

# 温風暖房時の室内温度分布に対する アルキメデス数の影響

The Influence of the Archimedes number on the Room Air Temperature  
Distribution under Warm Air Heating.

勝田 高司\*・村上 周三\*・小林 信行\*・戸河里 敏\*

Takashi SHODA, Shuzo MURAKAMI, Nobuyuki KOBAYASHI, and Satoshi TOGARU

## 1. 序

筆者らは、既往の模型実験法の研究で、相似模型の場合、吹出のアルキメデス数（以下 Ar 数と記す）を合わせれば、温度分布が相似となることを報告している<sup>1)</sup>。

本論文は、Ar 数を等しくした場合の温度分布の一致の程度を更に詳しく検討し、それを踏まえて、温度分布に対する Ar 数の影響及び流れのパターンに対する Ar 数の影響を明らかにしたものである。

## 2. 記 号

$$Ar = \frac{g\beta \cdot \Delta\theta \cdot L}{U_0^3} : \text{吹出のアルキメデス数}$$

$g$ : 重力加速度, m/sec<sup>2</sup>

$L$ : 代表長さ (= 室長), m

$U_0$ : 吹出速度, m/sec

$\beta$ : 吹出空気の体膨率, 1/deg

$$\theta = \frac{\theta - \bar{\theta}}{\Delta\theta} : \text{各点の無次元温度}$$

$\Delta\theta$ : 中央位置における無次元上下温度差

$\theta$ : 各点における測定温度, °C

$\bar{\theta}$ : 室内中央断面 (測定点 No. 1~5 の断面) の平均温度, °C

$\theta_0$ : 吹出空気温度, °C

$$\Delta\theta = \theta_0 - \bar{\theta} : \text{吹出温度差, deg}$$

$N$ : 換気回数, 1/hour

$Q$ : 供給熱量, Kcal/h

## 3. 実験概要

### 3.1 供試モデル及び測定位置

モデル 1: 居室模型はベニヤ製 (天井, 壁 6mm 厚, 床 9mm 厚) で, 奥行 4.8m × 幅 3.2m × 高 2.08m である。吹出口には, 直径 12cm の標準ノズルを使用した。送風系統など詳細については前報<sup>2)</sup>を参照されたい。

温度測定は, 図 1 に示す No. 1~No. 10 の各位置で垂直方向に 7 点 (床上 15cm から天井 15cm まで等間

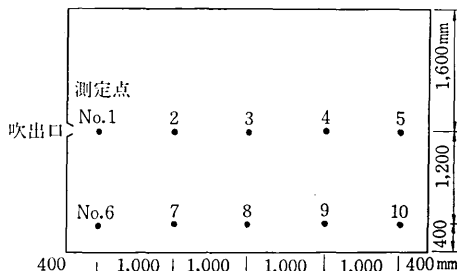


図 1 温度測定位置  
(寸法はモデル 1 の場合で記されている)

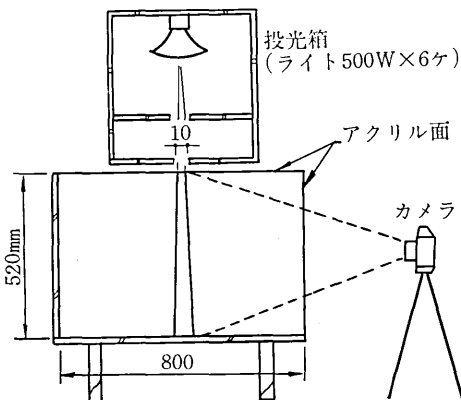


図 2 撮影装置  
(モデル 3 を使用)

隔) づつ, 合計 70 点の他に, 吹出口, 吸込口各 1 点, 模型の周囲 6 点の合計 78 点で行った。

モデル 2: 居室模型の縮尺 1/4 の相似模型を用いて実験を行った。モデル 1 と同様, ベニヤ製 (天井 6mm 厚, 壁, 床 9mm 厚) である。温度測定は, モデル 1 と相似の位置で行った。

モデル 3: 実験に用いた模型の寸法は, モデル 2 と全く同じであるが, 写真撮影を行うため, 天井, 壁の各 1 面はアクリル製とした。

流れのパターンの観察は, ノズルよりトレーサとしてメタアルデヒド (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O) を吹出し, 図 2 に示すような投光箱を用いて平行光線を特定の断面に当て, これを写真撮影することにより行った。

