現代におけるエンジニアの使命

B. R. Dorsey

ガルフォイル社 社長

20世紀の終りの3分の1の時期において直面しているきわめて重大な問題は、大ざっぱに言って、今世紀の初めの方の3分の2の間に我々が環境条件を克服して、敵であった自然の力をしもべに変えることに成功したというところから起きて来たものである。このような成功は技術的、機構的なものであり、これらの業績にエンジニアが果たした役割は大きい。

現代の企業

まず、技術専門職 (engineering professions) および個々のエンジニアの職場の活動や一般的な意味での社会における役割を考えてみると、私は相互に作用しあっている部分が二つあることに気づいた。それらは、ある意味では、現代の法人企業の有効性を規定するほどのものである。現代の、テクノロジーを基盤とする会社は同時に起っている下記の二つの動向によって性格が決定されている。

1. エンジニアとしての視点と問題解決へのアプローチのしかたの企業全体の方向づけや経営法に及ぼした決定的な貢献。
2. 実業界の非技術的環境にあるはかり知れないほどの社会的、文化的、心理的要素を調整し処理することをエンジニアにまかせる要望。

私が、こんにちの実業界に見るもの——それはもっと広い社会の特質でもあると私は信じているもの——は、物理学系と社会科学や行動の科学の両分野における方法や考え方や（教義）洞察が相互に貢献しあっている姿で、そこでは、エンジニアは物理学系の主な代表者格である。

このような複合領域における交流は、企業が成功しようとするなら必ず起こるものである。広義に考えると、技術の進歩がどんどん速められることから生じた重大な社会的、あるいは環境的諸問題を解決しようとする際にも、多領域の交流は必要である。

エンジニアの貢献

テクノロジーとは、自然を征服し、自然の力を我々人間の目的に合うように組織するための道具や技法を集大成したものである。このような知識の管理人たるエンジニアは、企業に、科学的な手法の基礎となるものを提供する。それは、150年の間にへんびな、動物の力を用いていた農村社会を今日の、市街化された、国際的な原子力の世界に変えてしまったのである。

エンジニアは非技術的分野の人たちとの共同作業において同僚たちとの交流により、企業全体の指針と知的水準とを確立するのに役立つ、専門家としての科学的な問題解決法の実績をつくる。

だが、同時に、エンジニアはエンジニアでない同僚の影響、あるいは課せられた仕事の内容によって、自分自身も変わり、はば広い人間になる。橋をかけるにしても、精錬所を経営するにしても、形通りの工学解析法では考えられないような因子までも含めて、結果を左右する数多くの要素を勘定に入れることが必要となるからである。国際収支が赤字になっている国の化学工場のマネージャーは、所要原材料貯蔵量を最小限に調整して輸入材料を減らすことが可能であれば、あるいは製品を調整して国としての輸入必要量を減らすか、あらたに輸出用製品の生産を加えることが出来れば、ずっと良い結果を得るであろう。アジアで建設工事にたずさわっている土木関係エンジニアは、穴を掘っているうちに墓地を掘りおこしてしまったり、神聖化されている動物や不吉と考えられている動物の住みかに入りこんでしまったりした時に、どうするべきかを知っていないと工事が進められなくなり、おそらくはその仕事をも失うことになる。

はばのひろい教育

エンジニアに要求されるものが二つある。それ

この論文は第77回 ASEE 年次大会（1969年6月ペンシルバニア州大学で開催）へ提出され、
「Engineering Education」1969年11月号に掲載されたもの。

は、もっとはばひろい知識の裏づけと包容力 (open mind) とである。前者は教育制度と本人との共同責任である。エンジニアが、こんなにちのように縦横に交わる相関関係をもつ社会環境のなかで充分に腕をふるおうとするなら、あるいは、仕事に介入してくる経済的、文化的、社会的要素等を適度にとり入れようとするならば、それらの要素の実体 (existence) を知り、それらがどのような性質のものであるかもある程度知らなければならない。エンジニアとしては、これらの専門分野の内容の一部は教わることが出来るし、また教わるべきであるが、学ぶべきことは多すぎるし、次々と新しい知識が生まれているので、自分の専門をしのぐほどやれるものではない。エンジニアに要求されることは、エンジニアリング以外に多様な知識領域が存在し、それらが複雑に関連していることを知ること、共通の目的を達成するためには、他の分野のスペシャリストと協力する必要があることを理解すること、これらの非工学的要素があらわれた時にすぐそれと気づいて、それを勘定に入れるセンスをもっていることである。

