

# 東京における天気別全天日射量分布の気候学的考察

市野美夏

## 1. はじめに

歴史時代の気候については、天候記録を用いた復元が多数試みられてきた (Bradley, 1999)。日本でも古文書を用いた小氷期の古気候復元が多数試みられている (例えば、前島, 田上, 1983)。様々な天候記録の中でも、日本で利用可能な日記天候記録には毎日の天気の記事を含んだものが多い。市野ほか (2001) は、天気の良し悪しと密接な関係にある気候変数として全天日射量を考え、天気から全天日射量を推定する方法を開発した。天気の記事データとして気象庁の天気概況を用いた。

しかしながら、市野ほか (2001) は、推定式の記事を中心に述べたため、天気概況と全天日射量の関係についての詳細な解析結果を示せなかった。そこで、本稿では、市野ほか (2001) による推定方法作成の際に解析した1979年～1998年の東京 (大手町) の天気区分別の各天気階級における月別全天日射量分布の詳細について述べる。

## 2. データ

本稿で用いたデータは東京 (大手町、北緯  $35^{\circ} 41.0'$ 、東経  $139^{\circ} 45.8'$ ) における、気象庁の地上観測日原簿 (1991年1月1日より、地上気象観測原簿に名称変更された) 資料から1979年～1998年の6時～18時 (日本時間) の天気概況 (以後は単に天気概況と呼ぶ)、および、全天日射量日合計値 ( $\text{MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ ) である。全天日射量日合計値は日平均値 ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) に換算した。以後、特に断りのない限り、全天日射量日平均値を単に全天日射量  $Q_d$  と呼ぶ。なお、解析の対象としたのは全天日射量と天気概況のデータがいずれも欠測ない日である。データ取り扱いの詳細については市野ほか (2001) に従っている。

天気概況は、気象庁年報CD-ROM (1995年～1998年)、地上気象観測原簿CD-ROM (1989年～1994年)、東京都気象月報 (1979年～1989年) よりデータを取得した。全天日射量については、地上気象観測時日別データCD-ROM (1979年～1989年)、気象庁月報CD-ROM (1989年～1998年) に掲載された値を用いた。ただし、1979年～1980年の全天日射量日合計値については、広瀬, 下道 (1996) の方法を用いて  $\text{MJ}/\text{m}^2$  に換算し使用した。

## 3. 解析方法

全天日射量  $Q_d$  は市野ほか (2001) と同様に、大気上端の日射量  $Q_s$  で規格化し、日別晴天指数  $K_T$  に変換する (式 (1))。

$$K_T = Q_d / Q_s \quad (1)$$

ここで、大気上端の日射量  $Q_s$  は近藤 (1994, p.57) の式より求めた。その際に太陽定数は一定 ( $1.37 \times 10^8 \text{W}/\text{m}^2$ ) と仮定した。

天気概況は、市野ほか (2001) の方法に従い、3または5、ないし9 ( $N$ ) 個の階級に分け、 $k$  番目の天気階級を ( $N, k$ ) とした。 $N$  は分類の細かさを示す。 $N$  を複数使用している天気区分方法については第1表に示している。具体的には、天気区分数  $N=5$  について示す。晴, 曇, 雨を天気階級  $k=1, 3, 5$  とし、「晴時々曇」などの晴と曇の混ざっているものを  $k=2$ 、「雨後曇」などの曇と雨の混ざっているものを  $k=4$  とした。また、「晴時々曇一時雨」などの晴, 雨, 曇の混ざっているものは  $k=3$  とした。ただし、例外的に「晴一時雨」, 「雨一時晴」のみ  $k=2, 4$  とした。雪, みぞれ, あられなどは雨と同様に扱った。天気区分数  $N=3$  は天気階級 (5, 1) と天気階級 (5, 2) を天気階級 (3, 1) とし、天気階級 (5, 3) は天気階級 (3, 2)、天気階級 (5, 4), (5, 5) を天気階級 (3, 3) とする。また、天気区分数  $N=9$  の場合は、さら

第1表 天気区分方法

天気区分数 $N$			代表的な天気概況		
$N=3$	$N=5$	$N=9$			
天気階級 $k$					
1	1	1	快晴		
			晴		
	2	2	2	晴後一時曇	
				晴一時曇	
				晴時々曇	
				晴後曇または曇後晴	
		3	3	晴一時雨	
				曇時々晴	
				曇一時晴	
				曇または晴と雨	
2	3	5	曇後一時雨		
			曇一時雨		
	4	6	6	曇時々雨	
				曇後雨または雨後曇	
				雨時々曇	
				雨一時曇	
		5	9	9	雨

$N$ : 天気区分数、 $k$ : 天気階級

に天気階級 (5, 2) を晴と曇の割合から3段階に分け、同様に天気階級 (5, 4) も3段階に分け、9段階にする。

市野ほか (2001) は、天気区分数  $N$  については3から15で設定し、結果的には  $N=3, 5, 9$  で議論している。本稿においても、 $N=3, 5, 9$  を採用し、それぞれについて議論した。ただし、推定方法作成に関わる考察は、市野ほか (2001) で述べられている。そこで、本稿では、 $N=3, 5, 9$  全てについて、月別に、各天気階級  $k$  の出現頻度分布、および、天気階級  $k$  別の日別晴天指数  $K_T$  の分布を示し、それぞれの分布の特徴から天気と全日射量の関係について考察した。

#### 4. 結果と考察

月別各天気階級  $k$  の分布を第1図に示す。東京大手町における天気の出現頻度の特徴としては、どの月においても雨の日が少なく晴の日が多い。例えば  $N=5$  の場合、冬季では晴が50%以上であり雨が2%程度である。 $N=9$  では降水が含まれる  $k=5, 6, 7, 8, 9$  のうち、晴を含まない  $k=6, 7, 8, 9$  の階級の頻度がかなり低い。

