

地球温暖化防止講演会
東京のヒートアイランド現象と対策
－東京のエリアごとの特徴－

講演録

首都大学東京 都市環境学部教授 三上岳彦

日時 平成19年2月20日
場所 東京区政会館3階35教室

主催
財団法人特別区協議会
首都大学東京 オープンユニバーシティ

この講演録は三上先生にご了承いただいで公開しています。

東京のヒートアイランド現象と対策 —東京のエリアごとの特徴—

首都大学東京 都市環境学部教授 三上 岳彦



【講師プロフィール】

東京大学大学院理学系研究科博士課程終了。理学博士。お茶の水女子大学助教授、東京都立大学理学部助教授・教授を経て現職に。

専門は気候学（気候変動・都市気候）。国土交通省や環境省のヒートアイランド対策委員会の委員を歴任。

都市気候や気候変動に関する著書・論文多数。

きょうは区の関係者の方も多ということで、東京のエリアごとの特徴を少しお話ししたいと思います。

ただ、私の専門は気候学（気候変動・都市気候）ですから、対策について、個別の屋上緑化とか透水性舗装といった工学的なところはお話しできません。大きなスケールで見た東京の地域ごとの特徴に応じた対策についてお話をしたいと思っています。

まず最初に、ヒートアイランド現象とはどういうものか、お話をしておいたほうが良いと思います。

つい最近、IPCC(気候変動に関する政府間パネル)の第4次報告書が出されました。そこでは過去100年の間で地球の平均気温が0.74度上がったという報告がされています。1900年頃から最近まで、顕著に気温が上昇しているわけです。主に二酸化炭素などを中心とする温室効果ガスが増えていることによって、地球の温暖化が進んでいるというのがほぼ共通した見方です。

最近、アメリカのゴア元副大統領が出演している『不都合な真実』という映画が話題になりましたが、二酸化炭素濃度と地球の平均気温を見てみると、地球の平均気温は毎年上がったり下がったりしながら、全体としてはどんどん上昇しています。それに対応するように二酸化炭素濃度も急激に増加しつつあります。地球の平均気温が上がっているのは全部二酸化炭素濃度が増えているせいかということ、必ずしもそうではないのですが、こういったことも一つの裏付けになっているわけです。

IPCCの第3次報告書に、有名なホッケースティック・グラフと呼ばれているものがあり、過去1000年で地球の平均気温はどちらかというと少しずつ下がってきたのが、150年ぐらい前から急に上がり出したと言われています。最近の報告では100年で0.74度上がったと言われているわけです。

が、次の100年にはこれよりもっと上がってしまうのではないかとことです。

そこで、きょうのメインテーマであるヒートアイランドの話に移ります。地球の平均気温は上がっているのですが、都市はどうなのか。

東京の大手町の平均気温と千葉県銚子市の気象台の平均気温を100年ちょっとにわたって比べてみますと、銚子に比べて東京の気温の上がり方は非常に激しい。東京の過去100年間ぐらいの気温の上昇率は約3度です。それに対して銚子の場合は、上がったたり下がったりしていますが、約1度です。100年で1度というのは、日本全国のほぼ平均的な上昇率で、都市のヒートアイランドの影響を除いた部分は大体こんなものだろうと言われていました。

銚子の地方気象台は岬の突端にありまして、周りに建物はほとんどなく、都市の影響をほとんど受けていません。こういうところは100年間で1度という気温の上昇率で済んでいて、東京のような都市はその3倍の上昇率になっているということです。

国内主要都市の気温変動を比較すると、札幌、福岡といった都市も上がっていますが、東京の上昇率は際立って大きいです。

東京の気温は、地球温暖化的なものや都市の温暖化、つまりヒートアイランドの影響が重なって上がっている。そして、銚子の場合はそういう影響がないと仮定して、東京の気温から銚子の気温を引くと、100年間で約2度の上昇ということですから、東京の場合、都市化による気温の上昇率が100年で2度、地球温暖化的なものが1度で、合わせて3度だと考えてもいいと思います。

それから、過去100年間の東京の気温の変化を年平均最高気温と年平均最低気温で見ると、最低気温の上昇率は100年間で3.8度と非常に高い。それに対して最高気温は100年間で1.7度です。最高気温は昼間の気温、最低気温は明け方の気温です。

最低気温が上がっているということは、例えば夏の場合は熱帯夜が増えていることを意味します。実際に東京の都心部、大手町のデータをもとにして熱帯夜の日数を見ると、最近では40日を超えるような状況です。大阪や名古屋はもっと多いです。

今、昼間の最高気温よりも最低気温のほうが上がり方が大きいと言いましたが、100年間の上昇率を季節別に見ると、冬の最低気温が5度近く上がっています。それに対して、ヒートアイランドというよく話題になるのは夏の昼間の暑さですが、こちらは100年で1.4度程度です。

AMeDAS（地域気象観測システム）という気象庁のデータを使って、首都圏の日最高気温を30年ぐ

東京における過去100年間の気温上昇率 1901～2000(但し、12月は1900～1999)

意外にも、冬の最低気温の上昇率が最大

	日最高気温	日最低気温
冬 (12～2月)	+2.1℃	+4.8℃
春 (3～5月)	+1.8℃	+4.0℃
夏 (6～8月)	+1.4℃	+2.7℃
秋 (9～11月)	+1.6℃	+3.8℃

らい前と最近とで比較すると、明らかに気温が高いエリアが拡大しています。関東スケールで見ても、昼間の気温の高いエリアが特に北関東に向かって大きく広がっているという事実があります。

20年前と最近と、夏の2カ月間、5年間の平均の1日の気温変化を比較すると、最近は全体に上がっています。さっき100年では最高気温

はあまり上がっていないと言いましたが、最近20年ぐらいで見ると、昼間の最高気温が結構上がっている。温度の変化の状況に昔とは違った傾向が出てきているということです。

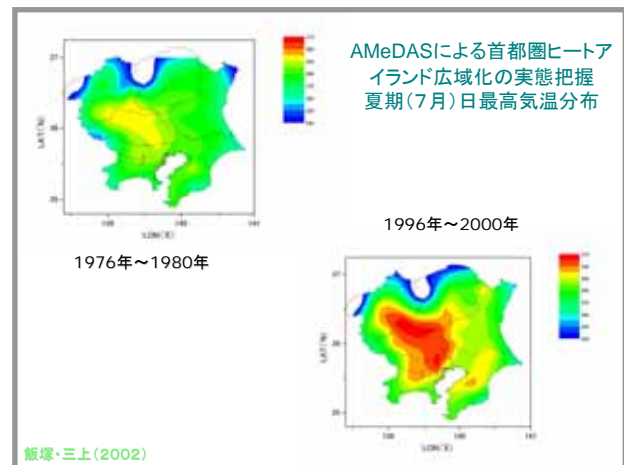
実はいろいろなところでその影響が出ています。夏の昼間の気温が上がることで熱中症の患者が増えたり、オキシダント濃度も上がりますから、光化学スモッグも増加の傾向にあります。間接的には、夏の昼間の高温状態が都市型の集中豪雨の引き金の一つになっていると言われています。

