

小型データロガーを搭載した係留気球 による大気境界層観測

A Data Logger System Aboard a Tethered Balloon
for the Observation of Atmospheric Boundary Layer

檜山 哲哉*・杉田 倫明**

Tetsuya HIYAMA* and Michiaki SUGITA**

I はじめに

大気境界層観測には、その測定内容と目的により様々な手法が用いられている。それらを大別すると3種に分けることができる。1つは筑波大学水理実験センターにおける30m観測タワーや、気象庁気象研究所における200m観測タワーといったように、固定的に観測塔を設け、ある高度毎に気温計や湿度計・風速計等の測器を取り付け、諸気象要素を常時観測するシステムである。この手法は非常に精度が高く、しかも多種多様な観測を行うことができるが、コストが非常に高い。1つはソーダーやライダーといったリモートセンシング装置であり、地表面あるいは航空機から、大気諸気象要素・エアロゾルの観測を光学的に行うシステムである。この手法には最近、可搬型のものも開発されており、しかも前者に比べてコストは格段に安く済むが、やはり多額の経費を要する。比較的下部における大気境界層観測に対しては、係留気球を用いた簡便な手法を用いることができる。この手法は強風時には観測不可能になるが、コストは断然安く、市販のものでも数百万円で購入できる。しかし、経費を数十万円で抑えた場合には、気象要素測定装置を自作し、大気境界層観測を行う他に方法はない。

そこで本報では、気象要素測定装置の自作とその境界層観測への応用の例として、CR 10 データロガー

を用いた測定装置の概要を報告し、1992年8月4日から24日にかけて行われた集中観測“Tsukuba 92”(杉田ほか、1993)における応用例について説明する。

II CR 10 データロガーについて

1) CR 10 の概要

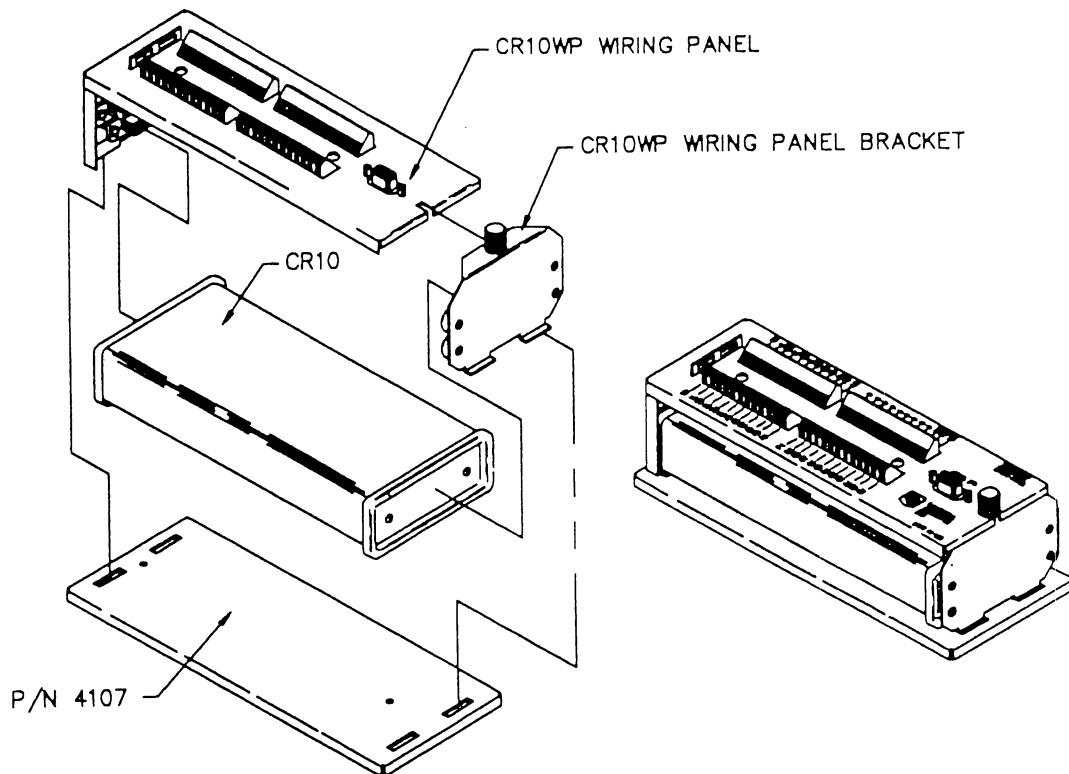
CR 10 の概観(模式図)を第1図に示す。CR 10 は、米国 Campbell Scientific, Inc. の製品である。CR 10 は CR 10 本体、CR 10WP Wiring Panel、CR 10WP Wiring Panel Bracket、P/N 4107 の4つの部分から成り立っている。CR 10 本体はデータの蓄積を、CR 10WP Wiring Panel は、測定用機器との接続を、CR 10WP Wiring Panel Bracket は CR 10 本体と CR 10WP の固定を、P/N 4107 はアースの働きをそれぞれ行う。

