



日本国キログラム原器

2013年度エヌエフ基金「研究開発奨励賞」  
研究発表会・表彰式 2013.1.18

特別講演



「SPring-8」

# 観ること、測ることが科学と環境を育む —CRDSの調査をふまえて—

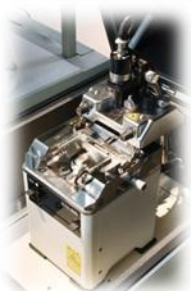
佐藤勝昭

(独)科学技術振興機構(JST)

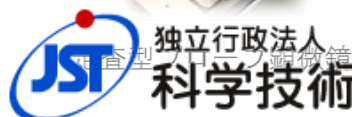
戦略的創造研究さきがけ「次世代デバイス」研究総括

兼務: 研究開発戦略センター(CRDS)フェロー

兼務: 広報課研究広報主監



X線回折分析装置



科学技術振興機構

Japan Science and Technology Agency

# はじめに

- 2013年度エヌエフ基金「研究開発奨励賞」受賞おめでとうございます。受賞された先端計測部門はもとより、環境エネルギー部門の課題の背景には「観ること・測ること」が背景になっています。
- この講演では、JSTのCRDS(研究開発戦略センター)の計測横断グループでの調査活動にもとづき、科学の未解決問題を解き明かすためには、どのような計測ニーズがあるのか、それを支えるシーズとの邂逅はどうすれば良いのかについて会場の皆様とともに考えてみたいと思います。

# CRDSとは

- **CRDSの設立趣旨:**

- JSTの研究開発戦略の立案機能を抜本的な強化、ファンディングエージェンシーとしての体制強化、我が国全体の研究開発戦略立案への貢献を目的に2003年7月に設立

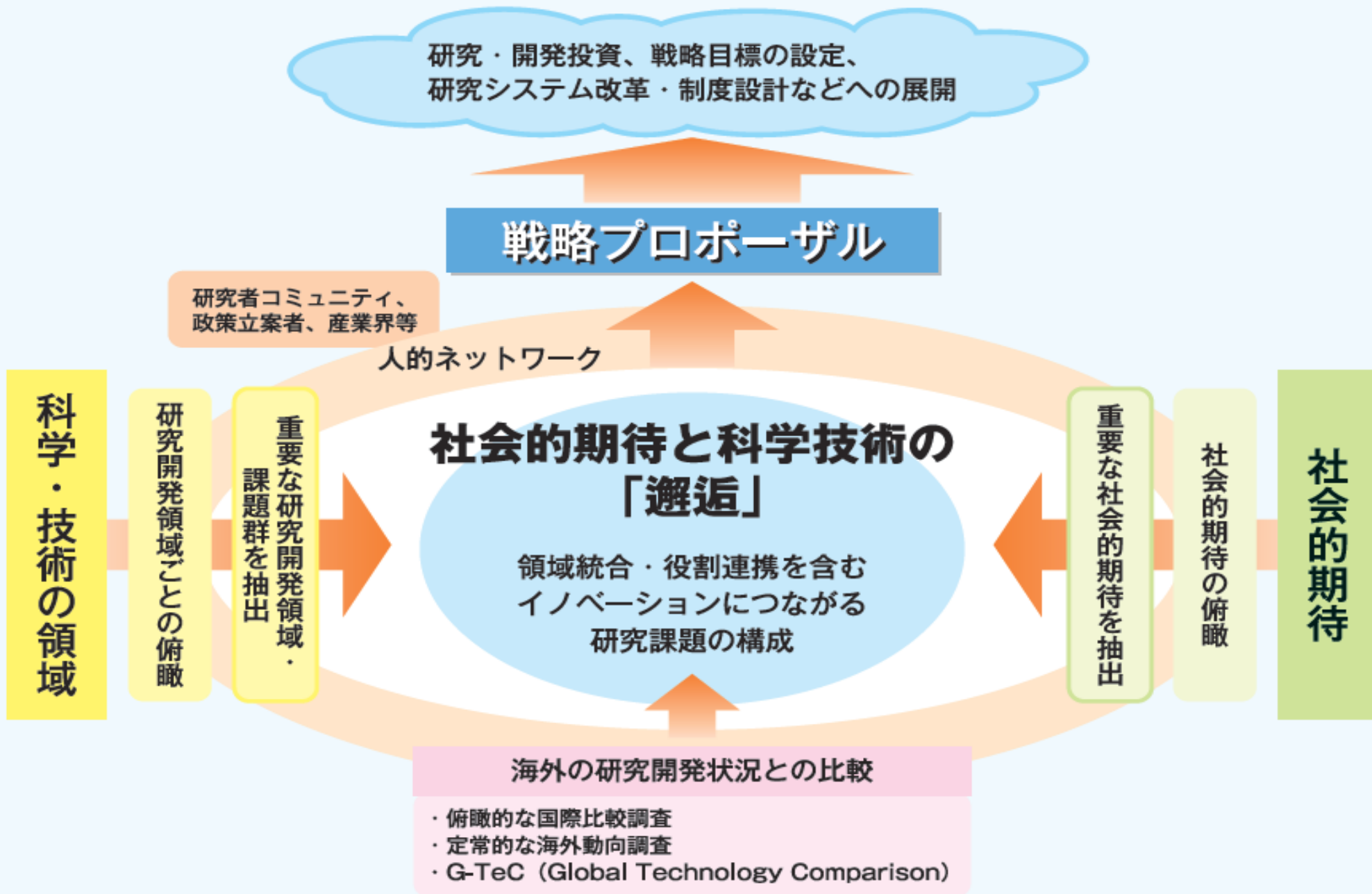
- **ビジョン:**

- 社会ニーズを充足し社会ビジョンを実現する科学技術の有効な発展に貢献

- **ミッション:**

1. 政策・戦略の立案者と研究者の意見交換の場の形成
2. **科学技術分野全体の俯瞰**
3. 重要となる分野、領域、課題、研究開発の推進方法等を抽出
4. 我が国の研究開発状況および技術レベルを海外諸国と比較
5. 研究開発戦略を提言

# CRDSにおける研究開発戦略の立案プロセス

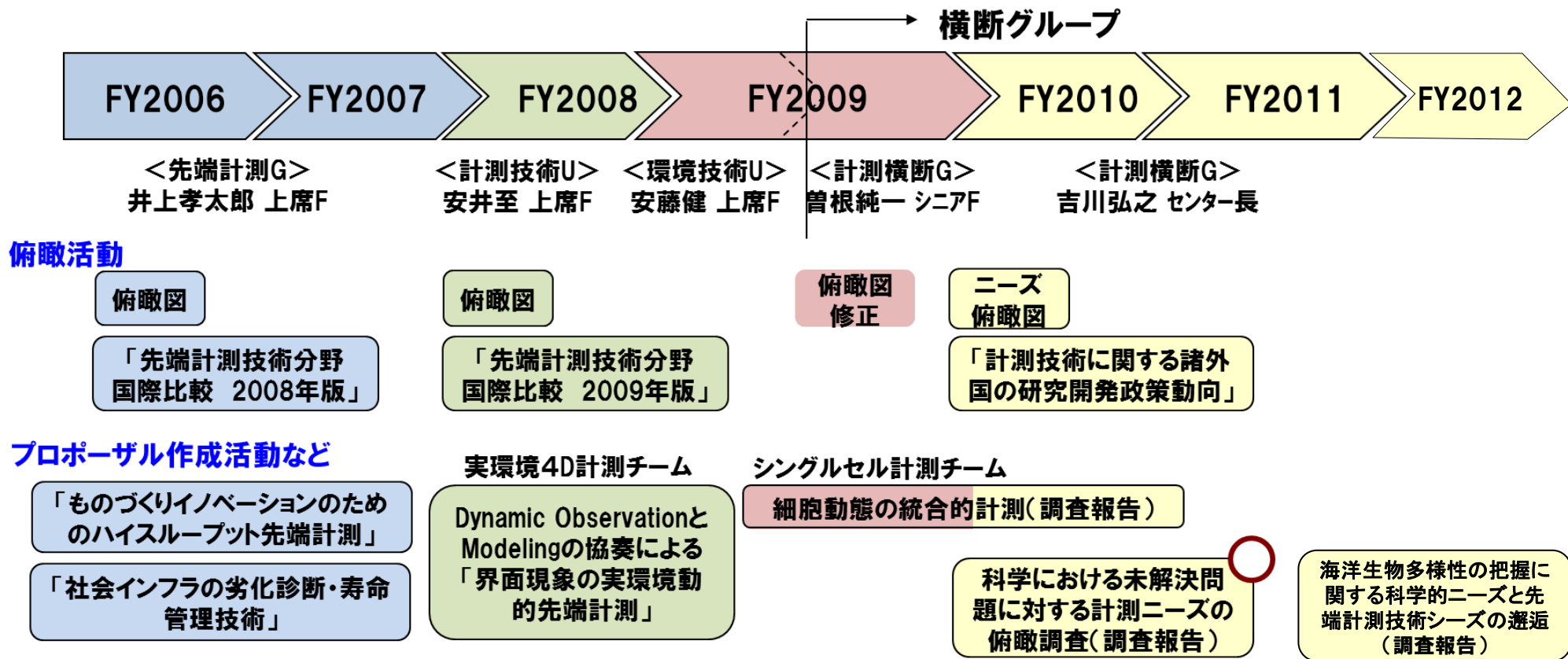


# CRDSの 提言の位置付け





# CRDS:これまでの計測技術に関する取組み



■ 2004スタート (2002年 田中耕一氏ノーベル化学賞受賞)

**先端計測分析技術・機器開発事業** (MEXT基盤研究課、JST産学基礎基盤推進部(先端計測担当))

目的: 最先端の研究やものづくり現場でのニーズに応えるため、将来の創造的・独創的な研究開発に資する先端計測分析技術・機器及びその周辺システムの開発を推進する。

# 計測技術に関するCRDSの考え方

- 吉川弘之CRDSセンター長の考え方:



