

JST研究開発戦略センターセミナー

研究開発の俯瞰と潮流 ～科学技術イノベーションの動向と日本の活路～
「プラネタリーヘルス～人と地球の健康の両立～」

2023年8月25日

JST研究開発戦略センター(CRDS)
ライフサイエンス・臨床医学ユニット
小泉聡司



1. ライフサイエンス・臨床医学分野の研究開発動向
2. 予防・個別ヘルスケア
3. 持続可能な食料生産
4. まとめ

ライフサイエンス・臨床医学分野の研究開発動向

ライフサイエンス研究の変遷

研究手法・技術の高度化



19世紀中頃

物理・化学に基づく生理学・近代医学の発展

1960年～

分子生物学の勃興 遺伝子工学 ゲノム科学

紀元前5世紀～

ヒポクラテス医学
経験的な医療
医の倫理

1980年～

EBM (evidence-based medicine)
集団統計学・疫学

2000年～

NGSの出現・計算機能力拡充
に伴うデータ量の増大
システムバイオ・合成生物学

2010年～

個別化・層別化
予防医療

ジュネーブ宣言 ヘルシンキ宣言 リスボン宣言

ライフサイエンス研究のビッグサイエンス化 2020年～

コロナ禍が
もたらす研究変革

必然性の追求
(要素還元型)

偶然性の制御
(データ駆動型)

データの重要性
が増大

精緻化・先鋭化
多様化・複雑化
統合化・システム化

分子

分子/細胞
相互作用

臓器連関

一細胞

一細胞解析

ミクス解析

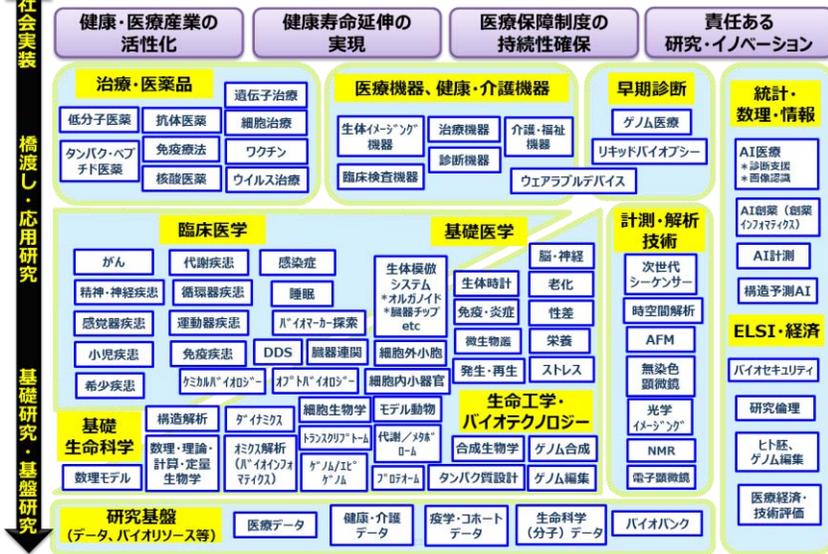
一分子解析

マルチスケール解析
マルチモーダル解析

俯瞰的な研究開発動向の調査

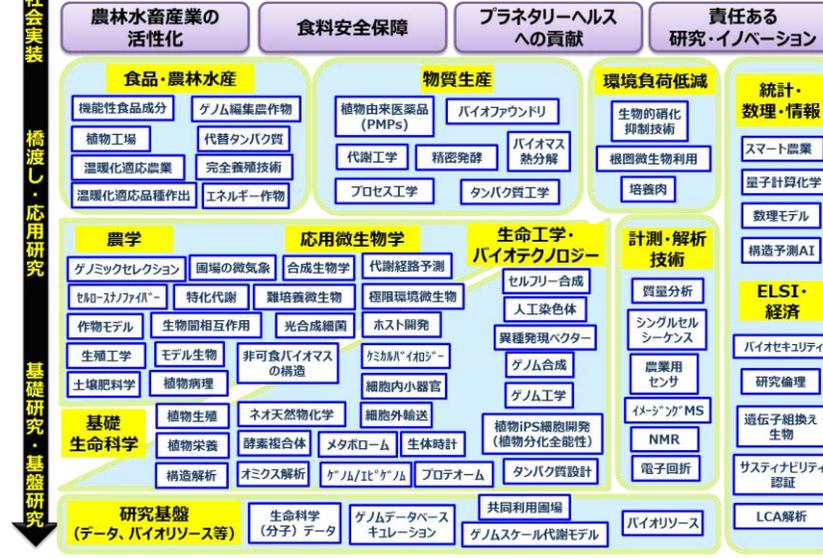
俯瞰の構造（健康・医療）

知の創出・技術革新による持続的な人の健康の実現



俯瞰の構造（農業・生物生産）

知の創出・技術革新による持続的な地球の健康の実現



社会的インパクト、エマージング性、基幹性を
基準として30の研究開発領域を抽出

健康・医療区分

■ 治療・診断

1. 低・中分子創薬
2. 高分子創薬（抗体）
3. AI創薬
4. 幹細胞治療（再生医療）
5. 遺伝子治療（*in vivo*遺伝子治療/*ex vivo*遺伝子治療）
6. ゲノム医療
7. バイオマーカー・リキッドバイオプシー
8. AI診断・予防

