

国際窒素管理の動向と 大気・水環境との関係

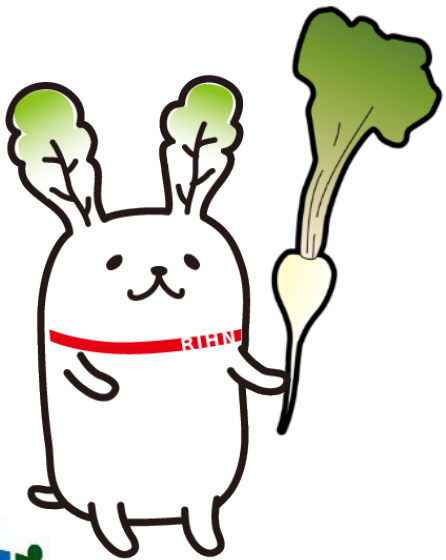
水・大気環境連携セミナー

2023年10月31日

人間文化研究機構

総合地球環境学研究所・教授

林 健太郎



本日の話題

1. 窒素問題のあらまし
2. 窒素汚染と水・大気環境の関わり
3. 国際窒素管理の動向
4. 持続可能な窒素利用に向けて

1. 窒素問題のあらまし

窒素は2種類に大別

安定な分子窒素と, その他の反応性窒素

- 環境中で **不活性** か **反応性** か

不活性: 分子窒素 (N_2), 圧倒的に大量, 大気の78%

反応性: その他の窒素化合物, **反応性窒素 (Nr)** と総称

Nr大気組成

N_2O 335 ppb 増加中

NO 1~100 ppb

NO_2 1~100 ppb

HNO_3 0.1~10 ppb

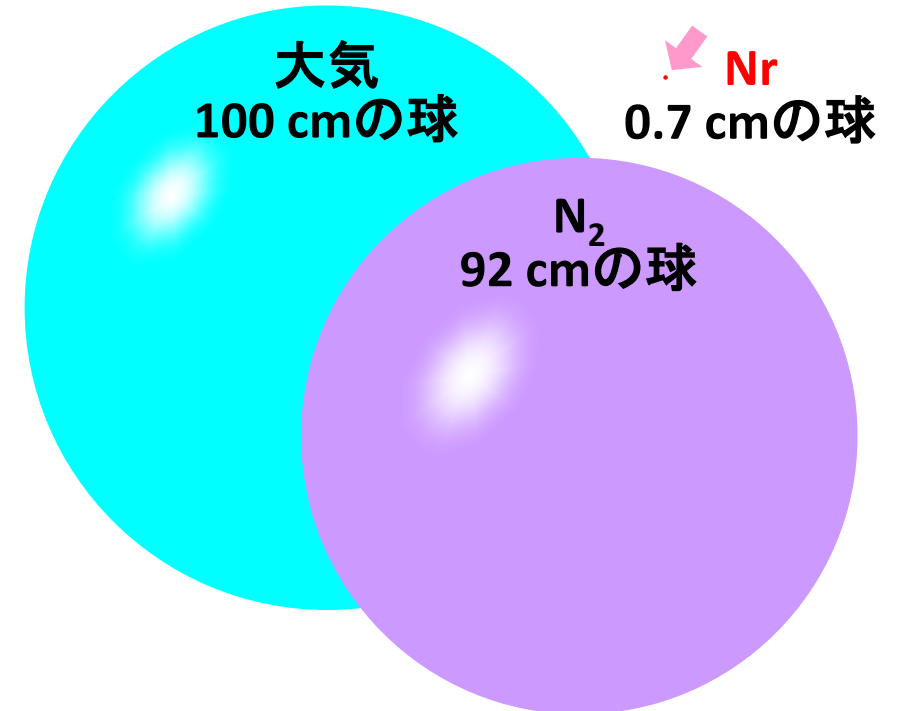
HNO_2 0.1~10 ppb

NH_3 0.1~100 ppb

*1 ppb = 10^{-9} (10億分の1)
= 0.0000001%

環境中の主な反応性窒素

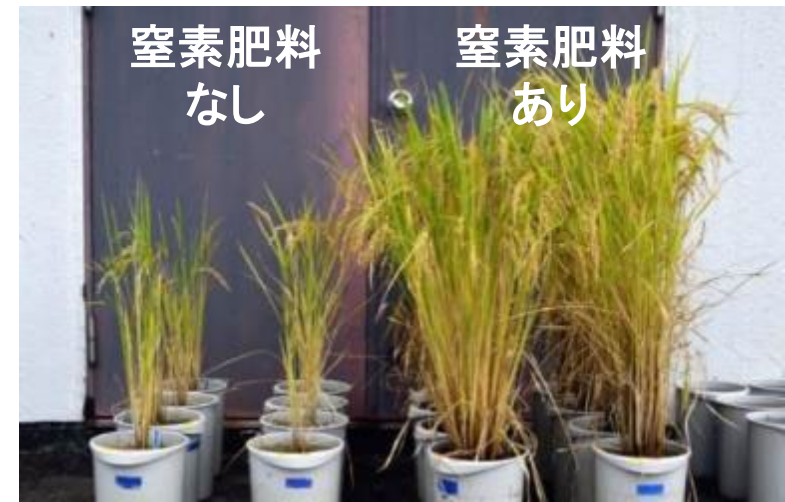
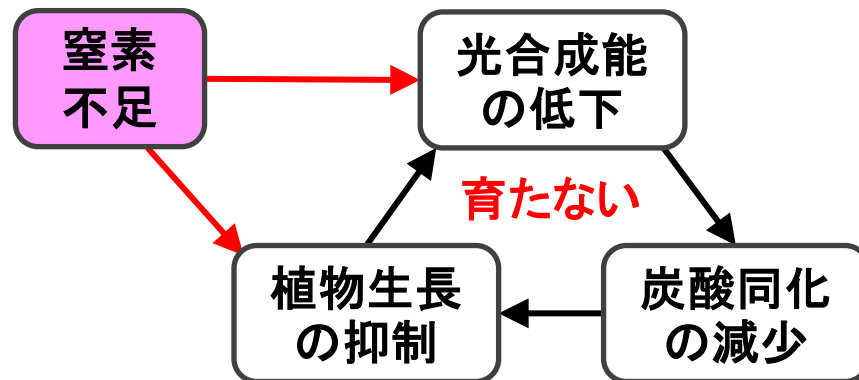
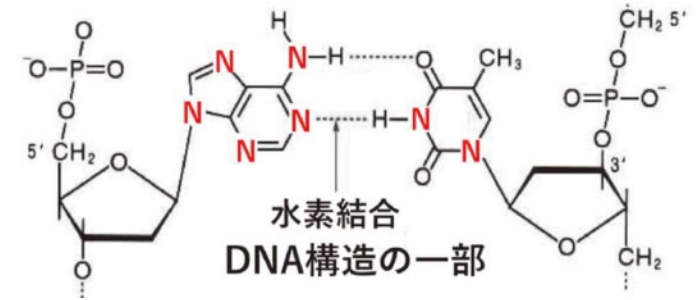
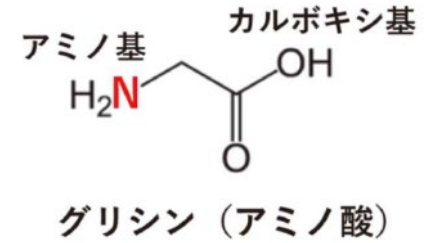
還元窒素	アンモニア (NH_3) とそのイオン・塩 (NH_4^+) 有機態窒素 (アミン, アミノ酸など, 例: 尿素)
酸化窒素	硝酸 (HNO_3) とそのイオン・塩 (NO_3^-) 亜硝酸 (HNO_2) とそのイオン・塩 (NO_2^-) 一酸化窒素 (NO) 二酸化窒素 (NO_2) (狭義の) 窒素酸化物 (NO_x) (NO と NO_2) 一酸化二窒素 (N_2O)



窒素(N)は生物の必須元素

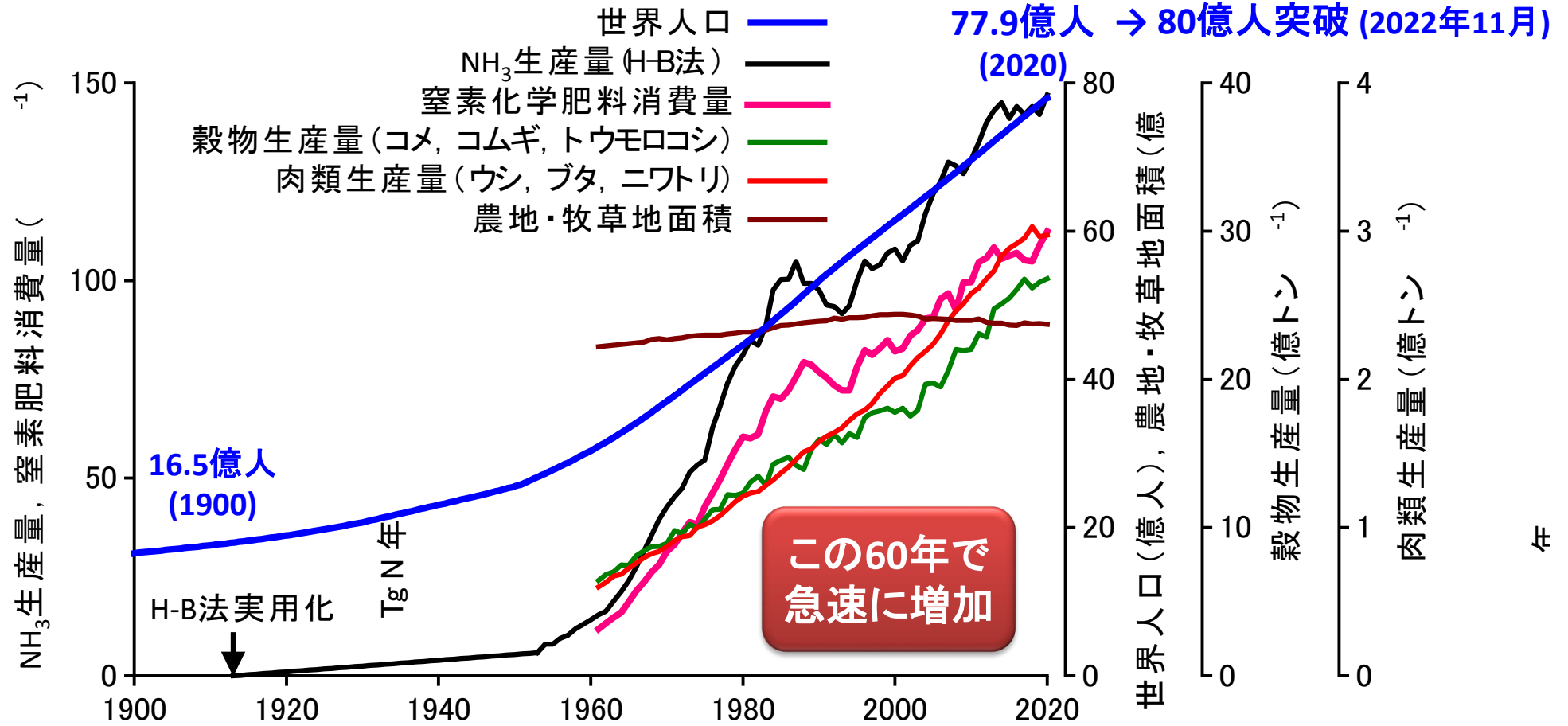
生命代謝, 体づくり, 遺伝情報

- 窒素は, アミノ酸や核酸塩基の形成に必須
 - アミノ酸はタンパク質, 核酸塩基はDNAの素材
- 多くの生物は大気中の窒素ガス(N_2)を利用できない
 - 動物: 有機態窒素(他の生物・有機物)を摂食
 - 植物: 無機態窒素(特にアンモニアと硝酸)を吸収
- 酵素もタンパク質 → 光合成を担うのは酵素 → **窒素は重要な肥料**

