

放送大学茨城学習センター学生論集

茨城 S C フォーラム

第11号
2021年3月

目 次

巻頭言

特集『ウイルス感染症』

伝染病の流行メカニズムと予測：数理模型を紹介	塩見正衛	1
新型コロナウイルス感染者数のロジスティック解析と予測	山口文夫・金子紀夫	7
新型コロナ感染症の広がりに関する数理的考察	田辺裕美	15
新型コロナウイルス感染禍後日本はどうか？ —立ちすくむ日本に SDGs を中心として巻き返しのチャンス—	竹内孝	23
病院・訪問医療における新型コロナウイルス感染防止の取り組み	立原やい子	27
一般病院における COVID-19 感染対策と今後の取組み	高柳美伊子	29

修士論文・卒業論文

学校の教育活動における養護教諭のリスク認識—学校救急養護の視点から—	笹川まゆみ	33
------------------------------------	-------	----

研究論文

県立高校における地域との連携に関わる実践 —体験的地域学「つくばね学」をととしたキャリア開発に向けて—	茂呂輝夫	35
--	------	----

技術解説

電気自動車（EV）シフトが始まっている！	葛貫壮四郎	45
----------------------	-------	----

私の放送大学

私の放送大学	玉置晋	49
--------	-----	----

編集後記

特集『ウイルス感染症』

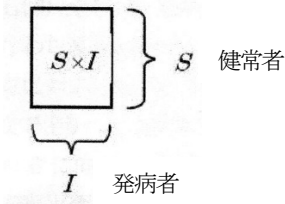
伝染病の流行メカニズムと予測: 数理模型を紹介

塩見 正衛 (元茨城学習センター所長・茨城大学名誉教授)

新型コロナウイルス(COVID-19)は、昨年 12 月に中国武漢市で発症が認められてから瞬く間に全世界に拡散し、約 1 年後の 12 月 19 日現在では、全世界における感染・発病者数は 7,600 万人、この病気の感染・発病による死亡者数は 167 万人に達している。地域あるいはそれぞれの国で、「いつどの程度の感染者と発病者が出るのか、感染や発病の予防に対して、医学、行政、また個々人としてどのような手が打てるのか」という問題の解明・理解には、感染症の制御にとって基本的な知識を必要とする。知識を提供できるのは、主に医学の分野や医学統計の分野からであろう。そこでは、伝染・感染・発病・回復・死亡のプロセスを科学的・数量的に把握し、その知識にもとづいて構成された数理模型を用いて、短期・長期の発病者数を予測しなければならない。ここでは、伝染性疾患患者数の時間的変化のプロセス解明と予測を行うために 20 世紀初めに発案され、それ以後の伝染病の動態を表す模型の基礎になった古典的な研究から説明する。第 1 節では、数式を誰にでも理解できるように懇切に解説し、それ以降の節では数式よりも概念と実例の説明に重点をおく。

1 カーマック・マクケンドリック模型(以下では、K-M 模型)

Kermack & McKendrick(1927)は、問題の分析にあたり、(1)単純な社会を仮定した。この社会は、健康者(まだ病気に未感染で、これから感染の可能性がある人) S 人と発病者(病気に感染して、他人にうつす可能性のある人) I 人のみで成り立っており、年齢や性別などの条件は一切考慮しない。(2)健康者が発病者に会って、感染する率を β 、発病者が回復して、免疫ができ、または死亡により発病者でなくなる率を γ で表す。(β 、 γ 共に非負の定数) (3)健康者が発病によってある微少な時間(=瞬間、 dt 時間)当たりに減少する健康者数を dS (従って、 dt 時間当たり発病する人数は dS/dt 人)とする。そうすると、健康者数は、その時点における健康者数 S と発病者数 I の積(図 1 参照) $S \times I$ の面積に比例して減少する。この仮定は、健康者群と発病者群の 2 群だけを考えた場合には、もっともらしい仮定である。K-M 模型では、この関係が微分方程式で表される。



この文章から式 1.1 が導かれる:

$$dS/dt = -\beta SI \quad (1.1)$$

(β に $-$ がついていているのは、減少を意味している。)

$$dI/dt = \beta SI - \gamma I \quad (1.2)$$

(発病者数 I の微少時間 dt 当たりの増減数は、 dI/dt で表される。)

図 1 新たな発病者数は健康者と発病者が
出会う機会によって決まる。

第 1 項の βSI は健康者群から発病者群への加入者数で、式 1.1 の $-$ を $+$ に変えた項である。第 2 項は、発病者数 I は死亡ないし回復で発病者群から減少する人数で、 γ は発病者数の減少率を表している。

なお、ここでは病気から回復した人は、抵抗性を獲得して健康者になると仮定している。式 1.2 が正なら、発病者数が増加している状況である(なぜなら、 $S > \gamma/\beta > 0$)。

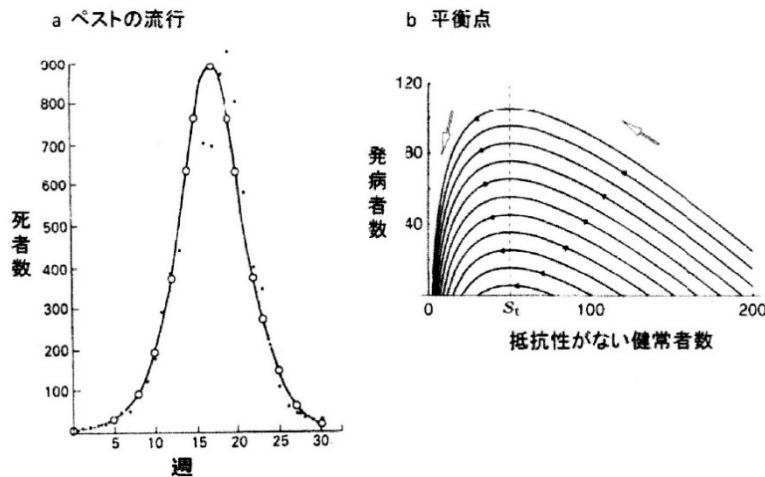


図2 K-M 模型の適用例

Aa 1905 年 12 月 17 日～1906 年 7 月 21 日のボンベイ島におけるペスト発病者数と死者数の変化
 Bb S_t より右では健常者数のいかににかかわらず発病者は増えるが、 S_t の左では発病者数は減少し、収束に向かう。

Kermack & McKendrick (1927) から巖佐 (1990) が描いた原図をもとに作成。

図 2a はボンベイ島におけるペストによる毎週の死者数を表している(巖佐 1990、Shigesada & Kawasaki 1997 ; β, γ にどのような数字が当られたかは、原著に出ていない)。式 1.1 では、健常者数に変動がなくなるのは $dS/dt = -\beta SI = 0$ 故、 $S=0$ または $I=0$ 、あるいはその両方が成り立つ場合である(図 2b)。それは当然で、 $S=0$ は健全者がいない場合で、 $I=0$ は発病者いない場合で、ともに感染は起こり得ない。

この模型で、もう一つ発病者数に変化が起きない(病気が広がらない)ケースが考えられる。それは、式 1.2 で、発病者の瞬間増減がないこと、すなわち $dI/dt = \beta SI - \gamma I = 0$ で、 $S = \gamma/\beta$ の場合である。式 1.2 が「正(すなわち $dI/dt > 0$)」は、発病者数 I が増加することを意味する。健常者数 S が γ/β より大きい(横軸で γ/β の右側)ときには、発病者数は増加し、 $dI/dt = 0$ で増加が止まり、式 1.2 が「負(すなわち、 $dI/dt < 0$)」のとき、すなわち S が γ/β 小さいと発病者数は減少する。種々の β と γ 値に対して描いたのが図 2b の曲線である。頂点に対応した S を「平衡点」と呼ぶ。この場合、健常者数が平衡点より右にずれると、発病者数 I は平衡点まで上りつめる動きがあるが、 S が平衡点を少しでも左へずれると、発病者数は急速にもうひとつの平衡点 0 に向かって減少していく。このように、平衡点を少しでもずれると、平衡点から離れていく平衡点を不安定平衡点と呼ぶ。換言すると、健常者集団に発病者が入った場合、健常者数 S が γ/β より小さいと、発病は急速に収束する。健常者数 S が γ/β より大きい場合には、感染が広がり、放置すると発病者数 I は頂点の平衡点まで達する。健常者数 S が γ/β より少しでも小さくなると、発病者数 I も減少して収束に向かう。「最初の健常者群の人数 S_0 に 1 人の感染者が侵入し、無事に？病気が定着する条件は $\beta S_0/\gamma > 1$ である。

2 アンダソン-メイ模型

古典的な K-M 模型は、その後多くの研究者によりどんどん現実的な模型に改良・複雑化されていく。その一例は、Anderson & May (1979) の研究で、そこでは人の群れを次の 3 群に分類して、それらの数の変化を時間経過で追う模型である：健常者数 S 、発病者数 I 、回復して免疫のある人の人数 R (以上が変数)、出生と外部からの移動による人口増加率 r 、自然死亡率 e (ただし、 $r > e$)、発病率 β 、病気による死亡率 γ 、病気からの回復率 ν (以上が係数でここでは定数とするが、時間や社会の動向、感染抑制の

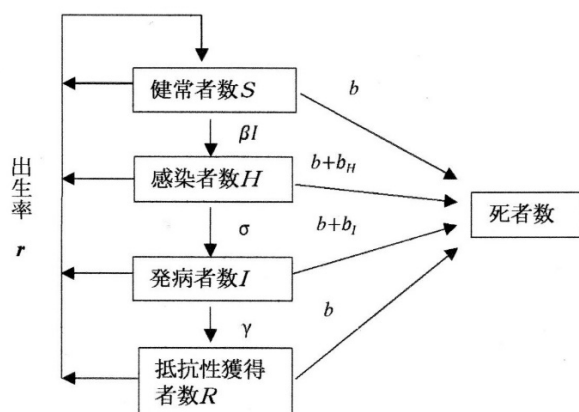
政策などの関数とすることも可能)とする。このとき、

$$\begin{aligned} dS/dt &= r(S+I+R) - \beta SI - eS \\ dI/dt &= \beta SI - (\gamma + e + \nu)I \\ dR/dt &= \nu I - eR \end{aligned} \quad (2)$$

式2において、式1の場合と同様の手続きで $dS/dt=0$ 、 $dI/dt=0$ 、 $dR/dt=0$ とおいた場合の座標 (S, I, R) をもつ平衡点が計算できる。原著者によると、 $\gamma > (r-e)(1+\nu/e)$ のときに安定平衡点を一つもち（健常者数、発病者、回復者数がある比率で一定）、健常者数、発病者、回復者数の初期値がどのような数であっても、安定平衡点に近づく。 $\gamma < (r-e)(1+\nu/e)$ の場合には、健常者数は病気によっては抑制されず、無限に増えるという。この模型も単純な仮定だけ成り立っているが、それでも人類への有害生物の制御に基礎的な知見が得られる。

3 新型コロナウイルス(COVID-19)模型？

Shigesada & Kawasaki (1997)は、上記の K-M 模型を拡張した模型をいくつか紹介している。その一つは、麻疹の流行ダイナミクスを表す数理模型で、麻疹の状態から人口を 4 つに分け、それぞれの人口の変化を問題にしている。(その概念は、図3 参照)



数式では模型の概念だけを示し、その結果、何が得られたかを Shigesada & Kawasaki (1997) にそって記述する。病気の状態に関する人口の変数は:

S :健常者数、 H :感染しているけれども未発病(潜伏期)の者の数、 I :発病者数、 R :免疫保持者数とする。ここで、 $S+H+I+R$ は総人口である。

これらの 4 変数を結びつけるため次の7個のパラメータが考えられた:

図3 麻疹流行の流れ

人口を健常者数 S 、感染者数 H 、発病者数 I 、抵抗性獲得者数 R に分ける。

Shigesada & Kawasaki (1997) から作成。

r :人口の出生率、 β :感染率、 σ :発病率($1/\sigma$ は平均潜伏期間)、 γ :治癒率($1/\gamma$ は平均発病期間)、 b :健常者の自然死亡率($1/b$ は健常者の平均寿命)、 b_H : 病気の潜伏による死亡率の自然死亡率からの増加分(率)、 b_I :発病による死亡率の自然死亡率からの増加分(率)。

模型は次の連立方程式で表された:

$$\begin{aligned} dS/dt &= rN - bS - \beta SI \\ dH/dt &= \beta SI - (b + b_H + \sigma)H \\ dI/dt &= \sigma H - (b + b_I + \gamma)I \\ dR/dt &= \gamma I - bR \end{aligned} \quad (3)$$

数理生物学者が関心をもっているのは、不安定平衡点と安定平衡点である。座標 (S, H, I, R) が不安定平衡点の近くにある場合には、流行病がさらに拡大するか、収束していくかの質的な予測ができる。また安定平衡点においては、 S, H, I, R の比率は膠着状態になり、4 つの状態の人口が共存する。この方程

式群の解析から、以下の情報が得られた：

- (1) 最初 $S_0 = N$ 人の健康者だけからなる集団に少数の発病者 I_0 人が侵入した場合、それが人の集団内に定着するかどうか。定着の条件は、式 3 の平衡点 $(S, H, I, R) = (S_0, 0, 0, 0)$ が攪乱に対して不安定であることで、その条件は、

$$S_0 > \frac{(\sigma + b + b_H)(\gamma + b + b_I)}{\beta\sigma} \equiv S_t \quad (\equiv: \text{定義の意味}) \quad (4)$$

で、病気が最初に増えていくには、侵入地の人口 ($S_0 = N$) が時刻 t における健康者の数 S_t より多くなければならない。

- (2) 式 4 を書き変えると、発病者数の基本増加率 Γ は、

$$\Gamma \equiv \frac{\sigma\beta S_0}{(\sigma + b + b_H)(\gamma + b + b_I)} > 1 \quad (5)$$

ここで、 βS_0 は 1 発病者が単位時間に感染させることができる個体数、 $\sigma/(\sigma + b + b_H)$ は感染した人が潜伏期に死亡しないで発病する割合、 $1/(\gamma + b + b_I)$ は発病者の平均発病期間である。これら 3 項の積 Γ は 1 発病者がうつした感染者のうち (無事に?) 潜伏期を経て発病する人数で、 > 1 なら病気が広がる。

- (3) この模型と K-M 模型との関係はどうか。人の流行病では、 $1/(\sigma + b + b_H)$ (平均潜伏期間) と $1/(\gamma + b + b_I)$ (平均発病期間) は数日～数週間と考え、健康者の平均寿命 $1/b$ は > 80 歳とすると、 $\sigma \gg b$ 、 $\gamma \gg b$ とみなせるから、式 4 と式 5 は $S_0 > S_t \equiv \gamma/\beta$ 、 $\Gamma \equiv \beta S_0/\gamma > 1$ となり、K-M 模型に収束する。

変数とパラメータ数が多くなると、模型はますます複雑になり、この病気の全体のシステム (構造) の理解は容易ではなくなる。先ず、模型を設定する前に、図 3 のような模式図を描いてみると、比較的容易に以降の頭脳労働が可能になるだろう。

現在流行している新型肺炎には本模型の変数を S :健康者数、 H :保菌しているけれども無症状の者の数、 I :発病者数、 R :回復またはワクチン接種によって免疫を獲得した者の数 とおくと、概念的には新型肺炎流行の模型に近い模型になる。放送大学の田邊(2021)によるこのタイプの新型肺炎流行システム模型が参考になる。

4 K-M 模型に面的な拡散因子を加えた模型

次式では、K-M 模型 (式 1) に病気が面的 (地理的) に拡散していく過程を導入した。拡散を表す項として、直線上または平面上の原点からの距離 x に対して $D\partial^2 S/\partial x^2$ の項を新たに付け加える (D は拡散係数で、大きな値は一定時間当り拡散が大きい)：

$$\begin{aligned} \frac{dS}{dt} &= D \frac{\partial^2 S}{\partial x^2} - \beta SI \\ \frac{dI}{dt} &= D \frac{\partial^2 I}{\partial x^2} + \beta SI - \gamma I \end{aligned} \quad (6)$$

数学的に時間的な変化を追求するには、式 6 を解くことが求められるが、安定状態だけを知りたいのなら、式 1 の場合と同様、 $dS/dt = dI/dt = 0$ により得られる。

現在のイタリアの領土で 1347 年に発生したペストでは、 D はほぼ $2.6 \times 10^4 \text{ km}^2/\text{年}$ と推定されている。1347 年のヨーロッパの人口は 8,500 万人で、人口密度は $S_0 = 19.5/\text{km}^2$ 程度。ヨーロッパにおける伝染の広がる過程 (図 4) と、式 6 の解 (経時的变化) を示す (図 5) (Shigesada & Kawasaki 1997)。

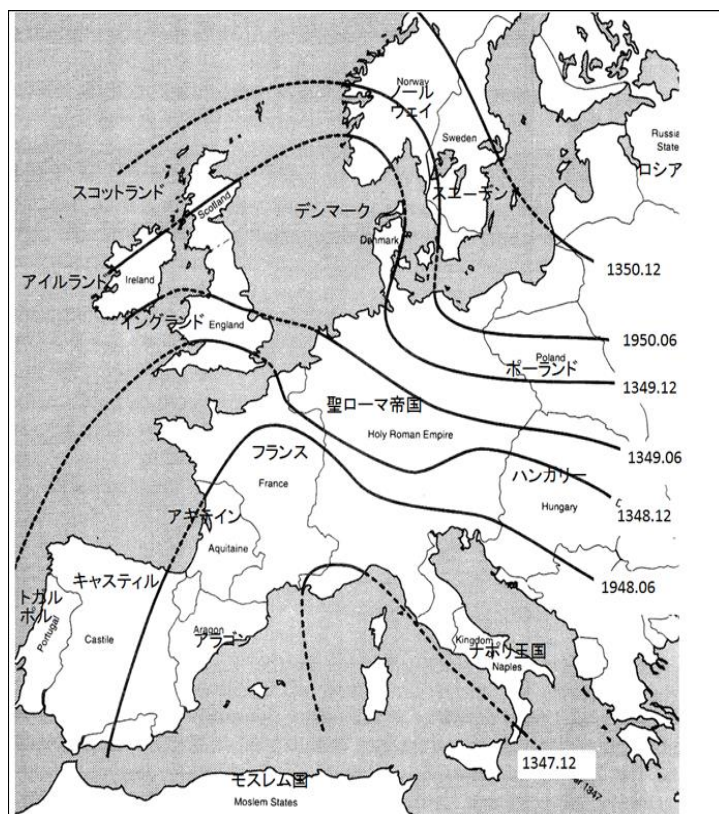


図4 1347～1950年にヨーロッパで流行したペストの流行と地域(流行の年次は年・月)

Langer (1964)より Shigesada & Kawasaki (1997) が描いた図を借用

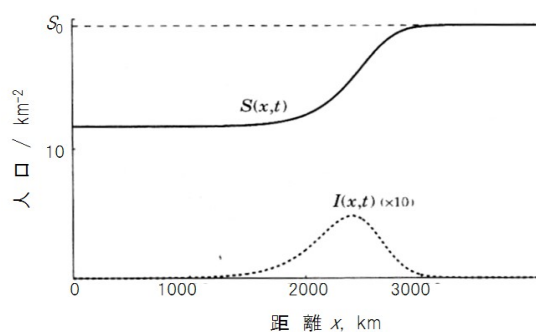


図5 ペストの拡散

初期発生の地点からの距離 x における時刻 t の健常者人口 $S(x,t)$ と発病者人口 $I(x,t)$; 条件については本文を参照; Shigesada & Kawasaki (1997) が描いた図を借用

数学的に時間的な変化を追求するには、式6を解くことが求められるが、安定状態だけを知りたいのなら、式1の場合と同様、 $dS/dt = dI/dt = 0$ により得られる。

現在のイタリアの領土で 1347 年に発生したペストでは、 D はほぼ $2.6 \times 10^4 \text{ km}^2/\text{年}$ と推定されている。1347 年のヨーロッパの人口は 8,500 万人で、人口密度は $S_0 = 19.5/\text{km}^2$ 程度。ヨーロッパにおける伝染の広がる過程(図4)と、式6の解(経時的変化)を示す(図5) (Shigesada & Kawasaki 1997)。

5 現実の伝染病システム

これまでにK-Mモデルを出発点とする3つのモデルを考察してきたが、いずれも現実に新型コロナウイルスの流行に対応させるには、まだ単純すぎる。新型コロナウイルスの流行と制御に関する情報は、医学、行政、ジャーナリズム、市民などに携わっている多くの人々の判断と見解によって日々変化していることは、周知のとおりである。それらの判断・見解と制御は必ずしも科学的知見だけに依存しているわけではない。従って、数理模型

を使って予測した伝染病流行は、長期的には現実と合わないので、判断・見解が変更されるたびに、模型に含まれているパラメータの値も変更する必要に迫られる。例えば都市の封鎖を行った場合には、感染率は自然な状態で感染が起きている場合に比べて小さくなるから、正当な予測には感染率の変更が必要である。では、「どれくらい小さくすればいいか」などは、医学と統計学の過去の知見に頼らざるをえない。新型肺炎の流行のように、全く新しい病気の流行下ではなお困難が存在する。それは、どのような制御の手を打てば、どれくらい発病率や死亡率を低くできるか等、システムに含まれている多くのパラメータ値がほとんど分かっていないためである。しかも、時には科学的に説明がつかないような制御手段が政治的に採用されることがあるから、数理模型に強く依存した長期予測は、現在なお困難であると言わざるを得ない。

人口中の年齢構成や基礎疾患をもつ人口比率を考慮した模型や、唾液の飛沫拡散による感染模型、病気が島状に飛び火する場合の模型、ウイルスの毒性が突然変異によって変化する速度やそれらの感染力模型など数多くの模型が検討されなければならない。今日では10年に1度くらいの割合で頻繁に発生するという、未知で不慮の感染症の流行と制御には、数理模型と同時に乱数を使ったコンピュータ・シミュレーションに強く依存した模型の開発が重要になっている。

以上では、人類に対する伝染病を考えてきたけれども、ニワトリやウシなど家畜の疾病流行(トリ・インフルエンザやウシやブタの口蹄疫)やイネやコムギなどの農作物(イモチ病やシラハガレ病)における病気の流行も人類の生活に重大な影響を与えている。これらの病気の流行に対しても、それぞれ特有の工夫が施された数理模型が研究されていて、私もそのような研究に携わった経験がある。

引用文献

Anderson RM & May RM (1982) Directly transmitted infectious diseases: control by vaccination. *Science* 215: 1053-1060.

