

歴史から考える

最上 武雄*

1 歴史への期待

さんさん迷ったすえ、東京大学における最終講義と称する講演で「土質力学」「材料力学」の歴史の話をした。直後土質工学会、土木学会からあれを種に何か書けといわれたのだが、土木学会のほうは期限がなかったので、いままで怠けてしまった。歴史の素人が歴史の話をするわけだから、数冊の科学史・技術史の本を読んでみた。数年前買った Timoshenko の材料力学史もまだ読んでいなかったから、よい機会として読んだ。

歴史に対しては、多くの人が、いろいろな期待を持っている。

土木の仕事が大切なのは、他の仕事となら変わることはないのだが、それがなかなか理解されにくいということについてはこの学会誌上でも論じられたことがある。機械・電気・船舶・建築……などは、名を聞いただけで大体的見当がつくが、土木ではそうはゆかない。たとえば、土木には治水工事も含まれていると知ったとして、そしてさらに治水は重要な仕事だと観念的にはわかったとしても、洪水の恐ろしさを体験していない人に、それは本当には理解されないのではなからうか。学生の大部分の出身地が都会になりつつある昨今、治水の重要性を知り、その仕事に使命観を持ってといっても、それは無理な注文だと学生諸君はいうかも知れない。また、土木の仕事は、一見高度な学理とは無縁のように思われがちである。自然を相手にするのだから、これぐらい複雑でむづかしいものはあるまいが、中味と見掛けとはひどく異なって考えられがちである。

土木の仕事について初めて学ぶ人達に自分の仕事に使命観を持たせ、やりがいのあるものと思わせるには、歴史の話の聞かせるのも役にたつのではあるまいか、とはしばらく前から言われていたが、よい先生がなかなか見付けられず土木史の講義のある学校はまだないようである。

Ernst Mach の力学は力学の歴史についての批判的な書物として有名であったが、昭和6年(1931)に青木一郎氏によって邦訳された。訳書の序文を玉城嘉十郎先生

* 正会員 工博 日本大学教授 理工学部土木工学科

が書いておられる。当時、玉城先生は、京都帝大で力学を教えておられた大家であった。玉城先生はいわれる。“力学の真諦を握みうる方法は、幾つもあるであろうが、むづかしい数学をできるだけ避けて、平易な方法でその意義を闡明した書を読むこと、法則の表現を検討批判した名著を読むこと、力学の発達の歴史を知ることなどはきわめて重要な方法であるに相違ない”と。

Timoshenko の材料力学史の序文によると、この本の内容は、彼が何年に講義した草稿がもとになっているのだそうである。Timoshenko の意図は、玉城先生と同様であったかも知れないと思っている。

2 科学と技術

Mason によれば、科学の歴史的根元には二つの源流があるという。その第一は、技術的伝統(職人的伝統)であり、その中で実際の経験と熟練とが手から手に渡され、時代から時代へと発展した。第二は精神的伝統であって、その中で人間の願望と観念とが受け渡され増加していったという。人間と動物との差は道具を使うことの巧拙にあるともいわれ、また、人間は本来智を愛すともいわれる。古来、Mason のいう二伝統は、互いにかみ合って存在していたように常識的には思える。論者の思想的立場の違いから、ときにどちらかが強調されることがあるようだが、私は両者を意識的にせよ無意識的にせよ別のものと考え過ぎるのは、どうであろうかと思うのである。

人間は道具を用い、道具を改良し、一方、材料についての知識を加えつつ、いわゆる技術をすすめてきた。その間、得られた諸経験、断片的な知識の底に原理的なものの存在を感じ、もしその原理的なものを正しいとする経験の中のいくつかが説明できる。または、論理的に演繹できるということに気がついた。科学史家は、これはギリシャ初期であるという。原理というものは、経験なり断片的な知識なりから飛躍して得られるものだから、実践的事柄や論理によって十分練り上げられ検討されなければ長い生命を持つものには成り得ない。ギリシャ時代の多くの自然哲学者は、現在から見ると荒唐無稽とも

