

## 蜃気楼の形状による気温分布の計算2

長谷川 能三\*

### 概要

蜃気楼は、特殊な気温分布の時に遠くの景色が伸び縮みや上下反転して見える現象であり、限られた地域でしか見ることができない。これまで、蜃気楼発生時にどのような気温分布になっているか、蜃気楼の写真から景色の変形量を調べ、計算によって求めることを試みたところ、簡単な気温分布モデルでもある程度結果は得られたものの、いくつかの問題点も明らかになった。

そこで今回、気温分布モデルの自由度を増やし、より一般的な気温分布を求めたところ、わずかな情報からでも興味深い結果が得られた。

### 1. はじめに

蜃気楼は、下層に冷氣、上層に暖気があるときに、10km程度先の景色が上に伸びたり、上下反転したりして見える現象であり、蜃気楼は富山湾や大津など全国でも限られた地域でしか見ることができない。

これまで、木下正博氏らによって、富山県の魚津から生地方面に見える蜃気楼の多くは、生地地域の陸地を通して暖められた風が海上を通して冷たいままの空気の上に層を作るというメカニズムが明らかにされてきた。しかし、蜃気楼の発生メカニズムはいくつもあると考えられており、例えば富山湾全体で見られる大規模な蜃気楼などはまだそのメカニズムが解明されていない。

このような蜃気楼のメカニズムを解明していく上で、気温や風向・風速といった気象データが欠かせない。しかし、立体的な、しかも海上も含めた気象データを得ることは非常に難しい。

そこで、撮影された蜃気楼の画像から、気温分布を求めることを試みた。これまで、非常に単純な気温分布モデルではあるが、パラメータを変えながら観測者側から光線追跡することで、実際に撮影された蜃気楼画像に近くなる気温分布を求めることができた。しかし、水平方向には気温が一定であるとしたことや、地球の丸みを計算に入れることができなかつたなど、問題が多かつた。

### 2. 気温分布モデル

今回計算には、比較用として単純化したモデルを含め3種類のモデルをたてた。

#### 2-1. モデル①

まず、単純なモデルとして、空気は下層・混合層・上層の3層に分かれ、それぞれの層の境界面の高さは一定とした。また、下層内および上層内では屈折率は一定、混合層では屈折率は高さの一時関数とした。このモデルでは、

- ・ 下層と混合層の境界面の高さ
- ・ 混合層と上層の境界面の高さ
- ・ 下層と上層の屈折率の比

の3個の独立パラメータがある。

#### 2-2. モデル②

次に、水平方向にも屈折率が一定でないモデルとして、まず下層と混合層の境界面の高さ、および混合層と上層の境界面の高さが、観測者からの距離の一次関数になっているモデルをたてた。このモデルでは、

- ・ 観測者側での下層と混合層の境界面の高さ
- ・ 対象物側での下層と混合層の境界面の高さ
- ・ 観測者側での混合層と上層の境界面の高さ
- ・ 対象物側での混合層と上層の境界面の高さ
- ・ 下層と上層の屈折率の比

の5個の独立パラメータがある。尚、混合層の屈折率は、その位置での下層および上層との境界面でそれぞれの層の屈折率と一致し、混合層内では高さの一次関数とした。

\*大阪市立科学館 学芸課  
E-mail: nozo@sci-museum.jp

### 2-3. モデル③

さらに、境界面の傾きに加え下層および上層の屈折率が一定でないモデルもたてた。このモデルでは、下層および上層の屈折率は観測者からの距離の一次関数としたが、パラメータをむやみに増やさないため、下層と上層の屈折率の平均は、観測者からの距離に関わらず一定とした。このモデルでは、

- ・ 観測者側での下層と混合層の境界面の高さ
- ・ 対象物側での下層と混合層の境界面の高さ
- ・ 観測者側での混合層と上層の境界面の高さ
- ・ 対象物側での混合層と上層の境界面の高さ
- ・ 観測者側での下層と上層の屈折率の比
- ・ 対象物側での下層と上層の屈折率の比

の6個の独立パラメータがある。モデル③と同様に、混合層の屈折率は、その位置での下層および上層との境界面でそれぞれの層の屈折率と一致し、混合層内では高さの一次関数とした。

尚、これまで屈折率が高さの一次関数になっている場合について厳密な光路計算を行っていたが、気温分布モデルが複雑になったため、空間を小さなセルに分け、セル内では気温は一定とする近似で計算を行なった。

