

A型インフルエンザ流行をシミュレーションする

海上保安大学校 川口 慶悟
岩永 佐織

I はじめに

1 背景

平成29年1月10日から25日までの間、海上保安大学校において、A型インフルエンザが蔓延し多くの発症者が生じた。図1にも示した通り、この期間の発症者数の合計は37人となり、発症者の最大数は1月16、18日に27名に及んだ。例年はここまでインフルエンザが蔓延することはない、昨年度のインフルエンザの蔓延には何か要因があるのではないかと予想された。平成29年1月の特徴として、1月7日から9日に3連休がある。当初は、3連休を利用して成人式の為帰省している1、2学年の多くがインフルエンザウイルスを大学校に持ち帰ったのが要因ではないかと考えられた。

本研究では、これらの予想について、妥当であったか検討する。そのために、今回のA型インフルエンザの感染拡大をシミュレーションすることにより再現する。そして、感染経路を特定し、以後のA型インフルエンザの感染拡大の予防方法について提案する。

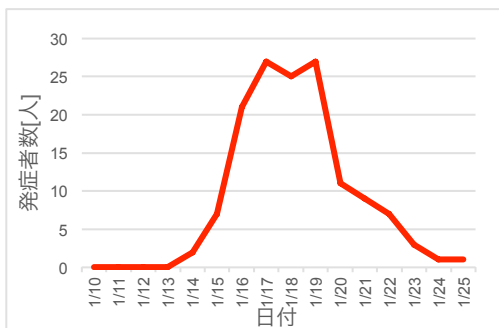


図1 平成29年1月のA型インフルエンザによる発症者数の推移

2 研究の目的

平成29年1月に発生した海上保安大学校におけるA型インフルエンザ流行を、MASを行うことによって分析する。そして、A型インフルエンザの拡大を予防する方法について検討を行っていく。

海上保安大学校では毎日6時30分の起床から22時30分の就寝まで、学生は図2のような日課表に定められた通りの外部との接触がほとんどない集団生活が行われており、ほとんどの時間は全学生が自習室、寝室、教室のい

日課表	
6:30	起床（整列・体操・掃除）
7:10	朝食
8:20	課業整列
8:45	授業
12:00	昼食
13:00	授業・体育部活動
17:15	夕食・入浴・自習時間・外出
22:15	帰校門限
22:30	消灯巡検

ずれかの空間に位置している。

図2 海上保安大学校の日課表

よって、海上保安大学校本科学士の自習室や寝室、どこで課業を受けているかを含めた情報をそれぞれ変数化し、その変数を組み込んだMASを行うことによって、平成29年1月に海上保安大学校にて発生したA型インフルエンザの感染拡大を分析する。

III 研究対象

本研究では、平成29年1月に発生した海上保安大学校におけるA型インフルエンザの感染拡大について扱う。従来の感染症の拡大モデルでは、シミュレーションはマクロな変数を用いて数式化されており、街全体等の感染症拡大予想といったような巨視的な挙動について微分方程式で分析することを目的としていたため、ミクロな個人を扱ったものではない。また、シミュレーションの対象となるエージェントには個人を識別する情報が含まれているわけではないため、感染のルートや原因などを明らかにすることはできないようなものではない。

そのため、本研究を開始するに当たり、A型インフルエンザウイルスの特徴や、海上保安大学校の寮生活の性質を考慮し、新たなモデルを作成する。まず、実際のインフルエンザ流行状況を分析し、感染率や発症日数を求めた。A型インフルエンザでは潜伏期間の者及び発症期間の者どちらも健康な者を感染させることが出来る。そして、一般的な感染症拡大モデルを参考にしながら、新たなモデル「S V I Rモデル」を構築した。

さらに、海上保安大学校の特殊な環境を利用して、ミクロな変数を用いて個人を識別できるエージェントを作成し、感染の推移を明らかにすることができるようにした。全学生を対象として、自習室・寝室・学年・選択科目に分類し、いつ誰がどの空間にいるかといった情報を与え、日課表を基本としたMASを作成し、昨年度のインフルエンザ流行を再現した。

A型インフルエンザの特徴について述べる。インフルエンザの感染の多くは、「飛沫感染」によるものが多く、それ以外にも「接触感染」や「空気感染」による感染もある。「飛沫感染」とは、感染者の咳やくしゃみ等の飛沫に含まれている菌やウイルスを鼻や口から吸いこむことにより

