

【第120回 定期講演会 講演録】

日時：平成18年7月13日

場所：東海大学校友会館

都心のヒートアイランド現象について

独立行政法人 建築研究所
上席研究員 足永 靖信

足永でございます。今日はヒートアイランドということで、講演をさせていただきたいと思います。

■ヒートアイランド対策の経緯

先ずヒートアイランドに関しての昨今の情勢ですけれども、ヒートアイランド現象というのは随分昔から学会などでも議論されてまいりましたが、社会的に急激な動きは今世紀に入ってからでした。先ず2001年の10月に環境省がヒートアイランド現象というのは都市の熱大気汚染であるという見解を公表しまして、これが皮切りではなかったかと思えます。その後内閣府の総合規制改革会議でヒートアイランド現象の解消と明記しまして、それを受けて、政府が2002年3月に規制改革推進3ヶ年計画を閣議決定しました。そこで国としてヒートアイランド対策に取り組むということを決め、環境省・国土交通省・経済産業省などの総合対策会議が設置されました。そして、2004年3月にヒートアイランド対策大綱ができ、いわば政策的にヒートアイランド対策に取り組むという政府としての施策上の方針の取りまとめをこの時期に行い、国策に重要なステップを経由したことになります。これを受けて国土交通省が2004年7月にヒートアイランド現象緩和のための建築設計ガイドラインを通知したりとか、或いは東京都のヒートアイランド対策ガイドライン、大阪府も出しておりますけれども、そのように国の省庁或いは自治体などが、対策ガイドラインを作っていくという状況になっているわけです。

■ヒートアイランド現象とは

ヒートアイランド現象とは何かについて述べます。都市気候額の権威ランズバーク博士が、その著書でリュックハワード氏がヒートアイランド現象の第1発見者ではないかと言われています。ロンドンで1820年頃気象の研究者であったリュックハワード氏が雲の観察をしていた。都心部と郊外、資料ではカントリー、ロンドンと記載されていますが雲の観察と同時に気温もメモ書きしておいた。このように2.04とか1.69とか温度差が出ております(P.143)。その後彼はこのメモを出版したわけです。それから暫く経ちヒートアイランドという言葉が出てまいりました。ヒートアイランドという用語の記載は1958年の英文誌に初めて見られますが、その他の場面でもっと早く使われていたかも知れません。ヒートアイランドというのは、このように都市を中心としまして、沢山気温をいっぺんに計っていく。移動しながら温度をどんどん拾って行き、同じ温度の箇所を線で繋げていきますと、まるで海に浮かぶ島のような、中心が盛り上がったような分布になるということでヒートアイランド(熱の島)と呼ばれています。リュックハワードさんはヒートアイランドという言葉自体はつくらなかったけれども、発見者は彼であるということになっております。国際的な都市気候の学会でもリュックハワードさんは尊重されており、リュックハワード賞というのを設立しましてヒートアイランド研究に貢献がある人に対して賞を贈っているというふうに聞きます。

■都市とヒートアイランド

このヒートアイランドは、その後世界各地で観測され、どうやら殆どの都市で存在しているということが分かってまいりました。我が国でも観測事例が幾つかあるわけ

です。ヒートアイランドの強度ということで、これは都市と郊外の温度差です (P. 144 上段)。特に温度差がつくような時間とか季節を選び、色んな都市で計っていく、そして横軸を人口にしてヒートアイランドの強さをプロットしてみたということです。その結果分かったことは、どうやら小さいまちでも人が集まって住みだすとヒートアイランドは存在するらしいということと、都市の規模或いは人口などが増えていくに従って温度差も段々ついてきてしまうということが統計的に言うか、観測事例を全体的に眺めて見ると、そうらしいということになったわけです。北米・ヨーロッパ・日本・韓国ではこのようになっており、これをつくった段階では北米が凄くヒートアイランドは強いという経緯になっておりますが、これはあくまでも目安で、時には日本が飛び抜けて欧米よりも強くなるということもあるのではないかと思いますけれども、とにかく都市に人が集まると万国共通に気温が上がることが分かっているということでございます。

■熱帯夜について

ヒートアイランドに関して、東京の熱帯夜日数を調べて見ますと、このように年々増えてきている (P. 144 下段)。熱帯夜というのは、日の最低気温が25度を下回らない日を指します。これは元々気象用語ではなかったのですが、一応気象庁も統計資料として整理してございます。この熱帯夜日数が20世紀初頭では数日出ていた、或いは全く発生しないという年も多かったわけですが、1940年50年あたりからどんどん増えだし、現在は40日ぐらいまで増えてきたということです。熱帯夜になりますと東京都庁に電話を掛けて、暑いのは都政が間違っているのではないかと苦情を言う人がいるようです。都市計画の失敗のために熱帯夜が発生しているのではないかとという意見です。そうしますと都庁も対応しなければならぬと考え、熱帯夜日数を減らしますということを行行政目標にして、緑化とか様々な事業をやり出すということで、対策ガイドラインを最近つくったという状況です。

