

はじめ

今年は新型コロナウイルスに明け、耐え難かった酷暑も秋分の日を迎え収まりました。コロナのほう
はパンデミック（世界的感染爆発）の様相を呈し国際的な大問題になっていますが、我が国では第2波
の山を越えた辺りでしょうか、コロナと経済への対策のバランスが大きな課題となっています。

自粛以外に何の社会的貢献もできていない筆者ですが、いささか不謹慎ながら、パンデミック感染症
の規模の歴史的経緯に統計的な法則が有るのか無いのかに興味を持ちました。現在、限られた資料に基
づくものですが、感染死者数の世界人口に対する割合が対数正規分布の累積分布関数に近似性を示す傾
向が図-1、図-2のように見られましたので、その求め方と結果について以下に述べます。

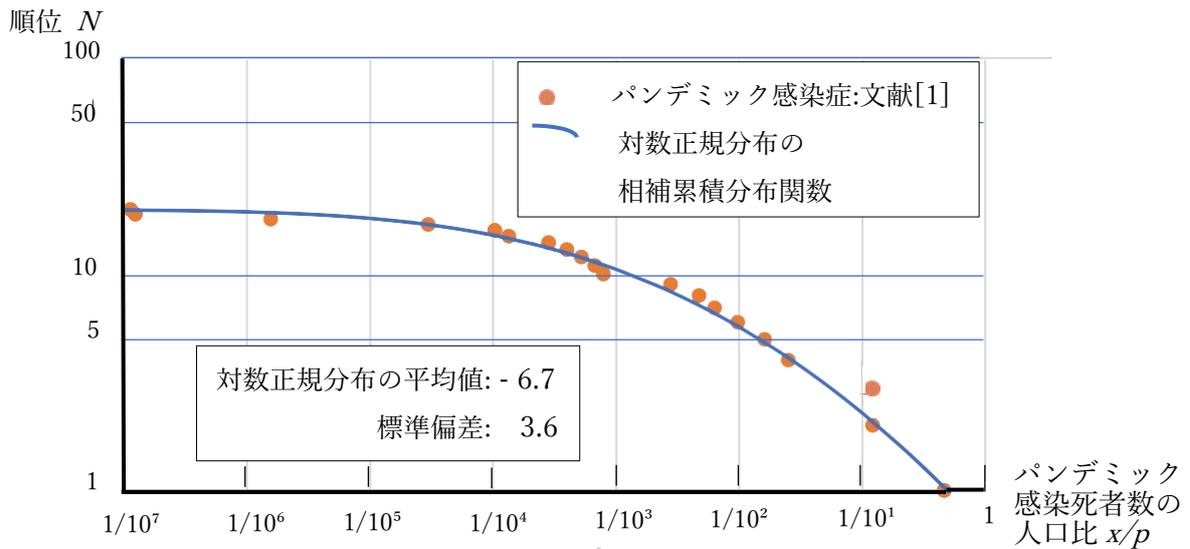


図-1 文献[1]のパンデミック感染死者数人口比 x/p の分布と
対数正規分布の相補累積分布関数の比較

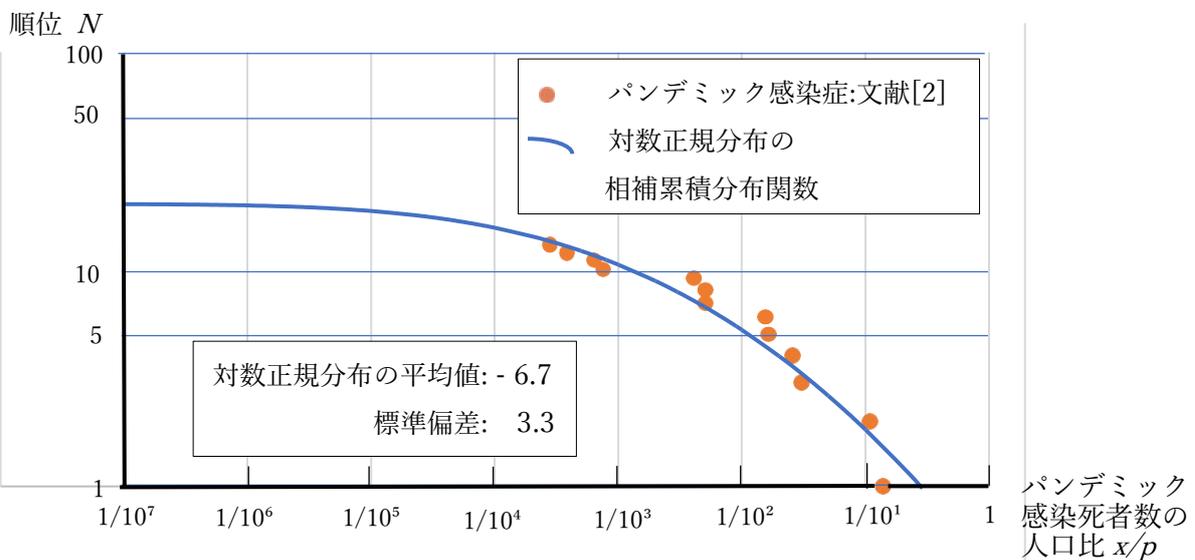


図-2 文献[2]のパンデミック感染死者数人口比 x/p の分布と
対数正規分布の相補累積分布関数の比較

パンデミック感染症の規模に関する資料

先ず資料ですが、過去の大きなパンデミックに言及している文献[1], [2]からと発生年次(期間) y と死者の数 x を2種類の基本データとしました。読み取ったものをそれぞれ表-1、表-2に示します。 y が範囲で与えられている場合は、簡単化のためその最大値を発生年次 y' として採用しています。

パンデミックは世界的なスケールで生じますから、死者数 x を当時の世界人口 p で除した死者数人口比 x/p をパンデミックの規模として表-1、表-2の右端2列に示しています。世界人口や死者数人口比が範囲で与えられている場合、簡単のため平均値を採用します。

採用した世界人口 p は文献[3]の推計人口(表-3)から発生年次 y' に対して求めたものです。表-3では一定の年次間隔毎に世界人口が与えられており、その間の補間は与えられている年平均人口増加率を用いて行いました。(複利計算による元利合計の計算法と同様です。)表-3における年平均人口増加率では、西暦元年から1950年までは精度が悪いため、補間時に始端部で合致するように逆算して改良した値に修正しています。尚、年平均人口増加率は各年次の間で有効なため、そのように半行ずらせて配置しています。ただし、2010年~2015年の間は2010年の半行下に下げています。

表-1 パンデミック感染症(文献[1])から求めた規模と順位

パンデミック感染症名称[1]	年次 y [1]	死者数 x [1]	採用年次 y'	世界人口 p [3]	死者数人口比 x/p	順位 N
Black Death(黒死病;ペスト)	1347-1351	2×10^8	1351	4.6×10^8	4.3×10^{-1}	1
Smallpox(天然痘)	1520	5.6×10^7	1520	4.9×10^8	1.14×10^{-1}	2
