



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	暖房環境の模型実験化を左右する物性値の検討
Author(s)	射場本, 勘市郎
Citation	衛生工学, 4, 61-69
Issue Date	1960-03
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/36145
Type	departmental bulletin paper
File Information	4_61-69.pdf



暖房環境の模型実験化を 左右する物性値の検討

射 場 本 勘 市 郎 *

(昭和35年3月14日受理)

A Study on some Physical Properties of
Air affecting Model-Test of Temperature
Distribution and Flow Pattern in a Room

Kanichiro Ibamoto

Abstract

For the purpose of forecasting or recognizing temperature distribution and flow pattern in a room, model-test method has been used without any exact law of similarity.

The basic law of "similar computer" is derived from several dimensionless numbers such as Prandtl, Grashof, Reynolds, Nusselt and some combinations of the radiation coefficients.

As a result, it is recognized that the following principle is well adoptable to dry air.

Laminer flow	$\nu \propto a \propto \lambda^2$	$\nu_* \propto \nu^{1.5}$ $a_* \propto a^{1.5}$
Turbulent flow	$\nu_* \propto a_* \propto \lambda_*^{1.5}$	$\lambda_* \propto \lambda^2$

where ν, ν_* : Kinematic viscosity
 a, a_* : Thermal diffusivity
 λ, λ_* : Thermal conductivity

* 才4講座・教授

1. 問題の背景

この世紀も後半に入ってから著しい現象として、同じく工学と称しながら、鋭く近代化された部門と未だ旧態を脱し切れない一群との較差が目立つようになって来た。この傾向は殊に境界領域すなわち既設体系の中間に在つて、云わば真空地帯のまゝ残されて来た分野の開拓において、外見の華々しさや地味さは兎も角として、進捗度の懸隔が大きいことを痛感させられる。

さて暖房換気関係も、形式としては我が北大で始めて衛生工学科の一環に連なり、漸く従来の附帯的な立場から脱する才一歩を踏み出した訳であるが、未だ方法論としての研究または技術の合理化は胎動の前期に在り、卒直に云つて尖端的な Limit Design 方式とは程遠い現状である。

例えば暖房環境はどれだけの正確さで把握されているであろうか？ 文字通りの Warming up 段階は過渡現象で複雑なため触れないことにし、また絶えず不規則な変転する屋外の気象も仮に固定したものとして、すでに定常域に達した持続暖房について考える。

このように単純化された場合においてすらも、室内の気温や気流の分布状態を純粹に解析的な手法で求めることは、殆ど不可能にも近い難事であつて、僅かに内面温を均等と見做す境界条件の下に解くことが努力の限界かと思われる。(1)、(2)

次に採るべき対策としては縮小模型による実験があり、これは在来からも用いられてはいるが、云わば半信半疑のまゝ凡その相似性を黙認していた程度であつて、詳しくは温度や流速などについての寸法効果を検討しておかねば定量的な取扱いにまで進め得ないものである。

この目的の研究が不可欠に必要なことの声明は、漸く近年に至つて日本建築学会の誌上で提唱者があり、後日に自ら論文の報告も行われた。(3)

たまたま筆者も模型を用いる工夫をしつつあり、流行の Analogue ではないが更に直接的な Similar 或は Proportional とも称すべき Computer に役立てようと企図していた矢先だつたので、直ちに呼応して私見を発表した次才である。(4)、(5)

しかし乍ら兩論は裾野の別地点から登り始めたもののようで、時に相反する感じの景色すら紀行されているので、出来るならば中腹の峠あたりで会合

して協力ラッセルで山頂を目指したいものである。

幸い筆者は最近に到つて、合図が届きそうな展望の良い場所に達することが出来た。詳しい事は次回の年次大会に発表する予定であるが、本稿ではその要約を述べつつ、実在の流体とくに空気の物性値が果して理論を満足させるか否かを検討して見たいと思う。

2. 相似論の要約

幾何的に相似な大小の室模型を考え、何れは換気や通風を伴う場合にまで発展させたいが、差し当つては簡単のため、熱源が在室する密閉された暖房環境のみを撰ぶ。

現象を分類すると、単に流体の力学的な範囲に留まらず更に固体との熱授受を伴つた対流の場であり、また気体の場合には輻射が存在するから相当に複雑である。

参加する物理量としては代表寸法 l 、温度 θ 、流速 u 、送熱量 Q の他に、流体の物性に関する動粘性係数 ν 、温度伝播率 a 、熱伝導率 λ 、対流熱伝達率 α 、体膨脹率 β などと、室内面または熱源体の輻射に関する温度係数 K 、黒度 ϵ などが挙げられる。

