

传染病动力学 SARD 新型模型 (三) 预测韩国 COVID-19 疫情

作者：章其初博士 2020 年 2 月 29 日

摘要

传染病 COVID-19 疫情 2020 年 2 月在湖北外中国其他地区爆发后，本文作者建立了传染病动力学 SARD 新型模型，得到模型中四个函数 S、A、R、D 有解析表达式，解决了传染病模型中主要疫情函数没有解析解的难题。采用 SARD 模型计算数值，与湖北外其他中国地区的 COVID-19 疫情通报数符合良好，并预测“现有感染者”拐点处与后来通报数在日期和数量上一致。另外累计感染者总数也正接近模型预测数值。

韩国 COVID-19 疫情到 2 月 28 日，累计感染者已达 2337 病例，进入疫情爆发期。本工作采用 SARD 模型，计算预测韩国的 COVID-19 疫情要点如下：

- (1) 累计感染者总数将达到 12900 人，偏差 400 人（95% 概率总数在这范围内），相对偏差 3%。这数值与湖北外中国其他地区相同。
- (2) 每日新增感染者数量在 3 月 3 日到 5 日期间达最大数，1100 人左右，随后数量逐步减少，现有感染者人数增加开始缓慢。于 3 月 17 日每日新增感染者 50 人左右，疫情趋于平稳。
- (3) 韩国疫情早期 2 月 19 日前后，一个患者每天传染人数 $C=0.42$ ，基本传染数 $R_0=5.4$ ，传染周期选为 13 天。显示 COVID-19 病毒的毒性在后面几代没有减弱。

1、前言

传染病建模计算早在 20 世纪初就开始了，1927 年 Kermack 与 McKendrick 在研究流行于伦敦的黑死病时提出的 SIR 舱室模型，是传染病模型中最经典、最基本的模型，为传染病动力学的研究做出了奠基性的贡献。模型中把传染病流行范围内的人群分成三类：S 类为易感者 (Susceptible)，I 类为现有感染者 (Infective)，R 类为移出者 (Removal)。在若干假设下，模型导出 S、I、R 三个函数的一阶微分方程组。方程组三个函数 S、I、R 没有解析解。疫情预测只能根据已有数据得到的拟合曲线，并外延用来预测。随后，很多学者提出了其他很多模型，甚至更复杂模型，尝试建模计算预测疫情。其中广泛采用的 SEIR 模型，其原理上与 SIR 类似。

新型冠状病毒 2019 年出现，2020 年 1 月开始爆发以来，中国和其他国家很多研究机构和高等院校的流行病、统计学及其他专业学者进行了大量建模计算，进行疫情分析和预测。

在 COVID-19 流行病疫情 2020 年 2 月在湖北外中国其他地区爆发后，本文作者，参考前人的模型，建立了传染病动力学 SARD 新型模型，推导得到疫情关键函数有解析表达式，因而能在疫情早期定量预测整个疫情发展过程，并成功用于湖北外中国其他地区 COVID-19 疫情定量分析和预测。传染病 COVID-19 疫情在韩国累计感染者于 2 月 28 日达 2337 病例。本文试图采用近日建立的 SARD 模型定量预测韩国传染病 COVID-19 疫情。

2、传染病动力学 SARD 新型模型

传染病动力学 SARD 新型模型中，S、A、R、D 分别称为易感者，累计感染者，累计痊愈者，累计死亡者。本模型定义 R 等于痊愈率乘 A，D 等于死亡率乘 A，易感者 S 等于 N 减去 A，N 是累计感染者 A 的总数。模型还大胆但合理假设，痊愈率是逻辑回归函数。死亡率

采用线性函数。

推导得到 SARD 模型中两个函数 S、A 一阶微分方程。求解 A 的一阶微分方程，得到 A 是逻辑回归函数。拟合疫情通报数据 A，得到逻辑回归函数 A 的两个参数，其中一个 N，是累计感染者总数 N。利用公式 $S=N-A$ ，这样四个函数 S、A、R、D 都找到解析表达式。现有感染者 I 在 SARD 模型中用公式 $I=A-R-D$ 计算得到。

