

大型プラスチック気球の放球法

岡 本 智

大型気球の使用は約 20 km 以上 40 km 前後の高層に、長時間とどまる必要のある目的の場合には、現用航空機や人工衛星もおよばない唯一の方法であるが、これを計画どおり放球飛昇させることは地上風に災いされて、なかなかの難事である。ここ数年來各種観測ロケットを最も多く打ち上げているアメリカにおいてさえも、大型プラスチック気球の利用と開発が盛んである。ここでは主としてアメリカでこの種の気球を、地上からいかにして放球しているかを紹介し、あわせて現在わが国で試みている方法にふれた。なおアメリカで予備テストが現に進行中の *Stratoscope II* の特異な構造と放球方式およびこれに使用される基地、*Scientific Balloon Flight Station* についても述べた。

アルキメデスの浮力の原理は紀元前 220 年すでに発見されていたが、人類の大空への願望は 1783 年、フランスのモンゴルフィエー兄弟の考案した加熱空気を利用した気球によって最初に実現したという。

同じ年、同じくフランスのシャルルは、1766 年イギリスのキャベンディッシュによってすでに発見せられていた水素を利用した気球をパリの *Champ de Mars* で飛ばした。

1804 年にはゲイリュサックが水素気球により、大空高く 7300 m も上昇し、磁器測定や空気の成分を研究したと伝えられる。ちなみにフランス大革命はこの中間の 1789 年であった。

このような自由軽気球の歴史はその後英、仏、ベルギー、ソ連、米等に引きつがれ、幾多の科学研究に活用されてきた。また今世紀初頭から発達した自動器械を搭載した深測気球は、現在世界各国の気象ゾンデとして盛んに利用されつつある。他方では近時急速に発達したプラスチック工業によって、水素ガスやヘリウムガスの透過率の小さい、軽く強い均等な薄膜が比較的安価に多量に入手できる状態になり、また高度に発達した無線工学の影響はこの分野にもおよび、無線制御、自動制御方式で重い科学観測器械や器材を人命の危険なくして数十 km の高空に長時間飛昇、浮遊させることが可能になったので、このような目的に用いる大型プラスチック気球が急激に開発され発展しつつあるかにみえる。この傾向はアメリカにおいて特に顕著に認められ、その有様を第 1 表に示す。

1 年間に数百本ものロケットが打ち上げられるアメリカにおいても、このように気球が盛んに用いられているのである。これはロケットに比してその到達高度は低い、長時間滞空が可能である点、人工衛星に比してはその経費が格段に小さいといった点等が大型気球の発達を促しているものと思われる。ごく最近では *Stratoscope II* という無線によって制御される 36 インチの天体望遠鏡がプリンストン大学天文台によって飛昇テスト中であ

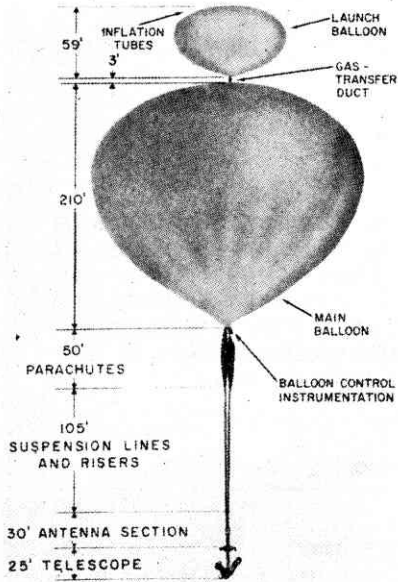
第 1 表 各年別放球数 (アメリカ)

		1957年	1958	1959	1960	1961
気球容積	<5×10 ⁴ ft ³	3	5	5	5	28
	~3.5×10 ⁴ "	9	11	5	10	13
	~1.5×10 ⁴ "	14	18	33	20	8
	~4×10 ³ "	2	3	13	7	25
	>4×10 ³ "	—	—	6	8	9
飛昇全重量	<250 lb	15	10	8	2	24
	~500 "	10	13	10	24	24
	~750 "	3	14	34	10	18
	~1000 "	—	1	16	2	10
	~2000 "	—	—	4	11	5
>2000 "	—	—	—	1	2	
滞空時間	<4 : 00 hrs	4	6	22	15	30
	~8 : 00 "	8	8	7	10	3
	~12 : 00 "	16	11	18	10	8
	~16 : 00 "	—	4	7	9	16
	~24 : 00 "	—	5	8	5	25
>24 : 00 "	—	3	—	1	1	
到達高度	<5×10 ⁴ feet	4	4	16	9	29
	~9×10 ⁴ "	9	14	10	9	7
	~11×10 ⁴ "	9	12	17	13	11
	~12.5×10 ⁴ "	4	4	13	10	23
	~14×10 ⁴ "	2	3	5	5	9
>14×10 ⁴ "	—	—	1	4	4	
放球地点	South Dakota	4	19	41	31	32
	Texas	14	8	12	—	4
	Canada	10	7	6	6	22
	Alaska	—	—	—	—	13
	Other	—	3	3	13	12
合 計		28	37	62	50	83

