

気象庁震度データベースを使用した地震リテラシー教育 －「地震の相場観」を鍛える－

村上英記

理工学部地球環境防災学科

ある地域の定常的な地震活動（「地震の相場観」）に関する知識は、地震防災における基本的な知識といえる。しかし、定量的に把握していることはまれであり、知識の欠如や曖昧さが様々な地震情報に接する際の不安要因の1つになっている。地震学を専攻していなくても地震活動の定量的な評価に興味を持つ学生を対象として、「地震の相場観」を身に付けるための自習教材としてまとめた。

1. 「地震の相場観」とは

地震予知とは、地震の「発生場所、大きさ、発生時期」の3要素をある程度狭い範囲で地震の起きる前に指定することと定義される。3要素の範囲を広げれば適中率は高くなるが、予報としての価値は下がる。また、宇津（2001, P. 318）が『「1ヶ月以内に関東地方に M_4 以上の地震が起こる」という予報はほとんど確実に当たるが価値はない』と述べているように、地域の永年的な地震活動から推測できる内容の予報の適中率は高くなるが価値はない。関東地方の定常的な地震活動から当然推測できる内容であり、現在は2011年東北地方太平洋沖地震（ $M_w^{19.0}$ ）の影響で地震活動がまだ高い状態にあり、先の予報の適中率は更に高くなっている。

しかし、地震に特別の関心を持っている人を除けば、定常的な地震活動についての理解が高いとは言えない。ソーシャルメディアをはじめとして様々な地震予知・予測情報が流れているが、これらの情報を鵜呑みにするのではなくより正しく付きあうためにも、定常的な地震活動についての知識を身に付ける必要がある。小泉・今給黎（2016a, b）は定常的な地震活動から予測できる地震の発生頻度・確率を「地震の相場観」と呼び、それを求める簡便な手法を提案し、体感として記憶に残る震度4以上の発生確率を日本全国で示した。

南海トラフの地震のような大規模で発生頻度の極めて低い地震ではなく、定常的な地震活動から推定される地震の発生頻度を定量的に知ることを目的とし、地震学を専攻していなくても地震活動の定量的な評価に興味を持つ学生を対象に地震リテラシー獲得のための演習教材として「地震の相場観」を紹介する。実際に災害科学課題演習で実施した経験を元に、統計処理にあまり詳しくない学生も独力で学習できるように具体的な処理方法も記述した。

2. 「地震の相場観」を知る

小泉・今給黎（2016a）は、日本全国の各都道府県を単位とした震度4以上の有感地震の年平均発生数を求め、通常地震活動から当然予想できる地震発生の予測をおこなった。その中で、2013年から2015年の震度データを用いて、高知県について年平均発生数1.0（回/年）、またその値を使い高知県における震度4以上の有感地震が1年間に1度以上起きる確率を0.63とした。

まず、小泉・今給黎（2016a）の解析手法を学ぶために、高知県における2012年から2017年の震度4以上の

¹ M_w は地震の規模を表すマグニチュードの一種で、規模の大きな地震の際に公表される。

有感地震回数について以下の手順で解析を行う。

- (1) 気象庁震度データベース（気象庁, 2019）を使い有感地震回数を調べる
- (2) 基本統計量を求める
- (3) ポアソン分布を仮定し地震発生確率を求める
- (4) 震央²分布を確認する

(1) 気象庁震度データベースを使い有感地震回数を調べる（詳細は付録 1 を参照）

気象庁震度データベース（気象庁, 2019）にアクセスし、下記の検索条件を設定して有感地震回数を調べる。

[地震の検索条件] 地震の発生日時 2012/01/01 00:00 ~ 2017/12/31 23:59
 [観測された震度の検索条件] 都道府県（高知県），市町村（指定しない），震度（震度 4 以上）

