

二つ目玉の効用



工学博士 西尾 宣明

元・東京ガス(株) 基礎技術研究所

満員電車の中で

大家 本影や半影と言え、満員電車で通勤していた頃のことを思い出されますねえ。与太郎さんのような職人さんはあんまり経験がないでしょうがね。

与太郎 そうですね。通勤の時間帯に電車に乗ることは減多にないですからね。

で、何か面白いことがあったんですか？

大家 特別面白いことがある訳じゃあないけれども、満員電車じゃ本を読む訳にも行かないから、人の頭の間から外の景色を眺めるぐらいしかすることがありませんね。

与太郎 それが何か半影っていうのに関係あるんですか？

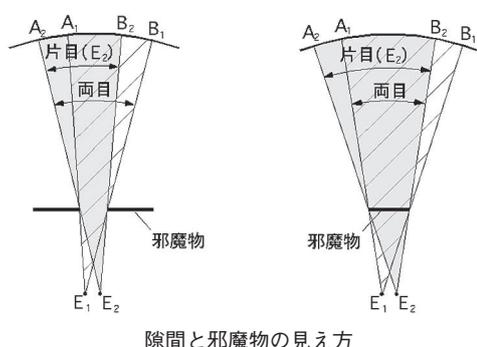
大家 そうなんです。頭と頭の隙間からでも外の景色が結構よく見えるんですね。

与太郎 あんまりよく分かんないなあ。

大家 何の気なしに片目をつぶってみたんですよ。そうしたらうんと狭い範囲しか外が見えないんですよ。逆に邪魔な頭の大きさが両目で見るときよりうんと大きく感じられるんです。

与太郎 大家さんはそんなことも実験してるんだ。やっぱりガリレオ爺さんなんだなあ。でも、半影っていうこととどんな関係があるんですか？

大家 それですが、こんな図で説明してみましょうね。



隙間と邪魔物の見え方

この図の左側は邪魔物の中から外を見る場合です。左目を E_1 、右目を E_2 とします。

そうすると、左目で外が見える範囲は $A_1 \sim B_1$ です。同じように右目で見える範囲は $A_2 \sim B_2$ です。

両目が同時に見ている範囲は $A_1 \sim B_2$ だけれども、脳味噌は片目だけで見える範囲も合わせて $A_2 \sim B_1$ の範囲が見えていると判断するわけです。

与太郎 そういうことか。この図では両目を使って見える範囲が片目の時の3割から4割ぐらい大きいって言うわけですね。

大家 そうです、そうです。

与太郎 そうして、 A_2 から A_1 の網掛け部分の所と B_2 から B_1 の斜線の所が半影っていうことなんでしょう？

そうすると、 A_1 から B_2 の網掛け部分と斜線が重なった所が本影っていうわけだ。

大家 素晴らしい！まったくその通りです。

ただ、この場合に日食や月食と違うのは、目から光が出ているわけではないですから、両目で見える範囲が明るくて片目で見える範囲が暗いと言うことはありません。両目で同時に見えるかどうかの違いで、明るさは関係ありません。

与太郎 でも、外の景色が3割4割大きいと気分が違いますよね。

大家 そうですね。それに、目の前の障害物——誰かの頭のことですが——それも小さく見えますから、余計に気分よく外が眺められますね。

与太郎 右側の図ですね。

えーと、片目で見ると頭が邪魔する範囲が $A_1 \sim B_1$ とか $A_2 \sim B_2$ だけど、両目で見ればそれが $A_1 \sim B_2$ になるって言うことですね。

なるほど。これも2, 3割ぐらいい邪魔物が小さく見えるんだ。

大家 目玉が二つあるということは、物の遠近が分かったり物が立体的に見えること以外にも結構役に立つことがあるということが分かったでしょう？

木漏れ日の原理

与太郎 いやあ、面白いですね。

そう言えば、今仕事をしている建築の現場で気がついたんですけど、足場板に孔明き鉄板を使ってるんですよ。孔の径は1センチぐらいですかね。その孔を通って地面に映った光が結構大きな丸になってるんですよ。

あれは孔を通ると太陽の光が広がるんですかね。

大家 ああ。確かに広がることは広がるんですが、あれは孔を通る時にできる半影が広がるんですよ。

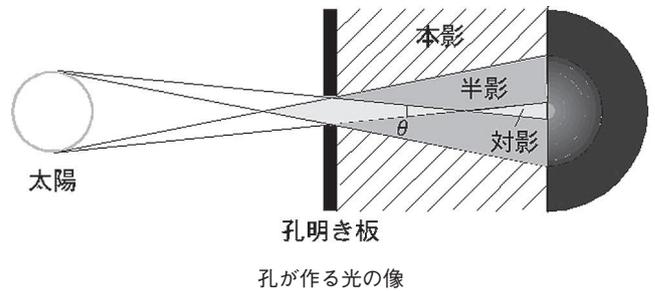
与太郎 半影ですか？でも、孔があいてるだけで、月とか地球に当る物がないんじゃないですか？

