

パ ト ロ ー ル 気 球

西 村 純・広 沢 春 任・太 田 茂 雄
秋 山 弘 光・藤 井 正 美・山 上 隆 正
大 塚 豊・岡 部 選 司・高 成 定 好
松 坂 幸 彦

1. はじめに

気球による観測の特徴として、比較的容易に大気の頂上で5～10時間の科学観測が行なえること、かつ観測器の回収が可能なることをあげることが出来る。しかし受信点が限定されている場合には、フランスやインドの例からもわかるように、数10時間というフライトはまれである。我国では気球のコントロール技術の開発が早くから進められ、長時間フライトと回収のための努力が続けられてきた。その結果サイクリング気球[1]ブーメラン気球[2]として実際の観測に偉力を発揮している。

サイクリング気球とブーメラン気球は、排気弁とバラストを操作して気球の高度をコントロールし、各高度での風向の違いを利用して気球の進路を変えるものである。5月中旬から9月中旬まで日本の上空は20km以下で一般に西風、20km以上で東風となっており、この互いに逆向きの風を利用することによって長時間観測の後、受信点近くで観測器を回収することが可能となる。

ブーメラン気球は現在も改良が続けられており、長時間観測の方式としてはこの他に、電波を別の気球あるいは人工衛星で中継して受信範囲を拡大するリレー気球[3]が計画されている。

以上の3方式は気球のコントロール、電波の中継という操作を必要とするので、システムとしてある程度複雑になるのはやむを得ない。

20km以上の東風が安定しているのは夏の間だけで、冬の成層圏は東風が出現することもあるが一般に強い西風となっている。このため5月と9月には東風と西風が入れ替る風速の非常に弱まった状態が出現する。この時間にフライトすれば、かならずしも回収を必要としない観測の場合、特別なコントロールなしで長時間観測が出来ると予想される。実際、過去数年間の気球観測で偶然この時期に放球した気球の航跡を調べてみるとかなり長時間の観測が期待出来そうであった。

昭和50年度の第二次実験ではガンマ線バーストの観測が計画された。ガンマ線バーストは頻度の小さい現象であるため出来るだけ長時間の観測が望ましい。また観測器は出来るだけ軽くし高々度に浮遊させる必要があることなどの理由により、上層風の反転時にフライトす

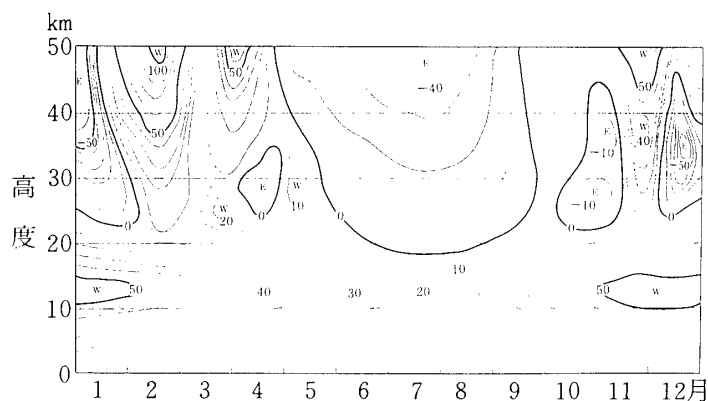
る方式を採用することとした。

9月末の上層風の反転時期の予測を行ない、9月23日にB₃₀-22、9月24日にB₃₀-20気球を放球した結果、各々約55時間、65時間という期待通りの長時間観測を行なうことが出来た。B₃₀-20の航跡は精度よく求められたが、航跡の変化からこの時の上層風に周期的な変化があることが見つかった。その結果および実験の経過、あわせてこの方式について将来の展望について述べることにする。

2. 上層風の一般的性質

日本の上空では、よく知られているように高度12km付近を中心にジェット気流と呼ばれる強い偏西風が吹いている。一般に高度20km以下では年間を通じて西風となっており、20km以上では夏の間かなり安定な東風となっている。この様子を第1図に示した。この図で20km以下の偏西風については、仙台の高層データの10年間の平均値[4]を、20km以上については1970年の綾里の気象ロケットのデータ[5]を使用した。