表1 高知県における震度4以上の有感地震回数（2012年～2017年）

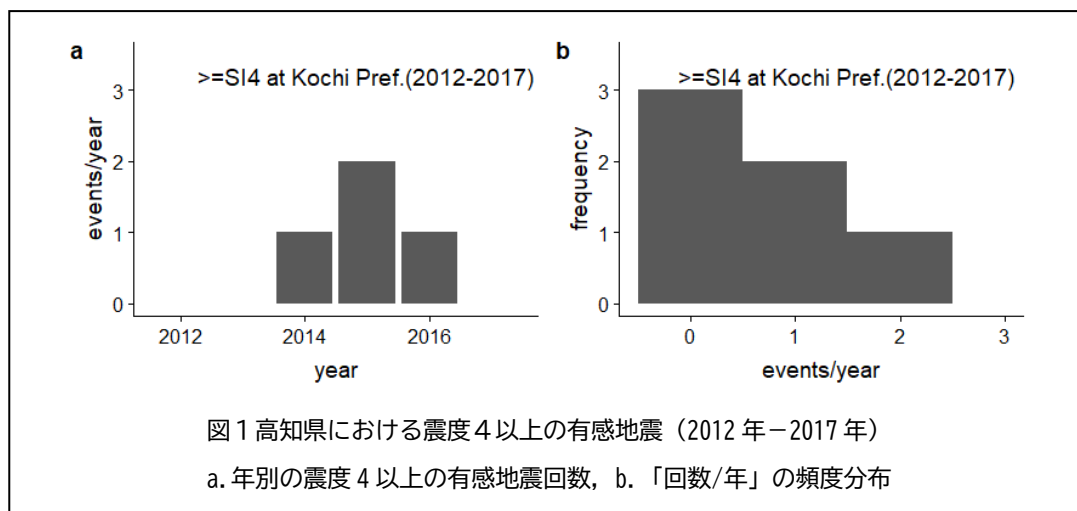
年	震度1	震度2	震度3	震度4	震度5弱	震度5強	震度6弱	震度6強	震度7
2012年	—	—	—	0	0	0	0	0	0
2013年	—	—	—	0	0	0	0	0	0
2014年	—	—	—	0	1	0	0	0	0
2015年	—	—	—	2	0	0	0	0	0
2016年	—	—	—	1	0	0	0	0	0
2017年	—	—	—	0	0	0	0	0	0

(2) 基本統計量を計算する

表 1 より、1 年当たりの有感地震発生回数の度数分布表（表 2）を作成する（詳細は付録 2 を参照）。また、震度 4 以上の有感地震回数の経年変化、「発生回数/年」の頻度分布を表すグラフを作成する（図 1）。

表2 高知県における震度4以上の有感地震発生回数の度数分布(2012年～2017年)

発生回数/年	度数
0	3
1	2
2	1



² 震央とは震源（破壊の開始点）の真上の地表の点をいう。

図 1b に示すように、「発生回数/年」という変数は正規分布（平均値に対して左右対称）ではなく、変数の大きい方に尾を引く分布をしている。図 1b のように片方に尾を引く確率分布としてポアソン分布がある。ポアソン分布する確率変数 $X(=x_1, x_2, \dots, x_n)$ の平均 $E[X]$ と分散 $V[X]$ は等しいという性質がある。平均発生回数 λ のポアソン分布は次式で表される。

$$P_o(X=k) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^k}{k!} \quad (k=0,1,2,\dots)$$

$$E[X] = \lambda, \quad V[X] = \lambda$$

$P_o(X=k)$ は確率変数 X が k となるときの確率を与える。ここで、 e はネイピア数 ($=2.71828\dots$) を表す。

表 2 より有感地震発生回数の平均と分散を求める。

$$\cdot \text{平均発生回数} (\lambda) = (1 \times 2 + 2 \times 1) / 6 = 4 \text{ 回} / 6 \text{ 年} = 0.667 \text{ [回/年]}$$

$$\cdot \text{発生回数の分散} = \frac{1}{6-1} \sum \{3 \times (0-0.667)^2 + 2 \times (1-0.667)^2 + (2-0.667)^2\} = 0.667$$

統計的な検定が必要であるが、震度 4 以上の有感地震回数において平均値と分散が等しいようなので、ここでは有感地震の発生回数はポアソン分布に従うと仮定し、平均値の 95%信頼区間を計算する。

現象がポアソン分布に従い、次の正則条件

$$e^{-n\lambda} \leq \alpha / 2$$

n : 観測期間, λ : 平均発生回数, α : 有意水準 (危険率)

を満たすとき、平均値の $100(1-\alpha)\%$ 信頼区間は次のようになる (白石, 2012)。

$$\frac{\chi_{2W}^2 \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)}{2n} < \lambda < \frac{\chi_{2(W+1)}^2 \left(\frac{\alpha}{2}\right)}{2n}, \quad W \equiv \sum_{i=1}^n x_i$$

