

## 座談会 表面科学15年の歩み



- 出席者： 田丸 謙二（東京理科大学 理学部教授）  
 吉森 昭夫（岡山理科大学 工学部教授）  
 村田 好正（東京大学 物性研究所教授）  
 河津 璋（東京大学 工学部教授，会長）  
 小西 文弥（松下テクノリサーチ顧問）  
 （司会） 岩澤 康裕（東京大学 大学院理学系研究科教授，編集委員長）  
 （まとめ） 長谷川 修司（東京大学 大学院理学系研究科助教授，編集委員）

**岩澤** 本日は日本表面科学会創立15周年記念の企画といたしまして表面科学座談会を企画させていただきました。表面科学会がカバーいたします主な分野から第一線の先生方にお越しいただき，フリートークの形で座談会をさせていただきたいと思っております。私，司会をさせていただきます「表面科学」編集委員長の岩澤でございます。

それでは最初に自己紹介も兼ねまして，先生方のそれぞれの分野での最近の進歩について，特に10年から15年前と比べて何が最も変わったか，お一人ずつお話をいただきたいと思っております。

### —— 長足の進歩，この15年 ——

**吉森** 私は表面の理論が専門なので，この10年ないし15年の理論の中での進歩といえばやはり第1原理からの電子状態の大規模計算の進展が第一に挙げられるかと思っております。理論には第1原理からの計算のほかに，モデルハミルトニアンを設定して，その現象の特徴をつかまえて理解を進めるという筋道もあるんですが，第1原理理論は大型計算機の計算能力の進展とともに圧倒的に進みました。ある物質ですと理論的にこういう表面構造に

とき：1994年5月17日（火）13：00～16：00  
 ところ：東京 お茶の水 三田出版会ラウンジ

なって，こんな性質を示すかもしれないという新しい予言も夢ではない時代になったと思っております。

一方，いろんな現象を理解するためのコンセプトということがあるんですが，その進展はむしろモデルを作った話のほうが進みやすいということがあります。そういう意味では片一方のほうが進み過ぎて，これからはもう片一方のほうの車もよくまわって，バランスのとれた形で理論として発展してほしいと思っております。

**村田** 今，吉森先生がおっしゃったように，第1原理での分子動力学を含めた計算は私も興味もっております。たとえば，Si(001)表面は理論で完璧に解けてしまっている。あの問題はいまさらわれわれ実験屋がいじる問題でなくなったという印象をもちます。今，実験屋としてやりたいことは，非平衡系の問題，励起状態がからんだ問題で，それらが具体的にいじれるようになってきました。たとえば，われわれのやっているレーザー励起脱離もそうですし，赤外吸収で非常に短時間の振動励起状態の寿命の測定，2光子過程での電子励起状態の寿命の測定などレーザーの利用が励起状態に関する表面現象を見るのに，非常に有用になってきました。それから表面でのダイナミカルな現象を素過程に近い形で観測できるようになってきて，それは励起状態にからんだ現象になっていると思っております。白金の上での酸化反応の振動

現象も、準安定な状態がからんでいますから、広い意味で一種の励起状態といえます。

もう一つは、構造相転移の問題が面白い。ただ転移が起きるというだけではなくて、その原因がどこにあるかが探れるようになった。それは結局理論と実験とが、常にペアになって初めて可能になってきました。ですから、モデルハミルトニアンの問題も一つですが、やはり励起状態の問題を理論の方々にも扱ってもらって、われわれ実験屋と整合性をもっていければ大きな発展が望めるのではないかと思います。

**河津** 私が表面の分野で最初に関連しましたものは薄膜の成長です。そのときに感じましたことは、薄膜の形成というのは表面現象ですので、表面現象をいかにして把握して制御するかということが非常に大事であるということでした。この10年間、あるいは15年間の進歩を考えてみますと、一つはいい古されていることかもしれませんが、やはりそれまでの超高真空技術の進歩を無視することができない。それから各種測定装置の進展と、1982年の、原子を直接観察できるSTMの発明が大きな進展のきっかけになっていると思います。ただ、極言するようなこともあるのかもしれませんが、それまでいろいろ現象的には予想されていたことが確認されたという面は多かったと思います。しかし、やはり予想される現象ではあっても、それを実際に把握するということは重要なことで、そういう意味でSTMの登場というのは非常に大きなことだと思います。

われわれの関連している分野ですと、低速電子回折の動力学的な解析ですね。計算機の大型化、高速化に伴って、かなり複雑な表面構造を実際に取り扱うことができるようになったことも大きなことです。得られた結果はかなり複雑なものに関しましても、結合長とか結合角を考慮して、予想される変位の範囲内の構造が実際に得られるという意味ではかなり定量的な精度をもっている。

それと一般的なことになりましたけれども、どうしても新しい分野では、いろんな専門の方が入ってきて、お互いに他の分野、たとえば電子状態の研究をやっている方は、表面のプロセスにはあまり知識がないので、試料作成において、よく初期も試みられましたけれども、自分の本来目的とする試料をつくるのが難しく、そうではないような試料でデータを出しているというような状況がよく見られて、いろいろ混乱の原因にもなっていたと思います。いろんな分野の方がそういう初期の状態から、交流を深めると同時に、測定装置の進歩によってお互いに情報を交換して収束する段階にきているという印象です。

今後、村田先生がおっしゃいましたように新しく展開していくと同時に、定量的な理解に向けての準備ができておりますので、その結果をいろんな応用にフィードバックできる体制にするというのがこれから重要ではないかと考えます。

**小西** 私は松下電器の中で、エレクトロニクス関連材料の分析評価をしてみたりしましたので、デバイスの面から少しお話をさせていただきたいと思います。半導体ではダウンサイジングといいますが、マイクロエレクトロニクスの進展と、それに関連した微細構造の解析技術の向上、これがこの10年~15年、非常に大きな発展があったと思うんです。たとえば、表面科学会が設立された1980年当時のメモリーは、64キロビットで最小線幅が3ミクロンでした。現在は4メガビットから16メガビット、さらには64メガビットまで商品がつくられております。線幅としては16メガビットで0.5ミクロン。最小線幅が6分の1、集積密度では数百倍、64メガビットなら1000倍ということになるんです。16メガビットでは1センチ角の薄いシリコンのチップに約4000万個の素子が集積されています。今の加工最小線幅を0.3ミクロンぐらいとしますとバクテリアよりも小さくなっています。メモリー1ビット当りの大きさとなると、人間の細胞がだいたい10ミクロンですので、これより1けた以上小さい。こういう時代になっていっているということです。

現在のエレクトロニクスはこの半導体技術の支えなくてはありえなかつたろうと思うんです。こういう微細加工技術は現在液晶ディスプレイにかなり応用されています。液晶パネルの加工密度は、半導体の約10年遅れぐらいで進んできました。しかし最近是非常に小さい、対角線の大きさが0.7インチとか、1.3インチという小型のパネルがつくられています。このぐらいの大きさになりますと半導体のプロセスを使うことができますので、加工密度が急速に進展しています。ただ、液晶パネルは、半導体に比べますと、製造工程の数が多いので、歩留りの面で、一つの工程の信頼度が非常に要求されます。それに対するいろんな解析技術が必要です。半導体や高温超伝導材料でつちかわれた微細構造の解析技術が、これからいろんな分野で活躍すると考えております。