巖佐 庸(1990)数理生物学. HBJ 出版局. 東京.

Kermack W & McKendrick GA (1927) A contribution to the mathematical theory of epidemics. *Proceedings of the Royal Society of London, Ser A* 115: 700-721.

Langer WL (1964) The black death. *Scientific American*, February, 114-121.

Shigesada N & Kawasaki K (1997) *Biological invasions: Theory and practice*. Oxford University Press. Tokyo.

田辺裕美 (2021) 新型コロナウイルス感染症の拡がりに関する数理的考察. 放送大学茨城学習センター論集「茨城 SC フォーラム」11号.

要約

伝染病の数理模型は、私が知る限り、1927年、*Proceedings of the Royal Society of London (Ser. A)* 115号に掲載された Kermack と McKendrick による報告が最初である。彼らのこの古典的な模型では、「全人口を健常者と発病者の2群にわけ、発病者は健常者群から供給され、発病者のいくらかは死亡で失われていく」という経時的過程を表現したものである。私たちは、模型を通じて、①伝染病流行のメカニズムを明らかにし、②流行の時間的経過の予測を試みることができる。その後のコンピュータの発達にともなって、今日まで、彼らの模型を基礎としたより現実的で複雑な模型や、あるいはそれとは全く異なった発想で建設され模型が開発されてきている。この報告では、この Kermack と McKendrick の数理模型を出発点としたいいくつかの模型と、マクロな立場から集計された歴史的な伝染病流行の例を示した。

新型コロナウイルス感染者数のロジスティック解析と予測

山口 文夫(情報コース)・金子 紀夫(大学院社会経営科学プログラム)

1. はじめに

1.1 感染者数の予測に挑戦

2019 年末に世界的に新型コロナウイルス感染症が発生し、わが国でも新型コロナウイルスの急激な拡大が始まった。累計感染者数や日毎感染者数はメディアや web で連日報道されるようになったが、感染者数はいつ頃、収束するのか、また収束値はどのようなレベルになるのか等の予測に関してはテレビや NHK web などでは発表はない。そこで、数理モデルをロジスティック関数と定め、感染者数の予測を行うことにした。

1.2 予測曲線の取得に成功

ロジスティック解析は、1 個の微分方程式の増加速度をベースとする生態学の生長曲線からスタートする(式(1))。ロジスティック解析は統計言語 R を用い、実測値をサンプリング値として与えると式(5)や式(6)に示すパラメータ a, b, c を算出する。ロジスティック関数は S 字形の曲線を描く。ロジスティック関数を微分すると美しいベル型の曲線を描く。新型コロナ累計感染者数の予測は式(5)の S 字形、日毎感染者数の予測は式(6)のベル型の予測曲線が得られた。

1.3 予測値と実績値の乖離に対するきめ細かな対応

1 回のサンプリング値から人間の都合によって変動する感染者数を長期未来まで予測することは大変難しい。実測値と予測値に大きく乖離が生じてきたら、新たなステージに向かって、新たなサンプリング値を与えて R でロジスティック解析することが必要である。感染者数が従前と異なる様相を呈するとき新たなステージに入ったと認めることにした。図3ー図4のように、5 月末頃までの第 1 波、9 月末頃までの第 2 波、9 月末以降を第 3 波とした。第 3 波は今後続くことが明白である。

同一波形でも乖離が大きくなってきたときは、サンプリング値を直近まで伸ばし R でロジスティック解析を行い、出力されたパラメータを入れ替えることにした。特に、11 月に入ってから感染者数の変動は大きくなった。したがって、サンプリング値の延伸は毎日に行うこともあった。

2. 新型コロナウイルス感染者数の解析モデルとしてロジスティック関数を選定

2.1 ロジスティック関数の導出

実用統計学ゼミで塩見正衛先生から生態論の生長理論に関して、ロジスティック関数の解説があった。以下、ロジスティック関数を式(5)の如く導出した。

時刻 t に於ける個体数 y の増加速度 dy/dt は「その時の個体数 y 」と「飽和密度(環境の包容力によって決まる最高の密度) a と y との差」の a に対する割合、 $y(a - y)/a$ に比例すると仮定する。

$$dy/dt = cy(a - y)/a \quad (1)$$

$$\frac{a}{y(a-y)} dy = c dt \Rightarrow \left(\frac{1}{y} + \frac{1}{a-y} \right) dy = c dt$$

$$\int \frac{1}{y} dy + \int \frac{1}{a-y} dy = \int c dt + \tau \quad \text{ここに、}\tau \text{ は積分定数}$$

$$\ln y - \ln(a - y) = ct + \tau$$

$$\ln \frac{y}{a-y} = ct + \tau \quad (2)$$

初期条件として $t = 0$ のとき、密度を y_0 とすると、式(2)は

$$\ln \frac{y_0}{a-y_0} = \tau \Rightarrow e^\tau = \frac{y_0}{a-y_0} \Rightarrow e^{-\tau} = \frac{a-y_0}{y_0} = b \quad (3)$$

式(2)を変形すると、

$$\frac{y}{a-y} = e^{ct+\tau} \Rightarrow y = \frac{a e^{ct+\tau}}{1+e^{ct+\tau}} = \frac{a}{1+e^{-(ct+\tau)}} = \frac{a}{1+e^{-\tau} e^{-ct}} \quad (4)$$

式(3)と式(4)から、式(5)ロジスティック関数式が得られる。

$$y = \frac{a}{1+b e^{-ct}} \quad (5)$$

ここに、 a, b, c はロジスティック関数式のパラメータであり、すべて正の数である。

3. ロジスティック関数 と ロジスティック関数の微分形

3.1 ロジスティック関数

ロジスティック曲線は図1(右)に示すようなS字形である。ロジスティック関数を式(5)に示す。

累計感染者数をロジスティック関数で予測した。

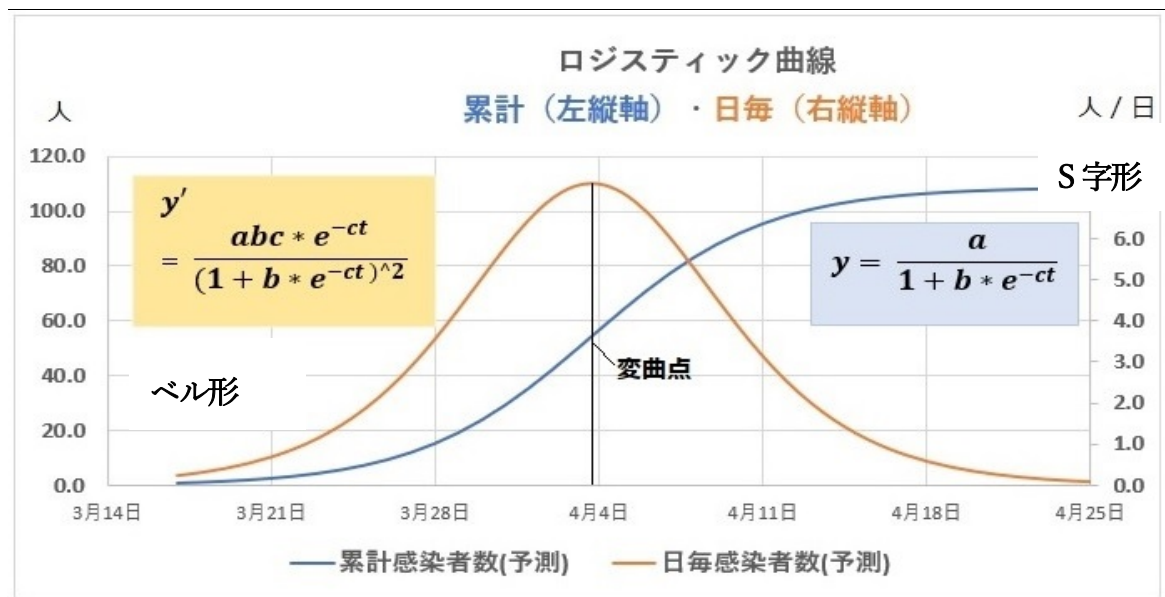


図1 ロジスティック曲線およびその微分形曲線の例

3.2 ロジスティック関数の微分

ロジスティック関数を微分すると図1(左)に示す西洋の鐘の形をしたベル形曲線が得られる。この関数を式(6)に示す。

$$y' = \frac{abc * e^{-ct}}{(1+b * e^{-ct})^2} \quad (6)$$

この関数式から、日毎感染者数を予測することができる。表計算ソフト(Excel など)で累計感染者数で表すと、日毎感染者数の n 行は累計感染者数の $n-(n-1)$ 行で表せる。このことは、日毎感染者数は累計感染者数の微分となる。即ち、式(5)の微分形である式(6)と日毎感染者数は対応する。

3. 3 ロジスティックの曲線の変曲点

式(6)が最大となる点の横軸の値に対応するロジスティック曲線(式5)の点を変曲点という。ロジスティック曲線は変曲点で点対象となる。従って、変曲点が分かれば、ロジスティック曲線の収束を推測することができる。ロジスティック関数を2階微分(即ち、式(6)を1階微分)すると式(7)が得られる。

$$y'' = \frac{abc^2 * e^{-ct}(b * e^{-ct} - 1)}{(1 + b * e^{-ct})^3} \quad (7)$$

式(7)が0となるような t を t_i とすれば、式(5)に t_i を代入し、変曲点 (t_i, y_i) が得られる。

4. 統計学ソフト言語 R によるロジスティック関数の解析

R によるロジスティック関数のパラメータ a, b, c の算出に関し以下に示す。

4. 1 R による非線形回帰分析を行う関数 nls

関数 `nls` の書式を次に示す。

$$\text{nls} (\text{formula} , \text{data} , \text{start} , \text{trace}) \quad (8)$$

・ **formula** はロジスティック関数の式(5)を用いる。

$$y = a / (1 + b * \exp(-c * t)) \quad (5)$$

a, b, c はパラメータである。**nls** は膨大な回数の最小二乗法を行い、 a, b, c を算出する。

・ **data** は式(5)に対応する累計感染者数を用いる。

・ **start** はパラメータ a, b, c の初期値である。現在は経験値を用いている。初期値は環境の変化、人々の動きなどを関数として与えるべきである。この関数は研究中である。

・ **trace** はパラメータの計算過程を返すべく TRUE を指定する。

<注>ロジスティック関数微分の式(6)を用いて、パラメータ a, b, c を得ることができる。ただし、この時の **data** は日毎感染者数を用いる。

4. 2 R のスクリプトの例 (R を解くプログラムをスクリプトという)

茨城県 新型コロナウイルス感染者 ロジスティックス解析のスクリプトの例(茨城県の感染者数)を以下に示す。

```
#1:令和2年3月17日ー令和2年5月11日
日<-c(1:56)
```

式(5)の t に対応する1~56
のサンプルデータ

```
感染者数累計<-c(1,3,3,3,3,4,5, 10,10,10,13,16,16,20, 24,43,44,54,59,64,71,
77,77,82,91,101,109,110, 116,119,123,131,135,139,143, 146,151,153,157,160,161,161,
162,163,163,165,165,165,167, 168,168,168,168,168,168,168 )
```

感染者数累計は 56 個の従属変数で、実測の累計感染者数である。

このサンプルデータから、R はパラメータ a, b, c を算出する

R の非線形回帰分析関数 `nls` を使う

```
fm<-nls(感染者数累計~ a/(1+b*exp(c*1:56)),  
+start=c(a=200,b=100,c=-0.1),trace=TRUE)
```

- ・引数1:感染者数累計:サンプリング値
- ・引数2:ロジスティック関数式(5)
- ・引数3:パラメータ a, b, c の初期値

```
summary(fm)
```

式(5)のパラメータ a, b, c の解析値
(a, b, c の算出値と p 値)

R のスクリプトを実行すると、R はロジスティック関数のパラメータと p 値を算出する。

・パラメータ $a = 108.5$ $b = 53.0$ $c = -0.166$

・ p 値 $a = 2e-16$ $b = 3.96e-15$ $c < 2e-16$

(注): $e-16$ は 10^{-16} を示す。(p 値はいずれも 5%以下であれば、パラメータは実用に耐える)

4.3 新型コロナウイルス感染者のロジスティックス解析のグラフ

図2(左)は累計感染者数の実測値・予測値のグラフである。図2(右)は日毎感染者数の実測値・予測値のグラフである。予測曲線は、4.2 項の R スクリプトで算出したパラメータ a, b, c を適用し ロジスティック関数 式(5) および、ロジスティック関数の微分形 式(6) から描く。

ロジスティック関数形は S 字形、ロジスティック関数の微分形はベル形(西洋鐘形)と呼ばれる。

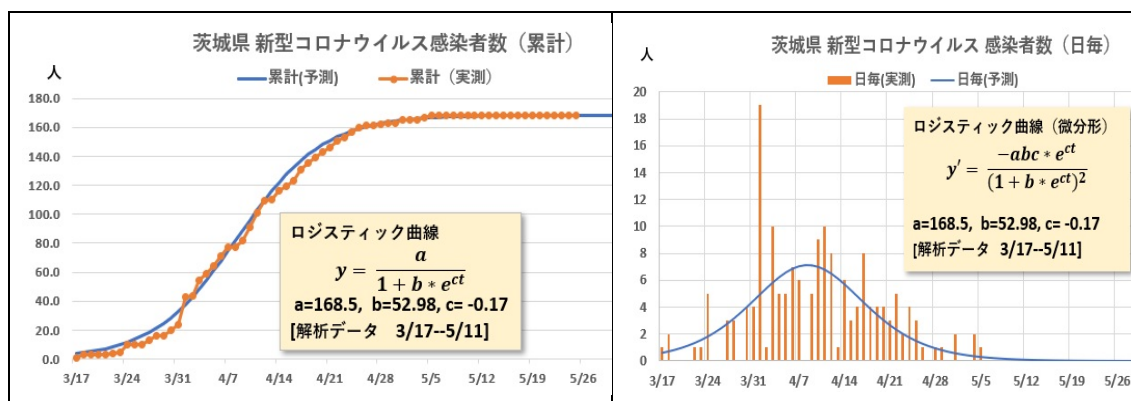


図2 新型コロナウイルスの茨城県累計感染者数・日毎感染者数の例

予測曲線の作成に当たっては、累計感染者数は式(5)、日毎感染者数は式(6)を用いた。パラメータ a, b, c は両式とも同値である。

5. 全国感染者数の実測値と予測値

図3に12月30日時点の全国累計感染者数のグラフ、図4に全国日毎感染者数のグラフを示す。全国累計感染者数は第3波に入った。飽和予測値は35万人以上に2021年4月ころには達することが予測される。



図3 新型コロナウイルスの全国累計感染者数の実測値と予測値グラフ



図4 新型コロナウイルスの全国日毎感染者数の実測値と予測値グラフ

全国日毎感染者数は第1波、第2波、第3波と3つの山が見える。2020年12月下旬に第3波のピークになっているが収束に向かうとは断言できない。

6. ロジスティック関数 と ロジスティック関数の微分形の相補的關係

- (1) ロジスティック関数(S 字形)は未来を予測する望遠鏡的視点、ロジスティック関数の微分形(ベル形)は直近の変動を観察できる顕微鏡的視点で予測することが得意である。
S 字形が飽和点に近づいているかは、ベル型で 0 に近づいているかを観察することで明瞭に判明できる。
- (2) S 字形の変曲点を求めるにはグラフからはわかりづらいが、ベル型の頂点から日付を求めると S 字形の変曲点是一目瞭然である。

7. 日毎感染者数(ベル・カーブ)の詳細検討

7.1 週間移動平均の導入

図5に2020/1/19から12/29において、全国で報告された感染者の日毎データ(ベル・カーブ)を示す。

データには仕事や買物など生活習慣や、ウイルスの検査、報告リズムなどいろいろな要因に基づくノイズ（雑音）が含まれる。図をよく観察すると、週末から週初めに掛けて感染者がやや減少し、その後また増加する傾向が見られる。小池東京都知事は、これを第一波のときに指摘し都民に気持ちの引締めを要請していた。我々は当初から週間移動平均を導入し、感染動向を出来るだけ正しく把握するように努めた。



図5 全国日毎感染者数の推移:感染者数(生データと週間移動平均値)

今日の日毎データを d_0 とし1日前、2日前の日毎データをそれぞれ d_1, d_2 とすると、週間移動平均値 d_h [人/日]は次式で与えられる。

$$d_h = \frac{d_0 + d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5 + d_6}{7} \quad (9)$$

d_h は、今日、6日前、またはその中間日のうち、どの時点で代表するかにより、それぞれ後方値、前方値または中央値として定義される。後方値には今日現在の状況を表現する即日性、中央値には元データとの日付の整合性が特徴的である。

図5中の緑色のグラフは、 d_h を中央値と定義した場合の計算結果である。重ね合わせ描画において、中央値と黒色で示す生データとのタイミングのずれはない。週間移動平均値では暴れが低減されていることが明らかである。週単位の生活周期のノイズを減らすことによって感染状況を鮮明に捉えることができ、直感的な予測や複数の波を分離する時に非常に便利であることが分かった。

週間移動平均の効果はフーリエ解析（周波数解析）からも実証されたが、ここでは紙面の制約があり省略する。

7.2 各波の接続方法の検討

感染の波は日毎データとして現れる。第1波は、4月中旬をピークとしていったん収まり、その後6月上旬から第2波が始まった。このようなケースでは波と波の間の接続に特段の配慮は必要ない。つまり、それぞれに対応する累計値をRで処理して近似Sカーブを求め、その隣同士に値の差から近似ベル・カーブを求めることで済む。

しかし、第3波は第2波が十分に収束する前の9月下旬から始まった。このようなケースではR近似に対し、次のような配慮を行った。①第2波計算におけるサンプリングを5/21から9/21に限定した。9/21は、日毎データの週間移動平均値がほぼ極小になることから決定した。9/21以降の近似値は、R計算で求めたパラメーター a, b, c を用いて外挿した。②9/21以降のサンプリングデータ値は生の累計データから①で求めた近似値を差し引いたものとした。③9/21以降の近似値を②で求めたサンプリングデータ値から求め、①で求めた近似値に加算して累計近似値（合成Sカーブ）とした。④こうして得られた累計近似値を数値微分、つまり隣のデータとの差を計算して日毎近似値（合成ベル・カーブ）とした。図6に、合成ベル・カーブを示す。

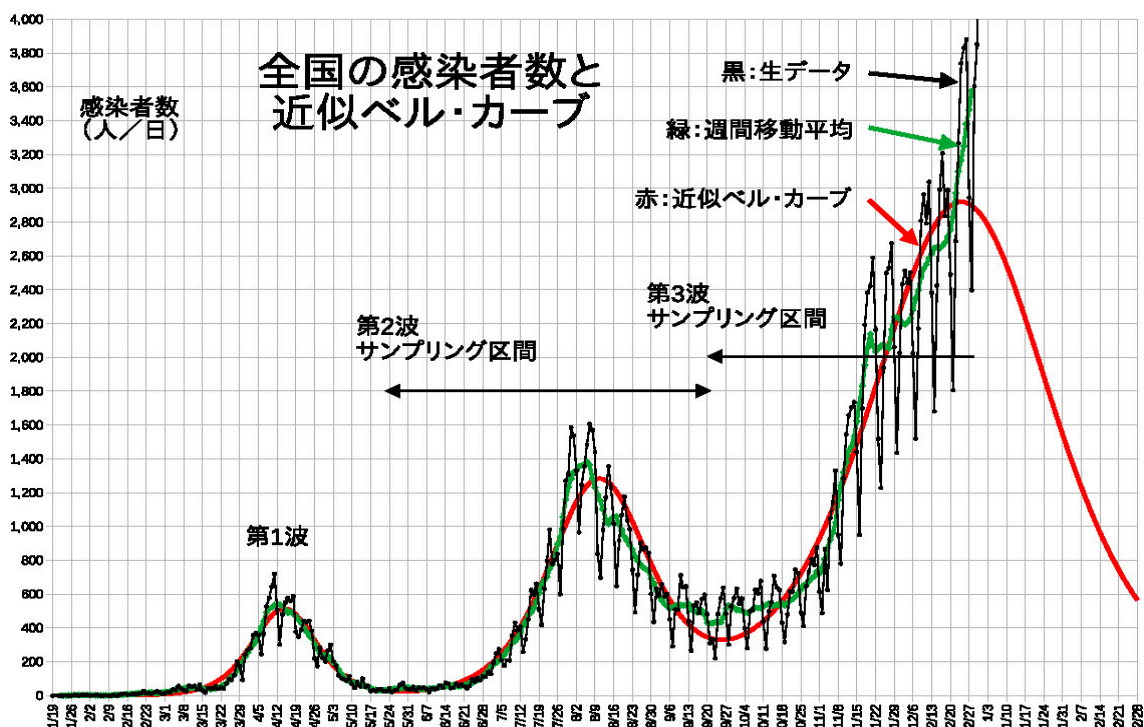


図6 全国の感染者数と近似ベル・カーブ

以上は、各波をそれぞれ独立した現象として取扱い合成する方法である。その他、①において、9/21以降のデータを一定（固定値）とし、第3波のサンプリングデータ値を生の累計データとその固定値との差とする、やや簡便な方法も考えられる。

