

分散登校および遠隔授業による新型コロナウイルス感染症に対する 学内感染リスク低減効果の統計的評価方法と解析結果

田中 守¹

Statistical evaluation method and analysis results of the effectiveness of distributed school attendance and remote learning on reducing a risk of infection in a school

TANAKA Mamoru¹

(Accepted September 22, 2021)

Abstract As a countermeasure against SARS-CoV-2, which is still raging in the world as of September 2021, our school has been implementing distributed school attendance and remote learning. We were interested in how much the risk of infection in the school could be reduced by distributed school attendance and remote classes. However, since the actual number of infected students at National Institute of Technology (KOSEN), Miyakonojo College is small, it is difficult to evaluate the risk of infection on campus using this data. In this paper, we give a model of a risk of infection in our school, and report the results of the effect of distributed school attendance and remote learning on reducing the risk of infection in the school.

Keywords [SARS-CoV-2, A risk of infection in the school, Distributed school attendance, Remote learning]

1 序論

2021年9月現在も世界で猛威を振るっている新型コロナウイルス感染症の対策として、これまで本校では分散登校および遠隔授業が実施されてきた。そこで、分散登校および遠隔授業により学内の感染リスクがどれだけ低減できたのかについて興味を持った。しかし、実際の都城高専の感染者数は少ないため、その感染者数を用いた学内感染リスクの評価は難しい。本稿では、1つの学内感染リスクのモデルを与え、分散登校および遠隔授業による学内感染リスクの低減効果を計算した結果の報告である。

より具体的には、通生・寮生および居住地・帰省

先別の学生数、宮崎県および鹿児島県の年齢別人口統計データ、実際の宮崎県および鹿児島県が毎日HPにて発表するデータ(日付、年代、地域)等を用いて、登校できる学生の中の新型コロナウイルス感染症にかかっている学生数の確率的な平均値を学内感染リスクとして与えた。さらに、分散登校および遠隔授業を行った場合と行わなかった場合について、その差を低減効果として与えた。ただし、登校できる学生でも症状があれば登校しないことや、新型コロナウイルス感染症にかかっているとしても他の学生に感染させるとは限らないなど、より正確な学内感染リスクはさらに小さくなるものと考えられる。

2 学内感染リスクのモデル

ここでは、まず小中高校における感染者数から10代における年齢別の感染者数を推定する。次に、学生を通生、寮生および都城市・三股町、それ以外の宮崎県内、鹿児島県、専攻科生に分け、県の市町村の年代別人口データを用いて、各地区における本校の学生の割合を与え、それを用いて学内感染リスクのモデルを与える。また、以下の議論では、有効数字は高々1桁であるとして考察する。

2.1 都城高専および市町村の年齢別人口

ここでは計算の単純化のために、宮崎県・鹿児島県以外の寮生、鹿児島県の通生はいないものとし、専攻科生はすべて都城市・三股町の通生とし、各地域の通生・寮生数については、下記の表のように仮定する。

表1 都城高専学生数 (単位:人)

都城市・三股町の本科生の通生数	$C_{mm} = 450$
都城市・三股町以外の宮崎県の通生数	$C_{mz} = 50$
都城市・三股町以外の宮崎県の寮生数	$D_{mz} = 220$
鹿児島県の寮生数	$D_{kg} = 80$
都城市・三股町の専攻科生の通生数	$C_{ad} = 50$

下記の表の宮崎県の市町村の年齢別の人口数は、令和2年:年齢別人口構成表(令和2年10月1日現在)における年齢別人口構成(市町村別)¹⁾を用いた。また、鹿児島県の年齢別の人口数は、年齢別人口統計表一覧(令和元年)²⁾を用いた。

表2 各地区の年齢・年代別人口 (単位:人)

都城市・三股町の15~19才	$H_{1mm} = 8823$
都城市・三股町以外の宮崎県の15~19才	$H_{1mz} = 40334$
鹿児島県の15~19才	$H_{1kg} = 74206$
都城市・三股町の20代	$H_{2mm} = 14177$

