

宇治川水理実験所気象観測鉄塔による観測と解析(2)

—風と気温鉛直分布の季節変化日変化—

田中正昭・中島暢太郎・多河英雄

METEOROLOGICAL OBSERVATION AND ANALYSIS USING 55M HEIGHT TOWER AT UJIGAWA HYDRAULIC LABORATORY

—Diurnal and Annual Patterns of Wind and Vertical Temperature Distributions—

By *Masaaki* TANAKA, *Chotaro* NAKAJIMA and *Hideo* TAGAWA

Synopsis

Wind and vertical distribution of the temperature have been continuously observed from April 1976 using 55m height tower at Ujigawa Hydraulic Laboratory located in the southern part of the Kyoto Basin.

The diurnal and annual patterns of the 10-days average wind speed at 50m height, air temperature at 2m, 50m height and temperature differences between 50m and 25m height, between 25m and 2m height were revealed. The amplitude of the diurnal temperature variation decreased with height throughout the year. The peak of the diurnal temperature variation at 50m height lags about 1 hour behind at 2m height in winter, and about 30min. in summer.

1. まえがき

地表面から数10mないし2~300mの下層大気層内で発生する気象現象で、災害をもたらす、濃霧、異常低温、降霜などは、その規模が時間的にも空間的にも小さいため、通常の気象観測網では、観測点が粗すぎ、正確に現象の実体を把握することが不可能である。このようなことが主原因となって現在のところ、上記の諸現象の研究は、事後解析か、または短期間の不十分な断片的な観測によってなされているように思われる。現象発生後の事例解析は、現象の予報などに役立つもちろんこのような現象を研究する上で重要であるけれども、異常現象発生時はもちろん、通常時においても、下層大気内における熱量、水分量、運動量などのふるまいを知ることが問題を本質的に解明する上に必要不可欠である。このことは、下層大気層内での諸要素を時間的に連続観測することを意味する。われわれはこの認識の上に、宇治川水理実験所構内で下層大気の気象観測を開始した。

前報で報告した1975年度の予備的な観測に続いて、1976年4月から、50m高度における風向、風速および気温差、25m高度における気温差、2m高度の気温の測定を続け、一部欠測もあるが現在1977年4月まで、一年間の連続観測記録を得ることかできた。¹⁾ 本論文では、これらの観測記録をもちいて、各要素の年サイクル(季節変化)、境界層内で最も基本的な周期現象である日変化の様子を解析し、宇治川周辺、京都

南部地域の下層大気の気候特性を論ずる。

2. 測器の設置場所と精度

宇治川気象観測鉄塔の外観と観測測器の設置場所を、**Photo. 1** に示した。この写真は塔の北側から撮影したもので、塔の後面すなわち南側に写っている上手は、この地域をほぼ東から西に流れる宇治川の堤防で、その中心まで塔から約 50m あり、高さは約 7m である。さらにそこから約 30m 南に宇治川の水面がある。塔の下の地面は川の水面より約 1m 高く、海拔約 10m である。鉄塔の東側と北側には約 60m 離れて約 20m の高さの実験家屋があるが、西側には障害物となるものは無い。塔の下および周辺の地面は、もと湿地を埋め立てたもので、夏季の間は 20~30cm の雑草が繁茂する。

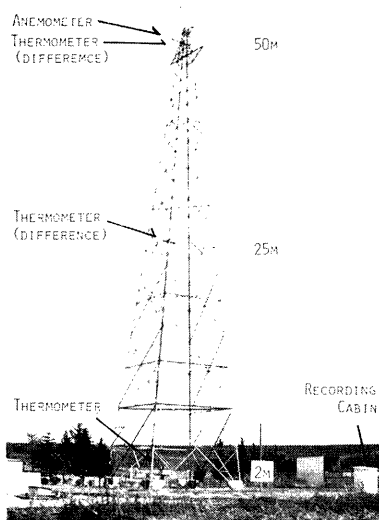


Photo. 1. A view of the observational tower at Ujigawa Hydraulic Laboratory from the north side.

現在設置され観測中の測器は、**Photo. 1** に示したように、風向風速計 (50m 高度)、温度計 (2m 高度)、温度差計 (50m, 25m 高度である。各々の測器についてその型式、性能は、つぎのようである。

風向風速計

光進電気工業 KK 製、コーシンペン KD-110 型、三素子、記録器 (風向、瞬間風速、10 分間平均風速)、風向軸起動: 90度において風速 2m/s 以下、風向発信器: 交流シンクロ式、風速発信器: 磁石式交流発電機 30V/2, 500 V.P.M.、起動風速 2m/s 以下。

Photo. 1 からわかるように、風向風速計発信器は塔の 50m 高度に北隅から北東に約 2m 離して取付け設置してある。したがって、特に南成分の風の場合、風上に鉄塔があり何んらかの影響を受けることが予想されるが、現在のところ定性的にも定量的にも不明である。

温度計、温度差計

小笠原計器製作所製、白金測温抵抗体発信器、横河製 6 打点自動平衡型記録計、測定範囲: 温度 -10~ +40°C (-5~ +5mV 出力) 温度差 -5~5°C (-5~+5mV 出力)、発信器の時定数温度、温度差とも 3 分 10 秒、打点間隔: 15 秒、精度: 温度 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 以内、温度差 $\pm 3^\circ\text{C}$ において $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 以内。