それでは、ヒートアイランドはどうしてできるのか、形成のメカニズムの話をしたしたいと思います。

ヒートアイランドのメカニズムは、簡単に言うと3つあります。1つは、都心部を中心とした『人工排熱の増加』です。東京23区の年間平均人工排熱量は、1平方メートル当たり約24W（ワット）です。あらゆるものから人工的な熱が出ているわけで、車のエンジンからも出ますし、工場とかいろいろなところから出ている。そういったものを全部平均すると、23区で大体24Wだということです。

24Wというエネルギーは大きいのか小さいのかということですが、ちなみに東京地域で受け取る1年間の平均的な太陽からの日射のエネルギーと比べると、大体5分の1、自然の太陽からのエネルギーの20%近くを人工排熱が占めています。これはかなり大きな影響を及ぼしていることになります。局所的には100Wを越すようなところもありますから、太陽からの日射のエネルギーと人工的に出される熱がほぼ同じぐらいということになってしまいます。

2番目は、『都市地表面の人工化による熱収支の変化』、3番目は、『緑と水辺空間の減少』です。これはちょうど裏腹なのですが、都市の地表面はどんどん人工化して、自然の土とか水とか緑がなくなり、コンクリート、アスファルトといったもので覆われていく。このことが都市をまた暑くしている原因になっています。コンクリートそのものは自発的に熱は出さないけれども、例えば夏の日中日射のエネルギーをため込んで、夜になると放熱が起こり、空気を温めて気温を上昇させるわけです。特に最低気温の上昇、熱帯夜の増加というのは、こういったことが大きな原因になっていると考えられます。



それから、都市が人工的なもので覆われるようになるということは、逆に考えると、自然的なもの、緑とか水辺空間といったものが減っているということになるわけです。緑と水の効果の話は後で具体的にお話ししますが、植物は葉の表面から蒸散作用で水分が奪われています。水面からも蒸発ということが起こって、水とか緑が減ることによって潜熱が減少していくわけです。本来、緑や水辺が豊富にあれば気温の上昇を抑制してくれるはずですが、そういうものが減って、気温が上がっているということです。

人工排熱の話に戻ります。さっき都心部を中心に人工排熱が増加しているという話をしましたが、実際にどのような状況か、マップにしたものをお見せします。

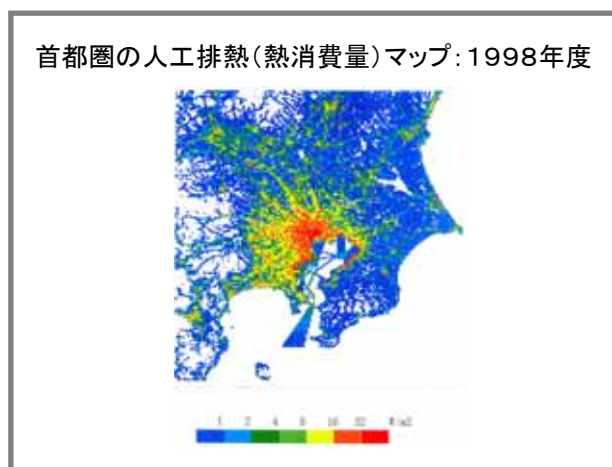
関東地方の1年間の平均人工排熱の分布を見ると、東京の都心部は1平方メートル当たり32W以上となっています。東京の都心部から千葉、横浜にかけて、人工排熱が大量に出されている。それから、鉄道や幹線道路沿いに、放射状に人工排熱が多いところがあります。茨城とか房総半島ではほとんど人工排熱がありません。

人工排熱によって直接大気が温まって、都市を温暖化している。これは地球温暖化とは原因が全く異なるわけです。地球温暖化の場合は、二酸化炭素とかメタンといった温室効果ガスが増えることで、太陽からやってくる熱と地球から出ていく赤外線とのバランスが崩れるという問題ですが、都市の高温化の場合は、人工的な排熱が直接都市を温めているわけです。

ところで、広い関東平野の中で、人工排熱の多いところは、面積的に言うとそんなに大きくないのです。地球温暖化を懐疑的に言う人は、地球の平均気温は気象台の温度を平均していて、気象台は都市に集中しているので、都市の温度を表現しているに過ぎないと言うのですが、それは実は間違いです。確かに観測所は都市にいっぱいありますが、それを単純に平均しているわけではなくて地球の平均気温を出すときは、等間隔になるようにポイントを取って平均を出しています。ですから、地球温暖化で出される気温の中に、都市の影響がどの程度あるかが結構議論になってはいますが、面積から見てもそんなに大きくないでしょう。

2番目の都市の表面の人工化という話はさておいて、3番目に、緑と水辺空間が減少しているから、蒸発による潜熱が減少して、特に夜の気温を上げているという話をしました。緑と水辺空間の効果について、具体例でお話ししたいと思います。

緑は気温を下げる効果が非常に大きいのです。ヒートアイランド対策の一番の基本は緑化、特に

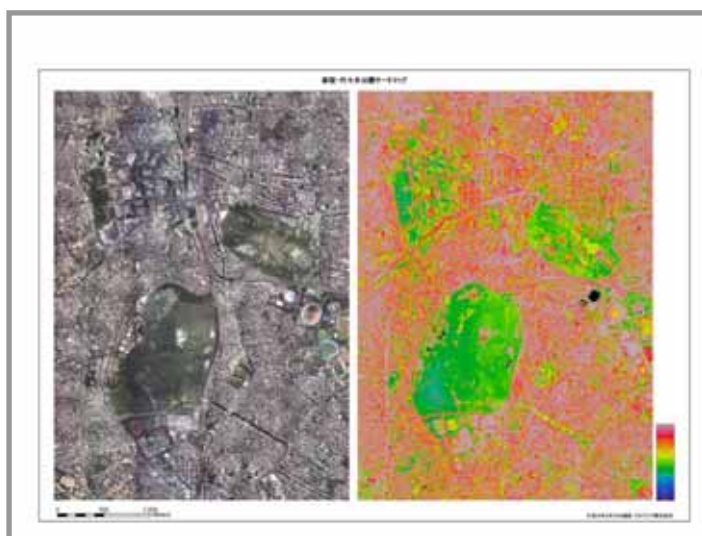


緑地の整備とか拡大だと私は思っています。緑地をどんどん広げていくのは難しいことですが、実は非常に気温の低いエリアが東京都内にもあり、そのほとんどは緑地に相当しています。緑地にはクールアイランド効果があるというわけです。