計測はmother of science。計測があって科学の発展がある。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。

# 科学の発展における計測技術

- 計測学は、物理学、化学というディシプリンの平面的な区分けの中に置くのではなく、すべての領域に対して独自の関係を持ちつつ、さらにそれらを見通した「メタサイエンス」と考えることである（「メタ計測学」）。





# 計測技術が関連する研究開発

	(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 (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

# 計測技術が関連する研究開発

<p>言 基盤 他 (測るこ)</p>		<p>科学の未解決のナゾ125を選出 米サイエンス誌 創刊125周年 (2005年7月)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 「意識」の生物学的な意味は何か？</li> <li>• 人間の寿命はどこまで延ばせるのか？</li> <li>• 記憶はどのように格納され検索されるのか？</li> <li>• 宇宙は何から作られているのか？</li> <li>• コンピューティングの限界は？</li> <li>• 地球温暖化によって世界はどこまで暑くなるのか？</li> <li>• 安い石油を代替可能なものは何か？</li> </ul> <p>など</p>	<p>用) 技術</p>
<p>計 (測るこ)</p>	<p>What Don't We Know?</p>	<p>素材、資 器、輸送機 発展・ベン 創出</p>	<p>測 析サービス 発展・ベン 創出</p>

# 科学の未解決問題に対する計測ニーズ インタビュー調査および俯瞰ワークショップ

# 未解決問題に対する計測ニーズ インタビュー調査項目

## 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)

# 未解決問題に対する計測ニーズについて インタビューした有識者の方々

分野	氏名	所属・役職	担当
生命	小安 重夫	慶應義塾大学 医学部 教授	川口
	菅野 純夫	東京大学 医科学研究所 教授	川口
	中西 真人	産業技術総合研究所 ジーンファンクション研究センター グループ長	研究 金子
	入来 篤史	理化学研究所 象徴概念発達研究チーム チーム長	金子
ナノ・物質	筒井 哲雄	JSTさきがけ 研究総括	永野
	川合 知二	大阪大学 教授	永野
	土佐 正弘	物質・材料研究機構 微少材料工学グループ グループリーダー	金子
	居城 邦治	北海道大学 電子科学研究所 教授	金子
情報・通信	中野 義昭	東京大学 先端科学技術センター 所長	金子
	竹内 繁樹	大阪大学 産業科学研究所 招聘教授	金子
環境・エネ	安井 至	製品評価技術基盤機構 理事長	丸山
	大垣 眞一郎	国立環境研究所 理事長	丸山

# 俯瞰ワークショップ

- 13:00～13:05 オーガナイザー挨拶
- 13:05～13:20 モデレーター挨拶
- 13:20～15:30 セッション1 分野別の講演／討議
- (話題提供: 伊藤 隆司、田沼 繁夫、桜井 貴康、山形 与志樹)
- 15:30～17:40 セッション2 計測横断討議
- (コメント: 二瓶 好正、一村 信吾、澤田 嗣郎、岩槻 正志)
- 17:40～18:00 ワークショップ総括(オーガナイザー)

主催: JST-CRDS 計測技術に関する横断グループ

オーガナイザ: 吉川弘之(センター長)

モデレータ: 佐藤勝昭

メンバー: 川口 哲(ライフサイエンス)、永野智己(ナノテク・材料)、金子健司(電子情報通信)、丸山浩平(環境・エネルギー)



# 「生命」科学における計測ニーズ

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

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	劣化の原因を解明する技術。研究現場でリアルタイム且つコンパクトに計測を行えるようにしたい。(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NMRなど、「小型機器」が求められる。
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。現実の計測と共に、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。
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。軽元素の拡散をナノレベルで解析する技術、定量化や元素同定。
使用環境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、メモリデバイス(酸化還元系)の雰囲気下での計測。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)を分離せず直接分析したい	10 $\mu$ mスケールの3次元計測技術。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	強度や熱物性の精密測定。弾性率、降伏強度、破壊強度、靱性、疲労特性の測定。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。

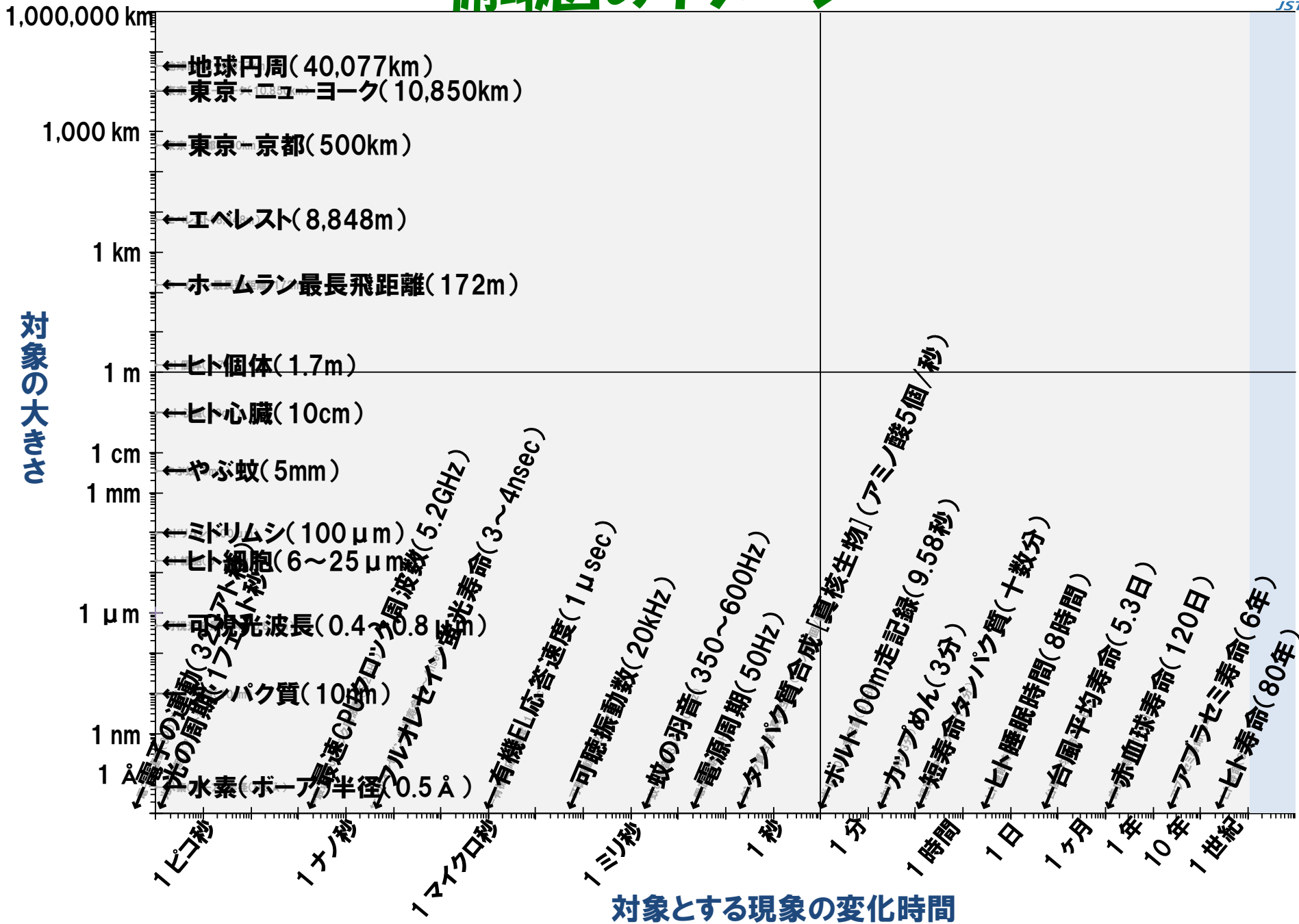
科学における未解決問題	計測ニーズ
量子コンピュータを実現したい	電子、光子、イオン、原子等の量子状態(波動関数、密度行列)の精密、高速測定
爆弾など危険物の情報を非破壊に検出したい	中赤外線、テラヘルツ領域の計測技術
老人や子供など弱者を見守りたい	ユビキタス・センサー・ネットワーク(体温、脈拍センサ、RFタグ、スマートメータなど)
生体表面の情報から体内状態を推察したい	脳波、心電図、筋電図など総括して計測する技術
人工物が人間に与える影響を明らかにしたい	身の回りの電磁束の分布
道路、橋梁など建築物の寿命を計りたい	ユビキタス・センサ・ネットワーク(ファイバーセンサ、加速度センサ、運転ログ)
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	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予知の仕組み解明できるか(野生動物など)？	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
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・センシング技術。小児の曝露した環境を定量評価(活動環境、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。
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？	生物種の絶滅の予兆を測る技術、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。