2.2 10代中の年齢別の感染者数の推定

文部科学省の「学校における新型コロナウイルス感染症に関する衛生管理マニュアル~「学校の新しい生活様式」~(2021.4.28 Ver.6)(令和3年5月28日一部修正)³⁾により、令和2年6月1日~令和3年4月15日までの小学生から高校生までの感染者数は、小学生6183人、中学生4072人、高校生7046人である。これより、年齢とともに指数的に感染者数が増加していることが推測できる。そこで、年齢 x に対して、その感染者数 y を $y = e^{ax+b} +$

c と仮定して、

$$\int_6^{12} (e^{ax+b} + c) dx = 6183$$

$$\int_{12}^{15} (e^{ax+b} + c) dx = 4072$$

$$\int_{15}^{18} (e^{ax+b} + c) dx = 7046$$

を解くことで、 a, b, c を求めると

$$y \approx e^{0.415x+0.332} + 956$$

となる。これを用いると、10代の感染者において、高専生と同じ学年の学生が占める割合は約70%であり、特に低学年生の占める割合は約30%となる。

表3 10代の感染者中の各学年が占める割合

高専生と同じ学年	$R_{ks} = 0.7$
低学年生と同じ学年	$R_{ksl} = 0.3$
高学年生と同じ学年	$R_{ksh} = 0.4$

このことから、少なくとも令和3年4月15日までは、低学年のみの分散登校にすることで、感染のリスクを半減させることができたことが推定できる。本稿では令和3年度前期までにおいて同様の傾向が続いたと仮定して、この感染者の学年別の割合を用いる。

2.3 感染者が登校できる都城高専の学生である確率

分散登校は低学年のみ登校する分散登校を意味し、各期間における各地区、各年代の感染者1人が登校できる都城高専の学生である確率 p を、それぞれの場合に対応して下付きの添え字をつけて、下記のように設定する。(ここでいう「登校できる」とは、例えば、分散登校では低学年が全員登校でき、高学年生は全員登校できないという意味であり、風邪症状等があっても登校できると仮定している。)ただし、入寮で居住地が変わった場合も想定し、その1週間後まで前の居住地の感染者データを用いる期間も設ける。

2.3.1 全員登校できる期間の内、入寮日から1週間以内

(1) 都城市・三股町の10代

$$p_{mm1} = \frac{C_{mm}}{H_{1mm}} \times R_{ks}$$

(2) 都城市・三股町以外の宮崎県の10代

$$p_{mz1} = \frac{C_{mz} + D_{mz}}{H_{1mz}} \times R_{ks}$$

(3) 鹿児島県の10代

$$p_{kg1} = \frac{D_{kg}}{H_{1kg}} \times R_{ks}$$

(4) 都城市・三股町の20代

$$p_{ad1} = \frac{C_{ad}}{H_{2mm}}$$

2.3.2 全員登校できる期間の内、入寮日から8日目以降

(1) 都城市・三股町の10代

$$p_{mm2} = \frac{C_{mm} + D_{mz} + D_{kg}}{H_{1mm} + D_{mz} + D_{kg}} \times R_{ks}$$

(2) 都城市・三股町以外の宮崎県の10代

$$p_{mz2} = \frac{C_{mz}}{H_{1mz} - D_{mz}} \times R_{ks}$$

(3) 鹿児島県の10代

$$p_{kg2} = 0$$

(4) 都城市・三股町の20代

$$p_{ad2} = \frac{C_{ad}}{H_{2mm}}$$

2.3.3 分散登校入寮日から1週間以内

(1) 都城市・三股町の10代

$$p_{mm3} = \frac{C_{mm}}{H_{1mm}} \times R_{ksl}$$

(2) 都城市・三股町以外の宮崎県の10代

$$p_{mz3} = \frac{C_{mz} + D_{mz}}{H_{1mz}} \times R_{ksl}$$

(3) 鹿児島県の10代

$$p_{kg3} = \frac{D_{kg}}{H_{1kg}} \times R_{ksl}$$

(4) 都城市・三股町の20代

$$p_{ad3} = 0$$

2.3.4 分散登校入寮日から8日目以降

(1) 都城市・三股町の10代

$$p_{mm4} = \frac{C_{mm} + D_{mz} + D_{kg}}{H_{1mm} + D_{mz} + D_{kg}} \times R_{ksl}$$

