

[技術資料]

低層気象解析プログラムの作成

Development on the analytical program of low altitude wind structure

泉川 泰三* 興嶺 清志*

Tizou IZUMIKAWA and Kiyoshi OKIMINE

はじめに

1 解析方法

ごみ処理施設の建設に伴い、一般的に行われる環境影響調査の中に、低層気象観測がある。

これには、一般にカイツーンと呼ばれる係留気球に、風向・風速・温度・湿度などの計測器をつけて地上より操作しながら、各高度におけるデータを採取するものや、ノンリフトバルーンと呼ばれる特定の高度を、気流に乗って浮遊する気球を、地上から測風経緯儀を用いて方向と高度を測定することにより風向や風速を、又、気球の流跡線図を得ることができるものがある。この流跡線図は一般に、特定高度の気塊の流跡を示すものとされている。

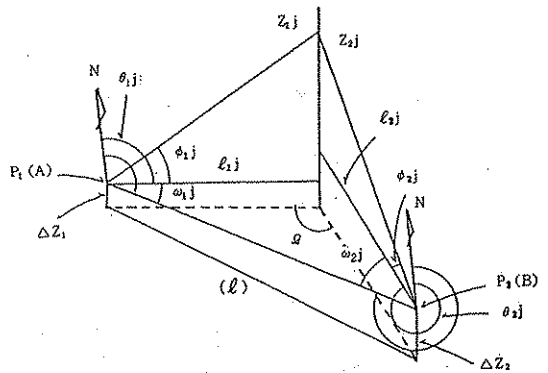
また、パイロットバルーンと呼ばれる直径1m程度の気球を地上より放球し、その気球を、前述の測風経緯儀で追跡することにより、上層の気流の方向や速さなどを簡便に観測する方法が知られている。

このうち、ノンリフトバルーンやパイロットバルーンによるデータの解析は、三角関数などの複雑な計算式を用いて行われ、また、算出された結果を作図する必要もあり、手作業では多大な労力を要する。

このため、コンピュータを用いて、観測データを入力することにより、解析結果の作表・作図を行うプログラムを作成したので、以下にその概略及び解析結果の一例を示すことにする。

1.1 ノンリフトバルーンのデータ解析方法

適当な距離にある観測点、2点 (P_1 と P_2) から、測風経緯儀を用いて、方位角及び高度角を観測することによりノンリフトバルーンの座標を決定し、そのデータをもとに、気流の水平・垂直流速や向きを測定する方法である。以下に、その解析方法を示す。



- l : P_1 点から P_2 点までの基線の長さ
- θ_{1j} : P_1 点からノンリフト・バルーンを見た方位角
- ϕ_{1j} : P_1 点からノンリフト・バルーンを見た高度角
- θ_{2j} : P_2 点からノンリフト・バルーンを見た方位角
- ϕ_{2j} : P_2 点からノンリフト・バルーンを見た高度角
- ΔZ_1 : P_1 点の基準の地表面からの高度
- ΔZ_2 : P_2 点の基準の地表面からの高度
- j : j 番目の観測値

* (株)日本環境衛生センター東日本支局環境科学部
 Department of Environmental Science, East
 Japan Branch, Japan Environmental Sanitation
 Center

図1-1
 測風経緯儀によるノンリフトバルーンの観測

図1-1において三角形の内角の和より

$$\Omega = 180 - (\omega_{1j} + \omega_{2j})$$

また、三角形における比例関係より式が成り立ち各点からのバルーンの水平距離を l_{1j} , l_{2j} とすると

$$\frac{l}{\sin \Omega} = \frac{l_{1j}}{\sin \omega_{2j}} \quad \therefore l_{1j} = \frac{\sin \omega_{2j}}{\sin \Omega} \times l$$

同様に

$$\frac{l}{\sin \Omega} = \frac{l_{2j}}{\sin \omega_{1j}} \quad \therefore l_{2j} = \frac{\sin \omega_{1j}}{\sin \Omega} \times l$$

を得る。

次に、 P_1 より見たノンリフト・バルーンの高度 Z_{1j} は、

$$Z_{1j} = l_{1j} \times \tan \phi_{1j} + \Delta Z_1$$

同様に、 P_2 点より見たノンリフト・バルーンの高度

Z_{2j} は、

$$Z_{2j} = l_{2j} \times \tan \phi_{2j} + \Delta Z_2 \quad \text{となる。}$$

主局 P_1 点からみたノンリフト・バルーンの座標を X_j ,

Y_j , Z_j とすると (Y 軸の正方向に N を合わせる)

$$X_j = l_{1j} \times \sin \theta_{1j}$$

$$Y_j = l_{1j} \times \cos \theta_{1j}$$

$$Z_j = \frac{Z_{1j} + Z_{2j}}{2} \quad \text{となる。}$$

ノンリフト・バルーンを水平面に投影した位置の時間的変化は、観測時間間隔を ΔT とすると、次のように表わされる。

$$\sqrt{(X_j - X_{j-1})^2 + (Y_j - Y_{j-1})^2} / \Delta T = V_j$$

(ΔT 時間に亘る平均水平風速に相当する)

