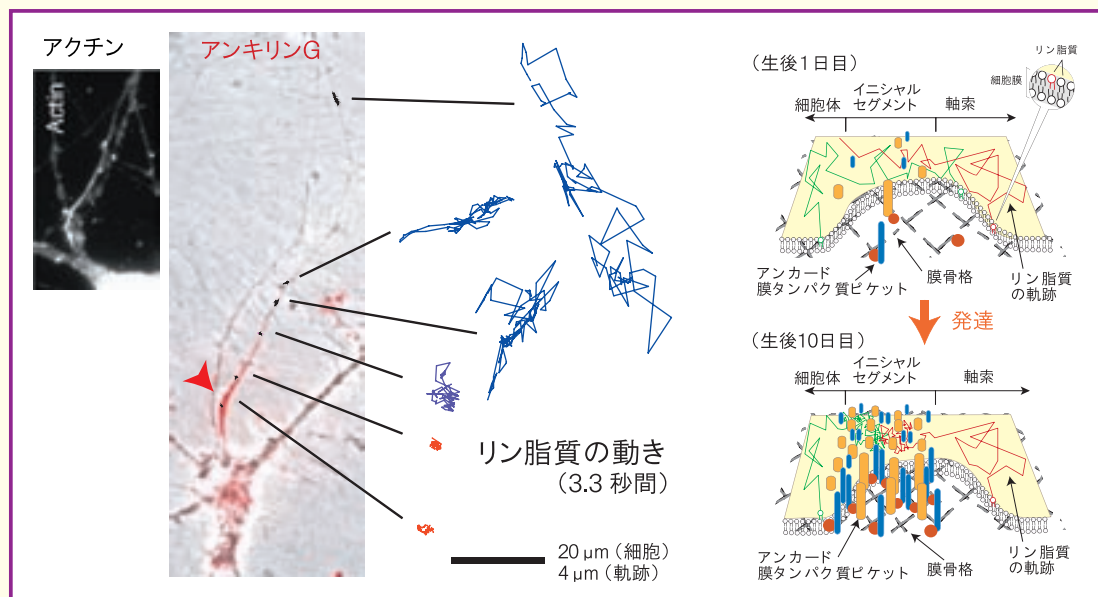


JST ニュース

VOL.1/NO.5 2004 2月号



神経細胞の「膜の仕切り」

左図 神経細胞の軸索の根元部分には、膜骨格ピケットフェンス（白：アクチン、赤：アンキリンG）が密に存在する「仕切り」が形成され、膜脂質分子の運動さても制限される。右図 「仕切り」の形成モデル図

創造科学技術推進事業終了プロジェクト「桶見膜組織能」研究成果

- Special Item 2 ERATO終了プロジェクト報告 桶見膜組織能プロジェクト
- Basic Research 4 血小板の減少・増加に伴う疾患治療薬への期待 —巨核球から血小板が作られるメカニズム—
- 5 ショウジョウバエを用いた老人ボケを引き起こす記憶過程の解明
- 6 タンパク質・酵素を分子レベルでソフトにラッピングできる新材料を開発
- 7 種子貯蔵蛋白質の蓄積メカニズムを解明
- 8 酸素呼吸機構の解明
- 9 Card to Interactive Presentation : プレゼン資料からインタラクティブなプレゼンテーションを自動生成する教育番組作成支援ソフト、SPOCを開発
- 10 高速バットングロボットシステムを開発
- 11 水分子輸送が駆動するキラル液晶分子モーター
- News 12 日本-フランス共同「量子もつれ」プロジェクト終了シンポジウム開催
- Topics 13 「第47回日本学生科学賞」表彰式開催
- 「平成15年度島津賞」を受賞 研究開発戦略センター 三浦 登シニアフェロー
- Close Up 14 さきがけ研究者紹介 芳坂 貴弘研究者
- Schedule 15 シンポジウム「ITが変える世界と生活」 —2004第1回基礎研究報告会—
- 16 JST行事予定/日本科学未来館 (MeSci) 行事予定

ERATO終了プロジェクト報告
楠見膜組織能プロジェクト
 Kusumi Membrane Organizer Project

総括責任者 楠見 明弘（名古屋大学大学院理学研究科教授）
 研究グループ (1) 分子間相互作用グループ
 (2) 膜骨格機能グループ
 (3) 細胞間相互作用グループ
 研究期間 平成10年10月～平成15年9月



1. はじめに

すべての生物の細胞膜は、液体状の2次元構造体（膜）をなして、その中で膜タンパク質が動き回り、外部からの信号に応答して、集合体を作ったり、会合して情報を受け渡したり、細胞の形作りや運動を引き起こす。多細胞生物の中で、細胞が他の細胞と相互作用して機能するためには、このように、細胞膜が可塑的で多機能なシステムとして働くことが必須であるが、そのような可塑的な細胞膜システムの構築のための原理や機構の多くは未解明のままである。本プロジェクトでは、細胞膜という2次元液体中での膜タンパク質の運動を、細胞がどのように制御して、必要とされるタンパク質の集合体構造を膜の中に構築したり破壊したりするかを解明し、それを通じて、人工の素子や機械にはない可塑性による多機能化の機構の解明を目指した。

まず、生細胞中で膜タンパク質の動きとそれにかかる力を、1

分子レベルで、1nmとサブピコニュートンの精度で長時間観測する方法を確立した。それらを用いて、膜骨格の構造／機能相関を明らかにし、さらに、膜タンパク質の会合、脂質ドメインの形成、あるいは、シグナル伝達などとの関連を調べた。また、特に、細胞膜がどのようにして可塑的で多機能な情報処理システム、細胞間相互作用システムとして働くかを、主に細胞膜周辺でのシグナル制御機構に着目して研究を進めた。

2. 主な研究成果

(1) 新たな細胞膜組織化機構（アンカー膜タンパク質の「ピケット効果」）の発見

膜骨格の網目構造は、膜タンパク質に対して「フェンス」のように働く。そのフェンスに加えて、膜骨格に沿って立ち並んだ膜貫通型タンパク質が、立体障害と流体力学的な摩擦効果によって、

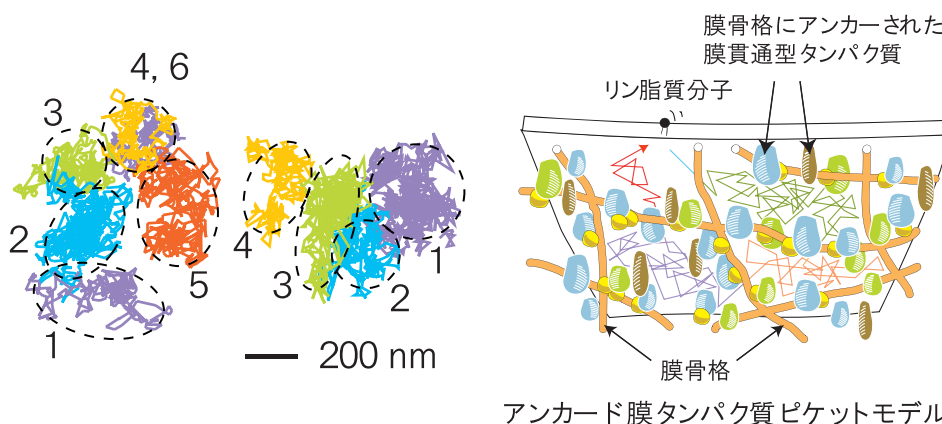


図1

細胞膜において「ピケット効果」により運動制限を受けた膜脂質分子の軌跡図（1秒間に4万コマで観察）と「ピケット効果」のモデル図

膜分子の拡散に対する障壁として働いていることを見出した。膜骨格のフェンスとそのピケットが、膜分子の動的組織化に重要な役割を果たしている。

(2) 1分子光ピンセット顕微鏡による細胞膜ピケットフェンスの直接的可視化

1分子の膜タンパク質をプローブとして膜内を動かし、その分子が受ける力を画像化するという分子間力顕微鏡を開発した。これにより、細胞膜ピケットフェンスの可視化に成功した。

(3) 神経細胞膜の極性維持のための「膜の仕切り」の解明

1分子観察・操作法を用いて、神経細胞の発達に伴い膜貫通型タンパク質分子の「ピケット」が密集して細胞膜上の「仕切り」となり、神経細胞膜で入出力領域間での分子の混合を防いで分子の分布を正しく保つことを解明した。

(4) 生細胞内でのGFPの1蛍光分子ビデオイメージングを世界で初めて実現

細胞間接着分子E-カドヘリンとGFP(緑色蛍光タンパク質)との融合タンパク質1分子の生細胞形質膜上での可視化に成功し、細胞接着領域以外の自由表面でもE-カドヘリンが会合体を形成することを見出した。

