

下位層気楼と海面近くの詳しい温度構造

川合秀明（気象研究所）、北村祐二（気象庁）、柴田清孝

1. 概要

川合ほか (2020, 日本気象学会の機関紙「天気」) では、まず LES (ラージエディシミュレーション) と呼ばれる、大気構造を再現するモデルを使って、下位層気楼の発生した大気構造を推定し、その温度構造を使って光路計算を行い、下位層気楼の光路がどのようになるのかを計算して、結果について論じている。

2024 年の研究発表会では、「川合ほか (2020) 下位層気楼論文のやさしい解説」と題して、この論文の概要について、できるだけわかりやすく解説を行った。対象とした下位層気楼の発生時の気象条件、そして LES とは何か、また、どのような計算を行っているか、といったことを説明した。

今回は、その結果について、大気構造やその結果として計算される光路が、風速によって、また、海面と大気温度差によってどのように影響を受け

るのかをより詳しく見ていく。

2. 計算された温度構造

ここで対象としている下位層気楼は、比較的湿度が高い海上に、陸上で夜間の放射冷却により冷やされた空気が、明け方の陸風によりゆっくり流れ込んで形成されたと考えられるものである。

下位層気楼発生時の気象観測データを参考にして、海面水温 28°C、初期の温度プロファイルとしては、地表面気温 23 度で、強安定な大気を与えた。風速は 1 m/s で、また風が吹くと水面にでこぼこができるため、その風速に対応する水面のでこぼこの度合い (粗度) も与えて計算を行う。こうして得られた温度構造は、海面からわずか 10 cm 程度の高さまでで温度は急激に大気混合層の温度に近づくものとなっていた (図 1)。初期の気温は 23°C の他、感度実験として、26°C、風速は 1 m/s の他、3 m/s の

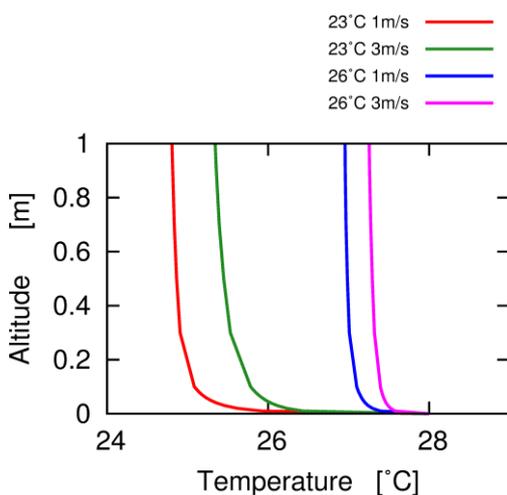


図 1 : LES で計算された大気境界層の温度プロファイル (単位 : °C)。計算開始後 60 分後の状態。初期気温 23°C 及び 26°C、風速 1 m/s 及び 3 m/s の組み合わせを示している。

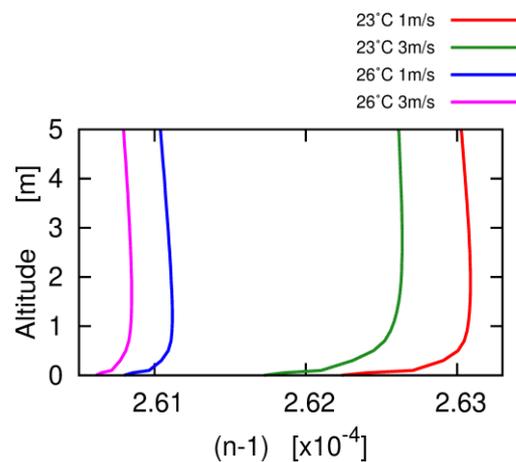


図 2 : LES で計算された大気境界層の温度プロファイルを用いて計算された余屈折率 (屈折率から 1 を引いたもの)。初期気温 23°C 及び 26°C、風速 1 m/s 及び 3 m/s の組み合わせを示している。