■ 基礎・応用

1. 感染症
2. がん
3. 脳・神経
4. 免疫・炎症
5. 生体時計・睡眠
6. 老化
7. 臓器連関

農業・生物生産区分

■ ものづくり

1. 微生物ものづくり
2. 植物ものづくり
3. 農業エンジニアリング

■ 基礎・応用

1. 植物生殖
2. 植物栄養

基礎基盤区分

■ 共通基盤

1. 遺伝子発現機構
2. 細胞外微粒子・細胞外小胞
3. マイクロバイオーム

■ 計測・解析

1. 構造解析（生体高分子・代謝産物）
2. 光学イメージング
3. 一細胞オミクス、空間オミクス

■ 操作・制御・創製

1. ゲノム編集・エピゲノム編集
2. オプトバイオロジー
3. ケミカルバイオロジー
4. タンパク質設計



<https://www.jst.go.jp/crds/report/CRDS-FY2022-FR-06.html>

研究と技術のトレンド

低・中分子創薬

- ✓ 標的タンパク質を分解誘導するメカニズムを応用した治療モダリティが開発
- ✓ プロテアソーム系 (PROTAC) やオートファジー系の活用などの技術開発が進展

治療アプリ (デジタル治療)

- ✓ 患者の行動変容をサポートするアプリ
- ✓ 糖尿病、うつ病、統合失調症、肺がん、高血圧などへの適用が続く
- ✓ 日本では禁煙治療用アプリが承認

改変免疫細胞治療 (CAR-T等)

- ✓ 抗腫瘍活性を高めた免疫細胞を投与する治療法。血液がんへの適用が先行
- ✓ 2017年にCAR-T製品「キムリア」の承認後、市場が急拡大
- ✓ 日本でも2019年に「キムリア」が上市

ロングリードNGS

- ✓ 1分子シーケンス技術によるロングリード型の次世代シーケンサーが登場
- ✓ 反復配列領域やゲノム構造異常、未知微生物の探索など新たな解析が可能
- ✓ 実用植物のゲノム解析による品種改良

一細胞オミクス解析

- ✓ 1細胞レベルでのDNA/RNAなどの解析による、生命現象の再定義が加速
- ✓ RNAとエピゲノムなど複数のオミクス解析技術や、空間情報を保持した解析技術などが進展

de novo タンパク質設計

- ✓ ゼロベースから構造を予測して、様々な活性を有するタンパク質の作製手法
- ✓ 新型コロナウイルスと受容体との結合を阻害するタンパク質の創成などに成功
- ✓ タンパク質構造予測AlphaFold2登場

ゲノム工学

- ✓ ゲノム編集を実装した遺伝子治療の臨床試験が進展
- ✓ 日本ではゲノム編集トマト、マダイなどが商品化

マイクロバイーム

- ✓ 2022年に腸内細菌製剤がFDA承認
- ✓ 個別化栄養の研究が進展。食事を推奨するアプリが登場
- ✓ 植物・微生物の相互作用が注目

植物工場

- ✓ 都市型農業として進展
- ✓ 最新の情報技術やロボット技術などとの融合により、効率的な生産方法が開発
- ✓ 非自然的な栽培条件における植物の生理・代謝研究へのフィードバック

多くはビッグデータを活用した研究と技術

オミクス解析、AIなどコストが高い研究 (機器は海外に依存)

重要な研究開発

研究開発テーマ	内容
1. パンデミックに備えた、感染症研究	<ul style="list-style-type: none">■ 感染症情報・サンプル収集体制および法的基盤の整備■ 感染症の基礎研究の強化■ 感染症の予防・治療技術開発の強化■ 免疫記憶等をはじめとした基礎・応用免疫学の強化
2. 予防・個別ヘルスケア	<ul style="list-style-type: none">■ 予防・個別ヘルスケア実現の基盤となる基礎研究の推進■ データ駆動型アプローチの研究開発の推進■ 予防・個別ヘルスケア実現のための効果的な介入戦略の開発と評価
3. 新しい医薬モダリティ	<ul style="list-style-type: none">■ 新旧モダリティの基盤技術開発■ 治療標的の探索■ 持続可能な医療システムの構築（特に高コストな新規医薬品の適切な評価など）
4. 持続可能な食料生産	<ul style="list-style-type: none">■ バイオマス、バイオテクノロジーの利用■ 生物間相互作用の理解と利用■ 持続可能性確保のためのデータ活用
5. 多様な研究の連関と異分野連携	<ul style="list-style-type: none">■ 臓器連関■ 計測モダリティとスケール連関：空間オミクス解析、メゾスコープ
6. 研究DX（AI・データ）	<ul style="list-style-type: none">■ データ取得の自動化■ オープンサイエンス型研究
7. 研究開発体制・システム	<ul style="list-style-type: none">■ イノベーション・エコシステムの構築■ 人材育成

