工程図学教育の近代化における問題点の核心*

陳 劍 南**

要約

現在、我々が当面している工程図学教育の改革は、教科内容を整理したり教育上強調すべき点を定めたりするといったたぐいのものではない。この改革はもっと大きな、歴史的なものになるであろう。改革をめぐる様々な議論が行われているが、これらはまさに教育法のあり方そのものについての哲学的命題を含んだ議論といえよう。工程図学における特定の課程内容のみを分析しているかぎり、議論は長引き、結論はでないものと思われる。

1. はじめに

10年前とは違って、中国の工程図学教育近代化の問題は、改革の方向を議論する立場から、もっと実際に“どのように改革を実現するか、その際に中心となる問題点はなにか”という議論へと変わってきている。

近年の急速な教育改革によって、工程図学授業の内容と方法はすでに大きく変りつつある。しかし、情報が爆発的に増加し、新知識の寿命が短くなり、学生が新たに学ぶことがあまりにも多くなってきている現在、このような時代における教育のあり方を基に、改革に対してさらに高い要求が掲げられているのである。たとえば、BUAA（北京航空航天大学）の機械工学科の学生を対象にした図法幾何学と機械製図の全授業時間は、1950年代には306時間（4学期分）あったが、現在では110時間に減っている。それでも、授業時間の圧縮などはまだ影響の少ないことで、何にもまして重要なことは、工程図学の授業を通して、学生の工学的問題に対する分析能力と物事の要点をとらえる能力を開発しなければならないということである。

る。つまり、急速に変化していく世界に遅れずについていくことを学生にどのように教えればよいのかを考えていかなければならないのである。これは決して容易に解決できる問題ではない。

中国では、10年以上にもわたってCGの授業が行われている大学もあるが、まったくCG教育が行われていない大学もある。いくつかの大学では週3~4時間もCGに当てているが、ほとんどの大学では週2.5時間である。この不均衡が是正されるのはまだまだ先のことである。最近では、工程図学の全時間の1/6から1/7、つまりおよそ20時間がCGに指定できるようになった。この提案は国家教育委員会の半ば公的な下部組織である工程図学課程指導委員会によるものである。この委員会はまた、学期あたり32~36時間の以下のようなCG課程を推奨している。

- 1) CG 入門
- 2) 変換
- 3) 機械／土木製図のためのプログラミング
- 4) 工学的曲線、曲面の生成
- 5) クリッピング技術
- 6) 典型的な対話型ソフトウェア入門
- 7) 一般的データ構造
- 8) 隠線／隠面消去
- 9) 3D モデリング
- 10) 対話技術

今年、中国国家議会は“科学技術開発促進の決議”という重要な文書を公刊した。そして5月には科学技術国家会議が開催された。国家の指導者らは会議において重要かつ長文の報告を行った。これらによって教育改革が促進されるものと思われる。

*“Kernel Problems of the Modernization of Engineering Graphics Education”, Proc. 2nd China-Japan Joint Conference on Graphics Education (Chengdu, 1995), pp.1-5. を編集委員会の責任で翻訳、紹介する。

**Chen Jiannan, Beijing University of Aeronautics and Astronautics

このような背景において、多くの大学で工程図学課程について更に改革を進めていくこととなった。このような状況下では、大学間で課程に関する理解や見解の相違が生じるのもごく自然のことである。これらの意見の相違の本質は実践と理論についての認識の違いにある。実際、このような論争が起きているのは中国ばかりではなく、これは国際的な問題といってよい。以上の事から、教育における実践と理論の問題について何らかの考察が必要であると思われる。

2. 実践

CG/CADなどの近代的技術に直面した時、その装置や機構の原理、操作方法の要点、などに人々が注意を向けるのは当然である。当初、共に開発されてきたCGとCADが分離し、それぞれ独自の道を進むようになると、図学の教員はかつて経験したことのない新しい問題に遭遇することとなった。これまでの図学課程は基本的な課程がしっかり決まっていたので何百年もの間ほとんど基本的な変化はなかった。そして、あまりにも安定していたので図学の教員になんらかの副作用を生じさせたのであろう。しかし今、CGとCADは極めて急速な発展段階にあり、世界的に使用されているグラフィックスソフトウェア等においても目覚ましい早さで改良が加えられている。たとえば、AutoCADは6ヶ月もしないうちに新しい版がでるといった状況である。グラフィックス技術においては、概念的にも、知識面、操作面でも新しい要求が絶え間なく提唱され続け、また新しくかつ高度な方法が提供され続けている。こうして人々は設計製図の自動化や設計作業全般への上手な役立て方を学ぶよう急ぎ立てられる。このような状況下において、専門家の中には設計は2Dから3Dへと発展しており、図学の教育課程もこれに対応して新しく体系づけなければならないというものもある。多くの研究者がこの問題について検討を行い、教育の場においても素晴らしい進歩が遂げられた。これにより基礎課程としての工程図学は、設計との関連を深め、また、技術の先端に密着しつつ、めざましく進歩してきた。これはまさにすばらしいことで、今日のグラフィックス技術は設計作業、特に3次元的な作業に対する強力な武器をすでに提供しているのであるから、学生にこの武器を使えるように教育すべきことは言うまでもない。

