

わが国における気象要素の長期変動と周期性に関する一考察

山口 正隆*・大 福 学**

1. 緒 言

近年、地球規模での気象の長期変動や周期性が地球の温暖化や海面上昇という観点から強い関心を集めており、気温や海水温の地球規模での変化が多量の観測データの解析に基づいて論じられている(山元ら, 1990)。しかし、こうした研究の解析対象とされる気象要素は気温や降水量など少数の要素に限定されていることが多く、各種気象要素を用いた総合的な検討例は少ない。山口ら(1992)はこうした立場から、11 気象要素に関する気象庁長期観測資料を種々の統計的手法によって解析し、各気象要素変化量や気象要素スペクトル値などの統計量の地域・緯度依存性を広範に検討した。しかし、各気象要素変化量の傾向変動解析結果の検討にあたっては、都市化の影響を考慮していない点や、スペクトル解析条件の設定が適切でなかったため、1 年以上の周期成分の地域・緯度依存性に対する考察が不十分である点など再検討すべき課題も少なくない。

そこで、本研究では気象庁所管の全国 155 地点における要素別月別累年値(SMP)ファイルに収録された海面気圧、平均気温、日最高気温、日最低気温、相対湿度、水蒸気圧、平均風速、雲量、日照時間、日照率、降水量の月別平均値資料から求めた年別平均値資料に対する傾向変動解析および MEM を用いたスペクトル解析に基づいて、各気象要素の長期変動や周期特性を地域・緯度依存性のみならず都市化の観点から考察しようとするものである。

2. 長期気象資料および解析法

気象庁はわが国各地で 100 年以上にわたり各種気象要素の定常観測を継続してきており、これらの成果が MT 資料として整理されているが、ここでは要素別月別累年値ファイルを使用する。この資料は日本全国 155 地点における観測開始以来の普通気候観測月別値(最長で 118 年間)を記録したものであり、前述の 11 要素の月別平均値資料から求めた年別平均値資料を解析する。ただし、

欠測期間の気象要素の月別平均値を同一月の前後年資料に対する線形内挿から推定する。また、気象台の移転により観測地点が変わっている場合もあるけれども、この影響は考慮していない。

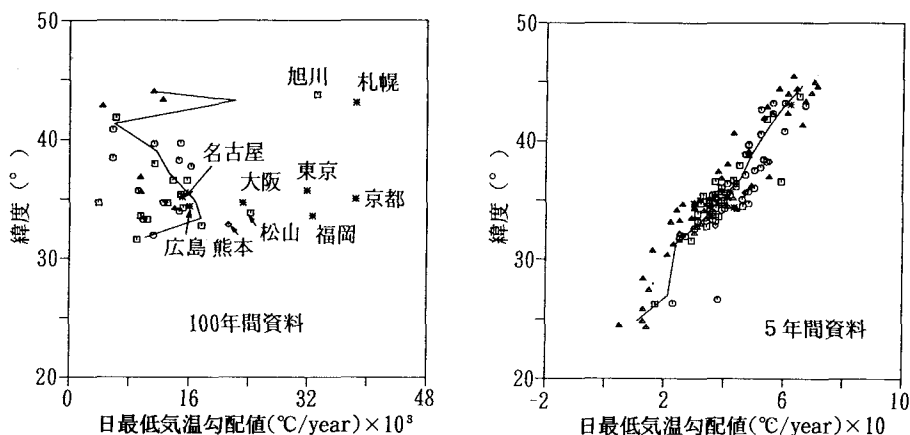
年別平均値資料に対する統計解析は、2 つの方法により行う。その第 1 は傾向変動解析であり、各要素の年別平均値資料に 1 次直線 $y = a_0 + a_1x$ (y : 観測値, x : 観測年) を最小 2 乗法であてはめて経年変化の勾配値 a_1 を算出し、これを傾向変動指標とする。あてはめ期間は、観測年の長短による傾向変動の相違を調べるために、1990 年を起点とした、100 年以上の全観測期間(最長 118 年間)、100 年、75 年、50 年、30 年、10 年および 5 年の 7 期間(ただし水蒸気圧、雲量の最長期間は 50 年、風速の最長期間は 30 年)とする。また、観測地点付近の人口の多少に従って、人口 100 万人以上の都市(札幌、東京、横浜、名古屋、京都、大阪、神戸、広島、福岡)を＊、60 万人以上 100 万人未満の都市を◇、30 万人以上 60 万人未満の都市を□、5 万人以上 30 万人未満の都市を○、5 万人未満の都市および地域を△、の計 5 つの記号で分類することにより、人口を指標として都市化の影響を考察する。

