

御挨拶

「去年の今ごろは何をしていたのだろうか？」 昨年3月末に退官以来、こんな思いが頻りに胸をよぎり、その度に永年繰り返してきた東大機械の歳時記をなつかしく思い出しておりました。そんな1年間もあつという間に過ぎ去り、新しい生活はいよいよ2年目に入りました。

去年の今ごろは、暇を見つけては本郷に通い、工学部8号館231号室、20年間住み慣れた教官室の後片づけに精を出していました。これが人生のけじめだと呟きながら、30年余にわたって貯め込んできた教育、研究指導のファイル、各種委員会資料などを思い切って廃棄し、あと10年はどうしても必要だという資料だけを引越し用の段ボール箱に選り分けていました。捨てる前にちよつとだけと読み始めると、往時の情景が生き生きと甦ってきてきて止め難く、作業はさっぱり進まなくなりません。後片づけは結局5月の連休過ぎまで続き、松本研究室の諸君に手伝ってもらい、一台のバンに段ボール箱を積み込んで、ようやく部屋を明け渡しました。新宿駅西口の工学院大学ビル17階の教官室が、それら生残り資料の新しい安住の地となりました。

* * *

無駄話が先走ってしまいました。昨年11月6日には発起人の方々を始め皆様方の暖かいご配慮によって私共のために退官記念の祝賀会を催していただき、まことに有難うございました。あの日は、東大機械で教育と研究に携わることができた幸せを胸いっぱい噛みしめ、祝って頂くのではなく、私の感謝の気持ちをお集まり頂いた皆さんにお伝えしたいと思えばかりでした。一緒に招き頂いた素子共ども、一生の思い出に残る日として、皆様方から頂いたご好意を大切にして参ります。

祝賀会にお集まり頂いた方々、また記念事業のためにご厚情を賜った方々には、早速にもお礼を申し上げるべきところ、ご挨拶がたいへん遅くなり失礼いたしました。

お礼のご挨拶と共に、何か退官の記念になるものをお届けしたいと思つたのが遅れた言訳でございます。昨年2月12日には、「研究と動機」というテーマで最終講義を行わせて頂きましたが、研究者にとって「何を研究するか」は、人生における出会いに似て、それぞれのドラマと因縁があるように思えます。私のケースを皆様にお伝えするのも、何らかのご参考になるかと思ひ、最終講義の内容を強化・増補して小冊子にまとめてみました。出来上がってみると、意に反して思ひ出話集に近いものになってしまいました。ご笑覧頂ければ幸甚です。

退官後の1年間は、工学院大学における新しい生活に早く順応するよう努めて参りました。環境工学に関する1年生向けの新しい講義を担当するなど、先ずは講義の筋立てに集中してきましたが、これからは研究の再開に向けて、新しい「研究と動機」を仕立てたいと思つています。皆様のご支援を得て日本機械学会会長の任期を無事終えることができましたが、日本学術会議など学外の仕事も相変わらず多く、学内外のバランスを取りながら引き続き社会のお役に立ちたいと願つています。家庭の面では、お陰様で全員健康に恵まれ、それぞれに無事過しております。長男晃は結婚・独立致しましたので、素子と今年から東大生になった次男晃太との三人一緒に暮らしております。

終わりに、記念会発起人代表の井口雅一、岡村弘之、小竹進教授を始めとして記念事業をお進め頂いた方々、また祝賀会や記念出版に際し並々ならぬ労をお取り頂いた松本洋一郎教授を始めとする研究室の方々に厚くお礼を申し上げます。頂いたご芳志は、国際交流を始めとする研究資金として有効に使わせて頂きます。退官に当たり暖かいお心配りを頂いた皆様方に再度心からお礼を申し上げますと共に、これからの益々のご健康とご活躍をお祈りいたします。

一九九三年五月

大橋 秀雄

文中に転載すると述べてある論文は
省略されています。
ご了承ください。

研究と動機

東京大学退官記念出版
1992年

大橋秀雄

研究と動機

目次

パート 1

1. 最終講義「研究と動機」	1
略歴	14
学術関係の活動	16
その他の学外活動	17
研究実績一覧	19
論文「東京大学における機械工学教育の変遷」	21
論文「研究者と設計者」	30

パート 2

1. 研究と動機—分類の試み	33
2. 最初で最後のドイツ語論文	38
学位論文「Theoretische und experimentelle Untersuchungen— an Tandem-Pumpengittern starker Umlenkung」	45
3. NASA—非定常の始まり	74
フォンブラウンからの手紙	81

~~論文「ターボポンプの動特性に関する研究」・・・・・・・・・・・・・・・・ 83~~

4. トンネル換気—ホビイ研究の勧め・・・・・・・・・・・・・・・・ 94

~~論文「自動車トンネルにおける排気ガス拡散」・・・・・・・・・・・・ 99~~

5. ふれ回って15年・・・・・・・・・・・・・・・・ 108

~~論文「FLUID FORCE AND MOMENT ON CENTRIFUGAL IMPELLERS
— IN PRECESSION MOTION」・・・・・・・・・・・・・・・・ 112~~

6. バブルと共に去りぬ・・・・・・・・・・・・・・・・ 116

7. 関連文献リスト・・・・・・・・・・・・・・・・ 121

パート 1

最終講義

「研究と動機」

1992年2月12日

15:30-17:00

東京大学工学部8号館83番教室



最終講義風景

ご挨拶

お忙しいところ、また遠方からもお集まり頂き、まことに感激に耐えません。

最終講義と言うのは、本来担当講義の最終回を意味します。その意味で私の最終講義はいつだったか考えてみますと、それは昨年7月初旬、同じこの部屋で行なった4年生向けのターボ機械の講義の最終回だったと思います。その時は、この広い講義室に20人ぐらいの学生がいたと思いますが、私はそれが本当の意味での最終講義になるとはつゆ思わず、淡々と講義を終えたことを覚えています。

冬学期は、私は駒場の2年生向けの入門講義「流れ学第1」と大学院講義「流体工学特論」を担当しています。流れ学の方は松本洋一郎助教授と分担ですが、松本さんは「お忙しいでしょうから」と気をきかせて全部を引き受けて下さいました。また大学院講義の方は生産技術研究所の小林敏雄教授と分担ですが、私の担当分は、丁度お世話をしていた二人の外国人教授に肩代りして頂き、私の出番は全くありませんでした。一人は日本学術振興会の短期招聘研究者としてお招きしたアーヘン工科大学のバイリッヒ (A.E. Beylich) 教授、もう一人は東大先端科学技術研究センターで「未来システム寄付講座」の教授としてお招きしたジョーンズホプキンス大学のプロスペレッティ (A. Prosperetti) 教授です。したがって本日が、私にとって今学期最初にして最後の講義となります。昨年7月の最後の講義のときと比べて、本日はほぼ満員のお客様でこの講義室が埋まっております。こんな経験は、私にとって最初にして最後のものとなります。

私は大勢の方の前でお話するとき、顔ぶれと人数をさっと見渡して計算をしてみます。それは、聞いていらっしゃる方の時間単価に所要時間をかけ、それに人数を掛けるというもので、いわば聞き方の総コストはいくらかと言うことです。それに対し、私がお話することの価値の総量、すなわち提供価値がコストを十分に回っているかが問題で、私は気が小さいというか、良心的というか、いつもこのことを気にしてしまいます。

学生を相手に喋っているときは、学生の単価は時給千円もゆけばよい方ですから、かなりの自信を持ってこっちの方が価値が大きいと思っています。しかし本日は、お集まり頂いた方の顔ぶれをみても、管理コストが時間数万円以上の方も多く、この計算はとて勝負になりません。その差は、皆様方から頂くご好意だと思い、感謝の思いを込めながらお時間を頂戴したいと思っております。

雑用

ときどき、「講義をどのくらい持っていらっしゃいますか」と聞かれることがあります。夏学期、冬学期と負担のアンバランスもあり、また複数の教官で分担する講義などがあって簡単には言えませんが、私の最近の実績では、平均して学部講義が週1回、大学院講義が週1回というところでしょう。

私は色々な方からもう何十回も同じ質問を受けているので、そのようにお返事した後の反応を観察するのが楽しみになってきました。性格がストレートで無邪気な方は、「じゃあ、あとは何をしていますのですか」と、すかさず反問されます。しかし遠慮深い方は、その質問が喉まで出て来ているのに口から出ない。ウツと抑えてしまうのです。私にはそれがよく分かりますし、またこちらを傷つけないとする優しいお気持ちも感謝に耐えないので、すすんで解説をする事にしています。「雑用が色々多いんですよ」と。

また逆に、大学の先生の実態をよく知っていらっしゃる方は、「忙しいでしょうね」と言って下さいます。私は忙しいというのは、心を亡ぼすと書くし、また大学の先生が忙しいのは断わらないための自業自得と考えてきたので、忙しいかと聞かれるたびに「暇です」と答えてきました。しかしある時、「公務員のくせに暇とはなんだ」と怒られたのを機に反省し、それからは「普通です」と答えるようにしています。大学の先生が断われないのは、講義と学内の雑用ぐらいで、あとは好き好んで引き受けるわけですから同情はいりません。

私も、結構雑用はやった方だと思っています。うしろに添付した資料の中で、私の雑用関係がまとめてあります。本日おいで下さった方にも、雑用の世界でお知合いななった方が大勢いらっしゃいます。

雑用をいろいろとやっているうちに、これは大学人が断わってはいけない重要な仕事なのかなと思うようになりました。例えば、JISを作る仕事と言うのは、ほとんどの場合研究とは関係ありませんし、夢中になるような面白味もありません。しかしユーザーとメーカーの利害を調整し、過去の実績の積み重ねで整合性失った体系を立て直し、合理的な国家規格を策定することは、やはり第三者というか、学識経験者というか、大学人に期待される重要な役割だと思うようになりました。工学部というのは、科学と技術の成果を社会に具現するところですから、論文を書くことも、JISを作ることも、その精神において変るところはありません。

講義

1959年7月、5年間在籍した石川島重工業から東大の機械工学科に移って参りました。その年の暮れから白倉昌明先生がドイツで在外研究されることとなり、早速水力学と水力機械の講義を肩代りする事になりました。講義というのは、昔から学を極めた碩学がやるものだと思っていましたが、私の場合は、講義の始まる直前まで必死に勉強してやっと1回分をこなすという自転車操業。それを聞く学生が可愛そうだと思いました。

しかし、後になって卒業生の集まりに呼ばれて昔話をすると、そのときの講義も結構面白かったらしいことが判りました。大先生の含蓄ある講義を聞くのもよいのですが、歳の近い兄のような先生が汗をかきかきする講義も、それなりの良さがあるようです。

大学の人間として、いつも悔しい思いをするのは、日本の大学教育、特に学部教育の評価が国際的に低いということです。高等教育に比べ、小、中、高等学校の初等・中等教育は、バランスのとれた教科内容、高い平均学力などで、世界的に高い評価を受けています。一方高等教育、特に大学の学部教育は、日本の教育システムの最弱点と看做されています。欠点としては、過熱する入学試験と勉強にくたびれた学生、放置主義の教育と低い学力、研究システムとしての画一性と硬直性、生涯教育に対する貢献不足などが挙げられています。

大学教官として反省すべき点も十分あります。従来の日本式大学教育は、学生は黙っていても勉強するという前提に立っていましたが、アメリカ式大学教育は、学生を決まりに従って、少なくとも決まった時間だけは勉強させるという前提に立っています。

アメリカも日本も、大学卒業に必要な単位はほぼ同じで、125単位程度です。1単位は、講義15時間と自習30時間を合わせて45時間の学習に対応することも日米共通です。4年で卒業することを考えると

$$(125 \text{ 単位} \times 45 \text{ 時間}) \div (\text{週} 5 \text{ 日} \times \text{年} 30 \text{ 週} \times 4 \text{ 年}) = 9.4 \text{ 時間/日}$$

の計算になります。すなわち学生は、週日は講義自習を合わせて8時間の定時勉強では不足、1.4時間の残業もしなければなりません。学生にはそのくらい勉強させるのが丁度よいというのが、新制大学発足時にアメリカに倣って単位制度を導入した精神であったようです。しかし日本では

$(125 \text{ 単位} \times 15 \text{ 講義時間}) \div (\text{週} 5 \text{ 日} \times \text{年} 30 \text{ 週} \times 4 \text{ 年}) = 3.1 \text{ 時間/日}$

の講義時間だけが先生の責任で、残りの30時間分を教室外で勉強させるのも先生の責任に入っていることを忘れてきました。これが、大学教育の国際評価で、我が国の評判を低くしている原因であったと思われます。

アメリカの教育ジャーナリスト Edward Fiske 氏は、「アメリカの学生は大学を卒業するために試験を受けるが、日本の学生は入学のために受ける」と喝破しています。また駐日大使だったライシャワーさんは、「効率の追求にこれほど情熱を傾ける国で、教え方もまずく学生も勉強しない大学で4年間も浪費しているのは信じ難いことだ」と不思議がっています。このような批判は、いやというほど聞いています。

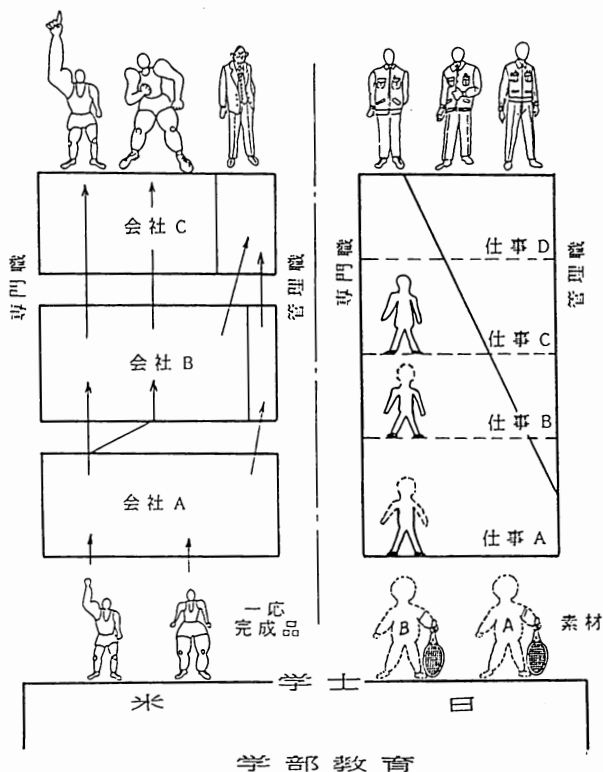
カリキュラムの改革については、我々東大の機械では、他人から言われるまでもなく、かなり意欲的な改革を続けてきました。過去106年にわたる東大機械の教育改革の変遷をたどって、「東京大学における機械工学教育の変遷」と題して論文にとりまとめ、日本機械学会論文集(B編)に発表しましたので、これをうしろに添付しておきます。少なくともカリキュラムから見ると、東大機械の学生は、世界で最も進んだ、力のメカと知のメカがうまく融合している最善の教育を受けていると思います。

しかし、MITの学生はやっぱり東大の学生よりもよく勉強しています。カリキュラムだけでは、学生の勉学意欲まで高めることは出来ません。学生が勉強するかしないのかには、それなりの原因と背景があるはずです。そこで考えたのが、次の図にしめす日米構造比較です。

簡単にいえば、アメリカの卒業生は「自分は、これこれが得意で、こういうことが出来ます」と自分の特色を売り込んで就職しなければなりません。一方日本では、丈夫な体と協調性のみが重要で、いわば素材としての適性で就職が決まります。アメリカの技術者は、管理・経営者の道に転出する小数を除けば一生スペシャリストの道を歩み、ついには世界で名が通用する技術者が誕生します。日本の技術者は、社内で経験を重ねることによって、会社の隅々まで知り尽くした協調性に富む万能技術者に成長して、日本の優れた生産力の支えになりますが、最後まで自分の顔を持たない技術者に終わることが多いようです。その辺の事情を、上の図から読み取って頂ければ幸いです。

かって大河内総長が卒業式の訓辞の中で、「太った豚になるより痩せたソクラ

日米技術者比較



技術者の生涯発展に関する日米比較

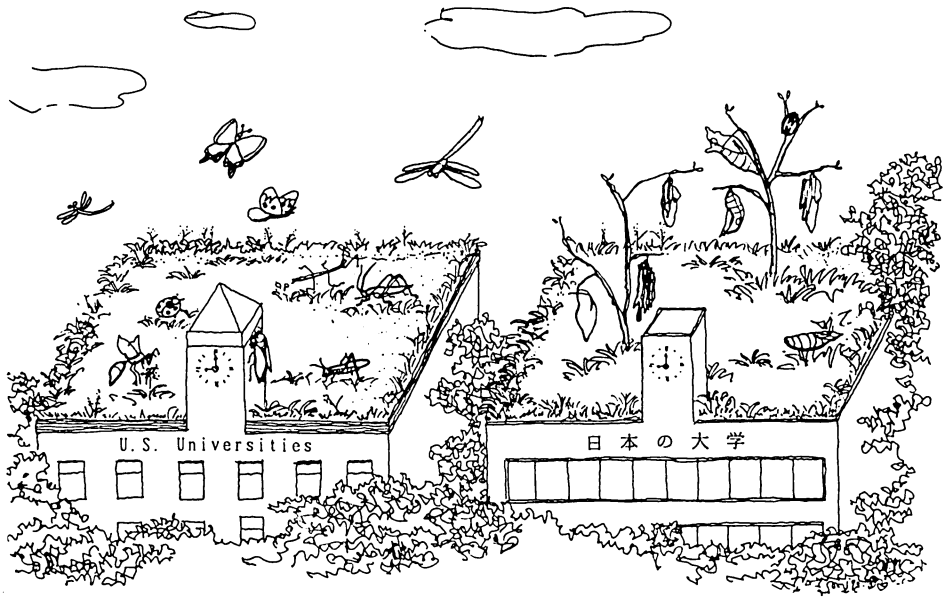
「テスになれ」と説かれたのは有名な話です。私は日本の大学教育は、企業の暗黙の要請を受けて

