

# LABORATORY NEWS

## キャベンディッシュ研究所に 留学して

松 井 良 夫

科学技術庁無機材質研究所 茨城県新治郡桜村並木 1-1

(1986年5月26日 受理)

Cavendish Laboratory, Cambridge

Yoshio MATSUI

National Institute for Research in  
Inorganic Materials

1-1 Namiki, Sakura-mura, Niihari-gun,  
Ibaraki 305

(Received May 26, 1986)

私は1984年8月から1986年2月まで、科学技術庁長期在外研究員として英国ケンブリッジ大学キャベンディッシュ研究所の A. Howie 博士の研究室に滞在する機会を得た。ケンブリッジ市は人口 10 万で、ロンドンの北北東約 90 km の静かな田園地帯にあり、イースト・アングリア地方の経済・文化の中心地である。大学の歴史は1274年のピーターハウス・カレッジの創設をもって始まるとされ、以後 700 年間に計 30 のカレッジが設立され今日に至っている。カレッジについて正確な描写をするのは難かしいが、学生に対する徹底した個人指導 (Supervision) の場で、これに寄宿舍、社交クラブ、パブ、教会等共同生活の為の諸施設を加えたものと言えよう。ただ個人指導を主体とすることは、ある学問分野について総合的な教育を行うには必ずしも適さない面もある。この為 19 世紀後半になって各カレッジから専門を同じくする人々を集めた学部 (Faculty) や学科 (Department) が作られるようになった。ケンブリッジにおいて “University” とはこの学部学科のみを指し、カレッジは含まない様である。言い換えると、ケンブリッジ大学はカレッジとユニバーシティの複合組織である。教授を始めとする多くの職員はこの両者に属し、例えば Howie 博士の場合物理学の Reader (Leader ではない) であると同時に、チャーチル・カレッジの Fellow でもあった。カレッジは所有する土地からの収入や卒業生の寄付等に依存し私学的であるのに対し、ユニバーシティの方は大部分国家予算に依存している。この様に同じ専門家を集めた国立のユニバーシティと、専門を越えた人間の集団たる私学的カレッジの 2 つの組織に同時に

属する所にケンブリッジ (及びオックスフォード) の学生生活の大きな特徴がある。

キャベンディッシュ研の名で知られる物理学科は、実験物理学を総合的に教える事を目的として、1874年市中心部のフリースクールレーンに電磁気学で有名なマックスウェルを初代 Cavendish Professor (所長) として創設された。建設資金を 18 世紀の有名な化学者ヘンリー・キャベンディッシュの子孫のデボンシャー公爵家が出したのが名前の由来とのである。以後の所長は、レーリー、J.J. トムソン、ラザフォード、W.L. ブラッグ、モット、ピバードと物理の教科書でなじみの名前が続く。約一世紀後の 1974 年研究所は西郊外のマディンリー・ロードへ移転した (一部施設は Old Cavendish として残された)。建物は偉大な先人を記念してラザフォード、ブラッグ、モットの 3 棟から成り、ラザフォード棟に高エネルギー物理関係、モット棟に固体物理関係、ブラッグ棟に図書館、大講義室、食堂、展示室、学生実験室等が入っている。図書館は 24 時間開いていて休日でも真夜中でもいつでも利用でき大変便利であった。司書の女性夕方 5 時に帰るが鍵は掛けない。それでも本の盗難といった問題はほとんど無いとのである。研究所の総員は大学院生も含め約 330 名であり、この内現職の教授はわずか 7 名、内固体物理系は 3 名で現所長の Sir Sam Edwards (ポリマー物性)、バンド理論の V. Heine 及びジョセフソン効果の B.D. Josephson である。Sir Nevill Mott, Sir Brian Pippard の両大先生は公的には引退し名誉教授 (Emeritus Professor) であるが、元気で活躍しておられた。固体物理系はいくつかのグループに分れていて例えば PCS (Physics & Chemistry of Solids), TCM (Theory of Condensed Matter), LTP (Low Temperature Physics) といった具合である。私が属したのは MP でこれは Metal Physics のことであったが私の滞在中に Microstructural Physics に変えられた。これは半導体・セラミックスやアモルファス等新しい材料が既にグループの研究対象の大半を占めている事に合わせたものであろう。グループの中心は私の師事した Howie 博士及び同じ電顕の L.M. Brown 博士の二人で、他にアモルファスの P.H. Gaskell 博士、機械的性質の A.T. Winter 博士及び SEM の開発等で有名な D. McMullan 博士を加えた 5 人が指導陣を形成している。助手は S.D. Berger 博士一人であるが、4 人のポスドク (D. Imeson; R.H. Milne; F. Rocca; G. Davies) も実質的な助手として 10 人余りの大学院生の指導に当たっていた。私の様な各国からの Visitor も常に 10 人近く滞在していたが、中でも別格はイタリア・ローニャ大学の U. Valdre 教授で、年に数回来所され