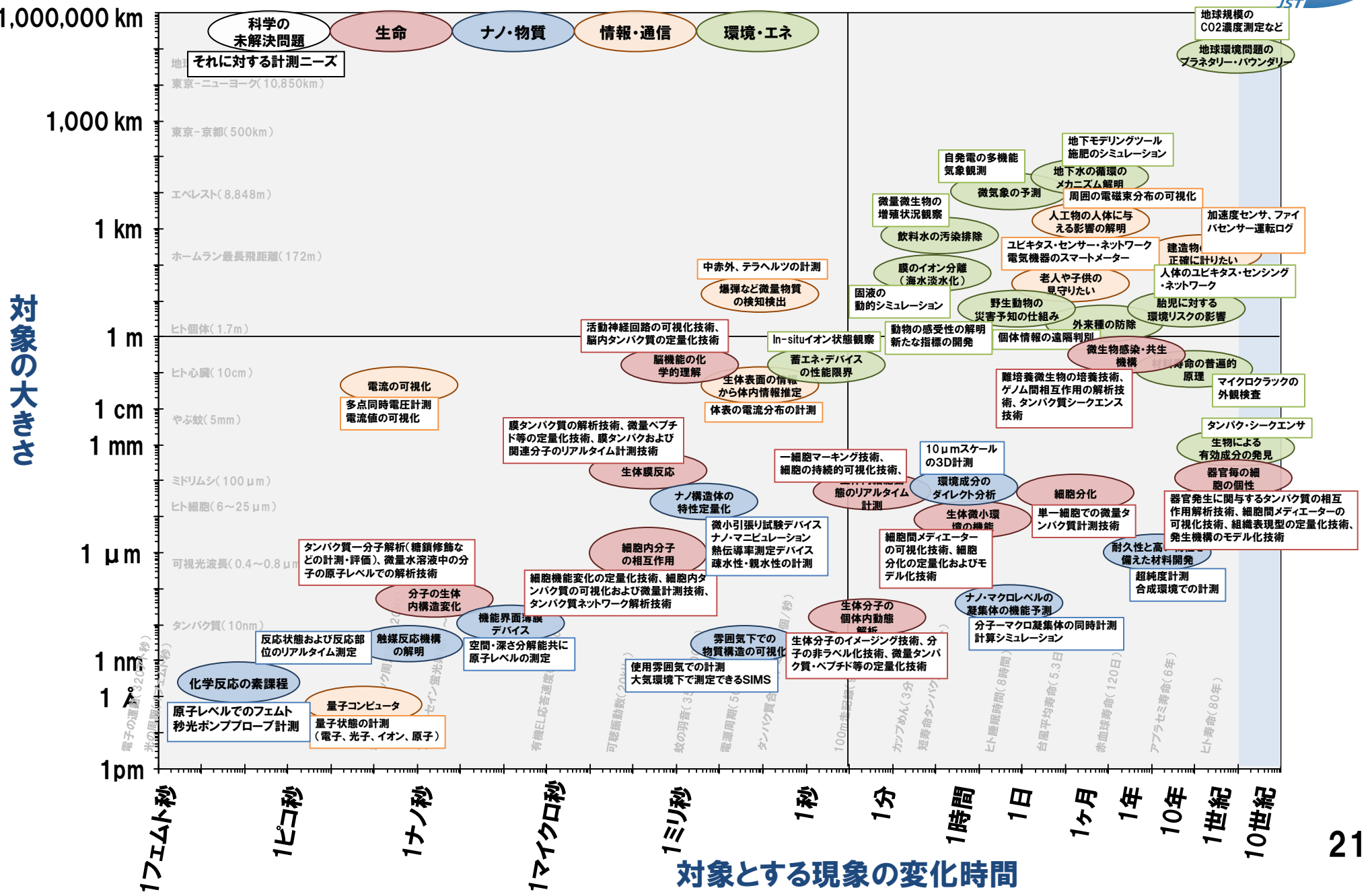
# 計測ニーズ俯瞰図と 未解決問題のマッピング

# 俯瞰図のイメージ

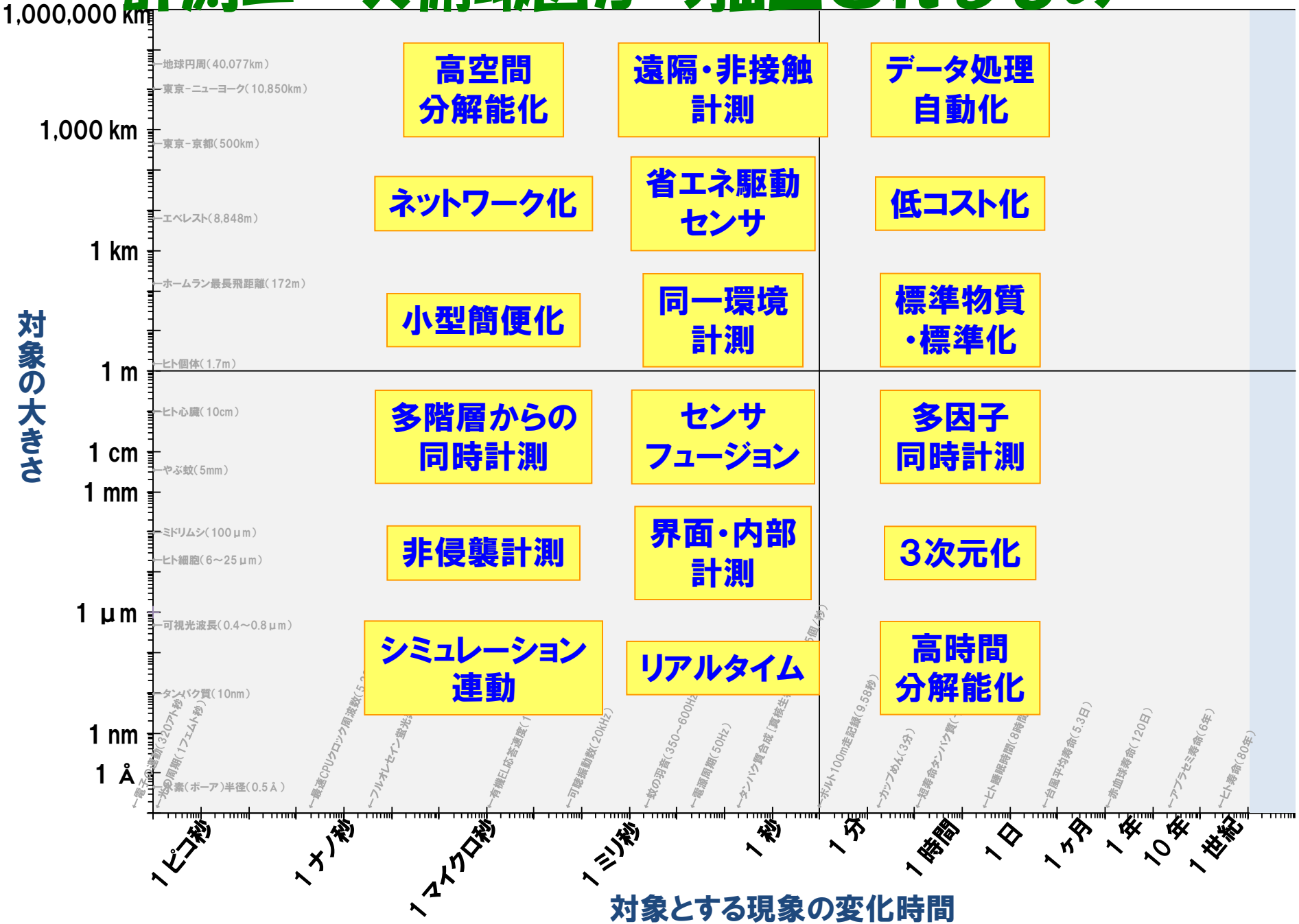




# 科学の未解決問題に対する計測ニーズ俯瞰



# 計測ニーズ俯瞰図から抽出されるもの



# 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><b>生命現象の解明、人間の理解</b>とそれを基本にした科学技術や社会システムの開発を目指した総合的な学問。<b>未解決問題多い</b>。</p> <p>物質の存在よりも物質間の関係から現象の意味を理解(<b>関係計測</b>)。</p>	<p>界面・内部、非侵襲、リアルタイム、標準化</p>
ナノ・物質	<p><b>自然界の現象とその性質</b>を、物質とその間に働く相互作用によって観測し、<b>理解</b>すること。物理計測と一体化。</p> <p>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(<b>存在計測</b>)。</p>	<p>多階層からの同時計測、多因子同時、リアルタイム、3次元化</p>
情報・通信	<p><b>通信・計算・制御などの情報処理の科学</b></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>高空間分解能、シミュレーション連動、小型簡便化、ネットワーク化、複雑系</p>
環境・エネ	<p>①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、および③諸現象の環境の規定に関する総合的な学問。<b>環境科学の課題は実用性を持つ</b>。</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(<b>シミュレーション連動</b>)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>

# 計測ニーズからメジャランドに

- 計測ニーズ(ウォンツ)だけでは、計測技術に落とし込めない。
- 「メジャメント」(何を測るか)と「キャラクタリゼーション」(何を明らかにするのか)のどちらであるかを分離し、さらに測定可能な物理量(メジャランド)に落とし込む作業があってこそ、計測技術の開発がスタート可能。
- これが「ニーズとシーズの邂逅」である。

# 計測の今後： 4次元レンズ

- 現在、未来に起こり得る現象を予測することで、我々が今やらなければならない課題を抽出、解決する科学へと進んでいる。時間軸が入った「4次元レンズ」の考えが、計測研究にとっての大きな課題。

