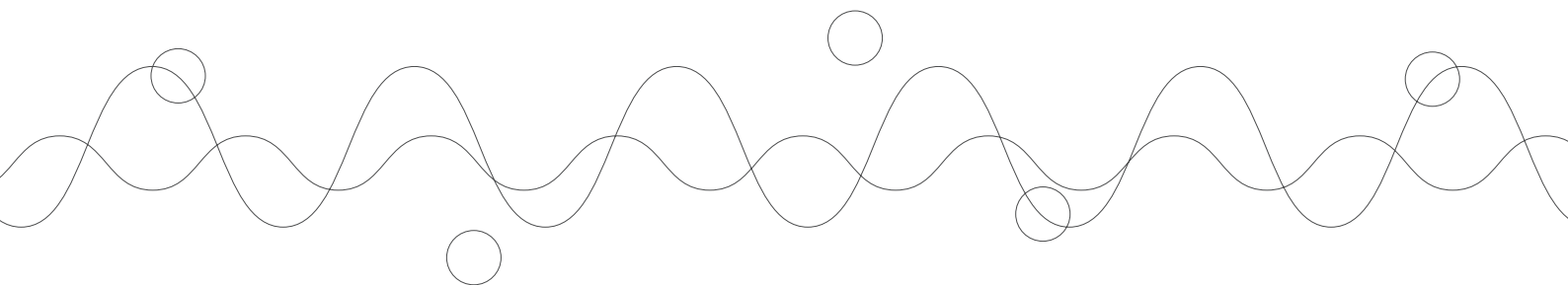


俯瞰ワークショップ
「ライフサイエンス分野の俯瞰と重要研究領域」
報告書



Executive Summary

研究開発戦略センターにおいては、電子情報通信（IT）、ナノテクノロジー、物質・材料、計測技術、ライフサイエンス、産業技術の各分野の研究開発戦略立案をそれぞれ担当するユニットが2年毎にワークショップを開催し、当該担当分野の研究開発状況を俯瞰し、今後研究開発を推進すべき重要研究領域を抽出している。各ユニットにおいては、抽出された重要研究領域について、ワークショップにおける議論や国内外の研究動向を参考に様々な角度から検討し、当該重要研究領域が如何なる研究開発を経てイノベーションや社会ビジョンを実現させるかを提言するための戦略スコープを策定する。各ユニットから提案された戦略スコープはセンター全体での検討に付され、精選された後、今後推進すべき研究開発とその方法を提言する戦略プロポーザルとして取りまとめられる。本報告書は、上記研究開発戦略センターの方針に則り、平成20年9月に開催したライフサイエンスの俯瞰ワークショップの結果を取りまとめたものである。

平成20年9月に実施した俯瞰ワークショップにおいては、金澤一郎日本学術会議会長にコーディネータを委ね、中長期的な方向性をも考察しつつ、今後3ヶ年以内に国が着手すべき重要研究領域の抽出を目的として、ゲノム・機能分子、脳神経、発生・再生、免疫、がん、植物科学の6分野、及びライフサイエンスの融合分野で最先端の研究開発を行っている研究者17名の参加のもとに開催された。ワークショップでは上記7分野を中心にライフサイエンスを俯瞰し、それらの動向を表す従来の俯瞰マップ（2006年作成）を改訂した。また、重要研究動向をレビューし、今後推進すべき重要研究領域の議論を行った。さらに、社会ビジョン、社会ニーズからみたライフサイエンス研究のあり方を生命倫理の観点等からも検討した。

ワークショップの議論を通じて、第一にヒト・ゲノムの解析が完了し、ライフサイエンスの科学としての基礎が固まりつつある現状が議論され、21世紀はライフサイエンスが重要な科学になることが再確認された。一方、ゲノムによる基礎固めができたことから従来の学問分野の革新は不可避であり、分野融合や新しい技術・ツールの導入を推進する重要性も確認された。それと同時に、科学研究に終始することなく社会のための科学技術として実用化・産業化のプロセスの強化も必要であり社会ビジョンの実現までの中長期的な道筋を見通す広い視野と人文社会科学の観点を取り入れたシーズの抽出の重要性が指摘された。

上記の議論を踏まえて、ライフサイエンスユニットでは下記の10の重要研究領域を抽出し、それらの戦略スコープを策定した。

1. 生物学の多様な情報を扱うメタインフォマティクス
2. 生体に適応する多細胞構造（組織、器官等）の人工構築
3. 根圏域研究による植物環境修復技術の実用化
4. がんの特異的な細胞動態の解明とその制御
5. 言語と音声によるコミュニケーションと脳機能
6. テーラーメイド医療の基盤構築
7. 「神経」・「内分泌」・「免疫」ネットワーク
8. 神経回路のシステムダイナミクス
9. 植物の活動を自在に制御するシグナリング技術
10. 生命システムの適応的融通性の解明

これらの領域はそれぞれ、コミュニケーション、予防医療、再生医療、免疫療法、医療の高度化、テーラーメイド医療、生物生産の高度化、食料増産、環境修復を出口領域として想定している。

なお、ライフサイエンスを含む各ユニットが抽出した戦略スコープについては、研究開発戦略センター全体によって相互の関連性や研究開発に着手する優先順位を検討し、毎年10件程度に精選される。選定された戦略スコープについては、戦略プロポーザルを策定する検討チームを結成し、深堀ワークショップの開催、国際ベンチマーク調査の実施、チームによる戦略立案などを行って、戦略プロポーザルとして取りまとめられる。

目 次

Executive Summary

1. 2008年俯瞰ワークショップ「ライフサイエンス分野の俯瞰と重要研究領域」の総括 (重要研究領域の集約と戦略スコープ切り出しに向けて)	
1-1. 背景	1
1-2. 戦略スコープの検討	3
2. 開催概要	8
3. 各分野の俯瞰と研究動向	
3-1. 各分野の俯瞰図と研究動向紹介	
3-1-1. ゲノム科学・機能分子分野	10
3-1-2. 脳神経分野	13
3-1-3. 発生・再生分野	16
3-1-4. 免疫分野	19
3-1-5. がん分野	22
3-1-6. 植物科学分野	25
3-1-7. 融合研究分野	28
3-2. 各分野の俯瞰と研究動向に関する討議概要	30
3-3. 各分野の俯瞰と研究動向より示唆されたライフサイエンス研究の将来展望	31
4. ライフサイエンスの社会ビジョン、社会ニーズと倫理	
4-1. ライフサイエンス研究における社会ビジョン、社会ニーズの捉え方	33
4-2. 生命倫理	37
4-3. 脳神経倫理	42
4-4. ライフサイエンスの社会ビジョン、社会ニーズと倫理に関する質疑応答	45
4-5. ライフサイエンスの社会ビジョン、社会ニーズと倫理に関する討議概要	46
4-6. ライフサイエンスの社会ビジョン、社会ニーズと倫理から示唆されたライフサイエンス研究の将来展望	49
5. 重要研究領域案の選定から戦略スコープ切り出しに向けて	
5-1. 重要研究領域案の作成経緯	
5-1-1. 研究者インタビュー	50
5-1-2. インタビュー結果にもとづく重要研究領域案の抽出	52
5-2. 融合俯瞰マップの作成と重要研究領域の位置付け	54
5-3. 重要研究領域案の選定から戦略スコープ切り出しに向けての討議概要	64
5-4. 戦略スコープの策定に関する考察概要	66
6. 資料	
6-1. 国内の分野別俯瞰マップ用語説明	68
6-2. 重要研究領域案	83

1. 2008年俯瞰ワークショップ「ライフサイエンス分野の俯瞰と重要研究領域」の総括（重要研究領域の集約と戦略スコープ切り出しに向けて）

1-1. 背景

研究開発戦略センター、ライフサイエンスユニット（上席フェロー：江口吾朗）では平成15年度にライフサイエンスを①ヒトの理解につながる生物科学、②医療・福祉、③農業・水産・食物、④生物資源（衣・住）、⑤ヒトと社会、自然環境（生物環境）に分類し、基礎的研究分野である①ヒトの理解につながる生物科学を中心にその俯瞰に着手した¹⁾。平成16年度には①ヒトの理解につながる生物科学をゲノム、システム、疾患制御、脳・神経に分類して俯瞰した²⁾。また、②医療・福祉を健康の観点から俯瞰し³⁾、横断グループと協力して、③農業・水産・食物、④生物資源（衣・住）を生物生産の観点から俯瞰した⁴⁾。平成18年度には①ヒトの理解につながる生物科学の実験的研究が不可欠な「ゲノム・機能分子」、「脳神経」、「発生・再生」、「免疫(感染症を含む)」、「がん」の5分野に注力して俯瞰し直し、詳細な俯瞰マップを作成した⁵⁾。この年度の俯瞰作業により、ライフサイエンスの基礎的研究分野の俯瞰の基礎が構築された。また、萌芽的な研究分野を探るために、分野融合フォーラムを平成18及び19年度に開催している⁶⁾⁷⁾。平成19年度にはこれまでの俯瞰を元にライフサイエンス分野の科学技術・研究開発の国際比較を実施した⁸⁾（図1-1）。

本報告書にかかる平成20年度の俯瞰はこれまでの俯瞰活動の成果を集約し、社会ビジョン、社会ニーズを踏まえた研究開発戦略の立案を目指すものとして計画した。俯瞰に当たっては、ヒトの理解につながる生物科学の6分野をシーズに、医療・福祉、農業・水産・食物、生物資源を出口として捉え、ヒトと社会及び自然環境の課題について洞察を加えた。そして、ライフサイエンスと他の学術分野あるいは科学技術の融合ならびにライフサイエンス分野内の異なる領域間の融合をそれぞれインターフェイス、エマージング領域と位置付けた。これらの領域に新たな技術・ツールの活用の視点を加え、ライフサイエンス分野の国際比較を指標に、ライフサイエンス分野を俯瞰し、重要研究領域を抽出することを狙いとした。

[1] 2008年俯瞰ワークショップの総括

[2] 開催概要

[3] 各分野の俯瞰と研究動向

[4] ライフサイエンスの社会ビジョン、社会ニーズと倫理

[5] 重要研究領域案の選定から戦略スコープ切り出しに向けて

[6] 資料

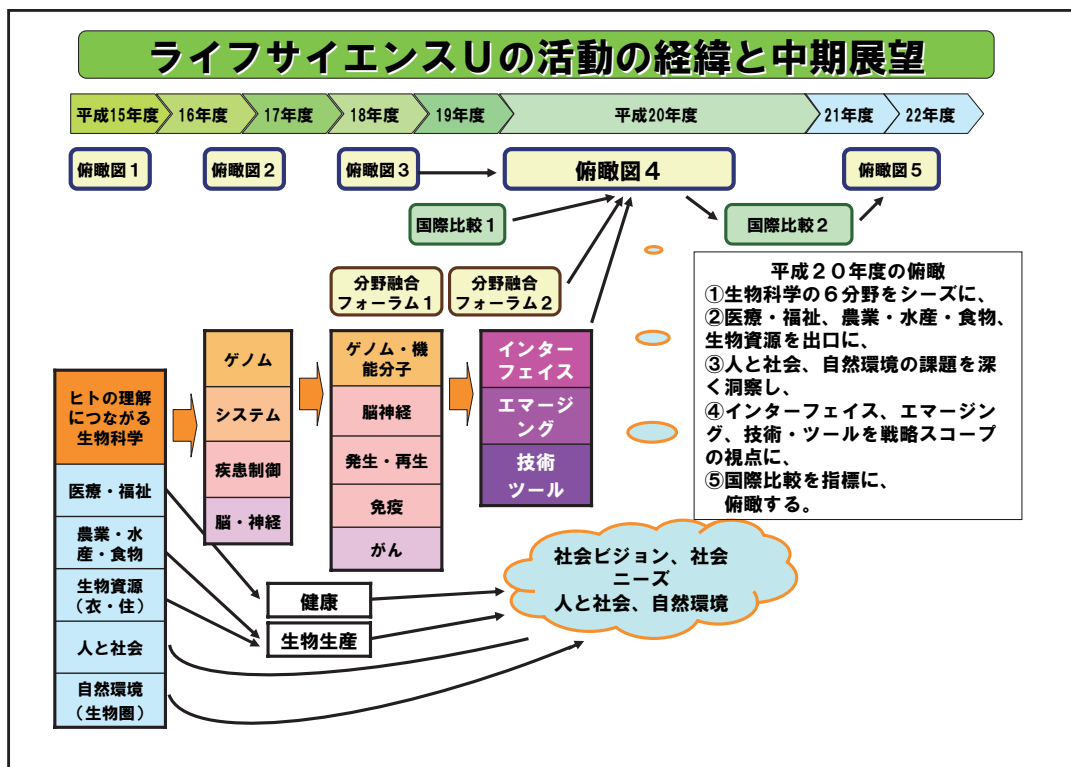


図1-1. ライフサイエンスユニットの活動の経緯

1-2. 戦略スコープの検討

今回の俯瞰ワークショップで抽出された重要研究領域から戦略スコープ（P8参照）を策定するに当たり、これまでのユニット活動の成果も取り入れた（図1-2）。

戦略スコープの検討素材

- 平成18年度 俯瞰ワークショップ
 - 23重要研究領域
- 平成18年度、19年度 分野融合フォーラム
 - 生命システムの気分を科学する
- 平成19年度 ライフサイエンス分野科学技術・研究開発の国際比較
 - 注目すべき研究動向
- 平成20年度 俯瞰ワークショップ
 - 18重要研究領域
 - インターフェイス、エマージング

図1-2. 戦略スコープの検討素材

ライフサイエンスユニットでは、これらのワークショップやフォーラム、国際比較などの成果を、本俯瞰ワークショップにおいて抽出された重要研究領域とともに丹念に検討し、10項の戦略スコープとして取りまとめ、それらの検討時期についても検討を加えた（図1-3）。

戦略スコープの提案と着手時期

- 平成21年度
 - 生物医学の多様な情報を扱うメタインフォマティクス
 - 生体に適応する多細胞構造(組織、器官等)の人工構築
 - 根圏域研究による植物環境修復技術の実用化
 - がんの特異的な細胞動態の解明とその制御
 - 言語と音声によるコミュニケーションと脳機能
- 平成22年度
 - テーラーメイド医療の基盤構築
 - 「神経」・「内分泌」・「免疫」ネットワーク
 - 神経回路のシステムダイナミクス
- 平成23年度
 - 植物の活動を自在に制御するシグナリング技術
 - 生命システムの適応的融通性の解明

図1-3. 提案する戦略スコープとその検討着手時期

10項の戦略スコープが内包する重要研究領域の俯瞰上の位置づけを確認するために融合俯瞰マップにそれぞれマッピングした。各戦略スコープは機能軸についてはより複雑な機能に位置づけられ、構造軸については細胞から個体、集団、環境の階層に位置づけられた。全体として、分子から細胞の基礎的研究領域に軸足を置きつつ、個体から、集団、環境の階層での社会ニーズやビジョンの実現を指向する研究領域の重要性が高まっていることが確認された。また、他分野との融合に位置づけられる戦略スコープも策定された（図1-4）。

[1] 2008年俯瞰ワークショップの総括

[2] 開催概要

[3] 各分野の俯瞰と研究動向

[4] ライフサイエンスの社会ビジョン、社会ニーズと倫理

[5] 重要研究領域案の選定から戦略スコープ切り出しに向けて

[6] 資料

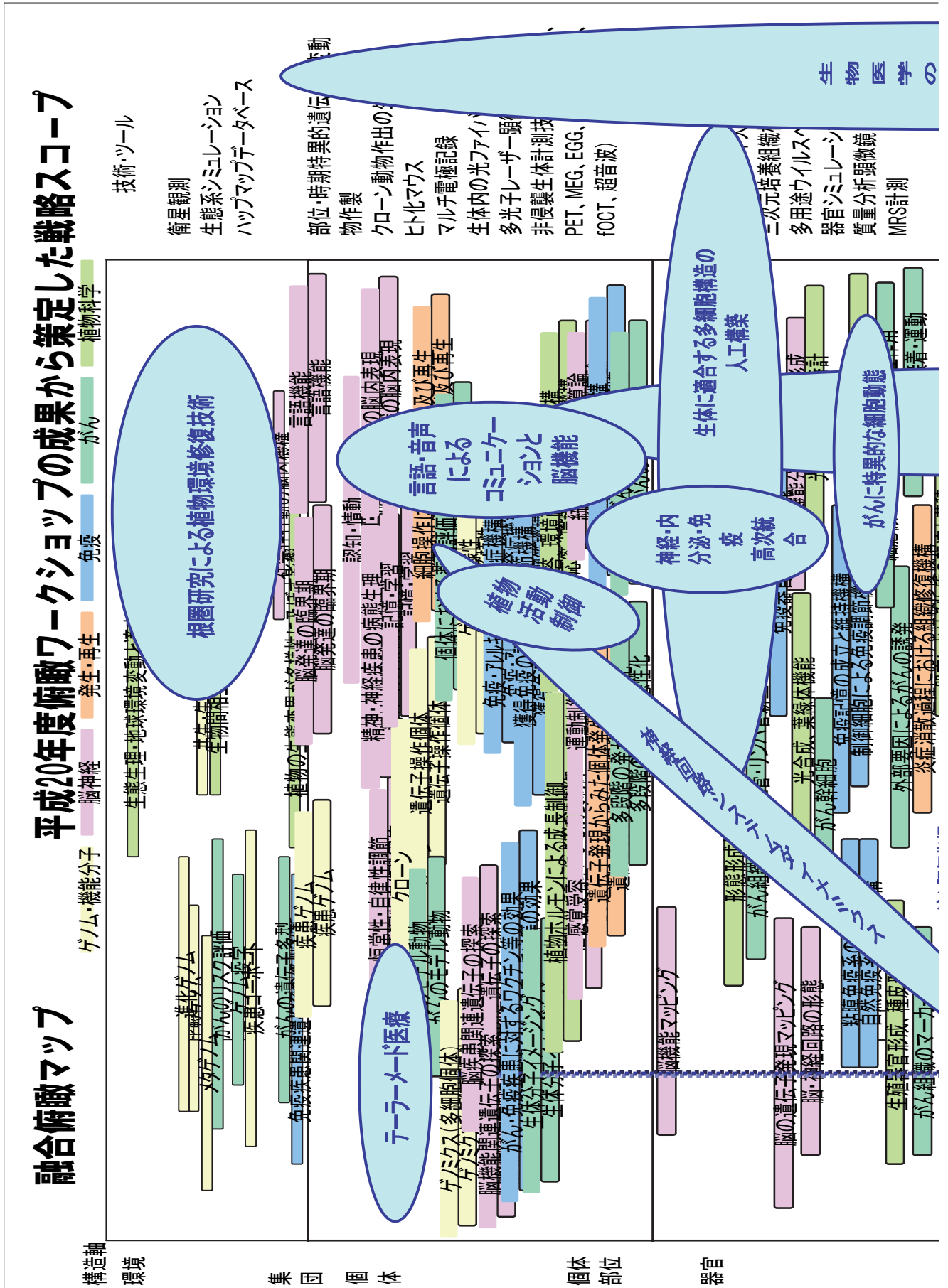
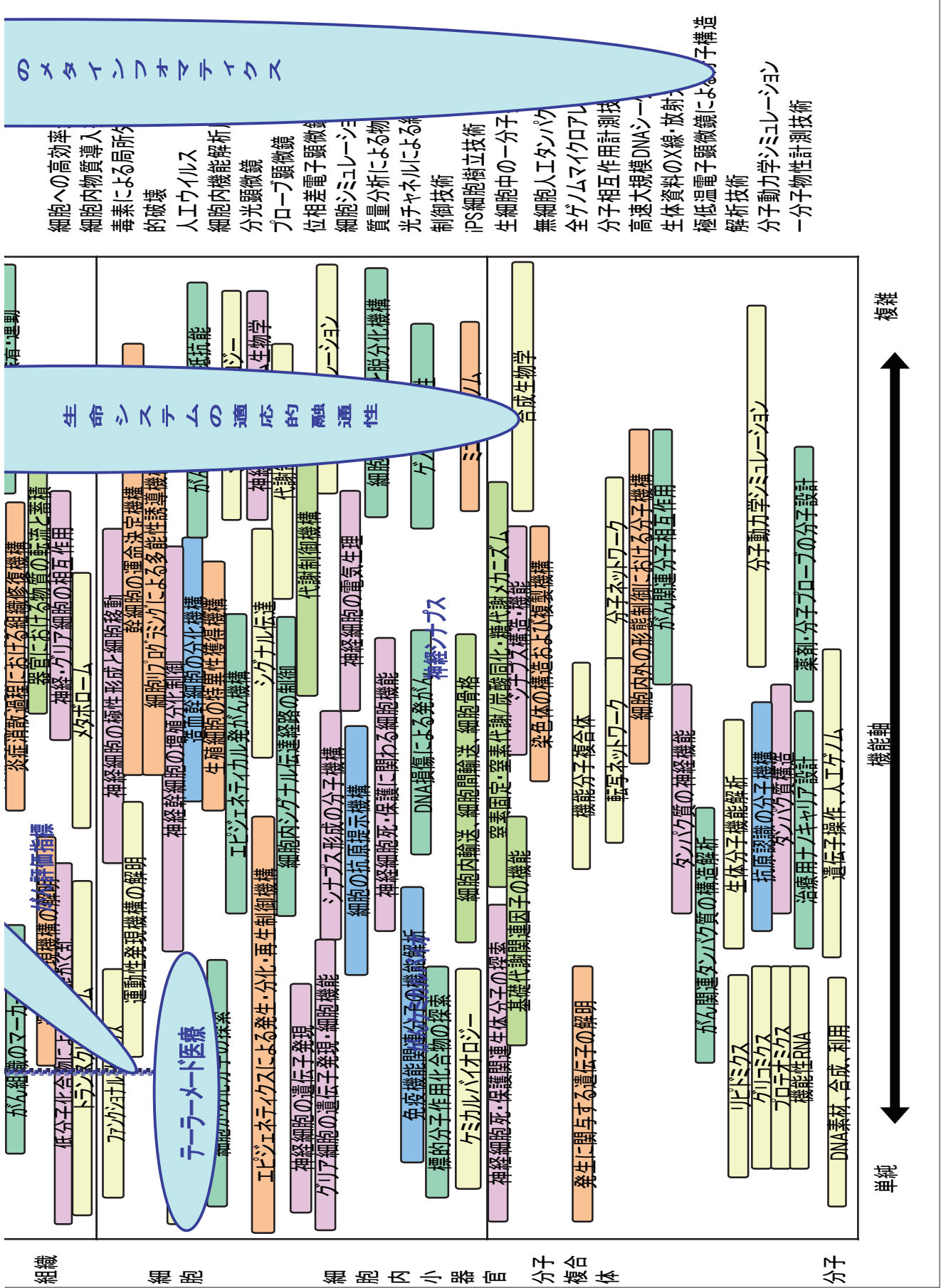


図1-4. 戦略スコープの



融合俯瞰マップ上の位置づけ

[1] 2008年俯瞰ワークショップの総括

[2] 開催概要

[3] 各分野の俯瞰と研究動向

[4] ライフサイエンスの社会ビジョン、社会ニーズと論理

[5] 重要研究領域案の選定から戦略スコーン切り出しに向けて

[6] 資料

戦略スコープにおいて当対象とする研究開発のフェーズについて、研究開発戦略センターが提案する「イノベーションのステップ&ループモデル」上に位置づけた(図1-5)。戦略スコープはステップ&ループモデルの「発明、概念の証明」を中心にその前段となる「発見、科学的知識」から後段の「成長・利益、社会的実装」までを対象としている。

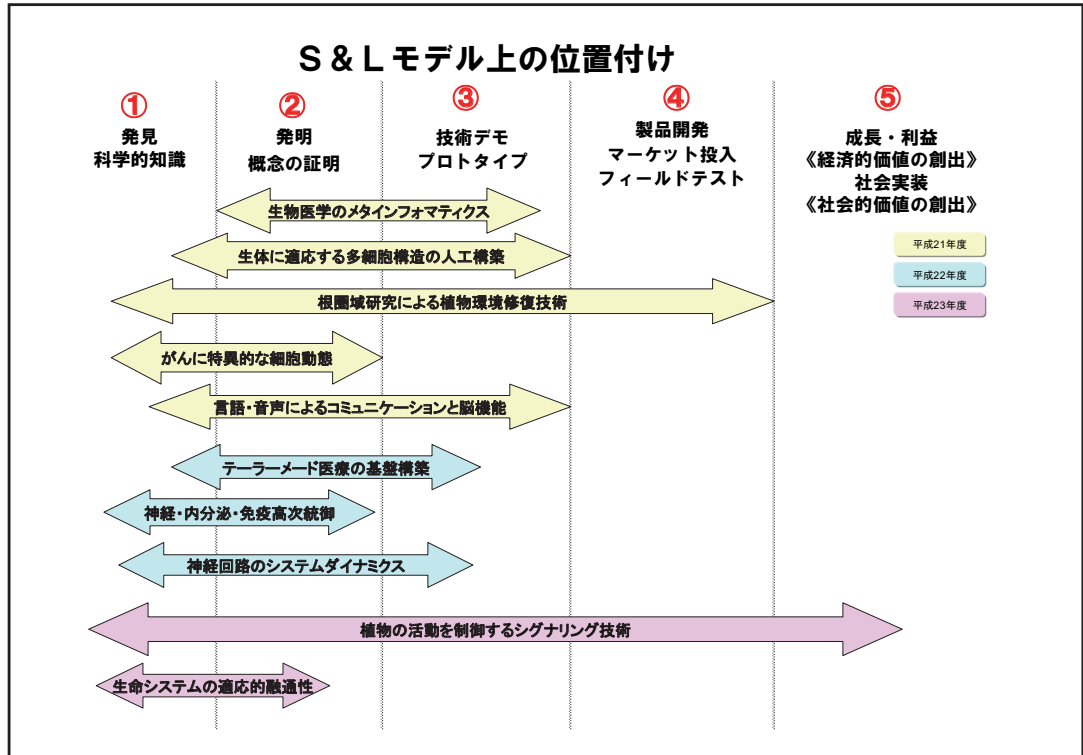


図1-5. 戦略スコープの研究開発フェーズ

各戦略スコープが内包する重要研究領域と6分野および融合分野の関係、戦略スコープが指向する個別分野としての社会ニーズや社会ビジョン、それらの出口分野を全体として位置づけたものが図1-6である。ライフサイエンスの出口分野は医療・福祉が多いものの、自然環境、農学・水産・食物、ヒトと社会を志向する戦略スコープも策定された。本スコープと社会ニーズ、社会ビジョン、それらの出口分野の関係性については、今後も分析を行い、継続的に見直しを行う。

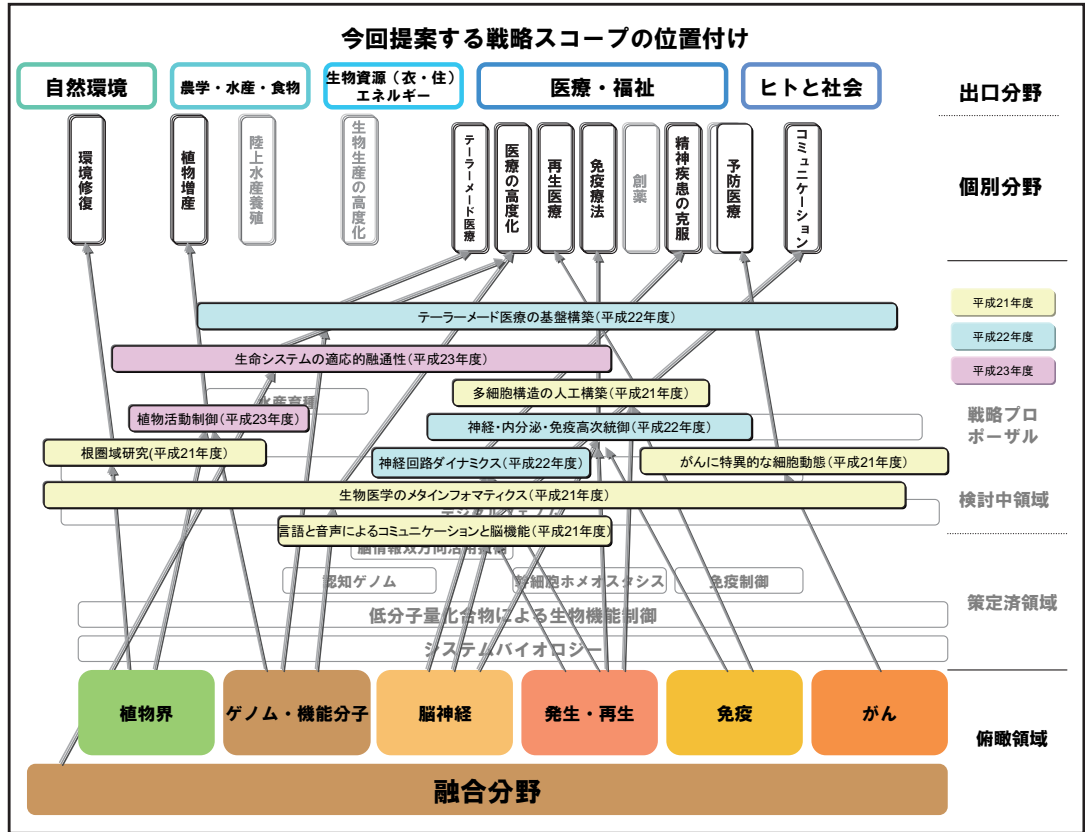


図1-6. 戦略スコープの俯瞰領域、戦略プロポーザル対象領域、個別分野、出口分野の位置づけ

参考

- 1) CRDS-FY2003-GR-01 平成15年度の調査研究活動の成果の概要
- 2) CRDS-FY2004-AR-01 研究開発戦略センター年度報告書(平成16年度)
- 3) CRDS-FY2006-ER-16 科学技術の未来を展望する戦略ワークショップ「健康」分野報告書
- 4) CRDS-FY2006-WR-04 「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
- 5) CRDS-FY2006-WR-17 俯瞰ワークショップ「ライフサイエンス分野の俯瞰と重要研究領域」報告書
- 6) CRDS-FY2006-WR-11 分野癒合フォーラム-ライフサイエンスにおける新しい研究潮流-報告書
- 7) CRDS-FY2007-WR-20 分野融合フォーラム-生命システムの大局的な状態を測り、解析し、操ることにチャレンジする-報告書
- 8) CRDS-FY2007-IC-02 ライフサイエンス分野 科学技術・研究開発の国際比較 2008年版

[1] 2008年俯瞰ワークショップの総括

[2] 開催概要

[3] 各分野の俯瞰と研究動向

[4] ライフサイエンスの社会ビジョン、社会ニーズと倫理

[5] 重要研究領域案の選定から戦略スコープ切り出しに向けて

[6] 資料

2. 開催概要

<開催趣旨>

ライフサイエンスの俯瞰ワークショップは「ゲノム・機能分子」、「脳・神経」、「発生・再生」、「免疫(感染症を含む)」、「がん」、「植物科学」の6分野に「融合研究分野」を加えた7分野を対象とし、分野毎に俯瞰するとともに、その結果を踏まえて俯瞰マップをリバイスし、3ヶ年以内に国が着手すべき重要研究領域の抽出を目的とした。また、抽出された重要研究領域を元に社会ビジョン、社会ニーズの実現を目指す戦略スコープを策定するため、各分野の研究動向や研究システム、生命倫理、脳神経倫理の観点などからも幅広い議論を行った。

なお、本俯瞰ワークショップを通じて策定された、ライフサイエンスの戦略スコープは、他分野のそれらとともに、研究開発戦略センターにおいて、国が推進すべき研究開発戦略という観点から、更なる調査検討を加え、戦略プロポーザルとして取りまとめられ、関係省庁に提言される。

<開催日時>

日時 平成20年9月29日(月) 9時30分-18時

場所 JST研究開発戦略センター2F大会議室

<プログラム>

・主催者挨拶・趣旨説明(9:30-9:50)

- 主催者挨拶
- 趣旨説明

・セッション1(9:50-12:00)

- 俯瞰のリバイスと重要研究動向
- 特任フェローからの報告と検討

・セッション2(13:00-15:00)

- 融合俯瞰図と重要研究領域
- 融合俯瞰図
- 討議

休憩(15:00-15:30)

- ・セッション3 (15:30-18:00)
- 社会ビジョン、社会ニーズからみたライフサイエンス研究
- 社会ビジョン、社会ニーズと科学技術
- 話題提供：生命倫理、脳神経倫理
- 討議
- ・全体討議

<参加者>

コーディネーター	金澤一郎	日本学術会議	会長
アドバイザー	堀田凱樹	情報システム研究機構	機構長
(ゲノム)	小原雄治	遺伝学研究所	所長
(脳神経)	三品昌美	東京大学 大学院医学系研究科	教授
(脳神経)	川人光男	(株)国際電気通信基礎技術研究所 脳情報研究所	所長
(発生・再生)	中内啓光	東京大学医科学研究所 幹細胞治療研究分野	教授
(発生・再生)	斎藤通紀	理化学研究所 発生・再生科学総合研究センター	チーフ・リーダー
(免疫)	小安重夫	慶応義塾大学 医学部	教授
(免疫)	宮坂昌之	大阪大学 大学院生命機能研究科	教授
(がん)	宮園浩平	東京大学 大学院医学系研究科	教授
(がん)	佐谷秀行	慶応義塾大学 医学部	教授
(植物)	佐藤文彦	京都大学 大学院生命科学研究所	教授
(植物)	松岡 信	名古屋大学 生物機能開発利用研究センター	教授
(融合分野)	黒田真也	東京大学 大学院理学系研究科	准教授
(産業)	八尾 徹	理化学研究所 ゲノム科学総合研究センター	
(生命倫理)	加藤和人	京都大学 人文科学研究所	准教授
(脳神経倫理)	佐倉 統	東京大学 大学院情報学環	教授