こちらは環境省の調査ですけども、30度を越える延べ時間数の分布図です (P. 145 上段)。日の最高気温が30度を越える日を真夏日と言いますが、それを突破する時間数が年間どれぐらいだろうというのを調べたものです。そうしますと、この20年の間に時間数は非常に増えてきていることが分かります。30度を越えて長々と暑いという現実があり地域的にこういう広がりの中に

私達は生活しているということで、各方面でこの現象が問いただされるきっかけになった図でございます。

■地球温暖化とヒートアイランド —ヒートアイランドの実態—

地球温暖化とヒートアイランドの関係が時々議論になります。地球温暖化の状況を知るには世界中の沢山の気温のステーションの中から極力都市の影響を拾わないような、所謂地球全体の気温を計上するためのステーションを選ぶ必要があります。人類が気温計測を行っていない時代に遡るには氷床コアから推定するのか、段々ざっくりとした評価になってくるわけですが、少なくともこの千年の間で見ますと、気温はこのような平坦というか、それほど変わらない状況であったわけですが (P. 145 下段)。ところがこの100年ぐらいで、地球の温度が0.6から0.7度ぐらい上がってきております。この温暖化問題に対応しなければならないということで、世界中で検討策が練られているということです。

ではヒートアイランドはどうかと言いますと、例えば、札幌・仙台・東京・名古屋・京都・福岡ということで、このような大都市が大体100年間で2度から3度ぐらいは上がっているということでございます (P. 146 上段)。大都市平均ですと2.5度上がっていたということになります。地球全体が0.6から0.7度ですから、それと比べると明らかに大きな変化であるということで、これがヒートアイランドの方が温度上昇が激しいと言われる由縁です。日本の中で17都市の所謂標準の気温の観測点がござります。この17都市のデータが先ほどの地球温暖化のデータとして使われているわけで、それで見ますと、日本の平均的な温度上昇は100年間で1度ぐらいです。やはり大都市の方が温度上昇が大きいということになります。

1月、8月と見ますと、1月は3.2度。8月は1.8度ということになりますから、都市による温度上昇は夏よりも冬の方が大きいということが分かります。巷では夏暑くなりますとヒートアイランドのせいではないかということになるわけですが、実際にデータをとりますと冬の方がヒートアイランドは強く出て、温度上昇は激しいということが出ているわけです。又日最高温度、日最低温度を見ても日最低で上がるということです。例えば東京の日最低温度は3.8度で、4度近く100年間で上がったということになります。一方日最高気温は1.7度しか上がっていないということで、夜の温度が激しく上がり、

冬の温度が激しく上がる。一方夏或いは日中はそれ程でもないというのが実際のところ。なお、中小都市の、中規模の都市というのは具体的に申しますと、水戸などが東京近辺では相当しますが、水戸も立派な都市とも言えます。先ほど日本の平均的な温度上昇は100年間で1度ぐらいと申しましたが、この1度というのが実は水戸レベルのヒートアイランド効果を含めた1度であることも付け加えておきたいと思えます。

■世界のヒートアイランド

これはローレンスバークレイの研究所が整理したデータでございますけれども（P. 146 下段）、この10年間の温度上昇ということで、一番右側が東京で、10年間で0.3度ぐらいです。ロサンゼルスとかサンフランシスコ、オークランドとか色々の都市がありますけれども、東京よりも温度上昇の激しいところもあるし、そうでもないところもあるということになっております。ただ、何れにしても地球レベルよりも各世界の主要都市の温度上昇は顕著なものになっており、ヒートアイランドは世界的な現象といえるわけです。また上海は温度レベルは10年間で0.1ということで、あまり高くないけれども、過去10年と未来の10年では上海の温暖化のスピードもかなり変わってくるのではないかと、ひょっとすると東京並に膨れ上がるという予見もあるわけです。

■ヨーロッパで発生した熱波について

ヒートアイランドは世界的に見ますと日本が一番熱心という感じです。IEAという国際機関が国際会議を2004年6月に開いたのですけれども、その時にこの東京のサーモグラフィの絵がちらしに使われました（P. 147 上段）。これはCooling Buildings in Warming Climateという副題にあるように温暖化する気候の中で建物を冷やせというシンポジウムだったわけです。

このシンポジウムが国際的に何故企画されたかということと考えますと、その前年度2003年にヨーロッパで熱波が発生したことが挙げられます。熱波が発生した2003年と、その前の年2002年、人工衛星から温度分布を拾い、その差をマップ化したものです（P. 147 下段）。この赤くなっている箇所では2003年が通常に比較して特に暑かった領域であることを示しており、15℃ぐらい人工衛星の画像で見ると温度が高くなっています。

パリの夏場の最高気温が大体25度ぐらいと言われておりますので、25に15を足しますと40℃になります。ですから、熱中症の患者も何千人というスケールで発生して、当時は大騒ぎになりました。元々冷房装置が住宅にそれ程普及してませんので、扇風機を買い求める人が殺到したとか、特に高齢者が救急搬送されたりとか大変だった。

