

理研ニュース

理化学研究所

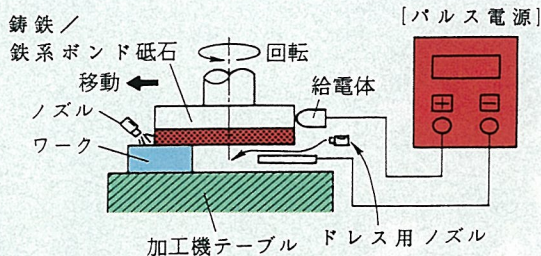
超精密鏡面研削の最前線 —ELID研削法の先端的研究と実用化—

硬質材料に対し、研削加工のみにより研磨に匹敵する鏡面を実現する技術として、ELID（電解インプロセスドレッシング）鏡面研削法を開発した。基礎原理の解明と加工技術の確立が進む中、実用化も本格化しつつある。

1987年（昭和62年）、春から夏にかけて筆者は切れ味の悪い砥石でできるだけ良い加工面を得ようと、昼夜を問わず悪戦苦闘を繰り返していた。筆者がまだ東大大学院に所属していた時期である。当時、鑄鉄繊維（ファイバ）とダイヤモンド砥粒を焼結した「鑄鉄ファイバボンドダイヤモンド砥石」はあまりにも強靱で、粗加工に使おうにもダイヤモンド砥粒の刃先を突出させる目立て（ドレッシング）作業が困難で切れ味が悪い。また、何とか一般的な方法で目立てができて、少し使うと目つぶれを起こしすぐ削れなくなる。ヤスリが擦り減って磨けなくなった状態と同じである。そんな砥石を一生懸命使って鏡面を得ようとしていた訳であるから、加工面に与える傷を少なくしようと数ミクロンのダイヤモンド粒を含んだ砥石を使おうものなら、目立てすらできなくなる。その

ようなどん底の実験生活の中で、ある時「ダイヤモンド砥粒だけを残して、鑄鉄の結合材を溶かせば砥粒が飛び出す筈だ。砥粒だけ残すには、鑄鉄と異なる点、すなわち“選択性”を利用すれば良い。最大の選択性は“電気伝導性”である」といった自問自答を行っていた。冷静に考えてみれば、電気分解により鑄鉄のみを溶出させれば、溶出しないダイヤモンドが露出するのは当たり前である。追い詰められた状態でひらめいたアイデアを高橋一郎技師の協力により具体化し、真夜中に鏡面研削ができたのは感動的であった。

1988年の春～夏にかけて、図1の「電解インプロセスドレッシング研削法」を提案した。つまり、金属でダイヤモンド砥粒が固定された砥石表面を陽極にし、砥石面に対向する陰極との間に導電性研削液を流し、電解によるエッチングを発生



※ケミカルソリューション研削液を電解液とする。

図1 ELID研削法の基本原則

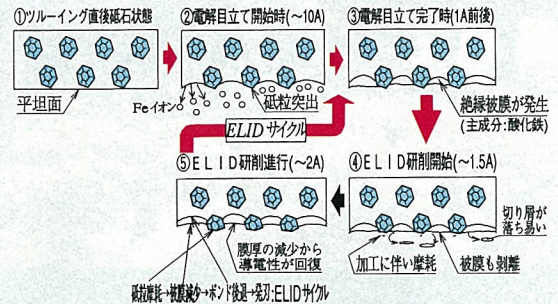
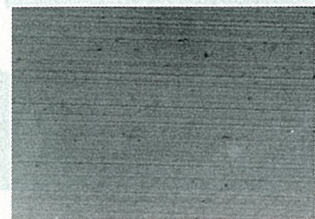
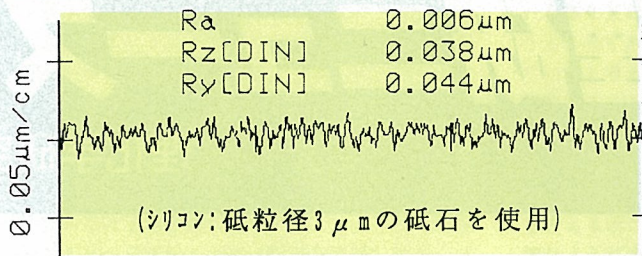


