

温暖化問題と都市気温－黄河流域気温データの解析

徐 健青 本谷研(地球環境フロンティア) 近藤純正(東北大学名誉教授)

1. はじめに

大気中の二酸化炭素濃度の増加によって地球が温暖化しているといわれている。日本および世界中で観測された気温データを見ると、確かに上昇傾向となっている。しかし、100年間以上にわたって気温が観測されてきた気象観測所の多くは都市にある。近年の都市は人口の密集化、人工熱の増加、植生面積の減少、道路の舗装など、いわゆる都市化されており、気温データは地域的に狭い範囲しか代表しなくなった。つまり、都市では全球的なバックグラウンドとしての地球温暖化とは別のプロセスによって気温が上昇している。この影響は都市計画的な発展の歴史を持つ欧米諸国よりも急速な経済発展と人口過密に特徴付けられる地域(例えば日本・中国を含むアジア地域)ではより大きいと想像できる。

こうした背景から、都市温暖化の影響を除外した、地球全体の地上気温の上昇傾向を正しく再評価すべきである。そのため、本研究では陽だまり効果に注目した解析を行い、気温資料に都市化の効果がどれだけ含まれているかを判断する新しい方法について示した。つまり、年(極値)最低気温の経年変化による解析、長期にわたる観測環境の変化を考慮した年平均気温による解析を行った。ここで言う田舎観測所とは、大部分は気象官署ではない田舎にあって、周辺も広く開けている理想的な気温観測所のことである。以上の解析の結果から、a)長期の気温観測には、これまで言われてきた以上に都市化などの別の原因による気温変化バイアスが含まれること;b)郊外の観測点であっても気温観測点近傍の環境如何によっては大きな温度上昇バイアスを生じることが明らかになった。ここでは中国黄河流域の1950年代から2001年まで、77箇所での日々のルーチン気象データから、年平均気温と年最低気温の極小値の変化率などを計算し、これらの地点の都市化或いは“陽だまり効果”のについて検討した。参考のため、日本、アメリカの解析結果も示した。

2. 方法

気温観測点の周囲環境変化により、グローバルな気温変動とは異なる極めてローカルな気温変動を含むことがある。以下にローカルな気温変動の原因について主なものを列挙する。

(a)都市化によるもの

- (1)建物など地物による天空率の減少
- (2)人工廃熱の増加
- (3)地表面付近の熱的パラメータ(熱容量と熱伝導率の積)の変化
- (4)その他(植生地減少、地上付近の乱流の変化)

(b)陽だまり効果

観測点周囲の地上数メートル以下の高度における風が地物によって弱められ、気温・地温(特に顕著)が高くなる現象を指す。上 a(1)の遮蔽が効かない場合や a(2)の人工熱が小さい場合でも生じる点で、a の都市化の影響と区別した。都市ヒートアイランド現象と異なる点は、郊外・過疎地においても陽だまり効果が起こる場合があることである。

ところで、最低気温の極値を記録するのは冬季の晴天静夜などに理想的な放射冷却が起

こるときだと考えられる。都市化による気温変化としては日中の都市ヒートアイランドによる気温上昇が最も有名であるが、都市化によって a(3) の熱的パラメータが大きくなる場合には a(1)-(3) により、晴天静夜における理想的な放射冷却が起き難くなるので年最低気温(極値)の上昇もまた顕著になる。こうした一例として Fig. 1 に旭川における年最低気温(極値)の時系列を示す。旭川では 1902 年に -41°C の最低気温を観測している。1889 年～1920 年頃には、年最低気温は平均的に -30 から -35°C 程度であったが、最近の年最低気温は -20°C ～ -25°C 程度となった。つまり年最低気温はここ 100 年間に 10°C も上昇し、同期間の年平均気温の上昇量をはるかに上回っている。旭川のような積雪地では都市化に伴い除排雪がより広範囲で行われるようになったことで地表面付近の熱的パラメータが大きくなったことも年最低気温が大きく上昇した一因と考えることが出来る。

そこで、ある場所での年々の最低気温(極値)の上昇量から、その場所での都市化の効果・陽だまり効果の程度を考察することが出来る。こうした目的で極値としての年最低気温の長期変化を解析する。