緑地がいかに気温を下げる効果があるか。一つの具体的な例として、新宿御苑の話をしたと思います。まわりは高層、中層のビルがびっしり建ち並んでいて、その真ん中にぽっかりと緑の空間があります。新宿御苑は面積が58ヘクタールという、都内でもかなり大規模な緑地で、こういったものが存在することで、気温を下げる効果があるわけです。我々の研究グループは10年ほど新宿御苑をフィールドにして、非常に詳しい観測をしてきました。

これは去年の8月にヘリコプターから撮った、表面の温度を示した画像です。新宿御苑、明治神宮、代々木公園といった緑の多いところは表面温度が低く、大規模な緑地は確実にクールアイランドを形成していることがわかります。

この画像で興味深いのは、西口の高層ビル街も表面温度が結構低いことです。一部に新宿中央公園という緑地はありますが、超高層ビルの谷間は表面温度とか気温が結構低くて、そういう意味では一



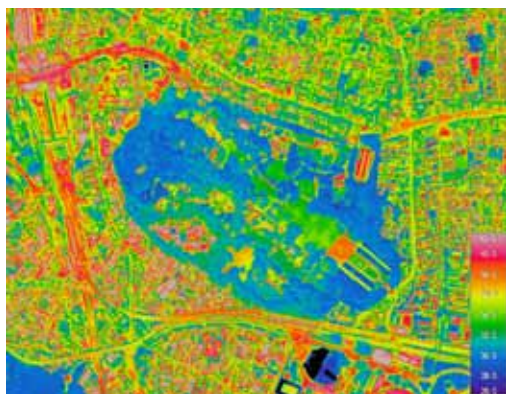
種のクールアイランドを形成しています。高いビルの日陰になってしまうとか、高層ビルの場合、上に向けて空調の熱が出ていますから、低層の家のようにエアコンの室外機が道路に面していて、外に向かって熱を出すということがないわけです。それから、ビル風も含めて風が結構通りますので、高層ビル街は意外と温度が低いという特徴があります。

新宿御苑の話に戻りますと、夏の昼間、一番気温が高いとき、新宿駅の南口のあたりは結構交通量が激しいので高温になっています。それから、JRの線路とかは砂利も熱くなるので、気温が高くなっています。それに対して緑地の中は、一部、建物のあるところとか、砂利が敷いてあるところは高いのですが、全体として低くなっています。特に低いのは樹林になっているところです。ですから、夏の日中、一番温度が低いのは、都市の中では樹林地帯です。樹林面積の大きい緑地ほど気温を下げる効果があります。昨年、東京都内の12カ所、規模の違う緑地で温度の比較観測をやった結果でも、樹林面積が大きいところほど温度が低くなるという結果が出ています。

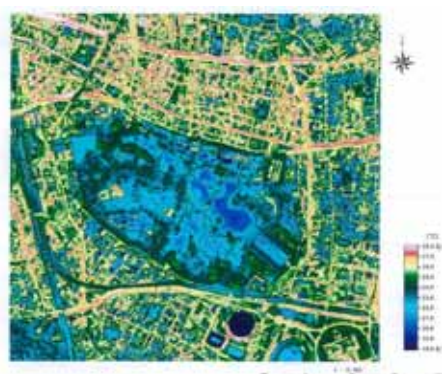
新宿御苑の中でも芝生のところは若干温度が高くなっています。芝生は夏の日中は直射日光を受けますから、40度ぐらいになります。しかし、道路面に比べれば温度は低くなっています。

夏の明け方の4時頃、まだ太陽が出る前で、一番気温が低いときですが、緑地はやはりクールアイランドになっています。つまり緑地は昼も夜も低温なのです。昼間の気温が低いだけでなく、夏の夜も気温が低くなっています。一番低いのは芝生地で、夜になると芝生が一番冷えます。これはどうしてかという、皆さん、放射冷却という言葉をお聞きになったことがあると思いますが、晴れた風の弱い日は地表面から熱がどんどん逃げていきます。特に芝生地では放射冷却が顕著に認められます。明け方の芝生の表面温度が非常に低くなっているのは上にさえぎるものがないということもありますが、熱がどんどん逃げていくわけです。

新宿御苑の熱画像(夏季昼間)



新宿御苑の熱画像(夏季早朝)



緑地のクールアイランド効果を解明しようということで、2000年8月に、新宿御苑の中と、外の市街地にたくさんの温度計を置いて、新宿御苑の中がどれくらい温度が低いか測定しました。昼間と夜で温度変化はありますが、緑地の中は常に温度が低く保たれていることがわかりました。

興味深かったのは、8月4日の場合、夜になっても晴れていて、風がありませんでした。風がない夜間は放射冷却が一番顕著に起こるので、緑地がどんどん冷えています。

このときの温度を見ると、周辺より2.7度も低くなっています。しかも、緑地の中と同じくらい低い温度が周辺にも100mぐらいはみ出た形になっています。これは、緑地があることによって、その周辺にまで緑地の中の冷たい空気が流出するという現象が時として起こることを意味しています。この場合、周辺100mぐらいにわたって冷気が流出していたことがわかりました。大規模な緑地は、緑地から冷気が出てくることで、一種の天然のクーラー的な役割を果します。わざわざエアコンを付けなくても、緑地から涼しい風が入ってくるわけで、緑度を適度に配置するということが非常に重要です。

夜になると放射冷却で緑地から熱がどんどん逃げていって、ある程度冷たい空気がたまってくると、周りに自然とあふれ出していく。これを我々は「にじみ出し現象」と呼んでいます。緑地があることによって、人工的に冷やさなくても、自然に周りが冷えていくということです。

本当に周りに冷気がにじみ出すのだろうか、我々も最初は疑問を持っていました。理論的には起こることはわかっていましたが、実際に空気の流れを確かめた研究がそれまでなかったものですから、超音波風速計という、ごくわずかな空気の流れも感知する機械を4～5台置いて調べてみました。

晴れた夜、空気の流れる向きと速さを調べた

ところ、1秒間に0.2mぐらいずつ、じわっと冷たい空気が流れ出しました。しかもその向きはすべて緑地の中から外に向かっているということで、緑地の周辺は冷気の流出の恩恵をこうむっていることがわかりました。

新宿御苑の北側の市街地にも冷気が流れ出しているわけですが、途中で結構大きな自動車道路が走っていて、そこまでしか行きません。その道路がなければ、もしかしたらもうちょっと流れ出したかもしれません。