一週間から長い時は一ヶ月近く滞在して学生を指導されていた。教授はボローニャでは雑用に追われて好きな実験が出来ないのでキャベンディッシュへ来るのが非常に楽しみとのことであった。

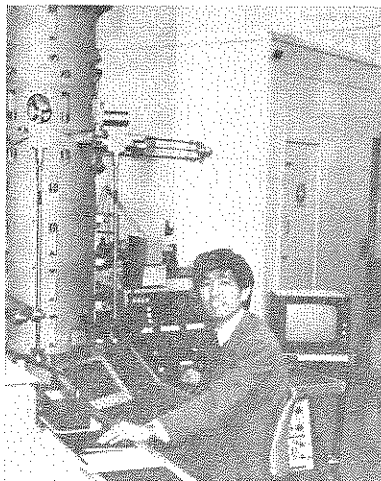
MP グループの武器は何と言っても二台の電界放射型走査透過電子顕微鏡 (FEG-STEM) で、何れも英国 VG 社の HB-5 及び HB 501 型である。前者は 10 年以上経った装置であるが調子は良く、ダイヤモンドや酸化物発光材料のカソードルミネッセンス (CL)、半導体の EBIC (Electron Beam Induced Current) による研究に使われていた。HB 501 は 1983 年頃導入された新しい装置で FE 電子銃やエネルギー・アナライザが著しく改良されている。キャベンディッシュ研ではこれにカルセルと呼ばれる回転式の試料前処理室を設け、表面清浄化やガス反応等が出来るようになっている。Milne 博士等の表面研究グループは反射電顕法 (REM) による表面観察を Si や GaAs 等について行い、EELS も併用した解析を試みている。STEM による REM の利点はビームの走査と対物レンズ電流値を同期させることにより深さ方向の試料位置の変化による像のボケを補償できることであろう。一方 Imeson 博士等の触媒研究グループは、微粒子の各種雰囲気下での表面状態の変化を EELS を中心に調べていた。また Berger 博士等はオックスフォード大の Humphreys 博士 (現リバプール大学教授) のグループと共同で、FEG-STEM の高輝度ナノプローブを利用した無機化合物の電子線ナノメーターリソグラフィの研究を行っていた。これは極微小スケールでの電子線損傷の問題である為、私も大変興味をもち、 $\beta$ -アルミナやカリウム・フェライトを試料として TEM と STEM での電子線損傷の違いを調べる研究を行った。STEM 専用機を実際に使用してみて感じたのは、CRT 上に映る電子回折像の見づらさであった。ある結晶片を選んで当定の方位に合わせようとする場合、TEM では 2,3 分で済む作業に何時間もかけた末ついに諦めることもあり、この点が改善されれば STEM 専用機を持つ優れた局所分析機能がより発揮されるのではないかと考える。MP グループの STEM 以外の仕事では、Davies 博士等の走査型電子線音波顕微鏡 (Scanning Electron Acoustic Microscope) がある。これは SEM を改造したものでパルス電子線を試料にあて発生する局所的熱源から広がる格子振動を CRT に表示するもので、半導体等の新しい解析手法として注目されている。また Valdre 教授等は JEM-100 B 電顕用の極低温 He ステージの試作を進めている。Howie 研究室以外では、Pashley 博士 (PCS) 等の走査トンネル顕微鏡 (STM) の成果が表面研究の立場からは今後注目されよう。また Chaudhri 博士 (PCS)