こういう事件が起きまして納涼なヨーロッパにおいても熱の問題が取り沙汰されるようになってきたということです。今年の8月には国土交通省とIEAが共催で、東京でヒートアイランドの国際ワークショップが開催される予定になっております。そこではヒートアイランドに関わるヨーロッパやアメリカなどの研究者或いは行政の方々が集まり、ヒートアイランド問題について国際的に議論する場を設けるというふう聞いております。

■ヒートアイランドの問題点 —エネルギー消費—

ヒートアイランドの何が問題なのだろうということを考えてみたいと思えます。気温感応度という指標があります（P. 148 上段）。1℃上がりますと南関東で電力の供給量が大体160万KWぐらい上昇するというのが言われております。この160万KWはどんなものなのかと言いますと、中型原子炉が大体80から100万KWの発電容量を持っておりますので、中型原子炉2基を余分につくらなければいけなくなるわけです。或いは火力発電所を新設するためには3000億円が必要です。1℃の変化は馬鹿にならないという気がします。因みに東京都の環境保全費、公園を整備したりゴミを集めて燃やしたり、そういうものに年間300億円使っているわけで、その300億円と同程度のコストが1℃上がることによって消えていってしまうということになるわけです。ですから、公園を整備してヒートアイランドを弱体化させますと、こういう負の影響も消えていくということになるのではないかと思います。

東京の最高気温と先ほどの東京電力の供給量をプロットするとこのようになります（P. 148 下段）。20℃ぐらいが電力が最も小さくなって、そこから温度が上がって行きますと、先ほどの気温感応度分だけ電力が上がって行くことが分かります。これはエアコンを使うということが大きいのではないかと思います。一方冬は夏ほどではなく、1℃あたり50万KWで、夏場と比べ1/3ぐらいの傾きになります。冬になり外気温が低くなると電力が増えますけれども、冬は暖房の機器が電気ストーブの他に、石油ストーブを使ったり、ガスストーブを使

ったりで、必ずしも電力に頼らないわけです。夏、冷房は電気を使うエアコンが主体ですから、夏と冬でこういった傾きの差が出てくるということです。

これは東京電力の資料ですけれども (P. 149 上段)、昔の電力、1968年です。高度経済成長の頃、毎月の電力は現在と比べると少ないし、あまり月変動がなかった。年を追うに従って夏場にピークが出てくるようになっていきます。そのレベルがどんどん上がってきて、最近では冬の電力消費も増えてきました。冷暖兼用のエアコンが普及して、今は二山になっております。電力のレベルも今から30数年前と比べますと、非常に高くなっているということです。ただ、このピークに対応する形で発電所はスタンバイしないと拙いので、ピークのところで容量を設定しています。ところが、他の季節では余って勿体ないということになるわけです。そのような負荷率、稼働率を年々調べますと、電力9社平均の負荷率は1950年代が70%超だったのが、今や55%のレベルまで落ち込んでいるということです (P. 149 下段)。ですから、気温を上げてしまうということは、このようなエネルギーの供給、ピークカットの問題からも懸念されるわけです。

■体感温度

そもそもヒートアイランド現象を皆さんが体感するのは暑いという感覚に他なりません。日射を浴びる、或いはビルから日射が乱反射して人間に当たるとか、地面が高熱化して熱を浴びてしまう。人体はそれに伴って汗をかいたり、或いは人体から周辺の空気に対して放射或いは対流で熱を逃がす。人体の熱バランスを維持する上で体表面温度や深部温度が変化して暑く感じるという、メカニズムがございます。

体感温度が快適というのは大体25℃ぐらいで、体感温度が上がって30℃、40℃となってくると不快さが増して40℃を越えるとこれはもうもたないということです。そのまま街路に立っておりますと熱中症、何らかの生理的疾患を伴うことになるわけです。都市の気温や湿度、放射など環境を計測してその値を人体の生理モデルに入力すると、体感温度を数値で出すことが出来ます。ただ、ここで示しているSET* という指標は室内の指標で、屋内で使われている体感温度モデルを外にも適用して取り敢えずの目安としているということです (P. 150)。

■熱中症

熱中症が今増えてきています。年齢別に熱中症を調べた事例ですけれども (P. 151 上段)、先ず年齢層が低い幼児が車中閉じ込めで死亡するというケースがあり、そこから年齢が上がるに従って段々上昇してきます。15歳ぐらいが活発に外で運動したりしますので、その時に事故に遭うことがあります。男性女性で見ると男性が圧倒的に多いことが分かります。男の方が外で野球をやったりサッカーをしたりとか活発なのでしょう。一方、40代の労働者が屋外で作業をして熱中症になってしまうというケースも多いようです。40代をピークにして段々下がりますが高齢になると熱中症の発生率は増えていきます。平均寿命の関係もあり、女性の割合が増えてきているけれども、ともかく高齢者に熱中症が多発していることは言えます。割と屋内で熱中症になる方が多いみたいです。東京では熱中症がこの20年間で倍増しており、都市の遮熱化が引き起こしているのではないかと指摘されております。