図2 ELID鏡面研削のメカニズム



A. 研削面粗さパターン

B. 研削面性状

図3 ELID鏡面研削による研削面

させ、微細なダイヤモンド砥粒でも突出させ、切れ味を確保・維持する究極の原理である。

電解インプロセスドレッシング: Electrolytic In-process Dressingから、筆者は「ELID」の4文字を抜き出し、「ELID研削法」と命名した。これは先端的な加工技術を思わせるネーミングだと我ながら感動したものである。

その後の2年間の研究により、ELID研削の原理は、単に電解により結合材が溶出され次々にダイヤモンド砥粒が突出してくるものではなく、ある程度溶出し砥粒が突出すると、金属イオンが水酸化物・酸化物に化学変化を起こし、砥石表面に付着し、電解溶出速度を低下させる「不導体被膜」を生成することを発見した。これが、砥石が電解で減り過ぎない理由だが、加工に伴い被膜が被加工物により剥がされると砥粒が磨耗した分だけ電解が再開し砥粒突出が確保される、自律制御機能を持つ非線形とも言える電解現象であることも分かった(図2)。とにかく、このような基礎原理の確立を経て、簡単な構成で能率的かつ汎用的な方式で鏡面加工できる研削法だということが分かつ

てきた。つまり、粒径2~4ミクロンの微細ダイヤモンド砥粒を持った鑄鉄ファイバボンド砥石を適切に目立てし硬くて脆い材料を研削すると、砥粒先端が被削材表面を微小に剪断破壊し、表面粗さ数+nm(ナノメータ)もの高品位面を実現する。これは硬脆材でも延性材と同様に表面が塑性流動を起こす「ダクタイルレジューム研削」と呼ばれる機構で、これまで研削加工では困難とされていたものであったが、ELID研削では安定的に実現している(図3)。鏡面を得る研削に大きな特徴があり、その後、「ELID鏡面研削」と呼ばれるようになった。図4、5は、1988~1989年にかけて製品化・実用化されるに至ったELID用パルス電解電源とエアスピンドルを有した超精密ELID専用平面研削盤である。図6はこうした専用装置による最新加工例である。

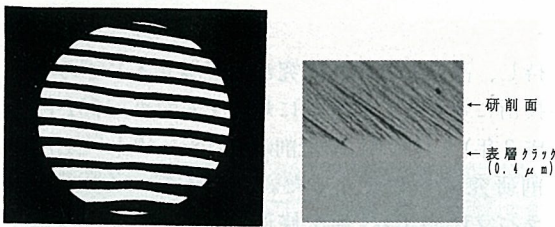
図6Aは、エアスピンドルを有したELID専用鏡面研削盤による形状精度例である。レーザー干渉計による測定で、 $\lambda/8$ ($0.1\mu\text{m}$ 以下)の平坦度を持つ超精密鏡面が実現されている。この平坦度は $\phi 6$ インチのシリコンウェハを東京ドームの広さに例