このような教育の土台があつてこそ、エンジニアは他のエンジニアやエンジニア以外の人たちと一緒にやっていけるのである。また、共同体の一員としては、チームの目的の達成に貢献している間に、相互に学んだり、教えたりすることになる。現代の企業が大きな成果をあげる時、そこには必ずこのような協力作業体 (team) があつて、エンジニア、セールスマン、法律家、経済専門家、財務専門家たちの手腕を結集している。この方法は、およそ何事かをなし遂げようとするには不可欠のものであり、また、知識の区画化の崩壊とか、万能型、人間の育成とかといわれているものの一例である。

最近、社会の複雑化があきれるばかりに進み、技術界の状況も多岐化するにつれて、はば広い教育を受けたエンジニアを望む声が高まっている。多くの面で、我々はまだうまくいっている。経済発展のために技術と産業とが手を組んで、新しい製品や、経済機構に関する新しい方法とテクニックを絶えず生み出すことに成果をあげている。

新しい課題の出現

しかし、私たちは、すでに存在する道しるべに沿って進むだけでは不十分だということをますます強く感じるようになった。私たちが直面する新しい問題を解決するには、新しい方向と新しいテクニック

とが必要である。新しい問題とは、私たちが技術の開発に成功をおさめたことから生じて来た問題である。それはどのようなものか？ とくに顕著なものについて論じてみよう。

歴史始まって以来の豊かな社会にあつて、何百万人のアメリカ人が貧困で飢えている。学校はスシづめで、教師の給料は安く、数も不足している。犯罪率はうなぎのぼり。警察、消防、ごみ集め等あらゆる公共事業が停滞している。都市はむしばまれ、それをとり囲む郊外にまで害はひろがっている。このような都市の上にある空気は排気に満ち、水路の汚れはひどくなる。ハイウェイは混雑し、公共輸送機関は時代遅れで不十分である。

国際的にみても、私たちの目の前には危機にひんした世界がある。それも、もとはと言えば、世界人口が後進国に集中している一方、世界の富と権力 (power) は先進諸国に集中しているという事実から起こっているのである。後進国はだいたい世界の南の部分にあり、先進国は、オーストラリアとニュージーランドを除けば北の部分にある。貧困には、読み書きの能力や基礎技能の水準の低さや、非効率な経済性、時代おくれの政治、会社制度などの後進性がつきものである。めまぐるしい変ぼうの時代にあつて、この後進性は不安定と混乱につながる。

さらに、日本は例外として、北側の富める国々はすべて西欧文化をもち、人種的には、主に白人である。一方、貧しい国々は、文化は非西欧的で、圧倒的に有色人種である。

豊かで、白い肌をもった西欧的な北の国と、貧しく、有色で非西欧的な南の国とのこのような格差は急激に広がりつつある。——富める者はいよいよ豊かになり、貧しい者はその分だけいっそう貧しくなっていく、この格差、そして、いわゆる「ゲットー大陸」の存在は、今世紀の残りの期間に、われわれが直面する、おそらくは最も悲惨な問題となるであろう。

このような問題の源泉

このような問題は、他の問題を解決するのに成功したなかから生じて来たものではあるが、だからといって、やむを得ないことだったと結論するのは間違いである。我々の社会体制を批判する人たちが言うように我々は、目指した目標達成から生まれる思いがけないマイナスの結果によって、人間としての最高の価値を破壊せざるを得ないような無分別な技

術の奴隷ではない。げんに、「技術と社会に関するハーバード大学のプログラム」(Harvard's Program on Technology and Society)のディレクターである Emmanuel Mesthene が指摘した通り、このような技術のマイナスの結果は、わが国の政治経済機構が個人の決断に自主性をみとめていることから生まれている。

