



# 科学における未解決問題に対する 計測ニーズの俯瞰について

JST-CRDS (研究開発戦略センター)

計測技術に関する横断グループ

総括: 吉川弘之  
アドバイザー: 佐藤勝昭  
メンバー: 川口 哲 (ライフサイエンスU)  
永野智己 (ナノテクノロジー・材料U)  
金子健司 (電子情報通信U)  
丸山浩平 (環境・エネルギーU)



# 計測技術俯瞰方針

- 吉川弘之CRDSセンター長の考え方：
  - － 計測はmother of science。科学のフロンティアには計測が不可欠。科学における「未解決問題に対する計測ニーズ」を示し、それらのシナリオを検討した上でグローバルな視点をもちつつ「日本における計測の研究開発戦略」を提言したい。
    - 計測技術は、使われる各分野の歴史や流れに沿って発展を遂げてきた。分野ごとに現時点での水準レベルの違いがあるだろう。したがって、計測技術の研究開発は、対象とする科学技術分野ごとに分けて考えることが肝要であり、目標を定め、シナリオを考えていくべき。

# 計測技術が関連する研究開発

|                                  | (基幹)<br>国家技術             | (基礎)<br>科学技術                     | (応用)<br>産業技術                        |
|----------------------------------|--------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| 計測を<br>基盤とする<br>他分野<br>(測ることを利用) | 公共インフラ、テロ対策、防犯等の安心・安全の保障 | 生命、ナノ・物質、情報・通信、環境・エネなど基礎科学の進展    | 医薬、食品、素材、資源、電子機器、輸送機械等の産業発展・ベンチャー創出 |
| 計測分野<br>(測ることが目的)                | 長さ、重さ等の計量標準の設定           | 計測科学(計測工学、分析化学、ナノ計測、計測システムなど)の進展 | 計測(機器、分析サービス等)の産業発展・ベンチャー創出         |

2010年度はここに注力

# 俯瞰ワークショップ概要

**主催:** JST・CRDS 計測技術に関する横断グループ

**日時:** 2010年12月1日(水) 13:00 ~ 18:00

**場所:** JST・CRDS 2階 中会議室

(東京都千代田区二番町3番地 麹町スクエア)

## プログラム:

- 13:00 ~ 13:05 オーガナイザー挨拶
- 13:05 ~ 13:20 モデレーター趣旨説明
- 13:20 ~ 15:30 § 1 分野別の講演 / 討議
- 15:30 ~ 16:30 § 2 計測に関する横断的討議
- 16:30 ~ 17:30 コメンテーター意見
- 17:40 ~ 18:00 ワークショップ総括

# ワークショップ主要参加メンバー

## オーガナイザー

吉川 弘之 (JST・CRDS計測技術に関する横断グループ 総括)

## モデレーター

佐藤 勝昭 (JST・CRDS計測技術に関する横断グループ フェロー)

## 各科学分野別プレゼンター

伊藤 隆司 (東京大学大学院理学系研究科 教授)

田沼 繁夫 (物質・材料研究機構共用基盤部門 部門長)

桜井 貴康 (東京大学生産技術研究所 教授)

山形 与志樹 (国立環境研究所地球環境研究センター 主席研究員)

生命

ナノ・物質

情報・通信

環境・工ネ

## 計測分野コメンテーター

二瓶 好正 (東京理科大学 特別顧問)

一村 信吾 (産業技術総合研究所 理事)

澤田 嗣郎 (JST産学イノベーション加速事業 開発総括)

岩槻 正志 (日本電子株式会社 取締役兼専務執行役員)