つぎに、1990 年までの 90 年間と 30 年間の 11 気象要素の年別平均値資料(水蒸気圧および雲量は 60 年間と 30 年間、風速は 30 年間のみ)に対して、予測誤差フィルターの項数 $M = 2\sqrt{N}$ (N : 資料数)、周波数分解能 $\Delta f = 1/(N-1)\Delta t$ の条件のもとに最大エントロピー法(MEM)によるスペクトル解析を行い、卓越周期成分を抽出する。最長対象期間を 90 年としたのはできるだけ長期資料を用いて長周期成分の抽出を可能にすることや、観測地点数を多くとって地域分布を明確にすること、さらに MEM による周波数分解能および推定精度を同一にして各地点間の相互比較を可能にすることを目標としたためであるし、対象期間を 30 年としたのは観測地点数をできるだけ多くとって地域特性をより明確にすること、および対象期間による卓越周期成分の相違を調べることを目指したためである。

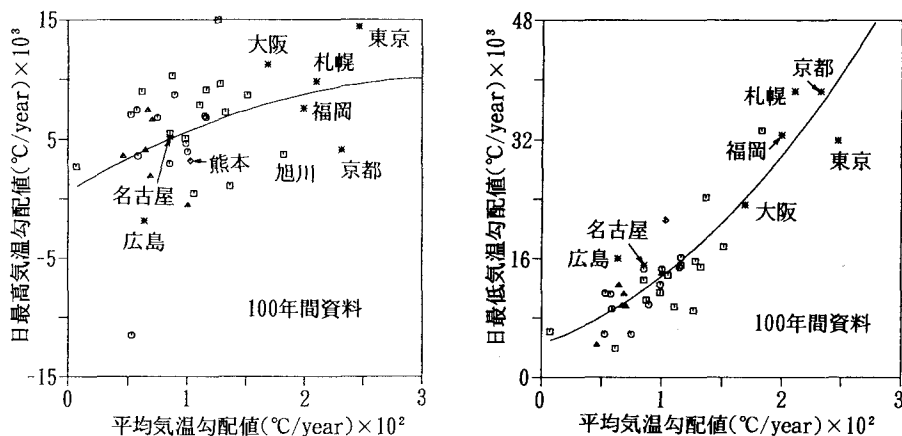
以上のようにして求めた各種気象要素統計量の地域依存性を検討するため、緯度との関係図および気象要素間

* 正会員 工博 愛媛大学教授 工学部土木海洋工学科

** 愛媛大学技官 工学部土木海洋工学科



図一 日最低気温勾配値と緯度の関係



図二 気温勾配値の相関図

の相関図を作成し、人口別に記号を変えて図示する。また、緯度依存図においては緯度による変化傾向をみるため、緯度 2° ごとの区間平均値を示す折線を記入する。一方、相関図においては平均的傾向をみるため、最小2乗法によって決定した一定直線、1次直線、2次曲線のうち、資料との分散が最小のものを図示する。なお、これらの図においては高度依存性を少なくするため、海拔300 m以上の12観測地点を除外しているし、気候区分が異なる南方洋上の父島および南鳥島の観測資料も含めていない。

3. 気象要素の長期変動

各気象要素の傾向変動のうち、都市化の影響がみられる気象要素の変化特性は次のようである。図一は人口指標をパラメータとして100年および5年資料における日最低気温勾配値($^{\circ}\text{C}/\text{year}$)と緯度との関係図を示したものである。平均気温、日最高気温、日最低気温の気温

3要素は全期間を通して増加傾向にあり、30年を境として資料期間が長いほど大都市での温暖化が、また資料期間が短いほど人口の影響が消失し、高緯度地域で上昇率が高い地域・緯度依存性がみられる。なかでも、図二の気温勾配値($^{\circ}\text{C}/\text{year}$)の相関図に示すように、日最低気温の上昇が顕著であることから、温暖化傾向は日最高気温より日最低気温および平均気温の上昇という形でもたらされていることがわかる。日最低気温は通常日の出前に生じるから、日最低気温の上昇は夜間や早朝の気温の減少率が小さいことを意味する。これは自然的および人為的な要因による地球規模での温暖化に加えて、大都市での人工排熱量の増加によるものであろう。

図三は相対湿度勾配値($\%/ \text{year}$)の緯度依存図を75年および30年資料について表したものである。相対湿度は、緯度依存性をほとんど示さないが、30年以上の期間では全国的に減少傾向にあり、しかも50年以上の期間では大都市での減少率が大きい。しかし、10年以下の期間