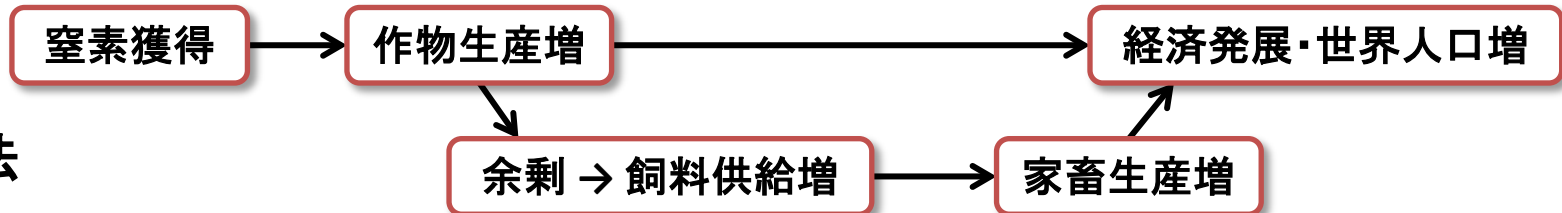


人類は20世紀はじめにNrを獲得

N₂からNH₃を望むだけ合成可能に

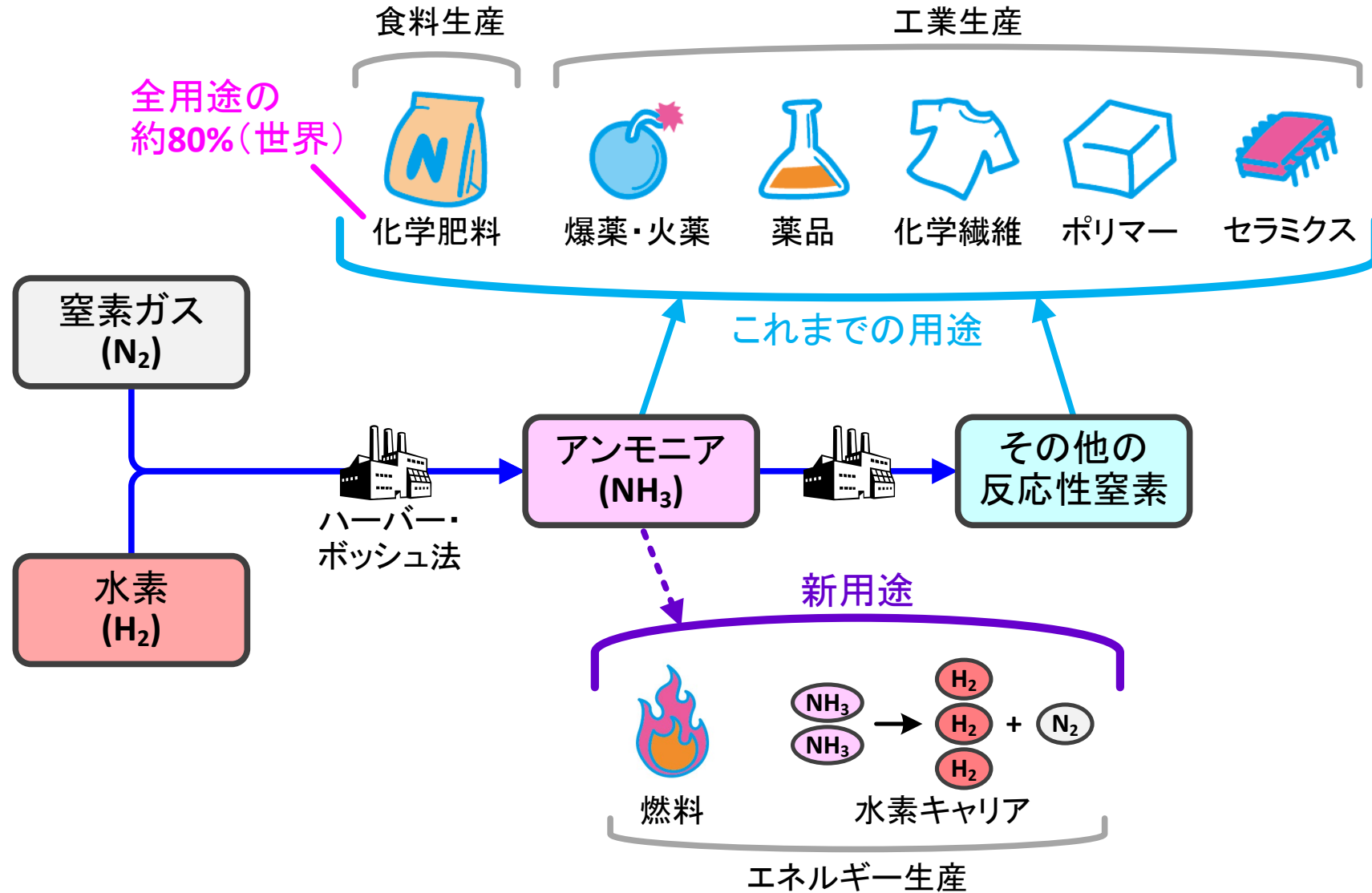


H-B法:
ハーバー・ボッシュ法



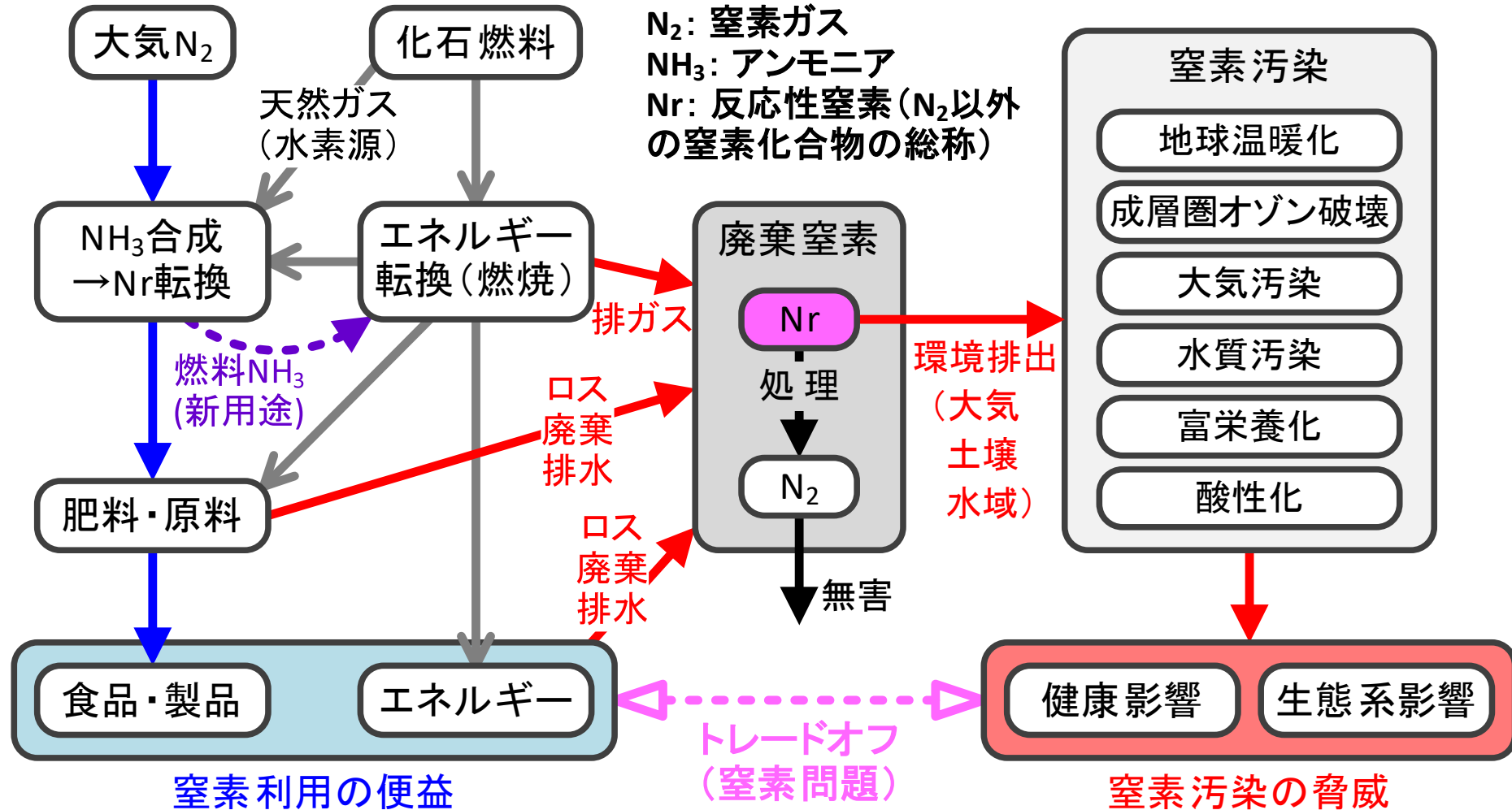
多様化した窒素の用途

肥料, 原料, そして燃料



窒素問題

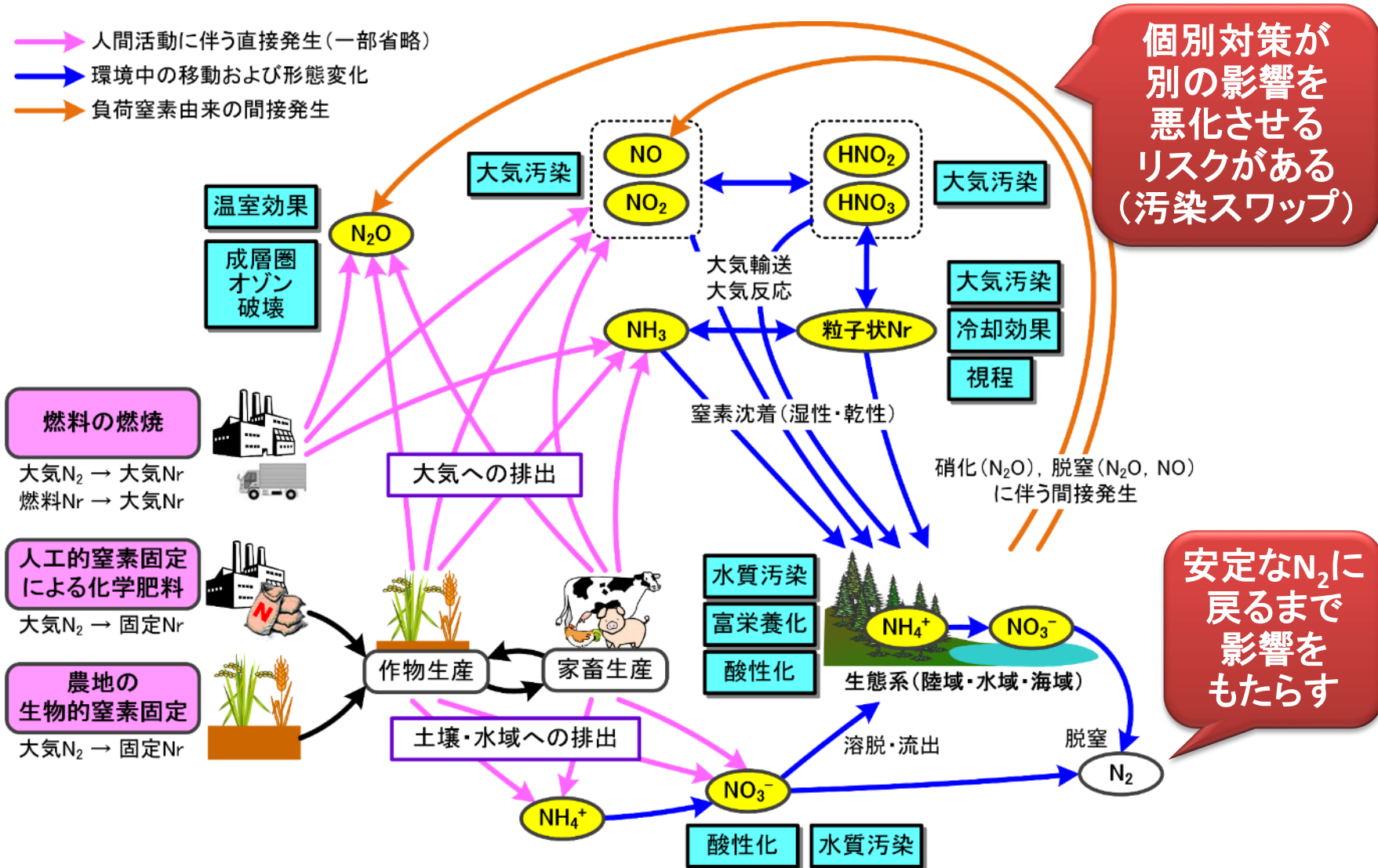
窒素利用(便益)と窒素汚染(脅威)のトレードオフ



2. 窒素汚染と水・大気環境の関わり

窒素カスケード

窒素は大気と水をつないで巡る



窒素汚染の影響

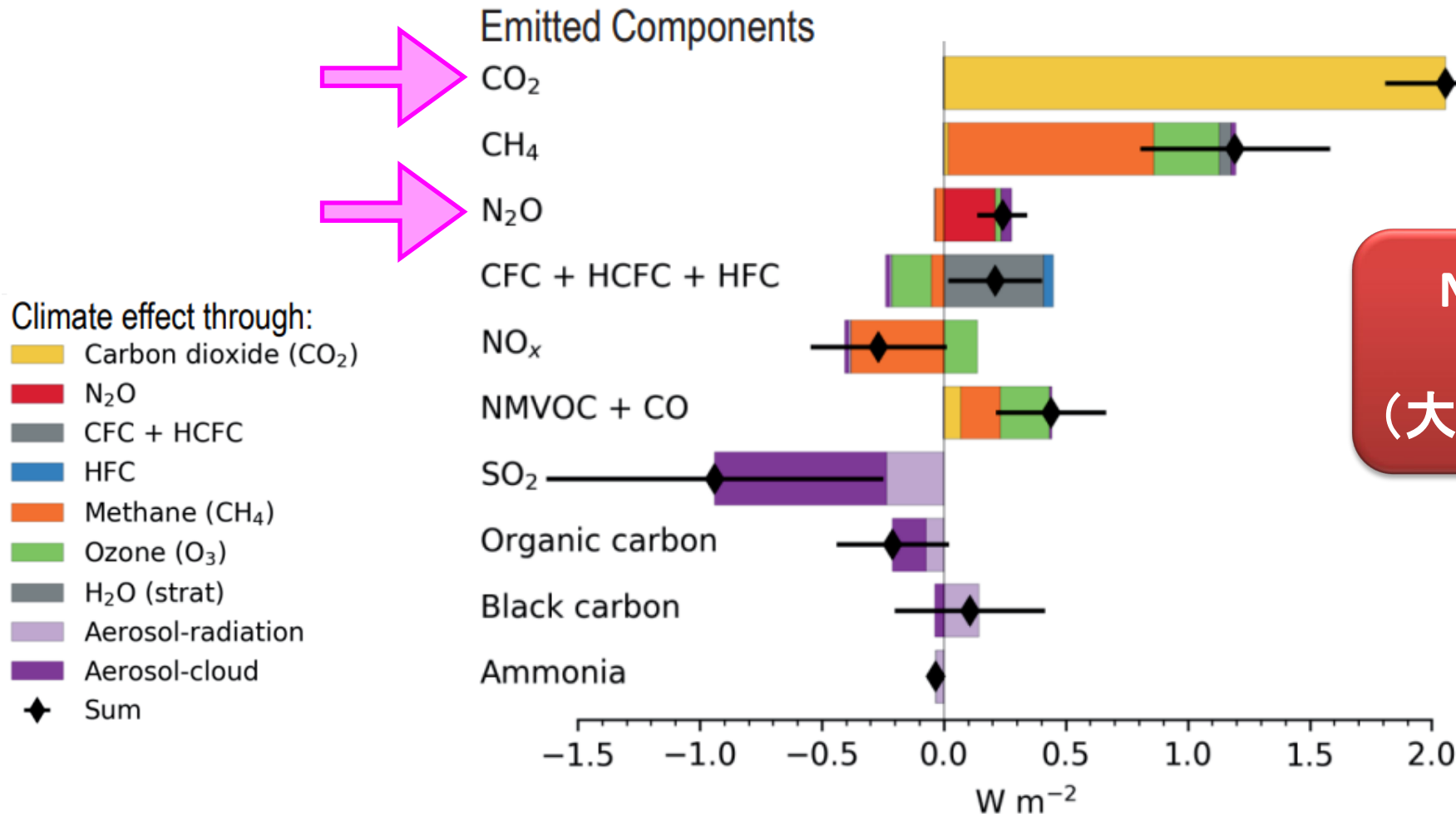
Nrは多くの環境問題に関与



窒素汚染の影響(1)

地球温暖化(N_2O , 他のガス・粒子状Nrには寒冷効果も)

(a) Effective radiative forcing
1750 to 2019



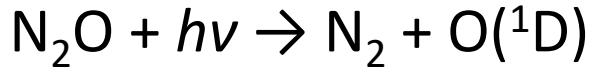
N_2O の温暖化寄与は
 CO_2 の約11%
(大気濃度は1/1000以下)

IPCC (2021)
AR6 WG1
TS Fig. TS.15

窒素汚染の影響(2)

