

高史さんと知子さんは、鏡に映った像について話し合ったことをきっかけに光の性質に興味をもち、光の反射や屈折について考察した。次の(1)～(6)に答えなさい。

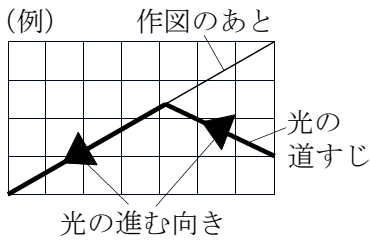
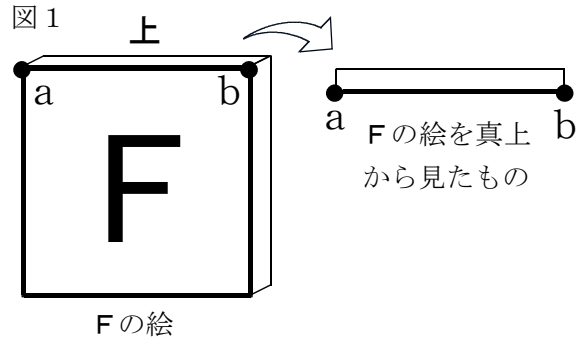
光の反射について

高史さん：先日、テレビ番組の中で「鏡に映った像は左右がひっくり返って見えるのはなぜ？」というクイズが出されてたけど、いろいろ考えているうちに、何だかわからなくなってきたよ。

知子さん：頭で考えているだけでは混乱するわよ。きちんと光の道すじを作図して考えましょう。

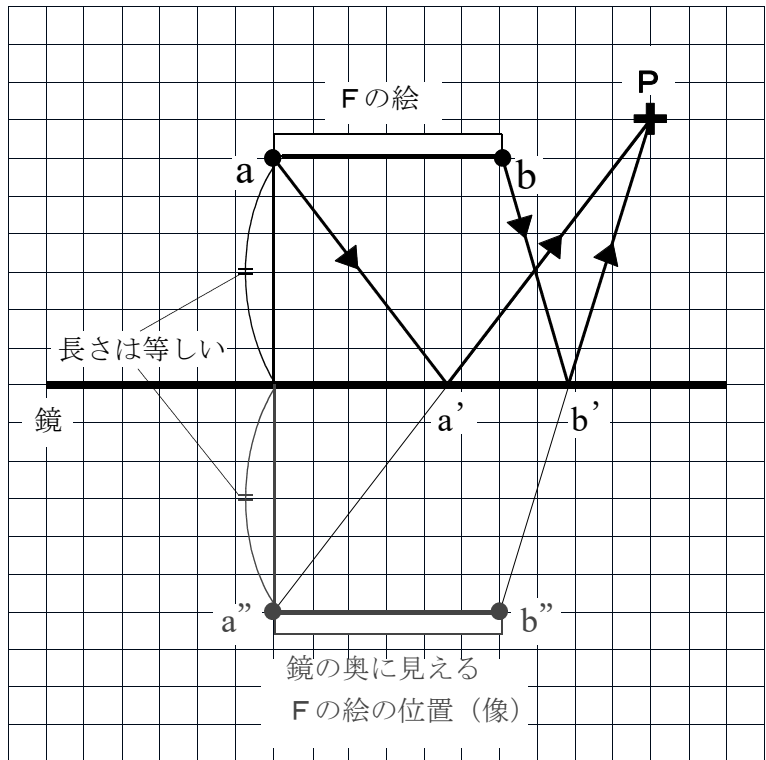
(1) 高史さんと知子さんは、図1のようにFの文字をパネルに貼り付けたものを、鏡に映すときの、真上から見たときの光の道すじを作図して考えることにした。

図2（真上から見た図）で、鏡に映したFの絵を点Pから見たとき、Fの絵の左側にある点aと、右側にある点bからの光の道すじはどのようなになるか、(例)に従って図2にかきなさい。



