

英国における材料教育の諸問題

H.K.D.H. Bhadeshia

材料科学の存在意義

材料科学で扱うトピックスの多くは、物理学科、化学科、生物学科、地質学科などいろいろな“純粋”学科(“pure discipline”)の関心の対象でもある。したがって原理的には、学生は純粋学科で開設されている講義の中から適切に選択して受講すれば、材料科学科修了の認定を受けることが出来るはずである。それなのに、材料学科のある著名な大学が少なからずあるのはなぜだろうか？ 私は以下のような理由によると考えている。

- (a) 学際的な教育課程(course)には、まとまりのある教員グループが必要である。居室が離れていて、ものの考え方や参与の程度が大幅に違うと、こうしたまとまりは得られない。
- (b) 材料科学は初等中等教育でも教えられているけれども、それが「材料科学」であることは認識されていない。したがって、大学入学のときに材料科学を専攻しようという動機付けはされにくい。このため、材料学科では学部学生の数はいつも少ない。
- (c) それにもかかわらず、“優秀な”材料科学者への需要がある。材料学科が学部学生教育より研究(大学院教育)に重点を置いているのはこのためである。いろいろな純粋学科の卒業生が大学院学生として材料文化へと統合さ

れていく。このことにより、学際性はますます増して行く。大学院学生の出身学科が、材料科学・物理・化学・都市工学、機械工学・生物学・数学・地球科学・歴史学・商業など多岐にわたっているのは、他に見られない独自性である。学部学生数が少ないことは、さまざまな学問分野の混合・融合の活性化にとって有利である(という見方も出来る)。

- (d) 純粋学科出身の人は、外の世界の人との意思疎通が出来ないという困難に直面することが少なくない。これは現実の問題は学問領域の壁を越えて存在するためである。ひとつの純粋学科の中に立てこもっていたのでは問題は解決しない。材料科学者は大学における教育・研究のすべての期間を通じて、あらゆる物理化学・工学そして商業に直面させられる。
- (e) 純粋学問は、寿命に関する問題に実用的(pragmatic)にアプローチすることを許さない。金属の疲労は多くの変数に依存することはよく知られている。にもかかわらず、純粋科学者は単純化したモデルで扱おうとする。だが「20個の要素からなり、多相で不均質の鋼で作られている回転シャフトが、ランダムで周期的な応力を過酷な環境下で受けている」という複雑極まりない問題は、単純化したモデルでは解けるはずがない。材料科学の不文律は、「問題が解ける前に単純化してはならない。そもそも技術とは本来複雑なものであるとの認識のもとに解決策を見出せ。」とい

えよう。だから、経験的知識とともにあらゆる科学を動員しなければならない。材料科学者はそのように訓練されている。

- (f) 若い研究者は、金融市場で活躍している人に似たところがあって、挑戦・危険・はっきりした成果 (challenge, risk and tangible outcomes) を好む。材料科学本来の複雑性は、こうした挑戦と期待に満ちた研究の機会をあたえ、実感できる成果を約束する。
- (g) 私の感じでは、材料科学はすべての純粋学問に比べて、最も急速に発展しつつあるように思う。学問領域の広さと知識の量ではなく、人々の生活の質との関りにおいてである。ブラックホールや遺伝学とは異なり、材料では数知れぬ革命が静かに進行している。ユーザーは気づいていないであろうが、材料技術はきわめて優れており日進月歩している。多くの人々にとって、鋼は鋼にしか過ぎない。しかし、それが結晶質であることが発見されたのは、当初は驚くべきことであった。さらにそれがガラス状にすることも出来るということは信じ難いことであった。

