

交差光線の交点による立体映像の画素の輝度

Pixels of 3D Projections at Intersections of Crossing Rays

千葉県立船橋高等学校理数科 3 年

齊藤 巧磨

研究背景

近年、SF 映画などで見られるような、特殊なメガネやスマートフォンなどのデバイスを用いなくても見える立体映像を空中に映し出す技術の開発が進んでいる。特にホログラムを用いたものやプラズマを利用したものなどが既に商品化されている。しかし、本来スクリーンレスという特徴を活かして映像のサイズに制限がないのが望ましいのだが、上記の技術では原理上、映像のサイズが投影機材の大きさに束縛されるというデメリットがある。

この問題を解決する方法として、複数の光線を空中に照射、一点で交差させることで画素を作る方法を考案した(図 1)。プロジェクターの前でエアロゾル(空気中の埃や粉塵)が照らされて光の筋が見えるように、光線がエアロゾルを照らし、特に光線が集中する交点が強く際立って見えるものであると考えられる。このように、複数の光線を交差させて作った画素を空中に一斉に投影することで映像を作り出す。この方法を用いれば、先述の投影機の大きさで映像のサイズが制限されるという問題を解消できる。

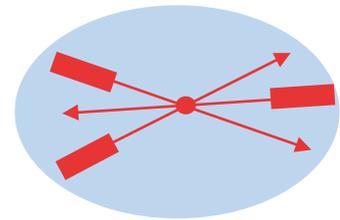


図 1 投影方法

目的

上記の技術の確立には、画素の見え方を把握している必要がある。この研究では観測点から見た画素の輝度を測定することでその相関を見出し、映像技術の開発へつなげる。具体的には、

- ・ 映像の輝度とエアロゾルの量の関係
- ・ 画素の輝度と交差本数の比較
- ・ 画素の輝度の観測場所への依存性
- ・ 映像が投影できる要因

の 4 つをそれぞれ実験 I~IV で確認した。

方法

11.9 L の水槽に線香の煙を溜めた水槽中でレーザー光線を一点で交差させ、カメラで撮影し、写真を解析した(図 2)。実験 I と III では交点から光源までの距離は 0.5 m で、カメラまでの距離は 1.0 m で統一している。

レーザー光源はケニス(株)製コンパクトレーザー(Max. 1.0 mW, 620-680 nm, JIS 規格クラス 2, 最

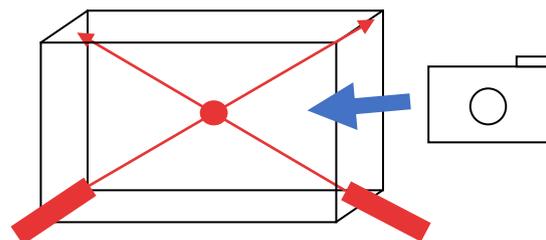


図 2 実験方法

大角度 2.4°)、線香は玉華堂製みどり香を使用し、カメラはカシオ社製 EXILM で F 8.0, ISO 12800, シャッタースピード 1/30 sec に設定した。実験は全て暗室で行い、解析には Image J を使用した。写真の解析について、実用化した際画素 1 つの中での輝度差は識別できないと考え、写真のうち画素及び光線の輝度は指定範囲の輝度の最大値を使用している。光線の範囲は、右で四角く囲っている水槽の壁面での反射光を除いた部分を指定している (図 3)。

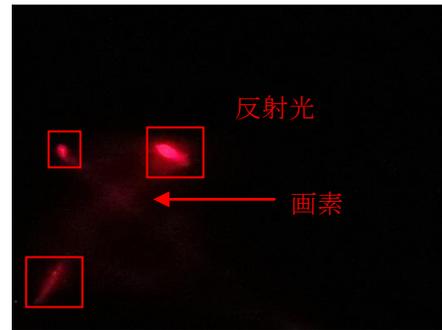


図 3 撮影写真例

実験 I

上述したように投影する立体映像はエアロゾルの量によって大きく影響を受けると考えられる。そこで、線香の煙をエアロゾルの代わりとして確認した。線香が 1 cm 燃えて発生した煙の量を 1 と定義している。

