

<原 著> 第47回 日本赤十字社医学会総会 優秀演題

感染症数理モデルによる被災地医療を予測する試みと 医療情報管理局の提案

長野赤十字病院

平林 正男 松嶋 聡 星 研一

The Prediction of medical-needs in stricken area by mathematical model
and Proposition of the foundation of medical-information control center

Masao HIRABAYASHI, Akira MATSUSHIMA, Ken-ichi HOSHI
Nagano Red Cross Hospital

Key words : 災害医学、感染症伝播、理論モデル、救急医療情報システム

1. 背 景

一度に膨大な医療難民が発生する災害医療では、より早く適切な規模の医療を投入できるかはその成果に重要である。情報が遮断される中でどこにどのような医療ニーズがあるのかを明らかにし、さらに医療ニーズを予測することができることが望ましい。東日本大震災での災害救護活動の一員として我々長野県医療救護班23班が派遣された時期(2011年5月3日から5月6日)は、担当救護所での急性期対応は少なくなり被災地での地域医療も再開しつつあり、石巻医療圏合同救護班本部は同救護所の縮小撤退を検討していた。しかし現地の状況を知らずに我々は長野県を出発したため、人員、器材や薬剤は現地の医療ニーズに合わず無駄を生じていた。そこで刻々と変化する医療ニーズの予測が必要であり、我々は避難所での感染症発症状況を数理モデルで近似することを試みた。また、このような情報を取りまとめ発信する医療情報局を提案したい。

2. 方 法

我々が担当した石巻市釜・大街道地区は海岸に面した地域のため海岸沿いは津波により大き

な被害を受けていた。その中の避難所のひとつ青葉中学校は2kmほど内陸に位置している。青葉中学校内に設置された救護所を担当した各救護班の診療記録をもとに、2011年3月14日から同年5月6日の間に同救護所内で診療をうけた被災者の疾病動向を検討した。

3. 結 果

診察総数835名のうち、咳・咽頭痛の両方の症状を示した患者367名を上気道炎の患者と定義した。受診者数は救護所が開かれた初期には増加したが、4月になると徐々に減少傾向となっていた(図1)。

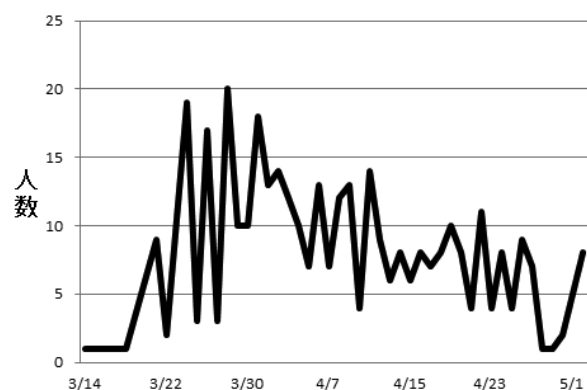


図1 上気道炎の受診者数(人/日)

さらに我々が被災地を離れた後、青葉中学校を受診した上気道炎の患者は5月20日では1名のみであった。合計368名を累計し曲線を得た(図2)。

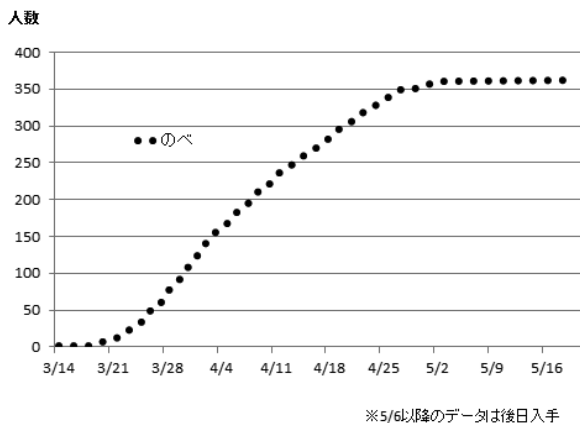


図2 受診者のべ数

次にこの上気道炎患者数を予想するために数理モデルを検討した¹⁾。避難所は避難者の入れ替わり立ち替わりが多く人口動態は流動的であり閉鎖空間とはいえないが、短期的には人口動態は無視できる閉鎖空間と仮定した。上気道炎の新規患者数は既に罹患している患者数に比例して増加していくという仮定は、日常経験する医学的事実と比して大きな矛盾はないと考えられる。そこで、比例定数として「上気道炎の感染率」を時間に依らない定数 γ とすると、感染者数 N の時間に対する増加率は、 N を t (時間)で微分した

$$\frac{dN}{dt} = \gamma N$$

と表すことができる。しかし、これのみでは感染者数増加率は増加の一途を辿り結果として感染者数 N も指数関数的に増加する一方となり、現実と大きく乖離してしまう。これはある限られた集団を考えた際に必ず認める増加率の限界を考慮していないことに起因する。具体的には、青葉中学校において避難者全体の人数から予測