作図にあたっては、光の道すじと光の進む向きを太い実線でかき、作図のあとは消さずに残すこと。

図2（真上から見た図）



(2) 鏡に映った文字の左右がなぜひっくり返るのか、(1)の作図の結果に触れながら説明しなさい。

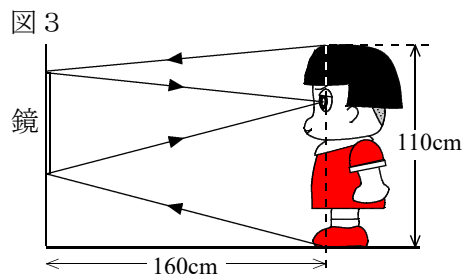
図2は、Fの絵の点a、点bから出た光が鏡に反射して点Pに届くまでの光の道すじを、真上から見たものである。元の絵では左側にa、右側にbがあるが、点Pから見た鏡に映った像では、点aに対応する点a''が右側、点bに対応する点b''が左側に見えるため、鏡に映った像では左右が反転して、 $\overline{\Gamma}$ のように見えることになる。

【解説】 鏡に映った像について、基礎的・基本的な知識・技能である光の道すじの作図を活用し、鏡に映った文字が反転する仕組みを考察する問題。

作図については、鏡の奥に見える像を、鏡から元の絵と同じ距離でかく。次に補助線として像の点 a'' 、点 b'' と点 P を結ぶ直線をひく。直線 $a''P$ と鏡の交点 a' および直線 $b''P$ と鏡の交点 b' で光が反射するので、 $a \rightarrow a' \rightarrow P$ および $b \rightarrow b' \rightarrow P$ を結ぶことで、入射角と反射角が等しい光の道すじをかきことができる。文字の左右が反転して見えることを説明するための工夫として、例えば、文字の左側に点 a 、右側に点 b を置き、鏡に映った像の左右どちら側に点 a 、点 b が見えるのかを示すことで、文字が反転する仕組みを説明することができる。

「活用」(分析・解釈／構想)

高史さん：光の道すじをかいてみると、鏡に映った文字の左右がひっくり返るのが納得できたよ。
 知子さん：実は、鏡に映った像の上下がひっくり返らないことも、光の道すじをかけばわかるわよ。図3は、鏡に映った子どもの姿が、頭のとっぺんからつま先まで鏡の中にぴったりおさまって映っている様子を表したものよ。図中の矢印は、頭のとっぺんとつま先から出て目へと進む光の道すじを表しているの。鏡の上側に頭のとっぺんと、鏡の下側につま先が映っているから、鏡に映った像の上下はひっくり返っていないわけね。

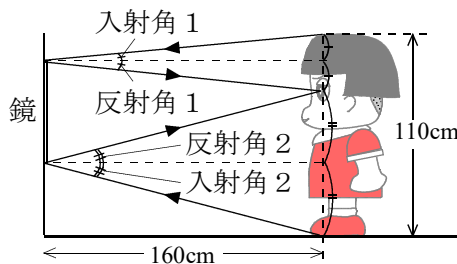


(3) 図3は、身長110 cmの子どもが鏡を見たときに、鏡には頭のとっぺんからつま先までが鏡の上下ちょうどにおさまって映って見えていたことを示している。このときの鏡の縦の長さは何cmか、求めなさい。

55 cm

【解説】 基礎的・基本的な知識・技能である光の道すじの作図に基づいて、全身を映すことができる鏡の縦の長さを求める問題。

右の図は図3に補助線をかき、入射角・反射角の関係を示したものである。入射角1と反射角1および入射角2と反射角2はそれぞれ等しく、鏡の上端に頭のとっぺんが、鏡の下端にはつま先が映っており、鏡の縦の長さは子どもの身長半分の55 cmであることがわかる。市販の姿見で最も小さな商品は高さ90 cm前後であるが、平均身長から考えると、ほとんどの人はこれで全身を映すことができると考えられる。なお、目と頭のとっぺんとの高さの差および床からの目の高さがわかれば、鏡を壁面にとり付けるとき、全身を映すのに適切な床からの高さを決めることができる。