人と地球の健康の両立の視点

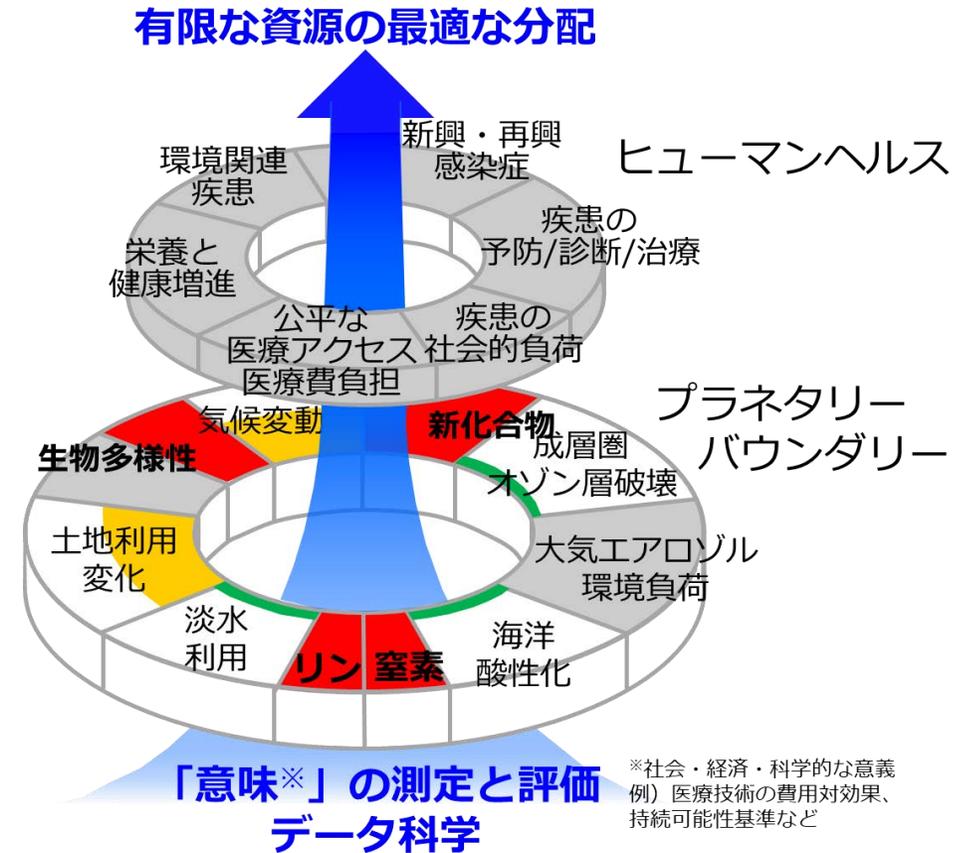
人の健康：

超高額医療の登場による医療費負担の公平性などに課題

地球の健康：

窒素とリンの循環、生物多様性の喪失、新規化学物質の循環において地球の限界を超えている

人材、資金、環境、物質等の**有限な資源**の持続可能性を確保しつつ、それらを**適切に分配**することにより、**人と地球の健康の両立（プラネタリーヘルス）**を目指していくことが重要



Azote for Stockholm Resilience Centre, based on analysis in Persson et al 2022 and Steffen et al 2015, JST CRDSで加筆.

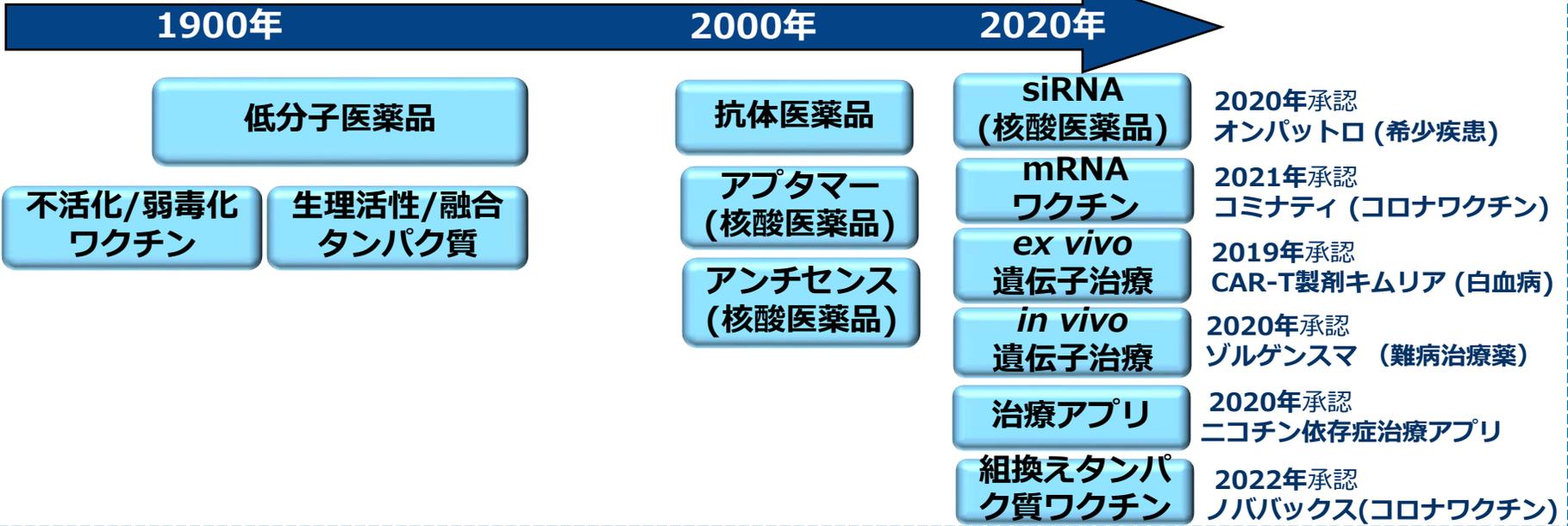
「予防・個別ヘルスケア」、 「持続可能な食料生産」 における具体的な事例を紹介したい

予防・個別ヘルスケア

治療技術の多様化

治療技術の多様化により、難治疾患が治療可能に

上市済医薬品



実用前段階医薬品



薬事承認日は日本での承認日

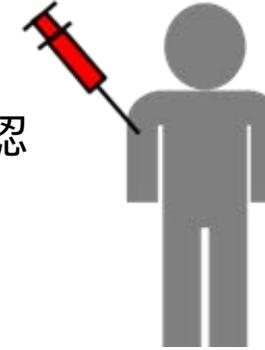
治療・診断技術の注目動向

遺伝子治療

- 革新的治療薬が登場（数千億円の世界市場）、数兆円市場になると予測
- ex vivo遺伝子治療が急速に発展し、2022年はCAR-T製品が次々に承認
- 高い有効性を示すが、超高額（2019年 Zolgensma 2億円、2022年 Hemgenix 4億円）。医療費負担の公平性に課題