**田丸** 私は固体の表面での化学反応に興味があるんですけども、15年前というのは、やっといろいろな物理的な有力な機器が出てきて、普及して、これから面白いよという、まだ初期の頃の感じがしたんですね。それで最初の頃は物理の人が主に取り組んでいたものですから、化学反応といっても、化学吸着ぐらいまでで止まっていたわけですね。アメリカでは結構やっていた人がいましたけれども、日本では非常に限られた人しかやって

なかった。その理由は講座制の悪い点で、古い先生は、おれはそんな金のかかる、おれのわからない面倒くさい機器やらないよというんで、若い人がそれに付き合わされたこともあったわけです。それでやはり一世代テンポが遅れたと思うんです。その若い連中が40歳半ばになってようやく、さて何をしようかと考えると、いまさら不得手な、高価な手法ではということになりかねない。しかしこの頃になってくるとやっぱりこれじゃいかんと、今まで旧式だった人たちが少なくともEXAFSでやらなきゃいけない、何々でやらなきゃいけないって、だんだんそれなりにおそまきながら目覚めてきた。そうすると何が面白くなってくるかという、触媒なんてたくさんノウハウがあるんですね。なんかちょっと入れたら俄然違ったとか、俄然だめだったと。そういういろいろな面白いケースをもっている人たちがそういういい機器で取り組み始めたという意味で、いろいろわかり出したというのが一つの特徴だと思うんです。

もう一つは、いわゆる well-defined surface の上で、基礎の人たちがやっている面でいろんな例が広がってきましたから、いろんな武器を使ってくると、たとえば Ertl たちが一酸化炭素と酸素の反応はああやって面白いくんだとか、それから村田先生のレーザーの話でも非常に綺麗にわかった気がするような例がだんだん増えてきた。やはりそれだけ広まり、かつ深くなってきたんだという感じがしますね。

### —— シンクロトロン放射光 ——

岩澤 今、先生方の話の中で登場してきました研究を担っている機器、STM とか、レーザーとか、あるいは計算機が具体的に出たわけですけども、ほかにはどのようなものがございませうでしょうか？ たとえば、放射光。企業から見て放射光は、どういう位置づけになるんでしょうか？

小西 ビームラインを活用できる時間的な制限がかなりありますので、一概には申せませんが、これからは大いに活用すべき光源であると思っております。放射光を使わないと、先程申しました微細化についていけないと思うんです。

それからこの10年間ぐらいを振り返ってみますと、現在よく使われています表面分析用の装置の、プローブの微小化がかなり進みましたですね。XPSでは、10年あまり前は、150ミクロンとかいわれていましたものが、現在、20ミクロンぐらまで普通の装置で微小部の解析ができるようになっていますが、それ以上は放射光を使わないと。2年ほど前に放射光の国際会議がございましたときのウイスコンシン大学の B.P. Tonner 先生のお話では、まもなく 200Å ぐらいのビーム径を達成できる。そ

れから2000年に入りますと、10Å ぐらまでいけるというような予測が発表されていまして。

それ以外の分析装置を見ますと、1けたぐらいは大体ビーム径は小さくなっております。電子顕微鏡にしましても、光源が熱電子から電界放射電子銃になりました。これも1~2けたぐらビームが小さくなりました。SEMはもちろんTEMにおいても非常に分解能が上がりまして、微小部分の構造解析に貢献しています。

村田 こういうところでいうと語弊があるかもしれませんが（笑）、放射光に関しては残念ながら今まで日本では、あんまり健全な発展をしていなかったという気がします。というのは、やはり限られた装置しかないこと、それから後発であることで、データの出やすい仕事を奨励するという傾向があった。ですから装置開発のために十分なマシンタイムを与えて、ある期間はデータが出なくてもよいという余裕が与えられなかったと思います。これからは余裕も出てきますので、健全な発展をすると思います。

吉森 表面構造の決定はやっぱり表面研究の基本だと思うんです。たとえばこれから先の10年で、低速電子回折はやっぱり大事な手段ですけども、放射光による表面構造の解析は、それに匹敵するぐらいの重要な手段に見えるんですけど、そうでもないんでしょうか？

村田 相転移などを追っていくときには、X線、要するに運動学的回折理論で扱えるということが非常に重要ですので、これから Spring-8 が動き出して、輝度が上がると、この問題はずいぶん解けることになると思います。その場合面白い系を選び、信頼できる表面を作るのが大切になります。今のようにマシンタイムが非常に限られていますと、面白い系を選んでも表面ができたところで、マシンタイムは終わりということになりかねません。ですから Spring-8 が動き出したときは研究の内容をトップにいる人が十分理解して、たとえば表面には専用のビームラインを与え、マシンタイムにこだわらずにお仕事をなさいという雰囲気がなければ、装置は作っても、仏作って魂入れずになりかねません。

小西 企業にとって、使いやすい状態のビームラインをつくっていただくと非常にありがたい。確かに私どもシンクロトロン放射光には魅力がありまして、ビームが絞れるということと、輝度が非常に高いということですから、微小部分の分析に適しています。表面の分析法に、全反射蛍光X線分析がありますが、表面の不純物の分析感度は、表面原子の数に対して ppm、 $10^9$  アトム/cm<sup>2</sup> ぐらいますが、放射光を使えば、2けたから3けたぐらいは向上します。そういう意味では非常に魅力があります。



岩澤 康裕氏

—— statics から dynamics へ ——

**岩澤** 表面物性の研究のほうでは先程も少しお話が出ましたけれども、最初はスタティックな研究、原子配列にしても、電子状態にしても、そういうレベルから最近では、相転移とか、成長とか、ダイナミックなプロセスの研究が最先端では行われていますが表面物性関係の研究の流れとしては、そういう方向にいつているんでしょうか？

**村田** やはりそのような気がしますね。基礎研究の立場から申しますと、スタティックな問題はかなり知識が積み重ねられてきております。それからスタティックな構造は計算物理とのからみでわかってきている。そうしますと、そういうものの上に立ってダイナミカルな現象を見る。昔から触媒反応やっている方々は皆さんやっておられたわけですが、やはり別の見方でそういうものを見ることができるようになってきた。それは先程申しました励起状態をつかまえながらやっていたわけですね。

**岩澤** 触媒の研究のほうではいかがですか？

**田丸** STMで見て、たとえば金属の面に酸素がくっつく、ばらばらにくっつくものもあるし、リニアにくっつく原子もあるし、それからすぐリニア鎖が寄り集まって島状になるものもあるし、あるいは、銀の上の酸素みたいに、リニアのもの同士が、ある程度反発しながらくっついていたり、その規則性と規則性の間に中途半端な酸素がいたりして非常に特徴的なんですね。それで実際にたとえば銀は、エチレンからエチレンオキサイドをつくる時の唯一のいい触媒なんですね。なぜ銀がそういう特徴をもつかというのが、そういう観察で説明される可能性が結構ありそうな気がします。田中慶一先生は、プッシュドモレキュールと称しているんだけど、前からそれに似たコンセプトはありはしたんですが、ああいうふうにはっきり見えて議論が始まると、それなりに本当の反応との関連が、地に足がついた形ででき始めて

