

報 文

気象観測塔における乱流変動量の観測とデータ処理について

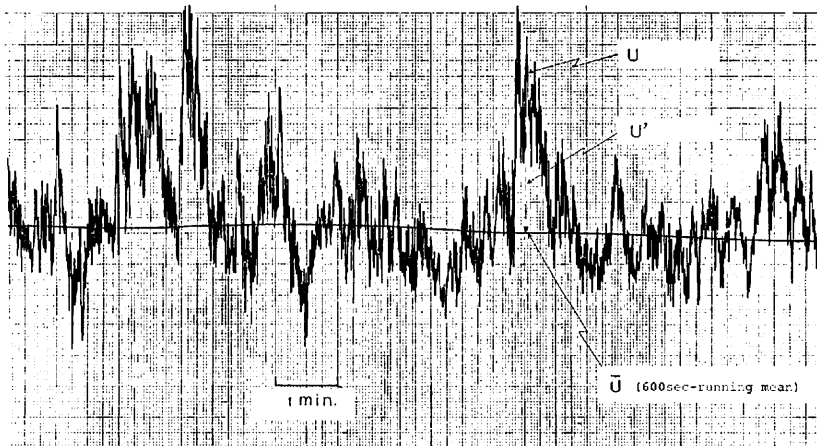
甲 斐 憲 次

I はじめに

接地境界層（地表面に接する厚さ数10mの大気の層）は地表面の影響が強く、乱流状態にある。そのため風の乱れは広い範囲の周波数成分をもっている。例えば数日を周期とするシノブテックな変動（ 3×10^{-6} Hz 程度）から、最高10Hz程度の速いものまで含まれている。図1に示す実際の風速変動の記録は、その様子を表わしている。それはまた、接地境界層の乱流構造が投影されたものとみることができる。

変動の強さ（エネルギー）と周波数との関係、

つまりスペクトルは、変動過程の理解のために基礎的な情報をあたえる。計算機によるスペクトルの計算法は、Blackman・Tukey (1958) によって確立された。Van der Hoven (1957) は風速変動のスペクトルを計算し、シノブテックスケールの気圧系の通過に対応する4~5日の周期、日変化による1日程度の周期、地表面付近の乱れに起因する数10秒~1分の周期のところに energy peak が存在することを報告した。石崎・光田・花房 (1968, 1969)、Smedman-Högström・Högström (1974) は別の資料からこの問題を再検討した。工学的な側面から強風の構造と建築物の耐風性と



Record of the fluctuation of horizontal wind velocity
 $U = \bar{U} + U'$

図1 風速変動の記録

の関係調べるために、Davenport (1961), 石崎・許 (1967), 光田・森 (1974), 塩谷 (1975) は、自然風のスペクトルの関数形を求めている。

一方、1966年に発表された超音波風速温度計は、大気境界層の研究(特に乱流構造・乱流輸送の研究)に応用され、種々の研究成果が得られている(Mitsuta, 1966)。超音波風速温度計で乱流輸送量を直接測定する場合は一般に渦相関法(eddy correlation method)が用いられるが、この方法によればデータ処理が膨大なものになり、非常に多くの労力と時間を要する。この問題を解決するために、Hanafusa (1971) は変動量の平均、標準偏差、共分散等をアナログ的に処理する装置を開発した。

筆者は1976年9月15日、筑波大学水理実験センター内圃場予定地にたてられた気象観測塔(地上30m)で、超音波風速温度計による乱流変動量の観測を実施した。測定高度は、0.8m, 12.8m, お

よび30mである。測定および記録については、同センターの熱収支観測システムを使用した。同システムは、超音波風速温度計、アナログデータ処理装置、デジタルデータ集録装置およびその他の計測器で構成されている。観測の目的は、接地境界層における風の乱れの3次元構造を定量的に把握することである。本研究ではその第一段階として、熱収支観測システムを使用した場合の観測実施方法・データ処理方法の検討を行った。1977年には気象観測塔を中心とする半径約80mの円形圃場がほぼ完成し、同年9月26日~10月5日に鉛直乱流輸量の観測を行った。本文では観測方法・データ処理の詳細を述べ、最後に2, 3の解析例をとりあげて報告する。

II 乱流変動量の観測

II-1 気象観測塔と観測システム

水理実験センターの気象観測塔の位置と地形を図2に示す。1976年の観測当時、センター敷地の

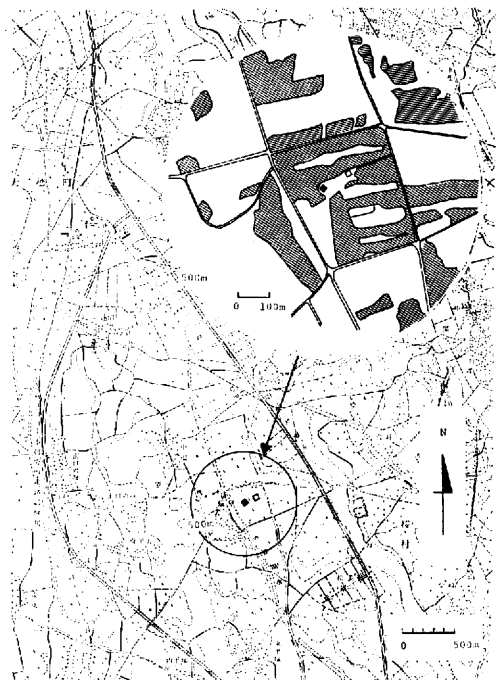
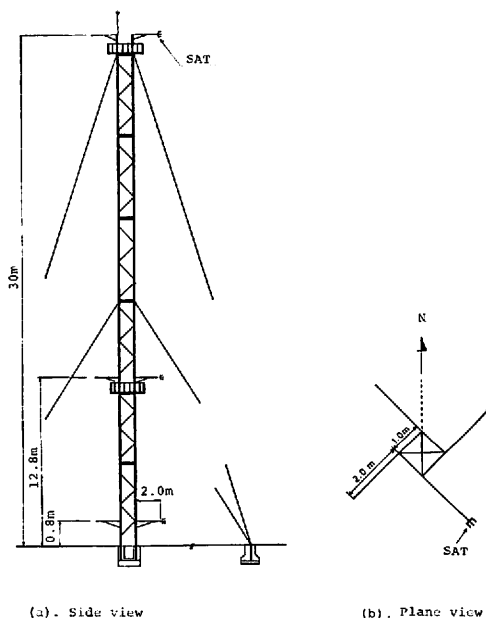


