

SL-1 呼吸器内部における振動流れの輸送促進効果について

東京大学大学院 工学系研究科 航空宇宙工学専攻

渡辺 紀徳

呼吸において十分なガス交換を実現するために、呼吸器内部の流れには流体力学的に強力な物質輸送・拡散の促進機構が存在するはずと考えられる。また、高頻度換気では、換気体積を通常呼吸の十分の一程度まで減少させるので、物質輸送の促進は通常よりさらに強力である必要があり、その機構を工学的に明らかにするための研究が、従来種々行われて来ている。

他方鳥類の肺では、内部に向かう気道管路が入口側に戻って、環状の流路を形成していることが知られているが、入口において振動流を与えると、気道内部では往復流だけでなく、環状流路を一方に循環する流れが発生する。一方に循環流が発生すると、物質輸送が大幅に促進されると考えられているが、なぜ循環流が発生するのか、その発生機構や、それが物質輸送に与える効果などについては、未だ明らかではない。

従来の流体力学的な研究から、テイラー拡散やストリーミング、ペンデルルフトなどといった、輸送を促進する要素的な現象が議論されてきた。

近年は流体力学的手法により、気道をモデル化した分岐管路内の振動流を対象として、流れの可視化や物質輸送の度合いを計測する種々の実験と、長足の進歩を遂げた流体数値解析による流れの詳細なシミュレーションが実施されるようになった。それらの結果から、口腔近傍の領域では拡

散ではなく対流による物質輸送が支配的であり、分岐部振動流れの特性が物質輸送の促進を司っていることが確認された。講演者らは促進要因の一つとして、曲り部分に発生する管軸方向に軸を持つ渦（縦渦）が、極めて強力に物質輸送を促していることを見出した。このほか、分岐部の管壁面に発生する流れの剥離領域が物質を取り込み、次の周期でこれが主流部に放出されることにより、輸送が効果的に促進される事実も複数の研究で明らかにされている。講演者らはまた、鳥類の肺気道を模擬した管路で振動流の実験および流れの数値解析を実施し、吸気時に直角分岐部に発生する大きな剥離領域が、呼気時に分岐管の片方から戻る流れをブロックする効果により、時間平均的に一方に循環する流れが発生するメカニズムを明らかにした。現在はこの効果が物質輸送および熱輸送におよぼす効果を調べており、これらを大幅に促進する効果が期待される。

以上の例に見られるように、生体内部には流体力学的な現象を非常に巧妙に利用することにより、必要な機能を効果的に実現させていると考えられる機構が多々見られる。このような現象を詳細に解明することができれば、医療に関連する技術に寄与するだけでなく、多様な熱流体機器の飛躍的な性能向上に結びつく工学的知見を獲得することができる。