

魚屋が見た新型コロナウイルス肺炎

新型コロナウイルス肺炎の流行の第二波が収束しそうでなかなか収束しない。この先どうなるのか、どうすべきなのかについて様々な意見が出てくるが、そんなものは占いのようなもので、確証を持ってどうなるのかどうすべきなのかを語れる人はいないだろう。それでも、第一波を経験し第二波もピークを越えたのだから、この肺炎がどんなものなのか情報を整理しておくことは、今後の対策を考えるために重要だ。管理人は医学や疫学の専門家ではないから、コロナウイルスの変異がどうか、治療法がどうか、専門知識を必要とすることについて論ずることはできないが、素人なりに、この10か月余りに起こったことを整理しておきたい。魚屋が人間の病気のことについて語るのだから、単なる暇つぶしの遊びだ。大した内容はないし見当はずれなところもあるだろう。だが、水産屋だからこそのできるもの見方というのものもあるかもしれない、それはそれなりに何かの役立つかもしれない。

水産屋が他の分野に対して独特な個性を発揮できるとすれば、水産資源学的な発想だろう。水産資源学は、我々の日常からは程遠い水中の生物を資源として捉えて、その資源量の増減や、管理の在り方について論ずるのだが、そもそもどんなことが起きているのかわからない水中の世界の不確実な未来のことを論ずるのだから、かなり頼りない学問ではある。しかし、所詮、どんなことでも未来のことなどよくわからないのだから、よくわからないということ前提に何をどうすべきか考えるという視点が社会には必要だ。水産資源学は個体群生態学と水産業の接点にあって、学と社会の関係を考えるという意味で結構先端性があるかもしれない。周回遅れのランナーなのだが、それが手段の先頭を引っ張っているような感じだろう。現代社会における科学の在り方、あるいは科学と社会の関係を考えるという意味では、コロナ禍を機に、この小論（門外漢の水産屋の意見）を読んでおくことも悪くはないだろう。

数ある理論や仮説の中で、水産学の研究者のほとんどが共有している考え方（基礎な認識）がある。イワシ、サンマなどの個々の水産資源（生態学的には個体群）は、さまざまな条件により多くなったり少なくなったり変動するが、無限に増加はしないという考え方である。空間がイワシで埋め尽くされてしまうことはあり得ないのだから、これは当たり前のことだが、実際に、資源が無限に増加しないのは、資源量が増えると、餌の供給不足、排説物の蓄積等々様々な環境抵抗が増すからである。資源量が安定せずに変動するのは、環境の変化や他の種類や個体群との種間関係があるからだ。そのような変動の中で、個体群の特性も変動する。

ウイルスが生物かと真顔で問われると返答に窮するのだが、ウイルスだって特定の環境下で何らかの資源を使って増殖している。宿主を含めた他の生物や、他のウイルス、同種の他の系統（株？）との関係も持っているだろう。今回、様々な国で、新型コロナ肺炎がはやり、様々な対策がなされて、その中で、感染者数、死者数等が変動した。その変動の様子を、生態学的にパターン化してみておくと何か良いことがあるかもしれない。

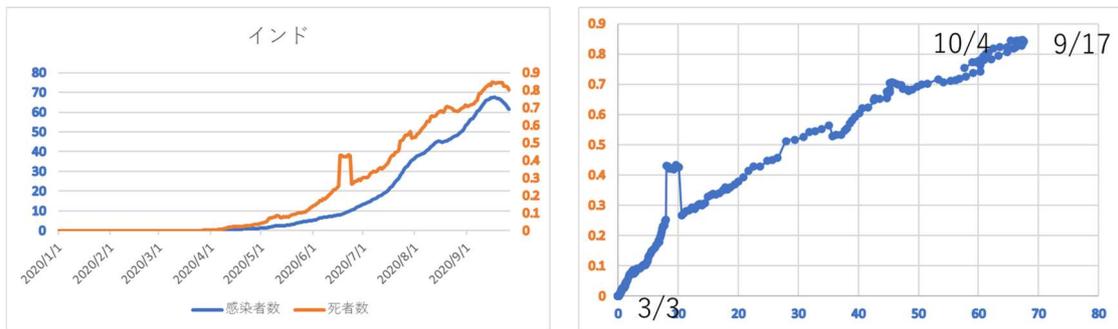


図 1.インドの 100 万人当たり感染者数・死者数の推移（7 日移動平均）

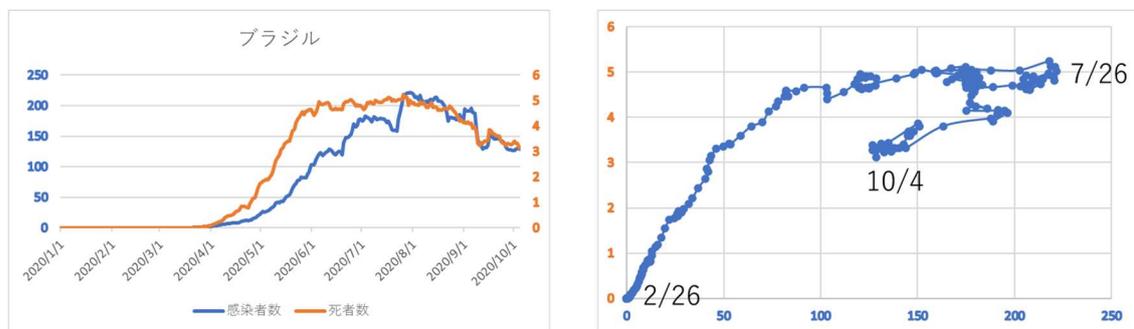


図 2.ブラジルの 100 万人当たり感染者数・死者数の推移（7 日移動平均）

どのような分野でも、科学は事実の記述に始まる。水産資源学は応用個体群生態学だから、まず、個体群密度の変化を記述しなければならない。ウイルス生態学という分野があるのかどうか知らないが、ウイルスの個体密度を記述するのはかなり難しいと思う。そもそも、ウイルスに個体という概念が存在するのか、ウイルスが存在する空間を定量的にどう表したらよいか分からない。だから何をもって密度というのかが分からない。とりあえず記述できるのは患者の数と死者の数だろう。そうすると、人の数はウイルスが存在する空間の大きさということになる。図 1 にインドの 100 万人当たりの 1 日の新型コロナウイルス肺炎の感染者数と死者数を示した(元データは Our world in the data, 2020)。日変動が大きいので、平滑化するためその日を含めて前 7 日間の移動平均を 1 日当たりの感染者・死者とした。左の図には時系列的な変化をそのまま示した。右の図は横軸に 1 日当たりの感染者数、縦軸に 1 日当たりの死者数をとった散布図で、日付の順番に該当する点を線で結んで時系列的な関係を示した。初期段階ではこの直線の傾きは、1 日当たりの感染者数と死亡者数の比になる。実際には感染日と死亡日にはタイムラグがあるので、感染者の何割が死ぬかという意味で正確な死亡率ではないが、日ごとに見た見かけ上の瞬間的な死亡率ということになる。インドで最初の感染者が出たのは 3 月 17 日で、9 月 17 日に累積死亡者数が 100 万人当たり 3706 人となったところで 1 日当たりの感染者数が減少し始めた。感染のピークに達するまで実に 6 か月を要したことになる。

