

## 寒候期，気象観測塔で観測された 接地逆転の特性

Some Aspects on the Surface Inversion Observed by the 30-m Meteorological Tower at the Environmental Research Center during the Cold Half Year.

寄崎 哲弘\*・田宮 兵衛\*\*・甲斐 憲次\*\*\*

Akihiro YORISAKI, Hyoe TAMITA and Kenji KAI

### I はじめに

筑波研究学園都市付近の冬の気候を論ずる場合、重要なものの1つに気温の接地逆転がある(長田, 1977; 鈴木, 1977; 鈴木ほか, 1978)。接地逆転の形成には主として放射と乱流の効果が関与していると考えられるが、そのメカニズムは完全には明らかにされていない。そこで、本研究は接地逆転の形成メカニズムを解明する手がかりとして、筑波大学水理実験センターの30m気象観測塔におけるルーチン観測(古藤田ほか, 1978)の資料を用いて、寒候期の接地逆転の特性を統計的に検討した。解析にあたっては、接地逆転強度として気象観測塔の地上1.6mと30mの気温差  $T_{30} - T_{1.6}$ 、乱流による接地逆転の攪拌効果を表わす指標として風速(地上30m)、放射による冷却効果を表わす指標として正味放射(地上1.6m)を用いた。本報では、これら3要素(逆転強度・風速・正味放射)の半旬変化、日変化、相互の関係について述べる。

### II 観測資料

対象とした期間は1978年10月から1979年1月、および1979年10月から1980年3月の計10ヶ月間で、それぞれ1978年寒候期、1979年寒候期と呼ぶ。この期間中に磁気テープに集録された2分間隔の

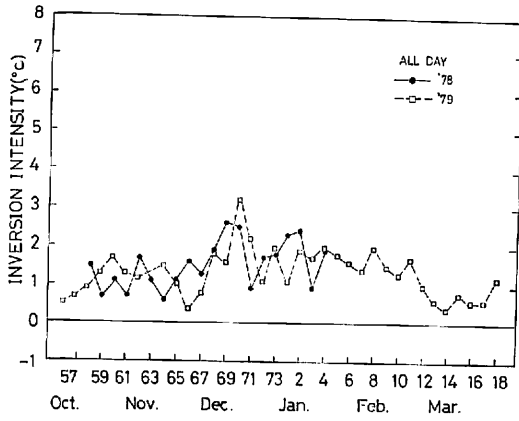
ルーチンデータを30分平均して、本研究の基礎資料とした。磁気テープに集録されなかった期間については、モニター用自記記録より読み取った(約40日)。使用した測器は次の通りである。気温(地上1.6mと30m)および地温(地下2cm)は白金抵抗温度計、風速(地上30m)は超音波風速温度計、正味放射(地上1.6m)はフック型放射収支計である。ルーチン観測システムについての詳細は、古藤田ほか(1978)に報告されているので省略する。

### III 結果および考察

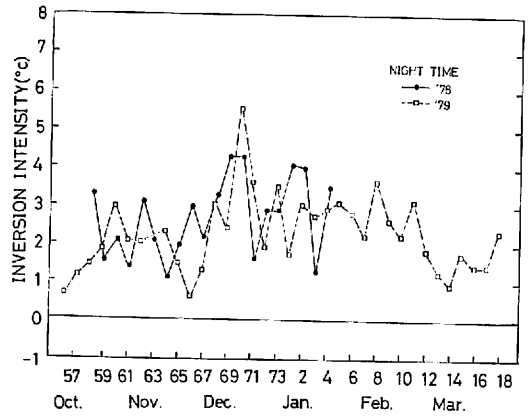
#### (1) 逆転強度の半旬変化と月別日変化

日中を含めた日平均逆転強度の半旬変化<sup>1)</sup>を第1図aに示す。図中の実線は1978年寒候期、破線は1979年寒候期を示す。各寒候期とも日平均逆転強度は正になっている。また、全体の傾向として12月下旬から1月上旬に逆転強度の極大が現われる。日平均逆転強度が正になるのは、日中のてい減率に比較して夜間の逆転強度が1桁程度絶対値が大きいためと考えられる。次に、同じ期間の夜間<sup>2)</sup>の平均逆転強度の半旬変化を第1図bに示す。第1図aとほぼ対応した変化をしていることがわかる。このことから、日中の逆転強度(てい減率)は日によってそれほど変化が大きくなく、逆転強度の半旬変化には、夜間の逆転強度の変化