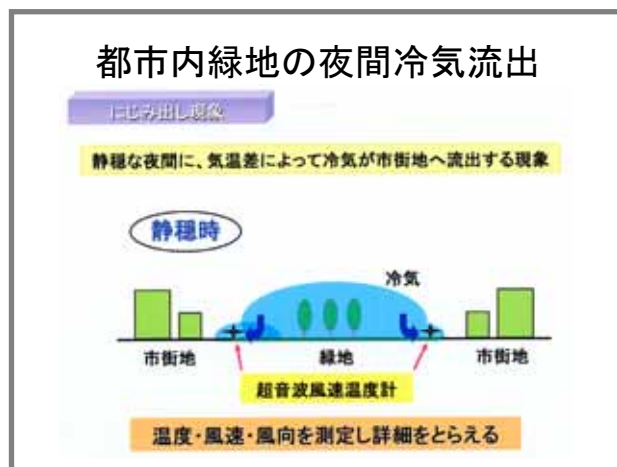
また、新宿御苑の周りにはマンションとか、高さが50～60mのビルが建っています。冷気は道路に沿って流れていきますが、高い建物があるとそれに阻まれて止まってしまいます。

ところで新宿御苑では10年ぐらい前からずっと観測していましたが、東京都内で一番大きな緑地といえばやはり皇居ではないかということで、東京のど真ん中にある皇居がどのぐらいのクールアイランド効果を持っているかということに非常に関心がありました。去年の夏、環境省を通して宮内庁に申請を出したところ、皇居の中で観測してもいいという特別許可が出たものですから、去年の夏から現在まで、皇居の中に観測機械を置いて、継続的な温度観測をしています。

皇居は100haを超す非常に大規模な緑地で、その中の5地点に自動記録の温度計を設置しました。それから、周辺と比較するために、南側市街地の新橋地区にも数カ所、温度計を置きました。去年の8月3日から31日まで、約1カ月間、温度変化を単純に比較したところ、皇居の中は周辺より常に温度が低いということがわかりました。昼も夜も低くなっている。こういう大規模な緑地は昼も夜も気温を下げる効果があるということです。

8月3日から31日までの調査で、南側市街地の平均気温は28.7度、皇居の中は26.7度と、ちょうど2度の温度差がありました。同じ都心部でも緑地の中と外では2度の温度差が出てきたわけです。最大の温度差は4.3度でした。4度というのはかなり大きな温度差です。

気温が1日に変化する特徴を見てみると、昼間は大きくて、明け方はちょっと小さくなります。1日の最高気温が30度以上になる日を「真夏日」と呼んでいますが、1日24時間の中で30度以上に



なっている時間を見ると、この期間中、市街地では201時間、約30%でした。よく新橋のあたりは暑い暑いと言いますが、平均して1日の3分の1は30度を超えているという状況です。それに対して皇居の中は73時間で、11%でした。市街地の約3分の1です。

熱帯夜（気温が25度以下に下がらない夜）の日数は、市街地では8月3日から31日までで21日間もありました。皇居の中は9日間で、半分以下です。ちなみに大手町の気象庁は16日間でした。

明治神宮や代々木公園でも同じような観測をしており、結果的に言いますと、明治神宮、代々木公園と皇居の緑地はほぼ同じ程度のクールアイランド効果があることがわかりました。新宿御苑もほぼそれに匹敵するというので、50haを超す大規模な緑地はクールアイランド効果が非常に大きいことがわかります。

ただ、50haが100haと2倍になっても、温度差は2倍にはならず、ある程度の規模になるとそれほど温度差は大きくなりません。小さい緑地は、クールアイランド効果としては小さいのですが、確実に効果は出ています。そういう意味で言うと、例えば100haの緑地を1つ造るよりは、20haの緑地を5つぐらい造って分散配置したほうが、冷やすエリアとか効果は大きいかもしれません。

都市のヒートアイランドの解明ということについては、今までの話からもおわかりのように、実態を把握することが重要です。事実はどうなっているかということを知らないで、暑いから何とかしよう、とりあえず水をまくかというような話ではなくて、どこが暑いのか、時間的にいつ頃暑いのか。後で話をしますけれども、東京都内が全部暑いのか、それとも西のほうが暑いのか、南のほうが暑いのか。時間的には1日中暑いのか、それとも夜が暑いのか、昼が暑いのか。そういったことを的確に把握しないで、実態や原因がわからずにただ対策をやっても効果はないわけです。

確かに屋上緑化をやれば、やらないよりは少しはましでしょう。道路に水をまけば、そのときは瞬間的に冷えます。しかし、それぞれの現状に応じた対策をとるためには実態を知らなければいけないということです。

話はちょっと飛躍するかもしれませんが、地震が発生すると、直後に各地の震度分布の速報が出ます。ところが、ヒートアイランドにはそんなものはありません。例えば将来、東京のある場所で42度になったとします。そのとき、東京の気温はどこも42度なのか、それともある部分が非常に高いのかというようなことが、本当は速報されるといいわけですが、そういうものはありません。な

8月の皇居内外データの分析結果概要

- ①期間(8/3~8/31)中の平均気温:
市街地28.7°C, 皇居内26.7°C, 平均気温差2.0°C
- ②期間中の気温差最大値:4.3°C
- ③気温差の日変化の特徴:
気温差は朝7時頃最小(約1°C), その後大きくなり, 正午から深夜にかけてほぼ2°C~2.2°C程度で推移する。
- ④30°Cを越す述べ時間数と割合:
市街地201時間(約29%), 皇居内73時間(約11%)
- ⑤熱帯夜日数:市街地21日, 皇居内9日, (気象庁16日)

ぜかという、地震のように大きな被害が出ることはたぶんないだろう、たかがヒートアイランドじゃないかと考えているからです。

本当はそういうものを常に監視する首都圏高密度ヒートアイランド監視システムというものが必要ではないかと私は思っています。これは国や行政の協力ができない話ですが、国や行政に頼っていたのではいつまでたってもできないということで、2002年度から2004年度にかけて、旧都立大学と東京都と共同で、高精度・高密度の気象観測システム（METROS）をつくって、継続的なモニタリングをしました。

気象庁のAMeDASの観測点は、東京23区内に限ると、練馬、東京、新木場、羽田、世田谷区の5カ所しかありません。ただし、世田谷のAMeDASは雨量しか測っていませんから、気温の観測をやっているのは4カ所だけです。さっきの震度分布ではないけれども、これではどこが高いのかわからない、もっと高密度にやろうということで、東京23区と、一部、隣接市も入っていますが、100カ所、小学校の百葉箱を借りて温度を自動記録しました。それから、気象庁のAMeDASと同じようなシステムを20カ所、臨時に設置し、風や気圧も含めた詳しい気象観測を実施しました。

10分ごとに気温を測ったのですが、例えば2002年7月20日から8月31日までの記録を見ると、東京23区で夏の昼間の気温が一番高いのは北西部、板橋区、練馬区、杉並区といったあたりです。逆に低いのは東京の湾岸地域です。このことに関してはまた後でお話をします。

それから、2004年7月8日から9日で、1日の気温がどういうふうに変っているか。これは相対表示ということをしていまして、100カ所の平均気温を取って、その平均気温から何度高いか低いかというふうに表示してあります。7月8日の午前4時の東京都内の気温で一番高いところ、一番低いところが出ています。一番高いところは平均より2度高くて、一番低いところは平均より2度低いということですから、極端な場合、同じ東京都内で4度近く温度差があることになります。