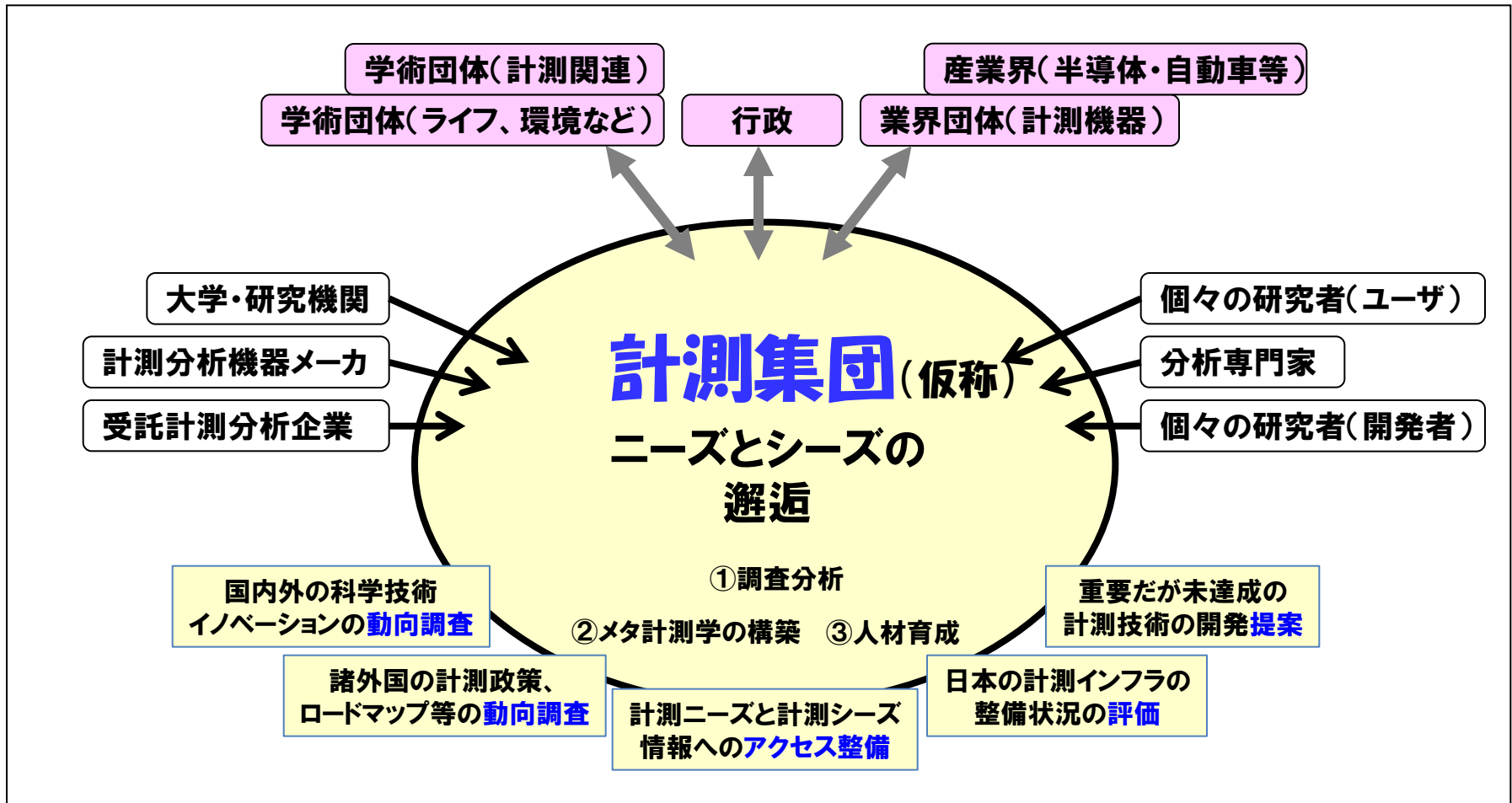
## 4次元レンズ(測定)

◆「将来とは突然やってくるものではなく、過去の延長線上、今日の延長線上にある。だから予兆は必ずある。予兆の段階から観察し、そこに働いているいろいろな力を見て、結果的にどうなるかを見抜くのだ」 大前研一(経営コンサルタント)

◆「未来を予測する最も良い方法は、未来を創り出すことである」  
デニス・ガボール (ハンガリー物理学者・ノーベル物理学賞)

# 計測の今後：邂逅のネットワーク

- 米国(NIST)のUS計測システム(USMS)、EUの欧州計測標準研究協会(EURAMET)のような計測関連の活動をネットワークで結ぶ仕組みの構築が必要(ニーズとシーズの邂逅)。





科学新聞2011.6.03

連載第6回「計測ニーズ調査からわかったこと、および今後の課題」

(佐藤勝昭)

# 調査から明らかになった計測ニーズの 特徴

## 計測ニーズの特徴(1)

# ニーズの60%が生命科学分野

- 「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分かった(約6割)。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くあり、多くの資源投入を行うべきと考察できる。
- 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と考える。確立に当たっては、計測技術研究者のコミュニティとのダイナミックな接近、連携協力が必要である。

## 計測ニーズの特徴(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、「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」、情報・通信科学における「情報爆発による新たな社会的リスクの推定」、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。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不十分、あるいは間に合わない。多様な研究者が連携して解決に向かうことが必要となる。特に数学分野、物理分野の研究者の参加はポイントであろう。また、研究情報を共有するためのしっかりしたデータベースも構築する必要がある。

## 計測ニーズの特徴(3)

### 現状を知り、将来を予測し、対策するための計測

- 現在科学は、未来を予想することで我々が今何をしなければならぬかを明らかにする必要がある。特に地球環境問題など、その社会的期待は顕著である。
- 従来の科学は、真理の追究によって、現象の背後にある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。
- このためには、計測機能のシミュレーション連動も必要となる。

## 計測ニーズの特徴(4)

### 現代計測に求められるもの

- 一つは、あらゆる事象に隠れている「予兆」を可視化する方法論の確立である。
- もう一つは、未知のリスクに対して「分析」するのではなく、積極的な負荷を掛けた際の反応を計測する「統合的計測」に基づいて理解していく方法論である。
- また、極短時間の計測、ダイナミックな変化の計測、リアルタイム計測など、時間変化を伴う計測技術のより一層の追及が求められる。
- 「分野を超越したメタ科学としての新たな計測学」の確立が必要であり、このような観点から新たな計測を担う人材の育成が急務になっている。

## 計測ニーズの特徴(5)

### 今後に向けて

- 生命科学の分野の未解決問題の1つが、思いもよらない先端的な物理測定技術によって解明されるかもしれないということを、インタビューを通じて知った。「麻酔薬がなぜ効くかの素過程」に踏み込もうとする麻酔医と先端光研究者とのコラボレーションの例である。
- これは、たまたま、2人が友人であったという偶然の邂逅で実現したと聞く。しかし、ニーズとシーズの邂逅の場としての「計測集団」の構築を偶然に頼ることなく、より積極的に仕掛けるのは、公的機関の責務であろう。
- このためには、学問分野間の壁、省庁間の壁、アカデミアと産業界の壁を大胆に取り払って、いろんな立場の研究者が出入りして邂逅できる開かれた場にしなければならない。



## 計測ニーズの特徴(6)

### ニーズとシーズとの邂逅

- これまでの調査活動は、「科学の未解決問題に対する計測ニーズ」に絞って行われ、ここから、上述のような共通した計測の課題が抽出された。
- 今後は、いかに有効な「ニーズとシーズとの邂逅」の場をつくって、ニーズ側とシーズ側の共同作業を行うことができるかが、計測分野の研究開発の成否を握っているといても過言ではない。
- これは、今後の研究開発戦略センター活動の課題である。

# 調査報告書について

- JST-CRDS調査報告書10RR05「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」が刊行された。
- 下記のキーワードで検索  
**調査報告書 計測ニーズの俯瞰調査**



科学新聞2011.6.03

連載第6回「計測ニーズ調査からわかったこと、および今後の課題」

(佐藤勝昭)

# 大震災と計測の課題

# 大震災と計測の課題

- 我々の調査は「科学の未解決問題」に絞ったので、公共部門の計測ニーズにはあえて触れなかった。しかし、2011年3月11日の大震災・巨大津波・原発事故を目の当たりにして、計測に関わる大きな課題の存在に気づかされた。このことに少しでも触れておきたい。

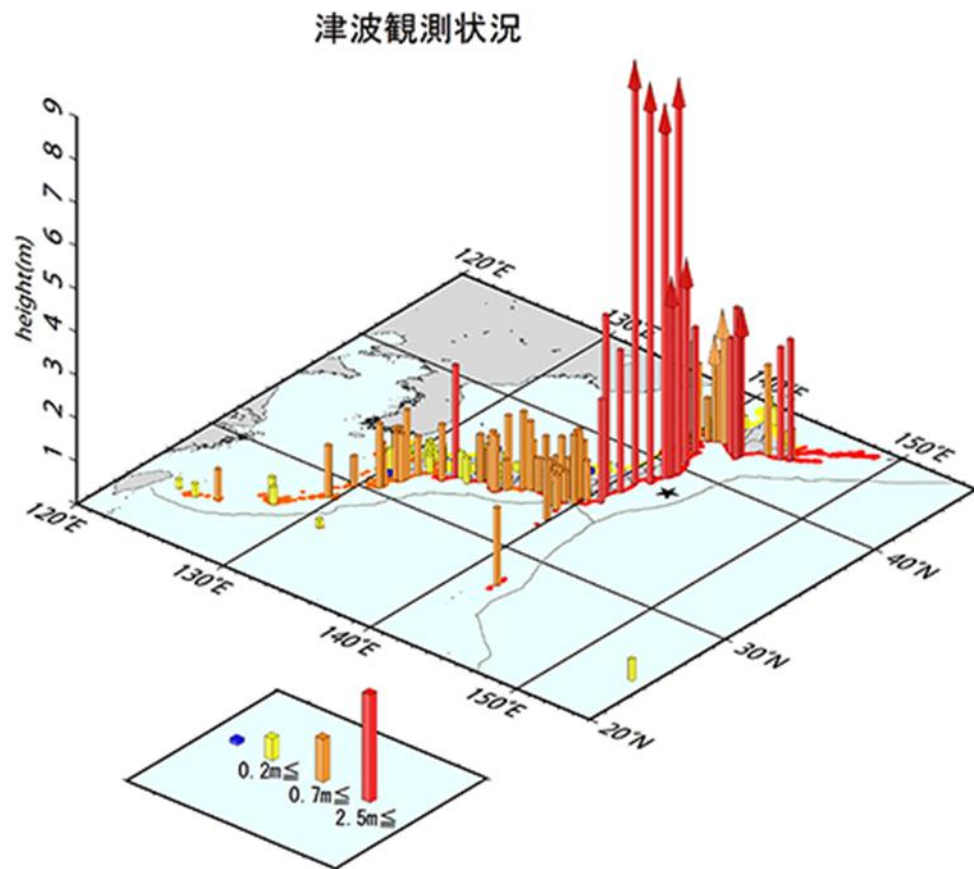


# 地震データの喪失

- 第1の課題は、地震データが計測できなくなったことである。震度だけでなく地震波形なども観測する「地震計」は東北26地点中19地点、「震度計」は同88地点中48地点がダウンしたという。このため、緊急地震速報の誤報が相次いだ。
- また、防災科研と産総研の地震計など計1099台のデータが送れなかった。(会計検査院調査)

