

大深度地下空間が人間の空間把握に及ぼす影響

HUMAN PERCEPTION OF DIRECTION IN A DEEPER UNDERGROUND OPENING SPACE

田中 敦子*， 中村 聡**， 大澤 充**， 山口 正義***

Atsuko TANAKA, Satoshi NAKAMURA, Mitsuru OSAWA, Masayosi YAMAGUCHI

The authors carried out the researches into human evacuation problem at the urban deeper underground opening space R&D project. As the result of psychological survey, about 60% of human subjects indicated anxious side STAI score at the bottom to the underground space, comparing to the score they indicated at the ground surface. About 70% of human subjects had inconvenient feelings. As for way finding problem, some of human subjects completely lost their way because of its circle cross section shape of the experimental site. The results indicate the importance of the concern for human perception of direction and anxious feelings into evacuation plan in deeper underground opening spaces.

キーワード：地下空間，避難，環境，STAI，状態不安，迷路

1. はじめに

通商産業省工業技術院は平成元年度より『大深度地下空間開発技術』産業技術開発プロジェクトを実施し、平成8年度の実証試験施設ミニドームにおける実証実験をもって終了した。

大深度地下空間とは地表面下50m以深の地下空間と定義される。人間活動が営まれることを前提に大深度地下空間を計画する場合、地盤工学や岩盤工学、掘削工学などの安定した地下空間の構築に関する課題や居住性を扱う地下環境工学等の課題の他に、利用時のアクセスと緊急時の避難の課題の解決が必要である。不測の事態を迎えた場合に安全な回復が期待できる対策を事前に構じることは、万が一の保証として不可欠の検討課題である。いかなる空間でも人間が活動する場では、避難対策は人間の行動能力の把握と万が一の事態の影響範囲の予測が基本になる。人間の行動能力を把握せずに十分な対策を構じることは出来ない。大深度地下空間利用拡大の動きの中で、大深度地下空間の地表までの距離が危険要因として意識されつつあった¹⁾。特に公共目的の空間では訓練されない利用者の避難行動の予測が欠かせない。大深度地下空間における人間の特性に着目した検討は未解決の領域であった。筆者らは本プロジェクトの中で大深度地下空間利用技術、特に地下空間の人間に対する安全性の評価を担当し、人間の退避に関する大深度地下空間の安全性の問題について検討し、主に被験者試験による移動特性や経路選択、地下空間の心理効果など人間工学の側

* 通商産業省 工業技術院 資源環境技術総合研究所 安全工学部

** 東急建設株式会社 技術研究所 環境研究部

*** 住友電気工業株式会社 電力システム技術研究所 エネルギー情報システム研究部

面からの研究を実施してきた。

平成7年度までは、大深度地下空間の安全な利用に欠かせない退避行動検討の基礎データを得ることを目的として、大深度地下空間で退避システムがダウンした場合に必要な数十メートルの高度差の上向き退避についても実験的検討を行い、これに基づき安全性評価のための退避シミュレーションプログラム等を開発した。一連の階段や水平坑道、斜坑などを利用した実験的検討を通じて、人間の上向き移動と平面上の移動の相違等に関する知見を集積した。若年層と30代以上の中高年層では期待できる移動速度が数倍異なることを明らかにし、上向き移動の速度予測式を明らかにした。また煙の存在下での平面移動と上向き移動の様相の違いを明らかにした²⁾。大深度地下空間では退避システムがダウンした場合、適切な避難計画やシステムがなければ人間の通常能力の限界を越える避難が行われかねない。中高年層の移動能力を越える危機的状況を作り出さない工夫が必要である。

一方、地下における人間の方向の認識や誘導の問題が従来より指摘されてきている。一般的な傾向として方向感覚を失いやすいことが知られ、そのため地下街などの公共目的の地下空間では方向を示す標識や目印としての小空間が多数設置されている。大深度地下空間の安全性評価を考える場合、方向性の認識の問題に加えて、不安や恐れなどの要因の考慮も必要である。現実には地下鉄や地下街など公共目的の地下空間は日常のものであるが、日本人の成人で、地下に対して積極的な印象を持つ者は少ないと言われている。住居の地下室がそれ程普及していないからなど、可能な理由は様々あろう。果たして日本人の成人が大深度地下空間にどのような印象を持つのか調査する必要があった。

平成8年度の本プロジェクトの実証試験施設ミニドームの完成を待って、方向性の認識や心理学的な検討を実施した。一連の検討の結果、実証試験施設のミニドームは明らかに被験者の不安を増す効果が確認された(被験者95名)。また円形のミニドーム内で実施した左右対称の迷路で煙を使った経路選択に関する実験(被験者16名)では、誘導がない場合に何人かの被験者が完全に迷い、大深度地下空間における誘導設備の重要性を確認した。

