

カッパドキアの地下都市の住環境に関する研究

名古屋大学 工学部 建築学科

防災安全工学講座 辻本研究室

和田 浩之

1995年2月

目次

第1章 序論

- 1) はじめに 1
- 2) 研究目的 2

第2章 カップアドキアの地下都市について

- 1) はじめに 4
- 2) 歴史的背景 5
- 3) 地形の成り立ち 7
- 4) 地理と気候 8

第3章 現地調査

- 1) はじめに 9
- 2) 現地調査 11

第4章 シミュレーションプログラムの構成

- 1) はじめに 20

2) 二層ゾーンモデル 21

3) 数値計算シミュレーション 24

第5章 シミュレーション結果と考察

1) はじめに 27

2) シミュレーション結果と考察 28

第6章 その他の住環境因子

1) はじめに 48

2) 日照、採光 49

3) 衛生（給・排水、汚物の処理） 50

第7章 まとめと今後の展望

1) まとめ 51

2) 今後の課題 52

参考文献 53

謝辞 54

第1章

序論

1) はじめに

人類と地下空間との関わりは古く、約50万年にまでさかのぼる。原始時代においての地下空間の役割は、人類を自然災害から守ることであった。つまり、構造物としての「地下空間」を住居の場として用いていたのである。そして、時代の経過とともに地上建築の技術が進歩すると、生活の基盤が「地下」から「地上」へと移っていった。

そして現在、社会、経済に目ざましい発展を遂げ、かつてないほどの豊かな時代を迎えた。それにともない、人口増加問題、自然破壊や都市の荒廃など、特に狭小な国土に大人口を抱えるわが国では深刻な問題になっている。

こうした土地利用の高密化の要求にともない、地下空間を効率的に利用しようという声が起こってきたのである。いわば文明の発達で地下空間を新たな意味で求めはじめたということができる。

しかし、地下空間を恒常的に居住に供する経験がきわめて少なく、地下居住が居住者に及ぼす影響などに関する知見がいまだ不足している。

そこで、歴史上にみられる地下空間利用の事例について調査し、将来私たちが新たに地下空間を利用するために参考とすべき手法を見いだすことは、重要な課題であろう。

2) 研究目的

太古の昔から、地下空間が住居として利用されてきた。先史時代の洞窟利用、現在でも3、4千万人の人々が生活している中国のヤオトンなどさまざまである。

しかし、ここで扱う「地下空間」とは、ほぼ水平な地表 (GROUND LEVEL) に対してこれよりも下に位置する生活空間であり、地表より突き出た部分に横穴を掘ったり、山の上部から掘り下げた場合などはその定義から外れる。つまり、鉛直方向にしかならぬ動線がない地下空間をいう。

なぜ、このような定義の地下空間に定義したかといえ、地下空間利用の際に環境工学的に問題となるのは、第一に換気等によって左右される空気環境と日射、採光等の光環境であると判断され、上で定義された地下空間では、十分な量の空気や、光を供給するのが難しいとされているからである。

地下空間住居利用の歴史の中で上の定義に当てはまる代表的な例が、紀元前に造られ、その一部はいまなおそのままの姿で現存する、トルコのアナトリア高原に広がるカッパドキア地方の「地下都市」である。他民族の侵略、宗教的迫害、自然の猛威等から身を守るために築いたもので、居間、キッチン、教会、学校、墓地、ワイン倉など日常生活に必要なあらゆる機能が備えられている。現在 地下8層まで調査が進み、数千から数万もの人々が住居として利用していたといわれている。そしてこの「地下都市」では通気孔が地表に抜け、現在もなお絶えず新鮮な空気が地下に流れこむようになっているという。(文献1)

そこで、本研究では、カッパドキアの「地下都市」における換気を中心とする住環境因子の分析を通じて、今後の地下空間利用に関する有用な知見を得ることを目標とする。

その手法として

- ☆ 各室空間の幾何学的な構成を明らかにする
- ☆ 各空間の温度、湿度の測定
- ☆ 空間の用途/それともなう発熱量等を明らかにする。

- ☆ 換気計算網プログラムを利用して、各空間での換気量（特に換気用と判断される縦シャフトでの換気量）を計算し、これが測定結果と矛盾しないかを確認
- ☆ 外気温度、室温の変化等による換気量の変動を推定し、実際、対象空間でどの程度生活環境が保たれていたかについて推測する

などがあげられる。

第2章

カッパドキアの地下都市について

1) はじめに

人間と地下空間の歴史は古いが、利用の動機はそれぞれの地域や時代の違いによってさまざまである。そして、それとともに住環境も変わっているはずである。

そこでまず、現存するカッパドキアの「地下都市」の住環境を調査する前に、そのバックグラウンドを調べ、地下空間利用の動機、理由等をさまざまな角度から追ってみる。そして、住環境がどのように変わってきたか考察を行っていく。

この章ではまず、以下の角度から追ってみることにする。

☆ 歴史的背景

☆ 地形の成り立ち

☆ 地理と気候

について調べていく。

2) 歴史的背景

カッパドキアの歴史は紀元前8000年ごろの旧石器時代にまでさかのぼる。このころからこの地方に人が住みはじめ、狩猟生活を行っていた。そして石器や手斧を使って地下に穴を掘り、貯蔵庫などとして利用する習慣がこのころからあったといわれている。

紀元前2000年はじめ、アナトリア地方最初の統一国家があらわれる。ヒッタイト帝国がそれである。ヒッタイトは黒海を渡ってきた北方系民族で、鉄器を初めて使用したことで知られている。

ヒッタイト帝国崩壊後、ここには多数の公国ができた。そして、紀元前6世紀には、フリギアの統治下におかれた。フリギア人はキベレ教を信仰し、岩を削ってたくさんの祭壇をつくり、以前からあったものも自分たちの様式にかえてしまった。フリギアが衰退した後、カッパドキア地方はリディアに制服されたが、紀元前4世紀半ば、リディアはペルシャに破れて滅亡した。ペルシャはギリシャ語でサトラップ、ペルシャ語でクシャトラバと呼ばれた長官をおいて地方を治めた。サトラップの総数は20を下ることはなかったという。毎年の年貢は馬や金銀で納めていた。ペルシャ語で、カトウパトゥキヤは“名馬の産地”を意味した。カッパドキア地方はダスクリオンのサトラップの支配下におかれ、岩を削って作った洞窟は、身を守るための避難所となった。

アレキサンダー大王がカッパドキアの南部を征服したのは紀元前334年である。彼は、カッパドキアに自治権を与えたため、カッパドキア王国は発展した。アレクサンダーの死後、後継者問題でその大帝国は弱体化した。ディアドコイと呼ばれた大臣たちによって帝国は分割され、ヘレニズム諸国間の勢力争いは300年も続いたが、紀元前30年、ついにローマに屈しヘレニズム時代は終わりを告げた。

パレスティナ地方でキリスト教を起こしたイエスはローマ帝国のエルサレム提督ポンティオス、ピラトの命により、新しい国を造ろうとしているという罪で十字架にかけられ処刑された。イエスの弟子たちはパレスティナをのがれ、各地に教えを広めていった。カッパドキアにはキリスト教の歴史上重要な役割をはたした人物が生まれ、中央アナトリアには急速にキリスト教が広まり、教会や修道院もつぎつぎと建てられた。初期のキリスト教徒たちは、身の安全のために岩に隠れ家をつくったり、以前からあった祭壇を教会にかえたりした。また、貯蔵庫として利用されていた地下空間を掘り下げ、教会や、住居をつくった。こうしてキリスト教は、2世紀の終わりには、カッパドキア全域へと広がっていった。(文献1、2)

313年、東ローマ帝国のコンスタンチヌス帝の時代にキリスト教は公式宗教なり（ミラノ宣言）、教徒たちに自由がおとずれた。しかしコンスタンチヌス5世の時代に偶像禁止主義がひろがった。

そして、7世紀にアラビアに生まれたイスラム教はキリスト教国家ビザンチンを脅かし、ふたたびカッパドキアはその地下都市や、岩窟教会を使用することとなった。

1017年にセルジュクトルコがアナトリアを征服した。しかしビザンチン帝国のキリスト教信仰も禁止されることはなく、これらの避難所としての意味も薄れていった。

しかしこの生活もオスマントルコの支配によってピリオドが打たれ、キリスト教徒は長期にわたって岩穴に隠れすむ生活を余儀なくされた。その結果、この生活スタイルは、実に今世紀はじめまで維持されてきたが、第一次世界大戦後に数年間続いたトルコ・ギリシャ戦争の停戦とともに、両国間の協定（ローザンヌ条約）によって、すべてのキリスト教徒がギリシャ側に送られ、キリスト教系穴居住民は姿を消した。1923年の事であった。（文献1、2）

これらのことを表にまとめると（表2・1）のようになる。はじめ、貯蔵庫として地下空間が利用され、それぞれの時代の住人が拡張していき、現在の規模になったものとおもわれる。

（表2・1）：カッパドキアの地下空間利用の歴史

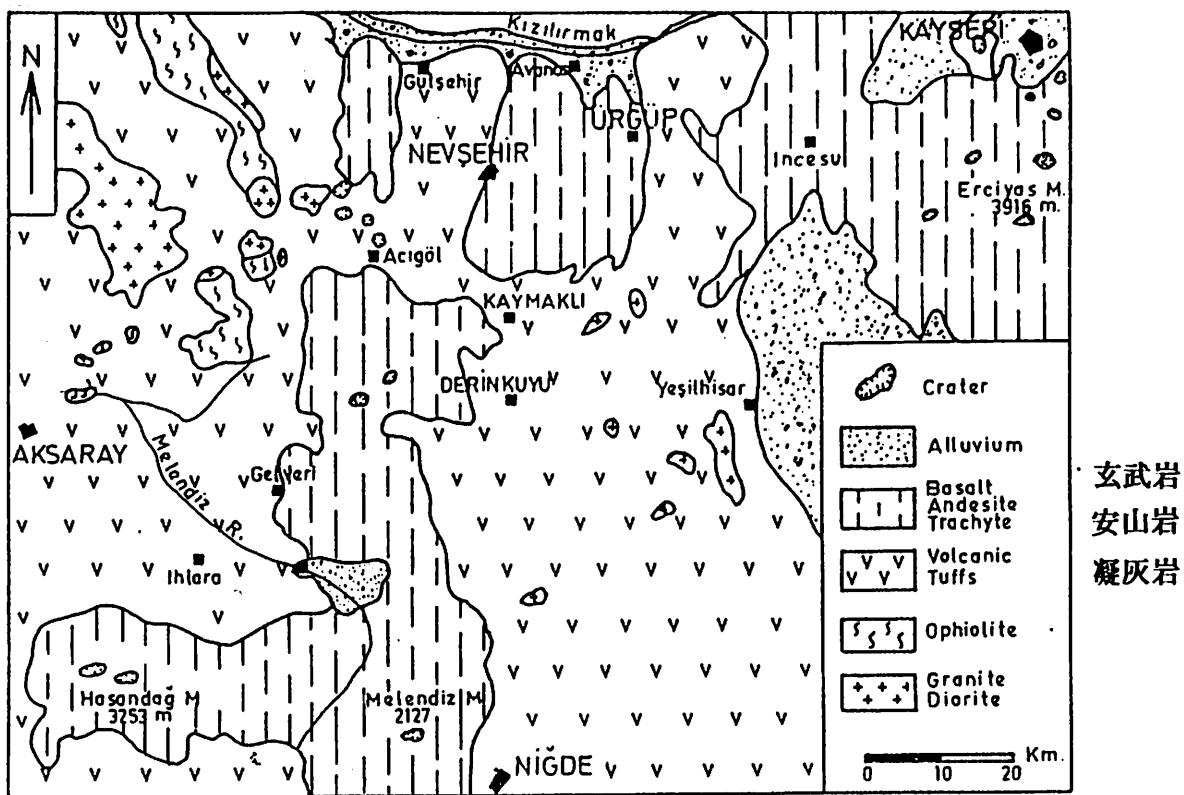
時代	年代	カッパドキアの地下空間利用の歴史
旧石器	BC 8000	<ul style="list-style-type: none"> ・このころから地下空間を貯蔵庫として利用。
青銅器時代	2000	
ヒッタイト		
ペルシャ帝国による征服	700	<ul style="list-style-type: none"> ・岩を削って洞穴を作り、他民族の侵略から身を守るための避難所とした。 ・カッパドキアでキリスト教が広まり、迫害から逃れるため、岩窟住居、教会、地下住居などが作られた。 ・イスラム教徒による迫害から逃れるため、地下住居での生活を余儀なくされ、現在の規模の地下都市に。 ・セルジュク・トルコの時代は、キリスト教信仰が禁止されることもなく、地下住居はあまり利用されなかったが、オスマントルコの時代には再び利用。 ・トルコ、ギリシャ戦争の停戦とともにキリスト教徒は、ギリシャ側に送られ、穴居住民は姿を消す。
ヘレニズム・ローマ時代	334	
ビザンチン帝国時代	AD 395	
セルジュク、オスマン・トルコ時代	1077	
	1922	
	1923	

3) 地形の成り立ち

地球構造期における第3形層紀に、南のタウルス山に大きな変化が起き、北のリカオニア平野（現在のコンヤ平野）の地盤に亀裂が生じ非連続的な火山層が出現した。また、カイセリの南部のエルジェス山（3917m）、西のハサン山（3258m）、そしてメレンデス山の度重なる噴火活動によって、カッパドキアは溶岩と火山灰でおおわれた。

この地域の雪どけ水による地域の侵食と地下水の形成、長年の雨風による岩の侵食と亀裂は溶岩と火山灰層からなるカッパドキアに、独特な地形と峡谷をもたらした。そして、簡単に削ることができ、削ると表面が酸化して固まるという地質と地下水は、人々がここで数百年にわたって生活する要因となったのであろう。

ここで、地質の分布図（図2・1）を見ると、凝灰岩地帯で地下都市が、そして玄武岩、安山岩地帯では洞穴住居、岩窟教会などが作られたことがわかる。



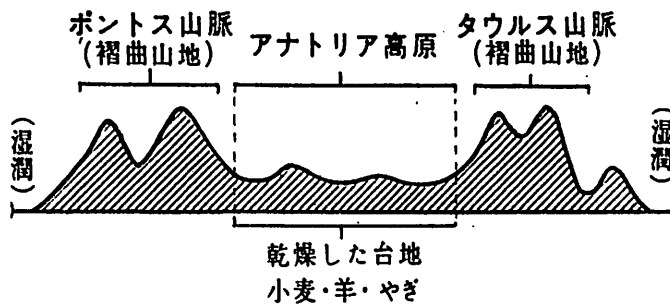
(図2・1) : 地質分布図 (文献3)

4) 地理と気候

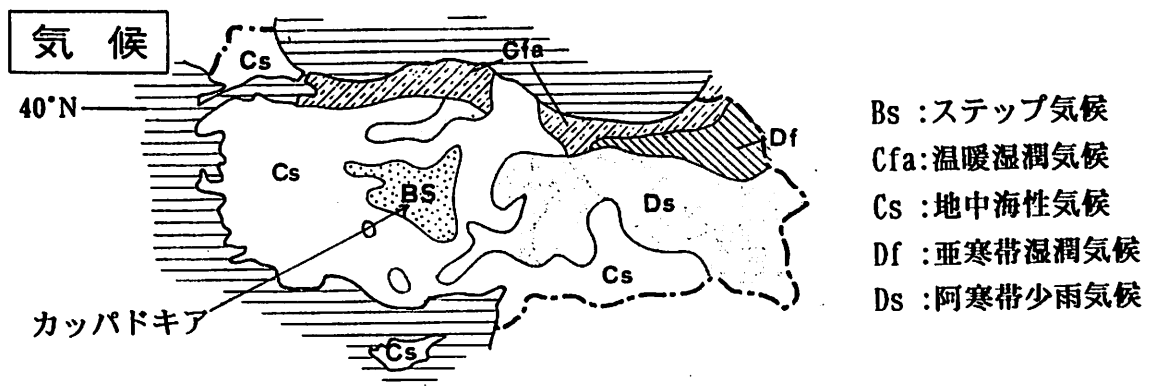
トルコの北側には、ポントス山脈、南側にはタウルス山脈がはしり、その間にアナトリア高原が広がる。(図2・2) カップバドキアはその中心に位置する。

