

# 都市代謝系と沿岸生態系が融合した 循環型エネルギー・食料生産 システムの構築

令和5年3月3日

未来社会創造事業 「顕在化する社会課題の解決」  
領域公開シンポジウム

○藤原 拓（京都大学）、外丸裕司（水産研究・教育機構）  
足立真佐雄（高知大学）、井上和仁（神奈川大学）

# 研究開発内容の紹介

持続可能な環境・自然資本を実現し活用する新たな循環社会システムの構築

**研究開発課題名：** 都市代謝系と沿岸生態系が融合した循環型エネルギー・食料生産システムの構築

**研究開発代表者：** 藤原拓 京都大学・大学院工学研究科 教授

**共同研究機関：** 水産研究・教育機構、高知大学、神奈川大学



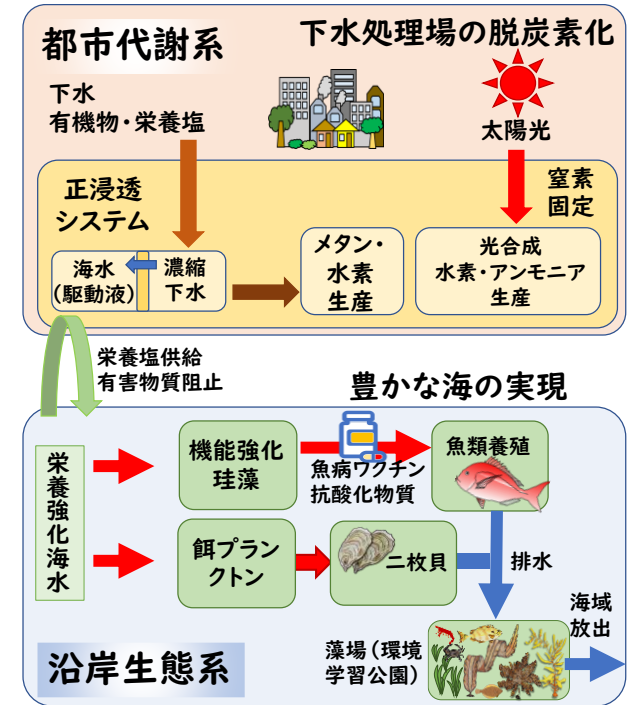
## 目的：

下水道からの温室効果ガスの排出や、沿岸域の貧栄養化・魚病被害による漁業生産量の減少という社会課題を解決するために、下水道資源を活用して複合的価値を創造する未来の循環社会システムを構築する。

## 研究概要：

- ① 下水処理場に集約される下水を資源と捉え、有機物をエネルギーに、栄養塩を水産物・魚病ワクチンの生産、豊かな沿岸生態系の創出に活用する未来の循環システムを構築する。
- ② 正浸透システム、メタン・水素生産、光合成水素・アンモニア生産により、下水処理場の脱炭素化実現に貢献する革新的システムを構築する。
- ③ 正浸透膜システム透過水を用いた機能強化珪藻の培養技術とこれを用いた魚病ワクチン・抗酸化物質の生産技術を確立し、生産物の有効性を実証する。
- ④ 正浸透膜システム透過水を用いた二枚貝養殖システムと藻場創出技術を確立し、構築された人工藻場による生物多様性の維持機能や栄養塩吸収能の有効性を実証する。
- ⑤ 下水を起点とした水産食品に対する社会受容性確立のための方法論を確立する。