「活用」(適用)

(4) 図3で、子どもが鏡に80 cmまで近づいたときと鏡から320 cmまで遠ざかったとき、鏡に全身を映すためには、鏡の縦の長さは少なくとも(3)に対してどのぐらい必要か。正しい組み合わせをア～オから1つ選びなさい。

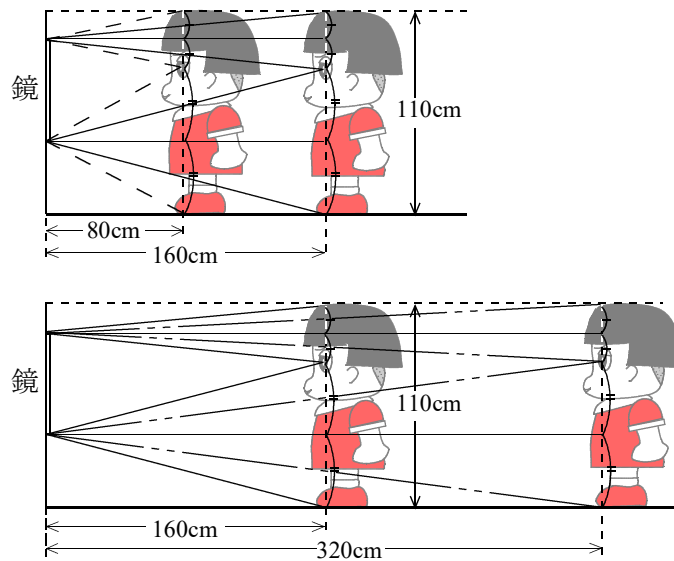
- ア 80 cmでは(3)の半分の長さで、320 cmでは(3)の2倍の長さ
- イ 80 cmでは(3)の2倍の長さで、320 cmでは(3)の半分の長さ
- ウ 80 cmでは(3)の半分の長さで、320 cmでは(3)と同じ長さ
- エ 80 cmでは(3)と同じ長さで、320 cmでは(3)の2倍の長さ
- オ 80 cm、320 cmともに(3)と同じ長さ

オ

【解説】 観察者と鏡の距離が変化したときの、反射の法則を正しく理解しているかを問う問題。

観察者が鏡に近づくと入射角、反射角はそれぞれもとより大きくなるが、入射角＝反射角の関係は変わらない。このため、全身を映すのに最低限必要な鏡の縦の長さは、(3)と同じく身長
の半分の長さである。また鏡から離れても、入射角、反射角はそれぞれ小さくなるが、入射角
＝反射角の関係は変わらないため、全身を映すのに最低限必要な鏡の縦の長さは、やはり身長
の半分の長さとなる。

日常生活で、鏡に近づくと鏡の像は大きく見え、離れると小さく見えるので、鏡からの距離
の変化に伴って全身を映すために最低限必要な鏡の縦の長さは変化するものと捉えがちだが、
光の道すじで考えた場合、必要な鏡の縦の長さは変化しない。



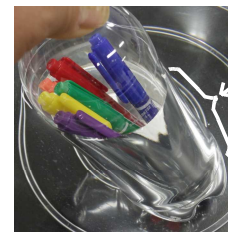
上の図は、図3に、子ども(観察者)と鏡の距離を変えて、子どもから見た光の道すじを作図したものである。距離が変化しても、全身を映すのに必要な鏡の縦の長さは変わらない。また、鏡の下端の床からの高さも変えなくてよいことがわかる。 「活用」(検討・改善)

光の屈折について

高史さん：空のペットボトルにペンを入れて水そうの水につけたとき、斜め上から見ると、図4のように透明なペットボトルの水につかった部分が鏡のようになり、中に入れたペンが見えなくなったよ。

