

「ニューアース 2008 専門セミナー」講演

日時 2008 年 11 月 28 日 10:30 ~ 11:10

会場 インテックス大阪 2 号館内特設会場

テーマ ヒートアイランド現象の緩和に向けて
~ 大阪 H I T E C の挑戦 ~

講師 水野 稔

(大阪大学名誉教授、大阪 H I T E C 理事長)

ヒートアイランドの進行

ここ 50 年間での 1 日平均気温の上昇率は、地球全体では +0.6 。日本平均では +0.7 だが、大阪市では +1.5 上昇しており、都市部での上昇率の高さが目立っている。特に問題なのは、最近になって加速度的に上昇しているという現実である。地球温暖化と都市温暖化による二重効果の結果であり、特に大阪は耐え難い夏になっている。

大阪は最大の H I 都市

日本の中で大阪は、最大のヒートアイランド都市だといえる。熱帯夜の日数が日本の大都市でトップであり、ヒートアイランド対策が喫緊の課題だといえる。都心だけでなく大阪の大都市圏全体がヒートアイランド圏になっており、山の地域を除く大阪府のかなりの部分が対策を講じなければならない状況にある。

今やエンジニアリングの対象

ヒートアイランドの研究は今から 200 年位前から世界で行われている。ところが一貫してサイエンスの対象として行われ、なぜその現象が起こるのか、今どのような状況なのかといった科学的興味の対象であった。そして関連する分野を、自分たちの興味でいろんな知識や情報を構築してきたわけであるが、今

やエンジニアリングの対象となっている。わが国では2004年に政府がヒートアイランド対策大綱をつくった。ヒートアイランドが正式に対処すべき環境問題に位置付けられたわけで、それに基づき主要自治体が対策計画を策定し始めた。このようにヒートアイランドが、サイエンスの対象からエンジニアリングの対象になったのは、最近のことなのである。

どこにもモデルはない

ヒートアイランド対策では、世界のどこにも参考となるモデルはないという言い方ができると思う。世界でこの問題を総合的に解決できた都市はない。世界の都市でヒートアイランド問題を研究した都市はおもにヨーロッパやアメリカなど先進国にあって、それらは寒冷地域の都市であるので、熱を分散させる機能を付与することは必要なかったのである。しかし温帯から亜熱帯の都市では、熱代謝という機能を付与したまちづくりが大事だと思う。冷房は熱を室内から外に追い出す技術で、室内は快適になっても都市は熱くなる。冷房技術による対応は、室内の温暖化問題を都市温暖化・地球温暖化問題に転嫁していることになる。だから私たちは、モデルがない暑熱地域における近代的都市の正しい作り方にチャレンジしなければならないのである。

大阪HITEC

産学官民の連携で発足した大阪ヒートアイランド対策技術コンソーシアム（大阪HITEC）の目的は、情報交換、対策技術の開発・普及促進、対策の実施や効果の検証、政策立案のための支援、広報活動などである。こうした取り組みを通じて、ヒートアイランド現象の緩和に貢献しようとしている。関連部会を紹介すると、ヒートアイランド対策技術検討部会には素材関連WG、熱有効活用・人工排熱低減WG、クールスポット創造技術手法WG、熱負荷評価手法WG、認証制度検討委員会の

5つのワーキンググループがある。また、ヒートアイランドに配慮した都市デザイン検討部会として都市デザインWGがあり、さまざまな観点からヒートアイランド問題に取り組んでいく。

ヒートアイランド対策計画の現状と課題

地球温暖化防止も都市のヒートアイランド対策も、善意の自主行動型をベースにしており、問題の重要性を解説し、対策メニューが用意され、協力の呼びかけを行っている。私はこれだけでは限界があって目標達成は難しいと思う。地球温暖化対策として例えば一人一日当たり1kgのCO₂削減という目標があるが、これは自分のエネルギー使用量から計算できる。しかしヒートアイランド対策の場合、例えば大阪府は熱帯夜の日数を2025年までに3割削減するという全体の目標を持っているが、個別の行動目標が分からない。配慮を呼びかけても、誰かがやってくれるだろうと思われてしまうのが問題である。

