1052：*415*（降水；気象統計）

雷神はサイコロを振るか

―大雨の降り方の法則性を探る

木　村　龍　治*

1．はじめに

近年，気候変動によって洪水や山崩れが多発すると新聞で報道されるが，大雨の被害が出るのは，近年に始まったことではない．安田（1970）は，日本における大雨（50mm/h 以上）の特性を議論しているが，その冒頭で，「最近，いわゆる集中豪雨による地域的災害が非常に増えている」と述べている．50年前のことである．なお，最近45年間（1976～2020）の集中豪雨（100mm/ 3 h 以上）の経年変化については，加藤（2022）が調査している．

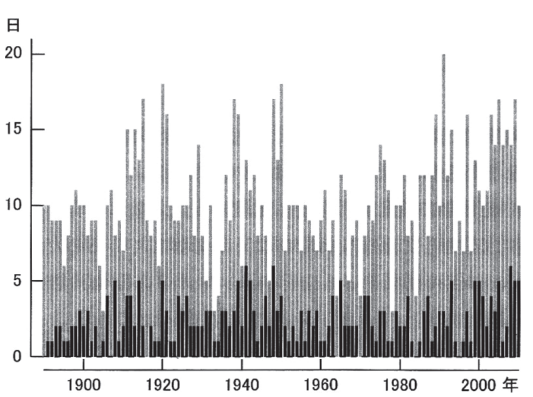
大雨（10mm/h 以上）の発生頻度の経年変化はどうなっているのだろうか．第 1 図は，東京で10mm/h 以上（灰色）および20mm/h 以上（黒）の降水が観測された日数の経年変化（1890～2010）である．藤部（2012）から引用した．著者は，このグラフから，危険率 5 % で，全体として増加傾向にあると述べている．

しかし，このグラフを見て，まず，目につくのは，増加傾向より，年ごとの降水日数のばらつきである．第 2 図は，第 1 図から読み取った平均値からの偏差のヒストグラムである．10mm/h 以上の回数は，平均10.5，分散10.5，標準偏差3.24である．20mm/h 以上の回数は，平均2.5，分散2.19，標準偏差1.48である．どちらも，平均値と分散の値が近い．

平均値が分散に近いということは，二項分布を想起させる．二項分布とは，1 年間に降る雨のうち，10mm/h 以上の降水日数の平均値を N 回/年（第 1 図では，N=10.5），観測期間を M 年（第 1 図では，M=120）とするとき，データの総数（=$M\times N$）を，M 年間に，ランダムに分配したときの，各年の降水日数のばらつきの分布のことをいう．ランダムというのは，各年に，同じ確率で雨が降ることを意味する．（但し，ランダムといっても，各降水強度の総日数は，あらかじめ，決まっているとする．）

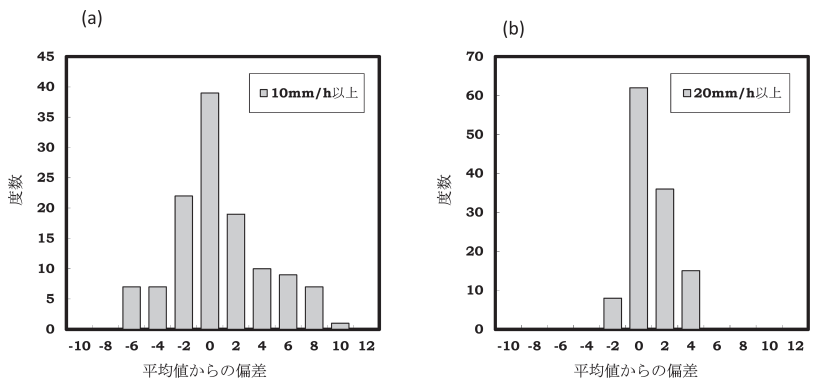
例えていえば，雷神が，10mm/h 以上の雨を降らせるカードを（降水強度毎に異なる枚数を集めて）$M\times N$ 枚もっていて，M 年間の間に，$M\times N$ 枚をランダムに撒いた場合の各年のカードの枚数の分布のことである．その 1 例として，第 3 図 a に，N=10，M=100の場合を示す（NetLogo という複雑系モデリングシステムによるシミュレーション）．分散は9.52である（第 3 図 b）．第 3 図をみて，第 1 図及び第 2 図と区別がつくであろうか？

もしも，雷神が，このような降雨戦略（=ランダムに雨を降らせる戦略）で雨を降らせるのであれば，最近，10mm/h 以上の雨の降る日数が増えているのが，偶然か必然か，判断が難しいことになる．それ故，大