図2 気象観測塔周辺の地形(1976年9月)



The ERC 30-m meteorological tower (Sept., 1976)

SAT : Three dimensional sonic anemometer - thermometer

図3 気象観測塔(1976年9月)

大部分は、赤松に杉を混じえた粗林（赤松の高さは約10m）となっている。塔の南西部分、および塔と仮設観測室との間の部分は裸地である。図3に示すように、塔は1辺1mの正角柱の鉄塔で、その0.8m、12.8m、30mの高度には4方向に長さ2mのアームが出ている。南東方向のアームの先端に、sound path 20cmの超音波風速温度計センサーが設置されている。1977年には北西方向のアームにも同じセンサーが設置され、また塔を中心とする半径約80mの円形の圃場がほぼ完成した。詳細については、古藤田・佐倉・林・甲斐(1978)を参照されたい。

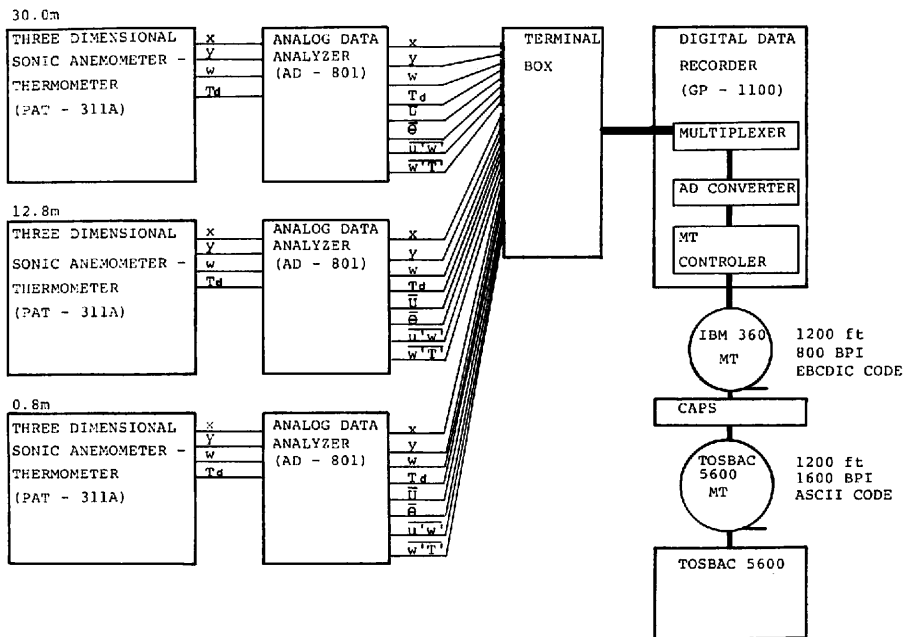
1976年9月15日の観測に用いた観測システム・データ処理の一部を、図4のブロック図に示す。以下、その概略を説明する。

海上電機 K. K. の3成分型超音波風速温度計 (PAT-311A型) は、超音波パルスを20cm離れた送受波器の間 (sound path) で往復させ、伝達時間の差から3方向の風速成分 x, y, w を算出する。ここで x は東西成分、 y は南北成分、 w は

鉛直成分である。また伝達時間の和から音仮温度 (気温の近似値) を算出する (Mitsuta, 1966; 海上電機 K. K., 1972)。PAT-311A は、従来の風速計のような可動部分がまったくないので応答が優れていること、また鉛直成分と水平風速、気温との共分散 (運動量、顕熱の鉛直乱流輸送量に比例した量) が求められること等の利点をもっている。

アナログデータ処理装置 (AD-801型) は、PAT-311A の出力からその平均値、ベクトル合成値、共分散をアナログ的に演算すると同時に、風速3成分の温度補正を行う。

デジタルデータ集録装置 (GP-1100型) は、多チャンネルのアナログ入力信号 (最大100チャンネル) を入力走査器 (multiplexer) で順次切換えながらサンプルし、AD変換器によってデジタル信号に変換し、それを磁気テープ上に記録する。磁気テープは計算機による統計処理に用い、その規格は次に示すように、IBM-360スタンダードである。



The block diagram of the observational system.

図4 観測システムのブロック図

- (1) テープ長：1200ft
- (2) テープ幅： $\frac{1}{2}$ inch
- (3) 記録密度：800bpi
- (4) トラック数：9
- (5) 文字コード（出力信号形式）：EBCDIC
- (6) ブロック構成：時刻および20回分のレコード
- (7) I. B. G. (inter block gap)：0.6inch

1977年9月26日～10月5日の観測に用いた観測システムについては、古藤田・佐倉・林・甲斐(1978)を参照されたい。

II-2 観測の実施

乱流変動量の観測は、1976年9月15日の日中(11時から17時10分まで)に行った。サンプリング間隔は0.05sec、観測時間は10分で、計7回のRunを実施した。当日は雲量1～2程度の晴れた日で、不安定成層時の資料が得られた。超音波風速温度計の出力(フルスケール1000mV)は、デジタルデータ集録装置によって20HzでサンプルしAD変換して磁気テープに集録した。風速3成分と気温変動量の他に、アナログデータ処理装置で処理した平均風速 \bar{U} 、平均風向 $\bar{\theta}$ 、および渦相関 $\overline{u'w'}$ 、 $\overline{w'T'}$ も同時集録した。気温のプロファイルはアスマン通風乾湿計で測定した。