\* 筑波大学(院)環境科学研究科 \*\* 気象研究所 \*\*\* 筑波大学水理実験センター (1982年5月8日受理)



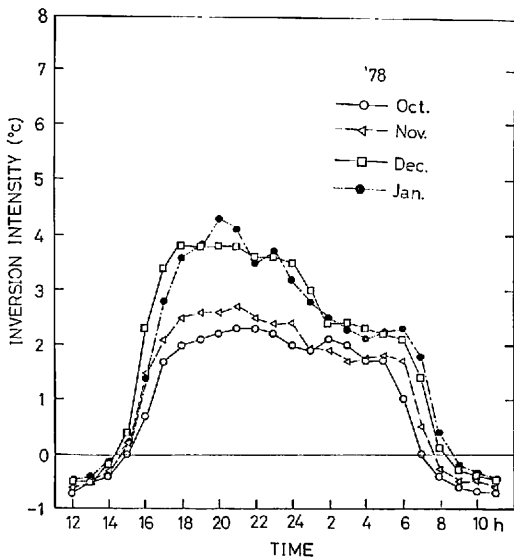
a. 月平均



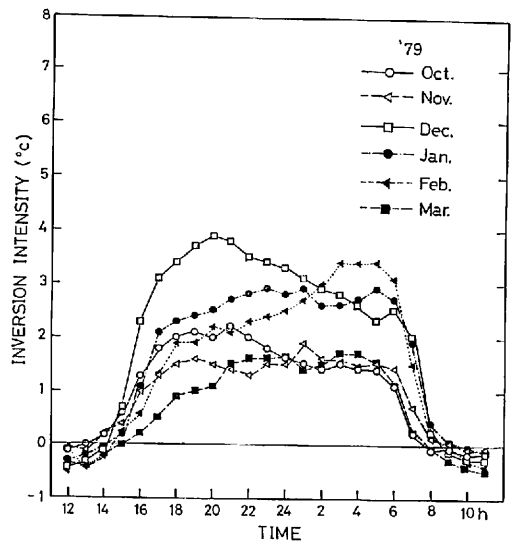
b. 夜間平均

第1図 逆転強度の半月変化

逆転強度とは、地上30mと1.6mの気温差( $T_{30}-T_{1.6}$ )である。



a. 1978年寒候期



b. 1979年寒候期

第2図 逆転強度の月別日変化

が大きく影響していると考えられる。

次に、1978年および1979年寒候期における逆転強度の月別日変化<sup>3)</sup>を第2図a, bに示す。月別日変化の特徴は、日中は負、夜間は正となっていることと、月により変化パターンが異なっていることである。1978年寒候期(第2図a)は、日変化の極大が18~21時の間(以下この時間帯を夕刻と呼ぶ)に出現し、その後2~6時の間(以下こ

の時間帯を早朝と呼ぶ)に一担時間変化がゆるやかになり、小ピークを持つ月(10月, 1月)もある。1979年寒候期(第2図b)についてみると、1, 2, 3月は早朝に極大が現われているが、10, 12月は夕刻に極大が現われている。すなわち、1978年寒候期の10~1月と1979年寒候期の10月, 12月には夕刻に極大が出現するのに対して、1979年寒候期の1, 2, 3月には早朝に極大が出現す