図2には、ブラジルの感染者と死亡者の推移を示した。ブラジルは、2月26日に最初の感染者、3月18日に最初の死亡者が出た。その後、比較的急速に感染者・死亡者が増加したが、1日当たりの死亡者数は5月下旬からほぼ一定になり、感染者数のピークは7月26日、その時点での累積感染者数は人口100万人当たり11430人であった。

図3に、ヨーロッパの典型的な例として、イタリア・フランス・スペイン・ベルギーの100万人当たりの感染者数と死亡者数の散布図を示した。ヨーロッパの多くの国で、4月中旬以前に1日当たりの感染者数が減少に転じて、それから1週間以内で死亡者数も減少に転じている。これらの国は、典型的な感染者数・死亡者数の変化のパターンを示している。すなわち、感染の初期にはほぼ一定の割合で感染者死亡者が増えていき、何処かで有効な対策が取られると感染者の増加速度が低下する。その一方でタイムラグがあるために死亡者はある程度の期間増加が続き、散布図の傾斜が急になり、感染者のピーク以後感染者が減少する。そのため、散布図の軌跡が反時計回りに反転し、やがて、死亡者もピークを迎え、その後、感染者数・死亡者数ともに減少し、原点に向かって行く。感染者数がピークを迎えたのは、イタリアでは3月27日、フランスでは4月2日、スペインでは3月31日、ベルギーでは4月12日であった。ピークを迎えた時期がほぼ一致しているのは、ロックダウンや旅行の禁止等有効な対策が取られた時期が、これらの国でほぼ同時期だったことによるのであろう。ベルギーでは、感染者数のピークを迎える前から、傾きが急激に大きくなって、死者数が増加している。これは、感染者数の増加によって医療崩壊が起きた可能性を示している。これらの国はヨーロッパの中でも第一波による感染者・死亡者数が大きかった国である。図4に、ヨーロッパ祖国の中では適切な対応が行われ、第一波による被害を比較的小さく抑え込んだとされるドイツの例を示した。

