

## 建築物周辺の気流に関する調査研究（その2）

—市街地風の風観測システムについて—

藤井 邦雄

菅野 照雄

### § 1. はじめに

前報<sup>1)</sup>ではある建物事例についての風洞実験例や実測例を紹介したが、本報では最近とみに増加してきている建物周辺での風観測に対処するため、筆者らが開発した風観測システムを紹介する。

建物周辺の気流に関する研究はここ4、5年の間に大規模な調査研究のプロジェクトが組織され、強風予測の方法や評価基準、対策方法等の研究成果の集約整理<sup>2),3)</sup>が急速に進められてきている。しかし、これらを裏付ける実際的な実測資料は現在のところ不足している。

実測の目的には大別して次の3つがあげられる。

- (1)高層建物周辺の風の性状を明らかにすること、
- (2)ある特定地域の風環境調査、
- (3)風洞実験との比較対応の資料収集、

等である。

東京三田ビル<sup>4)</sup>や新宿新都心周辺<sup>5)</sup>での実測は、上述の実測目的全てを対象として行なわれたものである。また、東京月島1丁目地区市街地住宅<sup>6)</sup>の実測は風環境調査を主目的とし、周辺住民のモニター調査も行なっている。

いずれも貴重な実測研究の資料であるが、これらの実施にあたっては関係各位の相当な労力・時間が費されている。

しかるに、最近ではビル建設計画に伴って、建設前後の風環境の変化を実測することが実務面でも要求されるようになってきた。観測期間も建設前1年、建設後1年と長期間にわたるものが多い。

これらに対処するためには、効率のよい、システム化した実測手法を用意する必要がある。

一般に気象データほど日々大量のデータが得られるものではなく、従来用いていたペン書レコーダーや、打点記録計等でデータを集録した場合、それらの記録は日を追って目の前に積み重なって行く。これらのデータを読みとることは容易でなく、往々にしてその量のぼう大さゆ

えにデータが未処理のまま放置されてしまう恐れさえある。

一方、市販の気象観測システムにはミニコン等を利用したものがみられるが、観測規模が様々であり、かつ、設置条件等がきびしい市街地風の観測には必ずしも適していない。しかし、ここ数年、安価で信頼性の高いマイクロコンピュータの普及が目ざましく、これを従来のコンピュータ・システムと結びつけて観測システムを構成することが容易になってきた。筆者らの開発したデータ集録システムは、今後、増加することが予想される市街地風の長期間にわたる風観測に十分対処し得るものである。なお、本システムは様々な観測規模を有する都内3カ所の建物周辺で既に利用されている。

### § 2. 観測データ

#### 2.1 測定項目

市街地風の測定項目には、

- (1)風向（瞬間風向、平均風向）
  - (2)風速（瞬間風速、平均風速、分散、または標準偏差）
- が基本的にあげられる。

風の観測については、気象庁の地上気象観測法<sup>7)</sup>に基本的指標が示されている。これによると「風は風向と風速によってベクトルで示される。そして絶えず変動するほぼ水平な大気の流れについて、風速は観測時刻前10分間の平均値で、風向は観測時刻前10分間の平均風向で表わす<sup>7)</sup>。また、変動する風速については瞬間風速として表わす。風向は風の吹いてくる方向をいい、16方位または36方位（北を36とする度の100位と10位）で表わす。ただし、風速が0.2 m/s 以下の場合、風向は静穏（calm）とする」となっている。

本システムで取扱う風のデータは、風向については物理的に明確な風ベクトルの向きか、もしくは16方位で表わされる風向の10分間内の出現頻度を用いた。

仕様	種類	3杯風速計 矢羽根型風向計	超音波風向風速計
	データ	スカラー風速 風向	風速成分( $U_x, U_y, U_z$ ) スカラー風速( $U_{XY}$ )
測定範囲	0.5~4.0 m/s 16方位	± 30 m/s 0~30 m/s	
測定精度	±0.5 m/s 22.50°	± 1%	
出力	パルス グレイコード	± 1 V 0~1V	
メーカー	藤牧野応用測器 研究所	藤海上電機	

表-1 風向風速計

また、変動する風速については瞬間風速の他に、乱流成分を表わすため、10分間内の風速の分散を求めた。

## 2.2 風向風速計

風を物理的に明確なベクトルとして測定できる風向風速計は、超音波風向風速計やギル型風速計等に限定されており、大部分はプロベラ型や3杯型・矢羽根型の風向風速計である。これらの測器の種類や特性等については(財)建築業協会発行の「ビル風ハンドブック」<sup>9)</sup>に詳しく示されている。