知子さん：この現象は光の屈折も関係しているのよ。水から空気へと光が進むときの道すじを考えてみましょう。

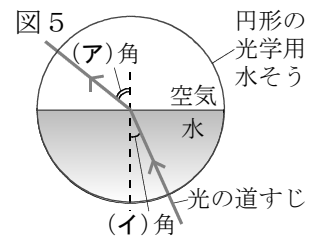
図4



水面から下の部分は鏡のようになって、周囲の景色を映している。

(5) 次の文は、知子さんが上の文に続けて、光が水から空気へと進むときに起こる現象について説明した内容をまとめたものである。正しい文になるように、(ア)～(エ)に適する語句または数値を書きなさい。

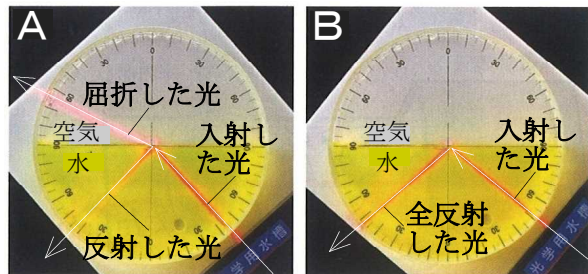
図5は光が水中から空気中へと進んでいくようすを模式的に表している。図5で、(ア)角は(イ)角より大きくなっている。(イ)角を次第に大きくすると、(ア)は(ウ)°に近づいていき、やがて水と空気の境界面で、すべての光が反射するようになる。このことを光の(エ)という。



ア	屈折	イ	入射	ウ	90	エ	全反射
---	----	---	----	---	----	---	-----

【解説】 光が水から空気へ進むときに起こる全反射についての基礎的・基本的な知識と理解を問う問題。

光が、図5のように水から空気へと進む場合、光の屈折が起こり、屈折角は入射角より大きくなる。右のA、Bの写真は、水から空気へ光が進むときの、入射角の変化に対する屈折角の変化を示したものである。写真Aでは光が屈折するとともに、光の一部は下向きに反射している。そして入射角が大きくなっていくと、屈折角がより大きくなって90°に近づいていき、やがて写真Bのように境界面ですべての光が反射する全反射が起こる。

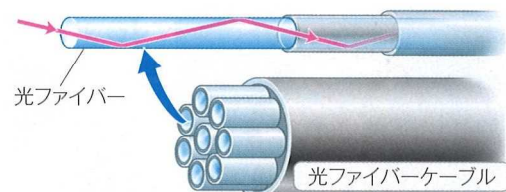


知識(知識)

【補足】

屈折角が90°になる限界の入射角は、水と空気の場合48.6°である。この角度を超えて入射する場合、全反射が起こる。

全反射を用いたものに光ファイバーがある。光ファイバーは、ガラスなどで作られた人工的な繊維で、光通信などで用いられている。光ファイバーの中心部と周辺部で性質の異なる素材が用いられており、中心部に光を通すと、繊維が曲がっていても光は繊維の中を全反射しながら進んでいく。光ファイバーを多数束ねた光ファイバーケーブルは、医療現場で用いられる電子内視鏡などに使用されている。

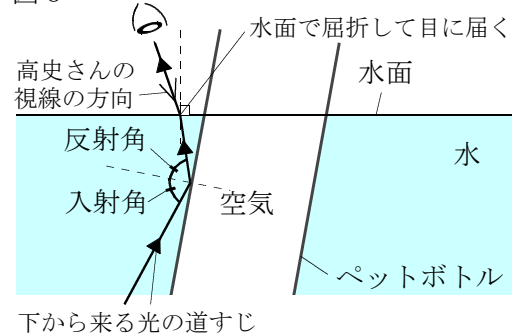


(6) 図6を参考に、(5)の内容に触れながら、ペットボトルの水につかった部分が光を反射して鏡のように光って見える現象について説明しなさい。図6にかきこみをして説明に用いてもよい。

