

スパコン「富岳」による 飛沫・エアロゾル感染リスク評価の デジタルトランスフォーメーション

理化学研究所計算科学研究センター チームリーダー
神戸大学大学院システム情報学研究科 教授
坪倉 誠

富岳コロナ対策プロジェクト飛沫感染グループ

ゴードンベルCOVID-19特別賞
2021年11月19日

本資料に含まれる図やアニメーションは、研究の主旨に沿った報道であれば自由に用いて頂いてかまいません。ただし利用する際は、媒体名と企画内容について、予め**理研計算科学研究センター広報申請フォーム**にて申請願います。

<https://krs2.riken.jp/m/fugaku-corona-dl>

また、本研究に関する取材については、**理研計算科学研究センター広報**まで連絡をお願いします。

<https://krs2.riken.jp/m/media-form>

同一テレビ局内の**別報道番組**での動画等の再利用については、新たに許可を得る必要はありません。用いた場合の**番組名と報道日時のみ**、上記広報まで必ずご連絡ください

坪倉 誠 の所属表記は 下記の例のように理研と神戸大を併記するようお願いします。

(例)

- ・ 理化学研究所計算科学研究センター チームリーダー／神戸大学大学院システム情報学研究科 教授
- ・ 理化学研究所チームリーダー／神戸大学教授
- ・ 理研／神戸大

「富岳」による飛沫・エアロゾル感染シミュレーション

感染症に対する非科学的な恐れ、
根拠のない過信と侮り

新型コロナに対する圧倒的な
科学的データ不足

圧倒的な計算資源を活用した高精度シミュレーションによる科学的データの提示と飛沫の見える化による現象の理解
(ロックダウンで研究室実験ができない中、この効果は多大)

社会に対する飛沫感染の正しい理解と
その予防の啓発

テレビ・ラジオ：350件，新聞：325件
ウェブ記事：1400件

行政機関や各種業界との連携による
ガイドラインの策定や改定

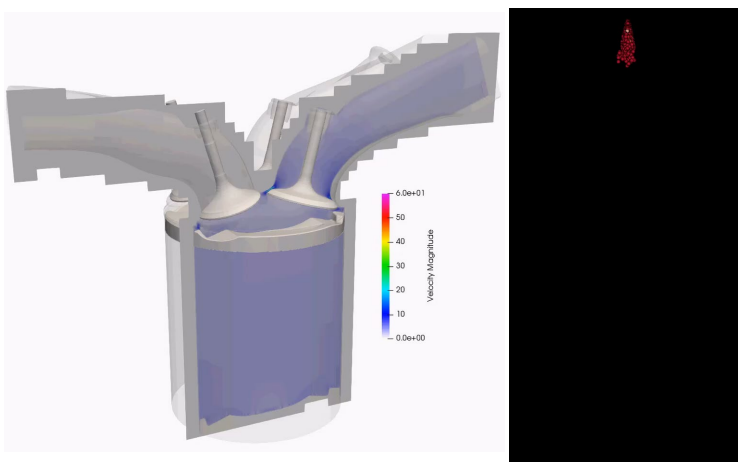
スマートライフ実現のためのAI等を活用したシ
ミュレーション調査研究（内閣官房）

複雑現象統一的解法ソフトウェアCUBE

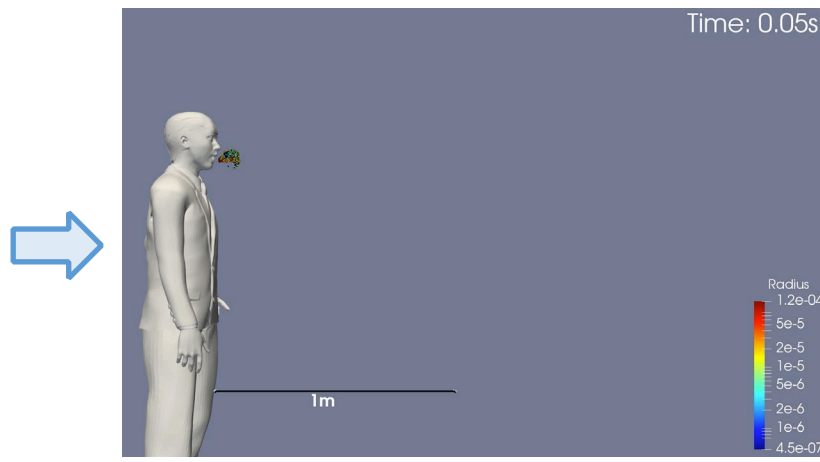
高速かつ大量にシミュレーションモデルを作成し、スパコン性能を最大限に活用できるソフトウェア

- 2012年より理化学研究所で産学連携で開発。
- スパコン「京」を活用して、自動車、燃焼システム、建築防災分野で多くの実績。
- 2020年初頭、Society5.0時代のものづくりへ向けて富岳でチューニング中に、新型コロナパンデミックが発生。

「京」による自動車エンジンシミュレーション
と燃料噴霧噴射の様子



「富岳」による
飛沫飛散シミュレーション



HPCを活用した自動車次世代CAEコンソーシアム



燃焼システム用次世代CAEコンソーシアム



都市・建築CFD コンソーシアム（東京工業大学）



産学官連携による新型コロナ対策課題の推進

ステアリングメンバー



理化学研究所
計算科学研究センター
RIKEN Center for Computational Science



神戸大学



国立大学法人
豊橋技術科学大学



京都工芸繊維大学
KYOTO INSTITUTE OF TECHNOLOGY



大阪大学
OSAKA UNIVERSITY



東京工業大学
Tokyo Institute of Technology



九州大学



協力メンバー

(協力者の一部を掲載)



JAPAN AIRLINES



大王製紙株式会社

SUNTORY

TOPPAN



Miraikan



株式会社 東京技研



浜松医療センター
HAMAMATSU MEDICAL CENTER



一般社団法人 日本耳鼻咽喉科学会
The Oto-Rhino-Laryngological Society of Japan



酪農学園大学



行政機関



文部科学省



国土交通省
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

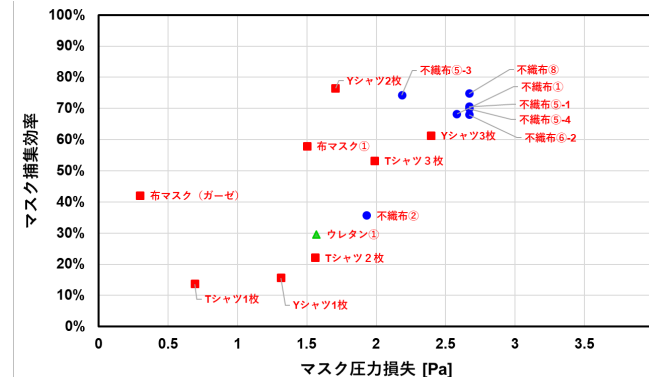
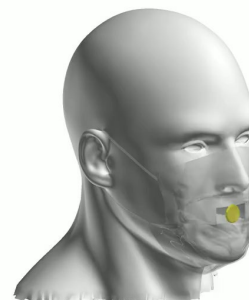
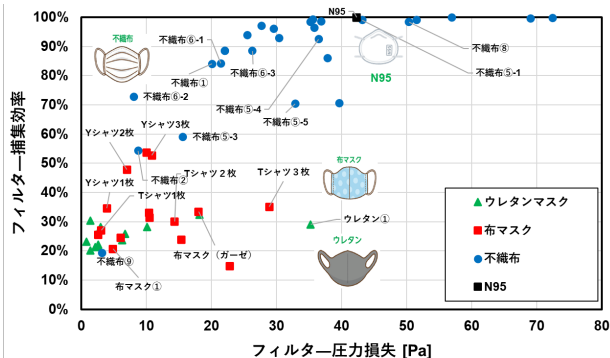
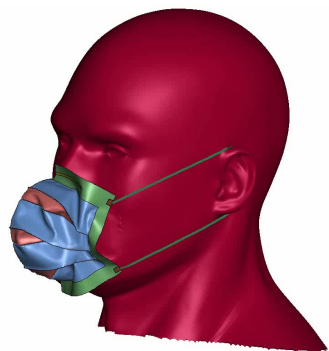