る。

次に、日最低気温と日最大逆転強度の出現時刻との関係について述べる。日最大逆転強度の出現時刻は夕刻の場合と早朝の場合とがあり、必ずしも日最低気温の出現時刻（吉野、仲谷、1981）とは一致しない。水理実験センターに近い爺野高層気象台の観測で21時に雲量6/8以下の夜間晴れた日は1978年と1979年寒候期を合計して123日であった。このうち日最低気温の出現する時刻の前後2時間以内に日最大逆転強度の出現した日は、全体の33%であった。反対に24時前に日最大逆転強度が現われた日（計81日）のうち、24時前に日最低気温の出現した日は全体の12%で日最大逆転強度の出現時刻と日最低気温の出現時刻とは必ずしも一致していない。この理由として、30m程度の気層では日没後に地表面付近の気温が急激に低下するのに対し、高度30mでの気温低下は緩慢であるので（第8図）、逆転強度は日没後最大になりやすいものと考えられる。このような月別日変化に現われた日最大逆転強度と日最低気温の出現時刻の相異は、久保（1963）も報告している。

日最大逆転強度は1978年寒候期には夕刻に出現し、1979年寒候期には10月、12月を除き早朝に出現する傾向にあり、日変化パターンが異っている。そこで、前述の晴れた夜間について風速、正味放射、逆転強度の各寒候期別の平均値を求め、第1表に示した。風速と正味放射の絶対値はいずれも1979年寒候期の方が大きい。逆転強度は1978年寒候期の方が大きい。風速は攪拌作用、正味放射は冷却作用を代表すると考えられるが、逆転強度と正味放射の年による違いは対応していない。これについては次章以後で検討する。

第1表 寒候期の気象要素の夜間平均値

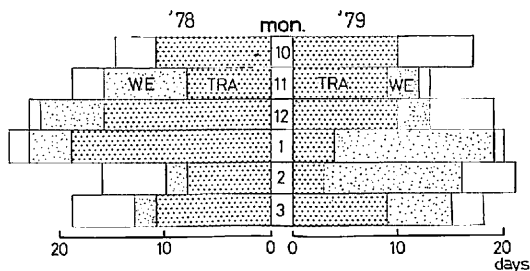
ELEMENTS	'78	'79
DT (°C)	3.71	2.93
U (m/s)	2.13	2.45
RN (ly/h)	-2.97	-3.96
N	50	73

DT：逆転強度、U：風速、RN：正味放射、N：観測回数

## (2) 気圧配置型と逆転強度

逆転強度の月別日変化（第2図）から明らかのように、逆転強度の極大は早朝に出現する場合と夕刻に出現する場合とがある。このような相異をもたらす場の条件として、気圧配置の違いを検討する。寒候期に関東地方が晴天になる典型的気圧配置は、西高東低型と移動性高気圧型である。

夜間晴れた日の午前9時の印刷天気図から、各寒候期における月別の気圧配置型出現頻度を求めた。その結果を第3図に示す。図中では西高東低型をWE、移動性高気圧型をTRAで表わした。この2種類の型に分類できないものは、空白で示した。図は縦方向に月、横方向に各寒候期の夜間



第3図 気圧配置型で分類した夜間晴天日数  
WE：西高東低型、TRA：移動性高気圧型、  
空白：その他

晴天日数と、気圧配置型の内訳を示した。1978年および1979年寒候期の晴天率は、それぞれ66%、59%で、大差はない。気圧配置型の出現頻度は、平年ならば1月に西高東低型が最も多くなり移動性高気圧型は減少するが（Yoshino and Kai, 1974）、1978年寒候期はすべての月に移動性高気圧型が卓越（50%以上）している。ちなみに、1978年寒候期は暖冬であった（例えば、朝倉、1979）。1979年寒候期は平年並みに1、2月に西高東低型が卓越している。これを第2図の月別日変化と比較すると、夕刻に日最大逆転強度の出現する1978年寒候期のすべての月および1979年寒候期の10、12月はいずれも移動性高気圧型が卓越しているのに対して、早朝に日最大逆転強度の出現する1979年寒候期の1、2、3月を除き西高東低型が卓越している。

このように逆転強度の日変化パターンと卓越する気圧配置型の関連は高い。そこで、気圧配置型で分けた各寒候期の気象要素の夜間平均値を、第2表に示す。移動性高気圧型では西高東低型より風速、正味放射の絶対値ともに小さい。逆転強度は、年により異なる。第2表で、1978年寒候期の風速、正味放射の絶対値が、1979年寒候期の値より小さいのは、1978年寒候期に移動性高気圧型が多かったことと関係があるものと思われる。

