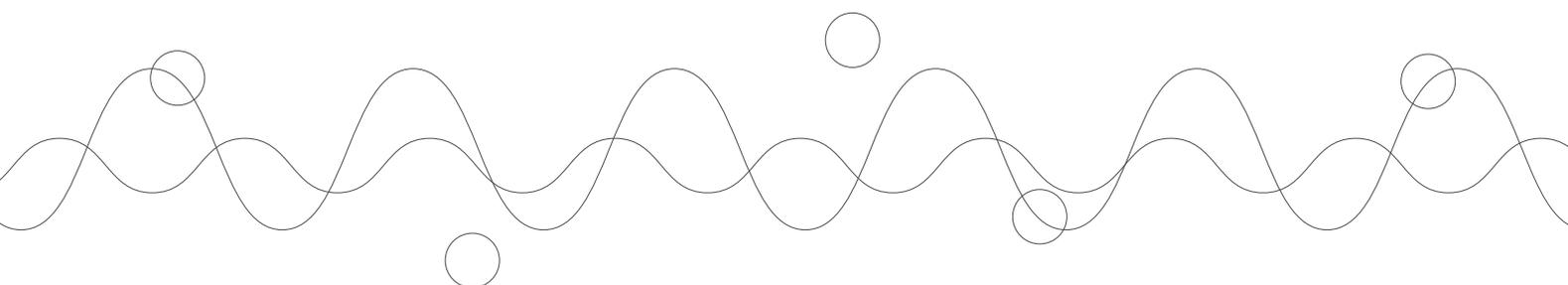


「生物生産」分野に関する科学技術未来戦略ワークショップ 報告書



Executive Summary

【開催趣旨】

研究開発戦略センター江口グループでは、ライフサイエンス研究の俯瞰作業の結果、今後研究推進に注力すべき分野の一つとして生物生産分野を抽出した。

本分野からは、これまでにいくつかの産業イノベーションが創出されている。まず、発酵技術の確立である。この技術により、それまで開放環境において経験と勘で行われてきた味噌、醤油等の伝統的醸造法から、閉鎖環境において、アミノ酸や核酸などの有用物質を大量生産する全く新しい製造法が確立された。以来、代謝産物を基盤とし発酵産業は数十年の歴史があるが、現在もなお日本の企業が世界市場を寡占している状況にある。

次に、食品成分に機能性を見出し、「機能性食品」という概念に基づいて、疾病の予防に寄与する新食品を開発したこともイノベーションの一つと考えられる。現在も多くの成果が特定保健用食品などとして、新しい市場形成に寄与している。

さらに、各種微生物からの抗生物質の単離、生物変換技術による医薬品原料の大量製造法の確立などは、製薬企業に多大な利益をもたらし、我が国の医薬品産業の基盤の構築に大きく貢献してきた。

一方、農林水産業への直接的な効果も本研究分野の特徴である。動物生産分野については、我が国の畜産研究における牛、豚、鶏品等の改良技術により、ブランド化された多くの品種が開発された。これらの開発過程で得られた体外受精等の生殖・繁殖技術は、多様な動物育種技術に波及しつつある。また、水産物については、海産魚の人工種苗生産に関して我が国は世界的にも抜きん出た技術を有しており、種苗生産が可能な魚種の数も他国の追従を許さない状況にある。他方、植物では、良味の米生産や多品種の果樹生産など、我が国が生んだ園芸や栽培等の技術が世界の生物生産に多大な影響を及ぼした例は枚挙に暇がない。

しかしながら、近年、上記の多くの分野で停滞感・閉塞感が認められる。これは、現在のハイインプット・ハイリターン型の20世紀型生物生産体系が、持続的かつ環境低負荷型のローインプット・ハイリターン型の21世紀型生産体系へ転換を迫られているにも拘わらず、有効な打開策を見いだせずにいることが主な要因であると考えられる。

以上のような状況の下、本ワークショップでは「生物及び生物機能を活用した食料や有用物質などの効率的かつ安定的な生産」に資する研究を「生物生産研究」と定義し、当該分野での新たなイノベーションの創出が期待される研究課題・研究領域の探索を行った。

【抽出された重要研究領域】

本ワークショップでは、我が国が重点的に推進すべき研究領域として以下のテーマを抽出した。

- ① オミクス情報を高度に活用した合理的生物生産プロセスの探索
- ② 微生物による活性型有用タンパク質の生産基盤技術の探索

- ③ トランスジェニック生物(家畜・魚類・昆虫等)を利用したオーファン(希少疾病)医薬品原料生産技術の開発
- ④ 生物間相互作用の解明に基づく次世代生物生産基盤技術の創出
- ⑤ 体細胞の発生・分化過程におけるエピジェネティック制御による革新的動植物生産制御基盤技術の探索
- ⑥ 養殖工場専用魚の作出とその飼料用植物の開発
- ⑦ 動植物の超多収・高機能化を実現するゲノム育種・繁殖法の確立
- ⑧ 新規食品機能成分の探索とその生体分子間相互作用解明のための基盤研究
- ⑨ 非水系微生物反応場の理解に基づく次世代物質生産基盤研究
- ⑩ 草本系・樹木系分子素材の新エネルギー活用基盤研究

【まとめ】

本ワークショップでは、ゲノム情報を基盤とした多くの研究提案から、今後の生物生産研究の共通的なキーワードとして、「複雑系」、「相互作用」、「雑種強勢」などを見い出した。

また、研究の方向性が、従来の単一遺伝子、単一酵素を対象とした研究から、複数の遺伝子やタンパク質の機能を同時に解析する複雑系研究へ軸足を移行しつつあることを確認した。

機能分子を対象とした典型的な研究課題の例としては、微生物のオミクス情報を生物生産へ統合させる「ファーメントミクス」研究や、資源植物代謝生成物のデータベース化、同種・異種生物間の相互作用の解明研究などで、これらの課題は、いずれも膨大な情報を特定の環境下で解析したり、これまで解析が困難とされていた相互作用関連因子を観察・計測する研究が挙げられた。

一方、個体レベルの研究課題例としては、ゲノム解読の進展にともない、家畜や植物の分野では有用生物の作出スピードに飛躍的な向上が期待できることから、分子育種に関する研究課題を多数抽出した。QTL や DNA のメチル化解析など最新の遺伝子解析技術を駆使した課題が多い中、交雑による形質強化の原理(雑種強勢)を利用する新しい切り口の研究テーマを見い出すことが出来た。

以上のように、近年閉塞感のあった生物生産研究であるが、上記のような重要研究領域を推進することにより、将来新たなイノベーションが創出されることが期待されたことから、江口Gでは国が本分野に取り組む意義は極めて大きいと結論づけた。

目次

はじめに	1
1 ワークショップ概要	3
2 ワークショップから抽出された重要研究領域	4
2.1 オミクス情報を高度に活用した合理的生物生産プロセスの探索	4
2.2 微生物による活性型有用タンパク質の生産基盤技術の探索	5
2.3 トランスジェニック生物(家畜・魚類・昆虫等)を 利用したオーファン(希少疾病)医薬品原料生産技術の開発	6
2.4 生物間相互作用の解明に基づく次世代生物生産基盤技術の創出	7
2.5 体細胞の発生・分化過程におけるエピジェネティック制御に よる革新的動植物生産制御基盤技術の探索	8
2.6 養殖工場専用魚の作出とその飼料用植物の開発	9
2.7 動植物の超多収・高機能化を実現するゲノム育種・繁殖法の確立	10
2.8 新規食品機能成分の探索とその生体分子間相互作用解明のための基盤研究	11
2.9 非水系微生物反応場の理解に基づく次世代物質生産基盤研究	12
2.10 草本系・樹木系分子素材の新エネルギー活用基盤研究	13
3 まとめ	14
4 分科会報告書	15
4.1 「微生物」の生物生産研究の俯瞰と重要研究領域	15
4.2 「植物・樹木」の生物生産研究の俯瞰と重要研究領域	21
4.3 「動物・魚類・昆虫」の生物生産研究の俯瞰と重要研究領域	28
4.4 「食品」の生物生産研究の俯瞰と重要研究領域	35
4.5 分科会から抽出された研究課題と出口となる産業との関係	37
5 当日のプログラム	40

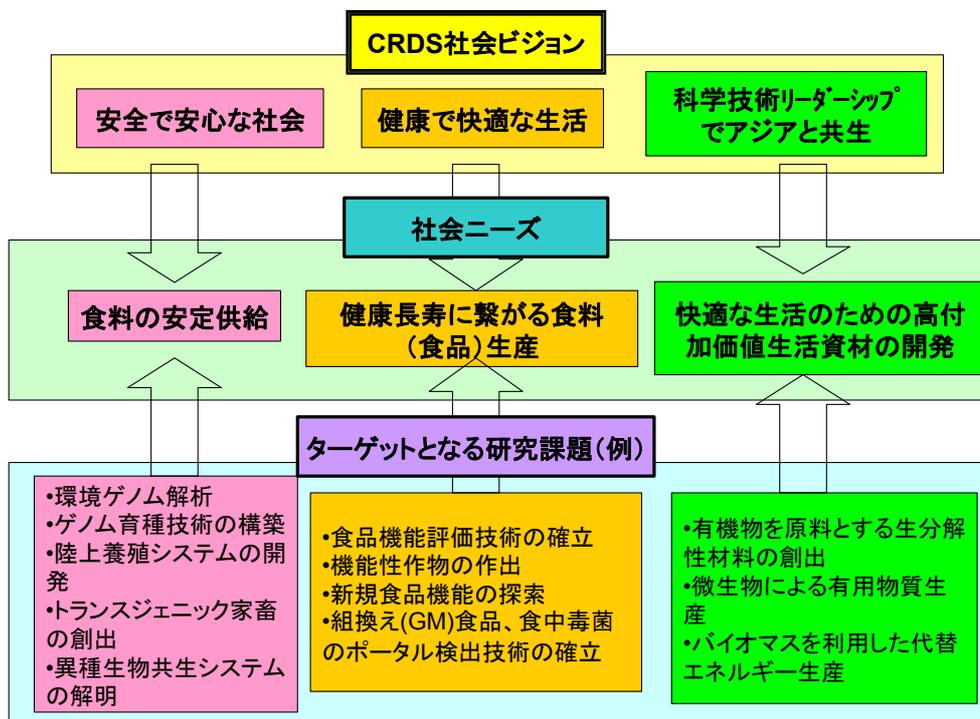
はじめに

【背景】

独立行政法人科学技術振興機構(JST)研究開発戦略センター(CRDS)は、社会ニーズを充足し社会ビジョンを実現する科学技術の有効な発展に貢献することを理念として活動を行っている。

CRDS 江口グループ(上席フェロー:江口吾朗)では、これまでライフサイエンス研究の出口の一つとして「農林水産・生物資源」分野に焦点を当て、研究会の開催や研究者インタビューを通じて本分野の国の重点化の可能性を探ってきた。その結果、当該分野には「安全な食料の安定供給」や「高付加価値生活資材の開発」など、種々の社会ニーズが存在し、これらを充足する研究の推進が、将来の社会ビジョンの実現へ繋がる可能性があることから、「生物及び生物機能を活用した食料や有用物質などの効率的かつ安定的な生産」に資する研究を「生物生産研究」と定義し、当該領域で今後重要となる研究領域やその推進方法を明らかにするためのワークショップを開催した。

生物生産研究と社会ビジョン・社会ニーズとの関係



【目的】

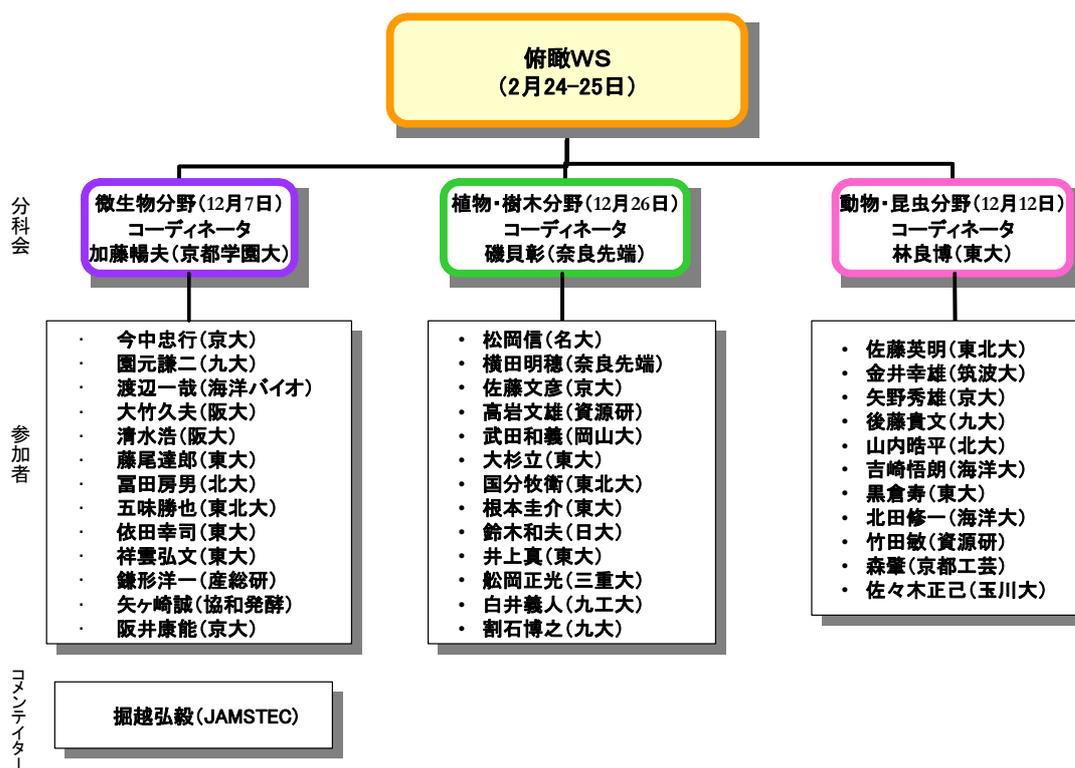
CRDS では科学技術の研究分野を俯瞰的に展望し、今後重要となる研究開発分野、領域、課

題およびその推進方法等の系統的な抽出を行っている。「生物生産研究」ワークショップはその一貫として行われ、「微生物」、「植物・樹木」、「動物・昆虫」の3つの分科会での成果を基に、当該分野の俯瞰的展望を行い、併せて我が国にとって今後重要となる研究領域の抽出およびその推進方策等の検討を行った。

【検討経緯】

- 平成 17 年 12 月 7 日 「微生物」分野分科会
- 平成 17 年 12 月 12 日 「動物・昆虫」分野分科会
- 平成 17 年 12 月 26 日 「植物・樹木」分野分科会
- 平成 18 年 2 月 24-25 日 「生物生産研究」ワークショップ

「生物生産研究」俯瞰WS分科会参加者



【成果の取り扱い】

本分科会で得られた成果は、CRDS が当該分野の重点化(戦略プロポーザルの策定)を考える上での基礎資料として活用される。

1 ワークショップ概要

【開催日】平成18年2月24日(金)12時～25日(土)13時

【会場】チサンホテル新大阪

【コーディネーター】

- 磯貝 彰 奈良先端科学技術大学院大学(総合コーディネーター)
加藤暢夫 京都学園大学(微生物)
林 良博 東京大学大学院農学生命科学研究科(動物・昆虫)
横田明穂 奈良先端科学技術大学院大学(植物・樹木):当日欠席

【討議者】

〈微生物〉

- 渡辺一哉 海洋バイオテクノロジー研究所
阪井康能 京都大学大学院 農学研究科
矢ヶ崎誠 協和発酵工業(株)バイオフロンティア研究所
大竹久夫 大阪大学大学院 工学研究科
清水 浩 大阪大学大学院 情報科学研究科