### 3. 計算データ

この計算には、今回も木下正博氏(滑川高等学校)が固定カメラで撮影している画像を利用させていただいた。蜃気楼による景色の変形量を測定するためなるべく鮮明な画像として、2005年5月20日15時48分の画像を使用した。

この画像と実景の画像から、対象物の共通する9つの位置(例えば灯台の白と黒の境目)の座標を調べ、これらの各点の実際の高さと蜃気楼が発生した時に見えた角度の関係から、図1の変形プロフィールをえた。

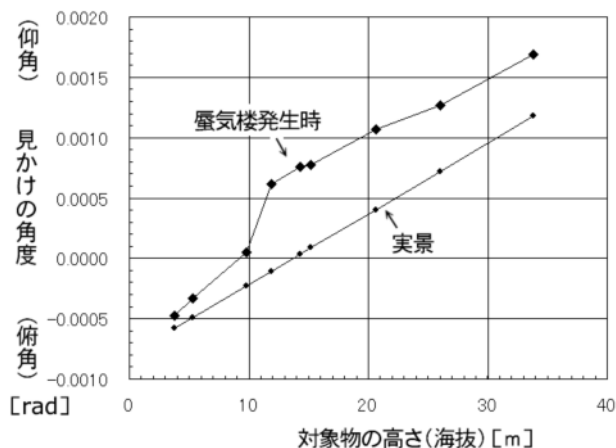


図1. 画像から得た蜃気楼の変形プロフィール

このグラフの右上がりの直線は実景(蜃気楼が発生していないときの様子)での関係を表わしており、蜃気楼が発生したときには景色全体が浮き上がって見え、特に海拔10~12m付近で景色の浮き上がり量が急激に大きくなっていることがわかる。

尚、固定カメラが設置されている高さは海拔13.7m、固定カメラから画像に写っている生地鼻の灯台までが17.1km、生地鼻の灯台の灯火が海拔32.47mである。

計算では、観測者側から光路追跡し、図1の変形プロフィールとの差の2乗和がなるべく小さくなるようなパラメータのセットを選び出した。独立パラメータが増えることが良い結果をもたらすとは限らないが、独立したパラメータの数が増えるにつれ、パラメータのセットの場合分けの種類が膨大になり、計算に時間を要するようになった。またパラメータが多くなってくると、変形プロフィールとの差と各パラメータとの関係は非常に複雑で、パラメータを広い範囲から狭い範囲へ絞り込んでいく過程でなかなか収束せず、苦労した。



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)



写真2 生地方面の実景  
(蜃気楼が発生していない時の景色)