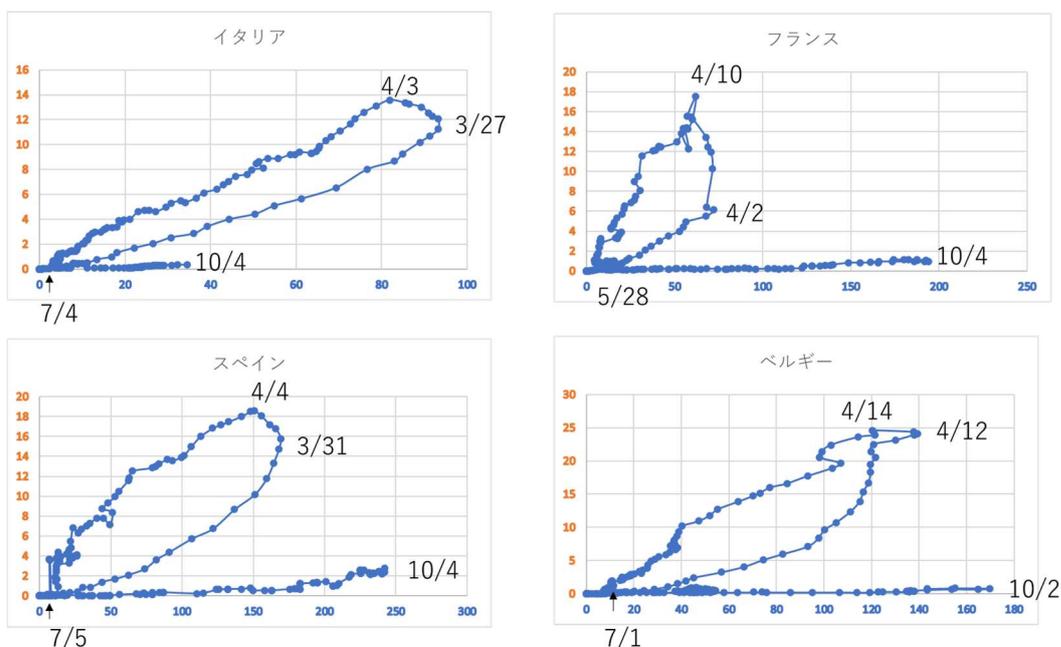


図3.ヨーロッパにおける典型的な感染者数・死亡者数の変化のパターン

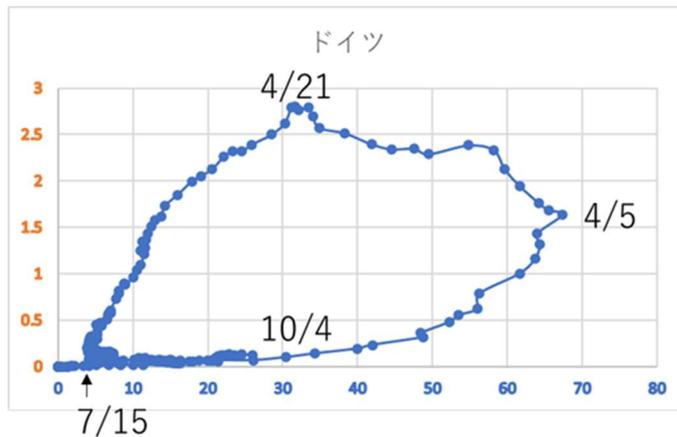


図4.ドイツにおける感染者数・死亡者数の推移

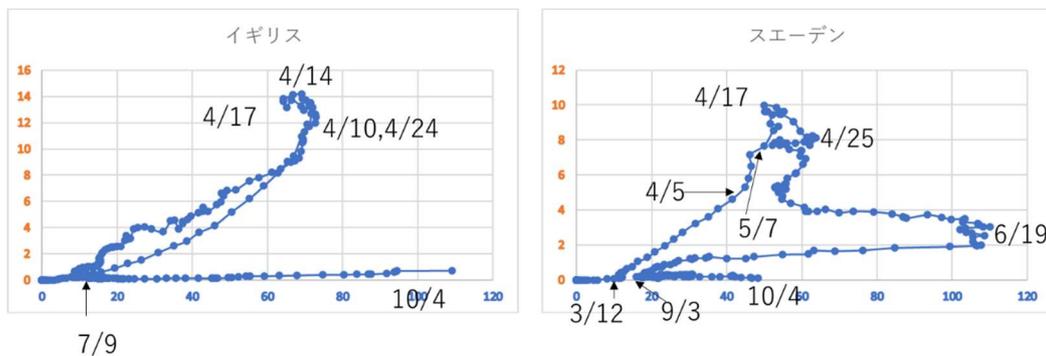


図5. イギリスとスウェーデンにおける感染者・死亡者の推移

ドイツは、第一波のピーク時の感染者数・死者数ともイタリア・フランス・スペインに比べて少ないが、流行の初期に散布図の軌跡が直線的に上昇し、ピーク時で反時計回りに反転して、収束に向かうというイタリア・フランス・スペインで見られたパターンと同様の軌跡を描いて収束に向かった。このことから、このパターンは一般的だろうという推測が生まれるが、図5に示したイギリスとスウェーデンの例では反時計回りのパターンになっていない。イギリスの場合は、感染者拡大のピークが2回あったために、反時計まわりの楕円にはならない。また、スウェーデンの場合、5月以後、誰でもPCR検査を受けられることになったので、急激に感染者数が増加して、反時計回りの楕円にはならない。しかし、感染のピークに向かうと感染者数に対する死者数の割合が緩やかな曲線を描いて上昇することは、他の国と同様である。このように、散布図の点を時系列的につなぐことによって、感染の推移がわかり、いつ頃、感染対策の効果が表れたのかを推測することが出来る。図6には、主要国の第一波における感染者数のピーク時の人口100万人当たりに累積感染者数を示した。グラフは左からピークを迎えた日にちの早いものからならべた。もっとも、早く収束したのは感染源である中国である。値が小さいのでグラフからは読み取れないが、100万人当たり32人であった。中国は人口が多く、流行があったのは特定の都市部だから、平均化した100万人当たりの累積感染者数は小さくなる。ピーク時の100万人

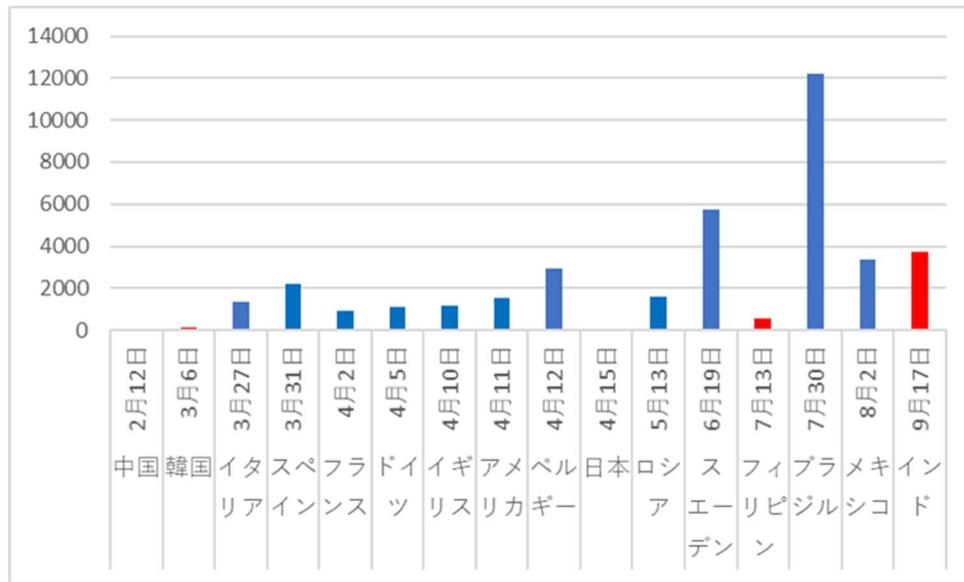


図 6.第一波の感染者数のピークにおける累積感染者数の国際比較

当たりの累積感染者数が最も多かったのはブラジルで、12,183 人であった。これらの数値を時系列的に見ると、ピークが遅いほど累積感染者数が多くなることがわかる。また、地域別に見ると、アジアの国で、累積感染者数が少ない段階でピークに達する傾向があることがわかる。特に第一波における日本のピーク時の累積感染者数は、100 万人当たりで65 人であり、同時期にピークとなった、ヨーロッパ諸国（イタリア 1331 人、フランス 907 人、スペイン 2233 人、ベルギー 2834 人、ドイツ 1105 人）に比べて極めて小さい。日本のピークは4月15日であるが、この値は1月前、3月6日にピークとなった韓国（121 人）のほぼ半分である。インドが第一波のピークとなった時点（9月17日）での累積感染者数 3,706 人は、ブラジル・スウェーデンに次いで多かったが、ピークを迎えたのが7月13日と遅かったフィリピンでも、ピーク時の100 万人当たりの累積感染者数は557 人であり、ヨーロッパの国々のピーク時の累積感染者数より小さな値であった。このことから、アジアにおけるコロナウィルス肺炎の流行はヨーロッパやアメリカ大陸に比べて小さい流行で押さえられたと言えるだろう。

感染の第一波では、初期の段階で散布図が右肩上がりにほぼ直線となるが、すでに述べたように、この傾きの値は、一人の感染者したときに何人の感染者が死亡するかという値であり、感染者の見かけ上の瞬間的な死亡率である。実際の死亡率は、感染から死亡までのタイムラグを考慮しなければならないが、感染から死亡までの日数はさまざまであろうし、そのタイムラグの推測を可能にする統計的なデータがないので、この値を死亡率として比較したのが表1である。第一波と第二波を識別できる国については、第二波についても傾きを計算してみたが、第二波の場合、期間のとり方によって値が違ってくるので、この方法で感染者の死亡率を正確に論ずることはできない。この表では、最初の死亡者が