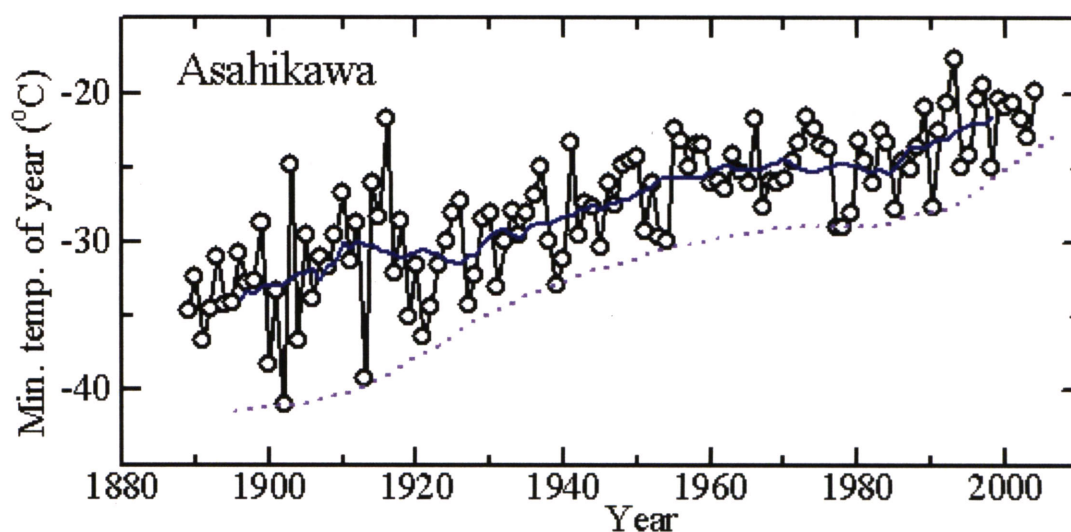


Fig. 1 旭川における年最低気温の経年変化。青実線は長期的傾向、青破線は数十年に 1 回の頻度で発生する極低温の出現傾向を示す。

データ：

中国気象局出版の「地面気象資料月報」^[2]である。使用したデータの項目は日平均・日最低気温、日平均風速である。

判断基準：

- ① 最低気温の年極小値の変化傾向は安定していること；
- ② 最低気温の年極小値の上昇傾向の幅は年平均気温の上昇傾向の幅より小さい；
- ③ 風速の年々変動が小さい。