RAVEN news letter No.18 より転載

(註) 1 ft³=0.028 m³, 1 lb=0.454 kg, 1 feet=0.304 m

る。これは第 1 図に示すように、現在まで一般に使用されてきた気球とははなはだ違った特異の構造である。それというのも大型気球の放球という難事に対し、後で述べるように変わった方式を採用したため必然的にこのような親子気球になったものであろう。この気球の pay-



12 インチの望遠鏡を 1957~1959 年に飛昇させた Stratoscope I に引き続いて、Schwarzschild が 36 インチ天体望遠鏡を約 27 km の上空に上げる計画で、すでに数回テストフライトを行なっている。飛昇全重量は約 6t 強で今までで最も重い。気球はマイラにダクロン網を貼り合わせたもので、瓢箪形の特異な構造になっている。上方の小さな子気球のみにガスをほとんど一杯につめ、大きい親気球はマイラの筒に納めたまま、ウインチとケーブルを使用して垂直に立てて放球する、親気球を包んでいるマイラの筒は高空に昇るに従って上方から裂けて落ちる。放球場所は Scientific Balloon Flight Station である。

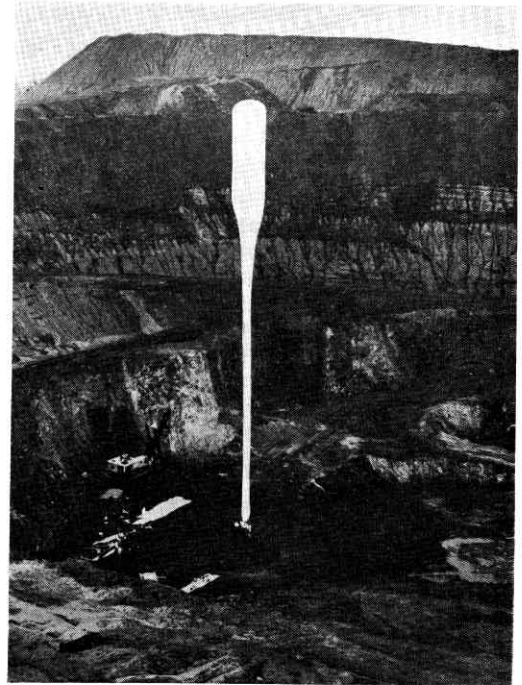
第 1 図

load は 8132 ポンド (約 3.6t)、総重量は約 6t、到達高度 27 km、子気球の球皮は 13 μ 厚さのマイラにダクロン網、親気球には 9 μ 厚さのマイラに同じくダクロン網を貼り合わせた球皮を使用し、マイラ気球の開発製作に力を入れている G. T. Schjeldahl 社の作である。

大型気球の使用はアメリカのみでなく、イギリス・インド・オーストラリアでも行なわれている。わが国でも数年前から神戸大学・原子核研究所・立教大学・気象研究所・理化学研究所等々の宇宙線研究者達によって開発されてきた。当生産技術研究所においてもロクーン実験に際して若干の開発を行なった。その他ソ連はその気球史の初期に印した業績や地理的環境からみて、なんらかの発展があるかと想像されるが、事情は現在つまびらかでない。

筆者は先頃浮遊局と称して一種のマイクロウェーブ通信網を定点浮遊気球を利用して構成しようとする構想の検討に関係した際、複雑精巧な重い payload を大型気球で飛昇させることを調べたので、ここでは主としてアメリカで行なわれている大型プラスチック気球の放球方式を中心に簡単に紹介し、ご参考に資したい。

まず大型気球を使用する場合一番に問題になるのは地上風である。気球にガスを注入するさい僅か 3~4m/s の風があっても捕えどころのない巨体はパタパタと風に翻



たぐみにくぼ地を利用した Stratobowl 基地 (Crossby-Ironton, Minnesota) で、円筒形気球の放球を行なうところ。ほとんど無風で全飛昇系は安定に直立しており、いわゆる Vertical Launching が首尾よくゆきそうである。

