

理研ニュース

理化学研究所

表面プラズモン共鳴

プリズムに金や銀の薄膜を真空蒸着することで、興味深い表面電磁波が得られる。

光がプリズムなどの屈折率の大きい誘電体媒質から空気や水などの屈折率の小さい誘電体媒質に入射するとき、入射角（境界面の法線となす角度）がある値以上になると屈折する光はなくなり、すべてのエネルギーが反射される。この現象は全反射と呼ばれており、光ファイバーの原理に用いられている。

この2つの媒質の間に非常に薄い（数10nm）金や銀などの薄膜を一層挿入すると（図1a）反射率はどうなるだろうか。この場合は光の偏光によって異なる。入射光の電場の振動方向が界面と平行な場合（s偏光）反射率は多少低下するが、高い反射率を保つ。ところが偏光がこれと直交する場合（p偏光）、ある角度で反射率が急激に減衰する（図2）。適当な条件を選べば、反射率はほぼ完全に0になる。

このとき金属薄膜をミクロに見ると、屈折率の低い媒質に接しているほうの界面では、光と同じ速さで振動し、界面に添って伝搬する電子の粗密波が存在している（図1b）。この波を表面プラズモ

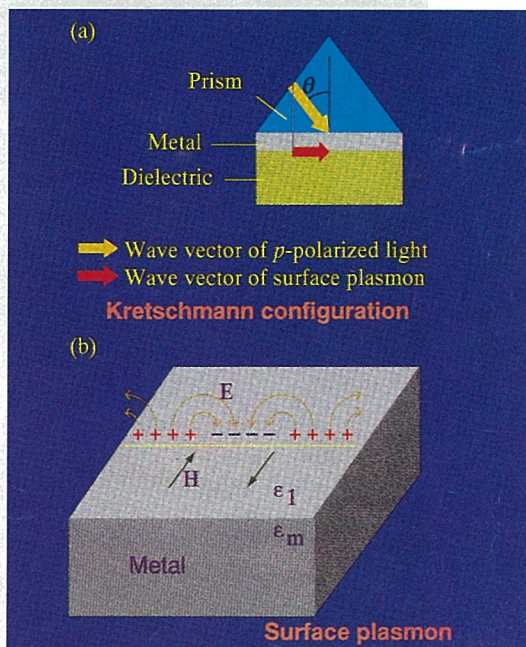


図1 (a)表面プラズモンの励起のための光学系（Kretschmann配置）
(b)表面プラズモン

ンという。表面プラズモンは電荷の振動であるため、単独では存在せず、必ず電磁波を伴う。すなわち、ポラリトンである（ポラリトンであるからこそ光で励起できるのであるが）。また、光により

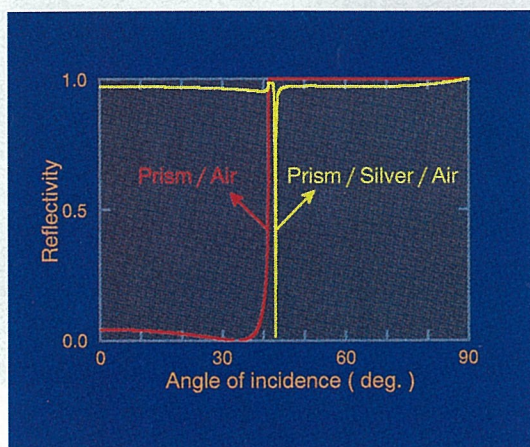


図2 反射率の角度分布：プリズムと空気の界面（赤）、プリズム・銀薄膜・空気の界面（黄）

表面プラズモンを励起している状態を表面プラズモン共鳴と呼んでいる。

さて、この表面プラズモン共鳴のどこに興味を寄せられているのか。1つめは反射率の角度分布に見られる鋭い吸収ディップである。このディップが現われる角度（共鳴角）が媒質の屈折率（または誘電率）によって、非常に敏感に変化することである。2つめは表面プラズモンは離れるにしたがって指数関数的に減衰、光の波長程度の深さの部分にしか存在しないことである。したがってディップの位置に寄与する屈折率も媒質のその部分のみとなる。3つめは表面プラズモン共鳴が起きているときには、その界面での電磁場が入射光の持つ電磁場に比べて数10倍大きくなることである。この効果を用いることにより、表面や薄膜試料の蛍光スペクトルやラマンスペクトルを高感度に測定できる。

