

カーボンニュートラルの絵姿 -長期的な見通しと課題-

藤森真一郎

京都大学 工学研究科 都市環境工学専攻

IPCC WG3 Contributing Author

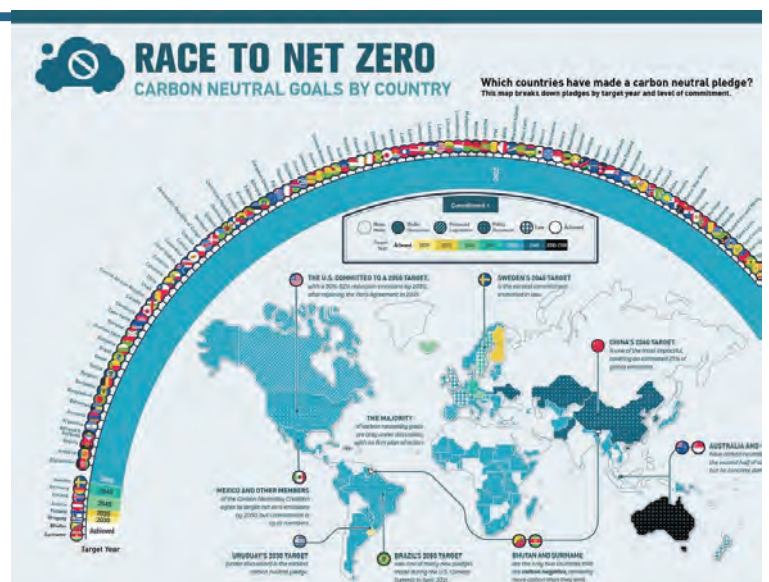
学術フォーラム「カーボンニュートラル実現に向けた学術の挑戦 システムの転換を目指して」

3月13日



はじめに

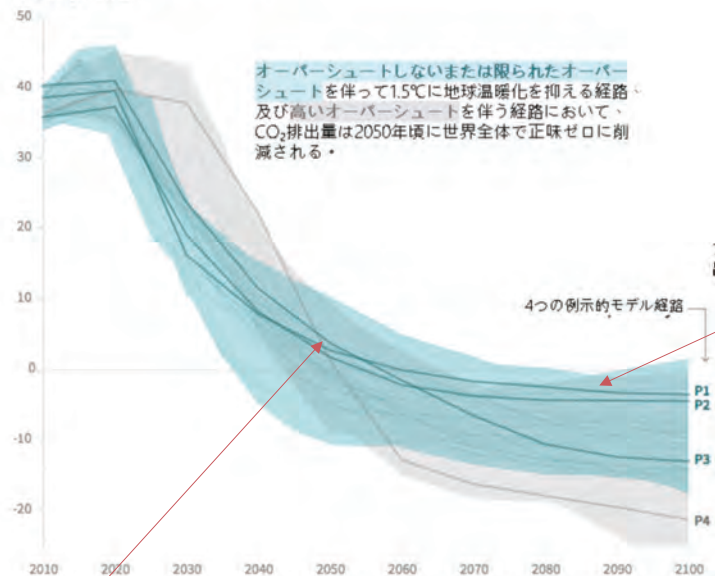
- 2015年のパリ協定、2021年のNDC更新、長期目標の宣言等劇的に政策の方向性が変わってきた
- 今世紀中盤でカーボンニュートラルはもはや世界で当たり前(137か国が宣言)
- 今後30年~80年という長期でわかっていることは？



<https://www.visualcapitalist.com/race-to-net-zero-carbon-neutral-goals-by-country/>

1.5°C安定化目標に相当する排出パス

世界全体のCO₂正味排出量
10億CO₂トン/年



オーバーシュートしないまたは限られたオーバーシュートを伴って1.5°Cに地球温暖化を抑える経路、及び高いオーバーシュートを伴う経路において、CO₂排出量は2050年頃に世界全体で正味ゼロに削減される。

