

「高層気象観測装置 (MARWIN RAWINSONDE SET MW12)」を使って*

萩野谷 成 徳**・藤 谷 徳之助***

1. はじめに

昭和62年度科学技術振興調整費「太平洋における大気・海洋変動と気候変動に関する国際共同研究」によって赤道域の高層観測を行った。そのときに使用した高層気象観測装置はフィンランドのVAISALA社の製品である。このメーカーの高層気象観測装置には「DigiCORA RAWINSONDE SET MW11」があり、これは長崎海洋気象台所属の海洋気象観測船「長風丸」で現在使用中である。その仕様については上橋・横田 (1987) に述べてある。今回使用した装置はこの姉妹機種である。機器構成はほとんど同等であるが、ソフトウェアに改良が加えられ全体として処理速度が向上している。本稿ではこの装置を実際に使ってみた立場からの感想も交えて紹介したい。

2. 高層観測方式の概要

本装置はオメガ方式を用いて高層風観測を行う。オメガ方式は、ロランC、ロランA、デッカと同様に船舶等の移動体の位置決定に使われる電波航法援助システムの1つである。その特徴は10 kHz 帯の電波を用いるので電離層伝搬を利用でき、世界中を8局の送信局で覆うこ

とができることである。

オメガ方式では異なる二つの局から到達するオメガ電波等の位相差を測定することで相対的な位置測定を行っている。これを二対以上 (3局以上) の局で行うと二次元的な位置決定をすることができる。なおオメガ方式による高層風観測については青柳・吉留 (1978) や浅井ら (1979) の詳細な報告があるのでそちらを参照してもらいたい。

位置の測定原理の違いにより従来の方法に比べ地上 (船上) のアンテナ施設を著しく簡略化できる。すなわち従来の高層風観測方式*では地上のアンテナで風に流されて浮遊するゾンデの位置を直接追跡しなければならないが、オメガ方式ではゾンデが受信した航法援助電波を400 MHz 帯のゾンデの周波数にのせて地上局へ送るだけで済むからである。このため動揺のある船上での観測には最適である。もちろん陸上での移動観測にもその手軽さは十分に発揮される。その際にはパラシュートを付け陸上に落下しないように注意する必要がある。

オメガゾンデで測定する風は、高度分解能の点で境界層の観測データとしては十分とはいえない。これは同じオメガ局からの電波の発信サイクルが10秒なので生データの気球位置の高度分解能が約50 m (上昇速度毎分300 m の場合) であることと、10秒毎の水平位置データの信頼性が低いため最大25個 (250秒間、高度分解能1250 m) の位置データを移動平均して風速を求めているからである。

同一の気球において、精測レーダーで測定した風向・風速とオメガ方式で測定した風向・風速の相互比較によれば (Hooper, 1986), 精測レーダーによる測定値を真値とするとオメガ方式の二乗平均誤差は $1.3 \sim 2.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 最大風速は移動平均操作のためオメガゾンデの方が約 $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 小さいということが報告されている。なお風速の測定レンジは $0 \sim 99.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 風向は $1 \sim 360^\circ$ であ

* On the application of "Aerological observation system (MARWIN RAWINSONDE SET MW12)" to atmospheric boundary layer observation.

** Shigenori Haginoya, 気象研究所物理気象研究部.

*** Tokunosuke Fujitani, 気象研究所応用気象研究部.

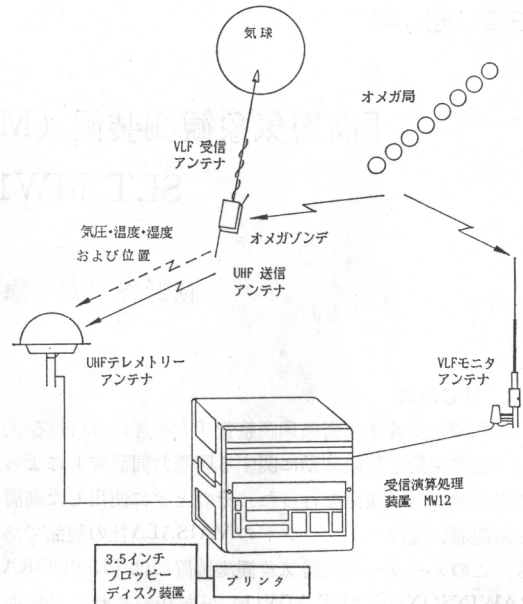
——1988年7月14日受領——

——1988年10月13日受理——

脚注 #: 精測一次レーダー方式 (気球にレフレクタをつけて追跡), ラジオセオドライト方式 (ゾンデが出す1680 MHz の電波で追跡).