大深度地下空間自体が半数以上に不安を与えることを明らかにした実験結果は、大深度地下空間の避難システムは人間に負荷を与えるものであってはならないことを明らかにした。また大深度地下空間では、一般の公共空間以上に避難誘導情報が認識しやすいことと安全でアクセスのしやすい退避経路システムが重要であることを明らかにした。

平成8年度に実施した実証試験施設におけるこれらの検討の結果を以下に報告する。

2. 大深度地下空間実証試験施設ミニドーム

工業技術院産業科学技術研究開発プロジェクト『大深度地下空間開発技術』では、実証試験施設として神奈川県相模原市田名にミニドームを構築し、プロジェクト最終年度の平成8年度に地下環境工学や安全性評価のための避難や音響等の実験を行った。ミニドームは、地表面下5.0mのレベルから立坑を掘り下げ、次いで-7.0mレベルから-8.2.5mレベルまでスパイラル状のトンネルを掘り進み、最後に直径2.0m、高さ12.5mの半球状の空間を開削したものである(図1参照)。

設備の中で避難に関係するものとしては、地表から-7.0mレベルまでの定員10名のエレベーター、-7.0mレベルから-8.0mのミニドームのホール底面までは半球の壁面に添った階段(写真1参照)を設置した。またエレベーターを設置した立坑には同時に地表から-5.0mレベルまでの回り階段、-5.0mレベルから-7.0mまでは縄ばしごを設置した。

3. 実験方法

3.1 地下空間に対する印象の評価

地下空間に対する印象を、大深度地下空間ミニドームの環境と快適性に対する評価アンケート、および不

安を定量的に測定するSTAIテストの実施によって調査した。

大深度地下空間ミニドームのホール内部の環境や快適性に関するアンケートは、環境に関係する騒音、温度、照明についての6問および快適性に関する6問について、それぞれ5者択一式の設問を設定した。評価の結果は中庸を50点、最悪0点、最良100点として整理した。

STAI(State and Trait Anxiety Test)テストは個人の不安状態の変化を定量的に把握する心理学的調査手法である³⁾。STAIテストは2種類のテストを用いて、本人の緊張や不安に関する感受性の特性と、特定の状態における不安を評価する。個人の特性としての不安傾向の把握には特性不安(Trait Anxiety)テスト、個人の一過性の状態としての主観的な緊張や憂慮の評価には状態不安(State Anxiety)テストを使用する。一般的には、普段のリラックスしたときの状態不安スコアと特定の状況(事態)での状態不安スコアとを比較することで、その状況(事態)の影響を評価する。特性不安テストおよび状態不安テストは、いずれも20問の4者択一式の設問であり、結果は0点から80点の間で定量的に評価され、40点が中庸の状態、評点が高いほど緊張や不安が強いとみなされる。

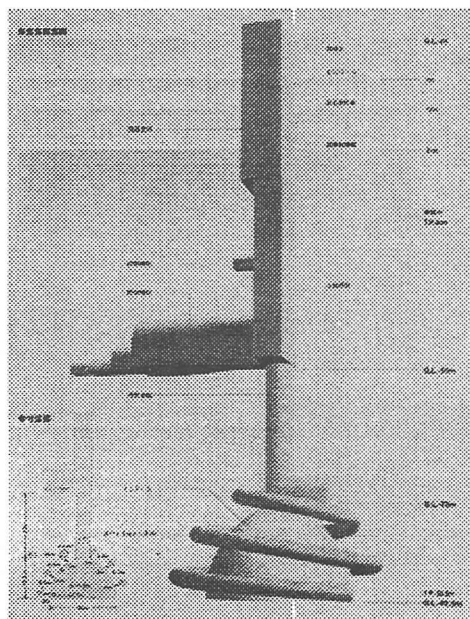


図1 ミニドームの形状

大深度地下空間ミニドームに入ることが何らかの不安を生じさせるものかどうか比較するために、状態不安テストは3度実施した；大深度地下空間ミニドームに入る

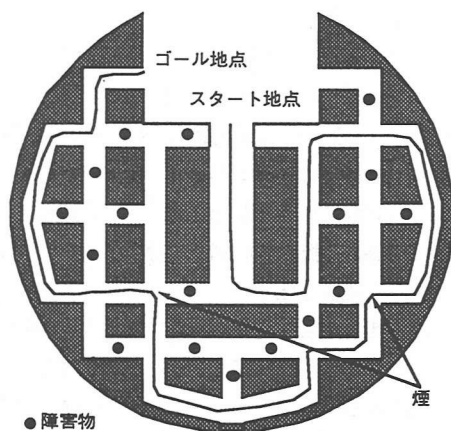


図2 ミニドームに設置した迷路



写真1 ミニドーム内部



写真2 迷路の一部

直前、ミニドーム内ホール到着直後、出坑直後。また、特性不安テストは大深度地下空間ミニドームに入る直前に実施した。大深度地下空間ミニドームのホール内部の気象や快適性に関するアンケートは、ミニドーム内ホール到着直後に実施した。