表面プラズモンの光による励起方法が開発された最初の頃は、この方法を用いて、金属の複素誘

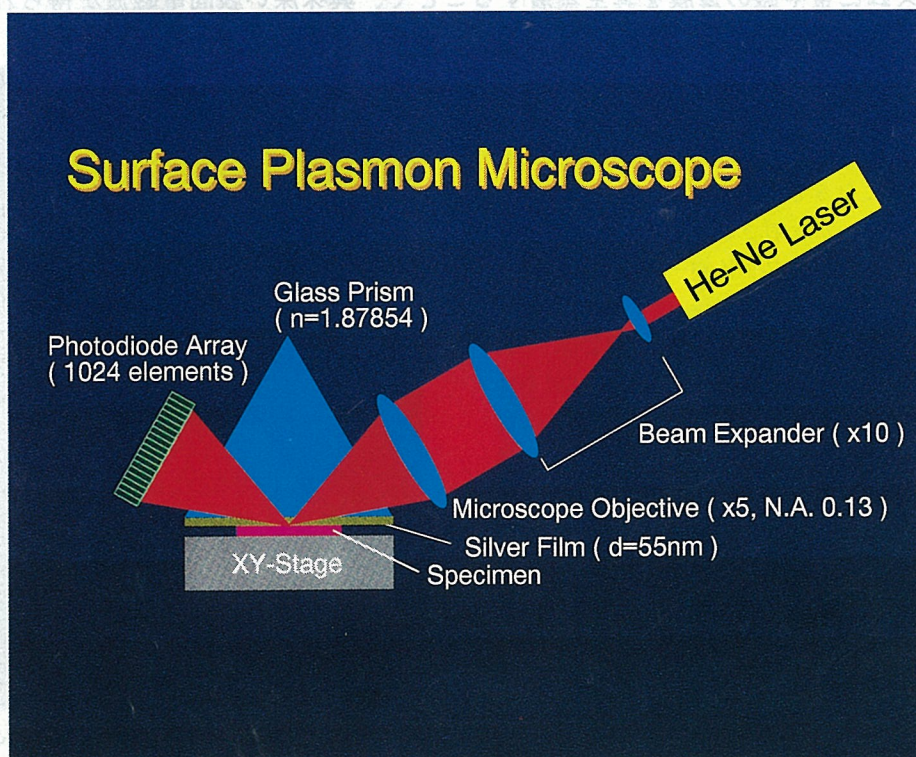


図3 表面プラズモン顕微鏡

電率の測定が行われた。センサーへの応用としては、金属表面に抗体あるいは抗原を固定した免疫センサーが最初に開発され、その後、上記の特長を利用して、種々の分野への応用がなされている。

我々は顕微鏡にこの表面プラズモン共鳴を適用した。この顕微鏡は試料表面の屈折率分布や、薄膜の膜厚分布などを高感度に観測、画像化するものである。図3に本顕微鏡の概略図を示す。試料は銀薄膜を真空蒸着したプリズムに密着させてXYステージ上におく。p偏光のヘリウムネオンレーザー光を顕微鏡対物レンズで絞って試料表面に入射する。反射光を1次元イメージセンサーで検出し、吸収ディップの位置から屈折率を求める。試料を走査することにより、屈折率分布画像が得られる。

