

地中空間におけるエネルギー消費量の熱的限界



研究ノート

水野 稔*

1. 都市の高密度化と熱環境問題

都市の地価の高騰化に伴い、都市空間の高密度化が進行しつつある。この動きを大別すると、時間的高密度化と空間的高密度化に分けられるであろう。前者は、例えば24時間都市と呼ばれるように、従来夜には遊ばせていた施設の稼働時間を多くしようという動きである。後者をさらに二つに分ければ、インテリジェントビルにみられるように現在の空間の中で高密度な活動を行うものと、新しい空間を開発していこうという動きに分けられる。新しい空間の開発は、従来は水平方向の都市拡大がもたら行われてきたが、最近はその拡大方向が垂直方向を向きはじめている。すなわち、地下開発および建物の高層化がそれであり、単位地表面積当りの空間密度を高くしようという動きである。

一方、“ヒートアイランド”という用語が市民権を得たと言われるように、都市の気温が郊外よりも高く、特に夜間の気温が高くなる現象が顕著になっている。夜間は一般に大気が安定であり、風もあまり吹かない（これが、夜間にヒートアイランド現象が強くなる一因である）ことから、都市の夏期の夜間は特に暑く、都市ではクーラーなしでは生活できないような状況を生み出している。周知のようにクーラーは、室内から排除した熱をそれに要したエネルギーの廃熱と共に屋外に排出するだけの装置である。したがって、クーラーの使用は原理的に屋外の空気のエネルギーを高めることになり、ますます冷房需要を生む傾向がある点、および夏期の冷房期の電力需要がわが国の発電施設の容量を決定し、かつ突出させている点などを考えれば

明らかなように、クーラーによる対症療法的な暑熱対策に期待することはできない。これらの点より、もはやわが国の都市の熱環境は限界にきており根本的対策が必要であると位置づけるべきである。

都市の高温化の原因も二つに大別される。一つは地表面の改変による太陽熱バランスの変化であり、もう一つは人間が使用した非更新性のエネルギーの結果である廃熱の放出である。都市熱環境に及ぼす両者のウエイトの比較に関して、「現状の一般的な都市では前者がやや大きいもののほぼ同等の重要性がある」との筆者らの考察¹⁾があるが、高密度都市では後者が支配要因になるのは明らかである。

2. 熱的限界からみた地下空間

熱的見地から地下開発をみると、地下で消費されたエネルギーの一部は地下に蓄熱されるが、ゆくゆくはすべて地表から人間活動が行われている接地層を通り大気を経て宇宙空間に放出される。この接地層を必ず通る（もちろん排熱の方法で多少は異なろうが）点で地下空間の廃熱が都市の熱環境に与える影響は地上空間のそれよりも一般的に厳しい条件にあると考えるべきである。すなわち、都市の熱環境が限界にきていと位置づけるとき、もし地下と地上でエネルギー消費密度が同じであれば、地下空間の開発は地上空間のより多くの削減があつて始めて許容されるべきものである。なお、現在の地下空間の利用状況を調べた過去の調査²⁾によると、現在の地下は地上より高くつく建設費を回収するために、地下商店街などのエネルギー多消費用途に使われており、ここでは一般のオフィスの2～3倍のエネルギーが投入されている。これらのデータから、もし地下開発を現状のよう

*水野 稔(Minoru MIZUNO), 大阪大学工学部, 環境工学科, 教授, 工学博士, 環境熱工学

な発想で行うとすれば、熱的制約により地下空間は都市の過密を緩和する空間とは決してなり得ないことは明らかである。

3. 地下空間のエネルギー消費量の限界

地下は周知のようにその巨大な熱容量のため、冬暖かく夏涼しいという生活空間として理想的な特徴をもっており、暑さの厳しい地方でも冬の気温が低ければクーラーなしでも快適環境の得られる省エネルギー空間である。しかし、人間活動が大きくなると内部で使用するエネルギーの廃熱により、クーラーなしではすまない空間となってしまう。この点に注目すると、クーラーなしで快適性の得られる限界の発熱量として地下の限界発熱量が定義できる。