偏西風は風向、風速ともに刻々変化しており細かく見れば複雑なパターンになるが、第1図からは年間の変化傾向がよくわかる。20km以上の



第1図 上層風東西成分

風についてはゴム気球のデータからもある程度知ることができるが、30km以上については気象ロケットのデータにより初めて明らかとなった。夏の偏東風は出現の時期と消滅の時期は年毎に差があるが6月から9月の始めにかけて比較的安定している。冬にも強い偏東風が出現することがあり、これは成層圏の突然昇温と呼ばれる現象で時期は一定していない。

このような上層風の一般的性質により、5～6月と9月に放球すれば、上昇中の気球は偏西風に乗って一たん東に流された後ゆっくりもどってくる。7～8月は偏東風が強すぎて気球はすぐに日本海へ出てしまう。我々が気球の実験期間を5～6月と、9～10月に選んでるのは、この期間が比較的長時間観測と回収に適しているからである。

さてこの春と秋の両実験期間中には、高度20km以上の風向が反転する無風に近い状態が存在するわけで、この無風の時期に放球する長時間フライト方式は、この風の反転時期を予測出来るかどうかカギになる。またこの無風状態が長く続くかどうかも重要である。

9月に予定されているガンマ線バーストの観測では、浮遊高度が約35kmであるので、これまでのゴム気球のデータおよびロケットのデータ[6]を詳しく調べた。ゴム気球の観測は日に4回行なわれるが、25km附近までに限られ、ロケットのデータは1週間に1度あるいは2週間に1度しか得られていない。この両方のデータをつき合せ、またこれまでの大気球実験における9月の気球の航跡図も検討した。それによると偏東風の消滅する時期は年によって差があり、9月15日位から9月25日位であり、第1図にもその傾向が現われているが、東

風は上空からなくなり始め、最後に25km附近で消滅する。

消滅時期の予測に関しては、日々の各高度における風速を監視しているとある程度可能なこと、35km附近で無風になるのは高度25km附近にまだ東風が若干残っている状態であると期待される。

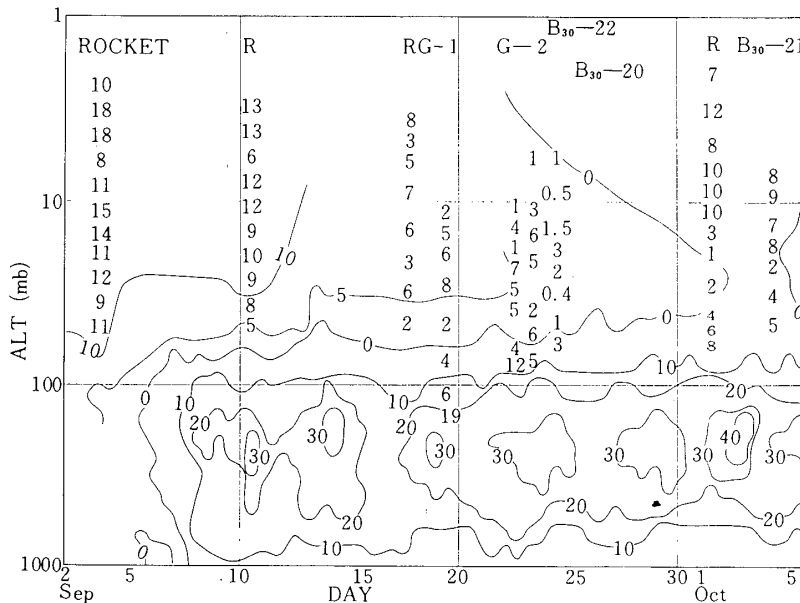
第1表 高度30 km 以上、浮遊時間15時間以上の気球

年度	場所	月日	気球名	目的	到達高度	飛行時間	備考
1967	原町	9.13	B ₃₀ -7	一次電子	34 km	23h : 10m	
		9.20	B ₅₀ -2	飛行性能	37	35 : 50	
1970	原町	9.17	B ₅₀ -6	一次電子	38	26 : 30	
		9.24	B ₃₀ -10	一次電子	36	21 : 30	
		9.27	B ₃₀ -6	白鳥座X	37	15 : 30	
1971	三陸	9.16	B ₁₅ -13	太陽紫外	34	16 : 04	

