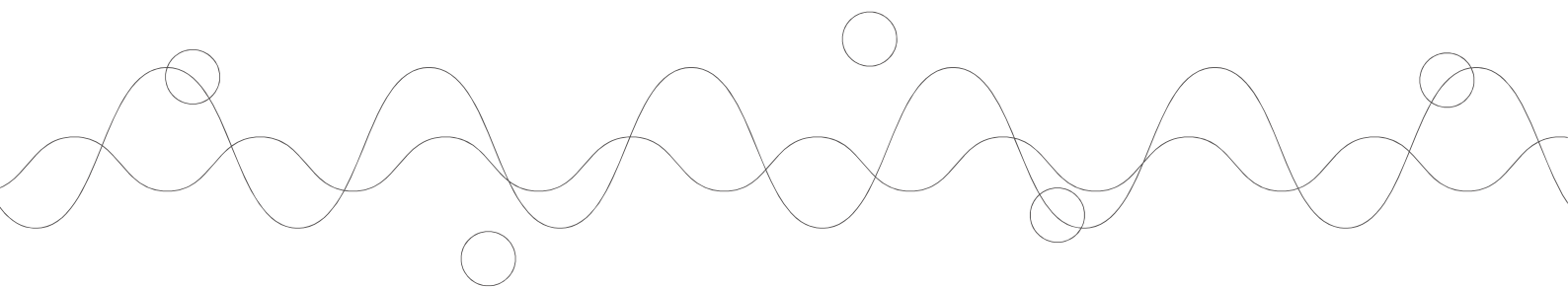


# 分野融合フォーラム ーライフサイエンスにおける新しい研究潮流ー 報告書



## Executive Summary

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流れを展望するために、平成 19 年 1 月に若手研究者による「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潮流ー」を開催した。

フォーラムでの議論を通じて、ライフサイエンス研究の流れは次のように整理された。分子生物学、細胞生物学、構造生物学の発展によって分子の同定、役割、形、データ収集という“もの”の物性の解明が飛躍的に進んでいる。今後は、それらが形作るシステムのダイナミクスを見ることが大きな流れであろうということが共通に認識された。複雑でダイナミックな生物のシステムを研究するためには先端計測技術の開発、特にイメージング、プローブ開発が非常に重要になろう。また、取得したデータを解析し、それをモデリングして理論を作ることも求められる。さらに、数学を使ってきちんと形式化することによって、医療やモノづくりに役に立つようにする必要があるという議論がなされた。研究手法としては、ボトムアップ的な研究とトップダウン的な研究、解析的アプローチと構成的アプローチの双方から取り組むことが重要だという議論があった。計測した結果を理解するために、理論を作る人、モデルを作る人も加わって統合的にダイナミックなシステムを解析することが重要であり、それを組織的に集中的に行う必要性が多くの人から指摘された。

分野融合という観点では、ライフサイエンスを中心にして、数学、計算機科学、物理学、化学、工学など多くの分野の研究が集結することにより、サイエンスが大きく飛躍する可能性が指摘され、ライフサイエンスを核にして分野融合が進むであろうということが強く示唆された。

異なる分野が融合する場合には、革新的な技術・ツールの果たす役割が非常に重要であることを参加した研究者が共通に認識していた。特に、複雑な生体システムのダイナミクスを見るためのイメージング技術は国を挙げて取り組むべきものの一つであるという意見が多かった。

また、我が国では異分野の研究者が集まって議論する場が少ないという指摘があった。本フォーラムで設定した、少人数の研究者が議論する場では、議論が大いに盛り上がっていたことから、“異分野の研究者が接触する場”の提供が有効であることを確認することができた。しかしながら、“研究分野を見出す”ための全体セッションでは、必ずしも思ったようには議論が広がらなかった場面も見受けられた。

また、バイリンガル、マルチリンガルな人材はまだまだ稀有な存在であり、今後、そのような人材を如何に育成していくかが重要になるであろう。

今回のフォーラムでは、各研究分野の最先端を走っている若手研究者同士の接触により、新たな融合的な研究分野を見出すための素材を収集することを狙ったものであり、事前質問を含めて将来の研究分野を検討するための素材を収集することができた。

ここで得られた素材を研究開発戦略センターで十分に吟味し、将来的に重要となる研究分野を検討して行く予定である。そのような分野が明らかになれば、その新しい研究潮流を生み育てるように、将来の政策に反映させていきたいと考えている。

また、今後も将来の研究の方向性を模索するために、十分に企画を練ったうえで、今回のようなフォーラムを継続的に開催していくことが重要であると考えている。

## 目 次

|                        |    |
|------------------------|----|
| 1. はじめに .....          | 1  |
| 1.1 開催趣旨 .....         | 1  |
| 2. 開催概要 .....          | 2  |
| 2.1 参加者 .....          | 2  |
| 2.2 プログラム .....        | 3  |
| 3. 討論概要とキーワード .....    | 4  |
| 4. 討論内容と将来展望 .....     | 7  |
| 4.1 ゲノム・機能分子、進化 .....  | 7  |
| 4.2 脳・神経、システムの理解 ..... | 13 |
| 4.3 医療、植物、微生物 .....    | 16 |
| 4.4 計測、物理工学的研究 .....   | 20 |
| 5. 事前質問 .....          | 23 |
| 5.1 技術・ツール .....       | 23 |
| 5.2 研究システム .....       | 26 |
| 6. あとがき .....          | 28 |

## 1. はじめに

研究開発戦略センター江口グループでは、ライフサイエンス分野における研究動向や資源配分を俯瞰するとともに、我が国の研究水準を国際比較することにより、重点的に推進すべき研究分野・研究領域・研究課題を抽出し、資源配分や研究体制のあり方等を包含するライフサイエンス分野の研究推進方策を立案し提言してきた。近年、パラダイムシフトをもたらすような新しい研究分野を開拓し、10～20年後のライフサイエンス分野の科学・技術を飛躍的に発展せしめるための方策を構築することが強く求められている。

そのため、ライフサイエンスの方向性を模索し予見するために、若手研究者による「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潮流ー」を開催した。

### 1.1 開催趣旨

我が国のライフサイエンスの将来を展望し、今後、重要となる研究分野を見通すために、研究を中核的に推進している若手研究者を幅広い研究領域から集結し、「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潮流ー」を開催する。

新しいサイエンスを作っていくためには、新しい技術や他分野の知識を導入することが求められる。従って、新たな研究分野は異なる分野の科学技術を融合する研究、またはバイリンガル、マルチリンガルな人材が取り組む新しい研究から出てくることが想定されるため、本フォーラムを「分野融合フォーラム」とする。

本フォーラムは「10年後のライフサイエンス」を念頭において、そこに到達するために必要とされる技術・ツール、分野を超えた視点などを織り交ぜながら、研究者の問題意識と独自の発想に基づく自由な論議を通じて、将来のライフサイエンスの方向性を模索することを目的とする。

期待される成果としては、参加者においては、(1)議論に触発されて、新たなアイデアなどを持ち帰ること、(2)参加者から広がる研究者ネットワークが形成されること、研究開発戦略センターにおいては、(1)新しい研究分野を見つける方法論を模索し、方法論の有効性を評価すること、(2)参加者から研究潮流をつくるための素材を集めること、(3)フォーラムの成果を報告書に取りまとめて公開し、戦略立案につなげることが挙げられる。

研究開発戦略センターでは、本フォーラムで集められた素材を十分に吟味し、将来的に重要となる研究分野を明らかにし、その新しい研究潮流を生み育てるように、将来の政策に反映させる。

## 2. 開催概要

開催日時：平成19年1月10日(水)～11日(木)

開催場所：かずさアカデミアパーク(千葉県木更津市)

### 2.1 参加者

#### 【コーディネーター】

|      |                            |
|------|----------------------------|
| 大石道夫 | かずさDNA研究所 所長・理事長           |
| 古澤満  | 第一製薬株式会社 特別参事              |
| 堀田凱樹 | 大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構 機構長 |
| 柳田敏雄 | 大阪大学大学院 生命機能研究科 教授         |

#### 【討議者】

|       |                                   |
|-------|-----------------------------------|
| 浅原弘嗣  | 国立成育医療センター研究所 移植・外科研究部 (発生・再生医療)  |
| 有田正規  | 東京大学大学院 新領域創成科学研究科 (バイオインフォマティクス) |
| 石川文彦  | 理化学研究所 免疫・アレルギー科学総合センター (血液幹細胞)   |
| 上田路人  | 松下電器産業株式会社 先端技術研究所 (デバイス)         |
| 内村有邦  | 大阪大学大学院 生命機能研究科 (マウス遺伝学、発生学)      |
| 大武美保子 | 東京大学 人工物工学研究センター(神経情報学、サービス工学)    |
| 木賀大介  | 東京工業大学大学院 総合理工学研究科 (合成生物学)        |
| 木村曉   | 国立遺伝学研究所 新分野創造センター (細胞建築学)        |
| 駒井章治  | 奈良先端科学技術大学院大学 バイオサイエンス研究科 (神経科学)  |
| 末次志郎  | 東京大学 分子細胞生物学的研究所 (細胞骨格制御)         |
| 出村拓   | 理化学研究所 植物科学研究センター (植物科学)          |
| 永井健治  | 北海道大学 電子科学研究所 (バイオイメージング)         |
| 東島眞一  | 岡崎統合バイオサイエンスセンター (神経発生学)          |
| 古屋俊樹  | 早稲田大学大学院 理工学研究科 (応用生物化学)          |
| 細谷俊彦  | 理化学研究所 脳科学総合研究センター (ニューロコンピュティング) |
| 安田賢二  | 東京医科歯科大学 生体材料工学研究所 (実験生物物理学)      |
| 吉村由美子 | 名古屋大学 環境医学研究所 (神経生理学)             |
| 四方哲也  | 大阪大学大学院 情報科学研究科 (実験進化学)           |
| 渡士幸一  | 京都大学 ウイルス研究所 (ウイルス学)              |

