



RIKEN ニュース

理化学研究所

バイオ医薬生産用の新しい宿主動物細胞

最小必要限度の既知成分からなる安価な培養液で増殖できるバイテク用細胞を開発した。いま世界中で使用されているサル細胞の子孫で、使いやすく改良されている。

バイオテクノロジーはいまや我々の生活のさまざまな面に顔を出すようになってきているが、特に医薬の分野では、革命的な状況が進行しつつあることはご存知の読者もあるに違いない。例えば癌の場合では、運悪く手術で完治できる見込みのない進行癌には放射線と制癌剤を併用することになるが、放射線も制癌剤も癌のみならず正常な組織細胞も破壊する危険な作用を合わせ持っている。もっとも打撃を受け易いのは骨髄細胞で、骨髄がボロボロになるくらいの強烈な薬剤でなければ、癌には効かないと明言する医学部教授もいるくらいである。骨髄がダメージを受けると白血球ができず、感染症や出血で直ちに死に直面する。

しかし、本年12月に発売された顆粒球コロニー刺激因子(G-CSF)を用いると、ボロボロになった骨髄からでも白血球を再生させるすばらしい能力があるため、医師は安心して制癌剤治療ができるようになった。むしろ骨髄再生能力をあてにして、

G-CSFなしでは致死量となる大量の制癌剤を投与してしまう薬物療法まで現れた。このG-CSFが、組換えDNAを導入した哺乳動物細胞を宿主として、大量細胞培養法で生産されているのである。

哺乳動物細胞の大量培養によって生産されているバイオ医薬品は、他にもウイルス病に効くインターフェロン、心筋梗塞に使うティッシュプラスミノージェンアクティベーター(TPA)、悪性貧血症の治療薬で赤血球を劇的に増やすためスポーツ選手が秘かに使っているとの噂があるエリスロポエチン(EPO)等があり、医薬品として認可される以前のもを入れれば爆発的に種類が増えつつある。

さて、このようなバイオ医薬品生産に使われる宿主動物細胞を見てみると、現在はほとんどが培養液中に血清(それもウシ胎児血清という特殊なもの)を添加した培養液で培養されている。ウシ胎児血清は高価で、500mlあたり25,000~30,000

円もする。10トンタンクで細胞を大量培養し、10%程度ウシ胎児血清を加えるとすると、1回で1000ℓ、5～6千万円分が必要となる。またこのため数百頭のウシ胎児が犠牲になっていることになる。そのうえ最終産物の精製には血清蛋白が大きな障害となり、これもコスト高の要因となる。

そこで我々は完全な無血清（可能ならば血清代用になる蛋白因子さえも含まない完全無蛋白）培地で培養可能な宿主細胞の開発を試みた。きっかけとなったのは理研・細胞銀行に、1988年12月、独協医大・安村美博教授より、ビオチンを添加さえすればあとは最小必要限度の成分しかない安価な培養液(MEM)のみで増殖できる細胞株Vero-317の寄託を受けたことである。

この細胞は、ワクチン製造や検査に全世界で広く使用されているサル由来のVero細胞の亜株の一つである。Vero細胞の各種ウイルスに対する感受性の範囲は広く、Veroを用いたワクチンの安全性はすでに十分認識されている。安村教授によれば、Vero-317も親株と同じく広いウイルス感受性を受け継いでいるという。これは元のVeroのインターフェロン産生能欠損をそのまま受け継いでいてウイルス抵抗性がないためと思われる。このような特徴があるVero-317細胞は、上述したバイオ医薬用のホストベクター系の宿主細胞として絶好であった（実際、思いもかけない研究資源が集積するバンキング事業は、宝の山といえる。）

サルの癌ウイルスのうちSV40と呼ばれるウイルスの遺伝子のなかには、ラージT抗原という強力なウイルスDNAの複製促進蛋白を作る遺伝子がある。しかもこのラージT抗原には遺伝的に変異しているものがあることが知られており、なかには体温より低い温度では活性を示すが高温にすると失活してしまう温度感受性変異株があることも知られている。我々はこのような変異したラージT抗原遺伝子の一つを切り出してVero-317細胞に組み込んだ。このとき、この遺伝子のすぐそばにあるウイルスDNAの複製開始点(ori)を予め破壊しておいたため、ウイルスそのものがこの細胞内で作られることは決してない。うまく組み込まれた細胞群(Vero-317 transformants)の中から

