



ネガティブエミッション市場創出に向けた検討会 ～ネガティブエミッションと農業の連携に関して～

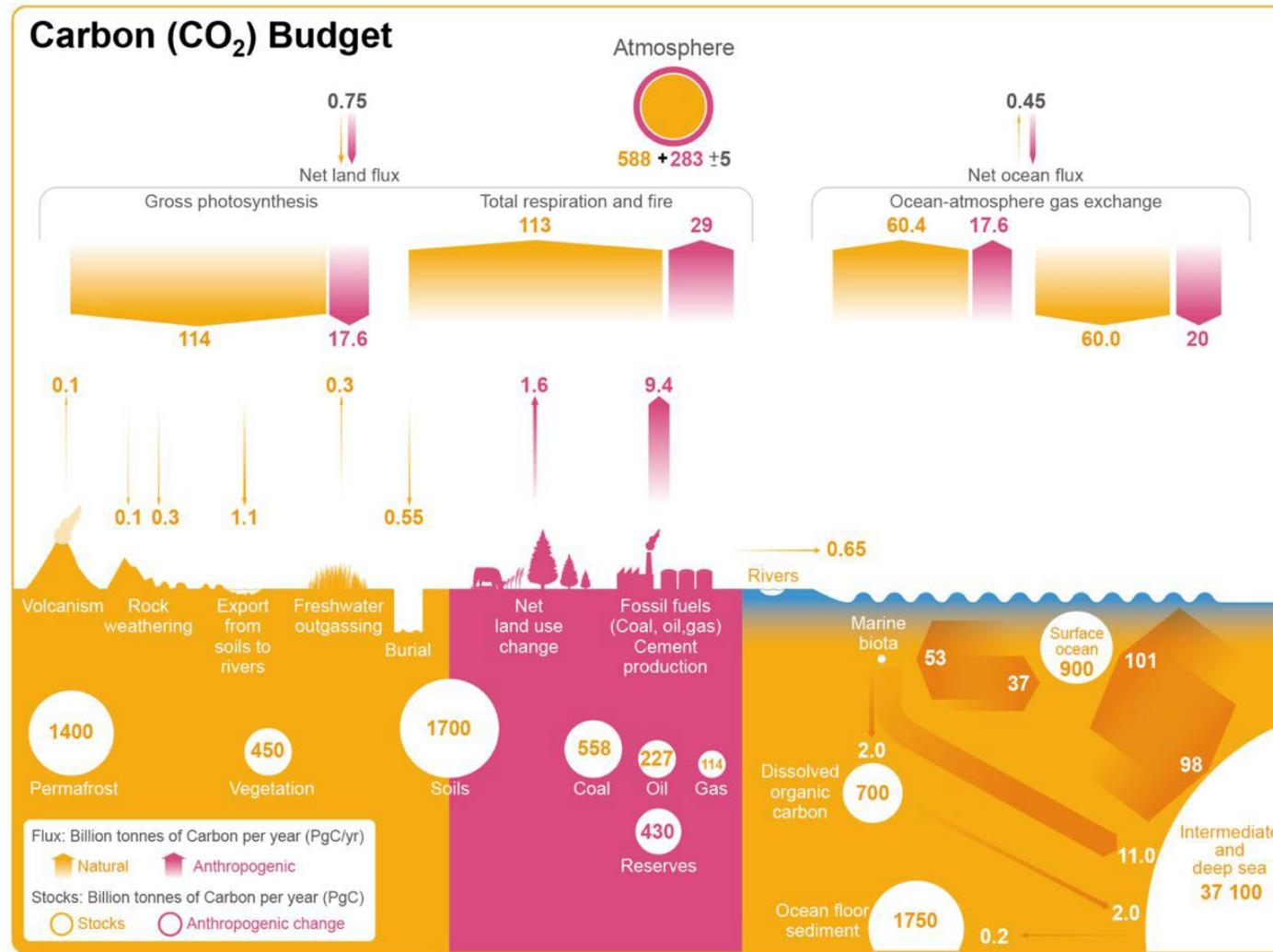


参考人
早稲田大学理工学術院教授
関根 泰
根参考人

2月2日参議院参考人招致の模様

2021/3 イギリス王立化学会フェロー
2020/4 文部科学大臣表彰科学技術賞 受賞
2019/1 日本化学会 学術賞 受賞

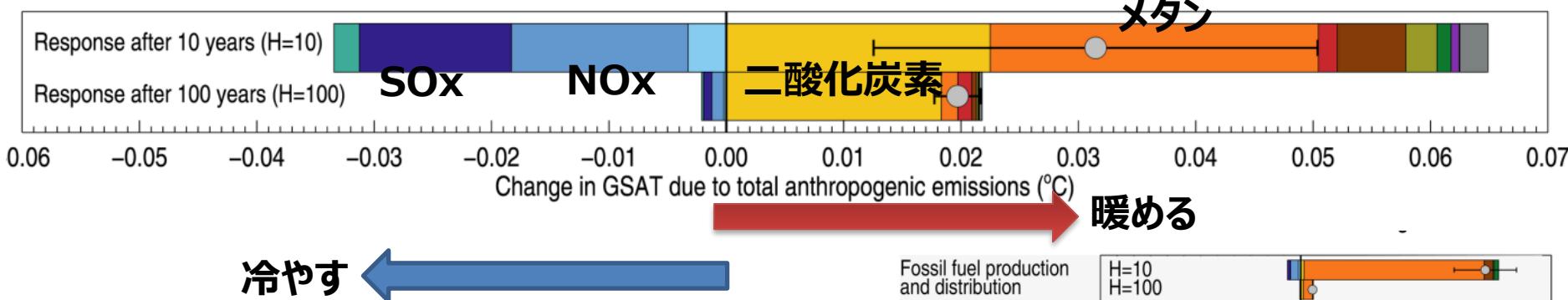
JST-CRDSフェロー
JSTさきがけ「反応制御」領域総括
産業構造審議会グリーンイノベ部会委員
グリーンイノベ戦略会議議員・WG座長
クリーンエネルギー戦略委員
文科省環境エネルギー委員会委員
Elsevier “Fuel”誌 編集責任者
NEDO未踏チャレンジ2050 領域総括
国際天然ガス転換会議 日本代表
日本学術会議 特任連携会員



