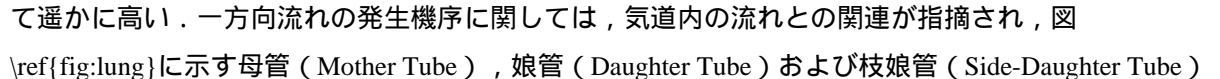


## 論文の内容の要旨

論文題目 鳥類の呼吸機構の解明と熱輸送促進への応用に関する研究

氏名 酒井 英司

鳥類の肺気道内の流れは、動脈血と対向した一方向流れになっていることが知られている。一方向流れにより対向流ガス交換を行なうため、鳥類の呼吸におけるガス交換効率は、哺乳類のそれに比べて遥かに高い。一方向流れの発生機序に関しては、気道内の流れとの関連が指摘され、に示す母管 (Mother Tube)、娘管 (Daughter Tube) および枝娘管 (Side-Daughter Tube) からなる気道分岐部における流れ場が注目されている。しかしながら、鳥類の呼吸機構を対象にした従来の研究の殆どは、定常吸込み分岐流れの流量分配比を調べることを主としており、流れ構造の詳細と一方向流れの関係が解明されたとは言い難く、また、実際の呼吸流れにおける一方向流れの発生機序については不明な点が多い。

他方、近年熱工学の分野において、LSI 素子の冷却技術や人工衛星などの宇宙システムにおける地球周回軌道上の熱管理技術として、作動流体の振動流を用いて効果的に熱輸送を行なうドリームパイプや自励脈動式ヒートパイプが注目され、従来の液還流式のヒートパイプに比べて高い熱輸送特性を示すことが報告されている。しかしながらドリームパイプでは熱輸送量が温度勾配に依存すること、自励脈動式ヒートパイプでは脈動流の予測と制御が困難であることから未だ実用に至っていない。

本研究は、新しい熱輸送管の着想を鳥類の呼吸流れに得たもので、鳥類の呼吸機構を解明し、その上で熱輸送デバイスへの応用を企図し、熱輸送特性の評価を行なうことを目的とする。そこで、研究の課題として次のように三点を定めた。

鳥類の呼吸機構の解明 (一方向流れの発生機序の解明)

一方向流れによる熱・物質輸送促進の評価

一方向流れの発生に適した流路形状の探査

上述の については、鳥類の呼吸機構の基本的性質を把握するために、気道モデルとして、鳥類の気道の本質的特徴である直角分岐管を採用した。トレーサ法による流れの可視化、PIV による流速測定により分岐管内の流れのパターンおよび流量分配を実験的に調べ、また SIMPLE 法をベースにした数値解析により流れ場と圧力場の詳細な情報を得ることで、一方向流れの発生機序について考察した。そして、吸込み流れにおいて枝娘管入口に生じる剥離渦に起因する娘管入口と枝娘管入口の圧力差によって、枝娘管から娘管へ向かって一方向流れ成分が駆動され、枝娘管入口の剥離渦が消滅する吐出し流れにおいても、慣性の効果によって一方向流れ成分が維持されることを示した。

については、鳥類の呼吸において肺内部の酸素分圧が大気のものにほぼ等しいことから、移流によるガス輸送に着目して、分岐管内のガスの挙動を CIP 法により数値的に解析した。その結果、一方向流れ成分が殆ど生じない条件では母管から取り込まれた新気の 1% しかガス交換に寄与しないのに対して、一方向流れ成分が明確に生じるようになると、新気の 27% がガス交換に寄与するようになって、一周期当たりの軸方向のガス輸送が 27 倍に促進されるといったデータも得られ、鳥類の呼吸機構を熱輸送管へ応用することの有効性を示すことができた。そして、 の結果と後述する の結果を

受けて、熱輸送の実験を行ない、熱輸送量をドリームパイプのそれと比較し、一方向流れが軸方向の熱輸送を飛躍的に促進することを実験的に確認した。

については、鳥類の気道に独特な形状である分岐直前の「狭窄部形状」と「枝娘管の複数本形状」に着目し、これらの分岐形状が一方向流れ成分の形成や軸方向のガス輸送に及ぼす影響を調べた。その結果、いずれの流路形状においても、従来の研究で気道モデルとして用いられている直角分岐管と比べて、一方向流れ成分の発生が促進され、それに伴って軸方向のガス輸送が飛躍的に向上されることを示した。単位仕事当たりのガス輸送量の観点からも改善が見られた。

このような知見から、以下のような結論を得る。鳥類の呼吸においては渦と慣性が支配的な要因となって、一方向流れを生じる。そしてこの一方向流れは、軸方向のガス輸送を飛躍的に促進する。鳥類の気道に独特な「狭窄形状」や「枝娘管の複数本形状」を模倣することにより一方向流れの発生を増強し、軸方向の熱・物質輸送能力を改善することが可能であり、鳥類の呼吸機構をドリームパイプなどの熱輸送管へ応用することは有用である。

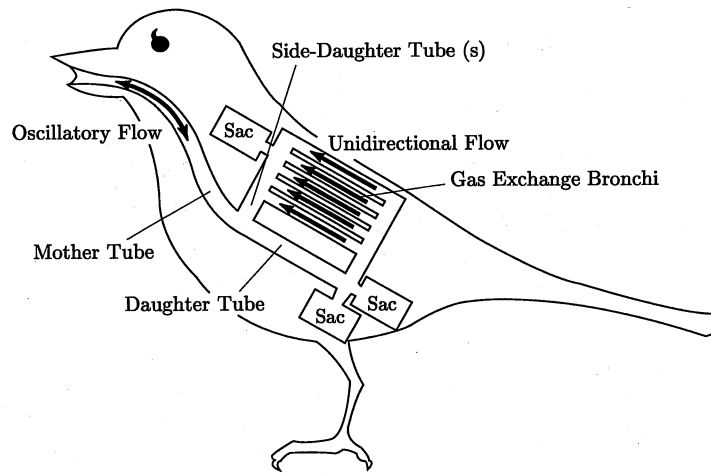


図 1 鳥類の気道形状と流れのパターン