

## 科学における未解決問題に対する計測ニーズの俯瞰調査

○丸山 浩平（早稲田大学／科学技術振興機構），川口 哲，永野 智己，金子 健司，佐藤 勝昭（科学技術振興機構）

## 1. はじめに

## 1. 1. 背景と目的

ここ数年来、日本の科学技術研究において、投じた研究費の多くが欧米製の計測・分析機器の購入へと費やされる状況が指摘されている。これに対し、「税金で賄われる研究資金が外国企業へ流出してしまうとはけしからん」、「科学技術の研究開発が滞ったわけではないのだから問題ないだろう」、「実績のある先行ブランド機器を用いたデータの方が国際的な評価・信認を得やすい」等の様々な意見が戦わされている。しかし、科学の発展の歴史という原点に帰れば、常に計測することによって新たな科学の発見がもたらされてきたことがわかる。まさに「計測は科学の母」(mother of science) だといえる。したがって、計測技術の海外依存の問題は、新たな科学の発見、進展をどのように見据えるかという根本的な認識と繋がるわけである。新たな科学の発見を今後とも日本から生み出していくために、新たな計測技術の研究開発戦略を打ち立てることは、日本の科学技術にとって重要な課題であるといえる。

一方、諸外国では、先端的な計測技術の研究開発は、国家における科学技術競争力、イノベーション創出の強化につながるとの認識の下、戦略的に研究開発投資を行っている。特に欧米は、「未解決の計測ニーズ」を大規模に意見集約し、計測に関わる全てのステークホルダーでの共有化を推進してきている。例えば米国では、商務省NIST（国立標準技術研究所）が中心となって、米国計測システム（USMS）という公共、民間セクターを含む計測に係わる全ての関係者、関連機関、関連活動のネットワークを構築しており、その中で技術イノベーションを阻害する未解決の計測ニーズを調査、公開している（723件）。米国だけでなく欧州においても EURAMET などの国際組織で戦略的な研究開発を支援している。このように、海外では、増加する「計測ニーズ」のすべてを一つの国や機関で対応することは困難と判断し、産官学の国際的な協力体制の構築を積極的に推し進めている状況にある<sup>[1]</sup>。

本調査では、科学における未解決問題に対する計測ニーズを俯瞰的に探るとともに、この計測ニーズを充足する研究開発のあり方について考察することを目的としている<sup>[2][3]</sup>。

## 1. 2. 対象とする計測分野

計測技術に関する研究開発といっても、「長さ・重さ等の計量標準」、「計測機器産業の発展」など、様々な目的が存在する。我々は、計測技術に関する研究開発を表1に示すように目的別に分類した。

すなわち、測ることを手段として用いる研究開発と、測ることを目的とする研究開発を、それぞれ上下段に分け、さらに国が行うべき国家技術、アカデミアが行うべき科学技術、産業界が行うべき産業技術の3つに分け、全体を6領域に分類した。

上記の背景・目的に述べたように、本調査において対象とする計測分野は、「測ることを手段として用いる科学技術分野」（第3領域）である。また、今回調査対象にした科学技術の分野は、第3期科学技術基本計画で示される重点4分野である4つの科学分野（①生命科学、②ナノ・物質科学、③情報・通信科学、④環境・エネルギー科学）に限った。

表1 計測技術に関する研究開発の分類(目的別)

	(基幹) 国家技術	(基礎) 科学技術	(応用) 産業技術
計測を基盤とする他分野 (測ることを手段として利用)	<b>〔第1領域〕</b> 公共インフラ、テロ対策、防犯等の安心・安全の保障	<b>〔第3領域〕</b> 生命、ナノ物質、情報・通信、環境・エネなど基礎科学の進展	<b>〔第5領域〕</b> 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 (測ることが目的)	<b>〔第2領域〕</b> 長さ、重さ等の計量標準の設定	<b>〔第4領域〕</b> 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	<b>〔第6領域〕</b> 計測(機器、分析サービス等)の産業発展・ベンチャー創出

## 2. 調査手法

①生命科学、②ナノ・物質科学、③情報・通信科学、④環境・エネルギー科学の各分野における未解

決問題と、そこで必要とされる計測ニーズを俯瞰的に集めるため、各科学分野の有識者インタビューや文献調査によって計測ニーズの素案を抽出し、この素案に対する広い意見を募ることで俯瞰の骨子を固め（アンケート調査）、ワークショップによって深く検討を行った。有識者インタビューでは、表2に示す調査項目に沿って調査を行った。アンケートは、J S T 研究開発事業（計測関連）に関与している研究者約 680 名<sup>[2]</sup>に対し、計測ニーズの過不足課題などの意見を収集した。集められた計測ニーズは、ワークショップにおいて広くコミュニティ間での情報共有化を行い、また、どのように研究開発を実施していくべきか議論を行った。