〈植物・樹木〉

- 武田和義 岡山大学資源生物科学研究所
船岡正光 三重大学生物資源学部
松岡 信 名古屋大学生物機能開発利用研究センター
佐々木卓治 (独)生物資源研究所

〈動物・昆虫〉

- 吉崎悟朗 東京海洋大学海洋科学部
後藤貴文 九州大学農学研究院植物資源科学部門
塩田邦郎 東京大学大学院農学生命科学研究科
黒倉 寿 東京大学大学院農学生命科学研究科
佐藤英明 東北大学大学院農学研究科

〈食品〉

- 清水 誠 東京大学大学院農学生命科学研究科
中原光一 サントリー株式会社 技術開発部
日野明寛 (独)食品総合研究所

〈コメンテーター〉

- 手柴貞夫 総合科学技術会議 ライフサイエンス PT 産業応用 WG 座長

2 ワークショップから抽出された重要研究領域(以下順不同)

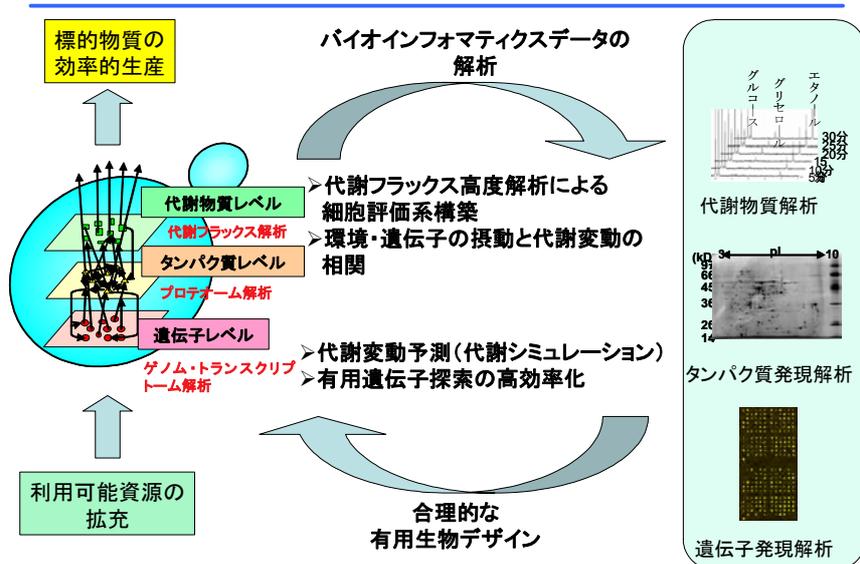
2.1 オミクス情報を高度に活用した合理的生物生産プロセスの探索

ここ数年、多くの生物種のゲノム配列が解析され、並行して進展したタンパク質の構造・機能解析や代謝経路の解明により、膨大な生物オミクス情報が蓄積されつつある。オミクスとは、生物の遺伝情報を解析するゲノミクス、ゲノム情報から遺伝子情報が転写された転写物を網羅的に調べるトランスクリプトミクス、全タンパク質を網羅的に調べるプロテオミクス、細胞内の代謝物を網羅的に解析するメタボロミクスなどを総称したものである。将来、生物機能を高度に利用し、より合理的に生物生産を行っていくためには、利用する生物のオミクス情報を基盤とした新しい生産技術の創出が必要となる。この技術により、従来まで困難であった生物内外での有用物質の発現量を格段に向上することが可能となったり、より合理的な生産経路の設計ができるようになるなど、種々の革新的な生産プロセスの構築が期待されるからである。本研究領域の推進には、計算機や質量分析装置等を駆使し、膨大なオミクス情報の解析が前提となることから化学や工学分野との融合が不可欠であるが、我が国では本分野で先駆的な研究を行っている研究者が多く、また、発酵を中心とした生物生産分野では異分野との融合研究の取り組みの歴史もあることから、今後国が重点的に投資することにより、多くの革新的な生産プロセスの創出が期待される。

(研究課題例)

- 工業用生物の細胞内ネットワーク動作原理の解明
- 外的因子や細胞周期に起因する代謝変化の予測
- 二次代謝産物のメタボローム解析とトランスクリプトームデータベースの構築
- 次世代発酵生産を実現するオミクス研究(ファーメントミクス)

有用物質生産を実現する代謝工学



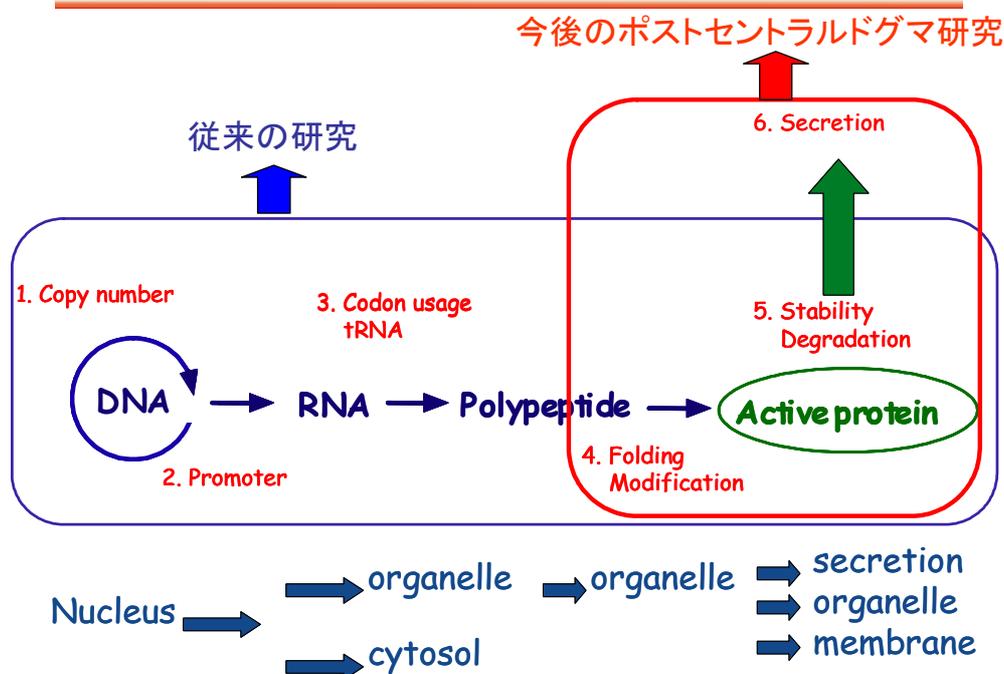
2.2 微生物による活性型有用タンパク質の生産基盤技術の探索

生命現象を支えている種々のタンパク質を、産業用酵素や医薬品原料として活用する試みは1874年にハンセンが子牛の胃からチーズ製造用のキモシンを造ったのが始まりと言われている。また、微生物起源の酵素の利用としては、1894年に高峰讓吉が麹菌からタカジアスターゼを消化酵素として生産したのが最初とされている。その後、これらの技術を応用し、種々の原核・真核微生物による異種タンパク質の発現系が開発され、得られたタンパク質の産業応用が期待された。しかしながら、それらのほとんどは、菌体内でのフォールディングや不完全な糖鎖修飾、分解、菌体外分泌の制御不能、分泌後の安定性の低下などの要因により、十分な活性が保持できず実用化に至っていない。本研究領域では、この障害となっている菌体内の翻訳から分泌に至るタンパク質の立体構造形成、修飾、膜内外での輸送機構の解明に焦点を当て、タンパク質の活性発現や寿命決定原理などを解明することにより、活性型タンパク質を高濃度かつ大量に発現・分泌させる技術基盤の確立をねらいとしている。産業用酵素の給源は微生物をはじめ植物や動物細胞が考えられるが、生産コストという観点からは微生物を用いる利点が大きいため、本生産技術確立の産業界からの期待は大きい。

(研究課題例)

- 微生物における糖鎖付加機序の解明(ゴルジプロジェクト)
- 膜輸送に関わる微生物細胞マシナリー制御機構の解明
- タンパク質立体構造形成に関わる細胞内因子の解析
- タンパク質の寿命を支配する因子の同定

タンパク質発酵(異種遺伝子発現)の多様性と物質生産系での意味



2.3 トランスジェニック生物(家畜・魚類・昆虫等)を利用したオーファン(希少疾病)

医薬品原料生産技術の開発

オーファン医薬品は、対象患者が少ないため製薬メーカーが研究開発に消極的なものが多い。そのため、効能が確認されながら、コスト面で開発が見送られる場合が少なくない。このような状況に鑑み、本研究領域は、家畜の乳中や魚類の個体・卵などを利用してオーファン医薬品原材料を安価に高効率で生産する技術の確立を目的としている。家畜等の動物に目的とするタンパク質を発現させる試みは、これまでいくつかの生物種で試みがなされてきた。その結果、数種類のタンパク質を特定の部位で発現させることに成功してはいるものの、ほとんどの系において活性を保持したまま、十分量のタンパク質を得るまでには至っていない。本研究領域では、この障害となっている部位特異的高効率発現ベクターの構築やクローン等の繁殖技術の向上に焦点を当て、これらを実用可能なレベルにまで引き上げることを目指す。オーファン医薬品は対象となる患者が少ないため、大きな産業に結びつく可能性が高いとは言えないが、疾患数によっては、一頭の家畜から世界中の患者に必要な原料を賄える可能性も考えられ、国が施策として取り組む意義は大きい。

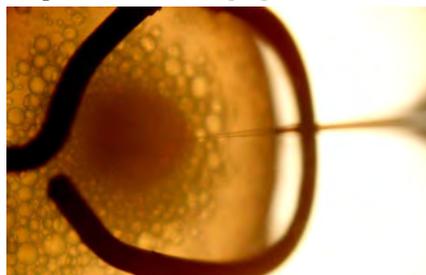
(研究課題例)

- 有用タンパク質を高濃度に生産するトランスジェニック家畜の開発
- 動物・魚類における有用物質の部位特異的大量発現機構に係る研究開発
- 家畜のクローン効率向上に関与する因子の探索

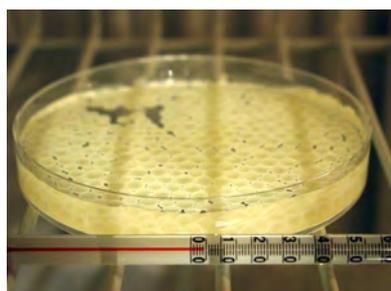
魚類を利用した医薬品原料の生産



ニジマスから採卵・受精



受精卵への有用タンパク質
遺伝子の導入



4日間4-10°Cで培養



医薬品生産

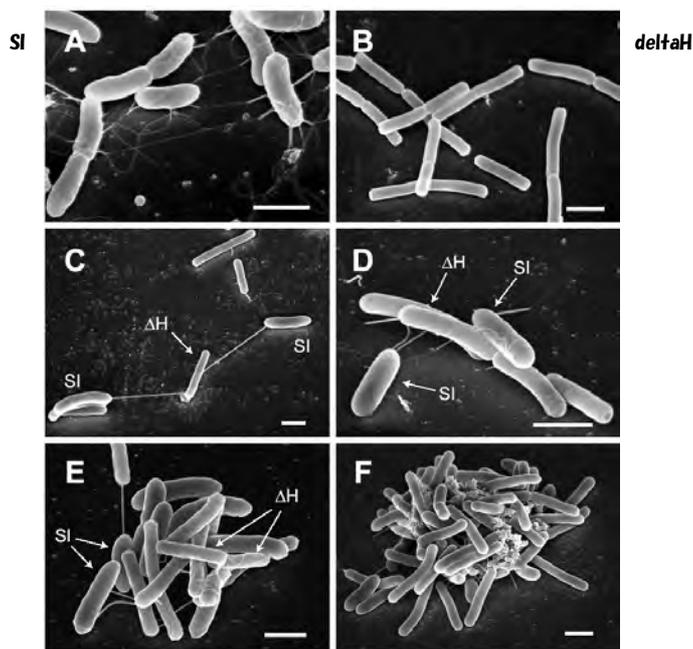
2.4 生物間相互作用の解明に基づく次世代生物生産基盤技術の創出

微生物、植物およびヒトを含む動物等の「共生」や「寄生」の概念・現象は、古来より知られているが、その仕組みについてはほとんど理解されていない。これらの生物間の相互作用は、ある特定の物質・因子の生産や授受が深く関係していることから、学術研究として魅力的なテーマであるが、この解明は次世代の生物生産プロセスにおいても有用な情報を提供することが期待されている。例えば、メタン発酵プロセスでは、多様な微生物が生産環境中に存在し、それらの複雑な相互作用に生産要素の核心があるものの、微生物間の相互作用については全く未解明である。従って、この微生物間の相互作用の理解が進めば、従来成り行きまかせの発酵プロセスが、革新的かつ安定的な生産プロセスへと変貌する可能性がある。また植物は地下部において土壤中に生息している微生物(菌根菌、根粒菌等)との共存なしには生育できない。この共生機構の解明とその制御が確立できれば、全く新しい生育環境、例えば、無肥料に近い農業生産や豆類等の作物生産量が倍増するような圃場の提供が可能となる。さらに、ヒトまたは動物・魚類腸管と腸管内微生物の相互作用の解明は、腸内環境改善による健康増進の可能性や、BSE 感染の恐れのない家畜の肥育技術、魚類の飼料開発等の活用にも繋がる。このように、多くの生物生産は異種または同種の生物の相互作用のもとに成立しており、この機構の解明は、将来、革新的な生物生産プロセス開発の足がかりとなることが期待される。

(研究課題例)

- 腸管微生物・宿主動物の共生機構の解明
- 発酵複雑系の分子機構の解明
- マメ科植物と微生物間に介在する機能性因子の解析

フロピオン酸分解共生細菌



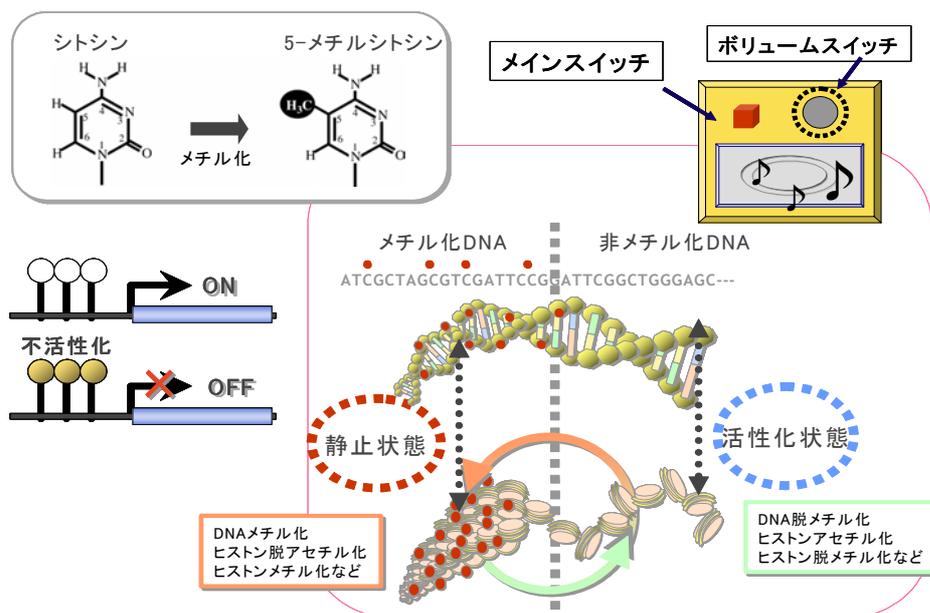
2.5 体細胞の発生・分化過程におけるエピジェネティック制御による革新的動植物生産制御基盤技術の探索

