

都市空間における天空開放性の計量技法に関する研究

A STUDY ON MEASURING METHOD OF OPEN SKY DEGREE IN URBAN SPACE

中 岡 良 司^{*}・ 森 弘^{**}・ 五十嵐 日出夫^{***}

BY Ryoji NAKAOKA, Hiroshi MORI and Hideo IGARASHI

This paper proposes three measuring method of open sky degree. The first way is fish-eye picture method to investigate the influence of actual space structure. The second is spherical geometry method to examine values of Sky Amount. The third is computer simulation to calculate projected lines. This method is more applicable than the above mentioned. Additionally, we describe some characteristics of Sky Amount and Sky Projecting Ratio.

1. は じ め に

都市の発展過程においては、増大する床面積の需要に応じて建物の高層化、高密度化が絶えず図られている。とりわけ、都市活動のもっとも集中する都心部でこの傾向は著しく、快適な都市空間に欠くことのできないオープンスペースも十分に確保できない現状にある。一方、中心市街地においても住宅の過密に加え中高層建築物の急増によって、いわゆる日照問題が多発している。建物の高層化、高密度化は必然的に天空の広がり減少させるが、換言すれば、天空の広がり建物の周囲の一定の空間で形成されるということである。さらに、天空の広がり個々の建物ではなく地域全体で形成される。従って、空間利用の総合的な評価には天空の広がり有益な

視点となるであろう。

本研究では、天空の広がりを数量的に示す指標として天空量、天空率を取り上げている。これらの指標は魚眼写真から肉眼で算出できるが、指標の性質を明らかにするとともに計画段階での活用を図るためには数理的手法が必要となる。そこで、本研究では幾何学的算出法ならびに魚眼解析法を開発した。以下に、これらの理論の詳細を述べるとともに天空量の2, 3の性質とその応用について報告する。

2. 空間の構成に関する指標

天空の開放性とはオープンスペースの立体的表現に他ならない。すなわち、平面的な特性の理解が先行するオープンスペースをより立体的に空間本来の広がりとして把握する目的で拡張した概念である。この概念を空間構成に大きく影響する建築物に関する既存諸指標との関係の中で位置づけたのが図-1

• 正会員 北見工業大学助手 工学部開発工学科

** 正会員 工修 北見工業大学助教授 工学部開発工学科

*** 正会員 工博 北海道大学教授 工学部土木工学科

である。これらの諸指標は、現在、建築基準法等によって規制されている指標（規制指標）と各種計画段階においてその利用が図られている指標（計画指標）に大別することができる。ここでは、規制指標の内容は既知のものとし計画指標を概観しておこう。計画指標としての「L値」は、東京都の容積計画に用いられた市街地形態を示す指標であり、建物延床面積に対する空地面積の割合である。「空地率」とは敷地面積に対する空地面積の割合であり、建ぺい率と逆の意味をもつ指標である。また、「立面建ぺい率」とは敷地面積に対する平均立面面積の割合をいい、小木曾¹⁾が新宿新都心計画の建築形態規制に活用したものである。「天空量」と「天空率」は、ともに特定の地点における天空の広がりを表す指標であり、いわば受けての側の指標という意味で他の計画指標ならびに規制指標とは意味合いが異なる。反面、空間の利用形態を地域的に示す指標としてその役割は高いといえる。そこで、本研究では天空の開放性を測る尺度として天空量、天空率の理論化を図ることとした。

「天空量」とは、対象地点から見ることの出来る空（可視天空）がその地点に張る立体角の全天空（ 2π ステラジアン）に対する割合を百分率で表したものである。すなわち、対象地点から見える空の多少を表わし人間の開放感、障害物による圧迫感など

と関連する指標と考えられ、環境心理学、建築心理学、人間工学などの分野で用いられている²⁾。一方、天空率とは全天空正射影面積（ π ラジアン）に対する可視天空の地面への正投影面積の割合を百分率で表したものである。これは、天空光によるその地点の地面の明るさを直接表す指標である。