温度計発信器は 2m 高度、温度差計 (2m 高度との差) 発信器は 25m, 50m 高度の塔の内側に設置されている。発信器の白金測温抵抗体は防水型の保護管に収納され、外気の直射、放射の影響を最小にするため外部をステンレス製円筒でつつみ、さらにその中間はガラスウールで熱遮断を行い、内部の保護管のまわりに 5m/s 以上の強制通風を常時行っている。

記録計は風向風速、温度、温度差とも鉄塔から西へ約 15m 離れたところにある記録小屋に設置してある。

3. 観測結果と考察

解析にもちいた観測資料は 1976 年 4 月 11 日 0 時から 1977 年 4 月 10 日 24 時までの満一年間の、50m 高度の風向、10 分間平均風速、2m 高度の気温、2m と 50m 高度、2m と 25m 高度の温度差である。期間中の欠測数は、風向風速に関しては、停電その他によるものが数回あり、最も長いものは 2 月 26 日の 7 時から 21 時のものであった。温度および温度差では、11 月上旬と 2 月下旬の 2 回記録計にトラブルが生じ、どちらも約

Table 1. Monthly mean temperature and wind speed at Ujigawa Hydraulic Laboratory and Kyoto Meteorological Observatory.

	⁷⁶ 4	5	6	7	8	9	10	11	12	⁷⁷ 1	2	3	ave.
Temperature	2m	(14) 17.2	21.5	24.7	25.5	20.3	16.2	8.9	4.9	1.8	1.1	7.5	13.6
	25m	(14) 17.3	21.4	24.6	25.6	20.4	16.6	9.3	5.4	1.9	1.3	7.5	13.7
	50m	(14) 17.1	21.3	24.4	25.5	20.4	16.6	9.4	5.4	1.9	1.3	7.5	13.7
	Kyoto	13.5	18.2	22.1	25.6	26.4	21.2	16.6	10.3	6.0	2.5	2.9	8.7
	30 years ave.	13.1	18.0	21.8	26.1	27.3	23.2	16.7	11.1	6.0	3.5	4.0	14.8
Wind speed 50m		(2.7)	2.8	3.1	3.0	3.0	2.9	3.3	3.2	3.2	3.1	3.5	3.1
Kyoto		1.5	1.4	1.6	1.7	1.5	1.3	1.3	1.4	1.3	1.4	1.7	1.5

6日間の欠測となった。

観測値から、月平均、年平均（毎正時の24個の読みとり値を平均して日平均を求め、さらに月平均、年平均を求めた、気温の欠測箇所は適当に内そうして計算した）を求め **Table 1** に示した。**Table 1** には、京都地方気象台の同様な平均値と平年値（1941年から1970年の平均値）を比較のため示してある。²⁾³⁾ ただし気象台は気温に関しては、3時間毎の一日8回の観測値の平均値から、風速に関しては、24時間の風程から求めたものである。月平均値でみると、地上 2m から 50m 高度までの気温は、ほぼ等しいことがわかる、しいて言えば10, 11, 12月に 2m 高度がやや低い。気象台の気温は宇治川のものと同様季節変化の様子は似ているがその差は 1°C 以内ではあるがやや全体的に高めになっている。気象台は京都市の中心よりやや北にあり、宇治川水理実験所は市の南端で、両者の距離は 9km ある。この差が有意なものかどうかは今後さらに研究を進めてみなければわからない。平年値と比べるとこの期間、8, 9, 1, 2の4ヶ月がかなり低温であったことが目立つ。一方下段に示した風速をみると、宇治川は気象台の2倍以上になっている、測器、平均値のとり方などに相違があり、この結論の妥当性は気温の差と同様今後の問題である。

以下、宇治川周辺の、気温、安定度（温度差）風について年サイクル、日変化の様子を述べる。

3.1 気温

毎正時における 50m 高度（上段）、と 2m 高度（下段）の気温を、時刻別に10日間平均して 4°C 毎の等温線で **Fig. 1** に示した。特に最高温域（28°C～32°C）は黒で、最低温域（-4°C～0°C）は斜線で分類した。**Fig. 1** の右に時刻別の平均値をさらに平均して10日間平均の日平均気温の年サイクルの様子を示した。このような10日間の平均操作によって、短周期の現象や非周期的な気温変動はかなり消去され、その場所に固有な年サイクル、日変化の様子をクローズアップしてみることができる。2m 高度と 50m 高度の気温の変動の様子は、**Fig. 1** の右に示した10日間平均の日平均気温で比較すると、その特長すなわち年最高（低）の発現期、（8月上旬、2月上旬）年サイクルの上ののった10日から数10日の周期の総観規模の現象のうち比較的大きなものによって生じられるいくつかの気温変動等が全く一致している。気温下降期（9月から2月まで）に表われた顕著な気温低下の期間（9月下旬、11月下旬、12月下旬、2月上旬）は、後に示す風速の季節変化と対比すると、日平均風速の大きい期間と一致する、すなわち日平均気温は総観規模の気象現象によって主に支配されている。

気温の季節変化を日平均値でみると 2m 高度と、50m 高度の差異は全くみられなかったが、気温の日変化を詳細にみると、高度による差が出てくる、すなわち気温図のパターンはよく似ているが、黒、斜線の領域が 2m 高度の方が大きく、日最高気温と最低気温の差が 50m 高度より 2m 高度の方が大きい、2m 高度の日最高気温の発現時刻は14時または15時に集中しているが 50m 高度のそれはやや遅れている。この気温の日変化については次節で鉛直渦動拡散係数とともにあらためて検討する。

