

### 自作 iWeb Mirage Simulator によるレマン湖蜃気楼の解析

琵琶湖地域環境教育研究会 松井 一幸

Young、Frappa論文<sup>1)</sup>に複雑な姿としてその図-11に紹介されている上位蜃気楼画像を再現すべく、Web上で動くソフトに拡張したiWebMirageSimulatorを用いてシミュレーションを行った。その結果、温度境界層が前方へ緩やかに降下していると仮定すれば、単一の温度境界層モデルで図-11とよく似た上位蜃気楼画像が再現できることができることが分かった。

#### 1. はじめに

筆者は3年半前に、ホイヘンスの原理に基づく新しい光の経路計算法を提唱し、蜃気楼曲線の概念を導入して、実体画像から蜃気楼シミュレーションを自動的にパソコンで実行できる方法を確立した。

この方法は、地球の丸さや温度境界層の気温分布を容易に扱えることが特徴であった。

観測される下位や上位の蜃気楼の写真の姿から、温度境界層の動きを定量的に推定できること、上位蜃気楼の姿は基本的に境界層の高さで決まること等を明らかにしている。

初期はVisualBasicを用いたソフトであった

#### 2. Young&Frappa論文の図-11



**Fig. 11.** Mirage due to low structure at 15:46 UT on 22 April 2015, at the Marina of Hôtel des Princes at Publier, France. The motorboat is 1.66 km from the camera; its miraged parts are from 1.8 to 2.1 m above its waterline, measured on the reference image on the left, taken at 16:17 UT. The mirage shortens the windows of the buildings at the left and right edges. The limp flag shows how calm the air was.

図-1 湖岸から眺める1660m先のマリーナの船の複雑な上位蜃気楼

論文には以下のような説明がなされている。

#### <要旨意訳>

境界層の構造が十分に分かっていないので、写真に見るような蜃気楼像を正確にシミュレーションすることは不可能に思われる。蜃気楼像からは、カメラの高さより低い位置で気温の逆転と関連した3層蜃気楼が現れている。我々が通常扱っている逆転層の単純なモデルでは扱えないような強い屈折の影響が見られる。

#### 3. iWebMSによる蜃気楼シミュレーション

##### (1) Frappaの蜃気楼観察時の状況

シミュレーションを行うに当たり、必要なパラメータを図-2のように設定した。

・観測者目線高度:  $h=4.4[m]$

が、誰もがWeb上のブラウザでシミュレーションできるように、HTML+CanvasとStyleSheet、Java Scriptの技術を用いて、対話・統合型Web対応蜃気楼シミュレータ(iWeb Mirage Simulator)の開発に着手し、今年2月に完成し、iWebMSと名付けた。

5月にYoungとFrappa<sup>1)</sup>により「レマン湖の蜃気楼: ファタ・モルガーナ」と題する論文が発行された。その中で対象物まで僅か1660mの記録的最短距離の上位蜃気楼が複雑な蜃気楼として図-11に掲載されている。iWebMSを用いて蜃気楼シミュレーションを行い、单一境界層で説明が可能かどうかを探った。

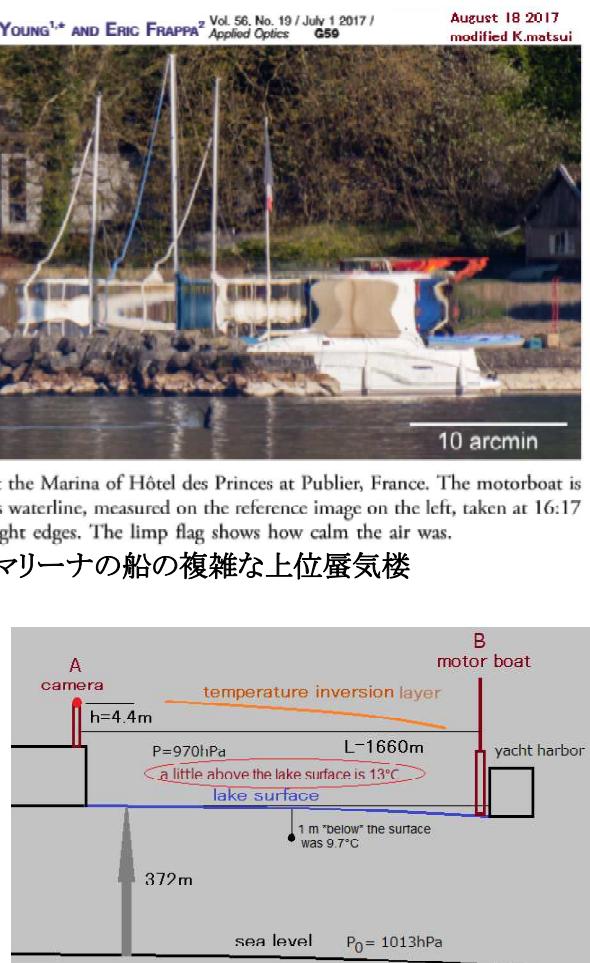


図-2 観測におけるパラメータの設定

- ・対象物距離:  $L=1660[m]$
- ・湖面近くの下層気温:  $t_2=13.0[^\circ\text{C}]$
- ・湖面近くの気圧:  $P=970[\text{hPa}]$

