

# 鯉のぼり気球

山田 一\* 松橋史郎\* 中村 繁\*

## § 1. まえがき

昨年5月5日神宮外苑においてボーイスカウト東京都連盟と読売新聞社の共同主催により「鯉のぼりを飛ばす会」が実施された。当日は幸にも快晴に恵まれ午前10時より午後4時まで5回に亘って総計約150個の鯉のぼり気球(挿絵参照)が観衆の歓声におくられて放たれたのである。そもそもこの計画は子供達に明るい夢と希望を与えると同時に、この鯉のぼりがどこまで飛んでゆくかについて子供達に「科学的、に考えさせ「子供の日」の行事を一層有意義ならしめようとしたものである。中央气象台は技術面に参観したので、われわれはここに予備試験観測をも含めて鯉のぼり気球の飛揚結果を報告しておきたいと思う。

## § 2. 飛揚計画

飛揚に際しまず考慮したことは、1 鯉のぼり気球が東方海上へ去ることなく、2 関東地方の各地、東京より放たれた鯉のぼりが千葉、埼玉、山梨および神奈川の各県へ落ちるようにすることである。前者に関しては気球1個で鯉のぼりを曳行させ、その気球内部の水素ガスを適当に放出せしめればよい。後者は飛揚時の上層風の状況<sup>4)</sup>

に関連する問題であって、例えば風向の垂直分布が地上より500mまで東で1000m以上は西風が卓越しているような場合、高度400m位で気球を浮遊状態にしておけば、この鯉のぼりは山梨県の方に落ちることになり、若し1000m以上で同様な状態におけば当然千葉県に落下させることができよう。気球を浮遊させるには親子気球すなわち大小二個の気球を使用し、小さい方の気球からのみ水素ガスを放出させ適当な高度で鯉のぼり気球全体のもつ純浮力(上昇速度を与える浮力)が零になるようにすればよい。実際の飛揚に際しては小さい気球が全部内部の水素ガスを放出してしまった時、純浮力にわずかな負の値を与えて徐々に落下させなければならないだろう。

以上の考え方で果してうまくゆくかどうかを試験すべく4月21日と26日の両日、中央气象台時計塔と日本橋三越本店屋上に観測点(距離1290m)を設け鯉のぼり気球の二点観測を実施した。

## § 3. 第1回試験観測

4月21日に実施した試験観測は、単独気球60grによる鯉のぼり飛揚実験で、その成果一覧表を第1表に示す。

第1表 4月21日飛揚実験一覧表

番号	放球時刻	気球種別	リーク管内径	純浮力	最高到達時間	最高到達高度	備考
1	11h 50m	白 60g	2.1mm	80g	10分	1000m	落下点 恵比須
2	12 20	〃	〃	80	7	808	落下点 麻布
3	14 16	赤 60	—	33.7	—	—	毎分100米上昇リークなし
4	14 48	〃	—	356	—	—	毎分300米上昇リークなし
5	16 18	白 60	1.5	75	(16)	(2200)	推定落下点 高円寺
6	16 33	〃	〃	153	(32)	(3800)	〃 船橋
7	16 53	赤 60	〃	159	(33)	(4600)	〃 幕張
8	17 07	白 60	〃	79	(16)	(1900)	〃 中野
9	17 26	〃	〃	206	(43)	(7300)	〃 成東

(括弧は推定)

リーク管の内径2.1mmのもの2回(飛揚番号1, 2) 1.5mmのもの5回(番号5, 6, 7, 8, 9) および水素ガスを全然リークさせない場合2回(番号3, 4)の3通りの飛揚を行った。第1の試験は1000m前後で落下し始めるように計画したものであり、第2は2000, 4000お

