

学級閉鎖の理論と第1波と第2波の関係について

いしかわやすひろ
石川 康宏*

はじめに

先に、“閉鎖集団における A/H1N1 の第2波の成因と予測（仮説）”と、“さいたま市中央区における A/H1N1 サーベイランス分析報告”（さいたま市与野医師会誌第49号）で、さいたま市中央区の小中学校などの帰属集団の罹患率を示した。5歳から14歳の易感染年齢層では、少なく見積もっても4割から5割が集団免疫を獲得していると考えられる。本論では、SIR model において、学級閉鎖を、ある一定単位時間内の累積発生患者数の条件を変えて施行した場合の累積罹患率と感染期間についての基礎的・理論的な考察を述べる。

併せて、“閉鎖集団における A/H1N1 の第2波の成因と予測（仮説）”の閉鎖集団の第1波の大きさと第2波の大きさの関連について補足する。

方法

SIR model[1] について簡単に触れる。SIR とは、Susceptible(感受性者)、Infected(感染者) and Removed(回復もしくは死者)の略である。a を感染率 (infection rate) とし、b を除去率もしくは回復率 (removal rate) とし、N を最初の感受性者の総数 (initial susceptibles) とし、T をシミュレーションする期間 (simulation length) とする。

S_{n+1} は、 $n+1$ 単位時間における感受性者の人数で、非感染率 $(1-a)$ 感染者数 I の確率で、試行回数 S の2項分布に伴う乱数を1個生成する。 R_{n+1} は、 $n+1$ 単位時間における回復者の人数で、 $R_n +$ 回復率 b の確率で、試行回数 I の2項分布に伴う乱数を1個生成する。

I_{n+1} は、 $n+1$ 単位時間における感染者の人数で、 $I_{n+1} = N + 1 - R_{n+1} - S_{n+1}$ という関係がある。先の論文では、以下の条件で、 $a = 0.001, b = 0.35, N = 500, T = 250$ とすると501名の閉鎖集団で中等度の大きさの感染が見られた。 $a * N > b$ であれば大きな感染が見られる事が知られている。

学級閉鎖するという事は、ある一定期間の単位時間で一定の累積患者数が観察された場合に、感染率 a が、ある一定の単位時間だけ低下すると考えるのが自然である。

$a = 0.01, b = 0.3, N = 50, T = 100$ とし、3単位時間の期間に、累積患者数が3人、5人、10人とみられた時に感染率 a が0.004[2]に3単位時間だけ低下し、その後また、感染率 a を0.01に戻し、3単位時間での累積患者数が規定の人数に達すると、再び感染率を3単位時間だけ0.004に低下させる事を繰り返して、各々の既定の累積患者数について1000回施行した。学級閉鎖をしなかった場合と累積患者数の密度分布と感染期間の密度分布について比較した。

結果

図1は、累積患者数の時間的変化を示したグラフである。学級閉鎖をしない場合は赤の実線で、3単位時間内で累積患者数が10名認めた場合はピンクの実線で、累積患者数が5名の場合は緑の実線で、累積患者数が3名の場合は青の実線で示した。累積患者数が1名の場合は表示していない。学級閉鎖の基準の累積患者数が小さくなると、トータルの累積患者数も小さくなるように見えるが、次の図2で

*さいたま市中央区 石川医院

示すように密度分布は正規分布と異なる為、今回は多群間の分布の位置の差のノンパラメトリックな検定 (pairwise.wilcox.test 等) には立ち入らないものとする。

図 2 は、SIR 法による 3 単位時間内での累積患者数別の累積患者数と感染期間の頻度を表している。左上の上段の緑は学級閉鎖無しの累積患者数の頻度であり、青い線は、密度分布である。2 峰性の分布を示す。ヒトグラムの上の数字は、1000 回施行中の頻度を示している。1 名から 5 名の間で、491 回 (1000 回施行中) の第 1 のピークがあり、35 名から 40 名の間で第 2 のピークを認める。左上の下段の小豆色は学級閉鎖無しの場合の感染期間の頻度であり、やはり、2 峰性のピークがある。25 単位時間から 30 単位時間に第 2 のピークがみられる。濃い赤の実線がその密度分布である。