Mesthene 博士は次のように指摘している。この社会では、企業はたえず技術上の新しい機会を待ちかまえていて、そのような機会をつくり出すために科学者やエンジニアを雇うのである。新しい技術を開発するか否かを決定する時、その会社は、原価／利潤の計算をし、原価を上まわる利潤が見込まれば、それを推進する。今まで、企業家は新開発が社会全体にもたらすおおよその利益や費用を充分に考慮することなどは考えていなかった。かくして、ここにあげた諸問題の大部分や、容易に思い浮べられる他の多くの問題は、Mesthene 博士の言葉を借りればそれを予測し、必要な手をうつことが誰の仕事なのか、はっきりしていなかったからである。個人的な目的のために、個人的な技術を開発することを各個人がむやみやたらに決定し、これらの決定が、社会全体に、あるいは人間としての国民に何をもたらすのか、はっきり見極めることをしないで行うときに、このような問題が侵入してきたのである。」

専門家として関心を持つべき範囲の拡張

それゆえ、世の中がすすむにつれて、エンジニアもビジネスマンも、専門的な関心の枠を広げることが必要となってくる。それによって協力している課題が今までよりもっと広い意味で社会や環境にもたらす結果を知り、これまで、ほとんどの人が、事務的・技術的な資料や知識、手腕 (skills) によって適確に、会得することが出来るとは思ってもみなかった新しい努力の領域をも含むことになる。

このプロセスは既に始まっているが、これまでのところでは遅々とした歩みである。大学では解くべき問題のいくつかを明確な形に整理して、回答を出すための研究プログラムをつくらうという動きが出ている。いまのところ都市問題が焦点となっているが、今世紀末までには米国のきわめて多くの都市がつくり直されなければならないというのが、いまでは通説になっている。エンジニアや都市計画の担当者は、橋や高速道路や家をつくることは知っていても、それらをどのようにして生きた社会環境の中

にとり入れるかを知る人はいないようだといわれている。人間が住み繁栄することのできる、申し分ない環境をつくり出せるよう、現代の地域社会を組立てているすべてのメカニズムがかみあっている総合的な都市機構を生み出すアプローチが要望されている。

Mesthene 博士の言葉によれば、アメリカ人は技術を独持なやり方で創造的な革新の手段として用いて来た。新しい技術と、新しい大衆の要求の力とによって未来の社会が形づくられる方法が見つかるだろう。博士はさらにこう言っている。「我々はいま、19世紀における新しい製造工業の出現、たとえば今世紀初期の自動車工業における大量生産の発達、あるいは第二次大戦後の宇宙工業の躍進にも匹敵する位に重大な産業構造上の変貌の瀬戸際にいるといっても良いかも知れない。」

問題の解き方の事例

すでに、Rand Corporation (宇宙工業の開発で主役を演じた “think tank” のひとつ) はニューヨーク市に依頼されて、市の問題点を研究し、その対策を答申することになっている。ニューヨーク・タイムズ紙が最近報道したところによると、ニューヨークの警察、消防部門の機構変革が、まもなく完了する二つの研究によって、提案されるとのことである。数年間にわたる警察への通報と火災報知の記録をコンピューターで調査したところ、犯罪の頻度や種類と、地区や時間との間には相互関係がみられ、火災報知のデータにも同様の相互関係がみられた。このことは、これらの問題を最も効果的に処理するためには警察および消防部門をどのように配備すればよいかをかなり明確に示していると、ランドグループのアナリストは信じている。1968年に制定された、連邦の住民及び都市開発法案 (Federal Housing and Urban Development Act) は今後の10年間に2,600万戸の住宅新築、又は改造を要求している。そして、住宅及び都市開発局長官 George Romney 氏の最初の政策報告のなかでは、このさし迫った問題を見込みのあるものとして取扱っているが、実情を知る人なら誰も、この最少限度にして不可欠な目標が、まだどこでも、思いついていないような大きな革新的なものを開発しないで達成し得るとは思っていない。組合組織 (union practices) による拘束、地方ごとの建設規準法 (local building and zoning codes) 高金利、変動のはげしい建設経費、政府の