成層圏オゾン破壊(N₂O)

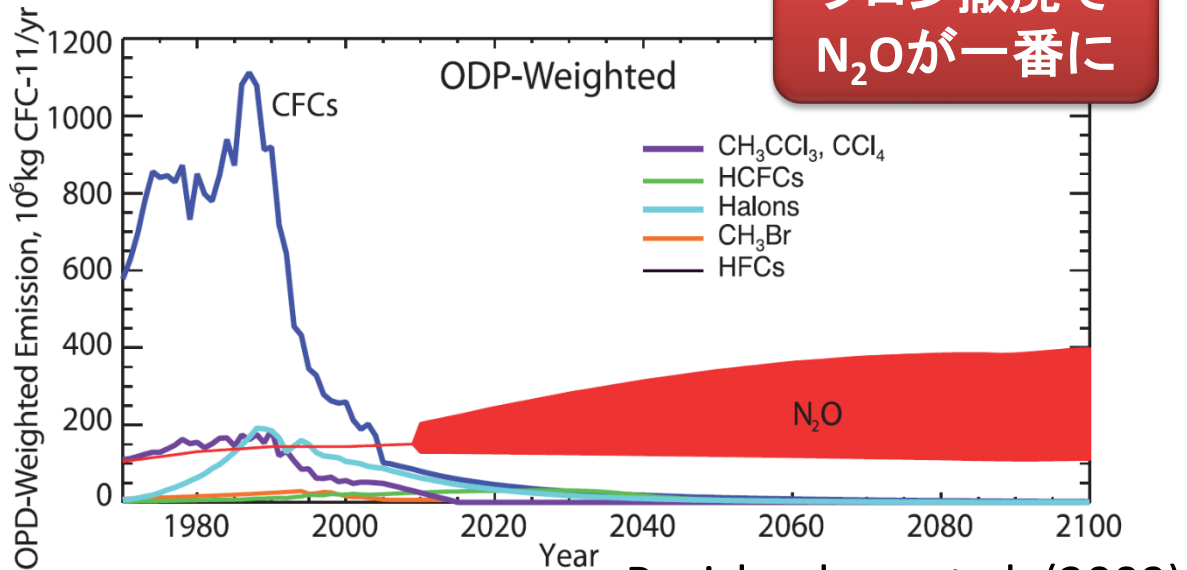
*対流圏で安定な N₂O が成層圏に入ると、



*このNOが触媒的にオゾンを破壊



フロン撤廃で
N₂Oが一番に



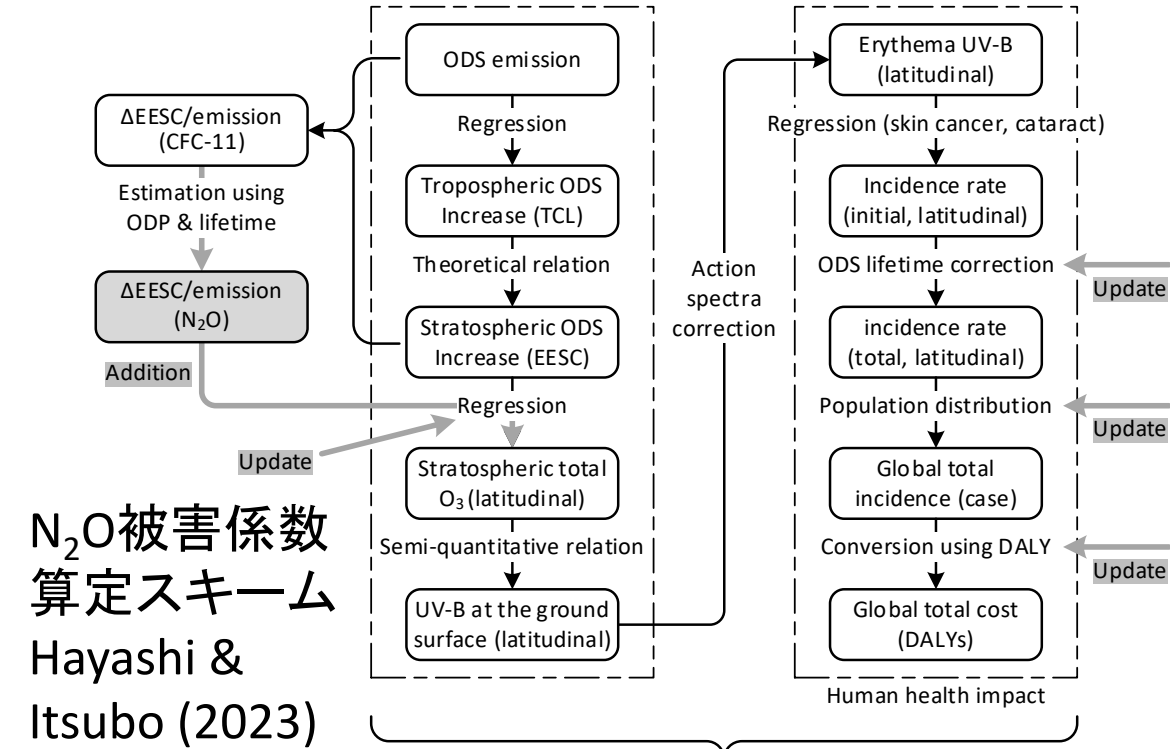
Ravishankara et al. (2009)

何が起こる？ → 地上到達UV-B増加

- 健康影響：皮膚がん, 白内障など

人為排出の世界の被害(2010年排出の総被害) (Hayashi & Itsubo, 2023)

- DALY(障害調整生命年)：170,000
- 金額：39億USD ≒ 5500億円



N₂O被害係数
算定スキーム
Hayashi &
Itsubo (2023)

Original framework (Hayashi et al. 2000, 2006)

窒素汚染の影響(3)

大気汚染(NO_x [NO , NO_2], 粒子状Nr [特にPM2.5])

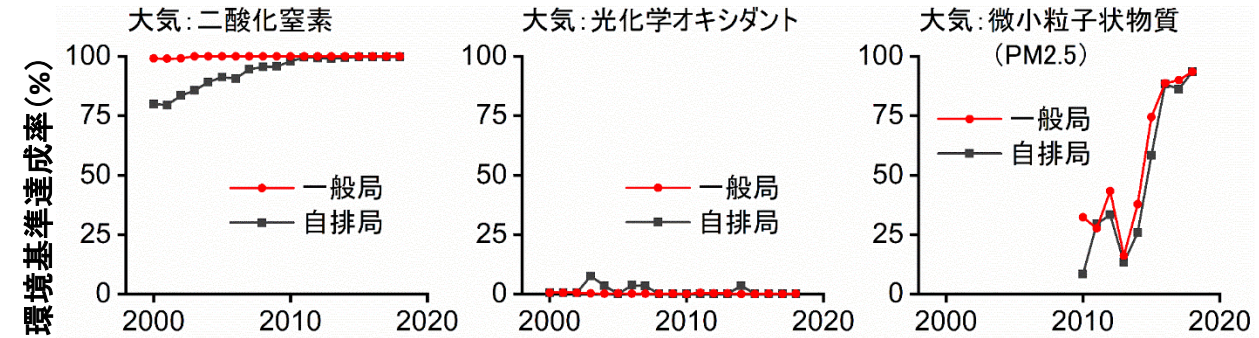
窒素酸化物(NO_x)

- 呼吸器疾患(代表的大気汚染物質)
- 対策進展, ただし, NO_x が減ると光化学オキシダントの主成分である対流圏オゾンが減りにくなる(右図)
- 硝酸の前駆物質 \rightarrow NH_3 とPM2.5を形成

