

補助事業番号 2018M-181

補助事業名 平成30年度 計算流体力学を用いた強毒性
インフルエンザ感染経路の特定と工学ワクチンの実装 補助事業

補助事業者名 京都工芸繊維大学 山川勝史

1 研究の概要

本研究は、強毒性鳥インフルエンザウイルスのパンデミックが生じた場合、ワクチン製造までの半年を乗り切るための工学的アプローチによる対処方法の開発にある。まず患者から咳等により発したウイルスを含む飛沫が被感染者にどのようなルートで感染がおこるのかをシミュレーションできる手法を構築した。続いて感染が発生しうる室内空間において室内流を制御することにより、この感染の遮断を目指した。この空気を媒体とした感染の防止方法についてはある程度の目途を得ることができた。またこの研究過程において新型コロナウイルスの感染経路についても新たな知見を得ることができた。

2 研究の目的と背景

ウイルスによるパンデミックは人類の最大の脅威であり、長い歴史の中、幾度となく繰り返されてきた。最近では2009年にA型H1N1亜型インフルエンザ(通称豚インフルエンザ)の記憶が新しい。このパンデミックは毒性が低かったこともあり致命的な問題を引き起こさなかったが、その脅威を肌で感じる事ができた。また2002年にSARS、2012年にはMERS、それぞれが高い致死率のまま流行しかけたが食い止められている。本研究の開始時2018年時点においては強毒性鳥インフルエンザが脅威の一つであり、これがパンデミックを引き起こした場合を想定している。致死率の高さと感染力の強さが合わさることで人類にとっては壊滅的被害が予想され、医薬分野だけでなく人類の英知を集結すべき課題であると言える。

さて、このようなパンデミックが勃発した場合、インフルエンザの場合にはパンデミックワクチン(パンデミック直後に製造を開始するワクチン)の製造には半年が必要とされ、その半年を如何に乗り切れるかがポイントとなる。抗ウイルス薬が新型に効果が無い場合には、代替手段が必須となる。一般的に感染は①接触感染②飛沫感染③空気を媒体とした感染の3つがあり、①と②について手洗いと患者のマスク着用によりある程度防ぐことが可能である。③についてはそもそも起こらないと言われているが、くしゃみや咳により空気中に飛び散ったウイルスが暫く漂ったのちに被感染者に到達し感染すること完全に否定するにはエビデンスも上手い説明も存在しない。つまり③についての可能性は存在し、このルートこそが感染爆発につながるのでは?と申請者は考えていた。

本研究の目的はこの空気を媒体とした感染に対する対策を提案することにある。具体的には患者と被感染者の経路をエア制御によって遮断する手法『流体工学ワクチン』の開発である。空気中のエア流れやウイルスの振る舞いを流体シミュレーション技術にて解析し、例えば室内における airflow を最適化することで前述の感染経路を遮断する手法の構築を狙う。

3 研究内容

(1) 気道内におけるウイルスの振る舞いに関するシミュレーション(<http://www.etr1.kit.ac.jp/>)

人が吸い込んだウイルス飛沫は気道内もしくは肺に到達する。インフルエンザでは季節性のものはレセプターの形状から喉に着床した場合に感染のリスクが高くなり、鳥インフルエンザについては肺に着床した場合に感染しやすいとされている。よって気道内におけるウイルスの振る舞いを解析することは、ウイルスの特性を踏まえた上で非常に重要であると言える。例えば鳥インフルエンザのパンデミックの時は肺に到達する経路を追えば良いことになる。本研究では鼻呼吸と口呼吸についてそれぞれ流体シミュレーションを行った。50ミクロンの飛沫約1万個を鼻や口の入り口に配置し、吸気と排気を5回繰り返した後に気道内に付着したウイルスを図1に示している。



図1 呼吸方法の違いによるウイルス着地ポイントの比較

鼻呼吸時では喉の辺りに、また口呼吸時には気管支(肺の入り口)に多く飛沫が集まっていることを確認できる。詳細なデータに基づくと、強毒性新型インフルエンザを対象とした場合には鼻呼吸ではなく口呼吸を用いた場合、罹患率が10%程度高くなる結果となっている。

(2) 教室内におけるウイルスシミュレーション(<http://www.etr1.kit.ac.jp/>)