第2表 気圧配置型で分類した、寒候期の気象要素の夜間平均値

YEAR	TRA		WE	
	'78	'79	'78	'79
DT(°C)	3.88	2.90	3.03	3.05
U(m/s)	2.08	2.17	2.35	2.75
RN(ly/h)	-2.69	-3.02	-4.08	-4.99
N	40	38(36)	10	35(23)

表中の記号は第1表と第3図に同じ、括弧内はRNの観測回数

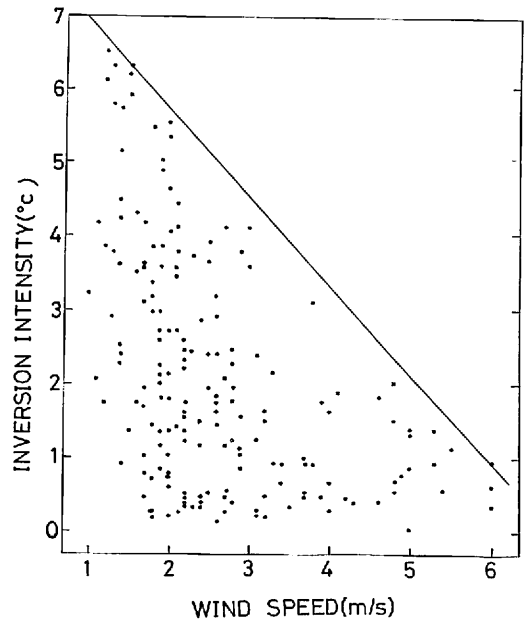
### (3) 逆転強度と風速・正味放射との関係

逆転強度と風速・正味放射との関係を明らかにするために、これら3要素の相関を調べた。

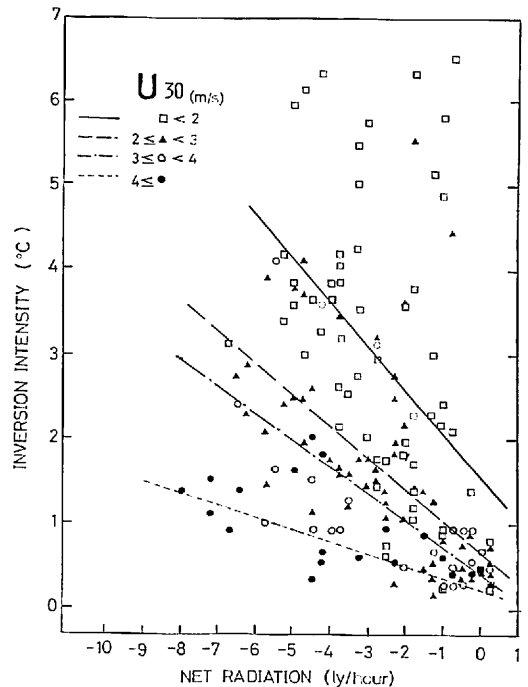
風速と逆転強度の相関を第4図に示す。図中の実線を境界に、明らかに分布の限界があり、風速の大きいときには逆転強度は小さくなっている。さらに詳しく分布をみると、風速が3 m/sのところを境にして2°C/30m以上の逆転強度の出現が少なくなっている。このことから、強い逆転が出現するための臨界風速の存在が考えられる。

次に、正味放射と逆転強度の相関を第5図に示す。全体のばらつきは大きいですが、風速の階級別にみると相関がある。そこで、風速階級別に1本の回帰直線を求め、図中に示した。回帰直線は、風速が小さくなるほど勾配が大きくなっている。つまり、風速が小さいほど、正味放射の変化が逆転強度に大きく作用することを表わしている。

このように風速が逆転強度をある程度支配している要素であることが明らかになった。そこで、風速を選択の基準として、逆転強度・風速・正味放射の日変化特性を調べる。曇、雨の日に接地逆