感染することである。「接触感染」は、皮膚や粘膜の直接的な接触や、手、ドアノブ、手すりなどを介しての接触で病原体が目や鼻、口などに付着し、粘膜から侵入することによる感染である。「空気感染」は、感染者の排出する咳飛沫に付着している菌やウイルスを鼻や口から吸いこむことにより感染することである。咳飛沫は微細な粒子となっており、長時間空気中に浮遊するため、同じ空間にいる人が吸い込むことによって感染しやすくなる。人間の身体に侵入したウイルスは、粘膜に付着し約20分で細胞の中に入り込む。

また、インフルエンザに感染した場合、一定期間の後にインフルエンザを発症する。この期間のことを「潜伏期間」という。潜伏期間とは、感染してから体に症状が現れるまでの期間のことであり、個人差はあるが、通常1～3日程度とされる。この期間に体内でインフルエンザウイルスが増殖し、ある程度まで増殖すると発症する。

発症してから約1～3日程度の期間38度以上の突然の高熱、全身の倦怠感、食欲不振などの全身症状に加え、その後に咳やのどの痛み、鼻水などの呼吸器症状、なかには腰痛や吐き気などの消化器症状を訴える場合もある。最終的に、10日前後で症状が落ち着き治癒するのが一般的なインフルエンザの症状の経過となっている。

また、インフルエンザワクチンには感染予防の効果はなく、感染し、発症した際の「症状の重篤化」についての予防効果を持つにとどまると知ることが出来たため、本研究においてはインフルエンザワクチンの接種率及びワクチン接種による感染率の低下等については考慮しないものとした。

IV シミュレーション設定

1 モデル設定

感染症の拡大については一般的にS I Rモデルが用いられている。S I Rモデルとは、カ

一マック・マッケンドリックが提唱したもので、 $\frac{dI}{dt} = aE - (m + g)I$, $\frac{dR}{dt} = gI - mR$ S (感受性者)、I (保菌者)、R (免疫保持者) が相互に関わり合い感染症が拡大していく様子をモデル化したものである。

この3つの関係は、下の図3で表され、以下の3つの式で表される。



図3 SIRモデルの概略

$$\frac{dS}{dt} = -bSI, \quad \frac{dI}{dt} = bSI - gI, \quad \frac{dR}{dt} = gI \quad \dots (1)$$

(b: 感染率、g: 免疫保持者となる確率)

ここでSとは、健康な状態を指し、今後Iになり得る可能性のある人のことである。Iとは、体内に菌を保持しており、感受性者に菌を感染させる可能性のある人であり、治癒し、免疫を保持しRになる、あるいは免疫を保持するに至らず再びSに戻る可能性のある人のことを指す。Rは一度感染することで、体内に免疫を保持することとなり、今後Sに戻ることはなく、もう感染することはない人、または死亡した人のことである。

次に、感染した後に潜伏期間がある場合について考えると、この潜伏期にある人の数を保菌者E、Iを発症者とした「SEIRモデル」がある。SEIRモデルは、麻疹やおたふく風邪、百日咳などを対象としている。このSEIRモデルは、図4及び以下の方程式系で表される。

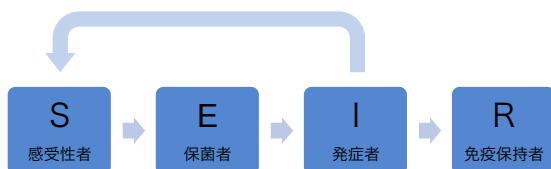


図4 SEIRモデルの概略

$$\frac{dS}{dt} = m(N - S) - bSI, \quad \frac{dE}{dt} = bSI - (m + a)E$$

$$\frac{dI}{dt} = aE - (m + g)I, \quad \frac{dR}{dt} = gI - mR \quad \dots (2)$$

$$N = S + E + I + R$$

(m: 出生率及び死亡率、a: 発症率、

b: 感染率、g: 回復率、N: 全人口)

SEIRモデルでは、IからSへ感染する。bSIの項を見てみると、SとEの時間微分の式にのみ入っている。これは、感染したら、一旦Eになるということである。EからI、IからRへの変化は、それぞれaE、gIで表されている。SEIRモデルに限らず、感染症伝播の数理モデルでは、感染した人を症状の有無で分けている。実際の感染症においては、感染しても症状の出ない人もいるが、数理モデル上でのIの人々は、症状の有無に関係なく感染性を持つ人々のことをいう。また、Eも同様に、症状があっても感染性を持たない人々も含んでいる。

