

## 環境工学的手法を用いたヴァナキュラー住宅に関する研究

— 連成数値解析・現地実測による環境評価 —

主査 早乙女 強\*1

委員 細江 いずみ\*2, 鈴木 雄介\*3, 村上 周三\*4, 藤井 明\*5

ヴァナキュラー住宅には建築環境工学的にみて合理的な様々な工夫が施されており、これらの工夫の有効性の解明は環境負荷の少ないサステナブル建築の提案につながると考えられる。本研究ではヴァナキュラー住宅に施された種々の工夫が屋内環境に与える効果を、数値解析と現地実測を通して評価を行った。研究対象として、世界の特徴的な気候区分に着目し3つのヴァナキュラー住宅を選出し検討した結果、いずれの住居においても施された工夫が屋内環境の改善のために有効であることが定量的に確認された。現代建築のデザインにおいて、地域の気候を反映したヴァナキュラーな建築様式の視点を学ぶことは、パッシブ手法を施す上で有効であることが明らかになった。

キーワード : 1) ヴァナキュラー住宅, 2) 数値解析, 3) 現地実測, 4) 屋内環境, 5) パッシブ手法

### EVALUATION OF INDOOR ENVIRONMENT IN VERNACULAR DWELLINGS

— NUMERICAL ANALYSIS BY CFD and Experimental Study —

Ch. Tsuyoshi Saotome

Mem. Izumi Hosoe, Yusuke Suzuki, Shuzo Murakami, Akira Fujii

Vernacular dwellings incorporate effective techniques to improve the quality of the indoor environment by making full use of natural power. It is therefore expected to utilize their design concepts in making modern environmentally symbiotic housings. In this study, the indoor environment in vernacular dwellings is analyzed using computational fluid dynamics (CFD) and is measured on the spot. Owing to all the studies, effectiveness of each technique are confirmed. Consequently, it is important to recognize the value of these traditional techniques and utilize their design concepts in the design of modern dwellings, especially when designing environmentally symbiotic housing.

#### 1. はじめに

##### 1-1. 研究背景と目的

世界の様々なヴァナキュラー住宅は豊かな地域的特色を持ち、建築関係者の関心を引き付けてやまない。ヴァナキュラー住宅とは、土地の自然や特性などをいかした地域特有の伝統的建築である。例えば、寒冷地に建てられた保温性に優れるイグルーや高温多湿地に建てられた通風性に優れる高床式住居などが挙げられ、世界各地に存在する(図1)。ヴァナキュラー住宅に関する既往の調査研究は、民俗学の観点からの検討が主であった。しかし環境工学の観点からヴァナキュラー住宅に着目する時、その地域固有の気候に配慮し、地域環境との調和を図りつつ、地場の建築資材や自然のエネルギーを積極的に利用し屋内環境を維持・向上させるための工夫が至るところに施されていることがわかる。すなわち結果的に、ヴァナキュラー住宅は環境負荷を最小限に抑えているといえる。これらヴァナキュラー住宅の持つ特徴は近年注目されている環境共生住宅に掲げられている目標と多くの

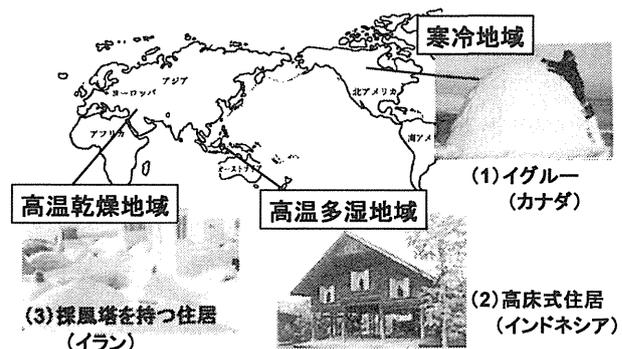


図1 世界のヴァナキュラー住宅

共通点を有し、その環境調整機能の解明は環境負荷削減のための新たな環境調整手法の提案に結びつく可能性を有するものといえる。

本研究では、数値解析および現地実測によりヴァナキュラー住宅に施された種々の工夫が屋内環境に与える影響を定量的に評価し、ヴァナキュラー住宅の有する屋内環境向上に関する有効性の検討を行う。

\*1 株式会社帝国データバンク

\*2 慶應義塾大学 大学院

\*3 鹿島建設株式会社

\*4 慶應義塾大学

\*5 東京大学生産技術研究所

## 1-2. 研究対象

今回は世界の特徴的な気候区分に着目し、①寒冷気候の地域に見られる保温性を考慮した「イグルー」、②高温湿潤地の地域に見られる通風性を考慮した「高床式住居」及び、③高温乾燥地域に見られる通風性を考慮した「採風塔を持つ住居」の3つのヴァナキュラー住宅を研究対象として選出し、検討を行う。

## 2. 寒冷地域の住居：イグルーの検討

—連成数値解析による環境評価—

### 2-1. イグルーの概要

イグルーとは、カナダ極北地域に住むイヌイットが温度・湿度が極めて低い冬に利用していた保温性に優れた住居である。図2に示すように典型的なイグルーは主室と前室からなり、前者は居住、後者は食糧貯蔵に利用される。イグルーには寒さを防ぐため以下の工夫が施されている<sup>文1~7)</sup>。①多くの小気泡が含まれている断熱性の高い雪で作ったブロックでドーム状に作られている。②主室は前室より一段高く、さらに一段高い場所に居住空間が設けられている。<sup>文1,3)</sup> ③主室のドーム部にはアザラシの毛皮が内張りされている。④入り口は雪のブロックで基本的に閉じられている。

また空気環境を向上させるため、⑤天井上部には換気口が設けられており、空気質が悪くなったとき等に開放される<sup>注1) 文6)</sup>。

### 2-2. イグルーのモデル化

屋内環境への寄与が大きいと考えられる前記の特徴に重点を置き、文献<sup>文1)</sup>による実測値を参考として図3に示すようにイグルーをモデル化した。ここでは前室を簡略化し、主室と前室の間に0.2m、主室内に0.5mの高低差を設け、入り口は下部から90%を閉鎖した状態(開口率10%)とした。また換気口はイグルー主室部頂部に設け、その直径は0.1mとした<sup>注2)</sup>。

### 2-3. 解析ケース

イグルーに施された種々の工夫の効果を詳細に調べるため、表1に示すように各種のモデルを設定した。モデル1は実際のイグルーをなるべく忠実に再現したもので、図4に示す4点の特徴を持つ。モデル2~5ではモデル1の特徴の1つを順番に変化させる。

### 2-4. 温熱環境の検討

#### 1) 解析概要

イグルーの屋内環境を、対流・放射・伝導という三つの熱移動の形態を連成した数値解析手法を用いて検討を行った。乱流モデルは標準  $k-\epsilon$  モデル(3次元、非等温)を用い、計算アルゴリズムは陰解法(SIMPLE)、差分

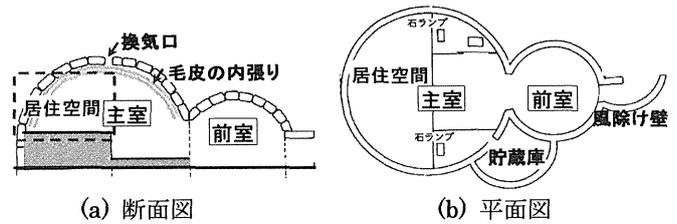


図2 イグルー

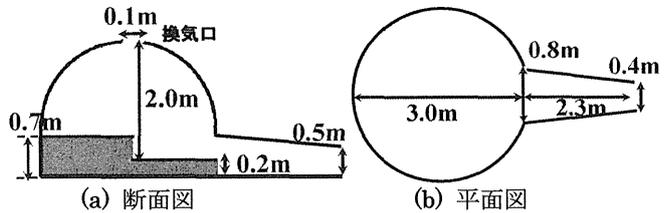


図3 イグルーの解析モデル

表1 解析ケース

	①入り口	②段差	③内張り	④換気口
モデル1	90%閉鎖	有	有	閉
モデル2	開放	有	有	閉
モデル3	90%閉鎖	無	有	閉
モデル4	90%閉鎖	有	無	閉
モデル5	90%閉鎖	有	有	開

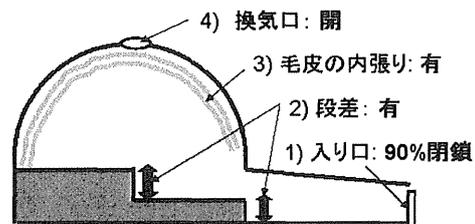


図4 モデル1 (イグルーの再現モデル) の特徴

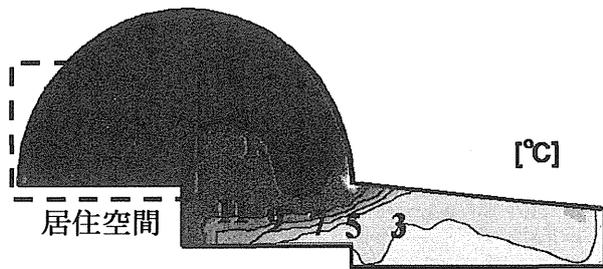
表2 解析空間 (屋外空間) の境界条件

流入口	流入風速: $U_{in}=0.356[\text{m/s}]$ 流入温度: $T_{in}=-20\text{ [}^\circ\text{C]}$ 乱れ長さスケール: $l_m=0.1[\text{m}]$ 乱流強度: 10[%] 乱流エネルギー: $k_m=1.5(U_{in}\times 0.1)^2$ モデル定数: $C_\mu=0.09$ 粘性消散率: $\epsilon_m=C_\mu\cdot K_m^{3/2}/l_m$
流出口	Free-slip 条件
周壁面 (断熱面)	速度境界条件: 一般化対数則 温度境界条件: 一般化対数則

