

昭和60年度春季大会シンポジウム「気候変動」の報告

1. 気候変動の診断

星 合 誠*

1. はじめに

気候変動の診断とは気候変動の実態を定量的につかむことである、というように一般に理解されるが、これだけでは必ずしもその意味が明確ではない。診断ということを経験でいう診断と対比させてみるとはっきりするように思われる。医学での診断とは、患者の訴えに基づいて、問診、器械による診察、検査などを通して症状を正確につかみ、疾患の原因をつきとめることであろう。気候変動をこれに当てはめてみると、例えば気温などの1つの要素あるいは要素の複合されたものの時間的変動、空間的変動が症状に当たり、この原因が何であるかをつきとめるのが気候変動の診断であろう。医学においては疾患の原因をつきとめ、あるいは病名が決定されることによって治療の対策がたてられ、気候変動においてはその原因が把握されることによって将来予測、あるいは人為的原因(例えば二酸化炭素)によるものならば予防対策に利用されることになる。

気候変動の中で最も関心のもたれるものは気温と降水量の変動であるが、ここではグローバル・スケールでの最近100年間位の地上気温の変動に限定する。二酸化炭素、火山噴火、太陽活動、雪氷被覆面積、海面水温などの外部・境界条件の変化に伴う気温変化を検出することがここでの気候変動の診断にあたる。医学において症状を正しくつかまないと診断を誤ることになり、気候変動においても症状を正確につかまないと誤診してしまう。気温変動という症状を正確に把握することは、観測データおよびその統計値には誤差が含まれるので、これらの誤差を評価することである。即ち、観測データには局地的な不規則性を含む観測誤差が介在し、統計値にはサンプリング・エラーが含まれるので、これらを用いて得られた算定値は当然、誤差を伴う。従って、信頼限界を明確にした上で症状をつかまねばならない。この誤差の問

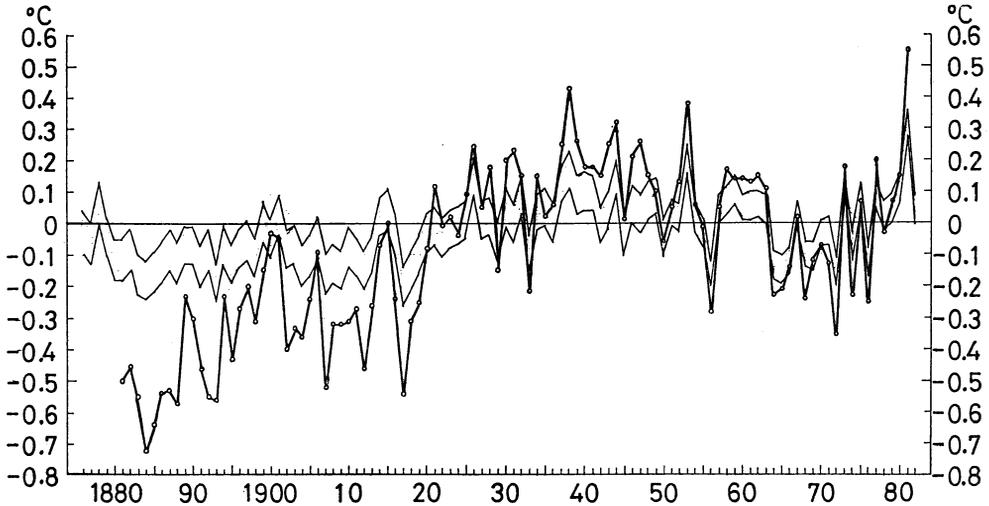
題と別に観測点の得られない領域の取扱いの問題がある。ここではこの2点について述べる。