[1] 2008年俯瞰ワークショップの総括

[2] 開催概要

[3] 各分野の俯瞰と研究動向

[4] ライフサイエンスの社会ビジョン、社会ニーズと倫理

[5] 重要研究領域案の選定から戦略スコープ切り出しに向けて

[6] 資料

3. 各分野の俯瞰と研究動向

3-1. 各分野の俯瞰図と研究動向紹介

3-1-1. ゲノム科学分野

現在のゲノム科学分野は、ゲノムそのものを研究対象とするよりも、配列決定からシステム生物学までを含む広い範囲であり、より複雑な系について定量的な情報を得ようとする医学生物学や、基盤的・ロジスティック的な役割を担う分野に変貌しつつある。

米国は、ゲノム科学の基盤的・ロジスティック的な役割を早くから認識しており、配列決定センター、サービス提携型のセンターを使って、当該分野を維持・発展させてきた。欧州でも古くからある中心的な研究機関がセンター機能を発揮し、個別研究水準を維持している。我が国では、より課題志向型の大規模センターをつくって、迅速な成果創出に取り組んでいる。DNA塩基解析技術は、NIHの1万ドルゲノム、1,000ドルゲノムプロジェクトの推進によって、半導体開発におけるムーアの法則同様の発展を見せており、5～10年以内にヒトゲノムを数十～数百万円のコストで決定可能になると予想されている。ゲノム解析の技術進歩は生物医学研究のみならず医療にも変革をもたらし、ゲノムを基盤としたライフサイエンスや医療が実現すると期待される。

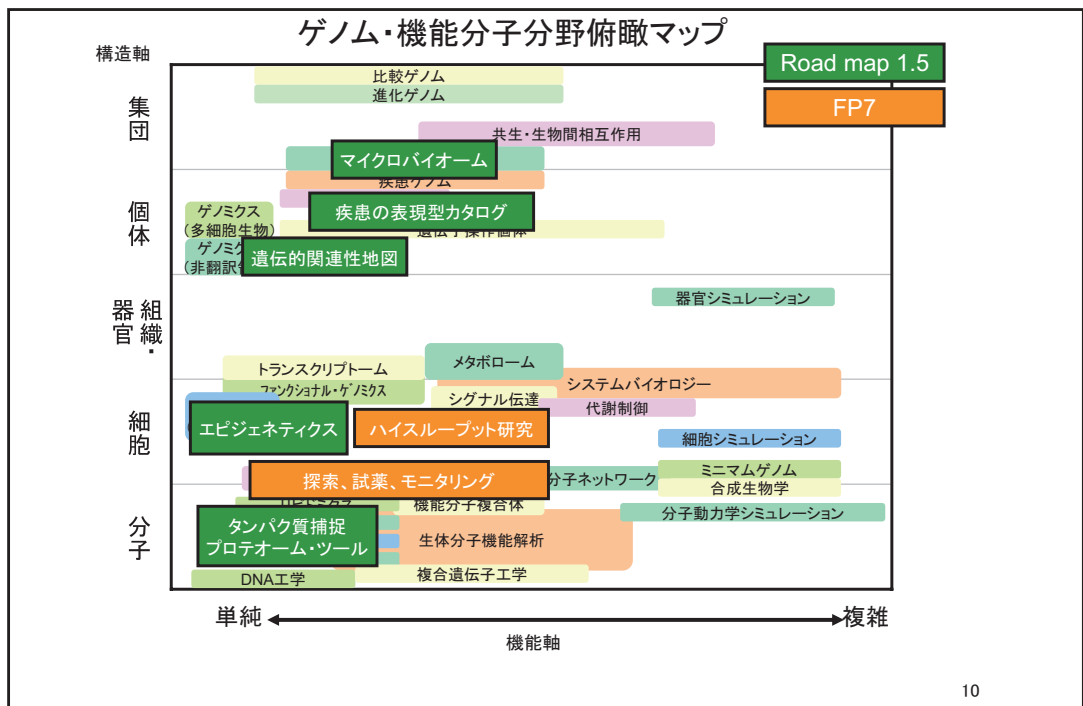


図3-1-1. ゲノム・機能分子分野の研究資金配分動向

研究動向としては、疾病等の遺伝的要因・ゲノム機能の研究と環境要因の解析を融合させ、より複雑な生命現象の解明と、その成果に基づく医療など社会ニーズの実現に向けた研究開発を進める方向性が認められる。また、ゲノムや機能分子など要素の解析の成果を元にイメージングなどのツール・技術の開発を通じて複雑な生命現象を解明する基礎的な研究開発の流れが認められる。

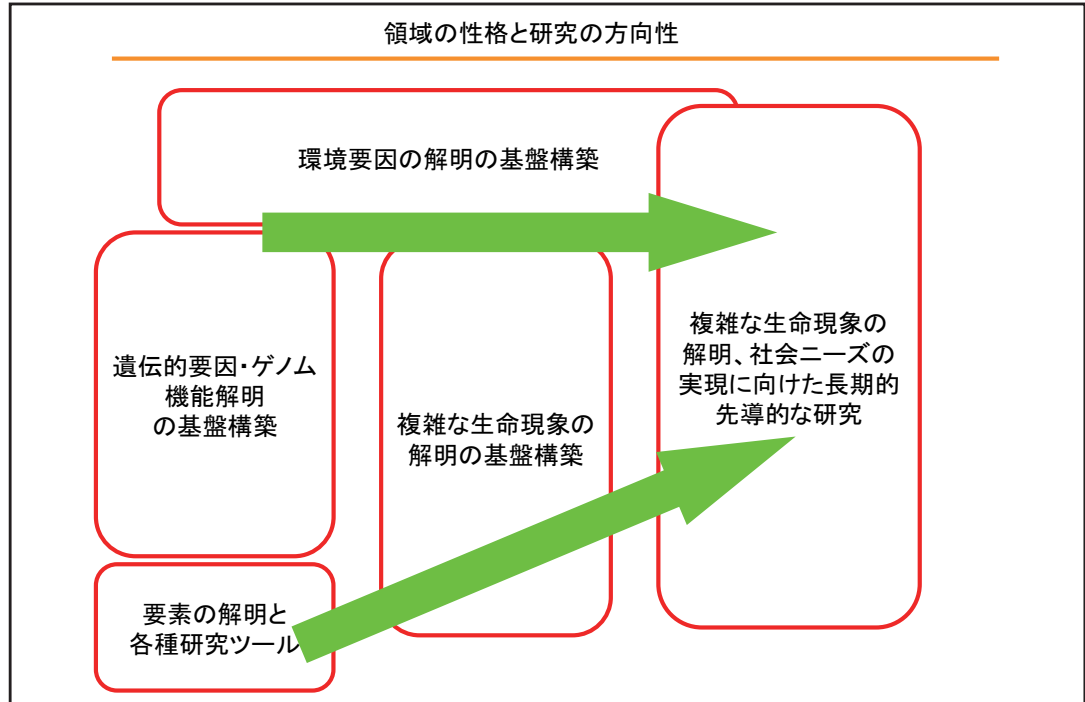


図3-1-2. ゲノム・機能分子分野の研究領域の性格と方向性

注目すべき動向として、DNA塩基配列決定技術の高度化により、細胞からでもゲノムデータが得られるようになった点、メタゲノムなど、より複雑なゲノム解析が行われ始めている点が挙げられる。また、ゲノムと表現型の間を埋めるタンパク質や代謝物の研究へ比重が移ってきていることも挙げられる。さらに、創薬や臨床研究を加速するバイオマーカーの探索が進み、ケミカルバイオロジー研究の基盤技術として化合物バンクやデータベースが充実し始めていることが注目される。

これらの動向を踏まえ、ゲノム・機能分子分野の俯瞰マップにおいて、メタゲノムとゲノムの多様性を追加した。また、翻訳領域と非翻訳領域を分けていたゲノミクスをゲノミクス（多細胞生物）としてまとめた。なお、2つの研究領域の名称を「DNA素材、合成、利用」及び「遺伝子操作、人工ゲノム」に変更した。

[1] 2008年俯瞰ワークショップの総括

[2] 開催概要

[3] 各分野の俯瞰と研究動向

[4] ライフサイエンスの社会ビジョン、社会ニーズと倫理

[5] 重要研究領域案の選定から戦略スコア切り出しに向けて

[6] 資料

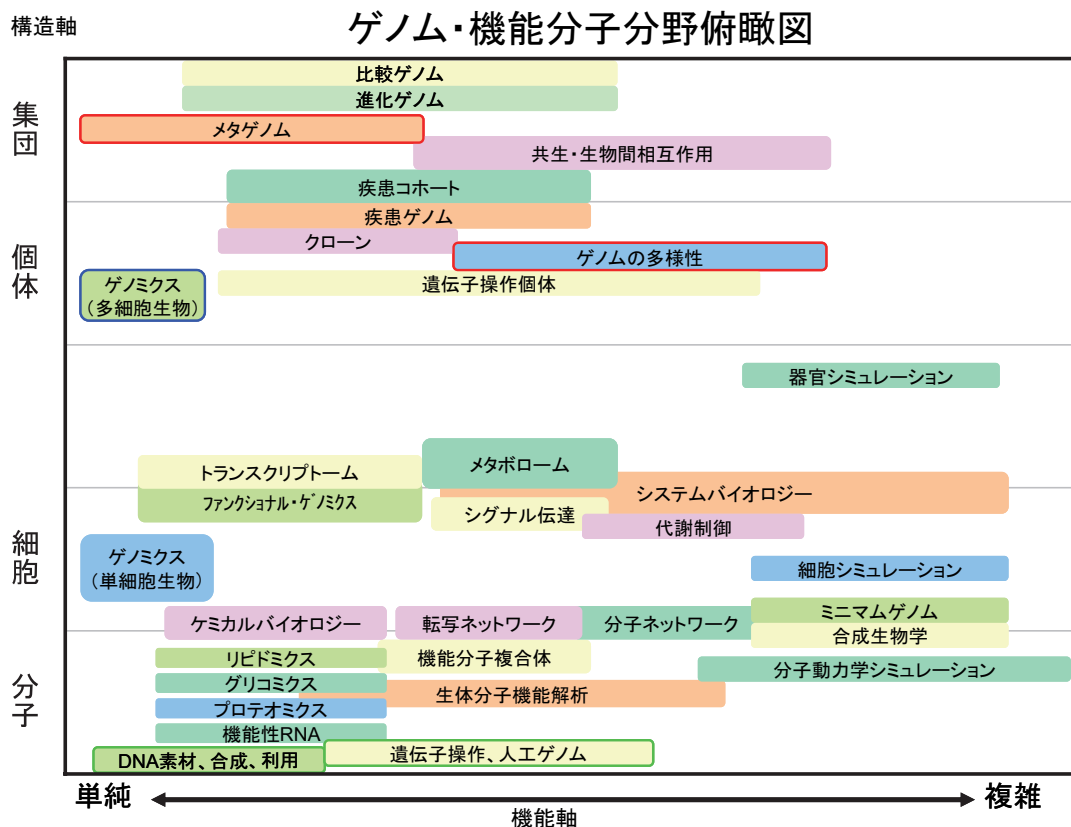


図3-1-3. ゲノム・機能分子分野俯瞰マップ

3-1-2. 脳・神経分野

脳・神経分野においては、神経の機能分子や細胞自身の特性、神経の活動性といったような現象についての研究が進んできた。そして、システムバイオロジーや情報科学といった研究との関連付けが強まり、神経細胞内の分子ネットワークや回路のダイナミクスなどの研究が活発化している。

分子から細胞までのレベルをつなぐための研究として、細胞のイメージング、分子操作が見うけられるが、これらは制御工学や情報科学、生物学などの連携によって促進されている。また、古くから、脳科学の中で、視覚や神経回路のダイナミクス、運動制御などに関する研究も進んでいる。

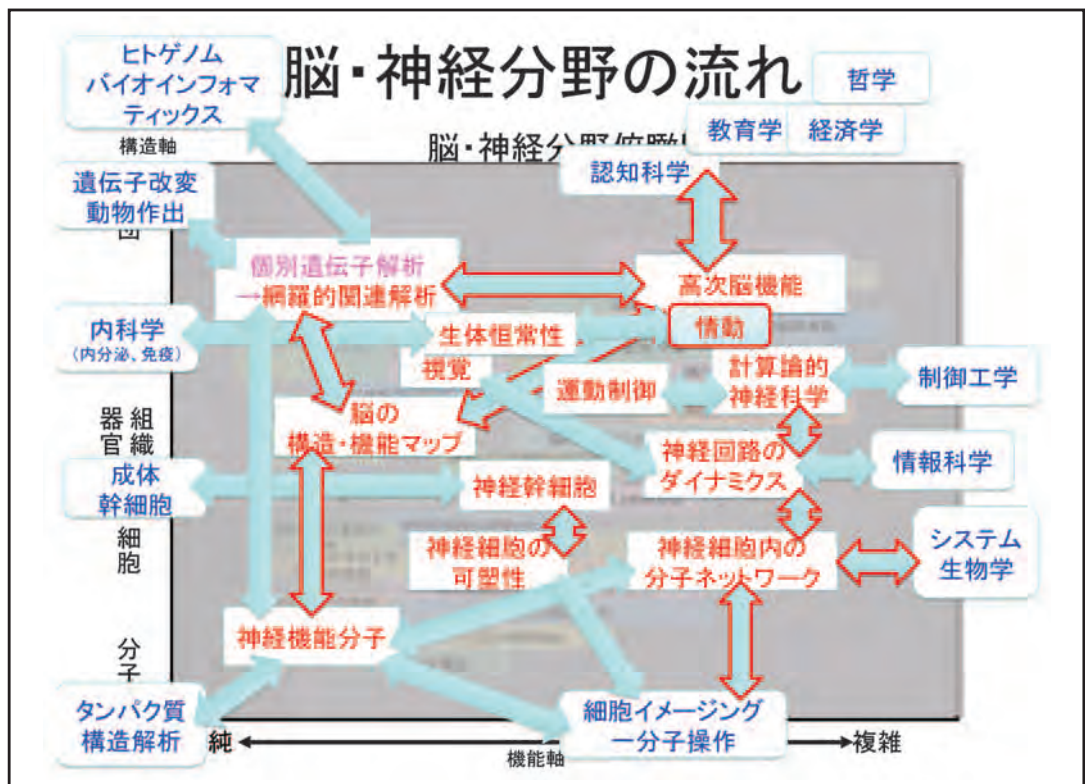


図3-1-4. 脳神経分野の研究の流れ

脳・神経分野においても、ゲノム科学やインフォマティクスの要素を取り入れた網羅的解析が行われるようになり、これらの成果が、脳の構造機能マップ、神経の機能を担っている分子との関連性を踏まえた高次脳機能の解明につながってきた。さらに、この流れにおいて、人文・社会系の学問との連携も活発になりつつある。一方で、生体の恒常性として、免疫系が脳の重要な機能に関連していることが指摘されているが、関連分野の推進方策も含めて対応が進んでいないのが現状である。神経幹細胞に関する研究も進み、神経幹細胞と神経系の多様な機能的連関についての研究も流れとなっている。

[1] 2008年俯瞰ワークショップの総括

[2] 開催概要

[3] 各分野の俯瞰と研究動向

[4] ライフサイエンスの社会ビジョン、社会ニーズと倫理

[5] 重要研究領域案の選定から戦略スコア切り出しに向けて

[6] 資料

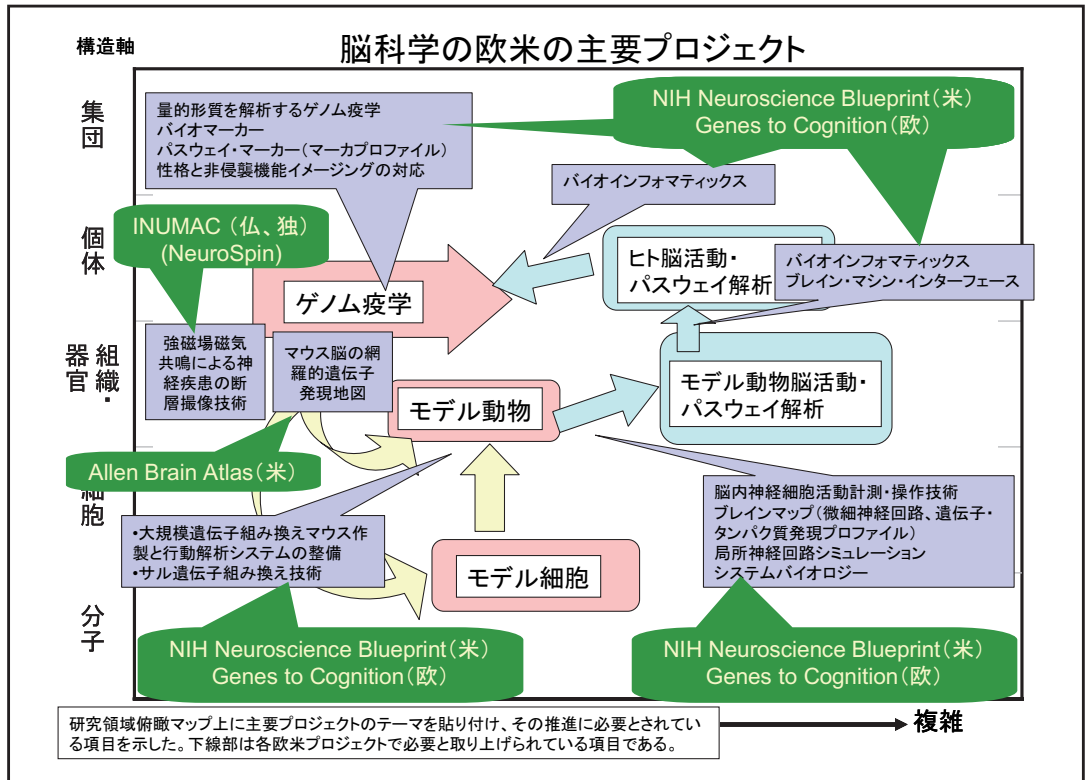


図3-1-5. 欧米における脳神経分野の主要プロジェクト

脳神経分野の注目動向は、ゲノムの情報に基づく網羅的な研究、疾患の脳機能イメージング、生体の脳において神経細胞を解析・操作できる技術ツール、ブレイン・マシン・インターフェース、そして、神経経済学などに代表される人文・社会科学との融合研究、が挙げられる。一方で、定量的なシナプスレベルの計測・操作、神経回路の空間的解析、自閉症などに注目した神経発達の脳内機構と発達過程を乱す遺伝子機能、社会性行動、生体のモデル化、人の社会行動の神経基盤等がインタビュー結果から得られた。

俯瞰マップは平成18年度のマップを基本として大きな変更点はないが、グリア細胞に関する記述が付加された。

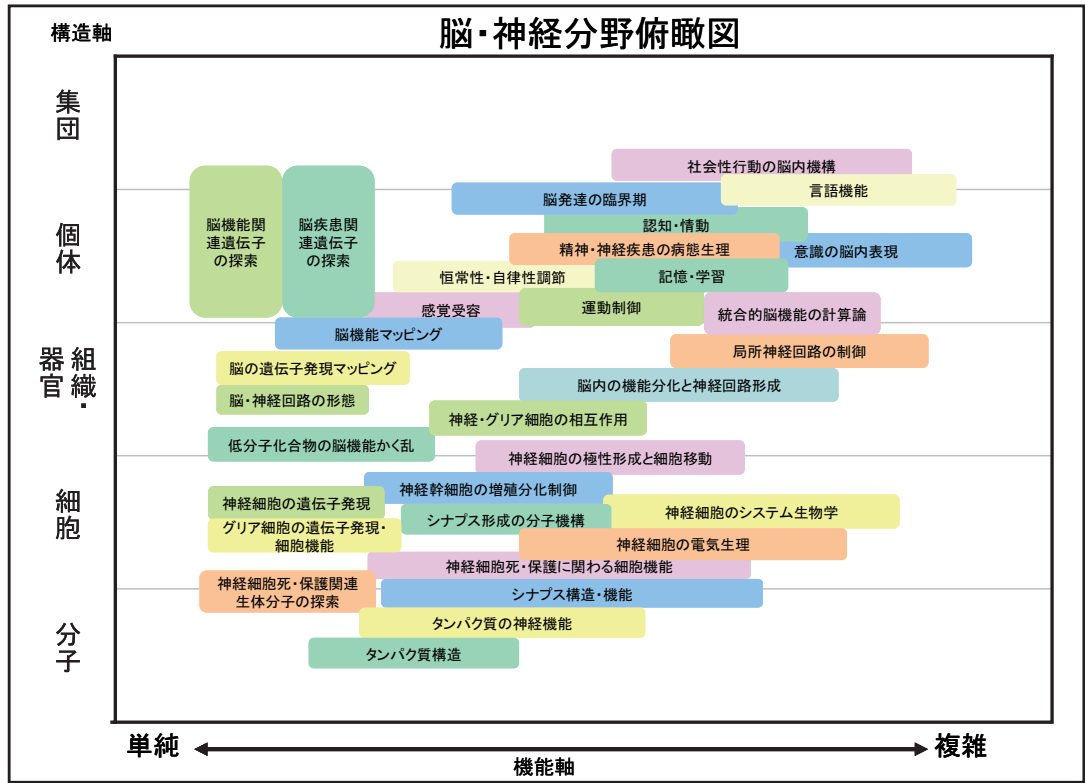


図3-1-6. 脳神経分野の俯瞰マップ

[1] 2008年俯瞰ワークショップの総括

[2] 開催概要

[3] 各分野の俯瞰と研究動向

[4] ライフサイエンスの社会ビジョン、社会ニーズと倫理

[5] 重要研究領域案の選定から戦略スコア切り出しに向けて

[6] 資料

3-1-3. 発生・再生分野

発生・再生分野では、細胞のリプログラミングや制御、幹細胞からの組織・器官の構築、クローン動物の作出などが研究対象となっている。今後は、細胞のリプログラミング技術の導入によるエピジェネティクスの制御や解析も非常に重要になるとと思われる。

発生・再生分野の注目動向として、iPS細胞技術開発が挙げられる。iPS細胞はES細胞と同質な細胞樹立が可能となつて、大量増殖が可能な点から、再生医学研究において重要な細胞ソースになるものと思われる。これらの細胞を用いた技術の一般化をすすめるために、社会的な観点を含めた研究開発も重要となる。一方で、iPS細胞はリプログラミングの機構を解明するための材料としても有用である。現在のiPS細胞樹立手法は多岐にわたり、未解明な部分も多い。その点を踏まえて、細胞療法等の実現に向けて、安全性の確認や保証を行いながら、リプログラミングの機構の解明を進める必要がある。エピジェネティクス解析においては、ゲノムワイドな解析手法を用いた研究開発競争が激化しており、海外でも多額の研究費がエピジェネティクス研究に対して投資されている。今後は細胞レベルの解析技術が必要とされ、当該技術の確立によって国際的な優位性が獲得できると考えられる。

その他、発生工学の技術の進展により、大型動物におけるヒトトリポリクロナール抗体の作出が期待される他、多能性幹細胞からの配偶子作成、システムバイオロジー、イメージング技術、生細胞を用いた三次元組織・器官の再構築にもつながる、より複雑な組織、器官の再生研究、が挙げられる。また、がん幹細胞と通常の幹細胞には共通な機構が備わっていることを踏まえた、幹細胞と老化の関連研究も重要である。

ただし、現在の再生医療は、ヒトES細胞ですら1例も臨床をされてない段階である(その後、FDAよりヒトES細胞を用いた臨床試験が2009年1月にジェロン社に認可された)。しかし、細胞療法の実現の先には臓器そのものの再生、構築を望む社会の期待も大きい。例えば、我が国では現在25万人の人が慢性腎不全のために人工透析を実施しており、莫大(ばくだい)な医療費を必要としている一方で、腎移植治療のために同数のドナーを確保することは困難である。発生・再生分野の研究成果と技術開発を活用した臓器の再生、構築の実現には大きな期待がかけられている。

以上を踏まえ、炎症慢性化による疾患研究、リプログラミング機構の解析、研究成果の社会実装時の定性ビジョン、を重要領域に設定した。

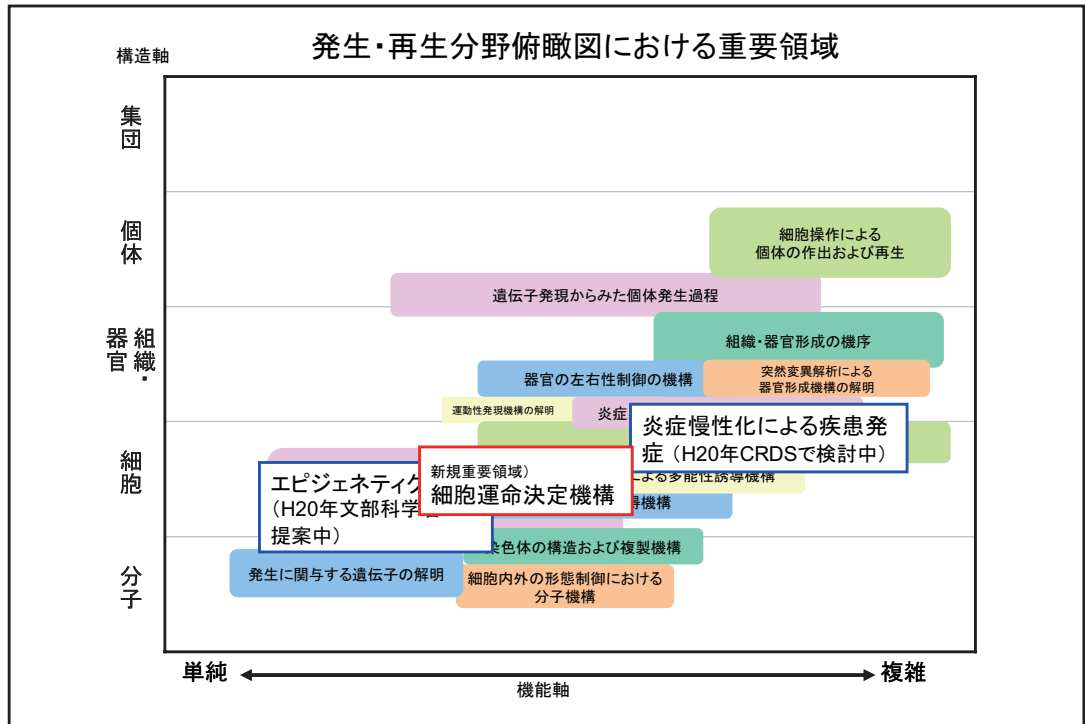


図3-1-7. わが国における発生・再生分野の研究動向

この分野の研究水準に関しては、米国が優勢だが、欧州とともに、我が国も世界レベルにあるといえる。また、iPS細胞技術で代表されるように、非常に独創的な研究成果も出てきている。しかし、再生医療の実現化プロジェクトを除いて、長期的研究戦略に乏しく、更なる検討が必要とされる。

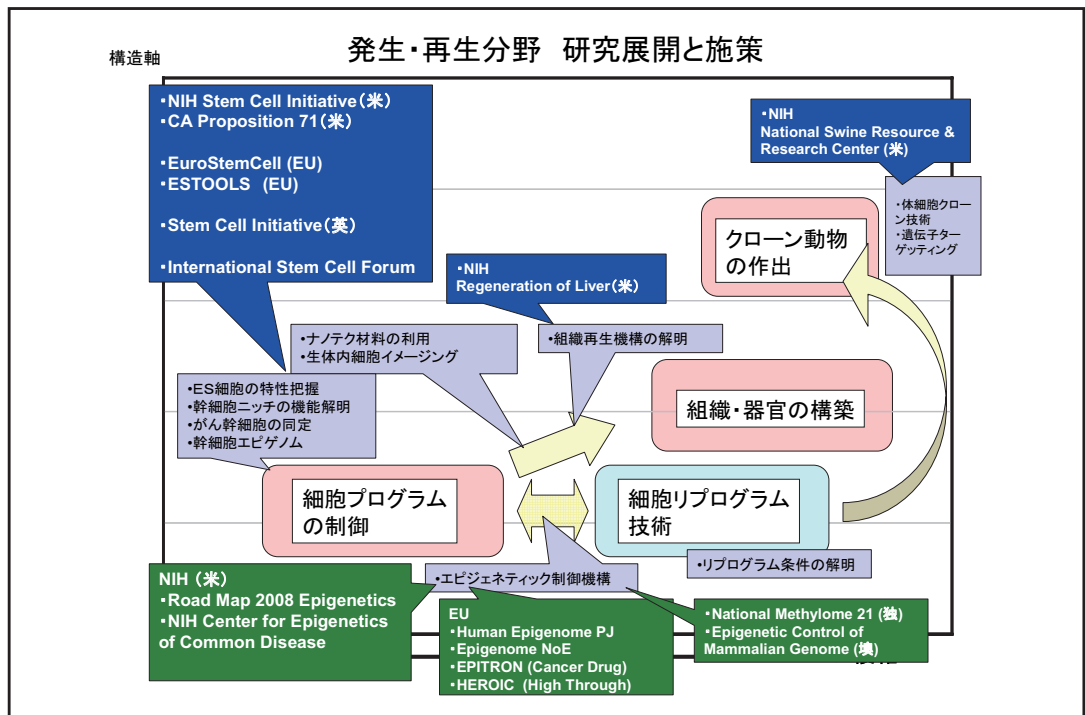


図3-1-8. 欧米における発生・再生分野の研究動向

[1] 2008年俯瞰ワークショップの総括

[2] 開催概要

[3] 各分野の俯瞰と研究動向

[4] ライフサイエンスの社会ビジョン、社会ニーズと倫理

[5] 重要研究領域案の選定から戦略スコープ切り出しに向けて

[6] 資料

我が国が遅れをとっている研究開発は、器官形成に関する発生研究と再生医療の実現に向けた臨床試験への展開である。再生医療に限らず、ライフサイエンス分野では『サイエンス』『ネイチャー』等において我が国から多くの基礎研究の論文が掲載されているのに比して、一流の臨床研究誌においては論文の掲載が少ない傾向にある。この現象は基礎研究のトレーニングを受ける機会が臨床医にとって限られていることに起因しており、研究費の拡充以外の解決策の検討も必要と考えられる。

発生・再生の俯瞰図は、群衆構造形成の分子機構、遺伝子発現からみた間細胞の分化機構を削除し、炎症消散過程における組織修復機構、細胞リプログラミングによる多能性誘導機構、エピジェネティクスによる発生・分化・再生制御機構を追加した。

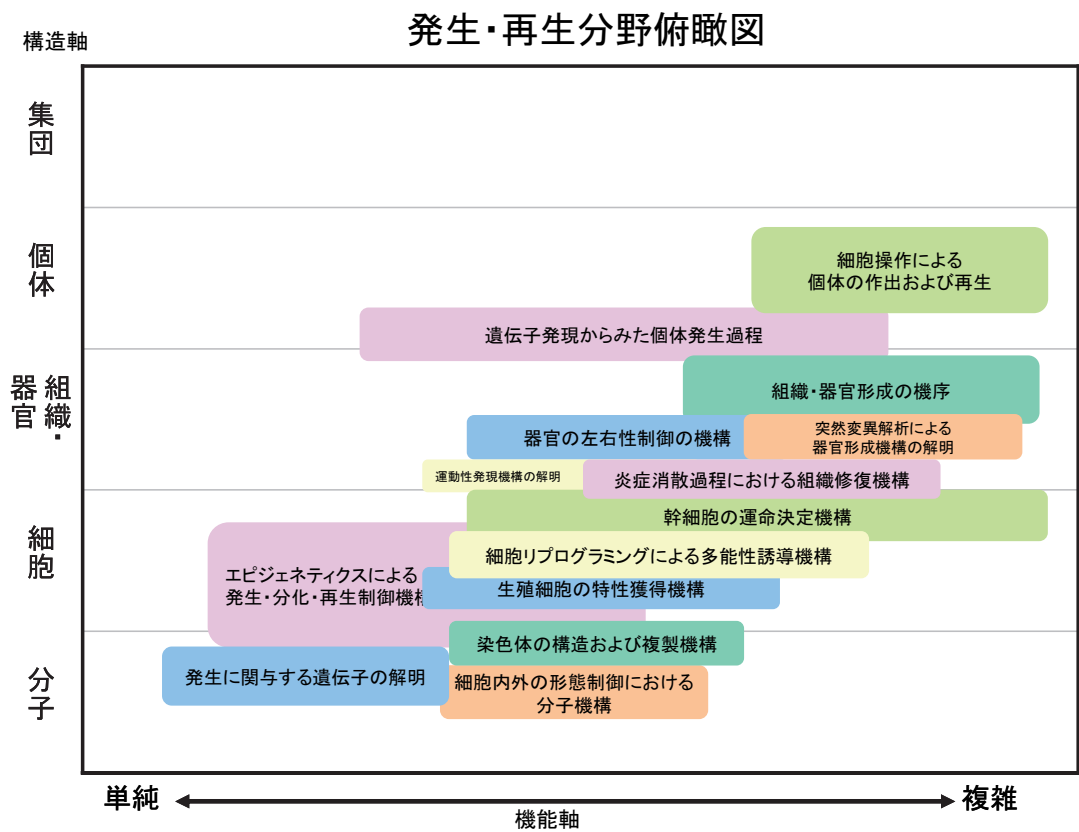


図3-1-9. 発生・再生分野の俯瞰マップ

3-1-4. 免疫分野

免疫を担当する免疫細胞は1カ所に固定されておらず、全身を循環していることが大きな特徴である。そのため、近年の免疫研究は、「システムとして免疫系を理解する」方向へと移行してきた。今後は、さまざまな感染症、アレルギー性疾患など、多数の人々に影響を与える免疫性疾患の制圧に向けて、疾患の理解と制御技術に関する研究成果を新たなワクチンや医薬品の開発に活用することが期待されている。