風向に感じない3杯型の風速計から得られる風速はスカラー量となり、平均風速は時々刻々の瞬間風速の大きさのスカラー的な平均である。本システムで取扱った2種類の風向風速計を表-1に示す。

## 2.3 評価時間と瞬間風速

瞬間風速は使用する風速計の動的応答特性に左右される。図-1に3杯風速計の周波数応答特性<sup>9)</sup>を示す。超音波風速計は10 Hz程度まで周波数応答特性が平坦であるが、3杯風速計では周波数が高くなるに従って周波数応答特性が低下し、風速によっても左右されている。

一般に、瞬間風速が何秒程度のものを示しているかは風速計によって異なり、明確ではない。そこで、10分間平均風速(評価時間600秒)と同様、瞬間風速を短い評価時間で表わすことが必要である。

石崎、光田(京大防災研)らは、時々刻々変動する風速を $\Delta t$ 時間ごとに読取って得た時系列の最大値と、この時系列を2個、3個、……、 $k$ 個ずつ移動平均して作った新しい時系列の最大値を求め、これらをそれぞれ評価時間 $\Delta t, 2\Delta t, 3\Delta t, \dots, k\Delta t$ に対する最大瞬間風速値として、突風率と評価時間の関係を求めている<sup>9)</sup>。これによると、元の時系列を2, 3, ……、 $k$ 個ずつ移動平均して作った時系列のスペクトルは、元の時系列のスペクトルに、次に示す伝達関数(高周波カットオフフィ

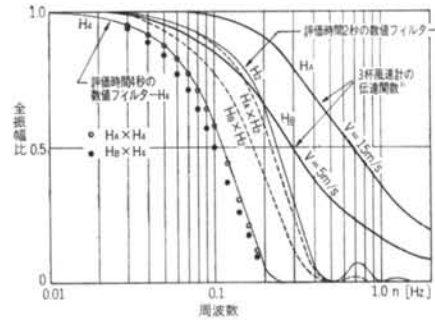


図-1 風速計の周波数応答特性

(ルター)  $H$  を乗じたものになる。

$$H\left(\frac{r}{m} \cdot \frac{1}{2\Delta t}\right) = \frac{1}{k^2} \left( \frac{\sin^2\left(\frac{kr\pi}{2m}\right)}{\sin^2\left(\frac{r\pi}{2m}\right)} \right) \quad \dots(1)$$

ここに、 $m$ ; 周波数の分割数、 $r$ ; 0, 1, ……、 $m$ ,  
 $k$ ; 移動平均回数、 $\Delta t$ ; サンプルングタイム

図-1に示した曲線 $H_2$ は、評価時間2秒として移動平均を行なった場合の周波数応答曲線である。超音波風速計の場合、評価時間2秒で処理された最大瞬間風速はこの周波数応答曲線で示される高周波数カットオフフィルター $H_2$ を通して得られたものとなる。一方、3杯風速計は風速によっても周波数応答曲線が $H_A, H_B$ と異なっており、これらの影響を除去するためには評価時間を長くする必要があり。図中 $H_2 \times H_A, H_2 \times H_B$ は評価時間2秒として3杯風速計のデータを処理した場合に相当する周波数応答曲線である。評価時間4秒として処理した場合、3杯風速計の周波数応答曲線 $H_A \times H_A, H_B \times H_A$ は評価時間4秒の高周波数カットオフフィルター $H_4$ にはほぼ一致し、計測された最大瞬間風速を評価時間で明確に表現できる。一般に、評価時間は2~3秒として考えられることが多く、本システムでは標準として評価時間2秒を設定した。これらはプログラムによって任意に設定できるようになっている。

## 2.4 記録内容

本システムで取扱う毎10分の記録内容は、

- (1) 評価時間(標準2秒)の移動平均値の最大値
- (2) 10分間区分平均値
- (3) 10分ごとの最大風速(評価時間600秒の移動平均値の最大値)
- (4) 1, または3を示す時刻
- (5) 10分間の風速の分散
- (6) 10分間内の上位6風向と各位の頻度の100分比(矢羽根型の風向計使用の場合)

