

第3回窒素循環シンポジウム 「窒素管理に関する世界の動向と国内の取り組み」

窒素循環に向けたフロー調査の現状

MRI 三菱総合研究所

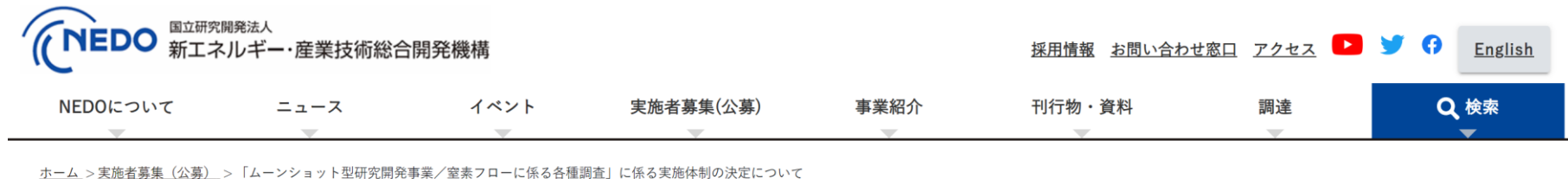
2023/11/27

サステナビリティ事業本部
高田一輝

0. はじめに

「窒素フローに係る各種調査」について

- 三菱総合研究所では、NEDOからの委託事業として、本年度より2か年の間、「窒素フローに係る各種調査」を実施することになった。現在は調査開始から約6か月が経過したところ。



決定 「ムーンショット型研究開発事業/窒素フローに係る各種調査」に係る実施体制の決定について

2023年4月3日

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下「NEDO」という。）は、「ムーンショット型研究開発事業/窒素フローに係る各種調査」に係る公募を実施し、ご提案いただいた4件の提案について、外部有識者による採択審査及びNEDO内の審査を経て実施予定先を決定いたしました。

なお、採択審査委員一覧は、別添のとおりです。

件名

ムーンショット型研究開発事業/窒素フローに係る各種調査

事業概要

総合科学技術・イノベーション会議（CSTI）において、日本発の破壊的イノベーションの創出を目指し、挑戦的な研究開発（ムーンショット）を推進するものとして、「ムーンショット型研究開発制度」が創設されました。本制度に基づき、NEDOは、ムーンショット目標のうち目標4「2050年までに、地球環境再生に向けた持続可能な資源循環を実現」を担当する研究推進法人として、プログラムディレクター（以下「PD」という。）に公益財団法人地球環境産業技術研究機構（RITE）理事長の山地憲治氏を任命し、挑戦的な研究開発を推進しています。

「ムーンショット型研究開発制度の運用・評価指針」において、PDは、ムーンショット目標を戦略的に達成していくためのポートフォリオ（プロジェクトの構成（組み合わせ）や資源配分等の方針をまとめたマネジメント計画。）を構築し、プログラムを統一的に指揮・監督することが定められています。

本調査では、ムーンショット目標4におけるPDのポートフォリオマネジメントの支援を目的として、窒素フローの作成と環境影響等の整理、市場・技術・政策等の動向を調査し、プロジェクトの評価に向けた評価指標の獲得、情報発信資料の作成等を行います。

出所) NEDO、「『ムーンショット型研究開発事業/窒素フローに係る各種調査』に係る実施体制の決定について」、2023年（最終閲覧日：2023年11月20日）
https://www.nedo.go.jp/koubo/SM3_100001_00042.html

0. はじめに

本日の講演のポイント

- 本日の講演では、弊社が「①何を」、「②どのように」調査しているか概説する。
- その上で、「③なぜこの調査を実施しているか」、本調査で目指すところについても述べる。

<今日の講演のポイント>

- 1 本調査当面の目標は、**複雑な「窒素問題」の構造を整理**することである。
- 2 「窒素問題」の整理に際しては、**窒素フローの活用**が役に立つ。
- 3 「窒素問題」を整理した後には、**開発すべき技術についての提言**を予定している。

