室蘭工業大学
学術資源アーカイブ
Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive

冷房時における室内気流

メタデータ	言語: Japanese
	出版者: 室蘭工業大学
	公開日: 2014-07-24
	キーワード (Ja):
	キーワード (En):
	作成者: 窪田, 英樹
	メールアドレス:
	所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/3615

冷房時における室内気流

窪　田　英　樹

Room Air Distribution in Summer Cooling

Hideki Kubota

Abstract

The distribution of conditioned air in an occupied space is a complex problem, upon which the success or failure of a given environmental control system will depend. From a thermal standpoint, it is possible to have an average temperature and humidity which satisfy the criteria for thermal comfort, and these conditions may exist at some point in the space. At the same time, there may be local areas of discomfort caused by excessive variations in air temperature, excessive air motion resulted from cooled air jet. This paper will provide a method of predicting the air distribution performance.

1．緒　　言

今世紀初頭にアメリカ人キャリアが空気調整装置を開発して以来70余年になる。　現在では，ビル建築のほとんどが空調装置を有しており，冷房された空間で過す機会が多い。これに伴い冷房病などとよばれるような，体調を損う弊害が顕在化しつつある。

特に最近では住宅への小型クーラーの普及が急増していることを考えあわせると，冷房時の室内気候に関する研究が，ますます重要になってくると思われる。

この問題に関連して，冷房時の室内気流分布についての研究もこれまでに多くなされているが，大別すると次のようになる。

㋑　模型室（実物大又は小型模型）を用いた気流分布状態の実測に基礎をおく研究

㋺　吹き出し気流（噴流）についての研究

まず㋑についてみると，室内の全体的な状態を実測するので，より正確に実状を把握し得るが，装置の作製と実測にあたって多くの労力を要する。しかも実験領域を越えた範囲の状態を定量的に予測することが難かしいという欠点を有している。

㋺の吹き出し気流については，室内の気流分布状態に支配的な影響を与える点で重要である。加えて多くの場合，室内でも自由噴流に近い特徴を有しており，特性を数式で表現し得るので，気流分布状態を定量的に特徴ずけ得る可能性がある。

本論文では，まず気流分布の評価法と設計に関連の深い既存の諸研究を概観し，ついで筆者

の気流分布モデルについて述べる。

2．既存の研究とその検討

つぎに述べるHoughten, Rydbergらによるものが，局所的気流と周囲の静穏な状態との間の有効温度差を表す指標として，現在用いられている唯一のものである。

(イ) F. C. Houghten et. al. による研究（1938）[1)]

室内に局所的な気流を想定して，首筋の背後からと足首に気流を局所的に当てる実験を行っている。この気流によって生ずる当該部位の局部的冷感は，気流の温度と流速の組合せで決まり，等冷感を表す組合せとして図―1（首筋）を得ている。しかし，冷房している実際の室内で，冷噴流によって生ずる局所的気流は，多くの場合全身を包み込むほどの広がりを有しており，従ってこのデータを直接適用するには問題があろう。

(ロ) J. Rydberg et. al. による研究（1949）[2)]

まず，静穏な室内に局所的に存在する気流と，周囲の状態との有効温度差(θ)は，近似的に次式で表されると仮定する。

$$\theta = \triangle T - A \cdot U \qquad (1)$$

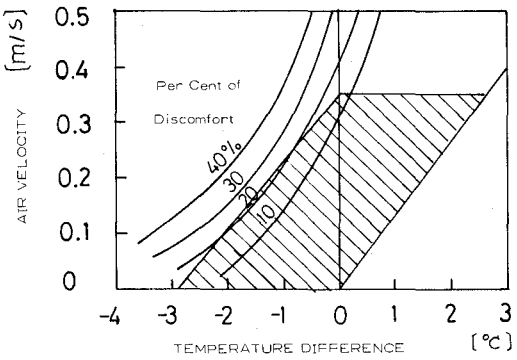
ここで　$\triangle T$＝(気流温度)－(周囲気温)［℃］，U：気流の流速［m/s］，A：定数

