

シュリーレン法による空気の揺らぎの可視化

Visualization Aerial fluctuation by Using Schlieren Photography

合田 晴紀 中津 啓汰 宮川 翔伍 森澤 直斗
GODA Haruki, NAKATSU Keita, MIYAGAWA Shogo, MORISAWA Naoto

I 概要

テレビ番組で鞭によって発生する音が衝撃波であるという特集をしていた。私たちはその番組を見て、衝撃波などの空気の揺らぎを可視化し、観測したいと考えた。インターネットなどの先行研究によると、シュリーレン装置を使って、空気の揺らぎを可視化できることが分かった。しかし、非常に高価な装置であったため、私たちは学校教育の現場などでも、空気の揺らぎが可視化できるように、学校にあるものや、身近にあるものを使って、自分たちでシュリーレン装置を製作することにした。

シュリーレン装置は、透明体の中に屈折率のわずかに異なる部分が生じたときの光線の進行方向の変化を利用して、その部分が明確に見えるようにする光学的手法である。媒質中を伝播する超音波や衝撃波の進行状況や、炎による気流の上昇などを観察することができる。

私たちはいくつかの種類のシュリーレン装置を製作した。そして、セッティングの難易度や、精度などから、最も良いものを見つけて実験を行った。私たちは、主に熱や音による空気の揺らぎを観察することに成功した。

II 問題提起, 研究目的

空気の揺らぎは肉眼で見ることにはできない。そこで、私たちは空気の揺らぎを可視化できる装置を製作しようと考えた。

文献を調べてみると空気の揺らぎの可視化する装置の一つにシュリーレン撮影装置というものがあることが分かった。しかし、一般に販売されているシュリーレン装置は約 100 万円程と非常に高価である。そこで、学校にあるもの・安価なものを利用し、学校教育の現場で役立つ装置を製作することを研究目的とした。

III 先行研究

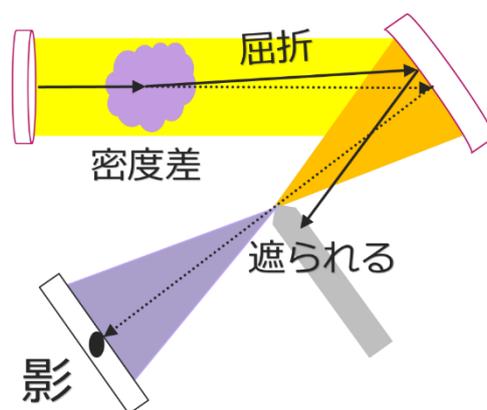
シュリーレン現象とは、現象物体の密度、光の屈折が関係し光線の進行方向が変わることによってその部分にしま模様やもや状の影が見える現象である。この現象を利用して、透明な液体、気体の揺らぎを観察するのに有効な光学的な方法の一つがシュリーレン法である。

IV シュリーレン撮影装置について

<シュリーレン撮影装置による揺らぎの可視化の仕組み>

装置の中の平行光の間で空気の密度差がないときは、平行光は凹面鏡で反射し、そのままスクリーンに到達する。しかし、装置の中の平行光の間で揺らぎによる密度差が生じると、光が屈折し、凹面鏡の焦点の位置に設置したナイフエッジに一部がぶつかって遮られる。その結果、本来光が辿るべき道筋の先に影が生じる。そうして空気の揺らぎが明暗の差としてスクリーン上に現れるようになる。

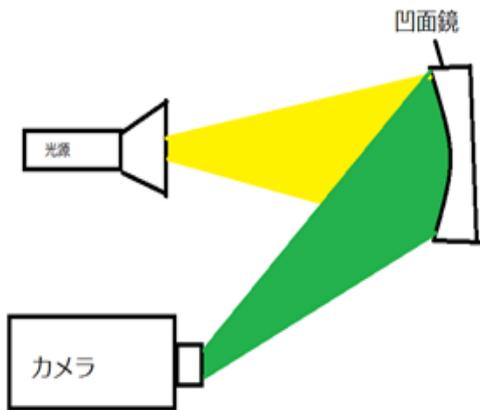
※撮影装置中のコリメーター部分から凹面鏡までの距離を長くするほど、また、揺らぎの発生源をコリメーター部分に近づけるほど、光の屈折によるずれが大きくなり、スクリーン上の明暗の差がよりはっきり現れると考えられる。