写真 1

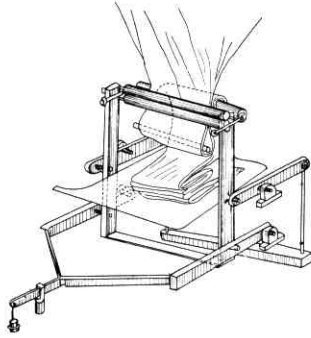
弄されて破れやすい。つぎにガスをほとんど注入し終わって、その浮力を測定する段階では風のために誤差を生じやすい。不足ならば浮昇しないし、過大ならば自由浮力が必要以上に大きくなって、上昇速度 (250 m/min 前後が適値とされる) が早くなり過ぎて気球破裂の原因となる。もっとも大型気球の新しい方式ではガス逃し弁とパラストを併用する機会が多いので、これによって浮力測定の問題はいくぶん楽になった。最後に、準備完了して放球するとき気球が立ち上がるに従って、予想した風向が少し横にそれた場合大切な payload を引きずったり、こわしたりすることである。

したがって放球の時期は一日中で静穏な確率の最も高い早朝、あるいは日没前を狙うのが得策である。この外地上風の弱まりやすい地形、たとえば必要以上に広くはない深い谷間、盆地等を活用することもある。アメリカではこのような地形を利用した基地 Stratobowl がある。写真 1 はこの基地で円筒形の気球を上げようとしているところである。

また、ある程度設備費を投じ得るならば、気球膨張室を建設すると、単に放球のみでなく、気球の使用計画全般が格段に容易確実になると考えられる。以上の消極的な地上風対策の外に、ある程度の風速に十分追随し得る速度の艦船を利用することははなはだ有効である。アメリカでは航空母艦が利用され、わが国ではロクーン実験

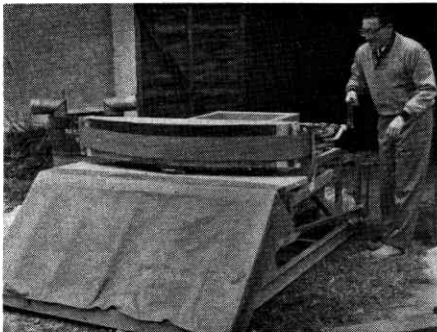
の初期、凌風丸が試用され約 6 m/s の海面風に対し、ほとんど無風状態が得られた由である（立教大 中川教授）。

つぎに放球方式の実例について述べよう。第 2 図に示したのは総浮力 2, 3 百 kg 程度までの気球



第 2 図

ランチャに使用される気球の保持方式と、浮力測定方法の 1 例である。1961 年青森県下尾駈で行なったロクーン実験の時のものである。詳細は生産研究 12 巻 3 号を参照していただきたい。この保持方式は、あらかじめ総浮力にはほぼ等しいガス容積に該当する気球頂部を、図のように表面をゴムで巻いたローラで挟む。後記皆川教授はローラのかわりにゆるい円弧にナイロン帯で締めつける方法を採用した。これを写真 2 に示す。いずれにしてもこの方式は後で述べるガス注入に従って気球頂部を繰り出す方式よりも、気球頂部に不均等な応力が生じやすく、



神戸大学の皆川教授らが数年前使用した気球ランチャで、緩い円弧上にナイロン帯で気球頂部の適当位置を締めつける構造である。右端をはずすと、ナイロン帯は具合よく縮みながらはずれる由である。

写真 2

また弱い微風によっても翻弄されやすい。今一つの弱点は放球時の衝撃も大きいことである。これらの解決を試みた例を写真 3 に示す。これはイギリス・ブリストル大学の Powell 教授門下の研究者達が使用しているものである。ポリエチレン製の気球に別のシートを被せ、シートの端はフライホイールのついた軸に巻きつけたロープに結んである。フライホイールは放球時の衝撃を緩和する目的で上首尾に作動する由である。

