開放感に関する研究・1

(視環境における開放感の位置づけ, 予備実験)

正 会 員	乾	正	雄*
正 会 員	宮 田	紀	元*
正 会 員	渡 辺	圭	子*

は し が き

建築物内の視環境に関する研究では, これまで照度, グレア, 輝度, 色彩, 光の方向性, 光源の演色性などの側面が個別にとりあつかわれている。これらのうち, 古くから研究されていたのは, 照明の量の指標としての照度だけであり, 他はすべて, 近來の照明の質を重視する研究動向のなかで, 問題にされはじめた。最近では, これらはさらに人間の感情に合わせて高度に精密化され, アパレント・ブライツネス, スカラー照度, 照度ベクトルなどの新しい指標が問題とされるにいたっている。

建築物の窓についても, 照明的には, 古くから昼光率だけが研究されてきた。視環境以外の, 日照, 換気などの機能は別として, 見とおし, オリエンテーションなどが数量的にとりあつかわれたことは, これまでなかった。視環境の一要素としての窓は, もっぱら昼光率を指標として設計されてきた。

しかしながら, 最近の照度基準の向上, 人工照明設備の発達, 都市建築物の密集化, 空気調和設備の発達などは, 採光のための窓の意味を低下させた。基準となる昼光率が得られるように窓を設計することは, 多くの場合無意味になってきた。しかし, 別の意味では, 依然として, 窓が視環境のなかで果た役割は小さくない。著者らは, これからの窓は, 閉じこめられた感じがしない, 広々とした戸外が見通せる, などの精神衛生的な視覚効果を中心にして設計すべきであろうと考えている。

窓の設計に関して, 新しい指標を示唆する研究としては, これまでにイギリスの三つがある。第一に Hopkinson, Longmore によって提案され, 国際照明委員会 (CIE) でも認められた概念である PSALI¹⁾がある。ここでは, 窓から室内にはいる光だけが対象にされている。第二に Ne'eman, Hopkinson の Critical minimum acceptable window size²⁾がある。これは, 受容できる最小窓寸法を決定しているものであるが, 議論は窓寸法だけに限られている。第三に Markus のいう Sunshine awareness, View, Privacy など³⁾がある。これらも, 興

味ある概念であるが, まだ定量化されていない。いずれも, 窓を設計するための新しい指標としては, まだ不十分である。

本研究¹⁾は, 視環境を評価する新しい指標として, 「開放感」を提案する。「開放感」は窓と関係をもつばかりでなく, 視環境のなかの他の要素とも関係をもつ。これは, 窓をふくむ視環境の広々とした感じをあらわす一つの心理量である。本稿(1)では開放感の定義と意味, 予備実験などについて述べ, 続稿(2), (3)で, 本実験, 開放感の許容限度を求める実験などについて述べる。

1. 開放感の定義

視空間において, 人間は, 小さな閉めきった部屋の間では閉じこめられた感じをもつし, 戸外へ張り出した明るいテラスの上では開放された気持になる。事実, われわれは「開放的な部屋」とか, 「閉鎖的な部屋」とか言う言葉を, 日常よく使う。開放感とは, ふつうの人間にとって, 共通の知覚の指標になっているとみられる。

本研究でいう開放感とは, この日常語とおおよそ同じ意味である。しかし, ここでは視覚的なものに限られる点がちがう。窓から聞える鳥の声, 外からはいつてくるさわやかな空気などは考えに入れていない。つまり, ここでいう開放感とは, ある空間において, 人間が視覚を通して受けとる空間の大きさの感じであり, いいかえれば, その空間の視知覚的な容積感である。

開放感の下限は真暗闇の中とか, 自分の周囲に全く空間がない状態にあらわれ, その時開放感は何になると考えられる。上限は, 地球上に限れば, 見わたす限り何もさえないもののない草原とか海上にあらわれる。開放感の上限値は, 人間の距離感が有限であること, 全く遮蔽されてない天空も感覚的には有限で偏平な半球であるといわれること, などから判断して, 一定の有限値に収束するとみられる。一つ一つの部屋の開放感とは, この下限値と上限値の間のどこかに位置することになる。