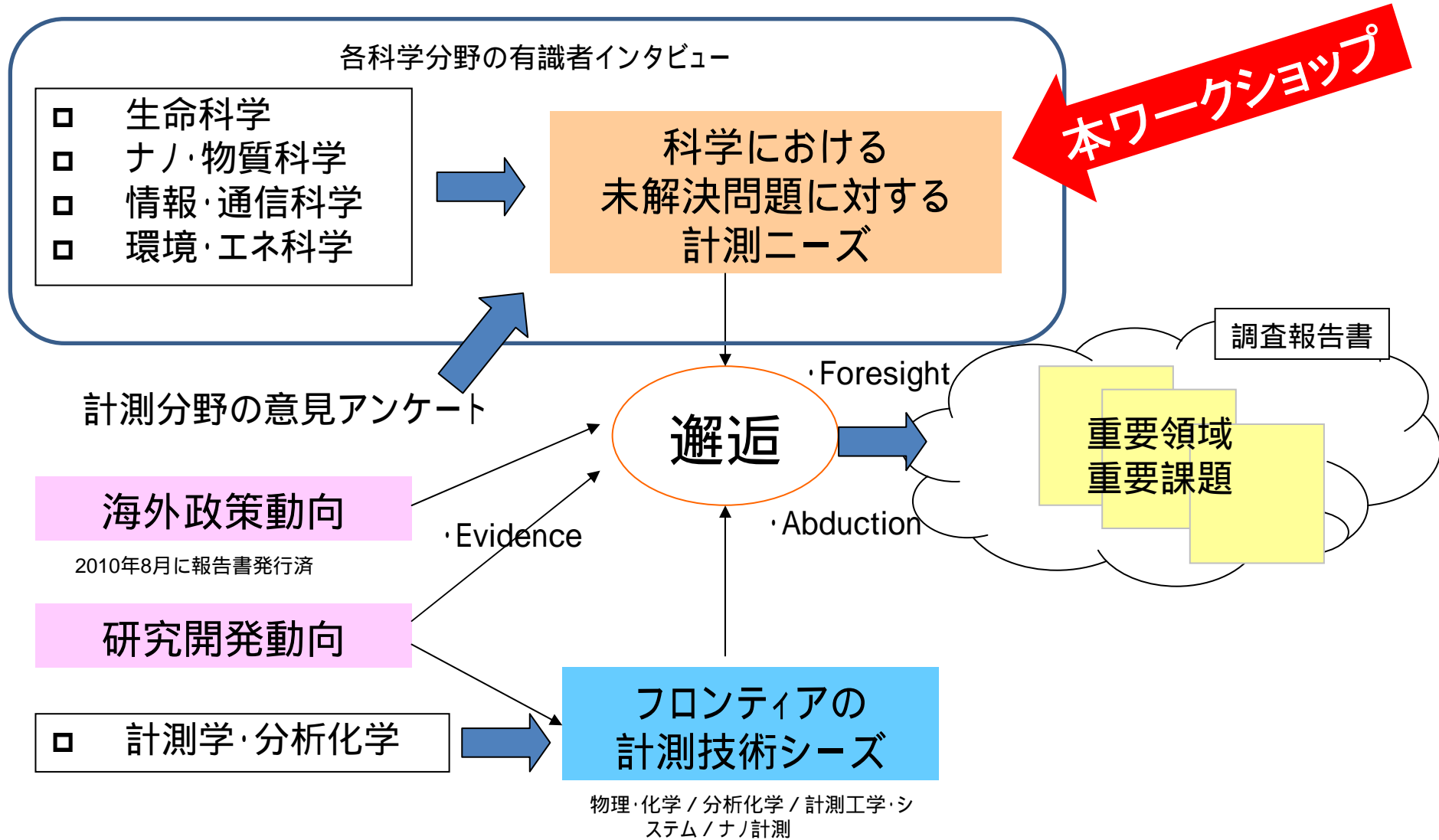
## オブザーバー

研究開発 (先端計測事業、CREST・さきがけ[計測関連領域]) 11名

行政 (文部科学省、JST) 10名

# ワークショップの位置づけ

- 科学における未解決問題に対する計測 -



# ワークショップ目的

- 今回開催するワークショップでは、「生命」、「ナノ・物質」、「情報・通信」、「環境・エネ」の4科学分野における未解決問題は何か？そこで必要とされる計測ニーズは何か？について調査を踏まえ、各分野と計測分野の有識者の議論によって俯瞰的に共通認識し、重要課題の抽出を検討するもの。
- さらに次のステップで、その計測ニーズを達成するための技術シーズの構成、必要な人員や研究推進体制、企画立案から実行にわたるシナリオ等について議論する予定。

# 科学における未解決問題に対する 計測ニーズ調査リスト



# 未解決問題に対する計測ニーズ 調査項目

## 1. 専門分野における未解決問題

(例: イオン分離の微視的メカニズムを明らかにしたい  
海水淡水化用逆浸透膜の塩透過率を0.1%以下まで低減化したい)

## 2. その問題解決に向けた、現状の計測・分析・解析の状況

(例: 新たな材料を試作しては、塩透過率を評価し、また、膜の表面をTEMによって分析)

## 3. あったら良いと思う計測技術 (計測ニーズ)

(例: 塩を分離している動的状態を直接観察したい)

## 4. 計測技術開発に必要な研究者、技術者の協力 (解決手段)

(例: 理論物理学者と分析化学者、光学専門家、数理科学者の分野融合)