内閣官房
Cabinet Secretariat

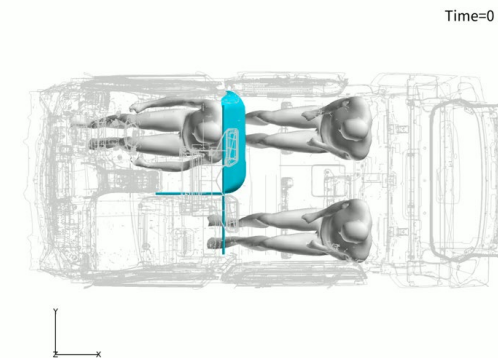
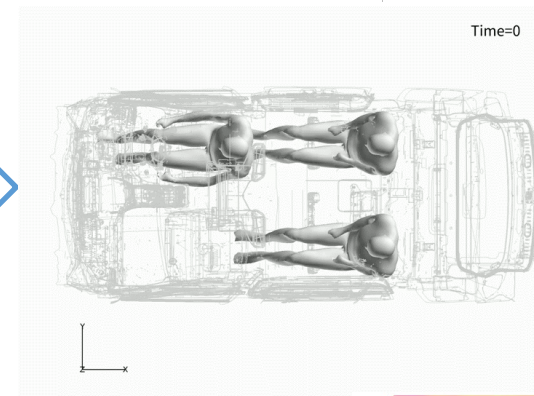
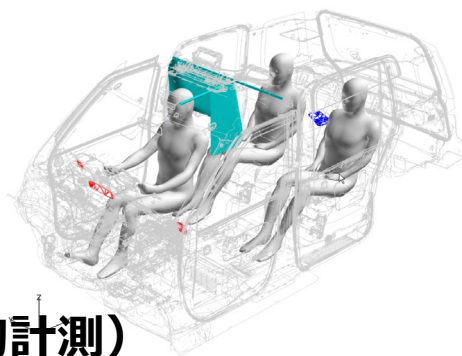
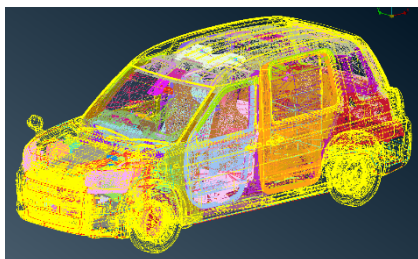


神戸市

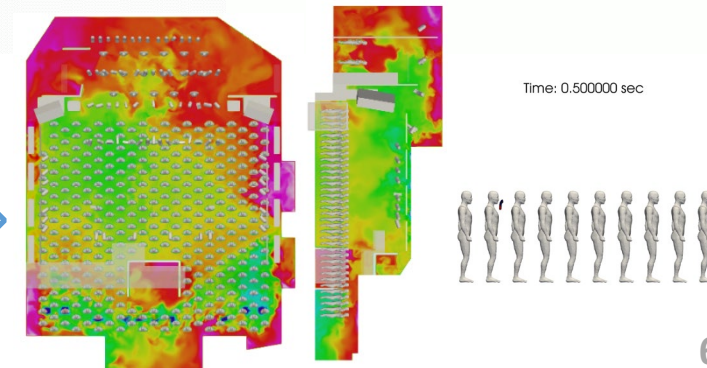
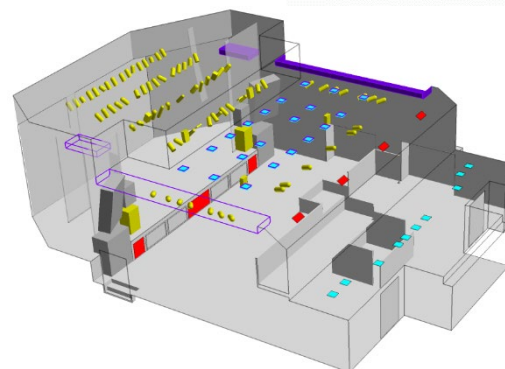
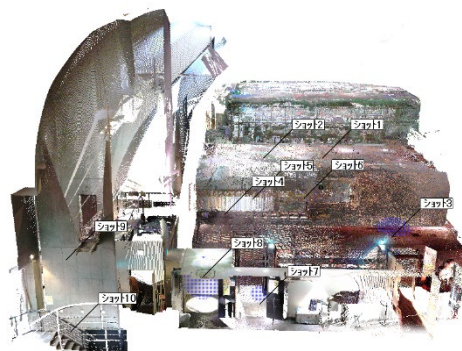
- **マスクシミュレーション**（シミュレーションによる形状データ自体の作成 + 実験による必要データの計測）



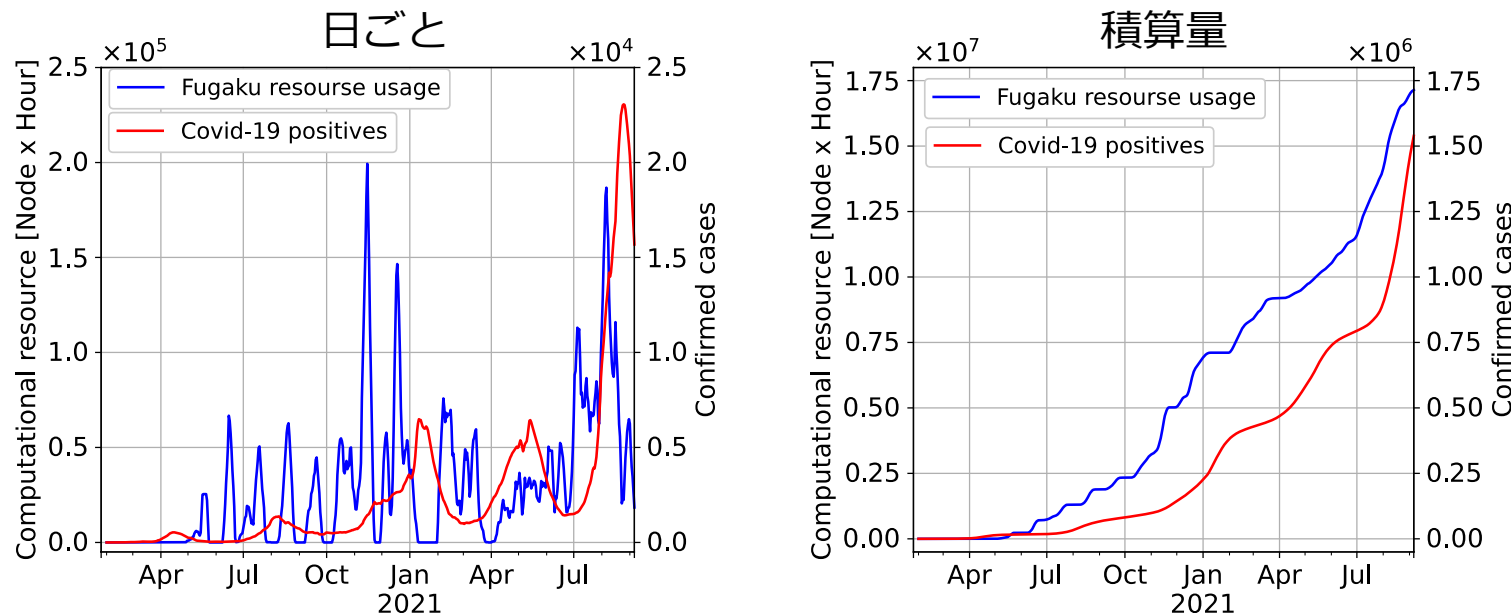
- **公共交通機関での感染リスク評価（CAD形状データの活用）**



- **室内での感染リスク評価（実物計測）**



富岳で消費した計算資源量と新規陽性者数の比較



- 日々変化する感染状況に応じて、適切なタイミングで社会が必要とする情報を発信
- 50以上の様々な感染シーンに対して、**1,000以上の評価**
- 「富岳」1750万ノード時間を利用（東大のスパコンを1年間占有した程度に相当）