Yaglouの有効温度図表からA≒8　即ち

$$\theta = \triangle T - 8 \cdot U \quad [\mathrm{deg}^{\circ}C] \qquad (2)$$

を得ている。この式が偶々上記(イ)のHoughtenらの等冷感線と近似的に一致しているので，つぎの(ハ)～(ホ)の研究では式(2)の出典として(イ)，(ロ)を上げている。念のためにつけ加えれば，(イ)は局所的温感で，(ロ)は上半身裸体時の全身の温感であるから，両者はもともと単純には比較できない性格のものである。

（但し，RydbergらはYaglouの図表から読みとった値を℉で記入し，計算するときには℃として扱うという単純な誤りをおかしており，正しいAの値はA≒4となる。）



図―1　首筋の等冷感線

詳細については省くが，Yaglouの有効温度図表自体が現在疑問視されていることだけを考えても，いま用いられている唯一の式

$\theta = \triangle T - 8 \cdot U$　には多くの問題が含まれているといえる。

(ハ) J. J. Reinmann et. al. による研究（1958）[3)]

この論文では，室内の空気分布状態を，上記のθで特徴ずける最初の試みをしている。

実物大の模型室を用いて，居住域の境界面，即ち床上1.8mの面，各側壁から0.3m離れた面上で気温，流速を測定し，室の中央の状態との間の有効温度差θを計算している。(但し，静穏な部分でも0.15m/s程度の気流が存在するとして$\theta=\triangle T-8(U-0.15)$として計算している。)三種類の吹き出し方式について実験を行い，換気回数とθの最大値との関係を与えている。

このうち水平吹出方式については次章で再述する。

(ニ) J. Rydberg による研究 (1963) [4]

居住域に侵入する噴流の中心軸上の流速Umと温度差△Tmを用いてθを計算している。

各吹出方式について，任意のθに対応する負荷容量 [kcal/m² ・ h] を導いている。

従って，θの許容値が与えられれば，吹出口方式に応じて可能な冷房能力が決まる。

しかし，Um，△Tmの計算，あるいは噴流の軌跡について，浮力の影響を考慮していないので，浮力の影響を強く受ける吹出方式に関しては誤った結果を導いている。

(ホ) R. Nevins et. al. による研究 (1965〜1972) [5)〜11)]

実物大の模型室 (20×12×9 ft³) を2 ft間隔のメッシュで分割し，総計216点で温度と流速を測定し，得られた結果を評価する指標としてADPIを提案している。

これは，空気分布の状態として図—1の直線で囲まれた斜線で示される範囲にあるのが望ましい，という立場に立ち室の中央16点の平均温度を基準点として，この範囲内にある測定点の数をパーセント表現したものである。たとえば，測定点216点のうち54点がこの範囲にあれば，そのADPIは25となる。

この一連の研究は，ASHRAEなどによって援助された7年間にわたる研究で7編の論文が報告されている。

室内全体の気候分布状態を1つの指標で表現しようとしたものであるが，その考え方はうなづけるにしても，図—1自体に疑問があるので，適当な指標ができた段階で実験データの再整理あるいは再び同様の実験をする必要があろう。

以上の結論としてつぎのことがいえる。

○ 局所的気候の温感・不快感を表現する適当な指標がない。

○ 室内の気流分布を予測する手法が未だ完成していない。

これらのことが，今後の研究課題であると思われる。

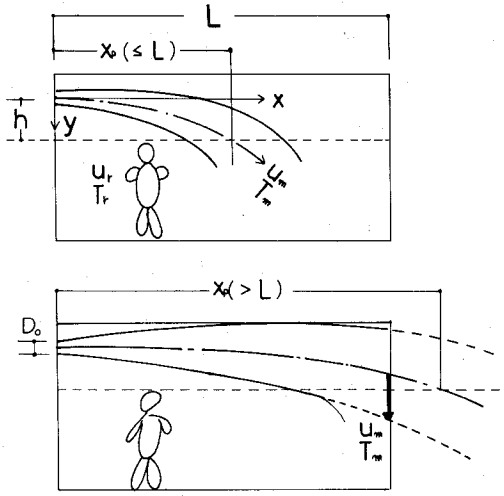
3. 冷房時における気流分布モデル

室内の状態を均一で静穏なものにすることを目標にするが，冷房する場合には，冷噴流が居住域に侵入することによって，温度が低く又過度の流速を有する部分が必然的に生ずる。(図—2)

