

蜃気楼の形状による気温分布の計算

長谷川 能三

大阪市立科学館

1. 屈折率が連続的に変化する媒質中での光の経路

屈折率 n が高さだけの関数、つまり $n(h)$ と表わされるとする。任意の高さ h において、

$$\cos \theta = n(h_1) \cos \theta_{h_1} \frac{1}{n(h)} \quad \dots(1)$$

という関係が得られる(ここで、 θ は h の関数であるが、一価関数とは限らない)。そこで、高さ h_1 から h_2 まで光が進む間に、水平方向に進む距離は、

$$\begin{aligned} \Delta x &= x_2 - x_1 \\ &= \int_{h_1}^{h_2} \frac{\cos \theta}{\sin \theta} dh \quad \dots(2) \end{aligned}$$

となる。屈折率 $n(h)$ が高さ h の一次関数であると近似すると、(1)から、

$$dh = \frac{n(h_1) \cos \theta_{h_1} \sin \theta}{n'_1 \cos^2 \theta} d\theta \quad \dots(3)$$

となり、これを用いて(3)の積分を変数変換すると、

$$\Delta x = \frac{n(h_1) \cos \theta_{h_1}}{2 n'_1} \ln \frac{(1 + \sin \theta_{h_2})(1 - \sin \theta_{h_1})}{(1 - \sin \theta_{h_2})(1 + \sin \theta_{h_1})} \quad \dots(4)$$

となる。

これにより、大気を多数の層に分け、それぞれの層内では屈折率が高さの一次関数で近似すれば、光が進む経路を計算することができる。



写真1 蜃気楼が発生したときの生地方面の様子
(2005年5月20日 15時48分)

2. 気温の垂直分布の計算方法

気温の垂直分布 — つまり屈折率の垂直分布を求めるのに、

- ① 蜃気楼が発生した時に、対象物のどの部分がどの角度で見えたのか、変形プロフィールを調べる。
- ② 気温(屈折率)の垂直分布のパターンを多数用意し、それぞれの屈折率分布ではどのような蜃気楼になるのか、変形プロフィールを計算する。
- ③ ②で計算した変形プロフィールの中で、①の変形プロフィールに近いものを選び出す。
- ④ さらに③で選び出した屈折率分布に似たパターンを多数用意し、③を繰り返す。

という手順で行なった。

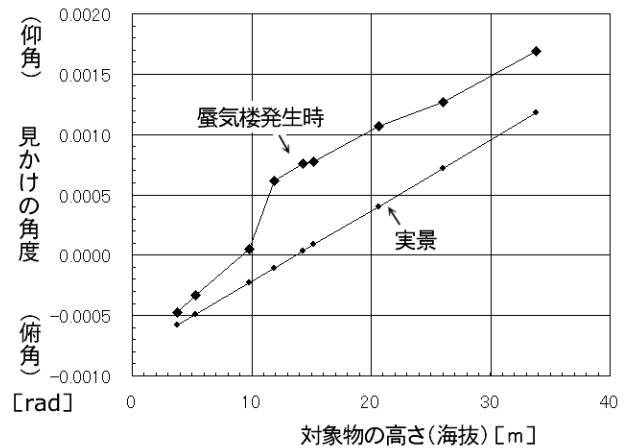


図1 蜃気楼の変形プロフィール



写真2 生地方面の実景
(写真1, 2 : 木下正博氏 提供)

3. 計算結果

こうして求めた屈折率の垂直分布は図2のとおりである。屈折率(相対値)の0.000001の違いが、気温差の約1度に相当し、屈折率の比が小さい方が気温が高い。このことから、求められた気温の垂直分布は冷気層と暖気層の温度差が約1度しかなく、これまで

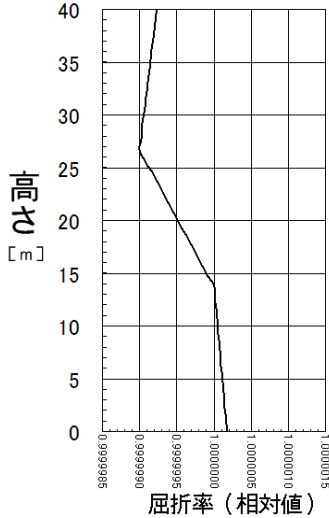


図2 計算により求めた屈折率の垂直分布

の実測された値との差が大きい。

また、この屈折率(気温)の垂直分布での光の経路は図3のとおりである。さらに細かく蜃気楼の変形プロファイル进行を計算すると図4のとおりとなった。大まかには図1の画像から得られた変形プロファイルと同じような傾向ではあるが、まだ十分一致しているとは言えない。