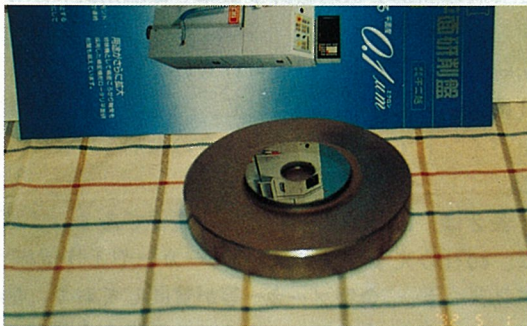
図4 ELID鏡面研削を実現する電解電源
〔新東プレーター(株)〕



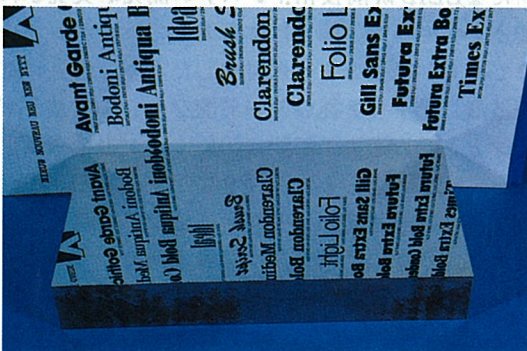
図5 実用化された超精密ELID鏡面研削盤
〔㈱不二越〕



A. φ1インチの平坦度 B. 研削面の表層歪
A. シリコンウェハの鏡面加工精度



B. 超硬合金の鏡面研削による品質



C. 鉄鋼材料の鏡面研削サンプル

図6 ELID鏡面研削の最新加工例

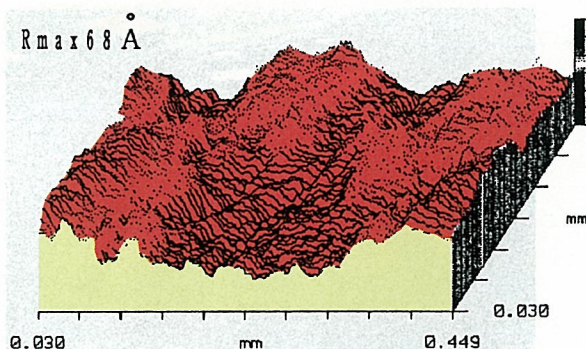
表1 ELID研削技術の対象材料

被削性	材料種	硬脆材料	延性材料	その他
	難 ↑ 中 ↓ 易		セラミックス 超硬合金 サファイヤ ガラス フェライト シリコン Ge、水晶	

えると、1 mm以下の形状誤差である。また、加工歪も極めて少ない(同図)。図6 Bは、同様の加工機による超硬合金の鏡面研削例である。この品質なら、そのままミラー製品として使える。砥石粒度(砥粒径)をメッシュサイズ(＃)で呼ぶが、もはやJIS規格にない＃6000(平均砥粒径約3 μm)が鏡面研削の標準砥石となりつつある。これに関連し、本研究の当初、強度向上が必要との理由で砥石に入れていた铸铁ファイバは不要であることが分かり、現在では(铸)鉄粉と砥粒を混ぜた砥石となっている。図6 Cは大形金型平坦面を想定した鉄鋼材の鏡面研削例である。

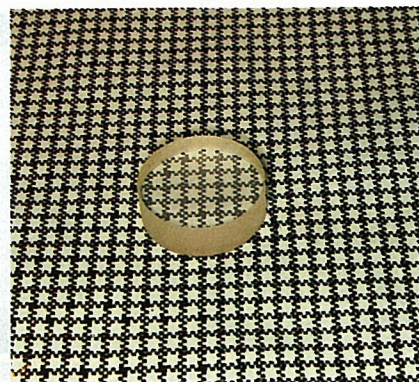
図7は、旧ソ連がもたらした爆発合成法による50オングストロームのダイヤモンド砥粒を、コバルト粉末をボンド材として砥石とし、ELID鏡面研削を行った例である。砥粒径と同等の面粗さが得られている。これぞまさしく究極の鏡面研削である。

ELID研削法の用途の広さと(表1)先端産業への導入の可能性を受け、産業界との密接な関係を維



A. 加工面の3次元粗さ例

図7 50オングストローム砥粒による加工例



B. ガラスの超精密加工例

表2 ELID研削研究会の概要

設立目的

1. ELID研削技術の学術的・工業的な確立
2. ELID研削技術の普及と製品化へと援助
3. 先端的超精密砥粒加工技術へのアプローチ

研究組織

委員長 大森 整(研究員)
 主顧問 中川威雄(主任研究員)
 協力者 高橋一郎(技師)

期 間：1991年6月から5年間

参加企業：1992年8月末現在40社

装置メーカー	17社
ユーザ…光学材・光部品加工	10社
電子・磁性材料加工	7社
セラミックス・工具材加工	3社
金型材料・金型加工	2社
その他(金属材など)	1社