等となっている。10分ごとの最大風速は最近使われなくなってきているので、後に示す独立方式のシステムでは

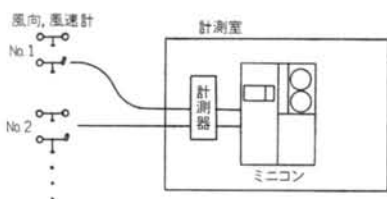


図-2 ミニコンによるデータ集録

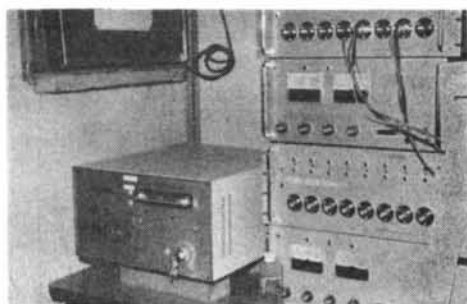


写真-1 RECORDER

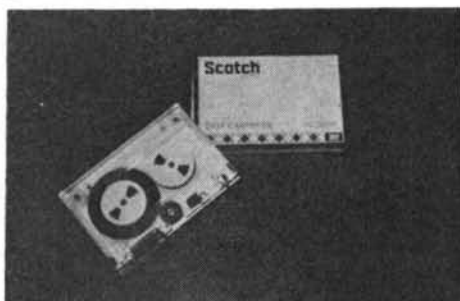


写真-2 カセットテープ

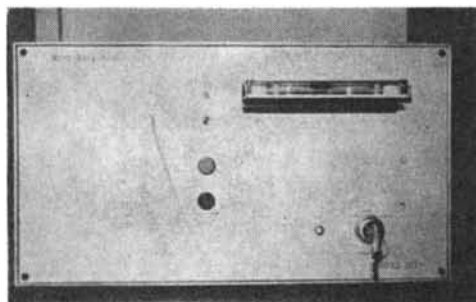


写真-3 PLAYER

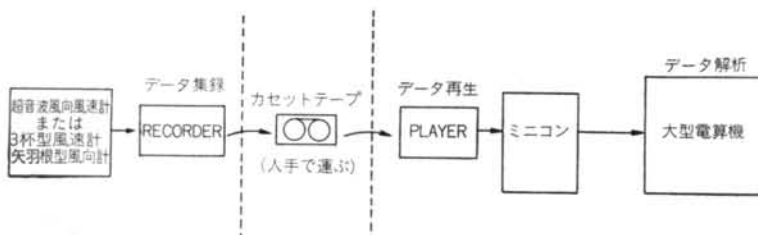


図-3 集中方式のシステム構成

省略した。また、超音波風向風速計を使用する場合、風向は水平方向2成分(X成分, Y成分)の各10分間の平均値  $U_x$ ,  $U_y$  を用いてベクトル平均風向を後のデータ処理の段階で算出している。

### § 3. 風観測システム

市街地風の観測を行なう場合、次のような集中方式と独立方式の2つの方式が考えられる。

#### 3.1 集中方式によるデータ集録

##### 3.1.1 システム概要

集中方式は、図-2に示すように観測地に計測室を設け、そこに風向風速計の計測器とミニコンを設置し、付近に配置した複数の風向風速計からの信号をケーブルを通じて集中し、データ集録する方式である。

データはデジタル化して、ミニコンの磁気ディスク等に記録される。この方式の利点は、ミニコンによって観測データの処理が即時可能なことである。しかし、観測地の数が増えてくると、この方式はコストの面からついて行くことができなくなる。そこで、この方式に準ずるものであるが、筆者らは観測地にミニコンを設置するかわりに、ある程度のデータ処理能力を有する記録専用機を用いるシステムを開発した。

この筆者らのシステムの特長には、次の点があげられる。

- 1) ミニコン等に必要の空調設備を特に必要としない。
- 2) 1台あたりのコストがミニコンに比べて低価格であり、万一の故障にそなえて予備機を準備することや、他地域との交換などのメンテナンス上のフレキシビリティがある。
- 3) データ処理を大型計算機で行なうため、プログラムの作成、変更が簡単で、任意の処理が容易に行なえる。

##### 3.1.2 システムの構成

市街地風の観測地に写真-1に示すようなRECORDERと称する記録専用機を設置し、風向風速計からの信号を集中させてデータ集録を行なう。RECORDERは、あらかじめ決められたサンプリング方式に基づいて風向、風速を定期的に計測し、決められたフォー