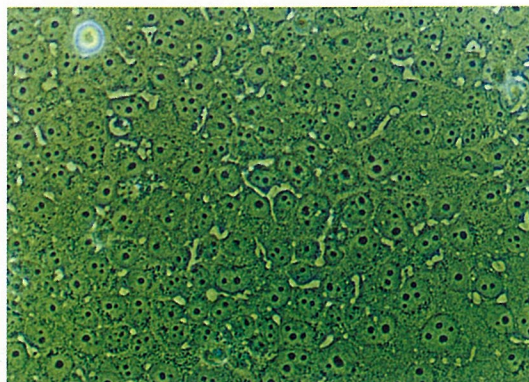


図1 Verots S3細胞の位相差顕微鏡像

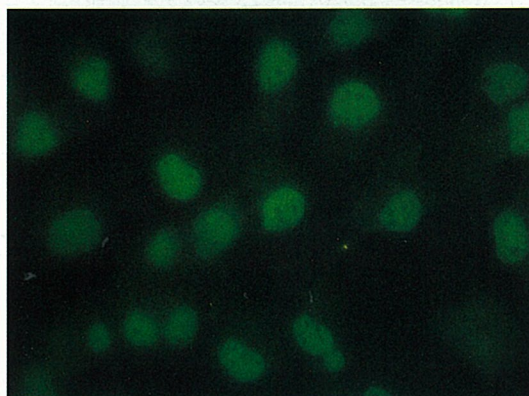


図2 Verots S3細胞に常時発現しているラージT抗原。間接蛍光抗体染色法により細胞核中に光って見える。

常時ラージT抗原を発現している子孫を選び、Varots S3と命名した(図1、図2)。

いま、ウイルスDNAのうち複製開始点(ori)を切り出して適当なプラスミドに組み込み、それを常時ラージT抗原を発現している細胞に導入すると、oriを含むプラスミドは細胞中でラージT抗原の刺激を受け、細胞の核染色体に組み込まれないまま100倍以上、時には10000倍以上に複製増幅されるはずである(図3)。あらかじめプラスミド中のoriの下流に希望する遺伝子(図3のproduct gene)を組み込んでおけば、その遺伝子は効率よく発現され大量の遺伝子産物が得られることになる。

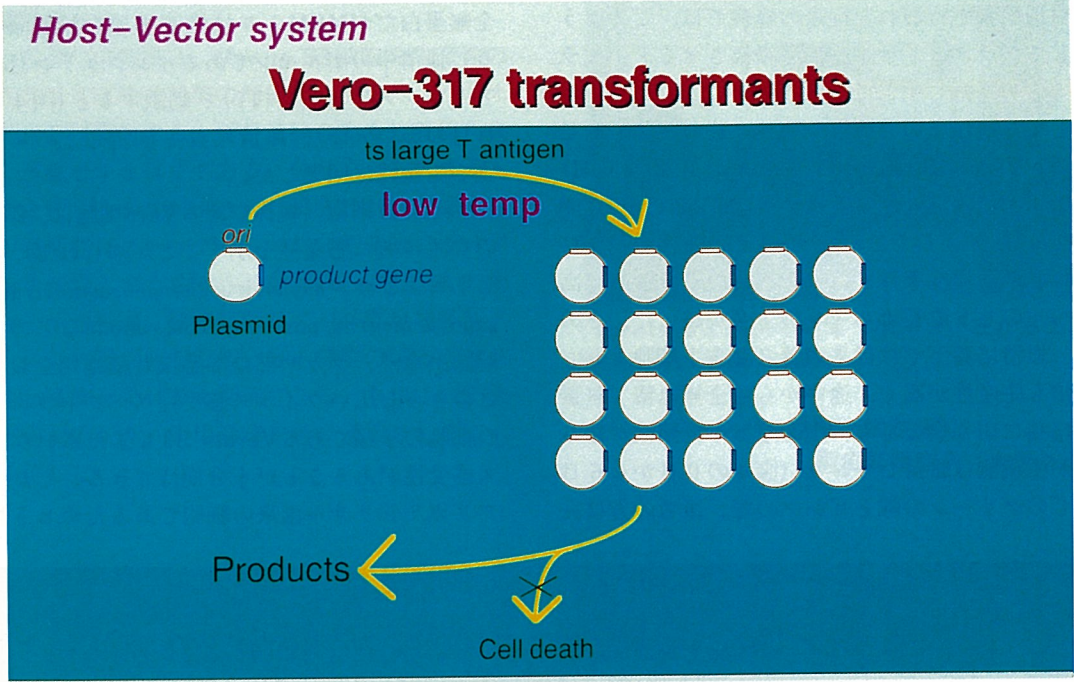
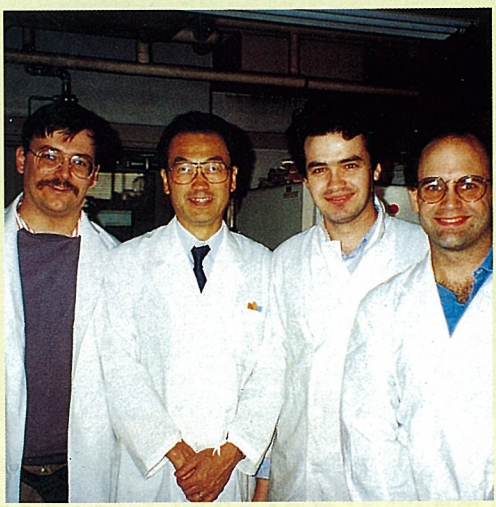