次に実際どの程度の長時間フライトが可能かみるために、過去数年にわたる気球飛行実験から、高度30km以上で飛行時間15時間以上のものを抜き出したのが第1表である。この表からも長時間フライトの可能な日は9月15日前後から、9月25日前後であり、無風状態を予測することにより、30時間以上のフライトが可能であると考えられる。

3. B₃₀-22, B₃₀-20の飛行経過

35km附近の無風状態の出現時間を予測するため、9月始めより毎日の上層風データをプロットし変化の様子を監視した。本年度からはテレックスが設置され、仙台および秋田の高層



第2図 1975年9月の上層風日変化

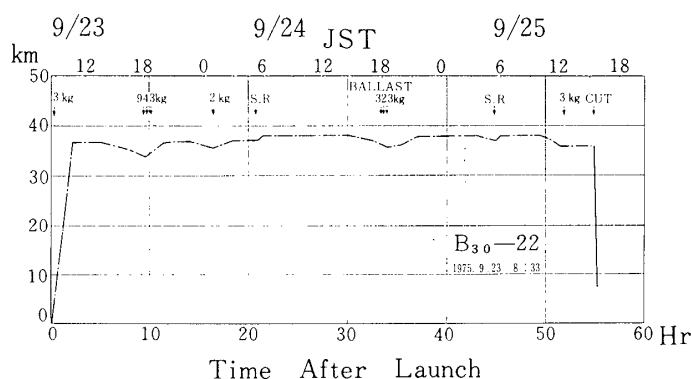
定時観測のデータがより早く入手出来るようになった。9月の上層風の変化を追ったのが第2図で、ロケットのデータも記入してある。まず9月17日の気象ロケットのデータから、東風は10m/秒以下と9月初め頃に比べてかなり弱まったことがわかった。9月19日には三陸より大型のゴム気球を飛ばして10mb 附近までの風を測定した。第2図にG-1として記入してあるが、17日に比べてあまり変化がない。2日後に再度大型のゴム気球を飛ばした結果、10mb 附近の風は著しく弱まっていることがわかった。G-2と記入してあるのがそれで、今回使用したゴム気球では10mb 附近までしか風の状態を知ることは出来なかったが、B₃₀-22のレベルフライト高度、6mb ではもっと風速が落ちているものと推定し、翌日9月23日の朝8時33分にB₃₀-22を放球した。

第2表 気球諸元

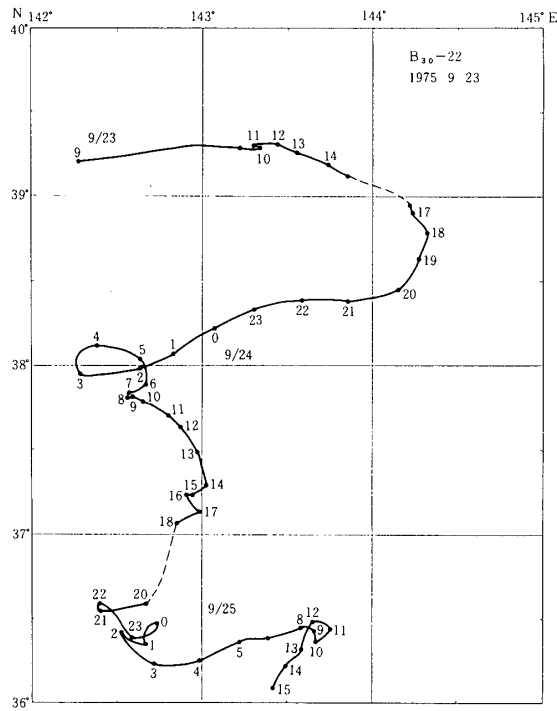
気球		B ₃₀ -22	B ₃₀ -20	B ₃₀ -21
気球容積	(m ³)	29,283	29,283	29,283
気球重量	(kg)	90.0	91.0	88.0
ゴンドラ	(kg)	42.5	44.9	47.1
パラシュート他	(kg)	7.0	8.1	8.1
パラスト	(kg)	28.5	32.0	31.0
補助パラスト	(kg)		12.0	20.0
総重量	(kg)	168.0	188.0	194.1
自由浮力	(kg)	18.0	22.0	22.0
総浮力	(kg)	186.0	210.0	216.1