表2 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、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)

### 3. 調査結果

#### 3. 1. 分野別の計測ニーズ

各分野における未解決問題、および、そこで必要となる計測ニーズをリスト化<sup>[2]</sup>し、これを俯瞰図に落とし込んだものを図1に示す。縦軸には未解決問題の対象の空間的な大きさを取り、原子レベルから地球円周の大きさまでの広範囲を含むようにした。また、横軸には未解決問題が対象とする現象の変化時間を取り、フェムト秒の単位から数百年にわたる範囲を含むようにした。

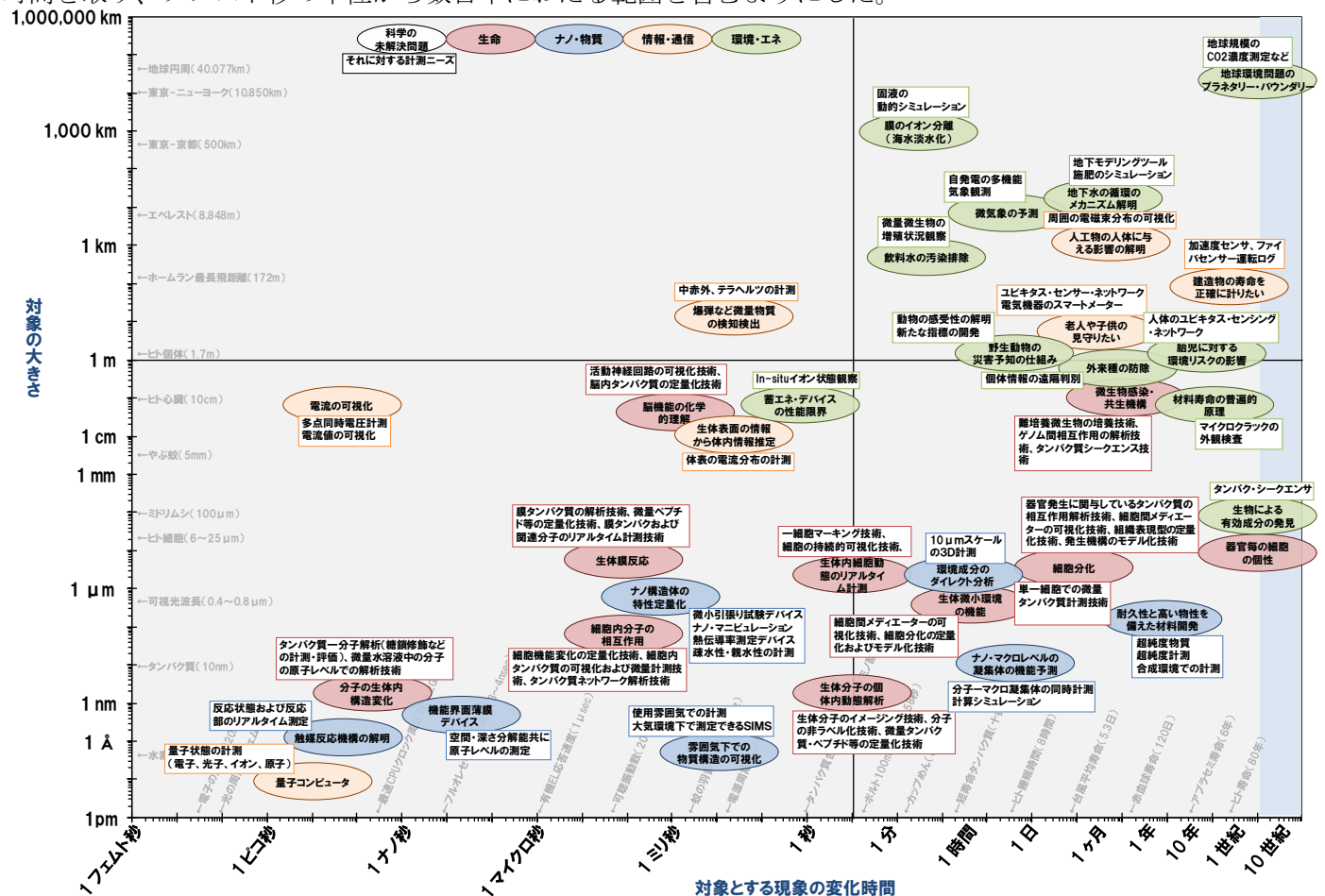


図1 計測ニーズのトレンド・キーワードの分類

これを見れば、「ナノ・物質」科学分野の未解決問題／計測ニーズは、他の分野よりも対象とする空間スケールは小さいが、時間軸に関しては、フェムト秒という短時間（基礎的な研究開発）から、静的、ゆっくりした時間変化（材料開発における材料の寿命・劣化など）まで広い時間スケールにわたっていること、「生命」科学分野における未解決問題／計測ニーズは、ナノ・物質科学分野の課題と同様、対象とする空間スケールが小さな課題が多いが、生命現象という生きた動的な課題を扱っているため、対象とする現象の変化時間は多様であること、「環境・エネルギー」科学分野においては、対象スケールが大きく、現象の変化時間がゆっくりした課題が多く、「未来予測」につながる学問として社会的な期待が高まっている。さらに、「情報・通信」科学分野の未解決問題／計測ニーズは、小さく短時間の課題から、広域で長期の課題までを広範囲にカバーしていることがわかった。

各科学分野の未解決問題／計測ニーズをもとに、現在の計測の水準（特徴）と計測ニーズのトレンド・キーワードを表3にまとめる。各科学分野に対して、独自の計測水準やトレンドを持っていることが分かる。

**表3 科学分野ごとの計測の水準(特徴)・トレンド(概要)**

分野	分野と計測の水準(特徴)	トレンド
生命	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>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。</li> </ul>	内部計測、非侵襲(生きたまま)、リアルタイム、定量計測
ナノ・物質	<ul style="list-style-type: none"> <li>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ることで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。</li> <li>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)。</li> </ul>	同一環境・その場計測、多階層同時計測、多因子同時計測、リアルタイム、原子分解能、3次元化、界面計測、認証標準物質と標準分析・測定の設定