HI（ヒートアイランド）とGW（地球温暖化）との比較

まずGW（地球温暖化）とHI（ヒートアイランド）を比べてみる。GWは環境負荷の構造が単純で、人工起源、エネルギー起源であるCO₂（二酸化炭素）を出すことが問題であり、いつどこで出すかは無関係なことである。一方、HIは環境負荷の構造が複雑である。原因となる熱の起源も人工排熱と太陽熱フロー熱の両者があり、その熱は顕熱と潜熱の区別も必要であり、また、いつどこで出すかも重要である。これらがHIのことを一般人が理解するのを複雑で難しいものになっている。

HI（ヒートアイランド）対策とGW（地球温暖化）対策

GW対策は地球的課題であり、これは国際公約的な課題として対策や戦略を国が考えてくれる。また、海外のCO₂を減らしたとしてもカウントしようという、京都メカニズムがある。これに対してHI対策は都市的課題で、基本的に自治体や都市に

住む人たちが戦略を考えなければならない。もう一つ大事なことは、該当する都市に投資して熱を減らす構造へと変えていくことが重要だということである。ほとんどの温暖化防止計画の中では、GWとHIが同じ枠組みの中で計画が構築されている。そしてGW項目としての省エネだけが評価されているのが現状で、省エネをすればHIにも寄与するという構造である。このような観点からだけの取組みでは、「HI対策はGW対策の付録か」という見方ができてしまう。また、HI対策では「緑関係にのみ予算が配分され、広範囲のHI対策の技術に陽が当たりにくい」という実態が言われることもあるが、こういうのが現状である。

総合エンジニアリング的対応

HI対策には総合エンジニアリング的対応が必要で、さきほど触れた自主行動型から重点投資型へと転換していかなければいけないと思う。そのため、多くの対策の中で効果的な対策に資金を与え、その代わり削減義務を果すというシステム構造に変えていくべきだと思う。その場合には多分野の技術の相互比較が重要で、分野間の技術情報が必要となる。

対策技術の統一した性能表示

HI対策の性能表示は未確立である。どんな方法が考えられるかといえば、現実には地表面温度やその上の気温を測り、計測しやすい物理量を提示するようなことが行われている。例えば道路の世界だけでアスファルトと保水性舗装を比較し、どちらの方がよいと判断（分野内評価）はできるが、その技術評価法では緑地と比べる場合（分野間評価）には役に立たない。必要なのは分野間の技術評価ができる性能表示システムだと思う。

欠陥の一つは戦略性の欠如

HI対策の戦略が確立されていないことも問題だと言える。

つまり熱環境技術者など関連技術者が明確な戦略を持っていない。いかにすれば自分たちが保有している対策技術を活用して、社会貢献ができるのか、H I を技術者の仕事の対象にできるのか。その見通しがないままでいるのが一つの欠陥である。

技術情報上の欠陥と着眼点

H I の環境負荷とは「大気熱負荷」であるが、これがあまり重視されていないのが現状である。大阪H I T E Cの熱負荷評価手法WGでは、「大気熱負荷」を重視した技術情報を整備していきたいと思う。なぜ熱負荷が軽視されているかといえば計測し難く、あいまいだからである。私はこれをもっと前面に出した技術情報や技術性能表示の検討を進めるべきだと思っている。着眼点は、「大気熱負荷をベースとする技術情報体系の確立」である。各社の技術はモデル計算のパラメーターとして反映し、熱負荷というものを前面に出して技術を評価していきたいと考える。

大気熱負荷

日射エネルギーは地面で反射または、地中に入ったりする。大気に伝わる熱は顕熱と潜熱に分かれ、特に悪いのは顕熱の部分であるが、顕熱 + 潜熱も問題である。大気熱負荷Lは、「 $L = \text{顕熱} + K \cdot \text{潜熱}$ 」と表すことができる。Kはゼロでもよいと思われるが、一般的にこの式で技術を評価していこうと考えている。

< 提案 1 > 熱負荷削減能による技術評価

熱負荷評価手法WGの一つの提案は、熱負荷の削減能力で技術・対策を評価することである。それに対して、単なる熱負荷の大小ではなく、気温を低減する能力で評価すべきだという意見があり、その指摘はもっともだと思う。基本的には、気温をどれだけ低減するかの能力で熱負荷削減策を評価することを考