る。

気圧センサーは容量式アネロイド気圧計、温度センサーは容量式ビーズ温度計、湿度センサーは容量式薄膜センサー湿度計を使っている。これらのセンサーはそれぞれの気象要素の変化を静電容量の変化に変換しそれをさらに周波数に変換している。センサーの分解能はメーカーの仕様書によると気圧 0.1 mb, 気温 0.1°C, 湿度 1 %, また精度は気圧 ± 0.5 mb, 気温 ± 0.2 °C, 湿度 ± 2 %である。これらの値は現在気象庁で使用しているラジオゾンデのセンサーとほぼ同じである。センサーの追従性は 1000 mb のもとで $6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ の流れの中に置いたとき温度計は約 2.3 秒, 湿度計は約 1 秒のタイムラグを持つ。温度計のタイムラグ τ と風速 U との間には $\tau \sim U^{-0.5}$ の関係がある (近藤, 1982) ので毎分 300 m の上昇速度では温度の高度分解能は $2.3 \times (6/5)^{0.5} \times 5 \div 12.6 \text{ m}$, 湿度のそれは温度計と同様の関係が成り立つとすれば $1 \times (6/5)^{0.5} \times 5 \div 5.5 \text{ m}$ と見積ることができる。このように温度湿度については境界層のデータとしても十分に使えるので今回の観測では 2 秒毎のデータについて解析を試みた。結果については別報 (萩野谷) で述べる。



第 1 図 観測システムダイアグラム

3. 今回観測船に搭載した観測装置およびソフトウェアの概要

高層風観測装置は受信演算処理装置 (MW12), 3.5 インチフロッピーディスク装置 (MF11), 15 インチプリンタ, オメガ電波受信用 VLF アンテナ (モニタ用), ゾンデからの信号受信用 UHF アンテナ, 放球装置から成る (第 1 図 + 写真)。

本装置の特徴の一つは豊富なデータ処理ソフトウェアである。ソフトウェアは ROM (Read Only Memory: 読みだし専用記憶素子) 形式で与えられ、いろいろなソフトウェアを付けることができる。今回使用したプリント出力用ソフトウェアは第 1 表の通り。

4. 操作方法

本装置の最大の特徴は操作性の簡便さにある。実際に本装置を使って高層観測をする手順は以下の通りである。

初期設定: 受信演算処理装置に現在時刻, 位置, 放球高度, 使用するオメガ局, 使用するオメガゾンデ個々の製品番号, センサー係数等を入力する。入力方法は個々のゾンデに添付されている紙テープを読み込ませて入力する。

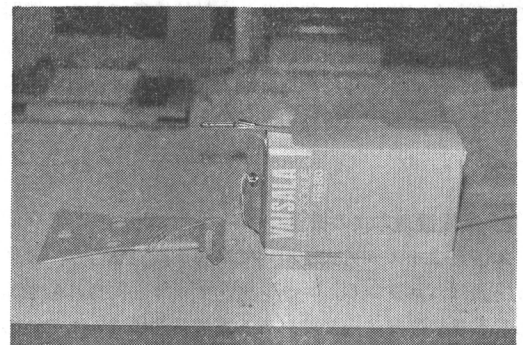


写真 オメガゾンデ本体

本体左上部に見えるのが気温湿度センサー。左側の紐が巻かれた装置は気球上昇時にゾンデが気球からゆっくり離れるための落下装置。紐は VLF 受信アンテナも兼用している。右側に一部見えるのは UHF 送信アンテナ。

地上チェック: 放球するゾンデの指示気圧を船内のアネロイド気圧計で、また気温と相対湿度はこのゾンデ専用のチェック装置 (棒状温度計および乾燥剤による相対湿度 0 % の空気) で点検する。これらのパラメータはプリンタに出力される。