<https://water.env.kyoto-u.ac.jp/>

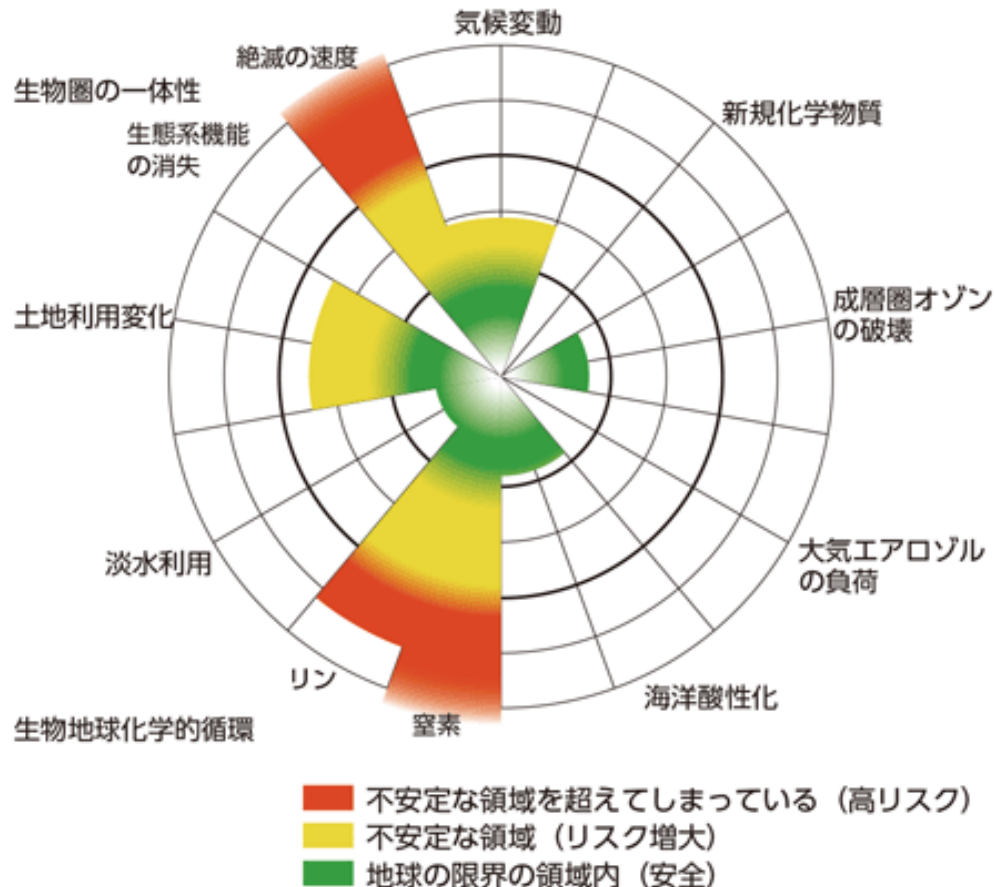


都市代謝系と沿岸生態系が融合した循環型エネルギー・食料生産システム

# 解決すべき地球規模課題

## ～プラネタリー・バウンダリー(地球の限界)～

プラネタリー・バウンダリーの考え方で表現された現在の地球の状況



○ **プラネタリー・バウンダリー (地球の限界)** : 人間活動が地球システムに及ぼす影響を客観評価する方法の一つ。地球システムに対して、人間が9種類の変化を引き起こしているとの考え方に基づく。

①生態系・生物多様性の破壊、②気候変動  
③新規化学物質による汚染、④成層圏オゾンの破壊、⑤大気エアロゾルの負荷、⑥海洋酸性化、⑦生物地球化学的循環(窒素・リン)、⑧淡水利用、⑨土地利用変化