一昨々年が凄く気温が上昇して40℃近くいったと思うのですけれども、熱中症の救急搬送された人数はこの図で示した数値の更に倍になって800人を越えています (P. 151 下段)。実際にお年寄りが熱中症になるパターンは、夜間室内で発症するケースが多いです。加齢のためトイレが近くなるということで、水を飲まないで済ますという人が割と多いらしい。加えて自分の体温が上昇していることに感覚が鈍って、その結果何ら対応もしない、水も飲まなかったということで熱中症になってしまうケースが結構あると聞いております。

このように熱帯夜日数、真夏日日数が増えますと死亡者数も増えてくる資料も存在します (P. 152 上段)。温度が上がってきますと、人間に対して影響があるということですから、真夏日よりもむしろ熱帯夜と相関が高いということが分かります。昼間瞬間的に暑いという熱のショックよりは、じわじわと暑いのが続くと、死亡者数もそれに付随して増えてくるというのが統計的には出ていると言われております。先ほどご紹介した環境省による30℃以上の時間数の分布は、生活感覚をとらえたものであると言えます。

■大気汚染

これはダストドームということで、ヒートアイランドが発生して熱の固まりで対流しているわけです (P. 152

下段)。横から風が吹いてきても、対流の渦の中に入れてなくて、上を通り抜けてしまう。そうしますと、都市で発生した色々な汚染質がその中でグルグル回り、何時まで経っても都市の外に出ていかない。川崎からそのようなダストが発生したとしたらどうなるかということで、このように東京を中心に汚染質が抑留され汚染質が各地に辿り着く様子がを計算で示されており (P. 153)。

また、アメリカのローレンスバークレイでも大気汚染とヒートアイランドの関係が検討されており。オゾン濃度は光化学汚染の源となるものでして、ナショナルスタンダードで数値が決められています。30°Cを越えますと環境基準を上回るオゾン濃度が発生しやすくなるのが分かってきています。まだ日本では大気汚染と気温の関係について、整理する段階には無いわけですが、何れ日本でもこのような観点から検討が必要になるのかも知れません。

■生態系

冬の高温化のリスクということで、デング熱の感染と生態系という話がございます (P. 154 上段)。感染症専門の先生にお聞きしたところ、夏よりむしろ冬の温度が高くなるとリスクが高まってくるのではないかと仰っていました。冬の気温が閾値を超えて高くなるとデング熱などの感染を媒介する蚊が越冬するというふうになります。成田空港の周辺で蚊を千匹ぐらい集めて、ウイルスに感染してないかチェックしているらしいですが、海外から何らかのきっかけで国内の蚊にウイルスが入ってしまうと冬を持ち越して第2世代、第3世代とウイルスを保有して受け継がれてしまう。かなり問題があるということで、冬の気温が閾値の10°Cを越えないことが大事であるということです。10°Cというのは日本では、鹿児島、宮崎あたりの南九州が今の北限であると言われていて、これが都市圏に北上してきますと重大な影響が懸念されます。先ほどの気温データで見ましたように、東京の冬の温度がここ100年間で4°Cぐらい上がって、現在の東京の冬の温度からこの調子であと100年間温度上昇しますと9°C~10°Cのレベルまで上がってまいります。こういった問題を本気で議論しなければいけない時期が来るのかも知れません。

■ヒートアイランドの功罪

ヒートアイランドの人・環境に及ぼす影響を便益でプラス、マイナスで分けします (P. 154 下段)。冷房においてはヒートアイランドが起きては困るということでマイナスのマークをして、冬はヒートアイランドがあると暖房負荷が減って良いということでプラス。熱中症とか脳卒中とか色々温度というのは我々の生活に関わってプラスとマイナスが様々あるわけです。まだ分からないことも沢山あります。これをもってヒートアイランドは問題なのかということを考えますと、今一つよく分からないということにもなるかも知れません。ただ、少なくとも夏場暑くて困っているのは確かなことで、熱帯夜が発生し、それを解消して欲しいと思うのは皆誰も一緒でして、問題となっているところはどんどん対策を進めれば良いのではないかというのが私の意見です。ヒートアイランド現象は大都市で顕著で、そして夏場生じると色々困ることが沢山あるということであれば、夏場大都市を中心に対策を講じていく、その辺が取り敢えずの方ではないかなと思っているわけです。

■高温化のメカニズム

では都市が何故高温化するかですけれども、これはそのポンチ絵で、元々森だったのを都市にしたということになっており、木をどんどん切ってしまったということです (P. 155 上段)。気化熱で自然に気温を下げる効果がある緑が失われてしまった。その代わりに道路或いは建物をつくっていったわけです。アスファルト、コンクリートは気化熱を持っていませんので、日射を浴びたらそのまま温度が高くなって50°C、60°Cになってしまうということで、ヒートアイランド化の大きな要因となっております。

また私達が都市生活を豊かに暮らしたいということで車を使ったりとか、或いは空調をしたりします。都市の外から都市の中へ持ってくる主なエネルギーは、電気、ガス、油、石炭です。その地域に降り注ぐ日射だけでも相当な熱量なのにそれに加えて地下から掘って、或いは海外から輸入して都市に持ってきて燃やす、そういう人工エネルギーが都市空間に最終的には熱として出ていて、都市を暖めていく。

