

日本の月平均気温の気候ノイズおよび予測可能性について*

栗原 弘一**・小泉 耕***

要 旨

日本の月平均気温の気候ノイズを Madden (1981) の方法で推定し、月平均気温の予測可能性について調査した。計算には1951~1980年の国内54地点の日平均気温の累年値を用いた。全国平均した気候ノイズは0.6~1.0°Cの範囲で季節変化し、冬期に大きく夏期に相対的に小さい。予測可能性の度合を示すSN比の全国平均値は20~60%の範囲で変化する。冬と夏に極大となり、特に7~9月には60%を超える地域もあるが、春と秋にはかなり小さい(20~30%)。SN比の地域差は冬と夏には余りみられないが、3~6月には地域差が大きくなる。春には北日本ほどSN比が大きく、初夏には逆に西日本で大きい。これは北日本と西日本で季節の推移に2~3カ月のズレがあることと関係しているようである。

1. はじめに

中緯度の日々の天気はおもに移動性高気圧や低気圧の振舞いに支配されており、それを一定の信頼度で予測できるのは高々10日から2週間先(決定論的予測可能性の限界)までとされている。これより先の天気の状態を予測するには、予測対象を時間平均して平均状態(気候状態)を予測することになる。いま、1カ月平均気温を数カ月以上前に予測する場合(長期予報)を考える。個々の月平均気温の値は毎日の平均気温を暦に合わせて1カ月間平均したもので、月の最初の日と最後の日に日々の気温の変動がどのような位相となるかは全く偶然である(星合, 1985)。そのため月平均値という統計値は日々の天気の変動による「誤差(標本抽出の誤差)」を含んでいる。数週間以上先の日々の気温の変動は予測できないので、この誤差は1カ月の平均気温という「気候状態」を

予測する際、ノイズとなる(Leith, 1973)。以下本文では、この誤差を「気候ノイズ」と呼ぶ。一方、月平均気温の年々変動の中にはこの気候ノイズのほか、超長波の振舞いや海面水温等の外部境界条件などによりもたらされる変動を含んでおり、年々変動は長期予報を行う上でシグナルと考えられる。これらの変動は少なくとも予測可能性は否定されておらず、ここでは潜在的に予測可能と考えることにする****。しかし、もしも意味のある月平均気温予測が可能であるとしたら、大気の長周期の変動や境界条件の強制等に起因する年々変動が気候ノイズに対して十分大きいことが必要である。

気候ノイズの推定に関して、Jones (1975) や、Laumann *et al.* (1977)、Trenberth (1984) が詳しく論じている。Madden and Shea (1978) や Madden (1981) は米国の月平均気温や季節平均気温の気候ノイズを推定し、季節別にSN比(気候のシグナルとノイズの比率)を求めている。また、SN比と長期予報スキルの関係について調査した Barnett (1981) によれば、北アメリカの気温予報のスキルは季節と地域の関数であり、SN比が大きい地域の冬平均の気温の予報スキルは、SN比が小さい地域のそれより高い。

気候ノイズを推定し、平均気温の予測可能性を検討することは、長期予報の確からしさを検討する上で重要である。本報告ではMadden (1981)の方法により、日本における月平均気温のノイズとシグナルを計算し、季節別・地域別に気温の予測可能性について調べた。

* Estimation of the climatic noise and the potential predictability of the monthly mean temperature in Japan.