つぎに payload 数百 kg から数トン程度の場合、現在行なわれ、あるいはテストされつつある放球方式 4 例を取り上げて比較してみる。

まず第 1 番目は第 3 図に示す Raven Industries, Inc. が Skyhook 計画にテキサス州 Brownwood 基地で使



英国ブリストル大学の Powell 教授等の気球ランチャである。気球に別のシートをかぶせて使い、独特のものである。放球後このシートは落ちる。

写真 3

用している方式で、今これをかりに R. B 方式と呼ぶことにする。

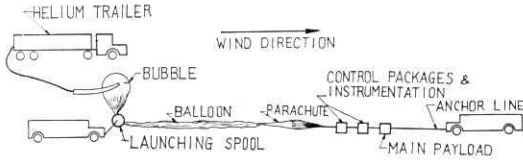
第 2 番目は第 4 図に示すもので、1961 年初夏シカゴ大学のために Winzen Research Inc. が nuclear emulsion と付属品約 700 kg およびバラスト 500 kg を約 28 万 m³ の気球（満膨張の最大直径 88 m、高さ 75 m、gore の長さ 125 m）につけて最低浮遊高度 30 km で 40 時間浮遊させるさい採った Platform Type と呼ばれる方式である。これをかりに W. R 方式と呼ぶことにする。

第 3 番目は写真 5 に示す神戸大学の皆川教授等の宇宙線研究者達が、大阪市郊外八尾飛行場で飛昇を試みている方式でこれを今かりに皆川方式と呼ぶことにする。

第 4 番目は第 1 番目に述べた同じ Raven 社が 800 kg の科学観測器械と、制御装置を 18 万 m³ の気球を使って飛昇させるために採ったもので Dynamic Launching 方式と呼ばれているものである。これを第 5 図に示す。これをかりに R. B 改良方式と呼ぶことにする。

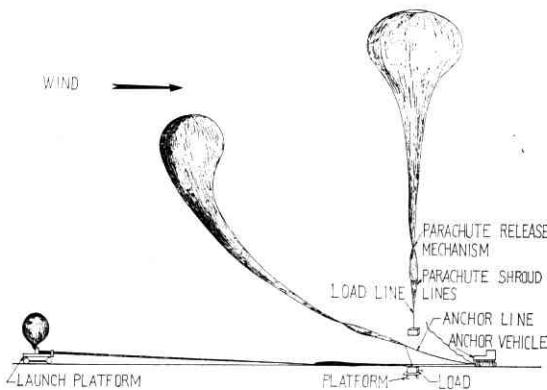
最も望ましい放球はたとえば写真 1 の Stratobowl 基地の放球状態に見るように、飛昇系を地面からはなれる瞬間にほとんど垂直に立てて、大切な payload を地面に引きずったり激突させたりしない、いわゆる Vertical Launching の状態にすることである。まったく無風ならば原理的にはこの状態の実現は容易である。しかし平坦地では地上 100~200 m ぐらいの地上風がほとんど 0 になる機会は極めて少ない。

さらに種々の準備を要する気球の飛昇時期をこれに一致させることは事実上不可能に近い。そこで大がかりにはなるが、前述のように艦船を利用し、望む時期に地上風との相対速度を 0 にして Vertical Launching の実現を



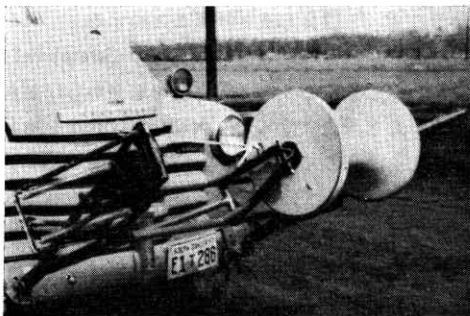
Skyhook 計画で Raven 社が Brownwood 基地であまり重くない、200 kg 程度の payload を放球している方式（使用する気球の容積は 3 万~10 万 m³）である。左端の自動車には、写真 4 に示す中央部の細くなった鼓形のローラを使用している。気球頂部をこれにかけて、ガスを注入しふくらむにつれて自動車を前進させる。bubble と呼ばれるガスの入った気球頂部は常に張った状態に保てるので地上風に対して比較的安定で、風に翻弄され難い利点がある。鼓形ローラ的一端をはずし他端を中心に回転して放球する。放球した気球が立ち上がる時、地上風の風向変化で、斜上方に上昇し payload を引きずりやすい、payload が全部地上を離れると右端の自動車を移動して、飛昇系全体を垂直にたてて制御を切断すると、payload を地面に撃突させないで放球することができる。本文ではこれを R.B 方式と名づけて他と比較する。