アナトリア高原は、乾燥したステップ気候。(図2・3) 標高800m~1500mと高地にあるので、夏の日中は40℃を越えることもたびたびある。また、冬には高地で雪がふり、相当な寒さである。

カップバドキアの地下空間は、地下の特性をうまくいかした代表的な例である。地下は室内気候が安定しており、一年を通じて温度変化が少ないということから、食料の保存に適しているし、この厳しい気候のもとで暮らすには、地下空間のほうが快適な温度が得られやすい。また、この地方は砂埃が激しいので、地下空間ではそれが軽減されるなど、昔から先人たちは、これらの長所を生かして地下空間を利用してきた。



(図2・2) : 地形断面図 (文献4)



(図2・3) : 気候図 (文献4)

第3章

現地調査

1) はじめに

カッパドキア地方とは、ギョレメ村をほぼ中心とした半径50～70 kmほどの地域を指す。エルジェス山のふもとから火山活動と侵食作用によってできた奇岩が広がっている。

「カッパドキア」というと、一般的にはカッパドキア地方の大部分をしめる奇岩群をさす。カッパドキアの中でも、その光景はいかにも奇怪で来た人の心を魅了してやまないのであろう。また、迫害を逃れたキリスト教徒がその奇岩をくりぬいて教会を作り、そのなかにはいまだにフレスコ画がのこっているということもあって、その調査も進んでいる。

私は、この研究をすすめるにあたって、難航をきわめた。なぜなら、第一に、日本で入手可能な「カッパドキア」の論文や資料が非常に少ないということである。そして、第二に、「カッパドキア」について書かれているもののほとんどの内容は、奇岩群のことや、洞窟教会のことばかりであったということである。カッパドキアの地下都市については紹介程度であり、住環境を研究するための資料は十分ではなかった。

そこで、以前名古屋大学工学部土木学科に所属し、現在東海大学海洋学部海洋土木工学学科助教授のアイダン・オメール先生にご紹介いただいて、イスタンブール工科大学土木工学学科のエルドアン・ユゼール教授にカッパドキアに関する資料を送っていただいた。しかし、いただいた資料には、住環境に関するものはなかった。

カッパドキアの地下都市については、トルコ政府ですらまだ発掘調査中であり、まだ未開の地が多いということである。故に、世界の七不思議のひとつにかぞえられているのであろう。

しかし、調査が進み観光向けに一般公開している地下都市が現にあり、自然換気が行なわれているというので、私は現地におもむくことにした。

2) 現地調査

1994年11月半ば、私は学友2名とともにトルコへむかった。イスタンブール工科大学にて、ユゼール教授に Cappadocia の地下都市について率直にご教授頂き、さらに同教授の助力で、無事 Cappadocia を旅することができました。

イスタンブールから Cappadocia への主な交通手段は長距離バスである。道路はよく整備され、サービスや乗り心地も満点。12時間という道程も快適なものであった。

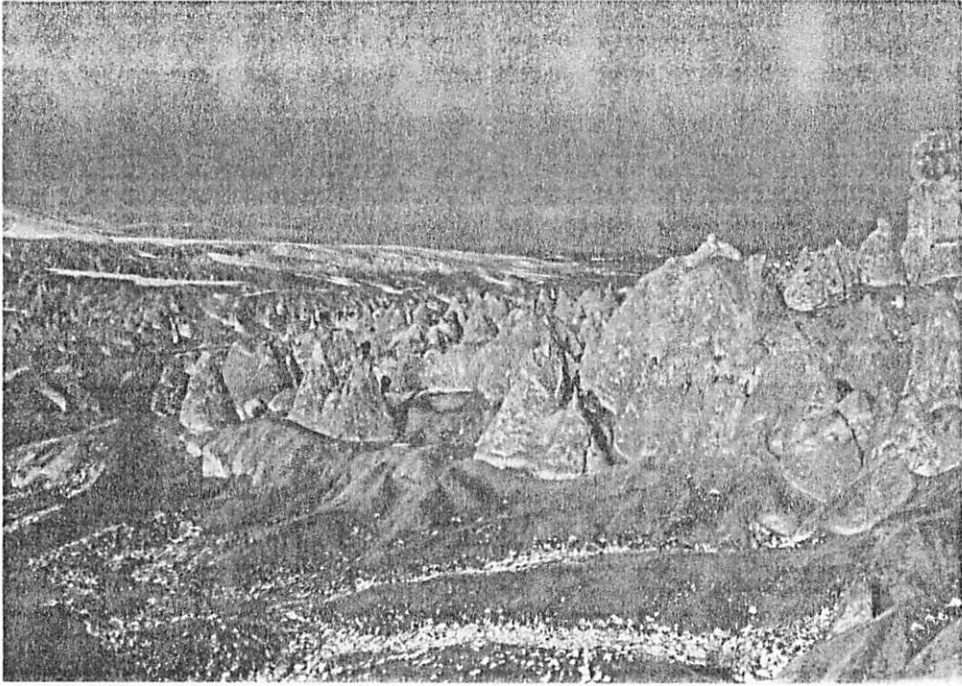
翌朝、バスのなかで目が覚めたころには、外は雪景色。トルコは日本より冬が早く訪れ、10月頃から雪が降るといふ。

Cappadocia での初日は、ガイドを付けて奇岩群を見てまわった。まず、見晴らしのよい高台のうえで。そこでは、写真を見ただけでは感じる事ができない壮大な光景が迫ってきた。今まで見たことも感じたこともない異次元の世界であった。(図3・1) ここは映画「スター・ウォーズ」の撮影に使われたというのも納得できる。

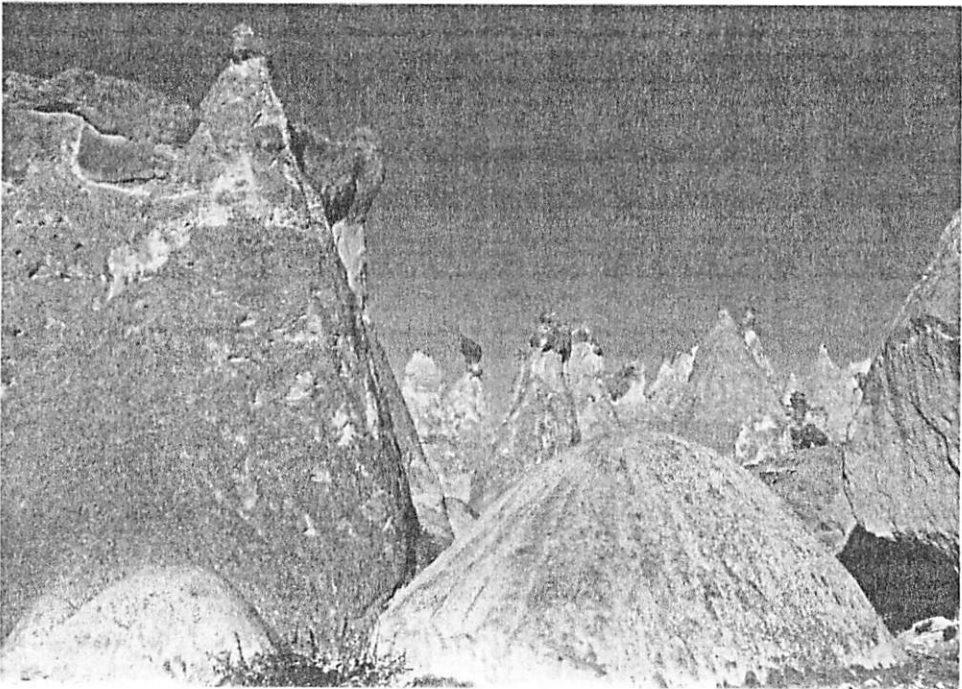
ここでは時間が止まっていた。Cappadocia のこの奇岩形成の歳月に比べて私たちの人生などほんの一瞬でしかなかった。

今度は、奇岩のふもとに来た。その奇怪なきのこ型をした岩は、見る角度によって冠、ラクダ、鳥など色々な形に見える。(図3・2) キリスト教徒がこの地に教会を作り、聖なる場としたこともうなずける。また、奇怪で人の住めそうにないと思わせるこの地は、迫害から逃れるには、絶好の場であったに違いない。

また、これらの岩をくりぬいて作った住居や教会の内部は、気温はそれほど変わらないが予想以上に暖かく感じた。



(図3・1) : カップドキア奇岩群



(図3・2) : カップドキア奇岩群

翌日、私の研究目的である「地下都市」にむかった。現在見学可能な地下都市は、3箇所ある。「カイマクル」、「デリンクユ」そして「オズコナーク」がそれである。その中でも「カイマクル」においては地下4階まで見学が可能で、地下8階まであり、1万5000人が住んでいたのではないかとされている。「デリンクユ」においては、現在地下8階間で見学が可能で、1万人以上の方が住んでいたのではないかとされている。いずれの地下都市でもいまだ通気孔から空気が入りこみ、換気が行なわれているという。(文献1)

この2つの地下都市に関しては事前にスケッチ程度の平面図を入手していたので、今回「カイマクル」、「デリンクユ」について調査をすすめていく。

☆「デリンクユ (DERINKUYU)」

ここは、私にとって理想的な地下都市であった。水平な地表にぽっかり入り口があり、(図3・3)鉛直方向にのびた通気孔(図3・4)からはいきおいよく空気が流れこんでいた。

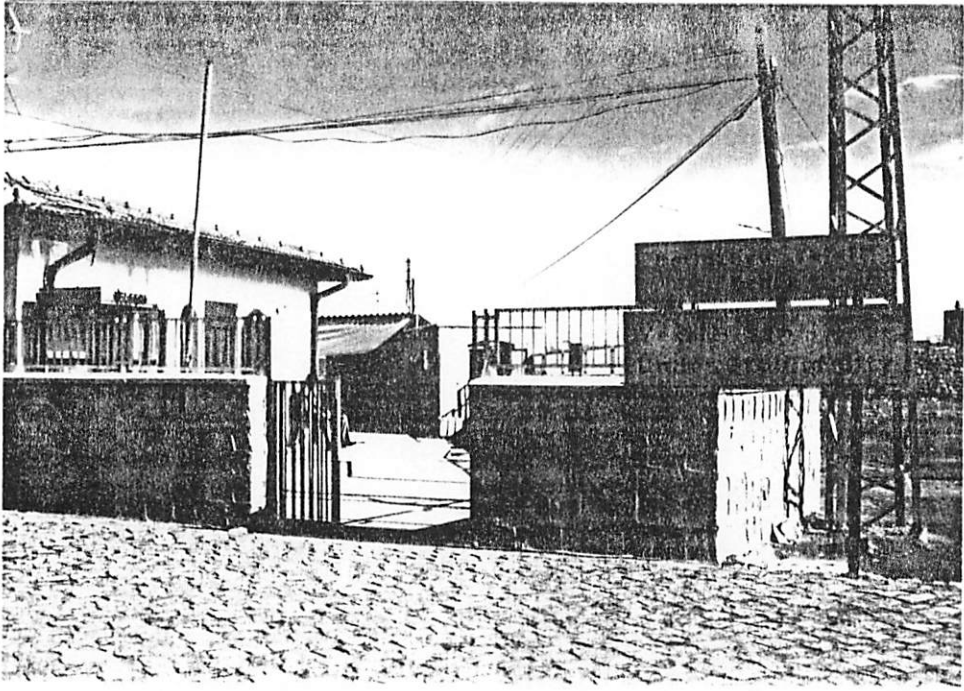
まず、地下空間の位置関係を把握するのが先であった。この地下都市は、まさに迷路であり、図面(図3・5)を見てもおよその位置関係を把握するのに約3時間かかった。よく調べてみると、現在ふさがれて先に進めないところや、通気孔がふさがれて換気が行なわれていないところなどたくさんあった。しかし、1本の通気孔と主要な部屋は、今だに換気が行なわれていた。

内部には、井戸、教会、墓地、寝室、学校、ワイン倉、敵が侵入してきたとき通路をふさぐ石の扉(図3・6)などがあつた。そのスケッチを(図3・7)に表す。これを(図3・5)と比較すると、平面図だと思っていた(図3・5)は実は斜め上から見た立体図であることがわかった。

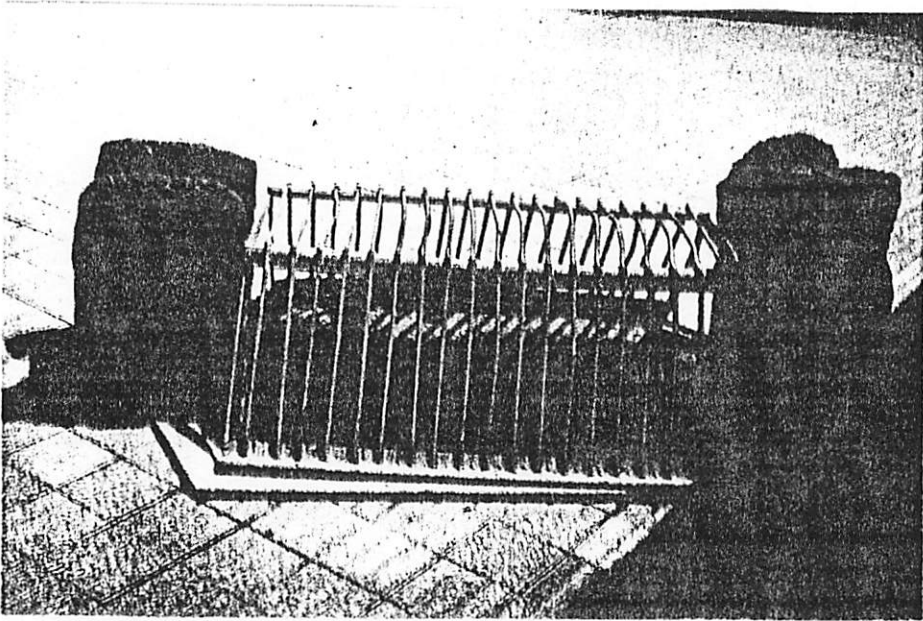
次に、通気孔、各主要室について温度、湿度、寸法を測った。そして、空気の流れを知るために、発煙管[光明理化学工業(株):発煙管中の四塩化チタンが空気中の水蒸気と反応して白煙を発生。]をつかい、空気の流れの向きを測った。(図3・8)

