

えっ、島が浮いてる！？ 浮島現象を科学する Floating island phenomenon

岩崎 議弘 清村 健一郎 坂本 尚仁 中嶋 和史 水野 海翔 和田 慎平
IWASAKI Norihiro, KIYOMURA Kenichiro, SAKAMOTO Naoto, NAKASHIMA Kazushi, MIZUNO Kaito, WADA Shinpei

This research has been continued for two years. In the first year, we visited the site to observe the floating island phenomenon and considered the conditions necessary for our observation. In second year, we reproduced the floating island phenomenon with familiar objects and conducted three small-scale experiments such as observation of inferior mirage, metal plate experiment and the confirmation of reflection of optical path using sugar water. Based on these observations and experiments, we considered the state of the optical path and well-visible conditions.

1. 目的

下位層気候の発生条件や観測の好条件を夏季、冬季の観測を通して考察する。また、逃げ水の観測、金属板の加熱実験、砂糖水を用いた屈折光の光路観察実験を通して、浮島現象の光学的メカニズムを明らかにする。さらに、シミュレーション論文を元に、観測や実験結果、考察の妥当性を検討する。

2. 研究内容（方法、結果、考察）

A. 浮島現象の観測

- (1) 目的：観測から浮いて見える時の条件を考察する。
- (2) 方法
 - ① 宇城市不知火町永尾の永尾神社の展望所、海岸を中心に観測する（図1、2）。

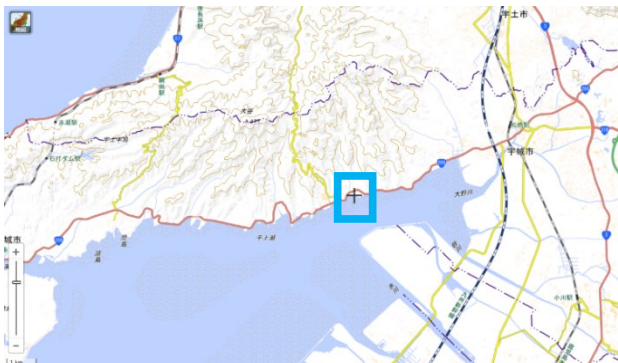


図1 観測場所（宇城市不知火町永尾の永尾神社・海岸）



図2 観測点と観測点の高さ

- ② 浮島現象を早朝に観測し、写真を撮影する。
 - ③ 気温や表面海水温は現地で収集。足りないデータは気象庁から得る。
- (3) 結果

① 観測回数（計17回）

2019年11月…9日、10日、12日、13日、15日、16日
12月…7日、8日、9日、23日、24日
2月…1日、2日、5日、6日、9日、19日

- ② 浮き具合…2月6日に観測した浮島現象が浮き具合最大であった。また、海面から上の部分が海面を基準にして鏡のように反転して映っているために浮いて見えることが分かった（図3）。一方、12月24日に観測

した浮島現象は浮き具合が最も小さかった（図4）。

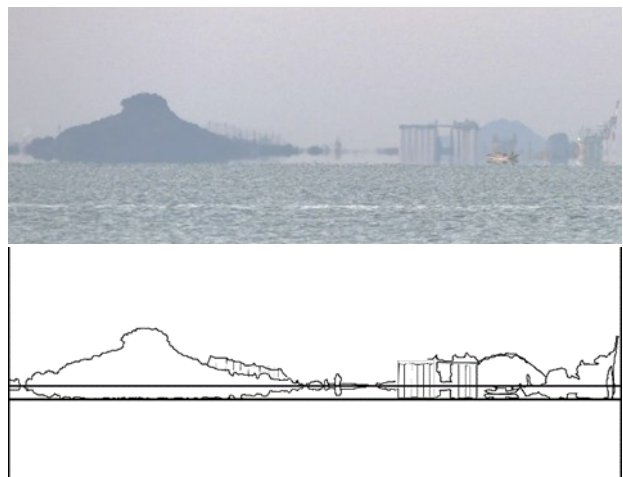


図3 島が浮いて見える様子
（2019年2月6日 上：写真 下：スケッチ）

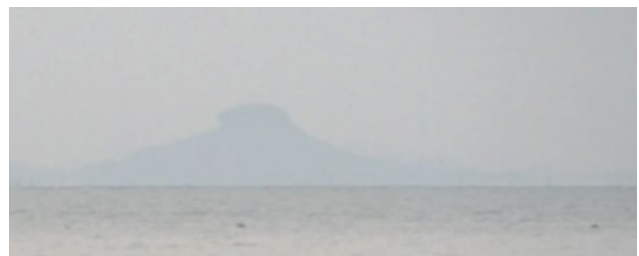


図4 あまり浮いて見えなかった時の様子
（2019年12月24日）

(4) 考察

① 観測点と観測対象までの距離

近い順からA地点、B地点、C地点とし見え方を比較した（図5）。A地点とC地点では浮島現象は確認できず、B地点の観測物は浮いて観測できたことから、観測に適した距離があると考えられる（図6）。