第4図 風速と逆転強度の相関

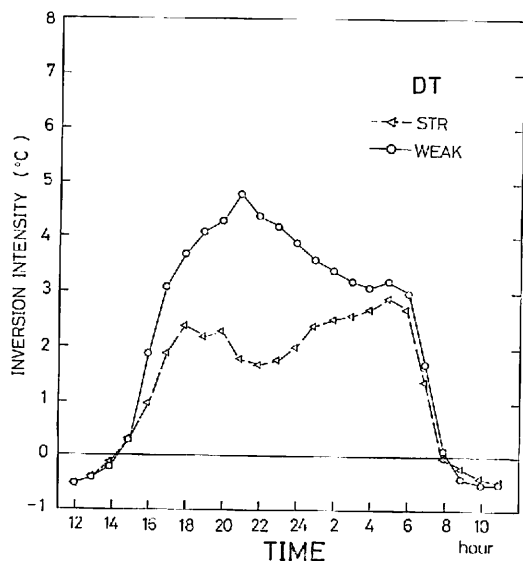


第5図 正味放射と逆転強度の相関

図中の記号は夜間平均風速の階級を示し、直線は各階級ごとに求めた回帰直線を示す。

転が形成されにくいことは明らかなので、水理実験センターに近い館野高層気象台で観測された雲量の資料を用いて、21時と翌日の9時の値がともに6/8以下の日(1978年と1979年寒候期の計105日)を対象とした。また、風速の基準は、第4図で指摘した臨界風速に近い、2.5 m/sを便宜的に用いた。夜間平均の風速が2.5 m/s以上を風速の大きい場合(STRと記す)、未満を風速の小さい場合(WEAKと記す)として、対象とした日を2つに分けて解析した。

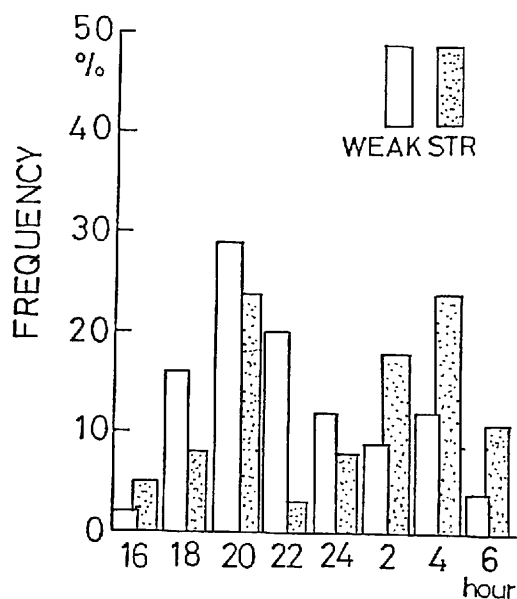
夜間平均風速別の逆転強度日変化を、第6図に示す。風速の大きい場合(STR)は早朝に逆転強度の大ピーク、夕刻に小ピークが現われるのに対し、風速の小さい場合(WEAK)は夕刻に大ピーク、早朝は小ピークが現われる。この2つの日変化パターンは、第2図にもみられた。すなわち、第2図で夕刻にピークの現われる場合には移動性高気圧型の卓越する月が多く、第6図の風速の弱い場合に対応している。第2図で早朝にピークの現われる場合には西高東低型が卓越していることが多く、第6図の風速の大きい場合に対応しているものと考えられる。



第6図 逆転強度の夜間平均風速別日変化  
 STR : 夜間平均風速 $\geq 2.5$  m/s,  
 WEAK : 夜間平均風速 $< 2.5$  m/s

第7図は日最大逆転強度の出現頻度を2時間ごとの時刻別に表わしたものである。全体としては第6図と同じような変化をする傾向にあるが、風速が大きい場合に20時の出現頻度が4時のそれと同程度になっている。これは、日役後の接地逆転の形成条件が強いことを示している。