また、室と室を結ぶ開口の寸法は(表3・1)に示す。

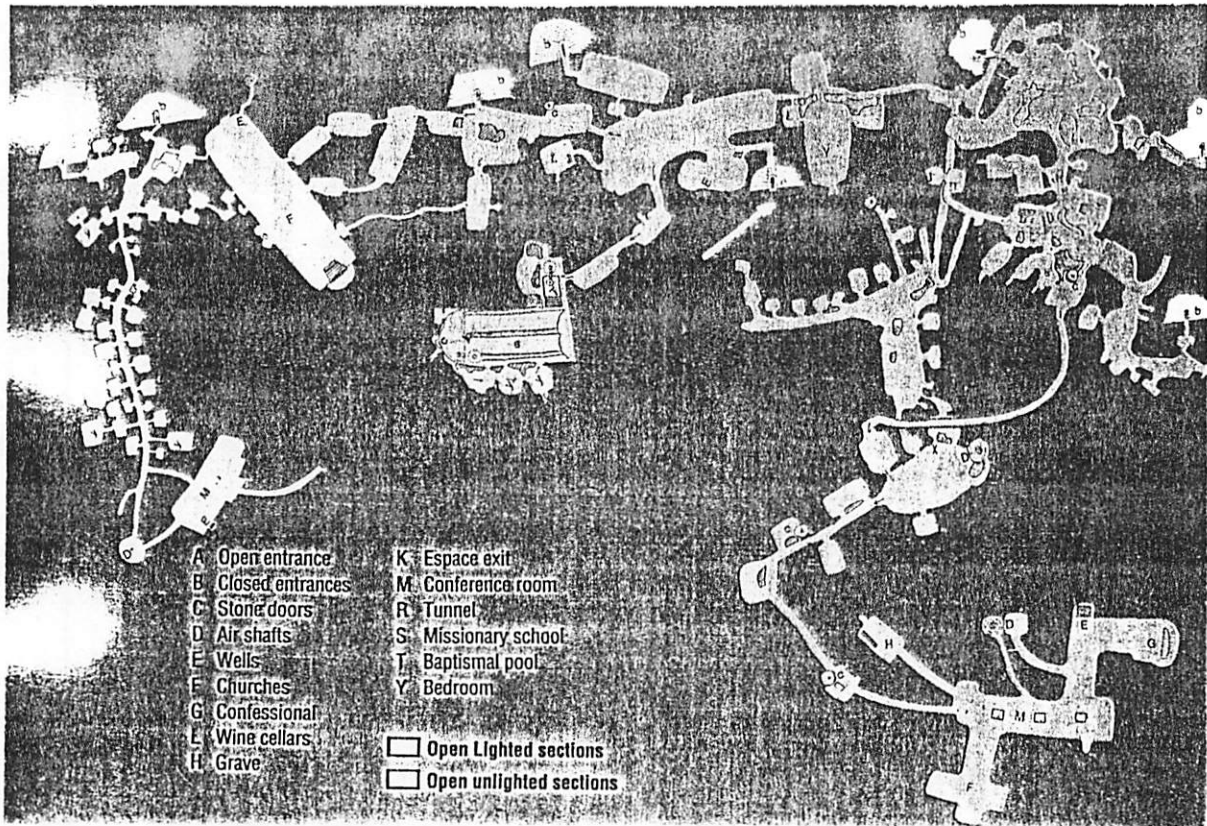
しかし、実際にはなめらかな面や、直角などはなく、あくまでおよその距離を示すものである。また、垂直距離に関してはきちんと階段になっているところや、ただの傾斜になっているところもあるので、階段のステップ数、歩数、その他を考慮して計算した。



(図3・3) : テリンクユ入口



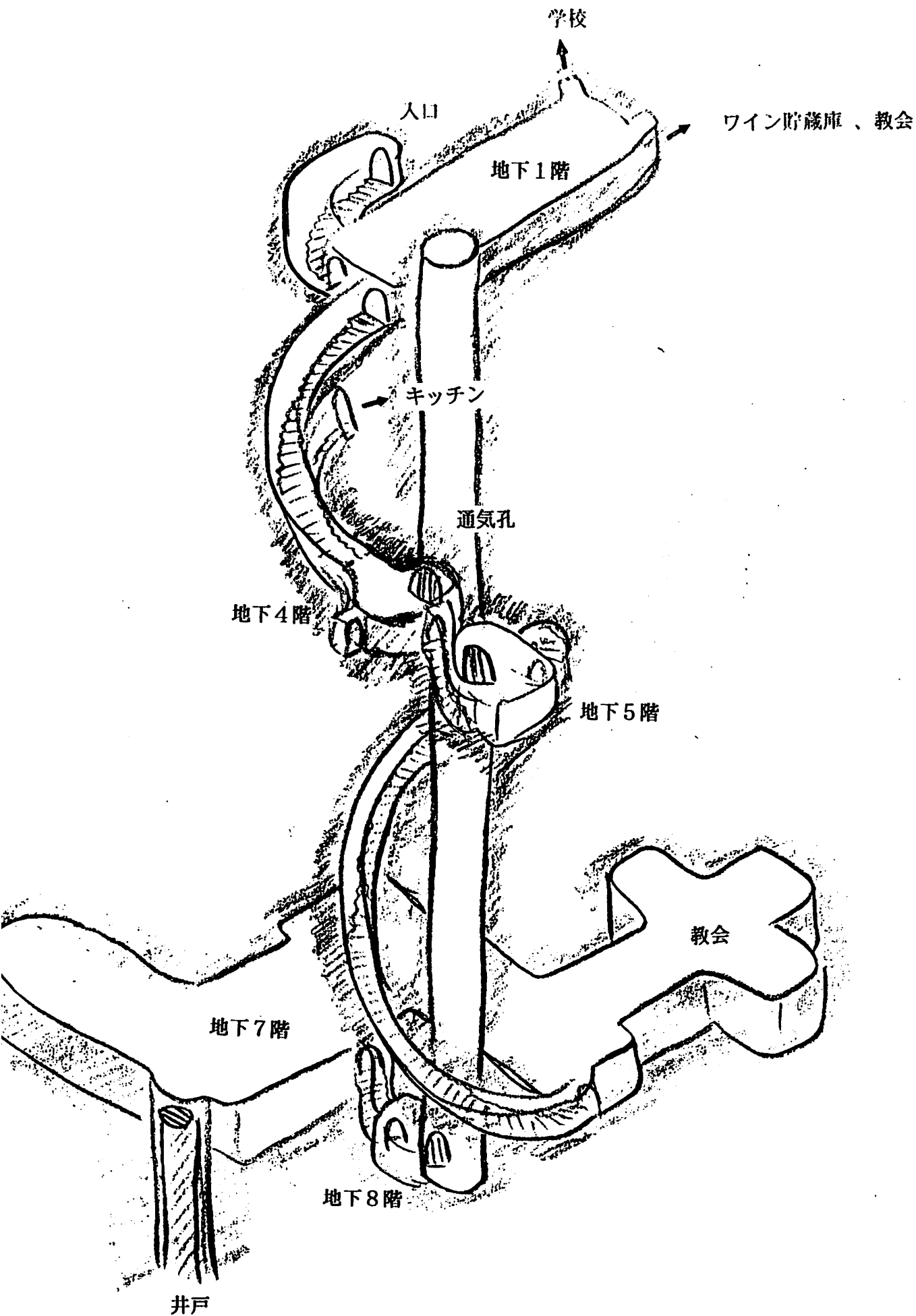
(図3・4) : 通気孔



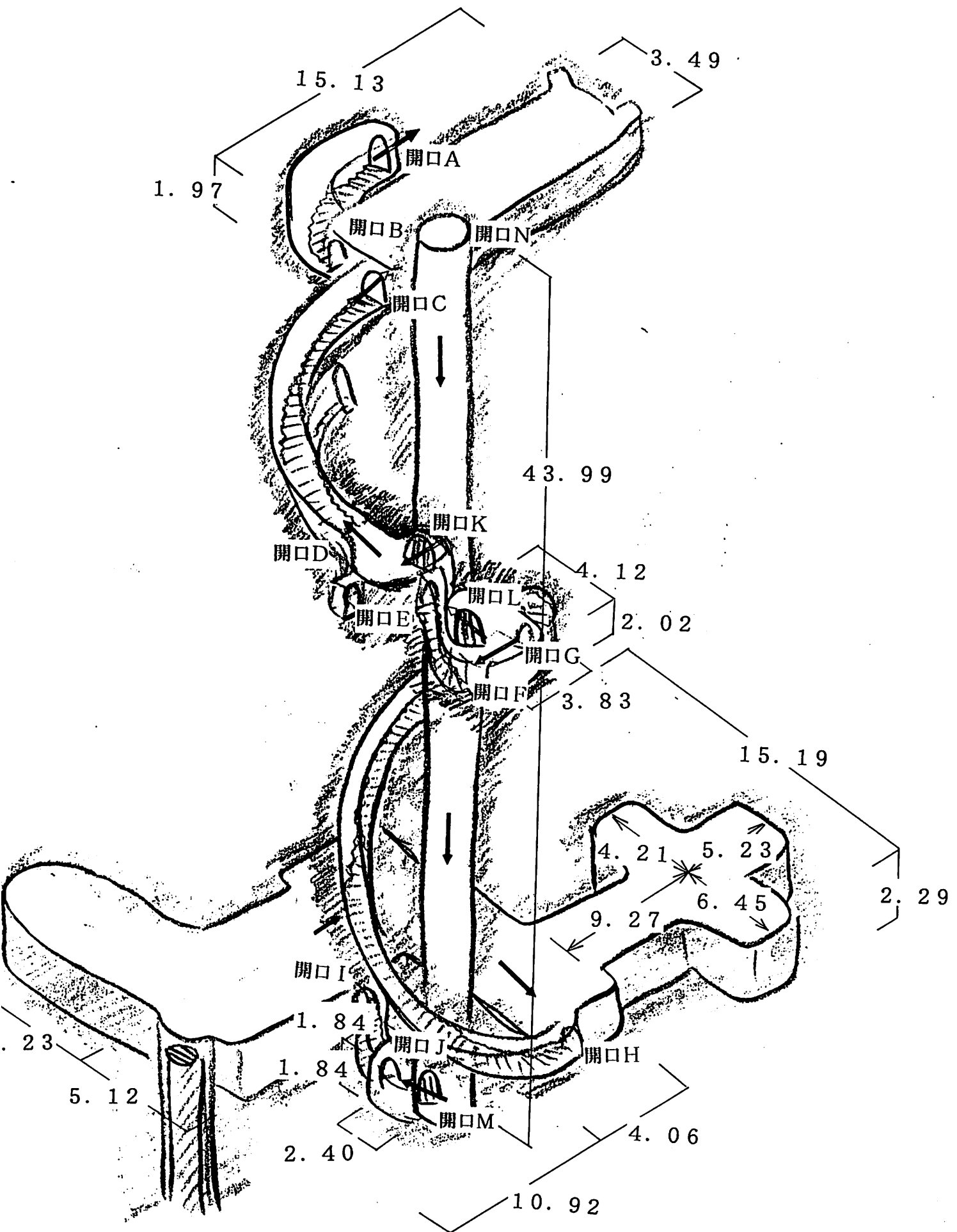
(図3・5) : デリンクユ図面



(図3・6) : 石の扉



(図3・7) : 「デリンクユ」スケッチ



(図3・8) : 「デリンクユ」

(表3・1) : 開口寸法

	幅 (m)	高さ (m)
開口 A	1.42	1.97
" B	1.42	1.97
" C	1.40	1.95
" D	0.76	0.83
" E	0.71	1.39
" F	0.71	1.38
" G	0.64	1.41
" H	0.65	1.44
" I	0.76	1.37
" J	0.78	1.39
" K	0.80	0.79
" L	0.95	1.04
" M	0.91	1.01
" N	1.56(横)	1.56(横)

☆「カイマクル (KAYMAKLI)」

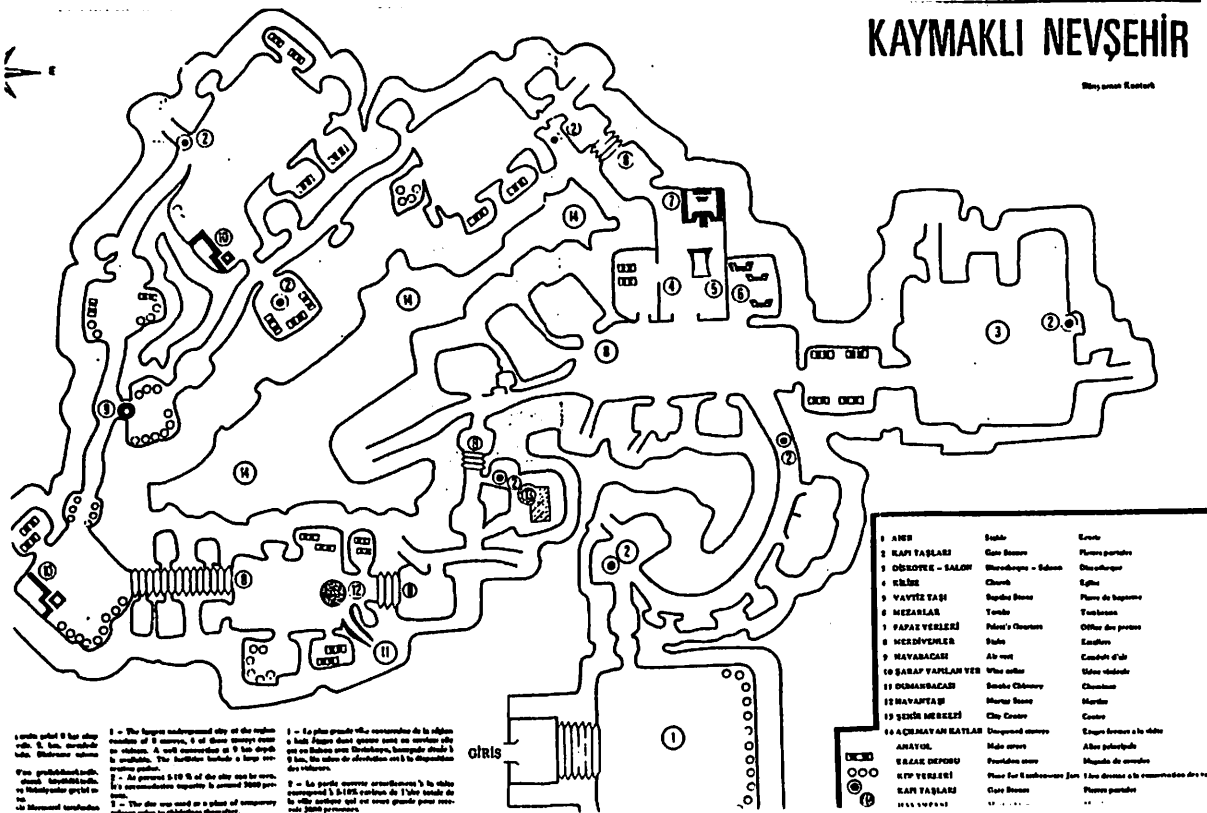
ここは、カッパドキアの地下都市の中でもっとも有名なところであり、「デリンクユ」よりも詳しい図面が公表されていた。(図3・10)

しかし、実際現地にしてみると、小高い丘になっており、地下都市の入口はその丘を登っていったところにあった。そしてそこから掘り下げて作ったものであった。よって、この地下都市は、私の定義から外れていた。さらに、中に入るとほとんどすべての通気孔はふさがれ、換気は行なわれていなかった。

よって、今回は「デリンクユ」について研究を進めていく。

KAYMAKLI NEVŞEHİR

Sheykh Ezzeddin



1 AİNE	Enche	Enche
2 KAPI TAŞLARI	Gate Stones	Portes portées
3 ÖZSÖYÜK - SALON	Özsoyuk - Salon	Özsoyuk
4 KİLİSE	Church	Eglise
5 YAVUZ TAŞI	Yavuz Stone	Pierre de Yavuz
6 MEZARLAR	Tombs	Tombes
7 PAPAZ YERLERİ	Priest's Chambers	Offices des prêtres
8 HAYDANCIK	Stable	Etable
9 HAYABACASI	Abutment	Contrefort d'ab
10 ŞARAF YAPILAN YER	Place noble	Place noble
11 DÜĞÜNBAĞI	Wedding Chamber	Chambre
12 HAYATININ	Marriage Room	Chambre
13 ŞEHİN MERKEZİ	City Center	Centre
14 KAÇIĞAN KAYLAR	Disrupted stones	Épaves brisées à la suite
ANAYOL	Main street	Avenue principale
ERBAK DEĞİRMİ	Flourstone mill	Moulin de céréales
KAP YERLERİ	Place for 8 masonrymen (see 1 box drawn in the reconstruction of the top)	Place pour 8 maçons (voir 1
KAPI TAŞLARI	Gate Stones	Portes portées

1 - The largest underground city of the region...
 2 - The plan shows the construction of the village...
 3 - The plan shows the construction of the village...
 4 - The plan shows the construction of the village...

1 - Le plan montre la construction de la ville...
 2 - Le plan montre la construction de la ville...
 3 - Le plan montre la construction de la ville...
 4 - Le plan montre la construction de la ville...