2. 解決さるべき問題点

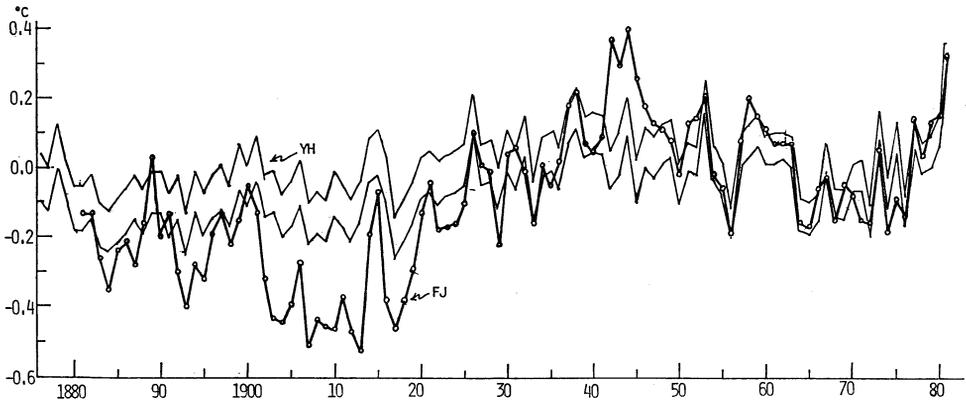
最近100年間の北半球平均地上気温の変動については、Vinnikov *et al.* (1980), Yamamoto・Hoshiai (1980), Hansen *et al.* (1981), Jones *et al.* (1982) 等により呈示されている。解析方法が明確に示されていて最近よく引用されている Jones *et al.* の結果(以下、JWK と略す)と、解析結果の誤差を明示してある Yamamoto・Hoshiai のもの(以下、YH と略す)とを比較したのが第1図である。1920年代以前において両者の差が特に著しい。両者共に格子点で北半球を覆い、JWK では経験的な多項式により、YH では算定誤差の得られる客観的内挿法により、それぞれ格子点の値を内挿して半球平均を求めているが、JWK では内挿値の得られた格子点のみを取り上げているのに対し、YH では内挿値の得られぬ格子点は、主として海洋上であることから、海洋上の気温変動度は大陸上のその数分の1である(Barnett, 1978)ことに根拠を置いて、偏差を0とし、その誤差はその格子点の属する領域の標準偏差に等しいとして取り扱われている。1920年代以前の段階では、内挿値の得られる格子点数も少ないことから、JWK においては一部の大地上の結果が強調されていることが予想され、YH においてはアンダーエスティメイトになっている可能性はある。

最近 Folland *et al.* (1984) が海上における船舶の夜間の気温観測を利用して北半球平均海上気温変動を呈示した。北半球の陸地と海洋の比率はおおよそ4:6であるので、JWK の結果の重みを4とし、Folland らのものの重みを6として、両者を合成し YH と比較したのが第2図である。この合成したものと YH との間では、JWK と YH の間で見られた1900年以前の著しい差は小さくなったが、1900~1920年の差は依然として著し

* Makoto Hoshiai, 愛知学院大学。



第1図 北半球平均年平均地上気温の最近100年間の変動の比較。太線は Jones *et al.* (1982), 細線は Yamamoto・Hoshiai (1980) に 1976~82の部分をも補足, 68%の信頼限界で表示。いずれも1951~80年の平均値からの偏差で表してある。



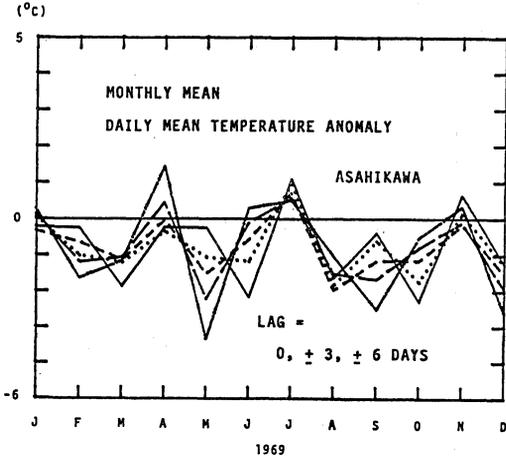
第2図 北半球平均地上気温の変動の比較。YH (細線) は第1図の Yamamoto・Hoshiai と同じ。FJ (太線) は Folland *et al.* (1984) と Jones *et al.* (1982) を 6:4 の重みで合成したもの。

い。しかし、この合成も簡便的に試みたもので、緯度帯によって陸地と海洋の面積の比が異なるので、正しくはこのことを考慮して行わねばならない。

YH において正しくない仮定がなされているという意見がある。それは内挿値の得られぬ格子点の取扱いを指していると想像される。YH におけるこの取扱いは、半球平均がアンダーエスティメイトになる可能性はあるが、半球平均における誤差を明らかにしておくことを考慮しての処置である。従って、正しくない仮定と見るの