ガス充填: 放球装置に気球をいれ、ヘリウムガスを充填する。

第1表 ソフトウェアの概要

名 称	処 理 内 容	備 考
TEMP	気象電報用電文作成 およびプリンタ出力	A部, B部, C部, D部
METPAR	高度別気象要素計算(24要素) およびプリンタ出力	任意の高度間隔(等間隔)で圧力, 温度, 相对湿度等の各気象要素のデータを計算してプリンタに出力する
METPLOT	気象要素プリンタ作図	METPARの高度分布をプリンタに作図する。高度目盛り, 各要素の目盛りは任意に指定できる。
LIST	指定面プリンタ出力	1000mb, 850mb, 700mb, 500mb, 400mb, 300mb, 250mb, 200mb, 150mb, 100mb, 70mb, 50mb, 30mb等における気温, 相对湿度, 露点温度, 風向, 風速
	特異点要素および 図界面高度プリンタ出力	気温, 相对湿度の特異点での高度, 気圧, 気温, 相对湿度および放球からの時間 風向, 風速の特異点での高度, 気圧, 風向, 風速および放球からの時間

	Time min s	Hght gpm	Press hPa	Temp C	Hum %	Td C	
JFOX UUA 1906/ 99070 11586 02178	0 0	4	1005.6	27.3	87	25.0	T U
99006 27223 11507	0 10	49	1000.4	25.8	89	23.9	T
00053 25819 11007 85468 18020 08513 70116 11230 06018	3 0	815	916.7	20.1	95	19.3	T
50585 03700 09515 40758 13508 09516 30971 28120 10013	6 0	1561	840.8	18.2	84	15.5	T
25099 38331 10515 20249 51546 10513 15428 67956 12013	8 30	2230	777.4	14.4	81	11.2	T
10660 84758 07010	10 40	2825	724.7	12.9	75	8.6	T
88999	10 50	2866	721.1	12.6	75	8.3	U
77999=	12 50	3362	679.6	9.6	84	7.0	T
	14 30	3809	643.7	4.9	92	3.7	T
	14 50	3899	636.7	6.0	97	5.6	T
	15 50	4169	616.1	4.2	100	4.2	U
	17 10	4520	590.0	1.4	100	1.4	T
	19 40	5110	548.3	0.2	100	0.2	T
b	27 20	7091	426.3	-10.4	96	-10.9	T
	34 50	9380	314.0	-25.3	85	-27.1	T
	53 20	13992	157.4	-65.4	44	-71.4	T
	61 40	15793	115.6	-81.3	30	-88.7	T
	67 50	16908	94.5	-86.7	26	-94.4	T
	68 10	16954	93.7	-86.7	26	-94.4	T U
	Time min s	Hght gpm	dd deg	ff m/s			
	0 0	4	115	6.8	F D		
	10 0	2664	78	19.6	F D		
	62 40	15960	141	9.2	F D		
	68 10	16954	68	12.3	F D		
	Press hPa	Hght gpm	Temp C	Hum %	Td C	dd deg	ff m/s
	1000.0	53	25.8	89	23.9	111	7.2
	850.0	1468	18.1	88	16.1	86	13.1
	700.0	3116	11.2	82	8.2	80	17.8
	500.0	5846	-3.7	100	-3.7	96	15.4
c	400.0	7579	-13.4	94	-14.2	95	16.0
	300.0	9710	-28.0	83	-30.0	102	13.2
	250.0	10993	-38.2	73	-41.3	105	15.0
	200.0	12485	-51.4	58	-56.0	107	12.6
	150.0	14282	-67.9	41	-74.3	119	12.5
	100.0	16599	-84.6	27	-92.3	71	10.2