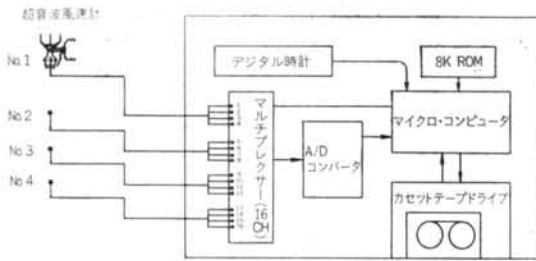


図-4 RECORDER の構成 (超音波風向風速計)

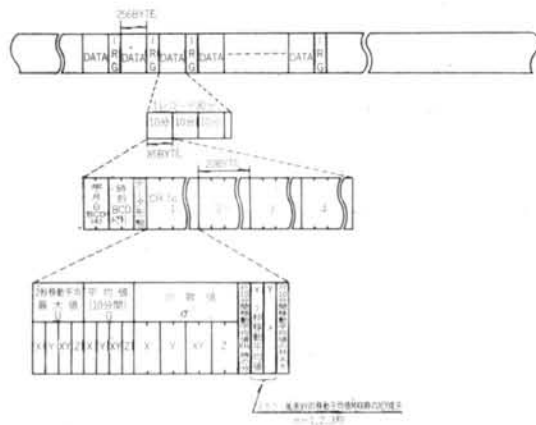


図-5 カセットテープの記録型式 (超音波風向風速計)

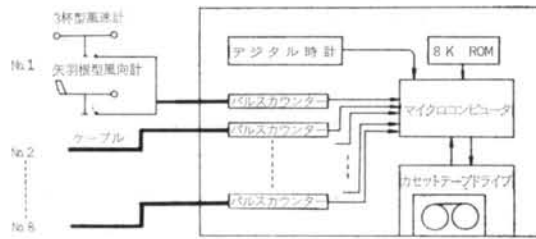


図-6 RECORDER の構成 (3杯型風速計・矢羽根型風向計) マットで写真-2に示すようなデジタルカセットテープに記録する。データ集録は1本のカセットテープの容量がいっぱいになる約20日間まで無人で行なわれ、定期的に人間がカセットテープを交換してデータ集録を継続する。図-3に示すように、データの再生はPLAYER (写真-3)を通じて研究所のミニコンの磁気ディスクにいったんデータをコピーした後、計算センターの大型計算機に転送して行なう。

RECORDER は使用する風向風速計に応じて2種類用意した。

図-4は超音波風向風速計用の RECORDER の構成を示している。1台の超音波風向風速計からは水平2成分の風速  $U_x$ ,  $U_y$  成分, および合成されたスカラー風速

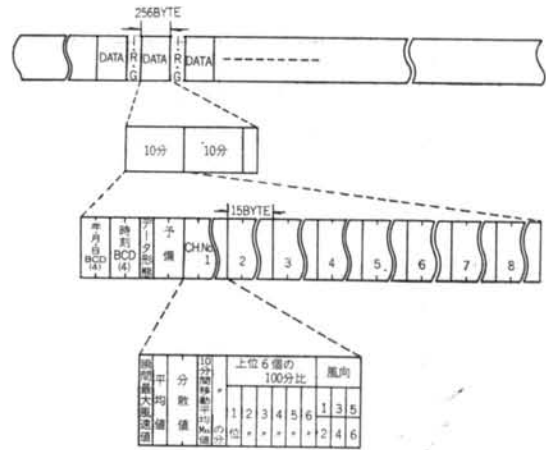


図-7 カセットテープの記録型式 (3杯型風速計・矢羽根型風向計)

$U_{xy}$  成分 ( $U_{xy} = \sqrt{U_x^2 + U_y^2}$ ), そして鉛直成分  $U_z$  の合計4個のアナログ信号が得られる。RECORDER 1台で4台の超音波風向風速計のデータを集録するため、16チャンネルのアナログ信号をマルチプレクサーで切替え、A/D変換している。超音波風向風速計からのデータは0.1秒のサンプリングタイムでA/D変換され、 $U_x$ ,  $U_y$ ,  $U_z$ ,  $U_{xy}$  の各成分の10分間の平均風速, 分散, 10分間内の評価時間2秒, および600秒の移動平均値の最大値が計算され、図-5の形式でデジタルカセットテープに30分に1回ずつ書き込まれる。これらの演算はマイクロコンピュータで行なっている。