「痩せたバツタになるより、太った蛹になれ」

の線に沿ってやって来たのではないかと考えています。これをマンガチックに描いたのが次の絵です。

アメリカの企業は、痩せて未熟とは承知のうえ、ばった何匹、蝶々何匹、とんぼ何匹と指定して大学からリクルートします。日本の企業は、太った蛹何匹で済みますし、あとは企業内で、その時々々の要求に応じて、蝶に羽化させたり、とんぼに変身させればよいのですから、こんなに都合のいいことはありません。学生はそのことを敏感に感じとり、なまじっか専門を深めるより、もっぱら体力と社交性の増強に努めることになります。

この絵を二三の会社で披露したところ、今までは確かにそうだったと納得され



痩せたばつたと太った蛹

ました。この構図こそが、日本が自慢する協調力の源であり、また規格大量生産品の生産性を飛躍的に高めた原因でもあったのです。しかし、これから研究開発の面でも世界の先頭を走り、規格大量生産品だけでなく技術的に特色ある製品でも世界をリードするためには、これまでの人材供給の考えでは不安である。もっと個性と独創性に溢れた人材が欲しい。それを伸ばすような教育をしてほしい。全体的にもう少しアメリカ式教育に振った方がよい。…日本の教育が、構造的に一つの転機に来ていることを、多くの人が感じとっています。

これから教育の議論をするときは、単にカリキュラムだシラバスだというだけでなく、どうしたら学生の学力、実力が増すかという教育の実効を主体に考える必要があります。教育の効果をまっ正直に議論すると、結局は教育がアメリカ化してゆくことになります。学生を勉強させるシステムという意味では、確かにアメリカ式教育が優れていますが、私には何か釈然としないところが残ります。

昭和16年からは、戦争に協力するため大学は半年間短縮されました。また戦後の数年は、食料にも事欠く時代で、大学の教育環境は惨憺たるものでした。しかし、その頃教育された方々が戦後の産業発展の原動力となり、今日の工業大国を築く中核となってこられたことは、だれしも認めるところであります。私と一緒に大学を卒業した同級生を見渡してみても、学生のとき勉強したかどうか、卒業の成績がどうだったかということは、社会におけるその後の発展にはあまり関

係無いようです。大学で必要なことは、勉強もさることながら、トータルとしての人間の幅、キャパシティをどう広げるかということにもあります。

現在の日本の大学教育をそのまま肯定する気は勿論ありませんが、国際的評価を気にする余り、日本の大学教育を完全にアメリカ化させるのにも抵抗があります。日本独自の教育の美点は、当然強化・温存させるべきでしょう。その一つが卒業論文の制度です。卒論によって、4年間で取るべき単位が実質3年に圧縮され、講義の過密化、ひいては学生の理解力の低下につながっているという批判も一面の事実でしょう。しかしそれにも増して、4年間の勉強の仕上げとして卒論の効果が大きいことは胸を張って宣言できます。

これからは、大学設置基準の大綱化、大学の自己評価の導入などにより、大学教育が全面的な見直しの時代に入りますが、日本式の美点と特徴を保ちながら国際的な評価に耐える大学教育を模索してゆく必要があると思われます。

研究と動機

(この部分は、パート2で詳細に展開いたします。そちらをお読み頂く方は、こちらを飛ばして頂いて結構です。)

さて、いよいよ本題に入りたいと思います。研究というのは、適切なテーマを選定できれば、道のりの半分は越えたともいわれます。だから、うまいテーマを教えてくれる人がいたら、研究も大いに楽になることと思います

誰でも、最初の研究は、指図されて始めるようです。卒論は勿論のことですが、修士論文でも博士論文でもテーマが与えられる場合がほとんどです。私が大学院生を指導するようになった当初は、博士は勿論修士の学生にも、何か研究したいテーマがあつたら自分から申し出るようにと言ひ渡し、こちらからテーマを提案する前にしばらく待ってみました。結局これを是非やりたいという学生は現れませんでした。何をやったら新しい貢献ができるのか？ これを的確に判断することは、確かに学生には難しいかも知れません。

博士を取るということは、研究者として一人立ちできる免許証を手に入れるようなものです。免許証を手にして、さあどこにでも行きなさいと言われたとき、どっちに行こうか本当に迷うものです。多くの場合、運転を習った土地勘のある場所からなかなか離れ難いというのが実状でしょう。この点、大学の研究者の方

が、なまじっか自由度が多いただけ、企業の研究者より悩みが大きいと思います。企業の場合、むしろ全体としての研究の方向付けが問題となり、下よりも上の方に責任や悩みが集中することでしょう。

私は、うしろに掲載する研究実績一覧でお示しするように、かなり色々な研究をやってきました。ライフワークは何かと問われると返答に窮する程ですが、自分の興味の赴くままに次々にテーマを手がけて来たと思います。その動機を思いだしてみると、いくつかのパターン分かりますので分類してみると、

1. 夢追い人のケース
2. 研究の空白地帯がよく見えてくるケース
3. 研究費に釣られて始めるケース

に分けられます。動機というと、もっと哲学的、根元的な意味付けを期待しておられた方が多いと思いますが、私は哲学が苦手で、きわめて泥臭い分類になってしまいました。それぞれ一つずつ例をあげてみましょう。

1. 夢追い人のケース：MHD タービンの研究

卒業、就職して石川島で軸流圧縮機の設計に携わっていた頃、毎日毎日が翼列の明け暮れで、いささか食傷気味でありました。その頃新興の学問としてMHD(電磁流体力学)が脚光を浴び始めました。

電気でモーターを回し、それで圧縮機の羽根を動かし、その羽根に働く揚力によって空気を押して圧縮する。それなら直接流体に電流を流し、磁場との相互作用、すなわちローレンツ力によって流体に力を与えれば簡単に圧縮できる。「翼列よ さようなら、MHDよ 今日は」と、本気で夢みるようになりました。必要を痛感するというか、現実の苦しみから逃避するためというか、これは是非いつの日にか自分でやってみたいと思い始めました。

大学に移籍すると、研究のテーマは自由に選べるようになり、早速夢の実現に取りかかりました。当時すでに、MHD ポンプのように電気で直接流体を昇圧する装置は実現していたので、その反対、すなわちMHD作用によって流体から直接動力を取り出すタービンを作ろうと熱中し始めました。

作動流体として水銀を使いました。今から考えてみると、水銀の毒性に対する認識もほとんどありませんでしたし、よくあんな大胆なことを実行に移したものだとして自分でも首をひねるばかりです。これは完全に失敗でした。水銀用のメカニカルシールの問題、励磁用コイルの過熱の問題、水銀の流速・流量測定の問題、試作機はできて問題の山積で、卒論の学生と一緒に立ち往生してしまいました。

結局、NASA で研究するため渡米する日が迫り、研究の撤退を宣言せざるを得なくなりました。この研究に関しては、その顛末を記した一冊の卒業論文が残されているだけで外部には全く発表されていません。幻のMHDタービンと呼んでいます。残されたものは、水銀の中に手をつっこむたびにアマルガム化し、ついにはぱっくりと口を開いてしまった金の結婚指輪だけでした。

この失敗を反省してみますと、その頃私は、研究者でなく設計者だったということでした。設計者は、作ると決めれば、分からないところは想像力と直感で飛び越して、とにかく形をまとめてしまいます。たった3年間の設計経験でしたが、私は考え方から設計者になりきっていたわけです。研究者にとって重要なことは、何が分かり、何が分かっていないかはっきりさせて、分からないところでは、必ず立ち止まって、はっきりさせてから前へ進むことです。

- 優れた設計者は、研究者としては穴だらけ。
- 優れた研究者は、設計者としては優柔不断で求心力に欠ける。

両者はなかなか両立しません。この辺の所感をまとめた小文「設計者と研究者」をうしろに転載しておきますので、お暇の折にお読み下さい。

2. 研究の空白地帯がよく見えてくるケース：ターボ機械の動特性の研究

私の研究は、大きく考えればすべて流体機械に関係しています。ドイツでは、博士論文の指導教官を、ドクターの父、すなわちドクターファーターと呼びます。私のドクターファーターは境界層や乱流の研究で有名なシュリヒティング教授、シュリヒティングのドクターファーターは、境界層理論の生みの親、プラントル教授です。ですからプラントルは私のドクターグロースファーターに当り、私は不肖の孫弟子に当たります。その意味では、私は流体力学のもっと基礎的部分、すなわち乱流や境界層に取り組むべきだったかも知れませんが、会社の設計技術者

として出発した生い立ちが後をひいて、どうしても実際の機械に興味がいってしまいました。東大の機械系の中では、笠木伸英教授や生研の小林敏雄教授が、むしろ乱流などの基礎的研究で大きな成果を挙げていらっしゃるのので、プラントル孫弟子の看板をそちらにお譲りしたいと考えているほどです。

さて、流体機械の流体力学的研究は、大部分が性能と関係していますが、私が1965年にアメリカに行く当時までは、すべてが定常な性能を対象にしていました。すなわち、機械が一定の回転数で一定の流量を流しているとき、圧力がどれだけ上昇し、動力がいくら必要かという問題です。

NASAに研究の提案をするとき、私は流体機械の動的な性能、すなわち動特性を取り上げました。当時ロケットの打ち上げが時々失敗して自爆したりしましたが、そのほとんどはPOGOによるものでした。POGOというのは、コイルばねを使った一本足の竹馬のようなもので、子供が乗ってびよんびよん跳ねて遊ぶ道具です。ロケットの構造系と流体・推進系が連成して縦モードの自励伸縮運動を始めると、POGOのように飛び跳ねて壊れてしまうので、この現象自体がPOGOと呼ばれるようになった訳です。

POGOをきちんと解析するには、流体・推進系の重要な要素であるターボポンプが、POGOの最中どの様な昇圧をするか、すなわち動特性を知る必要があります。しかしこれが全く知られていませんでした。誰も敢えてやろうという人がいませんでした。まさしく研究の空白地帯がはっきりと広がっていた訳です。NASAもその重要性を認識して、私の研究を全面的にバックアップしてくれました。これがその後10年以上にわたって続いた動特性研究の始まりであります。この研究に関連して、日本機械学会の論文賞を2回頂くことができました。

私は、会社の人から「この研究はどんな役に立つのですか」と聞かれるとき、「10年経てばお判りになるでしょう」と答えられるような研究をしたいと言ってきました。研究の空白地帯がはっきりと見えるときは、自信を持ってその道を切り開いて行けば、必ずその価値が認められてきます。

3. 研究費に釣られて始めるケース：ポンプの二相流特性

十数年前、原子力発電所の事故時にプラントがどのような挙動をするか、プラントの事故応答解析コードを作る仕事がピークを迎えていました。挙動がはっ

きり分からなかったものの一つとして、BWRの再循環ポンプ、PWRの冷却材ポンプなどの二相流特性があり、その研究促進のために日本原子力研究所などから研究費が流れた時代がありました。このとき始めたのがポンプの二相流特性に関する研究です。研究費は二三年で途絶えてしまうのですが、研究自体に深みがあれば、それがきっかけとなって次々に発展して行くものでしょう。この研究は、さいわいキャビテーションや気泡力学に集中していた松本洋一郎助教授の興味とも一致し、今日の研究室の中心的な研究課題に発展してきました。

最初は研究費に釣られても、それを支度金としてあとは自分の興味にしたがって発展させれば、お金の釣られることなど少しも恥じることはありません。問題が外から提起されている場合、委託者の意図と研究者の興味が完全に重ならないことがまま起こります。その場合は、頻繁なコミュニケーションによって少しでもギャップを埋める努力と、互いに譲歩する精神とが必要でしょう。

終わりに

時間切れになってきましたので、そろそろ取りまとめをしなければならなくなりました。

私は、いままでずっと機械工学の分野でやって参りました。機械を選んだのは、機械が好きだったからだと申し上げましたが、その辺のところをもう少し正確に言うと、機械工学が、大げさにいえば一番直接的に人間の幸せに役立つと考えたからです。若い頃、私は宮沢賢治の心酔者でした。賢治が「世界がぜんたい幸福になる」道として農業を選んだのに対し、私は機械工学にその可能性を見たといえましょう。

いま還暦を迎えて振り返ってみますと、機械工学が世の中に果たしてきた貢献、特に人間の生活向上に果たした成果は、私の予想以上でした。日本を世界の工業大国の一員に持ち上げた、日本人の生活レベルを高めた原動力のかなりの部分は機械工業によっています。後世の歴史に残るような目ざましい産業発展過程に参加できたことを、私はたいへん誇りに思っています。

しかし一面、工業化が行き過ぎて心配な面も現われて来ました。その一つが環境問題で、これについてはすでにグローバルな問題として地球市民の一人一人が認識を深めて参りました。工業と環境との調和、これはもう全員が自覚している問題ですので改めて申し上げません。

もう一つ、私が最近感じるようになってきたのが、技術と社会との整合性です。具体的な例でお話しましょう。私は最近数年、ある権威ある賞の審査員として、日本の最先端の生産技術を見る機会に恵まれてきました。それは自動車産業であったり、鉄鋼業であったり、電機産業であったりします。そこで毎年驚かされるのは、省力化技術のすさまじい進展ぶりです。我々が最近ご厄介になっているレーザープリンターには、ビームを曲げるために大きなレンズが使われていますが、硝子レンズから同じ性能のプラスチックレンズに製法を変える過程で、製造人員が30人から2人に減ってしまったそうです。日本では、製造業の人手不足から、省力化がコストの問題を別にしても、企業の生き残りのためにも避けて通れない道となってしまいました。

そうゆう優れた生産設備を見た後、家に帰ってテレビをひねると、アメリカの職安の前で長い行列を作る失業者の群れの映像が飛び込んできました。日本では省力化が歓迎される技術かも知れませんが、どこでもそうとは限りません。現にアメリカを始めとしていろいろな国では、省力化によって生産現場を追われた多くの人たちが、サービス産業という名の低賃金・単純労働に押しやられています。省力化によって人間を労働から解放するのは、それ自身はヒューマンな行為です。しかしそれによって、多くの人から働く誇りや喜びを奪うようでは、もはやヒューマンとはとても言えません。

一国の経済が、低開発の状態から次第に発展して行くお決まりのパターンは、まず軽工業が発達して農村から沢山の雇用を引き付け、次第に高度な工業に移りながら国民の購買力を高めて大きな経済のうねりに増幅して行くことでした。しかし日本でいま花咲きつつ省力化技術は、日本では歓迎されても、よその国でも移転が歓迎されるとは限りません。雇用を全く増やさないからです。

宮沢賢治が夢みたような素朴なヒューマニズムを、そのまま技術の発展に当てはめることがますます難しくなってきました。技術と社会との相互関係を、技術の側からもっと積極的に考えてゆく必要があります。日本機械学会では、今年の4月から「技術と社会」という新しい部門を発足させ、ここの長尾高明先生を中心にこの問題に取り組んでいらっしゃいます。大学における教育を含めて、機械技術者が社会との整合性に関心を持ち続けるようにすることがますます必要でしょう。

貴重なお時間を割いていただき、私の最終講義に花を添えて頂いたご厚情に、心から感謝申し上げます。この後、山上会館で簡単なビヤパーティーを用意しております。ぜひそちらにも参加して頂き、口直しをして頂きたいと思います。どうも有難うございました。

略 歴

1931年5月10日、東京府多摩郡杉並町大字馬橋で生まれる。二女二男の三番目。1944年、杉並第四小学校から都立第四中学校(現戸山高校)に進む。この年(敗戦の前年)父北京にて戦病死、享年49才、陸軍中将。四中1年終了で東京陸軍幼年学校(西八王子)に入学するも、4カ月で敗戦を迎える。復員兵に混ざって鈴なりの上越線にぶら下がり、疎開先の父の郷里(新潟県村松町)にたどり着く。県立村松中学2年に編入、学制変更でいつの間にか高校生となり卒業。山村で過ごしたのどかな青春。

1950年4月、東京大学理科I類入学、理I-6Bのドイツ語クラス。2年後に工学部機械工学科に進学。動機は機械が好きだったことと、頭より体に自信があったこと。卒業論文は白倉昌明先生のもとで遠心ポンプ羽根車の圧力分布測定、卒業設計は岡崎卓郎先生にご指導頂きガスタービン用軸流圧縮機。

1954年4月、卒業後直ちに石川島重工業に入社。当時は土光敏夫社長で、造船大手12社の10番目だったが、夢の原動機として人気が先行していたガスタービンがやりたかった。タービン設計部内燃機関設計課で軸流圧縮機の設計に従事するも、注文がなく見積や外国文献あさがりが続く。こんなことならいっそ文献を創る側にまわりたいと考え、西ドイツの留学生試験(DAAD)を受けたところ合格。駒場のドイツ語の講義で厳しくしごいて頂いた常木實先生に改めて感謝する。会社在籍のまま留学。

1956年10月、ブラウンシュバイク工科大学流体力学研究所(H. Schlichting 教授)にて「二重減速翼列」に関する研究を始める。2年後の8月 Dr.-Ingenieur の口頭試問に合格、学位を授与される。9月に帰国し、産業用圧縮機の設計に従事する。

1959年7月、東京大学工学部機械工学科講師として着任。ドイツから帰国後、白倉昌明先生のご推薦で移籍の話が進んだ。

1960年4月、同助教授、機械工学第3講座で流体力学及び流体機械の教育と

研究に従事する。同年12月、児島素子と結婚。62年12月長男晃誕生。63年2月東京大学から工学博士を授与される。

1965年8月から1年2ヶ月、NASAのマーシャル宇宙飛行研究所(アラバマ州ハンツビル、所長W. von Braun)でポンプの動特性の研究に従事。月面到着を目前に宇宙開発の最盛期、アメリカの最も良き時代を体験する。72年12月二男晃太誕生。

1976年11月、教授に昇任、一般機械工学講座および機械工学第3講座を担任。

1992年3月末をもって退官。4月からは工学院大学機械工学科教授として再出発。

学術関係の活動

大学および学術行政

東北大学, 名古屋大学, 九州大学, 九州工業大学にて非常勤講師. 中国武漢水利電力学院客座 (visiting) 教授. 文部省学術審議会専門委員として, 科学研究費の企画および審査に加わった. また1993年度から導入される新しい分科細目について, 工学系の取りまとめを担当し, 機械工学分科に知能機械・機械システム細目を新設するなど近代化を図った. また, 日本学術振興会特別研究員等審査会委員も務めている.