表 1. 各国の第一波と第二波の死者数

国名	第一波				第二波			
	初期の傾き期間	最大死者数	月日	傾き	期間	最大死者数	月日	
中国	0.020 1/11-2/5	0.09	2020/2/19	*	*			
日本	0.002 2/13-2/29	0.23	2020/4/29	-0.0005	6/15-8/5	0.115	2020/9/1	
フランス	0.018 2/15-3/10	17.53	2020/4/10	0.0051	7/28-10/4	1.133	2020/10/4	
韓国	0.004 2/21-3/3	0.13	2020/3/29	0.0039	8/18-8/26	0.074	2020/9/14	
イタリア	0.112 2/23-3/28	13.58	2020/4/3	0.0081	7/6-10/4	0.456	2020/8/22	
アメリカ	0.014 3/1-3/26	8.28	2020/4/22	*	*	3.520	2020/8/10	
スペイン	0.044 3/5-3/23	18.59	2020/4/4	0.0056	6/19-10/4	2.616	2020/10/2	
イギリス	0.107 3/7-4/6	14.10	2020/4/14	0.0031	7/9-10/4	0.740	2020/10/10	
ベルギー	0.072 3/10-3/21	24.41	2020/4/15	0.0017	7/9-10/4	0.837	2020/10/3	
ドイツ	0.006 3/10-3/27	2.80	2020/4/21	0.003	7/22-10/4	0.136	2020/9/30	
フィリピン	0.052 3/12-3/26	0.57	2020/7/19	*	*	1.057	2020/9/16	
スウェーデン	0.151 3/12-4/5	9.99	2020/4/17	-0.0010	9/4-10/4	0.245	2020/9/15	
ブラジル	0.077 3/18-5/3	5.12	2020/7/27	*	*			
インド	0.029 3/19-5/29	0.84	2020/9/12	*	*			
メキシコ	0.052 3/21-4/4	6.22	2020/6/28	*	*	5.519	2020/8/13	
ロシア	0.012 3/27-4/6	1.12	2020/6/19	*	*	1.005	2020/10/4	

* 第 1 波と第二波の流行が重なっていて、第二波だけの影響を取り出せない

た日から、直線的に増加して入り期間を流行の初期段階とし、第二波では、1日当たりの死者数が極小となった時点から直線的に増加する期間を第二波の初期段階とした。2月以前に最初の死亡者が出たのは、中国、日本、フランス、韓国、イタリアである。イタリアを除いてこれらの国では初期段階の死亡率が低い、しかし、イタリアは初期段階から高い死亡率となっている。経済的背景からイタリアの保健衛生は劣化していた可能性があるが、流行の初期段階から医療崩壊が起きるとは考えられない。また、イタリア以前に死亡者が出たフランスでは、1日の死亡者が最大100万人当たり18人となり医療崩壊が起きたと考えられるが、最初の段階では、中国、日本、韓国とあまり死亡率が違わない。このことから、初期にヨーロッパに伝播したウイルスは中国で初期に流行した系統（株？・型？）のウイルスだったと推測されるが、イタリアでは初期段階ですでに強毒化したウイルスが存在していた。その後、このウイルスはヨーロッパ各地で伝播する。おそらくヨーロッパ型の強毒性の変異はイタリアの初期段階で起きたと考えられる。3月16日に国境閉鎖したドイツにおいては、初期段階の傾きが小さく、死亡率のピークにおいても、他のヨーロッパ諸国に比べて、1日当たりの死亡者数が小さかった。これも、この時期にヨーロッパ各地に強毒株が伝播したという推測を支持する傍証の一つであろう。また、アジアにおいて、第一波が長く継続したフィリピン・インドにおいても、初期段階は傾きが小さく、アジアで初期に流行したコロナ肺炎ウイルスは弱毒性の株であったことがうかがえる。インドやブラジルのように、まだ第一波が収束に向かっている段階の国もあるが、現在多くの国で第一波は収束し第二波を迎えている。日本や韓国のように第二波のピークを過ぎた国もある。ここで第一波と第二波を比較すると、どの国も初期段階の傾きは明らか

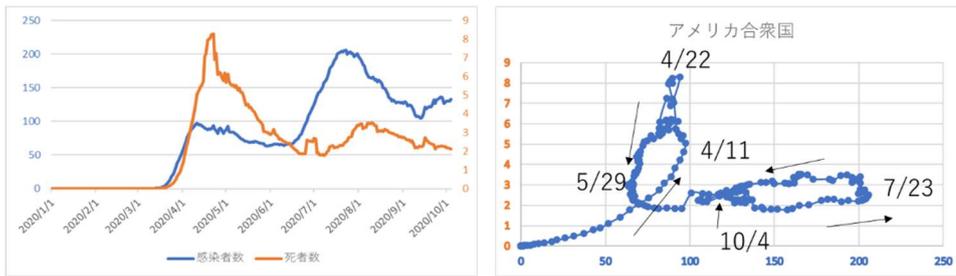


図7. アメリカ合衆国におけるコロナ肺炎流行の推移

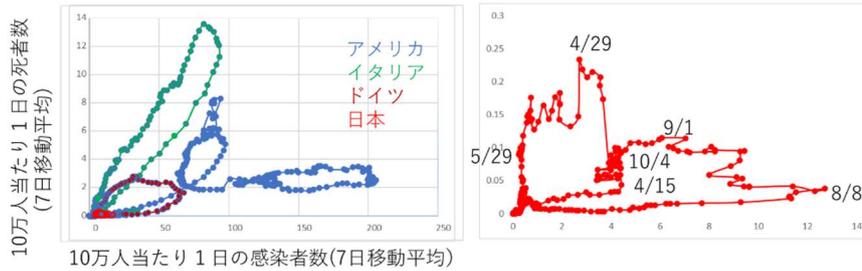


図8. 日本におけるコロナ肺炎流行の推移

に第二波で小さい。また、ピーク時の1日当たりの感染者数は第二波の方が多くの国がほとんどであるが、100万人当たりの1日の死亡者数も第二波の方が小さい。このことから、どこの国でも第二波のウィルスは弱毒化しているといえる。

図7にはアメリカ合衆国での感染者数・死者数の推移を示した。図の右側に示したように、アメリカ合衆国は全体としては第二波のピークを過ぎた段階にあるが、未だに一日の死亡者が100万人当たりで2人以上で高止まりしている。それでも、第二波では感染者数の増加に伴って死者数は増加していない。これは、アメリカにおいても第二波のウィルスが弱毒株であったことを示している。

