化学工学で勉強してほしいこと[†]

内 田 俊 一^{††}

はじめに

ここで「化学工学」と書いたのは、必ずしも「化学工学」という一つの学問分野という意味ではないのである。確かにそういう立場もあるが、ここでは大学のようなところで「化学工学科」といった専攻分野を履習した人達が社会で演ずるであろう役割に関連して書いてみようと考えているのである。したがって、「化学工学科」で勉強させられるカリキュラムが話題を提供するので、この意味で「学生のための化学工学」という特集の一部にしてもよいかもしれない。

1. 単一解と複数解の問題

科学の有用性はどこにあるのだろうか。無用の有用ということもあるのだから、迂闊な説明をする訳にはゆかない。しかし、非常識だと考えられるかも知れないが、科学の形態でないと人間は個人としても集団としても進歩ができないものなのであろうか。なるほど日本は徳川の末期から西欧のサイエンスを取り入れはじめて、ことに明治維新からは完全にこれに切りかえた結果として今日の日本が出現したと考えてもよいのである。だが、もしも、日本がこのような動きをしなかったならば、今日の日本はどうなっていたであろうか。徳川の幕政は今日も続いて、そこになんらの進歩も起っていなかったであろうか。この問いに答えることは誰にもできることではないに相違ない。ある人は「日本はとうの昔にどこかの国の植民地か領土になっていたさ」と答えるだろうし、また他の人は「今日の日本とは違って、きわめて東洋的な、特異な文化をもった国になっていたに相違ない」と答えるであろう。このどちらが本当かを判定することはおそらく誰にもできないことである。このどちらも若干の可能性は確かにあるが、その他にも同じよ

うなていどの可能性をもって、いくつかの解が出てくるであろうが、たとえどんな解答であっても、いまさらどうしようもない。「一度やってしまったことは取返しがつかない」というのが本当のところである。そして世の中には学校で課せられる自然科学や数学などの問題のように、単一解の問題などはむしろ稀で、多くの場合にそれは同じような可能性をそれぞれがもって、複数の解が出てくるのである。その中のどれが本当に適中するか、または近似の解であるか、これまた予想はきわめて困難である。ことに、その解答の方向に、関与する人間や、生物などの行動が影響するような場合には、なおさらに困難である。

しかしながら、このような人間などの関与できない場合でも、複雑なシステムでは結果の予想は決して単一解ではない場合が多い。学校の入学試験では、このただ一つの正解以外はみんな誤とされる点を考えると、これはずいぶんおかしいことである。早い話が、日本で毎日発表される天気予報でも、その適中率は決して高くはない。社会科学などでも、経済予測はずいぶんはずれる。日本の GNP の伸びなどきわめてしばしば大幅に予想を上回った。前者の場合には、まず人力で左右する余地はないが、後者の場合はあるていど操作の余地があるのであろう。それにもかかわらずこのようなありさまであるから、他は押して知るべしである。天体の運行のように正確無比な自然現象でどんな予測にも耐えるものなど、むしろ例外といってもよいのではないだろうか。一般は誤りだらけである。

化学者は簡単に水は H_2O であるというが、われわれが日常接する水は H や O の同位元素は論外としても、いろいろの物を含んでいる。第一、酸素や窒素を溶存しているし、水質が問題となるところからも、各種塩類や有機物を含むのが普通なので、しばしば各種の微生物さえ見られる。むしろ純粋な H_2O はどこにもないという方が正しいかも知れない。そしてこれを純水にしようとして蒸留などしてみても、なかなか H_2O にはならない。

[†] 昭和47年7月22日受理

^{††} Shun-ichi Uchida 財団法人相模中央化学研究所

また1気圧の下で液体の水がその蒸気と共存する温度は100°Cであり、空気を飽和した水と氷の共存する温度は0°Cといっても、大気はいつも760mmHgではないし、そう簡単に摂氏の温度目盛を確認することはできない。これは空気だとして同じことである。水と同じようにいろいろのものを含んでいる。けっして酸素と窒素だけでないことが判明したのは、そんなに古いことではないが、空気がいつも水分を含むことが、あるいは水と空気がお互に溶け合うことができるということが、また化学的に不純であるということが、どんなに大切かを、ある時まで人間は知らずに過ごしてきた。

トルストイは「アンナ・カレニナ」の冒頭で、「幸福な家庭というものは、おしなべてみんなよく似ているが、不幸な家庭というものは、その不幸さが種々雑多でみんな違うものだ」と書いている。この考え方はほかにも応用がきくので、たとえば健康な人間はほぼみんなよく似ているが、病人はその病気が各種各様で、一人一人みんな違うというのが本当である。その各人の体質で、その環境で、その合併症で、たとえ本質的には同じ病気でも、その現われ方が、若干ずつみんな違うというのが正しいのではないであろうか。