午前4時というと大体最低気温が出る時刻に近いのですが、東京都心部は非常に高くなっています。夜の気温は、東京の都心部、それから南部、大田区、品川区のあたりが高い。逆にその周りは低いです。

風の向きを見ますと、午前4時には、この日は北から風が吹いていました。陸から海に向かって吹く風で、こういう風を「陸風」と呼んでいます。夜から明け方にかけては大体陸から海に向かって風が吹いています。午前7時になると風が弱まっています。

午前9時になると日が出てきますし、風もちょっと吹いています。今度は南から北に向かう「海風」が入ってきて、途端に気温が乱れてしまう。

12時になると完全に気温が乱れて、高いところが北のほうに移動しています。風下側に流されるような感じになっていまして、荒川沿いの江戸川区とか、特に東部が低くなっています。

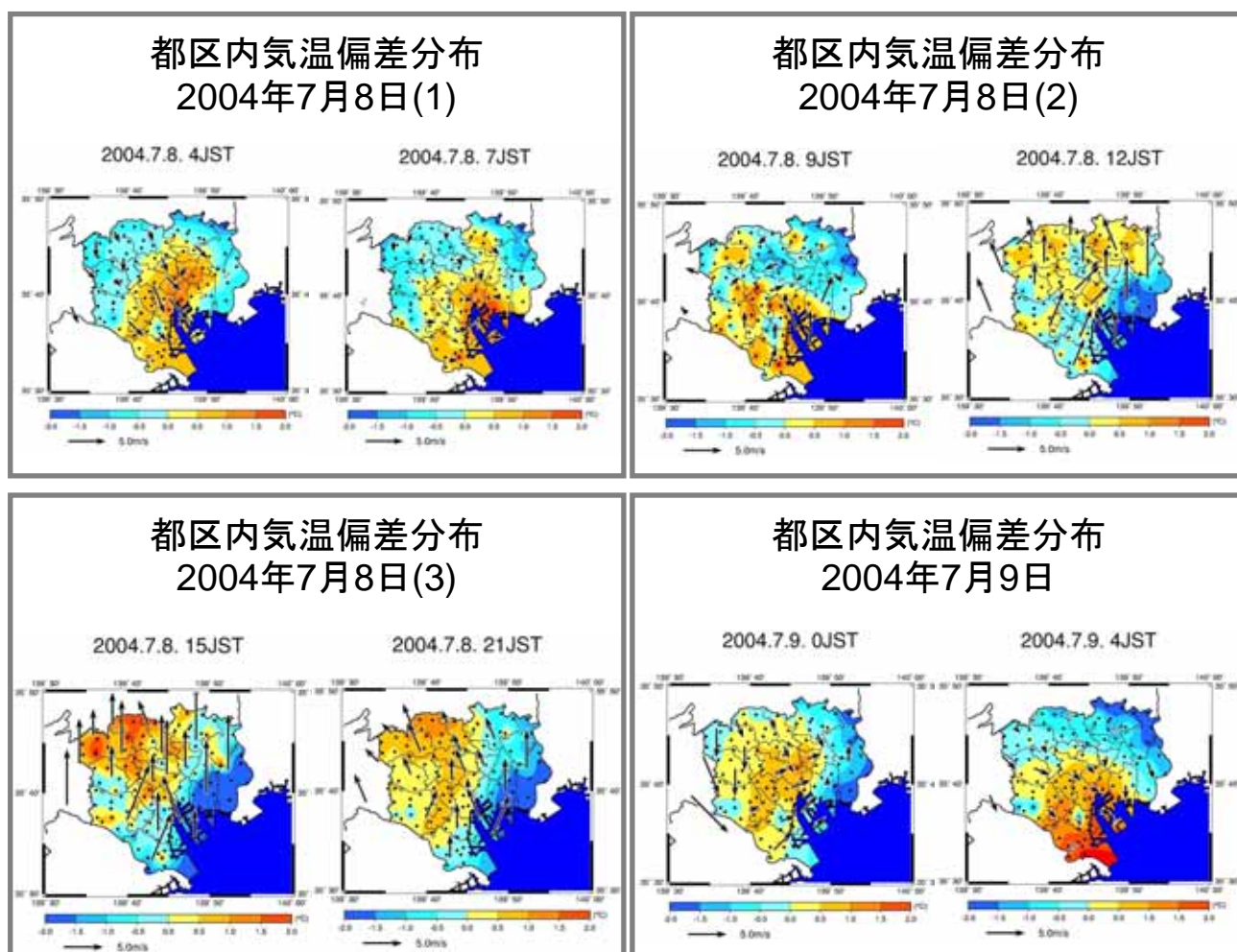
午後3時というのは1日の最高気温が出る時刻ですが、この日は非常にはっきりしていて、都の北西部、板橋区、練馬区、杉並区のあたりが非常に高くなっています。一方、東部エリアは気温が低くなります。風はこの時点で非常に強い南からの風が吹いています。

時間はとびますけれども、夜9時になっても気温の高いところは変わりません。東京の北西部は夜9時になってもまだ気温が高く、東部エリアは相変わらず低い。

午前零時、深夜になってようやく風が弱まって、陸からの風に変わります。そうすると温度が高いところは南に戻ってきます。

そして、朝4時、明け方の最低気温の特徴は、都心部が高いのはある意味でわかるのですが、大田区、品川区といった南部のほう結構高いという特徴があります。

こういうふうに東京都内の1日の温度の変化を見てみると、時間帯によって温度が高いところが変わっていくわけです。昼間の気温は高いけれども夜は涼しいとか、昼間も夜も気温が高いとか、いろいろな組み合わせができています。



今お話しした7月8日午前0時から9日午前0時までの24時間、10分ごとの風と気温の状況を見ますと、気温の高いところが時刻とともに移動していて、それが風向と非常に関係が深いことがわかります。

午前7時50分になると海からの風が南から入ってくるので、それによって気温が乱れてきて、12時を過ぎると北西部に偏ってきます。東部エリアはどんどん冷やされています。北西部はどんどん気温が高くなっています。午後2時、3時頃、最高気温が出る時刻ですが、北西部と東部エリアでは温度差が4度ぐらいあります。午後7時、8時を過ぎてもほぼ同じ状況が続いています。

午後11時を過ぎて、ようやく風が少し弱まって、陸風が入ってくると北西部の気温の高いところが低くなっていきます。

海陸風循環と言って、風は1日の中で陸風と海風が交代するわけです。海は熱容量が大きいので水温の差は昼間も夜もほとんどありません。一方、陸のほうは熱容量が小さいので、温まりやすく、冷えやすい。昼間、どんどん暑くなると、陸のほうの温度が高くなって、海のほうは温度が低いので、温度の低い海から温度の高い陸に向かって風が吹く。これが海風です。温度が高いところは空気が膨張して軽くなって、上に上昇していきます。そして気圧が低くなって、そこに向かって海からの風が吹いていくわけです。