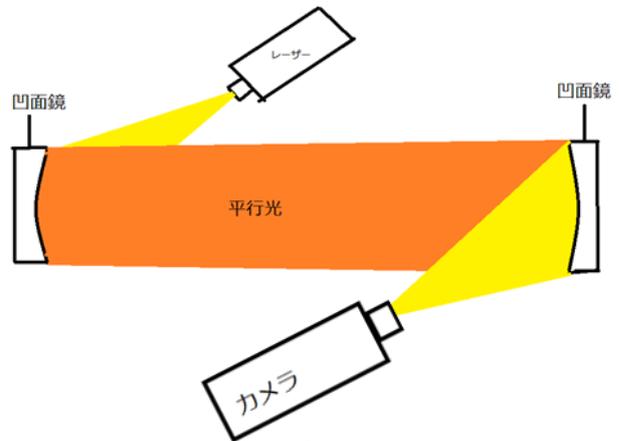
<平行光束の作り方と撮影方法>

シュリーレン撮影装置には平行光束の作り方や撮影方法にさまざまな種類がある。まず、私たちはどのような装置を製作するのかを決めた。以下の4つの方法が私たちが製作する装置の候補とした方法である。

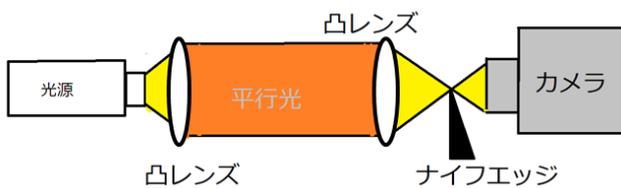
1.単凹面鏡型のシュリーレン装置



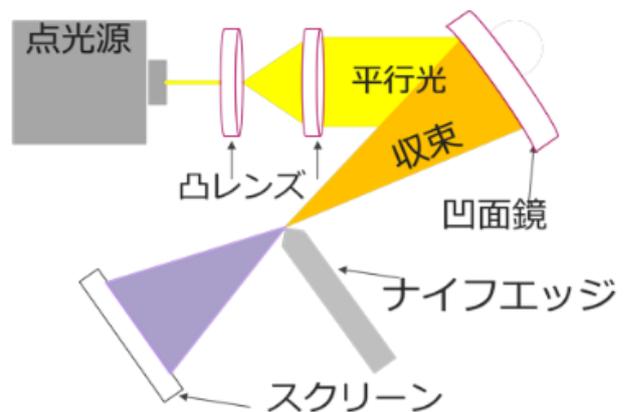
2.凹面鏡で平行光束を作る方法



3.凸レンズを二つ使う方法



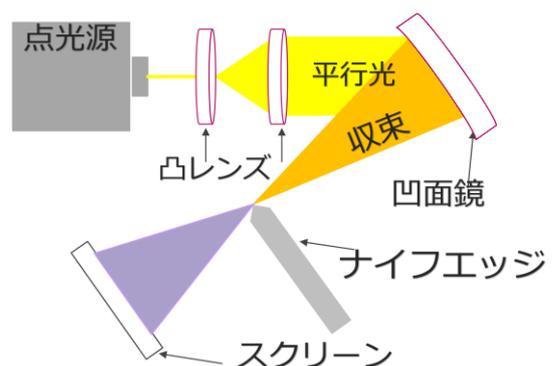
4.凸レンズと凹面鏡の二枚を使う方法



これらの中で、それぞれの装置を製作した。しかし、1の装置はうまく空気の揺らぎが可視化できず、2の装置はカメラに光線を入れることが困難だった。3の装置は凸レンズを2枚必要とするため平行光束を作ることが困難だった。そこで、スクリーンに映した像を撮影する4の方法で実験を行うことにした。

<自作したシュリーレン装置の説明>

- ①レーザー光源を用意する。
- ②その光線をコリメーター、凸レンズを用いて幅のある平行光に作り変える。
- ③平行光の先に(このときできる限り距離をおく)凹面鏡を設置し、光を収束させる。
- ④凹面鏡の焦点の位置にナイフエッジ(カッターの刃など)を設置する。
- ⑤その先にスクリーンを設置する。