図3 SV40ウイルスの複製開始点(ori)を含むプラスミドの増幅模式図。温度感受性ラージT抗原 (ts large T antigen) を発現しているVero-317細胞のトランスフォーマント (Verots S3細胞もその一つ) では、33°Cという体温より低い温度でプラスミドを増幅する。この温度では細胞死がかえって起こりにくい。

フンボルト研究賞受賞

小川智也主任研究員(細胞制御化学研究室)



糖鎖合成技術の確立で知られる小川主任研究員が、アレクサンダー・フォン・フンボルト研究賞を受賞した。これは先端的な研究分野である糖鎖合成を、有機化学的手法により開拓した功績が認められたものである。

フンボルト賞は数年前から設けられたもので、ドイツでの研究活動が伴う。小川主任研究員は2ヵ月にわたって15の大学・研究所で講演し10月末に帰国。この間ハイデルベルグのマックスプランク研究所では同じく受賞(シュレジンガー賞)のため訪独中の佐田副理事長と偶然出会ったという。

同主任研究員はこれまでの実績をふまえ、糖鎖工学的展開を普及すると共に細胞表層糖鎖に関わる生物学的分野に切り込もうと意気軒昂、外国人研究者も積極的に受け入れ活躍している。

血清培養で行われた従来の経験では、このようにしてプラスミドを細胞内で増幅させると、プラスミドが増幅しすぎて細胞死がおこるためか、目的とする遺伝子の発現も一過性に終わる。しかし我々がVerots S3細胞にヒト成長ホルモン(hGH)遺伝子を組み込んだプラスミド(SV40の複製開始点oriを挿入してある)を導入したところ、33°Cという低い温度条件では、2週間以上に渡って高レベルのヒト成長ホルモンの生産が続いた。その上、血清培養下では従来の著名な宿主細胞よりも3倍も生産性が高く、途中から完全無血清・無蛋白培養に切り換えても、生産量は半分前後に落ちるが生産能は維持しており(図4の0日から6日までのグリーンの線とピンクの線。後者の方は完

全無蛋白だがMEMよりは栄養豊富な培養液である)、血清中のホルモンであるインシュリン(Ins)とトランスフェリン(Tf)で刺激すると(図4の6日目の赤い矢印)、血清培養と同等以上のレベルまで生産性は回復した。

Vero-317細胞の親株であるVero細胞は、多種類のウイルスに感受性を示すことが知られている。ヒトおよびサルadenovirus, herpes, myxovirus, papova, picorna, pox, reo, arbo, rubellaなどの他に、韓国出血熱、ラッサ熱にも感染し細胞死をおこす。このような広いウイルス感受性スペクトラムを持つ細胞の子孫であるVerots S3もまた広いウイルス感受性があることが十分期待できる。しかもアフリカミドリザル由来の細胞であるためヒトに近

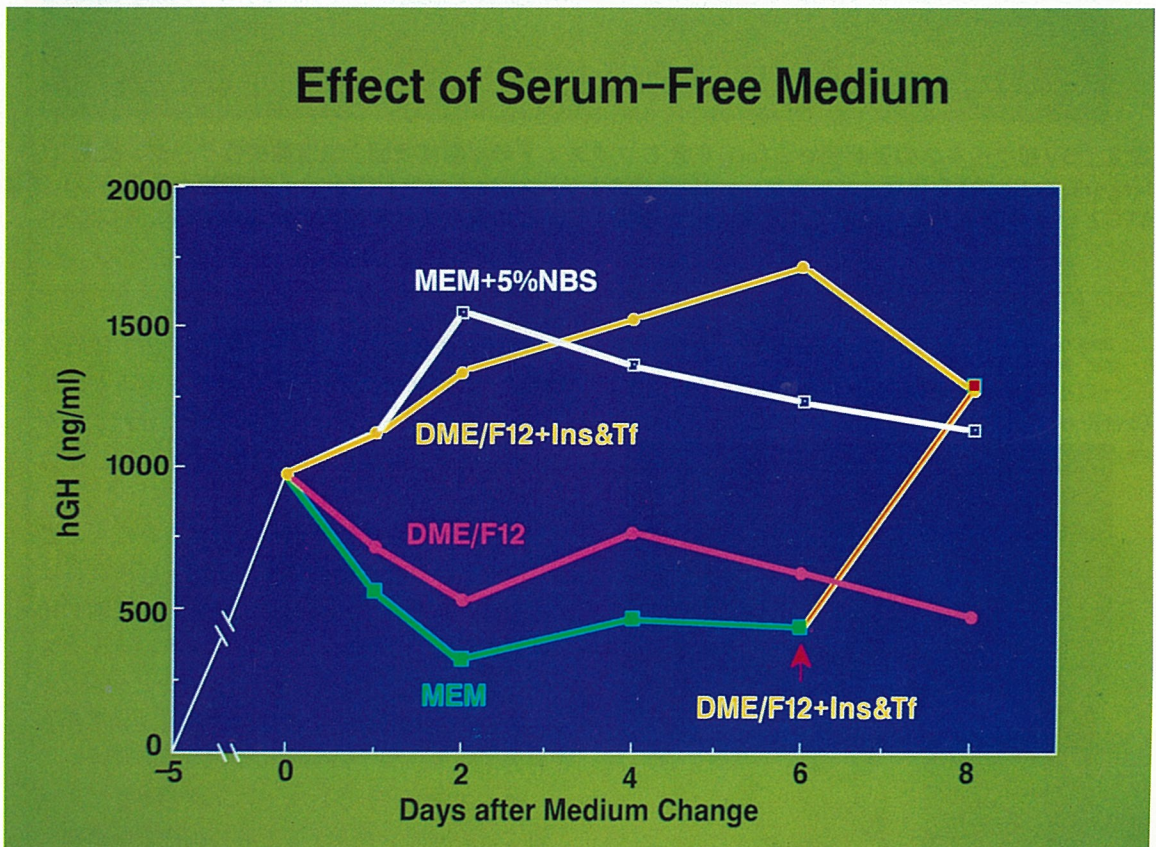
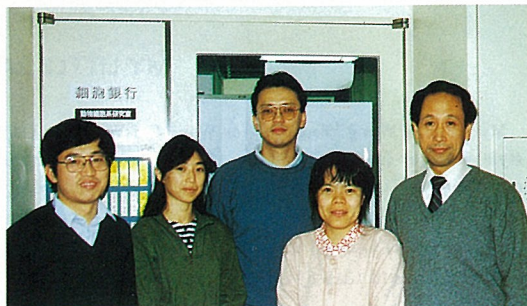