ここで、 x_i は単位時間当たりの地震発生回数、 $\chi_m^2(\alpha/2)$ は自由度 m のカイ二乗分布の上側 $100(\alpha/2)\%$ 点を表す。平均発生回数の 95%信頼区間は次のように求まる。

$$\cdot \text{平均発生回数} (\lambda) \text{ の } 95\% \text{ 信頼区間 : } [0.182, 1.707]$$

$$\alpha = 0.05, \quad n = 6, \quad \lambda = 0.667$$

$$e^{-n\lambda} = 0.0183 \leq \alpha / 2 = 0.025$$

$$W = 0 + 0 + 1 + 2 + 1 + 0 = 4$$

$$\frac{\chi_8^2(1-0.025)}{2 \times 6} = \frac{2.1797}{12} = 0.182, \quad \frac{\chi_{10}^2(0.025)}{2 \times 6} = \frac{20.4832}{12} = 1.707$$

ポアソン分布の母平均の信頼区間を推定する手法は幾つかあり、ここで使用した方法は正確法と呼ばれる手法であり他の推定手法に比べて区間幅が広い (岩崎, 2010)。

(3) ポアソン分布を仮定して地震発生確率を計算する

有感地震の 1 年当たりの発生回数の平均値 (λ) から、平均発生間隔 (T) を求める。

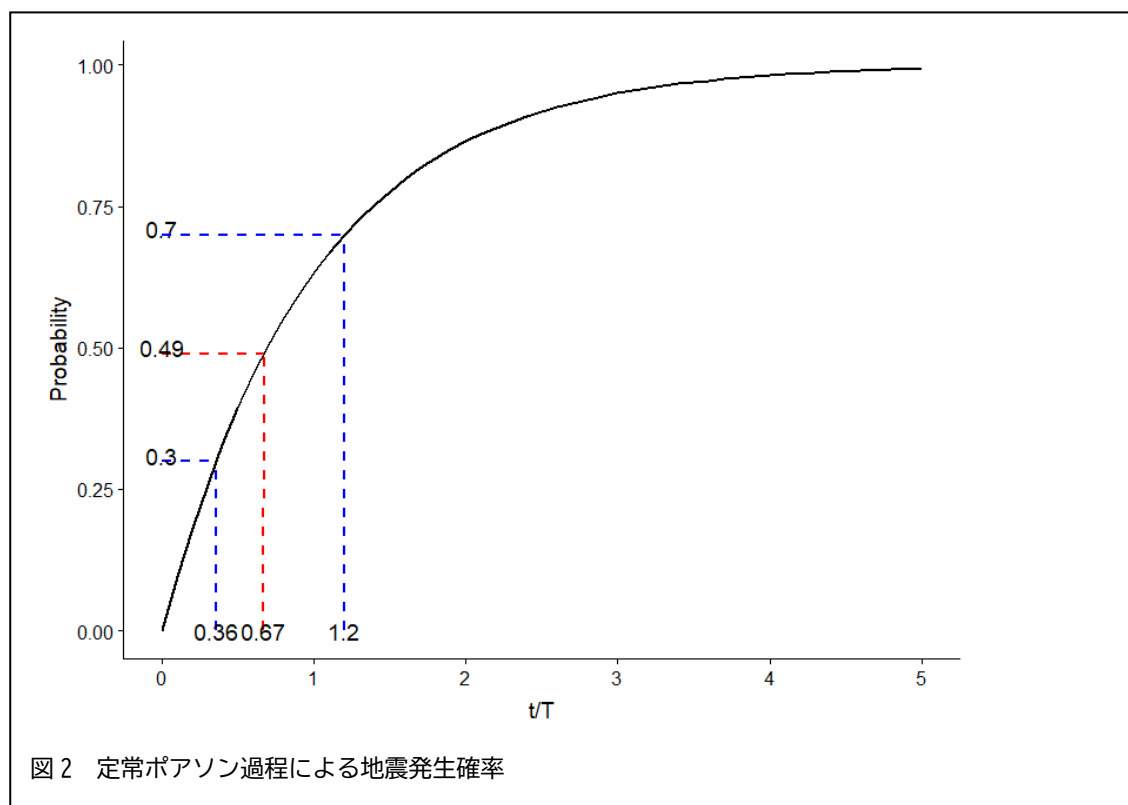
$$\cdot \text{平均発生間隔}(T) = 1/\lambda = 1/0.667 = 1.5 \text{ [年]}$$