される罹患者の上限を K とする。感染症の増加率は N が K に近づくにつれて減少し、 $N=K$ ならば増加率は 0 となるはずである。このことを考慮すると、

$$\frac{dN}{dt} = \gamma(K - N)N$$

と微分方程式で表現できる。この式において、例えば最大400人の集団で罹患者率が約80%と想定される疾患ならば $400 \times 0.8 = 320$ 人が最大罹患者数と予測できる。このような方法は単純ではあるが、日常診療の中で経験する事実と大きく乖離しない値を検討すれば十分であると考えられる。そこで今回は $K=385$ 、 $\gamma = 0.0004$ とすると、 $t=t_0$ (t_0 は避難所の特定の日)における上気道炎患者数は図3のように推移し、この曲線は実際の上気道炎患者累計数とおおよそ重なった。

γ を変化させることで予測式のグラフは変化し、 $\gamma = 0.0004$ は2つの曲線が合致するように経験的に求めた値であるが、作為的とはいえ2つの曲線がよく合致した。

4. 考 察

①感染症数理モデル

人の出入りのない集団にある感染症を持った人が加わり、当集団がこの感染症に対し未感染で感染する可能性がある場合、その感染症は集団内で次々と伝染していく。やがてこの集団の

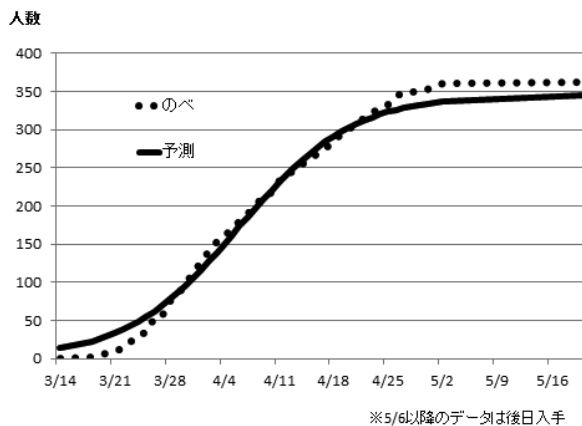


図3 受診者のべ数と予測式の比較

中で感受性を有する人の数が少なくなると感染の広がる速度は緩徐となりやがて終息に向かう。実際には、感染力を有する期間とその強弱、感染者と非感染者との接触の機会、感染症の潜伏期間、発症率、回復するまでの期間、など感染過程と発症に至るまでの過程で考慮すべき要素は数多い。よって感染症数理モデルでは多くのパラメータが現れ複雑になる。

簡単な感染症数理モデルの一つとして SIR モデル (図 4) と呼ばれるものがある²⁾。

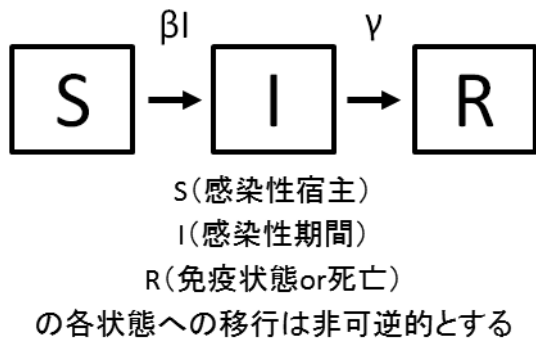


図 4

このモデルは対象とする閉鎖人口 (Closed population) において対象とする感染症を 3 つの状態に分けて検討する。すなわち S (感受性宿主で感染する可能性のある人口)、I (感染し感染性をもつ人口)、R (感染後に回復し免疫を獲得した患者 or 死亡した患者 = 2 度と感染しない人口) の 3 つの状態である。ここで感染率 β 、回復率 γ を想定すると、ある時間 t において S・I・R それぞれの時間当たりの変化数は、

$$\frac{dS(t)}{dt} = -\beta S(t)I(t)$$

$$\frac{dI(t)}{dt} = \beta S(t)I(t) - \gamma I(t)$$

$$\frac{dR(t)}{dt} = \gamma I(t)$$

と微分方程式で定義することができる。このモデルは短期的な流行を考慮しているために出

生・死亡などの人口動態をほぼ無視できるとしたモデルである。このモデルから潜伏期間を考慮したモデル (SEIR モデル) や、さらに出生や死亡を考慮したモデル (人口静止動態モデル) など、多くのパラメータを加えることでモデルをより現実の動態に近づけようとする試みがされている。現実には結核や SARS、新型インフルエンザといった流行が注目される疾患に対するシミュレーションされた研究報告はいくつか認められる³⁾⁴⁾⁵⁾。これらのシミュレーション結果は感染症対策にとって有効なツールとなる。

