

筑波研究学園都市で観測された大気境界層下部の風の日変化とスペクトルについて*

藤 谷 徳之助**

要 旨

筑波研究学園都市にある気象研究所の気象観測用鉄塔(高さ213m)で得られた、6年間の風向・風速の毎時観測資料を用いて、風速の日変化やパワースペクトルを求めた。これらの季節変化や高度変化の特徴を明らかにすることによって、大気境界層下部の平均的な構造やその季節変化の様子を明らかにした。また、風速のパワースペクトルの形と総観規模の気象現象との関連性についても調べた。

得られた結果をまとめると以下ようになる。(1) 風速の日変化の様子は、100m以下とそれ以上ではその位相が大きく異なっており、50~100m付近で1日周期成分の振幅が最も小さくなっている。(2) 風速の日変化の様子は季節によって変化し、日変化の位相が逆転する高度は夏季は200m以上、冬季は100m以下となっている。(3) 風速のパワースペクトルの形は、夏季は高さ方向に余り形が変化せず、冬季は高さ方向に大きく変化する。(4) 風速のパワースペクトルの長周期成分の形は天候の経過と密接な関係がある。

1. はじめに

大気境界層下部の風の統計的性質、たとえば風速の日変化の様子や風速のスペクトルの形などを明らかにすることによって、大気境界層下部の平均的な構造や、層内で生じる現象の時間的・空間的スケールを明らかにすることができる。したがって、これまでも多くの研究が行われてきているが(たとえば、Van der Hoven, 1957; Crawford and Hudson, 1973)、それらの多くは1高度での観測結果を用いており、また数高度での観測結果を用いた解析でも、風速の日変化とスペクトルを同時に求めたものは、Hanafusa et al.(1980)のみである。Hanafusaらは、気象研究所の観測鉄塔の1年間のデータのみを解析しているため、年による差異を調べることができず、またスペクトルの季節変化も1高度(213m)でしか求められていないなど、不十分な点がある。この論文

では上記の解析を補足し、さらに大気境界層の気候学的な構造に着目して解析を行った。

筑波研究学園都市に設置されている気象研究所の気象観測用鉄塔(高さ213m)では、7高度(213・200・150・100・50・25・10m)において、風向・風速の連続観測を実施している。日平均風速、風速の頻度分布、さらに風配図などの基本統計量については、すでに気象観測用鉄塔観測資料第1号(1982)・同第2号(1984)として気象研究所から発行されている。ここでは、風向・風速の6年間の毎時観測資料を用いて風速の日変化とスペクトルを求め、これらの特徴や高度変化、さらに季節変化などを求めた。これらの性質から、大気境界層下部の平均的な構造や総観規模の気象現象との関係について調べた。

2. 観測の概要

気象観測用鉄塔の観測設備や周囲の地形の状況については、花房他(1979)に詳しく述べられているので、ここでは風向・風速の測定方法についてその概略を述べる。

風向・風速の測定にはプロペラ型微風向風速計(光進電気(株)製: MV-110)を用いている。仕様の概略を第1表に示す。平均風速および平均風向は、電気的積分方式

* Characteristics of the diurnal variation and spectrum of wind speed in the atmospheric boundary layer at the Tsukuba Science City.

** Tokunosuke Fujitani, 気象研究所 物理気象研究部。

—1984年11月13日受領—

—1985年3月8日受理—

による10分間連続平均方式で求めている。

感部は各高度(213 m 除く)とも3方向に突き出た観測用支柱の先端に設置されている。さらに、頂部の213 mに設置されている風向風速計の風向信号を用いて、常に鉄塔の影響を受けない風上側の感部が自動的に選択されるようになっている。データは毎正時ごとに印字作表されるとともに、磁気テープにも収録されており、この磁気テープを大型電子計算機で処理して解析を行っている。

3. 解析方法

観測は1977年2月より一部開始されているが、今回の

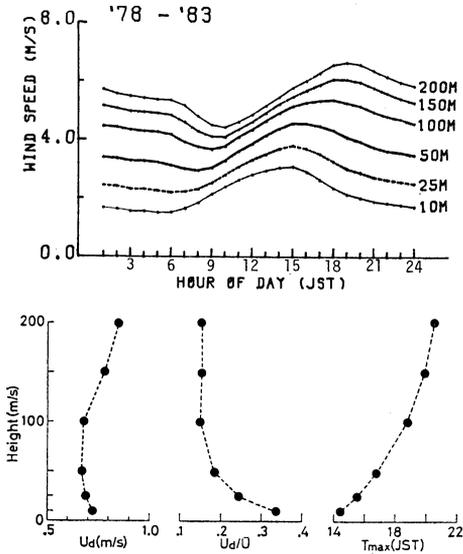
第1表 微風向風速計の仕様。

| 項目 | 仕様 |
|--------|---|
| 風速発信部 | 直流発電式 |
| 風向発信部 | シンクロ制御発信器 |
| 風速測定範囲 | 0.4~50 m/s |
| 測定精度 | 風速: ± 0.3 m/s 以内 (0.4~10 m/s) $\pm 3\%$ 以内 (10~50 m/s) 風向: $\pm 3^\circ$ 以内(風速0.4 m/sのとき) |
| 距離定数 | 約5 m |