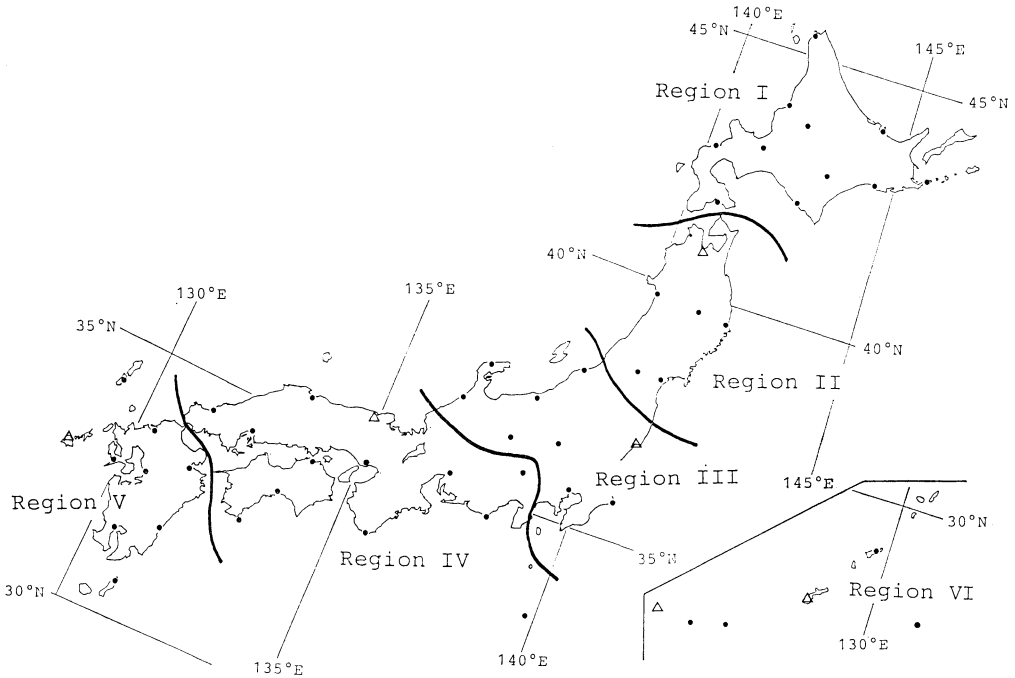
** Koichi Kurihara, 気象庁予報課.

*** Ko, Koizumi, 気象庁長期予報課.

**** ある月の気温変動について、境界条件等によりもたらされる気温変動が気候ノイズより十分大きい場合でも、その月の気温を実際に数カ月前から予測できるかどうかは別の問題である。

—1989年8月23日受領—

—1989年12月18日受理—



第1図 分布図の作成に用いた地点と地域区分。

△印の地点の資料期間：青森（1963～'80）、小名浜（1951～'76）、豊岡（1963～'80）、福江（1963～'80）、沖縄（1952～'80）、与那国（1957～'80）

2. 資料と計算の方法

国内54地点の1951年～1980年（30年）の日平均気温の累年値を用いた。地点の分布を第1図に示す（ただし、△印地点は観測所の移転等により資料が30年に満たない）。これらの全ての地点について、Madden（1981）の方法により、以下に示す手順で気候ノイズとSN比等を作成した。また、第1図に示した地域に基づいて、気候ノイズやSN比の地域平均値も計算した。

2.1 気候ノイズの計算

暦日の各月について、各地点の日別値資料から日別の平年値を差し引いた。平年値は気象庁統計室が作成したものを使用した。この偏差値を $X(i, j)$ とすると、 i は各月の日数、 j は30年分の資料を示す。各年の日別値の分散 ($\sigma^2(j)$) は、

$$\sigma^2(j) = \frac{1}{N} \sum [X(i, j) - \bar{X}(j)]^2 \quad (1)$$

ただし、 $\bar{X}(j)$ は j 年の月平均値、 N は月の日数 (= 28~31)。各年の分散 ($\sigma^2(j)$) の30年平均 ($\hat{\sigma}^2$) は、

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{M} \sum \sigma^2(j) \quad (2)$$

但し、 M は統計年数 (= 18~30)。次に、各年の1日ラグの自己相関係数 ($r(j)$) を計算する。さらに $r(j)$ を Z -変換して $Z(j)$ の平均を求め (Panofsky and Frier, 1963), $Z(j)$ の平均から $r(j)$ の30年平均値 (\hat{r}) を求めた。

月平均気温の年々変動に含まれる気候ノイズ (σ_N) は、1次のマルコフ過程に従うと仮定して、次式により求めた。

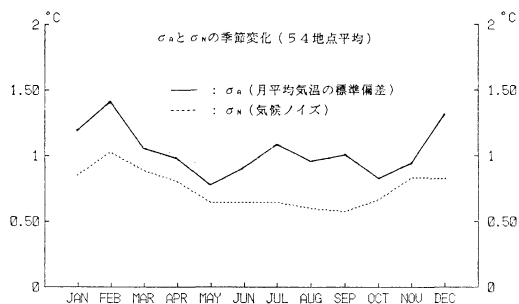
$$\sigma_N^2 = \frac{\hat{\sigma}^2}{N} [1 + 2(1 - 1/N)\hat{r} + 2(1 - 2/N)\hat{r}^2 + \dots + 2(1 - i/N)\hat{r}^i + \dots + (2/N)\hat{r}^{N-1}] \quad (3)$$