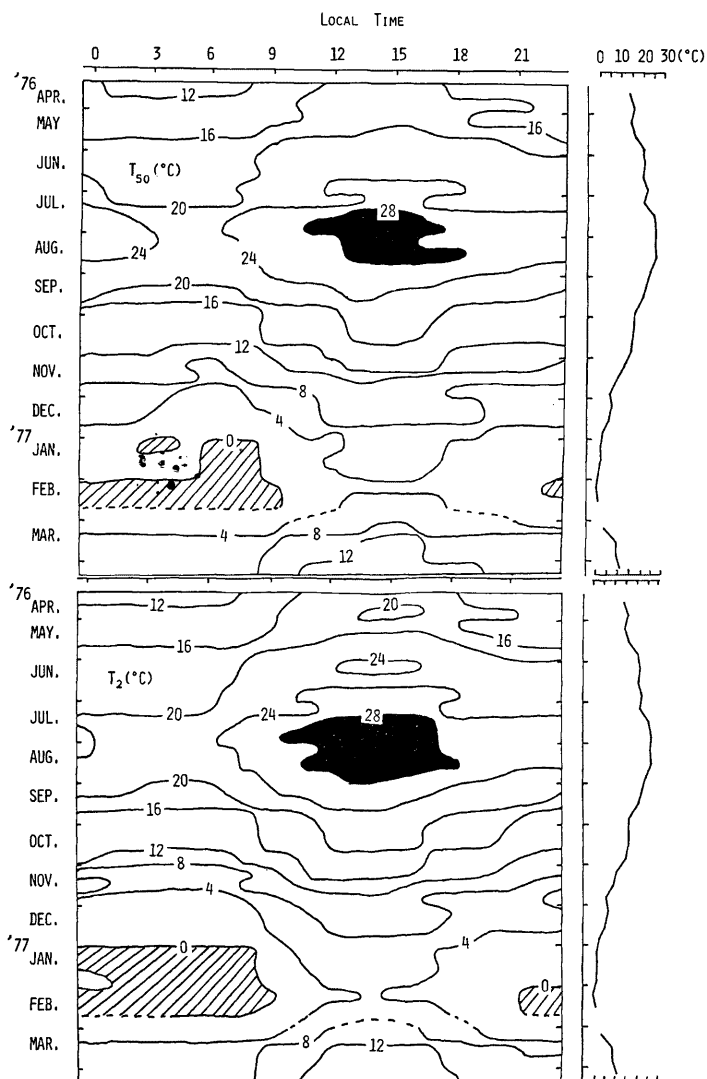


Fig. 1. Diurnal and annual patterns of the 10-days average temperature.
 Upper: at 50m height.
 Lower: at 2m height.

3.2 気温差

気温と同様に毎正時の 50m 高度と 25m 高度（以後上層と呼ぶ）、25m 高度と 2m 高度（下層）の気温差を10日間時刻別に平均して Fig. 2 に示した。正の領域は上方の気温が下方より高いところ、負は逆であり、その差が 1°C より大きい領域は黒と斜線で示してある。Fig. 2 の右に、季節変化をみるため、10日間平均の日平均気温差（毎正時の気温差の平均）を実線で、その日変化幅（日最大と最小気温差）を横線で示した。上、下層とも日平均気温差は、負の気温差の最大が6月に、正のそれが11, 12月に発現し、年サイクルをもっている。また同様に気温差の日最大（正の最大）最小（負の最大）とも夏小さく冬大きい年サイクルをもっている。しかし日平均気温差の年サイクルの振幅、気温差の日変化幅は上層が全年を通して下層よりずっと小さい。年サイクルの上についた、いくつかの小さなピークは上、下層とも同じ時に出現していて、後に示す日平均風速図 Fig. 3 をみると、風速の弱いとき正の気温差が大きく山型、強いとき谷型という対応関係がある。

気温と違っていて、気温差の日変化パターンは上層下層でかなり異なる。下層は、通常昼間は負、夜間は正で符号の変わる朝、夕の気温差の変化は急激であるのに対し、上層は、全体に差が小さくなり、昼間の負は一年を通して保たれているが、夜間の正の期間は短くなり最も短くなる7月にはほぼ等温になってしまう。負の気温が最大になる時刻は正午を中心に3時間の間に集中し、詳細にみると、上層は下層よりその発現時刻は少し遅れている。一方正の最大の発現時刻は夜半の0時を中心に21時から4時の間で集中度は昼間よりよくない。

3.3 風

一年を四季に分け、毎正時前10分間の平均風速（以後風速と呼ぶ）を3時間づつ一日を8個の時間帯に分け、さらに風速を5階級に分けて作成した発現比率を Table 2 に示した。表の下段に期間中の欠測時間数を示したが比率計算は欠測を除いた値で行った、また春季の資料は3月と4月上旬が1977年のもの、4月中旬から5月までは1976年のもので連続した3ヶ月のものではない。Fig. 3 に風速をスカラー値とし、時刻別に10日間平均し風速図として示した。弱風域（0~2.5m/s）は斜線で、強風域（5m/s 以上）は黒で分類してある。Fig. 3 と Table 2 から 50m 高度の風速は、日変化していることが明瞭にわかる。日最大風速の発現時刻は、9月中旬、11月下旬、12月下旬の3期間を除いて15時から18時の間、しかも冬季は15, 16時に、夏季は17, 18時に集中している。一方日最小風速の発現時刻は、冬季早朝5, 6, 7時にかなり集中しているが、他の季節は23時から9時の間にちらばっている。また日変化幅（日最小風速の差）は小さいときで2m/s 大きなきは5m/s にも達する。Fig. 3 の右に風速の季節変動をみるため、10日間平均の日平均風速（24個の平均）を実線で、日変化の範囲（日最大と最小風速）を横線で示した。昼間に出現する日最大風速は冬季が最も大きく、次が夏季で、春秋が弱いという季節的な変動をしている。しかし、日平均風速は17号台風のあった9月中旬、冬型気圧配置の強まった11月下旬、12月下旬、3月下旬に局所的なピークがみられるが、年間を通してみると、 $3.1 \pm 0.5 \text{ m/s}$ の範囲にほとんど入り顕著な季節の変化をしていない。また日最小風速も夏季やや大きいのが全体的にみればフラットな値となっている。冬季、昼間に現われる日最大風速は他の季節に比べて大きいのに、日平均風速でみると年間を通して変わらない原因は、Table 2 から明らかのように、早朝の弱風（0~1.2m/s）の時間数が冬季は他に比べて多いからである。このように下層大気の風の変動特性を考察するさい日変化が重要な問題となる。