8. 日差変動と実効再生産数

日毎データは絶えず変化している。その変化の度合いに注目した。毎日、どのくらいの勢いで増加しているか、或いは減少しているかという尺度である。そのために、日差変動値 H_n [人/日/日]を次のように定義して導入を検討した。

$$H_n = \frac{d_h - d'_h}{7} \quad (10)$$

$$\text{ここで } d'_h = \frac{d_7 + d_8 + d_9 + d_{10} + d_{11} + d_{12} + d_{13}}{7} \quad (11)$$

である。つまり H_n は直近の1週間の移動平均値 d_h とその前の1週間の移動平均値 d'_h との1日当たりの差である。日毎データは $H_n > 0$ で増加、 $H_n < 0$ で減少、 $H_n = 0$ で一定を意味する。

車の走行に例えれば、累計走行距離、速度そして加速度が、それぞれ累計感染者数（Sカーブ）、日毎感染者数（ベル・カーブ）そして日差変動値に相当する。日差変動値により現在どの程度に感染者数が、アクセル或いはブレーキを踏んでいる状態なのかを判断することができる。 H_n は週間移動平均の概念を含んでいるため、生活周期によるノイズの影響を受けない特徴がある。

一方 H_n は実行再生産数 R_{eff} と補完的、つまり2つの週間移動平均値の差と比との関係にある。

$$R_{eff} = \left(\frac{d_h}{d'_h} \right)^{(5/7)} \quad (12)$$

9. おわりに

- (1) 新型コロナウイルス感染者数の累計予測値を、ロジスティック関数 式(5)を解析して算出できた。また、日毎予測値を、ロジスティック関数の微分形 式(6)を解析して算出できた。
- (2) ロジスティック関数のパラメータ a, b, c を統計言語 R で算出する際、 p 値が表示される。 p 値は小さいほどよく、0.05 以上の場合は パラメータ a, b, c は採用すべきではない。
- (3) サンプル値を用いてロジスティック関数の解析する際、R はパラメータ a, b, c の算出を途中で拒否する場合がある。即ち、パラメータ a, b, c が算出され、 p 値が 0.05 より、十分小さいとき、パラメータ a, b, c は安心して使用してよい。
- (4) パラメータ a, b, c は式(5)のロジスティック式とサンプルデータとして 累計データを用いる。または、式(6)のロジスティック微分形の式(6)とサンプルデータとして日毎データを用いる。どちらの方法でも同じパラメータが得られる。
ただし、前者の方が p 値が良い結果を得られる。(式(5)の方が、式(6)よりも構造が簡単であるからと思える。)

なお、式(5)で得られたパラメータ a, b, c は、式(6)に代入し、日毎感染者数の予測値を算出できる、また逆に、式(6)で得られたパラメータ a, b, c を、式(5)に代入し、累計感染者数の予測値を算出できる。

- (5) 実効生産数と日毎感染者数は綿密な関連性は研究の途上である。
- (6) ロジスティック解析による感染者数の予測は2020年2月以来11ヶ月の日数を要し、さらに今後も続けなければならない。解析対象は全国版と茨城県版の予測作業を毎日行うので、膨大な労力を要する。累計感染者の解析は主に山口、日毎感染者の解析は主に金子が担当した。実測値が予測値から大きく乖離してきたときは、直近のサンプルデータを用いて、Rのロジスティック解析をやり直した。データはNHK webを用い、Rの解析方法は両者統一したので、解析結果は相互に共有できた。
- (7) 日毎感染者数の週間移動平均をすることにより、習慣的な雑音を低減できた。
- (8) 波状の感染者データを複数のロジスティック関数に分離して近似することができた。

10. 謝意

元茨城学習センター所長・茨城大学名誉教授 塩見正衛先生にはロジスティック関数の基本、数理モデルの展開や適用に関して多大なるご指導をいただきました。深謝申し上げます。

新型コロナウイルス感染症の拡がりに関する数理的考察

田辺 裕美 (人間と文化コース)

1. はじめに¹⁾

新型コロナウイルス感染症(以下、新型コロナと表記)の感染者数が日本でも増え始めた2020年3月頃、国の専門家の一人が「何ら対策を施さないと日本国内で42万人の死者が出るおそれがある」という警告を発した。また4月7日(以下4/7と表記)の第1次緊急事態宣言の際にも「接触頻度を80%に減らせば、感染者数の急激な増加を抑えることができる」という説明がなされた。その時に筆者が感じたのは、このような警告の根拠と対策の有効性を自分なりにきちんと検証して理解したいということであった。そこで、新型コロナの拡がりに影響すると考えられる主要パラメータと感染の関係をホームPCを使って検証することとした。

新型コロナの拡がりに関する数理モデルとして、次の二つの方法を用いた。一つはマクロ的手法で、たとえば対象とする社会の全住民をひとまとまりの集団として捉え、その中の感染者数等の状態量の変化を関係式を用いて求めるものである。もう一つはミクロ的手法で、集団内の個々の構成員同士の関係から感染が進行していく様子を確率的に模擬して追いかけていくものである。既にインターネット上には、これら感染症の数理モデルに関して専門家による解説記事²⁾や他分野の技術者による先駆的成果等^{3),4)}が紹介されており、これらは大いに参考になった。

2. マクロ的手法 : SIR モデル

2.1 数理モデル

自然現象や社会現象を数値的に評価する場合には、まず現象に対し仮説を立てて数式化し、その数式に基づいて結果を演繹的に予測し、実際の結果と比較することによって仮説の妥当性を検証するという方法(仮説演繹法)がよく行われる。感染症に関しては、既に疫学の分野での古典的なモデルであるカーマック・マッケンドリック・モデル(通称SIRモデル)がある。これは、未感染者数 S 、感染者数 I 、回復者又は隔離者数 R を変数として、関係式に基づいてその値を求めていくものである。

またSIRの改良型・発展型もいくつかあり、たとえば感染後まだ発症していない潜在的感染者 E を感染者 I と分離したSEIRモデル等が知られている。しかしながら3章で述べるように、新型コロナの場合、発症前から感染の可能性があることが明らかとなっており、潜在期間といえども感染力がないとは言いきれないことから、本書では基本に立ち返りSIRモデルを用いた数値モデル化を行った。

2.2 数値モデル化^{2),5)}

時間の変数として、次のものを考える。

S (Susceptible: 未感染者)

I (Infected: 感染者、ここでの感染者は累積感染者から累積回復者を除いたものであることに注意)

R (Recovered: 回復者または Removed: 隔離者、いずれにせよ死者はここに含める)

従って、評価対象となる集団の人口を N (定数)と置くと、次式が成り立つ。

$$N = S(t) + I(t) + R(t) \quad (1)$$

各変数の時間変化を考えると、それぞれ次の常微分方程式が成り立つ。

$$\frac{dS(t)}{dt} = -\beta S(t) I(t) \quad (2)$$

$$\frac{dI(t)}{dt} = \beta S(t) I(t) - \gamma I(t) \quad (3)$$

$$\frac{dR(t)}{dt} = \gamma I(t) \quad (4)$$

ここで、 β 及び γ はそれぞれ感染率[1/人/日]と回復率[1/日]である。感染の初期段階では、 $S \cong N$ と考えて差し支えないので、(3)式より $dI(t)/I = (\beta N - \gamma) dt$ が導かれ、この解は次の(5)式となる。

$$I(t) = I(0) \exp(\gamma(R_0 - 1)t) \quad (5)$$

但し、
$$R_0 = \frac{N\beta}{\gamma} \quad (6)$$

この R_0 は**基本再生産数**と呼ばれ、まだ感染者が少なく治療薬やワクチンなどがない初期状態での感染力の強さを示す指標となる。(5)式から明らかなように、 $R_0 > 1$ ならば感染は拡大傾向を持つことになる。

基本再生産数はウイルス本来の感染力を表すものとして感染初期に定義されるが、感染が進行中にはよく似た(7)式で定義される**実効再生産数** R_t が感染症の各時点 t での拡大または収束傾向を示す重要な指標となる。

$$R_t = \frac{S\beta}{\gamma} \quad (7)$$

2.3 具体的計算手法

(2)~(4)の微分方程式を連立して数値的に解を求めていくことになるが、計算にはオープンソース・フリーソフトの R 言語を使用し、時間積分にはそのパッケージから deSolve を用いた。deSolve については、Web 上の解説書⁶⁾によれば、ルンゲ・クッタと線形多段法をそれぞれの個別課題に合わせて適宜用いているとされている。なお計算機として使用したのは Windows10 のホーム PC である。

2.4 初期値並びにパラメータ暫定値の決定

計算に用いた初期値やパラメータの代表値とその設定根拠を示す。

- ・時間 t : 単位は[日]、2020/2/5 を時間軸の 0 点とした。
- ・対象とする集団人口 N : 126,000,000 [人] (日本国総人口の概数)
- ・初期感染者数 $I(0)$: 12 [人] (2020/2/5 時点での国内の感染者数)
- ・基本再生産数 R_0 : 2.0 (WHO の 2020/1/20 の発表に $R_0 = 1.4 \sim 2.5$ とある。)
- ・感染速度 $N\beta$: 0.204 [1/日] (N 人の集団で 1 日当り感染者が何倍に増えるかという数字であるが、
 倍増時間 τ_2 とは $N\beta = \ln 2 / \tau_2$ の関係にある。中国武漢では感染初期の累計病例から倍増時間 1.8 日という報告があるが、我が国では 2020/2/12~29 の 17 日間に累積病例が約 $32 = 2^5$ 倍に増加していることから、倍増時間 3.4(=17/5)日より $N\beta = \ln 2 / 3.4 = 0.204$ [1/日]を代表値とした。)

また今回接触機会低減対策の効果を見るために、新たに次のパラメータを導入した。

- ・接触機会低減率 μ : 0~1 の値を持ち、何も対策を取らなければ 0、濃厚接触機会を 80%削減したら 0.8 とする。接触機会低減率を用いると実効再生産数は次のように再定義される。

$$R_t = \frac{S\beta(1-\mu)}{\gamma} \quad (8)$$

2.5 第1波を対象とした感度解析

(1) 防護対策を全く講じないケース

防護対策を全く講じないケースを想定して、接触機会低減率 μ を 0 として計算したのが図 1 である。計算で求めた感染者数、回復者数、未感染者数をそれぞれ赤、緑、および黒の線で示す。この場合、感染は急速に広がってオーバーシュート(感染爆発)し、7月上旬には感染者は 2 千万人に到達する。最終的には未感染者の総数は全国民の約 20%にまで減少して沈静化するという結果になっている。いずれにせよ、医療崩壊は必至である。また感染者当たりの致死率として 0.5%を仮定すると死者は約 40 万人となり、これが何もしなければ 42 万人死亡すると専門家が警告したケースにほぼ対応すると考えられる。

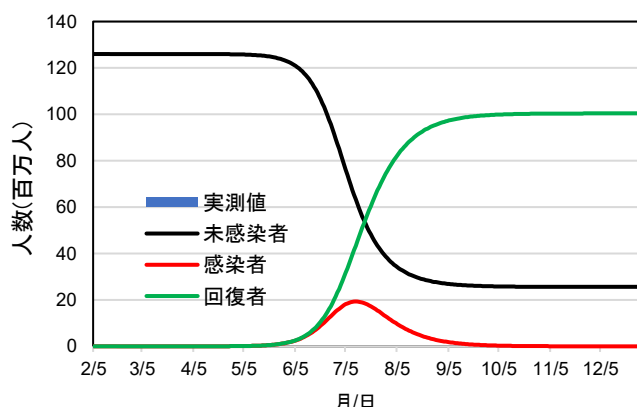


図1 無対策の場合の感染者数等の予測図

(2) 接触機会低減率の影響

我が国の第1波の際には幸い前項のような破滅的な事態には至らなかった訳だが、それはそれなりの防護対策が講じられたからと言って良い。そこで接触機会低減率 μ を 0 から変化させて総感染者数に及ぼす影響を見た。代表ケースは緊急事態宣言期間を内包する 4/1 からの 6 週間に低減率が $\mu=0$ から 0.8 (国の目標値相当) まで直線的に増加するとし、比較ケースは最終低減率を 0.6、0.5 と変えてみたのが図 2 である。

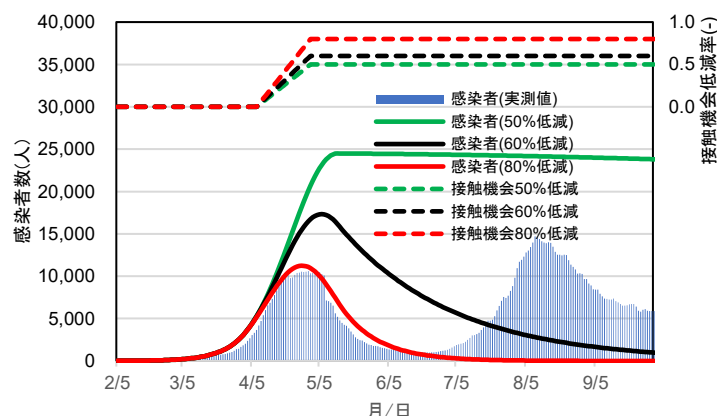


図2 接触機会低減率の影響

実線と破線はそれぞれ対応する感染者数と接触機会低減率を示す。また青色の棒グラフは感染者数の実績値(厚労省が毎日発表している累積感染者数から累積回復者数を除いた値)である。低減率 0.5(緑)では高止まりするものの、低減率が上がれば感染者数は減少し、低減率 0.8(赤)のケースが実測値に最も近い。第1波の感染者数が 5 月以降沈静に向かったのは、緊急事態宣言期間に接触機会低減目標の 80%がほぼ達成されたためといえる。

(3) 濃厚接触機会低減のタイミングの影響

ここでは代表ケースを緊急事態宣言が行われた 4/7 から 5/1 まで濃厚接触機会が直線的に低下するとして、その低減策が 1 週間早く行われたとしたケースと 1 週間遅れたとしたケースを比較した(図 3 参照)。接触機会低減率の変化値は同じだが、時期をわずかに 1 週間前後にずらただけで、感染者数のピーク値には大きな差が現れた。代表ケース(赤)の約 14,400 人に対し、1 週間早く実施されれば(黒)約 7,000 人

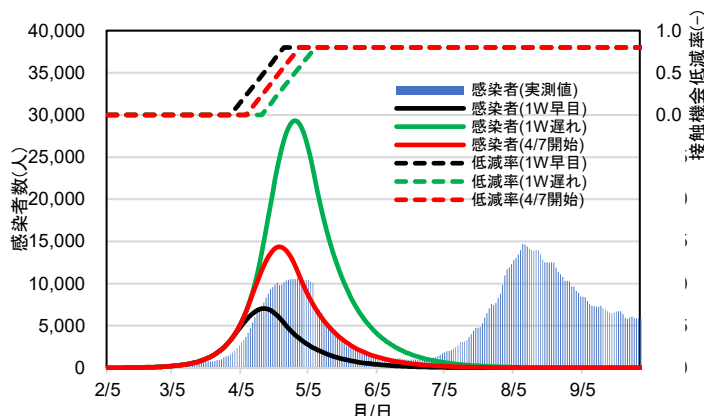


図3 接触機会低減タイミングの影響

に、また 1 週間遅ければ(緑)約 29,300 人になるという結果である。即ち、1週間前後すれば、感染者のピーク値は半減または倍増することになっていた。当時緊急事態宣言を出す時期について議論されていたが、そのタイミングは総感染者数(もちろん死者数にも)大きな影響を与えた可能性がある。

2.6 第 2 波以降の防護係数

2020 年 5 月に感染は一旦終息傾向を示したが、再び 7 月に感染者数が急上昇して第 2 波、さらに 11 月以降急上昇し 12 月末現在、第 3 波が進行している。このような挙動について、SIR モデルで防護係数を細かく操作して評価値を実績値に合わせることも不可能ではないが、あまりに恣意的となる恐れがある。そこでここでは、SIR モデルとは逆に、実績値から実効再生産数 R_t を逆算し、さらに接触機会低減率(防護係数の補数)を計算することにした。

実効再生産数の算出には研究者により様々な異なる式が提案されているが、本報告では (9) 式を用いた。ここで、 J_k は k 回目の報告での新規感染者数、 a_0 は初期感染者数、 Δt は報告間隔、 μ_v はウイルスの平均世代時間である。従って n は k 次報告と $k+1$ 次報告の間のウイルスの世代交代数を表す。

$$R_t = \left(\frac{J_{k+1}}{J_k} \right)^{1/n} \quad \text{但し、} \quad n = \frac{\Delta t}{\mu_v} \quad (9)$$

ウイルスは 1 世代を経るごとに総数が R_t 倍変化するので、 n 世代後には R_t^n 倍となる。これが $k+1$ 次と k 次のデータ集計値の比 $\frac{J_{k+1}}{J_k}$ に等しい ($R_t^n = \frac{J_{k+1}}{J_k}$) と考えられるので、(9) 式が導出される。

イラストは $R_t = 2$ の場合

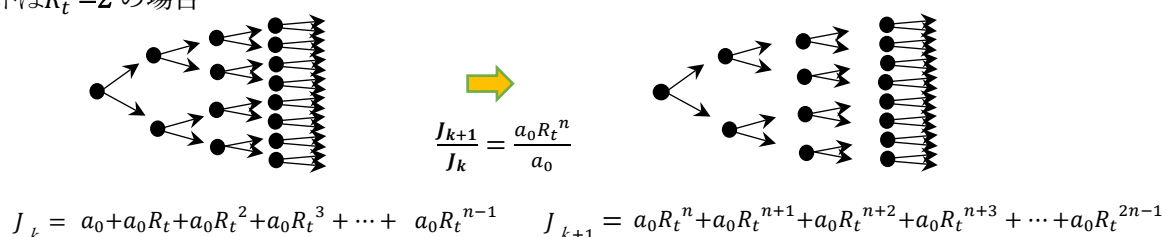
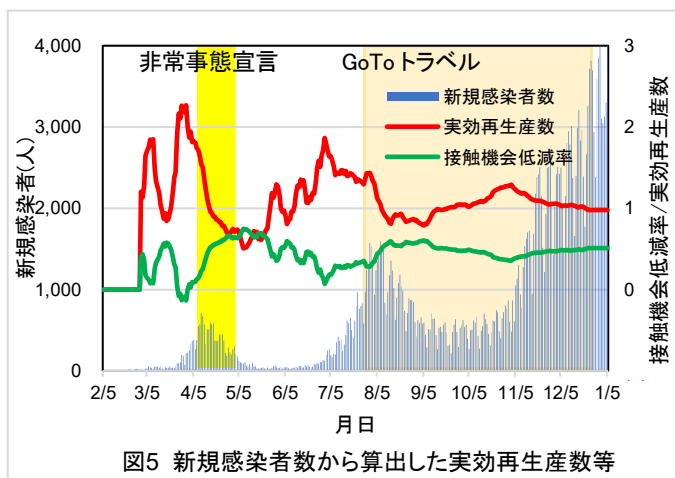


図 4 実効再生産数の算出根拠

図 5 は、厚労省が公表している日毎の感染者数(青棒)から(9)式を用いて実効再生産数(赤線)と接触機会低減率(緑線)をプロットしたものである。非常事態宣言と GoTo トラベルのおおよその期間も示した。

第 1 波(4 月)の際には、非常事態宣言時に設定した接触機会低減の数値目標(80%)が効を奏して R_t は急速に低下し感染が収まった。また第 2 波でも 8 月上旬に R_t が比較的速やかに減少した。これに対し 11 月以降の第 3 波では、10 月頃の GoTo トラベル期間に増加した R_t の戻りが極めて遅いことが分かる。これは感染者の絶対数が以前より大きいことと関係しており、非常事態宣言が出ても第 1 波の時のような特効薬的效果は期待しにくい状況である。経済刺激策と感染抑制策の両立の難しさを表している。



3. ミクロ的手法：感染シミュレーションモデル⁴⁾

第1波に関しては、SIRモデルに新たに導入した防護係数をパラメータとして、感染傾向をモデル化できることが確認できた。しかしながら新型コロナの感染者はその後第2波、第3波と増加する傾向が見られ、これらの現象をモデル化するには、集団をマクロ的に捉えるだけでは不十分で、個人間の離隔や移動距離等の効果を評価できるモデルが必要と考えた。そこで個人間の感染挙動をモデル化し、個々の感染状況を基に集団全体としての感染傾向を推定するマイクロモデルを新たに作成した。なおプログラミングには結果のアニメーション表示も含めて、R言語を使用した。

3.1 数値モデル

感染シミュレーションモデルの基本概念を図6に示す。直交格子状の各セルにヒトを1人ずつを配置する。ここでは、灰色丸：未感染者、赤丸：感染者、緑丸：回復者を表している。また、3密モデルとの比較で離隔距離の確保の効果を調べるためのモデルでは、ヒトのいない空隙セル(黒色)を配置する。

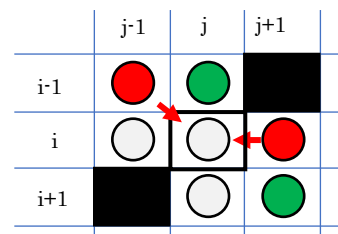


図6 ミクロモデルの基本概念

図6の中央のセルにいる未感染者には周囲の赤色の感染者からウイルスが拡散してくる。受けたウイルスの積算値が一定量を超えると、その未感染者は感染したと見なされ赤色に変わる。また感染者は時間の経過とともに内部のウイルス量が減衰していき、一定値を下回ると回復したと見なされ緑色に変わる。なお、ウイルスへの感染しやすさや症状の回復の速さには当然個人差があることから、感染者が放出するウイルス量や回復速度を決める時定数には正規分布の乱数を発生させ、平均値から一定のバラツキを有する係数を乗じた。

3.2 3密モデルと空隙モデルの比較

空隙率をパラメータとした計算では、縦横 100×100 の1万個のセルにぎっしり1万人を詰めた空隙率0% (3密モデル)を基本として、それから空隙率を徐々に変えて感染の拡がりの変化を見た(図7参照)。空隙率を増やしていくと感染者数の上昇速度は顕著に低下していくことになる。この結果からも3密の回避や適切な物理的距離の確保の必要性がよく理解できる。計算結果から、空隙率 V が 30~50 日の平均感染速度に対して及ぼす影響を2次の回帰式として求めると(10)式が導かれる。空隙率が 50% の場合には、基本ケースである3密モデルの 1/5 以下の感染速度にまで低下する計算となる。

