

サイエンス&テクノロジーの座標 時代への提言

せんたん

2005
vol.14 no.3

Contents

国立大学法人奈良先端科学技術大学院大学フォーラム
「ナノバイオの世界が見える」 — 1

バイオ特集 ————— 9

知の扉を開く
—NAISTの研究者たち— ——— 11

TOPICS ————— 17

NAIST Nara Institute of
Science and Technology

ナノバイオの世界が見える 一分子計測の最先端技術

国立大学法人奈良先端科学技術大学院大学フォーラム 開催報告



冒頭挨拶する安田國雄 学長

奈良先端科学技術大学院大学フォーラム「ナノバイオの世界が見える 一分子計測の最先端技術」が6月2日、東京・港区のコクヨホールで開かれた。

今回のテーマは、バイオ、ナノテクノロジーなど最先端の科学技術研究や産業分野で新たなツールとしてクローズアップされている分子計測。先端大では研究科の融合テーマとして取り上げ、力を入れている。

フォーラムでは、安田國雄学長が「本学が誇る知の創造、活用を効果的に進め、科学技術立国である日本の産業振興に寄与したい」と挨拶。光電子増倍管など光関連機器の研究開発で知られる浜松ホトニクス の晝馬日出男 常務取締役が「光を用いた細胞内分子計測」のテーマで基調講演した。このあと本学の河合壯 物質創成科学研究科教授、稲垣直之 バイオサイエンス研究科助教授、杉浦忠男 情報科学研究科助教授がそれぞれ独自の研究開発をテーマに講演した。

また、会場では研究内容を紹介するパネル展示やデモ実演、技術移転コーナーも設けられた。



光を用いた 細胞内分子計測

基調講演

浜松ホトニクス株式会社
常務取締役 晝馬 日出男

光は波と粒の両方の性質を持っています。波の性質は、光を二つのスリットから入れると、互いに打ち消しあったり、増幅しあったりして干渉縞になるので証明できます。粒の性質については、弱い光を一方から入れると粒のようなフォトン（光子）の痕跡がキャッチできるのでわかりますが、時間が経ち粒の痕跡がたまって行くと干渉縞ができることをわが社が世界で初めて実証しました。しかし、その理由は解明されていません。光が持つ未知の世界は多くあり、その性質がわかればもっと詳しい物質の様子を明らかにすることができるといえます。

現在、どの程度の暗さまで測定できるかという点、星明かりで一平方ミリメートルあたり百万個の光子が来ていますが、わが社のカメラは限界に近い光子数個のレベルで撮像できます。この技術で、ラットの脳細胞内のカルシウムの分布を観測できました。

速い現象の観測については、二百フェムト（一千兆分の一）秒レベルの分解能があります。ちょうど髪の毛を光が通過する時間です。分子につけた蛍光物質が短時間光る蛍光寿命の間に測定でき、分子の回転運動、タンパク質の部分移動がわかります。もっと分解能を上げれば原子の挙動まで解明できるでしょう。

小ささの限界については、顕微鏡と画像処理で数ナノ（十億分の一）メートルまで見えますが、最近では、近接場光という現象を利用します。光がガラス面に全反射するさい、反射面の向

かい側に光の電磁場がしみだして対象物の分子に入り込んで光が出てくる現象で、膜表面の分子の挙動などを測定します。

このように光の計測技術が発達してデータが蓄積されているナノバイオ研究をバラ色の未来がある産業にするには、現象学から脱皮して論理性を整備するという課題があります。機械産業は、古典物理学や熱力学、電子工業は量子力学や電磁気学など法則化された理論の裏づけがあったからこそ発展しました。バイオ研究では、たとえばDNAが解明され、膨大なデータをためたことですべてわかったような感じがありません。ダイナミック（動的）な分子の挙動に対する統一理論を立てることが必要で、そのための研究は行われていますが、試行錯誤の段階です。

現状でよく使われている細胞内の光計測の装置としては、まず、コンピュータの画像処理を併用して、本来、見られない五ナノメートルのレベルの構造まで見られるカメラを開発しています。余分な光を除けば、昼でも星が見えるという原理で、細胞の分裂時に核の中にできる紡錘体まで見ることができ、また、物質につけた蛍光分子のエネルギーが、他の分子が近づくと移動するという原理（蛍光エネルギー移動）を利用した装置は、タンパク質の相互作用の研究などに使われます。これから重要になる、細胞内の分子の動的な状態の測定については、一分子計測



晝馬日出男 常務取締役

や分子の振動を解析する方法があります。また、分子に光を当て、その散乱光の特徴から分子の構造の変化がわかる赤外ラマン分光という分析法の装置の感度を一万倍上げることが成功しました。この装置だとがん細胞と正常細胞を見分けることができ、これまで五時間かかっていた作業が一、二分で済みます。

さらに、産業応用の面では、創薬に役立つツールとして、細胞のどの受容体にどの成分が反応するか、蛍光エネルギーの移動を手がかりに測れ、大量のスクリーニングに役立つ装置を開発しました。また、病理診断については、スライドグラス上のがん細胞の切片を十九億画素という超高解像度の画像に三分ほどでできるようにしました。インターネットを使えば、遠隔地との共同作業もできるようになります。このように、他の分野の技術の進展とあいまって研究の手法が大きく変わっていくでしょう。

物質創成科学研究科 光情報分子科学講座
教授 河合 壯

分子一つ一つのレベルで計測する研究は、バイオ関連だけでなく、ポリマー（高分子）、液晶、ガラス、有機結晶、半導体などいろいろな分子を対象に広がりはじめています。

市販の計測装置が比較的使いやすくなったこともありますが、測定テクニックにより、多彩な情報が出せるようになったことが注目されている理由でしょう。たとえば、蛍光強度やスペクトルおよび偏光の方向により、分子の移動や分子がどちらを向いているか、どのように回転しているかなどわかります。

分子の挙動を追う

われわれは、材料科学分野の研究で、単一分子計測技術を使っていきます。たとえば色素を液晶の中に入れて表示素子などへ応用する場合に、その色素分子が液晶内でどのように動いて拡散するかを検討しました。それまでは全体的に同じように移動する（等方性）というデータが発表されていましたが、さらにくわしく単一分子のレベルで調べました。

