Meteorological Society of Japan

〔論　文〕　　305：503（全天日射量；天気概況）

天候記録を用いた全天日射量の推定法

—歴史時代の気候復元に向けて—

市野美夏*・坂元尚美**・増田耕一***・三上岳彦*

要　旨

本研究では，日記天候記録を用いた歴史時代の気候復元に向けて，天気概況から月平均全天日射量を推定する方法を開発した．地上の全天日射量は，大気上端の日射量に，大気中の雲などの効果をあらわす因子がかけあわされたものであり，天気はこの因子に対応すると考えた．東京（大手町）の1979～1998年の天気概況から月平均全天日射量の推定を行い，推定値と観測値とを比較し，推定方法を検証したところ，RMS相対誤差は4～9％であった．また，東京だけでなく長崎・佐賀・高田・仙台・山形・青森・八戸においても，1995～1998年について推定式を作成し推定を行なったところ非独立資料によるRMS相対誤差は3～6％であった．この方法は日記天候記録を用いた歴史時代の気候復元にも応用できるものと期待される．

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．過去の気候復元に関してはBradley(1999)が詳細に述べているが，そのうちでも，16世紀から19世紀にかけての約300年間は世界的に寒冷な時代（小氷期）であり，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(三上, 1993ほか)．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述を含んだものが多い．第1表に日記天候記録の例を示す．これは「関口日記」における1836年8月1日～15日の横浜の天候記録である(横浜市文化財研究調査会，1976)．これまでの日記天候記録を用いた研究では気温や降水量・気圧配置型などの復元が行われてきた（例えば，Mikami, 1999など)．

天気の良し悪しと密接な関係のある気象変数として全天日射量がある．全天日射量は熱収支の基本的物理量であり，また，水収支や農業生産を考える上でも重要な変数である．換言すれば，全天日射量を用いた気候復元は，一方では気候の物理学的議論に，一方では農業生産や人口など人間社会の歴史にかかわる議論につなげられると考えている．

本研究では，日記天候記録から全天日射量を復元する試みの第一段階として，気象庁が観測した天気概況から月平均全天日射量を推定する方法を開発することにした．気象庁の天気概況は，日記天候記録に最も記述様式が近い現在の天候記録と考えられるので，この研究で開発する手法は歴史時代の全天日射量推定にも応用できるのではないかと期待される．ただし，歴史時代の全天日射量変動を考える場合，議論されてきている太陽定数の変動（Eddy, 1976など）も考慮する必要があるが，本研究で復元する全天日射量は太陽定数が一定と仮定した場合のものである．

本論文では，2節でデータ，3節で推定方法と考え方及び本研究で開発した推定式を示し，4節で推定方法を導くまでの解析について述べ，5節で推定方法の精度を示す．6節に東京以外の地点での推定方法について述べ，7節では日記天候記録への応用について解析経過の概略を，また8節にまとめを示す．

* 東京都立大学大学院理学研究科．
** 京都大学総合博物館(現　神戸大学自然科学研究科)．
*** 東京都立大学大学院理学研究科(現　地球フロンティア研究システム)．

—2000年7月24日受領—
—2001年8月17日受理—

© 2001　日本気象学会

NII-Electronic Library Service

Meteorological Society of Japan

第1表 日記の記述例.「関口日記」における1836年8月1日～15日（新暦換算）の横浜（神奈川）の天候記録（横浜市文化財研究調査会, 1976).

日	天気
1	曇
2	陰天
3	陰天 午前細雨少々降 午後少々晴る
4	晴天
5	陰天 巳刻より細雨振り出す
6	曇 午刻前より細雨降
7	晴天
8	陰天
9	曇 折々雨降 少々日でる
10	雲天
11	快晴
12	雨天 昨夜中より雨になる 夜中少々雷鳴今日も雷一つなり降り続き
13	雨天 未より曇
14	曇 昼頃少々晴る
15	曇 昨夜7つ頃雷1つなる その後夜明け後まで大雨降る 5つ時頃雨止 折々吹っ掛け雨有り

2. データ

この研究では，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1979～1998年の東京（北緯35°41.0′，東経139°45.8′），および1995～1998年の長崎，佐賀，高田，仙台，山形，青森，八戸における，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）と全天日射量日合計値を用いた．全天日射量日合計値は日平均値（W/m²）に換算して使用した．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と呼ぶ．

