

退職の挨拶

こしかたと夢

植田 辰洋

1. まえがき

平成3年3月をもって定年を迎えることになりました。本学機械工学科に専任として在籍の7年間で、多くの教職員の方々のご好意と若い学生諸君のお陰をもって、楽しく過ごせたことを心から御礼申し上げます。

昭和22年9月、東京大学機械工学科を卒業、敗戦後の混乱期、旧制大学院を経て、そのまま東京大学に勤務、機械工学科で、蒸気工学研究室を担当し、昭和59年3月定年退官。それから工学院大学に勤めさせて頂きました。長年、いや一生といってもよいでしょう、大学で過ごしたことになります。そして、大学というものに夢をもちつづけてきたと思います。今回2度目の定年を迎えるにあたって、こしかたを振りかえり、おりおりに教えられたこと、研究遍歴、大学の意義と夢などを書き留めさせて頂くことで、退職のご挨拶にかえさせて頂きたい。

2. かけだしの頃

敗戦をはさんだ昭和19-22年の学生時代、暖房もない寒い教室での講義にも当時の学生はかなりよく出席したし、関心のある科目のいくつかには、参考書を併読しながら講義についていつている学生も少なくなかった。平均的な話でいえば、当時の学生の方が今の学生より自主性があったし、専門書を遙かによく読んでいた。

私は講義が専門科目に入ってからの方が興味深かった。切削理論や工作機械の本を読んでいたが、そのうちに熱力学や蒸気工学に関心が移っていった。そして理論そのものより、総合的な機械という対象に興味が強くなり、自分は研究者よりは技術者タイプであると、考えている。各要素の機能を調べ、それらのバランスを考えて目的をもった機械をまとめ上げるという意味で、設計が面白かった。卒業設計にはかなり力をいれた記憶がある。卒業設計は蒸気タービン、大出力原動機ということで、当時の設計テーマとしては、航空原動機とならんで人気があった。卒業実験は復水器の熱伝達。長年、復水器の性能向上の研究にたずさわられた山中教授のご指導であった。実験を始める前に山中先生からあったお話が今でも記憶に新しい。「復水器の研究は J.Watt 以来行われているが、Nusselt の膜状凝縮理論(1916)が発表されてからは、理論に合わない測定結果は精度が悪いとみられる風潮になった。しかし、耐熱ガラスができ、内部を見られるようになると、すぐに滴状の凝縮状態が存在し、データのちらばりがそれに起因することが分かった。研究をするにはまず現象を見ることが重要である。」

ところで、研究者になるうとは思ってもいなかった私が、やっつけられるだろうかかと危惧しながら、その道に入るようになったのは、卒業が近づき就職を考えはじめた頃に、熱力学の谷下教授から大学に残らないか、とお勧めを頂いたことによる。

蒸気表作成計算のお手伝いをしながら、谷下先生のご指導の下で織物の乾燥と蒸気エゼクタの研究に着手した。織物の乾燥などというテーマがでてくるのは、戦後のわが国の復興が繊維工業からはじまったことに関係している。このうち蒸気エゼクタが私自身で計画を立て研究を進めるときの最初のテーマとなった。それまで経験的にしか設計の仕様のないものとされていた蒸気エゼクタは、やはり特異な特性をもつ高速流エゼクタで、良好な性能を発揮するためには、一次蒸気と吸入気体の混合物がデューザ入口部に超音速で流入することが必要であり、この前提にたてば性能の計算が可能であること、が分かった。比較のために低流速の空気エゼクタや水ジェットポンプの研究も平行して進めた。こちらの方は作動過程のよく分かっている低速流エゼクタであるが、調べてみればやはり新しい知見がえられるものである。当時の機械工学便覧によると、水ジェットポンプの効率は15%が最大値とされていたが、最適設計をすれば実際にその2倍程度の効率がでる。