鉛直乱流輸送量の観測は、1977年9月26日～10月5日に実施した。この観測は熱収支観測システムのテストランとして行われ、60secのサンプリング間隔を採用した。観測期間中の10月2日夜間に停電があり、磁気テープに記録ミスが生じたので、今回は9月29日から10月1日までの資料を処理した。

III データ処理

III-1 前処理

デジタルデータ集録装置(GP-1100型)で出力した磁気テープデータの統計処理に先立って、次の前処理を行った。

(1) IBM-360スタンダードの磁気テープデータを筑波大学計算センターのTOSBAC-5600で入力するときは、磁気テープのラベル・テープフ

ォーマット・文字コード・記録密度等を変換する必要がある。すなわち、ラベルおよびテープフォーマットを標準形式に、文字コードをASCIIコードに、記録密度を1600bpiにそれぞれ変換する。このような変換は、プログラムCAPS 36 DMA (Conversion Aid Programming System for I-360 Data to T-5600 ASCII Data)で行う。

(2) (1)の変換を行った磁気テープデータは、文字型データ(いわゆる英数字)である。これを数値として取り扱うためには、DECODE文(内部データ変換)により数値データに変換する必要がある。

(3) 数値に変換したデータの単位はmVになっているから、これを物理単位に変換する。

以後の処理は、通常のものと同じである。前処理の例については、古藤田・佐倉・林・甲斐(1978)を参照されたい。なおIBM-360スタンダードの磁気テープデータとの互換性を有する計算機(例えばMELCOM 7000など)で処理する場合、(1)の処理は不用となる。

III-2 磁気テープデータの計算機処理法

本研究で使用した統計処理プログラムの概略を説明する。

(1) データの入力と平均処理

磁気テープ上のファイル構成(1976年9月15日の観測の場合)を、図5に示す。この図からわかるように、7つのファイルからなる1リール・マルチ・ファイルの磁気テープになっている。テープマーク(TM)に囲まれた部分が、データを記録できる領域である。ソフトラベルには、各ファイルおよびデータに関する情報(観測開始時刻、サンプリング間隔、入力チャンネル数など)が書き込まれている。

データブロックは、サンプリング時刻(3ワード)および20回分のレコードからなる。磁気テープデータの受渡しは、通常このブロック単位で行われる。観測では24チャンネル使用したので、1つのレコード(同一時刻にサンプルされたデータの集合)は、24個のデータ(24ワード)で構成されて

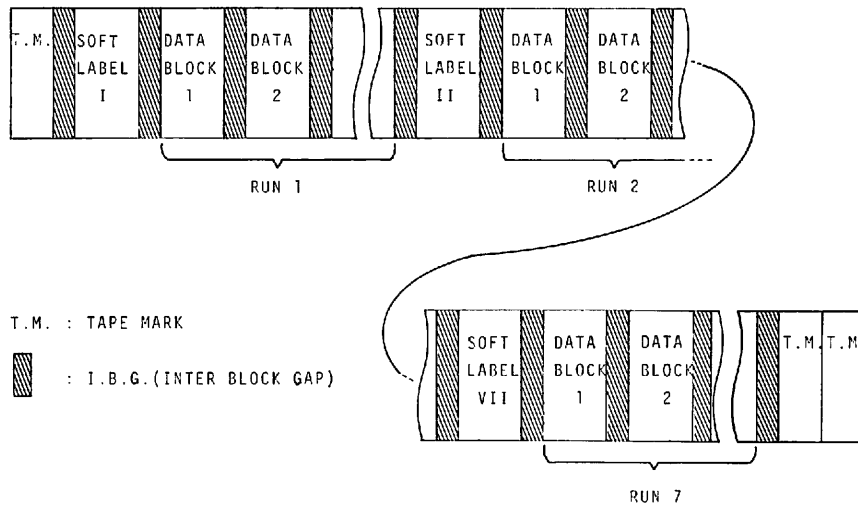
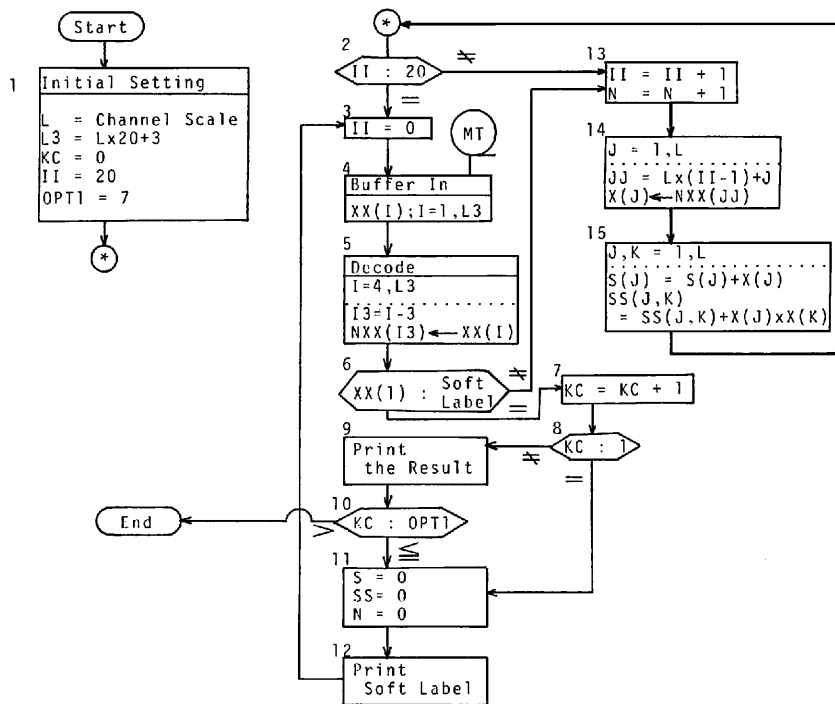


