

大空間の空調・熱環境計画

Thermal Environment Design for a Large Space

戸 河 里 敏*

Satoshi Togari

1. はじめに

近年、スポーツ施設・文化施設・イベント施設など大空間を有する施設の建設が盛んである。

特に、ホテル・オフィスビル・商業施設等に設けられるアトリウムの急増や恒久建築物としての膜屋根施設の登場は、新たな空間・環境を提供するものである。

これらの大空間は、太陽光など屋外的な要素を、屋内に取り込むことを重視した空間であり、それだけに熱環境だけをとってみても、完全な空調空間を形成しようとする場合とは異なり、どんな環境にするかという目標設定の幅が広く、設計手法・環境の予測技術の面でも新しい要素が必要とされている。

ここでは、幾つかの事例を交えて、大空間の空調・熱環境計画上的特徴とその手法について述べてみたい。

2. 空調・熱環境計画上的特徴

大空間は、床面積の割に、屋根及び外壁面積の大きな空間であり、外界条件の影響を受けやすいが、その程度は、建物ごとに大きく変化する。

音楽ホールのように、窓がなく、しかも断熱が十分施されている場合には、観客や照明発熱など室内側の条件の影響が支配的であるのに対し、アトリウムのようにガラス面の割合が大きくなると日射を中心とした外界条件の影響が卓越してくるといった具合である。

また、大空間では通常の居住空間に比べて天井高が高いが、実際の居住部分は床近傍だけであり、極端に言えば、その上部の大部分の空間は、居住域に悪影響を及ぼさない限りどの様な状態であっても構わない。

したがって、冷房においては居住域だけの効率の良い冷房（居住域冷房）が、また、暖房においては上部ばかり暖まって肝心の居住域が十分に暖まらないとか、床の冷え込みが一向に解消しないといったことの防止

（上下温度分布の均一化）が重要な目標の一つとなる。

すなわち、大空間自体は一つの空間であるが、空調計画に当っては、上部・非空調域と、下部・空調域（居住域）を分けて考える必要がある。

しかも、オフィスなどと異なり、一般に空調空気を天井から均等に吹出すことが出来ないため、居住域内においても、平面的に温度や気流の不均一を生じ易いのも特徴の一つである。

3. 大空間の種類と熱環境計画

スポーツ施設、工場、劇場といったように用途による分類も可能であるが、熱環境計画の立場からみると、

- ・その空間に必要とされる環境グレード
- ・建物の外皮（外壁・屋根）が、熱的に弱いかどうか。日射を透過する度合いはどうか。
- ・在室者が多いか、少ないか
- ・その利用のされ方

といった要素が大きな意味を持つ。

例えばスポーツ施設でも単なる体育施設として使う場合には、在室者は少ないし、必要とされる環境のグレードもそれほど高くない。しかし、数万人の観客が入る場合には、全く状況が異なってくる。

また、劇場のような場合には、それが週に1～2回使われる程度か、毎日使われるかによって必要となる空調能力、運転パターンも大きく変化する。

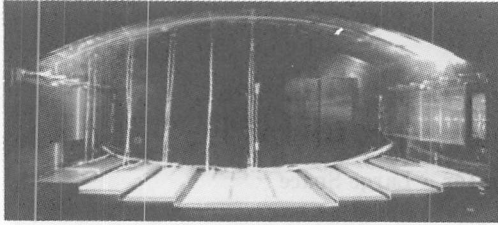
4. 断熱された周壁を持つ大空間

このタイプの大空間では、通常、居住域については、完全な空調が要求される。

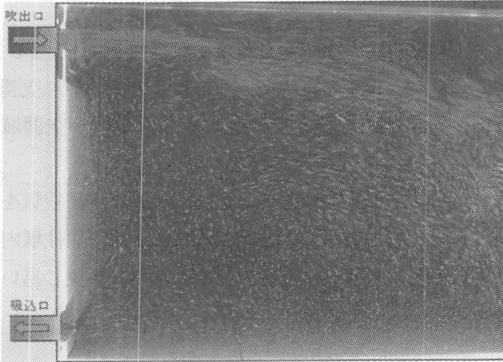
4.1 冷房

冷房時については、上部（非空調域）と下部（空調域）を分けて考えることは、同様であるが、居住域冷房による省エネルギー効果（全館を一様に冷房する場合との比較）は、比較的小さく、10%程度の場合が多い。