空が見える割合を天空率と言い、障害物がない開けた土地では最大100%となります。東京23区では建物が密集しているので、天空率の値は50%程度しかありません。すると夜間冷却が妨げられるので熱帯夜の要因になります。その他、建て込んでくると都市空間の風が弱くなり、

熱が澱んだ状態になります。都市の温度を上げる方向に働く様々な効果が積み重なってヒートアイランド化しているのではないかと思います。

例えば家の中でクーラーを使いますと、室外機から外に熱が出ていきます (P. 155 下段)。いわば締め切った部屋の中で私達は沢山の冷蔵庫を抱えているようなもので、冷蔵庫の中は確かに冷えているけれども、電力消費を伴う冷蔵庫が何台も置かれている部屋の中は排熱がこもって暑くなってしまいます。そういう都市になっているということです。生活をする上で炊事をするにしてもお風呂に入るにしても、とにかくエネルギーが必要で、エネルギーを使ったら、それは外に熱として出ていく。自動車であっても或いは工場であっても所詮はエネルギーを使って、色んな形は取りますが、最後は熱として都市空間に放出されて行くと、そういうことがあるわけです。

■都市活動とヒートアイランド

人の摂取エネルギーというものがあります (P. 156)。170cmの人で63kgとしますと、事務職の場合1日に2000kcalのカロリー計算となっております。その採ったエネルギーも結局外に熱として出ていきます。大体一人100Wぐらいの熱源になっているということで、私達もヒートアイランド現象の要因であったということになります。

コンサートホールとか或いはデパートとか、人が沢山集まるような建物では通常の建物より強力な冷房装置が入っています。人が集まる地域では車も行き交うので人工排熱が集中してきます。都市に放散される人工排熱をマップ化するとこのようになります (P. 157 上段)。丸の内、新橋或いは渋谷、池袋といった、人が集まるどころ、人が沢山行き交っているところの人工排熱量が大きくなっていることが一目で分かるわけです。またピンポイントに、例えば湾岸近辺で高まっているのが発電所であったり、環八周辺で点在しているのが清掃工場であったりするわけです。このような熱を全部足し合わせますと、東京23区に降り注ぐ日射量の20%ぐらいの熱量に相当するということが最近の調査で分かりました。

■都市の被覆について

ランドサット衛星から東京を眺めると、東京23区は

このように赤くなっており、緑が少ないことが分かります (P. 157 下段)。新宿御苑とか大きい緑が点在はしていますけれども、緑被率が小さいことが一見して分かるわけです。まちに出てサーモグラフィで眺めて見ますと路面が47~8℃まで上がっている様子が分かります。人々の頭が赤くなっていますけれども、これは日射が当たって頭のとっぺんが赤くなって歩いているわけです (P. 158)。街路樹は青く出ております。このように50℃、60℃に熱せられた舗装の上を都市空間では歩かざるを得ない。

このように公園がありますと、或いはこれはプールの水面だと思うのですが、水とか緑の表面温度は低い。河川の温度も水面ということで温度が低いことが分かります (P. 159)。建物の屋上温度が高い割に建物の壁面温度はブルーです。夏場は太陽が真上から照りつけるのに対して、側面は余り日射が当たらないということで、日射量に応じた表面温度分布が形成されているのです。またこの時期は冷房もしていますので、壁面は冷房によって冷やされる効果が加わります。これは屋上緑化を施した建物の屋上ですけれども、屋上緑化の冷却効果により屋上の表面温度が30~40℃に維持されていることが熱画像から分かります。その近くの一一般の建物ではアスファルト仕上げの屋根が見えますけれども、こういうところだと温度が50℃以上になっております。屋上を緑化した建物を都市内にできるだけ増やしていけばヒートアイランド緩和の効果はあがってくるのではないかと考えております。

ある雑誌に載っていて面白いなと思ったのですが、日本全体で使われるコンクリートを1960年から日本全体に一律に敷き詰めていったとしますと76.8mmの厚みに達するとのこと (P. 160)。因みに日本全体ではなく、都市のDID面積に集中させると2.5mの厚さということで、都市に2.5mの厚みのコンクリートがドーンとあるようなものです。それだけ緑を無くして、道路、建物をつくってきたということです。

大体30年ピッチで都市の建物の高さは高くなってまいりました。1930年には市街地建築法で所謂百尺制限というのがございまして、30mぐらいが上限だったと言われております。それから霞ヶ関ビル、こちらが1968年建設だったと思いますけれども、100mレベルまで上がり、1990年代になりますとランドマークタワーで300mということで、近未来は1000mとか2000mとかいうような色んな予想が行われています。最近では建物の高さを正確に計るレーザーの計測装置が普及し、東京のオフィス街は30mきっかりで建っている建物がとても

多いことが分かっています。

百尺制限が制定された1930年と現在で水・緑はどれぐらい変わったか集計して見ます (P. 161)。23区全体の面積の40%に相当する水・緑は当時と比べて無くなってしまいました。練馬などの周辺部分が殆ど田畑だったのが宅地化され、水・緑が失われたということで、都心よりもむしろ周辺部分の土地利用の変換が激しいということが分かります。ともかく40%ですから相当な量だと言えると思います。