また、ノンリフト・バルーンの高度の時間的変化は、

$$(Z_j - Z_{j-1}) / \Delta T = W_j$$

で表わされる (上昇, 下降流に相当する)。

ノンリフト・バルーン的位置変化より風向を求めると、

$$WD_j = 90 - \tan^{-1} (\Delta Y_j / \Delta X_j)$$

$$WD_j = 270 - \tan^{-1} (\Delta Y_j / \Delta X_j) \quad \text{ただし、} (\Delta X_j, \Delta Y_j \text{の符号によって風向を決める。})$$

$$\Delta X_j = (X_j - X_{j-1})$$

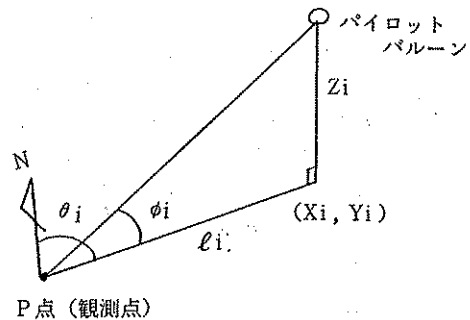
$$\Delta Y_j = (Y_j - Y_{j-1})$$

1.2 パイロットバルーンのデータ解析方法

浮力を調節することにより、上昇速度を一定にした気球を用いて、一定時間ごとの、気球の方位角と高度角を観測することにより、高度別の風向・風速を簡便に算出する方法である。

以下に、その解析方法を示す。

図1-2の条件より、 i 回目の観測時におけるバルーン



ここで

li : i 回目に観測した時の P 点

から、気球までの水平距離

θ_i : P 点から、パイロットバルーンを見た方位角 ($^\circ$)

ϕ_i : P 点から、パイロットバルーンを見た高度角 ($^\circ$)

X_i, Y_i, Z_i : i 回目に観測した時のパイロットバルーンの座標

図1-2 測風経緯儀によるパイロットバルーンの観測

注) ここで、気球の上昇速度は、50m/20秒とし、観測間隔を20秒としている。

の高度 (Z_i) は、

$$Z_i = 50 \times i \text{ (m)} \quad \dots\dots (1)$$

また、気球までの水平距離 (ℓ_i) は、三角関数に関して

$$\ell_i = Z_i \times \frac{1}{\tan \phi_i} = 50 \cdot i \cdot \frac{1}{\tan \phi_i} \text{ (m)} \quad \dots (2)$$

パイロットバルーンの水平方向の座標 (X_i, Y_i) は、南北軸をY軸、東西軸をX軸とした場合、それぞれ

$$X_i = \ell_i \cdot \sin \theta_i \text{ (m)}, Y_i = \ell_i \cdot \cos \theta_i \text{ (m)} \quad \dots (3)$$

であり、これをもとに水平方向の風速 (V_i) を求める式は、

$$V_i = \sqrt{(X_i - X_{i-1})^2 + (Y_i - Y_{i-1})^2} / 20 \text{ (m/秒)} \quad \dots\dots (4)$$

となる。

次に、パイロットバルーン的位置変化より風向方位角を求めると

$$WD_i = A - \tan^{-1} \left(\frac{Y_i - Y_{i-1}}{X_i - X_{i-1}} \right) \quad \dots\dots (5)$$

(ただし、Aは X_i-X_{i-1}, Y_i-Y_{i-1}の符号により異なる。)