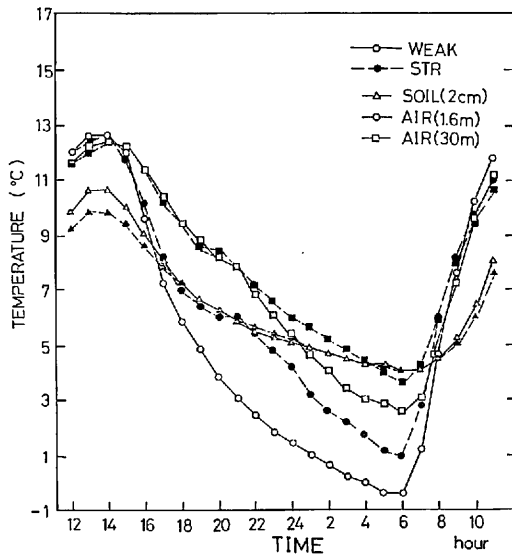
地上1.6m、30mの気温と地下3cmの地温の夜間風速別日変化を、第8図に示す。1.6mの気温



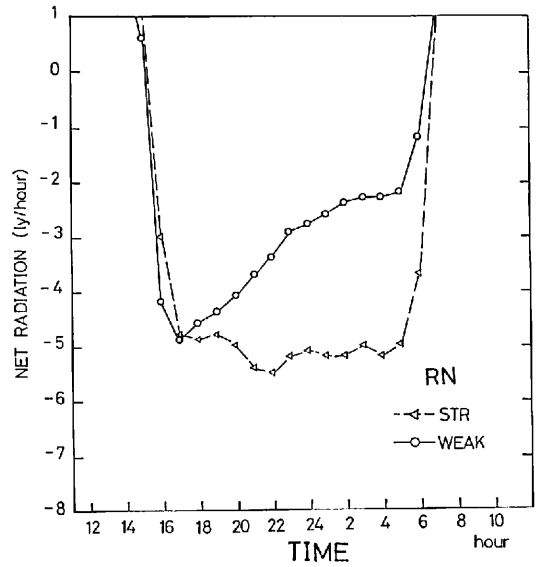
第7図 日最大逆転強度の時刻別出現頻度

変化を風速別に比較すると、風速の大きい場合と小さい場合の気温低下率は17時まではほぼ同一であるが、その後風速の攪拌作用により前者の気温低下率は鈍くなる。30mの気温をみると、風速が大きい場合と小さい場合の気温低下率は21時まではほぼ同じであるが、後者は22時以降気温低下率が大きくなり、逆転強度は21時を境にして減少する。夜間の地温は風速の大きい場合、小さい場合ともにほとんど差がない。

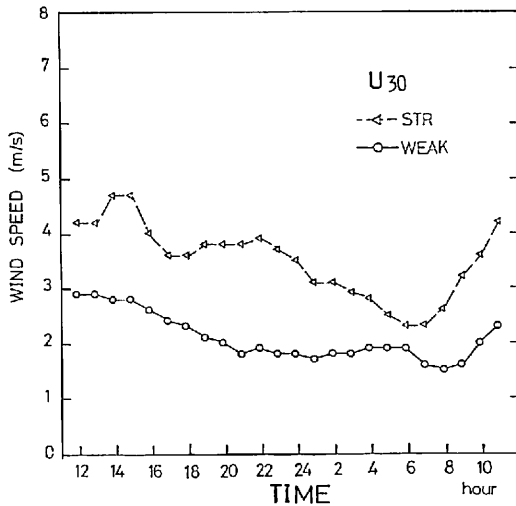
夜間平均風速別の風速日変化を第9図に示す。風速が小さい場合には、夜間の風速の変化はほぼ一定である。一方、風速が大きい場合には、早朝に風速の極小が現われる。これは、第6図で風速が大きい場合には逆転強度のピークが早朝に出現



第8図 気温(地上1.6m, 30m)と地温(地下2cm)の夜間平均風速別日変化



第10図 正味放射の夜間平均風速別日変化



第9図 風速の夜間平均風速別日変化

することと対応している。

正味放射の夜間平均風速別日変化を、第10図に示す。夜間の変化についてみると、風速の大きい場合には正味放射がほぼ一定であるのに対し、風速の小さい場合には正味放射の絶対値は夕刻に最大になり、その後早朝に向けて減少している。