今世紀後半はCO₂排出がゼロから負の排出へ突入

2050年付近ではかなりゼロに近づいている

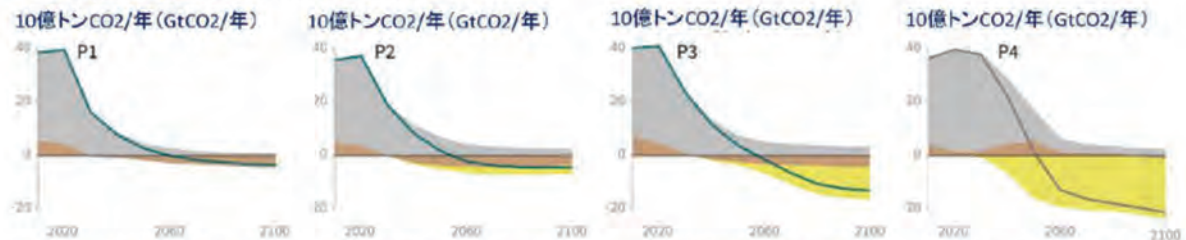
IPCC (2018) SR1.5



多様な選択肢がある

世界の正味CO₂排出量の排出経路

● 化石燃料と産業 ● AFOLU ● BECCS



P1:社会、ビジネス、技術革新により2050年までにエネルギー需要は下がるが、生活レベルは上がる。特に発展途上国で、小規模エネルギーシステムによりエネルギー供給の脱炭素化が推進される。新規植林のみがCDRとして考慮される。CCS付の化石燃料発電やBECCSは使われない。

P2:持続性に幅広く焦点を当てたシナリオ。エネルギー強度、人材育成、経済的収束、国際協力、及び持続的・健康的消費パターン、低炭素技術へのシフトなどが考慮される。CDRは使われるが、量は道筋によって違う。BECCSの社会的受容性には制約があり、その中で土地システムは適切に管理される。

P3:社会および技術発展はこれまでのパターンに沿っている道半ばのシナリオ。排出削減は主にエネルギーと生産の方法を変えることで達成され、需要削減はあまり行われない。

P4:資源とエネルギー集約のシナリオ。経済発展とグローバル化により、温室効果ガス排出量の高い交通燃料や生活用品などが使われる。温室効果ガス排出量の多い生活様式。排出量削減は主に技術手段によって行われ、BECCSの実施によるCDRに強く依存している。

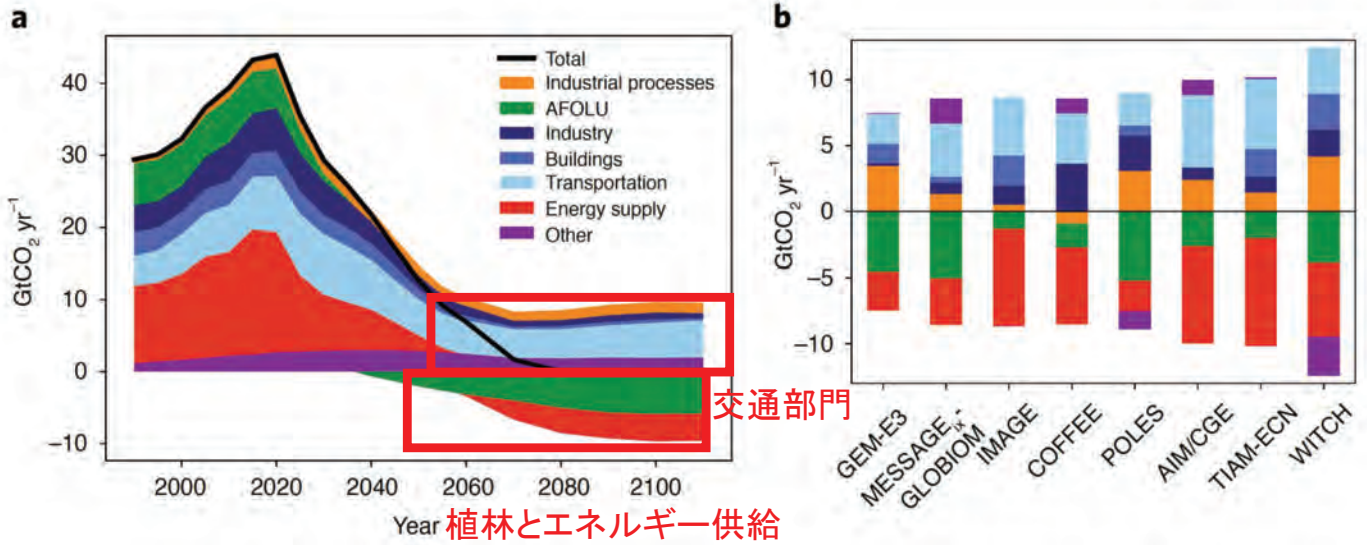
ipcc
INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change
WHO UNFCCC