2.2. SN比の計算

月平均気温の予測可能性の程度を示す基準として、ある月平均気温の標準偏差 (σ_A) と気候ノイズ (σ_N) から、年々変動に占めるシグナルの割合 (以下、SN比) を次の通り定義した。

$$\text{SN比} = \frac{\sigma_A^2 - \sigma_N^2}{\sigma_A^2} \times 100(\%) \quad (4)$$

SN比が、例えば、50%とは月平均気温の標準偏差の半分が気候ノイズによりもたらされることを示す。また月平均気温の年々変動が日々の気温の変動だけで決まる場合



第2図 月平均気温の標準偏差 (σ_A) と気候ノイズ (σ_N) の季節変化 第1図に示した54地点について求めた σ_A^2 と σ_N^2 を平均した。

($\sigma_A^2 = \sigma_N^2$) には SN 比は0となり、この場合は数カ月以上先の月平均気温の予測は不可能である。

3. 結果

3.1. 気候ノイズと SN 比の季節変化

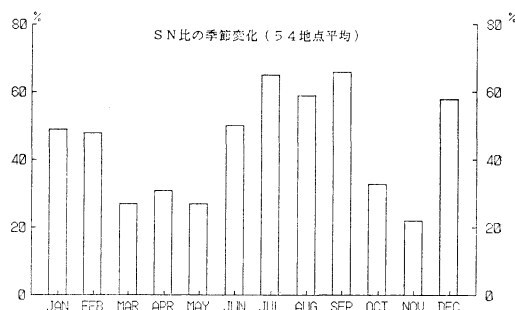
第2図は地点別に求めた月平均気温の標準偏差 (σ_A) と気候ノイズ (σ_N) を月別に54地点で平均したもので、それぞれの季節変化を示している。月平均気温の標準偏差は0.8~1.5°Cの範囲で変化し、冬と夏に極大(1.2~1.5°C)となる。気候ノイズは0.6~1.0°Cの値を取り、冬期に大きく夏期に相対的に小さい。前述のSN比の定義から、春と秋に予測可能性が低いことが示唆される。

第3図は、第2図と同様に計算した、SN比の月平均値である。SN比は顕著な季節変化を示し、20~60%の範囲で変化する。冬と夏に極大があり、特に7~9月にはSN比が60%を超える。一方、春と秋にはかなり小さい(20%~30%)。

3.2. SN 比の地域差

第4図は地域別に平均した月平均気温の標準偏差と気候ノイズの季節変化を示す。標準偏差の季節変化は、北日本(Region IとII)では全国平均した標準偏差の変化(第2図)によく似て夏と冬に極大があるが、九州や沖縄(Region VとVI)では夏に極大がみられない。また、北日本に比べ値が小さく、沖縄の8月の標準偏差は北海道の3分の1程度しかない。一方、気候ノイズは、北日本より九州・沖縄の方が季節変化が大きく、冬には九州の方が気候ノイズが大きいが、夏には逆に北海道の方がノイズが大きくなる。

第5図はSN比を地域毎に平均して、北海道(Region I)、関東北陸(Region III、および九州(Region V)



第3図 月平均気温のSN比の季節変化 第2図と同様、地点を平均した。

のSN比を示したものである。また、第6図に季節毎に月別のSN比の分布を示した。これらの図から夏にはSN比の大きさに地域差はほとんどなく、冬も地域差は余りないようである。第5図から分かる通り春から初夏(3月~6月)にかけては、地域差が大きい。3月の場合、SN比の高い北海道と低い九州では40%もの差がある。

第4図や第5図で北日本と西日本のSN比の季節変化を比べると、両地域とも夏と冬にはSN比が大きい。しかし、西日本ほど冬から春にかけてのSN比の低下が早く始まり、盛夏期に向かっているSN比の上昇も北日本に比べて早い。これは、北日本と西日本で季節の推移に2~3カ月前後の時間差があることによるとみられる。