飛沫飛散の様子

- 英語でone～tenを9秒（途中で一度吸気）これを繰り返す
 - 1分間で，会話の場合1万個程度，大声の場合2万5千個程度の飛沫が発生

Time: 0.2 s

大声

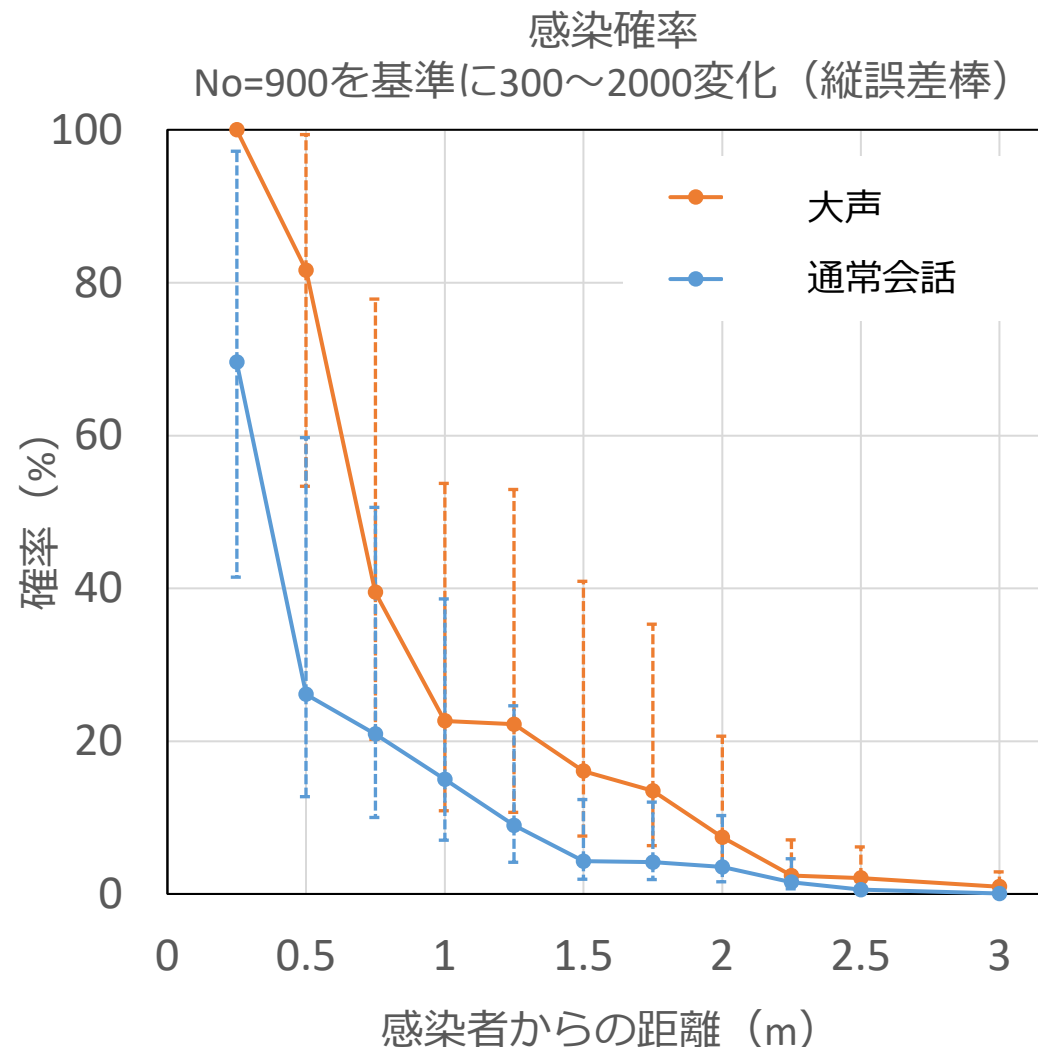
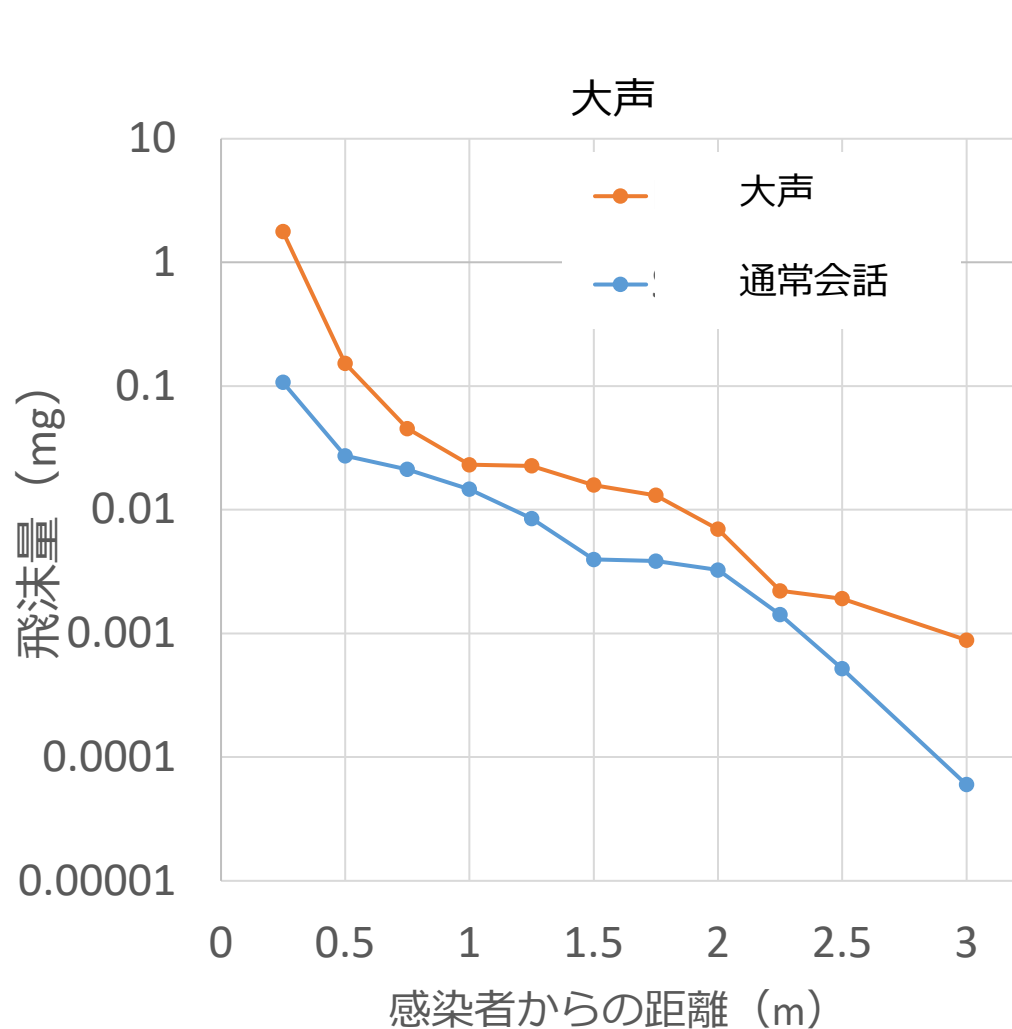