学会・学術団体関係

日本機械学会 (理事2期, 副会長, 監事, 会長), ターボ機械協会 (理事7期, 副会長, 会長), 日本混相流学会 (副会長, 会長), 日本ガスタービン学会 (理事4期), 可視化情報学会 (理事1期), 日本流体力学会 (監事), 日本航空宇宙学会, 自動車技術会, エネルギー・資源学会, 日本油空圧学会, 日本工業教育協会, アメリカ機械学会, 国際水理学会, 中国機械工程学会名誉員

日本学術会議会員 (第15期), 同機械工学研究連絡委員会委員, 同水力学・水理学研究連絡委員会委員長, 同力学研究連絡委員会委員, 日本工学アカデミー会員 (理事5期)

Journal of Hydraulic Research (国際水理学会論文集), Experiments in Fluids (Springer Verlag, 定期論文集), International Journal of Engineering Education (TEMPUS Publications, 定期論文集) の編集委員を務める.

国際交流関係

東京大学工学部国際交流委員会委員 (1982-90), 同委員長 (1984-87), 東京大学国際交流委員会委員 (1984-90), 同副委員長・学術交流部会長 (1986-88), 東京大学留学生教育センター長 (1987-89), 文部省留学生問題調査・研究に関する協力者会議委員 (1984-87), 日本機械学会国際交流部会長 (1984-86) など.

その他の学外活動

標準化

日本工業標準調査会臨時委員(1961-)、同委員(1985-現在)としてポンプ、水車、送風機、圧縮機などの流体機械関係(原案日本機械学会)、バルブ関係(原案日本バルブ工業会)、継手関係(原案鉄管継手協会)のJIS原案の作成および改訂を行い、JIS専門委員長として取りまとめた規格の総数は30を越えている。また長らく機械要素部会委員、1992年からは機械要素部会長として規格制定審議に当たっている。

またISO/TC-153(バルブ)、TC-5/SC-5(継手)の国内対策委員長として15に及ぶISO規格の原案審議を行なった。

さらに、今後規格に「不確かさ」の概念が浸透するのを見越し、笠木伸英教授らと協力して日本機械学会を中心に「計測の不確かさ」研究会を組織し、ANSI/ASME PTC19.1の翻訳出版を始めとして、不確かさ概念の浸透・啓蒙に努めてきた。

以上の活動に対し、1987年に通商産業大臣から工業標準化の功績に対する表彰を受け、また1992年に藍綬褒賞を授けられた。

自動車トンネルの換気・防災・環境問題

山岳道路、都市道路を問わず道路トンネルは増加の一途をたどっており、その換気・防災・環境にわたって様々な問題が提起される。1957年にドイツのトンネル換気設備を調査したのが端緒となり、今日まで日本道路公団、首都高速道路公団、鉄道建設公団などが施工するトンネルの調査研究に当たってきた。対象のトンネルは名神高速道路の天王山、梶原トンネルを始めとして日本坂、恵那山、関越(11km、日本最長)、肥後などの長大トンネル、東京港、東京湾横断などの海底トンネル、千代田、中央環状などの都市トンネルから世界最長の青函鉄道トンネル(54km)に及んでいる。

高速道路調査会、高速道路技術センター、首都高速道路技術センターなどで委員長として取りまとめた報告書は総計60編を越えている。またこれらの活動を通じて浮かび上がった研究課題のうち、いくつかについては学内で研究を行なった。トンネル内を走行する自動車が引き起こす攪乱作用を縦方向拡散係数とし

て定量化し、拡散による汚染物質の移動を考慮に入れた新しい換気理論を導いた研究に対しては、1984年度の日本機械学会論文賞が与えられた。

原子力発電

1975年頃から、原子力工学試験センター(現原子力発電技術機構)で実施された原子力用バルブの実証試験、PWRおよびBWR用ポンプの実証試験、ABWR用原子炉内蔵形ポンプの確証試験及び実証試験、APWR用大型炉心の確証試験などに調査委員会あるいは実施委員会の委員長として参加した。

また1983年から現在まで、通商産業省原子力発電技術顧問として原子力発電設備の安全を中心として意見を述べてきた。その間、東京電力福島第二原子力発電所3号機および関西電力美浜原子力発電所2号機の事故に際して設置された事故調査特別委員会に加わり、原因解明、対策および健全性評価に当たった。

現在は、運転管理等および総合予防保全顧問会に属し、特に検査部会長として原子力発電所の定期検査が適切に行われているか助言する立場にある。

その他

H2ロケット推進用のLE-7エンジン技術会議(宇宙開発事業団)、地熱発電用ダウンホールポンプ開発委員会(新エネルギー・産業技術総合開発機構)、地下空間利用技術開発委員会(国土開発技術センター)などで新技術開発に関与している。

研究実績一覧 (1/2)

大分類	研究テーマ	参加学生 (博士, 修士, 学部)
翼, 翼列および 非定常翼列	揺動する翼列 翼列の風洞実験 平行壁間の高揚力翼 最適翼列の逆問題 ⁴⁾ 非定常翼の後縁流れ 非定常翼列の流れ ⁶⁾	学: 柘植英章, 宮部 隆, 室賀英三 学: 長尾高明, 宇佐美裕康 修: 鈴木勝也, 水野明哲 博: 後藤 彰 修: 石川宣勝 学: 池田弘道, 熊谷邦夫, 竹本達久, 清水進一 修博: 正司秀信 学: 佐々木浩一
流体機械の 非定常性能	流量変動に対する応答 ¹⁾ 起動, 停止時の応答 ²⁾	修: 金子 真 学: 竹岡義夫, 甲斐 浩 修博: 塚本 寛 修: 醍醐秀博, 山本重一 学: 金田修一, 太田守秋, 三枝信雄
流体機械一般, 流れと性能	自由羽根車ポンプ テリー形オイルタービン MHDタービン 貫流羽根車 低レイノルズ数用翼形 およびポンプ スロット翼軸流ファン ⁸ 面対称軸流羽根車の安定性 斜流羽根車内の三次元流動 ターボ分子ポンプ*	学: 小泉寿之, 近藤一彦, 岩沢慈郎, 原田邦彦, 渥美亮, 児玉岩男 学: 伊沢 勝, 鈴木 充, 蒔田 侑, 木山 元, 渡辺和彦, 吉沢信二, 星野和貞, 乾 三郎, 森尾康二, 松尾雅樹 学: 佐々木誠, 渡辺紘一, 中野栄二 修博: 山藤和男 学: 中山道夫, 福富 優 修博: 田中和博 修: 永井勝史 学: 永井秀典, 長谷川真, 川瀬達夫, 斎藤 裕, 根本泰弘, 藤井 明 博: 石塚 勝 修: 岡田敬三 学: 元吉 誠, 石川洋一 学: 谷中一勝
非定常流と 非定常流路	非定常ディフューザ 管路要素の非定常損失	博: 水野明哲 学: 山崎宏二, 伊東正篤 照屋 功 修: 根本泰弘 学: 菅田充陽, 松岡茂樹, 那須 卓, 小原 拓, 佐伯 寧
振動物体に作用 する流体力	振れまわり遠心羽根車 首振り遠心羽根車 振動円柱	修: 柳沢清司, 富田健介, 花輪 純, 川上 浩一郎, 加藤千幸, 畠中良一, 桜井 明, 西浜二郎, 永山勝也, 後藤功一 学: 井上愛一郎, 井上秀明, 安藤 豊, 吉田直人, 広川順一, 畠中良一, 桜井 明, 大久保憲郎, 宮部正道, 渡辺文彦, 秋田龍也, 石井智和, 山下達也, 橋本博久 修: 今井 弘, 土橋智也, 苗村健二郎 学: 森本庸介, 今岡隆司, 田中恵三 修博: 石綿良三 学: 西脇青児, 増田 優, 酒井洋一

研究実績一覧 (2/2)

大分類	研究テーマ	参加学生 (博士, 修士, 学部)
キャピテーション と気泡力学*	キャピテーション 気泡力学 分子動力学 旋回流の水柱分離	修: 和田昌佳, 奥平俊暁, 藤村哲司 学: 大西昭郎, 高瀬 浩, 奥平俊暁, 高田智成, 土井 隆, 長坂 充, 河野和寛, 後藤信之, 矢野雅隆, 藤村哲司, 竹内幸夫, 鬼橋徳幸, 勝倉幹根 修: 渡部正夫, 田村和久, 竹村文男, 亀田正治 学: 田村和久, 後藤英樹, 竹村文男, 石丸直彦, 中島康之, 亀田正治, 山西淳也, 山口 茂, 佐藤数史, 小林宏栄, 山田益義 修: 松井 純, 宮川和也 修博: 野々下知泰 学: 虫鹿由浩, 三浦晋平, 伊丹照人, 築山宜司, 黒木雅嗣, 松井 純, 松浦義成, 武田 寛, 小川恭司
気液二相流*	二相流回流水槽による 翼および管路要素実験 数値シミュレーション ポンプの二相流性能と 流動不安定性	修: 瀬下 隆, 築山宜司, 大平 昇 学: 清水俊明, 森井泰嗣, 永田隆久, 橋本和範 徳永俊昭, 小林伸和, 渡辺真琴, 石原昭広 修博: 西川秀次 修: 森井泰嗣, 高木 周, 村井祐一 学: 飯田雄章, 伊豆山敏夫, 青出芳則, 宮崎貴哉, 中尾圭児 博: 金子 真 修: 松本貴与志, 酒井洋一, 丸 正生 学: 銀屋慎一, 山口 透, 丸 正生, 野々下知泰, 中原泰, 早坂 靖, 渡部正夫
トンネル換気 および環境	坑口ジェットの流れ拡散 トンネル内の攪乱に る乱流拡散 ¹⁾ トンネル側壁開口からの 乱流拡散	修博: 高曾 徹 修: 金田修一 学: 遠藤 隆, 橋本 晋, 前原隆文, 富田健介 修: 畑 義弘, 成瀬俊久, 大田彰則, 森本 真 学: 小沢正和, 伊藤邦憲, 北島秀邦, 春井徹郎, 田中一光, 北野嘉幸, 太田 進, 杉崎正文 修: 石塚 理 学: 河合顕彦, 橋本光人, 亀山信行, 刈間昌明, 牛島雅隆, 小嶋一雄
その他	デジタル空気流速計 高分子溶液の管内流 スピニング* ⁵⁾	学: 坂本千秋, 矢沢恒治, 土屋治紀 博: 富田侑嗣 修博: 小原 拓 修: 島本憲夫 学: 渡辺 剛, 島本憲夫, 多和田高明, 佐々木俊和

注 *印の研究は松本洋一郎助教授との共同研究, §印は白倉昌明教授から引継ぎ指導

- | | |
|----------------------|----------------------|
| 1) 1968年度日本機械学会論文賞受賞 | 2) 1979年度日本機械学会論文賞受賞 |
| 3) 1983年度日本機械学会論文賞受賞 | 4) 1984年度日本機械学会論文賞受賞 |
| 5) 1992年度日本機械学会論文賞受賞 | 6) 1983年ターボ機械協会論文賞受賞 |

博士論文主査: 課程博士 13人, 論文博士 10人, 合計 23人

定期刊行論文集論文 80編 (内英語20, 独語1), 国際会議論文 60編, 講演論文 90編,
著書 20冊 (含共著, 編集, 訳書; 内英語2, 韓語1), 展望・解説・要約・随筆など 80編

パート 2
ケーススタディ
「研究と動機」

— わが VITA RECERCHIS(キタ リセルシス) —

内容

1. 研究と動機 — 分類の試み
2. 最初で最後のドイツ語論文
3. NASA — 非定常の始まり
4. トンネル換気 — ホビイ研究の勧め
5. ふれ回って15年
6. バブルと共に去りぬ
7. 関連文献リスト

1. 研究と動機 — 分類の試み

研究テーマの決め方

学位は、研究者として自立するための運転免許証だといわれている。昨今大学院の博士課程を修了して巣立って行く新米博士たちを見ていると、運転の技量は十分合格としても、これから自分で道を見付けなければならない前途に、ここからが研究者としての多難の始まりだよと言ってやりたくなる。と言うのは、課程博士の大部分は、指導教官から目標を指示されて、この先右に曲がれ、左に曲がれといわれながら運転試験に合格したと言えるからである。

研究の本当の難しさは、何を研究すべきか目標を定めるところにある。行くべき方向を自ら選び、場合によっては暗黒の荒野に踏み込んで自ら道を切り開く。どちらに向かったらよいのか？ これは誰も教えてくれない。もし教えてもらうとすれば、それは自立した研究者というより、生徒の域を出ないことになる。英語の research の語幹は、search すなわち探すことである。ドイツ語の Versuch の語幹も suchen すなわち探すことである。研究とはテーマを探すことであって、探してからが研究というわけではない。

研究テーマの決め方は、大学、大学の付置研究所、国公立研究機関、企業の研究所など、その規模と設置目的によって大いに異なる。この中で大学の研究者は、研究の自由度が大きいだけに悩みも大きい。大学で教授のポストに就けば、零細ながらも一研究室の長であり、研究テーマは個人的な興味、場合によっては趣味の延長線上に決めても構わない。動機はともあれ、一度研究の方向が決まると、少なくとも 10 年、場合によっては一生そこから抜け出せない。研究室に入ってくる卒論や大学院の学生は、どうしても研究室の設備の枠内で、すでに挙げた成果をいっそう強化拡大する方向に働くことになり、課程博士といえども、研究室に固有な研究の流れの中に留まるのが普通となる。

シュリヒティング教授の場合

組織が大きくなるにつれて、研究方針の転換、重点課題の設定には慎重になる。私が 1956 年から 58 年にかけて、境界層理論の名著で有名なシュリヒティング教授 (H. Schlichting) の研究所に留学していたときに体験したことである。シュリヒティングはプラントルの弟子に当たり、当時はゲッチンゲンに近いブラウンシュ

バイクで、工科大学付属の流体力学研究所を主宰していた。博士候補者以上の研究者は約20名、試作工場を含めた総勢は50人近い規模の中型研究所であった。

その頃、日本と同じ敗戦国ドイツで、ようやく航空研究禁止の占領軍命令が解除になった。プラントル、シュリヒティングの系譜は、もともと航空流体力学の発達を担ってきたが、1945年の敗戦と同時にすべてが終わった。その後の十年余は、もっぱら民生用流体力学、すなわちターボ機械の翼列に活路を見出だしてきたのである。機械工学出身の筆者が、もともと航空系であるシュリヒティングのもとで研究したいと思うようになったのも、この悲しい物語の副産物である。

筆者が加わってからまもなく、いかにして航空流体力学研究に復帰するかの大議論が始まった。十余年のブランクの間に、アメリカ、イギリス、フランスでは航空研究が長足の進歩を遂げ、そのギャップは絶望的に大きい。どこを衝けば、いちばん早く世界のリーダーシップを再び手中にできるか。広範な文献サーベイを基に議論を重ね、打ちだした結論が「デルタ翼」と「高揚力デバイス」の二つであった。1950年代を最後に、シュリヒティングの研究所から翼列に関する研究報告は途絶え、代わってデルタ翼の研究で世界に名を馳せるようになった。