実験方法は、レーザー光により蛍光を発する色素分子を液晶の中に入れたサンプルを、共焦点顕微鏡とい

う装置を使って計測しました。この顕微鏡は、対物レンズの焦点が結ばれる極狭い領域を通過する分子の蛍光を感知し、焦点からはずれた分子からの光を効率よく除去するので、焦点の領域を横切る分子の光だけをキャッチし、分子の運動に伴う光の出力強度の揺らぎを解析できます。

三百回の計測を行いデータを自己相関解析という統計的処理をして、拡散運動に要する時間を調べました。その結果から、色素分子がどのくらいの速さで拡散しているかを示す拡散係数を見たところ、色素分子は液晶分子の並びと平行の方向に速く移動するという異方性を示しまし



河合壯 教授

単一分子蛍光計測を基盤とする 光分子スイッチング現象

た。これは従来の常識を打ち破るデータとなりました。さらに液晶に電圧をかけ、液晶分子を垂直方向に配列すると蛍光分子は全体的に均一に拡散し等方性を示しました。これで液晶内の分子の向きに応じて、拡散の状態が変わって行くことが実証できました。

光で着色する



私の研究室では分子材料の開発をメインにすえて研究を進めていきます。とくに光が当たると着色するフォトクロミック（光可逆変色）分子の研究に力を注いでいます。明るい戸外に出ると青や黄色が出る調光型サングラスも、この種の分子を練りこんだものです。特に最近注目されているのはジアリールエテンなどのヘキサトリエン型と呼ばれている一群の有機分子です。この材料の大きな特徴のひとつとして光を当てたあとの着色状態が光を当てなければそのままの形を維持するというメモリー性があることです。最もメモリー性に優れた材料では四万年にわたる記憶が可能というデータも報告されています。これは通常の磁気記録物質

より、百〜千倍高く、書き換え可能なメモリーとしてはもっとも永続性に優れた記憶性を有していることとなります。繰り返し性すなわち耐久性も高く、千回から数万回が可能で

す。このような特徴から、次世代の光メモリーへの応用が考えられています。従来のDVDの盤面にこの分子の層をいくつも積み上げて三次元の高層光記録媒体をつくることを考えて、単結晶状態への多層光記録を試してみました。その結果、実証された最大記録密度は一枚あたり約五ギガバイトのDVDの記憶情報量を一ミリ立方にまとめることが可能です。

それではもっと微細で高密度な光記録を考えると、ひとつの分子からなるメモリーを作ることは可能だろうかという疑問にあたります。フォトクロミック分子は個々の分子の光反応がメモリー機能の原理となりますから、原理的には可能なのです。

そこで究極の微細メモリーである単一分子メモリーの実証に取り組みました。光によるスイッチの役目をするフォトクロミック分子と蛍光を

発する分子をつなげた分子を合成しました。この分子はフォトクロミック分子の反応を蛍光分子が感じ取り、蛍光強度が0%と100%間でスイッチします。この分子を高分子の膜にひとつずつ置いた試料を作り共焦点顕微鏡で単一分子の発光を観測しました。

その結果、分子のフォトクロミック反応に伴って発光の強さがデジタルにON OFFする現象を見出しました。光が当たったことを一つの分子が記憶し、自分自身の発光強度を変化させることでわれわれに教えてくれているのです。さらにひとつの分子がこのようなON OFFを二千回以上繰り返しすることを実証しました。

こうした単一分子の計測により、分子の新たなふるまいがわかり、基礎研究だけでなくさまざまな分野への応用が期待されます。これからは有用な分子と計測装置やソフトウェアを協動的に進める必要があるのではないかと考えています。

バイオサイエンス研究科 細胞内情報学講座
助教授 稲垣 直之

細胞の形は、内部に含まれる複数の分子が時間的、空間的に関わり、動的な調節を受けて作られていると見られますが、その仕組みはわかっていません。一方、顕微鏡を用いた細胞内分子計測の技術は、分子の挙動を二次元や三次元の空間レベルで時間の経過とともに追跡できるので、細胞レベルの解析には有用な手法となっていくでしょう。

われわれは、神経細胞の形づくりについて解析を行っています。

神経細胞の最初の形は球状で、その後の分化にともない複数の突起が延びてくる。この突起を介してシナ

プスという結合をつくり、さらに脳内でネットワークを形成します。これを使い、ものを考えたり、運動したり、見たりできるのです。

神経突起には二種類あり、ひとつは、一本の長い軸索で、突起の先端から神経伝達物質を放出することに より情報の出力を担います。もうひとつは、複数の短い樹状突起で、その表面には神経伝達物質の受容体があります。つまり、神経細胞は、樹状突起から情報を受け取り、これを

極性は再生する

統合して軸索の先端から出力する。このように細胞のかたちや働きに方向性があることを細胞の極性と呼びます。

神経細胞を培養すると、まず、複数の短い突起が出てきます。その後、一日ぐらい培養するとひとつの突起のみが急激に伸びて軸索を形成します。それでは、軸索を切断してやるとどうなるか。一旦極性はなくなるものの、もとの軸索が再生したり、まったく別の樹状突起が軸索になったりして極性を獲得するという驚くべき能力があるのです。

こうした極性形成のメカニズムを



稲垣直之 助教授

細胞内分子計測から見えてくる 細胞のかたちづくりの仕組み

知るため、関連する物質を調べました。

神経細胞の軸索の先端部分は成長円錐と呼ばれ、手のひらの指のように突起が動いて伸びていきます。ここに神経を伸ばし極性を持たせるタンパク質が存在すると考え、プロテオーム解析という手法を使い探索しました。



まず、二次元電気泳動という装置を使います。タンパク質が持つ電荷の差異により分離し、装置内のゲルの上にタンパク質の種類ごとにスポットとして集まります。軸索には一万余種類以上のタンパク質があります。この部分にだけ特異的に存在するタンパク質のスポットを見つけ、質量分析という手法でタンパク質を同定するのです。

タンパク質の分離のため、大型の電気泳動装置を開発しました。装置内のゲルの大きさは市販だと二〇センチ平方ですが、これを一メートル

平方に拡大しました。世界最大です。

望遠鏡の精度が上がれば暗い星も見られるように、通常のゲルだと千個程度しか検出できないタンパク質を一万个以上、微量なものまで一度に検出でき、感度が飛躍的に向上しました。



