

離散指向光束ベクトルを用いた建築空間の光環境評価に関する基礎的検討

地域環境計画研究室 池川 和臣

1. 研究の目的及び背景

人間は光の存在を光源から光が照射され、物体に反射し、目に入ってくる光として認識しており、一般的には輝度として考えられ、建築空間の光の状態を分析する場合には、輝度分布を分析するという手法がこれまでにはとられてきた。建築における光の性質を考察すると、日本建築の空間における「光」の性質と西洋建築におけるその違いは気候風土や文化的な違いなどから、明らかに性質が異なるものであるが、西洋建築の光の力強さや日本建築の光の柔らかさは、ある瞬間の輝度という2次元的な物理的指標から得られる情報では表現が困難であると思われる。

James J. Gibson は、彼の実験から光がつくる差異の構造が対象の知覚の原因になると述べ、光そのものが情報になると結論付けている。つまり、視覚のシステムとしては、網膜に映った像こそがわれわれの視覚的な認識ではなく、生態学的な視覚という観点においては、3次元の光を認識していると考えられるのである。

そこで本研究では、空間中の光に対して、単純にある面がどれだけ光っているのかというだけではなく、その空間が持つ光の「性質」、「力」、「状態」が認識されているのではないかという観点から、光というものを空間中でとらえ、図示し、建築空間の光場としての分析を試みた(図1参照)。

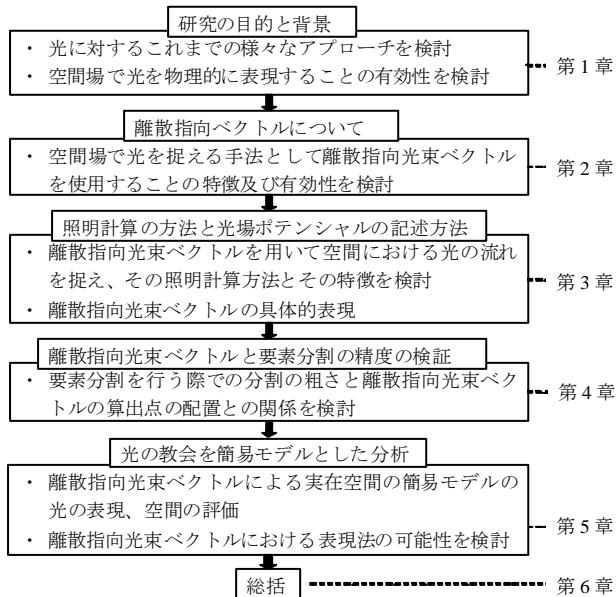


図1 研究の流れ

2 離散指向光束ベクトル

一般に、任意の点における物理量として一つのスカラー量が定まる場合、その場はスカラー場と呼ばれ、一つのベクトル量が定まる場合はベクトル場と呼ばれる。光の状態について考察を行おうとするときは、光束はあらゆる方向からその一点に入射してくるので、その任意点におけるあらゆる方向に光束の値が決まる。本研究のような空間場という概念で検討を行う場合は、良く用いられるスカラー場やベクトル場以外での表現方法が必要となる。空間の任意点において、どれだけの光がどの方向にという要素が重要であるため、全方位をいくつかの多角形に分割し、それぞれの面に入る照度へと離散する必要がある。そこで、図2に示すような26面体の中心からの各面の立体角が等しい軸対称等立体角26面体を用い、各面に入る離散された照度にその面の方位性とあわせることで、面ごとにベクトル表示をさせた。この各面のベクトルを離散指向光束ベクトルと呼び、そのスカラー量を離散指向照度と呼ぶこととする。この軸対称等立体角26面体の大きな特徴は、直交軸の面で切った際にその方位が縦、横、斜め8方向となり、人間の方位感覚に近い表現ができることである(図3参照)。