研究の進め方と性格

私は残念ながら零細研究室の教授で終わり、上述のような大決断をする機会には恵まれなかった。私の場合は、あとで詳述するように、どちらかと言えば恣意的に研究テーマを追い続けてきたことになるが、今となって考えると、研究の進め方と自分の性格との間に運命的なつながりを感じる。

人の性格には、外向的、内向的という大分類がある。これは持って生まれたもので、普通一生変わらない。外向的な人は、社交性に富み、発表を好み、集団を組織して研究の大きな流れを作り、それに乗ることを好む。一方内向的な人は、どちらかと言えば孤独を好み、一匹狼で、自分の興味にしたがって黙々と研究に励むことが多い。

外向形と自認する若い研究者にお勧めできる一番確実な方法は、今見えている最も新しい波に乗り、その成長発展に積極的に関与しながら研究成果を挙げてゆくことである。数値流体力学、計測へのレーザー応用などが、過去の大波のよい例であろう。これからの新しい波は何か？ それを聞くようでは、自立した研究者とはいえない。リスクは自分で背負わなければならない。

私の性格は明らかに内向的である。小さい頃から赤面症に悩まされてきたし、人見知りをするし、どちらかといえば孤独を好む。したがって、研究の進め方も典型的な内向形で、今まで、大きな研究の流れの中に自ら積極的に身を置いた経験は少ない。その時々、個人的な興味に従って、一人で研究に取りかかった場合がほとんどであった。

しかしながら、十年ほど前から始めた気液二相流の研究は、松本助教授と共同で進めることになった。松本さんの性格は外向的であり、研究の進め方もまた典型的な外向形である。したがってこの関係の研究では、私のやり方も松本式に染まって外向形になった面が多分にある。

研究動機の種類

いまや還暦に達し、過去に行った様々な研究を振り返って見ると、それぞれに、それなりの動機があった。それらの動機を整理してみると、次の三つの場合に分類できることがわかった。

- 夢を追う場合
- 研究の空白地帯が見えてくる場合
- 研究費に釣られて始める場合

夢を追う

まったくの失敗に終わり、情熱を傾けた割には一編の論文にもならなかった研究に、幻のMHDタービンがある。卒業して就職後、希望してガスタービンの設計に配属されたものの、くる日もくる日も軸流圧縮機の翼列計算に明け暮れ、いささかうんざりしていた頃である。ふと目に止まったMHDの本によると、電磁気力を利用すれば、流れる流体に直接力を及ぼすことが可能であるという。電流でモーターを回し、それで圧縮機ロータを回し、その上に生えている翼を動かして揚力を発生させ、その力で流体を押して昇圧する。そんな間だるいことをせず、電流で流体を直接押して昇圧できれば、これに越したことはない。翼列よさようなら、MHDよ今日は！ この夢は、そんなところから芽生えた。

大学に戻り、研究の自由が得られたときに真っ先に取りかかったのが、この夢の実現である。翼の代わりに磁束を使うわけであるから、翼がまったく使えない

条件, 例えば何物をも溶かしてしまう超腐食流体とか超高温流体中で作動する流体機械を対象とすればよい。こうして, 当時すでに研究が始まっていた MHD 発電機に対応して, 超高温ガスから直接動力を取り出す MHD タービンの基礎研究に取りかかった。

作動流体として水銀を選び, 回転マグネットを作り, 水銀ループを作り, 着々と準備を進めた。助手の榎本久雄さんには, 細々とした部品の製作から組立まで, 装置造りに大いに力になって頂いた。しかし, 予期せぬ困難が次々に現れた。水銀は水よりも漏れやすい(動粘度が低い)ことに気付いたのは後の祭, 大口径のメカニカルシールから漏れは止まらず, あたりは飛散した水銀の粒で白く見えるほどであった。折も折, アメリカを中心に水銀の毒性が急激にクローズアップし, 密閉した実験室で水銀実験すること自体が問題となり始めた。万事窮した。すべての顛末は, 卒業論文の一冊に記録をとどめるだけで, あとはすべて幻と消えた。

夢を追い, 夢に破れた例がもう一つあったが, 何れも楽しい研究だった。私は, 夢を早々にギブアップしてしまったが, 今にして思えば, そんな態度では夢は絶対に具現化しない。夢を追う以上, 一生を賭けて追い求めるべきである。うまく行けば夢が実現できるかもしれないが, うまく行かなくても, 次の世代の夢の種ぐらいは残せるからである。

研究の空白地帯が見えてくる

1960 年代前半, 米ソの宇宙開発競争が頂点に達し, アメリカはケネディ大統領の号令のもと, 月ロケットの開発に向けて全力を挙げていた。そのころ, ロケットは時折打ち上げに失敗し地上指令で自爆させられたが, その原因の大部分は POGO と呼ばれる構造/推進系の縦モード自励振動であった。その振動解析には, 推進系構成要素の動的特性が必要であったが, 液体燃料や酸化剤を圧送するターボポンプの昇圧動特性は未知とされ, 定常特性を流用して解析されていた。

ターボ機械の定常特性については, 百年を越す研究の歴史と膨大な知識の蓄積があるのに, 動特性については皆無に等しく, 誰も手を付けようとしなない。これこそが研究の空白地帯である。

研究の空白地帯に踏み込むと, 最初は方向がさっぱり分からず, 無駄足を踏むことが多い。用語や座標系の定義から始まって, 無次元数の導入, 有効な実験方法の立案など, パイオニアとしての苦しみも多いが, その成果は確実に評価され

る。筆者の場合、ターボ機械の動特性、遠心羽根車に働く振動流体力、自動車トンネルなど人工攪乱場に対する拡散係数の導入、回転円盤上の薄膜形成(文献15-1~4, 小原拓・現東北大学流体科学研究所助手の学位論文)などがこの分類に該当し、その成果については研究者として最も自信が持てる部分となる。

研究費に釣られる

研究にはお金がかかり、その工面に皆苦勞する。もし研究費がついてくる研究があれば、国公立機関からの委託であろうと、企業からの委託であろうと、受けたくなるのが人情である。

筆者の場合、1970年代後半から始めた気液二相流の研究がこれに当たる。最初は、日本原子力研究所の委託を受けて気液二相流に対するポンプ性能の予測という応用研究から始めたが、興味が増すにつれて段々と基礎研究の側にずれ、気液二相流回流水槽の製作、気泡力学、分子動力学と、マクロからミクロにひた走って、やがて研究の大きな柱になった。

動機から言えば明らかに研究費に釣られて始めた仕事であったが、一度入り込むと、興味が次から次へと広がってくる。お金に釣られて始めても、やましいことは何もない。

委託で始めた研究で注意しなければならないことは、研究者としてはどうしても基礎研究、換言すればよりミクロな視点に立つ研究に移りがちで、実用的な回答を求める委託者の思惑から離れていってしまう点である。委託者と研究者との頻繁なコミュニケーションこそが、このミスマッチを防ぐ最善の処方箋であろう。

2. 最初で最後のドイツ語論文

なぜドイツに留学したかと問われると、歯切れのいい返事はなかなか思い当たらない。しかし、なぜ留学しようと思ったかと問われれば、答ははっきりしている。日本の技術の底の浅さに危機感を覚えたからである。

1954年に東大機械を卒業してすぐ石川島重工業に就職し、タービン設計部内燃機関設計課に配属されてガスタービン用軸流圧縮機の設計担当となった。当時夢の原動機として脚光を浴び始めていたガスタービンには大いに興味があり、卒業設計にもガスタービン用軸流圧縮機を選び、岡崎卓郎先生にご指導頂いた。また、国産ジェットエンジンの開発機関として設立されたばかりの日本ジェットエンジン(株)にも出かけて、今井兼一郎、影山芳郎、竹矢一雄さんなどからいろいろ教えて頂いた。卒業後、続けてガスタービンの設計に従事できることは、嬉しくもあり誇らしくもあった。

石川島に就職した動機は、今井兼一郎さんの影響がいちばん大きかった。今井さんは、戦後日本がジェットエンジンを作るようになった仕掛人として有名であるが(前間孝則著、ジェットエンジンに取り憑かれた男、講談社参照)、私は学生時代、今井さんの学位論文の数値計算係としてお手伝いし、ポケットマネーからアルバイト代をたくさん頂いた間柄である(文献18-2)。尊敬していた今井さんに勧められて、就職の決心もすぐついた。

配属された内燃機関設計課の中にガスタービン班があり、そこには宮沢清人班長、一年先輩の山本正弘さんの二人の東大機械の先輩がいた。入社当初は、先輩達が眩しく見えて仕方がなかった。危険速度の計算法、翼の応力計算法等々、学校では習わなかったことを何でも良く知っているのには驚いた。

ガスタービンそのものは、人気ばかりが先行して現実は厳しかった。石川島には船用ガスタービン担当という制約があり、着実に地歩を固めていた航空用ジェットエンジンに比べて、現実製品を手がける機会はなかなかやって来なかった。時折見積や調査の仕事が入るほかは、外国文献を調べて新しい研究成果や動向を探る日々が続いた。日本には、技術がほとんど無い。新しい研究成果や技術は、いつも外国からやってくる。こんなことならいっそ、外国に行って知識を作る側に回った方がやりがいがある。入社して一年が過ぎる頃から、こんな思いが段々と強まってきた。

山本正弘さんも、同じような思いに駆られていたのだろう。MIT留学を目指し

て勉強を始めていた。山本さんの行動力に触発されて、私も引きずられるように留学を思い立つようになった。しかし、なぜアメリカでなくドイツなのか？ 敬愛する染谷常雄先生が、ドイツをこよなく愛して留学を志すようになったのは、ゲルハルト・ヒュツシュ歌うところのシューベルトの「さすらい」に感動したからだという話は有名である。何が私をドイツに引き寄せたのか？ みんなが行くアメリカに、ややそっぽを向いたところも確かにあった。しかし強いて挙げれば、一冊の本ということになるろうか。

Axialkompressoren und Radialkompressoren (軸流および遠心圧縮機) というのが、その本の名前である。残念ながらゲーテの本でもヘッセの本でもない。唯の技術専門書である。圧縮機の設計を担当するようになり、何か良い本をじっくり読んで、力を付けようと思い立った。いろいろな本を探してみたが、英語の本には、基礎から応用まで本格的に記述したものは見あたらず、B5版450ページに及ぶ前記の本が最後に残った。著者はB. Eckert、勿論ドイツ語である。

その本は今でも手元にある。海賊版を手に入れたせいかな、それは今にもばらばらになりそうな無惨な姿に変わっているが、私にとってはモニュメンタルな貴重品である。前書き Vorwort を読み切るだけで一週間は過ぎ去った。最後のページまで読み切ると決心して読み始めたものの、悪戦苦闘ぶりは予想以上に厳しかった。しかし本の内容は、苦勞するだけの価値があったのだろう。とうとう途中で止めなかった。大体50ページも読み進むと、その本の中の知らない単語は9割がた出尽くすものである。先に進むほど楽になる。そしてとうとう読み切った。一冊の分厚い本を読み切ると、恐らくは一生で出会うドイツ語の9割は出尽くすことだろう。私が留学を思うようになった時期は、丁度この本を読み終わった頃と一致する。あんな素晴らしい本が生まれるドイツには、技術の伝統と蓄積があるに違いない。みんなが勉強している英語よりも、ドイツ語の方が語学試験の穴場かも知れない。あまり高尚でない動機が胸のなかで自己増殖し、とうとうドイツ政府の留学生試験を受けようと決心するに至ったのである。

運よく試験は一回で合格した。文理工医芸術すべての分野を合わせて10人が1956年DAAD留学生に選ばれたが、工学分野では駒場で同じクラスだった山田圭一君(現筑波大学社会工学系学系長、光化学専攻)と一緒に受かっていた。受かってみて、駒場でドイツ語を教えていただいた常木實先生に、深い感謝の念がこみ上げてきた。常木先生の授業は厳しいので有名だった。予習をしてこないと

教室で立たされる。大学では考えられないような恐ろしい授業だったが、その分無理矢理勉強させられたことになる。そのドイツ語の基礎力のおかげで、どうやら試験に合格したのである。

優しい先生より、こわい先生に！ そのとき恨まれても、あとで有り難がられる先生に！ 私は、本来気が優しく、無理強いなどできにくい性格であるが、常木先生の体験から、それでは駄目だと思ふようになった。ずっとそう思い続けながらも、性格はなかなか変えられない。私は最後まで優しい先生であったようだ。

1956年10月初頭、雨雲が厚く垂れ込め、教会の尖塔が霞んで見える底冷えのブラウンシュバイクに到着した。25万人都市の唯一の日本人として、ドイツ語だけの生活が始まったのである。無駄話をし始めるときりがないので、話題を研究テーマの選定に絞ることにしよう。

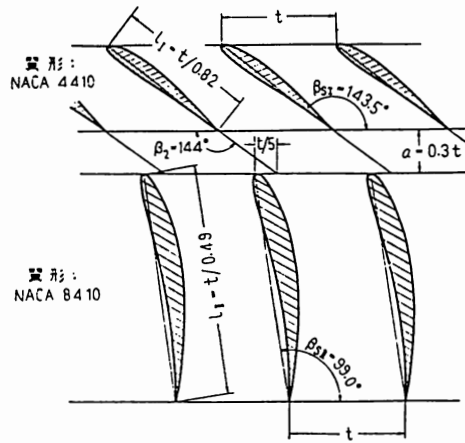
シュリヒティングの研究所にゆく動機が翼列の研究であったので、これは決まりである。翼列の何をやるかが問題である。当時研究所では、特異点解法による任意翼形の翼列回りのポテンシャル流れの計算法と、圧力分布を与えられた翼面上の乱流境界層の数値計算法が確立されており、それに関する論文は世界的にも評価されていた。その基盤理論と翼列風洞などの実験設備が、テーマを決める前提となった。結局、最適二重減速翼列がテーマとして決まった。大きな転向角を実現する減速翼列、例えば軸流圧縮機の最終段動翼の後ろの流れを再び軸方向に転向する静翼列がこれに当たるが、転向角すなわち翼負荷が大きすぎると流れが剥離し、良い効率は期待できなかった。この場合、翼列を前後2段に分け、前後翼の相対位置を最適に選べば、2段合わせた損失が単段の場合より大幅に低下する可能性がある。これに関する組織的な研究は過去に見られなかったことから、シュリヒティング教授と私の興味が一致してテーマとして選ばれた訳である。

研究には、どういう条件下で二重減速翼列が単列の翼列に比べて効率的に有利になるかを明らかにする前段部分と、二重翼列最適化の一般論を展開するメイン部分とに分かれる。私は、当時知られていたアメリカのNACAやイギリスのNGTEの減速翼列データを集めて、二重翼列の前後の翼列間に干渉がなく、二つの単列翼列の単純和とみなせるとする仮定のもと、横軸に入口角、立軸に転向角をとって、二重翼列が有利になる領域を探しだした。その結果をシュリヒティング教授に示したのが、到着後一か月位経った頃だった。

私は、きわめて設計的なセンスで、入手可能なデータを整理しただけだと思っ

ていたが、シュリヒティング教授が研究所のコロキウム (所内研究会) で異様に褒めてくれたので驚いてしまった。シュリヒティングはもともとゲッチンゲン大学出身の理学博士であり、学理の探求には厳しかったが、設計的センスやアプローチには簡単に感心してしまうところがあった。私が、2年以内という異例に短い期間で Dr.-Ing. の学位を頂けたのは七不思議の一つであるが、ひょっとすると、この偉大な教授の泣き所を無意識のうちに突いていたのかも知れない。

二重翼列最適化の要は、下の図のように前後の翼列のピッチを等しくとり、前後一組の翼をどのように相対的に配置すれば損失が最小になるか探ることにある。



二重減速翼列の相対関係

先ず理論計算から始めることとし、与えられた流れの入口条件と翼列形状に対して特異点法によるポテンシャル流れの計算を始めた。従来の翼列計算では、同じ翼列内の他の翼からの干渉を考えれば良かったが、二重翼列では他の翼列のすべての翼からの干渉も追加して考慮する必要がある。計算、それも当時の歯車式電動計算機による手計算は、一ケース当たり単列翼列のほぼ4倍の労力を要した。前後翼の相対位置をいろいろに変え、いちいち前後翼の表面圧力分を求めて、それを基に乱流境界層計算を行い、総損失を推定して最適配置を探してみた。このようにして求まる干渉を、ポテンシャル干渉と呼ぶ。

理論に半年ほど遅れて翼列実験に着手した。前後翼の相対位置をいろいろに変えながら、後段翼列のうしろで全圧分布をトラバースし、その分布形状から全損失を前翼の損失と後翼の損失に分離して理論結果と比較した。両者は残念な

がら全く合わなかった。実験では、前翼の後流が後翼にぶち当たると、損失が急増し、前図のように後流が後翼の背側をかすめるとき、損失が最小となった。前後翼が、ちょうど一枚のスロット翼のように配置すればよいのである。これは、前翼後流と後翼境界層の干渉問題であり、ウエーク干渉と呼ばれるものである。

実験では粘性が主役のウエーク干渉が支配的であり、これを粘性を無視したポテンシャル干渉で説明できるはずがなかった。研究の最大の危機が訪れた。今の学生なら、NS方程式を力づくで解いて、計算と実験はよく一致すると涼しい顔をするところだろう。残念ながらその頃は逃げ場がなかった。結局、ウエーク干渉を独立に取り出して要素的な実験をすることに活路を求めた。二次元の減速流路(ディフューザー)の中央に反りのない対称翼を置き、それにいろいろな幅、深さを持つウエークを当ててウエーク干渉の基本的な性質をある程度定量的に明らかにした。その二つを合わせて、ようやくドクター論文の骨子を組み立てることができたが、忙しい教授に替わっていろいろと助言してくれたゲルステン助手(K. Gersten)は、いみじくも「これは木に竹を継いだような論文だ」と喝破してくれた。そのゲルステン助手も、のちにボッフム大学の教授となり、恩師シュリヒティング教授亡きあとも、その名著 Boundary Layer Theory を不滅のものとするべく、恩師に替わって改訂作業にそのエネルギーを注ぎ続けている。

ドイツでは、学位論文を提出すると、審査委員会が結成され、二ヶ月後に、論文の内容と関連分野について口頭試問が行われる。私の場合は、1958年の6月に論文を提出し、審査委員長に水力機械の名著で有名なフライデラー大先生(C. Pfleiderer)、審査員にシュリヒティングとペーターマン教授(H. Petermann)が任命された。8月に口頭試問の日がやってきた。正装して大学本館に赴き、三先生と握手してから試問が始まった。論文自体に関する質問は、自分でやったことであるからそう困ることは無いはずである。問題は、何を聞かれるか分からない関連分野の実力テストである。いろいろ聞かれたはずであるが、一つだけよく覚えている。それは、翼列の翼に働く揚力係数 C_L と翼列のソリディティ σ の積 $C_L\sigma$ を表す式を、目の前で導いて見せよというものだった。運動量理論とベルヌイの式を組み合わせて最後まで間違いなく導出できたのは、ツイていたというべきか。どうやら長い試問も切り抜けることができた。

試験が終わると、廊下でしばらく待つように言い渡された。中で合否の判定と、合の場合はランク付けを相談しているはずである。待つことしばらくして、ドア

が開いてフライデラー先生の巨体が現れ私の方に近付いてきた。やがて手を差しだし握手して言ってくれた。

”Ich kongratuliere. Sie haben mit Auszeichnung bestanden!”

