

ダブルトランシット法によって決定されるパイバル高度の特徴

*中川清隆・波来 雄・榎原邦洋(立正大・地球環境科学)・浜田 崇(長野県・環境保全研)・
田中博春(首都大学東京・都市環境)・榎原保志(信州大・教育)

I. はじめに

長野市裾花川谷口の学校グランドにおいて、ヘリウムガスを充填して 150m/分の一定上昇速度を持つ様に純浮力を 55.7g に調節された自重 20g の気球を用いたパイバル観測を、2008 年 8 月 30 日正午～翌 31 日正午の毎正時に実施した。基線長 53.28m のダブルトランシット法により気球の方位角・高度角を 2 秒間隔で 20 分間測定し、その結果に基づく気球の地上高度の時間変化の直接測定を試みた。

図 1 に示すように、第 1 および第 2 トランシットからみた相互の方位角を、それぞれ、 δ_1 および δ_2 、両トランシット間距離を L、上空にある気球の両トランシットから見た方位角と高度角を、それぞれ、 ϕ_1 、 θ_1 、 ϕ_2 、 θ_2 とする、簡単な幾何学から、気球の地上高度 H は、

$$H = L / \{ \cos(\phi_1 - \delta_1) / \tan \theta_1 + \cos(\phi_2 - \delta_2) / \tan \theta_2 \} \quad (1)$$

である。180° とならねばならない δ_1 と δ_2 の差には、磁針による方位決定に起因する誤差が存在するので、双方に半分づつ配分して調節した。

II. ダブルトランシット法による観測事例

放球とともに 2 台のトランシット TAMAYA TD-4 の meas ボタンを押し、放球直後は補助者の誘導に従い気球をロックした時点で miss ボタンを押す体制とした。図 2 に 8 月 30 日 12:00 観測の際の第 1 トランシットの方位角と高度角の時系列を示す。小雨の中決行され、第 1 トランシットは放球後 24 秒目にロックしたが、第 2 トランシットは 120 秒後にロックした。方位角は放球当初はほぼ 180° で、その後半時計回りに回転し、1200 秒後にはほぼ 20° となった。重ねて示されている 14 秒移動平均と素データは一見すると区別できないが、誤差（移動平均からの偏差）時系列は明瞭な減衰振動を示す。放球 200 秒後以降は、100 倍增幅された誤差時系列も示してあるが、二乗平均誤差は 0.0371° で一様のように見える。高度角は放球後 16 秒で 62° まで増加した後漸減に転じ、放球 200 秒後以降は、ほぼ 40° で推移した。高度角と同様に、誤差（移動平均からの偏差）時系列は明瞭な減衰振動を示し、200 秒後以降の二乗平均誤差は 0.0241° で一

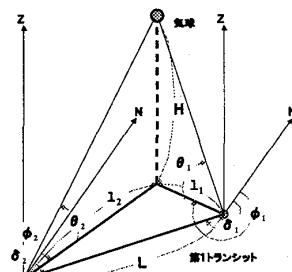


図 1 ダブルトランシット法概念図
記号等については本文参照

様の様に見える。第 2 トランシットの方位角および高度角の 200 秒後以降の二乗平均誤差は、それぞれ、0.0356° および 0.0254° でほぼ同様の大きさであり、両トランシットの誤差の間には相関関係も認められなかった。

移動平均された方位角・高度角からダブルトランシット法により求められた気球の高度時系列を図 3 に太実線で示す。第 2 トランシットが放球後 120 秒までロックできていないので、その間の軌跡は極めて異様で、106 秒の高度は 3606m にまで達している。素データから求めた高度が、ロック前は○印、ロック後は細実線で重ねて示されているが、ロックされた 120 秒～400 秒（高度 1000m）の間は、素データと移動平均の間に殆ど差異がなく、150m/分の一定上昇速度とも良く一致している。400 秒以降（高度 1000m 以上）は、移動平均から求めた軌跡と素データから求めた軌跡の間の短周期の誤差が漸増するとともに、ダブルトランシットから求めた高度が 150m/分の一定上昇速度の場合の高度を下回り加減となっている。短周期の誤差の漸増が方位角・高度角の測定誤差の伝播である一方で、ダブルトランシットから求めた高度が 150m/分の一定上昇速度の場合の高度に比較して低い事実は、当該気層内における下降気流の存在を示唆する。