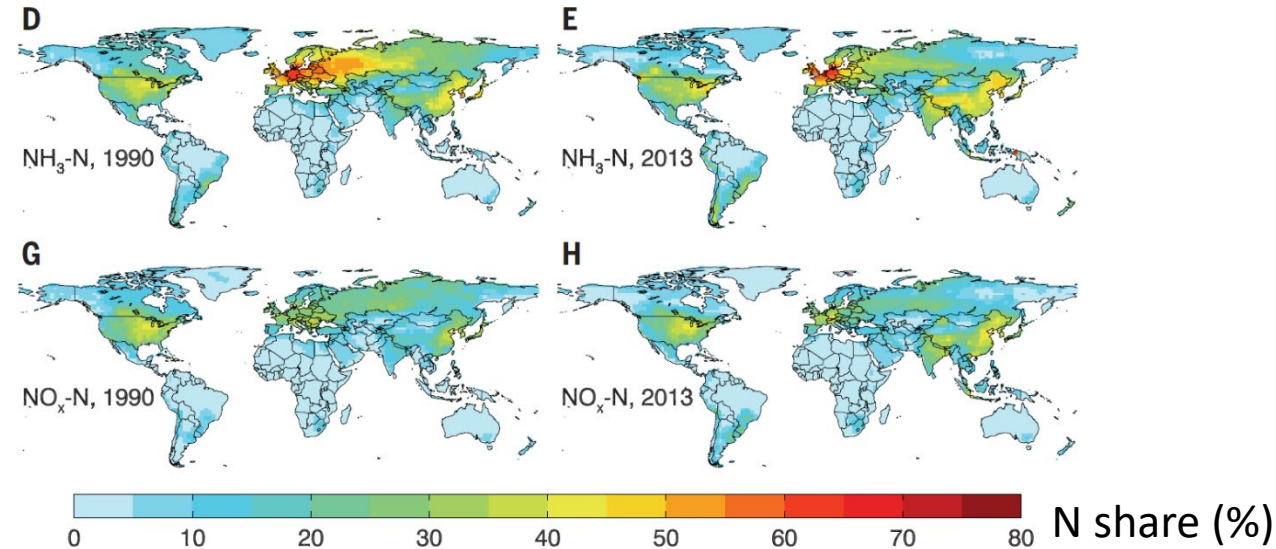
微小粒子状物質(PM2.5)

- 呼吸器・循環器疾患(近年着目)
- PM2.5により世界で年間400万人の早期死亡(Nansai et al., 2021)
- 窒素はPM2.5の39%を占める(2013年, 世界)(Gu et al., 2021)

* 試算: 損失 5 DALY/case \times 40000 €/DALY \times 400万人 \times 39% = 0.3兆€ \approx 約43兆円



大気質の環境基準達成率(日本)(林ほか, 2021)



PM2.5に占める窒素の寄与(Gu et al., 2021)

窒素汚染の影響(4)

大気沈着を介した陸域の酸性化(NO_y , NH_x)と富栄養化(Nr)

大気沈着

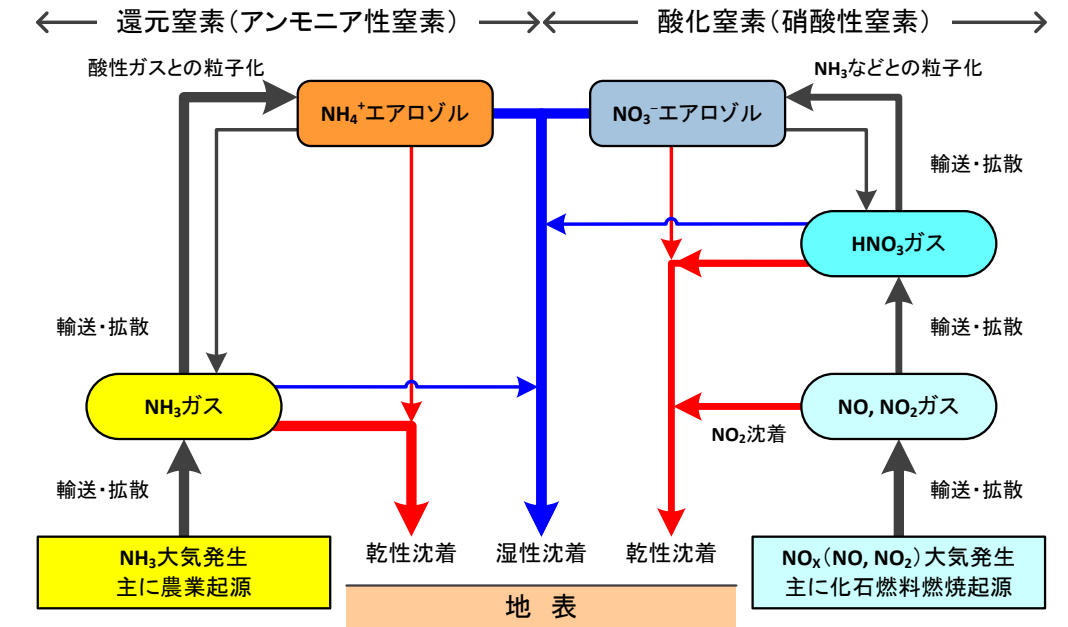
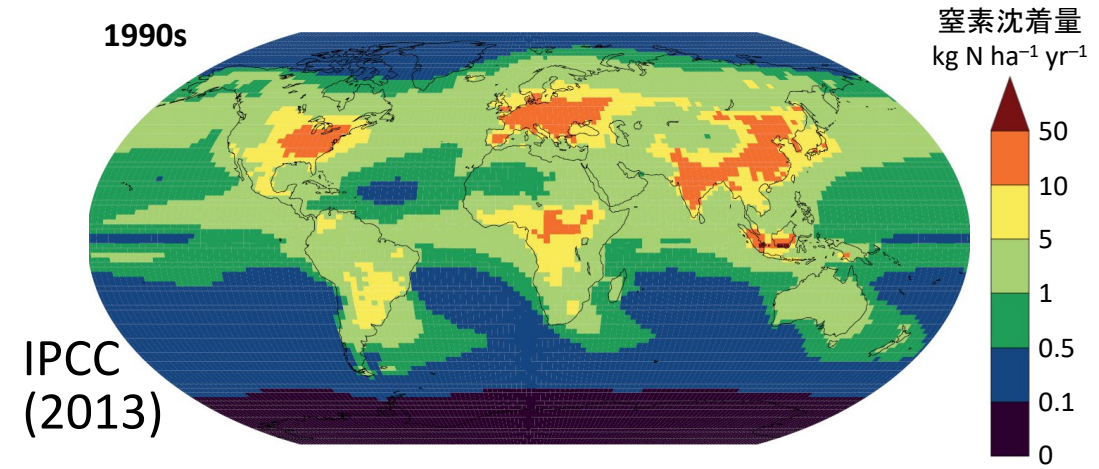
- 遠く離れた場所にも負荷を及ぼす
- 降水に伴う湿性沈着と、ガス・粒子の乾性沈着

酸性化(日本では問題となりにくい)

- HNO_3 と NH_3 (NH_3 は硝化により酸として寄与)

富栄養化(Nrが主因;リンの大気沈着は小さい)

- 生態系の物質循環は、多くの場合、窒素もしくはリンの可給性が律速
- Nrの大気沈着は生物生産を増やす効果(+)
- 一方で、生態系の機能や生物多様性に影響を及ぼす可能性がある(-)
- 森林の窒素飽和(nitrogen saturation)の懸念:
例) 溪流に硝酸性窒素が流出しやすくなる



窒素汚染の影響(5)

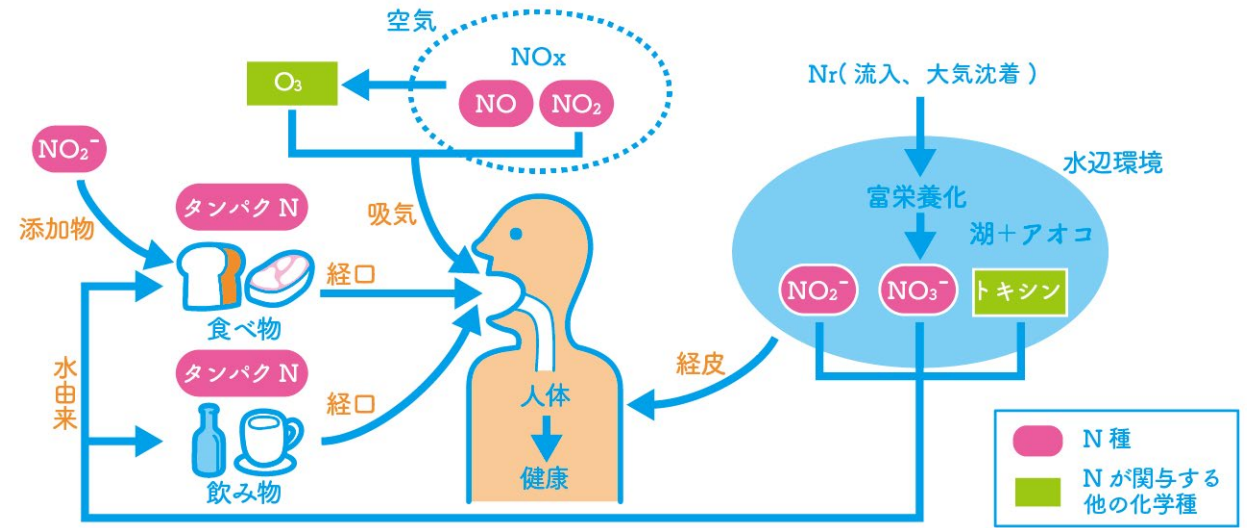
水質汚染(NO_3^- , NO_2^-)

硝酸性窒素(NO_3^-)と亜硝酸性窒素(NO_2^-)

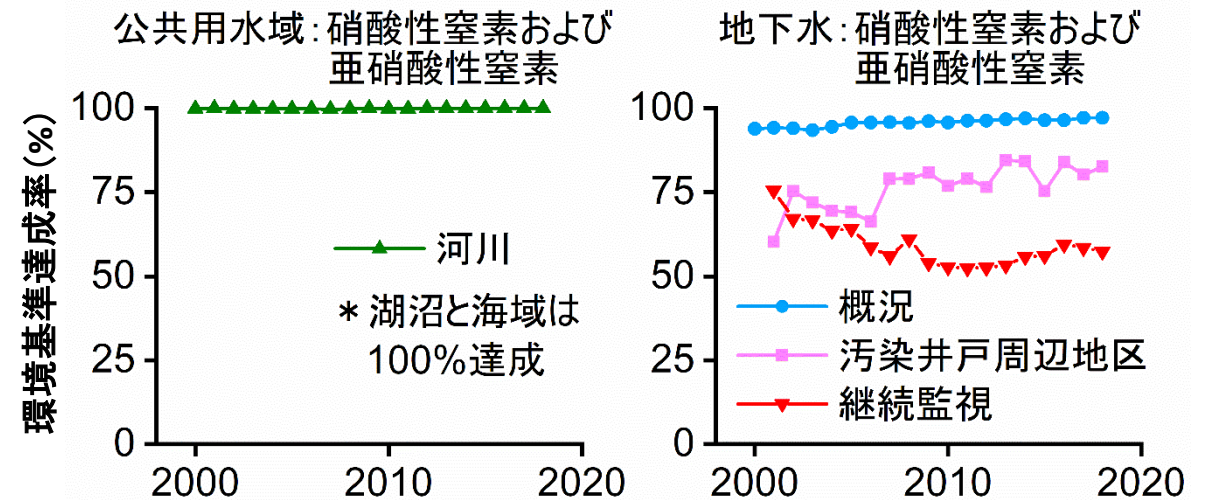
- 有害影響は NO_2^- に由来
- NO_3^- の一部が消化管内で NO_2^- に変換
- $\text{NO}_2^- \rightarrow$ 血中でメトヘモグロビン形成 \rightarrow メトヘモグロビン血症
- $\text{NO}_2^- \rightarrow$ 消化管内でニトロソ化合物を形成 \rightarrow 発がん性
- 環境中では圧倒的に NO_3^- が多い
- 環境基準(健康項目): 10 mg N L^{-1} (硝酸性窒素と亜硝酸性窒素の合計として)
- 日本では地下水が問題

その他のNr(シアン)

- 環境基準(健康項目): 検出されないこと



人体の各種Nr曝露経路(林ほか, 2021)



水質健康項目の環境基準達成率(日本)(林ほか, 2021)

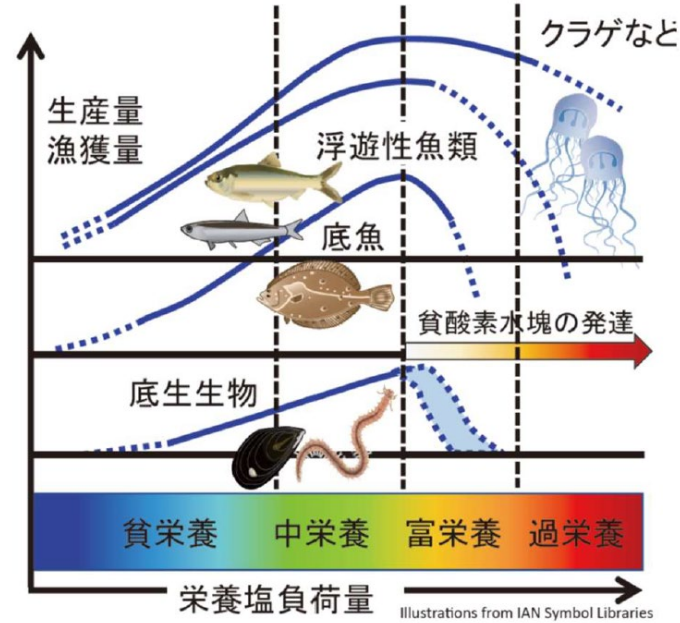
窒素汚染の影響(6)