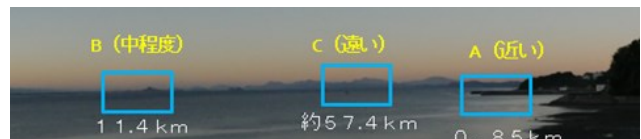


図5 観測対象と観測対象までの距離



図6 距離と見え方の違い

② 観測点の高さ

境内、展望所、海岸高さの違う3か所で撮った写真を比較すると、観測地点の海拔が低いほど、よく浮いて見える事が分かった(図7)。



図7 観測地点の高さによる浮き具合の違い
(左: 境内11m、中: 展望所9m、海岸0m)

③ 表面海水温と気温の温度差

私たちは仮説として、表面海水温と気温の温度差が大きいほど浮いて見ると仮説を立てた。しかし、現地で測定したデータを用いると、浮島現象を観測できなかった時の温度差の方が大きくなっていった(図8)。

日付	11月15日	12月24日
気温	7.3°C	7.5°C
表面海水温	8.1°C	10.5°C
温度差	1.8°C	3.0°C
浮き具合	3	0

図8 表面海水温と気温の温度差と浮き具合
(気温、表面海水温: 現地)

その理由は、表面海水温の計測を沿岸部で行ったため、沿岸部の熱容量が小さく空気や地面の影響を受けやすく沖合の表面海水温よりも小さい値が表示されたと考える。

そこで、気象庁の表面海水温のデータを見ると、仮説通り、よく浮いて見えた日の表面海水温と気温の温度差の温度差が大きくなっていることが分かった(図9)。

日付	11月15日	12月24日
気温	7.3°C	7.5°C
表面海水温	2.2°C	1.8°C
温度差	14.9°C	10.5°C
浮き具合	3	0

図9 表面海水温と気温の温度差
(表面海水温: 気象庁、気温: 現地)

また、表面海水温と気温の温度差が大きいほど、浮島現象が起りやすくなることが分かった(図10)。

日付	11月15日	2月6日
気温	7.3°C	0.5°C
表面海水温	2.2°C	1.7°C
温度差	14.9°C	16.5°C
浮き具合	3	4

図10 表面海水温と気温の温度差

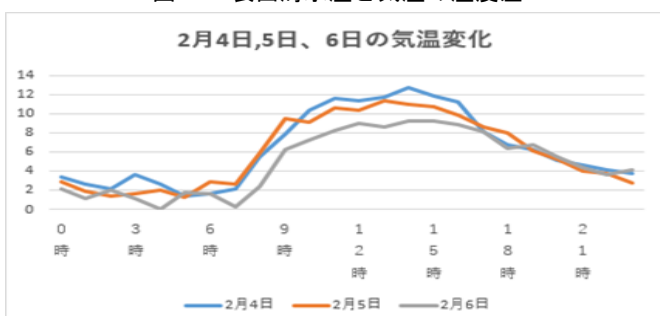


図11 6日とその前後の気温変化

6日に表面海水温と気温の温度差が大きくなった理由として、前日から晴天が続き、夜間に放射冷却が発生したからと考えられる(図11)。

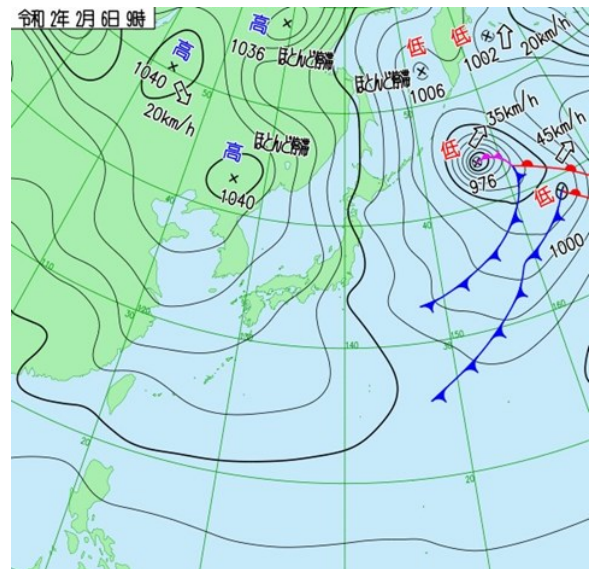
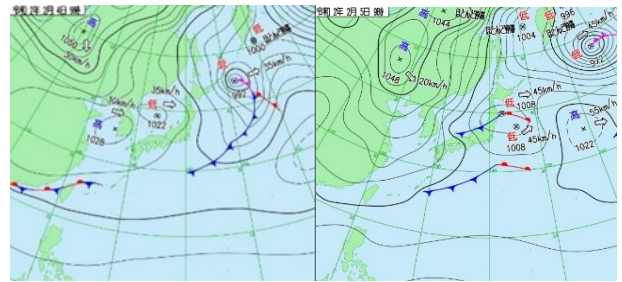