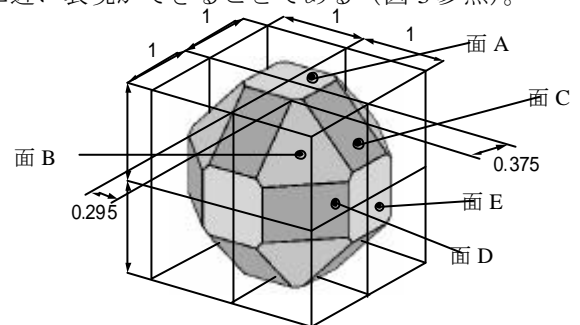


図2 軸対称等立体角26面体

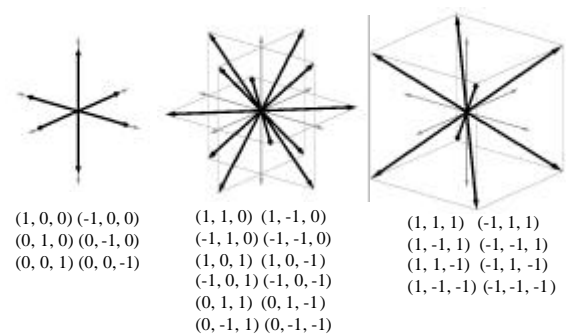


図9 26の方向

図3 26の方位

3 離散指向光束ベクトルと要素分割の精度の検証

3.1 要素と算出点の相対的な位置関係について

照明計算の精度の検証を行うため、一つの要素その周辺に配置した軸対称等立体角 26 面体によって算出される離散指向照度との関係性の検討を行った。図 4 に示すように、要素の大きさを L 、軸対称等立体角 26 面体の間隔を D とする一断面で検討を行った。要素の光束発散度は $500[\text{lm}/\text{m}^2]$ で一様なものとした。図 5 は算出点の縦横とも 500mm 間隔で配置し一つの要素の一边が $L=250\text{mm}$ で計算を行ったものを図示したものである。なお、左右対称となるため右半分のみを表示とする。このほかにも $L=500, 125\text{mm}$ で同じように検討を行ったが、要素から遠い点においては、大きな違いは見られなかった。このことから、 $D/L \leq 1$ においては要素から遠い点では、算出点の配置間隔に対する要素の相対的な大きさは、離散指向光束ベクトルには大きな影響を与えないと考えられる。また、水平成分と鉛直成分の出現領域について検討を行うと、要素の中心からの水平距離を D_x 、鉛直距離を D_y とすると、 $D_y/D_x \leq 0.35$ においては出現し、鉛直成分は $D_y/D_x \geq 2.7$ において値が算出されることがわかる。また、表示されているものには、斜め方向と水平、または斜め方向と鉛直が両方表示されている点があるが、これらは、要素が大きさ L が算出点の配置箇所の間隔に対して大きいことが原因であると考えられる。そのため、要素の大きさを十分に小さくした場合、どちらかに分かれるものであることが予想され、その境界が先に示したものであると考えられる。