下層大気における風の日変化を生じせしめる主原因は鉛直渦動拡散力の日変化で、定性的には次のように説明される。上層の一般風は気圧傾度によって決まり、下層より強く安定している。昼間温度不安定の増大により拡散係数が増し、風速の強い上層と弱い下層の空気が混り合い、この結果下層の風速は増し（ますます拡散係数を大きくし）、風向は上層の一般風とあまり差がなくなる。一方夜間、安定度の増大により、拡散係数が減少し、混合は弱まり、風速は減少し、風向も一般風と異なってくる。

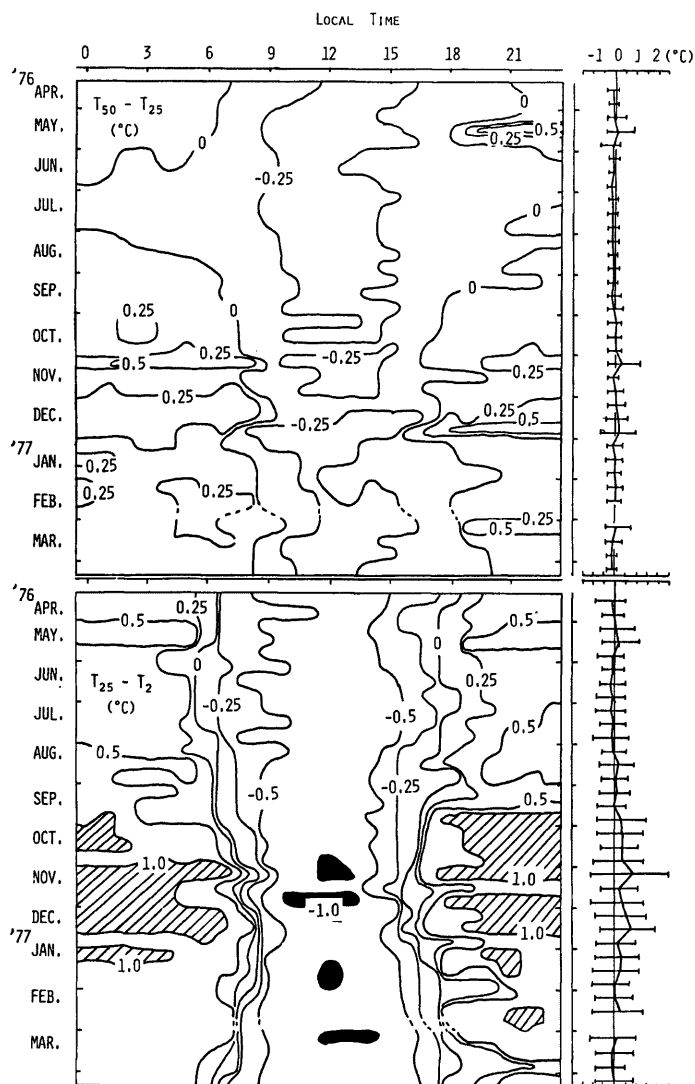


Fig. 2. Diurnal and annual patterns of the 10 days average temperature difference.
 The half-lines indicate daily peak to peak temperature difference.
 Upper: between 50m and 25m height.
 Lower: between 25m and 2m height.

Table 2 Seasonal occurrence of wind for different wind speed at various times.