解析には、大部分の測器が設置された1978年1月1日から、1983年12月31日までの6年間の6高度(200・150・100・50・25・10 m)での、毎正時に得られている10分間平均値を用いた。ただし、1978年1月~10月の期間は、10・25 mには測器が未設置であったため、本鉄塔から約300 m離れた場所に在る副鉄塔(高さ25 m)の頂部での観測値を25 mでの値として用いた。また、1983年5月~12月の期間では、200 mに設置されている3台の感部のうち2台について感度の低下が確認されたので、1983年については200 mの観測値の代わりに、213 mで得られた観測値を用いた。また、機器の故障による欠測もわずかではあるが生じており、1~2時間程度の欠測の場合は前後の観測値や鉛直プロファイルから内挿して欠測値を推定している。この他に電気設備の点検による停電のための欠測(1回の停電時間は6~8時間)が年間2~3回程度ある。今回解析した期間のうち、1980年1月~1982年12月の期間は点検のための停電以外にはほとんど欠測がなく、全高度とも欠測率は0.3%以下である。したがって、長期間のデータの解析にはこの期間を用いた。また、季節ごとのスペクトルを求める場合には、停電による欠測が2月下旬と9月中旬に多いことから、これらを含まないように期間を分割した。解析に用いたデータの期間を第2表に示す。このような期間の分割は多

第2表 解析に用いたデータの期間、データ数およびスペクトル解析のずらしの数。

| 季節 | 略号 | 期間 | データ数 | ずらしの数 |
|----|-------|--------------------------|------|-------|
| 冬季 | WI 78 | '78.12.1.01~'79.2.28.24 | 2160 | 200 |
| | WI 79 | '79.12.27.20~'80.2.29.24 | 1541 | 150 |
| | WI 80 | '80.12.1.01~'81.2.22.08 | 2000 | 200 |
| | WI 81 | '81.12.1.01~'82.2.21.08 | 1976 | 200 |
| | WI 82 | '82.12.1.01~'83.2.13.08 | 1784 | 200 |
| 春季 | SP 79 | '79.3.28.13~'79.5.31.24 | 1548 | 150 |
| | SP 80 | '80.3.9.17~'80.5.31.24 | 2000 | 200 |
| | SP 81 | '81.3.1.01~'81.5.31.24 | 2208 | 200 |
| | SP 82 | '82.3.1.01~'82.5.23.10 | 2002 | 200 |
| 夏季 | SU 79 | '79.6.1.01~'79.8.18.11 | 1882 | 200 |
| | SU 80 | '80.6.1.01~'80.8.31.08 | 2192 | 200 |
| | SU 81 | '81.6.1.01~'81.8.31.24 | 2208 | 200 |
| | SU 82 | '82.6.1.01~'82.8.31.24 | 2208 | 200 |
| 秋季 | AU 80 | '80.9.7.17~'80.11.30.24 | 2024 | 200 |
| | AU 81 | '81.10.4.15~'81.11.30.24 | 1378 | 100 |
| | AU 82 | '82.9.19.18~'82.11.7.08 | 1167 | 100 |



第1図 高度別に求めた6年平均(10・25・200 mについては5年平均)風速の日変化と、1日周期成分の振幅 U_d 、 U_d/\bar{U} (\bar{U} : 平均風速)、および1日周期成分が最大となる時刻(T_{max})の高度分布。

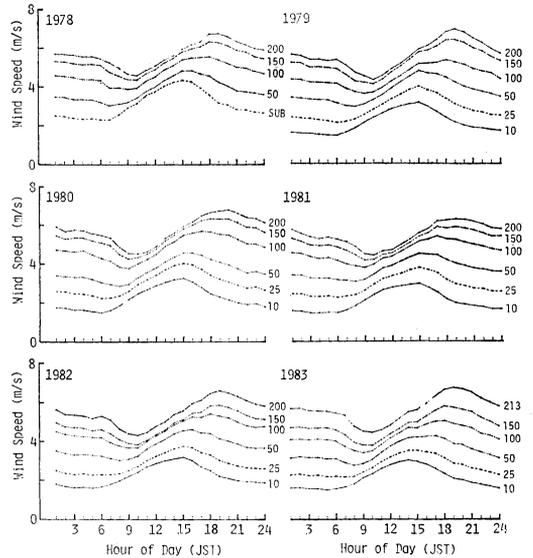
分に便宜的であるが、時刻別に求めた月平均風速の日変化の傾向から判断して、このような期間の分割には余り無理はないものと考えられる。

スペクトル解析には Blackman-Tukey 法を用い、また、スペクトル密度の平滑化にはハンギングウィンドウを用いている。解析に用いたデータ数やずらしの数についても第2表に示してある。

4. 解析結果

4.1. 風速の日変化

大気境界層における風速の日変化の平均的な様子を見るために、まず解析に用いた6年間のデータについて、時刻別に平均風速を求めた結果を第1図に示す。ただし前にも述べたように、200 m、25 m、10 mについては5年間の平均値である。最下層の10 mにおける風速は、日出とともに増加し始め15時頃に最大に達し、その後急速に減少するが、日没後は緩やかに減少する。さらに24時頃から夜明けまではほぼ一定の値を示す。25 mでの日変化も同様であるが、風速が増加し始める時刻が多少遅くなっている。50 mにおける日変化も、風速が増加し始める時刻と風速が最大に達する時刻がさらに遅くなること以外は、10・25 mと同様である。上層の3高度

