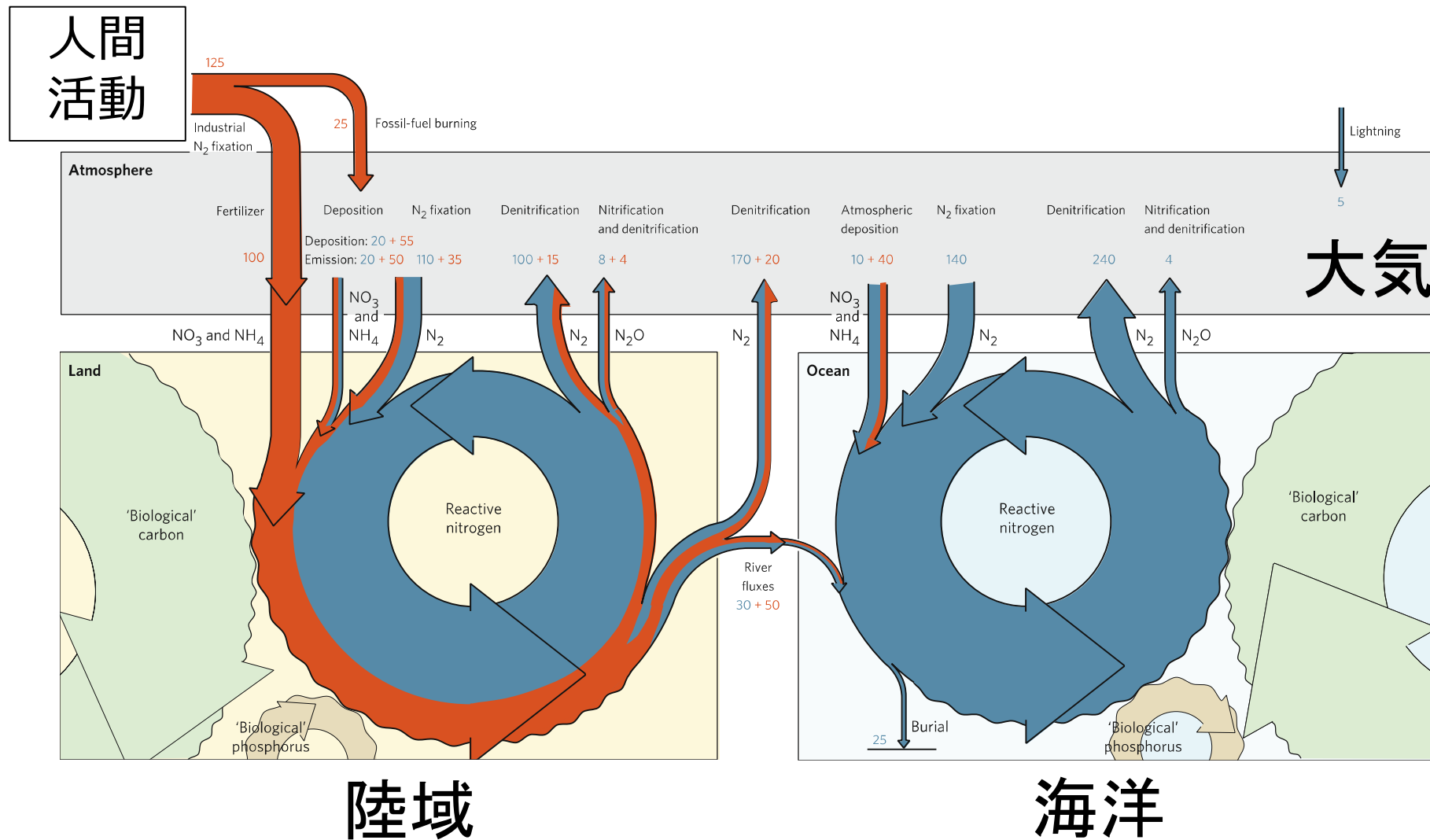


窒素循環を担う環境微生物ネットワークと温室効果ガス削減

Cool Earth via
ACEIL

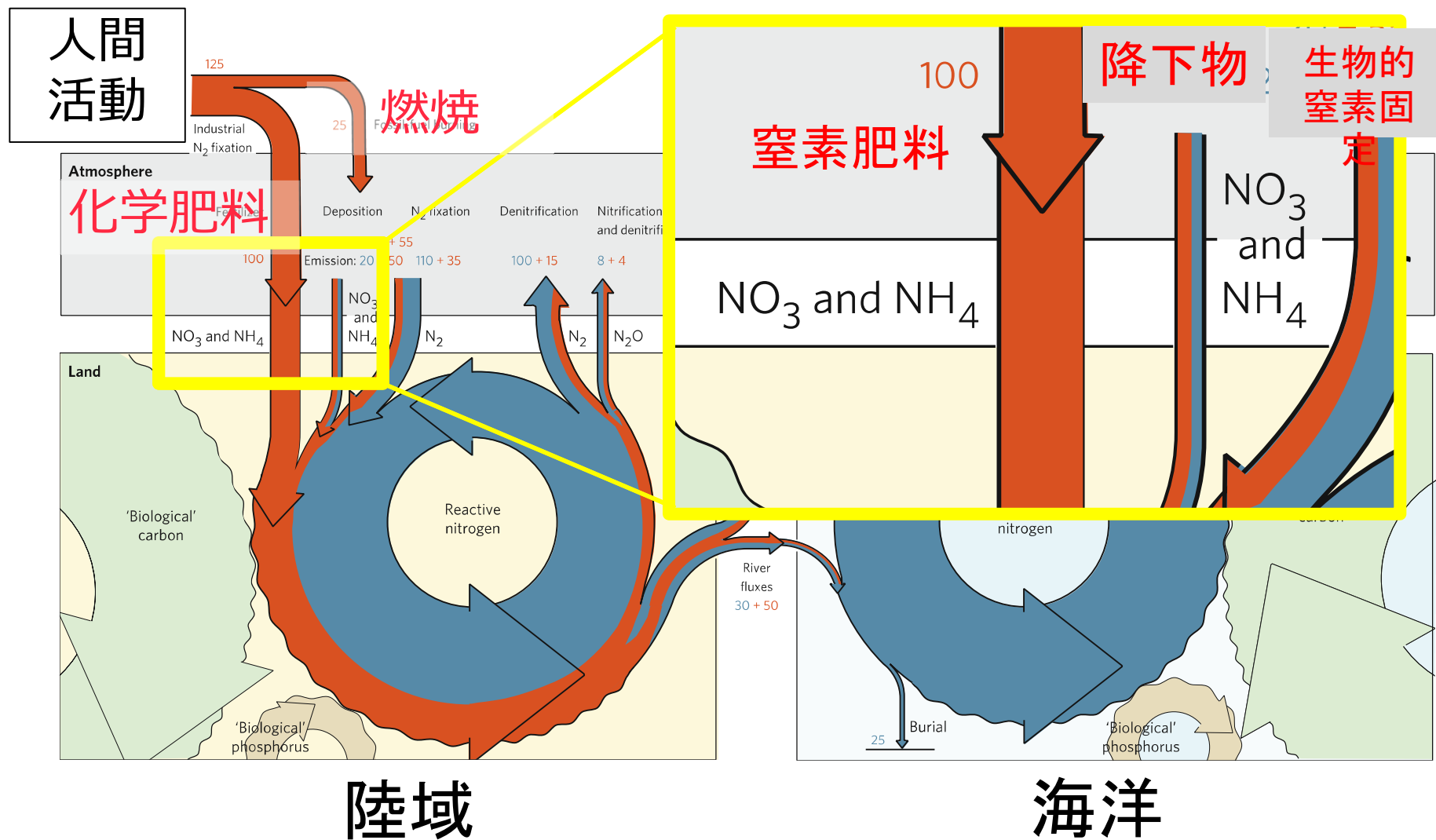
南澤 究 (東北大学大学院生命科学研究科)