実際の発症者数のデータを整理した結果を下の表1に、日付ごとの発症者の情報を示す。これは、A型インフルエンザを発症した学生を、発症順に並べたものである。表の「1」とは、発症者を指す。基準の時間を08時30分とし、その日の08時30分に入室しているものを「1」で示している。表1を分析すると、次のことが分かる。

- ・発症期間は「1」で表される日数であり、37人の平均発症期間は3.8日である。
- ・一度感染した者は同じ型のインフルエンザに再度感染することはなかったため、発症することにより100%の確率で免疫を保持している。
- ・13日から発症による発症者が増加開始
- ・16、18日に最も多く27名が発症。
- ・15日に発症者は最大の増加分を示している。
- ・17日にやや減少しているのは、最初の発症者2名が回復したためである。

表1に、感受性者を「-1」、ウイルス保持状態を「0」、免疫保持状態を「2」として追加した

ものを表2に表す。発症者が最初に「1」になった日から前の3日間潜伏期間として一律にウイルス保持者「0」としている。それ以前は健康な状態であるので「-1」である。また、発症者が最後に「1」になった日の翌日から免疫保持者「2」としている。また、表2においては、視覚的にも表を分かりやすくするため、それぞれの状態別に色分けを行った。

人体に侵入したA型インフルエンザウイルスは、驚異的なスピードで増殖をはじめ、ウイルス保持者であっても感染力を持つようになる。ウイルス保持者は、ウイルス保持者となって2日目以降に感染させると仮定する。すると、表2から1月11日に学生A、Bが気密性の高い教室や自習室、寝室で学生C~Gへ感染させたと考えられる。ここで、ウイルス保持者は発症者にならない場合もあるが、実データをさかのぼっているため、その場合は省略して考える。

表1 日付ごとの発症者の情報

	1/10	1/11	1/12	1/13	1/14	1/15	1/16	1/17	1/18	1/19	1/20	1/21	1/22	1/23	1/24	1/25	発症日数
A				1	1	1	1										4
B				1	1	1	1										4
C				1	1	1	1	1	1								5
D				1	1	1	1	1	1								5
E				1	1	1	1	1									5
F				1	1	1	1	1									4
G				1	1	1	1										3
H				1	1	1	1										3
I				1	1	1	1	1	1								5
J				1	1	1	1										3
K				1	1	1	1	1									4
L				1	1	1	1	1									4
M				1	1	1	1	1									4
N				1	1	1	1	1									4
O				1	1	1	1	1									4
P				1	1	1	1	1									4
Q				1	1	1	1	1									4
R				1	1	1	1	1									4
S				1	1	1	1	1									4
T				1	1	1	1	1									4
U				1	1	1	1	1									4
V				1	1	1	1										3
W				1	1	1	1	1									4
X				1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	3
Y				1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	4
Z				1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
AA				1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	3
AB				1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	4
AB				1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	3
AD				1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	4
AE				1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	4
AF				1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	3
AG				1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	4
AH				1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	4
AI				1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	3
AJ				1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	3
AK				1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	5
発症者数	0	0	0	2	7	21	27	25	27	10	9	7	3	1	1	1	
差分	0	0	0	2	5	14	2	-2	2	3	-1	-2	4	-2	0	5	

表2 発症前後も含めた日付ごとの発症者の情報

	1/10	1/11	1/12	1/13	1/14	1/15	1/16	1/17	1/18	1/19	1/20	1/21	1/22	1/23	1/24	1/25	発症日数
A	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4
B	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4
C	-1	0	0	0	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	5
D	-1	0	0	0	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	5
E	-1	0	0	0	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	5
F	-1	0	0	0	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	4
G	-1	0	0	0	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3
H	-1	-1	0	0	0	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	3
I	-1	-1	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	5
J	-1	-1	0	0	0	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	3
K	-1	-1	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	4
L	-1	-1	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	4
M	-1	-1	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	4
N	-1	-1	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	4
O	-1	-1	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	4
P	-1	-1	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	4
Q	-1	-1	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	4
R	-1	-1	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	4
S	-1	-1	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	4
T	-1	-1	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	4
U	-1	-1	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	4
V	-1	-1	-1	0	0	0	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	3
W	-1	-1	-1	0	0	0	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	4
X	-1	-1	-1	0	0	0	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	3
Y	-1	-1	-1	0	0	0	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	4
Z	-1	-1	-1	0	0	0	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
AA	-1	-1	-1	0	0	0	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	3
AB	-1	-1	-1	-1	0	0	0	1	1	1	2	2	2	2	2	2	4
AB	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	1	1	1	2	2	2	2	2	3
AD	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	1	1	1	2	2	2	2	2	4
AE	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	1	1	1	2	2	2	2	2	4
AF	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	1	1	1	2	2	2	2	2	3
AG	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	1	1	1	2	2	2	2	2	4
AH	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	1	1	1	2	2	2	2	2	4
AI	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	1	1	1	2	2	2	3
AJ	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	1	1	1	2	2	2	3
AK	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	1	1	1	1	1	5
発症者数	0	0	0	2	7	21	27	25	27	10	9	7	3	1	1	1	
差分	0	0	0	2	5	14	2	-2	2	3	-1	-2	4	-2	0	5	