ポアソン分布する事象の発生間隔は指数分布に従う（東京大学教養学部統計教室，1992）。発生間隔が指数分布に従う場合（定常ポアソン過程）には，平均発生間隔(T)のもとで，ある期間 (t) に 1 回以上事象が発生する確率は次式で与えられる（今給黎，2016）。

$$P(t|T) = 1 - \exp\left(-\frac{t}{T}\right) = 1 - e^{-t/T}$$

地震が 1 年間($t=1$)に発生する確率は， $P(1|1.5) = 1 - \exp(-1/1.5) = 0.49$ となる。

定常ポアソン過程による地震発生確率 (P) と，予測期間 (t) と平均発生間隔 (T) の比 (t/T) の関係を図 2 に示す。小泉・今給黎(2016a)では， $P_1=0.7, P_2=0.3$ として，「 $P \geq P_1$ であれば，場所 A で t 年間に震度 X 以上の地震が発生すると予測（赤予報）」，「 $P < P_2$ であれば，場所 A で t 年間に震度 X 以上の地震は発生しないと予測（青予報）」，そして「 $P_2 \leq P < P_1$ であれば，場所 A で t 年間に震度 X 以上の地震が発生するかどうかは不明と予測（黄予報）」により「発生して当然の地震」の地震発生予測をおこなっている。



2012 年から 2017 年の 6 年間の高知県における震度 4 以上の有感地震回数から期待される 1 年間の地震発生確率は $P = 0.49$ で，小泉・今給黎(2016a)の定義では黄予報となる。2018 年の 1 年間に高知県に起きた震度 4 以上の地震は 1 回（震度 4）であった。しかし，ポアソン分布の強度（平均）の 95%信頼区間を考慮すると発生確率は $P = 0.49$ [0.17, 0.82] と与えられる。データ数が少ないため信頼区間が広がっている。小泉・今給黎(2016a)の定義で地震発生予測をするには，発生確率の信頼区間を狭めることが望ましい。

ここでは，ある地点 A における震度 X 以上の有感地震の発生回数はポアソン分布に従うと仮定している。ポアソン分布は次の 3 つの特徴を持つ確率モデルである（今給黎，2016）：

- (1) 対象の地震はランダムに発生する（同じタイミングで 2 回以上生起しない；希少性），
- (2) 発生確率は常に一定である（定常性），
- (3) 過去の地震発生履歴は次の発生確率に影響しない（独立性）。

例えば、高知県で 1 年間に震度 4 以上の有感地震の発生する確率が約 0.5 であるというのは、ある 1 年間を見ると「発生する」と「発生しない」は五分五分であり、ある年に地震が発生しても発生しなくても次の 1 年間における地震発生確率は同様に約 0.5 と変わらないことを意味する。これは、例えば南海トラフの地震の発生確率（BPT 分布という別の確率モデルを使用）のように、前回の地震からの経過時間とともに地震発生確率が上昇するモデルとは異なる（地震調査研究推進本部，2018）。図 2 の定常ポアソン過程を仮定した地震発生確率の横軸は〔予測期間(t)/平均発生間隔(T)〕であり、前回の地震からの経過時間ではない。

(4) 震央分布を確認する

2012 年から 2017 年の期間に高知県で震度 4 以上を記録した 4 つの地震の震央分布を図 3 に示す。高知県下で発生した地震は一つもなく、高知県外の地震による地震動を観測していることがわかる。



上記の手順で「地震の相場観」に基づき地震発生確率の計算までが行えるようになったら、次のような演習が考えられる。

課題 1 出身県の「震度 4 以上の有感地震」について、年平均発生回数 (λ)、平均発生間隔 (T)、定常ポアソン過程を仮定したときの 1 年間の地震発生確率 (P) を求めなさい。ただし、解析期間内に大きな規模の地震発生がある場合には余震活動などの影響を受けて定常ポアソン過程が成り立たない場合があるので、そのような期間は外して解析期間を選択しなさい。