- 早い削減を実施し、今世紀後半での大気からの吸収に頼らない？
- 早期削減は諦め、今世紀後半で大気から吸収する？



IPCC (2018) SR1.5

エネルギーシステムの変革

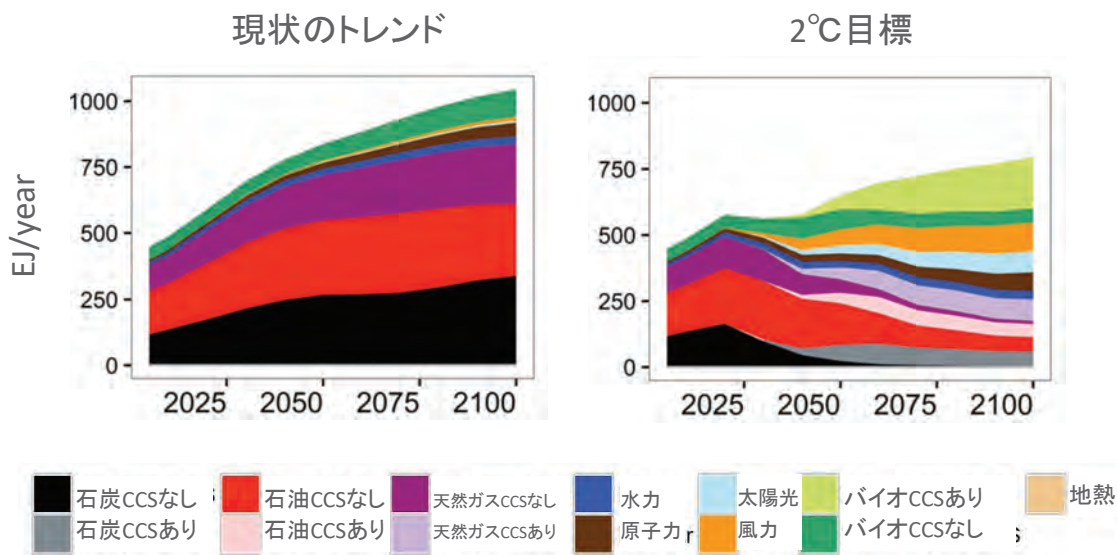


- カーボンニュートラルを部門別で見ると、モデルにより解が違う
- 森林・BECCS・大気直接回収での吸収
- 交通や産業を中心に残る排出をオフセット

Riahi et al. (2021) *Nature Climate Change*



エネルギーシステムの大規模変化



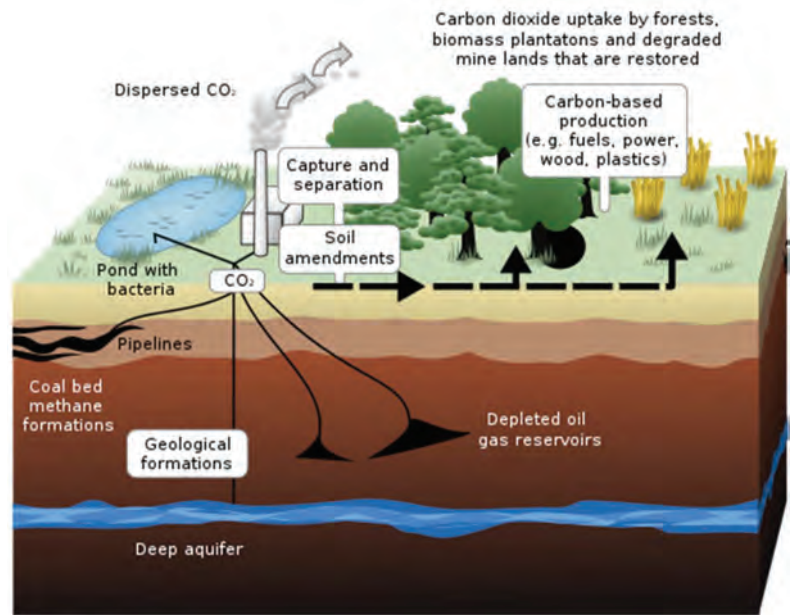
- 現状トレンドを維持すると化石燃料依存