(5) 生細胞でのRas分子活性化の1分子イメージング

生細胞において、1分子FRET(蛍光共鳴エネルギー移動)によって、H-Ras 1分子の位置や運動だけでなく、その分子の活性化の瞬間を1分子レベルで観察することに成功した。それに基づき、短寿命シグナル分子複合体によりRasのシグナル伝達は時空間的に厳密に制御されていることを見出した。

(6) 細胞膜ドメイン/ラフトの構造と機能の解明

ラフト様ドメインのマーカー分子の1分子観察により、定常状態でラフトは小さく(数分子程度)不安定(ミリ秒以下の寿命)であり、信号入力によって、ラフトは安定化し、ここに、さまざまな下流分子をリクルートする事を明らかにした。ラフトは可塑的な構造で、信号パスの調整や、クロストークに基本的な役割を果たすことが示唆された。

3. 今後の展望

本研究では、技術的には生細胞中の1分子ナノバイオロジー技術の確立に成功した。今後、この技術が、他分野の研究で広く使われることが期待される。さらに、新規薬剤の超高感度ハイスループットスクリーニング技術の大幅な底上げにつながる。内容的には、細胞膜における細胞膜分子の運動・リクルート・集合などを制御する動的組織化機構の理解を深めることに成功した。この結果は、細胞膜機能の構築原理を明らかにするのみならず、細胞と多細胞社会の構造形成機構の新しい概念を樹立し、さらに、可塑的な多機能素子の設計に指針を与えるものと期待される。特に、細胞膜は、細胞が外界と情報を交換し応答反応を決定する情報変換システムを担う重要な場であり、本研究をさらに深めることにより、細胞膜上の情報変換の基本的なアルゴリズムの理解が進むと考えられる。実際、細胞内シグナル伝達が基本的にデジタル式の制御を受けていることや、信号ラフトを含めた短寿命シグナル分子複合体による制御の重要性など、を明らかにしつつある。細胞膜におけるシグナル伝達過程は、癌や免疫応答などの疾病の発症メカニズムとも深く関わっている。これらの理解により、バイオメディカル分野、生命科学分野に根本的な影響を与えると期待される。

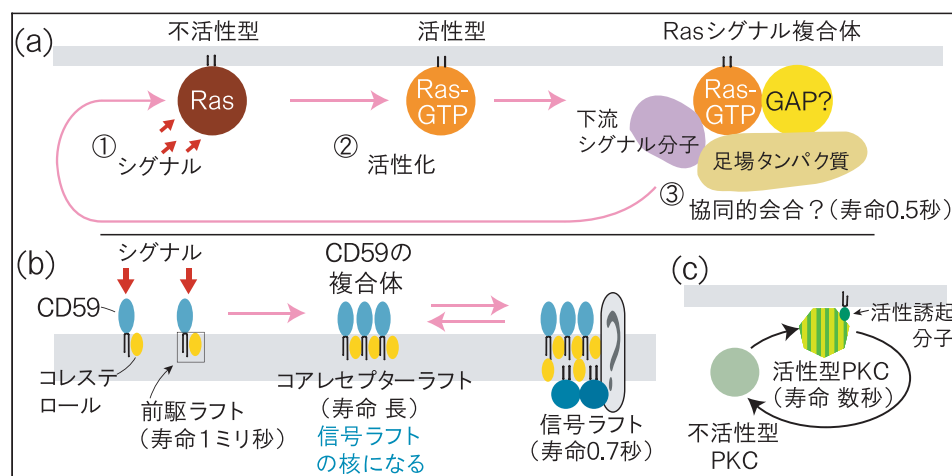


図2 デジタル制御されたシグナル伝達

1分子レベルで見ると、多くのシグナル分子の活性化と活性型シグナル複合体の寿命は1秒以下と短く、厳密に制御されている。(a) Ras活性化の場合 (b) 信号入力後に形成される安定化した信号ラフトの場合。(c) PKCの場合。

血小板の減少・増加に伴う疾患治療薬への期待 —巨核球から血小板が作られるメカニズム—

戦略的創造研究推進事業 個人型研究（さきがけタイプ）「認識と形成」研究領域（研究総括：江口 吾朗 尚絅学園理事長）の研究テーマ「巨核球・血小板の特異的形態形成機構とその医学的意義」（研究者：永田 由香 JSTさきがけ研究者）において、血液を凝固させて傷口を塞いだりする血小板が体内で作られる際、女性ホルモンの一つであるエストラジオール（別称エストロゲン；ステロイドホルモンの1種であり、黄体ホルモン（プロゲステロン）と並ぶ女性ホルモン）が作用することを発見し、血小板産生のメカニズムを解明した。

この発見は、理化学研究所（研究者：戸所 一雄 同研究所細胞運命シグナル制御研究ユニット ユニットリーダー）との共同研究によるもので、血小板の減少または増加を伴う様々な血液疾患や、がん化学療法で副作用として見られる血小板減少の治療に役立つ可能性がある。本研究成果は、12月1日発行の学術雑誌「GENES & DEVELOPMENT」で発表された。

本研究は、巨核球（骨髓細胞に存在する核が肥大化した巨大な細胞）より血小板が作られるメカニズムの解明を目的とした研究である。これまでの報告では、巨核球・赤血球に対して特異的な遺伝子の発現を調節する転写因子p45 NF-E2の活性化が、血小板放出を制御していると考えられていた。しかし、血球細胞全体でわずか0.02%しか含まれていない巨核球を入手

するのは極めて困難であるため、この転写因子の機能解明は遅々として進まなかった。

この問題を打破するため、永田研究者らは、マウス胚性幹細胞（ES細胞）から巨核球・血小板を大量に体外で作れる手法を用い、全てのステロイドホルモンの合成の鍵となる酵素遺伝子（3β-HSD）が、転写因子p45 NF-E2により活性化されることを発見した。また、ステロイドホルモンの合成酵素が巨核球・血小板形成に関与するという考えから、3β-HSDの活性化により女性ホルモンであるエストラジオールの合成が引き金となって巨核球から血小板が放出されることを明らかにした。

永田研究者らは、本研究で実証したことをもとに、血小板が作られるメカニズムについていくつかの新事実を突き止めた。これら研究成果により、ステロイドホルモン合成の鍵となる酵素の活性または抑制する物質、およびそれらの関連物質が、他の血球成分に影響せず血小板を選択的に増減させ、体外循環や輸血が不要なため感染の恐れもなく副作用の少ない有効な治療用組成物を種々の血小板疾患に提供できる可能性を示唆した。さらに、血小板の放出は、巨核球で合成されるエストラジオールが制御していることを明らかにした点は、性ホルモンの概念を変え、環境ホルモンの研究分野にも一石を投じることとなった。



図 血小板が作られるメカニズム

ショウジョウバエを用いた老人ボケを引き起こす記憶過程の解明

戦略的創造研究推進事業 個人型研究 (さきがけタイプ) 「タイムシグナルと制御」研究領域 (研究総括: 永井 克孝 三菱化学生物学研究所 取締役所長) の研究テーマ「加齢に伴う学習・記憶低下の遺伝子プログラム」の齊藤 実研究者 ((財) 東京都医学研究機構 東京都神経科学総合研究所 主任研究員) は、加齢性記憶障害 (老人ボケ) の原因となる記憶過程の障害と、そこに関与する遺伝子シグナリングをショウジョウバエで初めて同定した。これは老人ボケの改善・解決の糸口となる成果として期待され、12月4日発行の学術雑誌「Neuron」で発表された。

ヒトは80歳を過ぎたあたりから老人ボケを示す割合が急激に上昇する (約50%)。老人ボケを改善するには、どのような遺伝子の働きがそれを引き起こすのか、そのメカニズムを知ることが糸口となる。実験動物のマウス・ラットは、寿命が数年にも及ぶため、どのような遺伝子が老人ボケに関わっているのかを調べるのが非常に困難であった。そこで研究者は、寿命が40日と短いショウジョウバエを用いて学習記憶実験を行った。

その結果、ショウジョウバエもヒトと同様に年をとると記憶力が低下する (ボケる) こと、これまで考えられていた学習記憶全体ではなく記憶喪失 (amnesiac) 遺伝子により作られる記憶のみが年をとるとともに障害されて老人ボケを引き起こすことが分かった。

以前からの研究により、学習することで得た記憶は、それぞれ異なる遺伝子の働きにより作られる記憶成分 (短期記憶、中期記憶、麻酔耐性記憶、長期記憶) の集まりであることが分かっている。このような背景のもとに、年をとった普通のショウジョウバエ、学習記憶変異体で行動遺伝学的解析を行った結果、年をとると、これまで考えられていたような色々な遺伝子が関わる記憶全体ではなく、amnesiac 遺伝子が関わる中期記憶のみ