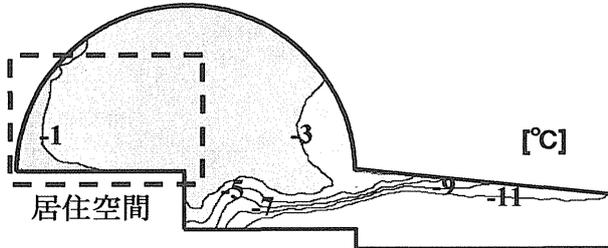
キームは移流項:1次精度風上差分、その他の項:2次精度中心差分となっている。空間セル数は約16万である。

#### 2) 計算条件・境界条件

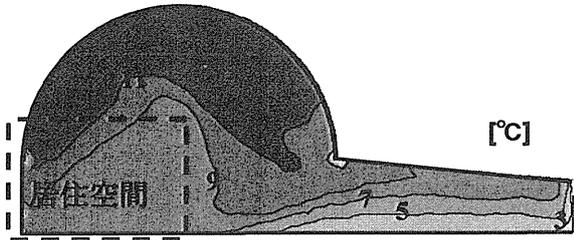
解析を行うにあたり静穏な空間(8.0m×4.0m×3.0m)にイグルーを設置し、イグルーの屋内外を一体で解析した。評価対象はイグルーの屋内のみとした。表2にイグルーの周りに設けた静穏な解析空間の境界条件を示す。屋外空間の温度はカナダ極北地域の冬季の平均気温(-20°C)とした。イグルーは厚さ0.2m<sup>文1)</sup>の雪のブロックで作られ、主室ドーム部には毛皮の内張り(モデル4は除く)が、毛皮と雪ブロックの間には空気層があるものとした。イグルーは積雪の上に建てられたものとし、床面から1m下方の温度を-20°Cとした。イグルーの構成材料の物



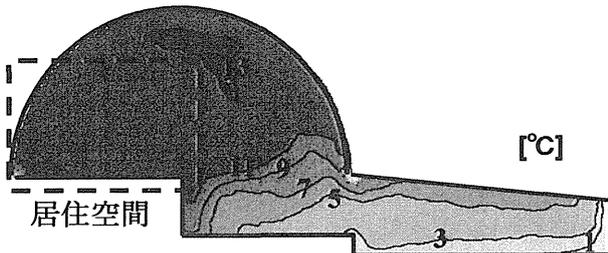
(a) モデル 1 (再現モデル)



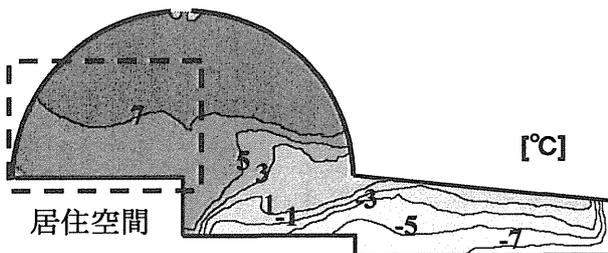
(b) モデル 2 (入り口開放 (開口率 100%))



(c) モデル 3 (段差なし)



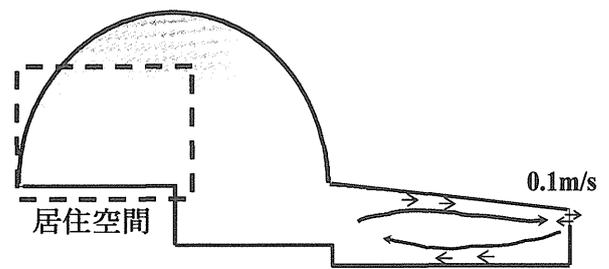
(d) モデル 4 (イグルー-主室: 内張りなし)



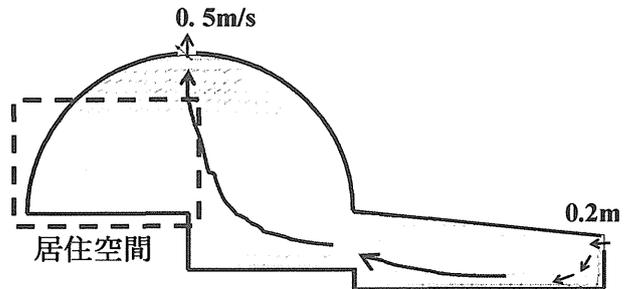
(e) モデル 5 (換気口: 開)

図 5 温度分布

性値<sup>8,9)</sup>は、熱伝導率は雪ブロック:0.26 [W/m・K]<sup>注3)</sup>、毛皮:0.08[W/m・K]とし、放射率は雪ブロック:0.1、毛皮:0.96 とした。また空気層の熱伝達抵抗は 0.11[m<sup>2</sup>・K/W]、外気の総合熱伝達率は 23[W/m<sup>2</sup>・K]とし、屋内の固体表面温度は、一般化対数則に基づく対流熱伝達量・放射解析に基づく放射熱伝達量・壁面貫流熱量の3者の合計が0になるように算出される。発熱条件としてイグルー内に居住者5人と(76W/人)と石ランプ<sup>注4)</sup>2個(150W<sup>注5)</sup>/個)の発熱量を考慮している。



(a) モデル 1 (再現モデル)



(b) モデル 5 (換気口: 開)

図 6 風速分布

### 3) 解析結果

図 5 にモデル 1~5 の温度分布を、図 6 にモデル 1 とモデル 5 の風速分布を示す。図 5 (a) に示すように、モデル 1 ではイグルーの居住空間において外気温が  $-20^{\circ}\text{C}$  の状況下においても  $13\sim 15^{\circ}\text{C}$  の温度に保たれることがわかる。ドーム頂部の換気口を閉じた状態では、雪ブロックが積まれて開口面積の小さいイグルー入り口部だけが換気経路になるために換気回数 0.4 回/h 程度と小さくなり、また図 6 (a) に示すように前室部分で空気循環が生じる。そのため主室部まで外気の影響が及びにくいと推測される。

次に、モデル 1 と他のモデルを比較することでイグルーに施された工夫の有効性を検討する。図 5 (b) のモデル 2 に示すように入り口に雪のブロックを設置しない場合には、入り口が開放されることで居住空間が外気の影響を受けやすくなり居住空間の温度は  $10^{\circ}\text{C}$  以上低下している。

図 5 (c) のモデル 3 に示すように主室内の段差がない場合には、居住空間の温度は約  $5\sim 6^{\circ}\text{C}$  低下した。イグルーは屋内に生じる上下温度分布を有効に利用し、居住空間の温度を高く、かつ貯蔵庫部分の温度を低く保つために工夫している。

図 5 (d) のモデル 4 に示すように毛皮の内張りがない場合には、居住空間の温度は約  $2\sim 3^{\circ}\text{C}$  低下した。内張りを施すことによって、壁面からの熱伝導による熱損失を小さくできることがわかる。

また図 5 (e) のモデル 5 に示すようにドーム頂部の換気口 (直径 0.1m の円形) を開放した場合、主室内の温度は  $7^{\circ}\text{C}$  低下した。換気口を開けたことにより図 6 (b) に示すように、入り口から空気が流入し主室を通り換気口から空気が流出するため、主室部にも外気の影響

響が及び居住空間の温度低下につながったと考えられる。従って実際のイグルーは、一般には換気口を閉じた状態で生活し居室部の居住空間を暖かく保っていたと推測される<sup>注1)</sup>。

#### 4) PMV・PPDの算出

イグルーの居住空間の温熱快適性を総合温熱指標 (PMV) 及び不満足な人の割合 (PPD)<sup>注6)</sup> を用いて評価した。PMV の算出にあたり、気温・放射温度・風速は数値解析結果を用いた。湿度は 100%、着衣量は写真などを参考にして<sup>文4,6)</sup> 2 clo、代謝量は 1.1met とした。結果を表 3 に示す。モデル 1 の PMV は-0.4 でやや寒いのが快適奨励域の範囲にあり、イグルーの居住空間の温熱環境は快適に保たれている。また、その他のモデルの PMV は-0.8 から-2.9 でかなり寒いという評価になり温熱環境は良好に保たれていない。

### 2-5. 空気環境の検討

#### 1) 算出方法

イグルーの居住空間の空気環境についてにおに代表させて検討を行う<sup>注7)</sup>。ここでは、においの発生量を表すオルフ<sup>注8)</sup> と、室内においの知覚レベルをデシボル<sup>注9)</sup> を用いた<sup>文10)</sup>。