このことから空気流分布をモデル的には，設計目標に近い状態にある静穏な部分と，噴流が侵入した過度の流速を有する部分の二領域に分割して考えることができる。

従って，もし噴流が居住域に侵入する位置（x_p）とそのときの温度，流速を予測することができれば，室内の分布状態を特徴ずける定量的な指標を得ることができる。同時にこの噴流域の居住性を良くすることが，気流分布設計の目標となる。

ここでは，噴流の中心軸上温度 T_m と流速 U_m をもって。この噴流域を代表する状態とする。



図－2　室内気流モデル

3・1　水平吹出方式

まず，冷噴流の降下は次式で表される。

$$\frac{y}{D}=0.42\delta\frac{Ar}{K_p}\left(\frac{x}{D}\right)^3 \qquad (3)$$

ここで　D：吹出口直径m，Ar：アルキメデス数（$=g\beta\Delta T_0D/U_0^2$），g：重力の加速度

β：体積膨張係数，$\triangle T_0$：吹出温度差℃，U_0：吹出流速 m/s，K_p：吹出口定数

δ：天井面の影響による補正係数（≦1）

これをつぎのように変形する。

$$y=\frac{1}{60500}\frac{\delta Q}{K_p}\left(\frac{x}{U_0D}\right)^3 \qquad (4)$$

ここで　Q：送熱量 kcal/h

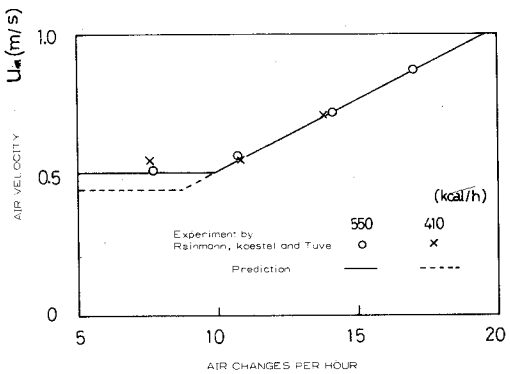
a）噴流が居住域に侵入する位置（x_p）＜室長（L）の場合

居住域に侵入する噴流の中心軸流速 U_m と温度差 $\triangle T_m$ は，気流の降下（h）があまり大きくない場合には近似的に次式で表される。

$$Um \fallingdotseq K_pDU_0/x_p \qquad (5)$$

$$\triangle Tm \fallingdotseq 0.82\frac{K_p\cdot D\cdot U_0}{x_p}\cdot\frac{\triangle T_0}{U_0} \qquad (6)$$

式(4)に y＝h とおいて次式を得る。



図－3　居住域境界面での最大流速

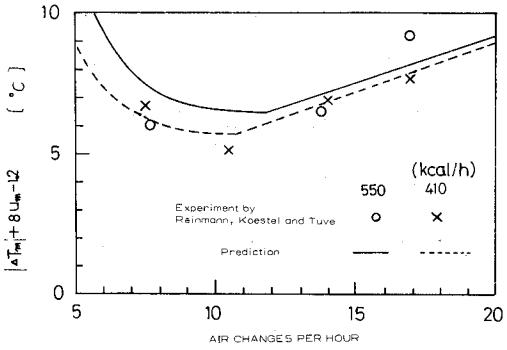
$$\frac{DU_0}{x_p}=\frac{1}{39.2}\left(\frac{\delta\cdot Q}{K_p\cdot h}\right)^{1/3} \qquad (7)$$

$$\therefore Um=\frac{K_p}{39.2}\left(\frac{\delta\cdot Q}{K_p\cdot h}\right)^{1/3} \qquad (8)$$