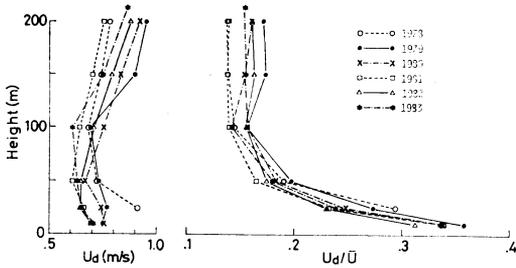


第2図 高度別に求めた年平均風速の日変化。

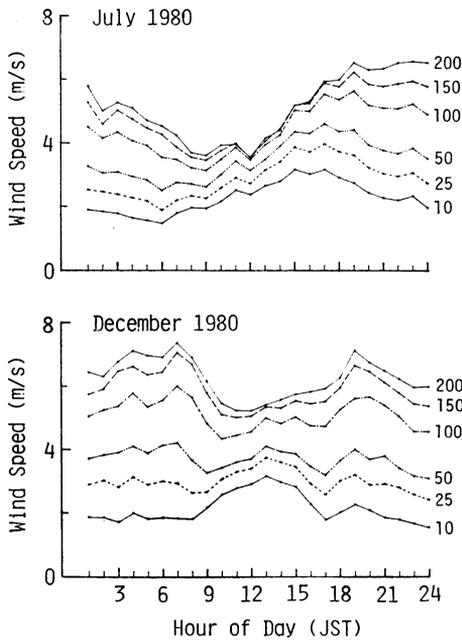
(100・150・200 m)における日変化の様子は、下層の3高度(10・25・50 m)における日変化とはその様子が大きく異なっている。風速が最大となる時刻は下層の場合と同様に、高度が増すにつれて遅くなり、200 mでは19時頃となっているが、これら上層の3高度では、風速は最大に達した後に緩やかに減少し、日出頃から急速に減少する。さらに、風速は日出後に最小値を示すが、その時刻は高度が増すにつれてわずかに遅くなる傾向が認められる。

日変化の様子をさらに詳しく調べるために、これらのデータについてフーリエ解析を行った結果も第1図に示してある。 U_d は風速変化の1日周期成分の振幅、 \bar{U} は平均風速、 T_{max} は1日周期成分が最大となる時刻である。 U_d の値は50 mで最も小さくなっており、一方 U_d/\bar{U} の値は50 mまでは急減しているが、100 m以上ではほぼ一定で0.15前後の値を示している。 T_{max} も100 mまでは急激に遅くなるが、それより高い高度では変化の割合は比較的小さい。

これまで述べてきた結果は、6年間の平均値に基づいていたが、次に各年ごとに求めた風速の日変化の様子を第2図に示す。日変化の様子は、第1図に示されたものと大差はなく、いずれの年もほぼ同じ傾向を示している。しかし、50 m高度の日変化の様子は、年によって異なっており、たとえば1978・1979・1983年などでは日出頃に風速が最小となる、より高い高度での日変化の特徴を



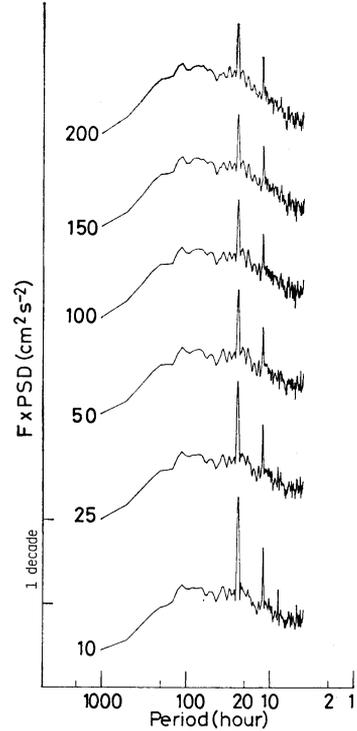
第3図 年平均風速について求めた U_d と U_d/\bar{U} の高度分布.



第4図 風速の日変化の季節による違いの例.

示している。これらのデータについてフーリエ解析を行った結果を第3図に示してある。第1図と同様の傾向を示しているが、 U_d の高度分布をみると、50 m で U_d が最小になる場合と、100 m で最小になる場合とが認められる。

これまでに述べた結果は年平均値に基づいたものであるが、風速の日変化は顕著な季節変化も示している。第4図に夏季と冬季の月平均風速の典型的な日変化の例を示す。7月の場合、全高度とも年平均風速の場合と同様の顕著な1日周期の変化を示す。一方、12月の場合には10 m と 25 m では1日周期の変化が卓越し、日中に風速

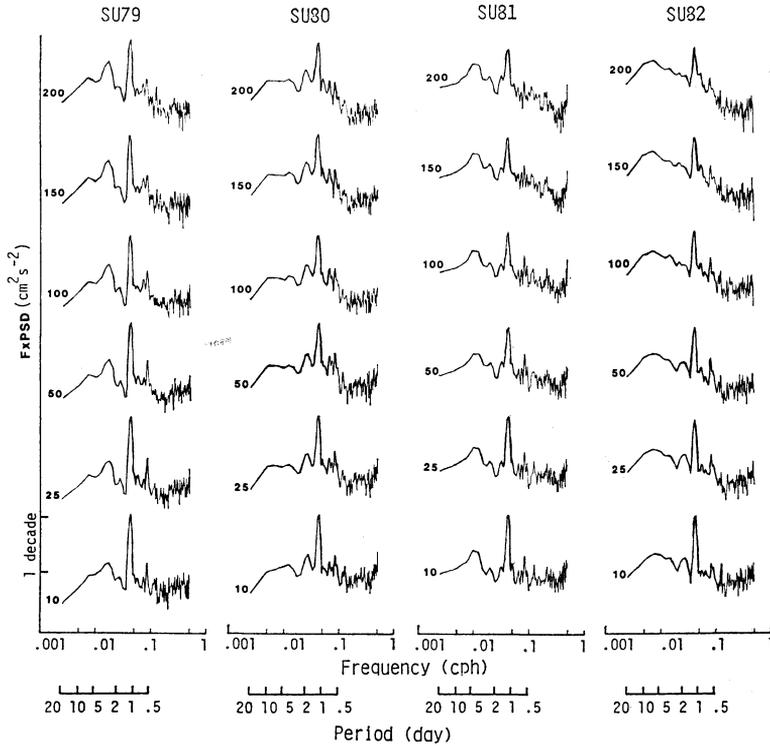


第5図 2時間平均風速を用いて求めた、風速のパワースペクトルの高度分布.

