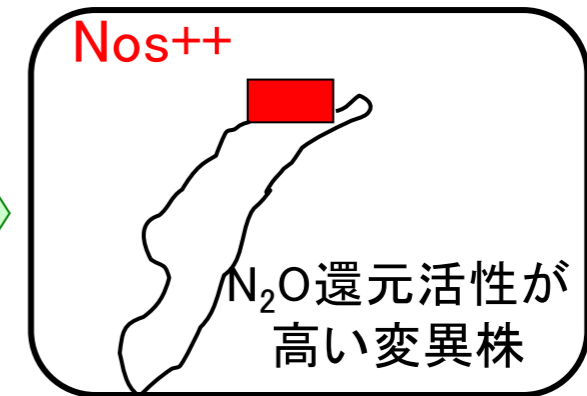
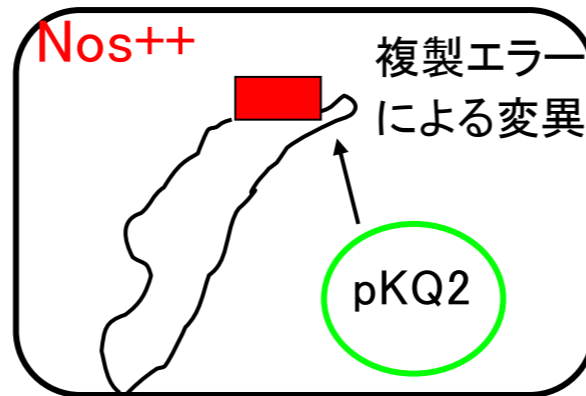
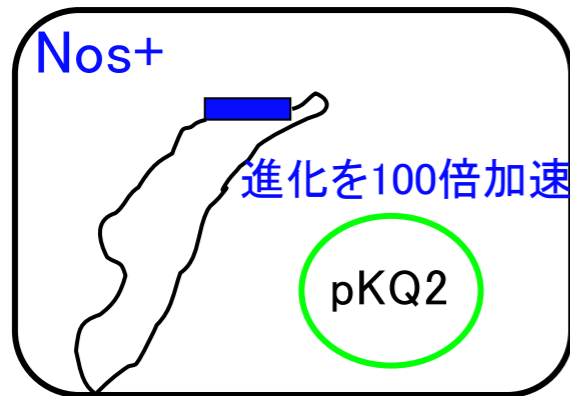
突然変異やゲノム編集によりN₂O除去能のさらに高い根粒菌Nos強化株を作出した！

