

# 地球温暖化と都市のヒートアイランド

三上岳彦（首都大学東京・都市環境学部）

## 高温化する都市の気温

地球の平均気温は、20世紀の100年間に約0.6℃上昇した（IPCC, 2001）。一方、東京都心部（大手町）の年平均気温は20世紀の100年間に約3℃上昇している。これは地球温暖化の約5倍に相当する。同じ100年間にニューヨークでは約1.6℃の気温上昇にとどまっており、東京は世界の中でも群を抜いてヒートアイランド化が顕著な都市とすることができる。興味深いのは、ニューヨークやパリの気温上昇が1950年代以降はほとんど認められないのに対して、東京の高温化が戦後も一貫して継続している点である。これは、おそらく日本と欧米の大都市の建造物や都市形態の違いや、それらの時代変化の差異などとも関連があると思われる。

ところで、気温上昇率からみると日最低気温の上昇率（3.8℃/100年）が日最高気温の上昇率（1.7℃/100年）の2倍以上になっている。したがって、両者の差で求まる気温日較差が小さくなる傾向が明瞭に認められる。さらに、季節別に気温上昇率を求めると、東京では冬季（12月～2月）の日最低気温が+4.8℃/100年でもっとも大きく、夏季（6月～9月）の日最高気温が+1.4℃/100年でもっとも小さい

## 人工排熱の増加

ここで、都市が温暖化するメカニズムを考えてみたい。大別すると、二つの要因がある。一つは、都市域での人工排熱の増大であり、もう一つは都市の建造物の変化である。どちらの要因が都市の高温化に寄与しているのかについては議論の別れるところであるが、次にそれぞれの要因について詳しく述べるとともに、ヒートアイランドの緩和策についても触れておきたい。

第一の要因である都市域での人工排熱については比較的理解しやすい。都市域では人口が集中し、エネルギー消費量が増加の一途をたどっている。人工排熱の原因である人為的なエネルギー消費量を正確に求めるのは容易でないが、工場や事業所、住宅、自動車などから排出される熱量は膨大である。東京都の調査によると、1994年度における都内の年平均人工排熱量の推計値は区部で平均1㎡あたり約24ワットになる。東京地域で受けとる年間平均日射量は1㎡あたり約130ワットであるから、東京区部の人工排熱量は日射エネルギーの20%近くにも達する計算になる。都内でも、オフィスビルが集中し自動車交通量の多い都心部では40ワット以上に達しており、局所的には100ワットを越えてほぼ日射量に匹敵するエネルギーを排出している。また世界的にみると、高緯度に位置する都市では、冬季には人工排熱量が日射量を上回ることも珍しくない。

人工排熱は直接大気を加熱して気温上昇に拍車をかける。とりわけ、夏季日中の高温出現時には都心部の冷房需要はピークに達し、エアコンの室外機や高層ビルの屋上に設置された冷却塔からの排熱が気温を上昇させるため、さらに冷房需要を増大させるという悪循環を生み出すことになる。

## 都市の建造物の変化

次に、第二の要因である都市の建造物の変化について考えてみたい。これは三つに大別して考えるとわかりやすい。

一つは、コンクリート・アスファルト化である。コンクリートの建造物やアスファルト舗装道路で覆われた都市の地表面は、森林・草地や田畑・裸地が主体の郊外田園地帯とは、熱容量・熱伝導率な

どの熱的特性、および蒸発効率や反射率・射出率などの放射特性が大きく異なる。例えば、コンクリートやアスファルトは夏季日中に日射エネルギーを吸収してその表面温度はしばしば 50℃を超える。夏の炎天下で暑く感じるのは、日射に加えて高温のコンクリート面からの放射熱が加わるためである。さらに、夜間になってもそれらの表面温度は気温よりも高いため周囲の大気を加熱し続ける。これに前述の人工排熱が加わり、都市部では夜間の気温低下が大幅に抑制される。これが熱帯夜を増加させる主な要因である。

コンクリートやアスファルトが水を通さない材質であるという点も都市の高温化に寄与している。最近、東京では保水性舗装の実験的試みがなされている。透水性舗装の場合は雨水が地中にまで浸透するため、地下水面の低下を防ぐ効果があるが、ライフラインが地下に張り巡らされている都市部では地表面で雨水を保つ舗装の方が好まれるのであろう。ただし現状では保水能力が十分とは言えず、雨が降らない日が続くと効果が薄れてしまう。

都市の構造物にみられ変化の二つ目は、緑地・水面の減少である。東京では多くの中小河川が暗渠化され、改修されて水面の占める割合が大きく減っていることから、水面からの蒸発による気化熱の効果も弱まっていると考えられる。幸いなことに、荒川、隅田川、多摩川といった比較的大きな河川の水面は保全されており、東京湾から吹き込む冷涼な海風を都内に導いてヒートアイランドを緩和する「風の道」としても有効に働いている。水面とともに気温上昇を抑制する効果の高い緑地も戦後著しく減少している。都市化の進展は、郊外では畑地や森林をつぶして住宅地を広げ、都心部では木造の低層建築物からコンクリート造りの中高層建築物への転換という形で緑地の大幅な減少をもたらした。緑地の減少による気温上昇を見積もるのは困難であるが、緑地の存在が周辺市街地の高温化を幾分かでも抑制する効果は十分に期待できる。

一般に樹木や芝生などの植生は、葉面からの蒸散作用で気温の上昇を抑制する効果がある。実際、都内の大規模緑地の一つである新宿御苑で筆者らの研究グループが観測した結果では、夏季の日中に緑地内と周辺市街地の気温差は3～4℃にも達する。日中風が吹くと、緑地内の低温な空気は市街地に流出し、新宿御苑の場合で風下側約200メートルの範囲で2℃程度気温を下げることや、風のない晴天夜間には、芝生面からの放射冷却などで生み出された冷気が、周辺市街地にしみ出して周辺90メートルの範囲で最大3℃の冷却効果があることも精密な観測から明らかになった。

### ヒートアイランドと海風効果

東京の広域のスケールで、東京湾海風と東京のヒートアイランドの関係を解明する試みも行われている。2002年より、東京都環境科学研究所と東京都立大学（現：首都大学東京）が共同で都区内120地点に独自の高密度気象観測システム（METROS）を構築し、その観測データ解析からヒートアイランドの詳細な時空間構造が明らかになりつつある。120地点のうち、20地点では風向風速や気圧も計測しており、海陸風循環と気温分布の関係に関していくつかの新知見が得られた。特に興味深いのは、夏季の場合、都心部を高極とする典型的なヒートアイランドの出現は、早朝の海陸風が弱まる時間帯のみに限定されるということである。日中は南よりの海風による移流効果で、都心部の高温域が北部～北西部に移動するが、海風が河川沿いに流入する東部では日中から夜半にかけて相対的に低温な状態が持続することも明らかになった。東京の場合、夜半まで南よりの海風が吹き続けることもわかった。海陸風は、基本的に陸地と海面の温度差によって生じるが、東京の場合、夜間になっても都心部の気温が高い状態が継続することが多く、このことも海風の形成に大きく寄与していると考えられる。東京に限らず、今後都市化の進展でヒートアイランドが強まれば、同様の現象が各都市で見られるようになるかもしれない。