のピークが認められるが、50 m と 100 m では日中のピーク以外に日出および日没頃にもピークが認められる。この日没頃のピークについては、10・25 m においても認められる。さらに、150 m および 200 m では日中のピークが認められず、日出および日没頃のみピークが認められる。冬季には下層では風速の1日周期の変化が卓越するが、50~100 m 以上の高度では、風速の1日周期の変化は卓越せず、しかも日中に風速が弱くなっている。これは風速の日変化の位相が逆転する高度が季節変化することを示している。このような季節変化の様子をさらに詳しくみるために、風速変動のスペクトル解析を行った結果を次に示す。

4.2. 風速変動のスペクトル

まず風速変動のスペクトル、特に長周期成分のスペクトルの形の特徴を明らかにするために、欠測がほとんどない1980年1月から1983年12月までの3カ年の毎時の観測値を用いて2時間平均風速を求め、このデータを用いてスペクトル解析を行った。ただし、停電による6~8時間の欠測については、高層気象台の地上気象観測値を



第6図 夏季の風速のパワースペクトル。

参考にして内挿した。解析結果を第5図に示す。縦軸はスペクトル密度に周波数を掛けたもので、横軸は周期(時間)である。いずれの高度のスペクトルにも、1日周期と半日周期に対応する部分に、鋭いスペクトルのピークが認められる。いずれのピークの大きさも高度が増すにしたがって小さくなっているが、特に1日周期のピークの減少が著しい。これら以外に2～5日の周期の部分に、比較的スペクトル密度の大きい領域が認められる。この領域のうち、特に周期5日付近にスペクトルのピークが認められ、このピークは高度が増すほどその存在がはっきりしてくる。しかし200 m 高度においても、周期5日付近と2～3日付近の2つのピークに分離することについては、90%の信頼限界に達していない。

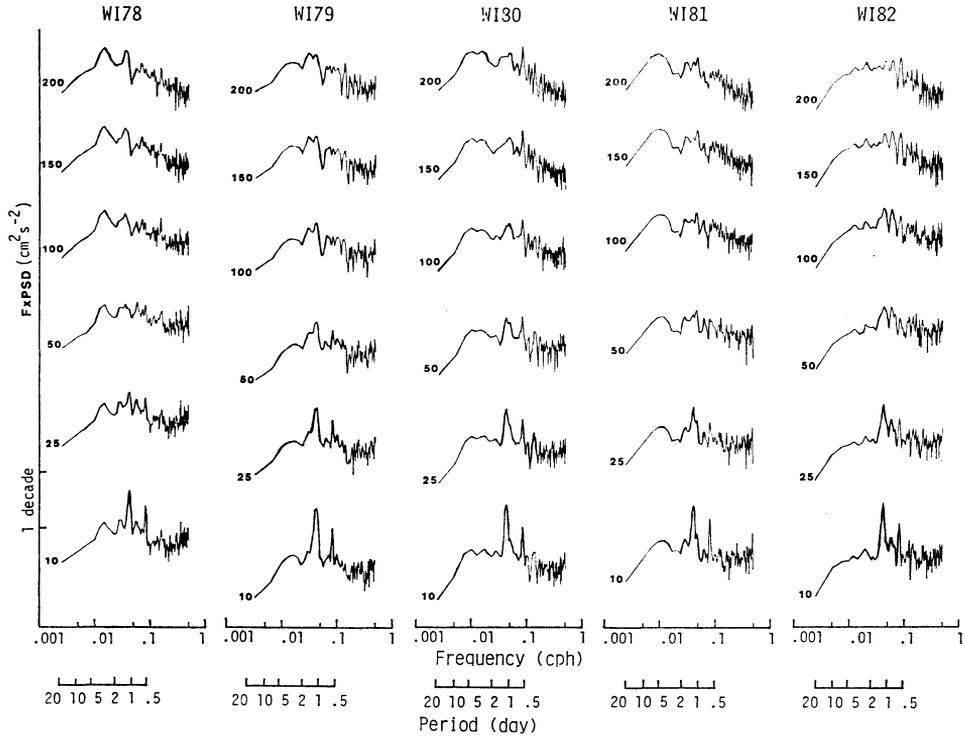
次に季節ごとにスペクトル解析を行った結果を示す。

(1) 夏季のスペクトル

4 年の夏季の風速のスペクトルを第6図に示す。スペクトルの形は年によって相違するが、いずれの年においても高さ方向には余り変化していない。さらに特徴的なことは、どのスペクトルにも1日周期に対応する部分に鋭いピークが認められることである。ピークの大きさ

は高度が低いほど大きく、また1日周期より長周期のピークとの差も下層では大きい。100 m 以上ではその差が小さくなっている。さらに、半日周期に対応するピークもいずれの年についても認められる。しかしこのピークは1日周期のピークと異なり、年によってその現れ方に相違がある。たとえば SU 82 の場合は、どの高度においても半日周期に対応するピークが認められるが、6 高度のうち中層の50・100 m で最も顕著に認められるが、上層(200 m)と下層(10 m)ではむしろ、他のピークと比較して目立たなくなっている。SU 79・SU 81 では50 m 以下では顕著であるが、100 m 以上では徐々にピークが目立たなくなっている。さらに SU 80 の場合はピークが余り顕著ではなく、半日周期の近傍にいくつかのピークが認められる。

1日周期より長い周期成分の部分のスペクトルの形は、年によってかなり相違している。SU 79・SU 81 では全高度において顕著なピークが認められ、その周期は2～4日である。SU 82 の場合もピークは認められるが余り鋭くなく、周期は3～8日と広い範囲にわたっている。いずれの場合も高度が増すにつれて、1日周期の