近年のモデル動物による基礎研究では、胎児期の母胎の栄養環境や初期成長期の母親からの物理的刺激などが、産まれてきた子供の内分泌やストレス感受性に著しい影響を及ぼすことが報告されている。これらの要因の一つとして、遺伝子発現を上位で調整する DNA メチル化状態の変化が報告されていたが、近年その具体的なメカニズムも明らかになりつつある。一方、植物の発生・分化においては、クロマチンやヒストンの修飾、表現型や生育速度に大きく影響することが報告されており、遺伝子の配列に起因しない新しい制御系の解明に注目が集まっている。このようにメチル化の変化をベースにした遺伝子発現調節機構の解明(エピジェネティクス)は、極めて基礎的な研究で生命現象の理解という観点から極めて興味深いテーマであるが、これらの機構解明により発生や分化の制御が可能になれば、次世代の動植物生産技術への波及効果は大きい。本研究領域は、このエピジェネティックな調節機構を解明することにより、新しい育種、飼養および管理のための基盤技術を探索することを目的としている。これらの成果により、発生初期の著しい成長と発育に伴う代謝系の制御が可能となれば、従来のジェネティックな制御だけでなく、エピジェネティックな制御までを考慮した全く新しい動植物の生産システムの実現が可能となる。

(研究課題例)

- 体細胞及び生殖細胞の発生と分化のエピジェネティック解析
- 動物個体の発育期の代謝インプリンティング機構の解明
- 高等植物の発生分化におけるエピジェネティック解析と形態形成への関与
- 生殖細胞系列を含む幹細胞系列の細胞培養技術の開発

DNAメチル化とクロマチン修飾によるエピジェネティック制御装置

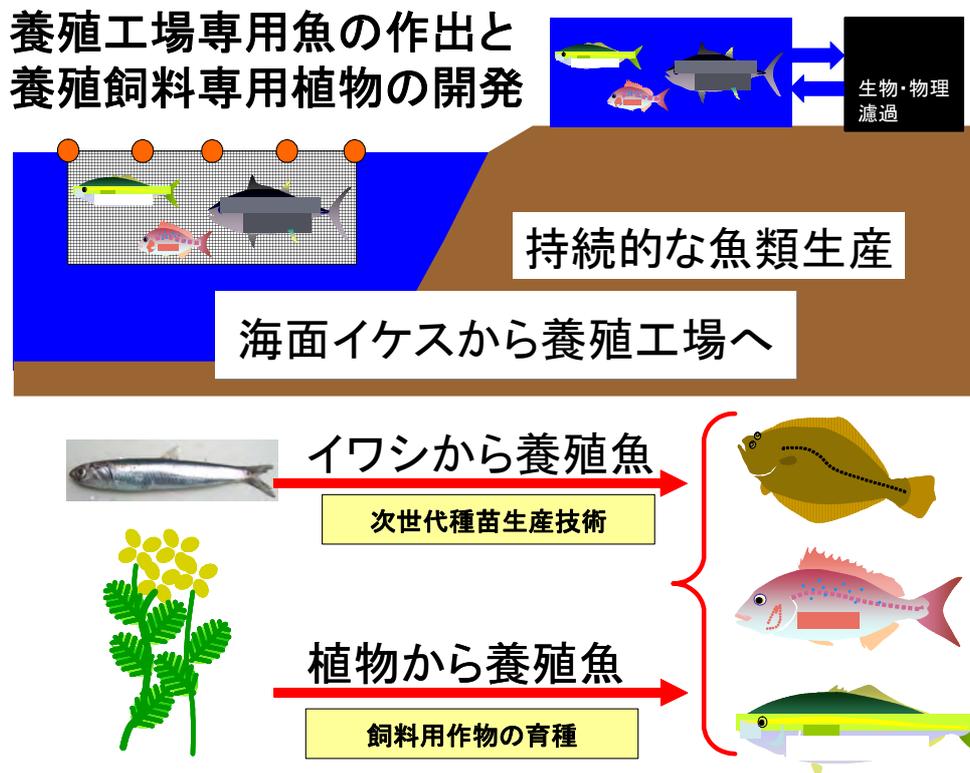


2.6 養殖工場専用魚の作出とその飼料用植物の開発

世界の沿岸域での養殖面積の拡大と養殖飼料による海域汚染を考慮すると、現在の網生けす養殖を将来にわたり持続することは困難である。そこで、次世代の養殖システムとして、陸上閉鎖循環型システムが期待されている。このシステムの利点は、過剰量の飼料や排泄物による海洋汚染の回避、飼料や生育環境の管理による食の安全の確保などが挙げられており、すでに企業がいくつかの魚種を対象に養殖生産を開始し、生産された魚が高付加価値魚として市場を形成している。しかしながら、将来増大が見込まれる水産需要に対応した、多様な魚種ごとに養殖システムを確立しない限り、食の安定供給を実現することはできない。このシステムの確立に向けまず取り組まなければならないのは、魚の育種研究である。これまで人類は捕獲による野生種を食用魚として利用してきたため、魚を家畜化するための基礎研究が絶対的に不足している。高成長で耐病性の形質を持った魚種を早急に作出して行く必要がある。また、これと併せて養殖用の飼料開発研究も必要となる。なぜなら現在使用されている魚油由来の飼料では、ダイオキシンをはじめとする脂溶性汚染物質による魚体または環境への汚染が従来にも増して懸念されており、安全性及び環境保全の観点から大きな問題が生じているからである。魚は他のモデル動物等と比べ、飼育に比較的大きなスペースを必要とし、成長も遅いことから研究の成果が出るまでに相応の時間を必要とするが、我が国の安全な水産物自給率の向上および沿岸域の環境負荷軽減化のためには、本研究領域を強力に推進していく必要がある。

(研究課題例)

- 魚類生理状態の環境応答機構の解明
- 飼料用油脂やアミノ酸を高濃度に蓄積する植物の作出(水産養殖用植物の開発)
- 畜魚生産のための魚類生態・繁殖研究



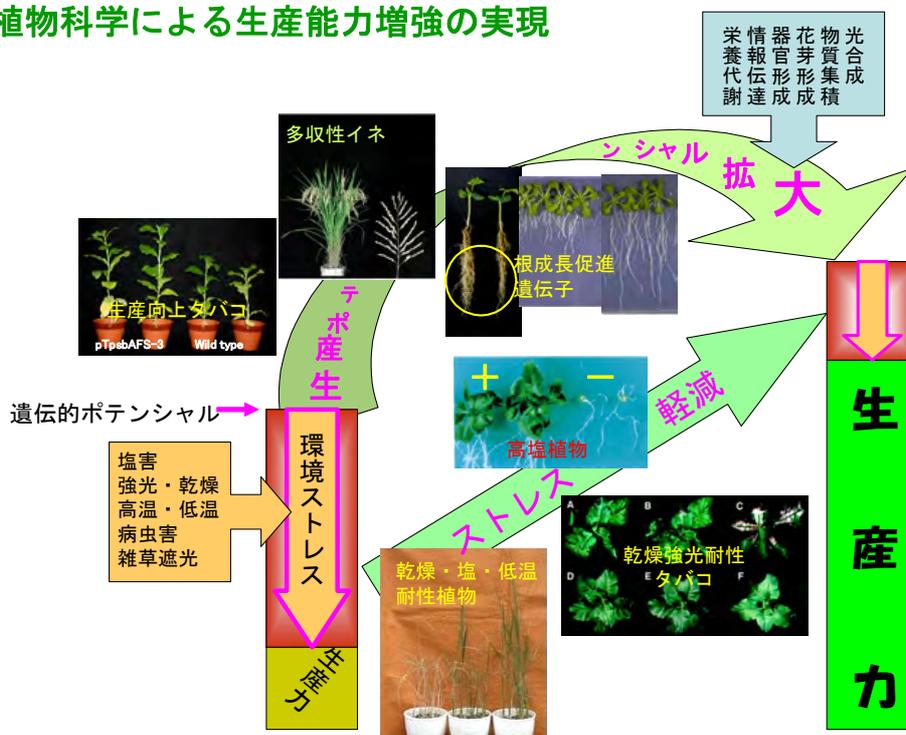
2.7 動植物の超多収・高機能化を実現するゲノム育種・繁殖法の確立

近年のゲノム研究の進展により、家畜や植物においても有用形質と関連遺伝子の関係が明らかとなり、従来、長時間、何世代にも亘り行われて来た新品種の育種・選抜が理論上極めて短期間で行うことが可能となった。しかしながら、これらの知見を高度に利用し、家畜や作物の増産、高機能化を現実のものとするためには、遺伝子組換えや個体発生制御技術等の向上のための、さらなる知識の蓄積が必要である。例えば、植物育種においては、これまでモデル植物での研究が先行したことから、実用植物の相同組換え技術や遺伝子型選抜システムの確立に資する研究が十分に行われていない。これらの研究の推進により技術を高度化しない限り、理想の育種システムの実現は不可能である。また、家畜の育種においては、体細胞への遺伝子導入は実用段階にあるものの、個体の再生技術が未熟で、現在は 1% 前後の確立でしか目的にあった品種を得ることが出来ない。このため、これらの技術を向上させるためのクローン技術等の発生工学研究を推進する必要がある。動植物の育種・繁殖研究は一見成熟し、定常状態に達していると思われがちだが、ゲノム研究の成果を付加することにより、現実には迫りつつある食糧危機の回避に向けて極めて効果的かつ重要な貢献が期待されている。

(研究課題例)

- 資源生物、作物の有用遺伝子の網羅的解析
- QTL ピラミディング解析に基づく作物育種法の開発
- 環境ストレス耐性植物作製のための遺伝子ターゲティング技術の開発
- 遺伝子破壊、遺伝子置換に向けた形質転換法の開発

植物科学による生産能力増強の実現



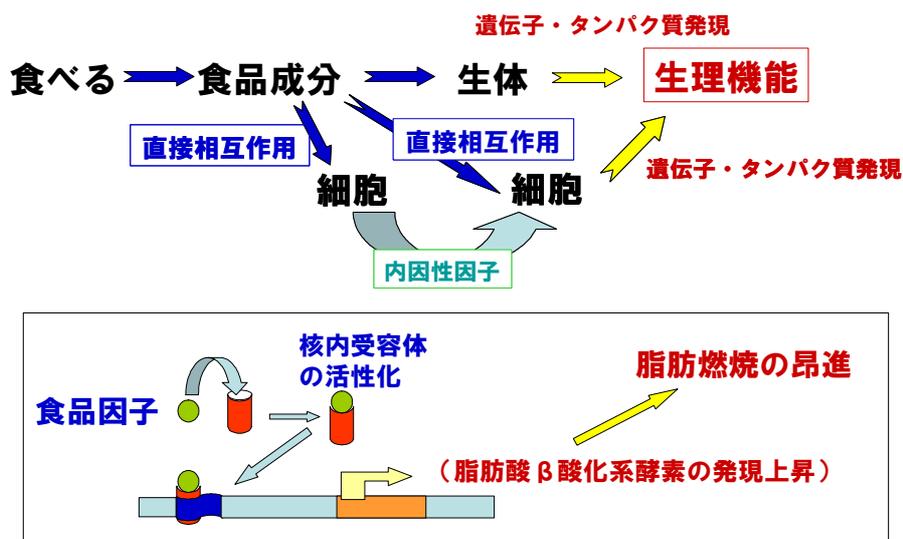
2.8 新規食品機能成分の探索とその生体分子間相互作用解明のための基盤研究

我が国は、食品に生理的な機能があることを科学的に証明することにより、「機能性食品」という概念を確立し、世界に先駆けて発信してきた。また、これらの食品機能を商品に表示することができる制度を制定し、いわゆる特定機能性食品を世界で初めて世に送り出した。これらの市場は現在国内だけで約 7000 億円と言われており、急速に国内外でその市場を拡大している。このように機能性食品に関する研究成果はすでに食品産業へ浸透しているが、消費者からはアレルギーや花粉症などの免疫調節機能や、認知症をはじめとする脳神経系調節機能、高齢化社会へ向けた老化防止など、さらなる高次の機能を付与した食品開発が期待されている。本研究領域は、このような社会ニーズを充足するために、新たな機能性成分の探索やその機能・安全性等についての評価法の確立を目指すものである。探索にあたっては、既存の食品、または、食品の原料となる植物や動物または微生物など自然界に存在する素材から新たな機能性成分を効率的に見出す技術を確認する必要がある。また、評価系の構築には、不均一な成分と個体・細胞との相互作用という複雑な現象を解析するための新たなツール開発が必須である。本研究領域は、我が国が世界に発信して認められた「食の機能性」を更に高次かつ世界的標準技術とするために早急に取り組む必要があり、産学が連携した強力な研究開発体制を構築することにより、現在のアドバンテージを確実なものにして行かなければならない。

(研究課題例)

- 食品成分のケミカルバイオロジー的手法を用いた生理機能の解明
- ニュートリゲノミクスによる食品成分の体内動態と活性測定
- 食品機能性成分の体内挙動解析のためのシステムバイオロジー
- 日本伝統食品の健康への寄与の解明
- 食品成分とヒト細胞との相互作用の解明

食品成分と生体分子の分子間相互作用

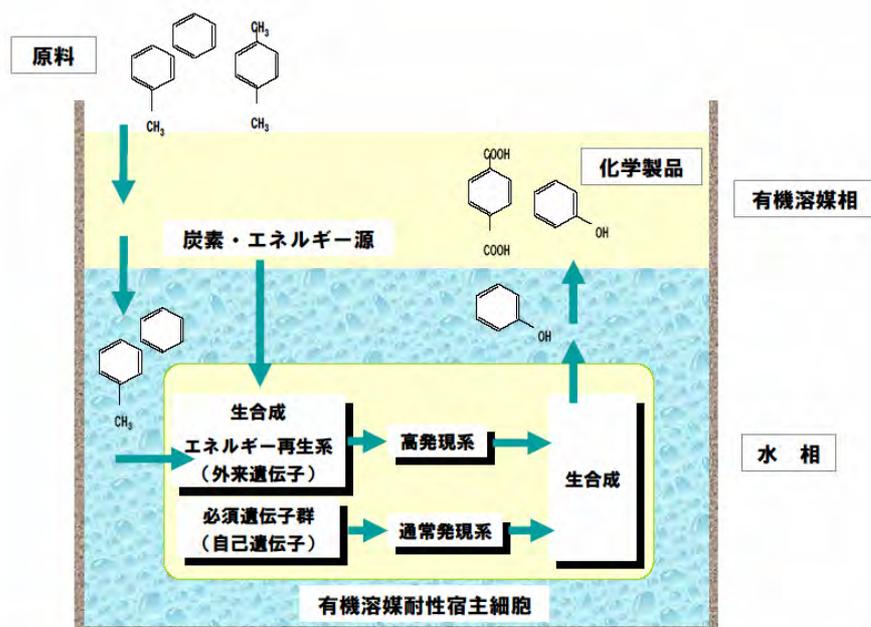


2.9 非水系微生物反応場の理解に基づく次世代物質生産基盤研究

現行の微生物を用いた物質生産プロセスは、糖などの水溶性基質を原料にした均一水系で行われるのが一般的であるが、発酵技術が確立されて50年を経た現在、この系での生産物は飽和状態にあるといっても過言ではない。そこで、期待されるのが、非水系での生産系の確立であるが、これまで酵素法によるアクリルアミドの生産以外で、産業応用にまで至った非水系発酵生産物の例はない。本戦略目標では、将来の石油等の資源枯渇を勘案し、限られた資源を有効に活用するために、非水系物質を原料や生産物とする不均一系プロセスを確立することを目指す。このためにはまず、有機溶媒中でも高活性を維持する生物変換反応を可能とする微生物や酵素の探索を行い、それらをコードする遺伝子から酵素機能の解析を行う必要がある。また生物情報に基づく非水系での反応プロセスなどに関する理論とそれを利用した触媒・プロセス技術を開発することも重要である。さらに、水溶性、非水溶性両方の原料に対する微生物変換を目的に従ってアッセンブルするために、(水と溶媒の境界領域に形成される)水相・有機溶媒相・微生物相からなる複雑な反応場の構成の不均一バイオプロセスを構築するための基盤技術が求められる。このような技術の確立に資する研究の推進には、大学や国研における微生物の探索や遺伝子解析等の先端技術と、企業が持つ生産制御技術の融合が極めて重要となるが、微生物分野では既に産学による強固な研究基盤が存在することから、効果的な研究費の投資により、比較的短期間にインパクトのある成果が生み出されることが期待される。

