

理研ニュース

No.158 August 1994

理化学研究所

2 ● 研究最前線

宇宙空間並みの世界最高レベルの極高真空を実現

6 ● TOPICS

What's the "Spin Physics Project" ?

理研の主な公開特許

伊藤正男国際フロンティア研究システム長、

第二十代日本学術会議会長に就任

新主任研究員紹介

8 ● 原酒

モズの技



極高真空研究装置(記事は2ページ)

宇宙空間並みの世界最高レベルの極高真空を実現

精密な真空計測法も確立

表面界面工学研究室と研究基盤技術部極限環境技術室では、宇宙並みの極高真空を短時間に実現する技術と、それを確認する正確な圧力計測法を開発し、このほど、 7×10^{-11} パスカルの極高真空の達成に成功した。

7×10^{-11} パスカルの圧力とは、大気圧の1京(1億のさらに1億倍)分の7に相当し、1立方センチメートルの空間に原子や分子が1万個程度しか存在しない超清浄な環境である。この環境は、原子レベルでの超微細加工や半導体および金属表面の研究などに利用される基盤技術として注目が集まっている。

しかも、今回の装置は、わずか15時間で極高真空を実現できるのが大きな特色なので、実用化への期待はきわめて大きい。

表面界面分析のニーズから極高真空に挑戦

真空を発生する技術は、半導体素子をはじめとするさまざまな材料開発や表面科学、基礎物理における基礎研究にとって必要不可欠な基盤技術である。

たとえば単結晶の新鮮なへき開面(割れた断面)の分析を行う場合には、余計な物質が付着しないために清浄な真空の環境が必要になる。そこで、表面界面工学研究室と研究基盤技術部では、 10^{-9} パスカルの超高真空を実現していたが、最近では研究の高度化にともなって超高真空よりはるかに圧力が低い極高真空を容易に発生する技術の開発が望まれるようになってきた。

このために、1988年に発足した研究基盤技術部では、「極高真空技術の開発」を取り上げることになった。また、これと時を同じくして、科学技術振興調整費によるプロジェクト「極高真空の発生・計測・利用技術の開発に関する研究」もスタートし、本格的に研究に取り組むことになった。

極高真空とは 10^{-10} パスカル以下の圧力をさす。ちなみに一般になじみの深い真空管やブラウン管の圧力は $10^{-4} \sim 10^{-6}$ パスカル程度である。

容器から発生するガスとの闘い

極高真空を発生させるには、次の2点が重要である。第1は、真空容器からのガス放出速度が小さいこと。第2は、低い圧力領域でも排気能力のあるポンプを使用することである。