CR 10 は電圧、パルス、測温抵抗体、熱電対入力とデータ蓄積能力の大きさ(最大64k バイト)により、各国で気象測定や環境管理(制御)等の用途に使用されている。CR 10 のメモリは、RAM メモリに64k バイトを有し、データ蓄積とシステムメモリ等のために5つの領域から構成されている。その5つの領域を以下に説明する。

Input Storage

測定データや計算結果の生データを記憶させる領域である。

* 筑波大学大学院・地球科学研究科 ** 筑波大学地球科学系・水理実験センター



第1図 CR10の概観

Intermediate Storage

Final Storageに最終的な測定・計算結果を出力する前に、補助的に用意された記憶領域である。例えば、Final Storageに測定データの平均値を出力する場合、サンプリングした生データを平均する個数だけ記憶しておく領域である。この領域は使用者により自由に設定することはできない。

Final Storage

使用者によるプログラミングで要求された測定データの計算処理結果を、指定された記憶領域 (Location) に最終的に記憶させる領域である。

System Memory

ロガーのシステムのためのメモリであり、使用者が設定等を行なうことはできない。

Program Memory

使用者の作成したプログラムを保管する領域である。

上記の5つのメモリ領域のうち、Input Storage, Intermediate Storage, Final Storageについては以下に説明する4つの命令により、データの計算・保管様式が変更できる。

Input/Output Instructions

入力信号・チャンネル数・電圧入力のレンジ・データ保管領域 (Location)・センサーの検定定数を設定する命令を行なう。

Processing Instructions

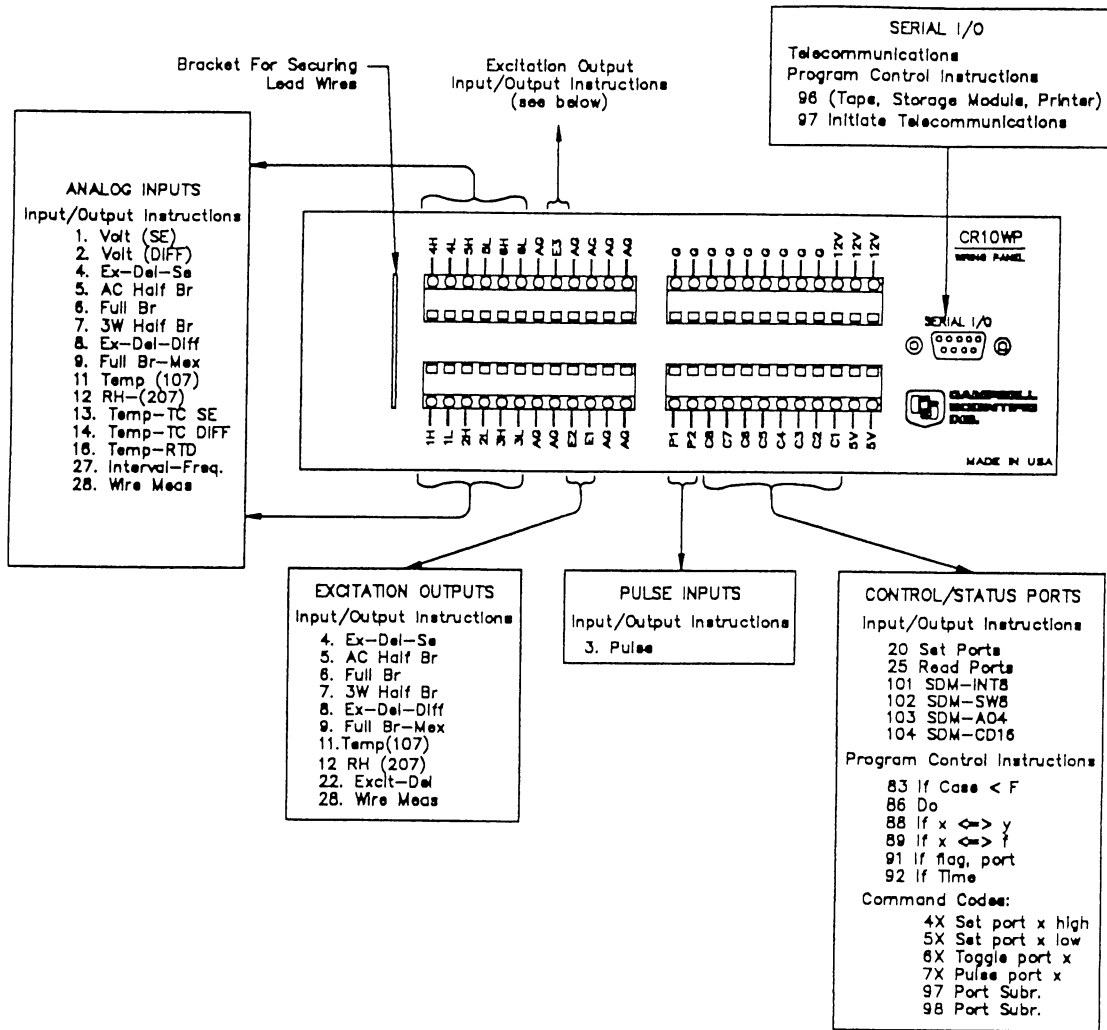
Input/Output Instructionsで設定された検定定数により測定データを補正し、Input Storageに再保管させるための命令をする。

