

いである。これらの研究には多くの仲間、先輩、後輩、下支えしてくれた人達の協力があって成り立っていることに深く感謝している。

また最近では、大学に求められる条件の一つとして産学連携や社会貢献が加わってきたので、それらも書いておくので、若い人達にとって将来への方針を模索するための助けにして頂ければ幸いです。

2. 経験に基づく研究の進め方

明治から、少なくとも戦後から 1960 年代頃までの、生産第一、経済第一の我が国の工業界では、技術提携との名の下に研究開発と言えども先進諸国からの技術の導入に頼らざるを得ない現状に飽きたらず、大学での研究を夢見て転身入学した者としての私の考え方・思考形態は、他とは幾分の違いがあり、研究の進め方にはその経験・知識が多少なりとも反映されていると思っている。例えば、研究課題の設定や研究の進め方には、自分の経験や思考過程から生まれてくる課題を見つけだすよう心がけている。したがって、現在やっている研究から派生してくる問題点から研究課題を拾い上げていくことが多い。また、実験装置や器具にはかなり心を砕いているので、実験装置の問題点、疑問点から研究課題を掘り起こしたのも多い。平成9年に日本機械学会・関西合宿セミナーの依頼された特別講演の中で、「経験に基づく実験装置の開発と研究の進め方」と題して私なりの経験を話した。その中で、研究は夢への挑戦であり、流体力学の実験には、新しい現象の発見、精度の良いデータの蓄積、の2通りがあること、研究課題の設定・提起に当たっては、学問的興味、社会の要請、研究から派生した課題を取り上げる、などがあること、は他人の論文、模倣から脱するのが難しく、は企業との共同研究が期待され、は自分自身で掘り起こした課題であるので、ユニークで、オリジナルな課題になり易く、実験装置にこだわり、発生する問題を注意深く洞察することが肝要であると述べた。その時、取り上げた実例を中心にして、その後の研究についても含めて、とくに論文に書かれていない事柄に注目してこの研究報告で披露する。

3. 流体力学の研究

私は、大学院修士課程及び博士課程から始まった研究生活の中で、偶然の成り行きが重なって流

体力学の自由分子流から連続流までの広い範囲にわたる実験研究に携わった珍しい経験を持つことにいささか誇りを持っている。分子の運動で表せば、平均自由行程と分子直径の比であるクヌッセン数 Kn で区分する次の幅広い範囲である

$10 < Kn$	自由分子流
$0.1 < Kn < 10$	遷移流
$0.01 < Kn < 0.1$	すべり流
$Kn < 0.01$	連続流

とくに、連続流領域における研究 ($Kn < 0.01$) と自由分子流領域における研究 ($10 < Kn$) における実験的研究に留意して研究した。

大学院入学以来進めてきた研究の相互関係を図1に示す。私の研究は時間経過に従って前の研究から派生した問題を次の研究の課題にするように努めてきたことを示している。

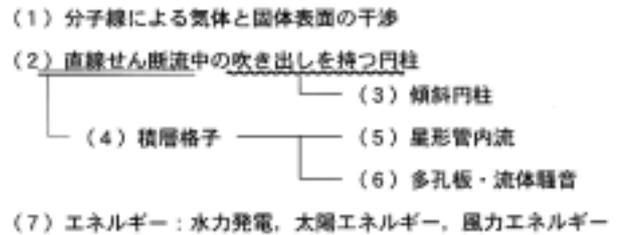


図1 今までに進めた研究の相互関係

(1)の分子線を使った気体と固体表面の干渉は $10 < Kn$ の自由分子流に属する研究である。後述するように、この研究は極めて難しい実験装置の製作を含んでいた。日本の1970年代初め頃は、まだ真空技術の発達が進んでいなかったこともあり、かなりの創意工夫が求められた。

(2)の直線せん断流中の吹き出しを持つ円柱は、 $Kn < 0.01$ の連続流領域の研究であり、多くの吹き出し円柱の研究成果を挙げていた職場への移動に伴って、一様流を直線せん断流に変えた場合の影響について詳細に調べた研究である。流れに勾配を持たせた直線せん断流中で流れに垂直に円柱を置いた場合から派生した研究として、一様流中の流れに円柱を傾けた場合の違いについて言及したが、(3)の傾斜円柱である。

速度勾配の大きな直線せん断流を風洞の流路幅一杯に作るために用いた積層格子からは、用いたストローの配列の違いによる俵積みと碁盤目積の抵抗の違い、それぞれの積み方が形成する隙間