おめでとう、特上で合格です。うれしさがこみ上げた一瞬であった。この特上については説明を要する。日本の学位記には、学位を授与することだけが書いてあり、ストレスで合格したのか悠々と合格したのかは分からない仕組みになっている。ドイツはその点厳しい。学位記に、上から Mit Auszeichnung, Sehr Gut, Gut, Befriedigend, Nicht Bestanden の5段階評価が明記される。英語に対応させれば excellent, very good, good, satisfactory, not passed であるから、最後のランクでは学位は貰えないことになる。特上は5%位と聞いているから、シュリヒティング先生は私をだいたいお買いがぶって下さったようである。

うれしさを味わう間もなく、ゲルステン助手を始めとする研究所の同僚がわっと寄ってきて、密かに準備していた東洋すげ笠風の博士帽 Doktorhut を私にかぶせ、日独国旗を立てたりヤカーに乗せ、それをみんなで引っ張って町で中をパレードし始めた。博士帽の上には、二重翼列の模型が輝いていた。ああ恥ずかしかった。でも大学都市ブラウンシュバイクの住人は、慣れているせいか余り驚きもせず手を振ってくれた。

ドイツに留学が決まったとき、研究に参加して力を付けるばかりでなく、出来れば学位という具体的成果を目標に頑張りたいと密かに心に期した。物事がいつもこんなに順調に運ぶとは限らないが、師に恵まれ、同僚に恵まれ、私の場合は実力以上に好運に恵まれたとしか言いようがない。石川島理解のおかげで日本の月給も送って貰ったので、2百万キロも走った超古車ながら、生まれて初めてのマイカー・49年型フォルクスワーゲンを手に入れることもでき、遊びの方も思い残すことがなかった。たったの2年であったけれど、それが私の人生に与えたインパクトは実に大きい。ドイツは、DAADやフンボルトの留学生を通じて、日本の中に何千という味方を植え付けてきた。それも、主として社会の知的、芸術的指導層の中に。日本の留学生招致計画とその成果を見ると、支出する国費に比べて、日本ファンの増えかたがまだまだ低いのは残念である。

ドイツ語で論文を書いたのは、このときが最初で最後となった。5冊の所内報と学位論文、そして Ingenieur Archiv に載せる公表論文の草稿はすべて自分で書



リヤカーに乗せてパレードに出発

き上げたが、同室の同僚アッカーマン (Dr. E. Ackermann) が丁寧に筆を入れてくれたのも懐かしく思い出される。学術用語としてのドイツ語は、残念ながらマイナーになる一方である。私が学位論文を公表した伝統あるドイツの学術誌 *Ingenieur Archiv* も、今では英語論文が多数を占めるようになっている。共通のコミュニケーション手段としての英語は、今や英語圏の枠を越え、学術標準語としての役割を果たすようになっている。

ドイツ語を苦勞して勉強しても、役にも立たず損をしませんでしたか？ こう問われると、私は次のように答えることにしている。「言葉は世界です。一つより二つがよい。二つより三つがよい。世界が広がるほど、心も考えも豊かになります」このうしろに、私にもドイツ語論文が書けた証拠として、*Ingenieur Archiv* に発表した学位論文 (2-1) を転載します。

3. NASA —非定常の始まり

1959年7月、石川島を退社して母校東大機械の講師として着任した。ドイツから帰国後紆余曲折があったのち、卒論のときお世話になった白倉昌明先生のご推薦で、母校のスタッフに加えていただくことになったのである。機械同級の平田賢君は、新制大学院の2期生として修士と博士課程を終え、同年4月から西脇仁一先生の講座の講師として着任していた。私は、大学院正規課程5年分を、石川島での設計3年、留学2年に費やしたことになるが、ドイツで学位を貰ったおかげで、大学院をスキップして平田君の隣に滑り込んだことになる。

その年の12月から、白倉先生は文部省の在外研究員としてブラウンシュバイクのフライデラー研究所に1年の予定で出張されることになっており、私には白倉先生の講義や卒論指導の代役を務める重責が待っていた。必修の水力学を始め水力機械などの講義を冷汗かきながらその日暮らして凌いでいったこと、揺動する翼列、自由羽根車ポンプなどの卒論指導を初めて行ったことなど、留守役で最初からしごかれたことになる。この話に深入りすると本題から外れるので、先に進もう。

1年ほどで白倉先生が帰国されると、留守番役も無事終わり、自分でテーマを定めて研究を始めるようになった。流体変速機の出力要素としてのテリー形オイルタービン(4-1)、その頃出始めたゲートターンオフトランジスターを利用したデジタル空気流速計、そして夢追い研究 — 幻のMHDタービンに熱中するようになってきた。

そうこうして二三年経った頃、白倉先生から在外研究を考えるようにとのお勧めがあり、留学先、研究テーマを含めて検討を始めた。今度はアメリカに行きたい。それだけははっきりしていた。ヨーロッパは、イギリスを除けばほぼ旅行した経験があるのに、世界の中心アメリカには全くご縁が無かった。家内の素子は、結婚前コロラド大学に留学した経験もあり、そのアメリカの話も魅力的だった。

滞在費を先方持ちで留学しようとするれば、留学先は自ずと限定されてくる。折も折、宇宙開発委員会をしておられた兼重寛九郎先生に届いた外国からの手紙の中に、NASAのPostdoctoral Research Fellowshipの募集案内があることを知った。そのフェローシップは、アメリカ科学/工学アカデミーが募集管理するが、研究はNASAで行うことが条件になっていた。大学での留学経験はドイツで十分だ。今度は、有人月旅行を目指すサターン計画に沸き立っているNASAのような大組織

で研究体験するのも悪くない。こう考えて応募の準備を始めた。

NASA には沢山の研究所があるが、流体力学と関係ある研究所としては、航空流体力学のメッカ Lewis 研究所(オハイオ州)、バイオ流体力学など新分野担当の Ames 研究所(カリフォルニア州)、ロケット推進用ハードウェア開発を担当する Marshall Space Flight Center(アラバマ州)などがある。最初は気候温暖でスタンフォード大学にも近い Ames 研究所を希望したが、ターボ機械関係の研究をしたいという希望に対してマーシャル宇宙飛行研究所が最も適しているという回答があり、その線で研究提案を考え始めた。

ターボ機械への流体力学の応用を考えると、どうしてもそれは流体性能の話になる。1段の羽根車でいかに大きな仕事を授受するか、すなわち高負荷化の問題、いかに少ない損失でエネルギー変換を行うか、すなわち高効率化の問題、キャビテーションや衝撃波損失をいかに防ぐかという高速化の問題、それら性能問題は相変わらずターボ機械の中心的課題である。しかし、果たしてそれらが大学で研究するのにふさわしいテーマであるかについては、以前から疑問を持っていた。ターボ機械の性能は既にかかなりの水準に達しており、大学で行うおもちゃのような研究では、企業が人と金を注ぎ込み、はっきりした目的意識を持って行う研究にはとても太刀打ちできない。大学で行うのにふさわしい、何か新しい問題が在るのではないか？ この思いが、長く胸の中にくすぶっていた。

ポンプや圧縮機でサージングが起こると、中を通る流量が変動する。いまポンプを例にとると、サージング中のポンプの昇圧作用は流量変動に対応しながら変化するが、それがどのような関係になるか知られていなかった。したがってすべてのサージング解析では、流量と昇圧作用との関係は流量が変動しない場合のそれに等しい、すなわち準定常 quasi-steady の仮定を用いるのが常道であった。この仮定に対する引っかかりは、前々から感じていた。

NASA 留学を念頭に置いてロケット関係の文献を調べてみると、POGO と呼ばれる現象がロケット打ち上げ失敗の最大の原因として問題となっていることを知った。POGO は略字でも何でもなく、子供がびよんびよん飛び跳ねて遊ぶ一本足のスプリング付き竹馬を表す普通名詞である。ロケットの POGO の原因は、タンクなどの構造系が縦方向に伸縮振動をすると、タンクとロケットエンジンを結ぶ配管も伸縮し、それによってエンジンに供給される燃料や酸化剤流量が変動する。その流量変動は、当然エンジンの推力変動を呼び起こし、その推力変動が最

初の構造系の縦振動と共振すると、構造/推進系の自励振動としてのPOGOが発生する。ひとたびPOGOが起こると、ロケットはタンクの破損など構造破壊に至るので、地上からの指令によって自爆させられることになる。

POGOの解析を行うには、構造系と推進系の動的な特性を知る必要があるが、推進系の中心であるポンプやタービンの動特性は、サージングの場合と同様に未知であった。したがって、解析にはやむなく準定常の仮定のもと、定常運転で得られる静特性が流用されていた。ターボ機械の動特性は、それを知る必要に迫られながらも、誰も手を付けない研究の空白地帯であった。

NASAで研究する機会をきっかけに、この問題をぜひ手掛けたい。こう決心が定まると、早速NASAに研究提案を行い、POGO解析と関連させてターボポンプの動特性研究を行う重要性和意義を強調した。この提案は、マーシャル宇宙飛行研究所で早速認められ、1965年9月から1年間の予定で渡米することとなった。

このフェローシップの条件はなかなか良かった。往復の渡航費は同伴家族の分を含めてすべて先方持ち、給与は月千ドルであった。当時は1ドル360円の時代、千ドルは36万円に相当する。大学から貰う月給の10倍以上である。夢のような話であった。兼重先生やシュリヒティング先生の推薦状のおかげで、英語の試験もなく書類だけで留学が決まってしまったが、英語には全く自信がなかった。アメリカ大使館にビザを貰いにいったときのことである。担当の領事が書類をチェックして公用旅券にスタンプを押したあと、こう言った。

”You will get sudden accident.”

どきっとしたが、私は曖昧に笑ってその場を去った。家内も一緒にビザを貰いに行ったので、あとで二人になってから「変なことを言う人だ」とつぶやいた。家内はエッと聞き返す。私は領事が言ったことをもう一度繰り返した。

「ばかね、”You will get Southern accent.”と言ったのよ」

こんな調子でアメリカに行ったので、到着後1週間くらいのに5キロほど痩せた。言葉に苦勞して痩せたのは、これが最初で最後である。

最初は、英語にドイツ語が混ざるのをどうしても防げなかった。しかし都合の良いことには、マーシャル研究所の所長フォンブラウン博士、推進技術研究部長のポール博士、同じ研究室にいたバークラーさんなど、ドイツのペーネミュンデ

からアメリカに強制連行されたV2ロケットの残党がまわりに沢山いた。ドイツ語だけでも困らないくらいである。まして少しぐらいドイツ語が混ざっても何ということもない。気にしないことにした。

英語が下手なまま直接南部に行ったので、領事の予言通り南部訛に慣れ親しむことになった。渡米後半年ほどしてから兼重先生が研究所のあるアラバマ州ハンツビルまで訪ねて来られたことがあった。研究所訪問後、名所案内の一つとして近くにある比較的大きな鍾乳洞 Cathedral Cavern にご案内した。ガイドは勿論典型的な南部訛で説明した。英語には堪能な先生も、さすがに理解が困難だったようである。私が結構判っているのを知って、君も南部人になったもんだと、変なところで感心しておられた。

研究は、理論と実験の二本立てで進めた。1年間で仕上げるには、時間のかかる実験から先に準備しなければならない。本当はロケットエンジンに載っている本物のターボポンプを供試ポンプとして使いたいところであるが、液体水素や液体酸素などの極低温液用ポンプは、低温で強度が上がることを見越して設計してあり、常温の水を作動流体とする場合には強度が持たないことが分かった。そこで一般産業用の片吸込み小型遠心ポンプを購入し、ポンプの吐出し口と吐出しタンクの間には油圧駆動の流量変動装置を組み込むことにした。一旦基本構想が決まると、あとは私の出番は無かった。実験装置の設計技術者、計測系の設計技術者が試験・計測装置の完成まで一切請け負ってくれる。また実験計画書を出しておけば、計測技術者が測定を行い、指定の整理方法に従って線図にまとめてくれる。何から何まで自分でやる大学式研究法とは大違いで、ここにこそNASAの組織力の有難味があった。

実験には、頭を使って計画を立てるだけで、体は全く使わなかった。残りの時間はすべて理論の構築と計算に当てた。ここで初めて非定常の翼列理論に取り組むことになり、ガウスの超幾何関数を使ってポテンシャル流れの解析解を求めるなど、私には珍しく数学と取り組む日々が続いた。

実験装置もやがて完成し、測定も順調に進んだ。もし同じ実験・計測装置が日本にあって、同じ実験をしたことを想定してみると、NASAでなければ成功しなかっただろうと思う点の一つがあった。それはNASAの信号解析技術であった。NASAでは、宇宙から受け取った雑音に埋もれた信号の中から有為な情報を抽出するため、自己相関、相互相関、ハンニング、コヒーレンスなどを使ってランダム

信号を解析する計算機とソフトウェアが世界で一番完備していた。ポンプの動特性実験を行うと、流量変動、昇圧変動とも高調波成分を沢山含んだ汚い波形となる。オッシログラフの波形を眺めて、二つの信号の振幅・位相関係を決めようといくら頑張っても、合理的な判定は到底不可能である。もしこの実験を東大でやっていたら、オッシログラフの記録紙に埋もれて嘆息するばかりで、胸を張ってこれが動特性だと言えるような結果は得られなかっただろう。現在では、このような信号解析プログラムは実験用パソコンに入っているのが普通であるが、その点 NASA は十年以上世界に先駆けていた。

1年を過ぎる頃には実験と理論の結果が揃い、両者の比較もまずまずの一致を得た。結果を NASA のテクニカルノートにまとめようと、タイプを叩いて原稿をまとめていたら、研究室長がやってきて、「それは貴方のする仕事ではない」とそっと耳打ちして行った。換言すれば「月千ドルも貰うような研究者が、その半分も貰えないタイピストと同じことをしたのでは、格好が付かない」と言うことである。タイプを打って息抜きを兼ねようとした思惑は見事外れた。ああ、アメリカは厳しいと、改めて思った。

日本には、私を含めて秘書無しの教授も多い。教授自ら、タイプはおろか、来客のお茶入れ、コピー、ファックス、切手張り、ごみ捨て、何でやる。やりながら、時々アメリカで言われたことを思い出すが、この息抜きが全くできないアメリカの先生を気の毒に思うこともある。NASA 滞在と前後の旅行期間を含め、アメリカには合計1年2ヶ月いた。この間の研究から、NASA の内部レポートを除き、NASA テクニカルノート1編(5-1)、機械学会論文集3編(5-2,3,4)の論文が生まれ、後者は日本機械学会論文賞を受けた。かなりプロダクティブな研究留学だった。しかし、千ドルの高給と最高のサポート体制のおかげで、家族3人でアメリカの半分25州を訪れる余裕もあったし、強く寛容なアメリカの最盛期を体験出来たのは好運であった。つい最近まで、家内は時々思い出すように言っていた。「お月給だけで心配なく暮らせたのは、ハンツビルのときだけね」帰国すると、私にとっては最初の博士課程学生となる富田侑嗣君(16-1~3, 現九州工業大学教授)が待っていたが、動特性研究は修士に新しく入る塚本寛君(現九州工業大学教授)に引き継いでもらうことにした。流量変動に対する動特性から始まったこの研究は、塚本君が行った起動・停止時の動特性(5-6,7)、さらにバルブ急閉・急開時の動特性(5-8)へと発展していった。

うしろに, 帰国後フォンブラウン所長から届いた手紙のコピーと, NASA における研究成果のうち実験結果をまとめて機械学会論文集に発表した部分 (5-4) を転載しておきます.



NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION
GEORGE C. MARSHALL SPACE FLIGHT CENTER
HUNTSVILLE, ALABAMA 35812

IN REPLY REFER TO: DIR

NOV 8 1966

Dr. -Ing. Hideo Ohashi
Associate Professor
Department of Mechanical Engineering
Faculty of Engineering
University of Tokyo
7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, Japan

Dear Dr. Ohashi:

Thank you very much for your letter of September 15, 1966. I was delighted to hear that your association with us proved to be an interesting and also enjoyable experience. Our Propulsion & Vehicle Engineering Laboratory informed me that the studies and experiments carried out by you have been especially useful to us in analyzing the stability of fluids systems employing turbopumps. Please accept my thanks for your cooperation and the contributions you have made to the missions of the P&VE Laboratory.

It may be of interest for you to know that Dr. C. J. Lapp visited us on October 20-21 and discussed with Drs. Shelton and Head your report to Dr. Lapp and your assignment to us. Dr. Lapp indicated that as a result of your report he would initiate new procedures in order to facilitate the adjustment of NAS Associates to our living and working conditions.

I hope that we shall be able to have other NAS Associates from your country work with us and am extending to you, also on behalf of your colleagues in R-P&VE-PE, our best wishes for your future career.

Sincerely yours,

Wernher von Braun
Director

NASA マーシャル宇宙飛行研究所フォンブラウン所長からの手紙

4. トンネル換気—ホビー研究の勧め

1957年、ブラウンシュバイクで研究に没頭していた頃、会社から一通の手紙が届いた。シュテュットガルト近郊で完成したばかりの新しい道路トンネルの換気装置について、詳しく調べて報告してほしいという用件であった。

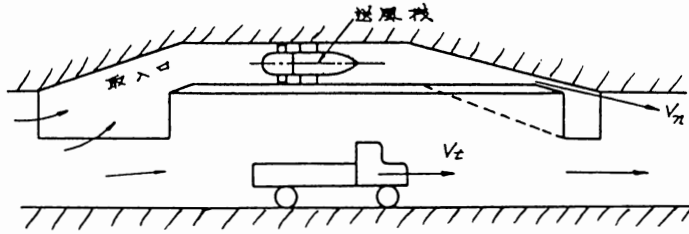
当時日本でもようやく高速自動車道路を建設する機運が熟し、事業主体として日本道路公団が誕生したばかりであった。先ず名古屋と神戸を結ぶ名神高速道路から建設に着手することになり、路線引きと設計検討が始まっていた。名古屋から関ヶ原、大津、京都、大阪を経て神戸にいたる路線は山岳地帯を避けており、トンネルがほとんど無い。しかし、京都と大阪の府境にある山崎のあたりは、淀川が山に近付いて平地が狭く、そこに既設の鉄道と道路が密集して走っている。あとから割り込む高速道路はどうしても山側に逃げざるを得なくなり、やむなく天王山、梶原の二つのトンネルを掘って通すことになった。高速道路用のトンネルについて全く経験の無かった道路公団の技術者たちは、先ず世界の最新のトンネルについて情報収集から始めることにし、ドイツについての調査を会社を通じて依頼してきた次第である。

その頃私は、有り金はたいて1949年型のフォルクスワーゲンを手にいれ、アウトバーンの高速走行を楽しんでいたが、北ドイツは平坦でトンネルには縁がなく、関心もなかった。シュテュットガルトは遠いので現地調査には行けなかったが、文献その他の資料をまとめて報告書を送った。これが、その後35年にわたって続いてきたトンネル換気との出会いであった。

帰国してみると、天王山・梶原トンネルの換気方式をめぐって二つの意見が対立していた。一つは九州大学が推薦する半横流方式で、かまぼこ形のトンネル断面の天井に板を張り、上部の空間を空気の供給ダクトとして使って、車道に沿って新鮮空気を一様に送り込もうとするものである。もう一つは東大の推す縦流換気方式で、自動車の走行が引き起こす縦流れを有効に利用し(これをピストン作用と呼ぶ)、足りない分をジェット運動量を使って強化して、トンネルを通り抜ける空気によって換気しようとするものである。

帰国後東大に移籍するまでの1年の間に、私は東大航空研究所の河村龍馬先生の下請けとなってサッカルド式縦流換気の模型実験を担当することになった。確か1/10の模型を作り、図のようにトンネルの上と左右に3台のファンを配置して、車道から吸い込んだ空気を加圧してジェットとして再び車道に吹き込み、そ

れによって誘起される縦流れの強さを実測するものであった。



サッカルド式縦流換気

こうゆう実験は楽しいし、また結果がダイレクトに役立つ。これは完全な相似模型による実験であり、実物への適用に当たってはレイノルズ数の違いの影響さえ考慮すればよい。しかし、実験の視察に来られた方々への説明を通じて、相似則を理解して頂くことの難しさを実感した。また実験にあたり、内部の流れを見やすくするため路面をガラス張りとし、上から覗き込めるようにトンネルの天地を逆にして路面を上にした。これは見学者の便を考えた善意の発想であったが、天地が逆では実際と合わないという質問に何度悩まされたことか。

実験はうまくゆき、縦流換気の可能性を実証したが、結局は九大派の意見が通って送気半横流式が採用されることになった。この方式は、その後東名高速道路の日本坂、都夫良野、蒲原トンネル、中央自動車道の小仏トンネルなど、4キロ程度までの高速道路トンネルに標準的な換気方式として採用されたが、オイルショックを機にした省エネルギーの動きに沿って消滅し、自動車のピストン作用を積極的に利用する縦流換気にとって替わられるようになった。河村龍馬先生はたいへん先見性があったことになる。

東大に移ってからは、河村先生のお手伝いをして、日本道路公団、首都高速道路公団などのトンネル換気計画に参画した。機械やプラントの発注では、発注者は要求事項をまとめた発注仕様書を完全に記述するよう努力すればよい。あとは、受注者が設計・製作してその仕様書を満足する製品を作り上げる。

公共事業が主体である土木の世界では様子が違う。発注者すなわち道路公団のような事業主体が、コンサルタントを使って詳細設計し、積算・見積まで終えてから工事の入札にかかる。ジェネコンなどの受注者は施工に集中し、計画や基本設計などには関与しない。したがって公団などの事業者は、外部の専門家の知識や経験に頼ることが多くなり、主要なプロジェクトごとに学識経験者やコンサ

ル・メーカーの技術者を集めた委員会を組織して、調査研究を委託する。ここで、大学の先生のような中立者が重宝されることになる。

河村先生が定年退官されたあと、私がこのような委員会の委員長を引き受けることが多くなった。範囲は、自動車および鉄道トンネルの換気と火災時の安全設備、自動車道路およびトンネル周辺の問題などで、記憶に残るプロジェクトとしては青函鉄道トンネル(世界最長)、関越、恵那山などの長大自動車トンネル、東京湾横断道路、東京港トンネルなどの海底トンネル、千代田、霞が関、中央環状などの都市トンネルがある。これからは、都市トンネルの重要さと、その環境対策がますます重要な課題となろう。

委員長としてまとめた道路関係の委員会報告書は、すでに60冊を越えている。このようにまで深入りし、長く関係が続いた理由はと問われれば、楽しかったから、としか言いようがない。楽しかった理由の一つが、土木技術者の気風にある。機械技術者も、大きなプラントをまとめようとするれば優れたコーディネーターとしての資質が要求される。ところが、大きな土木の仕事はほとんどがコーディネーターの仕事である。それもトンネルやダムのように完成まで10年近い歳月を要する事業では、工事責任者が数代に亘ることもある。「これは俺が作った」とは言えないのである。私を忘れ、他人を立て、そしてねばり強く自然を変えてゆく仕事に男の生き甲斐を捧げる。私はこの生きざまが好きだった。電気屋、機械屋、土木屋の順に、合理的思考から浪花節的思考に変化する。土木屋主流の世界の中で、脇役としてお手伝いを続けたのは、私にも浪花節的素質があったのだろう。気っ風のいい道路技術者と一緒に、日本全国、文字どおり全都道府県に足跡を印したのも、楽しい思い出の源泉である。

スイス連邦工科大学のアッカレット教授(J. Ackert)は、高速空気力学のパイオニアとして、またマッハ数の名付け親として有名である。そのアッカレット教授が、戦後亡くなるまでの間、スイスに多い長大山岳トンネルの換気システムのために、理論と実験の両面から研究されたことはあまり知られていない。恐らくアッカレット教授も、すぐ実地に応用され、そのうえ自らハンドルを握って試してみることができる研究の楽しさを満喫されたに違いない。

道路を楽しむ、これが道楽と言うものだろう。私のあとに、工学院大学の水野明哲君が深みにはまっている。道路関連設備のハイテク化が進み、換気・防災・通信制御などの機電設備の役割が高まっているので、機械屋の貢献がますます期待

されている。

委員会活動を通じてトンネル換気に関わるうちに、従来の換気理論の不完全さを痛感するようになった。それまでの換気理論によると、トンネル内で自動車から排出される汚染物資（一酸化炭素、窒素酸化物、煤などの浮遊固形物）は、周囲の空気によって希釈され、空気の流れに乗って外部に運び出される。ところがこれだけでは、とんでもない惨事が起こり得るのである。

いま、2車線対面交通道路の自然換気トンネルを考えてみよう。これは一番平凡なトンネルで、全国至るところにゴマンとある。ところが、上下線のピストン作用が完全に釣り合うと、トンネル内の空気は全体としては動かずにじっとしているから、中で放出される汚染物質はそのままトンネル内に留まり、トンネル内はやがてガス室と変わる。排気管からガスを室内に導いて自殺を図るのと同じ条件である。

これはトンネルの長さとは関係なく、長時間にわたりピストン作用がバランスすれば必ず起こる恐ろしい現象である。従来の換気理論によれば、ときどき死者が出て不思議でない状況であるが、幸いにして数百メートル以下のトンネルでこういう事故が起こった事例は皆無である。経験が、理論が不完全なことを教えている。これもまた研究の空白地帯であった。

理由はすぐ見当がつく。トンネルの中では、行き交う自動車によって常に空気がかき混ぜられており、いわば人工的に励起された乱流場となっている。乱流場には当然強い拡散作用があり、濃度の高いトンネル内部から濃度の低い外部に向かって汚染物質の輸送が起こる。これによって、トンネル内の濃度はある値に抑制され、無制限に濃度が増大することはない。この仮説を実証するためには、評論家としての委員会活動から出て、研究として取り組まなければならない。またその価値は十分あると考えて、東大で本格的に研究を始めることにした。

人工攪乱場の拡散作用の強さを拡散係数として定量化するため、空気実験と水実験の両方を行った。空気実験は、車の大きさ、車頭間隔など車両の形状パラメータの影響を調べるために行い、トレーサとして二酸化炭素ガスを使ったが、レイノルズ数は実現象のものより4桁ほど低かった。一方水実験では、トレーサとして薄い食塩水を使い、水中に置かれた1台の模型車両を細いワイヤーを使って高速で引っ張って、もっぱら高いレイノルズ数を実現することに重点をおいた。それでも実現象には、レイノルズ数にしてなお1桁の開きがあった。

空気の実験と水の実験を合わせると、レイノルズ数依存性がはっきり捕らえられ、実現象のレイノルズ数まで自信を持って外挿することが出来た。高曾徹君(現九州大学助教授)に手伝ってもらい、実現象まで適用可能な拡散係数の実験式をうまくまとめることができ、この研究の主要な成果となった。このような実用的な研究が日本機械学会論文賞を受賞できたのは、実現象への応用に徹底的にこだわり、二つの違った実験をうまく組み合わせたことが評価されたと思っている。大体、すべての実験的研究は模型実験である。しかし「実現象への適用は別途考慮する」として深入りしないのが普通である。ホビー乃至道楽で始める研究には、応用の楽しみが常にぶら下がっており、その意味で一味違った研究ができる可能性がある。

道路トンネル内での拡散係数の大きさは、その後荏原総合研究所に設置された高速ランニングベルトを使った拡散実験装置、また実トンネルを使った大規模な拡散実験によって確かめられたが、大学で玩具のような装置を使って導いた結果がそのまま追認されてほっとした。実を申せば、やや不安なところもあった。大学の流体力学の講義では、圧縮性の影響さえなければ、レイノルズ数がすべてであって、水であろうが空気であろうが関係ないと教えている。理屈は確かにそうである。しかし実際に実験してみると、水と空気は大違いであり、その性質には天と地ほどの差がある。レイノルズ数だけで本当によいのかなという疑いが、情けないことに時々胸をかすめて自信をぐらつかせた。しかし今では違う。理屈は感覚を上回って真である。

このうしろに、実用研究で機械学会論文賞を頂いた珍しい論文(11-6)を転載しておきますので、ちらと眺めて下さい。

5. ふれ回って15年

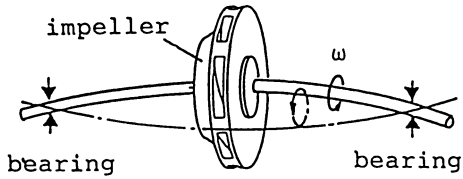
「先生、この研究はそんなにふれ回らないと認めて貰えないのですか?」と、卒論のため新しく研究室に加わった4年生が質問してきた。一瞬質問の意図が分からず不審な顔つきをしたが、やがて回りの大学院生と一緒に大爆笑が起こった。触れ回る、喋って歩く、宣伝する、..なるほど、そういう見方もあるものかと改めて感心したが、勿論宣伝の研究を始めた訳ではない。ターボ機械の羽根車が、振れ回って振動しながら回転するとき、どうゆう流体力が働くかという研究を始めたのである。

20年ほど前、火力発電所の蒸気条件が超臨界圧となり、ボイラー給水ポンプの吐出圧力が著しく高まった。ポンプを軽量・小型化するため、ポンプは次第に高速回転となり、一段当たりの圧力上昇も大きくとって段数の低減が図られた。このような従来に限界を越えた高速高圧ポンプでは、軸振動、圧力脈動、羽根車の疲労破損など様々なトラブルが現れて技術者を悩ませることが多かった。

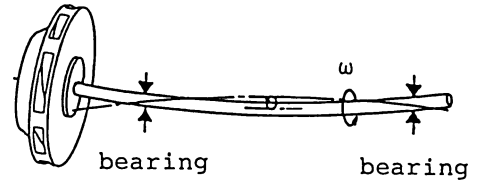
日立の機械研究所の宮代裕さん(現富山県立大学教授)と話をしたのは丁度その頃であった。宮代さんは、高速遠心ポンプが原因不明の軸振動を起こすことがしばしばあり、理由が判らないだけに根本的な対策が打ち出せずに困っている、何か思い当たる原因はないかと問いかけてきた。いろいろと話をしているうちに、翼がフラッターを起こすように、遠心羽根車もフラッターを起こすのではないかというアイデアが浮かんできた。翼がフラッターを起こすということは、振動翼に働く流体力が、翼にエネルギーを注入する成分を持っているということである。同様に、振動する遠心羽根車全体に働く流体力が、振動軸にエネルギーを注入する成分を持てば、やがて大きな振動に成長するはずである。ジャーナル軸受のオイルホイップは、油膜圧力を介して起こる自励振動であるが、羽根車流体力を介して起こる自励振動、すなわちインペラーホイップが起こっても不思議はないはずである。このようにして、振れ回り遠心羽根車に働く流体力の研究が始まった。

羽根車の回転軸には色々な振動形態がある。しかしこれを要素に分解してゆくと、任意の羽根車振動は、図のような二つの振動モードの合成として記述できる。

振れ回り運動(whirling motion)は、軸が平行を保ちながら、円軌道上を公転しつつ自転するモードで、2軸受で支えられた回転軸の中央に羽根車を取り付けら



振れ回り運動モード



歳差運動モード

れている場合に相当する。軸の回転方向と円軌道上の公転方向が等しいものを正の振れ回り、逆のものを負の振れ回りと呼ぶ。正負の振れ回りを合成すると、軌道は直線となって軸の面内振動が得られる。歳差運動 (precession or tilting motion) は、独楽の首振り運動と同じであり、回転軸の傾きが変化する。オーバーハング軸の先端に取り付けられた片持ち羽根車の振動は、歳差運動と振れ回り運動の合成として表される。