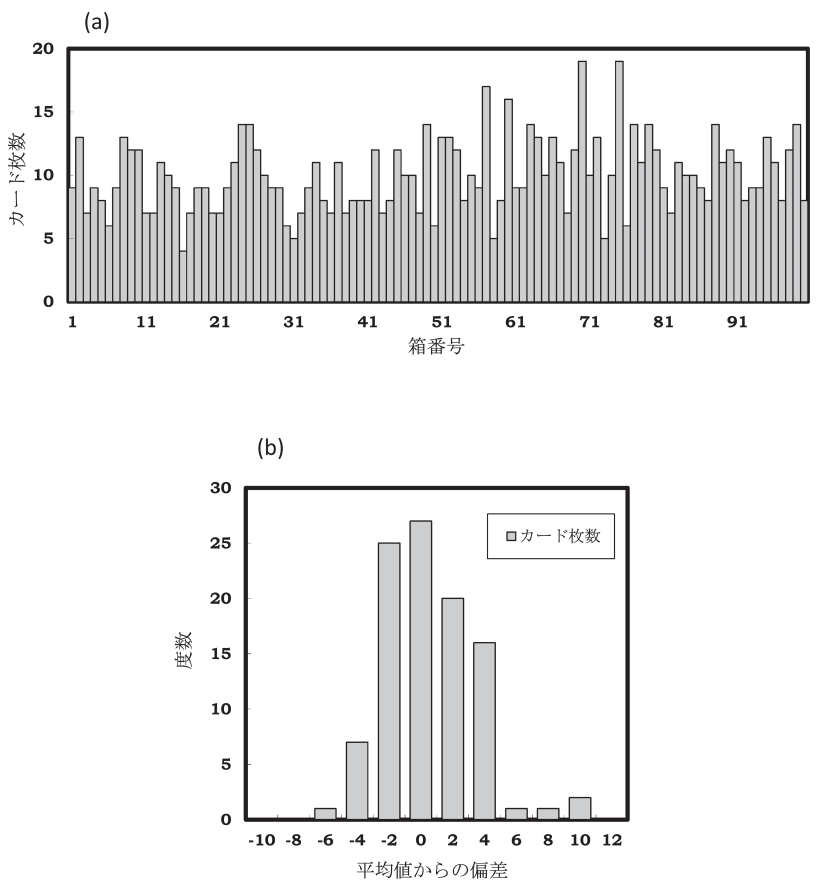


第 1 図　東京で10mm/h 以上（灰色）および20mm/h 以上（黒）の降水が観測された日数の経年変化（1890～2010）．（藤部（2012）の図 9.6を引用）

* Ryuji KIMURA，元放送大学．
mfrk@jcom.home.ne.jp
© 2022　日本気象学会



第2図　第1図のグラフの平均値からの偏差のヒストグラム．(a)10mm/h 以上．平均10.5，分散10.5．(b) 20mm/h 以上．平均2.5，分散2.19.



第3図　(a) 1000枚のカードを100個の箱に，ランダムに分配したときの，各箱のカードの枚数．NetLogo によるシミュレーション．(b) 平均値 (=10) からの偏差のヒストグラム．分散9.52，標準偏差3.09.

雨の降り方における偶然性を調べることは，意味があるだろう．

降水量は，気象要素のひとつであるが，同じ気象要素の気温や気圧とは，かなり物理的な性質が異なっている．気温や気圧は，瞬間的な値が意味をもつが，（瞬間的に終わる音楽がないのと同じように）時間経過のない降水は存在しない．

対流性降雨は，時間的に激しく変化する．どの時間スケールに着目するかによって，降雨のメカニズムの側面が変化する．日降水量の場合は，集中豪雨をもたらす大気擾乱（＝メソ降水系）の時間発展を示しているように見える．１時間降水量は，擾乱を構成する積乱雲の発生・消滅の過程を示しているように見える．10分間降水量は，ひとつの積乱雲内部の微細構造を示しているように見える．

須田（1990）は，１時間降水量～１か月降水量までの，さまざまな集計時間（＝着目する時間スケール）について，集計時間と発生回数の関係を調べた．その結果，度数分布は，集計する時間が長くなるにつれて，逆Ｊ型，指数型，正規型に変化する，と述べている．ここでいう逆Ｊ型とは，ベキ法則（後述）に従って変化することを意味する．集計時間によって，度数分布が異なるのは，統計が表現する物理過程の内容が変化しているからである．特定の時間スケールの統計だけでは，降雨のメカニズムのすべてを表現することはできない．

本稿では，話を限定して，東京（大手町）の雨量計が観測した１時間降水量に着目して，その統計的性質を調べることを目的とする．なお，本稿では１時間降水量のみを扱うので，須田（1990）の分類では，逆Ｊ型の度数分布のみに対応する．

２．東京（大手町）のアメダスにみる大雨の降り方

気象庁は，毎正時毎に，アメダスで観測した前１時間の降水量を，mm の単位で公開している．このデータを利用し，1976年～2009年の34年間の各時刻の降水量を，１mm 間隔で区別して，各年の頻度分布を求めた（第１表）．但し，対流性降雨を想定して，10mm/h 以上の降水強度の雨に着目した．ここで，10mm/h の降水強度とは，9.5mm/h 以上～10.5mm/h 未満の降水量を意味する．

１行目は，観測した年．２行目は，各年に10mm/h 以上の降水があった回数．３行目以降は，１mm/h 間隔の降水強度で区別したときの，回数の内訳である．回数がゼロのデータはブランクで示してある．