第3表に、主な気象要素の夜間平均値を風速別

第3表 夜間平均風速別の気象要素の夜間平均値

ELEMENTS	WEAK	STR
DT (°C)	3.90	2.21
U (m/s)	1.87	3.44
RN (ly/h)	-3.08	-5.14
T <sub>1.6</sub> (°C)	1.9	4.3
CA	1.4	1.5
VCA	0.2	-0.2
FOG(%)	1.5	0.0
N	67	38

T<sub>1.6</sub>: 地上1.6mの気温, CA: 館野高層気象台における21時、翌日9時の平均雲量, VCA: 雲量の時間変化(21時—9時), FOG: 9時に観測された霧の出現頻度。その他は第1表に同じ。

に示す。雲量、霧の値は、館野高層気象台の資料から求めた。風速の小さい場合の方が風速の大きい場合より逆転強度は大きく、正味放射の絶対値は小さくなっている。観測期間の雲量の平均値がほとんど同じであるのに、正味放射の値が異なるのは、地表面温度が第8図の地温(地下2cm)から推測されるように風速の大きい場合と小さい場合で差がないとすれば、気温プロファイルによる違いと思われる。

以上の結果から、風速の大きい場合と小さい場合について、3要素（逆転強度・風速・正味放射）の関係を考察する。

#### 1) 風速の大きい場合

風速の大きい場合として、夜間の平均風速が2.5 m/s 以上の日を選んだ。風速の日変化をみると、夜間の風速は早朝に向かって減少し、日出頃に最小値が現われる。夜間の正味放射はほぼ一定であるから、この夜間の風速の減少が逆転層の形成によってなされたものか、その逆なのかが問題となる。

夜間の風速が系統的に減少する要因として、メソスケールの潮陸風、海陸風などがあるが、季節的には考えられない。吉野ほか(1977)によると、筑波地域は冬季宇都宮不連続線の南下により弱風域に入るが、この弱風域の出現頻度は西高東低型出現回数のうち、21時に20%、6時に80%となる。西高東低型の気圧配置で夕刻に風速が大きい場合には、宇都宮不連続線の南下により早朝に向けて風速が減少する頻度が高くなるものと考えられる。風速が減少すれば、逆転強度は増大し、日出頃にピークが現われる。

一方、逆転層が発達することにより、風速が減少する場合は、次のように考えることができる。気層を完全混合するのに十分な風速が定常的に吹くという条件下では、逆転層は形成されないが、一時的に風速が小さくなれば、その時に弱い逆転層が地表面付近に形成される。安定な気層ができるために、再び風速が大きくなっても十分混合が行なわれなくなる。夜間中風速が定常なことはないから、上述のプロセスを繰返して、除々に逆転層が発達して、日出頃に逆転強度のピークが現われる。

風速の大きい場合に日最大逆転強度が早朝に現われる現象に対する説明として、以上の2つが考えられる。

#### 2) 風速の小さい場合

風速の小さい場合には夜間における風速の時間変化がほとんどないので、正味放射と逆転強度の関係を検討する。

逆転強度が地上1.6 mで観測された負の正味放射の絶対値に比例し、かつ何らかの系統的原因によって正味放射の絶対値が早朝に向かって減少するならば、逆転強度は減少する。上向き長波放射の減少または下向き長波放射の増加が相対的にあれば、正味放射の絶対値は減少する。

上向き長波放射の減少は地表面温度の低下によって生じるが、地下2 cmの地温の時間変化（第8図）を風速の大きい場合と小さい場合で比較すると、夜間ほとんど差がない。地表面温度が地下2 cmの地温と比例していれば、上向き長波放射は風速の大きい場合と小さい場合でほぼ同じになり、第10図の正味放射の時間変化の違いは下向き長波放射の違いによって生じたものと考えられる。