3. 2 迷路避難実験

地下空間における方向性の認識の傾向を把握し、誘導の効果を評価する目的で被験者による避難実験を実施した。ミニドームは円形のホールを持ち方向を把握する手がかりに乏しく、方向性の認識のテストに好都合の空間形状であることを利用して、ホール内に左右対称の迷路を設置した(図2、写真2参照)。

迷路は入口通路の幅2mの他は全て幅1mの通路で、高さ2mの壁に囲み、周囲の様子は見えないようにした。迷路内の通路が交差する1m×1mの交差点は四方(三方、二方)をカーテンで覆い、前方の様子を見えにくくした。従って交差点は明示的で、通常の避難で指摘される左右の分岐の無視の傾向の影響は排除されている。カーテンで区切られた通路のうち15カ所の中央に障害物を置いた。障害のない正しい経路をたどった場合の所要移動距離は通路中心で70.81mである。設定した経路は、カーテンで仕切った交差点21カ所において右折8回、左折6回、直進7回を求めるもので、右左折と直進の回数がほぼ等しくなるよう配置し、右左折に対する個別の被験者の癖の影響を排除した。

避難経路選択における方向性の認識と誘導の効果を確認するために次の実験条件を設定した。

- 1) 煙あり、誘導無し。
- 2) 煙あり、誘導(光ファイバー誘導装置+誤った誘導音声)
- 3) 煙あり、誘導(光ファイバー誘導装置+正しい誘導音声)
- 4) 煙無し、誘導(光ファイバー誘導装置)
- 5) 煙無し、誘導無し
- 6) 煙無し、誘導(光ファイバー誘導装置+正しい誘導音声)

通路の選択に対する判断を攪乱させるストレスとして、人体に無害な劇場用のスモークマシンで発生させた煙を使用した。

使用した漏洩光型光ファイバー誘導装置は、本プロジェクトの委託事業の一部として住友電工が試作したものである。漏洩光型の光ファイバーを直径約2cmのロープ状に束ねたもので、点滅する緑色のレーザー光をねじれた光ファイバーの束から洩らすことで進行方向を指示することが出来る。本誘導装置を、迷路の入り口から最初の分岐点までは床面に這わせたが、ファイバーにフレキシビリティの問題があったために、迷路の残りの部分では高さ2mの位置に吊り下げた。床面の明るさは1~9Lux程度とした。別途、音声による誘導情報を与えた。煙の発生箇所の交差点のカーテンに番号標識を取り付け、音声で進むべき経路を誘導したが、誘導は誤った情報と正しい情報の二通りを与えた。

迷路内の移動の様子は、ドーム上方に設置したビデオカメラで逐次観察した。

実験は3日に分けて実施したが、迷路に対する慣れの影響を防ぐため、上記の1)~6)の条件の全てではなく、いくつかの組合わせで被験者に試行していただいた。

4. 実験結果および考察

4. 1 大深度地下空間に対する印象の評価

地下空間に対する印象の評価は平成8年10月28日に東急建設技術研究所が実施したミニドーム公開実証実験に招かれたゲスト114名を対象に実施した。114名中95名より得た完全な回答に対して調査結果をまとめた(完答率83%)。約10名ずつのゲストを-70mレベルまでのエレベーターと、これに続く階段でホールに行っていたが、ホール着席後はただちにアンケートの記入をお願いした。

調査に協力を頂いたゲストの構成を図3に示した。

95名の平均年齢は41歳。業種では建設業5割、製造業2割、サービス業1割、その他2割の構成で、専門分野を見ると約6割が土木建築系、職種は約8割が技術者もしくは研究者であった。このような調査協力者の背景を反映し、公共目的の地下空間（地下鉄や地下街など）以外の非公共目的の地下空間に入った経験を持つ者が9割以上を占めた。しかも、過去1年以内に大深度地下空間ミニドームを含む非公共目的の地下空間に入った者が73.9%を占めた。全般に土木建築系の技術者に片寄り、地下の建設現場や鉱山などへの経験が豊富な人々に片寄せた構成である。そのため、大深度地下空間ミニドームに対する印象は比較的可受容的であると予測された。