既ち，送熱量Q，吹出口取付位置h，吹出口定数K_pが与えられると,居住域に侵入する流速U_mは,噴流の居住域に侵入する 位置x_pに無関係に一定となる。

$$\frac{\triangle T_0}{U_0}=\frac{1.8(K_p\cdot h)^{2/3}Q^{1/3}}{x_p^2} \qquad (9)$$

$$\therefore \triangle Tm=\frac{0.038\,K_p^{4/3}h^{1/3}Q^{2/3}}{\delta^{1/3}\cdot x_p^2} \qquad (10)$$



図－4　居住域境界面での最大「有効温度差」

b）$x_p>L$ の場合

噴流は対向壁に衝突して居住域に侵入するのでU_m，$\triangle T_m$は次式で与えられる。

$$Um=K_p\cdot D\cdot U_0/L$$

$$=\frac{K_p^{2/3}}{39.2}\left(\frac{\delta\cdot Q}{h}\right)^{1/3}\cdot\frac{x_p}{L} \qquad (11)$$

$$\triangle Tm=0.038\frac{K_p^{4/3}\cdot h^{1/3}\cdot Q^{2/3}}{\delta^{1/3}\cdot L\cdot x_p} \qquad (12)$$

c）Reinmann らによる実験との比較

実験条件はつぎのようである。

室長L＝3.9 m，室容積V＝25 m³（吹出口1個につき），D＝0.24 m

冷房負荷　Q＝550，410kcal/h

ところで，Q＝550で換気回数N＝8回/hのときx_p≒2.65 mであることからK_p≒4.45，δ≒0.2を得る。これらの値を式（8），(10)，(11)，(12）に代入して得た結果を図―3，4に示す。

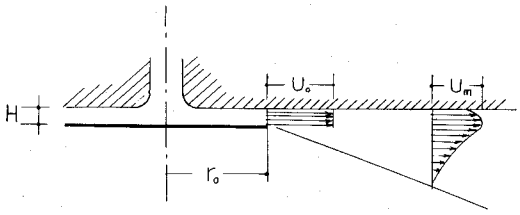
3．2　天井付ディフューザ型吹出口方式[4]（Nevins ら[11]による ADPI との比較）

噴流は壁面効果により，天井面に付着して流れるので，壁面あるいは隣接した吹出口からの噴流と衝突して居住域に侵入する。この位置でのU_m，$\triangle T_m$を求めればよい。

$$Um\fallingdotseq\frac{\sqrt{2Hr_0K_p}}{L}U_0 \qquad (13)$$

$$=\frac{1}{3600\pi}\sqrt{\frac{K_p}{2Hr_0}}\;\frac{G}{L} \qquad (14)$$

又は　$$Um=0.25\,T_{50}/L \qquad (15)$$



図－5　ふく流噴流

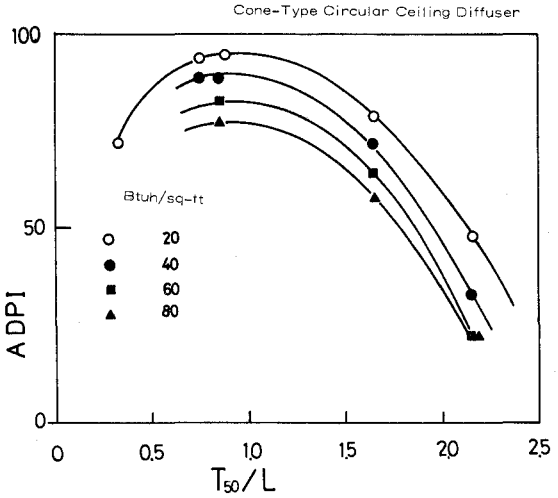
同様に $\triangle Tm=0.9\dfrac{\sqrt{2Hr_0K_p}}{L}\triangle T_0$ (16)

$=0.9\dfrac{\sqrt{2Hr_0K_p}\,Q}{G\cdot L}$ (17)