- 2°C目標に準じると再生可能エネルギーへのシフト、CCSの利用



Fujimori et al. (2016) *SpringerPlus*

炭素隔離貯蔵 (CCS: carbon capture and storage)

- CCS は主としてCO₂の大規模排出源に対して装着して、CO₂を集め、地下もしくは海洋に貯蔵する技術
- CCS はだいたい石炭火力の費用を2倍にする
- 80 ~ 90 % のCO₂はCCSにて除去されるが、若干漏洩する
- 技術はあっても社会的に受容できるか？

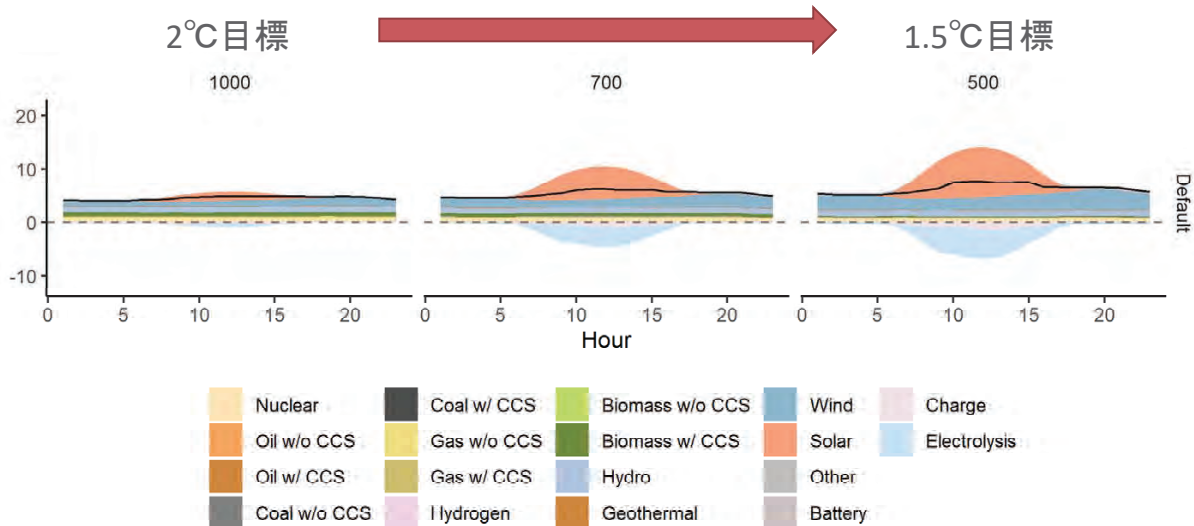


wikipedia

CCU (Carbon capture & utilization)