天空量と天空率は類似した指標ともいえるが、天空量は空が人間の視角に与える影響を示すものであり、天空率は地表面への影響を示すものと考えてよからう。

3. 天空量，天空率の算出法

本研究では、天空量と天空率の算出に関して3種の方法を紹介する。それぞれ魚眼写真法、幾何学的算出法、魚眼解析法とよぶが、魚眼写真法は既に確立された方法であり他の2者は本研究が独自に考案したものである。

魚眼写真法はその地点で撮影した魚眼写真に特殊な算定フィルムを被せて天空量、天空率を求めるものである。この方法は日照時間の算出から発展してきたものであるが、魚眼写真以外のデータを必要とすることもなく、目的のある地点の現在の天空量、天空率を知ることに限るならば最も有効な方法である。天空量に関しては、球面幾何学で数学的に求めることが可能であり、指標の性質を理論的に検討することが出来る。これを、幾何学的算出法とよぶことにする。ただし、これは後述する理由から実際の風景の解明には充分対応できない。これら2種の方法に対して、魚眼解析法はコンピュータによる算出を前提としており任意の条件下で天空量、天空率の変化を知ることができ計画レベルでの評価を可能とするものである。

以下に、これら3種の算出法の内容を詳細に紹介しその相違を明確にしていく。

1) 魚眼撮影手法

魚眼レンズは半球立体角を平面のフィルム面に収める画角 180° 以上のレンズである。空間を平面に射影するのでフィルム上の像は歪むが、その歪み方はレンズがどのような射影(投射)法に基づいているかによって決まってくる。射影法には、等距離射影法、正射影法、極射影法、等立体角射影法が考

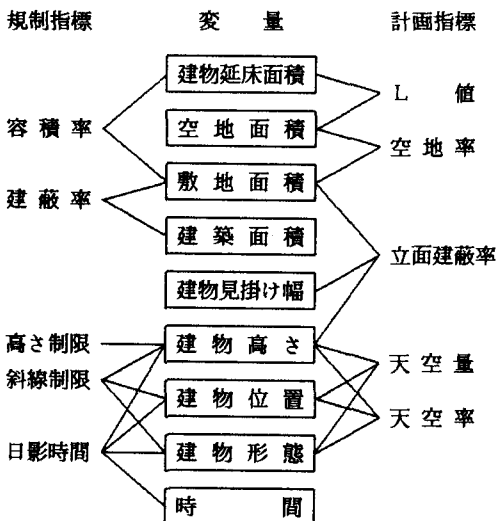


図-1 空間構成に関する指標

えられている。各射影法は対象物の高度をどのように位置づけるかに特徴がある。図-2は等距離射影法による入射光線の屈折を示している。半球の半径を1(単位円)とすると、中心距離 r とラジアン角 h の間には $r = 1 - 2h/\pi$ の関係が成立している。各射影法の特徴を簡単に述べると、等距離射影法は高度円が等間隔となるため補間が容易かつ正確にでき建物等の描き込みが容易である。正射影法は天空射影図の面積が天空率そのものであるという利点があるが、高度の低い部分の精度に欠ける。極射影法は平射影法ともよばれ高度の低い部分が大きく写される特徴がある。等立体角射影法では天空射影図の面積が天空量となる。

魚眼写真法による天空量、天空率の算定は、いずれかの射影法に基づいた魚眼レンズを装着して撮られた写真に固有の算定フィルムを被せ天空面積のメッシュ数を数えることで行われる。図-2の円は等距離射影法に基づく天空量算定フィルムの例である。これは円を1000分割したものであるから1メッシュの構成比は0.1%である。