湖面近くの気圧は、海拔0[m]が1気圧の時海拔高度372[m]の値を逆海面更正して算出した。  
(2)単一境界層傾斜モデルの採用

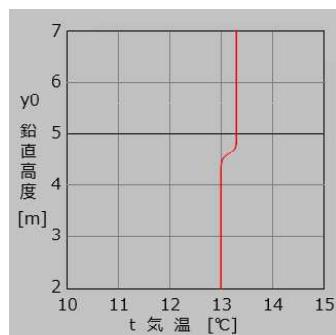


図-3 気温分布

図-3の気温分布を採用了。境界層の高さは、カメラの位置で $h=4.6$  [m]、ボートの位置で $2.1$  [m]の傾斜因子 $k=2.1/4.4=0.48$ が観測蜃気楼に最もよく一致した。

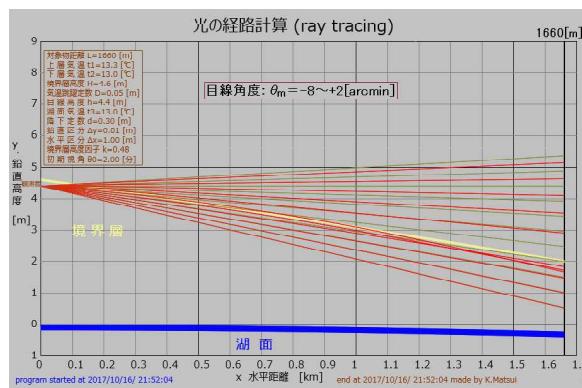


図-4 蜃気楼画像とよく合う時の光の経路

黄色の曲線は境界層を示す。赤色曲線は、 $-8 \sim +2$  [arcmin]で観測者に入射する1[arcmin]



図-7 iWebMSでシミュレートした蜃気楼画像(右)。左は図-1(左)と同じ

図-7(右)シミュレーション画像と図-1(右)撮影画像)を比較すると、ボートの窓付近の3像部分は極めてよく似ている。湖面の高さや背後のヨットの支柱の位置、窓枠の縦の縮み等の厳密な比較・検討はできていないが、iWebMSを用いて、上暖下冷の境界層傾斜モデルで蜃気楼を再現できたことは、光の経路計算法と境界層モデルの妥当性を示すものと理解できる。今回の結果は、iWebMSが対象物まで1660mという最短距離蜃気楼シミュレーションにも大きな成功を収める意義あるものとなつた。

毎の光の経路を示す。光の経路計算を基に、実景角 $\theta_r$ を横軸に、蜃気楼角 $\theta_m$ を縦軸に表したグラフ

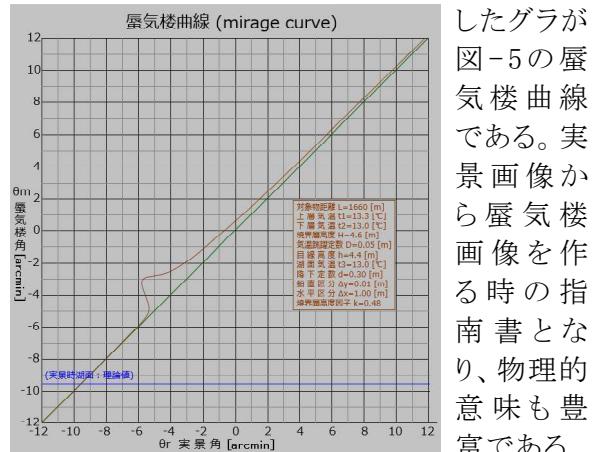


図-5 得られた蜃気楼曲線 図-6中に解説するように、3像蜃気楼の特徴が良く分かる。



図-6 中央部拡大図 蜘気楼がどの位置にシフトするかも $\theta_r$ と $\theta_m$ の差で理解できる。



図-7(i) iWebMSによる蜃気楼シミュレーション

図-7(ii) 実写真による蜃気楼



#### 4. おわりに

iWebMSは、既に琵琶湖北湖の蜃気楼シミュレーションで大きな成果を収めている。Web用の蜃気楼シミュレーションソフトなので、背景画像を変えることにより、各地で蜃気楼シミュレーションが行われ役立つことを願う。

Young氏、Frappa氏、宮内氏に感謝します。

#### 参考文献

- A.T.Young and E.Frappa,"Mirages at Lake Geneva:the Fata Morgana",Applied Optics,Vol.56,No:19,G59~G68(2017).