左下は、3 単位時間に 10 名の累積患者が発生した場合であり、学級閉鎖をしなかった場合にみられた 2 峰性のピークが消え、5 名から 20 名までが平坦になっている。感染期間に関しても、5 単位時間から 25 単位時間までは平坦な密度分布の曲線である。右上は、5 名。右下は 3 名の場合であるが、累積患者数と感染期間の分布は、急激な減少がみられる。分布の平均やメディアンは、それぞれグラフ中に表示してある。

図 3 は、3 単位時間内での学級閉鎖の累積患者数の密度分布のグラフを示す。薄い紫が累積患者 3 名、薄い赤は 5 名の場合で両者とも急速な減少が見られる。水色は 10 名の場合で、10 名から 20 名までが平坦な曲線である。緑の学級閉鎖無しでは 2 峰性のピークが見られ、第 2 のピークは 40 名に近い。

図 4 は、3 単位時間内での学級閉鎖の感染期間の密度分布のグラフを示す。薄い紫が累積患者 3 名、薄い赤は 5 名の場合で両者とも急速な減少が見られる。水色は 10 名の場合で、10 単位時間から 20 単位時間までが平坦な曲線である。緑の学級閉鎖無しでは 2 峰性のピークが見られ、第 2 のピークは 30 単位時間に近い。

結語学級閉鎖の SIR 法によるシミュレーションで

は、一定期間内の累積患者数を適切に設定すれば、累積患者数を抑え、感染 (拡大) 期間を短縮することが可能である。今後は、感染拡大の比較的早期に実際の疾患のデータに当て嵌める方法を確立する事が重要である。

追補 "閉鎖集団における A/H1N1 の第 2 波の成因而と予測" の第 1 波と第 2 波の大きさの SIR 法による関係の図を提示する。

図 5 は、501 名の閉鎖集団で、第 1 波の大きさと第 2 波の大きさの関係の散布図である。第 1 波 (横軸) が 100 名以上では、50 名以上の第 2 波 (縦軸) は見られない。第 1 波が 50 名以下であると大きな第 2 波が見られる。

図 6 は、501 名の閉鎖集団で、上から第 1 波の大きさの頻度。第 1 波と第 2 波の大きさの和の頻度。第 2 波のみの大きさの頻度を示した。図の上段のような大きな第 1 波のあった場合、第 2 波が 150 名以上のものも見られるが、0.73 % と頻度は高くないが、現実的には、仮定したような閉鎖集団ではなく、流行期には、常に、第 3 波、第 4 波と外部からの影響で患者が発生するので、集団免疫が獲得できていない集団では、大きな感染が起こる確率は、これより大きくなる。

第 1 波が大きかった場合、第 2 波の大きな発生は確率的に低くなる。第 2 波の流行期の判定は患者数がある閾値に達してから行われる為、第 2 波の発生は、第 1 波が昨年発生した時期と比べ、確率的には遅い時期となると考えられる。

参考文献

- [1] Owen Jones, Robert Maillardet, Andrew Robinson. Introduction to Scientific Programming and Simulation Using R. Boca Raton: CRC Press; 2009: 377-419.
- [2] ICDRAP. ICEID NEWS SCAN: School closures, pneumonia and flu deaths, raw milk demand, sprout outbreak. Available at <http://www.cidrap.umn.edu/>

cidrap/content/influenza/swineflu/
news/jul1410iceidsan.html. Accessed August
22,2010.