図4 Verots S3細胞における無血清、無蛋白培養時のヒト成長ホルモンの生産能。培養液は毎日交換しているため、縦軸は一日あたりの生産能に相当する。ヒト成長ホルモン遺伝子を含むプラスミドは5日前に導入、図の0日目で培養液を図中のものに換えた。

緑な種である。

この2つの特徴は、Verots S3細胞の生産性の良さ並びに産物の精製の簡便化に加えて、バイオ医薬品を対象とするとき生産物の安全性確保に大きな貢献をするはずである。少なくとも培養途中で感受性ウイルスが混入した場合は、培養そのものが短期間にストップするため、生産物にまでウイルスが混入する危険性は少ない。また、もし生産物の活性発現に糖鎖修飾などが必要な場合も、ヒトに近い種であるため、ヒト細胞の場合とほぼ同等な修飾を受けると期待できる。今後この細胞の応用が広がり、実用産物生産に適用されることを期待したい。



(Verots S3細胞の開発グループ。左から王、倉嶋、広野、西條、大野)

ジーンバンク室・細胞銀行
副主任研究員 大野 忠夫

夢の光をつくる巨大リング 大型放射光施設の着工

本誌前々号で紹介した大型放射光施設の建設が急ピッチで進んでいる。11月13日には現地、兵庫県播磨科学公園都市において、安全祈願祭が行われた。当日は天候にも恵まれ、日本原子力研究所と理研の理事長をはじめ、二木科学技術政務次官、貝原兵庫県知事、地元選出の河本

衆議院議員、戸谷姫路市長、小林関西経済連合会副会長など政財界及び地元の関係者が出席、工事の安全を祈願した。安全祈願祭に引き続き姫路市において開催された着工記念パーティーには、500名近くの出席者があり、着工を祝った。



MY LITTLE PARADISE - SINGAPORE

by Wong Weng Fai

My name is Wong Weng Fai (or Weng-Fai Wong in Western style) and I am from the Republic of Singapore. It is a honour for me to have this opportunity to introduce the little paradise I call home, Singapore.

Singapore was founded as a trading post for the now defunct British Empire in 1819 by Sir Stanford Raffles. She became an independent nation on 9th August 1965. Geographically, Singapore is located at the tip of the Malay Peninsula and just 1 degree north of the equator. She saddles the Strait of Malacca and the South China Sea and thus is the link between the Indian and the Pacific Ocean. Her position on this strategic trade route had and still has an important impact on the culture and society of Singapore. With the current population of 3 million living in an area which is about the same size as all of Tokyo's "ku"s combined, Singapore is one of the densest populated city in Asia and in fact is a city-state. Through the hard work of her people, Singapore now enjoy one of the highest standards of living in Asia and is aspiring to reach the current standard of living of such advanced countries like Switzerland and The Netherlands before the end of the century.