説明

図6に下方から水中を通過してきた光の道すじをかきこんだ。このとき、水からペットボトル内の空気に向かって光が進んでいる。空のペットボトルを水そうの水につけ、斜め上から見ると、下から来る光の、水からペットボトル内部の空気への入射角が大きいため、屈折角が 90° に達し、全反射が起こる。そのため、高史さんには下方からの光が全反射で届くため、ペットボトル表面が周囲の景色を映して、鏡のように光って見えることになる。

図6



【解説】 全反射に関する基礎的・基本的な知識・技能を活用し、観察された現象を分析して解釈する問題。

サイエンスマジックとしてよくとり上げられる現象である。この現象は、水そうにひたしたペットボトルを横から見たときは起こらず、ある角度以上で斜め上から見たときに発生する。斜め上から見たとき、水そう下方からの光が、ペットボトル表面（ペットボトル壁面をはさんで接する水と空気の境界面）で全反射し、周囲の景色を映す鏡面のように見える。厳密には水とペットボトル、ペットボトルと空気の境界面でも光の屈折が起こっているが、ペットボトルが薄いため、肉眼で観察する場合は考えなくてもよい。

なお、ポリエチレンの袋に絵を入れたものを水そうの水にひたして、斜め上から見たときも、ポリエチレンの袋が鏡面のように光って見える。ペットボトル同様、ポリエチレンフィルムをはさんで接する水と空気の境界面に光が入射しているため、全反射が起こる。

「活用」(分析・解釈)

高史さん：冬の早朝に、図7のように、昇ったばかりの太陽が変形して見える「だるま朝日」という現象が起こることがあるけど、これも光の屈折が関係しているのかな。

図7

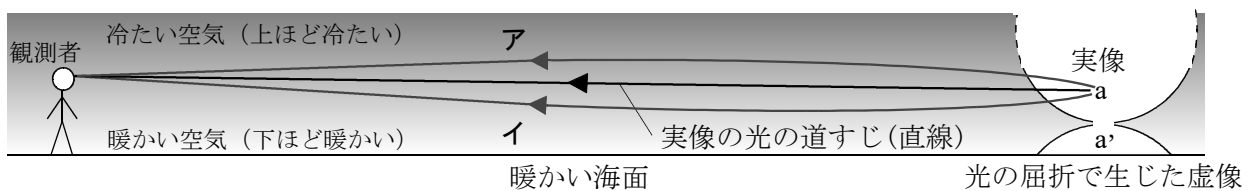


知子さん：そのとおりよ。晴れた日の早朝に地表近くの気温が大きく下がっても、海面の温度は大きく下がることはなく、海面に触れた空気はあたためられるので、あたたかい空気の層の上に冷たい空気の層が重なっている状態になるの。気温の異なる空気が接していると、光の屈折によ

って太陽からの光が曲げられて虚像が生じるため、太陽が変形して見えるのよ。

高史さん：そんなことまで知っているなんて、知子さんはとっても理科に詳しいね。

(7) 虚像の光の道すじは、下の模式図ア・イのどちらか、正しいものを選びなさい。また、そう考えた理由を、虚像の位置に着目して説明しなさい。



虚像の光の道すじ：(イ)