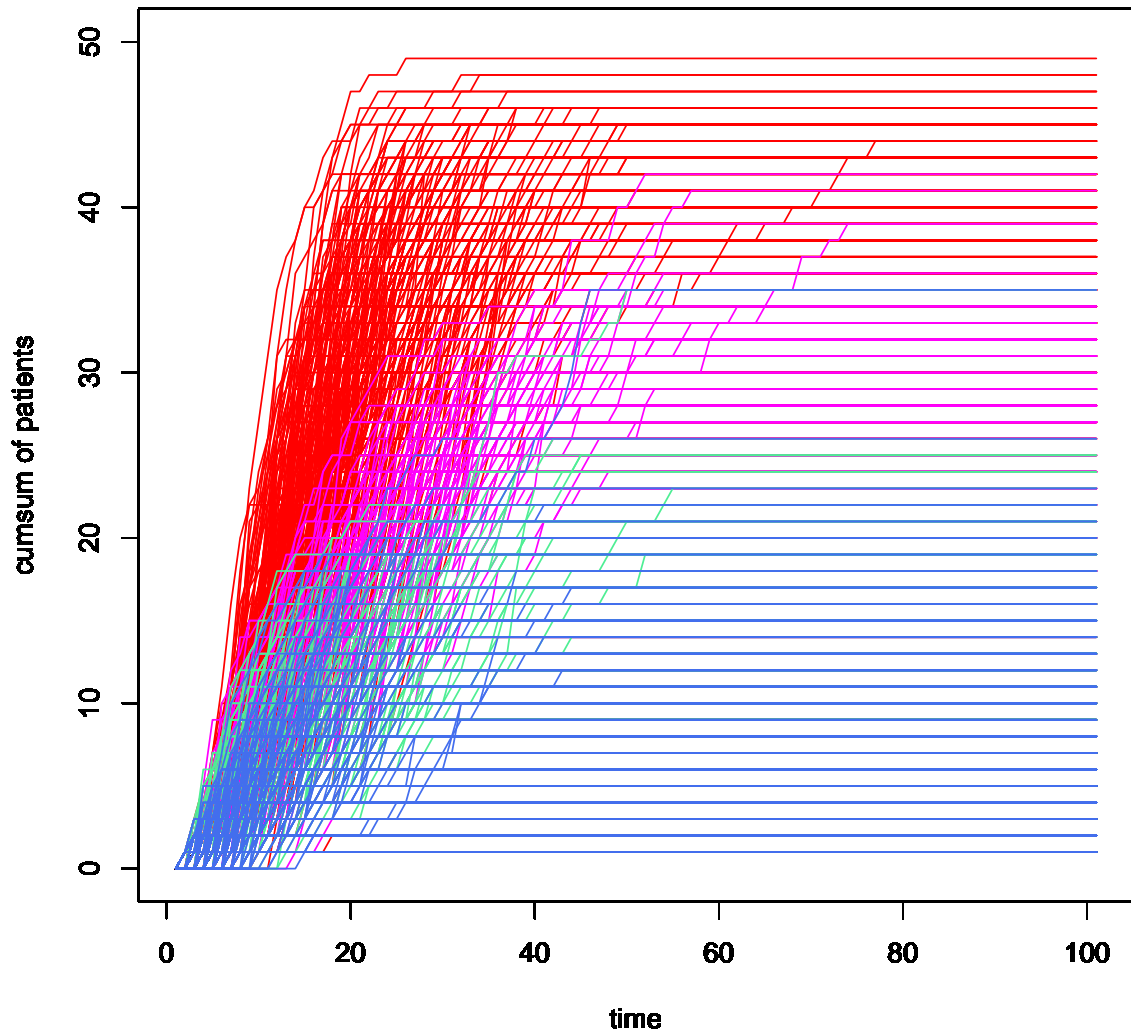


図 1: SIR 法による一定単位時間内での累積患者数別の学級閉鎖による累積患者数と感染期間の時間的な経過のグラフ。学級閉鎖をしない場合は赤の実線。3 単位時間内で累積患者数が 10 名認めた場合はピンクの実線。累積患者数が 5 名の場合は緑の実線。累積患者数が 3 名の場合は青の実線で示した。

