

## 〔通信欄〕

## 係留気球の諸問題\*

中 島 正 一\*\*

## 1. まえがき

最近いろいろと、係留気球を使って観測を試みようとする意図のあらわれをみかける。しかしこれら観測の計画者は、日本における係留気球の現状と近い将来の可能性を、実際にどのように理解されておられるのか、気にかかる点もある。

係留気球は便利であり、その上みた目には簡単である。したがって多くの業者は無造作に作ってくれる。しかしその性能はなかなか思うようにはいかないものが残る。現在までに大体究明されたとみられるものは、球皮としてはテロンメッシュに、裏面に耐候性のよいハイパロン、表面に気密性のよいクロロプレン（ネオプレンは Dupont 社の商品名）を加工したゴム布、形状としては気流形で、長さが直径の2倍に作られたものといえるが、これとても限界がある。また塩化ビニール布によるのびが大きいので、少々設計の粗雑さは覆われてしまい、上空での浮力では有利になるためよく使用されるが、水素ガスを充填することは避ける方がよい。

いずれにせよ誤解されている点もあるが、いろいろと未解決の点もあり、私どもは、今までは強風下の観測と微変動観測は考えていなかった。実際には 200m 以上の高さに滞空していて、20m/s に達する観測例もあるが、設計では 8m/s で最良に浮揚するように配慮されているに過ぎない。

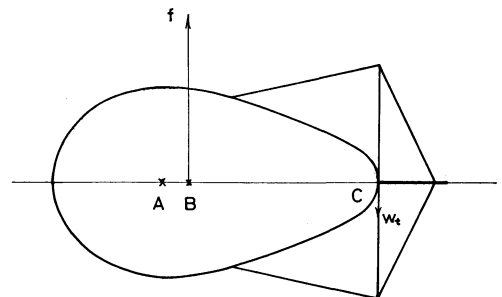
これらのことについては既に述べた<sup>1)2)</sup>ので、その後どのように改良を試みているか、またどのような難点があるかをとりあげて、観測計画での要望と期待が実現可能か否かの判断をして戴くための、よりどころのひとつを提供したいと思う。

## 2. 気球の形、尾翼および糸目について

ここでは技術的に検討して結論（文献 2. 38頁参照）した基本形の気流形について考察する。

気流形については、その空気抵抗はレイノルズ数が  $10^5$  域では、直径が長さの  $1/3 \sim 1/4$  のときに最小になるといわれている。そして抵抗が最小になる形のものがよいことは自明であろう。しかし、尾翼との関連、糸目の位置と構成についての問題は決してやさしくはない。

標準的な気流形について、その縦断面を考えると第1図のように示すことができる。



第1図 気流形係留気球縦断面

A: 糸目の中心    B: 浮力の中心  
C: 尾翼の重心    f: 浮力  
 $w_t$ : 尾翼の重量

この図で浮力を  $f$ 、その中心を B、尾翼の重さを  $w_t$ 、その重心を C、糸目の中心を A とし、AB 間、AC 間の長さをそれぞれ  $S_1$ 、 $S_2$  とすると

$$S_1 f - S_2 w_t = 0$$

が成立つように A 点をえらべばよい。ただしこの場合には風効果は考えていない。

実際には 8m/s の風速に対しては A 点を B 点に近づけて、気球が  $4 \sim 6$  deg の迎え角を持たせると浮揚状態はよくなる。そしてこれが Keit-balloon のいわれであるが、風速が小さいとそれほどには風効果はなくなり、風速が強まると流される傾向をもつ。したがってこ

\* Note on Tethered Balloon.

\*\* M. Nakajima. 気象庁高層課

—1971年5月6日受理—

の迎え角は風速により調節することが望ましい。しかしこの調節を自動的に、または遠隔操作によりおこなおうとすると、重量増加は避けられないので、それだけで浮力を消費してしまう恐れがある。その上強風に対しては余り効果を期待することはできないと考えられる。このことから、強風用の設計では最初から風効果の期待はもたず、単に安定用と考えて尾翼を扱うべきで、Keit-balloon という呼び方自体を捨て去るべきかと思う。最近の欧米の報告でも tethered balloon が使われている。実際に、布またはフィルム状のものから裁断されたゴアを、張り合せて作られている気球では、流体力学的にみて正確にかつ精密に作りあげるとは至難なことである。したがって安定用に尾翼の果たす役割は大きいものがある。

胴効果を考えなければ、糸目はA点に1本つけることが理想的と考えられる。しかし軟式の気球では不可能に近い。次にA点を通り縦軸に直交する直線が、気球の両側面と交わる2点、A'、A''に糸目をつけるようにする。理窟の上ではこれで気流形気球の垂直、水平の回転運動は自由のはずである。