3. 蒸気工学、伝熱工学とのかかわり

私の所属は蒸気動力講座で、専門の講義をはじめたのは昭和27年からである。少しずつ入手できるようになった外国の文献を見ると、私達が大学で習ったことと世界のレベルとは相当に違っていた。戦時中の空白である。一つは熱伝達の理論体系が境界層理論を取り入れて発達していたこと、もう一つはボイラ・タービン・復水器からなる火力発電プラントが著しく高温高圧化され、高効率になっていたことである。私はそれまで蒸気タービンに興味をもっていたが、ボイラか蒸気タービンのどちらかの講義をなさいと上司からご指示のあつたとき、ボイラを選んだ。

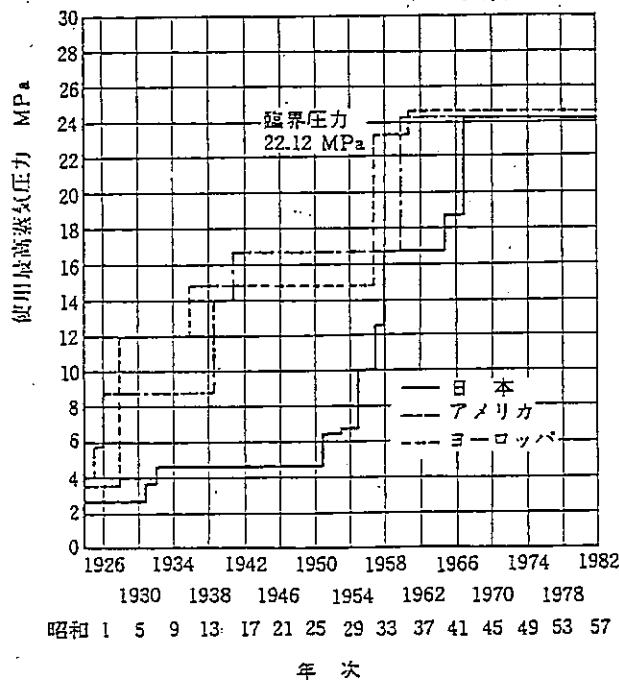
水冷炉壁を全面的に採用した新しい形式のボイラがアメリカから導入されはじめた時期であった。この新しい形式は今日の産業用ボイラの主流になっているが、はじめてその構造を見たときコンパクトで、すっきりしているという強い印象をうけた。ボイラは長い歴史をもち多数のものが実用されている。にもかかわらず構成自体がこれほど大幅に変化するのはどういうことであろうか。この興味がボイラを選んだ理由であった。

ボイラはこの時期に、従来の対流伝熱主体から、火炎からの放射伝熱主体に変わったと見ることができる。ボイラには熱や流れに関する沢山の問題がある。講義の準備に、また講義を進めながら、燃焼過程（当時は石炭）、燃焼室内の放射伝熱、ボイラ内のガス流れと伝熱、ボイラ水循環などを参考書や文献で調べた。そしてボイラ水の循環に一番関心をもった。蒸発管内を水と蒸気の混合物はどんな状態で流れているであろうか、熱負荷をどんどん高めると、どのような機構で蒸発管の焼損にいたるか、という点であった。静止液中におかれた伝熱面からの沸騰伝熱特性は当時でも相当に研究されていた。しかし、管内の沸騰流では大分様子が異なる可能性がある。このようなことから、空気と水の2成分二相流の実験を昭和29年から始めた。

ボイラ水循環は水管ボイラの発生以来の問題で、古くから研究されている。しかし気液二相流そのものを研究対象としてとりあげるようになったのは、世界的にも昭和20年頃からである。わが国での空気-水二相流研究は昭和25年頃からはじまったと見てよいであろう。実験がやりやすいということも大きいファクターであった。