降水強度10mm/h 以上の回数は，34年間で699回．１年当たりの平均は20.6回である．

第４図 a は，降水強度（横軸）と，その強度の雨が34年間に発生した回数（縦軸）との関係を示したものである．対流性降雨の降水強度とその回数の間に，地震のマグニチュードと発生回数の関係（グーテンベルグ・リヒター則）と同様のベキ法則が成立することが知られている（木村 2018）．第４図 b は，同じグラフを横軸も縦軸も対数目盛で示したものである．確かに，対数目盛にすると30mm/h 以下のデータは直線で近似できそうである．降水強度 x と発生回数 y の関係は，対数軸での回帰直線から，

$$(\log y)=-3.1(\log x)+5.2344$$
$$\rightarrow y=171554x^{-3.1} \qquad (1)$$

で近似できる．

第４図 a に (1) 式の曲線を引くとよく合っていることが分かる．

３．ブランクデータ

第１表を見ると，降水強度が強いほどその発生回数が少なくなり，１年間で１度もその降水強度の雨が降らない年の数も多くなる．このようなブランクデータに着目すると，降水強度（雨の降り方）は３種類に分類できそうである．すなわち，

①降水強度10mm/h～13mm/h：ブランクデータがほとんどない（34年間で５年以下）．

②降水強度14mm/h～20mm/h：ブランクデータの数が降水強度によって変化する（34年間で８～24年）．

③降水強度21mm/h～：ブランクデータがほとんどを占める（34年間で22年以上）．

第５図は，各降水強度の34年間の発生回数と，着目した降水強度の34年間のブランクデータの数との関係を示したものである．このグラフから，ブランクデータの対数と発生回数は，ほぼ直線で表されることが示唆される．そこに，どのような意味があるのであろうか．

４．光子モデル（ブランクデータの分類②と③の場合）

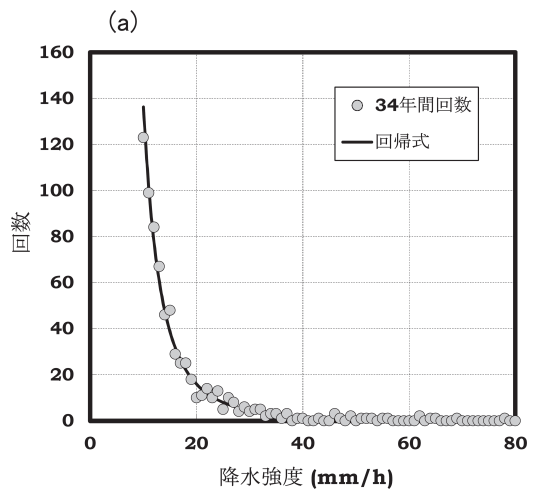
冒頭で，雷神がカードを撒いている例えを述べたが，二項分布を示す別の例として，フォトンカウン

第1表　10mm/h 以上の1時間降水量の発生数を，各年毎，1 mm/h 毎に，まとめたもの．0回はブランクにしてある．1行目：年，2行目：各年の合計回数（時間），3行目以降：降水強度毎の，各年の回数（時間）．最右列はブランク数（0回）の合計．1976～2009年の34年間のアメダス東京（大手町）のデータ．