図12 2月4~6日の天気図
(左上: 2月4日、右上: 5日、下: 6日、)

④ 霞について

晴れている日でも空気中の霞によって観測を行えない日があった(図13)。



図13 霞の有無

(左: 2019年11月15日 右: 同年12月24日)

また、霞は空気中のちりやほこり(黄砂やPM2.5等)、霧などが原因となることがある。しかし、観測日には黄砂やPM2.5の飛来は確認できなかったため、主な原因は霧(水滴)であると考えた。

⑤ 発生原理

浮島現象は下位層気楼であり、下位層気楼とは像が下側に反転して見える現象で、空気の温度差による密度差が原因である。低温の方が空気中の密度が大きいので、密度の小さい高温の空気層の方に曲がって進む(図14)。

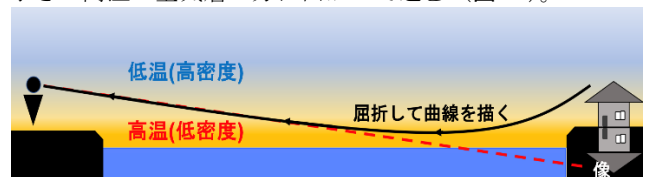


図14 浮島現象の発生原理
(「埋没林」と「蜃気楼」、富山湾のふたつの不思議に出会える博物館」より参考・加筆)

(5) 浮島現象観測のまとめ

- ① 晴れていることが絶対条件であるが、よく浮いた浮島現象を観測するための条件は、以下の3つである。
 - ア 観測地点と観測対象に一定の距離があること。
 - イ 観測点の海拔が低いこと。
 - ウ 表面海水温と気温の温度差が大きいこと。
- ② より明瞭な浮島現象を観測するには、水蒸気や塵の影響が少ない日に観測する必要がある。
- ③ 浮島現象は下位層気楼の一種で、空気の密度差によって発生する。

B. 逃げ水の観測

(1) 目的： 逃げ水の観測を行い下位層気楼の観測点の高さによる見え方の違いについて調べる。

(2) 場所 (図 15)



図 15 逃げ水の観測場所
(宇土市松山町の直線道路、約 400m の区間)

(3) 方法

- ① 早朝 (日の出の 5 時頃) と昼頃の日 2 回、カメラの高さを 50 cm、100 cm、150 cm と変えて観測する。
- ② 気温は地表面を放射温度計で、地表から 0、50、100cm の高さを温度計で計測する。

(4) 結果

8/23 と 8/30 の 2 日間観測を行った。両日とも観測時間中の天気は晴れであった。

早朝には逃げ水を観測できなかったが午後になると浮島現象同様に、鏡で映したように反転した像が地面に映った逃げ水現象を確認することができた (図 16)。



図 16 逃げ水の様子 (2020 年 8 月 30 日 11 時)

(5) 考察

① 見え方の時間による違い (表 1)

朝は観測できず、昼には観測できた。このことから、逃げ水を観測するには、空気が地面に温められることが必要だとわかった。

表 1 各地点の地面からの高さによる気温 [°C] の違い

高さ/地点	400m	300m	200m	100m	0m(日陰)
100cm	33.9	35.0	34.6	34.3	33.0
50cm	34.1	34.4	34.8	34.4	33.3
0cm	40.3	35.0	44.0	49.3	34.3
地表面	52.9	57.1	55.4	57.1	43.1

② 観測点の高さによる見え方の違い

地表から 100cm の高さ付近が最も多くの逃げ水を観測することができた。また、見る高さが低くなると逃げ

水が繋がって見えるようになり、見える数は少なくなった (図 17・18)。



図 17 逃げ水 (上:150cm、中;100cm、下:50cm)



図 18 観測点の地面からの高さ別での逃げ水の比較

これらのことから、逃げ水現象の発生と観測には、浮島現象と同様で、地面と気温との温度差、観測点の適度な高さが必要であると考えた。

③ 一番低い高さで逃げ水が良く観測できなかった理由が一番低い高さ 50cm ではなく、高さ 100cm からの観測が逃げ水をよく観測できた理由として、道路の凹凸が影響していると考えられる。浮島現象をはじめとする下位層気楼は高さが低い程観測に適していると言えるが、逃げ水は道路の影響を受けると考えた (図 19)。