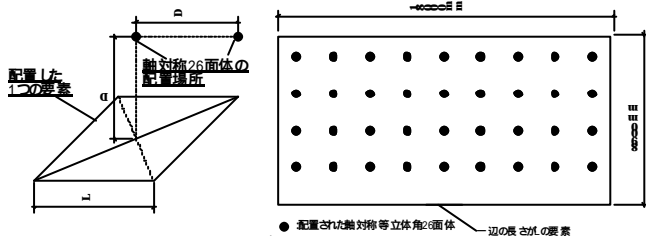


図 4 要素と算出点の関係

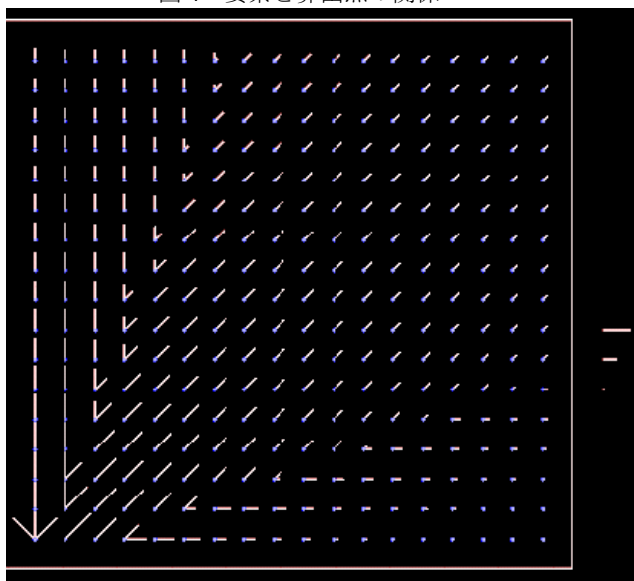


図 5 $L=250[\text{mm}]$ おける離散指向光束ベクトルの分布

3.2 要素とその鉛直線上に並ぶ離散指向照度の挙動

先の検討で、要素に対して鉛直線上に距離が離れるにつれて、離散指向光束ベクトルの方位性と大きさが変化している様子が見られたため、要素に対して鉛直線上に算出点を配置して要素の大きさ L に対する算出点までの要素からの距離 D の比 D/L で検討を行った。軸対称等立体角 26 面体の各面の名称を図 2 の A~E とする。

26 の方向性の中で主に値が算出されたのは面 A の離散指向照度であり、 D/L が増えるにつれて減衰した(図 6 参照)。この減衰は距離の 2 乗に完全に反比例して減衰しており、照度が距離の 2 乗に反比例する特徴そのものであると考えられ、軸対称等立体角 26 面体という形状の影響は一切無いと考えられる。他の面については、面 A に比べて値は小さく数値が算出領域も限られたものであった。その様子を図 7 に示す。この領域においては面 A の値は 2 回上昇しているが、上昇と同時に面 B 及び面 C の離散指向照度が 0 となっている。つまり、面 B 及び面 C で算出していたものが、面 A に移行する形で集約しており、このことは面 B と面 E、面 C と面 D の 2 つの関係についても同様の結果が得られた。つまり要素との距離が大きくなるにつれて面 E→面 B→面 A へと集約するものであることが分かった。このことから、方位性のことを考慮すると、要素の近傍を表現するにおいて、要素に対して法線方向と法線方向から 45° 傾いた方位で表現されることがより正確な表現であると考えられるため、面 A から面 C の値が表現される領域が適当であり、その領域は $0.33 < D/L < 2.07$ であった。つまり、要素の近傍ではこの精度で要素を分割することが適当であると考えられる。

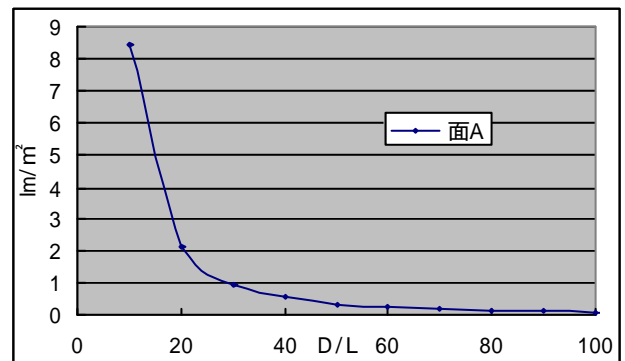


図 6 面 A における離散指向照度

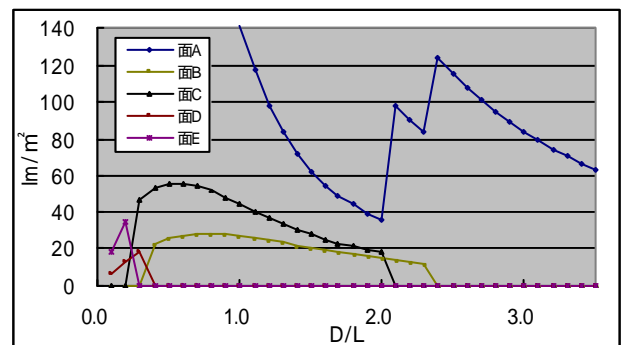


図 7 各面の離散指向照度

4 離散指向光束ベクトルを用いた建築空間の検討

光としてより特徴ある空間として、大阪府茨木市にある、安藤忠雄氏によって設計された光の教会（礼拝堂）をもとに、空間モデルの作成をおこなった。実際の空間においては光の入射する場所としては大きく分けて 5 箇所となるが、本研究では、十字にくり抜かれた開口部に着目し、開口部としてはその部分のみの作成を行った。また、空間を簡易化するため、実空間に存在する躯体に対して 15° の角度のついた壁面と取り除き、床面は平坦なもので空間を作成した(図 8 参照)。その他、日時等は表 1 に示すとおりである。