体内 (in vivo) 遺伝子治療

遺伝子ベクターの直接投与



体外 (ex vivo) 遺伝子治療

遺伝子導入細胞の移植



AI診断・予防

- 米国ではAIを搭載した医療機器プログラムが500以上承認。臨床医の解釈なしで検査結果を出す世界初の自律型AI診断システムが承認（2018年、IDx-DR）
- ウェアラブルデバイスによる日常的なバイタルデータの計測が可能に
- 欧州や中国では、AIを組み合わせることで数十万人規模のコホートを行い、COVID-19の発症、重症化、後遺症予測に利用



IDx-DR搭載の眼底カメラ

<https://www.digitaldiagnostics.com/products/eye-disease/idx-dr-eu/>

治療・診断技術の注目動向

治療アプリ（デジタル治療）

- 医薬品医療機器等法の対象として承認を受ける（健康増進アプリとは異なる）
- 慢性疾患や精神疾患など治療が長期化し、患者自身の継続的管理が必要な疾患と相性が良い
- 研究開発、市販後のコストが抑えられ、医療経済的にも期待される

- 米国 Welldoc社 BlueStar
✓2010年治療アプリとして初承認
✓**糖尿病治療アプリ**



- 米国 Akili Interactive Labs社 EndeavorRx
✓2020年ゲームベースの治療アプリとして初承認
✓**小児注意欠如・多動症（ADHD）治療アプリ**



- 日本 CureApp社 CureApp SC
✓2020年日本で治療アプリとして初承認
✓**ニコチン依存症治療アプリ**



2022年には**高血圧症治療アプリ**が承認

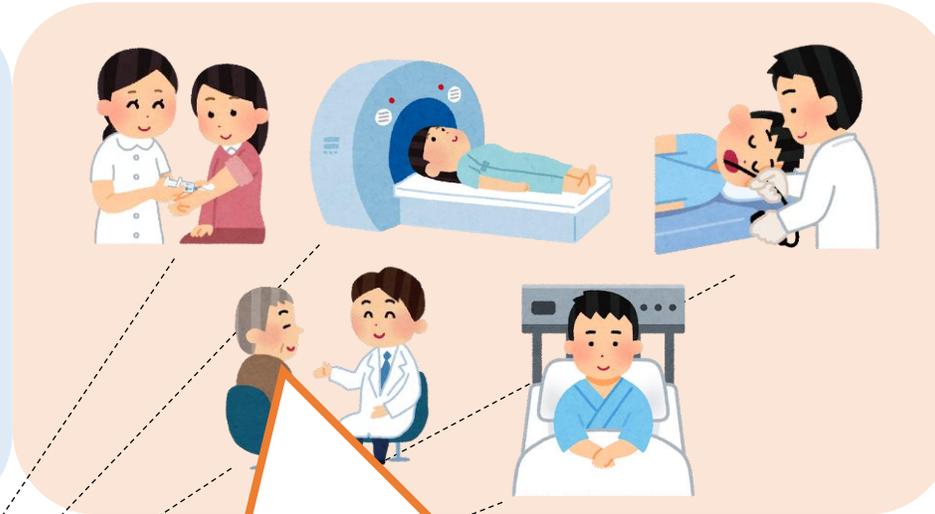
大きな潮流は「治療から**予防**へ」、「画一から**個別化・層別化**へ」

リアルワールドデータ (RWD) の活用

日常生活



医療機関



【生理・行動・環境データ】

活動量、バイタル (心拍、呼吸数)、特定のバイオマーカー (血糖値)、など



単独の計測では情報量や精度が不十分で、連続的に計測することで初めて医学的意味のあるデータが取得できる



【分子・細胞データ】

血液・検体検査 (各種マーカー、オミクス)、医用画像、問診結果、など



精度が高く情報量が多く、連続的に測定する必要はない (データ取得の負担・コストが大きい)

RWDを取得するためのデバイス開発競争が激化

@2023 CRDS

ウェアラブルデバイスの先端研究事例

血圧測定

- テキサス大学オースティン校は、グラフェンを用いて、皮膚に貼り付けて継続的に血圧測定ができる「電子タトゥー」を開発
- 皮膚表面の電気抵抗（生体インピーダンス）などを測定し、その値から血圧値を算出する機械学習モデルを作成

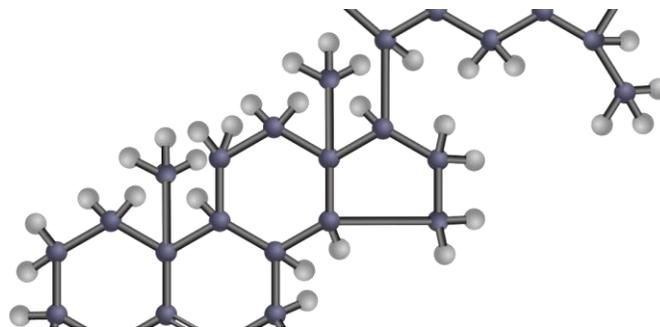


<https://news.utexas.edu/2022/06/20/blood-pressure-e-tattoo-promises-continuous-mobile-monitoring/>

Nature Nanotechnol. 2022, 17:864–870

ストレス診断

- Xsensio社とスイス連邦工科大学ローザンヌ校は、汗と共に分泌されるコルチゾールを測定し、ストレスを評価するデバイスを開発
- グラフェンを用いた「Extended-gate field effect transistor (EG-FET)」によって実現



OpenClipart-Vectors from Pixabay

Communications Materials 2021, 2:10

感染症診断

- テキサス大学ダラス校は、汗により病原菌感染を判定できるウェアラブルセンサーを開発
- γ -誘導性タンパク質(IP-10)と腫瘍壊死因子関連アポトーシス誘導リガンド(TRAIL)の2つのバイオマーカーを検出