以上のような関連式をもとに、コンピュータを用いた解析プログラムを作成した。

1.3 フローチャート

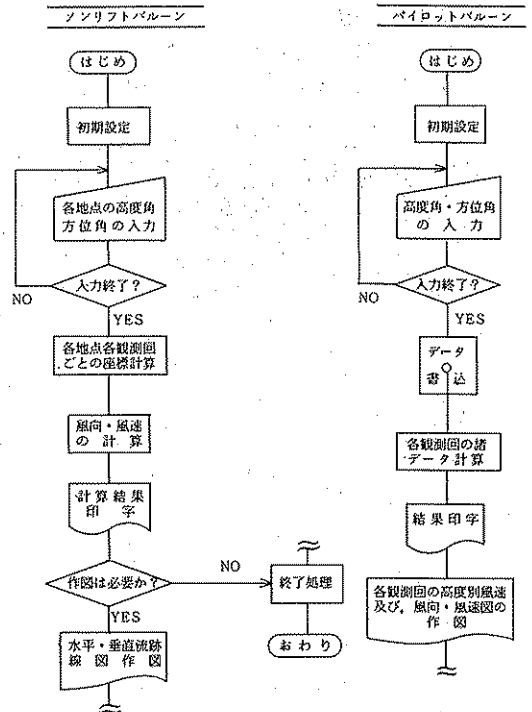


図1-3 プログラムフローチャート

2 解析結果

2.1 ノンリフトバルーンの解析例

以下にノンリフトバルーンのデータ及びその解析例を示す。

表2-1 ノンリフトバルーン解析表

No.	φ1 (°)	θ1 (°)	L1 (m)	φ2 (°)	θ2 (°)	L2 (m)	X	Y	Z	W (m/s)	V (m/s)	WD (°)
0	180.5	227.6	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
1	182.1	224.6	782.6	178.8	147	765.2	-549.5	-557.2	231.2	***	***	***
2	176.3	211.9	738.4	174.5	141	915.4	-390.2	-626.9	305.4	2.5	5.8	113.6
3	169.9	192.3	764.9	170.5	136	1156.5	-163	-747.4	402.4	.8	8.6	117.9
4	168.7	176.1	903.1	170.5	133.8	1423.9	61.4	-901	446.9	-1.8	9.1	124.4
5	169.4	163.8	1079.8	171.5	131.5	1692.4	301.2	-1036.9	465.	-.9	9.2	119.5
6	169.5	154.8	1285.6	171.3	129.5	1961.7	547.4	-1163.3	506.7	.8	9.2	117.2
7	170	148.5	1542.3	171.1	128.3	2258.2	805.8	-1315	550.3	.1	10	120.4
8	169.8	144.1	1824.3	171.6	127.5	2566.4	1069.7	-1477.8	591.1	-.1	10.3	121.7
9	170.9	141.2	2055.4	172.2	126.8	2815.2	1287.9	-1601.8	594.9	-1.2	8.4	119.6
10	171.7	140.4	2263.6	172.8	127.2	3024.6	1442.9	-1744.1	593.7	-.2	7	132.6
11	171.2	139.1	2506.7	172.4	127.2	3273.6	1641.2	-1894.7	649.9	1.9	8.3	127.2
12	171.2	137.1	2689.4	172.3	126.3	3470.6	1830.7	-1970.1	680.3	-.9	6.8	111.7
13	170.9	134.9	2934.6	172	125.3	3731	2078.7	-2071.5	734.7	.8	8.9	112.2

(1) 解析データの表示 (各項目名については、前述の計算概略を参照)