は必ずしも当たらないのではなからうか。なお、適用した内挿法の性質から、内挿値の得られぬ格子点の誤差は内挿値の得られた格子点のそれよりも大きい。

以上、現在までに呈示されている気温変動タイム・シリーズの一部の比較を試みた。これらタイム・シリーズがかかえている問題点が少なくとも2つある。その1つは誤差の大きな根源の1つと考えられるノイズで、他の1つは観測点が殆んど無い広大な海洋域の取扱いである。



第3図 月平均値の年平均偏差が月の初日の変動することによって変動する1例。初日が暦と同じ場合、3日前へあるいは3日後へずれた場合、同様に6日の場合の5つの場合が示されている。1969年の旭川の例(山元ら,1985)

ノイズの評価

気温変動の基礎データとして月平均値が一般に用いられる。激しい日々変動のある中で月の最初の日と最後の日が暦によって決定され、月平均値が求められる。その際、月の最初の日と最後の日に日々変動がどのような位相になるのかは全く偶然であり、従って月平均値はサンプリング・エラーを伴う。月の初めの日と終わりの日が変わるといかに月平均値が変わるかの1例を第3図に示す。この図には、暦のままの場合、前後に3日ずれた場合、6日ずれた場合の5つの場合が比較されている。月平均値から得られた気温変動は外部・境界条件の変化による部分(シグナル)とサンプリング・エラー(ノイズ)とからなっているので、ノイズを取り除いた部分を正味の気温変動として議論の対象としなければならない。

ノイズ評価はそれ程容易ではない。その試みが何人かの研究者によってなされてきた。Leith (1973) は日々の変動を1次の Markov 過程としてノイズを議論し、Jones (1975) は Leith と同じ仮定をおき Power spectrum analysis によりノイズを求める方法を提案した。Madden (1976), Madden・Shea (1978) は約3か月間の統計量を用いて Jones の方法で気温・海面気圧の月平均値のノイズの算定を行った。Straus・Halem (1981) は1次の Markov 過程は不適當であることを指摘し、Shukla (1983) は Madden らの算定は過大評価の懸念

のあることを述べ、Shukla・Gutzler (1983) は1カ月の統計量を用いて Madden (1976) と同様の方法でノイズの算定を行った。これまでの研究の多くは振動数領域でなされたのに対し、Trenberth (1984) は時間領域で議論し、分散の不偏推定値を利用して F-テストによってシグナルとノイズの分離を試みた。最近山元ら (1985) は、日々の年平均偏差は境界・外部条件の変化に伴う年平均偏差(シグナルをもたらす)と内部力学変化の年平均偏差(ノイズをもたらす)の和に等しいこと、さらにこの2つのそれぞれの平方の和が1カ月の分散に等しいことの2つの仮定をおいて、分散の年々変動を長期間にわたって調べ、分散の最低値からノイズを算定することを提案している。

山元ら (1985) の提案の概略は次の通りである。まず、 j 年 i 日の観測データ $X(i, j)$ は次のように表されるとする。

$$X(i, j) = a(i) + s(i, j) + n(i, j) + e(i, j)$$

ここで、 $a(i)$: 規則正しい季節変化をする部分で i のみに関係

$s(i, j)$: 外部・境界条件により変化し、これがシグナルをもたらす

$n(i, j)$: 外部・境界条件が不変でもおこる変化(内部力学変化)、これがノイズをもたらす

$e(i, j)$: 局地的な不規則性を含む観測誤差
ここでは無視できるとする

さらに $n(i, j)$ を年によって変わらない部分と年および日によって変わる部分とに分ける。即ち、

$$n(i, j) = [n(i)] + n^*(i, j)$$

このようにすると $X(i, j)$ の年平均値は

$$[X(i)] = a(i) + [s(i)] + [n(i)]$$

となり、 $[s(i)]$ の絶対値は $s(i, j)$ の絶対値に比べて一般に小さいと考えられるので年平均偏差は

$$X^*(i, j) = s(i, j) + n^*(i, j)$$

と表される。年平均偏差の時間平均は

$$\mu = \overline{X^*(i, j)} = \overline{s(i, j)} + \overline{n^*(i, j)}$$

で、外部・境界条件による変化のないとき

$$\mu_n = \overline{n^*(i, j)}$$

となる。この σ_n の標本値の誤差は μ_n の分散の期待値の平方根で示され、これがノイズに当たる。これは年平均偏差の分散 σ^2 と自己相関係数から得られる。

ここで、外部・境界条件による変化のないときを探さ

第1表 月平均値の気候ノイズの例. 稚内, 旭川, 札幌, 根室, 函館, およびこれらを含む19地点の平均に対するノイズ. 単位は 0.1°C (山元ら, 1985).