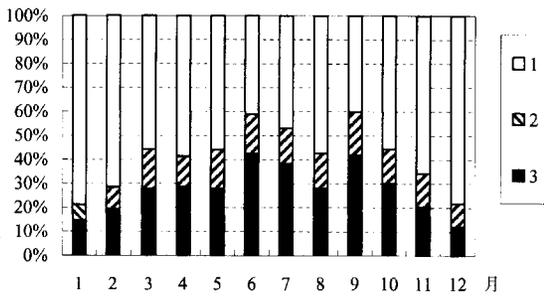
第2図は、天気区分数  $N$  別にその日の日別晴天指数  $K_T$  の基礎統計量を天気階級  $k$  にしたがって

プロットしたものである。ここで、各  $K_T (N, k)$  のヒストグラムは平均値、または中央値を中心とした単峰であったが、歪度は大きかった。それぞれのボックスは四分位 (25%点, 中央値, 75%点)、 $\square$  は平均値、ひげ (縦線) は95%点から5%点、 $\times$  は最大値と最小値を示している。市野ほか (2001) が述べたように、ひげ, 最大値, 最小値については各階級間で値が上下するデータが見られるが、25%点から75%点はどの区分数  $N$  についても季節 (月) に関係なく  $k$  が大きくなるに従いそれぞれ減少している。

市野ほか (2001) は、雨の日と曇の日についても日射量の違いが見られたことを指摘したが、第2図からも  $k$  の増加に伴って  $K_T$  が減少している。 $N=9$  の  $k=6, 7, 8, 9$  を見ると、月で分布の違いは見られるが、どの月においても、 $k$  が増加、つまり、雨の割合が増えるに従い、 $K_T$  の分布域がより小さい方へずれていくことが確認できる。

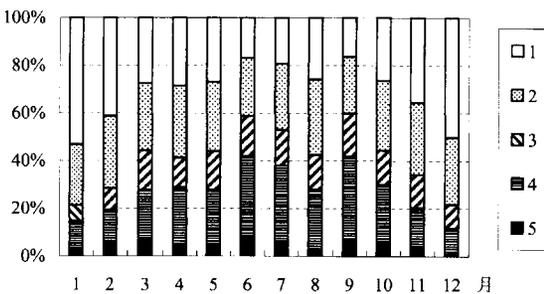
統計モデルを作成する際、中央値と平均値のどちらを代表値として用いるかは重要である。第2図はどの天気区分数  $N$  についても月ごとの、各天気階級  $k$  の分布は一定でないことを示している。極端な値の見られる天気階級  $k$  や歪度の大きい天気階級  $k$  がある。 $N=3$  では、2月、3月、12月の  $k=3$  で、 $N=5$  では、2月の  $k=4$ 、3月の  $k=4$ 、5で、 $N=9$  では、 $k=8$  や月によって  $k=7, 9$  で中央値と平均値の明らかな違いが見られた。市野ほか (2001) は中央値と平均値の双方を用いて推定を行い、推定値の精度がより良い平均値を利用している。しかしながら、大きく外れた値を外して中央値を用いる方法の検討も必要ではないかと考えられる。降水日の場合、その日の雲の状態によって  $Q_d$  には大きな差が生じると考えられる。降水がない時間帯に直達日射があると、全日射量は大きくなる。分布を見ると、降水日を含む階級では95%値より大きく外れた最大値が見られた。

しかしながら、天気区分数  $N$  に関係なく、日別晴天指数  $K_T$  の分布のばらつきは天気階級  $k$  によってはかなり異なっている。例えば、 $N=5$  の3月と7月を比較すると、 $k=1, 4$  は3月の方が標準偏差で示したばらつきが小さいが、それ以外の天気階級  $k$  は7月の方が小さい。第2表は  $N$  ごとに月別の各天気階級  $k$  の標準偏差を示したものである。



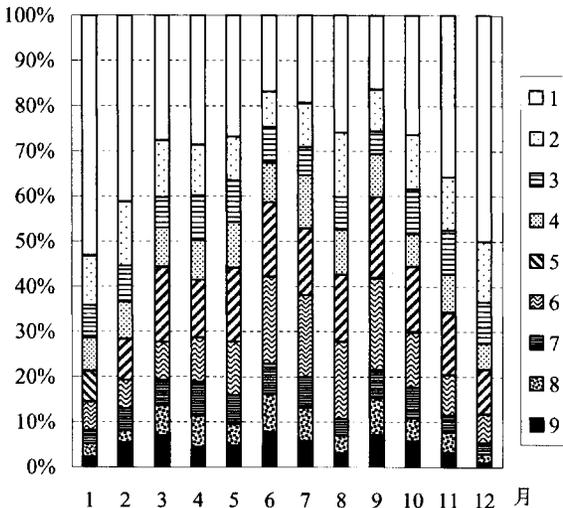
第1図 (a)

1979年～1998年の東京における天気区分数 $N=3$ の月別各天気階級出現頻度分布。凡例の数字は天気階級 $k$



第1図 (b)

1979年～1998年の東京における天気区分数 $N=5$ の月別各天気階級出現頻度分布。凡例の数字は天気階級 $k$



第1図 (c)