図1

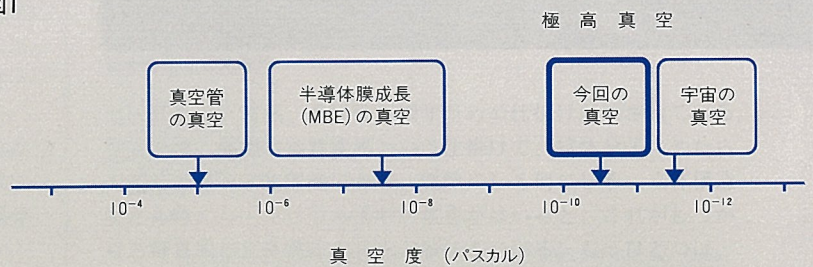
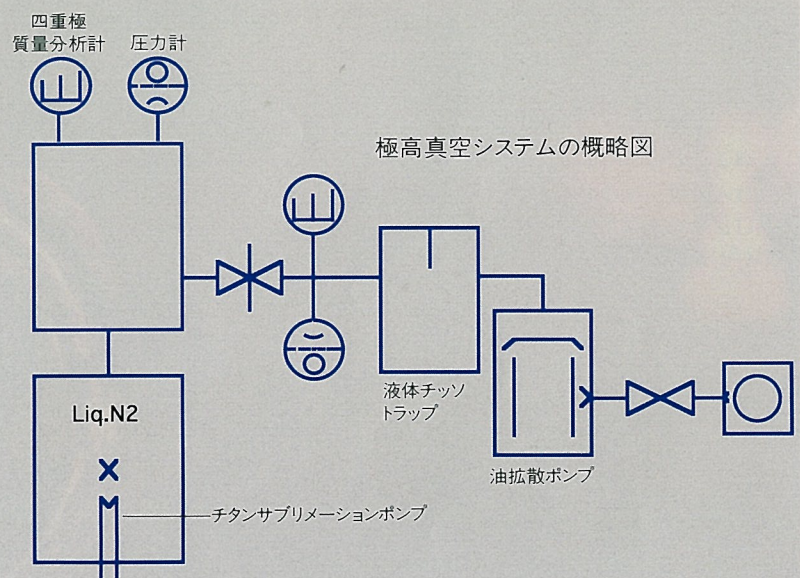
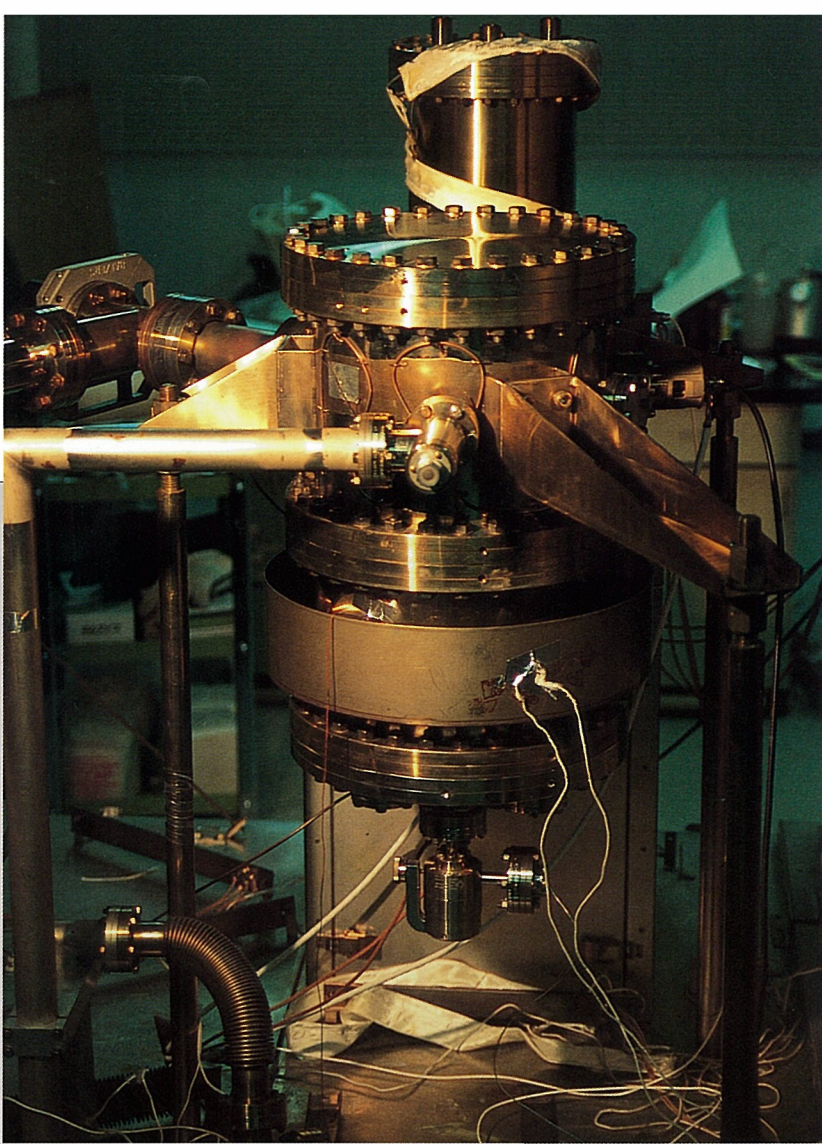