1) 大深度地下空間ミニドームの環境

大深度地下空間ミニドーム内のホールの環境や快適性に対する評価を図4に示した。横軸は確率分布、縦軸は環境と快適性の評価点で50点が中庸の評価、50点以下が劣る、50点以上が優れているとの評価である。

ゲスト95人の中でミニドームのホールの環境および快適性において0～50点の『劣る～中庸』の評価を下した者は70%あった。環境および快適性ともに20点未満とかなり劣る評価を下した者は40%に達した。

ミニドームのホールは工事現場とは異なり、暖かみを感じさせる中間色で壁面を塗装し、空調（21℃）や音響面の配慮も行い、居住性に配慮した空間であったが、環境や快適性の評価には専門家の考察ではなく個人の居住性への嗜好が率直に反映されたと考えられる。

2) STAIテスト

STAIテストでは特性不安について1回、状態不安について3回（地表、ミニドーム到着直後、地表）のテストを実施した。経験豊富なグループがリラックスを示し、経験の少ない者ほど緊張を示すと予測したが、予測に反する結果を得た。

図5に非公共目的の地下空間に対する経験と状態不安の平均値の関係を示した。Z軸は状態不安のスコアを表し、40以上が緊張側（グラフの白色領域）、40未満がリラックス側（網掛けの領域）を示す。経験と平均状態不安スコアの関係は明瞭ではない。非公共目的の地下空間に2年以内に入ったことがあるグループや10年以内のグループは、ミニドームに入る直前や退出直後に比較して、ミニドームのホール着席直後に状態不安が高まる傾向があった。これに対して、5年以内および10年以上前に入ったことのあるグループではホール着席直後はリラックス傾向を示した。これらの傾向を見るとSTAIの状態不安テストを非公共目的の地下空間への経験と関連づけるのは不適切で、状態不安テストの結果は経験に無関係な回答者個々の地下空間への嗜好を示したものと考えられる。共分散解析の結果も、状態不安の変化と地下空間に対する経験の関係は有意ではないことを示した。

回答者全般で見ると、状態不安の変化の中ではミニドーム到着前後の差が顕著であった（図6参照）。地

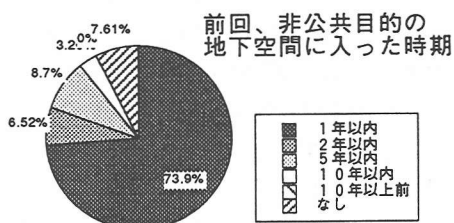
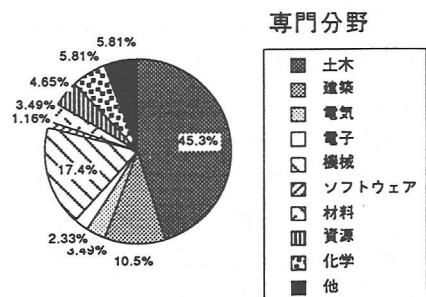
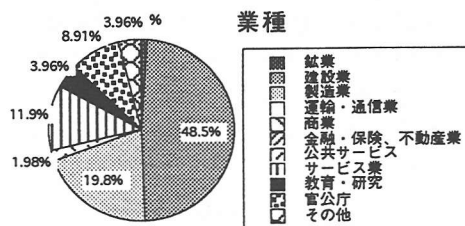


図3 印象評価に協力いただいた人々の構成

表での1度目の状態不安テストと比較すると、ミニドーム到着直後に状態不安が高まったのは全体の6割に達した。緊張側へ5点以上の状態不安の変化を示した者は15%であった。(反対にリラックス傾向を示した者が全体の4割に達し、5点以上のリラックス側への変化を示した者がやはり15%いた。) 状態不安のミニドーム到着前後の値の相関係数は約70%で、不安が強まる傾向があることが明らかになった。

3) ミニドームに対する感想

環境および快適性調査やSTAIテストと合わせて、ゲストに感想を記入して貰った。

その中では、ミニドームのホールの内装や空調に対して快適であるなどの好意的な記述が32人(約33%)からなされ、環境および快適性評価に対して約3割が優れていると評価したこととはほぼ整合した。環境や快適性に対する不満として記述された中では、湿度が高いや寒いなどの空調に関する記述がいくつかあったが、反対の暑くも寒くもないとの記述の件数の方が多数であった。先に述べたとおり、環境や快適性の評価には専門家の考察ではなく個人の居住性への嗜好が率直に反映されたと考えられる。