(图 3·9) : カイマクル図面

第4章

シミュレーションプログラムの構成

1) はじめに

現地調査により、カッパドキアの地下都市「デリンクユ」では今もなお一部の地下空間が、換気されていることが確認された。よってこの章では、現地調査の結果に基づき、煙流動性状予測のためのシミュレーションプログラムである「二層ゾーンモデル」を用いて、以下のことについて検討したいと思う。

- ☆ 各空間での換気量と空気の流れの向きを計算し、これが現地調査と矛盾しないかを確認
- ☆ 外気温度、室温、換気量の変動を計算し、実際、対象空間でどの程度の生活環境が保たれていたかについて推定する。

この章では、まず二層ゾーンモデルの概要と、そのプログラムを実行し、換気量、空気の流れ、室温の変化等を求める際に考慮されるべきポイントをのべていく。

2) 二層ゾーンモデル

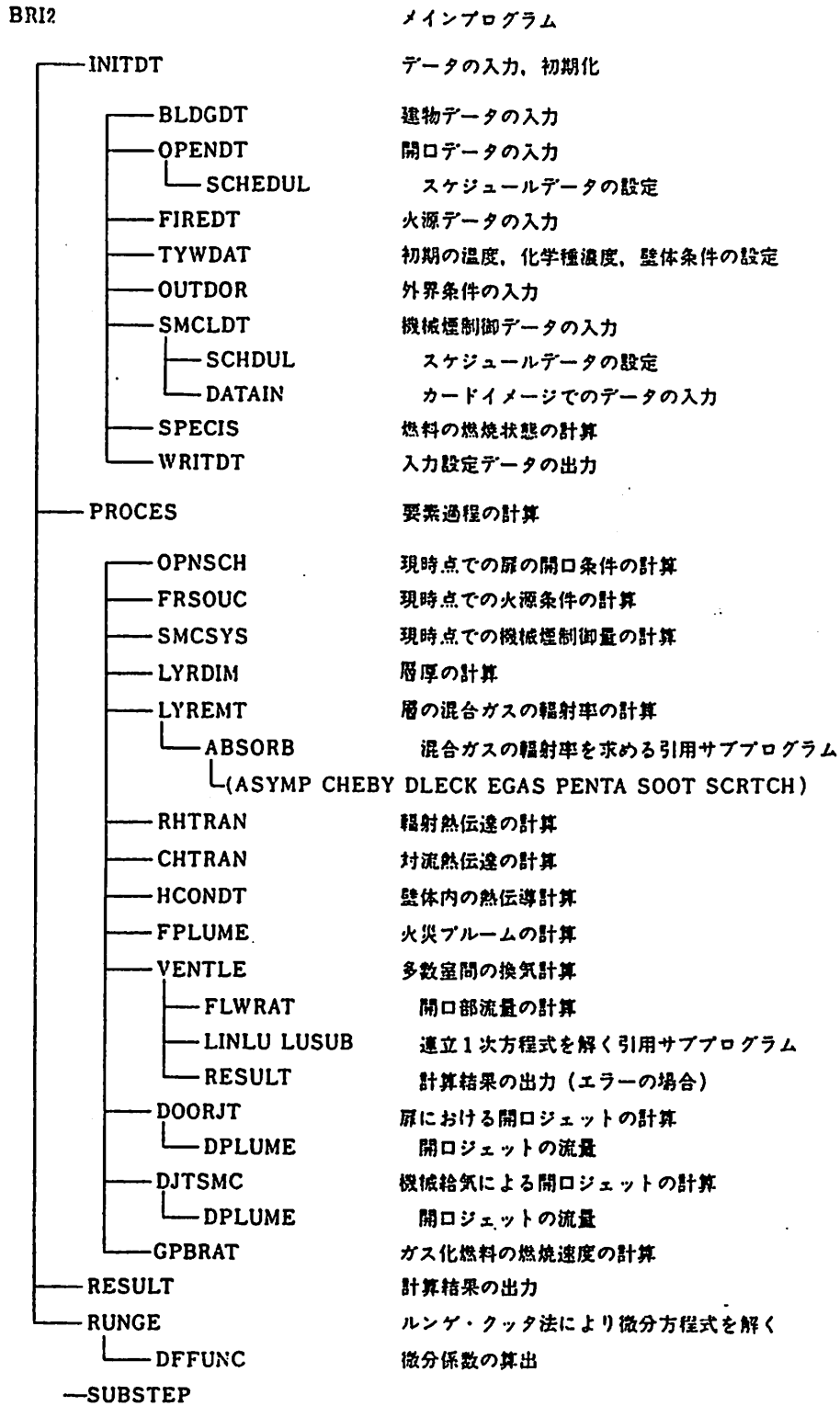
煙流動性状予測モデルの概念 (文献5)

この煙流動予測モデルは二層ゾーンの概念に基づいて作成された、多数階多数室を対象とする非定常煙流動予測モデルであり、モデル化に関係して以下のような仮定が設けられている。

1. 建物内のいずれの空間も、2つの層すなわち上部層と下部層、もしくはそのいずれか一方によって満たされる。
2. 上部層は空間の上部に、下部層は空間の下部に形成され、両者は明確な水平面で分離される。
3. それぞれの層はよく混合されており、物理的・化学的性質において一様である。
4. 各層の境界面に通じる質量の移動は、火災プルーム・開口ジェットおよびそれに起源を有するプルーム(火災気流)のみを通じて生じる。
5. 各層の境界面を通じる熱エネルギーの移動は、4の質量の移動に伴うほか、同一空間内の他方の層および周壁との輻射熱伝達により生じ、また各層との周壁との間の対流熱伝達によって生じる。
6. 火源上の火災からの直接の輻射は無視する。
7. 建物内の各空間の体積は空間内の圧力の変化、その他の理由により伸縮するものではないとする。
8. 空間を異にするゾーン間の輻射熱伝達は無視する。

煙流動性状予測計算プログラムの構成 (文献5)

二層ゾーンモデル計算プログラムの構成を示す。



記号 (文献5)

SS	: 上部層から上部層への開口部流量 [kg/s]
SA	: 上部層から下部層への開口部流量 [kg/s]
AS	: 下部層から上部層への開口部流量 [kg/s]
AA	: 下部層から下部層への開口部流量 [kg/s]
SS'	: SS を源とする開口ジェットブルームにより下部層へ侵入する流量 [kg/s]
SA'	: SA を源とする開口ジェットブルームにより下部層へ侵入する流量 [kg/s]
AS'	: AS を源とする開口ジェットブルームにより下部層へ侵入する流量 [kg/s]
AA'	: AA を源とする開口ジェットブルームにより下部層へ侵入する流量 [kg/s]
k^{SS}	: SS の持つ熱量・化学種量のうち下部層へ侵入するものの割合
k^{SA}	: SA の持つ熱量・化学種量のうち下部層へ侵入するものの割合
k^{AS}	: AS の持つ熱量・化学種量のうち下部層へ侵入するものの割合
k^{AA}	: AA の持つ熱量・化学種量のうち下部層へ侵入するものの割合
k^{1s}	: M_1^s の持つ熱量・化学種量のうちでブルームを通して下部層へ侵入するものの割合
k^{1a}	: M_1^a の持つ熱量・化学種量のうちでブルームを通して上部層へ侵入するものの割合
C_p	: 気体の定圧比熱 [kW/kg/K]
ΔH	: ガス化燃料の燃焼発熱量 [kJ/kg]
M_1^s	: 機械換気による層への給気量 [kg/s]
M_1^a	: 機械換気による層からの排気量 [kg/s]
M_1^{1s}	: 上部層への機械給気 M_1^s を源とするブルームにより下部層へ侵入する流量 [kg/s]
M_1^{1a}	: 下部層への機械給気 M_1^a を源とするブルームにより上部層へ侵入する流量 [kg/s]
m_b	: ガス化燃料の燃焼速度 [kg/s]
m_0	: 火源の可燃物のガス化(重量減少)速度 [kg/s]
m_0'	: 火源 m_0 を源とする火災ブルームにより上層部へ侵入する流量 [kg/s]
P	: 圧力 [Pa]
q_{net}	: 輻射, 対流熱伝達により層が受ける正味熱量 [kW]
T	: 層の温度 [K]
T_1	: 機械換気の給気温度 [K]
T_p	: 可燃物のガス化温度 [K]
V	: 層の体積 [m ³]
Y_l	: 層内の化学種 l の濃度 [kg/kg]
Y_{lp}	: 可燃物中の化学種 l の濃度 [kg/kg]
Y_{l1}	: 機械換気給気ガス中の化学種 l の濃度 [kg/kg]
ρ	: 層の密度 [kg/m ³]
γ_l	: ガス化燃料の単位燃焼に伴う化学種 l の発生量 [kg/kg]

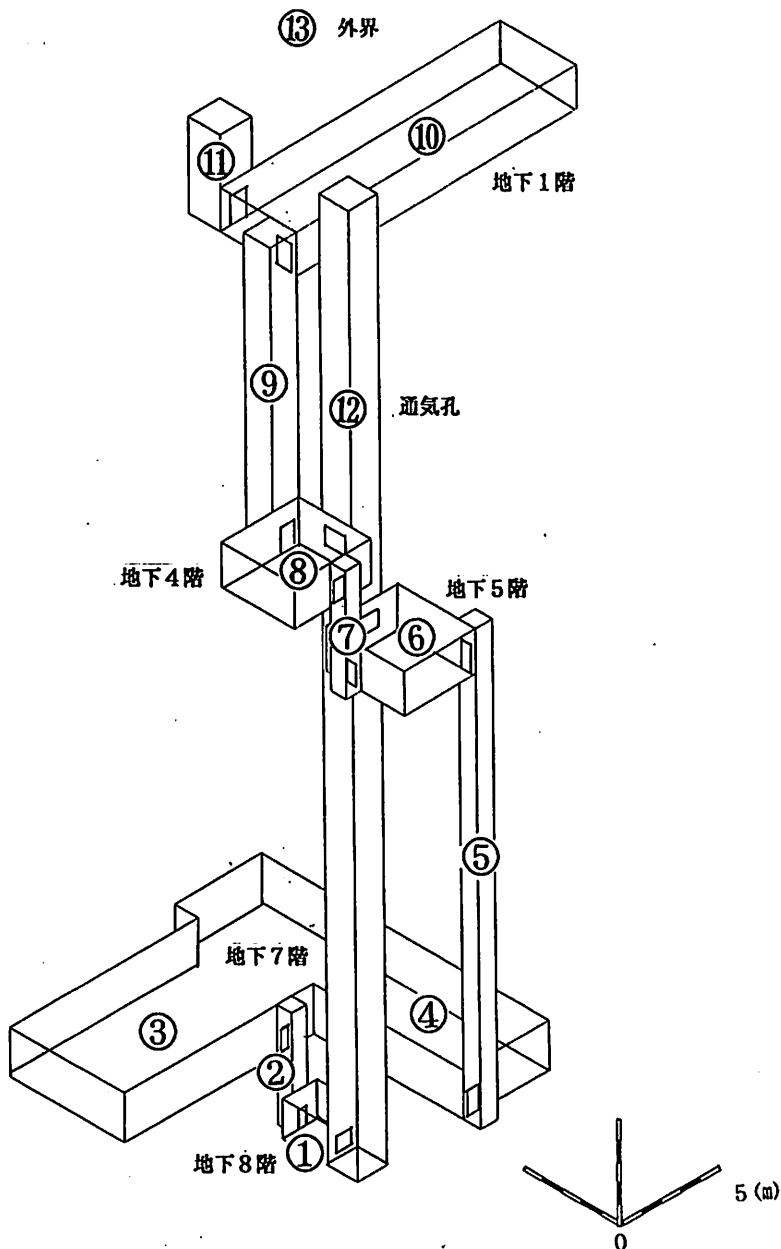
添字

a	: 下部層を表す
s	: 上部層を表す
i	: 任意の建物内空間を表す(混同の恐れのないときは省略)
ij	: i 室から j 室への流れを示す
j	: 空間 i と連絡する任意の空間を示す

3) 数値計算シミュレーション

火災による煙流動シミュレーションを実行して、換気量、空気の流れ、室温の変化等を求める際に考慮されるべきポイントをのべていく。

まず、カッパドキアの地下都市「デリンクユ」を、シミュレーションに適するようにデフォルメしたものを(図4・1)に示す。



(図4・1) : 「デリンクユ」

I 建物データ

二層ゾーンモデルによる計算を安定させるため、(図4・1)を1階建ての建物とし、地下8階のレベルを地表レベルと考えるものとする。そして、通気孔をひとつの階段室と考え、最上部で外界に通ずるものとする。また、その他の階段室はすべてひとつの部屋とし、通気孔以外のすべての空間がひとつひとつ、つながっているものとする。よって、11個の室数と1個の階段室をもつものとする。そして、地下8階室より順に①～⑩と室番号を、通気孔を⑪と設定する。また、外界を⑫と設定する。

壁体タイプは、凝灰岩が設定されていないので、それと同等の性質をもつ大谷石を入力する。

II 開口部の位置、形状

これらは、まず現地調査で得た開口部の位置、形状、寸法を入力する。(図4・3)

III 開口のスケジュール：扉等の開閉状況の時間変化

すべての開口を全開とする。

IV 火災状況の指定

火災室は換気に影響がないように⑩室とし、火災時刻(sec)、燃焼速度(kg/s)、燃焼面積(m²)、火源の高さ(m)をすべて0.0とする。こうすることにより火災が起きず、換気の計算をすることができる。

V 機械煙制御データ

機械煙制御なしとする。

VI 室内初期温度、湿度の設定

計算を安定させるため、㊸をタイプ1、㊸～㊸をタイプ2、㊸～㊸をタイプ3、と室内初期温度、湿度を3タイプに分けた。初期条件を表4・1に示す。

表4・1：室内初期温度、湿度

	温度(℃)	湿度(%)
タイプ1 (㊸)	8.0	55.0
タイプ2 (㊸～㊸)	10.0	55.0
タイプ3 (㊸～㊸)	10.0	55.0

VII 外気温度、湿度の設定

測定値 (6℃, 33.0%) を入力。

VIII 風速、風圧係数の設定

風速、風圧係数ともに0.0とする。

第5章

シミュレーション結果と考察

1) はじめに

この章では、実際にデータファイルを作成し、それを入力しシミュレーションを行い、各空間での換気量、空気の流れの向きを計算し、これが測定結果と矛盾しないかを確認する。また、その結果が測定結果と違っていた場合、その原因と考えられる要素を調べ、考察を行う。

そして、得た結果をもとに、実際対象空間でどの程度の生活環境が保たれていたかについて考察を行う。

2) シミュレーション結果と考察

まず、現地調査に基づくデータファイルを（図5・1）に示す。

```

turkey / cappadocia / derinkaya
1995.01.06
01
UNDERGROUND CITY
  0.0  3500.0  10.0  10.0  10.0
  1
  3.0
  12
17-01  0.0  1.04  1  2.4  0.0  1.04  3  10  10  1
17-02  0.0  0.78  1  0.78  0.0  0.69  3  10  10  1
17-03  3.24  0.0  1  10.0  3.24  2.29  3  10  10  1
17-04  3.24  4.57  1  10.0  3.24  2.29  3  10  10  1
17-05  3.24  0.0  1  0.0  3.24  22.72  3  10  10  1
17-06  23.94  4.12  1  3.03  23.94  2.02  3  10  10  1
17-07  23.94  0.0  1  0.0  23.94  0.00  3  10  10  1
17-08  27.72  4.12  1  4.12  27.72  2.02  3  10  10  1
17-09  27.72  1.14  1  1.14  27.72  10.92  2  10  10  1
17-10  30.07  4.0  1  10.0  30.07  1.07  2  10  10  1
17-11  30.07  1.00  1  1.00  30.07  0.00  2  10  10  1
17-12  0.0  1.50  1  1.50  0.0  45.55  1  10  10  1
  1  2  0.78  1.37  0.0
  3  2  0.78  1.37  0.0
  3  4  0.0  2.29  0.0
  4  6  0.04  1.41  0.0
  8  6  0.04  1.41  0.0
  8  7  0.71  1.39  0.0
  8  7  0.71  1.39  0.0
  8  9  0.78  0.69  0.0
  10  9  1.40  1.07  0.0
  10  11  1.40  1.07  0.0
  1  12  0.0  1.0  0.0
  8  12  1.0  2.0  1.0
  8  12  1.0  2.0  1.0
  11  13  0.00  45.55  45.00
  12  13  1.50  45.55  45.00
  0
  0
  11
  1
  1
  0.0
  0.0
  0.0
  0.0
  1
  3  1
  0.0  55.0
  10.0  55.0
  10.0  55.0
  0
  1
  1  0.0  33.0
  1
  0.0  0  0
  0.0
  0
  0
  
```

（図5・1）：データファイル

(図5・1)のデータを入力し、シミュレーションを行った結果、(図5・2)の結果を得た。単位はすべて(kg/s)。

(図5・2)を見ると、㊸室(通気孔)から㊶室へ、空気が流れこんでいる。これは、実際の調査と空気の流れの向きが違っていることがわかる。そこで、その原因について調べていくことにする。

空気の流路の圧力差があれば、そこに流れが生ずる。よって、(図5・2)の場合㊶室と㊸室の室内圧力差が異なっているものと考えられる。よって、圧力差分布を調べる必要がある。しかし、単室においても、多数連続室においても周壁の気密度、開口、隙間の条件、および室温、外気温の条件によって、各室への流出流入量がバランスするような圧力差分布をとるのであるから、一般には流量計算をせずに圧力差分布を描くことはできない。よって、この圧力差の原因となる風圧力、浮力、そして流量を調べていく。(文献6)

I 風圧力

気流が物体によってせきとめられ、その速度が0になる場合には、速度エネルギーがすべて静圧に変わる。流れのなかに置いた球状の物体の上流から見た球の中央小部分では、このような状態が生じ、これを岐点圧という。地上にある物体に風が作用する場合は、一般に岐点圧の生ずるところはなく、速度エネルギーの一部が静圧に変わる。速度エネルギーを速度圧(動圧)であらわし、速度圧のうち静圧に変わる割合を風圧係数Cとしてあらわす。すなわち、

$$p_w = C \cdot p_v = C \cdot \left(\frac{\gamma}{2g} V^2 \right)$$

p_w は風圧 (kg/m², mmAq),

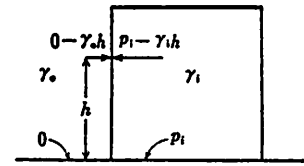
p_v は速度圧(動圧) (kg/m², mmAq),

V は自由風速(物体の存在に影響されない風速) (m/s).