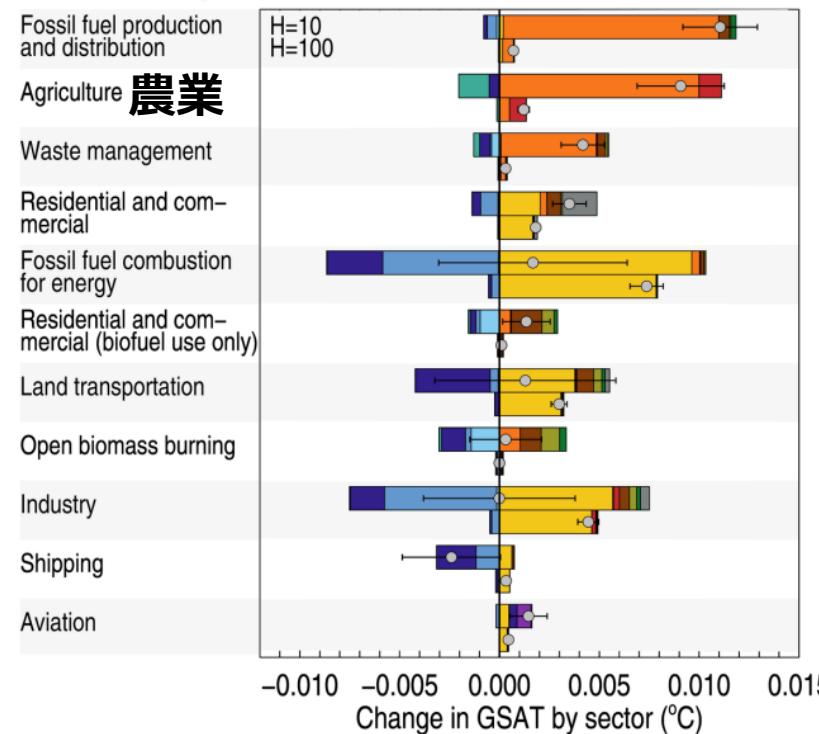


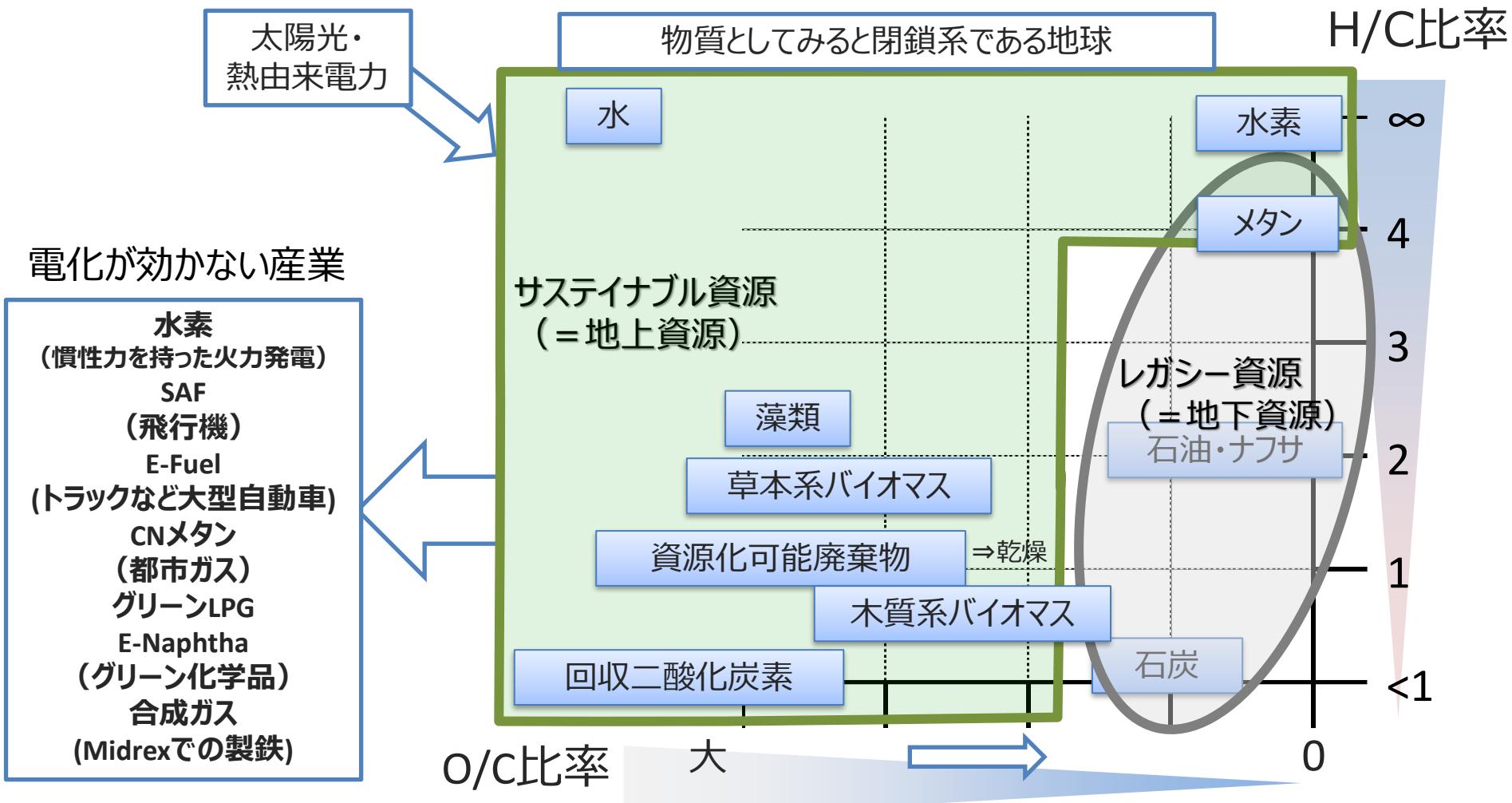
2023に出した温暖化ガスは 10年後の2033・100年後の2123に…?

Effect of a one year pulse of present-day emissions on global surface temperature



二酸化炭素排出抑制のみに
目を奪われていてはいけない
これからはN₂OとCH₄の
排出規制も厳しくなる
農業からのN₂O・CH₄排出の抑制は
喫緊の課題→スマートアグリで解決







- これまでのエミッションとは
 - 地下に眠る3億年の**地球の遺産**である化石資源を「掘り出して」「**最終的には燃焼して**」「**二酸化炭素・水と熱にして大気に放出**」
 - 物質閉鎖系の地球では、これが温暖化を引き起こす
- これを逆に考えるとネガティブエミッションは
 - 大気の二酸化炭素をどうにかして固定しやすい形に変えて、地下に戻す（あるいは地表にて固定する）こと
- では、二酸化炭素を集める方法と、固定しやすい形に変える方法をどうビジネスと絡めコベネフィットを生み出すか？