図 19 道路の凹凸

(6) 逃げ水のまとめ

逃げ水は下位層気楼であり、逃げ水を観測するには以下の 2 点が必要であると考えた。

- ① 適度な高さから観測すること
- ② 地面と空気に温度差があること

しかし、浮島現象では一番低い場所が一番浮いてみえていたため、逃げ水と浮島現象では共通点もあるが、相違点もあると考えた。

C. 金属板の実験①

(1) 目的：自然現象である下位層気楼を室内で再現し、下位層気楼の原理を確認する。

(2) 使用道具：

ステンレス板 (100cm×15cm)、ガスバーナー、三脚台、温度計、放射温度計、観察物 (レゴの蛙)、カメラ。

(3) 方法

- ① 三脚台3つを等間隔に置きその上にステンレス板を置く (図 20)。
- ② その後3点からガスバーナーで熱する。
- ③ 5分おきに5箇所の表面温度、その直上の温度を測り、観察物の見え方を写真で撮影する。
- ④ 計60分間行う。

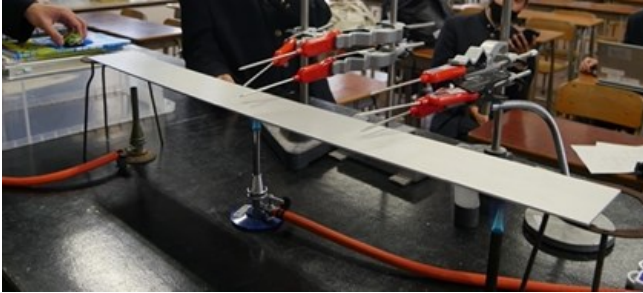


図 20 金属板の実験の装置

(4) 結果

① 時間による見え方の違い

肉眼で下位層気楼を確認でき、それは開始から10分後だった (図 21)。



図 21 反転したカエルの像

② 時間による温度変化 (表 2)

ステンレス板を加熱していくと、表面温度は20分ほどで最高点に達した。

表 2 金属板実験時の測定温度

測定場所		0分	5分	10分	15分	20分	25分	30分
下位層気楼		×	×	○	○	○	○	○
空気	4cm(°C)	16.8	16.8	24.8	27.2	27.0	26.6	35.1
空気	2cm(°C) a	16.7	18.1	25.7	27.8	28.7	27.8	36.1
空気	表面付近(°C) b	16.6	28.0	89.6	108.5	123.0	121.3	138.0
金属板	表面(°C)	16.7	145.9	130.5	181.0	252.0	178.2	178.6
	温度差(°C) b-a		9.9	63.9	80.7	94.3	93.5	101.9

(5) 考察

下位層気楼を確認できた開始10分後は表面付近と表面から2cmの温度の差が急激に増加した時間であった (表 1)。このことから、温度差が必要である下位層気楼の条件として適した結果となっていると分かる。

しかし、撮影した写真 (図 21) では層気楼による反転であるか、反射であるのか検証することができなかった。

そこで、反射しない状態に改良し再び実験を行うことにした。

D. 金属板の実験②

(1) 目的：見えた像は、反転か反射かを検証する。

(2) 使用道具：金属板の実験①時の道具と絵の具

(3) 変更点

- ① 初めから反射をなくすために、ステンレス板の表面を絵の具で塗りつぶしておく。
- ② 急激に熱してしまうと塗った絵の具がはげってしまうので、ガスバーナーを2つにした (図 22)。

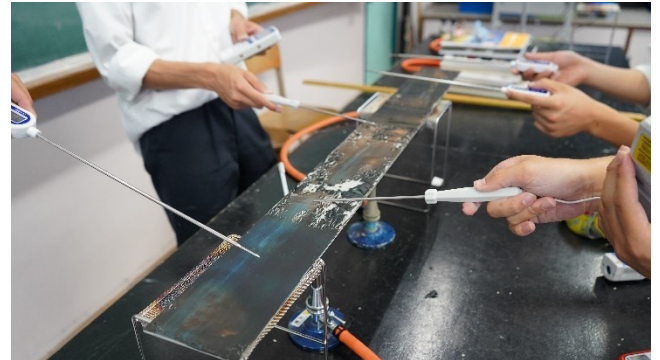


図 22 改良した実験装置

(4) 実験方法

金属板の実験①とほとんど同じである。前回の実験から表面温度は20分程で最高点に達することが分かった。

(5) 結果

絵の具で塗りつぶして実験を行った結果、下位層気楼を確認することができた (図 23)。しかし、前回のようにはっきり確認することはできなかった。



図 23 確認できた像 (上：観察物、下：実験で見えた像)

(6) 考察

- ① 観察した結果、実験前に見えていた部分が見えなくなった。このことから光が屈折していることが分かる。よって下位層気楼の再現に成功したと言える。
- ② 下部をガスバーナーで熱し、下が暖かく上が冷たいという温度の層を作ることができた。それが、下位層気楼発生原理であることが確認できた。