<https://enlisen.com/#technology>

Adv. Mater. Technol. 2022, 7:2101356

埋め込み型デバイスの先端研究事例

血糖値センサー

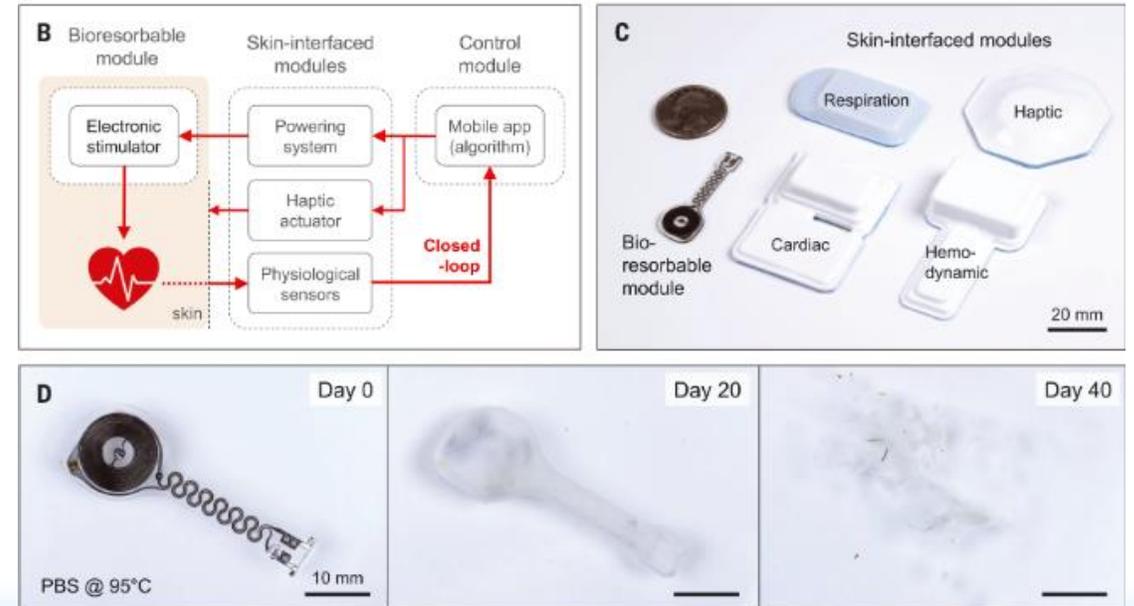
- Biolinq社は、皮膚直下の間質液グルコースを測定するバイオセンサーマイクロニードル CGM (Continuous Glucose Monitoring) を開発
- 数十個のマイクロニードルにより血糖値を7日間連続的に測定可能
- 現時点では臨床研究だけで使用できる試験用デバイス



<https://medium.com/@sjolundjohn/biolinq-cfa345bbe51e>

心臓ペースメーカー

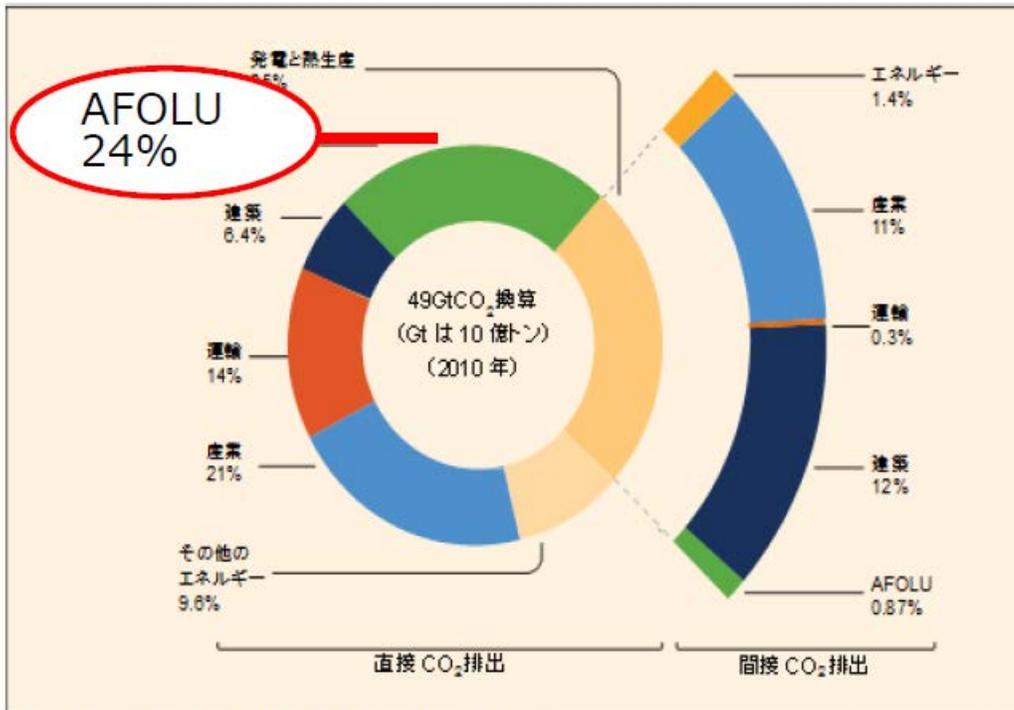
- ノースウェスタン大学は、世界初の可溶性ペースメーカーを開発。完全埋め込み型無線デバイスで、不要になると生体内で分解される。
- ワイヤレスセンサーと制御ユニットによりコントロール。異常心拍を捉えると「いつものような速度で心臓を動かすか」を決定し、ペースメーカーを駆動させる。