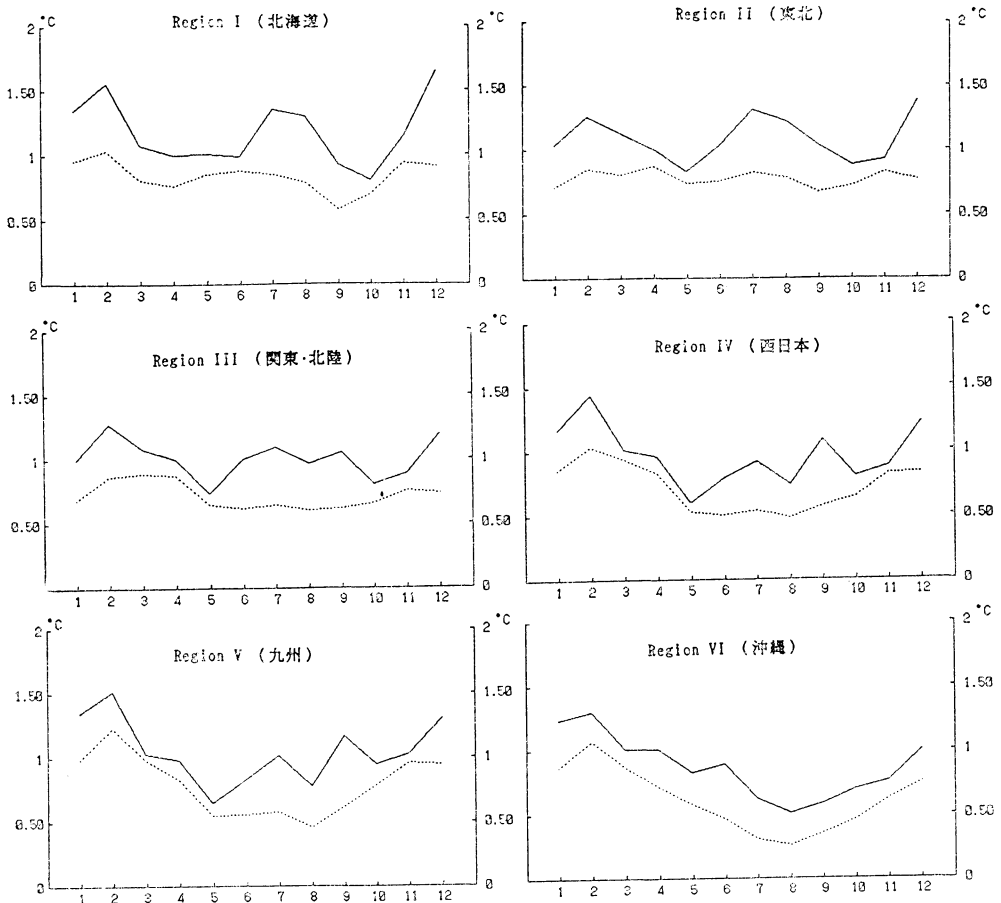
4. まとめと考察

Madden (1981)の方法により、日本の月平均気温の長期予報を行う際の気候ノイズとSN比を計算し、その季節変化や地域差について検討した。本調査でわかったことは以下の通りである。

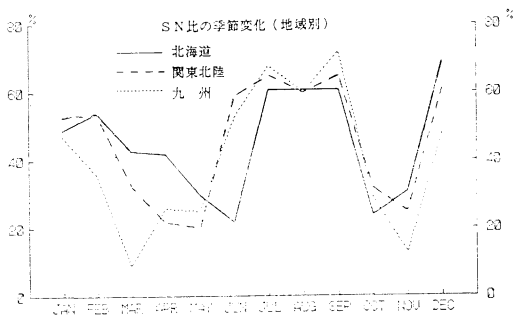
(1) 全国平均した月平均気温の標準偏差は0.8~1.5°Cの範囲で季節変化し、冬と夏に極大(1.2~1.5°C)となる。気候ノイズは0.6~1.0°Cの値を取り、冬期に大きく夏期に相対的に小さい。