討議者については、コーディネーターや科学技術振興機構の戦略的創造研究推進事業「さきがけ」の総括などから推薦された若手研究者の中から、研究分野のバラ

ンスなどを考慮して選定した。また、フォーラム開催に先立って、事前に個別インタビューを行って趣旨を説明するとともに、自身の研究の発展や将来の研究分野などに関するアンケートについて回答を得ている(第 5 章参照)。さらに、当日の発表のために、自身の研究紹介や将来展望についての資料作成をお願いした。各研究者の発表資料の一部を第 4 章に掲載した。

## 2.2 プログラム

### 1 月 10 日(水)

|             |                              |
|-------------|------------------------------|
| 9:00～ 9:30  | 開会、趣旨説明                      |
| 9:30～12:00  | 自己紹介、意見表明                    |
| 12:00～13:00 | ランチタイム・ディスカッション              |
| 13:00～15:00 | セッション I (ゲノム・機能分子、進化:古澤先生)   |
| 15:00～16:00 | ティータイム・ディスカッション              |
| 16:00～18:00 | セッション II (脳・神経、システムの理解:堀田先生) |
| 18:00～20:00 | 夕食(立食形式)                     |
| 20:00～22:00 | ナイト・セッション                    |

### 1 月 11 日(木)

|             |                             |
|-------------|-----------------------------|
| 9:00～11:00  | セッション III (計測、物理工学的研究:柳田先生) |
| 11:00～12:00 | 参加者まとめ                      |
| 12:00～13:00 | ランチタイム・ディスカッション             |
| 13:00～15:00 | 総合討論(大石先生)                  |

フォーラムでは、“研究分野を見出す”ための全体セッション(セッション I ～ III、総合討論)と“異分野の研究者が接触する場”の有効性を見極めるための時間(ランチタイム・ディスカッション、ティータイム・ディスカッション)を設定した。全体セッションでは、若手研究者から将来展望についての発表を受けた後、大まかな研究分野ごとに 3 つのセッションに分けて議論を進めた。また、ランチタイムとティータイムには数人ごとのテーブルに分かれることにより、異なる分野の研究者同士が自由に議論を盛り上げることができるようにした。

また、セッション後に参加者には将来展望とキーワードなどをまとめる時間を取り、センターで検討するための素材集めを行った。

### 3. 討論概要とキーワード

フォーラムでは、30 歳台後半を中心とした若手研究者の現在の立ち位置をベースにライフサイエンスの将来を展望した。

ゲノム・機能分子分野からの展開では、デザイン論・計算機科学・物理化学を踏まえた構成的アプローチ、データベース、進化実験、知識抽出などについて議論を行った。脳・神経分野からの展開では、脳の本質に迫るためには何が必要かということを中心に技術の観点を十分に加えた議論を行い、分子・細胞からのアプローチと脳全体を見るアプローチとを如何につなげるかが重要であろうと認識された。計測分野からの展開では、ライフサイエンスの多くの分野で用いられているイメージング技術の開発の重要性と日本の優位性、脳型コンピューターなどについて議論した。また、医療や生物生産への応用についても議論した。

フォーラム全体を通しての議論の流れは以下のように整理することができる。

ライフサイエンスでは、分子生物学、細胞生物学、構造生物学の発展によって分子の同定、役割、形、データ収集という“もの”の物性の解明が飛躍的に進んでいる。この流れは、このままずっと進むであろう。

次は、それらが形作るシステムのダイナミクスを見ることが大きな流れであろうということが共通に認識された。生物のシステムは非常に複雑でダイナミックなので、そのまま見てもわからない。そのため、先端計測などの技術開発は重要であり、特にイメージング、プローブ開発が非常に重要になろう。また、取得したデータを見ればすぐ答えが出るというものではなく、解析をしなくてはならないし、それをモデリングして理論化(論理構造の発見)しなければならない。さらに、医療やモノづくりに役に立たなければならないという意見も多かった。工学の観点からすると、このままではモノにはならず、形式化、フォーミュレーションが必要である。数学を使ってきちんとフォーミュレーションしなければモノづくりににはならない。ここまで行かなくてはいけない。

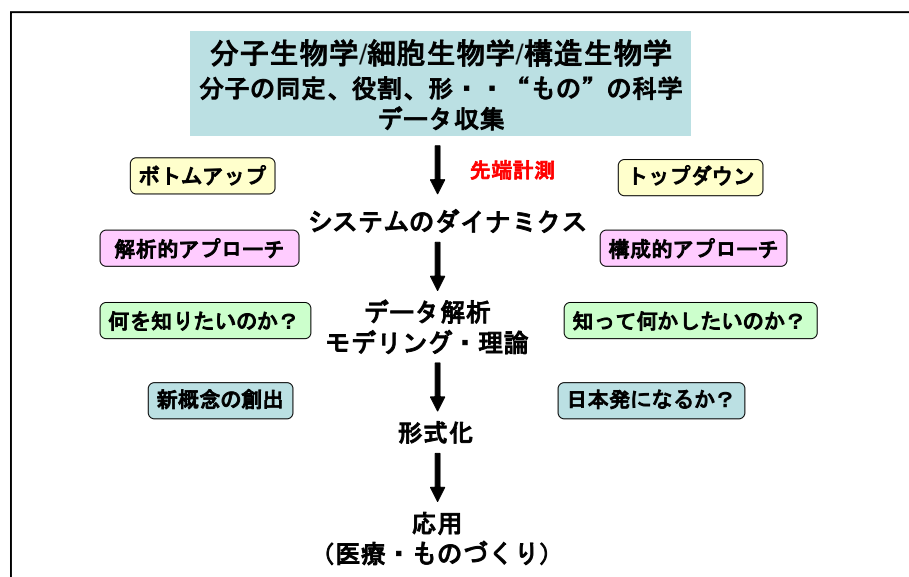
手法としてはボトムアップ的なものも必要であるし、余りにも複雑なのでトップダウン的な研究もしなくてははいけない。解析的にやるものもあるけれども、創って知るという構成的な研究も大事だという議論があった。

それで何を知りたいのか、知って何かをしたいのかということにも話が展開した。医療への応用に関しては、病気は多因子が原因となって起こるので、結局はシステムのバランスを考えずに薬を作っても、ある症状の改善をしても、別の面では重篤な病気になってしまうことがありうる。そのため、システムのことをきっちり勉強してはいけない。計測しても、それを理解する方法が必要なので、理論を作る人、モデルを作る人も入れて統合的にダイナミックなシステムを解析する。個々の研究者はそういうこ



とが重要だと思っているが、コンセントレートしてやっているかという点、必ずしもそうではないのではないかと。多くの人からそういう指摘があった。

また、研究において世界のまねをされていてはいけないので、新概念を創出しなくてはならない。それが日本発になるかという点も議論になった。



(柳田先生の発表資料より一部改変)

分野融合という観点では、ライフサイエンスを中心にして、数学、計算機科学、物理学、化学、工学など多くの分野の研究が集結することにより、サイエンスが大きく飛躍する可能性が指摘され、ライフサイエンスを核にして分野融合が進むであろうということが強く示唆された。

異なる分野が融合する場合には、革新的な技術・ツールの果たす役割が非常に重要であることを参加した研究者が共通に認識していた。特に、複雑な生体システムのダイナミクスを見るためのイメージング技術は国を挙げて取り組むべきものの一つであるという意見が多かった。

また、我が国では異分野の研究者が集まって議論する場が少ないという指摘があった。本フォーラムで設定した、少人数の研究者が議論する場では、議論が大いに盛り上がっていたことから、“異分野の研究者が接触する場”の提供が有効であることを確認することができた。しかしながら、“研究分野を見出す”ための全体セッションでは、必ずしも思ったようには議論が拡がらなかった場面も見受けられた。

また、バイリンガル、マルチリンガルな人材はまだまだ稀有な存在であり、今後、そのような人材を如何に育成していくかが重要になるであろう。

## キーワード

フォーラムを通じて抽出されたキーワードを以下の表にまとめた。

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <u>融合分野</u>                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 科学と文化、生物学と数学、生物学と物理学・化学、理論と実験、基礎研究と臨床研究、研究者とユーザー、基礎研究者とメーカー                                                                                                                                                                                                                                           |
| <u>研究分野・研究領域・研究テーマ</u>                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| ゆらぎ、生命現象の新しいコンセプト設定、個体中での分子・細胞生物学、脳における意識のサイエンス、脳機能の局部を(心理学)コンセプトとして平易に表現する研究(データベース)、エピジェネティクス、言語の脳活動、忘却のメカニズム、デザイン論、構成的アプローチ、システムバイオロジー、計算科学、転写産物の細胞レベルでの網羅的解析、クロマチンのダイナミクス解析、生体システム、Quality of Life (QOL)、サイバーパンク、知識抽出、細胞系譜・歴史性、水の研究、気の研究、ノイズと環境情報、少数性の研究、植物代謝産物のニュートリゲノミクス、植物の分化全能性、バイオマス、バイオプロセス |
| <u>技術・ツール</u>                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 高時空間分解能でのイメージング、三次元イメージング、非侵襲イメージング、光褪色のない(少ない)より明るい(>10 倍)蛍光プローブ、プローブ導入技術、増倍ゆらぎのない受光カメラ(CCD、C-MOS)、超分解光学顕微鏡(可視光で数ナノメートルの空間分解能)、微分情報処理による機械制御、ナノ素子、脳プロセッサー、生物センサー、人工細胞、大規模情報処理、データベースのプラットフォーム、数理モデル                                                                                                  |
| <u>研究システム</u>                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 異分野の研究者が交流できる場、難問への挑戦、知識教育、若手のPI 登用                                                                                                                                                                                                                                                                   |