\*: 東京大学生産技術研究所 第 5 部

表 1 実 験 条 件

実験番号 (No.)	$U_0$	$\Delta\theta$	$\theta_0$	$Q$	$N$	Ar	
モデル 1 (居室模型)	1	4.8	25.1	54.8	1,400	6.2	$1.52 \times 10^{-1}$
	2	6.8	18.6	46.6	1,400	8.7	$5.86 \times 10^{-2}$
	3	8.7	12.9	42.3	1,450	12.2	$2.07 \times 10^{-2}$
	4	14.2	8.4	36.8	1,400	18.1	$6.30 \times 10^{-3}$
	5	18.3	5.7	31.7	1,400	23.9	$2.50 \times 10^{-3}$
	6	3.3	11.9	33.7	470	4.3	$1.64 \times 10^{-1}$
	7	6.9	6.8	29.6	570	8.7	$2.24 \times 10^{-2}$
	8	26.5	10.9	46.1	3,450	33.8	$2.29 \times 10^{-3}$
モデル 2 (14 模型)	9	0.93	26.6	42.4	19	4.6	1.14
	10	0.99	19.0	34.8	14	4.9	$7.23 \times 10^{-1}$
	11	2.01	16.2	33.6	25	9.9	$1.54 \times 10^{-1}$
	12	4.22	30.7	57.0	95	20.7	$6.15 \times 10^{-2}$
	13	3.26	16.9	37.3	42	16.0	$6.03 \times 10^{-2}$
	14	1.74	4.5	18.5	6	8.5	$5.96 \times 10^{-2}$
	15	5.87	18.2	41.8	83	28.8	$1.97 \times 10^{-2}$
	16	10.08	16.4	44.3	127	49.4	$5.97 \times 10^{-3}$

実験番号	モデル	記号	$U_0$ (m/s)	$\Delta\theta$ (deg)	Ar数
No.1	モデル1	—○—	4.9	25.1	$1.52 \times 10^{-1}$
No.6	モデル1	---○---	3.3	11.9	$1.64 \times 10^{-1}$

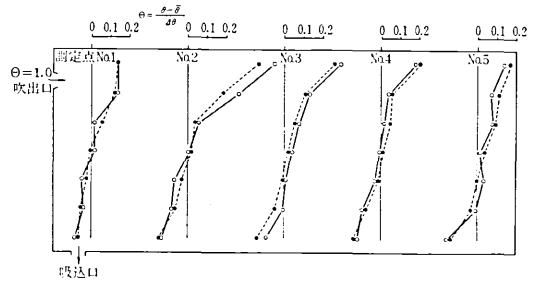


図 3 無次元温度分布の比較  
(測定点 No. 1~No. 5)

実験番号	モデル	記号	$U_0$ (m/s)	$\Delta\theta$ (deg)	Ar数
No.3	モデル1	—○—	9.7	12.9	$2.07 \times 10^{-2}$
No.7	モデル1	---○---	6.9	6.8	$2.24 \times 10^{-2}$

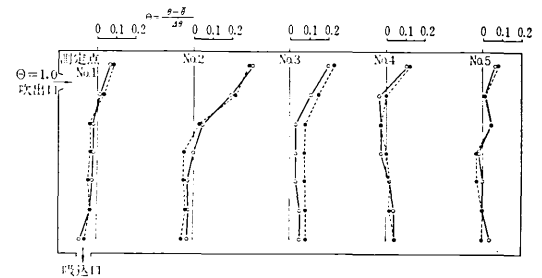


図 4 無次元温度分布の比較  
(測定点 No. 1~No. 5)

実験番号	モデル	記号	$U_0$ (m/s)	$\Delta\theta$ (deg)	Ar数
No.5	モデル1	—○—	18.8	5.7	$2.50 \times 10^{-3}$
No.8	モデル1	---○---	26.5	10.9	$2.29 \times 10^{-3}$