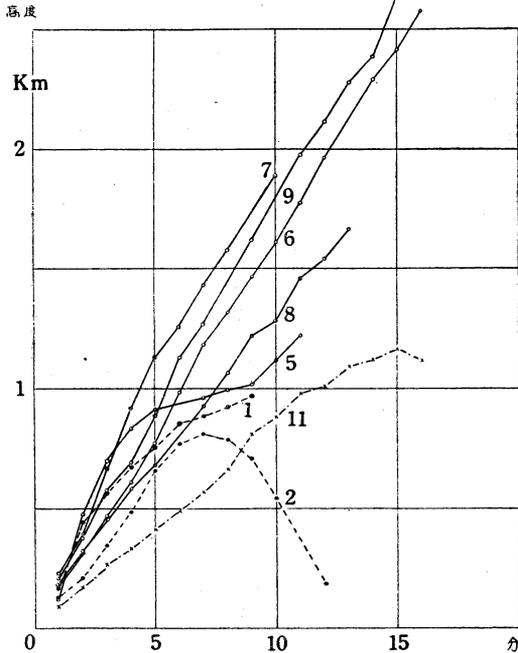
よび7000m前後に達するようにしたものである。リーク管の内径は数回にわたる地上試験により決定したのであるが、元来この値は気球の上昇速度と最高到達高度とが与えられれば、計算により推定されるべきものである。この点についてはこの節の最後で詳述することにする。

\* 中央气象台高層課

る。

鯉のぼりは挿絵に示すごとく、その重量 60gr、長さ 180cm の紙製で、口元より尾部へ空気が抜けるようになっている。それを吊す気球は 60gr で、その口管にベークライト製のリーク管を挿入した。

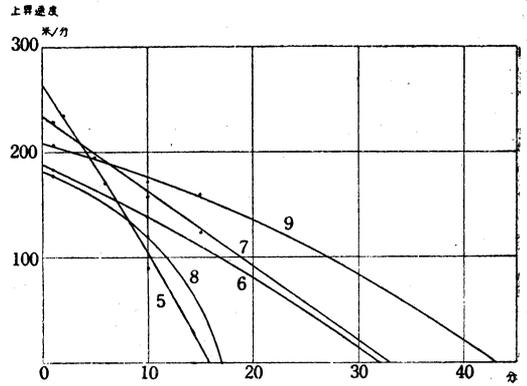
飛揚は本台高層観測用露場より実施し、二観測点間のタイムチェックはトランシーバーを使用したので観測そのものはかなりうまくいった。しかし経緯儀の整備が不良だったためその精度が悪く、あとの資料整理にはかなり苦勞させられた。



第3図 飛揚実験気球の時間と高度の関係  
番号は実験番号  
1~9: 4月21日 11: 4月26日

第3図における、No.1~9までが第1回試験観測の時間対高度曲線である。9個のうち、No.1および2はそれぞれ都内の恵比須、麻布に落下拾得されたが、他の鯉のぼりからは何んの届出もなかった。このうち、No.3および4はリークさせなかったのであるから恐らく東方海上へ去ったと思われる。No.5~9の5尾の鯉は東京近傍で落下するように計画したのであるが、やはり落下地点が人口稀薄のためかあるいは拾得者がわずらわしいと思って届けてもらえなかったのであろう。これらの落下地点を推定するため、まず第4図に経過時分に対する上昇速度の曲線を表わした。上昇速度が零になる時分については次のようにして求めた。

まず、No.1およびNo.2が実測の結果より(第4図参照) no lift に達した時分がそれぞれ7分と10分であるから、この2個の平均として1分間に減少した浮力は

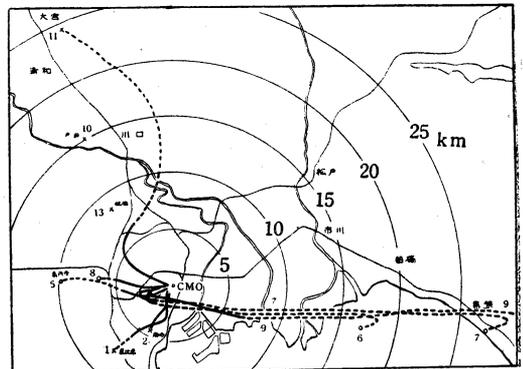


第4図 飛揚実験気球の時間と上昇速度との関係  
番号は実験番号

80gr / 8.5分 = 9.412gr/分である。しかるにこの値は 2.1mm の管であるから 1.5mm 管の場合を求めると、

$$9.412 \times \frac{\left(\frac{1.5}{2}\right)^2}{\left(\frac{2.1}{2}\right)^2} = 4.802 \text{ (gr/分)}$$