思える原理を掲げたが、彼等自身はその時代において十分な検討に耐えるものと思っていたに違いない。

Archimedes (前 287—212) は、シラクサの人ですぐれた技術的センスの持主だったとともに、科学上大きな仕事を数多く成しとげた人と伝えられている。力学における挺子の原理をいくつかの仮定から“論理的”に導いた人としても知られている。すなわち、① 支点より相等的距離に作用する相等的重量は釣り合う、② 支点より異なる距離に作用する相等的重量は釣り合わず、距離大なるものが下がるということから“重さを比較しうべき二つの物体は、その重量が支点からの距離に反比例する場合に釣り合う”という法則を導いた。Mach は Archimedes の考えを批判して“釣り合いには重量と距離との両方が関係するという事実すら、哲学的思索によってわれわれ自身の内部から引き出しうるものでなく、経験を待って初めて知りうるすべし、その関係の有様すなわち反比例の法則が思索によって導き出されるとはますます考えられない”(訳書による)といっている。

確かに、Mach のいうように、このような原理は技術的经验とは無縁ではなく、いわばそのエッセンスを取り出したものであろう。これら諸原理は関連度の高いものが集って次第に体系としてまとめ上げられ矛盾を含みぬように吟味されてゆくのである。まとめ上げられた体系は多くの場合、一見奇妙な抽象的な姿をしているため理解しにくく、とっつきにくい。習いはじめのとき幾何学や力学がわかりにくく奇妙なものに思えるのは、だれも経験するところだろう。

しかし、この奇妙なものは多くの経験から本質的なものを抽象しまとめたものだけに、はなはだ多産である。

技術的实践から“学”がうまれることは疑いないにしても、技術的なものすべてが、それほど容易に論理で結び付けられた体系的知識に築き上げられるわけではない。感覚的なものの中の限られたものが人から人に伝えられてゆくなかに、ごくわずかな言葉で表わされた概念を生じ、理論にまで築き上げられてゆくのであろう。たとえある技術が完成された理論を持っていないとしても、その技術にたずさわる者の体の中には理論に対する願望がある。これを不完全な理論といってもよいし、技術的な勘といってもよいと思う。

科学史家によれば、16 世紀に至って技術的伝統と精神的伝統との間を長い間へだてていた障壁がこわれはじめたとのことで、近代的科学と近代的技術とが胎動しはじめる。17 世紀になると、Francois Viète (1540~1603) による代数記号の改良、John Napier (1550~1617) による対数の発見、René Descartes (1596~1650) によ

る座標幾何の発明など、数学技術の開発が続いて数学の応用に柔軟性を増したことや、いわゆる大航海時代を迎えたことで、富裕な貴族の庇護によってではなく、もっと自由に研究を行なう人達が現われたことが、この傾向に拍車をかけたといわれる。

3 材料力学の発達経緯、工学者の発生

Galileo Galilei (1564~1642) は、天体観測に初めて望遠鏡を用いて月面を観察したり、木星の衛星を発見したりして、天文学上の研究によって中世的自然観に大転換を迫る仕事をしたほか落体の運動、振子の運動を研究し Newton (1642~1727) への先駆者となるというような大学者である。Galileo はフィレンツェ郊外のヴァロンブローサの聖マリア修道院で学んだのち、ピサ大学に入学した。この大学で古くから伝えられてきた自由学課 (Liberal Arts: 算術・幾何学・天文学・音楽・文法・修辞法・弁証法) を学んだ。これらの学課は、頭脳だけを使うという意味で自由といわれ、肉体、筋肉を使う技術 (Arts) は機械的技術 (Mechanical Arts) といわれて、古代中世を通じて当時まで区別されており、前者のほうが高級と見られていたそうである。また、当時の講義は全く中世風であつたらしい。Galileo は、ピサ大学を中途退学してフィレンツェに帰り、父の友人オステリリオ・リッチに数学を学ぶ。リッチはアカデミア・デル・ディジエニョー (Accademia del disegno, Academy of design) の数学教授であった。このアカデミーは芸術を表面に出し多くの芸術家を集めていたが、講義には、解剖学・数学・道路・橋梁・運河建設・建築術・透視画法などがあつた。ここで初めて理論と実践とが意識的に結合されようとしたこと、科学技術の理論家が理論家として初めて新しい独立した地位を確保しだしたことは、著しい点であるという。Galileo は幼時父親から学んだ数学には興味を示さず、リッチから教えられた実用性に富んだ数学に面白さを見出した。その後、Galileo は一生の間、建築家・砲術家・造船所の職工・航海士・画家などと交際を持ち、そこから慣性法則などの問題を得たとのことである。