オルフとデシボルの関係を (1) 式に、デシボルと不快者率 (PD) の関係を (2) 式<sup>注10)</sup> に示す。

$$C_i = C_0 + 36G/Q \quad (1)$$

$$C_i = 112 \times \{Ln(PD) - 5.98\}^{-1} \quad (2)$$

ここで、 $C_i$  : 設計される空間の知覚空気質 (decipol)

$C_0$  : 外気の知覚空気質 (decipol)

$Q$  : 設計換気量 (m<sup>3</sup>/h)

$G$  : 対象空間のオルフの合計値

#### 2) 不快者率の算出

各モデルについて (1) 式を用いてにおいの知覚レベルであるデシボル値を算出した。ここで外気の知覚空気質 ( $C_i$ ) は外気に空気汚染の発生源は存在しないと仮定し 0、対象空間のオルフの合計値 ( $G$ ) はイグルーの中に居住者が 5 人いると仮定し 5olf とした<sup>注8)</sup>。また表 6 に示す換気量 ( $Q$ ) は数値解析の結果を用いた。また、不快者率をデシボル値と (2) 式より算出した。

各モデルの換気回数と不快者率を表 3 に示す。モデル 1 では不快者率が 100% となりイグルーの屋内の空気環境は劣悪であるともいえる。しかし、換気口を開けることで (モデル 5) 空気環境は向上することがわかる。

### 2-6. 温熱環境と空気環境の複合評価

#### 1) 評価方法

イグルーの屋内温熱・空気環境の複合評価によりイグ

表 3 各ケースの換気回数・PMV・PPD・不快者率

	換気回数[回/h] (換気量[m <sup>3</sup> /h])	温熱環境		空気環境
		PMV	PPD [%]	不快者率 [%]
モデル 1	0.37 (3.6)	-0.4	9	100
モデル 2	10.1 (97)	-2.9	100	24
モデル 3	0.37 (4.8)	-1.2	62	100
モデル 4	0.39 (3.8)	-0.8	29	100
モデル 5	2.5 (24)	-1.4	84	60

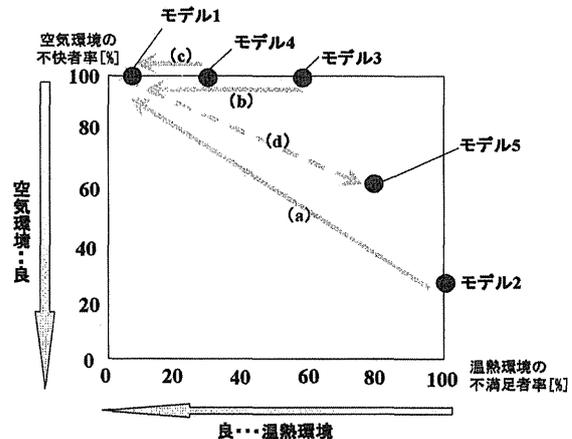


図 7 温熱環境と空気環境の複合評価

ルーに施された工夫の有効性を検討した。ここで温熱環境と空気環境を複合的に評価するために、図 7 に示すように、算出した温熱環境の不満足者率を横軸に取り、空気環境の不快者率を縦軸に取って各ケースの値を示した。左下の原点が最も優れた環境を、右上隅が最も劣った環境を示す。

#### 2) 検討結果

図 7 において矢印 (a) ~ (d) は、イグルーに施した工夫によりイグルーの居住空間の温熱環境及び空気環境がどのように変化したかを表す。矢印 (a) ~ (d) に表す環境変化に起因するイグルーの工夫を以下に示す。

- (a) 入り口閉鎖 (モデル 2→モデル 1)
- (b) 段差を設ける (モデル 3→モデル 1)
- (c) 主室内に内張りを施す (モデル 4→モデル 1)
- (d) 換気口開放 (モデル 1→モデル 5)

入り口を閉鎖すること、主室内の段差、主室ドーム部の毛皮の内張りによって居住空間の温熱環境が大幅に向上することがわかる(モデル 2・モデル 3・モデル 4→モデル 1)。この結果、イグルーの居住空間の温熱環境は快適に保たれているが、屋内の換気が十分でないため空気環境は劣悪な状態であるといえる (モデル 1)。そこで空気環境の悪化に対し居室部の換気口を開放することで、屋内空気環境の質の向上を図ることができる(モデル 1→モデル 5)。しかし、換気口を開放した状態では極めて寒く温熱快適性を保つことができないため、空気環境が悪化し匂いなどが耐え難くなったときのみ開放していたと推測される<sup>注1)</sup>。

### 3. 高温多湿地域の住居：高床式住居の検討

#### -数値解析による環境評価-

#### 3-1. 高床式住居の概要

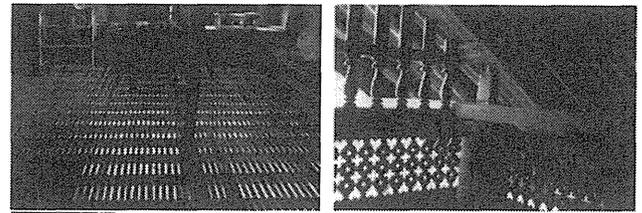
高床式住居とは、高温多湿気候である東南アジア地域で多く利用されている住居である。高床式住居に施された工夫の効果として、①高い通風性、②地表面の湿度からの解放、③ひさしによる日射遮蔽、をあげることができる。本報では特に通風性に着目した検討を行う。



図8 アチェ（インドネシア）の高床式住居の外観

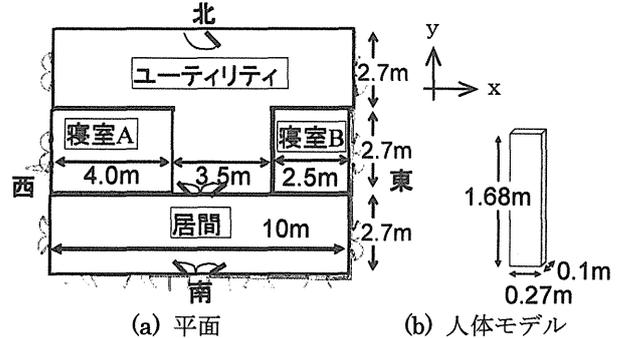
#### 3-2. 高床式住居の概要

対象とした高床式住居は、図8に示すアチェ(インドネシア・スマトラ島)の高床式住居である。アチェの住居は室内の快適性に優れていると言われている。アチェの高床式住居は、大開口を持つ妻壁が現地の夏の主風向と同じ東西方向を向くように建てられている。内部は3層構造になっており、南側から順に居間・寝室・ユーティリティに大きく分けられる。住居には通風性を高めるため次の工夫が施されている<sup>11,12)</sup>。①床面は地表面から約2.5mの高さにある。②床面は全て簀の子敷になっている(図9(a))③妻壁と間仕切り上部には透かし彫がある(図9(b))。また住居の周囲は果樹で囲まれており、日射遮蔽効果がある。



(a) 簀の子敷 (b) 透かし彫

図9 住居に施された工夫



(a) 平面 (b) 人体モデル

#### 3-3. 高床式住居のモデル化

前記の特徴に注目し、実測<sup>11)</sup>による寸法を参考として図10に示すようなモデル化を行った。ここで、住居の窓・扉は室内も含めて(寝室の扉のみ除く)全て開放状態とし、図10(a)に示すように居間の中央部に人体モデル<sup>13)</sup>(図10(b))を設置した。南面には出入り口、窓、透かし彫がある(図10(c))。ただし北面は出入り口のみとなる。現地の夏期の主風向は西風で東面(西面)には窓と透かし彫がある(図10(d))。また、室内の間仕切り全ての上部に高さ0.4mの透かし彫が施されている(図10(e))。床面は地表面から2.4m上にあり、さらに中央部は一段高く(地表面より2.8m上方)になっている。

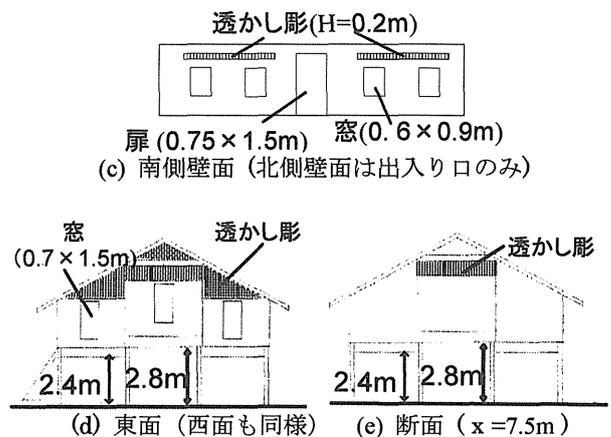


図10 解析モデル

表4 解析ケース

解析ケース	地表面と床の距離 [m]	簀の子敷	透かし彫
モデル1	2.4	○	○
モデル2	2.4	×	○
モデル3	2.4	○	×
モデル4	2.4	×	×
モデル5	0	×	×

#### 3-4. 解析ケース

解析ケースを表4に示す。モデル1は実際の高床式住居をなるべく忠実に再現したもので、図11に示す3点の表特徴を持つ。モデル2~5ではモデル1の特徴を表1のように変化させる。

