

# 学習塾の結核集団感染に関連して、換気が感染リスクに与える影響

渡瀬 博俊

キーワード：感染リスク，接触者健診，換気

## 1. 学習塾・学校の集団感染

結核罹患率が減少するなか，集団感染の発生防止策が，結核対策上の重要性を増してきている。1993年から2005年に報告された集団感染454件において，小・中学校，高校での事例が84件，学習塾は8件あり，この世代からの報告が全体のおよそ2割を占めている。同期間中の小・中学校，高校生を母集団人口とした場合，同群から集団感染報告の件数は，そのほかの群と比較して1.7倍であったと推測され，集団感染の発生リスクが高い層として認識されている（Table）。但しこの結果については，当時行われていたツベルクリン検査では感染の診断が困難であることから，真の感染者数よりもみかけの感染者数が過大評価となった可能性，一般集団との比較において，選定された対象者数の違いや疫学的 linkage の追跡が容易であった可能性などが報告数へ影響を及ぼしたかもしれない。

集団感染の報告は，学校での事例が学習塾の事例のおよそ10倍となっていたが，平成20年の小・中学校および高等学校の教師数91.1万人<sup>1)</sup>と同時期の学習塾の講師数7.4万人（専任講師数1.3万人，非常勤講師数6.1万人）で<sup>2)</sup>，概ね講師数の比率1：12（7.4万：91.1万）に近くなっていたが，学校と学習塾では1人の講師が受けもつ生徒数の違いや接触時間，接触の程度，教室の大きさなどの集団への感染リスクに影響する諸要因が不明であり，学習塾の生徒も流動的であることから，両群の間で単純にリスクの高低を比較することはできない。学習塾の結核の問題は，結核未感染者である児童・生徒が集団で同一の空間を長時間共有しているという背景から，学

校での結核対策と重なる部分が多いと考えられるが，現状での学習塾における潜在的なリスク増加要因も考えられる。例えば学校の教師は定期健診の対象であるのに対し，学習塾での定期健診の受診状況は，特に大学生などの非常勤の講師において低い可能性があり<sup>3)</sup>，デインジャー層としてのリスクコントロールは課題である。また講師が感染源であった場合，家庭教師や少人数指導，個人指導などにより，周囲の未感染者に対して比較的長時間，空間的に濃厚な接触となりやすい可能性などが考えられる。

## 2. 接触者健診

近年広く適用されているQFTを用いた接触者健診では，検査を受けた各個人に対して，ツベルクリン検査よりも正確な感染診断が可能となったことから，今後はQFTの活用により周囲への感染規模の評価精度向上が期待される。接触者健診の検査結果で陽性者が多数認められた場合，集団感染の可能性が考慮されることとなるが，検査結果の陽性反応的中度，陰性反応の中度は，対象集団内の有病率（感染率）に依存することは広く知られている。

Table TB epidemic from 1993 to 2005 in Japan

Objects	Cases	Population at risk (person-year)
Elementary school	92	$2.1 \times 10^8$
Junior high school		
Senior high school students		
Other	362	$1.4 \times 10^9$
Risk ratio: 1.71 (95% confidence interval 1.36-2.15)		

東京都江東保健所城東保健相談所（現：葛飾区保健所保健予防課）

連絡先：渡瀬博俊，葛飾区保健所，〒124-0012 東京都葛飾区立石8-18-6（E-mail: h-watase@city.katsushika.lg.jp）

（Received 10 Apr. 2010）

なお東京都では、平成17年に学習塾における大規模な結核集団感染事例を経験している。この際、感染源と接触のあった生徒110名にQFT検査を適用し、78名の陽性反応を得たが、この検査陽性率とQFT検査の感度0.89 (95%信頼区間0.82-0.93)、特異度0.98 (0.95-0.99)<sup>4)</sup>に基づくと、対象群の有病率は0.81 (0.68-0.95)、陽性反応の集中度0.99 (0.98-1.00) および陰性反応の集中度0.64 (0.24-0.85) と推定される<sup>5)</sup>。従って検査陽性者はほぼ確実に感染していたと考えられるほか、本事例では、検査陽性と判定されなかった者のうち、疑陽性と判定された7名を潜在性結核感染者として取り扱っている。周囲への高い感染率をもたらした理由については、その他の学校での集団感染事例<sup>6)</sup>からも共通して、いくつかの要因にまとめられている。感染源の排菌量が多く、有症状期間が長い、感染源との長時間の濃厚な接触、曝露された集団の免疫状況、換気不良などがある。