これらをもとに実際のデータを分析して、「SVIRモデル」を作成した。SEIRモデルでは、Iから感染するが、SVIRモデルではVとIから感染するものとして扱うため、この二つのモデルは異なるモデルである。

以下、このSVIRモデルの概要について説明する。SVIRモデルでは、S（感受性者）がウイルスに感染するとV（ウイルス保持者）となり、一定の潜伏期間を経たのちI（発症者）となり、その後一定の発症期間を経たのちにR（免疫保持者）となる。実データを参考にして潜伏期間を3、発症期間を4日と定義する。すなわち、発症、回復については（2）式と異なり発症率、回復率等を用いた確率的な式ではなく決定論的とする。Vは3日経過すると必ずIとなり、Iは4日経過すると必ずRとなる。

海上保安大学校ではインフルエンザの発症後、Sから隔離されることから、IからSへの感染は考慮せず、VからSへの感染経路のみを考慮することが出来る。

以上より、SVIRモデルにおいてウイルス保



持者数の関係を示す関係式は、下の図4で表され、関係式は以下のようになる。

図4 SVIRモデルの概略

$$\frac{dV}{dt} = kVS \dots\dots (3)$$

(k: 感染率、V: ウイルス保持者数、S: 感受性者数)

2 感染率について

実際の発症者データをもとにして一人のVが何人のSに感染させたかを求める。感染率を求めたい空間に何人のVとSが居て、翌日に何人が新たにVとなっているかを調べ、それを(3)式に代入して求める。

海上保安大学校での生活において、多くの時間を過ごしている自習室、寝室、教室の3種類の感染率を求めた。このため、まず平成29年1月時点の時間割、学生名簿、自習室及び寝室の割振りを一元的に整理した。その結果を以下の表3~5に示した。

表3 寝室の番号と構成人数

寝室	人数	寝室	人数
22	9	48	1
23	10	49	2
24	8	37	3
25	8	38	3
26	9	39	3
31	9	28	4
32	9	29	3
33	9		
34	7		
35	8		
41	9		
42	10		
43	8		
44	9		
45	9		

表4 自習室の番号と構成人数

自習室	人数	自習室	人数	自習室	人数
201	3	301	3	401	3
202	3	302	4	402	3
203	3	303	4	403	3
204	2	304	3	404	3
205	3	305	3	405	3
206	4	306	3	406	4
207	3	307	3	407	3
208	3	308	3	408	3
209	2	309	3	409	3
210	4	310	4	410	2
211	3	311	3	411	3
212	3	312	2	412	3
213	3	313	3	413	3
214	2	314	3	414	3
215	3	315	2	415	3
216	4	316	3	416	3
		317	2	417	3

表5 各選択科目と受講人数

1年[56名]		2年[47名]	
科目名	人数[人]	科目名	人数[人]
英語A	24	英語A	28
英語B	22	英語B	19
数学A	37	I群	26
数学B	19	II群	17
物理A	41	III群	4
物理B	15	3年[44名]	
法学演習A	13	科目名	人数[人]
法学演習B	14	英語A	22
法学演習C	14	英語B	22
法学演習D	15	警察	18
ロシア語	12	安全	26
中国語	33	I群	26
韓国語	11	II群	14
柔道	28	III群	4
剣道	28	4年[4名]	
		科目名	人数[人]
		III群	3