全天日射量推定方法の開発に用いるデータの期間は，長いほうがよいが，次のような理由により1979～1998年とした．

1989年4月1日以降の天気概況の記述方法は，地上気象観測統計指針（気象庁，1990）に定められているが，それ以前は「その間の天気を総合して曇時々雨などと表す」という程度の規定しかなかった．1953年1月1日に天気概況の符号化が行われ，昼と夜の時間も明確にされた．1953～1989年までは，符号化された天気概況とそれまでと同様の記述式の天気概況とが存在する．1971年より「現在天気」の雲量による「快晴」・「晴」・「曇」・「薄曇」の区分が明確化された．1989年4月1日より前は，記述式の天気概況について詳細な規定はなかったが，符号化の指針は何度か改正が行われ詳細化されたため，記述式の天気概況の記述表現も各官署間で統一されるようになっていった．そのため，東京の場合について確認したところでは，1970年代後半からはほぼ1989年以降の記述に近い表現が用いられている．他の観測地点についてもほぼ同様であるが，時期がずれている可能性がある．

東京の全天日射量は1931年より観測が始められてはいるが，熱電堆式全天日射計が用いられるようになったのが1972年4月1日からである（気象官署履歴データ，気象庁年報1998）．また，吉田・篠木（1978）は，1972年～1976年の東京大手町の全天日射量は大気汚染の影響を大きく受けているため解析から除いている．しかし，東京都(1997)によると，大気汚染物質(SO_2・SPM・CO）の量は1970年代には減少傾向にあり1970年代末からは横ばいになっていて，1970年代と比較して1980年代は少なくなっている．また，1980年以前の日本の気象官署における全天日射量の観測精度はあまり良くなかった（近藤，1981）が，1980年代以降向上した（近藤・徐，1996）．

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そろっている日である．一方でも欠けていれば欠測として扱った．

天気概況は，気象庁年報CD-ROM(1995～1998年)・地上気象観測原簿CD-ROM（1989～1994年）・東京都気象月報（1979～1999年）よりデータを取得した．全天日射量については，気象庁月報CD-ROM(1989～1998年)・地上気象観測時日別データCD-ROM(1979～1994年)に掲載された値を用いた．なお，気象庁は，1981年に「1956年国際日射スケール」から「世界放射基準」に変更して日射量を2.2%引き上げ，同時に単位をcal/cm²からMJ/m²に変更している（気象庁，1990）．そのため，1979～1980年の全天日射量については，広瀬・下道（1996）の方法を用いてMJ/m²に換算し使用した．

3. 推定方法と考え方

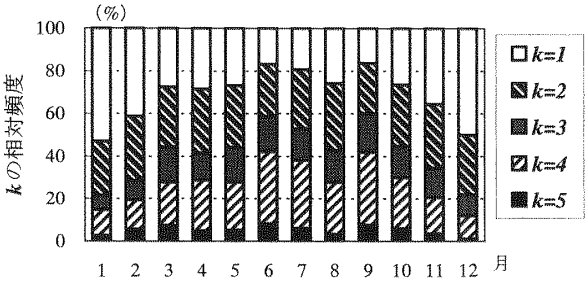
全天日射量Q_dは，大気上端における水平面日射量日平均値（これ以降は大気上端の日射量と呼ぶ）Q_sに，大気中の雲などの効果をあらわす因子がかけあわされたものであり，天気はこの因子に対応すると考えた．この因子は，全天日射量Q_dを大気上端の日射量Q_sで割ったものであるから，菊地原ほか（1985），Liu・

NII-Electronic Library Service

Meteorological Society of Japan

第2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	晴後一時曇
			晴一時曇
			晴時々曇
		3	晴後曇または曇後晴
			晴一時雨
		4	曇時々晴
			曇一時晴
2	3	5	曇または晴と雨
3	4	6	曇後一時雨
			曇一時雨
			曇時々雨
		7	曇後雨または雨後曇
		8	雨時々曇
			雨一時曇
	5	9	雨



第1図　1979年～1998年の東京における，天気区分数 $N=5$ の場合の天気階級 k の月別相対頻度分布.