えている。同じ熱負荷を出しても影響が違ってくるという事実がある。排出の高さ、都心か郊外などという場所、時刻、気象条件、規模、量などによって、気温への影響が変わってくるわけである。例えば屋上緑化と地上緑化とを考えると、屋上緑化は少し高い位置であり、地上緑化は地面の人々が生活する場所で熱を減らす。だから、同じ緑化でも高さも考慮しなければならないことになる。

技術評価の枠組み

基本的な技術評価の枠組みは、熱負荷をどれだけ削減するかというデータをきっちり整備し、各種インパクトには「重み」を考慮する。例えば気温低減を考えるには、熱負荷に重みを付けることを考えている。大気熱負荷をベース情報として、問題に応じた重みを考慮して熱負荷を補正するという技術評価の考え方である。例えば熱負荷を出したときに、気温に及ぼす熱負荷の影響を3次元CFD解析（流体解析）で理論的に考察し、熱負荷に掛ける「重み」を算出する。

付加的な熱の気温上昇への影響

その一環で、ある対象とするメッシュ(1 km × 1 km)に付加的な熱負荷を載せてやり、地表レベルの気温上昇を計算した。大阪市の真ん中で熱を出した場合、または郊外で出した場合というような計算で、どんなことになるかを紹介する。例えば大阪都心部の淀屋橋地区と富田林のメッシュにそれぞれ20W / m²を1日中付加した時の気温変化を計算した。この両者をグラフにしてみると、日中は気温の変化はあまり見られない。日中は強力な太陽熱がつくる不安定な拡散場が支配するため、付加的熱負荷による影響は小さく、場所的な影響はない。夜は大気が比較的安定しており、夜にそこで熱を出すと気温が大きく変化する特性がある。夜の拡散場は場所によって大きく変わり、郊外部で気温への影響が大きく、それに対し都心部はそんなに大きく

ないと理解できる。つまり、郊外と都心部とでは同じ熱を出しても、気温への影響がかなり変わるという事実がある。

限界気温感度による議論の広がり

ここで論じた気温影響（感度）は、一部地区にわずかの熱を増減したときの気温影響である。すなわち、現状の 대기への熱負荷場が決定する拡散場を乱さない領域における気温感度であり、これは「限界気温感度」と呼ぶべきものである。このような情報を使えば、大阪府の平均気温を経済的に下げるには、例えば富田林市で熱を減らすことで効果的に気温を下げるができる。また、夜の気温低減策を行うと、同じ熱負荷を削減しても効果的だという議論が成立する。これは最適化問題である。ただし、例えば大阪府全体で対策が進行したときの気温感度は、拡散場が変わることにより、異なってくることに注意が必要である。これには「平均気温感度」による議論が必要であるが、ここではこれ以上の説明はしない。

< 提案 2 > 大気顕熱負荷を用いたヒートアイランド配慮計画手法

もう一つの提案として、大気熱負荷を用いたヒートアイランド配慮計画手法を確立したいと思っている。これは建築や地区開発に対して、「通常設計と比べて何 W / m^2 の大気熱負荷削減」を実現しようというものである。つまり、地球や都市に住まわせてもらうための目標を定めて、その義務を果たす街づくりをしようという提案で、これを一般に普及させたいと考えている。

技術普及の戦略

技術普及の戦略として、ヒートアイランドや地球温暖化に配慮した地区・建築の計画、設計手法の普及を図る。それを実施するためには、対象地区から熱負荷がどれだけ発生するかという発生熱負荷計算プログラムを用意し、各社技術の熱負荷削減

性能のデータベースを作成し、それを計算段階で使えるようにする。このような技術普及の戦略を展開したいと思っている。

関連する課題

大阪府は「2025年までに熱帯夜を3割削減」という目標を持っている。これを達成するために、大阪の各地区の熱負荷削減目標を設定あるいは配分する。そのような対策計画を明らかにする必要がある。

< 提案3 > 大気熱負荷をベースに環境家計簿にHI項目を加える

もう一つは、大気熱負荷ということを経済家計簿の中にヒートアイランド項目として加え、使っていきたい。それは自分の家からどれだけの熱が出ているかが分かっていないため、家庭から出す大気熱負荷の程度を市民に認識させるようなものである。市民が認識すれば行動が変わる可能性があり、これは広報として重要なことだと思う。