また、震災時にどれくらいの来院傷病者数となるかを予測するモデルの構築も試みられている⁶⁾。さらに発災後は今回のように避難所を受診した避難者数をモニタリングし感染症数理モデルを導くことで、将来の受診者数や医療ニーズを予測できるかもしれない。この予測は、救護班にとっては縮小・撤退の時期を検討するうえで有意義な情報を与えてくれる。また救護班の撤退が早期すぎると被災地からは「見放された不安」が強くなり、逆に撤退が遅くなると被災地は救護班に「依存した体勢」がしやすい。災害時の疾病状況が経時的に明らかになればこのような被災者の不安も軽減されるかもしれない。

青葉中学校は沿岸部からはやや離れており、救護所周辺の被害は比較的少なかった。被災直後から自衛隊の救援活動が始まり、水道電気などのライフラインの復旧も速やかであった。一方で別の救護所では津波により周囲と分断されてしまい、我々が派遣された時でさえも水道は復旧せず電気は発電機による自家発電であった。このように救護所ごとの環境が異なるため、今回作成した感染症数理モデルは個々の避難所・救護所ごとに作成される必要がある。

② 感染症モニタリングシステム

東日本大震災時、被災地における感染症情報を集めようとしたシステムが構築されていた⁷⁾。図 5 は防衛医学研究センターと東北感染制御ネットワークが協力した避難所サーベイランスの図である。

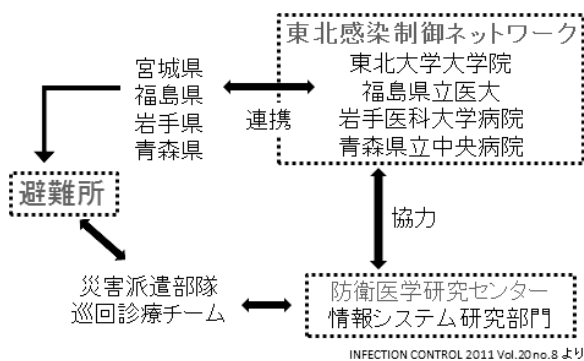


図5 東日本大震災時の感染症対策

防衛医学研究センターは救護班や救護所を巡回するチームから感染症の流行情報を日単位でモニタリングし医療ニーズの把握や各種対策の評価を行い、東北制御ネットワークを通じて避難所に情報を還元し状況改善を試みた。しかし、避難生活で精神的・身体的に疲弊している被災者にとって「感染症情報のモニタリングと報告」という作業は新たな負担となり、協力を得ることが困難となった時期があったという⁸⁾。したがって、これからは平時よりこのような活動を専門とする体制を構築しておくことが望まれる。

5. 提 言

我々は日本赤十字社のなかに感染統計の専門家を含めた医療情報管理局の設置を提案する。この局は医療機関や救護班、行政、消防、自衛隊等と連携し被災地の情報を収集することで、被災地における医療（とくに感染症）の把握と分析、予測と対策立案、さらに情報提供を目的とした専門組織である。このためには医療情報管理局の扱う情報は医療のみではなく避難所の食事衛生などのライフライン、交通手段など被災地復興のため必要な様々な情報となる。発災時の混乱した状況では統制が困難でありこのような幅広く情報を扱う医療情報管理局を災害のたびに設置するのではなく、必ずやってくる次の災害に備え日赤組織内に常設し、発災時に瞬時に災害対策本部内で活動できる体制を望む。

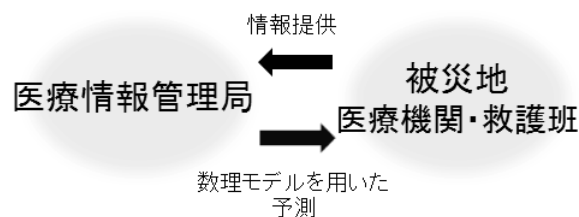


図6

引用文献

- 1) ヨハン・ギセック著, 山本太郎・門司和彦訳: 感染症疫学. 昭和堂, 京都, 2006年.
- 2) 西浦博, 感染症流行の予測, 統計数理 第54巻第2号 Page 461-480 (2006)
- 3) 古屋博行, 数学的モデルによる室内での結核の空気感染予防対策の評価, 日本公衆衛生学会総会収録集68回 Page 259 (2009)
- 4) 大日康史, 確率数理モデルを用いた SARS 対策の評価, 厚生指標 51巻11号 Page 34-40 (2004)
- 5) 大日康史, 全国版新型インフルエンザ流行シミュレーション, インフルエンザ9巻3号, Page 240-245 (2008)
- 6) 小池則満, 震災時における来院傷病者数予測モデルの構築, 日本集団災害医学会誌 13巻1号 Page1-7 (2008)
- 7) 加夾浩器, 「避難所サーベイランス」を実施し被災地での感染症を把握する, Infection-Control vol.20 no.8 Page4-7(2011)
- 8) 高橋幹夫, 東日本大震災における ICAT「避難所サーベイランスおよび避難所衛生支援」活動報告, Infection-Control vol.20 no.10 Page984-992(2011)