Jordan (1960) が用いた日別晴天指数 K_T に相当する．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 (1.37×10^3 W/m^2) と仮定した．

天気概況を N 個の階級に分け，天気階級 k が大きくなるほど天気が悪くなるようにし，k 番めの天気階級を (N, k) とした．そして，天気階級 (N, k) と日別晴天指数 K_T との対応をみて，次のような推定方法を作成した．

ある日 j の全天日射量 Q_{dj} は，天気階級 (N, k_j) の日の月別累年平均値 $\overline{K_T}(N, k_j)$ に大気上端の日射量 Q_{sj} をかけて推定する．しかし，各 (N, k) における日々の全天日射量 Q_d はばらつきがあるため，その月平均値 Q_e を求める．推定式を以下に示す．

$$Q_e=\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}\left\{\overline{K_T}(N, k_j)\cdot Q_{sj}\right\} \qquad (1)$$

k_j：j 日の天気概況が属する天気階級
Q_{sj}：j 日の大気上端の日射量
j：各月の日
n：その月の日数
本文で用いる記号は付録に示した．

4．推定方法の根拠となる解析

4.1　天気概況の区分

東京における1979～1998年に記録された299種類の天気概況を N 個の階級に区分し，天気階級 k が大きくなるほど天気が悪くなるようにした．天気の内，「快晴」が最も良く，「曇」は中程度で，「雨」は最も悪いことにした．「雪」・「みぞれ」・「あられ」などは雨と同様に扱った．天気概況に「天気変化」が含まれているときには，複数の天気が現れたことになる．この場合，その継続時間・時間帯を表現する用語を考慮し，第2表のように天気階級を決めた．「伴う現象」のうち，「雨」の語を含むものは，「天気変化」の「一時雨」と同様に，基本天気が「晴」や「曇」であれば，それを天気の悪い (k の大きい) ほうにずらすものとして扱った．「雷雨」・「雪」・「みぞれ」なども同様である．一方，「風」・「雷」などは天気区分の際には考慮に入れない．上述の方法に従い分類し整理すると $N=25$ で各階級にデータが1つ以上になったが，$N>9$ では区分が細かく，日記天候記録の天気記述を考えると $N=3\cdot5$ が適当と思われた．そこで，区分数の違いによる推定精度を比較するため $N=9$ も含め，$N=3\cdot5\cdot9$ で解析を行った．

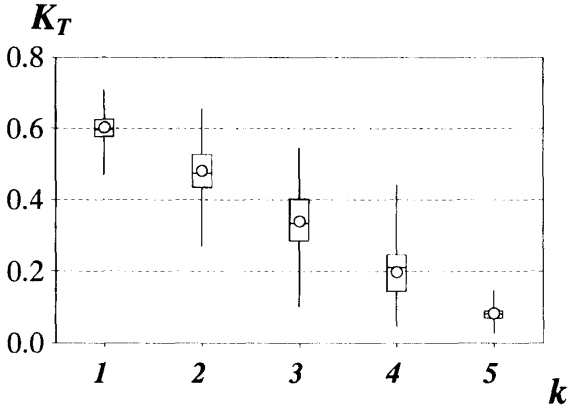
第1図に示すように天気区分数 $N=5$ の場合，天気階級 k の相対頻度分布には天気階級 k により大きな違いが見られ，どの月においても $k=5$ が少なく $k=1$ が多い．冬季では $k=1$ が50%以上であり $k=5$ が2%程度である．

4.2　天気階級と日別晴天指数 K_T の関係

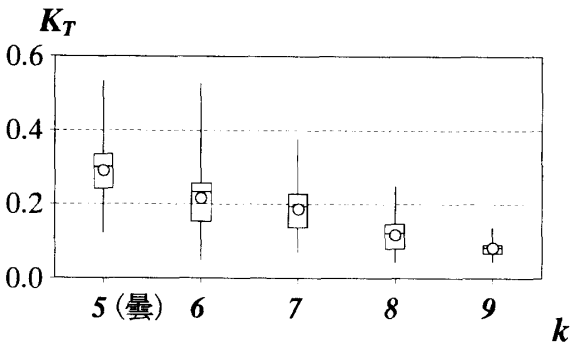
東京における1979～1998年の全天日射量から日別晴天指数 K_T を求めた．第2図は，天気区分数 $N=5$ の天気階級 k と5月の日別晴天指数 K_T の分布との関係を示す．最大値・最小値については各階級間で値の重なるデータが見られるが，25～75%点は k が大きくなるに従いそれぞれ減少している．同様の結果が $N=3\cdot9$ や5月以外の各月についても得られた．この結果，天気階級 k によりデータのばらつき具合には違いはあるものの，天気階級 k の違いは日別晴天指数 K_T を