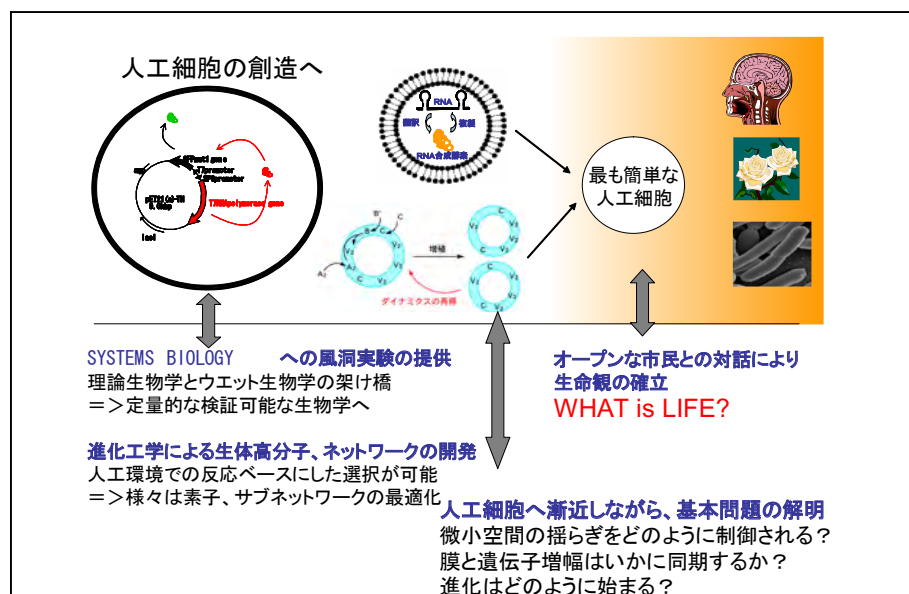
## 4. 討論内容と将来展望

セッションⅠではゲノム・機能分子、進化などに関して、セッションⅡでは脳・神経、システムの理解に関して、セッションⅢでは計測、物理工学的研究に関して議論を行った後、総合討論を行った。以下に、議論の内容を記す。

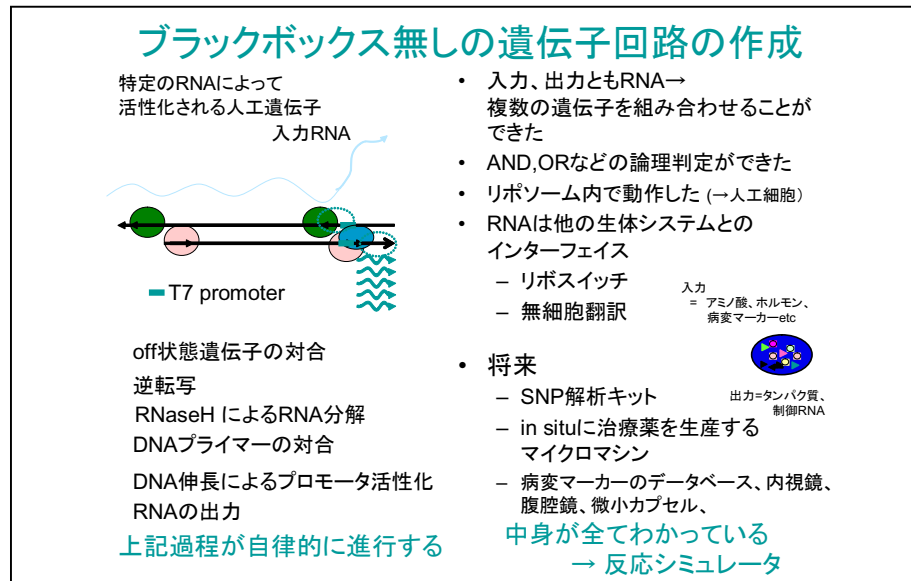
### 4.1 ゲノム・機能分子、進化

#### (1) 構成的アプローチ

- ・生命とは何か、生きている状態とは何か、解析的に研究してはわからないので、構成的アプローチにより生命の原理を探る研究手法である。部品を集めて細胞ができるとは信じていないが、これをサイエンスで破れないかと考える。
- ・このような手法により、細胞がどのようにゆらぎを抑えているかという、平均値の科学ではなく、ゆらぎの科学に基づいた新しい知見を十分に提供することが重要である。
- ・どういう科学的知識が必要か、何が足りないか。⇒ 一つはデザイン論、計算機科学とのコラボレーション。もう一つは部品の供給。
- ・細胞膜の物理化学的性質や細胞の局在・ポラリティーの問題をモデルの観点から突き詰める必要がある。また、部品の仕様を定めることも重要。
- ・構成的アプローチを単独で存在させるのではなく、分析的アプローチと相補的に捉えた方がよい。



(四方先生の発表資料より一部改変)



(木賀先生の発表資料より)

## (2) 網羅的解析

- ・網羅的解析をやったからこそわかる生命のロジックが知りたいが、それがまだ出てこない。何をすればよいか。
- ・全体を見るにはそれに必要なモデルを考え、それに合ったデータを取らなければならない。今あるデータベースは全体を扱うモデルを作ることには念頭になかったので難しいのではないか。また、データベース化する段階で枝葉末節を切り捨てているため、そこを把握していないと見当違いの結果が出てくる。
- ・網羅的といえるのはゲノムと EST のデータベースくらいで、それ以外は網羅的まで達していない。
- ・静的または定常状態のデータはあるが、ダイナミックなデータがない。
- ・データベースから何が言えるかという専門家が少ない。辞書はたくさんできるが、辞書を使いこなしているかは疑問。データベースを体系化することが必要。
- ・プラットフォーム化がうまくできていない。材料を安価に提供して、出てきたデータを戻すような仕組みを作ることが必要。リナックスのようなオープンソースのものが提供されるとよい。
- ・情報・システム研究機構では独自の方法で作られた多くのモレキュラーのデータベースを横につないでプラットフォームを作りたいことを計画している。
- ・遺伝学だけで全てはわからないし、網羅的に全部の遺伝子の発現を見てデータベースにすれば全てがわかるというものではないのではないか。
- ・データと情報は違う。データから取り出してやっとな情報になる。医者などと議論していると何を取り出せばよいかはわかる。情報を取り出した後、どうするのかを

考えないとダメ。

- ・蛋白質－蛋白質相互作用の解析技術にはまだまだ改良の余地がある。日本人はひとつの基盤データを作るというのは非常に得意なので、新しいアイデアを出して、ヒトとお金をかけてやるべき重要分野だと思う。
- ・文章化したデータベースではなく、画像やムービーのデータベースを作るのは意味がある。バイオインフォマティクスはどうしても一瞬を捉えたものになるので、如何に動的に時間軸を加えられるかということは挑戦すべき。

**細胞膜と細胞骨格の相互作用はどのようにして決まるのか？**



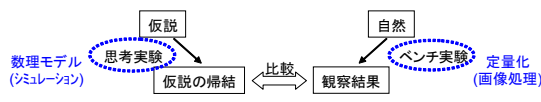
**他の分野との連携**

- ・ 現在の私の分野一箇別の分子を扱ってきた。
  - － 細胞生物学
  - － 分子生物学
  - － 生化学
  - － 構造生物学
- ・ 10年後の研究実現のために必要な分野
  - － 網羅的解析技術を個人レベルで使えるようにする。
  - － 網羅的解析の結果生じた大量のデータの検証、再構成を容易にできるようにする。
  - － 個別の分子の解析はより深く行う必要がある結晶構造解析、電子顕微鏡技術などのミクロな可視化技術の普及
- － そのためには。
  - ・ 情報処理－統計処理 すべての遺伝子の発現情報を扱うには情報処理が不可欠。以前から言われていることだが、多くの研究者に採ってまだ一般的な手法になっていない。
  - ・ 画像解析－細胞形態の解析は従来、研究者の経験に頼る部分が大きかったが、画像処理技術によって研究者による主観を排する必要がある。
  - ・ 工学
    - － 遺伝子組み換えの自動化
    - － タンパク質発現精製技術の進歩
    - － 局所的な物質の濃度をコントロールする技術
    - － マイクロアレイの簡便化、低価格化
    - － 質量分析の簡便化
    - － 画像取得技術（電子顕微鏡、光学顕微鏡）の進歩、簡便化
    - － 結晶構造解析の簡便化

（末次先生の発表資料より一部改変）

**[テーマ] 細胞内でのモノの配置とその動きを司る理論の探求⇒細胞の”建築学”**

**[アプローチ]**



**[展望]** 細胞内構造体が配置され、機能発揮する様子をイメージできるようにしたい（細胞内の”映画化”）

**新しい研究潮流、分野融合について**

**[新しい研究潮流の創出に向けて]**

- ・ “流れ”から離れる（e.g. 細胞生物学分野：数や理論の有効活用）
- ・ 日本発：特性を伸ばすシステム

**[分野融合について]**

想像  
(妄想)

→

創造

T

分野の壁？  
(知識、設備、技術)