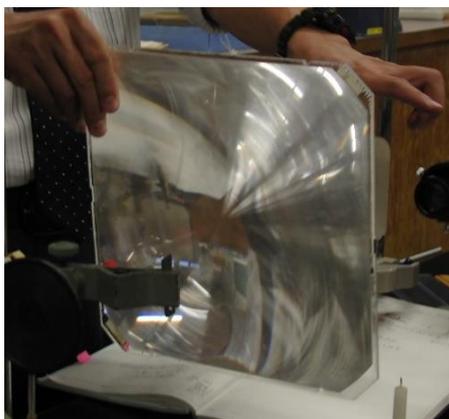
実際に私たちが使っているシュリーレン装置の写真

予備実験 1 実験に用いる凸レンズについて

市販のコリメーターに内蔵されている凸レンズの焦点距離は $12.5[\text{cm}]$ であり、出てくる平行光の直径が小さかった。平行光の直径が小さいと観測領域が狭くなり実験が困難になるため、実験に用いる凸レンズを焦点距離の長いものに変更し、平行光の直径を大きくしようと考えた。そこで、実験に用いる凸レンズの候補として、学校にあったフレネルレンズと凸レンズが挙げられた。その二つの焦点距離を測定したところ、以下のような結果が得られた。



レーザー光源と市販のコリメーター



フレネルレンズ



凸レンズ

予備実験結果 1

フレネルレンズの焦点距離は $13.8[\text{cm}]$ だったため、コリメータに内蔵されている凸レンズの焦点距離とあまり変わらなかった。また、凸レンズの焦点距離は $24.0[\text{cm}]$ だった。そこで、私たちはこの凸レンズを実験することにした。

予備実験 2 光源について

実験に用いる光源の候補として、懐中電灯にアルミホイルをかぶせて、点光源としたものと、レーザーの二つがあった。その二つのうち実験にふさわしい光源がどちらであるのかを、調べた。

予備実験結果 2

懐中電灯にアルミホイルをかぶせて、点光源にしたものでは光が弱くて、実験にふさわしいものではなかった。また、レーザーは光が強くて、実験にふさわしいものだった。

予備実験 3 凹面鏡について

実験に用いる凹面鏡の候補として、半径 8[cm]の凹面鏡とパラボラ鏡が挙げられた。その二つのうち実験にふさわしい光源がどちらであるのかを、調べた。

予備実験結果 3

パラボラ鏡はサイズが大きく観測領域を大きくできるなどの利点があった。しかし、その反面、固定することの難しさや予備実験 1 より観測領域の大きさが制約されたため、セッティングのしやすい、凹面鏡を用いることにした。

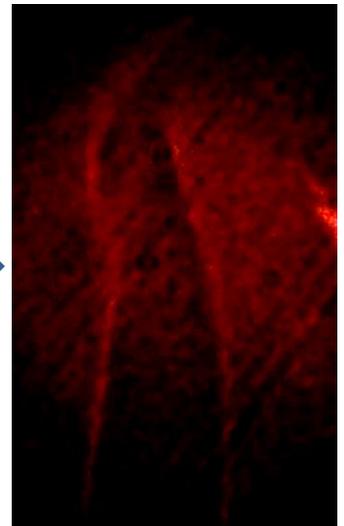
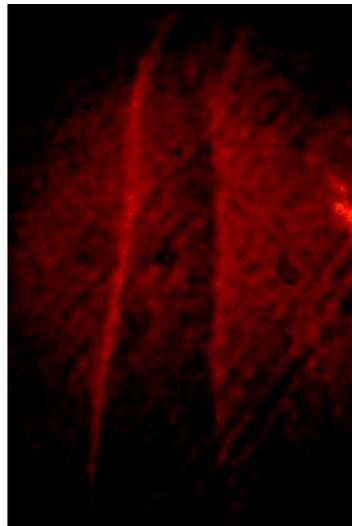
V 実験

実験 1 熱による波の観察

シュリーレン撮影装置の平行光の部分にろうそくをいれて、ろうそくによる空気の揺らぎを観察した。その際に、ろうそくの炎を撮影するのではなく、熱による揺らぎを観察した。