人為起源の反応性窒素による窒素循環の攪乱



Gruber & Galloway (2008) in Nature

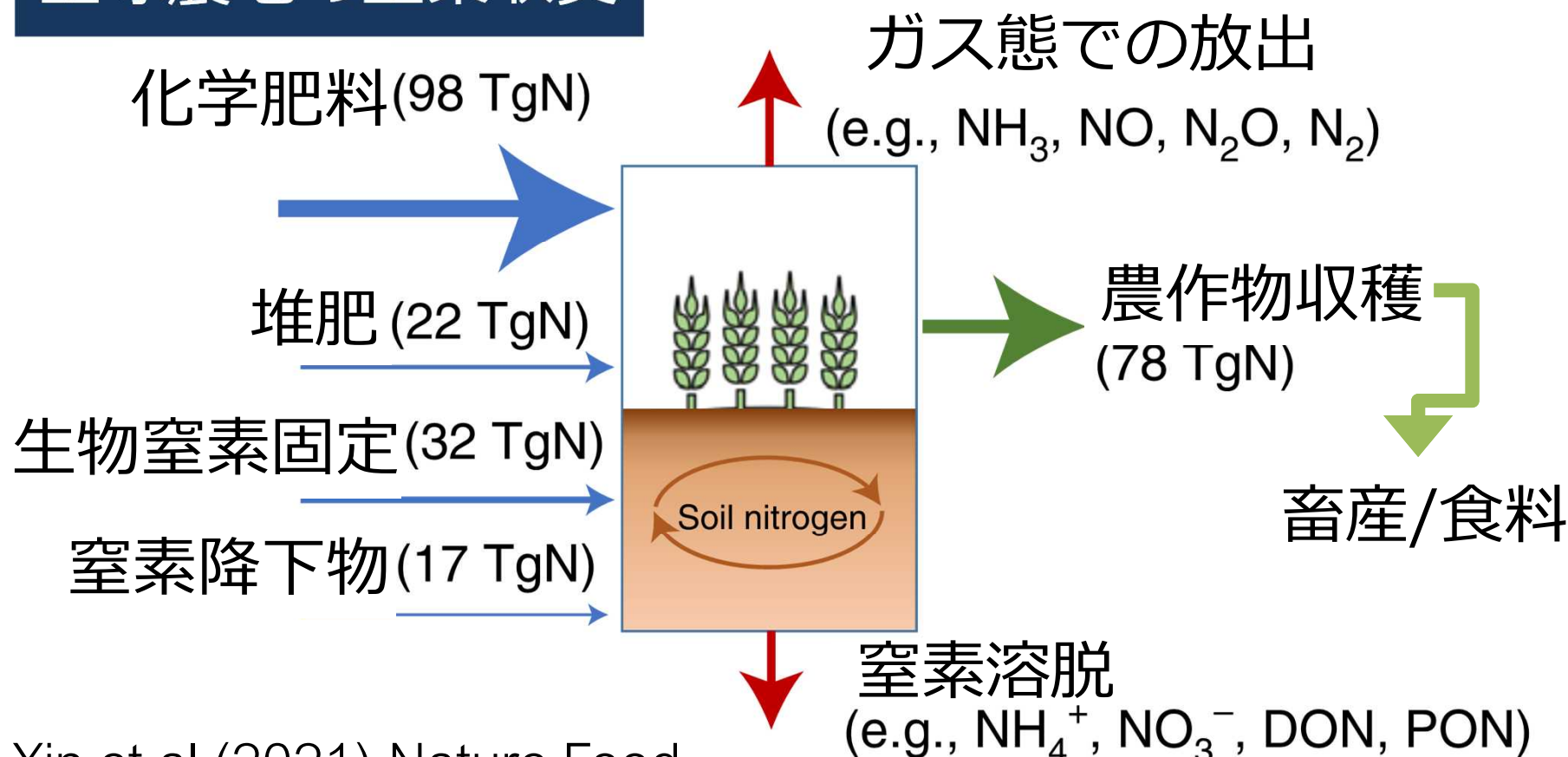
人為起源の反応性窒素による窒素循環の攪乱



Gruber & Galloway (2008) in Nature

人為起源Nの殆どは土壌（≡ 農地）を
経由して環境中へ広がっていく

全球農地の窒素収支



Xin et al (2021) Nature Food

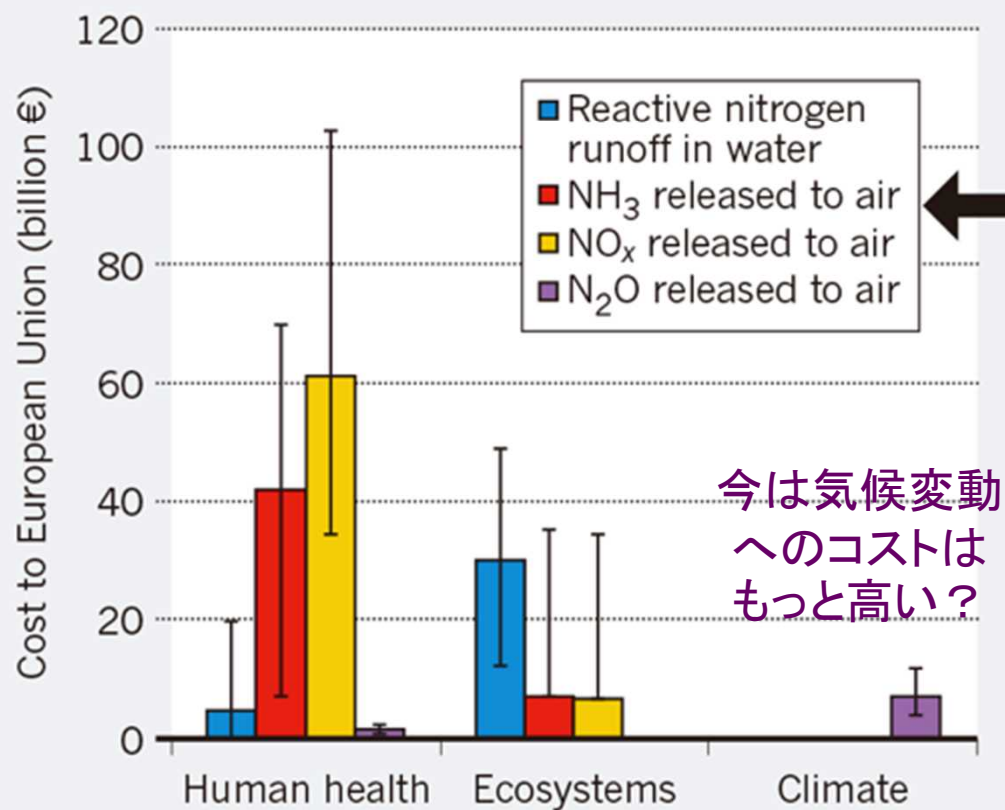
$$98 + 22 + 32 + 17 - 78 = 91 \text{ Tg/y が土壌を介して環境へ}$$

反応性窒素の影響の経済換算（欧州のケース）

2011年換算で、年間0.7~3.2兆ユーロ（100~400兆円）

DAMAGE COSTS OF NITROGEN POLLUTION

Agriculture and fossil-fuel burning load the environment with reactive nitrogen, affecting water, soils and air.