一方、ミニドームの構造や施設に関する記述が4件あった。

『ELの搬送能力、速度は問題有り。緊急時の避難の際、混乱が起きると思う。100名程度の人を運ぶのに、40分~60分かかると、待っている間、とても不快。』

『頭の上にエレベータがおりてくるのは不安。』

『昇降機が快適であると良い。建設途中の仮設現場の感じがする。』

『地上と隔離されていて不便。』

ミニドームは実証実験施設であるために限界があり、多数を一度に搬送することにおいては不十分な点があったことは否定できない。そのことがSTAIテストの状態不安スコアにおける、経験豊富なグループの中のミニドーム到着後の不安や緊張の高まりとして示されたと考えられる。ミニドームのアクセスや深さが状態不安の背景にあったと考えられる。

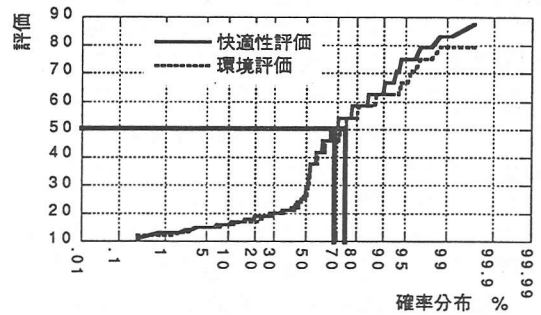


図4 環境および快適性評価

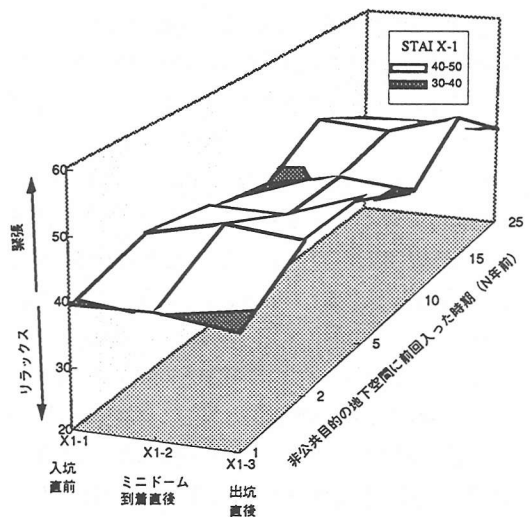


図5 状態不安スコアの変化

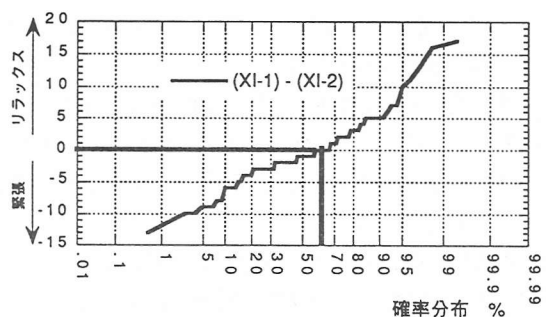


図6 ミニドーム到着前後の状態不安の変化

4. 2 避難実験

表1 所要時間

1) 所要時間

本実験の被験者として、年齢は20歳から64歳までの、技術系を11名含む16名（女性5名）に協力を頂いた。迷路の所要時間を表1に示した。

被験者がはじめて迷路に入った際の記録は表中に太線で囲んで表した。

誘導のない状態で煙の有無（条件1および条件5）は平均所要時間に約70秒の差をもたらした。

誘導の音声情報の正誤（条件2および3）は大きな差をもたらさなかった。音声情報を聞き取っても、煙で視認距離が小さいため音声で指示した標識をを即時に判別出来なかったことが理由に上げられる。音声情報に対応した明示的な光源を備えた視覚情報提示を設定できなかった点で、条件2および3の実験の音声情報の提示は失敗であった。

煙による視認距離の抑制の状態は、漏洩光型光ファイバーにおいても同様である。方向を示す光のサインが煙の中では認識しにくい、煙を与えた条件2、3と煙のない条件4、6では所要時間に約1分の差が生じた。

煙のない状態で漏洩光型光ファイバー誘導装置を使用した場合（条件4、6）では所要時間が約1分半程度、平均歩行速度は約47m/分と最も速い。試行のくり返しによる学習効果も所要時間の短縮に影響したと考えられるが、煙と誘導のない状態（条件5）の平均所要時間が約3分であるので、迷路自体に要求される探索時間は平均1分半と見なされる。