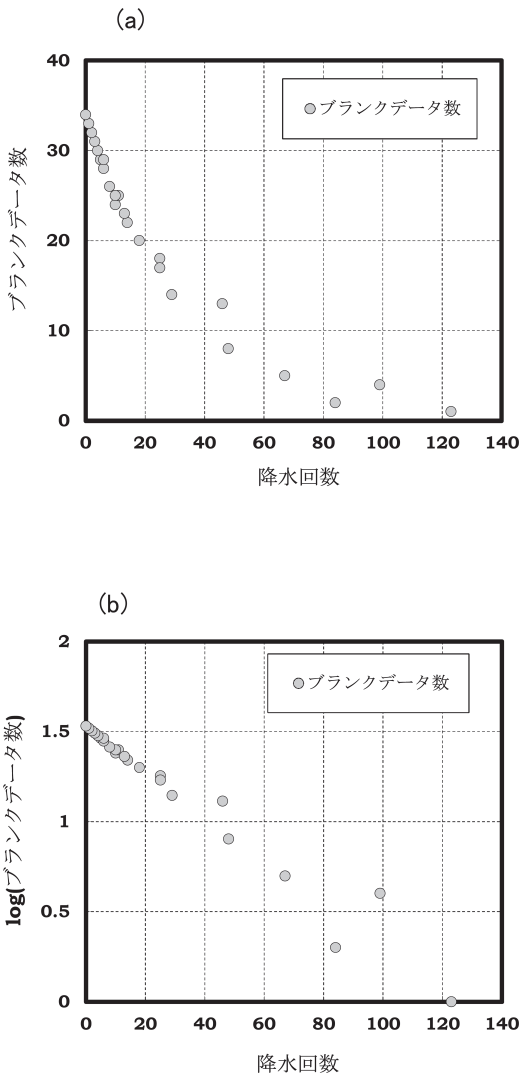
年		76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	合計	ブランク数
回数		20	16	4	18	18	22	17	13	5	18	29	9	16	22	24	34	23	34	12	16	19	24	12	24	23	21	18	30	33	20	25	22	24	34	699	
降水強度	10	3	1	1	5	1	1	1	4		4	3	1	2	3	4	8	6	6	2	3	4	1	1	3	3	3	5	8	8	5	10	5	2	6	123	1
	11	1	3		3	3	3	4	2	1	2	7		2	3	4	4	5	2	3	4	1	4	3	3	2		4	3	6		3	3	4	7	99	4
	12	2	4	1	4	4	2	2		1	1	1		5	5	2	3	2	3	3	2	2	2	3	2	3	2	2	6	4	1	2	1	2	5	84	2
	13		2	1		1	3	1	3	1	3	3			1	4	2	2	6	1	1	2	4	1	1	1	2		2	3	3	4	2	5	2	67	5
	14	1	2		1		1		1	1	1	1	1	4		1	7		4		1			4	2		2	3	3	4		1			46	13
	15	2			1	1	1		1		3	3	2	1	3		1	1	1	1	3	1	4			2	1		1	1	2	1	4	1	5	48	8
	16	3	1		1	3	1			1	1	2			2	1	1		1	1					1	1	2					2	2	1	1	29	14
	17	3				1	1					3			1	1	4	2	1		1	2	1			1	1			1		1				25	18
	18	1	1			1	3		1		1					1		1	1				2	2		2	2		2				1	2	25	17
	19	1	1								1		1			3		1			1		1		1	1	1	3					1		18	20
	20	1						1				1					1						1		1	1							1	1	1	10	24
	21		1									1						1	1			1				1	3			1	1					11	25
	22					1	1	1				1	2	1					2			1		1	1	1		1								14	22
	23						1	1								1			1				1		2				1	1			1		10	25
	24							1				1				1			1			1		1					1		1		1	3	1	13	23
	25	1						1				1	1					1																		5	29
	26			1		1		1			1							1				2					1		1		1					10	25
	27	1			1										1							1			1				1	1				1	8	26
	28					1	1															1													1	4	30
	29				1									1					1				1							1				1		6	28
	30							1								1	1											1								4	30
	31												1		1								1		1									2	6	29
	32							1							1										1	1	1									4	30
	33							1																												1	33
	34																1										1									2	32
	35																1													1					1	3	31
	36				1																															1	33
	37								1										1								1									3	31
	38																								1											1	33
	39																																			0	34
	40																													1						1	33
	41																						1													1	33
	42																																			0	34
	43						1																													1	33
	44																																			0	34
	45																																			0	34
	46						1					1								1																	3	31
	47																												1							1	33
	48																																			0	34
	49																		1																1	2	32
	50																																			0	34
	51																								1											1	33
	52														1																					1	33
	53																																		1	1	33
	54																																			0	34
	55						1																													1	33
	56																								1											1	33
	57																																			0	34
	58																																			0	34
	59																																			0	34
	60																																			0	34
	61																																			0	34
	62																								1											1	33
	63																																			0	34
	64																		1																	1	33
	65																																			0	34
	66																													1						1	33
	67																																			0	34
	68																																			0	34
	69																												1							1	33
	70																																			0	34
	71																																			0	34
	72																																			0	34
	73																																			0	34
	74																																			0	34
	75																																			0	34
	76																																			0	34
	77																																			0	34
	78																								1											1	33
	79																																			0	34
	80																																			0	34

ターによる光子の観測を考えてみよう．フォトンカウンターとは，光子を１粒ごとに数えることができる測定器である．地表面に，上に向けて，99個のフォトンカウンターを設置し，空から降ってくる光子の数を測定することを考えてみよう．測定を始めてから，時間と共に，カウントゼロのフォトンカウンター（＝ブランクデータ）の数は次第に減少するであろう．カウントゼロのフォトンカウンターの数と，測定器全体に降り注ぐ光子の数との関係を NetLogo でシミュレートした結果を第６図に示す．縦軸を対数にしたグラフ（第６図 b）をみれば明らかなように，ブランクデータの数の対数は，粒子数と直線で表される関係にある．

これを一般化し，N 個のフォトンカウンターを上に向けて並べるとしよう．空から，１秒間当たり a 個の光子が降ってくると考える．時刻 t に，N 個のフォトンカウンターのうち $k\,(t)$ 個がブランク（カウントゼ



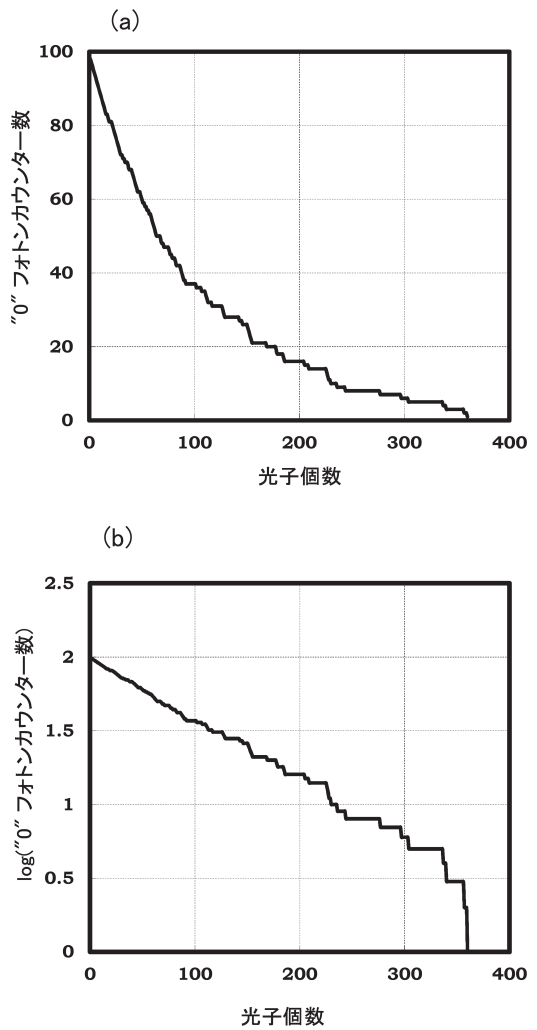
第４図　(a) 34年間の，10mm/h 以上の１時間降水量の時間降水量（横軸）と，合計の回数（縦軸）との関係．観測（○印）と回帰曲線との比較．(b) 目盛を両対数目盛にした．回帰式は降水強度10mm/h～30mm/h の範囲のデータ（○印）を用いた．