免疫分野の注目動向として、システム生物学のモデリングがあり、特に全身の中で細胞の動態やそれぞれの細胞の持つ機能をシステムとして理解する研究が注目されている。一方、免疫器官の構築・再構築、ならびに粘膜免疫の理解も注目すべき動向である。例えば、生体において外界と最も接触面積が多い粘膜系における環境と腸内細菌との相互作用も注目され、新しいワクチンや疾患バイオマーカーの開発につながる重要な研究課題と考えられる。

恒常性の理解を促進するためには、脳神経系、内分泌系、及び免疫系との間のネットワークを理解することが重要である。例えば、免疫系の理解は、多様な神経疾患に対する新たな治療法の開発にもつながると期待されているが、その支援技術として、生体内イメージング、特に1分子イメージングの技術開発が必要である。

現在、ヒトの免疫系をマウスの中で再構築するための技術開発が進んでおり、前臨床研究において重要なものになると期待されているが、知的財産の確保についても考慮されるべきである。

我が国の基礎研究は一般的にレベルが高く、米国、欧州と共に3極を形成している。しかしながら、臨床研究についてはかなり後れを取っており、その克服が重要課題である。学術研究機関における応用への意欲の低さや、基礎研究と臨床応用の間の壁について、さらなる考慮が必要である。

[1] 2008年俯瞰ワークショップの総括

[2] 開催概要

[3] 各分野の俯瞰と研究動向

[4] ライフサイエンスの社会ビジョン、社会ニーズと倫理

[5] 重要研究領域案の選定から戦略スコア切り出しに向けて

[6] 資料

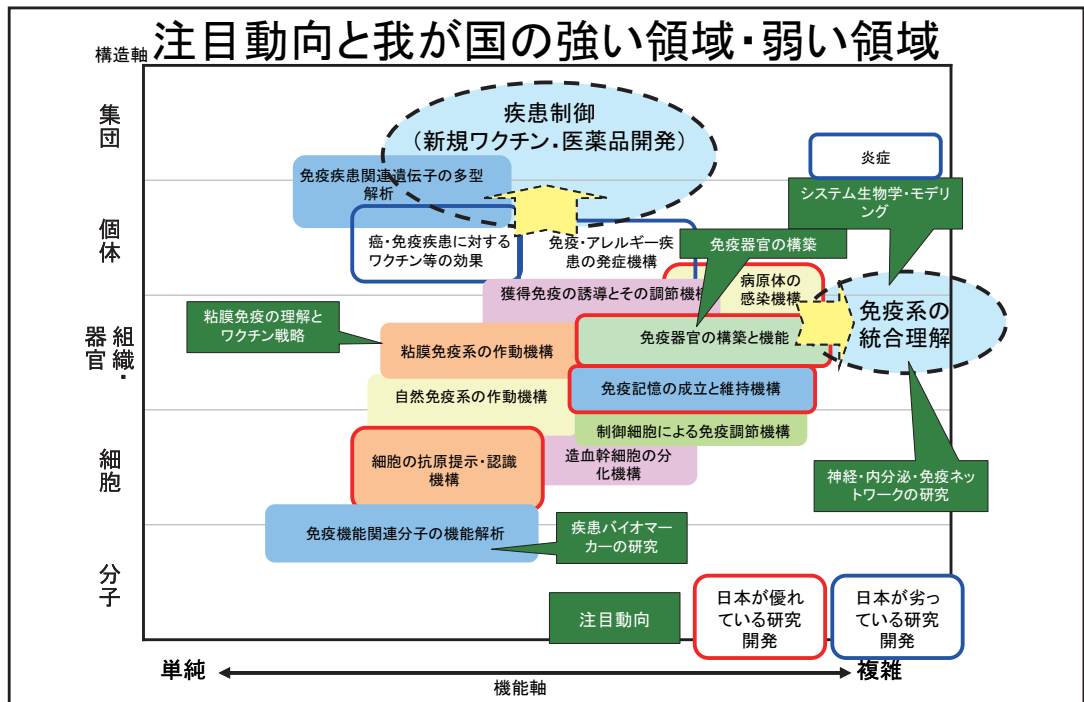


図3-1-10. わが国における免疫分野の研究動向と国際競争力

炎症研究は免疫分野全般において重要な位置を占めており、免疫系の統合的な理解や新しい治療戦略の策定につながるものと思われる。そのため、従来の特異的免疫の理解に加えて、組織再生等における炎症理解の重要性も踏まえながら、自然免疫系の炎症を含めた形で研究が展開、推進されることが望ましい。

感染免疫、メタゲノム解析（特に腸内細菌のメタゲノム解析）は、恒常性の理解において重要である。免疫の四次元制御は、システムとして免疫系を理解するために、時空軸まで考慮した概念である。内分泌系、神経系も含めた上で、この概念を免疫性疾患の制御につなげることが重要である。人工胸腺、あるいは人工リンパ節の作成が可能になりつつあり、免疫系を操作する技術の創出が期待される。従来の免疫学はモデル動物種（マウス）を中心に進められてきたが、ヒトの免疫研究を推進するためのシステム作りが重要である。

免疫系をリセットする技術において、細胞のリプログラミング機構が重要である。免疫担当細胞はある程度分化すると可逆性が失われる。そのため、免疫担当細胞をリプログラムすることができれば、さまざまな炎症や自己免疫疾患の治療法やアレルギーの制御につながるものと期待される。新型ワクチン開発も重要である。免疫系は、ワクチンの原理となる生物学的記憶を脳神経系とは別に保持している。この免疫系独自の記憶の取り込み・維持機構の理解、恒常性との関係の理解が新世代のワクチン開発や疾患治療に重要になる。

免疫分野の俯瞰図は二次リンパ組織の形成機構、獲得免疫の誘導とその調節作用を削除し、免疫器官の構築と機能、免疫記憶の成立と維持機能を追加した。

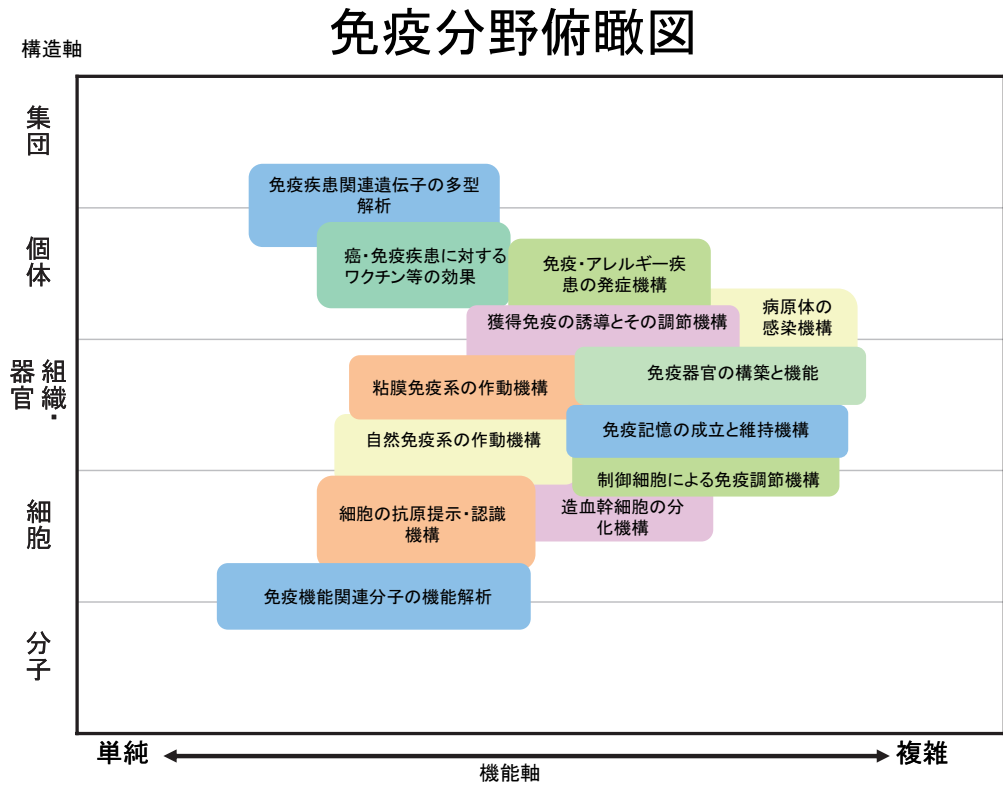


図3-1-11. 免疫分野の俯瞰マップ

[1] 2008年俯瞰ワークショップの総括

[2] 開催概要

[3] 各分野の俯瞰と研究動向

[4] ライフサイエンスの社会ビジョン、社会ニーズと倫理

[5] 重要研究領域案の選定から戦略スコープ切り出しに向けて

[6] 資料

3-1-5. がん分野

従来のがん研究は、感染等による発がん、エピジェネティクスによる発がん研究、がん細胞の増殖運動、細胞シグナル伝達などを中心に推進されてきた。最近では、工学系あるいは薬学系との共同研究により、治療用ナノキャリア、薬剤プローブの分子設計、構造解析による薬剤の作用機構等の研究が盛んになり、がん研究全体のレベルを押し上げている。

我が国のがん分野の基礎研究のレベルは総じて高いものの、分野によって差があるとともに、欧米に比べて量的に劣る。そのため、さらなる支援が必要である。また、基礎研究の成果を技術開発や産業に持っていくという点に関しても、遅れをとっていた。しかし、最近のがんのトランスレーショナルリサーチが盛んになりつつある。

薬剤開発については制度上の問題が指摘されてきたが、内閣府・健康研究推進会議が推進している「先端医療開発特区（スーパー特区）」が諸般の問題を解決するものとして期待されている。一方、長期にわたる研究の支援体制を整備することは重要な問題と考えられる。例えば、疫学のように長期間にわたる研究実施が必要な領域においても、5年程度で終了してしまう現在の研究支援体制は、深刻な問題である。

事前のインタビューにより、がん幹細胞、がんの微小環境、トランスレーショナルリサーチ、ケミカルバイオロジー、そして分子イメージングが重要領域として抽出された。がん幹細胞については周辺の微小環境やニッチを含めた総合的な解析が必要である。また、がんの悪性化への関与や、浸潤転移能の獲得により抗がん剤に対する抵抗性を獲得するメカニズムの解明も重要である。

インタビューから抽出された重要領域

- 1 がん幹細胞
- 2 がん微小環境
- 3 がんのトランスレーショナルリサーチ
- 4 がんのケミカルバイオロジー
- 5 分子イメージング

図3-1-12. 事前インタビューから抽出されたがん免分野の重要領域

腫瘍の組織細胞ががん化した場合、その数パーセント以下ががんの幹細胞となり増殖する。抗がん剤によるがんの消滅は見かけ上であり、がんは再発する。これらの観点から、がんの幹細胞の理解は非常に重要である。我が国では、がん幹細胞に関する研究がやや遅れを取っており、がん幹細胞の成立機構とエピジェネティクス、正常の幹細胞との関連、老化との関連、抗がん剤との関連、ニッチとの関連、ならびに浸潤転移能との関係が総合的に研究される必要がある。現在、がん幹細胞に関しては、カナダとカリフォルニア州で総額1億ドル（スタンフォード大学だけで年間2,000万ドル）が投資されている。日本ではがん幹細胞の重要性についての議論されており、迅速な推進支援が必要である。

組織におけるがん細胞と周辺の多様な細胞との関係性が重要視されてきた。特に転移能やがんの抗がん剤への耐性化を理解するために、がんの微小環境が重要と考えられている。アメリカの国立ガン研究所(NCI)では、TMENプログラムというがんの微小環境研究に特化したプログラムを作り、重点的に推進している。日本においてもがんの微小環境についてシステムティックに取り組むことが重要になると考えられる。

がんのトランスレーショナルリサーチについては、ケミカルバイオロジーを活用し、がんの新たな理解、抗がん剤の開発へとつなげることが必要である。がんの分子イメージングはすでに文部科学省のサポートにより、がんの幹細胞、ニッチ、脳腫瘍の幹細胞等のイメージング、ならびに新しいプローブを用いたイメージングが行われている。今後は、がん幹細胞、がんの微小環境を中心に、先駆的な方法、薬学ならびに工学系との異分野融合によって全体を押し上げるためのネットワーク整備が必要とされている。

[1] 2008年俯瞰ワークショップの総括

[2] 開催概要

[3] 各分野の俯瞰と研究動向

[4] ライフサイエンスの社会ビジョン、社会ニーズと倫理

[5] 重要研究領域案の選定から戦略スコア切り出しに向けて

[6] 資料

る。また、多様な疫学研究が、がん研究全体において重要な位置を占めてきている。

がん分野の俯瞰図は、組織から個体レベルにかけての研究領域を細分化し、分子レベルの研究領域名称等を大幅に見直した。

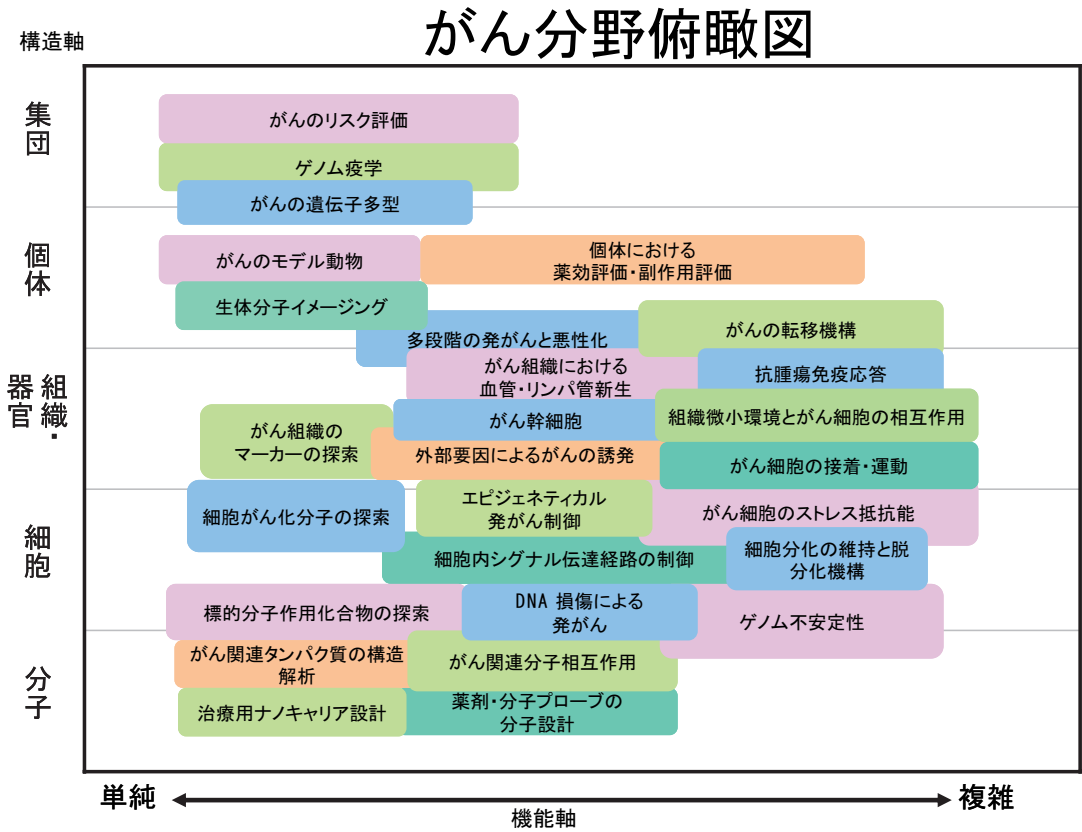


図3-1-13. がん分野の俯瞰マップ

3-1-6. 植物科学分野

植物科学分野の俯瞰マップは基礎代謝、遺伝子から器官形成、そして光合成、ストレス構造から、生物間相互作用、生態系、生物生産まで含めた。遺伝子の発現や代謝など、非常に基盤的なところから、植物の形づくり、あるいは成長、分化まで、そして植物の一番大きな機能である環境応答、圃場レベル、あるいは自然環境における植物の成長、分化、また生態系における適応について、俯瞰し評価した。

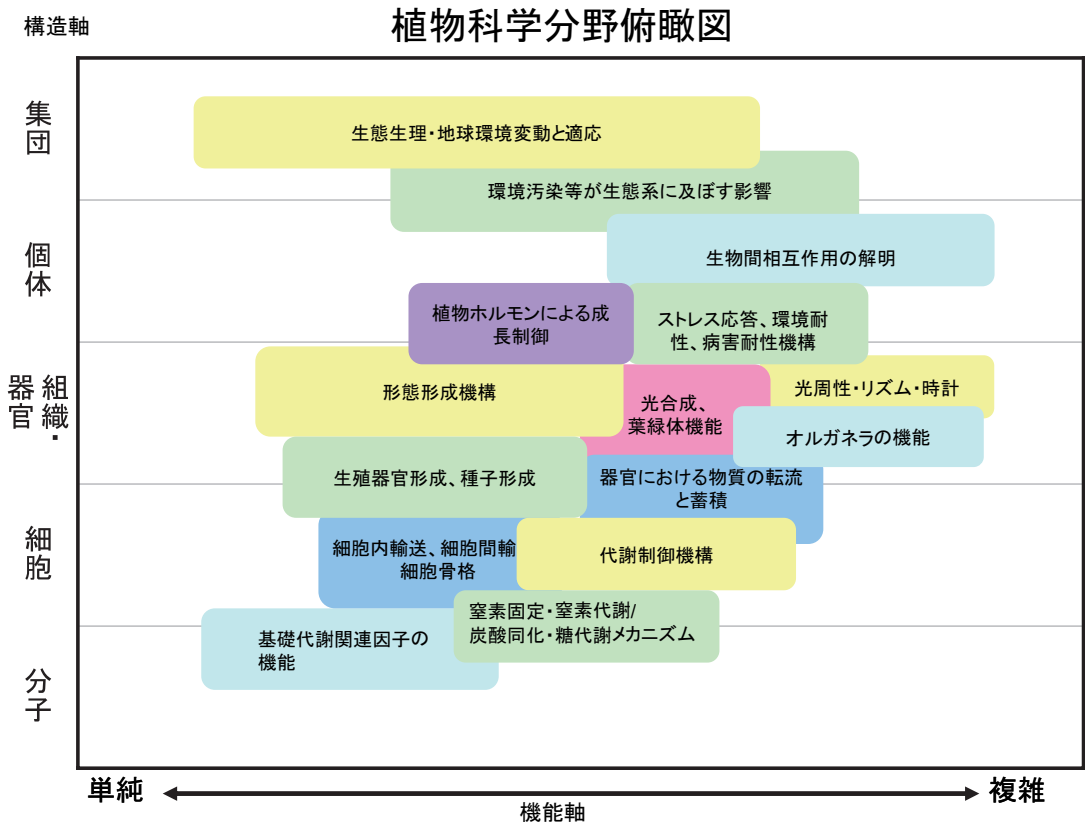


図3-1-14. 植物科学分野の俯瞰マップ

これまで、植物の個体レベルにおける機能の評価、生態系における植物の活動、そして生物生産における植物の役割について研究が進められてきた。ここ10年ぐらいで、分子生物学が発展し、オミクス、特にプロテオームやメタボロームといったような解析とともに、個別の現象を分子レベルで解明しながら、個体での機能をシステムティックに解析できるようになってきた。

[1] 2008年俯瞰ワークショップの総括

[2] 開催概要

[3] 各分野の俯瞰と研究動向

[4] ライフサイエンスの社会ビジョン、社会ニーズと倫理

[5] 重要研究領域案の選定から戦略スコープ切り出しに向けて

[6] 資料

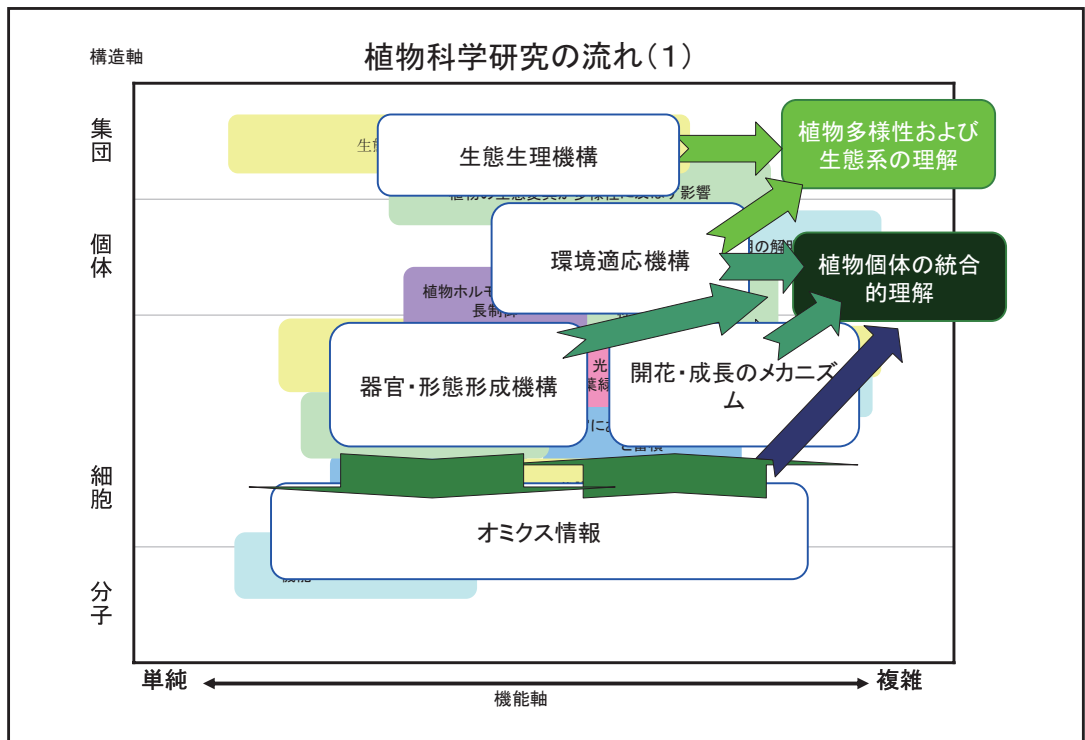


図3-1-15. 植物科学研究の流れ(1)

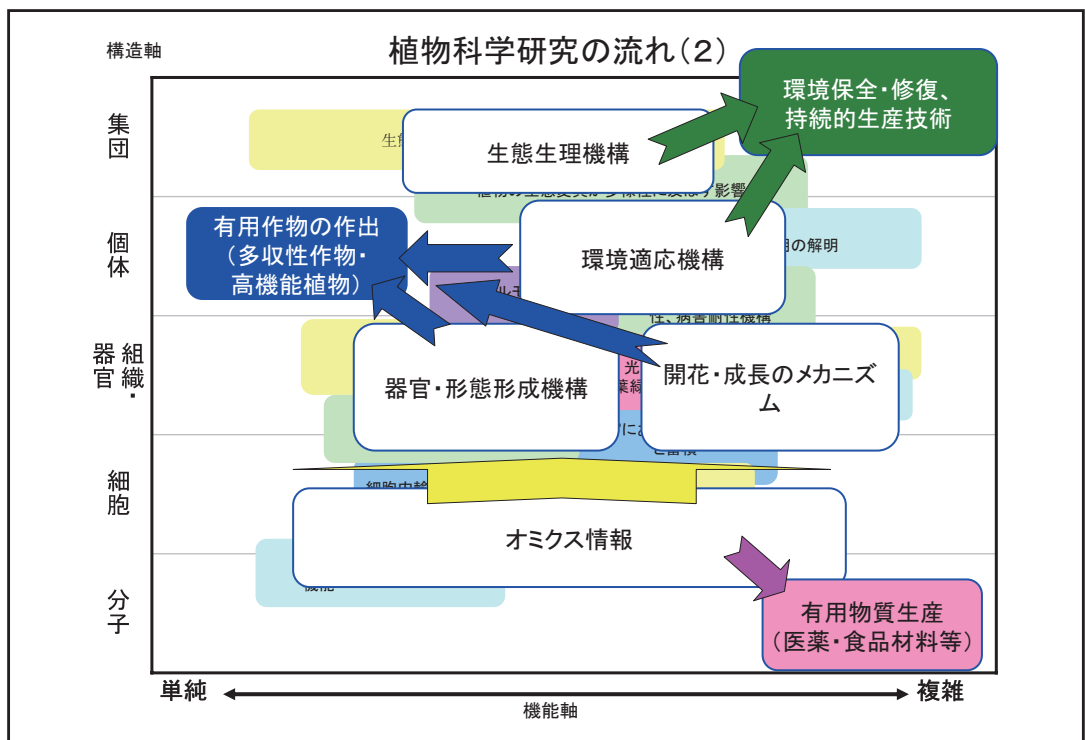


図3-1-16. 植物科学研究の流れ(2)

植物科学研究の出口の1つは有用作物の作出である。植物の多収性、高機能性に関する研究は食糧生産やバイオマスを紹介したエネルギー生産へつながる。さらに、CO₂固定を通じた環境保全や環境修復に加え、植物のさまざまな代謝機能を活用した新規な有用物質生産も期待されている。2000年にシロイヌナズナのゲノムプロジェクトが完了し、2004年にはイネゲノムプロジェクトが完了した。我が国においてはこの間に未来開拓事業、グリーンテクノ計画、イネゲノムの研究等が進められてきた。現在もグリーンテクノ計画における新農業展開プロジェクト等が主に農林水産省主導で動いているものの、文部科学省の大型プロジェクトは理研植物科学センター（PSC）の研究のみであり、植物分野全体としてはあまり活発であるとはいえないと思われる。

エネルギー分野については、例えばブリティッシュ・ペトロリアム等の支援でエネルギーバイオサイエンスインスティテュートが動いており、2012年までに34億ユーロ以上の投資を行う。また、中国が今後13年間で34億ドル程度の投資を行う予定があり、海外においても非常に活発に研究投資がなされつつある。このほか、環境問題を見据えたバイオエタノール、バイオディーゼル等のバイオマス生産研究も非常に活発であり、これらの内容は食糧生産とも関連している。

ストレス耐性を与える研究や、植物の形づくり、機能制御の役割を果たすホルモンの研究も重要である。これらの研究は我が国でも推進されており、基盤としてのモデル植物（シロイヌナズナ等）のゲノム情報を活用したデータベースや材料としてのライブラリーが充実している。さらに、解析技術も充実し、今まで連携が弱かった生態系における解析も進行している状況にある。ただし、日本では植物組換え体の安全性について大きな議論があり、その応用や実用化については非常に大きな障害となっている。そのため、多くの優れた研究開発があるものの、実用化のための技術開発全般が遅れており、基礎研究の成果が十分に活用されていないことが課題といえる。

[1] 2008年俯瞰ワークショップの総括

[2] 開催概要

[3] 各分野の俯瞰と研究動向

[4] ライフサイエンスの社会ビジョン、社会ニーズと倫理

[5] 重要研究領域案の選定から戦略スコープ切り出しに向けて

[6] 資料

3-1-7. 融合研究分野

今回はシステム生物学、バイオインフォマティクス、構成生物学、イメージング、構造生物学を俯瞰対象として、特にライフサイエンスと物理、情報科学、ケミストリーなどとの分野融合について検討を加えた。なお、基礎から臨床へのトランスレーショナルリサーチも広い意味での融合分野という定義も可能であるが、今回は対象としていない。また、融合分野の俯瞰図は特に作成していないが、たとえば、ゲノム・機能分子の俯瞰図上で融合分野がカバーする領域を表すと下記ようになる。

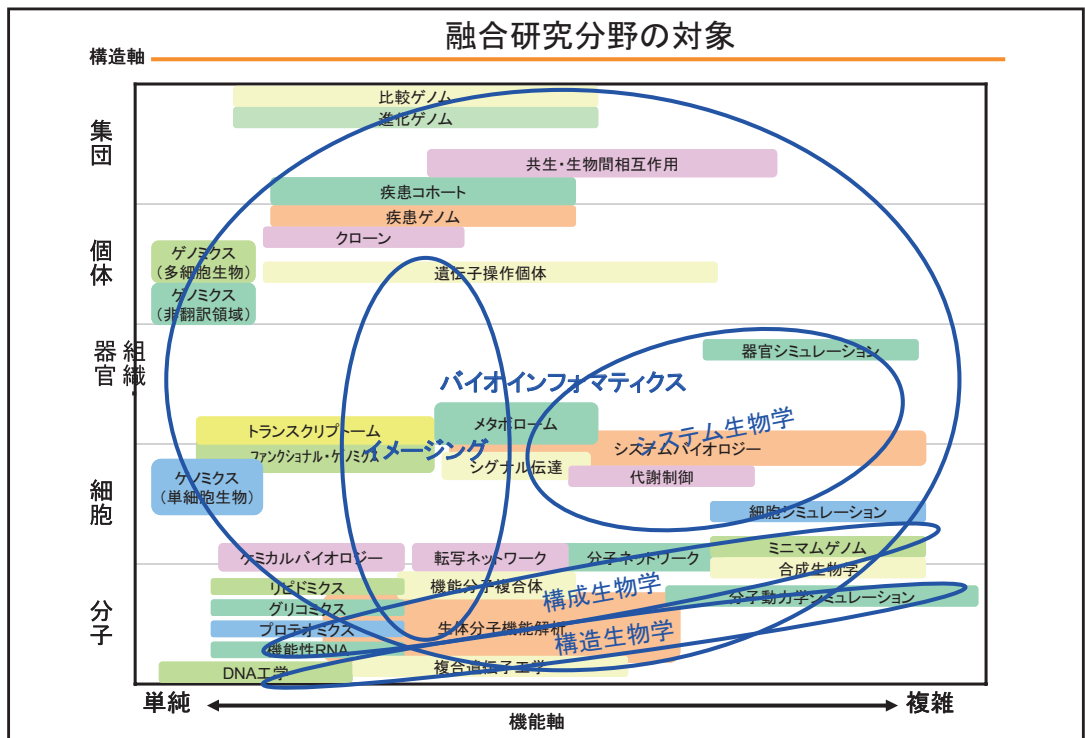


図3-1-17. 融合研究分野の対象となる研究領域

個別の研究を見ると、20年前、10年前に比べて水準が向上し、日本のプレゼンスは非常に高くなっている。しかし、新規分野の開拓では遅れをとっている。したがって個別の研究は優れているが、融合研究の戦略がないというのが、結論となる。

融合研究分野まとめ

- 日本は個別研究は優れている
現象:がん、脳、免疫など
手法:ハード面、ソフト面
- ただし、これらの融合は未成熟
- 戦略的な推進が必要
ファンディング、人材育成、コアファシリティなど
ひとつの研究室や研究者では対応できない!
- 目標とする一分野:「生命システムの気分」

14

図3-1-18. 融合研究分野の研究動向と推進体制の現状のまとめ

アメリカは分野融合をうまく活用し、分野融合から創出された研究領域の最先端をつかみ、支配する戦略に長けている。特に、いくつかのファンディングエージェンシーが役割を分担し、リスクに応じて、基礎から応用までの研究をそれぞれ戦略的に進めている。そのため、我が国においても、行政サイドが何らかの形で積極的に戦略を持って、分野融合を誘導していくことが重要と考えられる。

分野融合の手法は、ソフト面とハード面に分けられる。ソフト面はインフォマティクス、シミュレーション、システムバイオロジーあるいは比較ゲノムなどが含まれる。ハード面は、顕微鏡技術、ロボティクス、ケミカルバイオロジー、構造解析などが含まれる。これらの研究を単独で実施するのではなく、同時に実施できるようサポートすることが分野融合のきっかけになる。

2006年に、研究開発戦略センターによって分野融合フォーラム^{*}が開催され、「生命システムの気分」というテーマが重点的に議論された。すなわち、分子や細胞の1個1個の要素にはゆらぎがあり、いい加減な部分があるものの、システムとしては上手くいくということを、生命システムの気分としたものである。これらの研究に必要なと思われる1分子イメージングなどは日本の得意分野であり、戦略によってはこの分野をリードできる可能性がある。ファンディングだけでなく、人材育成も重要である。単に共同研究するというだけでなく、最終的には多様な分野についてある程度は1人の人間で理解できるという人材の育成が、この分野の推進には不可欠である。

^{*}分野融合フォーラムーライフサイエンスにおける新しい研究両流ー報告書 (CRDS-FY2006-WR-11) 参照

[1] 2008年俯瞰ワークショップの総括

[2] 開催概要

[3] 各分野の俯瞰と研究動向

[4] ライフサイエンスの社会ビジョン、社会ニーズと倫理

[5] 重要研究領域案の選定から戦略スコップ切り出しに向けて

[6] 資料

3-2. 各分野の俯瞰図と研究動向に関する討議概要

ライフサイエンス分野の研究推進には分野融合が重要である。欧米では、分野融合拠点をつくり、共同研究を進めつつ、人材育成も行っている（例：システムバイオロジーのセンターは、米国で9箇所、イギリスで6箇所設立済み）。一方で、チャレンジングな課題の誘導も積極的に行っている。我が国においても、若手研究者の間で融合研究を進めるようなケースも出てきているが、融合分野におけるチャレンジングな研究は決して効率よく進展するとは限らないことを踏まえて、粘り強く投資を行う覚悟が必要である。