NII-Electronic Library Service

Meteorological Society of Japan



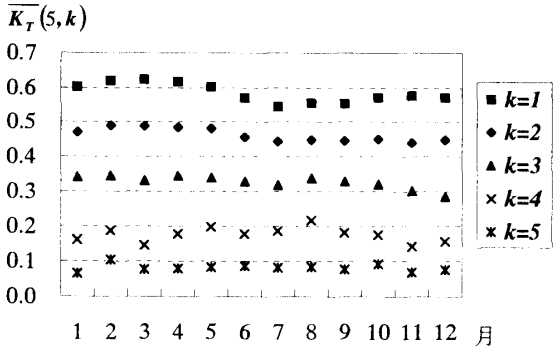
第2図　1979年～1998年の東京における天気区分数 $N=5$ の場合の天気階級 k と5月日別晴天指数 K_T との関係．箱の下端・中心部の線・上端は25%点・中央値・75%点，丸は平均値を表し，縦線の両端は最大値と最小値を示す．



第3図　第2図と同様．ただし，天気区分数 $N=9$ の場合．また，$k=5$（曇）は特別に作った天気階級であり，天気概況「曇」だけを含む．

よく反映していることがわかる．

また，雲量・日照時間・日照率などから全天日射量を導いた研究（例えば，馬渕・佐藤，1991）からも，晴と曇の全天日射量に違いが見られることは周知の事実であるが，第3図から，新たに雨と曇についても晴と曇と同程度の全天日射量の違いが見られた．天気階級（5，3）は曇だけではなく，晴や雨といった天気が混ざった天気概況も含んでいるので，第3図に天気階級（9，5）の中から曇の日のみを抽出した場合の K_T と曇と雨の混ざっている天気階級（9，6）・（9，7）・（9，8），雨のみの（9，9）の K_T を比較したものを示す．曇と雨を比較した場合，2つの階級で K_T の同じデータはあるもののデータの分布には明らかな違いが見られた．さらに天気階級（9，6）・（9，7）・（9，8）と雨の割合が増す毎に K_T が減少している．したがって，曇と雨ではその天気が示す全天日射量に違いがあることが示され，日記天候記録から気候変数を復元する際，雲量や日照時間（日照率）よりも全天日射量を復元したほうが，日記天候記録の持っている情報をより多く残せる可能性があるといえる．



第4図　1979年～1998年の東京における日別晴天指数の月別累年平均値 $\overline{K_T}(5,\ k)$

4.3 $\overline{K_T}(N,\ k)$ の求め方

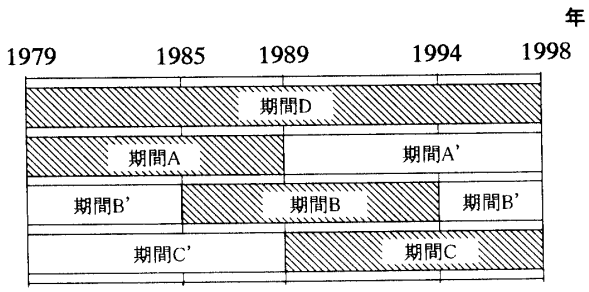
天気階級と日別晴天指数 K_T の関係をみた結果，各月の平均値を各階級の代表値とすることにした．そこで，天気階級（N，k）毎に日別晴天指数 K_T を月別累年平均した（第4図）．同じマークは同様の天気階級を表す．第4図では，各月とも k が大きくなると $\overline{K_T}(N,\ k)$ は減少しているが，k に対する $\overline{K_T}(N,\ k)$ の減少率は月によって異なる．また，どの k についても $\overline{K_T}(N,\ k)$ は月により異なり，1年を通して変動している．例えば，晴天を示す $k=1$ を見ると，$\overline{K_T}(N,\ k)$ は3月が大きく7月が小さい．東京都立大での観測結果（Suzuki *et al.*, 1999）においても，夏季晴天日と冬季晴天日とでは K_T が異なっていた．これらは季節による大気の状態が異なることの影響と考えられる．以上のことから，各（N，k）に対する K_T の値は，基準値を求める期間における月別累年平均値を用いることにした．

5．推定精度の検証

推定式はなるべく長期間のデータで作成する方が良いので，推定式（1）に用いる $\overline{K_T}(N,\ k)$ は，1979年～1998年（期間D）の20年分のデータから求めることにした．ただし，独立資料で精度を検証できるように，第5図に示す期間A・B・Cのそれぞれ3つの期間で求めた $\overline{K_T}(N,\ k)$ を用いた推定式も作成した．$\overline{K_T}(N,\ k)$ を求めた期間A・B・C・Dの違いを示すため，この節では推定値 Q_e にデータ期間名を添えて $Q_e(A)$ な