エア制御を用いて室内におけるウイルス感染の防止法を構築するために、小学校の教室をモデルとした。幅、長さ、高さはそれぞれ7.5m, 8.0m, 3.0mであり、入り口の扉下部に吸気口が4つあり、反対側上部に換気扇を設置している。室内の二酸化炭素の増加を防ぐのが目的であるので換気扇付近の流速は0.25m/sと非常に遅く、その他には室内の人による呼吸のみの流れである。このほぼ淀んだ状態において、教壇に立つ教師が1回咳をした場合のシミュレーションを行っている。咳により排出されるウイルスを含んだ飛沫は約10万個であり、その全てについて計算を行った。最も小さな飛沫は4ミクロン、最大のもので2000ミクロンとなっている。結果、1分後には大きな飛沫は落下し、直径が10ミクロン以上のは落下するか、落下傾向がみられた。一方10ミクロン以下についての10分後のウイルス状況を図2に示している。このような密閉空間では10分後においてもウイルスが漂い続けていることが確認された。

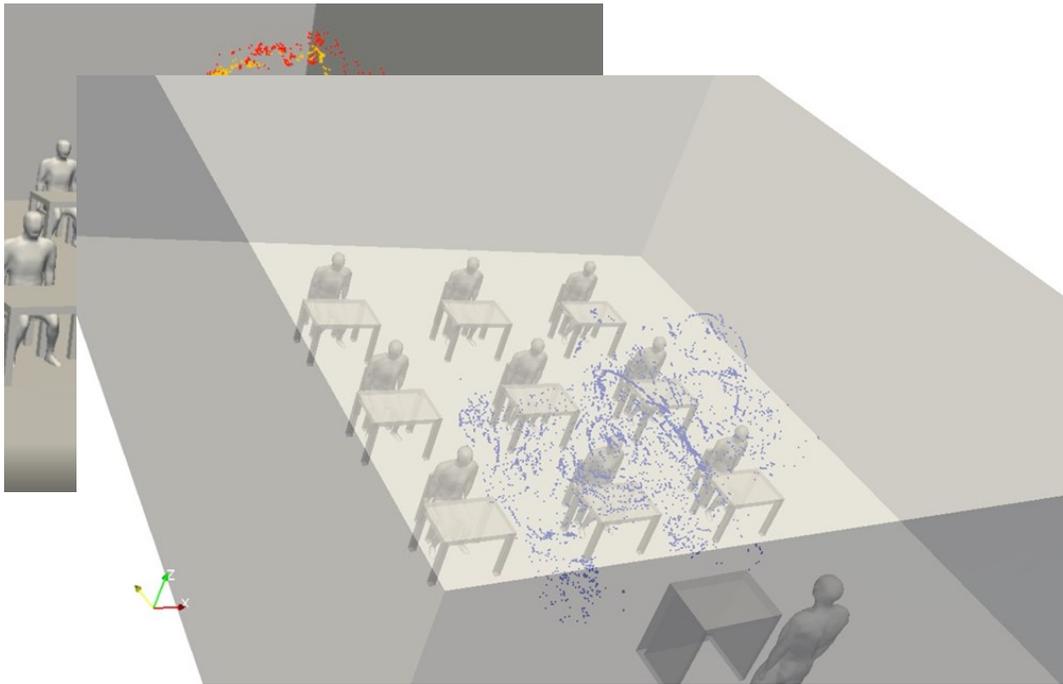


図2 教室内ウイルス飛沫の拡散状況(10分後)

4 本研究が実社会にどう活かされるかー展望

本研究はインフルエンザウイルスを対象とした研究ではあるが、新型コロナウイルスを含む未知のウイルスの感染ルートの特定についても応用ができる。またエア制御によりこれらの感染を防止する流体工学ワクチンの完成は人類の大きな問題の克服が期待できる。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

申請者2001年より大学教員として、計算流体力学を専門としており、主に移動物体(航空機、自動車、アスリートなど)周りの高精度な流れ解析を実施してきた。今回は新型ウイルスによるパンデミック予見し、これまでの流体解析技術を応用することで技術構築が可能であると判断し本研究に至った。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

Masashi Yamakawa, Hiroki Takemoto, Shinichi Asao and Yongmann M. Chung, Influenza Viral Infection Simulation in Human Respiratory Tract, The Proc. of 29th International Symposium on Transport Phenomena, Paper ID: 13, 6pages, (2018).

7 補助事業に係る成果物

該当なし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 京都工芸繊維大学(キョウトコウゲイセンイダイガク)

住 所： 〒606-8585

京都市左京区松ヶ崎御所海道町

担 当 者： 准教授 山川勝史(ヤマカワマサシ)

担 当 部 署： 機械工学系(キカイコウガクケイ)

E - m a i l: yamakawa@kit.ac.jp

U R L: <http://www.etr.kit.ac.jp/>