N₂O除去能の高い根粒菌Nos強化株の作出

Itakura *et al.* AEM 2008
Nat. Climate Change 2013

ダイズ根粒菌

選択圧によるNos活性上昇



変異誘発 pKQ2

N₂O呼吸培養による選択圧

変異pKQ2の除去

ダイズ根粒菌N₂O還元活性強化株 (Nos強化株) の機構解明と接種資材としての利用

地球温暖化防止

オゾン層保全

N₂O削減

地球環境に優しく栽培された作物を、積極的に買いたい！

Nos強化根粒菌

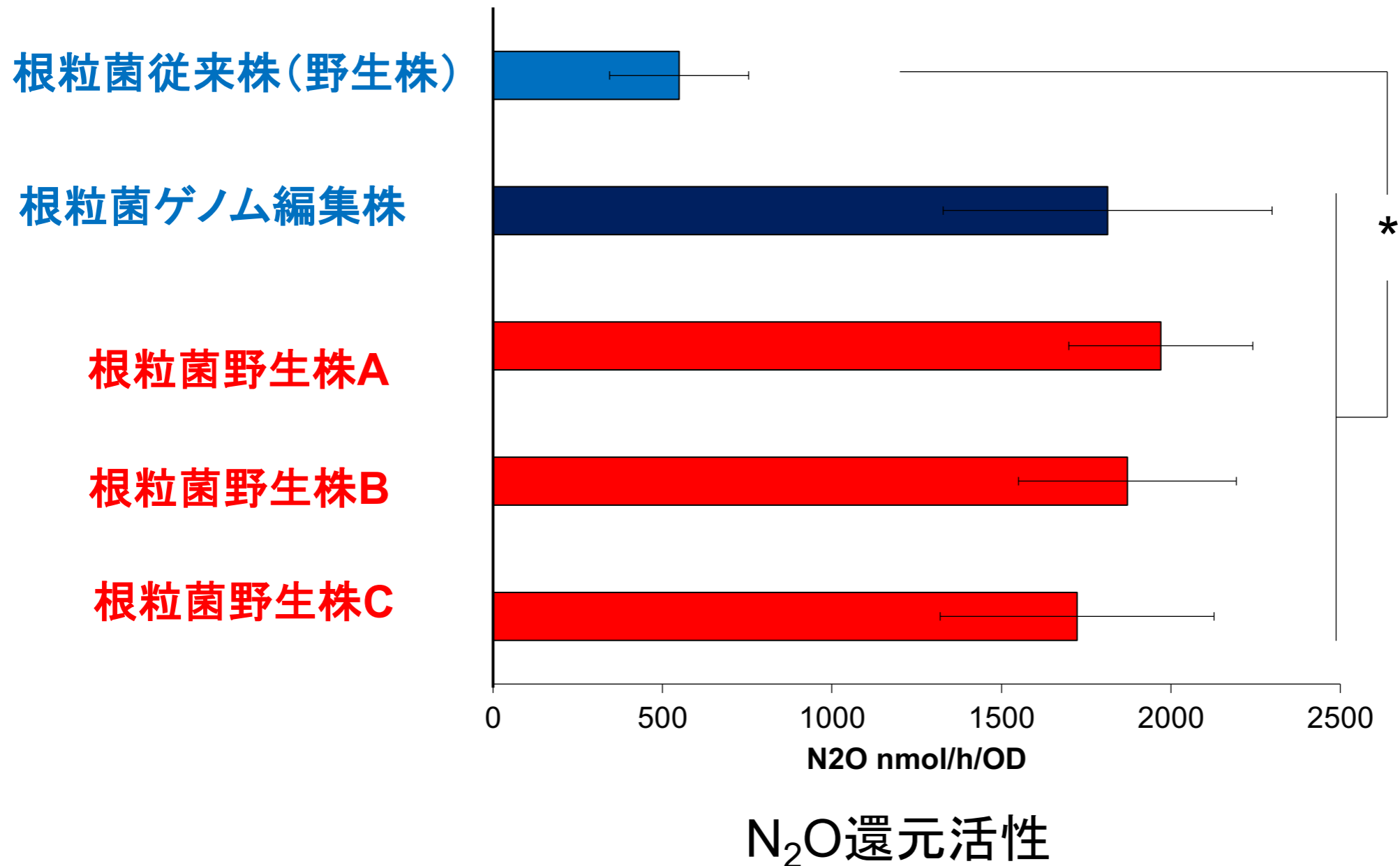


N₂O



現時点の主な成果(1)

今まで根粒菌のゲノム編集でしかN₂O還元活性を上昇することは不可能であった。
しかし、N₂O還元活性の高い新規の根粒菌野生株を取得、N₂O削減強化を確認



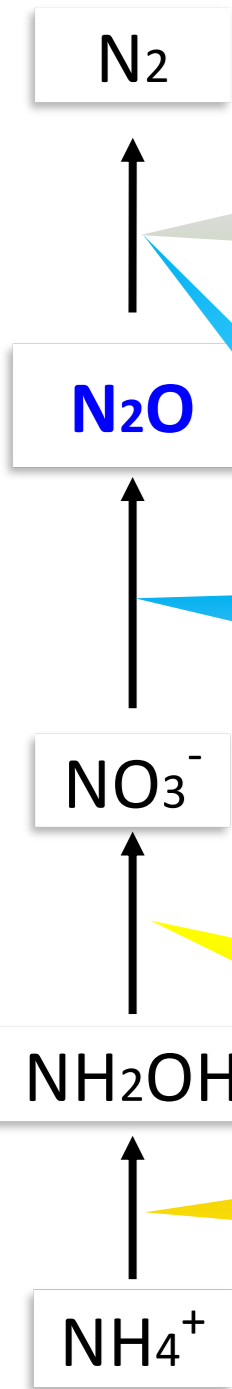
現在MS内で材料を共有し、その有用性を検討中！

N₂O 80%削減への道のり



土壌構造の徹底解明
土壌微生物の完全解明
高精度圃場実証技術

N₂O無害化微生物利用技術の最適化と新技術の開発



plant

共生菌

根圏・土壌微生物

Conc. Time

N₂

N₂O

《N₂O無害化微生物利用技術》

N₂O (%)