第５図　ブランクデータの個数（縦軸）と降水回数（横軸）との関係．(a) は縦軸が等間隔目盛，(b) は縦軸が対数目盛．

ロ）であったとする．その後，微小時間 dt の間に降り注ぐ $a\ dt$ 個の光子が確率（$k\ (t)/N$）の割合でブランクのフォトンカウンターに降ることになる．すなわち，微小時間 dt が経過した後のブランクのフォトンカウンターの個数 $k\ (t+dt)$ は，$k\ (t)$ より $a\ (k\ (t)/N)\ dt$ 個少なくなる．これを式で表わせば，

$$k(t+dt)-k(t)=-a(k(t)/N)dt$$
$$\rightarrow dk(t)/dt=(-a/N)k(t)$$



第 6 図　99個のフォトンカウンターに，ランダムに光子が降ってきたときの，“0”をカウントしたフォトンカウンターの数（縦軸）と光子の個数（横軸）の関係（NetLogo によるシミュレーション）．(a) 縦軸が等間隔目盛．(b) 縦軸が対数目盛．

となる．初期時刻のブランクのフォトンカウンターの個数は N，十分時間が経過した後（$t=\infty$）のブランクのフォトンカウンターの個数は 0 であるから，この式を積分して，

$$k(t)=N\exp(-(a/N)t)$$

となる．両辺の対数を取ると，

$$\ln k(t)=\ln N-(a/N)t \qquad (2)$$

であることが分かる．すなわち，ブランクのフォトンカウンター数の対数は，時間 t に比例する．1 秒間に a 個の光子が降り注ぐので，$a\ t$ は時刻 t までにフォトンカウンターに降り注いだ光子の総数である．その数を y とすれば，(2) 式は，

$$\ln k(t)=\ln N-y/N \qquad (3)$$

と書ける．(3) 式は，ブランクのフォトンカウンター数の対数は光子の総数に比例することを示している．

第 5 図は，(3) 式の関係がアメダスデータに対しても成り立つことを示唆する．すなわち，1 年間という時間のスパンを，1 つのフォトンカウンターに対応させる．34年間の観測を，34個のフォトンカウンターによる同時観測に対応させる．大きな降水強度の雨が降る回数はまれ（ブランクデータがほとんどを占める分類③に対応）であるが，それは，フォトンカウンターの観測を始めて間がない状態に対応する．そして，特定の降水強度の雨の回数が，フォトンカウンターの特定の時間における光子の観測回数に対応し，ブランクの対数がそれに比例する（降水強度によってブランクデータの数が変化する分類②に対応）．

5．降水強度が大きい雨の降り方（ブランクデータの分類③の場合）

雷神が，(1) 式が成立する条件下で，ランダムに雨を降らせるのであれば，第 1 表は，無数にある可能な降り方の中から，偶然に選ばれたとみるべきである．別の可能性（＝藤部（2014）では，「パラレルワールド」と呼んでいる）は，いくらでもある．雷神に成り代わって，東京における（疑似）アメダスデータ（降水強度25mm/h 以上．分類③の閾値では21mm/h 以上であるが，降水強度が小さくなると，データの数が急

激に増えるので，計算の便宜上，降水強度25mm/h 以上を対象とした．それ以上，データを増やしても，最大降水強度の分布には変化がない，即ち，最大降水強度が24mm/h 以下になるデータの数はほとんどない）を作ってみよう．

降水強度によって，発生回数は異なる．その比率を与えるのがベキ法則の（1）式であり，1 年間の回数にすれば，171554／34＝5045.7だから，

$$y=5045.7\,x^{-3.1} \qquad (4)$$

となる．（4）式は，観測データの内挿として得られたものである．単なる内挿であれば，観測データを大幅に超えた降水強度に対して，（4）式が当てはまる保証はない．しかし，一方で，自然現象の多くがベキ法則に従うことが知られている．ベキ法則に従う自然現象の多くは安定と不安定の境界で発生するので，一般に，「自己組織化臨界系」と呼ばれている．降水も，自己組織化臨界系の 1 例と考えられている．自己組織化臨界系については，木村（2018）を参照されたい．

この考え方に従って，ここでは（4）式を（単なる回帰曲線ではなく）東京の降水が従う法則と考える．法則であれば，観測データのない領域に対して（4）式を適用することが許されるであろう．

（4）式を100倍すると，100年間の発生回数になる．(4)式は，連続変数であるが，発生回数は整数である．第 2 表の左から 3 番目の列（影付き）は，（4）式の結果を四捨五入して，整数にしたものである．例えば30mm/h の降水強度の雨は東京で，平均すれば，100年に13回降ることを示し，61mm/h〜80mm/h の降水強度の雨は，100年に 1 回降ることを示している．100年間のうち，かならず，第 2 表で示した回数だけ，その降水強度の雨が降るとして，乱数で，発生した年を決めた 1 例を 4 列以降に示す．第 3 表は，発生年が 1 年目〜100年目の（疑似）観測結果のうち，1 年目〜50年目のデータを使って，第 1 表に対応する図を描いたものである．見かけは，とてもよく似ている．