表 2-1 に解析に用いたデータを表示した。

(2) 水平方向のノンリフトバルーンの流跡線図

図 2-1 において A, B 点が観測地点, C 点がノンリフトバルーン放球地点であり, 気球がほぼ南東方向へ移動してゆくようすがわかる。

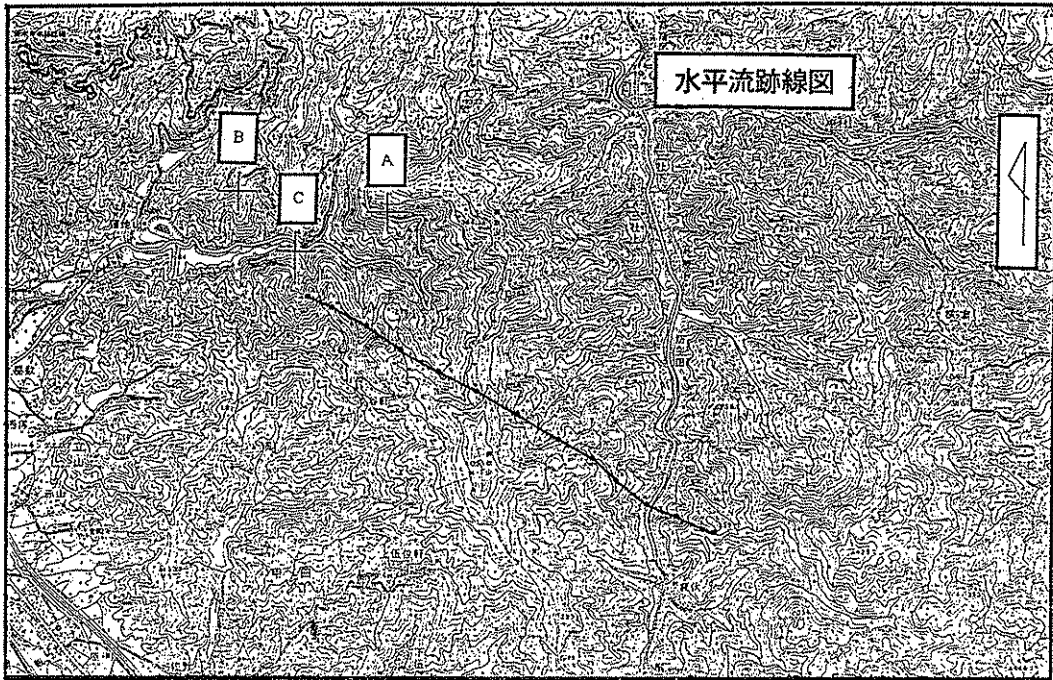


図 2-1 水平方向のノンリフトバルーン流跡線図

(3) 垂直方向のノンリフトバルーンの流跡図

図 2-2 は各測定回ごとのバルーン高度 (Z) を

表示したものであり, 多少変動があるものの, 高度 500~600m を推移している。

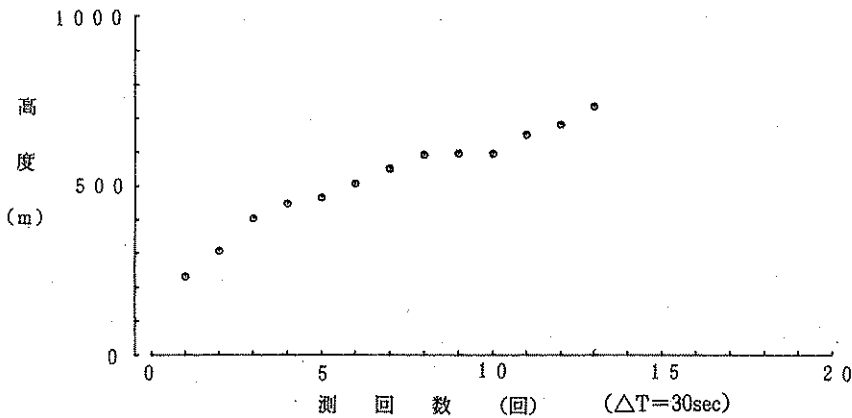


図 2-2 垂直方向のノンリフトバルーンの流跡図

2.2 パイロットバルーンの解析例

以下にパイロットバルーンのデータ及びその解析例を示す。

(1) 解析データの表示

表2-2に解析を用いたデータを表示した。風向は風向方位角をもとに算出した。

表2-2 パイロットバルーン解析表

高度(m)	高度角(°)	方位角(°)	水平距離(m)	風速(m/s)	風向方位角(°)	風向
0-50	20.3	222.2	135.2	6.8	42.2	NE
50-100	16.2	221.9	344.2	10.5	41.7	NE
100-150	15.1	221.6	555.9	10.6	41.1	NE
150-200	14.4	221.2	778.9	11.2	40.2	NE
200-250	13.9	221.0	1010.2	11.6	40.3	NE
250-300	13.4	220.1	1259.3	12.5	36.5	NE
300-350	13.0	220.0	1516.0	12.8	39.5	NE
350-400	12.6	220.5	1789.5	13.7	43.3	NE
400-450	12.2	221.1	2081.3	14.6	44.8	NE
450-500	11.9	221.9	2372.7	14.6	47.6	NE
500-550	11.7	222.4	2655.9	14.2	46.6	NE
550-600	11.5	222.9	2949.1	14.7	47.4	NE
600-650	11.5	223.3	3194.9	12.3	48.1	NE
650-700	11.5	223.5	3440.6	12.3	46.1	NE
700-750	11.6	223.8	3653.7	10.7	48.6	NE
750-800	11.7	223.9	3863.1	10.5	45.6	NE
800-850	11.7	224.0	4104.5	12.1	45.6	NE
850-900	11.8	224.1	4308.1	10.2	46.1	NE