開放感の尺度は, 零からはじまり個々の部屋ごとに, あるマグニチュードを与える単極尺度である。日常語の開放感とは, しばしば反対語の閉鎖感をともなって使われ

* 建設省建築研究所

(昭和46年9月1日本稿受理・討論期限昭和47年5月末日)

る。したがって、開放感—閉鎖感は両極尺度としても使えるわけであるが、日本語の意味から考えると、この両極尺度は快—不快などと関連する価値観を内包する。これに対して、本研究における開放感の尺度は、価値観を含まない純粋なものである。後述するように、快不快はこの尺度の上で別に検討することができる。

現実の建築物内の開放感とは、人間の目の動きにつれて動的に変化する。しかしながら、本研究では開放感を静的な量として測り、一つの部屋に一つの開放感を対応させることを目的とした。

開放感の概念は、無窓建築においても有効である。何故かという点、開放感とは、たとえ窓が無くても、部屋の十分な広さ、高い照度などによって補うことができるからである。開放感は一見、窓と窓外の眺めだけを評価する指標のようにみえるが、実際は、部屋の大きさ、照度などの種々の視環境要素をも含めて評価するものなのである。

なお、開放感に似た概念が、最近スウェーデンの Gärling²⁾ によってとりあつかわれた。彼は Open space—closed space (彼自身によるスウェーデン語からの英訳) という尺度によって空間評価を行なっている。言語の違いのため、概念の正確な違いは不明であるが、単極尺度でないこと、普通の居室を考えていないことなど、彼の概念が開放感と同一のものでないことは明らかである。

2. 本研究の目的

開放感の研究の目的としては次の三点がある。

(1) まず、1で定義したような開放感の尺度が多数の人間に共通なものとして存在するものかどうかを知る。経験的には間違いなく存在すると言えるが、それが数量的にも表現できるかどうかを確かめる。

(2) 開放感の尺度の存在を確かめたら、次に、開放感と、視環境のなかの種々の物理的要素との関係づけを行なう。物理的要素のなかでは、窓の大きさ、部屋の大きさ、室内の照度、窓から見える空の広さ、窓から見える対向建築物までの距離、などが重要であることが経験的に知られている。物理的要素は複雑にからみあっているが、可能な限り単純な関係を見出そうとする。

(3) 開放感の許容限度(下限)が存在するかどうか、存在するとすればその量はいくらであるか、を調べる。開放感の量と快不快との関係は、部屋の用途、機能などにより異なると考えられる。しかしながら、普通の居室においては、快不快の境界にあたるある量、すなわち、それ以下では不快、それ以上では快という量が一般的に存在すると言える。この開放感の許容限度を求める。

3. 予備実験

3.1 目的

前節(1)、(2)の目的を達成するために実験を行なうが、それに先だって、次の諸点を明らかにするための

予備実験を行なった。

- (1) 開放感の尺度化の可能性を検討する
- (2) 開放感と視環境要素との基本的な関係を明らかにする
- (3) マグニチュード推定法の有効性を検討する
- (4) 模型使用の可否を検討する
- (5) その他、実験上の問題点を知る

3.2 人工空

自然空の輝度や全天空照度は、太陽高度と天候の変化につれてはげしく変動するので、自然空の下では安定した実験結果を得にくい。そこで、実験には、建築研究所の人工空⁶⁾を使用した。

この人工空は直径 4.1 m の透過半球状ドーム型のものである。ドームは天井にとりつけられたけい光ランプと白熱電球により、外側から照らされる。ドームは6枚の強化プラスチック片を接着加工し、一様に仕上げられている。したがって、模型を通してこのドームを眺めると、奥行の手がかりがなくなるので、実際の空に似て見える。人工空の平均輝度は約 1,100 cd/m²、輝度分布は