E. 道路上での光路の観察①

(1) 日にちおよび場所

2020年8月30日。宇土市松山町の直線道路（逃げ水の観測場所）にて観察。

(2) 方法

- ① 早朝5時にレーザー光が400m先の電柱にあたるように設置する（図24）。
- ② 11時に再度観測をする。（午後より雨天の予報。）

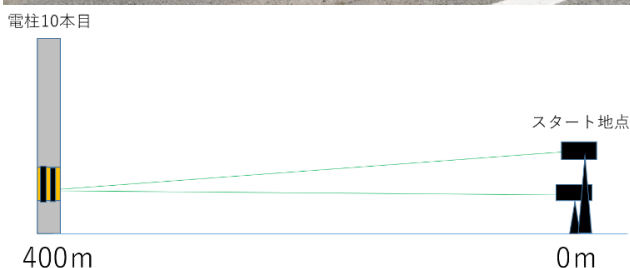


図24 屈折する光の光路観測の様子
（上：固定したレーザー光 下：実験の簡略図）

(3) 結果

早朝は400m先の電柱にレーザー光が当たっていたが、午後になると日光の影響で光が当たっている場所を確認することができなかった（図25）。



図25 電柱の様子（5時）

F. 校内での光路の観察②

(1) 目的

逃げ水の観測場所の長い直線道路で、距離が長すぎて光路を確認することができなかった。そのため、より短い距離で屈折する光の光路を確認する。

(2) 場所

学校敷地内（正門から100m程の直線道）

(3) 方法

- ① 日時：9月10日（木）の午前5時と13時
- ② 早朝の暗い時間に、学校の正門から100m程度離れ

た場所から、高さの異なる二つのレーザー光を正門の柱に照射し、印をつけておく。

- ③ 昼休み、レーザー光を正門方向に再び照射し、光の照射位置の変化を調べる。



図26 レーザー光の発射地点と照射地点
（午前5時、上：発射地点から見た様子 下：照射位置）

(4) レーザーの光路上の道路に駐車された車のせいで光が遮られ、見ることはできなかった。そこで、以下のような即席実験を行った。

(5) 即席実験の方法

- ① 昼間、高さが高い方のレーザー光がどの距離まで見えるのかを確かめるため、光源から少しずつ離れる。
- ② 光を映し出すスクリーンとして、身長約170cmの生徒の背中を活用した。
- ③ 背中が当たる位置の比較から、光の光路の様子を考察する。

(6) 即席実験の結果

光源から30mくらいの場所では、首と背中の間あたりに光が当たった。またその場所からさらにレーザーから離れてみると、当たる位置が少しずつ高くなっていった。

(7) 即席実験の考察

朝と比べ昼は、光が進んだ先の位置が高くなっていった。しかし、道路が水平であるとは言い切れないため、光路が屈折により曲がったと結論付けることは難しい。

G. 砂糖水溶液を用いた下位蜃気楼の再現

(1) 目的

2つの光路の観察実験から、光が空気中で屈折する様子を観察することは難しいと分かった。そこで、砂糖水溶液を用いて、下位蜃気楼を再現する。

(2) 使用道具

水槽（3cm×25cm×15cm）、砂糖、水、カエルの置物（観察物）。

(3) 方法

- ① 質量パーセント濃度50%の砂糖水溶液100gを作り、水槽へ入れる。

- ② ①の上から水を混ざらないように駒込ピペットを使いそっと砂糖水溶液の上に乗せる。(実際の下位層気楼では、下部の濃度が小さく、上部の温度が高い状態にある。しかし、その状態だと物理的に上部の密度の高い層が下部に混ざり落ち、層を作ることができず、下位層気楼が観測できる時の状態を作れない。)
- ③ 写真を撮影後、上下を反転させ下位層気楼の状態を再現した(図27)。