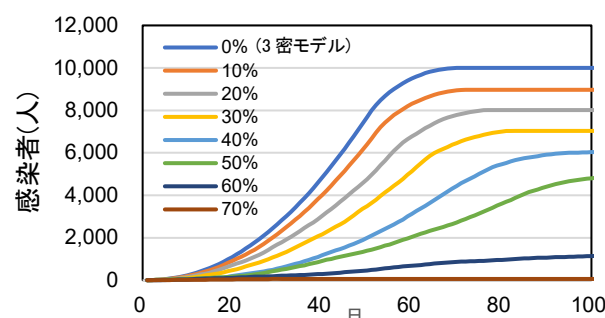


図7 累積感染者数に及ぼす空隙率 $V\%$ の影響

$$\frac{\text{空隙率}V\text{の感染速度}}{\text{3密モデルの感染速度}} \cong 0.91V^2 - 2.16 \times V + 1.02 \quad \text{但し、} V < 0.6 \quad (10)$$

3.3 移動距離の影響

前節で用いた3密モデルでも空隙モデルでも、ヒトのセル間移動は考慮していなかった。しかしヒトの移動行動の変化が感染症の拡がりに影響を及ぼす可能性があることから、新たに移動を可能とするモデルを作った。これは空隙セルに対し近隣の未感染者、感染者、回復者の誰でも移動可能とするもので、実際に誰が移動するかは(誰も移動しないことも含めて)一様乱数で決める。また移動距離の影響をみるために、

移動候補先としては直接隣接する 1 層 8 セルだけのケースから、隣々接する 2 層 24 セル、3 層 48 セル、4 層 80 セルと増やしたケースも比較した(ちなみに隣接する N 層に含まれるセルの数は $\{(2N + 1)^2 - 1\}$ となる。)。図 8 では空隙率は全て 50%(総人口 5000 人)に固定して計算した。

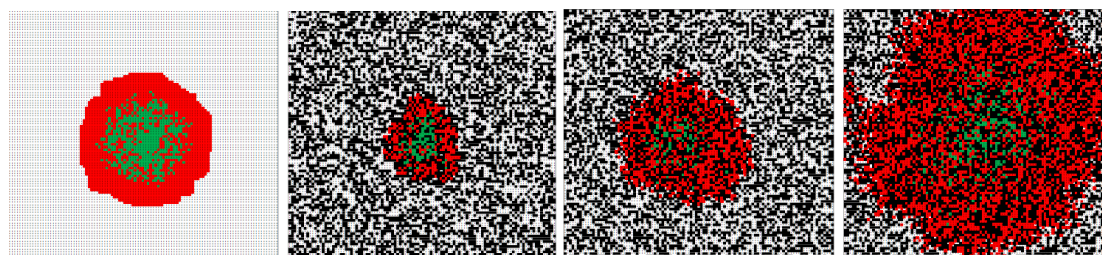
計算結果から移動層数 N と 20 日目付近の感染速度との関係を回帰式として求めると(11)式が得られた。(11)が N の 2 次式となるのは感染者の接触者が移動対象域の面積に概ね比例するという意味と理解できる。

$$\frac{\text{隣接}N\text{層移動モデルの感染速度}}{\text{固定モデルの感染速度}} \approx 2.9N^2 + 3.7N +$$

$$0.9 \quad (11)$$

なおこの移動モデルが模擬しているのはいわば居住地に隣接しているごく周辺への移動である。一方現実社会での移動では新幹線や飛行機などを使うことにより移動距離が百倍も千倍も延びることになるが、この場合接触者が距離の 2 乗で増える訳ではないので(11)をそのまま適用するのには無理がある。とはいえこのような隣接地への移動程度のモデルでも移動距離の変化は空隙率よりもはるかに強い影響を及ぼすことが分かる。従って、経済活動の刺激策として人の移動を活性化するような施策を講じる場合には、人の移動が有している強い感染加速効果を弱めるために、相当効果的な対策を併せて講じる必要がある。

図 9 は図 6 と同じ要領で色分け表示しているアニメーションデータの中から感染開始後 25 日目の感染の拡がりを、それぞれ 3 密モデル、空隙($V=50\%$)固定モデル、隣接 1 層への移動モデル、隣接 4 層への移動モデルについて示したものである。感染に及ぼす移動効果の大きさが一目瞭然である。



(1)3 密モデル (2)空隙率 50%固定モデル (3)隣接1層移動可 (4)隣接 4 層移動可

図 9 空隙率と隣接セル間移動が感染の拡がりに及ぼす影響(25 日目)

3.4 マスク効果についての考察

(1) 考察の視点

米国のある大学の評価では 21 年 2 月までに米国で新型コロナにより約 50 万人の死者が出る恐れがあるが、全員マスクをすればこれを 37 万人に減らせる可能性があるという報道がなされた。解析の具体的な中身は不明だが、マイクロモデルを用いて同様な評価ができないか検討を行った。マスクの効用については WHO は当初懐疑的であったが、わが国では飛沫の拡散挙動についての富岳等の高度な解析やレーザー光での観察試験等により飛沫の拡散を防止する効果が大きいことが報じられている。そこで、ここではマスク装着習慣のある社会と乏しい社会とで感染速度についてどのような違いが現れるかについて調べてみた。

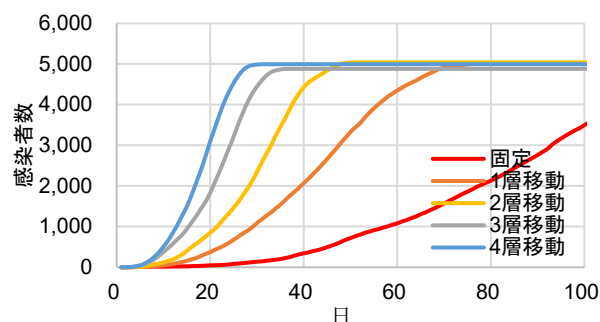


図8 移動範囲と累積感染者の関係

(2) 感染モデル

最近の研究で新型コロナの感染形態は季節型インフルエンザ等とやや異なることが注目されている。インフルエンザでは感染者が2次感染を引き起こすのは、症状が現れてから数日後がピークと考えられているのに対し、新型コロナではむしろ発症する1、2日ほど前に感染リスクのピークがあるということがわかってきた。従って、マスク装着習慣の乏しい社会では、感染者が発

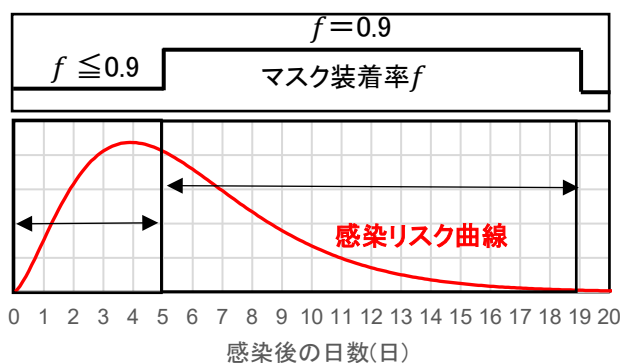


図10 試算用の新型コロナの感染モデル

症してからマスクをしても、それまでに感染を広げている可能性が高いので、マスクの効果が限定的となる。

このような知見を踏まえ、文献⁹⁾を参考に試算用の感染モデルとして図10を想定した。即ち、感染してから5日目に発症し、19日目（発症の2週間後）に回復するとし、一方感染力は感染後4日目（発症1日前）に最大となりその後弱まりながら一定期間感染力が継続するとした。なお実際の計算では感染期間と感染力の両方に正規分布を持つ乱数の係数をかけて個人間に適度なばらつきを与えている。

(3) 比較の方法

未感染者及び発症するまでの感染者のマスク装着率を f ($0 \leq f \leq 0.9$)とし、発症した後の感染者のマスク装着率は0.9一定とする。計算に当たっては、集団のマスク装着率として定義した f を個々人のマスクのウイルス遮断度に読み換えて、感染者からのウイルス放散量と未感染者のウイルス吸引量に f を乗じて減殺している。

マスク装着習慣の全くない社会（即ち $f = 0$ ）を基本ケースとして、装着習慣の定着度に応じて f を変化させ、その感染速度が基本ケースからどの程度変化するかを感染速度比として求めた。

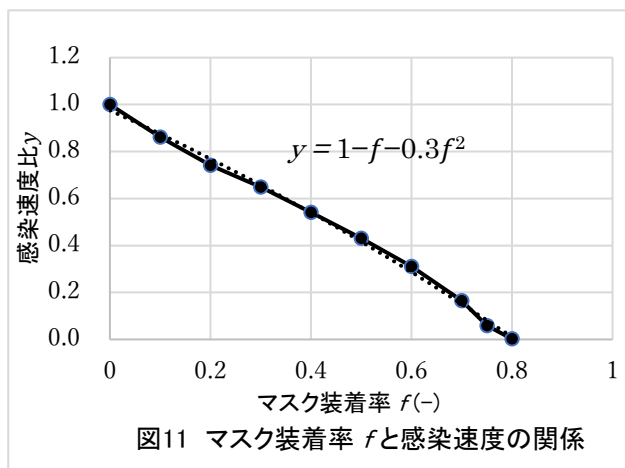


図11 マスク装着率 f と感染速度の関係

(4) 計算結果

図11にマスク装着率と感染速度の計算結果を示す。横軸をマスク装着率 f 、縦軸を基本ケース($f = 0$)との比としている。感染速度は f の増加とともに顕著に低下する傾向を示し、回帰式(12)式が得られた。

$$\frac{\text{マスク装着率}f\text{の社会の感染速度}}{\text{マスク装着率}0\text{の社会の感染速度}} \doteq 1 - f - 0.3f^2 \quad (12)$$

本節冒頭の米国のケースに戻って考えてみると、米国社会の現在のマスク装着率は不明だが、たとえば現状 $f=0.5$ と仮定して図11の結果を適用すると、マスク装着率を0.6（全員ではなく）に上げるだけで、死者数を50万人から34万人に減らすことができるという計算になる。但し、日本の場合は装着率が既に高いと思われるので、マスク装着率をこれ以上効果的に上げることは必ずしも容易ではないかもしれない。

8. まとめ

SIR モデル(マクロモデル)による計算

- (1) ホーム PC で基本的な SIR モデルを用いて日本全国を対象に評価を行い、低減策が何も講じられなかった場合のオーバーシュートの可能性と接触機会低減策の重要性の根拠が確認できた。
- (2) 第 1 波のときの緊急事態宣言で目標とした接触機会低減 70~80%は概ね達成されたが、宣言解除後は一転して低下し、その後の第 2 波、第 3 波につながったと考えられる。
- (3) 第 1 波の緊急事態宣言の際にその開始時期が 1 週間前後すると、感染者数のピーク値が半減または倍増した可能性が示された。即ち、感染抑制対策についての行政のリーダーシップは感染者数の増減に強い影響を及ぼすため、指示の内容はもちろん、そのタイミングも極めて重要である。

ミクロモデルによる計算

- (4) 物理的距離や人の移動が個人間の感染挙動に及ぼす影響を評価すべくミクロモデルを作成した。
- (5) 空隙率をパラメータにした計算では、空隙率の上昇に応じた感染速度の顕著な低下が確認できた。
- (6) セル間の移動を可能にしたモデルでの計算では、移動距離の増加は感染の拡大を顕著に加速する効果があることが確認できた。従って、経済活性化の目的で人の移動を刺激する施策を行う際には、その感染加速効果を減殺する一層強力な対策を併せて実施することが極めて重要である。
- (7) マスク装着率をパラメータとした計算によれば、マスク装着率が必ずしも高くない社会においては、装着率の向上が感染者数(さらには重症者数や死者数)に有意な減少をもたらすことが期待できる。

謝辞

本成果をまとめるにあたり塩見正衛先生に多大なご指導を頂くとともに、同統計学ゼミ参加者との自由な意見交換が大いに役に立った。関係各位に謝意を表したい。

参考文献

- 1) 田辺裕美, 塩見正衛 : 新型コロナ感染症の数理的考察 - 接触機会削減努力が感染者数の増減に及ぼす影響の検証 -, システム農学(2020) A18, 2020.10.17, 京都.
- 2) 西浦博, 稲葉寿 : 感染症流行の予測, 統計数理(2006) Vol.56, No.2.
<https://www.ism.ac.jp/editsec/toukei/pdf/54-2-461.pdf>
- 3) 門信一郎 : この感染は拡大か収束か, RAD-IT21 Webマガジン2020.3.27公開.
http://rad-it21.com/サイエンス/kado-shinichiro_20200327/
- 4) 道越秀吾 : ウイルス流行のシミュレーション計算, RAD-IT21 Webマガジン2020.4.01公開.
http://rad-it21.com/サイエンス/michikoshi-shungo_20200331/
- 5) 塩見正衛 : 伝染病の流行メカニズムと予測: 数理模型を紹介, 放送大学茨城学習センター学生論集「茨城SCフォーラム」11号 2021年3月.
- 6) Karline Soetaert, et.al: Package deSolve: Solving Initial Value Differential Equations in R.
<https://cran.r-project.org/web/packages/deSolve/vignettes/deSolve.pdf>
- 7) 西浦博 : 実効再生産数とその周辺, 日本科学ジャーナリスト会議, 2020/5/12.
<https://github.com/contactmodel/COVID19-Japan-Reff>
- 8) 吉田正樹 : 特集 COVID-19・トピックス XV: 感染対策, 日本内科学会雑誌(2020) Vol.109, No.11.
<https://www.naika.or.jp/activity/covid-19/nichinaishi-109-11-article/>

新型コロナウイルス感染禍後、日本はどうか？

―立ちすくむ日本に SDGs を中心として巻き返しのチャンス―

竹内 孝（大学院社会経営科学プログラム修了）

1. 新型コロナウイルス感染禍中、将来の社会を考えることの意義

2008 年のサブプライムローンの破綻から引き起こされた金融危機の影響を世界で最も大きく受けた日本は、失われた 20 年といわれる不満な状態で経過し、更に 2020 年に至り新型コロナウイルス感染拡大の追い打ちを受け、「立ちすくむ日本」と評される（三菱総合研究所小宮山宏理事長評）ような状態に陥っている。この感染拡大は、いったん収まるかに見えたものの、現在は三次感染の拡大に悩まされている。この収束には、感染の実効再生産数¹が 1.0 を下回る状態に持つて行く必要があるが、今のところ、この目途は立っていないようである。このような状況で、コロナ禍後の社会のことを考えるのは時期尚早のようにも考えられるが、2015 年 9 月の国連総会で採択された SDGs（持続可能な開発目標）² の実現に向けて世界各国が取り組む中で、日本でも菅内閣発足後、矢継ぎ早に SDGs への対策が打ち出され、主要な企業でも積極的に対策を講じているので、日本の現状と将来へのポテンシャルについて知識を得ておくことも意義のあることであると思う。

2. SDGs 実現への取り組み

SDGs の実現へ向けてさまざまな取り組みが展開される中で、2019 年 7 月、Web で「SDGs 未来会議」（日本経済新聞社主催）が開催され、その実現を図るための方策について熱心な講演、座談会が行われた。この会議の冒頭での基調講演（三菱総合研究所の小宮山宏理事長、元東京大学学長、および国連環境金融イニシアティブ・特別顧問の吉本竹二郎氏）に、これからの日本の進路を考える上で大変参考になるものがあると思われるので、本稿ではそれらの内容の幾ばくかを紹介したい。

3. 日本をめぐる環境の変化

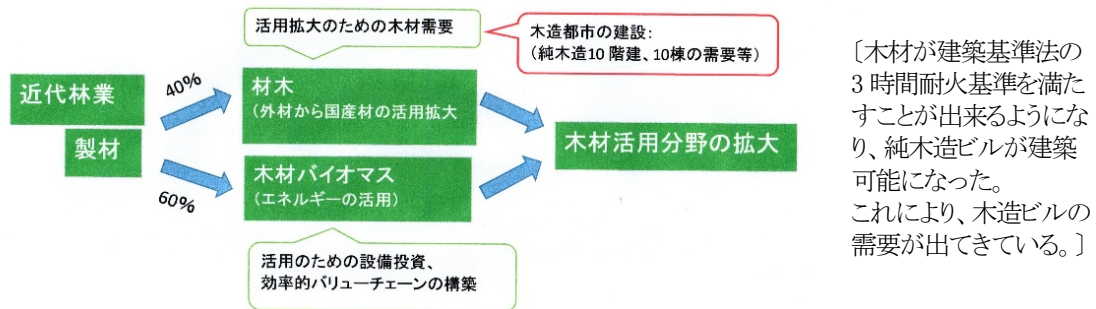
(1) 地方の活性化を目指す動き

日本では、国土の約 80%が農地と山林である。森林が約 66%、農地が約 13%を占める。特に、森林の約 70%は実質的に放置され、大型台風、地震、豪雨などの度に土砂崩れを起こし、大きな被害を発生させている。これに対処するため、2018 年 10 月、会津地区の 13 市町村が集まり、「会津森林活用機構株式会社」を設立し、森林資源の活用と地域経済循環、低炭素社会の実現を目指している。これにより、森林が保全され、地方での雇用も生まれ、一極集中の解消にも貢献できる。日本への輸出で過伐の危機に見舞われている南方の森林の維持にも寄与出来ることになる。（図1参照）

¹ 実効再生産数：一人の感染者が平均して何人に感染させるかを示す指標

² SDGs: Sustainable Development Goals（持続可能な開発目標）。この取り組みの中でも、企業がビジネスを通じて SDGs 達成に貢献することが期待されていることから、日本経済新聞社では、2019 年に「日経 SDGs 経営大賞」を設けた。

〔近代林業〕×〔木造都市〕×〔バイオマス〕 → 〔総合的課題解決へ〕



会津森林活用機構(株) → 北岩手 → 置賜(山形) → 全国展開へ
(予想される経済規模:5兆円、雇用規模:50万人)

図1 世界レベルの近代林業の創設による総合的課題の解決

観光開発については、例えば、静岡県三島市では、経済とエコロジーをうまく組み合わせ(総延長52kmに及ぶ遊歩道の整備など)、この25年間に観光客が4倍に増え、シャッター街がなくなり、空き店舗も解消されているという。

転換の時代には、イノベーションが必要になるが、このためには、既に蓄積された膨大な知識を適切に動員できれば、多くの課題を解決することが出来、これが起業家精神と結びつけば、さまざまなイノベーションを生むことが出来る。これに果敢に挑戦している学者のグループが生まれている。例えば、東京大学総括寄付講座「プラチナ社会」³に集まる19大学の若手研究者たちは、種子島で総合的なプロジェクトを実践し、大きな成果をあげつつある。これには、学生も参加している。学生は、座学で勉強させるとあまり勉強はしないが、地方に出て解決すべき問題に対峙すると本気になる、本気になった学生はすさまじい力を発揮するという。(概要は、図2参照)

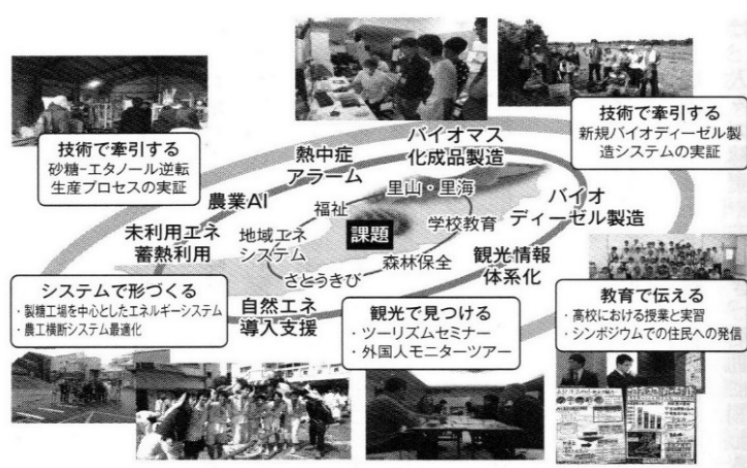


図2 種子島で取り組まれている問題解決のための総合的なプロジェクトの概要

³ 「プラチナ社会」:地球が持続し、豊かで、人の自己実現が可能な社会(三菱総合研究所の小宮山宏理事長が東京大学学長時代に名付けた名称)

(2)飽和時代がもたらしたものの将来

20 世紀に入って人類がもたらした大きな特徴は、人口、人工物、鉱物などの飽和状態である。

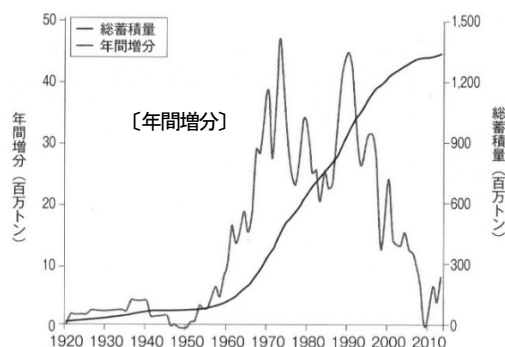
その代表的な例が自動車である。表1は、国別の四輪自動車保有状況である。一人あたり保有台数が 0.5 台に達している国では、自動車を持ちたい人は既に所有しているということである。それでは、なぜ毎年自動車が売れているかといえば、毎年廃車になる分が売れているからである。自動車が飽和状態になっている国では、他の人工物も飽和していると言える。

表1 各国の自動車保有台数

(Japan Automobile Manufacturers Association. UN WOO, 2015)