持続可能な食料生産

農業・畜産業による温室効果ガス（GHG）排出

■ 世界の経済部門別のGHG排出量



IPCC AR5 第3作業部会報告書 図 SPM.2

世界のGHG排出量は490億トン（CO₂換算）、農業・畜産業・林業・その他土地利用からの排出は全体の1/4



我が国の農林水産業由来GHGの内訳

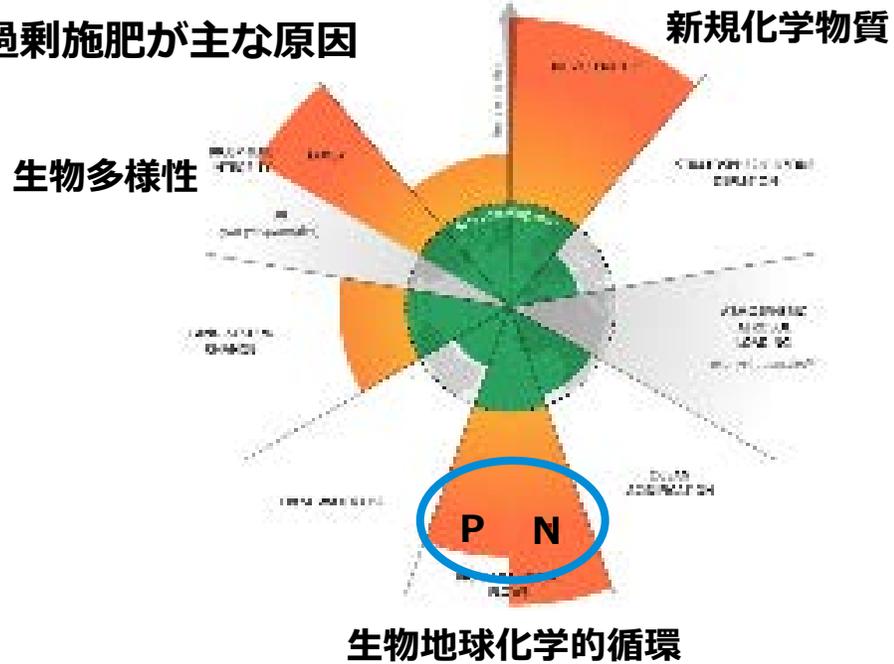
https://www.affrc.maff.go.jp/docs/project/seika/2022/r4_seikashu_01.html

農業・畜産業における排出は、家畜消化管内発酵と水田からのメタン、農地土壌、肥料、排せつ物管理等からのN₂Oの排出

温室効果：CO₂に比べメタンは25倍、N₂Oは298倍

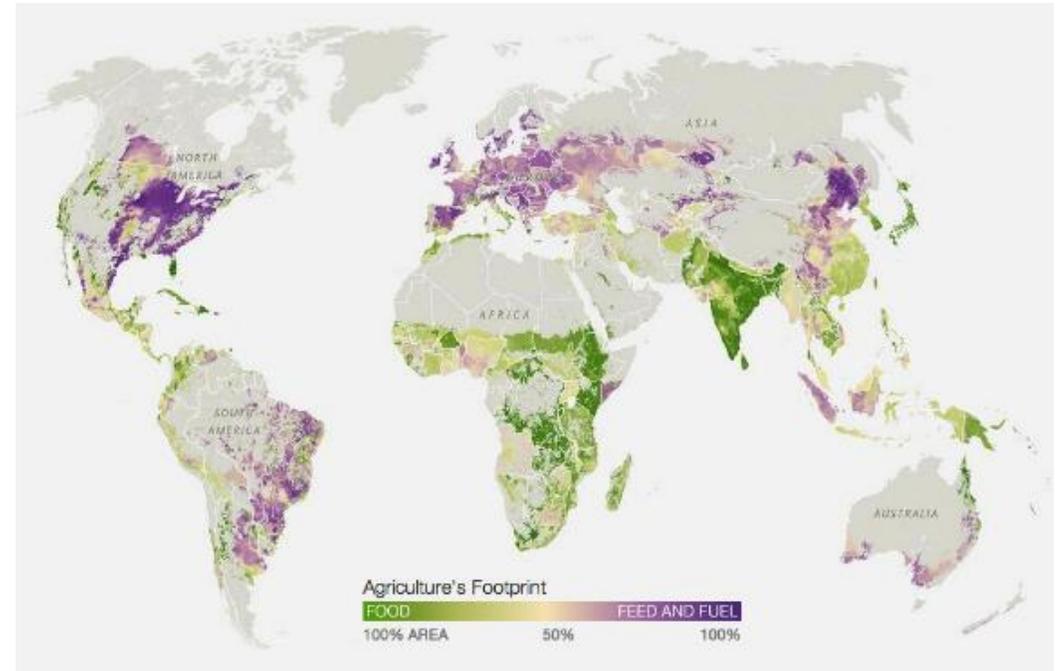
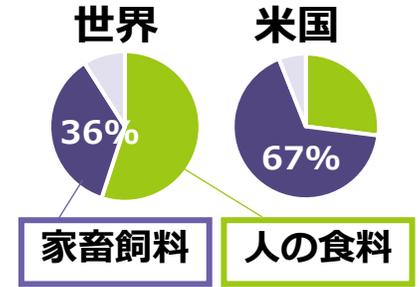
持続可能な食料生産に向けて