従って、迷路を移動する所要時間に対してそれぞれの要因の影響は次のように考えられる。平均最短所要時間約1分半に対して、探索行動が平均90秒の遅れを生じさせ、一部区間の煙による視認距離の低下が平均約70秒の遅れを生じさせた。漏洩光型光ファイバー誘導装置は煙のある条件では平均70秒の所要時間の短縮、煙のない条件では平均90秒の所要時間の短縮をもたらした。

2) 探索行動

誘導のない状態における探索行動について述べる。誘導のない状態（表1の条件1、5）では、被験者によっては迷路の脱出に7分33秒、6分29秒、6分3秒と長時間を要した者があった。漏洩光型光ファイバー誘導装置による誘導があった場合の平均所要時間の4倍以上の時間である。長時間の探索を行った被験者の内訳は女性1名（被験者A）、男性2名（被験者E、N）であった。

被験者A、Eの条件1における軌跡を図7に示した。被験者A、E共に所要時間は長い、進路の取り方に相違がありAは停滞型、Eは多動型と言える。被験者Aは歩行速度が平均13.5m/分と非常にゆっくりとした探索行動を取り、1分間の停滞も見られた。これに対し、被験者Eは進路の取り方を検討するために、入り口の位置の確認に2度戻った。Eの平均歩行速度は24.4m/分であった。

平均的な所要時間を示した被験者Fの例を図7の下段に示した。移動の軌跡は被験者Aと似ているが、平

条件	1	2	3	4	5	6
煙	○	○	○	×	×	×
漏洩光型光ファイバー	×	○	○	○	×	○
音声（正）	×	×	○	×	×	○
音声（誤）	×	○	×	×	×	×
A	6:29	1:53	2:13	1:27		
B	2:19		3:21			
C	2:41		1:48			
D	3:13	2:10	2:12	1:38		
E	7:33		1:50			
F	2:35	1:56	1:55	1:13		
G			2:54			
H			1:25			
I			1:51			
J		3:37	3:13		2:42	1:35
K		3:10	3:36		2:02	1:57
L		2:05	2:40		1:53	1:18
M		2:30	3:59		2:44	1:44
N					6:03	
O					2:07	
P					3:04	
平均所要時間（分）	4:08	2:28	2:32	1:26	2:56	1:38

均歩行速度が37.2m/分と速い。

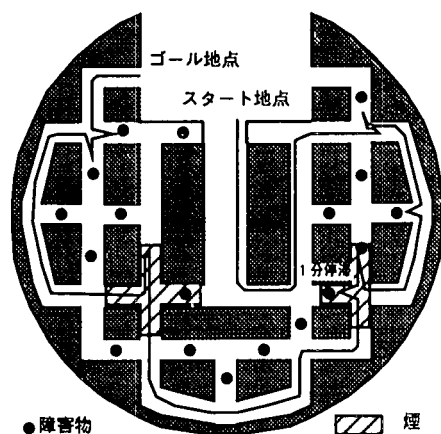
途中で1分間立ち止まるなど探索に長時間を要した被験者Aは、煙が何カ所で発生しているのか分からず、いたる所から煙が発生していると考えていた。方向感覚が失われたようである。多動型の被験者Eは迷路の途中の曲がり角を行き止まりと考え、他の方向を探索するために入り口を再三確認しに戻ったとのことであった。

迷路実験に協力して頂いた被験者のミニドーム到着直後のSTAIテストの結果は、全般に状態不安スコアに大きな値を示した。状態不安スコアは被験者A（所要時間大）が47、被験者F（所要時間小）が48とともに大きな値を示した。状態不安と探索行動の関係は単純なものではないことがわかる。被験者Aに限れば、不安や円形のホール内の左右対象迷路が方向感覚の喪失に影響を与えた可能性もあろう。

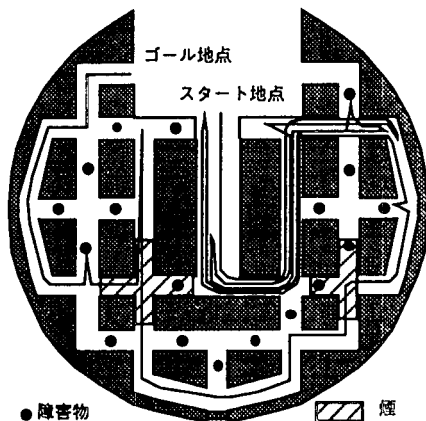
誘導のない状態での探索活動における進路の取り方と煙の有無の関係について述べる。

先に述べたとおり、交差点の全ての分岐方向はカーテンで覆われて明示的であり、また交差点の右左折と直進はほぼ等しく配置したので、通常の避難の左右の分岐の無視の傾向の影響は排除されたものである。煙のない視界の遮られない状態の交差点では、全般に被験者は全方向をチェックした上で正しい方向を選択して進んだ。しかし、被験者の右優先もしくは左優先の癖は顕著に表れず、交差点で曲がった側の壁近くを進み（左折では左壁）、次の交差点では手近の分岐（左壁から左の分岐）から調べ始める傾向が見られた。