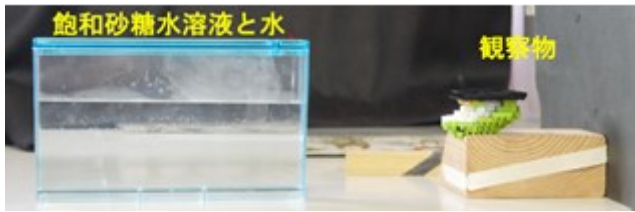


図27 砂糖水の実験①の装置

(4) 結果

観察物の反対側から写真を撮った結果、反転した像を撮影できた(図28)。

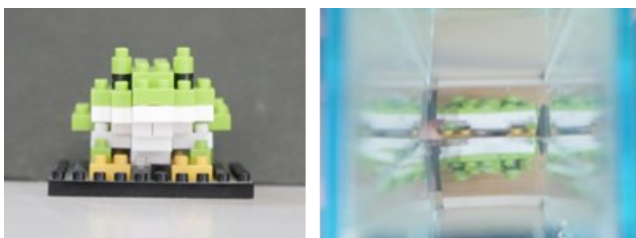


図28 砂糖水の実験①の観察結果

(5) 考察

砂糖水溶液を用いて、下位層気楼を再現できた。

H. 砂糖水溶液を用いた下位層気楼の光路観察

(1) 目的

砂糖を用いて密度差がある層を作り、下位層気楼の光路を可視化し観察する。

(2) 使用道具

細長い水槽(3cm×25cm×15cm)、砂糖、水、着色料、レーザー、駒込ピペット、攪拌機

(3) 実験方法

- ① 質量パーセント濃度50%の砂糖水溶液100gを作り、水槽へ入れる。
- ② 違いがわかりやすいように着色した水を混ざらないように駒込ピペットを使いそっと砂糖水溶液の上に乗せる。
- ③ その後、1日放置し、水と砂糖水の境界に少しずつ濃度の違う層を作る。
- ④ レーザーの光を照射し、光路を観察する。
- ⑤ 写真を撮り、上下を反転させる。
(下を低密度層、上を高密度層に見立てるため。)

(4) 実験結果

- ① 水を入れた直後は、砂糖水溶液と水の境界が明瞭であり、その状態を光路からも確認できた(図29)。



図29 水を直後に入れた様子(反転済み)

- ② 水を入れて時間が経過すると、層の境界が不明確になっていた。少しずつ混ざっている様子をレーザー光が曲がる様子から確認することができた(図30)。

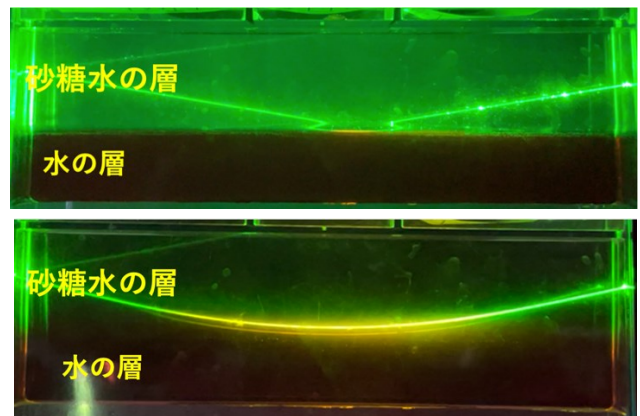


図30 砂糖水の実験②の結果(上: 放置前、下: 放置後)

(5) 考察

下位層気楼の光路は、曲線を描き屈折していると考えられる。

I. 空気の層の構造の実測

(1) 目的

下位層気楼の原理である空気の温度差による密度差の層は、地上からどの高さまで形成されているかを調べる。

(2) 使用道具

巻尺、表面温度計、温度計、直射日光、風を遮るシート

(3) 実験方法

- ① シートで風と日光を遮り、地面の表面温度、空気の温度を1cm間隔で鉛直方向に観測していく。
- ② 常に日光が当たっている、逃げ水を観察した直線道路と、建物に囲まれている、宇土高校の敷地内の二箇所を観測を行った。
- ③ 逃げ水を観測した日(強風)と、別の日(微風)で1日中日光が当たるアスファルトで温度を測定した。

(4) 結果

表 地面からの高さで温度分布
(左: 逃げ水の道路 9月13日12時、
右: 学校 9月15日13時)

地面からの高さcm	温度℃	
11cm	28.5	
10cm	28.6	温度℃
9cm	28.7	33.5
8cm	28.6	33.1
7cm	28.9	33.5
6cm	29.2	32.1
5cm	29.3	32.8
4cm	29.3	33.4
3cm	29.5	32.6
2cm	29.8	32.8
1cm	30.0	34.0
0cm		38.8

- ① 強風で温度計の値が安定しなかった。また、高さによる温度にバラつきがあった。しかし、高さが高くなるほど空気の温度は低下する傾向が見られた。

② 無風の状態は、温度計の値は安定していたが、風が吹くと温度が逆転した。このことから、空気層は不安定であると分かった。また、地面から7cmを超えると温度が安定することが分かった。

(5) 考察

下位層気楼の温度層は、地面から10cmほどの高さに存在し、その範囲で屈折を繰り返し、観点した像を見せると考えた。

J. シミュレーションと実測との比較

(1) 引用文献の内容説明

川合秀明さん、北村祐二さん、柴田清孝さんの論文であり、川合さんがマダガスカルに旅行に行った際、偶然見かけた自然現象がのちに下位層気楼であることがわかったことから、光路計算をした論文である。

文献 川合秀明・北村祐二・柴田清孝 (2020)