		(%)							
season	time wind speed	1, 2, 3	4, 5, 6	7, 8, 9	10, 11, 12	13, 14, 15	16, 17, 18	19, 20, 21	22, 23, 24
Spring	0-1.2m/s	32.2	30.9	31.1	18.5	11.4	3.7	11.8	23.9
March	1.3-2.5	35.1	34.5	34.8	35.2	22.5	18.8	29.2	34.4
May	2.6-5.0	25.0	25.8	25.2	30.0	39.5	45.6	38.0	31.9
	5.1-7.5	6.5	6.9	7.8	9.6	16.2	23.9	17.3	8.0
	7.6-	1.1	1.8	1.1	6.7	10.3	8.1	3.7	1.8
	hours of data lack	0	1	6	6	5	4	5	0
Summer	0-1.2	15.6	18.5	19.2	6.5	5.1	1.1	4.3	10.9
June	1.3-2.5	45.9	53.9	51.4	44.6	23.3	18.2	26.8	41.3
August	2.6-5.0	34.8	24.7	25.0	38.4	48.4	50.4	52.5	43.5
	5.1-7.5	3.7	1.8	4.0	8.0	17.8	22.6	14.1	4.3
	7.6-	0.0	1.1	0.4	2.5	5.5	7.7	2.2	0.0
	hours of data lack	6	5	0	0	1	2	0	0
Autumn	0-1.2	23.8	26.9	31.9	14.5	6.6	5.5	7.0	18.3
September	1.3-2.5	35.2	34.3	37.4	30.9	20.6	16.5	32.8	38.8
November	2.6-5.0	32.6	32.1	23.3	35.7	42.3	49.3	50.6	35.2
	5.1-7.5	7.0	3.7	5.6	12.3	19.1	22.8	6.3	5.1
	7.6-	1.5	3.0	1.9	6.7	11.4	5.9	3.3	2.6
	hours of data lack	0	2	3	4	1	1	2	0
Winter	0-1.2	28.0	36.0	38.9	21.5	3.7	4.4	9.6	25.2
December	1.3-2.5	34.8	31.1	35.2	28.9	20.4	14.1	33.0	35.9
February	2.6-5.0	26.1	25.1	18.9	25.1	32.6	41.5	40.0	22.2
	5.1-7.5	8.3	6.4	4.8	15.6	28.9	28.5	11.9	12.2
	7.6-	2.7	1.5	2.2	8.9	14.4	11.5	5.6	4.4
	hours of data lack	6	3	0	0	0	0	0	0

上記を念頭に宇治川水理実験所の 50m 高度の風向風速の様子をみる。**Fig. 4** に季節別、時間帯別、風速階級別の風配図を示した。風配図の風向は16方位に分けられ、線分の長さはその風向の風の発現頻度数に比例し、最上段の数字は期間中その時間帯のうち、風速が 1.2m/s 以下であった時間数を示している。季節別に、風が強く一般風の風向に最も近い午後の卓越風向をみると、夏季は南西、冬季は北西 とともに南西も多い。春秋はやや複雑で、春季は冬の北西と夏の南西の合併型、秋季は冬型と似ていて北西、風速 2.6~5.0m/s のとき北東の頻度が多いのが、春秋に共通した特長である。**Fig. 4** で、目立つのは夜間から午前中にかけての弱風 (0~1.2m/s) の時間数が夏季少なく冬季多いことである、これは **Fig. 2** の温度差図から明らかに夜間から早朝の安定度の違いによる。次に、風の弱い夜間から早朝の風向をみる、大雑把に、春秋は北、夏冬は北と南が多い、鉛直渦動拡散係数の日変化、高度変化を考慮した風の日変化の数値計算例によれば⁴⁾、一般風が北西風の場合、地表付近の風は北風、南西風の場合、南風が期待され、かなりの部分がこれで説明がつく。しかし夏の北風など、まだいくつかの疑問点がこのこり、観測地点の特性や、盆地特有の循環風などがどのように現われているか今後の問題としてのこる。

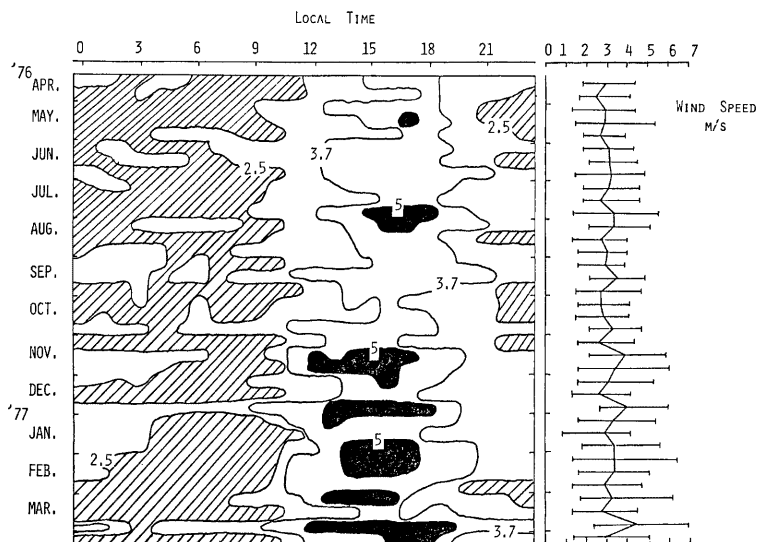


Fig. 3. Diurnal and annual patterns of the 10-days average wind speed.
The half-lines indicate daily peak to peak wind speed.

4. 宇治川観測塔周辺における接地逆転層の高さと鉛直拡散係数

前節の気温差から、上層 (25~50m)、下層 (2~25m) の気温減率 ($^{\circ}\text{C}/100\text{m}$, 上方の気温が下方より低いとき正) を求めて季節別に平均して示したのが **Table 3** である。地表から 50m 高度までの気温減率は、大雑把にみると年間を通して昼間に正、夜間は負 (逆転) であり上層と下層を比べると上層の減率が下層より小さく、 $1/3$ ないし $1/5$ である。昼間の減率は年間を通して大きな差がないが、夜間の逆転の度合は、秋冬が大きく春夏が小さい、この結果から、夜間に発達する接地逆転層の高さを直ちに決定することはできないが、下層と上層の減率の減り方などから推定すると、夏季は平均的にみて 50m 程度で、春、秋、冬の順に高くなっていると推定される。われわれが1974年2月同じ場所、弱い移動性高気圧が通過したさい行なった低層ゾンデによる気温測定の結果では逆転層の高さは約 400m、逆転層内気温減率は $-0.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ であった。⁵⁾