図2



真空容器からのガス放出とは何か。大気圧から排気する場合、最初はロータリーポンプで排気(体積排気)を行う。次に、ターボ分子ポンプまたは油拡散ポンプでの排気に切り替える。すると、真空容器表面に吸着している分子が脱離をはじめます。これがまず最初のガス放出である。この場合の放出ガスは、ほとんどが水分子である。したがって、ベーキング(真空加熱)によって強制的に吸着水分子を脱離しながら排気することで、このガス放出はクリアできる。しかし、超高真空領域になると、容器材料中に溶在しているガスが個体内拡散によって真空側に放出されるようになる。つまり、「極高真空」の実現には「表面脱離」と「拡散」と闘わなくてはならない。

したがって理想的な真空容器の材料は、以下に示



研究装置全景



電解研磨した容器内面

したがって、真空容器として理想的にするには、この加工変質層を除去する必要がある。ただし、切削で削りとっても、結局は新しい加工変質層を作るだけである。そこで、本研究では、表面処理に電解研磨法を選んだ。材料を溶解しながら平滑化する電気化学的な加工方法である。これにより、ステンレス鋼の加工変質層の除去と平滑化が行われ、表面近傍のガス溶存量が著しく減少した。また、X線光電子分光法による分析で表面がクロム酸化膜 (Cr_2O_3) で覆われていることがわかったが、これは表面が不活性で、吸着した分子が脱離しやすいことを意味する。また、このクロム酸化膜は、材料中の溶存ガスが真空中に放出されるのを阻止する拡散障壁としても機能すると考えられる。

本研究では、1989年に、このような処理を施した材料を使って、体積50リットル、内表面積7,400平方センチメートルの真空容器を試作した。そして、十分なベーキングにより脱ガスした後、まず油拡散ポンプによる排気試験を行った。

同試験では、排気の過程でベーキングを行わない場合と行う場合とで試験を行った。前者では、排気開始後72時間で圧力は 1.8×10^{-8} パスカルの超高真空に達した。後者では、排気開始48時間で、油拡散ポンプの排気能力の限界である 5.4×10^{-9} パスカルに達した。この結果から、容器表面からのガス放出が所期の目標通り小さくなっていることがわかった。

極高真空を実現したが

油拡散ポンプでは 10^{-9} パスカル台まで排気できたが、さらに圧力を下げようとするれば、より低い圧力領域でも排気能力のあるポンプを使用しなければならない。そこで、チタンサブレーションポンプを使用する。これは、真空容器内の一部に活性なチタン蒸着面を作り、真空中を飛び回っている分子をチタン蒸着面に吸着させる。つまり、真空中の分子をチタン蒸着面に次々と捕獲することで、圧力が下がるのである。

いよいよ極高真空への挑戦である。しかし、チタンサブレーションポンプを動作させても、なかなか圧力が下がらなかった。そこで残留ガス分析を行うと、チタンを蒸着する前にはなかったアルゴンやメタンが確認できた。これらはチタンフィラメントの製造時に混入したものがガス放出したと考えられる。そ

す条件を満足しなければならない。

- 1 表面粗さが小さい (吸着面積が小さい)
- 2 表面にガスが付着しにくい
- 3 表面のガスが脱離しやすい
- 4 材料中のガス溶存量が少ない
- 5 材料中のガスが拡散しにくい

ステンレス鋼を電解研磨法で表面処理

真空用構造材料には、ステンレス鋼とアルミニウムが使用される。今回はステンレス鋼の圧延材を使用した。しかし、圧延工程において、材料表面は加工変質層で覆われ、材料表面層内部にガス源となる不純物が混入する。さらに、材料を電子顕微鏡で観察すると、表面がかなりでこぼこしているのがわかる。

ここで、5時間間隔でチタンの短時間蒸着を繰り返すことによって、ようやく圧力が下がりはじめた。チタンが吸着するガスと放出するガスとを比較すると、吸着能力が上回ったわけだ。事実、残留ガス分析で、アルゴンガスが減少しているのが観察された。

排気開始後6日で 10^{-10} パスカル台に入り、排気開始後8日目にチタン蒸着面を液体チッ素で冷却すると、エクストラクターゲージのデジタル表示は0を示した。極高真空の達成である。