# 津波データの喪失

- また、「津波計」は全国183地点中31地点のデータが入手できなくなったため、被災地の惨状の報道によって初めて巨大津波であったことが全国に伝えられたのである。



# 活かされなかったGPS波浪計

- 津波の早期警戒のために国土交通省が青森県から福島県沖にかけての海上に7基設置していたGPS波浪計のデータも肝心の津波発生前に、地震による電源の故障などで受信できなくなっていたのである。
- このシステムは、沖合20kmの海上で測定した津波の高さを衛星に送り陸地に到達する高さを予測する優れたものであった。後になって、データを回収して解析したところ、地震発生から25分ほどで最大の高さ6.7mという潮位となり、その後約30分かけて10m近く下がったことなどが判明した。
- もし、システムが正常に動作していたなら、到達する津波の高さが十数mになることを予測して現地に伝え、多くの命が救われたのではないかと考えると残念でならない。

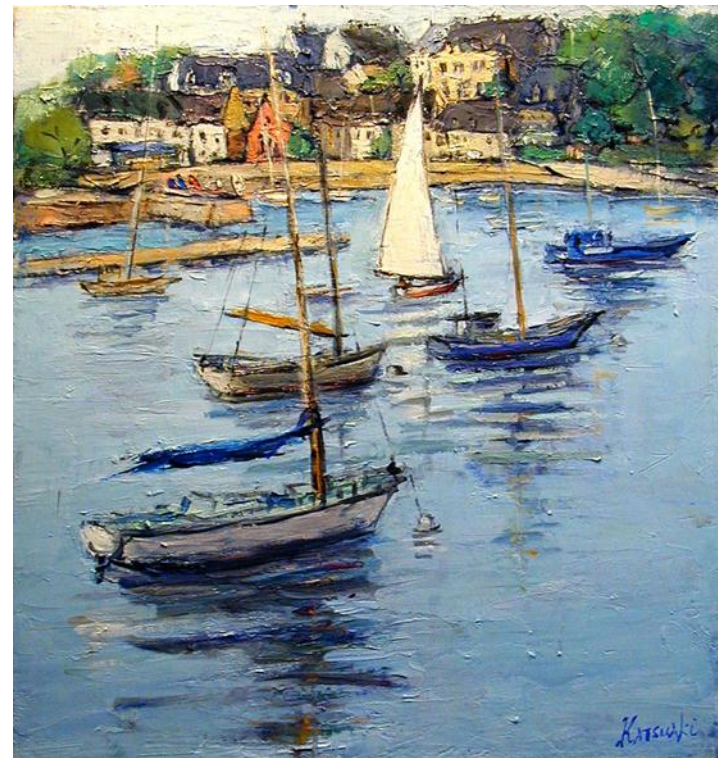


# 原発事故と計測

- 福島原発事故では、電源喪失で原子炉内、建屋内の各部の温度、圧力のセンサーのデータを読めなくなった。正確なデータがなければ、事故の対策も立てられない。
- 原発タービン建屋内外では、放射能計測器が振り切って「××ミリシーベルト以上」としかいえない状況にあった。
- 人が危険を冒して現場に行かないと計測できないもどかしさ、非常時に正確な計測データが提供されない現実は、国民の科学不信にもつながった。
- 緊急時迅速放射能影響予測ネットワークシステム(SPEEDI)がありながら、公表されず多くの人々が高濃度のヨウ素やセシウムに被爆した。

# 震災から学んだ計測の課題

- 今回の震災を通じて、計測とは、単に何かを測定するだけではなく、それを支える電源、通信手段、解析手段まで含んだ作業であるということを改めて強く感じさせられた。
- さらには、計測結果から将来予測にまでつなげないと意味がないということも津波の例で学んだ。このことは、私たちのこのたびの調査で見たすべての分野における計測にも通じるものであると感じた。



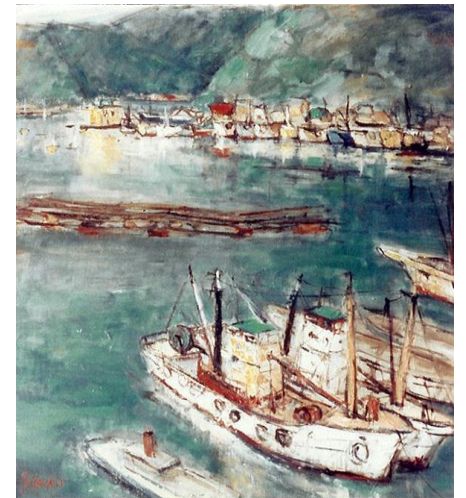
シンポジウム

「海洋生物多様性・生態系研究のボトルネックを解消するための、技術開発およびモデリング」2012年3月30日での講演から

## 海洋生物多様性の計測におけるニーズと シーズの邂逅の例

# 生態系サービスの恒常性と計測

- 我々は、海洋から多くの生態系サービスを受けている。このサービスの恒常性は、海洋生態系および、それを支える物質循環サイクルのバランスによって維持されている。近年、海洋生物の生態系は外因的な危機にさらされているといわれるが、未来も含めその実態を正確に捉えているとはいえない。
- CRDS では、海洋生物多様性の計測ニーズとそのための技術シーズについて、インタビュー、アンケート、ニーズ・シーズ邂逅のためのワークショップ等を通じて調査してきた。



# ワークショッププログラム

**主催者挨拶** 吉川 弘之(JST/CRDS)

**モデレータ** 佐藤 勝昭(JST/CRDS)

## セッション1. 海洋生物学者からのニーズの提示(1)

13:20~13:40 小池 勲夫(琉球大学)

13:40~14:00 和田 時夫(水産総合研究センター)

## セッション2. 海洋生物学者からのニーズの提示(2)

14:00~14:20 安岡 善文(CRDS)

14:20~14:40 張 勁(富山大学)

14:40~15:00 石丸 隆(東京海洋大学)

15:00~15:20 <休憩>

15:20~15:40 宮下 和士(北海道大学)

15:40~16:00 菊地 淳(理化学研究所)

## セッション3. 計測技術者からの提案

16:00~16:10 椎名 毅(京都大学)

16:10~16:20 染川 智弘(レーザー総合研究所)

16:20~16:30 中野 義昭(東京大学)

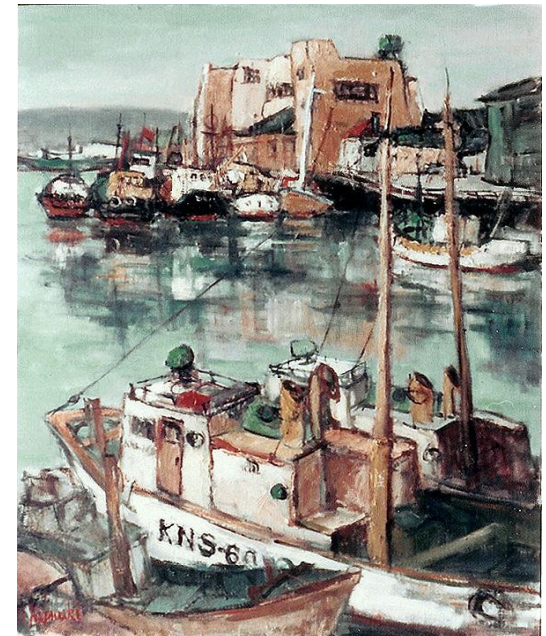
16:30~16:40 豊田 岐聡(大阪大学)

16:40~16:50 北川 正成(タカラバイオ)

16:50~17:00 小菅 一弘(東北大学)

## セッション4. 総合討論

17:00~18:00



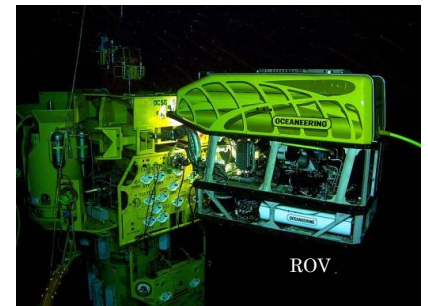


# 海洋における生物多様性・生態系研究 のための技術開発ニーズについて

小池勲夫(CREST領域総括)



- 日本近海、種としてわかっているもの3万種、記載がないもの12万種→生態系サービスが地球システムを支えている (CoML 2000～2010)
- 生物の認識手法:
  - 数 $\mu\text{m}$ 以下: 形態分類が困難→メタゲノム解析
  - 数 $\mu\text{m}$ 以上: 形によって分類
- 計測技術への要望
  - 操作性のよいAUVまたはROVが欲しい
  - 三次元的な微細構造を生物の代謝機能を保持したまま固定できる技術が欲しい

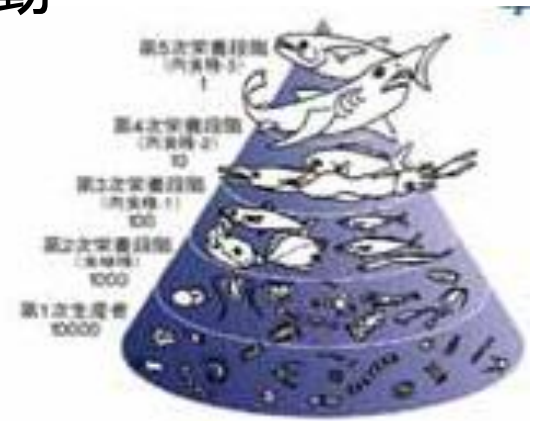




# 海洋生物学、特に水産学の立場から

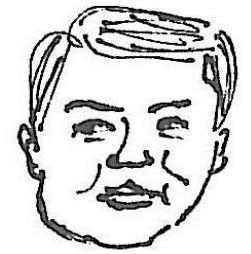
## 和田時夫(中央水産研)