4.2 十字の面に垂直な縦断面における検討

図 9 は十字に垂直な縦断面における離散指向光束ベクトルの図である。図の右手が十字の壁面がある方向となり、右手から光が入射される。 $x = 3300$ [mm]すなわち、十字架の中央で縦に切断した面においては、直達光がちょうど光の帯となって空間内に差し込んでいる様子とその結果、直達光が作り出す間接光の散乱の様子を見ることができた。床面では、直達光の届いているところだけでなく届いていないところまで散乱しており、床面からの光の拡散は空間の奥まで届いていることが読み取れる。一方、実際の空間においては、比較的明るく見える空間である十字のすぐそばの天井面は、十字の開口部に近いにも関わらず、ほとんど空間の拡散光の散乱がみられない。この原因は、今回の計算では、太陽から

の直達光のみを考慮しており、天空光や地物反射光は考慮していないためであると考えられる。しかし、このことは、太陽の光が雲で遮られるなど、直達光が届かなくなった場合は、この部分は相対的に明るくなることが考えられ、周辺の環境の変化により、影響を受けにくい領域であると考えられる。

次に $x = 1100, 2200$ [mm]における場合は $x = 3300$ [mm]が十字の中心部分になるので、その値に近づくとつれて、拡散する様子が大きくなる傾向がうかがえる。十字の壁面から 9000 mm 離れたところが最も光の拡散が見られる。各図中に 2 本の強い離散指向照度が表示されているが、これは、十字の水平に切り抜かれた面からの入射であり、軸対称等立体角 26 面体の配置間隔をより細かくすると、ひとつの帯のように算出がされる。この光がちょうど、十字の壁面から 8933 mm に落ち、その光が拡散した結果であると考えられる。また、上方向への拡散は算出点による変化が大きい、下方向への拡散は変化がほぼ見られず、光の流れは床面による影響が大きいと考えられる。また、右上(十字側天井付近)と左上(十字側でない天井付近)を見比べたとき、この付近の光の状態はほぼ同一であるといえる。しかし、先ほどの考察と同様に、実際には天空光や地物反射光の影響を右上の空間は受けやすいが、左上の空間は受けにくいことが予想される。このことは周辺の環境が変化することで、空間的に十字に近いほど光の散乱が大きくなることが予想され、十字架に対する誘目性に関連すると考えられる。

表 1 簡易モデルの設定条件

日射の法線照度	100,000 [lx]
設定日時	12月21日 午前10時22分
太陽方位角	-24°
太陽高度	$27^\circ 50' 2''$
緯度	北緯 $34^\circ 54' 58''$
経度	東経 $135^\circ 37' 41''$
反射率	0.7
要素分割	2000mmの四角形