### 3. 感染リスクに関連した換気の影響

接触者健診を計画する際、事前の感染リスクとして、感染源の排菌の程度、感染源との接触の程度、および接触者の年齢といった要因に基づいて評価を行う。ほかにも排菌量と咳症状の持続期間の積である感染危険指数 (Risk Index: RI) は、以前より保健所の結核接触者健診時の感染リスク評価の指標として広く用いられている。ここではその他の感染リスク要因として考慮すべき点として換気の影響を検討する。結核感染は飛沫核感染として、空気を通じて伝播することから、感染を媒介する空気の及ぼす影響を十分考慮する必要がある。接触者にお

いて濃厚接触者と判定する基準のひとつに、“換気の乏しい狭隘な空間を共有していた者”があげられているが、具体的な基準はない。そこで学習塾や学校が感染伝播の舞台となることを前提に、モデルを用いて、空間の空気容積を変化させたことに伴う感染リスクの変化を検討した。

モデルでは、空間内の気積 (空気容積) に対して、感染単位が1, 5, 10個存在している状況としており、その空間内に未感染者が1人、1時間、10時間滞在した場合の感染リスクをシミュレーションした。シミュレーションでは1回1000人分を100回繰り返して行った。また未感染者のシミュレーションの条件は、1回換気量300 ml、呼吸数20回/分として、1時間の総呼吸量は0.36 m<sup>3</sup>とした。なお成人1人が消費する空気の量は、呼吸時に交換される酸素と炭酸ガス濃度の関係から1時間当たり20 m<sup>3</sup>は必要として建築基準法で定めているほか、文部科学省から学校環境衛生の基準として各都道府県教育委員会等に通知があり、そのなかで換気回数は、40人在室、容積180 m<sup>3</sup>の教室の場合、幼稚園・小学校においては2.2回/時以上、中学校においては3.2回/時以上、高等学校等においては4.4回/時以上を基準として示している。これは1人当たり10~20 m<sup>3</sup>の気積確保に相当している。

今回シミュレーションした際の気積の概念としては、密閉された空間ではなく、ガスの交換は自由に行われていると仮定する。また空間中の感染単位は壁や床などに吸着せず、空間内にランダムに浮遊しているとしている。なお感染単位については、Rileyが“quantum”として提