Output Processing Instructions

Final Storageに測定データ・計算結果を出力させる。

Program Control Instructions

プログラムの実行やデータの管理を行なう。



第2図 CR10の Wiring Panel と測定用機器の接続

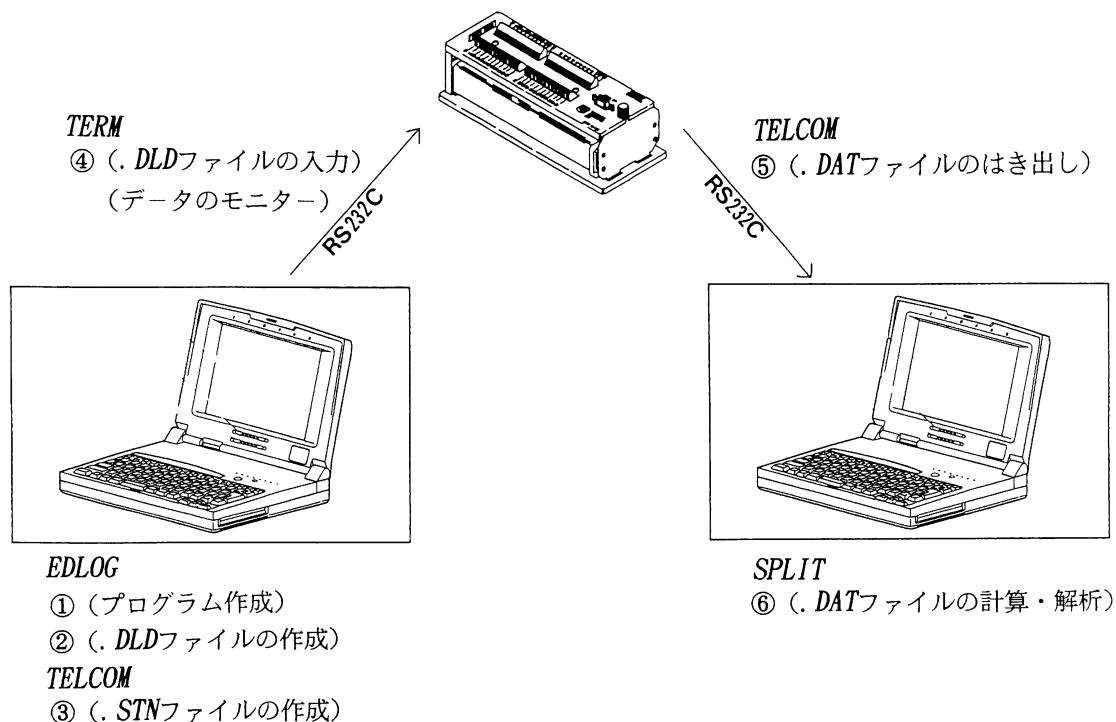
CR10は多チャンネル・多機能なロガーである一方、その全体重量が1390gと軽量であるため、係留気球を用いた気象要素の測定に有効である。