大小の模型において、上記の諸量が夫々に如何なる比率に保たれるか、或は保つべきかを探求するのが相似理論であり、その常用手段としては諸量の組合せから得られる無次元量を利用する。

有限の空間である室内では、熱源体や室内面からの自然対流は巡回して帰還し、これが微弱ながら強制対流となつて再作用するから、両者が共存している訳である。自然対流については浮力を無次元化したグラスホフ数 $Gr (= g\beta\theta l^3/\nu^2)$ があり、強制対流においては粘性を無次元化したレイノルズ数 $Re (= u l/\nu)$ があつて、何れも流れの様相から大別して層流と乱流が存在する。

輻射に関しても無名ではあるが同様に無次元化が行われ、直ちに室内面の黒度は等しく保たねばならないことが判る。この他の対流および輻射に関して解きたい諸量については、関係方程式の個数が不足なので次の仮定を補充する。

$$\nu \propto a \propto \lambda t \propto l S \dots \dots \dots (1)$$

上式の前半は物性を無次元化したプラントル数 $Pr (= \nu/\alpha)$ の概念であるが、気体については妥当と思われる。才 3 項の指数 m の値を検討するのが本稿の主題であり、才 4 項は全く便宜上の取扱いであつて、指数 S の値の可否については誘導公式の正しさを証明する実験が必要である。

以上の取扱いの結果として、若し $m = S$ の場合には輻射に関して残されていた熱源体の（黒度 $\times$ 温度係数）や室内面の温度係数は互に等しくなることが証明されるので、模型実験としてはお誂え向きの性格を帯びる。

なお別途に、対流伝熱を無次元化したヌッセルト数 $Nu (= \alpha l/\lambda)$ と既述の Gr 、 Re および Pr との間には、次の関係が成立することが認められている。

$$Nu(n) = A Pr^X Gr^x \dots\dots\dots(3)$$

$$Nu(f) = B Pr^P Re^p \dots\dots\dots(4)$$

層流または乱流の程度によつて指数 X 、 x 、 P 、 p の値が決ると、比例常数 A 、 B は共に幾何形のみによつて値が定る。

伝熱量 Q を床の単位面積当りで表現すると、模型の黒度が等しければ輻射による伝熱量は Q_r に比例することが別途に証明されるので、次の結果が(3)式から誘導される。

$$\theta = j Q_r \frac{1}{1+x} \quad \frac{1-3x}{l} \frac{1}{1+x} \dots\dots\dots(5)$$

比例常数 j に体膨脹係数 β （気体では殆ど一定）以外の物性値を含まないためには、最終項を除いた(1)式を適用して次の条件を得る。

$$2tx = 1 \dots\dots\dots(6)$$

また(3)、(4)式に含まれる自然対流および強制対流による伝熱量は、両者が共存する場合に一定の比率を保つと仮定（或る程度の妥当性は裏付けも可能）すれば、上記と同様にして次式が得られる。

$$u = k Q_r \left(\frac{1}{1+x} \right) \frac{1}{p} \quad \frac{1}{l} \left(\frac{4x}{1+x} \right) \frac{1}{p} - 1 \dots\dots\dots(7)$$

$$tp = 1 \dots\dots\dots(8)$$

温度 θ の基準点としては、この密閉系の内部はすべて適格であるが、便利さから推して平均内面温に採れば、実験値の検討に際し作図を用いることが

出来る。

流速 u は絶対量であるから基準を考えなくてもよいが、追跡用の粒子に適当なものがないので、詳しい実測値を捉え難い。しかし(5)、(7)式から(9)式が誘導され、これは流速 u の観測に便利な換気を伴う暖房についての既存公式と形が似ているから、今後の発展性を含んでいる。