が障害され、このことが老人ボケの原因であることが分かった。

これまで老人ボケは、色々な遺伝子の働きによる学習記憶全体の障害と考えられてきたために、どの遺伝子に注目すればより効果的な老人ボケの改善策を立てられるのか、その見当をつけることは非常に難しいこととされていた。

今回の研究成果により、amnesiac 遺伝子により形成される中期記憶のみが、年をとると障害されることが解明されたため、amnesiac 遺伝子をターゲットとしたマウス・モデルを作成することなどにより、老人ボケの改善・解決の糸口を見出すことが期待される。

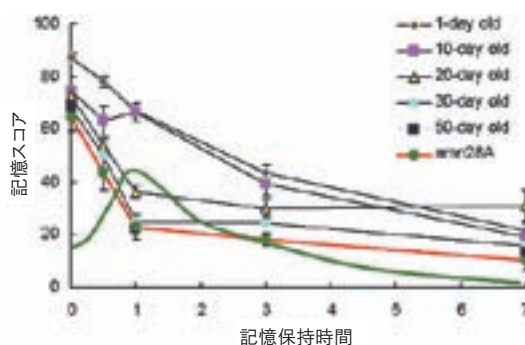
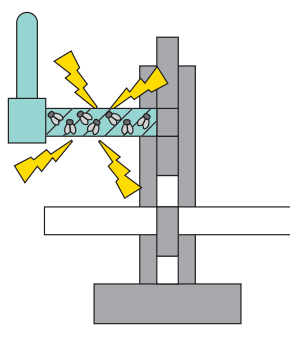


図2 加齢による記憶力の変化

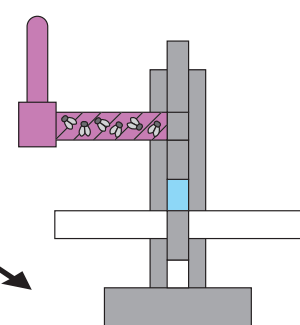
普通の若いハエ (生まれて1日目) と老いたハエ (生まれて20日以降) で匂い学習 (図1) を行い、作成した記憶の保持曲線により記憶力を比べる。生まれて20日 (ヒトで言うと40代前半) 以降の普通の老いたハエの記憶保持曲線 (記憶力) は、若い amnesiac 遺伝子の変異体 (amn^{28A}) と非常によく似た特性 (学習1時間後の記憶の顕著な低下) を持っている。若い普通のハエの記憶保持曲線から、老いた普通のハエや、amnesiac 遺伝子の変異体の記憶保持曲線を差し引くと、(中期記憶が無い) いずれも中期記憶成分を示す曲線が得られる (緑の曲線)。このことから老いたハエは amnesiac 遺伝子の変異体同様、中期記憶の形成に障害が起きていることが分かる。

匂い1と電気ショック

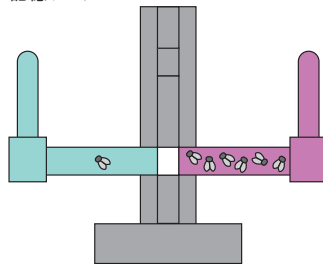


学習訓練

匂い2のみ



記憶テスト



約100匹のハエをトレーニングチャンバーに入れ、先ず匂い1を嗅がせながら電気ショックを与える。次いで他の匂い2を電気ショック無しで嗅がせて、匂い1と電気ショックの関係を学習させる。この学習訓練後、任意の時間で記憶テストを行い、ハエの記憶力 (記憶スコア) を計測する。ハエが匂い1と電気ショックの関係を完全に記憶していれば、記憶テストでは全てのハエが匂い2の方に移動する (記憶スコアは100)。一方、完全に記憶を失っていればハエは匂い1と匂い2とで均等に分布する (記憶スコアは0)。

図1 パブロフ型条件付けによる匂い学習と記憶テスト

タンパク質・酵素を分子レベルでソフトにラッピングできる新材料を開発

戦略的創造研究推進事業 個人型研究（さきがけタイプ）「合成と制御」研究領域（研究総括：村井 眞二 JST研究開発戦略センター 上席フェロー）の研究テーマ「巨視的応答性を有する超分子ポリマーの創製」の研究者である浜地 格 九州大学先導物質化学研究所教授は、自発的にヒドロゲルを形成する糖アミノ酸誘導体を開発、このゲル中に酵素やタンパク質が活性を保ったまま包み込まれることを発見した。

このヒドロゲルを利用すると、DNAに比べ構造が複雑で活性を失いやすいタンパク質等のバイオ分子をソフトに包み込んで活性を保持したまま固定化できるため、疾病診断のツールとなるタンパク質・ペプチドアレイとしての応用が期待できる。本成果は、英国科学雑誌「Nature Materials」での発表に先立ち、12月8日にオンラインで公開された。

遺伝子DNAアレイは、次世代の医療診断法として既に技術的に確立されつつある。これに対し、タンパク質・ペプチドは、もっと直接的で的確な生体内情報が得られると考えられているものの、DNAに比べて構造が複雑で活性を失いやすいため、これらのアレイ（チップ）化は、まだ成功していない。浜地教授らは今回、糖アミノ酸誘導体からなるヒドロゲルのナノメートルレ

ベルでの精密な構造解析に成功した。

このヒドロゲルは、糖鎖部分を水相に突き出した繊維状のナノファイバーが集まって形成されており、生体適合性に優れていることが分かった。その構造解析の知見に基づいて、このヒドロゲルにタンパク質や酵素を注入する実験を進めた結果、このヒドロゲルがペプチド・タンパク質・酵素など、これまで固定化により活性化を失いやすいとされていたバイオ分子をソフトに包み込んで生き生きと固定できることを発見した。また、ごく微量のヒドロゲルをガラス基板上にスポットしていくと、ペプチドやタンパク質が並んだアレイを簡単に作製できる。これを用いるとタンパク質や酵素の種類、機能を蛍光色の変化として簡単に精度良く識別できることも実証した。

タンパク質・ペプチドアレイは、ポストゲノム時代の重要課題であるタンパク質の機能解析：プロテオームの基盤技術として、この領域の研究に寄与するものと期待される。また、本発明は疾病診断の強力なツールとしてのほか、バイオ分子のナノマシンやナノセンサーなどへの利用を大きく拡大するものとして期待されている。

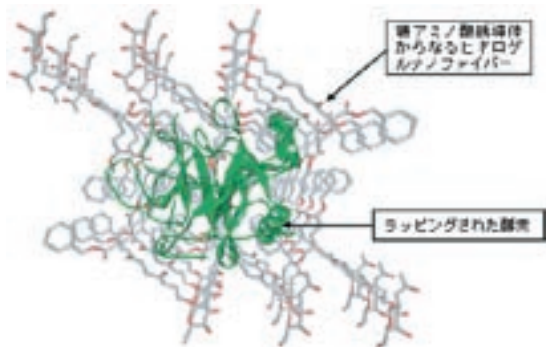
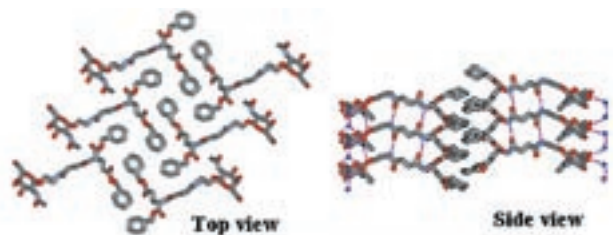
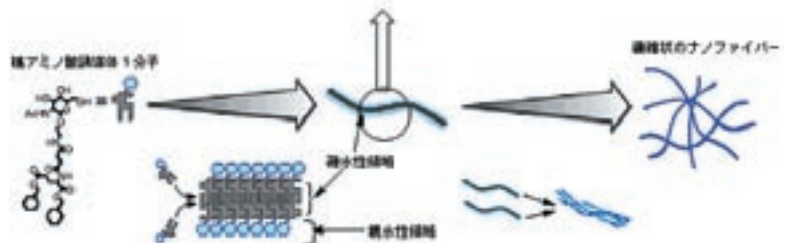


図1 今回開発した糖アミノ酸誘導体からなるヒドロゲルナノファイバーに酵素がソフトに包み込まれてラッピングされている概念図



結晶構造解析による多重相互作用の協同効果



階層的超分子ポリマーの形成

図2 自発的に形成されるヒドロゲル中のナノファイバーの構造模式図

糖アミノ酸誘導体分子が規則的に自己組織化して、ナノファイバーを形成し、そのファイバーがさらに絡み合っ、自発的なヒドロゲルが出来上がるという模式図。（このような構造構築を階層的と呼んでいる）