NII-Electronic Library Service

Meteorological Society of Japan



第5図　東京の全天日射量推定式に用いたデータの期間A・B・C・Dと独立資料で精度を調べるためのデータ期間A′・B′・C′．図に表示された年の1月1日から表示された年の前年の12月31日とする．

どと示すことにする．$Q_e(D)$の精度は期間Dのデータすなわち非独立資料で調べ，$Q_e(A)$・$Q_e(B)$・$Q_e(C)$の精度はそれぞれ期間A′・B′・C′のデータすなわち独立資料で検証した．この節以外の東京における推定式の$\overline{K_T}(N,\ k)$は期間Dで求めたものである．

第3表は$Q_e(A)$・$Q_e(B)$・$Q_e(C)$・$Q_e(D)$のRMS (Root Mean Square) 相対誤差・RMS誤差・誤差平均・観測値との相関係数を示したものである．

非独立期間で求めた$Q_e(D)$のRMS相対誤差は5～7％，RMS誤差は5～7 W/m²である．独立期間で求めた$Q_e(A)$・$Q_e(B)$・$Q_e(C)$と$Q_e(D)$を比較すると，$N=3$ではRMS相対誤差が約1～2％増加する．しかし，$N=5$では$Q_e(B)$・$Q_e(C)$は約1％RMS相対誤差が増加するものの，$Q_e(A)$では誤差が小さくなっていた．$N=9$についても$Q_e(A)$では誤差が小さくなっており，$Q_e(B)$・$Q_e(C)$についても特別に大きくなっていない．独立資料を用いた場合の誤差は非独立資料の場合に比べておよそ2～4 W/m²大きくなるが，RMS相対誤差約9％以内におさまっている．以上の結果，この推定方法により，天気概況を3～9階級程度に分類したものから，ある程度高い精度で月平均全天日射量が推定できることが確認できた．

ここで，$\overline{K_T}(N,\ k)$を求める期間を1979～1998年(期間D)にすることが的確か確認した．3つの期間A・B・Cのデータから求めたそれぞれの$\overline{K_T}(5,\ k)$を比較するため，各月各k別に最大値と最小値の差を求めた．この差の最大値は0.081，各k別の平均値は0.014～0.031で標準偏差は0.0091～0.0165であった．また，各月ごとの$\overline{K_T}(5,\ k)$の20年間の時系列では，変動は見られるがトレンドは見られない．しかし，誤差平均から，$Q_e(A)$・$Q_e(B)$は小さく$Q_e(C)$は大きく見積もられる．以上のことから，推定式はなるべく長期間のデータで作る方が良いと結論した．

第3表　東京における全天日射量月平均値の推定値$Q_e(A)$・$Q_e(B)$・$Q_e(C)$・$Q_e(D)$の精度．天気区分数$N=3$・5・9の場合の精度を上・中・下表に示す．それぞれの期間は第5図に示す．$Q_e(A)$・$Q_e(B)$・$Q_e(C)$の精度は独立資料で，また，$Q_e(D)$の精度は非独立資料で調べた．$Q_e(D)$の単純誤差平均は必ず0になるので「—」印を記入した．

N=3	$Q_e(A)$	$Q_e(B)$	$Q_e(C)$	$Q_e(D)$
RMS相対誤差(%)	7.29	7.40	8.40	6.27
RMS誤差(W/m²)	10.57	10.12	10.30	6.18
単純誤差平均(W/m²)	-5.92	-3.25	5.69	—
相関係数	0.973	0.962	0.971	0.971

N=5	$Q_e(A)$	$Q_e(B)$	$Q_e(C)$	$Q_e(D)$
RMS相対誤差(%)	4.36	7.22	6.88	6.22
RMS誤差(W/m²)	10.74	9.53	8.21	6.49
単純誤差平均(W/m²)	-5.78	-3.52	4.87	—
相関係数	0.970	0.968	0.983	0.975

N=9	$Q_e(A)$	$Q_e(B)$	$Q_e(C)$	$Q_e(D)$
RMS相対誤差(%)	4.44	5.97	6.54	5.40
RMS誤差(W/m²)	8.87	7.89	7.82	5.22
単純誤差平均(W/m²)	-4.51	-2.45	4.08	—
相関係数	0.978	0.932	0.983	0.981