図—1 建築研究所の人工空

CIE 標準曇天空すなわち $B_\theta/B_z = (1 + 2 \sin \theta)/3$ (ここで B_θ =高度 θ の天空輝度, B_z =天頂輝度) に合うように設計されている。

人工空の断面図と天井伏せ図を図1に示す。

3.3 模 型

部屋の模型は縮尺 1/20, バルサ製で, 事務室に類する部屋を想定して, 若干の机や椅子を配置した。大きさは 12.6 m^2 から 201.6 m^2 にいたる 5 段階に変化するが, 間口対奥行の比は $1 : \sqrt{2}$ で一定, 天井高は 3 m で一定とした (本稿では模型の寸法はすべて実物大に直して記してある。)

窓は間口 (短辺) の一つに, 床上 1 m から天井面まで達するものを設け, その幅を, 常に窓の中心が間口の中心に一致するように, 零から全開にいたる間を変化させた (段階数は部屋の大きさにより異なる。)。窓外には人工空のみが見え, その平均輝度は 550 cd/m^2 である。

照明器具は, 天井面に半透明カバーつき埋込式 2 灯用のけい光ランプ器具を模したものを規則的に適当な数だけ設けた。ただし光は人工空の光を利用し, これを入れるか, さえぎるかで, 点と滅の 2 段階に変化させた。室内の照度は, これと窓からの光とで決定される。室内中央作業面の水平面照度は 0 から 300 lx にわたる。

模型の観察のためには, 窓と反対側の壁面にフードのついた楕円の観察口をつくった。ここからのぞくと, 被験者は部屋の最奥部で, 目の高さ床上 1.5 m から, 両眼で, 室内を観察していることに相当する。

3.4 実験方法

開放感の測定には, 標準をきめたマグニチュード推定法を採用した。標準は, 室面積 50.9 m^2 , 窓幅 3 m, 照明消灯, の状態とし, これを開放感 100 とした。被験者は, この標準と比較して, 順次呈示される状態の部屋の開放感のマグニチュードを判断して, それを整数で言うことが求められる。すなわち, 標準の 2 倍と思ったら 200, 標準の $1/3$ と思ったら 33 と答える。

標準模型と判断する部屋の模型とは, 被験者からみて 45° の角度をなしておかれた。採光的に実際に近い状況を得るため, 窓は人工空の天頂真下の近くに位置するようにされた。また, 窓から空だけを望めるようにするため, 床面は人工空の地表面よりやや高く位置するようにおかれた。図2に模型の配置を示す。

3.5 被験者の訓練

一般に, 知覚の尺度を構成するための実験では, 被験者を, 教示や練習によって, 十分に訓練する必要がある。ことに, 本研究のように新しい概念をとりあつかう場合には, 訓練によって, 被験者に概念を十分に理解させなくてはならない。PSALI の実験においても, 被験者の概念理解の差が問題になったことが報告されている¹⁾。

図-2 模型の配置

5 室ほどの開放感を評定する練習実験を 2 回くりかえし, 結果を被験者に示して, 概念の理解を助けた。1 回目の練習実験においては, 大きい部屋で, 暗く, 窓の小さい状態で評定値のちらばりが特に大きくなった。これを検討してみると, 一部の被験者が, 部屋の大きさだけにとらわれていたことが明らかになった。説明をしながら 2 回目には, 同様な状態でもちらばりは普通であった。この結果は本実験の教示の参考にされた。

3.6 実験手続

被験者は建築学科学生, 大学院生, 研究者など 7 名 (男 5, 女 2) で, 80 の状態の開放感を判断させた。模型はランダムに呈示し, 疲労のないように 20 ごとに休憩をとった (予備実験 1.1)。また, 数週間後に, 同じ被験者に同じだけの状態の開放感を判断させた (予備実験 1.2)。