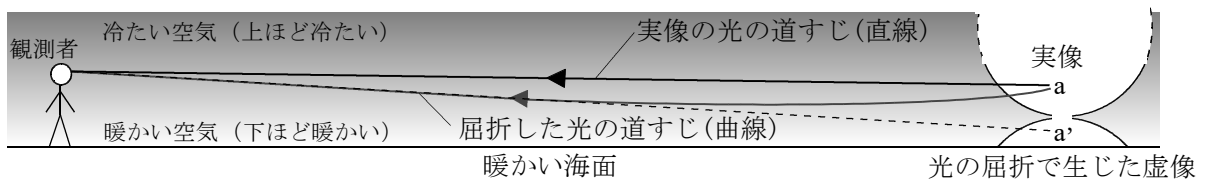
理由

光がイのように上向きに曲がって観測者に届くとき、観測者からは実像の光のほかに、下からも光がやってくるように見え、その結果、実像の下に虚像があるように見えるから。

【解説】

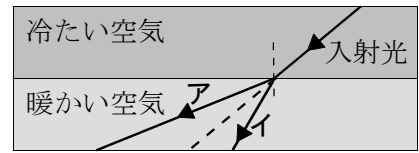
光の屈折に関する基礎的・基本的な知識・技能を活用し、観察された現象を分析して解釈する問題。

「だるま朝日」のように実像の下に虚像が現れる場合の光の道すじは、下の模式図のように、上向きにカーブした光の道すじになっていると考えられる。



「活用」(分析・解釈)

(8) 屈折が起こるのは、物質中を光が進む速さが物質によって異なるためである。水中では空気中より光の進む速さが遅い。「だるま朝日」の現象で、あたたかい空気と冷たい空気は同じ物質であるのに屈折が起こるのは、空気は気温によって密度が変化し、空気の密度が大きいほど、光の進む速さが遅くなるためである。あたたかい空気の上に冷たい空気があるところに光が入射するとき、光の道すじは右の模式図のア・イのどちらか、正しいものを選びなさい。また、そう考えた理由を、気温や密度と光の進む速さとの関係を踏まえて説明しなさい。



光の道すじ：(ア)

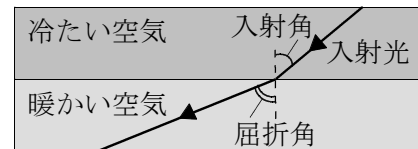
そう考えた理由

冷たい空気は密度が大きく、光の進む速さは遅い。一方、あたたかい空気は密度が小さいので、光の進む速度は速い。よって、冷たい空気からあたたかい空気へ光が入射するときの屈折は、水から空気へと光が進むときと同じく、入射角より屈折角が大きい。よって答えはアである。

【解説】

光の屈折に関する基礎的・基本的な知識・技能を活用し、観察された現象の原因を考察する問題。

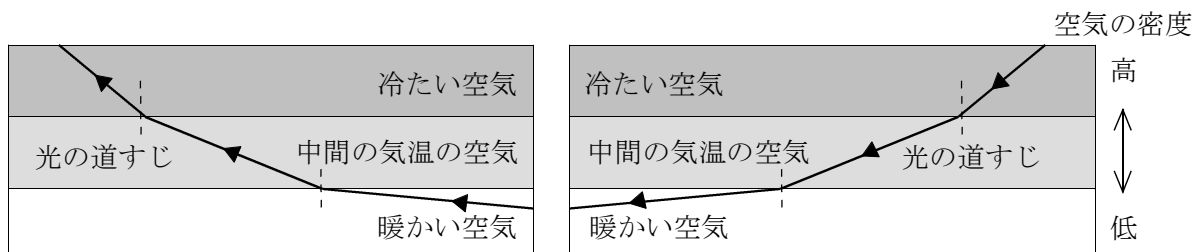
すでに(6)のペットボトルの実験で、水から空気へ光が入射するときの、入射角と屈折角の関係について触れている。また、問題文において、水中では空気中より光の進む速さが遅いことと、空気の密度が大きいほど光の進む速さが遅くなることを示している。なお、気温と空気の密度との関係は、2年生の気象分野(例：季節風)で、気温が低いほど空気の密度は大きくなることを学習する。