第2図 (a) 気象電報 (TEMP), (b) 特異点要素および (c) 指定面要素の出力例。

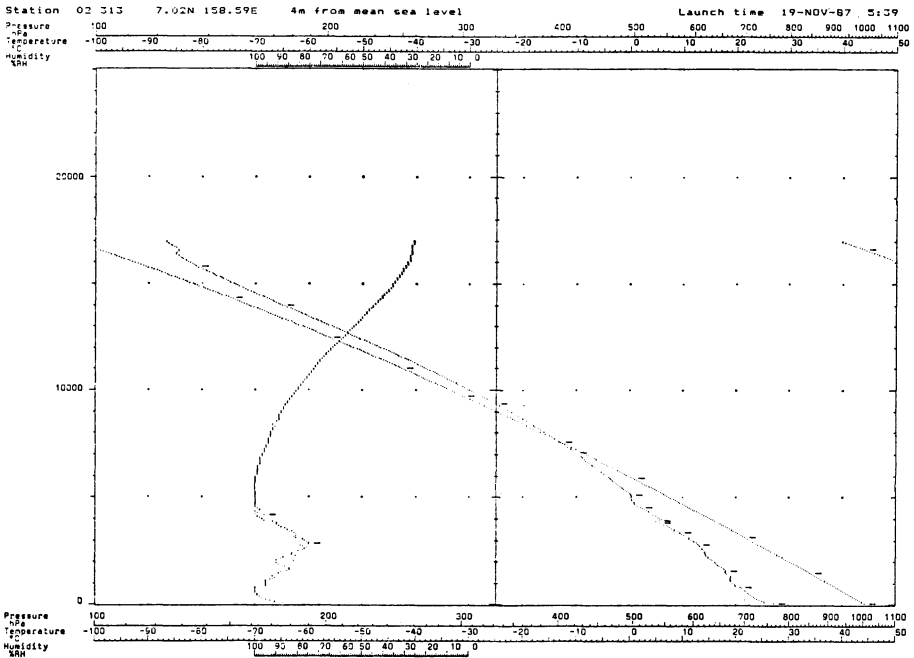
放球: 放球装置の蓋を開け気球を繰り出す。この放球装置のおかげである程度の風速 ($\sim 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 程度) でも1人でガスの充填, 放球を安全に行うことができた。

初期設定から放球までは30分もあれば十分に行える。

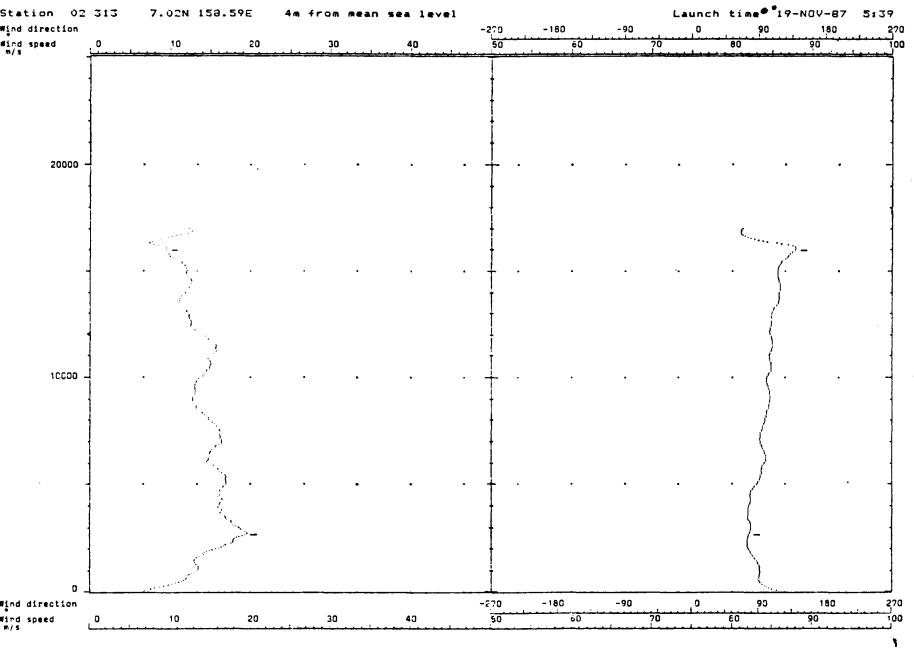
データ収録: 放球後ゾンデの気圧計の変化により受信演算処理装置が放球を感知し自動的にデータ収録を開始する。モニタとして MW 12 の表示盤には放球後の時間, 気圧, 温度, 相对湿度がリアルタイムで表示される。またプリンタには放球時刻, 放球からの時間, 高度, 気圧, 気温, 相对湿度, 露点温度, 混合比, 風向,

風速が出力される。なお風速のデータ処理等のため観測データは放球後10分ぐらいたってからプリンタに印字される。出力の時間間隔は高度 2000 m までは2秒, 5秒, 10秒間隔のうちの一つを設定できる。2000 m 以上は10秒間隔である。