図5 磁気テープ上のファイル構成 (1976年9月15日の観測の場合)



Flow chart for statistical analysis

図6 データの入力と平均処理のフローチャート

いる。したがって、データブロックのワード数は、

$$\begin{matrix} 3 & + & 20 & \times & 24 & = & 483 \text{ワード} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots & & \\ (\text{サンプリング時刻}) & & (\text{ブロック化係数}) & & (\text{入力チャネル数}) & & \end{matrix}$$

となる。

次にデータの入力と平均処理の手順を説明する。図6は、このためのフローチャートである。データの入力は、ブロック単位で(20レコードまとめて)行い、1ブロック分のデータをバッファメモリXXに記憶させる。計算のためのメモリをXとし、バッファメモリXXから1レコード分ずつXへ移し(デブロック化)、Xに対する平均処理を行う(上田, 1971)。

ステップ1 : パラメータの読み込みと初期値の設定を行う。主な記号は、次の通りである。

- L : 入力チャネル数。
- L3 : 1ブロックのデータ数。
- KC : ソフトラベルのカウンター。
- II : XX からXへ移されたレコード数。
- OPT1 : KC のチェック。KC の値が7を越えたら、計算を打ち切る。
- XX : バッファメモリ。
- X : 1レコード分のメモリ。計算のため使用する。
- NXX : XX の文字型データを DECODE したデータ。
- S, SS : Xの和および積和。
- N : データ数。

ステップ2~3 : IIが20に達したら、それをクリアする。そうでなければ、Xに対する平均処理を行う。

ステップ4 : 磁気テープから1ブロック分のデータをバッファメモリXXへ読み込む。

ステップ5 : XXのうち時刻(3ワード)以外のデータを DECODE して数値に変換する。そのためのメモリをNXXとする。

ステップ6 : 読み込んだデータがソフトラベルかどうか判定する。

ステップ7~9 : ソフトラベルの回数をカウント

する。KCが1ならば、ステップ11にジャンプする。それ以外ならば、各ファイルの計算結果を出力する(ステップ9)。

ステップ10 : KCの値が7を越えたら、計算を打ち切る。

ステップ11~12 : S, SS, N をクリアし、ソフトラベルの内容をプリントする。

ステップ13~15 : NXX から1レコード分ずつXへ移す(デブロック化)。IIはその回数をカウントする。Xに対する平均処理を行う(ステップ15)。この操作を20回繰り返す。

(2) 風速3成分 岩谷・塩谷・黒羽(1975)を参考にして、風速3成分を定義した。超音波風速温度計で測定した風速の東西成分 x_i 、南北成分を y_i 、鉛直成分を w_i ($i=1, 2, \dots, N$; N はデータ数)とする。 x_i, y_i, w_i は瞬間値である。 $x_i > 0, y_i > 0, w_i < 0$ のときは、それぞれ東風、北風、下降風が吹いている場合である。次のベクトル平均を用いて、平均風速 \bar{U} および平均風向 $\bar{\theta}$ ($0 \sim 360^\circ$: 時計回りに北となす角度)を決めた。

$$\bar{\theta} = \arctan(\bar{x}_i / \bar{y}_i) \dots \dots \dots (1)$$

$$\bar{U} = \sqrt{\bar{x}_i^2 + \bar{y}_i^2} \dots \dots \dots (2)$$

次に平均風向 $\bar{\theta}$ を用いて、水平2方向の風速成分 x_i, y_i をそれぞれ、主風向成分 u_i 、側方向成分 v_i に変換した。

$$u_i = x_i \cos(\pi/2 - \bar{\theta}) + y_i \sin(\pi/2 - \bar{\theta}) \dots \dots (3)$$

$$v_i = -x_i \sin(\pi/2 - \bar{\theta}) + y_i \cos(\pi/2 - \bar{\theta}) \dots \dots (4)$$

このようにして求めた u_i, v_i, w_i を、風速3成分とした。

(3) 鉛直乱流輸送量 顕熱および運動量の鉛直乱流輸送量は、次に示す渦相関法で求めた。

$$\tau = -\rho \overline{u'w'} \dots \dots \dots (5)$$

$$H = \rho C_p \overline{w'T'} \dots \dots \dots (6)$$

ここで、 τ は運動量フラックス、 H は顕熱フラックス、 ρ は密度、 C_p は定圧比熱である。

(3) 気層の安定度 次式により、リチャードソン数 R_i 、および z/L (L はMonin-Obukhovの長さ)を求めた。

$$R_i = \frac{g(\Gamma_a + \Delta T_a / \Delta z)}{T_a (\Delta U / \Delta z)^2} \dots \dots \dots (7)$$

$$I_z = \frac{U_*^3}{k \frac{g}{T_d} w' T'} \dots \dots \dots (8)$$

ここで U_* は摩擦速度, k はカルマン常数, g は重力加速度, T_d は乾燥断熱減率, T_a は気温, z は測定高度である。

III-3 パワースペクトルの計算法

(1) 原理 Wiener-Khinchine の定理より, パワースペクトル密度関数 $S(n)$ は自己共分散関数 $C(t)$ のフーリエ変換として, $(-\infty, +\infty)$ の周波数領域で定義される。ただし, n は周波数, t はラグタイム, j は虚数単位である。

風速の水平成分 u のパワースペクトル密度関数 $S_u(n)$ は, 次式であたえられる。

$$S_u(n) = \int_{-\infty}^{\infty} C_u(t) \exp(-j2\pi nt) dt \dots \dots (9)$$

パワースペクトル密度関数は偶関数であるから, (9)式は次のように変形される。

$$\begin{aligned} S_u(n) &= \int_{-\infty}^{\infty} C_u(t) \cos 2\pi n t dt \\ &= 2 \int_0^{\infty} C_u(t) \cos 2\pi n t dt \dots \dots \dots (10) \end{aligned}$$