おわりに

今回は3つの提案を話したが、こうしたことを大阪HITECの中で具体化して、ヒートアイランド対策に寄与していこうと考えている。現在、各WGでさまざまなことを考えて活動しているので、ご理解とご支援をお願いしたい。

ヒートアイランド現象の 緩和に向けて ～ 大阪HITECの挑戦～

大阪HITEC理事長
水野 稔

1

ヒートアイランドの進行

過去50年の日平均気温の上昇

大阪市	+ 1.5
日本平均(都市以外)	+ 0.7
地球全体	+ 0.6

最近、加速度的上昇

「地球温暖化」+「都市温暖化」の二重効果

2

大阪は最大のHI都市

熱帯夜日数：日本の大都市でトップ

ヒートアイランド対策が

最も喫緊の課題の大都市

都心のみならず

大阪大都市圏全体がHI圏

3

今やエンジニアリングの対象

200年の研究の歴史

一貫してサイエンスの対象

各分野は独自の興味で知の構築

わが国

2004年「ヒートアイランド対策大綱」

主要自治体が対策計画

4

どこにもモデルはない！

世界でHI問題を

総合的に解決した都市は存在しない
都市に「熱代謝」機能を付与

…… 寒冷先進国都市には無用

< 冷房技術による対応 >

室内温暖化問題を

都市温暖化・地球温暖化問題に転嫁

暑熱地方の近代的都市の正しい作り方

5

大阪HITEC

大阪ヒートアイランド対策技術コンソーシアム

ヒートアイランド対策では我が国初の

産学官民の連携による取り組み

産学官民の情報交換

対策技術の開発・普及促進

対策実施・効果検証

政策立案支援

広報活動

ヒートアイランド緩和に貢献

6

技術関連部会 (WG)

ヒートアイランド対策技術検討部会

素材関連WG

熱有効活用・人工排熱低減WG

クールスポット創造技術手法WG

熱負荷評価手法WG

技術認証制度検討委員会

ヒートアイランドに配慮した

都市デザイン検討部会

都市デザインWG

7

HI対策計画の現状と課題

善意の自主行動型

問題の重要性の解説 対策メニュー

協力の呼びかけ

全体目標あっても、個別活動目標なし

…… 自分の関与が全く不明

cf. 地球温暖化対策

「一人一日1kgのCO2削減」

8

GWとHIの比較

GWは環境負荷構造が単純

人工起源の二酸化炭素のみ

いつ、どこで出すかも無関係

HIは複雑

人工排熱と太陽熱フロー熱の両者

顕熱と潜熱の区別も必要

いつ、どこで出すかは重要

9

HI対策とGW対策

GW対策は地球的課題

国際公約的課題

国が戦略を考えてくれる

海外に投資の解もある

HI対策は都市的課題

自治体が戦略を考える課題

当該都市に投資しかない

… 当事者が考えないとダメ！

10

HI対策はGW対策の付録？

たいていの温暖化防止計画

GWとHIが同じ枠組みで計画構築

そして、GW項目としての省エネのみを評価

…… HIにも寄与する

HI対策：緑関係にのみ予算？

… 広範囲の対策に陽が当たりにくい？

11

総合エンジニアリング的対応

「自主行動型」 「重点投資型」

多くの対策の中から

最適のシステムを組み上げる

成績のよい対策に資金と削減義務

多分野の技術の相互比較が重要

分野間技術情報が必要

12

対策技術の統一した性能表示

性能表示法：未確立

地表面温度

関連気温

等の計測し易い物理量の提示

「分野内技術評価」であれば可

しかし、必要なのは「分野間技術評価」

13

欠陥の一つ：戦略の欠如

関連技術者(熱環境技術者など)が

明確な戦略を有していない

いかにすれば

保有している対策技術を活用して

社会貢献できるのか？

ヒートアイランドを

技術者の仕事の対象にできるのか？

14

技術情報上の欠陥

環境負荷としての

「大気熱負荷」情報をなぜか軽視
熱負荷評価WGの着眼点

計測し難い

熱流計測は困難

あいまい(サイエンスでは不資格?)