表6 教室の感染率の算出過程

番号	S	V	dV	k=dV/SV	番号	S	V	dV	k=dV/SV
1	36	1	2	1/18	30	-	-	-	0
2	27	1	2	2/27	31	-	-	-	0
3	27	1	2	2/27	32	-	-	-	0
4	53	3	11	11/159	33	-	-	-	0
5	27	6	3	1/54	34	-	-	-	0
6	27	6	3	1/54	35	-	-	-	0
7	32	8	3	3/256	36	-	-	-	0
8	28	1	1	1/28	37	-	-	-	0
9	38	1	1	1/38	38	-	-	-	0
10	38	1	1	1/38	39	-	-	-	0
11	24	1	1	1/24	40	-	-	-	0
12	21	1	1	1/21	41	-	-	-	0
13	46	1	3	3/46	42	-	-	-	0
14	23	3	2	2/69	43	-	-	-	0
15	23	3	2	2/69	44	-	-	-	0
16	43	4	3	3/172	45	-	-	-	0
17	40	6	2	1/120	46	-	-	-	0
18	40	6	2	1/120	47	-	-	-	0
19	21	5	1	1/105	48	-	-	-	0
20	3	1	1	1/3	49	-	-	-	0
21	22	1	1	1/22	50	-	-	-	0
22	25	3	1	1/75	51	-	-	-	0
23	22	1	1	1/22	52	-	-	-	0
24	-	-	-	0	53	-	-	-	0
25	-	-	-	0	54	-	-	-	0
26	-	-	-	0	55	143	7	14	0.013986
27	-	-	-	0					
28	-	-	-	0		合計			1.117656
29	-	-	-	0		平均			0.020321
						1時間換算			0.0135473

表7 自習室の感染率の算出過程

番号	S	V	dV	k=dV/SV	番号	S	V	dV	k=dV/SV
1	2	1	1	0.5	41	-	-	-	0
2	2	1	1	0.5	42	-	-	-	0
3	2	1	1	0.5	43	-	-	-	0
4	-	-	-	0	44	-	-	-	0
5	-	-	-	0	45	-	-	-	0
6	-	-	-	0	46	-	-	-	0
7	-	-	-	0	47	-	-	-	0
8	-	-	-	0	48	-	-	-	0
9	-	-	-	0	49	-	-	-	0
10	-	-	-	0	50	-	-	-	0
11	-	-	-	0	51	-	-	-	0
12	-	-	-	0	52	-	-	-	0
13	-	-	-	0	53	-	-	-	0
14	-	-	-	0	54	-	-	-	0
15	-	-	-	0	55	-	-	-	0
16	-	-	-	0	56	-	-	-	0
17	-	-	-	0	57	-	-	-	0
18	-	-	-	0	58	-	-	-	0
19	-	-	-	0	59	-	-	-	0
20	-	-	-	0	60	-	-	-	0
21	-	-	-	0	61	-	-	-	0
22	-	-	-	0	62	-	-	-	0
23	-	-	-	0	63	-	-	-	0
24	-	-	-	0	64	-	-	-	0
25	-	-	-	0	65	-	-	-	0
26	-	-	-	0	66	-	-	-	0
27	-	-	-	0	67	-	-	-	0
28	-	-	-	0	68	-	-	-	0
29	-	-	-	0	69	-	-	-	0
30	-	-	-	0	70	-	-	-	0
31	-	-	-	0					
32	-	-	-	0	合計				1.5
33	-	-	-	0	平均				0.021429
34	-	-	-	0	1時間換算				0.006593
35	-	-	-	0					
36	-	-	-	0					
37	-	-	-	0					
38	-	-	-	0					
39	-	-	-	0					
40	-	-	-	0					

表8 寝室の感染率の算出過程

番号	S	V	dV	k=dV/SV	番号	S	V	dV	k=dV/SV
1	8	1	1	1/8	31	-	-	-	0
2	9	1	1	1/9	32	-	-	-	0
3	7	1	1	1/7	33	-	-	-	0
4	6	1	1	1/6	34	-	-	-	0
5	8	1	1	1/8	35	-	-	-	0
6	7	2	1	1/14	36	-	-	-	0
7	7	1	1	1/7	37	-	-	-	0
8	8	1	1	1/8	38	-	-	-	0
9	7	2	2	1/7	39	-	-	-	0
10	7	3	1	1/21	40	-	-	-	0
11	8	1	2	1/4	41	-	-	-	0
12	-	-	-	0	42	-	-	-	0
13	-	-	-	0	43	-	-	-	0
14	-	-	-	0	44	-	-	-	0
15	-	-	-	0	45	-	-	-	0
16	-	-	-	0	46	-	-	-	0
17	-	-	-	0	47	-	-	-	0
18	-	-	-	0	48	-	-	-	0
19	-	-	-	0	49	-	-	-	0
20	-	-	-	0	50	-	-	-	0
21	-	-	-	0	51	-	-	-	0
22	-	-	-	0	52	-	-	-	0
23	-	-	-	0	53	-	-	-	0
24	-	-	-	0	54	-	-	-	0
25	-	-	-	0	55	-	-	-	0
26	-	-	-	0	56	-	-	-	0
27	-	-	-	0					
28	-	-	-	0	合計				1.450397
29	-	-	-	0	平均				0.0259
30	-	-	-	0	1時間換算				0.003237

