生理衛生的観点からみた大深度地下空間利用の問題点

枋原 裕, 浅野 牧茂*

国立公衆衛生院生理衛生学部

Problems of the Living in Ultra-Deep Underground Structures from a View Point of Physiological Hygiene

Yutaka TOCHIHARA and Makishige ASANO

Department of Physiological Hygiene, The Institute of Public Health

Shirokanedai, Minato-ku, Tokyo 108, Japan

1. はじめに

大都市を中心として、これまで利用されてこなかった地下100mにも達する大深度地下空間の利用が緊急に問題となっている。この大深度地下空間の利用にあたっては、ここで生活し作業する人間が、安全で健康に過ごせる環境の確保が特に重要である。しかも、非常に閉鎖的であり、完全な人工環境である地下空間の利用にあたっては、短期的影響のみず、長期に渡る人体影響も検討すべきである。

地下空間を居住環境として利用した例は、中国の黄土地帯の地下住居(ヤオトン考察団, 1988; Huo, 1986)や外気温度が著しく低温や高温となる、米国ミネソタ大学(羽根ほか, 1988)、ニューメキシコの小学校(Luts, 1976)などがあり、環境実測の結果や利用者の健康問題についての報告がある。しかしながら、これらの報告は厳しい冬の寒さや夏の暑さを避けるために作られた、地表からせいぜい十数m程度の地下空間利用の例であり、100m近くの大深度の空間の人体の健康問題については情報はほとんどなく、今後の問題となっている。

本報では、大深度地下空間を利用する人間が、健康で快適な生活を送るためのあるべき環境条件と、その問題点について生理衛生的観点から論ずる。

*現在の所属：東京医科歯科大学医学部保健衛生学科
健康科学教室

2. 大深度地下環境と人体影響

(1) 熱環境

一般に、地下空間では、外部気温の影響を受けにくく、一定の温湿度環境が得られ易いとされている(図1)。ただし、地下空間の熱的イメージは「涼しい」と

図1 深度別の地中温度の年変動(ヤオトン考察団, 1988)

する者が多いが、実際の地下勤務者では、逆に「暑い」と不快を訴えるものが多いとされている(図2)。

さらに、わが国では、地下水位が高く、夏季には高温高湿となり易いため、壁面の低温化にともない、地下空間は高湿度となりやすい。高湿条件は、体表からの蒸発による放熱を妨げ不快感を増すが、さらにカビの発生を促し、種々のアレルギー反応を生じさせる可能性がある。

熱環境の基準としては、労働者に対する日本産業衛

地下の良いイメージ

地下の悪いイメージ

図2 地下空間のイメージ (渡部と熊谷, 1987)

生学会の高温許容基準(表1), ビル勤務者のための「ビル管理法」による管理基準が存在する。地下空間では, 高温基準はもちろん, 表2の「ビル管理法」の管理基準は最低限守らねばならない。さらに, 季節別のより快適な環境基準(表3)を考慮すべきと思われる。すなわち, 作業量が非常に軽い座業では, 夏季24~27℃, 冬季20~23℃で, 湿度50~60%というような, より狭い範囲とすべきと思われる。

年間を通じて一定の温湿度に地下空間を設定することは, 人体の季節適応を考えると問題が多い。さらに, 活動と睡眠の時間配分を基礎として温度の日内変化(昼高く, 夜低い)も考慮されても良い。特に, 地下空間では太陽光による情報がないため, 季節感や時刻感

表1 高温の許容基準 (日本産業衛生学会, 1988)

作業の強さ	許容温度条件	
	WBGT(℃)	CET(℃) 換算値
RMR~1(極軽作業)	32.5	31.6
RMR~2(軽作業)	30.5	30.0
RMR~3(中等度作業)	29.0	28.8
RMR~4(中等度作業)	27.5	27.6
RMR~5(重作業)	26.5	27.0

(連続1時間作業もしくは断続2時間作業)

表2 ビル管理法による建築物環境衛生管理基準 (枋原, 1988)

項目	基準
浮遊粉じん	0.15mg/m ³ 以下
一酸化炭素	10ppm 以下
二酸化炭素	1 000ppm 以下
温度	17~28℃ (外気より著しく低くしない)
相対湿度	40~70%
気流	0.5m/s 以下

表3 事務所建築物における快適環境基準案(小峯, 1986)

項目	快適基準(案)	
気温	座業	軽作業
	夏 24~27℃	20~25℃
	冬 20~23℃	18~20℃
気流	軽作業—0.5m/s 以下	
湿度	50~60%	
炭酸ガス	0.1%以下	
一酸化炭素	10ppm 以下	
浮遊粉塵	0.15mg/m ³ 以下	
気積	10~13m ³ 以下	
換気量	30m ³ /人/時	
照明	精密	1,000~3,000ルクス
	普通	500
	粗	100~200
騒音	音源となる機械なし	55ホン以下
	同上あり	65 "
	ビル工場	75 "