4. 蒸気プラント技術の進展のなかで

敗戦によって壊滅状態にあつたわが国の工業は、朝鮮戦争（昭和25-28年）を契機に建てなおしが進みだした。すると、たちまち電力が足りなくなる。昭和27年から国内技術による60 MPaクラスの火力プラントが建設されるが、とても急増する電力需要に追いつかない。昭和30年頃からは、アメリカからつぎつぎに高温高圧プラントを導入し、その国産化を進めることによって急激な火力技術の近代化が進む。驚異的なスピードであった。図に火力プラント技術の目安となる使用蒸気圧力の変遷を示す。昭和30-42年がこの時期に当たる。ここでわが国の火力技術は世界の第一線に到達した。この間の火力関係技術者の努力には頭が下がる。



使用最高蒸気圧力の変遷 (事業用火力)

わが国は昭和35年から高度成長期に入ったとされている。電力需要の急増に対して火力プラントをつぎつぎに建設してやっと間に合う、という事態がつづく。わが国は水主火従といつて明治以来、水力発電が主体であったが、火主水従すなわち火力発電主体に移ったのは昭和37年である。そして、原子力プラントもこの頃から実用に入りはじめる。わが国の本格的な原子力発電プラントは加圧水形、沸騰水形とも昭和41年に着工され、45年に運転を開始している。振りかえって、見て正にすさまじい技術化社会への移行開始であった。大気汚染防止法の制定は昭和43年である。蒸気プラントでも、非ガス処理や大気拡散などが新しい工学・技術の分野となってくる。

この高度成長はもちろん大学にも大きい影響をもち、工学部各学科の増設につながる。東京大学機械工学科でも、昭和35年に産業機械工学科が、ついで昭和36年に舶用機械工学科が増設された。私は昭和35年末に蒸気工学講座を担当することになったが、この頃は学科拡充関係事務に、お手伝いという立場であったが、忙しい思いをした。

技術の進展は工学の発達と表裏の関係にある。それらを取り入れて講義をするのは張り合いのあることであった。また蒸気工学における一つの基礎分野ということで、気液二相流に関する研究者の数も次第に増加した。

5. 海外留学のこと

文部省在外研究員ということで、昭和41年10月から一年間留学の機会を与えられた。行き先にはアメリカ西海岸のカリフォルニア大 U.C.Davisと東海岸の MIT を選んだ。それぞれ客員教授という形で受入れてもらえた。はじめは西海岸へ。当初 Berkeley を考えていたが、教友の W.H.Giedt教授が新設間のない Davisに是非ということで伺った。Davis 機械工学科の日本人客員教授第一号であった。

Giedt教授は基礎伝熱工学、熱物理学の著者として有名であるが、私が行ったときは熱物理学の著作を進めており、その原稿をもとに機械工学科で熱力学の講義をしていた。機械工学科の熱力学はわが国では古典的な工業熱力学で、応用が中心であった。しかし、ここでは量子統計熱力学を取り込み、工業熱力学となんとか融和させ、エネルギーの本質を学生に理解させようと試みていた。その傾向はアメリカの他大学でも見られた。当時良くいわれた Engineering Science の好例である。学生40人ぐらいの学部講義でスピードも速い。学生のなかにはコーヒーを持ち込み注意を集中させているものも少なくない。ただし煙草は厳禁。しかしこの試みはなかなか難しい。学生の何人が十分理解しているか、という私の間に、2人か3人だろう、概念の理解に時間がかかるから、というのが Giedt教授の返事であった。

当面の機械技術ではだいたい工業熱力学で間に合う。しかし技術が進歩すれば、エネルギーの本質や構成の意味を理解していることが必要な部門がでてくるであろう。学生は将来の技術を担う人。わが国の機械工学科でも、先生の研究と直接関係なくても、このような講義をそのうち取り入れる必要がある、というのが私の考えである。この考えは当時では受け入れられなかったが、現在ではそうでもないようである。