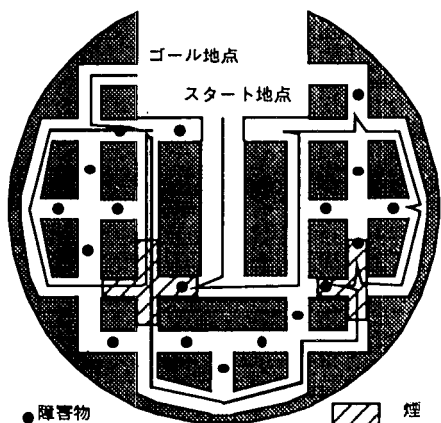
煙を発生させた交差点は1カ所が右折の次の左折、もう一カ所が直進から左折を要求するものであった。右折の次の左折を要求する交差点では右側の分岐からの探索、直進の次の左折を要求する交差点では直進方向の分岐から探索する傾向が見られた。煙の有無は関係なく、進路の選択に直前の交差点の曲がり方が慣性のような影響を与えたように



被験者 A（女性）：移動距離 88 m、所要時間 6 分 2 9 秒



被験者 E（男性）：移動距離 184 m、所要時間 7 分 3 3 秒



被験者 F（女性）：移動距離 96 m、所要時間 2 分 3 5 秒

図7 探索行動の例（煙発生、誘導なし）

見える。円形のミニドーム内の左右対称の迷路は方向を認識する手がかりが乏しく、被験者の正常な方向感覚が乱され、やみくもの探索行動が表れた可能性が考えられる。

5. 結論

地下82.5mのレベルに建設された大深度地下空間実証試験施設ミニドームにおいて大深度地下空間がや人間が受けた印象の評価や心理的影響に関する調査、および迷路の移動実験を実施した。

その結果、以下のことが明らかになった。

1) 大深度地下空間に対する印象の評価

環境・快適性調査ならびにSTAIテストの結果、半数以上が大深度地下空間実証試験施設ミニドームに対して快適ではない印象を持ったり、不安を感じたことが明らかになった。大深度地下空間実証試験施設ミニドームは暖かみを感じられる内壁の塗装や、空調、反響を抑制する布の吊り下げなど、全体として建設現場とは異なった空間であるが、実証試験施設であることの限界があった。

印象の評価では114名を対象に調査し、95名からの回答を得た。回答者の業種構成は建設業が約半数、製造業2割、サービス業1割、その他2割で、過去一年以内に非公公共目的の地下空間に入ったことがある者が7割を越えていた。回答者の構成は地下空間に業務上関係する者が過半数であったため、受容的な評価を予測したが予測に反する結果を得た。

自由記入意見として「快適」や「寒い」など相反する意見があり、環境・快適性の評価に関しては個人の嗜好が率直に反映された。また「エレベーターが頭上にある。アクセスが不便。」などの意見があった。設備や深さがSTAIテストで検出された不安に結びついたと考えられる。

今後の大深度地下空間の開発利用には、アクセスや内部の快適性を高める工夫が必要である。

・環境および快適性評価

騒音、温度、照明等に対する環境評価、並びに快適性の評価では、7割の回答者が中庸から劣るとの評価を下した。

・STAIテスト

確立した心理学的手法であるSTAIテストを実施して、個人の特性不安と、ミニドームに入る前、ミニドーム内ホール着席直後、ミニドーム退出直後それぞれの状態不安を調査した。状態不安の変化を見るとミニドームに入る前と、着席した直後では、約6割の回答者が不安傾向、4割がリラックス傾向を示した。全体として状態不安スコアの不安側もしくはリラックス側への5点以上の変化を示した者は約15%ずつであった。非公公共目的の地下空間への経験と状態不安に相関は見られず、共分散解析の結果も状態不安の変化と地下空間に対する経験の関係は有意ではないことを示した。被験者全体の約7割がミニドーム到着直後に不安傾向を示した。ミニドーム到着前後の状態不安値の相関係数は約0.7で、地下に入って不安が強まる傾向があることが明らかになった。不安傾向は深さとアクセス手段に起因するものと考えられる。