結果 1 ろうそくの炎

その際に使用した機材は、シュリーレン装置と一般的なデジタルカメラ (CASIO EXILIM) である。下の図のように空気が揺らぐ様子を観察することができた。



実験 2 氷

シュリーレン撮影装置の平行光の部分に氷を入れたビーカーを入れて空気の揺らぎを観察した。

結果 2

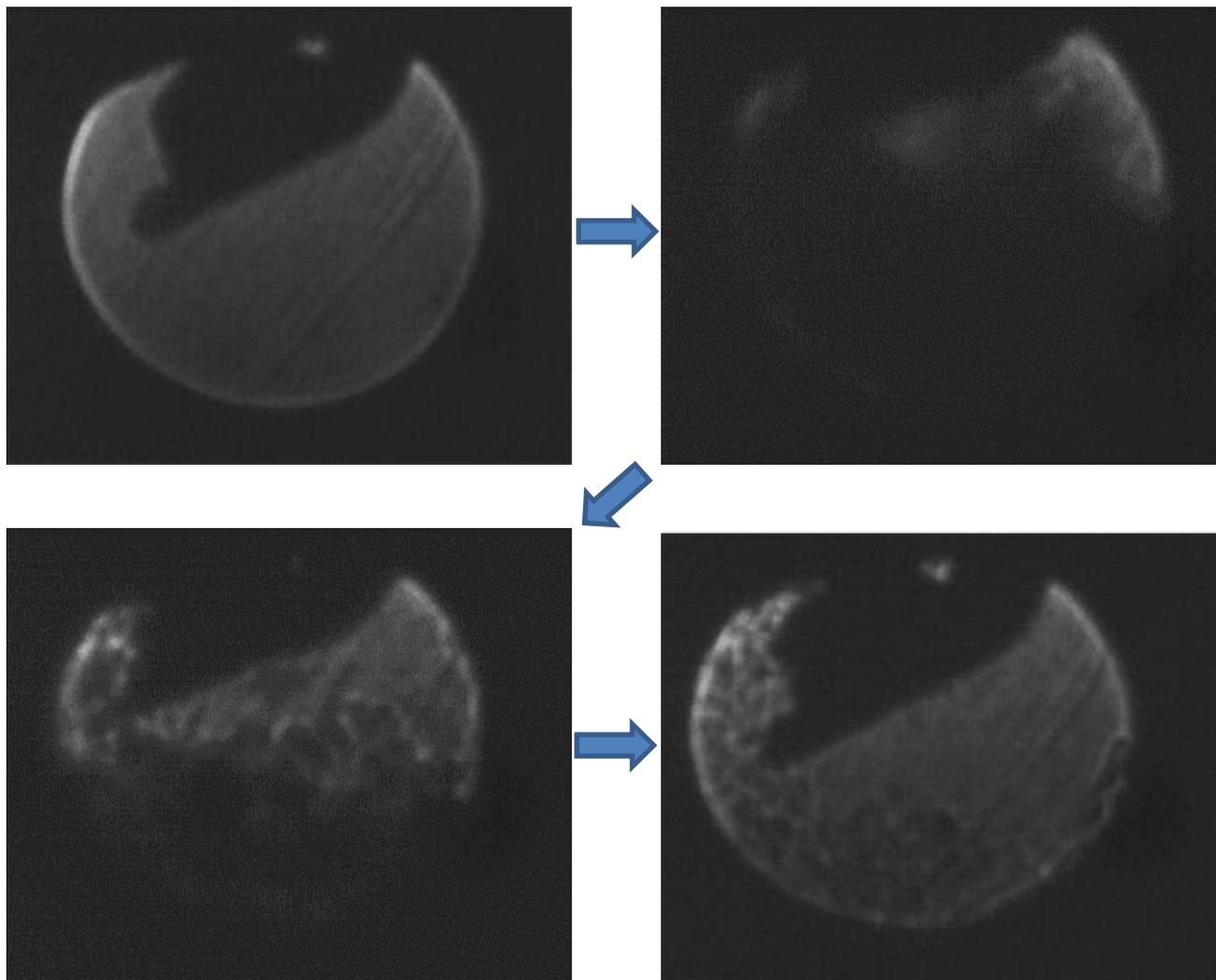
ろうそくの火の温度 (1100°C~1500°C) に比べ、氷の温度 (0°C) は室温との差が小さいため、氷による空気の揺らぎは、ろうそくの炎による空気の揺らぎよりも小さく、可視化できないのではないかと予想していたが、氷による空気の揺らぎは小さいものの、可視化することはできた。