(2) 都城市・三股町以外の宮崎県の10代

$$p_{mz4} = \frac{C_{mz}}{H_{1mz} - D_{mz}} \times R_{ksl}$$

(3) 鹿児島県の10代

$$p_{kg4} = 0$$

(4) 都城市・三股町の20代

$$p_{ad4} = 0$$

2.3.5 分散登校終了後1週間以内（高学年が入寮後1週間以内）の場合

(1) 都城市・三股町の10代

$$p_{mm5} = \frac{C_{mm} + D_{mz} + D_{kg}}{H_{1mm} + D_{mz} + D_{kg}} \times R_{ksl} + \frac{C_{mm}}{H_{1mm}} \times R_{ksh}$$

(2) 都城市・三股町以外の宮崎県の10代

$$p_{mz5} = \frac{C_{mz}}{H_{1mz} - D_{mz}} \times R_{ksl} + \frac{C_{mz} + D_{mz}}{H_{1mz}} \times R_{ksh}$$

(3) 鹿児島県の10代

$$p_{kg5} = \frac{D_{kg}}{H_{1kg}} \times R_{ksh}$$

(4) 都城市・三股町の20代

$$p_{ad5} = \frac{C_{ad}}{H_{2mm}}$$

2.3.6 遠隔授業のみの場合

いずれの場合も $p_{mm6} = p_{mz6} = p_{kg6} = p_{ad6} = 0$ とする。

2.4 学内感染リスクのモデル

指定した期間（例えば令和2年度前期など）において、全員登校できる期間の内、入寮日から1週間以内における都城市・三股町の10代の感染者が n_{mm1} 人いた場合に、その中で登校できる都城高専の学生の人数を $n_{mm1}p_{mm1}$ 人と推定する。同様に、入寮期間や分散登校に関する他の期間、地区、年代に対しても、同様に人数を推定する。このとき、指定した期間における学内感染リスク[単位：人]を

$$\lambda_{\text{指定した期間}} = n_{mm1}p_{mm1} + \dots + n_{ad6}p_{ad6}$$

とする。これは、指定した期間において登校できる都城高専の学生中の感染者の人数を推定するものである。

また、全員登校できる期間の内、入寮日から1週間以内における都城市・三股町の10代の感染者 n_{mm1} 人に対して、その中の登校できる都城高専の学生の人数を確率変数 X_{mm1} 人で表すとする。登校できる学生の中に感染者がいた場合でも他の学生が感染しやすくなることはないかと仮定すると、この確率変数 X_{mm1} は、二項分布 $B(n_{mm1}, p_{mm1})$ に従う。同様に、入寮日や分散登校に関する他の期間、地区、年代に対しても確率変数が定義でき、二項分布に従う。このとき、

$$X = X_{mm1} + \dots + X_{ad6}$$

の平均は

$$E(X) = \lambda_{\text{指定した期間}}$$

となる。ここで、考えている二項分布 $B(n, p)$ は n が大きく、 p が小さいとして、近似的にポアソン分布 $P_o(np)$ とみなせるとする。このとき、ポアソン分布は再生性を持つため、確率変数 X は平均 $\lambda_{\text{指定した期間}}$ を持つポアソン分布 $P_o(\lambda_{\text{指定した期間}})$ に従う。

3 学内感染リスクの低減効果

宮崎県の「宮崎県における感染者発生状況一覧」HP⁴⁾、鹿児島県の「県内・国内外の発生状況」HP⁵⁾の公表データを用いて、令和2年度前期、令和2年度後期、令和3年度前期の休業期間以外の期間について、学内感染リスクの低減効果を与えたい。ここで開始・終了日については、開寮日、閉寮日を基準とした。また、宮崎県および鹿児島県のHPデータから公表日の前日を感染判明日とした。

本校における分散登校と遠隔授業を行う大まかな基準は、都城市・三股町の直近1週間の新規感染者数が20人（人口10万人あたり約10.8人）を超えた場合に分散登校、都城市・三股町が県の指定する赤圏域になった場合に遠隔授業である。