水域の富栄養化(Nr全般)

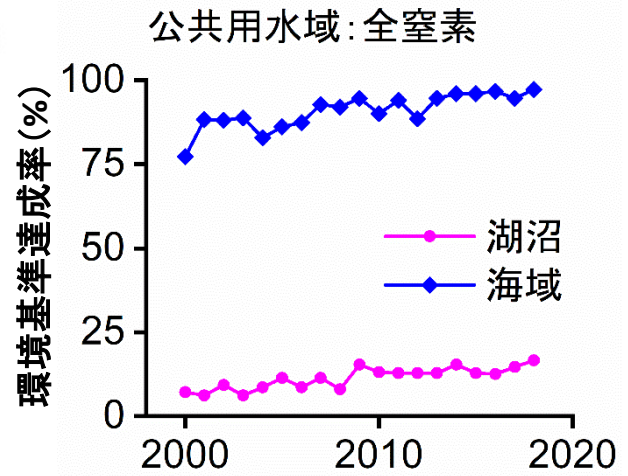
全窒素(無機窒素と有機窒素の合計)

- 栄養塩として植物プランクトンや水生植物の生育促進 → 生産増加(+の面も)
- 食物網を通じて系全体に波及
- リン(P)が律速の場合は利きにくい
- 一部藻類の過剰増殖 → 赤潮
- 生物の過剰増殖 → 貧酸素化 → 青潮
- 生態系機能の変質, 生物多様性の低下
- 環境基準(生活環境項目): 水域の性状により異なる複数段階の基準
- 日本では湖沼の富栄養化が問題
- ヒステリシス: 富栄養状態から回復しても生産性が元に戻らない(右図)

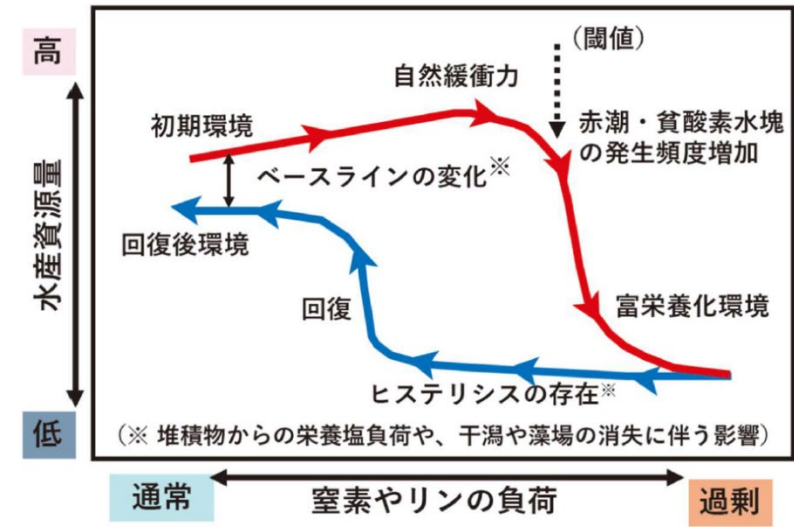
* 貧栄養化問題



栄養塩負荷と生産量の関係(林ほか, 2021)



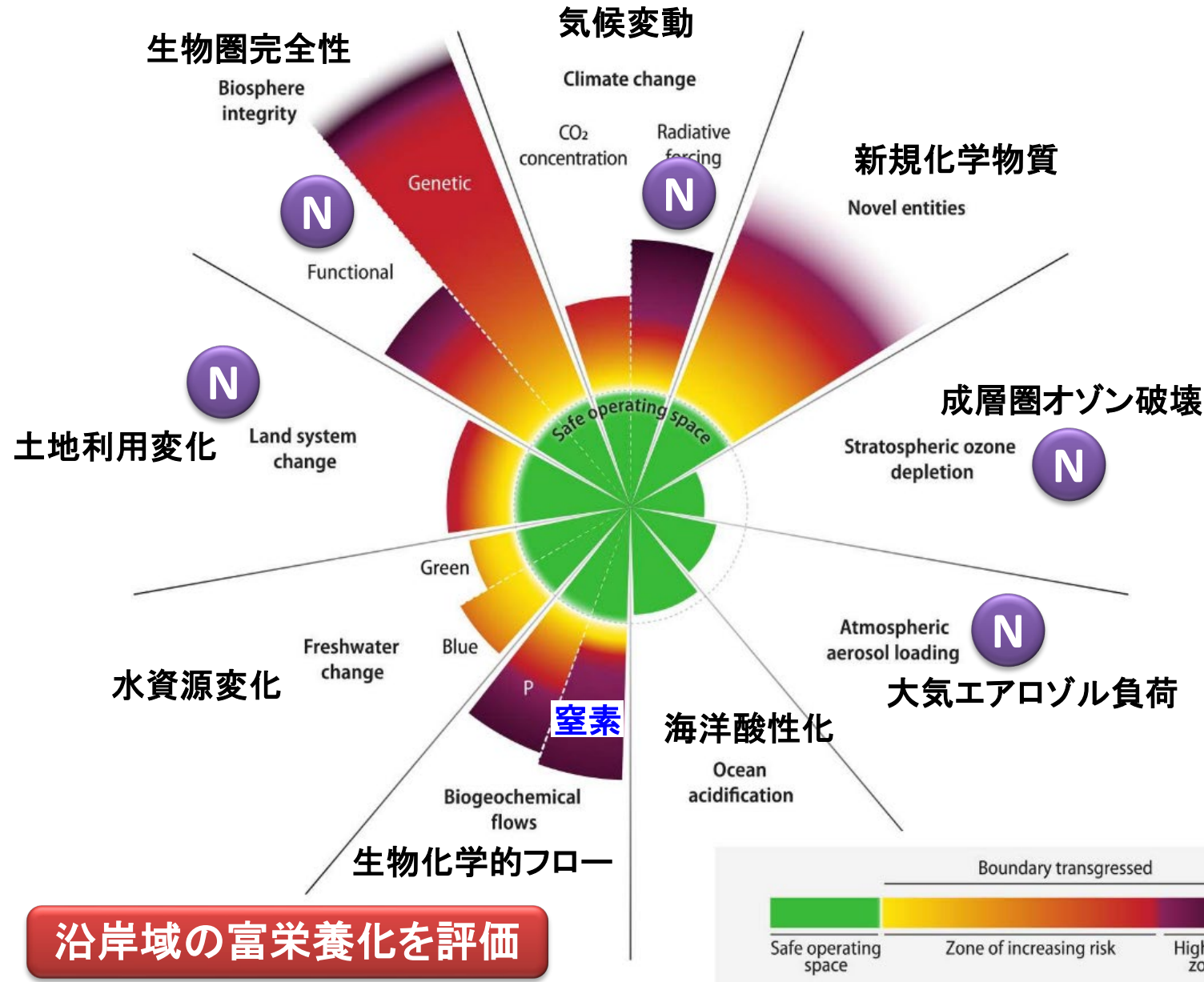
水質生活環境項目の環境基準達成率(日本)(林ほか, 2021)



富栄養化過程(赤線)と貧栄養化過程(青線)がもたらすヒステリシス(林ほか, 2021)

(※ 堆積物からの栄養塩負荷や、干潟や藻場の消失に伴う影響)

窒素循環のかく乱は地球システムへの脅威



Planetary boundaries
(地球システムの限界)

窒素は
いずれにも関与

沿岸域の富栄養化を評価

Richardson et al. (2023)
に基づき作図

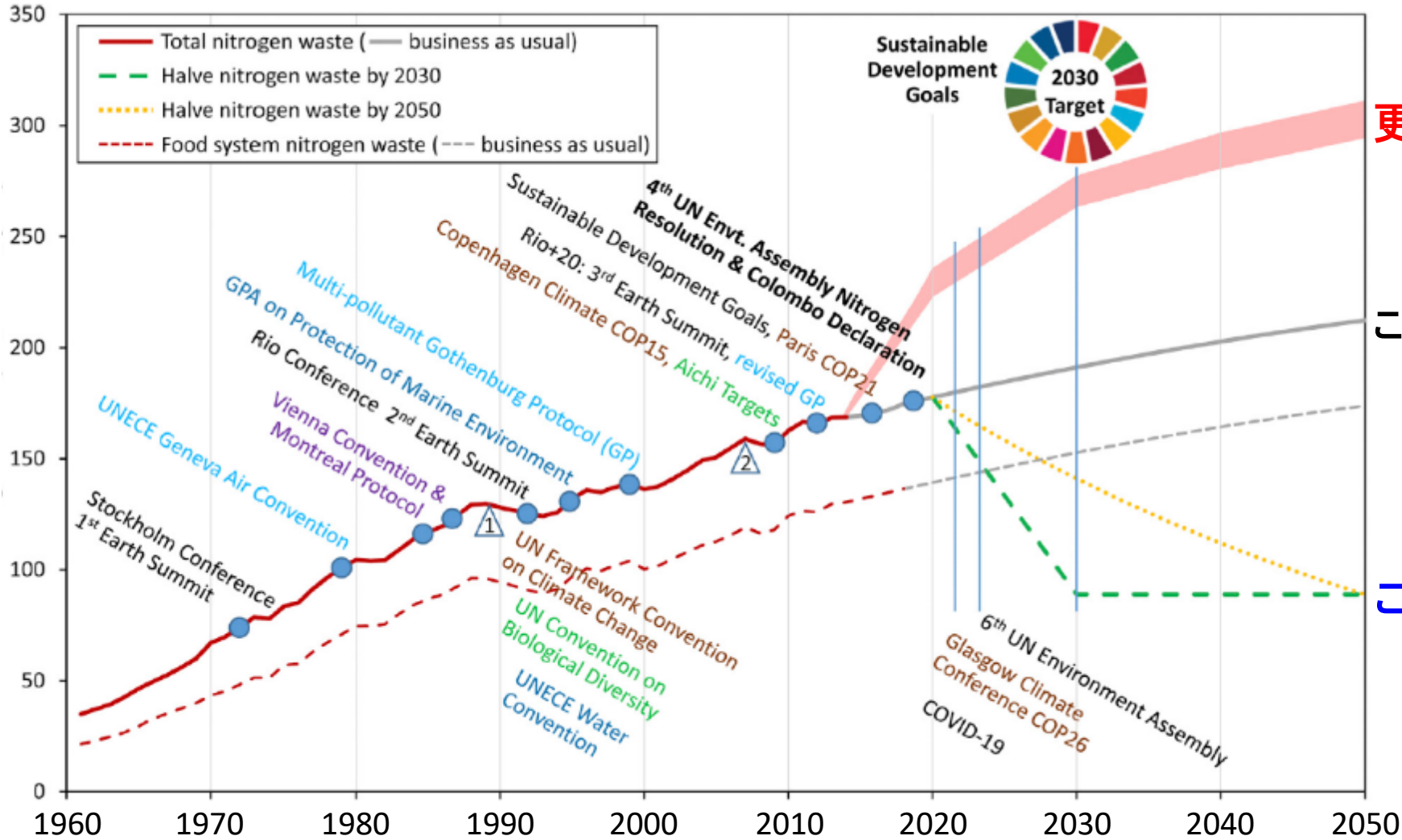
3. 国際空素管理の動向

増大する廃棄窒素への対応

国際窒素管理に向けて

2005年の廃棄窒素 = 1億5000万トン

世界の廃棄窒素(10億米ドル/年)
=(百万トン窒素/年)



更に増えるシナリオ

このままいくと

これを指す

専門家グループ： 国際窒素イニシアティブ

International Nitrogen Initiative (INI)

<https://initrogen.org/>

- 主旨： 持続可能な食料生産における窒素の**利便性の最適化**と、食料・エネルギー生産に由来する窒素負荷が人間健康や環境に及ぼす**負の影響の最小化の両立**
- 主な活動： 国際プロジェクトの立案（例：INMSプロジェクト）、国際機関の活動支援（例：UNEP）、国際窒素会議の主催（原則3年ごと）
- 組織（2022年2月改組）： 代表（アメリカ）
地域センター： 東アジア（代表：日本[林]、副代表：中国）、南アジア（インド、パキスタン）、欧州（スペイン）、北米（カナダ、アメリカ）、南米（チリ）、オセアニア（オーストラリア）、アフリカ（ナイジェリア）