この過程でチタンを繰り返し短時間蒸発させていたため、チタンからのガス放出が減り、残留ガス分析でアルゴンガスが確認できないまでになった。

そこで、この低ガス放出化したチタンサブリーメーションポンプを使用して、再度、極高真空に挑んだ。その結果、排気開始24時間以内でエクストラクターゲージのデジタル表示が0を示した。当時、極高真空に挑戦し、その発生に成功したグループがすでにあつた。しかし、排気時間に100時間以上を要していたので、この時点で1/4の時間にまで短縮したことになる。

ところで、エクストラクターゲージのデジタル表示が0を示したといっても、 10^{-11} パスカル台になっているとは限らない。何らかの方法で 10^{-11} パスカル台の圧力を測定することが次のテーマとなった。

極高真空の圧力計測

通常、真空の圧力計測には、熱陰極型のイオンゲージが用いられる。熱フィラメント（カソード）から電子が放出され、グリッド（アノード）内の分子と衝突してイオン化を行い、生成されたイオンをイオンコレクターを通してイオン電流を読み、その電流を圧力に換算する仕組みである。しかし、一般の熱陰極型のイオンゲージでは、極高真空の圧力を測定できない。その原因は以下の3点である。

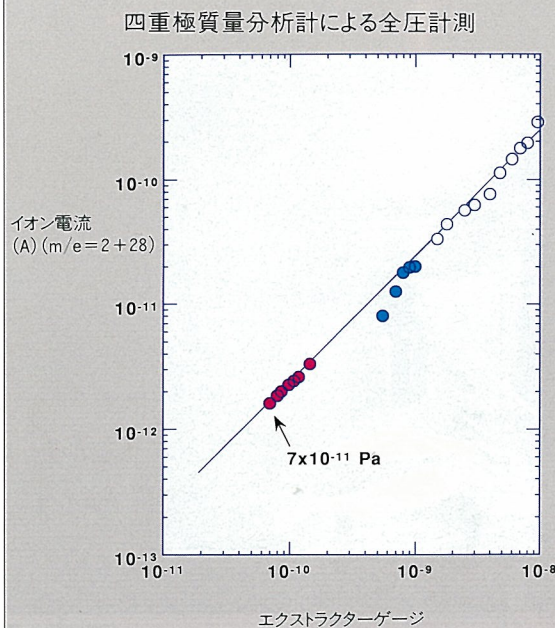
1 軟X線効果による測定限界

フィラメントから放出された電子の一部がグリッドを叩くと、X線が発生する。このX線がイオンコレクターに当たると光電子が発生する。これによる電子電流が圧力を読む誤差につながる。

2 電子衝撃脱離イオンによる測定誤差

グリッドに吸着している分子が電子衝撃によって脱離する。脱離した分子は中性分子または陽イオンになる。この陽イオンを圧力として読んでしまうことから生ずる誤差で、極高真空領域

図3



では無視できない。

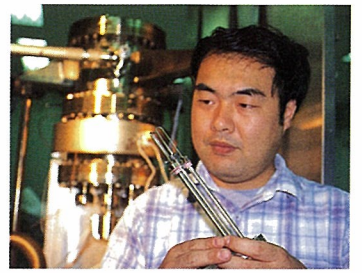
3 フィラメントからのガス放出速度

一般のイオンゲージでは、フィラメントからのガス放出が大きすぎて、圧力が極高真空まで下がらない。

第1の問題を解決するために、圧力測定に4重極質量分析計を採用した。イオンコレクターがグリッドから離れているため、軟X線効果が著しく低くなるからだ。

第2の問題の解決のため、計るべき真空容器内の気相イオンと電子衝撃脱離イオンを分離することにした。2種類のイオンの相違は運動エネルギーである。そこで90度偏向の偏向板を用いてエネルギーにより分離し、気相イオンのみを測定できるようにした。