# 「生命」科学における未解決問題に対する計測ニーズ



| 科学における未解決問題                      | 計測ニーズ  |
|----------------------------------|--|
| 生体内における分子の構造変化をリアルタイムで観察したい      | タンパク質-分子解析(糖鎖修飾などの計測・評価)、微量水溶液中の分子の原子レベルでの解析技術。                    |
| 生体分子の体内動態を経時的に観察したい              | 生体分子のイメージング技術、分子の非ラベル化技術、微量タンパク質・ペプチド等の定量化技術                       |
| 細胞に存在する無数の分子の相互作用を定量的に解析したい      | 細胞機能変化の定量化技術、細胞内タンパク質の可視化および微量計測技術、タンパク質ネットワーク解析技術、細胞内2原子分子の可視化技術  |
| 生体膜での分子反応を定量的に解析したい              | 膜タンパク質の解析技術、微量ペプチド等の定量化技術、膜タンパクおよび関連分子のリアルタイム計測技術                  |
| 細胞の特性を器官毎に明らかにしたい                | 単一細胞での微量タンパク質計測技術  |
| 生体(微小)環境と幹細胞との相互作用を可視化したい        | 細胞間メディエーターの可視化技術、細胞分化の定量化およびモデル化技術                                 |
| 細胞が分化したり、器官等への誘導される仕組みを定量的に解明したい | 器官発生に関与しているタンパク質の相互作用解析技術、細胞間メディエーターの可視化技術、組織表現型の定量化技術、発生機構のモデル化技術 |
| 細胞の生体内での動態をリアルタイムで知りたい           | 一細胞マーキング技術、細胞の持続的可視化技術、  |
| 脳の機能を化学的に理解したい                   | 活動神経回路の可視化技術、脳内タンパク質の定量化技術   |
| 微生物が感染したり共生したりする仕組みを解明したい        | 難培養微生物の培養技術、ゲノム間相互作用の解析技術、タンパク質シーケンス技術                             |

# 「ナノ・物質」科学における未解決問題に対する計測ニーズ



| 科学における未解決問題                                  | 計測ニーズ   |
|--|---|
| 触媒反応機構を解明し、希少元素を用いない触媒や超高効率触媒を開発したい          | 触媒の反応状態および反応部位のリアルタイム測定。活性金属と担体の位置的関係の明確化。大型放射光を用いた反応解析研究が進みつつあるが、さらに簡便な方法が求められる。   |
| 耐久性と高い物性値を兼ね備えた材料を創出したい<br>(例:有機半導体材料)       | 劣化の原因を解明する技術。「有機物質のあらゆる計測を研究現場でリアルタイム且つコンパクトに」おこなえることが必要。有機半導体材料の研究開発の現場(グローブボックス内やパイロットプラント)に持ち込めるような小型機器(e.g., NMR)が求められる。認証標準試料と分析手法のセット開発が必要。有機半導体材料の標準物質では「純度・ピュアさを示す計測技術とセットで物質を標準化すること」が世界で勝つためには必要。 |
| ナノ・マクロレベルの凝集体の機能を予測したい                       | 原子・分子サイズと、ナノ・マクロレベルの凝集体の同時計測(可視化)。現実の計測とセットで、計算科学によるシミュレーション技術が解釈のためには必要(例えばナノワイヤのような単なる集合体ではないもの。非平衡開放系の散逸構造。巨大計算で指針が必要)。  |
| 薄膜デバイスの界面に機能性を持たせるような新素材開発、数nmオーダーの素子を開発をしたい | 機能発現させる素材表面構造や、素子サイズが今後数nmになると、空間分解能・深さ分解能ともに原子レベルの分析手法が求められる。また、軽元素の拡散をナノレベルで解析することが必要、定量化や元素同定。現状のCs STEM/EELSや3DAPでは不足。さらに装置価格と分析コストの低減が必要。  |
| 実環境化や雰囲気下での動作状態を可視化したい                       | 例:液体中における電気化学反応の高分解能観察。<br>例メモリRe-RAM:酸化還元系なので雰囲気の影響を受ける(非真空)。大気下で測定できるSIMS開発。  |
| 生体物質や環境成分(混合系・多成分系)を分離せず、ダイレクトに分析したい         | 10 μmスケールの3次元計測技術。<br>界面・表面の効果が極めて大きい   |
| ナノ構造体の材料特性を定量化したい                            | 材料強度や熱物性の精密測定。ナノインデンテーションによる弾性率、降伏強度、破壊強度、靱性、疲労特性などの測定。ナノ領域の親水性、疎水性計測。ナノマニピュレーション、微小引っ張り試験デバイス、熱伝導率測定デバイス。  |