くると思って、私は非常に興味もっているんです。昔流にいうと、いわゆる Langmuir-Hinshelwood のメカニズムなんていって、酸素の被覆率がこれだけならこうだなんて雑な話をしていましたけれども、今はもうそんなのじゃなくて、どういう並び方をして、どの部分が反応するのか、もう少しちゃんとした話になってくる。

**村田** 反応はまさに電子のやりとりだと思います。ですから STM とか EXAFS ですと、原子配列に目が向いてしまう。そこで電子がどう動くかという観点からの表面化学反応の追跡は、これから重要になると思います。

**吉森** 第1原理理論というのは、励起状態に弱いですから、励起状態がからむダイナミカルな問題はモデルハミルトニアンの世界になるんですね。

**田丸** 固体の表面には結構いろんな場所がありますでしょう。ステップだとか、欠陥だとか、そういうときにどこが本当の活性点になっているのかという議論が、今までなかなかできなかったわけです。それで本当にたとえば触媒反応が起こる本性というか、どこの場所でこう変化して、あとは拡散していつてとか、そういう具体的な分子、原子のベースで固体の表面における化学反応の話が掘り下げ始められてきた。やっとそういう時期にきたんじゃないかなという感じしますね。

**村田** 今まではいかに欠陥が少ない表面を作るか、結晶を切るときから努力して欠陥が入らないようにしていましたが、これからそれは実際にモニターしながら測定できるというのが大きいですね。

**田丸** それから、基礎の方は well-defined surface やりますよね。でも、実際の触媒では結構いろんな面が共存してたりするわけですね。そうすると、一つのたとえば (111) 面だけを調べてるときと違ってくるわけですね。こっちから何かが起こって、こっち側に移って行って、そういう複合作用があるようで。それでそういう話までこれから面白くなると思いますね。

**村田** 基礎をやっている、最近感じますのは、スタティックな構造だけを見ているときは、あまり応用とのからみはなかったように思います。レーザーを用いた脱離などをやっていると、デバイスの人たちが実際に利用していることと非常に関連してきますね。ですからダイナミカルな現象に興味をもち出しましてから、応用面の方々と話をするとお互いの興味が非常に近くなってきたと感じています。

**小西** ちょっと寸法の大きい話ですけども、CCD 素子の画素不良はアトミックな欠陥が関与する PN 接合リーク電流によって支配されています。ですから今の原子レベルでの結晶成長制御技術をそういうところに生かして、本当に欠陥のないデバイスをこれからつくってい

くということが重要じゃないかと思うんです。今のCCDはあまり微細じゃないですけども、量子効果デバイスのものに新しい技術が生きてくると思います。

**村田** もう一つ、オージェ電子分光やX線光電子分光ではつかまらない水素の問題はいろいろな意味で重要になってくるという気がいたします。デバイスがどんどん高速化されますと、酸化膜の中で水素がどう振るまうか。デバイスの寿命などにかからできますし、反応のほうでも水素は非常に重要です。

**小西** SIMSでは水素をかなり微量まで検出できますが、こういう分析法で役に立つようなもののでしょうか？

**村田** もちろん水素を見る手法はありますけれども、やはり水素のごく一面しか見れません。今われわれは共鳴核反応を使った水素の検出を一生懸命やっていますが、それを使えば、界面にあります水素の挙動を追うことも可能になります。やはり先程河津先生がおっしゃったことですが、STMは大部分は従来あった結果をはっきりさせただけだという。水素に関してもやはりその程度の段階が非常に多い。反応についてもいろいろな測定手段ができて表面が見えるようになった。しかしリアクタントとプロダクトを分析して表面を想像していたとき、表面がブラックボックスだったときと比べて、新しいことが出てきたかということ、決してそう新しい概念は出てきていないのですね。その意味で水素に関しても新しい概念を作るような方法を開発しなければならないという意味で申し上げたのです。

#### —— in situ 観測 ——

**岩澤** ダイナミックな物性とか、反応の場合には、特に in situ で見たいということがあります。村田先生の核反応もそれができるんでしょうか？

**村田** はい。共鳴エネルギー 6.385MeV、それで共鳴幅が 1.8keV。深さ分布を測定しようと思うと、強度プロファイルを取らなければいけない。そのためには、加速器の入射エネルギーのほうを走査する。新しい加速器ではそれが可能になります。したがってある雰囲気中で表面で水素がどう振るまうかが調べられます。しかし方法論の開発までしていますと、古い加速器だと気長にのんびりやれたのが、これからは machine time が厳しくなって、面白いことがしにくくなるかもしれません。

**岩澤** 反応のほうでは in situ という意味では最近の進歩はどういうことになるのでしょうか？

**田丸** 今までブラックボックスに入れておいて、その入口と出口だけ見ている、それで今度中をみようとしていろいろ見始めた。そうすると、今まで考えていたのと、まったく同じこともあるけれども、全然違うこともあるわけね。そういう意味では、見るのと見ないのとで



田丸 謙二氏

は、基本的に変わってくる。たとえば、エチレンの水素添加は、昔堀内先生がこれ一番簡単な触媒反応っていうんでやっていたけど、ちっとも簡単じゃないですね、本当は。実際に Somorjai は、水素とエチレンいれても、たとえばロジウムの表面では、エチリジンというメチルに C がついた  $\text{CH}_3\text{-C}\equiv$  が非常に強くくっついて、そいつは水素化しないし、水素の交換もしないし、もう表面がちりかためちゃうということ。じゃ、反応どこで起こっているかということ、その mono-layer の上で起こっているんじゃないかと想像するんだけど、それはエチレンに 0 次なんですね。反応速度が。0 次というのは、わりにエチレンが強くくっついていてところで起こる話で、全然弱いところじゃそういうことが起こらないのが常識なんですけれども。本当に反応が起こっている部分は全体の何%なのか、あるいは 0.何%なのか、つまり表面のほとんどがそういうもので覆われていながら実際に活性な部分の面積を決めようと思って一生懸命まだ実験やっているんですけども、反応速度が早過ぎてなかなかつらいんですよ。(笑) それでドライアイス温度以下まで下げてとっているわけですね。そうするとエチレンの物理吸着がガボガボできちゃうもんだから、今ちょっと困っているところなんですけれども。

とにかく外側から見ていると簡単だなと思っていても、実際に見ると、全然そうじゃないですね。どこでどうやって起こっているのかということ自体もよくわからない。やはりもうちょっと気のきいたダイナミックというか、in situ の方法を使うしかないなという感じをもっています。

**吉森** 素人の質問で恐縮ですけども、表面で起こっている触媒反応で step-by-step に全部解明されたという例はあるんでしょうか？

**田丸** 非常に少ないんじゃないでしょうかね。岩澤さんがやっている、いわゆる tailored catalyst という、要す



吉森 昭夫氏

るに分子設計表面の触媒作用があるわけです。そういうものを固体の上に置いたものは個々のその場所で起こっているだろうというんで、考えやすいんですけども、金属なんか、オキサイドはもっと複雑ですけども、どこで本当に起こっているのかというのが、これから面白くてやりたいなと思っていますけれども。