#### 3-5. 解析概要

##### 1) 解析手法

表4の各モデルを対象に、CFDによる数値解析を用いて検討を行った。乱流モデルは標準  $k-\epsilon$  モデル(3次元・非等温)を用いた。計算アルゴリズムは陰解法(SIMPLE)、差分スキームは移流項に1次精度風上差分、

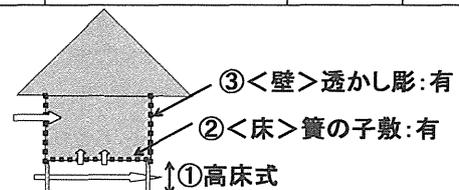


図11 高床式住居の特徴(モデル1)

その他の項に2次精度中心差分を用いた。空間セル数は約14万である。解析モデル図を図12に示す。

## 2) 計算条件

高床式住居の効果を夏季（8月）を対象として検討を行った。また本解析では通風による効果を検討するため、日射の影響を受けない時間帯、かつ、家に人が集まる団欒の時間帯を考え、19時の解析を行った。また住居は木材等から建築されているため、日中の日射による蓄熱の影響は少ないものとして無視した。

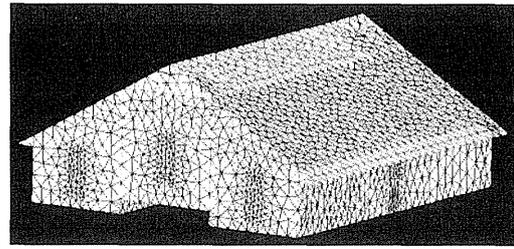


図12 住居の解析モデル（メッシュ図）

## 3) 境界条件

解析を行うにあたり住居の周辺に広い解析空間（30m×20m×14m）を設け、その中に高床式住居を設置し、屋内外を一体で解析した。表5に境界条件を示す。

屋外空間の温度はアチエの8月中旬の19時の平均気温（31℃）<sup>14)</sup>を用いた。境界条件として与える外部風速は便宜的に(3)式に示すべき法則(power law)を用い、地表面からの高さ按比例する関数として与えた。

$$U / V_g = (Z / Z_g)^{\alpha} \quad (3)$$

$V_g$  : 代表高さ  $Z_g$  の風速 [m/s]

$Z_g$  : 代表高さ [m]       $\alpha$  : べき指数

但し周りが森林部であることから  $\alpha=0.28$  <sup>15)</sup>、8月中旬の19時の平均風速と観測地点の気象データ<sup>14)</sup>から、 $Z_g: 21\text{m}$ 、 $V_g: 1.9\text{m/s}$ とした。風向は夏季に卓越する西風とした。

高床式住居の壁面は全て断熱面とした。ただし、簀の子敷及び透かし彫が施された箇所は透過性の断熱面（バツフル境界）とし、写真を参考に開口率を与え、簀の子敷は40%、透かし彫は60%とした。屋内に設置した人体モデルは、立位状態の人体を直方体近似した簡易人体モデルである。人体モデルの表面温度は、快適状態の人体皮膚温である33.7℃に制御している。

## 4) 気流性状の解析結果

モデル1の解析結果を図13、14に示す。図13より、間仕切りがないことで居間とユーティリティでは流入した風がそのまま通りぬける様子がわかる。図14に、図13に示す断面I、IIにおける風速分布を示す。間仕切り上部の透かし彫を通して、断面Iでは中央部の寝室Aから両脇のユーティリティ・居間へ風が流出し、断面IIでは中央部の寝室Bに空気が流入していることがわかる。風が流入する側に窓がない寝室部Bにおいても、間仕切りに施された透かし彫により上部から空気が流入することが可能となり、寝室Bにも空気の流れ(0.2m/s)が生じることがわかる。また床面に施された簀の子敷により、床面を通した上下の空気の流れが見られる(0.3m/s)。寝室では床面下部にぬける気流が、居間とユーティリティでも図14に示すような気流が見られる。以上より、モデル1においては室全体で十分な空気の流れが認められる。

表5 解析空間の境界条件

屋外空間	流入口	流入風速: $U_{in} = z^{0.28} / 1.17$ [m/s] 流入温度: $T_{in} = 31$ [°C] 乱れ長さスケール: $l_{in} = 0.1$ [m] 乱流強度: 10[%] 乱流エネルギー: $k_{in} = 1.5(U_{in} \times 0.1)^2$ モデル定数: $C_{\mu} = 0.09$ 粘性消散率: $\epsilon_{in} = C_{\mu} \cdot K_{in}^{3/2} / l_i$
	流出口	Free-slip 条件
	周壁面 (断熱)	速度境界条件: 一般化対数則 温度境界条件: 一般化対数則
住居	床面 (簀の子敷) <sup>注12)</sup>	開口率: 40%
	透かし彫	開口率: 60%
	その他壁面	速度境界条件: 一般化対数則 温度境界条件: 一般化対数則
人体	-	速度境界条件: 一般化対数則 温度境界条件: 一般化対数則 表面温度: 33.7°C

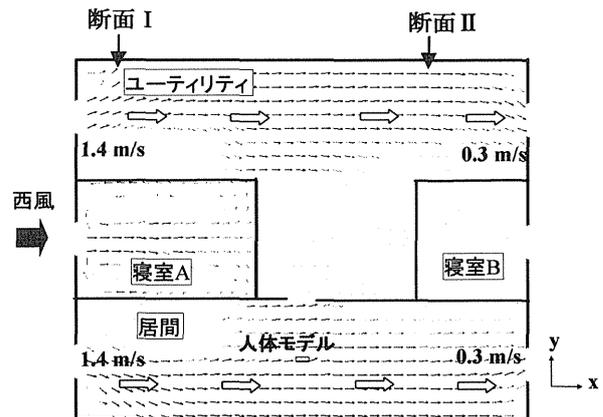


図13 モデル1の風速分布（平面図）

図15に、壁面に透かし彫のみが施され床は簀の子敷になっていないモデル2の風速分布を示す。透かし彫部分ではモデル1と同様に、寝室Aでは空気が流出し、寝室Bでは空気が流入していることが確認できる。しかし床面付近で気流はあまり見られない。透かし彫のみが施された場合、窓から流入した風が部屋の上部を流れ、床面付近に影響を与えないことがわかる。

図16に、床面に簀の子敷が施され透かし彫はないモデル3の風速分布を示す。モデル3は上部に透かし彫がないため、寝室Bではほぼ無風状態となっている。また、床面で簀の子敷を通した空気の流出入は、モデル1より減少している(寝室A: 0.2m/s, 寝室B: 0.1m/s以下)。これにより簀の子敷のみが施された場合では、床面を通した通風が有効に行われていないことがわかる。

以上より人体付近に気流を生じさせるためには簀の子敷と透かし彫の両方が施される必要があることがわかる。

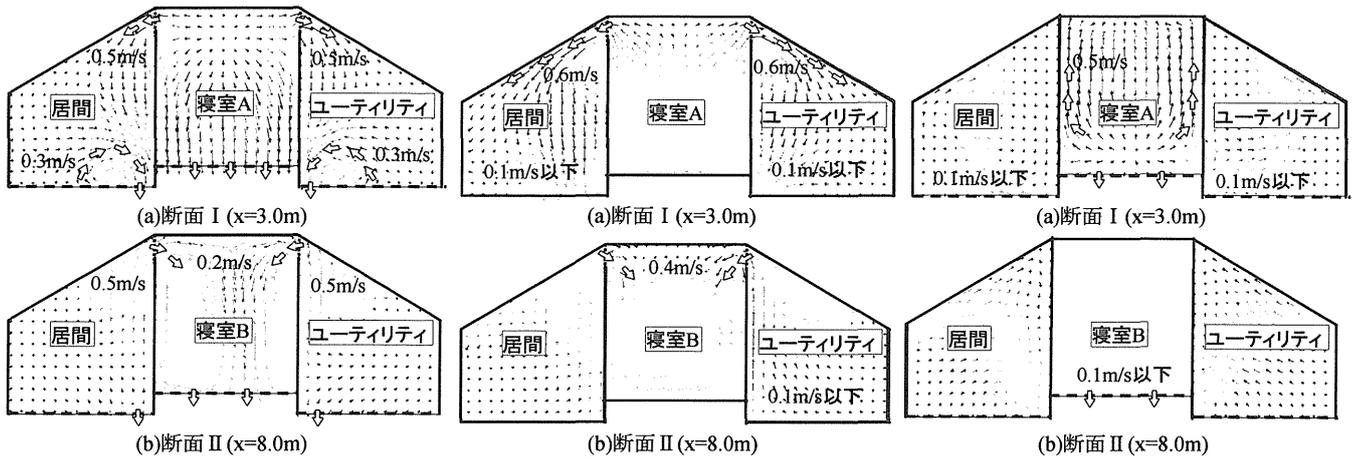


図 14 モデル 1 の風速分布 (断面図)  
(透かし彫と竇の子数: 有)

図 15 モデル 2 の風速分布 (断面図)  
(竇の子数: 無, 透かし彫: 有)

図 16 モデル 3 の風速分布 (断面図)  
(竇の子数: 有, 透かし彫: 無)