異分野融合研究の推進に向けては以下のような指摘があった。

- ・ 府省の枠組みを超えた官学連携が重要
- ・ 融合型研究所という「きっかけ」さえあれば若手は参入してくる可能性がある
- ・ 単純な外国型の導入ではなく、日本型の仕組みを考える必要性がある
- ・ テーマ提供だけでは推進できない。
- ・ ハイリスク研究の評価体制の未整備で、過去の異分野融合事例の評価をしっかりと行うことが必要
- ・ 欧州の研究機関のオピニオン・リーダー人材（より広い視野の人材の登用を）のようなものが必要なかもしれない
- ・ 若手人材への「庇護」・競争ベースのシステムの変革（「加点法」の評価システム）が必要
- ・ 第3期の反省：「モノからヒト」における組織的観点の欠如

教育に関しては以下の二点が指摘された。

- ・ 好奇心の芽を摘んでしまう教育制度
- ・ 人材不足、「見えない相手・潜在層」への呼びかけの必要性

3-3. 各分野の俯瞰図と研究動向より示唆されたライフサイエンス研究の将来展望

ライフサイエンス分野の研究推進には分野融合が重要であるものの、チャレンジングな研究は決して効率よくすすまない。そのため、ファンディングのあり方、人材育成の観点も含めて、粘り強く推進していく覚悟が必要である。以上のような視点を踏まえ、総合討論においては、以下のような研究提案ならびに問題点の指摘がなされた。

- ヒト・ゲノム解析の低コスト化
- 生体内イメージング(細胞・分子)
- 脳神経科学と他分野の(技術ツールを介した)連結・人文科学分野との融合
- Transformative Research(米国)の観点
- 基礎から臨床への展開研究推進の必要性
- 多能性幹細胞研究・幹細胞の老化・安全性
- ゲノムワイドなエピジェネティクス解析
- 細胞治療から臓器再生へ
- 免疫研究とシステム生物学・臨床神経科学との融合
- 時空軸を含めた「四次元」制御
- 人工免疫器官
- がん研究と工学・薬学との融合
- (がん)疫学研究の長期的支援体制構築
- がん幹細胞研究
- 植物の固体研究から食糧生産・エネルギー生産・環境保全・修復への展開
- 植物ゲノムのデータベース・ライブラリー
- 植物の全能性・多様性を生かした研究推進
- ライフサイエンスの複合化・巨大化
- 融合研究の開拓・推進戦略が弱い
- 意図的な分野融合の誘導が必要
- 分野融合にはソフト・ハード両面からの支援が必要(人材・コアファシリティ)

[1] 2008年俯瞰ワークショップの総括

[2] 開催概要

[3] 各分野の俯瞰と研究動向

[4] ライフサイエンスの社会ビジョン、社会ニーズと倫理

[5] 重要研究領域案の選定から戦略スコア切り出しに向けて

[6] 資料

4. ライフサイエンスの社会ビジョン、社会ニーズと倫理

ライフサイエンスは、生きているもの、知識と心の両方をもつヒトを含めた生命あるもの、を対象とする研究であり、社会ビジョン、社会ニーズという観点から、倫理的な問題、社会的な受容性が当然ながら議論になる。俯瞰ワークショップセッション3では、生命倫理、脳神経倫理から提供された話題をもとに議論を行った。

4-1. ライフサイエンス研究における社会ビジョン・社会ニーズの捉え方

科学技術、研究の日本全体のシステムとイノベーションの関係から整理すると、目的、基礎研究課題の実施、実証、試作、製品開発というラインの研究は、社会技術として知的・文化的価値、社会的・公共的価値、経済的価値が重視されている。ライフサイエンスにおいても社会的・公共的価値というのも重要ではないかと考える。第3期の科学技術基本計画、福田内閣所信表明ビジョン等における位置関係の観点から開披すると、それぞれ表現は異なるが、類似の項目が入っていると理解できる。

研究開発戦略センターが目指す社会ビジョンは大きく2種類ある。ひとつ目は科学技術の基盤の充実とフロンティアの拡大。もうひとつはイノベーションに向けた7つの社会ビジョンである。構造的に整理すると、個人、国、地球という3つの3段階のかたちになる。まず、学習する社会、健康で快適な生活、安全で安心な社会など、生活の質を向上させる、国民個人ごとのビジョンがある。次に、活力と競争力のある国、持続可能な経済発展など、国としての産業構築競争力の向上に関係する、国としての社会ビジョン。最後に、科学技術リーダーシップを以ってアジアにおいて尊敬される国、あるいは持続可能な世界の経済発展、という、地球規模の課題がある。

本ワークショップにおいては、技術シーズをベースに社会ビジョンを実現する重要研究を抽出する方法によって重要研究領域の提案を行った。一方、社会ビジョンを最初に掲げて、その実現に必要な重要研究領域を探索する方法もあり、今後は両者を用いて重要領域を議論する方針である。

[1] 2008年俯瞰ワークショップの総括

[2] 開催概要

[3] 各分野の俯瞰と研究動向

[4] ライフサイエンスの社会ビジョン・社会ニーズと倫理

[5] 重要研究領域案の選定から戦略スコープ切り出しに向けて

[6] 資料

科学技術政策・戦略立案の基本方針 一各様

CRDSにおける 科学技術政策・戦略立案の基本方針 CRDS 2005.07	科学技術振興		イノベ			
	科学技術の基盤の充実と フロンティアの拡大		尊敬される国		科学技術リーダーシップで アジアと共生	
第3期 科学技術基本計画 閣議決定 2006.3	人類の英知を生む					環境と経済の ～環境と経済を 持続可能な発展
	飛躍知の発見・発明 ～未来を切り拓く 多様な知識の蓄積・創造		科学技術の限界突破 ～人類の夢への挑戦と実現			
福田内閣総理大臣 所信表明 2007.10	改革の継続と安定した成長				これからの環境を	
	科学技術の発展 戦略分野への集中 投資・人材育成		知財戦略	内外投資の 促進	アジアゲート ウェイ構想	京都議定書の目 標達成
安倍内閣総理大臣 所信表明 2006.9	活力に満ちたオープンな経済社会					
	イノベーションの創造 「イノベーション25」	日本文化 産業戦略	中小企業 の活用	おいしく安全な 日本産品の輸 出強化	再チャレンジ 支援策	頑張る地方 応援プログラム
イノベーション25 閣議決定 2007.6	生涯健康な生活		安全安心な社会			多
経済成長戦略大綱 経済財政諮問会議 2007.6	国際競争力の強化		生産性の向上 (ITとサービス産業の革新)			地
日本科学技術政策の要諦 日本学術会議 2005.4	品格ある国家					
	教育の改革	民主社会の実現	共生社会の実現	健やかに生きる 社会基盤	国の安全保障 安全と安	
希望の国、日本 日本経済団体連合会 2007.1	世界から尊敬され親しみを持たれる国					開かれ
	世界の平 和と繁栄 に貢献	日米同盟を 基軸、信頼と 名誉のある 地位を維持	国際通商 システムの 深化・拡大	人類共通の 課題解決に 貢献	国際社会 への情報 発信	国際的な安 全保障環境 の改善
新しい躍動の時代 -深まるつながり・広がる機会- 通称：日本21世紀ビジョン 経済財政諮問会議 2005.4	開かれた文化創造国家					
	魅力と存在感のある 国となる		「列島開放」により交流 と活力が生まれる		世界中の「かけ橋国 家」となる	
動け！日本 「動け！日本」タスクフォース 2003.3	世界一の 健康寿命			世界一の 生活環境		

※各要素の面積は無作為で意味はありません。

図4-1-1. 研究開発戦略センターの

機関のビジョンとCRDSの方針との比較

研究システムグループ 2007.12.10

ーションエコシステムによる社会ビジョンの実現・社会ニーズの充足										
持続可能な経済発展		活力と競争力のある国		安全で安心な社会		健康で快適な生活		学習する社会		
国力の源泉を創る					健康と安全を守る					
の両立 を両立し 発展を実現		イノベーター日本 ～革新を続ける強靱な経済・産業 を実現			生涯はつつつ生活 ～子供から高齢者まで健康な日 本を実現		安全が誇りとなる国 ～世界一安全な国・日本を実現			
を考えた社会への転換		平和を生み出 す外交		国民の安全を 重視する政治		いわゆる格差 問題への対応		信頼できる 社会保障制度		子育てを支える 社会
「美しい星50」 温暖化ガス排出量 半減										
財政再建と行政改革		健康で安心できる社会の実現					教育再生			
・財政再建 ・行政改革 ・筋肉質の 政府		・地方の自律 ・道州制 ビジョン	世界一安全 な国、日本 の復活	地球温暖化 防止	日本型社会 保障制度	新健康フロン ティア戦略	子育て フレンドリー な社会	・教育基本法案成立 ・学力向上 ・教員の質の向上		
多様な人生を送れる社会		世界的課題解決に貢献する社会				世界に開かれた社会				
地域・中小企業の活性化 (地域活性化戦略)		改革の断行による 新たな市場の創出				生産性向上の5つの制度インフラ ヒト・モノ・カネ・ワザ・チエ				
アジアの信頼					環境と経済の両立					
保障の確保： と安心		自然との共生、 自然の再生、		国土と地域の再生		エネルギーと環境		情報通信システム 整備		産業、経済、 労働と雇用政策
れた機会、公正な競争に支えられた社会				精神面を含めより豊かな生活						
差別されず、 機会の平等 を保障		再チャレンジ 可能な途を 整備		必要最小限 のセーフティ ネットを用意		確かな成長に支え られた、快適、便 利、ゆとりがあり、 リスクへの備えが できた生活		多様性に寛容 な社会風土に 支えられた、選 択の自由		開放的・ 横断的な 絆の再生
「時持ち」が楽しむ「健康寿命80歳」						豊かな公・小さな官				
多様で良質なサービ スに囲まれた暮らし		地域を越えて広がる つながり		小さくて効率的な政府		非政府が担う「公」 の拡大		自立的な分権社会		
世界一の 安全社会					世界一の 教育システム					

Copyright © 2007 by JST/CRDS

科学技術政策・戦略立案の基本方針

[1] 2008年俯瞰ワークショップの総括

[2] 開催概要

[3] 各分野の俯瞰と研究動向

[4] ライフサイエンスの社会ビジョン
社会ニーズと倫理

[5] 重要研究領域案の選定から戦略
スコープ切り出しに向けて

[6] 資料

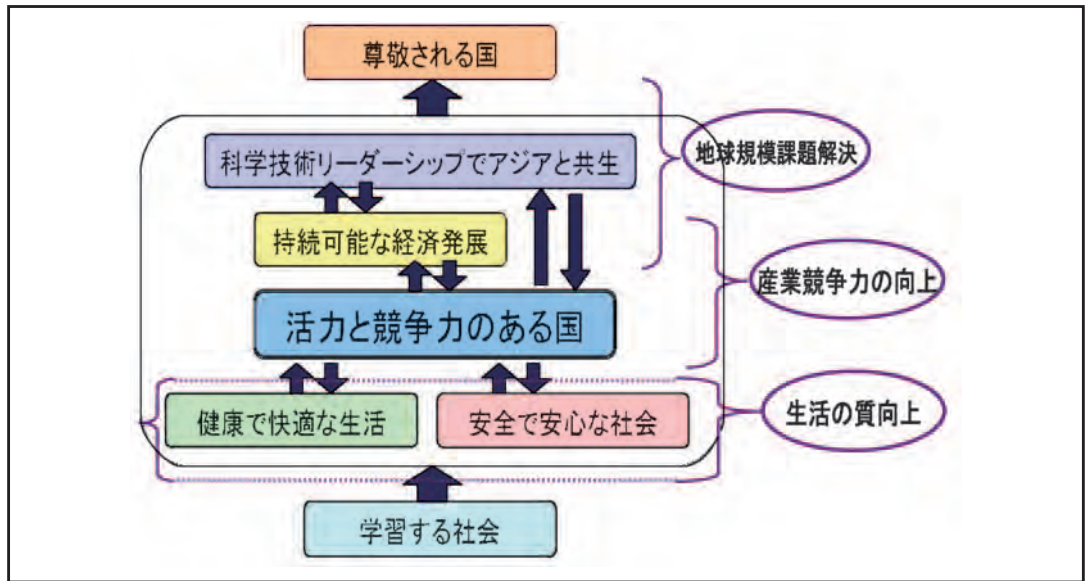


図4-1-2. CRDSにおける科学技術政策・戦略立案の優先目標

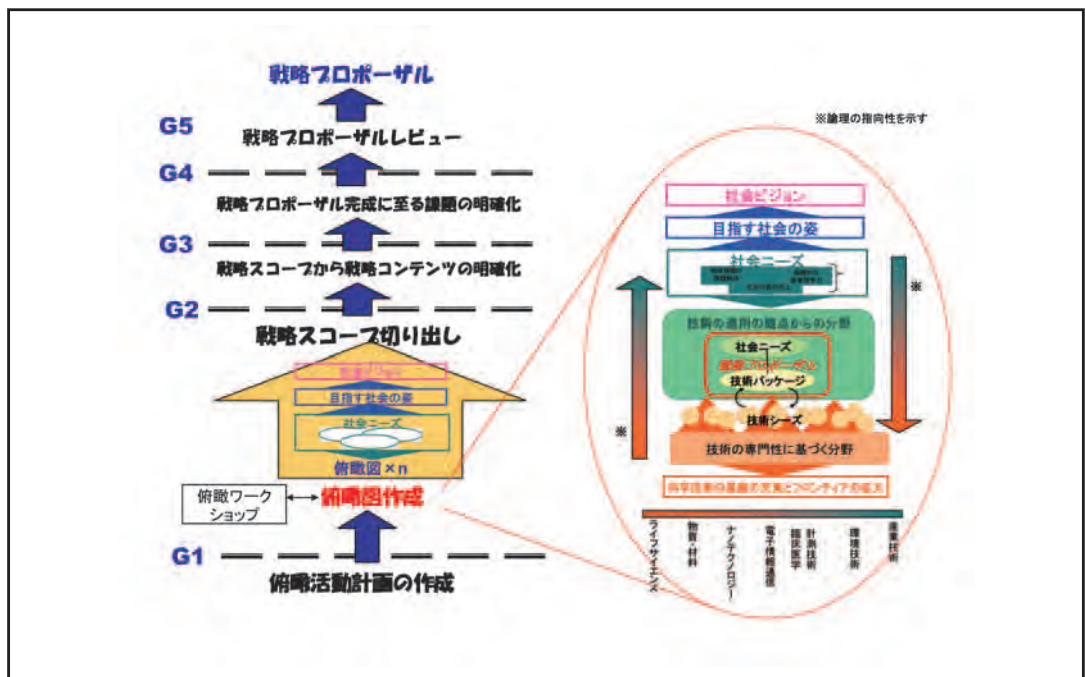


図4-1-3. CRDSにおける科学技術政策・戦略立案プロセス

4-2. 生命倫理

21世紀のライフサイエンス研究の推進と社会受容を実現するには、ライフサイエンスと社会の接点領域（繋ぐ分野）の確立が必要である。ライフサイエンス研究における社会の出口というのは、医療、健康、食品、環境、産業の他、人間とは何か、生命とは何かという教養など、多様である。

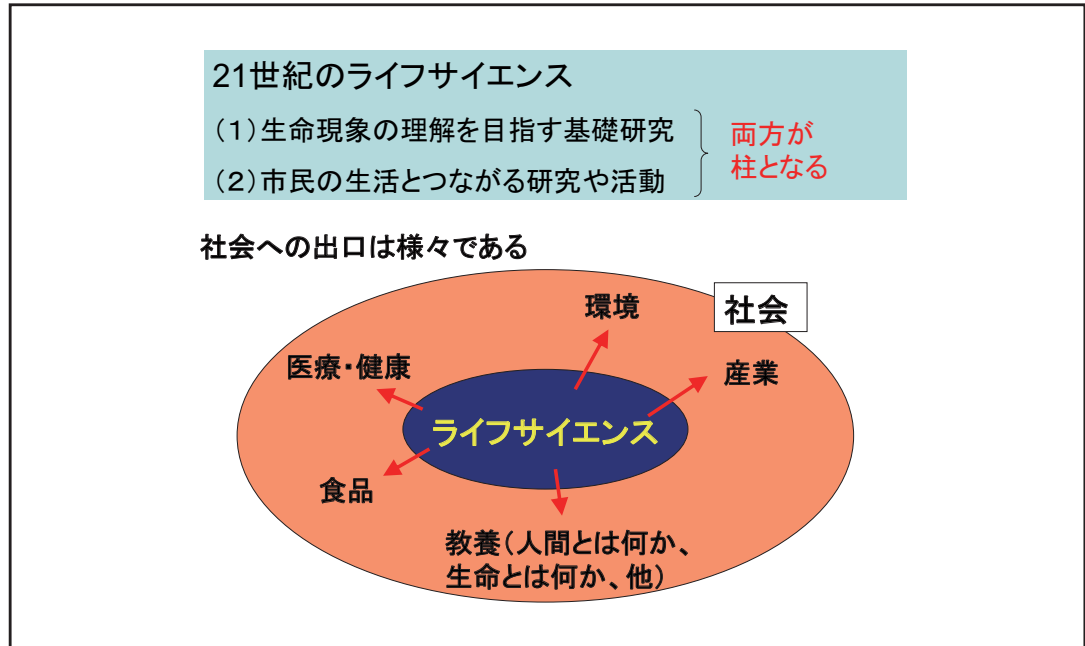


図4-2-1. 21世紀のライフサイエンス研究と社会とのかかわりの概念図

ライフサイエンス研究が社会につながり、受け入れられるには、ラボに閉じこもっているだけのサイエンスとは異なり、さまざまな問題が出てきて、それが倫理などと呼ばれてきた。しかし、倫理にとどまらず今後はガバナンス（研究の進め方）が必要になる。以下がその例である。

- ・ ヒトゲノム研究：個人の全ゲノムシーケンスを迅速に解読可能。個人の遺伝情報の扱いが問題になる。研究の進め方全体を再検討する必要あり。
- ・ iPS細胞：ヒト胚を壊すという問題はなくなるが、生きた個人（患者、健常人）から比較的容易に実在の個人の遺伝情報をもつ多能性幹細胞を作成することができることに伴う問題点が新たに登場。iPS細胞から精子や卵が作成される可能性あり。
- ・ 合成生物学：人工的な生命の合成に伴う課題
- ・ 植物分子生物学：CO₂の制御、光合成の制御など食品、環境への応用に伴う課題。経済学の視点から、あるいは政治的な視点からの問題も登場。

[1] 2008年俯瞰ワークショップの総括

[2] 開催概要

[3] 各分野の俯瞰と研究動向

[4] ライフサイエンスの社会ビジョン
社会ニーズと倫理

[5] 重要研究領域案の選定から戦略
スコア切り出しに向けて

[6] 資料

研究と同時に倫理の問題をいきなり市民に提示するのではなく、情報発信、科学的あるいは倫理的情報を教育の中に導入する仕組み作りが重要である。研究者直接参加型の科学コミュニケーションや普及活動とは異なったパブリック・エンゲージメント（市民からだされた研究の倫理的問題を専門のコミュニティに取り込み、研究の動かし方、技術の応用の仕方を考える動き）を考え、社会による科学研究のガバナンスを扱うことができる人材の確保が必要である。従来の生命倫理は、特に日本においては、危険性の指摘と研究の批判を行う分野とわれてきた。世界的には、エシックス&ガバナンスという形で、社会と科学の接点にある問題を検討し、提言するという傾向を持ち、下記のような機関がある。

英国

(政策面)

- HFEA(Human Fertilisation and Embryology Authority) 、
- HGC(Human Genetics Commission) 他

(大学・研究センター)

- CESAGen (Centre for Economics and Social Aspects of Genomics) :
ランカスター大学・カーディフ大学
- Institute of Science and Society : ノッティンガム大学

(財団による独立の研究機関)

- Nuffield Council on Bioethics
- Wellcome Trust (研究支援)

カナダ

- HumGen (法と遺伝学研究センター) : モントリオール大学
- McLaughlin-Rotman Centre for Global Health : トロント大学 (中国や発展途上国におけるゲノム科学やバイオテクノロジーの社会との接点について精力的に研究)

米国

- Hastings Center (独立の生命倫理研究機関)
- ジョージタウン大学ケネディ倫理研究所

(上記2機関は、ゲノムELSI (1990年代初頭にヒトゲノム計画において、研究費全体の5%をEthical, Legal, Social Issues (implication)に使うとした計画)によるサポートを受けている)。

- Genetics and Public Policy Center (DirectorはKathy Hudsonという遺伝情報差別禁止法案GINA策定の中心的人物)
- 全米各地の大学に生命倫理、科学技術社会論(STS)の研究教育プログラム

- J. Craig Venter Institute (合成生物学のガバナンスに関するレポートを2007年10月に発表)

アジア諸国 (さらに詳しい調査が必要)

- シンガポール政府生命倫理委員会 (Bioethics Advisory Committee)
- Centre for Biomedical Ethics : シンガポール大学が2007年に設置
- 韓国や中国でも研究・人材育成のための活動開始の動き

これらの国々の取組みの特徴は、アカデミックなセクションに研究拠点があり、人材が配置され、シンクタンクの活動を実践している点、ならびに、科学研究現場に入りしてエシックス&ガバナンス関連の活動をしている人材がいる点にある。我が国は、生命倫理専門調査会など、政府の委員会が充実している一方、アカデミックについては必ずしもエシックス&ガバナンスが強いとはいえず、これらの機能を担うアカデミックなセンターの必要性が考えられる。

<p>日本においても「社会によるライフサイエンス研究のガバナンス」を検討する本格的なシステムが必要。</p>
<p>仮称: 社会生命科学センター</p> <p>対象: 医療ではなく、ライフサイエンス (例: 日本では、医療倫理に関する大学の講座や大型プロジェクトは存在するがライフサイエンスを中心に据えたものはほとんどない)</p> <p>例: ゲノム研究、合成生物学、幹細胞研究、植物分子生物学、ナノバイオロジー他。</p> <p>必要規模(案): 2012年に3~4ヶ所、2~3の大学院コース 2015年に15ヶ所のセンター、10の大学院コース</p>
<p>重要な点: 課題の検討をする人たち(研究者・若手大学院生など)が、人文社会科学分野、ライフサイエンスの研究分野、政策決定・実施の現場を行き来しながら育つこと。</p>

図4-2-2. エシックス&ガバナンスを担うアカデミックセンター構想(案)

例えば、エシックス&ガバナンスが比較的進んでいる東京大学医学部に設置されている「生命・医療倫理人材養成ユニット」では、臓器移植、終末期医療などの問題を扱っている。医療分野のみならず、ライフサイエンスにおいても、研究倫理、問題、社会的システム、インフォームド・コンセント等の問題を扱う組織の必要性が予想される。図4-1-2に示したような、エシックス&ガバナンスを担う組織の整備によって、人文社会系、ライフサイエンスの研究現場、政策決定実施の現場を行き来するような人材育成、融合領域の推進が期待される。

[1] 2008年俯瞰ワークショップの総括

[2] 開催概要

[3] 各分野の俯瞰と研究動向

[4] ライフサイエンスの社会セッション
社会ニーズと倫理

[5] 重要研究領域案の選定から戦略
スコア切り出しに向けて

[6] 資料

2007年11月にJST社会技術研究開発センター主催でフォーラムが開催され、同様の問題意識を持っている研究者たちが企画委員会を作り、『ライフサイエンスの倫理とガバナンスの構築に向けたステートメント』を発表した。

(参考)

「ライフサイエンスの倫理とガバナンス」の構築に向けて

現代社会では、先端科学技術が人々の生活に広範で深遠な影響を与えている。とりわけ、ライフサイエンスにおいては、ゲノム科学、再生医学、脳科学などの発展により、生命についての理解と技術開発が一体化して急速に進んでいる。こうした営みの成果は、医療や福祉の向上に大きく貢献することが期待される一方で、人間自身を含む生命にさまざまな操作を加えることが可能となり、生命の尊厳はらに関わる問題も孕んでいる。さらに、研究の目的や内容が、生命観や人間観などを含む従来の価値体系と軋轢あつれきを起こしかねない状況も生まれている。

したがって、社会との真の共生を実現しながらライフサイエンスの研究・開発を進めるためには、こうした状況について、倫理的・法的・社会的観点を含む多面的な視点からの十分な検討と配慮を行うことが不可欠である。それに加えて、俯瞰的で価値多様な視点を持ちあわせた研究・開発の新たなガバナンスも必要になっている。具体的には、研究課題の選定、研究資源の配分方法、成果の評価と社会的実践・応用、政策決定のプロセスなどを変革して新しい仕組みを作ることが必要である。

このような新しいライフサイエンスの倫理とガバナンス構築のためには、科学技術と社会とを架橋するとともに、自然科学と人文・社会科学の協働を進めることが急務である。具体的には、市民や産業界、政策立案者などを含む社会の多様なステークホルダー（意思決定による影響を受ける人々）と研究者とが協働して、研究・開発現場と応用における問題の抽出と対応策の検討を行うことが期待される。

研究者のコミュニティにおいては、その構成員は自分が研究者であると同時に社会の一員でもあるという自覚を、これまでも増して持つ必要がある。この高い自覚を促すために、研究プロセスを透明化する努力とそのための支援を受けられるような研究環境を整備することが求められる。さらに、次世代を担う人たちが新しいガバナンスに参画できるための教育システムの構築も必要である。

このような問題意識に基づき、「ライフサイエンスの倫理とガバナンス」フォーラム企画委員会は、以下のことを提言するとともに、そのための具体的な行動計画を作

成する。

1. ライフサイエンスの倫理とガバナンスについて、自然科学と人文・社会科学の専門家が協働する共通のプラットフォームを構築するために、関連する研究・教育機関、学協会、NPO、メディア関係者などの間のネットワーク化を図り、情報共有や人材交流を促進する。
2. 上記ネットワークを活用して、問題の抽出と解決という視点に立って次の活動を展開する。
 - ①国内外の研究動向と社会との接点に関する調査分析・予測
 - ②社会を構成する広範なステークホルダー間の対話と協働の促進
 - ③適正な倫理とガバナンスに基づいた研究実施体制の確立に向けた政策提言
 - ④以上を実践できる人材の育成と活躍できる場の創出
 これらを実現するために、関係者・関係諸機関の積極的な協力を要請する。

平成19年11月23日

「ライフサイエンスの倫理とガバナンス」フォーラム企画委員会

委員長： 札野 順（金沢工業大学科学技術応用倫理研究所 所長）

委員： 加藤 和人（京都大学人文科学研究所／

大学院生命科学研究科（兼任） 准教授）

河原 直人（早稲田大学 先端科学・

健康医療融合研究機構生命医療工学研究所 准教授）

児玉 聡（東京大学大学院医学系研究科 講師）

小林 傳司（大阪大学 コミュニケーションデザイン・センター 教授）

佐倉 統（東京大学大学院情報学環 教授）

福士 珠美（独立行政法人科学技術振興機構

社会技術研究開発センター 研究員）

本田 学（国立精神・神経センター神経研究所疾病研究第七部・部長）

武藤 香織（東京大学医科学研究所 公共政策研究分野 准教授）

(<http://www.ristex.jp/eventinfo/pascenter/forum/06/pdf/statement.pdf> より引用)

[1] 2008年俯瞰ワークショップの総括

[2] 開催概要

[3] 各分野の俯瞰と研究動向

[4] ライフサイエンスの社会セッション
社会ニーズと倫理

[5] 重要研究領域案の選定から戦略
スコア切り出しに向けて

[6] 資料

4-3. 脳神経倫理

脳神経倫理の一部として、脳神経科学のELSI（倫理的法的社会的諸問題）、たとえば、インフォームド・コンセント、fMRI等脳神経分野の研究実施に伴う偶発所見対応、倫理審査体制、被験者保護、個人情報保護などの問題が含まれる。従来の生命倫理、医療倫理の枠組みや方法論で対応できる要素もあるが、脳神経科学は人の思考、意識、自我、特に教育と知能、社会性、老化などの問題に直結しやすいという特徴を持っており、独自の問題も多く孕んでいる。脳神経科学には医工理文、経済、法、政治、教育など多様な分野が関わっており、それらのはざまに倫理問題が落ち込んでしまうという状況になっている。研究者と社会のコミュニケーションも大事だが、研究者内のコミュニケーション、関係者間のコミュニケーション活動も重要である。

JST社会技術研究開発センター「脳科学と社会」研究領域脳神経倫理研究グループでは、生命倫理・医療倫理と脳神経科学・医学のフロンティア接点で活動を行ってきた。その経験から、脳神経科学と人文系諸科学（哲学、経済学、法学など）との関係性を尊重し、4つほどのフロンティア接点を考慮する必要があることがわかってきた。

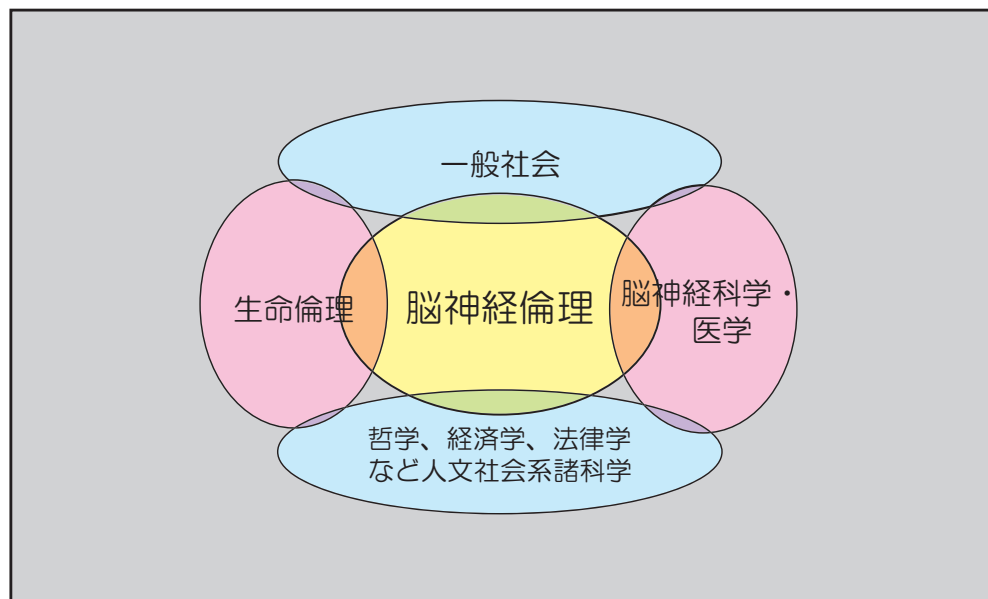


図4-3-1. 脳神経倫理と関連分野のフロンティア接点

脳神経倫理の研究は多岐にわたっており、総論から各論へ展開中である。人文社会系からの参加も多いが、いずれも時限付きのプロジェクトであり、研究成果や推進体制が、継承されにくい構造になっている。瞬間風速的には水準の高い研究でも、それをアセットとして次の世代に伝えていくという部分の仕組みが整っていない。欧米を倣った学会、学術雑誌などの組織化の振興、そのための人材養成、基盤整備、指令塔の確保が必要と考えられる。

< 国内の現状 >

現在活動中の関連プロジェクトは以下にあげられる。

- JST社会技術研究開発センター「脳科学と社会」研究領域脳神経倫理研究グループ（平成16年度～20年度）
- 文部科学省グローバルCOEプログラム「共生のための国際哲学教育研究センター」（平成19年度～23年度：東京大学）
- 文部科学省グローバルCOEプログラム「社会に生きる心の創成」（平成20年度～24年度：玉川大学）
- 文部科学省脳科学戦略研究推進プログラム（平成20年度～24年度：「日本の特長を活かしたBMIの統合的研究開発」東京大学研究班、平成20年度～22年度：「BMIを中心とした脳科学研究に対する倫理審査手法の開発」東京大学）
- NEDO国際共同研究先導調査事業（平成20年度：日本大学）

< 海外の動向 >

脳神経倫理の進んでいる欧米の動向をまとめると下表のようになる。以下に詳細を説明する。

表4-2-1. 欧米における脳神経倫理関連活動の動向

	政策・社会	学術コミュニティ	人材養成
北アメリカ	NIH職員向けのセミナー AAASによる研究会 Dana財団などが積極的にサポート 大統領生命倫理評議会でもテーマに CIHR(カナダ衛生研究所)が主導	アメリカ生命倫理学会、 全米神経科学会で積極的に取り組み Neuroethics Society 設立(2006～) 学会誌(<i>Am. J. Bioethics, J. Cog. Neurosci.</i>)	アメリカとカナダのいくつかの大学で副専攻などで学位取得可能(U Penn, Wisconsin, Harvard, UBC, Montreal など)
ヨーロッパ	市民参加型会議 (Meeting of Minds) の開催(2004-07) Brainnet Europe II(全欧脳バンクネットワーク)(2004-)	生命倫理、生命科学、脳神経科学、科学コミュニケーションなどの各学会で関連シンポジウム イタリア脳神経学会が研究者の倫理意識を調査(<i>Nature</i> 451, 2008)	短期集中型サマースクールなどが早期から対応 国ごとの多様性(宗教的背景など)