(研究課題例)

- 有機溶媒体微生物の探索と機能解析
- 非水系で高活性を示す酵素の探索と反応機構の解明
- 微生物の有機溶媒耐性機構の解明



有機溶媒存在下で石油系炭化水素を酸化できるバイオリクターの開発

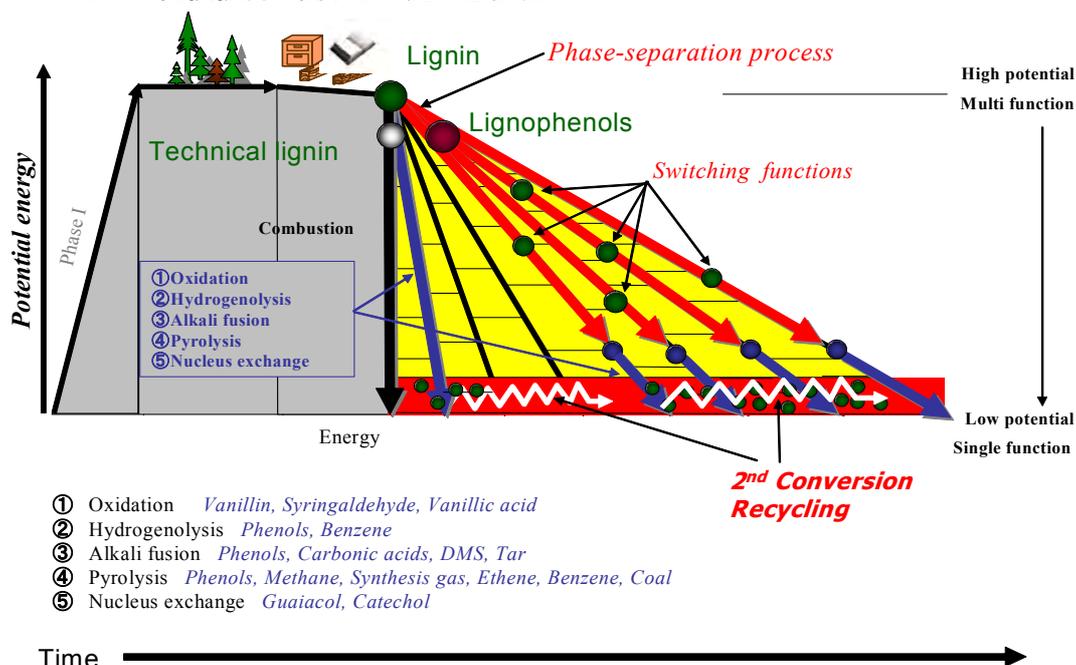
2.10 草本系・樹木系分子素材の新エネルギー活用基盤研究

将来の石油等の化石燃料の枯渇の懸念を勘案すると、現在の化石エネルギーに依存した社会から、限られた資源を利用し持続的発展を前提とした社会への転換が早急に必要となる。そのためには、炭酸ガスを固定し、ある期間維持(保存)できる植物や樹木が、現在の石油に変わるエネルギー・合成品原料として用いられるはずである。植物体を構成している炭水化物は、すでに種々の工業原料や代替エネルギーとして利用され、今後もバイオマス原料としての大きな期待がある。しかしながら、植物由来の炭水化物を利用する場合、複雑に重合している多糖を一旦単糖へ変換する必要があり、このプロセスには多大なコストが必要となる。また、ポストハーベスト後の流通コストも植物バイオマス利用においては大きな課題となっている。これらの課題を克服するためには、植物の単糖蓄積機構を解明し、より多くの単糖を蓄積し、種々の栽培環境に対応可能な植物の開発が求められる。一方、我が国のように林地面積の大きな国土では、樹木をエネルギー源として利用することが考えられるが、現在の技術による樹木利用では、これらのポテンシャルを十分に活用することはできない。樹木を有効活用する新技術としては、主成分であるリグニン関連物質の制御や、これらの精密機能制御と細胞壁高分子複合体系のリファインニング技術、さらに脂肪族・芳香族化合物の逐次有機工業原料化等のテクノロジーの確立が急がれる。これらの技術を早急に確立し、植物や樹木を次世代の新エネルギーとして活用するための基盤作りが求められている。

(研究課題例)

- 草本系における単糖蓄積機能の解明によるバイオマス用植物の開発
- 樹木系におけるリグニン関連物質の動態機構解明とその逐次変換技術の確立

リグニン変換技術に関する研究の必要性



3 まとめ

本ワークショップで抽出された重要研究領域は、多くのものが解読されたゲノム情報を基盤としており、研究の方向性が、従来の単一遺伝子や単一酵素を対象にした研究から、複数の遺伝子やタンパク質の解析などを同時に行う複雑系研究へ移行していることが確認された。

ゲノム情報の生物生産研究における利用は、微生物分野で先行して行われ、高度に育種された微生物が既にアミノ酸・核酸等の発酵産業を中心に利用されている。しかしながら、植物や家畜など、より高等な生物種においては、その膨大な遺伝子情報と開発途上にある遺伝子組換え技術等のため、十分に利用されていないのが現状である。このような状況の下、本ワークショップにおいては、微生物分野からはゲノム情報を統合し、それらを高度利用する研究が、植物や動物などの分野からは、更なる有用遺伝子の探索やゲノム情報を育種に活かす技術開発に関するテーマが研究領域として抽出された。

また、複雑系研究としては、共生を含む生物間相互作用の解析とその利用に関する多くの研究課題を重要領域として抽出した。これらの課題例としては、ゲノムや代謝情報の解析に基づく新しい物質生産系の確立や、開放形での培養技術確立のための微生物共生研究、ITを駆使した代謝産物の網羅的解析研究、食品成分と生体分子の相互作用を解明する研究、草本系・樹木系高分子素材の分子レベルでの動態解析とその利用に関する研究などがあり、いずれも難解な生物・化学反応系の解明に主眼が置かれた研究であった。

一方、当該分野における融合研究の重要性が改めて認識された。近年の生物生産研究の最大の課題は、他のライフサイエンス研究と同様に研究成果のほとんどが実用化に至らないことで、本分野のような目的指向型研究では、「農工」や「医農」など、より出口を意識した異分野との融合や、企業または農業試験場などの生産現場と大学をはじめとする先端研究機関との密接な連携の必要性が強調された。

また本ワークショップでは、生物生産と環境(地球環境や地域環境)に関するテーマを基本的に取り扱わなかったが、植物の生育や家畜の肥育などはある種の地域属性があり、持続的な生産体系の確立と地域社会の活性化という観点から、テーマ設定には環境という概念が極めて重要であるとの認識がなされた。

以上のように、本ワークショップでは、多くの重要研究領域と推進上の問題点等が明らかになったことから、当センターでは、今後これらについてさらなる調査・分析を行い、早急に取り組むべき重要研究領域の絞り込みを行う予定である。

4 分科会報告書

4.1 「微生物」の生物生産研究の俯瞰と重要研究領域

1. はじめに

21世紀の産業活動における技術革新は、「環境保全」、「資源の有効利用」、「安全・安心な物づくり」を基盤として進展するものと考えられる。本分科会の生物生産研究では、将来的課題解決のためのタイムスパンを20年とし、この間に微生物研究で何をなすべきかを俯瞰する。

生物生産に関する開発研究は、現在もNEDOグリーンバイオプログラムが進行中であり、さらに類似の趣旨の開発研究も計画されている。本分科会での生物生産研究が対象とすべきものは、このような開発研究とは一線を画し、次世代の生物生産システムを支えるべき理論体系や基盤技術の構築を目指した研究であるべきである。

そのための基盤的研究は、既存の知見を拡大・深化するだけでなく、応用研究に資する微生物学の新領域を開拓するものでなければならない。微生物による「生物生産」研究では、その新領域として「微生物の生存戦略の解明に関する研究」を提案する。

近代的な微生物工業は、目的とする生産システムに、既知な微生物機能を当てはめることで発展してきた。すなわち、多様な種に属する単細胞生物を純粋にしかも大量に培養できるという微生物の特性を最大限に活用してきたものであり、取り扱いが容易でしかも生理機能の理解が容易な生物機能を改変することによって技術を成立させて来たとも言える。しかし、応用可能な微生物機能の情報は既に飽和状態に近づいており、その延長線上には、技術の改良・拡大はあっても、技術のイノベーションは期待できない。従って、産業活動の変革に対応するための微生物研究としては、従来とは異なる科学的視点が必要である。これは、微生物の側に視点を移し、その微生物が有する多様な生存戦略を解明することである。この新しい視点に立った研究によって、より高度な微生物機能を発見・抽出することができ、「生物生産」に応用可能な新領域が開拓できるものとする。

微生物の生存戦略は、「細胞機能の複雑性」と「細胞集団の多様性と複雑性」として要約できる。両者は微生物生理学や微生物生態学の領域では既に研究対象となりはじめており、さまざまな実験手法の開発も進展中である。この領域を生物生産と連携させるためには、以下の現象を分子レベルで解明する必要がある。

- (1) 細胞の生体分子合成のための反応場(細胞機能の複雑性)
- (2) 機能分子の細胞内動態(細胞機能の複雑性)
- (3) 多様な微生物種間の自立的相互作用(細胞集団の多様性と複雑性)

このような細胞レベルと細胞集団レベルでの複雑性と多様性を分子レベルで解明することは、微生物の生存戦略を高度に制御することを可能にし、生物利用プロセスのイノベーションに繋がるものと考えられる。平たく言えば、微生物の生存戦略から引き出される機能は、現行のプロセスでは利用されていないかあるいは利用が困難な生物機能である。それは、生理学や生態学が「解析」の対象としている複雑性と多様性とに合致するものであり、これらに対して「応用」の視点から組織的にアプローチすることによって新しい微生物生産の新局面が開かれるものと考えられる。

自然界で営まれる微生物の細胞レベルおよび微生物集団レベルでの機能の特徴である合目的性、効率性、安定性については、未だ十分に解明されておらず、新しい生物生産システムの

イノベーションのためもぜひとも挑戦しなければならない領域である。その解明には、個々の生命現象の分子機能を解明しなければならないが、それらを統合した複雑性と多様性を真に理解し利用するためには、総体科学としてのオミクスの適用が必須である。

以下に、微生物の生存戦略の解明の「出口」(具体的な生物生産の対象)を(1)化成品製造野、(2)発酵分野、(3)エネルギー・資源分野、(4)活性型タンパク質生産分野、とし、それぞれの分野における微生物研究の重点領域を記述する。

2. 研究課題の俯瞰と重点領域

(1)化成品製造分野

微生物機能を利用した生物産業の中で今後 20 年を見据えて最も重要となる出口は、石油化学依存型社会からバイオ基盤社会への転換のための技術開発である。具体的には、現在の石油化学コンビナートの個々の化学プロセスをバイオプロセスに置き換えていくことである。これによって、従来のプラントを生かしつつ、環境調和型・省エネルギー型の生産プロセスへの移行が産業上も現実味を帯びてくる。このような現実路線は、日本の産業構造変革の生命線である。石油化学における回収・精製・変換のプロセスの全てに生物的プロセスを適用する可能性があり、これらを基盤とした「もの」に支えられた省エネルギー的で持続可能な産業構造の形成を目指すことが重要である。

(1)-1 研究課題の俯瞰及び分類

- I. キャッチフレーズ: バイオ基盤社会の構築
- II. 目標: 化学製造プロセスのバイオプロセスへの転換
- III. 対象: 高分子中間体、化学製品、バイオポリマー
- IV. 研究課題: バイオプロセス開発、物質の膜透過、酸化還元反応、有機溶媒中での生物化学反応変換、生物ネットワーク動作原理解明、遺伝系-表現型相関解析、微生物反応場制御
- V. 必要資源、技術: 有機溶媒耐性微生物の探索、微生物ゲノム、トランスクリプトーム育種、代謝変換予測システム、オミクスデータにもとづくバイオリアクタ制御

(1)-2 重要研究領域とそれに取り組む理由

現行の微生物を用いた生物生産プロセスは、糖などの水溶性基質を原料にした均一水系が一般的である。一方、今後生物プロセスが石油化学分野に進出するためには、非水系物質を原料や生産物とする不均一系プロセスを確立することが重要である。すなわち、有機化学反応と同様な反応場で生物プロセスを行わせることである。そのためには、有機溶媒の中でも機能する微生物変換反応、微生物探索、ゲノム解析、機能解析にもとづく生物反応プロセスなどに関する理論とそれに基づく技術を開発することが重要な課題である。さらに、水溶性、非水溶性両方の原料に対する微生物変換を目的に従ってアッセンブルするために、水層・有機溶媒層・微生物層(水と溶媒の境界領域に形成される)からなる複雑な構成の不均一バイオプロセスを構築するための基盤技術が必要になる。

また、このような反応場で、細胞機能の長期安定性や溶媒耐性などの高次生物活性を制御するためには、ゲノム、トランスクリプトーム、プロテオーム、メタボロームの総体科学オミクスから得られるデータを物質生産(ファーメンテーション)に統合させるファーマントミクス研究を進展させる必要がある。微生物を利用した物質生産においては、日本には産学が緊密に連携する社会的基盤があり、その連携活力を最大限に生かしてこの領域を世界に先駆けて生物生産の

現場で実用化しなければならない。第3次科学技術計画にある日本が「ものづくり技術」で世界をリードするためには、微生物科学および工学を総動員する必要があり、それぞれの要素技術を総括するファーメントミクスの視点は、生物生産では欠かすことができない。

(2)発酵分野

微生物の代謝過程の全部あるいはその一部を反応システムとして活用し、生産目的に従ってシステムの活性を制御する生産方式が発酵である。微生物を用いた近代的な物質生産は、アミノ酸や核酸の発酵生産を中心に発展してきた。しかしながら、アミノ酸や核酸の生産に関しては現在の技術水準では既に生産性の限界に近い。この打開には飛躍的な生産性向上につながる技術革新が必須の要件である。そのためには複雑な微生物機能のより高いレベルでの理解が必要になる。

また、その他の有用有機化合物、例えばアルコールや有機酸などの化成品の微生物生産は、現在なお伝統的な手法を踏襲しており、この領域での技術革新は、新たな素材や工業製品への展開や石油化学の代替につながる大きな可能性を秘めている。この新領域の開拓では、物質化学、特に工業化学や化学工学などの異分野との協力が必須となる。

一方、生産のためのツールとして、様々な微生物由来の酵素反応は利用されているものの、利用される微生物種は限定的である。これは、遺伝子工学を含む育種技術が確立されており、制御が容易な微生物だけが生物プロセスの対象となっているからである。今後は、地球上に存在する多様な微生物を生物生産のためのツールとするという観点から、有用な微生物機能をより網羅的に探索し活用するための技術およびそれをまとめる研究組織を整備する必要である。同時に自然界における微生物の存在形態としての微生物種の多様性とその相互作用の複雑性を理解することで、微生物の持つ多彩な能力を最大限に活用し、将来の多岐にわたる高度なニーズに応えるための学問的基盤を整える必要がある。