$$Q = (t_w - t_a)A$$

: 風速などに依存して変化

15

着眼点

大気熱負荷をベースとする

技術情報体系の確立

…… 熱負荷評価手法WGの目的

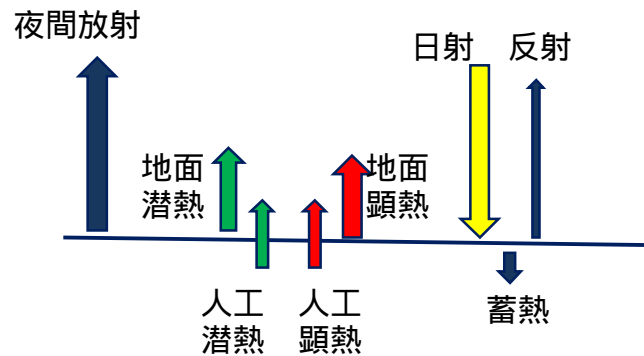
計算条件を決め(夏期平均等)計算で推定

各社技術はモデル計算のパラメータに反映

16

大気熱負荷

$$L = \text{顕熱} + k \cdot \text{潜熱}$$



17

< 提案 1 >

熱負荷削減能による技術評価

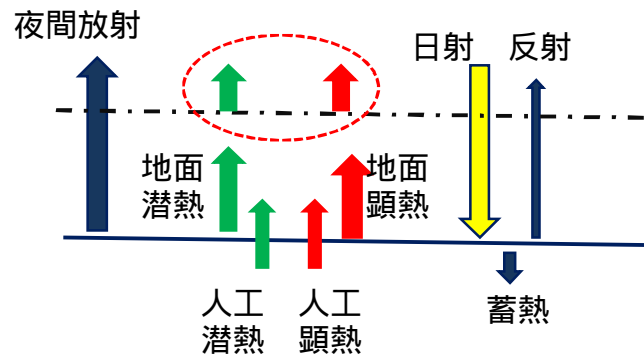
熱負荷を大きく削減する技術・対策を評価

< 課題 >

単なる熱負荷の大小ではなく、
気温低減能フェーズで評価すべき？

18

拡散能の考慮



19

気温低減能で熱負荷削減策の評価

気温変化ベースで評価

同じ熱負荷でも気温影響は違う

排出高さ、場所(都心、郊外等)

時刻、気象条件、規模、量、...