MONTH	19-MEAN	WAKKANAI	ASAHIKAWA	SAPPORO	NEMURO	HAKODATE
JAN	7	6	8	8	7	7
FEB	8	7	12	7	10	7
MAR	6	7	8	5	6	6
APR	5	6	6	5	6	4
MAY	6	6	9	6	7	6
JUN	6	7	6	6	8	5
JUL	7	7	6	7	7	8
AUG	5	7	6	6	7	5
SEP	5	5	4	4	5	5
OCT	5	5	5	6	5	6
NOV	8	8	9	8	7	8
DEC	8	7	9	9	7	10

ねばならない. そのために $s(i, j)$, $n^*(i, j)$ を時間平均とそれからの偏差 $d_s(i, j)$, $d_n(i, j)$ に分けて

$$d_n^2(i, j) \leq \sigma^2 = d_s^2(i, j) + d_n^2(i, j)$$

となるので, σ^2 の最低値の時が外部・境界条件による変化のない時と見なすことによって知ることができる.

この方法によって月平均値のノイズが算定された1例が第1表である. この表には北海道内19地点の空間平均にあらわれるノイズも同時に示されている. これを見る限り, 空間平均と1地点とでノイズの大きさは殆んど変わらない. ここでとられている空間平均は地点間の距離は400 km 程度の範囲内である. 従って総観規模現象の通過の影響をほぼ同時に受ける範囲内であるのでノイズが同じ位相で現れると考えればこの場合の空間平均と1地点のノイズにあまり差の無いことは理解できる.

北半球平均のような大規模な空間平均のノイズとなると事情が変わってくるのが予想される. このような規模になれば, 遠く離れた2地点間のノイズに相関はないと考えられる. ノイズの大きさは構造関数から推算されよう. 第1図および第2図に示されている YH の誤差範囲は構造関数を基礎にして求められたものである. 従ってそこに示されている誤差はほぼ北半球平均規模の空間平均のノイズに相当するものと予想される. なお, この点については詳細な検討が必要である.

海洋域の気温変動

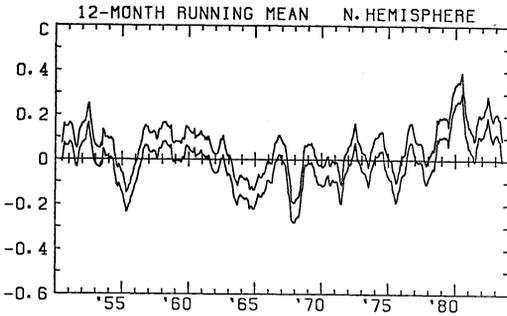
最初に示した JWK の気温変動は殆んどが陸上の観測点に基づいて解析がなされているので北半球陸上平均の気温変動と見るべきものであろうし, YH のものでは

前述のような仮定を置いているのでアンダーエスティメイトの可能性がある.

Paltridge・Woodruff (1981) は船舶による観測資料により表面海水温の年間偏差をもって海洋域を表し, 陸上の地上気温の年間偏差と組み合わせて最近100年間のグローバル・スケールの温度変動を示した. このような取扱いは, 表面海水温の年間偏差はその地点における気温の年間偏差に等しいとしたことに相当しており, これは明らかに不当である (Hoshiai, 1983). 同一地点における表面海水温と気温との間の関係は単純ではない.

はじめに引用したように最近 Folland *et al.* (1984) が船舶上で夜間に観測された気温を利用して100年を超える期間にわたるグローバル・スケールの海洋域での気温変動を示している. 彼等が夜間観測を用いているのは船上での昼間の観測が日射に基づく影響を受けていると考えているからである. このような方法による海洋域の変動と陸上のそれとを組み合わせることによって一歩前進は期待できる.