図4に本顕微鏡で観測した光導波路（光ファイバーをガラス基板中に埋め込んだようなもの）の断面の屈折率分布を示す。

もう1つの例として、図5にLB膜（単分子膜）のモ

ルフォロジーの観察例を示す。金薄膜を蒸着したガラス基板の上にポリイミドの単分子膜をコートしその上にジドデシルリン酸のLB膜を1層堆積したものである。図の島状の部分で共鳴角が大きくなっており、2次元結晶に対応している。その他の部分はアモルファス状になっている。両者の間での膜厚の差はナノメートル以下である。表面プラズ

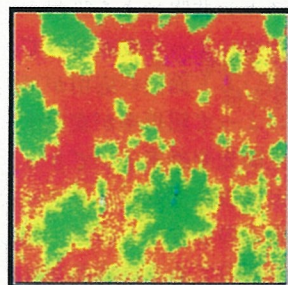


図5 LB膜（ジドデシルリン酸）のモルフォロジー（オリンパス光学工業提供）
($0.2 \times 0.2 \text{ mm}^2$)

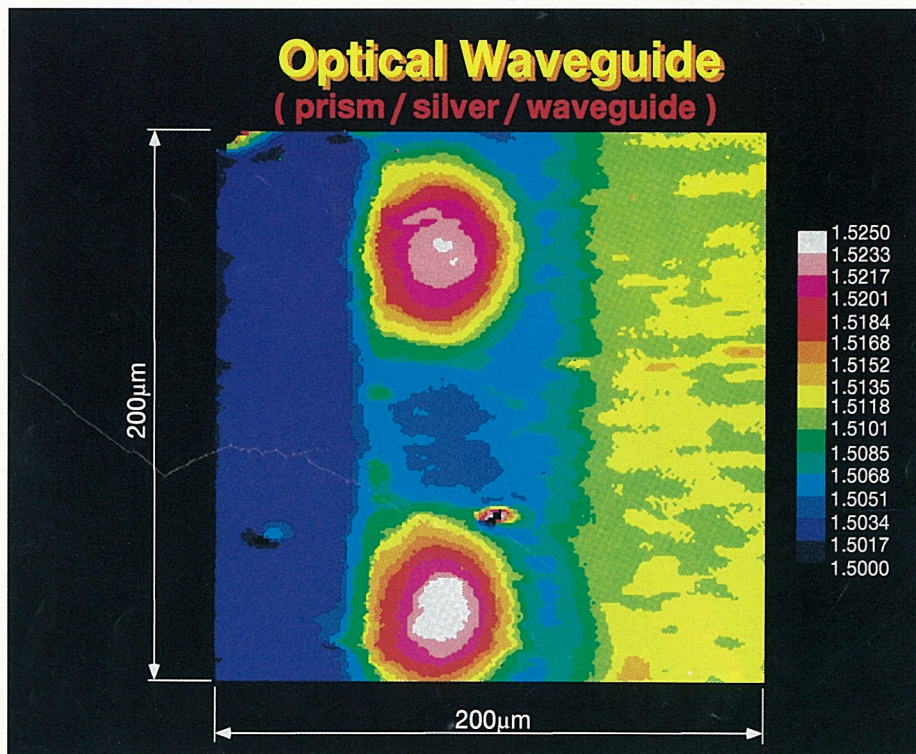


図4 光導波路の断面の屈折率分布

モン顕微鏡で膜厚分布が測れる理由は、膜が十分薄いため、表面プラズモンに影響を与える媒質が薄膜とその外側の媒質（この場合空気）の屈折率を合成したものとなるためである。すなわち膜厚に依存して合成された屈折率が変化するためである。このように表面プラズモン顕微鏡を用いれば、超薄膜の膜厚変化を超高感度で測定することができる。

表面プラズモン共鳴による吸収ディップの角度は媒質の屈折率によって変わるので、光機能性材料を媒質に用いると面白い応用が可能となる。例えば光照射によって屈折率が変化するような媒質を用いると空間光変調素子ができる。空間変調素子とは、例えば液晶プロジェクターなどに使われている液晶素子のようなもので、光の空間強度分布を変調するものである。液晶プロジェクターでは電気信号によって強度分布を制御しているが、我々が考案した図6に示す空間光変調素子は、光によって光が制御できる。このタイプの空間光変調素子は光コンピューティングのキーデバイスとなるものである。本素子は銀薄膜を蒸着したプリ