著者の一人中島は京都府の大気汚染を気象学の観点から考察するとき、京都気象台の日最低気温と比えい山山頂 (標高 860m) の日最低気温の差が京都盆地の大気安定度を示すインデックスとして非常に有用なパラメータであることを主張してきた。⁶⁾ 宇治川の観測塔で得られる安定度の目安と上記インデックスとの関連をみるため、前報で夏季の期間について、両者を比較検討した結果、その対応はよくなかった。¹⁾ これは夏季が一年のうちで最も接地逆転が発達しない時季であるからだだったとも考えられる。そこでもう少し接地逆転層の発達する4月11日から5月31日までの期間について、その関係を調べたのが **Fig. 5** である。上段

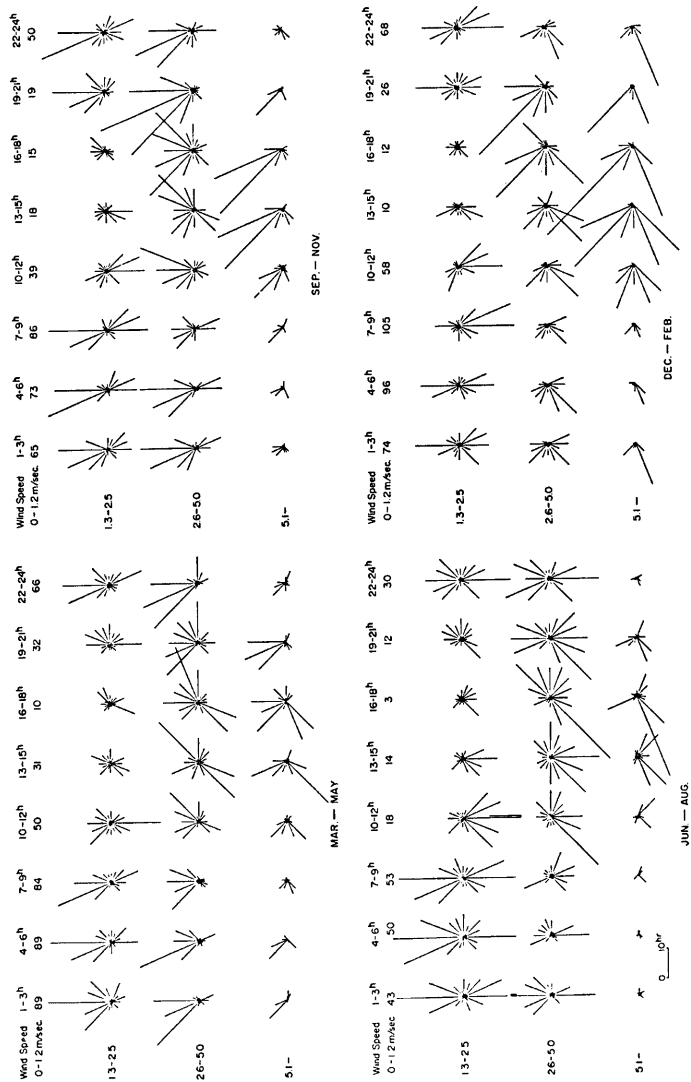


Fig. 4. Seasonal wind roses at 50m height at Ujigawa Hydraulic Laboratory.

Table 3. Laps rate at various times of day ($^{\circ}\text{C}/100\text{m}$)

Time	Height (m)							
	Spring (Mar.-May)		Summer (Jun.-Aug.)		Autumn (Sep.-Nov.)		Winter (Dec.-Feb.)	
	2-25	25-50	2-25	25-50	2-25	25-50	2-25	25-50
0	-3.2	-0.8	-2.2	-0.1	-5.3	-0.7	-4.8	-1.3
3	-2.1	-0.5	-1.7	-0.1	-4.5	-0.9	-5.1	-1.0
6	-1.9	-0.6	-0.2	-0.1	-4.2	-0.8	-4.5	-1.0
9	3.3	0.8	3.3	0.9	2.9	0.6	2.3	0.5
12	4.4	1.1	3.9	1.2	4.5	1.0	4.5	0.9
15	3.7	1.2	3.3	0.9	3.0	0.9	3.3	0.9
18	0.6	0.4	0.3	0.4	-3.1	-0.6	-2.1	-0.5
21	-2.6	-0.7	-1.6	0.2	-5.1	-0.7	-5.0	-0.2

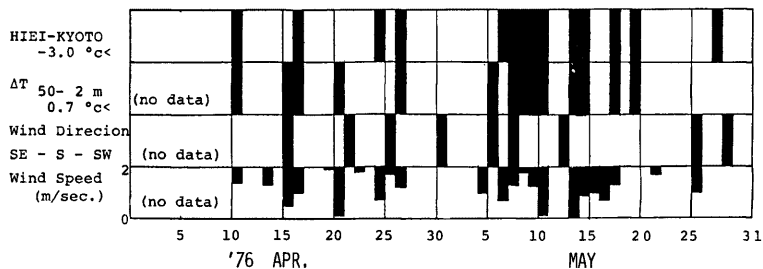


Fig. 5. Relations among minimum temperature difference between Mt. Hiei (860m) and Kyoto Meteorological Observatory, temperature difference between 50m height and 2m height, wind direction and speed in an early morning at 50m height in Uji-gawa Hydraulic Laboratory from 11 April to 31 May 1976.