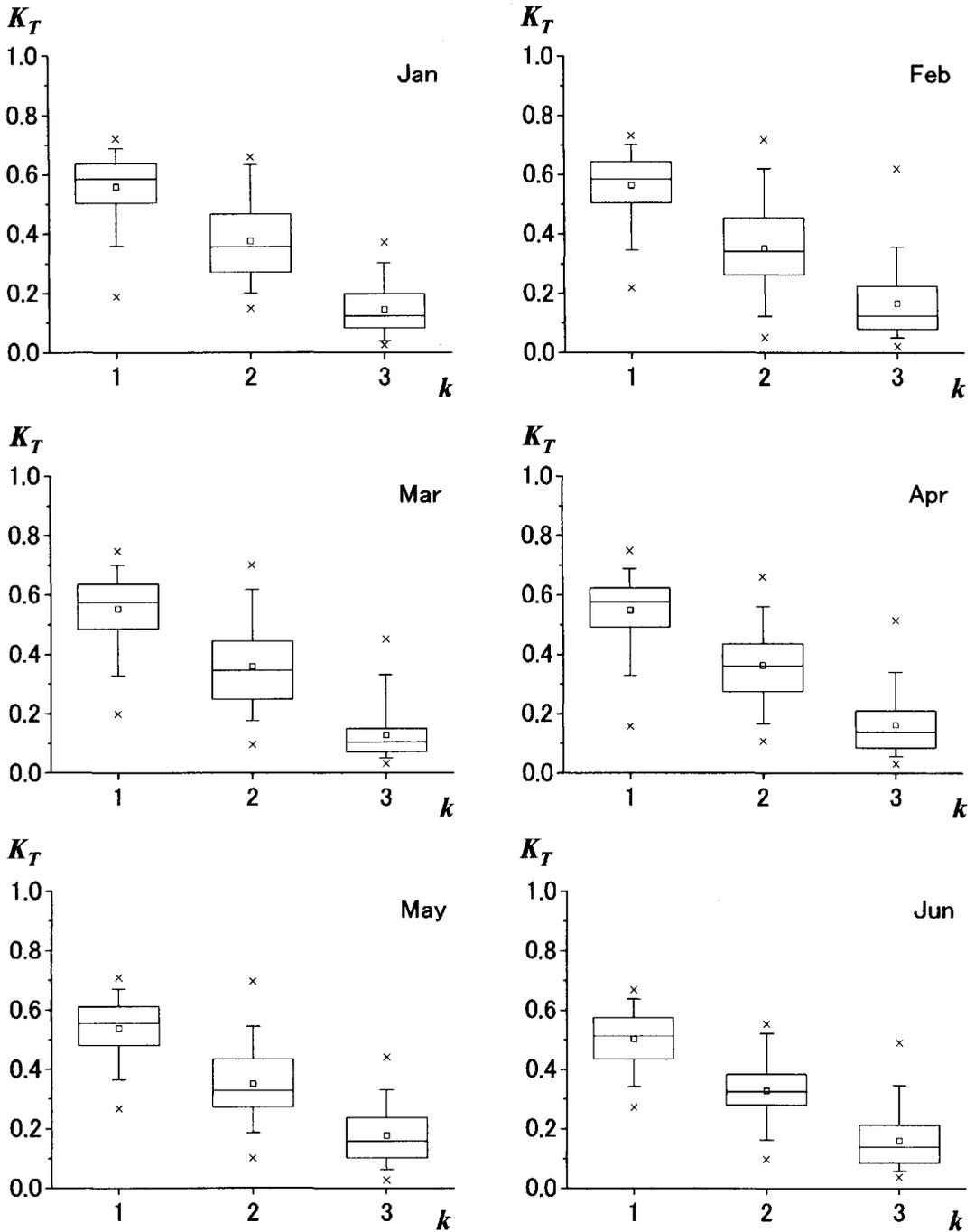
1979年～1998年の東京における天気区分数 $N=9$ の月別各天気階級出現頻度分布。凡例の数字は天気階級 $k$

$N=5$ について、 $k$ 別、月別にばらつきを比較すると、2月は、天気階級 $k=1$ 、 $k=2$ 以外の各階級で最も標準偏差が大きく、総合的に最もばらつきが大きかった。一方、5月、6月、11月は階級別に見ても総合的に見てもばらつきが小さい。天気階級により、ばらつきはかなり異なるが、月によって比較的ばらつきの大きい月と小さい月があることがわかった。 $N=3$ 、9についてもほぼ同様なことがいえるが、各月や各天気階級の特徴は一樣ではなく、それぞれに議論が必要である。

なお、 $N=5$ についての結果を吉野の季節区分(吉野, 甲斐, 1977; Fukui, 1977)と比較すると、季節区分境界が月の中旬にある場合や、その境界の前後で気圧配置型の出現頻度が大きく変化する場合は、その月の日別晴天指数 $K_T$ のばらつきが大きい傾向が見られた。一方、吉野の季節区分において、その月がある区分の中に収まる場合や、季節区分境界がある月であっても月の初めまたは終わりである場合、または気圧配置型の出現頻度に大きな変化のない境界の場合は、ばらつきが小さい。