* 鹿島建設機技術研究所 主任研究員
〒182 調布市飛田給 2-19-1



写1 大空間の縮尺1/15模型



写2 模型実験による流れの可視化

居住域内での温度のばらつきや、空調 airflow が直接当たることによるドラフト（不快な冷たい風）が懸念される場合には、計画時に、縮尺模型を用いた実験や室内気流の数値解析により詳細な予測を行うのが有効であり、大規模なものについては良く行われている（写1、2、図-4）。

4.2 暖房

特に、問題を生じやすいのは、暖房開始から数時間で、大きな上下温度差が発生する場合がよく見受けられる。

劇場や音楽ホールのような場合だと、開場後は、観客や照明による発熱が大きく、室内は冷房が必要となることが多い。

週1回程度しか使われない場合には、周壁が断熱されていても、一週間の間に館内が10℃程度まで下がり、床がすっかり冷えきることになる。こうなると、暖房を開始してもなかなか床面温度が上昇せず、館内空気の温度は暖房の設定温度（例えば22℃）に達しても、床表面は15℃程度で、足元の冷え込みだけは残ることになる。こうした間欠の利用の場合には、観客の入場までにどのくらいの時間をかけて建物全体を暖めておくかが問題となる。

使わない時でも、館内が例えば15℃を下回らないようにしておくなどの工夫も必要となり、空調運転方法

との関係で装置能力を決めることになる。

暖房立上時の過度の上下温度差の防止、床をどのように暖めるかは、大空間の暖房共通の課題であり、グレードが高い空間では、床暖房が計画される。

5. アトリウム

アトリウムにおいては、開放感、明るさといった要素が重視されるため、一般に屋根・外壁ともガラス面の割合が大きく、日射を中心に外界条件の影響を受けやすい点に特徴があるが、特に低層アトリウムの場合この傾向が顕著であり、外壁構成・日射遮蔽など建築計画的な配慮が重要となる。

アトリウムが、通路的な空間（通過空間）であるか、打ち合わせ、喫茶等滞在型の空間であるかによって、要求される環境グレードが変化する。

通常は通過空間、待ち合わせ空間であるが、時には、集会、イベント空間として使うといった場合には、どちらに重点をおいて計画するか、どう調和を図るかが課題となってくる。

5.1 日射の影響

低層型のアトリウムでは居住域まで日射が到達するため、計画によっては冷房ピーク負荷の5割以上を透過日射負荷が占めることになる。

したがって、日射の影響を正確に見込むことが重要となる。



写3 20号館アトリウム
（鹿島建設技術研究所，東京・調布）

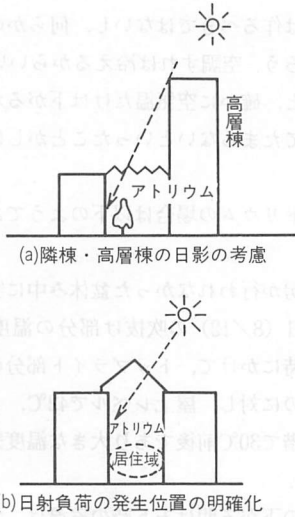


図-1 日射の影響検討

- a. 隣接建物の日影を考慮すること
都市型のアトリウムでは、隣接した建物や併設される高層棟の日影は是非考慮する必要がある(図-1(a)).
- b. 日射負荷(特に放射成分)の発生位置を把握すること
大空間では、一つの空間を居住域や大空間上部(非居住域)など複数のブロックに分割して室温及び負荷の計算を行うことが必要となるが、



写4 KIビル アトリウム

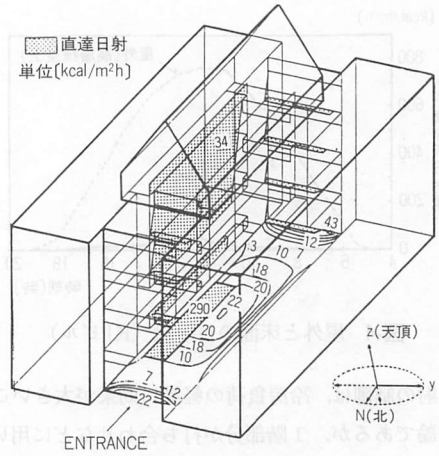


図-2 アトリウム各面の日射量 (20号館 夏期)

その前提として、各時刻毎の透過日射の照射位置を明確にし、各ブロックに侵入する日射量を把握する必要がある(図-1(b)).