大家 半影や本影は何も月や地球だけでできるとは限りません。光を遮るものがあれば大抵できますよ。光源が点ではなくて一定の大きさを持っていればね。

孔明き鉄板の場合は鉄板が大きな月や地球で、孔が太陽を眺める空の役目をしているだけです。

与太郎 ああ、そういうことなんだ。

大家 孔明き鉄板でできる本影や半影はこの図のようになります。



本影はその中からは太陽が全然見えない領域、半影は太陽の一部分しか見えない領域ということで、日食や月食の場合と同じことです。

与太郎 この対影っていうのは何ですか？

大家 これは半影が重なった領域ですが、半影といくらも変わりません。

少し違うのは対影の領域では届く光の量がほとんど一定なのに対して、半影の中では本影に近いほど光が少なく、対影に近いほど光が多くなるということです。

日食や月食の時と同じく、それぞれの領域から太陽がどれだけ広く眺められるかということを考えれば分かります。

与太郎 そういうことか。影の中から太陽がどれだけ多く見えるかって考えるといいんだ。初めっから本影だ半影だって言われると何か理論的に難しいことなのかと思っちゃうんですね。

大家 そうなんですね。「対影」と書いた所だって、金環食のときの本影の後ろの領域、つまり金環が見える領域と思えばいいんです。

この領域では月が太陽を隠し切れないから金環ができるんですが、孔明き板の場合は金環に当る板の部分が太陽を隠して、太陽が100%は見えないという領域なんですね。

与太郎 そうか。太陽を隠すか通すかが反対になってるだけで、理屈はおんなじなんだ。

それで、実際には鉄板の金環食が始まる距離っていうのがあるんでしょう？対影っていうのは鉄板からどのぐらい離れるとできるんですか？

大家 θ と書いたこの角度。これは我々から太陽がどのぐらいの大きさで見えるかを示しますが、これは約0.008ラジアン、1度の約46%です。対影が始まる位置は孔の大きさによりますが、孔の直径が1センチ

のときに鉄板から約 1.25メートルです。孔の大きさが2倍になればその距離も2倍になります。

与太郎 その分対影や半影も広がって——地面に映った光は大きくなるんだ。

大 家 その代わり明るさは弱くなりますがね。

ところで、春とか秋の木の葉があんまりびっしりと茂っていない時に、木の下に木漏れ日がきらきらと揺られて地面に落ちることがあるでしょう？あれは色んな大きさの孔があいた鉄板が色んな高さに沢山掛けてあると考えることもできますね。光の大きさも明るさも形もいろいろで、風が吹けばさらさらと動いて、なかなかいいものですね。

与太郎 孔明き鉄板と木漏れ日がそんな風に関係があるなんて、考えたこともないですよ。

でも、そう考えると面白いですね。

ガリレオ翁さんは物理の詩人ですね。

大 家 それはちょっと褒め過ぎですよ。

凹んだ海面

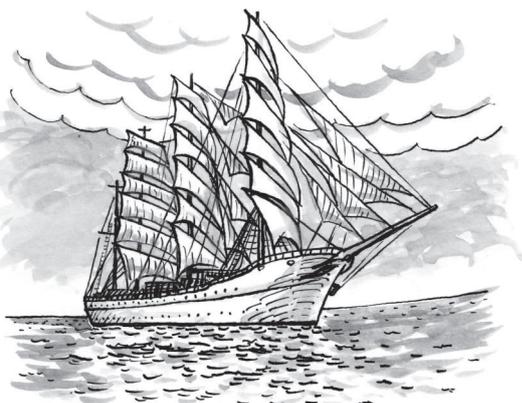
与太郎 大家さん。片目と両目の話で思い出したんですけど、こないだ東京ゲートブリッジが開通しましたね（2012年2月11日）。

テレビで船から映したのを見てる時に気がついたんですけど、ゲートブリッジにどんどん近づいて行くと水面がへっこんでるように見えるんですよ。

地球は丸いから、出っ張って見えなきゃおかしいんじゃないですか？

あれはカメラのせいなんですかね。

大 家 おお。いい所に気がつきましたね。



凹んだ海

ずいぶん昔のことですけど、どこからか頂いたカレンダーのきれいな船の写真を見た時に私も気がついたんですよ。

こんな具合に海が凹んでいたんですね。与太郎さんはどうしてこんな具合になると思いますか？

与太郎 うーん。カメラのレンズを通して見るとあんな風になるのかなあ。

大 家 ところが、カメラのレンズも人間の目も原理は同じだから、実際には人間の目で見ても海は凹んで見えるんですよ。ただ、一般には二つの目で見ているという違いはあって、脳味噌がうまく修正してくれていますかね。