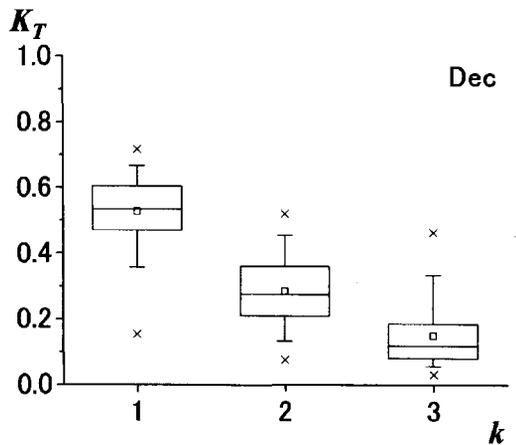
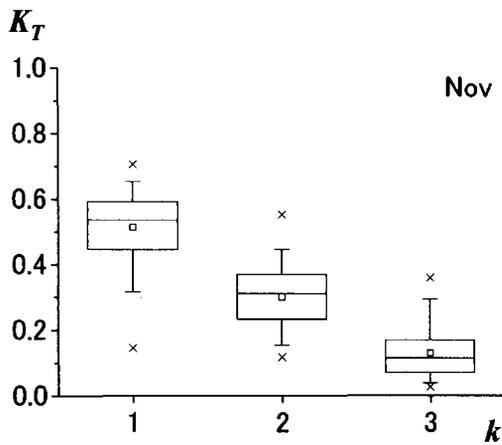
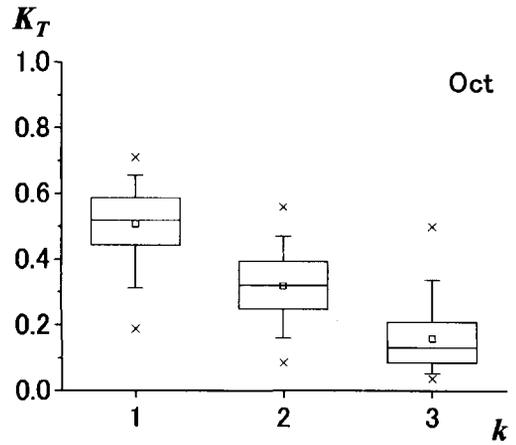
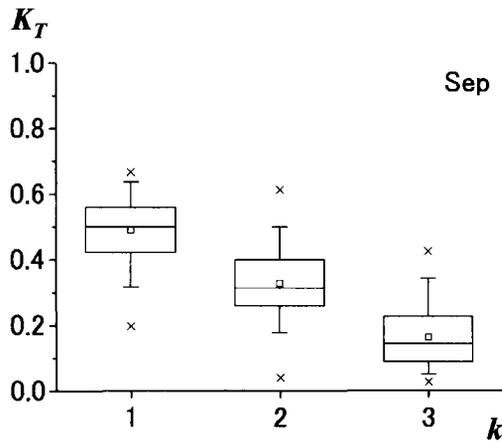
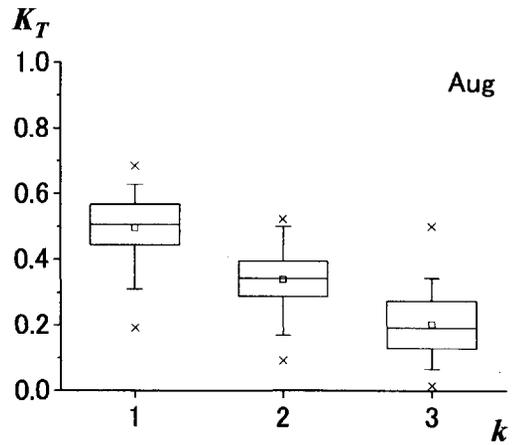
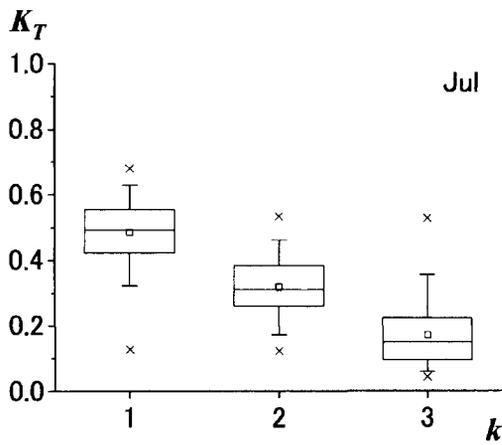
例えば、2月と9月はばらつきの大きい月であるが、吉野の季節区分(Fukui, 1977)によると、早春が2月14日、秋霖が9月12日、秋が9月27日より始まる。一方、ばらつきの小さい5月と11月は、晩春が5月5日から始まり、初冬が11月26日に季節区分境界があるが、月の初めまたは終わりである。さらに、吉野, 甲斐(1977)によると、2月は冬から春への変化が大きい時期でこの時期I型(西高東低型)の気圧配置の出現頻度が急激に減少する。9月も、夏から秋霖、秋といった季節変化の大きい月であり、III型(移動性高気圧型)が増え、V型(南高北低型)が一気に減る時期である。

一方、5月については、境界とはいっても気圧配置型の出現頻度が徐々に変化しているだけで出現する気圧配置型の大きな変化は見られない。11月についても、5月と同様に季節の境界でI型(西高東低型)がやや増加しているのみである。さらに、5月や11月は、II型(気圧の谷型)、III型(移動性高気圧型)が多く、主に大陸からの移動性高気圧と低気圧により、天気の違いや経過が明瞭な時期で、言い換えると、晴、曇、雨といった天気の違いが日射量から見てもはっきりしていると考えられる。