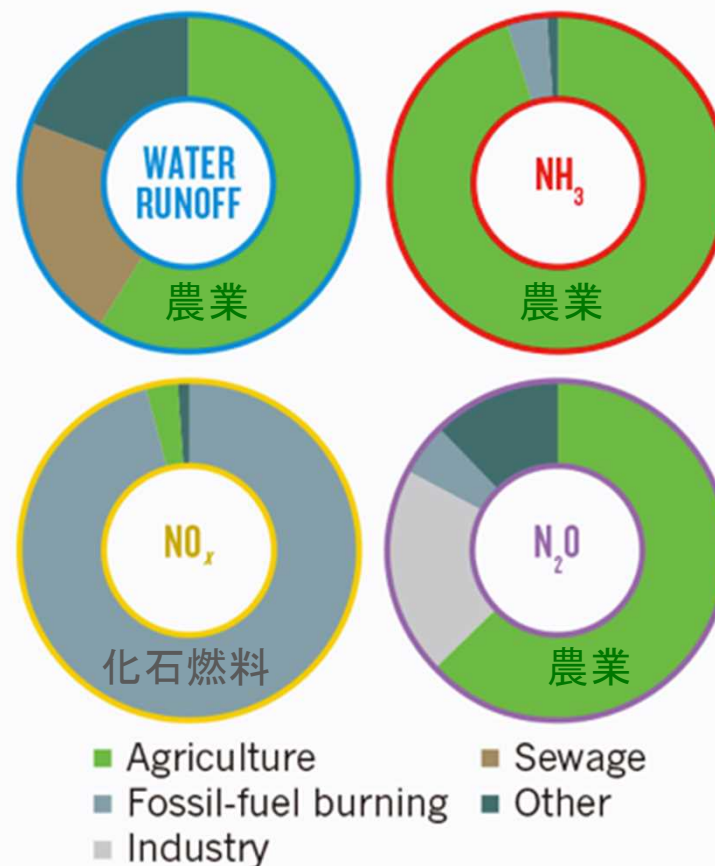
今は気候変動
へのコストは
もっと高い？

人間の健康

生態系

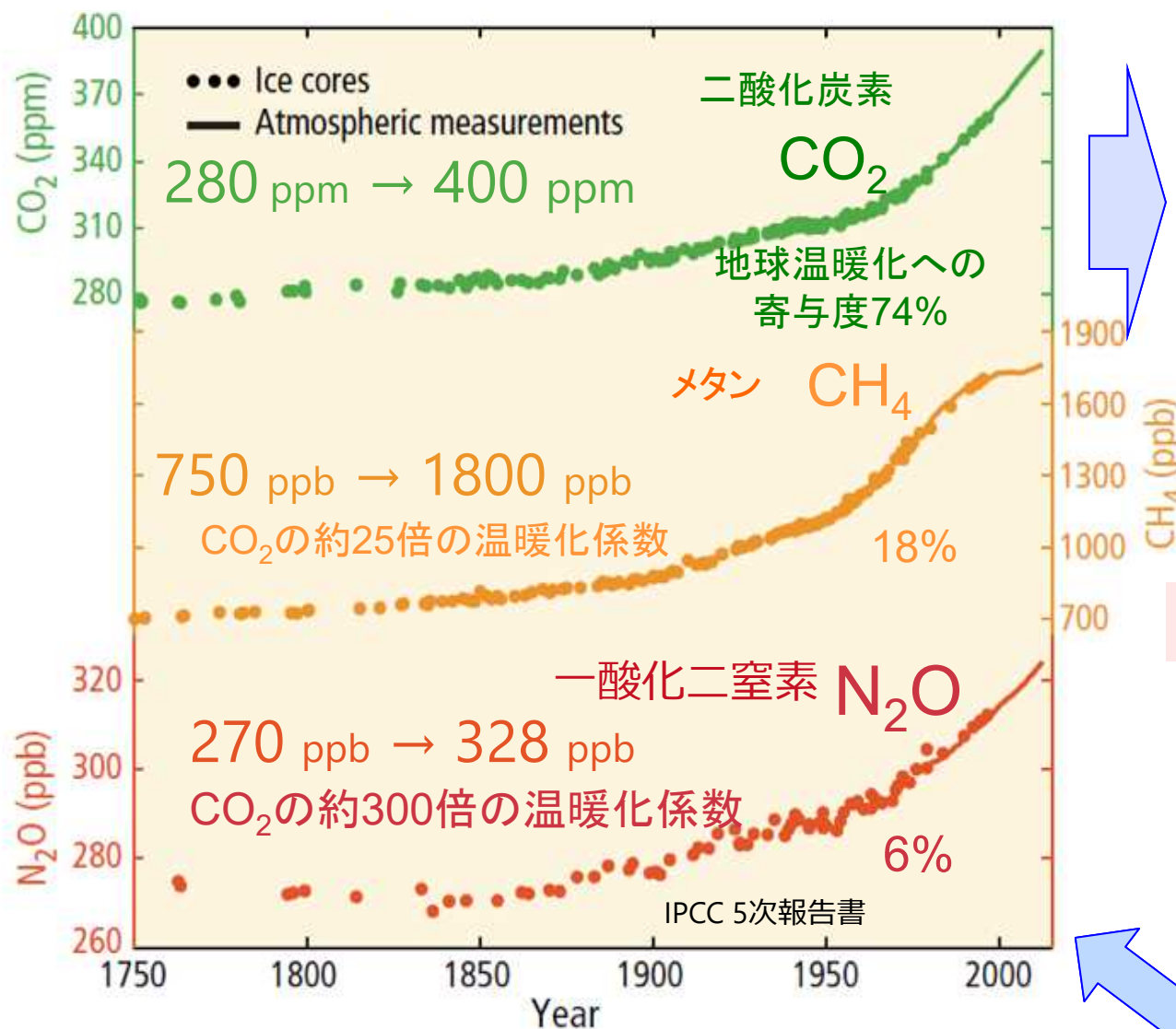
気候

MAIN NITROGEN SOURCES

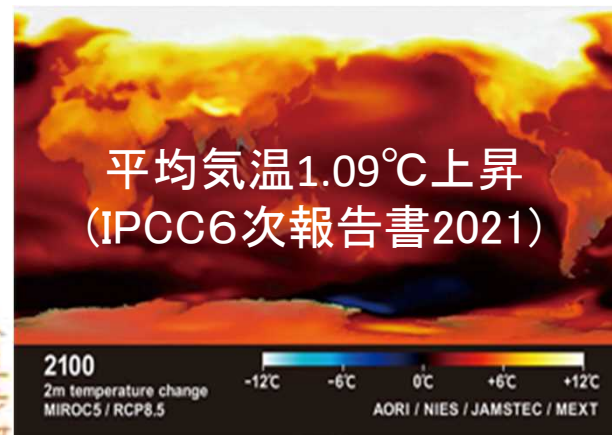


Sutton (2011) in Nature

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

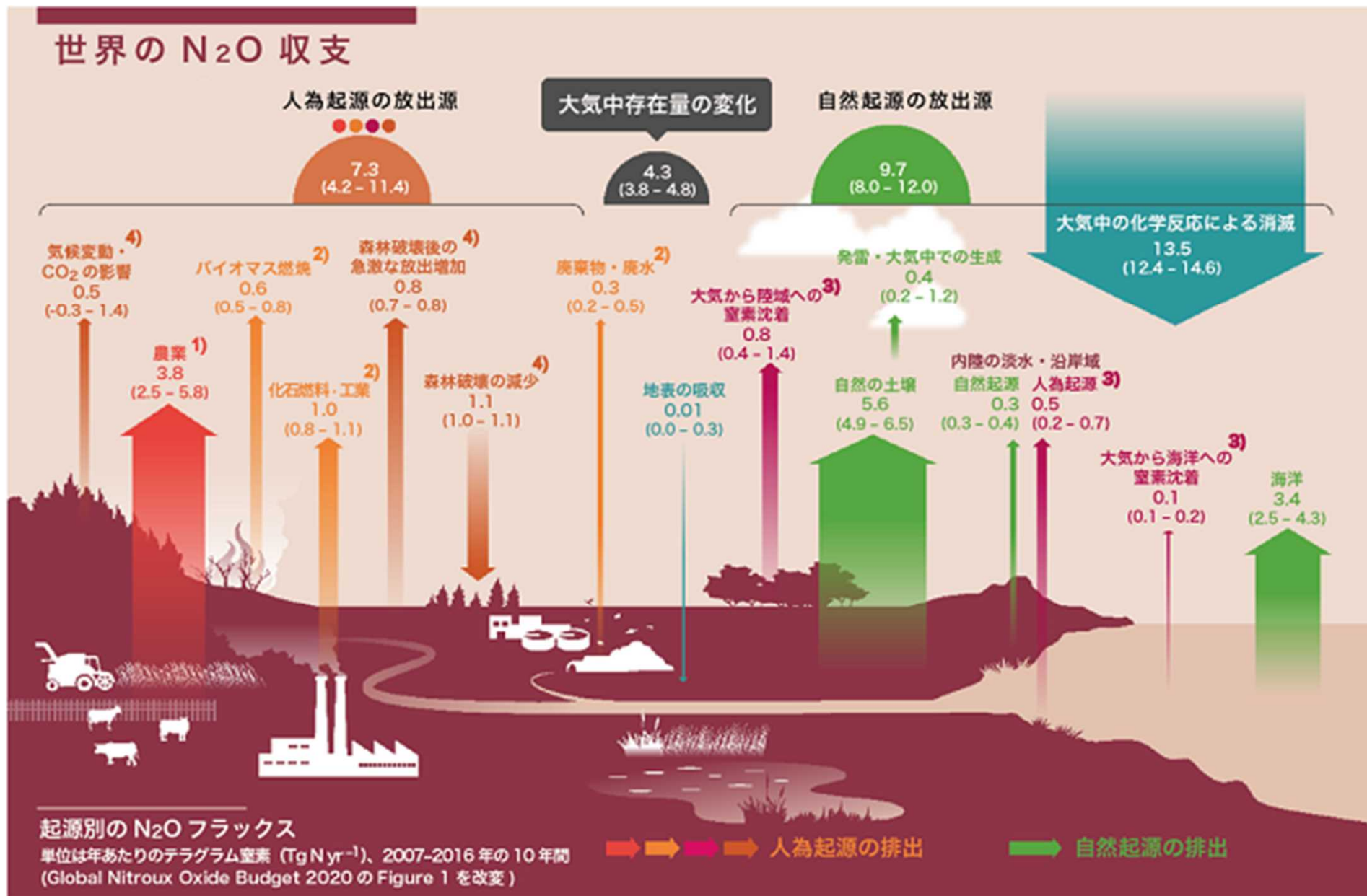
甚大な災害
生活基盤
の破壊



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)ためにはCO₂以外の温室効果ガス削減も必須

いかにCO₂, CH₄, N₂Oの人為的な排出を削減するか?

農地は最大の人為起源N₂O放出源

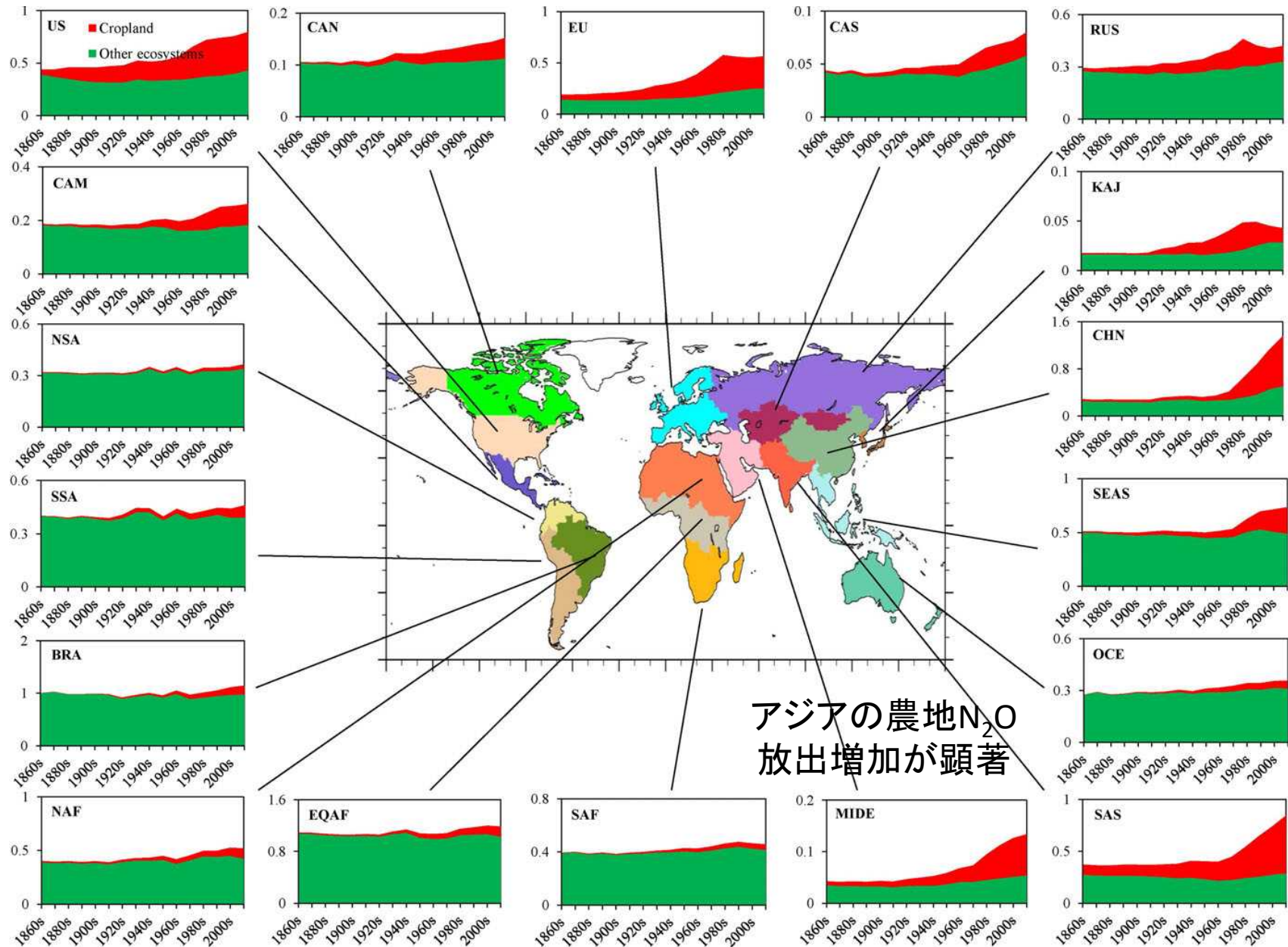


Tian et al. Nature 568:248-256, Oct 8. 2020

国環研HPより

農地由来のN₂O放出の増加(赤)