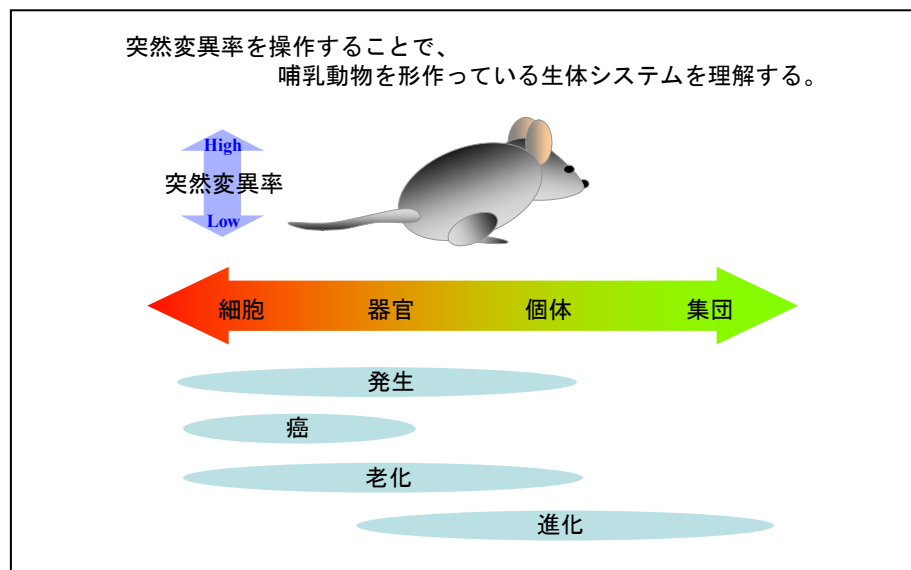
T

弱いネットワーク

（木村先生の発表資料より一部改変）

### (3) 進化

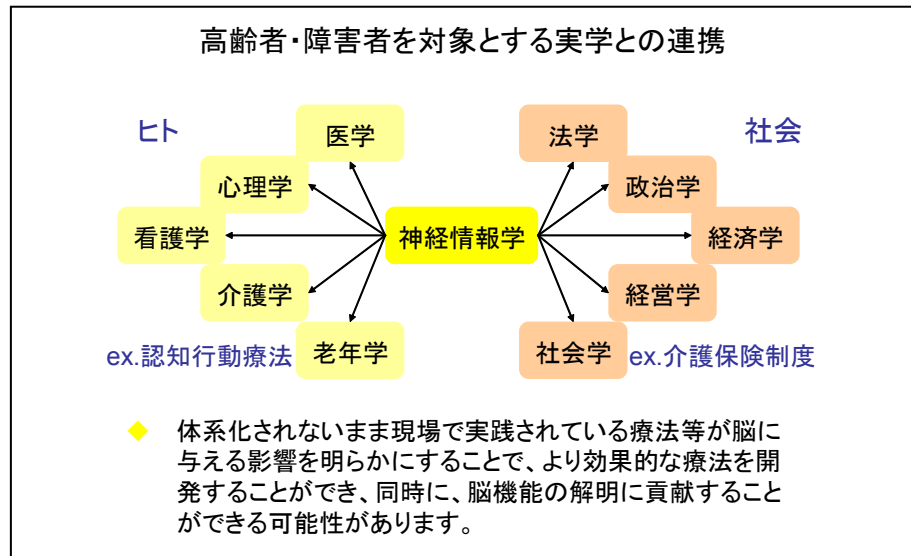
- ・DNA複製や遺伝情報の保持機構の知見を利用して突然変異率を操作することにより、細胞、器官、個体、集団の様々な階層にわたる生体システムの問題にアプローチできるのではないか。
- ・発生学の基本的解析手法である loss of function ではなく、遺伝子を壊さないで違った表現型が得られればと考えている。
- ・うまくいけば、進化が起きているポイントのところに触れる可能性がある。
- ・いくつかの遺伝子が関与する自己免疫疾患の解明には有効なアプローチ。
- ・現存する生物から過去を想像することは間違いを起こす可能性があるがあるので、今ある生物を前向きに進化させて、その過程を克明に追う。ゲノムと形態を比較していく方法論は新しいサイエンスになる。進化というのは実験科学にたたき落とさないダメ。
- ・この方法は進化を非常に速めたイメージだが、100～1万倍では研究者が一生の間にできる進化の実験としては本質に迫れないくらい大変ではないのか。



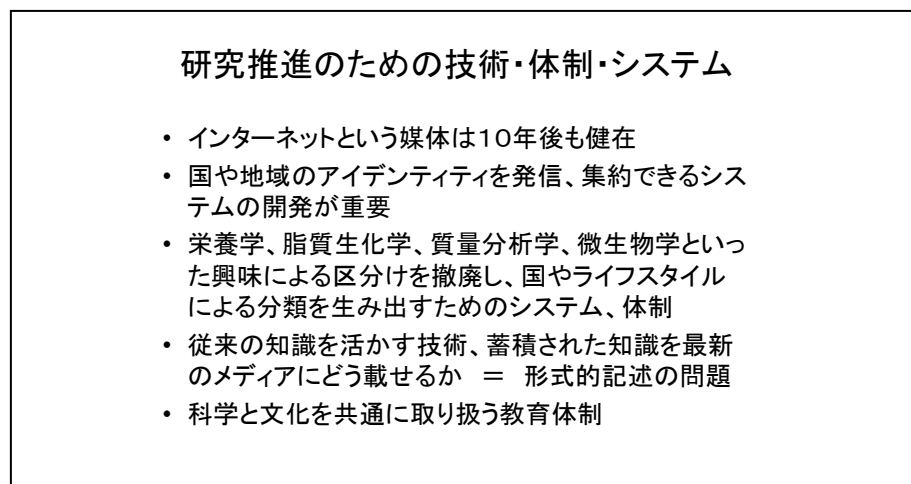
(内村先生の発表資料より)

### (4) 知識の抽出

- ・体系化されていない治療法などの知識を取り出して、効率的な治療法の開発や脳機能の解明に役立てることができるのではないか。
- ・日本語で書かれている文献が死んでいる面がある。数多くの日本語の文献から情報を取り出すことができれば、とても有用である。
- ・主要研究者の頭の中に蓄積されている論文や電子化された形で公開されていない膨大な知識を発掘し、データベース化することで分野融合、統合を促すことができるのではないか。



(大武先生の発表資料より)



(有田先生の発表資料より)

## (5) 構造生物学

- ・ 何を構造生物学で見るか。どこを知りたいか。
- ・ 生きているゲノム全体の構造がどういうものかというのが一つの目標。
- ・ クロマチンの構造生物学が 10 年後に世界を変えるかもしれない分野の一つ。
- ・ できれば細胞全体を構造解析したいが、まだ課題は大きい。
- ・ 直接見てしまうよい方法はないか？ 藤吉好則先生(京都大学)がやっている電子顕微鏡で見るという方法は日本オリジナルになる。
- ・ リボン表記というのがブレークスルーだった。リボンモデルをぐるぐるコンピューター上で回すとダイナミクスという感じがする。ダイナミクスを明らかにし、それをうまくビジュアル化できれば、もっと研究が発展するかもしれない。

## 将来展望

- ・研究というより、新しいコンセプト(生命とは？何が知りたいか？)
- ・大量の情報を整理し理解することが必要となる。理解とは、データを研究者の脳内で再構築するのみならず、実際にモノをベースとして再構築する、さらには天然とは若干異なる構築を行うことが必要となる。そのためには、電子情報として整理されたデータだけではなく、物質ベースのデータバンク整備、各種受託合成の一般化が重要となる。
- ・10 年後には人工の細胞様システムが実現されている以上、さらに先を見据えた人工多細胞生物を作るための基盤研究が必要となる。
- ・生物の不思議は物質ベースの科学で想像できないことに尽きる。その不思議を明らかにするには、生物(人工細胞)を作っていくことが重要。その過程で、1) 物質反応で不可避な熱ゆらぎを如何に抑えて成長・分裂を続けるシステムが出来るか、2) 予期できない環境変化でも適応してきた生命システムの秘密とは何か？の質問に答えを与える。2) は予期できない変化に対応できない機械文明に革命を与える。
- ・健康科学、生きる意味(価値)を考えるような(哲学的な)科学。この意味ではやはり科学と文化の融合は避けられない。その際に中核となるのは脳科学、栄養、サイバネティクス。これらが新しく再興する。
- ・よい意味での暮らしの科学が必要になる。
- ・研究者とそうでない人の区別はますますなくなっていく。
- ・作ることと解析することを循環させながら研究することが必要になる。多様な人工細胞(神経細胞、筋肉細胞、骨芽細胞、皮膚細胞)を作るとともに詳細にモデル化して公開する。次に、これらのネットワークを形成する方法を解析的・分析的に研究する(モデル化・公開)。人工神経細胞や人工神経細胞ネットワークなど人工的なものを vivo の環境に埋め込んでリアルな人工臓器を作る研究をする。人工神経細胞や人工筋肉細胞はそれ単体として人工機械のパーツとなりうる。
- ・“よいライフサイエンス”には、「役に立つ」、「びっくりする」という 2 軸が考えられる。「役に立つ」は効く薬の発見やよく見える顕微鏡の開発など明らかに重要で達成もある程度予想可能。問題は「びっくりする」成果を計画的に出せるか。アポロ計画、アトム計画、人工細胞のように完成像を具体的に提示できなくとも、その過程で「何かは面白いことができる」という期待を維持することが重要。具体的な道筋は見せられなくても、周りが「本当にできるのか不安だ」と思うくらいのものを適切な体制でサポートすることが重要だと思う。
- ・ゲノムの解明により、生物を有限個数の要素で記述することが可能である。有限個数のデータを全て取得できるデータ、およびその解析検証技術を個々の研究



者が持つべきである。差分だけに限定すれば個人でも扱えると予想する。

- ・(少なくとも転写・ゲノムレベルでは)未知の要素があるかもしれないという状況を脱しているべきである。
- ・分子生物学的なものをシステムとして理解する分野が必要になる。生物学だけではなく工学・計算科学などの分野の研究者も参画することが重要である。
- ・新しいテクノロジーで解析を行い、解析データを基盤に“作る”研究を行う。
- ・生き物が生き物たる特性を表現するためのコンセプトをどれだけ提示していけるかが大事。生物がどのようにして合目的性に優れたシステムを構成しているのか、そのシステムを支えるためのコンセプトに迫るための研究が大切である。
- ・情報とシステムという切り口で生命の全体像を理解する。そのためには広い意味でのデータに深く根ざした理論の役割が重要。また、“進化”という観点からの整理が大切。

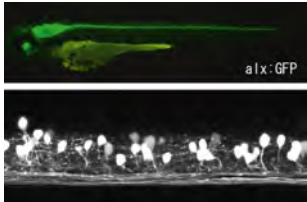
#### 4.2 脳・神経、システムの理解

- ・脳研究の流れは、脳地図の作成から局所機能の解明、しかも遺伝子レベルでの解析というように進んできている。対象としては線虫やショウジョウバエでの研究がゼブラフィッシュやマウスなど脊椎動物に届いてきている。
- ・脳をつくる過程、神経回路がどのようにしてできるのか？設計図はどこにあるのか？ということがまずは重要であろう。
- ・ゼブラフィッシュは GFP との相性もよく、特定の神経細胞を可視化できる。10 年くらいでほとんど全ての神経細胞についての記載ができると考えられる。

### 神経細胞可視化手法による、神経回路機能の解析

トランスジェニックゼブラフィッシュにより、様々なクラスの神経細胞を可視化

下図は、*alx*という遺伝子に適用した例



alx:GFP

このように、特定のクラスの神経細胞を遺伝学的に同定し、可視化した上で、それらに関して発生機構、および神経回路機能の解析を行う。

#### 今後の研究の展開

トランスジェニックフィッシュによる可視化手法をよりいっそう押し進めていく。

脊髄介在ニューロンの発生機構に関しては、ほとんどすべてのことが明らかになる。後脳、間脳の介在ニューロンに関しても、解析を進めていく。

回路の機能解析に関しては、電気生理学的手法からイメージング手法に解析手法の中心を移していく。カルシウムイメージングに加えて、(遺伝学的にコードされた)電位依存性プローブによる解析を進める。これにより、脊髄神経回路、後脳神経回路がネットワークとしてどのように計算して行動が生み出されているかが明らかとなる。