### 3-6. 通風による効果の検討

#### 1) 対流熱伝達率の算出

対流熱伝達率は、(4)式で求める。ここで、(4)式において  $q_c$ : 解析結果、 $\theta_s$ : 33.7°C、 $\theta_f$ : 31°C とし、屋内に設置した人体モデルの対流熱伝達率  $a_c$  を算出した。

$$q_c = a_c (\theta_s - \theta_f) \quad (4)$$

$q_c$ : 対流による熱伝達量 [W/m<sup>2</sup>]

$a_c$ : 対流熱伝達率 [W/m<sup>2</sup>·K]

$\theta_s$ : 固体 (壁体) の表面温度 [°C]

$\theta_f$ : 流体 (空気) の温度 [°C]

#### 2) 蒸発による熱伝達率の算出

対流熱伝達率  $a_c$  と蒸発による熱伝達率  $a_e$  の間には、(5)式に示すルイスの関係がある<sup>16)</sup>。

$$a_e = a_c \cdot L_w \quad (5)$$

$a_e$ : 蒸発による熱伝達率 [W/m<sup>2</sup>·kPa]

$a_c$ : 対流熱伝達率 [W/m<sup>2</sup>·K]

$L_w$ : ルイス数 [K/kPa]

ここで(5)式において  $L_w$ : 16.5 [K/kPa]<sup>17)</sup>、 $a_c$ : 3-6 節

(1) で算出した値を用いて、人体モデル表面の蒸発による熱伝達率  $a_e$  を算出した。

#### 3) 潜熱放散熱量の算出

人体皮膚表面からの潜熱放散量  $E_{sk}$  は、基本的に皮膚表面の水蒸気圧と周辺空気の水蒸気圧の差をポテンシャルとした(6)式のように表される<sup>16)</sup>。

$$E_{sk} = w \cdot a_e \cdot F_{pcl} (P_{sk} - P_a) \quad (6)$$

$E_{sk}$ : 皮膚表面からの蒸発による放散熱量 [W/m<sup>2</sup>]

$w$ : 皮膚の濡れ面積率 [-]  $F_{pcl}$ : 着衣の透湿効率 [-]

$a_e$ : 蒸発による熱伝達率 [W/m<sup>2</sup>·kPa]

$P_{sk}$ : 皮膚皮膚温の水蒸気分圧 [kPa]

$P_a$ : 環境空気の水蒸気分圧 [kPa]

ここで(6)式において、 $w$ : 0.2<sup>13)</sup>、 $a_e$ : 4.2 節で算出した値、 $F_{pcl}$ : 1<sup>14)</sup>、 $P_{sk}$ : 5.2 [kPa]<sup>15)</sup>、 $P_a$ : 3.1 [kPa]<sup>16)</sup>を用いて、蒸発による放散熱量  $E_{sk}$  を算出した。

表 6 各モデルの算出結果

解析ケース	①対流熱伝達率 [W/m <sup>2</sup> ·K]	②蒸発による熱伝達率 [W/m <sup>2</sup> ·kPa]	③対流・蒸発による放散熱量 <sup>注3)</sup> [W/m <sup>2</sup> ]
モデル 1	4.1	67.7	39.5
モデル 2	3.6	59.4	34.7
モデル 3	3.4	56.1	32.7
モデル 4	3.4	56.1	32.7
モデル 5	2.8	46.2	27.0

#### 4) 施された工夫と通風の効果の検討

算出した各モデルの、①対流熱伝達率、②蒸発による熱伝達率、③人体モデルの対流と蒸発による放散熱量の合計値を表 6 に示す。モデル 1~4 は全て高床式であるが、透かし彫と竇の子数の有無について違いがある。モデル 4 と 5 はどちらも透かし彫と竇の子数のないモデルであるが、高床であるか接地しているかの違いがある。表 6 より放散熱量について以下のことがわかる。

- 1) 透かし彫と竇の子数の両方が施されたモデル 1 で放散熱量は最大となる。
- 2) 透かし彫のみが施されたモデル 2 の方が、竇の子数のみが施されたモデル 3 よりも放散熱量が大きい。
- 3) 高床であるモデル 4 の方が、接地したモデル 5 より値は大きい。

透かし彫と竇の子数を同時に施した場合は、図 13、14 に示したように高い通風性能が生じて、人体の代謝熱を効果的に放散することができる。透かし彫あるいは竇の子数のいずれか一方のみを施した場合 (モデル 2, 3) は、図 15, 16 に示したように通風性能が十分でなく放散熱量は 20%程度減少する。一方、モデル 4 とモデル 5 を比較すると、高床は接地よりも 20%程度放散熱量を増加させる効果がある。

暑熱環境では、人体からの放熱を効果的に促進することで快適性が向上する。高床式住居の場合、透かし彫と竇の子数の両方が施すこと、さらに床面を地上から高くすることにより通風性が向上し、人体の放熱が促進されることが確認できた。従って高床式住居に施された工夫により、屋内の快適性は向上すると考えられる。

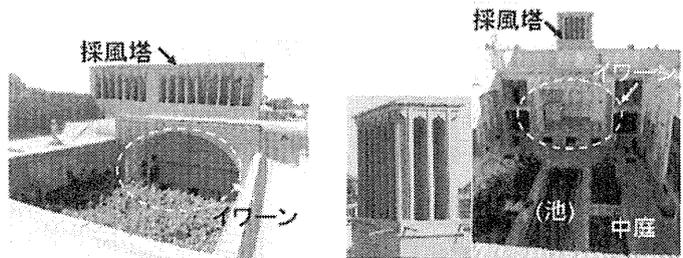
4. 高温乾燥地域の住居：採風塔を持つ住居の検討  
 -現地実測による環境評価-

4-1. 採風塔を持つ住居の概要

イランなど中近東の高温乾燥地域では、風を採り入れるための塔「採風塔(Badghir)」が採り付けられた住居がみられる<sup>文 18,19)</sup>。この地域の住居は、宗教的な配慮を含む各種の理由から高い塀に囲まれ窓が少ない。

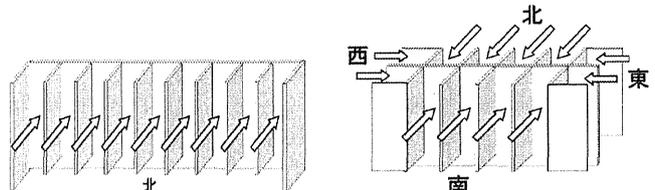
そこで屋上に採風塔を設置することで、上空の風を室内に採り入れ、室内の通風を促し採涼効果を得る工夫が施されている。塔の形状は、塔の開口が一方向のもの(単一風向型)と、複数の方向に開口が設けられているもの(多風向型)の二つに大きく分類することができる(図 17, 18)。塔の下部にある半屋外空間はイワーンとよばれ、夏の居住空間として利用されている。

また、住居の構造体には熱容量の大きな日干し煉瓦が用いられており、日中の日射の影響を緩和させている。



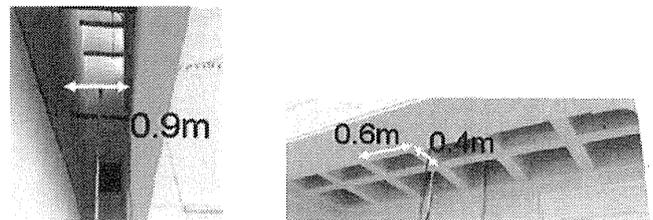
(a) 単一風向型の塔 (b) 多風向型の塔

図 17 採風塔の外観



(a) 単一風向型 (b) 多風向型

図 18 採風塔(上部)の開口と方角 (立体図)



(a) 単一風向型 (b) 多風向型

図 19 採風塔(下部)の開口 (イワーンから見上げた様子)

4-2. 実測概要

1) 実測期間と地域

実測はイランにおいて、単一風向型の採風塔を持つ住居(以下、住居 A)と多風向型の採風塔を持つ住居(以下、住居 B)を対象に行った。実測場所はイラン、ヤズド州にある 2 都市、アルデカン(住居 A)とヤズド(住居 B)である。住居 A・B とともに、住居が密集している住宅地に建てられている。実測期間は 2005 年 8 月 4 日 16 時~5 日 18 時(住居 A)、8 月 6 日 15 時~8 日 16 時(住居 B)である<sup>注 17)</sup>。

2) 実測住居の採風塔の特徴

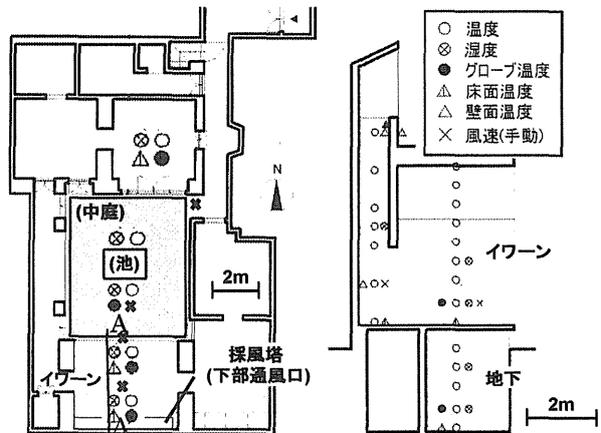
実測対象住居 A・B それぞれの塔の外観を図 17 に示す。住居 A の塔は北側に開口を持つ単一風向型で、塔上部の開口にはしきりがあるが(図 18(a))、塔内部にしきりはない(図 19(a))。住居 B の塔は四方向に開口を持つ多風向型で、東西に 2 個、南北に 4 個の開口を持つ(図 18(b))。開口部上部の仕切りは下部まで続いており、塔内の空気の流れはそれぞれ個別となっていた(図 19(b))。