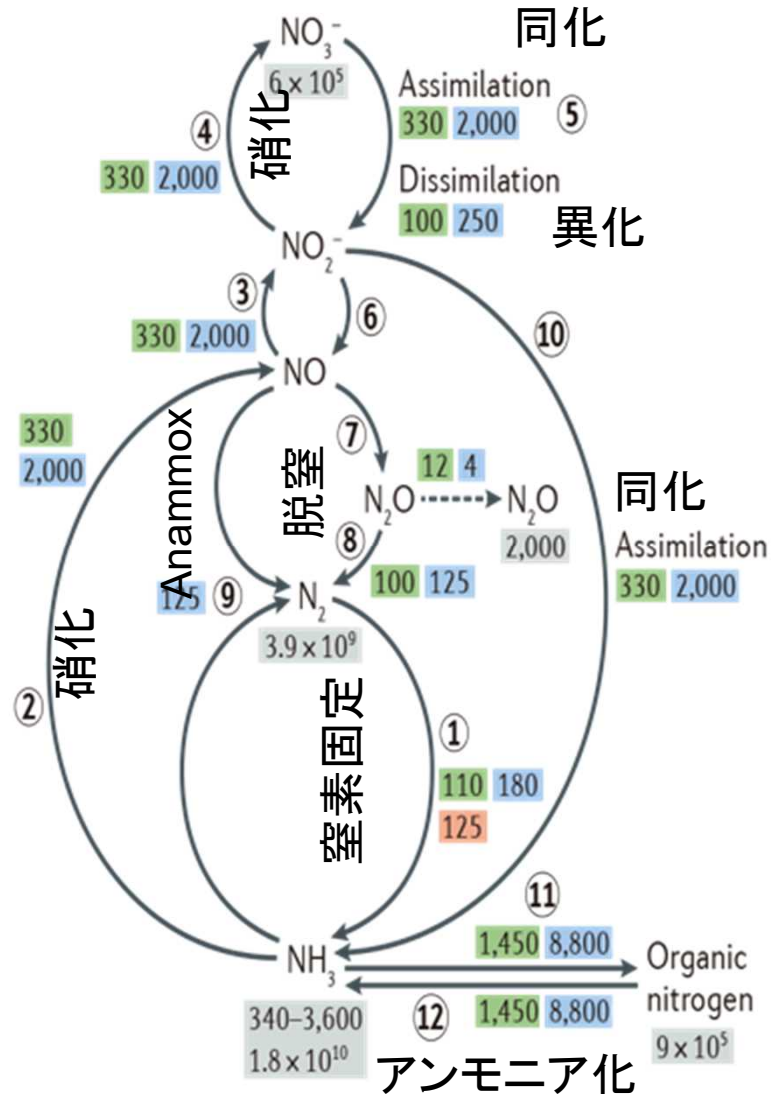
土壌N₂O発生(Tg N₂O-N_Year)