が薄れがちであるため, こうした配慮が必要であろう。

(2) 空気環境

窓がない地下空間は、自然換気が不十分で、空気が汚染され易く、CO₂、CO、粉塵、その他の有毒ガスによる人体影響が懸念される。

換気不良による健康障害の事例としては、欧米で発生したシックビルがある。すなわち、省エネルギーのため、必要換気量を従来の半分以下まで減少させたため、図3に示すような症状を訴えるビルが多発した。これらの原因と考えられたのが表4であり、また未知の汚染物質の発生も考えられる。

空気汚染が、換気不良のため進行しやすい地下空間では、必要換気量を守り、少なくとも、「ビル管理法」にある、CO、CO₂、浮遊粉塵の管理基準を遵守すべきである。

ビル居室内で、現在最も問題となっている汚染源のひとつが、タバコ煙である。タバコ煙中には、人体に

図3 シックビルによる体の不調の訴え率 (小峯, 1986)

表4 シックビルの原因 (小峯, 1986)

原因 (Cause)	%
換気不十分 (Insufficient ventilation)	29
事務機器 (Office equipment)	17
臭気存在 (Odor presence)	5
温湿度上の問題 (Temperature/humidity problem)	3
タバコ煙 (Tobacco smoke)	2
カーボンレスコピー用紙 (Carbonless copy paper)	2
じゅうたん用洗剤 (Carpet cleaner)	2
ガラスせんい (Glass fiber)	1
空調系に混入したボイラ添加剤 (Boiler additive mixed in air conditioning system)	1
照明不十分 (Insufficient lighting)	1
環境不良 (Poor environment)	1
不明 (Unknown)	12

有害なCO、シアン、NO_x等が多量に含まれており、非喫煙者にも多大な影響を与えることが知られている (浅野, 1985)。しかもタバコ煙中の粉塵濃度を基準値以下にするためには、多量の新鮮空気 (130m³/時・人) が必要とされている。地下空間では、前述したように換気が不十分となりやすく、また防災上の観点からも、裸火の使用は望ましくない。地下空間は、全て禁煙とするか、もしくは喫煙はごく限られた空間のみで許可すべきである。

また最近の研究によれば、地下のコンクリートや土壌に含まれる自然放射性物質に起因するラドン、およびその短寿命娘核種を長期間にわたり呼吸し続けると、肺がんを引き起こすことが知られている (青山と米原, 1986)。発生源の多い地下空間では、何らかの対策を講じないと、その危険性が高いと考えられる。事実、換気がほとんどない地下室では、ラドン娘核種放射線濃度が、欧米の一部で使用されている基準値1500 pCi/m³を越えるところもあるとされている (横山, 1988)。

有害物質は、短期高濃度曝露による影響は比較的自覚され易いが、ラドンや低濃度ガスの長期曝露による人体影響が見過されやすい。地下空間の勤務者には、特殊環境の作業員としての定期健康診断や残業の規制が必要となろう。

(3) 音環境

一般に地下空間は、外部からの騒音が侵入しにくく、内部からの騒音が外に漏れにくいという特性を有している。ただし、地下ではある周波数の音がこもりやすく、地下勤務者の8割が地下空間が「騒々しい」と評価している (図2)。特に地下空間で発生する音 (空調機等) が、勤務者の不快感を増したり生理的影響が出ないような工夫が大切である。

表5 室内騒音に関する適用等級 (日本建築学会)

建築物 (Building)	室用途 (Room Use)	騒音 (NC) (Noise NC)			騒音 dB(A) (Noise dB(A))		
		特級 (Special)	1級 (1st)	2級 (2nd)	特級 (Special)	1級 (1st)	2級 (2nd)
事務所 (Office)	一般事務室 (General office)	35	40	45	40	45	50
事務所 (Office)	会議・応接室 (Meeting/Reception)	30	35	40	35	40	45
集合住宅 (Apartment)	居室 (Living room)	25	30	35	30	35	40
戸建住宅 (Detached house)	寝室 (Bedroom)	25	30	35	30	35	40
ホテル (Hotel)	客室 (Guest room)	30	35	40	35	40	45

(特級: 特別, 1級: 標準, 2級: 許容)

騒音の基準には日本産業衛生学会の聴力保護の立場からの許容基準があるものの、「ビル管理法」には管理基準は示されていない。ただ、日本建築学会による、表5の様な室内騒音基準がある。地下空間を居室以外使用に限るならば、このうち遮音性能上好ましいとされる学会推奨基準を達成することが望ましいと思われる。

また逆に、地下空間は音を完全に遮断しやすいので、特に1人で地下空間にいるときには、過度の静寂は環境の閉鎖性と相まって作業者にストレスとなり得る。

(4) 光環境

自然光の全く到達しない地下空間では、人工照明が不可欠である。しかも、窓のない空間では、照明を明るくしたり、観葉植物を置くなどの適当な対策を講じないと、作業能率の低下することが報告されている(佐藤ほか, 1988)。地下空間における机上照度も、JISの照度基準や照明学会による事務所照度基準にあるように、ほぼ普通の作業では500 lux, 細かい作業では1000 lux 程度の値が参考となろう。