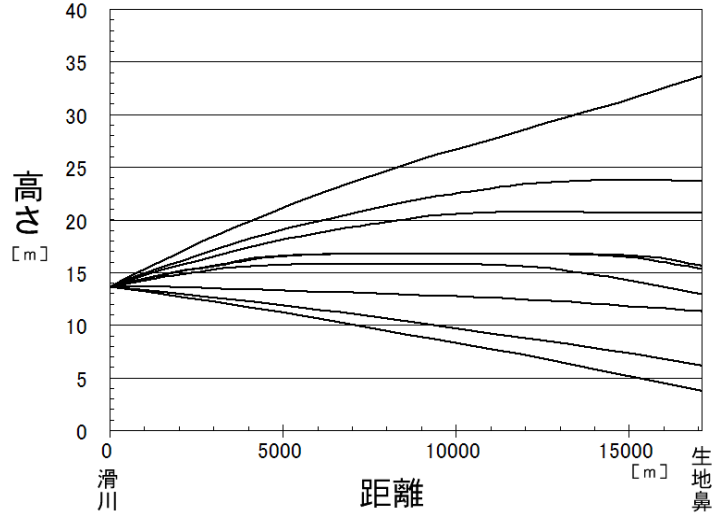


図3 求めた屈折率の場合の光の経路

4. 考察

今回このようにして屈折率(気温)の垂直分布を求めたが、これまで実測された気温分布との間に大きな開きがあり、また、蜃気楼の変形プロファイルも画像から求めた変形プロファイルとの間に少し開きがある。これらの原因として、以下のような問題点が考えられる。

そもそも屈折率(気温)が高さのみに依存するということを前提としているが、実際には同じ高さでも気温は一定ではない。しかし、水平方向の変化は予測不可能な要素が多く、計算に含めることは非常に難しい。撮影地と蜃気楼化した景色との間で、一方に近づくに連れ冷気層が厚くなるとか、冷気層の温度が高くなるというように、定性的に変化する要素があれば、計算は複雑になるが盛り込むことは可能かもしれない。

屈折率の垂直分布については、どのようなモデルを立て、自由度をどの程度にするかということは、適切な解が得られるかどうかと計算時間に大きく影響することであり、今後、もっと検討していかなければならない。

また、撮影地の滑川から生地鼻までが17.1kmと遠いため、地球の丸さを考慮すると光の経路の高さは最大5.7mもずれる。今回、計算の都合上考慮しなかったが、何らかの方法で繰り込まなければならない。

さらに計算上の問題点だけでなく、蜃気楼の変形プロファイルを作ることができる画像が少ないことや、手間がかかるといった問題もある。

今後はこれらの問題点を解決しつつ、この手法を発展させていく予定である。

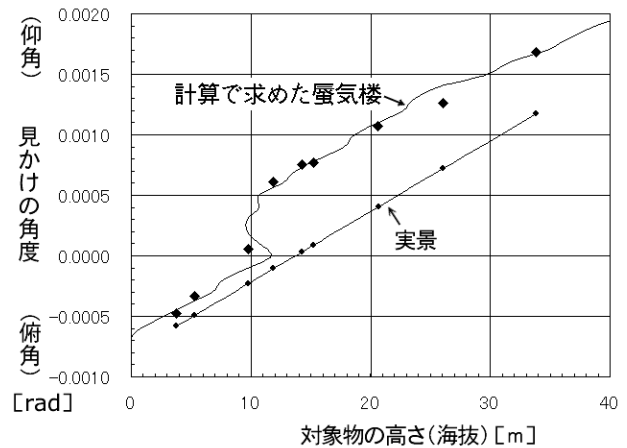


図6 求めた屈折率による蜃気楼の変形プロファイル

謝辞

本研究において、蜃気楼の画像を快く提供していただいた木下正博氏(富山県立滑川高等学校教諭)に感謝申し上げます。

参考文献

木下正博,市瀬和義,西東孝信
「ライブカメラの役割と教育的活用について」
第3回蜃気楼交流会研究発表要旨 (2005)
宮川政昭 「蜃気楼と湿冷帯(層)その2」
第3回蜃気楼交流会研究発表要旨 (2005)