CR10WP Wiring Panelと測定用機器との接続について、第2図にその概要を示した。CR10WP Wiring Panelはロガー本体と測定用機器を接続し、入力信号を受信するためのものである。PanelはRS232Cの端末と受信用の接続部から成る。信号入力には電圧・測温抵抗体・熱電対・パルス入力が可能である。接続部はその他に電源入力(12V)、電源出力(5V)、そして測定時のプログラムをコントロー

ルするための補助チャンネル(Control/Status Ports)がある。

2) CR10によるデータの取扱いと関連ソフトウェア

CR10によるデータ入出力のフローチャートと関連するソフトウェア名を第3図に示した。図中の斜字体で示したものがソフト名である。CR10によるデータの入出力は、IBM-PC型のパソコンで行う。パソコンとの接続はRS232Cインターフェースによる。以下に、図中に示した専用のソフトウェアの内容と機能について説明する。



第3図 CR 10によるデータ入出力のフローチャート，及び関連するソフトウェア

EDLOG

使用者自身の専用プログラム (Document File: 拡張子は (.DOC)) を作製し, Document File (.DOC) に基づきロガーの Program Memory に入力させるための Down-Load File (拡張子は (.DLD)) を作製するソフトである。

TERM

Down-Load File (.DLD) をロガーに入力し, データのモニターを行うソフトである。

TELCOM

Station Parameter File (拡張子は (.STN)) を作製し, 観測終了時にロガーからデータをはきだすためのソフトである。

SPLIT

収録されたデータを整理し, 解析するためのソフトである。

これら一連の作業を図化すると, 第3図のようになる。図中の①から⑥までの番号は, データを得るまでの作業の順番を示す。EDLOG・TERM・TELCOMはCR 10を起動し, データを収録するために必要不可欠であるが, データがテキスト形式で出力されるので, SPLITは必ずしも必要ではない。なお, Communications Adaptor (Com Port) の設定や Baud Rate の設定は Down-Load File (.DLD) をロガーに入力する際に, TERMで行う。

Ⅲ 大気境界層観測への応用

本章では, 上空150mまでの下部大気境界層観測のために, 係留気球を用いた気象要素測定装置をCR 10により作製したので, その報告をする。観測は「Tsukuba 92」(杉田ほか, 1993)の期間中に水理実験センターの圃場付近で行なったものである。

測定項目は気圧・風速・気温・相対湿度の4項目である。用いた機器はそれぞれ藤倉電線の大気圧

| | | | |
|---|---|------------|-------------------------------|
| | * | 1 | Table 1 Programs |
| | | 01: 5 | Sec. Execution Interval |
| ① | → | 01: P3 | Pulse |
| | | 01: 1 | Rep |
| | | 02: 1 | Pulse Input Chan |
| | | 03: 11 | Low level AC |
| | | 04: 2 | Loc : |
| | | 05: .15 | Mult |
| | | 06: .2 | Offset |
| ① | → | 02: P1 | Volt (SE) |
| | | 01: 1 | Rep |
| | | 02: 35 | 2500 mV 50 Hz rejection Range |
| ② | → | 03: 7 | IN Chan |
| ③ | → | 04: 1 | Loc : |
| ④ | { | 05: .311 | Mult |
| | → | 06: 244.47 | Offset |
| ① | → | 03: P1 | Volt (SE) |
| | | 01: 1 | Rep |
| | | 02: 35 | 2500 mV 50 Hz rejection Range |
| | | 03: 3 | IN Chan |
| | | 04: 4 | Loc : |
| | | 05: .1 | Mult |
| | | 06: 0 | Offset |
| ① | → | 04: P7 | 3 Wire Half Bridge |
| | | 01: 1 | Rep |
| | | 02: 33 | 25 mV 50 Hz rejection Range |
| | | 03: 5 | IN Chan |
| | | 04: 2 | Excite all reps w/EXchan 2 |
| | | 05: 2100 | mV Excitation |
| | | 06: 5 | Loc : |
| | | 07: 100 | Mult |
| | | 08: 0 | Offset |
| ① | → | 05: P16 | Temperature RTD |
| | | 01: 1 | Rep |
| | | 02: 5 | R/Ro Loc |
| | | 03: 3 | Loc : |
| | | 04: 1 | Mult |
| | | 05: 0 | Offset |
| ⑤ | ▶ | 06: P86 | Do |
| | | 01: 10 | Set high Flag 0 (output) |
| ⑥ | ▶ | 07: P77 | Real Time |
| | | 01: 0111 | Day,Hour-Minute,Seconds |
| ⑦ | ▶ | 08: P78 | Resolution |
| | | 01: 1 | High Resolution |
| ⑧ | ▶ | 09: P70 | Sample |
| | | 01: 4 | Reps |
| | | 02: 1 | Loc |
| | | 10: P | End Table 1 |