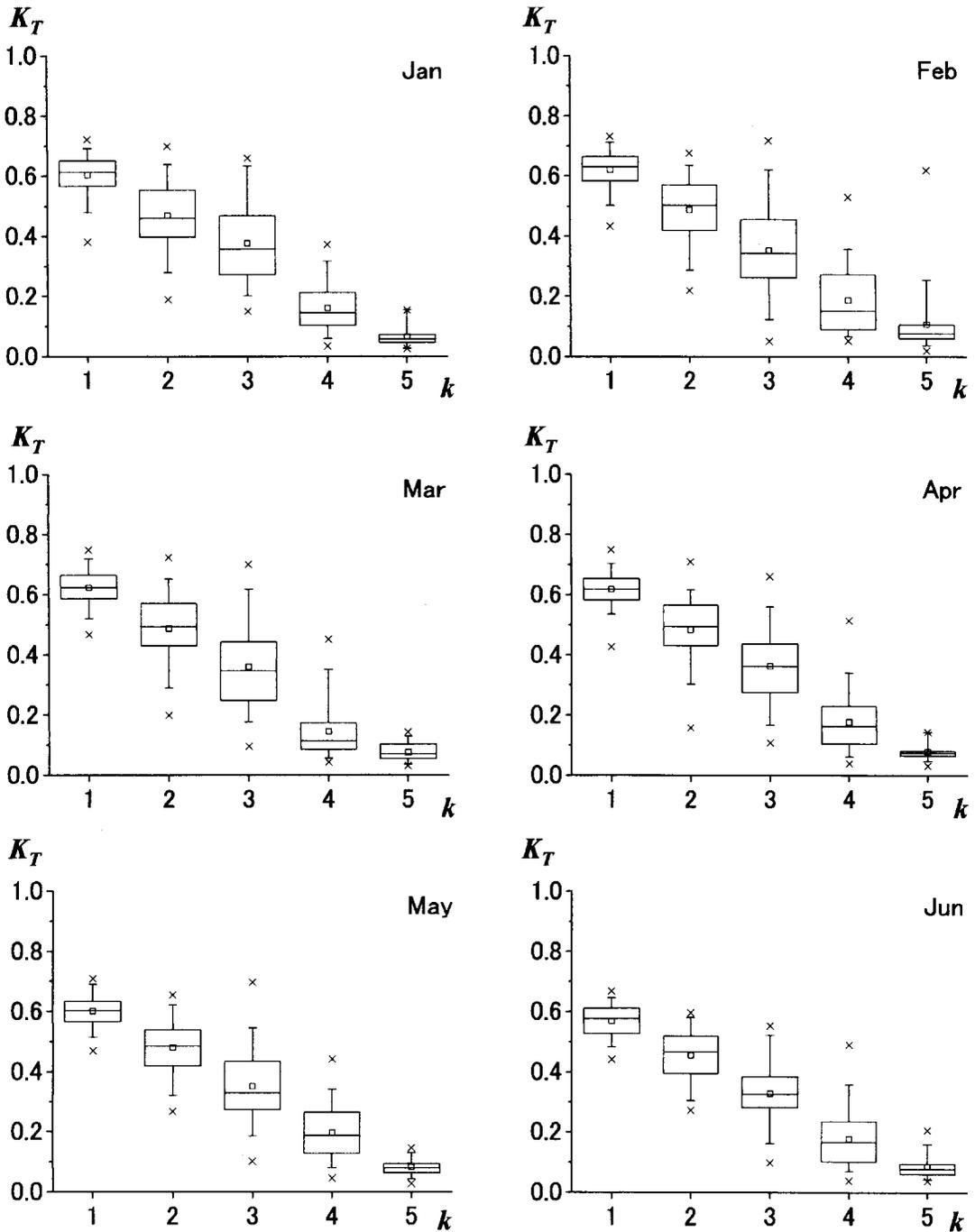
第2図 (a-1)

1979年～1998年の東京における天気区分数 $N=3$ の1月から6月の月別の天気階級 $k$ と日別晴天指数 $K_T$ との関係箱の下端, 中心部の線, 上端は四分位 (25%点, 中央値, 75%点)、□は平均値、ひげ (縦線) は95%点から5%点、×は最大値と最小値を示している。



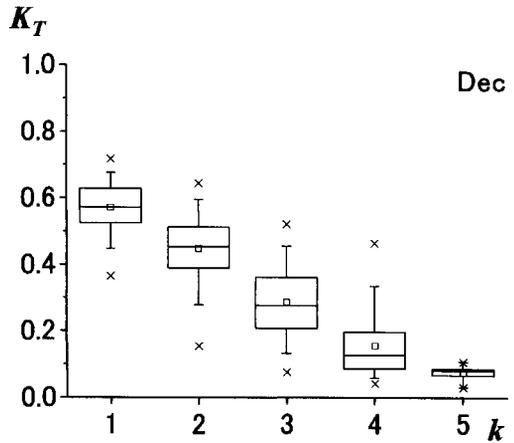
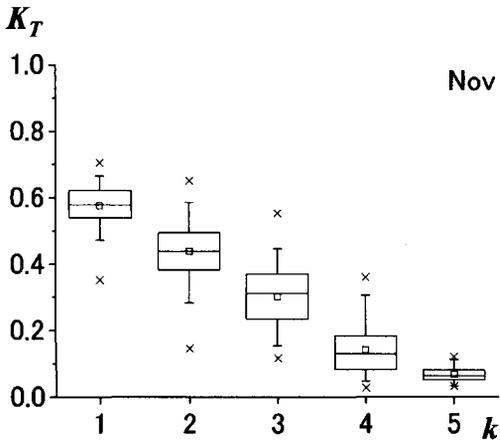
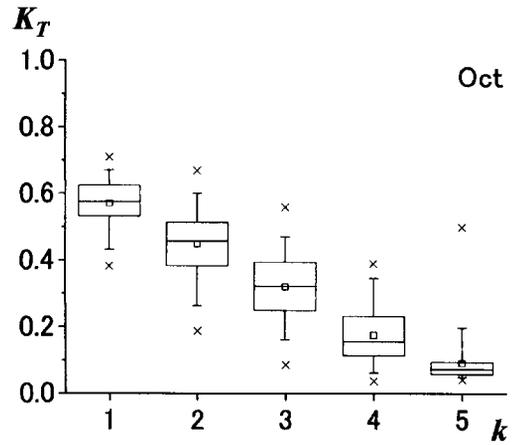
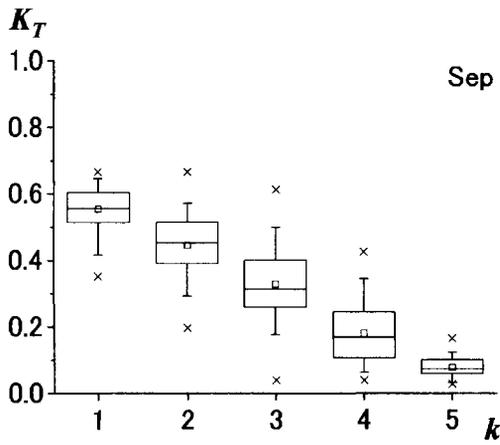
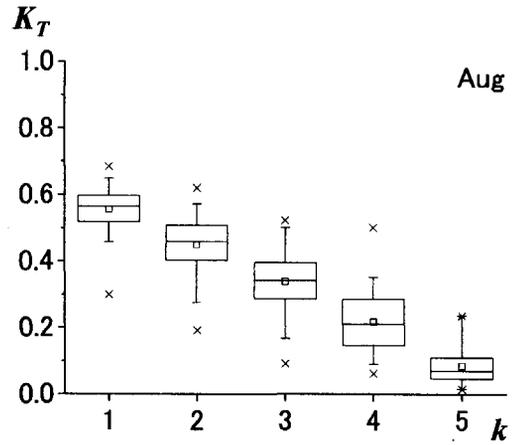
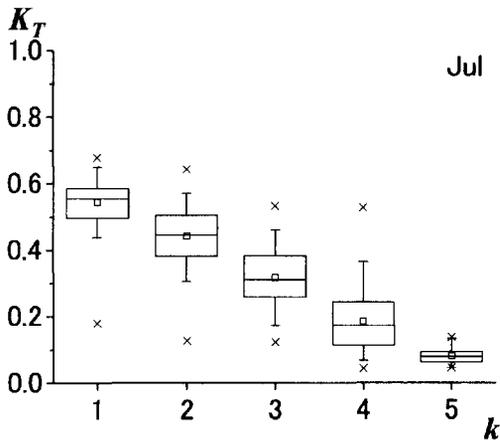
第2図 (a-2)