○ **生態系と生物多様性の破壊、窒素・リンの生物地球化学的循環、気候変動、土地利用変化**については、人間による地球への影響とそれに伴うリスクが顕在化。

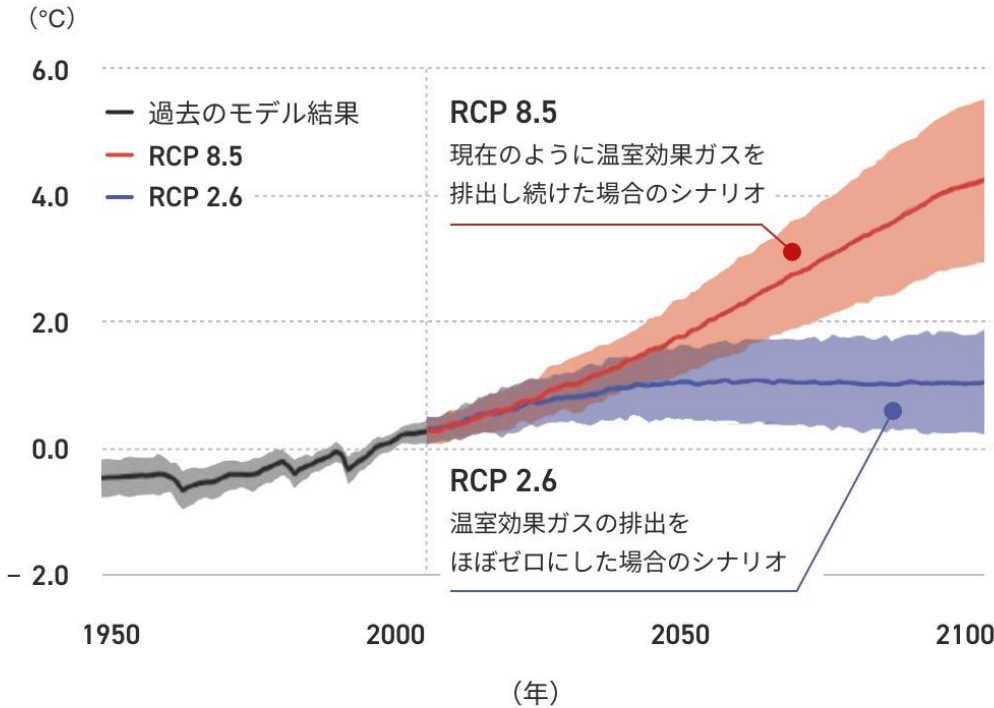
○ 人間が安全に活動できる範囲を越えるレベルに到達

(出典) 平成29年版 環境・循環型社会・生物多様性白書

<http://www.env.go.jp/policy/hakusyo/h29/html/hj17010101.html>

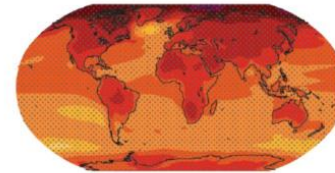
# 解決すべき地球規模課題～気候変動～

1986 - 2005年平均に対する世界平均地上気温の変化



年平均地上気温の変化

**RCP 8.5**  
CO<sub>2</sub>などの排出を抑えないため  
気温上昇が大きい



**RCP 2.6**  
CO<sub>2</sub>などの排出を抑えるため  
気温上昇が少ない



出典：IPCC AR5 WG I SPM Fig. SPM.8(a)

**13** 気候変動に  
具体的な対策を



- **気候危機**：人類・全生物にとっての生存基盤を揺るがす
- **将来世代のため**：持続可能な経済社会をつくる
- **みんなで取り組む**：ライフスタイルに起因する排出量が約6割。国・自治体・事業者だけの問題ではない。

出典：環境省HP [https://ondankataisaku.env.go.jp/carbon\\_neutral/about/](https://ondankataisaku.env.go.jp/carbon_neutral/about/)



# 本研究で解決を目指す社会課題

- **下水道**：都市の浸水防除、公衆衛生、公共用水域の水質保全のため不可欠なインフラ（都市代謝系）
  - 全国の電力消費量の0.7%、CO<sub>2</sub>排出量の0.5%を占める(2014年度)<sup>1)</sup>
  - CO<sub>2</sub>排出の55%が下水処理場での電力、電力消費の46%が水処理工程<sup>2)</sup>
  - 栄養塩除去のための高度処理は特に電力消費が著しい。
  - 2050年に向けて下水道の脱炭素化が必要。
- **水産業**：食料生産の場としての沿岸域（沿岸生態系）
  - 高度成長期の赤潮頻発による養殖業への多大な被害
  - 水質総量規制による流入負荷削減（COD、窒素、リン）
  - 貧栄養化による漁業生産量減少、ノリの色落ち等の問題。

■下水道からの温室効果ガス排出量 ■下水道における電力消費の内訳

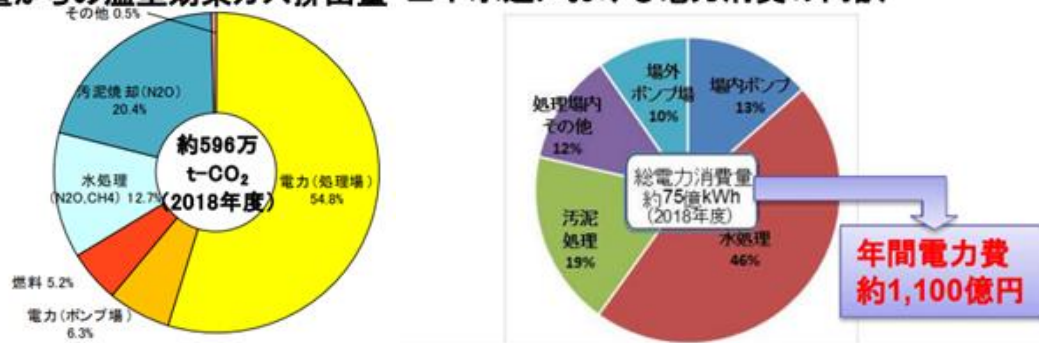


図 下水道における電力消費と温室効果ガスの排出<sup>2)</sup>



出典：第1回水環境マネジメント検討会 資料4 兵庫県提出資料, p. 7

図 ノリの色落ち<sup>3)</sup>

# 本研究で取り組む社会課題の着眼点と理由 <sup>6</sup>

## ● 下水道の2050年脱炭素化

- 下水のエネルギーポテンシャル：142億kWh<sup>1)</sup>（下水道分野の総消費量75億kWhの189%）

## ● 沿岸域の貧栄養化と漁業生産量の減少

- 漁業生産量は昭和60年ごろをピークに減少
- 下水による沿岸域への栄養塩供給ポテンシャル
  - 下水中の窒素：54万トン/年<sup>1)</sup>
  - 下水中のリン：7.2万トン/年<sup>1)</sup>