地球の限界：窒素とリン循環の悪化
は化学肥料の過剰施肥が主な原因



世界の農地の利用用途：

- 世界の**36%**、米国の**67%**の農作物が**家畜飼料用途**
- 12カロリーの鶏肉、3カロリーの牛肉を得るには、100カロリーの穀物が必要

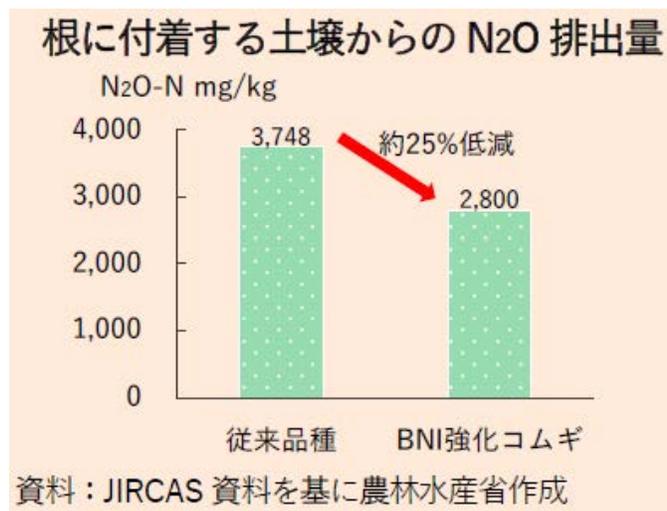


- 低施肥で物質循環を改善した農業への変革
- 環境負荷低減や家畜飼料用農地の土地利用変化をもたらす畜産業の変革
- 畜産物を代替するタンパク質への食生活のシフト

植物-微生物相互作用を活用した農業の環境負荷低減の事例

国際農研

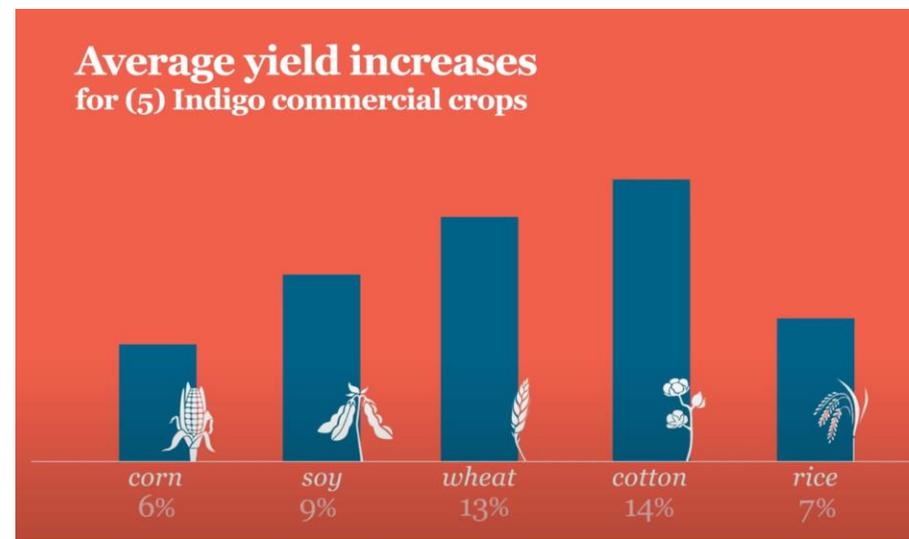
- 土壌微生物の硝化作用により、窒素肥料は N_2O 等に変換され環境中に放出
- 小麦の根から分泌される硝化抑制（BNI）物質の遺伝子を発見。BNI遺伝子をもつ野生型小麦との交配により、**温室効果ガス発生を抑制し、窒素肥料が少なくても生育する小麦を開発。**



PNAS 2021, 118, e2106595118 2021 最優秀論文賞受賞

Indigo社

- 植物と共生する多様な微生物の中から農産物の**収量増加（10%程度）に貢献する微生物を選定。微生物をコーティングした種子を販売**
- 第三者認証つきの農地土壌由来の排出権生成により、科学的に裏付けされた形で生産者に新しい収入源を提供するIndigo Carbon社を設立



出典：Indigo Ag Youtube動画より

海外トレンド：食肉から代替タンパク質への転換

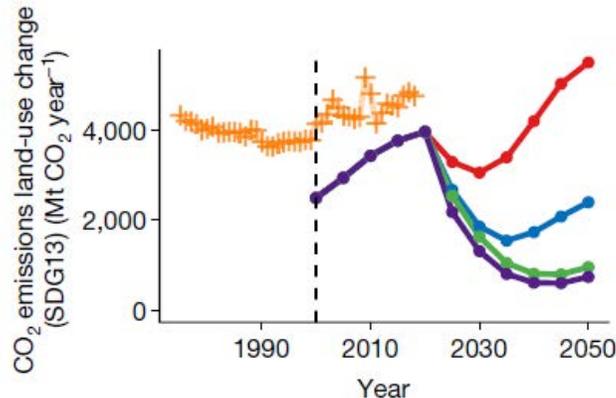
世界の市場状況（2022年末時点）

Source: GFI Report

	植物性	培養肉	精密発酵
マーケット規模	市場化済み 世界：280億ドル以上 米国：80億ドル	パイロット製造段階 販売可能地域で テスト販売 米国における規制対応 (FDA, USDA) が進展	製品化が始まる 欧州では規制上 販売不可
企業数	多数	156社	136社
投資額	77.8億ドル	28億ドル	36.9億ドル