このようにしてわれわれは、神経突起を伸ばしたり、あるいは縮めたりして神経細胞の極性を形成するタンパク質を複数同定しています。その作用の仕組みを知るため、タンパク質に分子レベルで蛍光物質をつけて、神経細胞内の挙動を追跡しました。その結果、神経突起伸長タンパク質が突起先端に能動的に送られてゆくこと、タンパク質の成長円錐での濃縮と神経突起の伸長に相関関係があること、タンパク質の細胞内分布のダイナミックな偏りが神経極性の形成を引き起こすことなどがわかってきました。また、細胞内一分子計測の技術で、神経突起伸長タンパ

ク質が細胞骨格と相互作用することにより神経突起を伸長させることもわかってきました。

このように、顕微鏡を用いた細胞内分子計測の技術を用いて細胞の形づくりのメカニズムを分子レベルで解明することが可能になってきました。研究には、コンフォーカルレーザー顕微鏡やセクショニング顕微鏡などのさまざまな顕微鏡を用いていますが、今後、バイオ研究のツールとしては、生物試料をいためないように感度や解像度、時間分解能を上げるといった課題の克服が望まれます。また、より明るい蛍光物質の合成や同時に観測できる分子数の増大、画像解析技術、細胞にかかる力場の同時測定など、情報、バイオ、物質の分野が一体となった最先端の顕微鏡技術の開発が望まれます。

情報科学研究科 生命機能計測学分野
助教授 杉浦 忠男

細胞内の生体分子を詳しく調べ、
計算機上で生物のモデルをつくって
生命現象を明らかにしようという研
究は、システムバイオロジーとい
う分野で盛んになっています。実際
にモデルを作成するさいに、われわ
れの専門分野である計測は、分子レ
ベルのデータを提供する上で、かなり
重要だと考えています。

分子間の相互作用を調べるために
さまざまな手法が考案されています
が、問題点がありました。生体内に
多様なたんぱく質が存在し、それぞ
れに反応する多くの分子が存在して
いるのに、データは、これらの反応

をまとめて平均したものでしかない
ということでした。そこでたんぱく質
間の相互作用を分子レベルで計測で
きないかと考え、光によるマニピュ
レーションを用いた光計測法という
技術の開発に着手しました。

ピンセットで捕捉した

光によるマニピュレーションと
は、光を分子に当てると発生する放
射圧という現象により、分子を補足
して操作する技術です。レーザーを
顕微鏡の対物レンズのような器具で
強く集光して物体に照射すると、放

射圧がかかり、レーザー光のスポッ
トの中に閉じ込めることができる。
この現象を利用した技術が光ピン
セットです。

光ピンセットは、たとえば、生体
の細胞であるヒトの赤血球を捕まえ
て動かすことができます。操作でき
るサイズは直径数十ミクロンから、
インフルエンザウイルスの大きさの
百ナノ（十億分の一）メートルまで。
金属でも小さな粒子だと可能で、わ
れわれは四十ナノメートルの金の粒
子を補足できました。

この光ピンセットを利用して、粒
子間の相互作用にかかるフェムト



杉浦忠男 助教授

光によるマニピュレーションと 一分子計測

(二千兆分の一) ニュートン(力の単位)の微弱な力を検出、測定できます。粒子を光ピンセットで補正し、別の物体の表面に近づけると、両者の間で影響を及ぼしあい、そのさい発生する力(静電力、双極子相互作用、ファンデルワールス力など)が測定の対象です。

この手法のメリットは、粒子を測りたい対象とまぜて、光を照射するだけで粒子を捕まえて計測でき、試料にダメージを与えない。水中で生きている状態の試料も計測できます。

さらに、光ピンセットによる補正はちょうど粒子をバネでつるした状態で、外力が働くと伸縮しますが、バネ定数が小さいのでかすかな力を高感度で計測するのに適しています。また、伸縮は金属のバネと同じフックの法則に従い、バネ定数はあらかじめ計測できるので、伸縮のデータがわかれば力が算出できます。

超微小な距離を測定

分子間の距離を測るにはエバネツセント場という現象を使った顕微鏡で解析します。スライドガラスに入射する光の角度を大きくすると、光は全反射します。このとき、屈折率が低いスライドガラスの反対側に光が染み出してエバネツセント場が生じます。この場の特徴は光の波長程度のわずかな隔たりで光の密度が指数関数的に減衰することです。このため、スライドガラスの表面近傍に存在する分子だけに光をあてて計測できます。これを使って分子や粒子と基盤の間の距離を高感度、高分解能に検出でき、二百〜三百ナノメートルの距離を一ナノメートル以下の分解能で計測できます。

一分子間に働く結合力も計測できます。結合しやすいたんぱく質、ストレプトアビジンとビオチンについて、ストレプトアビジンをガラス基板に固定し、粒子表面につけたビオチンを光ピンセットで近づけたり、

無理やり引き離したり、何百回も繰り返しました。

その結果、分子の結合力は五ピコ(一兆分の一) ニュートンであることがわかりました。たんぱく質の構造と機能の関係は、多くのグループが研究していますが、まず相互作用による力場を計測することで、立体構造と機能の関係を新たな視点で明らかにすることができそうです。

また、われわれは、細胞触診システムを開発しました。一分子の力を計測できるようになったので、その力を手で触覚として感じられるシステムです。たとえば、がんの組織は力学的特性が違うことが知られていて、医師は触診できる。同様に細胞を触って、力学的性質を診断することができるとはいないかという発想です。ペン型のデバイスを操作した動きをコンピュータ処理して入力。実際に粒子に対する力を測定したデータをコンピュータにより仮想的に再現して、モーターで触覚として感じるができます。

花開く植物研究

世界最高水準の研究拠点づくりを進めるため、文部科学省が行っている21世紀COEプログラムに奈良先端科学技術大学院大学の2件が採択されている。そのひとつが、バイオサイエンス研究科が提出した「フロンティアバイオサイエンスへの展開」で、プログラムの取り組み状況を示す中間評価では「目的達成が可能」と最高ランクに入った。

研究のテーマは壮大である。生命の営みに関わる重要な機能について、細胞内のタンパク質など生体分子のネットワークを追うことで謎とされている仕組みの全体像を明らかにする。微生物や動植物の細胞を材料に扱う研究者が取り組み、研究の分担は、研究室独自の実績の裏づけを柱に、個別のテーマに応じて研究室の壁を越えた研究者同士の交流が行われる。実に有機的な連携が果たせるように組織が整っているのだ。