これらの条件を満たせる観測所では都市化或いは“陽だまり効果”の影響が小さいと判断する。

3. 結果

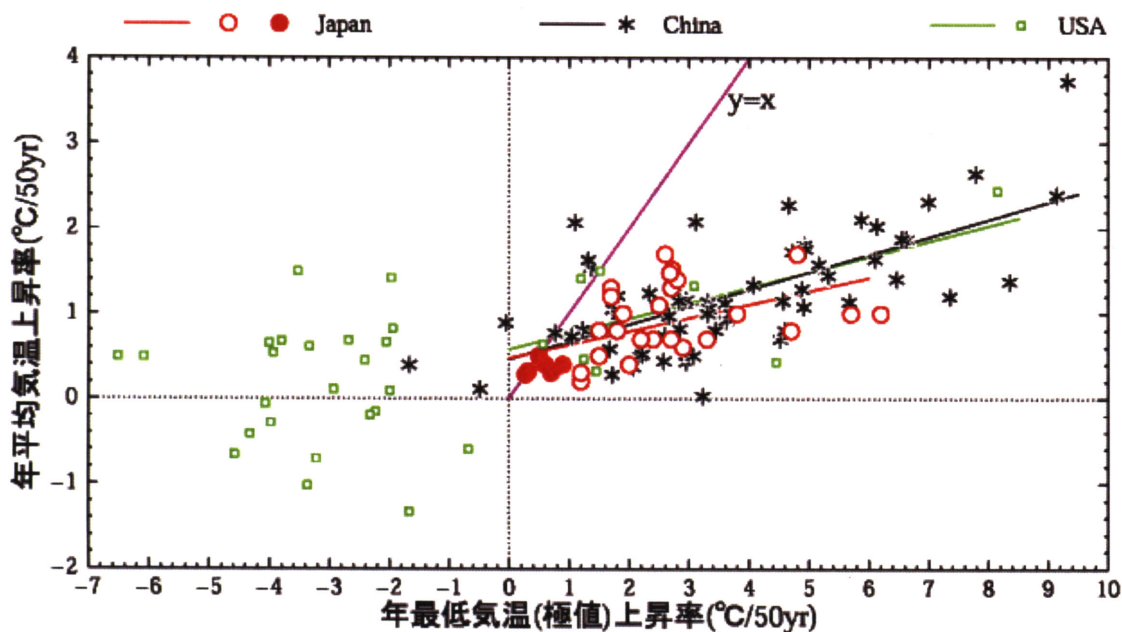


Fig. 2 中国黄河流域, 日本, アメリカにおける年最低気温変化, 年平均気温の傾き(線形回帰)の関係

Fig. 2 において各観測点の最低気温・平均気温の傾きの分布を示した. 100 年間に数度以下の小さい気温上昇があったとしても, 都市化など観測所の周辺環境が変わらなければ気温の日変化・年変化のパターンは変わらず, 年平均気温と最高・最低気温が同じ大ききで上昇すると思われる. その場合, 気温変化パターンは一定なので, 年平均気温と年最低気温の上昇率は一致することになる. したがってそうした地点は Fig. 2 の点線 ($y=x$) 上に乗ることになる. こうした地点では都市化による影響が小さいと考えられる. これに対してより多くの地点では, 最低気温の上昇量の方が平均気温の上昇量を上回っており, こうした地点では都市化による地物の増加などにより冬季晴天穏夜の放射冷却が弱まったと考えられる. 日本・中国について Fig. 2 中におけるプロットの全体の平均的傾向(回帰直線)の傾きは 0.12 から 0.2 程度になっている. これは最低気温の上昇量が平均気温のそれに比べ 5 倍から 8 倍であり, 最低気温が受ける都市化の影響は非常に大きいと言える. またこの回帰直線が縦軸を切る点(切片)は都市化の影響を平均して減じた場合のバックグラウンド的な温暖化量の目安となると考えられる. 切片は日本については $0.2^{\circ}\text{C}/50\text{yr}$ 程度, 中国でも $0.4^{\circ}\text{C}/50\text{yr}$ 程度となっていて, 温暖化による温度上昇量として一般に言われている値よりも小さくなっている. 北米についてはクールアイランド現象があり, これらから都市の影響がない場合のバックグラウンドな気温上昇は大きくとも 50 年間で 0.2 ないし 0.3°C 程度と解釈できるので, 都市化の影響を取り除いた場合これまで報告されていたよりも全球的な温暖化による気温上昇は小さくなるだろう.

陽だまり効果の場合は主に日中の最高気温を上昇させるように働くので平均気温上昇への寄与が大きいと予想される. この場合に気温日変化のパターンが変わらなければ, 最低気温と平均気温の上昇量はほぼ等しくなる. こうした地点は風速または地温の長期変化について精査することで陽だまり効果の程度を確認すべきである. ただし多くの場合陽だまり効果による平均気温変化は観測点周囲改変前後で 0.3 から 1.0°C にもなることから,

気温時系列のギャップと観測点周囲の改変情報を精査すれば確かめることができる。

中国黄河流域の多くの気象観測所では都市化や陽だまり効果が大きい。そのためデータを使用する観測所を選ぶことが重要である。すべての場所では、気温は上昇傾向である。ほとんどのところでは最低気温の年極小値は上昇傾向にある(下降傾向は3箇所のみ)。7割以上の場所では、風速(高さ10メートル)は減少傾向にある。年(極値)最低気温の上昇幅の大きいところでは年平均気温の上昇幅も大きい。年(極値)最低気温の年々変動幅は年平均気温の変動幅よりはるかに大きく、平均して年平均気温の上昇幅の約40倍になる。

都市化或いは“陽だまり効果”の影響を選別すると判断条件を表すパラメータを用いた解析によって調べた結果、全観測点77箇所のうち、都市化と“陽だまり効果”の影響が小さい観測所は全体の1割以下である。これらの場所で平均した年平均気温は1950年代から2001年までに約 $1^{\circ}\text{C}/100\text{yr}$ の上昇である。一方、都市化と“陽だまり効果”の影響を考慮せず、全データから得られた同期間の平均気温の上昇は約 $2.5^{\circ}\text{C}/100\text{yr}$ であった。つまり約 $1.5^{\circ}\text{C}/100\text{yr}$ 程度の上昇率が中国黄河流域の気温変化における都市化の影響の概略値と考えられる。ただし、ここでの上昇量とは単純に一次回帰式で気温変化を表した場合の傾きとする。中国の気象官署では都市化の影響が極めて大きいので、今後今回解析した地点以外の条件に合う観測所を探し出して解析する必要がある。自然の変動としての気温変化をより正確に抽出することが望まれる。

4. 主な参考情報

- [1] 近藤純正ホームページ, <http://www.asahi-net.or.jp/~rk7j-kndu>
- [2] 「地面気象資料月報」, 中国気象局
- [3] Xu, J., S. Haginoya, K. Saito, and K. Motoya, 2005: Surface heat balance and pan evaporation trends in Eastern Asia in the period 1971-2000. *Hydrological Processes*, vol. 19, 2161-2186, DOI:10.1002/hyp.5668.