の高速写真法による破壊過程の研究も私には大変興味深く思われた。

さてキャベンディッシュ研は高分解能 TEM を持たないが、私は Old Cavendish の 600 kV 電顕や化学科 Jefferson 博士の 200 kV 電顕、更にオックスフォード大 Hutchison 博士の 200 kV 電顕等を使用することが出来た。600 kV 電顕は周知の様に、Cosslett 博士等の開発した装置で現在は金属・材料学科の Stobbs 博士の管理下にある。アリゾナへ去った D.J. Smith 博士の後任の Knowles 博士が、今はやりの準結晶 (Quasi Crystal) と取り組んでいた。装置はトラブルも多かったが、R. Camps 氏という優秀な技術者が常に的確に対処していた。こうした技術の支えがあって始めて Smith 博士の派手な活躍も可能だったのであろう。この装置は操作手順等で独特の点も多く当初は戸惑ったが、TV 観察システムが比較的良く高倍率でのフォーカス、軸合せ、非点補正は楽であった。ここの Saxton 博士等は高分解能電顕像のデジタル画像処理を対話型で行なう事の出来る便利なソフトウェアを開発し、これを自らが設立したベンチャー・ビジネス会社から “SEMPER” の商品名で販売しており、欧米では結構売れているそうである (ちなみに価格は 170 万円前後とのこと)。市の北郊外にはこうしたベンチャー・ビジネスや企業の研究所の集まる “サイエンス・パーク” と呼ばれる一角があり大学の研究室と密接な協力の基に研究開発を進めている。

一方、200 kV の高分解能電顕 (JEM-200 CX) は二台共 Agar 社製の TV システムを有しており大変便利であった。これは発光材として Ce をドープした YAG 単結晶を採用しており、結晶格子像や非晶質の粒状組織を手にとる様に CRT 上で観察し、フォーカスや非点補正を行い高倍像をビデオに撮る事が出来た。オックスフォードの装置は更にミニ・コンピュータと on-line で結ばれ、例えば非晶質の TEM 像から、その光学回折像 (ODM) が約 10 秒で CRT に表示された。私は  $\beta$ -アルミナや K-フェライトの電子線照射による構造変化過程を高分解能で録画することを試み、数本のビデオをデータとして持ち帰った。ケンブリッジの Jefferson 博士は自ら試作した高分解能ボール・ピース (設計は私と同時期に滞在した JEOL 津野勝重氏) のテストを行っていた。オックスフォード Hutchison 博士は、酸化物触媒の表面の観察を行っていたが、そのかたわら新しく導入予定の JEM-4000 EX の準備で忙しそうであった。帰国後の手紙では 4 月には性能テストも終え順調なすべり出しとの事で今後の成果が楽しみである。

一年半という短い期間ではあったが、ケンブリッジという世界有数の大学都市で家族と共に生活した事は貴重



な経験であった。若い頃オックスフォードへ留学され、現在電顕分野の指導的立場におられるある先生が“仮に電顕が一台も無くともオックスフォードとケンブリッジは行くべきだ”と話しておられたが、帰国した今私も全

く同感である。最後に留学の機会を与えて下さった無機材質研究所及び科学技術庁の関係者の皆様に深く感謝致します。

### Book Stand

## 表面の科学

理論・実験・触媒科学への応用

田丸謙二編 学会出版センター A 5 版 361 頁 5,500 円

固体表面科学はいろいろな実際問題とも関連してひろく研究されてきており、非常に多くの経験的事実の蓄積がある。また各種の表面評価装置の進歩により、“表面”はさまざまな角度から実証・解明されるようになった。しかし、表面はその微妙さ・複雑さ故に、やや及腰的な表現で記述されることが多かった。本書では一歩も二歩も踏込んで“表面について何が判ったか。その学問的意義、将来への展望”が具体的に明確に述べられている。執筆者は編者他 28 名で錚々たるメンバーとはこういう場合をいうのであろうし、この執筆陣だからこそ書き得た内容ともいえる。

第Ⅰ編 理論 では固体表面（電子状態、緩和、再構成、吸収など）、表面における動的過程（解離吸着、電子・原子・分子の動的現象など）について解説されている。第Ⅱ編 実験 では各種の表面分析法が実例とともに紹介されており、主要な分析法のほとんどが網羅されている。すなわち、電子回折、各種電子分光、EELS、赤外・ラマン、各種電子顕微鏡、イオン散乱、SIMS、分子線を用いた手法、アトムプローブ、ESR、NMR、昇温、熱分析といった手法である。第Ⅲ編 固体表面の特性 では触媒科学を中心に成果がまとめられている。化学吸着、触媒反応の起こり方、トレーサーを用いる研究、金属酸化物上での光触媒反応、固体触媒表面のデザイン、金属粒子の粒径制御と触媒作用、複合酸化物触媒、がその内容である。

多くの執筆者が夫々の分野について個々に記述していて、その内容も多岐にわたっているにもかかわらず、文章表現はよく統一され練られており、分り易く読み易い。表面科学や表面分析に幾分なりとも興味のある人にとっては良い参考書になるのはもちろんであるが、書物として読み進んでいくのが楽しいとも云えるであろう。

(副島 啓義)