有機的な連携

最先端のテーマに即応できる体勢が組めるような研究分野の配置は、植物バイオテクノロジー研究の第一人者である山田康之二元学長らが描いた構想のひとつであった。一九九〇年代から、生命の設計図といわれるゲノム（遺伝情報）を読み取り解析する手法が急進展する中で、その手法をいち早く全面的に取り入れた。さらに細胞内のさまざまな現象について柔軟にバランスよく対応して分担できるように総合的な見地からキーポイントになるテーマを選んで提示したところ、全国の大学・研究機関から人材が集まった。

特徴的なのは、植物関連の基幹講座が七講座で全講座に占めるウエイトが三分の一以上と他大学に比べて集中していることだ。植物については、品種改良など農作物生産との関連から、有用な突然変異を起こした個体の選抜や、遺伝子組み換えなど応用面での研究は盛んだった。しかし、タネをつくるための受粉や、生命を維持する茎や根の生長といった基本的な生理メカニズムをめぐり、詳細にゲノムを調べてたんぱく質などの分子が実

際にどのように働いているかを明らかにする研究は比較的少なかった。こうした状況を背景に、研究陣は新たな幅広い応用につながる基礎研究に挑んだ。

謎を相次いで解明

植物の分野での最近のトピックスを紹介しよう。

今回のCOEの拠点リーダーである細胞間情報学講座の磯貝彰教授（現副学長）からは、アブラナ科の植物が受粉のときに、自己の花粉を排除し他の花粉を受け入れることで、近親交配を免れ、種を維持するための多様性が確保されているという「自家不和合性」の機構の謎を解明した。花粉が雌しべの先に付着し、花粉管を伸ばして内部にもぐりこむさい、花粉から出る因子を雌しべの受容体が識別して、自分の花粉であれば受粉の作業を止めていることを明らかにし、関連する三つの遺伝子突き止めた。「花の中で雌しべと花粉が共存するという環境の中で独自に進化したシステムなのでしょう。栽培技術の面でも広く役立つと考えています」と磯貝副学長は説明する。

国際的に研究競争が展開されているイ



本学の植物バイオ研究を牽引する教授陣

- 右上：磯貝 彰 教授
(現副学長)
- 左上：島本 功 教授
- 右下：田坂昌生 教授
- 左下：横田明穂 教授

ネを材料に「耐病性」や「開花」の研究を手がけているのは植物分子遺伝学講座の島本功教授らのグループだ。耐病性については、細胞内のGたんぱく質という分子が病原体の情報の伝達役になり、防御システムを活性化していることを発見した。また、開花については、遺伝子レベルでメカニズムを解明した。イネは日光の当たる時間が短くなるに伴い、三種類の遺伝子が順番に働いて開花を促すが、一番目の遺伝子が過剰に活性化すると、三番目の遺伝子の働きが抑えられ、開花時期が遅れる。人工的に開花を調節することも夢ではない。

形質発現植物学講座の田坂昌生教授らは、研究用のモデル植物として知られるシロイヌナズナを扱って、植物の形づくりの研究を行っている。そして、茎や根の先端にある分裂組織がどのような分子メカニズムでできるかに関して興味深い発見をした。また、十九世紀から謎とされてきた「なぜ茎が重力と逆方向の上に伸びられるのか」という現象について、茎の内部の細胞が重力を感じる草を示した。そして、茎はこの細胞内の液胞を貫通している細胞質中にあるアミロプラストという細胞内小器官の沈んだ方向を重

力の方向と判断することを示した。

植物の光合成を研究している分化・形態形成学講座の横田明穂教授らはカラハリ砂漠の野生スイカというユニークな材料を使って研究している。強い光や乾燥に耐える機構を調べるため、「シトルリン」という成分が体内に発生する有害な活性酸素を消しており、野生スイカは他の植物の千倍も含まれていることを突き止めた。また、光合成を司る重要な酵素「ルビスコ」について、通常の三倍と最も効率が高いタイプを藻類の「紅藻」から世界で初めて見つけた。さらに、タバコの葉の葉緑体のDNAにある光合成遺伝子を導入、光合成能力を一・七倍に上げることに成功した。成果の社会還元のひとつとして「シトルリン」などの特許技術に基づいた植物ベンチャー「(株)植物ハイテック研究所」も設立された。

バイオ研究は、ゲノムの解読から、そのデータを活用して未知のタンパク質などの構造や性質を調べるポストゲノム時代に入った。本学の植物分野の研究も今後の戦略の展開に期待がかかっている。

鮮明な画像を受信する

情報科学研究科 情報コミュニケーション講座

助教 岡田 実

二〇〇四年十一月末、東京・霞ヶ関を出発したバスの中で、総務省のデモンストレーションが行われた。車内で受信した地上デジタル放送のテレビ画像が、走行中も乱れて歪まないことをプレゼンテーションするのだ。

現在、一般化している地上アナログ放送に対し、二〇〇三年十二月にスタートした地上デジタル放送は、自動車や携帯電話など移動体でも高精細な画像を受信できることが、大きなアピール材料のひとつであり、日本、米国、欧州が技術力を競っている。

参加者がかたずをのんで見守る中、ほとんどのバスの行程で鮮明な画像が受信され、同時に流されたこれまでの家庭用テレビ画像との差を見せつけた。

このイベントを成功させた技術

革新のひとつが、岡田実助教の開発したデジタル波を補正して歪みなく受信する画期的なアンテナ装置だった。

電波が乱れる

「地上デジタル放送は移動受信する場合、未ださまざまな課題を抱えています。その中で鮮明な画像の受信は優先順位が高い」と岡田助教は説明する。

走る車で画像を受信することが、なぜそんなに困難なのか。

日本の地上波デジタル・テレビ放送は、現在のアナログ・テレビ放送が使う電波帯のうち、UHF放送に相当する四七〇～七七〇メガヘルツ帯の周波数が使われている。この周波数帯では、送信アンテナから出た信号が、受信アンテナに直接届く以外に、周囲の建物

などに反射して伝わってくる。このさい、反射波は伝わる距離が長くなるので、その分、千分の一秒ほど遅れて到着する。さらにあちこちぶつかって入ってくるのだから、その数は多くて信号が錯綜し、ぼやけた画像が二重写しになる「ゴースト」などの現象が起こるのだ。

並列するアンテナ

このため、家庭など建物の固定受信の場合は、送信局の方向からくる電波を主に受信するように指向性アンテナを取り付けるなどすれば、ある程度、反射波の影響を少なくできる。ところが、自動車や携帯電話だと、アンテナが短くて直接波が拾えないうえ、移動すればさまざまな反射波が重なる。