II 浮力

外気の比重量を γ_o (kg/m³)、室内空気のそれを γ_i (kg/m³) とし、床面高さの室内圧をそれと同じ高さの静止外気圧を基準として表し、 p_i とする。(図5・3)

この床面での室内圧を単に“室内圧”とよぶことにする。床面の高さを原点として上方に高さ h をとれば、 h の高さの室内圧(内圧)は $p_i - \gamma_i h$ 、同じくその高さの静止外気圧(外圧)は $0 - \gamma_o h$ となるから、 h の高さの壁面に作用する圧力差 p_{io} は内圧から外圧を差し引いて



(図5・3)

$$p_{io} = p_i + (\gamma_o - \gamma_i)h \quad [\text{kg/m}^2] \quad (5 \cdot 1)$$

となる。 p_{io} の添字 io は i (室) から o (外気) へ向かう圧力を意味し、これが正であることは室内→外気へ作用する圧力差があることを意味する。換気計算においては、すべての圧力はその高さの静止外気圧を基準として表すこととする。すなわち外気圧の圧力はすべての高さにおいて0であるとして室内圧を表したものが上式である。

室内外の圧力差が0、すなわち $p_{io} = 0$ となる高さを h_a とすれば

$$p_i = -(\gamma_o - \gamma_i)h_a \quad [\text{kg/m}^2] \quad (5 \cdot 2)$$

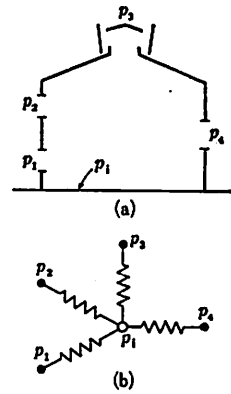
これを(5・1)に代入して

$$p_{io} = (\gamma_o - \gamma_i)(h - h_a) \quad [\text{kg/m}^2] \quad (5 \cdot 3)$$

III 流量

室の諸開口（窓、出入口、隙間、ベンチレーターなど）は、これらをそれぞれ流動抵抗をもつ枝管と考え、室（全圧≒静圧とみなされる空間）および外気は圧力をもつ節点と考えると（図5・4）(a) に示すような多開口をもつ単室は(b) に示すような回路であらわすことができる。室内外の圧力差は(a) の開口についていえば、

$$p_{11} = p_i - p_o = p_i - (p_{o1} - p_{11} - p_{m1}) \quad (5 \cdot 4)$$



(図5・4)

となるから抵抗の一端は室内圧 p_i で、他端は $(p_{o1} - p_{11} - p_{m1})$ となる風圧、浮力および機械力による圧力が作用し、その間が $\Delta p = F_i(Q)$ の流動特性をもつ抵抗によって結ばれていることを示す。一般に p_i は既知圧であるから \bullet で示すこととする。したがって p_i を決めれば $\Delta p = F_i(Q)$ のかんけいから Q_{11} が求められる。特性曲線でなく抵抗係数（流速係数）であらわされる場合

$$\Delta p = F(Q) = \zeta \frac{\gamma}{2g} \left(\frac{Q}{A} \right)^2 = \left(\frac{1}{\alpha A} \right)^2 \frac{\gamma}{2g} Q^2$$

であるから

$$\Delta p = kQ^2 \quad \left(\text{ここに } k = \left(\frac{1}{\alpha A} \right)^2 \frac{\gamma}{2g} = \frac{\zeta}{A^2} \frac{\gamma}{2g} \right) \quad (5 \cdot 5)$$

$$Q = k' \sqrt{\Delta p} \quad \left(\text{ここに } k' = \alpha A \sqrt{\frac{2g}{\gamma}} = \frac{A}{\sqrt{\zeta}} \sqrt{\frac{2g}{\gamma}} \right) \quad (5 \cdot 6)$$

よって

I 風圧 $p_w = C \cdot p_v = C \cdot \left(\frac{\rho}{2g} V^2 \right)$

II 浮力 $p_{10} = (\rho_o - \rho_i)(h - h_a)$ [kg/m²]

III 流量 $Q = k' \sqrt{\Delta p}$ (ここに $k' = \alpha A \sqrt{\frac{2g}{\rho}} = \frac{A}{\sqrt{\rho}} \sqrt{2g}$)

の式において変数となるのは

- ・ 風速
- ・ 風圧係数
- ・ 開口の高さ
- ・ 開口の面積
- ・ 外気温
- ・ 室温

等である。しかし、今回は地下8階の空間で隙間はないものとし、外界と接する開口は⑩室と⑫室のみであり、本来風速や風圧係数は換気量に無関係である。

次に⑫室（通気孔）に接する⑥室、⑧室の開口の高さ、面積を変えてシミュレーションを行ってみる。

（図5・1）の初期設定では、以下のとおりであった。

室番	開口幅 (m)	開口上端高さ (m)	開口下端高さ (m)
6-12	1.0	2.0	1.0
8-12	1.0	2.0	1.0

・ ⑥室⑧室両方の開口を下げる (図5・5)

6-12	1.0	1.0	0.0
8-12	1.0	1.0	0.0

・⑥室の開口を下げる (図5・6)

6-12	1.0	1.0	0.0
8-12	1.0	2.0	1.0

・⑧室の開口を下げる (図5・7)

6-12	1.0	2.0	1.0
8-12	1.0	1.0	0.0

・⑥室⑧室両方の開口面積 大 (図5・8)

6-12	1.5	2.0	0.5
8-12	1.5	2.0	0.5

・⑥室⑧室両方の開口面積 小 (図5・9)

6-12	0.8	1.6	0.8
8-12	0.8	1.6	0.8

・⑥室開口面積大、⑧室開口面積小 (図5・10)

6-12	1.5	2.0	0.5
8-12	0.8	1.6	0.8

・⑥室開口面積小、⑧室開口面積大 (図5・11)

6-12	0.8	1.6	0.8
8-12	1.5	2.0	0.5

開口についてこのように変化させてみると、まず、開口を上下させてもそれほど変化は見られなかった。これは⑥室、⑧室の高さがあまりなく、開口の上下が1mしかできず、通気孔の高さに比べ微小でしかなかったと思われる。次に、開口面積をともに大きくしたときは、流れの向きは調査結果と等しくなったが(図5・2)同様、外界からの空気の流入量に比べ、①室に流入する空気量が少なく、⑥室、⑧室と外界で空気が循環しているといった感じである。その他は、空気の流れの向きが(図5・2)同様、異なっていた。

次に、外気温は一定の6℃と定め、室内温度を変えていく。

(図5・1)の初期設定では、以下のとおりであった。

⑫室(℃)	⑧~⑩室(℃)	①~⑦室(℃)
8.0	10.0	10.0

変更後

46.0 51.0 51.0 (図5・12)

15.0 22.0 20.0 (図5・13)

10.0 10.0 15.0 (図5・14)

この結果を見てみると、室内温度の設定により、流量も、流れの向きも大きく変わることがわかる。このうち、(図5・14)が最も調査結果に近いことがわかる。これは、外界と⑥～⑩室の温度差と、⑫室と⑥～⑩室の温度差が大きければ大きいほど⑥～⑩室内の空気は部屋を通過して外界に出ようとするからである。

また、この温度設定は現実でありうるものである。まず、地下を掘っていく場合はじめのうちは外気温の影響を受けていくが、地下深くまで掘ると徐々に地下の温度は上昇する。地表に近い部分の室温10℃という設定は、現地調査のままであるが、同じように通気孔を掘ったと考えそこも10℃とし、現地調査で換気がまったく行われていない空間の室温が15～16℃であったことを考慮して地下深くの室温は15℃と設定した。

また、シミュレーション後の温度変化を表5・1に示す。

表5・1：温度変化

	初期設定 (℃)	シミュレーション後の値 (℃)	調査結果 (℃)
①室	15.0	9.0	9.0
②室	15.0	9.4	9.8
③室	15.0	10.0	10.1
④室	15.0	10.0	10.5
⑤室	15.0	10.0	10.3
⑥室	15.0	10.0	10.6
⑦室	15.0	10.0	10.5
⑧室	10.0	10.0	10.4
⑨室	10.0	9.7	10.1
⑩室	10.0	10.0	10.5
⑪室	10.0	10.0	11.0
⑫室	10.0	7.7	8.0

この結果、徐々に調査結果に近づいていった。しかし、このシミュレーションでは発熱するものがないので、徐々に空間内の温度が下がり途中で計算がストップしてしまう。

では、実際「デリンクユ」ではどうなっていたのであろうか。おそらく、岩壁から流入してくる熱量や、ロウソク、ランプなどの熱量、そして、人体からのふく射熱などによって、換気が定常状態にあったものと思われる。

それでは、この換気にもなう熱の流出量はいくらであったのであろうか。

θ_0 °Cの空気が室内に入ってきて、 θ_1 °Cになったとする。その間に室内空間で費やされた熱量 ϕ は、

$$\phi = 0.24 G_{01} (\theta_0 - \theta_1) \text{ kcal/h} \quad (5 \cdot 7)$$

ここに、

G_{01} : 換気量 kg/h (サフィックス 01 は外から室内へを表わす)

0.24: 空気の比熱 kcal/kgdeg

θ_0 : 侵入空気温度 °C

θ_1 : 室温 °C

たとえば、④室の場合換気量は0.97 (kg/s)、温度差は(15.0-10.0)である。よって、換気にもなう熱の流出は、4190.4 (kcal/h)である。

では、(図5・14)の結果をもとに実際この地下空間で、どの程度の生活環境が保たれていたかについて考察する。

一般に温度に無関係な定常状態について、1人当たりの必要換気量は30~20 (m³/h・人)である。[労働安全衛生規則193条では労働作業場は30 (m³/h・人)、建築基準法施行令で、20 (m³/h・人)以上と規定している。]

そこで、(図5・14)の通気孔では1.54 (kg/s)の空気が流れこんできている。

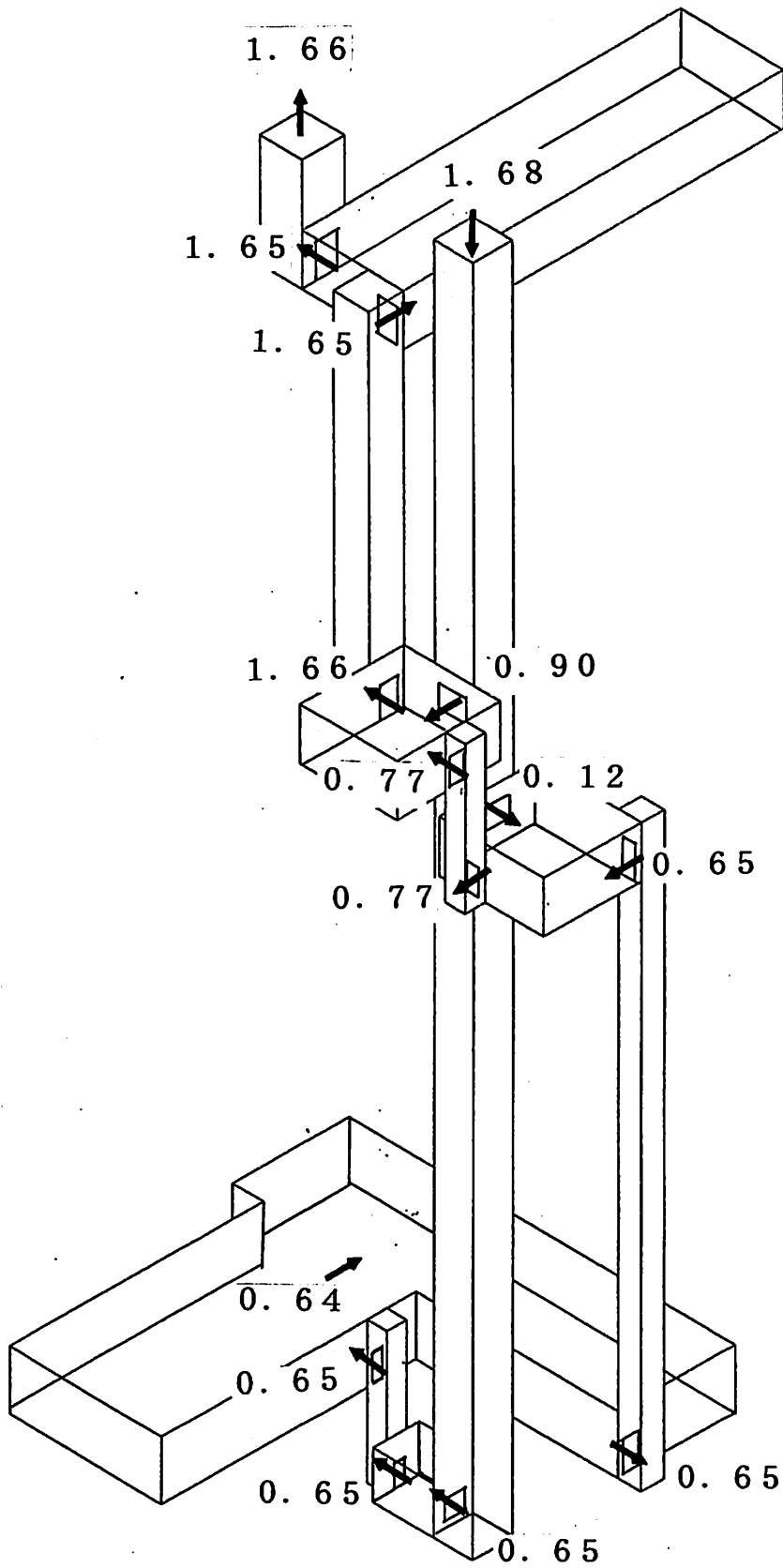
空気の比重量は、

$$\text{空気の比重量 } \gamma = \frac{353}{273 + \theta} \text{ kg/m}^3 \quad (5 \cdot 8)$$