Let me take this opportunity to introduce briefly the attractions of Singapore which never fail to impress and amuse foreigners and Singaporeans alike. When you land in Singapore's Changi International Airport, located in the north-eastern part of the island, you are landing in the best airport in the world. It has been voted best consistently for several years now by travellers and traveller magazines. Within a 30 minute drive by the East Coast Highway, you would pass through the Benjamin Sheares Bridge, an excellent place to catch the nightlights of Singapore, and enter the city center. Singapore is a place of many "without"s. She does not have much land, neither resources (for example, drinking water is bought from Malaysia) nor agriculture. but on the positive side, she also does not have earthquakes, mountains, volcanoes or typhoons. Thus, the problem of lack of space is circumvented by "vertical development". As such, it is a place of high rise buildings. Hotels and offices are high. There is a 72 floor hotel (the world's tallest hotel) and a 75 floor bank with yet taller ones in the pipeline. Also, most of the people lived in high rise flats. I live on the 4th floor of a 16 floor high block of flats together with some 400 or more other households. Yet, we have been very careful in preventing the city from turning into a concrete jungle. Everywhere there is an abundance of trees and other flora thus earning Singapore the title of "Garden City". While on the subject of greens, there is a piece of land in the heart of the island which is designed as the natural reserve. Blessed with its

tropical climate, this tiny piece of reserve boast of more flora variety than the entire United States. Nature lovers going to Singapore should not miss this.

But what make Singapore really special is the people. Singapore's population is largely immigrant by origin consisting of Chinese, Malays, Indians, Eurasians, Arabs and a rich mix from different parts of the world. The British segregated the people by their races and thus established places like Chinatown, Malay village and Little India. Today, the people of various races now mix freely and live harmoniously together in the housing estates. Still, such places provide the opportunity for the individual races to promote their own cultures and are still places of adventure and fascination even for Singaporeans such as myself. Singapore is therefore, a place where the cultures keep their own unique identities while working and living as one people. A case in point is public holiday. Singapore celebrates the Chinese New Year, Vesak Day (the Buddhists' holiest day), Hari Raya (the end of the Muslims' fasting month of Ramadan), Haji (the Muslims' pilgrimage day), Deepavali (the Hindu New Year), Good Friday (Christ's crucifixion), Christmas, the western New Year and National Day. This, I think, reflect the kind of balance that Singapore stands for. As an aside, the above list is exhaustive. There is no summer or winter holiday. together with the fact that most offices have a five and a half day working week, you can see that Singaporeans work fairly hard.

But for me, the most important impact this mix of culture have is on my stomach. If there is one thing that a true blooded Singaporean will complain to you about what he or she missed most in Singapore is the FOOD! I am not well travelled but nowhere in the world have I found the variety, taste and price of food comparable to that of Singapore. Chinese, Malay, French, Italian, Indonesian, Indian, Japanese, Mexican, Thai, Vietnamese... the list just goes on. Of course, they are available here too but not with the variety and price-to-taste ratio that one can easily find in Singapore. I have to stop talking about this subject... it is making me salivate.

I must admit that living in a small country like Singapore can cause claustrophobic feelings at times. But Malaysia is just a 30 minute drive north across a bridge called the Causeway. It is a popular retreat for Singaporeans and tourists. Also, by a 45 minute ferry south, you will reach Indonesia. Since these two countries are unique in their own ways, they are the "always-available" hinterlands for the adventurous or those who just wants to get away for a while.

I know that I have done a bad job of bringing across the feeling of being Singaporean but I guess you just have to come to Singapore, see and feel for yourself the warmth of the tropics and her people.

私の小さな楽園—シンガポール (要訳)

黄 栄輝

シンガポール大学より昨年9月来日、後藤英一特別招聘研究員のもとでコンピューターの研究をしている日本語も上手な好青年。

シンガポールは、昔の大英帝国の貿易港として、1819年に開港され、その後1965年にシンガポールとして独立しました。地理的にいいますと、マレー半島の先端、インド洋と太平洋を結ぶ位置にあたります。貿易上有利な戦略的位置を占めていることが、文化と社会に大きな影響をもたらしています。現在の人口約300万人、それが東京23区ほどの面積の国土に住んでいるわけです。したがって、シンガポールは、アジアでも最も人口密度の高い都市の1つであり、その都市が1つの国家をなしているのです。国民の勤勉さのおかげで、アジアでも最高レベルの生活水準に達しており、さらに、今世紀中には、スイスやオランダなどの水準にまで到達しようという意気込みで発展を続けています。

この機会に、外国人にとっても、シンガポール国民にとっても永久に色あせることのない、シンガポールの魅力のいくつかをご紹介します。シンガポールのチャンギ国際空港は、世界でも最も素晴らしい空港だといわれています。この空港は過去数年にわたって、旅行者と旅行雑誌の人気投票で常に1位を占めてきました。空港からハイウェイを車で30分走ると、ベンジャミン・ブリッジ（夜景を楽しむのに最適な場所）を通り過ぎて、市の中心部に入ります。シンガポールは、いろいろな物を「持っていない」ことで有名です。例えば、広い土地がありませんし、天然資源もありません（飲料水はマレーシアから買っています）。一方で、「持っていない」良い面を見ますと、山、火山、地震、台風がありません。土地が狭いことから、縦に発達した都市なのです。ホテルも事務所も高層ビルの中に入っています。72階建てのホテル（世界最高層）がありますし、現在75階建てのパイプライン構造の銀行が建設中です。また、殆どの市民は高層アパートに住んでいます。我々は、都市がコンクリートジャングル化しないよう細心の注意を払っています。町のいたるところに樹木と花が植えられていることから、シンガポールには、「ガーデンシティ」の別名があるほどです。中心部には自然保護のための一区画が設けられ、熱帯性気候のおかげで、アメリカ全土でみられるより多種類の植物が生育しているのです。シンガポールを訪れる自然愛好家には見逃すことのできない場所になっています。