種子貯蔵蛋白質の蓄積メカニズムを解明

戦略的創造研究推進事業 チーム型研究 (CRESTタイプ)
「植物の機能と制御」研究領域 (研究総括: 鈴木 昭憲 秋田県立大学学長) の研究テーマ「種子蛋白質の量的・質的向上を目指した分子育種」の研究で、研究代表者である西村 いくこ 京都大学大学院理学研究科教授らの研究グループは、膜蛋白質AtVSR1が、種子の細胞内で合成された貯蔵蛋白質分子を蓄積の場へ正しく輸送する選別輸送レセプターであることを発見した。

今後、植物固有の有用蛋白質だけでなく、外来の有用な機能蛋白質 (ワクチンなど) を大量に蓄積する「高機能種子」の作成、ダイズやイネなど作物への分子育種などに応用が期待される。この研究成果は、12月23日発行の米国アカデミー紀要「PNAS (Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America)」で発表された。

植物の種子が形成される過程で合成されるデンプン・脂質・蛋白質といった栄養素は、それぞれ別の場所に貯蔵される。この内、貯蔵蛋白質は小胞体と呼ぶオルガネラ (細胞小器官) で合成され、膜に包まれた小胞の状態では細胞内を移動し、液胞の一種である蛋白質蓄積型液胞と呼ばれるオルガネラに運ばれて

蓄積される。貯蔵蛋白質が、合成の場 (小胞体) から蓄積の場 (蛋白質蓄積型液胞) へ選択的に運ばれるメカニズムで、これまで貯蔵蛋白質には行き先を示す液胞移行シグナルと呼ぶ「荷札」が付いていることは示唆されていたが、その「荷札」を認識する因子の実体は不明であった。

今回、西村教授らのグループは、シロイヌナズナを用い、これまで貯蔵蛋白質の細胞内輸送とは無関係と考えられていた膜蛋白質AtVSR1が、細胞内輸送のカギを握る選別輸送レセプターであることを特定した。AtVSR1を欠損する突然変異株を作り調べたところ、貯蔵蛋白質が大量に細胞外に分泌し、その場で蓄積していることを確認した。

さらにAtVSR1分子が貯蔵蛋白質の液胞移行シグナルと特異的に結合する活性をもっていることも分かった。すなわちAtVSR1は、生合成された種子蛋白質を特異的に認識して蛋白質蓄積型液胞に連れて行く運び屋として機能している実態を初めて明らかにしたことになる。貯蔵蛋白質の輸送に関わる因子とその機能を特定したのは、西村教授らのグループが世界で初めてである。

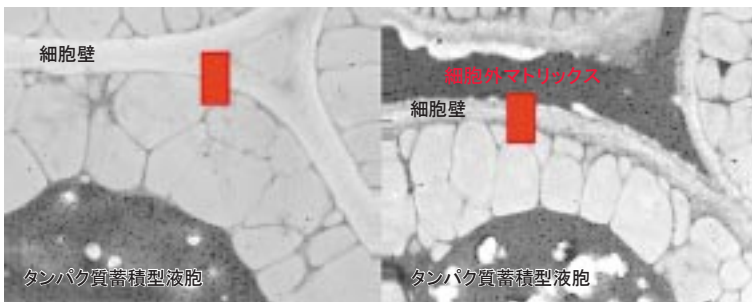


図1 貯蔵タンパク質を細胞外に分泌するシロイヌナズナ変異体

野生株では貯蔵タンパク質はタンパク質蓄積型液胞の中に正しく蓄積されているが、AtVSR1欠損変異体では、多くの貯蔵タンパク質が間違っ細胞の外へ放出されて、細胞外マトリックスに蓄積してしまう。小さな黒い点は貯蔵タンパク質の存在を示している。

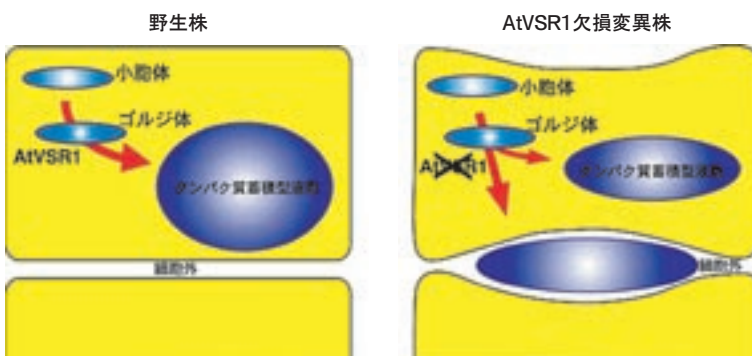


図2 貯蔵タンパク質を蓄積の場へ正しく運ぶための選別輸送のしくみ

登熟期の種子の細胞内では、小胞体で合成された貯蔵タンパク質はゴルジ体へ輸送され、ゴルジ体の膜に存在する選別輸送レセプターAtVSR1によってタンパク質蓄積型液胞へ正しく輸送される (左図)。AtVSR1が欠損すると貯蔵タンパク質の多くは細胞外へ間違っ分泌されてしまう (右図)。

酸素呼吸機構の解明

戦略的創造研究推進事業 チーム型研究 (CRESTタイプ) 「生命活動のプログラム」研究領域 (研究総括: 村松 正實 埼玉医科大学ゲノム医学研究センター所長) の研究テーマ「水素イオン能動輸送機構の構造生物学的解析」(平成9年度~平成14年度) で進めてきた研究において、吉川 信也 姫路工業大学大学院理学研究科教授らの研究チームは、高等生物の酸素呼吸機構を世界に先駆けて解明した。この研究成果は、12月23日発行の米国科学アカデミー紀要「PNAS (Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America)」で発表された。

高等動物は、栄養素を酸素と反応させて生存に必要なエネルギーを獲得している。これを酸素呼吸という。酸素呼吸のとき、チトクロム酸化酵素は、栄養素から引き抜かれた水素原子と酸素を反応させ、水を作る反応 (O₂還元反応) を促進する触媒の役割をする。さらにチトクロム酸化酵素は、O₂還元反応で生成するエネルギーを利用して、正荷電をもつ水素イオンをこの酵素の一方から他方へ、水素イオン濃度勾配に逆らっても輸送する (能動輸送) 機能をも持つ。このようにして正電荷を蓄積することは、生体内で電池を充電する (電位差を作る) ことに例えられる。つまり水素原子と酸素との反応によって得られるエネルギーは、生体内の電池の電位差に変換される。このことは実験的に示されていたが、その機構は全く不明のままであった。

本研究では、O₂還元のために電子がヘムと呼ばれる鉄イオン

を含む化合物を通過するときに誘起される立体構造変化によってプロトンが能動輸送される事実をつかみ、このようにしてO₂還元がプロトン能動輸送を駆動することを明らかにした。大型放射光施設 SPring-8 を利用したX線構造解析法で得たこのような結果を分子生物学的に検証するため、プロトン能動輸送経路の要であるアスパラギン酸残基を、プロトンの脱着機能を持たないアスパラギンに置き換えたところ、水素イオン能動輸送機能が全く失われた。さらに、ヘムが電子を受容しているか放出後であるかによって、アスパラギン酸へのプロトンの脱着が制御されていることを、赤外分光法により実証した。

吉川教授らは、数年前にアスパラギン酸残基の立体構造変化を発見し、これがプロトン能動輸送部位であると主張したが、認められなかった。今回、高分解能X線結晶構造解析、分子生物学的実験、赤外分光の3つの異なる方法で得た結果により、吉川教授らの主張が改めて実証されたこととなった。研究対象であるチトクロム酸化酵素は、代表的な膜タンパク質であり、現在使用されている医薬の70%の標的タンパク質が、膜タンパク質であることから、この基礎研究は、医学・薬学の進歩に大きく寄与するものである。また、チトクロム酸化酵素は、水素原子を能動輸送する「プロトンポンプ」と見ることができ、生体には原理の異なる「プロトンポンプ」が存在する。今回のメカニズム解明が新たなプロトンポンプ解明の端緒となり、ひいてはナノ構造を持つ「生体ナノマシン」の解明、設計に役立つ可能性もある。