その逆変換は,

$$C_u(t) = 2 \int_0^{\infty} S_u(n) \cos 2\pi n t dn \dots \dots \dots (11)$$

となる。したがって u 成分の分散 σ_u^2 , すなわち変動の全エネルギーは,

$$\sigma_u^2 = C_u(0) = 2 \int_0^{\infty} S_u(n) dn \dots \dots \dots (12)$$

となる。(12)式からパワースペクトル密度関数 $S_u(n)$ は, 変動の全エネルギー σ_u^2 に寄与する各周波数成分の大きさを示していることがわかる。

次式による変換を行うと,

$$\int_{N_L}^{N_H} S_u(n) dn = \int_{N_L}^{N_H} n S_u(n) d(\log n) \dots (13)$$

横軸に $\log n$, 縦軸に $nS(n)$ をプロットした曲線下の面積は, 周波数領域 (n_L, n_H) における変動のエネルギーに比例する。

表1 パワースペクトル計算のパラメータ
Parameters for spectra calculations

	I	II
N : Data points	500	500
Δt : Sampling period [Sec]	0.05	1
T_0 : Sampling duration [Sec]	25	500
h : Longest lag	50	50
f_s : Sampling frequency [Hz]	20	1
f_c : Nyquist frequency [Hz]	10	0.5
f_r : Resolution [Hz]	0.2	0.01

有限個のデータからパワースペクトル密度関数を推定する方法については, いくつかの方法が発表されているが, 今回は標準的な Blackman-Tukey 法を採用した。具体的な計算機処理法については, 赤池・中川 (1972) と石崎・光田・花房 (1968) を参考にした。

(2) 計算計画 表1にパワースペクトルの計算計画を示す。この表のパラメータは, 次のようにして求めた。

サンプリングの定理から, サンプリング周波数 f_s , ナイキスト周波数 f_c (解析できる最高の周波数), および分解能 f_r は,

$$f_s = 1/\Delta t \dots \dots \dots (14)$$

$$f_c = 1/(2\Delta t) = f_s/2 \dots \dots \dots (15)$$

$$f_r = \frac{1}{h} - \frac{1}{2\Delta t} = f_c/h \dots \dots \dots (16)$$

となる。ここで Δt はサンプリング間隔, h は最大ラグである。

表1のIの方法では, サンプリング間隔 $\Delta t = 0.05\text{sec}$, データ数 $N = 500$, 最大ラグ $h = 50$ を採用して, $0.2 \sim 10\text{Hz}$ の周波数領域のスペクトルを計算した。IIの方法では, $\Delta t = 1\text{sec}$ として, $0.01 \sim 0.5\text{Hz}$ の周波数領域のスペクトルを計算した。本文では, IおよびIIの方法で計算した結果を合成して, スペクトル図を作成した。

IV 解析結果

IV-1 乱流統計量のプロファイル

1976年9月15日の観測 (Run 1 ~ 7) の解析結

表 2 觀 測 結 果

The results of the observations (1)

Sept. 15, 1976

Run No.	Starting time	Sampling duration (sec)	Data points	Height (m)	x (m/s)	y (m/s)	w (m/s)	\bar{u} (m/s)	$\bar{\theta}$ (°)	$\overline{u'v}$ (m/s)	$\overline{v'w}$ (m/s)	$\overline{w'w}$ (m/s)
1	11h00m02s	600	12000	.8	1.91	.76	-.19	2.06	68.46	.901	.787	.511
				12.8	4.31	.08	-.12	4.31	88.98	1.275	1.195	.791
				30.0	5.32	.62		5.36	83.32	1.040	.898	
2	11h30m00s	600	12000	.8	1.86	.93	-.15	2.08	63.47	.849	.855	.416
				12.8	4.10	.72	-.19	4.16	80.10	1.300	1.274	.759
				30.0	4.96	1.21		5.11	76.28	1.337	1.034	
3	12h00m00s	600	12000	.8	1.74	.60	-.19	1.85	70.89	.791	.664	.467
				12.8	3.80	-.35	-.17	3.81	95.20	1.184	.923	.731
				30.0	4.59	-.39	.28	4.70	94.83	1.073	.913	.738
4	13h59m59s	600	12000	.8	1.77	.59	-.17	1.87	71.59	.838	.620	.442
				12.8	3.91	-.04	-.09	3.91	90.52	1.028	1.084	.754
				30.0	4.98	.38	.38	4.99	85.63	1.122	1.044	.741
5	15h00m00s	600	12000	.8	1.82	.75	-.15	1.97	67.56			.366
				12.8	3.50	.50	.04	3.53	81.89			.771
				30.0	4.66	.94	.38	4.75	78.62			.771
6	16h00m00s	600	12000	.8	1.73	.64	-.18	1.84	69.71			.431
				12.8	4.19	-.38	-.13	4.21	95.19			.707
				30.0	5.34	-.19	.25	5.34	91.99			.687
7	17h00m13s	600	12000	.8	1.30	.54	-.11	1.40	67.47	.644	.717	.360
				12.8	3.52	0.47	-.01	3.55	97.63	.914	.749	.616
				30.0	4.45	-.74	.28	4.51	99.39	.968	.795	.617

The results of the observations (2)