第4図 気象要素観測のためのプログラムの一例

センサーモジュール (FIP-B 04A)・Young Wind Sentry Anemometer の風速計 (03101-5 R. M.)・VAISALA の温湿度センサー (Humicap HMP35A) である。これらの測定機器を用いた気象要素観測のためのプログラムの一例を第4図に示す。このプログラムが実際に観測を開始する前に必要になる。以下にプログラミングの説明を順に行なう。なお、図中の①から⑧までの番号は、以下の説明の番号に相当する。

① 入力信号形式を設定する (パルス、電圧、測温抵抗体のいずれかを選定)。P1 と入力すればアナログ電圧測定、P3 と入力すればパルス入力測定、P7 は白金測温抵抗体測定用の 3 Wire Half Bridge の設定、P16 は測温抵抗体による温度測定の設定となる。

(例) 01: P3 Pulse
 02: P1 Volt (SE)
 03: P1 Volt (SE)
 04: P7 3 Wire Half Bridge
 05: P16 Temperature RTD

② チャンネル (Input Channel) を設定する。例として、電圧入力 (02: P1 Volt (SE)) における設定例を示す。"7" と入力すれば、CR 10WP Wiring Panel 上のチャンネルにおいて、7 チャンネルに接続することを意味する。

(例) 03: 7 IN Chan

③ データ保管場所 (Location) を設定する。この保管場所は、Input Storage の出力場所の設定であり、最終的なデータの配列順番の設定でもある。下記の場合、時刻の後に1番目にデータが配列される。

(例) 04: 1 Loc:

④ 検定定数を設定 (センサーの検定曲線や検定直線の係数 (回帰直線の変化率・切片等) を入力) する。

(例) 05: .311 Mult
 06: 244.47 Offset

⑤ Do 文の設定 (Final Storage にデータを保管させるための命令)。Set high Flag に設定しなければ、Final Storage にデータが保管されないのに注意。

(例) 06: P86 Do

01: 10 Set high Flag 0 (output)

⑥ Real Time 文の設定 (時刻入力とその表示の仕方の設定)。下記の場合、日・時間・分・秒がデータの先頭に記録される。

(例) 07: P77 Real Time

01: 0111 Day,Hour-Minute,Seconds

⑦ Resolution 文の設定 (分解能と有効数字の設定)。

Low Resolution と High Resolution の2種があり、High Resolution の場合、有効数字は5桁となる。

(例) 08: P78 Resolution

01: 1 High Resolution

⑧ Sample 文の設定 (瞬時値設定)。(平均値は P71 Average、積算値は P72 Totalize である。)