第 3 図



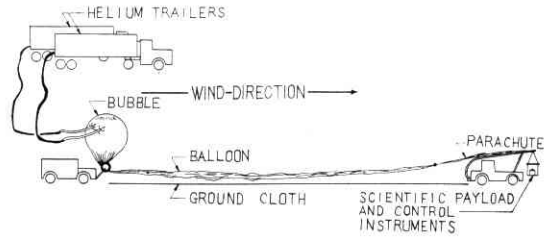
1961 年初夏シカゴ大学のために、Winzen Research Inc. が nuclear emulsion 等を 28 万 m³ の気球で飛昇させた方式である。全飛昇重量は 2t 強である。payload は移動できるように、台車にのせている。第 3 図の R.B. 方式のように、payload を地面に引きずらないで、放球後斜上方に、立ち上がる気球の方向に引き寄せられて、引き上げられる方式である。この方式は Platform Type と呼ばれるが本文では他と比較の便のために W.R 方式と名づけた。

第 4 図



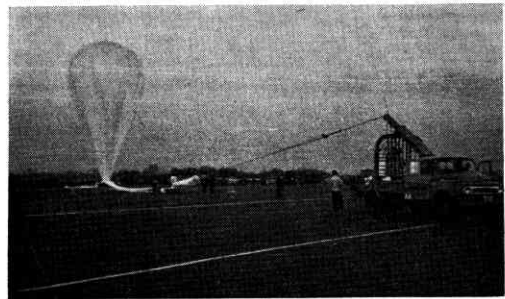
launching spool と呼ばれる鼓形のローラで Raven Industries, Inc. のものを示す。第 3 図と第 5 図の左端の自動車に使用されている。ヘリウム運搬専用の大型トラックの前部バンパに取りつけて使用することもある。

写真 4



第 3 図の R.B 方式と同じく Raven 社が 18 万 m³ の気球を使用して約 800 kg の科学観測器械を安全、確実に飛昇させようとして採った方式である。この特徴は放球された気球が立ち上がるにしたがって、気球と payload が垂直になるように payload を積んだ右端の自動車を走らせて、安全な放球のチャンスを作り出す方式である。ゆえ Dynamic Launching と呼ばれる。本文ではこれを R.B 改良方式と呼んで他と比較した。

第 5 図



神戸大学皆川教授ら宇宙線研究者達が協力して、大阪市郊外八尾飛行場で放球しようとしている光景。気球は 2 万 m³ で、payload は約 500 kg の宇宙乾燥機とその他付属品である。この放球方式を仮に皆川方式と呼んで、米国で行なわれるものと対比させてみた。左端の気球の launching platform 部分を写真 6 に示した。

写真 5

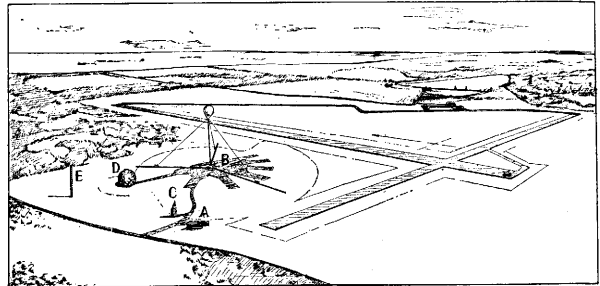


写真 5 に示した皆川方式に使用される気球の launching platform である。放球は向う側の台下にペダルがあってこれをふむと、ローラの向う端がはずれて、手前の布で包んである柱の上端にクランプされる。

写真 6

狙うことが試みられてきたのである。地上からの放球でも狙いは同じで、上記 4 例はいずれもこの点で共通している。また写真 4 に示す鼓形ローラとか写真 6 の円筒形ローラを使用して、気球頂部にガスを注入しながら必要なだけ気球を繰り出し、できる限り第 3 図、第 5 図等を示す bubble と呼ばれる部分の地上風に対する安定を計り、また気球の球皮に生ずる応力を均等化している点も同じである。もっとも鼓形ローラと円筒形ローラでは効果に若干の相違があろう。問題は放球して気球が地上風

に流されながら、しかも多くの場合横方向にそれながら立ち上がるので、この時前述の Vertical Launching の状態を確実に実現し得るかどうかという点であろう。第 1 番目の R. B 式では payload を芋蔓式に連結して地上に置いてあるので、いろいろ問題が起こりそうに思われる。2 番目の W. R 方式は payload を載せた台車は自走能力はないので、これを動かして気球の運動に追従させることは、重い payload の時とか気球の変位が大きい場合には困難と考えられる。つぎに 3 番目の皆川方式と 4 番目の R. B 改良方式では W. R 方式の台車を自走能力のあるトラックに改め anchor vehicle をかねさせ launch vehicle とした方式とも考えられる。そして、これら両者で異なる点は前者は円筒形ローラを使用し、後者は鼓形ローラを用いている点と、トラックの向きが正反対になっていることである。いずれも台車が自走能力を有する点では同一であるが、4 番目の R. B 改良方式のような向きにトラックを使用する方が台車の移動には便利である場合が多いのではあるまいか。



