



富山県立滑川高等学校 木下正博*
(業績分担者) 富山大学 市瀬和義**

目的

屋気楼は空気の密度変化によって局部的に発生する光学現象であり、高校物理では光の単元で取り上げることが多い。一方、屋気楼実験はこれまで幾つかの方法が知られているが、これらによって作り出される屋気楼は実際のものとはほど遠く、また、単に現象だけの観察に終始するのが現状であった。そこで、屋気楼を実験・理論を裏付けとした光の学習教材として活用し、生徒の科学的探究心を養うことを目的に本実験を考えた。

概要

1. 屋気楼とは

屋気楼は大きく分類すると、遠方の景色が上方に伸びたり倒立して見える上位屋気楼と、下方に倒立して見える下位屋気楼がある。春の富山湾などに発生する屋気楼は上位屋気楼であり、全国的にも珍しい現象である。一方、下位屋気楼は国内各地の冬の海上などで多く観察できる現象である。砂漠の屋気楼やアスファルトの逃げ水現象も下位屋気楼の一種である。

II. 実験装置の特徴

本装置はニクロム線をアルミ板で挟み、その板を熱くすることで板の直下に上暖下冷、直上に上冷下暖の空気層を作り出す。このとき、板の直下から他端の像を見ると上方に伸び、また装置の下部に風を送ることで倒立する上位屋気楼が観察できる。一方、板の直上から他端を見ると、下位屋気楼が観察できる。写真1に屋気楼実験装置の全体を示す。



写真1 屋気楼実験装置の全体

III. 光路計算によるシミュレーション

装置内における空気の鉛直温度分布を測定しコンピュータで光路計算と画像処理を行った。プログラムはF-BASIC V6 (開発環境: DOS/V、Windows、発売: 富士通モドルウェア) で開発した。これによって、媒質の密度(温度)変化と光路の関係が容易に理解できるようになった。また、実験とシミュレーションの比較から、なぜ伸びたり倒立して見えるかなど、光の屈折と屋気楼の関係を視覚的に示すことが可能になった。

教材・教具の製作方法

1. 材料

アルミ板4枚(100cm×20cm×5mm 約5,500円/枚)、雲母板4枚(98cm×18cm×0.1mm 約5,500円/枚)、ニクロム線8本(ソレノイド状1,000w 約300円/本)、アルミアングル、アルミ棒、ガイシのパイプ、送風機(ヘアドライヤーの冷風機能を使う。風量が強いためパワーコントローラーで調整)、ヒューズ(10A)、照明用ライト(100w程度)、木材(装置をのせる台や、絵の取り付け用に加工)等。その他、観察や提示用にビデオカメラ(倍率20倍程度)や望遠鏡(倍率2倍程度)があるとよい。

II. 製作方法

アルミ板と雲母板を図1のように加工し、熱くするプレートを製作する。ニクロム線は2本を直列につなぎ、それを並列につなぎ合わせる。各部材をすべて重ね、最後にビスネジで固定する。途中で雲母板をはさむ理由は、ニクロム線とアルミ板がショートしないようにするためである。また、外部に出す電極はアルミ板に直接、触れないようガイシのパイプを用いて絶縁する。次に、台となる木板にアルミ棒をセットしプレートをのせる。2台を組み立て配線すると、装置全体の消費電力は約500wになり、30分後には約100℃まで熱くなる。

* きのした まさひろ 富山県立滑川高等学校 教諭 〒936-8507 富山県滑川市加島町45 (076)475-0164

E-mail mskinoshita@ma2.justnet.ne.jp

** いちのせ かずよし 富山大学教育学部 助教授 〒930-8555 富山県富山市五福3190 (076)445-6297

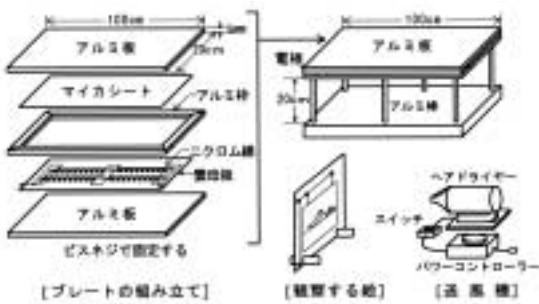


図1 層気楼実験装置の製作

観察する絵は装置の端から約1mの位置にセットする。また、絵の部分の大きさ（実景の写真でも可）は横幅10cm、高さ2cm程度にすると像の変化がよく見える。観察は肉眼でも充分に行えるが、観察位置から絵までの距離が3mになるため多少、像が小さく見える。そのため、目の位置を固定し像を拡大する目的から望遠鏡やビデオカメラを利用するとよい。図2に各装置の配置を示す。