3.1 令和2年度前期

令和2年度前期において例年通り、5月の連休（準閉寮）を除き4月4日～5月2日、5月6日～8月12日に対面授業を行ったと仮定する。このとき、4月4日～4月10日および5月6日～5月12日が「全員登校できる期間の内、入寮日から1週間以内」であり、4月11日～5月2日および5月13日～8月12日が「全員登校できる期間の内、入寮日から8日目以降」である。この「全員登校できる期間の内、入寮日から1週間以内」における都城市・三股町の10代の感染者は $n_{mm1} = 0$ 人、都城市・三股町以外の宮崎県の10代の感染者は $n_{mz1} = 3$ 人、鹿児島県の10代の感染者は $n_{kg1} = 1$ 人、都城市・三股町の20代の感染者は $n_{ad1} = 0$ 人であり、

「全員登校できる期間の内、入寮日から8日目以降」における都城市・三股町の10代の感染者は $n_{mm2} = 0$ 人、都城市・三股町以外の宮崎県の10代の感染者は $n_{mz2} = 17$ 人、鹿児島県の10代の感染者は $n_{kg2} = 16$ 人、都城市・三股町の20代の感染者は $n_{ad2} = 2$ 人である。分散登校や遠隔授業の期間はないと仮定しているため、これを用いた学内感染リスクは

$$\lambda_{R2 \text{ 前期}}(\text{例年通り}) = n_{mm1}p_{mm1} + \dots + n_{mm2}p_{mm2}$$

であり、実際に計算すると

$$\lambda_{R2 \text{ 前期}}(\text{例年通り}) = 0.04 \quad \text{人}$$

であった。さらに、感染者数が0人である確率をポアソン分布を用いて計算すると、約96%であった。

一方で、実際の学校運営は、5月10日まで休業とし、5月11日より遠隔授業および分散登校（授業内容は遠隔授業を学校で受けるものであり、2学年ず

つそれぞれ2週間のみ、登校しないで遠隔授業を受けてもよい）が行われた。すべて遠隔授業として登校していない状況と同等とみなすと、学内感染リスクは

$$\lambda_{R2 \text{ 前期}}(\text{分散・遠隔あり}) = 0 \quad \text{人}$$

である。いずれにしても、学内感染リスクはほぼないとみなせるため、登校しないことによる学内感染リスクの低減効果もほぼないと考える。

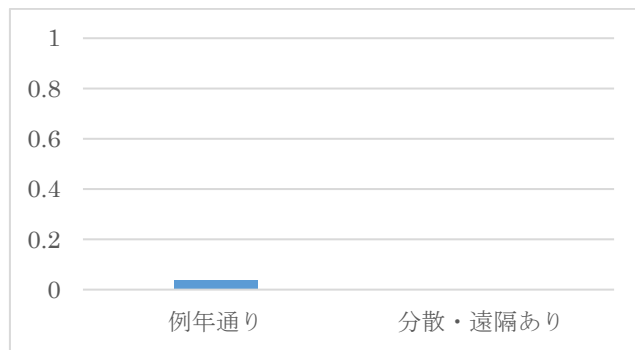


図1 学内感染リスク (令和2年度前期)

令和2年度前期において、実際の学生の感染も（休業日を含めて）発生していない。

3.2 令和2年度後期

令和2年度後期において例年通り、冬季休業を除き9月27日～12月26日、1月5日～2月27日に対面授業を行ったと仮定した場合も前期と同様に計算すると、学内感染リスクは

$$\lambda_{R2 \text{ 後期}}(\text{例年通り}) = 0.87 \quad \text{人}$$

であった。さらに、感染者数が0人である確率は約42%、1人以下である確率は約78%、2人以下である確率は約94%、3人以下である確率は約99%であった。

一方で、実際の学校運営は、9月27日～12月26日まで対面授業、冬季休業を挟み、1月5日～2月27日まで遠隔授業が行われた。したがって、9月27日～10月3日が「全員登校できる期間の内、入寮日から1週間以内」で、10月4日～12月26日が「全員登校できる期間の内、入寮日から8日目以降」であり、1月5日～2月27日が「遠隔授業のみ」である。このとき、学内感染リスクを同様に計算すると