・反射粒子検出の高精度化 高感度検出器，差動アンプの設計・製作，三次元回転支持台の開発

・高感度パラメーターの設定 標的種類の選択，温度依存性の調査，流束（flux）分布の測定

この研究の最大の問題は，流体力学の範疇と言うよりは，物性物理学，材料科学などの分野で研究されるべき問題を多く含み，少なくとも物性科学に関する多くの知識と経験を必要とすることである。

これらの研究成果の内，特筆すべき事柄は，図4に例を示すように，ニッケル:Niと白金:Ptに対するアルゴン:Arと窒素ガス:N₂の干渉をはじめて明らかにしたことである。

5. 連続流領域における研究 ($Kn < 0.01$)

5.1 せん断流中の円柱周りの流れ [4]-[8]

1977年から1995年まで，主として $Kn < 0.01$ の連続流の研究を手がけ，西日本乱流研究会の一員として乱流について勉強する機会を得たことがその後の研究に大いに役立った。

最初の研究は「直線せん断流中に置かれた接線方向吹出しを持つ円柱の空気力学特性」である。この研究ではせん断流の効果が小さいことから，大きな勾配を持つ直線せん断流の制作を必要とした。これには，不等間隔丸棒格子では大きな速度勾配が得られず不向きであったので，ジュースなどを吸うためのストローを積層する積層格子の制作を必要とした。市販のストローの元である長さが1m程のものを製造元を訪ねて手に入れたもので，一本1円程度であったことから何本も切り揃えて強い勾配のせん断流を作るのに費用を心配する必要もなかった。この研究の成果からは次の多くの問題点が発掘でき，後の研究課題へと繋がっていくことになる。

・円柱の空力特性 端の影響が重要な問題であることが判明

・全幅に亘って一様な直線せん断流の作製が困難 積層したストローのくずれが原因であり，配列の違いによって流動抵抗に差があることが判明した。これは，後に述べる積層格子の研究へと発展することになった。

5.2 風洞の設計・製作

自ら設計し，大学の工場の助けを借りて製作した風洞は3台にもものぼる。自製の風洞の一つは乾燥地研究センターの神近牧男教授と共同で「飛砂

風洞」を製作して，冬の砂丘を丸い石が北風に逆らって風上の方向に転がる「砂丘転石」と，砂に突き立てた棒が何故か風上に向かって倒れる現象の解明に役立てて，これらの原因は石や棒の造る馬蹄形渦が原因であることを明らかにした。この研究成果は，一夜にして大きな瓶がひっくり返った内蒙古での現象を解明して，中国から留学していた周助教授を大いに喜ばせた。

極めて基礎的な二次元円柱と傾斜円柱の実験に役立てる風洞の製作に際しては，円柱端の条件が二次元円柱の空力特性を大きく左右することが考えられたので，次の諸条件を満たす低速風洞を設計・製作した。

・風速5～15 m/sの流速可変とする。

・テストセクションは外側大気からアクセス可能な構造とする。

・テストセクションは同形2分割，連結により全長4mとする。

・側壁からの外気の漏洩がない完全な密閉構造とする。

・テストセクション内部は一定圧力に調整できるよう上面壁は可動構造で微調整可能とする。

以上のように，円柱端からの空気の漏れを極力防ぐ構造の風洞を製作して，流れに垂直な円柱による空力特性の確認と，密閉流路に設置された傾斜円柱まわりの流れについて研究した。

これらの風洞の設計・製作の経験が，後に世界にも稀な脈動風や突風，ステップ風を発生できる「沙漠環境風洞」の開発に役立ったのは言うまでもない。

5.3 傾斜円柱まわりの流れ [9]-[14]

流れに垂直に置かれた円柱まわりの流れは円柱端の状態によって左右されることから，円柱空力の一般特性，とくに二次元特性には注意が必要であることが判明した。そこで，円柱端の条件に留意しながら，軸方向に三次元的な流れを含む傾斜円柱まわりの流れについて噴流内に設置した傾斜円柱および側壁に囲まれた流路内での傾斜円柱に対する実験と直接数値シミュレーションを駆使して研究した。この研究からは，

・円柱前面に衝突する流れは Independence Principle に従う

・円柱背面では円柱軸に沿う強い二次流れが発生

・傾斜上流側円柱背面に高圧力領域が存在する

・円柱背面の圧力は傾斜上流側で低く傾斜下流側で高い

・円柱背面の時間平均圧力はうねりを生じている