	2007年		2010年		2014年	
	保有台数 (百万台)	1人当たり 保有台数	保有台数 (百万台)	1人当たり 保有台数	保有台数 (百万台)	1人当たり 保有台数
日本	58	0.45	58	0.46	61	0.48
アメリカ	138	0.46	129	0.42	121	0.38
イギリス	31	0.51	31	0.50	33	0.51
フランス	31	0.50	31	0.50	32	0.50
ドイツ	41	0.51	42	0.53	44	0.55
中国	32	0.02	61	0.05	123	0.09
インド	10	0.01	15	0.01	27	0.02

一方、鉄は、質量ともに最も重要な素材であるが、いったん作られた鉄は廃却されることなく、スクラップとして回収され、再び社会に供給される。図3に見るごとく、日本では、国内だけで考えれば、すでに鉄鉱石から鉄を作る必要はなく、スクラップからできる鉄で十分な状態になっていることがわかる。



〔鉄の総量は約 14 億トンに漸近し、毎年の蓄積量はゼロに近づきつつある。これは、都市鉱山でまかなうことが出来ることを意味する。世界的にも、2050 年には地下資源が不要になると見られている。〕



図3 日本における鉄の総蓄積量と年間蓄増分

〔都市鉱山(使用済みの廃家電品、廃携帯電話などに含まれる貴金属や希少金属)のイメージ〕

(3)再生可能エネルギーの将来

再生可能エネルギーのコストは、既に原子力発電のコストの 1/4 になってきている。将来は、化石燃料が再生可能エネルギーに取って代わられる社会になることが予想される。SDGs の進展に伴って、金融機関でもこれからは化石燃料を扱う企業には融資をしないという方向に変わって行くという。(国連環境金融イニシアティブ・特別顧問の吉本竹二郎氏) 日本では、省エネ対策が進んでおり、将来は再生可能エネルギーで十分まかなえるようになる。

(4) 少子高齢化時代の医療

以上から、日本は、エネルギー、鉱物資源、木材資源などは自給できるようになり、従来の輸入(約 30 兆円)が国内需要(産業連関的にみると約 50 兆円、GDPの約 10%)に変わる。これらは地方に生まれることとなり、日本はバランスのとれた発展が可能になってくる。

それでは、人間はどうなっていくのだろうか。少子高齢化時代になって健康が大きな関心事となり、医療分野では深刻な状況になることが予想されている。従来型の医療と異なり、少子高齢化時代になると、症状は、腰痛、偏頭痛、心疾患、うつ、アトピー、アレルギー、認知症、不眠症、精神不安定など、複雑になり、それに伴い、処方も複雑にならざるを得ない。それでも、これらに関するビッグデータがあれば、これらを解析して良好な治療が受けられることになるし、非常に多くの産業が誕生することが出来るようになると考えられるが、これらに関するビッグデータがほとんどないのが実情である。

この中で、日本では、弘前大学が世界一優れたビッグデータを備蓄している。ここでは、日本一の短命県である青森県の対策として、一人当たり 2,000 項目、年間 1,000 名のデータを 15 年間にわたり蓄積し、大学連携で分析を行い、生活習慣病の予防に活用している。このために 50 の企業が参加し、14 の寄付講座が設けられている。地方の大学で 14 もの寄付講座が設けられているのは希有なことである。このほかにも、京都府立医科大学、名城大学(沖縄)、和歌山県立医科大学などで、ビッグデータ集積の努力が続けられている。少子高齢化時代の医療は、いずれ世界各国が直面する課題であり、日本がこれらに先駆けて研究開発を行い、世界に貢献できる日が来るものと期待される。(図4参照)

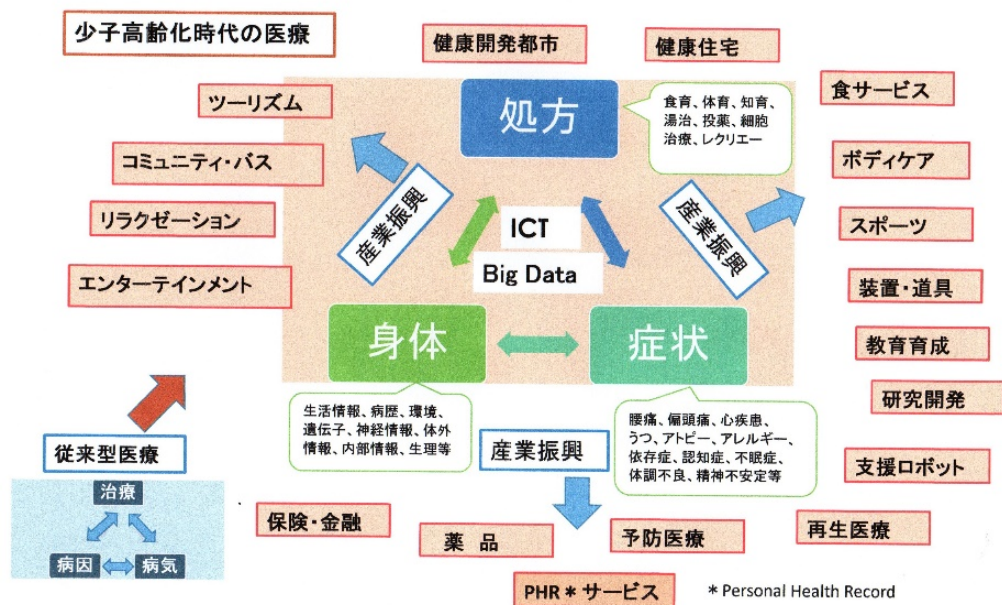


図4 少子高齢化時代の医療

4. これからの日本の進路

上記報告してきたとおり、日本は社会をより良く出来る可能性を秘めており、将来には明るいものがある。いたずらに現状を悲観することなく、新型コロナウイルスを恐れながらも、正しくこれに対応しながら、将来に希望を持って過ごして行きたい。

病院・訪問医療における新型コロナウイルス感染防止の取り組み

立原やい子（自然と環境コース）

1 はじめに

私の勤務する医療法人の病院（以下 A 病院）は茨城県北部にあり、療養型・回復期リハビリテーション病棟を中心に、地域に対しては 24 時間体制の診療所・訪問看護ステーション、訪問リハビリテーション（以下訪問系 3 部署） により医療を提供している。2020 年 1 月 16 日、日本で初めて 新型コロナウイルス感染症（以下 COVID-19） 患者が報告され、現在第 3 波と言われるほど猛威を振るっている。そのような中で病院や福祉施設は、特に厳重な感染対策を求められ、COVID-19 という見えない敵と日々闘っている。そこでこれまでの経過を振り返り、収束の見えない COVID-19 対応を考えたい。

2 感染の状況に応じた感染防止対策 — A 病院および訪問系 3 部署

2.1 緊急事態宣言発布前（2020 年 2 月～3 月）；2/19 COVID-19 に対する職員の行動を明示

- (a) 手洗い・うがい・マスク着用・アルコールによる手指消毒の徹底
- (b) 不特定多数の人が集まる場所へ行くことを避ける（コンサートなど）
- (c) 出勤時の体温測定。37.5℃以上は休み、所属長連絡、医療機関を受診する
- (d) 受診後も 4 日以上発熱が続き、COVID-19 感染が疑われる場合は、所属長に連絡、指示を受ける
- (e) 家族に COVID-19 感染又は濃厚接触が疑われる場合は、自宅待機とし、保健所からの指示に従う

この通知を出した頃、国内で感染が広がりつつあり、学校の休校が検討されていた。A 病院は開院以来の面会時間 6:00～21:00 を 14:00～19:00 に変更した。

2.2 緊急事態宣言発布（2020 年 4 月～6 月）

感染の拡大を抑えるため、国が 4/7～5/6 迄の 29 日間、緊急事態宣言を発布、不要不急の外出を避け、新しい生活様式を取り入れた生活をするよう国民に求めた。

(1) A 病院 入院患者の面会全面禁止

4 月 10 日病院長が、院内感染防止対策の一環として、4 月 13 日（月）から当面の間、入院患者への面会を全面禁止することを決定、患者・家族へ通知、院内に掲示した。

面会禁止期間中の対応（患者・家族・職員）

(a) 患者の洗濯物や日用品については、平日 14:00～17:00 間に来院、受付から病棟に連絡、病棟スタッフが 1 階に出向き受け渡しを行う。この機会を利用して患者の状態を家族に伝え、家族とのコミュニケーションを図った。

(b) 面会全面禁止であっても、病院機能上病棟への立入りを許可のケースがある。以下の事例。

- ・患者の入退院時の家族付き添いは、原則 1 名許可
- ・入院患者の容体急変により、病棟が家族を呼び出した場合は、原則 2 名許可
- ・主治医が家族を呼び出した場合は、原則 2 名許可
- ・その他主治医が面会を認めた場合は許可

(c) 職員に対しては、職員食堂の時間差利用で密集を避け、会話をせず速やかに食事を終える事。

院内研修会は中止し、それに代わる方法を採用する。外出については自粛、不要不急の外出は避け、やむを得ず県外に行く場合は、所定の用紙で外出届を所属長に提出する。

(2) 訪問系 3 部署における対応

少人数の事業所はひとたび感染が起これば、事業所の閉鎖を余儀なくされる。訪問サービスがないと、生活が滞ってしまう利用者も多い状況である。そのために自分たちは感染源にならないことを強く念頭におき、感染予防対策を忠実に実行して訪問を継続した。4 月 13 日、法人理事長名で利用者の家族・関係者に、東京都など感染拡大地域からの帰省を控えていただく依頼文書を、全利用者に配布した。その間利用者から、家族が外国から帰ったので、2 週間訪問を辞退する連絡をもらったこともあった。しかし、利用者・家族の諸事情により、帰省を続けるケースの訪問を一時中止した事もあった。

2. 3 緊急事態宣言解除後 (2020 年 6 月～8 月)

(1) A 病院 面会禁止の一部解除

6 月 8 日 茨城県が感染状況をステージ 1 に緩和、6 月 9 日 A 病院も面会禁止の一部解除を実施

(a) 面会できる患者・家族

対象となる家族は、県内在住の中学生以上で、2 週間以上県外への移動歴がなく、発熱等がない
平日 14:00～17:00 の時間帯で週 2 回、2 名迄、面会時間は 15 分以内

対象となる患者は、重篤な状態の方および個室の方、デイルームに自力で移動のできる方

(b) 洗濯物等日用品の搬入

対象となる家族は(a)同様、平日 14:00～17:00、週 2 回、1 名、時間は 10 分以内(4 床室可)

(2) 訪問系 3 部署における対応

6 月 19 日 茨城県の県外への移動緩和に合わせ、都市部から帰省する家族のいる利用者には、訪問を行う文書を配布した。引き続き職員・利用者双方の健康状態チェック、感染予防策は行った。

2. 4 再度面会禁止措置 (2020 年 8 月～現在)

(1) 県北地域においても感染陽性者が発生、A 病院は 8 月 13 日より全病棟面会禁止を決定、同時に夜間 17:00～8:30 の間、職員通用口以外の病院入り口 6 か所を施錠した。(玄関は必要時当直者が開錠) 病院玄関ホールには外来者用サーマルカメラを設置、受付のパソコンで管理することになった。

(2) 訪問系 3 部署における対応

7 月、茨城県が第 2 波に向け取り組みの強化を要請してきたため、2020 年 7 月 10 日感染拡大地域からの家族等がいる場合、防護服の着用で訪問する通知を出した。さらに 7 月 30 日 東京都が、「感染拡大緊急警報」を発表したため、8 月 1 日 東京など都市部と往来があった場合の訪問の一時中止の文書を配布した。8 月 17 日には茨城県がステージ 3 に警戒レベルを上げる事態となり、県南との移動も危険な状態となったため、標準予防策を強化した装備で訪問する通知を出した。

このように訪問系 3 部署は細目に通知を出し、利用者の了解を得た上での訪問に努めた。しかし真夏に防護服着用(キャップ・マスク・フェイスシールド・手袋・袖付きエプロン・フットカバー)で 40～60 分のケアは、汗びっしょりとなり職員の体力消耗を招いた。そこで 3 部署で、感染しないおよび感染させないための个人防护具(PPE)の基準を検討、軽度流行期(現在)は、キャップ・マスク・フェイスシールド・手袋の装備で訪問することを取り決めた。

3 今後に向けて

A 病院のある T 市は、2020 年 12 月現在感染者 1 名の発生に留まっているが、国内の感染者増加が著しい現状において、A 病院・訪問系 3 部署ともに、2020 年 8 月時点の対策を継続せざるを得ない。課題は面会制限が続く中、入院患者と家族の顔の見えるつながりをどのように作っていくか、現場としては QOL にかかわる大きな課題と考える。

一般病院における新型コロナウイルス(COVID-19)感染対策と

今後の取り組み

高柳美伊子（自然と環境コース）

1. はじめに

2019年12月に武漢市衛生健康委員会から報告された新型肺炎は瞬く間に世界中に広がり私たちの身近なところで命を脅かすこととなりました。経済活動の停止は病院へも検診のキャンセルや外来受診の見送りという形で打撃を与え、感染者が出た病院では手術や診療の取りやめなどでさらに大きな損失がありました。一般病院の医療従事者として働いている経験から、診療や検査がどのように行われるのか、患者さんの感染を防止するために実際に行っている対策を知って頂くことで安心につながればと思います。これから私たちはどのように行動すべきなのかを一緒に考える機会になれば良いと思います。

2. 感染症の医療体制

感染症の診断と治療は日常の診療の中で行われていますが、いくつかの感染症は「感染症の予防及び感染症の患者に対する医療に関する法律」に則って保健所を通して県へ届出ます。この法律は基本方針として感染症の予防や蔓延防止だけでなく、研究や人材育成、人権の尊重を掲げていて総合的な感染対策となっています。感染症を原因ウイルスや細菌の種類で、1類から5類まで分けており、その他として新型インフルエンザ等感染症、指定感染症を規定しています。詳細は触れませんが1類にはエボラ出血熱やコンゴ出血熱のような死亡率の高い感染症があります。1類と2類、新型インフルエンザや指定感染症は指定医療機関でのみ入院治療が行われます。指定医療機関には通常の病室と空調を含め独立した感染症病床があり、他の入院患者さんが感染しないように設計されています。茨城県内では指定感染症まで入院できる病院は1か所のみです。コロナは当初この法律では当てはまるものがなく、対応に混乱があったように思います。3月13日に新型インフルエンザ等対策特別措置法の改正法が成立し法的根拠のもとに対策が行われるようになりました。具体的な内容としては感染者の入院処置、マスクや消毒薬など必要物品の政府管理があります。また、都府県知事主導で対策が行われるように変わりました。

3. 一般病院での対策

私が勤務する鉾田病院は2次救急病院で、救急車の受け入れは24時間ですが、感染症病床はありません。そのような環境でどのような対策をしているかお話ししたいと思います。日本で3例目のコロナ感染患者が確認された1月25日に病院入り口に日本語と中国語で注意を呼び掛ける掲示をしました。内容は「中国武漢市で新型コロナ肺炎が発生しています。37.5度以上発熱があり、中国へ行った人や患者と接触した人は保健所へ相談してください。」といった内容でした。外国人の健康診断も行っていましたが、入国から2週間以上経過してから受診してもらうようにしました。当初は手探りで職員の中からも外来診療を続けていいのかという意見もありました。入院患者への面会は2月から中止となり現在も続いています。患者さんの家族には申し訳なく思いますが、患者さんの様子を担当看護師が伝えたり、着替えなどをお預かりして渡すなどの対応をしています。マスクや手袋などの感染防護具は今でも不足しています。私たちは不織布に型紙を写して切り抜き、2枚縫い合わせた簡易マスクを使っています。これには感染の不安もありますが、病院の経営状況も悪化し高額な医療用マスクやニトリルグローブは買えない状況です。不安な多くの職員が自前でサージカルマスクを購入し使っています。政府は一般でもマスクの転売禁止として布マスクも売買できなくなりましたが、私の考えは一般の方々には布マスクを推奨して医療用のマスクは医療の現場だけで使えるように政府が供給して欲しいと思います。対策がちぐはぐで外国の対策が優れて

いるように感じてしまいます。フェースシールドも手作りのものを使っていました。ようやく11月にアイシールドが配布されましたが、安いものは曇って仕事になりません。これも良いものは3千円くらいと高価なため、使いやすいものを自分で購入しています。そのような軽装ですが、玄関に立って体温測定の他にいくつかの質問をさせて頂いています。風邪をひいていませんか、家族に熱など風邪の症状のある方はいませんか、2週間以内に流行地域に行かれていませんか(流行地を色分けした全国地図を玄関に置いています)、コロナ疑いと言われた人に接触していませんか、と聞いているとうるさいと怒りだす方もいます。マスクをしてアルコール消毒をして頂きようやく院内に入ることができます。問診せずに横から入ってしまわないように自動ドアはOFFにしてあり、職員が手で開閉するようにしています。これだけ聞いていても診察時に風邪気味だという話が出て、玄関担当は誰だと責められる事になります。皆さんお気づきと思いますが、コロナは症状が出る2日前から感染力があるから無駄ではないの、と思いますよね。その為念入りに問診して、流行地域(県外だけでなくこの2週間感染者が増えている県内医療圏も)に行った方は中に入れず車待機になります。詳しい問診も職員が行い、中で診察と検査をするか、車で診察して処方して帰って頂くか外来担当の医師にききます。車まで医師と看護師が出向いて診察することも日常的にあります。問診を一人でやっているの若い職員は不安も多いと思います。バックアップしてあげたくても人員が少なく助けに行けないのが現状です。玄関での執拗な問診も全国あるいは県内全て流行地域になってしまったら意味も薄れてきそうです。病院内での感染対策がさらに重要になってきます。待合では密にならないよう長椅子の真ん中は案内が貼ってあり一つ空けて座るようにしています。受付窓口はビニールカーテンが下がっています。新型コロナウイルスはエアロゾルで3時間、プラスチック表面で72時間生存していたという報告があり、インフルエンザpdm09が数時間なのに比べて長時間生存しているため、環境の消毒はこまめにしなくてはなりません。今後は診察と検査をするためのプレハブを建て、30分程度で除菌できる装置を導入する予定です。車待機は雨の日や暑い日など患者さんも大変です。

4. コロナ検査について

当初は相談センターを通さなければ検査を受けることができませんでした。また、37.5度以上の発熱が4日以上継続ということがネックになっていて検査を受けたいが受けられないという方が多くいたと思います。実際多くの検査をするキャパシティもなかったと思われます。日本における遺伝子検査(PCR含む)の状況は大学病院や大きな検査センターといった極めて限定的な施設でしか行われていないこと、需要が少なく、今は大学の予算も減らされているので装置が導入できず自動化されていないこと。そのような背景からメーカーも自動化装置の開発に力を注がなかったこと、国立感染症研究所のマニュアルで決められた方法でしか診断が認められなかったことなどさまざまな原因がありました。世論により国が動き始めて、装置の導入に補助金が出るようになり、検査件数の増加で検査センターへの外注は検査費用が高額になり、院内で検査したほうがお得となってからは多くの施設で装置が導入され始めました。また、ほぼ同時に抗原検査が開発されて保険が適応となり、大掛かりな設備のないクリニックでも検査が可能になりました。PCR法はウイルスのRNA遺伝子を増幅させるため数十コピーという少ない遺伝子を検出できる優れた方法ですが検査には2時間から9時間(使う装置と原理により変わります)と時間がかかります。遺伝子検査でもLAMP法は1時間で結果が出ます。一方抗原検査は30分程度で結果がでます。LAMP法の偽陽性率は京都大学のグループによると0.1~5%¹⁾となっており、抗原検査の偽陽性のデータは今のところ山梨県立中央病院の弘津らの報告²⁾のみですが、0.3%程度となっています。これはLAMP法と同等と思いますが決して低い数字ではなく、問題になっています。抗原検査の偽陽性の原因は検体の性状による事がわかってきており、今後改善されると思います。検査の比較を表1に示します。

表1 各種検査の特徴³⁾

		核酸検出検査(PCR 等)			抗原検査(定量)			抗原検査(定性)		
		鼻咽頭	鼻腔	唾液	鼻咽頭	鼻腔	唾液	鼻咽頭	鼻腔	唾液
有症状者	発症から9日目以内	○	○	○	○	○	○	○ (※1)	○ (※1)	× (※2)
	発症から10日目以降	○	○	— (※4)	○	○	— (※4)	△ (※3)	△ (※3)	× (※2)
無症状者		○	— (※4)	○	○	— (※4)	○	— (※4)	— (※4)	× (※2)
想定場面		保健所、衛生研究所等、専門施設を中心に実施。大量処理機器や操作が簡便な機器など幅広い製品がある。			検査機器の配備が必要だが無症状者に活用できる。検査センターや一定規模以上の病院で活用。			検査機器の配備が不要。対象者は発症2日目から9日目の有症状者の確定診断。発熱患者の迅速診断に有効。		

※1;発症2日目から9日目以内の有症状者の確定診断に用いられる。

※2;有症状者への使用は研究中。

※3;使用可能だが陰性の場合は鼻咽頭PCR検査を行う必要あり。

※4;推奨されない。

コロナ陽性者の入院治療を行っている病院ではPCR検査を院内で実施し始めた施設が多いようです。要因としては検査結果の信頼性と時間です。少ない感染症のベッドを結果が出るまで占領できないからです。院内で検査できれば遅くとも数時間で結果が出ますが、外注ですと2日程度かかってしまいます。鼻咽頭というのは鼻の奥、綿棒を半分程度中に入れないと届きません。鼻腔は鼻の穴から2センチほどのところ。鼻腔と唾液は患者自身での採取も可能です。抗原検査の定性は検出できるウイルス量の違いから発症2日目から9日目のみ確定診断できるとなっています。発症からのウイルス量の変化を図1に示します。10日目になると急激にウイルス量が減っていることがわかります。