- 従来の計測の基本スタイル(調査船+網)では時間的・空間的・個体サイズの的に連続的計測が困難
- 技術開発が必要な事項
  - 種別生物量と個体サイズ分布・その季節変動
  - 海洋微生物のメタゲノム解析
  - 多種大量データの統合的解析技術開発  
生態系モデルの高度化
- 技術開発への期待
  - 運用も含めた実用的計測システム構築
  - 日本発の海洋生物多様性計測の国際標準の提案と国際的な議論のリード(Post CoML)





# 計測の要素技術だけでなく利用まで 考えたシステムのアプローチを



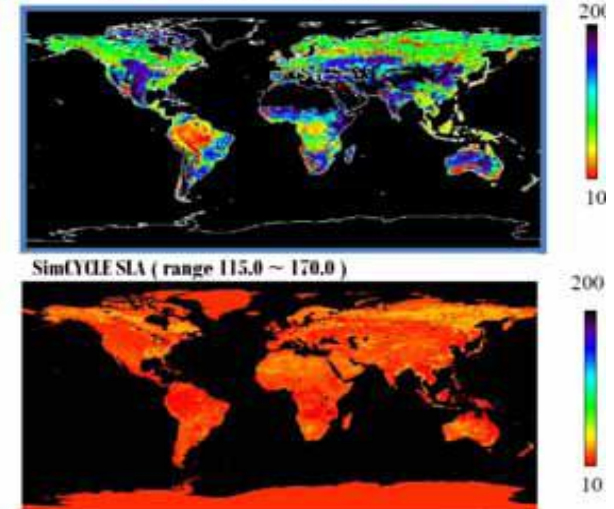
安岡善文 (JST CRDS)

- 環境研究：循環が切れないようにどう回すかが問題。
- 仮想空間でのシミュレーション→予測・評価→実空間に実装→計測・・・
- 実例：SLA(比葉面積)の地球規模の分布
  - 上図は、モデルを衛星による実観測データLAIとあわせ込んだもの。
  - 下図は、衛星からのLAI実測データのみを用いたもの：均質なデータになってしまう。

アシミレーションによるSLA分布図

アシミレーションによるSLA  
(東大生研  
安岡研究室).

Sim-CYCLE  
で使用され  
ているSLA

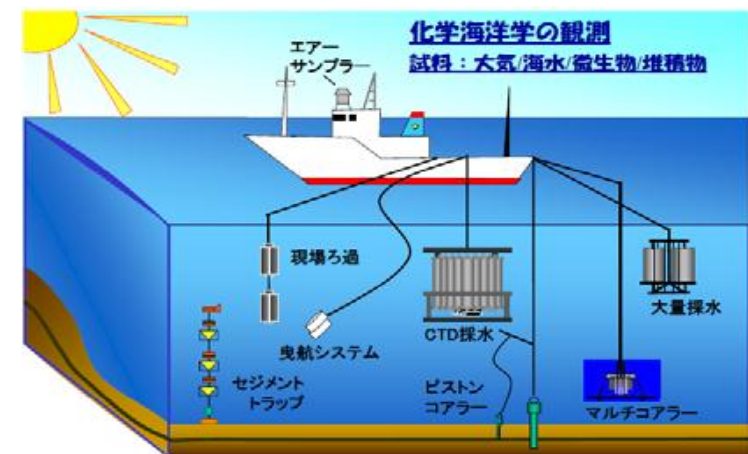
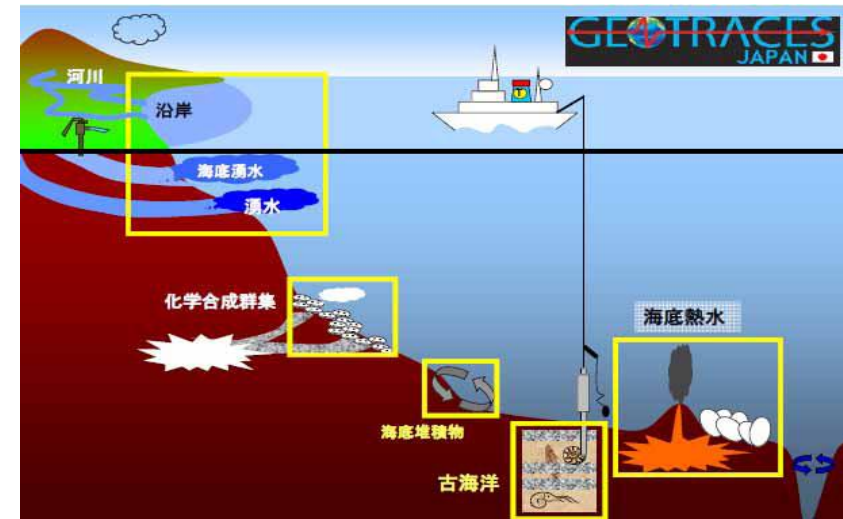


RR2000プログラム

# 化学海洋学の視点から 張勁(富山大学)



- 海洋観測技術
  - GEOTRACES計画の下に様々なモニタリング手法が導入された
  - 日本の海洋学における観測は国際的にも高い水準にある
  - 白鳳丸はアジア唯一の観測船
  - クリーンルームもある
- 化学海洋学における計測ニーズ
  - 四次元・リアルタイム計測技術
  - In-situの質量分析装置が欲しい
  - 中長期的な評価システムが必要
  - 実践的な野外教育による人材の育成



# センサ・サンプリング・プラットフォーム

## 石丸隆 (東京海洋大学)



- 海洋生態系の把握
  - CTDは当初水分と塩分のみ→最近では、水中の照度、クロロフィル、海底からの高さの情報等同時測定可能に
- センサーシステムの問題点
  - 長時間運用の困難さ
  - センサーの時定数の問題(クロロフィル、ウラニンは短いですが溶存酸素は長い。比色は使えない。
- サンプリングの問題点
  - 予めプランクトンの時空分布がわかっている必要あり。
  - 多段階ネットを開発。ネットに各種センサーを搭載したい。
  - デジタルホログラフィ技術が最近発展

# 海洋生態系計測学の立場から

## 宮下和士(北海道大学)



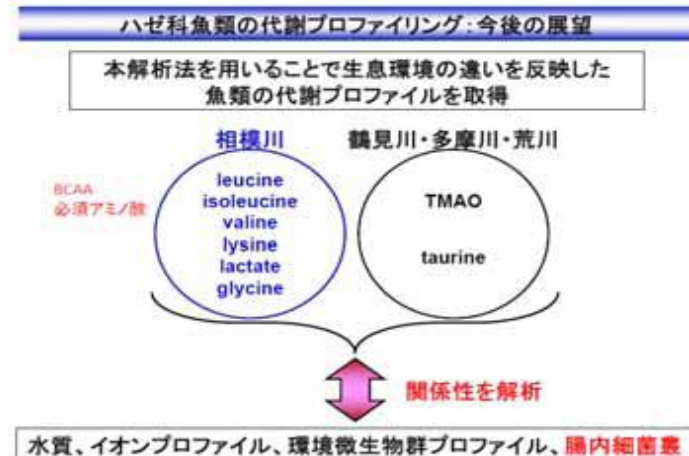
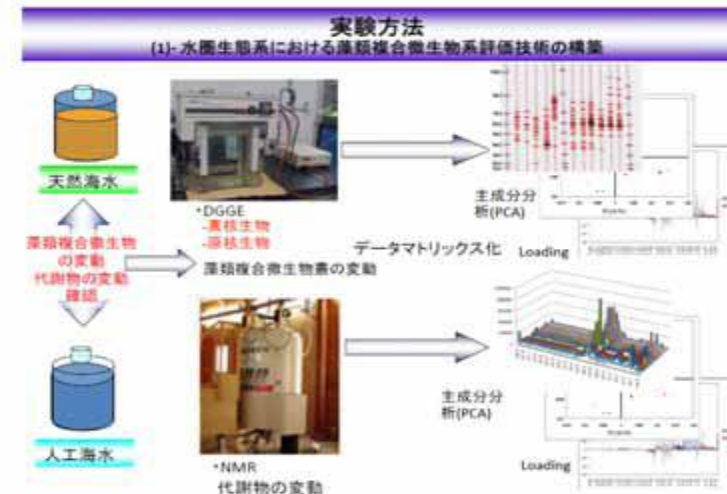
- 計量魚探
  - 水産音響により量・サイズ・種・餌と関係を見る
  - 個体や群れの行動推定
- バイオロギング
  - 動物等にもたせたセンサーで各種情報を取得
  - 音響タグで追跡する方法
- 音響テレメトリー
  - カナダは紅ザケのおなかに毎年3000個のタグをつけて、受信機のカーテンでモニタリング
- ボトルネックは？
  - 小型化と電力供給が課題



# メタボロームとゲノム・プロテオームを 組み合わせたマルチオミクス解析

## 菊地淳(理化学研究所)

- 複合微生物系による共代謝の解析技術を水圏の複合生物系に適用、自然界の水や小動物を使い、その相互作用を調べる。お台場の天然海水あるいは人工海水で培養したDNAでは、特徴的な真核生物あるいはバクテリアがクラスタリングされた。
- 近辺で採集できるハゼ科の魚類で同様にNMRにて代謝プロファイリングをしている。ハゼは回遊せず、地域の環境情報を濃縮すると考えられる。河川の違いの方が種の違い(ハゼとヌマチョブ)よりも大きく特徴づけられた。
- この変動の特徴がどのような物質に依存するのかについてローディングプロットを見ると、主にアミノ酸類やトリメチルアンモニウムオキサイトが比較的きれいな相模川と比較的汚い鶴見川とでクラスタリングされる。