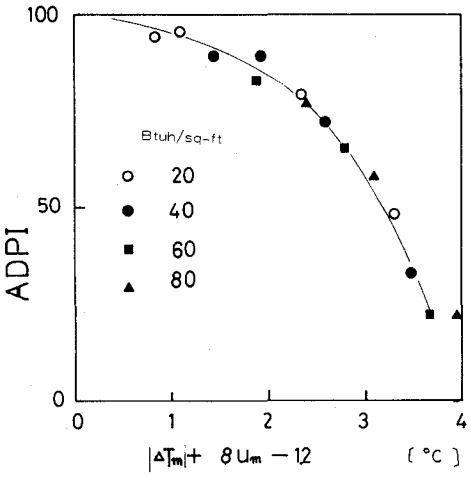
又は $\triangle Tm=Q/(100\pi L\cdot T_{50})$ (18)

ここで G：吹出風量 m^3/h, T_{50}：U_m が 0.25m/s に減衰するまでの距離,
図—6は Nevins らが実測した ADPI である。

式(15), (18)を用いて, Nevins らの実測した T_{50}/L に対応する U_m, $\triangle T_m$ を計算し, ADPI と比較したのが図—7であり極めて良い相関を有している。



図—6 Nevins らによる ADPI 実測値（天井付ディフェーザー）



図—7 実測した ADPI と計算した最大「有効温度差」との関係

4. 結　　言

この小論を要約するとつぎのようになる。

1）冷房時の気流分布モデルとして, 居住域を比較的静穏な領域と冷噴流の侵入する噴流域の二域に分割して考える。

2）この噴流域の居住性を良くすることが気流分布設計の目標となる。

3）噴流の中心軸上流速と温度で噴流域の状態を代表すると, 噴流の特性式を用いて, この領域の状態を近似的ながら定量的に予測することができる。

4）将来, この噴流域の温感指標（温度, 流速, ふく射温などを総合したもの), 不快指標（たとえば気流感など）が明らかになれば, これらの指標をもとに気流分布を設計することが可能となろう。

おわりに，この論文は射場本教授（北大工）岡垣教授（道工大），沢登助教授（北大工），落藤助教授（同）の方々から頂いた御指導・御助言が基礎になっていることを付記して深く感謝の意を表します。また，持田氏（北大工）には有効な討論，助言を頂きました。 お礼申し上げます。

（昭和50年5月20日受理）

参 考 文 献

1) F. C. Houghten, C. Gutberlet and E. Witkowski : Draft Temperatures and Velocities in Relation to Skin Temperatures and Feeling of Warmth, ASHVE Trans. Vol.44, 1938, p.289

2) J. Rydberg and P. Norback : Air Distribution and Draft, ASHVE Trans. Vol. 55, 1949,p.225

3) J. J. Reinmann, A. Koestel and G. L. Tuve : Evaluation of Three Room Air Distribution Systems for Summer Cooling, ASHRAE Trans. Vol.65, 1959, p.717

4) J. Rydberg : Maximale Kuhlleistungen und Luftmengen bei verschiedenen Einblaseirichtungen, Gesundheits-Ingenieur 84. Heft 6, S.161～192

5) R. G. Nevins and E. D. Ward : Room Air Distribution with an Air Distributing Ceiting, ASHRAE Trans. Vol.74, Part I' 1968

6) P. L. Miller and R. G. Nevins : Room Air Distribution with an Air Distributing Ceiling-Part II, ASHRAE Trans. Vol.75, Part I, 1969

7) P. L. Miller and R. G. Nevins : Room Air Distribution Performance of Ventilating Ceilings and Cone-Type Circular Ceiling Diffusers, ASHRAE Trams. Vol.76, Part I, 1970

8) P. L. Miller : Room Air Distribution Performance of Four Selected Outlets, ASHRAE Trams. Vol.77, Part II, 1971

9) P. L. Miller and R. T. Nash : A Further Analysis of Room Air Distribution Perfmance, ASHRAE Trans. Vol.77, Part II,1971

10) P. L. Miller and R. G. Nevins : An Analysis of the Performance of Room Air Distributiou Systems, ASHRAE Trans. Vol.78, Part II, 1972

11) R. G. Nevins and P. L. Miller : Analysis, Evaluation and Comparison of Room Air Distribution Performance-A Summary, ASHRAE Trans. Vol.78, Part II, 1972