夜になると、本来は陸が冷えてくるわけです。そうすると今度は海のほうが相対的に温度が高くなるので、冷えた陸から海に向かって陸風が吹くわけです。自然の状態であれば、夜9時、10時を過ぎると大体陸風に変わります。夕風とか朝風とか言いますが、海風と陸風が交代するとき風が弱くなるのが風です。広島とか、岡山とか、瀬戸内海のあたりで風という現象が起こりますが、東京では風はほとんど起こりません。深夜を過ぎてちょっと起こる程度です。これはもしかしたら夜になっても東京の陸地は冷えないからではないか。その理由は、昼間温められると、人工的な表面はなかなか冷えないということもあるでしょうし、人工的な原因で都心部は夜になってもなかなか冷えない。冷えなければ陸風は吹かなくて、いつまでも昼間のように海風が吹いている状況が起こっているのではないかと考えています。

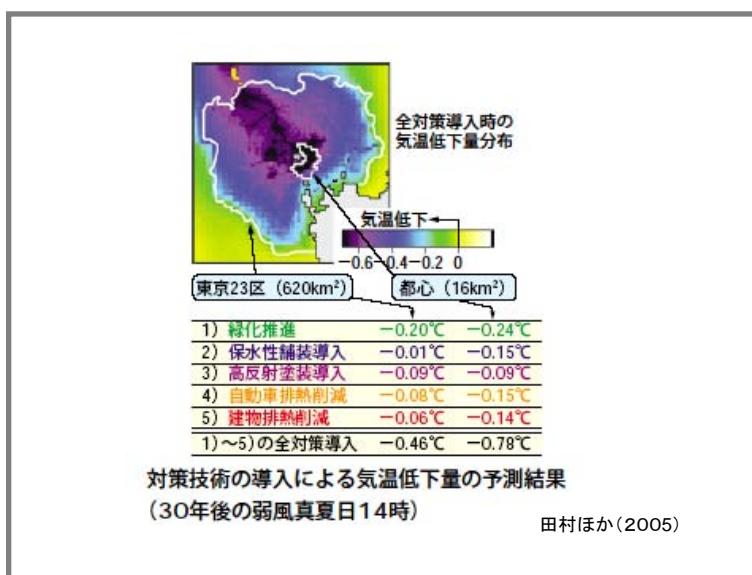
電力中央研究所がMETROSのデータを使いながらシミュレーションを行ったのですが、それと実際の気象がどれぐらい合っているかを検証しました。シミュレーションをやるときは実際に測ったデータが非常に重要です。何かシミュレーションをしても、本当にそうなったかどうか確かめるには、データがないといけないわけです。その点、METROSは非常に詳しいデータがあります。

真夏日の東京23区の気温分布をシミュレーションして、実際の温度と比較すると、一部は必ずしも一致していないのですが、例えば午後2時頃に北西部が高くなるとか、夜8時になるとこの辺が高いとかいうのは、シミュレーションでも出てきているわけです。こういうふうには計算結果と観測結果が合っているということになると、いろいろ条件を変えて、いろいろなシミュレーションができます。例えば緑地をこの辺に10%増やしたら、温度はどこでどういうふうになるかというようなことが予測できるわけです。

ここでは導入シナリオというのも行われています。個別対策としては、緑化の推進、保水性の舗装の導入、高反射性塗料の導入、自動車排熱削減、建物の排熱削減などがよく行われています。緑化は屋上緑化と地上緑化がありますが、ここでは両方を含めて緑化と言っています。

このシミュレーションでは非常に極端なことを想定して、15年後、30年後にどれぐらい効果が出るかというようなことを計算しています。ただ、これはかなり現実的な対策を想定しています。例えば15年後に全屋上の7.3%を緑化するとか、地上の緑化は市街地上で2.2%増やすとか、そんなに非現実的な話ではありません。そのほか、15年後に都心エリアの道路の14.5%を保水性の舗装にしたらどうなるかとか、そんなことも計算しています。

導入対策をやったら30年後にどのぐらい温度が下がるのか、対策によってどのぐらい気温の低下効果があるのかということですが、特に都心16kmのエリアに限って言うと、緑化の推進によって0.24度下がるという結果が出ています。保水性舗装を導入すれば0.15度、高反射性塗料で0.09度、自動車や建物の排熱削減で0.14度下がる、最終的に全部を入れて



て30年後には0.78度下がるということが計算上出ています。これは電力中央研究所のホームページで見ることができます。

これを見ると、緑化推進が一番効果が大きいんです。いろいろな対策の中で一番効果があるのは緑化です。もちろん保水性舗装も少しは効果がありますが、30年後で、東京23区エリアでの効果は0.01度しかありません。高反射性塗料の導入とか、いろいろありますけれども、緑化が一番効果があるということが言えます。

ところが、残念なことに、METROSのシステムは2004年で終わってしまいました。それで、23区内だけでは足りないのではないかということで、一気に首都圏全体にエリアを広げて、昨年5月から200カ所で新たな観測を開始しました。これを我々は広域METROSと呼んでいます。これは東京都と組んでやったわけではなくて、このエリアの6つぐらいの大学の研究者が自発的に観測を分担して実施しています。これだけの数の温度計を設置するだけでも大変ですし、データを回収しなければいけないので結構大変ですが、そういったことを手弁当でやってもらって、データを取っています。

その結果の一例ですが、去年の夏、午前5時、最低気温が出る時刻、それから、午後2時、最高

気温が出る時刻の首都圏の状況を調べました。200カ所の平均の温度と比べて何度高いか低いかを見ると、午前5時には、東京都心部から南部にかけて、非常に明瞭なヒートアイランドが出現しています。それから、若干、北のほうにも伸びています。

そして、温度が高いところに向かって、風が少しずつ流れ込んでいます。

午後2時になると全く状況は変わってきます。さっき東京の北西部は気温が高いと言いましたが、むしろ埼玉県の南部のあたりが非常に高くなっています。夏の午後、埼玉県北部の熊谷市が非常に気温が高くなることは有名で、熊谷まで連続するような高温域が東京からずっと続いています。

今回の観測でわかったことは、神奈川県湘南地域は昼間かなり温度が下がるということです。これは相模湾海風という、相模湾から直接入ってくる非常に大規模な海風の効果で、湘南地域だけではなくて、東京の西部から、場合によっては埼玉の西部まで、大規模な海風によって冷やされるわけです。それから、千葉の側も結構涼しいです。

2005年9月4日に、杉並豪雨と呼ばれる、1時間に100mmを越すような大雨が降りましたが、夏季の日中に高い気温のエリアで時々集中豪雨があります。これももしかしたらヒートアイランドと関係するのではないかと。このようなときは大気が非常に不安定で、北から冷たい空気が来て、南から台風や熱帯低気圧による温かい空気が流れ込み、ちょうどこのあたりでぶつかっているんです。