■熱の管理

環境省で整理しているのは、そのような都市の改変、エネルギーの消費、そういうものが結局大気に対して何ワットぐらいの熱として出ているかを、道路や建物を含めて地域全体で集計して、その数値をもってヒートアイランドの指標としてはどうか、つまり地域から出る熱量を出来るだけ減らす都市づくりにはどうかという提言です。23区で出ている熱の内訳を出しました (P. 162 下段)。これは総合規制改革会議でヒートアイランド対策を議論したときに、そもそも都市の中で一体何がヒートアイランドに寄与するのか割合を示して欲しいと要望があり集計してみたのです。結果的には人工排熱と被覆が半分ずつぐらい寄与しているということが分かりました。被覆だけ改善しても不十分、人工排熱だけでも駄目で両方をやらなければいけないわけです。

人工排熱の内訳を調べてみますと、建物と道路と工場、このようなバランスになり、やはり建物も道路もやらなければいけない。少しずつ皆寄与してヒートアイランドの発生原因になっているということが分かります。東京23区の全体面積に対して宅地面積が占める割合は56.6%です (P. 163)。ですから今保水性舗装とか公園緑化とかヒートアイランド対策で政府が色々対策を講じているけれども、そこはあくまでも公的なところで、一生懸命やっても40%未満のところ。殆どは個々の建物レベルでやっていかないと面的には間に合わないことが分かるわけです。東京の地面の半分以上を宅地が占有し、人工排熱の半分も建物が占めているということで、ヒートアイランドの発生は建築の寄与が極めて大きいということで、個々の建物の対策或いは建物の集合体としての都市計画の寄与が大変重要であると言うことができます。

■クールルーフ

Cool Roofという最近の技術についてお話します (P. 164)。私達の目は非常に沢山の色を一瞬にして見分ける非常に良いカメラレンズです。実際波長レベルは凄く狭くて380から780ナノメートルぐらいの波長しか見ることはできないわけです。この狭い波長帯を介して太陽熱の半分が地球上にどんどん降り注いでいることが分かります。一方そこから外れた人間の目には見えないところも結構あります。これは近赤外と言い、日射が地球に到達する熱の残りの半分ぐらいを占めているということです。Cool Roofという技術は、人間の目には見えない近赤外の熱を跳ね飛ばしてしまおうという技術です。Cool素材とStandard素材で、見た目は殆ど変わらない。先ほどの可視光、380から780ナノメートルの領域では同じような反射スペクトルをもっているのだから色合いとしては全く同じ。ところが近赤外域に入りますと、劇的に反射率は高めるように工夫しており、いわば人間の目には見えない熱については反射性を高めているのがCool素材です。

アメリカでは環境保護局のEPAという機関があり、Cool素材を建物に適用したら夏冬通してどれぐらいの経済的メリットがあるか試算している事例があります (P. 165)。このように各主要都市、寒いところも含めて、程度の差はありますが、Cool素材を導入した方が得になるという結果が出ています。ロサンゼルスの場合ですと、大体Directで\$100Mと、Directというのは空調負荷が減るということで、夏冬通して\$100M有効であると。Indirectというのは\$70M、これは建物が集積してヒートアイランドが緩和されることによって、地域全体の省エネが広がるという効果がIndirectです。Smogはオゾン濃度の低減など大気汚染が軽減されることによる経済的なメリット。それが\$360Mで、こちらが大変大きいことが分かります。この試算を基にCool素材による便益を国全体で集計すると大変大きな金額になります。この数値を政府に研究所が提案し、Cool素材は各州で積極的に導入されていると聞いております。日本でもこういうものを導入したら良いのではないかといい声もありますけれども、既に東京都の屋上緑化の対策なども義務づけられていますので、そういったものと相俟って普及していくのではないかと思います。

■熱的な環境容量

環境問題を分類すると自然起源型の環境問題と人為起源型の環境問題というのがある (P. 166)。例えば火山噴火による環境問題は自然起源で、人間が関係しているわけではないわけです。人為起源ですと農業を使ったり、ヒートアイランドとか人間のせいで発生する環境問題。もう一つの見方に汚染型と容量型がございます。汚染型は化学的物質など微量に存在するだけで環境問題が発生するようなものです。容量型は自然界にありふれて、例えば熱とか光とか、それが段々増えて、ある容量を超えると環境問題になってしまうといったものです。このような2つの軸から様々な環境問題を考え、ヒートアイランドはこの辺ではないかと位置づけてみました。ヒートアイランドは人間由来の容量型の問題と考えられるわけです。

環境の容量というのは何だろうと考えて見ます。都市の周りを境界で区切り、この境界の中で発生している沢山の熱があるわけです。被覆だったり或いはエネルギー消費であったり、色んな熱が都市で発生していて、それを和らげるために海風が吹いていたり或いは緑が配置されたりという吸収源がございます。環境容量が地域でどれぐらいあって、私達は今どれぐらいの熱を出して、限界はどの辺なのかということを考えなければいけない。