# 「情報・通信」科学における未解決問題に対する計測ニーズ



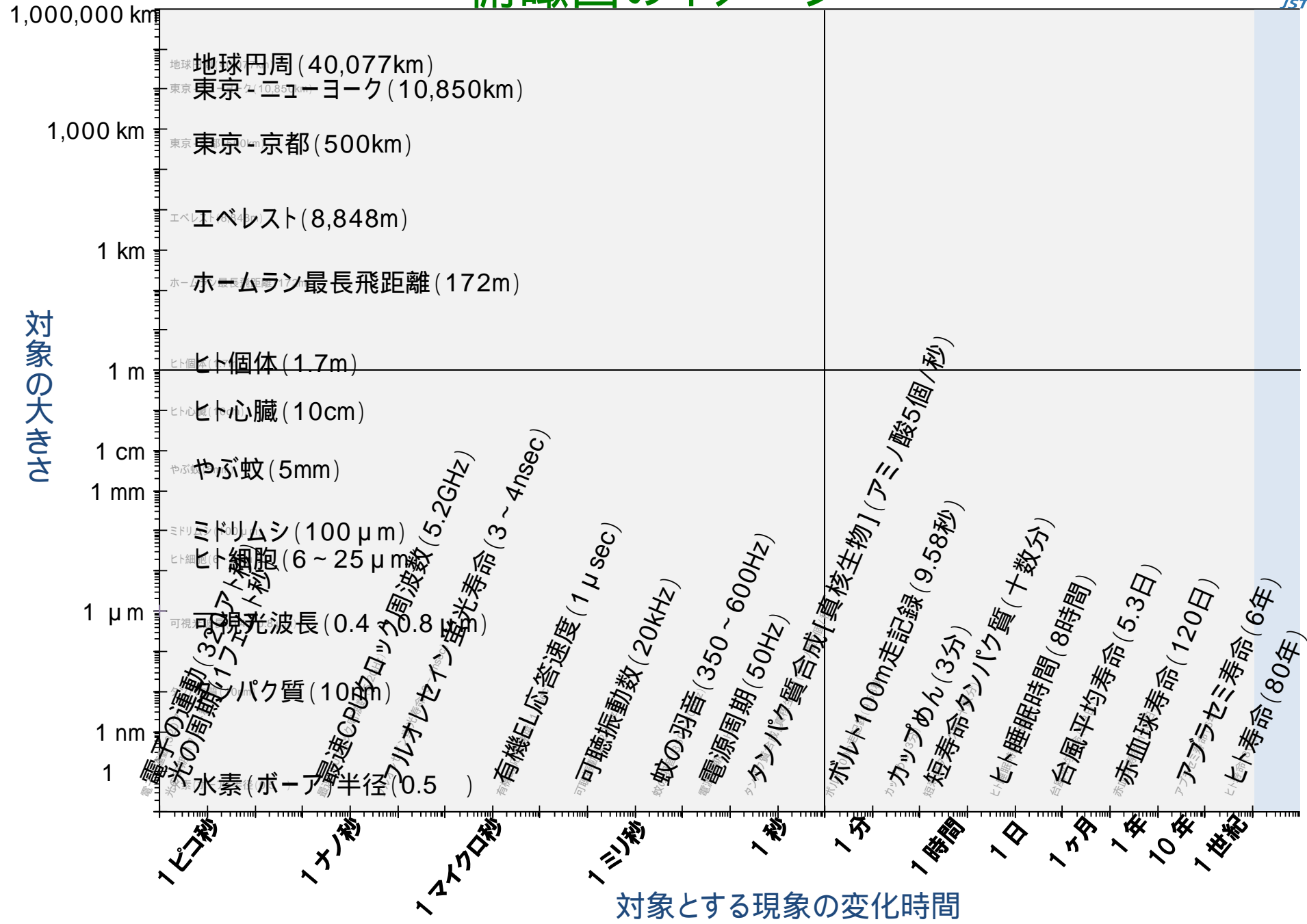
| 科学における未解決問題             | 計測ニーズ                                      |
|-------------------------|--|
| 量子コンピュータを実現したい          | 電子、光子、イオン、原子等の量子状態(波動関数、密度行列)の精密、高速測定      |
| 爆弾など微量物質の情報を非破壊に検知検出したい | 中赤外線、テラヘルツ領域の計測技術                          |
| 老人や子供など弱者を見守りたい         | ユビキタス・センサー・ネットワーク(体温、脈拍センサ、RFタグ、スマートメータなど) |
| 生体表面の情報から体内状態を推察したい     | 脳波、心電図、筋電図など総括して計測する技術                     |
| 人工物が人間に与える影響を明らかにしたい    | 身の回りの電磁束の分布                                |
| 道路、橋梁など建築物の寿命を計りたい      | ユビキタス・センサ・ネットワーク(ファイバーセンサ、加速度センサ、運転ログ)     |
| 微小で複雑な回路の電流分布           | 数億オーダーの一括電圧計測、電流の可視化技術、LSIテスト              |
| 人間の活動を計りたい              | ビジネス顕微鏡、センサネット、超小型化、超低電力化、超軽量化、超高感度、超高速化   |
| 社会、生物、文化遺産等の状態を計りたい     | センサネット、超小型化、超低電力化、超軽量化、超高感度、超高速化           |