このような事情から Galileo が材料力学の問題に興味を持ったのも不思議ではないし、このこと自体中世から近代への息吹きを感じしめることである。Galileo はまず幾何学的に相似な構造物の強さを考察して、相似性を保ちながら大きさを増してゆけば大きくなるほど構造物は弱くなると主張した。これを証するため、まず引張強さを考え、これが断面積に比例し棒の長さに関係であることを示した。この後、彼は先端に集中荷重を受け

る片持ばりの強さについて考えた。Galileo の考え方は独創的であるが、彼の理論は実際の強度の3倍の値を与える。相似形の片持ばりを比較すると、固定端における自重による曲げモーメントは長さの4乗で増加するにもかかわらず抵抗モーメントは linear dimension の3乗に比例する。よって、相似形の片持ばりは大きさが大きくなると弱くなり、ついには自分の重さでこわれてしまうことを示したのである。

Galileo Galilei のあとを受け 17 世紀に Newton の力学体系が生まれ、また、のちの科学の発展に大いに役立つ微積分学が Newton および Leibnitz (1646~1716) により発見される。Newton と同時代の Robert Hooke (1635~1703) は「Hooke の法則」の名で、われわれに親しい。Hooke はスプリングについての実験から力と変形との関係を打ちたてたにとどまらず、いくつかの大事な問題を解くのに、この関係が使えるような実験を示唆した。また、棒が曲げられたとき、凸側の繊維は伸び凹側の繊維は縮むということも指摘しているとのことである。18 世紀には、Bernoulli 一家・Leonard Euler (1707~1783) の *Elastica* の研究のほか、フランスにおける研究が目立つ。1720 年に築城家・砲術家の養成をするいくつかの陸軍学校が設立され、1747 年にパリに *École des Ponts et Chaussées* ができたことが、同国で材料力学がよく育てられたことと無関係ではないと思われる。

18 世紀終り近く、Girard による材料力学の最初の書物がフランスで出版された。微積分学は Newton, Leibnitz によるのだが、17 世紀終りころ、この数学分野を十分に使いこなしていたのは Newton, Leibnitz および Bernoulli 二兄弟 (Jacob, 1654~1705; John, 1667~1748) しかいなかった。フランスで微積分に関する書物が Marquis de L'Hôpital によって書かれたのも著しいことだが、1720 年に設立された陸軍学校で、Belidor (1697~1761) は生徒にこの書物を読むことをすすめたという。

少し前、17 世紀以後の科学に大きい影響を与えた 2 人の学者がでてくる。1 人はイギリスの Francis Bacon (1561~1626)、もう一人はフランスの René Descartes (1596~1650) である。Bacon は、当時の学問が不毛なのは経験との接触を失っているからだを指摘する。

当時は、職人伝統が十分に記録されていなかったのだが、これが記録され、自然の理論的説明と実験的方法とが応用されれば、人類の欠乏と悲惨とが征服されるであろうと Bacon はいう。Descartes は、疑いのない原理か

ら準数学的なやり方で議論をすすめることにより自然界の顕著な様相を導き出すことができると考えた。Bacon は経験主義、Descartes は思弁主義ともいふべきであろう。

18 世紀の材料力学はフランスで発展させられたのだが、大体において理論的であったのは、Descartes の伝統であろうか。

そして、この世紀の最後に近く C.A. Coulomb (1736~1806) が現われる。Coulomb が 1773 年に出した論文には、例の土圧論も含め材料力学の各方面の重要問題についての非常に独創的な考えが簡潔に書かれているという。材料力学ではないが、18 世紀の大きい出来事には James Watt (1736~1819) の蒸気機関がある。熱学的研究による機関の改良であったのも大事な点であったが、この蒸気機関が産業革命のきっかけになったのは多くの人の知るところである。

当時のイギリスは、この状況にいち早く順応してヨーロッパ一番の先進国として産業の繁栄を誇っていた。したがって、技術に対する要望も多く、材料の試験も実際の仕事に関して、しばしば行なわれていたのである。しかし、技術者のほとんどは、いわゆるたたき上げで、科学的教養が乏しかったという。William Fairbairn (1789~1874)、Eaton Hodgkinson (1789~1861) は、工学教育の高揚をはかり、次いでドイツでも工業教育に力をそぐようになるのだが、それらの場合に範とされたのがフランスの *École Polytechnique* であった。この学校は、フランス大革命中に *École Normal Superior* とともに設立された学校で、科学者技術者養成を目したものである。画法幾何学の創始者である Gaspard Monge (1746~1818) を中心とし、数理解物理学は Pierre Simon Laplace (1749~1827) と Joseph Louis Lagrange (1736