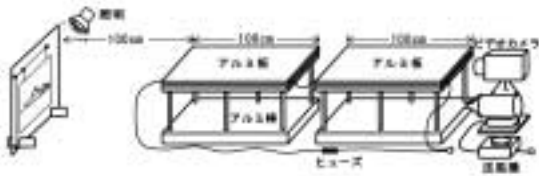


図2 各装置の配置

学習指導方法

1. 手順

本実験は高校物理における単元「光」の中で行った。以下にそのときの学習指導の手順を示す。

- ・層気楼と光の屈折の関係を、実際の層気楼写真やビデオを用いて説明し、生徒の興味・関心を喚起させる。写真2に実景と実際の上位層気楼を示す。
- ・実験はまず、プレート直下から上位層気楼を観察する。絵を上下に少し動かすと、上方に伸びる様子がよく分かる。次に、送風機で風を送り倒立像を作る。このとき、風量を調節し揺らぎながら伸びる幻想的な層気楼を提示すると、生徒の興味が一層深まる。
- ・次に、絵とビデオカメラをプレート上方に移動させ、プレート直上から下位層気楼を観察する。
- ・生徒にプレートの直上・直下における空気鉛直密度（温度）変化について考えさせ、なぜ伸びたり倒立して見えるのかを考えさせる。
- ・実際の層気楼と比較させるため、被写体の絵を実景写真に差し替え、同様の実験を行う。このとき、層気楼写真と実験による像を比較させ、富山湾上に温度差のある空気層が存在することを理解させる。

- ・希望する生徒には肉眼（望遠鏡）で観察させる。
- ・装置内の光路について詳しく理解させるため、シミュレーションを提示し、伸びたり倒立する場合の光路について説明する。特に空気温度の境界層において温度傾度が大きくなると、光は大きく屈折し、途中で光が交差することで像が倒立して見えることを理解させる。
- ・媒質の変化と屈折率の関係について、理解を深めさせる。



写真2 富山県魚津市から黒部市生地方向を撮影した実景と層気楼（建物が倒立して見える）

II. 実験装置で観察される層気楼

1. 上方に伸びたり倒立する上位層気楼

室温状態でプレートを暖めその直下を見ると、もとの像は上方に伸びる層気楼となる。このとき観察者の目は、プレートより約15mm～20mm下部に位置する。次に、送風機でプレートの下部に少量の風を送ると、空気の温度傾度が大きくなり、実像の上方に倒立した層気楼が観察できる。写真3に観察する位置と実験によって見える像の変化を示す。また、送風量を調節することで伸び上がりや倒立、揺らいだ像など様々に変化する層気楼が観察できる。このときの送風の有無によって生じるプレート直下の空気の鉛直温度分布の変化を図3に示す。グラフからは、プレートの直下に上暖下冷の空気層が形成され、風を送る場合と送らない場合とでは、空気層に大きな温度傾度の変化が生じていることがわかる。いずれの場合も観測者は冷気層から暖気層を見ている（実際の層気楼の場合も、観測者は冷気層から暖気層を見ている）。