政策・社会面

北米（アメリカ・カナダ）：アメリカでは政府主導、あるいは財団の支援による研究会や市民向け啓発活動が主体。カナダにおいてもCIHR（カナダ国立衛生研究所）が主導的である。

ヨーロッパ：市民参加型の会議が盛んなほか、EUの脳バンクネットワークなどでトップダウン・ボトムアップ双方の社会対応が進んでいる。

[1] 2008年俯瞰ワークショップの総括

[2] 開催概要

[3] 各分野の俯瞰と研究動向

[4] ライフサイエンスの社会ビジョン
社会ニーズと倫理

[5] 重要研究領域案の選定から戦略
スコア切り出しに向けて

[6] 資料

学術コミュニティ面

北米（アメリカ・カナダ）：Neuroethics Societyという学会が2006年に立ち上がり、2008年より学術発表大会ができるということになっている。*American Journal of Bioethics*、*Journal of Cognitive Neuroscience*などがニューロエシックスの特集号や論文枠を設けている。

ヨーロッパ：イタリア神経科学会で研究者の倫理意識に関するアンケートが実施されネイチャーにレポートが掲載された。日本神経科学会は協力要請に対して組織的な対応が遅れており、今後の適切な対応が求められる。学術雑誌としては、Neuroethicsが2008年に創刊された。

人材養成面

北米（アメリカ・カナダ）：ダブルメジャー、副専攻を利用して学位取得可能なプロジェクトができています。ニューロエシックスをテーマとした博士号取得者が出現しています。

ヨーロッパ：大学教育における対応は北米ほど進んでいないが、短期集中型のサマースクール等を活用し、脳神経科学者、医療従事者に向けた社会人教育に対応している。

また、JST社会技術研究開発センターのプロジェクトが行った調査により、日本の一般市民は脳科学に対し、特に医学的な問題に対する高い関心が認められた。生活に結び付くという出口のイメージが明確な研究項目を提示すると、社会の理解、支持が得られやすいと考えられる。上記を踏まえ、脳神経倫理の当面の問題や今後対応が必要な項目を整理すると以下の通りになる。

- 医学系と非医学系のはざまの問題（倫理審査体制の相違の解消、医療倫理・技術倫理のすり合わせなど）
- 理科系と文科系のはざまの問題（異文化（異分野）交流に対応できる人材の不足）
- 研究者と一般社会のはざまの問題（トンデモノウハウ談に関する学術サイドの対応、研究者と社会の双方向コミュニケーションの場の確保）
- 脳科学の初等・中等教育への組み込み
- 脳神経倫理推進のためのインフラ整備（マネジメント、長期定点観測、ハブ機能などを担う、継続的な非競争型資金による中立性のある拠点の必要性）
- 人材育成（倫理教育のオーソライズ、キャリアパス）

4-4. ライフサイエンスの社会ビジョン、社会ニーズと倫理に関する質疑応答

生命倫理、脳神経倫理に関する質疑応答ならびにコメントは以下の通りであった。

- 宗教観とサイエンスに対する社会の理解の間の相関（関係）について
 - 今後調査が必要である。臓器移植に関して宗教観を交えたアンケート調査があったが、生命科学全般では実施されていないと思われる。ヨーロッパでは、カトリック教会が脳科学と社会の関係について対応している。
 - 宗教の違いが科学の在り方に影響を与えるというのが前提となる世界の中で、どのように科学を進め、最大の利益を人々に返すかというシステムをどう作るかは興味深い課題である。

- 脳神経倫理における最重要課題とは
 - 哲学にかかわってくる。生命倫理には合理的に判断できる主体が、標準系としてインフォームド・コンセントなどに現れてくる。しかし、脳のことが分かってくると、人の意思決定というのが実はそんなに合理的なものでないなど、今までの生命倫理や医療倫理が前提としていた、「自我による合理的な判断」という前提が成り立たなくなってくる。その倫理体系自体、あるいは、意思決定、社会を構成する個人に対するイメージを変える必要が生じるかもしれない。それは社会にとっていいことか、悪いことか、という問題が含まれるだろう。
 - 自由意志とは何かという問題を脳科学でどう考えるかに必ず問題がいくと思われる。サイエンティストなりに答えを準備することが必要になる。サイエンティストのための倫理教育を是非とも実施すべきである。
 - 日本では裁判員制度が導入されると、喫緊の問題として、脳科学者がきちんとした考え方というのを示す必要があると思われる。

- 秘密にしておきたい心の動きなども脳画像である程度分かってしまう技術が実現されると大変問題である。ただし、「脳神経倫理」という言葉を作らなくてはいけないほどの新規な領域かさらに検討が必要ではないか。

- 脳神経倫理は、科学者と社会双方の関心の高さから今後拡充されていくと予想される。関連して「日本の学校教育において、生命科学や脳科学の新しい事実を教えるべきだ」という指摘がある。社会を動かす主体と考えられる人文社会系の人たちが現代の生命科学、脳科学の進展に追従できる知識を持っているかという問題も予想される。脳神経倫理は（脳科学の知識普及に関して）大きな可能性を含んだ領域と位置づけられることから、より強力なサポートが望まれる。

[1] 2008年俯瞰ワークショップの総括

[2] 開催概要

[3] 各分野の俯瞰と研究動向

[4] ライフサイエンスの社会ビジョン
社会ニーズと倫理

[5] 重要研究領域案の選定から戦略
スコア切り出しに向けて

[6] 資料

4-5. ライフサイエンスの社会ビジョン、社会ニーズと倫理に関する討議概要

生命倫理ならびに脳神経倫理からの話題提供と質疑応答を踏まえ、それぞれ以下のようなディスカッションが行われた。

<生命倫理>

ライフサイエンス分野の研究推進に必要な融合的分野として、自然科学系ばかりではなく、倫理・ガバナンスを担う人文科学分野との融合・相互交流が重要である。米国では、15年近く前からヒトゲノム研究の5%をELSI研究に配分するという、「ゲノムELSI」に取り組んできた。その成果として、人文社会系から育った人材が研究センター、医学部などに所属して活躍し、ナノ、合成生物学、iPS細胞、幹細胞、ニューロサイエンスなどに進出し、新しい分野の倫理・ガバナンスを担っていくという形で、人材育成と科学の発展がかみ合っている。ただし、いかにして(自然科学と人文科学の)統合プログラムをどう作るかについても今でも課題が残る。我が国においても「生命科学に関わる倫理」「生命倫理に関わるガバナンス」を担い、社会調査等を客観的にを行い、政策に反映させるシステムの中核機関の形成と人材育成が必要と考えられる。

以上のような観点から、生命倫理分野の推進、科学と社会の接点領域において期待される役割について以下のような意見が提起された。

- 大学全体における当該分野への対応（学科やセンターの設置）は遅れている。
- 人材育成のノウハウが大学に不足している。
- 医療倫理人材養成は文科省と大学の連携によって実現したが、後に続く機関が出てこない。
- 旧来の生命倫理・医療倫理は70年代型。90年代型の生命科学に対応する倫理はゼロから立ち上げる必要がある。ただ資金援助をしても医療倫理研究に飲み込まれるだけではないかと思われ、工夫が必要である。
- 倫理・ガバナンスに無関心な科学研究者層への啓発が重要である。
- 研究生活の中での倫理意識の向上にはPIの認識が不可欠である。

<脳神経倫理>

脳神経倫理には、旧来の生命・医療倫理によって対応が可能な問題のほか、脳神経分野に特有で旧来は十分に扱われてこなかった問題の双方が含まれている。脳神経科学と社会のコミュニケーションにとどまらず、脳神経分野に関わる多様な研究領域間のコミュニケーションの場の提供、ならびにコミュニケーションを促進する人材育成が必要である、という認識のもと、以下の点に関して議論がなされた。

- 初等・中等教育に脳科学を取り込むための脳科学のあり方を議論する必要がある。「ハブ機能の設置」「目利き人材の発掘・養成」「倫理意識の視覚化」「“格下感”を払拭するキャリアパスの呈示」などの課題を解消する必要がある。
- 倫理研究における継続的支援体制が重要である。
- 脳神経科学研究の社会受容と宗教の関連性を深める必要がある。
- 脳神経科学が進んでいくと意思決定の過程など人間観そのものが覆っていく成果が出てくる可能性があり、注意深く研究の進捗をフォローし、対応する必要がある。
- 「自由意志」という観点からの裁判員制度と脳神経科学との関係性について、意見をとりまとめ世の中に問う必要がある。
- 脳神経倫理という用語設定の必要性（既存の哲学だけでは対応できないのか）について、再検討する必要があるか。
- 人文科学系研究者の科学リテラシー向上を図る努力をする必要がある。

[1] 2008年俯瞰ワークショップの総括

[2] 開催概要

[3] 各分野の俯瞰と研究動向

[4] ライフサイエンスの社会ビジョン
社会ニーズと倫理

[5] 重要研究領域案の選定から戦略
スコア切り出しに向けて

[6] 資料

<総合討論>

ユニットからの説明と、生命倫理、脳神経倫理の発表・討論を踏まえて、ライフサイエンス研究と協働する倫理・ガバナンスを推進するという観点から、以下のような意見が提起された。

- 生命科学研究と社会の間にあるギャップは予想以上（遺伝子組み換え作物、GMO）であるという認識を持つ重要性が指摘される。
- GMOリテラシーは予想以上に低い。どこにレベル設定をした啓発や説明をしたらよいか、研究者だけでは判断が難しいことが問題である。
- GMOのトンデモ科学化への懸念がある。
- GMOは、もはや植物科学者だけの努力ではガバナンスが困難である。
- 研究ガバナンスに直接かかわる人たち、例えばサンプルをもらう人たち、GMOであれば栽培者などが、国の決定に対して対処方針を準備するシステムが必要である。
- 研究のガバナンスを集中的に行うレベルと市民の意識の把握・教育問題の検討など、広く社会の問題を考えるレベルの二つで行動する必要がある。
- 学校教育におけるダブル・スタンダード（中学校の理科・社会教育における科学技術への認識のギャップ、たとえば米国における進化生物学とキリスト教義にもとづく天地創造の教えなど）の問題を是正する必要がある。
- 日本のライフサイエンス教育のあり方（生命の尊厳、自然に対する畏敬の念の教育をもっと取り込むべきではないか）を再検討すべきである。
- 指導要領によるヒトの生命科学、生命倫理教育への制約（10年に1回しか改訂されない教科書）に柔軟に対応すべきではないか？
- メディアの持つ影響力の大きさ（テレビ番組における納豆ダイエット問題、角膜に記憶が宿る、等々）を自覚し、科学的な取り上げ方をしよう注意を促す必要がある。
- 技術的なレベルや事実の調査や、評価なしに制約をしてしまう、日本型生命倫理の短絡的反応の問題（例:iPS細胞→生殖細胞作成の禁止）を是正する必要がある。
- ナノテクノロジーの人体への危険性についてはどこで議論されるのか？さらに、注意喚起が必要である。
- 研究者内部でのガバナンスを「研究者の勝手」と曲解されないような配慮も必要である。
- 「オープンサイエンス」がもつデータの大容量化、アクセス権の拡大化により不作為で個人情報等へのアクセスが可能になる恐れがあるなどの問題にもっと注意を払う必要がある。
- 知財・研究者個人の権利（個人情報、著作権）を尊重しつつ、国家予算による研究成果をオープンリソースにする方策の必要性を検討する必要がある。

4-6. ライフサイエンスの社会ビジョン、社会ニーズと倫理から示唆されたライフサイエンス研究の将来展望

社会ビジョン・社会ニーズという観点からライフサイエンス研究の推進体制の中において、生命倫理・脳神経倫理をどのように扱っていくべきか、という問題は、これまで日本のライフサイエンス政策において重点的に話し合われる機会が少なかった。ライフサイエンス関連7分野のフェローとともに、生命倫理・脳神経倫理分野からの話題提供者、ならびに科学技術政策担当者が本ワークショップにおいて、上記課題について直接議論した意義は大きい。

科学技術の推進と社会ニーズの充足（社会実装）を前提に「倫理」の実践、ガバナンスのあり方を検討することは、いわば従来の生命倫理にはなかったライフサイエンス研究と生命倫理分野との相互作用を常に起こすというパラダイムシフトにつながる。このパラダイムシフトによって、幹細胞の再生医療応用に向けたトランスレーショナルリサーチ、あるいは脳情報の臨床応用を見据えた基盤技術開発や前臨床研究などの途上に生じる倫理・社会的・法的課題をリアルタイムで検討していくことが可能となり、ライフサイエンスの倫理・ガバナンスの実践方法のモデルケースにつながる事が期待される。ただし、パラダイムシフトを支える人材の育成や長期的な支援体制の整備は現状では遅れている。特に、ライフサイエンス分野の知識と倫理・ガバナンスの実践知を備え持つような橋渡し人材の登用や育成のシステム整備は急務である。

上記を踏まえ、ライフサイエンス研究を倫理的側面から支援する人材の育成システムの確立、活躍の場の創出を推進することにより、効果的な基礎研究の社会還元に向けたライフサイエンスの研究開発サイクルが形成され、将来的な日本のライフサイエンス研究の充実につながっていくと期待される。

[1] 2008年俯瞰ワークショップの総括

[2] 開催概要

[3] 各分野の俯瞰と研究動向

[4] ライフサイエンスの社会ビジョン
社会ニーズと倫理

[5] 重要研究領域案の選定から戦略
スコア切り出しに向けて

[6] 資料

5. 重要研究領域案の選定から戦略スコープ切り出しに向けて

5-1. 重要研究領域案の作成経緯

本セッションでは、事前インタビューで抽出された重要研究領域案を参加者全員で共有し、萌芽性（エマージング：ライフサイエンス分野内の融合研究）および融合性（インターフェース：ライフサイエンスと他分野の融合研究）といった観点からそれぞれの領域案の重要性について議論を行った。また、6分野の俯瞰図を統合した融合俯瞰図にこれらの領域を投影することにより、それぞれのライフサイエンス全体における位置付けや社会ニーズ充足までの時間軸等についても検討した。

5-1-1. 研究者インタビュー

本ワークショップ開催にあたり、ライフサイエンス・ユニットでは平成18年度に作成した俯瞰図の見直しを行った。そしてこの俯瞰図から将来有望と考えられる重要研究領域を抽出するために、国内の大学、研究機関等の有識者へインタビュー（図5-2-1）を実施した。なお有識者の選定にあたっては、機関の長や学会の代表等の歴任者、あるいは学術・科学技術分野で高い実績を上げている研究者を中心にユニットが独自に選出した。

インタビュー研究者リスト

<ul style="list-style-type: none"> ・ 石原 孝二 東大 ・ 磯貝 彰 奈良先端大 ・ 長田 裕之 理研 ・ 加藤 和人 京大 ・ 狩野 方伸 東大 ・ 川人 光男 (株)ATR ・ 木村 實 京都府立医大 ・ 香月 祥太郎 立命館 ・ 小原 雄治 遺伝研 ・ 斎藤 通紀 理研 ・ 酒井 邦嘉 東大 ・ 佐倉 統 東大 ・ 佐谷 秀行 慶応 ・ 篠崎 一雄 理研 ・ 清宮 啓之 癌研 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 高木 利久 東大 ・ 高柳 広 東京医科歯科大学 ・ 竹市 雅俊 理研 ・ 竹田 潔 阪大 ・ 中内 啓光 東大 ・ 難波 啓一 阪大 ・ 尾藤 晴彦 東大 ・ 福田 裕穂 東大 ・ 藤田 直也 癌研 ・ 町田 泰則 名大 ・ 松岡 信 名大 ・ 松島 綱治 東大 ・ 宮坂 昌之 阪大 ・ 柳田 敏雄 阪大 ・ 山崎 達美 中外製薬(株) ・ 山中 伸弥 京大・iPSセンター
---	--

敬称省略、50音順

図5-1-1. インタビュー研究者リスト

有識者へのインタビューでは、事前に俯瞰図案と質問票（下記参照）を送付し、効率的な情報収集活動に努めた。また、意見聴取の際にはJSTが作成した国際比較報告書なども参考にし、研究開発のトレンドを意識しつつ重要領域を提案して頂いた。

【インタビューにおける質問事項】

1. 俯瞰図の妥当性について

(ア) 図上の研究領域の網羅性、妥当性、位置の適切性など。

2. 注目すべき研究領域、課題

(ア) 図上の研究領域の中で、特に注目すべき研究領域、課題など

(イ) 上記研究領域を取り上げる理由

(ウ) 主要な研究者

(エ) 分野全体として大きな流れなど

3. 国内外の主要施策情報

(ア) 当該分野での主要な科学技術政策、研究プロジェクトなど

(イ) 各施策の内容の俯瞰図上の位置付け

4. ライフサイエンス分野以外の分野との接点

(ア) ライフサイエンス分野と強く関連する他の研究分野の領域、課題、あるいは関連する技術やツールについて

5. 社会へのアウトカム

(ア) 近年達成された社会に貢献する成果

(イ) それらの成果は、どの研究領域（の組み合わせ）から得られたか

(ウ) 今後、ライフサイエンス分野はどのような社会ニーズに貢献すべき、あるいは、貢献できるか？

[1] 2008年俯瞰ワークショップの総括

[2] 開催概要

[3] 各分野の俯瞰と研究動向

[4] ライフサイエンスの社会ビジョン、社会ニーズと倫理

[5] 重要研究領域案の選定から戦略スコープ切り出しに向けて

[6] 資料

5-1-2. インタビュー結果にもとづく重要研究領域案の抽出

31名の有識者に対するインタビューでは、様々な研究領域が提案された。CRDSでは、これらの領域から重複するものや今回対象としない研究システムに関するテーマを除外し、28の研究領域まで絞り込みを行った。さらに、これらの28領域について領域の大きさ、領域相互の関連性などの観点から精査し、それらを統合することにより最終的に19の研究領域をとりまとめた（図5-1-2、表5-1-1）。

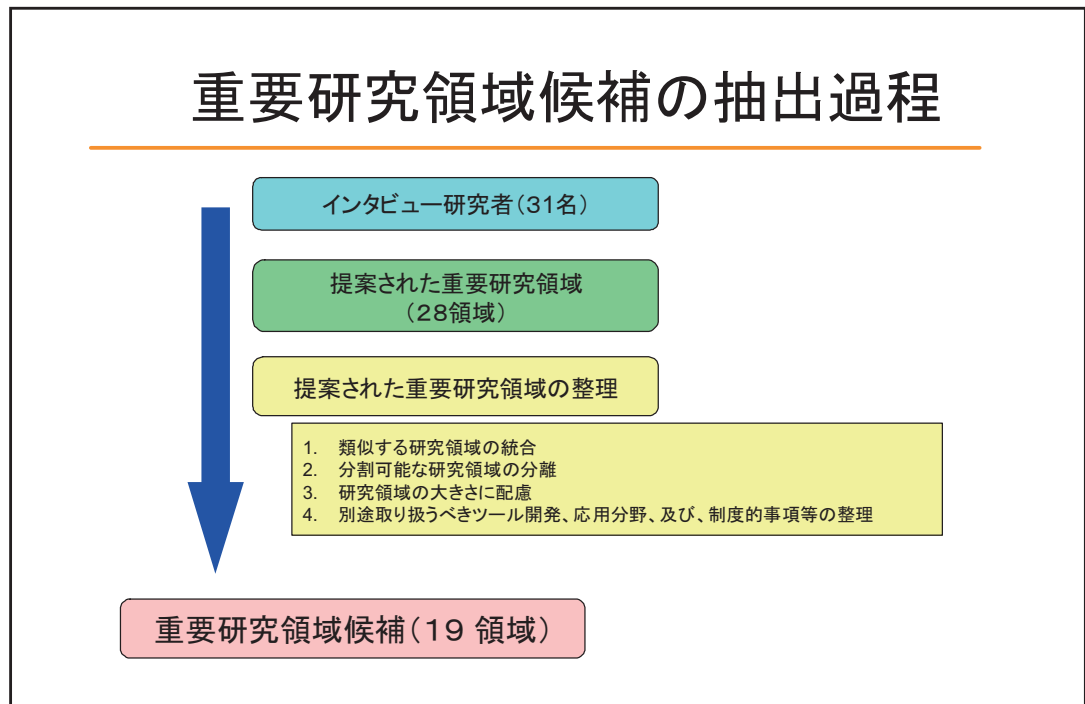


図5-1-2. 重要研究領域候補の抽出経緯

表5-1-1. 抽出された19の重要研究領域

	重要研究領域名	略称
1	個別のゲノム解析に基づく生物・医学、個別医療の推進	個別ゲノム
2	生物システムの制御特性	生物システム
3	ペタバイト時代のバイオインフォマティクス	ペタバイトインフォマ
4	定量的分子計測・操作による神経シナプスの構造・機能モデルの構築	神経シナプス
5	神経回路のシステムダイナミクス	神経回路
6	自律的脳活動	自律的脳活動
7	言語や動作による概念操作の脳内処理機構	概念脳内処理
8	Cancer stem cell(がん幹細胞)とニッチ	がん幹細胞
9	がんの微小環境	微小環境
10	がんのトランスレーショナルリサーチ	がん TR
11	ケミカルバイオロジーによるがんの理解と制御	がんケミカルバイオ
12	細胞運命決定機構の解明に基づく有用細胞調整技術の確立	細胞運命
13	免疫システムの四次元制御	免疫システム
14	「神経」・「内分泌」・「免疫」、高次統合制御	神・内・免、高次統御
15	免疫器官の人工構築技術	人工免疫器官
16	作物生産の向上にシステム「植物成長力」増強基盤技術	植物成長
17	生物間相互作用の解明に基づく環境調和型植物の作出基盤技術	生物間相互作用
18	光合成と環境応答の最適化と植物群落構築の分子生態メカニズム	光合成と環境
19	がんの治療と予防に有用な評価指標の確立(生体での(分子)イメージング技術・分子ツール開発・動物モデル系開発)	がんの評価指標

(順不同)

[1] 2008年俯瞰ワークショップの総括

[2] 開催概要

[3] 各分野の俯瞰と研究動向

[4] ライフサイエンスの社会ビジョン、社会ニーズと倫理

[5] 重要研究領域案の選定から戦略スコア切り出しに向けて

[6] 資料

5-2. 融合俯瞰マップの作成と重要研究領域の位置付け

抽出された19の研究領域は、基本的に分野別俯瞰図をベースに提案されたものである。そのため、これらは特定分野における重要な研究領域と位置付けられる。しかしながら、それらの内容を詳細に分析すると、他の分野と関連が深いものや分野間を繋ぐ領域となっているものが複数存在している。そこでCRDSでは6つ俯瞰図を統合した融合俯瞰図を作成し、19の研究領域のライフサイエンス全体における位置付けやそれぞれの関係性などを明らかにすることとした。

領域を投影する融合俯瞰図を次ページに示す(図5-3-1)。本俯瞰図の二軸にはベースとなる分野別俯瞰図にある二軸をそのまま採用した。すなわち縦は構造軸、横は機能軸が設定されている。次に、この融合俯瞰図上に、分野別俯瞰図にある全ての領域を展開させた。展開にあたっては、分野別俯瞰図の構造軸を意識し、研究内容の近い領域はできるだけ接近させてマッピングした。なお、領域は出身分野が分かるように色分けし投影している(ゲノム・機能分子:黄色、脳神経:ピンク、発生・再生:橙、免疫:青、がん:緑、植物科学:黄緑)。また技術・ツールについては、対象とする生命体の階層(構造軸)に沿って、俯瞰図外に記載されている。

図5-2-2は、表5-1-1にある19の重要研究領域を図5-2-1に投影したものである。本マップからは、抽出された重要領域が6分野のいずれかの分野に特定のものであるか、また分野間で共通したものであるか、さらに領域の広がりなどの程度あるか、などを把握することができる。

またこの図を用いると、抽出された重要研究領域の俯瞰図上の他の領域との関係や重要領域間の相関等が可能となる。さらに、研究の進展によって、どのような社会ニーズを充足するかを確認することも可能である。例えば、幹細胞研究を例にとると(図5-2-3)、「分子レベル」では発生や分化に関係する因子の同定、「細胞レベル」では幹細胞の分化・誘導の研究、「組織・器官レベル」では幹細胞から組織や器官の形成を誘導する研究などが挙げられ、「技術・ツール」としては生体外で組織を構築するための培養技術などが確認できる。

また研究シーズからではなく、充足すべき社会ニーズから研究領域を抽出することも可能である(図5-2-4)。例えば、「生物環境を持続的に保つ」という社会ニーズを充足するために増大する「窒素」の処理技術に必要な研究開発を考察すると、生物環境の処理量を超えて生産される窒素量の制御を指向した研究領域、窒素を高濃度で固定する植物個体の作出や脱窒素細菌の育種、などが浮かび上がる。また、それらの研究開発に必要な育種技術や培養技術など関連する技術・ツールを欄外のリストから抽

出することも可能である。

以上のように本融合俯瞰マップは、ライフサイエンス研究の方向性や重要領域の位置付け、社会還元までの研究開発の展開などを把握することが可能であり、研究戦略の立案等に有効であると考えられる。

[1] 2008年俯瞰ワークショップの総括

[2] 開催概要

[3] 各分野の俯瞰と研究動向

[4] ライフサイエンスの社会ビジョン、社会ニーズと倫理

[5] 重要研究領域案の選定から戦略スコープ切り出しに向けて

[6] 資料

融合俯瞰マップ

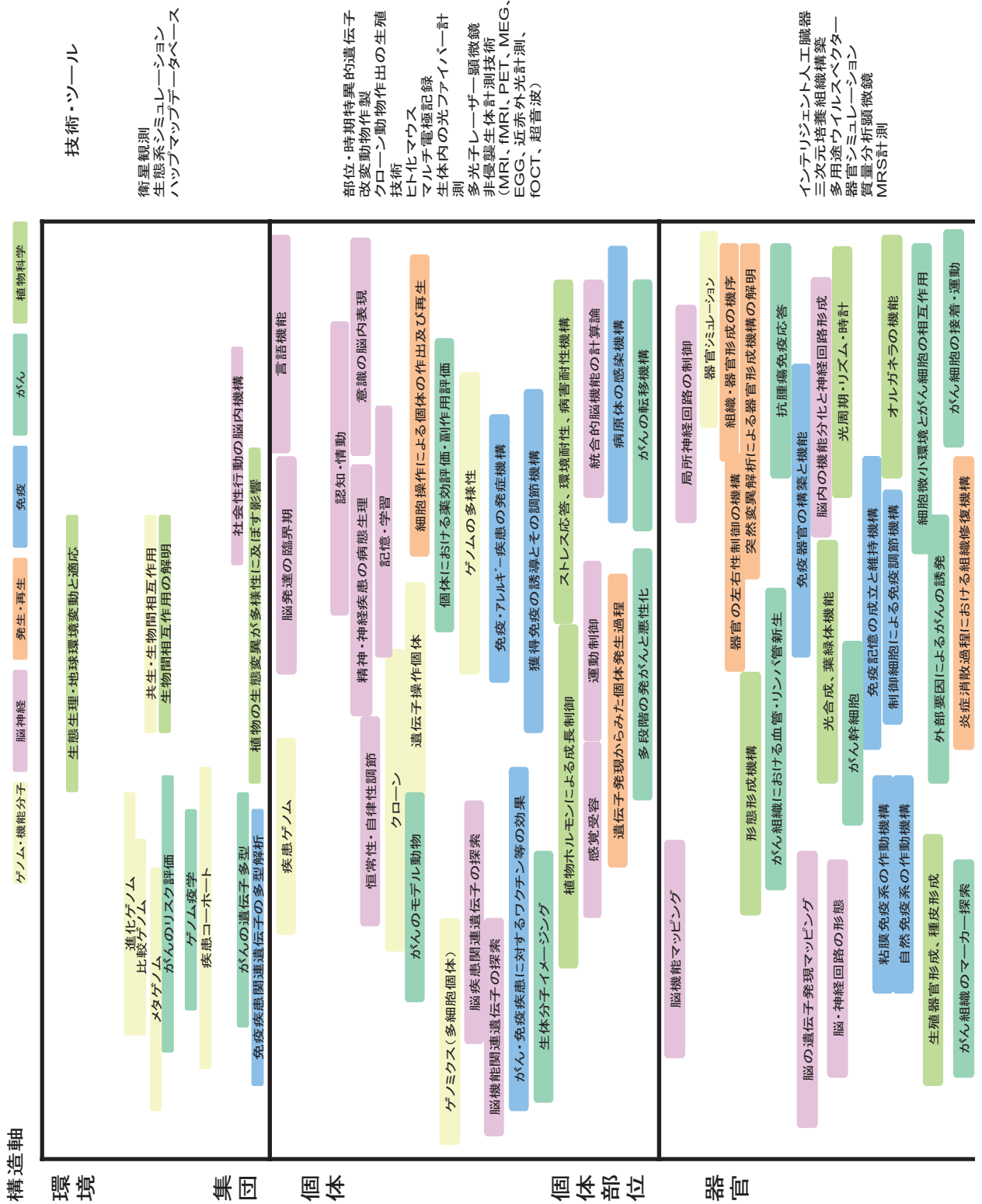
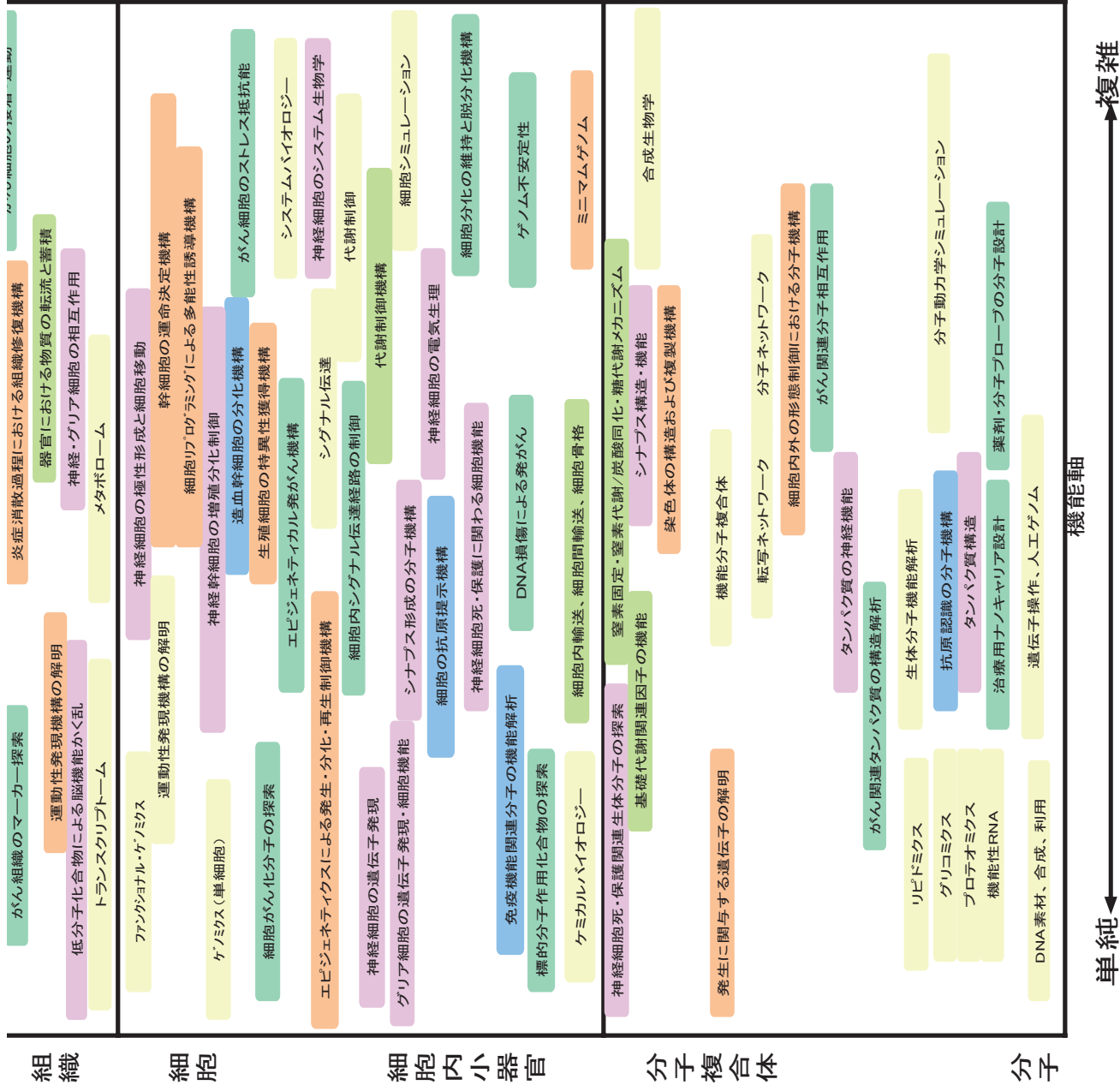


図5-2-1. 融合俯瞰マップI



細胞への高効率遺伝子導入技術
細胞内物質導入技術
毒素による局所タンパク質の標的破壊
人工ウイルス
細胞内機能解析用蛍光プローブ
分光顕微鏡
プローブ顕微鏡
位相差電子顕微鏡
細胞シミュレーション
質量分析による物質同定技術
光チャネルによる細胞膜興奮性制御技術
iPS細胞樹立技術
生細胞中の一分子操作