から比えい山と気象台の気温差が -3°C 以上になった安定度の大きい日、宇治川の 50m と 2m 高度の早朝 5 時の気温差が 0.7°C 以上になった日、宇治川の早朝 6, 7, 8 時の風向が、暖気をもたらす東南から南、南西の成分を持った日、最下段には同時刻の風速が 2m/s 以下であった日をその風速 (白ぬき) とともに示した。安定度と関係が深いと思われる風向、風速との関連はこれからは何んとも言えないが、比えい山の気温をもちいた安定度インデックスと宇治川の観測から得られた安定度は、この時期については、かなりよく対応しているといえよう。しかし、この結果を他の季節に延長する場合、気温差のクライテリオンとしてもちいた 3°C 、 0.7°C の数値がそのまま適用できるか疑問であり、今後の問題である。

つぎに観測された気温の日変化の様子から下層大気鉛直渦動拡散係数 (以下拡散係数とする) を考察する。Fig. 6 に、季節別に 2m, 25m, 50m 高度の 10 日間平均気温の日変化、および鉛直気温分布曲線を 3 時間毎に示した。鉛直気温分布曲線の上に示した数字は時刻である。Fig. 6 から下層大気の日変化について、つぎのことがわかる。日変化分の幅、 $2A = T_{\text{max.}} - T_{\text{min.}}$ (A , $T_{\text{max.}}$, $T_{\text{min.}}$ は日変化の振幅、日最高、最低気温) を比べると地面に近い 2m 高度のものが最も大きく、25m, 50m と高さとともに小さくなっている、日変化幅は、四季別にみて、大きな差異はない。気温のピーク値発現時刻は、記録の読みとり間隔が 1

時間であるから、正確な議論はできないが、高さとともに遅れ、50m 高度では 2m 高度から約 1 時間遅れている。

地表面近くの気温の日変化分は、移流による熱輸送、水分の相変化、放射による熱吸収等の少ない通常時では、地表面における熱授受と、大気、地中内部での鉛直熱輸送によって決まる。地表面の熱収支に大きなウェイトをもつ日射量は 6 月に最大、12 月に最小をもつ季節変化をしているが、観測された 3 高度の気温、日変化分の振幅は四季の変化が明瞭でない。これは移流による熱輸送等が無視できないことを示唆しているのか、あるいは鉛直熱輸送にかかわる拡散係数が変化するため興味ある問題である。

ここでは地表面から 2m 高度までの過程にはふれず、観測された 2m 高度の気温の日変化分の上方 2 高度 (25m, 50m) への伝達から、下層大気の平均的な拡散係数の高度変化、季節変化の様子を検討する。いま、高度 z (地表より) での気温の日変化分 $\tau(z, t)$ を、

$$\tau(z, t) = A(z) \sin 2\pi\omega(t + t_s(z)) \quad \dots\dots\dots (1)$$

で近似し、気温の変化は下方から上方へ渦動拡散のみによって伝わると仮定すると、2 高度 ($z_1 < z_2$) における気温の振幅比と位相時間差は、

$$\frac{A(z_1)}{A(z_2)} = \exp \left\{ -\sqrt{\frac{\omega}{2k}} (z_1 - z_2) \right\} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$t_s(z_2) - t_s(z_1) = \frac{z_2 - z_1}{\sqrt{2k\omega}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

で与えられる、ここで ω は角振動数で一日周期で、 $2\pi/1\text{day}$ 、 k は拡散係数である。

Fig. 7 の上段に、2m, 25m, 50m 高度の 10 日間平均の気温日変化幅 ($2A = T_{\max} - T_{\min}$) を示した。日変化幅の大きさは年間を通して 2m, 25m, 50m の順であり、減少の割合は上層は下層より小さい。季節別にみると夏やや小さいようであるが、はっきりしない。それより、より小さな周期の変動の方が目立ち、しかもその変動の様子は 3 高度ともよく一致している。(2) 式の関係から、2 高度での振幅の比 $A(z_1)/A(z_2)$ は、そのときの層内の拡散係数によって決まる、上層下層について振幅比 $A(25)/A(50)$, $A(2)/A(25)$ を計算して示したのが **Fig. 7** の下の図である。上段の振幅図では小さな変動が目立つが、振幅比をとると短周期の変動は小さくなり、下では春夏が小さく、1.1 程度、秋冬が大きく 1.3 程度と季節変化している、上層は下層よりその値は常に小さく、また季節による違いも小さい。(2) 式に $A(z_1)/A(z_2)$ の値を与え、 k を求め、その k を (3) 式に代入してタイムラグを計算して **Table 4** に示した。これから拡散係数は、夏季 2m より 25m の層で $10^6 \text{cm}^2/\text{s}$ 、25m から 50m の層で $10^5 \sim 10^6$ 、冬季それぞれ、 5×10^3 , 5×10^4 程度と推定される。この値は、下層大気の拡散係数としてほぼ妥当なものである。また 2m 高度の気温日変化か 50m 程度に伝わるのに要する遅れの時間は、**Table 4** から夏季は 30 分、冬季は 1 時間程度となる。これは前節の **Fig. 1** の気温図や、**Fig. 6** に示した四季別の気温日変化図でみられる観測事実と矛盾せずほぼ一致している。したがって宇治川観測所周辺の 2m 高度から上方の気温日変化分は下方から上方へ渦動拡散によって伝達されているとした仮定が、ほぼ現実合っていると考えられる。

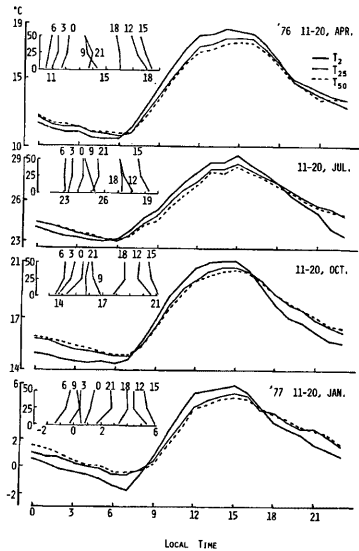


Fig. 6. Examples of diurnal variation of the 10 days average temperature at 2m, 25m, 50m height for the four seasons.