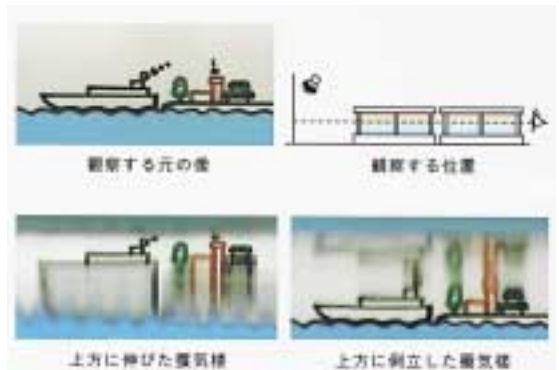


写真3 観察する位置と実験による上位層気楼

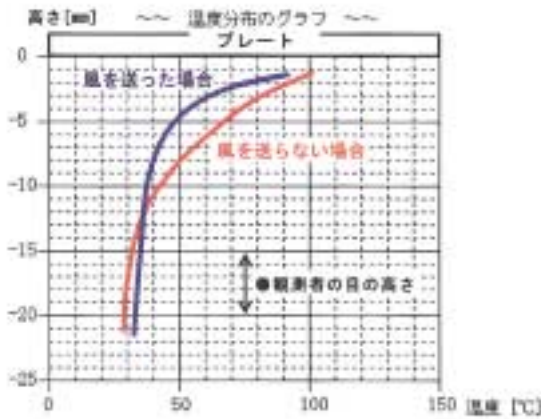


図3 プレート直下の空気の鉛直温度分布

2. 下方に倒立する下位層気楼

室温状態でプレートを暖めその直上を見ると、下方に倒立した層気楼が観察できる。写真4に観察する位置と実験によって見える像の変化を示す。このとき、プレート直上の空気の鉛直温度分布は図4のようになり、観測者は上部の冷気層から暖気層を見ている。なお、プレートの直上に風を送った場合も、鉛直温度分布はほぼ同じであり、観察される像に変化はない。

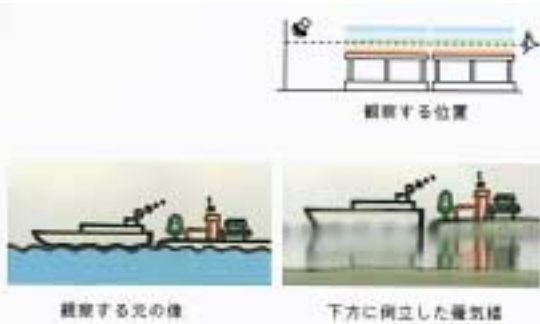


写真4 観察する位置と実験による下位層気楼

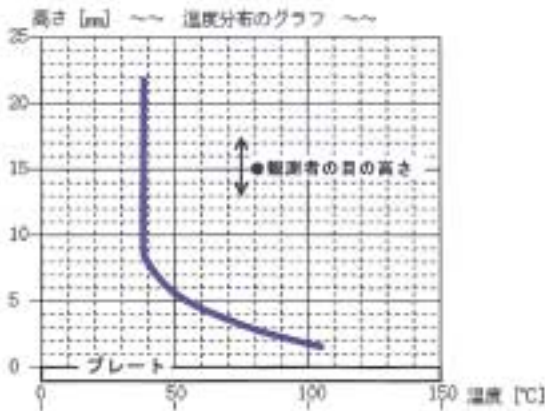


図4 プレート直上の空気の鉛直温度分布

III. シミュレーション

実験による層気楼は、プレートからごくわずかな鉛直方向に生じる空気の密度（温度）変化によるものである。そのため、レーザー光などを用いても、途中の光路の屈折を目でとらえることは困難である。そこで、W.H.Lehn（カナダ・マニトバ大学）ほかの考えに基づき、画像処理の手法を加えたシミュレーションを行った。図5にシミュレーションによる光路曲線と画像処理の結果を示す。この結果、光路曲線から得られた画像と実験によって観察される層気楼は良く一致することがわかる。また、光路曲線を描く際に、縦軸と横軸の尺度を大きく変えることによって、光路が途中で交差して進む様子など、これまで観察が困難であった光の振る舞いを視覚的に理解することができる。