3) 住居の図面

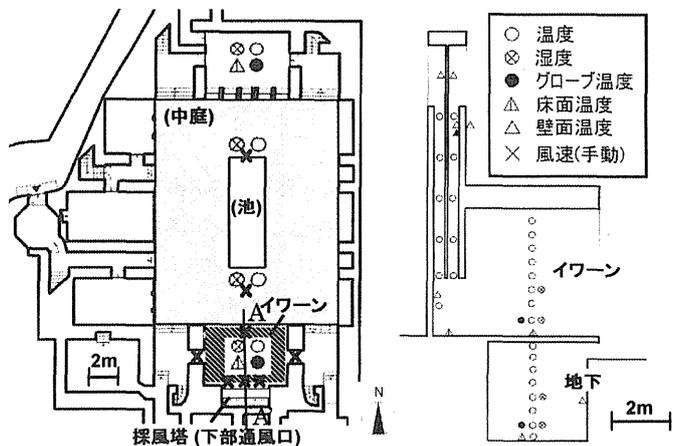
実測住居を図 20・21 に示す。ともに中庭に面する北向き半屋外空間に、採風塔が設置されている。この北向き半屋外空間はイワーンと呼ばれ、夏の居住空間となっている。また、イワーン下部には地下室<sup>注 18)</sup>があり、中庭の中央には池があり水が張られた状態であった。

4) 測定項目及び測定点

測定項目及び測定点を図 20・21 に示す。特にイワーン・イワーン下部にある地下室・採風塔内部では温度の



(a) 1 階平面図 (b) 断面図 (A-A 断面)  
 図 20 実測住居 A (単一風向型の採風塔を持つ住居)



(a) 1 階平面図 (b) 断面図 (A-A 断面)  
 図 21 実測住居 B (多風向型の採風塔を持つ住居)

鉛直分布（イワーン部 9 点、地下室 5 点、塔内部 7 点）の測定を行った<sup>注 19)</sup>。また、屋上<sup>注 20)</sup>では風向風速・温湿度・日射量の測定を行った。温湿度・外気気象としての風向風速は自動測定。各測定点での風向風速は移動測定。移動測定での風速<sup>注 21)</sup>は、各測定点において 1 秒間隔で 5 分間ずつ計測した。風向の計測方法としては、風速計のセンサーを取り付けた棒の先端に糸をとりつけ、風速測定時に 1 分毎に風向を目視し、その風向を記録した。表 7 に測定項目と測定機器を示す。

表 7 測定項目と測定機器

測定項目	測定機器	メーカー
室内外 温湿度	サーミック	江藤電気(株)
	記憶計	佐藤計量器製作所
温度	熱電対	—
	データ記録計 NR-1000	(株) KEYENCE
グローブ温度	グローブ球	柴田科学機械工業(株)
熱流	熱流計	英弘精機(株)
室内外風速	クリモマスター	日本カノマックス(株)
室外風向風速	三杯型風速計・風向計	(株) 牧野応用測器研究所
日射量	エコー日射計	英弘精機(株)

#### 4-3. 外気気象の実測結果

##### 1) 住居 A

測定期間中において、外気温度は最高 48.8℃<sup>注 22)</sup> (5 日 14 時)、最低 27.6℃ (5 日 6 時)、平均 37.3℃、相対湿度は平均 9%であった。従って気温は非常に高くても日陰に入るとカラッとしていてそれほど不快ではない。全天日射量は最大で 987W/m<sup>2</sup> (6 日 13 時)、その後徐々に弱まり 18 時から 19 時に 0 となる。風速は、平均は 1.7m/s、最大で 6.1m/s(6 日 17 時)であった。風の傾向として、朝方は風が弱く夕方にかけてやや強くなり、風向は朝から夕方にかけて北、夜間は南であった。

##### 2) 住居 B

測定期間中において、外気温度は最高 42.6℃(6 日 15 時)、最低 27.2℃(7 日 6 時)、平均 35.6℃、相対湿度は平均 11%となり、住居 A の測定期間と同様な高温乾燥地域の気候の特徴がみられる。日射量は最大で 986W/m<sup>2</sup>(7 日 12 時)、18 時から 19 時に 0 となる。平均風速 1.6m/s、最大で 7.2m/s(7 日 12 時)であった。風の傾向として、朝方は弱く夕方にかけて風速がやや強くなっており、風向はほぼ一日を通して南東が主風向となっていた。

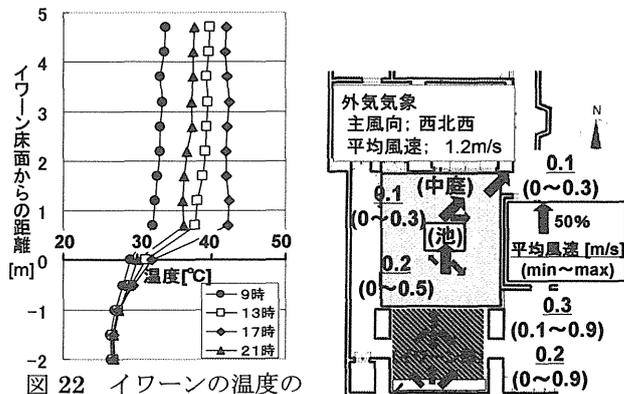


図 22 イワーンの温度の鉛直分布

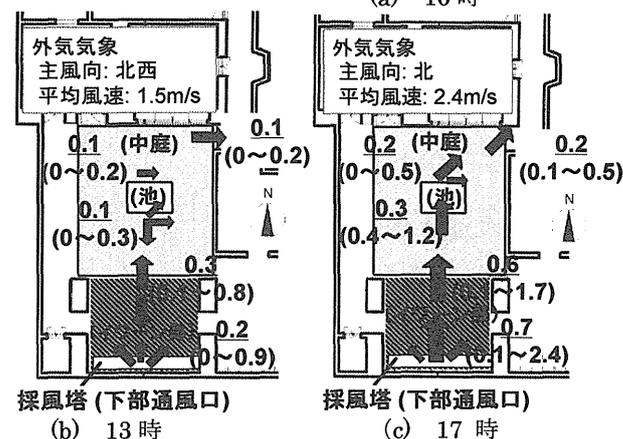


図 23 住居 A の風向風速 (2 日 5 日)

9,13 時での外気風速は弱く、塔下部では微風であるが塔からの風が観測されたもののイワーン中央部では特定の風向は観測されなかった。17 時には外気の平均風速は 2.4m/s と測定中で最大になり、風向は北だった。そのため北側に開口を持つ塔は屋上の風を有効に採り入れることができ、塔から流入する風の影響を受け、イワーン中央部・中庭においても南から北に吹く風が観測された。各測定点での風速も測定中で最大となった。

##### 3) 塔内の温度の鉛直分布

図 24 に塔内の温度の鉛直分布および、壁面温度(5 日 9,13,17,21 時)を示す。9,13,17 時には、塔の下部での空気温度は外気温度より低くなっており、熱容量の大きな塔を通過することで空気が冷やされていると考えられる。また塔の壁面温度は、朝と比較して夕方には約 6℃上昇しており、躯体には熱が蓄えられている。21 時には外気温度よりも塔内部の空気温度の方が 2℃ほど高く、夜間静穏時には浮力効果による煙突効果があると考えられる。

#### 4-4. 住居 A の屋内環境の実測結果

##### 1) イワーンの温度の鉛直分布

図 22 にイワーン及び地下室の温度の鉛直分布の測定結果 (9,13,17,21 時) を示す。地下室において、地下室の床面から 0~1.0m<sup>注 23)</sup>では一日を通して温度がほぼ 27℃と一定であり、土壌の恒温性の影響を受けていると考えられる。また、イワーンでは時刻による温度差はあるものの、同時刻におけるイワーン床面からの高低差による温度差はあまり見られない。特に 13 時には屋上床面温度が 71.6℃であったが、イワーンの上部と下部の測定点で大きな温度差がない。これは住居の躯体が日干し煉瓦を用いて作られており、その壁も厚いために<sup>注 24)</sup>優れた断熱性を有するものと推測される。