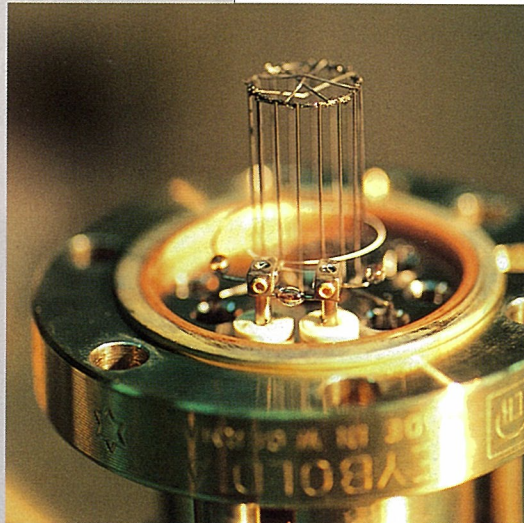
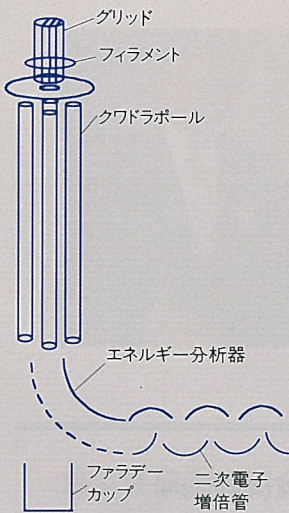
第3の問題は、フィラメント電力を可能な限り小さくすることと、発生熱の除去によって解決した。その点を考慮して、酸化トリウムで被覆されたイリジウムフィラメントを選択した。また、発生熱の除去は、フィラメントサポート部を大きな線径の銅を



渡部技師

図4

四重極質量分析計の概略図



エクストラクターゲージのイオン源

用いて、電流導入端子につなぐことによって行った。

以上の対策により、4重極質量分析計で極高真空を乱すことなく、気相イオンのみを測定できた。そこで、真空容器内のガス種ごとの分圧を測定し、その総和としての全圧を測定し、 7×10^{-11} パスカルの極高真空の達成を確認した。

ステンレス鋼からのガス放出はほとんどが水素

今回の研究では、いくつかの発見があった。

ステンレス鋼製の真空容器内の分圧を調べると、水素、一酸化炭素、二酸化炭素が観察できる。これらは、従来、ステンレス鋼からのガス放出と考えられてきた。しかし、4重極質量分析計をオン・オフさせた場合の残留ガス分析から、イオン源からの放出ガスの種類と量を調べると、一酸化炭素および、二酸化炭素はイオン源からのガス放出であり、ステンレス鋼からのガス放出はほぼ100%が水素ガスであることがわかった。

また、イオンのエネルギーによる分離では、水素分子の場合には気相のイオンのスペクトルのみが観察された。一酸化炭素の場合はスペクトルが2つ現れ、低エネルギー側が気相イオンであり、高エネルギー側が電子衝撃脱離によるイオンである。ゲージの脱ガスを行うと、電子衝撃脱離イオンは減少した。

グリッドにロータリーポンプの油を吸着(汚染)させて、エネルギー分析を行うと、水素分子の場合でも、スペクトルが2つ現れ、電子衝撃脱離イオンが存在することがわかった。

以上が極高真空プロジェクトの主な成果である。また、最近では、15時間以内で極高真空に到達した。さらに、ベーキングなしの排気でも極高真空に到達できた。これにより、例えば走査型トンネル顕微鏡のような精密機器を真空中に入れる際でも、ベーキングによる熱の影響を考慮しなくてすむようになる。

極高真空の可能性に向けて

ステンレス鋼からのガス放出はほぼ100%が水素であることから、水素ガスに的を絞った対策を行うことで、さらに1~2桁圧力の低い極高真空を実現できる可能性があり、現在、検討中である。

また、極高真空を利用できる技術の確立も重要である。今後は、極高真空を種々の実験に利用できるようにしていきたい。

なお、極高真空技術の応用面としては、例えば、半導体プロセスにおける高純度ガスの配管系などに低ガス放出材料として電解研磨処理したステンレスパイプが使用されている。その他、あらゆる産業面での貢献が期待される。

表面界面工学研究室 主任研究員 青野 正和
研究基盤技術部 極限環境技術室 技師 渡部 秀



青野主任研究員

What's the "Spin Physics Project"?