第7図 冬季の風速のパワースペクトル。

スペクトルピークとの差は小さくなっている。しかしSU 80の場合にはこのような長周期成分に対応するピークが認められず、むしろ1.5日付近にピークが認められる。

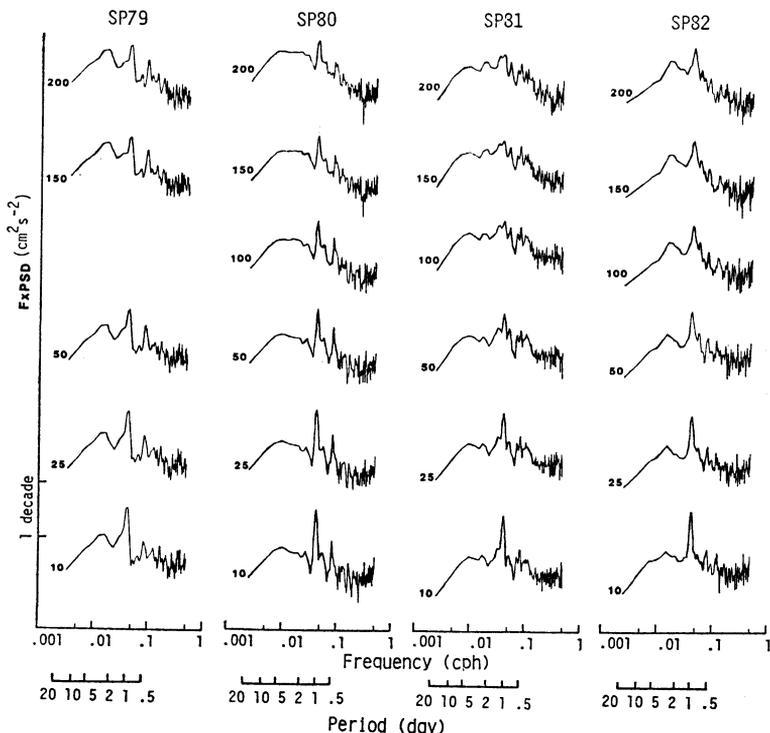
(2) 冬季のスペクトル

第7図に5カ年の冬季のスペクトルを示す。冬季のスペクトルは夏季のスペクトルに比較して、その形が高さ方向に大きく変化していることが大きな特徴である。いずれの年のスペクトルにおいても、下層の10・25m(年によっては50m)では1日周期に対応するピークが顕著に認められるが、これらより上の高度ではピークが小さくなり、しかもその幅が広がっているので顕著には認められない。むしろ上層では1日周期よりも長周期の部分のピークが顕著になっている。また、半日周期に対応するピークも10・25mでは認められるが、それより上の高度では認められない。ただし、WI 80では200mにおいても半日周期に対応するピークが認められる。1日周期よりも長周期のピークについてももう少し詳しくみると、たとえばWI 78の場合には、全高度において

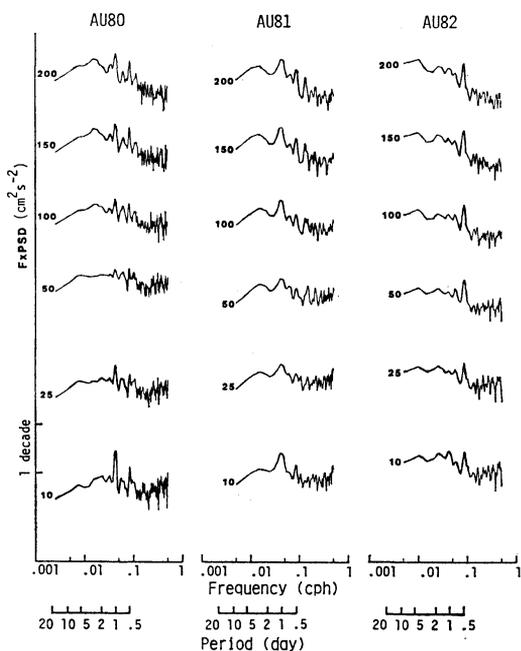
周期3日付近に比較的是っきりしたピークが認められる。WI 80・WI 81も同様の形をしているが、ピークの幅はやや広く2～5日程度である。一方、WI 79の場合は長周期のピークのはっきりせず、高度が増すと1日周期に対応するピークの幅が広くなり、全体として1つのピークを形作っている。このような傾向はWI 82ではより顕著に現れている。この場合、10・25mでは1日周期に対応するピークが認められるが、高度が増すにつれてスペクトルの形は平坦になっている。

(3) 春季のスペクトル

春季の4年間にわたるスペクトルを第8図に示す。スペクトルの形は年によって大きく変化し、夏季のスペクトルの特徴を示す場合と冬季のスペクトルの特徴を示す場合がある。たとえばSP 79・SP 80・SP 82では、スペクトルの形は高さ方向に大きくは変化しておらず、夏季のスペクトルの特徴を示している。一方、SP 81の下層では1日周期に対応するピークが顕著であるが、上層ではこのピークのはっきりしなくなり、スペクトルの形がなだらかとなり、どちらかと言えば冬季のスペクトル