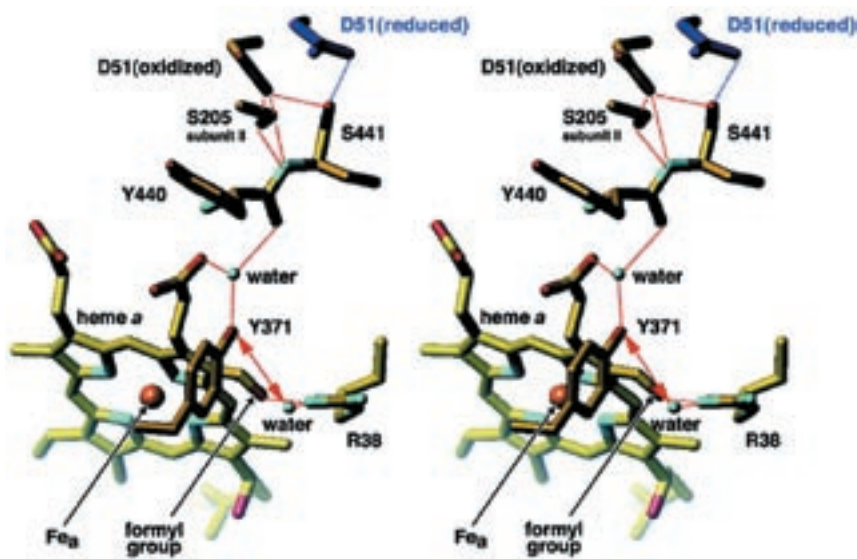


図 ヘム周辺のX線構造

図は立体図 (左の図と右の図が重なるように左右の目の角度を調節すると立体的に見える。)

heme a: ヘム, Fea: 鉄イオン, D51: アスパラギン酸残基

oxidized: Feaが電子を放出した状態, reduced: Feaが電子を受容した状態

D51 (reduced): Feaが電子を受容した状態の時のD51の空間配置 (青)

D51 (oxidized): Feaが電子を放出した状態の時のD51の空間配置

青い小球: 水分子の酸素原子

赤の点線: 水素結合と呼ばれる弱い化学結合。プロトンは水素結合を経由して蛋白質内部を移動。

下から上へ水素結合を経由してプロトンが輸送される。D51 (reduced) は図上方の分子表面に露出しているが、D51 (oxidized) は分子内部に埋没している。

Card to Interactive Presentation: プレゼン資料からインタラクティブなプレゼンテーションを 自動生成する教育番組作成支援ソフト、SPOCを開発

社会技術研究システム・ミッション・プログラム「安全性に係わる社会問題解決のための知識体系の構築」総括研究グループ・会話型知識プロセス研究サブグループは、東京大学大学院情報理工学系研究科の西田・黒橋研究室と共同で、映像、音声、キャラクターアニメーションを同期させた放送型メディアをWEBブラウザ上で簡単に作成し、インタラクティブに視聴できる番組作成支援ソフト、SPOC (Stream Public Opinion Channel) を開発した。

SPOCの基本的なアイデアは、平成13年に独立行政法人通信総合研究所の西田結集型特別グループが開発した参加型自動放送システム (パブリック・オピニオン・チャンネル、POC) を継承したものである。

SPOCシステムの主要部分は①知識カード編集ツール②エージェントアニメーションの自動生成③番組表示ツール④質疑応答機構で構成されている。本システムでは、利用者が好みの映像や画像のファイルを指定し、それへの説明文を入力するだけで、説明者キャラクターを登場させた番組風のメディアが自動的に作成される。また、番組配信中に利用者から質問を受け、それに答えることもできる。それにWEBアプリケーションとして開発されているため、インタラクティブなテレビ番組風コンテンツをWEB上でだけでも、どこでも容易に作成、公開できる。こうしたことから、膨大な人手と時間を要する番組作成のコストを削減できる画期的メディア技術である。

SPOCの応用分野としては①リスクコミュニケーションのメディアとして、安全に関する考え方、基礎知識、疑問、日常の対策、

緊急時の心得等を社会で共有し、育てていくことができる②教育用メディアとして、講義内容だけでなく、学習者の日常の興味とか疑問、レポートなどを放送すれば、教材について実感のある深い知識の育成といったことが期待できる③SPOCの提供する視覚効果の高いメディアは、コンテンツに対する視聴者の注意や興味を高め、それを持続させることが期待できる、などが挙げられる。

安全性に係わる社会問題に関し共通認識を醸成し、社会的意思決定の基盤形成に役立つことを目的に開発された本システムは、一般的な教材作成など、幅広く利用することが可能である。



図1 SPOC番組視聴画面

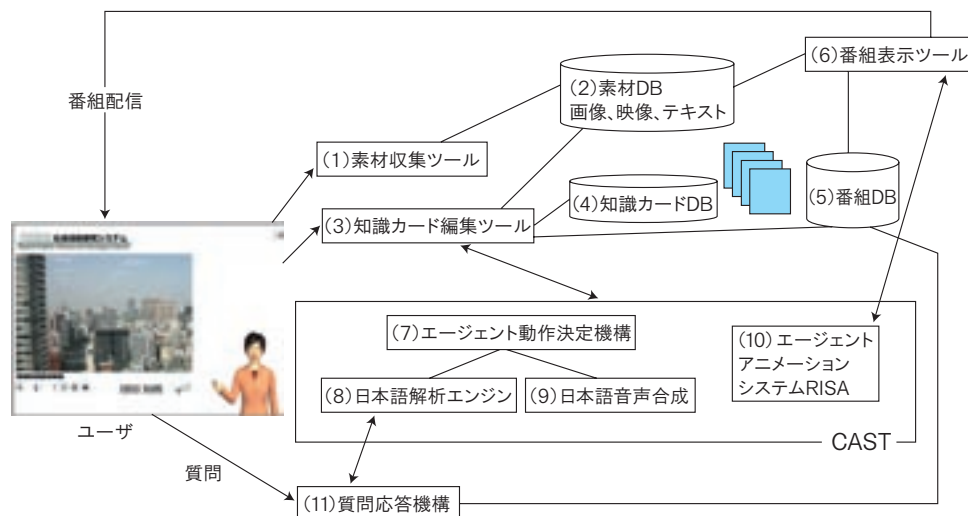


図2 SPOCシステム構成

高速バッティングロボットシステムを開発

戦略的創造研究推進事業 チーム型研究 (CRESTタイプ)
 「脳を創る」研究領域 (研究総括: 甘利 俊一 理化学研究所
 脳科学総合研究センター センター長) の研究テーマ「感覚運動
 統合理論に基づく『手と脳』の工学的実現」において、研究代
 表者である石川 正俊 東京大学大学院情報理工学系研究科
 教授らの研究チームは、人間の投げたボールの軌道を瞬時に
 判断して打ち返すバッティングロボットシステムを開発した。1ミ
 リ秒 (0.001秒) で処理可能な汎用ビジョンチップシステムをキ
 ーデバイスとしており、変化球でも打ち返せる。

これは、従来のロボットの動作速度の限界を打ち破ったもの
 であり、日本が世界をリードするロボット技術に新たな展開を期
 待させるものである。この成果は、12月19日から21日にかけて
 東海大学で開催された「第4回計測自動制御学会システムイン
 テグレーション部門講演会」で発表された。

研究チームは、機械システムおよび視覚システムの速度限界
 を追求し、超高速の領域で人間と同様の目と手の協調動作を実
 現した。視覚システムとして、1ミリ秒で汎用画像処理ができるビ
 ジョンチップシステム (すでに開発済み、国内2社で実用化) を

用い、機械システムとしてのロボットマニピュレーターには軽量
 高速マニピュレーターを用いた。

この視覚システムとロボットマニピュレーターを用いて、人間
 の投げたボールをマニピュレーターの手先のバットで打ち返す
 というタスクを実現することができた。人間がピッチャーのモーシ
 ョンからボールの軌道を予測するのと異なり、視覚でボールの軌
 道を1ミリ秒ごとに認識しながらバットの軌道を調整するので、正
 確なバッティングを実行する。ボールを視覚で確認してから打
 つまで0.2秒にも満たない高速動作である。このため、例えば
 変化球でも、ピッチャーが至近距離から投げた場合でも、打ち
 返すことができる。

研究チームは今後、これまでに開発している高速多指ロボット
 ハンドをアームの先に取り付けて、全体として超高速ロボットの
 実現に取り組む予定。現在のロボット研究の多くが「人間と同じ
 動作の実現」を目指しているのに対し、本研究は機械の限界に
 挑む研究であり、ロボットの限界を迫及したものである。

こういった研究から得た成果を、コストダウンに限界のある産
 業用ロボットに応用して適応性と高速性を付与することができ
 れば、パフォーマンスの向上を実現するブレイクスルーとなり、世
 界をリードする日本のロボット技術に新たな可能性を開くことにな
 ろう。