(例) 09: P70 Sample

データロガーへのプログラムの入力とデータの出力の様子を写真1に示す。野外における観測では、ノート型のパソコンが便利である。

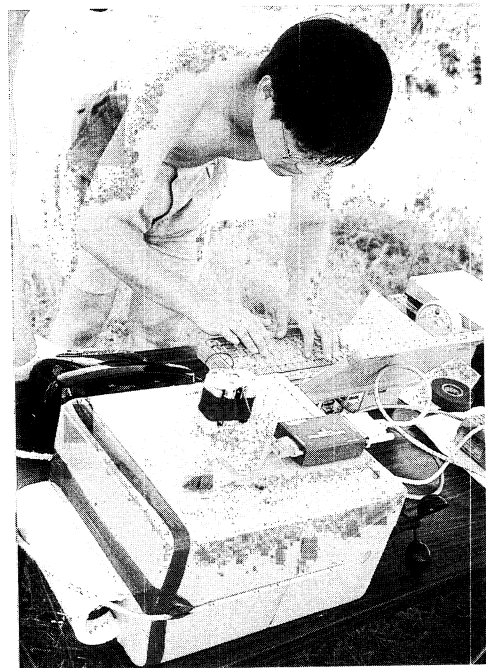


写真1 データロガーへのプログラムの入力とデータの出力風景

係留気球を用いた大気境界層観測の様子を写真2に示す。丸型気球の場合、風向による乱れが生じるため、測器の固定化をする必要がある。

上記の観測結果とデータの出力例を第5図に示す。データは通年の日数・時間・分・秒・気圧・風速・気温・相対湿度の順に、テキスト形式で出力される。気圧・風速・気温・相対湿度の出力順番はプログラム中のLocation (Loc) の設定で自由に変更できる。

また、観測結果による風速・温位・比湿のプロファイルの例を第6図、第7図、第8図にそれぞれ示す。いずれも1992年8月11日に取得したデータである。

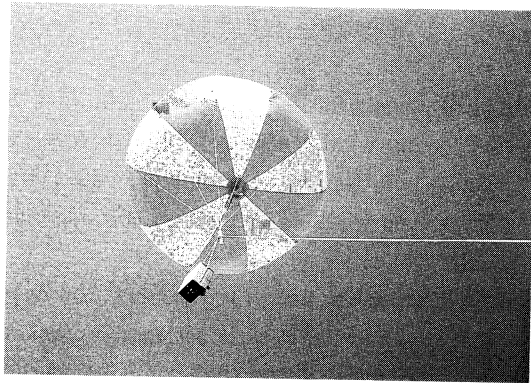


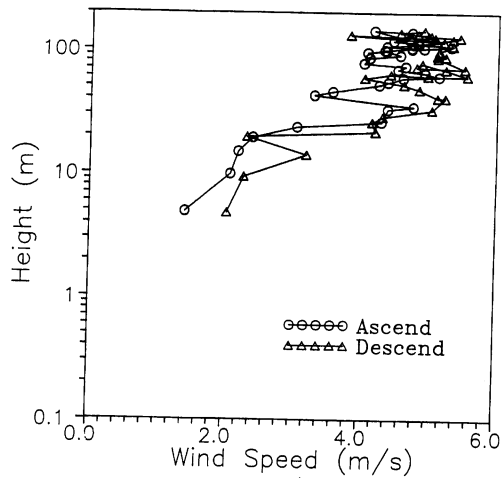
写真2 係留気球を用いた大気境界層観測の風景

```

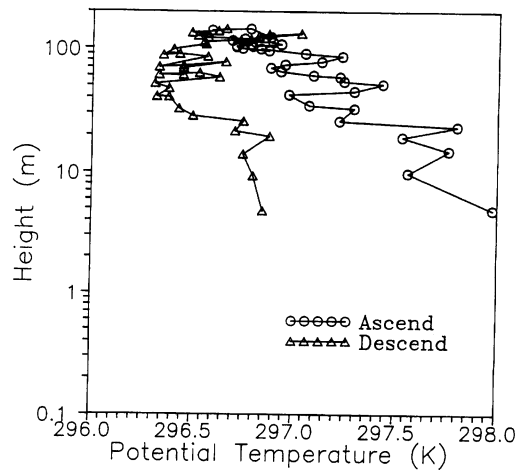
106,224,1145,.125,1018.2,2,25.46,62.876
106,224,1145,5.125,1017.8,1.55,25.15,63.009
106,224,1145,10.13,1017.6,1.55,25.169,65.402
106,224,1145,15.13,1017.6,2.75,25.232,64.471
106,224,1145,20.13,1017.3,2.15,25.17,65.402
106,224,1145,25.13,1017.2,1.7,25.108,64.97
106,224,1145,30.13,1017.6,.95,25.068,65.202
106,224,1145,35.13,1017.3,1.25,25.477,65.335
106,224,1145,40.13,1017.7,1.4,25.5,65.501
106,224,1145,45.13,1017.4,1.25,25.317,64.006
106,224,1145,50.13,1017.4,1.25,25.317,64.936
106,224,1145,55.13,1017.6,2.15,25.481,63.873
106,224,1146,.125,1017.4,1.7,25.603,65.402
106,224,1146,5.125,1016.6,1.25,25.191,66.1
106,224,1146,10.13,1016.9,1.7,25.397,64.604
106,224,1146,15.13,1016.7,2.25,417,63.939
106,224,1146,20.13,1016.8,1.55,25.458,64.371
106,224,1146,25.13,1016.8,1.1,25.338,63.773
106,224,1146,30.13,1016.5,1.4,25.521,64.338
106,224,1146,35.13,1016.7,1.1,25.316,64.072
106,224,1146,40.13,1016.7,1.55,25.112,64.936
106,224,1146,45.13,1016.7,.8,25.317,65.435
106,224,1146,50.13,1016.6,1.4,25.298,64.571
106,224,1146,55.13,1016.9,1.55,25.339,63.84
106,224,1147,.125,1016.6,2,25.523,63.574
106,224,1147,5.125,1016.1,1.7,25.133,65.136
106,224,1147,10.13,1016.2,1.7,24.867,65.501
106,224,1147,15.13,1016,2,24.989,65.169
    
```