表2と表3～5を一元的に扱うことによって、インフルエンザを発症した学生の多くは、発症の3日前にVと同じ空間にいたことが分かった。そして、13日に発症した2名を除く35名のうち、30名が校内で感染している。内訳は、教室で27名、寝室で13名、自習室で3名が感染している。重複して感染したものもいるため、校内では延べ43名が感染していると考えられる。また、35名中校外でのウイルス感染は5名であったと予想できる。校外で感染していた者5名は全員15日に外出先で感染している。よって、インフルエンザ感染の特徴から考慮すると、当初予想していた多数の学生の校外からのウイルス持ち込みではなく、高々2人のウイルス保持者から、校内でインフルエンザが拡大したと考えられる。また、表6～8より、すべての自習室、寝室、教室の平均値を求めたところ、それぞれについて単位時間は異なるものの、以下ようになった。

- ・教室 : 0.02 (人/1時間30分)
- ・自習室 : 0.021 (人/3時間15分)
- ・寝室 : 0.026 (人/8時間)

このことから、それぞれ単位時間が異なっているものの、感染率についてはそれほど大きな差異はないということが分かった。この結果から言えることは、教室では1時間30分同じ空間で過ごすことにより0.02人に感染させうる能力を持つが、寝室においては8時間同じ空間で過ごすことにより0.026人に感染させうるということである。3種類の空間(教室・自習室・寝室)を比較してみると、1時間あたりにすると教室は自習室に比べ感染率は低い。自習室では学生は自由に手洗いなどができ、水分も補給できる環境にあるが、教室ではそれらが難しいことが要因と考えられることから、手洗い等の有効性が認められる。また、(3)式を考慮すると、自習室は一部屋4名程度と少人数であることも影響していると考え

えられる。さらに、自習時には外出が許可されていることから、自習室に不在のため、感染しにくかったとも考えられる。一方、1時間当たりになると寝室は自習室と比べ、感染率は低い。寝室では、ベッドに寝た姿勢であり、自習室の椅子に座った姿勢より口や鼻が低い位置にある。そのため、ウイルスが浮遊する時間が短く感染しにくいものと考えられる。また、就寝中には活動量が少なく、感染しにくいとも考えられる。

つまり、この段階においては教室での感染率がインフルエンザの感染拡大に最も大きな影響を与えているということが分かる。よって、インフルエンザの感染拡大を防ぐためには、教室の感染率を低下させることが有効であると予想される。

3 シミュレーション設定

Artisoc 上で平成29年1月10日から同月25日までの間、全学生に日課表通りの生活を行わせる。授業は90分間であり、一日最大4コマである。授業は教室で受ける。自習時間(3時間15分)は自習室、就寝時は寝室で8時間過ごす。全学生の外出時間や外泊の有無については確認することが出来なかったため、平日、休日とも夕方以降に自習室にいることを前提とし、より学生同士の接触時間を多くとるように設定した。

学生は、それぞれの5つのレイヤーを移動しながら過ごしていくものにした。レイヤーとは、「自習室」、「寝室」、「教室」、「医務室」、「その他」を指し、物理的な構造ではなく概念的な構造を示す。それぞれのレイヤーには、先ほど述べたそれぞれの感染率を設定した。「その他」とは移動中などの密閉されていない空間を想定しており、「医務室」と「その他」のレイヤーでは感染率を0にしている。

それぞれのレイヤーは 8×7 の格子セルで構成されており、その一つ一つのセルに自習室や寝室の番号が振られており、各エージェントは日課

表に則り個人のデータに対応したセルを移動する。19日に成人式の全学年参加の昼食会が行われたが、その影響は見られないことから、食堂での感染はないものとした。

この条件下で平成29年1月10日から同月25日までの期間でシミュレーションを行った。簡単のため、日課表をもとにシミュレーションを行う単位ステップ15分として設定し、96ステップで1日を表現する。これは、ウイルスが20分で細胞へ侵入することを考慮している。感受性者は、次の空間に移動する際に、感染の式(3)で感染するものとした。すなわち、健康なエージェントは同じ部屋(教室、自習室、寝室)にその時にいる学生のうち、ウイルス保持者 V を調べ、 $k \times V$ を求める。その値が乱数 x (実数 $0 \leq x < 1$)より大きければそのエージェントは次の日にウイルス保持者となる。そうでなければ変化しない。実験結果として、発症者の推移を出力した。