理研では「スピンフィジックス プロジェクト」という計画を進めています。これは、平成7年度から、米国ブルックヘブン国立研究所（BNL）と「スピンフィジックス」に関する国際研究協力をスタートさせるため、予算要求中の生まれたばかりのプロジェクトのことで、

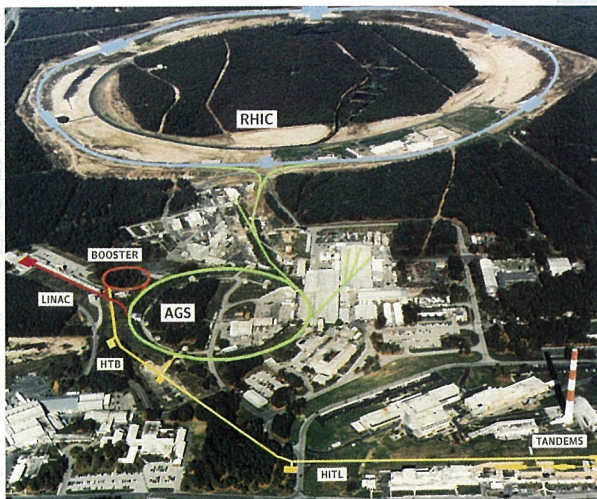
スピンフィジックスとはまた、耳慣れない単語ですが、究極の粒子とされるクオークや、クオーク同士を結びつけている糊のような粒子グルーオンの働きを、

粒子の回転運動（これがスピン！）を手がかりに、解明してしまおうというもの。すなわち、スピンに着眼した物理学だからスピンフィジックスというわけ。

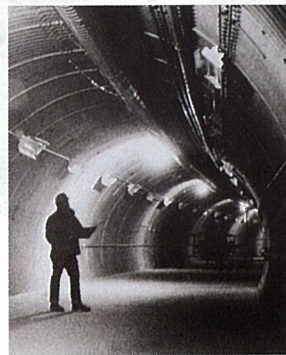
「シンプルイズベスト」の命名ですが、これが、なかなかのグレモノで、何故クオークというもの陽子や中性子のなかに閉じ込められているのか？ 物理学の根源的テーマである「物質はどのようにしてできたか」や「質量はいつ生まれたのか」という難問の解明が期待さ

れているのです。この研究には、現在BNLにより建設中の、理研のリングサイクロトロン約千倍ものエネルギーまで重イオンを加速できる衝突型加速器「RHIC」(1999年完成予定)がどうしても必要。そこでBNLとの国際研究協力を、というストーリーなのです。

羽ばたけスピンフィジックス ロングアイランドの空に！不死鳥の輝く如くに…。どうか読者の皆様も、暖かく見守って下さるようお願い致します。



RHIC計画予定地全景



RHICのトンネル内部(周囲約7.8km)

理研の主な公開特許

- H5-326412 化合物薄膜形成方法

半導体工学研究室 青柳 克信、岩井 荘八
レーザー科学研究グループ 目黒 多加志
薄膜中の炭素成分濃度が低減化し、結晶欠陥のない品質が向上した化合物薄膜の形成方法。
- H5-333158 放射線検出装置

放射線研究室 鈴木 昌世、熊谷 秀和
中性子線を高感度で、かつ、高い位置精度で検出することができるのと同時に、X線も検出することができ、かつ、これらの放射線を弁別可能な放射線検出装置。
- H6-13322 ヘテロ構造の作成装置

半導体工学研究室 張 随安、青柳 克信
従来に較べて短時間でヘテロ構造を作成することができ、かつ、基板およびヘテロ構造に加わるダメージを低減することのできるヘテロ構造の作成装置。
- H6-24807 フッ化物ガラスの製造法