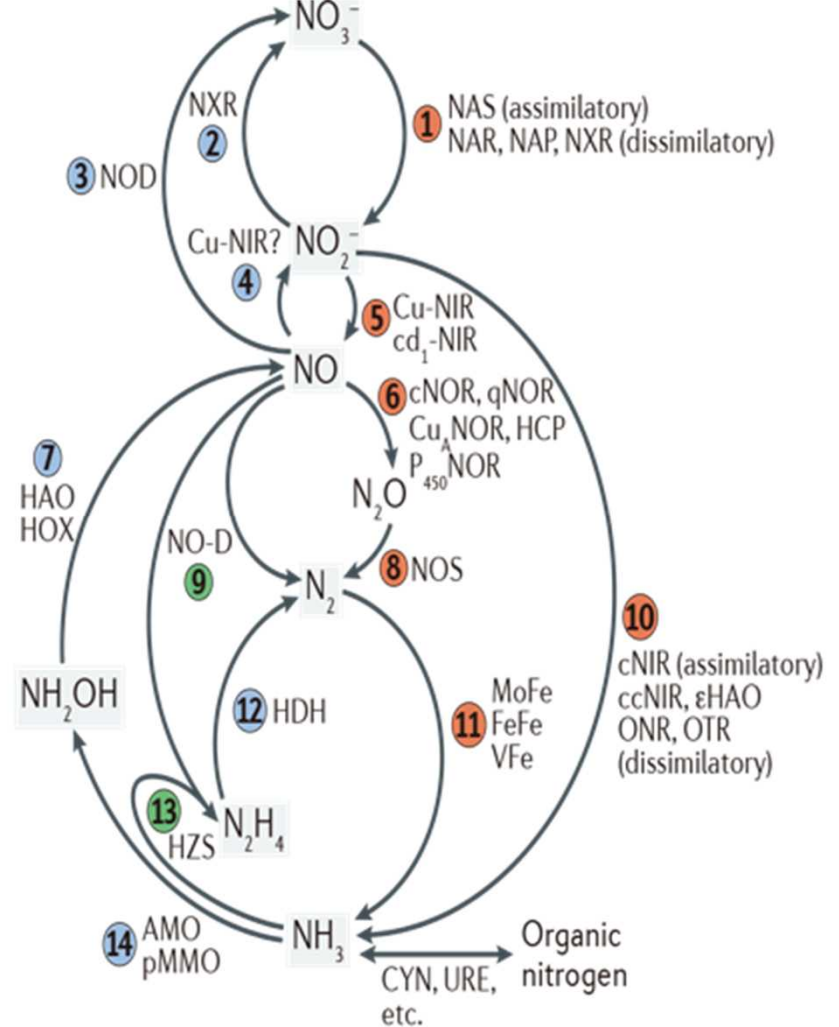
Tian et al. (2018) BAMS

微生物から見た複雑な窒素循環

生物地球化学的な N 循環



微生物による N 形態変化の酵素



微生物の種々の酵素により触媒

ダイズ根圏からの N_2O の発生機構とその削減

温室効果ガス
 N_2O



老化根粒

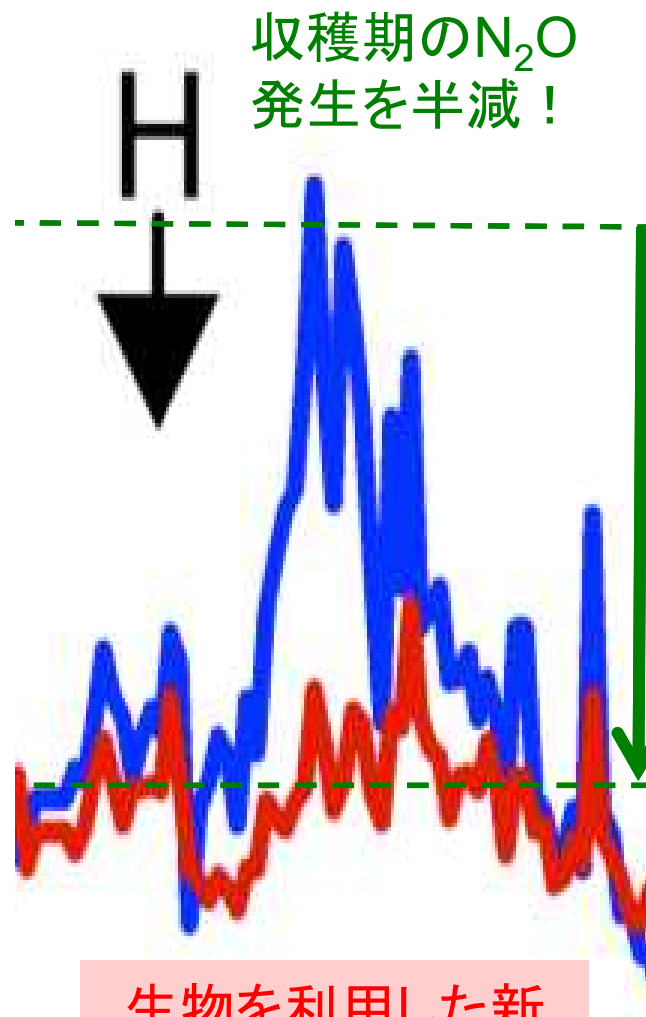


根粒の窒素含量5%
程度で、CN比は低い

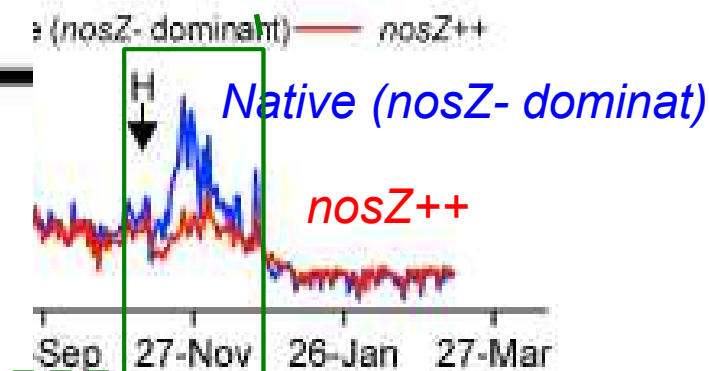
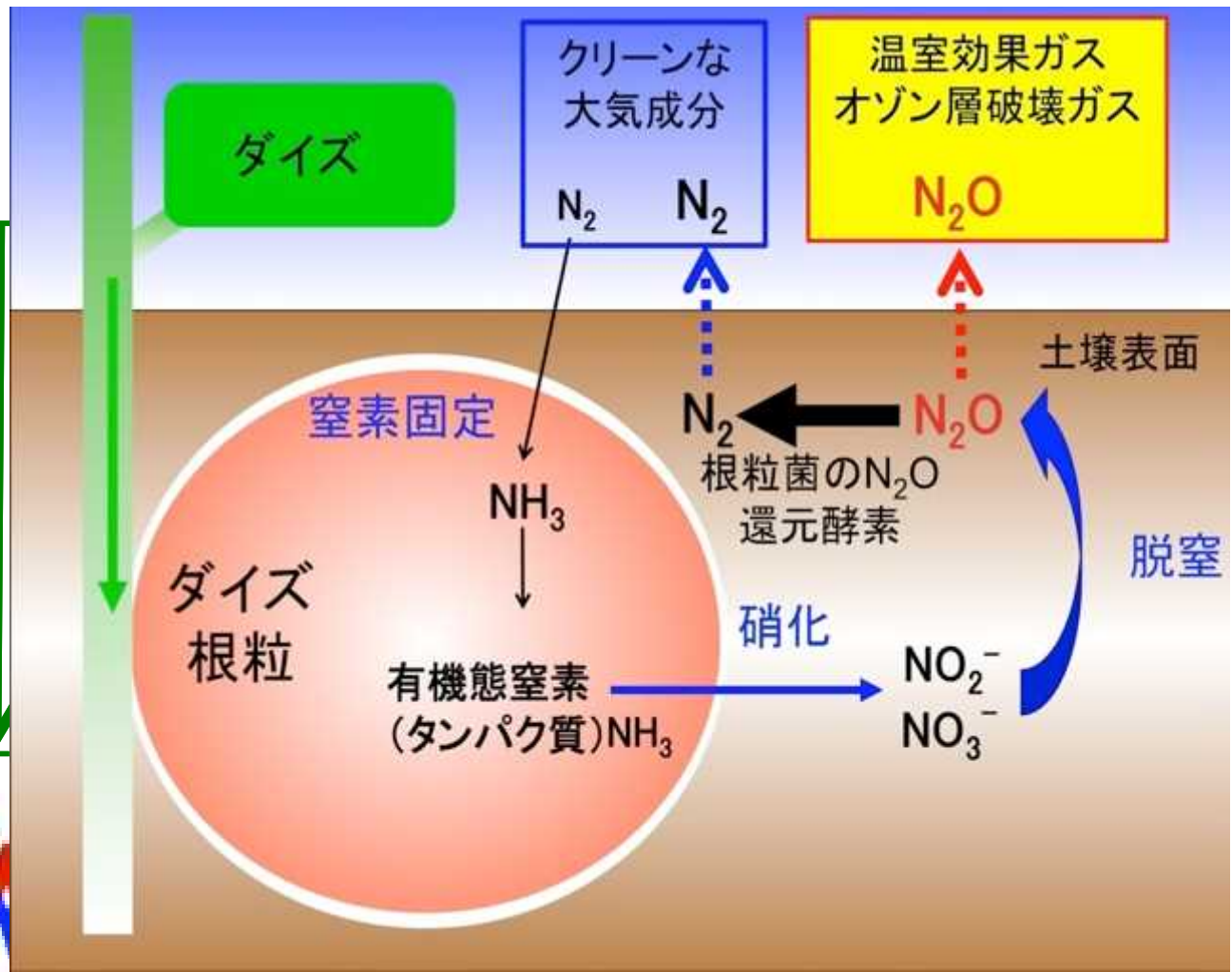
新鮮根粒



Inaba *et al.* M&E 2009, 2012
Itakura *et al.* AEM 2008,
Nat. Climate Change 2013
Sánchez and Minamisawa
Front. Microbiol. 2019.



27-Nov



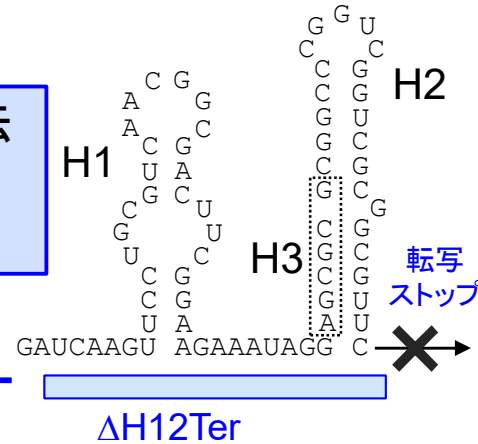
Itakura *et al.* Mitigation of nitrous oxide emissions from soils by *Bradyrhizobium japonicum* inoculation. **Nature Climate Change, 2013**

Termination

Antitermination

NasSはNasTと
二成分制御系として機能

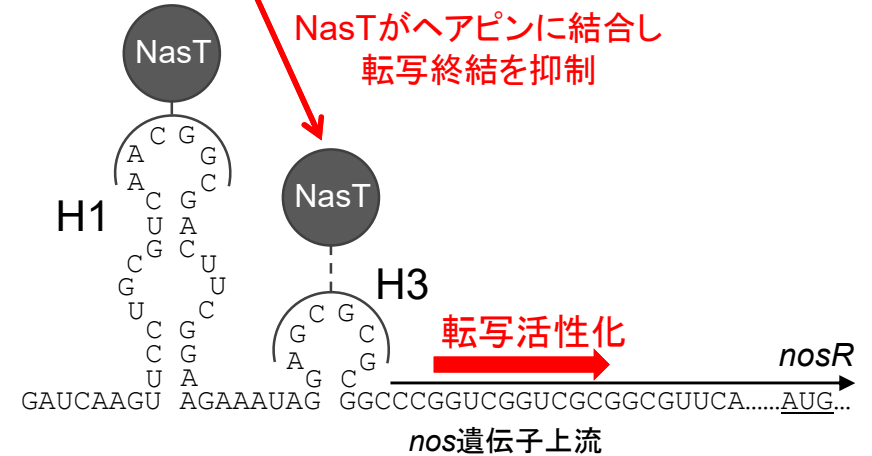
通常は
NasS/NasTが結合



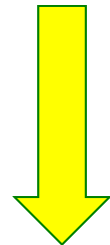
ヘアピン削除株は*nos*遺伝子発現のみを活性化
理想的なNos強化株！

変異NasS
*nasS*変異株はNasTを遊離

NasTがヘアピンに結合し
転写終結を抑制



最近ヘアピンのない野生株
Nos強化根粒菌も発見！



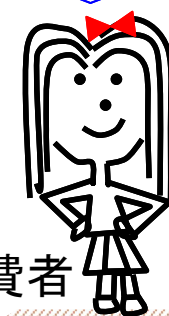
生産者

地球温暖化防止

オゾン層保全

N₂O削減

N₂O



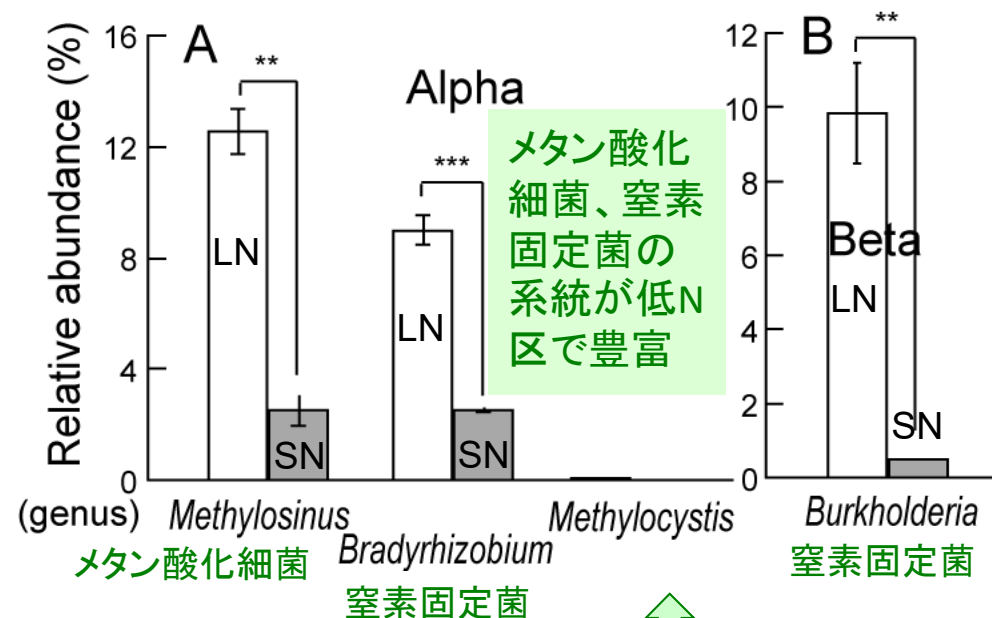
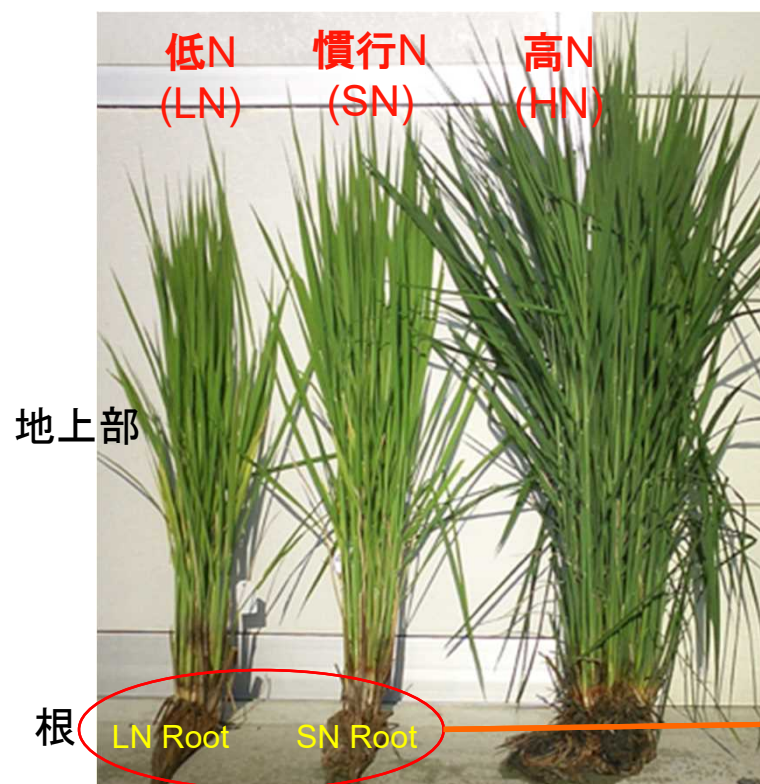
消費者