100年間にもわたる長期間の変動を知るのには, 海洋域では船舶観測を利用するしかない. 前述の Folland らは同時に表面海水温の長期間変動も示している. そこで用いられている観測データ数は表面海水温の場合, 気温のおよそ2倍である. 広範囲にわたり, より多くのデータが利用できるという点では表面海水温の利用の方が優れているが, 表面海水温の変動と気温変動との間の関係が明らかにされるまではこれは利用できない. 気温のデータは, 観測方法の相違による補正の点で若干面倒な手



第4図 最近の北半球平均地上気温の変動。12カ月移動平均で示してあるので、横軸目盛間の中点がその暦年の年平均にあたる。68%の信頼限界で示してある。

続を必要とするとしても、海洋域を補うのに直接利用できる。

附・最近の気温変動

1982年の El Chichón 火山の大噴火、これに続く 1982~83年の顕著な El Niño 現象が北半球平均地上気温にどのように反映されているかは大いに興味のあるところである。前に引用した YH と同一の方法で求めた最近の変動の様態を第4図に示す。最近100年間で最高温であった1981年の後、1982年に0.2~0.4°Cの急激な降温があり、つづいて0.1~0.3°Cの昇温が見られる。これは El Chichón 噴火に期待される降温をおさえて El Niño による昇温の効果が現れたのであろうか。ここで図は省略するが、1981年と1983年を比較すると、1951~80年の平均に対する年平均の偏差が、高緯度地帯(60~90°N)では1981年が、+0.9~1.2°C、1983年が+0.2~0.5°Cであったのに対し、中緯度地帯(30~60°N)では1981年、1983年共に+0.4~0.6°Cで、1983年の昇温は中緯度地帯で顕著であった。なお、低緯度地帯(0~30°N)では昇温は見られない。

文献

Barnett, T.P., 1978: Estimating variability of surface air temperature in the Northern Hemisphere, *Mon. Wea. Rev.*, **106**, 1353-1367.
 Folland, C.K., D.E. Parker and F.E. Kates, 1984: Worldwide marine temperature fluctuations

1856-1981, *Nature*, **310**, 670-673.
 Hansen, J.E., D. Johnson, A. Lacis, S. Lebedeff, P. Lee, D. Rind and G. Russell, 1981: Climatic impact of increasing atmospheric carbon dioxide, *Science*, **213**, 957-966.
 Hoshiai, M., 1983: Comments on "Changes in global surface temperature from 1880 to 1977 derived from historical records of sea surface temperature", *Mon. Wea. Rev.*, **111**, 240.
 Jones, R.H., 1975: Estimating the variance of time-averages, *J. Appl. Met.*, **14**, 159-163.
 Jones, P.D., T.M.L. Wigley and P.M. Kelly, 1982: Variations in surface air temperature: Part 1, Northern Hemisphere 1881-1980, *Mon. Wea. Rev.*, **110**, 59-70.
 Leith, C.E., 1973: The standard error of time averaged estimates of climatic means, *J. Appl. Met.*, **12**, 1066-1069.
 Madden, R.A., 1976: Estimates of the natural variability of time-averaged sea-level pressure, *Mon. Wea. Rev.*, **104**, 942-952.
 Madden, R.A., and D.J. Shea, 1978: Estimates of the natural variability of time-averaged temperatures over the United States, *Mon. Wea. Rev.*, **106**, 1695-1703.
 Paltridge, G., and S. Woodruff, 1981: Changes in global surface temperature from 1880 to 1977 derived from historical records of sea surface temperature, *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 2427-2434.
 Shukla, J., 1983: Comments on "Natural variability and predictability", *Mon. Wea. Rev.*, **111**, 581-585.
 Trenberth, K.E., 1984: Some effects of finite sample size and persistence on meteorological statistics, Part II: Potential predictability, *Mon. Wea. Rev.*, **112**, 2369-2379.
 Vinnikov, K. Ya., G.V. Gruza, V.F. Zakharov, A.A. Kirillov, N.P. Kovyneva and E. Ya. Rankova, 1980: Current climatic changes in the Northern Hemisphere, *Meteorologiya i Gidrologiya*, No. 6, 5-17.
 Yamamoto, R., and M. Hoshiai, 1980: Fluctuations of the Northern Hemisphere mean surface air temperature during recent 100 years, *J. Met. Soc. Japan*, **58**, 187-193.
 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。