# 「環境・エネ」科学における未解決問題に対する計測ニーズ

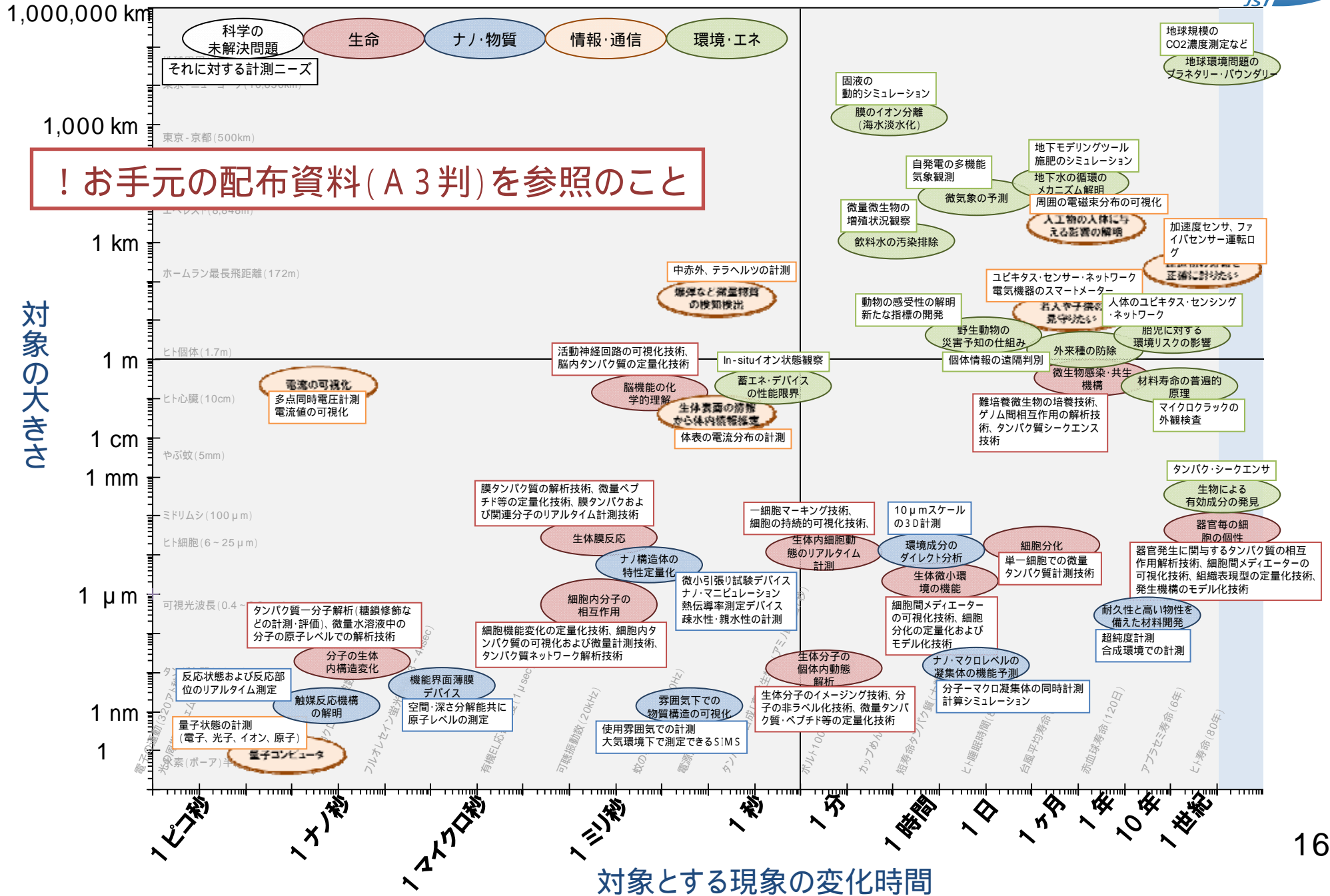
| 科学における未解決問題                                 | 計測ニーズ  |
|---|--|
| 未発見の「生物による有効成分」はどれ程あるか？                     | タンパク質を片っ端から機械的に分析できる技術(DNAシーケンサーのように)。   |
| 蓄エネデバイス(蓄電池等)の性能の限界はどこか？                    | In-situでイオンの状態と流れ、変化を計測する技術。Spring-8での計測ニーズは高くなっているが、プローブがないために用途が限られている。  |
| 材料の寿命を決める普遍的原理は開発できるか？                      | マイクロ・クラックの外観検査、破壊進行の理論・シミュレーション技術、蓄積型熱劣化センサ  |
| 地域における侵略的外来種は防除可能か？                         | DNA情報を遠隔から判別する技術   |
| 地震、津波等の災害に対して野生動物は予知の仕組みを持っているか？            | 環境変化に対する人体の感受性を解明する技術(指標開発)。脳の活性化や、自然免疫指標との相関  |
| 環境リスクは、胎児、子どもに対する環境リスクは、大人になった時に影響を及ぼすだろうか？ | 人間の状況(行動、表情、変化など)をモニタリングして周囲環境自体を定量化。体に取り付けて常時計測するユビキタス・センシング・ネットワークのような技術。小児の曝露した環境を定量評価(活動環境、行動パターン、肺換気量、食物摂取量、化学物質等)。 |
| 飲料水の汚染被害をなくすことができるか？                        | 環境水における微量な微生物の存在、また増殖状況を遠隔から計測する   |
| 微気象の予測精度はどこまで向上出来るか？                        | 小さくて自発電で遠隔から多機能の気象を観測できる計測システム   |
| 地下水の流れ・循環のメカニズムを可視化することは出来るか？               | 余分な肥料が地下水へ浸透するモデル構築とシミュレーション技術の開発、植物の施肥に対する変化の動的状態を直接観察したい。  |
| 膜がイオンを分離する微視的なメカニズムを知ることは出来るか？              | 逆浸透膜が塩を分離している動的状態を直接リアルタイムに観察する技術  |
| 地球環境問題に対する惑星限界(プラネタリー・バウンダリー)を科学的に指標化できるか？  | 生物種の絶滅を測る技術、地球規模のCO2濃度を測る技術、窒素濃度を測る技術など。都市の環境リスク管理技術   |