国際窒素会議 (INI Conference)

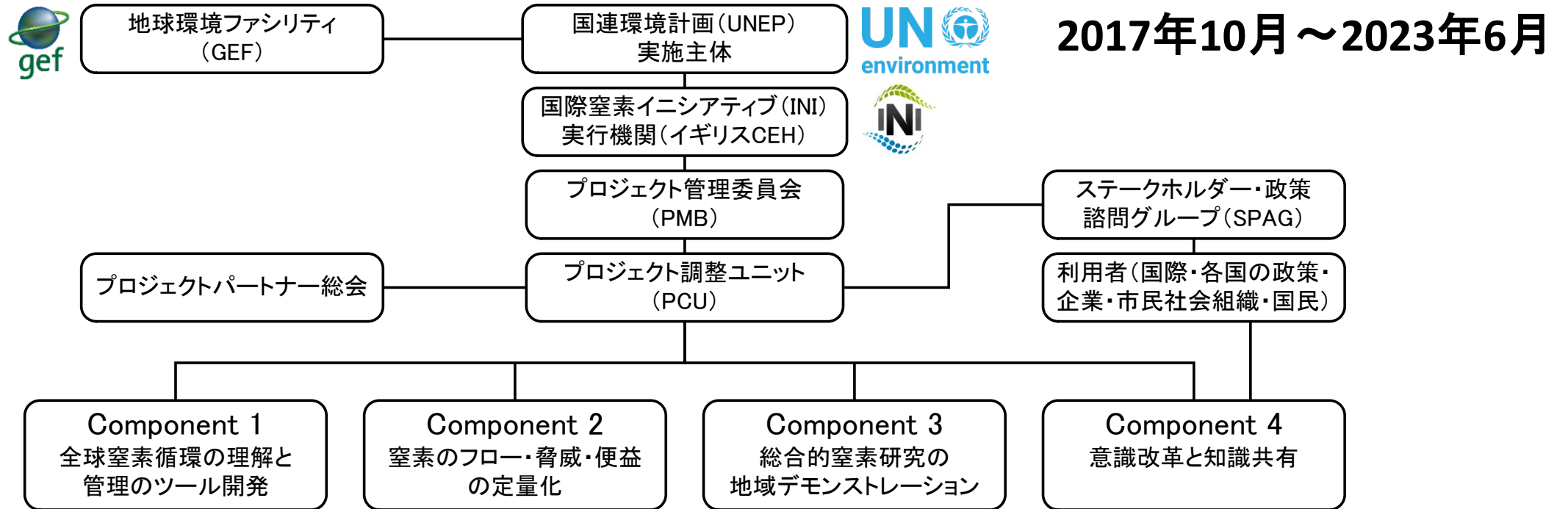
次回: INI南アジア地域センター担当

- 第9回会議 (発表申込2023年10月10日締)
- 場所: インドラプラスタ大学, ニューデリー (インド)
- 期間: 2024年2月5日～8日
- 参加予定者: 専門家, 他のステークホルダー (特に政策関係者)
- 参考: 第1回 (オランダ), 第2回 (アメリカ), 第3回 (中国), 第4回 (ブラジル), 第5回 (インド), 第6回 (ウガンダ), 第7回 (オーストラリア), 第8回 (ドイツ, 完全オンライン)
- 第10回会議を日本 (京都) に招致すべく準備中です

国際窒素管理システム (INMS) プロジェクト

Towards International Nitrogen Management System

自然科学・政策の知見を束ねて国際政策に活かすプロジェクト
国際窒素評価書 (2024年7月刊行予定)



<https://www.inms.international/>



International Nitrogen Assessment (INA) 国際窒素評価書

24

Eds.: Sutton MA, Baron JS, Brownlie WJ, Ebanyat P, van Grinsven H, Hayashi K, Hooper DU, Kanter DR, Leach A, Ometto JP, Raghuram N, Read N, de Vries W Cambridge Univ. Press (July 2024)

Summary for Policy Makers & Technical Summary

Introduction: From Pollution Problem to the Nitrogen Opportunity

Part A: The Global Nitrogen Challenge: Problem Definition

Nitrogen, environment & sustainable development

Nitrogen & food security

Nitrogen in current national & international policies

Towards a holistic response to the global nitrogen challenge

Part B: Foundations for Assessing the Nitrogen Cycle

Approaches & challenges to assess nitrogen impacts

Performance indicators to the global nitrogen cycle

Approaches & challenges to assess N pressures & distribution

Approaches & challenges to value nitrogen benefits & threats

Part C: Global Integrated Assessment across the Nitrogen Cycle

Assessment of global scale total nitrogen budgets

WATER: Flows on impacts of nitrogen on freshwater, coastal & marine systems

AIR: Emissions & air quality impacts of N on human health & crops

GREENHOUSE: Impacts of anthropogenic nitrogen use on global warming potential & radiative balance, & role of nitrogen for stratospheric ozone depletion

ECOSYSTEMS: Inputs of nitrogen to terrestrial & aquatic ecosystems & the impacts on biodiversity

SOILS: Inputs, outputs & impacts of nitrogen for agricultural land & relationships with non-agricultural land

Part D: Nitrogen Challenges & Opportunities for Key World Regions

Approaches, synthesis & lessons from the regional assessments

Assessment of nitrogen flows, impacts & solutions in East Asia

Assessment of nitrogen flows, impacts & solutions in South Asia

Assessment of nitrogen flows, impacts & solutions in Africa

Assessment of nitrogen flows, impacts & solutions in Latin America

Assessment of nitrogen flows, impacts & solutions in West Europe

Assessment of nitrogen flows, impacts & solutions in East Europe

Assessment of nitrogen flows, impacts & solutions in North America

Part E: Grasping the Future Challenge

Key actions for better nitrogen management

Addressing the barriers to better nitrogen management

Costs & benefits of nitrogen at global & regional scales

Goals & pathways: How to halve nitrogen waste by 2030?

Evaluation of policy options & instruments for better N management

*各章のタイトルは未確定

国連環境計画(UNEP)の取り組み

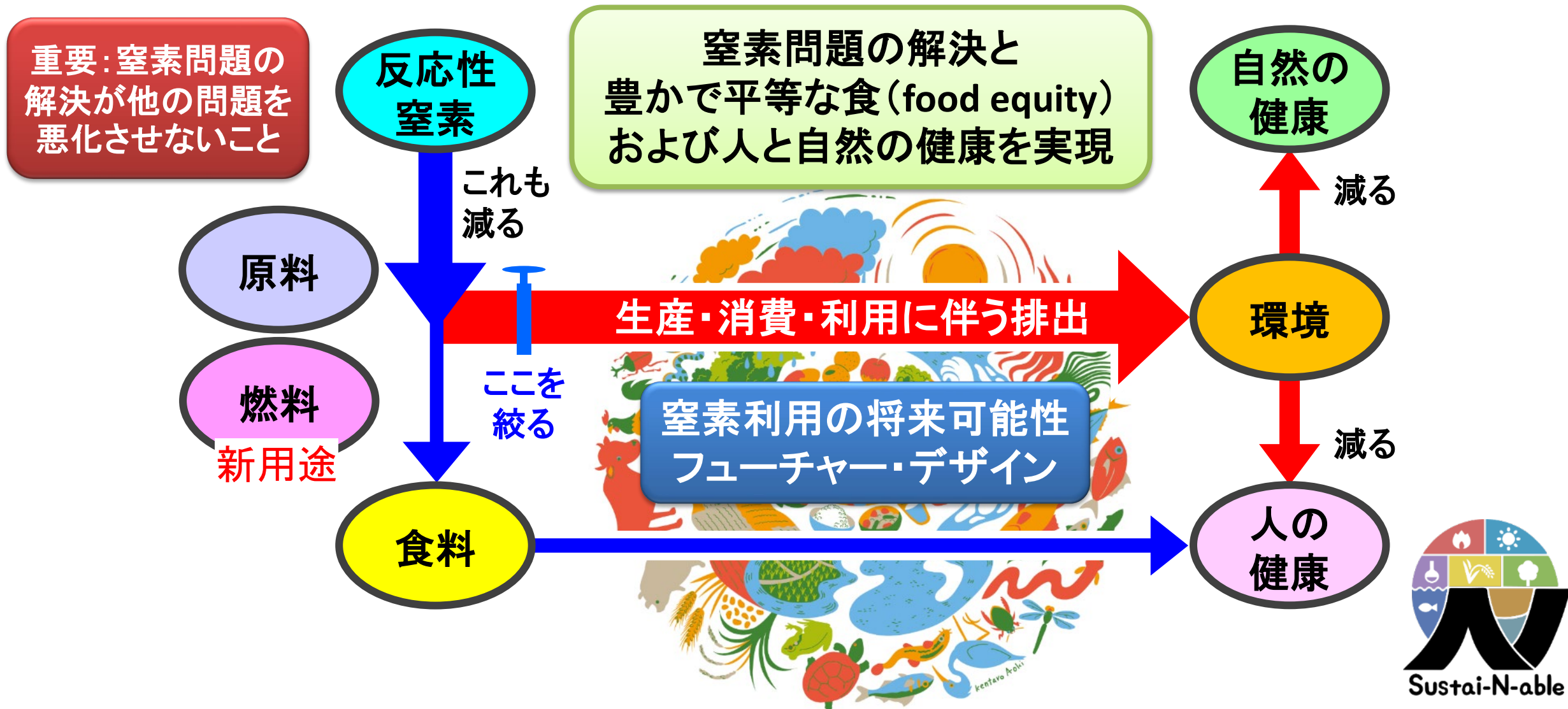
ここ数年で国際窒素管理への動きが進展中

- 国連環境総会(UNEA: United Nations Environment Assembly)を主催
 - 次回 UNEA-6: 2024年2月26日～3月1日
 - 持続可能な窒素利用決議: UNEA-4 (2020) と UNEA-5 (2022) で採択
 - UNEA-6 に向けた各国代表による議論
- UNEP窒素作業部会(UNEP Working Group on Nitrogen)
 - 2023年9月28～29日に第4回会合(第5回は2024年1月か2月)
 - 各国に窓口: 日本は環境省(2022年より参加), 他省庁と連携

4. 持続可能な窒素利用に向けて

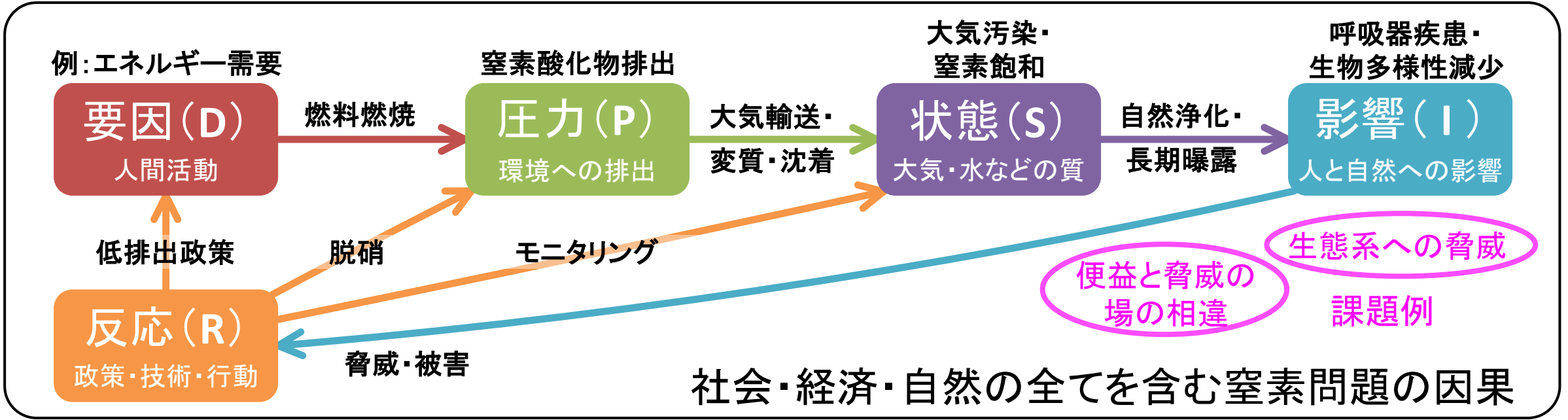
地球研 Sustai-N-able プロジェクト(2022-2027年度)