役所仕事などが一団となって、現在のところ誰もどう扱っていいかわからない、だが、解決しなければならない、ひとつの問題を作り出している。

工学的アプローチ

これらの新しい課題を解決するいくつかの方法は新しいテクノロジーの中に見つかるかも知れない。しかし、私の感じるところでは、まず第一に必要なのは、虚心坦懐に大原則にたちかえることである。つまり、問題を解くにあたって工学的なアプローチ法をとることである。工学的アプローチとは、問題の識別目標の設定を行ない、問題を解き、目標を達成するためにはテクノロジーを慎重に用いる方法である。

私がここに述べていることのすばらしい事例として、最近、あらたに開発された「奇跡の穀物」(“miracle grains”)をあげることができる。この品種の出現によって、2～3年前には最も手におえない問題のひとつと思われていたこと——人口が幾何学的にふくれあがるとに食料事情はほとんど硬直していて、食べていけない人たちが、この世界の大きな部分を占めていたこと——を解決する好機が来ている。この雑種の穀物(hybrid grains)は、フォード・ロックフェラー財団が、後進国の大部分で食用穀物の生産をさまたげている複雑な諸問題を分析した結果、開発したものである。この分析によって水や肥料を吸収し易く、重たい穂をつけても、倒れないような(倒れると実がくされたり、寄生虫(parasites)にやられたりする)茎の短かい、生長の早い品種が必要だということがわかった。最新の遺伝学説や方法論を活用して、彼らは新種の麦や米、その他の穀物を作り出した。それらは、アジアの農業に革命をもたらし、アフリカ、ラテンアメリカにも普及しつつある。

これらの問題のいくつかに目をむけた、もうひとつの“think tank”はハドソン研究所(Hudson Institute)である。

ハドソン研究所が考案したものの中にも、従来の工学的問題解決法を全く新しいやり方で用いている好例がある。南米の経済開発を研究していたこの研究所のアナリストは、この大陸には長い川幅の広い、流れのゆるやかな河が多いことに気づいた。そのような所では、低いダム——といっても実は土の堤防だが——を比較的安く作ることができ合衆国の五大湖よりもっと規模の大きい貯水池が生まれる。そう

なれば、交通路としても、発電源としても、あるいは広大な未開拓地域の開発にも役立つだろう。

なかでも、アマゾン河をダム化する結果はみものであろう。この河には、世界中の河川の総水量の20%が流れているが、ハドソン研究所はこの河に、約2億5千万ドルをかけて、ダムを建設する場所を4ヶ所選定した。これにより、キロワット時あたりコストが1ミル程度になることは確かで1億キロワットの推定電力がえられる。これは、現在の米国の総出力の約3分の1である。そればかりか、この一連の半永久的な堤防により、この地域は水量調節地区になり、大きな沼沢地は水没し、鉱物や材木に恵まれた、水はけの良い土地が拓かれ、沈泥(silt)の多い農地が生まれ、さらに、漁業をも含めた、多くの新たな企業が進出するようになるだろう。

これに関連したハドソン研究所の提案のなかには、南アメリカの三大河川系——アマゾン河、オリノコ河、パラグアイ・パラナ河——をつないで、ブラジル、ヴェネズエラ、コロンビア、ペルー、ボリビア、パラグアイ、アルゼンチン間を大きな船で内陸的に交通できる様にするのがあげられている。また別の提案では長さが400マイルもあるコロンビア州のサンジュアン河に焦点をあてている。そこは、年間400インチ(約1万ミリメートル)の雨量(世界第2位)があるが、これまで誰も、この河を発電に利用することを思いつかなかった地域である。見積りによると、これはコロンビア州でもっとも安価な電力源になるし、出力の点では、同州のこれまでの電力計画を全部合わせたものと同じ位になる。また、この河の流域は、この半球で最も低く、最も短い分水界であり、パナマ運河に代わるものを掘るのに理想的な場所である。発電量は、この計画全体に要した経費を償却するだろうし、運河の通行税は、そっくり利益になるだろう。