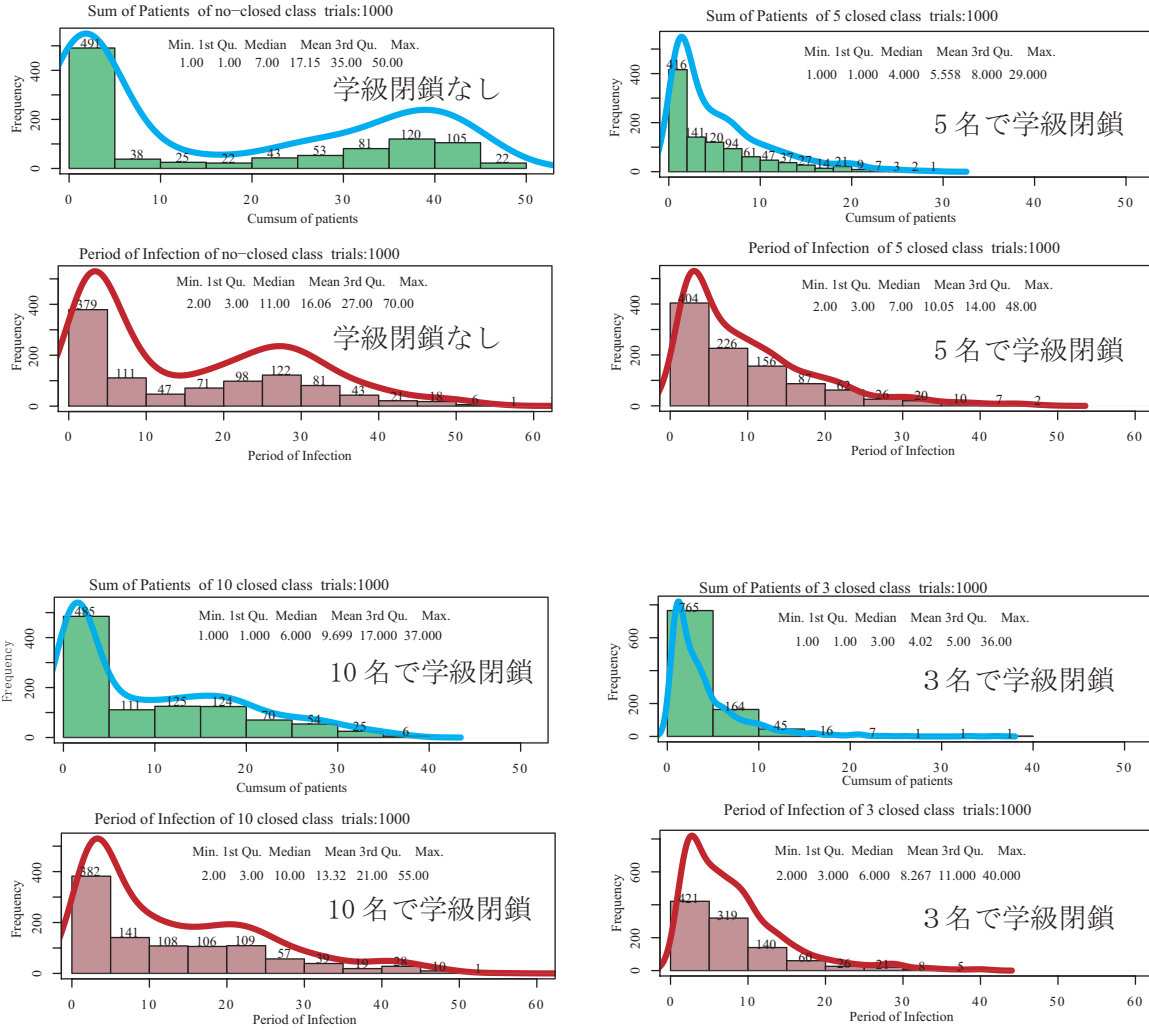


図 2: SIR 法による 3 単位時間内での累積患者数別の累積患者数と感染期間の頻度。左上の上段の緑は学級閉鎖無しの累積患者数の頻度。青い線は密度分布。左上の下段の小豆色は学級閉鎖無しの場合の感染期間の頻度。濃い赤の実線がその密度分布で 2 峰性のピークを認める。左下は、3 単位時間に 10 名の累積患者が発生した場合。右上は、5 名。右下は 3 名の場合。