# 計測ニーズの俯瞰マッピングと分析

# 俯瞰図のイメージ

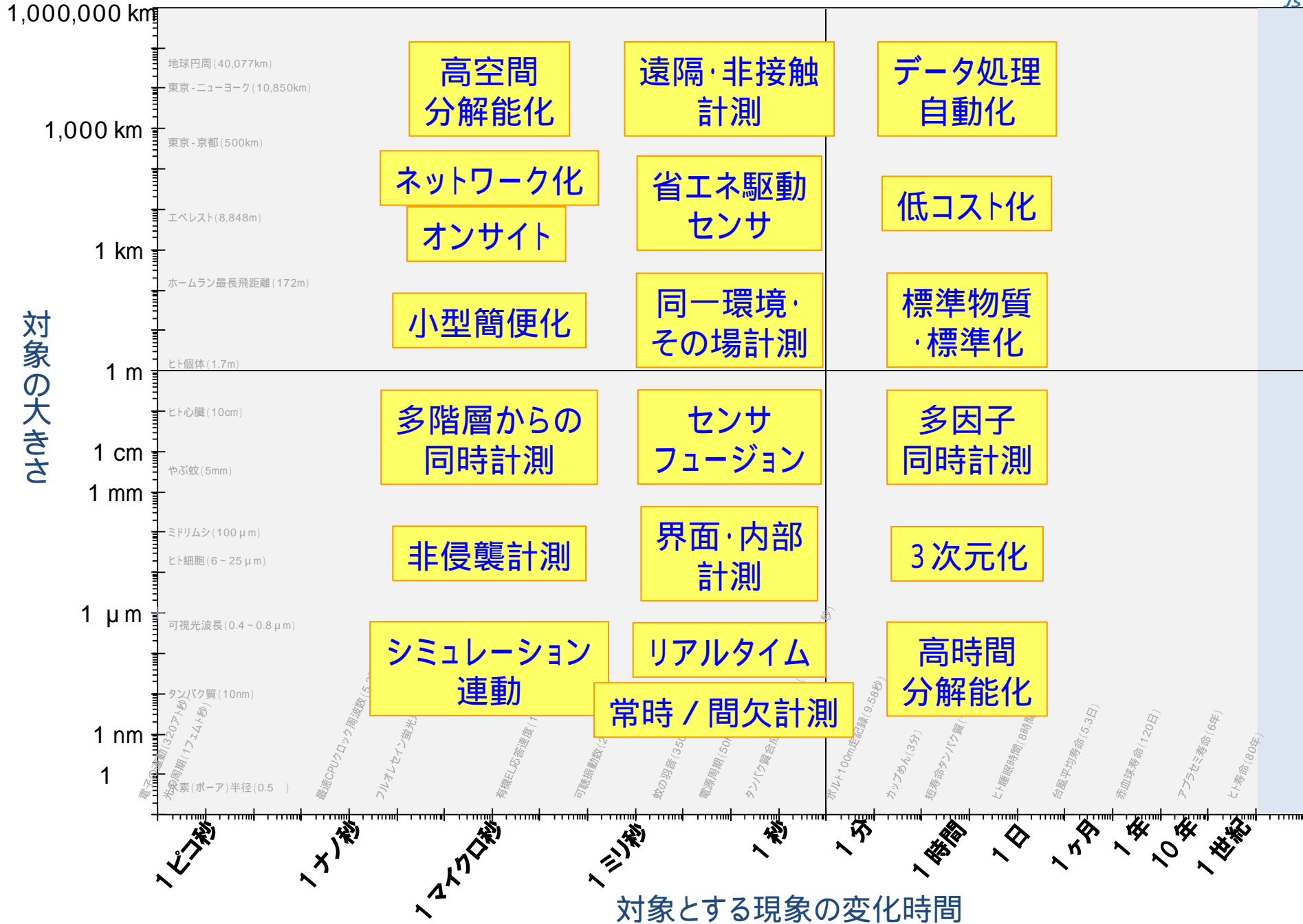


# 科学の未解決問題に対する計測ニーズ俯瞰図





# 計測ニーズ俯瞰から抽出されるトレンド・キーワード



# 科学分野ごとの計測の水準(特徴)・トレンド

| 分野    | 水準(特徴)  | トレンド  |
|-------|---|---|
| 生命    | <p>ヒトの生命現象を分子、細胞、器官および個体などのレベルで解明する研究分野。未解決問題が多い。</p> <p>物質の時空間的存在(存在計測)と、物質関係性(関係計測)から生命現象を理解。</p>   | <p>界面・内部、非侵襲、リアルタイム、生きたまま</p>                               |
| ナノ物質  | <p>ナノメートル領域における物質の成長、加工、そして内部・表面・界面構造、そこで生ずる諸物性現象を、原子・分子レベルで観測し、理解し、制御し、それら諸要素を組み合わせて応用することにより、あるいは他の知識・技術と組み合わせることによって新しい知と機能を創出しようとする学術的・技術的領域。物理計測と一体化。あらゆる原理・物理現象を応用して、極限までの物質の存在・現象の解明を追及(存在計測)。</p> | <p>多階層からの同時計測、多因子同時、リアルタイム、原子分解能、3次元化、認証標準物質と標準分析・測定の設定</p> |
| 情報・通信 | <p>通信・計算・制御などの情報処理の科学</p> <p>数学を含めすべての学問のツール、データマイニングや複雑系といった計算科学との新たな融合と、人文・社会科学分野を含めて多面的展開を見せている。</p>   | <p>複雑系、シミュレーション連動、小型簡便、ネットワーク/オンサイト、常時/間欠</p>               |
| 環境・エネ | <p>公害、地球環境問題などの課題解決、その予防機能の向上、諸現象の環境の規定に関する総合的な学問。環境科学の課題は実用性を持つ。</p> <p>対象とする空間が大きく、また、ゆっくりと変化する現象を扱うため、計測データと数値計算シミュレーションとの統合(シミュレーション連動)によって理解。</p>  | <p>遠隔・非接触計測、シミュレーション連動、小型化、ネットワーク化、省エネ駆動センサ、高空間分解能</p>      |