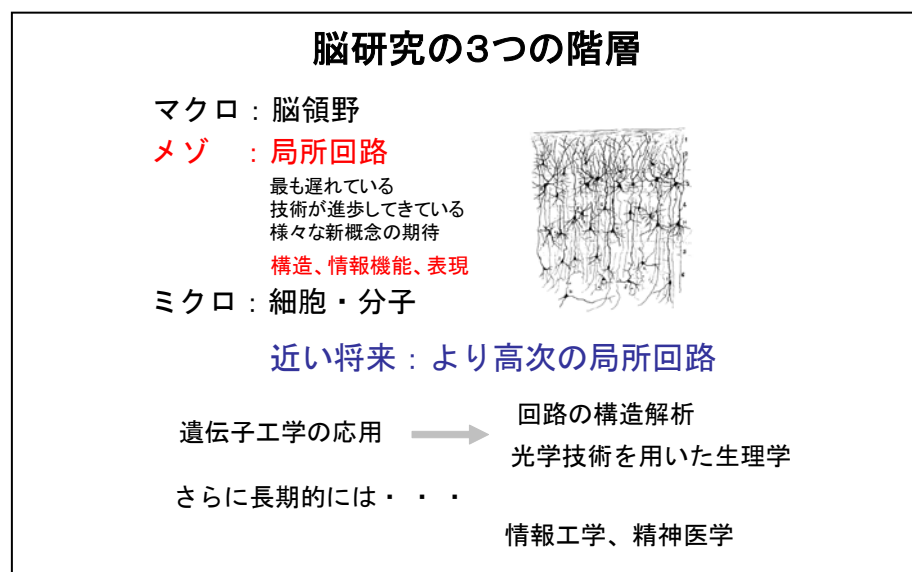
数理学的手法を取り入れて、神経回路の計算方法に迫っていくことも重要となろう。

イメージング手法に関しては、不動化したサンプルに対してだけではなく、動いているサンプルからイメージングできるようになっていく方向に向かっていきたい。

また、神経に完全には限定せず、トランスジェニックゼブラフィッシュ手法と新規プローブを組み合わせることで、チャレンジなイメージングを目指していく。

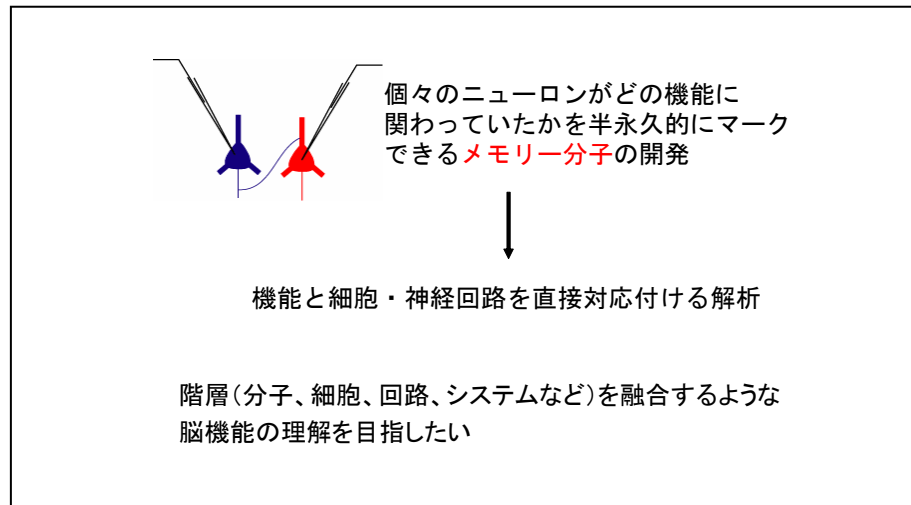
(東島先生の発表資料より一部改変)

- ・マウスでは神経回路が何をやっているかさえわかっていない。全てのパーツがわかってても脳の理解につながらないのではないかと感じている。
- ・脳・神経の研究では、神経回路のレベルは中間的で適切な階層だと考える。
- ・サブサーキットの入出力関係を見て、それを全体に再構成しているが、サーキットがわかってても、全体のインプットとアウトプットの総体がわからないため、回路を明らかにしたことが脳の本質の理解に役立つかはわからない。
- ・神経回路のトポロジーがわかってても、そのネットワークの機能がわからないのが現状。個々のニューロンのインプット・アウトプットを模倣するものはできると思うが、それで理解できたのか？何をもって理解できたかを明確にすべき。
- ・脳でどのような情報処理が行われているかを調べる切り口がわからない。
- ・脳研究は大きな壁の前に突き当たっているという印象がある。突破するためには、テクノロジーの開発か、新しいコンセプトをもつしかない。
- ・ゲノミクスからのアプローチで本質的な問題が解決できるか⇒ゲノミクスのな方法論で本質的なコンセプトに達しうると考えている。



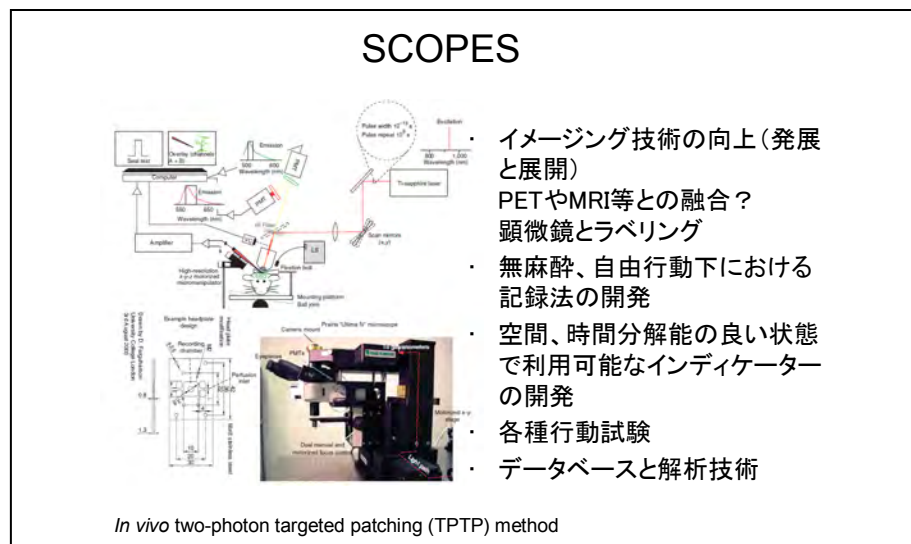
（細谷先生の発表資料より一部改変）

- ・下からの積み上げだけでなく、上からのガイドがないと進めないなので、機能から細胞レベル、回路レベルに落ちていくツールが欲しい。例えば、ある期間の脳の活動を記憶できるメモリー分子が欲しい。活動したニューロンに何かタグがついて、それをスライス標本や vitro の標本にもっていても、何か残っているようなメモリー分子があれば、機能と細胞、神経回路レベルの研究を直接対応づけることができる。vivoとvitroを行き来することで、それぞれのレベルでの理解ではなく、全てのレベルでつじつまが合う脳機能の理解が進むと思う。



(吉村先生の発表資料より)

- ・時間分解能が十分でないため電気生理のようにイメージングはできない。
- ・そのような技術開発があれば、脳の本質的概念に到達できるのか？もう一段上の本当のブレークスルーが必要なのでは。
- ・脳研究の 1/3 くらいは理論だと思う。予想できることならコンピューターシミュレーションでやってしまった方が早い。



(駒井先生の発表資料より一部改変)

- ・fMRI や PET などで大まかなグローバルな脳全体の機能の発現状態を見る技術は非常に発展した。これを細胞、分子とどうつなぐかが今後重要になる。

- ・言語の脳活動からのアプローチも非常に重要になる。
- ・これをやれば脳が全部明らかになるというものを出すのは難しい。
- ・脳全体の機能(障害)としては、脳にどれくらいの情報がどのように入っているかは謎であり、認知症などでの忘却のメカニズムも全くわかっていない。
- ・昔から心理学的アプローチがあるが、上からの新しいアプローチが欲しい。
- ・感覚や運動はよいが、認知のアウトプットとして何を測定したらよいかを設定できないのが大きな問題ではないか。実際、脳の活動を電極で見ることと行動などとの関係をきちんと実証している研究は非常に少ない。

## 研究展望

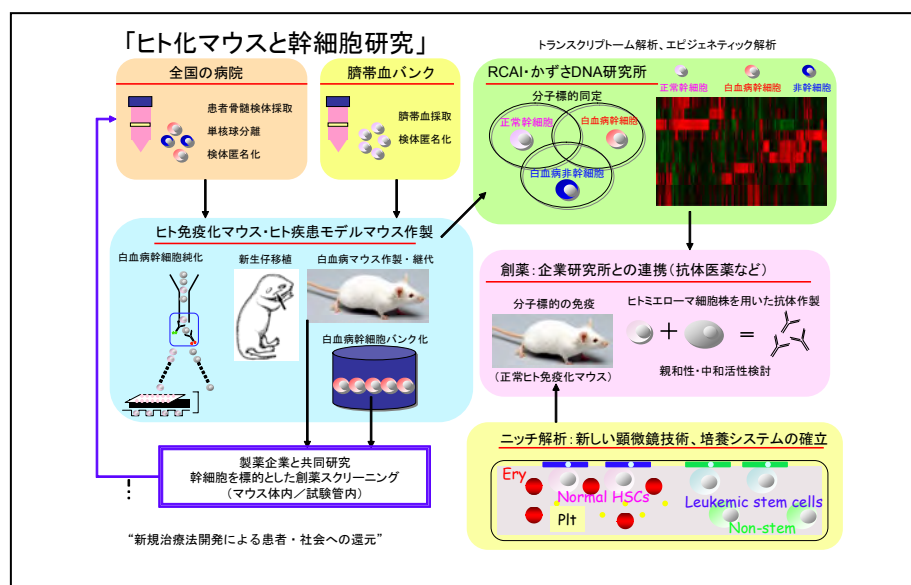
- ・脳内情報処理については、人間の頭の能力としてあくまでも決定論で押して、そこに limited sloppiness (限定的なあいまいさ)を入れる。さらに複数の脳内状態が一つの外部状態に対応するという degeneracy (縮退)の概念でまとめる。
- ・個体脳での機能イメージングを行う顕微鏡等の計測機器とプローブの開発。さらに、脳機能を的確に引き出すことができる行動試験を創出することが必要。
- ・脳機能の局部を(心理学)コンセプトとして平易に表現する研究(データベース)。
- ・以下への洞察を得られるもの。(1)神経回路、細胞内ネットワークがどのような計算をしているか、特に大脳皮質。アルゴリズム提案。(2)現在のようにしていることの生存上の利点は何か？例えば、外界ノイズへの耐性、省エネルギーなど。(3)今のようになった進化的な理由(段階的に酵素を足しやすいなど)。
- ・脳にしても細胞にしても、概念から実験までを含む「総合学問」なので、それを行える教養のある科学者を育てることが重要。個々の研究者の意識・訓練が重要だが、そういうことを伸ばす環境(評価システムを含む)が重要。
- ・どの分野においても static なあるいは個々の性質は明らかになってきている。次は、それらが組み合わさった時、あるいは生きた細胞や組織の中でダイナミックにどう振舞って、どのような機能が発現しているかに挑む研究が必要。