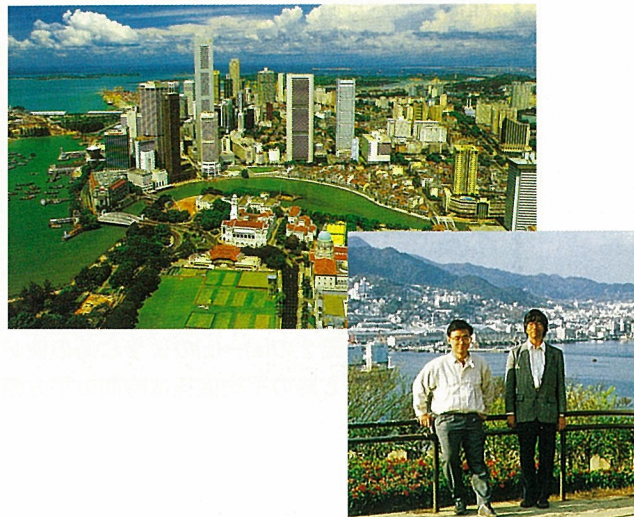
しかし、シンガポールをシンガポールらしくしているのは、そこに住む人たちです。中国人、マレー人、インド人、ユーラシア人、アラブ人、その他世界各地からの移民で構成されています。英国が人種分離政策をとったため、チャイナタウン、マレー村、小インドなどの地域が生まれました。今日では、色々な人種の人たちが、居住用建物の中で自由に交流し調和しながら生活しています。それでも上記のような区域では、各民族が独自の文化を発達させることができたので、シンガポールは、そこに住む私のようなシンガポール人にとっても、スリルと魅力に満ちた国になっているのです。各民族の文化がそれぞれ独自のアイデンティティを保ちながら、人々は一つの国民として働き生活しているのです。この例として国の祝日があります。それは、

中国人の正月、ペサク・デイ（仏教徒の聖なる日）、ハリ・ラヤ（回教徒の断食月の最後の日）、ハジ（回教徒の巡礼日）、デーババリ（ヒンズー教徒の正月）、グッドフライデイ（キリストの処刑日）、クリスマス、西洋人の新年祭、建国記念日です。これらの祝日に、シンガポールの掲げて立つパランスが現れていると、私には思われます。祝日は上に挙げたものが全部で、夏休み、冬休みはありません。ほとんどの事務所が週5日半開いていることを考えあわせれば、シンガポール人がいかに勤勉であるかがお分かりになると思います。

私の場合でいいますと、「胃袋」がこの混合文化の恩恵を最も享受しております。シンガポールを離れたシンガポール人が、最もなつかしく思うのは故国の食べ物なのです。私はそれほど世界中を広く旅行していませんが、シンガポールで食べることができるほどのバラエティに富んだ、美味しい、しかも価格の安い料理に巡り会ったことがあります。中華料理、マレー料理、フランス料理、イタリア料理、インドネシア料理、インド料理、日本料理、メキシコ料理、タイ料理、ベトナム料理、などと挙げてはまだ尽きません。これらの料理は、もちろん日本でも食べることができですが、バラエティの点でも味に比べた値段の点でもシンガポールのような訳にはいきません。この話を続けていると、よだれが出てきそうなのでここで止めます。

シンガポールのような小さな国に住んでいると、時として、閉所恐怖症的感情に襲われることがあることは、認めなければならぬと思います。しかし、車で30分もドライブすれば、保養地として人気のあるマレーシアに、また、フェリーに乗って45分ほど南に行くと、インドネシアに着きます。これら両国とも、「いつでも利用できる場所」ですから、新しい体験を求めたり、あるいは東の間の休息を楽しむシンガポール人にとっては、格好の土地ということが出来ます。

私は、今日の話で、シンガポール人の気持ちをうまく伝えることができたかどうか不安ですが、皆さんが実際にシンガポールを訪れて、自分で見て、感じとればシンガポールの人と彼らの暖かさがお解りになると思います。



スポットニュース

表面上の膜成長のプロセスをリアルタイムで追跡

固体表面上に原子が推積し膜を形成してゆくプロセスを詳細に解明することは、表面科学の基礎研究にとっても半導体素子開発をはじめとする応用研究にとっても極めて重要である。しかし、従来はそのプロセスをリアルタイムで追跡する適当な方法がなく、詳しく理解することができなかった。