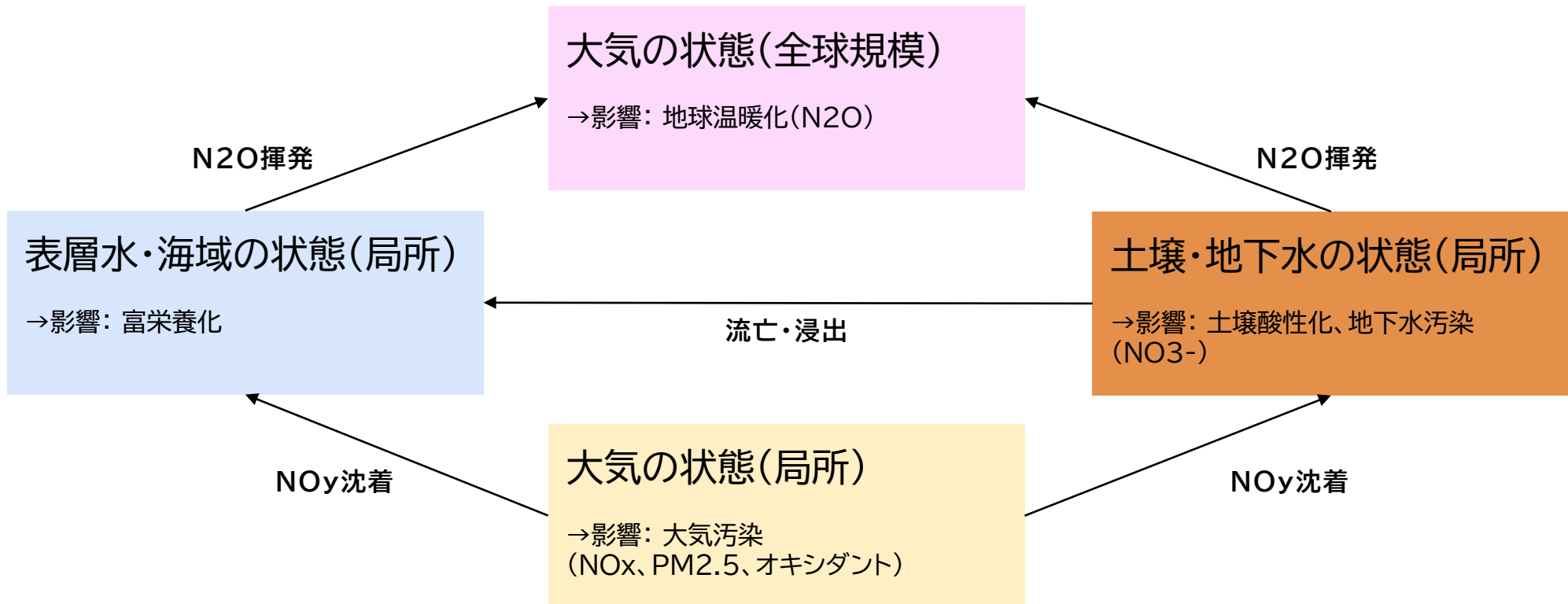
1. 複雑な窒素問題の構造整理

- 「窒素問題」の複雑さ
- 整理のアウトプットイメージ
- 整理に必要な情報の例

1. 複雑な窒素問題の構造整理

「窒素問題」の複雑さ

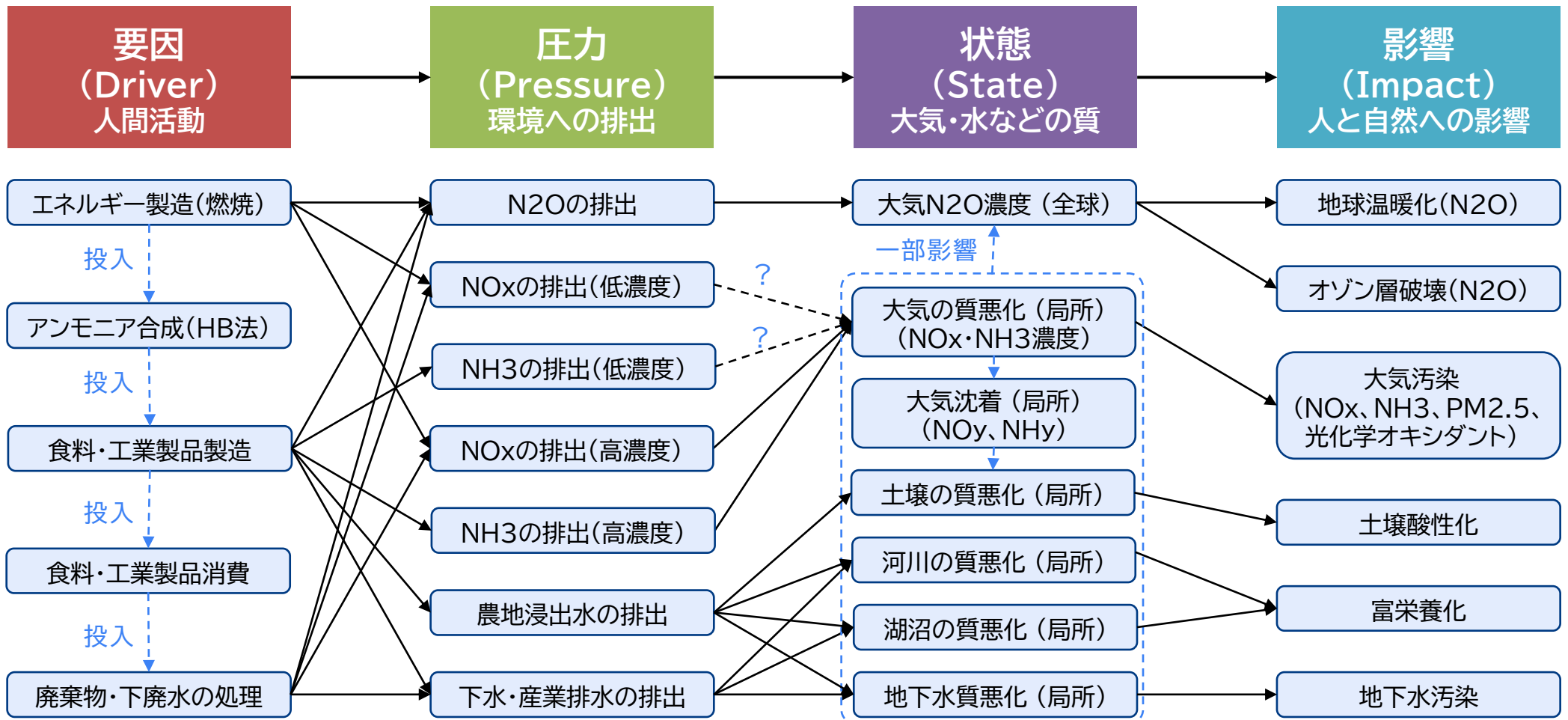
- 反応性窒素が引き起こす影響をとらえることは難しい。
- 様々な化合物(NO_x 、 N_2O 、 NO_3^- など)が関与しており、しかも環境中で化学変化しうる。
- 影響の及ぶ範囲が局所的な現象から全球規模の現象まで混在している。
- 大気・水域・土壌など悪影響の及ぶ媒体が様々である。



1. 複雑な窒素問題の構造整理

整理のアウトプットイメージ

- 複雑な現象を「要因」、「圧力」、「状態」、「影響」といった要素に分けて整理したいと考えている。
- 下図はイメージだが、今後有識者の意見を踏まえてブラッシュアップしていく予定である。