- (A) The operation and laboratory building.
- (B) To the asphaltic concrete launch apron.
- (C) The 85-foot-tall hexagonal "Stratoport" which will be used for calibrating the 36-inch telescope of the Stratoscope II project.
- (D) The bubble-inflation dome.
- (E) 200-foot wind tower.

米国 NCAR. Scientific Balloon Flight Station で第 1 図に示した Stratoscope の放球を行なっているところのスケッチ。向う側の飛行場は Palestine Municipal Airport (Texas) である。

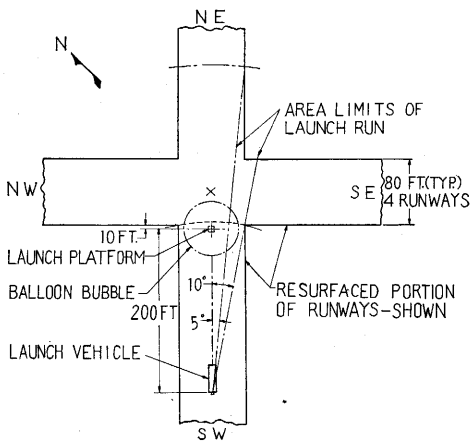
第 7 図

Launching を行なう平面配置の説明図である。横風の対策を考えてあるが、風速 8 ノット (4 m/s) 以上では放球不能であると述べている。放球基地として現在最も完備しているのはテキサス州にある Scientific Balloon Flight Station であろう。飛行場に隣接して各風向に対応する舗装した Launch Apron はもとより、研究室も気球膨張用ドーム、地上 70 m の測風塔も備えた立派なものである。そのスケッチを第 7 図に示す。図の中央は第 1 図に示した Stratoscope II の子気球にガス充填を終わり、その下端にケーブルをつけてウインチで練り出しながら直立させている。高さは 220 m におよぶが、親気球は直径 1 m のマイラの筒に納め、風のために吹き飛ばれないようにしてある。なおこのマイラは放球直前に上部を切り開いて放球されるので、上空に昇るにしたがって膨張ガスは子気球から親気球に移り、このマイラの筒を裂きながら膨張する。この放球方式も注目に値すると思われる。

以上が現在行なわれ、あるいは開発が進められつつある重量用大型プラスチック気球の Launching System の概要である。

現在わが国でも前述の宇宙線研究や気象研究のため、このような大型プラスチック気球を利用し始めており、比較的小規模の経費で有効な成果が得られるものと期待される。天文関係の分野にも大いに有効な研究手段となり得ると思われるが、この方面では現在具体的な動きはわが国にはまだないようである。

最後に種々な資料や写真等のご便宜を与えて下さった原子核研究所の西村・小柴、神戸大学の皆川、理化学研究所の宮崎、気象研究所の石井の諸先生に厚くお礼申し上げる。なお本稿執筆に当たり種々ご意見やご援助をたまわった平尾教授ならびに田中千恵子氏に対し深謝する。
(1963年6月13日受理)



Coronascope の飛昇のために General Mill がミネソタに持っている Flight Center について、地上風問題を検討したものである。Launching 方式は Dynamic Launching である。
風向の変化は風速 0~3 ノットのとき $\pm 10^\circ$ 以下
風速 4~7 ノットのとき $\pm 5^\circ$ は以下である必要がある。
風速 8 ノット以上では、風向のいかんにかかわらず放球不能であると説明している。使用した気球は約 3 万 m^3 で飛昇全重量は約 1 t 強である。

第 6 図

General Mill 社でもこの方式により Farside 計画を進め、重量 1 t 強もあるロケットを 30 km の高度から発射し、科学的資料を得たと報告している。

この Dynamic Launching はロケットを浮昇させ得るほどに安全と思われるが、それでもなお payload が転倒するような問題もあるためか、General Mill ではわれわれが 1959 年ロクーン開発に採用した主気球と補助気球の大小二つの気球を使用する方式を、2 年後の 1961 年に Double Elevation Launching と称して、まったく同じ放球方式を行なって利点を報告している。

第 6 図は General Mill 社が Coronascope の Dynamic