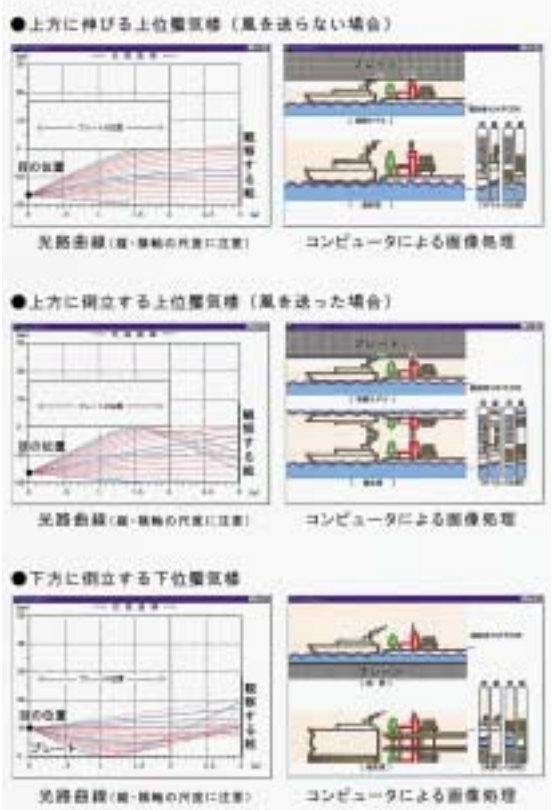


図5 シミュレーションによる光路曲線と画像処理の結果

実践効果

1. 層気楼を活用した結果、生徒の多くは実験の前後に説明する様々な光の現象・法則を容易に吸収し、実体験として定着する効果が得られた。また、層気楼現象をしっかりと観察することで、波動現象に一層の興味・関心を示し、自らの力で課題を解決しようとする自発性が芽生えた。

II. 本装置は原理は単純であるが、装置内での光路を示し、光の振る舞いまでを生徒に理解させるには、かなり難しい一面を持っている。今回、光路と蜃気楼の関係シミュレーションによって視覚化できたことは、高度な数学の知識がない生徒でも光路と像の関係を容易に理解し、これまで理論による説明が不十分であった蜃気楼実験を一步、進展させることができた。

III. 発展学習においては、海上で観測した気温の鉛直分布を用いて実際の蜃気楼のシミュレーションを行った。その結果、写真5に示すようにシミュレーションと、実際の蜃気楼はよく一致した。このことは、今後、課題研究等への応用も視野に入れた地域教材として、その活用が大いに期待できるものと感じている。

その他補遺事項

本研究の一部は平成11、12年度富山大学大学院に行った成果である。

実験装置で用いた雲母板は、北陸化学産業株式会社(富山市、電話076-432-5266)で購入できる。

参考文献

- 1) 木下正博：空気の温度差で作る蜃気楼発生装置，第2回サイエンス展示・実験ショーアイデアコンテスト1997年レポート，科学技術振興事業団，12-17(1997)。
- 2) W.H.Lehn., H.L.Sawatzky：Image Transmission under Arctic Mirage Conditions, Polarforschung, 45, 120-128(1975)。

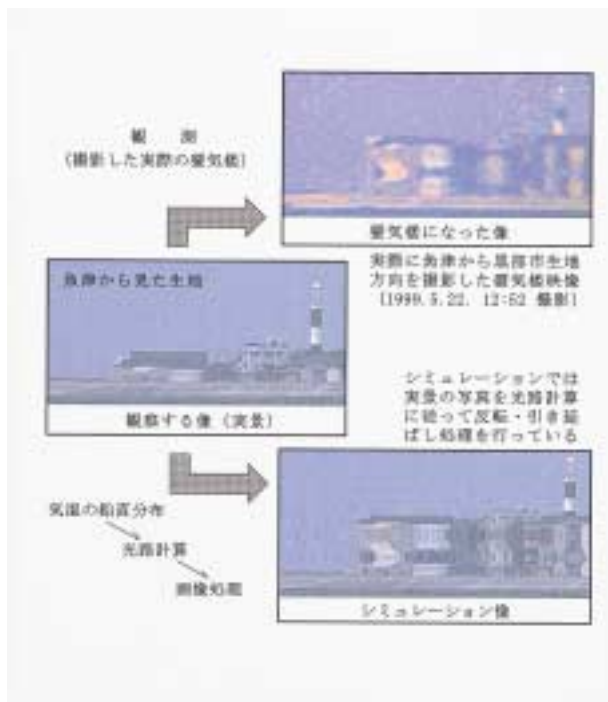


写真5 気象観測による気温の鉛直分布をもとにシミュレーションした富山湾の蜃気楼