観測終了: 観測終了の方法には(1)気球破裂による自動終了, (2)ある臨界高度を設定し, その高度に達したら終了するようにプログラムしておく方法, (3)強制的に手動で終了する方法がある。(1)は通常の観測に用いられる方法である。(3)はゾンデからのデー



第3図 PTU 作図例。右側のプロファイルが気圧（なめらかな線）と温度，左側のプロファイルが相対湿度。横の棒は演算処理装置が判定したそれぞれの特異点。



第4図 風向・風速作図例。25個の移動平均をしたプロフィール。

タが不良の場合や気球が破裂する前に十分な情報が得られた場合に使用する方法である。今回の観測ではすべて(1)の方法で終了した。この方法はゾンデが下降し気圧出力が例えば10 mb 上昇すると自動的にデータ収録を終了するようにプログラムされている。今回使用した気球は200 g 気球で気球破裂高度は100 mb~30 mb の間にほとんど含まれる。観測時間は70~80分程度であった。

観測終了後にプリンタから自動的に気象電報 (TEMP) 電文出力、温度、相対湿度の特異点での要素および圏界面高度、風向、風速の特異点での要素、指定気圧面要素および指定面、特異点、圏界面、最大風速等の統計に必要なデータが出力される (第2図)。

事後処理：フロッピーディスクにデータを保存する。
保存できるデータは次のものがある。

PAR：放球位置、日時のデータ

STD：指定気圧面データ

PTU：未処理の気圧、気温、相対湿度データ

VLF：未処理のオメガ位相信号データ

EDT：編集済みデータ

フロッピーディスクに書き込む形式は ASCII 形式と Binary 形式の2種類が用意されている。これらはフロッピーディスク書き込み時に指定する。ASCII 形式で書き込むと他の計算機で読むことができるが MW12 では読めない。Binary 形式で書き込むと MW12 で読めるが他の計算機では読めない。今回は両方の形式でフロッピーディスクに保存した。

高度別気象要素出力、作図出力 (第3図、第4図) をして一つの高層観測がすべて終了する。

プリンタへの要素出力、作図出力に要する時間は出力量にもよるが約1時間程度である。この間は MW12 は出力作業で使用中のためゾンデ放球はできない。一回の観測が終了するまでに要する時間は総計約3時間である。連続して放球したい場合はプリンタの出力作業も行うと3時間に1回の割合で放球できる。またフロッピーディスクにデータを保存するだけで出力作業を行わない

場合は2時間に1回の割合で放球できる計算になる。この場合は連続観測終了後にフロッピーディスクのデータを MW12 に転送し、出力作業を行うことができる。もちろん強制終了した場合はもっと短い時間間隔で放球できる。

MW12 付属のソフトウェアで処理できない作業はフロッピーディスクを介してパーソナルコンピュータ (NEC-PC 98 シリーズ) を使って処理 (作表：指定面データ、1分毎の生データ等) した。

5. あとがき

本装置のおかげで船上の過酷な条件下での高層観測を未経験の者が行えるようになった。データ処理が完全に自動化されているので放球後は現場で観測結果をモニタしながら例えば他の観測等に対処できる。

6. 謝 辞

この報告をまとめるにあたりヴァイサラ東京支社の方々には貴重なコメントを頂いた。ここに謝意を表わす。

参考文献

- 青柳二郎, 吉留英二, 1978: オメガ航法システムを利用した高層風観測方式, 気象庁技術報告, 93, 327-355.
- 浅井富雄, 石川浩二, 三沢信彦, 名越利夫, 青柳二郎, 吉留英二, 飯田睦治郎, 1979: オメガ高層風観測システムの予備実験, 天気, 26, 361-370.
- 萩野谷成徳: 熱帯域における大気境界層の熱収支 (投稿準備中).
- Hooper, A.H. 1986: WMO International radiosonde comparison Phase I, Beaufort Park, U.K. 1984, WMO Instruments and Observing Methods Report No. 28.
- 近藤純正, 1982: 大気境界層の科学, 東京堂出版, pp. 219.
- 上橋 宏・横田良夫, 1987: 新長風丸の船用自動高層気象観測装置の概要, 測候時報, 54, 129-146.
- VAISALA 社編: オメガゾンデ取扱説明書