研究は先ず振れ回りから始めた。理論と実験との対応をつけるために、二次元遠心羽根車がベーンレスディフューザ中を振れ回る、最も単純で基本的なケースを最初の対象とした。理論の方は、非定常翼列に関する学位論文(3-5,6,7)を手際よくまとめて余裕顔をしていたD3の正司秀信君(現筑波大学助教授)にエクストラで応援を頼んだ。正司君は、博士修了までの二三ヶ月の空き時間をを使ってこの問題に取り組んでくれた。非定常直線翼列から吐き出される後流渦は、どんどん流されて翼から遠ざかってゆく。しかし遠心羽根車のような円形翼列の場合は、吐き出された後流渦が渦巻くように羽根車に絡みつき、なかなか遠ざかってくれない。非定常翼列の流れを求める最大の難しさは、後流渦からの誘導速度をいかに考慮するか点にある。非定常遠心羽根車の流れは、この点で予想外に取扱いに工夫を要したが、解析力には定評のある正司君は短時間で問題を解決して、解析結果を置き土産に巣立っていった。

実験の方は、全く新しい試みだけに手本が無く、実験装置はゼロから計画、設計、製作しなければならなかった。この実験を最初に担当したのは修士の柳沢清司君(現在日立製作所習志野工場)で、難しい実験を一応データが採れるまでまとめあげた実力に賛辞を送りたい。装置は立軸単段遠心ポンプを原型とし、ポンプ軸を強制的に円軌道上を振れ回らせるものであった。振動を強制して、それに伴って発生する羽根車流体力を測定する。これが、振動物体の安定性を評価・

判別する一つの常套的手法である。装置の詳細設計と製作には、この問題の火元でもある日立の機械研究所から援助して頂いた。

初代柳沢君の修士論文が完成し、二代目富田健介君(現在通産省)が悪戦苦闘し始めた頃、この研究にはライバルがいることが明らかになった。日立機研の飯野利喜さんが、1980年にNASA主宰のシンポジウム、Rotordynamic In-stability Problems in High-Performance Turbomachinery、に参加したとき、同じ目的の研究がカリフォルニア工科大学のアコスタ教授(A. J. Acosta)の研究室で行われていることを知ったのである。飯野さんが、シンポジウムの席上で私がやっている研究を紹介して下さったので、会議終了後NASAから連絡があり、論文を提出してプロシーディングに誌上参加しないかという勧誘があった。早速正司君の解析結果を論文に取りまとめて提出し、プロシーディングに載せて貰ったので、これが遠心羽根車の振れ回り流体力に関する世界初の本格的理論(7-1)となった。

アコスタ教授がこの研究を始めた動機は、スペースシャトルメインエンジンの液体水素用ターボポンプが、振動トラブルで回転が上がらず、宇宙開発関係者を悩ませていた事情から発している。アコスタ教授にも、手を尽くしても止まらない振動の原因が羽根車フラッターではないかとの疑いが浮かんだに違いない。

日米二つの研究は全く独立に始められたが、着想の根元は同じである。しかし、日本ではボイラー給水ポンプという産業基盤の民需が、アメリカでは宇宙開発という国の威信を賭けた官需が引き金になった違いが象徴的で面白い。装置も、日本が立軸、アメリカが横軸と全く違う。東大の装置は、供試羽根車の外径が350ミリ、装置全体の高さが2メートルを超えるが、CalTechの羽根車は外径150ミリほどで、全体が机の上に乗るデスクトップ実験装置となっている。日本が大きくアメリカが小さいのも、なにか逆のようで面白い。

この研究は、振れ回りについては先の二人に加えて花輪純、川上浩一郎、加藤千幸、畠中良一、桜井明、西浜次郎、永山勝也、後藤功一の合計10人、首振りについては初代今井弘君に続いて土橋智也、苗村健二郎の計3人が、バトンタッチ式修士論文としてそれぞれに新しい貢献を積み重ねてくれた(7-2~6)。これだけの規模の研究で、博士が一人も誕生しなかったのは不思議なくらいであるが、修士2年の燃えさかるエネルギーを継続的に投入するのも、研究パワーを高める有効な手段であることを実証してくれた。

実験装置、特にその振れ回り/首振り機構と流体力センサーは、初代から第2世

代, 第3世代と改良を加えられてきた。私が定年で東大を去るに当たり, この実験装置は大阪大学基礎工学部の辻本良信教授の研究室に移管され, 新天地で再び役立とうとしている。辻本先生は, アコスタ教授の右腕として, 振れ回り流体力の理論解析ではアメリカ勢の一員として活躍して来られ, いわばライバルの一人である。長年手塩にかけた流体力試験機が, 今度はそちらでご奉公するとは, 最近顕著な雇用の流動化を象徴して, これもまた面白い。

振れ回り流体力の測定は, 日本では東大と三菱重工高砂研究所, アメリカではCalTech, ヨーロッパではズルツァーとバイロン・ジャクソン社で行われた。しかし, 首振り実験まで踏み込んだのは我が研究室が始めてで, まだ続いて来るところはない。うしろに, 1991年6月, アメリカ機械学会と日本機械学会が共催した流体力学国際会議で発表した論文(7-6)を転載する。その中で, 首振りに伴って発生する流体力が, モーメントを介して自励的に軸振動を増大させる可能性とその条件が初めて明らかにされている。

6. バブルと共に去りぬ

私が定年まで教授を務めた機械工学第三講座は、水力学・水力機械という基礎分野を担当するため1897年に設置され、初代の井口在屋教授以来、内丸最一郎、鈴木茂哉、白倉昌明の各教授を経て私に引き継がれた。この伝統ある講座も、1992年の3月末をもって廃止され、熱や蒸気の講座と一緒に機械エネルギー工学大講座に統合されることになった。これは、大学院部局化、すなわち従来の学部中心の研究教育体制から大学院中心の体制に移行する組織変更の一環として行われ、従来の3-4講座が一つの大講座にまとめられた。船長が沈没する船と運命を共にするように、私も百年近く続いた栄光ある講座の消滅に合わせて大学を去ることになった。

松本洋一郎教授は、本来は機械工学第三講座の後継者になるはずのところ、以上のような理由で現在機械エネルギー工学講座に属している。私は、松本さんとは同じ講座の教授、助教授として10年余にわたって一緒に仕事をしたが、二人の研究を結ぶ共通のキーワードはバブルであった。

私とバブルとの出会いは15年ほど遡る。1970年代後半、PWRやBWR原子力発電所が配管破断などの事故を起こしたとき、原子炉を安全に停止できることを実証するプラント応答解析が盛んに行われた。このためには、プラントを構成する各要素の力学的、熱的過渡応答を明らかにする必要がある、データが不十分なものについては研究が追加された。なかでも、炉水を強制循環する一次冷却材ポンプ(PWR)や再循環ポンプ(BWR)は、炉の冷却に最大の役割を担っているが、炉内が減圧して炉水が沸騰し気液二相状態が変わるとき、ポンプにどの程度の昇圧力が残されるのか不明な点が多かった。このためアメリカ、日本、ヨーロッパで、大は実機を使った工場試験から、小は実験室レベルの模型実験に至るまで、様々な研究が始まっていた。

日本では、日本原子力研究所が中心となってこの研究を推進することになり、内田秀雄名誉教授から応募するようお勧めがあった。私は、ターボ機械に関しては、翼列から始まって非定常性能、貫流羽根車(4-2,3, 山藤和男・現電気通信大学教授の学位論文)、低レイノルズ数性能(4-6,7, 田中和博・現九州工業大学助教授の学位論文)、部分カット羽根車を使った比速度依存性(4-8, 川田達雄助手の研究)、羽根車や円柱の変動流体力(8-4,5, 石綿良三・現神奈川工科大学助教授の学位論文)など実に様々な問題に手を染めたが、すべて单相流に留まっていた。これに二

相流を加えれば、ターボ機械の小間物屋になる。やってみるか、と気軽に始めたが、これが底無し沼になろうとは知る由もなかった。

BWR用再循環ポンプの1/10モデルの羽根車を日立製作所から提供してもらい、立軸単段ポンプのループを作って実験を始めた。炉内の二相流状態を再現しようとするれば、ループを加熱して水・蒸気二相流で実験すべきであるが、こうすれば必然的に高温・高圧の液を扱うことになり、装置が大掛かりになるばかりでなく、実験の危険性も高まる。狭い実験室で、不慣れな卒論学生が研究することを考えると、安全第一、空気を吹き込む水・空気の二成分系の二相流に逃げ込まざるを得なかった。実際の水・蒸気の一成分系二相流では、液と気体の間で蒸発・凝縮の相変移が起こる、液と気体の密度が高温高圧になるに従って近付いてくるなどの特色があるが、水・空気ではその特性が失われる。ひとたび二相流に踏み込むと、单相流では比較的实现しやすかった実機と模型の相似性が、ほとんど実現不可能なほど困難になってくる。

ポンプの吸込み側に空気を吹き込み、ボイド率をいろいろに変えて昇圧性能の劣化を調べる。これでは、データを取りまとめてレポートは書けても、研究にはほど遠い。卒論のテーマとしては丁度よいかも知れないが、博士は生まれそうにない。そんな思いでいたとき、面白い現象が見つかった。それは、ポンプの吸込み側を一定のボイド率に保つため一定の空気を送り込むと、ポンプループの流量が変動し始め、ついには激しい流量変動を伴う発振状態に陥ってしまうことである。二相流ループで起こる流動不安定性の新しい形態である。

研究の興味は、ポンプの二相流性能からポンプループの流動不安定性に移ってしまった。流動急変に対するポンプの非定常性能(5-8)で修士論文をまとめた金子真君(現九州工業大学助教授)が、博士課程ではこの問題に取り組みたいと意欲を示したので、これが結局金子君の博士論文(13-1,2)となった。金子君は、のち機械技術研究所でロボットの研究に取り組むことになったが、流れそのものよりシステムの安定問題に取り組んだ経験が、その後の転身を容易にした面も認められる。

ターボ機械の二相流性能を扱っているうちに、機械全体のマクロな性能を相手にする限り、いつまでも各論的な研究から抜け出せず本質には迫り得ないという思いが深まるばかりであった。ターボ機械の作動原理は翼列の機能にある。したがって、二相流に対して翼列がどのように挙動するかははっきりさせれば、性能

の問題はそれから自然に帰結される。しかし、单相流の翼列流れすら、すでに1世紀近い研究の積み重ねがあるのに、いまだ完全とは言えない。それと同等の広がりをもつ二相流の翼列流れは、これまた気の遠くなるほど奥深い仕事である。しかし、とにかく始めよう。翼列研究の始まりが翼列風洞の建設であったように、二相流翼列の研究も、先ず二相流回流水槽の建設から始めなければならない。

この思いが通じたのか、科学研究費一般研究Aに採択されたことを機に、世界初の気液二相流回流水槽を完成させることが出来たのである。

松本さんは、内田秀雄・斎藤孝基両先生のもとで液面上の火炎伝播に関する研究をまとめて学位をもらった、もともとは熱屋である。それが水力学・水力機械の機械工学第三講座に所属することになり、熱と流体の接点としてキャビテーションを研究テーマに選んだ。確かに、キャビテーションには相変化、伝熱などが複雑にからみ、流体屋だけでは手に負えない。狙いとしてはたいへん良い。しかし、キャビテーションについては、東北大学に伝統と人材の厚みを誇る高速力学研究所(速研、現在流体科学研究所)があり、世界のメッカとして成果をあげてる。私は松本さんに、孤立無援な一匹狼では、速研に飲まれて霞んで仕舞うのではないかと危惧の念を表したことがある。松本さんは自信があったのだろう。それでもやりますと、初志を変えなかった。

松本さんは、1981年から一年間、フンボルトの招聘研究者としてアーヘン工科大学衝撃波研究所のバイリツヒ教授(A.E. Beylich)のもとで研究し、気泡の成長凝縮を厳密に取り扱う理論をまとめ、バブル力学に一層の実力を付けて帰国した。このような状態で、二人のバブルに接点生まれ始めたのである。かくして、二相流回流水槽の建設から始まって、二相流に関するすべての研究は松本さんとの協同研究になったのである。

回流水槽の建設には、予想以上の難しさがあった。特に、テストセクション入口で一様なボイド率と速度をもつ流れを実現する空気吹き込み装置に工夫が必要で、助手の市川保正さんの献身的な努力で試作を繰り返し、ようやくほぼ満足のゆくところまで改良することができた(13-4,5)。

研究をしていると、複雑な現象を、より基本的、根元的に説明したくなる。換言すれば、複雑から単純へ、マクロからマイクロへの研究の流れである。二相流研究が、まさしくその典型であった。ポンプの二相流性能は、まず翼列の二相流研究に還元される。数値解析については、西川秀次君(現在石川島播磨重工)が学位論

文(13-3)として追い詰めてくれたが、実験の方は現象が複雑すぎて実施すること自体が困難であり、より単純なケースから始めざるを得なかった。

翼列は単独翼の組合わせであるから、単独翼回りの二相流がより基本的である。実験はこれから始めたが、現象がまだまだ複雑すぎて一般的な理解へは至らない。考えてみると、翼面とは圧力分布をもつ曲面に過ぎない。従って翼面上の気泡の挙動は、ディフューザやステップのような単純な形状をもつ二次元流路内でより基本的に観察できるはずである。このように、研究は次々により基本的な現象へと還元されていった(14-2)。

気泡の群れは、一つ一つの気泡、すなわち単独気泡の挙動によってほとんど決まる。気泡の収縮・成長を突き詰めてゆくと、気体分子がクラスターを作って凝縮したり、液表面でトラップしたりする分子間の問題まで細かくなり、分子動力学の領域に入ってくる(14-3,4)。

問題を次々に細分化し、マイクロ化するのは当然の流れである。それが解析あるいは分析の宿命といえよう。しかし工学の問題は、ほとんどマクロな現実問題から発しており、その回答が求められている。マイクロ化された研究は、やがて流れをシンセシスの方向に逆行し、知識を統合して答を出さなければならない。統合の方が解析よりはるかに難しい。知識を統合して優れた機械を設計する方が、その機械を解析するより難しいのと同じである。二相流の研究については、解析の方をひた走るばかりで、定年までにはついに総合に至らなかったのが心残りである。私はバブルと共に去った。あとは松本さんらの総合力に期待するのみである。

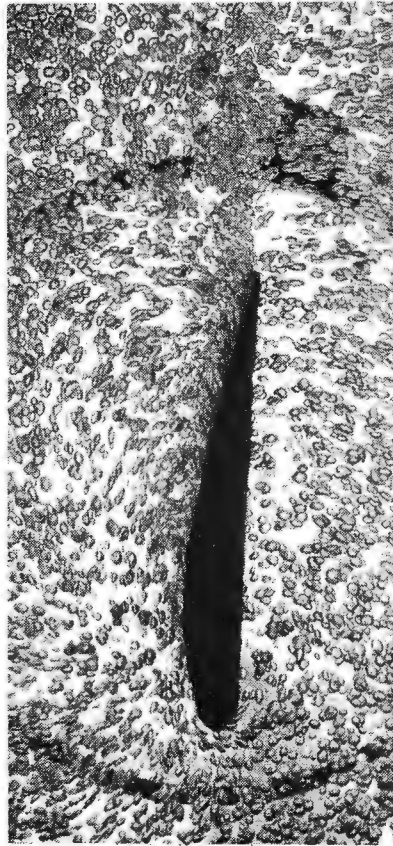
この研究は未だ途上である。したがって論文を転載する代わりに、次ページの写真をお目にかけよう。これは、出来上がった水/空気二相流回流水槽を使って単独翼(NACA 4412)回りの流れを撮影したものである。平均気泡径1ミリ、ボイド率5%、流速2.5m/sの上向き一様二相流中に、翼弦長100ミリの翼が迎え角5度で置かれている。気泡は翼面のそばで米粒のように変形し、前縁淀み点付近から押し出されて翼背面の負圧地帯に集積して流されてゆく。この気泡分布の再配置が、二相流の圧力分布を変え、剥離を変え、揚力・抗力を変える。

実際の二相流は、雑多な径の気泡の集まりである。気泡の分裂・合体があり、凝縮・蒸発も起こる。二相流の音速は極めて低いから、流れが高速になると圧縮性が顕著になり、簡単に衝撃波が発生する(14-1)。高速になれば、乱流に変わることも頭に入れなければならない。単相流の乱流すら手に負えないのに、密度が全

く違う二つの成分が絡み合ってどんな乱流を引き起こすのか、想像もつかない。
液体側が乱れれば、軽い気体側など、それだけで粉々になってしまうのに。

「君のゆく途は 果てしなく遠い
だのになぜ 齒を食いしばり
君はゆくのか そんなにしてまで」
(藤田敏雄詩 若者たち)

苦しみは楽しみでもある。鼻歌を口ずさみながら、じっくりとやって下さい。二相流, 広くは混相流は, 21世紀に花咲く研究だから。



単独翼回りの気液二相流

7. 関連文献リスト

研究テーマごとに、関連する論文、解説、論説などをリストアップした。研究の流れを分かり易くするため、なるべく数を絞り、また、できるだけ日本語の文献を引用した。

文献の表示は、著者名、題目、掲載誌名、巻号、西暦年、ページとするが、著者名から大橋本人分は省略した。日本機械学会論文集は、機論集と略記する。

書 籍

- 1-1 著書, 流体力学 (1), コロナ社, 標準機械工学講座, 1982
- 1-2 白倉昌明と共著, 流体力学 (2), コロナ社, 標準機械工学講座, 1969
- 1-3 著書, 流体機械, 森北出版, 1971
- 1-4 監訳, H.J. Lugt 著, 山口信行訳, 渦 - 自然の渦と工学における渦, 朝倉書店, 1988
- 1-5 編集, 計測の不確かさ, ANSI/ASME PTC19.1-1985, 日本機械学会, 1987
- 1-6 編集, Vibration and Oscillation of Hydraulic Machinery, Avebury Technical, Aldershot, U.K., 1991