図8に日本における推移を示した。日本では、第一波における1日・100万人当たりの感染者数の最大値は4.2、死者数の最大値は0.23、第二波における1日・100万人あたりの感染者数の最大値は12.7、死者数の最大値は0.115であった（右図）。これらの値を国際的に比較するために、左の図には、アメリカ・イタリア・ドイツと同じ縮尺で散布図を示した。日本の1日・100万人当たりの感染者数・死者数が欧米各国比べて極めて少ないことがわかる。これは、中国を含めて、韓国、台湾、ベトナムなどと同じで、中国周辺国の特徴である。日本は現在、第二波が収束に向かう段階にあるとみられるが、感染者数は1日・100万人当たり4人、死者数は1日・100万人当たり0.05人程度の値で変動し、収束が停滞している状態にある。

考察

このように様々なさまざまな国を比較するとコロナウィルス肺炎の流行の過程は様々である。これは、ウィルスも流行の過程で変異していくことと、それぞれの国の環境、生活

習慣、文化、人々の体質等、いわば人々の生物学的特性が違っていること、法律を含めた社会的な制約も違うのでとりえる防疫策が異なることが原因だが、加えてどの時期にどのような対策が取られたのか、ウィルスの変異がどこでいつ起こったのか等々、時間的タイミングによってもパターンは変わる。たとえば、アメリカのように第一波が収束する前に第二波が始まった例もある。それぞれの国でいつ何がどのように起こったのかを考えるには、基本的なパターンを考えて、それぞれの国の推移をそのパターンに当てはめて認識していくことが有効だろう。今回は、最も単純なパターンとして、1日当たりの感染者数と死亡者数の散布図が直線的に右肩上がりに移動して、一定のところで反転して戻ってきたブラジル・インドの例を、効果的な対策が取られなかった事例とする。ブラジルやインドにも先端医療はあり、富裕層の衛生状況は劣悪ではないだろうが、貧困層も含めた全体的な医療レベルが高いとは言えない。第一波がピークを迎え流行が収束に向かうまでに、最初の死亡者の出現から5か月も6か月も必要だったということは、対策が取られなかったか、取られた対策が有効でなかったためだろう。ヨーロッパでは医療崩壊した国も少なくないが、それらの国でも最初の死亡者の出現から1月程度、長くても2月で第一波は収束に向かった。これは、日本・韓国も同じである。

現在、まだ第一波の収束段階にあると考えられるブラジル・インドのピーク時の累積感染者数を見ると、ブラジルで、100万人当たり12,183人、インドで3,706人であった。ブラジルの感染者数は確かに多いが、百分率にするとわずかに1%に過ぎない。この1%の人をコロナ肺炎に対する中和抗体を持った人（非感受性の人）としてブラジルの人口を使って単純計算すると、集団免疫が成立する感染者の割合の閾値（herd immunity threshold:HIT）が僅か1%になってしまう。インフルエンザではHITは33-44%であり、同じように飛沫感染する百日咳では92-94%であるという研究例がある（Biggerstaff, M. et al. 2014）。今回のコロナ肺炎についても、多くの人が仮説を立てて様々なデータを使ってHITを計算している。その値には大きな開きがあるが、こんなに小さなHIT値の推定例はない。この単純計算を信用すると、新型コロナウイルスは極めて感染力が弱い疾病ということになってしまう。ブラジルではPCR検査が十分に行われていないために、実際の感染者数は報告された数よりももっと多いのだという解釈もあり得る。しかし、ヨーロッパでピーク時の感染者数が多かったスウェーデンでも、ピーク時の累積感染者数は人口100万人当たり5,722人（0.06%）であった。スウェーデンは死亡者数が急増しても、都市封鎖などを行わなかったために、意図的に集団免疫の獲得を目指したという推測がなされているが、スウェーデン政府は、これを否定して、憲法上の制約から人の移動制限を行えなかったのだと説明している。代わりに、老人施設や医療施設へのコロナ肺炎の持ち込みを防ぐ政策を取り、PCR検査を誰でも受けられるように、検査数を拡大した。このことから、スウェーデンの累積感染者数の人口に対する割合は、実際の人口当たりの感染者（抗体の保有者）の割合に近い値であると思われる。スウェーデンの例を考えると、累積感染者が人口の1%で集団免疫が効果を表したというブラジルのデータはそんなに信用できないものでは

ない。実は、ここに示した HIT の計算は、一見正しそうなロジックを使って無茶苦茶な結論を押し付ける詭弁の例として筆者がことさらそれらしく作ったものである。前提条件を変えると都合の良い恣意的な資源量推定が可能だから、水産屋の言うことには気を付けなければいけない。そもそも、HIT の計算式は、理論疫学に使われるモデルで、実効再生産数に集団の中で感受性の人（抗体を持たない人≒非感染者）の割合を乗じたものが、患者が増える割合（疫学分野で何というのか知らない。生態学的な言葉では増殖率）となる。

$$R_t \cdot S = r$$

R_t : 実効再生産数, S : 感受性の人割合, r : 増殖率

感染のピークでは、増殖がとまり $r = 1$ となるので、

$$R_t \cdot S = 1$$

がなりたつ。感受性の人割合と非感受性の人割合をたすと 1 だから、

$$S + p = 1$$

$$S = 1 - p$$

p : 非感受性の人割合 ≒ 中和抗体を持った割合 ≒ 感染経験がある人の割合

このような近似が可能だとすると、

$$R_t = \frac{1}{S} = \frac{1}{1-p}$$

$$p = 1 - \frac{1}{R_t}$$

この p が HIT だから、

$$HIT = 1 - \frac{1}{R_t}$$

となる。専門分野ではないのでこれも素人考えだが、様々な情報と仮定に基づいて R_t 与えて HIT を計算するという形で使われ、HIT を与えて R_t を求めるという逆計算はあまりしないのではないかと思う。実効再生産数 R_t は実際の流行の過程で実測される値で、流行のフェーズによって変動する。実際には、実効再生産数が一定とみなせる微小区間を考え、感染から感染者として検出される期間をタイムラグとして、感染者の比を計算するのだろう。多分、日本では、5日程度をタイムラグとして、ある日の感染者数の7日間の移動平均とその5日後の感染者数の比を実効再生産数としているのだと思う。実効再生産数は実測値だが、理論的にはまだ感染が起きていない状態、集団の全員が感受性であるときの再生産数を考えることが出来る。これを基本再生産数 R_0 と言う。 R_0 はどちらかというと理論的な値で、次の式で R_0 を表すことが出来る。