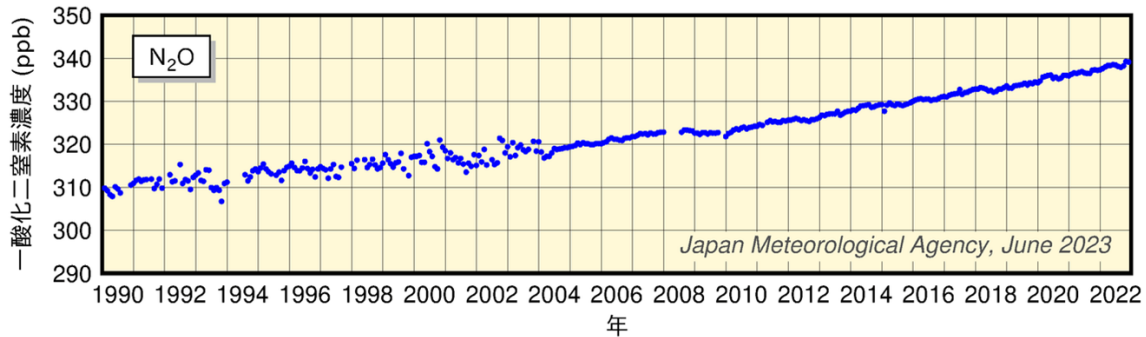


1. 複雑な窒素問題の構造整理

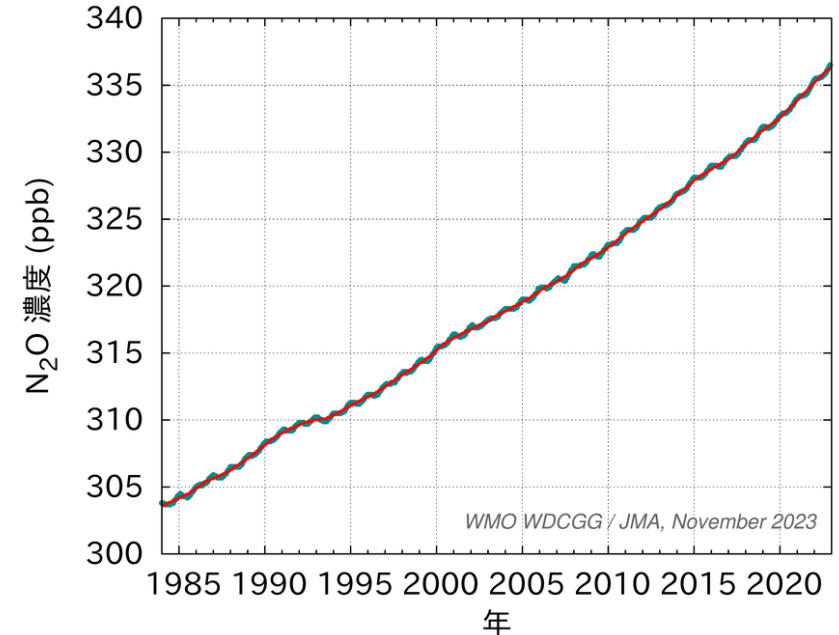
整理に必要な情報の例① 現状の大気中N₂O濃度の状態

- 現状の「状態」に関する情報を収集することで、人間の活動によりどのくらい環境に変化が生じてきているかを把握することができる。
- たとえば大気中N₂O濃度については、我が国の気象庁観測点の平均、世界平均いずれにおいても増加傾向にあり(1990年の310 ppmから340 ppmに上昇)、この30年での明確な状態変化が確認できる。

気象庁の観測点における大気中一酸化二窒素濃度の経年変化



大気中一酸化二窒素の世界平均濃度の経年変化



出所) 気象庁、「一酸化二窒素」(2023年11月5日最終更新版) 最終閲覧日: 2023年11月16日
https://www.data.jma.go.jp/ghg/kanshi/ghgp/n2o_trend.html

1. 複雑な窒素問題の構造整理

整理に必要な情報の例② N₂O排出の要因(分野別)

- 状況が変化するきっかけとなった要因(=人為的活動)についても整理が必要である。
- 例えば、我が国のN₂O排出については、工業プロセス及び製品の使用によるN₂O排出は対策されつつある一方で、農業由来や燃料の燃焼・漏出、廃棄物由来のN₂O排出は横ばいの傾向にあることが確認できる。

表 6 N₂Oの排出量

	1990年度 排出量 〔シェア〕	2005年度 排出量 〔シェア〕	2013年度 排出量 〔シェア〕	2019年度 排出量 〔シェア〕	2020年度(速報値)			
					排出量 〔シェア〕	変化量 《変化率》		
						2005年度比	2013年度比	2019年度比
合計	31.8 〔100%〕	25.0 〔100%〕	21.4 〔100%〕	19.7 〔100%〕	19.3 〔100%〕	-5.6 《-22.5%》	-2.1 《-9.6%》	-0.34 《-1.7%》
農業 (家畜排せつ物の管理、 農用地の土壌等)	11.3 〔35.6%〕	9.9 〔39.8%〕	9.3 〔43.5%〕	9.2 〔46.7%〕	9.1 〔47.0%〕	-0.83 《-8.4%》	-0.21 《-2.3%》	-0.10 《-1.1%》
燃料の燃焼・漏出	6.2 〔19.5%〕	7.2 〔28.7%〕	6.2 〔28.9%〕	5.5 〔27.7%〕	5.1 〔26.6%〕	-2.0 《-28.4%》	-1.1 《-17.0%》	-0.31 《-5.7%》
廃棄物 (排水処理、焼却等)	4.4 〔13.8%〕	4.9 〔19.8%〕	4.3 〔20.0%〕	4.1 〔20.9%〕	4.0 〔20.9%〕	-0.90 《-18.2%》	-0.25 《-5.8%》	-0.07 《-1.6%》
工業プロセス及び製品の使用 (化学産業、半導体・液晶製造等)	9.9 〔31.1%〕	2.9 〔11.7%〕	1.6 〔7.6%〕	0.92 〔4.7%〕	1.1 〔5.5%〕	-1.9 《-63.6%》	-0.55 《-34.2%》	+0.14 《+15.2%》