- 大気の二酸化炭素をどう集めるか？
 1. CN燃料を燃焼後、放出せずにその場で回収して転換し固定
 2. DAC→次をどうする？ CCS ? 炭化 ? 鉱物など ?
 3. 植物の力（光合成）に頼る
- コベネフィットを考えたコストでいうと
 - 416ppmを植物（農業）で回収 << 5-20%を工業で回収 < 416ppmをDACで回収
 - 農業はスマートアグリを志向すれば
食料生産 + 物質エネルギー併産 + 炭素固定 が望める



- 人類が食料を必要としなくなることは決して無い=農業の重要性は未来永劫変わらない
- 一方で、コメを作れば稲わら・穀殻などが、麦を作れば麦わらなどが併産、これを利用して転換・固定すれば、食料 + 物質エネルギー併産 + 炭素固定が同時に実現可能
- バイオ炭は日本では2010年にいちはやくインベントリ
- J-CreditにおいてもAG-004として定義
- 応用例として、バイオガスと施設園芸を考える



- $\text{CH}_4 + \text{CO}_2 \rightarrow 2\text{CO} + 2\text{H}_2$
 - 稲わらからのバイオガスのDR（ドライリフォーミング）
- $2\text{CO} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{C} \downarrow$ ネガエミ
- トータルとして $\text{CH}_4 \rightarrow \text{C} \downarrow + 2\text{H}_2$ バイオガスからのネガエミ+バイオ炭施用による施肥効率向上
- バイオ炭は、ラマンやXRD、NMRによる継続的な評価が必要だが、グラフィティックな炭素（G-bandが多い）ほど安定に存在、ダングリングボンドへのCOOHへのK固定などが期待できる（施肥効率向上）



- ・高知県・高知大学は、IoP拠点を整備して施設園芸の高度化を推進、単位面積あたり、全国で最も儲かる農業へと進化させてきた。
- ・すでに数千件の農家をネットでつなぎ、光合成速度、蒸散、葉温、収量などをリアルタイムに把握し、出荷・市況データとリンクさせて利潤最大化をしている
- ・CO₂を積極的にハウス内に施用して収率をさらに高めている→二酸化炭素の固定利用先としてのアグリ活用と食料増産
- ・今後バイオ炭施用と組み合わせると更に強力なNETsに

IoPプロジェクトの概要

- 施設園芸農業の飛躍的発展 (園芸農業生産性日本一を誇る本県の施設園芸農業の更なる生産性向上を図る)
多様な園芸作物の生理・生育情報のAIによる可視化と利活用を実現するIoP (Internet of Plants) 等の最先端の研究
⇒ 栽培、出荷、流通までを見通したIoPクラウドを構築し、AIにより営農支援 (次世代型施設園芸システム)を「Next次世代型」へと進化)

《次世代型》 高収量・高品質

- 温度、湿度、炭酸ガス濃度など
ハウス内環境見える化 (ほぼ手動で制御)
次世代型ハウス | 75ha (H27~R3見込)
環境制御技術 | 57.8%の農家に普及 (主要7品目)

進化

《Next次世代型》 超高収量・高品質化 高付加価値化 超省力化・省エネルギー化

- 「ハウス内環境」+「生理・生育」の可視化
⇒ レベルに応じた営農指導 ⇒ 統合制御 (自動化)
- 農家間の情報の一元化 ⇒ 产地全体としてSuper四定へ (定時、定量、定品質、定価格)
- さらに出荷量・出荷時期の予測、作業の効率化

- 施設園芸関連産業群の創出・集積 (関連する機器・システムを開発し、県外・海外にも販売する)

- IoP専門人材の育成

最先端の研究 IoP共創センター (R3.10設立)

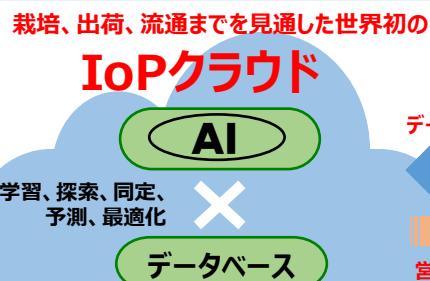
生産システム	作物の生理・生育の可視化による生産の最適化 労働 (時間と技) の可視化による匠の技の伝承
省力化技術	生産や収穫作業の自動化、省力化技術の研究
高付加価値化	特定の機能性成分等を強化した品種や栽培方法の開発、医科学的検証
流通システム	出荷量・出荷時期等の予測システム開発
統合管理	システム全体の最適化、ネットワークインフラの研究 等