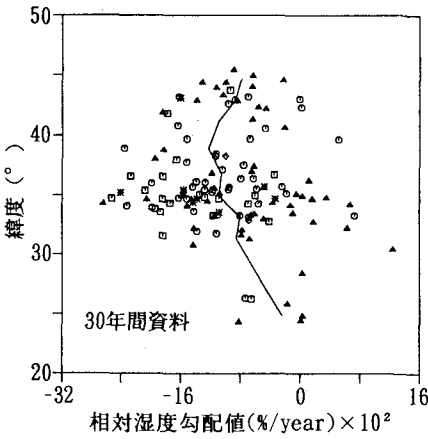
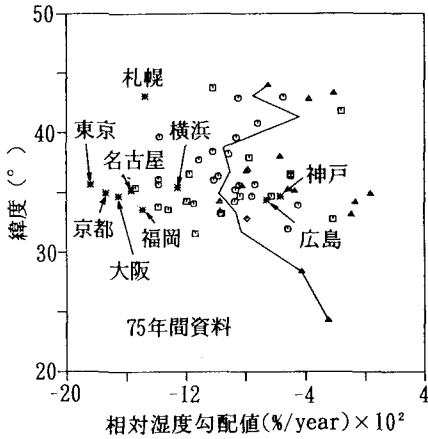


図-3 相対湿度勾配値と緯度の関係

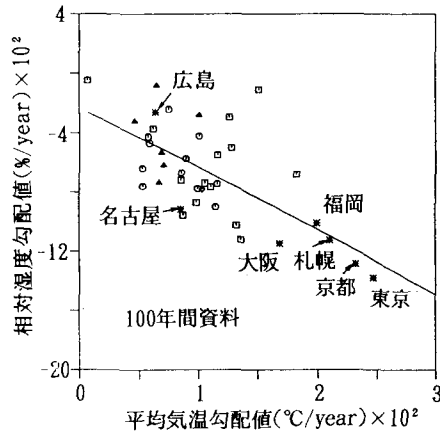


図-4 相対湿度勾配値と平均気温勾配値の関係

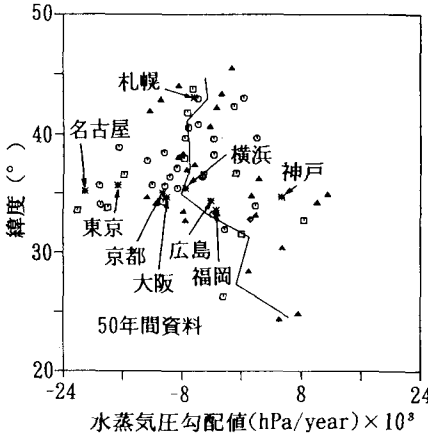


図-5 水蒸気圧勾配値と緯度の関係

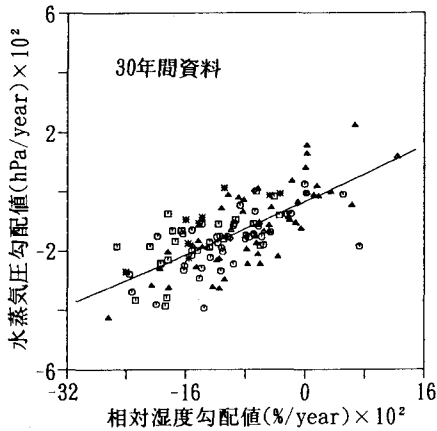
では増加・減少地点数が同程度となり、全般的な増加傾向もみられる。また、図-4に1例を示すように、相対湿度勾配値 (%/year) は30年以上の期間では平均気温や日最低気温の勾配値 (%/year) とかなり高い負の相関をもつ。すなわち、30年以上の期間でみると、気温上昇率が大きい大都市において相対湿度減少率も大きくなっていることから、長期的にみて大都市では温暖乾燥化がより明確に現れているといえる。ただし、気温の上昇は飽和水蒸気圧の上昇を、つまり、同一水蒸気圧に対して相対湿度の減少を意味することに注意する必要がある。

図-5は50年資料における水蒸気圧勾配値 (hPa/year) の緯度依存図である。水蒸気圧は30年以上の期間では減少傾向、10年以下の期間(図省略)では増加傾向を示し、最近5年間では高緯度地域ほど上昇率が大きい緯度依存性をもつ。しかし、人口への依存性は明かでない。これは、長期的には減少傾向、10年以下の期間ではむしろ増加傾向を示す相対湿度変化や降水量変化と符合