その要目は第2表に示したが、総重量171kgで、パラストを28.5kg 搭載しており、レベルフライトは予定通り6mb (36km) に達した。

B₃₀-22の高度曲線および航跡図を第3図、第4図に示す。23日および24日の日没時には、

第3図 B₃₀-22 高度曲線

それぞれ16kgおよび8kgのパラスト投下で高度を保っている。航跡図からもわかるように風速は予想通り非常に弱い。気球は少しずつ南下しているが、東西方向の動きは、東風と西風が交互に吹いていて、全体としてそれ程大きく移動していない。航跡図で破線の部分は、停電のためと一部受信器の不調のためである。B₃₀-22は放球後55時間で観測を終了したが、これはバ



第4図 B₃₀-22 航跡図

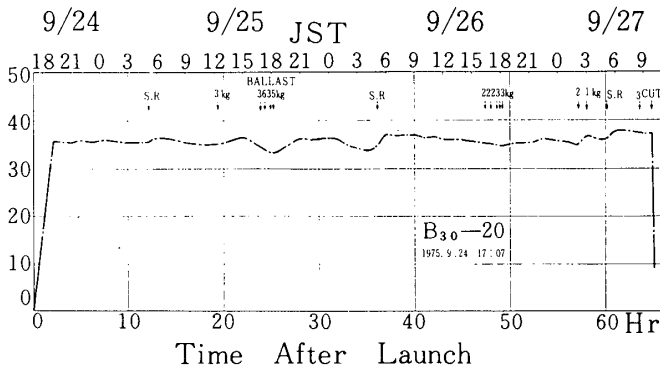
ラストを全部使用しつくしたため、3日目の日没による降下を補償出来ないと判断したため受信限界の点から考えると、更にあと20時間位の観測は可能であったと考えられる。

B₃₀-20は翌日9月24日17時07分に放球した。これはB₃₀-22のフライトで、予想通り風速が弱いことが確かめられ、この時期を逃がさず放球することが、長時間観測にとって重要と考えたためであり、9月24日の夜と9月25日は2機の気球による同時観測という点にも意味があった。受信系およびコマンド系は2系統同時に運転され、オンラインシステムによる航跡図の作図はB₃₀-20に対して行なわれ、

B₃₀-22の航跡は、オフラインで求めた。

B₃₀-20の要目は同じく第2表に示してある。基本的構成はB₃₀-22と同じである。ただしより一層長時間の観測を考え、観測器の電池容量を90時間分に増し、バラストも増加する必要があるため、補助バラストを付け加えた。