技術が人類に約束するもの

上記の提案や、その他同じ様に想像力に富む、有望な多数の案が南アメリカ諸国の政府によって真剣にとり上げられている。開発プログラムを作成するために、大統領直轄の委員会がいくつかの国でつくられたし、多数の国際的組織が関係するようになり、一流どころの工事会社は既に調査を始めている。

大陸の様相を変えてしまうかも知れない、これらの遠大な計画が、古代ローマ人にも良く知られていた技術的なアプローチの手法にもとづいていること

は面白い。ローマ人は高さ 100 フィートの土の堤防を作ったり、簡単で金のかからない技法を使ったりしているのは、まさに現代の工学的アプローチの手法ではある。

テクノロジーが人類に約束したことを明日の世界で果たすにあたって、エンジニアが受けもつべき不可避な役割の持続は上述のような手法を身につける

ことによって可能になる。そのためには、現代のエンジニアは伝統的な技術の熟練度を磨き、かつ時勢におくれないように努め、原子力とエレクトロニクスとの時代における知識の複雑なからみ合いに対処できるように知識背景と視野とを拡げる必要がある。

(以上)

工学教育の前途を開く者は誰か

Rolf H. Sabersky

カリフォルニア工科大学教授 (機械工学)

技術および工学教育は、第二次大戦の直前から、めまぐるしい変化の道をたどって来た。エンジニアリングという言葉の概念があまりにも変わってしまったため、工学を論じる場合には、まず、エンジニアリングの定義から始めなければならないほどである。ここでは、工学というものを非常に広義に——つまり、技術的な諸問題の解決を専門家的に追究すること、と解釈しておこう。

この定義自体、これまでにおこった変化の原因には、何のヒントにもならないが、実のところ、今世紀の前半およびそれ以前の技術的活躍を説明するには、これで充分である。ただ、当時は、どちらかといえば単純な技術的知識と、系統的に集めたデータを用いて、技術分野にめざましい進歩をもたらすことに成功していたので、現場のエンジニアが当面した諸問題を解決するにあたって、経験的情報以上のものに手を伸ばさざるをえなくなることは、めったになかったのである。しかし、さらに大きな技術的成果を、要求する声が高まり、1930年代の中頃までには、物理学の基礎知識と数学的解析法とが技術的な諸問題を解くのに非常に有効な道具であることが明らかになった。これらの道具を用いた結果は、目を見はるばかりである。——宇宙飛行と月開発の偉業は、最もあざやかなものに数えられる。工学系教育機関が、数学と物理学に力を入れることによって、

工学の範囲と実効性に影響を与えることが出来ることをいち早く感じとったのは、さすがである。以後10年間で、全国の文字どおりあらゆる工学系教育機関のカリキュラムがまったく変わってしまった。その結果、数学と物理学とが特に強調されるようになり、工学系科目も、従来のものより数学的あるいは解析的なアプローチをめざすものに改訂された。このような変更の効果は、たちまちあらわれた。改訂されたカリキュラムを終えた卒業生は、はばひろい技術的基礎を身につけており、そのおかげで、彼らはより多様な問題にぶつかれるようになり、かついっそう独創的な仕事をなしうるようになった。この成果は、当然、大学としても大きな満足であった。そして、よりいっそう、数学へ、あるいは解析的アプローチへとむかう傾向に拍車をかけた。その結果、学生たちは、内心、数学者や理論物理学者を競争相手とするようになった。実のところ数学者や理論物理学者は工学部の教員に請われることが多かったのである。このような発展は有益ではあったが基礎科学を優先するあまり、工学系教育機関は、技術的諸問題の解決にあたるという工学の中心課題を次第に忘れるようになった。数学および物理学の研究自体が目的と化し、このような研究分野が、本来はエンジニアにより良い道具を与えるために導入されたものだという事実を忘れさせがちになってきた。

この論文はカリフォルニア工科大学発行の「Engineering and Science Magazine」(1968, 4月号)に発表され、ASEEの「Engineering Education」1969年12月号に転載されたもの。