無細胞人工タンパク質合成
全ゲノムマイクロアレイ
分子相互作用計測技術
高速大規模DNAシーケンサー
生体資料のX線・放射光解析
極低温電子顕微鏡による分子構造解析技術
分子動力学シミュレーション
一分子物性計測技術

[1] 2008年俯瞰ワークショップの総括

[2] 開催概要

[3] 各分野の俯瞰と研究動向

[4] ライフサイエンスの社会ビジョン、社会ニーズと論議

[5] 重要研究領域案の選定から戦略スコープ切り出しに向けて

[6] 資料

融合俯瞰マップ

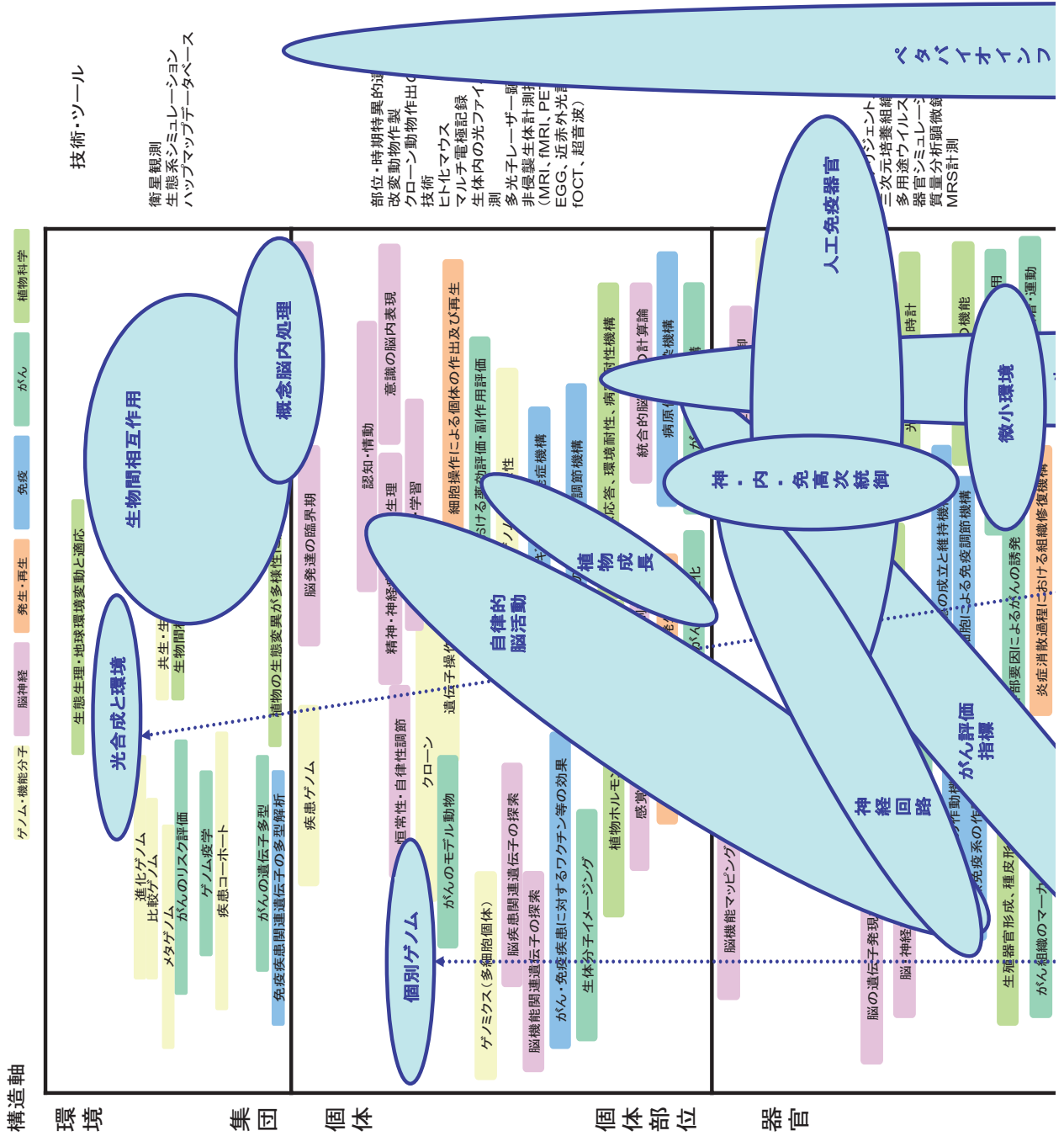
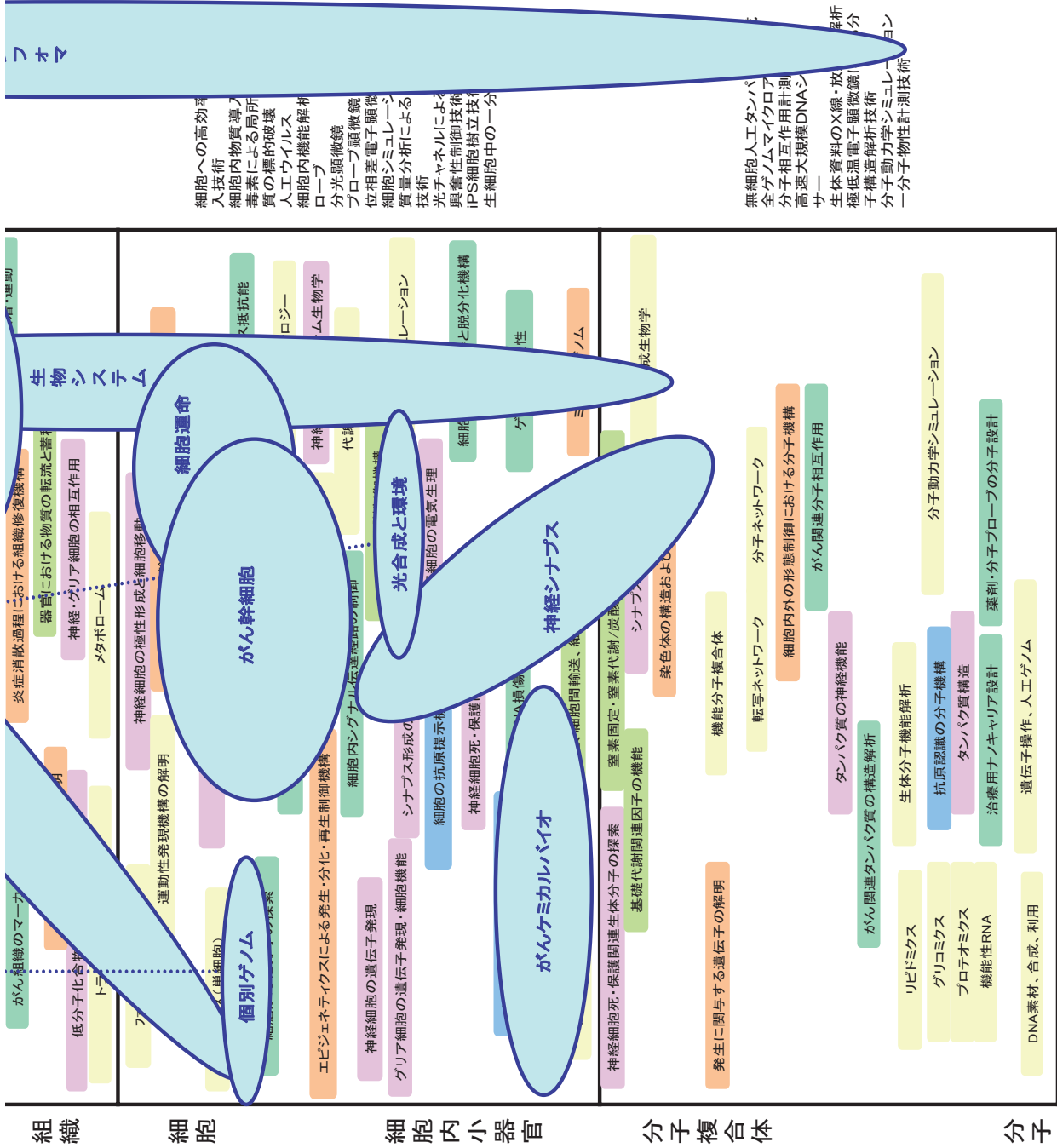


図5-2-2. 融合俯瞰マップII



[1] 2008年俯瞰ワークショップの総括

[2] 開催概要

[3] 各分野の俯瞰と研究動向

[4] ライフサイエンスの社会ビジョン、社会ニーズと論理

[5] 重要研究領域案の選定から戦略スコープ切り出しに向けて

[6] 資料



図5-2-3. 融合俯瞰マップIII

[1] 2008年俯瞰ワークショップの総括

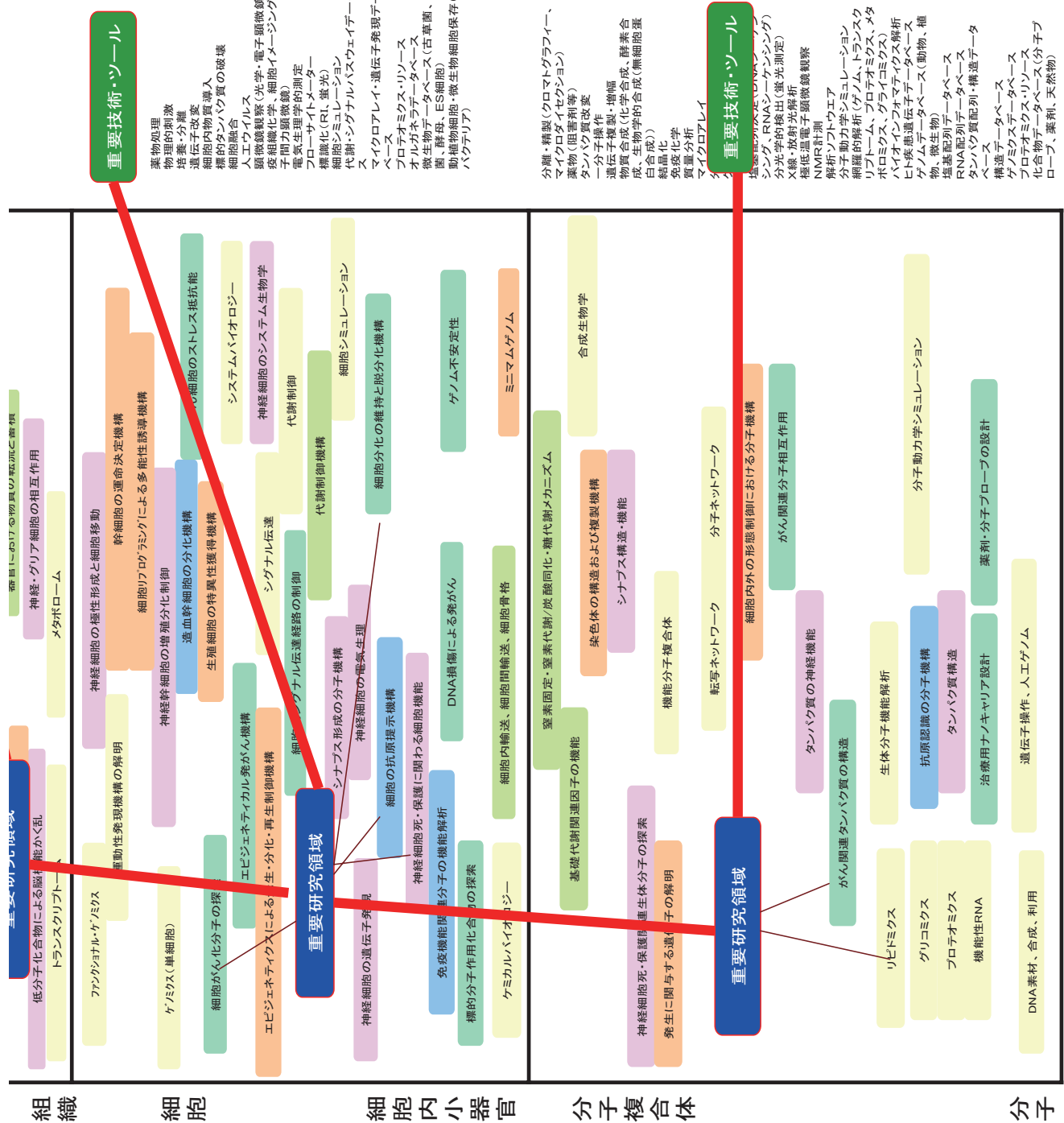
[2] 開催概要

[3] 各分野の俯瞰と研究動向

[4] ライフサイエンスの社会ビジョン、社会ニーズと論理

[5] 重要研究領域案の選定から戦略スコープ切り出しに向けて

[6] 資料



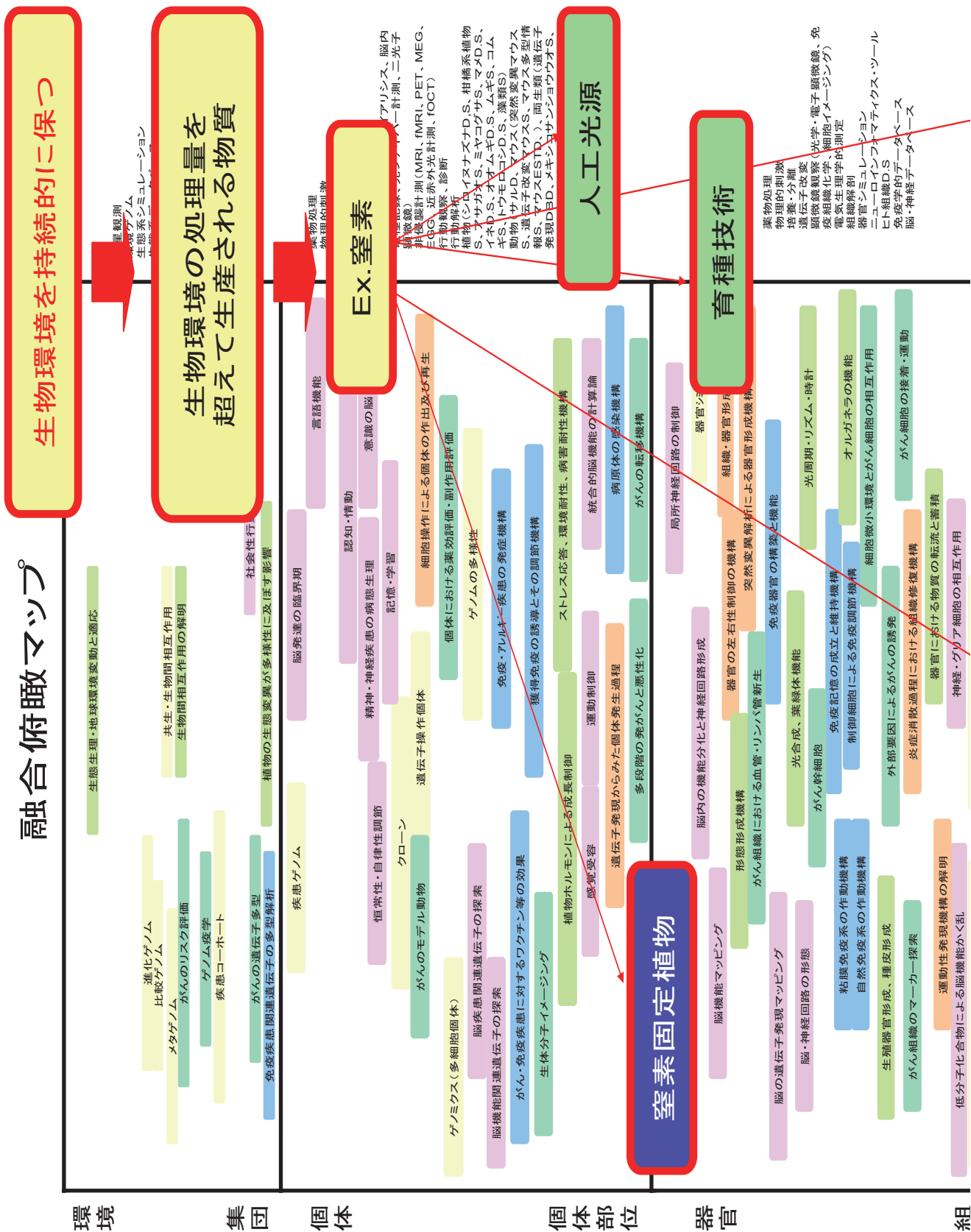
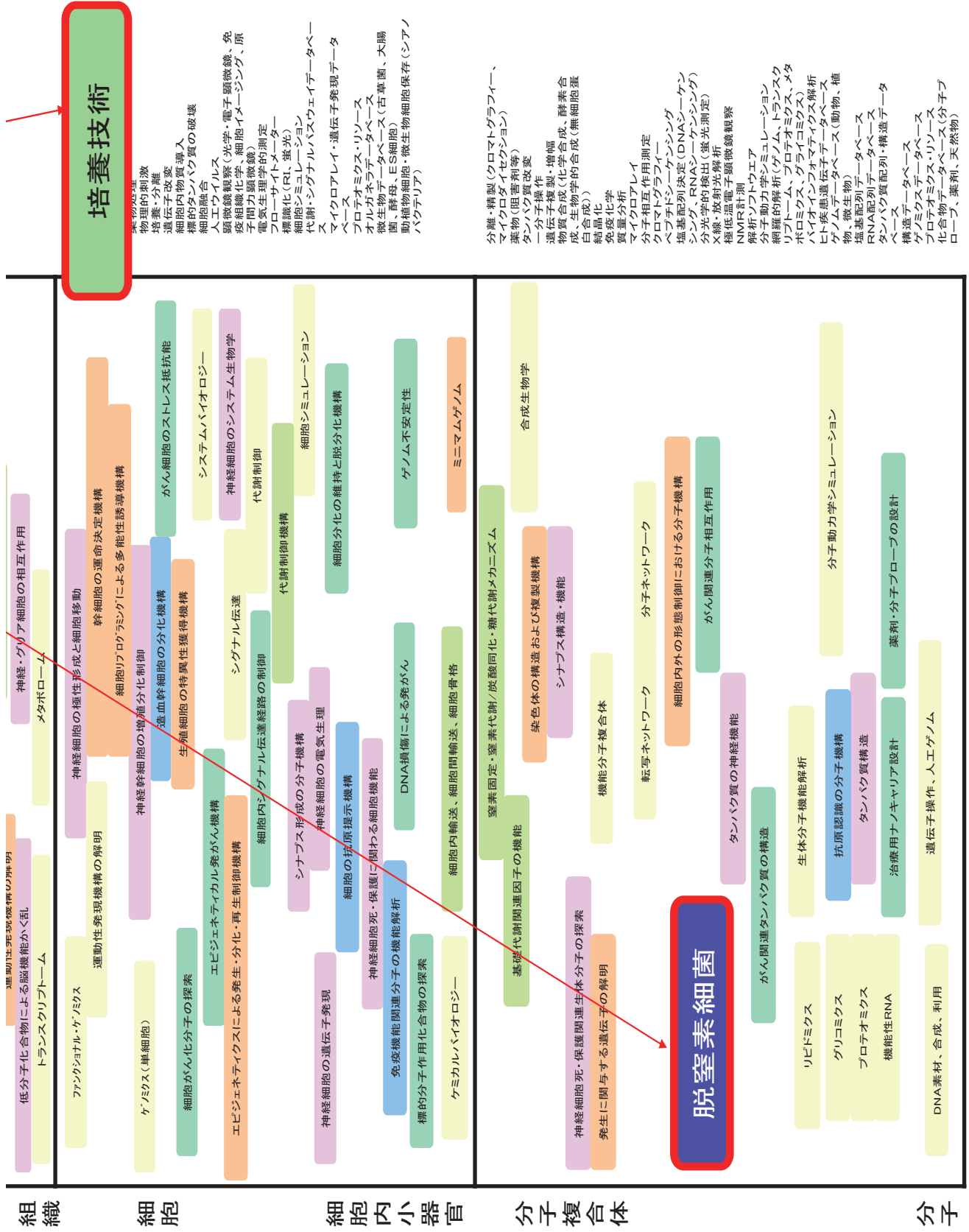


図5-2-4. 融合俯瞰マップIV



[1] 2008年俯瞰ワークショップの総括

[2] 開催概要

[3] 各分野の俯瞰と研究動向

[4] ライフサイエンスの社会ビジョン、社会ニーズと論理

[5] 重要研究領域案の選定から戦略スコープ切り出しに向けて

[6] 資料

5-3. 重要研究領域案の選定から戦略スコープ切り出しに向けての討議概要

5-1に示した重要領域ならびに5-2に示した融合マップを基に有識者間で議論された内容は以下の通りである。

<既出の19領域以外の追加案について>

－微生物の基礎研究はバイオエネルギー生産の手段として、またバイオマス増産技術の観点からも重要であり、体系的なサポートが必要である。

<個別分野からの補足意見>

・ゲノム分野

－「ゲノム」は究極のデジタル情報。対象は多様であるが有限であるのが特徴。

－究極の個人情報の管理・遺伝子差別への対応など、倫理問題の並行的な対応が必要、コホート研究の社会受容・説明責任についても考慮すべき。

－膨大な生物情報の蓄積により、ペタバイオインフォマティクスの時代が到来する。
(大量且つ個別のゲノム情報、画像データ、大容量の情報・知識の抽出・保管など)

－ITや数学・工学分野の研究者の参入が必要。

・脳神経分野

－INCF (国際ニューロインフォマティクス会議)において細胞・回路レベルのインフォマティクス研究の隆盛が実感された。

－課題 (仮説) フリーな実験による成果創出の可能性も考慮されるべき。

－脳神経分野の融合にはトップダウンでも大学における人材育成が可能なしくみが必要である。

－言語・情動・コホートに関する研究の重要性についても認識がのぞまれる。

・発生・再生分野

－再生研究には比較的大きな予算が投じられているが、発生研究は十分とはいえない。

－臓器構築の実現には相応の年月が必要である。

－個々の生体機能を反映する体性幹細胞の培養技術の充実が不可欠である。

・免疫分野

－神経内分泌研究は研究者が十分とはいえず、人材育成から支援が必要である。

－人工免疫研究の推進と実用化には医工連携推進が必須である。

－個々の免疫システムを発展させた生体内の時空間的制御研究を推進し、真の実用化に繋げるべきと考える。

・がん分野

- －がん幹細胞（がん形成細胞）・がん微小環境については、若手の参入を支援する体制が必要である。
- －がんのTR、ケミカルバイオロジーに関して、応用分野、産業化を見据えた推進体制の検討が必要である。

・植物分野

- －環境保全を含んだ農業技術の確立が今後重要となる。
- －植物成長と生物間相互作用はある程度の大きさのプロジェクトに応じた研究者層が存在し、投資後のリターンは大きい。
- －グローバルな視点からの研究シーズの抽出とトランスレーショナル研究（実験室からフィールドへの展開）の需要は医学研究に通じるものがある。

<総合討論>

- ・分子イメージングはPETという技術やがん分野といった特定の領域だけでなく、様々な技術・研究分野において縦断的な支援が必要である。
- ・微生物研究は明示的ではないがあらゆる研究分野に潜在している。今後DNAの合成技術の進展にともない、より単純な細胞系は重要になる。基盤技術の構築といった観点からこの分野への投資は必要である。
- ・国際ゲノムファンダーズ会議などでは、ヒトゲノム計画終了後、各国の連携・協力の機運が薄れているが、日本には国を超えた連携研究に対応してほしいとの期待がある。
- ・バイオリソース（DBも含む）のインフラ整備に係る永続的な財政基盤支援が必要である。
- ・大型備品の高額化、競争的に獲得した個人の資金で備品を買い研究する時代は終わりにつつある。コアファシリティ整備についても検討すべき。
- ・生命の創出・不老不死実現など、人間の知的な欲求にもとづいた研究をトップダウン型の研究としてどのように扱うか検討が必要である。

[1] 2008年俯瞰ワークショップの総括

[2] 開催概要

[3] 各分野の俯瞰と研究動向

[4] ライフサイエンスの社会ビジョン、社会ニーズと倫理

[5] 重要研究領域案の選定から戦略スコープ切り出しに向けて

[6] 資料

5-4. 戦略スコープの策定に関する考察概要

以上のような議論を踏まえ、ライフサイエンス・ユニットでは、19の重要研究領域から、早急に着手すべきと考えられる研究領域を10の戦略スコープとして取りまとめた。

戦略スコープの策定方法は、以下のとおりである。

- 19の重要研究領域案を、ワークショップでの議論、エマージングおよびインターフェースといった観点から再整理した。この際、同じ研究領域として検討することが適当と考えられる領域については統合し1つの領域とした。
- 再整理した重要研究領域については、それらの研究開発によって実現される社会ニーズを明確にした。
- 社会ニーズが明らかになった重要研究領域は、想定される研究課題、期待される研究成果、提案の根拠（科学技術上の背景等）、提案の位置付け（俯瞰図上の位置付け）などを明確にした。
- 妥当性が確認された戦略スコープについては、社会ニーズを充足するまでに必要な期間ならびに進行中の他の施策との関係性等を明らかにし、着手すべき時期について、さらなる検討を加えた。

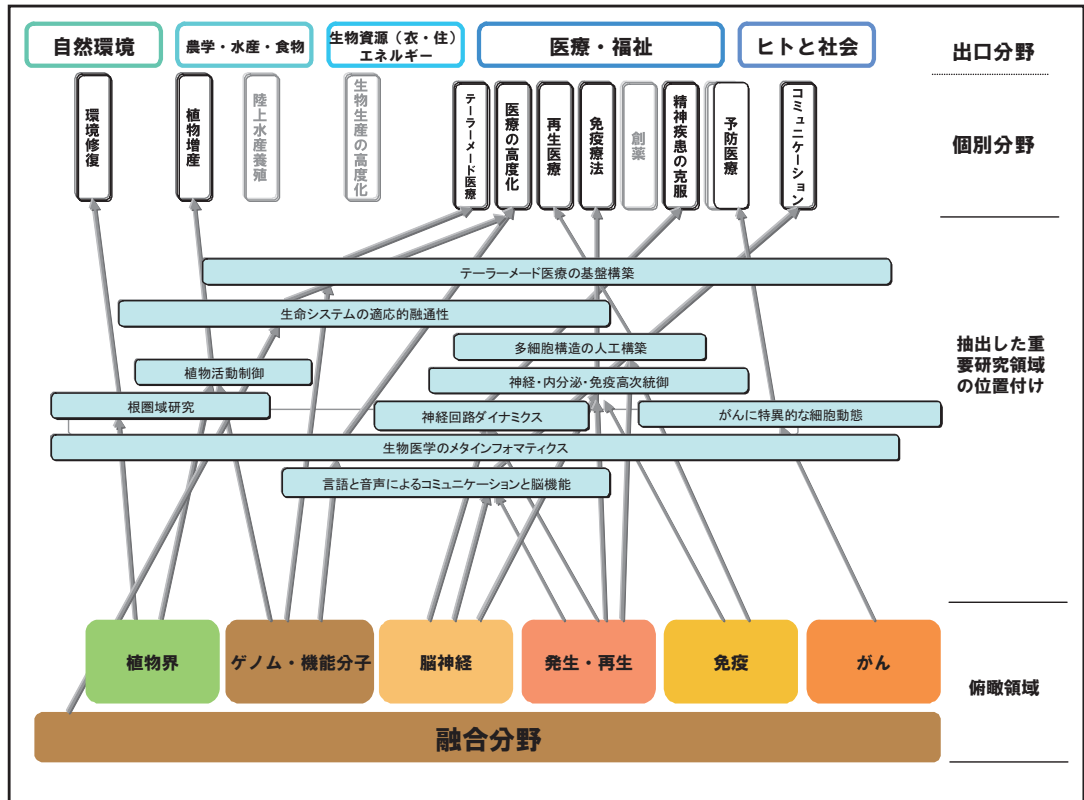
なお科学技術としての重要性は明らかであるが、社会ニーズとの関係が必ずしも明確でない重要研究領域は今回の作業から除外し、引き続き、今後の動向等を注視していくこととした。

以下に策定した10の戦略スコープを示す（順不同）。

1. 生物医学の多様な情報を扱うメタインフォマティクス
2. 生体に適応する多細胞構造（組織、器官等）の人工構築
3. 根圏域研究による植物環境修復技術の実用化
4. がんの特異的な細胞動態の解明とその制御
5. 言語と音声によるコミュニケーションと脳機能
6. テーラーメイド医療の基盤構築
7. 「神経」・「内分泌」・「免疫」ネットワーク
8. 神経回路のシステムダイナミクス
9. 植物の活動を自在に制御するシグナリング技術
10. 生命システムの適応的融通性の解明

図5-4-1に分野別俯瞰図と抽出した10の戦略スコープとの対応関係、戦略スコープの広がり、戦略スコープにある研究開発の実施後に実現される社会ニーズをまとめた。その結果、多くの戦略スコープは予防医療、精神疾患の克服、免疫療法など「医療・福祉分野」での社会ニーズの実現するものとして整理された。また自然環境、農学・水産・食物分野については、植物の俯瞰図を基に抽出された複数のスコープが設定されている。いずれも環境問題に関するものとなっているが、これらは温暖化等の緊急性の高い課題を解決するための重要な基礎研究と位置付けられる。

CRDSでは上記10テーマから、より緊急性が高いと考えられる戦略スコープを複数選定し、有識者によるワークショップの開催や国際動向調査等を踏まえ、具体的な研究開発課題や推進方策等をまとめた「戦略プロポーザル（提言書）」を作成していく予定である。また、本スコープと社会ニーズ、社会ビジョン、それらの出口分野の関係性についても、継続的に分析と見直しを行う。



矢印を用いて関連の深い研究分野を起点とし、社会ニーズ充足までの道筋を示した。

図5-4-1. ライフサイエンスユニットが抽出した重要領域

[1] 2008年俯瞰ワークショップの総括

[2] 開催概要

[3] 各分野の俯瞰と研究動向

[4] ライフサイエンスの社会ビジョン、社会ニーズと倫理

[5] 重要研究領域案の選定から戦略スコープ切り出しに向けて

[6] 資料

6. 資料

6-1. 分野別俯瞰マップ（3-1）に記載された用語の説明

ゲノム・機能分子分野

- 遺伝子操作個体

遺伝子、遺伝子系を操作した生物個体によるゲノム機能の解析等を行う研究：遺伝子や遺伝子系の導入、置換、破壊などにより遺伝子操作個体を作成し、ゲノム機能の解析等を行う。また、それらの個体を実験、育種などに利用する研究を含む。

- 遺伝子操作、人工ゲノム

遺伝子操作や人工ゲノムによる遺伝子工学の研究：遺伝子操作のためのベクター開発、遺伝子回路設計など遺伝子工学技術の研究開発を行う。人工ゲノムや人工染色体の研究を含む。

- 器官シミュレーション

器官の動態や機能をシミュレーションする研究：分子、細胞、器官のレベルのモデルを単独あるいは組み合わせて、その動態や機能発現の過程をシミュレーションにより再現し、器官の動態を解明する。

- 機能性RNA

遺伝子の発現調節、酵素機能の発揮など機能性RNAに関する研究：転写や翻訳とは異なる遺伝子の発現調節、酵素機能を持つ機能性RNAの構造と機能の研究。また、機能性RNAを用いた遺伝子サイレンシングのメカニズムに関する研究を含む。

- 機能分子複合体

生体超分子や機能分子複合体の構造と機能の研究：べん毛モーター、セルロソーム、膜受容体、葉緑体、プロテオソームなどの機能分子複合体の構造と機能の解析とその利用を図る研究開発。

- 共生・生物間相互作用

共生生物など生物間の相互作用の研究：共生生物や病原体の宿主への感染など生物間に見られる複雑な相互作用を分子レベルで解析する。

- グリコミクス

生体に存在する糖鎖を網羅的に解析する研究：生体に存在する糖鎖の構造と機能を網羅的に解析する。糖脂質など他の生体成分と結合したのものも含む。

- クローン

同一のゲノムを持つ生物個体の作出と発生の解析を通じてゲノム機能を解明する研究：同一のゲノムを持つ細胞や生物のクローンの作出やその分化、成長の解析を通じてゲノム機能の解明を行う。作出されたクローンを医療、産業に利用する技術開発を含む。

• ゲノミクス (単細胞)

単細胞生物のゲノムを網羅的に解析し、物理地図を作製する研究：原核、真核の単細胞生物のゲノムを網羅的に解析し、ゲノムの物理地図を作製する。ウイルスも含む。遺伝子機能についてデータベースに注釈をつけるなどの研究を含む。

• ゲノミクス (多細胞生物)

多細胞生物のゲノム構造を網羅的に解析し、その物理地図を作成する研究：動物、植物など多細胞生物のゲノム構造を網羅的に解析し、染色体にその位置をマッピングした物理地図を作成する。遺伝子機能についてデータベースに注釈をつけるなどの研究を含む。また、ゲノムの非翻訳領域における遺伝子以外のゲノム機能を網羅的に解析する研究を含む。

• ゲノムの多様性

生物種の平均的なゲノムを扱うのではなく、同一生物種の個体間や近縁種間のゲノムのSNIPや全塩基配列を解析し、遺伝的背景と環境的背景の比較などを通じて生物におけるゲノムの多様性とその表現型の関係を解析する。多様性の解析結果をオーダーメイド医療等に活かす研究等を含む。

• ケミカル・バイオロジー

生体分子の相互作用を、低分子化合物を用いて解析する研究：遺伝子やタンパク質などの生体分子の機能を、生体分子と相互作用する低分子化合物を用いて解析する。相互作用を制御できる低分子化合物を創薬等に応用する研究を含む。