情報・通信	<ul style="list-style-type: none"> <li>通信・計算・制御の情報処理の科学。</li> <li>数学を含めすべての学問のツール、データマイニング、複雑系などの計算科学と融合し、人文・社会科学分野を含めた多面的展開を見せている。</li> </ul>	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／間欠計測
環境・エネ	<ul style="list-style-type: none"> <li>公害、地球環境問題などの課題解決、②その予防機能の向上、③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。</li> <li>対象とする空間が大きく、また、ゆっくりと変化する現象、未来の予測までを扱うため、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。</li> </ul>	オンサイト、ネットワーク化、小型化、低消費電力化、高空間分解能、遠隔・非接触計測、シミュレーション連動、リアルタイム

### 3. 2. 科学における計測ニーズの特徴

以上の調査結果から抽出した「科学における計測ニーズ」の特徴は、以下の4点にまとめられる。

#### (1) ニーズの60%が生命科学分野

大きな視点から見れば、「生命科学分野」の未解決問題・計測ニーズが最も多いことがわかる（アンケート結果では約6割を占める<sup>[2]</sup>）。生命科学分野は、基本的な問題であっても未解決なことが多い。生命科学分野の研究者は、これまで計測技術を利用するのみの立場であったが、新たな計測をクリエートする視点が必要であろう。このため、生命科学における計測という分野を確立し、生命科学分野の研究を戦略的に推進していくための体系づくりが必要である。

#### (2) より複雑な課題へ取り組むニーズが多い

未解決問題の対象・現象は、より「複雑化」する方向へ進んでいる。例えば、生命科学分野における「物質の特別な状態から生命機能の発現に至る現象」、環境・エネルギー科学における「地球レベルの気候変動による生命リスクの推定」などであり、これらは社会から科学に期待されている課題でもある。したがって、計測にも「新たな視点やチャレンジ」が求められている。また、これらの複雑化した問題を解明し、解決していくためには、一人の優れた研究者のみに頼ることは十分な対応ができないので、多様な研究者が分野横断的に連携して解決に向かうことが必要となる。研究情報を共有するためのしっかりしたデータベースの構築も必要である。

#### (3) 「四次元レンズ」（未来予測も含めた計測）の概念が必要

従来の科学は、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までが必要である。特に地球環境問題など、その社会的期待は顕著である。計測にも新しい状況、いわゆる将来を予測するという時間軸が入った「四次元レンズ」の概念の確立が必要となる。

(4) 計測ニーズのトレンド・キーワードは普遍的である

各科学分野で挙げられた計測ニーズのトレンド・キーワードは表4のように一つの体系として分類できる。大きくは、人が自然（現象）を客観的に認識するプロセスにおける1次的（空間と時間という直接・直感的な能力[感性]）な補助をする機能・性能、2次的（カテゴリライズという情報・知識処理能力[悟性]）な補助をする機能・性能、そして、計測システムの固有問題に係る機能・性能の3つである。今後、新たな計測技術の研究開発戦略を考案する上での活用が望まれる。