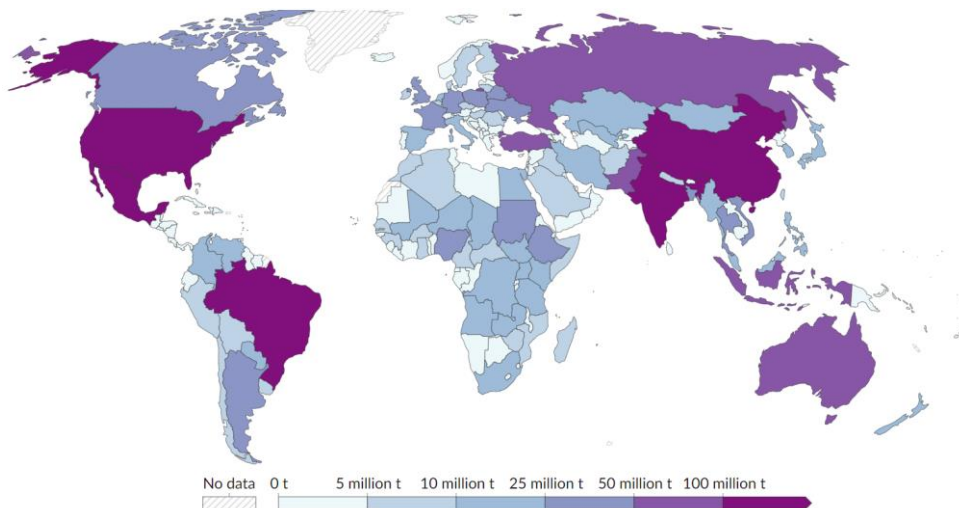
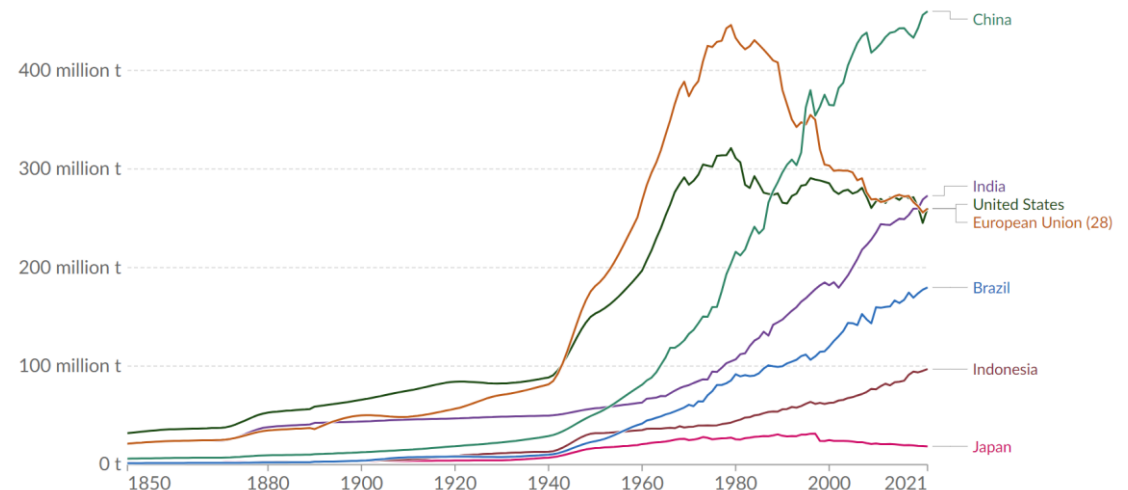
(単位：百万トンCO₂換算)

出所) 環境省、「2020年度(令和2年度)の温室効果ガス排出量(速報値)について」、2021年
<https://www.env.go.jp/content/900518252.pdf>

1. 複雑な窒素問題の構造整理

整理に必要な情報の例③ N₂Oの排出源（国別）

- 国別でも要因を分析することができる。
- 2021年における国別のN₂O排出量は、中国(0.9百万トン)、インド(0.5百万トン)、米国(0.5百万トン)、ブラジル(0.4百万トン)、インドネシア(0.2百万トン)の順である。なお、EUは0.5百万トン、日本は3.8万トンである。中国、インド、ブラジル、インドネシアは近年増加傾向が続いている一方、米国と欧州は1980年頃に減少傾向がみられて以降横ばいとなっている。

国別のN₂O排出量(2021年)主要国の国別N₂O排出量推移(1850-2021年)

図中の値はCO₂換算の重量であるため、N₂O相当に換算するために310で除している。さらに窒素ベースでの値にするためには、28/44を乗ずる。つまり、100百万トン-CO₂eq = 0.2百万トン-Nである。

出所) Our World in Data, "Nitrous oxide emissions"
<https://ourworldindata.org/grapher/nitrous-oxide-emissions?tab=chart&country=USA~CHN~European+Union+%2828%29~JPN~IND~BRA~IDN>