Radius

4.2e-04
0.0002
0.0001
5e-5
2e-5
1e-5
5e-6
2e-6
1e-6
4.5e-07

15分間しゃべっている感染者と対面した時の感染リスク

● 吸引する飛沫質量（左）と感染確率（右）

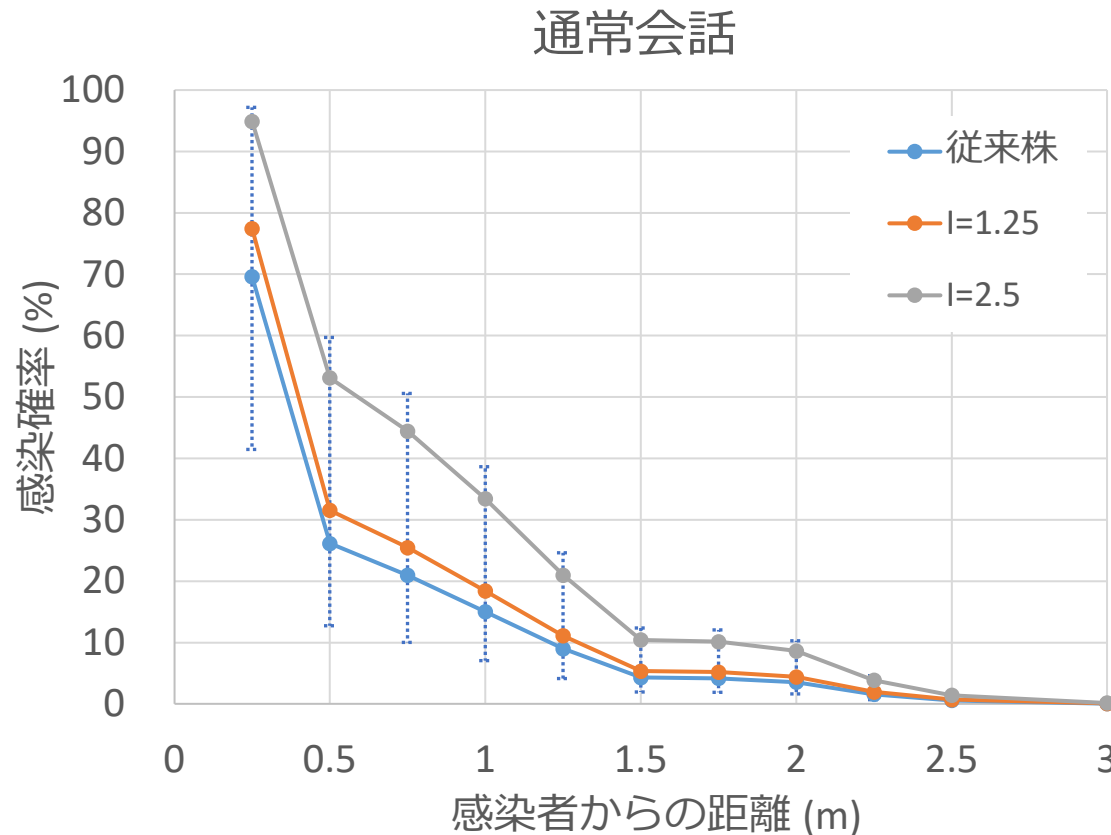
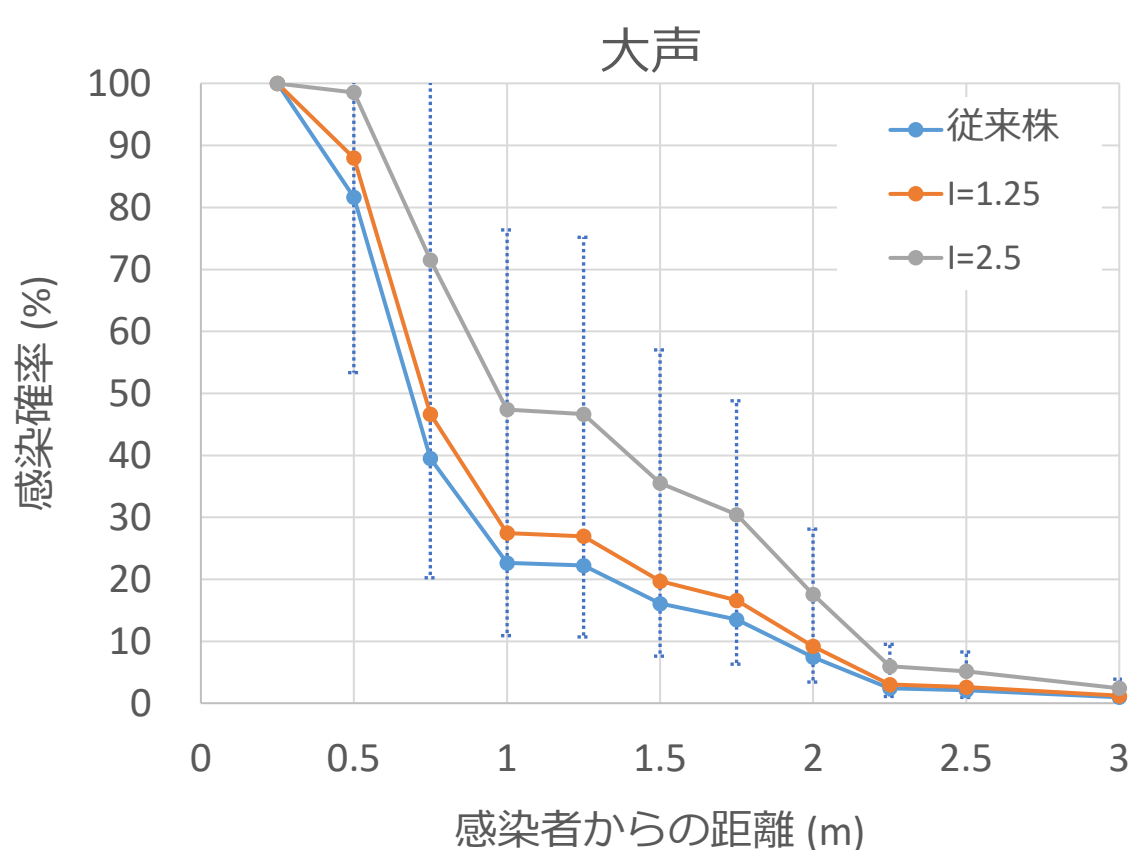


ポイント：2mを境に急激にリスクが変化する

15分間しゃべっている感染者と対面した時の感染リスク

● 従来株と変異株の比較（距離の効果）

- 従来株に対する変異株の感染力の強さをI（強度）で表現
- （参考）アルファ（英国）株（感染力1.32倍）⁽¹⁾, デルタ（インド）株（感染力2倍程度？）

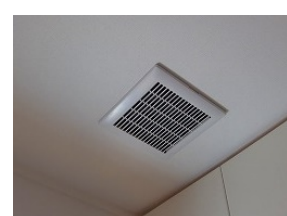


ポイント：2mがリスク評価の指標になることは変わらないが、2m以内で大きくリスクが変化する

(1)国立感染症研究所, 日本国内で報告された新規変異株症例の疫学的分析（第1報）, 2021年4月5日

16人程度が入る小型の店舗を想定

- 室内に**1名の感染者**が滞在するとして**在室者1名の感染確率**を求める
- 滞在時間は**1時間**で感染者は**大声**で話していることを想定



換気装置排気
440 [m³/h]

ドア隙間排気
100 [m³/h]

厨房排気ダクト



1156 [m³/h]

換気装置外気給気
540 [m³/h]
20 [°C]



エアコン（循環式）

60°下向吹出
1,120 [m³/h], 24.6 [°C]



ドア隙間給気
(厨房排気運転時のみ)
1,000 [m³/h]
20 [°C]

感染確率の評価方法

- 感染者の座る場所の確率は均一であるとして、全ての在室者から飛沫を発生させる
- 発生させた飛沫に対して座った座席に応じてインデックスを付ける
- 全ての在籍者に対して、1時間在籍した場合の呼吸量からそれぞれの在籍者からの到達飛沫量を求める
- 以下の式により、 N を推定して、ある感染者からある在籍者への感染確率を求める