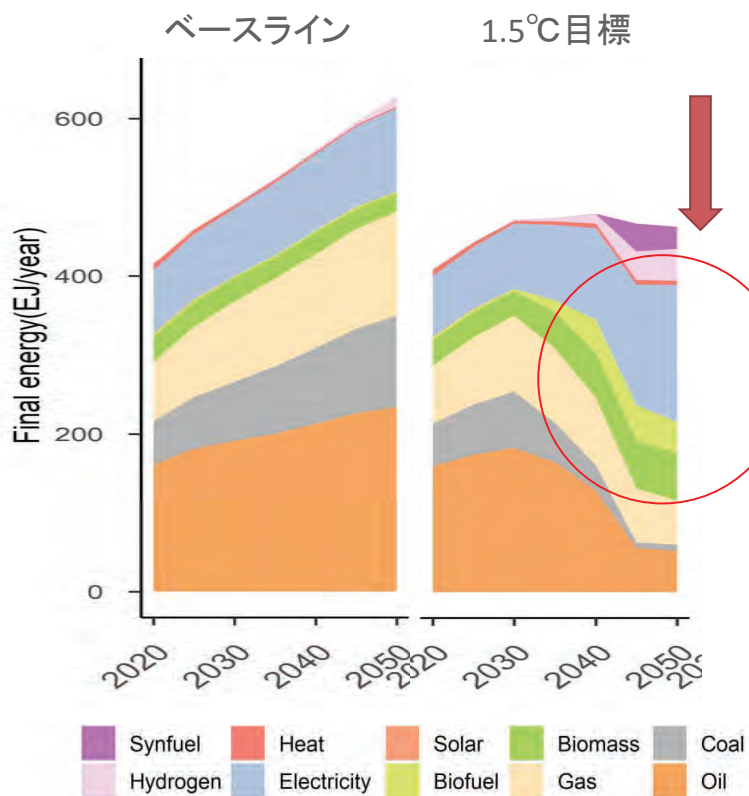
- 炭素隔離を行いその炭素を利用しようというもの
- 費用として安いのは化石燃料を消費する大規模排出源で炭素を捕獲しそれを利用するというもの
 - ✓ もし燃料として再合成して、消費されると大気にCO₂がリリースされるので、カーボンニュートラルの世界ではあまり意味がない
- 大気中からCO₂を直接回収するDAC (Direct air capture) が注目を集めている
 - ✓ 以前と比べるとだいぶ費用が下がってきた
 - ✓ 500-1000\$/tCO₂と言われていたのが200-500\$/tCO₂と言われるようになってきた

電力システムへの対応



- 再生可能エネルギーの変動を吸収する水素、蓄電池
- 緩和目標がきついほど昼間太陽光を水素へ

エネルギー需要



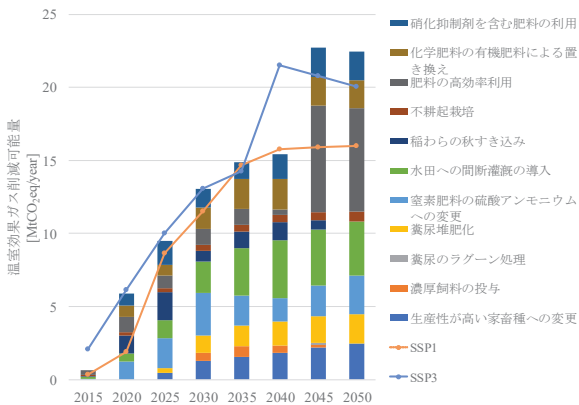
- 燃料シフト
 - ✓ 化石燃料⇒電気、水素、合成燃料、バイオマス
 - ✓ 大部分はエネルギー機器の更新による技術的な対応
- 省エネも重要
 - ✓ 我慢や「もったいない」レベルの自助努力ではたぶん全然足りない
 - ✓ 技術的な対応が中心 (ライフスタイルに関わる部分、そうでない部分)

農業・食のライフスタイルの役割

- CH₄(水田、畜産由来)、N₂O(肥料散布、畜産)が主要なソース
- これらを削減する農業技術は存在し、それらを導入していくのが基本的な戦略

日本の農業起源GHG削減の推計

2050年: 20.1MtCO₂eq (16.0~22.4MtCO₂eq)