# ワークショップの主な意見

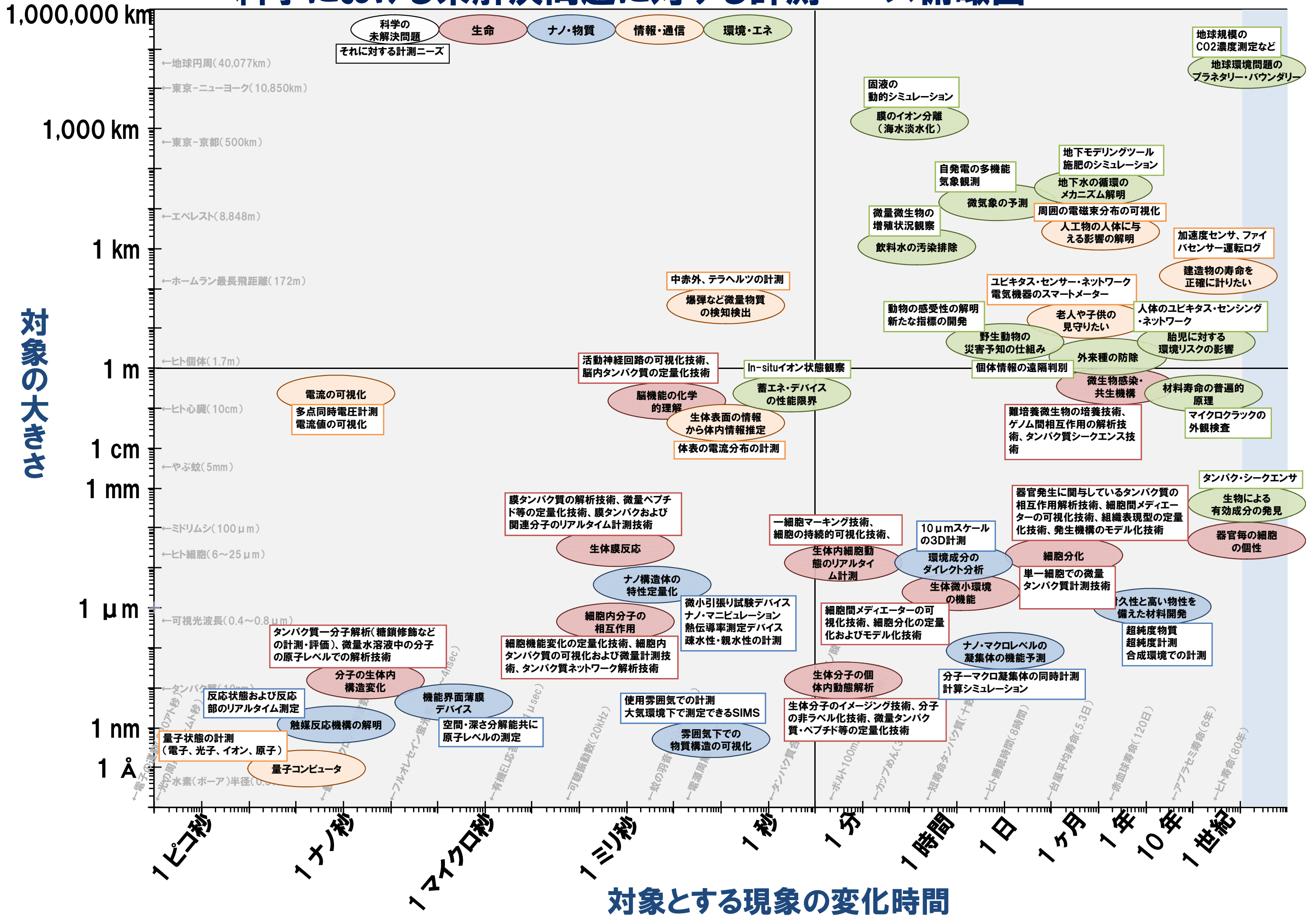
# コメンテーターによる意見

- ニーズとシーズの関係で最も効果を発揮するのは「啐啄同時」、いわゆる三次元的な空間と時間的なタイミングがぴったり合っこそ大きな成果を上げる。
- 生命科学の分野でも、セラミックス研究でのキャラクタリゼーション手法にならって、計測の**体系づくり**の努力を行うことが有意義ではないか。
- 計測には、「**メジャメント**」と「**キャラクタリゼーション**」の二つの側面がある。
- 「測りたい思い」を「測るべき物理量」(**メジャラント**)に落とし込む必要がある。
- 測定結果を相互比較できるために、計測量の**トレーサビリティ**が必要。
- 過去の日本の計測は**技術**にすぎなかったが、現在では**計測とはサイエンスそのもの**だと考えるべきである。
- 日本でも、欧米にならって、**分析機器の遺産のコレクション**をすれば、サイエンスとしての計測の流れが見えてくる。
- 計測検査機器は日本の産業の技術を支えている**基盤となる技術**であるからこれを残すべきである。
- 日本には、計測用の試料準備まで含めた計測の専門人材がいなくなっているし、人材育成も行われていない。計測装置を輸出するにも**専門人材育成**が必要である。