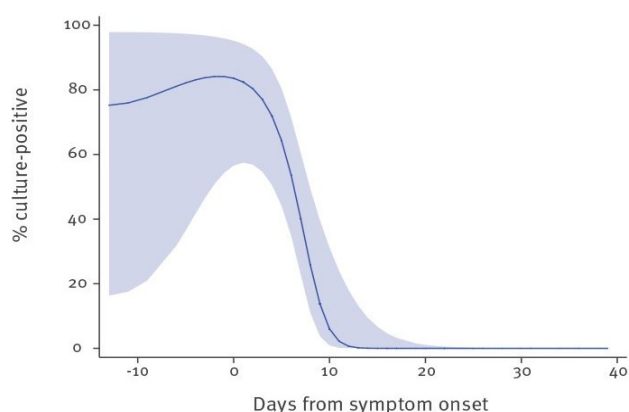


図1 ウイルス分離結果と発症からの日数の関係⁴⁾

5. 今後について

11月中旬を過ぎて、茨城県内は急に陽性者の数が増加しています。土浦の飲食店街で発生したクラスターは一般家庭からの濃厚接触者の増加となり、全ての濃厚接触者が把握できているか不安な状況です。学校や職場での二次感染が広がりつつあります。私の勤務する病院ではコロナに関する全体研修を3回行いました。今は集まらないので全てDVD履修です。その内2回は私が作成しました。1回目は2月に行い数学共楽会の皆様にも一部見て頂きました。感染症の歴史やAIが予測する世界の状況などわかる範囲で注意を呼びかけました。2回目は玄関でのトリアージ見本を外来看護師が作成しました。3回目はこれから履修が始まりますが、入院していた患者さんがコロナ陽性と発覚したという想定でシミュレーションをドラマ仕立てに作りました。ドラマの結末は1週間の入院中止と一部の外来診療中止で感染の拡大は職員には起こらなかったということにしました。職員の体調管理シートの記入や飲食など5人以上での会合を自粛するなど医療従事者として自覚をもって感染対策を徹底していた効果として描きました。しかし、実際には思うようにはならないかもしれません。職員がどこかで感染するかもしれず、相談できずに広まってしまう可能性もあります。相談しやすい職場環境を日頃から心がけようと思います。退職に追い込まれた、引っ越したなど胸が痛くなる話は辛いです。ワクチンと治療薬が普及するまで我慢をしなければならぬことも沢山あります。自分に出来ることは数少ないですが、目の前の患者さんの話をよく聞いて不安がないようにして差し上げること、若いスタッフに不安があればそっとフォローすることなど心がけようと思います。

参考文献

- 1)簡易抽出法を用いた場合の LAMP 法検査における偽陽性について
京都大学大学院医学研究科臨床病態検査学研究室のページより
- 2)富士レビオ ルミパルス SARS-COV2 抗原 感度 55.2% 特異度 99.6% 偽陽性率 0.3%
Yosuke Hirotsu et al. International Journal of Infectious Diseases99 (2020)
- 3)新型コロナウイルス感染症(COVID-19)病原体検査の指針 第1版 2020年10月発行
厚労省、国立感染症研究所、日本感染症学会他
- 4) Singanayagam A. et al. Eurosurveillance 25:2001483, 2020

学校の教育活動における養護教諭のリスク認識

ー学校救急看護の視点からー

笹川まゆみ（大学院生活健康科学プログラム修了）

1 研究目的

近年、子どもたちの安全を守ることは学校の第一の役割であるとして、学校の危機管理について厳しい目が向けられてきている。養護教諭の職務等に関する全国調査（日本学校保健会、2012）によると、救急処置に関する校内研修の企画に「取り組んでいる」のは58%であり、「取り組んでいない」理由等については明らかにされていない。先行研究についても、危機管理の視点から校内救急体制の整備に関する研究は散見される程度である。

そこで本研究では、学校救急看護を担う養護教諭が、自校の救急体制の状況をどう捉え、職員研修にどう取り組んでいるか、さらに、学校環境や教育活動にどのようなリスク認識を持ち、どう対処しているかの実態を明らかにすることで、学校安全に養護教諭が果たす役割を明らかにすることを目的とする。

2 研究方法

調査期間は2019年6月～7月、A県内の小学校・中学校・義務教育学校・中等教育学校・高等学校・特別支援学校の養護教諭916名（849校）を対象とした。調査方法は、無記名自記式質問紙調査を郵送法により実施し、回答の提出をもって研究参加の同意を得たものとした。調査内容は、勤務校の危機管理や救急体制の状況および養護教諭のリスク認識など学校安全に係る実態が明確になるように質問項目を設定した。分析にはフリーソフトHAD, Excel2010を使用した。各項目の実数、比率を求め、校種や学校規模、養護教諭の属性等との関連の有無を調べるために χ^2 検定を用い、有意水準は5%未満を採用した。自由記述は質的な分析手法に則り分析を行った。

3 倫理的配慮

放送大学研究倫理委員会に申請し承認を得て実施した（通知番号2019-2）。

4 結果

有効回答数は274名（29.9%）であった。救急処置の記録やスポーツ振興センター災害共済給付データを「活用している」養護教諭は237名（86.5%）、「危機管理マニュアル」の全職員への説明が「あった」168名（61.3%）、事故発生時の対応について職員を対象としたシミュレーション研修など実践的な訓練を行っている養護教諭は200名（73.0%）であった。 χ^2 検定により有意差が認められたのは、小学校は中学校や高等学校よりも実践的な職員研修を行っている率が高く [χ^2 （2）=19.460, $p < 0.001$, $n = 247$]、救急持ち出しセットの整備・表示に取り組んでいる人は、そうでない人より行っている率が高い [χ^2 （2）=10.147, $p < 0.01$, $n = 269$] であった。なお、 χ^2 検定は無回答を除いて行った。

研修企画案作成者は181名（90.5%）、そのうちの134名（73.5%）が単独で作成していた。企画時に教職員の当事者意識を高め全員参加を目指し、実施時期や時間、養護教諭不在時や自校の児童生徒を想定した内容であることが記述から示された。一方、職員研修を行っていない主な理由は、「研修時間の確保が困難」65名（78.3%）、「シミュレーション研修の経験がなく企画が困難」であった（図1）。

自校の救急体制に「不安がある」43名（15.7%）、「どちらかと言えば不安がある」148名

(54.0%)と約70%が不安を感じていた。不安の内容は「応援職員の対応」58.4%、「養護教諭としての判断・救命処置」54.2%、「第一発見者の救命処置」52.1%であった。

日常の救急処置や校内巡視などを通して、「リスクに気づくことがある」228名(84.1%)、気づいて管理職等に連絡・相談するなどのリスク対処行動をとる205名(91.5%)、行動しない19名(8.5%)であった。

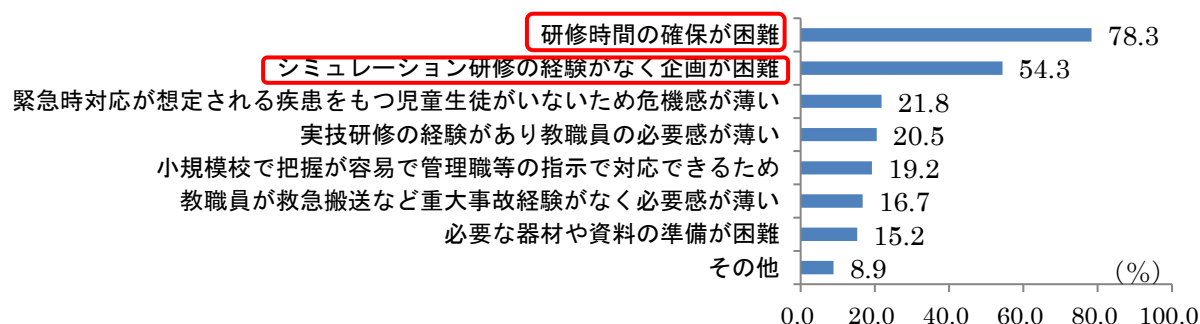


図1 実践的な職員研修を行っていない理由 複数回答 n=78

4 考察

(1) 養護教諭の救急体制への不安内容

救急体制の不安内容として、養護教諭の半数以上が挙げていた「かけつけた応援職員が指示者になれるか」、「第一発見者が救命処置をできるか」など、教職員救急処置の力量への不安であった。

鈴木(2009)¹⁾は、職員研修として一次救命処置の一連の流れを体験でき、実際に自分が関わる可能性や規範意識を高められるものが必要としているように、本調査においても、不安を軽減するためには、場面や役割を設定した実践的な研修が必要であると言える。

(2) 実践的な職員研修に関わる内容

本調査では、実践的な職員研修を行っていない理由に教職員の危機感が薄いことや、「時間の確保が困難」、「シミュレーション研修の経験がなく企画が困難」が多く選ばれていたことから、実践的な職員研修の実現には、研修時間の確保や研修内容及び方法の検討が必要であり、養護教諭のみでなく、組織的な企画運営が必要であることが示唆された。

(3) 養護教諭の学校安全における役割

養護教諭は、日々の救急処置や校内巡視、環境の点検・整備などを通して、リスクに気づいて対処していることから、日常的に学校安全に大きな役割を果たしていると言える。

(4) 学校安全体制構築への管理職の役割と展望

留目(2012)²⁾は高等学校の校長へのインタビュー調査から、学校保健を重視した学校経営を行う校長は、養護教諭が発言する組織風土を形成していることを明らかにしている。本研究においては、危機管理マニュアルについて全職員に説明があったのは約6割であったことから、校長の危機管理に対する認識が、学校安全体制構築に影響を及ぼしていることが窺えた。

<主な引用文献>

- 1) 鈴木みゆき・大谷尚子：小学校教員の救急処置にかかわる体験・意識の実態と救急処置行動の意思に関連する要因，学校救急看護研究，4(1)，60-71，2011
- 2) 留目宏美：学校保健を重視した学校経営に対する認識—公立高等学校校長へのインタビュー—，学校保健研究 53，39，2012

研究論文

県立高校における地域との連携に関わる実践

—体験的地域学「つくばね学」をととしたキャリア開発に向けて—

茂呂 輝夫（大学院修士選科履修生）

1. はじめに

本稿では茨城県立筑波高等学校における体験的地域学「つくばね学」の立ち上げの経緯から現在までを振り返り、今後の進むべき学校の将来像と生徒のキャリア開発について参考文献をもとにして検討し、併せて、学校と地域との連携の背景、高大連携の重要性に関して同様にして論述する。

1.1 文献による学校と地域との連携の背景、高大連携の重要性

「今後の学校におけるキャリア教育・職業教育の在り方について(答申)」(中央教育審議会, 2011)¹⁾では、就職希望者が多い高等学校において地元の企業や施設との協力の下、学校設定科目として企業実習や社会で必要とされるコミュニケーション能力を養うことを目的とした科目を設け、職業教育を行っている事例が示されている。さらに、大学・短期大学・専修学校での学習を学校外の学習として単位認定する制度の積極的な活用も推奨されている。そこで、学校から社会や職業への移行が円滑に行われるようにしていくために、「今後の青少年の体験活動の推進について(答申)」(中央教育審議会, 2013)²⁾では、子どもたちに社会的・職業的自立に必要な力を身に付けさせる重要性が提示された。特に、子どもたちに自らの将来を考えさせるためには、多様な年齢・立場の人や社会や職業にかかわる様々な現場をとおして、自己と社会についての多様な気づきや発見を経験させることが効果的であると報告されている。それゆえ、地域の企業等における職場体験活動・インターンシップは、「働くこと」の意義を実感として理解し、社会・職業についての現実的理解を深めるために極めて重要な取り組みであると考えられる。

「学び続ける社会、全員参加型社会、地方創生を実現する教育の在り方について(第六次提言)」(教育再生実行会議, 2015)³⁾では、地域を担う人材育成として、地域の人々の協力を得て、地域に誇りを持つ教育や地域貢献の意識を涵養する教育を充実すると提言された。その中でも地方創生のために地方公共団体、企業、大学、産業界等と連携した長期間の実習により、地域産業を担う人材の育成を推進するとした。

地域における学校との協働体制の目指す姿として、「新しい時代の教育や地方創生の実現に向けた学校と地域の連携・協働の在り方と今後の推進方策について(答申)」(中央教育審議会, 2015)⁴⁾では、郷土学習の場合は地域住民と学校とが相互に知識と経験、物や施設を提供し合って教育活動を行うことが望ましく、地域の伝統文化の継承者が生まれ、地域の発展の芽が育っていくことが期待できると示した。

さらに、高等学校学習指導要領(2018 告示, 文部科学省)⁵⁾の総則では、キャリア教育及び職業教育を推進するために、生徒の特性や進路、学校や地域の実態等を考慮し、地域や産業界等との連携を図り、産業現場等における長時間の実習を取り入れるなどの就業体験活動の機会を設け、地域や産業界等の協力を得ることが示された。そこで、教育課程においては普通科では生徒の特性や進路、学校や地域の実態等を考慮し、適切な職業に関する各教科・科目の履修の機会の確保が求められている。一方、「発達段階に応じた望ましい体験の在り方に関する調査研究～「体験カリキュラム」の構築に向けて(中間まとめ)」(国立青少年教育振興機構, 2020)⁶⁾では、社会を生き抜くための 12 の資質・能力を支える 20 の体験を選定し、多様な体験を土台とした子供の成長を支える環境として取りまとめて公表した。その 20 の体験の中に地域行事、社会貢献、職業体験の3つがあげられている。

1.2 地域と関わり、社会に役立つ活動をととした就業体験

就業体験の実施が各県でも行われており、「高校と地域づくりについて(文部科学省提出資料)」(文部

科学省, 2019)⁷⁾などに掲載されている。今後も、各県において学校と地域連携に関わる取り組みや教育実践報告などが期待されるであろう。これらの近年における教育の流れと新高等学校学習指導要領を踏まえると、高等学校が自治体、高等教育機関、産業界と協働してコンソーシアムを構築し、探究的な学びを実現する取り組みを推進しつつ地域振興の核としての高等学校の機能強化を図ることが求められていると理解できる。

2. 体験的地域学「つくばね学」の立ち上げの動機と経緯

2.1 「つくばね学」の立ち上げの背景

2013年4月に地域連携の先進校を全国レベルで検索したところ、岡山県立矢掛高等学校の記事がベネッセ VIEW21 (2011-12号)に掲載されていた。同校は岡山県西部の中山間地域に位置し、高齢化や過疎化といった課題を抱える地域にある。そのような中で、新しい改革を行い、2004年度に岡山県立矢掛商業高校と統合し、新しい矢掛高校が誕生した。学校の規模は1学年5学級となり、単位制普通科高校として再出発することになった。同校は、学校設定科目「環境」の中から、地域連携やボランティア活動に関する部分を発展させた「やかげ学」を考案した。それは、生徒に目的意識を持たせ、規律ある学校生活を送らせるにはどうしたら良いか検討した結果、自分たちの学校がある町のことを知り、学校外の人と触れ合うことで生徒は変わるのではないかという理由からであった。矢掛町のことを勉強しながら将来を考えていく機会にし、生徒が受け入れ先で感謝されることで、自己肯定感の高揚をねらいとして2010年より教育事業が展開されている。

2.2 「つくばね学」試案の作成と経緯

本校職員が2013年12月に第1回目として新しい矢掛高校を訪問し、特色ある学校運営について説明を受けた。その内容を本校に持ち帰って全体で検討したところ、学校活性化と地域連携、生徒のキャリア開発に効果が期待できるとの結論に至った。そこで、翌年の2014年6月に第2回目の訪問を行い、その視察内容について入念に学校全体で検討を加えた。そのようにして、地域連携事業導入に向けての本校独自の「つくばね学」を試案し、作成した。以下に示す。

表1 「つくばね学」試案(2015年)

【筑波高校「つくばね学」構想プラン】
●「つくばね学1」…2年生全員履修 ①座学(4月～7月) ・つくばの歴史、産業、社会問題全般について、つくば市の出前授業を活用する。 ・社会福祉協議会ボランティアセンター企画の福祉体験授業を取り入れる。 ・外部講師によるマナー指導(あいさつ、礼儀作法)を行う。 ・ハローワーク職員によるキャリア教育を導入する。 ・実習先の各施設担当者より、事前ガイダンス(校内)を実施する。 ②実習(9月～2月) ・各施設にて実習(約15回)を行う。 ③中間発表(2月25日)…これまでの実習体験をまとめて校内で発表する。 ※A類型(特進クラス)は「つくばね学1」のみの履修になるので、1年間の成果をまとめて発表する。
●「つくばね学2」…3年生B類型(2～4組全員)のみ実習を継続する。 ①実習(4月～7月)

- ・各施設にて実習(約 10 回)を行う。
- ②まとめと発表(9月～12 月)を行う。
- ・12 月の全体発表に向けて「つくばね学」での成果をまとめ、ステージで発表する。事前に、発表原稿の作成およびポスター発表の準備をする。

「つくばね学」試案を作成しながら、つくば市生涯学習課と座学の市民講座について相談したり、つくば市商工会へ「つくばね学」チラシ 3500 部の配付をお願いしたりした。実際に、地元の酒造場、薬局、介護施設、福祉センター、伝統芸能団体などへ教員が直接出向き、協力依頼も行った。同時に、つくば市教育委員会をとおして小学校や保育園などでのインターンシップの受け入れを打診した。そのような職員の努力により、2016 年 4 月「つくばね学」の開講に向けて、着々と準備が進んでいった。

3. 「つくばね学」の開講

3.1 「つくばね学」の申請について

事前の茨城県教育委員会への学校設定科目の申請許可を受けて、2016 年 4 月より「つくばね学」がよいよ開講することになった。その内容として、筑波高校 2～3 学年で取り組む「つくばね学」では、毎週金曜日の午後の授業において学校周辺の各施設で 1 年間の実習を行い、社会性やコミュニケーション能力の向上を目指していくことが重視された。また、地域に対する理解を深める地域密着型の体験的学習をとおして、「地域に支えられ、地域を支える高校生」を育成することも必要とされた。

3.2 新しい体験的地域学「つくばね学」について

【目標】

地域との連携を重視した様々な形態の学習活動をとおして、他者との関係性、社会との関係性、自然環境との関係性を認識し、「かかわり」「つながり」を尊重する態度を養う。また、社会に積極的に寄与する能力を育成するとともに、持続可能な社会が実現できるような価値観と態度を養う。

【具体的なねらい】

- ・体験的な活動をとおして、学ぶことの楽しさと体験学習の意義を理解する。
- ・地域の体験施設や人材を活用することにより、郷土や文化に対する理解を深めると同時に、社会人として必要な資質を身につける。
- ・校外の幅広い年齢層の方々との交流、異学年との交流活動、発表会や報告会を行うことにより、コミュニケーション能力とプレゼンテーション能力を育成する。
- ・人間関係を築く力、社会に参画し寄与する態度、規範意識や公共心の育成を図る。
- ・自己の生き方と在り方を考え、職業観や勤労観を育むことで、自尊感情のある自立した個人の確立を目指す。

【つくばね学】(2年生:総合的な学習の時間 2 単位で全員受講)

2 年次の 4～6 月に「つくば市のまちづくり」「つくば市の文化」「つくば市の歴史」「社会人としてのマナー」等の講義を受け、郷土つくば市についての理解を深める。7 月に実習先を決定して 9 月から各施設で実習を行う。

【つくばね学探究】(3年生:B 類型の生徒のみ学校設定科目として 2 単位受講)

3 年生の 4～7 月まで 2 年生と同じ施設で実習を行う。8 月に 2 年生へ活動の引き継ぎをして実習を終了する。9 月以降は「つくばね学」実習の成果をまとめ、12 月には地域に向けてつくばね学発表会を行う。

なお、2019 年度入学生より A 類型(特進クラス、現在はアカデミックコース)の生徒も B 類型の生徒同様に、「つくばね学探究」を受講できるように教育課程を変更した。

表2 平成 28 年度つくばね学年間予定表 茨城県立筑波高等学校(2016.3.31 現在)

日 程			2 年 生		3 年生 (※平成 29 年度の参考)	
月	日	曜	内 容	場 所	内 容	場 所
4	8	金	つくばね学刈エンターション	各教室	つくばね学刈エンターション	各教室
4	15	金	座学①(マナー講座)	視聴覚室 社会科室	実習 (つくばね学探求①)	各施設
4	22	金	座学②③(つくば市の概要, つくば市の観光物産)	視聴覚室 社会科室	実習 (つくばね学探求②)	各施設
5	6	金	座学④(つくば市の歴史) 座学⑤(つくば市の文化財)	視聴覚室 社会科室	実習 (つくばね学探求③)	各施設
5	13	金	1 学期中間考査	各教室	1 学期中間考査	各教室
5	20	金	座学⑥(つくば市の福祉)	体育館	実習 (つくばね学探求④)	各施設
5	27	金	座学⑦(福祉体験演習)	体育館	実習 (つくばね学探求⑤)	各施設
6	10	金	座学⑧(つくばね学と進路)	各教室	実習 (つくばね学探求⑥)	各施設
6	17	金	座学⑨(つくばね学と進路)	各教室	実習 (つくばね学探求⑦)	各施設
6	24	金	1 学期期末考査	各教室	1 学期期末考査	各教室
7	1	金	座学⑩(各実習施設の説明)	視聴覚室	実習 (つくばね学探求⑧)	各施設
7	8	金	座学⑪(自己紹介カード)	視聴覚室	実習 (つくばね学探求⑨)	各施設
8	26	金	施設打合せ準備 (午前)	各施設		
8	26	金	施設打合せ (午後)	各施設		
9	2	金	実習に向けての事前準備	各教室	演習(つくばね学と進路)	各教室
9	9	金	実習①(2 年生実習初日)	各施設	演習(実習のふり返し①)	視聴覚室
9	16	金	実習②	各施設	演習(実習のふり返し②)	
9	23	金	実習③	各施設	演習(実習のふり返し③)	
9	30	金	実習④	各施設	演習(実習のふり返し④)	
10	7	金	2 学期中間考査	各教室	2 学期中間考査	各教室
10	14	金	実習⑤	各施設	演習(発表準備①)	各教室
10	21	金	インターンシップ	各施設	演習(発表準備②)	視聴覚室
10	28	金	実習⑥	各施設	演習(発表準備③)	図書室
11	11	金	実習⑦	各施設	演習(発表準備④)	社会科室
11	18	金	実習⑧	各施設	演習(発表準備⑤)	
11	25	金	2 学期期末考査	各教室	2 学期期末考査	各教室
12	2	金	実習⑨	各施設	演習(発表リハーサル準備①)	視聴覚室
12	9	金	修学旅行結団式	体育館	演習(発表リハーサル準備②)	図書室
12	16	金	保護者面談特編授業	各教室	演習(発表リハーサル)	筑波庁舎
12	17	土	つくばね学発表会	筑波庁舎	つくばね学発表会	筑波庁舎
1	13	金	百人一首大会	各教室	百人一首大会	各教室
1	20	金	実習⑩	各施設	演習 (発表会を終えて)	各教室