魚眼写真法には前述した利点があるが、反面、測

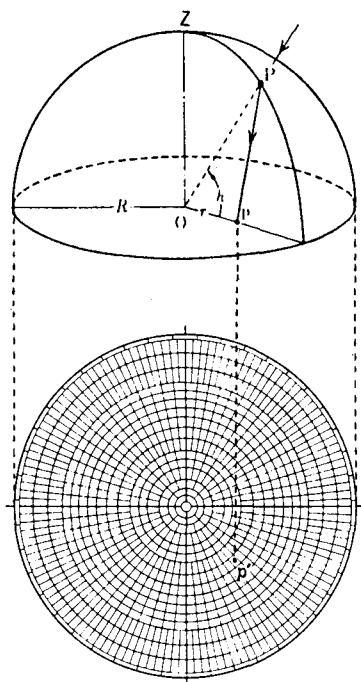


図-2 等距離射影法と天空量算定図

定地点数が多くなればメッシュ数を数える作業は極めて煩雑なものとなる。また、その算出は現実の風景に限られるため天空量、天空率の性質の解明や計画過程への導入は困難と言わねばならない。

2) 幾何学的算出法⁴⁾

魚眼写真法に見られるように、ある地点と天空の関係は光線の屈折による写像の形成という幾何学的なものである。従って、天空の影響は(代数)幾何学の理論を用いて計量できる。さらに、球面幾何学を用いて天球面上の写像面積を球面上で計算すれば、魚眼写真法のように各種の射影法を考慮する必要も無くなる。ただし、天空率は平面上へ投影しなければ求められないから球面での計算は不可能である。ここでは球面幾何学による天空量の算出理論を紹介する。

いま、図-3に示すように、天空を遮る立面 F (幅 w 、高さ h)を仮定する。立面 F の立地点 D_0, E_0 からそれぞれ r_1, r_2 離れた点 O を球心とする単位天球面上の投影面積を S とすると、天空量 Ω はその定義から次式で求められる。

$$\Omega = 100(1 - S/2\pi) \quad [\%] \quad \dots\dots ①$$

球面上の三角形 $\triangle ABC, \triangle ADE$ の面積をそれぞれ S_1, S_0 とし $\angle D_0 O E_0 = \angle D O E = \alpha$ とおけば、

$$S = S_1 - S_0 = \alpha - S_0$$

Harriotの定理より $S_0 = A + B + C - \pi$ であるから

$$\begin{aligned} S &= \alpha - (A + B + C - \pi) \\ &= \pi - (B + C) \quad \dots\dots ② \end{aligned}$$

ここで球面 $\triangle ABC$ に関し内角を $A(=\alpha), B, C$ 、その弦を a, b, c とすれば、Napierの定理から

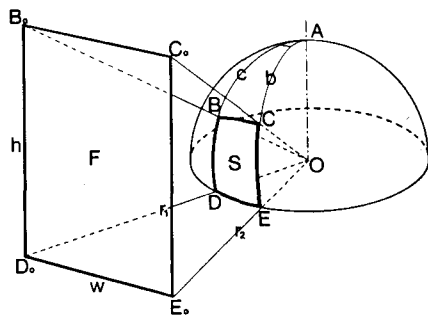


図-3 立面の球面写像

$$\tan \{(B+C)/2\} = \frac{\cos \{(b-c)/2\} \cot (\alpha/2)}{\cos \{(b+c)/2\}} \quad \dots\dots ③$$

ここで

$$\cos \alpha = (r_1^2 + r_2^2 - w^2) / 2 r_1 r_2 \quad \dots ④$$

$$b = \pi / 2 - \tan^{-1} (h / r_2) \quad \dots ⑤$$

$$c = \pi / 2 - \tan^{-1} (h / r_1) \quad \dots ⑥$$

である。

以上の関係式によって、天空量は、まず④、⑤、⑥式から α 、 b 、 c を算出し、③式、②式を経て①式に代入することで求められる。

従って、天空量 Ω は障害物の規模、形態、位置を表す w 、 h 、 r_1 、 r_2 の関数として計算することが可能である。

3) 魚眼解析法⁵⁾

幾何学的算出法は対象物が単独の場合は有用であるが重複して影響してくると適用が極めて困難になる。しかしながら、現実の都市においては複数個の建物が連続して見えるのが普通である。そこで、より一般的な算出法として魚眼解析法を考案した。