Condition	N ₂ O (%)
0	100
5	~65
10	~20

《高活性N₂O無害化酵素の作出》

NO₂⁻ NH₂OH

NH₄⁺

《N₂O発生制御資材の開発》

既存技術：緩効性肥料、硝化抑制剤…



2021年 COP26 Global Methane Pledge 2030年までにメタン排出量を30%削減

COP26: US and EU announce global pledge to slash methane



Joe Biden says COP26 methane reduction pledge will make "huge difference"



アメリカ・EUが呼びかけ、日本を含む世界100カ国以上が賛同

なぜCH₄削減に注目？

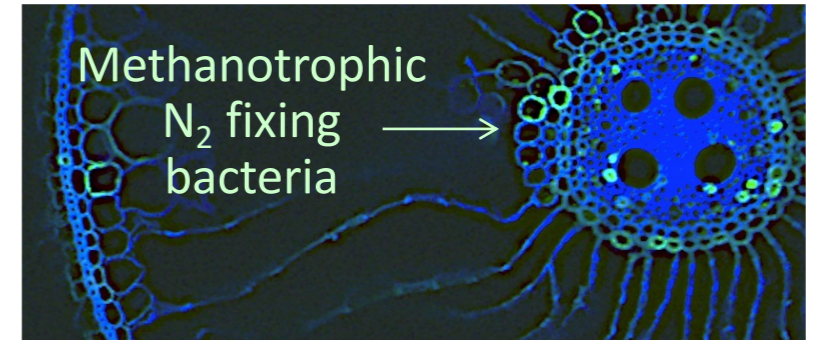
- ・ 大気中寿命が短い(約12年)
- 削減効果に速効性 (排出削減により大気中CH₄濃度は速やかに減少)
- 近未来の温暖化を抑制するにはメタン削減が効果的