する。つまり、30年以上の期間における相対湿度の減少は降水量や水蒸気圧の減少、および気温上昇に伴う飽和水蒸気圧の増大という相乗効果によるものであるが、特に大都市での相対湿度のより大きい減少は気温上昇に伴う飽和水蒸気圧の増大によるところが大きいと考えられる。

図-6は水蒸気圧勾配値 (hPa/year) と相対湿度勾配値 (%/year) の関係を30年資料について示したものである。両者は正の相関をもち、水蒸気圧の減少率が大きいほど湿度の減少率も大きい。

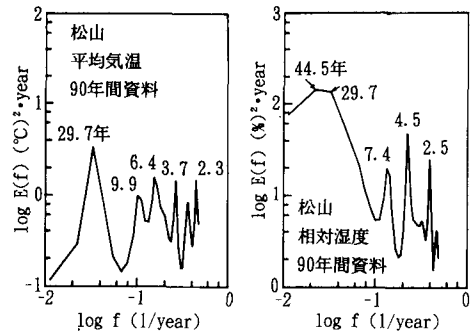
このほか、山口ら (1992) が示したように、日照時間および日照率は減少傾向にあり、雲量の増加傾向と符合する。つまり、長期的かつ全国的にみて、雲量が増加し、日照時間が減少する傾向にあるにもかかわらず、気温が大都市を中心として上昇傾向にあるのは日本全体を含む地球規模での温暖化傾向に加えて都市化の影響を示すものであろう。しかし、個々の資料についてみると、日照



図—6 水蒸気圧勾配値と相対湿度勾配値の関係

時間勾配値と雲量勾配値の間にはとくに有為な相関は見出されなかった。一方、気圧は100年以上の期間では全国的に減少傾向にあるが、75年以下の期間では増加傾向に転じ、30年以下の期間では高緯度地域ほど増加率が大きいという明確な緯度依存性を示す。しかし、これらの気象要素変化量に及ぼす都市化の影響は明かでない。たとえば、気圧は大規模な大気の運動に依存するから、大都市だけで顕著な変化を示すという特徴は現れにくい。また、風速の変化傾向にも一貫性がない。

結局、都市化の影響は気温3要素および相対湿度において明確に現れていると考えられる。斎藤(1992)は都市気候の特徴として、①都市表面性状の改変や人工排熱による気温の上昇、②日射量および相対湿度の減少、③



図—7 平均気温および相対湿度スペクトルの1例

降水量の増加、④風系の変化、などをあげている。このうち、本研究の結果と符号するのは、前述したように気温の上昇や相対湿度の減少であり、他の気象要素の変化傾向は必ずしも一致しない。

4. 気象要素の周期性

図—7は平均気温および相対湿度の年別平均値90年資料から求めたスペクトル $E(f)$ を松山について示したものであり、平均気温スペクトルでは29.7年、6.4年、3.7年などに、相対湿度スペクトルでは44.5～29.7年、4.5年などにピークがみられる。しかし、スペクトルの卓越周期は地点、気象要素および対象期間ごとに変わるので、その全体的な特徴は明かでない。そこで、観測期間90年、60年および30年の年別平均値資料に対するスペクトル解析結果のうち、各気象要素の卓越周期あるいは周期帯(上段、年単位)と、スペクトルピークをとる

表—1 気象要素スペクトルの卓越周期一覧

	90年資料・60年資料*			30年資料		
気 圧 (年) (個 数)	5.9～5.6 43/58	4.2～4.1 38/58	3.3～3.2 51/58	5.8 91/135		
平 均 気 温	29.7 31/60	11.1～9.9 51/60	6.4～5.9 52/60	14.5 124/142	5.8 126/142	3.6 110/142
相 対 速 度	6.4～5.6 33/59	4.5～4.2 34/59		14.5 75/141	4.1～3.6 87/141	
日 照 時 間	29.7 21/49	4.5～4.2 31/49		14.5 80/131	5.8 49/131	
降 水 量	29.7 24/59	4.7～4.5 38/59	3.4～3.3 25/59	9.7 74/137	4.8～4.1 82/137	3.2～2.9 71/137
蒸 気 圧 *	29.5 34/58	5.9～4.9 49/58	4.2～3.7 56/58	14.5 76/140	5.8 101/140	
雲 量 *	29.5 22/57	6.5～5.4 39/57	4.5～4.2 36/57	14.5 64/136	5.8～4.8 84/136	
風 速				14.5 81/138	5.8 53/138	