Sept. 15, 1976

Run No.	Height (m)	$\overline{u'u}$	$\overline{v'v}$	$\overline{w'w}$	$\overline{u'w'}$		$\overline{w'T'}$		Ri	Z/L	T _d (°C)
					Analog		Digital				
					(m ² /s ²)	(m ² /s ²)	(m/s·°C)	(m/s·°C)			
1	.8	.438	.383	.248	-.075	-.103	.105	.122		-.062	24.8
	12.8	.296	.277	.183	-.404	-.391	.278	.300		-.218	24.4
	30.0	.194	.167	.001					-.374		23.6
2	.8	.408	.411	.200	-.079	-.062	.095	.073		-.040	25.1
	12.8	.312	.306	.182	-.315	-.388	.265	.288		-.253	24.7
	30.0	.262	.202	.058					-.355		24.1
3	.8	.428	.360	.253	-.079	-.067	.113	.099		-.047	25.0
	12.8	.310	.242	.192	-.302	-.418	.216	.238		-.240	24.7
	30.0	.233	.198	.160	-.181	-.283	.209	.178	-.417	-.918	24.0
4	.8	.449	.332	.237	-.075	-.073	.082	.069		-.038	25.3
	12.8	.263	.277	.193	-.368	-.325	.225	.189		-.143	24.9
	30.0	.225	.209	.148	-.218	-.188	.212	.119	-.155	-.504	24.4
5	.8			.186	-.051		.048	.045		-.038	25.4
	12.8			.218	-.349		.212	.229		-.187	24.9
	30.0			.162	-.265		.219	.182	-.240	-.533	24.1
6	.8			.234	-.062		.021	.010		-.008	24.2
	12.8			.168	-.228		.124	.133		-.204	24.0
	30.0			.129	-.161		.208	.083	-.064	-.487	23.7
7	.8	.459	.511	.257	-.030	-.038	-.014	-.016		.022	22.3
	12.8	.257	.211	.173	-.238	-.208	.064	.048		-.072	23.0
	30.0	.214	.176	.137	-.147	-.120	.156	.014	-.063	-.091	22.7

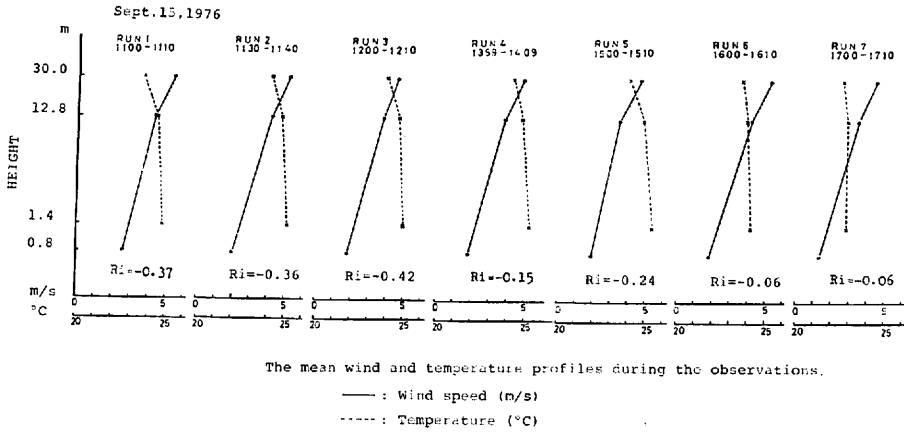


図7 観測中の平均風速・気温のプロファイル

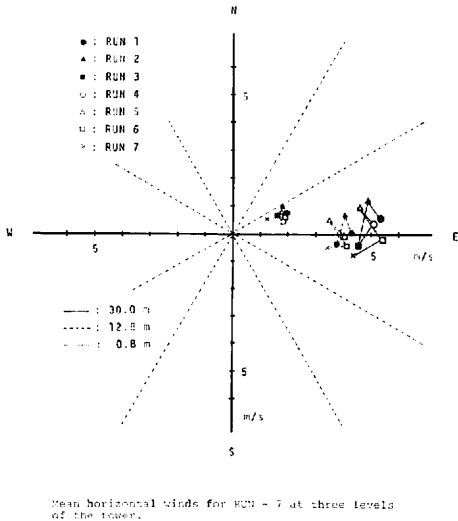


図8 観測中の平均風向・風速の変化

果を、表2にまとめた。表の $\overline{u'w'}$, $\overline{w'T'}$ に関しては、アナログ方式 (AD-801による) とデジタル方式 (統計処理プログラムによる) とによる計算結果を、比較のために示した。

図7に風速・気温のプロファイルを示す。図中には、高度12.8mと30mとの資料から求めたリチャードソン数を示した。図8からわかるように、観測期間中は東寄りの風が卓越している。

乱れの大きさを風速3成分の標準偏差 $\sigma_u, \sigma_v, \sigma_w$ で定義して、その高度分布をみると (表2-1)、高度12.8mと30mではほぼ同程度の値をとるが、高

度0.8mではその6~7割程度である。乱れの場合を $\sigma_u, \sigma_v, \sigma_w / \bar{U}$ で定義すると、その高度分布は下方ほど大きくなっている (表2-2)。すなわち下方ほど平均風速に対する変動量の割合が大きくなっている。

N-2 風速3成分のスペクトル

Kolmogorov の乱流理論における慣性小領域 (inertial subrange) では、乱流スペクトル密度 $S(n)$ は $-5/3$ 乗則に従うことが知られている。

$$S(n) \sim \varepsilon^{2/3} \bar{U}^{-2} n^{-5/3} \quad (17)$$

ここで ε は乱流エネルギーの熱への消散率である。

Run 4の解析例を図9に示す。図中の一点破線 (—・—) は、 $-5/3$ の傾きをもつ。この図からわかるように、0.05~10Hzの周波数領域において、風速3成分のスペクトル密度は $-5/3$ 乗則で近似できることが確認された。

次に(18)式による変換を行い、いわゆる logarithmic spectra を求めた結果が、図10である。この図では横軸に周波数 $\log n$ 、縦軸に $nS(n)$ をとっている。ここでスペクトル曲線の山を energy peak と呼ぶことにすると、energy peak の出現する周波数帯の乱れが支配的な役割を果していると考えられる。図10-aと図10-bから、風速の水平成分 u, v のスペクトル分布では、高度が増すにつれて energy peak が低周波側へ移動している。鉛直成分 w のスペクトル分布は、水平成分