下向き長波放射の増加をもたらし要因として、雲と霧が考えられる。そこで、館野高層気象台の観測資料から、夜間における雲と霧の変化を推定した。まず、雲量の変化量は21時と翌日の9時の雲量の差で示した（第3表のVCA）。雲量の変化量は、その絶対値が1/40のオーダーであり、観測誤差内である。霧は9時に観測されたものを第3表のFOGで示したが、風速の小さい場合1回あっただけである。このように、下向き長波放射の変化を雲量または霧で説明することはできない。その他、下向き長波放射に影響する要因として、気温プロファイルがある。逆転層が上方に発達することにより気温プロファイルが変化すれば、第10図の正味放射の時間変化もある程度説明することができる。

風速の小さい場合は、逆転層全体の発達から地上付近の逆転を捉える必要がある。

## IV ま と め

筑波大学水理実験センターの気象観測塔におけるルーチン観測資料を用いて、寒候期の接地逆転の特性を統計的に調べた。その結果、次の事実が明らかになった。

1. 日平均および夜間平均の逆転強度の半旬変化は、1978年、1979年寒候期ともに、全体の傾向と

して12月下旬から1月上旬にピークが現われた。

2. 逆転強度の月別日変化をみると、日最大逆転強度の出現時刻は18～21時の夕刻の場合と2～6時の早朝の場合とがあり、必ずしも日最低気温の出現時刻とは一致しない。1978年寒候期の10～1月と1979年寒候期の10、12月は逆転強度の日最大値が夕刻に、1979年寒候期の1～3月は早朝に現われた。

3. 風速と逆転強度の相関をとると、明瞭な分布の境界があり、臨界風速3 m/s（地上30m）以上の風速では強い接地逆転の出現頻度が小さくなっている。

4. 逆転強度と正味放射の相関は風速が小さいほど逆転強度に対する正味放射の影響が大きいが、またばらつきも大きいことがわかった。

5. 逆転強度の平均日変化を夜間平均風速別に調べると、風速の小さい場合は夕刻に、風速の大きい場合は早朝に、それぞれ日最大値が現われることがわかった。

6. 風速の平均日変化は、風速の小さい場合夜間ほぼ一定であるが、風速の大きい場合早朝に最小値が現われた。

7. 正味放射の平均日変化は、風速の小さい場合は、絶対値が早朝に向かって減少するのに対し、風速の大きい場合夜間ほぼ一定であった。

## 謝 辞

本論文を草するにあたって、終始御指導を賜った筑波大学地球科学系の吉野正敏教授をはじめ、諸先生方に感謝いたします。また、水理実験センターの古藤田一雄助教授をはじめとするセンター職員の方々、気象研究所の花房龍男博士には貴重な御助言を頂きました。データを整理する際には環境科学研究科の小泉隆氏に御助力を頂きました。

た。これらの方々に厚く御礼申し上げます。

なお、本報は寄崎哲弘の昭和55年度卒業論文に加筆訂正したものである。

## 注

- 1) 半旬変化とは30分平均値をさらに半旬平均した値の時間変化である。
- 2) 夜間は便宜的に、19時から翌日5時までの時間帯とする。
- 3) 月別日変化とは、各時刻の値を1ヶ月平均した値の日変化である。

## 文 献

- 朝倉 正 (1979) : 1979年の冬, 気象, 263, 20—23。  
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, 2, 65—89。  
久保時夫 (1963) : 下層大気中の逆転層と汚染について。気象研究ノート, 14, 293—304。  
長田英二 (1977) : 館野の接地逆転層。南関東大気環境調査報告(1), 気象庁, 114—131。  
鈴木彌幸 (1977) : 館野の接地逆転。研究時報, 29, 113—116。  
鈴木彌幸・鶴田 巖・鈴木剛彦 (1978) : 館野の接地逆転。高層気象台彙報, 39, 8—13。  
Yoshino, M. M. and K. Kai (1974) : Pressure pattern calendar of East Asia, 1941—1970, and its climatological summary. *Climatological Notes, Univ. of Tsukuba*, 16, 1—71。  
吉野正敏・高橋浩一郎・甲斐啓子・小林 守・林 陽生 (1977) : 関東平野部における冬の晴れた日の気流と気温分布。筑波の環境研究, 2, 121—128。  
吉野正敏・仲谷 宏 (1981) : 水理実験センターにおける冬季の日最低気温について。筑波大学水理実験センター報告, 5, 61p。