被験者は, まず教示を受け, そのあと, 呈示される模型の開放感を, 標準と比較して評定した。時間は制限せず, 標準との比較観測も省いてもくりかえしてもよいこととした。被験者は椅子に腰掛けた楽な姿勢で評定を行った。なお, 被験者の目は, 人工空の輝度に順応しているとみてよい。

図-3 算術平均と幾何平均

図-4 変動係数の分布

図-5 再現性

4. 予備実験の結果

結果のうち、続稿(2)で述べる本実験にかかわりのある、いくつかの点について述べる。

(1) 開放感を判断する上の困難はないことがわかった。3.5に述べた訓練の後、すべての被験者は、2回の実験を通じて、何の困難も訴えることなく、開放感の判断を行なった。

(2) 評定値の代表は幾何平均をとるのがもっともよい。

一般に、比率判断の評定値の代表に算術平均を使うのは不適當である。このことは、上の実験で、ある一定の開放感を与える個々の評定値の分布を調べてみると、図3(b)のような対数正規分布の傾向があることからも言える。また、後述の相関分析においても幾何平均の方が算術平均よりよい相関を示す。したがって、ここでは幾何平均をもって代表値とする。

(3) 評定値のちらばりを変動係数(=標準偏差/平均値)で表わすと、ちらばりが大きすぎることはないことがわかる。2回の実験の変動係数の分布は図4(a), (b)のごとくなる。レンジは0~1, 平均は各々0.45, 0.44である。この種の心理実験としては大きすぎるとは言えない。

(4) 2回の実験の結果にちがいが少ないことから、結果の再現性はよいと言える。

一、二の例外をのぞき、 t 検定によって両実験の平均値に有意の差のないこと、 F 検定によって、評定値の母分散に有意の差がないことを確かめた。また、両実験の開放感の値の関係は図5に示したが、ここでも、二、三の例外をのぞいてほぼ45°線上に分布していることがわかった。結果の再現性はよいと言える。

(5) 開放感と視環境要素との基本的な関係として次の傾向のあることが言える。

照度の増加につれて開放感も大になり、その傾きは両対数グラフ上でほぼ一定である。同様に、窓の大きさ(室奥の目の位置に張る立体角)の増加によっても、部屋大きさ(容積)の増加によっても、開放感は大になり、その傾きは両対数グラフ上でほぼ一定になる。どの場合も、平均値は直線上にかなりきれいに並ぶ。

相関分析を行なうと、開放感と照度、窓の大きさ、部屋大きさとの相関は各々0.95, 0.85, 0.95, また、開放感と三者との重相関も0.98である。いずれも非常に高く、1%で有意である。この実験に関する限り、照度、窓の大きさ、部屋大きさの三つをとれば、開放感十分に説明できることがわかる。

以上の結果からみて、予備実験につづく本実験は、基本的には予備実験の方法を踏襲して行なえばよいことが明らかになった。

5. 人工空と自然空

5.1 自然空による実験

上述の予備実験では、人工空を使用しているの、空までの距離感が実際とちがうこと、景色がないこと、などの点が問題である。そこで補足として、自然空下での実験を行なった（予備実験 2.1）。

実験場所は、建築研究所第5研究部棟（3階建）屋上で、景色は遠景のみが、窓の下方 1/3 を占め、他の部分は天空が占める。時刻は、曇天時の夕刻、天空輝度が誤差 20% 以内で人工空の輝度と等しくなる時を選ぶ。模型は同じものを使うが、照明器具は点灯した状態は省いたので、人工空における場合の半分の数である 40 の状態が観測評定される。被験者は前実験と同一人の 7 名である。その他の実験方法、実験手続は前実験と同じである。なお、この場合、標準の模型の窓にも景色がうつっているわけである。

図6は、横軸に予備実験 1.1 および 1.2 より得た開放感をプロットしたものである。だいたいにおいて 45° 線上によくのっており、人工空と自然空の違いによって開放感是不変といえよう。