20号館アトリウム(写3)の夏期を対象に、各階壁体・床面に入射する直達日射量の時間変化を計算した例を図-2に示す。

天空日射も含めて計算してあるので、輻射を含めた温熱環境の評価のためにも有用である。

5.2 日射制御の必要性

アトリウムで居住域の床面照度を実測してみると、トップライトからの陽光を受ける部分では10,000~40,000 lx、天井下部などでは500~1,000 lxというように明暗のコントラストが強くなっている場合が多い。

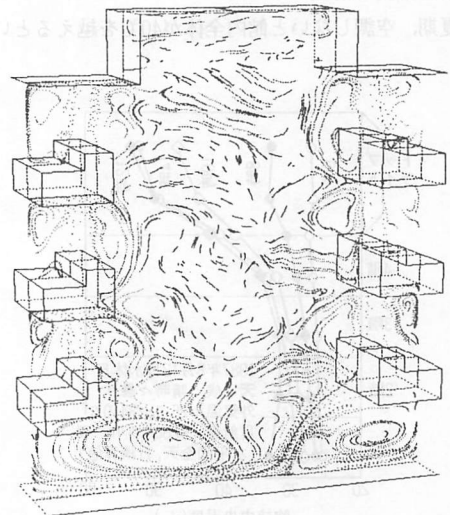


図-3 気流の数値解析例 (KIビル)

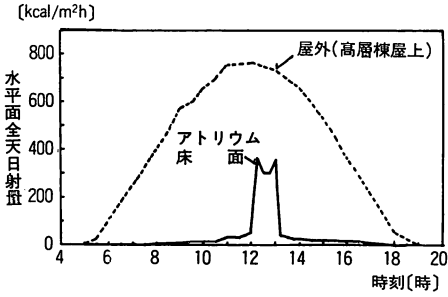


図-4 屋外と床面の日射量 (KIビル)

日射の制御は、冷房負荷の軽減に効果が大きいことは勿論であるが、1階部分が打ち合わせなどに用いられる場合には、直射による暑さを和らげ、また机上面の眩しさを抑えるためにも不可欠である。

どの程度の制御が必要か、また、どういう方法を用いるかは、その空間の用途とともに、直射の当る時間がどの程度かにも大いに関係する。

KIビルの場合(写4)には、南側に配置された高層棟の影響により、夏期においても床面に直射が当るのは昼休み時間帯だけ(図-4)であり、植栽による日陰効果も期待出来るよう計画されている。

20号館の場合、1階をイベント空間として使う場合には、開閉可能なロールスクリーンを使用することにより日射を制御できるようにしている。

5.3 空調をしない場合の熱環境

アトリウムのような空間の場合、空調なしでどのような環境になるかを知ることは、熱的な意味での建築計画の良否を判断したり、空調計画・換気計画を行う上での重要な情報となる。

夏期、空調しないと館内全体が40℃を越えるという

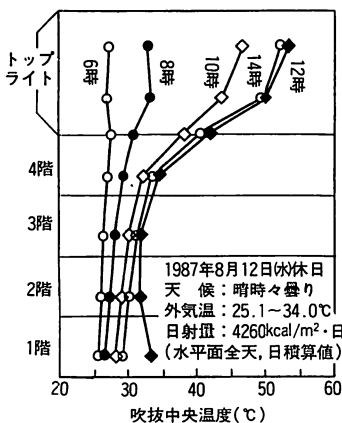


図-5 上下温度分布の日変化 (夏期・休日)

ような空間は作るべきではないし、何らかの対策を施す必要があろう。空調すれば冷えるからいいといった計画をすると、確かに空気温だけは下がるが、ほてりが強く暑くてたまらないといったことがしばしば起きる。

20号館アトリウムの場合は以下のものであった。

(1) 夏期

5日間冷房が行われなかった盆休み中に実測を行った。最初の日(8/12)の吹抜け部分の温度を見ると12時から14時にかけて、トップライト部分の温度は50℃を越えるのに対し、屋上レベルで42℃、4階レベルで35℃、1階で30℃前後であり大きな温度差を生じている(図-5)。

最も室温の下がる明け方5時の室温は、盆休み最初の日が26~27℃であったのに対し、5日目(8/17)には、28~31℃まで上昇した。建物全体が徐々に暖められ、その程度は上階で大きく、1階は比較的小さい。

高層になればなる程、吹抜部分の平均的な温度上昇は小さくなる。

(2) 冬期

休日(2/14)の明け方の温度分布を見ると(図-6)トップライト上部が10.5℃、1階部分が12℃で、吹抜部分の温度は、ほぼ一様となっている。すなわち、夜間は、熱的に弱いトップライト部分のみが冷却され、これが1階を含めた吹抜部分全体の温度を降下させる。