持し、高度な先端的研究から現場サイドでの利用技術に至るまで効果的に対応するため、1991年(平成3年)6月にELID研削のプロジェクト「ELID研削研究会」を設立した。これまで、各企業がバラバラにELID技術を修得していた時期に比べ、本研究会の設立と活動を通して関係企業間における共通の問題や課題をある意味では総括的に取り組むことが可能となり、これまで学术界において伝統的経験の技術と位置付けられてきた砥粒加工技術あるいは研削技術に対し、ハイテク化の要素をバインドすることが本研究会の役割と考えている。

表2は、ELID研削研究会の概要である。すでに、40社の光学・電子機器のメーカーや工作機械・工具メーカー、金型メーカー等が賛同しており、個別の技術指導・年3回のセミナーや見学会を通じて、新たなELID研削技術やシステム開発が実現されようとしている。図8は本研究会のシンボルマークである。砥石とそれに対向した電極、中央に電解波形、上下に2極のリード線をあしらったデザインとした。過去1年間に、いくつかの精密測定機を導入するとともに、図9に示す超精密非球面加工機、超精密ELID平面研削盤などを導入し、世界最高水準の超精密研削設備を揃えつつある。

図10は非球面レンズの試作例である。カール・ツァイスを始めとする海外企業も、本技術確立に乗り出した。表面粗さ10nmと形状精度0.1μm両立も夢ではなくなった。超精密の機械要素と制



図8 研究会のシンボルマーク

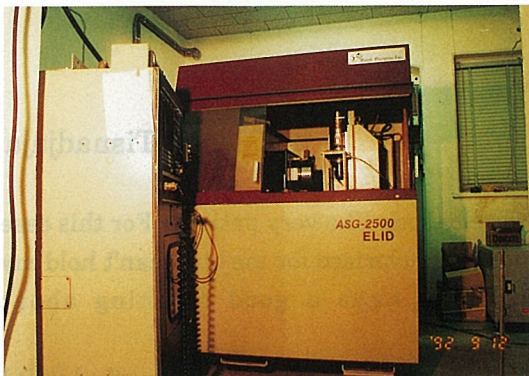


図9 超精密非球面加工機[Rank Pneumo社]



図10 非球面レンズの超精密鏡面研削例



左より、高橋(理研)、濱津(牧野フライス精機)、権(東大)、米今(三田工業)、丁、朴(東大)、大森(筆者)

御技術を加え、ELIDは益々発展していくであろう。ELIDのユニフォームをまとい(上図)、スタッフは日夜研究に明け暮れる。先端研究と実用化をバランスさせるのもELIDグループの役目である。

素形材工学研究室

研究員 大森 整

理研の主な公開特許

PH04-159895 ステレオ立体表示装置用 シャッタ制御信号発生装置

情報科学研究室 出澤正徳

〔目的〕画像表示装置と立体視用シャッタ制御装置とを電氣的に結合させることなく動作させることにより、画像表示装置のハードウェアを変更せず異なる種類の画像表示装置に適用可能となる。

PH04-190798 モノクローナル抗体 ジーンバンク室 村上康文その他1名

〔新規物質〕〔用途〕エイズウイルス等のTat-3遺伝子を有するウイルスの感染の診断薬、Tat-3遺伝子を有するウイルスの遺伝子転写機能の解析および感染メカニズムの解明用研究試薬。



THE ANSWER OF MY QUESTION

SCIENCE BRINGS

by Djadjat Tisnadjaja

I write this as to pay my promised to my self when Mr. Nishiguchi told me about, nobody from Indonesia have to write essay for R I K E N News, by this sentence he was knock my heart as Indonesian and eventhough I don't have capability to write something and also now I have to preparing my baggage and everything else because I have only three days more for return to my country, it's mean I don't have enough time, but any way I tried to fulfill my promised and this is my expression about Japanese.

Before I come to Japan I was knew if Japan at later decade is one of the important country in the world. And in my mind I have question how Japan was developed very quickly, and because of my limited knowledge I didn't founded to reason of that.