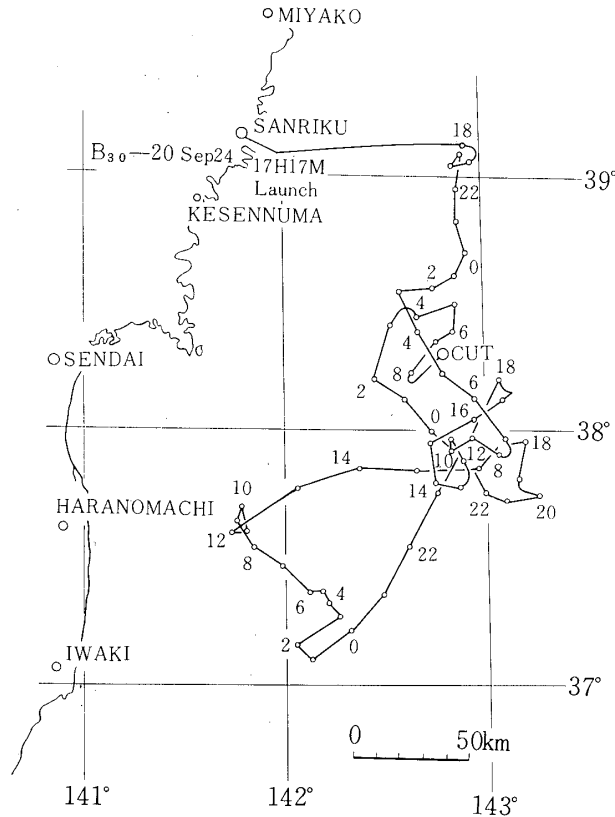
B₃₀-20の高度曲線を第5図に、航跡図を第6図に示す。気球の上昇中に日没を迎えたが補助バラストにより上昇速度を保った。9月25日、26日の日没時にはそれぞれ17kg、12kgのバラストに投下で高度を保っている。気球の総重量に対する割合は9.8%と7.7%であり、日没時のバラスト投下の時期の違いにより効果に差が現われたものと考えられる。一般に高度変化を少なくするように投下



第5図 B₃₀-20 高度曲線

するのがよさそうで、気球内ガス温の変化を考慮して日没時のバラスト投下をさらに検討する必要がある。

航跡図をみると先のB₃₀-22の場合よりもさらに風速が弱まっていることがわかる。水平浮遊直後からゆっくり南下しているが、これはB₃₀-22の2日目の航跡とよく似た動きをしており、緯度で2度位離れた所でも風向が変わらなかったことを示している。その後

第6図 B₃₀-20 航跡図

気球は複雑な動きをし、東西と南北の動きをくり返すようで全体として浮遊位置はそれ程移動していない。放球65時間後の気球の位置は、三陸観測所より南東わずか120 kmであった。これは10月に入ってからの第1機目の気球B₃₀-21が、10月4日放球後約20時間で三陸東方750 kmの受信限界まで流されたのと対照的である。B₃₀-20の場合はバラストおよび電池の容量も充分であり、より以上観測時間を延すことは可能であったが、50年度第2次実験全体のスケジュール等を考慮して観測を打切った。