翼および翼列/定常

- 2-1 Theoretische und experimentelle Untersuchungen an Tandem-Pumpengittern starker Umlenkung, Ingenieur Archiv, Band 27, Heft 4, 1959, s.201
- 2-2 転向角の大きい二重圧縮機翼列の研究, 日本機学会誌, 62-486, 1959, pp.105
- 2-3 減速翼列の負荷限界とその拡張, 日本機械学会誌, 66-537, 1963, pp.1361
- 2-4 鈴木勝也, 水野明哲, 地面効果および天井効果を併用する二次元翼の高揚力特性, 機論集, 39-327, 1973, pp.3378
- 2-5 田中和博, 永井勝史, 低レイノルズ数領域における翼列性能の比較, 機論集 B, 48-431, 1982, pp.1215

翼および翼列/非定常

- 3-1 石川宣勝, 非定常翼の後縁付近の流れの可視化研究, 日本機械学会誌, 74-63, 1971, pp.1500
- 3-2 非定常翼と後流, ながれ, 日本流体力学会誌, 4-2, 1985, pp.90
- 3-3 正司秀信, 振動翼列後流の可視化と数値計算, ターボ機械, 9-5, 1981, pp.259
- 3-4 Kemp, N.H., Forces on Unstaggered Airfoil Cascades in Unsteady In-Phase Motion, Trans. ASME, Ser. I, 98-3, 1976, pp.521
- 3-5 Shoji, H., and Kemp, N. H., Forces on Staggered Airfoil Cascades in Unsteady In-Phase Motion, Journal of Fluids Engineering, 103-2, 1981, pp.299
- 3-6 正司秀信, 翼列の線形非定常解析 (定常循環がない場合の揚力), ターボ機械, 9-8, 1981, pp.469
- 3-7 正司秀信, 田原晴男, 翼列の線形非定常解析 (定常負荷のある場合の圧力, 揚力, モーメント), 機論集 B, 51-465, 1985, pp.1377

ターボ機械の定常性能

- 4-1 衝動形オイルタービンの研究, 機論集, 30-219, 1964, pp.1352
- 4-2 山藤和男, 貫流羽根車の流れの研究 (第1報, 実験的研究), 機論集, 41-341, 1975, pp.189
- 4-3 山藤和男, 同上 (第2報, 解析的研究), 機論集, 41-344, 1975, pp.1184
- 4-4 好川紀博, 松村益至, 勝又幸雄, 低速インデューサ付遠心ポンプの研究, 機論集, 44-378, 1978, pp.588
- 4-5 岡田敬三, 榎本久雄, 田中和博, 面对称な動静翼をもつ軸流機械の吐出し特性, 機論集 B, 50-459, 1984, pp.2818
- 4-6 田中和博, 低レイノルズ数領域における遠心ポンプの性能 (第1報, 実験的研究), 機論集 B, 50-449, 1984, pp.279

4-7 田中和博, 低レイノルズ数領域における遠心ポンプの性能— 設計法と開放羽根車の壁摩擦トルクの推定法 —, ターボ機械, 13-10, 1985, pp.577

4-8 榎本久雄, 川田達雄, 松本洋一郎, 田中和博, 部分羽根車による斜流羽根車の性能比較, 機論集 B, 52-477, 1986, pp.2117

ターボ機械の非定常性能/動特性

5-1 Analytical and Experimental Study of Dynamic Characteristics of Turbopumps, NASA TN D-4298, 1968

5-2 ターボポンプの動特性に関する研究 (第1報, 変動する流れの場におかれた直線平板翼列の特性), 機論集, 33-255, 1967, pp.1769

5-3 同上 (第2報, 動特性の理論的研究), 機論集, 33-255, 1967, pp.1779

5-4 同上 (第3報, 遠心ポンプの動特性の実験的研究), 機論集, 33-255, 1967, pp.1789

5-5 ターボ形ポンプの非定常性能, ターボ機械, 3-6, 1975, pp.914

5-6 塚本寛, 醍醐秀博, 遠心ポンプ始動時の過度性能 (第1報, 実験), 機論集 B, 45-396, 1979, pp.1117

5-7 塚本寛, 同上 (第2報, 理論解析), 機論集 B, 45-396, 1979, pp.1124

5-8 金子真, 流量急変時における遠心ポンプの過度特性に関する研究, 機論集 B, 48-426, 1982, pp.229

ターボ機械一般

6-1 液体ロケットエンジンのポンプについて, 日本機械学会誌, 71-591, 1968, pp.527

6-2 水屋さんと風屋さん, 流体力学, 9-9, 1973, p.22

6-3 井上雅弘, 圧縮機のヘッドおよび効率の定義とその相関, ターボ機械, 2-1, 1974, pp.26

- 6-4 ターボ機械と SI 単位, ターボ機械, 4-1, 1976, pp.69
- 6-5 性能限界と標準化, ターボ機械, 5-2, 1977, pp.65
- 6-6 ターボ機械の相似則, ターボ機械, 5-5, 1977, pp.263
- 6-7 どっちに流れるの?, ターボ機械, 7-5, 1979, pp.311
- 6-8 ターボ機械 —その不滅の流れのひとこま—, ターボ機械, 11-11, 1983, pp.662
- 6-9 ポンプ形式選定の考え方, ターボ機械, 13-8, 1985, pp.451
- 6-10 動静翼干渉によるポンプ損傷例, ターボ機械, 19-6, 1991, pp.348

遠心羽根車に働く非定常流体力

- 7-1 Shoji, H., Fluid Forces on Rotating Centrifugal Impeller with Whirling Motion, NASA Conference Publication 2133, 1980, p.317
- 7-2 Shoji, H., Lateral Fluid Forces Acting on a Whirling Centrifugal Impeller in Vaneless and Vaned Diffuser, NASA Conf. Publication 2338, 1984, p.109
- 7-3 Sakurai, A. and Nishihama, J., Influence of Impeller and Diffuser Geometries on the Lateral Fluid Forces of Whirling Centrifugal Impeller, NASA Conf. Publication 3026, 1988, p.285.
- 7-4 正司秀信, ふれまわりながら回転する遠心羽根車に働く流体力の理論的研究, 機論集 B, 50-458, 1984
- 7-5 正司秀信, 加藤千幸, 遠心羽根車に働くふれまわり流体力の実験的研究(第1報, ベーンレスディフューザ中でふれまわる場合), 機論集 B, 51-467, 1985, pp.2373
- 7-6 Imai, H. and Tsuchihashi, T., Fluid Force and Moment on Centrifugal Impellers in Precession Motion, ASME/JSME Fluid Machinery Forum -1991-, ASME FED - Vol.119, p.57

非定常流れおよび流体力

- 8-1 弘中和夫, 水力弾性振動の相似則, 日本機械学会誌, 73-623, 1970, pp.1638
- 8-2 梶昭次郎, 振動物体に働く流体反力, 日本機械学会誌, 82-728, 1979, pp.702
- 8-3 水野明哲, 非定常二次元広がり流路内の流れに関する研究, 機論集 B, 50-453, 1984, pp.1223
- 8-4 石綿良三, 往復振動流中の円柱に作用する流体反力 (第1報, 正弦的振動時), 機論集 B, 50-449, 1984, pp.265
- 8-5 石綿良三, 同上 (第2報, 非正弦的振動時), 機論集 B, 51-461, 1985, pp.19

管路の水柱分離および過渡応答

- 9-1 Matsumoto, Y., Nonoshita, T. and Kubota, T., Transient Characteristics of Swirl Flow in Draft Tube, 13th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery, Equipment and Cavitation, 1986, Vol. 1, Paper 26
- 9-2 Nonoshita, T., Matsumoto, Y. and Kubota, T., Transient Phenomena in a Draft Tube During a Load Rejection, 14th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery, Equipment and Cavitation, 1988, Vol. 1, p.365
- 9-3 Nonoshita, T., Matsumoto, Y., Kubota, T. and Fujita, M., Effect of Swirl Flow on Transient Phenomena in a Draft Tube During a Load Rejection, 15th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Cavitation, 1990, Vol. 2, Paper J5
- 9-4 Nonoshita, T., Matsumoto, Y. and Kubota, T., Water Column Separation in an Elbow Draft Tube, 16th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Caviataion, 1992
- 9-5 Liu, G., Fluid/Structure Interaction in a Two-Dimensional Bend During Hydraulic Transients, 14th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery, Equipment and Cavitation, 1988, Vol. 1, p.229

噴流および開口拡散

- 10-1 高曾徹, 接地半円ジェットの乱流拡散 (平均速度場および濃度場), 機論集, 44-380, 1978, pp.1266

- 10-2 高曾徹, 定温度形熱線風速計による瞬間温度と瞬間速度3成分の同時測定, 機論集 B, 47-416, 1981, pp.720
- 10-3 高曾徹, 三次元壁面噴流の乱流拡散 (第1報, 速度・温度場の平均特性および乱流特性), 機論集 B, 47-418, 1981, pp.1002
- 10-4 高曾徹, 同上 (第2報, 乱流構造), 機論集 B, 47-421, 1981, pp.1715
- 10-5 高曾徹, 石塚理, 川田達雄, 円管の側壁開口部からの乱流物質拡散, 機論集 B, 53-491, 1987, pp.2000

トンネル換気と環境問題

- 11-1 比留間豊, 中道文基, 一方向交通における半横流式換気方式の一考察, 高速道路, 5-2, 1962, p.22
- 11-2 河村竜馬, 中道文基, 木田和夫, トンネル換気用ダクトの通気損失に関する実験, 高速道路と自動車, 14-3, 1971, p.33
- 11-3 坑口の環境問題からみたトンネル換気, 高速道路と自動車, 18-8, 1975, p.31
- 11-4 自動車トンネルの換気システム, ターボ機械, 6-1, 1978, pp.47
- 11-5 トンネル換気と拡散問題, ターボ機械, 7-1, 1979, pp.675
- 11-6 高曾徹, 大田彰則, 森本真, 成瀬俊久, 自動車トンネルにおける排気ガス拡散 (第1報, 走行車両による軸方向拡散), 機論集 B, 48-436, 1982, pp.2492
- 11-7 市川保正, 榎本久雄, 同上 (第2報, 排気半横流換気の濃度分布), 機論集 B, 50-449, 1984, pp.273
- 11-8 トンネル換気と30年, 高速道路と自動車, 33-7, 1990, pp.7
- 11-9 Kawabata, N., Numerical Simulation of Fire Fume Propagating along the Ceiling of a Down-Grade Tunnel, 7th International Symposium on Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels, 1991

自動車と走行環境

- 12-1 小林敏雄, 醍醐秀博, 自動車に対する風速変動の測定方法の確立と実測値の統計的処理, 日本自動車研究所研究報告, 10, 1974
- 12-2 醍醐秀博, 小林敏雄, 走行試験による横風の測定とその解析, 自動車技術会論文集, 10, 1975, p.39
- 12-3 小林敏雄, 醍醐秀博, 自動車に対する風速変動と特殊地形との相関についての研究, 日本自動車研究所研究報告, 56, 1978
- 12-4 車をめぐる断章, 自動車研究, 日本自動車研究所報, 11-12, 1989, pp.441

ポンプの気液二相流および気泡流

- 13-1 金子真, 松本貴与志, 立形遠心ポンプの二相流性能 (第1報, 空気/水二相流時の定常性能), 機論集 B, 48-433, 1982, pp.1733
- 13-2 金子真, 同上 (第2報, 空気/水二相流時の不安定現象), 機論集 B, 49-411, 1983, pp.985
- 13-3 松本洋一郎, 西川秀次, 二相流中における翼列性能 (第1報, モデル化と数値計算), 機論集 B, 53-495, 1987, pp.3210
- 13-4 松本洋一郎, 市川保正, 築山宣司, 瀬下隆, 二相流回流水槽の特性, 機論集 B, 56-522, 1990, pp.274
- 13-5 Matsumoto, Y., Ichikawa, Y. and Tsukiyama, T., Air/Water Two-Phase Flow Test Tunnel for Airfoil Studies, Experiments in Fluids, 8-5, 1990, pp.249
- 13-6 松本洋一郎, 西川秀次, 気泡流中における圧力波の伝ば, 機論集 B, 56-525, 1990, pp.1237
- 13-7 Matsumoto, Y., Morii, Y. and Ohara, T., Numerical Analysis of Bubbly Flow in a Channel with Backward Step, ASME Cavitation and Multiphase Flow Forum -1990-, p.61

分子動力学

- 14-1 松本洋一郎, 松井 純, 分子動力学法による気体-表面散乱の解析 (第 1 報, Lennard-Jones 分子系によるシミュレーション), 機論集 B, 58-551, 1992, pp.2046
- 14-2 松井純, 松本洋一郎, 同上 (第 2 報, Xe-Pt(111) 系における動的挙動), 機論集 B, 58-553, 1992, pp.2744

薄膜形成/スピンコーティング

- 15-1 Ohara, T., and Matsumoto, Y., The Film Formation Dynamics in Spin Coating, Physics of Fluids A, 1-12, 1989, pp.1949
- 15-2 松本洋一郎, 小原拓, 照屋功, 回転円盤上における液膜形成課程 (第 1 報, 初期過程の数値解析), 機論集 B, 54-499, 1988, pp.569
- 15-3 小原拓, 松本洋一郎, 島本憲夫, 同上 (第 2 報, 熱・物質移動を伴う薄膜化過程の数値解析), 機論集 B, 55-514, 1989, pp.1640
- 15-4 小原拓, 松本洋一郎, 回転円盤上の薄膜形成, 機論集 B, 57-543, 1991, pp.3807

流れ一般

- 16-1 富田侑嗣, 希薄高分子溶液の管内流 (第 1 報, 管摩擦係数の実験的研究), 機論集, 35-279, 1969, pp.2243
- 16-2 富田侑嗣, 同上 (第 2 報, 速度分布と管摩擦係数), 機論集, 35-279, 1969, pp.2251
- 16-3 富田侑嗣, 同上 (第 3 報, 壁面内部層の解析), 機論集, 38-307, 1972, pp.566
- 16-4 流体力学はどこへ向かう?, 日本機械学会誌, 92-852, 1989, pp.968
- 16-5 解析解と数値解, 日本機械学会誌, 87-785, 1984, pp.299
- 16-6 豪華誌上架空対談 "レイノルズ先生とマッハ先生をお招きして", メカライフ, 10, 1987, p.42
- 16-7 後日談 "レイノルズ数の名付け親", メカライフ, 13, 1988, p.48

工学教育および国際交流

- 17-1 機械工学教育 —新しいカリキュラムの試み—, 日本機械学会誌, 90-818, 1987, pp.41
- 17-2 90年代の機械工学教育, 工業教育, 38-5, 1990, p.23
- 17-3 今日の教育, 明日の教育, 日本機械学会誌, 94-875, 1991, pp.830
- 17-4 東京大学における機械工学教育の変遷, 機論集 B, 58-546, 1992, pp.619
- 17-5 Latorre, R. and Inaba, M., Developments in Mechanical Engineering Education at the University of Tokyo (1986-1988), International Journal of Applied Engineering Education, 1989, 5-4, pp.425
- 17-6 Latorre, R. and Hatamura, Y., New Mechanical Engineering 1991 - The University of Tokyo Approach, International Journal of Engineering Education., 8-2, 1992, pp.106
- 17-7 Comparison of Engineering Education Between U.S.A. and Japan, 3rd World Conference on Engineering Education, 1992, Vol. 1, p.61
- 17-8 大学の国際化, ターボ機械, 15-1, 1987, pp.39
- 17-9 大学と国際交流, ターボ機械, 21-1, 1993, pp.25

その他論説, 随筆など

- 18-1 技術革新の原動力 —巨大プロジェクトアポロ計画の見聞から, 日本機械学会誌, 70-584, 1967, pp.1256
- 18-2 今井兼一郎新会長との出会い —その横顔—, ターボ機械, 6-10, 1978, pp.579
- 18-3 大学活用法の研究, ターボ機械, 7-1, 1979, pp.46
- 18-4 研究者と設計者, ターボ機械, 7-9, 1979, pp.574
- 18-5 Dr. -Ing., ターボ機械, 12-4, 1984, pp.243

- 18-6 30年, ターボ機械, 15-6, 1987, pp.375
- 18-7 カーキチパンキチ, ターボ機械, 15-7, 1987, pp.398
- 18-8 信境 > 観境 > 語境 > 国境, ターボ機械, 17-7, 1989, pp.409
- 18-9 地図旅行, ターボ機械, 18-7, 1990, pp.386
- 18-10 大学と情報, メカライフ, 29, 1992, p.10
- 18-11 晴れ局所的に曇り, 翼のある風景, 日本航空宇宙工業会報, 30, 1992, p.50