6．疑似降水観測値の極値統計

大雨の再現期間の予測に，極値統計が使われる．極値統計とは，毎年の最大降水量の分布を利用して，大雨の再現期間を予測する方法である（藤部・山田 2020；藤部 2010）．大雨の予測だけでなく，材料工学や土木工学の分野で，建造物の耐久期間の予測に使わ

第 2 表　（4）式が成立するときの降水強度（25mm/h〜80mm/h，2 列目）の雨が100年間に降る回数（影付き 3 列目），と，降水の発生する年を 1 〜100の乱数で指定したもの（4 列目以降）．データの一部を省略．

			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
	25	23	97	41	92	15	88	32	39	97	38	38	11	21	64	8	45	67	7	28	69	100	47	5	22
	26	21	44	34	50	82	74	60	77	47	62	29	43	26	28	70	70	56	36	7	14	47	11		
	27	18	42	8	8	83	13	65	92	17	10	95	63	27	38	47	43	13	84	49					
	28	16	47	98	34	75	29	86	23	67	83	77	17	77	4	30	12	23							
	29	15	69	32	88	3	87	74	57	1	24	12	38	56	89	92	33								
降	30	13	72	2	60	8	20	76	91	56	22	82	78	29	79										
	31	12	73	65	2	26	3	11	12	55	35	80	86	62											
	32	11	94	52	49	45	8	66	18	2	26	59	58												
	33	10	12	31	37	95	56	13	17	63	46	93													
水	34	9	31	7	92	16	76	51	74	67	94														
	35	8	28	85	45	45	5	80	35	94															
	・																								
強	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・
	・																								
	60	2	25	39																					
度	61	1	72																						
	・																								
	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・	・
	・																								
	79	1	2																						
	80	1	94																						

れる．多くの場合，現象のメカニズムが複雑すぎて分からない観測値から，将来予測をしようという発想である．大雨の場合も同様である（気象庁ホームページの「気象庁異常気象リスクマップ」（気象庁 2022）参照）．

第5章の光子モデルに従って雨が降る場合は，降水の素性が完全に分かっているのであるが，光子モデルによる降水量（第3表）に極値統計を当てはめ，極値統計の特徴を調べてみよう．実は，このような方法を用いた疑似観測データによる降水過程のシミュレーションは，既に，藤部（2010）が行っている．

最大降水強度のヒストグラムを第7図a，累積のヒストグラムを第7図bに示す．それに基づく「二重指数確率紙」を作成した（第7図c）．

「二重指数確率紙」とは，最大降水強度の累積確率を示すグラフである．但し，極値統計が，グンベル分布に従う場合，プロットしたデータが一直線になるように縦軸を変換している．

第3表　降水強度25mm/h～80mm/h の疑似データ．100年間の乱数に対して，50年間のデータを示した．縦軸が降水強度．横軸は1～50（年）．各年の最大降水強度（影付き最大値の行）を最下段に示した．

年		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
降水強度	25	2			2										1					1	1	1										1					1						1								
	26	1						1									1							1			1					1							1									1	1	
	27	1																				1		1	1		1					1				1		1									1	1	
	28											3											1				1			1			1													1	1			
	29											1								1							1	1				1														1				
	30															2			1			1					1				1		4																	1
	31				1		1						1	1						2		1								1																				
	32								1				1	1						1		1						1																					1		
	33	1	1								1	1						1																												1				
	34																																		1						1		5						
	35												1																					1											1	1			
	36		2																																			1											
	37							1																																1	1			1					
	38				1					1																																			1				
	39																1																																1
	40																					1												1		1	1												
	41						1																			1													1										
	42																																					2											
	43									1																																		1				
	44			1																																												
	45																																			1												
	46																							1																									
	47																																					1											
	48																	1	1																															
	49																																																
	50																																												1				
	51																																															1		
	52																																1																
	53		1																																														
	54																																																
	55	1																																															
	56																																																
	57																										1																							
	58		1																											1																			
	59																																																
	60		1																	1																													
	61																																																1
	62										1																																						
	63					1																																										
	64																																															
	65																																															
	66														1																																		
	67																																															
	68							1																																								
	69																																															
	70																																															
	71																																					1											
	72																																															
	73																																															1
	74																										1																						
	75																																															
	76																																															
	77																																															
	78																																															
	79									1																																						
	80																																1																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
最大値		55	60	44	38	63	41	68	37	79	62	33	29	35	66	30	39	48	48	60	25	40	32	46	27	41	74	30	57	32	58	40	52	80	40	45	34		25	71	47	50	38			43	38	51	73	61	39