従ってこの値と No.5~9 までの各々に与えた純浮力とから上昇速度が零となる時間すなわち最高到達時間を求めることができる。この点と第3図から求める上昇速度と所要時間との関係を図示すると第4図となる。この図で黒丸は実測の値である。これらの曲線についてそれぞれ平均の上昇速度を求め、その値と最高高度に到達するまでの所要時間とにより推定最高高度が得られる。これらの値が第1表には括弧を附してのせてある。次に、落下時分を上昇所要時分とは大体等しいと思われるから(第1図 No.2による)、地上に達するまでの鯉のぼりの経路を館野における当日 12時の Rabal 観測値(第2表; 参考のため No.2,9の風の資料をもそえた)を用いて求めた。その結果が第5図の飛揚番号1より9までである。



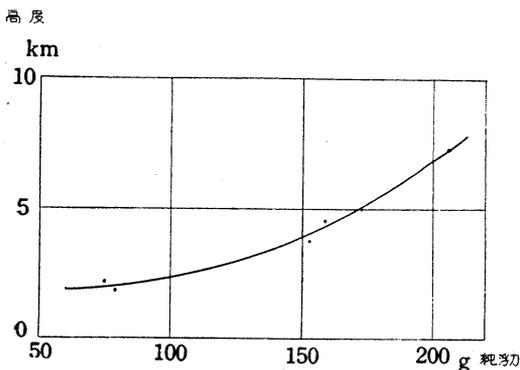
第5図 飛揚実験気球経路図  
— 実測経路    ... 推定経路  
× 落下地点    ○ 推定落下地点  
番号は実験番号

第2表 4月21日上層風観測値

放球時間	12時15分			17時26分			12時00分		
観測場所	中央气象台			中央气象台			館野		
観測種別	二点観測			二点観測			Rabal		
高度及び風向風速	高度	風向	風速	高度	風向	風速	高度	風向	風速
	128	7	8	390	82	6	地上	ENE	4
	209	20	6	697	72	5	1000	74	3
	344	17	8	1138	117	3	2000	207	5
	488	13	6	1309	225	1	3000	255	8
	657	24	5	1948	50	4	4000	271	15
	770	60	6	2104	322	4	5000	270	14
	808	61	5	2489	277	4	6000	269	22
	798	49	6	2806	304	4	7000	270	36
	708	50	6	3183	294	9	8000	272	47
	542	40	6	3548	289	9	9000	272	56
	526	22	5	3930	291	11	10000	261	61
	189	10	4	4145	270	8	11000	257	67
				4579	285	13	12000	260	81

この図を一見して分るように、気球一個による単独飛揚でも、上層風の分布如何によりいろいろな方向へ落すことができる。然しながら西風以外に流された場合(5図中1, 2, 5, 8), すなわち低高度で下降し出すようなときは当然遠くへは流し得ないことに注意すべきであろう。

この飛揚実験により、2.1mmのリーク管では遠くまで流し得ない(気球の大きさが限定されているから)ことが分ったので、遠くまで流すために1.5mm管を使用することにした。もちろん、リークなしの鯉のぼりは飛揚しないことに決めた。従って低高度(2000m以下)で西風以外の風に流して遠くまで達するようにするには前に述べた親子気球によらなければならないだろう。実際の飛揚に際しては任意の到達高度に対する気球に与える浮力が必要になるので、これを第6図に示す。横軸は純浮力が与えてあるから、気球と釣合わすべきおもりの目方は、この浮力の値に懸吊物(鯉のぼり、リーク管および紐)の目方を加えたものである。なお図中黒い点は第1表によった値である。