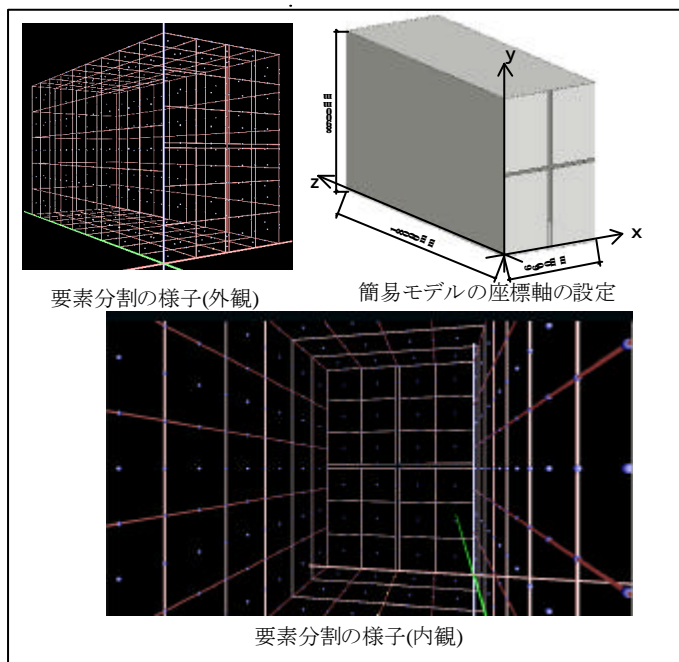


図 8 検討に用いた光の教会の簡易モデル

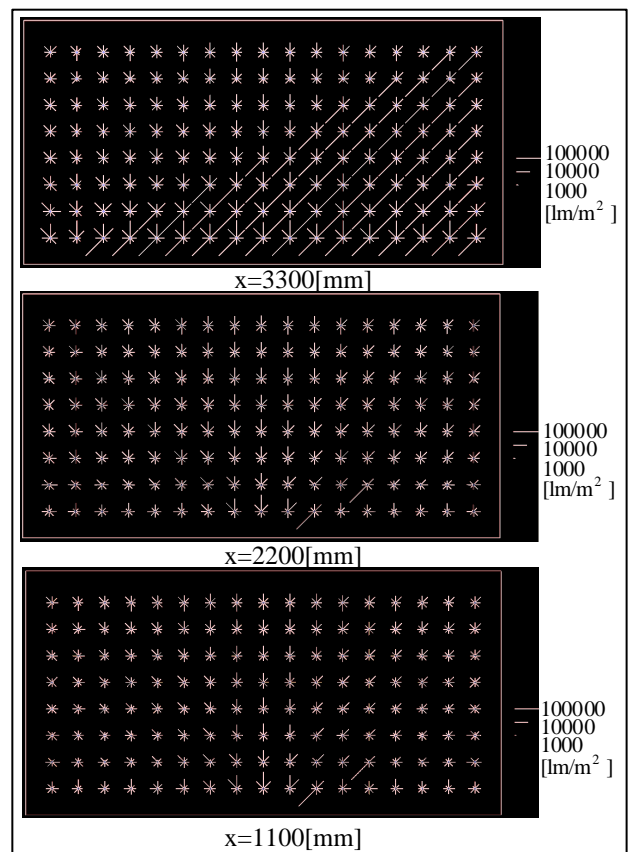


図 9 yz 軸に平行な断面における散指向光束ベクトル

4.3 水平断面における検討

図 10 に水平断面における離散指向光束ベクトルの様子を示す。なお $z=4720[\text{mm}]$ は、水平な十字の中心の高さである。まず、今回の検討では軸対称な空間を想定し、その軸の方向からの光の入射になるので、水平面における離散指向光束ベクトルの様子も軸対称となる。図 10 においても、右手方向が開口部となるが、開口のある十字面と配置した算出点の距離にはあまり関係がなく、奥まで大きな変化が無く拡散している様子が伺える。これは、壁面に入る光束は主に床面からの拡散光であるため、結果的に拡散光を拡散しているため、このように奥までほぼ均等に拡散する結果になったと思われる。壁面の近くでは、水平な断面においては、十字の壁面に垂直な壁面に近いほど拡散が強くなる傾向があり、このことから、水平な断面では壁面から遠いほど、入射する離散指向照度が小さくなるものと考えられる。また、床面に近いほど離散指向照度が大きくなる傾向が認められるが、その変化はあまり大きなものではない。これは先の考察と同様、壁面からの拡散光は床面からの拡散光を拡散するものであるためであると考えられ、水平方向の拡散を高めるためには、鉛直面に何らかの形で強い光を当てる必要があると考えられる。