**河津** 以前、触媒の教科書を使ったことがあるんですけども、その中に確かアンモニアの合成反応のいろんなパスのうちのいくつかはわからないと書いてあったと記憶しているんですが。今はいろいろなパスも全部わかって反応過程は解明されているんでしょうか？

**田丸** それいわれるとつらいんですけども。アンモニアの触媒の世界的な会社で非常に基礎研究をやっているところがあるんですが、そこで、世界一流の本当に基礎の連中を集めましてね、Somorjai だとか King だとか、Ertl とか、招んでくれてホテルに缶詰にされて、われわれはこの反応についてどこまで本当にわかったかっていうのを、3日ぐらいやったんですけどもね。掘り下げるほど難しくなりますね。外側からわかった気になって説明するぐらいなら、その時代のほうがまだ気楽だった。

**吉森** どういう反応が一番簡単ですか？

**田丸** ぼく感じですと、一番簡単な例ですと、重水素と水素の交換反応ね、そうすると水素が見えますでしょう。そのところへきて交換していくという、そのぐらいが一番簡単かな。それでもいろいろ厳密なことをいい出すと、ちょっとめんどくさい。

**村田** そのとき、水素ですと、リアクタントとプロダクトは見えるけれども。表面上を見ようと思うと水素はひっかからないということになります。

**田丸** そういうことはありますね。でも、オキサイドの上で、O-H とか、M-H とか、振動スペクトルでみんな見える。赤外とか、EELS で。

**村田** EELS はガスを入れると電場が乱れて、高分解能では非常に見にくいんですね。それに対して赤外は、

これからますます有力になると思います。

**田丸** メタルのオキサイドの上ですとね、われわれもやったんですけど、メタルイオンの上の水素とか、酸素の上の水素、みんな見えますからね。それでそれが変わっていくというのが、現場と外側も見えるからまだ楽なんですね。

**村田** そういう意味で赤外の場合に、半導体の場合には、1回散乱では見えませんが、金属上だと1回散乱で見える。反射率が高いですから。ですから金属上に酸化層を作って、そこで反応させると、1回散乱で見ることが出来ますね。多重散乱を使う必要がない。赤外吸収はこれから、真面目に使っていかなければならないかな。田丸先生は非常に早く赤外吸収に目を向けられたわけで、もう20何年前ですよ。

**田丸** そうなんです。反応中に見えますから楽なんですよ。常圧でもいけるし、アイソトープが使えます。われわれがやった方法は定常的に反応が進んでいる際に反応物をラベルしたものに置き換えて、吸着質それぞれの挙動を追いかけると反応の経路や速度を解明できます。

**吉森** 最近でも赤外は重要性で、ほかにそれに変わるものはないわけですか？

**田丸** ですからアトミックにそういうのがわかってくるといいなっていうのが、さっきのSTM でね。

**村田** やはり反応中は押さえられなくて、反応前と後を押さえ、間を想像するということですよ。それに対して赤外吸収はガスで反応させながら途中を追っ掛けることがある意味で可能。その辺岩澤先生どうお考えですか？

**岩澤** 触媒の場合には、なんととっても反応を形成する経路、特に反応中間体の解析だと思うのですが、表面サイトも含めて今の赤外ですと、やっぱりダイナミクスではなくて、マクロ速度論ですよ。そういう意味では分子線もそうですし。ミクロの速度論の可能性をもつSTM と相補的な気がします。マクロの意味での速度は赤外による in situ の条件での表面性の情報というのは、触媒研究には依然なくてはならないと思います。

**村田** やはりそうなんですね。反応を追うのに、そういうマクロな立場と、電子がどう動いていくかという立場と、二通りのアプローチがあって、両方から攻めていくのが非常に重要になってくる。

**小西** これからの量子効果素子の研究開発には結晶面による反応性の違いをうまく利用する必要があります。といいますのは、原子レベルの結晶成長制御技術は確立された。1次元方向には量子井戸がありますね。2次元といいますか、量子細線を作るには、異方性のある結晶成長とか、エッチングとか、そういう技術を使って量子

細線を作る研究が行われています。シリコンでは、シリコンとシリコンオキサイドをバリアとした量子効果素子を作る目的で、結晶異方性エッチングを使用することによりシリコン量子細線が形成されています\*)。それからガリウム砒素では(001)面にV溝をつくりますと、アルミニウム砒素は、そのV溝の傾斜している面の(111)面に底面の(001)面より結晶成長しやすい\*\*)。そういう異方性を利用して成長させていきますと、量子細線ができる。そういう関連の技術の開発がこれから非常に重要になってくると思います。固体表面での吸着、脱着、それとその雰囲気とか、そういうところの研究が期待されています。

### —— 大学と企業 ——

**岩澤** エピタキシー技術は、今お話になられたような構造制御とか、それをもとにして物質作成、デバイスへの応用につながっているわけですけど、今後はそういう意味ではどういった物質科学とか、物性研究が期待できるとお考えでしょうか？

**小西** 私がわかっている範囲ですが、今の超格子とか人工格子は、X線とか、中性子線の分光材料、回折格子に対する研究がかなりされておりますね。HEMTがすでに商品になっておりますけれども、さらに光多重通信のために必要な、非常に狭帯域のレーザーダイオードですね、これにはさらに進んだ多重量子井戸構造を形成する制御技術も必要なようです。

縦方向はそういう原子レベルなりの結晶成長技術ができておりますけれども、横方向というのはこれからで、先の量子細線つくるのに横方向が必要になってくるわけです。将来的には、量子効果デバイス、まだ具体的なものはなかなか出ておりませんが、それから超伝導素子ですね。これはその界面のバリアのところは、トンネル電流ですから、非常にその厚みは薄いものですから、それを作るということになりますと、やはり原子操作的な技術が必要になってくるといわれています。

**村田** 最近つくづく感じるのですが、日本の企業のは今シリコンに行き過ぎていて、どんどんガリ砒素から撤退している。もちろんジョセフソンジャンクションを使うような問題は、企業は手を出さない。(笑)しかしせっかく日本の企業が、基礎研究に本当に目が向いてきて、いい方向にきていたのに、バブルが弾けたことが原因で、ワーストと後退している。ほくはそんな印象をもちます。今おっしゃったようなことというのは、企業はど



村田 好正氏

のぐらい真面目にやっているのかわからない。この頃すぐく後向きのような印象をもちますが。

**小西** 化合物半導体から撤退しているとは、私はあんまり思わないんですけれども。私もその専門じゃありませんので、実態はよくわかりませんが、将来に向けて技術開発は各社ともやっておられると思うんです。ただ、シリコンで量子効果デバイスをつくるのは非常に難しいといわれておりますけれども、先程申しましたシリコンでの量子細線の研究もされております。確かに高速トランジスタ、スイッチング速度の速いものとしてはシリコンよりも化合物のほうが速い。しかし、シリコンでの素子の開発もどんどん進みまして、当初は化合物でないとできないといわれたものがシリコンでも可能になってきた。加工密度が上がりますと、スイッチングの速度が上がりますので。採算をやはり企業の場合考えますから、シリコンでできる範囲のものはシリコンでやっっていこうということだと思います。

**村田** そういう採算という意味でですね、やはり基礎研究というのが正直いって、なんなのかというのが、文部省あたりがとんとわかっていないから、基礎研究に本当の意味でお金が出てないような気がいたします。そういう意味では会社が長い目で、基礎研究に本当に目を向けてくれると非常にいいと思います。欧米の企業も、そういうものから撤退してしまっている。そういう意味では日本の企業が大いに頑張ってくれないといけないと期待をしていました。それがバブルが弾けて、ガタガタしているという印象をもちますが。

**小西** 私は逆に大学でもっと企業に役に立つ研究をしていただきたい。(笑)アメリカの真似をするわけではないんですけれども、アメリカの大学の場合は、けっこう大学で研究されました成果を特許にしまして、それを企業に技術移転する。

**村田** われわれのやっていることだって、ひょっとすると企業に役に立つかもしれません。しかし、理学部系

\* 学振第151委員会 極限構造電子物性第26回研究会資料

pp. 52~59 (1993).