下位層気楼の光路計算—マダガスカルで見た層気楼

(2) 目的

シミュレーションによるこれまでの実験、観測結果の裏付けを行うため。

(3) 方法

文献のシミュレーションとこれまでの実験、観測結果を比較し、結果の正誤性を確認する。

(4) シミュレーションの内容①

海上付近の大気構造を鮮明に解像・再現できる再現モデルを使用。

シミュレーションに使用した格子のサイズ、鉛直・水平解像度は20cmで、格子数512×512×386で、設定が行われている。

また、海水温は28度温度プロファイルの初期設定としては23度と26度でとても安定な大気として設定されている。

る。風速は1m/s、3m/sである。

(5) 結果・考察1 (図31)

シミュレーションでは、風量、気温に関係なく、温度変化は高さ10cmほどで起きており、これは私たちが実際に測定した結果と同じであり、やはり屈折はこの間で起きているとわかる。

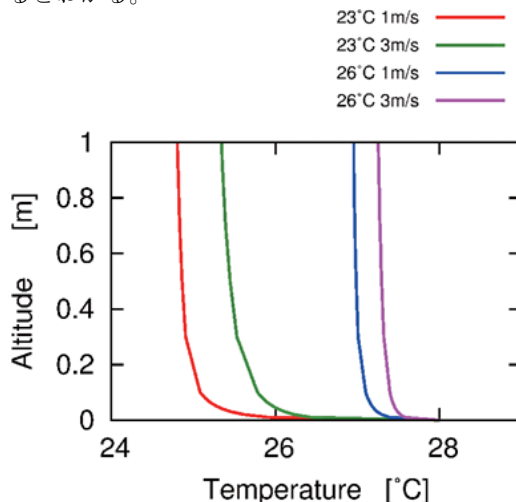


図31 温度・風速別での地上1mまでの温度分布のシミュレーション (川合ほか (2020))

(6) シミュレーションの内容②

空気中の温度分布 (図9) と屈折率の関係をもとに気温・風速・観測点で、パターン分けし光路のグラフを導く。

曲線が集まっているところが観測点で、そこから辿っていき、着いたところの景色が見えているということになる。そして、下方向に伸びている曲線を辿ると最終的に上の方に達する、つまり、曲線同士の交点が多いほど下位層気楼がよく見えているということになる。