今までは省エネルギーの観点から見ますと、一番目の供給段階、つまり発電所なりでどれぐらいのエネルギーを或いは石炭とかの化石燃料を日本列島全体で使ったのかと、これが地球温暖化問題としては大事だったものだから、それを一生懸命集計してきました。ヒートアイランド問題ですと、その都市内でどれぐらいの熱が出るのか知らなければならないということになり、集計の仕方も従来の地球温暖化とは違った集計の仕方にならざるを得ないということです (P. 167)。それをこのような石油、天然ガス由来からずっと熱の経路を追って行き、最終的に大気に出ていくのを追っていきますと、熱の流れをつかむことが出来ます。この中で私達はどのようなエネルギーフローを目指すのかということが大事になってくるわけです。例えば、福島県で発電して東京に持ってきて使うのが良いのか、東京の臨海部に発電所を設置してコジェネレーションで熱をやりくりしながら発電もする形式が良いのか、或いは冷却塔を積極的に使って水蒸気で飛ばした方が良いのかとか、そういう熱源システムをどうすると都市の熱はどうなるのだという話を議論する必要が出てくるということです。

そのようにして集計してみますと大体2000TJぐらい1日に東京23区全体では熱が出ております (P. 168 上段)。都市の熱的な環境容量に達しているからヒートアイ

ランド現象が存在しているという見方もできるわけで、今後ヒートアイランドの切り口からもエネルギーの問題を考えていく必要が指摘されているわけです。

■風の道

都市で熱が発生して環境容量をオーバーして、気温が上がると申しました。発生した熱量を希釈する意味では都市の周辺に存在する海とか山からの風を使うと、気温が低下すると期待されるわけです (P. 168 下段)。例えば、私達が昼間出かけて夕方帰りますと、部屋の中で熱がこもっており、窓を開けて先ず外気を入れて気温を下げると思うのですが、都市も熱がこもってしまいますと、暮らし辛いわけで、風を取り入れるような、そういう都市の構造を検討する必要があるというわけです。

ドイツ技術者協会VDIという協会があります。そこで風の道の定義が行われています。Luftleitbahn、Luftが空気、leitが導くという意味です (P. 169)。bahnはアウトバーンのbahnで、道そのものです。これは、方向或いは表面構造の性質やその幅から地表付近の大気運搬に優先される土地。風の通り道ないし換気路と称される。シュツットガルト市が右上に存在しており、シュツットガルト市に吹いてくる風の流れを地図の上にこのように表記しています。周辺の山岳部から冷気が集まって道になって市街地の方に流れてくるということが調査から分かり、障害となるような建設行為は慎みましょうということをシュツットガルト市が決めたということです。

冷気流のイメージとしては、低所を使って流れる水のように冷気が浸みだしてきて、都市に段々入っていくというイメージです (P. 170)。厚みが大体70mぐらいだと言われています。この緑の部分が風の道の部分でして、この右側にシュツットガルト市があるわけですが、こういうところには建設行為は規制されております。中には子供部屋を削られた家もあると聞いており、かなり強い規制が係っているということです。

建築研究所の風洞で模型を並べて、そこにある一部を高層化させると、風や気温はどうなるかということ調べた実験です (P. 171)。このように風が右から左に流れますと、風が高層建築の後ろ側では殴んでしまうことが見て取れるわけです。気温と一緒に計ってみますと、高層建築が建つ前に比べると建つ後は高層建築の後ろ側の気温が大きく上がっていることが分かります (P. 172)。逆にサイドは高層建物のビル風が発生して風が強まり気温が下がるということが分かります。鉛直

分布で見ますと、やはり高層建物の後ろ側は高層建物と同じくらいの高さまで温度が高くなっていることが分かります。その効果は段々離れて行きますと小さくなっていくと、こういうことが実験から分かるわけです。

これは汐留の環状二号線の建設に伴って、風環境がどう変わるかということ調査した事例です (P. 173)。現状というのはシオサイトが建った後、現在の汐留地域を風洞模型で再現して、地域の風はどうかということと、環二再開発モデルとは環二道路と併せてその地域の高層化を図るプランでありこの時の風も調べます。現状と環二再開発の風速の違いを図にしてみます (P. 174)。これを見ますと赤と青が出ていますけれども、全体的に赤い色が目立っていることが分かります。これは何を意味するかというと、環二再開発によってその地域の風速は増加したということです。新橋の建物が密集している地域を容積600%ぐらいに大幅にあげると共に建ぺい率を40%ぐらいに削減して、地面を空けるような開発プランにしているわけです。