$$P(N) = 1 - e^{(-\frac{N}{N_0}I)}$$

N_0 : 感染に至るウイルス量, 一般には300~2000

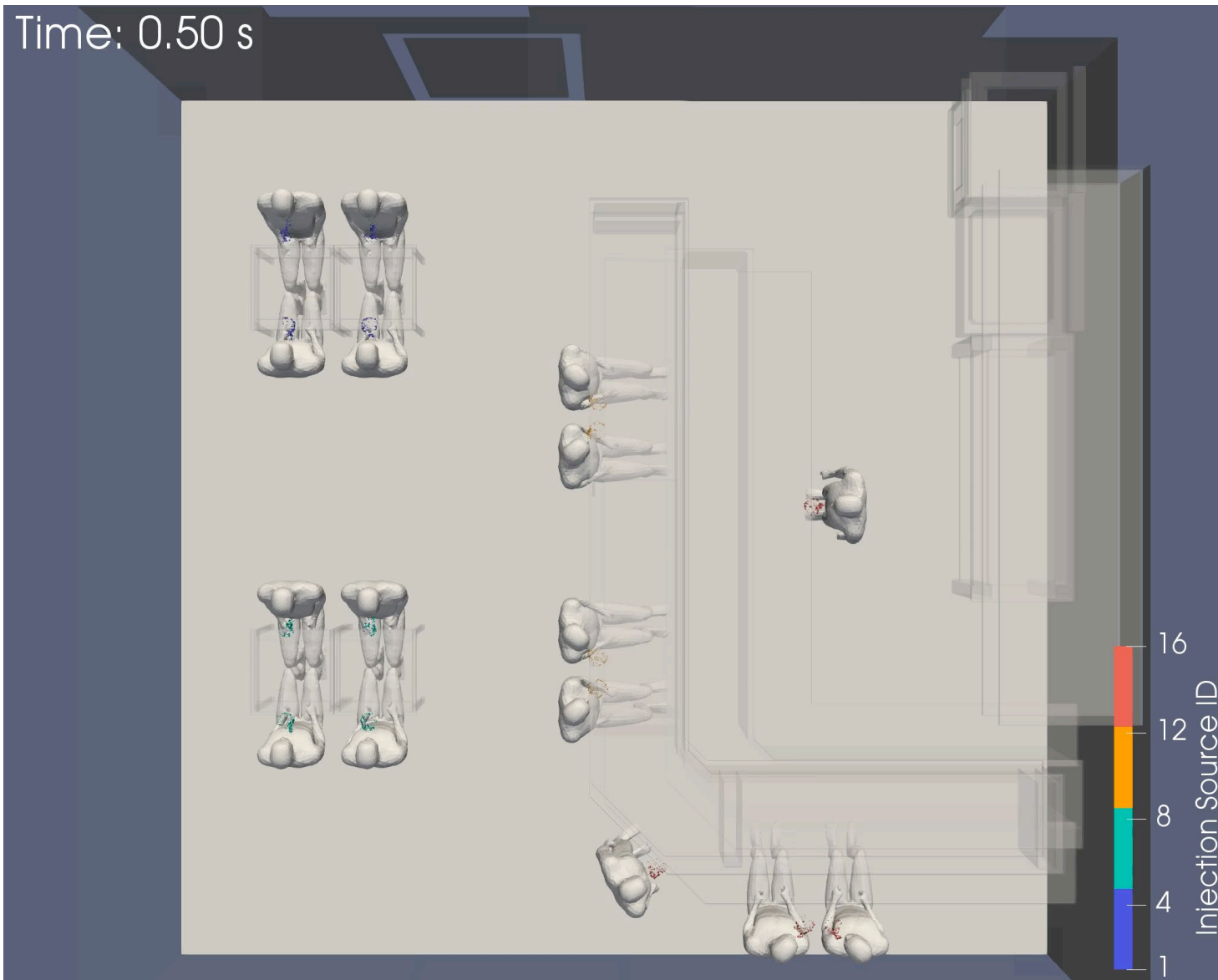
viral copies/h

(5つのイベント: 中国観光バス×2, 韓国エアロビ, 韓国コールセンター, 米聖歌隊)

感染者の飛沫に含まれるウイルス数, 10^7 copies/mL

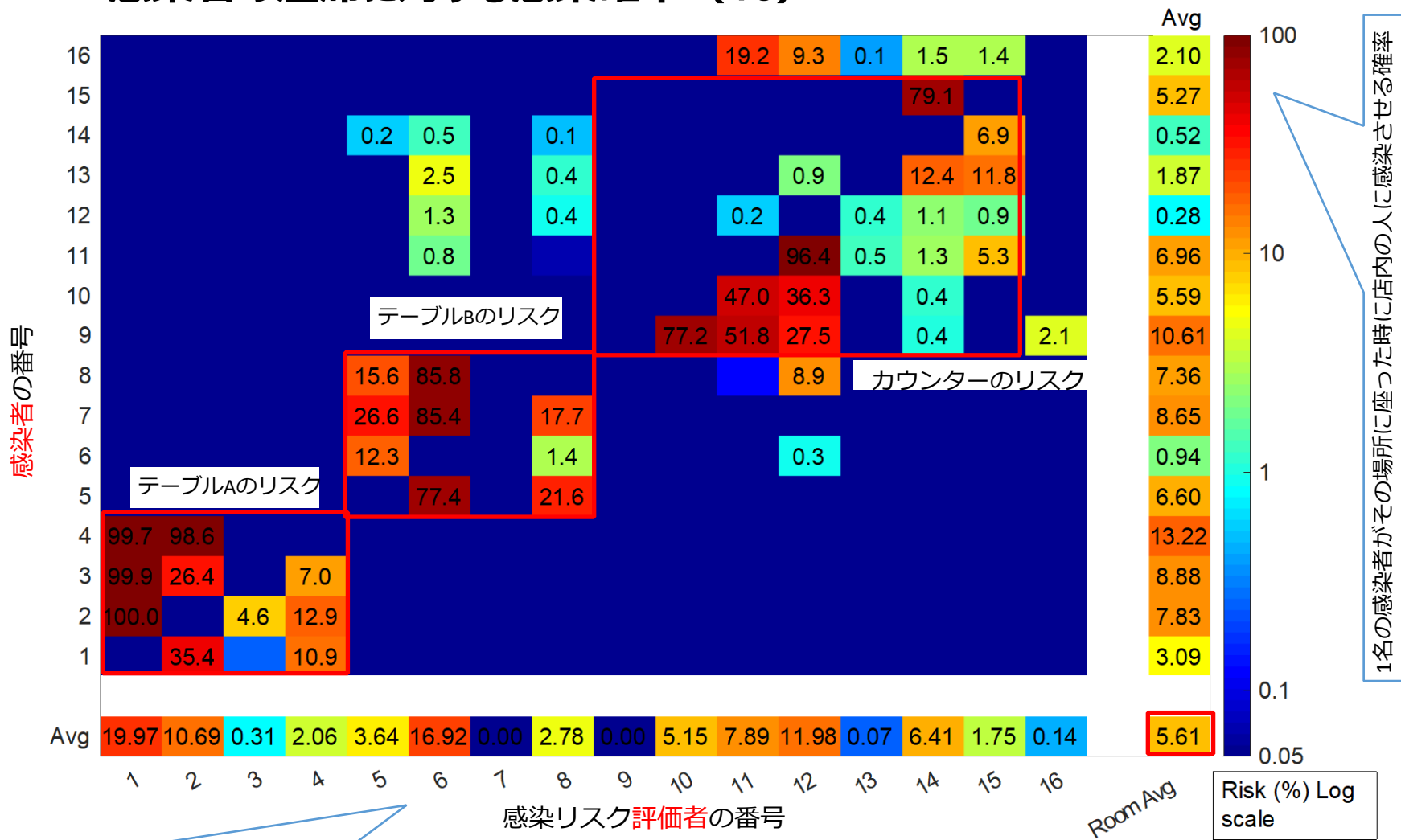
(患者により大きく異なる!)

Time: 0.50 s



飲食店における感染リスクの可視化

● 感染者の座席に対する感染確率 (%)