ズムの上に色素をドーブした高分子膜をコートしたものである。色素膜にアルゴンイオンレーザーを照射すると屈折率が変化し、それに応じて読みだし光であるヘリウムネオンレーザーの反射率が変化する。読みだし光の入射角を吸収ディップの中心にセットしておく、ポジ型の変調ができる。すなわち、書き込み光の強度が大きいほど読みだし光の強度が大きくなる。逆に、入射角をディップの中心から少しずらすことでネガ型の変調が可能になる。

現在、我々はイオン感応性薄膜を用いたイオン濃度センサーを開発中である。金や銀を蒸着したプリズムの上にイオノフォア（選択的にイオンを取り込む分子）と色素からなるイオン感応膜（またはLB膜）をコートした素子を用いる。イオンを含んだ溶液によるイオン感応膜の屈折率変化や蛍光強度変化を表面プラズモン共鳴を用いて検出するものである。蛍光検出においては、上に述べた表面電場の増大効果と蛍光が指向性を持つ（プリズムを通して蛍光を観測したとき、蛍光波長に対応した共鳴角で蛍光強度がピークを持つ）こと

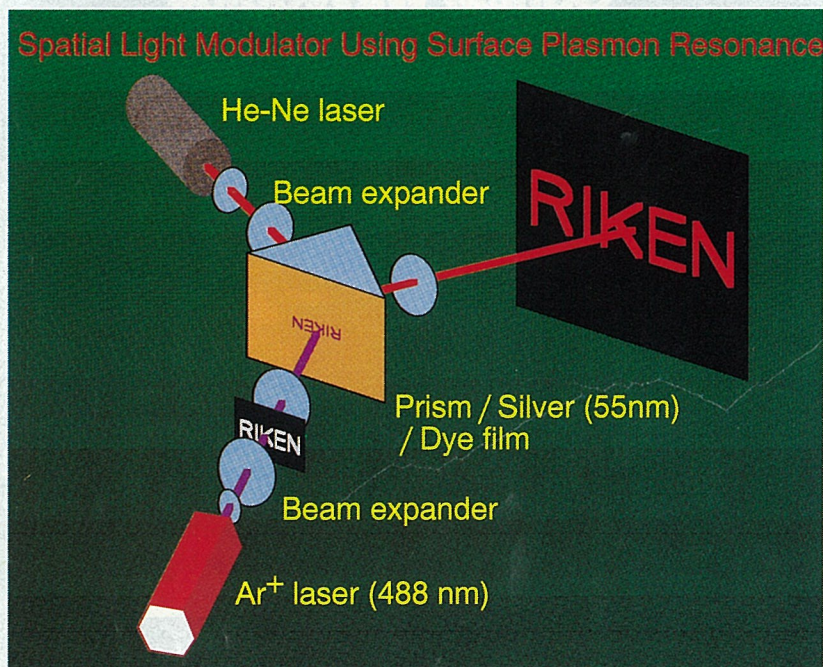
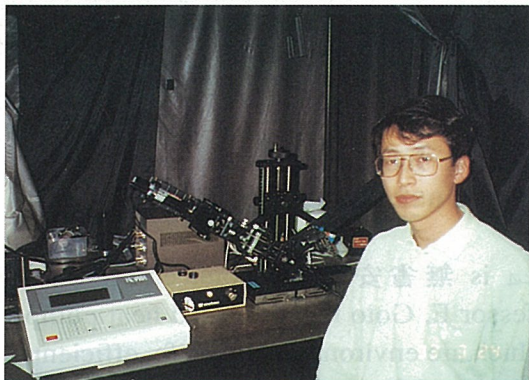


図6 表面プラズモン共鳴を用いた空間光変調素子



開発したプラズモン顕微鏡と筆者

により高感度の検出が行われる。

この他にも、媒質の複屈折性やLB膜の配向の測定などの応用が考えられる。この様に、表面プラズモン共鳴には興味深い特長があり、素子や装置なども簡単にできる。今後、さらに、この研究を発展させていきたい。