第6図 1.5mmリーク管の純浮力に対する推定最高高度

ここで、水素ガスのリークについて検討しておきたい。一般に気球に充填された水素ガスの流出速度  $v$  はそのリーク管の径には無関係で次式のごとく与えられる。

$$v = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}$$

但し、 $\Delta P$  は気球のもつ内外圧力差 (back pressure) で 60gr 気球の場合は約 5 mb であり、 $\rho$  は水素の密度であるから  $0.0899 \times 10^3 \text{gr/cm}^3$  である。従って、

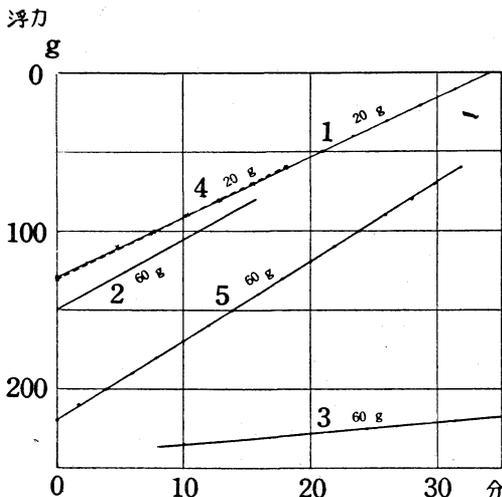
$$v = 10500 \text{cm/s} \dots \text{水素の流出速度}$$

次に、内径 1.5mm の管よりリークさせると 1 分間に排出する水素の体積は、 $v \cdot \pi \cdot r^2 \cdot t = 10138$  (c.c.) である。しかるに、水素 1000cc に対する浮力は 1.203gr であるから、この管よりリークさせた時 1 分間に減少する浮力は  $1.203 \text{gr} \times 10138 / 1000 = 12.196 \text{gr}$  である。この値は、前述の飛揚実験より求めた 4.802gr に比して非常に大きい。このような差異は主としてリーク管の抵抗(理論値は水素を完全流体として扱った)によるものではなからうか。

さて、第1回の飛揚実験後リーク量がやや不安に思われたので、1.5mmのリーク管で60gr気球の場合と、第2回飛揚観測に予定されている親子気球の小さい方の気球に使用する20gr気球の場合とについて4月25日と26日の両日にわたって地上でのリーク試験を行った。さらに第2回飛揚試験後の4月28日に60gr気球について最後のテストを行い、これらの結果が第3表と第7図である。この実験により水素ガスのリーク量は1.5mm管で60grおよび20gr気球についてそれぞれ1分間に大体5gr, 4grであることが確定的となった。

§ 4. 第2回試験観測

4月26日に第1回のとく同じく本台と三越本店と



第7図 リーク実験における浮力と時間との関係  
番号は実験番号

第3表 内径1.5mmリーク管の水素リーク量実験

実験番号	実験月日	使用気球	充填総浮力	リーク量	備考
1	4月25日	20g	130gr	3.8g/min	
2	〃	60	150	4.5	
3	〃	60	240	0.7	リーク管不良
4	4月26日	20	130	3.9	
5	4月28日	60	220	5.1	

の2点で、60grと20grの親子気球による鯉のぼりの飛揚状況を観測した。当日12時における館野における上層

△風の分布より(第4表参照)1000m前後では南寄りの風が明瞭に認められたので、この高度で気球が浮遊するように計画した。この結果は第5表の通りである。飛揚は4回実施したが、内1回(飛揚番号12)は本台鉄塔に引