(2)-1 研究課題の俯瞰及び分類

- I. キャッチフレーズ: 発酵生産のイノベーション
- II. 目標: 物質生産性の飛躍的な向上と化合物種類の大幅な拡張
- III. 対象: 一次代謝産物、二次代謝産物、その他生体成分、化成品および合成中間体、医薬品および合成中間体、有機電子素材、食品原料
- IV. 研究課題: 新規有用微生物/微生物群の獲得、新規有用酵素/酵素群/代謝経路の獲得、高度な発現制御法の確立、高度な代謝制御法の確立、細胞間/生物間相互作用制御法の確立、環境応答制御法の確立、増殖加速の達成、代謝加速の達成、無/低酸素高速発酵の確立
- V. 必要資源、技術: 複雑系微量化合物の迅速分析、経時的連続的な転写解析、経時的連続的な代謝解析、単一細胞内現象解析、特定菌株の全蛋白質機能解明、細胞間/生物間相互作用の解明、環境応答機構の解明、高効率遺伝子操作技術・素材微生物、ゲノムデータベース、蛋白質データベース、代謝データベース、代謝シミュレーション、単一細胞シミュレーション、計測・制御技術、発酵・反応装置シミュレーション、分離・精製技術

(2)-2 重要研究領域とそれに取り組む理由

日本の微生物工業の研究はかつて、欧米に遅れをとっていたものの、20世紀の後半には、近代科学の積極的導入と数々の工業的イノベーションにより、他の工業生産と同様に発酵生産に

においても世界のトップレベルの知見と技術を保有するに至った。特に、アミノ酸発酵や核酸発酵は日本の技術者が独自に開発した技術であり、欧米諸国の追隨をゆるさない産業分野である。しかし、微生物利用工業全般を見れば、日本が保有する技術は世界のトップ集団(日、米、欧の一部)にあるものの、下位の国々との差は縮まりつつある。日本の微生物による物質生産活力を飛躍的に発展させ、世界のリーダーの地位を確保し続けるためには、従来技術の改良によるのではなく、革新的な技術の創出が必須である。そのためには、生産現場では解析や理解が難しく従来手をつけることができなかつた現象や企業にとってリスクが大きい長期的課題に対して、今回のプロジェクトでは果敢に挑戦すべきである。課題例としては、微生物細胞内や細胞間/微生物間/生物間の複雑な相互作用の結果としての生命現象の解析と理解、およびその高度な制御を応用した工業化があげられる。この達成には、微生物研究だけでなく生態学・細胞生理学・物質科学、化学工学などの異分野との協力と融合も必要になる。

(3)エネルギー・資源分野

エネルギー問題は、人間活動の持続的発展において最も重要な課題である。21世紀の産業構造変革の要諦は、化石燃料からの脱却であり、再生可能なバイオマスエネルギーの利用を拡大していくことである。

生物によるエネルギー生産としては、メタン発酵が1900年代当初より様々な形態で利用されてきている。しかし、原料の性質によって集積される微生物群の活性制御を対象とした現行のメタン発酵のエネルギー生産効率は必ずしも高いとは言えず、その利用は未だ限定的である。しかしメタン発酵は、廃棄物の再資源化およびゼロエミッションなどの観点から、その有用性は今後飛躍的に増大すると期待されている。

さらに、メタンを初めとする C_1 化合物は石油成分に代わる物質生産のための基幹物質になり得ると考えられ、 C_1 化合物の生物的・化学的利用法が広く開発されてくれば、メタンを中心とする新しい資源循環型の産業構造の形成も可能となる。そのために、バイオテクノロジーに根ざした革新的微生物技術をメタン発酵の効率性拡大のために積極的に活用すべきである。

近年、生物による電気生産(微生物燃料電池)も注目を集めるようになってきているが、現行技術の延長線上で見ると、その実用化が遠い夢のバイオエネルギー技術と捉えられている。

これらのエネルギー・資源生産プロセスは、非滅菌系であり、複雑な組成の原料から安価な目的物を生産しなければならない。また、メタン発酵を例にとれば、プロセスの中には多様な微生物が存在し、それらの複雑な相互作用に生産要素の核心があることも特徴である。これは、「生物複雑系」から「生物生産能力」を引き出すための格好のテーマである。この生態系を構成する微生物群集の解析研究は現在進展中であるが、群集の中で起こる微生物間相互作用の制御の理論的解明には至っておらず、その理解が進めば、全く革新的な生物生産プロセスが現実のものに成り得る。ここでは、生物複雑性に関する基礎的知見の集積、複雑生態系内の各種相互作用の理解などの重要課題を克服していく必要である。現在の還元主義的生物生産プロセス開発とは異なり、自然環境での「複雑なるが故に高効率である」微生物の存在形態の理解と活用は、JSTのプロジェクトでしかなし得ない研究対象である。

(3)-1 研究課題の俯瞰及び分類

- I. キャッチフレーズ: バイオ基盤社会の構築
- II. 目標: バイオエネルギーの利用拡大
- III. 対象: エネルギー、資源、環境

IV. 研究課題: コミュニティーゲノミクス、微生物間相互作用、生態系制御、C₁化合物代謝、共生強化

V. 必要資源、技術: メタゲノム、メタトランスクリプトーム、超微量物質同定装置、生態構造解析技術、生態系シミュレーション技術

(3)-2 重要研究領域とそれに取り組む理由

エネルギー生産プロセスは、安価な生産物を安価な原料から創出するプロセスである。現行の微生物プロセスのように滅菌系・閉鎖系での制御技術の延長線上には実現しえないプロセスである。一方、長い歴史があり日本の強みと考えられている醸造プロセスなどは、ブラックボックス生態系(中で何が起きているか解明できていないプロセスを含む)を限られたパラメータを活用し、主に技術者の経験によってそれらを制御するものである。今後 20 年の間に、エネルギー・資源生産プロセスの分野で確立を目指す非滅菌系バイオテクノロジーは、高度で複雑な生物間相互作用を分子のレベルで理解することにより、従来のブラックボックスの制御に必要な新たなパラメータを見つけ出し、利用していこうとするもので、その科学・技術における革新性はきわめて高いといえる。ここで得られる知見は、単にエネルギー・資源分野で活用されるだけでなく、醸造分野や他のバイオプロセスの技術革新にも大きなインパクトを与えるものになるであろう。

一方、メタンは化石資源のひとつとみなされているが、メタンハイドレートの形態も考慮すれば他の化石資源に比べて莫大な埋蔵量があり、地球科学的には石油や石炭とは異なり、現在も一定の速度で生産され続けているとされている。また、上述のように廃棄物やバイオマスからの生産を考慮すれば循環型資源であり、メタン・メタノール・一酸化炭素などの還元型 C₁化合物は再生可能未利用資源として大きな魅力がある。植物は光エネルギーにより CO₂ 固定するがメタンなどの還元型 C₁化合物は資化できない、従って、C₁化合物のバイオ利用を考えた時、その対象となるのは微生物で主である。資源・エネルギー利用がメタン中心になる将来の生産体系を想定し、今後は有用物質生産系を可能な限りこれらの未来型資源を原料とした生産系に転換する必要がある。その結果として物質生産工程による環境負荷の低減および省エネルギー化が達成できる。

(4) 活性型タンパク質生産分野

生命現象を支えている様々な活性型有用タンパク質の生産は、工業用酵素・医薬品生産のために重要であるばかりか、微生物による有用物質生産は代謝変換あるいは酵素変換によって行われており、活性型タンパク質の生産性増強は、有用物質生産における律速酵素・鍵酵素活性の増強にも重要な課題である。

(4)-1 研究課題の俯瞰及び分類

- I. キャッチフレーズ: 難発現性活性型有用タンパク質生産技術の開発
- II. 目標: 難発現性活性型有用タンパク質生産のための細胞内分子システムの解明
- III. 対象: 医薬、生化学、バイオテクノロジー、食品原料
- IV. 研究課題: 細胞内分子相互作用、発現制御、タンパク質輸送、タンパク質分解
- V. 必要資源、技術: タンパク質複合体解析技術、

(4)-2 重要研究領域とそれに取り組む理由

活性型有用タンパク質の生産は、様々なバイオプロセスにおいて鍵となる技術であり、その意味で様々な原核・真核微生物による異種遺伝子発現系の利用は、工業上も多大な貢献をして

きた。しかし、遺伝子の過剰発現によって全てのタンパク質が活性型で大量に生産できるというわけではない。実際には、活性型タンパク質生産や、酵素変換・代謝変換による有用物質生産において、反応の有効性は知られているものの活性型タンパク質を大量発現できないために、工業生産レベルに至っていない例が数多く潜在している。従って有用酵素を活性型で大量に得るための理論と技術は、生物生産の鍵となる要素である。

生命現象は、様々なタンパク質の発現・合成から活性発現・分解に至るプロセスにより調節された結果である。そのために、様々な生命現象は、遺伝子発現とその翻訳産物であるタンパク質分子の機能によって語られている。生命現象を分子レベルで理解するためには、発現情報・タンパク質間相互作用のみならず、タンパク質と脂質・糖質など、様々な異種分子間の複雑に制御された相互作用の解明が必要であり、そこにタンパク質が活性型に変換する仕組みが存在するといわれている。従来技術で、大量発現が不可能であった有用な活性型タンパク質には、異種生物では発現できない理由があり、これまでに解明されていない個々の生物特有の分子システムが必ず存在するはずである。これまでに、活性発現の困難な有用タンパク質を、異種遺伝子発現系を用いた生産技術を開発する過程で、分子細胞生物学に全く新しい生命現象が発見され、その分子システムの解明ができた例がある。これは応用の視点が生命現象の基礎を解明する切っ掛けとなった好例である。

工業用酵素生産の場合は、安価でかつ経済的な発現系でなければならない。ここでの微生物の異種遺伝子発現系の利用は、実験室レベルでも、工業レベルでも活性型タンパク質を得るためのファーストチョイスである。現状では、既知の発現系を適用し、そこで適当な発現系が見つからなければ大量発現を諦めざるを得なかった。しかし、発現させるタンパク質の発現コンストラクトのみならず、宿主の改変と最適化までも視野に入れば、活性発現が困難なタンパク質の発現技術を成立させることは可能になると考えられ、この場合はタンパク質生産性を指標にした宿主の探索系と、分子育種技術が整っている微生物が有利である。また、上に示したような新しい分子システムを発見していくためにも、微生物、特に酵母や糸状菌のような真核微生物は、動植物細胞に比較して有利である。真核微生物によるタンパク質生産から得られた生物学的原理は、必要ならば、動植物などの高等細胞にも適応できる。これが「活性タンパク質生産のための基本原理」である。

以上

4.2 「植物・樹木」の生物生産研究の俯瞰と重要研究領域

1. はじめに

地球上の生物はすべて、最終的には、植物に依存して生存している。すなわち、それらは、植物の光合成の結果として蓄積された産物を食・飼料として、従属栄養的に生きていけると言える。50年後の地球の状態を考えると、人口増、それにとまなう環境悪化が予測されている。こうした中、これまでの資源消費型の社会から、資源循環型、あるいは持続可能型社会への転換が必須となろう。それには、植物の生産機能のいっそうの活用が不可欠である。

ライフサイエンス研究という概念の元に、これまで多くの研究費が投じられてきた。そのかなりの部分は、ヒト個体の生存に関わるものであるといえる。医学、基礎医学、基礎生物学の動物に関わる部分が、それにあたるであろう。これに対して、集団としてのヒト、すなわち、人類の生存に関わる科学が、同じように十分に支援され、展開されてきたとは言い難いところがある。農学や、理学、薬学における植物科学研究は、こうした、人類の生存を、食糧や、環境など、その周辺から支える科学であるといえる。植物をより良く知ることは、ヒトを含む地球上の生命の存在のために、きわめて重要であり、今後の地球を考える上で、いっそうの振興が期待される領域である。

今回、生物の生産機能の活用について考えるにあたって、植物・樹木グループのワーキンググループでは、今後重要である研究分野を下記の5分野に整理してみた。それらはすべて、植物固有の生産機能を活用した、また、今後いっそうその重要さが増してくる分野である。植物の特徴として、独立栄養性、分化全能性、環境応答性などがあげられる。イネや、アラビドプシスのゲノム情報の開示、また、さらに多くのモデル植物や作物のゲノム情報の集積が期待される中、植物の生産機能と、ゲノム情報あるいは、その下流にある、mRNA、蛋白質、一次・二次代謝産物との関わりを明確にする研究が重要である、と同時に、植物による生物生産の現場から発生する研究課題や、研究対象に基づく研究をいっそう発展させ、それらの両面からの研究を融合し、植物独自の機能と、その機構を解明し、新しい知見を蓄積することが、植物科学分野でのイノベーションにつながるようになる。

植物には核、葉緑体、ミトコンドリアという3種の遺伝子間(ゲノム)の相互作用が存在している。その典型例は、光合成能である。また、生殖隔離、雑種強勢なども、遺伝子間の相互作用と理解できるであろう。また、植物の生産性は、植物個体の能力だけではなく、集団レベルおよび栽培レベルでの能力が重要であることも、植物生産性を考えるとき重要な視点である。そこには同種生物および異種生物間の相互作用も関与している。さらに、多様な化学物質を作る植物の機能も、きわめて重要な研究対象である。こうした物質は、栄養としての食資源として重要であるばかりでなく、医薬資源、工業原料などとしても、有用なものである。食資源という観点からは、新たな有用な機能を有する植物の開発は、今後いっそう重要さを増すであろう。どのような機能が期待されるかは、植物生産研究と、他の領域との共同研究などから生まれてくる事になろう。植物の持つ他の重要な機能は、生産物を蓄積する過程で、植物が存在す

ること自体の機能であろう。一方、ヒトの生存を環境面から支えている森林生態系については、まだ未知の分野が多い。森林の多面的な機能の評価が約75兆円／年と試算されているものの、地域の環境保全と物質生産との調和や利活用についての研究は、社会科学の領域も含めての研究が不可欠であろう。こうした植物生産性研究の基礎として、新たな植物を作り出す育種技術は、すべての分野にとって必須かつ共通の重要な課題であり、その新技術や体系化が必要であろう。

こうした観点に基づき、以下、それぞれの分野について、重要な事項を整理することとした。

2. 出口からの俯瞰と重点領域

(1) 農業生産(物)

植物の生産機能を利用した産業として、20年後から50年後の地球環境と人類の状況を考えたときもっとも重要なものは、80億を超えるであろうと考えられる地球人口を養うだけの食糧を生産する農業体系である。また、こうした状況のとき、食糧を輸入に頼っている我が国の現在の状況は、独立国家の安全という観点からも極めて危うい状況におかれることが予想され、我が国の食糧自給率を上昇させることも、重要な課題である。また、食糧問題が大きな問題となると考えられる、中国などの東アジア地域への国際貢献も、視野に入れる必要がある。これは、一企業の事業ビジョンを超えた、国家的視野で推し進めるべき分野である。

(1)-1 研究課題の俯瞰及び分類

- VI. キャッチフレーズ: 50年後の地球人口を養える食糧を生産するゲノム育種
- VII. 目標: 収量2倍、食糧・飼料自給率 70%、日本と東アジア地域への貢献
- VIII. 対象: 世界の主要作物(穀類、豆類、イモ類、綿)
- IX. 研究課題: ゲノムベースの作物(植物)特性の理解。雑種強勢、生殖隔離、シンクソース機能、ストレス耐性、環境適応性、tailored seeds(目的毎の種子のセット)、圃場における生産性、生物間相互作用(寄生、共生、エンドファイト、菌根菌、土壤微生物、アレロパシー)、栽培化過程のゲノムレベルの解析、進化生物学、各種作物での葉緑体ゲノム遺伝子導入
- X. 必要資源、技術: ゲノムデータ、野生種リソース、ハイスループットな選抜法、メタボローム、プロテオーム、QTL解析用交配集団、遺伝子組換え作物の開放系評価システム