実験 3 音による音波の観察

スターターピストルを平行光の部分で鳴らし撮影した。使用した機材はシュリーレン装置とハイスピードカメラ (Photoron FASTCAM MC2.1) である。

結果3 スターターピストル

大きく空気が揺らいでいることが確認できた。



スターターピストルによる空気の揺らぎが熱によるものかどうかを確認するために、スターターピストルを鳴らす様子をサーモグラフィーで撮影した。

結果4

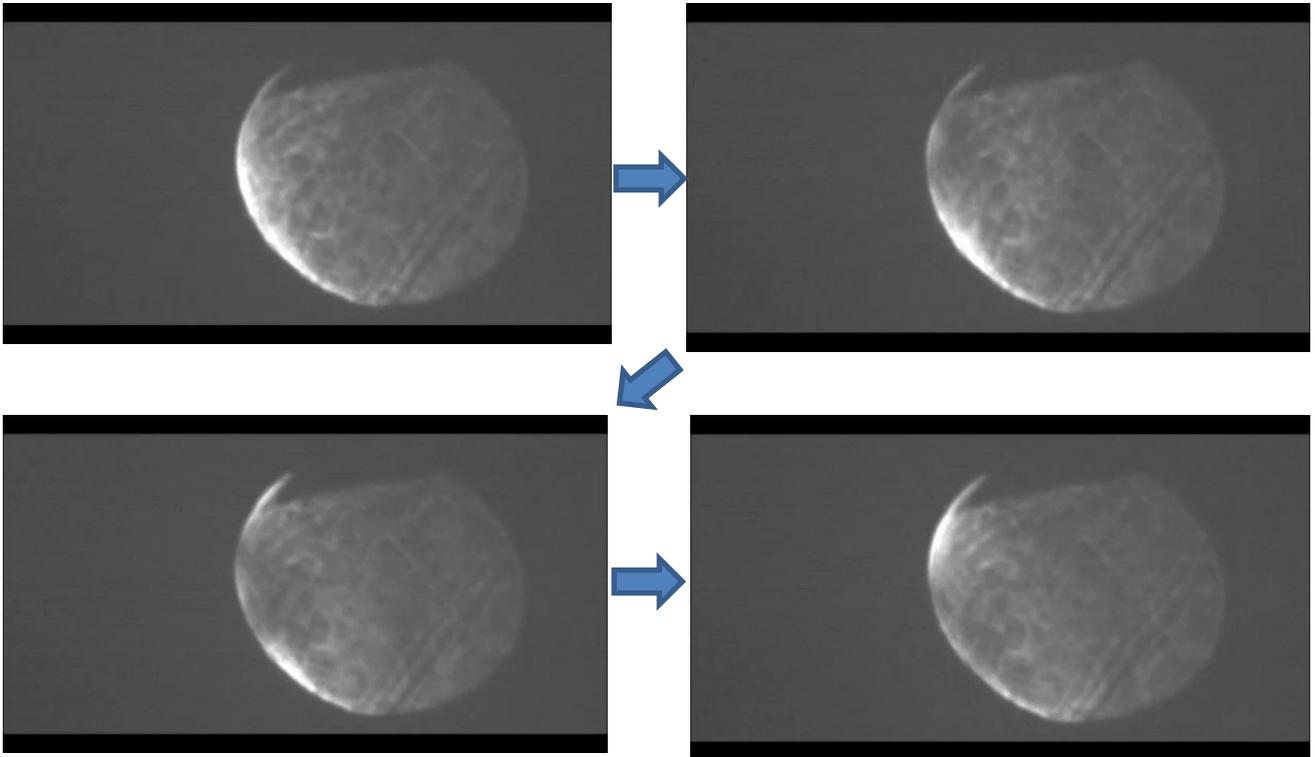
下の写真の通り、スターターピストルによる空気の揺らぎが熱によるものだと確認することができた。



サーモグラフィーカメラの画像 (FLIR40)

考察

熱による空気の揺らぎと考えていた波面のあとに下の写真のような波面が見られた。私たちはこの波面が音による波面ではないかと考え、波面の通過速度を計算した。4.0[cm]の距離を 1.1×10^{-4} 秒で通過しており、速度は 3.6×10^2 m/s だったことが分かった。この結果から、私たちはこの波面が音によるものだと考えた。



VI 今後の課題

熱による揺らぎの後、通過した波面が音の波面であると判断した根拠が速度だけだったので、他の分析方法と合わせて総合的に判断することや、実験回数を増やして、データの信頼性を高めること、またデータの正確性を高めることが今後の課題としてあげられる。

VII 参考文献

- 1) 流れの可視化学会. 流れの可視化ハンドブック. 第三版. 東京都, 朝倉書店, 1989, 530p., ISBN4-254-20034-X C 3050
- 2) “DIY 自作シュリーレン装置で撮影してみよう”. Shimalith Web. <http://www.shimalith.net/index/labs/diy-schlieren> .

VIII 謝辞

今回、研究を行うにあたり、終始御指導いただいた佐藤哲也先生をはじめ、多くの助言をしていただいた先生方には大変お世話になりました。厚く御礼申し上げます。