III. ダブルトランシット法における誤差伝播に関する若干の考察

(1) 式の全微分取った後に整理することによりダブルトランシット法による高度測定値の相対誤差を与える式として、次式を得る。

$$dH/L = (1/L) dL + (H/L) \{ (d\phi_1 - d\delta_1) \sin(\phi_1 - \delta_1) / \tan \theta_1 + (d\phi_2 - d\delta_2) \sin(\phi_2 - \delta_2) / \tan \theta_2 - d\theta_1 \cos(\phi_1 - \delta_1) / \sin^2 \theta_1 - d\theta_2 \cos(\phi_2 - \delta_2) / \sin^2 \theta_2 \}$$

基線長誤差 dL の伝播は気球高度 H に独立であるので、放球時間に対応して高度相対誤差 dH/L が拡大することはないが、 $d\phi_1$ 、 $d\delta_1$ 、 $d\phi_2$ 、 $d\delta_2$ の伝播による誤差は気球高度 H に比例するので、放球時間に対応して高度相対誤差が拡大する。簡単のために、パイバルが第 2 トランシットの真上を上昇する場合を想定すると、角度測定誤差伝播による高度相対誤差 dH/L は、

$$dH/L = -d\theta_1 (H/L + L/H)$$

となる。上式は $H/L=1$ の時に相対誤差の絶対値が最小で、 $d\theta_1=0.0371^\circ$ の場合に $H/L=20$ で約 1.3% の相対誤差が発生することを示唆する。

IV. おわりに

図 3 に重ねて示されている 8 月 31 日 00:00 の測定結果は極めてユニークである。放球後 400 秒以降の振動は誤差伝播によると思われるが、それ以前の放球後 200 秒～400 秒の高度変化は、実在する現象なのかノイズなのか即断できない。発表当日は、他のランの結果や航跡図も示す予定があるので、種々ご教示賜れば幸甚である。

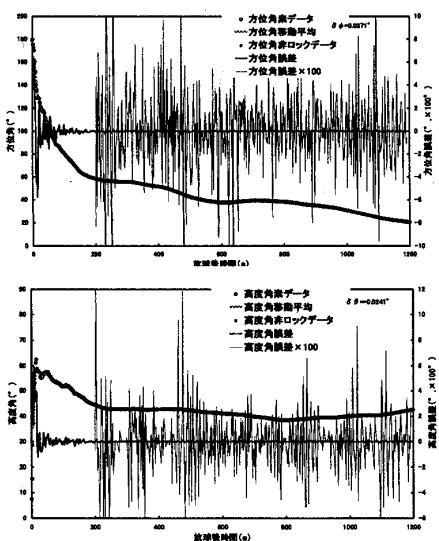


図 2 第 1 トランシットの方位角（上）と高度角（下）の素データと 14 秒移動平均・誤差（8/30 12:00 観測）

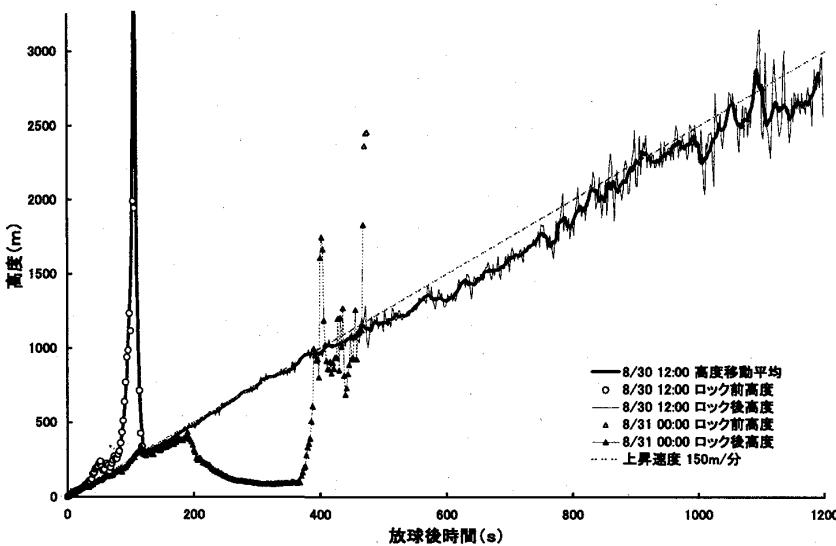


図 3 ダブルトランシット法による気球高度時系列の例（8/30 12:00 および 24:00）

白抜：ロック前、黒塗：ロック後、太実線：12:00 の移動平均データによる計算結果、破線：シングルトランシット法