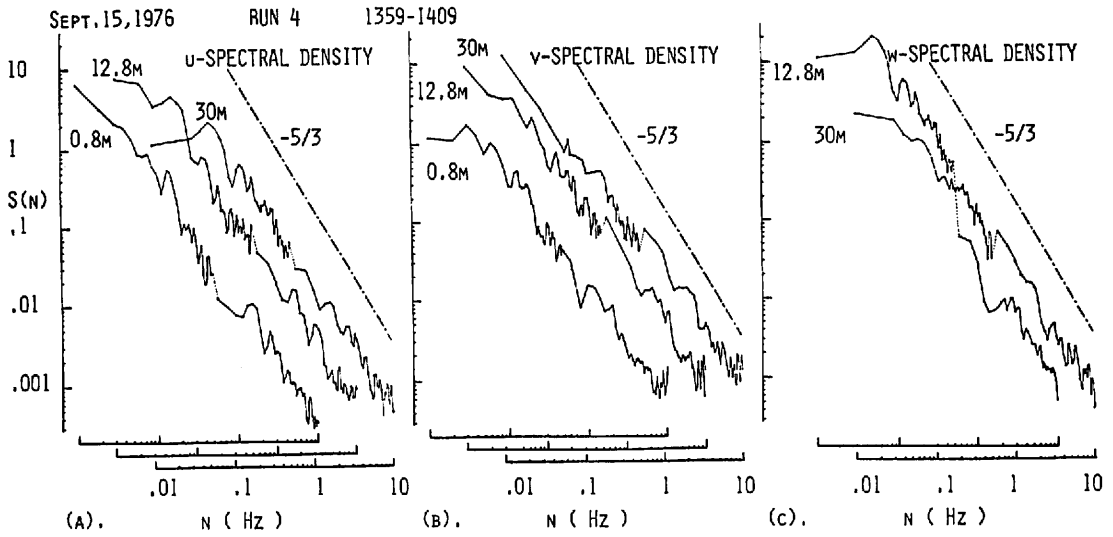


図9 風速3成分のパワースペクトル密度
(a): 主風向成分 (b): 側方向成分 (c): 鉛直成分

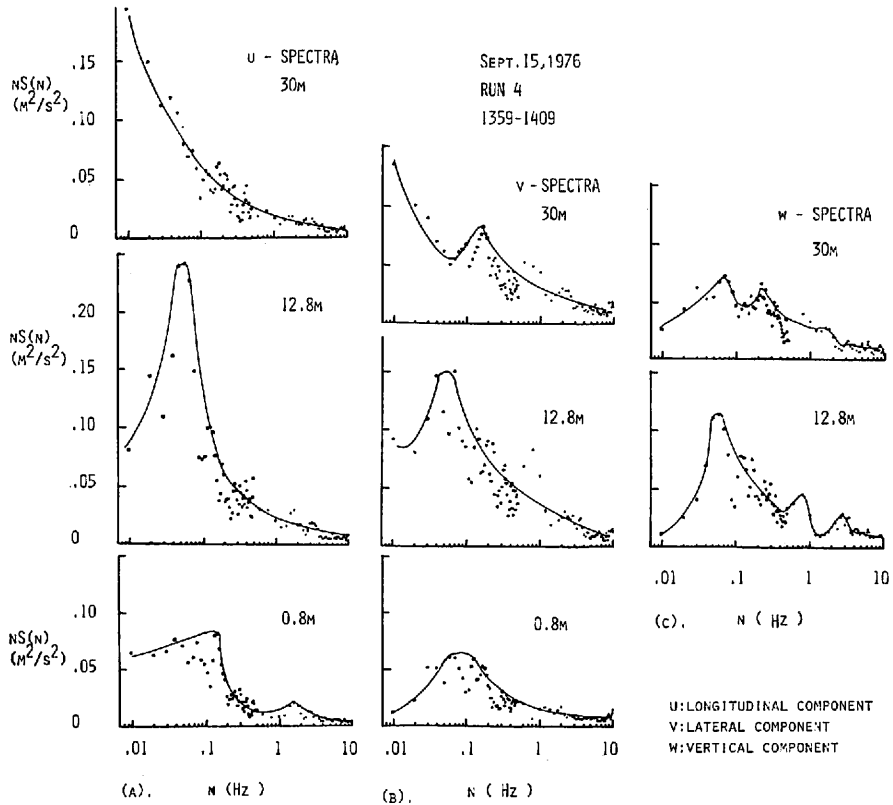


図10 風速成分のスペクトル分布
(a): 主風向成分 (b): 側方向成分 (c): 鉛直成分

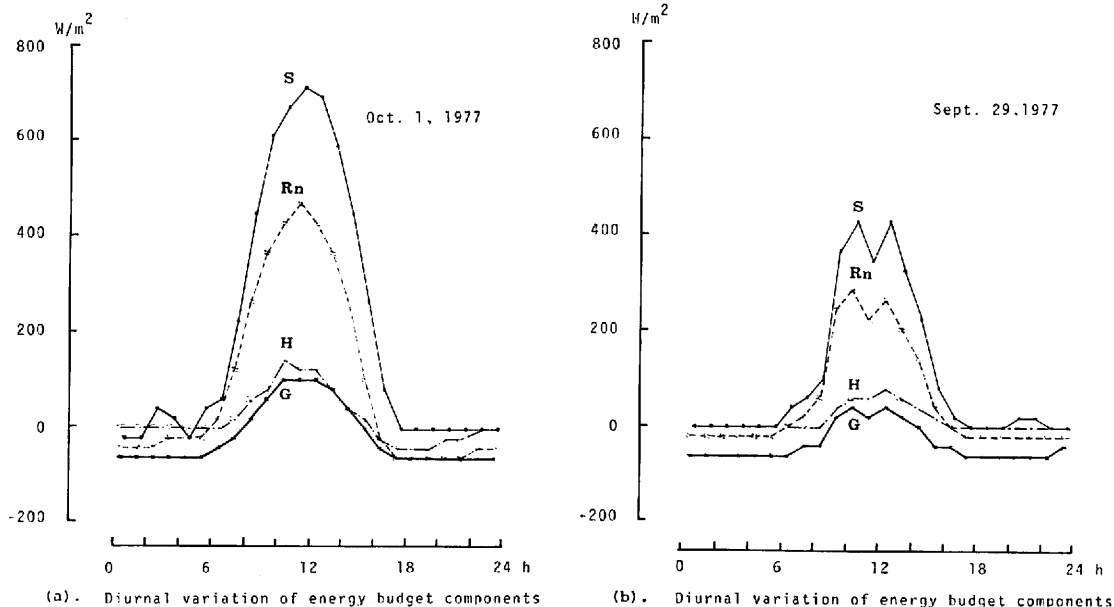


図11 熱収支項の日変化

S: 日射量 Rn: 正味放射量 H: 顕熱フラックス G: 地中熱流量 (地下2 cm で測定)