\*\* X. Q. Shen, M. Tanaka and T. Nishinaga : J. Cryst. Growth 127, 932 (1993).



小西 文弥氏

は企業とのコンタクトは皆無に近いですね。ですから企業化するというのであれば、もっと接触があっているのではないだろうか。その点、工学部の河津先生はもっと会社と近いと思いますが。

**河津** そうですね。個人的な例ですけれど装置開発に関連してきますと、やはりあることはありますね。一般的にはやはり理学部の先生たちよりは応用という観点から研究なさっている場合が多いのではないかと思います。

**小西** 理学部と工学部とタイアップして一緒にやられるとか、それからパテントの形にして、企業にそれを売るとか、技術移転をされますと、また研究費が出てまいります。

**村田** われわれ何がパテントになるかなどのセンスはありませんから。(笑) 応用化学、触媒研究については、ほくはまったく素人ですけれども、やむをえず触媒関連に首を突っ込まなければいけないときに感じるのは、理学部出身者と工学部出身者で、非常に考え方が違いますね。やはり理学部出身の方々は、触媒の原理のほうにどんどんいく。工学部のほうは役に立つ触媒ができればいいという発想が非常に強いですね。

**田丸** パテントはありますよ。数えるほどしかないけれども。(笑)

#### —— 日本のオハコ、半導体表面 ——

**岩澤** 物理の分野で表面というと、今までは半導体がメインだった気がいたしますが、その半導体関連での進歩は、確かに大変なものは認めるんですけれども、学会全体としたときに功罪両方あるという意見がありますが、この点はいかがですか？

**村田** 日本は本当に半導体、特にシリコン、物理関連は非常に多いですね。シリコンも非常に面白いけれども、金属に比べるとよくわかってきましたよね。共有結合で結ばれていますので、いろんな現象が直観的によく理解できるようになってきた。それに対して、先程田丸

先生がおっしゃった金属の触媒がわかりにくいというのと同じで、金属が絡むような表面の現象、たとえば再構成や相転移の問題は、まだほとんどわかっていない。

一般的な物性物理屋さんにいわせると、金属なんて古いというイメージを(笑) 皆さんもつのですよね。実際問題として、工学部に金属工学科はなくなりました。表面では金属はまったくわかっていない。触媒の本質がなになのかという問題は本当に魅力的な分野ですよ。表面研究の究極のターゲットというのは、そこに一つあるように思いますね。

**吉森** でもせっかく強いんですから、半導体表面の研究をやめることはないような気がします。ずいぶんわかってきたけど、わかってきたなりに、面白いことがあります。しかし一方では金属表面の理論屋としての一面からいわせてもらおうと、日本で金属表面の実験研究もやってくださいというのは、ある意味では村田さんよりも、痛切に感じます。

**田丸** シリコンは実際問題として非常に重要だからというんで皆さんおやりになるんじゃないの？

**村田** いや、そうじゃなくて、やはり清浄表面を作りやすいからですよ。(笑)

**吉森** だからヨーロッパの表面実験研究者は悔しいわけですよ。悔しがらせてやることも、やっぱり必要なんじゃないかな。せっかくいい国にいるわけですからね。

**村田** ヨーロッパにいくとガリ砒素の結晶を日本から買いたいのだけれど、どこのメーカーから買ったらいいかと必ず聞かれますね。やはり半導体に関しては日本は、非常によい研究環境なんですよ。ですからそれだけに先程の話に戻りますけれども、企業がもっと基礎研究の人と接触することがあってもよいのじゃないかと感じます。せっかく日本というよい場を使ってなくて、企業はアメリカとか、ヨーロッパ、たとえばケンブリッジにはお金は渡すけれども、日本の大学には金を出さないというのが現状なんですね。(笑)

**田丸** ほくなんか見ているとね、どうしてあんなに同じものをしかも似た手法でみんながやっているのかなと思う。ほくだったら、もうあれだけみんなやっているんなら、もっとほかにいこうと思う。たとえば、触媒でもゼオライトはみんな大同小異の手法でワンサカやっている。だから、ほくは嫌だと思って one of them にならないでね、どっか新しいところにいこうという感じがするんだけど、まあ性懲りなくおやりになりますね。

**河津** シリコンの表面でも、わかったわからないということは、どういうレベルに判断基準を置くかによると思います。シリコンの研究は現時点でも非常に意義があると思います。たとえば、表面にいろいろな構造の準安



定状態を作って、その変化を追跡することは、今後もかなり研究の対象になると考えています。一例を挙げると再結晶化の問題があります。表面では反位相境界があって、それを片方のドメインを拡大するという場合には、ドメインの境界領域での構造とか、それから反応過程がかなり現実には問題になってきて、たとえば同じ大きさのグレインの片方を、通常の平衡状態に近い状態で拡大することは、たぶん熱力学的にみて難しいと思いますけれども、何らかの外的な要因で、容易にコントロールまたは、促進させるということも半導体表面ですと、検討の対象になるかと思えます。やらなければいけないことはまだ残されている。

**小西** デバイスを考えますと、日本のいろんな産業界で、たとえば鉄鋼メーカーさんも半導体をお作りですし、あらゆる機器・機械がエレクトロニクス、すなわち半導体によって制御されて、それが根幹になっています。ですから、日本のほとんどの業界が半導体に取り組んでおられますので、半導体関係の研究が非常に盛んであっても、別におかしいことはないと思います。それで半導体の開発の中で得られた構造解析技術や加工技術、これがたとえばマイクロマシンや新素材の研究開発などで役立っています。半導体が多いことは事実ですが、それは当然ではないかと思えます。

**河津** 今までやられてなかった分野に目を向けるということも必要ですが、それと同時に情報の交換も大切じゃないかと思えます。今までわかっている知識、あるいは他の分野の方には当然であることが同じ表面の分野でもほかの方たちにはあまりはっきり認識されてなくて、同じことをやったり、勘違いをして研究をしていることがよくあるので、表面学会の一つの役割として、やはり物理と化学、あるいは金属の方たちと、情報をよく交換する場を提供することは実際問題としては非常に大切だと思います。

**吉森** 金属表面研究の勧めという意味ですと、やっと固体表面の研究で多体問題が見え始めたわけですね。まだまだなかなか出てこないんですけども、その多体問題の研究では金属表面のほうが断然面白い。これから面白いことはまだいっぱい出てくるんじゃないかという期待はありますね。多体問題にはコンセプトとして面白いことがありますよね。その意味でビームと金属表面の問題は非常に面白いし、それから村田先生がやっていらっしゃるような研究の中に、本当に素過程にバラバラに分けていったときにいろんな面白いことがまだ潜んでいるんじゃないかという気がしますね。