結果 I

煙の量と映像の輝度には比例関係があった (図 4)。R² 値 (決定係数: 回帰方程式のあてはまりの尺度) は 0.8 であった。

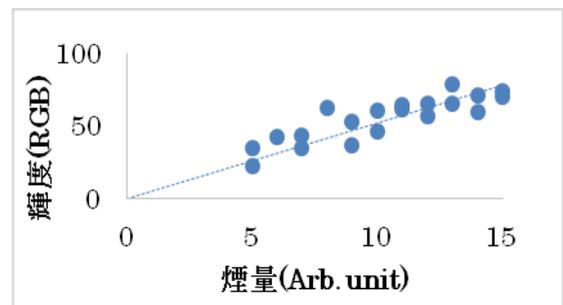


図 4 煙の量と映像輝度の比例関係性

実験 II

この映像技術の欠点の一つとして、画素を明るく見せようと光線の出力を上げると、その光線が見えてしまうことが挙げられる。解決策として、一つの画素をつくるのに多数の光線を用いるのが有用であると考えられる。その際の交差本数と画素の輝度の関係を調べた。

結果 II

ここでは特に画素の輝度 B と i 本目の光線輝度 e_i をもとに

$$E = \frac{B}{\sum_i e_i}$$

で表される効率 E を定義して交差本数との関係を調べた。3 回の実験におけるこの両者を両対数グラフにとると図 5 のように強い相関を示した。

ここで、回帰曲線の式から、

$$E = n^{-p}$$

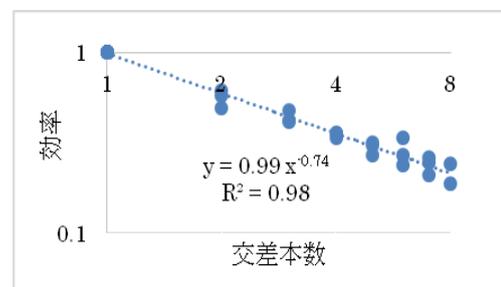


図 5 交差本数と効率の両対数グラフ

が得られる。ここで n は光線本数、 p は定数で実験値では 0.74 である。これを定義式に代入し、

$$B = n^{-p} \sum_i e_i$$

が得られる。したがって、各光線の輝度がわかれば、それが構成する画素の輝度も算出可能である。

実験 III

いかなる立体映像技術も、多方面から見られることを予想しなければならない。この技術でも同様に、観測位置と投影する映像との関係を把握している必要がある。そこで観測位置と画素の輝度の関係を測った。

この研究では単一光線に対する観測位置との関係を計測した。複数の場合でも、結果 II より 1 本ごとに観測位置の影響を求め、先述の方程式で総合して考えられる。また、1 本ごとでの関係とは視点から画素までの距離と、視線と光線との角度（以下観測角）のみで表せる（図 6）。このうち距離については光の減衰の法則から計算できると考え、観測角の影響のみを 30° から 90° の間の角度で計測した。