第4表 4月26日上層風観測値

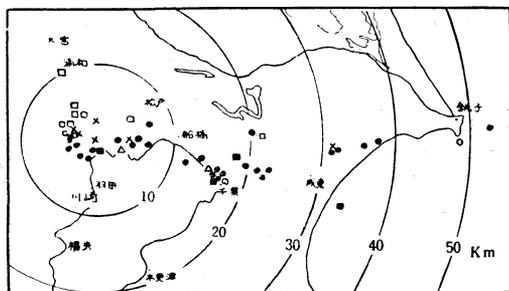
観測月日	4月26日	4月26日
放球時間	12時00分	15時22分
観測場所	館野	中央气象台
観測種別	Rabal	二点観測
高度	高度 風向 風速	高度 風向 風速
地上	ENE 3	93 99 8
500	110 4	176 125 8
1000	150 3	260 122 17
及び	1500 179 5	334 118 10
風向, 風速	2000 271 7	410 92 2
	2500 278 9	490 113 2
	3000 284 11	570 152 6
	3500 282 16	668 144 8
	4000 275 18	803 146 7
	4500 275 24	884 146 7
	5000 274 33	980 158 5
	6000 263 38	1001 173 4
	7000 270 45	1099 154 3
	8000 269 48	1128 187 5
	9000 275 52	1171 183 6
	10000 278 57	1122 211 5
	11000 283 64	

懸かってしまい、No. 10, 11, 13の3回が飛揚に成功した。この日の地上風は南東風であったためと、鯉のぼりの上昇速度がかなり遅いため本台の鉄塔につかる可能

第5表 4月26日飛揚実験一覧表

番号	放球時間	気球種別	リーク管内径	純浮力	最高到達時間	最高到達高度	備考
10	14h 42m	赤 20g 赤 60g	1.5mm	60g			1000m nolift test 落下点 戸田町
11	15 26	赤 20g 赤 60g	〃	50	15	1171	〃 大宮市
12	—	赤 20g 白 60g	〃	60			本台鉄塔に引懸る
13	16 46	赤 20g 白 60g	〃	60			落下点 板橋

性が充分あり、飛揚位置の選定には苦勞させられた。2点観測の方も本台の方の経緯儀が鉄塔のかげにかくれることが多く良い観測結果が得られなかった。ただNo. 11のみが幸にも16分間観測ができたので、その高度対時間の曲線およびその実測および推定経路をそれぞれ第3図と第5図に示してある。2つの図で明らかのごとく、No. 11は飛揚後15分で最高々度1170mに達し、その位置が第5図で池袋附近であるから、その後落下地点である埼玉県の大宮市附近まで約20kmの間浮遊していたことになる。一方、No. 10とNo. 13はそれぞれ埼玉県の戸田、東京都の板橋附近に落下したが、両者の2点観測結



第8図 鯉のぼり気球落下地点  
△ 飛揚番号1 ● 飛揚番号2 ● 飛揚番号3  
○ 飛揚番号4 □ 飛揚番号5 ■ 飛揚番号6

果は前述の理由により得られなかった。このように近くで落下してしまった原因としては、20gr気球内の水素ガスが全部リークしてしまったとき親気球と鯉のぼりが釣合わないでかなりの負の浮力をもっていたことによるのであるから、恐らく親気球につめた水素の量が少なすぎたためか、あるいは中の水素が若干づつ漏洩していたためであろう。No. 11の2点観測による上層風の状態を第4表に示したが、これによっても明らかに1100m附近にある南寄の風に流されたことがわかる。なお、15分で浮遊状態に入っているが、前節の終りで説明した20gr気球のリーク量1分間に3.8gr(第7図参照)とこの子供気球につめた水素ガスの総量50gr(純浮力30g+気球重量20g)とから算出すると、飛揚後13分になる。このような実測と計算値との差違は、水素ガスが少量になった際のリーク率が上記の値よりかなり小さくなったため、浮力の△

△ 零になる時間が延びたことによるのであろう。

### § 5. 「子供の日」の鯉のぼり飛揚

5月5日は快晴に恵まれ、神宮外苑の絵画館前にはボーイ、ガールスカウト合せて数百名の隊員が集合し、鯉のぼり気球の飛揚準備が始められた。本台高層課員十数名の指導により、20本程揃べられたボンベからの水素ガスの充填、そのやや多めにつめられた気球を近くに設けられたテント内での浮力の測定および1.5mmリーク管と鯉のぼりの結束等が行われた。これより少し前、午前10時30分には、われわれの手により第1図のパイボール観測を実施した。その結果は第6表に示す通りで地上より高度1000m位までは北寄の風、1500m以上では観測中止の6000mまでずうっと偏西風である。このような風の分布状態においては、2000m以上にあげれば鯉は