一般的なビルの場合、明け方の温度が15℃を下まわることは少ないので、アトリウムは、熱的に弱く、暖房負荷が大きくなりがちな空間であることが判る。

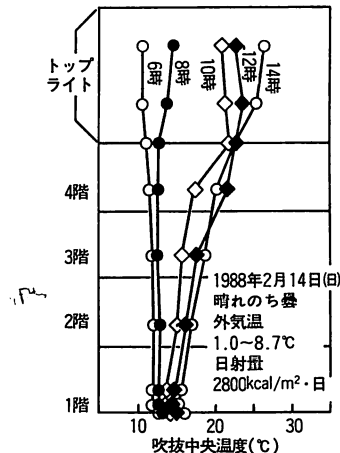


図-6 冬期・休日の上下温度分布

5.4 温度分布を考慮した空調計画

(1) 居住域冷房

アトリウムも、一般の大空間の場合と同様、居住域を対象とした効率の良い冷房計画が必要であり、その効果は大きい。

上部は非空調とし、下部のみ冷房すること自体は比較的容易に実現できると考えて良い。

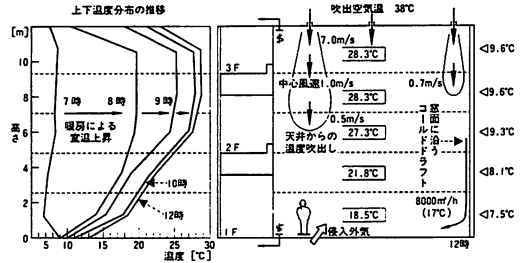


図-9 エントランスホールの暖房検討例

(2) 暖房

a. 上下温度分布

アトリウムの場合、熱的に弱いガラス面の割合が大きいので、夜間によく冷える。したがって、床近傍の居住域を暖めるのが難しい場合が多い。

大きなガラス外壁を持つ場合は、この傾向が強くなるので特に注意が必要となる(図-9)。

どの程度の環境とするか、経済性との関係で大いに検討することになる。

b. 煙突効果～外気の侵入

暖房時の温度分布、とりわけ居住域に大きな影響を及ぼすものに煙突効果(内外温度差に基づく浮力)や外風による外気の侵入がある。

アトリウムのように、大きな吹抜け空間がある場合、建物の高さの割に煙突効果による外気の侵入量が大きくなる点は見逃され易いので注意を要する。

エントランスなどから侵入した外気は低温のため、上下方向には拡がらず、むしろ床面を這うようにして広範囲に影響を及ぼすので始末が悪い。

最も効果のある対策は、回転扉を使用することであるが、わが国ではあまり評判が良くなく、「風除室」が用いられる場合が多い。しかし、自動扉の場合、二重扉の間隔を6～10m程度は確保しないとその効果は期待できないと考えるべきである。

アトリウムを「滞在型の空間」として計画する場合には、特に配慮が必要である。

(3) 自然換気の利用

アトリウムは形態的には自然換気を利用しやすい空間であり、20号館でも、中間期は自然換気だけで過ごすことが可能である。(図-10)。

ただし、換気用の開口は、かなりの大面積が必要とされるので、都市型のアトリウムでは道路騒音など外部騒音の侵入口となってしまうので、安易に計画出来ないのも事実である。音については、騒音以外に、内

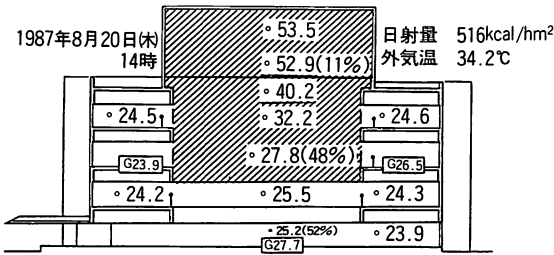


図-7 居住域冷房時の温度分布

20号館でも居住域は良く冷房され、吹抜部は相対的に高温を保っている(図-7)。特にトップライト部の温度は、休日の場合と同程度であり、居住域の冷房の影響が小さいことが確認される。

問題は、こうした計画に当って、どのように居住域冷房負荷を算定するかにある。筆者らが開発した「大空間空調シミュレーション」による居住域を対象とした冷房負荷及び、非空調域温度の計算値と実測値を比較した結果を図-8に示す。