1	27	金	実習⑪	各施設	学年末考査	各教室
2	3	金	実習⑫	各施設	3年生は2月より自由登校	
2	10	金	実習⑬	各施設		
2	17	金	座学(中間報告会準備①)	各教室		
2	24	金	座学(中間報告会準備②)	各教室		
2	25	土	つくばね学中間報告会	体育館		

3.3 「つくばね学」で何を学ぶのか

表3「つくばね学」の取り組みにあたって

(1) 生活習慣の確立:まず、欠席・遅刻をしないようにする。家庭学習を始める時間を決め、それを繰り返す。繰り返したら習慣になる。習慣になれば楽に始められ、勉強時間が自然に増えていく。そして、状況に応じた頭髪・服装、話し方を学ぶ。学校だけでなく社会で通用する水準を知る。それらが自然にできなければいけない。
(2) 学力の向上:まず、予習・復習をする。授業では内容をその場で理解し覚えるくらい集中する。授業中に覚えれば、家庭学習がスムーズに進む。提出物や小テストを期限内にこなすリズムを作る。そのリズムができると、少ないエネルギーで多くのことが頭に入る。
(3) 高い志望づくり:生活習慣も学力向上も、将来の夢や希望があると、自分の気持ちが前向きになる。今ある人は「もっと高く」つくり、まだない人は「仮に」つくる。つくばね学で様々な体験をし、授業や実習をとらえて自分の力で情報を仕入れ、修正や入れ替えをする。

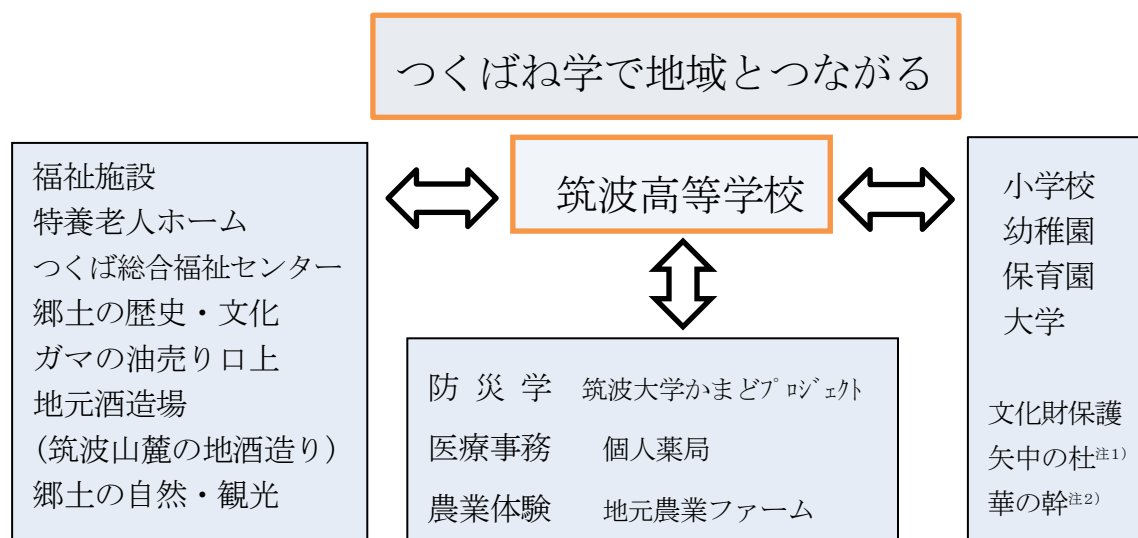


図1 「つくばね学」の構造化

生徒のキャリア開発のために、「つくばね学」を核とし、具体的に図式化した。特に、定期的に地域社会に出かけ、外部講師の指導を受けることにより、生徒の様々な新たな気づきと社会に出る準備やその心構えを模索していく成長を期待した。

4. 開講後の「つくばね学」

社会人として必要な資質を身につけることを目標とした「つくばね学」が開講されて、本年度で5年目を迎える。その間、受け入れ実習先に多少の変更が見られたが、特に大きな問題はなく生徒は体験活動を進めることができた。



写真1 近隣の小学校での学習支援



写真2 地元酒造場での地酒づくり



写真3 筑波大学かまどプロジェクト



写真4 特養老人ホーム



写真5 ガマの油売り口上



写真6 矢中の杜での文化財保護活動

生徒の活動として、近隣の小学校で学習支援(写真1)を行い、小学生とのふれあいから、学びの楽しさと大切さを再認識した。地元酒造場での地酒づくり(写真2)では、筑波山の湧き水を使った伝統的な日本酒づくりを体験した。筑波大学のかまどプロジェクト(写真3)では、レンガを使って災害時の炊き出しかまど作りを行った。特養老人ホーム(写真4)では、介護の現場での高齢者福祉について直接体験ができた。ガマの油売り口上(写真5)については、筑波山の伝統芸能文化を高校生が継承し、みごとな口上を披露した。矢中の杜での文化財保護活動(写真6)では、地域の大変な憩いの場の管理を行った。

5. 筑波学院大学との連携

地域体験学習である「つくばね学」の講座の1つとして、高大連携協定を締結したことにより、2019年度入学生から筑波学院大学にて、大学教員の講義を受けることが可能となった。2年次(2020年)の2学期か

ら3年次(2021年)の1学期にかけて約1年間、毎週金曜日の午後、筑波学院大学にて様々な講義を受講し、「つくばね学」として単位認定(学校外学修単位認定)される。講義は、筑波学院大学教員による「グローバルコミュニケーション」「情報デザイン」「メディアデザイン」などの内容を予定しており、高大連携事業として県内でも極めて画期的な取り組みとして注目されている。特に、地域社会だけではなく、研究学園都市つくばにある大学とのつながりを深めることにより、生徒のキャリア開発に期待が持たれている。(なお、2020年2～3学期の講義は、新型コロナウイルス感染防止の観点から筑波高校で実施している。)

6. 考察

6.1 文献よりの考察

各県の取り組み等を文献利用としながら、本校の取り組みについて2つの視点(1)、(2)を重点に、それに関連する内容を加え、考察した。

(1)過疎化の問題;全国的な少子高齢化に関して、地域と学校の連携について検討する。学校と地域との連携の背景には、全国規模で進行しつつある過疎化の問題が潜んでいると考えられる。文献で田村ら(2013)は、過疎化地域の高校や福祉施設へ大学教員を派遣することは、広範囲な意味での地域貢献と位置づけ、積極的な高大連携の機会提供は望ましい活動であると報告している⁸⁾。そして、過疎化問題は、4もはや看過することのできない大きな社会問題であり、過疎化地域の努力のみによって解決できる問題で

はないと指摘した。全国的な人口の減少は、全国規模での過疎化状態が年々深刻になっているとも考えられ、地域人口が減少している市町村にとっては喫緊の対応が必要であろう。さらに、屋敷(2017)は、各都道府県では高校の望ましい規模(適正規模)を設定し、それを下回る場合は統合の対象となるが、過疎地域があり小規模校を抱える地方圏の道県ではその適正規模とは別に小規模校の統合基準を別途設けていることを指摘している⁹⁾。しかも、その適用については地域の事情を考慮するとされ、現実には基準に達しても統合に踏み切らないケースも増え、その背景には近隣の高校に統合されて地元に高校がなくなることにより、実質的に高校教育の機会を失う生徒が出てくる恐れがあると説明している。このような実態もあり、過疎化が進みつつある地域においては、高校存続が地域存続となりうるとも考えられるであろう。そのような背景がある中で、全国的な規模で地域活性化と学校存続を目指して地域と協働している学校もある。

(2)過疎化の対応;静岡県立川根高等学校は、静岡県で唯一全国公募をしている学校である。町の活性化及び将来的な人口増加を期待する町の行政と、高校の存続を目指す学校が生徒数増加という共通の目標を持って地域連携を行っている。新林(2020)によると、寮が整備された2014年以降急激に川根地区以外の入学生の増加が見られた。同時に、町の行事(商工会の行事、防災訓練、観光行事など)での高校生によるボランティア活動を積極的に取り入れてきたことも入学生増加のひとつの要因であるとしている。今後も、高校生の町での活動をさらに増やすことで、町と高校のより一層の活性化につなげていきたいと報告している¹⁰⁾。

(3)高校生のキャリア開発;川合(2019)は学校以外の外部との関わりは、より具体的に現実的な勤労観・職業観を育成する上で効果があると報告している。その中で、高校生にとって計画的・系統的なキャリア開発は極めて重要であり、高校生のキャリア発達課題に即した目標設定が求められることを明らかにした。今後、勤労観・職業観を育み、世の中の情報を冷静に判断できる力を養うために、キャリア教育の必要性はますます高まると指摘している¹¹⁾。

樋田(2020)は、地域の特色を生かした教育は、地域を新しい高等教育の資源とし、地域活性化の核として位置付ける有効性を文部科学省は提示していると報告した。それゆえ、地域の特色がもたらす高校の魅力度の増加により、学校の統廃合回避効果が期待できるとした¹²⁾。確かに、少子化のあおりを受けて、

各県では県立高校の統廃合や学級減を検討していることは事実である。また、人口減少と高齢化による地域活動の低迷化が危惧されている地区も見受けられている。そのように考えると、県立高校の存続のためだけでなく、地域資源を活用し、地域住民を巻き込んだ地域活性化事業は地域存続の生命線であるとも言えるであろう。

2017 年3月に地方行政の組織及び運営に関する法律及び社会教育法が改正され、地域と学校の連携・協働の推進に向け、学校運営協議会の設置が努力義務化された。そこで、「地域との協働による高等学校改革の推進について(通知)」(文部科学省, 2018)¹³⁾では、社会教育関係者をはじめ地域の多様な主体と学校が連携・協働し、高校生が地域課題を解決する取り組みを地域住民や団体等とともに企画・実施することは、生徒の主体的・対話的で深い学びの実現に大きな意義を持つものであると示した。地域への愛着や地域の将来を担う当事者としての意識向上など、地域の持続的な発展にも資することが期待されている。これらの法改正からも、学校と地域の連携は全国規模でどの地域でも早急に実施され、お互いを支え合う形で進むべきであると考えられる。

(4)体験的地域学「つくばね学」;今後、学校運営協議会(コミュニティ・スクール, 以下 CS)の導入や、それに伴う CS ディレクターの委嘱なども検討する必要性が出てくるかもしれない。そのように考えると、さらなる地域との連携を図るためには、どのような方策が最適であるか、地域の方々とともにじっくりと検討する必要性も出てくるであろう。また、研究学園都市であるつくば市の生徒数の減少は見られていないが、それ以外の地域では減少数が著しい地域もある。今後の全国的な人口減少傾向を見据えて、地域と学校の連携について生徒や地域の実態に応じた再考を加える必要性も考えられる。

(5)高大連携の検討;「技術の進展に応じた教育の革新、新時代に対応した高等学校改革について(第十一次提言)」(教育再生実行会議, 2019)¹⁴⁾では、国は新高等学校学習指導要領を踏まえた探究的な学習活動を推進する観点から高等学校が市町村、産業界、高等教育機関、社会教育施設等と協働して地域課題の解決等を通じた学びを実現する取り組みを推進すると示した。さらに、国及び地方公共団体は高等学校と地域との組織的・継続的な連携・協働体制を確定し、学校外の人的・物的資源の一層の活用をとおして、「社会に開かれた教育課程」の実現を図るため、高等学校における「チーム学校の実現」、高等学校の特性を踏まえたコミュニティ・スクール(学校運営協議会制度)の導入・活用と地域学校協働活動を推進するとした。高等学校段階で地域の産業や文化への理解を深めることは人材育成の観点のみならず、その後の地元定着やUターンなど地方創生の観点からも重要である。それゆえ、高等学校は地域問題発見・解決に向けた探究的な学習活動について地域や大学等と連携し、高大連携によるカリキュラム開発の推進が求められている。

現在、「つくばね学」に加え、本校では高大連携事業の一つとして高校生公開授業「オンラインによる大学講義」の受講を奨励している。希望者の申し込み制で、放課後に毎週 90 分の授業を受け、受講状況を確認の上、参加高校生には大学から修了証書が交付される。さらに、この事業は本県高等学校生徒の学校外における学習の単位認定制度に基づいており、高校の単位として認定できる。このような取り組みの紹介をとおして、大学での学びを意識させ、進学意欲の向上につなげている。

次年度以降、「つくばね学」を中心にした高大連携をさらに広げて、高校生のキャリア開発プログラムを推進していく方向である。例えば、1年生の入学後すぐに、大学の大講堂でキャリアガイダンスに関する講義を実施し、早い時期から大学進学を意識させることも一つの方策であろう。また、生涯にわたって学び続ける必要性を理解させ、大学で何を学びたいのか、どんなことに興味があるのか、自己発見やキャリア開発を進めていくことも有効であろう。そのためには、生徒の学習ニーズを調査し、大学側と調整する必要性も出てくる。さらに、受講終了後のキャリア発達に関する統計的調査の実施も必要となってくる。本校生徒

のさらなるキャリア開発には高大連携は必須であり、生徒の実態に応じた適切なプログラムの検討を行い、PDCAサイクルに基づいた教育実践が期待される。

7. 今後の展望

学校と地域の連携を通じた地域を支える人材育成に関して、文献で江上(2020)は今後の課題の1つは多様な回答者からのデータ(高校生とその保護者のデータ、卒業生のデータ)の収集と分析であると報告した¹⁵⁾。確かに、高校と地域との連携において、効果的であったのか確認するためには統計的な分析が必要である。今後は文献で江上が述べた高校生の事前や事後、一定期間後の調査、保護者や受け入れ側を含めた関係者への調査、インタビュー分析なども検討されるべきであろう。

また、文献で奥田(2019)は、高校時代のキャリア教育が高校卒業後の就業にどのような影響を与えているかを分析する大規模で利用可能な全国調査は存在しないと指摘している¹⁶⁾。それゆえ、各高校が独自に生徒の高校時代の状況と卒業後の就業状況を調査したり、量的研究の蓄積をしたりする必要性がある。本校でも、卒業生の就業状況調査や可能な限り卒業生への支援を前向きに対応している。そのことが地域を支える若者を創出することにつながっており、今後も善処していく方向である。

さらに、文献で鈴木ら(2017)は、K高校の就業体験学習は職場見学や視察、仕事の試行レベルにあり、これをさらに充実・発展させるために専門的職業能力の試行に向けてレベルを上げていく必要があると報告している¹⁷⁾。そこで、具体的に課題研究のような取り組みをもって、地域の学校という特性をさらに活かして進めることが期待されると指摘した。本校でも、今後は課題研究のような形で、地域を活性化させるには何が必要なのか、一人一人が常に問題意識を持ちながら「つくばね学」の実習に参加し、その考えを沁み込ませていくことが求められるであろう。

一方、2022年度から実施される新学習指導要領では、「総合的な学習の時間」が「総合的な探究の時間」に変更され、生徒が自分で課題を設定し、自分なりの答えを出すことを繰り返す探究学習が一層重視されている。2019年度に先行実施が始まったこともあり、2020年度に探究学習を実施予定としていた高校は全体の8割に上っている¹⁸⁾。しかし、新型コロナウイルスの感染拡大を受けて、その実施率は2割弱にとどまってしまったが、現場の教師からは予測困難な事態を経験した今だからこそ、探究学習の必要性を訴える声は少なくないと思われる。

最後に、本校の体験的地域学「つくばね学」は学校活性化の根源であり、地域連携の絆である。この体験活動をととして、社会人として必要な資質を身につけ、心から郷土を愛し、協力し合う心を育てることが重要である。さらなる「つくばね学」の発展は、地域の課題について深く掘り下げて課題研究をしたり、高大連携による高校生のキャリア開発をしたりする活動に深く関わっている。今後、地域の人たちとともに発展していく学校の姿をしっかりと地域や社会全体へ提示していくことが高校の責務となるであろう。

【参考文献】

- (1) 中央教育審議会(2011.1.31)「今後の学校におけるキャリア教育・職業教育の在り方について(答申)」
- (2) 中央教育審議会(2013.1.21)「今後の青少年の体験活動の推進について(答申)」
- (3) 教育再生実行会議(2015.3.4)「学び続ける社会、全員参加型社会、地方創生を実現する教育の在り方について(第六次提言)」
- (4) 中央教育審議会(2015.12.21)「新しい時代の教育や地方創生の実現に向けた学校と地域の連携・協働の在り方と今後の推進方策について(答申)」
- (5) 文部科学省(2018年3月告示)「高等学校学習指導要領」
- (6) 国立青少年教育振興機構(2020)「発達段階に応じた望ましい体験の在り方に関する調査研究～「体

験カリキュラム」の構築に向けて(中間まとめ)」

- (7) 文部科学省(2019.4.22)「高校と地域づくりについて(文部科学省提出資料)」
- (8) 田村真広, エイムズ唯子(2013)「過疎化地域における福祉系高校の課題と展望—高大連携・キャリア教育の阻害および展開要因」『日本社会事業大学研究紀要』第 59 号, pp.271-286
- (9) 屋敷和佳(2017)「全国の公立高校再編整備の状況」『月間高校教育』2017.11 月号, 学事出版, pp.32-35
- (10) 新林章輝(2020)「中山間地における地域連携の取り組みと課題—静岡県立川根高等学校と川根本町を事例として—」『地域連携教育研究』第5号, pp.156-162
- (11) 川合宏之(2019)「これからの時代に求められる高等学校のキャリア教育—高校生の「生き方」を支えるために—」『人間生活文化研究』第 29 号, pp.93-100
- (12) 樋田有一郎(2020)「高校魅力化における「地域の特色を生かした教育」のあり方を考える—学習目標と学習効果の整合性に着目して—」『早稲田大学大学院教育学研究科紀要』別冊, 27 号-2, pp.51-63
- (13) 文部科学省(2018.8.20)「地域との協働による高等学校改革の推進について(通知)」
- (14) 教育再生実行会議(2019.5.17)「技術の進展に応じた教育の革新, 新時代に対応した高等学校改革について(第十一次提言)」
- (15) 江上直樹(2020)「学校と地域の連携を通じた「地域を支える人材」育成に関する予備的検討—北近畿地方における高校生を対象とした調査データによる若者の地域指向性の分析」『地域連携教育研究』第 5 号, pp.163-169
- (16) 奥田純子(2019)「高校におけるキャリア教育・職業教育の効果に関する研究動向」『北陸大学紀要』第 47 号, pp.37-56
- (17) 鈴木晴久, 佐藤史人(2017)「普通科・商業科併設の高等学校における地域と連携したキャリア教育の取り組みに関する実証的研究—笠田高等学校「就業体験学習」の取り組みをとおして」『和歌山大学教育学部紀要』教育科学, 第 67 集, pp.257-262
- (18) ベネッセ VIEW21, 2020-臨時増刊号「予測困難な社会を生きる力を育む 探究学習 一歩前へ」, pp.1-38

【参考 web】

ベネッセ VIEW21, 2011-12 月号「指導変革の軌跡」 pp.24-27 (岡山県立矢掛高等学校)
https://berd.benesse.jp/up_images/magazine/2011_121.pdf 最終参照日 2020 年 9 月 3 日

【注】(矢中の杜(写真 6)等)

- (1) 筑波山麓の南, つくば市北条地区に建つ旧矢中邸(現在の矢中の杜)は, 建材研究者である矢中龍次郎氏によって, 1938 年から 1953 年まで, 15 年をかけて建設された昭和の邸宅である。約 770 坪の広大な敷地内に本館(居住棟), 別館(迎賓棟)の建造物が現存し, その周囲には庭園が広がっており, 国登録有形文化財に登録されている。
- (2) 華の幹(旧青木邸)は, つくば市にある築 100 年を超える古民家である。1907 年に建てられた母屋はかなり荒廃が進んだ状態だったが, NPO 法人華の幹の古民家再生活動によって修復され, 現在は教室や展示, イベントの際の貸し出しなど地域の憩いの場となっている。

電気自動車(EV)シフトが始まっている！

葛貫 壮四郎（大学院修士専科履修生）

1. はじめに

欧州連合(EU)では、2050 年に向けて CO2 などの温室効果ガスを実質ゼロに、中国は 2060 年に実質ゼロに、米国は 2050 年には 80%削減する宣言をしている¹⁾。日本の菅首相も 2020 年11月に、2050 年に向けて CO2 などの温室効果ガスを実質ゼロにするカーボンニュートラルを宣言した²⁾。

また、新聞等のマスコミでは、SDGs (Sustainable Development Goals)³⁾や ESG 投資(Environment, Social, Governance)の記事が賑やかになっている⁴⁾。これらに伴い、各国は、脱炭素化を進めるため、2035 年を目処にガソリン車やディーゼル車の販売禁止を宣言している。

一方、2016 年のパリモーターショーにおいて、メルセデス・ベンツ会長が、中期戦略として、CASE「Connected, Autonomous, Shared & Services, Electric」戦略を発表した⁵⁾。自動車業界の 100 年に1度の変革と言われている。特に、2019 年度から、電気自動車(Electric Vehicle:以下 EV と称す)の販売や開発のニュースが多くなっている。