光工学研究室

研究員 岡本隆之

新理研誌「RIKEN Review」創刊のご案内

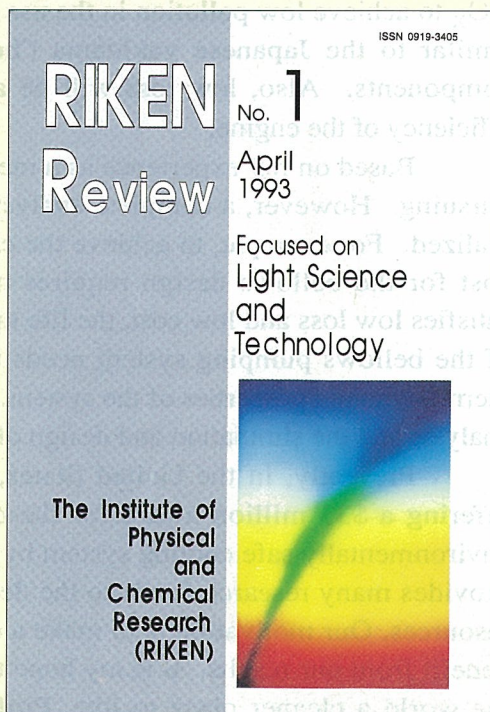
70年以上にわたる長い歴史を重ねてきました「理化学研究所報告」及び「Sci-Papers I.P.C.R.」(共に1993年発刊)は、諸般の事情により廃刊し、本年4月より新たに新理研誌「RIKEN Review」(英文季刊)を発行することになりました。

多岐の分野にわたる当所の最新の研究成果や技術について、ショートレビューを中心に掲載します。このため、各号にそれぞれ特集テーマを設け、図・写真を有効に使った、分かり易く読み易い冊子を目指しております。

皆様の御支援をお願い致します。

【刊行予定】

- No.1 Light Science and Technology
(解説25編と理研シンポジウム概要報告等を併載) 平成5年4月発行
- No.2 Superconductivity
平成5年7月発行予定
- No.3 Microbial Diversity
平成5年10月発行予定





SCIENCE BRINGS

Proposed Studies on Heat Pumps and Engines Realizing L⁴; Low Pollution, Low Loss, Low Cost, and Long Life

The Japanese acronym for $L^4=L_1L_2L_3L_4$ is 無省安長 pronounced Mu-Sho-An-Cho, meaning No-Save-Cheap-Long. Professor E. Goto has proposed heat pump designs for refrigeration and air conditioning which are environmentally safe, efficient, affordable, and durable. The design will use air, N_2 , CO_2 , or Ar gas to replace freon as the coolant. These are all non-toxic gases so they satisfy the criterion L_1 of low pollution. The main design feature is the use of a bellows as the pumping system for the gas. The bellows has the advantage of being much easier and cheaper to make than the precision piston and inherent in the bellows design is the elimination of piston leakage and piston friction. Therefore the bellows satisfies the criteria L_2 of low loss and L_3 of low cost. The bellows design technology can also be applied to devices which share components with the household refrigerator such as the costly helium cryostats.

Professor E. Goto's second proposal is to use two-stage burning to reduce NO_x to achieve low pollution in the use of diesel engines. This design will be low cost similar to the Japanese yakidama ('hot ball') engine by using low cost ceramic components. Also, low loss will be achieved since using ceramics increases the efficiency of the engine.

Based on my experience as a mechanical engineer these proposals seem worth pursuing. However, a complete analysis needs to be done before these ideas can be realized. For example, to achieve the criterion L_4 of long life while maintaining low cost for the bellows design requires many inventive steps. Although the bellows satisfies low loss and low cost, the life time is questionable. A thorough stress analysis of the bellows pumping system needs to be done as well as an investigation of the thermodynamic properties of the system. The research will include finite element stress analysis and the simulation and design of the fluid dynamics of the system.