次に，第4表に$Q_e(D)$の月別の精度を示す．どの月でも，天気区分数$N=3$・5の場合より，$N=9$の場合の方が誤差は小さい．経験式において誤差は経験的パラメータの個数が多くなるほど小さくなるという基本的傾向があるが，今の場合，日記天候記録に適用可能と考えられる$N=3$と$N_j=5$を比較すると，必ずしも区分数を細かくすると誤差が小さくなるとはいえない．$N=3$は誤差の最小値と最大値の範囲が小さいが，$N=5$ではその範囲が広く，どちらの誤差が小さいかは月によって異なっている．

6．東京以外の地点における推定式の作成と検証

3節で示した推定方法が東京以外の地点にも適用できるかどうかを調べるため，1995年～1998年の長崎・佐賀・高田・仙台・山形・青森・八戸におけるデータを用いて推定式を作成し，非独立資料でその精度を検証した．また，比較のため東京についても同様の期間で推定式を作成し，非独立資料を用いた精度を示す．天気概況が日原簿と同じ表現でデジタルデータとなっ

NII-Electronic Library Service

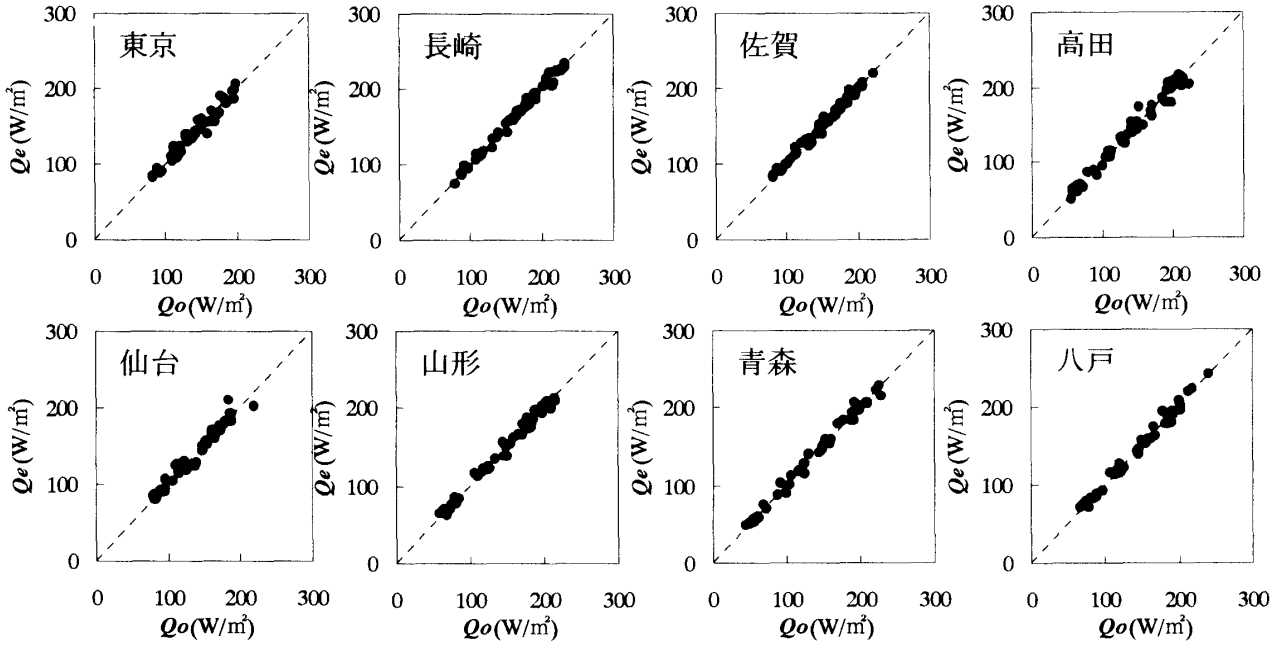
Meteorological Society of Japan

第4表 東京における全天日射量月平均値の推定値 $Q_e(D)$ の月別の精度．天気区分数 $N=3\cdot5\cdot9$ の場合の精度を上・中・下表に示す．

N=3	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
RMS相対誤差(%)	6.36	7.75	6.72	6.47	5.28	5.30	7.74	6.65	8.18	5.95	6.00	6.80
RMS誤差(W/m^2)	6.42	8.86	7.95	11.16	9.33	8.55	11.98	10.74	9.11	6.27	5.54	5.98
観測値との相関係数	0.797	0.839	0.944	0.754	0.783	0.921	0.907	0.907	0.865	0.854	0.858	0.797