世界トップレベルのIoP研究の拠点を目指す

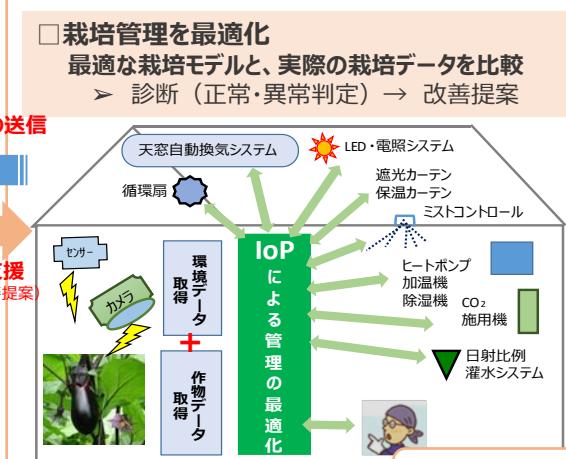
IoP専門人材の育成

- IoP連携プログラム (修士課程) の展開
高知大学農林海洋科学専攻×高知工科大学×高知県立大学
- IoP教育プログラム (学士課程) の展開 → 農林海洋科学部改組
- IoP塾、土佐FBC-S (学術指導コース (R5~)) の開校 等

クラウド構築・運用 (データに基づく営農支援と産業振興) IoP推進機構 (R2.3設立)



- 最適な栽培モデル
 - ✓ 光合成、蒸散、転流等
 - ✓ 作物の成長・収量・収穫時期
 - ✓ 環境・農作業・市場 etc.
- ・集積したデータによりモデルをさらに高度化
- ・データ駆動型の機器・システム類の開発



- 出荷量・出荷時期を予測
➢ 栽培や販売戦略に活用

ハウスの規模や
仕様に応じて、開発
した最新の機器・シ
ステムを導入可能

推進体制
高知県Next次世代型施設園芸農業に関する産学官連携協議会
【会長】濱田省司 高知県知事 【事業責任者】受田浩之 高知大学理事

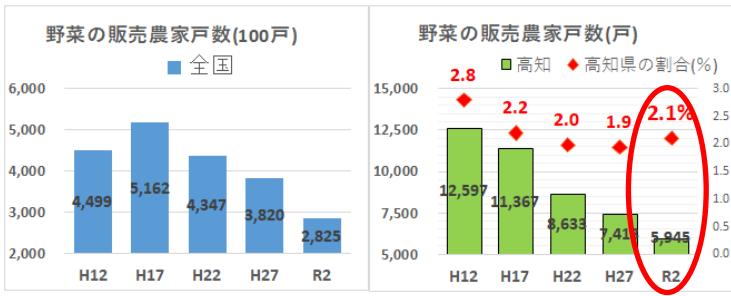
高知県、高知大、高知工科大、高知県立大、JA高知中央会、JA高知県、工業会、IoT推進ラボ研究会、四国銀行、高知銀行

- K
P
I
- ①野菜の産出額を130億円増加させる H29推計 | 621億円→10年後 (R9) | 751億円
 - ②新規雇用就農者を1,000人増加させる
 - ③専門人材育成プログラム受講生の地元就職・起業数100人を達成する
 - ④施設園芸関連産業群の集積 : 機器・システムを100億円販売する等 ※②～④は10年間の累計