• 合成生物学

人工的に設計、合成した遺伝子回路を微生物又は動植物細胞で発現させ、その機能を解析する研究：バクテリアもしくは動物細胞の中で働くゲノムとは独立した小規模の遺伝子回路（プログラム）を設計、導入し、細胞中で様々な機能の発現機構を解明することにより、生命を統合的に理解する。

• 細胞シミュレーション

細胞の動態や機能をシミュレーションする研究：分子レベルで構築した細胞モデルを用いて、その動態や機能発現の過程をシミュレーションにより解明する。

• シグナル伝達

細胞内又は細胞、組織間の情報伝達と生体機能の解明の研究：細胞内、細胞間、組織間の情報伝達の仕組みと生体機能の発現を解明する。

• システムバイオロジー

生命をシステムとして捉え、システムを構成する生体分子のネットワークの情報処理の観点から解明する研究：生命をシステムとして捉え、システムを構成する生体分子のネットワークの動態解析に基づき、システムの動作原理を情報処理の観点から解明する。

[1] 2008年俯瞰ワークショップの総括

[2] 開催概要

[3] 各分野の俯瞰と研究動向

[4] ライフサイエンスの社会ビジョン、社会ニーズと倫理

[5] 重要研究領域案の選定から戦略スコア切り出しに向けて

[6] 資料

- 疾患ゲノム

ゲノム解析から疾患の遺伝的要因を網羅的に解析する研究：糖尿病、高血圧など多因子疾患について、ゲノムの網羅的解析を通じて関与する遺伝子やその多型などの遺伝的要因を明らかにし、発症解明を行う。分子病態解析の研究も含む。

- (ゲノム) 疾患コホート

特定の患者集団のゲノム解析から遺伝的な疾患原因の解明を行う研究：特定の疾患患者集団のゲノム解析を通じた遺伝因子と環境因子の抽出やゲノム構成から患者集団を細分類する集団単位で疾患要因に係るゲノム解析を行う。

- 進化ゲノム

進化的に異なる生物のゲノムの比較から進化を解明する研究：チンパンジーとヒトなど同じ系統で異なる進化を遂げた生物、化石と現世種、進化上重要な系統に位置する生物間などのゲノムを比較することにより進化の解明を目指す。

- 生体分子機能解析

生体で重要な機能を発揮する生体分子の研究：受容体、キナーゼ、ユビキチンなど生体内で重要な機能を発揮する生体分子の構造、機能を解析する。

- 代謝制御

代謝産物と代謝を制御する生体分子の解析から代謝制御の機構を解明する研究：脂質、糖、アミノ酸、核酸などの代謝産物とそれらの代謝に関わる生体分子の解析から代謝制御の機能を解明する。

- DNA素材、合成、利用

DNAを素材に工学的な利用を図るための研究：DNAを素材にバイオセンサ、人工的遺伝子機能調節剤の作製など工学的応用を図るための研究。人工遺伝子やゲノムとなる長鎖DNAの合成技術の開発なども含む。

- 転写ネットワーク

転写制御ネットワークを網羅的に解析する研究：遺伝子制御に関わるゲノムネットワーク、転写因子複合体とゲノムの相互作用、クロマチン修飾やゲノムメチル化などのエピジェネティクスを網羅的に解析する。

- トランスクリプトーム

ゲノムから転写されたRNAの機能を網羅的に解析する研究：ゲノムから転写されたRNA集団の構造と機能を網羅的に解析する。Non-coding RNAの網羅的解析研究を含む。

- 比較ゲノム

異なる生物のゲノムの比較から機能を解明する研究：異なる生物間のゲノムにおいて構造の類似性、関係する機能、発現の時期や場所などを比較することによりゲノム機能を解明する。

- ・ファンクショナル・ゲノミクス
ゲノム機能を網羅的に解析する研究：RNA干渉を用いた遺伝子サイレンシングなどを利用し、ゲノム機能を網羅的に効率よく解析する。
- ・プロテオミクス
生体に存在する全タンパク質を網羅的に解析する研究：生体に存在するタンパク質の構造と機能を網羅的に解析する。タンパク質複合体や他の生体分子との複合体を含む。
- ・分子動力学シミュレーション
分子の動態、機能発現の過程をシミュレーションする研究：分子モデルを用いてその動態や機能発現の過程を分子動力的シミュレーションにより解明する。
- ・分子ネットワーク
細胞内の分子ネットワークの構造と機能を解明する研究：細胞内の代謝パスウェイ、情報伝達やカスケードなどの分子ネットワークにおける情報処理や機能発現の仕組みを解明する。
- ・ミニマムゲノム
生命に必要な最小限のゲノムセットを解明する研究：微生物等の染色体から遺伝子を削り、必要最小限のゲノムセットとその機能を解明する。特定の機能だけを残し、不要な遺伝子を削除した微生物等を生物生産に応用する研究を含む。
- ・メタゲノム
複数の生物が混在した生物叢のゲノム総体を解析する研究：海洋や土壌など分離、培養できない未知の微生物が混在した生物叢のゲノム全体を対象として解析する。新規な遺伝子の探索や環境の指標としての利用などを目的とする。
- ・メタボローム
様々な状態の細胞の代謝物質の網羅的測定から細胞環境と代謝を統合的に解析する研究：様々な環境下の細胞の代謝物質の網羅的な測定をもとに細胞環境と代謝変化と統合的に解析し、恒常性の維持機構を解明する。
- ・リポドミクス
生体に存在する脂質を網羅的に解析する研究：脂質代謝の過程で生体に存在する脂質や生体を構成する脂質の構造と機能を網羅的に解析する。

脳・神経分野

- ・意識の脳内表現
脳機能イメージングにより意識に対応した脳内活動の指標（マーカー）を探索し、そのマーカーを利用した意識の評価系の研究開発。

[1] 2008年俯瞰ワークショップの総括

[2] 開催概要

[3] 各分野の俯瞰と研究動向

[4] ライフサイエンスの社会ビジョン、社会ニーズと倫理

[5] 重要研究領域案の選定から戦略スコア切り出しに向けて

[6] 資料

- 運動制御

身体を動かすための中枢神経系から末梢神経、筋にいたるまでの情報伝達機構の研究。3次元空間内における身体状態の認識や姿勢制御、および外乱に対する身体の適応機構研究なども含む。

- 感覚受容

末梢の知覚神経による刺激の受容機構とその中枢神経系への伝達機構の研究。慢性的な痛覚過敏が引き起こされる際の、それら受容機構及び伝達機構の病態研究なども含む。

- 局所神経回路の制御

脳内の局所的な神経回路で生じている神経伝達や神経伝導のシステム的な振る舞いについて測定・解析し、その制御機構を明らかにする研究。

- グリア細胞の遺伝子発現・細胞機能

発生・発達時、及び、成体においてグリア細胞に特有に発現する遺伝子の探索やその振る舞いについて測定・解析し、グリア細胞の機能特性と遺伝子発現の関連を明らかにする研究。

- 恒常性・自律性調節

体温、血圧、睡眠等の個体レベルでの恒常性や自律性を維持する機構、及び、その機構が体内・体外の環境変化に応じてどのように調節をされているかを解明する研究。

- シナプス構造・機能

プレシナプスにおける神経伝達物質放出とポストシナプスにおける伝達受容過程に関わるタンパク質複合体の構造と機能に関わる研究。

- シナプス形成の分子機構

刺激に応じたシナプス形成のための細胞内情報伝達機構とシナプス形成に関わる細胞内分子構造に関する研究。

- 社会性行動の脳内機構

社会性を持つ動物について、その社会における階層性（上下関係）の形成や、情報の伝達様式の形成に関して、どのような脳内機構と関連しているかを見いだす研究。

- 神経・グリア細胞相互作用

神経細胞の生存や活動性、神経細胞間のシナプス伝達効率に対するグリア細胞の働きと、グリア細胞機能の神経細胞による制御の研究。

- 神経細胞死・保護関連生体分子の探索

神経細胞に細胞死を誘導する物質、及び、細胞死ストレスから細胞を保護する物質の探索研究。

- 神経細胞死・保護に関わる細胞機能

虚血、神経変性疾患等による神経細胞死を引き起こす細胞死シグナルの活性化機構とその抑制による保護機構の解析研究。
- 神経細胞の遺伝子発現

単一の神経細胞、及び、複数の神経細胞群における遺伝子発現を解析し、特有の神経細胞機能の特徴付ける遺伝子発現パターンを明らかにし、また、遺伝子操作によりその遺伝子発現が機能に関連することを実証する研究。
- 神経細胞の極性形成と細胞移動

神経細胞が特定の方向性を持った細胞移動や樹状突起あるいは軸索の伸展による極性形成を引き起こす細胞機能の研究。
- 神経幹細胞の増殖分化制御

発生・発達時、及び、成体において神経幹細胞が示す増殖能の制御やどのような細胞に分化するかを決定する情報伝達機構に関する研究。
- 神経細胞の電気生理

神経細胞の細胞体、軸索、樹状突起における電気的特性を解析する研究。隣接する細胞からの情報伝達や関連薬物による神経細胞への作用による神経細胞の電気的特性に関する研究も含む。
- 精神・神経疾患の病態生理

精神・疾患患者及び病態モデル動物に対し、行動異常や病態と各脳領域の生理機能、及び、関連する脳内化学物質の動態との関連を明らかにする研究。
- タンパク質の神経機能

神経細胞およびグリア細胞において発現し細胞機能に関わるタンパク質が、どのような活性を有しているかを解析し、そのタンパク質としての特性が特有な細胞機能の発現に関わる仕組みを明らかにする研究。
- タンパク質構造

神経細胞及びグリア細胞において発現しているタンパク質の立体構造を明らかにする研究。立体構造の変化を解析する研究も含む。
- 低分子化合物の脳機能かく乱

精神・神経機能に影響し異常を引き起こす生体内の低分子化合物（ステロイドホルモン等）、及び、生体外から摂取する低分子化合物（内分泌かく乱物質等）の同定し作用を解明する研究。
- 脳機能関連遺伝子探索

脳・神経関連遺伝子の改変動物を用いて認知・情動に関わる行動異常を指標に認知・情動に関与する遺伝子を探索する研究。
- 脳機能マッピング

非侵襲的イメージングを用いて健常者の他精神・神経疾患患者の脳の領域の体積や形状といった形態的特徴、及び、領域活動性の機能的特徴を解析する研究。

[1] 2008年俯瞰ワークショップの総括

[2] 開催概要

[3] 各分野の俯瞰と研究動向

[4] ライフサイエンスの社会ビジョン、社会ニーズと倫理

[5] 重要研究領域案の選定から戦略スコア切り出しに向けて

[6] 資料

- ・脳疾患関連遺伝子の探索

ヒトの精神・神経疾患患者を対象としたゲノム疫学研究により、病態に関連した特定の遺伝子変異、欠失ゲノム領域等の同定を行う研究。

- ・脳・神経回路の形態

脳内の局所的な神経回路を形成する神経細胞間の結合、ならびに特定の脳領野間や神経核間を連結する神経結合の形態的特徴を明らかにする研究。

- ・脳内の機能分化と神経回路形成

脳の発達過程において個々の機能的・形態的に区別できる領域の分化や特定の神経回路が形成される機構解明に関する研究

- ・脳の遺伝子発現マッピング

脳の発達段階や学習、機能異常に応じて発現する遺伝子（群）を同定し、その遺伝子（群）の脳各所における発現パターンを明らかにし、個々の脳領域の機能的特徴との連関を解析する研究。

- ・脳発達の臨界期

知覚、行動様式等獲得が生後の一定時期にのみに大きく影響を受ける現象について、脳の構造と機能の発達機構がどのように関与するかを解析する研究。

発生・再生分野

- ・遺伝子発現からみた個体発生過程

下等生物、昆虫、魚、ハエ、植物を対象にして、個体への発生過程に関与する、遺伝子群や、転写因子などによる発現制御機構を解明する研究。

- ・運動性発現機構の解明

細胞と細胞外マトリックスとの接着性の制御機構、接着・脱接着を誘起する分子機構から、細胞から、組織、器官レベルの運動性発現の基本的機構・原理を解明する研究

- ・エピジェネティクスによる発生・分化・再生制御機構

受精卵、幹細胞、生殖細胞、体細胞を対象として、発生、分化、再生にかかわる遺伝子の発現調節機構の解明を行う研究。

- ・炎症消散過程における組織修復機構

感染あるいは障害後の炎症消散過程での組織幹細胞の発動による組織修復機構。線維化も含む。

- ・幹細胞の運命決定機構

幹細胞が未分化の状態から脱する機構、そして、動機つけられた幹細胞が多様な細胞系譜へ分化する過程で始動する機構を細胞レベルで探求する研究。

- ・器官の左右性制御の機構

鳥類やマウスの臓器の形態および配置の左右性、魚類（ヒラメ・カレイ）の眼に

おける左右非対称性など、器官レベルの極性を対象にした、現象から制御機構を探求する研究。

- 細胞操作による個体の作出および再生
 - 下等生物、魚類において、染色体操作、核移植、始原生殖細胞移植といった手法による、個体の作出、ならびに再生に関する研究。
- 細胞内外の形態制御における分子機構
 - 発生、分化に伴う、細胞内の構造、細胞外からみられる神経突起などの形成現象に関与する分子群の解明、および情報伝達網を解析する研究。
- 細胞リプログラミングによる多能性誘導機構
 - ウイルスベクターなどを用いた転写因子の導入・発現による体細胞のリプログラミングにおける転写因子ネットワークの動態を解明する研究。
- 生殖細胞の特性獲得機構
 - 胎児期の始原生殖細胞から成体生殖器内の精子、卵子へ至る、生殖細胞の特性獲得過程を、細胞生化学的、および遺伝学的研究により、解明することを目指す研究。
- 染色体の構造および複製機構
 - 減数分裂の過程において、生殖細胞内で観察される染色体のダイナミズムに関与する分子群の解明、および染色体の分配機構に関する研究。
- 組織・器官形成の機序
 - 下等生物、魚、ハエ、カエル、マウスを対象にして、体幹、脳、眼、腎臓、神経回路、また、植物の器官の形態形成機構の解明、並びに下等生物の器官、体幹の再生に関する、現象からのアプローチを主とした研究。
- 突然変異解析による器官形成機構の解明
 - 突然変異を生じさせた魚類、マウスを作出し、この動物の解析により器官への分化機構に対して洞察を行う研究。
- 発生に関与する遺伝子の解明
 - 線虫、ヒドラ、ハエなどの下等生物を対象として、発生に関与する特定の遺伝子の同定や、関与遺伝子の発現調節機構、その転写物の機能の解明を行う研究。

[1] 2008年俯瞰ワークショップの総括

[2] 開催概要

[3] 各分野の俯瞰と研究動向

[4] ライフサイエンスの社会ビジョン、社会ニーズと倫理

[5] 重要研究領域案の選定から戦略スコップ切り出しに向けて

[6] 資料

免疫分野

- 獲得免疫の誘導とその調節機構

獲得免疫の主体を担うT細胞やB細胞の分化経路選択の分子メカニズムを解析するとともに、免疫機能分子（Toll様レセプターや副刺激分子）を発現する樹状細胞などの制御細胞による獲得免疫系の初期発動に及ぼす役割を明らかにし、獲得免疫システムの制御機構の解明を目指す研究。

- 癌・免疫疾患に対するワクチン等の効果

癌抗原や自己抗体分子の解析を基に、ワクチン効果が期待される抗腫瘍分子や樹状細胞を設計し、疾患モデルマウスに対する効果の検討や移植モデルマウス等を用いて新規免疫抑制候補物質や免疫調節細胞による臓器の生着延長効果を判定する研究。

- 細胞の抗原提示・認識機構

樹状細胞などの抗原提示細胞において、主要組織適合遺伝子複合体（MHC）が細胞内で分解されてできた抗原ペプチドを細胞表面に提示するメカニズムを解析し、胸腺内での自己抗原反応性T細胞を死滅させる中枢性免疫寛容の成立、末梢リンパ組織での獲得免疫系の活性化、末梢性免疫寛容の誘導や保持（maintenance）機構などを解明する研究。

- 自然免疫系の作動機構

好中球、マスト細胞、好酸球、マクロファージ等に発現するToll様レセプターに作用するリガンドやシグナル伝達経路及び転写制御機構を解析し、自然免疫系の病原体認識機構、細胞障害機能及び獲得免疫の作動機構を解明する研究。

- 制御性細胞による免疫調節機構

制御性T細胞、樹状細胞、制御性樹状細胞、Th細胞、NKT細胞等、免疫機構の調節に関与が認められている細胞を、人工的に除去・誘導することにより、免疫寛容をはじめとする免疫制御システムを明らかにし、免疫機構の任意制御を目指す研究。

- 造血幹細胞の分化機構

個体発生における造血系の発生機構や、造血幹細胞からリンパ球系前駆細胞や骨髄球系前駆細胞などの特異的前駆細胞へと分化経路の選択、最終的に成熟血液細胞へと分化し、免疫系を含む造血系が形成される機構を分子レベルで解明する研究。

- 粘膜免疫系の作動機構

消化管や呼吸器等の粘膜組織において、免疫機能を担う細胞（群）の同定、リンパ球の動態、病原体侵入時のマクロファージ等の異物認識機構の解析、粘膜免疫系の作動機構の解明に関する研究。

・病原体の感染機構

病原体の侵入と定着に関与する分子の同定や、感染細胞の同定と体内伝播の仕組み、標的組織の決定など、感染初期における病原体と宿主の相互作用を解析する研究。

・免疫・アレルギー疾患の発症機構

リウマチなどの自己免疫疾患やアレルギー等の免疫疾患の病態形成に関与する細胞やサイトカインなどの作用機序や、病原体などの外的因子の疾患発症への関与などを解析し、病態発症機構を解明する研究。

・免疫記憶の成立と維持

記憶細胞の形成と維持にかかわる遺伝子の発現制御機構の解析、記憶ネットワークの同定、および記憶細胞の寿命と機能発現関連因子の同定などを行い、免疫記憶の分子機構を明らかにする研究領域。

・免疫器官の構築と機能

胸腺、リンパ節、パイエル板などの二次リンパ組織の形成に関与する遺伝子の機能を、遺伝子改変モデル動物等の解析から明らかにし、リンパ組織の発生・形成機構の解明等から、臨床応用可能な人工リンパ組織を構築する研究。

・免疫機能関連分子の探索と機能解析

抗体、MHC、サイトカインおよびその受容体、転写因子、キナーゼなど、免疫系の機能に直接関与するタンパク質の探索や、それら遺伝子発現調節機構を解明する研究。

・免疫疾患関連遺伝子の多型解析

免疫疾患のコホート研究や臨床試験等で得られた個体ごとの遺伝子型及び表現型を解析し、病気の発症や薬剤の効果・副作用等と遺伝情報との関連性を明らかにする研究。

・免疫反応における細胞間相互作用

T細胞、B細胞、抗原提示細胞（樹状細胞やマクロファージ）等の免疫応答における細胞間相互作用や、細胞の遊走・ホーミングの過程を、細胞間接着分子、副刺激分子、ケモカインやサイトカイン等の機能解析を中心に明らかにする研究。

がん分野

・エピジェネティック（発）がん制御

遺伝子を永久的に不活化する機構として、突然変異に加えて、エピジェネティックな異常がある。エピジェネティック異常には、薬剤により元に戻すことが可能である、一見正常に見える組織にも蓄積している、などの特徴がある。エピジェネティック異常の誘発機構、標的遺伝子、がんの性質との関連、解除方法などを解明し、がんの予防・診断・治療へ応用する研究分野。

[1] 2008年俯瞰ワークショップの総括

[2] 開催概要

[3] 各分野の俯瞰と研究動向

[4] ライフサイエンスの社会ビジョン、社会ニーズと倫理

[5] 重要研究領域案の選定から戦略スコープ切り出しに向けて

[6] 資料

- 外部要因によるがんの誘発

がんを誘発する物理的・化学的・感染性に関する研究。がんは放射線や紫外線などの物理的・化学的・感染性によるDNAに損傷がおこることによって誘発される。またHTLV-1をはじめとしたウイルスの感染、Helicobacter pyloriなどの細菌感染もがんを誘発することからその発症のメカニズムに関する研究を含む。

- がん関連タンパク質の構造解析

がん細胞の増殖・分化に関連するシグナル分子の立体構造の解析。基礎研究としての重要性だけでなく新たな創薬の重要な情報となる。EGF受容体の細胞外ドメインの構造の解明により、EGF受容体関連タンパク質に対するモノクローナル抗体の作用機序が明らかになるなど、我が国発の重要な成果がこれまで報告されている。

- がん関連分子相互作用

タンパク質間の相互作用はyeast two-hybrid (Y2H)法や、タンパク質の免疫沈降とマスペクトル解析などで簡便かつ迅速に解析できるようになった。がん関連分子の相互作用の研究はがん細胞のシグナル伝達経路の解析に有効で、創薬のターゲットの同定にも用いられることが期待される。

- がん幹細胞

がん幹細胞はがんの起源となる細胞で、腫瘍組織内に数%以下の頻度で含まれている。がん幹細胞は抗がん剤に対して抵抗性を示し、がんの転移・浸潤のカギとなる細胞である。がん幹細胞の機能はニッチによって維持されている。

- がん細胞のストレス抵抗能

微小環境の悪化や異常な増殖信号、抗がん剤など、本来は細胞死や細胞老化を誘導する外来刺激(ストレス) に対し、がん細胞が適応反応や変異を介して抵抗性(耐性) を示すようになること。がん悪性形質の一要素であり、その機序解明は化学療法への成否にも直結する重要研究課題である。

- がん細胞の接着・運動

上皮細胞は互いにタイトジャンクションなどを通して接着しているが、がん化すると細胞間の接着が乱れ、細胞の運動能が亢進し、浸潤する。細胞の接着にはE-カドヘリンやクローデインなどが重要な役割を果たし、運動にはRhoやRacなどの低分子量Gタンパク質などが関わっている。

- がん組織における血管・リンパ管新生メカニズム

がん細胞の血行転移、増殖亢進に中心的な役割を果たす、血管・リンパ管新生の分子メカニズム、およびその抑制に関する研究。がん微小環境の一部を構成する血管新生・リンパ管新生に関わるシグナル分子の拮抗剤は、がんの新たな治療戦略として注目されている。

・がん組織のマーカーの探索

がん患部特異的、あるいはある特定の組織型のみを発現しているマーカー遺伝子・タンパク質を特定する研究。同定されたマーカー遺伝子・タンパク質を用いることにより、がんの確定診断あるいは組織型診断といった技術開発へとつながる。

・がんの遺伝子多型

がん気質と呼ばれる「がん罹患の個人差」を遺伝子レベルで明らかにし、がんのテーラーメイド治療を目的とする基盤研究。抗がん剤に対する遺伝子多型は副作用の予測に用いられる。

・がんの転移機構

がん細胞が原発巣から遊離し、遠隔臓器に生着して新たな腫瘍を形成する仕組みを明らかにするための研究。がん細胞の浸潤・運動・接着、微小環境の確立から血管新生など、様々なステップが関与する。機能分子制御法の開発など、転移抑制を達成目標とした基盤的治療研究も含む。

・がんのモデル動物

がんの発症機構解明や治療薬開発には、マウスなどのモデル動物による解析が不可欠である。このようながんのモデル動物研究には、遺伝子操作による遺伝子改変動物の作製だけでなく、ヒトと同じ症状・病態を示す、担がん動物作出研究が含まれる。

・がんのリスク評価

環境・食品・薬品などによるがん発症・がん予防を疫学的に調査し、そのリスクを明らかにする研究。このような研究は、がん予防の啓蒙に重要な役割を果たしている。

・がんのゲノム疫学

がん克服、がん予防をゴールとする疫学調査研究。遺伝子情報を疫学研究に応用しながら、がんの発生リスクを探索する。

・ゲノム不安定性

正常な細胞には突然変異が誘発されないような防御機構がある。その防御機構が突然変異等により破壊されると、更に別の突然変異（小さな突然変異と染色体レベルの大きな異常がある）が高頻度に誘発されるようになる。その結果、多段階発がんやがんの進展が促進されたりする。防御機構に関与する遺伝子やその関与の仕方の研究分野。

・抗腫瘍免疫応答

がん細胞は免疫機構によって非自己と認識され、細胞障害性T細胞、ナチュラルキラー細胞、マクロファージなどや液性免疫によって排除される。がん細胞は種々のがん特異抗原、がん関連抗原を有しており、がん細胞に対する免疫応答を利用してがんのワクチン療法などが行なわれる。

[1] 2008年俯瞰ワークショップの総括

[2] 開催概要

[3] 各分野の俯瞰と研究動向

[4] ライフサイエンスの社会ビジョン、社会ニーズと倫理

[5] 重要研究領域案の選定から戦略スコア切り出しに向けて

[6] 資料

- 個体における薬効評価・副作用評価

抗悪性腫瘍薬の、目的とする薬理効果評価と副作用評価に関する研究であり、個体差を規定する薬物代謝系・薬物輸送系・酵素・受容体などの遺伝子・タンパク質との相関を検討する研究も含まれる。

- 細胞がん化分子の探索

培養細胞を用いた、発がん物質などによるがん化に関わる責任分子の同定に関わる基礎研究。この研究には、培養がん細胞を用いたさらなる悪性化に関わるがん遺伝子産物の同定や、培養がん細胞のがん化を抑制するがん抑制遺伝子産物の同定に関する研究も含まれる。

- 細胞内シグナル伝達経路の制御

がん細胞の増殖・分化は種々の因子によって制御されていることから、これらの分子の同定と機能の解析に関する研究。シグナル伝達制御分子はタンパク質の相互作用の研究などによって迅速に同定することが可能となっている。シグナル伝達制御分子の解明は新たな創薬のターゲットの同定につながることを期待される。

- 細胞分化の維持と脱分化機構

がん細胞の特徴として、分化能を失う「脱分化」により増殖亢進を獲得する。正常な「細胞分化」の分子メカニズムを明らかにし、それを逸脱した脱分化の分子メカニズムとシグナル伝達を明らかにすることで、増殖亢進したがん細胞を分化誘導させる事を目的とする。

- 生体分子イメージング

生体内の信号伝達や分子・細胞・組織の動態、局在などを時空間的に可視化する基盤技術の開発研究、およびこれらの検出技術を利用した応用研究。がん転移や微小環境中の細胞間相互作用など、微細で複雑な生体内イベントの解析に威力を発揮すると期待されている。

- 組織微小環境とがん細胞の相互作用

腫瘍内部および近傍組織に生じる微小環境変化と、がん細胞の適応応答や間質細胞との相互作用に関する研究。特に、環境再構築とがん悪性化の相互連関の解明を目指す。がん幹細胞の自己複製能や休眠性の維持、局在化に関する微小環境(ニッチ)も研究対象に含まれる。

- 多段階の発がん悪性化

がんは一つのがん遺伝子やがん抑制遺伝子の異常ではなく、いくつかの遺伝子の以上が蓄積することによって悪性度の高いがんへと進展して行く。臓器がんの悪性化に関わる複合分子を明らかにし、個体におけるがんの病態を分子レベルで明らかにするための研究。薬剤耐性を含め、さらに原因となるがん悪性化に関与する分子を標的としたがん治療戦略のための研究。

・治療用ナノキャリア設計

がん化学療法においては、抗がん剤の癌組織への集積性が低く、さらに正常組織への非特異的分布に基づく副作用の発現の為に、有効な治療を行うことができないことが問題となっている。また近年、siRNAなどの新規薬物が注目を集めているが、その治療応用のためには、組織・細胞レベルでのデリバリーが必要不可欠である。抗がん剤やsiRNAなどの新規薬物の治療用ナノキャリアを開発することによって、安全かつ有効性に優れたがん治療が可能となる。

・DNA損傷による発がん

ストレス、放射線などによるDNA損傷は、がん化に伴い修復不能あるいは修復されにくくなっているために、変異が固定される。それら正常なDNA修復に関与する分子群の修復メカニズムと、がんによる異常に関する研究。

・標的分子作用化合物の探索

分化誘導、アポトーシス誘導、または細胞周期停止などの活性を示す化合物は多数あるが、それら化合物群が細胞内でどのような標的分子に作用しているかは不明なものが多い。これら興味深い化合物の細胞内標的分子を同定するための研究。

・薬剤・分子プローブの分子設計

薬剤と標的分子との相互作用をNMRや結晶構造解析などにより理解し、さらに特異性が高く、かつ標的分子との親和性が強いものをデザイン・合成する。また、薬剤の標的分子が未同定の場合にはビオチンや放射性同位体さらには蛍光物質を結合させ、標的分子の解析を行う研究。

植物科学分野

・生態生理・地球環境変動と適応

植物の生育に影響を与える種々の環境因子（CO₂等）を測定し、その変動が光合成や呼吸に及ぼす影響を定量的に解析する研究。

・環境汚染等が生態系に及ぼす影響

放射能汚染等、人為的な環境変化が植物群落に及ぼす影響を解析する研究。

・生物間相互作用の解明

植物-微生物、植物-植物、植物-昆虫など異種または同種間で行われている多様な媒介因子を会した複雑な相互作用を分子レベルで解明する研究。

・植物ホルモンによる成長制御

植物の成長を司るホルモンの同定、機能・構造解析、合成、受容体からのシグナル伝達機構などを解明し、成長制御に資する基盤技術を確認する研究開発。

・ストレス応答、環境耐性、病害耐性機構

乾燥ストレス・水ストレス・浸透圧・および塩ストレスなどの応答機構の解明を目的に、関連する生理応答や遺伝子発現などの解析を行う研究。

[1] 2008年俯瞰ワークショップの総括

[2] 開催概要

[3] 各分野の俯瞰と研究動向

[4] ライフサイエンスの社会ビジョン、社会ニーズと倫理

[5] 重要研究領域案の選定から戦略スコア切り出しに向けて

[6] 資料

- 形態形成機構
葉、根、茎など植物を構成する器官構築の仕組みを統合的に解析し、固体の形作りの分子機構を明らかにする研究。
- 光合成、葉緑体機能
高等植物や緑藻等が葉緑体内で行う二酸化炭素の固定反応の分子機構を解明する研究。
- 光周性・リズム・時計
植物の光周性やリズムなど生物時計を司る遺伝子の同定、機能解析を行い、個体の24時間の周期システムを解明する研究。
- 生殖器官の形成
植物の生殖形質に関わる因子を単離・解析し、植物の生殖システムの全体像を明らかにする研究。光化学系/電子伝達系、光捕集系など、光合成を担う分子の機能解析と統合的な理解を目的とする研究。
- 器官における物質の転流と蓄積
植物が生産した糖、タンパク質、二次代謝産物などが、根、根茎、その他植物を構成する器官等に移動し蓄積される機構を分子レベルで解明する研究。
- オルガネラの機能
細胞内小器官の発生、局在化、維持機構に関与する遺伝子の探索・タンパク質の機能解析を行う研究。
- 細胞内輸送、細胞間輸送、細胞骨格
タンパク質等の細胞内輸送機構、それらの膜輸送に関わるトランスポーター、さらには外界とのインターフェースである細胞膜、表層細胞骨格など、細胞間のシグナル伝達を担う分子を解析する研究。
- メタボローム解析に基づく代謝制御
代謝物のプロファイリングや相関解析などから代謝経路の時系列定量的解析を行い特定の代謝系の制御機構の包括的理解を目指す研究。
- 窒素固定・窒素代謝のメカニズム
窒素の吸収・同化、及び再利用系に係る遺伝子探索、合成酵素の機能解析などを行う研究。

6-2. 重要研究領域案

名称	1. 個別のゲノム解析に基づく生物・医学、個別医療の推進
定義	個別のゲノム解析に基づく生物・医学、個別医療を構築するための研究開発。個別のゲノムの構造と機能の解明と応用のための技術・ツール開発、インフォマティクスを含む。
研究内容	DNA塩基配列決定技術の高度化により、個別のゲノムを低コストで解析できる時期が近づいてきている。個別のゲノムを短時間に低コストで解析する技術基盤の構築、個別のゲノム情報処理を可能とするバイオインフォマティクスの高度化とそれを支える計算機技術の開発、個別ゲノムの研究から生命の多様性や個性の理解を深める研究などがある。また、個別ゲノム解析の成果を用いて、がんや糖尿病など疾患の病理・病態の再定義する研究、個別医療や予防医療に資するコホート研究に応用する研究開発なども含まれる。
意義	これまで、ゲノム情報は種毎に標準的な形で解析され、蓄積されてきた。個別のゲノムの解析が可能になり、生命の多様性や個性がゲノム情報から明らかにできると、生物・医学研究では、例えば、モデル動物の研究成果をヒトやヒト以外の生物に外挿することがなくなり、実験に用いる細胞や動植物をゲノムベースで揃えることが出来るなど、研究の高度化が可能となる。また、患者毎に治療法の最適化を図る個別医療の精緻化、高度化が可能になり、医療技術の水準向上の基盤作りに大きく貢献する。また、海外に比べて著しく遅れていたコホート研究を個別のゲノム解析を基盤に再設計し、実施することにより予防医療の基盤を高い品質で作り上げることが可能となり、先行する国々を巻き返すことも可能となる。
名称	2. 生物システムの制御特性の研究
定義	分子から個体、集団のレベルまで階層性を超えて類似の現象が現れる、環境情報のゆらぎによって変化する生物システムの制御特性の研究。環境情報のゆらぎをデバイスやロボットの制御に利用する研究を含む。
研究内容	分子の階層では、一分子計測など環境情報のゆらぎを厳密に計測する技術開発を進め、ナノエナジティクス、ナノ情報論、少数統計力学を導入してブラウン運動、粘性、ノイズなどの環境情報がエネルギー的、情動的にどのように生体分子に利用されているか、また、小数の分子が確率的にどう関わっているかを解明する。分子より高次の階層でもゆらぎや環境情報の変化を厳密に計測し、それらが生物システムの制御にどのように関わっているかを明らかにする。高次の階層では進化による生物システムの多様な状態の研究を加える必要がある。また、生体の確率的計算原理や自己組織化能を研究し、生物システムの制御特性を組み込んだデバイス、ロボット、人工組織などを創ることによる制御特性を理解するアプローチも取り入れ、成果の応用の可能性を探る。
意義	環境情報のゆらぎや変化を利用し、柔軟に対応する生物システムの制御特性の研究は一見複雑な生命現象を分子などの局所の相互作用と階層性を超えたシステム全体の関係性を解明する糸口となる。曖昧な側面を持つが、低エネルギーで十分な実用性を持つ生物システムの制御特性を解明することにより、生命の理解が進む。また、解明に必要なナノエナジティクス、ナノ情報処理、少数統計力学など物理、情報、数学などとの融合による新しい研究領域が創成される。さらに、研究の成果はデバイスやロボティクスなど人工システムへの応用の基盤となる。