2001年7月18日には、同じく杉並とか練馬など、都の北西部に雨量が60mmを超える大雨が降りました。ここは昼間の気温が高いエリアです。こういうところで集中豪雨が発生しやすいわけです。さっき言いましたが、相模湾からの海風は非常に強力です。それから、鹿島灘のほう、太平洋から来る海風も強いんです。それに比べると東京湾は内湾ですし、ここから来る風はそれほど強くなりませんが、三方向からの海風がぶつかるとう上昇気流が強められ、集中豪雨をもたらすわけです。

それから、ここ10年ぐらいよく言われていることですが、汐留のビル群が海から来る風を弱めているのではないかと話があります。ビル群が衝立のようになって、新橋周辺の気温が高くなる。それから、風の流れも変わってしまいます。ただ、高層ビル群の中の温度は意外に低いし、風も通ります。ところが、風下側で風が弱まって、温度が高くなるという現象が起こります。

東京都内にはいろいろな風が吹いています。皆さん、「風の道」という言葉を聞かれたことがあると思います。海風、陸風というのが大きな規模で吹いていて、昼間は海風、夜から明け方にかけて、東京の場合は非常に弱いですが、陸からの風も吹いています。それから、さっき言った緑地からの「にじみ出し」というものもあります。山沿いでは、昼間は、「谷風」と言って、平野から山に吹き上がる風があります。夜は山の上から平野に吹きおりてくる「山風」というものもあります。

「風の道」というのはもともとドイツで使われていた言葉で、山の上から冷たい風が吹いてくる

ところに都市があると、そこが冷やされるということで、山風を利用して都市を冷やしたり、空気の汚染を防ごうということが行われています。東京の場合は山が遠いということと、海風のほうが強力であるということで、海風を利用しようという話があります。

海風ばかり言われていますけれども、陸風にも注目していいと思います。夜から明け方、陸のほうから吹いてくる風は結構涼しいし、東京の北西部あたりの高温は、陸風によって少し冷やされるということもありますから、こういったものも使うのも効果があるかもしれません。



次に、エリア別の話をしたいと思います。

これからのお話は私の専門とはちょっと違うのですが、観測の結果からこんなことも言えるのではないかとということで、参考までにということにさせていただきたいと思います。

東京都内でも昼と夜で温度の上がり方、下がり方がエリアによって違うのではないかとということで、基本的には1日の温度変化に注目して、東京を大雑把に、東部エリア、北西部エリア、都心部エリア、南部エリア、世田谷・武蔵野エリアという5つのエリアに分けてみました。

東部エリアは、荒川・江戸川・隅田川周辺地区、北西部エリアは、練馬区、杉並区、板橋区のあたり、都心部エリアは、都心3区を含む東京のまさに中心部、南部エリアは、大田区、品川区あたりを中心としたエリア、そして、世田谷・武蔵野エリアは、世田谷区と、一部、目黒区、それから一部の市域を含むあたりです。

5つのエリアの代表的な地点の1日の温度変化を比較してみました。2004年8月の1カ月の平均を見ると、都心部エリアはほかの地域に比べて昼も夜も特に気温が高いです。

東部エリアは、昼間の気温が一番低い。都心部エリアと比べると平均で2度ぐらい差があります。ただし、夜は都心部とあまり変わりません。昼間は低いいけれども、夜から明け方にかけてはそんなに下がらないということです。

北西部エリアは非常に特徴的で、夜から明け方にかけて一番温度が下がって、24度を切っています。ところが、昼間は都心部エリアとほとんど変わらないぐらい高くなっている。このエリアは、昼間だけではなくて、夜8時、9時過ぎまで結構気温が高いのですが、夜半から明け方に向かって急速に温度が下がって、明け方が一番低くなってしまいます。

世田谷・武蔵野エリアは、目黒区も含めて、昼も夜も気温が低い。

南部エリアは、日中の気温は低めですが、夜は都心部と同じぐらい気温が高いという状況になっ

ています。

まとめですが、エリア別に夏の気温の1日の変化を見ますと、都心部エリアの特徴としては、昼も夜も暑いので、30度を超える夏日的な時間帯も長い。皇居を除いて、一番気温が高いのは都心部です。

東部エリアは、昼間の気温は23区内で最も低いが、夜間の気温は意外に高い。

北西部エリアは、1日の気温差が大きい。昼間暑く、夜涼しいということです。

世田谷・武蔵野エリアは、昼も夜も気温は低めです。都心部エリアと逆です。

南部エリアは、日中の気温は低めだけれども、熱帯夜は多い。つまり夜の気温は結構高いということです。

これは無理やり23区を5つのエリアに入れましたので、中心的なエリアと両方にまたがっているところがあります。これからお話しするのはあくまでもこういう傾向があるということで、この区は完全にこうだという話ではありません。大雑把に言うところな特徴がありますということなので、そこはちょっと注意してください。

これからのお話は、1日の気温の変化の特徴、地表面の特徴、人工排熱の状況、自然条件、そして対策というふうに分けてお話しします。

まず、都心部エリアですが、中央区、千代田区、港区、これは中心的なエリアです。その周辺エリアとして、新宿区、渋谷区、文京区などがあります。ですから、最初の3つと後ろの3つはちょっと違います。

このエリアは、気温については、1日の最高気温、最低気温ともに高いです。

地表面の特徴としては、全部がそうではありませんが、中高層ビルが結構密集しているし、人工表面が大半である。ただ、大規模緑地もあ

ります。まず皇居がありますし、新宿御苑もありますし、文京区には小石川植物園があります。

人工排熱で言いますと、このエリアは都内で一番人工排熱が多い。都内最大ということは日本最大ということで、日本最大ということは、もしかしたら世界最大かもしれません。

自然条件としては、海風の影響が弱いです。

対策としては、海風が弱い原因がどこにあるかというのが問題です。都市計画的なところでは、風の道を確保すれば改善の余地もあるだろうし、この地域は人工排熱が多いわけですから、人工排熱を削減するというのがこのエリアにとっては一番重要だと思います。特に都心3区では人工排熱

都心部エリア

- 中央区・千代田区・港区・新宿区・渋谷区・文京区など
- 気温日変化: 日最低気温、日最高気温ともに高温
- 地表面特性: 中高層ビル密集、人工表面が大半であるが、大規模緑地もある
- 人工排熱: 都内最大
- 自然条件: 海風の影響弱い
- 対策: 風の道の確保(都市計画)、人工排熱削減

を減らさないと、対策といってもなかなか効果が出ないのではないのでしょうか。もちろん緑化も重要です。都心部エリアには大規模な緑地がありますから、そういうものを有効活用することも重要です。

東部エリアは、江戸川区、葛飾区、足立区、江東区、墨田区、荒川区、台東区など、荒川とか江戸川、隅田川といった大きな川の周辺地域ですが、この地区では、1日の最高気温はあまり高くなく、最低気温は意外に高いという特徴があります。