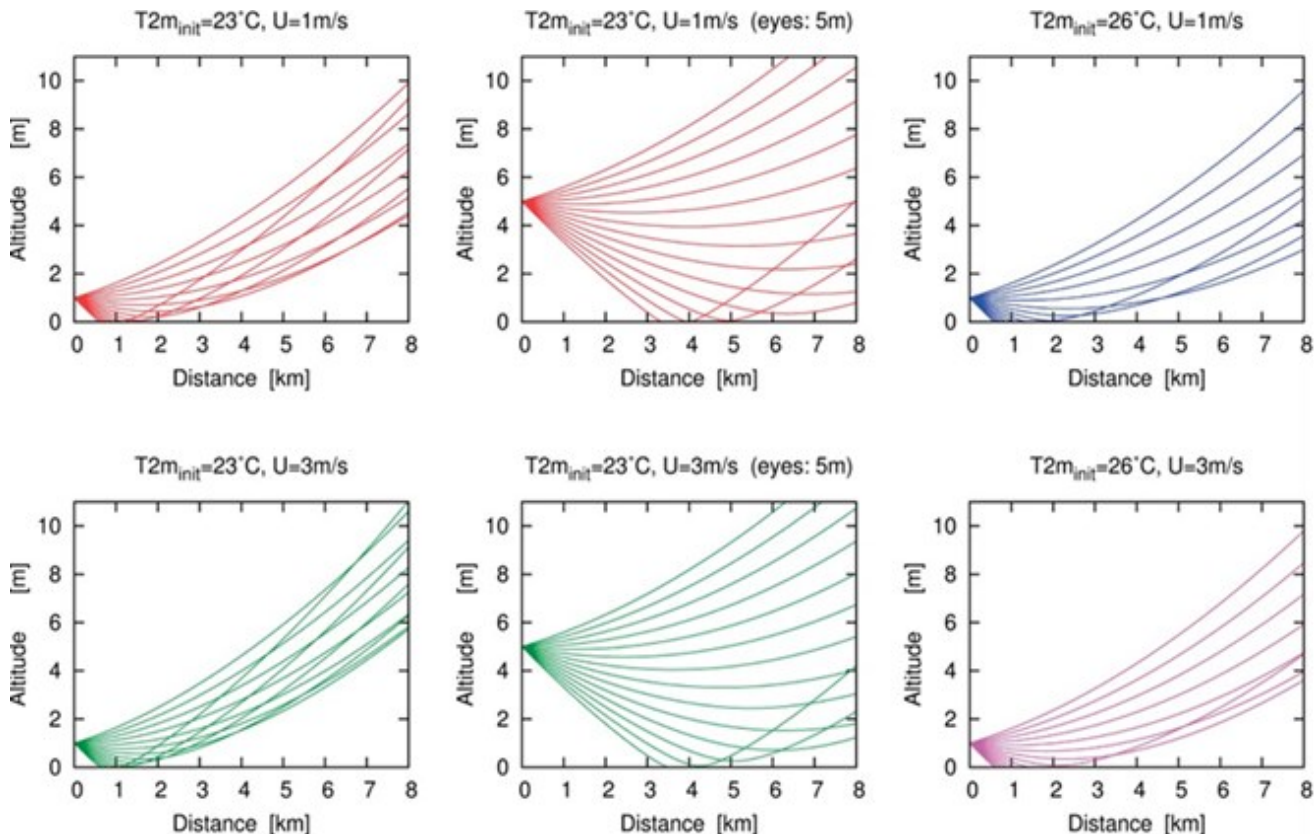


図32 シミュレーション(気温・風速・観測点別光路予測、川合ほか (2020))

(7) 結果・考察2 (前頁図 32)

- ① 風速、気温に関係なく、観測点が低い方が下位層気楼は見えやすい。
- ② 風速 1 m/s、3 m/s ではあまり違いが見られない。

3. まとめ

- (1) 浮島の観測には晴れていることが絶対条件である。さらによく浮いた浮島現象を観測するためには、以下の3つが挙げられる。
 - ① 観測対象まで一定の距離があること
 - ② 観測点の高さが低いこと
 - ③ 気温と表面海水温の温度差が大きいこと
- (2) より明瞭な浮島現象を観測するには、水蒸気やチリの影響が少ない日に観測する必要がある。また、浮島現象は下位層気楼の一種で、空気密度差によって発生する。
- (3) 下位層気楼である逃げ水を観測するには、以下の3点が必要である。浮島現象と共通する点が多い。
 - ① 観測点が低いこと
 - ② 一定の距離があること
 - ③ 気温と地面との温度差が大きい事
- (4) 金属板の実験では、室内で上冷下暖の下位層気楼の大気の構造を再現した。また、下位層気楼を起こすことができた。
- (5) 光路確認の実験では、砂糖水と水の濃度差を用いて反転した像を見ることができた。このことから下位層気楼の光路は、密度の差によって屈折すると検証できた。
- (6) 空気層の分布を調べると、地上から 10cm 程度の所で、温度の降下が滞っていた。
- (7) シミュレーションを行った文献と本研究の結果を比較することにより、本研究の実験や観測データ、その考察の妥当性を確認できた。

4. 謝辞

本研究を行うにあたり、永尾神社、宇城市役所、各学会の先生方、本校の本多栄喜先生、梶尾滝宏先生、植田直子先生など、多くの方々に懇切丁寧にご指導・ご助言をいただきました。心より感謝申し上げます。ありがとうございました。

■ お世話になった方々 (敬称略)

- 河野 暁子 (永尾神社 神主)
- 藤川 智絵 (宇城市教育委員会文化課文化財世界遺産係 学芸員)

■ 各学会の先生方 (敬称略)

- 川合 秀明 (気象予報研究部 第二研究室 主任研究官)
- 足立 光司 (全球大気海洋研究部 第三研究室 主任研究員)
- 廣川 康隆 (台風・災害気象研究部 第二研究室 主任研究官)
- 平松 信昭 (日本気象学会、防災ソリューション事業部、技術士・気象予報士)
- 中島 健介 (助教 / 理学研究員 地球惑星科学部門 流体圏・宇宙科学)

● 鈴木 真一

(国立研究開発法人防災科学技術研究所 水・土砂防災研究部門 主任研究員)

● 立花 義裕

(三重大学 教授 生物資源学研研究科 強制環境学専攻 気象気候ダイナミクス)

5. 参考・引用文献

- ・北海道・東北層気楼研究 HP
- ・気象庁(<http://www.jam.go.jp/jma/index.html>)
- ・“埋没林”と“層気楼”、富山湾のふたつの不思議に出会える博物館
- ・文献集 不知火 (不知火資料収集委員会)
- ・不知火新考(築地書館株式会社 立石巖)
- ・不知火の研究(葦書房有限会社 山下太利)
- ・八代パンフレット
- ・八代干拓の歴史～我が田は縁なり～ (https://www.pref.kumamoto.jp/common/UploadFileOutput.aspx?c_id=3&id=7513&sub_id=1&flid=1&dan_id=1)
- ・下位層気楼の航路計算—マダガスカルで見た層気楼— (https://www.metsoc.jp/tenki/pdf/2020/2020_02_0043.pdf)