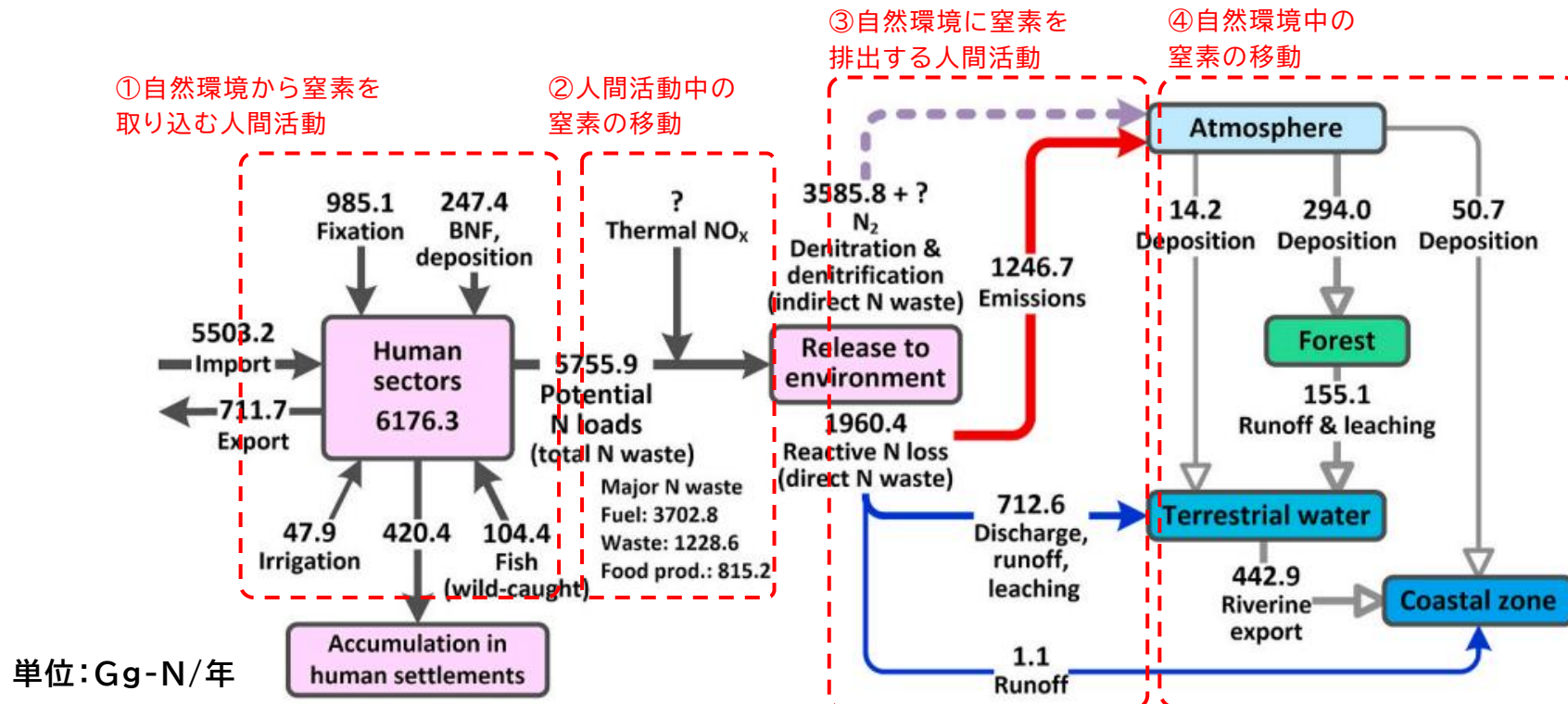
2. 窒素フロー活用の意義

- 窒素フローとは
- 窒素フローからわかること

2. 窒素フロー活用の意義

窒素フローとは

- 窒素フローとは、①窒素が自然界から人間活動に取り込まれ、②人間活動の中を移動し、③自然界に排出されるまでの流れに加え、④自然界で形態変化する様子も示した一連の図表である。
- 例えば日本のフロー図はHayashi et al. (2015) により整理されている。年間5.8百万トン-Nの窒素が投入され、うち3.6百万トン-Nが無害化されて環境中に放出される一方、1.2百万トン-Nは大気へ、0.7百万トン-Nが水圏へ反応性窒素のまま放出されていることが示唆されている。



出所) Hayashi et al., "Nitrogen budgets in Japan from 2000 to 2015: Decreasing trend of nitrogen loss to the environment and the challenge to further reduce nitrogen waste", 2021年 赤枠はMRI加筆

2. 窒素フロー活用の意義

窒素フローから分かること

- 窒素フローからは、反応性窒素が排出される様子と、その原因となる人間活動のつながりを読み取ることができる。
- 窒素フローを整理した既往研究を踏まえ、この点の関係性を重点的に確認していく。

Table S14 Matrix for 14-subsystems in 2010 (Tg N yr⁻¹)

	Industry	Cropland	Livestock	Human	Grassland	Aquaculture	Forest	Urban greenland	Pet	Wastewater treatment	Garbage treatment	Atmosphere	Surface water	Groundwater	
Industry		Fertilizer, 28.9	Fertilizer, 1.9	Goods, 5.9	Fertilizer, 0.7	Fertilizer, 0.4		Fertilizer, 0.2				NOx, 5.9	Runoff, 0.3		
Cropland	Material, 0.4	Straw, 1.5	Feed, 6.3; Straw, 1.3	Food, 4.5; Straw, 1.4		Feed, 1.9			Feed, 0.3			NOx, 0.4; NH3, 7.7; N2, 7.9; N2O, 0.4	Runoff, 2.4	Leaching, 2.1	
Livestock	Material, 0.1	Manure, 5.9		Food, 2.1								NH3, 4.6	Runoff, 2.9	Leaching, 0.4	
Human		Manure, 1.5	Feed, 0.3							Sewage, 2.5	Solid waste, 3.2	NH3, 0.5; NOx, 0.8	Runoff, 2.4	Leaching, 0.6	
Grassland	Material, 0.2			Food, 0.3								NOx, 0.5; NH3, 3.7; N2, 3.3; N2O, 0.3		Leaching, 0.5	
Aquaculture			Feed, 0.8	Food, 0.6								NH3, 0.2; N2, 0.7; N2O, 0.02	Runoff, 0.1		
Forest	Material, 0.4											N2, 3.7; N2O, 0.4	Runoff, 1.9		
Urban greenland											Green waste, 0.06	NH3, 0.06; N2, 0.09; N2O, 0.01	Runoff, 0.03	Leaching, 0.02	
Pet							Manure, 0.1				Waste, 0.2				
Wastewater treatment												N2, 1.0; N2O, 0.04	Effluent, 1.8	Leaching, 0.3	
Garbage treatment										Leachate, 0.6		NOx, 0.1; N2, 0.6		Leaching, 2.2	
Atmosphere	HBNF, 37.1	Deposition, 2.7; BNF, 4.6			Deposition, 5.5; BNF, 3.1	Deposition, 0.1; BNF, 0.4	Deposition, 8.6; BNF, 3.8	Deposition, 0.05; BNF, 0.04						Deposition, 0.4	
Surface water		Irrigation, 0.6											N2, 6.1; N2O, 0.1		
Groundwater															