Presently, in the United States, utilities companies have joined together in offering a \$33 million award for the design and manufacture of a super efficient, environmentally safe cooling system by 1995. The U.S. Department of Energy (DOE) provides many research funds to the development of safer and more efficient energy resources. Our motivation is to make a contribution to society so that all peoples will benefit from our results. It is my hope that we are successful in our attempts to make the world a cleaner place to live. Professor E. Goto suggested: "Be 'Ann Edison', realize the American DOE dream and save our planet from air pollution."

US TOGETHER

Discovering Japan Through Karate

by Ann McKenna

On the previous page is a proposal I recently wrote with my supervisor Prof. E. Goto. When he heard that I was going to write an article for RIKEN News he suggested that the proposal be included. He is very excited about this research and hopes that we will be able to design a heat pumping system that satisfies L^4 , specifically that of being environmentally safe. So now I will begin my story.

I have been taking Karate lessons since I was sixteen years old. I started the summer of my sophomore (second year) in high school. My boyfriend wanted to take lessons and I decided to try too. I convinced two of my girlfriends to come with me and we all signed up at the local TaeKwonDo school. TaeKwonDo was the only style taught in the area where I lived and back then I didn't know the difference anyway. We went to our first class and we had to do pushups, sit-ups, leg lifts, and so many exercises that my body was sore for the rest of the week. It was then that we all realized that being like Bruce Lee wasn't going to be so easy.

When I entered Drexel University in 1983 I started training with their Karate Club. The style that they taught was Shotokan and I have been doing it ever since. The instructor at Drexel is Japanese and he is very good. The trainings were tough but he taught us alot. Part of the training was going out with everyone after class and socializing. Of course we would go where the instructor wanted and we would usually end up at a Japanese restaurant. I have to admit the first time I ate Sushi I didn't like it at all. The seaweed taste was very strange for me and the wasabi was so strong! So at first I ate "safe" things like tempura. But the more I ate Japanese food the more I began to like it and soon I even began to have cravings for it.

While we were at these "post trainings" my instructor would always tell us stories about Japan and we were always very fascinated. We all wondered what it would be like to go to Japan. This is where my desire to come to Japan originated.

By my senior year in college I started training at the main dojo in Philadelphia. The Chief Instructor for the ISKF (International Shotokan Karate Federation) teaches there and he is very, very good. He invited me to train with the women's team and I was an alternate for about one year. My first tournament as an official team member was at the Pan American Tournament in Guyana, South America. I was so nervous because I wanted to do a good job so that I wouldn't disappoint my sensei or the rest of the team. Well we took first place and we were all very happy.



SCIENCE BRINGS US TOGETHER

As the years went on my desire to visit Japan became stronger and stronger. I very much wanted to come to Japan and train Karate and learn to speak Japanese. My Japanese language ability was limited to Karate terms such as chudan oizuki and zenkutsu dachi. This wouldn't do me much good if I needed to ask directions or order food at a restaurant. I had taken one term of Japanese in college but I was still far from being able to have a conversation with anyone (still am). I also heard that it was very expensive to live in Japan so I didn't think I would ever be able to come here. It seemed like such an unattainable dream. But with a lot of hard work and a little luck I am here in Japan.

The Karate training here has met my expectations and more. When I went to my first training here I was a little nervous because I wasn't sure it would be the same as in America. But I didn't need to worry because other than the language difference the dojo is the same here as it is in America--just as it should be. The instructors are great and the people at the dojo are very nice. Though I realize I have a long way to go before I will, if ever, be as good as some of the instructors I see. But as Okazaki Sensei always says just "keep training".

Now my second goal of being able to speak Japanese is not going so well. I am taking lessons two times a week but it doesn't seem to be enough. Though it seems everyday I



understand a little more and hopefully I will be able to have a conversation in Japanese by the time I leave. I very much want to learn about Japan and the culture and the best way to accomplish this is to speak with the people.