第6表 5月5日上層風観測値

放球時間	10時30分			13時30分			12時00分		
観測場所	神宮外苑			神宮外苑			館野		
観測種別	Pibal			Pibal			Rabal		
高度及び風向, 風速	高度	風向	風速	高度	風向	風速	高度	風向	風速
	600	9	5	200	225	2	地上	E	3
	1200	30	7	400	145	3	500	140	4
	1800	297	10	600	145	2	1000	181	3
	2400	248	11	800	163	1	1500	260	6
	3000	253	8	1000	112	1	2000	285	14
	3600	280	9	1200	45	2	3000	271	14
	4200	272	12	1400	0	3	4000	278	13
	4800	280	18	1600	338	6	5000	272	19
	5400	277	15	1800	247	5	6000	264	20
	6000	257	18	2000	247	4	7000	264	21
				2200	247	10	8000	265	33

偏西風によって千葉県の方へ落下するのであろう。しかし低高度の場合では、北寄りの風であるから東京湾の方向へ向うことになり、恐らく海上へ落下するに違いない。そこで、まずわれわれは当日の気象状態より判断して海陸風の影響により恐らく午後からは南寄の風になる可能性があるから、昼食前に60および300grの単独気球による鯉のぼりの飛揚を考えた。

さて、11時35分には56個の鯉のぼりが白、赤の60gr気球に曳行されながら一齊に空中高く舞上っていった。

その推定最高高度は6000mで、純浮力は187grである。続いて12時10分と12時39分に2回、3回目の飛揚が60及び300gr気球により行われ何れも最高高度は3000mである。(第7表参照)これらの鯉には飛揚番号、同日時及び拾得者よりの届出依頼文が貼付してあり、その拾得者には新聞社よりシャープペンシルを贈呈することになっている。午後よりは、まずパイボール観測を13時30分を実施し上層風の状態を再検討した。その結果は第5表の通りで、先に判断した如く、1000m以下の高度で南

第7表 鯉登り気球飛揚一覧表

飛揚回数	飛揚番号	放球時間	気球種別	推定到達高度	純浮力	個数	回収個数	第8回記号
1	1	11k 35m	60gr	6000m	187	56	2	△
2	2	12 10	60	3000	125	55	27	●
3	3	12 39	300	3000	125	16	7	×
4	4	12 39	60	3000	125	6	2	○
4	5	14 00	60, 20	700	30	26	10	□
5	6	14 23	60, 20	2000	90	6	4	■

寄りの風が観測された。そこで、親子気球の第1回(第7表では第4回)の飛揚では、700mの高度で no lift にすべく全体の純浮力を 30gr にして 26 個の鯉のぼりを 14 時 00 分に放った。続く第2回目の飛揚では浮遊高度を 2000m に計画して東方へ流すべく 6 個の鯉を 14 時 23 分に放ち、これを最後として総計 165 個の鯉のぼりを飛揚させ、「鯉のぼりを飛ばす会」は盛会裡に幕を閉じたのである。

この鯉のぼりには、新聞社の方で「どの方向へ最大どの位の距離まで飛揚するか」という懸賞問題が出された。これには当日の上層風の状態も附記されており、また飛揚後 5 日以内に拾得の届出があったものに限ってある。さて、拾得の届出状況は第6表に示してあるように飛揚総数の 32% に当る 52 個であった。第8図に飛揚番号別に拾得一覧図を示した。この図から分るように、最も遠くへ飛んだ鯉のぼりは千葉県銚子市犬吠沖渚の海上で拾われたものである。この鯉は第2回目の 12 時 10 分に飛揚したもので、当日の午後 3 時 20 分に拾われている。懸賞第1位の人のは距離を 1km 以内であてている。当然予想されるごとく、銚子附近と考えた人はかなり多かったが、近くの海上で拾得される可能性ありと判断した人は少なかった。