表面界面工学研究室では、同研究室で開発した同軸型直衝突イオン散乱分光法(CAICISS)を利用してそのような膜成長のプロセスをリアルタイムで詳細に追跡する方法を開発し、この方法をシリコンの(111)表面上に銀が成長する場合に適用し、従来の方法では得られなかった極めて明瞭かつ興味深い結果を得た。

CAICISSを用いると、シリコンの表面上に成長しつつある銀の島の平均厚さ H 、平均直径 R 、単位面積あたりの個数 N 、面積被覆率 C をリアルタイムで測定することができる。したがって、これらの量が時間 t に $H \sim t^\gamma$ 、 $R \sim t^\beta$ 、 $N \sim t^{-\alpha}$ 、 $C \sim t^\delta$ のように依存するとすると、指数 γ 、 α 、 β 、 δ を実験的に求めることができる。図1は、これらの指数が下地のシリコンの温度にどのように依存するかを示した実験結果である。図1を見ると、たとえば γ の値は、430°C以上の低温領域における一定値 $3/4$ から、430~530°Cの中間温度領域における値を経て、530°C以上の高温領域における一定値 $1/3$ に見事に遷移している。他の β 、 δ 、 α についても同様の美事な遷移が見られる。

この結果は、銀の島の成長の様式は実は低温領域と高温領域とでまったく異なること、そして簡単な解析により、高温領域では図2の(c)→(d)のように島の数は変化せず個々の島の大きさ(直径および高さ)が増大する成長の様式であり、低温領域では図2の(a)→(b)のように島の数が時間と共に減少し島の平均直径は時間の平方根で

増大する(時間が4倍になれば直径は2倍になる)成長の様式であることを示している。

このように、典型的な半導体であるシリコンの表面上における典型的な金属である銀の成長のプロセスについて極めて明瞭な描像を描くことができた。この結果は、特殊なケースにおける一例ではあるが、おそらく種々のケースについて一般化するものであろう。固体の表面上における膜成長のプロセスをこのようにリアルタイムで詳細に解析しうる新しい方法をもつことができたことの意義は大きい。

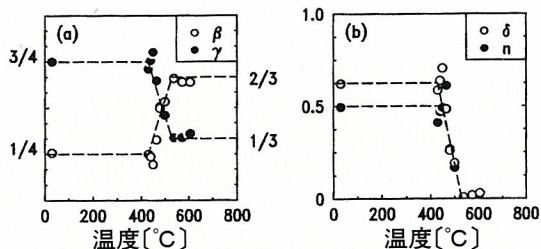


図1. シリコンの表面上に銀が成長する場合の成長の様式と関係した種々の指数の温度依存性。

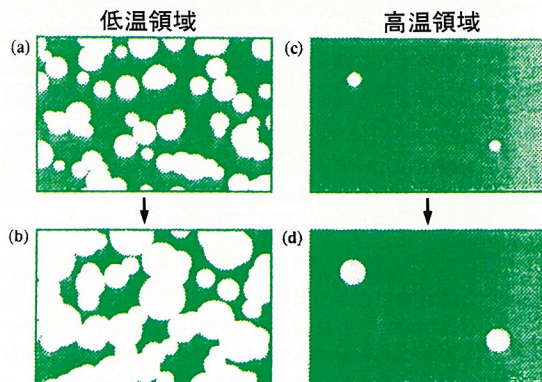


図2. シリコンの表面上に銀が成長する場合の成長の様式。低温および高温領域における時間依存性を示す。

理研シンポジウム (1月)

テ マ	担当研究室	開催日
気相エネルギー移動と磁場効果	分子光化学	1/6,7
第7回「生命現象のダイナミクス」	太陽光エネルギー	1/10
－生体における光エネルギー・光情報変換機能素子－	科学研究グループ	
生物科学とシンクロトン放射(II)	結晶学	1/14
－蛋白質結晶解析を中心として－		
リングサイクロトロンによる物性材料・原子物理・核化学・生	金属物理	1/14
物医学の研究		
クォーク自由度と原子核	サイクロトロン	1/23
中間エネルギー核物理	リニアック	1/24
加速器成果発表会	リニアック	1/27
核融合核分裂反応	サイクロトロン	1/28
不安定核ビームによる核物理	放射線	1/29
第9回「ライフサイエンスシンポジウム」	真核生物	1/30
天然有機化合物構造解析の新局面	抗生物質	1/30
クラスター科学の展望'91	無機化学物理	1/30,31