魚眼解析法は魚眼撮影法と逆の発想に基づいている。すなわち、魚眼撮影法が魚眼写真に算定図を重ねて天空の割合を算定するものであるのに対し、魚眼解析法では視点からの発光線が対象物によって遮られるか否かを判断しその本数から構成比を算出する。この方法は天空量、天空率ともに適用が可能である。

図-4は、天空量の解法を示す立体図、平面図である。視点 O からの等立体角発光線 R （水平角 α 、垂直角 β ）は、まず平面において線分 a 、 b との交点を水平角 α で判断し、仮に交点 e が存在したときは、立面における鉛直線 e 、 e' との交点を垂直角 β で判断する。全ての発光線についてこのプロセスを繰り返し、全発光線に占める非遮へい線の割合を求めれば、その点における天空量が得られる。発光線を等立体角に位置づけるには球面を等面積に分割する必要があるが、頂点数20以上の正多面体は存在しない（オイラーの多面体公式）ので、あくまで疑似的なものである。しかし、分割数を高めることで精度を向上させることができる。水平分割数50、垂直分割数20とした場合、発光線総数は 50×20 本であり算出する天空量の精度は0.1%となる。

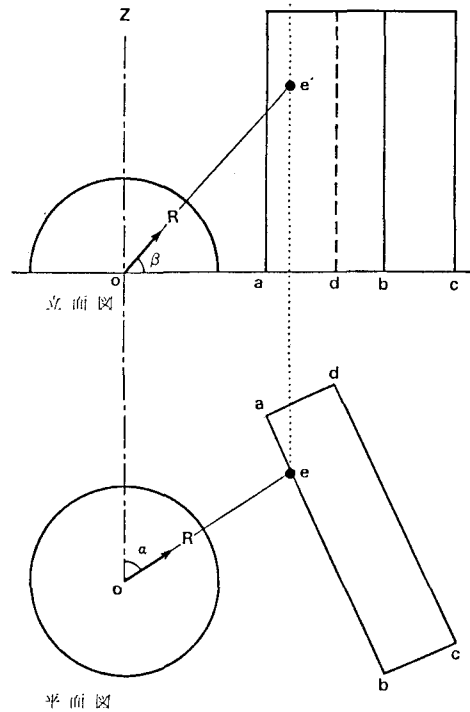


図-4 魚眼解析法の解法図

天空率の算出では発光線的位置づけが異なり、球面面積の分割ではなく底面面積の疑似等分割を必要とする。

4. 天空量の性質と応用例

(1) 天空量に及ぼす建物の影響

天空量は建物の規模、形態、視点との距離から導かれる。ここでは、幾何学的算出法を用いて天空量と建物の関係を分析する。

同じ立面面積をもつ9種の形態モデルを設定して視点距離と天空量の関係を分析する。図-5は仮定した立面形態モデルを中心軸を揃えて描いたものである。各モデルの構成を表-1に示す。視点距離は点 O の直行線上にとっている。すなわち図-5の立面を正面から見ている場合を想定している。以上の条件設定において、各要因の天空量に及ぼす影響を特徴づけるため立面規模は 1000m^2 と過大に設定してみる。これは、都心部における大規模なビルディングに相当するであろう。図-6は視点距離と天空量

の関係を立面形態モデル別に示したものである。この図から、天空量には立面形態以上に視点距離の影響が大きいことが分かる。

設定した立面形態モデルはすべて同一面積であるが天空量の値は大きく変化している。最も天空量が高いのは（または最も天空を遮ぎるのは）、辺長比が 2 : 1 のモデルであり、最も天空量が高いのは辺長比 1 : 5 の高層ビル型モデルである。また、辺長比 1 : 1 と 4 : 1 のモデルの天空量は全く同じである。これらは、天空量を基礎となる立体角の性質から説明できる。まず、図-7 に示す辺長比 2 : 1 ($a b : a c = 2 : 1$) の立面形態において、地面を軸とする線対称点 a, b を考えると、四角形 $\square a b b' a'$ は正方形であり視点 O から全頂点までの距離は他のいずれの形態よりも短く、張る立体角は最も大きくなる。このことから、立面面積 S において視線を最も遮ぎる形態は、視点 O を中心とする半径 $R (= a/\pi)$ の半円形（ドーム型）であるが、これは特殊な用途の建物に限られるので、一般