与太郎 ふーん。そうなんですか。

直線は曲がっている

大 家 与太郎さんが、今、長一い堀の前1、2メートルぐらいの所に立っているとしますね。

堀の高さが2メートルもあれば、正面の堀は少し見上げるような高さですね。

次に堀の左端の方を見るとどんな高さに見えますか？

与太郎 堀の天辺をずーっと左に追って行くと——あれっ、そんなに高くは見えませんか。遠くなると堀は小さくしか見えないから、大体目の高さぐらいになるんじゃないですか？

大 家 そうですね。次に右の端の方を見たらどうですか？

与太郎 それは左端の方と同じことですね。大体目の高さ——あっ、そうか。右と左が目の高さで、正面が見上げる高さだから、堀の上の線は上の方に出っ張って見えるってということですね。

大 家 そういうことなんですよ。

じゃあ、次に堀の下の線を見たらどうなりますか？

与太郎 それもやっぱり左右の端は目の高さで、目の前の所は足元の高さに見えるから、下向きに出っ張ってるって言うか、上から見れば凹んでるように見えますね。

大 家 もしもちょうど目の高さに水平に線が描いてあったら、その線はどんな風に見えますか？

与太郎 左右の端も正面も全部目の高さだから、これは真っ直ぐの線に見えますよね。



長い堀

あっ、そうか。ちょうど目の高さにある直線は直線に見えるけれども、それより上にあるか下にあるかによって、直線は出っ張って見えたり凹んで見えたりするんだ。

写真の海が凹んで見えたのは海面が目の高さより下にあったからなんですか？

大家 ご名答！と言いたいところですが、実は少し違うんですね。

実際には、「目の高さ」と言うよりは「目線の高さ」が基準になります。

目線を堀の上の線に合わせたまま、つまり上向きの角度を一定にしながら見れば、上の線はしっかり直線に見えます。

与太郎さんがテレビで見たのは、カメラの「目線」が水面よりもうんと高い橋の方を向いていたので、本来水平の水面は凹んで見えたのです。これは人間の目でもカメラのレンズでも同じことです。

与太郎 そういうことですか。これはいい勉強になったなあ。

でも、今まで堀だとかテレビで見たゲートブリッジのような景色とかはいろいろ見てるけど、堀の天辺の線が曲がっていたり、海の水平線が凹んでいると思って眺めたことはないですよ。

やっぱりカメラのレンズと人間の目はどこか違うんじゃないんですか？

大家 それは与太郎さんの場合二つの目で見ているからです。

今度長い堀を見つけたら、片目で眺めてご覧。堀の上と下の線はさっき描いた図のように曲がって見える筈ですよ。

もっと身近なところでは——尾籠な話だけれど、トイレで便器に座った時に正面の扉を片目で眺めてご覧。矩形の扉は上と下がすぼまって、細長い太鼓のように見えますよ。

ところが、両目で見るとちゃんと矩形の扉に見えます。両目で扉の面全体を瞬間的に三角測量して、両側の縦の線が本当は直線だと言うことを知ってしまうんでしょうね。

その証拠に、右目と左目を交互に開いてみると右目で見ている扉と左目で見ている扉が全然違うものだということが分かります。

しかも、片目で見ると扉の面も平面じゃなくて、目に近い所がこちらに膨らんでいるように見えますよ。

与太郎 そうなんですか。驚いたなあ。大家さんはそんなことまで実験してるんだ。

写真の正しい見方？

大家 まあね。例の船の写真を見て、海面がなぜ凹んで見えるのかと疑問に思ったのがきっかけですがね。

ところで、普通の写真を立体的に見る方法を教えましょうか？

与太郎 ええ？普通の写真が立体的に見えるんですか？

大家 ほら、ここに私が親戚の娘の結婚式に行った時のスナップ写真（普通のL判の写真）があります。これが立体的に見えるんですよ。

与太郎 ええっ？本当ですか？どうやって見るんですか？

大家 片目だけで見てご覧。立体的に見えないですか？

与太郎 あれー、ほんとだ。凄い！面白い！ほんとに立体的だ。でも、どうしてなんでしょうね。

大家 カメラが立体を一つの目で見たものだから、私たちが片目で見るのが本当は正しい見方なんですよ。

両目で見ると、目は三角測量をして印画紙が平面だと直ちに判断してしまうんですよ。平面と分かっちゃったら、その上に写った像は立体的に見えようがないですね。

片目で見れば、印画紙が平面かどうかはほとんど分かりません。写っている対象物しか目に入りませんから、カメラが見た通りの立体的な情景を素直になぞることができるんですね。

与太郎 そうなんだ。何も2台のカメラで撮った3D写真でなくても結構立体に見えるんだ。帰ったら家の皆に教えてやらなくちゃ——。

大家さん、ありがとう。