

## 長いようで短かった40年

羽野 淳介

1961年(昭和36年)3月に理学部の地球物理学教室にお世話になり、8月1日付けで光田先生と一緒に防災研究所耐風構造部門へ移動しました。それから40年と少し 風洞実験室から出ることが少ないと思われていますが、半生を振り返ってみます。



筆者近影 境界層風洞実験室前にて

### ● 風洞の外で

#### ○ 潮岬風力実験所

1961年に潮岬風力観測所が新設された。8月には、観測所だけの所へプレハブの実験用家屋が次々に3棟建てられた。その間私は毎月10日間位は潮岬へ通っていた(写真1)。1966年に潮岬風力実験所として発足し、1970年には研究室本館鉄筋コンクリートの4階建てが竣工、屋上には測風塔が設置され風向風速の常時観測が行なえるようになる。写真1には雨量計設置作業をしているところである。



写真1 潮岬作業風景

#### ○ 淡路島の鉄塔

この頃本州四国の送電鉄塔が建つとのことで光田先生と一緒に淡路島の門崎と鳴門公園で観測をする。関西電力のバイクを2台借りて門崎へ走る。鳴門公園では旅館がすぐ近くだったので歩いて鉄塔まで行った。

夏の観測は良かったが冬になると吹きさらしで大変寒くて辛かった。

#### ○ 琵琶湖の観測

小型船舶操縦士の免許を1971年1月に取り、その年7月より1974年3月まで琵琶湖での観測が始まる。観測場所を借りるのに当時の研究所所長 村山朔郎教授より滋賀県知事の野崎欣一郎氏宛に許可の申請書を出して貰って、1971年6月14日付けで許可が出て7月10日より工事に入る。7月30日に気象観測用の百葉箱一基を設置する。場所は滋賀県東浅井郡びわ町早崎地先。早崎港の防波堤の上(写真2)でこれより2年8ヶ月の観測が始まる。

下阪本にある永大モーターボートクラブに船名H I R Aを預けておき観測に行く。毎回船を降ろして貰って帰ってくれば上げて納屋へ入れて貰う。早崎港までは1時間位で行ける時、又3時間位かかる時、天候によって色々である。

冬の琵琶湖はこわい。琵琶湖大橋より南で白波が立って入れば早崎まではとても行けない。ちょっとむりをして船を出せば帰りが怖い。岸の近くをゆっくり走るので3時間半位かかる事もあった。だいたいの到着時間を永大のクラブに伝えて出港するので遅くなるときつく叱られる。船に無線がないため連絡が出来なくて大変な怖い目に会い、他の人には分からないようにしているが自分は冷や汗をかいて頭の中が真っ暗になった事もあった。

もう冬の琵琶湖はこりごりだとおもったことが2回もあった。



写真2 早崎港

#### ○多良間島の台風観測

1972年度より多良間島の台風観測（台風研究委員会）が始まり1978年まで6年間観測に参加した。この間のべ日数150日間多良間島へ行った。台風研究委員会は1980年に解散する。

その間1973年5月15日～5月30日までは東京大学海洋研究所の白鳳丸で東シナ海において定点観測に参加する。この時も海は荒れてしんどかった。

#### ○京都国際会議場

1974年9月8日～9月13日まで京都国際会議場で日米セミナー（耐風構造部門とアメリカのどこだか覚えておりません）が開催され、私も会場係で準備や事務打ち合わせで京都大学の楽友会館に1週間泊まり込みで会議場へ行った。この時の車が8人乗りのトヨタのハイエースワゴンデラックスで、朝早くから夜まで働いた。

国際会議場へはこの時に行っただけでこれも良い思い出である。

#### ○啓風丸の話

1975年地球大気開発計画（国連の事業）の一環として台湾坊主の発生発達の機構を解明する観測が、日本・アメリカ・ソ連・カナダ・オーストラリアの参加の下に実施された。1月25日～2月15日までは気象庁の観測船啓風丸で東シナ海での定点観測に加わった。私は京都大学よりチーフとして学生を連れて参加させてもらった。