出典：

- 1) 国土交通省：  
<https://www1.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/content/001462180.pdf>
- 2) 国土交通省HP  
<https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/content/001466673.pdf>
- 3) 環境省せとうちネット  
[https://www.env.go.jp/water/heisa/heisa\\_net/setouchiNet/setsu/g2/g2cat02/suisangyou/index.html](https://www.env.go.jp/water/heisa/heisa_net/setouchiNet/setsu/g2/g2cat02/suisangyou/index.html)

◆ 「2050年までに、温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、すなわち2050年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指す」べく、中長期目標を設定。

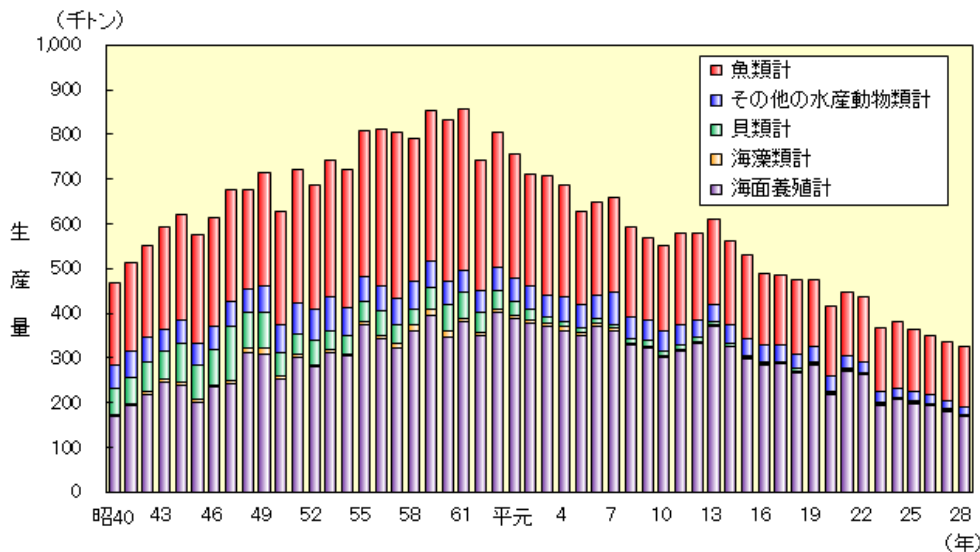
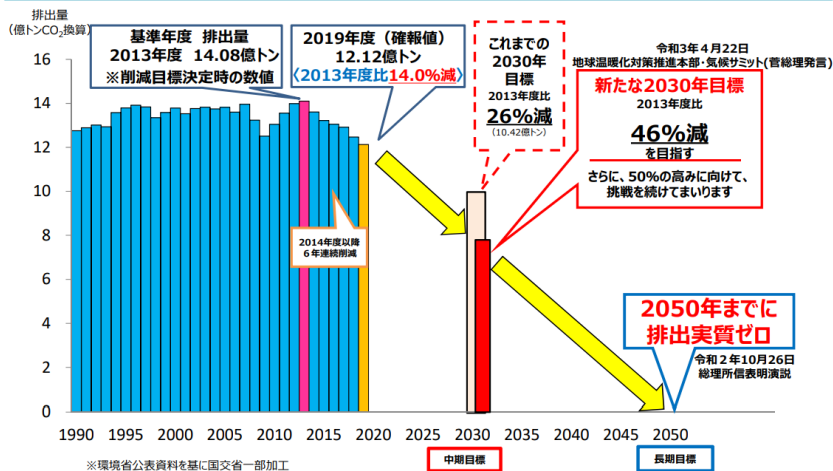
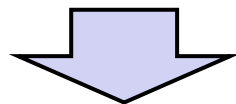