しかしながら、このような糸目の構成では、その取付け部分での引張りに耐えるには球皮強度が十分ではないので、引張りの荷重を分散して球皮にかけなければならぬ。このために糸目の数は増し、垂直回転の自由度は可成り制約されてくる。実用されている気球では4対以上つけられているので、垂直回転運動はほとんど束縛されてしまう。これに対して、これらの糸目を前後群に分割してまとめ、後群をゴム紐を介して前群に連結すると、この種の自由度の制約はほぼ解除される。

この考え方は実験的にも検討されて、大体満足される結果(文献2, 44頁参照)がえられている。ただし14 m/s以上の風にはまだ当面していないが、経験的な推察ではほぼ同様であろうといえる。なおゴム紐の強さを一義的にきめることは解決していないので、目的と気球および係留率強度などを考えてきめなければならない。館野の実験では、30m<sup>3</sup>、長さ/直径が約2の気流形で、ゴム紐強度30kgを採用した。

尾翼は水平と垂直に分れているのが普通で、可成り大きい但实际上に機能を果たすのは、そのうちの一部分に過ぎない。その原因は気球の形にもよるが、最大直径のあたりからはく離がおり、表面に沿った層が乱されることによるので、この乱れの層より外に尾翼が突き出されていないと効果的でない。したがって気球自体の形も含

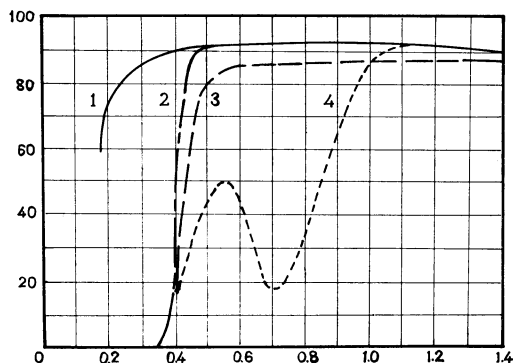
めて、尾翼の形や構成にもいろいろと考える余地があるわけで、小形でより効果的に機能を果たすものを追求する必要がある。ヘリコプタの胴体のように尾部を細くすることは、このような考えから出発したのかも知れない。しかし現在この点についての結論はでていない。その原因は、高尚と目される考えを提示すると、実際の製作段階で技術的に解決できない問題にぶつかるなどで、対策は次々と出されては実現困難で消えていく、うっかりすると重量が増して、浮力を思い切り消費してしまうなどのため、暗中模索に陥りかねない状態にある。

### 3. 球皮について

現在安心して使える球皮は、テトロンメッシュ、ハイパロン、クロロプレノゴム布であろう。しかし重いので出来上りの有効浮力に問題がある。塩化ビニール布も重さではハイパロンゴム布と顕著な差はない。これらに替えてより有利な球皮材の開発は久しく要望されてきた。最近ポリエスチルフィルムについて、多くの人々がNASAの技術資料により心動かされたようであるが、耐候性の点で著しい欠陥を持つことは見過ごされている。東洋レーヨン社のポリエスチルフィルム「ルミラー」の技術手引19頁によると、太陽曝射による強度低下は薄いものほどはげしく、厚さ12 $\mu$ のものでは15日で72%、40日で32%に達している。そしてこれらの値は条件にもよることと、240~320m $\mu$ の光が有害と述べている。

この場合の劣化は表層がおかされるためと考えられる(厚くなるほど影響が小さくなる)ので、当然積層法による対抗策が考えられる。デュボン社はこの方式による耐候性ポリエスチルフィルム(マイラーはデュボン社の商品名)を作って販売した歴史を持つが、厚さは100 $\mu$ 以上で利用度が低かったのか、現在では製造を打ち切ってしまった。東洋レーヨン社でも万国博覧会用に試作したが、厚さ200 $\mu$ で製品化は考えないとのことである。両者の耐候性ポリエスチルフィルムは特性その他共に大同小異と推定されるが詳細は分らない。

現在当面している問題は、耐候性のすぐれたフィルムとポリエスチルフィルムを積層した球皮材を作ることにある。そして計画をすすめているのは、弗化ビニールフィルム(PVF)の耐候性を活用することである。しかしこのフィルムも接着がむずかしいので、果して成功するのかと問われれば確信はない。幸いと表面処理剤、接着剤などいろいろ開発されてきているので、望みがないわけではない。もしこれが成功すると、ポリエスチルフィルムだけのかた過ぎを補い、反復使用に対する寿命の



第2図 弗化ビニール (PVF) フィルムの光学的特性 (Du Pont Technical Information Bulletin TD-5 Optical Properties による。)

縦軸 透過率 %  
横軸 波長 μ

1. 厚さ1ミル 透明PVFフィルム「テダール」
2. 厚さ1ミル 透明(UV不透明)PVFフィルム「テダール」
3. 厚さ5ミル 耐光性ポリエステルフィルム「マイラー」
4. 厚さ1ミル 緑色透明(UV不透明)PVFフィルム「テダール」