地球環境に優しく栽培された作物を、積極的に買いたい！



肥料削減は持続的農業の目標

Ikeda et al. M&E 2014



細胞濃縮後メタゲノム解析

系統解析

機能解析

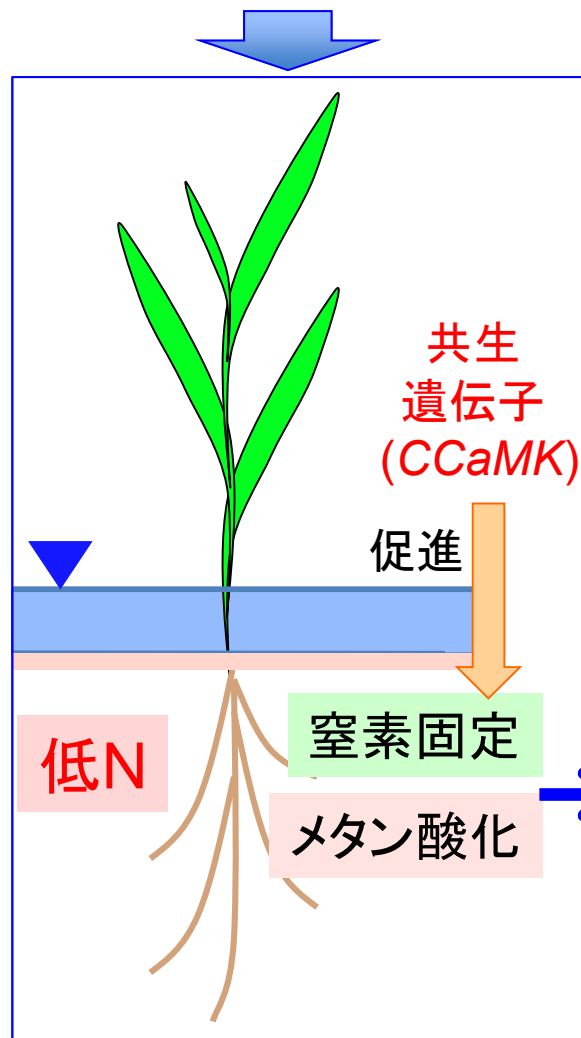
低N区でメタン酸化遺伝子が有意に高い。

機能	Subcategory or function	Gene	Abundance (10 ⁻⁵)		Ratio	Probability
			LN root	SN root	LN/SN	t-test
窒素固定	Nitrogenase reductase	<i>nifH</i>	14.8	10.0	1.5	0.111
メタンサイクル	Particulate methane monooxygenase	<i>pmo</i>	28.8	7.0	4.1	0.003
	Soluble methane monooxygenase	<i>mmo</i>	27.5	5.9	4.7	0.000
	Methyl-coenzyme M reductase	<i>mcr</i>	3.8	10.8	0.4	0.020

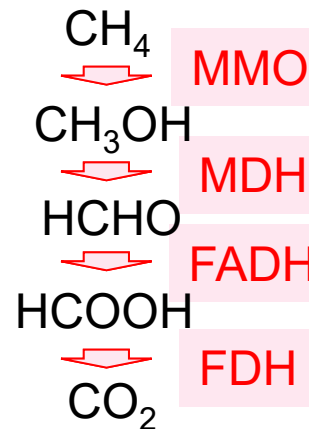
誰がメタン酸化と窒素固定を行っているか？

メタン酸化酵素と窒素固定酵素の持ち主を調べた！

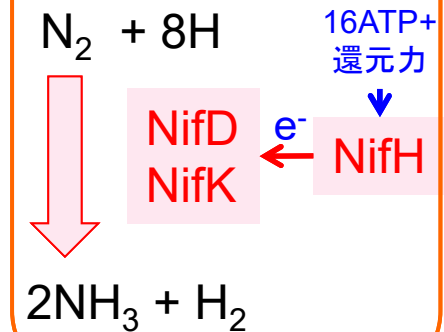
15N/13Cトレーサー実験
イネ共生遺伝子変異体



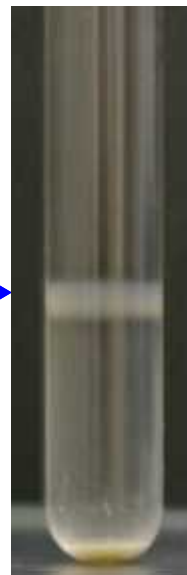
メタン酸化酵素



窒素固定酵素
(ニトロゲナーゼ)

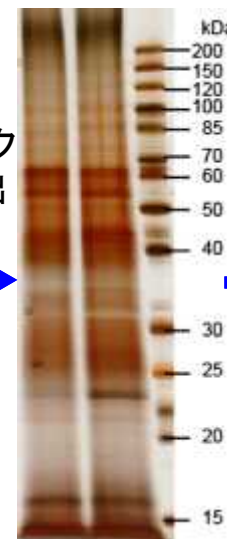


イネ根の
細菌細胞



SDS-
PAGE

タンパク
質抽出



メタプロテオームによる
酵素タンパク質同定

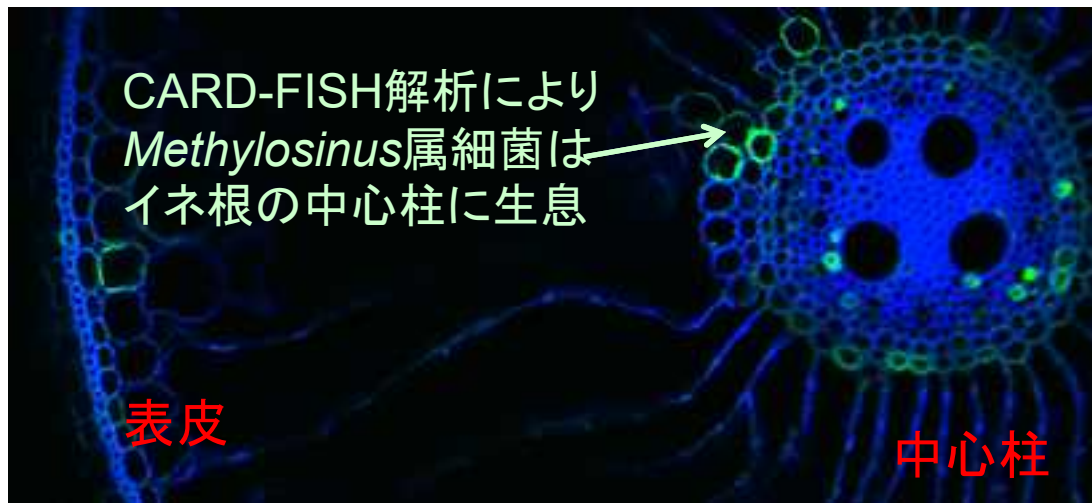


Nano_LC-MS/MS Calculation

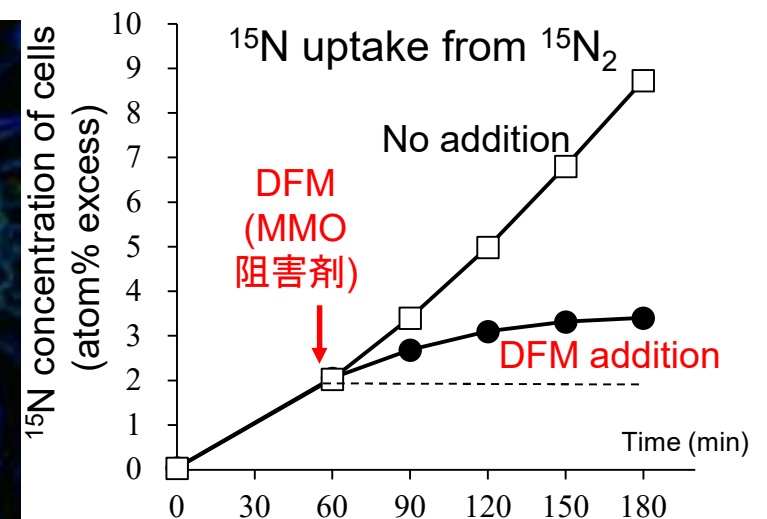
イネ根細菌叢からのメタン酸化と窒素固定の酵素ペプチド検出数

科	属	メタン酸化酵素				窒素固定酵素		
		MMO	MDH	FADH	FDH	NifH	NifD	NifK
<i>Methylocystacea</i>	<i>Methylosinus</i>	138	30	22	10	7	5	8
<i>Methylocystacea</i>	<i>Methylocystis</i>	38	41				1	2
<i>Beijerinckiaceae</i>	<i>Methylocella</i>	19						3
<i>Methylobacteriaceae</i>	<i>Methylobacterium</i>		18					
<i>Bradyrhizobiaceae</i>	<i>Bradyrhizobium</i>		3		1		2	
Others	Uncultured bacteria		7					