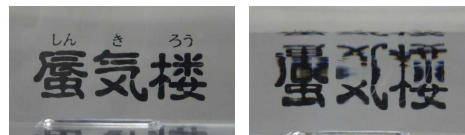
(8)では、密度が大きくて光の進む速が遅くなる冷たい空気から、密度が小さくて光の進む速さが速くなるあたたかい空気へ光が入射することになるため、(6)と同様に入射角より屈折角が大きくなり、光の道すじは上向きに曲がることになる。「活用」(分析・解釈/構想)

【補足/発展】

温度の違う3つの空気の層が重なっているところを光が通っていくときの光の道すじを考察する。下の模式図のように、密度が大きい冷たい空気から密度が小さいあたたかい空気の方へ光が入射するときは、入射角より屈折角が常に大きくなり、逆に、あたたかい空気から冷たい空気の方へ光が入射するときは、入射角より屈折角が常に小さくなるから、上向きにカーブするような光の道すじになると解釈できる。



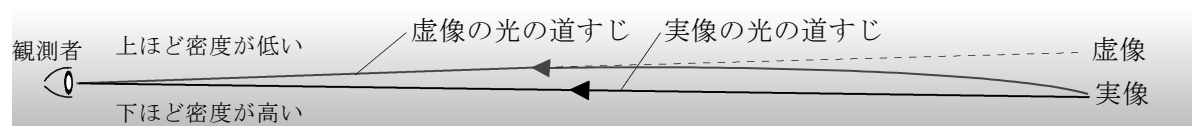
密度の違いによる光の屈折については、次のようなモデル実験がある。右の写真のように、水を入れておいた水そうに、ろうなどを用いて水そうの底の方から静かに飽和食塩水を注ぐと、上に密度の小さい水、底の方に密度の大きい飽和食塩水が重なった状態をつくることができる。そして、飽和食塩水を注ぐ前と後で、水そうの向こう側の文字がどのように見えるか比較したものが右の写真である。



食塩水を注ぐ前 食塩水を注いだ後

「だるま朝日」では実像の下にくっつくように虚像が重なっていたが、このモデル実験では実像の上に虚像が生じている。このことから、モデル実験における光の道すじの曲がり方は、「だるま朝日」とは逆に下向きにカーブしていると考えられる。観察者から見ると、下向きにカーブする光の先に像があるように見えるため、モデル実験では実像の上に虚像が現れる。

飽和食塩水の密度は水の約 1.2 倍である。モデル実験の操作で、「だるま朝日」と逆の、上の密度が小さく、下の密度が大きい層構造をつくることができる。ここを光が通る場合の光の道すじは、(7)のイの上下を逆にした下向きのカーブを描くため、実像の上に虚像が現れる。



右の写真は、レーザー光線をモデル実験の水そうに通したもので、光の道すじは下向きのカーブを描いている。



「だるま朝日」は^{しんきろう}蟹気楼の一種で、虚像が実像の下に現れる下位蟹気楼（冬型の蟹気楼）に分類される。下があたたかく、上が冷たい状態では大気の状態は安定せず、海面であたためられた空気は上昇・拡散していくが、あたたかい海面に触れる大気の下層が絶えずあたためられるため、見かけの上では、下があたたかく、上が冷たい空気層の形になっている。このとき、光が上向きに曲げられるため、実像の下に虚像が現れる。なお、水そうを用いたモデル実験では、下から水そうの水をあたためると水の対流が起こってしまうため、教室で再現するのは困難である。

この下位蟹気楼に対して、上位蟹気楼（春型の蟹気楼）がある。紹介したモデル実験で再現したのがこちらである。春になって気温が上がってくると、相対的に海水温が低くなるため、下が冷たく上があたたかい空気層が形成され、その場合は下位蟹気楼とは逆の下向きに曲がった、上に凸の曲線を描く光の道すじとなるため、実像の上に虚像が現れる。

参考資料 富山湾の神秘 蟹気楼解説書 魚津蟹気楼研究会 編
蟹気楼のはなし 石津秀知 著 魚津埋没林博物館 発行