冬の東シナ海は波が荒く洗濯機に木の葉を入れたような時があった。風呂もたまにしかなく、今日はと喜んで入るとお湯がこぼれていて残っていない事もあった。

「あ、又2～3日入れない。」

でも楽しい事もあった。船が移動して位置修正する時は観測が出来ないので船から

トローリングをして遊ぶ。たまに鰹が釣れることがあるのでコック長に包丁を借りて刺身にして食べる。こんなよい事もたまにはあって当然。毎日朝から夜まで空と水を見ての生活。たまに見るのは船で1日に2～3隻見れば多い日。観測をしているとなにも見ないこともある。

船は孤独だしとても危険なもので早く降ろしてほしいと思ったことが何回もあり、大変な観測だったがまだ若かった事もあり頑張れてよい経験が出来て良かった。もう60歳にもなれば絶対に出来ないことだろう。船と飛行機はいつもこわかった。多良間島へ行くときも飛行機と船の中で手に汗を握っていた。

#### ○飛騨天文台での観測

1975年から2年間飛騨天文台で望遠鏡が設置されるとのことで、気象観測をしてほしいと頼まれ、光田先生や杉政氏他にも何名か一緒に行く。風速計や温度計など沢山の計器を車に積んで天文台へ行き百葉箱や計器類を所定の位置に設置していく。電気が遠いのでキャプタイヤーを200m位引っ張り電圧がおちないように定電圧装置を付けて観測に入る。

このあたりは蝮が多く、夏に雨が降れば1日に何匹も出てくるので怖かった。夏は谷川に鱒が飼ってあるのを釣ってきて洗いにして食べる。秋はいぐちというキノコがたくさんあった。

夏の天文台は最高に良いところだが、冬ともなれば京都にはない寒さで大雪が降る。山も道も一緒になってしまう。そんなところを天文台の人は平気でジープに乗り山からおりていく。僕たちはこれ程の雪には慣れていないのでこわいばかりだ。

どこへ行っても良いことと悪いことが極端である。

#### ○立山黒部貫光の観測

立山黒部貫光の観測も秋と春に行く。冬はゴンドラのワイヤーに雪が積もり氷になってそのワイヤーが太くなり滑車が通らなくなるらしい。

温度や風速を広い範囲で観測する。立山の雄山、ゴンドラの屋根の上、立山トンネルの排気孔等で測る。温度は-10度以下にもなり寒かった。ゴンドラの屋根の上に腰を下ろせばお尻と屋根が凍って立てなくなった事もあった。手袋をしないで金物を触ると直ぐに凍傷になり、手の皮が取れてしまうとの事。

目をつぶると上の睫毛と下の睫毛が凍って目があかなくなるので、手で目を覆うとあけられる。夜の観測はこのような事も多々あった。亡井上治郎さんも一緒に観測に行って貰って雄山の松の木に風速計を取り付けてもらった。風速計は普通のオイルでは凍り回らなくなるのでシリコンオイルを付ける。又、レコーダーもインクが凍るのでアルコールをいれる。井上さんは雄山の仕事が済めばスキーで一直線に降りてこられた。これを見てやはり山男だなと思い見ていた。

この観測も秋春ともに一般の人は立山には入れない時期で、寒く辛かった。

## ● 風洞実験室

ここからは風洞の話をしてしよう。風洞には図 1 のように回流式・吹出式・吸込式がある。

### ○ 回流型風洞

私が防災研究所に入った 1961 年 8 月 1 日には既に京都大学の本部地区に回流型の大型風洞があった。その風洞は私の年と一緒に、1941 年（昭和 16 年）生まれである。

風洞実験は主に角柱模型の実験が多かった。この風洞が 1964 年に宇治の黄檗へ移された。昔の教養部の図書室の後ということだった。移ってきても据え付けと調整が大変で、すごい日数がかかったのを覚えている。私も毎日のように本部から宇治まで通っていた。本部にあったときはすごい音で窓が振動してガラスが割れそうだったが、据付ができると音も静かになり風洞実験も楽になった。