V シミュレーション結果

1 シミュレーション結果の検討

SVIRモデルをもとに、Artisoc 上でシミュレーションを行った。100回シミュレーションを行った結果をそれぞれプロットしたものを図5、その発症者平均、標準偏差を図6に示し、実際の発症者のデータを比較した。

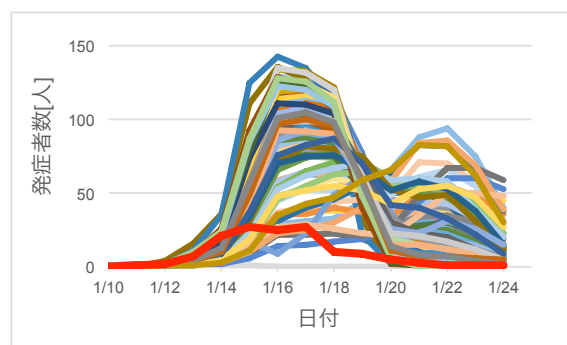


図5 シミュレーション結果(100回試行)

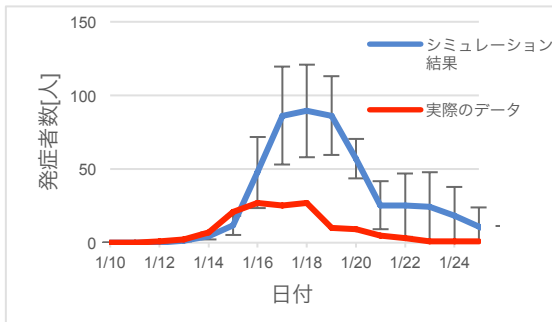


図6 シミュレーションの結果と実際のデータとの比較

シミュレーション結果と実際のデータを比較すると、

- ① 1月17日頃に発症者数のピークを迎えている
- ② 1月20日付近で発症者数の減少傾向が緩やかになっている

といった共通点が見られる。シミュレーション結果では発症者が多いが、全体の傾向としては一致していると考えられる。実際のデータで19日に減少しているのは、実際は土日の夕方等に外出しているためと考えられる。

2 感染拡大予防策検討

本研究においては潜伏期間を3日と定義してシミュレーションを行っている。実際のデータで1月15日から17日にかけて発症者が急増している点について、表1から、15日に発症者が急増しているためと考えられる。潜伏期間を考慮すると、この3日前に該当する1月12日に、Vが増大したと推測できる。時間割を確認したところ、全学生が同じ空間で受講する講演会が1月12日に行われていることが分かった。(3)式からSの数が多いためウイルス保持者が急増していると考えられる。

よって、講演会を行わなかった場合のシミュレーションを行い、比較検討を行う。

作成したプログラムから、講演会のみを削除し、同様に100回シミュレーションを行った。その結果について図7に示し、先ほどのシミュ

レーション結果及び実際の発症者のデータを比較した。

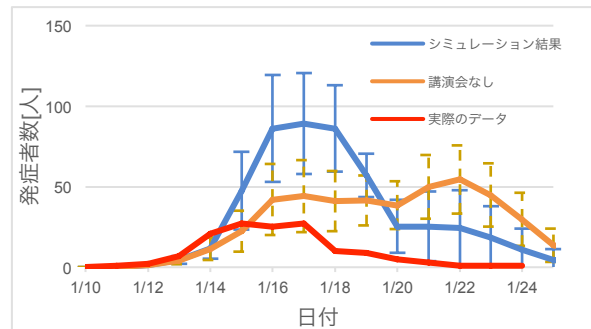


図7 講演会を行わなかった場合との比較

先ほどと同様に、17日に発症者数のピークを迎えていること、そして一度発症者数が減少したのちに、減少傾向が緩やかあるいは再度増加するという同様の傾向を得ることが出来た。

以上により、講演会を行わないことにより、今回の17日の発症者数が89.27人から44.15人となり約半数となることが分かった。この結果から、全学生が受講する講演会をこの時期に行わないことは、感染拡大を防止することが出来る方法として有効であるといえる。