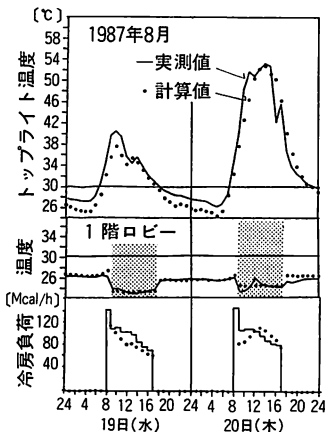


図-8 実測値との比較 (20号館)

この比較には、実測値から同定したパラメータが一部使われており、予測手法として万全とはまだ言える状況にはないが、暖房時の上下温度分布予測も可能であり、実際の設計にも良く用いている(図-9)。

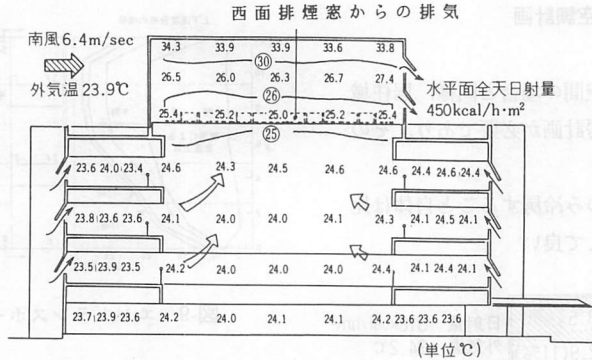


図-10 自然換気時の上下温度分布 (1987年5月)

部の残響時間が長くなりがちであるので、館内放送的なものを計画するためにはかなりの吸音処理を施すことが必要になることも付記しておく。

6. 膜屋根施設的环境設計

従来膜屋根施設は、仮設建築として用いられてきたが、テフロン（コーティング）膜の開発により不燃性・耐久性が格段に向上し、恒久施設にその適用範囲を広げる事となった。

テフロン膜は15%程度の光を透過するので、屋内でありながら自然光による明るい空間を作ることができる点に最大の特徴がある。

テフロン膜を通過した光は、拡散光に近くなり、室内が比較的均一に明るくなる。

天候に左右されずに使え、尚かつ明るい大空間は、スポーツ施設に対する要求の高度化に答えるものである。しかし、更に進めて冷暖房まで行おうとすると評価がかなり変化してくる。

冷房のピーク時には日射だけでも単位床面積当たりの負荷は、150kcal/hm²を越え、内部発熱や取り入れ外気負荷などを加えると相当大きなものとなる。

暖房負荷が大きくなることは、屋根全面が熱的に弱い薄膜で覆われていることから容易に想像される。

冬期は昼よりも夜の方が長いので、夜間に建物全体

が冷え切り、その蓄熱の影響で、屋間日射を受けても大幅な室温上昇は期待できない。

暖房するにしても、温風で空間全体を暖める方法では、夜間の蓄熱が大きすぎるため、床面からの冷え込みを感じさせないようにすることは大変難しい。

屋根を二重膜とすることはこうした特性を若干改善することになるものの、明るさを低下させ、特徴を殺すことにつながりかねない。

写5の例では、夏期は自然通風、冬期は、膜面の雪除去・結露防止用の補助的な暖房で計画されている。

同じ膜屋根施設でも、単なる体育施設でなく、野球場のように多数の観客が入る場合や、多目的施設として計画する場合には環境のグレードなど考え方が違ってくるのは当然であろう。

7. おわりに

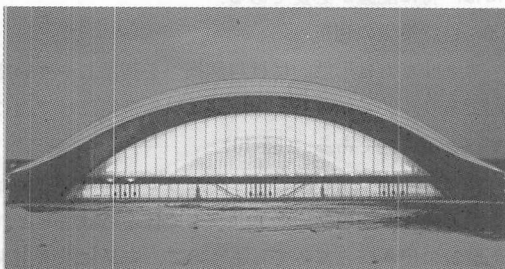
大空間は、建物毎に空間の使用目的を始めとして大きく性格が異なるので、その都度、それにあった計画が必要とされ、単品生産的に作り上げていく部分の割合が大きい。

特に、アトリウムは、形態、機能など極めて多用であり、この性格が特に強いものである。

したがって、以上述べてきた空調・熱環境計画上の特徴も、ごく一般論を述べたに過ぎないが、多少とも参考になればと、筆をとった次第である。

参考文献

- 1) 戸河里・荒井・三浦・早川：大空間の空調・熱環境計画手法の研究（その1～その6）、空気調和・衛生工学会大会論文集（1988年、1989年）
- 2) 石田・佐藤・是永：屋内環境シミュレーション結果のCG（気流・音響編）、日本建築学会大会・環境工学部門研究協議会資料（1989年10月）



写5 あきたスカイドーム