## 4.3 医療、植物、微生物

### (1)医療

- ・合成生物学的手法でがんのライブラリーをいろいろ導入して進行的にがん細胞を作っていく過程でがんというものを新たに定義できるのではないか。
- ・ゼブラフィッシュなどの新しいアッセイ系をうまく取り入れることにより、融合分野で新しいシステムを構築していけたらよい。
- ・骨の中をどのように解析するか。骨の中のイメージングも大切。

- ・皮膚など分化した細胞の初期化と再分化による再生システム。
- ・網羅的解析をする上で、臨床現場の検体を基礎研究者に提供するのが難しい。  
そこをつなぐ仕組みや基礎研究者と臨床医との密なコミュニケーションが重要。
- ・省庁の枠を超えた共通のデータベースの構築が必要。



(石川先生の発表資料より一部改変)



(浅原先生の発表資料より)

## 研究の将来展望

### chemical geneticsによるウイルス解析

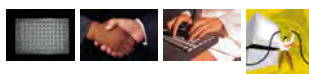
#### この手法の利点

- ・ 通常と異なった手法での解析により、未知のウイルス増殖機構が明らかとなる
- ・ 明らかになったウイルス増殖メカニズムが抗ウイルス剤の創薬標的となる
- ・ 最初にスクリーニングにより得られた化合物が、そのまま抗ウイルス剤のリード化合物となる

#### 目的、展望

- ・ ウイルス学基礎研究における新知見 → 臨床応用へ

#### 研究を推進するために必要な技術、研究体制・システム



- ・ 化合物ライブラリー
- ・ 化学合成系研究者との共同研究体制
- ・ (化合物ライブラリーの情報バンク)
- ・ (大規模スクリーニングシステム)

(渡士先生の発表資料より)

## (2) 植物

- ・ 植物ではゲノム科学はこれから。イネ・シロイヌナズナなどモデル植物の知見を作物に展開していくために多くの植物種のゲノムを調べる必要がある。実用樹種の全ゲノム配列決定を迅速に行える遺伝子配列決定技術が必須となる。
- ・ 植物科学の研究では、日本国土の中で考えるのは捨てるべき。中国などアジアにどのように貢献できるかが重要な課題。

### 植物科学研究

#### <数年内の状況>

- ・ より多くの制御遺伝子の同定
- ・ ポプラ、ユーカリ、その他樹木ゲノムの解読



#### <10年後の状況>

- ・ 樹木バイオテクノロジーの発展
- ・ 木質バイオマスの量や質が人為的に制御されたスーパー樹木の作出
- ・ 木質バイオマスからのエネルギー変換技術の開発が本格化



#### <必要な技術・ツール、研究体制・システム>

- ・ ポプラやユーカリ以外の実用樹種のゲノム解読のための、より高速の遺伝子配列決定技術
- ・ 木質バイオマスの本体である二次細胞壁(セルロースやリグニンなど糖のポリマー)の成分分析のために、非破壊的な(あるいは非抽出的な)代謝産物(メタボライト)測定技術
- ・ 木質バイオマスの効率よいエネルギー変換技術(酵素工学など)
- ・ 木質バイオマスの増産は地球全体の問題であり、より国際的な研究協力体制の確立

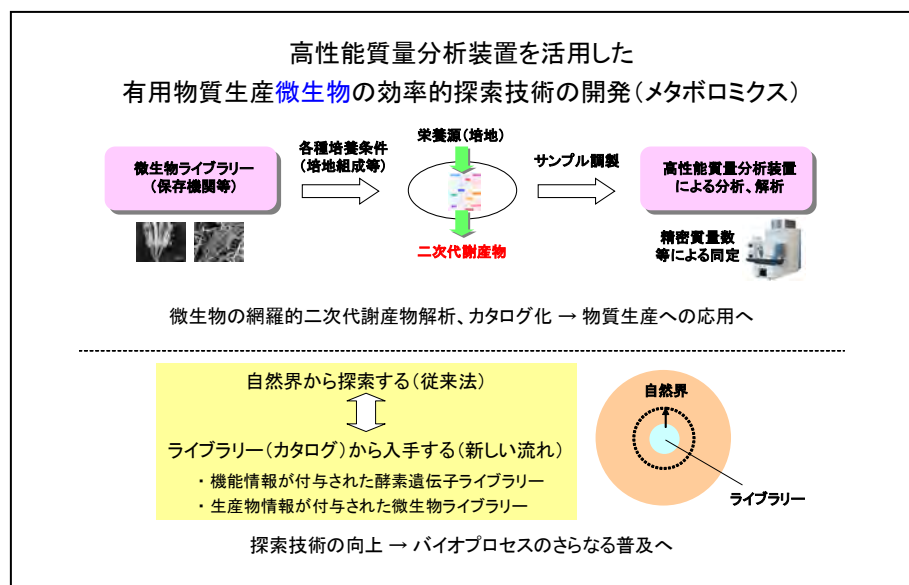
(出村先生の発表資料より一部改変)



- ・バイオマスという観点では、作物を食料とエネルギーのどちらに振り分けるかが重要となる。エネルギーに適する新しい植物を作り、その技術をアジアに輸出して、そこからのエネルギーを輸入するということもある。
- ・木材や廃材を利用するしかない。特に木材のセルロース、ヘミセルロースを効率的に発酵系にもっていくための生体触媒・酵素を見つけることが重要である。
- ・植物の二次代謝産物や植物ホルモ分野で日本はよい研究成果を出している。動物に比べて植物全体の代謝産物は二桁多く、約20万種類ある。これらの有効成分を医薬品や機能性食品に展開することを考えていくことが必要。

### (3)微生物

- ・将来的には化学触媒での反応を酵素に置換する方向に進む。その際、物質転換活性の高い細胞や物理化学的に頑強な細胞を作るアイデアが欲しい。



(古屋先生の発表資料より)

### 研究展望

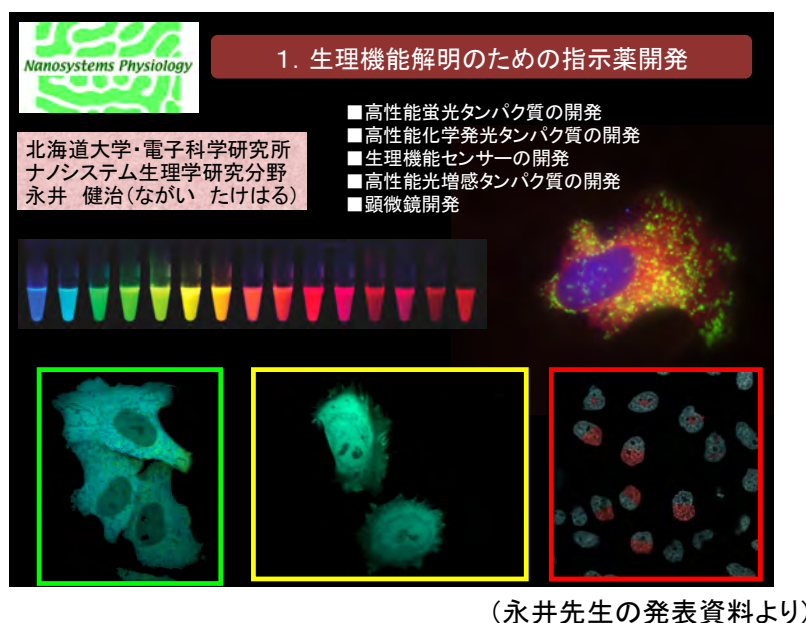
- ・個体が“発生”する生命の誕生と個体が老化するメカニズムを明らかにする。
- ・ミクロの解明に向けた研究が注目されているが、マクロへ向けた研究も重要(環境・エネルギーなど)。一方で植物独自の機能を解明するための研究は継続される必要がある。
- ・植物は脳を持たない→独自の環境認識システム(あるいは知覚システム)と情報伝達、情報蓄積(個々の細胞に備わっていることに着目)。
- ・環境問題の重要性が増し、バイオマス、バイオプロセスへの期待がいつそう高ま

る。その時にバイオマスとして何を利用すべきか、またバイオプロセスではどういった生体触媒なら実用可能か等を具体化していく必要がある。

#### 4.4 計測、物理工学的研究

##### (1) イメージング

- ・GFP は非常に有用であるが、定量性や褪色に課題がある。
- ・褪色しない安定に光るプローブ開発は国をあげてやってもよいと思う。
- ・ケミストと一緒に真剣に取り組めば日本でも十分いける。
- ・プローブ開発はまだ勝てるし、成功すれば細胞生物学、その上もいける。
- ・分子間相互作用もわかる。
- ・生体組織を透過する 900nm の波長の光を出すプローブがあれば、リアルタイムにラットの体内の現象を見ることができる。
- ・計測器、顕微鏡など色々なことができる大きなセンターがあればよい。
- ・質量分析の応用も有望。
- ・MRI や PET など磁場を利用した空間分解能、時間分解能の高い測定法の開発。物理、高エネルギー物理の研究者と組んでやれば勝てる余地がある。
- ・分子生物学とイメージングの融合で世界一になれる。