グンベル分布とは，極値統計の代表的な分布で，以下の数式で表される．

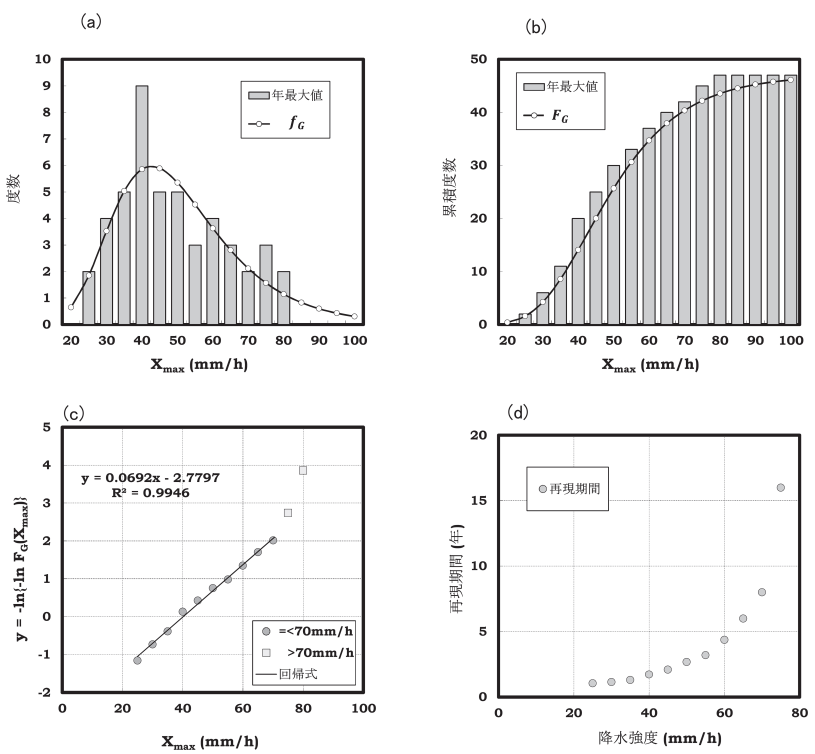
$$累積確率：F_G(X_{max})=\exp\left\{-\exp\left(-\frac{X_{max}-\lambda}{\alpha}\right)\right\} \quad (5)$$

$$確率密度：f_G(X_{max})=\frac{1}{\alpha}\exp\left\{-\exp\left(-\frac{X_{max}-\lambda}{\alpha}\right)\right\}\cdot\exp\left(-\frac{X_{max}-\lambda}{\alpha}\right) \quad (6)$$

バラメータλとαは，観測データに合わせて決める（具体的方法については小山信次ホームページ「材料の強度と破壊＞極値統計について」(小山 2022) を参照)．

ここでは，第3表の疑似データのヒストグラム（第7図a）を基に，二重指数確率紙の縦軸を作成する手順のみを示す．

第4表をご覧いただきたい．最左列は，降水強度の区分である．2列は，第7図aに示したヒストグラムである．データは，全体で47個である．全体を1にするために，2列を全体の個数で割った数値を3列に示す．全体を1にするためには，47で割ればよいのであるが，(私がまだ理解していない理由によって)「二重指数確率紙」の作成には，47＋1で割る（「平均ランク法」という)．4列は，3列の累積で，合計は約1になる．5列は，4列の逆数である．6列は，5列の対数である．7列は，6列の対数である（2回対数を取るので，「二重指数」という)．8列は，7列の符号を変えたものである．これをyとする．



第7図　(a) 第3表の各年の最大値のヒストグラム．40mm/h は35mm/h＜X_{max}≦40mm/h の範囲の度数を表す．(b) (a) のデータの累積値のヒストグラム．(c) 最大値の累積数の二重対数yと降水強度X_{max}の関係．(a) から (c) を得る手順は第4表参照．(a) と (b) 図をグンベル分布に当てはめると，λ＝40.2，α＝14.5である．(d) 極値統計による再現期間．着目する降水強度 (横軸) を超える降水が生じる再現期間（縦軸)．第4表の F_G（X_{max}）欄は，着目する降水強度以下の，1年間の発生確率である．1 −F_G（X_{max}）は，着目する降水強度を超える雨が降る確率である．その逆数が，再現期間である．

yを縦軸に，降水強度X_{max}を横軸にとってプロットしなおしたものが，第7図cである．何と，70mm/hまで，ほとんど，直線に並んでいる．疑似データが，グンベル分布に従っていることを示しているのである．

疑似データが，グンベル分布に従っていると仮定した場合，疑似データに対応するグンベル分布のパラメータは，$\lambda=40.2$, $\alpha=14.5$である．このパラメータを使って，第7図a，bのヒストグラムに，グンベル分布の確率密度と累積確率を重ねて描いた．ランダムな降水モデルでも，グンベル分布になることを示している．

累積確率（第4表の4列）は，着目する降水強度以下の降水の発生する確率である．逆に，「1－累積確率」は，着目する降水強度を超える降水が発生する確率である．その逆数は，その降水強度を超える降水の生じる再現期間を与える．第1表の最右列に再現期間を求めた．第7図dに再現期間をプロットした．第3表の疑似データによれば，25mm/hを超える雨が降る再現期間は約1年，70mm/hを超える雨が降る再現期間は約8年である．