図-6 人工空と自然空

5.2 尺度を合わせる実験

予備実験 2.1 における標準の模型は自然空下におかれており、その点予備実験 1.1 および 1.2 における標準の模型が、人工空下におかれたのと違う。この点を検討するため、今度は、標準は人工空下におき、判断する模型は自然空下におき、被験者に開放感の異なる 10 の状態を評定させた（予備実験 2.2）。前者は 3 階、後者は同じ建物の屋上（4 階）におかれたので、その間の歩行距離が階段を含めて約 30 m あるが、その間の順応の問題は無視した。実験方法、実験手続は前と変らない。

その結果は、標準の違いにより開放感に有意の差があることはなかった。

二つの補足予備実験によって、本実験に人工空を使用することはさしつかえないことが明らかになった。

文 献

- 1) Hopkinson, R. G., and Longmore, J., Trans. Illum. Eng. Soc., **24**, 121 (1959).
- 2) Ne'eman, E., and Hopkinson, R. G., Ltg Res. & Tech., **2**, 17 (1970).
- 3) Markus, T.A., Build. Sci., **2**, 97 (1967).
- 4) 開放感に関する既発表報告には次のものがあるが、これらの内容はおおむね本論文に包含されているので、今後は参照される必要はない。
 - 4-1) 宮田 et al., 関東支部学術研究発表会梗概集, 第 4 部 p. 113 (1968).
 - 4-2) 宮田 et al., 大会学術講演梗概集 (計画系), p. 87 (1968).
 - 4-3) 宮田 et al., ibid., p. 117 (1969).
 - 4-4) 宮田 et al., ibid., p. 67 (1970).
 - 4-5) 乾 et al., 照明学会全国大会講演論文集, p. 76 (1970).
 - 4-6) 渡辺 et al., ibid., p. 78 (1970).
 - 4-7) 宮田 et al., ibid., p. 80 (1970).
 - 4-8) 渡辺 et al., 大会学術講演梗概集 (計画系), p. 75 (1971).
 - 4-9) 宮田 et al., ibid., p. 77 (1971).
 - 4-10) 乾 et al., ibid., p. 79 (1971).
- 5) Gärling, T., Scand. J. Psychol., **10**, 250, 257 (1969) and **11**, 124 (1970).
- 6) 乾, 松田, 洞口, 照明学会雑誌, **51**, 518 (1967).

EVALUATION OF SPACIOUSNESS

by MASAO INUI, TOSHIMOTO MIYATA

and KEIKO WATANABE

Members of A.I.J.

Since traditional criteria for window design, such as daylight, sunlight and ventilation, lost their force, studies reevaluating the function of windows have been increasing in number. The study of sunshine awareness, view and privacy by Markus and critical minimum acceptable window size by Ne'eman and Hopkinson are examples of this type of work. One of the fundamental functions of the window is to give building occupants spaciousness by providing a visual link between the interior and the exterior of the building. Spaciousness is less affected by the closeness of other buildings and their orientation than are other criteria like view and sunshine.

In the present paper spaciousness is defined as a feeling which derives from visual perception in interior spaces. The meaning of spaciousness is similar to the open or closed feeling referred to in everyday speech. In order to simplify matters in the present study the visual aspect only is taken into account, acoustical and aerial aspects being ignored. The minimum value (zero) of spaciousness would be observed in a completely dark room, while the maximum value (possibly finite) would be found in a place which commands an unobstructed hemisphere of sky. The spaciousness of interiors would usually fall somewhere between these two extremes.