各回の拾得状況を検討するに(第6表, 第8図参照)第1回の 6000m 上昇のものは計画の失敗で 56 個飛揚して拾得されたのはわずかに 2 個しかなく気球の破裂あるいはリーク管以外からのガスの漏洩等の事故によるものと考えられる。他はすべて東方海上へ落下したのであろう。当時の風速と充填ガス量とから推定される落下距離は東方約 70km の海上となるのであったが、飛揚準備その他で混乱していたのと、4月21日に行った第1回飛揚試験で 7000m にあけても落下地点は銚子以西であったため(当日の風速が弱かったから)、6000m 上昇さすための気球に釣合すべきおもりを前以て準備してしまったので、当日の上層風によりこれを変更しなければならぬのを怠ってしまったのである。第2回目の飛揚は上昇高度 3000m であり、その推定飛揚距離 30km が前後となるので、殆んど全部の鯉のぼりが陸上へ落下したものと考えられる。その回収率も約 50% で、間違なく陸上へ落ちたとみさせる 4, 5 回目(飛揚番号はそれぞれ 5, 6)の飛揚における回収率約 50% と照し合せても充分うなずけるのであろう。この2回目の飛揚は回収個数が一番多く第8図の分布状態を見ると、飛揚地点より東方及び西方に約 60km の広範囲に拡っている。このような現象は、当初考えても見なかったことであるが、充填すべきガス量の過不足あるいは飛揚直前までリーク管の口元につめた爪楊子の際間からの漏洩等に起因するものと思われる。すなわち飛揚までにかなり漏洩したのは近くで落

下したのであろうし、また水素ガスそのものを多量につめたものは遠くまで飛揚したに違いない。さらに変動を与える原因として、リーク管の径の不均一や途中における気球の事故破裂などが考えられよう。拾得地点としては人口稠密な東京及び千葉市附近に多い。次に、南北の拡がをは 10km 以内で案外せまく、これは上層における偏西風の擾乱にも関連している問題であつて興味ある事実である。今後このような飛揚計画をたてる際には大いに参考とすべき事項であらう。

第3回目の飛揚(飛揚番号 3, 4)は第2回と同じ状態で行ったものであり、その個数は合計 22 個で少なかったが、落下の分布状態は前回と殆んど同様であった。

4 回目の飛揚(飛揚番号 5)では鯉のぼりが南風によって北方へ流されているが、最大飛揚距離は 10km で遠くまではゆかなかつた。これは当日の南風が非常に弱かつたのと、内陸内部まで南風が侵入していなかったためであらう。第5回目(飛揚番号 6)は前回と同じく親子気球であるが、2000m で浮遊状態にしたから当然偏西風に流され前回に比してかなり遠い所で拾得されている。

## § 6. むすび

以上のごとく、「鯉のぼりを飛ばす会」は大体において成功したものと思われるが、今後この種の催しを行うに際しては下記事項に注意すればよいだろう。

- (1) リーク管の地上実験を数回行うこと。
- (2) 飛揚に際しては、当日の上層風を充分考慮して、上昇高度の決定すなわち気球に充填すべき水素ガスの量を定めること。
- (3) 東方へ流すのは問題ないが、他の方向へ流すには低高度でそのような風がかなりの地域にわたって吹走ししているごとき日を予想することが好ましい。本観測のごとく海陸風にのせたのではあまり遠くまで流し得ない。
- (5) 飛揚に際し気球に与える浮力の測定は充分正確に行えるように、施設その他を考えること。
- (6) 一たん充填した水素ガスが洩れないようにリーク管の開閉装置を工夫すること。

終りに、終始御指導いただいた北岡高層課長、同大井補佐官ならびに予備試験観測、当日の飛揚指導に御協力いただいた高層課の諸氏に深く感謝の意を表したい。

訂正：3巻4号で報告された「原水爆実験の気象海洋への影響」の中で、原水爆委員会より下記の個所の訂正を申し入れて来ました。

頁	行	誤	正
1	左上から9	荒川秀俊	松本誠一
1	右下から18	約 350m/s	298m/s
1	右下から16	365m/s	374m/s
4	左上から1	V 237	U 237