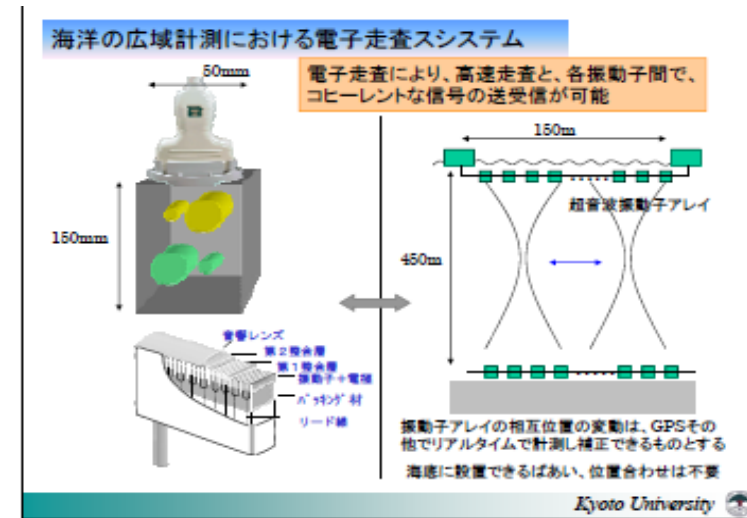




# 音響計測分野からのシーズ提案

## 椎名毅(京都大学)

- ここまで進んだ医用超音波技術
  - Bモードは形態の断層をとる
  - ドプラ法: 血流の移動を測る
  - エラストグラフィ: 硬さを画像化
  - 光音響イメージング: 微細な血管造影
- 海洋音響への適用
  - 医用に比し周波数が1/100, 深度は4桁大開口、測定点、移動速度が異なる
  - 医用とのいちばんの違いはビーム成形
  - 医用では電子プローブ走査、海洋では機械的移動
  - エラストグラフィ: ロボットアームでプローブ接近
  - 光音響: ミクロ計測ではプランクトン、酸素飽和度測定可  
マクロ計測では光照射し得られる超音波信号から検出



# レーザー技術の適用

## 染川智弘(レーザー総研)



### ラマンライダー

- ラマン分光法では、レーザー入射に対して分子等の振動エネルギー準位による波長のずれたラマン散乱光を利用する。この波長ずれからその物質の同定が、強度からその物質の濃度が求められる。
- このラマン・ライダーの応用として、水蒸気分布からの降雨予測の研究が行われている。
- 海中溶存CO<sub>2</sub>のラマン・ライダーを提案する。

### LIBS(レーザー誘起ブレークダウン分光法)

- レーザーを用いた成分分析手法として、レーザー誘起ブレークダウン分光法がある。観測システムは非常に単純で、レーザーを物体に集光照射し、そのプラズマ発光を分光器で測定するだけである。
- 20種の物質を入れた気体に対する信号の時間経過によって原子の信号等が非常にきれいに分離できる。
- LIBSの特徴: 試料の前処理が必要ないことで、リアルタイム・オンラインの成分分析が得られること





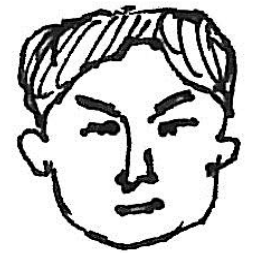
# オプトエレクトロニクスの適用

## 中野義昭(東京大学)

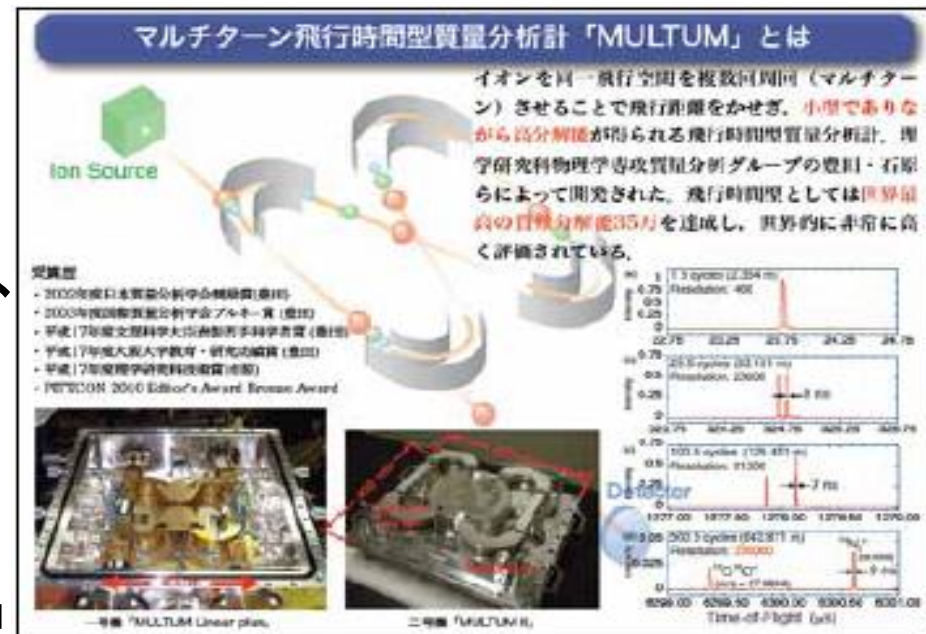
- 光ファイバー海底通信ケーブル
  - 世界中の海にファイバー網が張り巡らされており、海底には電源もあれば通信手段もある。利用を考えるべき
- 光ファイバーセンシング
  - 構造物のひずみを検出したり、内視鏡＋マイクロマシンでアクチュエーションもできる
- カプセル内視鏡
  - バイオロギングに適用できる
- 重要なポイント
  - 電源は、光があれば太陽電池、振動があれば振動でエネルギーを取り出せる。最近の電子機器はわずかな電力で動く
  - コモディティ部品を徹底的に転用して低コスト化を図るべし

# 質量分析装置の小型化

## 豊田岐聡(大阪大学)



- マルチターン飛行時間質量分析計
  - 彗星探査機に乗せる質量分析計として開発
  - 40cm四方の板に載っている装置で500周くらいの閉軌道、距離にして640mを飛ばす。
  - 市販装置より高性能
  - 宇宙に比べれば、海洋でのオンサイト計測は遙かに容易





# 次世代シーケンサ

## 北川正成(タカラバイオ)

- 次世代シーケンサーの要素技術が進展
  - Massive parallel 局所的に1分子をもとにDNAを増殖し  
パラレルに読む
  - 酵素反応で放出される光や取り込まれる蛍光物質を  
検出するCCDカメラの高性能化
  - 得られる大量のデータ処理の計算機能力の向上
- メタゲノムも16S rRNAではなくホールゲノムで
- インコンプリートを含め1万を超える数の生物のゲ  
ノムが決定されつつある。



# Field Robotics

## 小菅一弘(東北大学)

- SLAM:
  - 地図がなくても地図をつくりながら自分の位置を認識するアルゴリズム→underwater SLAM
- Sea Glider:
  - iROBOT社が開発、動力が不要。浮上時に衛星にデータをはき出す。
- 水中ロボット:
  - ソナーで魚群を追跡しその経路をSLAMで位置情報を確認しながら追尾することが可能
- 提案
  - セシウム137とともに海洋生物調査を長期にわたってモニタリング→国産の観測システム構築で会社を育てることも重要。

# 海洋生物多様性の把握に関する邂逅

	測定手段	物理量				化学量		生物量											
		水温	密度	流れ	光量	O, N, P, COx	栄養塩	遺伝子	原核微生物	プランクトン	高次生物	生物種							
観察・計測・モニタリング	リモート・センシング イメージング	<ul style="list-style-type: none"> <li>○沿岸では、透明度も重要</li> <li>○迅速な鉛直プロファイルの取得</li> <li>○継続的な観測(係留系)</li> <li>○広域的な観測(曳航体, AUV)</li> <li>○海底環境(底質)の測定</li> </ul>				<ul style="list-style-type: none"> <li>○CO<sub>2</sub>分圧、pH、溶存酸素</li> <li>○N,Cなどの同位体トレース</li> <li>○可搬できる小型質量分析計</li> <li>○精密な自動観測</li> <li>○時定数の小さいセンサー</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>○海洋生態系における高次生物の計測技術</li> <li>○現場でのDNA抽出、増幅技術</li> <li>○現場での遺伝子情報の網羅的解析技術</li> <li>○生物種別の生物量と個体サイズ分布の同時計測技術</li> <li>○海洋生物の鳴音の収集とライブラリー化</li> <li>○ビデオ観察(大型から微小生物まで)</li> <li>○音響観測(各サイズ対応, 生物量の測定)</li> <li>○生理活性の自動測定</li> <li>○遺伝子の計測技術</li> </ul>											
	画像・映像解析技術																		
	音響技術																		
	バイオテレメトリ・バイオリギング																		
	分析化学手法												<ul style="list-style-type: none"> <li>○各層海水の迅速な採取</li> <li>○堆積物の確実な採集</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>○小型生物の各層採集</li> <li>○広域的な連続採集</li> <li>○高速遊泳生物の採集</li> </ul>				
	ゲノム解析技術																		
その他	対象採取						<ul style="list-style-type: none"> <li>○物理量、化学量との一体的解析</li> <li>○各種のデータベースの構築と連携</li> </ul>												
	ICT情報通信																		
	解析(インフォマティクス)											<ul style="list-style-type: none"> <li>○大規模海洋生態系を対象とした生態系の動態モデルの構築</li> <li>○種の特徴を反映できる生態系モデルの開発</li> </ul>							
	モデル化																		