9か月の滞在の後、MITに移った。訪問先は沸騰熱伝達のメッカとされる W.M.Rosenow 教授の研究室である。最初の挨拶の時、彼は何の目的で来たか、という。私は気液二相流の研究をやってきたが、それを今後つづけるかどうかの判断をしたいのだ、と返事をする。MIT で二相流をやっているのは私の研究室だから、よく見ていってくれ、といわれた。研究室は東京大学のわれわれの所と非常に近い雰囲気、実験中心で古巣に帰ったような気がした。静止液中の沸騰現象の解明で著名になった研究室で、当時のわが国の大学研究はほとんど静止液中の沸騰であった。ところが、ここでは静止液中の沸騰は重力低下時の影響を調べる小さな装置しかない。ほとんどが流動下の沸騰や凝縮伝熱研究に移っている。そして2成分二相流もほとんどない。ここでいう二相流とは単成分の flow boilingと flow condensation のことである。装置はいずれも大きいものではない。モデル基礎研究であ

る。

帰国の挨拶に Rohsenow 教授の部屋に行ったら、早速どうした、どうしたという。やはり気液二相流の研究をつづける、そして flow boiling や flow condensation に進みたい、という大変喜んでくれた。そして、実験をやれ、計算だけの研究はするな、と付け加えられた。アメリカでは計算だけの研究が多い。

6. 気液二相流伝熱の研究

よく見掛ける空気-水二相流も調べてみるとなかなか複雑である。いろいろの流動様式をとり、それぞれ流れの特性も異なるし、どのような条件で流動様式の遷移が起るかも複雑である。

はじめはボイラ水循環にかかわる主要パラメータの摩擦損失やボイド率を調べたが、それから先へはなかなか研究が進まない。その間、対流熱伝達の研究などを並行させていた。しかし、年数をかけているとおいおい焦点が絞られてくる。二相流の流動機構のうち液膜の流動とか気流中の液滴の拡散などがまとまりだした。

ボイラ水管内で蒸気の比率が増してくると、液相は管内面に沿った液膜流となり、一部は蒸気中を液滴となって流れる。やがて液膜が破断し管壁温度が急上昇して危険な状態になる。原子炉では水流路の全長にわたる流れの詳細を知る必要があり、熱負荷をどんどん高めたときに現われる沸騰限界を見極めることが設計の基本要件である。さらに事故時の安全解析のためには、さまざまな条件の二相流動とその冷却能力を調べる必要がある。すなわち気液二相流の研究をボツボツやっているうちに、その必要性が、特に高熱流束下の二相流つまり flow boiling や高温面の沸騰冷却などの問題を解決する必要性がドンドン広がっていった。

昭和45年頃になると、東京大学の私の研究室にも常時数名の大学院生がいる状況になった。専門分野の学問体系を理解し、自分のテーマが体系の枠組のどこに位置するかが分かるようになると、この若い人たちは驚くほど勉強をし実験し、意慾的にその把握に努めてくれた。大学院生も修士課程後半になると、正に同じ専門分野の共同研究者であった。お陰で、われわれの所の研究もだんだん伝熱をともなう二相流に移行できた。高熱負荷や高温面上の二相流は伝熱支配の流れで、予想もしない現象が屢々現われる。

気液二相流伝熱という地味な分野であるが、この時期、各国でも、原子炉の熱水力問題と関連して活発な研究が行われた。そして約30年が経過し、Science というより Art の段階であるにしても、およそ学問体系らしい形になってきた。そういうなかで、ほぼ一貫してこの分野の研究をつづけられたことを、私は何より幸せであったと考えている。

工学院大学にきてからも、二相流伝熱の応用技術であるヒートパイプや、その基礎現象で原子炉の事故時挙動にも関連する静止液中のバブリングとか、対向二相流の逆流現象などの研究をボツボツながら継続できた。研究には際限がないが、後の人にうまく引き継いで頂けそうである。