2) 避難実験

ミニドームの円形ホールに左右対称の迷路を設置し、正しく移動した場合70.8mの経路に漏洩光型光ケーブル誘導装置を置き、被験者16名に対して6通りの条件を選択的に試行していただいた。本実験の迷路は円形のホール内にあるため手がかりが乏しく、現実の公共目的の空間とは著しく異なって誘導装置なしでは進むべき経路が分かりづらい。

誘導なしでの平均所要時間は約3分であったが、漏洩光型光ケーブル誘導装置は所要時間を約1分半短縮した。煙を2カ所で発生させた誘導のない場合は、被験者が迷路を脱出するまでの時間は平均70秒遅れた。誘導なしの実験条件で被験者の中には方向の認識を完全に失った者もいた。

迷路移動の所要時間から明示的な進路を示す誘導装置の効果が明らかになった。地下に対する不安が半数以上に見られたことや不用意な設定の場合に方向認識を完全に失う者も生じることを念頭にいれ、大深度地

下空間の開発利用においては通常の地下空間以上に、安全対策には明示的な誘導システムを備える必要がある。

・所要時間

全長70.8mの迷路での平均最短所要時間約1分半に対して、探索行動が平均90秒の遅れを生じさせ、一部区間の煙による視認距離の低下が平均約70秒の遅れを生じさせた。漏洩光型光ファイバー誘導装置は煙のある条件では平均70秒の所要時間の短縮、煙のない条件では平均90秒の所要時間の短縮をもたらした。

・探索行動

誘導のない状態での迷路内の探索行動は被験者によって所要時間に差があった。被験者によっては、煙が何カ所で発生しているのか分からず、いたる所から煙が発生していると考えた、方向感覚が失なわれた者もいた。迷路内の曲がり方に被験者の右優先もしくは左優先の癖は顕著に表れず、交差点で曲がった側の壁近くを進み（左折では左壁）、次の交差点では手近の分岐（左壁から左の分岐）から調べ始める傾向が見られた。煙の有無は関係なく、進路の選択に直前の交差点の曲がり方が慣性のような影響を与えたと考えられる。円形のミニドーム内に設置した左右対称の迷路は方向を認識する手がかりが乏しく、被験者の正常な方向感覚が乱され、やみくもの探索行動が表れた。

被験者のSTAIテストの結果、全般に状態不安スコアで大きな値を示したが、状態不安スコアと迷路の所要時間に相関はない。

謝辞

本研究は通商産業省工業技術院が実施した産業科学技術研究開発プロジェクト『大深度地下空間開発技術』の実証試験の一部として実施した。本研究の実施にあたり、工業技術院産業科学技術研究開発官室ならびにプロジェクト委託先である新エネルギー・産業技術総合開発機構、および委託研究実施者である財団法人エンジニアリング振興協会の関係者の方々が、研究実施のために調整や設置など多大な労力を割いて下さった。また、東急建設株式会社技術研究所、住友電気工業株式会社および資源環境技術総合研究所の関係者およびその他の方々には、実験の設営の援助や、被験者としてのご協力をいただいた。全ての関係者に深い感謝の意を表す。なおSTAIテストの実施には、近畿大学教養部岸本陽一教授の御教示を賜った。また神戸大学工学部室崎益輝教授には、避難に関する御教示ご鞭撻を終始賜っている。深甚なる感謝の意を表す。

引用・参考文献

1) 火災学会、『大深度地下空間の開発と火災対策』1992

東京消防庁、『都市の地下空間における施設の防火安全対策に係る調査報告書』,1991

損保協会、『地下空間に係る安全・防災対策に関する調査・研究報告書』1991, など

2) Atsuko Tanaka, Hiroyuki Imaizumi, Masayoshi Takahashi, Takeshi Komai, Takehiro Isei, "Evacuation from Underground Opening Space to Surface: Effect of Smoke", Proc. InterFlam '96, pp. 753-762, 1996.3

田中敦子, 今泉博之, 高橋正好, 井清武弘, "Traveling speed alternation of human in evacuation from underground opening space to surface", Proc. AsiaFlam '95, pp. 519-524, 1995.3

Atsuko Tanaka, Takeshi Komai, Takehiro Isei, "Simulation code for fire escape from underground space; ACES", Proc. Underground Openings for Public Use, pp. 377-383, 1994.6

田中敦子, 駒井武, 井清武弘, "地下空間からの退避行動の実験的検討と退避行動シミュレーションシステムの試作", 資源と素材, Vol. 109, No. 9, pp. 714-717, 1993.9

3) 岸本陽一, 寺崎正治, "日本語版 State-Trait Anxiety Inventory (STAI) の作成", 近畿大学教養部研究紀要, Vol. 17, No. 3, pp. 1-17, 1986 など