**岩澤** 理論の面でもやはり半導体関係のほうが日本では進んでいるんですか？



河津 璋氏

**吉森** 第1原理の計算で今非常に有力なのは、Car-Parrinello法という分子動力学法なんですけど、今のところ、擬ポテンシャルが使えるs, p電子でないとだめです。しかも原子番号があんまり若いと、ベースの平面波の数を増やさないといけなくなりますので、今のところ、シリコンのあたりが一番いい。

**河津** ベースセットを平面波以外で、うまくd電子が記述できるような方法というのはありますか？

**吉森** ありますよ。ありますけどCar-Parrinello法には簡単には使えない。いろんな試みがありますけれど、これからという感じです。

#### —— 触媒と表面科学 ——

**岩澤** 化学の分野の表面科学は、触媒との関連で研究されてきた部分が多いと思えますけれども、ここ10年を見たときに触媒研究における表面科学の貢献というのはどのようなものがあげられるのでしょうか？

**田丸** 全然役立たないという人が多いですね。(笑)

**村田** いや、それはほくは日本の特殊事情のような気がします。外国の雰囲気はそんなことは全然ないと思うのに、日本の場合にどうしてこう基礎のほうに皆さん目を向けないのか。基礎と実用の触媒関連の方が、全く対峙しているという印象をもちますね。

**田丸** 一つはね、工学部の人、おれは理学部的なことをやっていたんじゃない、だめだと。で、離れるんですね。そうすると、中間がなくて、真空地帯ができますね。あれは非常にまずいんですね。アメリカでは、たとえばケミカルエンジニアリング部門というのは、もう分子線もやっているしね、非常に基礎もやっていますよね、みんな。日本では表面科学というと触媒学とは全然別ものに考えるのね、みんな。どうしてだろう。触媒なんて、サーフェスサイエンスの典型的な分野だと思うんだけど。要するに役立たないものは無効という感じ。ひがみかもしれませぬけれども。大学でその分野の存在理由をもつためには学問をしなければだめ

だと思えます。触媒探しでも企業と競争するのではなく大学らしいアプローチが求められるのです。

**岩澤** アメリカでは30歳代でどんどん新しいものにチャレンジしていますよね、若い連中が。けども、日本ではそれが非常に稀薄だというのが気になりますね。新しい、激しい流れのある学問では日本はちょっと辛いなという感じがします。

**河津** 私どもは少なくともドクターとるぐらいまではわれわれの考えと同じことをやるほうがよいと思うんですけども、その後はできるだけほかのことをやらないと一本立ちできないというふうに勧めます。

### —— 基礎研究への投資 ——

**岩澤** それでファンドはとれるんですか？

**河津** それが一番の問題です。研究をこれから新しい人がするとき、十分な研究費を渡して、研究をどうぞというような状況にはとてもない。研究内容とか対象によって必要な研究費も大小が当然あるわけですけども、表面科学の場合、かなりの額が必要で、多分億に近い額が必要じゃないかと思うんですが、とてもそれは用意できない。

**田丸** アメリカの連中はNSFでは、当る率が1割ですってね。日本ですと、だいたい4分の1か5分の1ですね。そういう意味じゃ日本のほうがいいといいますが、いかにも零細企業なのね。額の絶対値が低すぎるんですね。

**小西** 国際的な環境問題を考えますと、これから触媒なんていうのは確率が高いでしょうね。

**田丸** そうですね。それで研究費が出やすいですからね。

**村田** 日本の場合にはそのための基礎研究に金は出ないで、やはり銅鉄主義的な、会社の落穂拾いのところに金が出ます。さっきも田丸先生がおっしゃったとおり。

**田丸** そのほうがいかにも役立ちそうな、環境よくしそうな文章が書けるからね。

**村田** 基礎のところ直ぐに役に立つかわからないことをいくら書いても、外にはわかってもらえない。

**河津** 以前申請書を書くときに、その期間内で最終的な結果が出て、すぐ役に立つことが得られるような申請書を書くべきかどうかちょっと気になったことがあります。(笑) われわれとしても、ものによりますけれども、その研究であるところまではわかって、それから先はつぎの研究のステップになると、きちんとそういう態度を明確にして、申請書を出すことが必要じゃないか。そう簡単にわからないものでも研究しなければいけない

と、やはり態度を明確にしないといけないと感じますね。

**村田** そういう意味でやはり日本では、まだ基礎研究が何なのかということがわかってない人たちが上のほうにいるという印象をぼくはもちますね。

**田丸** でもドイツの連中にいわせると、うちは基礎は強いけれど応用の連中はだめなんだと。要するに役立つほうはだめなんだといういい方をする人もいますね。

**河津** やっぱりあたりまえのことですけども、基礎も重要だし、応用も重要。

**小西** 企業でも目的さえはっきりしておれば、基礎研究できるんですね。なんでもいから予算を出すから好きなことをおやりなさいというのはちょっと難しい。現在身近なものでなくても、こういう目的のためにということに成功すれば非常に評価を得ると思いますね。

**田丸** やはり確率的な問題があるんじゃないですか、どのぐらい投資したらどのぐらいの確率でと。

**小西** そうですね、これは基礎研究ですから、そういうリスクを負う必要はあると思うんです。

**田丸** たとえば中国では基礎を止めてもつばら生活レベルを上げようとしている。イギリスでもいわゆるリンクスキームといって、お金は会社からもらえという。それこそ向こうの教授は、政府はおれたちに金のために研究しろというのかなんて、王立協会の集まりでやっていたけれども。

でも、昔に比べると、日本ではいろいろの財団ができて、研究費が入りやすくなっているんじゃないですか。ただ、科学の進歩とともに研究が高価になる速度がずっと速いから大変。それからもう一つ感じますのは、今の行政改革のもとで、研究の底辺を支えるところをどんどん切ってますよね、大学では。基礎研究をやっていると思うと、工作室などその底辺を支えるところがますます大事になっているにもかかわらず、定員削減でそこを切ると、非常に深刻な問題が起きてくると思っているんです。

**吉森** ここ10年ぐらいで国立大学の助手の数がどれだけ減ったか。それから技官も。振替で、みんな上にあげてしまって助教授、教授ばかりになって。(笑)

**村田** あれは大学での研究の低下で、助教授、教授ばかりつくって、教育だけやるのかということで、まったく狂っていますね。とにかく今の文部省の政策は基礎研究がまったくわかっていない。

**田丸** 文部省に理科系いませんからね。また大学自身がそれを欲するんですよ。それやって講座研究費が事実上増えますよね。表面科学は武器が高いためにね、若い人がなにかチャレンジしようとした場合でも、本当にお金がまず必要になるという意味で、つらいですね。