中国においては、産業分野に投入された窒素は44.2 Tg-N/年が他分野に移動するが、そのうち28.9 Tg-N/年(65%)は肥料として農地に移動する。

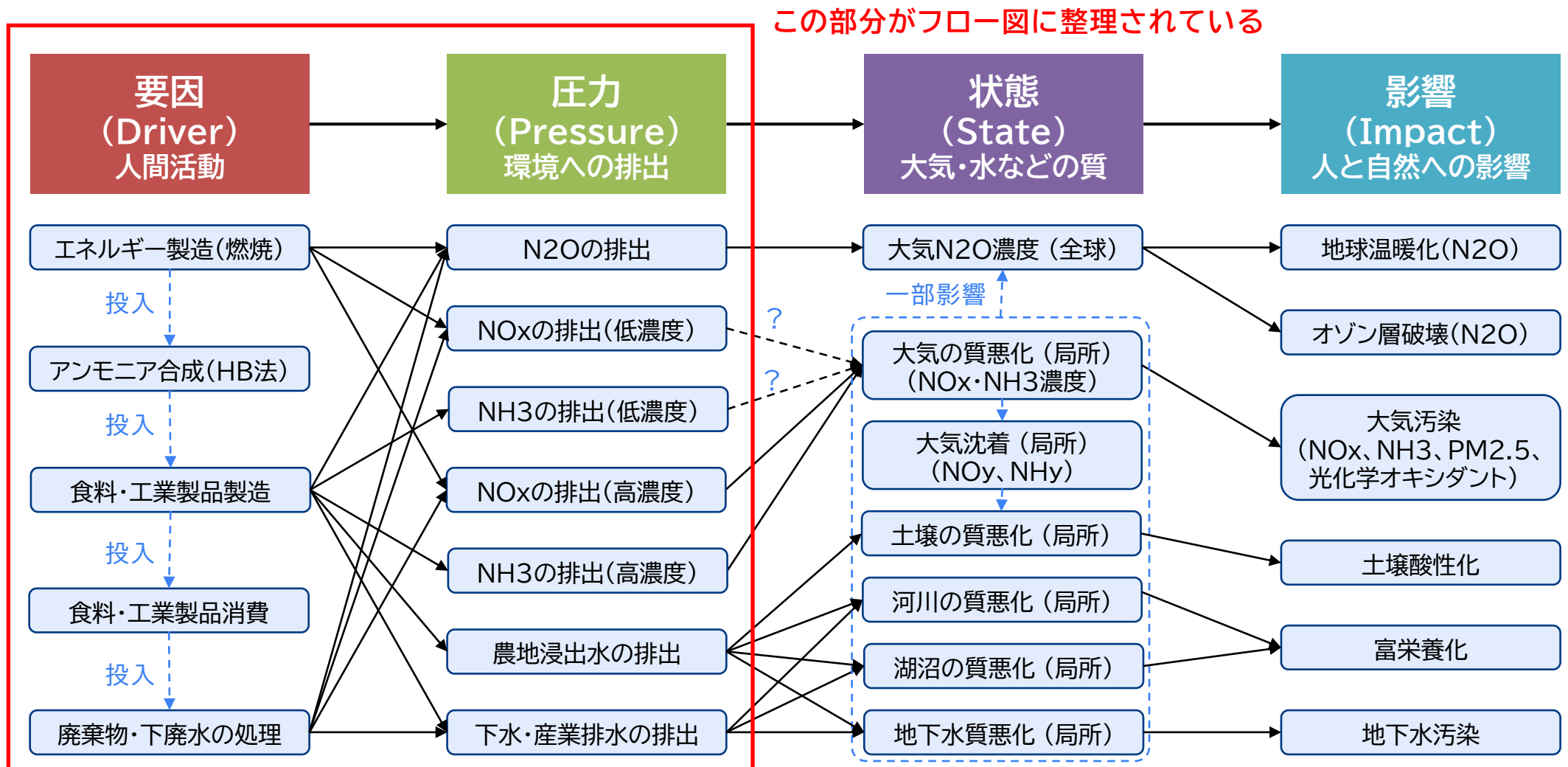
中国で大気に放出される反応性窒素を見ると、農業からの8.5 Tg-N/年(内訳はNOx 0.4、NH3 7.7、N2O 0.4)が大きく寄与している。

出所) Gu et al., "Integrated reactive nitrogen budgets and future trends in China", 2015年 に赤枠・青枠をMRI加筆

2. 窒素フロー活用の意義

【再掲】整理のアウトプットイメージ

- 複雑な現象を「要因」、「圧力」、「状態」、「影響」といった要素に分けて整理したいと考えている。
- 下図はイメージだが、今後有識者の意見を踏まえてブラッシュアップしていく予定である。



3. 本調査の目指すところ(当面の目標)