(フランス大使館提供)

エコール ポリテクニクの近影

～1813)が、化学は Claude Louis Berthollet (1748～1822)が教えたという豪華さであった。この学校を経て École des Ponts et Chaussées などの専門校にすすむ仕組みであった。19世紀における材料力学や弾性論の大家の大部分がこの学校の卒業生、いわゆる Polytechnicien で占められているのも壮観だが、大体において実験家ではなく理論家であるのも、この学校の伝統、さかのぼっては Descartes の子孫だからであろうか。

19世紀初めに、材料力学の大筋をつくった Navier (1785～1836)も Polytechnicien であり、彼は弾性体力学の基礎式もつくった。Navier の Polytechnique の3年後輩にあたる Augustin Cauchy (1789～1857)は、土木技師としてよりは、数学者として大きい仕事をしたが、現在われわれのなじんでいる応力という概念の創始者であり応力解析を初めて研究した人であることは指摘されてよからう。Young 係数によって知られる Thomas Young (1773～1829)はイギリス人である。天才的な人で14才にして現代語に止まらず、ラテン・ギリシャ・アラビア・ペルシャおよびヘブライのような古典語にも通じていたという。

19世紀には弾性体の力学、構造力学などが順調に発達して20世紀に及ぶのであるが、いまそのあとを詳しくたどるのはやめよう。ただ、いいたいのは、いままで述べてきたことから明らかなように、材料力学や弾性論が誕生したころの科学は建設や機械技術と非常に近かったのであるが、熱学・電気学・光学その他もろもろの分野が発達してくるにつれて材料力学や弾性論などは科学者の手から離れていったということである。

技術者の中でやや科学的な色の濃い工学者という人達が現われて、材料力学などは彼等によって開拓されていったのである。

4 最後

近代になって人間の生活がそれ以前に比べて豊かになったことは異論をはさむ余地はない。これが、いわゆる技術的伝統と精神的伝統との結合によることはすでに述

べてきたとおりであって、中世に至るまで技術が蔑視されていたことが、いかに不当であったかということは明らかである。材料力学の歴史によれば近世初期においては構造技術が科学を育てたのであって、力学・材料力学は当時の科学そのものであったほどである。そのうち、他の諸技術の経験が基になって力学以外の科学分野が出てくると、科学分野は多岐にわたるとともに科学が科学として歩き出すようにもなった。そのようになると、ある技術に深く関連する科学的な事柄を科学者だけに委ねておくわけにはゆかなくなり、科学的素養のある技師達で技術に関係深い科学に従事する者が現われてきた。この人達は工学者といわれる。19世紀・今世紀の初期の工学者は、実際の仕事に従事していた技師であったり、技師から教授に変わって教育研究に従った人であった場合が非常に多かった。現在でもそのような人が絶無ではないが、次第に少なくなってゆき、分業化が初まっているように思う。これは、やむを得ないことかも知れないが、あまりに分業化がすすみすぎるのは、技術にとっても、工学にとっても幸いなことではないと思う。メキシコでの土質基礎工学会議のとき、研究があまりに専門的になり、一般の人々に理解できなくなってきたので、工学者と技術者との間にたって、よき解説者となる人が必要になった、といていた人がある。

材料力学でも、かつて弾性論など、それが煩雑な数式に満ちてわかりにくくなった時代に、平易な方式で解説を与え、技術者に対し弾性論などの有用性を示したのが Timoshenko の一連の教科書であった。これだけでも Timoshenko の功績は大きいと思うのであるが、現在では、工学のいろいろの方面で、このようなものが望まれていると考えられる。また、このメキシコ会議のときの話は、研究が深化されるのは結構だが、あまりにも多くの人が定式化された問題にはしりすぎて、技術者が実際の仕事に際して、ぜひ研究して片付けて欲しいと思っている問題がいつまでも解決されずに残されてしまうのではなからうか、という危惧を指摘しているのだとも思われる。

科学を技術の近くに置き、また技術を科学から離さないことは、いつでも大切なことであろう。

創造に参加する喜びを