**村田** だから、そういう意味で、新しいことをやろうと思うと、まずどれだけ早く失敗できるかということが大切なのですね。工作室などを充実し、失敗しやすい研究環境を作ることが大切なのに、逆の方向に向っていますね。

**小西** 企業の場合、市販の完成された解析装置を最近はどうも購入する。昔のように自作で装置を作ったという機会は非常に減ってきました。装置の性能も上がり、コンピュータで制御されるようになったので、非常にユーザーフレンドリーで、ボタンを押すと、最適条件に装置が設定されるようになっている。そうすると昔装置づくりをしたり、基礎的な仕事をした技術者が、逆にする仕事がなくなってくる。そういう傾向が多少ありますね。ですからそういう人たちは新しい材料開発のほうに入り込んでいって開発している人間と一緒に仕事をする方向にあります。

#### —— 最近の印象的な研究 ——

**岩澤** 先生方が最近5年間で最も印象に残った論文、パテントでももちろん結構ですけれども、それをあげていただけませんか。また、なぜそれを選ばれたか、手短にご説明をしてください。

**吉森** 例の STS で表面状態の定在波を見たという、IBM の Eigler たちの論文です。[M.F. Crommie, C.P. Lutz and D.M. Eigler : Confinement of Electrons to Quantum Corrals on a Metal Surface, *Science* **262**, 218 (1993).] それより前に Avouris と長谷川のところでやはり定在波が観察されています。

[Y. Hasegawa and Ph. Avouris : Direct Observation of Standing Wave Formation at Surface Steps Using Scanning Tunneling Microscopy, *Phys. Rev. Lett.* **71**, 1071 (1993).] Eigler の論文で興味もったのは、一つの原子のまわりに丸い輪が見える。中心に置きました吸着原子がスピンをもっていれば、スピン散乱が見えるという期待があって面白いと思いました。

**村田** やはり Ertl のプロパゲーションスタンディングウェーブまで見た、あれがやはり面白いかな。ダイナミックなことを眺める研究の典型ではないかと。やはり実空間でいろいろ見えるというのは非常にわかりやすいですね [S. Jakubith and H. H. Rotermund, W. Engel, A. von Oertzen and G. Ertl : Spatiotemporal Concentration Patterns in a Surface Reaction : Propagating and Standing Waves, Rotating Spirals, and Turbulence, *Phys. Rev. Lett.* **65**, 3013 (1990).]

**岩澤** 反応でリアルタイム観察は初めてですか？

**田丸** かもね。ああいうことに加えてどこどこで炭酸ガス出ているとか、ちゃんと出てくるとおもしろい。

**村田** そういふので面白いのは FIM で反応を追っている Block の仕事がありますね [N. Ernst, G. Bozdech, V. Gorodetskii, H.-J. Kreuzer, R.L.C. Wang and J.H. Block : Oscillating Hydrogen-Water Reactions on a Platinum Field Emitter, *Surf. Sci. Lett.* **318**, L1211 (1994).]。あれも反応の立場では面白いと思う。普通ですと、20ケルビンに冷やさないで FIM のイメージは見えないわけです。あれでは反応を追っていますので、高い温度ですけれども、結合を切ることで、熱運動の効果がなくなっていて、高い温度にもかかわらず、FIM イメージが綺麗に出ているのですね。

**田丸** ぼくも Block のも面白かったし、銀の表面上の酸素が化学吸着する仕方も面白かったし、それから Sachtler のゼオライトで金属原子がくっつくというのがありますね。普通のところだとみんな原子が集まっちゃうわけですが。だけど、あのゼオライトの中だと、アトムだけで、たとえば白金なら白金のアトムがちゃんという。それが触媒作用すると、相当違っちゃうわけですね。ぼくはああいうのでセレクトイビティ調べると面白いなと思うんです。

**吉森** 何個か入る場合もあるようですね、ゼオライトに。アルカリ金属原子なんか4個ですか。強磁性になるという話がある。

**田丸** そうですか。13個ぐらいの骨格がちゃんとできるのもあるし。部屋から部屋に行くのがちょっと大変なもんだから、そうすると、だんだんそれを広げると、クラスターになったり、合金ができたりね。そういうものを反応として面白いなと思っています。Sachtler のをあげておきますか [G.D. Lei and W.M.H. Sachtler : H/D Exchange of Cyclopentane on Pt/Mordenites : Probing for Monoatomic Pt Sites, *J. Catal.* **140**, 601 (1993).]

**河津** シリコンの7×7がSTMで見られたのは1983年ですか。確か。あれと同等の印象に残る論文というのはあまりない。最近それに匹敵するようなのはどうも見当たらないんで。(笑)面白いという論文はあるんですけども、どうもやっぱりあれが頭にあって [G. Binnig, H. Rohrer, Ch. Gerber and E. Weibel : 7×7 Reconstruction on Si(111) Resolved in Real Space, *Phys. Rev. Lett.* **50**, 120 (1983).]

**小西** 私は材料評価の観点から、飯島さんの、カーボンナノチューブの電子顕微鏡による構造解析の結果ですね。非常に印象的でして、1ナノメートル径のカーボンチューブですけれども、金属的な性質を示すものから、スパイラルになると半導体的性質を示すというデータもあります。このチューブの中に何かを詰めることができればまた新しい複合材料も開発でき、新しい学問分野が

できるんじゃないかという話もありますので、それをあげさせていただきます [S. Iijima and T. Ichihashi : Single-walled Carbon Nanotubes of 1-nm Diameter, Nature **363**, 603 (1993)].

飯島澄男：カーボンナノチューブ：その後の発展，固体物理 **29**, 231 (1994).]

### —— 今後の表面研究 ——

**岩澤** 今後日本でもっと研究したらいいと，すべきであるという領域を一言ずつお聞かせ願いたいんですけども。理論の面ではどのような。

**吉森** お金がかかるのでいけば，超並列計算機，表面構造計算専用機，絶対いると思いますね。それから理論研究としては初めに申しあげましたようにバランスのとれた進展が実験との関係のうえでも大事だと思っています。

**村田** ほくからいうのはおこがましいですが，やはり触媒の基礎研究ではないでしょうか。非常に魅力のある分野なのに日本の触媒研究者があまりにも基礎に目を向けられない。

**岩澤** 村田先生が触媒に残りを捧げたら大変なインパクトがあると思う。(笑)

**田丸** そうね，村田さんやってみせればね，みんなそんなにサーフェスサイエンスって役立つんですかと驚くんじゃないの。(笑) 確かにさっきちょっと申しあげたように，本当の話がわかってないのね。ただそれに近づいたことは相当確かだと思うわね。その外側からやってだんだん奥に深く入ってきて，あともう一押しするとだいぶまたわかってくるんじゃないかなと思う。そのためには今までの手法を少しアウフヘーベン，上がった手法を使っていかなければいけないんじゃないかなという気はします。だからさっきのように触媒反応が起こっていても，本当にどこで起こっているのか，そのアクティブサイトがどんな性質をもっていてという一番肝心なところがこれからわかってくるんじゃないかなと思って楽しみにしているんです。

**小西** 私はこれからやるべきものとししましたら，やはりバイオテクノロジー，バイオ素子の分野かなと思うんです。半導体の微細加工技術が非常に進んできました，原子レベルの結晶成長技術もありますが，そういう単原子操作的なものが可能になってきましたら，たとえば量子効果デバイスですと，数十Åぐらいの寸法の加工が必要になっています。そうすると，DNA とあまり変わらない大きさになってきますから，先程から話がありました STM, SPM やいろんな新しい評価技術を使いまして構造決定であるとか，もう一つは生物に学ぶといいますが，そういう研究開発がかなり積極的にやられつつある