の建物においては幅と高さの比が 2 : 1 の形態が最も天空を遮ぎることになる。また、このことから同一規模の立面では高層ビル型が視野に与える影響は小さい。辺長比 1 : 1 と 4 : 1 のモデルの天空量が同じであることも同様の考えで証明できる。図-8 において線対称点 $a' b' e' f'$ 点を設けると、 $\square a$

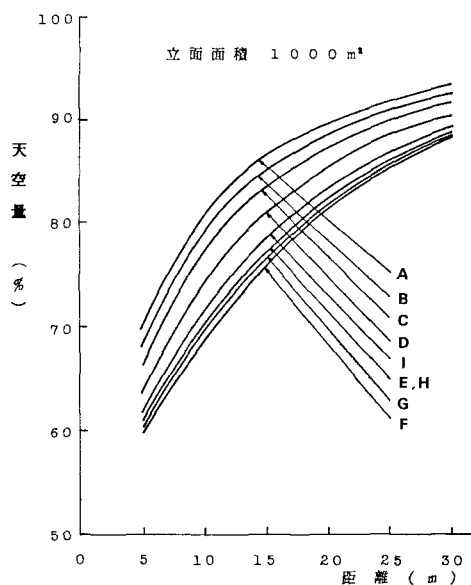


図-6 視点距離と天空量

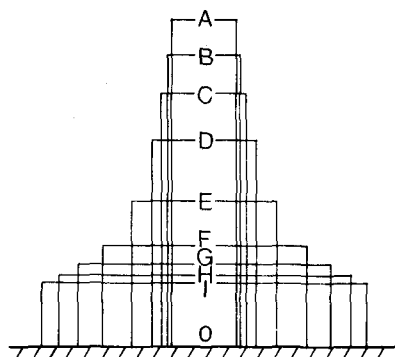


図-5 立面形態モデル

表-1 立面形態モデルの構成

(立面面積 S)

モデル	辺長比 (幅:高さ)	幅	高さ
A	1 : 5	$\sqrt{S/5}$	$\sqrt{5 \cdot S}$
B	1 : 4	$\sqrt{S/4}$	$\sqrt{4 \cdot S}$
C	1 : 3	$\sqrt{S/3}$	$\sqrt{3 \cdot S}$
D	1 : 2	$\sqrt{S/2}$	$\sqrt{2 \cdot S}$
E	1 : 1	$\sqrt{S}$	$\sqrt{S}$
F	2 : 1	$\sqrt{2 \cdot S}$	$\sqrt{S/2}$
G	3 : 1	$\sqrt{3 \cdot S}$	$\sqrt{S/3}$
H	4 : 1	$\sqrt{4 \cdot S}$	$\sqrt{S/4}$
I	5 : 1	$\sqrt{5 \cdot S}$	$\sqrt{S/5}$