At first time I went to somewhere at around of my one year stayed in Japan, I have got surprised when I seem almost all of Japanese in station look like very busy, they do everything in hurry and their run to get the train eventhough the train schedule in the morning was be very closed each other. Perhaps I can't believe this thing if I didn't see by my self, everybody running in the very crowded station, and I have never thinking about this before I come to Japan. And more interesting is however they are look like very busy but whenever because of the situation they should be queue, their were queue and I have never seen somebody be anger by this situation and everybody

were be look like very patient. For this case not just surprised for me but I can't hold my mind to have a good thinking about Japanese.

Another case, I had been worked in R I K E N for around 10 months, of course in this time I observed the Japanese worker who were working here. And another surprised I was founded and also not easy to believe this case. In R I K E N most of researcher their work for more than 10 hours per day, I mean they begin by 9.30 in the morning and they leave laboratory after 9 o'clock in the night, and in that time their always have something to do, and when their work, they were be very quiet, at first I had thinking they don't like to take case each other or they don't like somebody else ask their help or another kind to disturbing they are concentration on work, but at later times I have to change my thinking because when I asked them they have to give the warm response.

Based on both of above case and anothers case which was I found in Japan, just now I will keep in my mind if Japanese were be very kind person, they are having good discipline good emotion control, and most of them is hard worker, so these is sufficient to answer my question, eventhough I know Japanese have another reason why Japan was developed very well and very quickly.

US TOGETHER

疑問に対する答え (要訳)

国際協力事業団(JICA)のバイオテクノロジー研修生として、有機合成化学研究室に約1年間滞在したインドネシアの好青年。

「インドネシア人は、誰も理研ニュースにエッセイを書いていない」という言葉に私は少なからずもインドネシア人としての心が揺さぶられたので、私はものを書く力もありませんし、帰国する日も残すところ3日ばかりとなり、十分な時間がないなかで荷物を片付ける準備もしなければいけません、これを書いてみようと思います。

私が日本にやってくるまでの印象は、日本がここ最近、世界でも大変重要な国のひとつであるということでした。私の頭の中では、どうやって日本はこんなに早く発展を遂げたかという疑問がありました。というのも、私の限られた知識では、その理由がわからなかったからです。

初めて日本に滞在した1年の間にいろいろなところに行きました。そして私は日本人の殆ど全員が車で非常に忙しく、急いであらゆることを行い、列車にかけこんで乗り、列車の中ではお互いにくっつきあっている状況を見てびっくりしました。このようなことは自分の目で見るまで信じられなかったことでしょう。また日本にやってくるまでこういうことは考えられなかったでしょう。更に面白いことは、とても忙しそうなのに、きちんと

列に並ばなくてはいけないところではきちんと並び、文句をいっている人はだれもみなかったということです。だれもがじっと我慢しているように見えました。これを見て単に驚くだけでなく日本人に対して良い考えをもたないわけにはいきませんでした。

また私は10ヶ月間働いた理研の中で、働いている日本人を見ることができました。驚いたことは、理研の研究者の殆ど全員が1日に10時間以上も働いていることです。彼らは朝9時30分に働き始め夜は9時すぎても研究室に残っています。彼らはいつも黙々と仕事をしています。私は初め彼らが他人を気づかうのがいやなのか、あるいは他のだれかが援助を求めるのを嫌って仕事に集中しているのを妨げられたくないのかと思っていました。しかし、しばらくして私は自分の考えを変えなければいけないと思いました。私が彼らに質問をしたとき、温かい答が返ってきたからです。

私は自分の目で日本を見て、日本が発展してきた他の理由があるにせよ、日本人が大変親切で良いしつけをうけ、情緒が安定し、大部分の人たちが熱心な労働者ということに気づいたのです。