横山、長谷川(2020)

✓ 有効な対策

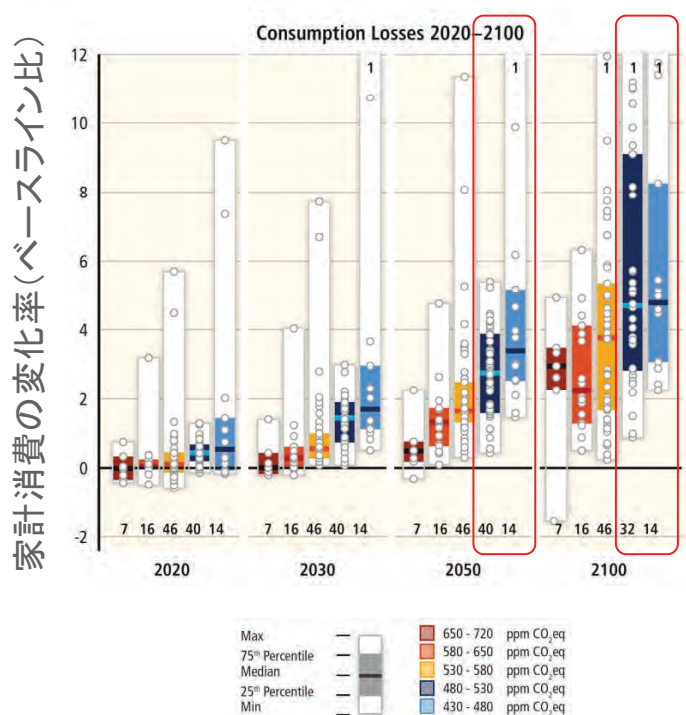
- 窒素肥料の硫酸アンモニウムへの変更
- 水田への間断灌漑の導入
- 肥料の高効率利用

生産側ではなく、そもそも需要自体を減らせられないか？

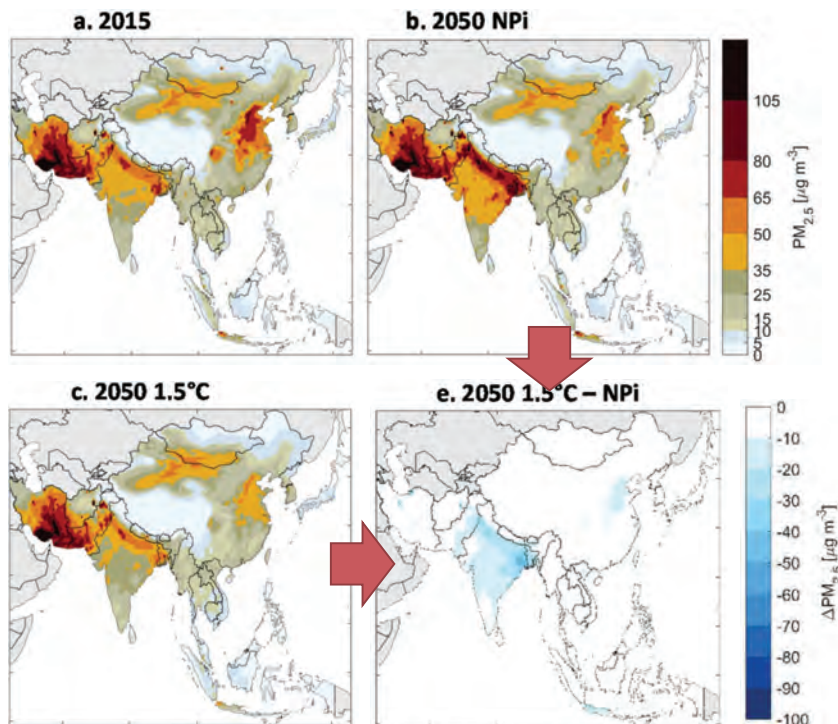


移行リスクの例(経済損失)