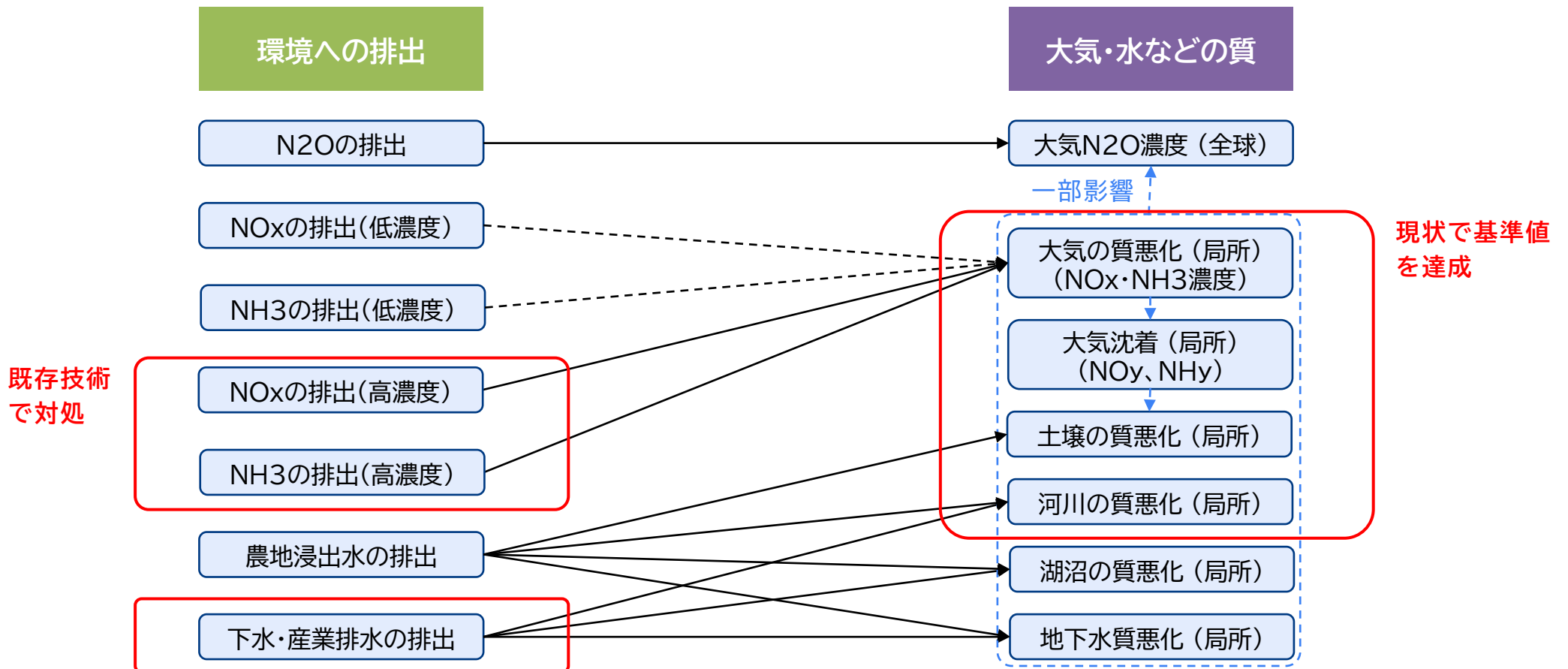
- 未着手領域の洗い出し
- 情報発信用のイラスト作成
- 将来における構造変化の可能性検討

3. 本調査の目指すところ(当面の目標)

未着手領域の洗い出し

- 反応性窒素が関係する問題の構造が整理できた後には、技術開発において注力すべき領域の絞り込みを行う。既存技術が対処している領域や、結果として状態が改善されている領域の整理を通じて、未着手の部分を洗い出す。

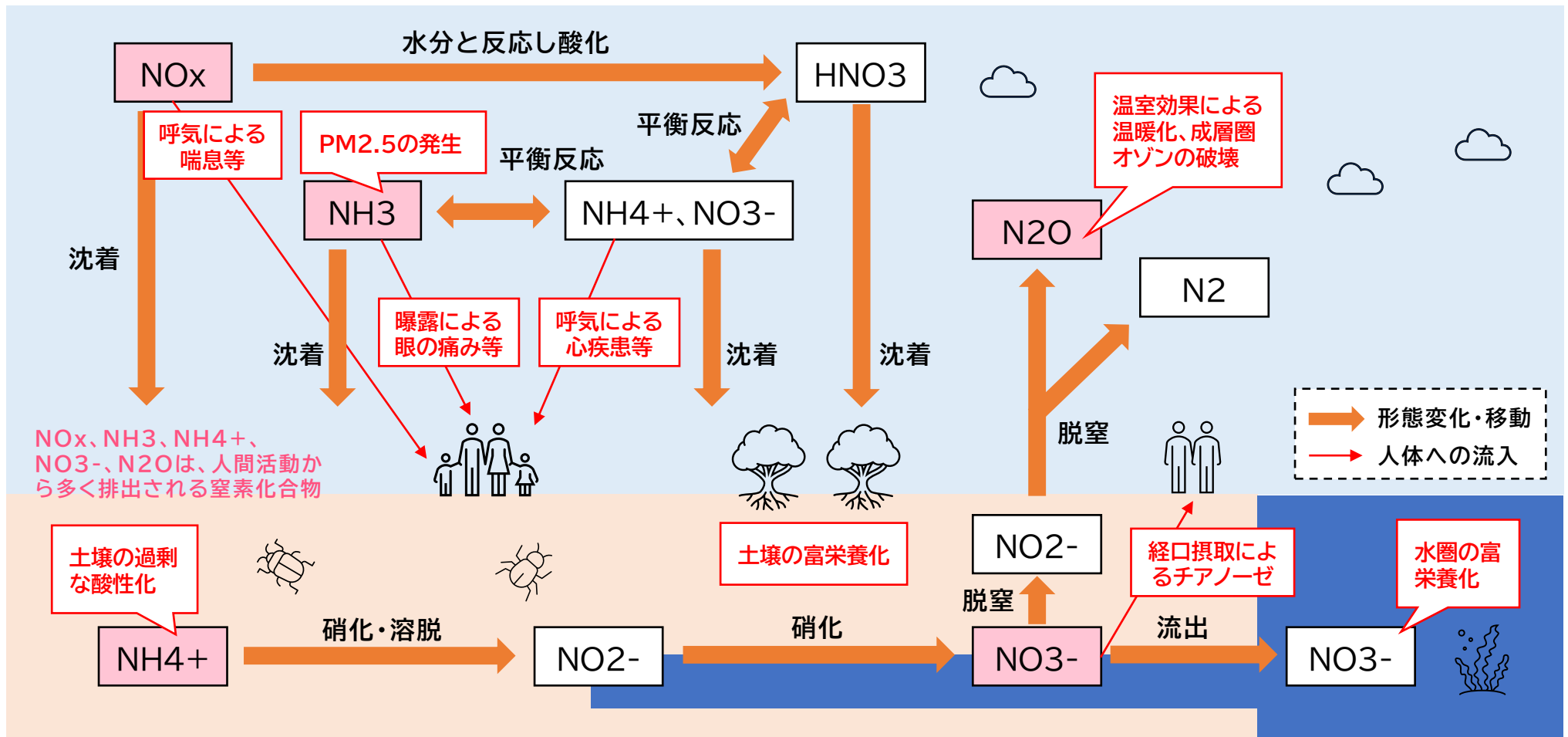
※図はアウトプットイメージ(内容は今後精査が必要)