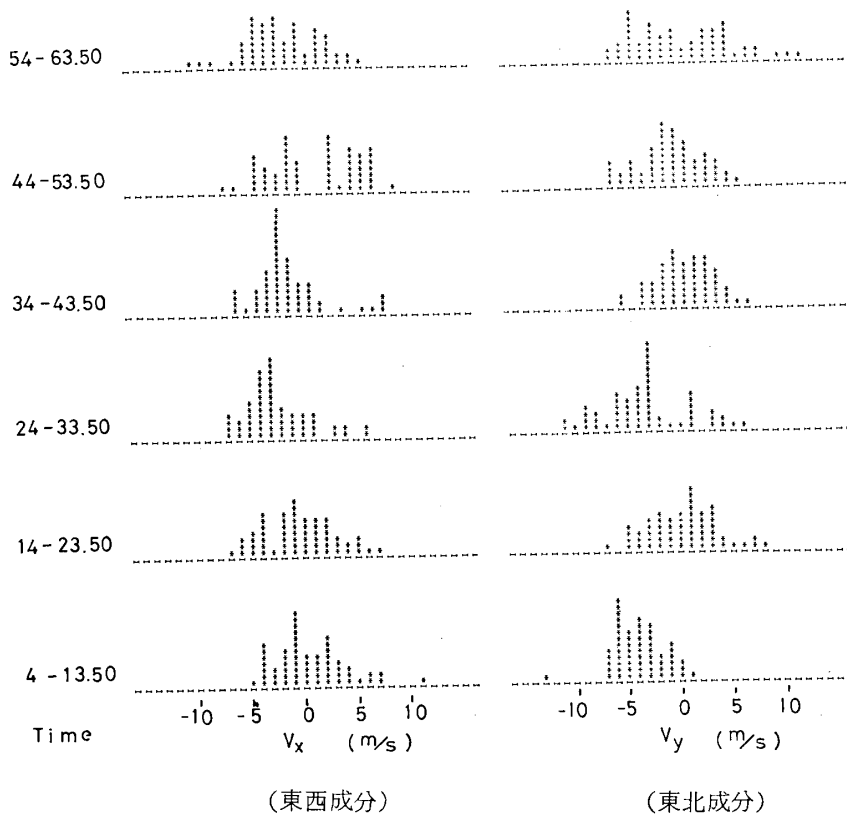
4. 高度35 km の風の変化について

9月23日のB₃₀-22の放球から、9月27日のB₃₀-20の切離しまでの5日間、上層風が予想通り非常に弱かったことは前節で述べた。特にB₃₀-20については、気球は三陸の受信点よりおよそ200 km以内の距離にあり、最後の切離し時まで受信状態は良好であった。この間、測距装置により10分毎に気球の位置が精度よく測られたので、B₃₀-20のレベルフライト中60時間の連続した風向、風速の変化を調べることが出来た。高度35 km附近の風をこのように長時間にわたって測定した例はないように思われる。

第7図は、B₃₀-20放球後4時間の9月24日21時から、10時間毎の風速の分布を示したものである。測距により10分毎に平均の風向、風速が求められるので、東西成分 V_x と南北成分 V_y に分けて頻度分布を10時間毎に集計しヒストグラムで示してある。 V_x 、 V_y 共に風速0を中心として、 ± 5 m/秒以内におさまっている。 V_x はほぼ正負対称で、 V_y が初めの10時間のみ負（北風）となっていたため、気球は初め南へ流されたがその後は、ほぼ同じ位置にとどまっている結果になった。

次にB₃₀-22、B₃₀-20の航跡をよく見ると、たとえば第6図で、18時の点は航跡の東の端に近く、また気球の流れる向きが大きく変化しており、1日経過する間によく似た航跡をえがいている。上層風の周期的変化が予想されるので V_x 、 V_y の自己相関関数を調べたのが第8図である。 V_x については12時間周期、24時間周期が存在することがわかる。

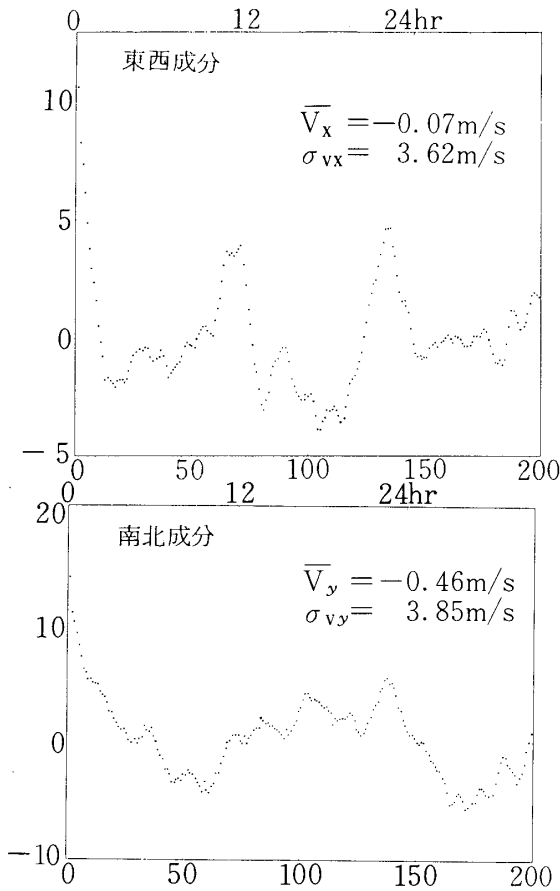
この上層風の同期変化は大気の潮汐現象として知られているもので気象学的にも興味深い。そこで第8図にみられる半日周期および一日周期が、気球の高度変化によって現われた疑似