$$R_0 = \beta \cdot k \cdot d$$

β : 1 回の接触で感染する確率

k : 一人の人間が集団内で単位時間内に接触する人数

d : ウィルスの感染期間

β と d は感染する確率とウィルスが感染力を持つ期間だから、ウィルス自身が持つ感染力の強さ（ポテンシャル）である。一方、 k はその集団の中で人が接触する頻度だから、空間の広さ、人口密度、移動の早さなど集団の社会的な特性であり、再生産数は、ウィルス自身の感染力と集団の特性によって決まる。この式からわかるように、再生産数という考え方は、均質で十分に混ざり合う一つの集団についてのモデルである。およそ、国全体で集団が均質で広く密接の接触が行われているとは考えられない。人口で累積感染者数を割ったものを非感受性の人の割合とするのは、前提条件が成立していないから無茶苦茶な計算だ。このモデルは、限られた人数で密接に接触を行う集団の感染に当てはめられる。そのような集団内で集団免疫が獲得されるとその集団内で感染がピークを迎える。人口の密集した都市、特にスラムのようなところに集中して感染が起こるだろう。彼らが日雇い労働で収入を得ているとすれば、感染しても初期には仕事を休めない。そういう集団内での感染率はかなり高いが、その人口は国の人口に比べればかなり少ない。このことは、日本でも、東京の感染率と地方の感染率を比べてみれば明らかだろう。おそらく、何らかの要因（例えば職業・生活習慣等）で感染しやすい集団というのがあり、この人数が、ウィルスの生育環境の大きさということになる。多くの国でとられた対策は、レストランや劇場の閉鎖、ソーシャル・ディスタンスの確保、旅行の制限・自粛など、密接な接触を行う集団を少なくし、細分化するという方法であった。これらの対策を行った国では、2週間から1月程度でその効果が現れ、第一波が収束に向かった。感染がかなり特定の場面で起きており、その場面（生育場）をなくしてしまうことが有効な対策であるということは、これらの事実から明らかだろう。これは、水産屋が見ると当たり前の話だ。世の中で信じられているように、漁獲によって水産生物が絶滅するということはまずほとんどない。何故ならば、資源量が減ってくると単位漁獲努力量当たりの漁獲量が小さくなり、漁業が成り立たなくなる、漁業の方が先になくなってしまふからだ。種の絶滅のほとんどはその種の生育環境の劣化や生育場の消失による。このことは、いくら根絶しようと努力しても、捕獲によってブラックバスなどの外来生物を撲滅できないことからわかるだろう。よくわからない新しい感染症に対しても、とりあえず生育場を狭めること（感染場面を少なくすること）が最も有効な方法だということが、この小論の第一の含意である。ところで、第一波と第二波で比較すると、1日当たりの感染者数は多くの国で第二波のピーク時の方が第一波のピーク時よりも高い。その一方で、死者数は第二派の方がはるかに低い。アメリカは第一

波の収束段階で第二波が始まったので、第二波と第一波の違いが分かりにくいのだが、第二波では感染者数の増加に伴って死亡者が増加していない。このことから、アメリカでも第二波のコロナ肺炎ウイルスは弱毒性の株であるものと考えられる。しかし、アメリカでは、第二波のピークを越えて1日当たりの感染者数が減少を始めた現段階でも、未だに1日・100万人当たり2人以上が死んでいる。アメリカ全体では1日に600人以上がまだにコロナ肺炎で死に続けているということになる。10月4日時点で累積死亡者数はすでに20万人を超えている。第二次世界大戦におけるアメリカの死者数は4年間でおおよそ30万人だから、その3分の2にあたる人がわずか半年で死んだことになる。アメリカはもともとインフルエンザによる死者数が多い国であるが、インフルエンザによる死亡者数が最も多かったのは、2017-2018のシーズンで総死者数は65,000人（100万人あたり約200人）だから、すでにその3倍の人間が死んだことになる。トランプは退院後のスピーチでコロナ肺炎の危険性はインフルエンザと同程度だから恐れるなどと言った。半年で世界戦争と同じレベルの人が死んでいて、大したことではないと言われてはたまらないが、彼の言葉の半分は間違っていて半分は正しい。第一波・第二波を全体として捉えると、20万人という死者数は大きく、インフルエンザ並みの危険率とはとても言えない。しかし、現時点で1日・100万人あたり2人という死亡率はインフルエンザとあまり変わらない。簡単な計算を試みる。仮に11月から2月の4ヵ月（120日）と考えると、2017-2018シーズンのインフルエンザによる1日・100万人当たりの死亡者数は1.67であり、現時点におけるコロナ肺炎による死亡者数（1日・100万人当たりの死亡者数2）はインフルエンザが大流行した年のインフルエンザによる死亡者の数とあまり変わらない。2017-2018シーズンのインフルエンザによる入院患者数は808,129人だから、インフルエンザで入院した患者の致死率は8%であり、日ごとの患者数と死者数で単純計算した場合、アメリカではコロナ患者の1.6%が死んでいることになる。アメリカですべてのコロナ肺炎の感染者が入院しているのかどうかは知らないし、インフルエンザの場合、感染者のすべてが入院するわけではないから、インフルエンザの感染者の致死率もよくわからないが、この計算ではコロナ肺炎の方が致死率は低い。こんな比較に意味があると問われると返す言葉がないのだが、そもそも病気で死ぬことをどのくらい受け入れるべきかというのは正解がある議論ではない。日常的に受け入れている疾病より死亡率が低いことから、その病気による死亡を受け入れると言うのは、相手を納得させるレトリックとして成り立たないわけではない。それよりも、この程度の死亡者数は、現実問題として受け入れざるを得ないというのがアメリカの実情なのかもしれない。この小論では、医療現場の対応の変化を考慮していない。専門ではないから新型コロナウイルスに対する現場の対応の有効性を論ずることが出来ない。しかし、第一波における死者数の減少は、感染者数の減少以上に、臨床的な情報の国際的な共有による診療・治療法の変化が大きく寄与しているはずである。アメリカには高度な医療技術があり、先端技術を比較すればアメリカの医療レベルは高いが、低所得層に医療保険未加入者が多く、適切な医療が受けられない人も少なくない。彼らが日雇い労働