図-6は3杯型の風速計と矢羽根型の風向計を使用した場合に用いる RECORDER の構成を示す。

3杯風速計は風で回転すると風程に比例したパルスが出力される。一定時間 (0.5秒間) 内に出力されるパルスをカウンターで積算すれば風速に変換できる。

風向は矢羽根の動きを16方位に分割したBCDコードの変形であるグレイコードで出力される。この出力を0.5秒ごとに分類し、10分間内の各風向の頻度を求める。カセットテープの記録容量には制限もあり、風向は上位6風向とそれらの頻度を100分比で示し、記録する。カセットテープには、図-7に示すようなフォーマットで10分ごとのデータが20分に1回ずつ書き込まれる。

3杯型の風速計と矢羽根型の風向計を使用する場合、1台のRECORDERには8組まで接続できる。しかし、1本のカセットテープに記録できる日数は超音波風速計を使用する場合の約2/3となる。

どちらのRECORDERにおいてもマイクロコンピュータが重要な役割を演じている。RECORDERで使用しているマイクロコンピュータのプロセッサは最も普



写真-4 超音波風速計の取付例<sup>2)</sup>



写真-5 3杯型風速計の取付例



図-8 独立方式のデータ集録

及しているインテル8080Aで、プログラムのメモリーは8K、ワークメモリーが4Kである。PLAYERはメモリーが4K、ワークメモリーが1Kで、その出力はミニコンピュータの周辺装置にもっとも広く用いられている

データ通信規格 (EIA 規格 RS-232 C) となっている。

超音波風向風速計によるデータ集録システムは、国土開発技術研究センターが住宅公団からの委託研究で行なっている東京月島1丁目地区の風観測<sup>2)</sup> (昭和52年9月～54年8月) で用いられた。写真-4に超音波風速計の設置例を示す。

また、3杯風速計による集録システムは東京芝浦の高層ビル計画地で使用されている。写真-5に3杯風速計の設置例を示す。

データ再生は共通のPLAYERによって行なわれるため、本システムのコストパフォーマンスは高い。また、データ集録装置の故障も開発当初を除けばほとんどみられず、信頼性の高いものとなっている。

### 3.2 独立方式によるデータ集録

#### 3.2.1 システムの概要

風観測データの集録のもう一つの方式として考えられるのが、図-8に示すように各測定点単位で独立して記録装置を設置する独立方式である。この方式には、従来からペンレコーダーやプリンター等が多く用いられている。しかし、これらの記録方式では、すでに述べたようにデータ読取りに問題点があるので、筆者らは次のような特長のあるシステムを開発した。

- (1) 毎10分の風向・風速のデータが連続して集録装置に記憶される。(記憶容量、およびバッテリーの制限で12日分)
- (2) 記憶されたデータを高速で読み出すことができる。
- (3) 集録装置が野外の電柱、ポール等に容易に取り付けられる。
- (4) 測定点ごとに風向風速計とデータ集録装置があるので、測定点の増設が容易にできる。
- (5) データ集録装置はバッテリーによって動作するためAC電源の得られない場所にも自由に設置できる。また、ケーブル等の引きまわしも必要としない。したがって、広範囲な地域での観測が可能である。
- (6) データ集録装置にはメカニカルな部分がないため、故障が少ない。