それではサイエンスというものは実際とはまるで違ったことを論議したり実験したりしていることになるから役に立たないものなのであろうか？ この点が問題で、これに対して正しい認識を与えることが、科学技術の教育においてきわめて大切なことであると私は考える。さきに述べた水や空気の問題で、日常われわれが接している水や空気はどんなものなのかは、実は化学や物理を通して判明したことなのである。化学や物理のこの究明における態度は、人間やほかの生物、またはそれを取りまく環境とは無関係に、大気とはどんなものかを説明するという態度を堅持したといえる。その結果は、われわれに実際の空気の状態と、それがもつ一般的な性質を知らせてくれた。今日われわれが空気について知っているところは大変なもので、並大抵な知識の量ではないのである。しかし、われわれがある具体的な問題について必要とする空気の性質はそのホンの一部に過ぎなくて、ほかの性質は知らないで過ごすことができる。ここで、知らないということと、知ってはいても役に立たないということの間には大きな差があることをわれわれは知らなければならない。また知っているだけでは役に立たないということもある。さらにまた役に立てるには無数の知識のなかのどれを知らなければならないかの判断が必要な場合もある。このような関係の正確な判断力をつけることが、サイエンスやエンジニアリングの教育ではきわめて大切なことなのである。

この点を明らかにするために、専門家にはきわめて常

識的ではあるが、一般の人は不思議に思うかも知れない一例を述べてみたい。それは、乾いた空気は赤外線には透明であることが知られている。したがって赤外線の強い熱放射が空気を通過して、われわれが立っておられない位熱く感じても、われわれとその高温の物体との間にある空気の温度は上がらないのである。そこで、木造家屋の火災や、油井の火災などのように、強い放射に曝されて人間が近づけないような場合でも、たとえばトタン板のようなものの陰になっておれば高温の熔体に近づいて消火作業をすることが可能なはずである。現に私は東京の戦災のときに火を発した隣家との間に、たまたま撤去されずにいたトタン板の陰から、私の家の羽目板に少量の水をかけ続けて、延焼から救うことができたことでもわかる。羽目板のような木材は、放射のために容易に分解点である3~4百度に熱せられて、一酸化炭素を放出しながら分解するから、その温度以下に保てば、分解した一酸化炭素が空気中で引火して延焼する危険はないわけである。

物理学や化学は一々このような場合に鉄板でこんなものを作って、どうしろとはいいいはしない。放射の法則はどうか、水蒸気や炭酸ガスの赤外吸収帯はどうか、低温での吸収帯は高温での発散帯であるとか、あるいは木材の分解の機作はどうか、専門外の人にはわからない言葉で、自分たちの興味をもつ事実を同好の人々に公表し、すでに蓄積された知識の集積のなかに投げ込むだけである。これがサイエンティストの本来の姿であるが、また他のエンジニアと呼ばれる一群の人々は、人間が生活の向上と美化と、そして快適さを求めるところに発生する数々のニードや欲望に連がる問題を解いて、技術革新に持ち込む努力を真剣にしているのである。これらの科学者や技術者は研究者のタイプであるが、また現場の生産に直接して、そこに発生する問題を処理する任務を担当している人々もあるが、これらの人々の教育には、先に述べた正確な判断力が大切なのである。正確な判断力は机の上からだけで得られるものではない。千変万化の実際の場での訓練や鍛錬なしには専門家にはなれない。さらに技能者といわれる種類の人々は若い間から訓練と自分の鍛錬工夫とで、理屈では解けないデリケートな技術を腕や体で覚えるのである。この3通りの人々の努力が今日のわが国の技術を築き上げたのである。第一のサイエンティストと呼ばれる連中は自分たちが一番大切な部分を担当していると自負しているし、第二のエンジニアの連中は、自分たちこそ本当に社会のために役立つ仕事をしていると確信し、第三の技能者たちは自分らなしには物が作られて産業の製品なりサービスは生まれないと信じているようである。そしてこの三つともに、このところ百年の歳月をかけて日本が西欧から学び取っ