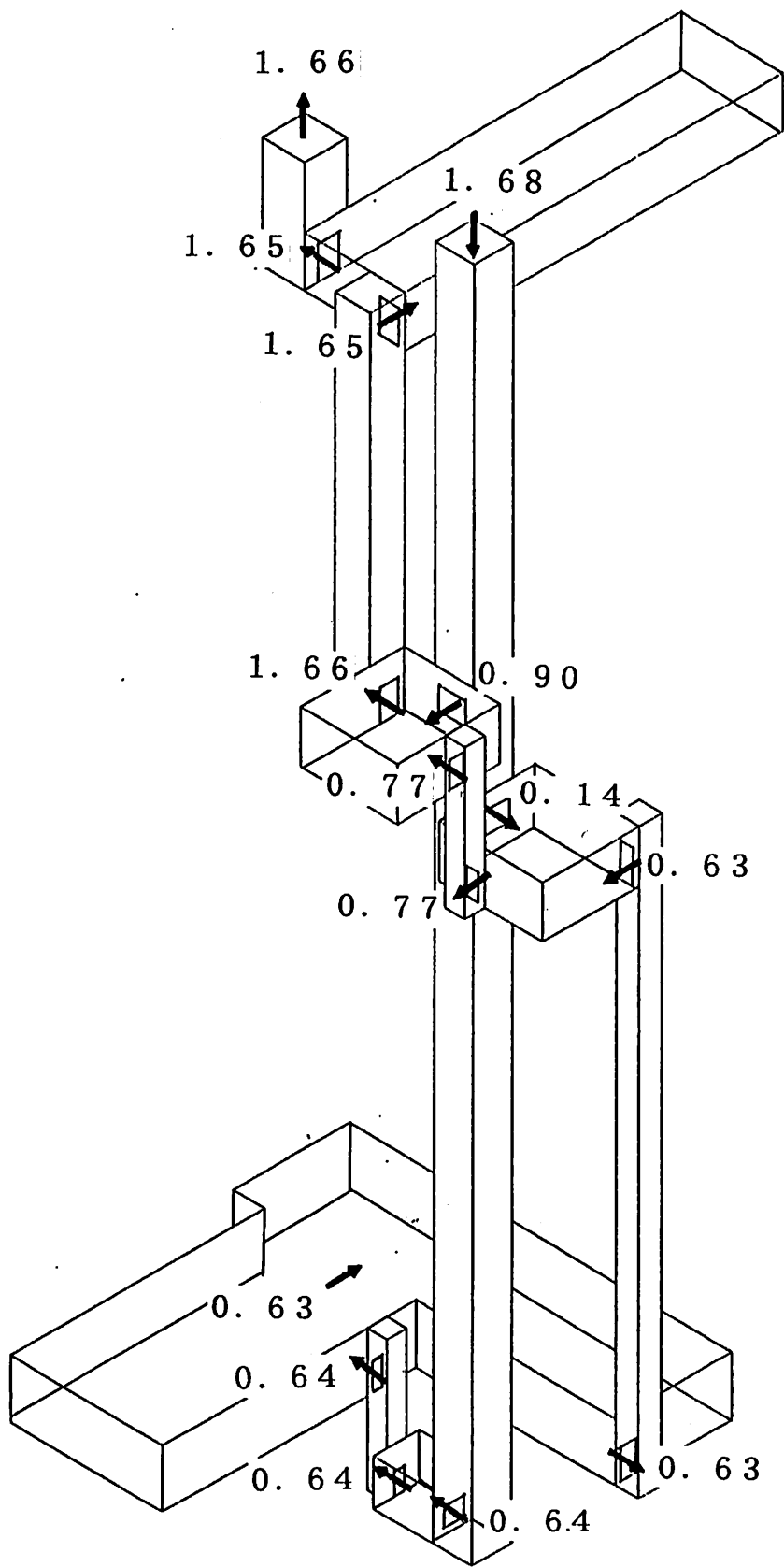
ここに θ : 空気の温度 °C

であり、外気温6°Cの場合 $\gamma = 1.27$ となり、通気孔からは1.21 (m³/s)の空気が流れこんできている。そしてこれは、1人当たりの換気量を考慮すると、およそ220人が居住可能ということになる。

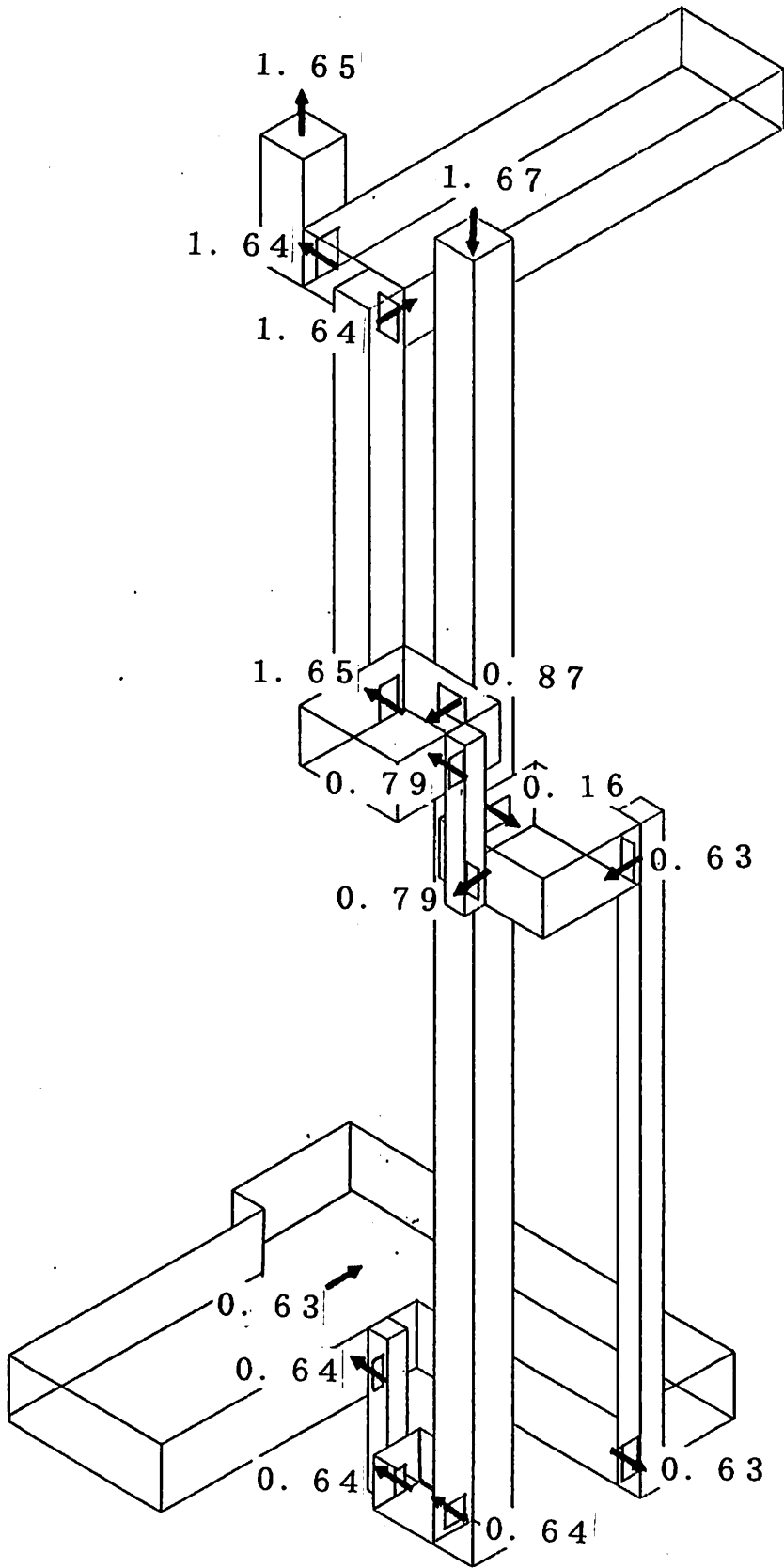
また、この地方には全部で52本の通気孔が見ついているという。(文献1)もし、52本全部が「デリンクユ」と同規模の空間であったとすれば、1万人以上の人々が暮らしていたということになり、数千から数万の人々が暮らしていた(文献1)というのも可能であったと思われる。



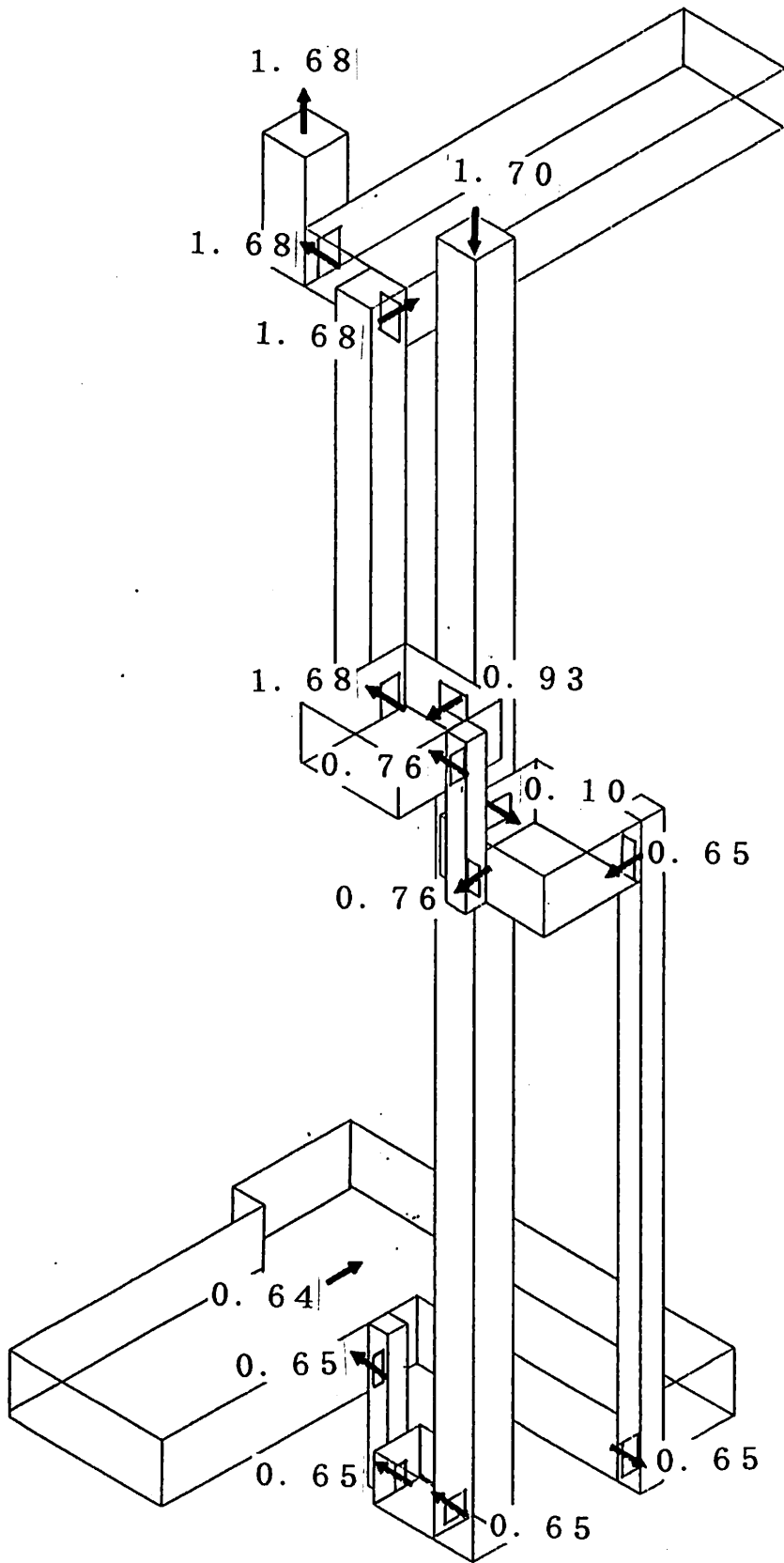
(図5・2) : 測定値でのシミュレーション結果



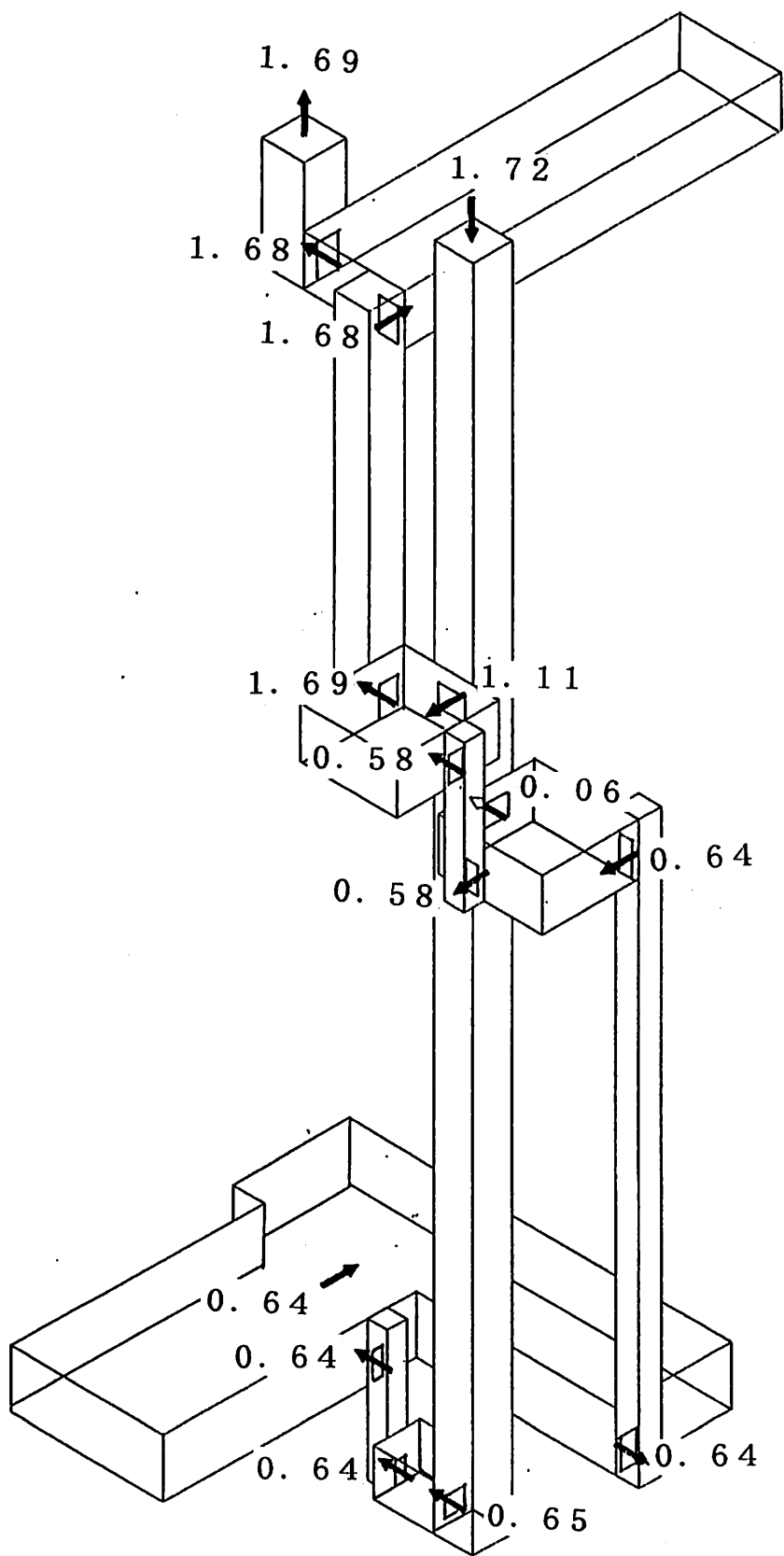
(图 5·5)