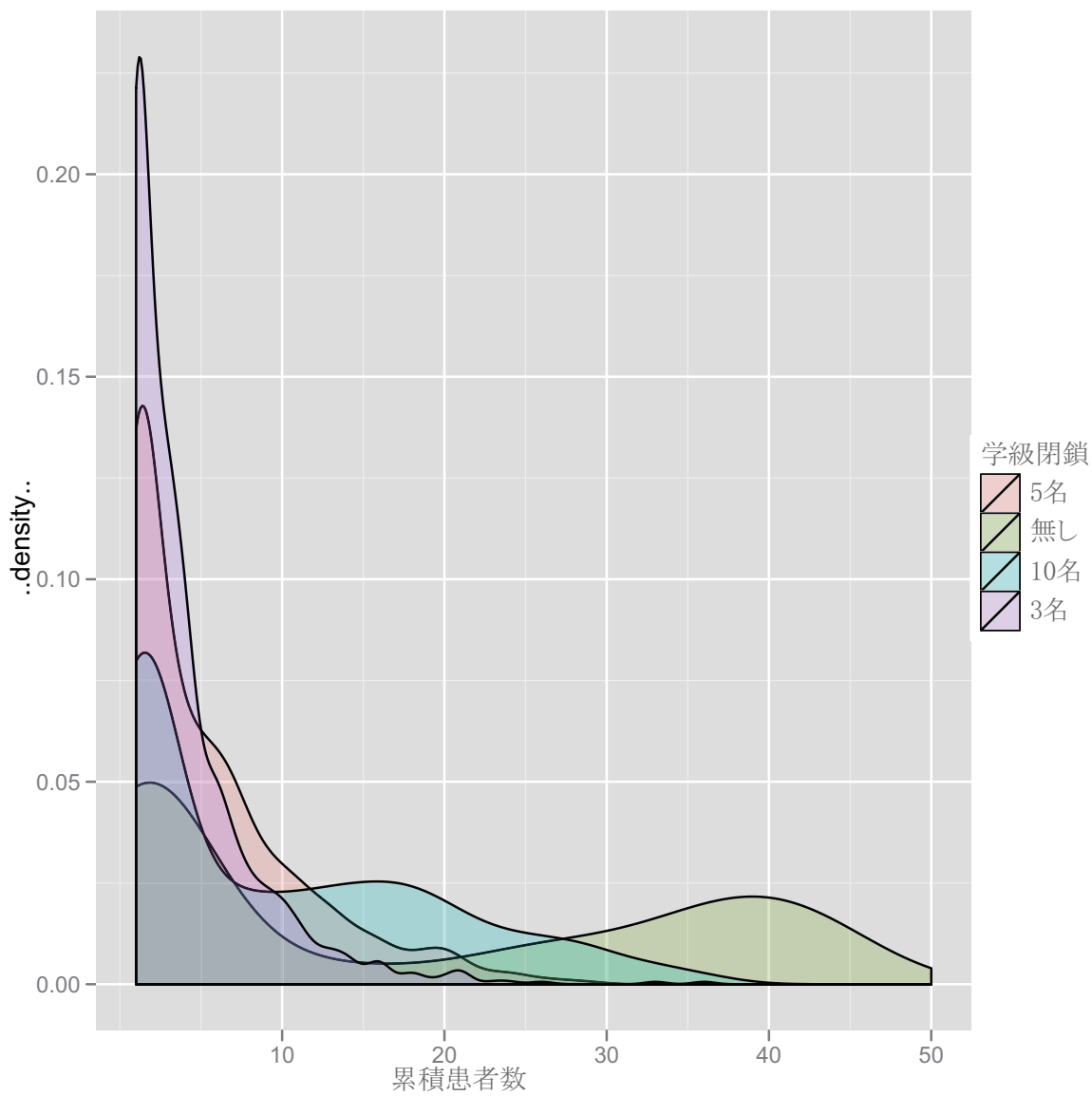


図 3: 3 単位時間内での学級閉鎖の累積患者数の密度分布のグラフ。薄い紫が累積患者 3 名、薄い赤は 5 名の場合で両者とも急速な減少が見られる。水色は 10 名の場合で 10 名から 20 名までが平坦な曲線。緑の学級閉鎖無しでは 2 峰性のピークが見られ第 2 のピークは 40 名に近い。