Work into spaciousness has been carried out at the Building Research Institute. It has been found that the concept of spaciousness is readily recognisable and that it can be expressed as an index of magnitude. A series of experiments have been carried out using scale-model rooms with scaled fluorescent fittings and furniture under both an artificial and a real sky. The physical factors comprising the scale of the model, the shape and the size of room, the size of window opening, the interior illuminance and the sky luminance, were varied. The observer was asked to look into the model through a viewing aperture in the rear wall and to assign any numbers he deemed appropriate to a series of stimuli differing in spaciousness. From this, spaciousness (S_p) has been shown to be determined by $S_p = c \cdot L^a \cdot R^b \cdot W^r$; where L is the average horizontal illuminance, R is the volume of the room, W is % of the projection of the window opening at the eye position. As spaciousness is related to many physical factors other than the window, it is a criterion not only of value for window design, but also for the design of the whole visual environment. Interestingly enough, the lack of spaciousness produced by not having windows can be counteracted by enlarging the room size and by raising the illuminance with artificial lighting.

From additional experiments, the following has become clear. (1) The coefficient and the indices of the equation vary according to the sky luminance. (2) The window size should be treated as smaller when the sky is obstructed by a near building. (3) The calculated value fits closely the subjective value of full-scale rooms. (4) The lower limit of just acceptable spaciousness does exist. This would be a useful criterion for use during design:

U.D.C. 624.014.2.071.3 : 539.38

YIELD STRENGTH OF STEEL BEAM-COLUMNSby Dr. **BEN KATO**, Prof., Univ. of Tokyo, and Dr. **HIROSHI AKIYAMA**, Assoc. Prof., Univ. of Tokyo. Members of A.I.J.

Safety consideration is primarily based on the yield strength of members. Yield strength of members, however, can not be obtained without numerical integration process, since the moment-curvature relation of the member becomes nonlinear in the inelastic range and secondary bending effect caused by the axial compression may not be neglected in general.

Hitherto, many attempts have been made to obtain the explicit expression of the yield strength of the steel beam-column. However these results are in allmost merely the substitution of numerically calculated results, and these applicability is restricted to the individual problem.

This study aims at obtaining the approximate analytical solution for general beam-columns. "Equivalent factor method" is suggested, and the analytical result is verified by comparison with the numerical result at test data.

U.D.C. 624.042.41 : 624.042.8

SWAY OBSERVATION OF TALL BUILDING IN STRONG WIND

(KEIO PLAZA Hotel Building 170 m High)

by **SHOJI KOBAYASHI**, Research Laboratory of Kajima Construction Co. Ltd., Member of A.I.J.

With the increasing population in the city and the sharp rise in land price in recent years, it is becoming more urgent to construct high-rise office and residential buildings in urban area. Therefore, the behavior of these buildings in a strong wind and the human response, as well as the environmental wind conditions around them are our serious concerns.

We have recently measured the sway of the KEIO PLAZA Hotel building (height by smallest width=5.8) by use of the displacement meter newly developed by Nippon Electric Company with our cooperation, which consists of laser beam oscillator and gradient transmission detector, and succeeded in simultaneous measurement of wind velocity and direction as well as the building sway in a strong wind.

It was found that the vibrational behavior of the building is made of long period component and short one. The former is considered due to the instantaneous wind pressure and to have irregular period because of the randomness of the wind "gust", and though the amplitude is relatively large, the acceleration is so small due to the long period of the gust that it is imperceptible to the occupants. On the other hand, the latter has a relatively small amplitude with the 1st natural period of the building, that is, sinusoidal vibration of the fundamental mode, may be directly perceptible to them, if any, but in view of the references so far in hand, the maximum acceleration of the building due to the maximum instantaneous wind velocity in 50 year recurrence period is well below the perceptible threshold. Moreover, the maximum sway of the building in the same period is far below the allowable limit by various foreign codes.

U.D.C. 615.8 : 662.613

VISIBILITY OF SIGNS THROUGH FIRE SMOKE (II)

(See Page 47)

by **TADAHISA JIN**, Fire Research Institute, Member of A.I.J.

U.D.C. 628.9.06

EVALUATION OF SPACIOUSNESS

(See Page 55)

by **MASAO INUI**, **TOSHIMOTO MIYATA** and **KEIKO WATANABE**, Researcher of Building Research Institute, Members of A.I.J.