図1 高速ビジョンチップシステム

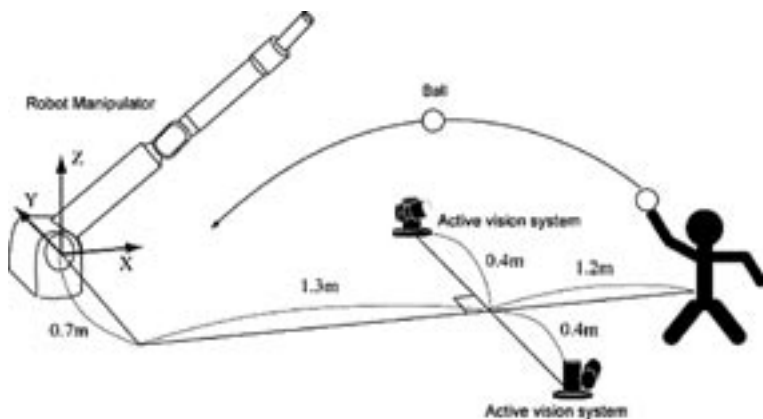


図2 実験環境

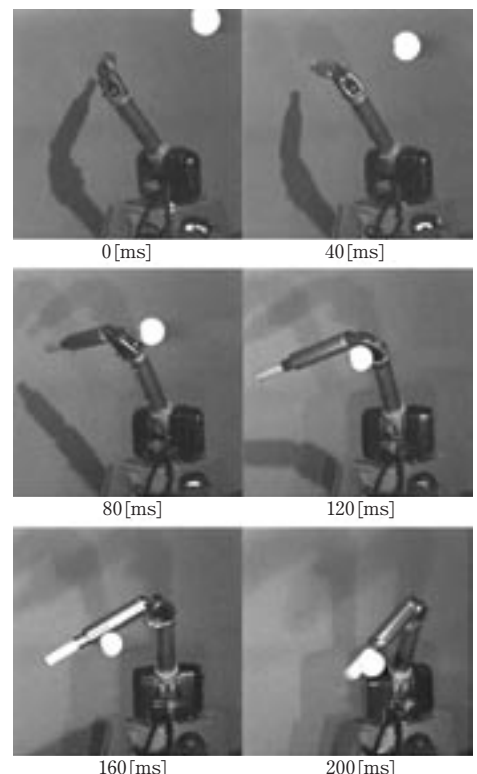


図3 バッティング連続写真 (40ms間隔)

水分子輸送が駆動するキラル液晶分子モーター

創造科学技術推進事業「横山液晶微界面プロジェクト」（総括責任者：横山 浩 産業技術総合研究所ナノテクノロジー研究部門長）の多辺 由佳推進委員（産業技術総合研究所ナノテクノロジー研究部門主任研究員）は、キラリティを持つ棒状分子が、液晶性単分子膜中でモーターとして機能することを見出した。厚さ2ナノメートルの膜の上下に水の化学ポテンシャル差を与えると、膜を構成するキラル分子が集団で一方方向に回転をする。現象としての不可思議に加え、ナノマシン合成への新しいアプローチを与えうる成果として、12月1日発行の英国科学雑誌「ネイチャー・マテリアルズ」に発表された。

近年、モーター蛋白質を模倣したナノマシンの合成が試みられているが、外に仕事をするような分子モーターはまだ作られていない。蛋白質に匹敵する機能を持つ分子の設計と合成は究極の目標と考えられるが、それとは違ったアプローチで、分子モーターを機能させたのが今回の報告内容である。我々は、液

晶場の分子協調作用を利用することにより、個々の分子の回転を選択増幅し、さらに化学ポテンシャル⇄分子の回転運動⇄液晶弾性歪というエネルギー変換が可能であることを明らかにした。

図1に示すように、液晶性を示すキラルな棒状低分子を気液界面に展開し、分子長軸が界面法線から同じ方向に傾いた単分子膜を作る。膜をはさむ気液間に蒸気圧差（化学ポテンシャル差）を与えると、蒸気圧勾配に沿って水分子が膜を透過・移動していくが、膜を構成する棒状分子が図1のようにプロペラ形状のキラル部位を持っていると、ちょうど風車が風で回されるように、水分子の衝突によってキラルプロペラが回転する。一分子なら熱揺らぎで消えてしまうプロペラの回転は、液晶場の強い配向相関によって、位相のそろった集団歳差運動へと発展するのである。偏光顕微鏡下では、集団の分子回転が光強度の振動に変換され、図2のようなBZ反応（図説参照）に酷似した振動パターンが観察された。モーターの回転速度は分子のキラリティの強さと化学ポテンシャル差に比例し、それぞれを逆転させると回転方向は反転する。長さが2～3ナノメートルしかない分子でも、その回転はマクロな水車や風車と同じように、ポテンシャル勾配の大きさやプロペラ能によって完璧に制御される。

さらにこの液晶分子モーターは、あたかもゼンマイを巻き上げるように、回転運動エネルギーを液晶の配向弾性エネルギーとして蓄えることができる。蒸気圧差をゼロにすると、液晶分子は速やかに逆回転し、蓄えた弾性エネルギーを解放して歪のない元の状態に戻る。

外場によって制御され一方方向に連続回転する分子モーターは、精巧な分子構造設計と合成によってしか得られないと思われてきたが、単純な形状のキラル液晶低分子が、このような制御可能なモーター機能を持っていることが明らかになった。液晶場による分子運動のコヒーレントな増幅は、人工分子モーター合成への1つのアプローチを与えると同時に、生体の散逸構造の研究にも役立つ情報を与えると期待される。

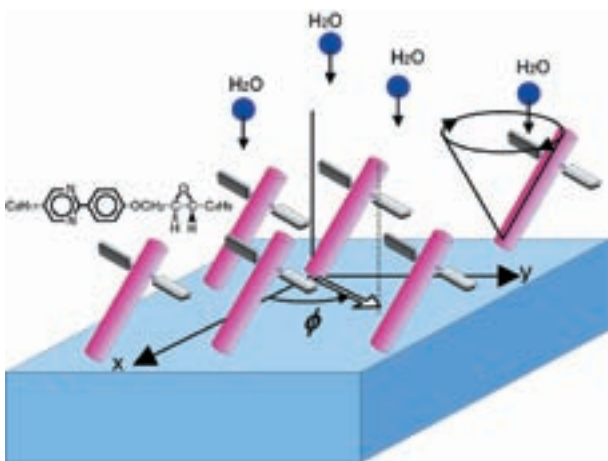


図1 キラル液晶分子モーターの模式図

キラルプロペラを持つ液晶分子は、グリセリンの上でコヒーレントに傾いた単分子膜を作る。膜を透過する水分子の衝突によって、風で回る風車のようにキラルプロペラが回転し、液晶の強い分子間配向相関によって集団分子歳差運動へと発展する。

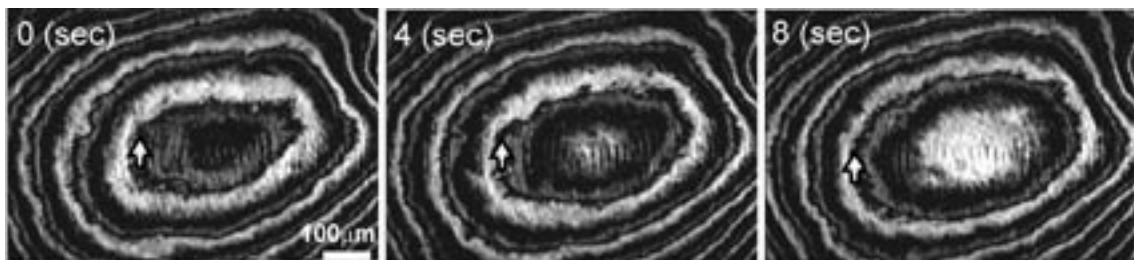


図2 偏光顕微鏡で見た分子の集団歳差運動

分子の傾き方向に対応する光強度が、規則正しく振動している。このパターンは、周期的振動を起こす酸化還元反応系として知られるBelousov-Zhabotinsky (BZ) 反応が示すパターンに酷似している。

日本-フランス共同「量子もつれ」プロジェクト終了シンポジウム開催 “Stanford-ENS Symposium on Quantum Entanglement”

国際共同研究事業 日本-フランス共同「量子もつれ」プロジェクト（日本側代表研究者：山本 喜久 スタンフォード大学教授／国立情報学研究所教授、フランス側代表研究者：Serge Haroche エコール・ノルマル・シュペリオール教授／カレッジ・オブ・フランス教授）の終了シンポジウムが平成15年12月15日から17日まで、米国スタンフォード大学のアレン・センターにて開催された。平成10年1月からスタートした本プロジェクトが、研究期間5年を終了したのを機に開催され、本国際共同研究に参加した両国の研究者及び招待講演者から最新の研究成果の発表が行われた。なお、JSTは本プロジェクトに対し継続研究課題として今後5年間にわたる研究の継続を決定した。