水田CH₄削減の戦略

メタン酸化窒素固定

IV-2

イネ低メタン化技術
(品種)
IV-1



CH₄酸化窒素固定菌

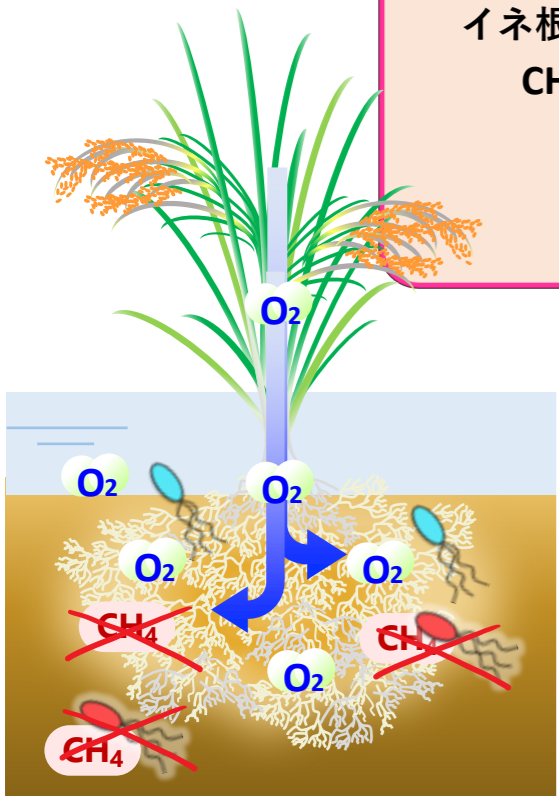
イネ共生CH₄酸化窒素固定菌
の機能最大化
40%減

イネ根圏土壌における
CH₄酸化の促進
40%減

水管理
有機物管理
40%減

既存技術

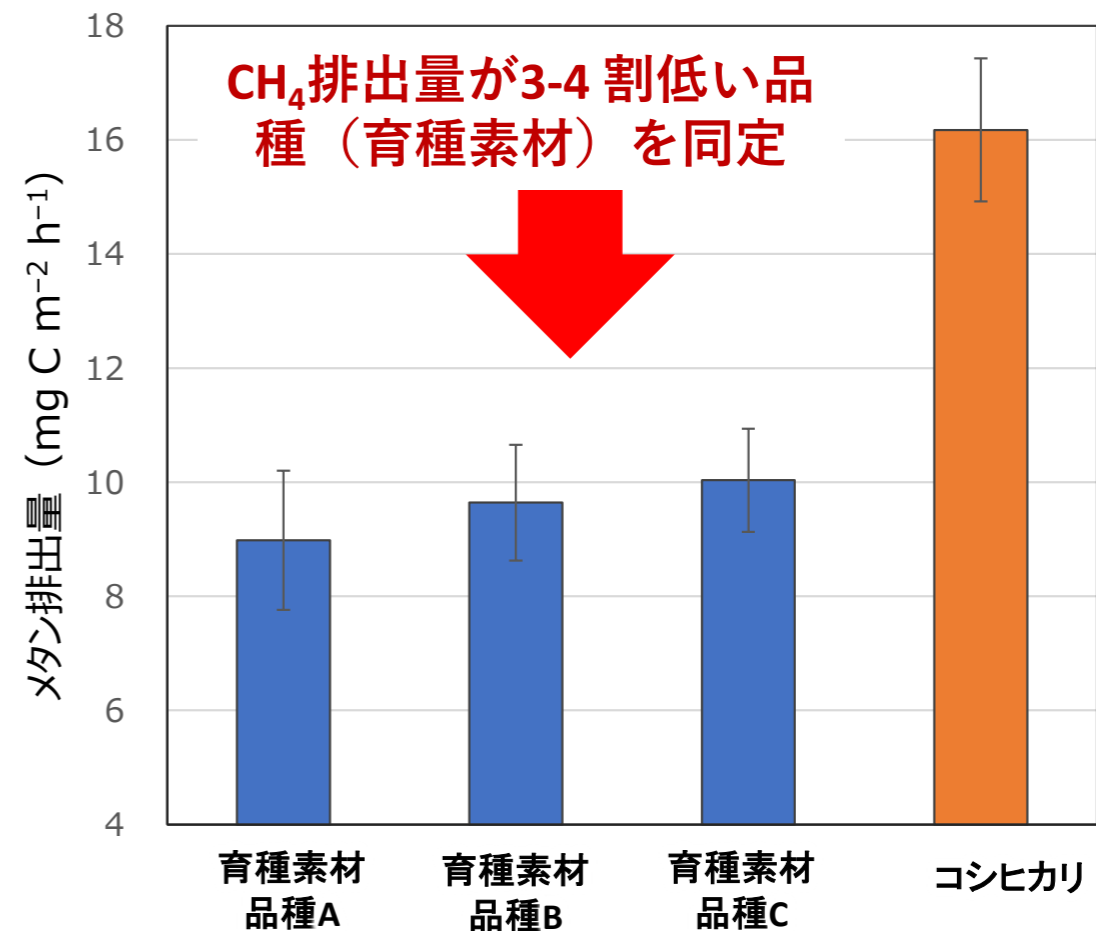
80%削減



微生物制御 + 環境制御 (水田中干し等) → 水田メタン80%削減

現時点の主な成果(2)

CH₄排出量が3~4割低い品種（育種素材）を同定



→低メタンに関わる遺伝子をコシヒカリ等に導入し、低メタンイネ品種を作出

市民参加型プロジェクト (市民科学_ ELSI)

<https://dsoil.jp/soil-in-a-bottle/>



市民科学プロジェクト

地球冷却微生物を探せ

概要

活動内容

参加登録

運営組織

お問い合わせ



いま、
空気と土を
真剣に考えよう

~未来の環境をまもるために~

実験に協力してくれる
ボランティア募集中!



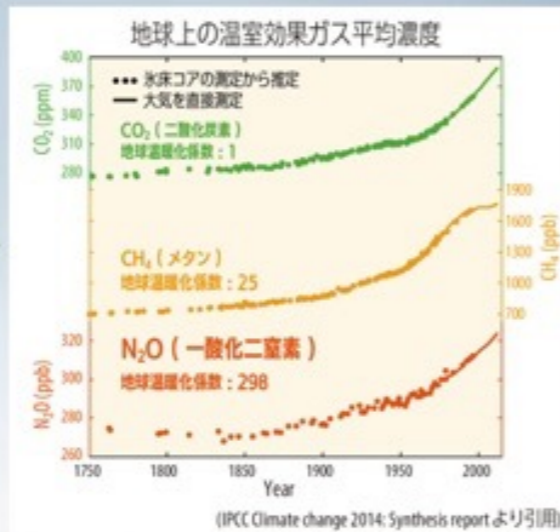
市民科学プロジェクト

地球冷却微生物を探せ



N₂O って知っていますか?