さらに、移動受信するとドップ

ラー効果という物理現象が起こり、周波数まで変化してくるのだ。そこで、岡田助教は、「大地に対して静止した状態のアンテナならドップラー効果を補正しやすい」と発想。まず車の進行方向に沿って前後に複数のアンテナを搭載して電波を受信し、その信号の状況に応じて、固定アンテナを立てたような位置を即時に算出し、そこにアンテナを切り替えることで鮮明な画像を得ることができた。

「これからも関連する研究の動向を見ながら、開発のポイントを押さえたい」と岡田助教は意欲を見せる。



試作したドップラーシフト補償アンテナ



導入した地上デジタルテレビ放送の受信品質測定器
ビット誤り率などの受信品質の測定が可能



移動体の高速移動に伴うドップラーシフトの影響を補償するアレーアンテナの原理
アレーアンテナを使って移動体の移動方向と逆向きに移動する位置(仮想受信点)における受信信号を推定する。このようにすると、移動体の移動にかかわらず受信点位置を大地に対して静止させることができ、ドップラーシフトの影響を完全に取り除くことができる

携帯電話の感度を高める

二〇〇六年から始まる携帯電話向けのデジタル放送に対応するLSI(超集積回路)の開発にも成功した。反射して伝わる電波を効率よく受信できるように二本のアンテナを備えており、この二方向からの信号を処理するが、消費電力を抑えこんで充電後の視聴時間を長く取れる仕組みだ。

「産学連携の研究で、LSIの信号処理の手順(アルゴリズム)をつくる部分を担当しました。アンテナが短いので少し方向を変えるだけで受信できないなど、さまざまな強さの信号をバランスよく処理するのに苦労しました。それだけに、鮮やかな画面が受信でき

たときの喜びは大きかった」と振り返る。

研究室では、大容量の伝送ができる広帯域並みの能力を携帯電話に持たせる研究(斎藤将人助手)、衛星波を使い山間部でもデジタル放送が障害なく受信できる研究(原孝雄助手)など行っており、テーマは幅広い。産学連携も積極的に進めており、デジタル放送の普及に伴い、今後はどのような研究の展開を見せてくれるだろうか。

岡田 実
助教授



知の扉を開く。

NAISTの研究者たち

未知の微生物を探る

バイオサイエンス研究科 細胞機能学講座

助教 桂樹 徹

細菌、カビ、酵母など微生物の良
い面は人間の食生活や医療に大き
く貢献していることだ。酒、味噌、
醤油の醸造をはじめ、医薬品、食

品・調味料の製造加工と枚挙に暇
がない。さらに、地球上には、土壌
一グラム当たり百万〜十億個の微
生物が棲んでいて、これまで見つ
かった微生物の百倍から千倍もの
種類が、未だひっそりと出番を待
っているという。

増えない微生物

「栄養分が少ない場所に適応し
ているため、繁殖を抑えて育つ」難
培養微生物』という種類です。適
度な条件を与えてやれば、これま
でにない画期的な能力を発揮する
可能性ががあります。たとえば、下
水処理に使う活性汚泥の中ではさ
まざまな微生物が働いています

が、難培養微生物が共同して重要
な役割を果たしていることが考え
られます」と桂樹助教は説明
する。

「難培養微生物」の探索につい
て、桂樹助教は新しい方法を開
発した。土や水の中から有用な微
生物を選抜する通常の方法は、栄
養分を含んだ寒天培地の上で育て
る。その微生物が仲間を増やして
集団(コロニー)をつくり、研究に
使える十分な数に増えたところ
で、どんな性質を持つかをチェッ
クする。当然、この方法だと難培
養微生物は選択の網にかからな
い。桂樹助教は、その性質を逆
手に取って、「増えない」を選択基
準とする方法を考案した。

レーザー光で選別

まず、調べたい微生物が入った

直径数十ミクロンの球状の寒天培
地ビーズをつくる。培養すれば、
ふつうはその中で微生物が増えて
ビーズの中にびっしりと詰まる
が、逆に、増えなければビーズの中
に空白が残る。難培養微生物を見
つけるには、空白が大きいビーズ
だけを選べばよいわけだ。実はこ
の方法は、個々のビーズに微生物
の細胞が2個以上は入らないよう
にしなから、ビーズを大量に、簡単
に調製する装置を製作することが
できたことにより実現した。

選別には、フロイトサイトメーター
という装置を使った。その方法は、
ビーズを、微生物が光るように蛍
光染色し、毎秒数千個の割合で装
置に入れ、ノズルから噴出させる。
ビーズは一列に並んで流れ(「フ
ロー」)、順番にレーザー光にあた
る。ビーズの中の微生物が発する

桂樹 徹
助教

蛍光信号などのデータが測られ、
連動するコンピュータに送られ
る。あらかじめ入力してある、微
生物の性質を示すデータ(ここで
はビーズ内の細胞の数に応じた蛍
光強度)に合致するビーズ(細胞1
個分の蛍光強度)が通れば、その瞬
間に検出し、電氣的に撥ね飛ばし
て集めることができる。

このようにして、グループでは、
数十種類の難培養微生物を発見し
た。多くが「新属」、「新種」で、その
性質が明らかになりつつある。
「機能の解析や培養法の検討を

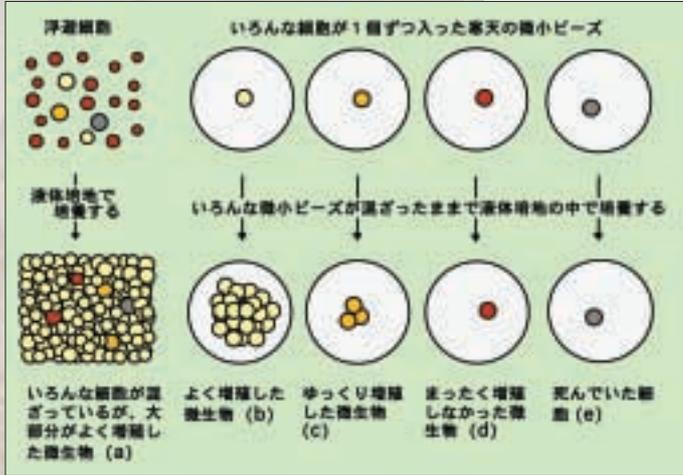
しています。思いがけない有用な機能があればいいんですが」と期待する。

自然界の機能を工業に

また、桂樹助教授らは、微生物が持っている効率的に特定の物質をつくる機能を化学工業に結びつけ、飛躍的に生産量を増し、環境改善にも役立つ方法を探している。

ふつうの化学反応では、同じ化学式でも立体的な構造が鏡で写したように左右反対の二種類の物質

が均等につくられ、一方はもともと自然界にはない物質なので製品としては要らないか、むしろ不純物として有害であるようなケースが多い。それに対して、微生物が酵素を使えば、反応は通常、自然界の物質と同じ側の世界で起こるので、必要な方の物質だけができる。この原理で、カビを使って医薬品の中間原料となる物質「1-フェニルプロパノール」などをほとんど無駄なくつくる方法も研究してきた。