3. 本調査の目指すところ(当面の目標)

情報発信のイラスト作成

- 整理結果を図的に要約することで、窒素問題の認知度向上に寄与するようなイラストの作成も検討しているところである。フロー図の要素も織り交ぜたい。

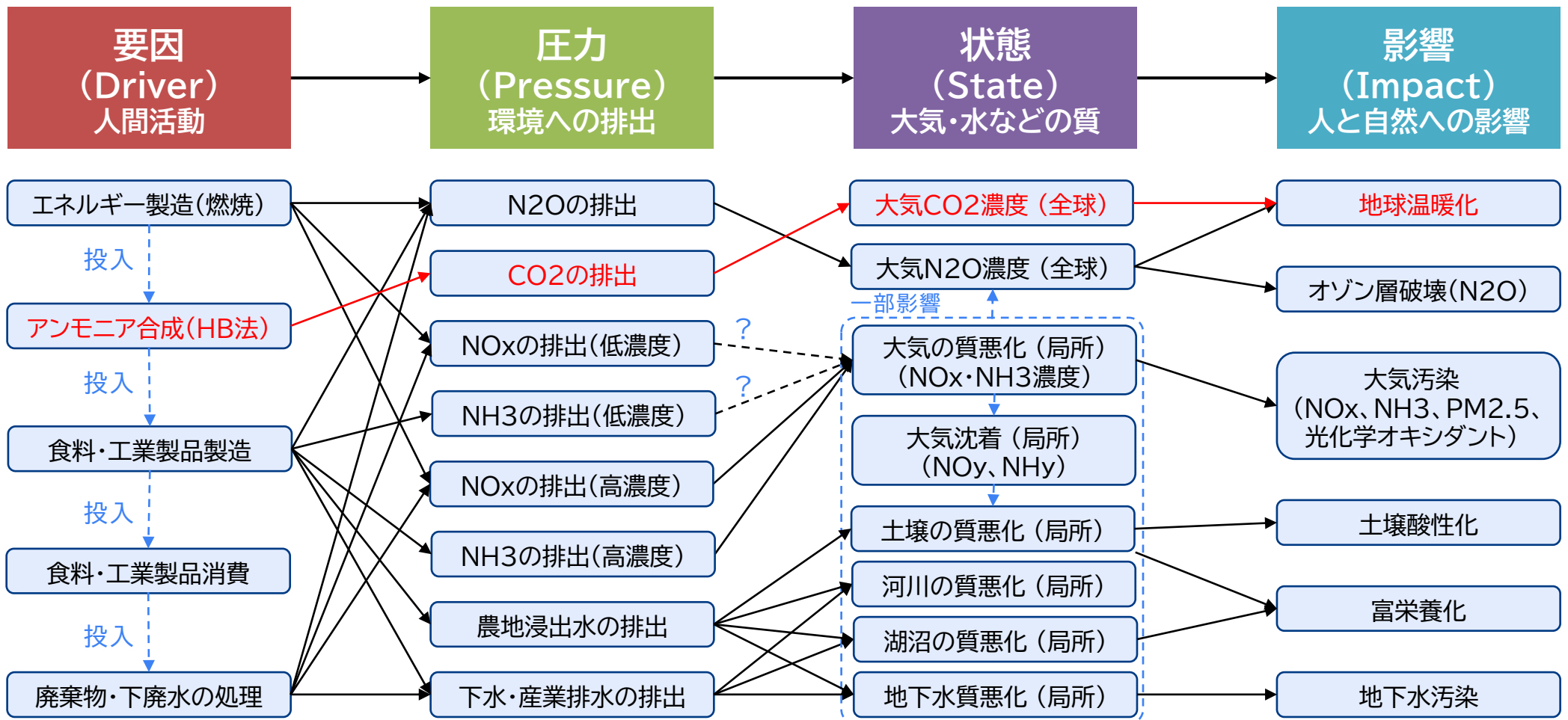


※水圏においても土壌においても、微生物によって窒素化合物の硝化・脱窒反応等が発生する。

3. 本調査の目指すところ(当面の目標)

将来における構造変化の可能性検討

- たとえば将来、アンモニア製造量が増加した場合、その製造に必要なエネルギーがCO₂排出の原因となり、地球温暖化に影響を与える可能性もある。
- 現在では顕在化していない環境問題のリスクについても、注視して検討を行っていく予定である。



4. さいごに

【再掲】本日の講演のポイント

- 本日の講演では、弊社が「①何を」、「②どのように」調査しているか概説した。
- その上で、「③なぜこの調査を実施しているか」、本調査で目指すところについても述べた。

<今日の講演のポイント>

- 1 本調査当面の目標は、**複雑な「窒素問題」の構造を整理**することである。
- 2 「窒素問題」の整理に際しては、**窒素フローの活用**が役に立つ。
- 3 「窒素問題」を整理した後には、**開発すべき技術についての提言**を予定している。

未来を問い続け、変革を先駆ける

MRI 三菱総合研究所