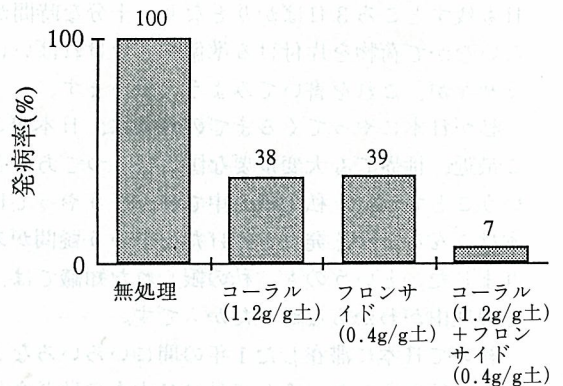


スポットニュース

アブラナ科野菜根こぶ病の新システムによる防除の試み

ハクサイやキャベツなどアブラナ科野菜の根こぶ病は、世界的に連作障害の一因として重大な被害を及ぼしており、我が国においても秋田県、茨城県、栃木県、群馬県などの大産地で発生している、非常に防除が困難な病害である。この病害は、変形菌類に属する *Plasmodiophora brassicae* という菌糸の形態を持たない菌によって引き起こされ、水や土によって伝搬する。この病害を防ぐために、産地ではPCNBなどの殺菌剤の大量施用が行われ、近年、土壌での残留や、大気、水系への拡散が社会的問題となっている。一方、コーラルと呼ばれる多孔質で粒状の琉球石灰岩を畑土に混入(400kg/10a)することによって本病害が軽減されることがわかってきた。これは、病原菌の休眠胞子がコーラル粒子に吸着され、粒子周辺の高pH(8-9)に伴って不活化される、生態的な発病抑制による。両者の防除効果を利用するため、コーラルと殺菌剤(PCNB、フロンスайд)を同時に土壌施用したところ、ポット試験、現地試験(秋田県農業試

験場と共同研究)で良好な防除効果を示した。この結果、効果の確実性の向上と薬剤施用量の削減が期待された。そこで、現在コーラルに少量の殺菌剤を配合することで、生態的防除と化学的防除を組み合わせた新たな防除剤を試作している。(微生物制御研究室 有江)



コーラルとフロンスайдの混用によるハクサイ(王将)根こぶ病防除効果(ポット試験)



無処理ハクサイ圃場においては根こぶが発生し、萎ちょう、結球不良が認められる激しい被害を示した。

コーラルとフロンスайдを同時施用した圃場では根こぶの発生が少なく、順調な生育が見られた(秋田県、雄物川河川敷)

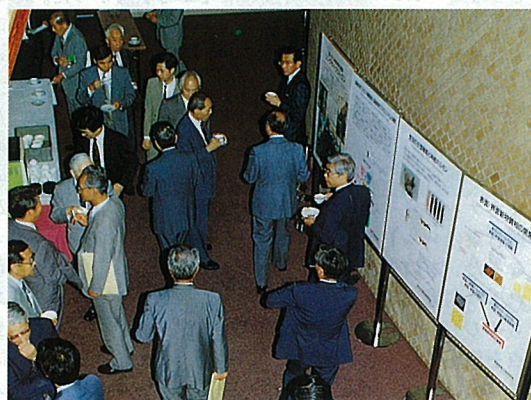
第15回科学講演会開催

－財団理研創設から75年を迎えて－

科学技術の振興と普及を目的とした恒例の科学講演会は、10月2日、東京・大手町の経団連会館で開催されました。

午後からの開演時には雨もあがり、企業をはじめ大学、研究機関、理研OBなど300名を越えるお客様。小田理事長「21世紀を拓く研究所を目指

して」、八木江里東洋大学教授「日本の科学技術史における理研の役割(第二次大戦前)」、管野卓雄国際フロンティア研究システム・ディレクター「波としての電子と極微細構造」、高橋理事「植物生活環の制御と植物ホルモン」、4氏の講演と新作の理研紹介映画の上映が行われました。



理研シンポジウム (11月)

テ　　マ

担当研究室

開催日

不安定核ビームを用いた核分光
光CVDと表面マイグレーション
第3回「計算機の新しい利用」
－Scientific Data Visualization－
第10回「細胞表層糖鎖の化学」

プラズマの基礎過程
－金属イオン源と材料表面改質への応用－
新しい光応用技術
生物分子機能工学

放射線研究室 11/2、3
分離工学研究室 11/12
電子計算機委員会 11/13
電子計算機室
細胞制御化学研究室 11/24
生物有機化学研究室
プラズマ物理研究室 11/20
光工学研究室 11/26、27
化学工学研究室 11/27