# オーガナイザー総括

- 「**従来型の科学**」では、真理を追究することによって、現象の背後にある(時間によって不変な) **共通原理を見出そう**としてきた。
- これに対して、「**新しい科学**」においては「環境学」のように、**原理原則を見出すのみでは無意味で**、現状を知り、将来を予測し、対策する方法を見出すことが重要。
- 計測ニーズにも新しい状況、いわゆる将来を予測することが必要になってきた。時間軸が入った「**4次元レンズ**」の考えが、計測研究者にとって大きな話題であろう。
- 計測研究は「**必要条件**」を調べ、一方、計測機器開発は「**十分条件**」を与えているという点で論理的な構成が違う点を考慮すべき。
- 計測学は、物理学、化学、機械工学等という平面におけるディシプリンの区分けの中に置くのではなく、非常に新しい「科学研究」を研究する**メタ科学**と位置付けるべきだろう。したがって、「**メタ計測学**」をつくる必要がある。

# 科学における未解決問題に対する計測ニーズ俯瞰図





日本国キログラム原器

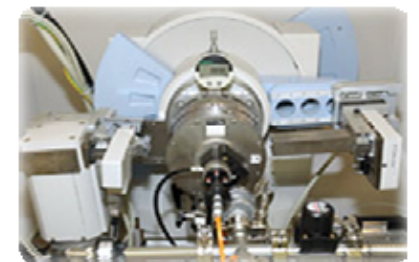


「Spring-8」

ご清聴ありがとうございました。



走査型プローブ顕微鏡



X線回折分析装置