向上も期待できる。しかし何よりも恐れるのは接着剤の粘稠性とか重さによっては、自重軽減の目的がぼやけてしまうこと、またPVFの国産品がないため輸入にまたねばならず、高価になるという恐れがある。

現在手に入るのはデュポン社のテダールであるから、Du Pont Tedlar Technical Information Bulletin TD-5 Optical Properties より、その特性を転写して参考に供すると第2図のようになる。

さきに試作された、ポリエステルフィルム25μ厚による5m<sup>5</sup>の気流形についての観察によると、使い捨ての考え方に徹し切れるのなら、若干の取扱い上の注意を払うことにより、実験的観測程度なら実用できるようにみえた。しかし破れやすいので予備品の用意が必要と考えられる。さしあたり観測船上のように、いろいろと制約されてくる場合には、観測器材の選び方を注意すれば、このフィルムに頼ることにより小形化が可能となるので、一応の成果は期待できるように考えられる。

#### 4. 情報伝達方式について

係留気球に吊り下げたセンサーがピックアップした情報を、如何にして地上に伝達するかは議論のあるところで、結論はセンサーその他の総合からきめるべきといえよう。

センサーが全体として多量の電力を消費する場合には、地上から送電するのは有利ではない。したがって無線方式に頼らざるをえない。しかし電源の重量、発信機など余分に吊下げ重量は増していく。また伝達誤差も考えておかなければならない。伝達誤差の点からはPPM方式が有利だが、被伝達要素が増すと切換え回路が必要になる。

高層気象台ではいろいろ検討した結果、FM-FM多重方式を採用し、10チャンネルまで可能のように配慮してある。これは気象庁としては有線方式と水素ガスの使用を禁止する、という方針が打出されたための変更で、決して有線方式よりすぐれているからではない。

装置を揃えるためには30倍位の出費を伴ったと記憶している。また10チャンネルはいろいろ基礎的な問題の究明には必要と考えたからで、現在は4チャンネルにとどまっている。

およそ測器や測定方式は、簡単なほど扱いやすくてよい結果をもたらすことが多い。この立前からは、有線方式の方がはるかにすぐれているといえよう。無線方式が近代的のように考えられやすいが、必ずしも正しくはない。しかし電導性をもたせた係留索は必ずしも有利とはいえない点もある。その最大の欠点は係留用の強度と、信号伝達と電流供給のために、電導性を兼ね備えなければならないことである。このために重くなることや太くなることは避けられなくなる。また切断逸球したとき送電線、配電線の高圧線に接触すると思わぬ大事故の原因となる。

また有線方式の場合には、雷雲の接近、前線の通過時のような特殊の気象条件下や、人工的に帯電微粒子が多量に放出されている大気中での観測だが、大気電氣的影響をうけることがある。これに対する除去法<sup>32)</sup>は既に記してあるが、観測精度はセンサーを通る電流が関係する。通常の大気では10<sup>-8</sup>Aをこえることはなく、雷雲や粉雪を伴う季節風の吹き出しを除けば、10<sup>-4</sup>Aになることはまずない。しかしこの問題については無線方式の方が無難であるといえる。

#### 5. あとがき

こうして書いている間にも、すばらしい材質のフィルムが、接着剤が、その使用技術が開発されるのではないかと、望みをかけているが、なかなか簡単にはいかないらしい。また係留気球用としての需要はたかの知れた量のこと、たとえ試作されても、より広い多量消費の期待が持てるものでないと製品化されない。したがって市場

に供給されてくるものに注目していくよりほかに手はない。余程多額の研究費でもないことには試作も頼めない。

実状はこのように漸進的な積み上げしか期待できない。

このように、物理的に可能と考えられることでも、いざ実施となると技術的に困難が伴うことが多い。したがって観測計画の立案にあたっては、技術的な裏付が確立されているのか、または現在の技術的水準から解決可能であるのか、可能ならその期間は、など十分に検討してかかる必要がある。そうでないと実施にさいして思わぬことで手を焼くことが起る危険がある。そして係留気球の現状はどうもこのたぐいに入りそうである。

また浮揚中の係留気球の安定性、ことに微変動観測の可能性については、測器の適応性、吊下げ方法、吊下げの位置などは意外と解明されていないことをつけ加えて、係留気球による気象観測の立案者に一考を促したいと思う。

#### 文 献

- 1) 中島正一, 1967: 係留気球による低層気象観測について, 測候時報, 34, 1-65.
- 2) 中島正一, 1971, 係留気球について, 研究時報 37-50.
- 3) 文献(1)の50頁の注.
- 4) 中島正一, 1969: 大気電気研究, 1, 5-7.