1979年～1998年の東京における天気区分数 $N=3$ の7月から12月の月別の天気階級 $k$ と日別晴天指数 $K_T$ との関係  
 箱の下端，中心部の線，上端は四分位（25%点，中央値，75%点）、□は平均値、ひげ（縦線）は95%点から5%  
 点、×は最大値と最小値を示している。



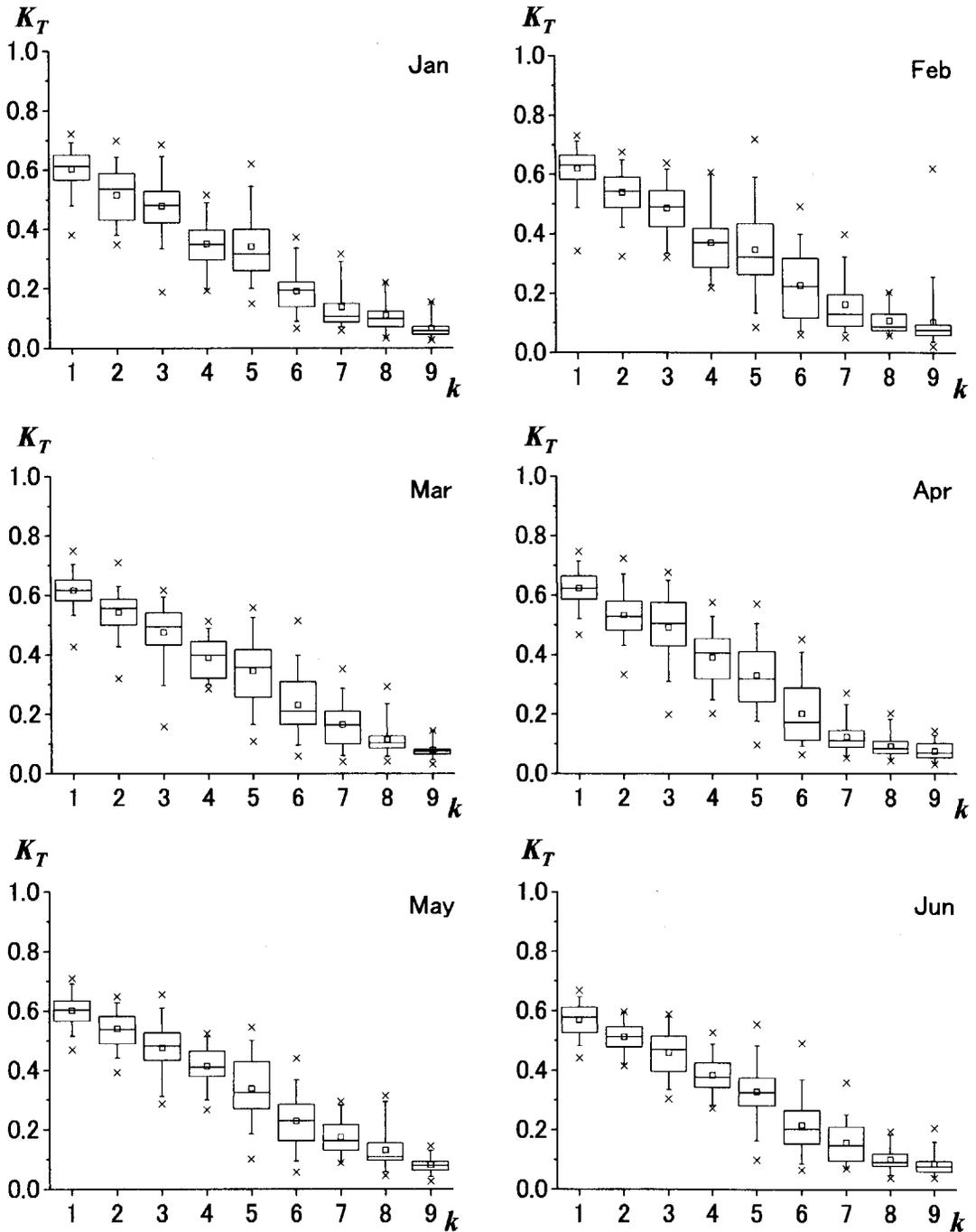
第2図 (b-1)