每日新增感染者 B 等于当日 A 减去昨天的。其他一些参数也可以计算得到。如计算感染者的每天基本传染数，本文中采用数学函数常用标记 R_0 （日期），区别其他文章中代表早期基本传染数 R_0 。

模型 SARD 中各类名称 A、R、D 和 I 与疫情通报的病例名称有一一对应关系。

流行病学和公众通常把现有确诊数最大日作为拐点日。通报数据和模型计算显示，现有确诊数最大日的前后一天，现有确诊人数百分比差别很小，再考虑到流行病统计学的涨落性质，所以这里把现有感病者数 I 最大日的前后共 3 天作为现有感病者数最大日期区，对应拐点区。传染病统计学习惯称为拐点与数学定义不同，数学中函数的拐点是函数二阶导数为零的点。

3、湖北外中国其他地区 COVID-19 疫情模型计算分析和预测

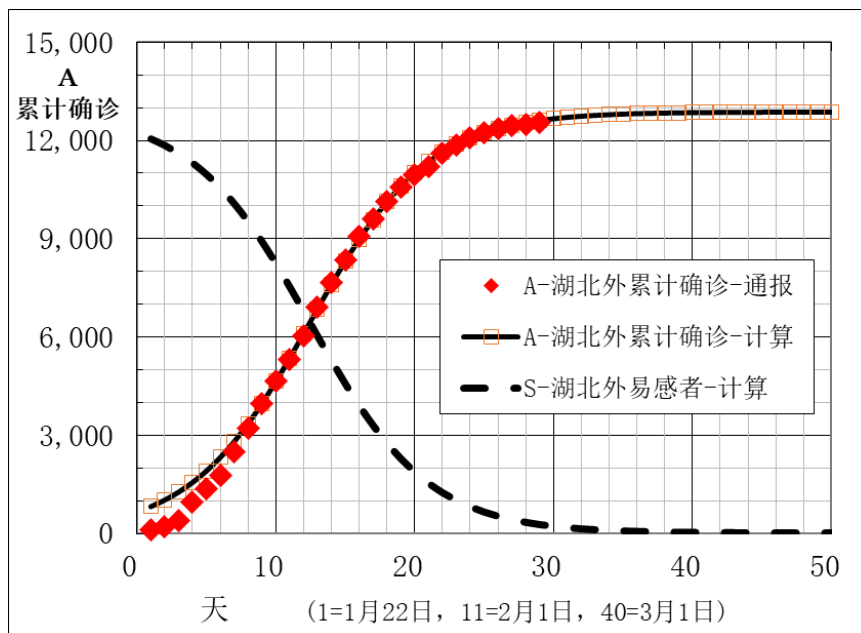


图 1 累计感染者的模型计算和通报数 A 以及易感者 S（湖北外中国其他地区）

从图 1 中看出，湖北外其他地区，模型计算累计确诊病例数 A，从 1 月 30 日到至今 20 多天期间与通报符合良好。图中实线是模型计算数，离散点是通报数（红色）。采用 SARD 模型计算时，选用 2 月 13 到 17 日的 5 天疫情数据。选用 5 天通报数，用逻辑回归函数拟合累计感染者函数 A 得到 2 个参数，其中一个是累计感染者总数 N，为 12900 人。易感者 S 用公式 $S = N - A$ 计算得到，图中虚线表示。

拟合疫情早期 1 月 26-30 日 5 天累计感染者数得到，疫情早期在 1 月 25 日前后，一个患者每天传染人数 $C=0.37$ 。从累计感染者通报的病例数得出传染周期为 13 天。计算得到，在 1 月 25 日前后基本传染数 $R_0=4.7$ ，偏差 0.1。