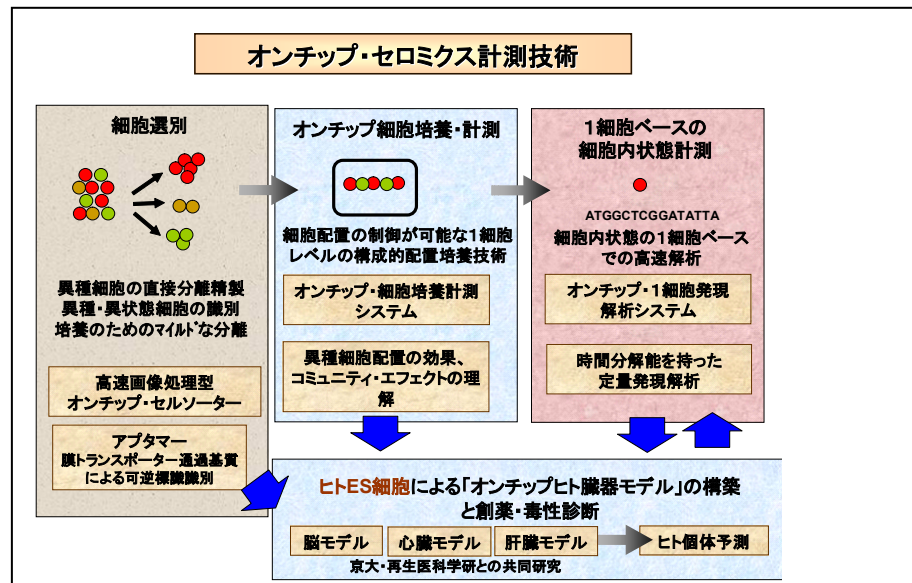


##### (2) 高速配列決定

- ・1細胞1個体のゲノムが1日で決定できる技術により、どのような発展があるか。  
⇒ 個性の違いを分子の言葉で説明できるようになる



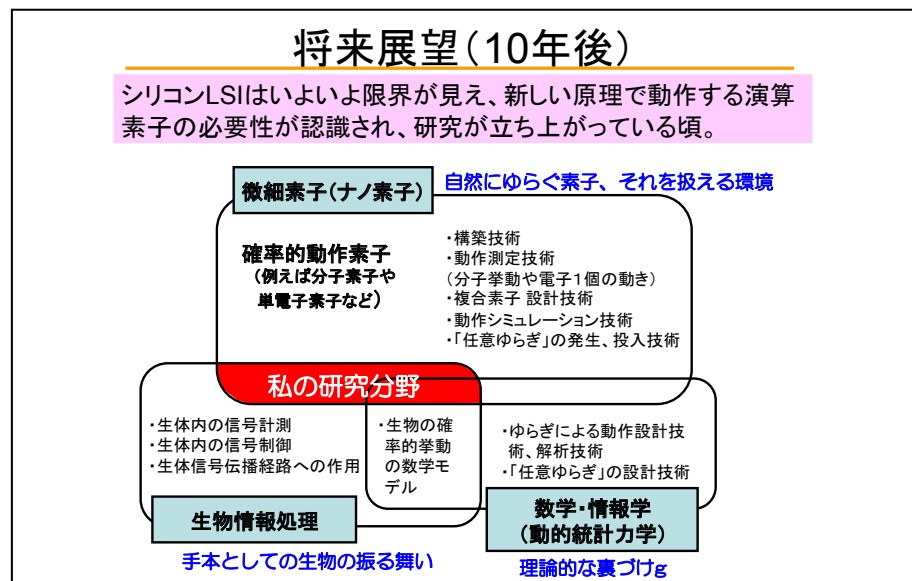
- ⇒ ゲノム配列の違いの有無を確認できるので、細胞のバックグラウンドの影響を排除できる
- ⇒ 患者に薬剤が効くか効かないかを判断できるようになる
- ⇒ 細胞間の差異を転写レベルで完全に理解できるので、細胞の違いが全部わかる



(安田先生の発表資料より)

### (3) 脳型コンピューター

- ・半導体の限界が見え、新しい原理で動く素子の必要性が認識されてくる 10 年後位には「微細素子」、「生物情報処理」、「動的統計力学」の3分野が重要になる。
- ・ノイズなどの環境情報を取り入れた生物システムを利用したコンピューターを作りたい。顔認識などに脳的な処理が使えないか。脳の基本的概念でもっていいなにかと考えている。
- ・脳の処理コンセプトをわかるように表現できないか。
- ・脳では1個のニューロンが様々な情報処理に関係しているのではないか。
- ・ひらめきがコンピューターでできるか。
- ・ある程度あいまいさを含んだ神経回路という考え方が重要。ルーズさと厳密さのうまいところをつくように進化の過程でうまく作られたのが脳だと思う。
- ・「ゆらぎ」の概念に何か怪しげな「思い」というものを入れればパターン認識がわかるかもしれないというのがエンジニアリング側の新しいコンセプトとしてある。
- ・新概念を作るとするのはきちんとフォーミュレーションするところまでいかないとテクノロジーにはならない。



(上田先生の発表資料より)

## 研究展望

- ・ライフサイエンスでは遺伝子を操作して表現型を見るのが主流。細かい表現型の計測技術が着目されたが、より表現型に直結した操作を注目するシステム(細胞・神経回路など)に与える技術開発(光ピンセット、レーザー照射、レーザー標的分子不活化法などより非侵襲的で再現性の高い方法)に可能性がある。
- ・生体のダイナミクスを解析・モデリングする方法の開発が重要である。
- ・イメージングが非常に重要。何を知りたいのかを明確にして、出てくるデータから情報を取り出すことが大切である。
- ・イメージングは生物学の広範な分野で要求されてきており、様々なレベルの研究者がそれを取り入れていけるような研究体制が望まれる。

## 5. 事前質問

フォーラム開催に先立って、参加者に以下の質問を行い、事前に回答を得ている。

1. 10 年後には、先生の研究はどのように発展し、飛躍していると思いますか。
- 1-2. その研究を推進するためにはどのような技術・ツール、研究システムが必要となりますか。
2. 先生の研究を他分野の研究とつなげると、どのような発展の可能性があると思いますか。
3. 10 年後には、どのような研究が必要となっていると思いますか。
- 3-2. その研究を推進するためにはどのような技術・ツール、研究システムが必要となりますか。
4. 10 年後に社会が求めるライフサイエンスの研究分野としてどのようなものが考えられますか。

これらの中で、技術・ツール、研究システムに関してはフォーラムの中で十分に議論することができなかったが、研究を推進していく上で重要であると考えられるため、技術・ツールおよび研究システムに関する回答を以下に示す。

研究開発戦略センターでは、これらの点に関しても検討を行っていく予定である。

### 5.1 技術・ツール

- ・(1)ヒト遺伝子のそれぞれの生命現象での機能をシステムティックかつ高速に解析するため、バイオインフォマティクス、ロボット工学を駆使し、全ての遺伝子を用途にあわせた複数のベクターで整備するハイスループットスクリーニング解析が必須となる。(2)個体発生を *in silico* で解析するための基盤が必要となる。そのためにも、発生する個体をコンピューター上にシミュレートし、研究データを包括できるプラットフォームの作成が必要である。(3)上記研究の発展のベースとして、従来研究者の手で行ってきた部分をオートメーション化する工夫、挑戦が必要である。
- ・コンピューター上に時間軸もあわせた4次元のデータベースを構築し、ウェット実験成果とのシンクロを行うことで、医学生物学における新しいタイプの帰納、演繹研究が可能となる。
- ・基本的にコミュニケーションや情報伝達を容易にする技術、ツールの開発が進む。遠隔地の人と容易に通信する手段等が重要になる。世界全体がより密につながり、逆に、日本的伝統や風習を守ろうとする差別化も進む。そのため、研究の日本語化

は進むであろう。

- ・ナノ素子:素子構築、動作解析、回路設計。揺らぎ発生・制御技術。
- ・生物分野:信号・情報計測技術(電位、化学物質拡散など)。信号経路への作用技術。
- ・数理モデル:確率的演算モデル。必要ゆらぎ設計技術。
- ・実際に新しい知見が次々と生まれた時に、どこに位置づけられるのかを研究者自身が意識して、適切に配置することができ、知見が得られていない部分が可視化される、動的なデータベース、あるいはシミュレーションプラットフォームが必要になると考えられる。開発中のマルチスケール神経シミュレータは、その雛形になると思う。
- ・(A)遺伝暗号表の改変:化学合成 DNA からゲノムを作成する手法の低コスト化。多細胞生物個体内の微弱な標識を観察する技術。(B)種々のタンパク質の安価な受託合成産業の確立。酵素反応速度など生化学パラメータを効率的に測定できる研究体制。微小環境内で少量生産された分子を非破壊的に測定する技術。
- ・網羅的解析結果のデータベースへのアクセスソフトの改善。DNA、タンパク質、化合物の安価な受託合成体制の確立。
- ・様々な手法で得られた知見を統合して理論を提案するため、分子の理解(一分子ダイナミクスなど)、網羅的表現型解析、細胞イメージングなどあらゆる分野の進展がプラスとなる。理論を模索する研究者自身の手で検証実験を行うためには、現在、時間・技術・設備的に難しい実験を簡便に行えるようにする技術革新が重要である。特に、特定の分子に特化せずに細胞内の様子を観察可能な電子顕微鏡や偏光顕微鏡などの観察技術の向上・簡便化を期待している。
- ・非侵襲イメージング技術の改良、革新とこれに利用可能な分子トレーサの開発。無麻酔、自由行動下で非侵襲イメージングが可能な環境の開発。実際に精神行動を上手く反映できる行動試験の開発。研究体制としては上記技術を開発できる工学分野の研究者との共同研究や行動試験や動物の生態に詳しい行動科学者や動物生態学の研究者との密な意見交換が極めて重要になると考えられる。
- ・高速情報処理技術、データベース、ロボティックス、ハイスループットな分子機能解析装置。
- ・網羅的解析技術を個人レベルで使えるようにする。具体的には、ゲノム上の全てのタンパク質、核酸の転写翻訳情報を個人レベルの研究者が簡単に扱えるようにDNAマイクロアレイの普及が望まれる。また、大規模なデータを解析するに耐える数学知識を個人レベルで使えるようにする必要がある。10分子程度あれば同定できるような精度の高いタンパク質同定法の開発も必要である。
- ・網羅的解析による大量データの検証を容易にできるようにする。マイクロアレイデータの出力は多数の遺伝子にまたがるので、マイクロアレイデータの検証のために現在の分子生物学的手法(遺伝子組換えなど)がより簡便になっている必要がある。