- 2°C目標に対応する費用はおよそ3%(2050年)程度
- 先進国、途上国によって異なり、削減負担をどこが担うかによっても異なる

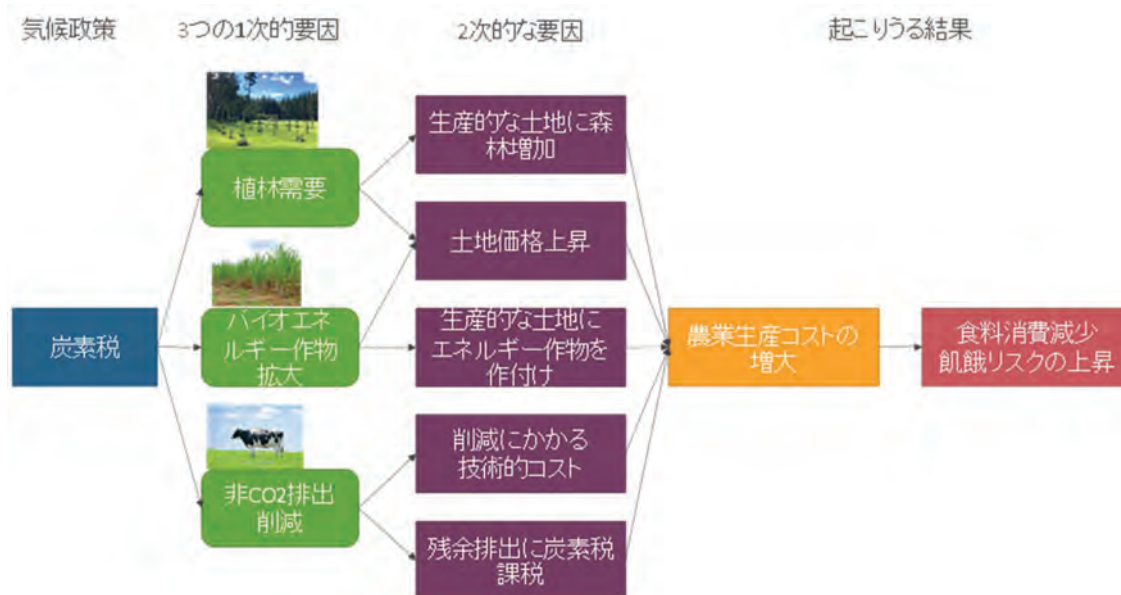


コベネフィット: 大気汚染



- アジアではインド、中国でPM2.5の減少
- それによる健康改善

農業・土地利用分野は特に注意が必要



- 食料価格⇒食料安全保障
- 生態系保全も

学術的な課題

- 新しい革新的技術の見通しに関する知見の集積
 - ✓ 水素や合成燃料に関わる技術的見通しとその含意
 - ✓ 新しいインフラに関連する課題の洗い出し
- 移行リスクへの対処の検討
 - ✓ 電力価格が上がってくる可能性がある
 - ✓ 経済損失が一定程度ありうる
 - ✓ 途上国の開発や貧困問題への波及的な影響
 - ✓ 農業生産・土地利用管理にかかわる問題への対処



まとめ

- 脱炭素、カーボンニュートラルの全体的な様相について
 - ✓ 多様な世界の可能性があるが大きな方向性は一定の合意がある
- エネルギーシステム
 - ✓ 再エネ・CCS、電化や水素化
 - ✓ 再エネの変動への対応
- 農業・土地利用システムの変革
 - ✓ 土地利用は大きく変わる可能性がある
 - ✓ 食のライフスタイルを変えていくことも考えてほしい
- コベネフィットと移行リスクの存在
 - ✓ 大気汚染分野では明瞭にコベネフィット
 - ✓ 発展途上国の開発に関わる部分でリスク
 - ✓ 賢い政策・国際協調が求められる



本発表は (独)環境再生保全機構環境研究総合推進費
(JPMEERF20211001, JPMEERF20202002)の支援を受け、国民対話の
一環として研究内容等を紹介しました.

ご清聴ありがとうございました
Thank you for your attention