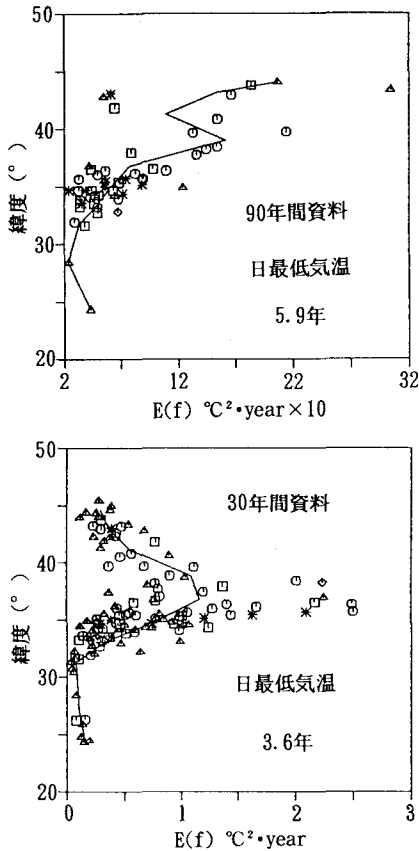


図-8 日最低気温スペクトル値と緯度の関係

地点数および観測地点総数（下段）の一覧表を約3年以上の周期について示したのが表-1である。MEMによっても、10年以上の周期をもつ成分に対する分解能が十分でないで、その判定が難しいけれども、90年資料および60年資料では、気圧、相対湿度を除く要素でBrückner周期（35年）に近い30年周期や、気温3要素で太陽の黒点数変化周期に近い10～11年周期がみられる。一方、30年資料ではWagner周期（15～16年）に近い14.5年周期が気圧、降水量を除く要素に現れる。また、6年周期がかなり安定性の高い周期成分としてほぼ全要素、とくに、気圧、気温3要素、水蒸気圧、雲量でみられる。さらに、4～4.5年周期が気温3要素や風速を除く要素で現れるが、このほか、3.6年周期および2.6年周期なども卓越する。

つぎに、各気象要素の2年以上の卓越周期に対応する

スペクトル値と緯度の関係を人口別に記号を変えて図示し、地域・緯度依存性や都市化の影響を調べたが、大都市での気象要素スペクトル値が特有の挙動を示すという都市化の影響は見出されなかった。一方、地域・緯度依存性について比較的明確な傾向を示すのは気圧、ついで気温3要素である。水蒸気圧、降水量にもこうした依存性を示す周期もあるが、雲量、日照率、日照時間、相対湿度、風速にはあまり依存関係はみられない。

図-8は各種気温スペクトルのうち、90年資料における5.9年周期および30年資料における3.6年周期の日最低気温スペクトル値（ $^{\circ}\text{C}^2 \cdot \text{year}$ ）と緯度の関係を示したものである。5.9年周期成分は北海道南部ではやや低いものの、高緯度地域ほど高いスペクトル値をもつ緯度依存性を、3.6年周期成分は関東地方や東北地方の太平洋岸で大きいスペクトル値をもつ地域依存性を示す。

5. 結 語

本研究で得られた結果は次のように要約される。

- (i) 気温3要素は全期間を通じて増加傾向にあるが、30年を境として対象期間が長いほど大都市での温暖化傾向を、また対象期間が短いほど高緯度地域で気温上昇率が大きい地域・緯度依存性を示す。
- (ii) 温暖化は日最低気温において最も顕著に現れる。
- (iii) 大都市は長期的にみて温暖乾燥化傾向にあるが、最近ではむしろ、温暖湿潤化傾向にある。
- (iv) 長期的にみて雲量は増加傾向、日照時間は減少傾向にあるにもかかわらず、気温は上昇傾向にある。
- (v) 年平均値気象要素資料には数年～数十年の間でいくつかの卓越周期が見出されるが、なかでも約6年の周期はかなり安定性の高い周期成分である。
- (vi) 2年以上の周期に対する気圧および気温3要素のスペクトル値は比較的明確な地域・緯度依存性を示す。しかし、スペクトル値に及ぼす都市化の影響は検出されない。

参 考 文 献

- 斎藤武雄 (1992): 地球と都市の温暖化, 森北出版, pp. 38-61.
- 山口正隆・大福 学 (1992): わが国における気象要素の長期変動および周期性の解析, 海岸工学論文集, 第39巻, pp. 1016-1020.
- 山元龍三郎・西 憲敬・角野有香・星合 誠 (1990): 海上の気温の長期変動, 号外海洋, No. 3, pp. 31-34.