本報告では、EV の歴史と市場動向、EV の種類・現状、EV 使用体験を紹介する。

2. EV の歴史と市場動向

2.1 EV の歴史⁶⁾

世界で初めての電気自動車は、ガソリン車より早く、現在から約 190 年前の 1830 年代に誕生した(ガソリン車は 1886 年)。1899 年ベルギー人の土木技師ジェナッツィが製作した電気自動車、ジャメ・コンタクト号は最高速度 106km/h を記録したとある。

1900 年頃にはアメリカの自動車生産台数の 40%は電気自動車が占め、ニューヨークのタクシーは全て電気自動車と呼ばれる時代があった。

1908 年には、かの有名な「T 型フォード」が発売され、これが爆発的に売れて電気自動車の影が薄くなり、ガソリン車全盛の時代となった。

2008 年、イギリスのスポーツカーメーカー「ロータス・カーズ」の車体に、テスラが開発・製造した EV システムを乗せた、「テスラ・ロードスター」がテスラとして初めてリリースをし注目を浴びた。バッテリーとして PC に使用されるリチウムイオンバッテリーを採用し、航続距離が伸びてきて EV が注目されてきた⁷⁾。

2.2 市場動向⁸⁾

2035 年の乗用車の新車販売台数は、ハイブリッド車(HV)が 2018 年比 3.4 倍の 785 万台、プラグインハイブリッド車(PHEV)が同 17.8 倍の 1,103 万台、電気自動車(EV)は同 16.9 倍の 2,202 万台に拡大すると予測がでている(図1)。

2019 年度の実際の販売台数を図2に示す⁹⁾。テスラのモデル3(米



図1 電動車の市場予測

国)が30万台と圧倒的な台数である。次は、BASIC EU(中国)が11万台、日産リーフ(日本)は約7万台と続く。世界の販売台数の合計は221万台である⁹⁾。

2020年度もガソリン車に比べ、EVは伸びており、2020年はEV元年とも言える。

2.3 テスラ社の販売戦略

自動車会社は、一般的に販売店(ディーラー)において、営業マンが顧客に説明し販売しているが、テスラ社はネットによる販売に徹している。顧客に試乗してもらい実店舗と修理をするサービスセンターは存在する。しかも、SNSの口コミで広がり、紹介者と購入者には無料のチャージングポイントが貰える。納車は自宅まで配送してもらるか、あるいは、サービスセンターまで自分で取りに行く。サービスセンターまでいけば、簡単な操作説明はあるが、納車は30分で終了する(写真1)。

注文から納車までのプロセスは、電話とメールで行う。500万円以上もする動産をネットで購入させる戦略は人件費の節約になっている。時たま、対応が遅かったり、納品時に不足品があったりしてトラブルことがあるが、テスラ車に魅力があるため、顧客離れしないのが凄い。

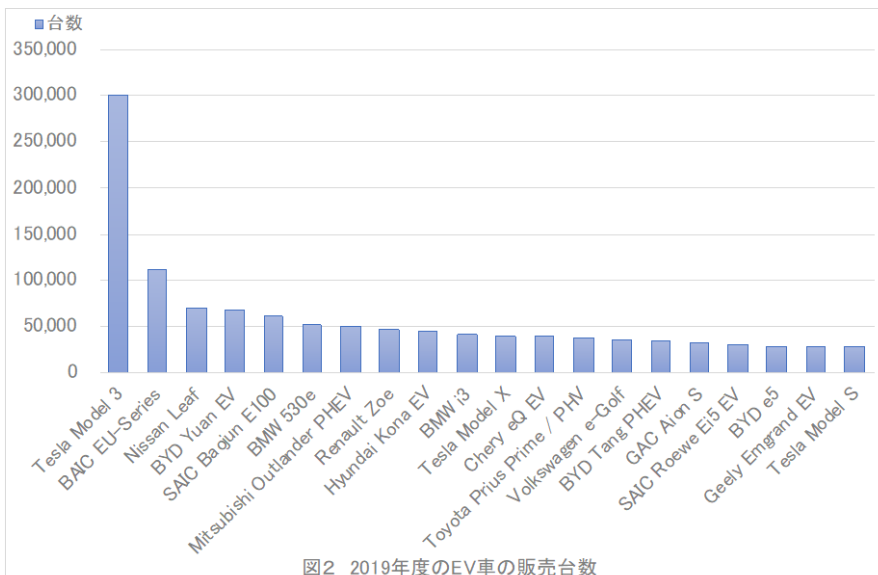


図2 2019年度のEV車の販売台数

3. EVについて

3.1 電動車の種類

電動車は、表1に示すように、モータを利用する車で、HV、PHV、EV、FCVに分類できる。

ここでEVは、バッテリーのみで走行できるため、BEV(Battery Electric Vehicle)とも言われている。

3.2 バッテリーと航続距離

EVはバッテリー容量の大きさが航続距離を決定するとも過言ではない。図3に、現在までに主に発売されているEVをプロットし、近似線を示した。20kWhのバッテリーでは約200km、100kWhのバッテリーでは、約550kmの航続距離となっている。トヨタのシーポッドは2人乗りEVで9kWhで150kmの航続距離となっており、現在、法人や自治体向けに販売する(販売価格は165万円)。一方、100kWhのバッテリー搭載車はテスラモデルXで550kmの航続距離となっている(販売価格は1,060万円)。

3.3 EVとCO2排出量



表1 電動車の種類

種類	説明	商品例
HV (Hybrid Vehicle)	モーターとエンジンを組み合わせた自動車	トヨタ:プリウス 日産:ノート
PHV (Plug-in Hybrid Vehicle)	外部電源から充電が可能なハイブリッド車	トヨタ:プリウスPHV 三菱:アウトランダーPHEV
EV (Electric Vehicle)	100%モーターだけで走る電気自動車	日産:リーフ テスラ:モデルS,X,3
FCV (Fuel Cell Vehicle)	液体水素を燃料とする電池車	トヨタ:ミライ ホンダ:クラリティ

EV は本当に CO2 排出量は少ないのかという議論が SNS などでは広がっている。これは、EV のバッテリーを生産するとき、電気エネルギーを多く使うからである。そのため、生産から廃棄までのライフサイクルで環境負荷を評価する必要がある。これを LCA(Life Cycle Assessment)という。図4は中型車の CO2 排出量を LCA で算出した例である¹⁰⁾。

製造やリサイクル時の CO2 には、エンジン車や EV で大きな差はないが、運転時は、当然化石燃料を使用するガソリン車やディーゼル車の CO2排出量は多い。HV や PHV も例外ではない。一方、EV は化石燃料を元に発電したエネルギーを使用してバッテリーを製造するので PHV より逆に多くなっている。したがって、必ずしも環境に優しいとは言えない。しかし、再生可能エネルギーを使用すると発電による CO2 排出量はほとんどなくなり、EV は一番環境負荷が少なくなる。太陽電池等のエネルギーを EV に充電する家庭内あるいは事業者内充電が普及することでこれは実現できると思う。

3.4 EV と災害

2019 年 9 月 9 日台風 15 号が千葉県に上陸し、千葉県と神奈川県を中心に 95 万戸が停電した。翌 10 日昼時点で千葉県内の 56 万戸以上が復旧しなかった。このとき、保育園や福祉施設などの給電活動に活躍したのが、日産自動車のリーフ EV である。EV は大型バッテリーを搭載しているので、このような災害にも活用できるため、自治体と自動車業界が防災協定を結んでいる。

3.5 自動運転レベルと現状

自動運転のレベルは 0～5 までの 6 段階に分けて定義されており、各レベルに応じて運転タスクの主体や走行領域が設定されている¹¹⁾。レベル 0～2 は、運転主体が人である。レベル 3～5 はシステムが主体になる。しかし、走行領域では、レベル 5 以外は限定的で人が介在する必要がある。

最近、ホンダは自動運転レベル 3 に求められる型式指定を国土交通省から取得したと発表した。これは、高速道路渋滞時など一定の条件下で、システムがドライバーに代わって運転操作を行うことが可能となり、世界初である¹²⁾。現状では、各メーカーは、レベル 2 の状態であるが、2021 年度はレベル 3 が続々認定されると思われる。

4. EV 使用体験

4.1 EV 仕様

筆者が体験した EV 仕様を表 2 に示す。

モータはデアルモータのため、0-100km/h 加速性能は 3.3 秒とスポーツカー並である。乗車人数は 5 名のセダンタイプである。

4.2 電費や運転操作感想

(1)電費コスト

2019 年 12 月に納車して以来、1 年が経過し、全走行距離は、8,578km になった。外での充電は数回のみのため、家での深夜料金(12.5 円/kWh)での充電と仮定すると全走行電費は次のようになる。なお、実際の電費は表 2 より悪く、実際の 5.27km/kWh を使用する。

$$\begin{aligned} \text{全走行電費} &= \text{全走行距離} \div \text{電費} \times \text{深夜料金} \\ &= 8,578 \div 5.27 \times 12.5 = 20,346 \text{ 円} \end{aligned}$$

表 2 EV仕様

NO	項目	内容
1	メーカー/モデル	テスラ/モデル 3 パフォーマンス
2	バッテリー容量	75kWh
3	航続距離(WLTC)	567km
4	モータ最大出力	377kW
5	充電時間(Chademo)	58分
6	EPA電費	5.5km/kwh
7	0-100km/h 加速	3.3秒
8	価格	7,273k¥

乗り換え前のトヨタ:アクアの平均燃費は 22km/l(130 円/l)で計算すると、ガソリン代は 50,688 円になり、約 2.49 倍のコスト高になる。ガソリン車は EV に比べ、10 年で約 30 万円多くかかる計算になる。

EV は、エンジン車にみられるオイル交換等のメンテナンス代はなく、航続距離が伸びる利点がある。

(2) 運転操作感想

まず、加速性能とコーナハンドリングが良いので運転が楽しい。そして、オートクルーズ機能や自動運転機能により、ブレーキ操作とアクセル操作が少なくなり、圧倒的に運転疲れが少ない。特に、高速道運転は楽である。しかし、トンネルなどで予期せぬブレーキが掛かったりするのでハンドルはいつでも操作できるように注意が必要である。今後、学習機能が進めばこのようなブレーキ操作が少なくなると思われる。

米国では、信号や停止線を認識し、かつ、ナビと連動する FSD(フル・セルフ・ドライビング)システムの β 版が一部のユーザーにリリースされはじめた。2021 年度には広くリリースされると思われる。

5. おわりに

以上、EV の期待される背景、EV の歴史・市場動向、EV の種類・現状、EV 使用体験について述べた。

自動車業界は、脱炭素化社会とデジタル社会で、100年に1度といわれる変革時期に差し掛かっており、既に EV シフトが始まっている。日本は、軽自動車をふくめて 2030 年代半ばまでに EV 化する方針である。EV シフトにより、ドイツでは関連雇用が半減するとの試算があり¹³⁾、自動車業界の構造改革が必須である。人工減と超高齢社会の日本では、バスなど交通手段の運行停止で、社会的課題になっている。そこで自治体による自動運転の実証実験も行われている。今後とも EV の進化を見守って行きたい。

参考文献

- 1) 日本経済新聞:<https://www.nikkei.com/article/DGXMZO53303800T11C19A2MM0000>
- 2) 日本経済新聞:<https://www.nikkei.com/article/DGXMZO65278360R21C20A0MM8000>
- 3) 外務省:<https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/sdgs/about/index.html>
- 4) 経済産業省:https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/esg_investment.html
- 5) CASE:<https://mb-live.jp/special-2/motorshow/motorshow-2017-10-20/>
- 6) EV 歴史:<https://ev.gogo.gs/news/detail/1490021035/>
- 7) Wikipedia:<https://ja.wikipedia.org/wiki/テスラ・ロードスター>
- 8) 富士経済(2019/8/20):<https://monoist.atmarkit.co.jp/mn/articles/1908/21/news044.html>
- 9) 兵庫三菱自動車グループ:<https://www.hyogo-mitsubishi.com/news/data20200229090000.html>
- 10) LCA:https://kurukura.jp/news/180412-7_2.html
- 11) 自動運転レベル:https://www.jsae.or.jp/08std/data/DrivingAutomation/jaso_tp18004-18.pdf
- 12) ホンダ:<https://www.honda.co.jp/news/2020/4201111.html>
- 13) 日本経済新聞:
https://www.nikkei.com/nkd/industry/article/?DisplayType=1&n_m_code=041&ng=DGKKZO67808660Z21C20A2NN1000

私の放送大学

放送大学と「食う寝る宇宙」

玉置 晋（教養学部選科履修生）¹

〈「宇宙」へのなれそめ〉

「食う寝る宇宙」というのは、私の座右の銘である。「食う」「寝る」と同等に一生「宇宙」と関わっていきたい。昔の車の CM で歌手の井上陽水さんが発していた「食う寝る遊ぶ」というフレーズが基になっていたかと思う。今から 20 年ほど前、大学受験生の私は苦悩していた。私は、子供の頃から将来は宇宙に関する仕事に就くことを目指していた。その為、宇宙を学べる大学に行かなければならない（と信じていた）。昔から天文学を目指す人は「東京大学」「京都大学」「東北大学」が相場で、それに倣って東北大学を受験したが、不合格となり東京理科大学理工学部物理学科に入学した。入学当初、宇宙関係の研究室がなくて、「宇宙」の夢、終わったなと思っていたところ、テレビで天文学者の吉岡一男先生の「天体物理学入門」が流



れていて、「放送大学で宇宙を学べるじゃないか」と気づいたのが、放送大学との出会い。当時は放送大学に入学はせず、本屋でテキストを買って、勉強していた。大学 2 年の時に、幸運にも宇宙物理学関係の先生が赴任されてきて、その先生の研究室への配属を目指すことになる。研究室配属の希望が通るかは、原則、成績順なのだが、私と同様に宇宙を学びたい連中がゴロゴロいる大学である。私の成績は当落線上の水準だったと思う。で、どうしたかというと、ボロボロになった放送大学の「天体物理学入門」のテキストをもって、研究室に行き、宇宙を学びたい熱意を先生に伝えたところ、無事に研究室に配属された。

宇宙の勉強をしている中で、「宇宙天気」という分野を知った。西暦 2000 年 7 月。ノストラダムスの大予言がはずれて、世の中が「ミレニウム」と騒いでいた頃である。恐怖の大魔王は降ってこなかったけれども、人工衛星が降下をはじめた。日本の X 線天文衛星が太陽活動の活発化により、熱膨張した地球大気にブレーキをかけられて、制御不能になった。2001 年 3 月 2 日に大気圏に突入して消滅した。この事故は、私の人生の岐路の一つとなった。今度は「宇宙天気」を学べる大学を探した。意外なことに地元の茨城大学に研究室があった。ちょうど地元茨城に戻りたいと感じていた事もあり、茨城大学大学院に進学した。ここで出会った恩師、野澤恵先生はその後の私にとってはキーパーソンとなる。

そして、2003 年 10 月は私の人生最大のターニングポイントが起きる。「ハロウィン・イベント」である。太陽表面で起きた大爆発は地球を周回する人工衛星に深刻なダメージを負わせた。この事は私の人生にも大きな狂いを生じさせた。当時、日本の火星探査機の火星軌道投入失敗やロケットの打上げ失敗等が続き、日本の宇宙開発は再点検を余儀なくされた。宇宙開発の現場は人材を維持できなくなり、人材流出が起きる中で、宇宙関連企業の新規求人がなくなった。さらにバブル崩壊後景気が回復することはなく、本当に将来が見通せない時代だった。後に就職氷河期、ロストジェネレーションと呼ばれる世代である。そして、地元茨城での就職を考えていたこともあり、もはや宇宙で食うことは無理だと悟った。2004 年に休学して地方公務員を目指すことにした。とはいえ、地方公務員試験では、自分の専門性で戦える分野はない。行政

職を目指して法律や経済をかじりはじめるが、暗記中心の公務員試験勉強は肌に合わず、放送大学の授業で理解した。

しかし、市役所や県庁の大卒者試験にトライしたが、そう簡単には受からなかった。途方に暮れてハローワークの求人情報をながめていた。「急募:つくばで人工衛星運用(派遣)」という求人が目に飛び込んだ。2005 年 2 月に気象衛星「ひまわり 6 号」が打上げられた。それまで、打上げ待ちとなっていた人工衛星達の打上げラッシュが始まった。ところが、宇宙開発の現場には既に人がいない。それゆえに、宇宙企業は派遣会社に人材供給を求めた。すぐに応募した。面接の席で、人工衛星の軌道に関する話題が出たので、求人票の裏紙を使って天体の軌道の基本法則であるケプラーの法則を説明した。これは、放送大学の「天体物理学入門」で勉強した内容である。結果として、それが採用の決め手となったらしい。そして、人工衛星の運用に関わる仕事をしながら、茨城大学大学院に復学し、宇宙天気が人工衛星の運用に与える影響に関連する研究で修士論文を書いて、理学修士を取得した。

〈放送大学入学〉

2015 年度に前述の茨城大学 野澤先生の「宇宙天気」に関する面接授業があった。これがきっかけとなり、宇宙天気が社会に与える影響について研究を再開することを決めた。茨城大学の博士後期課程に行くことも検討したが、博士後期課程に耐えうるテーマ設定ができなかった。そこで、まずは放送大学大学院の修士課程で本テーマについてまとめる事にした。当時、放送大学大学院の天文学ゼミの担当教員は、前述の「天体物理学入門」の吉岡一男先生だった。偶然にも、野澤先生と吉岡先生がお仕事を一緒しており、野澤先生を副指導教官とする研究体制について調整いただいた。2016 年度に放送大学大学院修士課程を受験し、これに合格した。2017 年度～2018 年度に放送大学大学院で、修士論文「宇宙天気現象の社会インフラに対する影響に関する研究～ハロウィン・イベント後の宇宙天気災害の整理～」をまとめ、学術修士を取得した。これで博士後期課程での研究準備が整った。

2019 年度より茨城大学大学院にて「宇宙天気防災」に関する研究をスタートした。長期履修制度を用いて 6 年間の計画で研究を遂行している。そして、災害をテーマに持続可能性(サステナビリティ)、復興(レジリエンス)、生存可能性(サバイバビリティ)を考察する上で、放送大学では参考になる授業がたくさんあり、選科履修生として在学している。また、放送大学茨城学習センターはサークル活動が活発である。例として、「数学共楽会」では、統計学的手法についてハイレベルな議論が進められている。「未来環境クラブ」では SDGs に関する議論が進められている。これらの活動を宇宙天気防災研究にフィードバックすることを狙っている。

『この様に、私の「食う寝る宇宙」人生は放送大学に支えられているといって過言ではない。』

学生論集『茨城 SC フォーラム』第11号 編集委員 名簿

放送大学茨城学習センター

茨城学習センター学生・卒業生

佐藤 和夫センター所長

石田 紀久 葛貫 壮四郎 高柳 美伊子

大森 宏之事務長

竹内 孝 山口 文夫 山下 功

吉村 政一 矢野 正義(編集委員長)

編集後記

学生論集『茨城 SC フォーラム』は、放送大学茨城学習センターが有する学識や思いを広く学内外に発信するものとして、本年度第11号を発行する運びとなりました。以下に本号の掲載内容について編集委員会の意図をご紹介します。

2020年初頭頃から全世界を巻き込んだ新型コロナウイルスによるパンデミックは、われわれの学生生活にも大きな影響を及ぼしました。その影響は広範で長期にわたり、現在も続いています。本学生論集に関しては、(1)創刊以来毎号ベーシックな論文源となっている「教員・学生講演会」での講演の論文化をした『論説』原稿が、同講演会中止のため得られない(2)本号編集企画の段階(2020年7月)ではもう一つの論文源「卒業研究・修士論文発表会」の開催も未定ということで、本論集を構成する中心的な原稿が揃う見通しが立ちませんでした。そこで、この“100年に一度の出来事“といわれるコロナ禍について、特集を組んで論じることとしました。

特集『ウイルス感染症』で6篇が揃いました。元茨城学習センター所長塩見正衛先生には本特集の冒頭を飾るご寄稿をいただくとともに、学生からは山口文夫・金子紀夫氏、田辺裕美氏、竹内孝氏、立原やい子氏、高柳美伊子氏に登場いただき、それぞれの立場からの学識や経験をもって今回の新型コロナウイルス禍への考察を寄せて頂き、読者の多くの人々に興味深く有益な情報を提供できるものになりました。

次に修士・卒業論文の関連では2020年12月に何とか発表会を行うことができ、笹川まゆみ氏に修了研究を分かりやすく超コンパクトにまとめて頂きました。論文は筆者の興味や問題意識を放送大学での学びや研究で解明しより深く理解をしようとする事例であると考えています。本論文は大学に正式に受理されたものですので、全編を参照される場合は大学または著者にアプローチして頂くとして、本論集では今後続く方々の入口として参考にしていただけるものと考えています。もうお一方の発表者鷲尾重治氏は事情により掲載を辞退されました。ここに記してご報告致します。

研究論文は茂呂輝夫氏より日頃の研究活動の成果をまとめた力作を寄稿頂き、技術解説は葛貫壮四郎氏より今後急速に普及すると考えられる電気自動車の動向に関して解説頂きました。

次に私の放送大学と題して1篇です。今号には玉置晋氏に登場いただきました。筆者の放送大学に対する考えや接し方、興味を持たれた分野への学究的アプローチの仕方などが率直に表現されて、共感や触発を受けるのではないのでしょうか。また、生涯学習の日本における最高機関の一つとしての放送大学の存在とその現実の姿を知っていただくことができる事例であると考えます。

今号の編集・刊行に関してご寄稿いただいた方々、各方面でご協力・ご尽力くださった皆様に厚くお礼申し上げます。

(矢野正義)

放送大学茨城学習センター学生論集
『茨城 SC フォーラム』第11号

発 行 日 令和3年3月

編集・発行 放送大学 茨城学習センター

〒310-0056

水戸市文京2-1-1 茨城大学構内

電話 029-228-0683

印刷・製本 ヨシザワ印刷社

〒311-0105

那珂市菅谷2468-84

電話 029-295-7710