(2) SN比は顕著な季節変化を示し、20~60%の範囲で変化する。冬と夏に極大(50~60%)となり、春と秋にはかなり小さい(20~30%)。

(3) SN比は冬と夏には地域差が比較的目立たないが、春から初夏にかけて地域差が顕著となる。2~4月には北日本で相対的に大きく、5~6月には逆に西日本で大きい。



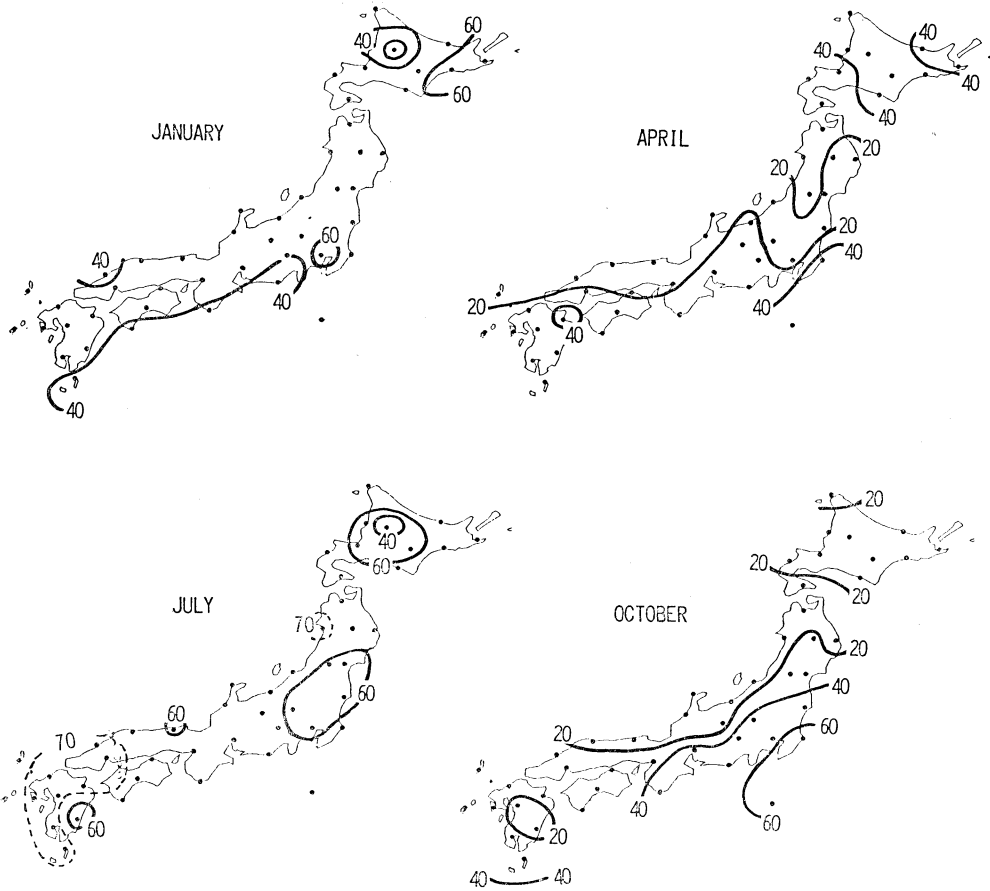
第4図 地域平均した月平均気温の標準偏差 (σ_A) と気候ノイズ (σ_N) の季節変化
第2図と同様、ただし第1図の各地域に含まれる地点について平均した。



第5図 地域平均した月平均気温のSN比の季節変化
第1図の3地域(北海道(I), 関東・北陸(III) 九州(V))について示す。

夏にSN比が大きいことは山岸(1987)が既に示唆している。SN比が夏と冬に相対的に大きく、春や冬に小さい傾向があるのは以下の要因が関係しているとみられる。冬の気温の変動はおもに冬を通しての季節風の強さに関係しており、これは超長波の振舞いに関係している。夏の期間は偏西風の南北変動や亜熱帯高気圧の振舞いが気温の年々変動を支配している。これらの要因は春や秋の天気を支配するシノプチックスケールのじょう乱よりも長周期の変動をする。このことがSN比が夏や冬に大きく、春や秋に小さいことと関係しているとみられる。

栗原(1985)やKitoh(1988)は日本の夏や冬の気温が熱帯太平洋の海水温の変動と関係することを見いだし



第6図 月平均気温の SN 比の分布

た。また、栗原 (1988) や Kurihara(1989) はエルニーニョ現象の発生にともない夏に平年より低い気温が現れ易く、冬には高温が現れ易いことを示唆し、これはエルニーニョ現象に伴い亜熱帯高気圧や東アジアの偏西風が影響を受けることによると考えた。最近、小泉 (1989) はエルニーニョ現象の有無にかかわらず熱帯太平洋の特定の海域における海水温の変動が、日本付近の 500 mb 高度場の変動との間に統計的に有意な関係があることを示している。これらは少なくとも夏や冬については海水温が境界条件として日本付近の循環場に一定のパタンを生じさせるかあるいは大気の一一定のパタンの持続に寄与する可能性を示唆する。このことが夏と冬に平均気温の SN 比が大きいこと関係しているかも知れない。