I am very happy here and I know that I will definitely miss the training when I return home to America. But I am very fortunate to have had the opportunity to come here and make many fond memories.

空手の修練と理想的熱機関の追求

彼女はアメリカで16才の時から空手を習い始め、大学でも修練を続けた。そして練習の後など日本レストランに行き、日本料理に馴染むにしたいが日本へ行きたいとの強い願望を持つようになる。

いま、それが実現し、後藤特別研究室で「低公害、低損失、低価格、長寿命」と4つのL、漢字で書けば「無省安長」を実現するヒートポンプやエンジンの研究を行っている。

これは「科学者よりも発明家」を自負する後藤

英一先生の提案する方式——冷媒としてフロンでなく空気や炭酸ガス、ガスのポンピングにベローズを使用する、さらにディーゼルエンジンを2段燃焼すること等により「無省安長」を実現できるというアイデアに彼女が共感し、開始された。

後藤先生は彼女に言う。「エンジンになれば、そしてアメリカンドリームを実現し私達の地球を汚染から救いなさい。」

スポットニュース

関心を集めた日中砂漠シンポジウム

ポスター写真に示すシンポジウムが、3月2日から3日間、科学技術庁研究交流センター(つくば市)で開催された。

このシンポジウムには、理研と共同研究を行っている中国科学院の新疆生物土壤沙漠研究所、蘭州沙漠研究所をはじめ北京大学など中国から35人が参加。国内では日本大学他、つくば市の多くの研究所など10機関から約200人が参加し、砂漠化に対する関心の高さがうかがわれた。

本シンポジウムでは68件の発表があり、その中には名古屋大学 田中教授による「砂漠は二酸化炭素を蓄積する機能を持っている」など、新しい観点による研究成果の発表が数多く紹介された。

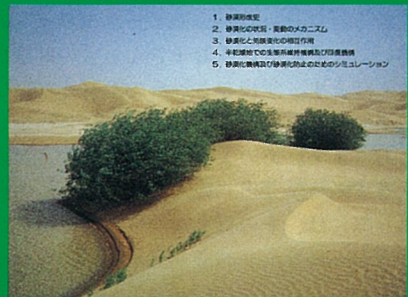
また、参加した中国側研究者の多くはタクラマカン沙漠の現地調査で顔なじみになった人達で、友好的な雰囲気の中でディスカッションがくりひろげられた。

日中砂漠化機構解明研究 シンポジウム

Japan-China International Symposium on the Study of the Mechanism of Desertification

---砂漠化のメカニズムを探る---

Better Understanding of Desertification Mechanism



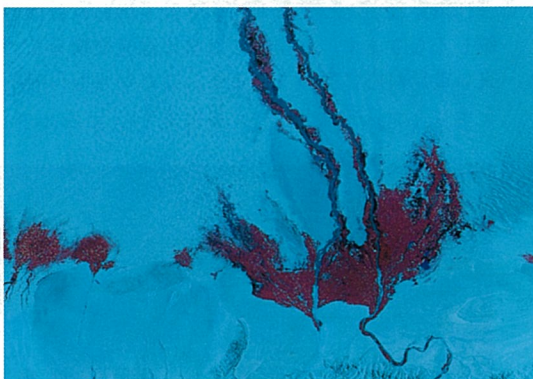
科学技術庁研究交流センター、つくば市
1993年3月2-4日

The Tsukuba Center for Institutes, Science and Technology Agency of Japan
March 2-4, 1993

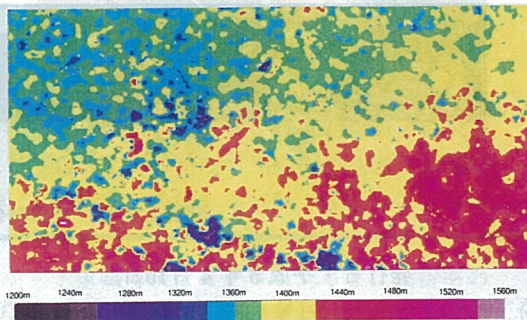
主催：科学技術庁・中国科学院・日中砂漠化機構解明研究シンポジウム組織委員会

後援：日本沙漠学会、日本地理学会、日本気象学会、日本地質学会、日本地質院、日本農学振興会、日本環境学会、日本地質院、日本地質院、日本地質院、日本地質院、日本地質院