以上のような見地から、最良の大学では材料科学科の必要性が認識されているのである。

ここで、材料と生物に関して一言述べておこう。「人体は、基本的には埋め込まれた指示に従って自己複製する機械」であって、フォン・ノイマンのオートマトンの細胞版のごとく扱う考え方が風靡している。この考え方は多くの推測により成り立っており、その多くは奇怪なものである。現実的な立場にたてば、人工筋肉、人工血液、薬液の制御流出材料、人工骨などを使用して、種々の疾患に苦しむ人々の生活の質の改善が出来よう。“生体”材料と“合成”材料の境界は次第にはっきりしなくなっている。この分野において、生物をよく知っている人々との協力により、材料科学は展望と革新に利することが出来る²⁾。過去において物理学・化学とうまく協調してことを成し遂げたように、生

物学との協調が望まれる。

材料学科にあつて、上手に教えることが出来るほどに生物と材料を深く理解することは容易な技ではない。この領域の研究を強力に推進することによって次の10年間に良い教師を育てることがおそらく最良の道であろう。大学レベルの教育の歴史は、その主題に深い理解を有し研究を通じて情熱を持つ人によってこそ最良の学部レベルの教育コースが作られ、教えられることを物語っている。教育と研究をまったく分離している大学もあるが、私は評価しない。

情報技術

材料教育におけるソフトウェアの開発にはかなりの努力がなされてきた。英国におけるMATTER projectはこの見地から特筆すべきものである³⁾。このプロジェクトの目的は教師と学生の相互作用型の教育ソフトを作ることである。このソフトは、特に理解・可視化が困難な概念を対象としている。

この種の質の高いソフトを作るにはコストが掛かり、いくつかの科学財団や経済界の援助をいただいた。また、動画の電子教材の作成を試みている出版業者の動きも聞いている。商業的なソフトのすべてについて二つの難しい問題がある。第一はコストで高価な書籍に匹敵することもある。個々の学生はソフトを購入せず、使用権を得た特定の場所で使うのが普通である。ソフトは通常図書館から借り出すことは出来ない。

WWW (world-wide-net) は新たな可能性を提供する⁴⁾。今は広く普及している学部学生用の教科書は時代遅れになっていくであろう。というのは多くの教師はweb上に“生きた教科書”を作成しているからである。これは変更が容易で頻繁に更新でき、無料で、カラー版・動画も入れられるし、いつでも世界のどこからでもアクセスできる。また、学生は自分のパソコンにdownloadすれば、それ以後はインターネットに

繋がなくとも使える。今後の材料教育には、情報技術をこのような形で活用するのが最良の道であろう。

教授法における創造性

すでに述べたように、良質の (well-qualified) 材料科学者は機転が利き、知性に富み、適応性があるので、その進路は無限に開かれている。工業・商業は厳しい競争環境下にあり、誰を雇用するかに関して慎重である。学生の質が低下した材料学科は閉鎖せざるを得なくなる。

どういう教授法が“考える人間”を作り出すだろうか？ その答えを私は知らないが、いささか思うところはある。

ある基本のルール

学習を興味あり活気に満ちたものとするのは、実はきわめて簡単なことである。

1. アイディアを実行に移す行為は興奮を呼ぶものである。その課題 (task) は“真に新たなもの”と思わせるように選ばなくてはならない。その課題は授業が行われる年毎に違うものでなくてはならない。
2. 答えは単一であってはならない。単一の答えは課題を不毛の科学に墮してしまう。
3. 課題は簡潔に述べられるべきである。目的は学生を導くことではなく、自由な発想を喚起することにある。
4. 「遊び」の形をとっても、隠された教育的要素があるべきである。
5. 安全の問題には特に留意して助言する必要がある。ここには、教育の基本要素がある。

これらのルールと一般概念は Harvey Flowers によって提出されたものである。材料科学に対する二つの例を挙げることにしよう。最初の例は、practical class であって、3, 4 人の学生のチームに対して出される。今ひとつは example

class であり、少人数あるいは個々の学生に対するものである。学生に提示する際の形式で以下に記す。

practical class はチームとしての努力を促すものである。グループは一体となり、単一のレポートを作成し、チームの全員は同じ評価点を得る。これは、企業で働く場合に起こる状況、たとえば営業幹部が専門家の協力を得ることなく、期限を定めて課題を出すというケースと類似している。企業における場合と同じように、相談相手は限られており、効率性とコストも重視される。