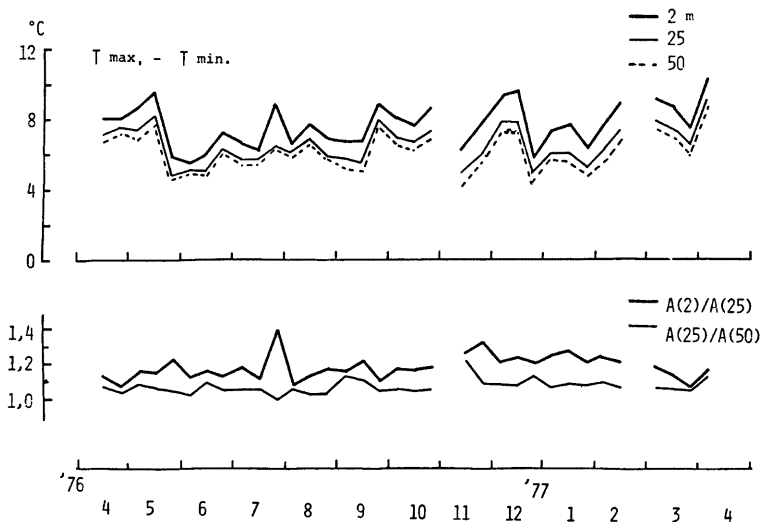


Fig. 7. Seasonal variations of the 10 days average daily peak to peak temperature at 2m, 25m, 50m height and the ratios of those

Table 4. Estimated vertical diffusivities and time lags from the ratios of amplitude of the diurnal temperature march.

A (2)/A (25)	1.1	1.2	1.3	1.4	A (25)/A (50)	1.0	1.05	1.1	1.2
k (cm ² /s)	2.1×10 ⁴	6.0×10 ³	2.8×10 ³	1.8×10 ³	k (cm ² /s)	∞	9.5×10 ³	2.5×10 ⁴	7.0×10 ³
time lag (min.)	22	53	60	74	time lag (min.)	0	1.1	21	41

5. あとがき

下層大気での災害をとまらう異常気象現象を解明するために、異常時はもちろん平常時においても、現象を正確に把握しなければならないという観点から、宇治川水理実験所の鉄塔を利用した風、気温の常時連続観測を開始して一年たった。得られた一年間の資料から、気温、気温差、風について年サイクル（季節変化）、日変化を解析した。その結果をまとめると次のようである。

1) 気温：日平均気温は総観規模現象により決まり、3高度（2m, 25m, 50m）の値の差はほとんどない。日変化の振幅は上方ほど小さく、下方から上方へ伝わっていることかわかる、また振幅の大きさは季節によって大差ない。

2) 気温差（上方マイナス下方）：日平均気温差は6月に負のピーク、12月に正のピークをもち季節的に変化している、日変化をみると、昼間負で12時にピーク、夜間正で、気温のピーク発現時、8月上旬（年サイクル）、14時～15時（日サイクル）とはずれている。

3) 風：10日間平均の日平均風速は年間を通して3つの例外を除くと3.1±0.5m/sの範囲に入り、季節的

な変動は小さい。風の日変化幅は小さいときで 2m/s, 大きなときは 5m/s にも達する。昼間の強風時の風向は、ほぼ一般風と同じであるが、夜間の弱風時は大いに異なる。

上記の解析を進める過程で、2m 高度の気温日変化の形成の問題、風の日変化と宇治川の地域特性との関連など、新たな問題が生じてきた。また今回の報告では、全くふれなかったが、温度差のなまの記録には、数10分から1時間程度の周期をもった振動がしばしば出現している、これも鉛直熱輸送と関連する興味ある問題である。われわれは本年度の成果をふまえ、次年度以降、必要な測器を増設して、霧、霜などにかかわる弱風時の下層大気の熱的構造を知るための長期連続観測、シノプティックな気象現象と結びついた2,3日間の異常現象発生時における現象の解析を行ないたいと考えている。終りにこの観測を維持するため協力いただいた本研究所、枝川尚資助手、井上治郎助手、および北川吉男技官はじめ宇治川水理実験所の職員の方々に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 中島暢太郎, 田中正昭: 宇治川水理実験所気象観測用鉄塔による観測と解析 (1), 京都大学防災研究所年報, 第19号B, 1976, pp. 423-430.
- 2) 京都地方気象台: 京都府気象月報, 1976. 4-1977. 3.
- 3) 京都地方気象台: 京都気象統計表, 1973. 3.
- 4) Matveev, L.T.: Physics of the Atmosphere, Israel Program for Scientific Translations, 1965, pp. 339.
- 5) 近藤次郎編: 大気汚染, ユロナ社, 1975, pp. 66-69.
- 6) 中島暢太郎: 大気汚染から見た京阪神地方の局地気象, 京都大学防災研究所年報, 第10号B, 1967, pp. 1-9.