と比較すると、低周波側でのエネルギーの寄与が小さくなっている (図10-c)。

V-3 熱収支項の日変化

1977年9月29日および10月1日の結果を図11に示す。図11-aは晴天時、図11-bは曇天時の例である。図中の値は1時間平均値で、単位は W/m^2 である。顕熱フラックスの測定高度は1.6mである。

V おわりに

接地境界層における風の乱れの3次元構造を定量的に把握するために、気象観測塔を中心とする熱収支観測システムを用いて、乱流変動量の観測を実施した。本研究ではその第一段階として、同システムを使用した場合の観測実施方法・データ処理方法の検討を行い、2, 3の解析例を提出した。解析結果をさらに詳しく分析し議論することは、ここでは省略する。

今後の課題としては、

- (1) 測器の検定・比較観測を十分に行い、得られた観測値の精度を確保すること。

- (2) 大量のデータを効率よく処理するソフトウェアを開発すること。

同センターでは、来年度から熱収支・水収支観測システムによるルーチン観測の実施が予定されているが、本研究がそのために多少でも役立てばさいわいである。

本研究を進めるにあたっては、東京教育大学 (現筑波大学) の関口武先生、榎根勇先生、川宮兵衛先生の御指導をいただき、また水理実験センターからは観測システムおよび計算費を提供していただいた。測器の取扱い方法に関しては海上電機 K. K. の小堀泰宏氏から御指導をいただき、プログラミングに関しては筑波大学院生の牧田正宏氏から暖かい助言をいただいた。ここに謝意を表す次第であります。

文 献

- 赤池弘次・中川東一郎 (1972): 『ダイナミックスシステムの統計的解析と制御』、サイエンス社、189p.
 石崎澄雄・光田寧・花房龍男 (1998): 風速変動の長周期成分について、京大防災研年報、11号A、489-497.

- 石崎澄雄・光田寧・花房龍男 (1969) : 風速変動の長周期成分について(2). 京大防災研年報, 12号A, 227-235.
- 石崎澄雄・許昌九 (1967) : 建築物に加わる風圧変動のスペクトルについて. 京大防災研年報, 10号A, 345-353.
- 岩谷祥美・塩谷正雄・黒羽閑夫 (1975) : 建物周辺の風——日本大学習志野校舎周辺の場合. 天気, 22-6, 303-310.
- 上田尚一 (1971) : 『統計処理プログラム』, サイエンス社, 171p.
- エレクトロニクスダイジェストK. K. 編 (1975) : 『アナログデータレコーダハンドブック』, エレクトロニクスダイジェストK. K., 161p.
- 海上電機K. K. (1972) : 超音波風速温度計およびデータ処理装置取扱説明書.
- 海上電機K. K. (1976) : GP-1100型磁気テープ式DDP取扱説明書.
- 古藤田一雄・佐倉保夫・林陽生・甲斐憲次 (1978) : 水理実験センターにおける熱収支・水収支観測システムとデータ集録・処理装置について. 筑波大学水理実験センター報告, 第2号, 65-89.
- 東京芝浦電気K. K. 電子計算機事業部 (1975) : CAPS 36DMA (CAPS for I-360 DATA to T-5600 ASCII DATA). 37p.
- 光田寧・森征洋 (1974) : 強風時における風速変動のスペクトルについて. 京大防災研年報, 17号B, 235-240.
- Blackman, R. B. and Tukey, J. W. (1958) : The measurement of power spectra from the point of view of communications engineering. Dover Publications, Inc. New York, 190p.
- Businger, J. A., Inoue, E., Mitsuta, Y. and Hanafusa, T. (1969) : Sonic anemometer comparison and measurements in the atmospheric surface layer. J. Met. Soc. Japan, 47, 1-12.
- Davenport, A.G. (1961) : The spectrum of longitudinal gustiness near the ground. Q. J. Roy. Met. Soc., 87, 194-221.
- Hanafusa, T. (1971) : New hybrid analog data acquisition system for atmospheric turbulence (HYSAT). Contri. Geophys. Inst. Kyoto Univ., 11, 47-56.
- Kaimal, J. C., Wyngaard, J. C., Izumi, Y. and Coté, O.R. (1972) : Spectral characteristics of surface-layer turbulence. Q. J. Roy. Met. Soc., 98, 563-589.
- Mitsuta, Y. (1966) : Sonic anemometer-thermometer for general use. J. Met. Soc. Japan, 44, 12-24.
- Mitsuta, Y. (1968) : Some results of direct measurements of momentum flux in the atmospheric boundary layer by sonic anemometer. J. Met. Soc. Japan, 46, 29-34.
- Smedman-Högström, Ann-Sofi and Ulf Högström (1975) : Spectral gap in surface-layer measurements. J. Atmos. Sci., 32, 340-350.
- Shiotani, M. (1975) : Turbulence measurements at the sea coast during high winds. J. Met. Soc. Japan, 53, 340-354.
- Van der Hoven, I. (1957) : Power spectrum of the horizontal wind speed in the frequency range 0.0007 to 900 cycles per hour. J. Met., 14, 160-164.