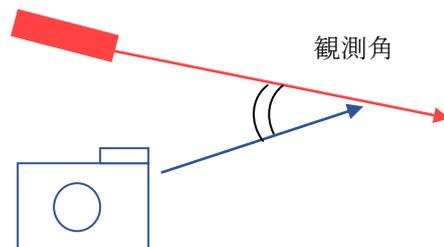


図 6 単一光線に対する観測位置の関係

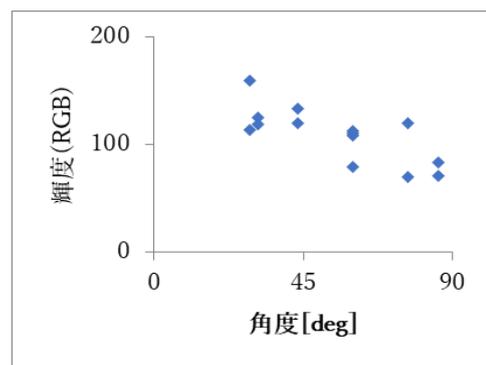


図 7 観測角と光線輝度の負の相関

結果 III

観測角と光線の輝度には負の相関性があった（図 7）。 R^2 値は 0.54 だった。

実験 IV

この現象の要因を把握することで、映像技術の開発を進めやすくなる。考えられる要因として、反射、レイリー散乱及びミー散乱があげられ、それぞれ偏光特性で判別できる。反射光はすべて偏光で、レイリー散乱は光線の方角に対して 90° に散乱される光は偏光、またミー散乱では偏光が発生しない。そこで

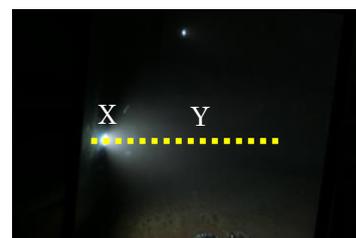


図 8 実験 IV 風景と指定範囲

レーザー光線の代わりに LED を使い、カメラの前で偏光板を 0° 、 45° 、 90° と回転させた。撮影した写真で、破線 XY のように光源を含む直線上の輝度を写真の画素ごとに解析、グラフ化した（図 8）。

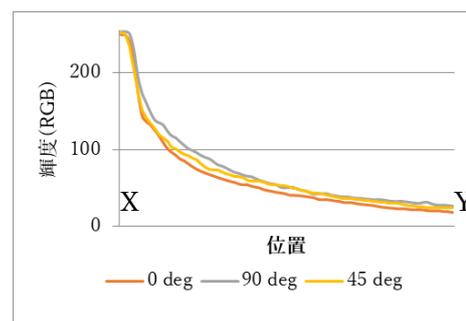


図 9 直線上における輝度分布

結果 IV

直線上の各点における輝度は偏光板の回転角度によら

ず一定で、平均の偏光割合は 13%だった（図 9）。

考察

まず、結果 IV から、偏光が発生していないためこの映像技術はエアロゾルにおけるミー散乱によって生じるものであるといえる。

結果 I について、エアロゾルが散乱因子となっており、その増加によって比例的に観測者に届く光の量が増え、輝度が増すと考えられる。

結果 III については、今回の実験環境におけるミー散乱の角度分布が負の相関を示すことが知られており、今回得られたデータに適合する。したがって観測位置に対する関係のうち、観測角はこの角度分布に基づいていると考えられる。

結論

空中に照射した光線はミー散乱され、

- ・ エアロゾルの量
- ・ 光線の位置

の操作でその輝度を調節できる。総合すると、エアロゾルの多い空間において鋭い角度で見た光線は明るく見える。

こうして各光線の輝度を求め、先の方程式に数値を代入することで画素の輝度を算出できる。

参考文献

タバコ・蚊取り線香・線香による空気汚染（宮崎竹二・金子ふさ・山岡茂夫・福田正則, 1977 年）
バグフィルタを通過する混相流動の可視化とバグフィルタ摩耗機構に関する研究（島川聡・日向滋ほか, 2007 年）

研究の経過・反省・感想等

仮説に対して出た結果のほとんどが意外だった。これらに対して考察・結論にこぎつけることができ、安心するとともにうれしく思う。

他方、当初予定していたのは技術確立までで、今回の研究範囲が画素の輝度のみにとどまるとは思ってもよらなかった。また、ミー散乱が原因であるとわかったのが 18 年 1 月であったこと、さらにミー散乱の理論が一般の電磁気学の解説書にほとんど記載されていないことなどのため、効率や方程式の要因までつきとめるに至らなかったのが心残りである。