(1)-2 重要研究領域とそれに取り組む理由

先進各国はこの 20 年、モデル植物のゲノム配列解読や個々の植物生理現象の分子レベルでの機構解明に邁進してきた。しかし、21 世紀に入るに伴い、米国や欧州各国では、より実用な作物のゲノム解読や有用植物成分合成系解析などの応用研究に大きく舵を切りつつある。これは、現在でもすでに年間 40 兆円を越える生産高のある主要作物に関する知財を確保しようとする動きであり、地球温暖化によって激変が予想される作物栽培環境への対応を狙った、国家的未来志向研究と思われる。欧米においては、これまで植物基礎科学で世界をリードした研究

者も、現在はこのような各国の国家方針に沿った方向にスタンスを移しつつある。しかし、米国に関していい話は伝わってきていない。

一方、我が国においては、多くの大学などにおける研究者はモデル植物を使った基礎科学研究を展開している、また、農水系研究機関は「イネ」を日本の唯一の植物研究材料として多くの研究資源を投入している。このような状況下、それらの研究体制を糾合して、世界に誇れる植物科学研究成果を食糧・飼料生産、食糧自給率 UP に直結させる方策が必要である。その中において、育種技術は、他の農業技術と比較して、きわめて普遍性が高く、それに連がる多くの研究は、植物を用いた生産システムの基礎となるものであり、この分野の研究の進展を図る必要がある。日本における産業としての農業は、規模、人件費の問題から見て、国際競争力があるとは言えない。しかし、その基礎である新品種育成・開発については、研究者、遺伝資源からみて、我が国には永年培われてきた研究資源があり、それらを用いた研究の成果は、世界に貢献しうるものである。特に、中国、インドなどの人口大国は、近代化に向けて、脱農業化を図っており、これらの国々の食糧生産の安定化は、世界の食糧生産の安定化につながり、我が国が貢献しうる分野であって、これは食糧安保の観点から、日本を支えることにつながる。

(2)家庭直接利用生産物および食品工業的生産物を出口とした場合の研究の方向性

現状では、植物生産は第一次産業としてとらえられ、それ自身が食糧として用いられるか、あるいは、加工食品の原料として使用されている。このような植物の食糧、食品としての利用に加え、それ自身が工業製品に匹敵する付加価値の高い食品として、水と、光と、炭酸ガスを材料とする第一次産業で生産することによって、一次産業と二次産業を連結したような、エネルギーコストの低い、新たな生産業(1.5次産業)を創設するターゲットになることが可能となる。この産業は、医食同源を実現するような、人の健康を守り、老化を防止し、病気を予防するための産業となるはずである。それは、医療費の削減に繋がるばかりでなく、高齢者が多くなる社会での、quality of life を実現するものである。ここでは、新しい機能を持つ植物、あるいは新しい(重要な)食品機能を持つ産物を高度に生産する植物を作出することが期待され、それは、遺伝子導入という手法で初めて実現される。このことは、現在の遺伝子組み換え作物に対する、社会の安心感を推進するものとなろう。こうした状況は、花卉類についても、同様なことがいえ、色、形、香りなどの新品種の創出は新産業に繋がる。

(2)-1 研究課題の俯瞰及び分類

- I. キャッチフレーズ: 植物機能を活かした新機能作物の創出
- II. 目標: 食べる、見ることで、人に役立つ新しい植物の作出
- III. 対象: 生産量の高い作物、イネ、イモ、トウモロコシ、果樹、果実、蔬菜、花卉など園芸植物
- IV. 研究課題: 食品機能研究との融合(ターゲット: ビタミン、機能性ペプチド、腸内フローラ栄養源など)、食品中の有害成分の解明、生合成系の解明、安全性の確認、遺伝子組換え技術の開発(マーカーフリー遺伝子導入、植物由来遺伝子高度利用、タ

ーゲッティング導入、大量遺伝子導入系)、遺伝子制御技術の開発、園芸植物の新品種(色、形、香り、開花季節)、アロマテラピー観葉植物、害虫フリー園芸植物

V. 必要技術:ニュートリゲノミクス、社会ニーズの把握、植物工場、メタボローム

(2)-2 重要研究領域とそれに取り組む理由

GM植物の社会的許容度の低いEUや日本では、消費者ベネフィットを満たすことによりGM植物の容認度を上げる切り札となる可能性がある。また、欧米では一日に食する食品の種類が日本の1/7で慢性的な偏食傾向にあり、保守的な食習慣の下で健康な食生活を実現する方法として重要視されている。

新食品として植物機能を強化する場合、それを利用する消費者の視点を意識せざるを得ない。この点は欧米でも同様で、マーカーフリー遺伝子導入や植物由来遺伝子高度利用が重要な技術開発課題となる。植物核染色体でのジーンターゲットングも早急に取り組むべき課題である。

対象にする植物機能は多岐にわたり、個々のプロジェクトの中で決めるべき問題である。決めるにあたって重要なことは、その機能が企業、研究者や研究資源提供側に興味を持てることよりも、消費者が欲するものであるべきである。

(3)工業原料、エネルギー資源

現在の化石エネルギーに依存した社会から、持続的維持を前提とした社会(持続可能な社会)への転換が、この30年の間に必要になる。ここでは、炭酸ガスを固定し、ある期間維持(保存)できる、樹木などを中心とした、植物生産物が、現在の石油に変わる原料として、用いられるはずである。これは単に焼却による熱エネルギーの放出という方法によるのではなく、植物生産物の高次の機能を利用して、生物的、あるいは化学的な変換システムにより、高次の原材料に変換し、それをカスケード的に逐次活用する産業を創出する必要がある。

(3)-1 研究課題の俯瞰及び分類

- I. キャッチフレーズ:石油ベースの社会から、植物ベースのサステナブルな(持続的維持)社会へ(化石燃料からの炭酸ガスの一方的発生から、植物による炭酸ガスのリサイクル利用)
- II. 目標:植物(森林)を起点とする高次複合材料から機能性工業原料の持続的生産
- III. 対象:リグノセルロース, 芳香族および脂肪族系化合物(高分子~低分子)
- IV. 研究課題:樹木リグニンの効率的逐次機能変換、樹木成分の変換・分離、植物素材の循環設計の解説、樹木成分のカスケード型利用、化学的・生物的成分変換法の開発(微生物領域との融合研究)、セルロール分解系と、分解されたオリゴ糖・グルコースを原料とする発酵生産系の融合、バイオポリマーの機能制御と循環利用、バイオマス循環利用ネットワーク

(3)-2 重要研究領域とそれに取り組む理由

光合成分子の流れとその制御: 持続的社会的構築には、生態系において循環系を構築

している資源を基盤とした物質生産システムの確立が必須となる。樹木を構成する非生命系要素(炭水化物とリグニン)は脂肪族系および芳香族系資源として石油に匹敵するポテンシャルを有するが、細胞壁中における両素材の高次複合系をその循環機能を破壊することなく解放することは難しく、その利用は、燃焼によるエネルギー変換、循環設計のシンプルな糖質の変換利用のみに特化している。この状況は 50 年以上前から現在もなお繰り返されている。生態系を攪乱しない持続的社會への転換には、植物系分子素材に組み込まれている循環設計を素材個々に循環時間との相関で精密に解読するとともに、それを材料の持続的循環システムへと再現する全く新しい分子機能制御システムとそのカスケード型利用ネットワークが必要となる。石油のない日本において、世界に先駆けて植物基盤型の新しい持続的先端工業システムを立ち上げなければならない。

(4)医薬品類(機能性植物)を出口とした場合の研究の方向性

植物は極めて多様な植物成分を合成するが、それらの中には、医薬品などとして極めて重要であり、しかも、化学的な合成法では、製造することが困難なものが数多く知られている。例えば、鳥インフルエンザの特効薬であるタミフルの合成に、植物(八角)から抽出したシキミ酸が使われていることはよく知られる。シキミ酸は分子内に3つの光学活性炭素を持ち、人工合成が非常に難しい化合物である。有用産物探索法の今後の発展により、さらに多くの有効成分が明らかになることが期待されるが、これらの有効成分を生物機能を用いて生産する産業は、医薬品産業として、高度に発展する可能性を有している。また、医薬品とはならなくとも、保健機能成分として重要なものもあるであろう。こうした植物の一次代謝、二次代謝機能を基礎とした代謝工学は、さらに発展が期待される分野であり、この分野の新産業の創出が期待される。このためには、特に、有効成分に関する、化学的、医学的な研究が基礎とならねばならない。さらに、植物を医療用タンパク質製造工場として利用することも重要である。

(4)-1 研究課題の俯瞰及び分類

- I. キャッチフレーズ: 植物だけができる化学工業
- II. 目標: 保健、医薬品の高効率生産
- III. 対象: 薬用植物、保健機能植物、機能性食品、医療用タンパク質
- IV. 研究課題: 生合成系、生合成制御系(一次代謝と二次代謝系)の解明、高生産発現系の開発、微生物による植物成分生産系の開発(微生物研究との融合)、新規機能性物質(生物活性物質)の探索と機能解析、植物の組織培養、細胞培養、代謝工学、オルガネラ遺伝子工学
- V. 必要技術: メタボローム、植物での遺伝子発現制御系、微生物への大量遺伝子導入法、植物工場

(4)-2 重要研究領域とそれに取り組む理由

土壌中微生物が無尽蔵であるのと同様に、植物の二次代謝反応生成物は数十万種に及ぶ。そのほとんどがまだ未利用資源であり、未記載のものも多い。至急に世界各国の資源植物の

二次代謝生成物のメタボロームデータベース化に着手すべきである。テルペノイド、アルカロイド、フェニールプロパノイドなど、それらの生合成経路の決定と生合成反応経路に関わる全酵素の遺伝子特定が望まれる。欧米各国は東南アジアに研究拠点を設け、この分野の研究に熱心である。数千年にわたり西洋医療文明を受け入れずに生活している諸民族の生物医薬に注目したい。

植物はまた、医療用生産工場としても利用されている。すでに欧米では、植物核ゲノムへの遺伝子導入によって、多くの医療用タンパク質が合成され、市販されている。しかし、いまだにその合成量は少なく、その改良法として細胞外への合成タンパク質蓄積を目指す手法も開発されている。

これに代わる技術として、葉緑体での医療用タンパク質合成が注目されている。

(5)環境保全、地域活性化

植物、特に、樹木を中心とする森林は、存在それ自体が人類にとって重要なものであり、一定の経済的価値を有している。森林は属地性が強いために自然共生システムとの共生が不可欠である。それぞれの地域に根付いた林産物生産技術の開発が必要である。また、その経済的価値は、市場外経済(外部経済)であるために、現在は一般には計上されていない。同じように、水田の持つ地球の水環境面からの機能が経済的に評価されていない。森林の人の生活への影響と重要度を考慮するとその保全と利用は、属地性が著しいために大産業には繋がることは少ないが、重要である。また、フォレストセラピーや快適環境形成にも大いに寄与している。森林地帯では、田畑とは異なる生物生産体系やエネルギー循環系が存在しており、それらを、地域と一体となって利用し、生きた自然共生地域イノベーションとしていく体制が必要である。それらが、生物生産と環境保全が両立することに繋がる。

(5)-1 研究課題の俯瞰及び分類

- I. キャッチフレーズ:ミドリによる生活環境の保全、植物の多面的機能の経済的価値の評価、地域に適した生物生産システム研究。
- II. 目標:森林、里山などの健全性の維持と地域経済の活性化(自然共生地域へのイノベーション)、地域における森林の利活用(都市住民と地域住民とのコラボレーション)。
- III. 対象:森林、樹木、キノコ類、林産物。
- IV. 研究課題:植物の環境保全機能、炭素リサイクル系の経済学、植物と菌類共生系の相互作用、菌根菌、キノコ類のリグニン分解作用、間伐材の利用技術、植物の環境浄化機能(ファイトレメディエーション)、生きた自然共生博物館
- V. 必要技術:キノコゲノムデータ、樹木特性データ、菌類特性データ

(5)-2 重要研究領域とそれに取り組む理由

森林循環系のシステム解析:巨大な生物群集である森林では大気および土壌成分が持続的かつ多様な複合循環系を構築しており、そこに存在する生命体とともに、森林は地球

上の重要な生命基盤を形成している。さらに、そこで形成される樹木は際だった長期循環系を形成しているのみならず、地球重力場の中で最大の形態を保持しており、森林は持続的な資源形成とストックの場であると同時に、我々に生態系共生に必要な材料設計、循環型社会システムの規範をも提供する。地球上で最大のバイオマスであり生物生産者である森林の重要性は広く認識されているが、属地性(地域性)が高く、その機能とフィールドの多様性ゆえに総体としての解析と制御が著しく難しい。これまでは、世界的に林学、林産学の森林分野でのみその育成、保全と利用が論議されてきた。しかし、その生命基盤としての、そして持続的物質生産フィールドとしての重要性を認識するとき、分散している森林系の情報を初期光合成段階から最終生分解段階までを、とくに林産物と結びつく自然共生系に調和した、人間系をも含めた総合的なそのシステムフローについてデータベース化し、統一的に把握できる体制を確立することは、持続的な社会の構築において重要となる。

以上

4.3 「動物・魚類・昆虫」の生物生産研究の俯瞰と重要研究領域

1.はじめに

動物性の食資源を安定的かつ持続的に供給することは、畜産業・水産業に課せられた大きな使命である。また近年、高品質で安全、安心な動物性食品に対する国民の要求が急速に高まる中で、こうした要求に応える新たなシステムの畜産業・水産業の発展を支えるための技術開発が、かつてなく重要なものとなっている。畜肉および魚肉は、子どもの健全な成長を促し、成年の活力ある生活を保障する重要なタンパク質源としてだけでなく、生活習慣病など加齢性疾病を予防する食品素材としても注目されている。最近では、動物(昆虫を含む陸上動物および水棲動物)を用いた有用物質の生産、すなわち動物個体のバイオリアクターとしての利用にも大きな期待が寄せられている。

安全で安心な食資源や有用物質を動物で生産するには、従来別個に進められてきた個体レベルの研究と、分子、細胞、組織、器官の各レベルの研究を結合させることによって、各動物の特性を俯瞰的に把握し、その成果に立脚した動物生産技術体系の構築が必要である。また、動物飼育には多大な労力、コスト、施設が必要であり、安全、安心、効率性および持続性を向上させたためのIT技術など、生物学を超えた分野からの新技術の開発・応用が切望されている。

すなわち、分子、細胞、組織、器官、個体レベルでの研究を飛躍的に発展させ、さらにそれに基づいて開発した動物生産技術や、情報科学や工学と融合した新たな学問分野から創成された技術を統合し、パッケージとしての研究が進めば、将来の動物生産に大きなブレークスルーがもたらされることは疑う余地もない。

すなわち本研究において、以下の3つの新技術領域の創出や新しい展開が強く望まれる。

- I. 動物の機能を活かした安全・安心・持続的な動物生産技術開発
- II. 健康促進に貢献する有用物質生産のための動物生産技術開発
- III. 環境と調和した効率的・省力的動物生産システム確立のための技術開発

2.研究課題の俯瞰と重点領域

(1)安全・安心な食糧生産に貢献する動物生産技術の開発

先進諸国共通の現象である少子・高齢化は、近年、わが国においても、急速に進展しつつあり、子供の健康や健康長寿につながる食品素材の生物生産は喫緊の課題である。さらに、戦後、わが国では炭水化物中心の食物から、動物タンパク質中心の食事へと移行してきており、この傾向は今後も続くものと予想される。このような現状下において、わが国の食肉の自給率は52%(平成14年度統計では、牛肉が39%、豚肉が53%、鶏肉が65%)にすぎず、その多くを輸入に頼っているのが現状である。また、水産物においても、国内での生産量が近年減少しており、その自給率が50%近くまで低下している。これらの自給率の低さは、他の先進国には見られないわが国の脆弱な一面であり、食糧安全保障上の大きな問題である。さらに最近では、海外からの輸入製品の食品としての安全性や品質の確保が問題となっている。中でも、牛におけ