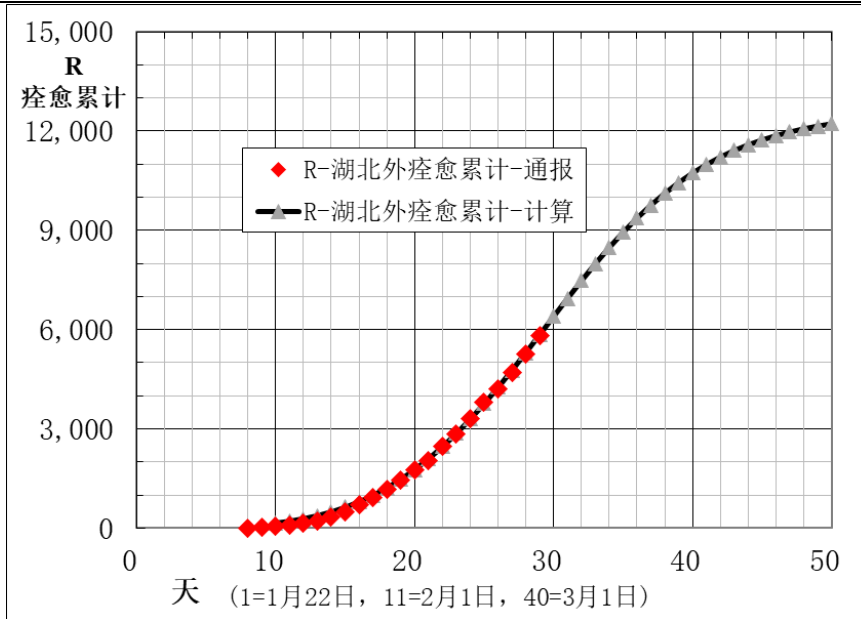


图 2 累计痊愈数 R 的模型计算数与通报数（湖北外中国其他地区）

图 2 显示，湖北外中国其他地区，模型计算得到累计痊愈者 R，与通报数一致性良好。证明在 SARD 模型中大胆假设痊愈率是逻辑回归函数准确。图中实线是模型计算数，离散点是通报数（红色）。