VI 考察

以上の結果から、以下の4つの考察があげられる。

- ① 発症者数のピークが1月17日頃になることが、現実のデータにおいてもシミュレーション結果においても同じになった。

今回作成したモデルにおいて、海上保安大学校での生活をもとにして同じ部屋での感染率を求めたが、その方法が適切なものであったと言える。発症者数の上昇傾向・減少傾向ともに実際のデータと類似しているため、感染拡大について一定の予測が出来たと考えられる。

- ② 現実のデータとシミュレーション結果を比較すると、講演会を行わなかった場合と行った場合どちらも現実のデータより大きな数値を得た。

実際の発症者数は、今年一年のものであり、シミュレーションでは類似の結果を示すこともあった。シミュレーションの平均値と比べると、実際の感染者数は偶然にも少なく抑えられた結果とも考えられる。シミュレーション結果で現実のデータより大きな数値を得ることになった理由は、感染率の計算方法が影響しているものと考えられる。本研究においては、感染率は実際のデータをもとに算出しており、それぞれの空間の平均値をとってシミュレーションに組み込んでいる。よって、人数が少ない空間での感染率と人数が多い空間での感染率の平均をとっているため、相対的に感染率が大きくなったものと考えられる。簡単のため、今回は3種類の平均感染率を用いているが、大クラス、少クラスなど人数ごとに感染率を設定することも有効と思われる。

また、本研究では、外泊や外出を考慮しておらず、学生の接触時間を最も長くしてシミュレーションを行った。実際の寮生活においては、外出や外泊などでより学生の接触時間がより少なくなるため、シミュレーション結果は現実のデータより、より大きな数値を得たものであると考えられる。

③ シミュレーション結果では、一度発症者数が減少したのちに、2度目のピークが発生している。

本研究においては、エージェントに学習能力を持たせなかった。通常であればマスクの着用や、換気の徹底もしくは加湿器の使用等、ウイルスが好まない環境を作り出すことにより、感染予防を試みると思われる。しかし、このシミュレーションでは、そのようなことを考慮していないため、2度目のピークが現れたものではないかと考えられる。

講演会を行わなかった場合の2度目のピー

クは、講演会を行った場合に比べて大きなものとなっているが、これは1度目のピークで感染しなかった人数が多く、2度目のピーク前に残っていたSの人数が多かったことが原因であると言える。

また実際は2度目のピークが発生せず、減少のスピードが緩やかになっている。これは、海上保安大学校では、インフルエンザによる発症者数が増加し始めると、マスクの着用が義務付けられ、加湿器を使用するなどの感染予防策を取り、このエージェントの学習能力によって現れるはずの2度目のピークが抑制されたものであるということを考えることが出来る。

VII おわりに

MASの使用例として感染症の拡大モデルはよくあるものだが、本研究のようなエージェントを特定することが出来るようなマイクロなモデルは見つからなかった。本研究がMASの新たな使用例として広く用いられていけば、さらに現実に即した結果を得ることが出来るよりよいシミュレーションになると考えている。

本研究を終えて、課題はまだ残っているが、新たな感染症の伝播モデルを作成し、結果を得ることが出来たことは、ある程度の成果を得たといえるだろう。今後はエージェントのより詳しい情報をシミュレーションに組み込み、よりマクロな結果を得ることが出来るモデルにしていく必要がある。

X 参考文献

- 1) 合原一幸、『暮らしを変える驚きの数理工学』、株式会社ウェッジ、2015年
- 2) 厚生労働省、インフルエンザQ&A、<https://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/kekkaku-kan-sensyou01/qa.html>, 2017年11月21日
- 3) 国立感染症研究所、インフルエンザワクチンに

ついて、<https://www0.nih.go.jp/niid/topics/influenza01.html>, 2017年11月26日

- 4) 浜田喬、中溝高好、『システム工学の講義と演習』、日新出版、1994年
- 5) 兵庫県立神戸高等学校 総合理学科2年 『数理生態学/感染症モデルの構築と数学的考察～感染症の流行を数理モデルにより分析する～』、第10回MAS (Multi Agent Simulation) コンペティション 2008年
- 6) 山影進、人工社会構築指南-artisocによるマルチエージェントシミュレーション入門、書籍工房早山、2008年
- 7) W. O. Kermack, A. G. McKendrick, "A Contribution to the mathematical theory of epidemics", Proceedings of Royal Society of London, vol. A 115, 1927年, pp.700-721
- 8) World Health Organization、influenza、Vaccine use、<https://www.who.int/influenza/vaccines/use/en/>, 2017年11月8日