気温低減能を評価

< 例 > 屋上緑化と地上緑化

20

技術評価の枠組

熱負荷情報のデータ

各種インパクトには「重み」を考慮

気温低減もインパクトの一つ

「大気熱負荷」をベース

そして、「問題に応じた重み」で補正

21

気温に及ぼす熱負荷の影響

3次元CFD解析による考察

現状の熱負荷場で

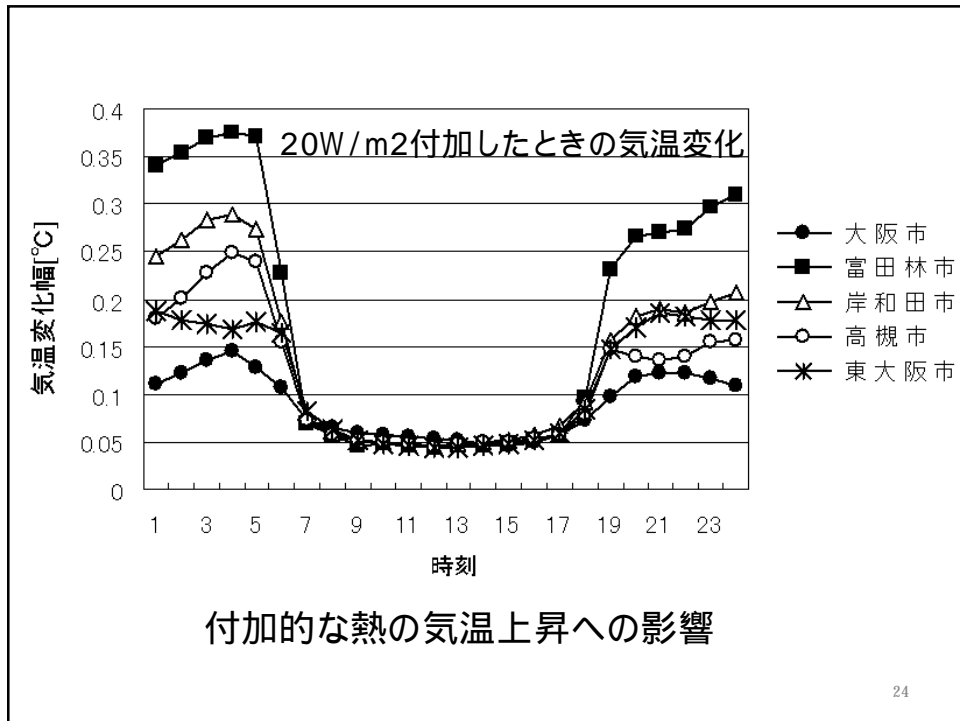
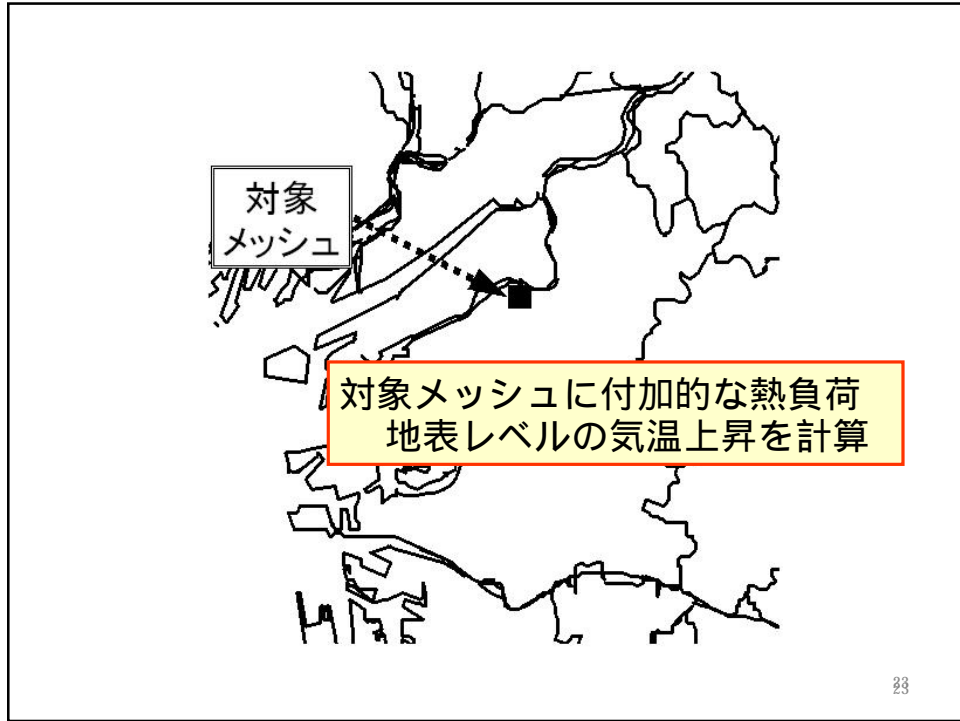
ある一部(1メッシュ)に少しの

熱負荷を加えて気温の変化を見る

……「限界気温感度 /W」

これを熱負荷に掛ける重みとする

22



限界気温感度による議論の広がり

大阪府の平均気温の経済的低下には
限界気温感度の大きいところに
重点投資
「郊外部の気温低下策」
「夜間の気温低減策」が効率的
のような議論が成立
… 最適化問題構造

25

< 提案 2 > 大気熱負荷を用いた ヒートアイランド配慮計画手法

建築や地区開発に対して
「通常設計と比べて
W/m²の大気熱負荷削減を実現」
地球に、都市に、
住まわせてもらう義務を果たす街

26

技術普及の戦略

ヒートアイランド、地球温暖化に配慮した、
地区・建築の計画・設計手法の普及

これには、対象地区からの
発生熱負荷計算プログラムが必要

各社技術の熱負荷削減性能
のデータベースを作成し
それを参照する計算

27

関連する課題

全体目標(ふつう気温目標)達成のための
熱負荷削減目標の設定

(地区への配分問題)

これを達成するための対策計画

< 例えば >

大阪府目標

「2025年までに熱帯夜を1/3削減」

各地区の熱負荷削減量

(CFD解析等で推定)

28

< 提案3 >
大気熱負荷をベースに
環境家計簿にHI項目を加える

自分の家庭から出す大気熱負荷
の程度を市民に認識させる
改善策を評価・アドバイス

学校版、オフィス版など
EMSの項目として普及推進