$$\lambda_{R2 \text{ 後期}}(\text{分散・遠隔あり}) = 0.14 \quad \text{人}$$

であり、感染者数が0人である確率は約87%、1人以下である確率は約99%であった。

したがって、令和2年後期の学内感染リスクの低

減効果は

$$\lambda_{R2 \text{ 後期}}(\text{例年通り}) - \lambda_{R2 \text{ 後期}}(\text{分散・遠隔あり}) = 0.73 \text{ 人}$$

である。これは、登校できる都城高専の学生の感染者を0.7人程度減らしたと見積もることができる。

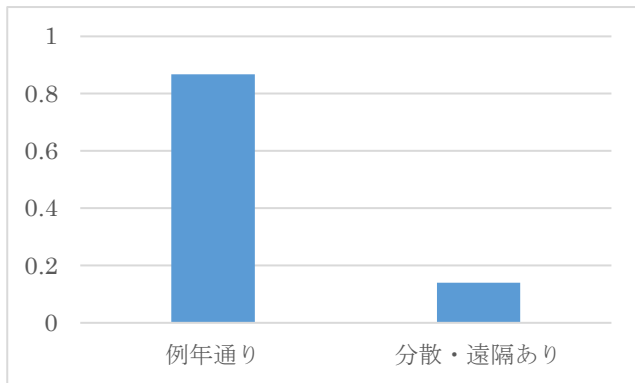


図2 学内感染リスク (令和2年度後期)

令和2年度後期において、登校日には実際の感染者は発生していない。しかし、登校日の2日後の12月28日に2人、登校日の3日後の12月29日に1人の学生の感染者が確認されている。これについて、感染者が1人でも確認されたことは確率的にまれなケースといえるが、その1人から感染が広がるとすると3人であることについて多いとは言えない。

3.3 令和3年度前期

令和3年度前期において例年通り、5月の連休(準閉寮)を除き、4月3日～5月1日、5月5日～8月12日に対面授業を行ったと仮定した場合、学内感染リスクを同様に計算すると

$$\lambda_{R3 \text{ 前期}}(\text{例年通り}) = 2.97 \text{ 人}$$

であった。さらに、感染者数が0人である確率は約5%、1人以下である確率は約20%、2人以下である確率は約43%、3人以下である確率は約65%、4人以下である確率は約82%、5人以下である確率は約92%、6人以下である確率は約97%であった。

一方で、実際の学校運営は、4月3日～4月24日まで対面授業、4月25日～5月1日まで分散登校、5月の連休を挟み、5月5日～5月8日まで分散登校による対面授業、5月9日～5月29日まで遠隔授業、5月30日～6月5日まで分散登校による対面授業、6月6日～8月12日まで対面授業が行われた。このとき、学内感染リスクを同様に計算すると

$$\lambda_{R3 \text{ 前期}}(\text{分散・遠隔あり}) = 1.67 \text{ 人}$$

であり、感染者数が0人である確率は約19%、1人

以下である確率は約50%、2人以下である確率は約77%、3人以下である確率は約91%、4人以下である確率は約97%であった。

したがって、令和3年度前期の学内感染リスクの低減効果は

$$\lambda_{R3 \text{ 前期}}(\text{例年通り}) - \lambda_{R3 \text{ 前期}}(\text{分散・遠隔あり}) = 1.3 \text{ 人}$$

である。これは、登校できる都城高専の学生の感染者を1人程度減らしたと見積もることができる。

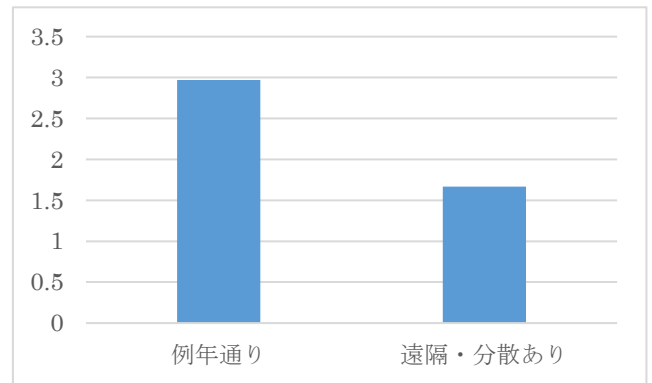


図3 学内感染リスク (令和3年度前期)