例えば、コンストラクトをデザインすれば自動的に出来上がるような装置などの開発が望まれる。

- ・分子生物学的手法やタンパク質解析の質量分析などは個人研究者が取得、実施する技術ではなくなっていて、大学あるいは企業において実施されるべきである。また、分子の局在の解析が容易になっているべきである。現在の蛍光タグタンパク質の更なる発展や、抗体の作成の簡便化、自動化が望まれる。
- ・実用樹種の全ゲノム配列決定を迅速に行える、より高速の遺伝子配列決定技術が必須となる。
- ・木質バイオマスの本体である二次細胞壁はセルロースやリグニンといった非溶解性の糖のポリマーからなるため、それらの成分分析のためには非破壊的な(あるいは非抽出的な)代謝産物測定技術が必要である。
- ・木質バイオマスを効率よくエネルギーに変換する技術が必要である。
- ・合理的にバイオセンサーを開発する技術、遺伝子を安全に効率よくかつ簡便に組織や細胞に導入する技術。多種多様な化学発光タンパク質および蛍光タンパク質、特に900nm 程度の蛍光波長をもつ蛍光タンパク質や分子イメージングにも十分耐えうる蛍光タンパク質、人体に無害なシリコン製量子ドット。回折限界を大幅に超える超分解光学顕微鏡(空間分解能数ナノメートル)。
- ・光学的に神経活動を計測するための新規プローブの開発にその多くを困っている。非常に優れた(しかも GFP のように遺伝学的にコードされている)電位依存性のプローブの開発がキーとなる。また、微弱なシグナルを検出するための顕微鏡系と、測定系の進歩もまた重要な要素となる。
- ・光学的神経活動計測、遺伝子工学を用いた回路追跡技術、理論解析。
- ・シーズからではなく、本当に何が必要かというニーズからの開発が必須である。ニーズを実現するためには、必ずしも先駆的なシーズ技術の発明だけでなく、既存の他分野で実現されている技術の転用、いくつかの要素技術の組み合わせ技術の開発など、ニーズを充足できる技術を開発することが最優先の絶対条件である。
- ・生体触媒の活性、安定性を飛躍的に向上させるためには酵素の支持体の機能強化が重要である。探索や遺伝子工学的手法による改変のみでは限界があり、これまでの微生物バイオテクノロジー分野の枠を飛び越えた技術開発により人工支持体、(半)人工宿主細胞を創製する試みが必要である。
- ・興味深い表現系を示すマウスが得られたときに、迅速にその標的遺伝子の同定をするための連鎖解析を行うことができるようなマウス系統ごとの精度の高い染色体マーカー。将来的に利用可能な環境になれば、変化を遂げたマウスの全ゲノム配列の解読をすることが可能なシーケンスマシン。

## 5.2 研究システム

- ・計算機の利便性の飛躍的向上により、計算機を利用する仕事は場所や時を問わずできるようになり、通勤という制度もなくなっているだろう。それに伴う人的交流の希薄化、個人主義化が研究遂行上、大きな障害となる。そのため研究者同士が自由に交流できる場所や、機関、組織を超えたフォーラムが重要になる。日本国内で足を引っ張り合う時代は終わり、国内でまとまって他の国への対抗手段を考えられる組織の確立が急務であろう。欧米文化の偏重傾向はなくなり、先進各国がそれぞれチームとなった国際競争が激化し、航空機業界のような組織再編がなされる。
- ・新しい研究技術の開発を起点に、多くの分野の研究者、臨床家が応用を考え、逆に現在困難とされている研究分野や疾患を起点に多くの研究者が集まり、研究計画を立案し、実践する。
- ・生物研究者と数学者の繋がりをバックアップするシステム。
- ・現在、脳シミュレータの開発を、知能機械学、バイオインフォマティクス、精神神経科学、計算機科学の研究者と共同で進めている。認知症患者の支援技術など、より社会のニーズに近い研究については、研究者だけでなく、患者、介護者、支援団体、行政など、より幅広い関係者との連携が必要になる。ただ連携するだけではなく、よいシステムやサービスを使いながら作り、設計と評価を循環的に行うことが重要であり、そのようなプロセス全体を構築することができる研究者を育成し、評価する仕組みが必要である。シミュレータ用計算機を開発することがプロジェクトの目的である場合は、計算機科学の研究者が推進すればよいが、出来上がったシミュレータを社会に応用するためには、より幅広い視野を持った研究者によるプロジェクトの主導が不可欠である。
- ・知見が著しく不足している部分の研究を推進し、評価する研究体制も必要となる。
- ・大学学務、知財などの事務面への研究者の労力をサポートする体制の整備。ライフサイエンスへの安定的な人材供給（競争的環境は維持されるべきだが、生活リスクと賃金のバランス、セーフティネットの概念が低すぎる現状の改善）。
- ・「簡単には答えが出ない」問題には、取り組む者もサポートする者も勇気がいる。その勇気を重要視することが必要と考える。冒険心の旺盛な研究者たちが、それぞれの研究グループに閉じこもることなく、近くで互いに刺激しあいながらそれぞれ独立して研究を進められる環境があるとよいと考える。
- ・地球環境の悪化に対する研究、木質バイオマスの増産は地球全体の問題であり、より国際的な研究協力体制の確立が必要である。
- ・広くて深い知識を持つ研究者を育てるために、数学、物理、化学、生物、地学、文学の知識をとことん詰め込む教育を大学・大学院修士課程で行う。経験はなくとも斬新な発想をする若手研究者をどんどん登用し、PIにする。また、若いPIの研究をうまく

スタートアップさせるのに十分な資金的支援が必要である。

- ・能力に応じて任期や定年を柔軟に運用できる仕組み。
- ・寄付に税金をかけないなど、企業から大学などの教育・研究機関へ多くのお金が流れる仕組みを整える。事務処理などに時間を取られずに、研究に注力できる研究体制や研究システム。
- ・イメージングを発展させて行くには、産学連携をより進めていくことが大事となる。日本にはイメージング関連機器の世界を代表するメーカーが多くある(顕微鏡、CCD カメラ、スピニングディスク共焦点スキャナー、内視鏡など)。メーカーと研究者が密接に交わることを奨励する体制が望まれる。
- ・ニーズを明確に理解している一人のリーダーが実権を持って、そのイメージに沿って、今までにないシステムの実用化、既存の技術の転用など一連の「シーズ開発」をサブリーダーが協力推進することにより、ニーズを実現する。「ニーズ」側がリーダーシップを取ることで、開発について明確な開発目標が設定でき、また「シーズ」側の都合に対して妥協の無い、実際に「ニーズ」を実現できる開発の推進が可能となる。
- ・社会がどのようになるべきかという哲学的命題をまず設定するべきかもしれない。その上で、そのような理想社会にとっての「ニーズ」そのものを探索するための研究プロジェクトがまず必要だと考えられる。
- ・新しい研究が実を結ぶためには長期的なビジョンで支援することが大事。また、新しい研究を始めるには、これまでになく装置や物品の開発が必要なため、装置開発を技術面から補佐する専門家が大学内や JST 内にいるとよい。
- ・個々の研究成果を全体が理解できるような研究に発展させていくことは、新しい概念やブレークスルー的な研究が必要であり、研究の中でもとても難しいことなので、長期的な支援が必要。5年程度で業績を問われない体制を築くことは難しいのだろうか。
- ・1)人工膜の成長分裂を定常的に引き起こす脂質2重膜の物性研究 2)核酸自己複製の効率化のための in vitro 生化学研究 3)in vitro 進化系のためのマイクロバイオ研究 4)膜と核酸の増幅ダイナミックスの同調性の理論研究 これらの4研究が隣同士の研究室として交流しながら人工細胞創出へ向かうチーム研究。
- ・理論と実験が融合した組織体制と人材育成。
- ・化合物ライブラリーの供給、化合物情報の提供を可能とするような共同研究体制があれば研究は大きく加速される。
- ・ある程度数のマウスを経代飼育することができる施設とその維持費用。自由な発想で理論モデルを構築することが可能な理論系研究者との共同研究体制。

## 6. あとがき

本フォーラムでは、各研究分野の最先端を走っている若手研究者同士の接触により、既存の研究分野を融合させるのではなく、新たな融合的な研究分野を見出すための素材を収集することを狙ったものであったが、事前質問を含めて将来の研究分野を検討するための素材を収集することができた。

ここで得られた素材を研究開発戦略センターで十分に吟味し、将来的に重要となる研究分野を検討して行く予定である。そのような分野が明らかになれば、その新しい研究潮流を生み育てるように、将来の政策に反映させていきたいと考えている。

フォーラムでは、我が国では異分野の研究者が集まって議論する場が少ないという指摘があった。本フォーラムで設定した、少人数の研究者が議論する場では、議論が大いに盛り上がっていたことから、“異分野の研究者が接触する場”の提供が有効であることを確認することができた。しかしながら、“研究分野を見出す”ための全体セッションでは、必ずしも思ったようには議論が拡がらなかった場面も見受けられた。ライフサイエンス分野の将来を広い視野から展望するまでに至らなかった原因としては、研究開発戦略センター側での趣旨の徹底不足、巧みな仕掛けが欠けていたこと、参加した若手研究者が自己の研究にこだわりすぎた点などがあげられる。このような反省を踏まえて、新しい分野を明らかにするための方法論に関しては、さらに研究開発戦略センターで検討していく予定である。

今後も将来の研究の方向性を模索するために、十分に企画を練ったうえで、今回のようなフォーラムを継続的に開催していくことが重要であると考えている。



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潮流 ー  
報告書

平成19年3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 2007 by CRDS/JST

無断での転載・転写を禁じます。