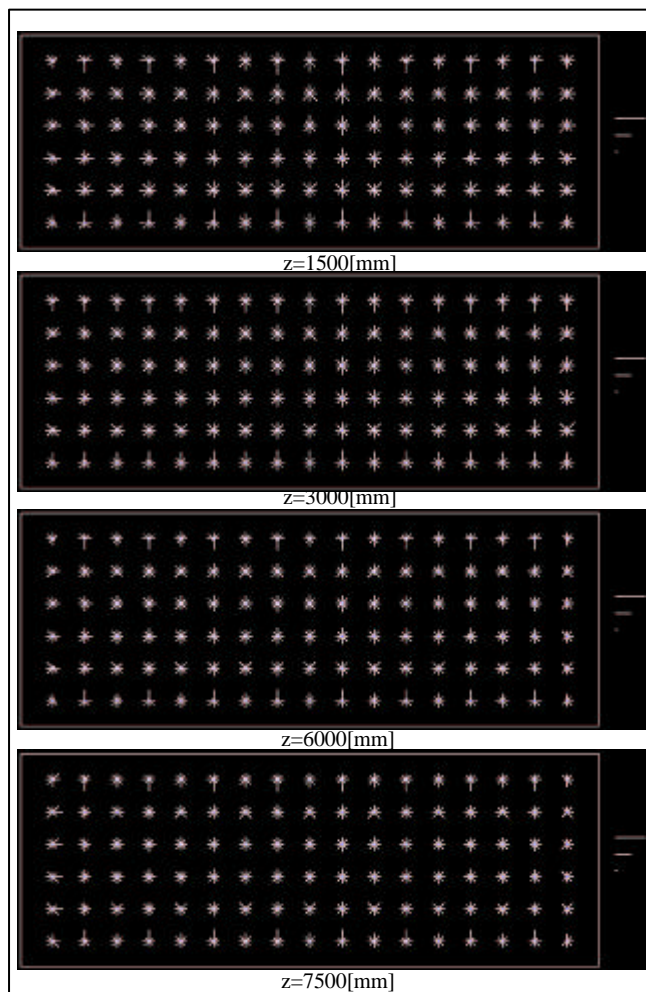


図 10 水平断面における離散指向光束ベクトル

総括

十字に切り取られた開口部が作り出す光の流れを、離散指向光束ベクトルを用いて可視化することで、簡易モデルではあるが、空間の特徴を輝度分布のような面的な検討では導けない空間的な特徴を導いた。今回の検討では、十字という形状の一つの開口部から直射日光が入るという空間を想定して行ったが、実在の空間では、このほかに大きく 4 つの開口部が存在し、それらからは天空光および地物反射光が入ってくることが考えられる。これらを組み合わせてどの建築的要素がどのような光環境を作り出しているかということを検討することで、建築の形状としては非常に単純な面から構成されているにもかかわらず、その空間の光の印象は非常に特徴的であるというメカニズムをひも解くことができると思われる。特に直達光の当たらない面に垂直な方向に関しては、拡散が一様であり、このことはウィーン郵便貯金局の内部ホールのような拡散光がほぼ全方位から入るような建築物においては、空間としての均一さとの関係性があると考えられ、拡散光に着目した分析には非常に興味深いものがある。また、ある視点において一瞬を切り出したものではなく、時間、天候、視点位置などを変数として、それらを任意に組み合わせることが可能であり、様々な条件下における検討が可能である。

空間に対する光の入力は単純であるが、その出力としての光環境は、反射に反射を繰り返すことで非常に複雑となり、われわれの想像で補うことは非常に難しい。これまではこのことを補うために、経験済みの建築空間の知識をもとに結果を想像するということが行われてきた。そのため設計段階のような想像した光環境は、現実にもその空間が無ければ、その光環境を他者と共有し難いという現状がある。今回行った検討は、先に述べた、光の複雑な過程をコンピューターに計算させ、その結果、光を状態として図示することにより達成するものであるが、この方法は、既存の空間の評価だけでなく、設計過程における光の質という観点にも利用することができる。今回の方法は、平面図や断面図といった図面上に表現することが可能であるということ、光の方向性や状態を表現可能であること、という点において意義のあることと考えられ、今後の可能性が期待できる。

今後は、その表現された物理的な指標と人間の感覚的なものとの関係性が明確ではないため、表現された指標をどう読み取るかということが今後の大きな課題であり、心理量との関連性の検討が必要であると考えられる。