第8図 春季の風速のパワースペクトル。



第9図 秋季の風速のパワースペクトル。

の形に近くなっている。

(4) 秋季のスペクトル

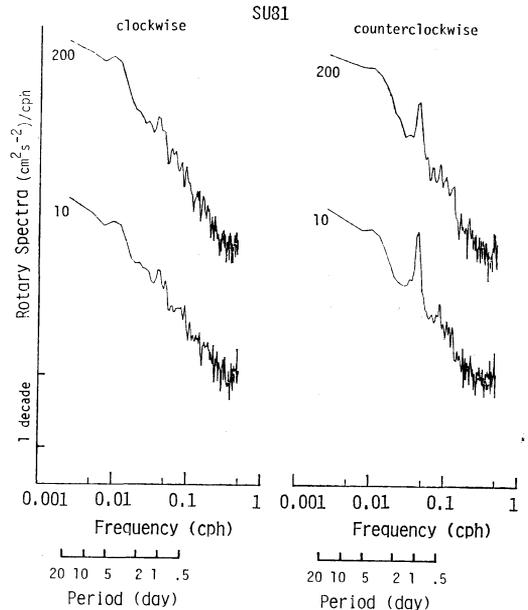
第9図に秋季の3カ年のスペクトルを示す。秋季のスペクトルも年によってその形は相違しており、さらにこれまでに求めた3つの季節のスペクトルの形とは少し異なっている。たとえば AU 80 の場合は $10 \cdot 25 \text{ m}$ では1日周期に対応するピークが顕著に認められるが、 50 m ではこのピークが小さくなってスペクトルの形は平坦になっている。さらに上層の $100 \cdot 150 \cdot 200 \text{ m}$ では、1日周期に対応するピークとより長周期のピークの両方が顕著に認められる。また半日周期に対応するピークも全高度において認められる。したがって傾向としては冬季のスペクトルの特徴に近くなっているといえる。AU 81 の場合もほぼ同様の傾向を示している。しかし、AU 82 の場合はこれまでに示したどのスペクトルの形とも異なり、全高度で半日周期に対応するピークが顕著に認められるが、1日周期に対応するピークは、最下層の 10 m 以外では認められない。また長周期側でスペクトル密度がほとんど減少していない。

5. 考察

大気境界層内の風速の日変化に関しては、Taylor (1917) 以来多くの研究が行われている。比較的高い所までの日変化を求めた例としては、Crawford・Hudson (1973) がある。彼らは、郊外のテレビ塔を用いた 500 m までの 7 高度での 1 年間の観測資料を解析している。彼らの求めた風速の日変化の特徴と、今回の解析で得られた日変化の特徴とは、定性的にはほぼ一致している。彼らの解析結果でも、地表面付近と 200 m 以上とでは日変化の様子がほぼ逆位相になっており、50~100 m 付近で日変化の振幅が最も小さくなっている。風速の日変化の位相が逆になる高度については他にもいくつかの解析があり、たとえば Frankenberg (1955) は牧草地上での 1 年間の風速の観測資料を解析して、地上 2・15・28 m では顕著な日変化が認められるが、70 m では風速は余り変化しないという結果を得ている。この程度の高さで風速の日変化の位相が逆転することについては、Taylor (1917) も簡単な数値計算で示している。今回の解析でも 1 日周期成分の振幅は 50 m あるいは 100 m で最も小さくなっており、上に述べた結果と一致している。すなわち平均的にみれば、100 m 以下の層において地表面の影響が顕著であるといえる。このことは、同じ鉄塔での気温データの解析結果 (藤谷, 1983) とも一致している。

風速の日変化の季節的な変化についても、これまでにいくつかの研究がある。Taylor (1917) は Hellman (1915) の牧草地上での観測結果を用いて、日変化の位相が逆転する高さは風速が弱い場合、冬季は 41 m よりずっと低く夏季は 41 m 付近であると述べている。また Mayer (1974) はブッシュ地帯での観測から、日変化の位相が逆転する高度は、冬季は 50 m 夏季は 100 m 程度であると述べている。もっと高い所まで観測した結果 (Devyatova, 1957) によれば、日変化が遷移する高度は暖候期では 100 m 程度、寒候期は 50 m 程度である。今回の解析結果も第 4 図に示したように、これらとほぼ同じ傾向を示している。

風速の日変化によって明らかとなった大気境界層下部の特徴は、風速のスペクトル解析の結果によってよりはっきりと示されている。風速スペクトルの季節的な変化について得られた結果で最も重要なことは以下の 2 点である。第 1 点は、夏季には 200 m 以下ではスペクトルの形は高さ方向に大きく変化せず、1 日周期に対応するピークが全高度で顕著に認められ、さらに 1 日周期より長



第10図 夏季の風速の回転スペクトル。

周期のピークが高さが増すにつれてはっきりと現れるということである。第 2 点は、冬季にはスペクトルの形が高さ方向に大きく変化し、下層の 10・25 および 50 m においては 1 日周期が卓越しているが、これより高い所ではこのピークがはっきりせず、むしろより長周期のピークが顕著となっているということである。大気境界層下部では夏季には対流活動が盛んで上下方向に充分混合されるため、1 日周期のピークが全高度で顕著に認められるものと思われる。また、夏季には、1 日周期の変化を起こす原因として海陸風の影響も、可能性としては考えられるが、この影響はすぐ後でも述べるように、むしろ半日周期のピークとして現れてくる。一方、冬季には接地逆転層が発達して上下方向の混合が抑えられるため、下層においてのみ 1 日周期に対応するスペクトルのピークが顕著となる特徴が現れたものと考えられる。

これら風速の日変化やスペクトル解析の結果から考えて、地表面が直接影響を及ぼす高度 (すなわち 1 日周期成分が卓越する高度) は、明瞭な季節変化を示し、冬季には 50 m 以下であるが夏季には 200 m 以上になっているものと考えられる。

次にスペクトルに現れている半日周期に対応するピークであるが、このピークは年によって相違している。これはこのピークが局地的な循環によって生じているため

であると考えられる。このような局地風としては海陸風が考えられるので、SU 81の風向・風速データを用いて回転スペクトルを求めた。その結果を第10図に示す。全高度とも反時計回り成分に顕著な1日周期のピークが認められる。白木(1984)の、関東地方のアメダス風データの解析結果では、暖候期の北関東内陸部の風のホドグラフは反時計回りとなっており(気象観測用鉄塔に近い下妻・土浦も反時計回り)、今回の結果と一致している。このような風系は鹿島灘から侵入する海風と、東京湾方向から侵入する海風の相互作用によって生ずると考えられている(白木, 1984)。したがって、スペクトルに現れている半日周期に対応するピークは、海陸風によって生じているものと考えられる。このことは冬季のスペクトルにおいて、上層では半日周期が顕著には認められなかった事実とも一致している。