7．まとめ

①120年間の東京の，10mm/h以上の雨の降り方を見ると，平均値と分散が同じような値になり，降水が，二項分布に従って降っているようにみえる．

②34年間の東京(大手町)のアメダスデータを使用し，1時間降水量の1年間の回数を降水強度別に整理した．

③降水強度と1年間に発生する回数の間には，(4）式で表したベキ法則の関係がある．

④降水強度が小さいデータは，すべての年に対して，発生回数がゼロになる年はない．降水強度が大きくなるにつれて，ゼロになる回数が多くなる．

⑤ゼロになる年の数の対数は，降水回数に比例する．この性質は，その降水強度の雨が，二項分布に従って降ると仮定した場合と整合的である．

⑥降水強度と発生回数の関係式（(4）式）と，乱数を用いて二項分布を生成することにより，疑似降水データを作成することができる．

⑦この疑似データに，極値統計（グンベル分布）を当てはめることにより，大雨の再現期間が分かる．しかし，再現期間の視野に入る年数（100年とか1000年とか）によって，ある程度，降水強度の大きな雨の回数は1回か0回になる（回数は整数なので，1以下の分布関数を1回か0回かに，振り分けざるを得ない）．そのために，再現期間が長くなると，同じ再現期間の降水強度に幅が生じる（第2表では，100年間に1回の降水強度が，61mm/h～80mm/hまで分布している）．

謝　辞

私がアメダスのデータ解析に興味をもったのは，放

第4表　第7図aから第7図cのデータを作成する手順を示す表．最右列は再現期間（単位は年）．

降水強度 X_{max}	度数 k	確率密度 $f_G(X_{max})=k/(n+1)$	累積確率 $F_G(X_{max})=\Sigma f_G$	$1/F_G$	$-\ln(F_G)$	$\ln\{-\ln(F_G)\}$	二重対数 $y=-\ln\{-\ln(F_G)\}$	再現期間 $1/(1-F_G)$
25	2	0.042	0.042	24.000	3.178	1.156	−1.156	1.0
30	4	0.083	0.125	8.000	2.079	0.732	−0.732	1.1
35	5	0.104	0.229	4.364	1.473	0.388	−0.388	1.3
40	9	0.188	0.417	2.400	0.875	−0.133	0.133	1.7
45	5	0.104	0.521	1.920	0.652	−0.427	0.427	2.1
50	5	0.104	0.625	1.600	0.470	−0.755	0.755	2.7
55	3	0.063	0.688	1.455	0.375	−0.982	0.982	3.2
60	4	0.083	0.771	1.297	0.260	−1.346	1.346	4.4
65	3	0.063	0.833	1.200	0.182	−1.702	1.702	6.0
70	2	0.042	0.875	1.143	0.134	−2.013	2.013	8.0
75	3	0.063	0.938	1.067	0.065	−2.740	2.740	16.0
80	2	0.042	0.979	1.021	0.021	−3.861	3.861	48.0
合計 n	47							

送大学に在職中，故佐藤克彦氏（当時放送大学大学院生）とアメダスデータを用いて共同研究を行ったからである．本稿の土台になった第１表は，佐藤氏が解析されたデータを利用して作成したものである．

参考文献リストから分かるように，本稿の作成には，藤部文昭氏（東京都立大学）の書かれた文献が参考になった．文献だけでなく，本稿の草稿は，藤部氏に査読をお願いし，多くのコメントをいただいた．そのコメントが，本稿に反映していることは，いうまでもない．

二項分布の理解には，上江洲忠弘君(中学の同級生，数学者）のご教授が参考になった．

本稿を投稿する前に，森　厚氏（桜美林大学）に査読をお願いした．内容を丁寧にチェックしていただいたのみならず，分かり易い表現の工夫を，いろいろ示していただいた．

編集担当の萩野谷成徳氏には，文章を細部までチェックしていただき，計算の誤りを指摘していただいた．また，私の作成した拙い図をすべて書き直して，「天気」に掲載できる図に書き直していただいた．

青柳暁典編集委員長には，最終稿をチェックしていただき，貴重なコメントをいただいた．

上記の方々の助けがなければ，本稿は成立しない．記して，深く感謝します．なお，本稿では，フリーソフト「NetLogo」を利用して，シミュレーションを行った．インターネットから自由にダウンロードできる便利な計算機言語を公開された言語開発者に感謝します．

参　考　文　献

藤部文昭，2010：極端な豪雨の再現期間推定精度に関する検討．天気，57，449–461.

藤部文昭，2012：都市の気候変動と異常気象（猛暑と大雨をめぐって）．朝倉書店，161pp.

藤部文昭，2014：統計からみた気象の世界（気象ブックス041）．成山堂書店，149pp.

藤部文昭，山田道夫，2020：極値統計．気象研究ノート，（242），79pp.

加藤輝之，2022：アメダス３時間積算降水量でみた集中豪雨事例発生頻度の過去45年間の経年変化．天気，69，247–252.

木村龍治，2018：雨と砂山崩し―雨の降り方に潜む法則性．天気，65，159–168.

気象庁，2022：異常気象リスクマップ，確率降水量　地点別一覧表（アメダス）関東．https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/riskmap/rtpd/listRTPD_tb_207.html（2022.4.5閲覧）

小山信次，2022：「材料の強度と破壊＞極値統計について」．http://ms-laboratory.jp/pdf/kyoku2/kyo2.htm（2022.4.11閲覧）

須田芳彦，1990：降水量の度数分布にみられる時間特性とその地域的・局地的特徴．地理学評論，63，315–334.

安田清美，1970：日本における強雨（50mm/h 以上）の気候学的特徴．天気，17，539–548.