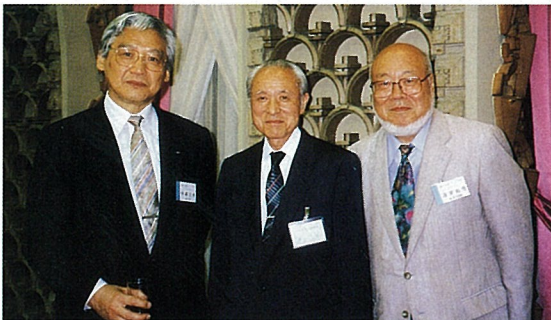
生体物理化学研究室 戴 義生、高橋 勝緒
光工学研究室 山口 一郎
光学特性を損なうことなく、耐水性に優れたフッ化物ガラスを簡便な低コストプロセスとして実現。

伊藤正男国際フロンティア研究システム長、第二十代日本学術会議会長に就任

伊藤システム長は、7月25日、日本の学術研究者の代表機関である日本学術会議の第二十代会長に選出され、就任しました。会員を二期六年経験し、学術会議の担う役割の重要性を痛感したという伊藤システム長は、就任にあたり、会議の審議結果を実効性のあるものとし、日本の学術の国際化、情報化、充実化を図りたいと抱負を語りました。専門である脳神経生理学の研究者としての活動と平行して、実務レベルでの活躍が期待されています。



7月26日に首相官邸で行われた日本学術会議の懇親会で村山首相（前列左から3人目）と並んで記念撮影（首相の右隣りが伊藤システム長）



首相官邸での一コマ
(左端が伊藤システム長)

新主任研究員紹介

ライフサイエンス筑波研究センター 真核生物研究室 主任研究員 林崎良英

生物の遺伝情報を全て解き明かそうという野心的な試みがゲノムプロジェクトと銘打って計画されて久しくなりますが、当初は殆ど現実的なものと思われませんでした。しかし、世界的な研究は大変急速に進み、最近になって着々とその成果が出つつあります。

塩基配列を解読して1冊の辞書を作ることだけがゲノムプロジェクトの唯一の目的であると誤解される側面がありますが、そのプロジェクトの進行により高速DNA解析技術の開発が進み、生物医学分野の研究のスタイルそのものを変えることも明らかです。仮に1冊の辞書が完成してもそれだけでは不十分で、機能遺伝子を探索する技術があってはじめてゲ

ノム構造を機能と結びつけることができます。

その高速DNA解析技術のひとつとして我々が提唱したのが、ゲノムの物理的状態をその全体にわたってサーベイする“ゲノムスキャンニング”という概念です。そして、多数の遺伝子座位を1回の操作で解析できるマルチプレックスな“ゲノムスキャンニング”の方法として、“RLGS; restriction landmark genomic scanning法”を開発しました。制限酵素の認識部位をランドマーク(restriction landmark)とする新しい概念に基づき、このランドマークを直接末端標識して高分解能二次元ゲル電気泳動法で展開する方法です。これにより、任意の生物で全ゲノム地図

を高速に作製することや、分化老化の研究や癌におけるDNAの変化を検出して癌遺伝子にせまることができるようになりました。

理化学研究所では様々な分野の研究室がアクティブに活動していますので、できるかぎり多くの研究者の方々と連携し、ゲノム解析に必要な技術開発とその応用を車の両輪として、生物医学、農学、工学のあらゆる分野に影響をあたえるゲノム科学に貢献してゆきたいと考えています。





モズの技

一直線に飛んでいったモズ（と信じている）が壁の手前でスーッと浮き上がったと思ったら、実に巧みに進路を変えて、外郭環状道路の防音壁を越えて行った。目のなかでモズの飛行跡は、直線から美しい非線形の残像となってよみがえる。思わず、「巧い！」と、感じる。

科学技術を尽くしたどんな巧緻な作品(?)でも自然の造形にはかなわない、とあっさり言い切ってしまうことが、世間では一種の常識になっている。生物学なぞをバックグラウンドとしてきた人間として、まあ、良識かなとも思う。しかし、知恵をしばって構築したコンピュータグラフィックスの蛋白質をじっと見つめていると、正直なところコンピュータの作ながら、あらためて鑑賞に値すると思う。これは、鼻負がすぎるだろうか。