## ◆生息区分

◆プラットフォーム  
衛星、船、係留システム、ROV、AUV、グライダー

水平:汽水、内湾、沿岸、外洋  
鉛直:表層、中層、深層、底層

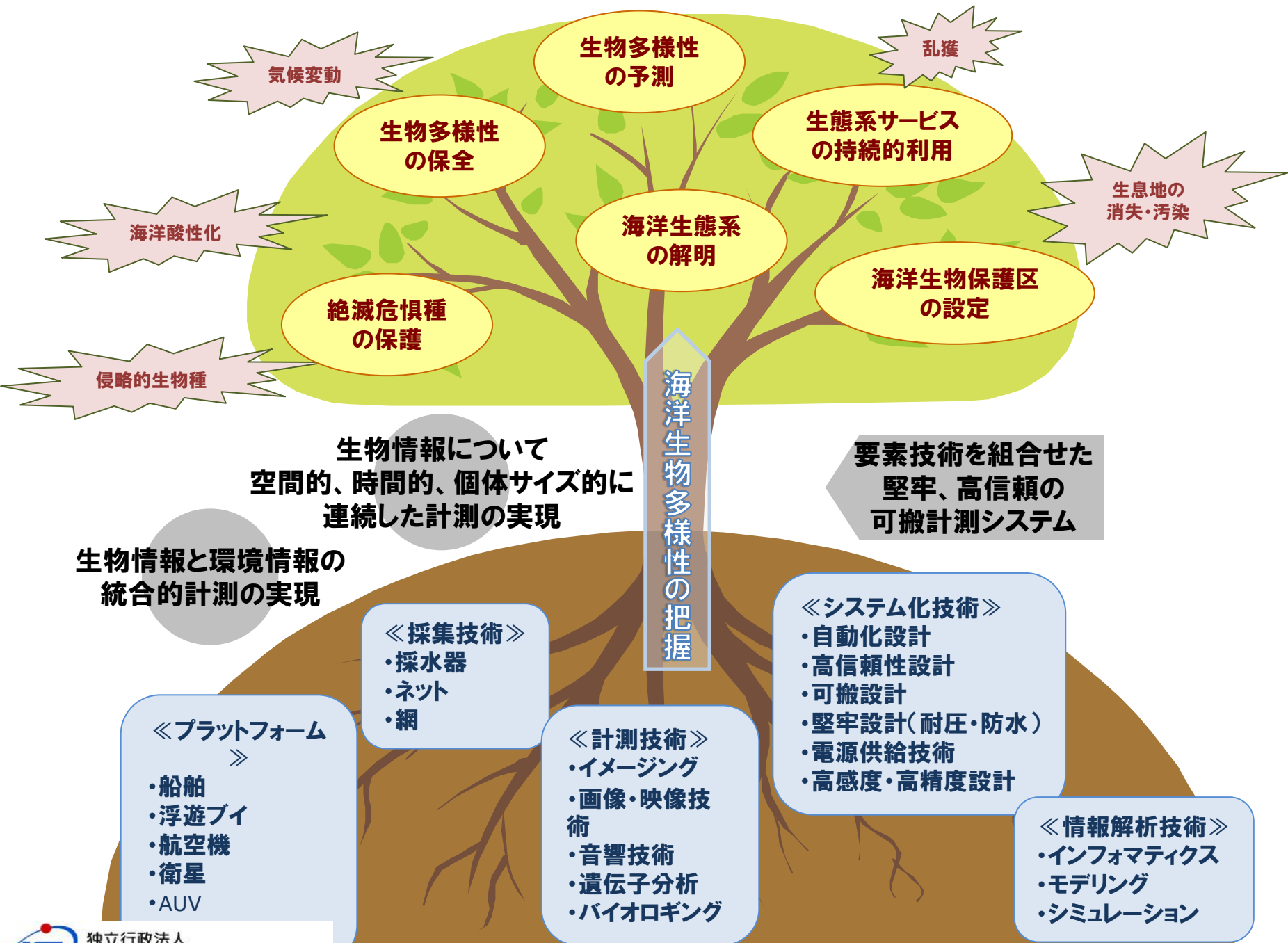
# 推進すべき技術開発のポイント

- 生物情報について空間的、時間的、個体サイズの連続した計測の実現
- 生物情報と環境情報(物質循環等)の統合的計測の実現
- 要素技術を組合せた堅牢、高信頼の可搬計測システムの構築

オンサイトでの同時物理量化学量測定と生物量測定

生態系の恒常性→物質循環系の恒常性

既存技術・コモディティ技術を活用



生物情報と環境情報の  
統合的計測の実現

生物情報について  
空間的、時間的、個体サイズ的に  
連続した計測の実現

要素技術を組合せた  
堅牢、高信頼の  
可搬計測システム

海洋生物多様性の把握

生物多様性  
の予測

生態系サービスの  
持続的利用

海洋生態系の  
解明

海洋生物保護区  
の設定

生物多様性  
の保全

絶滅危惧種  
の保護

侵略的生物種

気候変動

乱獲

海洋酸性化

生息地の  
消失・汚染

《プラットフォーム》

- ・船舶
- ・浮遊ブイ
- ・航空機
- ・衛星
- ・AUV

《採集技術》

- ・採水器
- ・ネット
- ・網

《計測技術》

- ・イメージング
- ・画像・映像技術
- ・音響技術
- ・遺伝子分析
- ・バイオロギング

《システム化技術》

- ・自動化設計
- ・高信頼性設計
- ・可搬設計
- ・堅牢設計(耐圧・防水)
- ・電源供給技術
- ・高感度・高精度設計

《情報解析技術》

- ・インフォマティクス
- ・モデリング
- ・シミュレーション



# まとめ(1)

- 海洋計測のプラットフォーム、特にAUV・シーグライダーなどの開発は重要で、これらは、今後の水産資源開発にも適用可能であるため市場性が見込める。
- 従来型のサンプリングによる生物種把握には限界がある。大部分の微生物は培養できない。生物種がどれだけあるかはメタゲノム解析が有効。シーケンサが進んで全ゲノムも読める。課題は膨大なデータ処理である。
- 生態系の機能を定量化するのは難しいので物質循環を軸に展開するのが現実的。採集すると壊れるものも代謝物は残る。酸素、窒素、リンなどの化学種を同位体比も含めを少量の試料で短時間に感度よく定量測定できる技術開発が求められる。

## まとめ(2)

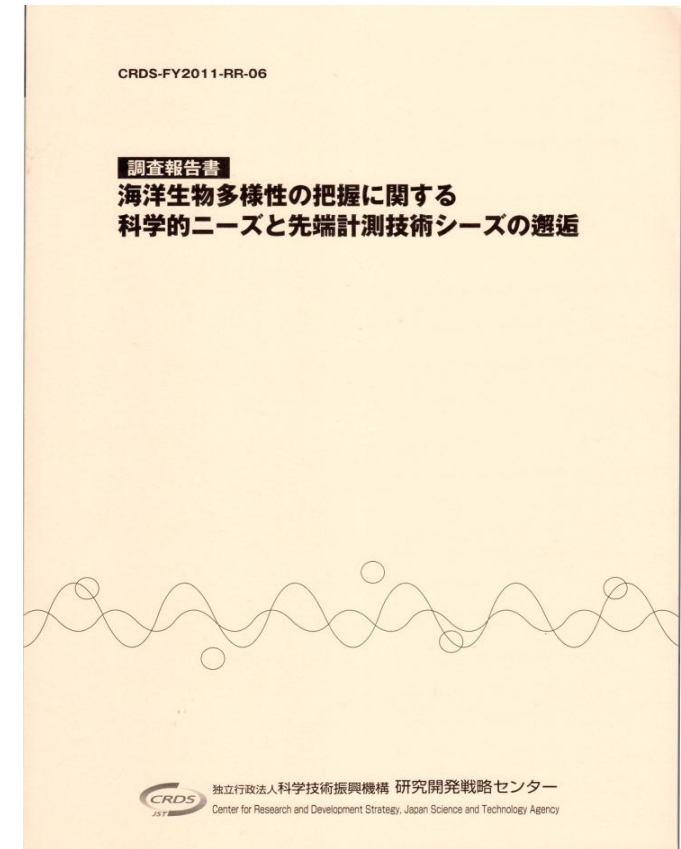
- センサーや計測装置・分析機器が小形化・省電力化すれば、プラットフォームに設置できるようになり、物理/化学量と生物量との対応が可能。特に質量分析装置とシーケンサの小型化は最重要の技術課題である。
- バイオロギングにおいても、小型省電力高解像度撮像技術は進んでおり、センサーが超小型化され、生物の振動による電源で動作できるなら長期観測が出来る。
- 海中では、超音波技術が魚群探査、海中通信に使われてきたが、医用超音波技術の進展により、より解像度の高い超音波画像が得られるようになった。エラストグラフという硬さを判定する技術や光音響技術など最先端技術の海洋への応用も考えられる。

## 今後の進め方への提言

- 海洋生物に関するモニタリングは長期にわたって継続することに意義があり、ファンディング方式では限界がある。公的機関が継続的に行うことが必要。これにより企業も参画するし人材も育つ。
- 現在の海洋計測の研究は、インドアサイエンスの研究に偏っている。フィールドに出て調査する研究者の人材育成が課題である。
- 海洋関係のモニターには、観測船方式では限界がある。アメダスに相当する小型観測機器をフェリーや商船、漁船に取り付けてデータを収集するような民間を巻き込んだ取り組みがあれば機器の市場ができ企業も参入しやすい。
- 日本発の海洋生物多様性計測の国際標準の提案と国際的な議論のリードを実践することで、民間企業も交えた海洋生物多様性計測のエコシステム構築が期待される。

# 調査報告書の刊行について

- JST-CRDS調査報告書11RR06「海洋生物多様性の把握に関する科学的ニーズと先端計測技術シーズの邂逅」が刊行されました。
- 報告書本文のpdf (14MB)がCRDSのホームページからダウンロードすることができます。  
<http://crds.jst.go.jp/> (研究開発戦略センター)  
 →クイックアクセスメニューの先端計測技術  
 →スクロールして下の方の2012年3月
- 検索エンジンで下記のキーワードを入れてもOK  
**調査報告書 海洋生物多様性の把握**



# おわりに

- この講演では、はじめに、科学の未解決問題に対する計測ニーズについての俯瞰調査結果を述べ、これを通じて今後の計測のあり方を考えました。
- 計測のニーズをメジャランドに落とし込み、計測シーズとの邂逅があつて初めて、科学の未解決問題を解き明かすだけでなく、ひいては環境・エネルギーの問題の解決にもつながることを述べました。
- 最後に、環境計測におけるニーズとシーズの邂逅の1つの例として、海洋生物多様性に関する計測に関する俯瞰調査を簡単に紹介しました。