1979年～1998年の東京における天気区分数  $N=5$  の1月から6月の月別の天気階級  $k$  と日別晴天指数  $K_T$  との関係  
 箱の下端, 中心部の線, 上端は四分位 (25%点, 中央値, 75%点), □は平均値、ひげ (縦線) は95%点から5%点、×は最大値と最小値を示している。



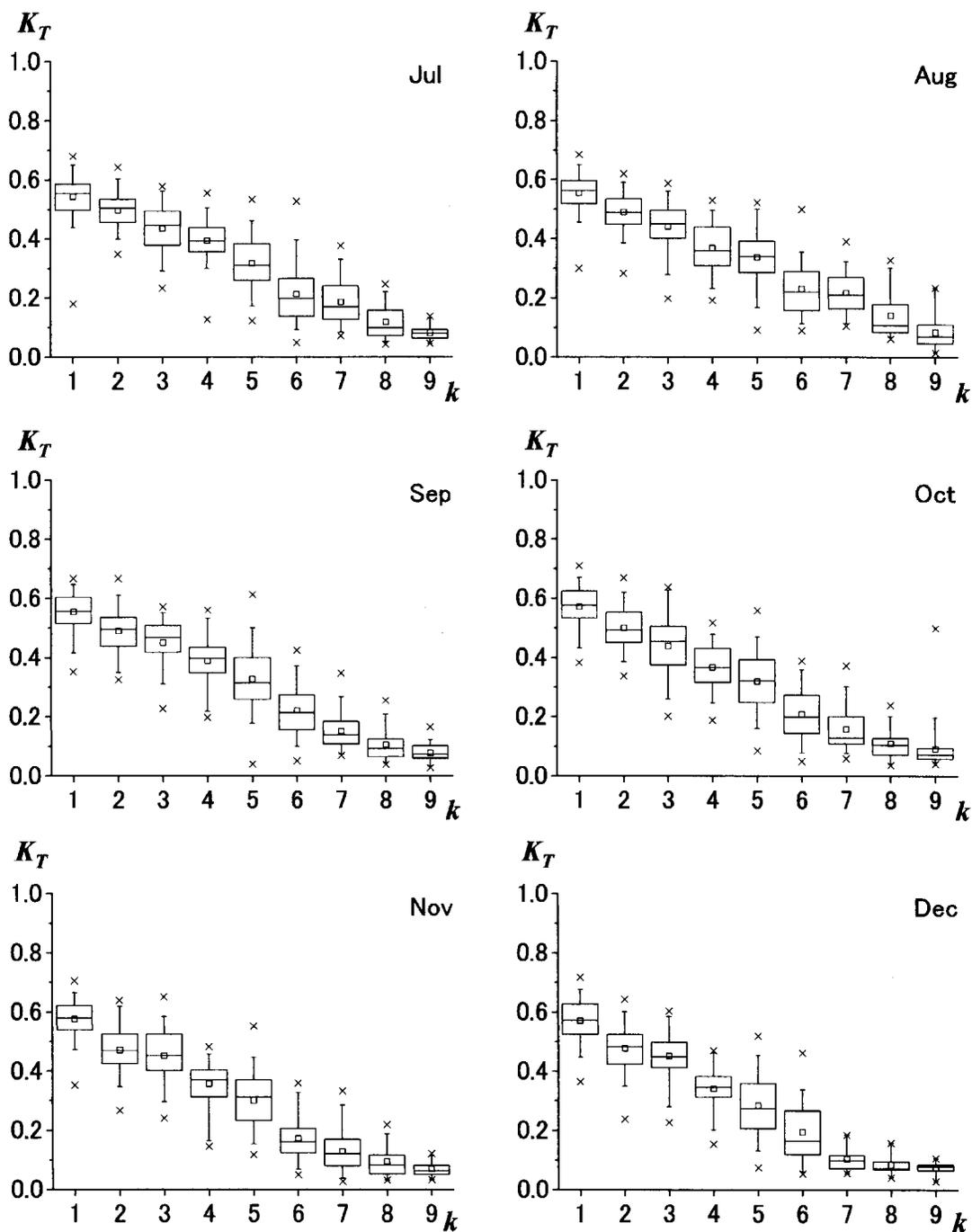
第2図 (b-2)

1979年～1998年の東京における天気区分数 $N=5$ の7月から12月の月別の天気階級 $k$ と日別晴天指数 $K_T$ との関係  
 箱の下端，中心部の線，上端は四分位（25%点，中央値，75%点）、□は平均値、ひげ（縦線）は95%点から5%点、×は最大値と最小値を示している。



第2図 (c-1)

1979年～1998年の東京における天気区分数 $N=9$ の1月から6月の月別の天気階級 $k$ と日別晴天指数 $K_T$ との関係  
 箱の下端, 中心部の線, 上端は四分位 (25%点, 中央値, 75%点), □は平均値、ひげ (縦線) は95%点から5%  
 点、×は最大値と最小値を示している。



第2図 (c-2)

1979年～1998年の東京における天気区分数 $N=9$ の7月から12月の月別の天気階級 $k$ と日別晴天指数 $K_T$ との関係  
 箱の下端，中心部の線，上端は四分位（25%点，中央値，75%点）、□は平均値、ひげ（縦線）は95%点から5%  
 点、×は最大値と最小値を示している。

第2表 1979年～1998年の東京における各天気区分数の月ごとの天気階級*k*別日別晴天指数*K<sub>T</sub>*の標準偏差  
(a) *N*=3 (b) *N*=5