#### 4. 計算結果

##### 4-1. モデル①

まず、冷気層・混合層・暖気層の各境界面の高さが一定の場合、もっとも写真1の層気楼画像に近い変形

が得られる気温分布は、図2のとおりである。ここで、屈折率の相対値0.000001の違いがおよそ気温1℃の違いに相当し、屈折率が小さい程気温が高いことを表わす。

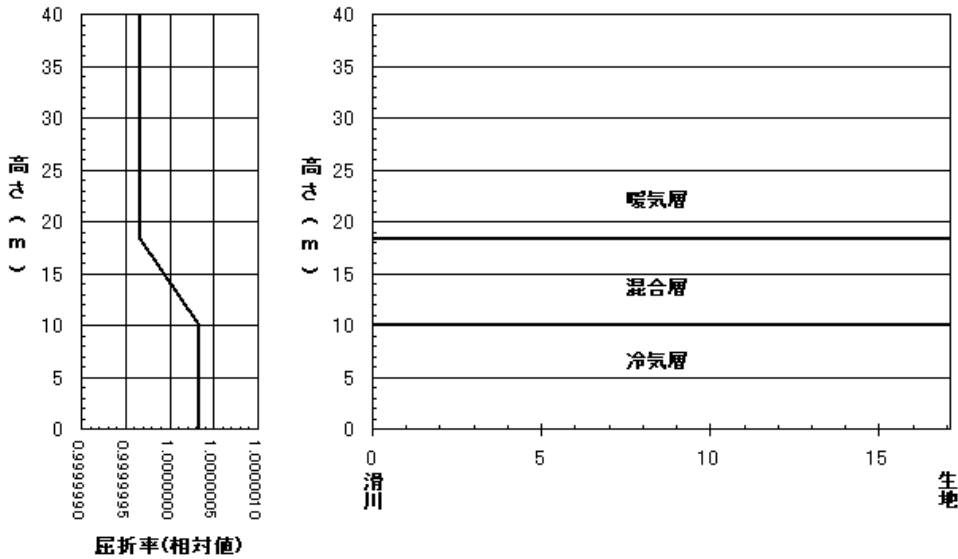


図2. モデル①で最適な気温分布

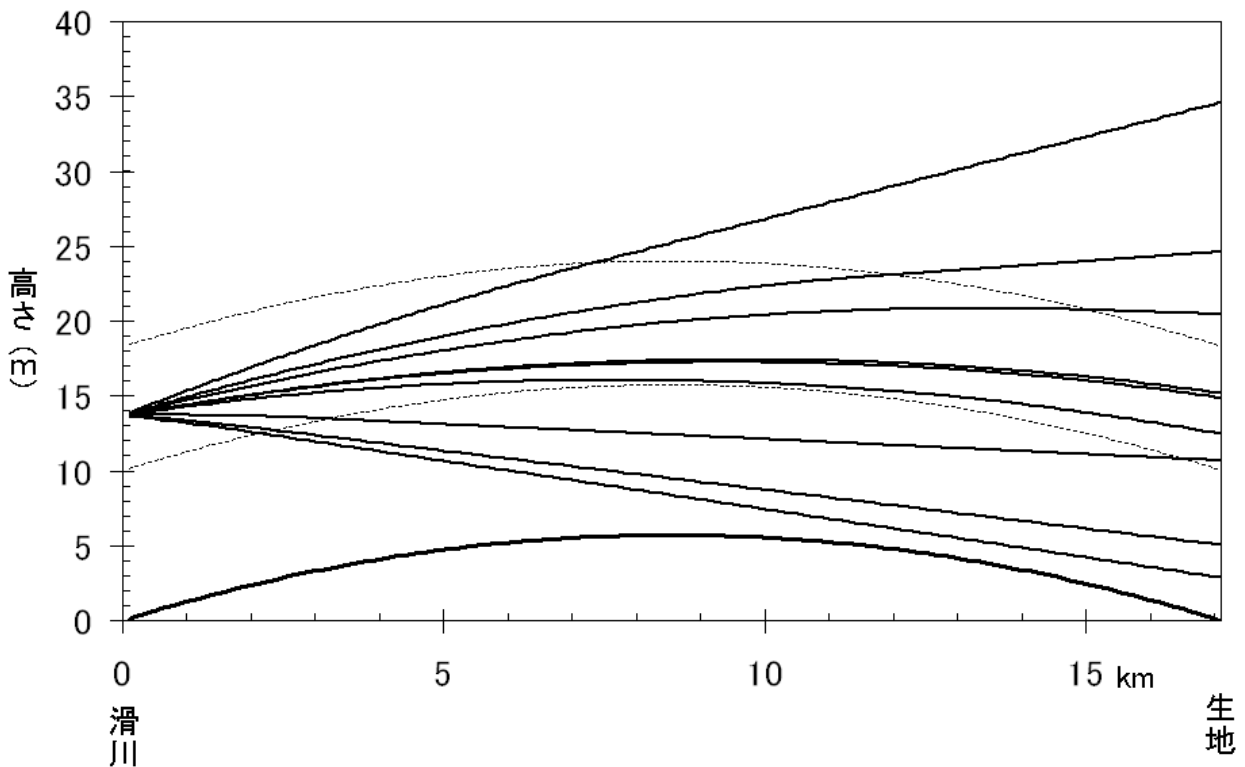


図3. モデル①で最適な気温分布における光の経路

地球の丸みを考慮に入れ計算をした結果、地球の丸みを考慮しない前回の場合とは実際の光の経路はかなり違っているものの、冷気層の上端の高さがかなり

高い(約10m)ことや、冷気層と暖気層の温度差が約1℃しかないことなど、おおむね同じ傾向の結果が得られた。

4-2. モデル②

モデル②は、観測者側(滑川)と対象物側(生地)で冷気層や暖気層の高さが異なるモデルである。このよ