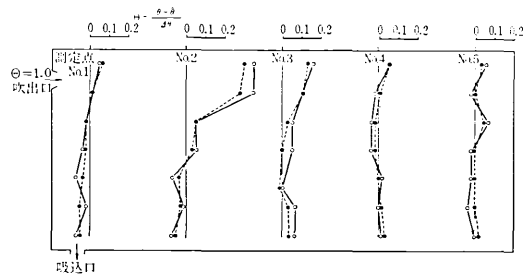


図 5 無次元温度分布の比較  
(測定点 No. 1~No. 5)

3.2 測定方法

温度測定には C-C 熱電対を用い、定常状態における 10 分間の平均値を測定温度とした。

温度はすべて、次式で求めた無次元温度  $\theta$  で表わす。

$$\theta = \frac{\theta - \bar{\theta}}{\Delta\theta} \quad (1)$$

3.3 実験条件

主な実験条件を表 1 に示す。

実験を行った Ar 数の範囲は、モデル 1 の場合  $2.29 \times 10^{-3} \sim 1.64 \times 10^{-1}$  まで、モデル 2 では  $5.97 \times 10^{-3} \sim 1.14$  までである。

4. 実験結果及び考察

4.1 Ar 数が等しい場合の温度分布の相似性について

(1) 同一模型で Ar 数を等しくして吹出条件を変えた場合の比較

Ar 数を等しくした場合の、測定点 No. 1~No. 5 までの中央断面内の温度分布の相似の程度を、モデル 1 (居室模型) を用いて調べる。

図 3 は Ar 数が  $1.5 \times 10^{-1}$  程度の場合である。

実線は、 $U_0=4.9$  m/sec,  $\Delta\theta=25.1$  deg, 破線は、 $U_0=3.3$  m/sec,  $\Delta\theta=11.9$  deg の場合である。

図 4 は Ar 数が  $2 \times 10^{-2}$  程度の場合、図 5 は  $2 \times 10^{-4}$  程度の場合の温度分布の比較である。

吹出条件が異なっても、Ar 数が等しければ、それぞれの場合で温度分布はよく一致している。データの記載は省略するが、測定点 No. 6~No. 10 の壁近傍の垂直断面内でも同様によく一致している。

従って、同一模型の場合には、Ar 数を合わせれば、温度分布はよく一致するといえる。

(2) 相似模型間で Ar 数を等しくして吹出条件を変えた場合の比較

相似模型 (モデル 1 とモデル 2) を用いた場合に、Ar 数を合わせることで温度分布がどの程度一致するかを調べた。

Ar 数の大きく異なる 4 段階 ( $Ar=6 \times 10^{-3} \sim 1.5 \times 10^{-1}$  まで) で比較を行ったが、測定点 No. 1~No. 5 の中央断面内の測定結果を図 6~9 に示す。

いずれの場合も、周壁 (床、天井、吹出面、対向壁) 近傍を除き、温度分布はほぼ一致している。

周壁近傍での不一致の特徴をあげると、次のようであ

実験番号	モデル	記号	$U_0$ (m/s)	$\Delta\theta$ (deg)	Ar数
No.1	モデル1	○	4.9	25.1	$1.52 \times 10^{-1}$
No.11	モデル2	●	2.0	16.2	$1.54 \times 10^{-1}$

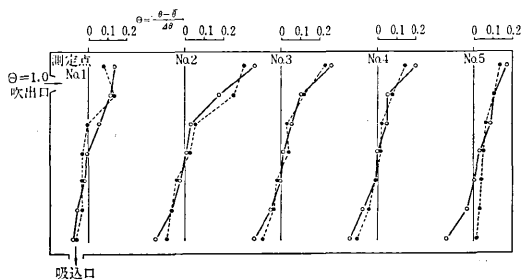


図 6 無次元温度分布の比較 (測定点 No. 1~No. 5)

実験番号	モデル	記号	$U_0$ (m/s)	$\Delta\theta$ (deg)	Ar数
No.4	モデル1	○	14.2	8.4	$6.30 \times 10^{-1}$
No.16	モデル2	●	10.1	16.4	$5.97 \times 10^{-1}$

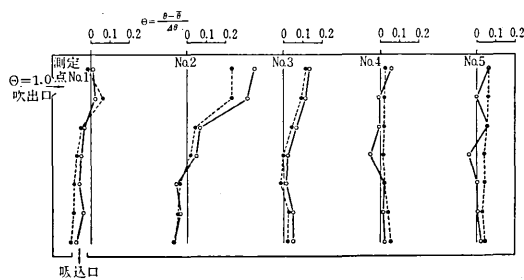


図 9 無次元温度分布の比較 (測定点 No. 1~No. 5)