N=5	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
RMS相対誤差(%)	7.00	8.28	7.56	5.26	4.40	3.89	6.54	5.65	7.51	5.81	4.63	6.20
RMS誤差(W/m^2)	6.95	9.67	10.63	9.15	7.86	5.88	10.33	8.85	8.53	6.17	4.43	5.34
観測値との相関係数	0.762	0.808	0.855	0.846	0.878	0.962	0.931	0.941	0.882	0.861	0.914	0.843

N=9	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
RMS相対誤差(%)	5.60	7.03	5.10	4.78	3.14	3.22	5.90	5.31	7.28	4.97	4.68	5.51
RMS誤差(W/m^2)	5.62	8.35	6.64	8.31	5.83	4.82	9.67	8.27	8.43	5.42	4.42	4.74
観測値との相関係数	0.849	0.859	0.950	0.881	0.921	0.975	0.938	0.942	0.884	0.896	0.910	0.889



第6図 東京・長崎・佐賀・高田・仙台・山形・青森・八戸における $N=5$ の場合の月平均全天日射量の推定値 Q_e と観測値 Q_o の散布図．Q_e の推定式は1995年～1998年のデータを用いて作成し，同期間の Q_e を求めた．

ているのは1995年以降のみである．したがって，ここでは1995～1998年の4年間のデータで検討を行った．

天気区分数 $N=5$ における推定値 Q_e と観測値 Q_o の散布図（第6図）と推定精度（第5表）を示す．東京における RMS 相対誤差は5.07%，RMS 誤差は6.78 W/m^2である．東京以外の7地点における RMS 相対誤差は3.00（長崎）～5.64%（高田）の範囲であり，RMS 誤差は4.59W/m^2（佐賀）～7.12 W/m^2（高田）の範囲であった．東京より精度が悪かったのは高田のみであった．天気区分数 $N=5$ の場合，東京において10年間の独立資料で調べた RMS 相対誤差は4.36～7.22%，RMS 誤差は8.21～10.74 W/m^2程度であった(第3表)．この値は4年間の非独立資料で調べたものに比べて，せいぜい RMS 相対誤差は2%程度，RMS 誤差は4 W/m^2程度しか大きくない．そこで，東京以外の地点でも東京と同様に，4年間の非独立資料

NII-Electronic Library Service

Meteorological Society of Japan

第5表　東京・長崎・佐賀・高田・仙台・山形・青森・八戸における $N=5$ の場合の月平均全天日射量の推定値 Q_e の精度. Q_e の推定式は1995～1998年のデータを用いて作成し，精度は非独立資料で調べた.

	東京	長崎	佐賀	高田	仙台	山形	青森	八戸
RMS相対誤差(%)	5.07	3.00	3.33	5.64	5.03	4.33	4.43	3.58
RMS誤差(W/m^2)	6.78	4.66	4.59	7.63	7.12	5.62	5.41	4.94
観測値との相関係数	0.978	0.995	0.993	0.989	0.981	0.992	0.995	0.994

で調べたものに比べて10年間の独立資料で調べたRMS相対誤差は1～2%程度，RMS誤差は4 W/m^2 程度しか大きくないのではないかと思われる．したがって，3節で示した方法は東京以外の地点においても良い精度で推定できると思われる．

7．日記天候記録への応用について

3節で示した推定方法を東京近郊（東京・横浜・八王子など）に残る日記天候記録に応用することもすでに試みている．第2表に従い天気区分を行うと1979～1998年の天気概況と1720～1885年の天候記録との度数分布に大きな違いが見られた(市野ほか, 2000)．度数分布の違いの原因のひとつは，日記を記録した人の天気に関する用語の使い方が現在の気象庁の定義と同じでないことである．実際の天気の変化を抽出するためには，この用語の違いを較正することが必要であり，その方向に研究を進めている．このような問題を解決することで，全国に残された多数の日記天候記録を用いて歴史時代の月平均全天日射量が推定できると考えている．

8．まとめ

日記天候記録から歴史時代の全天日射量を推定するための第一段階として，天気概況から月平均全天日射量を推定することが可能かどうか検討した．天気階級 k と全天日射量日平均値には明瞭な関係が見られたので，その関係を用いて天気概況から月平均全天日射量を推定する方法を開発した．そして，東京では1979～1998年の，また，長崎・佐賀・高田・仙台・山形・青森・八戸では1995～1998年のデータを用いて推定式を作成した．RMS相対誤差を求めると，東京では4～9%（独立資料），東京以外では3～6%（非独立資料）であり，歴史時代の気候復元に応用するには十分な精度で月平均全天日射量が推定できることがわかった．