ちょっと怖かったはなし

もう数年まえの話である。私たちは、衛星を使った宇宙線の重粒子を観測する計画を進めていたが、その実現性を確認するための加速器実験を行う必要があった。当時はまだ理研のリングサイクロトロンが試験段階であり、国内の加速器では必要なビームエネルギーを得ることができなかった。そこで、アメリカ・カリフォルニア大学のパークレー校にある重イオン加速器ベバラックを使った実験を行うため、パークレーに滞在していた。加速器の実験やその準備は、例によって人間の側の生活時間などおかまひなしである。その日も、われわれが一区切りをつけて仕事を切り上げたのは午前3時近かった。昨夜にとった食事はとくに胃から消え失せ、このままホテルに帰ったのでは空腹で眠れそうにない。そこで24時間営業のレストランを求めて深夜の町を車で探し回るハメとなった。あの店はどうか、いやこちらの店はと言ってかれこれ1時間近く走りまわり、どれも開いてなくて、もうあきらめるしかないかと思いかけていたときである。とある交差点を横切ったとき、突然鋭い警笛があたりにこだまし、同時に車の後方から眼もくらむ強烈なライトが照らされ、その車直ちに停止せよ、といったことをラウドスピーカーでわめいている。どうやらパトカーのようである。後部座席に乗っていた私は、誤解しないでもらいたいと思って、怪しいものではないことを説明しようと車のドアを開けて降りかけようとする、絶対に車から降りるなどふたたび大きなスピーカーの命令がある。その方を向いても太陽のようなライトがこちらに向いているばかりで何も見えない。しかたなくドアを閉めると、運転している者だけが必ずひとりだけで降りてこい、と怒鳴っている。気がついたらパトカーは後ろだけでなく、前にも左右にも全部で4~5台は集まっている。いったいぜんたい何事が起きたというのだ!

とにかく運転者が車を降り、警官の指図にしたがうことにした。事情を聞いてみると、どうやら次のような事情らしい。つまり、1台の車が深夜に町中をうろついている、そと尾行してみたが尋常の行動ではない、どう見ても怪しい、ライフルを携えて強盗に入れる家を物色しているとしか考えられない、相手は相当に手ごわいだろう、銃撃戦になればパトカー1台ではとても危険である。そこで警察無線で何台ものパトカーを呼び集め、ひそかに連絡をとりあいながら万全の態勢で、御用ノといったところが真相らしい。そうならば、私

が誤解をとうと車を降りかけたとき、まぶしいライトの向こうで選り抜きのスナイパーがライフルの照準を私の心臓にびたりと当てていたことは十分考えられる。もし私が身分を示すために、パスポートを取り出そうと、内ポケットに手を入れたりしたら、ピストルを出すと思われ、その引き金は引かれていたのだろうか。

なんとも天真爛漫で、野蛮で、シンプルでむずかしい国である。もし私がパスポートをとり出そうとして撃ち殺されていても、抵抗を始めたという警察側の言い分けが正しいとされるのが落ちだろう。外国とはいえパークレーは治安はよい方である。深夜にあいているレストランを探し回ることがそれほど非常識だとは思えない。われわれなら、うろろろしている車を見れば道に迷ったか、単に行き先を探していると思うところである。それを、強盗団が押し入るべき家を物色していると考えるところがスゴイものである。実際そのように発想することが実用的で役に立ってきたから、そのように定着してきたのだろう。気をつけるべきは、パトカーに止められたときに、ただちに事態を察する感覚を身につけておくべきだったということなのか? 国際性などという抽象的なことを考える前に、何より現地の感覚を身につけることがまず大切なようである。

それにしても、屈強な荒くれギャングが乗っているに違いない車を思いきって止め、万全の態勢で尋問におよんだ警官からすれば、車内から貧相な東洋人があらわれ、弱々しく We are hungry Japanese scientist……と言われたときはなんと感じたことだろう。彼らもちろん大まじめである。けっきょく、その警官がかなりの時間を費やしたあげくではあるが、最終的にはとても優しく深夜営業のレストランの場所をていねいに教えてくれたものである。もっとも、こちらの食欲もかなり萎えていたのだが……。



首尾よく実験を終えて、ひと息。

宇宙放射線研究室
研究員 河野 毅