それから、地表面の特性としては、河川沿いにあるということもあって、比較的low層の建物が多い。高層ビルはほとんどない。川の面は結構フラットなので、全体としては凹凸の少ないエリアだと思います。

人工排熱は、東京都内ではたぶん中程度ではないのでしょうか。

自然条件としては、日中、東京湾からの海風が河川沿いに進入してきます。この効果で、このエリアは昼間の気温が上がらなくて済んでいるわけです。荒川という非常に幅の広い、河川敷の広い川があります。川の面はフラットで、そこに沿って風が入ってきますから、このエリアは川のおかげで昼間の気温がそれほど高くなりせずに済んでいると言ってもいいぐらいです。

対策については、もともと川があるわけですから、風の道は確保できているのですが、さらに緑化を推進し、建物密度をもう少し減らしてやる。特に足立区のあたり、密集した建物があるところはどうしても気温が高くなりやすく、特に夜の気温は下がりにくいという観測結果が出ています。そうはいつても、実際に建物を減らすのは無理かもしれません。

北西部エリアは、さっきから何度も話が出てきていますがけれども、練馬区、中野区、杉並区、この3つが中心的なエリアで、それに加えて、板橋区、豊島区、北区といったエリアになります。

1日の気温の変化を見ると、最高気温が高く、最低気温は比較的low。昼間は暑いけれども、夜は冷えるというエリアです。

地表面の特徴としては、これは一概には言えませんけれども、比較的low層住宅地で、結構緑が多いですね。

東部エリア

- 江戸川区・葛飾区・足立区・江東区・墨田区・荒川区・台東区など、荒川・江戸川・隅田川周辺地区
- 気温日変化: 日最高気温はそれほど高くないが、日最低気温は意外に高い
- 地表面特性: 河川沿い、低層建物
- 人工排熱: 中程度
- 自然条件: 日中、東京湾からの海風が河川沿いに進入する
- 対策: 緑化推進、建物密度の低減

北西部エリア

- 練馬区・中野区・杉並区・板橋区・豊島区・北区など
- 気温日変化: 日最高気温は高いが、日最低気温は比較的low
- 地表面特性: 低層住宅地、比較的緑が多い
- 人工排熱: 比較的low
- 自然条件: 東京湾からの距離が遠く、河川も無いため、海風が進入しにくい、夜間は陸風の効果あり。都心からの熱の移流も加わる
- 対策: 緑化対策推進(校庭芝生化、街路樹整備など)

人工排熱も、都内では比較的小さいです。

ですから、普通に考えると、緑が多くて、人工排熱が少ないのに、なぜ昼間の気温が高いのかということになります。自然条件として、東京湾からの距離が遠くて、荒川のような河川もないということで、海風が川に沿って入ってくるという状況もないわけです。それどころか、海風が入ってくる経路のところに高いビルがあったり、市街地で熱源があるということで、海風が進入しにくいわけです。ただ、夜は関東平野の北のほうから吹いてくる陸風によって冷やされるので、結構気温が下がっています。昼間は都心からの熱の移流も加わり、北西部エリアの風上地域には新宿副都心地域から都心3区が控えているわけですから、そういったところの熱が運ばれてくる可能性もあるわけで、昼間は気温が高くなります。

対策は、緑化をさらに推進していくことが重要です。昼間の気温を下げるには緑地を増やすことで、例えば校庭を芝生化する。これは杉並あたりでは一部実施されています。それから、街路樹を整備するといった形で緑化を推進していくことが重要ではないでしょうか。

世田谷・武蔵野エリアは、世田谷区、目黒区、西郊市部といったあたりですけれども、気温の1日の変化は、最高気温、最低気温ともに23区内では一番低い。

地表面特性としては、低層住宅地で、緑が比較的多いです。

人工排熱も23区内で一番低いです。

自然条件としては、西のほうにありますから、東京湾からの海風が直接入ってくることは少ないのですが、相模湾海風が吹いてくる効果はあるのではないのでしょうか。むしろこちらの影響のほうが大きいかもしれません。

世田谷区の下北沢とか三軒茶屋とかのエリアは今、市街地化が結構進んでいるということで、住宅が密集して緑が減少している傾向があると思います。特に大きな緑を持った屋敷が相続などで切り売りされて、これから緑がどんどん減ってくると、東京都内では一番条件のいいエリアが、だんだん都心部エリアに近付いてくる可能性はあると思います。対策については緑化を推進していくことが必要です。

最後に南部エリアですが、大田区、品川区のあたりは、さっきも言ったように最高気温は低めです。東京湾からの海風の効果で、東部エリアと同じで海に直接面していますから、昼間は低めですけれども、最低気温は都心部エリアと同じぐらい高めになっています。

地表面特性は、中低層の住宅や工場等が高密度に分布しています。

世田谷・武蔵野エリア

- 世田谷区・目黒区・西郊市部
- 気温日変化：日最高気温、日最低気温ともに比較的低い
- 地表面特性：低層住宅地、緑が多い
- 人工排熱：都区内ではもっとも少ない
- 自然条件：東京湾海風の影響は小さいが、相模湾海風の影響も受ける
- 対策：東部では住宅地の密集化で緑が減少傾向。緑化の推進

人工排熱も都区内では相対的に高いということ
とで、そういったようなことがこのエリアの夜
の気温を上げているということです。

自然条件としては、午前中から昼間にかけて
は東京湾からの海風が進入しやすいのですが、
夜から明け方になると結構温度が上がってくる。

対策としては、これはどこのエリアにも共通
していますが、このエリアも緑が少ないですか

ら、緑化の推進が重要でしょう。低層で密集化した建物をある程度高層化して、風の道を確保する
というのも一つのやり方かもしれません。同じ容積比率でもう少し空間を広げて、風を通してやる
ということが考えられます。

これで私の話を終わりたいと思います。どうもありがとうございました。（拍手）

南部エリア

- 大田区・品川区
- 気温日変化: 日最高気温は低めだが、日最低気温の高さは都心部エリアと同程度
- 地表面特性: 中低層の住宅・工場等が高密度に分布
- 人工排熱: 都区内では相対的に高い
- 自然条件: 午前中から昼間にかけては東京湾海風が進入しやすい
- 対策: 緑化の推進が肝要。低層密集化した建物をある程度高層化して風の道を確保

《 講演録作成協力 》

首都大学東京 大学院都市環境科学研究科

地理環境科学専攻 気候学研究室

地球温暖化防止講演会
東京のヒートアイランド現象と対策
－東京のエリアごとの特徴－
講演録
発行：平成19年5月28日
財団法人特別区協議会
〒102-0072 千代田区飯田橋3-5-1
東京区政会館4階
TEL 03 (5210) 9051
FAX 03 (5210) 9873
編集協力：首都大学東京オープンユニバーシティ