しかし、よく考えてみると、設計する際に3次元形状を直接用いることをどう評価するかという点には問題がありそうである。ここに機械設計に関して統計をとった結果がある。機械部品が比較的単純な形状であって組み立てが複雑な場合には、2次元手法を用いたほうが思考と設計は速い、しかし、組み立てが単純で機械部品が複雑な形状である場合は、3次元的手法を用いた方が優れている。両者は実際の設計作業において8対2ぐらいの割合を占める。つまり実際問題として未だに2次元的方法のほうがおよそ80%と支配的なわけである。以上からも問題の焦点は2次元から3次元への変換あるいはその逆という点にあるのは明らかである。

近頃、ドイツの会社シーメンス・ニックスドルフ(Siemens-Nixdorf)はこの問題への一解釈をもたらすようなソフトウェアを提案した。このソフトウェア“Sigraph Design”は立体図を表示するのではないので2次元的といえるだろう。しかし、このソフトウェアはパラメトリック・デザインに基礎をおいて開発されていて、設計者の創造的思考に近づけさせるために、概念設計に関する重要な手法を備えている。このパラメトリック・デザインの機能を通して、一つの図の中で局所的、部分的な変更を行うと、他の図でも自動的に対応した変更が行われる様になっている。これは非常に便利、かつ有効である。

上で紹介した内容は立体分析における“形状”と“相対的な位置”という2つの局面が重要なことを示している。自分自身も教育している際にそのような局面を経験した。数年前、私は北京航空航天大学で航空エンジン学科に所属する何人かの学生から、立体分析能力の開発をどのように強化すればよいかについてのヒントを与えられた。彼らがエンジンの設計を完了した時、私は正面断面図から彼らがその部分をもっともらしくコンパクトにまとめているのに、その部位の前後の空間は無駄なく使われているわけではないことに気がついた。もちろん十分に活用できていない空間は側面断面図から確かめられるが、学生はそれを思いつかなかったのである。

一般的に機械部品が複雑だという場合には、その幾何学的形状が複雑であることを意味する。実際、複雑さはその構造の基本部分同士の相互関係に起因しており、結局、“形状”の問題は“幾何学的な交わり(相

質)と接触”の問題に帰されるといってよからう。

ある条件のもとでは、設計作業において3次元モデルを直接扱うのは都合がよい。しかし多くの場合、3次元モデルは設計者の創造的思考を活性化するための補助手段として使用する方がよいだろう。単一の立体図は寸法を明瞭に示したり形状の真の形を視覚的に判断するには限界がある。3次元モデルの使用があまりに誇張されると、かえって立体に関する思考を妨げることになるに違いない。

3. 図学の理論的基礎

上で述べたように、図学課程に技術開発の先端をいく進歩的な技術をできるだけ早く導入することについては、ある程度の共通見解はすでに得られているといえてよい。企業や設計関係の研究所においてCADはますます利用されるようになっており、ハードウェアの値段はますます下がっている。これらはすべて工程図学課程の近代化に大きな助けとなっている。

しかし、工程図学教育において、いまだ十分に検討されず、合意の得られていない側面がある。それは図学の理論的側面である。

たしかに理論面で素晴らしい仕事をした研究者もいる。日本の長島教授や米国の Danial Ryne 教授はそれぞれコンピュータ図学の研究で大きな貢献をした。彼らをはじめとして多くの研究者が図学の発展に大きな影響を及ぼした。今後、さらに多くの研究者が理論面で研究を行い、近い将来に大きな成果があがることを期待したい。