(2) 高度別風速プロファイル及びべきの値

・風速の鉛直分布は一般に下記の式で表わされるべき法則で近似される。

$$u = u_0 \cdot (Z/Z_0)^p$$

u : 高度 Z における風速
 u_0 : 基準高度 Z_0 における風速 ($Z_0=10m$)
 p : べき

このべきの値により大気の安定度を推定することができるわけで、高度別風速プロファイルを求めることにより、べき法則の成立の有無の判定及びべきの推定が出来る。

図2-3の例では地上600mまではべき法則が成立している。

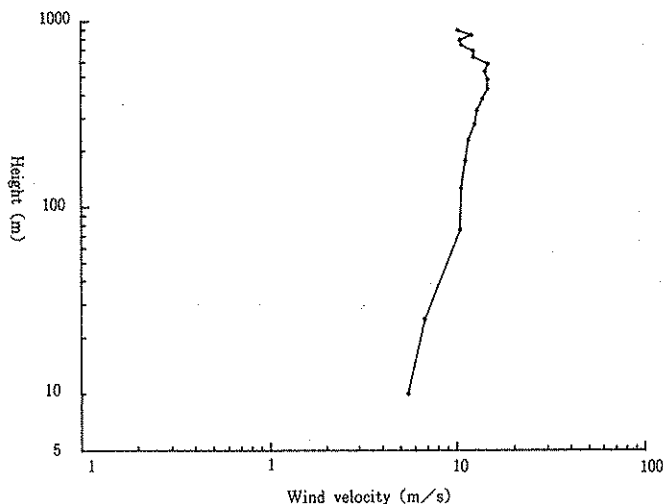


図2-3 パイロットバルーン高度別風速

(3) 高度別風向・風速の経時変化

図2-4は各観測回ごとに高度別の風向・風速を記号を用いて示したものである。

弱い冬型から移動性高気圧下に変化し、上層の北東風が弱まるとともに、地上から南東系の風が午後から夕方にかけて侵入している様子がわかる。

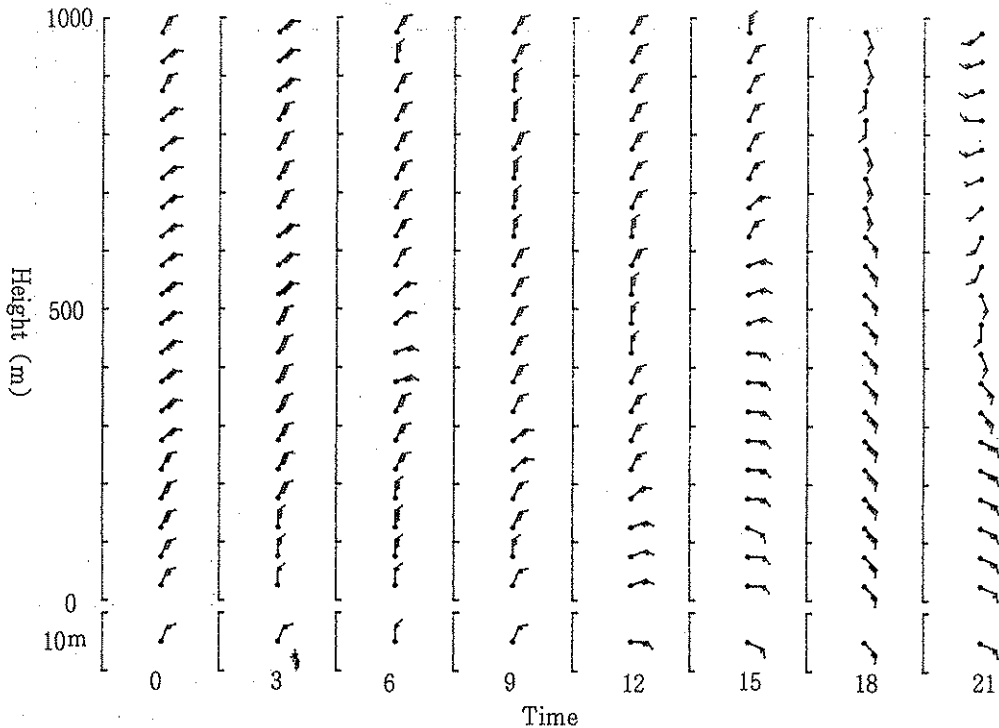


図2-4 パイロットバルーンの高度別風向風速

おわりに

えられる。

気象観測結果の解析は、一般的に莫大なデータと、複雑な計算を必要とする場合が多い。

このため、データ整理のための多大な時間と労力を解消するために、コンピュータを用いる解析プログラムを作成した。比較的簡単なプログラムではあるが、報告書作成に要する時間が、大幅に短縮され、また、X-Yプロッターによる作図機能を充実させたため、視覚的にデータを見ることができ、データの解析が容易になったと考

参考文献

- 1) 気象庁：高層気象観測指針 1973年
- 2) 気象庁：測風気球観測常用表 1973年
- 3) NEC：PC9801HE BASICプログラミング入門
- 4) NEC：N₈₀-日本語BASIC (86) 入門
- 5) オーム社：環境アセスメント手法入門