たものであるといえよう。

2. いま一つの行き方

西欧の近代科学は上に水や空気について述べたように数多くの事実を明らかにしているが、これらの事実は科学研究の結果として発生した事実でなしに、本来水や空気の中に内在した事実の発掘にすぎない。西欧の近代科学はしたがってその出発点を事実の確認に置くのは、確認されない事実の上にサイエンスを組み立てることはできないからである。このことはいやしくもサイエンスに志ざす学生に対してどんなに強調しても足りないことである。本来この点は決して自然科学だけでなしに、社会科学などにも適用されるべき要件であるが、事実の未確認の上に法制が立てられたり、政策が決定されたりすることが少くないのは、この事実の確認ということがきわめて困難なために、未確認や誤認の上に対策が立てられる場合が少なくなかったからである。

近代自然科学の方法は、このように事実を基礎とした上に、計量という手段が大きな役割を演じている。ケルビン卿もいうように、計測ということがサイエンスの始まりとも考えられる。これを通して物の間の量的関係が明らかとなり、数学的取扱にも耐える根拠が出てきたことは、よく知られた事実である。上述の空気の組成などでも、空気から酸素を除去して窒素と予想されたガスと他の方法で得た純粋な窒素とが、僅かに比重を異にするところから、アルゴン、ネオン、クリプトンなどの稀ガスの混在が確認されたのである。レーリー卿が電気火花で硝酸をつくりこれを水にとかすことで窒素を除去しようとしたのを、ラムゼーが溶融したマグネシウムで急速に窒素を除いて、稀ガスの最初の発見者となったのは、面白いエピソードである。

しかし、このような自然科学の発展と、それが生んだ文明との外に、この地球の上には科学を持たない無数の生物がいる。この中にはもちろん人間の一部を含めてよいのであるが、彼らが生存し発展するためには、なにかそのための努力をしないでは、この本質的な目標が達成できない厳しい環境の中にいるのである。その証拠には彼らが生きるためにいかに巧妙な方法で餌をあさり、外敵からその種族を守り、生殖のための知恵を身に付け、ときには人間も驚く組織と、任務というか職業といふかの分化をもっていることをわれわれは知っている。人間の場合でも、科学というものの未発達な時代から立派な文化をもち、今日でも驚歎するような技術や道具や、言語や文字を残していることが立証されている。動物だけでなく、植物や、微生物にも、環境の変化に順応し適応して、この生あるものに共通な知恵をもって

いる。われわれはこれを本能とか習性とかいう言葉で片づけているが、これは決して科学的である人間にはふさわしくない説明でしかないように思う。この文章の冒頭にも述べたように、人間でも他の生物でも、科学によらないでも発展する能力をもっていると結論せざるを得ないようである。

ただ問題は成長発展の速度の差である。すべて生物においては個体は発生し、成長し成熟して子を生み、自らは徐々に老化して最後には死ぬが、子はまた同じプロセスをふんで、これをくり返す間に、その種族は増加して繁栄したり、あるいは漸次減少して遂に滅亡する。その間において常に環境との間に相互作用が行なわれ、その相互作用が互に好適なものであれば、その種族は繁栄するが、種族としても無限に繁栄を継続できるものではなく、ある限界があることが知られている。動物の場合は、その悪化した環境からよい所へ移動することで自由度を拡大できるし、最高度に発達した動物とも考えうる人間の場合には、環境を造り変え、その造り変えるのにも、物理的な環境だけでなしに、外敵を防ぎ、他の生物を馴致して、好適な相互作用が可能のように改良し、病気や傷害を克服し、教育によって次代の能力を高め、選択によって個の能力を開発するなどの知恵が増してきた。このようなプロセスはあらゆる生物がふむので、環境の一部を構成する生物も徐々にこれを造り変え、動物でなくとも、たとえば樹木なども、他の動物や、植物や、昆虫や、また各種の無数の微生物などとの共存の間に、物理的な環境を変えてゆきつつあることが、生態学者の研究によって明らかになっているが、しかし、彼ら生物はその理由を知らないままに、その適合 (adjustment) と適応 (adaptation) の作用でそのような営みをしているのである。

外敵は他の生物やその集団であったり、あるいは同じ種族の場合もある。流行病は微生物が原因であることは長い間人間も知らなかった。天災も頻発して直接、間接に打撃を与える。したがってこれらとの戦いも、弱肉強食に拍車をかける。人間でさえも今だに戦争を意識して工夫をこらしている訳であるから、人類が地球上に発生してから数万年の間は考古学者の示すところからも、遅いながらも人類もまた他の生物も進歩と進化とを続けていたことは明らかで、サイエンスがなければ進歩はないと考えるのは当たらない。そしてまた、科学のない時代にも学者や予言者はいたことだし、社会組織というものも、その秩序の維持のための工夫もあった。各種の道具も作られ、またその技術の進歩も徐々に行なわれていたことは確かである。