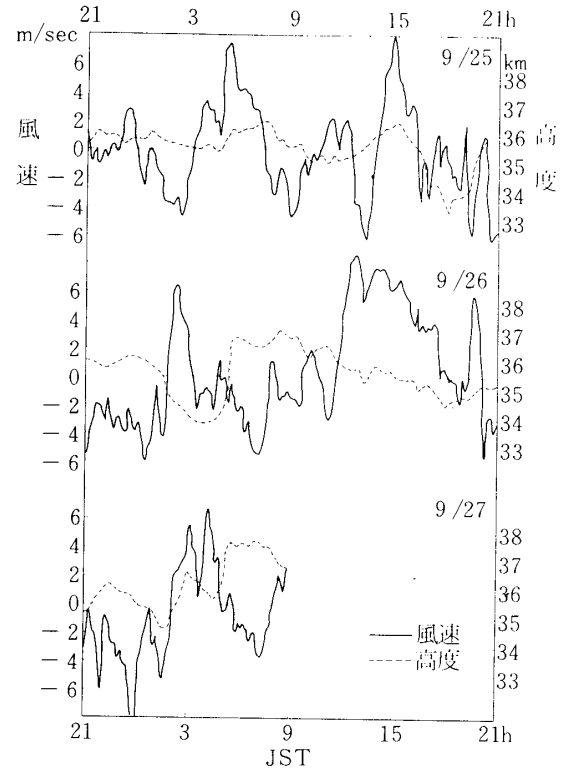
第7図 風速の分布

周期でないことを確かめるため、高度と風速の相互相関関数および相関図を作ってみた。その結果 V_x の周期変化が気球高度の変化によっているものではないと考えられた。このことを具体的に示すため $B_{30}-20$ の航路から得られた、10分毎の風速の変化の生データを、その時の気球の高度と共に示したのが第9図である。高度は約 35 km を中心に上下 1 km 位の間に入っている。第1日目の5時頃に高度が 35 km より高くなり、 V_x もプラスになっているが、第2日目の3時頃には高度が 35 km より低くなった時、 V_x がプラスになっていることから、 V_x の変化が高度の変動によるものでないことがわかる。

$B_{30}-20$ にみられる V_x の半日周期と1日周期について、振巾および位相を調べるため、最初の2日分のデータを重ね合せて、2時間毎の平均値およびフーリエ分解の結果を図示したのが第10図である。1日変化については、振巾が 1.74 m/秒、風速最大の時刻が13時頃、半日周期については、振巾が 1.89 m/秒で、風速最大の時刻は2時および14時頃となっている。

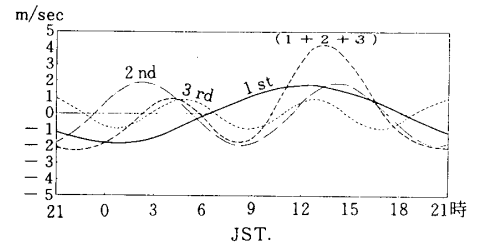


第 8 図 風速の自己相関



第 9 図 風速と高度の日変化

これまで大気の潮汐現象は、地上の気圧変化、上層の風速変化について調べられている。半日周期および 1 日周期の存在が知られているが、地上の気圧の場合、高気圧、低気圧の動きによる変化が大きいので、10 年間位の長期間のデータを解析しないと、半日および 1 日の周期は、はっきりしない。上層風の周期変化については、25 km 附近までは、定時観測のゴム気球のデータを数多く集積したものから、30 ~ 50 km の風についてはロケットを連続して何回か打上げることによって調べられている。今回の B₃₀-20 のフライトから得られたような、高度 35 km 附近の風について、長時間連続してデータが得られた例はあまりないと思われる。