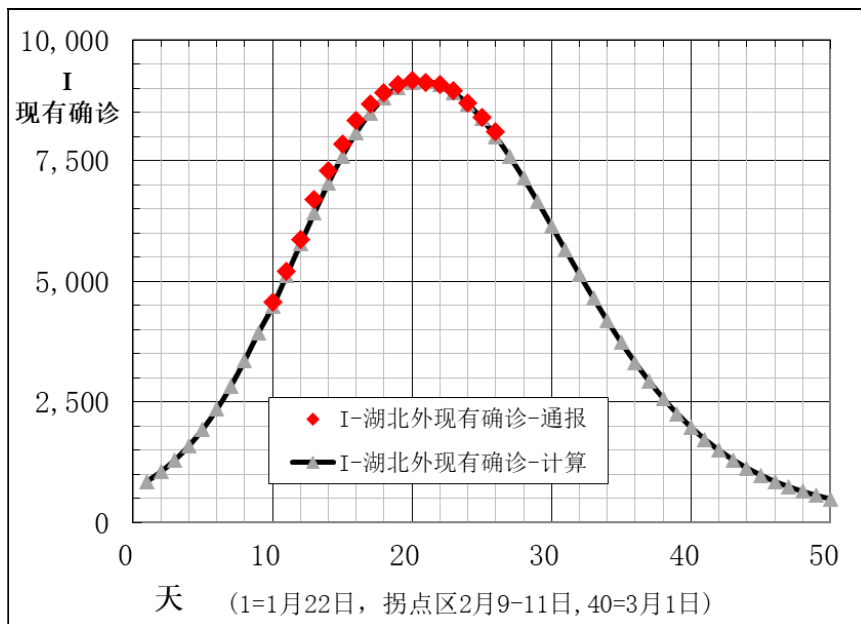


图 3 现有感染者 I 的模型计算和通报数（拐点区在 2 月 9 到 11 日）（湖北外其他地区）

图 3 显示，湖北外中国其他地区，模型计算得到现有感染者 I 数，与通报数一致性非常好。图中实线是模型计算数，离散点是通报数（红色）。模型计算得到的现有感染者拐点区（最大数），在 2 月 9 到 11 日期间，与通报的相同。最大现有感染者人数 9150 人（取 3 位有效数字），与通报数差仅 40 人。模型计算预期，湖北外全国所有地区，疫情在 3 月 10 日前后走向尾声，即那时现有感染者人数合计 500 人左右，很多地级市现有确诊人数将清零。

4、采用 SARD 模型计算预测韩国 COVID-19 疫情

新闻报道，韩国 COVID-19 疫情第一病例于 1 月 20 日确诊，至今已有 1 个多月，到 2

月 28 日，累计感染者到 2 月 28 日已达 2337 病例，进入疫情爆发期。

从上面给出的湖北外中国其他地区 COVID-19 疫情，模型计算与通报数一致性良好，所以，本文采用韩国疫情早期通报数据，用传染病动力学 SARD 模型，试试预测韩国疫情，给出疫情的主要定量数据。