る牛海綿状脳症(BSE)、鶏における高病原性トリインフルエンザ、抗生物質残留ウナギ等、食品としての安全・安心が疑問視される問題も少なくない。このような現状において、国内において従来以上に安全・安心な動物性食資源を将来にわたり、持続的に供給していくことは、わが国の畜産業、水産魚に課せられた重要な責務であろう。

したがって、国内で生産された動物、魚類についても、今後は、より高いレベルでの安全性と環境保全型生産システムの基盤の上に高品位の動物性食品素材を確保していく必要がある。BSE やトリインフルエンザ問題に加え、養殖魚、天然魚を問わず、一部の魚種ではダイオキシンや水銀による汚染が依然問題になっている。このような問題を克服するためには、国内の資源を高度に活用した、あるいは物質循環系に根ざした安全な飼餌料を用いた、独創的な飼養技術シーズを確立して、健全な動物、魚類を生産するシステムを構築していくことが急務である。これまでのようなモデル動物による基礎研究に重点を置くのではなく、食料生産に必要な具体的な動物を用いた上での新しい生産システム、いわゆる“ものづくり”を構築するための高度先端技術の研究推進が必要不可欠である。

さらに、このような動物生産を将来にわたり持続的に行っていくためには、供給が不安定であったり、安全性に問題が残る飼餌料の使用からの脱却も重要である。具体的には国民の健康志向をリードできる輸入穀物に依存しない国内草資源を利用した動物の生産技術や、従来の“10kgのイワシから 1kgの養殖魚”を作る技術ではなく、植物性飼料から養殖魚を効率的に生産する技術の開発も重要な課題である。

(1)-1 研究課題の俯瞰および分類

- I. キャッチフレーズ: 動物に内在する高度生物制御機能を活かした 安心・安全・持続的な動物性食料生産
- II. 目標: 持続的かつ安全な動物性食資源生産
- III. 対象: 動物、魚類
- IV. 研究課題: 代謝インプリンティング・環境インプリンティングによる動物・魚類の代謝系の改変、遺伝子組換え技術による代謝系の改変(代謝工学)、代謝機能の向上・改変・付与や恒常性の乱れを回復するためのメタボリックコントロールアナリシスと栄養制御、選抜や発生工学技法を組み合わせた代謝系改変、動物細胞株及び遺伝子ライブラリーの構築、野生動物からの有用遺伝子資源探索、ラジカルフリーの健康肉や草資源を利用した霜降肉の生産、植物性飼料を用いた肉食性養殖魚の生産、粗飼料を高度に分解するルーメン内微生物の探索、在来家畜の特徴の見直しと新しい品種の創造、栄養生理学と脳生理学の融合、汚染物質代謝系の解明とその制御、汚染物質フリー飼餌料の開発、栽培漁業におけるナーサリーの増強

(1)-2 重点領域と取り組む理由

代謝系の改変・回復・制御による効率的かつ高品位な持続的動物性食資源の生産:

動物性食資源の生産が、植物性のそれと決定的に異なるのは、動物生産には飼餌料が必要であるという点である。従来の動物や魚類の飼育法は、対象種ごとの栄養要求は不変であり、

これを満たさねばならないという大前提に立っており、大量生産・大量消費型が成り立つ技術と経営方法によって支えられてきた。その結果、飼料原料を輸入に大きく依存し、飼料原料に混入する汚染物質が動物(特に魚類)に移行するといった問題が生じている。さらに、生産量に応じて必然的に一定量の排泄物が生じ、大きな環境問題にも発展している。これらの諸問題を解決し、持続的かつ高品位な次世代型動物性食資源生産システムを確立するため、対象動物の栄養要求に合わせた餌を与えるのではなく、供給が容易で、安全な飼餌料によって、積極的に対象動物の代謝系を改変・回復・制御する技術が非常に重要である。

これまでの動物生産において、胎児期あるいは初期成長期の著しい成長と発育に伴う代謝系の改変と体質制御まで考慮した飼養システムに関する研究は少ない。近年のモデル動物による基礎研究では、胎児期の母体の栄養環境や生後の著しい初期成長期の栄養環境が、あるいは生後直後の親からの見繕い刺激等、環境からの種々の物理的刺激によっても、その後の内分泌、栄養吸収機構、ストレス感受性等、生理機能に著しく影響を及ぼすことが報告されている。これらは遺伝子発現を上位で調節する DNA メチル化状態をも変化させるといった具体的なメカニズムも明らかになりつつある。このように安全な食糧生産を目指した動物生産において、動物の遺伝子改変の以前に、動物の初期成長過程の“ある時期のみ”に機能する高度生物代謝生理制御機構の解明、いわゆる代謝生理的インプリンティング機構の解明とその活用技術に関する研究が重要である。これにはメタボリックコントロールアナリシスによる分子細胞情報に基づき、ジェネティックな選抜育種に加え、エピジェネティックな手法(代謝・環境インプリンティング)や栄養制御的手法との統合により可能となる新しい動物飼養技術あるいはシステムと言える。さらには、代謝系の改変により、動物からの排泄物の量や質を制御することも可能であり、エコフレンドリーな動物性食資源生産も可能になる。魚類においては、従来魚粉、魚油に依存した養殖ではなく、植物から肉食性養殖魚を生産することも可能となる。

(2) 医療に貢献する動物生産に関する技術開発: 有用物質生産

ペプチドやタンパク質性の医薬品の多くでは、近年、組換え体利用の実用化が進みつつある。さらに、ヒトゲノム解析の進展により、従来未知であった多くの遺伝病原因タンパク質の特定が進行中であり、これらの組換え体が各種遺伝病の新たな治療薬として利用される機会は、近い将来、飛躍的に増えると予想される。また、組織工学や再生医療のためにも組換えタンパク質のニーズは高まっているが、これらヒトの体内に投与される組換え体の場合、正確な翻訳後修飾が必要不可欠である。従来、単純タンパク質の組換え体生産には微生物が主に用いられてきたが、今後、主流を占めると考えられる多量体タンパク質や、正確な糖鎖を付加したタンパク質の生産には、動物や魚類、あるいは昆虫といった真核生物の発現系が必須である。このような状況下において、複雑なタンパク質を大量に、かつ安価に生産する技術の開発は極めて重要な課題である。

昆虫(カイコ)を宿主とした組換えタンパク質の生産系はすでに稼動しており、一部のタンパク質の生産にまで至っている。しかしながら、プロテオーム研究においては翻訳後修飾や立体構

造の厳密な正確性が要求されており、現状の昆虫を宿主とした組換えタンパク質の生産系を改良し、糖鎖構造の違いの問題やシャペロンを利用することによる高次構造の問題の克服などが必要となってきたり、宿主昆虫の遺伝子改変などが必要な課題となっている。また、昆虫で組換えタンパク質を生産することにより、血清を使用することの危険性を回避することができるという利点がある。さらに、昆虫ウイルスが作る多角体と呼ばれるタンパク質の結晶の中に組換えタンパク質を固定化する技術は従来考えられてきた結晶の中に他の成分を含有させるというこれまでの常識を覆す発想であるが、こういった非常に特殊な組換えタンパク質を生産する系の確立は、例えば細胞増殖因子の固定化によって動物細胞の無血清培養にもつながり、生物生産系全体にとっても重要な課題である。

一方、このような有用物質生産には、安全な個体を用いることが必要であり、レトロウイルス保有個体の除外などゲノムレベルでの解析も必要である。

(2)―1 研究課題の俯瞰および分類

- I. キャッチフレーズ: 動物で薬をつくる
- II. 目標: 有用物質を正確に大量に生産する系の開発
- III. 対象: 動物、魚類、昆虫
- IV. 研究課題: 高純度のタンパク質生産系、高発現タンパク質生産系、固定化タンパク質発現系、ミルク、尿、体液中での組換え体生産系、鶏卵・魚卵での組換えタンパク質生産系、カイコ等昆虫での組換えタンパク質生産系、動物の特性を利用した有用物質の生産系(ミツバチのプロポリスや藻類での燃料生産)、動物ゲノムの解析

(2)―2 重点領域と取り組む理由

新たなバイオリクター系の開発:

動物個体を利用したバイオリクターとしては、大型哺乳動物のミルクの系が注目され、実用化に向けた研究が進んでいる。本系は、生産量が多いものの、ミルク中の夾雑タンパク質の多さから精製が困難だという本質的な問題がある。今後は、益々需要が高まる複雑な構造を有した組換えタンパク質を、大量に、かつ正確に生産し、その精製も容易な新規バイオリクター系の開発が重要である。このためには、各種候補動物の、各種組織におけるタンパク質合成系の特徴を正確に把握し、それらが保持する本質的なメリット、デメリットをうまく改変し、組み合わせていく必要がある。例えば、夾雑タンパク質が少ない大型動物の尿中での物質生産や、卵黄物質の蓄積機構を駆使した鶏卵・魚卵での物質生産、正確な翻訳後修飾及び立体構造を保った組換えタンパク質を生産することのできる昆虫(カイコ)の遺伝子改変、さらには昆虫ウイルスの多角体を用いることにより動物細胞の無血清培養を可能とする細胞増殖因子などの有用タンパク質を固定化する技術等、近年、新たなポテンシャルが期待されつつある新規の系の構築が重要である。

(3) 動物生産システムの効率化・省力化

(1)および(2)のための動物飼育システムの構築も重要な課題である。畜産業では従来の放

牧地に加え、飼料自給率が28%である現状を考えれば、今後増加すると予想される耕作放棄地や山林、さらには荒廃草原を利用した放牧が進むことが予想される。また、放牧畜産はこれまでの放牧とは異なり、地域特性を活用し、生産者と消費者が一体となった自然循環型農業を基盤とし、地域特性をもつ家畜品種の生産体系の構築が望まれる。このような放牧を効率的に行っていくためには、大規模化した家畜生産体系の効率化に対応したIT技術と工学先端技術との融合による研究・開発も重要である。このような課題を解決するためには、動物行動学に基づいた個体、あるいは群の管理と、IT技術を融合した個体識別や行動制御、さらには生理状態のリモートセンシングといった技術の開発が重要である。養殖業においては、現在の海面イキスを用いたシステムは、その生産量的にも、天然海域の環境浄化能力的にも限界に達している。さらに、地球規模で広がる海洋汚染と生物濃縮による養殖魚体への汚染物質の蓄積を考慮した場合、陸上での閉鎖系循環養殖システムの開発・改良が極めて重要な課題である。従来の循環養殖システムは、その水処理技術の開発のみに焦点が絞られてきたが、今後は本システム専用の養殖魚の育種や専用の飼餌料の開発とのパッケージ研究が重要であろう。

(3)―1 研究課題の俯瞰および分類

- I. キャッチフレーズ: オフィスから動物を飼育する
- II. 目標: 放牧地での動物の効率的な管理、養殖工場による魚類生産
- III. 対象: 動物、魚類
- IV. 研究課題: 地域特性を活用した生産者と消費者が一体となった自然循環型動物生産、地域特性をもつ家畜品種の造成、先端IT技術を用いた家畜管理、先端IT技術を用いた動物の生理状態のリアルタイムモニタリング、魚類養殖工場、代理親魚養殖、養殖工場専用魚(低窒素・リン排泄)の開発、エコフレンドリー飼料の開発、排泄物処理技術、ミツバチモデルを用いた動物行動の基礎研究

(3)―2 重点領域と取り組む理由

動物生産システム構築に向けた異分野融合アプローチ:

自然循環型動物生産を可能とするには、これまでの放牧畜産とは異なり、地域に適した放牧牛の選定および選抜、地域性にあった粗飼料自給率の向上、放牧規模の設定と土地の確保、流通機構の確保などが必要となる。その生産過程は地域に全てが開示された形式を取り、消費者とは安全性・安心感を共有し、地産地消の理念に基づいた自然循環型農業を確立すべきである。従来、動物生産システムの開発は、育種、代謝、繁殖等対象動物そのものに関する研究や飼餌料の研究、さらには動物生産にかかわる工学的なハードの開発等が個別に行われてきた。しかし、これから将来の動物性食資源生産を考えた場合、これらの各領域の研究をより進展させるとともに、これらを有機的に融合させ、パッケージとしてシステム開発を進めていく必要がある。例えば、畜産においては、動物行動学とIT技術を融合させることで、広大な牧場における個体の管理を遠隔操作により集約的に行う技術の開発が期待される。さらには生理学とリモートセンシング技術を融合させることで、例えば、発情周期を自動的にコンピューター内に記録・管理し、計画的に繁殖制御を行うといった技術も重要である。一方、魚類養殖においては、

陸上で完全に飼育水を循環させながら魚類生産を行う養殖工場技術の開発も重要であろう。この際、飼育用のハードの開発のみではなく、養殖工場に用いる専用魚(例えば排泄窒素やリンが少なく濾過槽への負荷が低い)の作出や、水質維持も考慮した飼料の開発、さらには陸上の小型施設でも種苗を生産できる代理親魚養殖技術(サバにマグロを生ませる)等、生物が元来保持している機能を有効に引き出し、さらにはそれを改変していく研究も重要である。

(4) 動物に特徴的な生命現象の解明による次世代型動物生産基盤技術の開発

動物生産は、反芻動物、鳥類、魚類、昆虫などのもつ特徴的な生物学的特性を利用して成り立つ。このようなことから、まず、動物に特徴的な生命現象のゲノム、分子、細胞、組織、器官、個体レベルでの解明が必要である。これをもとに安全で安心な動物生産物とは何かを検証とともに、安全で安心な動物を効率的・持続的に育種、生産、増殖する強固な基盤技術をつくる必要がある。このことが次世代、すなわち10年～20年後の新たな動物生産体系を生み出すとともに、揺るぎない動物生産体系の構築を可能にする。

(4)―1 研究課題の俯瞰および分類

- I. キャッチフレーズ: 動物の特性を明らかにし、次世代の動物生産技術を創造する
- II. 目標: 動物の生命現象をゲノム、分子、細胞、組織、器官、個体レベルで明らかにするとともに、それを踏まえ安全・安心を保証し、かつ効率的・持続的動物生産体系を支える基盤技術をつくる。
- III. 対象: 動物、魚類、昆虫
- IV. 研究課題: 動物に特徴的な遺伝、繁殖、栄養、免疫、脳機能などの生命現象の解明による次世代型動物生産技術の創造。

(4)―2 重点研究領域と取り組む理由

草食性で乳・肉を生産する反芻動物(第一胃に微生物が共生)はヒトなど単胃動物とは異なる生理的特性をもっている。反芻動物に特徴的な微生物との共生のメカニズムを分子レベルで解明し、ヒトが食糧としない生物資源をヒトの食糧に安全に効率的に転換させる独創的な技術開発が必要である。また、免疫機能の解明により、安全性が危惧される抗菌性飼料添加物や疾病治療用動物性医薬品に代わる免疫機能活性化機能性飼料・添加物の開発、あるいは疾病抵抗性のある品種の開発が必要である。さらに、人工授精は家畜、魚類の増殖に貢献し、牛では99%以上の産子が人工授精によって誕生するようになったが、次世代の繁殖技術の中核をなすと予想される体外受精、体細胞クローン、生殖細胞の体外形成、胚の遺伝子診断、胚性幹細胞の樹立は未だ開発途上にある。生殖系列細胞の分化機構に関する分子、細胞レベルでの研究を進展させ、これらを実用可能な技術に成長させることが次世代の新しい動物生産体系を生み出す。魚類においても、優良魚の選抜育種、増殖技術の飛躍的進展が次世代の養殖漁業に必要であり、そのためには家畜と同じ観点に立った研究が必要である。動物は脳をもち、知恵をもつ。例えば牛では自ら餌を探して移動し、自らに適した餌を食し、成長し、畜舎に戻る。魚類も昆虫も同じ特性をもつ。このような動物の知恵及び学習能力を解明し、よりよい知恵・学習