現在のシオサイトに向けて海から風が吹き込む。そうするとシオサイトで跳ね上がった海風が市街地の上を通過して、市街地部分で風があまり吹いていない状況が分かるわけです。シオサイトに回り込む風が見えますが、そのシオサイトの背後の市街地では風速が弱くなっていることが実験で分かるわけです。これを未来模型としてこのように地面を空けるようにした。すると環二を中心としてオープンスペースをつくっておりますので、現状よりも風通しは少し良くなっているということです。さらに仮想の話なのですけれども、風上のビル4棟を取り外してみます。海風がストレートに市街地の中に勢いよく入っていく。建て方によって都市空間の風の流れは随分変わることが分かります。従来はビル風ということで、どちらかと言うと市街地に高層建物が1棟建て、何処に強い風が発生するかということを探すと作業を1970年以降やっていたのですけれども、最近このような超高層の建物が群となって密集すると、弱風の領域が大体1km以上に渡るのです。風が弱くなる場所を焦点とする新しい調査の視点が出てきたとすることができるわけです。

■地球シミュレーター

地球シミュレーターというのはスーパーコンピューターを600台、CPU5千個収納している巨大な計算装置です (P. 174 下段)。50m四方ぐらいの空間にスーパ

ーコンピューターを全て収納しており、スーパーコンピューター同士を繋ぐため床下にコードが沢山収納してございます。1ヶ月にかかる電気料金、冷房代が1億円かかると聞いております。地球シミュレーターは2001年に世界ナンバーワンになり、今は世界10位まで低落していますが世界のトップクラスの性能を維持しています。通常のヒートアイランドモデルですと建物を一々表現したりはしないのですけれども、地球シミュレーターを使えば建物間の隙間空間の評価が出来るだろうと考えまして東京の臨海部を5mメッシュで細かく分割して、5mメッシュ毎の風や気温を細かく計算してみました (P. 175)。そうしますと例えば地上100mで切りますと、このように風が弱まっているところが見られます。超高層のビル群の影響によるものです。地球シミュレーターを使いますと様々なことが分かってきます。隅田川を流れていく風とか、古川から芝公園に抜けていく風とか、そういう細かな地面の取り合いによって、風が何処をつたって都市空間を經由して行くかということが分かるようになります。

シオサイトの周辺の風については、景観上は屏風のようになっていて風をブロックするように見えますが、風はこのように建物の間を縫うようにして入っている様子が分かります (P. 176 下段)。隅田川の事例です。川が蛇行しますとそれに沿って風が曲がって川に沿って遡上していく様子だとか、或いは川から急カーブで曲がりきれないでそのまま市街地に入る様子が確認できます。実測でも川沿いに風の流れが生じることが確かめられました (P. 177)。

気温についても詳細に知ることが出来ます。ご覧のように浜離宮と汐サイトがあって、新橋駅の周辺気温が高い、日比谷公園になるとまた下がっています (P. 176 上段)。こういった道1本ずつで気温を判別できる数値シミュレーションが開発されております。実測とも比較して大体1℃の誤差で合っていましたので再現性はあると思います。

■今後の都市計画に向けて

世界の大都市圏の将来予測について国連が計上しまして、今後世界の傾向としまして、都市に人口が集中してくるだろうという見立てがございます。1番が東京でして、2番がメキシコ、3番がボンベイとなっており、その他に上海、大阪或いは北京など特に東南アジアの国が順位を上げてくるという状況がございます (P. 178)。

ソウルで清溪川（チョンゲチョン）というのがあり、政府が清流を復活する事業を決定し、既に工事を終えたということです（P. 179）。左に見えますような高速道路があったわけですが、この場所には元々川が流れていたということです。そこで、高速道路を取ってしまい、元々の自然の姿として川面を復活させる事業が取り組まれたのです。これはコンピューターグラフィックですが、このように高架の道路を撤去しますと水面、緑が復活するということです。川縁の角度が実際はもうちょっと立ち上がっているような感じになっていて、コンピューターグラフィックと実際の風景は少し異なるようですがとにかく復元はしたようで、市民にアメニティをもたらすと共に観光資源としても寄与しているようです。

日本橋川について述べます（P. 181）。日本橋があって、ここに高速道路が存在しておりますけれども、開発当時はできるだけ地下化するという話もあったわけですが、東京オリンピックに間に合わせる工期やコストの関係で高架道路が選択されました。現在はちょうど高架の耐震に関わる更新時期を迎え、更新を行うべきか議論的になっているらしいです。経済効率からするならば、川の上空も交通網として使った方が良いに決まっている。道路建設において指標が幾つかあって、満足すればその道路はつくっても良いということをお聞きしますが、それは経済上の数値です。経済効率とは別に生活の質の観点から、自然の風景を放棄して高架道路を川面にかける必要があるのかということが議論されます。もちろん、コスト負担の問題も相当大きいのですが、その辺我々は分岐点にありまして、都市をどうつくっていったら良いのかということが、このヒートアイランド対策を推進する上で重要な観点になるのではないかと考えております。

■まとめ

ヒートアイランドの研究トピックを紹介しました。近年は国・自治体がヒートアイランドのガイドラインを取り組んでいるわけですが、それに加えて民間レベルの対策がどうしても必要だということを指摘いたしました。ヒートアイランド対策は何のためにするのかというと、ヒートアイランドを弱体化させることが目的ではなく、私達の都市生活の質を向上させることが目的だと思います。都市生活の質を向上させるための都市計画の進展に期待したいというのが私の意見でございます。