

## 熱気球の伝熱

## Heat Transfer Problem of Hot-Air Balloon

Heat Transfer

鈴木 雄二 (東京大学)

Yuji SUZUKI (The University of Tokyo)

e-mail: ysuzuki@thtlab.t.u-tokyo.ac.jp

最近、熱気球に乗る機会があった。「どうせ乗るなら」と、風任せで飛んで行くコースを選んだ。ナイロン製の気球は膨らむと直径 15m ほどで、人間は下にぶら下がった籐編みのバスケットに乗る。気球の下にはバーナーが取り付けられていて、パイロットがプロパンガスを間欠的に燃やして気球内の温度を 100~120°C に保つ。重量は人間を入れて 500kg 程度とのことである。バスケットに乗ってパイロットの説明をいろいろ聞いていると、突然浮き上がった。この感覚は他に経験したことがなく、ほとんどショックなしにスルスルと上昇していく。みるみるうちに 50m, 100m と上がっていく。さっき離陸した場所にいた人たちは米粒のようになってしまった。

空気の流れと一緒に流されるので、風はほとんど感じず、バーナーを焚いていないときは鳥の鳴き声の下から聞こえてくるほど静かで心地よい。あっという間に 650m ぐらいまで上昇し、分散した雲が下に見えるほどになった。雲に気球の影が映り、周囲に虹のような模様が見える。山好きな方には周知のことかもしれないが、Mie 散乱の波長依存性から生じるブロッケン現象というのだそうだ。ナスカの地上絵は古代人が熱気球から見たという説もあるから、こんな景色も見たのかなあと感激した。

グライダーの操縦もそうであると聞いたが、良いパイロットは風を読むことができるらしい。高度によって風向きが違うことを利用して、風任せとは言いながら、3km 離れた目標に 1メートル以下まで近づくことも不可能ではないとのことだった。

フライトはまだ続いていたが、ひとしきり景色を楽しんだあとで、よせばいいのに熱気球の伝熱が気になってきた。そもそも、大人 5人が乗れるだけの浮力があるのだろうか？折角暖めた空気がすぐに冷えてしまわないか、など。

まず、直径 15m の気球内の空気の質量は、30°C で 2000kg もあり、120°C では 500kg の浮力が得られる。気温が 0°C では 700kg の浮力が生じ、夏と冬では積

載できる重量が 200kg も違うようだ。

風に乗っているので、気球の空気に対する相対速度はほぼ 0 であり、熱気球は外側から自然対流で冷やされる。気球を直径 15m の球と仮定するとグラスホフ数は  $10^{13}$  と非常に大きく、乱流状態が予想される。気球外側のヌセルト数をグラスホフ数の 1/4 乗でエイヤツと計算すると、 $10^3$  程度となる。間欠的に強烈な燃焼ジェットが吹き込まれる気球内側の流れがどうなっているかわからないが、強い対流によって良く混ざっていると勝手に仮定し、気球内部の空気温度変化の時定数を計算すると約 20 分となる。従って、浮力を 10% 以内に保つには 2 分おきにバーナーを焚く必要がありそうだ。実際の熱気球の状況と比較的近いようだが、同時に、真面目に計算するのは結構難しそうということも判った。

そうこうしているうちに、小 1 時間のフライトも終わりに近づいてきた。飛行しているあたりは収穫の終わった畑が多く、パイロットは地上のサポートに無線で連絡し、どの辺に降りるかを連絡している。わずかな横風に流されながら、みるみる地面が近づいてきた。気球に地上のサポートの人たちが併走してきて、バスケットを捕まえた。無事に降りられた、と思う間もなく、「はい、このまま倒れまーす」のパイロットの声と共にバスケットごとドンと横倒しになった。風の状況が悪いと、横倒しのまま引きずられることもあるようで、初フライトの着陸の状態が熱気球の好き嫌いをだいぶ左右するらしい。人の乗る部分が籐編みなのはこのためか、ということがやっと判った。

またチャンスがあれば、今度はもうちょっと熱計算の予習をして行こうかな。