図学における理論的基礎の重要性について、ここでモンジュ (Gaspard Monge) の図学に対する貢献について考えてみよう。モンジュは図法幾何学の著書を1875年に出版しているが、デューラー (Albrecht Durer) はもっと早く、1523年に人間の頭部と足部の正投影図を表している。その複面図の配置は現在用いられている第一角法による投影法と完全に一致している。もちろん正投影の個々の図についてなら、さらに早い時期に用いられている。中国では唐代の偉大なる哲人であり著述家でもある柳宗元 (Liu Zongyuan : A.D.773-819) がその著書“一建築家の伝記”の中で宮殿の製図について記している。モンジュよりも1000年も以前にである。ではモンジュの貢献とは何であろうか。それは投影の基礎理論の確立にあり、そ

の核心は点の複面投影にある。点の複面投影の間での連関は広範な普遍性をもった高度な抽象概念である。これにより、投影法は、対象が単純であろうと複雑であろうと、また平面であろうと弯曲しようとするそれらに関係なく、未知の点を既知の点から見つけることを可能とする解決法—科学の一分野—となったのである。それゆえ、図法幾何学の本質はもともと表示することではなく解法あるいは解決法にあったのである。この意味では、ドイツの研究者らがそうしたように“構成幾何学 (Konstruktive Geometrie)”と呼んだほうが良いのかもしれない。もちろん、“表示”もまたたいへん重要である。だからこそ、モンジュ自身は、立体の正確な表示方法がまだ確立されていなかった当時、これを“表示 (descriptive)”のための幾何学と名づけたのであろう。しかし、図法幾何学の有する解決法としての側面は極めて重要である。それ以来200年以上が経過し、あたかも美しいドレスを纏ったかのように、表示の手法は大いに進歩したが、その本質的な姿はいまだに点の投影にある。これは図学における理論の重要性を示しているものといえよう。今日では計算機技術が図学の新しい発展の道を切り開き、さまざまな関係分野で興味深い応用結果が得られている。もちろん、これらの応用結果がそのまま教育の一課程となるわけではなく、理論があってこそ応用があり、その規定関係は明らかである。

図法幾何学の3つの主要な部分、つまり、(1)点・直線・平面、(2)曲線・曲面 (モンジュの図法幾何学における立体はこれらの2つの組合せにすぎない)、(3)軸測投影・透視投影について考えてみよう。後の2つは先に発展し、変換行列による方法では、透視アフィンだけでなく一般的アフィン行列も使用されてきた。3次元的表现において 4×4 の透視変換行列のパラメータ間の関係は位相合同 (ホモロジー) の考え方にまで発展してきている。

曲線、曲面の分野における発展はさらに明確である。30年前に、曲線、曲面の取扱いが製造分野に大きな遅れを取りながらも多くの図学の教科書に取入れられた。このような遅れをとってしまったのは、図学が、解析的方法に較べて、便利で正確で一般的とは到底言い難い図法幾何学的の作図法を辛抱強く使用していたからである。今日ではCAGDの隆盛に追従して航空や自動車、造船などの産業界において、また土木や

軽工業の分野で近代的な曲面設計手法が広く使用されているので、われわれの基本的な教育課程にもその基礎概念あるいはアイデアを導入せねばならない。これは曲面設計に関する役立つ知識を与えるためだけでなく、学生が如何に実社会の有様に触れ、これらに対応する考え方を養っていくかに関連しているのである。例えていえば、どうやって曲面や曲面パッチが与えられるのかという基本アイデアを教えていくことが重要である。このような内容をわれわれの教科書に載せたにしても、学生にとってさほど理解の難しいものではない。

幸い、我々の同僚の中で優秀で示唆にとんだ仕事をした研究者がいる。Slovak 工科大学の Dauila Velichova 教授は図法幾何学の教育を次のように行った。第2学期に、Coons, Bezier, B-spline, β -spline, NURB などの多くの補間曲線・曲面に関連する微分幾何学の基本概念とともに教えたのである。これらの教育内容は、選りすぐった在来教育内容と十分に整合性をもったものである。