第 10 図 風速の周波数成分

第 8 図の風速の自己相関および、第 10 図から半日周期および 1 日周期の存在がかなり明瞭である。約 60 時間のデータから、このように半日周期および 1 日周期が見つかったのは、ちょうど風速がゼロに近い状態で気球を放球したため、小さな振巾の周期変化を見つけやす

かったものと考えられる。この周期変化の振巾，位相については，大気潮汐の理論とも比較検討する必要があるが，この様な現象が風速の弱い時にのみに生ずるのか，又は常時存しているのか次の長時間フライトにより更に確かめたいと考えている。

5. むすび

B₃₀-22およびB₃₀-20は，それぞれ55時間，65時間という長時間観測を行なうことができた。これらの気球を放球した時期は，第2図からもわかるように，10~30mb附近には，まだ東風がはっきり残っている時期であった。これより10日後に放球したB₃₀-21の場合には，もう20mb附近に東風がなく，気球は時速約30kmの西風に流され，東方700kmで受信限界となり，24時間の観測にとどまった。

このように9月末の上空6mb附近の風速を，20mb附近までのゴム気球のデータから推測することは非常にむずかしいが，20mb附近に東風が若干残っている時期に，6mb附近で風がなくなっている可能性が高い。9月末には東風が上空ほど早くなくなることは，気象庁のロケットのデータの解析にも現われている[7]。このように6mb附近で風がなくなる日を予測するには，毎日のゴム気球のデータおよび週1回のロケットのデータからある程度可能である。実際には今回の観測の場合のように，大型のゴム気球を何回か放球してデータの不足している部分をおぎない，かつ最終的にはその高度の風向，風速を確かめるのがよいと考えられる。

今回は9月末に限っての実験であるが，5月始めの東風の出現の時期をねらっても，同様に長時間フライトの可能性があり，将来この時期についても検討を加えたいと考えている。

気球による長時間観測は，太陽フレアー，ガンマ線バーストをはじめ，稀にしかおきない現象をとらえるためにきわめて有効であり，各国とも長時間フライトには努力を続けている。我が国では，国土が狭いため，長時間観測は困難であると考えられていたが，今回のように上層風について詳しい分析と予測を行なうことにより，また今後若干の改良を加えることにより，数日間にわたる長時間観測が可能であることがわかった。

この上層風のきわめて弱い時期に放球する方式は，稀な現象を監視する気球という意味でパトロール気球と呼ぶことにし，この方式を今後とも検討したい。年に1~2回は気球実験に長時間観測をくみ入れて，日本における気球観測の特長の一つとして，発展させてゆきたいと考えている。

1976年6月21日 新設部（工学）

参 考 文 献

- [1] 藤本陽一他：「プラスチック気球I」
東京大学原子核研究所，INS-TCB-2，（1962）
- [2] 西村 純他：「ブーメラン気球」
宇宙航空研究所報告，9，1（B），1，（1973）
西村 純他：「プログラムブーメラン」

- 宇宙航空研究所報告, 11. 2 (B) (1975)
- [3] 太田茂雄他: 「リレー気球」
大気球シンポジウム報告 昭和 49 年度
- [4] 仙台高層気象表
仙台管区技術資料第 1 号 (1969)
- [5] 「Aerological Data of Japan」Japan Meteorological Agency (1970)
- [6] 「Atmospheric Tides」
R. Lindzen and S. Chapman : Space Science Reviews **10** No 1 (1969)
「Atmospheric Tidal Motions over Australia below 20 km」
M. Willson : Monthly Weather Review **103** , 1110 (1975)
- [7] 「気象ロケット観測資料による成層圏天気図」気象庁技術報告 第 88 号 (1974)