排気ダクト

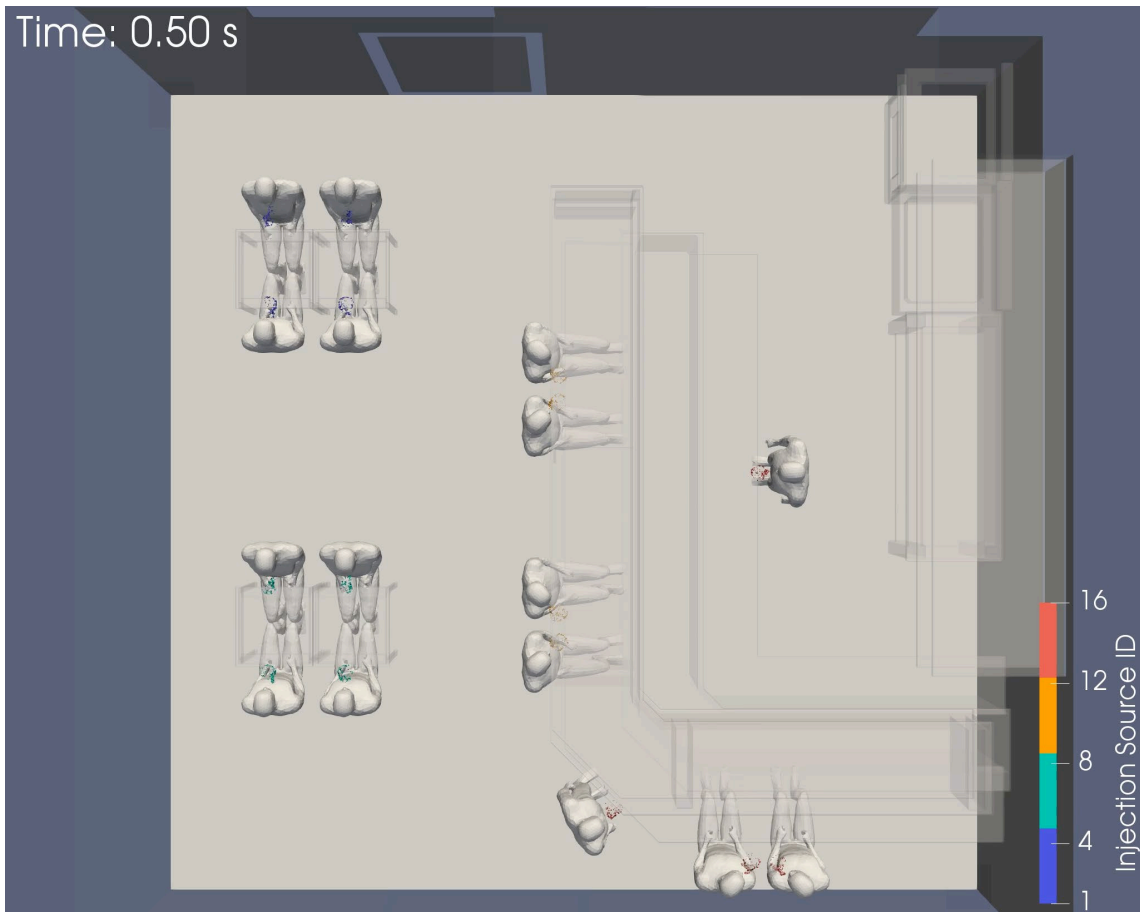


給気ダクト

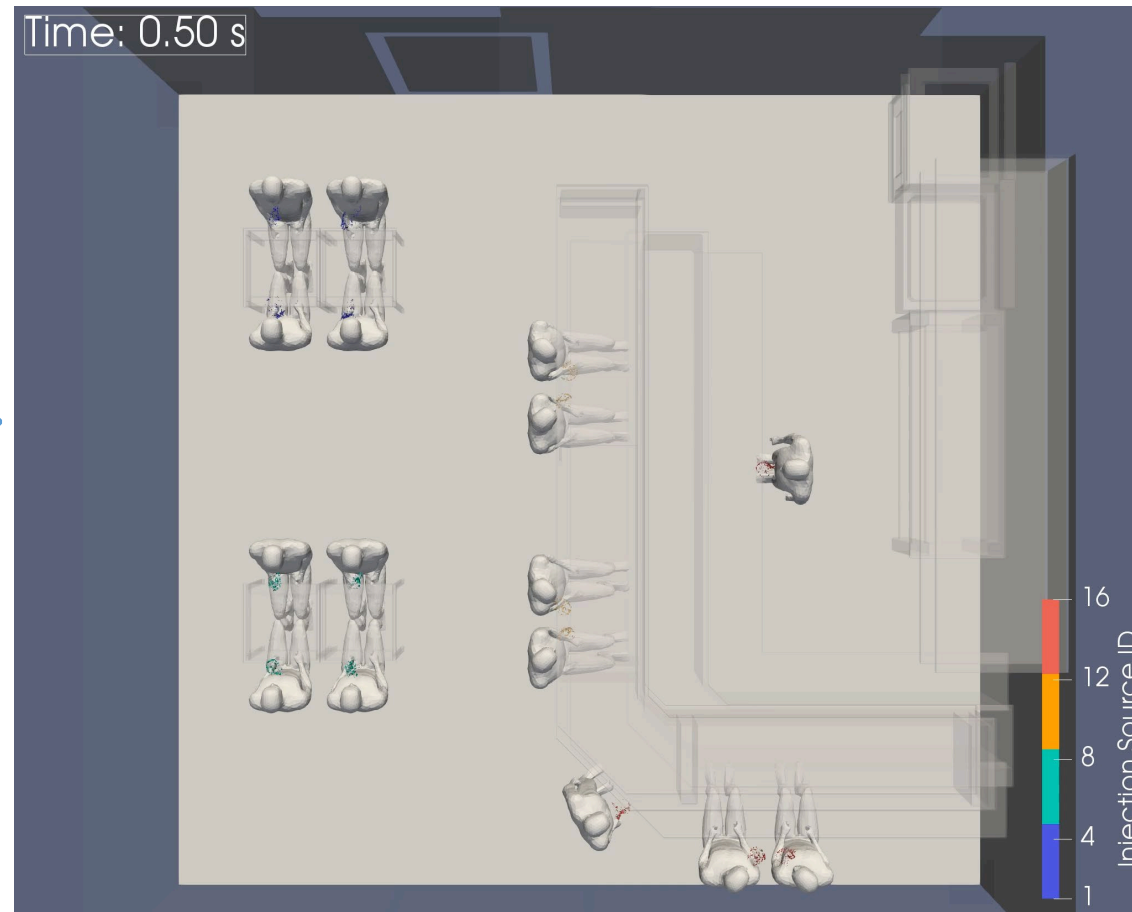
- 部屋全体の感染確率の平均は**5.61%**
- この部屋から新規感染者が発生する期待値は、**0.84人**
- テーブル上の感染確率が高い
- 1, 2, 6, 11, 12, 14が感染するリスクが高い（右下から左上への換気ダクト流れの風下側）
- 2, 3, 4, 7, 8, 9, 11が感染させるリスクが高い（室内流れの風上側）
- 誰が感染者かわからない状況では場所による極端なリスクの差異を作らないことが大切！**