人・社会・自然をつないでめぐる窒素の持続可能な利用に向けて



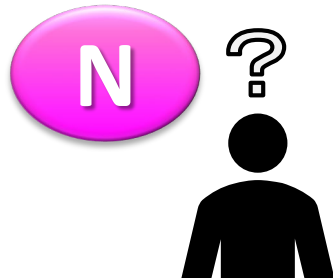
求められる3つのブレイクスルー

因果解析, 認識浸透, 将来設計

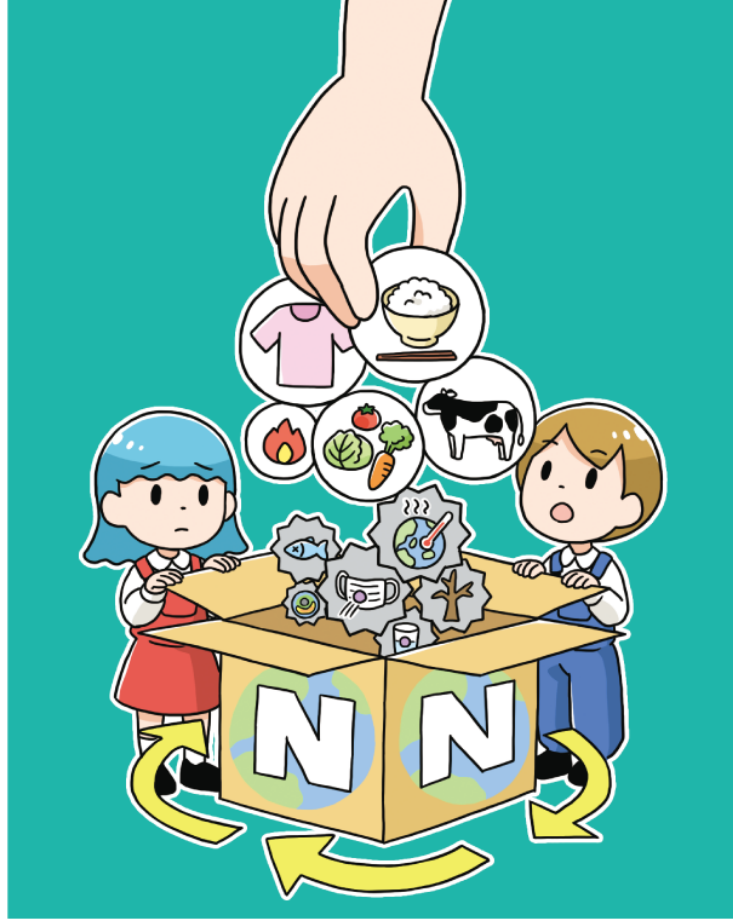


①因果解析: 用途・量が変わった時の応答, 政策・技術の効果などを定量評価すること

②認識浸透: 認識の乏しい窒素問題を国内外のステークホルダーに知ってもらうこと



③将来設計: ①の知見と②の進捗と並行し, 持続可能な窒素利用に必要な政策・技術・行動変容を思索すること (フューチャー・デザイン, FD)



↓ PDF版リーフレット

<https://www.chikyu.ac.jp/Sustai-N-able/achievements.html>

「Sustai-N-able」で
検索すると出ます

総合地球環境学研究所 実践プログラム

Sustai-N-able プロジェクト

人・社会・自然をつないでめぐる
窒素の持続可能な利用に向けて



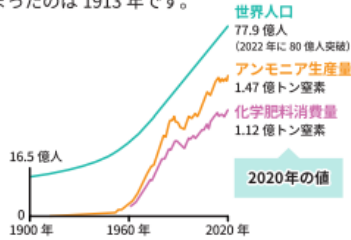
地球研実践プロジェクト
2022～2027年度
研究代表者：林 健太郎
RIHN14200156

窒素問題の概要も伝えるリーフレット(会場に持参)

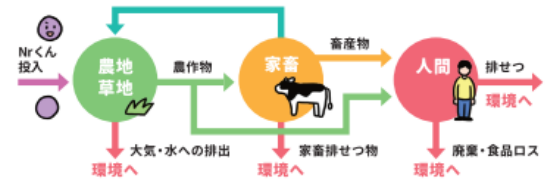
Nrを手に入れて、世界は変わった



人類はどれだけのNrを使ってきたのでしょうか。ハーバー・ボッシュ法による商業生産が始まったのは1913年です。1960年代からアンモニア生産と化学肥料の消費量が急速に伸び、現在まで続いています。窒素肥料が食料生産を増やして、世界人口の増加を支えてきたのです。



窒素肥料によって、農作物をたくさん作れるようになり、農作物を飼料とする畜産物もたくさん作れるようになりました。ところが、食料生産に投入するNrの多くが漏れています。投入した窒素のうち生産物に届く割合を窒素利用効率とよびます。世界の窒素利用効率は、農作物で50%、畜産物で5%~20%ほど。残りは、うまく循環させないと漏れてしまうのです。そして、同じ量のタンパク質を食べるならば、農作物より畜産物の方が環境にNrが漏れやすいのです。食べられるのに捨ててしまう食品ロスも、捨てた食品そのものを無駄にしますし、捨てた食品の生産に投入したNrも無駄になります。



漏れたNrの行き先は、大気、土壌、陸水、そして海洋です。漏れたあとは環境をぐるぐると巡り、Nrの種類に応じた影響が生じます。Nrは農業だけから漏れるわけではありません。快適な生活のためのエネルギー(熱・動力・電気)を得るために化石燃料を燃やしたり、廃棄物を燃やすと、窒素酸化物といわれるNrが大気に漏れます。排ガスや排水に含まれるNrは、処理によって悪さをしないN₂に戻せます。ただし、処理にはコストがかかるため、無駄になるNrを減らすことが大切です。



窒素ってなんだろう



窒素は太陽系で5番目に多い元素です。元素記号は「N」、英語ではnitrogenと呼ばれます。地球では、窒素原子が2個くっついた窒素ガス(N₂)が大気の78%を占めます。タンパク質やDNAの素材として、窒素は生き物に必要な元素なのです。人体の重さの約3%は窒素でできています。しかし、たくさんあるN₂は安定で何もしません。生き物が見える形の反応性窒素(Nr)が必要なのです。Nrにはたくさんの種類があります。



生態系では微生物がN₂からNrを作り出します。植物はNrを吸収して育ちます。草食動物は植物を食べ、肉食動物は草食動物を食べ、Nrを取り入れています。排せつ物や遺体に含まれるNrを分解して、最後にはN₂に戻すのも微生物です。

人類もまた、このNrを循環させて暮らしてきました。かつての農業も、下肥、魚肥、堆肥などの有機物に含まれるNrを使っていたのです。

足りなくなってきた反応性窒素(Nr)

地球の人口は次第に増えていきます。食料がもっと必要になります。どうすれば食料をたくさん作れるでしょう。肥料です。農作物の肥料になるNrが欲しいのです。



20世紀初期に、N₂からNrの仲間のアンモニアを人工的に造り出す技術(ハーバー・ボッシュ法)が開発されました。化学肥料を望むだけ合成できるようになったのです。

Nrには肥料以外の用途もあります。例えば、ナイロン、ウレタン、火薬・爆薬などの工業原料だったり、燃料という新しい用途も注目されています。



Sustain-N-able プロジェクト
人・社会・自然をつないでめぐる
窒素の持続可能な利用に向けて

- 2020年度 インキュベーション研究
- 2021年度 予備研究
- 2022年度 プレリサーチ
- 2023~2027年度 フルリサーチ

プロジェクトリーダー 林健太郎(総合地球環境学研究所)

自然循環班 班長 木庭啓介(京都大学)

人間社会班 班長 松八重一代(東北大学)

経済評価班 班長 栗山浩一(京都大学)

将来設計班 班長 林健太郎(兼任)



Sustain-N-able プロジェクトウェブサイト
に、プロジェクトおよび窒素に関する様々な
情報を載せています。
ぜひご覧ください。

<https://www.chikyu.ac.jp/Sustain-N-able/index.html>

〒603-8047 京都市北区上賀茂本山 457 番地 4
Tel: 075-707-2315
Mail: rihn.susn@chikyu.ac.jp



Research Institute for
Humanity and Nature
大学共同利用共同研究法人
人間文化研究機構 総合地球環境学研究所

制作(50音順): 浅野真希・梅澤有・木村文子・齋木真琴・館野陸之輔・
林健太郎・尾藤環・皆木香渚子

イラストレーション: 中林まどか

2023年4月

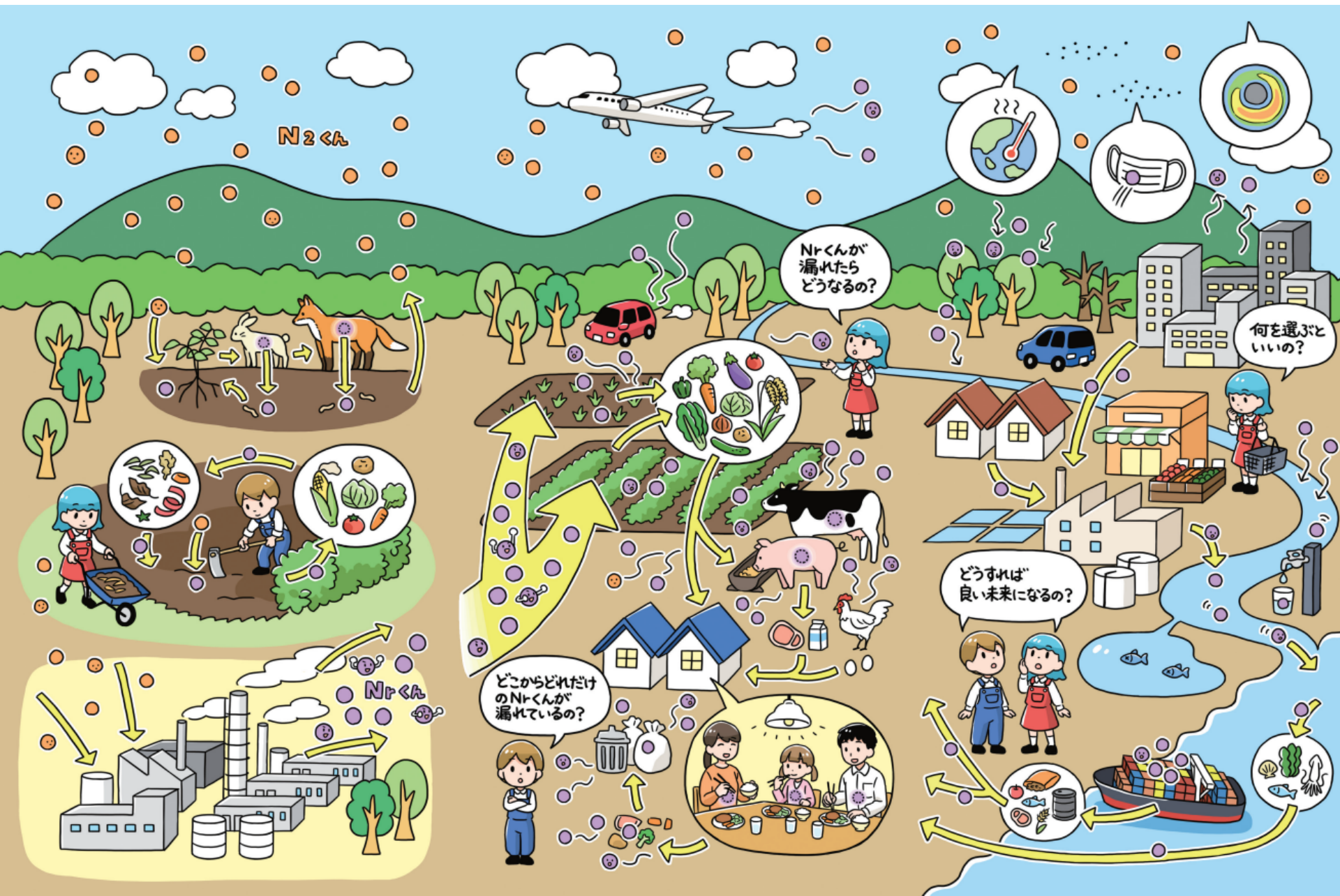


総合地球環境学研究所 実践プログラム

Sustain-N-able プロジェクト

人・社会・自然をつないでめぐる
窒素の持続可能な利用に向けて





反応性窒素 (Nr) が漏れると、何が起るのか

地球温暖化

Nrの仲間の一酸化二窒素 (N₂O) は、二酸化炭素の300倍近い温室効果をもち、地球温暖化の原因となります。

成層圏オゾン破壊

Nrの仲間のN₂Oには、成層圏に入るとオゾンを破壊して地上に到達する紫外線を増やすはたらきもあります。

大気汚染

Nrの仲間の窒素酸化物や、Nr由来の細かい粒子も含むPM2.5(微小粒子状物質)などは、呼吸器に有害です。

水質汚染

Nrの仲間の硝酸性窒素などは、チアノーゼ症や変異原性などの健康影響をもたらす可能性があります。

富栄養化

Nrが陸域や水域に入ると、窒素栄養が豊かになって生物多様性や生態系が変化したり、ひどい場合には生き物が死滅します。

酸性化

Nrの仲間の硝酸などは、土壌や陸水を酸性にするはたらきがあり、ひどい場合には生き物が被害が及びます。

Sustai-N-able プロジェクトの取り組み

自然循環班	人間社会班
<p>Q1 Nrくんが漏れたらどうなるの?</p> <p>Nrが漏れることで起こる大気・水・土壌の変化、その変化が人や自然に及ぼす影響、そして、自然がもつNrをN₂に戻す能力を明らかにしていきます。</p>	<p>Q2 どこからどれだけのNrくんが漏れているの?</p> <p>食料・モノ・エネルギーの生産・消費において、どこからどんなNrがどれだけ漏れているかを明らかにし、窒素フットプリントのような私たちの暮らしの指標や、将来の窒素利用のシナリオを作っていきます。</p>
経済評価班	将来設計班
<p>Q3 何を選ぶといいの?</p> <p>消費者の食料選択や農家さんの食料生産において、Nrがもたらす環境影響への対策がどのくらい重視されているのかを明らかにし、持続可能な食と農業を考えていきます。</p>	<p>Q4 どうすれば良い未来になるの?</p> <p>Nrが私たちの暮らしを支えつつも環境に影響を及ぼしていることを多くの人たちに知ってもらい、将来の世代が幸せにNrを使っていく仕組みを皆さんと一緒に考えていきます。</p>