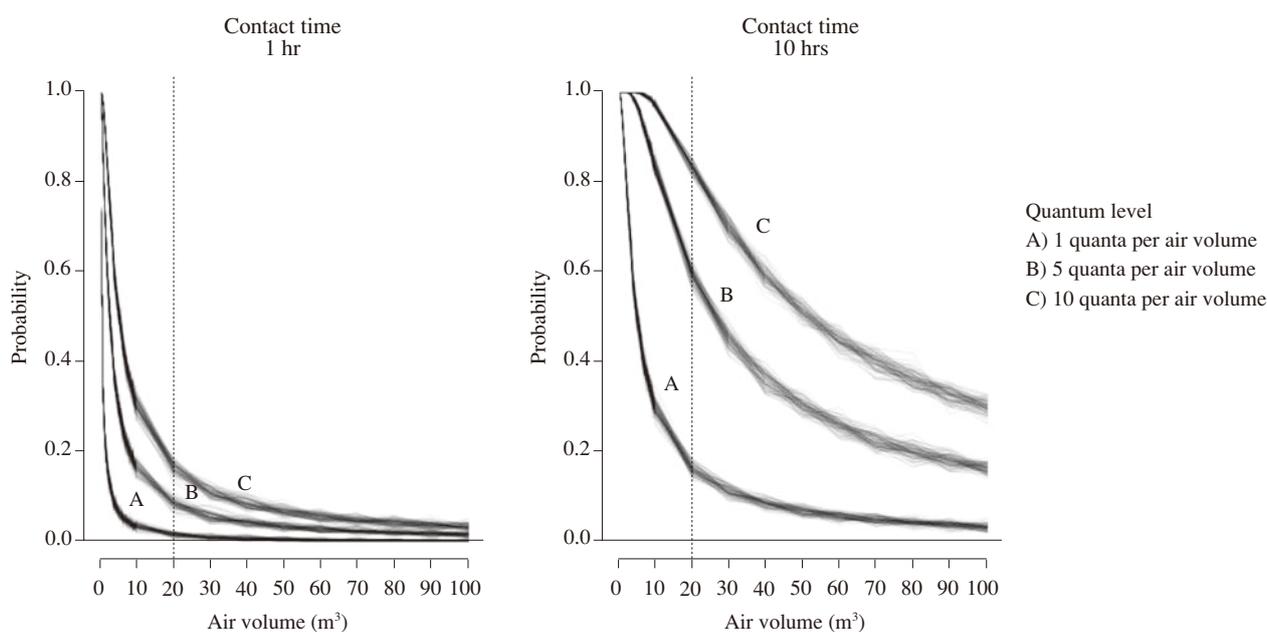


Fig. Risk assessment of infectivity factors

唱している<sup>7)8)</sup>。結核菌の飛沫核が空間内に存在する量、感染が成立する菌の個数、飛沫核が末梢の肺胞までに到達する確率などは不明確である。感染単位は、これらの不定な要素を含みながら、吸い込んだ場合に感染が引き起こされるとする仮定の粒子である。実際には周囲に感染を引き起こすような状況において、結核菌を含んだ飛沫核は空間内に相当量浮遊していると考えられる。Fig. にシミュレーションの結果を示した。同結果は、単純なモデルに基づいており、また確率的な変動要因を含むことから、感染確率の絶対値として個々の事例に適用できるものとはいえないことは注意が必要であるものの、一般的な傾向として、感染単位の増加、接触時間の増加、気積の減少に伴い、感染リスクが上昇することを示した<sup>9)</sup>。学校・学習塾での集団感染事例でのリスク要因で示されたとおり、感染が成立するには、ある程度長時間の濃厚な接触で、感染源の排菌量が多いことが必要と考えられており、今回の結果から認められた傾向は、感染伝播の様式からも予測される。本結果からも、排菌量が少ない段階での短時間の接触では、十分な換気が確保されている状況下での感染リスクは小さい。また気積に注目してみた場合、同容量がきわめて大きい場合では、同一の気積において感染単位の個数に概ね比例して感染リスクが増加していたが、特に気積がある限界を超えて下回った場合、急激に感染のリスクが上昇し、空間中の菌量が少なくても、多量排菌者との接触と同様に感染リスクが高まる可能性、また短時間の接触であっても感染リスクが高まる可能性を示した。また空間内の感染単位の存在量が多いほど、この限界点となる気積は大きくなる。この点において、感染経路が空気感染である場合についても、感染源との距離が相当程度近くで接触している場合については、呼吸量に比して十分な気積が確保されていない、または空間中の感染単位の濃度が上昇している状態に相当すると考えられることから、感染リスクがきわめて高いと判断されるだろう。

換気の果たす役割は、空間中の感染単位の濃度を薄め

ること、すなわち1人当たりの気積を大きくすることに相当すると考えられる。外気との換気を増やすことは感染のリスクを減らすうえで効果的と考えられるが、先のシミュレーションの結果からはある程度を超えて気積を増やしても感染の確率はそれほど下がらず、空調効率の点からも換気量の増加には限界があると思われる。感染源からの排菌量が少ない時点で早期発見、早期治療につながることは、周囲への接触時間減少にもつながり、集団感染のリスクを減らすうえで重要と考えられる。

## 文 献

- 1) 青木正和：なくなる結核集団感染—集団感染から学びとれること. 複十字. 2006 ; 311 : 14-15.
- 2) 文科省：学校基本調査報告書〈平成20年度〉, 文科省, 東京, 2008.
- 3) 経産省：特定サービス産業動態統計調査（経産省ホームページ公開資料）(<http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/tokusabido/index.html> アクセス日2009年6月30日)
- 4) 深沢啓治, 清水裕幸, 石崎文子, 他：集団感染事例—学習塾. 保健師・看護師の結核展望. 2005 ; 86 : 7-12.
- 5) 原田登之, 樋口一恵, 関谷幸江, 他：結核菌抗原ESAT-6およびCFP-10を用いた結核感染診断法QuantiferON TB-2Gの基礎的検討. 結核. 2004 ; 79 : 725-735.
- 6) Branscum AJ, Gardner IA, Johnson WO: Bayesian modeling of animal- and herd-level prevalences. *Prev Vet Med.* 2004 ; 66 : 101-112.
- 7) 豊田 誠：中学校結核集団感染の環境要因に関する検討. 結核. 2003 ; 78 : 733-738.
- 8) Wells WF: Airborne contagion and air hygiene: an ecological study of droplet infections. Harvard University Press, Cambridge, 1955.
- 9) Riley RL: Airborne infection. *Am J Med.* 1974 ; 57 : 466-475.
- 10) Beggs CB, Noakes CJ, Sleight PA, et al.: The transmission of tuberculosis in confined spaces: an analytical review of alternative epidemiological models. *Int J Tuberc Lung Dis.* 2003 ; 7 : 1015-1026.