うな自由度がある場合に、もっとも写真1の蜃気楼画像に近い変形が得られる気温分布は、図4のとおりである。

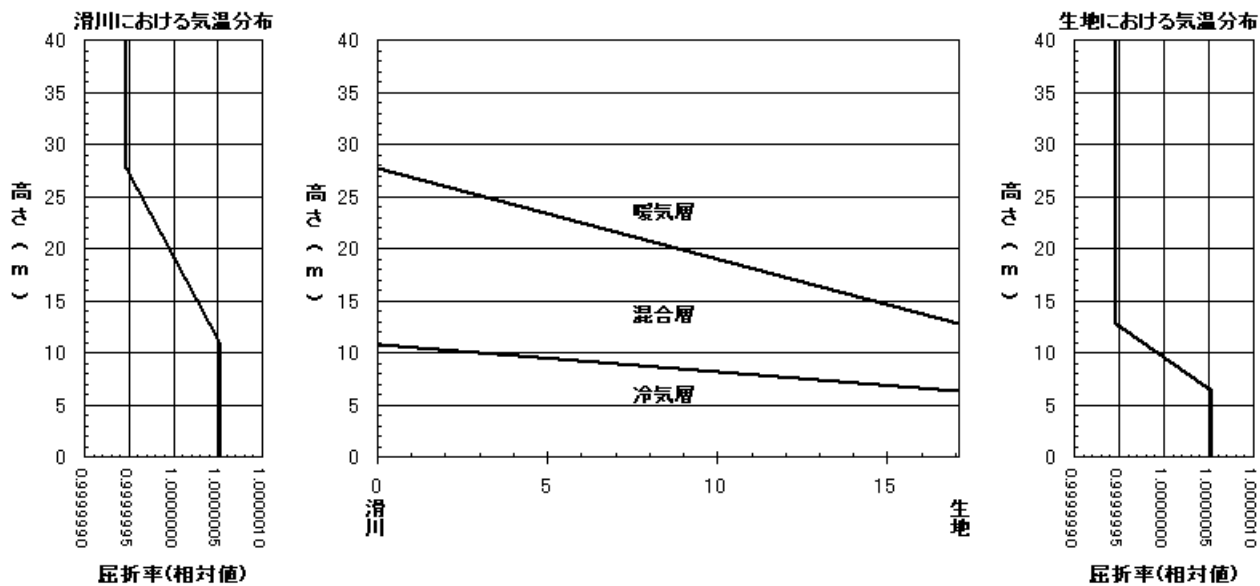


図4. モデル②で最適な気温分布

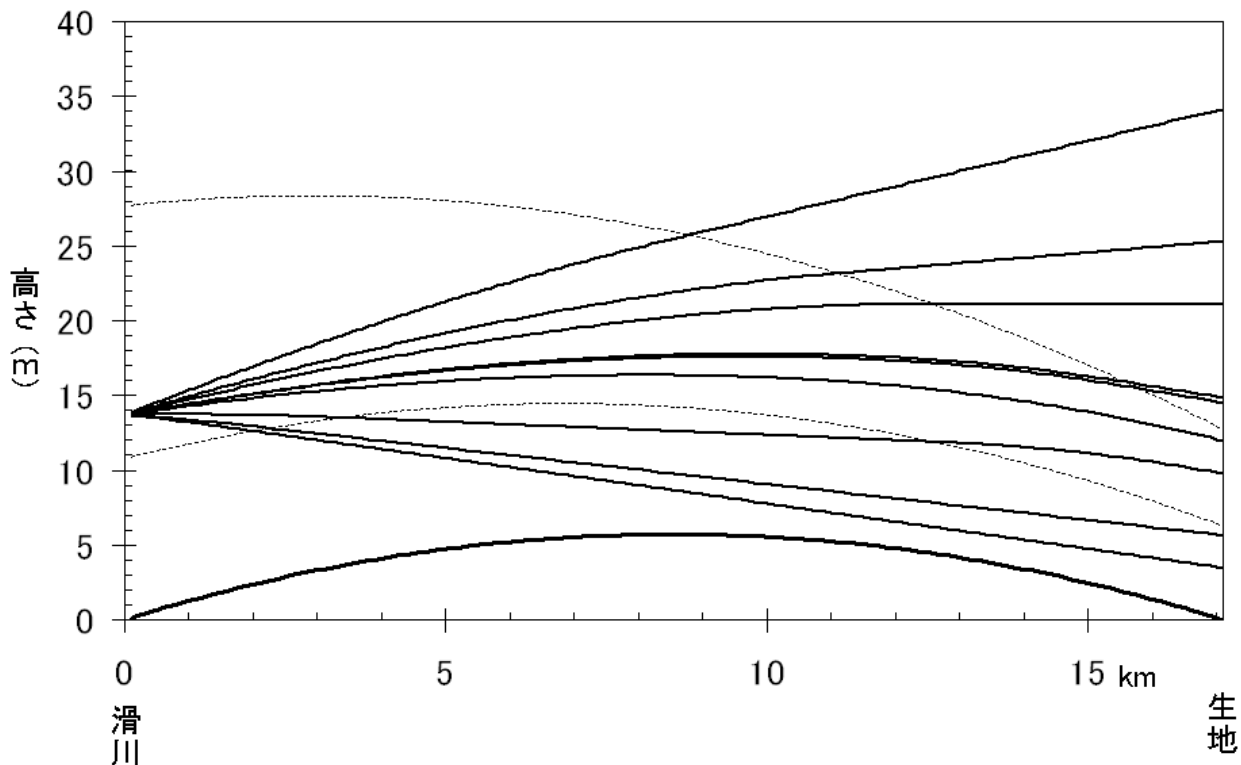


図5. モデル②で最適な気温分布における光の経路

この場合、対象物側(生地側)と比べて観測者側(滑川側)では、混合層がかなり厚い状態が、計算結果として得られた。

実際、蜃気楼が発生しているときには、生地から滑

川方向に風が吹いていることが多く、生地側では冷気層と暖気層の境界がはっきりしているが、風下の滑川へ近づくと境界がぼやけてくることが予想される。

4-3. モデル③

モデル②の結果を得て、さらに観測者側と対象物側で冷気層と暖気層の温度差そのものも異なるとした

のがモデル③である。このような自由度がある場合に、もっとも写真1の層気楼画像に近い変形が得られる気温分布は、図6のとおりである。