宇治で 19 年間風洞実験ができたがモーターが駄目になり、1983 年（昭和 58 年）に新しいモーターに変えてもらって一段と音が静かになったが、まもなく新しい境界層風洞ができて使用頻度が減った。以後は風速計の検定や学生の卒業論文用の実験に使うぐらいで、毎日のように使っていない。写真 3 は風を発生させる回転翼で、固定ピッチの木製である。写真 4 はドーナツ型した風洞の開口部で実験材料を設置する部分である。

でも風速計の検定は取り付け角度を変えるなど何度も取り外しをするので、回流型の風洞でないとよろしくない。

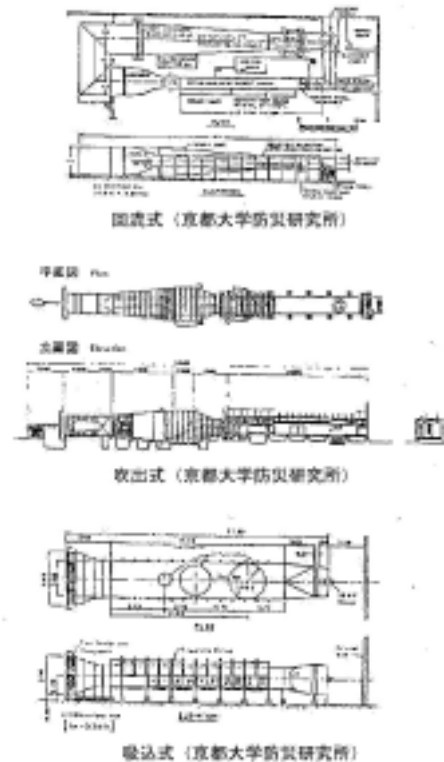


図 1 風洞の種類



写真 3 回流型風洞 木製ファン



写真 4 模型の振動実験

この風洞は 60 年を経ても健在である。



写真 5 境界層風洞建物全景

○境界層風洞（パンフレットから）

近年、超高層建物や長大吊橋などの建設が盛んになるにつれて、風に対する構造物の安全性を検討することが、増々重要になってきた。このような構造物の耐風設計を行う場合に、従来どおりの考え方では、安全性や経済性に関して不明確な点が多く、新しい合理的な耐風設計法を早急に実現する必要がある。この分野の研究において、周囲の環境を含め自然風を再現しうるような風洞で模型実験を行うことは、きわめて有効な問題解決の手段であり、また、このような模型実験を除いては、研究の発展もむずかしい。

境界層風洞は、以上のような研究目的のために、1981年（昭和56年）3月、京都大学防災研究所構内（写真5）に建設された単回路吹出し型、いわゆるエッフェル型の風洞である。特徴としては、1）測定部内の乱れ強さが0.4%以下で非常に乱れが少ないこと、2）風洞を収めている建屋の内壁に吸音材を使用し、また、風洞そのものの発生する音も小さくなるように設計してあるので、実験室内の騒音が低いこと、3）測定部

表 1 境界層風洞の諸元

|     |           |                              |
|-----|-----------|------------------------------|
| 風 洞 | 型 式       | 単回路吹出型                       |
|     | 全 長       | 51 m                         |
|     | 測定部       | 幅 = 2.5 m 高さ = 2 m 長さ = 21 m |
|     | 測定部の天井移動量 | 上方 + 400 mm<br>下方 - 100 mm   |
|     | 風 速       | 0.2 ~ 25 m/s                 |
|     | 乱れ強さ      | 0.4 % or Less                |
|     | 縮流比       | 1:05                         |
| 電動機 | 型 式       | サイリスタ：レオナード                  |
|     | 出 力       | 170 kW                       |
|     | 回転数       | 10 ~ 500 rpm                 |
| ファン | 型 式       | ASM型軸流式送風機                   |
|     | 直 径       | 3 m $\Phi$                   |
|     | 風 量       | 125 m <sup>3</sup> /s        |
|     | 全 圧       | 95 mm Aq                     |

