

10) 地温の鉛直分布に記録されている地表温度の履歴

分玉拓臣・竹内徹・北岡豪一(岡山理大・理:B・D・T)

はじめに

地温の鉛直分布が過去の地表温度の履歴を記録しているものとして、世界各地で、観測と解析が進められている。(地球科学研など)

しかし、地温は水の流れの影響を受けるため、観測地の条件に厳しい制約がある。岡山市内の理大所有の100 m 深井戸では、水の流れの影響が小さく、理想的な(熱伝導論に合う)地温分布が得られたので、月1回の定期観測と解析を進めている。

地温の鉛直分布の解析は、いわゆる逆問題であり、一般に、単純なモデルの解を重ね合わせ、最小自乗法などを用いることによって、最適な過去の地表温度を推定することがなされる。

しかし、これによって、毎年の年平均地表温度を求めようとする場合、過去のどのあたりまでさかのぼらなければならないか(深くなれば、氷河期の影響も無視できなくなる)という問題と、求めようとするパラメータ(年数分の年平均地表温度)が多いという問題がある。そのため、プログラミングにたよらざるを得ないのが実情である。しかし、この方法では、過去の温度が求められたとしても、それが、人間活動の履歴を表現するだけで、それから地球科学的な意味を掘り起こすことがむずかしいという点を有している。

今回の報告では、Carslaw & Jaeger (1959)の解析解の中から温暖化の現象に利用できそうなものを適用することを考える。温暖化に利用できそうな問題は、半無限媒体の表面温度が、(1) 時間間隔 $\tau_{i-1} < t_i < \tau_i$ で一定である場合、(2) 一定の割合で上昇する場合、および、(3) 指数関数的に上昇する場合、の3つである。(1)は上述の重ね合わせを行って毎年の平均地表温度をパラメータとする。(2)も重ね合わせであるが、上昇速度が一定の区域を定めるため(たとえば、10年ごと)、パラメータの数はかなり少なくすむので、パソコンでもある程度操作が可能である。(3)は過去の全期間を適当な指数関数の形で一挙に表してしまうやりかたである。これは、パラメータが2個ですむのでパソコンでも簡単に計算できる。今回はこの(3)の方法で行おうとするものである。

方法

Carslaw & Jaeger には、半無限媒体の境界温度が $e^{\lambda t}$ のときの解が与えられている(p.63)。そこで、過去の地表面の温度を、温暖化の始まった時刻を t_0 として、

$$T_s = T_{s0} + p(e^{\lambda(t-t_0)} - 1) \quad (1)$$

の形を仮定する。この地表条件による時刻 t 、深度 z における解を $T_w(t, z, T_{s0}, t_0, p, \lambda)$ とする。また、地熱の影響を考慮し、温暖化の始まる前の地温として、

$$T_b = T_{s0} + \gamma z \quad (2)$$

とする。観測地温 T は、

$$T = T_b + T_w \quad (3)$$

とする。パラメータは $T_{s0}, t_0, p, \lambda, \gamma$ の5個である。

実測値から最適なパラメータを決めるには、最小自乗法で行う。最小自乗法は自乗誤差が最小になる条件を求めるものであり、エクセルのソルバーを利用した。

結果

その結果、実測値と適合する結果を得ることができた(略)。したがって、過去の地表温度が(1)の形で近似的に表現できるものと考えられる。

考察

地表温度は気温と密接であると考えられるので、気温についてもこのような表現が近似的に可能であると考えられる。気温 T_a が、(1)と類似の

$$T_a = T_{a0} + p(e^{\lambda(t-t_0)} - 1) \quad (4)$$

で近似できるかどうか、百数十年間にわたる観測記録のある全国の気象台から年平均気温をダウンロードし(気象庁のHP)、最小自乗法を用いて、各地の温暖化の特性を調べたところ、かなりの程度近似的に表現されることが確認され、得られたパラメータ p, λ の値に地域性が認められた。

気温の温暖化は(4)の形で近似的に表されることが分かった。地表温度もその形とみなしても矛盾せず(絶対値は気温と地表温度で異なる)、その形は、地温の鉛直分布の解析結果と符合しているのである。

それにしても、気温が(4)のような形で表現されることには、どのような意味が含まれているのだろうか。それについて、若干考えてみた。

刻々変動する気温は、地表付近の熱収支(顕熱、潜熱、日射、放射、熱伝達など)で決まるが、年平均気温(刻々でなく)は付近の熱媒体(建物、土地などを含め)の代表温度と見なせば、周りの温度は定義が難しいが、おおまかには、ニュートン冷却様の熱伝達と発熱量の収支で近似されよう。しかし、このやり方では λ の値は負となり、説明できない。経験式は、 λ が正であり、温度が高いほど暖められているのである。

単純に考え、これは、断熱効果が効いている結果であると考えられないだろうか。まわりの温度とは無関係に、熱媒体単位体積あたりの熱の発生量が、時間に対して指数関数的に増加するようなことが示されていると見なせないだろうか。すなわち、

$$\rho c \cdot dT_a / dt = Q(t) = q \cdot e^{\lambda(t-t_0)} \quad (5)$$

100年以上にわたる年平均気温の記録は、短期の現象を支配する熱伝達や輻射を超えて、断熱的な効果が第1近似的に現れていると考えられないだろうか。ロングタームのヒートアイランド現象である。

もし、そう考えることができれば、人間活動による熱の発生量は、年とともに指数関数的に増加しており、熱交換(熱の逸散)は速くなく、それが環境に蓄えられつつある、ということになる。

ご意見をお伺いしたい。