さて、図法幾何学のもっとも基本的な部分である点、直線、平面についていえば、長島教授や Ryne 教授が貢献した仕事の他に、もっと基本的な部分について考察を深めた研究がみられる。これは Franco P. Preparata 教授と Michael Ian Shamos 教授の仕事である。彼らは計算幾何学 (computational geometry) のさまざまな成果をコンピュータサイエンスの構造やアルゴリズムの面から要約している。この中には Bézier や Ferrest, Riesenfeld など著名な研究者の仕事も含まれており、幾何学的探索や点の配置に関する議論に基づいた、より基本的な幾何学の体系を提案している。彼らは、このような考えはアルゴリズムの設計と分析として知られている研究分野から受け継いだものであると述べている。また、彼らの仕事の1つの基本的な特徴は、幾何学的立体の古典的な特徴づけによっては効果的なアルゴリズム設計を施すことができないことがしばしば起こるという認識に基づいたものであるとも言っている。われわれはこの提案から何らかのヒントを得ることができないであろうか。もしできるのなら、今日の図学がいまだに古典的図法幾何学に、いいかえれば、定規とコンパスにその基礎をおいておかなければならないというのは果たして本当なのであろうか。

4. 歴史における類似点

1950年代から中国では工程図学教育の改革が繰り返されてきた。教育内容と教育の質の変動は激しかった。なぜならもともと一つのものの両極である理論と実践の内の一方のみが不適切に強制されたからである。中国では、1958～1960年の頃は図学のみならず多くの課程において理論面の教育と学習が非常に軽視されたが、その後、1961～1965年にはある程度回復した。しかし、1966年以来、実践が支配的なまでに極端に強調され、手先の訓練のみで、実用的な即効を目的とする教育が目立った。この事態は1976年に回復し始めたばかりである。何度かの繰り返しのによって多大な時間と努力が無駄に費やされた。現在われわれは新しい技術に挑戦しようとしており、図学教育改革の新しく大きな波が押し寄せている。“歴史は繰り返す”－われわれは過去から学ばねばならない。

世界的な教育理論の変遷をみても、中国だけでなく他の多くの国においても歴史は繰り返されているのが判る。1994年の東京会議のパネルディスカッションからもこれは明らかである。これを終わりのない議論だといった研究者もいる。他の例として米国の経験からも学ぶこともできる。1960年代のカリキュラムの構成理論を基にした改革から、1970年代の“基本に戻れ”という強い動きへと、すべては理論と実践の間で、あるいは、大学と実社会の間で揺れ動いてきた。

今、世界の教育改革の主たる方向は、見た目には明るく華やかな現代技術を如何に取り込むかということのようにみられるかも知れないが、学生の基礎学力を強化しその能力を開発することを目指している。基礎学力と能力の核は知性である。われわれの永きにわたる教育経験もこれを証明している。製図や読図が巧くて速い学生はすべて、基本的な幾何学の概念を明確にまた整然と理解している。一般的な意味では、学習心理と教授法に関しては十分な研究結果が得られている。しかし、これらの結果はわれわれから見ればあまりに一般化されすぎている。そこで、われわれの次の問題は、工程図学課程では具体的にどのような知性と能力を開発するべきなのだろうかということである。これらに関する分析と理解が進めば、工程図学課程の改革は大きく前進するであろう。

基本的な図学課程が設計課程との関連を深め、ここから滋養分を吸収することについては無条件に賛意を

表する。しかし関連を深めるというのは広い意味でのことでそれほど具体的にという意味ではない。なぜなら、図学課程こそは教育計画総体のなかで、立体に関する分析能力を開発する責任を主として負うことができる唯一の課程だからである。また設計課程のみが図学の内容を必要としているわけではないことも明らかだからである。図学を重要な基礎とする一連の課程が他にも存在するのである。

歴史上の一時期における科学技術成果が一般化され要約されるまでにはきわめて長い期間と多くの人々の無私の仕事を必要とする。幸い、歴史はわれわれこの時期に生きる図学関係者にこのまれなる機会を与えてくれている。本稿で述べてきたように、理論と実践の両面において、図学に関連する様々な研究成果が蓄積されつつあり、あたかも、体系化され一般化されることを期待しているかのごとくである。われわれ図学関係者は、共に手を携えて、この問題の解決に努力していこうではないか。(翻訳：堤江美子)

参考文献

- 1) J.P.Guilford. 三維智力結構 [美] Basic Lssuc of Developmental Psychology, 1975 .
- 2) 王雨田, 控制論, 信息論, 系統科学与哲学, 人大出版社 1987.
- 3) 王策三, 数学論稿, 人教出版社, 1985.
- 4) Robert E Mason Contemporary Educational Theory, [美] David McKay Company, New York, 1972.
- 5) 陳劍南, 北航工程図数学改革的基本經驗, 教育論叢, 1989, III .
- 6) 陳劍南, 能力及其培養—工程図学教改研究: 課程的設計思想, 教育論叢, 1992, III .
- 7) 李孝忠, 能力心理学, 陕西人数出版社, 1987.