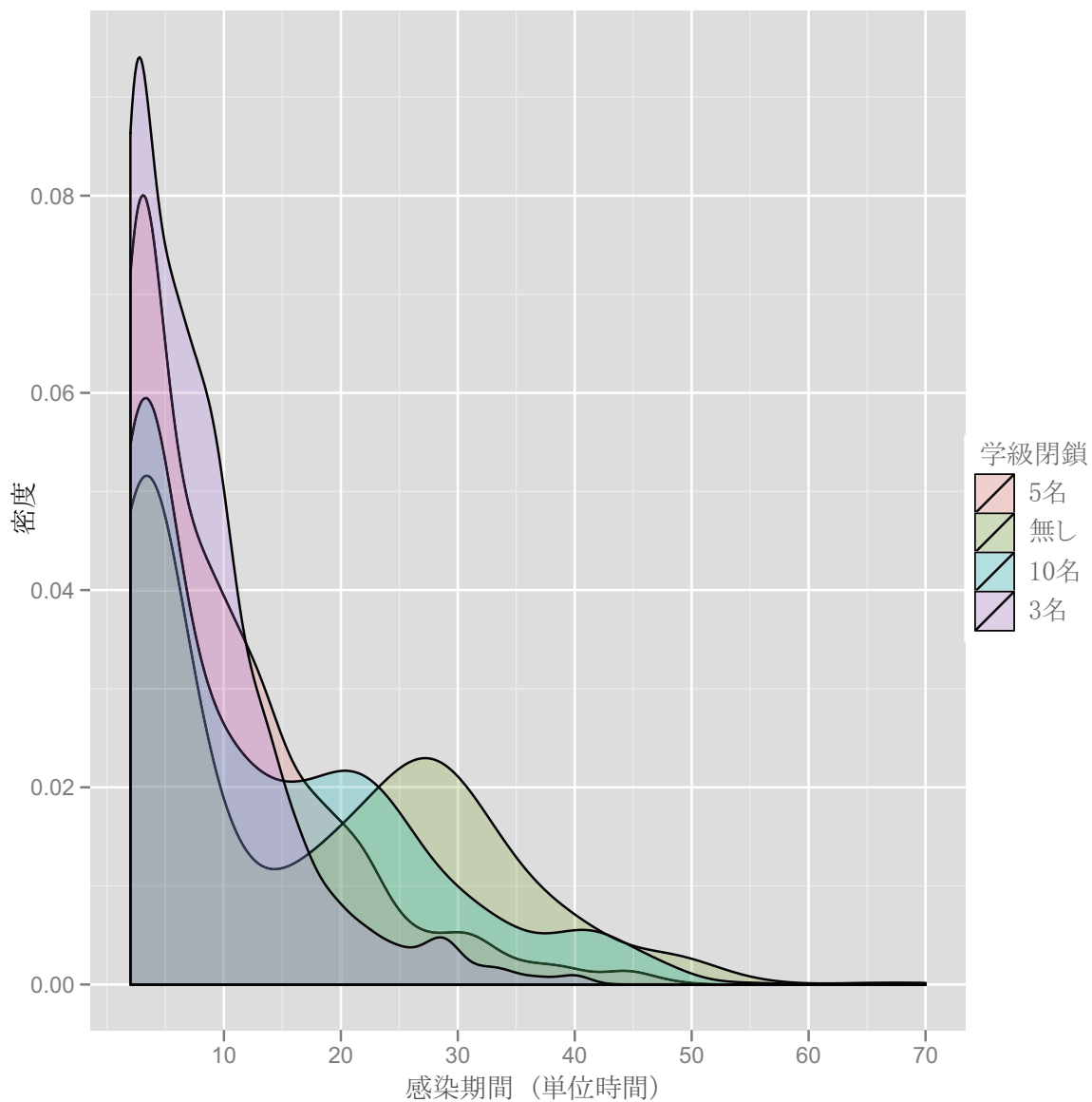


図 4: 3 単位時間内での学級閉鎖の感染期間の密度分布のグラフ。薄い紫が累積患者 3 名、薄い赤は 5 名とともに急速な減少が見られる。水色は 10 名の場合で 10 単位時間から 20 単位時間までが平坦な曲線。緑の学級閉鎖無しでは 2 峰性のピークが見られ、第 2 のピークは 30 単位時間に近い。



図 5: 501 名の閉鎖集団で、第 1 波の大きさと第 2 波の大きさの関係の散布図。第 1 波 (横軸) が 100 以上では、50 名以上の第 2 波 (縦軸) は見られない。第 1 波が 50 名以下であると大きな第 2 波が見られる。