*Methylosinus*属細菌がメタン酸化と窒素固定を同時に行っていた。



Bao *et al.* AEM 2014. Shinoda *et al.* SBB 2019



*Methylosinus*属分離菌3S-1はメタン酸化依存的な窒素固定活性を示した。

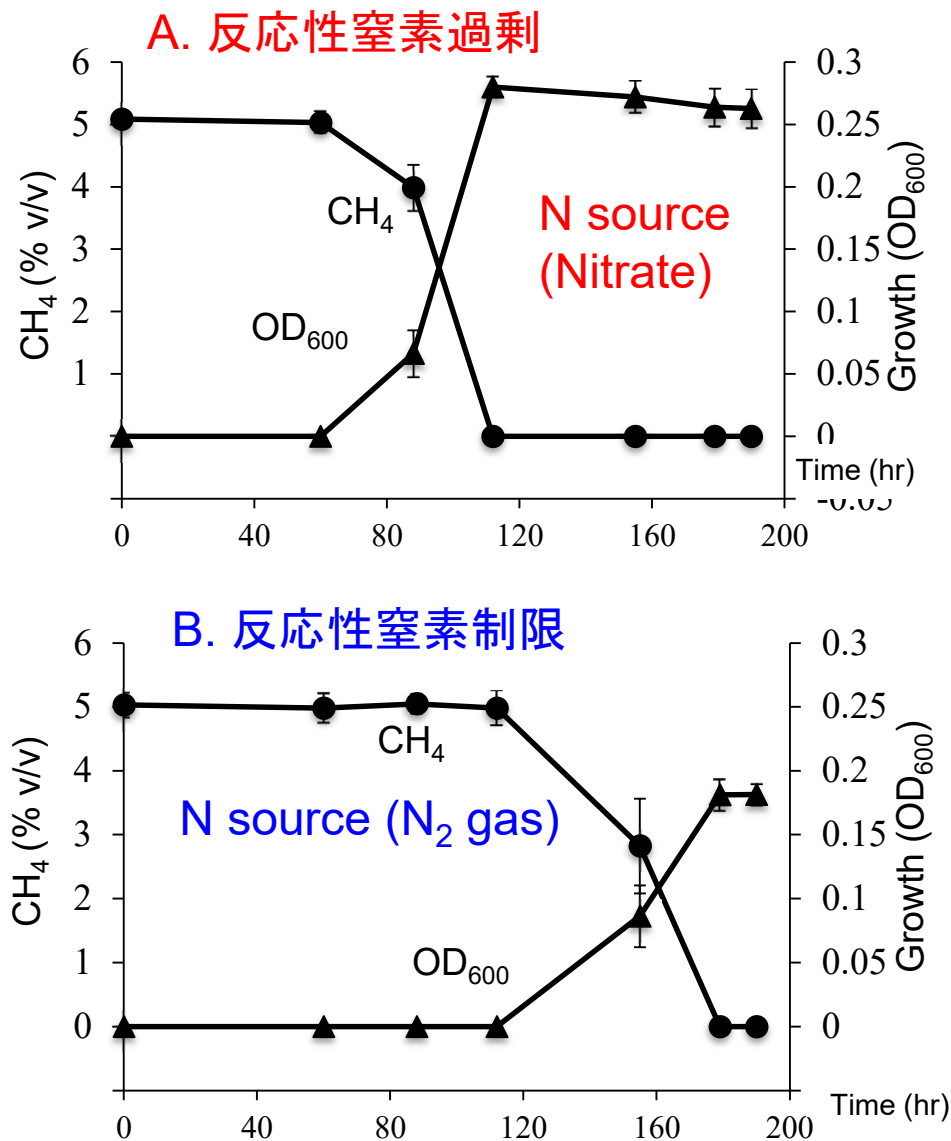
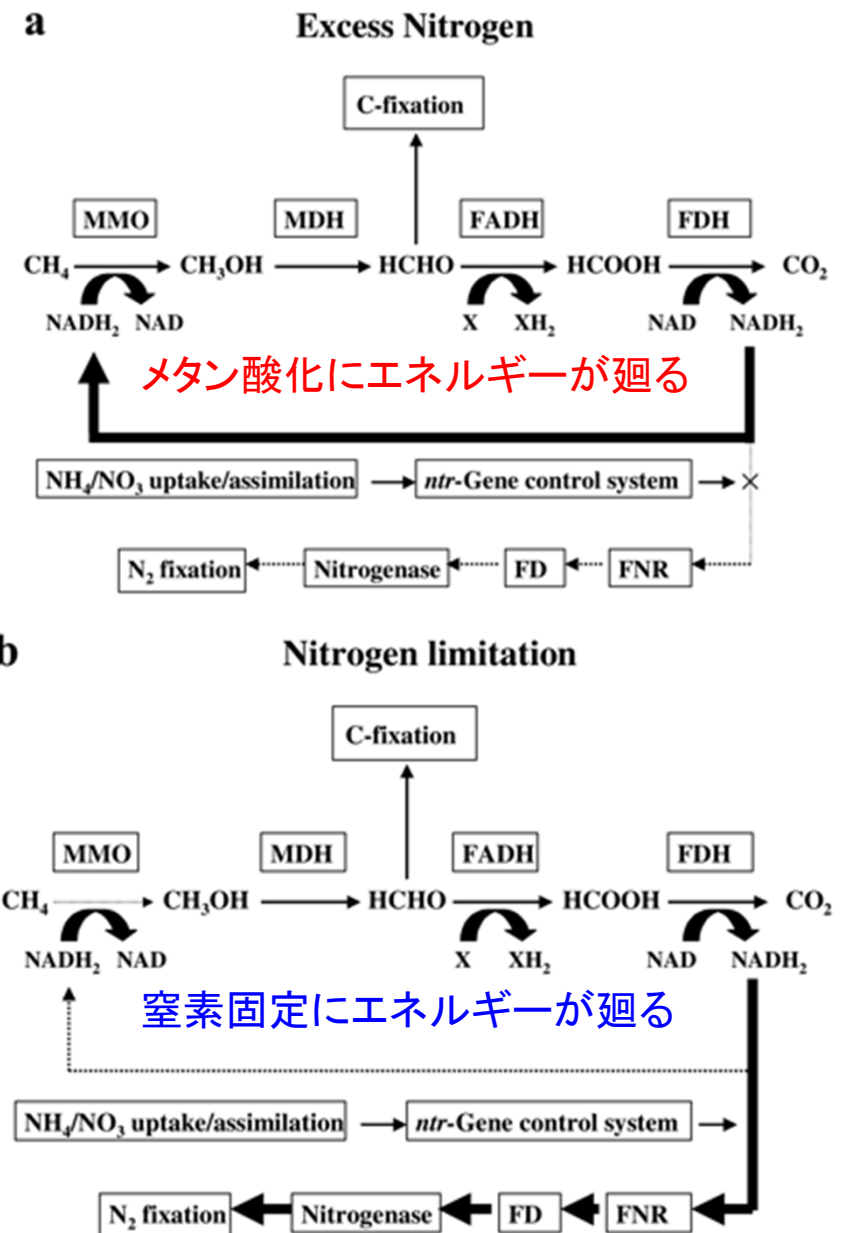