次に1日周期より長周期のスペクトルピークについて詳しく考察する。このような長周期のスペクトルピークについては、Van der Hoven(1957)以来多くの研究が行われており、このようなピークは総観スケールの気象現象によって生じるとされている。今回の解析においても長周期のスペクトルピークは認められるが、その周期は季節により年によって相当に変化しており、これまでによく言われている4日付近だけでなく、2~8日の範囲の中のいろいろな周期でピークが生じている。さらに、春秋のスペクトルのところで述べたように、これらのスペクトルは年によって冬季あるいは夏季のスペクトルの特徴を示している。これらのことは、スペクトルの形にその時の天候状態が反映していることを示している。このような観点からスペクトルの形、特に1日周期より長周期の部分の形について検討した。

夏季の場合、今回の解析のデータ区分では前半は梅雨で後半は盛夏となる。したがって長周期の変動の原因の1つとしては梅雨前線の動きが考えられる。SU 79・SU 81・SU 82では長周期のピークが認められるが、特にSU 82ではこのピークが広い周期の範囲にわたっている。この年の梅雨は時間的な変化が激しかったことを考えると、これがスペクトルの形に反映しているものと考えられる。一方、SU 80では長周期のピークがはっきりとは認められないが、これはこの年の梅雨が余り活発でなく、オホーツク高気圧におおわれることが多かったためではないかと思われる。

冬季の長周期変動の原因としては、冬型気圧配置・移動性高気圧・南岸低気圧などの出現の間隔が重要とな

る。まず長周期のピークのはっきりしているWI 78・WI 80・WI 81の天候についてみる。WI 78では冬型の気圧配置が長続きせず、しばしば移動性高気圧におおわれたことが、周期の比較的是っきりしたスペクトルピークに反映しているものと思われる。次に、WI 80の前半では冬型気圧配置が比較的持続していたが、後半は移動性高気圧や南岸の低気圧が次々と通過した。このことが広い周期にわたるスペクトルピークとなって現れているものと思われる。また、WI 81では全期間を通じて冬型気圧配置が長続きせず移動性高気圧や低気圧が次々と通過したことによって、周期の比較的是っきりしたスペクトルピークが現れているものと思われる。一方、WI 79では長周期のピークは存在するが、1日周期に対応するピークが高度が増すにつれて広がってこれと一緒に広がっているため、はっきりしないピークとなっている。この時の天候は冬型気圧配置が持続し、わずかに1月下旬後半に南岸低気圧が相次いで通過しただけである。したがって、冬型気圧配置が持続した期間には日変化が卓越するものと考えられるので、このように長周期のピークが余りはっきりしていないスペクトルの形が現れているものと思われる。次にWI 82では長周期のピークがはっきりせず、平坦なスペクトルとなっているが、この時の天候の経過をみると、この期間冬型気圧配置が長続きせず、移動性高気圧や低気圧が比較的短い周期で頻繁に通過している。このことが広い周期の範囲にわたって比較的平坦なスペクトルの形に反映しているものと思われる。

次に、比較的周期的な天気変化をすと言われている春秋について、天候とスペクトルの形の関連性についてみる。春季のスペクトルにはいずれも長周期のピークが認められるが、SP 79・SP 82はピークの幅が比較的狭いのに対し、SP 80・SP 81ではピークの幅が広い。この時の天候の経過を比較してみると、SP 79・SP 82では低気圧がほぼ周期的に通過しており、特にSP 82では全期間を通じて低気圧と移動性高気圧が周期的に通過している。一方、SP 80では4・5月の中旬には天候は周期変化しているが、それ以外の期間では南岸を低気圧が次々と通過したり、冬型の気圧配置が持続したりあるいは北高型になったりしている。またSP 81では2~3日周期で次々と低気圧が通過することが多く、さらに冬型の気圧配置や菜種梅雨型の天候もみられた。このような天候の経過が比較的幅の広い長周期のスペクトルピークに反映しているものと思われる。

次に秋季の天候の経過をみると、AU 81 では期間の前半では4~5日周期の天気の変化が卓越しているため長周期のピークがはっきりしている。また、AU 80 においても比較的周期変化の顕著な期間が認められることから、このような長周期のピークが現れているものと思われる。これに対してAU 82 は前にも述べたようにスペクトルの形が他と異なっている。この場合、データの日数が48日と短いことや、天候の経過をみると、台風や秋雨前線が活発であることから、1日周期のピークや長周期のピークがはっきりと現れなかったのかも知れないが、詳しいことは分からない。

いずれにしても、ここで見てきたように風速のスペクトルの形と天候の経過とは密接に関係しており、風速のスペクトルの形から、その時の大気境界層の平均的な構造がどのような季節の特徴を示しているかを知ることが出来る。さらに、その時の天候の経過の特徴を知ることでもできる可能性がある。このことはいわゆるスペクトル気候学(Harrington and Heddinghaus, 1974; 彼らの言う spectrum climatology はスペクトルの地点ごとの差を重視しているが、ここではむしろ解析期間の差を問題としている)の可能性を示唆しているものと思われる。

6. おわりに

筑波研究学園都市にある気象研究所の気象観測用鉄塔の7高度で得られた、1978年1月から1983年12月までの6カ年の毎時の平均風速・風向の観測資料を用いて、風速の日変化やパワースペクトルなどを求め、これらの高度変化や季節変化を調べて、大気境界層下部の平均的な構造の特徴を明らかにした。さらに、スペクトルの形と総観規模の気象現象との関連性についても調べた。得られた結果をまとめると以下ようになる。