能力をもつ動物を選抜、育種することにより省力的で創造的な動物生産が可能になる。また、陸生動物と海中動物では重力負荷が異なる。重力認知のメカニズムとこれらの動物における相違が解明され、重力認知の人為的操作が可能となれば、1G重力下でも「遠心機牧場」「宇宙空間での動物飼育」と同等な新たな動物生産体系の構築が可能となる。

以上

4.4 「食品」の生物生産研究の俯瞰と重要研究領域

食品分野の俯瞰と重点領域

体調改善・生活習慣病予防機能を持つ食品である特定保健用食品はすでに500品目以上が認可されているが、その機能は整腸機能など一部に限定されている。一方、消費者はアレルギー・花粉症・感染症・ガンなどを抑える免疫調節食品、あるいは認知症・知能発達などに関係する脳神経系調節食品など、さらに高次の機能性食品開発を期待している。しかし現状では、食薬区分の問題等が大きな壁となって、これら新規な機能性食品開発を困難にしている。この壁を越えるには、食品の機能性評価の明確な基準を確立することが必須である。社会に要求されている新規な食品機能の評価系構築が出来れば、薬とは異なる特性を持つ新規な機能性食品の開拓が可能になり、素材生産者や食品企業の活性化、国民の健康向上に役立つことが期待できる。なお、このような新規機能性食品開発に当たってはその安全性評価も重要である。しかし機能性食品成分が生体に及ぼすプラスとマイナスの効果(2面性)に関する研究は遅れている。生体が食品成分をどのように認識するか、基礎研究を統合的に進め、食品の安全性に関わる社会の要請に応えることも必須である。

(1)研究課題の俯瞰及び分類

- I キャッチフレーズ:新規機能性食品の開発を可能にする評価手法・解析技術の構築
- II 将来目標:花粉症、食品アレルギー、ストレス、不眠、認知症など新しい生体調節機能を持つ安全な食品開発を可能にし、美味しく安全に食べることで体調を維持・改善することを可能にする社会を構築する。
- III 研究対象:機能性食品、食品安全性、機能性・安全性評価、農畜水産物
- IV 研究課題:新しい機能性食品分野の開拓、免疫調節食品・老化防止食品・抗ストレス食品の創出、機能性食品素材の探索、新規機能性評価のための評価系構築、安全性評価法確立、食品成分と生体の相互作用の統合的理解
- V 必要とされる技術:細胞培養、細胞工学、モデル動物、免疫化学／神経科学的測定、システムバイオロジー(ニュートリゲノミクスとバイオインフォーマティクス)、ケミカルバイオロジー、細胞・分子の可視化、医学者との連携

(2)重要研究領域とそれに取り組む理由

①ニュートリゲノミクスを用いた免疫調節食品の開発と評価:マイクロチップ解析とインフォーマティクスの手法を用いて、食品成分が免疫系に及ぼす影響を統合的かつ定量的に表現することを目指す。また、免疫調節食品成分を探索、評価するためのマーカー物質を探索する。これらのアプローチにより、食品の免疫調節機能を客観的に評価できる国際的な評価基準の確立が期待できる。また、免疫調節機能を持つ食品素材として、多様な農畜水産物の利用が期待される。

②食品素材の機能性・安全性評価のためのフードケミカルバイオロジー:食品の機能性を理

解するためには、食品成分と生体の相互作用の解明が必要であるが、これまで報告されている多くの機能性食品成分が生体のどこでどのような分子によって認識されているかが分かっている例は、国内外を含めてきわめて少ない。生体側の認識分子を明らかにすることは、食品成分の安全性を評価するうえでも重要であり、さらに、「食べる」という行為を食品・生体相互作用という切り口で捉えるという点で、興味深い基礎研究の領域を拓く。

以上

4.5 参考資料

【分科会から抽出された研究課題と出口となる産業分野との関係】

分科会	ターゲットとなる分野	具体的な目標(達成時期)	目標達成に必要と思われる技術	技術を確立するために必要な研究課題
微生物	化学	・現在の化学プロセスの20%を生物プロセスへ(20年後) ・オミクス情報を生物プロセス最終到達地点として統合するファーマントミックスの確立(20年後)	・有機溶媒中での生物化学反応変換制御技術 ・バイオ情報工学を基盤とした有用細胞創製	・有機溶媒耐性微生物の探索と機能解明 ・非水系微生物反応場の理解 ・生物ネットワークの動作原理解明 ・遺伝子発現と表現型の関係の解明 ・遺伝子変動による代謝変化の予測 ・微生物の有用化学物質変換機能の解明
	食品	高効率発酵プロセス (ex. 炭素収率80%以上、生産速度100g/L/day以上)(10年?)	発酵現象の高度な解析技術	・複雑系微量化合物の迅速分析法の確立 ・連続的な転写・翻訳・代謝の解析 ・代謝シミュレーション
			微生物代謝の高度な制御技術	・細胞内制御系の解明と制御法の確立 ・細胞内/間情報伝達の解明と制御法の確立 ・細胞内全遺伝子/蛋白質の機能解明 ・代謝シミュレーション
			汎用・高収率の精製技術	・高性能/汎用分離能のシステムの確立
	高速発酵生産プロセス (ex. 増殖速度2倍、代謝速度2倍)(10年?)	微生物の代謝・増殖の制御技術	・増殖/代謝加速技術の確立 ・高速増殖/代謝微生物の探索と利用法の確立	
エネルギー	2030年までに全使用エネルギーの10%を生物系廃棄物から生産する	非滅菌複雑生物生産系を制御するための新しいバイオテクノロジー	・メタゲノム解析技術 ・生態系シミュレーション ・代謝産物移動機構 ・細胞間情報伝達 ・空間的位置関係制御技術 ・難分解性有機物分解 ・多様性・複雑性の生産性への影響	
化学	従来の宿主や単純な遺伝子発現では困難であった有用遺伝子発現によるタンパク質・物質生産(15年後)	難発現有用遺伝子の発現及び細胞制御技術	・有用タンパク質の翻訳から分解に至る動態制御機構の解明 ・有用タンパク質の寿命を決定する原理の解明 ・分子システムと細胞システムをつなぐ異分子種間相互作用と時空制御系の解明 ・生体膜/オルガネラを場とする有用タンパク質の動態制御原理の解明	
植物・樹木	農業	作物の超多収を実現するゲノム育種法の確立	・表現型選抜から遺伝子型選抜への転換 ・whole plant physiology の確立	・資源生物を対象とした有用遺伝子の網羅的解析 ・ゲノム育種(遺伝子型選抜)のシステム構築 ・ゲノム手法による生物間相互作用の解析と利用 ・圃場レベルにおける超多収の解析
	農業	社会受容GM食品、GM飼料食品GM原料	遺伝子組換え技術の高度化、花粉飛散防止技術開発	(1)植物由来遺伝子に特化した機能向上技術、 (2)体細胞での遺伝子ターゲティングと相同組換え技術、 (3)二次代謝物のメタボローム解析とトランスオームデータベース、 (4)花粉寿命決定機構
	医薬品	・植物由来新医薬、新医薬原料の探索と産生植物の育種 ・医療蛋白質、高付加価値蛋白質の植物生産 ・家畜ワクチン生産 ・高ビタミン飼料植物	・医・農融合研究 ・新規機能植物代謝物の探索とその安定・安価生産のための二次代謝工学 ・葉菜植物を使った医療用蛋白質の生産家畜ワクチン含有、各種ビタミン高含量飼料作物の育種	(1)新医薬原料探索と生合成経路と遺伝子の解明、 (2)体細胞での遺伝子ターゲティングと相同組換え技術、 (3)二次代謝物のメタボローム解析とトランスオームデータベース、 (4)葉緑体工学と葉緑体蛋白質合成分解機能の解明、 (5)イネ科植物葉の脱分化・再分化系開発

分科会	ターゲットとなる分野	具体的な目標(達成時期)	目標達成に必要と思われる技術	技術を確立するために必要な研究課題
植物・樹木	化学	リグノセルロース工業から化学工業への持続的物質フローシステムの確立(脂防族・芳香族資源の持続的確保とカスケード型利活用) (20年後50%程度まで)	1. リグニンの精密機能制御 2. 樹木細胞壁高分子複合系の精密リファイニング 3. 樹木系脂防族・芳香族化合物の逐次有機工業原料化 4. 付帯項目 「循環材料ネットワークの構築」 「循環材料評価システム(循環経済学)の確立」	1. 1 リグニン関連物質の生態系動態機能解析 1. 2 リグニンの生態系循環分子設計の解説 1. 3 機能可変型リグニン系素材の設計と誘導 1. 4 リグニン系素材の逐次構造制御と機能開発 1. 5 リグニン系循環型機能材料の設計と創製 2. 1 樹木系高分子素材の構造制御ポイントの比較解析 2. 2 樹木系高分子素材の選択的逐次構造解放システムの設計 2. 3 樹木系高分子素材の選択的構造変換系の設計 3. 1 樹木系(低分子)素材の化学的・生物的逐次構造変換 3. 2 樹木系ファインケミカルの低エネルギー型濃縮・分離システムの開発 4. 1 リグノセルロース系循環材料ネットワークの構築 4. 2 カスケード型評価システムの確立
動物・昆虫	水産業	魚類養殖工場の確立(10年後)	・環境制御による対象生物の生理状態の制御 ・閉鎖循環系での種苗生産(代理親魚の利用も含む) ・養殖工場専用魚の開発 ・養殖工場専用飼料の開発 ・養殖工場での有用物質生産	・魚類生理状態の環境応答の解明 ・生殖細胞移植による代理親魚養殖の確立 ・N/P代謝系の解明およびN/P低排泄魚の作出(含遺伝子改変技法) ・魚卵、魚類個体のバイオリアクターとしての利用
	水産業	汚染物質フリーの養殖魚の生産(脂溶性汚染物質については10年後、水溶性汚染物質については20年後)	・汚染物質低含有飼料の開発 ・植物由来配合飼料で飼育可能な養殖魚作り ・汚染物質を効率よく排出・代謝する魚類の作出	・植物性原料を用いた配合飼料の開発 ・脂質代謝、アミノ酸代謝系の解明 ・汚染物質の排出・代謝経路の解明 ・魚類の上記各代謝経路のジェネティック、エピジェネティックな改変(含遺伝子改変技法)
	畜産業	安全な食と健康促進に貢献する高次動物生産へ(20年後)	1. 動物の機能を活かした安全・安心・持続的な動物生産技術 2. 健康促進に貢献する有用物質生産のための動物生産技術開発 3. 環境と調和した効率的・省力的動物生産システム確立のための技術開発	・代謝生理的インプリンティング機構の解明 ・有用タンパク質を高濃度に生産するトランスジェニック家畜開発技術 ・先端IT技術を活用した家畜管理と生理状態リアルタイムモニタリングシステムの開発 ・野生動物や地域特性をもつ動物の有用遺伝子群の探索とその品種の育種造成
	畜産・水産業	銘柄家畜・養殖魚の差別化・品種化(20年後)	・家畜・魚類ゲノムの解読 ・新規動物増殖技術 ・風土の特徴を利用する飼養技術	・肉質、脂質、増体、行動に関する遺伝子の解明 ・卵子の体外成熟・受精・発生技術の高度化 ・胚の遺伝子診断技術の確立 ・生殖細胞系列分化機構の解明 ・風土に根ざす飼育技術
	畜産業	・遺伝的多様性の確保(10年後) ・極限環境下での動物飼育技術(20年後)	・遺伝子・細胞保存 ・個体復元技術 ・遺伝子改変技術	・環境(温度、乾燥、重力)への適応遺伝子の同定 ・生殖細胞の凍結保存技術の普遍化 ・体細胞クローン技術の効率化 ・種・品種の維持・絶滅のメカニズムの解明
	畜産業	動物改良速度を2倍に(20年後)	・体細胞クローン技術 ・生殖細胞系列の完全連続培養技術	・卵子の体細胞初期化因子の同定 ・生殖細胞系列分化機構の解明 ・卵子の体外成熟・受精・発生技術の高度化
	畜産業	動物の新規脳能力の開発(20年後)	・動物の学習・行動の制御技術 ・動物の新規能力の解明	・学習・行動・脳機能の分析 ・動物の新規能力の発見、遺伝子同定 ・生産に適した個体選抜技術 ・優良個体の増殖技術

分科会	ターゲットとなる分野	具体的な目標(達成時期)	目標達成に必要と思われる技術	技術を確立するために必要な研究課題
動物・昆虫	畜産業	感染症フリー個体の生産(20年後)	<ul style="list-style-type: none"> ・感染の制御技術 ・免疫能の制御技術 ・機能性飼料の開発 	<ul style="list-style-type: none"> ・感染機構の解明と感染抵抗性個体の選抜 ・免疫能活性化因子の同定 ・感染症フリー個体の増殖技術 ・抗生物質・動物医薬品に代わる新規飼料添加剤の開発
	畜産業	雑種F1家畜をデザインする(高付加価値⇒遺伝子導入・改変しない遺伝子資源の利用 輸入飼料低依存型の家畜の品種改良、など)	交雑の科学	<ul style="list-style-type: none"> ・実験動物、家畜のエピジェネティクス解析 ・交雑・雑種強勢・雑種弱勢のエピジェネティクス解析 ・発生と分化のエピジェネティクス解析
食品	食品	新規機能(免疫調節機能、神経調節機能、代謝調節機能など)を持つevidence-based functional foodの開発(10年後)	<ul style="list-style-type: none"> ・機能性素材の簡便な探索技術 ・不均一系の複合作用を評価する技術 ・持続的で弱い作用を評価する技術 	<ul style="list-style-type: none"> ・食品成分を認識する生体側分子同定のためのケミカルバイオロジー ・食による生体系の調節に関わる転写因子の解明と利用 ・食品機能・安全性評価のためのシステムバイオロジー ・食品・生体間相互作用の分子基盤解析 ・モデル系による機能性成分の探索 ・食品の機能性と安全性の2面性解析

5. ワークショップ当日のプログラム

(1日目)

		司会等
12:00-13:00	オープニングセッション	土居 克実
13:00-13:05	CRDS 挨拶	江口 吾朗
13:05-13:20	趣旨説明	土居 克実
13:20-13:30	総合コーディネーター挨拶	磯貝 彰
13:30-14:40	<u>微生物セッション</u> (話題提供者) ・清水 浩 ・矢ヶ崎誠 ・渡辺一哉 ・阪井康能	加藤 暢夫
14:50-16:00	<u>植物・樹木セッション</u> ・武田和義 ・横田明穂 ・船岡正光	横田 明穂
16:10-17:20	<u>動物・昆虫セッション</u> ・吉崎悟朗 ・後藤貴文 ・佐藤英明 ・塩田邦郎	林 良博
17:20-17:50	<u>食品セッション</u> ・清水 誠	清水 誠

(2日目)

9:00-9:10	2日目の討議内容について	土居 克実
9:10-12:00	総合討議	磯貝 彰

(敬称略)

「生物生産」分野に関する科学技術未来戦略ワークショップ
報告書

平成 18 年 10 月

独立行政法人科学技術振興機構
研究開発戦略センター
江口グループ

Copyright 2006 by CRDS/JST

無断での転載・複写を禁じます。