図 瀬戸内海における漁業生産量の推移<sup>3)</sup>

図 我が国の温室効果ガス削減の中期目標と長期目標<sup>2)</sup>

# 実現したい未来社会

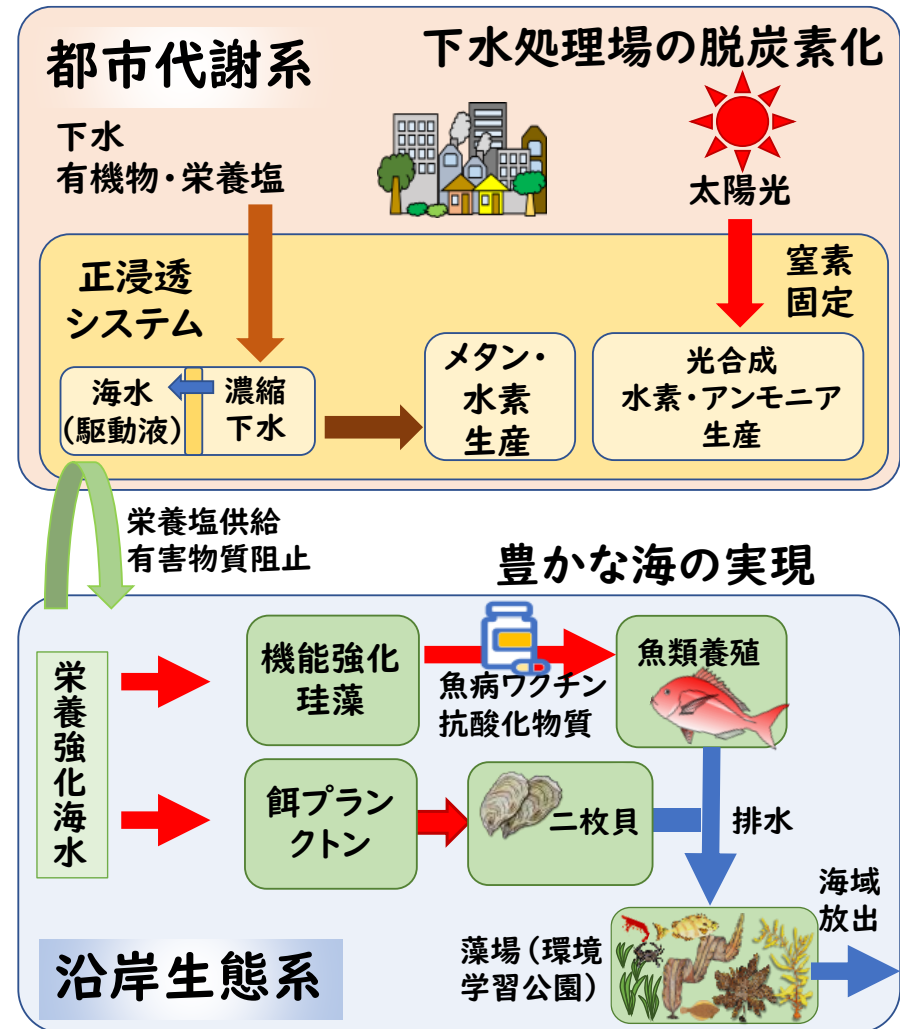
- 下水処理場に集約される下水を資源と捉え、有機物をエネルギーに、栄養塩を食料に転換する未来の循環システムを実現。
- 具体的には、下水から次の有価物を生み出す循環経済と地域振興を実現。
  - エネルギー（水素・メタン）
  - 高付加価値物質（魚病ワクチン・抗酸化物質）
  - 食用水産物（魚類・二枚貝）
- プラネタリーバウンダリーで高リスク領域と評価される窒素循環を改善するとともに、沿岸域の生物多様性維持にも貢献
- 下水道の脱炭素化により、同じく不確実性領域と分析されている気候変動の緩和に貢献。
- 下水由来の栄養塩を活用した沿岸域の藻場造成による、二酸化炭素の吸収。



持続可能な未来の地域社会創造に貢献したい

# 研究の中で取り組みたいこと

- 正浸透（FO）システム、メタン・水素生産、光合成水素・アンモニア生産により、下水処理場の脱炭素化実現に貢献
- FOシステム透過水を用いた機能強化珪藻の培養技術とこれを用いた魚病ワクチン・抗酸化物質の生産技術を確立
- FOシステム透過水を用いた二枚貝養殖システムと藻場創出技術を確立し、提案システムの社会受容性確立に関する市民科学実践の場とする。
- 下水を起点とした水産食品に対する社会受容性確立の方法論に正面からチャレンジ



出典：藤原拓,  
[https://www.jst.go.jp/mirai/jp/uploads/saitaku2022/JPMJMI22I3\\_summary.pdf](https://www.jst.go.jp/mirai/jp/uploads/saitaku2022/JPMJMI22I3_summary.pdf)