$$u \propto \sqrt{\theta \ell} \dots\dots\dots(9)$$

以上の θ および u は、大小の模型の対応位置に関して j と k が夫々に等しく、云わば分布を示す指標の性格を帯びる訳である。

さて(4)、(8)式から(10)式が求められ、才1表に示すような x 、 p の定説値に対して t の値が算出される。

$$t = 2x \dots\dots\dots(10)$$

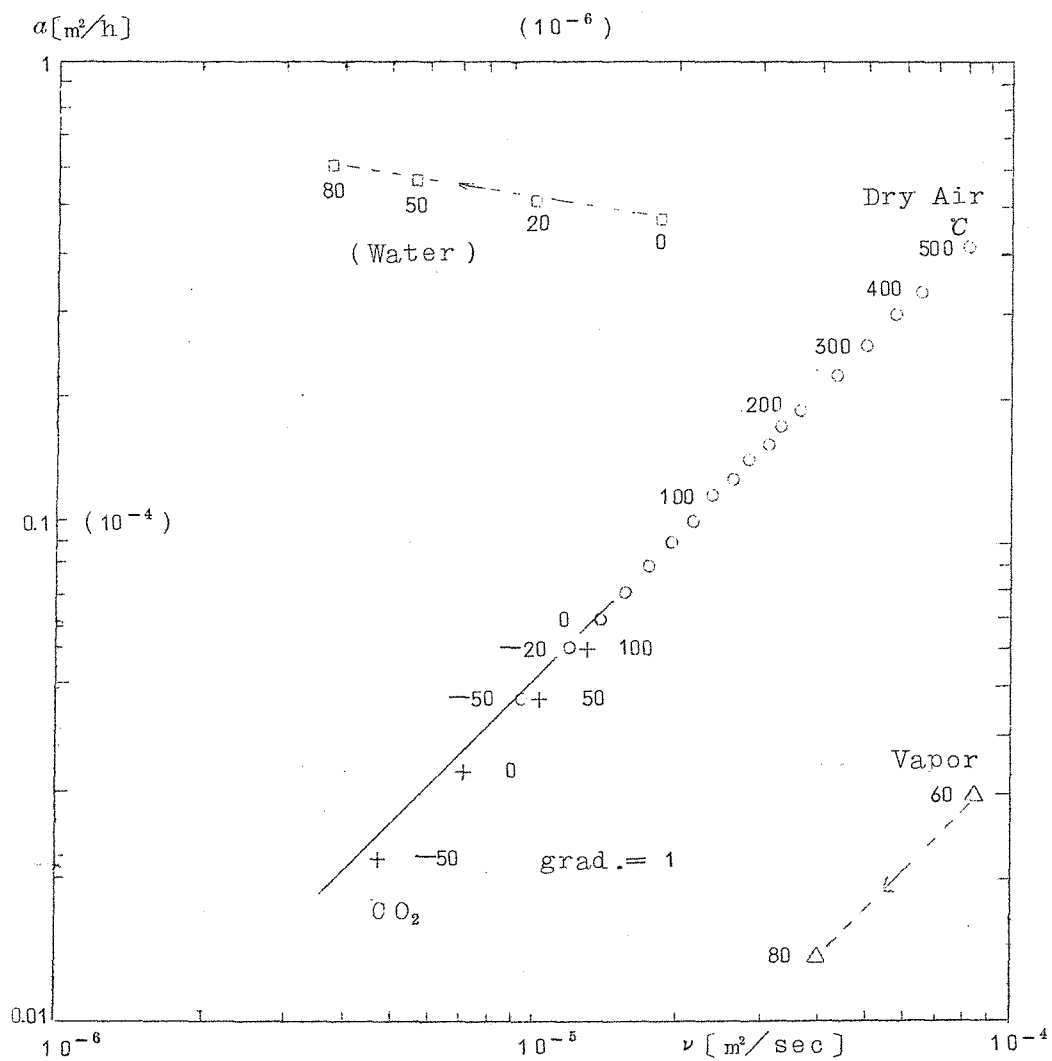
才 1 表

	(3)		(5)		(4)		(7)		(1), (6), (8)
	x	x	$\frac{1}{1+x}$	$\frac{1-3x}{1+x}$	P	p	$\left(\frac{1}{1+x}\right)\frac{1}{p}$	$\left(\frac{4x}{1+x}\right)\frac{1}{p}-1$	$t (=s)$
層流	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{4}{5}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{2}{5}$	$\frac{3}{5}$	2
乱流	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{3}{4}$	0	#	$\frac{2}{3}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{2}$
	#	$\frac{2}{5}$	$\frac{5}{7}$	$\frac{-1}{7}$?	$\frac{1}{3}$	$\frac{4}{5}$	$\frac{5}{14}$	$\frac{3}{7}$	$\frac{5}{4}$