そこで、人間が他の文明とは接触せずに、ある自然環境の中で生活を続けたとしたならば、そこでもいろいろ

の面で進歩はあり、その環境に適合しながら、その人間はある集団として社会を作って生存でき、場合によってはそこにある種の文化が育つことは確かだ。しかしこの社会が他の優れた文化をもった集団と接触したときには、そこに何が起こるであろうか。完全に征服されるか、同化されるか、または文化の交流が起こるであろう。この点は勝手な結論は出せるものではなく、人間として、社会としても最も大切な歴史の事実の上に立って取扱われるべき分野であろうが、この交流は実際においてアジア文化が中心となって東西に流れ、ローマ帝国の崩壊後も支那の文化は永く続いたが、唐時代を最後に衰退して、逆に科学の形式によって再興した西欧の文化が東洋文化と接触したとみられている。支那の文化の代表が東洋文化であり、これは18世紀に急激に発展を開始して20世紀にその最高峰に達した西欧文化と対照をなすものである。この東洋の文化を支える一体性を保持しながらの追求と、単純化と因果律による実証主義、合理主義の科学との相違は、実は盾の両面をなすもので、一方だけでは本当の合理性に到達できないように私には思えてならない。『東は東、西は西、この二者は永遠に出合うことなし』という言葉は実にとんでもない誤認である。

東洋式科学が一体性を保持しながら、いい換えれば実体そのものを対象として取組んだ結果として、進歩を阻止した壁を、西欧の近代科学はみごとに突破して前進することができた。しかし、ここにきてこの西欧式の科学もまた壁にぶつかっているように思う。近代西欧科学者の中にも、たとえば生物系を取扱う生態学(Plant and Animal Ecology)が今世紀の前半1930年前後から一部で始まったが、当初は自然科学者からは相手にされなかったらしい。そしてニクソン大統領の昨年の声明以来急に脚光を浴びてきた観がある。工学でも問題が一体性において解かれる必要が痛感されてくると、従来の部分の積み上げでは解答とならないので、問題の複雑さに問題があるとシステム工学が抬頭してきた。そして電算機の協力がこの鍵をもつかの錯覚から誰も彼もこれに望みを抱いたが、やはりそれは数学が問題解決者と考えたのによく似ているらしい。このどれも袋小路にはいるばかりである。経営のような問題もパンネバア・ブッシュですら「経営は一つのアート」という程で、万能薬などあるものではない。心理学者も各発達段階から科学的方法で人間の行動を律する法則を見出そうと努力を重ねているが、人間となるとことはさほど簡単ではないであろう。経済学でもたとえ数学において誤りない推理の道を発見しても、これに用いる材料が余りに複雑なことは工学のシステム以上で、同様以上の困難が眼に見えている。

3. 解決法はどこに求めたらよいのか

端的にその解決法を述べるならば、それは『経験にもとづく意識下の推理、すなわち直感によるしか方法はない』

といいきってもよいのである。問題は どうしてこの直観を研ぎすますかの問題であろう。以下、いろいろの点からこの方法について述べ、これが化学工学も含めてあらゆる工学や、さらに最もよく社会科学や技能の問題にも妥当することを理解してもらいたいのである。

まずここでいう経験は決して普通の人の経験をいうのではなく専門家のそれである。長い専門的活動の間に養われる直観は、家庭に出発して長い学校教育を経由するから、専門教育でこの力をつける順序はどうあるべきであるかということになる。高等教育ではまず明確な目標が立つものから、単一解が得られるようなサイエンスから始まる。その分野は今日あらゆる研究に確実にその手段を提供するという意味で物理学と化学とが選定されるべきであろう。いわゆるエンジニアリング・サイエンスがこれで、その背後に自然の中にある事象が予見できるような形態で自然界の中から抽象し、しかも研究室で組立てた装置と測定器とによって、それが与える解答と、一般論から帰納できる解答とを対照できるような種類のものが望ましい。これは当然に単一解で、この段階で複数解の問題を処理することは、徒らに混乱を増すことになるからよくない。またこの段階では数学がその有効性を十分に発揮できるから、学生は数学の勉強を必要とし、カリキュラムの中にその用意がされていなければならないと考える。