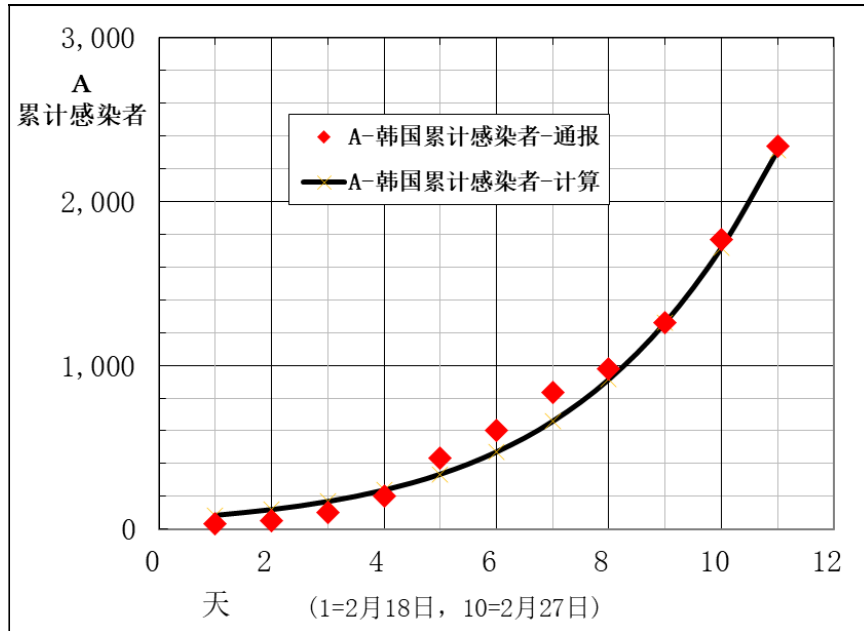


图 4 在 2 月 18 日到 28 日通报和模型计算得到累计感染者 A（韩国）

图 4 中给出在 2 月 18 日到 28 日 11 天，韩国累计感染者 A 的模型计算数，与通报符合良好。图中实线是模型计算数，离散点是通报数（红色）。

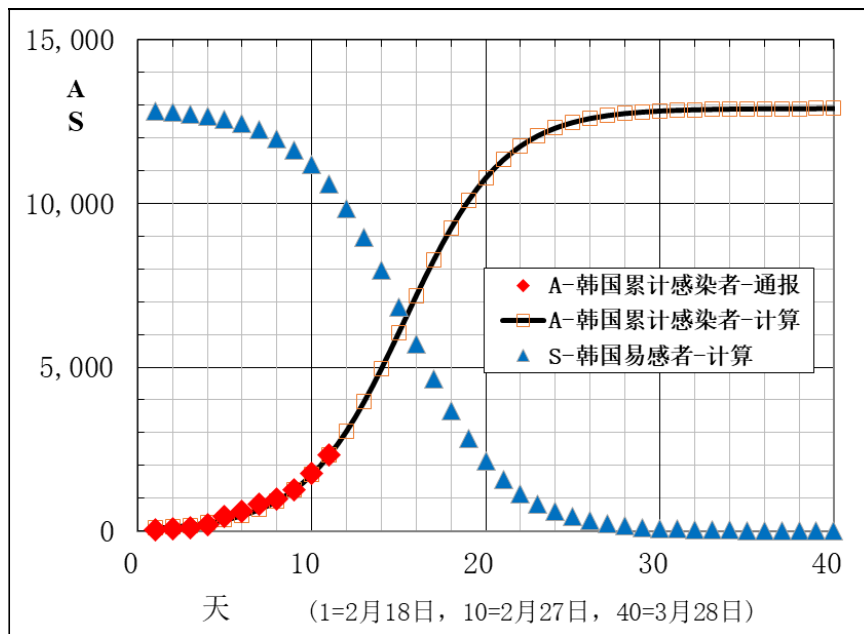


图 5 通报累计感染者 A 和模型计算得到的 A 以及易感者 S（韩国）

图 5 给出 40 天的累计感染者 A 数据。从图中看出，累计感染者这几天将快速增长，随后，通过数学上拐点，即每日新增感染者 B 达到极大值后，增加变缓慢，逐步趋向累计感染者总数 N。图中实线是模型计算数 A，离散点是通报数 A（红色）。易感者 S 图中虚线表示。

采用 SARD 模型计算时，选用 2 月 24 到 28 日期间 5 天疫情数据，模型计算得到如下重

韩国累计感染者总数 $N=12900$ 人，偏差 400 人（95% 概率总数在这范围内），相对偏差 3%。这表明，韩国可能的 COVID-19 疫情感染者总数也将达一万三千人左右。

这一数据与湖北外中国其他地区感染者总数相同。这一奇异的数据是否给出，若疫情在早期萌芽状态没有控制住，累计感染者数达到一、二千例后，疫情必然爆发达到一万多人。如果隔离、医治再不到位，感染者总数将大大超过这人数，如湖北地区。