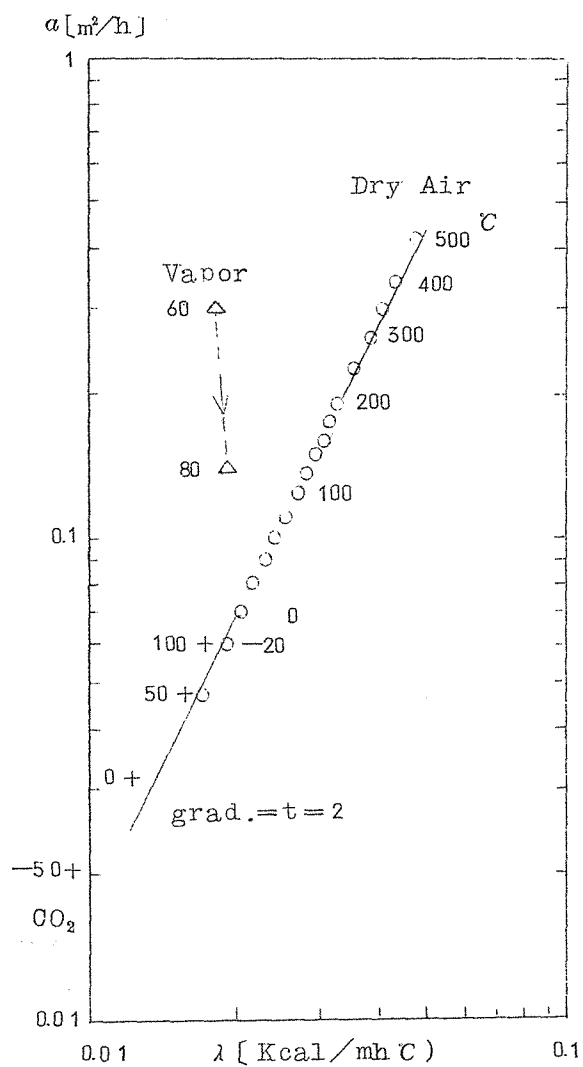
#は逆算値 ?は疑惑視

3. 層流 t 値の検定

動粘性係数 $\nu (= \eta / r)$ や温度伝播率 $\alpha (= \lambda / cr)$ について考えると、気体では暖房温域で定圧比熱 c は殆ど一定であり、比重量 r は規則的な変化をするが、共に乱流の影響は顕れないと見られる。しかし粘性係数 η や熱伝導率 λ については、乱れによつて見掛けの移動を受けると考えるべきであり、物性値の温度変化表⁽⁶⁾に示された数字は、 η や λ の実測方法から察して層流の場合を捉えたものと云えよう。



才 1 図 $\nu \propto \alpha$ の検定



才 2 図 $\alpha \propto \lambda^2$ の検定

才 2 図で Vapor や CO₂ は特異な傾向を示し、また輻射に関しても選択吸収の複雑さを持っているが、実際には微量の混在であるから深くは触れないことにする。

4. 乱流 t 値の推定

本節では便宜のため、乱流により見掛けが変る物性値とその指数に $*$ の脚符号を添えることにすると、既述の(1)式は次の如くなる。

$$\nu_* \propto a_* \propto \lambda_*^{t_*} \dots\dots\dots (11)$$

この式の前半は気体に関しては妥当と思われるので、後半を $\lambda_* \propto \lambda_*^y$ なる仮定を用いて検討して見る。

$$\lambda_*^{t_*} \propto \frac{\lambda_*}{cr} \propto \frac{\lambda_*^y}{cr} \propto \left(\frac{\lambda}{cr} \right)^z \propto a^z \propto \lambda^{2z} \dots\dots\dots (12)$$

仮定と両端項から

$$2/t_* = y/z \dots\dots (13)$$

また才3項、才5項と(1)式から

$$(y-1)/(z-1) = 2 \dots\dots\dots (14)$$

従つて

$$y = p_*/(1-p_*) \dots\dots (15)$$

$$z = 1/2(1-p_*) \dots\dots (16)$$

才 2 表

	(4) p	(1)、(6)、(8) t (=s)	(12) λ (15) y	(12) λ (16) z
層 流	1/2	2	1	1
乱 流	2/3	3/2	2	3/2
?	3/4	4/3	3	2
?	4/5	5/4	4	5/2
極 端	1	1	∞	∞

乱流について系統的な実測値の報告は見当たらないが、才2表の規則正しさから推して妥当であろうと考える。

〔 引 用 文 献 〕

- (1) 寺井俊夫：室内熱対流について（2次元・層流の場合）、日本建築学会論文報告集、№ 59、1958、6
- (2) 寺井俊夫：室内の熱対流について（乱流の場合）、日本建築学会論文報告集、№ 63、1959、10
- (3) 前田敏男他2名：室内の熱対流の近似相似則、日本建築学会論文報告集、№ 63、1959、10
- (4) 射場本勘市郎：放熱器暖房の室温や気流の分布に関する相似性、日本建築学会論文報告集、№ 60、1958、10
- (5) 射場本勘市郎：換気がない暖房環境の模型実験化、日本建築学会論文報告集、№ 63、1959、10
- (6) 栗野・葛岡編：伝熱工学、1959