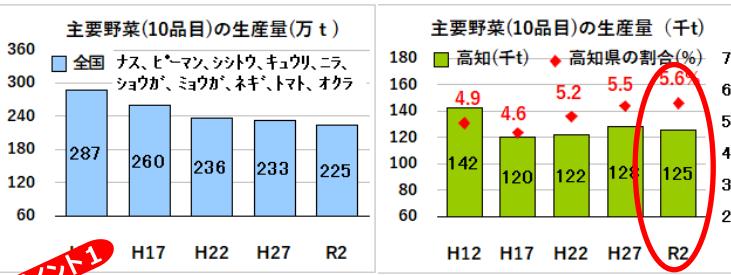
高知県での施設園芸は日本一の生産性、スマートアグリは大きな利潤を

- 【ポイント】
- 1) 全国の野菜生産農家が激減し、生産量が減少する中、IoPにより生産効率が高まり、高知の主要野菜（10品目）における高知のシェアはやや高まり、高知県の野菜全体の農業産出額は増加している。
 - 2) 施設園芸における生産性の高さでは、高知県が全国1位。さらに高知県が全国1位のシェアを誇るナス、ニラで作物の生理・生態を可視化するAIエンジン（世界初）を開発。全国各自治体（産地）から注目されており、今後、様々な品目への横展開が可能。
 - 3) 産学官連携により、様々なデータ群を自動収集・蓄積・分析診断できるIoPクラウド(SAWACHI)が完成。
 - 4) 県内の生産者1,500戸にデータ駆動型農業を定着。さらに、他自治体と連携し日本の施設園芸のDXに貢献できる可能性有り。

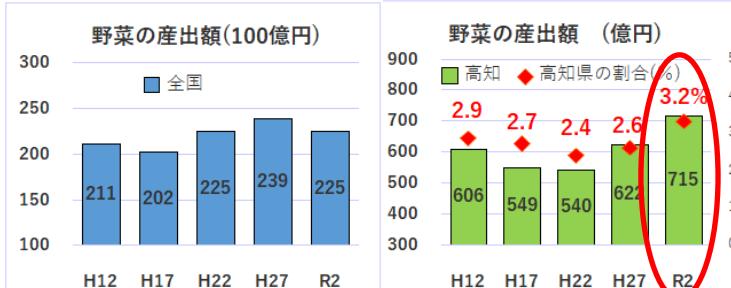
1-1)野菜の販売農家戸数は全国的に激減
(高知の割合 : 1.9%(H27)→2.1%(R2))



1-2)主要野菜(10品目)の生産量は微減の中、高知のシェアやや増
(高知の割合 : 5.5%(H27) → 5.6%(R2))



1-3)野菜の産出額が全国的に減少する中、高知県は増
(高知の割合 : 2.6%(H27) → 3.2%(R2))



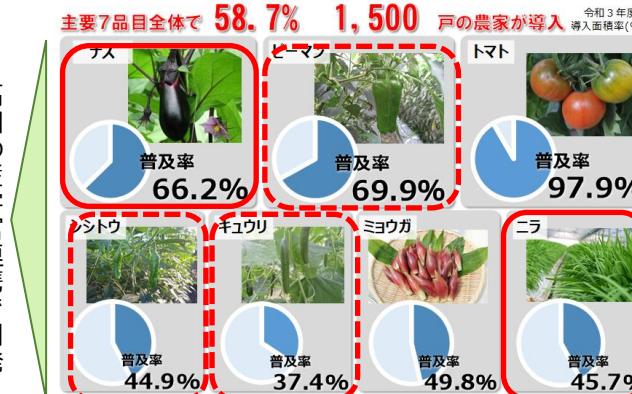
2-1)面積当たりの生産性 高知県が全国1位
(全国平均:125万円/ha、高知県638万円/ha)

日本一の生産性
(耕地面積当たりの農業産出額) R2年産



2-2)データ駆動型農業 県内1,500戸に定着 (R3)
IoP生理生態AI : ナス、ニラで完成→多品目へ展開

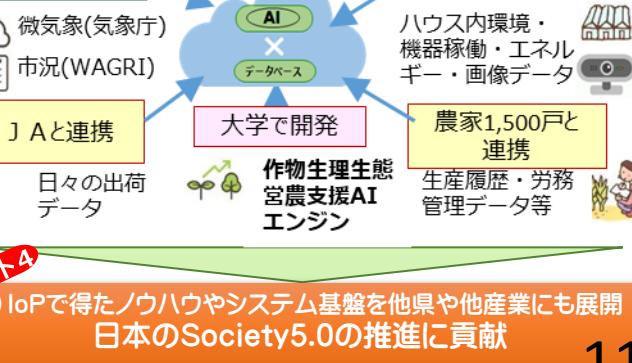
ポイント2 : R3開発済 : R4～開発へ



IoP共創センター
(高知大学)への
研究員の派遣、
大学間での共同
研究実施

IoPクラウドの
導入を検討中、
あるいは興味を
持っている自治体

3)IoPクラウド(SAWACHI) 唯一無二のプラットフォーム完成



ポイント4

4) IoPで得たノウハウやシステム基盤を他県や他産業にも展開
日本のSociety5.0の推進に貢献

IoP研究開発事業(サステイナブル分野)