(1) 時刻別平均風速から求めた風速の日変化の様子をみると、100 m 以下とそれ以上の高度ではその位相が大きく異なっており、さらに50~100 m 付近で風速変化の1日周期成分の振幅も最も小さくなっている。

(2) 風速の日変化の様子は明瞭な季節変化を示しており、日変化の位相が逆転する高度は夏季は200 m 以上、冬季は100 m 以下となっている。

(3) 風速のスペクトルの形は夏季と冬季では大きく異なっており、夏季では高さ方向にその形が余り変化せず、いずれの高度においても1日周期が卓越している。一方、冬季においてはスペクトルの形が高さ方向に大きく変化し、下層では1日周期が顕著であるが、上層では

これのはっきりせず、むしろ長周期のピークが顕著になっている。

(4) スペクトルの形、特に長周期の部分については天候の経過と密接な関係があり、いわゆるスペクトル気候学の可能性を示唆している。

以上のことから、大気境界層下部では夏季には対流混合が活発であるため200 m 以上の高さまで地表面の影響が直接及んでいるが、冬季にはこの高度は50~100 m と低くなり、それより上層では総観規模の気象現象の影響がより顕著に現れているものと考えられる。また、天候の経過もスペクトルの形に影響を及ぼしていることが明らかとなった。

謝 辞

ここで用いた観測資料は、気象観測用鉄塔観測資料第2号の発行のために収集・整理されたものである。観測資料の収集・整理にあられた気象研究所気象衛星研究部第4研究室の松岡登志室長・中村匡善主任研究官(現高層気象台観測二課長)に深く感謝致します。

文 献

- Crawford, K.C. and H.R. Hudson, 1973: The diurnal wind variation in the lowest 1500 ft in central Oklahoma: June 1966-May 1967, *J. Appl. Met.*, 12, 127-132.
- Devyatova, V. A., 1957: Mikroaerologischeskie issledovaniya nizhnego kilometrovogo sloya atmosfery, Leningrad, 102-109.
- Frakenberger, E., 1955: Über vertikale Temperatur-, Feuchte- und Windgradienten in den untersten 7 Dekametern der Atmosphäre, den Vertikalaustausch und den Wärmehaushalt an Wiesenboden bei Quickborn/Holstein 1953/1954, *Ber. Deutschen Wetterdienstes*, 20.
- Hanafusa, T., T. Fujitani and N. Banno, 1980: Behavior of winds in the lowest 200 m in central Tsukuba Science City, *Papers in Met. and Geophys.*, 31, 125-152.
- Harrington, J.B. and T.R. Heddinghaus, 1974: Determinism in mesoscale wind spectra at Columbia, Missouri, *J. Atmos. Sci.*, 31, 727-737.
- Hellmann, von G., 1915: Über die Bewegung der Luft in den untersten Schichten der Atmosphäre, *Met. Zeitschrift*, 32, 1-16.
- Mayer, H., 1974: Beiträge zur Meteorologie eines Steppengebietes (Tsumeb/S.W.A.), *Met. Rdsch.*, 27, 181-187.
- Taylor, G.I., 1917: Phenomena connected with turbulence in the lower atmosphere, *Proc. Roy.*

Soc., A 94, 137-155.

Van der Hoven, I., 1957: Power spectrum of horizontal wind speed in the frequency range from 0.0007 to 900 cycles per hour, J. Met., 14, 160-164.

白木正規, 1984: 関東平野の風の日変化, 1984春季

大会講演予稿集, p.115.

花房龍男, 藤谷徳之助, 伴野 登, 魚津 博, 1979: 筑波研究学園都市に新設された気象観測用鉄塔施設, 気象研究所技術報告, 3, pp. 50.

藤谷徳之助, 1983: 大気境界層における温度拡散係数の季節変化について, 天気, 30, 31-37.

NEWS

世界の異常天候とその影響評価 (14)

(Climate Impact Assessment, March, 1985)

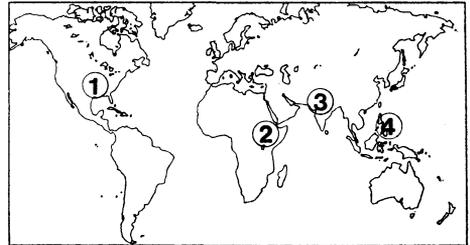
1. 合衆国中部——荒天

テキサス, オクラホマ, ミズーリ, イリノイ, ウィスコンシン, ミネソタ, ミシガンの各州では, 3月3~5日の荒天のため3,500万ドルの被害が生じた。

最初, ロッキー山脈に風雪をもたらした低気圧は, 東に移動しながら発達し, これらの州に, 60センチの積雪, 時速100km(約28m/秒)の強風, トルネード, 野球のボール大の雹, 大雨をもたらした。死者・行方不明は9人と伝えられている。資産の被害の大部分は, 家屋と自動車の被害である。

2. 東アフリカ——雨季の開始

去年の干ばつの悪影響を受けていた東アフリカでは, 雨季が折よく始まったため, 穀物の種蒔きや成長に良好な状況となった。特にソマリア, ケニア, ウガンダで3月の最後に降った大雨は, 多くの穀物に良い影響をもたらした。エチオピアでは3月初めの干天のため, 種蒔きが遅れていたが, 3月後半に入って何度も雨が降ったので種蒔きが始まり, 水の供給も良くなった。



3. パキスタン——干天

2~3月の干天のため, 小麦は成長の重要な時期に被害を受けた。この期間の降水量は平年の25%以下であった。

4. フィリピン——干天

フィリピンでは, 年の初めからのモンスーンの雨量が平年以下だったため, 稲とトウモロコシが被害を受け, 推定5千万ドルの損害となった。

注: 上記各項目の番号は図中の番号に対応している。

(気候変動対策室 真野裕三)