的な労働をしていれば感染機会も多いし、病院に行ったときには重症化している。これがアメリカでインフルエンザによる死亡者が多い理由だろう。インフルエンザによる死亡者の数がその国の平均的な医療保険制度のレベルを表しているとするれば、アメリカの保健医療制度は、日本、韓国などに比べて明らかに劣悪だ。このように考えると、現時点でのアメリカの死亡者数は、アメリカ保健医療の基礎的な実力を表しており、これを何とかするには保健医療制度全体を改革しなければならない。だから文句を言うなというのは政治家としては無責任だが、受け入れざるを得ない現実でもある。だが、この現実を受け入れると、第二波においても、感染者数が減らない限り死亡者数は容易に減少しない。ちなみに、厚労省の報告を読むと、日本の場合、インフルエンザで死ぬ人は年間 2000 人程度（100 万あたり 16 人）らしい（正確に引用をすべきだがどこで読んだか忘れた。多分、厚労省の HP データがオリジナル）。インフルエンザの流行期間を 4 か月と考えると、1 日・100 万人当たりのインフルエンザによる死亡者数は 0.13 となる。インフルエンザの感染者数をどのくらいに見積ればよいのかわからないが、どこから得た情報か忘れたが、確か 1000 万人ぐらいという推定値があったと思う。実感としてはもっと多いような気がする。仮に 1000 万人だとすると、感染者の致死率は、 $2000/10,000,000=0.0002$ 、0.02%である。10 月 4 日現在で、コロナ肺炎による死亡者の数は 1 日・100 人あたり 0.060 である。1 日当たりの感染者に対する死亡者の比にすると、0.014(1.4%)である。この値はアメリカとあまり変わらない。インフルエンザによる死亡者数を現在の日本保険医療の限界（実力）と考えると、臨床的情報がもっと集まり治療技術が向上すれば、コロナ肺炎の感染者の死亡割合を下げるのが日本では出来るかもしれない。臨床医学の方でそのような努力がなされることは、とても大切なことで、そのような努力に期待したいが、それが可能であるかどうかは門外漢の筆者にはわからない。いずれにしても、日本においてインフルエンザとの比較論を持ち出して、コロナ肺炎を受け入れろと言う議論は成り立たない。そうであれば、やはり感染者数を減らす以外にない。水産屋の視点からすれば、感染者を減らすには、ウィルスの飼育環境・生育場を制限するしかない。そのような制限は経済への影響が大きく、現時点でそれらを大規模に実行することは難しい。生態学的にその解決（つまり種の絶滅法）を考えると、近縁種の利用が考えられる。ある種の繁殖を制限するために、それとよく似た生態を持ち、わずかに競争力が強く、近縁種と交配しない（遺伝子の交換が起こらない）種をその飼育環境に移植し競争させるのである。ウィルスの間で遺伝子の交換が行われるのか行われぬのか知らないが、もし変異株の間で遺伝子の交換が行わないのであれば、変異株同士は競合種ということになる。生育場を細分化し縮小するという対応の後に、第二波として流行したコロナ肺炎の変異株は、元の株より弱毒化して感染力が強くなっていた。生育場を追われた個体群は、新たな生育場に適応しなければ絶滅してしまう。これを選択圧という。選択圧のために遺伝的に変化して適応した変異株が現れそれが新たな個体群を作る。複数の変異株が同時に存在して、その間に遺伝子の交換や遺伝子断片の再集合が起こると一体何が起きるのかわからないが、もしそれが起こら

ないのであれば、この変異は弱毒化の方向に向かう。何故ならば、毒性が弱ければ感染者は活発に行動し感染機会を作る（新たな生育場を提供する）ので他の競合株に対して優位になり、生育場を独占できるからである。実際、第二派でウィルスは弱毒化した。第二波における弱毒化が、一か所で起きたのか、同時多発的に様々な場所で起こったのかはわからないが、少なくとも、ヨーロッパと東アジアでは違う株が弱毒化した。弱毒化と感染力の向上はセットになっているのだろう（これは生態屋としての希望的推測も含む。）。これを繰り返すと、自然免疫で対応可能なまでに弱毒化して感染力もなくなりウィルスが根絶されるかもしれない。これは過適応による進化の袋小路という現象である。こう考えると、全体として完全に人々の行動を制限する必要はない。集団を細分化して、いくつかの集団に選択圧を加えることによって、弱毒化した変異株が出現するはずである。全体として統一的に行わなくても、特定集団の中で行動制限をすることによって、これを達成することを目指すという考え方もあり得る。そもそも、イタリアで強毒性の変異株が生じたのは、おそらく、東アジアでは中国を中心に人々が類似のコロナウィルスに暴露されていたために、交差免疫のような現象があつて、弱毒株が流行の主体であったのだが、ヨーロッパの人々はそのようなウィルスに曝露されていなかったため、毒性が強く感染力の弱い株が広く集団に蔓延しえたからではないかと考えられる。何らかの形で選択圧を加えることは重要だ。

ところで、日本・アメリカ・韓国ともに、第二波の収束の途中の段階で、実効再生産数が1より下がらなくなって、なかなか完全な収束に向かっていない。この現象も魚屋的発想で説明が可能だ。そのモデルを余剰生産モデルという。余剰生産モデルは、最大維持漁獲量（Maximum sustainable yield）理論の根拠となっているモデルで、このごろMSY理論の評判が悪いので、このモデルも過去のものになりつつあるのかもしれない。MSY理論の評判が悪いのは、現実には世界は変動が大きく、データの精度も追いつかないので、理論の柱である余剰生産曲線そもそも描けないことが多いからだ。余剰生産モデルのロジックが否定されているわけではない。ウィルスの場合は、魚よりも変動要因が少ないかもしれないから、理論通りに個体群が変動するかもしれない。ということで、無理無理、余剰生産モデルを当てはめてみる。小論はただの素人の遊びだから何でもやってみる。余剰生産モデルは初めに紹介した生物の個体密度は無限に増殖しないという思想そのもので、この思想をグラフに表すと、図9の左のグラフの青線のようになる。ある個体群が環境抵抗がない状態で存在したとすると、生物はその生物が持っている内的自然増加係数