表4 計測ニーズのトレンド・キーワードの分類

大分類	中分類	トレンド・キーワード
1次的認識	二次元(面的)	高空間分解能、遠隔・非接触計測、ネットワーク化、オンサイト
	三次元(空間的)	界面・内部計測、非侵襲計測、同一環境・その場計測
	四次元(時間・空間的)	リアルタイム、常時/間欠計測、高時間分解能
2次的認識	情報処理	データ処理自動化、3次元化、未来予測、シミュレーション連動
	モデル化(カテゴリライズ)	多階層同時計測、多因子同時計測、センサフュージョン、網羅性、ダイナミックレンジ、ノイズ処理
	比較(トレーサビリティ)	標準データベース、認証標準物質、標準化、前処理自動化
	前処理	高選択性、高効率化
機器固有	基本性能	高感度化、定量性、高信頼性
	経済性	低コスト化、ハイスループット化、微量化
	利便性	小型化、高速化、簡便化、軽量化、モバイル化、前処理自動化
	エネルギー	低消費電力化

#### 4. おわりに

具体的な計測技術開発の戦略策定では、上記に示した計測ニーズとトレンドの認識が肝要である。そして、もう一つのポイントが、このようなニーズを充足する技術を持った多様な科学者をいかにこの戦略的な研究開発に動員できるかである。先端技術の開発では、既存技術の延長線上にない全く新しい発想が求められる。よって異分野の技術者が開発の鍵を握るといっても過言ではない。こういった従来にない学際的な研究開発戦略では、ニーズ側、シーズ側のどちらか一方ではなく、両者が連携することで具体的な検討が進む。この連携や検討を進めることを「邂逅」と呼ぶが、邂逅の場では、ニーズともシーズとも異なる別の種類の研究（ここでは「中間的な研究者」とする）が重要な役割を担う。例えば、中間的な研究者は、邂逅という場の設計や提供だけでなく、1つの目的として捉えられがちな「メジャメント」（測りたい物理量は明確で、技術の機能・性能向上が目的）と「キャラクターゼーション」（どのような物理量を測ればよいか未明で、ある現象の理解が目的）を明確に分類し、両者のギャップを埋める方策を策定する。また、具体的な計測技術の開発では、計測ニーズを測定可能な物理量（メジャランド）に落とし込む作業を行う。

わが国では、これまで計測ニーズと計測シーズの計測技術開発が独立して推進されてきた。今後は、両者を邂逅させてニーズを充足するための新たなシーズ開発（技術開発）が求められるだろう。そして、そのような戦略策定においては、両者の間を取り持つ中間的な研究者が重要な役割を担うと考えられる。

#### 参考文献

- [1] 独立行政法人科学技術振興機構研究開発戦略センター（CRDS）：「計測・分析技術に関する諸外国の研究開発政策動向」, CRDS 調査報告書, 2010年8月
- [2] 独立行政法人科学技術振興機構研究開発戦略センター（CRDS）：「科学における未解決問題に対する計測ニーズの俯瞰調査」, CRDS 調査報告書, 2011年3月
- [3] 加藤、相馬、高橋、小間：「先端計測分析技術・機器開発事業における応募課題の事前評価」, 研究・技術計画学会 第22回年次学術大会予稿集, pp420-423, 2007.10.27

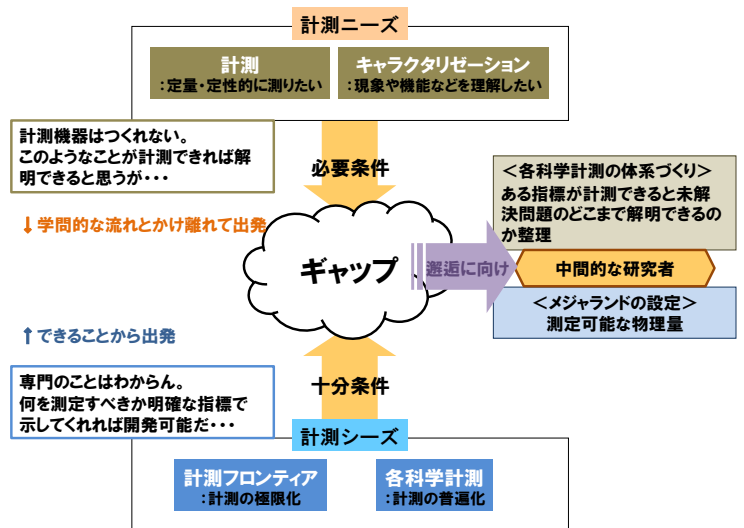


図2 計測ニーズのトレンド・キーワードの分類