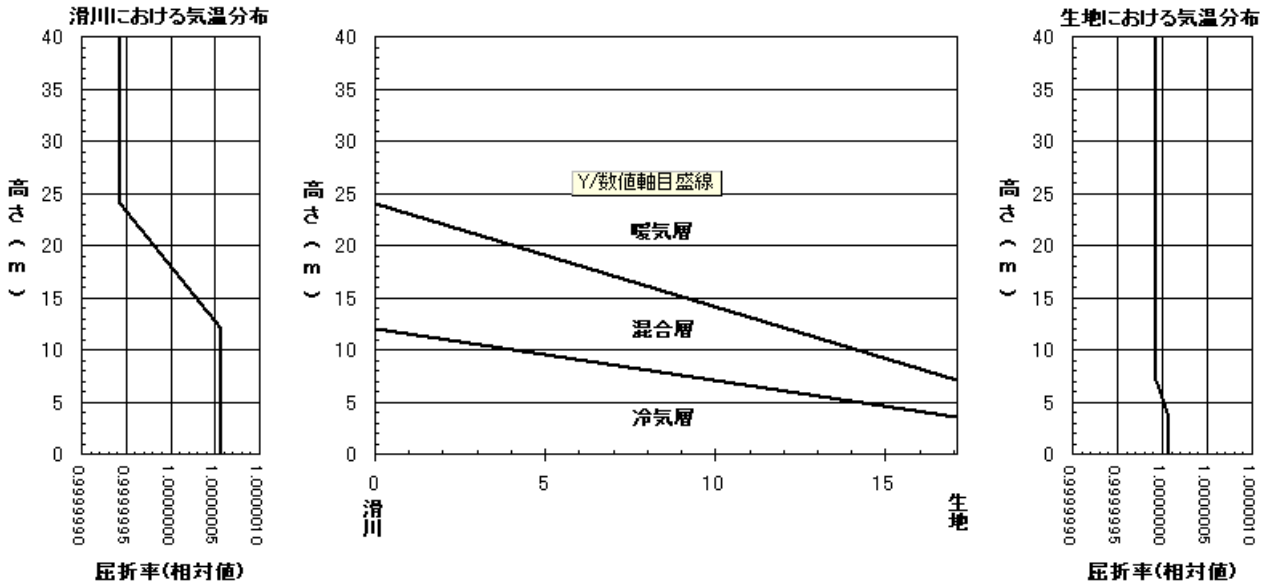


図6. モデル③で最適な気温分布

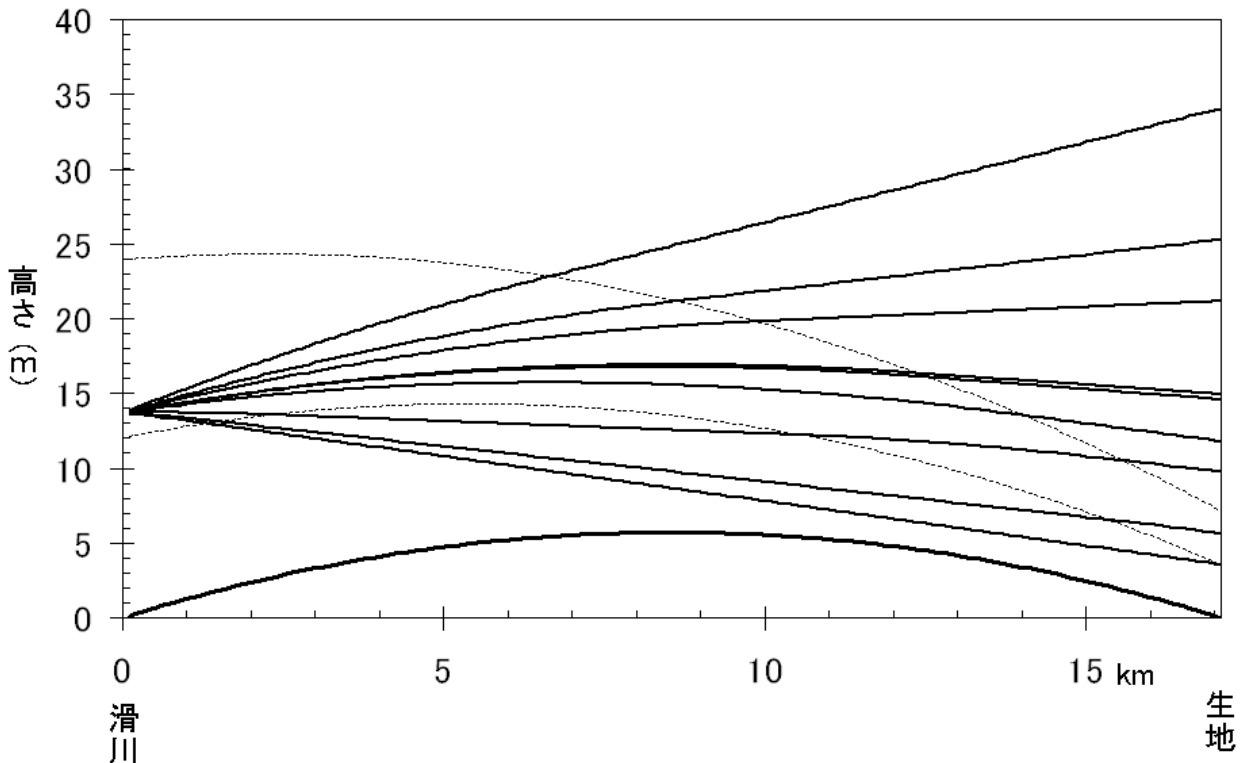


図7. モデル③で最適な気温分布における光の経路

モデル③で最適となった気温分布では、冷気層と暖気層の配置についてはモデル②と同じような傾向となった。しかし、観測者側での冷気層と暖気層の温度差はこれまでと同じ1℃程度であるが、対象物側での

温度差はわずか0.1℃程度と、ほとんど温度差がないという結果になってしまった。これは、生地側では冷気層と暖気層の境界がはっきりしている一つまり温度差も大きいという予想とは逆の結果となった。

### 3. 考察

今回、蜃気楼の画像上のわずか9点の位置の変化からの計算にもかかわらず、観測者側と対象物側での温度分布が大きく異なるのではないかということを示す結果を得られた。しかし、生地側での温度差がわずか0.1℃という予想から大きく異なる結果もあり、この結果が適切であるかどうか、引き続き検討が必要である。

特にわずか一例についての計算結果であり、またこの計算結果と適切に比較できる気温データがないが、今後、他の蜃気楼画像、特に複数の場所からほぼ同時に撮影された蜃気楼画像や、いくつかの地点での気温の実測値との比較ができる場合について、気温分布の計算を行なっていきたい。特に琵琶湖で発生する蜃気楼では、琵琶湖大橋が変形するのが見られるが、そもそも琵琶湖大橋は弓なり型であるため、変形した琵琶湖大橋の形から、蜃気楼の変形プロファイル曲線を得ることができる。残念ながら固定カメラによる琵琶湖大橋の蜃気楼写真が撮られていないため、実景との高さ比較ができない。そこで、今後、高さ比較ができる蜃気楼写真を撮影し、そこから気温分布を求め、琵琶湖における蜃気楼発生のメカニズムを解明していきたい。

### 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)

木下正博,市瀬和義

「富山湾の上位蜃気楼における発生理由の解明」

(2006)