令和3年度前期において、遠隔授業中で、例年であれば登校日である5月19日に1人の学生の感染者が確認されており、登校できる都城高専の学生の感染者を実際に減らすことはできている。

また、実際の対応における学内感染リスクの大半は、4月25日～5月1日までの分散登校および8月6日～8月12日までの対面授業における学内感染リスクであった。この期間に感染者が出なかったことが幸いしたと考えられる。

4 まとめ

本稿では、本校の通生・寮生および居住地・帰省先別の学生数、宮崎県および鹿児島県の年齢別人口統計データ、実際の宮崎県および鹿児島県が毎日HPにて発表するデータ(日付、年代、地域)等を用いて、指定した期間における登校できる本校の学生の感染者数の確率的な平均値として学内感染リスクを与えた。その結果をまとめると、

(1) 令和2年度前期においては10代、20代の感染者が少なかったため、例年通りの対応でも学内感染リスクが低い状況であった。

(2) 令和2年度後期においては、学内感染リスクを0.87人から0.14人に、約0.7人分減らすことができた。

(3) 令和3年度前期においては、学内感染リスク

を 2.97 人から 1.67 人に、約 1 人分減らすことができた。

これらの低減効果を大きいとみるか小さいとみるかについては、学校運営において、「1 人も感染者を登校させたくない」とするか、「感染者が 1 人いたとしても他の学生に広げないような感染対策をとっている」とするかなどによって変わってくる相対的な問題であり、本稿で結論を出すことはできない。しかし、学内感染リスクについて数値化できたことで客観的な視点から、学内の感染リスクについて議論することができるようになった。

本稿では、学内感染リスクに加えて、学内感染者数の確率も与えた。この確率には、登校できる都城高専の学生の中に感染者がいた場合に、他の学生が感染しやすくなることを仮定していない。これは、これまでの小中高校における感染事例の大半が学校内で感染者 1 人とどまっている³⁾ことをもとにしている。もし、登校できる都城高専の学生の中に感染者がいた場合に、他の学生が感染しやすくなることを仮定すると、多くの場合は 1 人だけ感染者が出るという確率は減少し、より多くの人数の感染者が出る確率が増大する。ただし、平均値は変わらないため、本稿で定義した学内感染リスクは変わらない。

謝辞

原稿を注意深く読んで頂き、助言して頂いたことに対し、本報告の査読者に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 宮崎県：令和 2 年：年齢別人口構成表（令和 2 年 10 月 1 日現在）
https://www.pref.miyazaki.lg.jp/tokeichosa/kense/toke/documents/11105_20210226155627-1.xls
- 2) 鹿児島県：年齢別人口統計表一覧（令和元年）
https://www.pref.kagoshima.jp/ac09/tokei/bunya/jinko/jinkoudoutyousa/documents/56541_2020226103841-1.xlsx
- 3) 文部科学省：学校における新型コロナウイルス感染症に関する衛生管理マニュアル～「学校の新しい生活様式」～(2021.4.28 Ver.6)（令和 3 年 5 月 28 日一部修正）
https://www.mext.go.jp/content/20210514-mxt_kouhou01-000007426_1.pdf
- 4) 宮崎県：宮崎県における感染者発生状況一覧
[\[taisaku/covid-19/hassei_list.html\]\(https://www.pref.kagoshima.jp/kenko-fukushi/covid19/hassei_list.html\)](https://www.pref.miyazaki.lg.jp/kansensho-</div><div data-bbox=)

- 5) 鹿児島県：県内・国内外の発生状況
<https://www.pref.kagoshima.jp/kenko-fukushi/covid19/hassei/index.html>