#### 3.2.2 システムの構成

図-9に本システムの構成を示す。写真-6は本装置(以後メモリー装置と呼ぶ)の外観を示す。

本システムは3杯型風速計と矢羽根型風向計を対象としたものである。

一般の3杯型風向風速計は内部に発光ダイオードが常時点灯しており、100mA以上の電流が流れている。本システムでは、図-10に示すよう風速計をデューティー

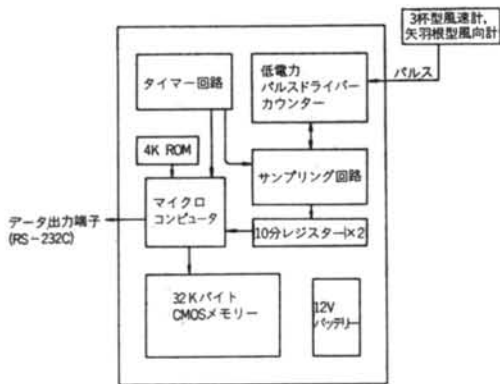


図-9 独立方式のシステム構成

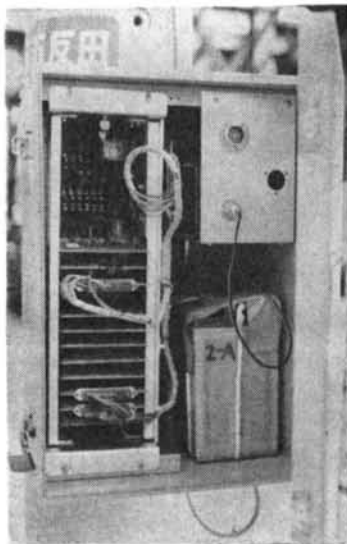


写真-6 メモリー装置

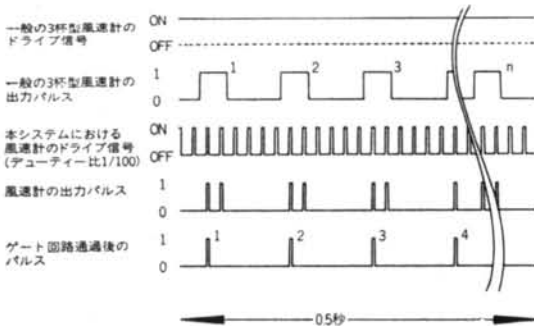


図-10 3杯型風速計のドライブ信号の省電力化  
比1/100のパルスでドライブし、風杯の回転に比例したパルスをゲート回路を通じて出力させる。これによって、消費電流が1mA程度となっている。

また、マイクロコンピュータの消費電力を少なくするため、次のような工夫を行なっている。データは0.5秒

日単位カウンタ 1~5555	10分単位カウンタ 1~144	上位6風向						上位6風向の100分比						最大風速値の時刻(分)	最大風速値	平均値	分取値
		1位	3位	5位	100%	1位	2位	3位	4位	5位	6位						
18バイト																	

図-11 記憶される10分間のデータ型式

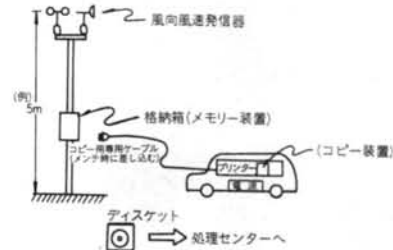


図-12 データコピーの方式

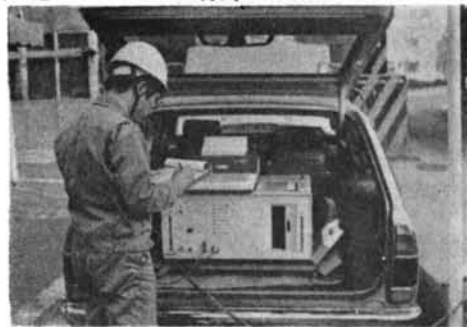


写真-7 コピー装置とディスク



写真-8 独立方式の設置例

ごとにハードウェア方式のサンプリング回路によってサンプリングされ、10分レジスタと称するメモリーに

1979 OCT 19D 15H30M	GUST	26.7 H-S	(11 MIN)	4.32
	MEAN	6.9 H-S	(3.0H-S)	
	SM	16% S	14% MSW 12% SSM 12% SSE 11% M	7%
1979 OCT 19D 15H30M	GUST	17.1 H-S	(23 MIN)	4.32
	MEAN	7.2 H-S	(2.7H-S)	
	SM	12% MSW 16% SSM 14% S	11% SSE	9% M 8%

GUST(瞬間風速と発生時刻), MEAN(平均風速と標準偏差), 風向1~6位とその頻度

図-13 コピー装置のモニター型式

順次記憶される。10分経過するとタイマー回路がマイクロコンピュータの電源をONとし、動作を開始させる。次に、10分レジスターに入っている生データを用いて平均、分散などを計算し、順次32KバイトのCMOSメモリーに記憶させる。図-11に記憶されるデータフォーマットを示す。これに要する時間は約6秒であり、次の10分間が経過するまでマイクロコンピュータやROM(プログラムの入っているメモリー)の電源はOFFとなる。また、12日分のデータの入る32KのCMOSメモリーは最も消費電力の少ないものであり、本装置全体の平均消費電流は約10mAとなり、12V(容量36AH)のバッテリー1個で十分まかなうことが可能である。