- 【ポイント】
- 1) 2050年のゼロエミッションの実現に向け、カーボンニュートラル、循環経済、窒素循環に資するサステイナブルなIoP施設園芸を創成
 - 2) **野菜生産 1 tあたりの化石燃料や肥料等の投入量、温室効果ガス等の排出量を可視化し、最適化(最小化)モデルを構築。**
最適栽培モデルとあわせて、IoPクラウド上で農家の圃場モデルをバーチャルツイン化し、**コスト・労力減と所得の最大化**につなげる。
 - 3) **IoPで集約されるデータを活用して、みどりの食料戦略目標を達成し、局所適時環境制御等、ムダのない省エネ技術を確立。**

ポイント1

2030年CO₂排出50%減、2050年ゼロエミッションを目指して

カーボンニュートラル、循環経済、窒素循環に資するサステイナブルな
IoP施設園芸の創成

最適な栽培モデル+GX with IoP
(バーチャル・ツイン)

IoPクラウド

- 投入量データ (化石燃料、化学肥料、水、CO₂)
- 環境情報 (作物、土壌等)

Emission ↓

○温室効果ガス発生量
「見える化」手法の開発

Input ↓

- エネルギー (化石燃料)
- 化学肥料
- 水
- CO₂

Emission ↓

農業系廃棄物、養液栽培排液
の高付加価値利用
(循環経済、窒素循環)

○カスケード型養液栽培システムの開発

ポイント2

野菜生産 1 tあたりの化石燃料や肥料等の投入量、温室効果ガス等の排出量を可視化し、最適な栽培管理モデルとあわせて、
投入量・排出量の最適化を実現できるモデルを構築

営農支援 AIエンジン

機能強化
作物生理生態
AIエンジン

新規開発
収益改善
AIエンジン

深化

最適な栽培モデル+GX with IoP
(バーチャル・ツイン)

・野菜1t生産に対して
投入・排出シミュ
レート

・化石燃料や肥料等
の投入量を可視化

・温室効果ガス等
の排出量を可視化

・作物・土による吸
収と固定量を可視化

コスト・労力減と所得の最大化へ

ポイント3

IoPで集約されるデータを活用して、国の「みどりの食料戦略システム」の施設園芸での目標である「**加温面積に占めるハイブリット型園芸施設の割合：50%**」を達成する

現状、すでにヒートポンプ、バイオマスボイラーの面積あたりの普及率は共に全国トップ。さらに、効率良く、省エネルギーと排出ガス削減につなげるため、以下を実証・普及させる

- 1) IoPモニタリング & 制御による**局所適時環境調節**
- 2) ハウス内の**温度ムラは正**、被覆資材の適正活用、ムダのない**変温管理等の徹底**
- 3) 産学官連携により、民間企業がもつビル等の建物の室内環境制御技術を施設園芸に応用する研究開発を実施し、**化石燃料からの脱却**を目指す

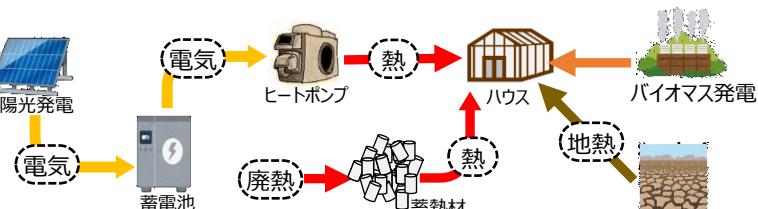




表2 木炭が施用された輪作畠の土壤面における炭素収支（2011～2014年）

黒ボク土畠への木炭施用による土壤炭素貯留効果

要約

黒ボク土畠への40t/haまでの木炭施用は、土壤表面からの温室効果ガス発生量を削減する効果がある。土壤表面からの二酸化炭素に由来する木炭中の炭素は分解しないまま土壤中に留まるため、黒ボク土畠への木炭施用による土壤炭素貯留効果は極めて高い。

- キーワード: 寒地輪作畠、黒ボク土、木炭、土壤炭素貯留、地球温暖化
- 担当: 九州沖縄農業研究センター・生産環境研究領域・土壤肥料グループ

農研機構によると、黒ボク土（日本に多い黒土）に対して、最大40 t/haまでバイオ炭施用が可能であり、この際の二酸化炭素削減効果は非常に大きい（CO₂・メタン発生は少ない）