- エアコンとキッチンダクトの効果

換気装置のみ



換気装置にエアコンとキッチンダクトを併用

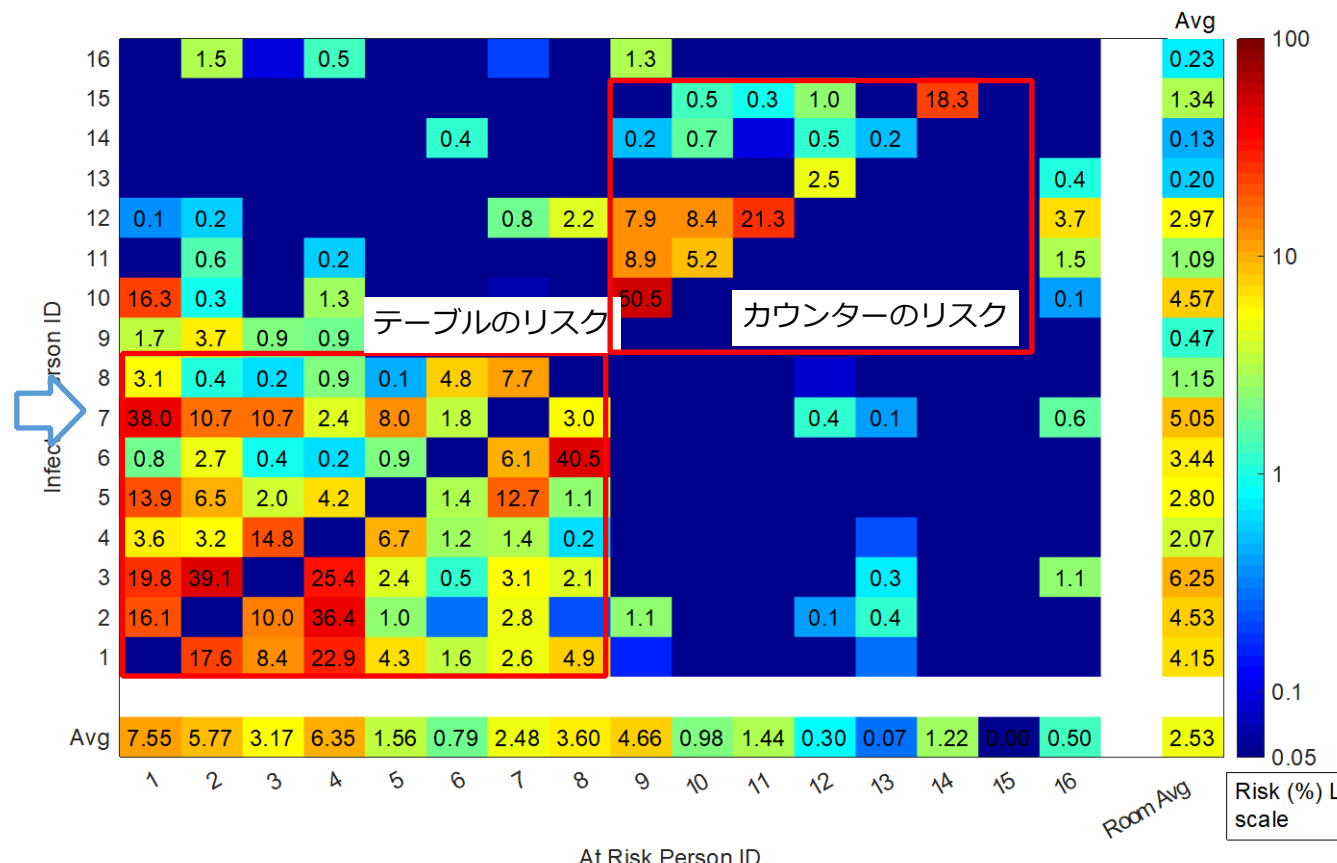
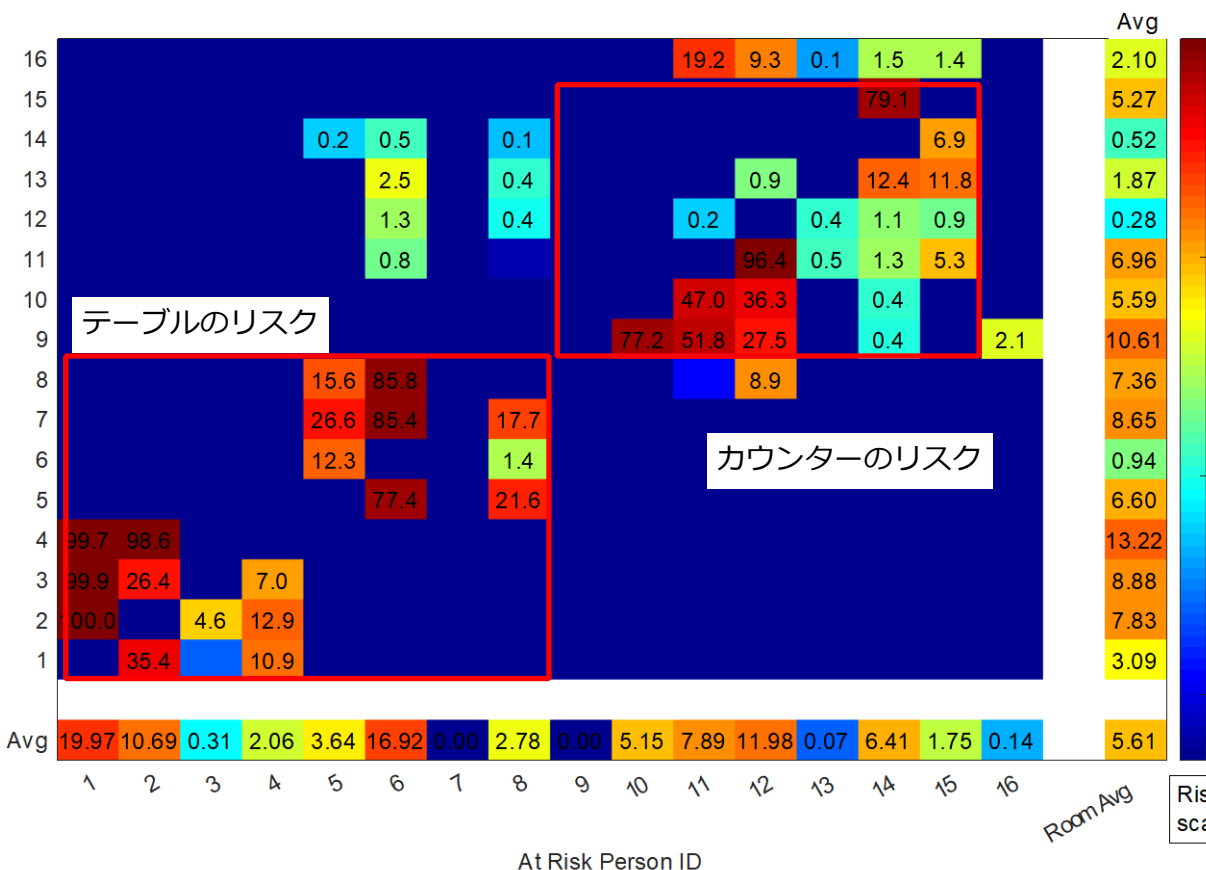


飲食店における感染リスクの可視化

● エアコンとキッチンダクトの感染リスク低減効果

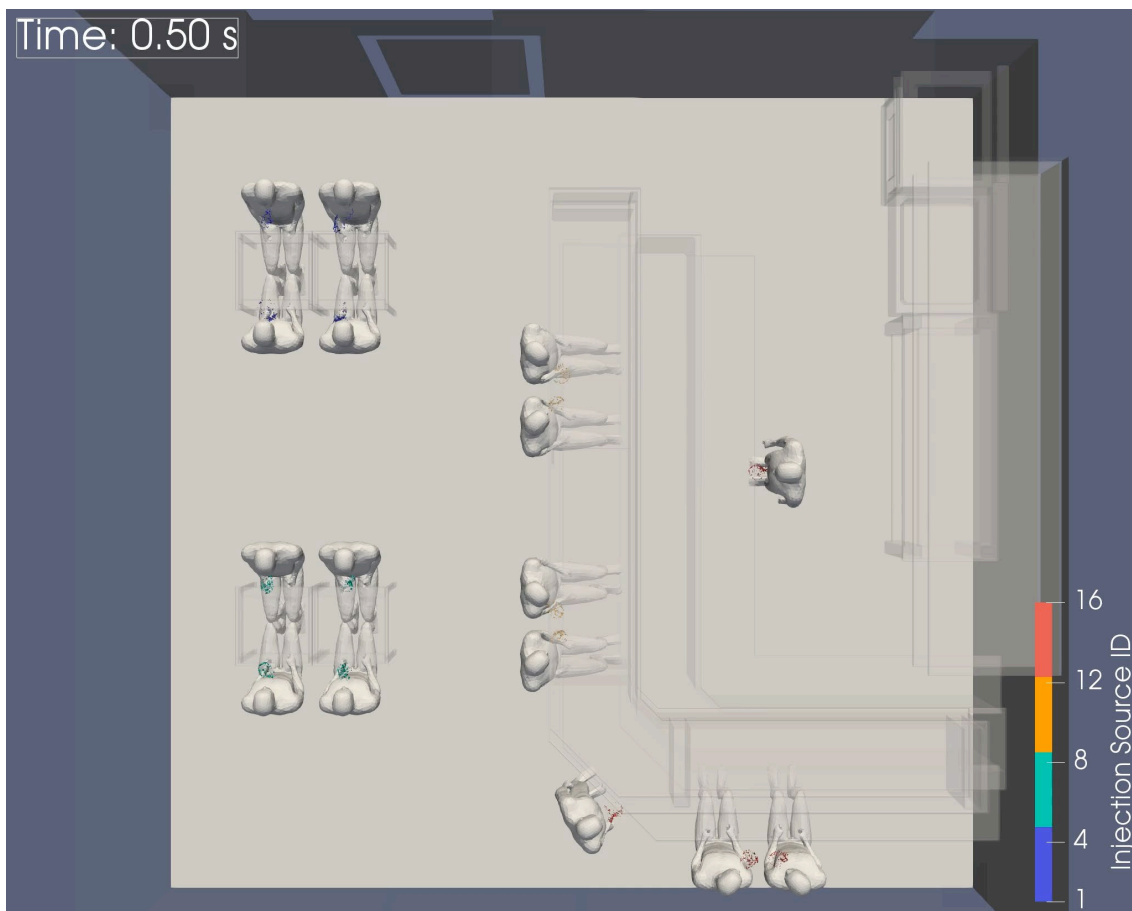
- 感染者発生期待値は0.84人（5.61%）から0.38人（2.53%）まで減少
- リスクの分散、平滑化に大きく寄与