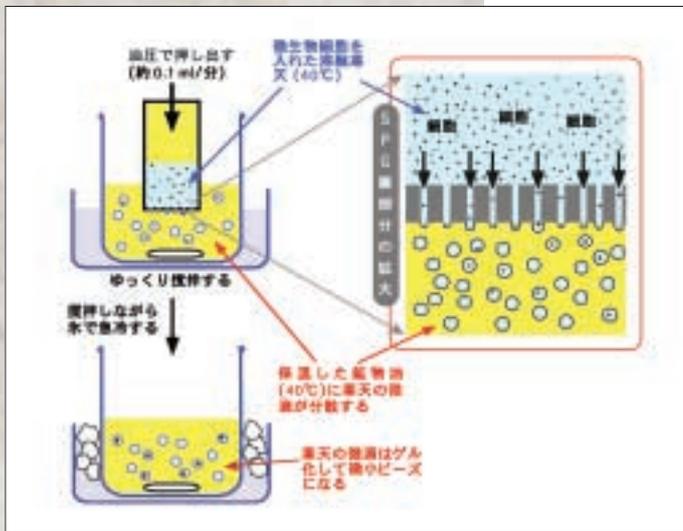


増えない微生物

微生物の集団を液体培地で培養すると、てんでに増殖して判別できない (a)

シャーレで寒天培地の表面に数百から数千個の細胞をばらまいて培養すると、細胞は個々に増殖して大小のコロニーができる。代わりに小さなビーズに閉じ込めて液体培地で培養すると、コロニーはビーズの中にできる (b~e)

フローサイトメーターを使ってビーズごとに細胞の「量」を測定すれば「難培養微生物 (d) を判別できる。



微小ビーズの作り方

寒天の微小ビーズのアイデアは新しいものではない。ゲル化する温度が低い特別な寒天を溶解し、40℃まで冷やしてから微生物の細胞を混ぜ込む。これを40℃に保った鉱物油に入れて激しく攪拌すると、寒天は油の中で無数の微小なゾルになり、これを冷やすとゲル化してビーズになる。しかし、この方法ではビーズの大きさがまちまちで、1個のビーズに1個の細胞だけを入れることがむずかしい。

わたしたちは孔径が均一な多孔質ガラス膜を使ってビーズの大きさを均一にすることを思い付いた。九州の石英質の火山灰(シラス)を焼結したものが開発されている (SPG膜: shirasu porous glass membrane)。寒天を鉱物油に入れてから分散させて細かくするのではなく、油の中に押し出しながら細かく分散させる。

微生物による環境の浄化も大きな課題だ。ポリバケツに使われるポリエチレンや、紙おむつの材料のポリアクリル酸ソーダなど高分子化合物は丈夫なだけに、自然界に廃棄されるとなかなか分解されない。これらを微生物に処理させ、あるいはリサイクルする研究も進めており、ポリアクリル酸ソーダを分解する細菌については、三種類の細菌が共同して働くことを突き止めた。これらの細菌がともに効率よく働くように活性化させる条

件が見つかれば、処理のスピードをあげることができる。未知の微生物との遭遇は、研究者に宝の山を掘り当てる醍醐味を感じさせるに違いない。

知の扉を開く。

NAISTの研究者たち

分子を操り、高機能を発揮させるモノづくり

物質創成科学研究科 反応制御科学講座

教授 垣内喜代三
助教授 中野 環

「現代の錬金術師のような醍醐味を味わっています。物質の分子の形（構造）をいろんな手法で操作して役立つように変えるモノづくり。自由自在に分子を作るテクニクや考え方を身につける楽しさがあります」と垣内教授は説明する。有機化合物を実際に合成するとともに、いかに効率よくつくるかという産業化のベースになる方法論を開発するのが研究室のテーマだ。

用件数が多い、もっとも重要な論文（VIP）に選ばれた。この研究を含む総説をインターネットに掲げると、ダウンロードが相次いだ。

とに成功した。

ものごとを別の角度から見ると「コロンプスの卵」ともいえる発想だった。実は、この金属触媒が錯体をつくる一方で、一酸化炭素の結合を促進することは別々に発表されていた。それらの研究結果を、新たな観点から統合し、とらえ直して発展させ、画期的な反応に結びつけたのだ。

「柔軟な考え方が必要です。固定概念の積み重ねではブレイクスルー（突破口）は得られません」と垣内教授は強調する。

自然界にない未知の物質の合成にも世界で初めて成功した。堤健助手の成果で、ゲルマニウム原子を炭素原子同士の三重結合を挟んで鎖のようにつないだあと、両端を合わせて環状に仕立て、四角形、五角形、六角形、八角形をつくった。（図2）ゲルマベリサイクリ

コロンプスの卵の発想

最近の成果で世界が注目した研究がある。有毒で扱いにくい一酸化炭素が必要な合成反応（カルボニル化）の過程で、これを単体で使わなくても安全で簡単に目的の分子がつくられる方法の開発だ。（図1）森本積助手が手掛け、ドイツ化学会に投稿したところ、引

このカルボニル化という合成反応は、もとの分子に一酸化炭素分子を加えて酸化するもので、食品や家畜飼料の防腐剤に使われるプロピオン酸など幅広い化合物の製造に不可欠だ。しかし、工場ではこのガスをボンベから取り出して使う際に安全を配慮した設備を設けなければならない。

森本助手らは、ロジウムという金属触媒がアルデヒド基という構造を含んだホルマリリンなど炭素化合物から、一酸化炭素を遊離させ、錯体という緩い結合パターンで保持することなどに着目。一酸化炭素の代わりにホルマリリンを使用し、水中で一連の反応をさせるこ