太陽光には、可視光線のほかに紫外線や赤外線が含まれる。紫外線の人体への有益な作用として、皮膚におけるビタミンD形成作用が知られている。ビタミンDの不足は、骨の発育不良・骨化不全を生じ、クル病や骨軟化症の原因となる。日本においては、一般には特に意識しなくてもクル病予防のための日光浴は行われており、またビタミンDも経口摂取により十分に賄われているので、ビタミンD不足は問題とはならないであろう(渡辺, 1971)。ただし、地下空間に長期間滞在し、その間地上に出ないと言う生活は、結果的には太陽光の恩恵を受けることが少なく、クル病の発症率の高い極地住民と同様な結果となり問題が残ろう。

太陽光にはそのほか、紫外線による室内の殺菌、赤外線による室温の上昇や乾燥などのさまざまな働きがある。また、陽当りのよい部屋は気持ちがいいという、太陽光の心理的效果も見逃せない。

このため、地下空間で働く作業者は、1日あたり一定の時間は地上に出るべきで、そのために休憩室は必ず地上に設けるべきと考えられる。

(5) 閉鎖環境

地下空間では、環境の閉鎖性が最も大きな問題となろう。閉所恐怖症の人はもちろん、健常な大人でも、1人では2日を越えると完全な閉鎖空間には耐えられ

ないことが報告されている。すなわち、青年男子を用いた感覚刺激欠乏環境下での実験では、隔離が24時間を過ぎると衝動的行動を示し、それ以後、被害妄想、幻聴を生じるようになり、48時間を過ぎると無気力な状態に陥る(杉本, 1967)。こうした状態では、作業は不可能であり、一日を越えての閉鎖空間での連続勤務の危険性を示している。

また、高層アパート住民に対する調査からも、外出による外界との積極的な接触が精神的な不健康を回避するのに役だっていることが知られている。

さらに、地下空間では、自然光の情報がないため、昼夜逆転勤務等の変則勤務体制をとりがちになり易いと思われる。変則勤務は、正常な人体のリズムに逆らうもので、種々の健康障害をもたらす恐れが大きいことが知られており、安易に地下空間での作業を変則勤務とすべきではない。

3. 個人差について

種々の環境の許容基準は、その多くが健康な成人を対象に作られたものであるため、当初の地下空間の長期滞在者は、健康な成人に限るべきと考えられる。また、いわゆる健康成人にあっても、閉鎖空間での滞在や居住に対する適性を有しない場合もあることを考慮する必要がある。高齢者および年少者については、今後の地下空間利用の経験の積み重ねの中で検討すべきであろう。さらに病弱者のための施設を、地下空間に設けるべきではない。

4. まとめ

大深度地下空間の用途には種々のケース考えられている。しかしながら、地下空間利用による人体影響に関する資料が、現在非常に乏しいことを考慮すると、当初の用途は、緊急性の高いものに限定すべきと考えられる。すなわち、公共鉄道や、上下水道、通信等についての開発を進め、当分は住宅やオフィスとしての地下空間利用は考えるべきでないと思われる。居住環境としての利用は、大深度地下空間が作業環境、公共広場として長期間使用され、地下空間の生活が健康に及ぼす影響の調査結果が蓄積された後とすべきであろう。

本報は、「大深度地下構造物衛生問題研究会」での検討をまとめたものである。長田泰公委員長、ほかの委

員に対し感謝の意を表する。

5. 参考文献

- 青山藩, 米原英典, 1986: 室内ラドンガス濃度と発がんのリスク, 建築保全, 43: 40-48.
- 浅野牧茂, 1985: たばこの健康学, 大修館書店: 16-32.
- 羽根義ほか, 1988: 地下, 光, 空間そして人間, 丸善: 37-63.
- Huo, Yan, 1986: The effects of cave dwelling on human health. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 1(2): 171-175.
- 小峯裕己, 1986: 快適環境・建築衛生学的観点から, IBEC: 29-33.
- 日本産業衛生学会, 1988: 許容基準の勧告, 産業医学, 30(4): 320-325.
- Luts, Frank W., 1976: Studies of children in an underground school. *Underground Space*, 1: 131-134.
- 枋原裕, 1988: 住環境とヒト, 井上書院: 160-188.
- 佐藤仁人ほか, 1988: 無窓居室の視環境に関する研究 その1. 実験概要及び作業成績評価実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集: 75-76.
- 杉本助男, 1967: 感覚刺激欠乏環境下における人の行動様式の変容, *J. J. Aero-space Med. & Psy.*, 4: 61-66.
- 渡部与四郎, 熊谷良雄編, 1987: 地下・空間利用, 国土政策機構: 3.98-3.133.
- 渡辺巖一, 1971: 基礎環境衛生学, 朝倉書店: 88-92.
- ヤオトン考察団, 1988: 生きている地下住居, 彰国社: 104-124.
- 横山真太郎, 1988: 近未来の人間科学事典, 朝倉書店: 441-451.

(1990年6月21日受付)