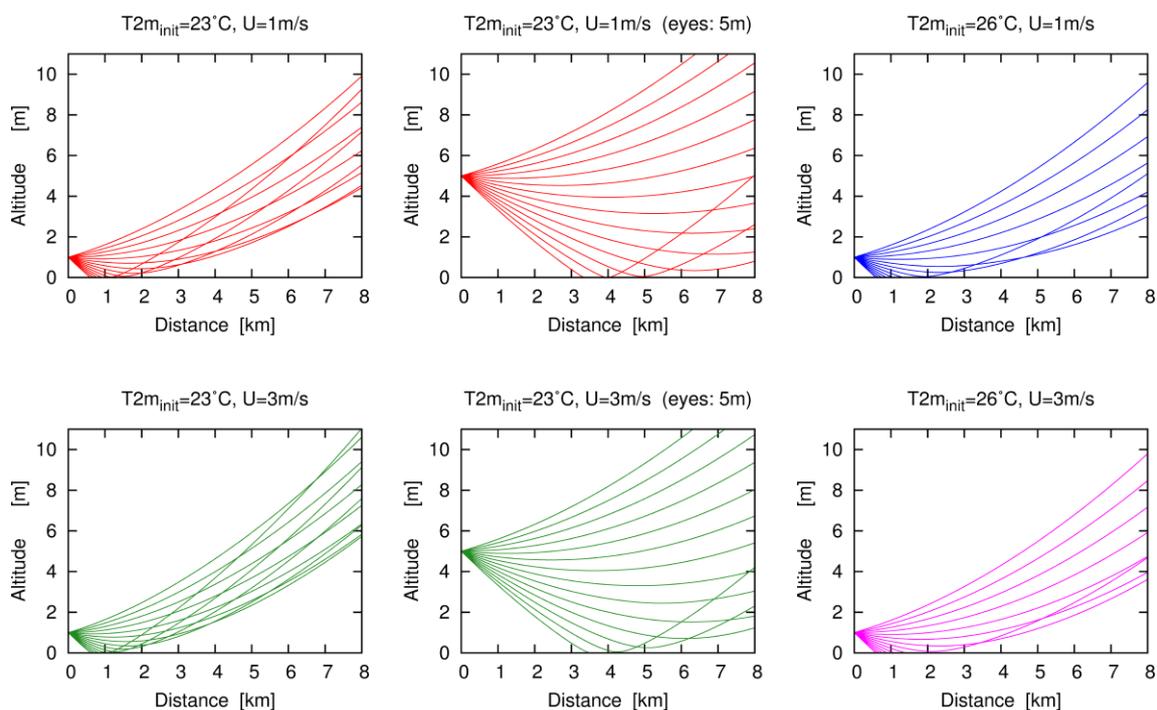


図3：光路計算の結果。横軸は観測者からの距離 (km)、縦軸は高度 (m)。上段が風速 1 m/s、下段が風速 3 m/s の結果。左から、初期気温 23°C で観測者の視点の高さ 1 m、初期温度 23°C で視点の高さ 5m、初期温度 26°C で視点の高さ 1m の結果。仰角が -0.1° から $+0.03^\circ$ まで、 0.01° 刻みの光路を図示。

結果も示している。初期の気温が低く海面との差が大きいほど、地上付近の温度の勾配は大きくなっている。風速の影響は比較的小さいが、風速が強いほど、そのやや勾配は大きくなっている (23°C の場合の、10 - 30cm の高さ付近)。これは基本的には、風速が強いほど、海面にごく近いところの温度とより上の高さの空気の温度がよくかき混ぜるためである。

これらの温度構造に対応する屈折率のプロファイルが図2である。1m 付近までの高さの範囲では、温度構造に対応し、上に行くほど屈折率が大きくなる。初期の気温が低く海面との差が大きいほど、屈折率の勾配も大きくなっている。

3. 計算された光路

LES で得られた温度プロファイルを用いて、光路計算を行った。図3がその結果である。基本的には、光路が交差しているほど、顕著な下位蜃気楼が見えると考えてよい。この結果から、初期の気温が低く海面との差が大きいほど、光路が激しく交差し、

顕著な下位蜃気楼が見ることがわかる。風速も少し影響している。また、観測者の視点の高さの影響も示しているが、観測者の視点は低い方が下位蜃気楼が顕著に見えることも定量的にわかる。

なお、風速に関するここでの議論は、風が吹いた時に海面がデコボコになる効果は含まれているものの、海面自体が風により揺らぐ効果などは含まれていない。海面が揺らぐ効果により、温度構造がどの程度影響を受けるのかは不明である。

本発表では、質疑を通じて、実際に下位蜃気楼を観測されている方々の経験や知見を伺い、風速や温度に対し、実際に観測される下位蜃気楼が、シミュレーションで再現された光路と整合的なのかどうか、議論を深めたいと考えている。

参考文献

川合秀明, 北村祐二, 柴田清孝, 2020: 「下位蜃気楼の光路計算 —マダガスカルで見た蜃気楼—」. 天気, **67**, 129-137.