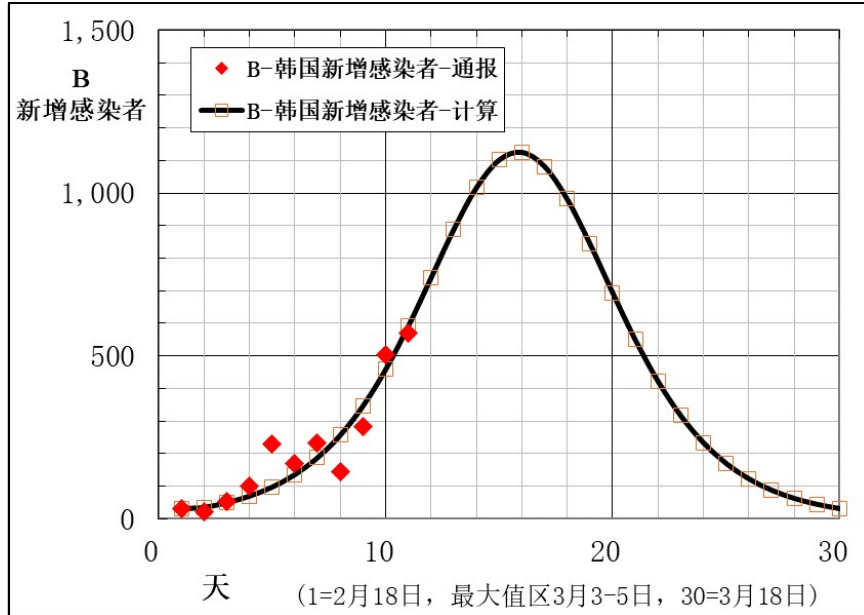


图 6 每日新增感染者 B 的计算模型和预测数据（韩国）

图 6 显示，预测每日新增感染者 B 在 3 月 3 日到 5 日期间达最大数，1120 人左右。图中实线是模型计算数，离散点是通报数（红色）。通报新增感染者数落在计算曲线两侧。到 3 月 17 日前后，每日新增感染者数在 50 人左右，疫情开始平稳。

如果隔离进一步改进，需要采用最新日期通报数重新拟合，得到更加符合疫情预测数据。

采用 SARD 模型计算得到，韩国早期疫情，一个患者每天传染人数 C 和基本再生数 R_0 ，如表 1 所示。2 月 19 日一个患者每天传染人数 $C=0.42$ 。若传染周期选为 13 天（采用中国疫情数据），计算得到在 2 月 19 日前后基本传染数 $R_0=5.4$ ，比上面给出的，湖北外中国其他地区 4.7 还有高。这表明传染到几代后，病毒的毒性没有减弱。

表 1 一个患者每天传染人数 C 和基本再生数 R_0 （传染周期 13 天）

日期	2月19日	2月20日	2月21日	2月22日	2月23日	2月24日	2月25日
C	0.42	0.42	0.42	0.41	0.41	0.41	0.41
R_0	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.3	5.3

5、结论

采用 SARD 模型，湖北外中国其他地区 COVID-19 疫情，计算得到累计感染者 A、累计痊愈者 R 和现有感染者 I 三类病例数与通报符合良好。

预测韩国 COVID-19 疫情，得到如下数据。（1）累计感染者总数 N 达 1 万 3 千人左右。这数值与湖北外中国其他地区相同。（2）疫情早期 2 月 19 日前后，基本传染数 $R_0=5.4$ ，显示 COVID-19 病毒的毒性在后面几代没有减弱。（3）每日新增感染者数量在 3 月 3 日到 5 日

后记

正文题外话作为后记。

本文是作者建立的传染病动力学 SARD 新型模型系列文章之三，预测韩国疫情。

参考作者传染病动力学 SARD 新型模型系列文章如下。

- (1) ausinan.org/cms/news/2020-02-21/sard-modeling-for-covid19

Submitted by admin on Fri, 2020-02-21

《传染病动力学 SARD 新型模型试用于 COVID-19 疫情分析和预测》

作者章其初博士，2020 年 2 月 17 日。

- (2) ausinan.org/cms/news/2020-02-26/sard-modeling-for-covid19

Submitted by admin on Fri, 2020-02-26

《传染病动力学 SARD 新型模型分析预测 COVID-19 疫情（二）》

作者章其初博士，2020 年 2 月 24 日。

为了每一篇文章的完整性，部分内容在文章中有重复。

有人发现了类似的传染病模型论文，烦请告知发表本论文的网站，或《海纳智库》。发现论文内容问题，也请相关学者、专家及其网友提交给网站。另外，医学领域的学者模型数值计算有困难，作者可以协助计算，并提供计算得到的数据。

本文作者建议，传染病学和其他专业学者，可以采用本 SARD 模型进一步深化研究，写出可以在 Nature, Science, 以及中国和国际医学类等学术刊物上发表的高质量论文。提醒大家，到时不要忘记感谢本文作者章其初，SARD 模型提出者，以及发表的网站及《海纳智库》。

《海纳智库》及网站是志愿者编辑和维护的。本文在网上发表前，主编孙君泓教授，花费了大量时间做修改，这里感谢孙君泓教授和网站本文的编辑。



章其初博士照片