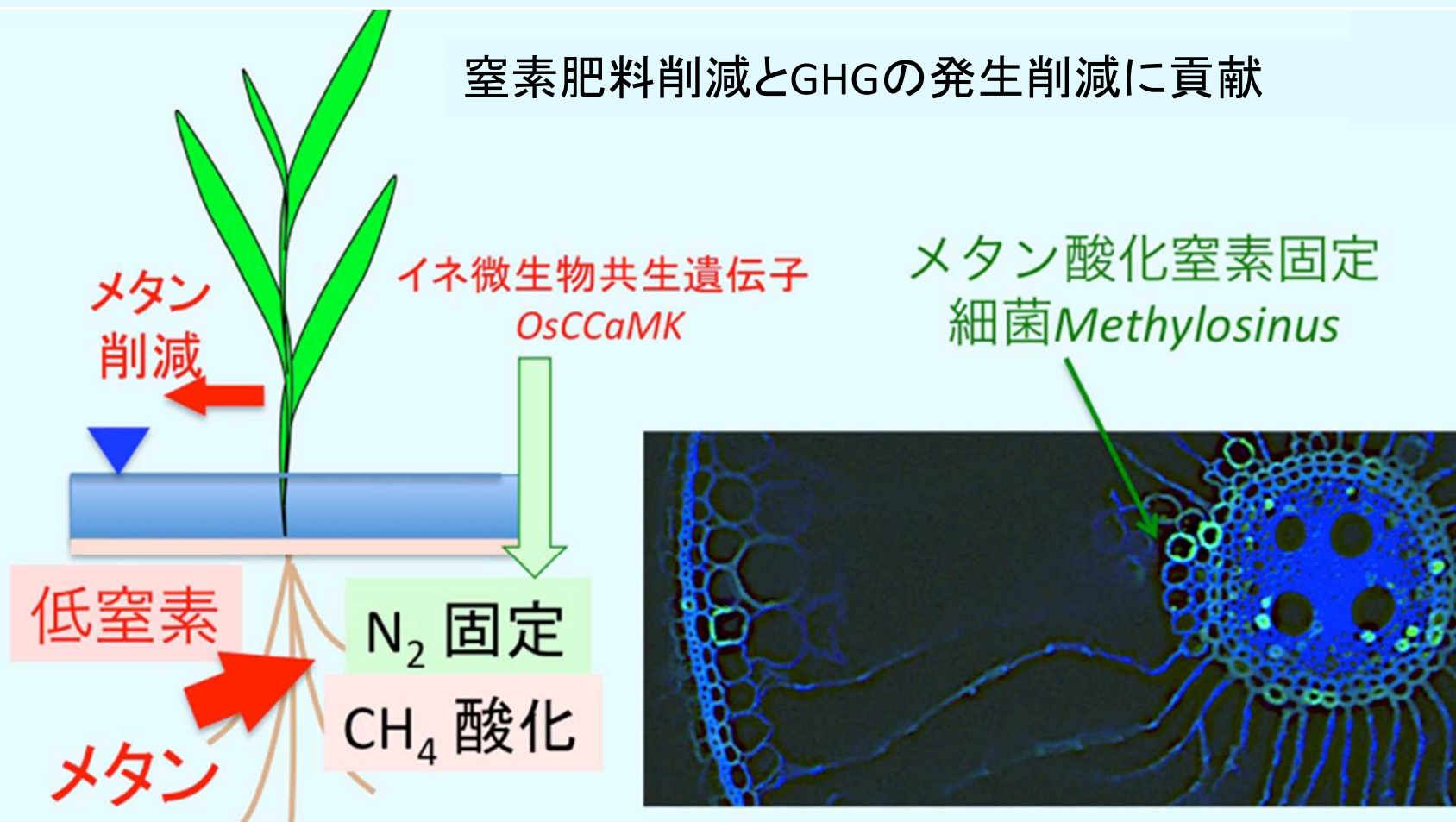
Fig. 3. Growth profiles of *Methylosinus* sp. 3S-1 in NMS (A) and N-free NMS (B) media. Methane concentration and cell growth (OD₆₀₀) show circles and triangles, respectively. The data shows the means with SD of four determinations. (Shinoda et al. 2019)



(Bodelier and Laanbroek, 2004)

オミックス解析により水稻根のメタン酸化窒素固定を証明

窒素肥料削減とGHGの発生削減に貢献



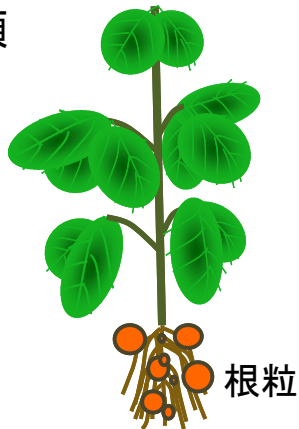
- 1) 気体 (N₂O/CH₄) から複雑な窒素循環を解明し、窒素問題解決へ！
- 2) 生物的窒素固定により化学肥料削減へ！
- 3) 窒素と炭素の代謝の相互作用も重要

マメ科作物

非マメ科作物

作物の種類

ダイズ
インゲン
アズキなど



根粒菌

Rhizobiales

窒素固定菌
の目名・属名

Bradyrhizobium
Rhizobium
Azorhizobium

すみかと窒
素固定量

根粒
細胞内共生 >



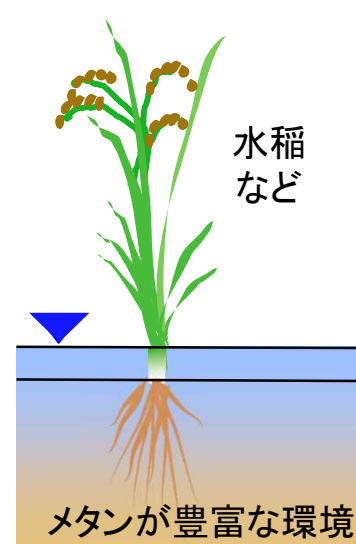
サトウキビ
ソルガム
サツマイモ
など

根粒菌の仲間

Rhizobiales

Bradyrhizobium
Rhizobium
Azorhizobium

根、地上部
細胞間隙共生 =



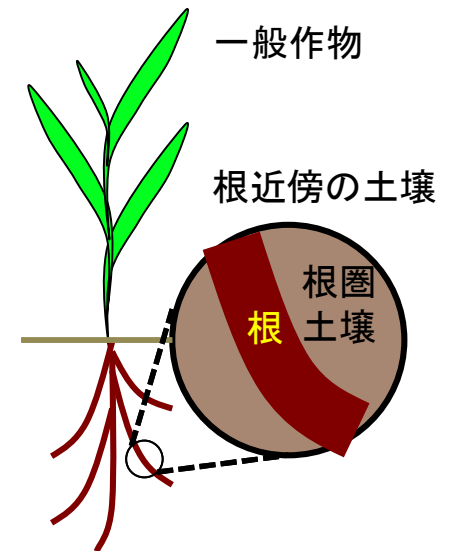
水稻
など

根粒菌の仲間

Rhizobiales

Methylosinus
Methylocystis

根の中心柱
細胞間隙共生 >



一般作物

根近傍の土壌

根圏
土壌

その他の窒素固定菌

その他の目

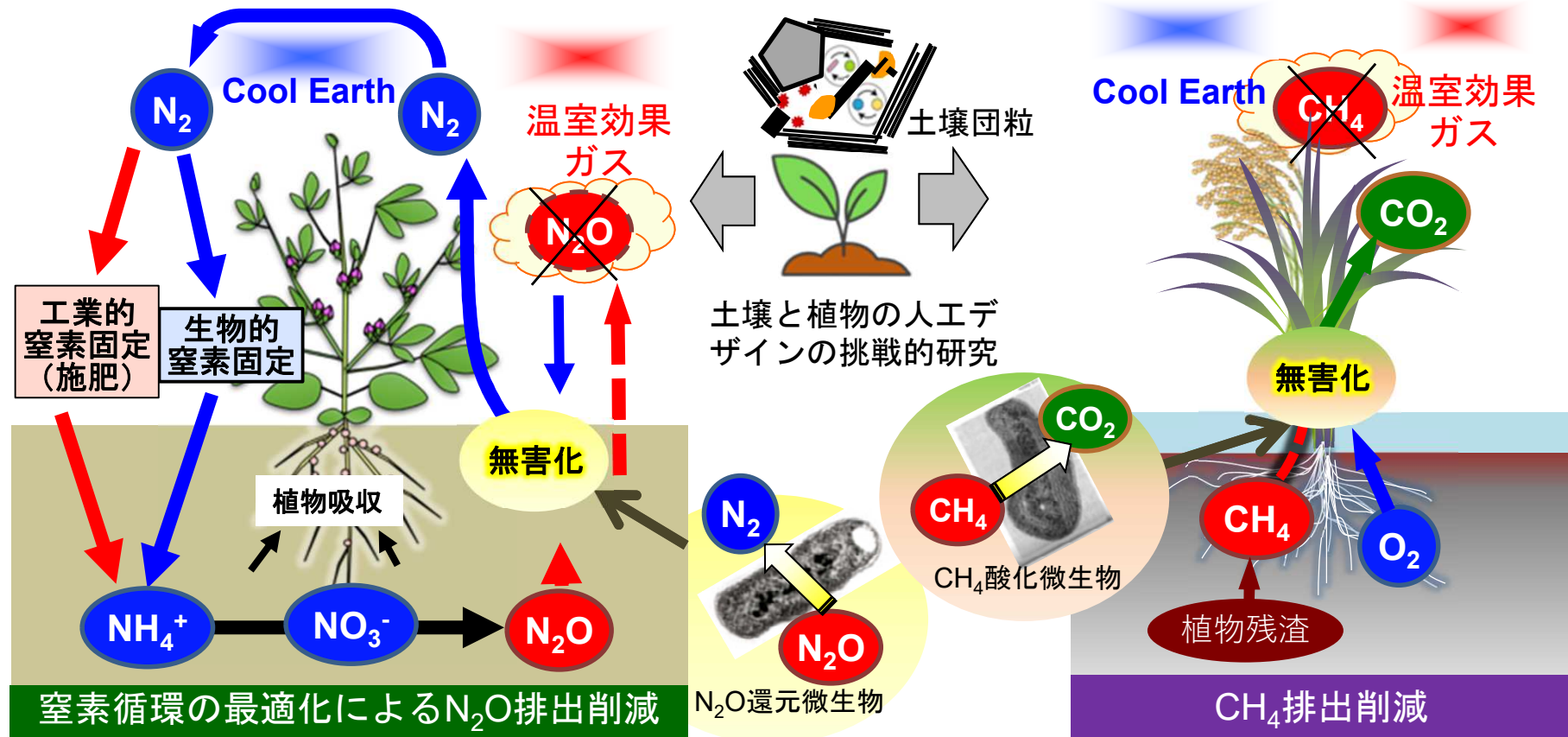
Azospirillum
Klebsiella
Azoarcus

根圏土壌
細胞外

マメ科・非マメ科作物の窒素固定菌の種類と特徴



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。

詳細はdsoilを入力しHPをみてください。

<https://dsoil.jp>

市民参加型プロジェクト

詳細はdsoilを入力しHPを

COOL EARTH  ラボ

地球冷却微生物を探せ

参加者募集中

【宮城県先行実施(予定)】2022年度より全国展開予定



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

⋮

市民科学

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~