Madden and Shea (1978) や Madden (1981) によ

ると米国における月平均気温や 3 カ月平均気温の SN 比は地域や季節により大きく変化する。日本の場合、SN 比の季節変化は顕著であるが、地域差が大きいのは春から初夏の時期に限られている。Barnet(1981)は米国の冬の気温の長期予報と SN 比との関係について調べ、SN 比の大きい地域では予報スキルも高いことを示した。今回の調査では、SN 比は夏と冬に相対的に大きいことがわかった。小泉 (1989) によると日本の月平均気温を予想する重回帰モデルのスキルは、夏と冬に相対的に高く春と秋に低い。このことと今回の調査結果は、Barnet (1981) が米国について調査した結果と同様である。

SN 比が大きい季節や地域では、それが小さい場合に比べ潜在的に予測の確からしさが高いことを示唆する (ただし、潜在的に予測可能であったとしても、高い精

度で予報が出せるかどうかは別の問題—その時点における技術の問題—である)。SN 比の季節変化が大きいことは統計的手法であれ、力学的手法であれ、長期予報技術を開発する際、各季節を通して様に高いスキルを持つ手法を持つことは不可能であることを示唆する。

気候ノイズの推定法はいろいろ提案されているが、Shukla(1984)は Madden (1981)の方法ではノイズを過大評価している可能性があるとして指摘した。山元等(1985)は独自の方法で日本の月平均気温の気候ノイズを推定した。彼らが北海道の各地点について計算した気候ノイズ(星合, 1985)と本調査の結果とを比較したところ、本調査結果の方が平均して $0.1\sim 0.3^{\circ}\text{C}$ 大きかった。SN 比を計算する際、平均気温の分散や気候ノイズが大きい場合にはこうしたノイズの推定誤差の影響は無視できるかも知れないが、日本の春から秋のように月平均気温の分散や気候ノイズが小さい季節には、この影響が大きくなる可能性も否定できない。したがって、西日本の SN 比が春に極端に小さいのは、気候ノイズの過大評価の影響も含まれているかもしれない。これについては更に詳しい調査が必要と思われる。

参考文献

- Barnett, T.P., 1981: Statistical prediction of North American air temperatures from Pacific predictors. *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 1021-1041.
- 星合 誠, 1985: 気候変動の診断, *天気*, **32**, 609-613.
- Jones, R.H., 1975: Estimating the variance of time average. *J. Appl. Meteor.*, **14**, 159-163.
- 栗原弘一, 1985: 日本の夏の気温と西部熱帯太平洋の海水温との関係について. *天気*, **32**, 408-417.
- , 1988: 長期予報における ENSO の役割, *海洋科学*, **20**, 284-289.
- Kurihara K., 1989: A climatological study on the relationship between the Japanese summer weather and the subtropical high in the western North Pacific, *Geophys. Mag.*, **43**, 45-104.
- 小泉 耕, 1989a: 熱帯太平洋の海面水温と 500 mb 高度場との関係. *天気*, **36**, 281-289.
- , 1989b: 重回帰による気温予想とその成績について. 日本気象学会1989年春季大会, 5月24日, 東京.
- Laurmann, J.A. and W.L. Gates, 1977: Statistical considerations in the evaluation of climatic experiments with atmospheric general circulation models. *J. Atmos. Sci.*, **34**, 1187-1199.
- Leith, C.E., 1973: The standard error of time average estimates of climatic means, *J. Appl. Meteor.*, **12**, 1066-1069.
- Madden, R.A. and D.J. Shea, 1978: Estimates of the natural variability of time-averaged temperature over the United States, *Mon. Wea. Rev.*, **106**, 1695-1703.
- , 1981: A Quantitative Approach to Long-Range Prediction. *J. Geophys. Res.*, **86**, NO C10, 9817-9825.
- Trenberth, K.E., 1984a: Some effects of finite sample size and persistence on meteorological statistics, Part I: Auto-correlations. *Mon. Wea. Rev.*, **112**, 2359-2368.
- , 1984b: Some effects of finite sample size and persistence on meteorological statistics, Part II: Potential predictability. *Mon. Wea. Rev.*, **112**, 2369-2378.
- 山岸米二郎, 1987: 気候ノイズについて, *グロースベッター*, 第25巻2号, 33-37.
- 山元龍三郎・岩嶋樹也・Sanga, N.K. 星合 誠, 1985: 2次モーメントの気候変動(1), 日本気象学会昭和60年春季大会, 5月22日, 東京.

日本気象学会国際学術交流基金への寄付者御芳名

平成2年3月31日現在, 下記の会員から寄付がありましたので, お礼を兼ねて報告申し上げます。

記

宮坂和久, 山本浩之, 西尾文彦, 浅田 正