地球温暖化は生態系の破壊や自然災害の発生を引き起こし、私たちの生活に大きな悪影響を及ぼします。温暖化の主な原因は、人間活動によって排出される CO₂ (二酸化炭素) などの温室効果ガスです。中でも N₂O (一酸化二窒素) は同じ体積で比較すると CO₂ の約 300 倍の温室効果をもたらす気体で、排出の削減が急務です。



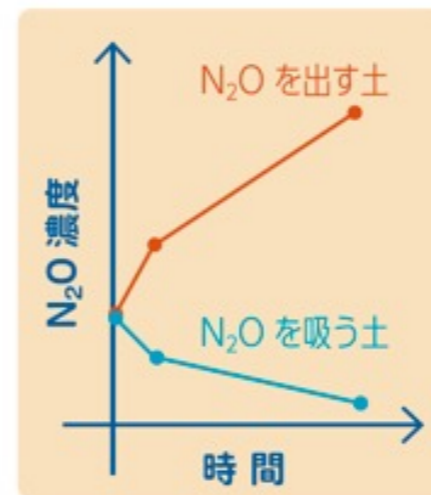
わたしたちの身の回りには、N₂Oの主な発生源のひとつです。土の中には様々な種類のN₂O発生微生物(主に細菌とカビ)が生息していて、肥料などに含まれるアンモニアや硝酸をN₂Oに変換します。数は少ないですが、土の中にはN₂Oを消去できる微生物も存在します。その中でもより高いN₂O消去能力をもった微生物を探し出し、地球冷却微生物として大気中のN₂O削減に利用したいと考えています。

市民科学プロジェクト 「地球冷却微生物を探せ」

市民との双方向コミュニケーション
としての位置付けELSI

N₂O吸収土壌と新規N₂O除去菌の探索

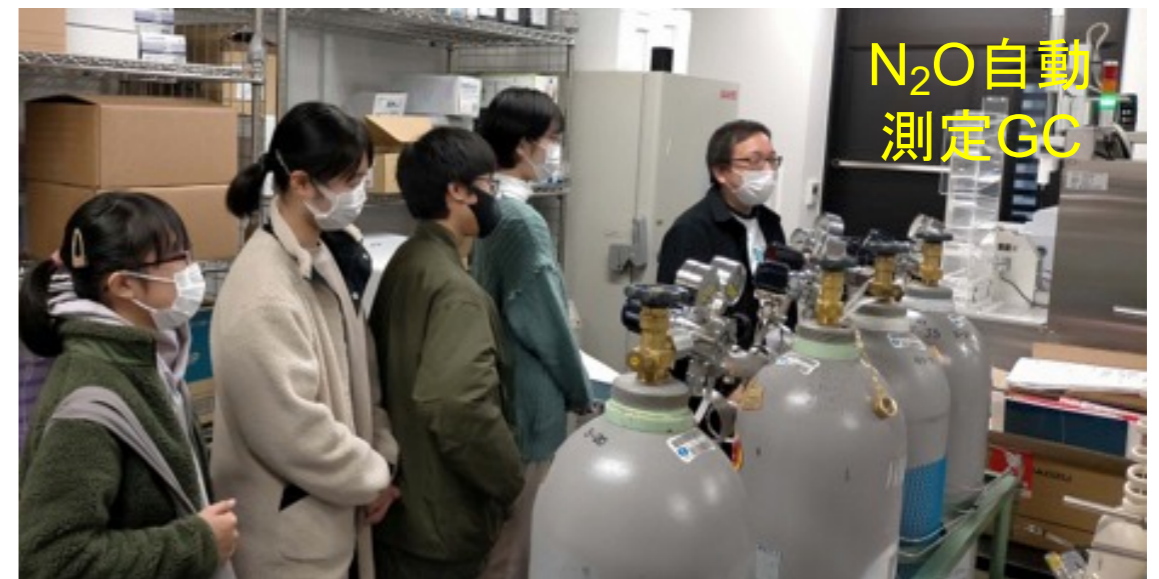
気体の分析



微生物叢解析



- DNA 土壌細菌 A
- DNA N₂O 消去細菌 B
- DNA 土壌細菌 C
- ...



N₂O自動
測定GC

宮城県立第一高等学校の1年生