実験番号	モデル	記号	$U_0$ (m/s)	$\Delta\theta$ (deg)	Ar数
No.2	モデル1	○	6.8	18.6	$5.86 \times 10^{-1}$
No.12	モデル2	●	4.2	30.7	$6.15 \times 10^{-1}$
No.13	モデル2	●	3.3	16.9	$6.03 \times 10^{-1}$

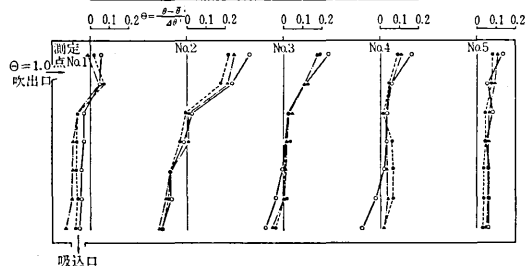


図 7 無次元温度分布の比較 (測定点 No. 1~No. 5)

実験番号	モデル	記号	$U_0$ (m/s)	$\Delta\theta$ (deg)	Ar数
No.3	モデル1	○	19.5	12.9	$2.07 \times 10^{-1}$
No.15	モデル2	●	5.9	18.2	$1.97 \times 10^{-1}$

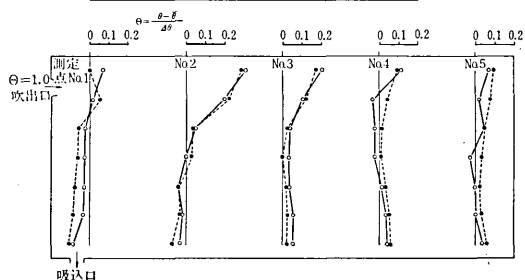


図 8 無次元温度分布の比較 (測定点 No. 1~No. 5)

る。

全体を通じて、吹出口側の壁近傍では、モデル1に比べ、モデル2の温度が低く、対向壁側では逆にモデル2の温度が高くなる傾向にある。また、図6,7のようにAr数が大きく、上下温度差の大きくなる場合には、床面付近で、モデル2の温度の方が高くなっている。

以上より、モデル2(1/4模型)の測定結果からモデル1・居室模型の温度分布を予想する場合、水平方向の温度差(同じ高さにおける測定点1と測定点5の温度差)を過大に評価する傾向にある。また、上下温度差が問題となる場合には、その差を過小に評価していることに注

意する必要がある。

#### 4.2 温度分布に対する Ar 数の影響

供給熱量を一定(1,400kcal/h)として、吹出速度と吹出温度差  $\Delta\theta$  の組合せを5通りに変えた場合の温度分布を等温線を用いて図10(1)~(5)に示す。

図10(1)は、この系列中、最もAr数の大きい場合( $Ar=1.52 \times 10^{-1}$ )であり、室内全体に温度成層ができており、吹出噴流の直接の影響はほとんど見られず、あたたかも、自然対流の結果のようである。また、上下方向の温度差は大きい。

Ar数を小さくした(2)( $Ar=5.86 \times 10^{-2}$ )では、噴流のあたる対向壁近傍で垂直に近い等温線が現われているが、中央から吸込側にかけては、かなりの上下温度差が生じている。

更にAr数を小さくした(3)( $Ar=2.07 \times 10^{-2}$ )では、噴流域を除くと、上下方向の温度差はほとんどなくなっており、対向壁側の温度が僅かに高く、吸込口付近の温度が低くなっている。

Ar数を更に小さくしても、温度分布はほとんど変化しない((4)~(5))。

室内の温度分布を特徴づける量として、中央位置での上下温度差  $\Delta\theta$  をとり Ar 数との関係を図11に示した。

$\Delta\theta$  は次式により求めた。

$$\Delta\theta = \theta_{133} - \theta_{15}$$

但し、モデル1の場合  $\theta_{133}$ ,  $\theta_{15}$  は、測定点3の床上133cmと床上15cmの温度であり、モデル2の場合には、モデル1と相似の位置の温度である。