##### 2) 住居内の風向風速

図 23 に風向風速の測定結果 (5 日 9,13,17 時) を示す。

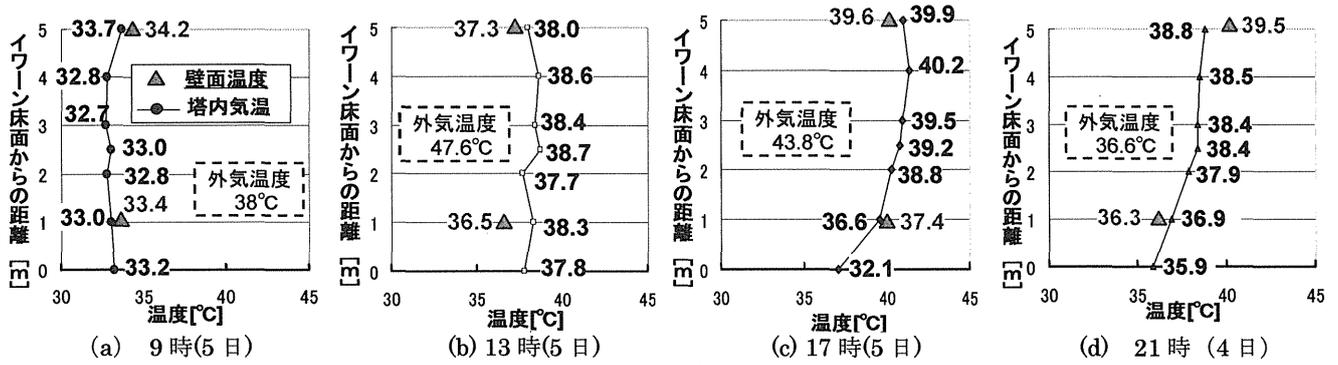


図24 塔内温度の鉛直分布

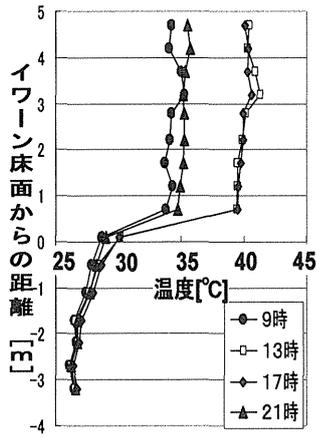


図25 イワーンの温度の鉛直分布

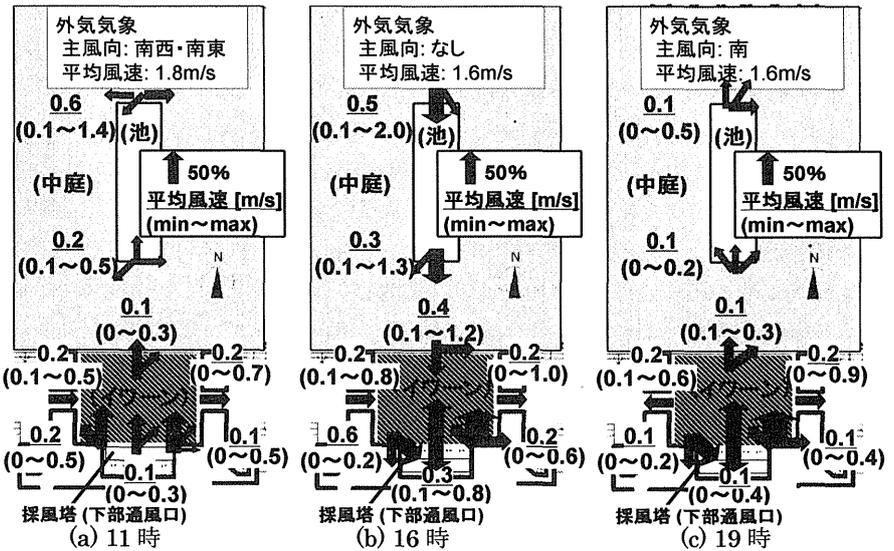


図26 住居内の風速測定結果(8月7日)

4-5. 住居Bの屋内環境の実測結果

1) イワーンの温度の鉛直分布

図25にイワーン部の温度の鉛直分布の測定結果(9,13,17,21時)を示す。地下室において、地下室の床面から0~1.5m<sup>注25)</sup>では土壌の恒温性の影響を受け一日を通して27℃とはほぼ一定であった。イワーンにおいて、同時刻では高低差による温度差はあまりみられない。特に13時では屋上床面温度は68.5℃であったが、イワーン天井部の温度は39℃であり、住居Aと同様に躯体の断熱性が優れていることがわかる。

2) 住居内の風向風速

図26に風向風速の測定結果(11,16,19時)を示す。塔下部及びイワーン中央部の風向に着目すると、11,19時には、南から北への風が観測された。外部風の主風向が南寄りの時、塔から採りこまれた風は中庭に吹き抜けるといえる。16時では外部風向は特定の風向は見られず、測定点での風向もばらばらであった。これらより、採風塔下部とイワーンは外部風の影響を強く受けるといえる。中庭の風向はどの時刻をみても一貫性がなく、中庭はあまり外部風の影響を受けないといえる。これは住居Aと比較して住居Bの方が住居が大きいと、塔から吹きこむ風の影響が中庭にまで及びにくいと考えられる。

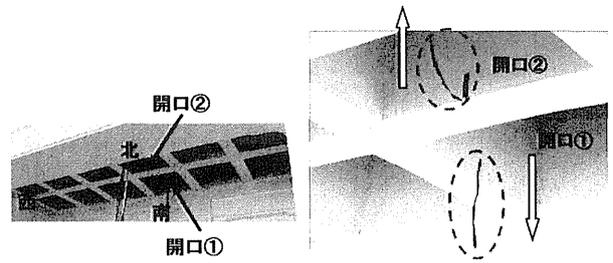


図27 塔下部(多風向型)における風向測定の様子

3) 塔下部の通風口の風の流れ

多風向型の塔の下部の開口部に毛糸を取り付け、風の流れを調べた。南側の一つの開口を開口①、北側を開口②とする(図27(a))。図27(b)に示すように、①の毛糸は下部に吹き下がり、②の毛糸は上部に吹き上がっていた。これより①から空気が流入、②から流出しているとわかるが、これは風圧により圧力分布が生じることで、図27(a)の①は正圧、②は負圧となっていると推測される<sup>注26)</sup>。外部風の風向に応じて、風向に面した開口からは流入、面しない方角にある開口では流出すると考えられる。

4-6. 単一風向型と多風向型の採風塔の比較・検討

単一風向型の採風塔(住居A)の開口は北向きであるため、外部の風向が北の場合に採風塔から風を採り込む

ことができ、その際には中庭に風が吹き抜ける。また、流入か流出のどちら一方のみの役割をするため、塔内は仕切りが必要ない。

多風向型の採風塔（住居 B）の開口は四方向に開口を持つ。そのためあらゆる方向の風を採り込むことが可能であるが、特に南側から吹く風を採り込む時、塔からイワーン、中庭へ風がぬける。また、多風向型の採風塔では流入と流出が同時に行われることが可能であり、多風向型では採風塔内部の仕切りは塔下部まで必要である。

## 5. 現代建築にいかすべき知見

### 5-1. イグルーの環境評価より得られた知見

#### 1) パッシブ手法の有効活用

解析結果より、イグルーでは外気温度が $-20^{\circ}\text{C}$ という状況下においても、機械的エネルギーを用いず居住空間は温熱環境的にある程度快適に保たれていることが示された。資源・エネルギーを大量に用いずとも、住居に工夫を施し自然のポテンシャルを最大限に引き出すことにより、快適な環境を構築することも可能であることが確認された。

#### 2) 均一環境と不均一環境

イグルーは屋内に段差を設けることで、床面が低く温度も低い前室の部分は貯蔵庫に、床面が高く温度も高くなる主室部奥は居住空間として用いることを可能としている。屋内に生じる居住空間とそれ以外の空間で温度の差が著しい不均一環境を、環境制御に有効利用している。今日では屋内環境を均一に制御することが優れた環境調整とみなされ、均一な環境制御を目標とした設計がなされることが多かった。しかし、今後求められているパッシブ手法の有効活用とは自然エネルギーを利用することであり、その場合不均一な環境が生じることは避けられない。ゆえに、今後はパッシブ手法を用いた際に発生することが避けられない不均一環境を、有効利用するような設計が環境負荷削減において重要である。

#### 3) パッシブ手法を組み合わせた環境調整

屋外環境が極端に寒冷な場合、一つのパッシブ手法による操作だけでは温熱・空気環境を同時に向上させることは容易ではない。しかしパッシブ手法を組み合わせることで、温熱・空気環境ともにある程度快適性を維持した屋内環境を構築できる可能性は十分にある。

### 5-2. 高床式住居の環境評価より得られた知見

#### 1) 通風性を高める工夫の有効活用

住居の間取りが同じ場合でも、透かし彫と簀の子敷のような通風性に関する工夫を施すことにより、人体の放熱量が増加することが確認できた。通風性を向上させ

る工夫が人体の温冷感に与える影響は大きく、自然のエネルギーを最大限に引き出すことが可能となるような設計が重要である。

#### 2) 鉛直方向の気流の誘導

透かし彫と簀の子敷の両方を施すことで、室内の水平、鉛直両方の通風性能を向上させることが確認できた。水平方向だけでなく、鉛直方向の気流の誘引を可能にするような設計を行うことが、暑熱環境における快適性の向上にとって重要である。

### 5-3. 採風塔を持つ住居の環境評価より得られた知見

#### 1) 屋上の有効利用

高い扉に囲まれ窓が少ない状況においても、屋上に採風塔を設置することで、上空の風を室内に採り入れ、室内の通風を促し採涼効果を得られることが確認できた。通風性を高めるため、屋上を活用した風を採りこむ工夫を施すことは、現代建築においても有効な手段になりうると考えられる。