第5図 観測結果とデータの出力例

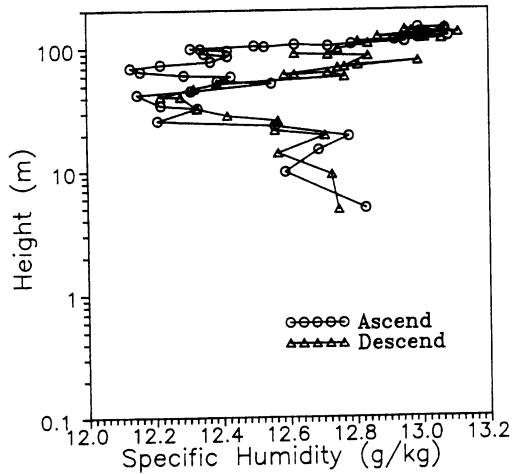
午前10:23から気球を浮揚させ (Ascend: 図中の丸印), 10:58に下降を開始し11:36に終了するまでのプロファイル (Descend: 図中の三角印) を示している。水理実験センターにおける8月11日・11時前後の全天日射量は $352.2\text{W}/\text{m}^2$ であり、層積雲のたちこめた雲量10という天候状況であった。第6図をみると、Ascend, Descendともに風速はきれいな対数プロファイルを示していることがわかる。また、温位は地表面近くから高度150m付近まで徐々に下降しているにもかかわらず (第7図)、比湿は50~70m付近で極小となっていることがわかる。



第6図 風速のプロファイルの例



第7図 温位のプロファイルの例



第6図 比湿のプロファイルの例

IV まとめ

以上、CR 10 データロガーによる気象要素測定装置の作製と係留気球を用いた大気境界層観測への応用例を示した。CR 10 データロガーについての説明は、付属の取扱い説明書 (Campbell Scientific, INC., 1991a, 1991b, 1992) も参照されたい。

係留気球を用いる場合、気球の容積の大小にもよるが、観測装置全体の重量を軽量にしなければなら

ない。今回の観測では、容積 12m^3 の気球 (気球製作所製) を利用した。この場合、CR 10 データロガーはその本体と周辺機器を合わせても 2kg 以内であり、非常に有用である。

文 献

- 杉田倫明・上田真也・遠藤伸彦・大手信人・沖大幹・甲斐憲次・榎根勇・小池俊雄・近藤昭彦・嶋田純・田中正・辻村真貴・田少奮・葦沢浩・原蘭芳信・檜山哲哉・深見和彦・安成哲三 (1993): Tsukuba 92: 水文学・境界層気象学における異なるスケール間の関係解明のための共同観測計画 (1) 地表面から自由大気へのフラックス. ハイドロロジー, **23**, 127-137.
- Campbell Scientific, Inc. (1991a): 03001-5 R. M. young wind sentry set; 03101-5 R. M. young wind sentry anemometer; 03301-5 R. M. young wind sentry vane instruction manual.
- Campbell Scientific, Inc. (1991b): PC 208 datalogger support software instruction manual.
- Campbell Scientific, Inc. (1992): CR 10 measurement and control module operator's manual.