図より明らかなように、Ar数が  $2 \times 10^{-2}$  以下では、 $\Delta\theta$  はほぼ0となっている。  $6 \times 10^{-2}$  以上で、 $\Delta\theta$  は大きな値をとり、  $1.5 \times 10^{-1}$  で最大となっている。  $Ar=1.5 \times 10^{-1}$  以上では、 $\Delta\theta$  はむしろ小さくなる傾向がみられる。

モデル2における  $\Delta\theta$  の最大値は0.13であり、モデ

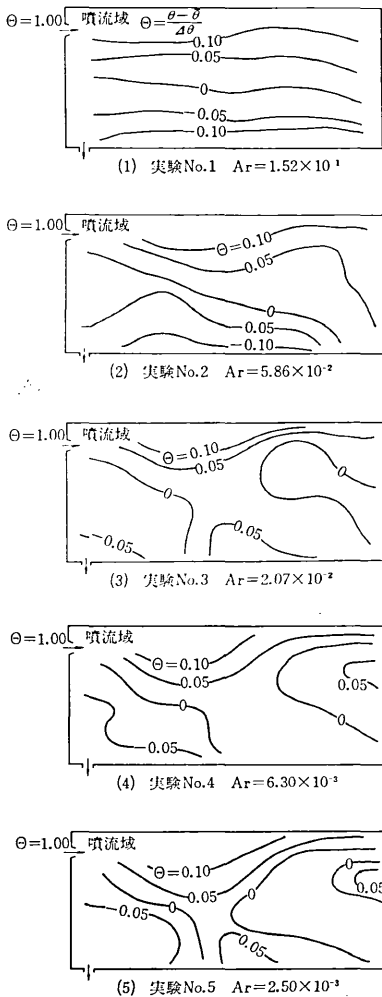


図 10 (1)の  $Ar=1.52 \times 10^{-1}$  は  $10^{-1}$  に訂正

ル 1 の値に比べかなり小さくなっているが、これは、4.1.2 で述べたように、モデル 2 の方が床面付近の温度が高くなっているためである。

4.3 流れのパターンと Ar 数

モデル 3 を用いて Ar 数の異なる 6 段階 ( $Ar=8.6 \times 10^{-3} \sim 7.9 \times 10^{-1}$ ) で流れの様子を撮影したが、その一部を写真 1~3 に示す。

Ar 数の小さい場合 ( $Ar=3.8 \times 10^{-2}$ ) には、噴流は対向壁に沿って下降し床まで到達し、更に床面に沿う流れとなる (写真 1, 図 12)。

Ar 数を大きくすると床面に沿う流れがなくなり、写真 2 (図 13) にみられるような流れとなる。

更に Ar 数が大きくなると浮力の影響が強くなり、噴流は対向壁に沿って下降するものの床面まで到達せず、写真 3 (図 14) にみられるような複雑な様相の流れとなる。

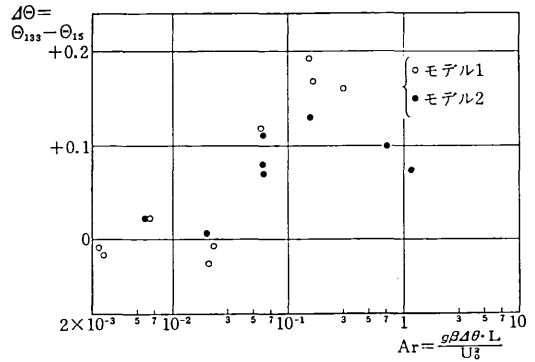


図 11  $\Delta\theta$  と Ar 数の関係

4.2 で述べた温度分布と比較すると、写真 1 (図 12) の流れの時には、図 10 (3)~(5) に示すような温度分布になると思われる。同様に、写真 2 (図 13) と図 10 (2), 写真 3 (図 14) と図 10 (1) が対応していると思われる。

5. 結 論

1. 同一模型の場合には、吹出条件が違っても Ar 数が等しければ、温度分布はよく一致する。
2. 温度分布は、Ar 数とともに変化するが、Ar 数が  $2 \times 10^{-2}$  以下ではほとんど変化しない。
3. 上下温度差  $\Delta\theta$  は、Ar 数が  $2 \times 10^{-2}$  をこえると発生しはじめ、 $1.5 \times 10^{-1}$  で最大になるが、更に Ar 数が大きくなっても  $\Delta\theta$  は大きくならない。
4. 相似模型間で Ar 数を等しくすると、周壁近傍を除き温度分布はほぼ一致する。