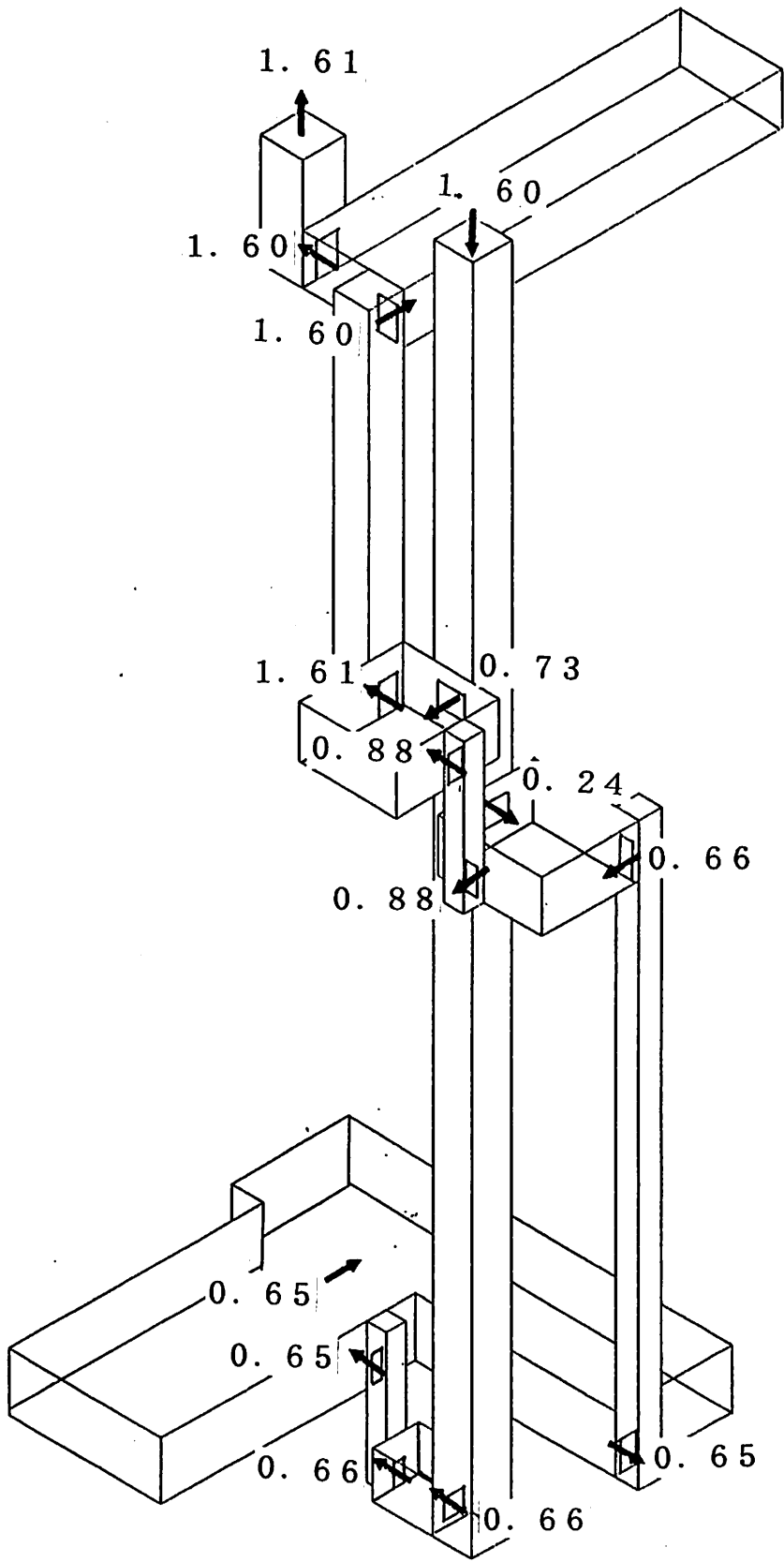
(图 5 · 6)



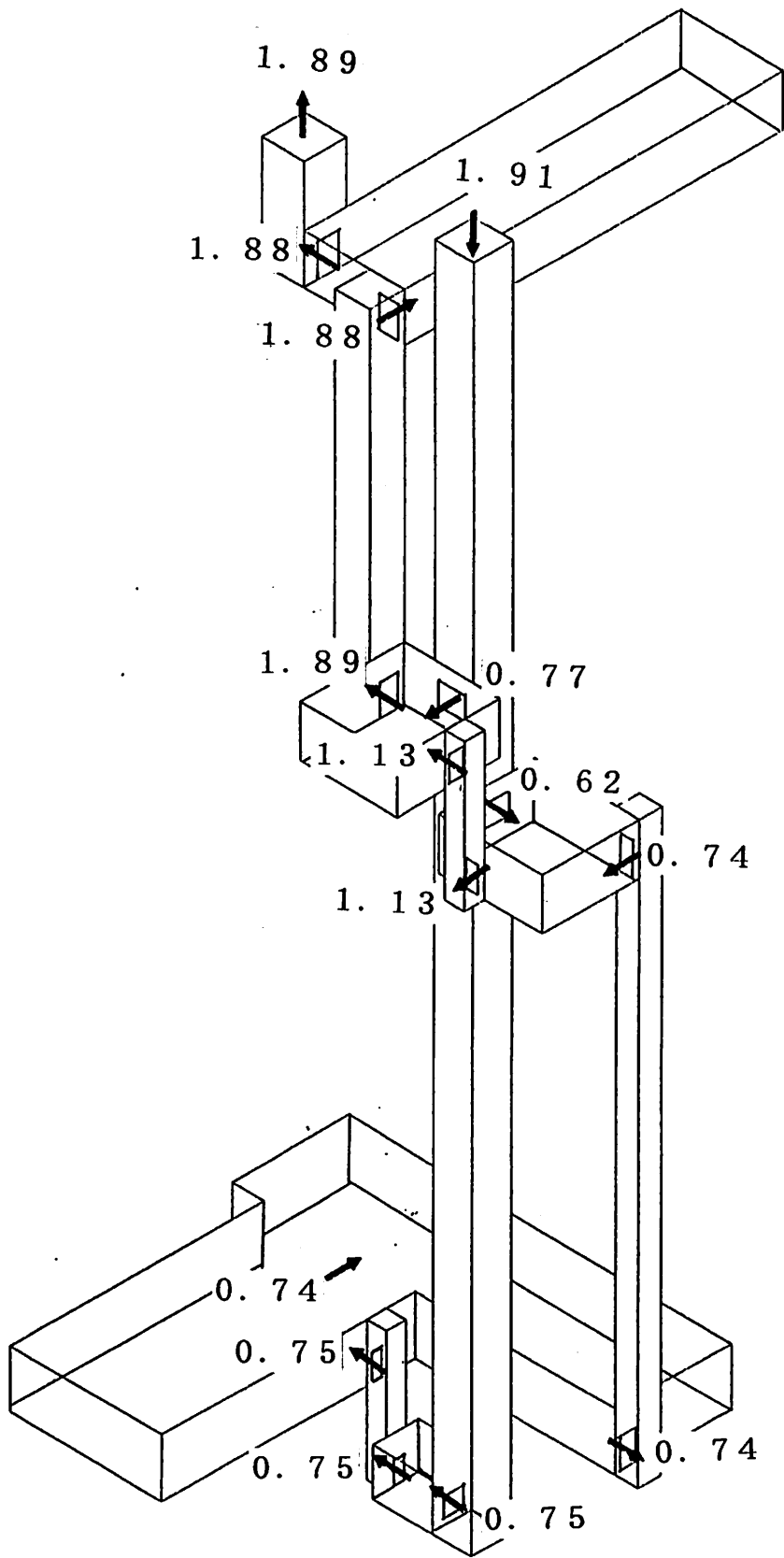
(图 5·7)



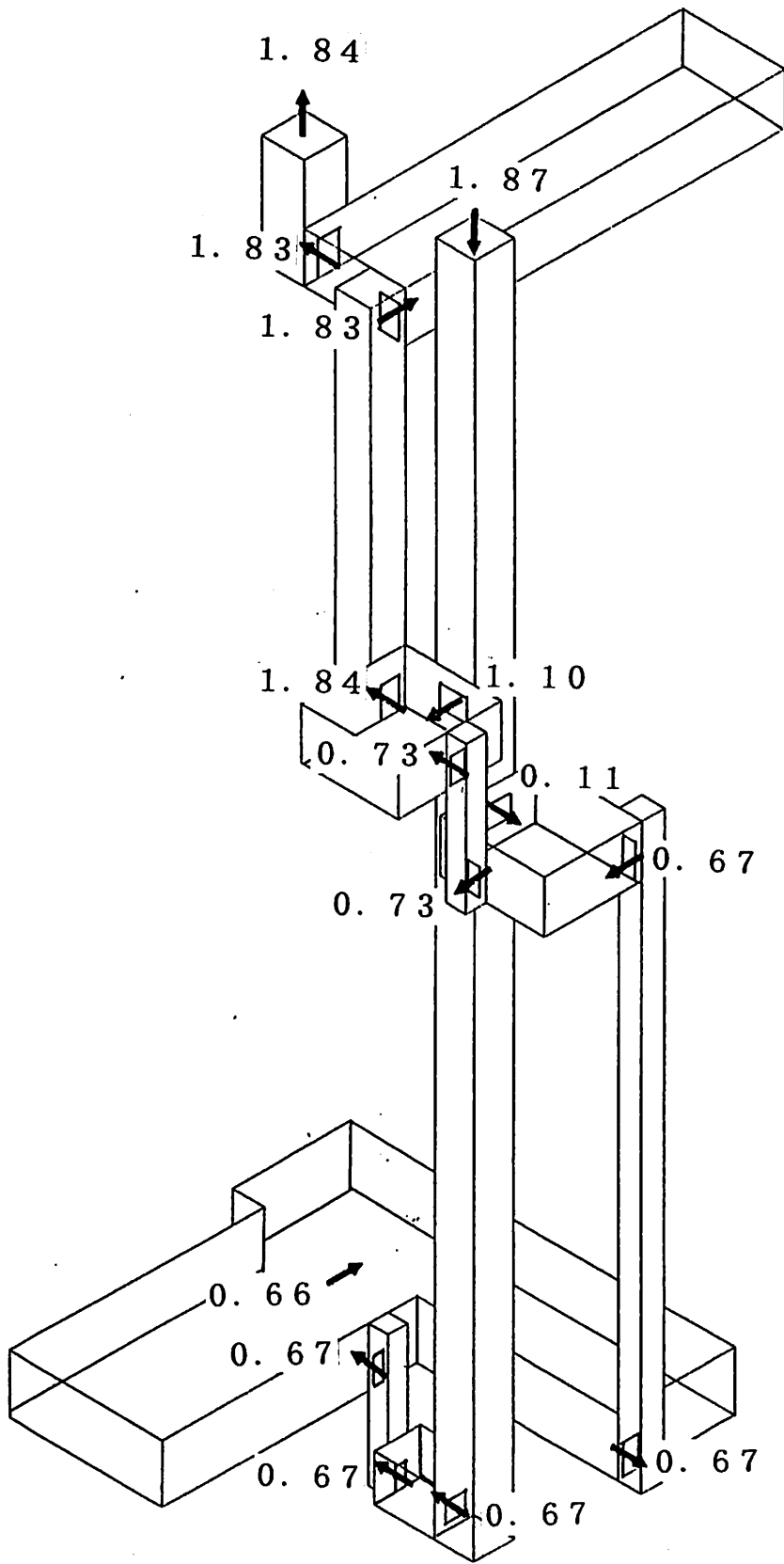
(图 5·8)



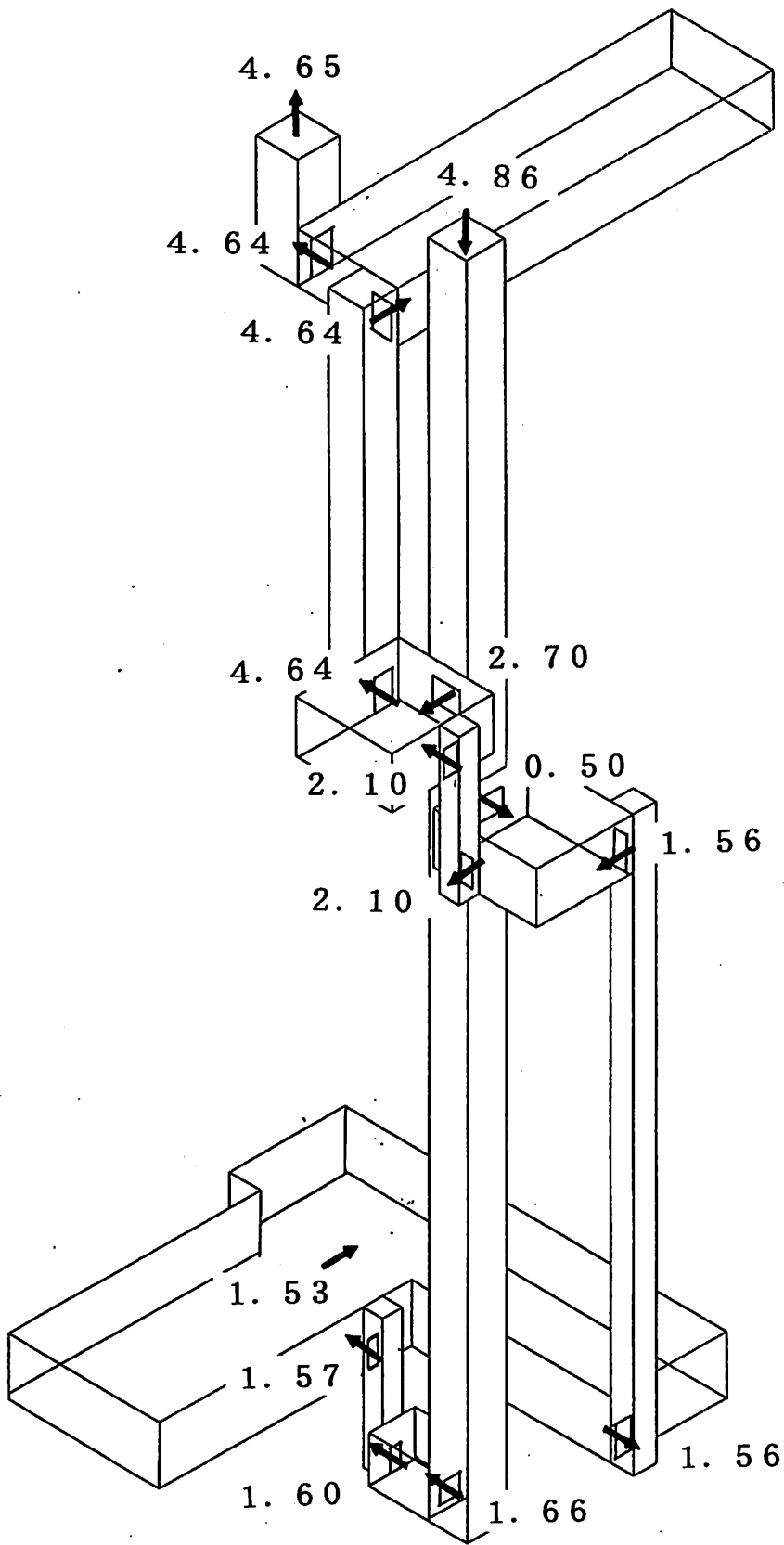
(图5·9)