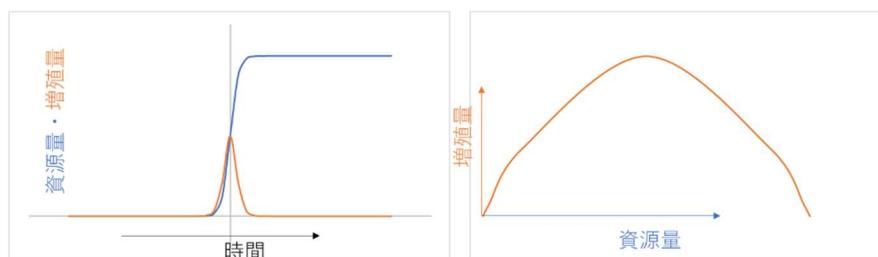


図 9.資源は無限に増殖しないという思想の図式化

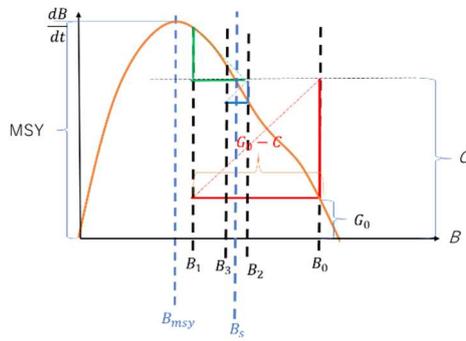


図 10.余剰生産モデルにおける資源量と増殖速度の関係

(intrinsic rate of natural growth : r) にしたがって対数的に増殖する。初期段階では環境の制約がないから、増殖速度は指数関数的に加速していくが、増殖するにしたがって利用資源や非出物の処理の限界から次第に制約が大きくなって、増殖速度が減速し一定の個体群密度に達してそれ以上は増殖しなくなる。この個体群密度を時間で微分して増殖量の時間変化を示したのが図の左のグラフの橙色の曲線である。生育環境やその個体群の特性が変わらなければ、漁獲などのかく乱要因があつて資源量（個体群密度）が変化し、その後、個体群密度は青い曲線、増殖速度は赤い曲線上を移動していく。この個体群密度と増殖速度を、個体群密度を横軸、増殖速度を縦軸にとってプロットすると、右側の橙色の曲線になる。個体群密度（資源量）で増殖速度が決まるという関係になって、その関係はドーム型（釣り鐘型）の曲線になる。この図では、青い曲線をシグモイド曲線

$$B = \frac{K}{1 + e^{-rt}}$$

なので、変曲点が $t = 0, B = \frac{K}{2}$ のところになって、増殖速度と、個体群密度と増殖速度の関係の曲線が左右対称になっている。様々なモデルがあつて、青い曲線の数式はモデルによって違つてい、シグモイド曲線である必要はない。S 字型の曲線であれば何でもよいし、増殖速度と個体群密度の関係が左右対称である必要もない。実際には、過去の資源量の変動から増殖曲線を描くことになるから、そんなにきれいな曲線にはならない。たとえば、図 10 の橙色の曲線のようにしているとす。今、資源量が B_0 の時に C の漁獲があつたとすると、増殖量から漁獲量を差し引いた分 ($G_0 - C$) だけ、資源量（個体群密度）が変わり、資源量は B_1 となる。その時点で、同じ量の漁獲が行われると、 $G_1 - C$ だけ資源量が変わるので、資源量は B_2 となる。これを繰り返すと、最終的に資源量は B_5 に収束する。資源量の変動すると漁獲努力量当たりの漁獲量 (Catch per unit effort : CPUE) が変わり、漁業の経済効率や価格が変動し、漁家収入が安定しない。その資源量における増殖分だけを漁獲すれば、資源量は変動せずに CPUE や魚価が一定となり、魚価収入は安定する。この漁獲量を持続生産量 (持続漁獲量 : sustainable yield) という。増殖量は個体群密度に依存し、ある個体群密度の時に最大化するので、その個体群密度まで、漁獲すれば持続生産

量は最大化する。このときの資源量（個体群密度）が B_{msy} であり、この持続生産量＝漁獲量を最大持続生産量(Maximum sustainable yield: MSY)という。漁獲に対するコストを無視すれば、この時、最も効率よく漁家収入が持続的に最大化する。こういう考え方を余剰生産モデルという。魚の場合、 B を減らすのは漁獲だが、ウィルスの場合は感染者や感染しやすい場面の隔離になる。漁獲したり隔離したりすれば B は現象する。 B が B_{msy} よりも右側、つまり $B > B_{msy}$ の時に、MSYを超える漁獲をすると、 B は $B < B_{msy}$ になり、 B_{msy} の左側に移動する。左側に移動してもMSY分の漁獲を続けると、 $G - C < 0$ だから、 B は加速度的に減少して、やがて $B = 0$ となる。しかし、 $B > B_{msy}$ の時に、MSYを超えない量を漁獲すると、 $B > B_{msy}$ となって、図10示したように B は B_{msy} の右側で変動し、 $B < B_{msy}$ にはならないので、当然、感染者が増えて非感受性の人がかなり増えない限り $B = 0$ となることはない。コロナの1日の感染者数は一定のところまで変動し続けて収束には向かわない。現在、日本・アメリカ・韓国で、実効再生産数が1をわずかに超えるところで変動して、なかなか収束に向かわないのはこのような状態にあるからだと考えられる。第二波を収束に向かわせるには、もう少しコロナウィルスを間引かなければならない。この議論は行動規制することに経済的な損失（コスト）を考えていない。コストを考えると、さらに行動制限を強めることは難しいかもしれない。ここで考えるべきことは、行動制限を緩めるタイミングだ。個体群密度が B_{msy} を下回れば、徐々に漁獲量を減らしても、個体群密度を低下させることが可能だ。だから、 B_{msy} がどこにあるかを見極めることがとても重要になる。私の感想では、Go to キャンペーンなどは、若干、タイミングが早く前のめりのような気がするが、このタイミングの見極めを政策決定者は議論したことがあるのだろうか。そうした議論を聞いてみたいという気がする。

引用文献

Biggerstaff, M; Cauchemez, S; Reed, C; Gambhir, M; Finelli, L (2014). [“Estimates of the reproduction number for seasonal, pandemic, and zoonotic influenza: A systematic review of the literature”](#). *BMC Infectious Diseases* **14**: 480. doi:10.1186/1471-2334-14-480. PMC: 4169819. PMID 25186370.

Our World in Data (2020) <https://github.com/owid/covid-19-data/tree/master/public/data>