#### 2) 地域に応じた工夫

同じ気候区分の地域であっても、より細かく地域ごとの気候の特徴を調べてみると、風向風速など異なっていることがわかる。同じ気候区分にあるイランの2都市で比較をした場合にも、採風塔の形状は単一風向型と多風向型と異なっている。大きな気候区分、さらには地域の特徴を捉え、それぞれの気候に応じた工夫を住居に施すことが自然エネルギーの有効活用において重要となる。

## 6. 結言

ヴァナキュラー住宅には、土地の気候や利用可能な建築資材に応じた様々な工夫が施されており、土地の気候・風土・歴史・文化などの影響を強く受けた様々な建築様式が存在している。本研究を通し、ヴァナキュラー住宅に施された各種工夫は、地域の気候の特徴に応じた、屋内環境を向上させる有効な手段であることが示された。

20世紀におけるグローバリゼーションの進展により世界均一化の傾向が進み、都市風景にも地域独自の特色が失われつつある。さらに建築技術の一元化により、欧米生まれの環境調整技術が地域の気候とは関係なしに適用されている。本来、建築とは気候・風土・歴史・文化、その地域の人々のライフスタイルなど多様な要因の影響を反映するべきものである。当然のことながら現代建築のデザインにおいても、地域気候等の条件を十分に反映したヴァナキュラーな建築様式の視点を導入することは建築環境デザインに新たな切り口を提供するものである。改めてヴァナキュラー住宅に着目し、そこに施されている環境技術の有効性を定量的に明らかにすることは、地

域性を反映し、パッシブ手法を有効に利用するヴァナキ  
ュラーなサステナブル生命建築の提案につながるものと  
考えてられる。

地球環境負荷削減に関連し、20 世紀における大量生  
産・大量消費のパラダイムを見直し、今後は自然のポテ  
ンシャルを最大限に利用するためヴァナキュラー住宅の  
知見を反映しつつ、パッシブ手法の一層の有効活用を積  
極的に図ることが重要である。

#### <注>

- 1) 文献<sup>4)</sup>によればイグルー屋内は「強烈な悪臭がす  
る」という記述がある。
- 2) 氷雪の工作精度、手間等から考え、この程度の大き  
さが妥当であると考えた。
- 3) 雪の熱伝導率は、密度に比例する<sup>8)</sup>。イグルーは二  
人で作成できること、雪のブロックの大きさより雪の  
密度は  $0.2\text{g/cm}^3$  程度であると推測される。しかし使用  
過程で雪は溶けて固まって、を繰り返すため、雪の断  
熱性能が低下すること考慮し、ここでは  $0.35\text{g/cm}^3$  で  
の熱伝導率を用いる。
- 4) 燃料が入った器に芯を置いて点火したもの。燃料は、  
アザラシの脂肪などを用いる。
- 5) アルコールランプの発熱量は 200W 程度であり、石ラ  
ンプの発熱量は 150W とした。
- 6) PMV(predicted mean vote : 予測平均温冷感申  
告), PPD(predicted percent of dissatisfied : 予測不満足  
率) PMV はもともと被験者の体感申告をもとに環境条  
件を+2 から-2 の 5 段階 (+2:暑い,+1:ややあつい,0:中  
立,-1:やや寒い,-2:寒い) で評価した値である。  
 $-0.5 < \text{PMV} < +0.5$  が、PPD が 10%以下の快適奨励域。
- 7) オルフとデシボルによる空気環境評価は現在の北欧の  
環境調整の基準をベースに作成されたので、かなり厳  
しい環境尺度となっている。今回イグルー内の匂いの  
発生源として人体のみを考慮しているが、実際のイグ  
ルー内には生肉や排泄物による匂いの発生もあったと  
推定され、その空気環境はかなり劣悪であったと考え  
られる。
- 8) オルフ (olf) : 人間の嗅覚によって知覚されるあらゆる  
空気汚染物質 (体臭以外のものを含む) の発生強度  
を表す単位。1olf とは、1 人の標準的な成人からの生  
態放散物 (体臭の発生源) の発生量と定義されている。
- 9) デシボル (decipol) : 汚染物質 (オルフ) の知覚され  
るレベルを表す単位。1 decipol とは、1olf の空気汚染  
物質が  $36 \text{ m}^3/\text{h}$  の外気によって換気されている空間に  
おける知覚空気汚染の度合いである。
- 10) 不快者率は、実験により調査された臭気レベル評価に  
基づき決定されている。6decipol で 50%の不快者率。
- 11) 実測は 1990 年に藤井明氏等により行われ、使用した  
データは藤井明氏により作成されたものである。
- 12) 床面に貫の子数が施されていないモデル 2,4,5 におい  
ては、床面はその他壁面と同じ境界条件とした。
- 13) 人体皮膚表面の濡れ率は環境条件が変われば当然変化  
するが、ここでは通風による熱除去能力を見ることを  
目的としているために濡れ率は 0.2 一定とした。
- 14) 設置した人体モデルは裸体とする。
- 15) 皮膚表面温度を  $33.7^\circ\text{C}$  とし、アントンの式( $p = k \cdot \exp[a \cdot b / (c + t)]$ )より算出。 $k = 0.1333$ ,  $a = 18.6686$ ,  
 $b = 4030.183$ ,  $c = 235$  とした<sup>7)</sup>
- 16) 乾球温度  $31^\circ\text{C}$  70% (8 月の平均湿度) における値。
- 17) 実測期間中の天候は、晴れ。
- 18) イワーンとは半屋外の空間を言うもので、イワーンの

下部にある地下室はイワーンとはいわない。

- 19) 測定高さは、イワーン: 0,0.6,1.1,1.6,2.1...3.6,4.1m、塔  
内部: 0,1.0, 2.0,3.0,4.0m、地下室:(イワーンの床面より)  
-0.5,-1.0,-1.5,-2.0m、中庭: 1.1m、南向き部屋中央: 0.6m。
- 20) 屋外風速の測定高さ、住居 A 地上 7.4m、住居 B 地上  
9.4m。
- 21) 計測した 5 分間の平均した風速を平均風速とし、5 分  
間の最高値、最低値を最高風速、最低風速とした。
- 22) 住居 A の外気温度の測定において、日射遮蔽が不十分  
で日射による影響が加わっている可能性がある。
- 23) イワーン床面からは、 $-0.6 \sim -1.8\text{m}$ 。
- 24) 天井 (屋上スラブ) の厚さは  $0.5\text{m}$  程度であった。
- 25) イワーン床面からは、 $-2.8\text{m} \sim -3.2\text{m}$ 。
- 26) 外部風が南風であったと推測される。

#### <本研究に関する既発表論文等>

- 1) 細江いずみ・村上周三・藤井明・早乙女剛・大森敏明,  
連成数値解析によるイグルーの屋内温熱環境, 日本建  
築学会大会 学術講演梗概集,2005
- 2) 細江いずみ・村上周三・藤井明・早乙女剛・水石仁,  
EVALUATION OF INDOOR ENVIRONMENT IN  
VERNACULAR DWELLINGS,2005 サステナブル建築  
世界会議,2005
- 3) 細江いずみ・村上周三・大森敏明・早乙女剛,数値解析  
による高床式住居の屋内環境評価,空気調和衛生工学会  
学術講演論文集Ⅲ, 2005
- 4) 細江いずみ・出口清孝・村上周三・小野剛司,イランに  
おける採風塔を持つ住居の屋内環境の実測概要・結果,  
日本建築学会大会 学術講演梗概,2006
- 5) 村上周三ら,サステナブル生命建築,共立出版,2006

#### <参考文献>

- 6) ポール・オリバー (著), 藤井明 (訳): 世界の住文  
化の図鑑, 東洋書林, 2004
- 7) 岸上伸啓 (著): 住まいをつむぐ, 学芸出版社
- 8) A, ラポポート (著): 住まいと文化,大明堂発行
- 9) 本田勝一:カナダ=エスキモー,朝日文庫,1990
- 10) 泉靖一:住まいの原型 I,鹿島出版会
- 11) エスキモーの民族誌, 原書房
- 12) 福迫尚一郎: 氷, 雪, および海氷の熱物性, Int J  
Thermophys, 1990
- 13) 空調便覧
- 14) 宮野秋彦:建物の断熱と防湿, 学芸出版, 1981
- 15) Fanger P O: The olf and decipol, ASHRE Journal
- 16) 藤井明:集落探訪、2000、建築思潮研究所
- 17) クンチャラニングラッド:インドネシアの諸民族と文化  
山崎ら:人体モデルの形態係数, 日本建築学会大会学術  
講演梗概集, 1983
- 19) (財)気象業務支援センター: 世界気象資料 2004
- 20) Davenport, A.G: The relationship of wind structure to wind  
loading, Proc.1st Int. Conf. on Wind Effect on Building  
and Structures, 1965, 53-111
- 21) 空気調和・衛生工学会: 快適な温熱環境のメカニズム,  
1997
- 22) ASHRAE HANDBOOK COMMITTEE: ASHRAE  
Fundamentals Handbook, Chap.8.1997
- 23) Yasmeen Lani: traditional Architecture of Thatta
- 24) KLAUS HEEDEG: FORMAL STRUCTURE IN  
ISLAMIC ARCHITECTURE OF IRAN AND TURKISTAN

#### <研究協力者>

- 出口清孝 法政大学  
大森敏明 東京ガス (株)