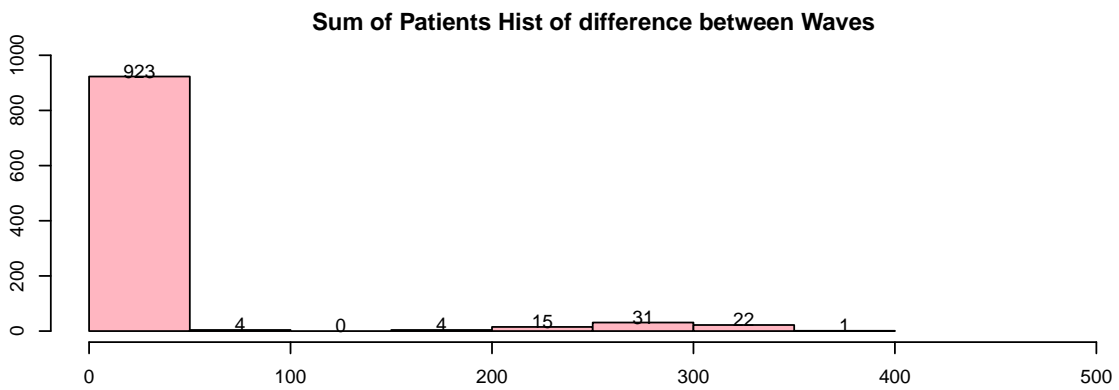
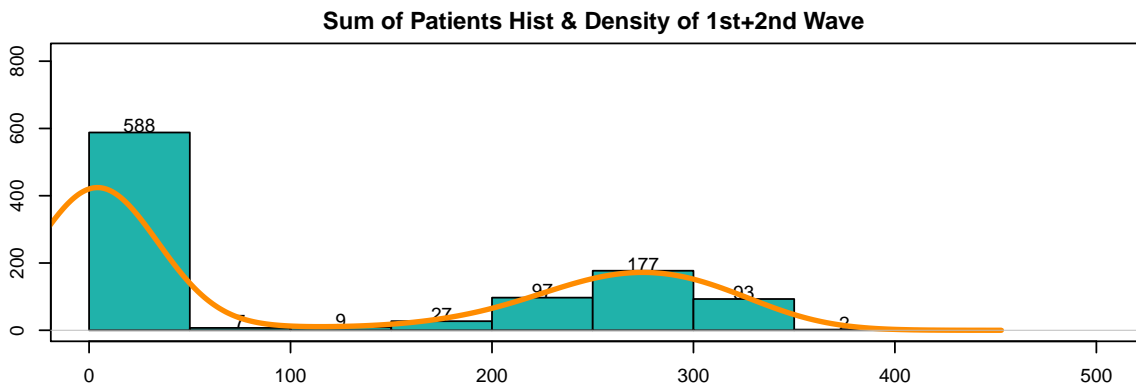
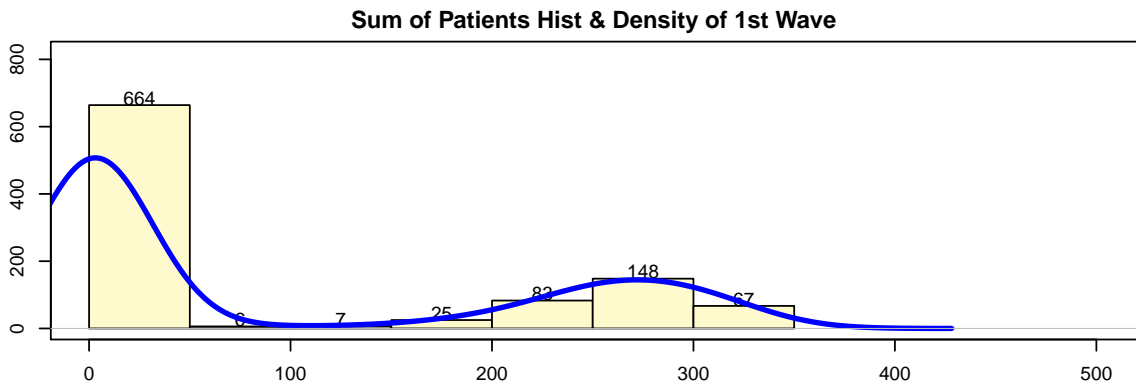


図 6: 501 名の閉鎖集団で、上から第 1 波の大きさの頻度。第 1 波と第 2 波の大きさの和の頻度。第 2 波のみの大きさの頻度を示した。図の上段のような大きな第 1 波のあった場合、第 2 波が 150 名以上のものも見られるが、0.73 % と頻度は高くない。