排気ダクト



- パーティションの効果

換気装置にエアコンとキッチンダクトを併用



左の状態からさらにパーティションを設置

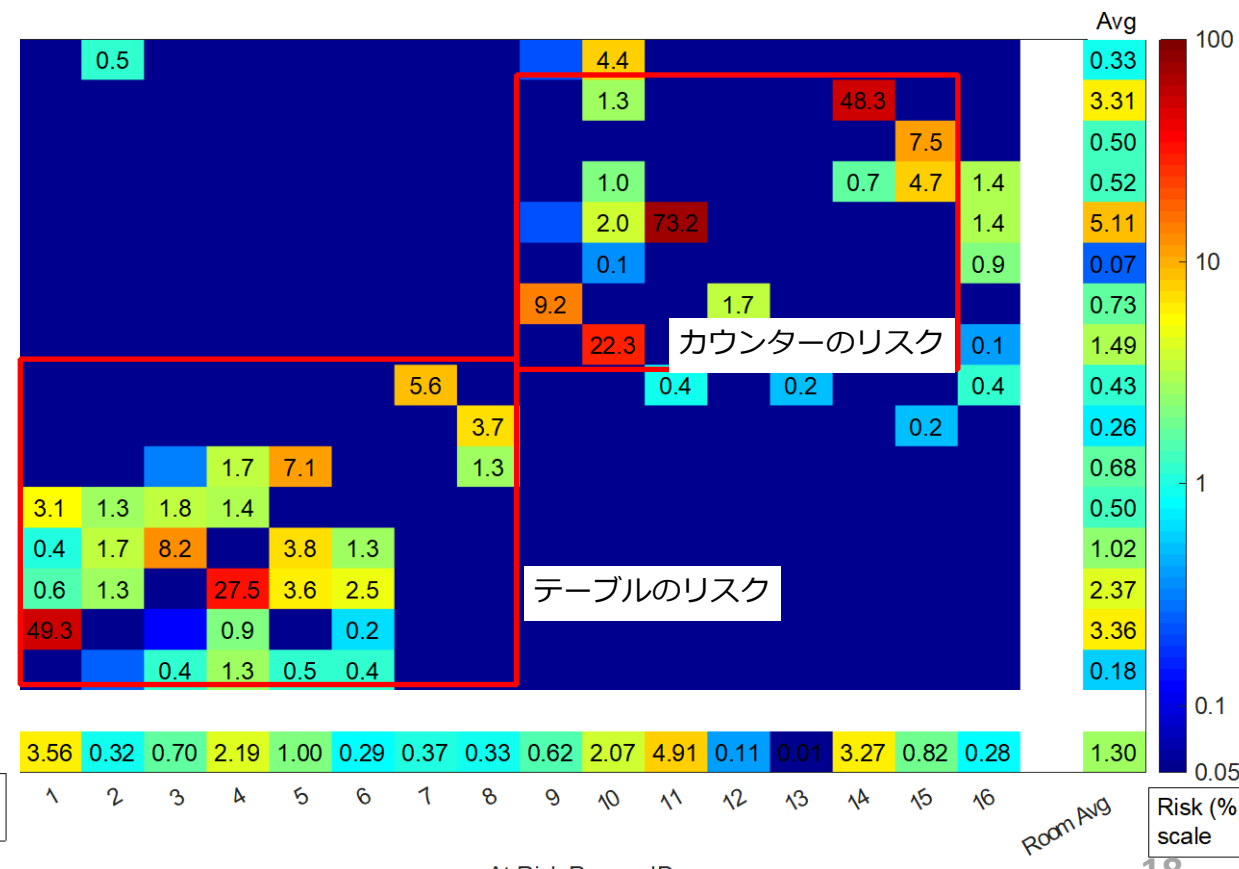
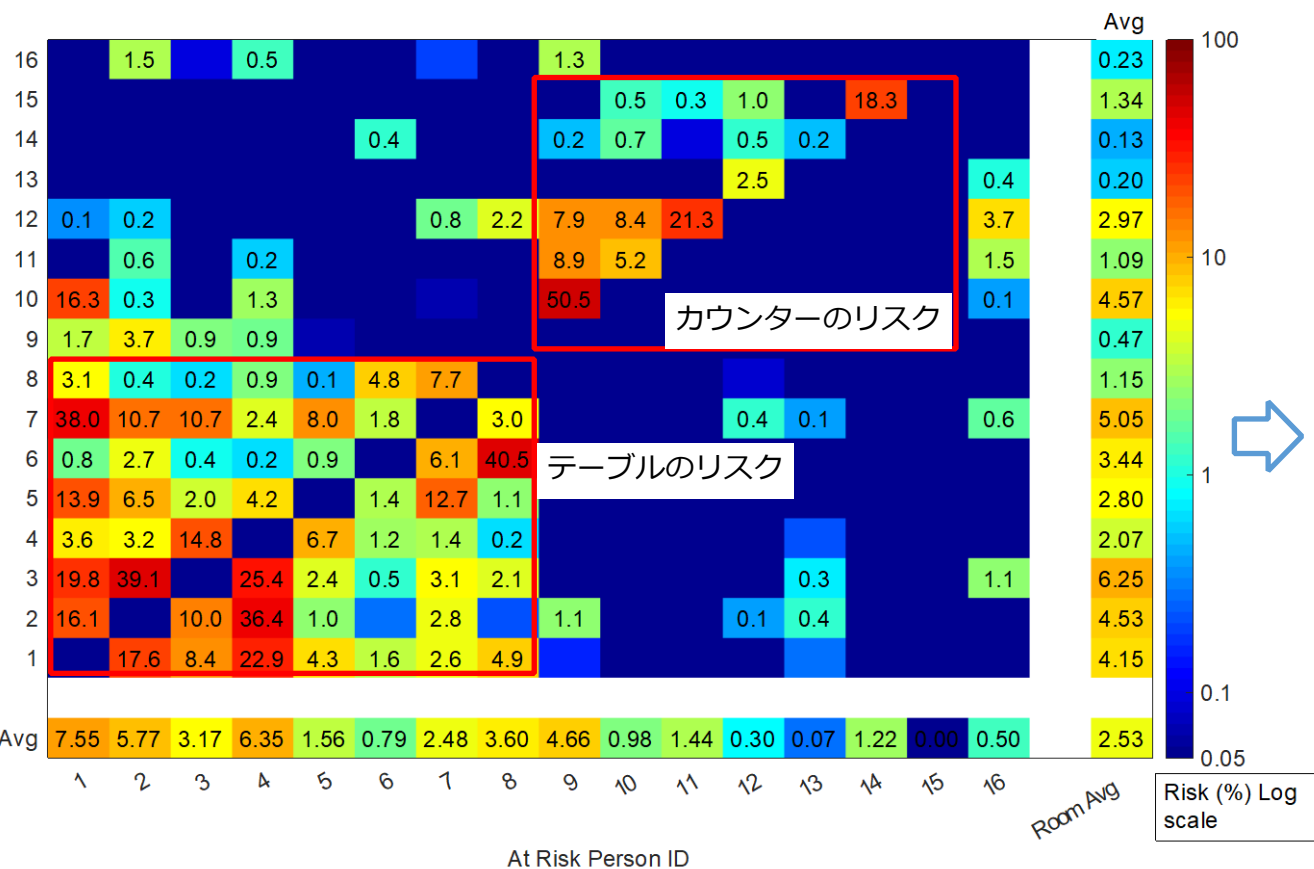


飲食店における感染リスクの可視化

● パーティションの感染リスク低減効果

- リスクを局在化する効果があるので、一部の関係ではリスクが高まるケースがある
- 感染者発生期待値は0.38人（2.53%）から0.20人（1.30%）まで減少

排気ダクト



- 1名の感染者がいる店に1時間滞在した際の新規感染者の発生期待値

Expected new infected person in the Izakaya for the one infected person staying for one hour
(Delta Variant)