木炭施用量	炭素収支 :(A)+(B)-(C)	木炭施用 (A)	t C/ha	
			地上部残さ (農地へ還元) (B)	土壤表面からの 二酸化炭素発生量 (C)
0 t/ha	-3.55	0	4.00	7.55
10 t/ha	4.89	8.45	3.92	7.49
20 t/ha	13.4	16.9	4.14	7.67
40 t/ha	29.9	33.8	4.10	7.98

1) データは3回の平均値。

2) 木炭は、4年間の研究期間のうち1年目に全量施用し、作付前のロータリ耕起（深さ約15cm）でさき込んだ。

3) 「地上部残さ」及び「土壤表面からの二酸化炭素発生量」は、ともに5%水準で処理区間に有意差なし。

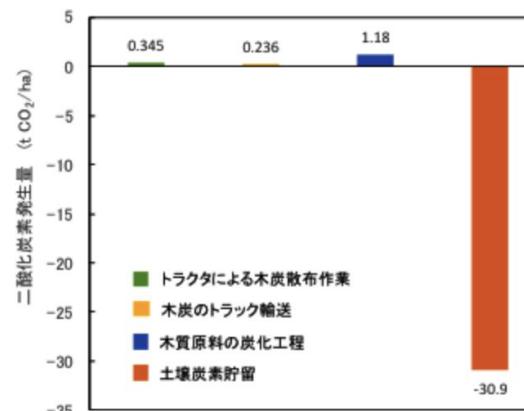


図1 木炭施用の地球温暖化緩和に対する効果（木炭施用量が 10 t / ha の場合）

1) 木炭のトラック輸送は、工場と農地の間を積載量 10t のトラックで往復 200km を輸送したと仮定して計算。

2) 木質原料の炭化工程における二酸化炭素排出係数は、Hammond ら (2011) の値を使用。

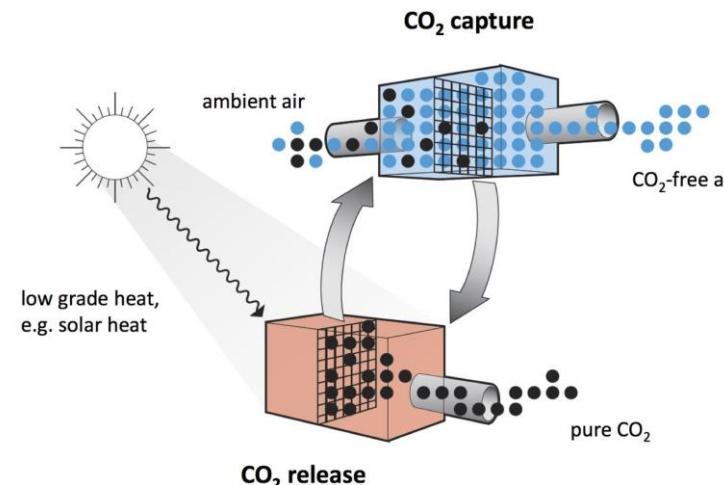
3) 土壤炭素貯留効果（表2の値を使用）：

$$(-3.55 - 4.89) \times 44 \text{ (二酸化炭素の分子量)} / 12 \text{ (炭素の原子量)}$$

出典：農研機構による資料、2016 古賀ら



大気中CO₂回収Climeworks社：
世界初商用DACプラント稼働



- 上記装置のCO₂回収性能：2.46トンCO₂/日(年間900トン)
- フィルター状の固体吸着剤(アミン系)でCO₂吸着
- CO₂吸着後、内部が密閉され、脱気後、加熱操作(100°C程度)で吸着したCO₂を放出し、それを回収する。そのサイクルの繰り返し
- 得られたCO₂を施設園芸に利用し野菜などの収率向上・コベネフィット創出
- 欧州各国では現在、DAC + 施設園芸（集中排出源から遠い=DACが向いている）や、スマートアグリ+バイオ炭、不耕起栽培、などを集中的に検討（小職は英国政府の検討メンバー入り）、農業としてのコベネフィット+N₂O/CH₄排出削減で1石4鳥
- 冒頭紹介の通り、IPCC第6次報告にてスマートアグリの重要性に注目が集まっているため