つぎの段階ではそろそろ複数解の問題にはいらないといけない。狭義の化学工学ではかなり前からいわゆる単位操作の考え方が行なわれて、大きな効果を挙げた。しかし、一つの化学工業のプロセスがこの単位操作のいくつかのものの組合せででき上っているとしても、そこには数多くの組合せ方がある。たとえ同じ原料から出発して同じ製品を得る場合でも、そうである。このいくつかの組合せの内、どの組合せを採用すべきであるかの評価というものが必要となるのである。この選択ができなければ、能力あるケミカル・エンジニアとはいえないであろう。まして、原料を固定したものと考えないで、その選択に自由度を与えた場合には、製品は同一であっても、この選択はさらに複雑性を増すことは明らかであり、また廃棄物に制限が加えられて、これまでもプロセスの中に加えることになれば、プロセスの自由度はさらに拡大することは明白である。この場合の評価の基準は普通は経済性である。換言すると同じ品質の製品を

得るためにはどのプロセスが有利であるかの問題である。そこで評価の基準のなかに経済がはいり込んでくる。単一解のときには問題は自然科学が、物理的（必ずしも物理学的という意味ではなく化学的なものも含まれていると解してもらいたい。Physical の訳語である）なものが、評価の基準になって、正しいか誤かが問われたが、経済性の問題となると損か得か、損益分岐点はどこかが問題にされる。けれども場合によっては、さらに事情は複雑になる。目的が産業を離れて軍事的なものや、政治的なものとなれば、この評価の基準も変ってくる可能性は大いにある。

このような複数解の問題が実際のものである。何となれば収益を最高にする道は純経済的な道以外にも政府の態度や、国際関係やその他各種のものが影響して、限りなく複雑となって教育の問題としては不適当なものとなる。このようなものになると、専門を異にする教官の共同研究といったプロジェクト研究の形態をとり、これに高学年域は博士課程の学生を参加させるといったのが適切な方法かもしれない。これには経営学とか、経済学、また場合によれば社会学や法律などの社会学者が、最も関係の深い経済学や工学の先生などと一緒になって、ある総合的な課題を解決せねばならない場合もある。

ここにいう意味は、ケミカル・エンジニアだけでは解決できない問題は随所にあるということである。しかし化学工学にいうプロセス・デザインというのはこの簡単な例である。プロセス・デザインを馬鹿にする若い人もあるかも知れないが、それは単一解に過度の重点を置く教育の影響であるのかもしれない。単一解は深入りすればどんなに困難な問題もあるが、事実において解決の道は必ずあるのである。他の道を選ぶことを考慮するがよい。

化学エンジニアの取扱える範囲には広いけれども限界がある。これは他の専門でも同じことで、その上に個人的にも限界や興味の重点やそのカバーできる範囲がちがうのは当然である。そのような異なる人々の集団がある特定の目標をもった総合的な問題を解くときには、ともすると専門間のギャップが支障になって、ある専門の人

の意見が他の専門の人に理解できない場合が少なくない。わが国の専門家はこのカバーの範囲が狭いのでなおさらである。化学工学ではできるだけこのカバレッジを広くし、また特に興味をもつ範囲も極端に狭くないように努める必要があると考える。この立場からも複数解の問題は是非ともある期間取扱う必要があるであろう。

このような複雑な問題になると、的確な解は得られない場合が多いかもしれない。いくつかの解のうち、どの解が採用すべき解かということになると、これは先にいうところの「直観」しかないのであるが、よいプロジェクト指導者はこの能力をもつのである。

さきに名前を出したヴァンネパー・ブッシュなども、「サイエンスだけでは不十分」という随筆集に書いているが、力学の力（リキ）の字も知らないプロのスポーツマンが到達する熟練にサイエンスはとても迫りえない。職人の技能でも、芸術家の至芸でもそうである。私なども、よくTVでプロ野球を見ていて、人間の能力には限界がないような気持になるのである。もしもこの至芸の面、アートの面を取り去ってしまったならば、そこにはスポーツもなく、技能もなく、まして芸術もなく、この世の中は味気のないものになってしまうのではないだろうか。

こんなことをいうのは長い間の順序を追っての訓練と経験と努力との積みあげは、驚くような能力をその人に与えるのである。数式を乗り越えた直観の力である。それと似た能力が程度の差はあっても、その勘の鋭い点などで他の動物にも現われるのではないだろうか。こうなると、そこには東洋も西洋もないのである。

以上書いたことは、若い人々には興味のないことかもしれない。したがって、その内容からして随筆的なものと考えて欲しい。こんなことを書くようになって年を取ったことを証明するようなことにもなるので、何度か破り棄てたい衝動にも駆られたが、また思い直して投稿することにした。意のあるところを汲み取りながら読んでいただきたい。

(47・7・20)