<i>k</i>	1	2	3	<i>k</i>	1	2	3	4	5
Jan	0.102	0.105	0.080	Jan	0.064	0.108	0.105	0.078	0.033
Feb	0.106	0.132	0.115	Feb	0.066	0.103	0.132	0.110	0.107
Mar	0.110	0.106	0.084	Mar	0.058	0.108	0.106	0.089	0.029
Apr	0.103	0.104	0.092	Apr	0.052	0.098	0.104	0.092	0.027
May	0.093	0.103	0.089	May	0.051	0.085	0.103	0.085	0.029
Jun	0.091	0.095	0.089	Jun	0.055	0.081	0.095	0.089	0.037
Jul	0.092	0.088	0.092	Jul	0.069	0.083	0.088	0.090	0.024
Aug	0.095	0.091	0.095	Aug	0.064	0.088	0.091	0.088	0.055
Sep	0.097	0.103	0.091	Sep	0.066	0.089	0.103	0.089	0.030
Oct	0.105	0.098	0.090	Oct	0.070	0.099	0.098	0.086	0.078
Nov	0.104	0.095	0.077	Nov	0.063	0.094	0.095	0.079	0.027
Dec	0.098	0.106	0.089	Dec	0.070	0.091	0.106	0.090	0.026

(c) *N*=9

<i>k</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Jan	0.064	0.090	0.095	0.075	0.105	0.074	0.074	0.054	0.033
Feb	0.066	0.075	0.082	0.096	0.132	0.109	0.092	0.043	0.107
Mar	0.058	0.080	0.112	0.088	0.106	0.105	0.050	0.038	0.029
Apr	0.052	0.070	0.095	0.067	0.104	0.092	0.077	0.053	0.027
May	0.051	0.059	0.083	0.061	0.103	0.083	0.058	0.064	0.029
Jun	0.055	0.051	0.071	0.065	0.095	0.086	0.072	0.036	0.037
Jul	0.069	0.064	0.081	0.070	0.088	0.091	0.080	0.055	0.024
Aug	0.064	0.063	0.081	0.088	0.091	0.084	0.079	0.077	0.055
Sep	0.066	0.075	0.082	0.081	0.103	0.085	0.061	0.054	0.030
Oct	0.070	0.070	0.103	0.076	0.098	0.084	0.075	0.047	0.078
Nov	0.063	0.081	0.088	0.077	0.095	0.078	0.078	0.050	0.027
Dec	0.070	0.078	0.081	0.074	0.106	0.092	0.043	0.031	0.026

月による*K<sub>T</sub>*の標準偏差の違いは、その月の季節性と天気を決める総観スケールの気候特性が複雑であるか単純であるかに依存していると考えられた。同じ天候であっても大気循環型や気圧配置型により雲の状態は異なる。特に、上層雲は、中、下層雲とは放射特性が異なるため、同じ雲量であっても*K<sub>T</sub>*が異なる場合が多く、*K<sub>T</sub>*の標準偏差を大きくする要因の一つといえる。

例えば、いずれも1つの気圧配置型が卓越する1

月、6月、8月においても6月、8月は比較的ばらつきが小さいが、1月は大きい。これは冬型の卓越時に見られる上層雲とそれ以外の気圧配置時に発生する雲の放射特性の違いが大きいことによるものではないかと考えられた。

## 5. まとめ

本稿は東京の20年分の天気概況と全天日射量

から、天気区分数 $N$ ごとに天気階級 $k$ 別の日別晴天指数 $K_T$ の分布を月ごとに示し、天気と全日射量の関係について、詳細に議論した。

季節（月）や天気区分数 $N$ に関係なく天気の悪化に伴い日別晴天指数 $K_T$ の分布域が下方へ変化することが示された。特に $N=9$ の結果から、曇と雨の日についても1日の雨の割合が増すごとに全日射量が減少することが示された。

しかし、詳細に見ると、 $K_T$ の分布には月、天気区分数、天気階級それぞれ一様ではなく、その違いについて、基礎統計量から気候学的に議論した。 $N=5$ について吉野の季節区分、気圧配置型の出現頻度などから考察した結果、月による $K_T$ の標準偏差の違いは、その月の季節性と天気を決める総観スケールの気候特性が複雑であるか単純であるかに依存していると考えられた。

$N=3, 9$ における、それぞれの分布や解析結果は、 $N=5$ とは異なる特徴も示しており、 $N=3, 9$ についてもそれぞれに詳細な議論が必要である。また、市野ほか（2001）は、 $N=5$ において精度の高い月が $N=3$ で精度が高いとは限らず、 $N=3, 5$ は同程度の精度であるが、各月の精度はかなり異なっていることを示している。 $N=3, 9$ についての詳細な議論、および、日別晴天指数 $K_T$ の分布と推定精度についての議論は今後の課題としたい。

#### 参考文献

- Bradley, R. S., 1999 : Paleoclimatology (2 nd ed.) , Academic Press, 613pp.
- Fukui, Eiichiro, 1977 : The seasons in Japan. In The Climate of Japan, ed. E. Fukui., Tokyo and Amsterdam, Kodansha and Elsevier
- 廣瀬保雄, 下道正則, 1996 : 日射計, 気象研究ノート, 185, 105-122
- 市野美夏, 坂元尚美, 増田耕一, 三上岳彦, 2001 : 天気記録を用いた日射量の推定法—歴史時代の気候復元に向けて—, 天気, 48, 10-17.
- 気象庁, 1998 : 気象庁年報1998 CD-ROM, 気象業務支援センター.
- 近藤純正編, 1994 : 水環境の気象学, 朝倉書店, 350pp.
- 前島郁雄, 田上善夫, 1983 : 日本の小氷期の気候について—特に1661年-1867年の弘前の天候資料を中心に—, 気象研究ノート, 147, 81-89
- 吉野正敏, 福岡義隆, 1967 : 半月別の気圧配置ごよみ, 天気, 14, 250-255

吉野正敏, 甲斐啓子, 1977 : 日本の季節区分と各季節の特徴, 地理学評論, 50, 635-651

いちの みか

お茶の水女子大学大学院人間文化創成科学研究科