(1974年3月25日受理)

参 考 文 献

- 1) 勝田・土屋：室内空気分布の模型実験法について、日本建築学会論文報告集号外・1967年10月
- 2) 勝田・村上・小林・戸河里：閉鎖的空間内の気流性状、生産研究 Vol. 26, No. 5, 1974年5月号
- 3) 勝田・村上・小林・戸河里：温風暖房時の室内気流変動ならびに温度分布に関する実験的研究、日本建築学会大会学術講演梗概集, 1973年10月
- 4) 勝田・村上・小林・戸河里：室内気流の可視化、日本建築学会関東支部研究報告集, 1974年3月
- 5) L. F. Daws, A. D. Pedwarden and G. T. Waters: "A Visualization technique for the study of air movement in rooms" J. I. H. V. E, 1965年4月号

研 究 速 報

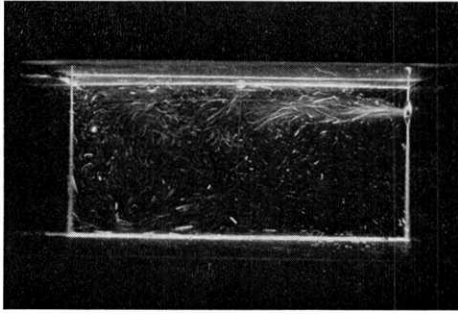
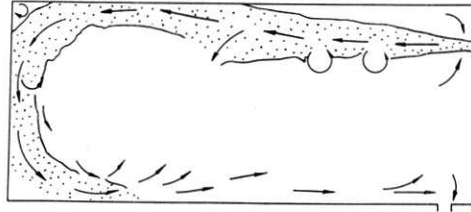


写真 1



$U_0 = 4.2 \text{ m/sec}$   $\Delta\theta = 18.0 \text{ deg}$   
 $Ar = 3.8 \times 10^{-2}$

図 12

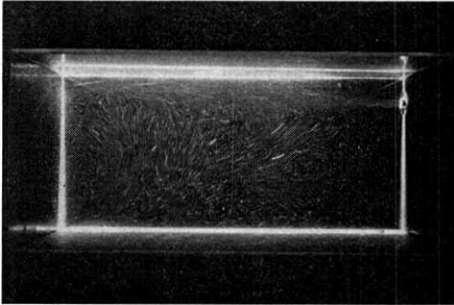
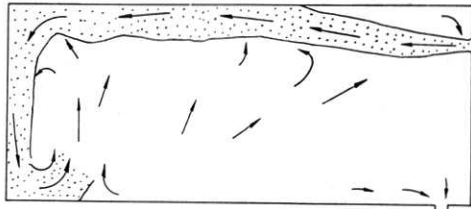


写真 2



$U_0 = 2.5 \text{ m/sec}$   $\Delta\theta = 32.5 \text{ deg}$   
 $Ar = 1.9 \times 10^{-1}$

図 13

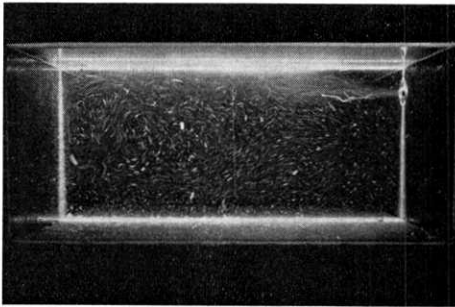
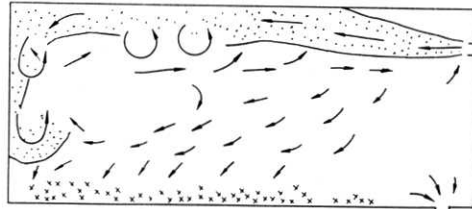


写真 3



$U_0 = 1.7 \text{ m/sec}$   $\Delta\theta = 33.5 \text{ deg}$   
 $Ar = 4.1 \times 10^{-1}$

図 14