Spanish Flu(スペイン風邪)	1918-1919	$4\sim 5 \times 10^7$	1919	1.94×10^9	$2.1\sim 2.6 \times 10^{-2}$	4
Plague of Justinian(ペスト)	541-542	$3\sim 5 \times 10^7$	542	3.6×10^8	$0.83\sim 1.39 \times 10^{-1}$	3
HIV/AIDS(エイズ)	1981-現在	$2.5\sim 3.5 \times 10^7$	2020~	7.8×10^9	$3.2\sim 4.5 \times 10^{-3}$	8
Third Plague	1855	1.2×10^7	1855	1.30×10^9	9.2×10^{-3}	6
Antonine Plague	165-180	5×10^6	180	3.2×10^8	1.56×10^{-2}	5
17世紀 Great Plagues	1600	3×10^6	1600	5.0×10^8	6×10^{-3}	7
Asian Flu(アジア風邪)	1957-1958	1.1×10^6	1958	2.9×10^9	3.8×10^{-4}	13
Russian Flu(ロシア風邪)	1889-1890	1×10^6	1890	1.57×10^9	6.4×10^{-4}	11
Hong Kong Flu(香港風邪)	1968-1970	1×10^6	1970	3.7×10^9	2.7×10^{-4}	14
Cholera 6 outbreak(コレラ)	1817-1923	1×10^6	1923	2.01×10^9	4.98×10^{-4}	12
Jap. Smallpox Epidemic	735-737	1×10^6	737	3.8×10^8	2.6×10^{-3}	9
COVID-19(新型コロナ)	2019-現在	$1\sim \times 10^6$	2020~	7.8×10^9	$1.28\sim \times 10^{-4}$	15
18世紀 Great Plagues	1700	6×10^5	1750	8.0×10^8	7.5×10^{-4}	10
Swine Flu(A型インフル)	2009-2010	2×10^5	2010	7.0×10^9	2.9×10^{-5}	17
Yellow Fever(黄熱)	late 1800s	$1\sim 1.5 \times 10^5$	1850	1.27×10^9	$0.79\sim 1.18 \times 10^{-4}$	16
Ebola(エボラ出血熱)	2014-2016	1.13×10^4	2016	7.5×10^9	1.51×10^{-6}	18
MERS	2012-現在	8.5×10^2	2020~	7.8×10^9	$1.00\sim \times 10^{-7}$	20
SARS	2002-2003	7.7×10^2	2003	6.4×10^9	1.2×10^{-7}	19