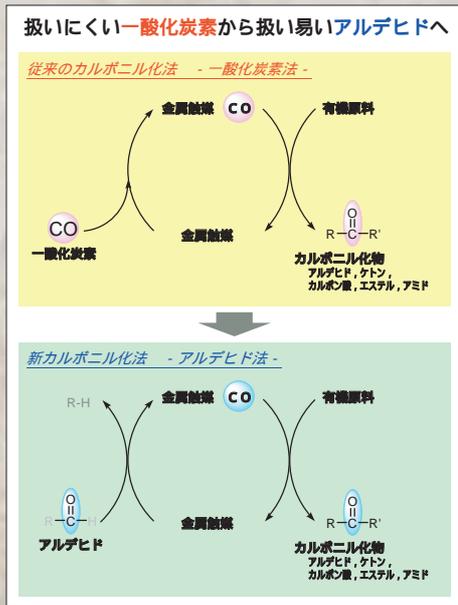
電気を通す高分子

一方、中野助教授は、金属のように電気（電荷）を通す高分子化合物を開発した。

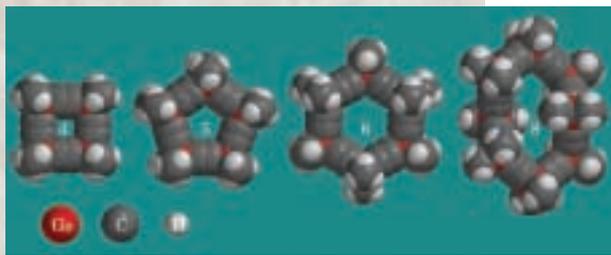
まず、プラスチック製品などに含まれる炭素が二重結合した「ピニル基」という分子構造に、（パイ）電子という自由に動き回る電子を持つ分子構造を組み合わせ、ジベンゾフルベン（DBF）という名前の分子を作った。（図



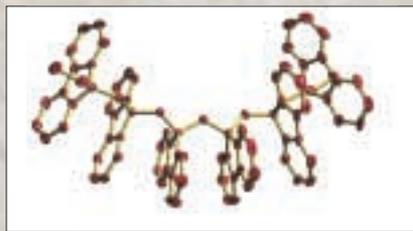
垣内喜代三教授



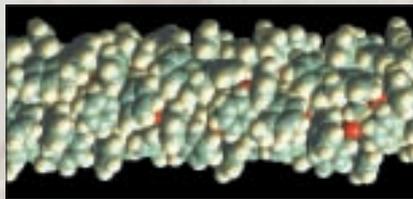
(図1) 新カルボニル化法の開発



(図2) ゲルマベリサイクリン



(図3) DBFポリマーの結晶構造



(図4) らせん構造をもつポリマー

3) この分子構造をくり返し結合させて高分子の連なりをつくったところ、分子の外側でDBFが積み重なったように規則正しく並んでいないのだが、ぴったりくっついた分子間を電荷は飛びわたって流れ、電荷が通るのだ。

これは「スタック型」といわれる分子構造で、同じ構造は生物の遺伝情報を伝えるDNAしか知られていないだけに、思いがけない特性を持っている可能性は高い。

「金属ほどではないが、いわゆるビニールの仲間の高分子としては『電荷の通り具合』が良い材料です。物理的な性質がはっきりわかっていないので調べるとも

に、構造を改良してもつと導電性が高い物質をつくりたいと思います。」と中野助教授は抱負を語る。

応用面での用途は幅広い。電気を通す高分子は、ノーベル化学賞を受けた白川秀樹 筑波大学名誉教授の業績で知られ、これまでの物質は黒い粉末だったが、今回は無色の粉末だ。透明なシート状に加工して車の窓ガラスに貼り電子表示板にするなど新たな利用の方法が考えられる。

中野助教授のもうひとつの大きなテーマは、分子の立体構造が左巻きの配列が右巻きが見分ける、らせん状の高分子の研究だ。(図4) 化学合成する場合、分子の配

列が同一でも立体的な構造が逆の分子が同時にできてしまうことが多い。とくに医薬品では、自然界に存在する一方の方向の物質だけが必要だ。

このため、合成法や触媒を工夫して一方向の物質をつくる方法が盛んだが、中野助教授は左右両方向の物質が混ざる溶液の中から、目的の方向の分子だけを選び出せる高分子を作っている。

らせん状の高分子なので、どの部分をとっても立体的なねじれ方向は一定で、この高分子とうまく結合するかどうかによって一定の方向の分子を選び出すことができる。しかも、これまでのこの種

の高分子よりも安定で壊れにくく、しかも適用範囲が広い、という。

中野助教授は「高分子は長い鎖状のものかららせん状のものまで構造を変えることによってさまざまな特性を発揮します。何か役に立つものがないかと常に考えています。」と話している。



中野 環 助教授

世界初の救急支援画像配信システム

開発に着手

生駒市消防本部との共同研究



情報科学研究科インターネットアーキテクチャ講座

教授 砂原秀樹

情報科学研究科インターネット工学講座

助手 森島直人

情報科学研究科視覚情報メディア講座

助手 神原誠之

奈良先端科学技術大学院大学は、救急や消防活動を支援するため、現場の状況把握に必要な画像を配信するシステムについて、生駒市消防本部と共同研究することになった。

開発するシステムは、救急隊員や消防隊員が作業服に装着し撮影できるウェアラブルコンピュータのシステム。さらに救急車や消防車と消防本部が交信し、操作できる次世代インターネット通信のシステムで構成される。ウェアラブルシステムは、

薄板状の眼鏡型モニター画面などを備えた装着型のコンピュータとカメラで、作業に当たる隊員の邪魔をすることなく患者の様子や火災現場の様子を動画で撮影することができる。これらの画像は車に積んである画像の発信装置となるサーバを経由して、インターネットで消防本部のサーバに蓄積される。

状況を把握したりするために用いられる。これまで画像を送信するシステムはあつたが、走行する車内から多量の精密な画像情報を配信、蓄積したうえ、必要に応じて自由に引き出せるシステムは初めて。また、インターネットを用いた病院の医師や司令本部の指示を隊員に伝達することも可能。必要な場面を指示通りに撮影して送ることもできる。救急・消防活動の機動性を増すなど一層の質の向上が期待される。