大学共同利用機関法人 人間文化研究機構 総合地球環境学研究所

Humanity & Nature

RIHN

Newsletter

地球研ニュース

No.89
August 2023

今号の特集

P2 特集1
プロジェクトリーダーに迫る！
「あたりまえにある」
ゆえに見えにくい窒素のこと

林健太郎
阿部健一

P12 特集2
「ほろ酔い地球研」その参…… 動画制作編
広報と研究が織りなす
情報発信
メイキング・オブ「ラボストーリー」
木村 葵 + 寺本 颯 + 由水 千景
三村 豊

連載 P11 晴れときどき書評
『環境問題を(見える化)する——映像・対話・協働』…… 大谷 遼高
P16 表紙は語る…… 林 健太郎



特集1

プロジェクトリーダーに迫る！

「あたりまえにある」ゆえに見えにくい窒素のこと

研究プロジェクト@人・社会・自然をつないでめぐる窒素の持続可能な利用に向けて

話し手●林 健太郎(教授)

聞き手●阿部 健一(教授)

太陽系で5番目に多い窒素元素。空気の8割は窒素ガス。地球に暮らす生きものにとって窒素は、タンパク質やDNAの素材として欠かせない。食物の肥料、工業・産業製品の原料、燃料として便益をもたらす一方で、あらゆる環境問題の裏側には窒素がからみ、人間の都合なき窒素利用がもたらす窒素汚染はじわじわと人と自然の健康を蝕んでいる。「窒素を見ずして地球の未来は語れない。複雑にからむ窒素循環の全体像を見なければ、環境問題は解決できない」と論ずる林さん。プロジェクトの略称「Sustai-N-able」の真ん中に「窒素(N)」を配した覚悟が見えてきた

阿部●2022年度からはPRとして、いよいよ本格的にプロジェクトが始まりましたね。要覧にはプロジェクトの概要が記されていますし、IS(インキュベーション研究)からFS(予備研究)、PR(プレリサーチ)と段階を追うなかで、プロジェクトの概要について話を聞く機会があったのですが、いまだに要領を得ない。窒素問題がテーマですが、プロジェクトとしてなにをしようとしているのか、わかりにくいところがあります。

まず、窒素が大きな環境問題だということは、じつはわれわれ地球研にいる研究者にもあまり浸透していない。

林●そうですね。ISやFSの段階から、つねに問われていたんです。「窒素のなにが問題なのかわからない」と(笑)。阿部さんからもなんどもお尋ねいただいて、それに答えて、そのときは「わかったような気がする」と言われるのですが、そのあとまた、「よくわからん」のくり返し。(笑)

阿部●窒素問題の奥が深いからでしょうか、底なしの沼に入った気がしました。

林●私は最近、農水省、環境省、経産省、国交省をまわって説明する機会があったのですが、みなさんおしなべて同じような反応をされるんです。ある意味、当然だとも思っています。それがないのかを、これからお話ししたいと思います。

阿部●ようやく話が抜け出せる。(笑)



林 健太郎

「あたりまえにある窒素」を私たちはどれだけ知っているだろうか

林●窒素はとてもだいで、必要なものなのですが、そもそもそこがわかってもらえていないのです。

たとえば生きものであれば、タンパク質やDNAなどをつくるのに窒素が必要です。私たちはその窒素を「食べる」ことで摂り入れるしかない。その食べものをつくるには、肥料になる窒素が必要です。植物も窒素がないと体をつくれないうし、光合成に必要な酵素も、窒素がないとつくれないからです。

阿部●なるほど。生物多様性がいかに大切かということも、私たちは一呼吸命に伝えませんが、なかなか一般の人にはわかってもらえないのと同じですね。「高校生にわかるように」というのは、地球研初代所長の日高敏隆さんの言葉ですが、あたりまえのことを伝えるのはけっこうむずかしい。窒素は「あたりまえにだじ」なのですね。

林●そうですね。日々呼吸しているのと同じです。私たちが吸っている空気の78%が窒素です。

なにもしない窒素と利用できる窒素

阿部●窒素は身近にありふれていて、しかも、人間の体のかなりの部分は、窒素からつくられるタンパク質。それなのに、窒素のなにが問題なのかを知らない。

林●じつは窒素には2種類あります。一つは、私たちが取り囲んでいる空気中にある、良い意味でも悪い意味でも「なにもしない窒素」。この不活性な窒素を「窒素ガス」といいます。なにもしないといっても、空気が窒素だけになったら、私たちは窒息して死にます。これが「窒素」の名称の由来です。

阿部●窒素って、窒息からきているのか。

林●ドイツ語ではStickstoff、窒息物質という意味で、それをそのまま日本語に訳したのです。この「なにもしない窒素」は、その存在さえ知られていなかった。18世紀後半まで、人類の発見を逃れてきた物質です。阿部●だから、問題だといっても、なかなか通じない。(笑)

林●そうですね。あまりにも周りにありすぎるし、ほんとうになにもしない。呼吸しても、ただ体に入って出ていって、筋肉がついたりもしない。だから私たち動物は、「利用できる窒素」を食べなくてはならない。動物であればタンパク質やアミノ酸、植物ならアンモニアや硝酸などの窒素化合物を取り入れる。

阿部●その「利用できる窒素」は、不活性窒素に対して、活性窒素？

林●「反応性窒素(Nr: reactive nitrogen)」とよんでいます。いろいろな種類があるのですが、大きく分けて、窒素元素(N)が2つについた窒素ガス(N₂)以外をすべてNrとしています。

じつは空気中にはNrもわずかに入っているんです。直径1mの風船からN₂だけを集めると直径92cm、Nrだけを集めるとわずか0.7cmくらい。生きものは、このわずかなNrがほしいのです。そして、このNrこそが、生態系の物質のめぐりを決めているのです。



「図説 窒素と環境の科学」朝倉書店

林・柴田・梅澤編

判型：B5判192ページ
 定価：本体4500円＋税
 ISBN：978-4-254-18057-2

第1部 つながりを知る総論

- 1-1 本書の道案内：窒素はすべてをつなぐ
- 1-2 人類の窒素利用がもたらす環境問題
- 1-3 人類による窒素の発見と利用の歴史
- 1-4 元素としての窒素と多様な化合物
- 1-5 生物に不可欠な窒素
- 1-6 窒素の形態変化と環境中の移動
- 1-7 環境中の窒素分析方法
- 1-8 窒素と他の物質との強いつながり

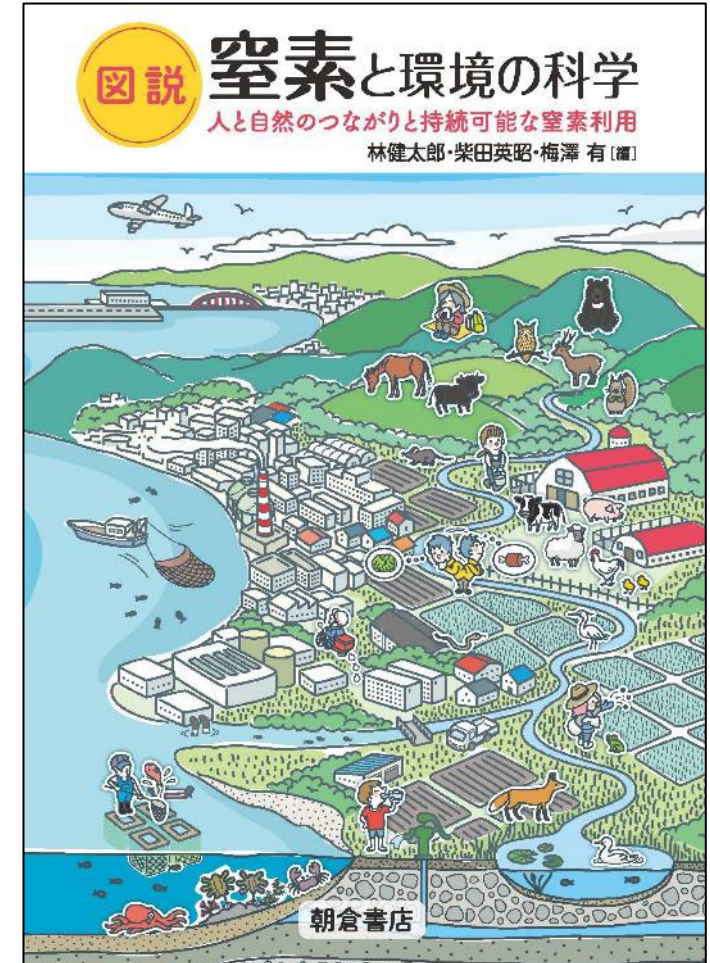
第2部 日本の現状の理解に向けた各論

- 2-1 エネルギー
- 2-2 製造産業
- 2-3 作物生産
- 2-4 家畜生産
- 2-5 水産業
- 2-6 人の生活
- 2-7 廃棄物・下水

- 2-8 国際貿易
- 2-9 大気
- 2-10 陸域生態系
- 2-11 陸水生態系
- 2-12 海洋生態系
- 2-13 日本の窒素収支
- 2-14 経済圏の窒素フロー
- 2-15 健康影響
- 2-16 生態系への影響を評価する
- 2-17 窒素のトレードオフ
- 2-18 窒素管理にかかわる政策と法令

第3部 国内外の取り組みと将来展望

- 3-1 世界の取り組み
 - 3-2 日本の現状と未来
 - 3-3 持続可能な未来に向けて
- コラム15件
 文献リスト・索引



日本窒素専門家グループ(JpNEG)

窒素問題の学際交流のプラットフォーム

<https://jpneg.jimdofree.com/>

- JpNEG: Japanese Nitrogen Expert Group
- 目的: 窒素研究に携わる多分野の専門家間の情報共有と意見交換を促進し, 国内外に情報を発信
- 経緯: 2015年立ち上げ(林), ボランタリーグループ(270名強)
 - 多様な研究分野, 多様な世代(名誉教授から学生まで)
 - 各種活動への貢献やプロジェクト立案の切っ掛け(例: INMSプロジェクト, 窒素図説刊行, Sustai-N-ableプロジェクト, 日本窒素評価書)
- メーリングリスト運用: ご関心ある方はお気軽に林までご連絡ください
kentaroh@chikyu.ac.jp

本日の話題のまとめ

- **窒素問題**: 我々の窒素利用が窒素汚染を伴うトレードオフ
- **窒素の便益**: 肥料, 工業原料, エネルギー資源
- **窒素の脅威**: 環境へのNr排出による多様なインパクト
- **世界の動き**: UNEPによる国際窒素管理の動きが本格化
- **持続可能な窒素利用**:
 - 水環境と大気環境の関係者との今後の連携に期待
 - ステークホルダー連携も大切(研究, 行政, 生産者, 消費者など)
 - 日本窒素評価書(JaNA)を作っていきたい(動き始めています)