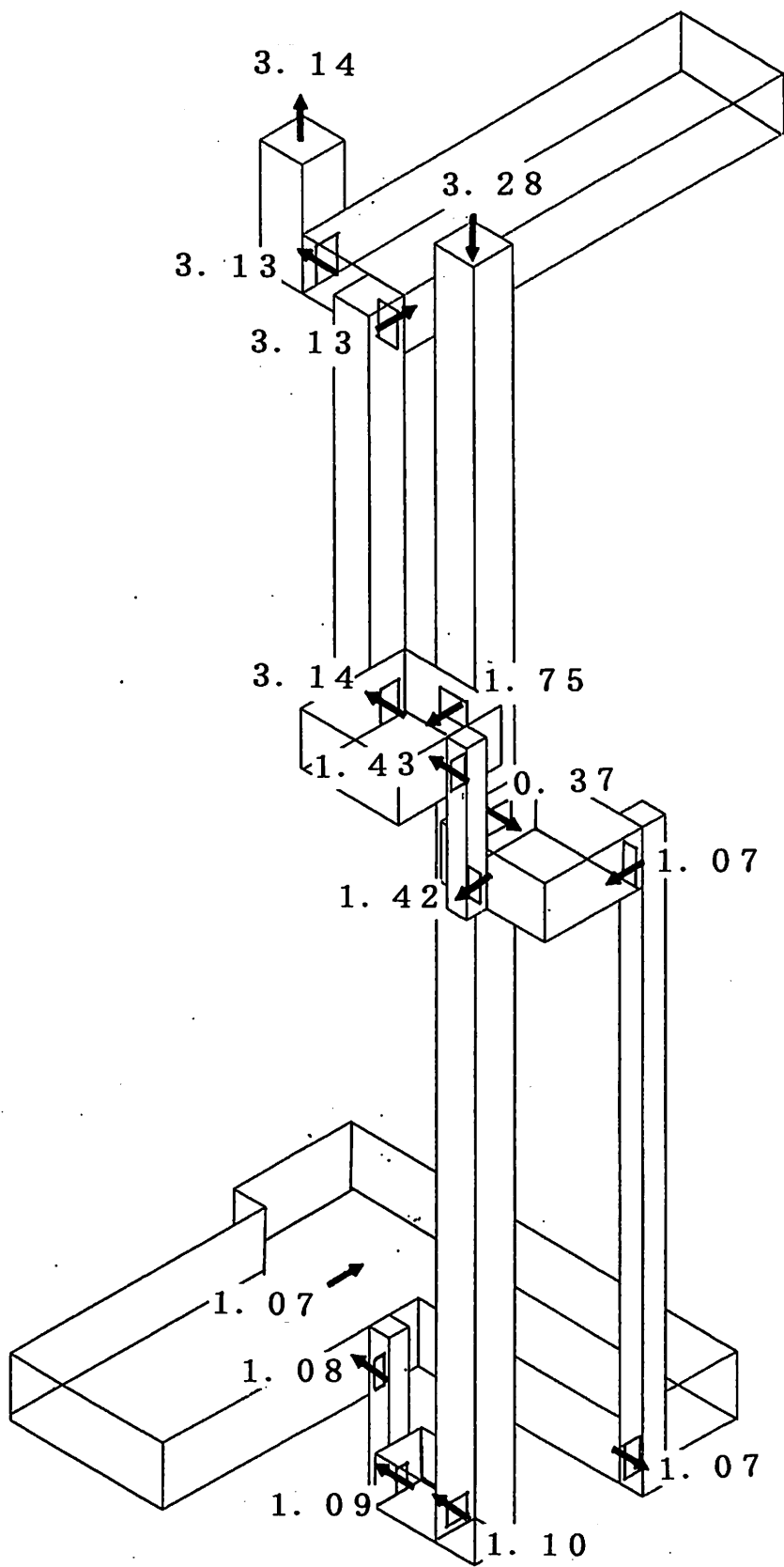
(图5·10)



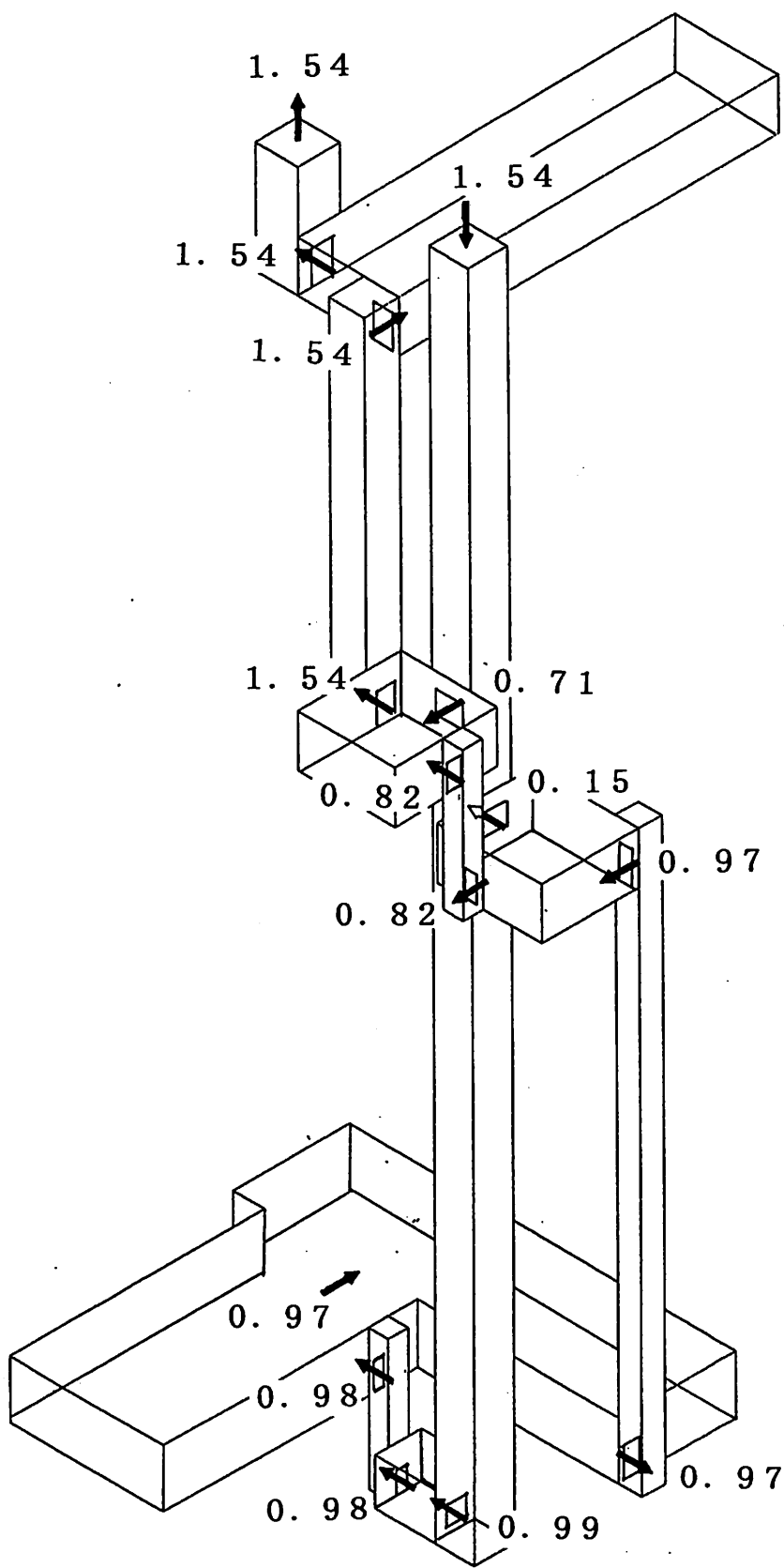
(图 5 · 11)



(图5·12)



(图5·13)



(图5·14)

第6章

その他の住環境因子

1) はじめに

前章では、人間が暮らしていくのに必要不可欠とされる環境因子、換気について述べてきた。しかし、私たちが地下に暮らそうとする場合、問題となる環境因子がいくつか残っているが、カッパドキアでは、その問題をどのように解決していたのであろうか。

この章では、得た情報をもとに以下の住環境因子について考察していく。

☆ 日照、採光

☆ 衛生（給・排水、汚物の処理）

2) 日照、採光

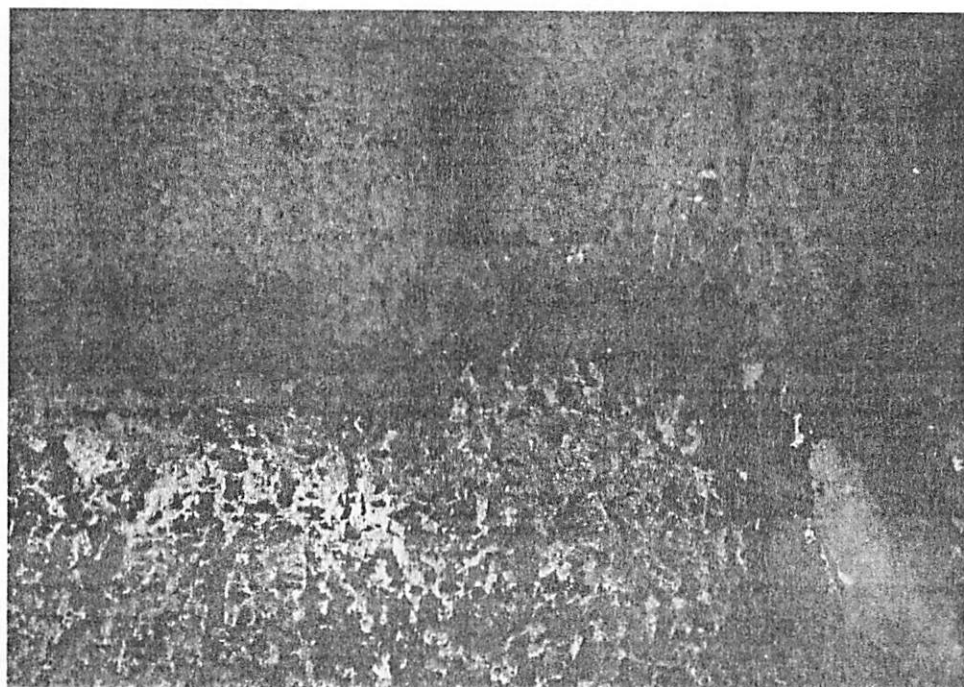
日本では、明治以来日当たりをきわめて重視してきた。それは、日照が視覚その他を通じ私たちに爽快にしてくれること、冬の日照は室内を暖めてくれるなどの理由で、住居において日照は重要な位置をしめるようになったからである。それでは、地下空間において日照はどのような意味をもっていたのであろうか。

カッパドキアの地下都市内では、自然光はほとんど取り入れられていなかった。この地下都市は敵が攻めてきたときの隠れ家であり、大きな開口はとれなかったと思われる。また、厳しい気候のもとでは日射がなくても地下のほうが快適であったと思われる。

しかし、通気孔が垂直に延び、地下何階であろうか通気孔から見上げると外界の光がさしこんでいるのがわかる。これは、地下のどこにいても外界とつながっているという感を持たせ、心理的に地下の閉鎖感を取りのぞいているものと思われる。

それでは、自然光の届かない地下でどのように過ごしていたのであろうか。現地調査に行ってみてわかったことであるが、所々ロウソクもしくはランプがおかれた跡が残っていた。(図6・1) 主要な室はもとより、階段室や学校にはとくに多く見られた。

地下の暗闇のなかで灯をともし光景は、神秘的かつ宗教的であったに違いない。これにより、宗教信仰心がより深まったものと思われる。



(図6・1)

3) 衛生（給・排水、汚物の処理）

住宅が整備されていても、衛生面で整備されていなければ、快適な空間とはいえない。よって、ここでは衛生、特に給・排水、汚物の処理について考察していく。

カッパドキアの地下都市はどこでもそうであるが、地下水脈があった。通気孔はそこまで達していて、井戸も兼ねていたといわれている。（文献1）しかし、実際調査してみると、通気孔は地下8階のすこし下でふさがっていて、井戸は通気孔とは別のところに掘ってあった。また、キッチンが地下2階にあり、通気孔とは離れていた。

では、実際給水はどのようにしていたのであろうか。カッパドキアの地下都市を見ると、地下1階から地下3階までに主要な部屋がそろっている。これは、ふだんは地下3階までで生活していて、敵が侵入してきたときそれより下の階にいき、石の扉で通路をふさいで敵が引くのを待ったものと思われる。

この近くには川も流れていたということで、ふだんは約80m下にある地下水脈から水を汲み上げるのではなく、近くの川から水を汲んできたものと思われる。そして、敵が攻めてきたときは地下深くに隠れ、地下水から水を汲み上げていたのではなかろうか。

排水処理、トイレについては、それらしき跡は見当らず、いまだ確認されていない。トイレについては、おそらくふだんの生活では外に出て用をたしたと思われる。また、敵が攻めてきたときは、土器の壺で用をすませ、砂をかけておいてあとで外に運び出したのではないか。排水処理についても同じようなことがいえるのではなかろうか。

第7章

まとめと今後の展望

1) まとめ

本論文では、過去に地下空間で人が暮らしていた代表的な例としてカッパドキアの地下都市をとりあげ、換気を中心とする住環境因子の分析を行った。

第2章ではカッパドキアの地下都市の成り立ちを、歴史的背景、気候、地形の3方向からとらえた。その結果、紀元前より地下空間を貯蔵庫として利用してきたが、敵の侵略を受けるようになるとその地下空間を隠れ家として利用しはじめ、時代が経つにつれて地下空間を拡張していった。つまり、貯蔵庫と住居の両方の性質を兼ね備えていた。

また、夏と冬の気温差が激しく、砂埃が舞うこの地方では地下空間のほうが温度変化が少なく、砂埃が立たないなどの面で快適であった。そして、この地方の地質が掘りやすい凝灰岩質であったこと、などの理由でカッパドキアの地下都市は発展し、現在の規模になったものと思われる。

第3章では住環境に関する資料が集まらず現地調査を行い、実際地下都市ではどのようなになっているのかを示した。その結果、1本の通気孔とそれを取り巻く空間しか調査はできなかったが、実際に換気が行われていることがわかった。

第4、5章では、測定結果をもとに「二層ゾーンモデル」を用いて換気に関するシミュレーションを行った。その結果、「デリンクユ」では200人以上の人々が居住可能であることがわかった。

第6章では日照、採光、給排水、汚物処理について考察を行った。通気孔が垂直に延び、そこから見上げれば外界を望むことができたこと、内部ではロウソクやランプを使っていたことなどがわかった。そして通気孔や井戸は地下水脈まで届き、そこから水を

得ることができ、排水や汚物は土器の壺に入れ、砂をかけてあとで外に運んだものと思われる。

以上のことから、カッパドキアの地下都市は敵から身を守る、自然の猛威から逃れるという条件のもとでは、十分居住可能で快適な空間であったものと思われる。その理由として、地下空間の様々な特性がうまく取り入れられていたことが上げられる。それは、それぞれの時代に発見された地下空間の特性の蓄積でできたものであろう。

2) 今後の課題

今後の課題としては、より精密な住環境評価のために、対象空間の正確な調査、そして、より詳しい情報収集が必要とされる。また、今回調査したカッパドキアの地下都市では、通気孔内で空気が真っすぐ下に向かっていたが、『シャフトの近くでタバコを吸うと、その煙は真っすぐ上に昇っていく。』（文献1より引用）とあり、夏には向きが逆転するものと思われ、それが事実であるか調べる必要がある。また、夏と冬以外の内外の気温差があまりないときは換気がどうなっているのかも調べる必要がある。もし、年間を通じて換気が行われていれば、すばらしい換気設備であろう。

参考文献

- 1) ÖMER DEMİR CAPPADOKIA 1993
- 2) ÇGDAŞ CAPPADOKIA 1995
- 3) A.K.Erguvanli and E.Yuzer PAST AND PRESENT USE OF NUDERGROUND OPENINGS
EXCAVATED IN VOLCANIC TUFFS AT CAPPADOCIA AREA
- 4) 三省堂 地理の整理 10. 1992
- 5) 日本建築センター 煙流動および避難性状予測のための実用計算プログラム
解説書 1. 1990
- 6) 斎藤 平蔵 建築気候 1. 1991
- 7) 石原 正雄 建築換気設計 1969

謝辞

この論文を作成するにあたり、終始一貫して御指導戴いた名古屋大学工学部建築学科辻本 誠教授に感謝いたします。また、数々の適切な助言をして頂いた同講師河野 守氏、市村学園短期大学生生活文化学科講師江本 哲也氏に感謝の意を申し上げます。

また、資料を提供して頂いた東海大学海洋学部海洋土木工学科アイダン・オメール氏、トルコにて調査に関する資料の提供および御協力頂いたイスタンブール工科大学土木工学科エルドアン・ユゼール教授に感謝申し上げます。

最後に論文をまとめるにあたって、多くの援助、協力、激励をしていただいた同講座の堀江 記代美先輩、現地調査に協力していただいた同学生蔭山 寿君、阿部 浩紀君に感謝します。

2 / 14, 1995