Practical Class

ここに出す課題は、教育スタッフが前もってテストしたことはなく、また過年度の学生に対して出されたこともありません。ただひとつの回答があるわけでもありません。上級の大学院生に相談することは差し控えてください。

< 課題 >

鋼、アルミニウム、銅の試料を配布します。「適当な方法により、効率的かつ経済的に、粒径 $25\mu\text{m}$ の組織を作りなさい」

< 設備など >

学生実験室、図書室を利用してよい。また、加工設備を使用してもよいが、安全を期するため、必ず指導助言のもとに使うこと。

< 時間制限 >

課題を解決するための期間は最大 2 週間です。最後にレポートを提出してください。実験修了後、1 週間以内にレポートを提出しない場合には評価点は与えられません。

< 進め方の順序 >

- (a) まずグループのメンバーでブレインストーミングの機会を持ちなさい。まず、自由にアイディアを出し合い、リストしていただくことです。最初は健全性とか現実性を気にすることはありません。
- (b) 合理的な計画を紙に書きなさい。それから、学術スタッフの一人に相談してよろし

い。各スタッフはただひとつのグループしか相談に乗らないことになっており、相談時間は30分以内としています。提案された計画の安全性についても助言することになっています。

〈実行〉

必要に応じて計画を手直しし、実施しなさい。

〈レポート〉

グループ全体でまとめたレポートを提出しなさい。その中にはa) 成功したかどうかの検証、b) 提案した方法のコスト解析と最適化法、c) その方法を再現するのに必要な詳細とその科学的説明を述べなさい。

〈評価〉

各チームに属した学生には同一の評価点が与えられます。最もよい結果を得たチームのメンバーには(学術スタッフにも)“Materials Designer”という文字の入ったT-シャツが贈られます。実験の進め方などについて他のチームのメンバーと議論するのを避けることはあなた自身の利益のためです。

Examples Class

(1) 最近発見された新材料のひとつに「透明鋼」がある。透明であること以外は、通常の鋼とまったく同じ性質を有している。この材料を応用して下記の諸製品を製造することを考えよ。

- * 大量消費財
- * 芸術作品とみなしてもよいような高価な品物
- * 確実な使用が見込まれる高価な品物
- * 他のものでは製造不可能な製品

(2) フラーレンは、サッカーボール、管、バスケットなど面白い形をした大きな炭素分子である。こうした炭素を下記の諸分野で利用する道を論ぜよ。

- * 磨耗
- * 触媒
- * 合金化
- * 基礎研究

(全部で12項目が挙げてあるが以下は省略する)

結 論

材料科学が繁栄しつづけるためには、学部学生の数を増やす努力が必要であるが、資格を得て世の中に送り出されるのが主に大学院学生である限り、あまり気にしすぎることはない。他学科の卒業生を大学院学生としてひきつけることは特に重要である。このことは材料科学が真に学際的であるという長所と名誉を維持するための必須の要件である。材料科学の教育はworld wide webの有効利用が望まれる。また、これまでは講義内容に重点が置かれてきたが、これからは学習における創造性への試みが重視されるべきである。

参考文献

- 1) E.Regis: Who Got Einstein's Office, Addison-Wesley Publishing Company, New York (1987)
- 2) 'Future of Materials Science' report. The Royal Society of London, 2000
- 3) MATTER Consortium software: www.matter.org.uk/ (1993-2000)
- 4) On-line Library: www.msm.cam.ac.uk/Department/Teaching/online.html
- 5) H.K.D.H. Bhadeshia: Materials World (March 1995) 128-130.

H.K.D.H. バーデシア
ケンブリッジ大学材料科学冶金学科教授