メモリー装置にたくわえられるデータの量は最大12日分であるので、12日以内に図-12のようにコピー装置を自動車に積んで現地に向向き、メモリー装置のデータをコピーする。この作業に要する時間は約15分で、メモリー装置のバッテリー交換もこのとき同時に行なう。そして、メモリー装置は再び12日間の自動観測に入る。

写真-7に、筆者らの開発したコピー装置の外観を示す。

コピー装置は一種のマイクロコンピュータシステムで、データは写真-8に示すような標準サイズのディスクケットに記録される。コピー装置はAC100V電源を要するが、バッテリーインバーターによって自動車のバッテリーで駆動できる。また、コピー装置に小型のプリンターを接続し、図-13に示すような型式で、現地でモニターができる。

コピー装置が作製するディスクケットの書式はIBM基本交換型式に合わせてあるので、大型計算機に直接入力することが可能である。

筆者らは、大型計算機でデータ処理を行なうことを前提としたため標準ディスクケットドライブを使ったが、最近では非常に安価なパーソナルコンピュータが多種類市販されている。本システムのメモリー装置はEIA規格のRS-232C方式となっており、これらのパーソナルコンピュータをコピー装置として接続することができる。また、簡単な処理であればパーソナルコンピュータでもデータ整理が行なえる。このように、独立システムはデータコピーを含めて、誰れでもが容易に手持のパーソナルコンピュータでデータ処理ができることを特長として

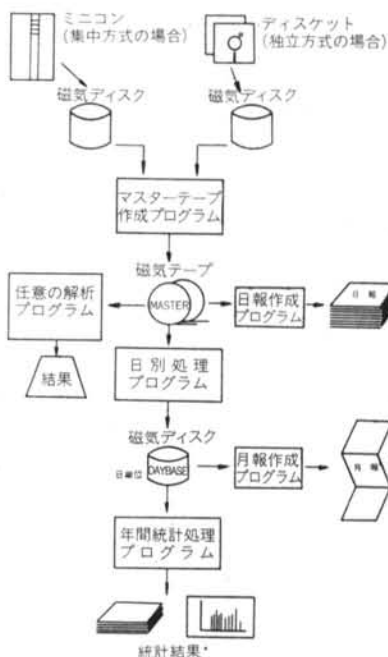


図-14 基本的データ処理のフロー

いる。

この独立方式のデータ集録システムは現在、五反田の簡保会館の建設計画地周辺で昭和54年10月から使用されている。写真-8に独立システムの取付例を示す。

#### § 4. 観測データの基本的データ処理

これまでに述べたような風観測システムによって大型計算機に入力されたデータは、概略図-14に示すような処理にかけられる。集中方式の集録データは研究所のミニコンを通じて、また独立方式の集録データはディスクケットによって、それぞれ磁気ディスク上のデータセットに入れられる。データはMASTERと名付けた磁気テー

MARCH 1979		MONTHLY WIND TABLE						
DAY		CH1			CH2			
		D.A.W. (M/S)	D.M.W. (M/S)	D.M.G. (M/S)	D.A.W. (M/S)	D.M.W. (M/S)	D.M.G. (M/S)	
1	1.5	3.2	NW	9.3	0.9	141	1.6	6.8
2	1.4	2.5	NW	7.7	0.9	144	1.4	5.2
3	0.7	1.4	NW	3.9	0.7	144	1.6	3.6
4	0.6	1.4	NW	3.6	0.7	144	0.9	3.0
5	0.6	1.4	NW	4.8	0.9	144	2.0	5.2
6	0.6	1.6	SSE	3.9	0.6	144	2.3	4.8
7	0.9	1.8	NW	4.8	0.7	138	1.4	3.6
8	0.6	1.1	NW	3.4	0.6	144	1.4	3.4
9	0.7	1.4	NW	4.3	0.8	144	1.8	4.5
10	1.1	3.0	SE	8.2	1.3	144	3.9	12.5
11	2.9	6.1	NW	12.0	1.3	144	1.8	10.0
12	0.6	2.5	NW	6.1	0.5	144	1.1	3.9
13	0.5	0.9	WNW	2.3	0.4	144	0.7	2.0
14	0.4	0.9	SSE	2.5	0.5	144	1.4	3.4
15	0.9	3.0	NW	7.5	0.7	144	1.4	3.6

DAW(日平均風速), DMW(日最大風速), DMG(日最大瞬間風速)

図-15 月報