[著者注]

COVID-19(新型コロナ)の死者数は現在も増加中で、年内には100万人を超すと言われておりますので、概算100万人としました。全ての採用年数は筆者の判断で直近の値としています。これらの置換は表2においても同じです。飽くまでも暫定値の域を出ません。「-現在」の場合は2020年とします。

表-2 パンデミック感染症(文献[2])から求めた規模と順位

パンデミック感染症名称[2]	年次 y [2]	死者数 x [2]	採用年次 y'	世界人口 p [3]	死者数人口比 x/p	順位 N
ユスティヌスのペスト	541~588	5×10^7	588	3.6×10^8	1.39×10^{-1}	1
黒死病(ペスト)	1347~1351	5×10^7	1351	4.6×10^8	1.09×10^{-1}	2
1918年インフルエンザ(スペイン風邪)	1918~1919	5×10^7	1919	1.94×10^9	2.58×10^{-2}	4
HIV感染症(エイズ)	1981~現在	3.2×10^7	2020~	7.8×10^9	4.1×10^{-3}	9
コレラ第1波(メキシコ)(不明)	1545~1548	1.5×10^7	1548	4.92×10^8	3.05×10^{-2}	3
ペスト(3度目パンデミック)	1894~1922	1×10^7	1922	1.99×10^9	5.0×10^{-3}	8
天然痘(メキシコ)	1519~1520	8×10^6	1520	4.87×10^8	1.64×10^{-2}	5
アントニヌスの疫病(天然痘)	165~180	5×10^6	180	3.2×10^8	1.56×10^{-2}	6
コレラ第2波(メキシコ)(不明)	1576~1578	2.5×10^6	1578	4.96×10^8	5×10^{-3}	7
コレラ第6波	1899~1923	1.5×10^6	1923	2.01×10^9	7.5×10^{-4}	10
アジア風邪(鳥インフル)	1957~1958	1.1×10^6	1958	2.91×10^9	3.8×10^{-4}	12
香港風邪(鳥インフル)	1968	1×10^6	1968	3.55×10^9	2.82×10^{-4}	13
ロシア風邪(A型インフルエンザ)	1889~1890	1×10^6	1890	1.57×10^9	6.36×10^{-4}	11

表-3 世界人口の推移と推計(文献[3])

年次	推計人口 (100万人)	年平均人口 増加率(%)	年次	推計人口 (100万人)	年平均人口 増加率(%)
紀元前7000~6000	5~10	0.0	2015	7,383	1.19
西暦元年	200~400	0.0319	2020	7,795	0.98
1650	470~545	0.449	2025	8,186	0.87
1750	629~961	0.397	2030	8,551	0.78
1800	813~1,125	0.534	2035	8,893	0.70
1850	1,128~1,402	0.540	2040	9,210	0.63
1900	1,550~1,762	0.847	2045	9,504	0.56
1950	2,525	1.78	2050	9,772	0.48
1955	2,758	1.80	2055	10,011	0.42
1960	3,033	1.93	2060	10,223	0.36
1965	3,340	2.05	2065	10,410	0.32
1970	3,701	1.95	2070	10,576	0.27
1975	4,079	1.78	2075	10,722	0.24
1980	4,458	1.78	2080	10,849	0.20
1985	4,874	1.79	2085	10,958	0.17
1990	5,331	1.52	2090	11,050	0.14
1995	5,751	1.32	2095	11,126	0.11
2000	6,145	1.25	2100	11,184	
2005	6,542	1.23			
2010	6,958	1.19			

文献[3]中の注) 1900年以前は、UN, *The Determinants and Consequences of Population Trends*, Vol.1, 1973 による。1950年以降は、UN, *World Population Prospects: The 2017 Revision* (中位推計) による。1950年以降は年次(7月1日)現在。

相補累積分布関数

累積分布関数とは「確率変数 X がある値 x 以下 ($X \leq x$) の値となる確率」を表す関数と定義されますが、本報では上記の「 x 以下 ($X \leq x$)」を「 x 以上 ($X \geq x$)」に置き換えた相補累積分布関数 (= $1 -$ 累積分布関数) を採用します。(視覚的には、累積分布関数は確率密度分布関数の下側積分、相補累積分布関数は確率密度分布関数の上側積分によって求まります。)