連絡先：理化学研究所・地球科学部研究室 TEL: 048 (462) 1111 (内線 303-3034, 3036)
日中砂漠化機構解明研究シンポジウム組織委員会事務局 FAX: 048 (462) 4654



人工衛星写真(タクラマカン沙漠和田地区)。赤・植物、紺・水



人工衛星による2画像から求めたタクラマカン沙漠(新疆ウイグル自治区)等高線図



タクラマカン沙漠の塩の折出



最近、電話交換手のいない企業が増えています。企業のイメージが電話の対応の善し悪しで判断されることも多いことを考えると“たかが電話”とおざなりにはできません。

今回、はからずもNTTの「企業電話対応診断コンクール」において理研の交換室が賞を戴きました。受賞が決まってから初めて予告なしの調査で判定されたということを知り、普段の態度がいかに大切かを改めて感じています。

さて電話交換の楽しみは、“毎日違った出会い”があることです。仕事を通して知りあった方も大勢います。失敗も数えきれないくらいあります。「うちのお父さんお願いします」というお子さんからの電話には口元もほころびます。学校などからの緊急連絡には緊張します。不愉快になったこと、不愉快にさせてしまったこともあります。あのような対応で良かったのだろうかとか反省する時、茶道で教えて戴いた『一期一会』(茶会に臨む際には、その機会は一生に一度のものとして心得て、主客ともに互いに誠意を尽くせの意)の言葉が浮かんできます。

電話の対応は、受ける側の事情や気分にもよるでしょうが、かける側のマナーの善し悪しによってもずいぶん違ってくると思います。私たちに評判が悪いのは、①ずうずうしい・狎れ狎れしい・傲慢な電話、②無言・オルゴールだけがいつまでも鳴っている・なかなか用件を言わない電話、③宛先のはっきりしない、例えば苗字だけでかけてくる電話や、「先ほどお電話いただいた方」など、本当に困ります。

所外へ案内を出す時や、問い合わせ等をしたときは、所属・氏名・内線番号を正確に告げてほしいものです。「一期一会」の心で対応をするためにも、思いやりと最低限のマナーを守ってもらえたらと思います。

さて、私たちは、4人が2名交替で電話交換業務にあたっています。「理研さんは、なかなか出ないことがあるんですよね」と言われることがありますが、

少しだけ弁解させて下さい。

理研には国外からの研究者を含め1,500人以上の方が働いています。50以上ある研究室にグループやチームが加わり、名称も複雑で全てを覚えるだけでも大変です。内線の数も1,300を越えます。その中には実験室のように人が常時いない部屋もあり、一人の人を捜して何方所も呼び出さなければならないこともあります。普段から電話の所在の明らかなでない人が、一回目で出たときは思わずVサインしたくなります。国際電話も多くなりました。電話では身振り手振り筆談という訳にはいかず、とても苦勞します。また所内で開催されるシンポジウム・研究会会場への道案内を求められることもあります。世間の関心が高い研究成果の発表などがされたときなど、早朝から問い合わせが殺到します。また、外からの電話がコンスタントに入ってくるとは限りません。ある時間帯に集中してかかってきます。多い時には1分間に5～10回線の電話を二台の中継台でさばかなければならないことがあります。“捜して繋ぐ”ことに手がまわらなくなってしまいます。そのような時、繋ぎっぱなしになってしまうことをご理解下さい。

仕事とはいえ、「ありがとう」と^{はら}われればやはり嬉しくなります。交換室では常に意見交換をし、より良い電話対応に努めています。これからも「一期一会」をモットーに頑張りたいと思います。



電話交換室 吉田美代子