謝　辞

本研究を進めるにあたり，東京都立大学の篠田雅人助教授・中野智子助手，また気候学研究室・地理情報学研究室の院生・学生の方々には多くの議論をしていただきました．以上の方々に厚くお礼申し上げます．研究の初段階から論文作成に至るまで，諸段階において幾度となくご助言をいただきました電力中央研究所の鈴木智恵子博士には心よりお礼申し上げます．また，日本気象学会1999年秋季大会において有益なご意見を頂きました多くの方々には心より感謝いたします．

付　録

Q_s：大気上端における水平面日射量日平均値

Q_d：地上における水平面日射量日平均値（全天日射量日平均値）

Q_o：Q_d の毎年毎月の月平均値

Q_e：Q_o に対する推定値

K_T：Q_d/Q_s（日別晴天指数）

N：天気区分数

k：天気区分の階級

$\overline{K_T}(N, k)$：天気区分が N 区分中の第 k 階級の日についての K_T の月別累年平均

参　考　文　献

Bradley, R. S., 1999：Paleoclimatology (2nd ed.), Academic Press, 613pp.

Eddy, J. A., 1976：The Maunder Minimum, Science, **192**, 1189-1202.

市野美夏，坂元尚美，増田耕一，三上岳彦，2000：天候記録を用いた日射量推定法の構築―歴史時代の気候復元に向けて―．農業気象学会2000年度全国大会・日本生物環境調節2000年大会合同学会講演要旨，398-399.

広瀬保雄，下道正則，1996：日射計，第7章，気象測器―地上気象観測篇，気象研究ノート，**185**，73-104.

菊地原英和，篠木誓一，吉田作松，1985：日別全天日射量階級別日数の全国マップ作成（II）(6)，天気，**32**，301-309.

NII-Electronic Library Service

Meteorological Society of Japan

気象庁，1990：地上気象観測統計指針，日本気象協会，152pp.
近藤純正，1981：数値シミュレーションによる水温・蒸発・蒸散量の推定，水温の研究，25，15-43.
近藤純正編，1994：水環境の気象学，朝倉書店，350pp.
近藤純正，徐　健青，1996：蒸発計蒸発量と日照時間から推定した放射量，天気，43，613-622.
Liu, B. Y. H. and R. C. Jordan, 1960：The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation, Solar Energy, 4, (3), 1-19.
馬渕和雄，佐藤信夫，1991：回転式日照計観測値からの1時間積算全天日射量の推定，天気，38，57-62.
三上岳彦，1993：日記天候記録から推定した小氷期後半の夏期気温変動，地学雑誌，102，144-151.
Mikami, T., 1999：Quantitative climatic reconstruction in Japan based on historical documents, Bulletin of the National Museum of Japanese History, 81, 41-50.
Suzuki, C., Nakano, T., Masuda, K. and Mikami, T., 1999：Meteorological data at the 15m observational tower in Tokyo Metropolitan University, Geographical Reports of Tokyo Metropolitan University, 34, 73-80.
東京都，1997：平成8年度東京都環境白書資料集，東京都環境保全局環境管理部，230pp.
横浜市文化財研究調査会編，1976：関口日記，横浜市文化財調査報告書8，横浜市教育委員会，461pp.
吉田作松，篠木誓一，1978：日本における月平均全天日射量およびその年々の変動度のマップの作成，天気，25，375-389.

The Method for Estimating Global Solar Radiation Based on Weather Records —Toward the Climatic Reconstruction in the Historical Period—

Mika ICHINO*1, Naomi SAKAMOTO*2
Kooiti MASUDA*3and Takehiko MIKAMI*4

*1 (*Correcponding author*) *Department of Geography, Tokyo Metropolitan University, 1-1 Minami-Ohsawa, Hachioji, Tokyo 192-0397, Japan*
*2 *Kyoto University Museum* (*Present affiliation*：*Graduate School of Science and Technology, Kobe University*)
*3 *Department of Geography, Tokyo Metropolitan University* (*Present affiliation*：*Frontier Research System for Global Change*)
*4 *Department of Geography, Tokyo Metropolitan University*

(Received 24 July 2000；Accepled 17 August 2001)

NII-Electronic Library Service