が21mと長く、種々の大気乱流境界層を風洞内に再現できること、4)測定部の天井を上下に動かして、測定部内の静圧を一定に保てること、5)風洞および計測装置をコンピュータによって自動制御できること、等が挙げられる。

表1に諸元を示す。風洞概念図を図2に示す。またファン部からの全景を写真6に示す。ファンは金属製で可変ピッチであるが、変更は難しい。図3は地表面の違いによる風のプロファイル概念図を示す。写真7の工場で実験資料等を作成した。



図2 風洞概念図



写真6 風洞全景（ファン部から見る）

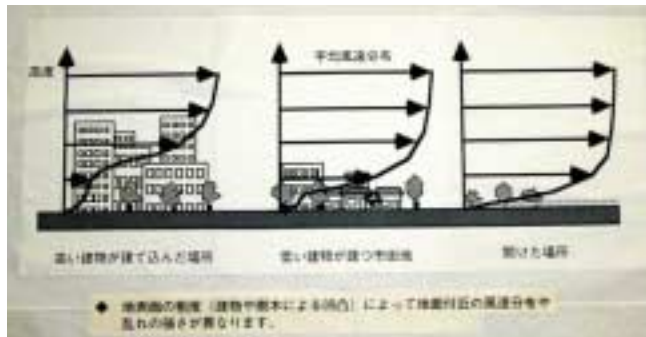


図3 境界層の概念図



写真7 風洞附属の工場

## ○強制振動実験装置の制作

これは谷池義人先生の博士論文の研究に使われた物である。

### 実験概要

#### 1. 強制振動法

強制振動法とは、対象とする物体を気流中で強制的に調和振動させ、物体の慣性力を適当な方法で除去して、非定常空気力のみを検出する直接的な測定法である。この方法は、強制振動装置の制作に技術的な難しさがあるが、非定常空気力をより正確に測定できる大きな利点がある。その概要を述べると、質量と形状が同一の2つの角柱模型を、風洞内と風洞外に設置し、それぞれを同時に風向直角方向に、一定の振幅と

振動数で強制的に振動させる。風洞外の模型をダミーモデルと呼ぶ。気流中のアクティブモデルの支持点の反力には求める非定常空気力の他に模型の運動による慣性力が含まれている。

そこで、非定常空気力を取り出すためには、模型の慣性力を消去しなければならない。一方、ダミーモデルの支持点の反力は慣性力のみと見なせるので、アクティブモデルの支持点の反力からダミーモデルのそれを差し引くと求める非定常空気力が得られる。

## 2 模型

実験を精度よく行うには、模型の慣性力を小さくして、アクティブモデルに加わる非定常空気力を大きくする工夫が必要である。そのため、模型を剛性が保てる範囲でできるだけ軽く作り、模型寸法も空気力が十分得られる大きさにする。模型は断面の辺長比が1対1の正方形断面角柱とし、角柱の上面を厚さ2 mm、底面を厚さ5 mmの亚克力板で作り、側面は模型を軽く作るがために厚さ3 mmのバルサ材を用いた。