数ある観測(実測)値から直接相補累積分布を求める手法にランキングプロットがあります。観測値を大 \Rightarrow 小に並べて順位を付け、横軸に観測値を縦軸に順位を採ってプロットしてゆきますと、相補累積分布として描かれます。先ず最大値の現象は縦軸を 1 (順位 1)、横軸をその最大値としてプロットされます。例えば、横軸・縦軸を両対数軸としてそれらの点が右下がり(左上がり)の直線上に並べば、べき乗則を充たしていると判断されますので、非常に簡易で便利な識別法となります。

文献[1]と文献[2]のパンデミック感染死者数 x を当時の世界人口 p で除した比率 x/p を横軸に、順位 N を縦軸に両対数軸座標上にプロットしたものが、図-1、図-2 の茶色の点です。 x/p が減少してゆくときべき乗則(右下がりの直線)から下方に外れてゆきますので、以下の作業に着手します。

対数正規分布の相補累積分布関数

文献[4]では、完全にこなれた複雑系ではなく、ある限定された条件下での現象については対数正規分布の相補累積分布関数で近似される現象が多々あると記されています。対数正規分布とは横軸に確率変数の対数を採るのがポイントでそれが正規分布(釣鐘型)になる確率密度分布のことです。

本関数は Excel を利用すれば、[確率変数、 \ln (確率変数)の平均値と標準偏差]を入れることで自動的に求まります。確率変数を小刻みに変えて折線で結べば近似曲線を描くことができます。問題はパラメータの [\ln (確率変数)の平均値と標準偏差]の選び方ですが、上記で求めた感染死者数比と順位のグラフによく合うような値を試行錯誤で求めて、暫定的ですが描いたのが図-1、図-2 の青色の曲線です。

ただしパラメータは、図-1 では[-6.7, 3.6]を、図-2 では[-6.7, 3.3]を採用しました。尚、Excel では、対数正規分布の総面積は 1 ですから、相補累積分布関数の最大値も 1 になり、本報では順位の最大値を両図共に 20 としています。

おわり

文献[4]では、自然界や社会現象について統計分布を調べると、大きく①正規分布、②対数正規分布、③べき乗則 からなること、および、特に②の対数正規分布について事例(町村の人口)も交えて詳しくかつ分かり易く解説されています。(②と③の間に指数分布がありますが、少しだけ触れられています。)

筆者はこれまでこの②対数正規分布への認識が不足していたことを教えられ、歴史的パンデミックの規模(感染死者数を当時の世界人口で除しています)についてグラフ化しますと、まさしくその傾向が得られましたので驚きと納得が半々の心境にあります。

そもそも元データの感染死者数や世界人口の精度については推計の域を出ないため、有効数字が 2 桁も精一杯の状態です。またデータにフィットするように試行錯誤で求めた対数正規分布の相補累積分布関数の数学的意味と複雑な因子の入り組んだ感染症の関係については、筆者の不勉強もあり現段階では今後の課題として残されています。

更なる考察については、関心をお持ちの読者諸氏からのご指摘やご討議を切にお願いする次第です。

最後に釈明です。死者を単なる数値としてカウントすることに対して、人の尊厳性を貶める行為だと批判する声も聞かれますが、逆に生きている人がその幸運に気づき感謝の気持ちを抱くというようなポジティブな面があると思います。更に、今日遭遇しているコロナ禍の歴史的な位置付けを明らかにできれば、国際的にも国家的にも政策立案への科学的知見が得られることとなります。

感染症に全くの素人の筆者ですが、建築の耐震問題から始め地震にも統計的性質があることを知り、ではパンデミック感染症については如何と無謀な試みに挑んだ次第です。

文献

- [1] LePan, Nicholas: Visualizing the History of Pandemics, Published 6 months ago on March 14, 2020, History of Pandemics, Death Toll, Visual Capitalist.
<https://www.visualcapitalist.com/history-of-pandemics-deadliest/> 2020/09/20
- [2] 繰り返されるパンデミック、National Geographic、ナショナル ジオグラフィック、日本語版、2020年8月号、第26巻第8号、通巻305号、pp.44,45、記事担当者：Lopez,A.L., Rutkin,A.H., 出典：Mooney,G., Johns Hopkins Univ.; McMillen,C., Univ. of Virginia; WHO; CDC、パンデミック記事翻訳者：伊藤和子。
- [3] 国立社会保障・人口問題研究所：人口統計資料集2019、第341号、p.15, 2019年1月31日。
(本資料集については2020年版が既に出ていることに後から気づきましたが、数値的には差異が僅かなため2019年版のままとしています。)
- [4] 松下 貢：統計分布を知れば世界が分かる、身長・体重から格差問題まで、中公新書、中央公論新社、2019年10月25日初版、2020年1月15日再販。