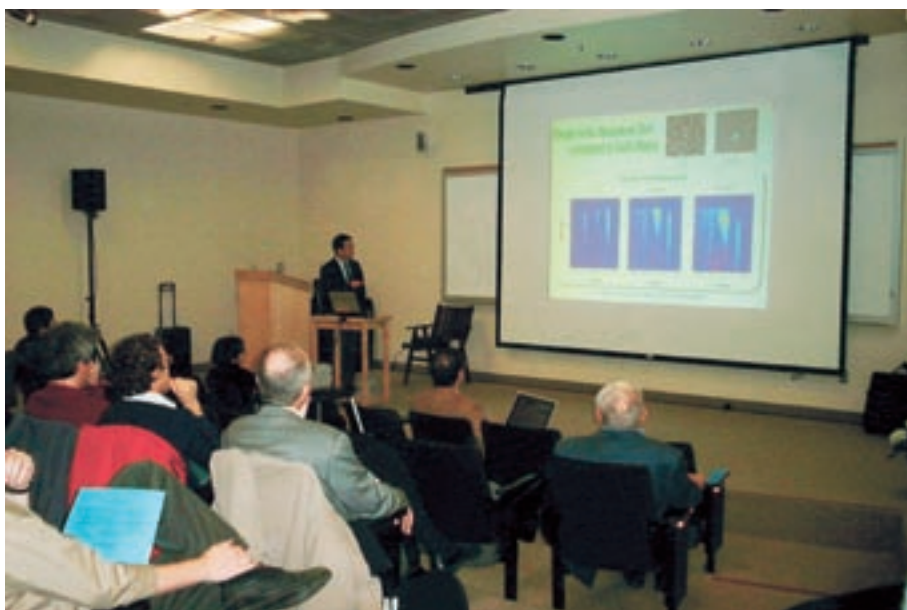
本研究では量子光学、原子物理、メソスコピック（固体）物理、核磁気共鳴（NMR）の実験技術を駆使して、量子力学の測定理論における最も本質的な概念「量子もつれ（Quantum Entanglement）」の解明を目指した。このうち、量子光学と固体物理とNMRからのアプローチは主として日本側を中心に、量子光学と原子物理からのアプローチは主としてフランス側を中心に行われた。最先端の研究を進める両グループが同じ目標を異なるアプローチ方法で目指したことにより、参加した研究者の視野が広がり、単独グループだけではなし得ない研究の進捗と成果が得られた。この研究の過程で得られた知見と新たに開発される実験技術は、将来の量子情報システム（量子コンピュータ、量子暗号、量子誤り訂正符号など）の中核技術にインパクトを与えるものと期待される。

シンポジウムはJST岩瀬国際室長の挨拶で始まり、山本代表及びHaroche代表からの基調講演が続き、2日半の開催期間中には日本側とフランス側の研究者からそれぞれ7件ずつの発表と、本研究分野で先導的な研究を進めている招待講演者らの8件の基調講演を含め、24件の発表が行われた。スタンフォード大学の職員や学生等による予定外の聴講者もあったことから、60席ほどの会場では立ち見も必要なほどであり、本研究分野に対する関心の高さがうかがえた。2日目には口頭発表者以外

の研究者も含まれるポスターセッションがあり、時間的な制限により口頭発表の際には出来なかった率直な意見の交換やディスカッションが2時間以上に渡って行われるなど、盛況のうちにシンポジウムを終了した。



ポスターセッション風景



シンポジウム発表風景

「第47回日本学生科学賞」表彰式開催

12月24日（水）、日本科学未来館において「第47回日本学生科学賞」の表彰式が行われた。

本賞は、戦後日本の復興期に科学教育の振興を願い、未来の優秀な科学者を生み出すため昭和32年に第1回が開催され、以来読売新聞社などが主催してきたもの。中学生、高校生を対象とし、理科研究の成果を表彰する賞で、中学・高校生の公募コンクールとしては、伝統ある賞である。JSTは昨年度の第46回から共催者として名を連ねている。

今回、ソリューション部門と研究部門あわせて約4,000点の応募があった中、44点が最終審査の対象となり、その結果、中学校部門、高校部門のそれぞれについて内閣総理大臣賞、文部科学大臣賞、環境大臣賞、科学技術振興機構賞、日本科学未来館賞、その他5つの賞が決定した。

秋篠宮同妃両殿下もご臨席されて行われた表彰式では、JST沖村理事長から「科学技術振興機構賞」として中学校の部1点、高校の部1点、日本科学未来館毛利館長から「日本科学未来館賞」として同様に中学校の部1点、高校の部1点がそれぞれの受賞者に授与された。

また、研究部門における内閣総理大臣賞受賞の高校1作品とソリューション部門における文部科学大臣賞受賞の高校1作品が米国で開催される国際学生科学技術博覧会（ISEF）へ参加することとなった。



「平成15年度島津賞」を受賞 研究開発戦略センター 三浦 登シニアフェロー

研究開発戦略センターの三浦 登シニアフェローが、「平成15年度島津賞」を受賞した。同賞は、財団法人島津科学技術振興財団（岡本 道雄理事長）により、科学技術、主として科学計測およびその周辺の領域における基礎的な研究において、近年著しい成果をあげた功労者1名を表彰するものである。三浦 登シニアフェローの今回の受賞は、「メガガウス超強磁場物性の開拓」の業績によるものである。表彰式は2月13日、島津製作所本社研修センター（京都市中央区）で行われる。

三浦シニアフェローは、昭和39年に東京大学工学部物理工学科を卒業し、同学科助手、オックスフォード大学クラレンドン研究所助手、東京大学物性研究所助教授を経て、昭和63年に同研究所教授に就任。退官後、平成15年9月にJST研究開発戦略センターシニアフェローに着任した。

当該業績は、三浦シニアフェローが東京大学在籍時にあげたものである。電磁濃縮法などの手法を開発し、実験室内で使える磁場としては世界最高値である、620テスラを越える超強磁場を発生させることに成功するとともに、持続時間が百万分の数秒とごく短い中で物質の磁氣的、電氣的、光学的計測を高精



度で行うための各種の超高速測定手段を開発し、多くの物質において超強磁場下で起こる種々の新しい現象を見いだした。今回の受賞は、強磁場での物性研究という新たな研究領域を開いたことが評価されたことによるものである。

さきがけ研究

芳坂 貴弘（ほうさか たかひろ）

研究領域 「生体分子の形と機能」

研究期間 平成14年11月～平成17年10月

研究課題 蛍光標識アミノ酸の導入によるタンパク質
の新規構造機能解析法の開発

所 属 北陸先端科学技術大学院大学
材料科学研究科（助教授）

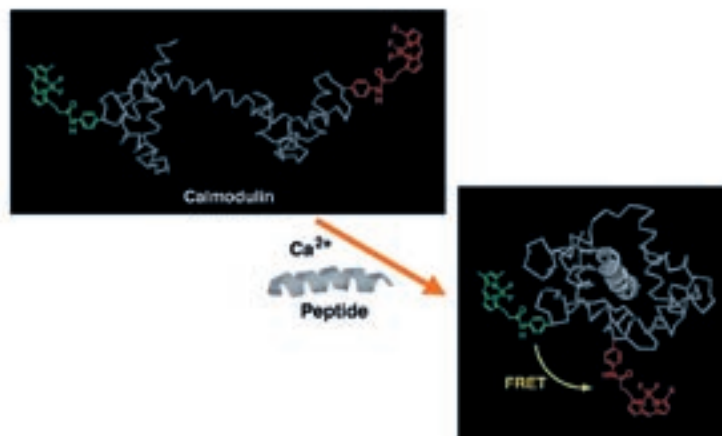
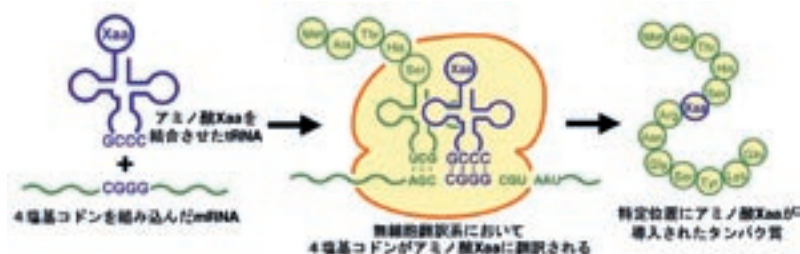


生命科学の進歩は常に新しい技術の開発によって支えられている。実際に、ゲノム解析はDNAの増幅技術や配列決定技術などの開発によって大きく進展したが、今度は、そのゲノムに暗号化されている膨大な数のタンパク質について、その形や機能を明らかにすることが強く求められるようになった。そして現在、そのための新しい技術が必要とされていると言えよう。