理研の主な公開特許

PH03-099482 分子による波長可変真空
紫外レーザー発振方法

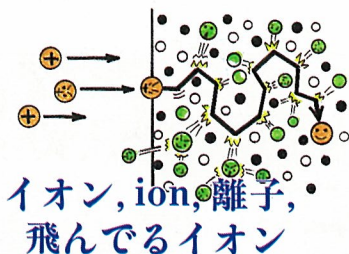
マイクロ波物理研究室 築山 光一 他2名

[目的]分子を非線形媒質に用い、三次の非線形感受率を増大させ、また、電子・振動・回転準位間の共鳴遷移を利用することにより、パルスレーザー光の高輝度かつ波長可変真空紫外レーザー光発振を実現する。

PH03-138503 半導体像位置検出素子

情報科学研究室 出澤 正徳

[目的]半導体基板の光感部に設けた導電延長部の幅を広く、その基幹抵抗へ結合される部分の幅を狭くすることにより、輝点像が小さい場合の検出光電流値の変動を回避可能とし、更に、並行導電延長部の相補的形状配列により、検出電流と輝点移動との間の直線性の実現を図る。



化学者の扱うイオンは、通常、海水中に溶けた食塩の Na^+ や Cl^- のように+や-の電気を帯びた粒子である。これらが電気を帯びた粒子であることから、その移動によって水溶液が電気を通す性質を持つ。このように、 Na^+ と Cl^- が離れて動くことから、イオンを中国語で、「離子(リーザー)」と呼ぶのは、言い得て妙である。

小生が理研入所以来続けてきた電気化学は、このようなイオンの溶けた溶液に、2つの電極(金属など)を挿入して、その間に電圧を加えて電流を流すときに起こる現象を研究する学問分野である。

一方、この約十年、表面解析室の岩木グループの一員として、「イオン注入」と呼ばれる材料の表層改質技術の研究にも携わってきた。ここでは、イオンは溶液中のものではなく、真空中で作り出し、それを高電圧で超高速(1000km/s程度)に加速して、固体材料表面に照射・注入する。

このイオン注入は、既に半導体工学(集積回路の製造など)ではお馴染みの技術であるが、これを種々の材料の表層処理に活用しようとする研究である。材料としては、金属、炭素材、セラミックス、プラスチックなど、などである。そこでは、半導体の場合の10~1000倍にも及ぶ数のイオンを照射・注入し、材料表層に新しい物質層を作り出す。これは、化学者にとっては正に新しい物質合成法と見る。

例えば、鉄表層へチタンイオンを注入する。イオンはある程度の深さに進出し、そこではチタンを十数%含んだ鉄の層が生成する。鉄とチタンを加熱溶融して混合しても、鉄中に入るチタンは微量である。イオン注入では準安定な状態で存在する高チタン含有鉄を作り出すことができる。それは、硬く、耐摩耗性に優れ、錆びにくい表面層となり、条件をコントロールすると、金や、紫、青の美しい色が着けられる。

アルミニウムに窒素イオンを注入する。表面層でのアルミニウム原子と窒素原子の比率が1:1に近づくと、窒化アルミニウム(AlN)が生成する。ニューセラミックスの一種で、電氣的絶縁体であるにもかかわらず熱伝導性が高いことから、集積回路の基板などへの

応用が期待されている。

このような化合物を造ることができる一方、イオン注入では Al:N が1:1ではなく、任意の比率の物質を造り出すことができる。このような通常の化合物とは異なる(半端な)物質は、非化学量論的化合物であり、しかも見掛け上安定に存在することから準安定物質とも呼ばれる。つまり、通常の方法では生じない準安定物質を「無理矢理イオンを打ち込む方法」で造り出すことになる。それらは、およそ100keVという大きな運動エネルギーを持ったイオンが物質表層に打ち込まれ、活性に反応して特異な化合物状態で落ち着くことによって生じる新物質なのである。

物質の示す温度は、物質を構成している「原子の振動の強さ」を意味する。100keV(約 $2.3 \times 10^3 \text{kcal/mol}$)の運動エネルギーを単純に温度に換算すると約十億度となる。イオン注入では、基板の温度は、加熱したり冷却することにより任意に設定できる。しかし、そこに注入されたイオンは、基板原子に対し極めて高い温度に相当するエネルギーで作用する。

そんな特別な状態で出来る化合物はどんな物だろうか?そしてでき上がった新物質はどんな性質を持つのだろうか?電気の通り易さは?化学反応性は?硬さや摩耗の性質は?光の通し易さや色は?そしてその応用は?いや、温度とは?イオンの与える熱、イオンは物質を乱しながら整える?こんな多くの?を「飛んでるイオン」が引っ張って行く。

我々が「離子(リコ=イオン)ちゃん」を産んでから、早十数年、ようやく一人前に活躍するようになりました。ちなみに、小生の娘は「光子(ミッコ=フォトン)」で来年成人式で、大学で化学を専攻していますが、まだまだ一人前ではないようです。



富士山の冷たい火砕流/筆者の研究室の窓から。

生体物理化学研究室 表面解析室兼務
副主任研究員 高橋 勝緒

RIKEN ニュース No. 125, DECEMBER 1991 発行日・平成3年12月27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 (0484) 62-1111(代表)