んです。たとえばバクテリアの鞭毛は非常によい対象になっているようで，高速回転をされていて，典型的なバイオモーターというんですか。そういうところの動作原理を解明して，新しいバイオ素子を開発していく。原子操作的な技術が一番活躍する分野ではないかなという気がするんです。

**河津** 田丸先生がおっしゃいましたようにあるところまでかなり絞られてきているけれども，つぎのステップに進むには，やはり新しい測定手法が何か出てこないかという期待が一つあるわけですけども，それが具体的になかなか思い浮かばない。だから，もう一つの方法として，やはり現段階でのいろんな手法を使って，総合的に理解を，あるいは定量性をきちっとする，できるだけ正確に現時点で典型的な現象とか，表面構造など，あるいは電子状態を理解して，それに基づいてつぎのステップにもう少し複雑な系に進むということが重要だと思います。特に表面過程ですね。触媒のほかに薄膜の形成過程とか，あるいは人工微小構造体の表面過程というものも含まれると思いますので，それは昔から薄膜で興味をもっていたものですので，ぜひやってみたいと思います。

### —— 表面科学会への期待・提言 ——

**岩澤** 日本表面科学会は，ご承知のように物理と化学，電気，機械，生体など多くの研究分野の人たちが入って，特色があるわけですね。1995年でちょうど創立15周年を迎えた日本表面科学会に対する期待と提言をおっしゃってください。

**村田** 国際社会の中の日本ということをお考えすると，国際的な組織の形態と日本のそれは非常に異なっている。アメリカのせいかなと思うのですが，表面科学は，IUPACではなく，IUVSTAに属しています。それに対して日本では真空と表面は完全に分かれている。やはり国際組織に近いものにする努力をすべきだと思います。その辺河津先生どうお考えですか？

**河津** そうですね，真空だけではなくて，それは情報とか，先程お話出ました触媒化学だとか，物理学とか，横断的なところが----

**村田** もっと狭い意味ですね。国際組織を考えたときに表面科学は，IUVSTAのもとでの活動が非常に大きなものを占めています。アメリカの場合だと，アメリカ真空学会が，ヨーロッパでもヨーロッパ真空学会が支えていて，表面の人たちがほとんどを占めている。そしてIUPACなどの組織の代表にもなっています。その中で，日本だけが非常に違っている。

**河津** 日本の場合には，日本真空協会が，その組織に対応している，現実に。ですから，日本表面科学会でどうそれに対応するのかということはいまはあまり具体的には議

論されたことはたぶんありません。

**小西** 企業の研究所の中に組織的に表面科学研究室をつくってやっているところもあるぐらい表面科学は、非常に現在では大事な研究分野です。今先生方のお話がありましたように、学会別にそれぞれ活動しているわけですが、表面科学会が日本にあるわけですから、これからを考えますと、各学会のサーフェースサイエンス分科会的な活動をしておられる各学会との共同研究発表会とかを企画していただきたいと思います。

**河津** 表面のイメージがいろいろな人によってかなり分布があって、いかにして、具体的な要望を取り上げていくかというのは、なかなか難しい問題です。たとえば、原子レベルの話で現在の半導体はまさに表面科学のメインの問題と思うんですけれども、しかし半導体関係の人にいわせると、この学会も現時点では半導体が抱えている表面からの視点というのが欠けているんじゃないかということはよく聞きます。このほかに重要な分野としていわゆるリアルサーフェースの問題とか。そういう方たちの共通の場をつくりうるのかということも非常に重要なことです、現時点では。そういう分野の人たちの積極的に活動できるような研究会組織、あるいは分科会を、そのグループごとに活動できる組織や、機会が非常に大切じゃないかと思います。お互いに必要な情報交換がひんぱんにできる体制。

**田丸** ひとつ注文していいですか。触媒の連中にサーフェースサイエンスを軽視している人がいそうですが、一緒に両方が興味をもつ集まりをね、ローカルにして、たとえばシリコンでもいいですよ、物理学会と一緒に構わないけれども、何かそういうここだけで独立性を意識ということではなくて、もうちょっと外側に向いていいんじゃないかなという感じがするんでよろしく願いできればと思います。

**河津** 今までは会の運営を軌道に乗せることに大変でしたので、そういう活動は今後かなり活発になると思います。

**田丸** 化学反応の連中が表面に理解がないというのはね、そういう連中と一緒にもっと理解を深めるような催しなり考えてもいいんじゃないか。ことに若い連中にそういうPRしていただけるといい。そういうときにたとえばアメリカの典型的な第一線の連中も入ってやると、アメリカじゃこうやっている、日本はもうちょっとどうにかしなきゃいかんとか、そういう少し意識が高まらないかなという感じがする。

**河津** 情報の交換が、現段階では少ないという声がいふんありますね。ただ一方先程申し上げましたように

半導体の表面は、非常に重要な分野なので、むしろ、この学会が中心的な立場に立てればいいのではないかというのは、あるんですけれども。

**吉森** 表面科学のコミュニティとして、外に対してなにか主張をしたりするときには、やっぱり大事なグループというか、そういう目的もありうるんじゃないかと思うんですけれどもね。たとえば表面科学研究所をもし考えたとすれば。しかしそのためにはやっぱりサーフェースサイエンティストをたくさん集めないといけない。今会員が少ないとおっしゃいましたね。

**河津** 1400人ぐらいです。

**小西** 関西は250人ぐらいですね。表面基礎講座というのもこの時期にしてはわりあい人が集まって、非常に結構なんですけれども、従来、大学の先生とか、非常に専門的に取り組んでおられる先生方しか使っておられなかった解析技術、たとえばEELSとか、カソードルミネッセンスとか、最近では企業でも、必要なときはそういうものもどんどん導入しておりますので、あまり一般的にはなっていない評価技術についての啓蒙、講習会的なものがあればまた役に立つんじゃないかと思っております。

**岩澤** 今後は自主的なリーダーシップが取れる学会というためにはやっぱり人を、いい人を学会の中心にきていただかないと。

**河津** 活動を活発に行うにはいろんなファクターがありまして。そのためには単純ですけれども、会員をもう少し増やしたほうがいいんじゃないかという話はあるんですけれどもそのためには表面分野に範囲を限っていると、大幅な会員数増というものにはなかなか結び付かない。会員増がもちろん最初にあるわけではないんですけれども、そのためには分野をもう少し広げて、今後いろんな研究会とか、会合で積極的に取り上げるというやり方が一つあります。一方ではこのままで、こういうペースでやっていくのも一つの行き方じゃないか。あまりスペクトル広げ過ぎるのはやはり慎重にという考え方もあります。

**岩澤** 予定の時間を超過しまして、さまざまな側面から表面科学に対して率直なご意見を伺わせていただきました。ご多忙のところ、快くご出席をくださり、有意義な座談会となりましたことにお礼申し上げます。また、編集委員の長谷川先生には、進行その他ご協力いただきましてありがとうございました。これで、創立15周年記念表面科学座談会を終らせていただきます。どうもありがとうございました。