このシステムの通信基盤となるのが、次世代インターネット通信システム（IPv6）。これまで一般化している方式（IPv4）の機能を上回り、隊員が装着するウェアラブルシステムを通信で接続するだけでなく、車内に設置されるGPS（全地球測位）センサや車載サーバ、各種医療機器を個別に接続しインターネットを通じて消防本部や病院と交信し操作するというやりとりを可能にする。

接続技術としては、通信状況に応じて自動的に接続方法を変えられるようにPHSと無線LANという二つの通信方法を組み合わせており、これらを通信が途絶えることなくスムーズに利用できる。これらのシステムが扱う個人情報については、安全で漏れない通信を行えるように配慮している。

なお、次世代インターネット通信システム構築にあたっては(株)インターネットオートモビリティ研究所とモビリティ研究所及び情報WIDEプロジェクトと協力して研究開発を行う。



システムの説明をする砂原秀樹 教授（左端）

IPv6

IPv6はInternet protocol Version6の略である。インターネットプロトコルとは、インターネットの基盤として共通的に使われている通信手順（プロトコル）の名前。現在一般に使われているものは、バージョン4であるが、これの次のバージョンがIPバージョン6である。IPv6では、大規模なアドレス空間（およそ十の三十八乗）を提供するだけでなく、パケット（通信の内容）そのものを暗号化してセキュリティを強化する。移動するノード（機器）やネットワークとの通信支援機能を有するなどの特徴を持ち、今後のインターネットを支える中核の技術となる。

(株)インターネットオートモビリティ研究所

WIDEプロジェクトにおいて、本学および慶應義塾大学を中心として行ってきた自動車等の移動体をインターネットへ接続する技術に関する研究開発の効果を、実社会に適用するために設立された。本学教授砂原秀樹は取締役を務める。

WIDE プロジェクト

現慶應義塾大学教授の村井純氏、本学教授山口英、砂原秀樹らが、コンピュータコミュニケーションを基盤にした新しいネットワーク環境の構築をテーマとして、一九八八年に創始した研究プロジェクト。大学などの学術機関や企業など百を超える機関が参加している。（参考：<http://www.wide.ad.jp/>）

IT分野の人材養成に強み NAISTのIT教育が最高の評価！

経済産業省実施の大学活動評価手法調査結果より

大学・大学院のIT(情報技術)人材養成がどれだけ産業界のニーズに合っているか？

経済産業省が「人材育成評価推進事業」の一環として、大学の教育、研究、社会貢献活動や産業競争力向上につながる人材づくりなどについて評価するための調査を行ったところ、大学院部門で奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科の3専攻が上位5%に入る「A+」という最高ランクに格付けされた。本学は、研究論文の被引用数でも世界ランキングの上位に位置することが明らかになっており、産学連携がベストな形で進んでいることを示している。

大学・大学院で行われている人材養成の評価は、即戦力を求める産業界だけでなく、社会へ大学ブランドをつけて人材を送り出す大学経営者にとっても気になるところ。学生や保護者も関心が高いが明確な指標はなく、基礎研究の評価と同時に産業に役立つ応用研究や企業研究者の養成、産学連携の振興に役立つデータが求められていた。

こうしたことから、経済産業省が、産業競争力向上につながる人材養成、優れた技術シーズの研究開発、産学連携への取組体制を促進しようと実態を見極める評価手法の調査を行っている。

今回の調査は、IT分野において産業界が求める人材像を明確にした上で、それぞれのイメージごとに大学の教育内容がどの程度産業界のニーズを満たす内容になっているかを評価する手法の開発を目指して行われた。

具体的には、IT分野を57職種の人材群にグループ分けし、各グループで必要とされる知識要素(講義等を通じて習得する知識)、スキル・行動特性(教育活動を通じて取得する能力)の2要素について重要度を設定。この2要素について大学・大学院の学科・専攻で実施しているカリキュラムや教育上の工夫を数値化したものと比較することによって、マッチング度合いを評価した。

奈良先端科学技術大学院大学で対象となった情報科学研究科の3専攻(情報処理学専攻・情報システム学専攻・情報生命科学専攻)は、知識要素に関しては「情報基礎理論」、「音声・画像処理」、「セキュリティ」、「ネットワーク」の知識習得、スキル・行動特性では「先見性」、「責任感」、「独創性・創造性」、「協調性」の能力取得の面で高く評価された。

また、大学院修士修了以上卒の人材を中心としている37職種の人材群とのマッチング度合いでは、全ての人材群との間で大学院288専攻科の上位5%のみに与えられる「A+」という最高の評価を得た。

本学の教育研究は、商品化に直接は結びつかない基礎研究を主としているが、この調査で産業界のニーズに非常にマッチしていると高く評価されたことから、教育研究の柱のひとつとして産学連携にシフトし、産業界に奈良先端科学技術大学院大学を強くアピールするという点で、今後の躍進に弾みがついた結果となった。

詳細は <http://www.univinfo.jp/rating> で閲覧可能。

情報科学研究科 <http://isw3.naist.jp/home-ja.html>



ナノテク革命を勝ち抜く！

ビジネスマンのためのナノテク入門

桐畑哲也 編著 / 久保浩三・戸所義博・岩田章裕 著

発行 2005.4.1 / 価格 1,800円(税別)

出版社 講談社

いまやナノテクノロジー(超微細加工技術)は、IT、バイオなど先端科学技術研究のあらゆる分野に深く関わり、革命といわれるほどの変化を起している。「その優れた技術をいかにビジネスの成功に結びつけるか」。ナノテク関連ではおそらく初めてビジネスの視点から概観した本書は、逆に技術の全体像やビジネス化するさいの問題点を浮き彫りにした。

ナノテクビジネスの進展に伴い、大学の基礎研究の重要度は増してくる。そこでは、時に研究成果が生かされない「死の谷」の苦しみを味わうが、本書は困難な状況を打開するための豊富な具体例を盛り込んだ指南書にもなっている。

先端科学技術研究調査センター <http://ipw.naist.jp/cast/>

BOOKS



NAIST

奈良先端科学技術大学院大学
Nara Institute of Science and Technology

発行/平成17年9月
企画・編集・発行/奈良先端科学技術大学院大学企画室広報・情報管理室

〒630-0192 奈良県生駒市高山町8916-5
TEL:0743-72-5026 FAX:0743-72-5009
E-mail:s-kikaku@ad.naist.jp URL:<http://www.naist.jp>