Projected environmental benefits of replacing beef with microbial protein

90 | Nature | Vol 605 | 5 May 2022



2050年までに牛肉消費量の20%を微生物タンパク質に代替すると土地利用変化当たりのCO₂排出が50%低減される（図の青線）

Scenario — SSP2-Ref-MP0 — SSP2-Ref-MP20 — SSP2-Ref-MP50 — SSP2-Ref-MP80

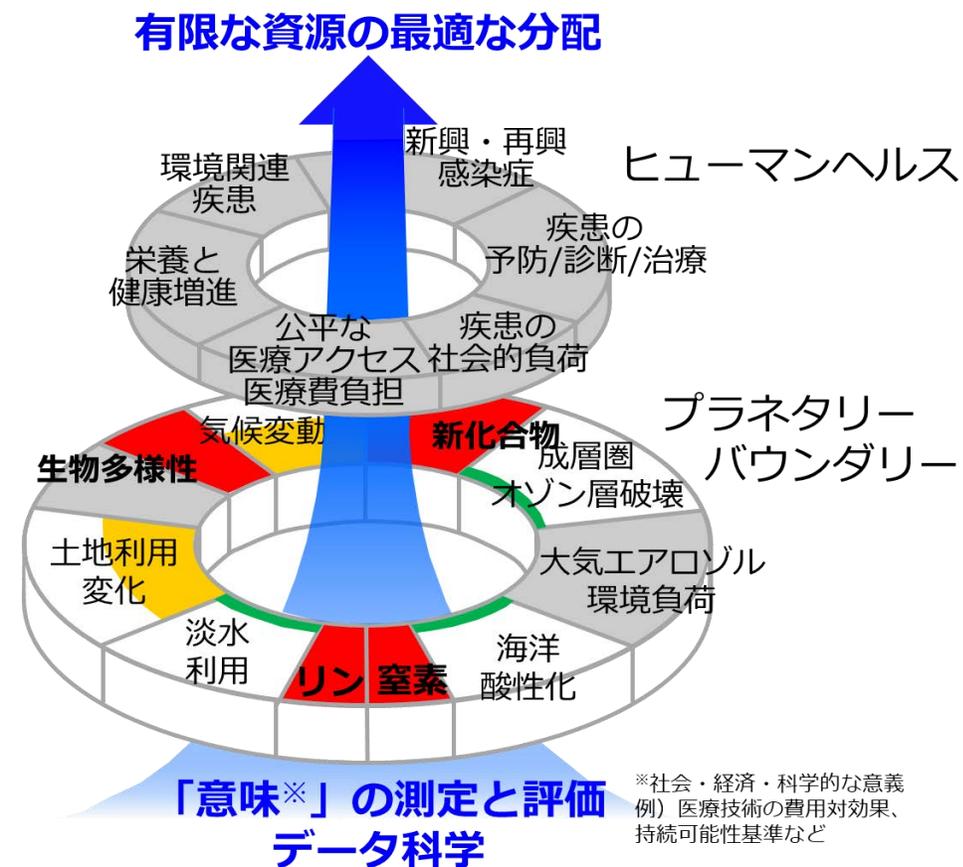
まとめ

まとめ

人と地球の健康の両立を目指したライフサイエンスの研究開発動向

- 遺伝子治療など超高額医療の登場
- デジタルヘルスの勃興
- 温室効果ガス排出を抑制する農作物の開発
- 地球環境を意識した食生活の変容

一つの研究開発は他の多くの事象に影響を及ぼす。密接に関連する事象のバランスを調整する必要があり、客観的なデータに基づいて評価を行うことが重要である。



Azote for Stockholm Resilience Centre, based on analysis in Persson et al 2022 and Steffen et al 2015, JST CRDSで加筆.

ご清聴ありがとうございました

最新の俯瞰報告書（2023年版）をご覧になりたい方はこちら



- 環境・エネルギー分野 ●システム・情報科学技術分野
- ナノテクノロジー・材料分野 ●ライフサイエンス・臨床医学分野
- 科学技術・イノベーション政策の国際動向
- 日本の科学技術・イノベーション政策の動向

<https://www.jst.go.jp/crds/report/CRDS-FY2022-TOP.html>



日刊工業新聞連載 — 科学技術の潮流 —



2019年4月にスタートした
CRDSの日刊工業新聞連載
毎週金曜日に紙面に掲載、
1週間後にCRDS公式HPにて公開



<https://www.jst.go.jp/crds/column/choryu/index.html>



公式SNSで最新情報発信中



@CRDS_Japan



https://twitter.com/CRDS_Japan



@CRDSjapan



<https://www.facebook.com/CRDSjapan>

月刊メルマガ配信中

毎月15日（土日祝の場合は翌営業日）配信予定



登録はこちら



<https://www.jst.go.jp/melmaga.html#M01-06>



デイリーウォッチャー （海外記事検索）



科学技術に関連する、諸外国の
主要行政機関・研究機関の発表を
要約記事として日本語で提供



<https://crds.jst.go.jp/dw/>

国内外の研究開発動向やイノベーションについてご関心のある方は
お気軽にお問い合わせください



crds@jst.go.jp

■ 作成担当 ■

小泉 聡司 フェロー（ライフサイエンス・臨床医学ユニット）

TP20230825-4

その他報告書

**研究開発の俯瞰と潮流 ～科学技術イノベーションの動向と日本の活路～
「プラネタリーヘルス～人と地球の健康の両立～」**

令和5年8月 August 2023

ISBN 978-4-88890-874-0

国立研究開発法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター

Center for Research and Development Strategy, Japan Science and Technology Agency

〒102-0076 東京都千代田区五番町7 K's五番町

電話 03-5214-7481

E-mail crds@jst.go.jp

<https://www.jst.go.jp/crds/>

本資料は著作権法等によって著作権が保護された著作物です。

著作権法で認められた場合を除き、本資料の全部又は一部を許可無く複写・複製することを禁じます。

引用を行う際は、必ず出典を記述願います。

なお、本報告書の参考文献としてインターネット上の情報が掲載されている場合には、本報告書の発行日の1ヶ月前の日付で入手しているものです。

上記日付以降後の情報の更新は行わないものとします。

This publication is protected by copyright law and international treaties.

No part of this publication may be copied or reproduced in any form or by any means without permission of JST, except to the extent permitted by applicable law.

Any quotations must be appropriately acknowledged.

If you wish to copy, reproduce, display or otherwise use this publication, please contact crds@jst.go.jp.

Please note that all web references in this report were last checked one month prior to publication.

CRDS is not responsible for any changes in content after this date.