[1] 2008年俯瞰ワークショップの総括

[2] 開催概要

[3] 各分野の俯瞰と研究動向

[4] ライフサイエンスの社会ビジョン、社会ニーズと倫理

[5] 重要研究領域案の選定から戦略スコープ切り出しに向けて

[6] 資料

名称	3. ペタバイト時代のバイオインフォマティクス
定義	ゲノム、蛋白質などの生体分子情報、細胞・組織等の画像情報、脳活動や行動指標等、急激に増加しているライフサイエンス研究で得られる情報の整理、構造化、伝送、圧縮、匿名化、格納、蓄積、検索、閲覧、利用する研究、及びそこから情報、知識を抽出する研究。また、ペタバイトオーダーの情報を処理するための計算機やその周辺の技術開発を含む。
研究内容	ゲノム等の生体分子の画像（静止画、動画）データ、文献等に収載される画像など、爆発的に増加し分散的に蓄積されるライフサイエンス研究データや情報を効率よく利用できる環境を構築し、そこから研究者が必要とする情報や知識を効果的に抽出するための、バイオインフォマティクス及び利活用のためのツールや技術の研究開発を行う。研究では、データや画像などの情報の整理、構造化手法の開発、安全な伝送、格納手法の開発、大量の情報の圧縮、暗号化、匿名化などハンドリング手法の開発、及び格納、蓄積された情報から必要な情報、知識を抽出する手法に関する研究開発を行う。これらの研究開発に必要な計算機及び付随する周辺技術の技術開発が含まれる。
意義	21世紀にライフサイエンス研究で生産され、蓄積される情報は、20世紀に生産、蓄積された情報とは、その種類、質、量において格段に多様化し、大容量化することが明らかである。しかしながら、ライフサイエンス情報は取得する側に偏っており、当初想定を超えた量の情報を取り扱う必要に既に迫られている。このため、蓄積されたデータの利用は必ずしも進んでおらず、利用環境も十分構築出来ていないといえない。ライフサイエンス情報を研究者・技術者が自由に、かつ、効率的、効果的に利用できる環境を構築することは、ライフサイエンスの発展のみならず、ライフサイエンスからのイノベーション創出にとっても喫緊の課題である。また、データや情報を基礎として物理、数学、化学など他の分野とも融合し、科学技術全般に利用可能な新しいバイオインフォマティクスの基盤構築が可能となる。

名称	4. 定量的分子計測・操作による神経シナプスの構造・機能モデルの構築
定義	細胞内分子イメージング、一分子操作技術、光感受性チャネルを用いた細胞局所の定量的分子計測・操作による神経細胞のシナプス構造とその機能の発現を予測できるモデルを構築する領域。
研究内容	神経のシナプスにおける少数の分子を可視化し、また操作することにより局所空間における機能分子の特性を明らかにし、その知見を元に 1) シナプスの微小空間における少数の分子による化学反応や物質の相互作用を扱う離散的・確率論的シミュレーション技術や数理モデルの構築、2) シナプスの形態や機能の維持・変動に関わる細胞内局所構造の分子動力的モデルの構築、3) シナプス可塑性の基盤となるシナプス間相互作用の解析、4) 疾患リスク遺伝子とシナプスの異常構造形成機序のモデリングと正常化への制御技術、の研究開発を行う。
意義	脳機能の基本素子となるシナプスの特性を定量的にモデル化して、さらに大きなスケールでの脳のモデル構築のための基盤を提供する。情報処理機械としての脳機能を理解する上で重要であるとともに、直接シナプスの構造・機能との関連が示唆される精神・神経疾患などの発症メカニズムの解明、及び、創薬ターゲットの絞り込みに有用な情報や技術を提供することが来される。脳科学以外の分野にとっても、ここで開発される計測・操作・解析技術は特に細胞の微細な局所領域を対象とする、特定の細胞機能の変化を推定する技術、病態に関わる細胞の微細構造・機能変化を引き起こす分子機序の同定、細胞レベルでの一分子機能計測・操作技術、などの成果が期待される。

名称	5. 神経回路のシステムダイナミクス
定義	遺伝子により大まかに規定され、環境要因により調節される神経回路形成の分子・細胞機構の理解を元に、その分子・細胞機構が疾患等により破綻した場合や人為的に操作した場合に引き起こされる神経回路改変を用いて神経回路の情報処理機能を解明する（複雑系など数理学との融合領域を含む）
研究内容	神経回路形成研究において、細胞移動や神経突起伸長に関わる分子・細胞機構の知見が急速に蓄積されている。関連する遺伝子の変異や発現量の変化に基づく神経回路の変化と高次脳機能の変調との関連や、疾患における神経回路の変調を利用したり、モデル動物において人為的に特定の神経回路形成を操作し、それらの変化がどのような高次脳機能と関連しているのかを明らかにする。対象とする研究には、特定の神経回路の構造の改変組織を用いた局所神経回路網の振る舞いに関する数理学研究、およびそれらの成果から派生する高次脳機能解析（モデル動物を用いた実証実験）等も含まれる。
意義	高次脳機能には遺伝情報に基づく神経回路の形成や環境要因による神経回路形成の調節に様々な遺伝子が関わるのが影響する。本研究により遺伝子と神経回路形成及び神経回路により規定される高次脳機能の関係が明らかになり、遺伝子と高次脳機能との間のギャップを埋めることが、精神神経疾患研究においては、特定の高次脳機能に関わる神経回路を同定し、関連した疾患と神経回路機能異常や発達に関わる遺伝子群との関連などを明らかにし、疾患の治療法や予防手段の確立に資することが期待される。また、特定の神経回路形成を変化させると神経回路の機能特性がどのように変化するか解析することで、神経回路による制御原理に対する理解を深めることは、ニューラルネットワークを利用した工学的な制御システムの開発に活用が期待される。
名称	6. 自律的脳活動
定義	睡眠や概日リズム、あるいは脳内情報だけにに基づく思考等の単なる刺激応答ではない脳の内在的な活動に関する研究領域。脳内の状態により同一の刺激でも異なる応答を示す現象、無意識に行われている意思決定や自己モニタリングの神経機構解明も含む。
研究内容	脳は刺激に反応するだけでなく、睡眠や概日リズム、意識下で思索など、自発的に活動している。また、味覚や嗅覚などの感覚情報は脳内の状態によって違った処理をされることがあり、同一人物が同じ状況の元で異なる行動をとること（「行動のゆらぎ」）もよく見られる。このような現象は、刺激入力前の脳が、異なる状態にあるためと考えられるが、この内的な状態が何であるのかを明らかにする。行動のゆらぎなどが見られる直前の脳内の状態を各種計測手法によりモニターし、行動（出力）までの脳内の活性化経路を解析し、異なる状態を確認した後に刺激を行い出力を解析する。異なる状態を形成・維持している脳内の自発的活動についても解析やシミュレーションを行う。本研究領域で対象とするのはヒトあるいは霊長類に限定せず、特にシミュレーションには神経回路の単純な無脊椎動物などの活用を図る。
意義	怒りなどの情動の仕組みや、自由意志などの高度な精神機能の仕組みを理解するには、脳内の自発的な活動に基づく状態の増減や改変機構等の解明が重要である。本研究領域により、新たな視点から、情動や自由意志を含む高次脳機能の解明が、また、病的な不安などのこころの健康に関わる問題に対し、カウンセリングや生活環境の整備による対処方法の確立が期待される。一方、自己組織化を対象とする研究領域にとっては、新たな概念の提供やモデル系としての融合領域に発展する可能性がある。更に、行動多様性をもつロボット開発などに貢献できることが期待される。

[1] 2008年俯瞰ワークショップの総括

[2] 開催概要

[3] 各分野の俯瞰と研究動向

[4] ライフサイエンスの社会ビジョン、社会ニーズと倫理

[5] 重要研究領域案の選定から戦略スコープ切り出しに向けて

[6] 資料

名称	7. 言語や動作による概念操作の脳内処理機構
定義	乳幼児期を含むヒトの脳発達期の動作（身振り・表情）や言語を用いたコミュニケーション能力の獲得機構、成人での言語処理機構、道具使用を含む動作学習機構、さらには失読症等での言語処理異常を対象とし、神経回路がどのように言語や動作に象徴される「概念」を処理しているかを解明する研究領域。ヒト以外の動物による音声コミュニケーションや道具操作をモデル系とする研究も含む。
研究内容	言語処理や道具操作など、非常に複雑な脳内情報処理機構の解明に向けた総合的なアプローチ（ヒトの言語獲得段階、特に幼児の臨界期に関する脳発達研究、ならびに失読症等の疾患に関する脳イメージング及び関連遺伝子研究）を行い、研究成果を一般成人の言語処理機構と関連付け、音声コミュニケーションをとる動物を用いた研究と組み合わせる。また、道具操作や表情伝達によるコミュニケーションを行う動物を用いた概念操作研究、言語処理の神経機構研究、さらにはヒトによる行動実験、社会調査を連動させ、他者理解や複数人とのコミュニケーションなどより複雑な社会環境における人間の行動適応過程の神経機構の解明につなげていく。
意義	言語処理機構の理解は、失読症等の疾患への対処法の確立や言語習得の教育手法の改良などに資すると共に、機械による言語認識・処理技術の開発や複雑な問題解決のための新規アルゴリズム開発などの工学的応用技術の開発にとって貴重な情報を提供するものと期待される。また、概念操作の脳内機構の一端が明らかになれば、情動や思考、他者理解等、他の脳機能との関連性を解明する研究領域への展開が期待され、認知科学を含む人文・社会科学と脳科学の融合分野の形成に資することが期待される。
名称	8. Cancer stem cell (がん幹細胞)とニッチ
定義	がんの起源となるがん幹細胞 (cancer stem cell: CSC) の同定とその機能を発揮するための周辺微小環境 (ニッチ) について分子レベルで解析を行い、がんの悪性化や浸潤転移能、更には抗がん治療に対する耐性能の獲得の背景を明らかにし、新規癌治療戦略の基盤を構築する研究領域
研究内容	がん組織は自己複製能を持ち半永久的に子孫を作り続ける細胞と、最終的には増殖能を失う大多数の細胞から構成され、正常の組織幹細胞と前駆細胞のような関係ががん組織にも存在していることがわかってきた。本研究領域では、CSC及びその周辺微小環境 (ニッチ) の実体と制御機構を分子レベルで明らかにし、がん発生の本質に迫るとともに新たな診断法や治療法の考案にむけた基盤を築く。具体的には①CSC成立の分子機構、②CSCとその他のがん細胞のエピジェネティックな相違点、③正常組織幹細胞及び胚性幹細胞との比較、④CSCにおける分化・老化機構の異常、⑤がんの浸潤転移機構、特に上皮間葉転換機構とCSCの関係、⑥ニッチの実体とそれを制御・構成する主要な分子の同定、⑦抗がん治療に対する耐性機構、など基礎的な解析を行い、Ⅰ) CSCマーカーの同定による診断、治療効果予測及び治療法選択、Ⅱ) CSC理論に基づく動物モデルの構築、Ⅲ) 抗CSC治療、抗ニッチ治療を目指した創薬、などの臨床応用に資する研究を推進する。
意義	白血病細胞のみならず多くの固形腫瘍においてもCSCを起源としてエピジェネティックな変化が生じることにより全体の腫瘍組織が構築されることがわかってきた。また、CSCは治療抵抗性や、がん転移浸潤のカギとなる細胞であり、その機能はニッチによって維持されている。これらCSCとニッチの性質を規定する分子とシグナルを丹念に解析することにより、細胞分化や老化との関係などを含め、がんに関する多くの疑問点が解決できると同時に、治療戦略のパラダイムが大きく変化すると予想される。

名称	9. がんの微小環境
定義	腫瘍塊内部もしくはその近傍に局所的に生じる病理的微小環境変化と、それによって惹起されるがん細胞の適応応答および間質相互作用、ひいては転移能・抗がん剤耐性化獲得といった悪性進展化への連鎖過程を探究する研究領域。近年では、がん幹細胞の維持に関与するとされる特殊な微小環境（ニッチ）なども研究対象に含まれつつある。
研究内容	がん細胞は無秩序な分裂増殖を繰り返すため、腫瘍塊内部では血流供給が不足し、低酸素・pH低下・栄養飢餓といった複合的な局所環境の悪化が生じる。本研究領域は、これらの微小環境ストレスがもたらすがん細胞の内部変化（ストレス応答、ゲノム不安定化など）や間質相互作用、その結果として細胞の形質や周辺環境ががんの生育に都合良く再構成される様子（細胞死耐性、血管新生、上皮間葉転換、浸潤・転移など）を研究対象とする。近年の3D培養や動物モデル、生体分子イメージングなどの再現・検出技術の発達を活かし、分子・細胞レベルから組織・器官、個体レベルへと、階層性を越えた統合研究分野に発展させる。
意義	外科手術が適応できない進行がんにあつては、安全性・選択性に富み、治癒導入が可能な抗がん剤の開発が喫緊の課題である。がん微小環境は正常組織のそれと異なるため、がん選択的な治療標的が多く存在すると予想される。本研究領域の推進により、組織（organ）としてのがんの本態に迫るのみならず、難治固形がんに有効な分子標的薬の開発が期待される。従来の抗がん剤開発は培養がん細胞の増殖阻害を一次指標としたため、個体レベルでの治療効果を高精度に予見することは困難であった。本研究領域から得られる知見・技術はこの階層ギャップを埋め、抗がん創薬戦略に革新をもたらすと期待される。

名称	10. がんのトランスレーショナルリサーチ (モデル細胞・生物を用いたライフサイエンス研究成果の創薬・ヒトを対象にした医療への応用)
定義	培養がん細胞・モデル生物などを用いて得られてきたシーズ技術や新規化合物など基礎的ながん研究の成果を、がんの予防・診断・治療といったヒトを対象とした医療への応用を図るチーム研究
研究内容	従来の研究により、がんの発生・浸潤転移・再発などに関わる分子標的・カスケードが明らかになりつつあり、それらを操作するシーズ技術・分子標的薬となりうる候補化合物などの情報も蓄積されてきている。本研究領域は基礎的研究成果を医療現場に技術移転・還元し、革新的ながんの予防・診断・治療法の開発・実用化までを橋渡しする。具体的には、研究者、医師、生物統計家、研究看護師、臨床薬剤師、データマネージャーなどの多くの専門家からなるチームで、前臨床試験から第二相臨床試験前期までの安全性試験・少数のがん患者を対象とした研究・臨床試験が該当する。有望な新薬開発を加速するのに必須である、治療効果予測につながるバイオマーカーの開発も本研究に含まれる。
意義	がんの本質解明に関わる重要な発見などの基礎研究成果をがん医療に応用することは、がん罹患率・死亡率が急激に上昇している本邦の喫緊の課題である。さらに、グリベックなどが大きな副作用も無く劇的な治療効果を示していることから分かるように、科学的・医学的な根拠に裏付けされた形で開発された分子標的治療薬は、従来の抗がん剤にない高い臨床効果を挙げており、がん患者の身体的・精神的苦しみへの低減につながる。新薬開発において求められているバイオマーカー開発は、高価な分子標的治療薬の無駄な投与を減らす個別化医療の実現や、医療経済的メリットが見込まれる。

[1] 2008年俯瞰ワークショップの総括

[2] 開催概要

[3] 各分野の俯瞰と研究動向

[4] ライフサイエンスの社会ビジョン、社会ニーズと倫理

[5] 重要研究領域案の選定から戦略スコープ切り出しに向けて

[6] 資料

名称	11. ケミカルバイオロジーによるがんの理解と制御 (小分子化合物によるがん化の解明と治療薬の提示)
定義	がん遺伝子やがん抑制遺伝子産物の機能を模倣する小分子化合物を用いることでがん化機構の解析を行うとともに、がん遺伝子産物の阻害剤を取得することで抗がん剤としてのシーズ（種）を提示する研究領域。
研究内容	ケミカルバイオロジーの手法を用いて、小分子化合物を用いて目的遺伝子産物を活性化したり阻害することによって、がん化のメカニズムを解析することができる（このような小分子化合物の例としてホルボールエステル類（PKC）やピプシスリン(p53)などがある）。また、がん遺伝子産物に対する小分子の阻害剤を探索し、目的化合物を取得することが出来れば、その化合物は抗がん剤のシーズとしての可能性がある。あるタンパク質に作用する小分子化合物は、がん化の“理解”だけでなく、がん増殖・転移・薬剤耐性などを“制御”も可能な点から期待されている。また、抗がん剤のシーズとしても注目されている。
意義	これまで多くの小分子化合物が抗がん剤として臨床の場で使用されているが、その作用機序として、正常細胞とがん細胞の増殖速度の差を利用したものが多く、結果として脱毛や体重減少などの重篤な副作用を伴うものが少なかった。これに対して、分子標的治療薬の開発が盛んに行われているが、その学問的基盤を支えるのがケミカルバイオロジーである。 Bcr-Abl阻害剤として開発されたグリベックは、慢性骨髄性白血病やフィラデルフィア染色体陽性急性リンパ性白血病の分子標的治療薬の代表である。今後の分子標的治療薬の開発には、ケミカルバイオロジー的手法（阻害剤を用いたターゲットバリデーション、特異的阻害剤のスクリーニング）が重要な役割を果たすことが期待できる。
名称	12. がんの治療と予防に有用な評価指標の確立 (生体での（分子）イメージング技術・分子ツール開発・動物モデル系開発)
定義	がん、がん幹細胞およびニッチに発現する特異的分子を標的とした分子プローブを開発し、がん細胞およびがん幹細胞、さらに発がん・増殖・浸潤に関わるニッチおよび老化組織を、動物およびヒト生体中で可視化するための分子イメージング技術を確認する。さらに、これら分子イメージング技術を用いて、がんの診断、進行、悪性度の評価法の確立と、がん幹細胞やニッチをターゲットとした新規治療法の開発を目指した研究を展開する。
研究内容	最近のPET・SPECT・MRI・発光・蛍光などのイメージング手法を用いた生体分子の可視化技術の急速な発展によって、発がん・増殖・浸潤・再発・治療抵抗性に関して、実際の生体内で周囲組織との関係も含めて分子論的に議論できるようになりつつある。新しいがん研究を発展させ、画期的治療法を開発するための基盤となるイメージング技術を確認するため、具体的に1)がん幹細胞に発現する分子を標的としたイメージング研究、2)がん細胞の増殖・分化を追跡するためのイメージング研究、3)がん幹細胞のふるまいを制御するニッチのイメージング研究、4)発がんの素地となる老化組織のイメージング研究、5)これら分子イメージングを用いた研究を展開するための動物モデルの開発、6)分子イメージング技術を用いた新規がん治療法の開発に資する研究を提案する。
意義	がん幹細胞の存在と治療抵抗性の問題、がん幹細胞のふるまいを制御するニッチの問題、老化組織における発がん機構の問題などが分子論まで掘り下げて理解される中、今後、これらを生体中で可視化し、追跡することが新しい治療法や予防法の開発に必須である。これらを可視化できれば、テーラーメイド医療の実現やがん根治治療、超早期発がん予防対策など、画期的な治療・予防法が確立できる可能性があり、医療への貢献は計り知れない。

名称	13. 細胞運命決定機構の解明に基づく有用細胞調製技術の確立
定義	幹細胞の不均等分裂を含む細胞運命決定機構を、細胞周期とエピジェネティクス解析を通じて、その増殖・分化機構の理解を目指す。これにより得られた知見を、移植治療用の安定かつ効率的な細胞調製技術と品質評価方法の構築に資する。
研究内容	・幹細胞はその多分化能と自己複製能の有用性が広く認識されているが、幹細胞以後も含めて細胞運命決定機構は未だ解明が十分ではない。そのような背景から、多能性幹細胞由来細胞の臨床研究の統一的な指針はできていない。本研究領域は、幹細胞の未分化状態の維持、分化の方向性決定、さらに分化細胞から前駆細胞への可塑性などの振る舞いを制御する機構を、細胞生物学的およびエピゲノムワイド解析を通じて理解することを目標とし、細胞周期制御分子の解明と制御、DNAメチル化やヒストンアセチル化などのエピジェネティクス解析、さらには、これらで得られた有用な指標で生細胞の状態評価が可能か検証する。本研究によって得られた知見を、Cell Processing Center(CPC)などにおける治療用細胞を安定に効率的に調製する技術や、細胞の品質評価方法の構築に資する。
意義	本課題は、有効性確認がとれつつある、がんの免疫療法や再生医療の開発において重要なCPCの調整技術の向上に資するのみならず、これらの治療用細胞の規制当局による評価指標策定などのレギュラトリーサイエンスの一角を担うものである。

名称	14. 免疫システムの四次元制御
定義	生体内で定常的に発現している免疫反応を時空間的に解析し、免疫システムの制御基盤技術の構築を目的とする研究領域。
研究内容	近年、免疫研究の急速な進展により、生体の防御反応に動員される種々の細胞や分子群が明らかになり、それらの機能について多くの知見が蓄積されている。しかしながら、これらの知見のほとんどは疾患モデルを用いた <i>in vitro</i> 解析により行われていることから、正確な免疫システムを把握するための正常状態でのリアルタイム解析が今後の免疫研究には重要となりつつある。 以上を踏まえ、本研究領域では、細胞から個体に至る種々の免疫反応をライブイメージング技術や、計算科学的な手法を駆使し、免疫システムを限りなく定量的に解析し、時空間的な制御技術の確立を目指す研究開発を行う。 具体的な研究テーマとしては「蛍光タンパクによるマクロファージ細胞のシグナル伝達経路の可視化とサイトカインの放出量の測定」などが細胞レベルでの研究課題として考えられる。また、「 <i>in vivo</i> におけるリンパ球の分布の定量的化とその機能発現の経時的解析」などが個体レベルの研究課題として挙げられる。いずれの研究も膨大なオミクス情報を対象とし、最先端の計測・イメージング技術等の開発・活用が必須となる。
意義	免疫システムを時空間的に制御できれば、各種疾患の予防や治療に大きく寄与する。例えば、免疫細胞内のシグナル伝達に関する物質の発現量や伝達速度が解析できれば、創薬開発に有用な情報を提供する。また、病原体の感染機構が経時的に解明できれば画期的な予防法の開発に繋がる。

[1] 2008年俯瞰ワークショップの総括

[2] 開催概要

[3] 各分野の俯瞰と研究動向

[4] ライフサイエンスの社会ビジョン、社会ニーズと倫理

[5] 重要研究領域案の選定から戦略スコア切り出しに向けて

[6] 資料

名称	15. 「神経」・「内分泌」・「免疫」、高次統合制御
定義	ヒトの恒常の維持に重要な役割を担う3つの制御系、すなわち、神経系、内分泌系、免疫系の相互作用のメカニズムを解明し生体の高次統御システムの理解を目的とする研究領域。
研究内容	「病は気から」と言われるように、我々人間は疾患の罹患や治癒にその時の精神やホルモン等の状態が深く関係していることを経験として理解している。しかしながら、この仕組みを科学的に証明し予防や治療技術等に応用した例は少なく、精神疾患など治療技術が未成熟の分野からは、このような理解に基づく新技術の開発が強く求められている。以上を踏まえ、本領域では近年研究が活発に行われつつある、神経系と免疫系の連関のみならず、これらに内分泌系の作用までを包含させた高次統御システムの理解を目的とした研究開発を推進する。また、これらの知見を基に新たな予防・治療戦略技術の探索を行う。具体的な課題例としては、自己免疫疾患発症の性差に関する分子や細胞の同定、神経ペプチドの免疫系に及ぼす影響、各種ホルモンの免疫疾患病態モデルに対する効果、神経伝達物質の脳内炎症効果、などが挙げられる。いずれもライフサイエンスを横断する学際研究であり、相互の知見の統合により新たな分野が創成されることが期待される。
意義	本領域の推進により、「心」と「病」の関係が科学的に解明されると、その知見に基づいた新たな創薬ターゲット（分子等）が見出される可能性がある。また、生体内の種々の制御系の相互作用の解明はこれまで独立して行われてきた研究分野の境界領域であることから、研究推進により新たな学術分野の創成が期待される。

名称	16. 免疫器官の人工構築技術
定義	ヒトの免疫器官（胸腺やリンパ節等）の組織構築や機能に関する因子の解析に基づき人工免疫器官の構築技術を確立する研究領域。
研究内容	人工免疫器官の創製は免疫システムの理解とこれに基づく医療技術等の創出に重要な知見を提供するが、器官発生のメカニズムの解明は、キーマンや細胞の起源など主要かつ根本的な課題にすら未だ不明な点が多いことから、免疫分野における未成熟領域として注目されつつある。以上のような認識のもと、本領域では、血球系細胞と間質細胞（消化管や血管等）の細胞レベルでの相互作用を中核とし、免疫器官の発生機構の分子細胞基盤を確立する。またこれらの知見に基づき <i>in vitro</i> や <i>in vivo</i> で人工器官を構築するための技術開発を行う。具体的な研究開発課題としては、消化管や胸腺等、器官形成に重要な反応場の理解のための細胞間相互作用の解明や、パイエル板発生を模倣した培養技術や免疫細胞生成に関わる胸腺細胞の分離精製技術、人工器官構築のための生体材料の開発などが挙げられる。前者については発生や癌などの生命科学内での融合が、また後者については材料科学など異分野との連携により推進される。
意義	例えば、 <i>in vitro</i> で末梢リンパ器官を構築できれば、免疫反応を生体に近い条件で利用することが可能となり、種々の免疫反応の詳細が明らかとなる（科学的意義）。また、効率的なモノクローナル抗体の作成、あるいは免疫療法の基盤技術として応用が可能となる。さらに、末梢リンパ器官形成不全疾患の治療に直接的な寄与が期待されるばかりか、局所での免疫増強など新しい免疫療法への道を拓くことも期待される（社会・経済的意義）。

名称	17. 作物生産の向上に資する「植物成長力」増強基盤技術
定義	植物の成長を司る複数のシステムを同時に制御することにより、生産力を向上させた新しい植物を創成する研究領域。ここでは、組換えや育種など機能改変に資する新たな技術開発も対象とする。
研究内容	食料問題や環境破壊など、持続可能な社会の実現に対して警鐘を鳴らす地球規模の課題が顕在化しつつある。これらの課題には植物の生産性が関与していることから、植物の成長に関する理解とそれに基づく制御技術の確立は少なからずこれらの課題解決に寄与すると考えられる。分子生物学の進展により、光合成、ホルモン制御、環境ストレス応答など様々なシステムの相互作用など、植物の成長システムに関与する多くの因子が同定され、その制御機構も明らかになってきた。植物の成長を真に制御し、個体レベルで生産性を飛躍的に向上させるためには、このような個々の制御機構をより高次のレベルで解析し、制御へ向けた技術開発を確立することが不可欠である。本研究領域では、これまで明らかになりつつある個々のシステムの理解を深めるため、同定された成長に関する因子の解析を細胞・個体レベルで行う。特にオミクス情報が蓄積されつつある現在においては、遺伝子発現から機能発現に至るメカニズムをシステムとして捉えその全貌解明とその再構築による機能開発を試みる。具体的な成長制御作物の作出については、上記システムに関与する複数の制御因子を対象とし、組換え、マーカー育種などの新技術を開発し、効率的な作出方法を探索する。
意義	成長を基軸とした統合研究の推進により、植物科学に新たな流れが形成される。また、作出された作物は様々な地球規模の解決課題に寄与することが期待される。

名称	18. 生物間相互作用の解明に基づく環境調和型植物の作出基盤技術
定義	植物-微生物、植物-植物、植物-昆虫など異種または同種間で行われている複雑な相互作用を分子レベルで解明し、その知見を活用することにより環境調和型植物を作出する研究領域。
研究内容	植物はひとたび地中に根を下ろすと、移動を伴うことなく成長が開始されるため、その成育には土壌、大気、生物など様々な外部環境との相互関係が重要である。とりわけ、植物間の共生や微生物による寄生・共生関係は作物生産に多大な影響を及ぼすことから、その機構解明や制御技術の確立は喫緊の課題といえる。このような生物間における相互作用の解析は、媒介する因子が微量かつ膨大であるため、これまで単一因子の単離と構造解析が行われるのみで、複雑なネットワークの解明などは困難とされてきた。しかしながら、近年開発された質量分析装置や高速シークエンサーなどが、網羅的な解析と多様な因子の同定を可能とし、介在する因子等の全貌が明らかとなりつつある。本研究領域では、植物と異種または同種間で行われている複雑な相互作用機構を分子レベルで解析し、環境調和型作物を作出するための基盤技術の確立を目指す。具体的には、生物間を媒介する因子の同定やその機能の解析、種間の情報伝達機構の解明などが挙げられる。なお本領域ではこれらの解析に資する汎用技術の開発も重要なテーマである。
意義	農業分野においては、土壌中に生息する微生物と植物の相互作用機構を人為的に制御し、窒素やリンなどの物質循環を改善することにより、作物の生産性の向上、化学肥料などの大幅な低減などが期待される。

[1] 2008年俯瞰ワークショップの総括

[2] 開催概要

[3] 各分野の俯瞰と研究動向

[4] ライフサイエンスの社会ビジョン、社会ニーズと倫理

[5] 重要研究領域案の選定から戦略スコープ切り出しに向けて

[6] 資料

名称	19. 光合成と環境応答の最適化と植物群落構築の分子生態メカニズム
定義	葉緑体レベルから森林レベルに至る植物バイオマス生産と環境応答の最適化機構について、植物ゲノムの多様性と多彩な代謝ネットワークから生態系を構築することを機軸として解明する研究領域。
研究内容	<p>気候変動による環境の変化が植物群落等の生育等に及ぼす影響は大きい。特に急激な温暖化に直面している地球環境において、大気中の二酸化炭素や気温、水等の変化が植物生産に及ぼす影響を可能な限り正確に把握することは将来の食料生産・環境保全・エネルギー生産戦略上重要である。その基盤となる最適な光合成の実現には、植物とそれを取り巻く環境との相互作用や植物体内での情報のやり取り、群落としての挙動の理解が必要となる。</p> <p>以上を踏まえ、本領域では、植物の生育に影響を与える種々の外的および内的環境要因に対する光合成、呼吸、同化能力への影響を、細胞内レベル、個体レベル、群落レベルで横断的にかつ網羅的に解析し、分子レベルの知見から、葉・草本個体・樹木等の群落レベルでの光合成、物質生産効率の最適化モデリング手法を構築する。また、個体レベルでは道管・篩管を介した光合成制御情報因子、環境応答制御情報因子の輸送システム解明を行い、植物の高次系システムの成り立ちを明らかにする。なお、個体レベル、群落レベルの観測・測定については、既に複数の測定装置が開発されてはいるものの、植物体内の物質輸送のリアルタイム測定や、温度や降水量といった環境因子の変動に対応したものが少ないため、新たな技術開発も並行して行う。</p>
意義	<p>激変する環境変化に対応した栽培法や選抜技術の確立は、現行の作物生産量を高めることに寄与すると同時に、これまで生育が困難であった地域における植物生産を可能にすることから、地球上の植物総体の増加、ひいてはこれにともなうCO₂吸収能の向上に寄与する。植物群落を対象にした光合成や物質集積制御システムの分子レベルの研究は、重要でありながらも国内外を問わずこれまで遂行されていなかった領域であり、個体のみを対象にしてきたこれまでの研究では見いだせなかった重要遺伝子・因子の発見が期待できる。</p>

■報告書作成メンバー■

江口吾朗	上席フェロー	(ライフサイエンスユニット)
野田昌彦	フェロー	(ライフサイエンスユニット)
川口 哲	フェロー	(ライフサイエンスユニット)
沼田真也	フェロー	(臨床医学ユニット)
福士珠美	フェロー	(ライフサイエンスユニット)

※お問い合わせ等は下記ユニットまでお願いします。

2008年 ライフサイエンス分野俯瞰ワークショップ報告書

CRDS-FY2008-WR-14

独立行法人科学技術振興機構

研究開発戦略センター

平成21年3月

ライフサイエンスユニット

〒102-0084 東京都千代田区二番町3番地

電話 03-5124-7486

ファックス 03-5124-7385

<http://crds.jst.go.jp/>

・2008 JST/CRS

許可なく複写／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。