さて、新制大学院は昭和28年に設置されたが、工学部では大学院に進む人は少なく、特

殊な人の行く所と見られ、社会的にもそれほど評価されない時期が続いた。しかし昭和30年代後半になると、工学各分野の専門化が進み、会社での開発研究の必要性が高まるにつれ、大学院修了者の力が認められはじめ、急速に評価が高くなるとともに、進学する人の数も増加してきた。MIT では、教授たちが大学院講義に驚くほど情熱を燃やしていた。自分の分野の第一線研究レベルまで教えるのだという。現在の大学における工学研究の主体はまぎれもなく大学院にあり、大学院の活力が工科大学の存在意義を主張できる要点になっていると思われる。

7. 大学について思う

大学は学問・文化を継承し、発展させる所である。東京大学で屢々耳にした言葉である。若い頃はお題目のような気がしたが、長年、研究生活を送っているうちに段々とその真意が理解できる気がしてきた。大学の目的は、東京大学では研究と教育、工学院大学では教育と研究という。いずれにしても教育と研究の二つの目的をもつが、教育と研究が独立でなく表裏一体をなすのが大学本来の姿であろう。

工学・技術は長年の積み上げによって体系化され、近年高いレベルに到達した。これは与えられたものではない。先人の努力による。人間のつくった物である。立派に見えても、極めて未完成である。研究すべきものが山ほどあるばかりでなく、研究によって視野が広がるほど、未知の分野の広大さがはっきりするものようである。大学では工学・技術を与えられたものとして教えるのではない。どこまで把握でき、何が判らないかを教えるのが大学教育であり、判らない領域に一步踏み込むのが大学研究であってほしい。これは希望であり、夢かもしれないが、ある人はこれを学問的精神という。

ところで、こんな話を今の学部学生にしようという気にはならない。古いと片付けられるだけであろう。理由は2つ考えられる。一つは工学・技術の進展による。工学・技術のレベルが向上し、学部4年間の教育ではほとんど基礎的事項に終始せざるを得ない。学生の立場からは、工学の研究や第一線の技術の現状がなかなか見えてこない。もう一つは学生の自主性の問題である。学生は長年、与えられたものとしての教育に慣らされている。大学では講義や指導をよりどころとして自主的に勉強するものだ、ということをはほとんど考えてくれない。卒業研究あたりになると多少理解されるようであるが、その度合は平均的には悲観的である。

現在の機械工学は著しく進化拡大している。私が学生時代、45年前、にも学んだ古くからの分野がそれぞれ発展している。その当時は制御、伝熱、管理工学などは殆ど形をなしていなかった。最近では新素材関係の技術、あらゆる分野へのコンピュータ応用、生産・運転・管理などにかかわるシステム制御が機械工学の重要な分野となっている。もはや機械工学は一つの専門分野ではなく、いくつもの専門分野の統合体となった。したがって、機械工学の基礎と、どれかの分野の専門知識を相当のレベルまで習得してもらう、というのが機械工学科の教育目標になろう。その過程で自主的な勉強をしてほしい、工学基礎を踏みはずさないで、合理的に考えを進める力を付けてほしい、というのが教員側の希望である。学生諸君は社会にでてからも勉強をつづけなければなるまい。新しい問題の解決をせまられることに数多く遭遇するであろう。そのとき役立つのは、自主性と合理的に考え

を進める力である。

学部の事態に比べると、工科系大学院は相当異なる。ここでは工学・技術の第一線が見えている。教育と研究が表裏一体をなしており、大学らしい雰囲気がある。大学院に活力があれば、学部にもよい影響を与えるであろう。大学院の発展を望みたいものである。

8. おわりに

工学院大学に勤務をはじめた7年前、私学というのは厳しい環境にあるらしい、いかにも手狭で、体質的にも古さが残っているようだ、と思われた。しかし、間もなく八王子の実験棟群ができ、昨年9月には新大学棟が完成し、驚くほど立派になった。そして大学院も発展の兆しを見せている。このような新しい環境を、短い期間であったが、経験できたことは多くの方々のお陰である。心から御礼申し上げたい。工学院大学が、私の大学に寄せる夢が夢でないような、活力のある大学に発展されることを期待しております。

(平成3年3月2日記)