抗体という蛋白質はBリンパ球という白血球の一種が作り出す免疫系の大事な機能素子である。抗体は、この宇宙に無限に存在するであろう抗原を見事に識別して特異的に結合する部分を分子上に持っていて、結合により外来の毒素を中和したり、細菌やウイルスを不活性にしてくれる。このために、Bリンパ球は、今では生物学の常識となった免疫グロブリン遺伝子の再構成という劇的な過程をへて、多様な識別構造を抗体蛋白質の分子上に作りあげるわけだ。でも、このために使われている遺伝子の基本セットは意外に少なく、配列のよく似た遺伝子が数百だ。従って、多様な識別の機構を作り上げる部品というべき構造も、基本はあまり多くないのだ。大きな声では言えないが、そんな幸運に助けられて、現在のホモロジーモデリングの技術でも、どうやら配列情報からの立体構造予測がさまになっているのかもしれない。そうは言っても、あまり多くない部品を使って多様な識別構造を作りあげるのには手品師だって無理



空から見た和光本所

というもの。当然、多様性を増すための仕掛けは隠されている。ひとつは、体細胞突然変異という仕掛けで、抗体分子にやたらと起こるアミノ酸置換である。偶然にしろ何にしろ、立体構造をとる時にループになる場所に変異がはいると、これがしっかりと特異的な立体構造に変化の妙味をつける。もうひとつは、抗体の材料が蛋白質であるということ。生体内で蛋白質が「ゆらぐ」という話を聞いたことのある方も多いことだろう。抗原と抗体が結合する際には鍵が鍵穴にカッチリと納まるというイメージではなく、最近では、抗体の結合部位がわずかに柔らかくなって、抗原にフィットしてしまうと考えられるようになってきた。うまい訳語が見つからないが、これは **Induced fit** と呼ばれている。柔らかな手袋に手を入れると、ぺちゃんこだった手袋は多少伸び縮みをして5本指の複雑な形にフィットする。フィットしたら、めったに脱げてしまうことはない。では、ごわごわの材質で6本指の手袋をつくったらどうなるか。指を入れるのに苦勞するし、手を傾けたらスポンと脱げてしまうかもしれない。抗原と抗体が結合するイメージは鍵と鍵穴というよりは、いろいろな形と固さの手袋をはめるようなものらしい。

蛋白質が不定形のコロイドと考えられていた20世紀のはじめごろ、鑄型説というのがあった。白血球表面の抗体様の蛋白質が、抗原に出会って結合すると鑄型のように構造を変化させ安定化するのだ。抗体はあらゆる異物を結合できる、というのだ。そもそも、抗原と結合できるかどうかの理屈は怪しいもので、現代の分子生物学者が聞いたら笑止千万の理論であるが、特異的結合の瞬間に限って言うなら、フィットする事により構造エネルギーの最適化が起こる、とも受け取れるので、あながちデタラメとも言えない。コンピュータで抗体分子の結合部位のゆらぎをシミュレーションしてやると、柔らかくフィットすべき箇所の一瞬のゆらぎを映像として眺めることも可能だ。抗原に親和性の高い抗体分子では「巧い」ゆらぎがあるらしいことも少しずつわかってきた。この映像、見事に美しいのだが、自然界でも同じように振る舞うかということ、今のところ保証まではできないのが少々さびしい。

丈高き壁を越えたり百舌鳥の技 今日生命を描きけるかな

星雨子



研究室のスタッフと



筆者近影

ライフサイエンス研究情報室／先任研究員 志村純子

編集後記

研究最前線では「宇宙空間並みの世界最高レベルの極高真空を実現」を掲載しました。理論と技術が相俟って実現した「極高真空」は超清浄な環境として、原子レベルでの超微細加工などへの実用化が期待されます。

リ研ニュース No.158 August 1994

発行日：平成6年8月15日

編集発行：理化学研究所開発調査室

〒351-01 埼玉県和光市広沢2番1号 電話(048)462-1111(代表)

制作協力：株式会社エフビーアイ・コミュニケーションズ