詳細の議論は別に譲る³⁾として、ある標準的な条件下での限界発熱量の計算結果を表に示す。日本の各都市について示しているが、年平均気温が低い地方では限界発熱量は高くなる。また、深度がある程度以上深くなると限界発熱量は単調に小さくなり、この点は最近注目を集めている大深度地下開発の問題点の一つであろう。なお、ここでも具体的結果は省略するが、地下水の流動があると限界発熱量は著しく増大する。したがって、地下水の挙動の把握は地下開発にとってきわめて重要である。また、逆に流動を阻害するような開発は大きな損失である。

表 単位床面積当りの限界発熱量 (W/m²)

θ_{out} [°C]	Z ₁ [m]	大阪	東京	鹿児島
26	1	4.48	5.68	3.24
	5	4.37	4.69	3.90
	10	2.76	2.76	2.66
28	1	6.80	8.14	5.59
	5	5.37	5.70	4.93
	10	3.33	3.46	3.22
30	1	9.24	10.77	8.03
	5	6.37	6.73	5.93
	10	3.90	4.03	3.79

計算条件および記号の概要

- 熱伝導モデルによる計算
- 幅10m、高さ5mの矩形のトンネル空間(30m間隔で記列)
- 深さZ₁は地表から天井面までの距離
- 年間一定発熱
- 外気温が低いときは外気冷房
- θ_{out} は許容最高気温

この結果を見ると、わが国の地下の限界発熱量は量的にわずかであり、非現実的のように見えるかもしれない。しかし、一般に発熱を伴う有効空間には廊下・物置などの非発熱空間が隣接していることが多い。また、地下はその巨大な熱容量のため、発熱量は1週間などある程度の期間平均で考えてよい。これらを考えると、地下空間の限界発熱量は空間の使い方を工夫することによりかなり現実的な値となる。具体例として、実測および数値計算結果で筆者らが確かめた大阪市営地下鉄の例を挙げると、御堂筋線のレベルでは限界発熱量以上であるが、千日前線のレベルであれば限界発熱量以下である。限界発熱量以下の地下空間であれば、気温も低くできることにより貴重な冷熱源としての地下の特性を犯す度合も少なく、かつ環境調整のためのエネルギーも格段に低くなるなど、環境とエネルギー消費両面にとって好都合となる。これらの点より、限界発熱量は地下空間の計画にあたっての現実的な目標として有用である。これを計画目標にすることにより、地下が地上の過密のある程度の緩和空間となり得るであろう。

なお、地表改変や地下に熱源を埋設すれば、地温が変化し、限界発熱量を大きく変化させることも明らかとなっている。安易なアスファルト舗装や発熱を伴う地下埋設物の設置などは大きく地温を上昇させる可能性があるため、格段の配慮が必要である。

4. あとがき

この拙文を読まれて、「では高層化をすれば熱的問題は解決する」と考えられたかもしれない。確かに、超高層化して空いた地上を緑地化すれば都市のヒートアイランド問題やNO_x問題はかなり緩和されるかもしれない(これが、スカイタウン計画の大きな目玉でもある)。これは確かに一つの解決策である。しかし、この対策は高煙突化して大気汚染問題を複雑にした過去の環境対策の事例を連想させる。かなりの飛躍を承知でこのアナロジーで考えると、当面の困難はあるもののヒートアイランド対策をとっ

た上で地下開発を行っていく発想の方が優れているように思われる。また、前述した24時間都市化についても触れれば、都市熱環境の現状から考えるとき、夜間は一日の活動を終えた都市を冷やすための時間と位置づけるべきであり、夜間における廃熱の増加はもってのほかといえよう。

参 考 文 献

- 1) 水野, 漆崎, 内藤: 空気調和衛生工学論文集 No. 22 (1983) p. 41.
- 2) 尾島俊雄: 新建築学体系 9(1982) p.29 彰国社.
- 3) 下田, 水野: 空気調和衛生工学論文集 No. 43 (1990) 掲載予定