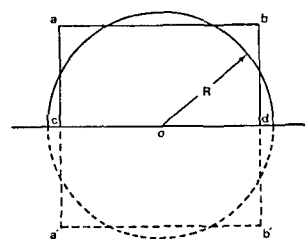


図-7 立面形態モデル F

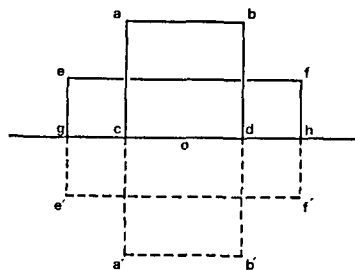


図-8 立面形態モデル E, H

$b b' a'$ と $\square e f f' e'$ は点Oに関する点対称図形で合同であるから、視点に張る立体角は等しくなり天空量は同じである。

(2) 天空量に及ぼす地形の影響

魚眼解析法の応用例として簡単な地形モデルを対象に天空量を算出してみよう。対象とした地形モデルは図-9に示す100mメッシュであり、格子点の標高をデータとして与えている。視点は中央に位置するO点である。計算は隣り合う2つの格子点によって構成される立面毎に行い、最終的にいずれの立面にも遮ぎられない発光線を求めている。従って、 $M \times N$ メッシュの場合、処理される立面数は $2 \cdot M \cdot N$ である。このモデルでは32面を処理した。応用例としてデータを過大な値としたので、O点での天空量は67.9%と低かった。

この例に関して、実際にどの角度の視線が遮ぎられたかを示したのが図-10である。この図は、発光

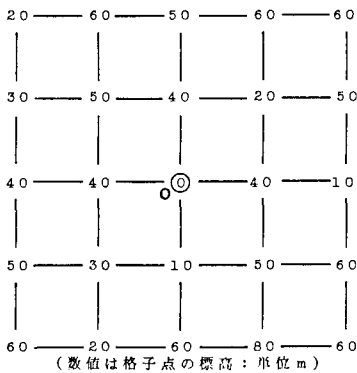


図-9 地形モデルと標高

線の半球面上の位置を世界図の緯度、経度に対応させて、方眼図法(等割円筒図法)で表現したものである。この表現によって、遮へい面の位置が明確となり現実の風景と対応させることも可能となる。

5. おわりに

以上、本研究では天空開放性の指標として天空量と天空率を取り上げ、魚眼写真法、幾何学的算出法、魚眼解析法の3種の算出法をその理論的背景とともに紹介した。また、我々の視角との関連が深い天空量に関しては、建物および地形の影響が計量できることを示した。ただし、計算に使用したモデルはいずれも単純な形であり、現実の都市を対象とするには至っていない。この意味で、本研究は空間の開放性に関する基礎理論の段階にある。

本研究の当面の課題は、天空開放性という未知の概念を実体化することにある。そのためには、既存の空間関連指標との関連を明確にしていくとともに街路空間、再開発空間、住居空間等で有用性を実証してゆく所存である。

参 考 文 献

- 1) 小木曾定彰：都市の中の日照，コロナ社，1973
- 2) 日本建築学会編：日照の測定と検討，彰国社，1977
- 3) 伊藤克三：日照関係図表の見方・使い方，オーム社，1977
- 4) 中岡良司：都市空間の開放性に関する基礎的研究(その1)，土木学会北海道支部論文報告集，第34号，1978
- 5) 中岡良司，森 弘：都市空間の開放性に関する基礎的研究(その2)，土木学会北海道支部論文報告集，第37号，1981
- 6) 中岡良司：都市空間の構成に関する視覚的分析法，北海道都市学会研究発表会梗概集，1980
- 7) 中岡良司，森 弘：都市内緑地の視覚的効用に関する研究，土木学会北海道支部論文報告集，第36号，1980

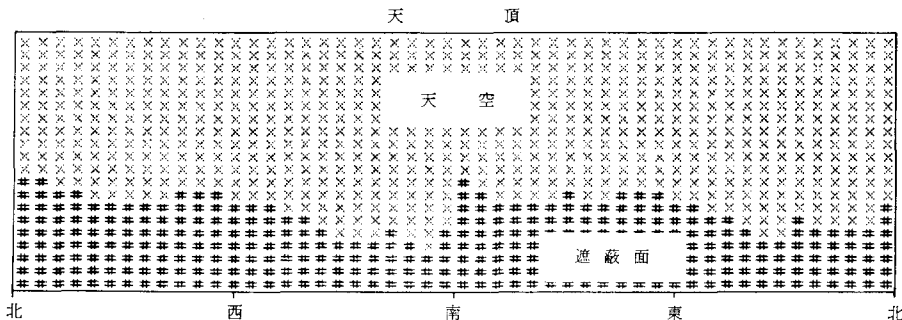


図-10 方眼図法による地形の半球投影図