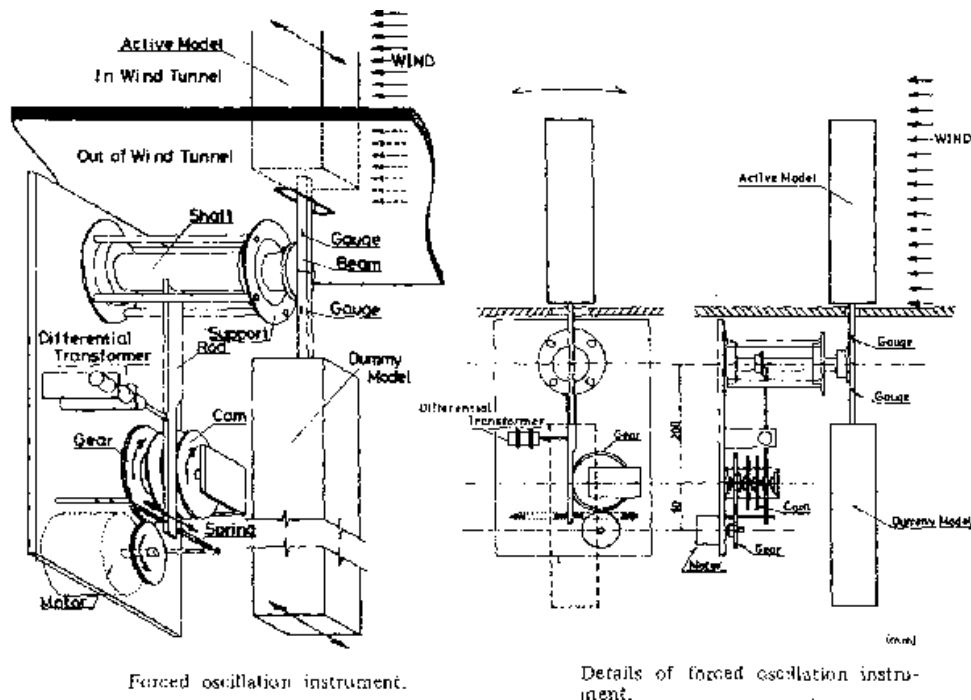


図4 実験装置の概略

## 3 強制振動実験装置

実験装置の概略を図4に示す。使用したモーターは、回転むらの少ない電子直流モーターで、任意の回転数を設定することが出来る。モーターの回転で歯車軸に取り付けたカムが回転し、このカムの回転運動はロッドに伝わって周期運動になる。ロッドの周期運動は、回転軸(シャフト)を介して回転軸の端に取り付けた真鍮の支持棒(ビーム)へと伝わる。この支持棒にゲージを貼り、両モデルからの出力を引き算回路に入れて、アクティブモデルに加わる非定常空気力のみを検出する。なお角柱の底面とゲージとの距離を60 mmとする。使用したゲージは半導体形式のものである。

#### 4 実験方法

実験にはこれまでと同じゲッチング型の開放風洞を用い、強制振動装置に取り付けた2つの角柱模型を測定部のほぼ中央部に設置し、ダミーモデルには風があたらないようにカバーで覆った。静止空気中でアクティブモデルとダミーモデルを同時に強制振動させ、両者からの出力をアナログ回路に通して差し引き、その結果がほぼ0になるようにダミーモデルからの出力を調節し、この時ノイズを除去するために30Hzのローパスフィルターを使用する。

以上の操作の後に各々の実験風速時にアクティブモデルに加わる非定常空気力、振動変位、及び角柱後流域の風速変動をデーターレコーダーに記録する。

このような装置である。

##### ○風洞に階段を付ける

風洞の上へ上るのに、直のせまい階段が一ヶ所あるだけで、荷物を持って上る事が出来ないのも杉政和光氏と一緒に少し広くて荷物を持って上り下りが出来る階段（写真8）を付けることにした。

階段は知っているが自分たちで作るとなるとなかなか難しくて手間がいる。まず材料のリップみぞ形鋼を沢山買い、寸法切りをするが階段部分の寸法が少し違って溶接がしにくいので気を使いながら切断する。階段の勾配も思ったよりむつかしく、荷物を持ってうまく上れるようにするのはなかなか大変だった。

溶接が出来て色を塗り出来上がればなかなかの出来映えで、楽に上り下りが出来るようになりこの階段は大変よかった。一段一段すべり止めのゴム入りの布を貼りすべらないようにする。これをしてないと滑って怖くて上れない。実験によっては何回も上るのでみんなが楽しんでいる。

40年の間毎日色々な事をしてきたが割合短く思った。



写真8 完成した階段