このような状況の下、本研究では、遺伝暗号を拡張したタンパク質発現技術を基盤とする、新たなタンパク質の解析技術の開発を行なっている。生体由来のタンパク質は基本的に20種類のアミノ酸を用いて合成されるが、そのアミノ酸の並び方は遺伝子上の3つ並びの核酸塩基（コドン）によって暗号化されている。私たちはこの生命原理を拡張して、4つ並びの核酸塩基（4塩基コドン）によって、天然には存在しないアミノ酸「非天然アミノ酸」をタンパク質の特定部位へ導入することのできる、新たなタンパク質合成技術を独自に開発してきた。この技術ではまず、遺伝子上で非天然アミノ酸を導入する部位のコドンを4塩基コドン（図では例としてCGGGについて示している）に置換しておく。その一方で、これに対応する4塩基のアンチコドンを持ち、かつ、非天然アミノ酸を化学的に結合させたトランスファーRNA（tRNA）を合成しておく。これら大腸菌などの抽出液を用いた無細胞翻訳系へ加えると、4塩基コドンが4塩基アンチコドンを持ったtRNAに読み取られることで、非天然アミノ酸がタンパク質の特定部位に導入される。さらに、2種類の異なる4塩基コドンとそれに対応するtRNAを用いることで、1つのタンパク質中に2種類の非天然アミノ酸を導入することも可能である。

実際に本研究では、この技術を用いて蛍光共鳴エネルギー移動(FRET)のエネルギー供与体・

受容体となる2種類の蛍光標識非天然アミノ酸をタンパク質中の特定の2ヶ所へ導入し、その2ヶ所間の距離や基質の結合によるタンパク質の構造変化を、FRETの測定により調べることを試みている。この手法によれば、通常のX線結晶構造解析では見ることのできない、タンパク質が機能する際に生じる構造変化の過程を観察することも可能である。今後、「生体分子の形と機能」領域の研究者の方々をはじめ、幅広い分野の研究者の方々のご協力をいただいで、タンパク質の形と機能の理解とその応用に大きく貢献できる技術に育てていきたいと考えている。



図（上）4塩基コドンを用いた非天然アミノ酸のタンパク質への導入法
（下）蛍光共鳴エネルギー移動（FRET）によるタンパク質の構造変化検出の模式図

シンポジウム「ITが変える世界と生活」

— 科学技術振興機構 2004第1回基礎研究報告会 —

- 開催日** 平成16年3月8日(月) 10:00~17:00
会場 千里ライフサイエンスセンター(大阪府豊中市新千里東町1-4-2)
内容 研究テーマに関する講演及びポスター展示
参加費 無料(参加希望の方は、事前にお申し込み下さい)

2004第1回基礎研究報告会を千里ライフサイエンスセンターで開催する。報告会では、未来を支える高度な機能を持った情報システムの構築を目的に、基本的技術や先進応用事例および基礎となる理論の研究について、最先端の研究成果を報告するとともに、その将来を展望する。

プログラム

- | | |
|--|-------------|
| 挨拶 科学技術振興機構 理事長 沖村憲樹 | 10:00~10:10 |
| 1. 『参加型シミュレーション：仮想都市で避難を体験する』 | 10:10~10:55 |
| 戦略的創造研究推進事業 「高度メディア社会の生活情報技術」研究領域 研究代表者
京都大学大学院情報学研究所 教授 石田 亨 | |
| 2. 『現在のコンピュータの不可能を可能にする量子コンピュータ—その開発の最新動向—』 | 10:55~11:40 |
| 戦略的創造研究推進事業 「情報社会を支える新しい高性能情報処理技術」研究領域 研究代表者
慶應義塾大学理工学部 助教授 伊藤 公平 | |
| 3. 『音楽を創るための“真似”の科学』 | 11:40~12:05 |
| 戦略的創造研究推進事業 「協調と制御」研究領域 研究者
関西学院大学理工学部 教授 片寄 晴弘 | |
| 4. 『ブロードバンド社会を拓くフォトニクスポリマー』 | 13:10~13:55 |
| 創造科学技術推進事業 「小池フォトニクスポリマープロジェクト」 総括責任者
慶應義塾大学理工学部 教授 小池 康博 | |
| 5. 『デジタル大仏のつくり~文化遺産のデジタルコンテンツ化~』 | 13:55~14:40 |
| 戦略的創造研究推進事業 「高度メディア社会の生活情報技術」研究領域 研究代表者
東京大学大学院情報学環 教授 池内 克史 | |
| 6. 『顔色解析・合成方法：IT時代に求められる電子化粧技術』 | 14:50~15:15 |
| 戦略的創造研究推進事業 「情報基盤と利用環境」研究領域 研究者
千葉大学工学部 助教授 津村 徳道 | |
| 7. 『量子力学の原理が保障する絶対安全な暗号』 | 15:15~16:00 |
| 戦略的創造研究推進事業 「電子・光子等の機能制御」研究領域 研究代表者
日本電気(株)基礎研究所 研究部長 中村 和夫 | |
| 8. ポスターセッション | 16:00~17:00 |

**参加申し込み
問い合わせ先** 財団法人 全日本地域研究交流協会 基礎研究報告会事務局
〒110-0008 東京都台東区池之端1-1-15 JST東京展示館 6F
TEL 03-3831-5911 FAX 03-3831-7702 E-mail kisoken@jarec.or.jp
なお、メール等でのお申し込みの受領通知は致しませんのでご了承ください。

行事予定

2月12日(木)	国際共同研究バイオリサイクルプロジェクト 終了シンポジウム(理化学研究所(和光))
26日(木)	新技術説明会<先端通信技術>(東京本部JSTホール)
27日(金)	新技術説明会<新材料(金属)と接合技術>(東京本部JSTホール)
3月上旬	アジア太平洋科学技術マネジメントセミナー(東京)
3日(水)~4日(木)	創造「近藤誘導分化」国際シンポジウム(東京大学山上会館)
4日(木)~5日(金)	社会技術研究シンポジウム(日本科学未来館)
8日(月)	2004第1回JST基礎研究報告会「ITが変える世界と生活」(千里ライフサイエンスセンター)
13日(土)	第6回社会技術研究フォーラム(アークヒルズ)

日本科学未来館(MeSci)2月行事予定

(2月の休館日(3日、10日、17日、24日))

《新規イベント》

1. ROBO-ONE ~二足歩行ロボット競技大会~
2月1日(日)第5回 ROBO-ONE決勝 1F 催事ゾーン
2. 展示の前で研究者に会おう!「未来を創るインターネット」
2月7日(土) 15:30~16:45
3F「情報科学技術と社会」インターネット物理モデルコーナー
3. MeSci研究棟ツアー 各日約15名(当日先着順)
BIRD大浪プロジェクト
「線虫C.elegans発生過程のシステム解析」
2月7日(土)/2月21日(土) 11:30~12:30
4. ノーベル賞化学者からのメッセージ
~白川英樹博士×実験工房~
2月8日(日) 13:30~15:00 3F 実験工房
5. 実験工房 バイオ中級コース「タンパク質ってなんだろう?」
2月28日(土) 14:00~16:00 3F 実験工房

《継続イベント》

1. ASIMOデモンストレーション
平日13:00~/土・日・祝13:00~、15:30~
2. 実験工房 毎週土・日曜日・祝日 3F 実験工房
[超伝導コース] [レーザーコース] [ロボットコース]
[バイオ初級コース] [化学コース]
3. MeSci研究棟ツアー 各日約15名(当日先着順)
2月 7日(土)/2月21日(土) 14:00~15:00 相田ナノ空間
2月14日(土)/2月28日(土) 14:00~15:00 柳沢オーファン受容体
4. インターネット電子顕微鏡
第1・第3日曜日 13:30~14:30 3F サイエンスライブラリ

お知らせ

JSTの基礎研究事業の成果として、慶應義塾大学環境情報学部の清水 浩教授のグループが開発した、地球温暖化物質や環境汚染物質等の排出を大幅に抑えた完全電動の8輪駆動車、「KAZ」が日本郵政公社発行記念切手「科学技術&アニメーション」第2集(平成16年1月23日全国一斉発売)に取り上げられました。JSTの研究成果がこのような形で社会に紹介されるのは大変光栄なことであり、ここにご報告致します。



JSTニュース

VOL. 1 / NO. 5

平成16年2月1日発行

禁無断転載



独立行政法人
科学技術振興機構
Japan Science and Technology Agency

インターネットホームページ <http://www.jst.go.jp>

〒332-0012 埼玉県川口市本町4-1-8 川口センタービル 総務部広報室
TEL. 048-226-5606 FAX. 048-226-5651



古紙配合率100%再生紙を使用しています。