課題 2 出身県が西日本の人は東日本の任意の県を、出身県が東日本の人は西日本の任意の県を選び、年平均発生回数 (λ)、平均発生間隔 (T)、1 年間の地震発生確率 (P) を求め、出身県との比較をしなさい。

3. 「地震の相場観」を鍛える

高知県下の定常的な地震発生回数（平均発生回数）として、2013 年から 2015 年のデータからは 1 (回/年) (小泉・今給黎, 2016a)、2012 年から 2017 年のデータからは 0.667 (回/年) が得られた。平均発生回数 1 と 0.667 の差は、0.0667 の 95%信頼区間 [0.182, 1.707] を考慮すると実質的な差とは言えない。

定常的な地震活動の精度を上げるためにはもっと長い期間の地震発生回数を調べるのが望ましい。しかし、震度計の整備が 1995 年兵庫県南部地震以降から 2000 年代前半にかけて全国的におこなわれたために、県単位での有感地震回数を見るとこの時期の前よりも後の方が有感地震の平均発生回数が増えている場合がある。これは主に観測点数の違いによるものと考えられる。

地域は限定されるが観測期間の長い気象庁の観測点での有感地震回数について調べ、地震の発生回数がポアソン分布に従うのか、長期間で見たときの地震発生頻度はどれくらいなのかを次に調べる。

3.1 有感地震の発生回数はポアソン分布に従うのか

震度の観測期間の長い高知県下の 2 地点（高知市本町と宿毛市片島）における震度データについて、有感地震の 1 年当たりの発生回数がポアソン分布に従うかを検討する。

(1) 震度 1 以上の有感地震回数を調べる

高知市本町 (1923 年–2017 年) と宿毛市片島 (1944 年–2017 年) の震度 1 以上の有感地震回数 (回数/年) を調べる。対象期間中の震度別の有感地震の総数を表 3 に示す。

表3 高知市本町及び宿毛市片島における有感地震回数

	震度 1	震度 2	震度 3	震度 4	震度 5 弱	震度 5 強	震度 6 弱	震度 6 強	震度 7
高知市本町 (1923–2017)	460	173	65	8	2	0	0	0	0
宿毛市片島 (1944–2017)	233	110	22	6	2	0	0	0	0

(2) 統計量を計算する

平均発生回数 (回/年) と発生回数の分散を、震度 1 以上、震度 2 以上、震度 3 以上、そして震度 4 以上について求める (表 4)。

表4 高知市本町及び宿毛市片島における有感地震の平均発生回数（回/年）と分散

	震度1以上		震度2以上		震度3以上		震度4以上	
	平均	分散	平均	分散	平均	分散	平均	分散
高知市本町 (1923－2017)	7.453	93.697	2.611	10.538	0.789	0.828	0.105	0.095
宿毛市片島 (1944－2017)	5.041	18.533	1.892	3.550	0.405	0.491	0.108	0.153

有感地震の発生回数がポアソン分布に従うとすれば平均と分散は等しくなる。表4から高知市本町及び宿毛市片島における震度1以上及び震度2以上については平均値よりも分散がかなり大きく（過分散）、ポアソン分布を仮定するのは難しいと考えられる。震度3以上については平均と分散がかなり一致しているのでポアソン分布に従うとしてもよさそうである。震度4以上については大きくは違わないが、等しいと判断するには統計的検定が必要と考えられる。

データの特性を把握するために震度1以上、震度2以上、震度3以上、そして震度4以上の有感地震の発生回数の経年変化、「発生回数/年」の頻度分布を表すグラフを作成し、分布特性を検討する。高知市本町における経年変化を図4に、そして発生回数の頻度分布を図5に示す。図4及び図5から1946年昭和南海地震の余震の影響が震度1以上及び震度2以上には顕著に見られるが、震度3以上及び震度4以上ではその影響は大きくはないことが分かる。発生回数の頻度分布については、いずれも左右対称ではなく変数の大きい方に尾を引く分布になっている。

宿毛市片島における有感地震の発生回数の経年変化を図6に、そして発生回数の頻度分布を図7に示す。図6及び図7から震度1以上及び震度2以上では1946年昭和南海地震の余震の影響が見られるが、震度3以上及び震度4以上には影響が見られないことが分かる。発生回数の頻度分布については、いずれも左右対称ではなく変数の大きい方に尾を引く分布になっている。

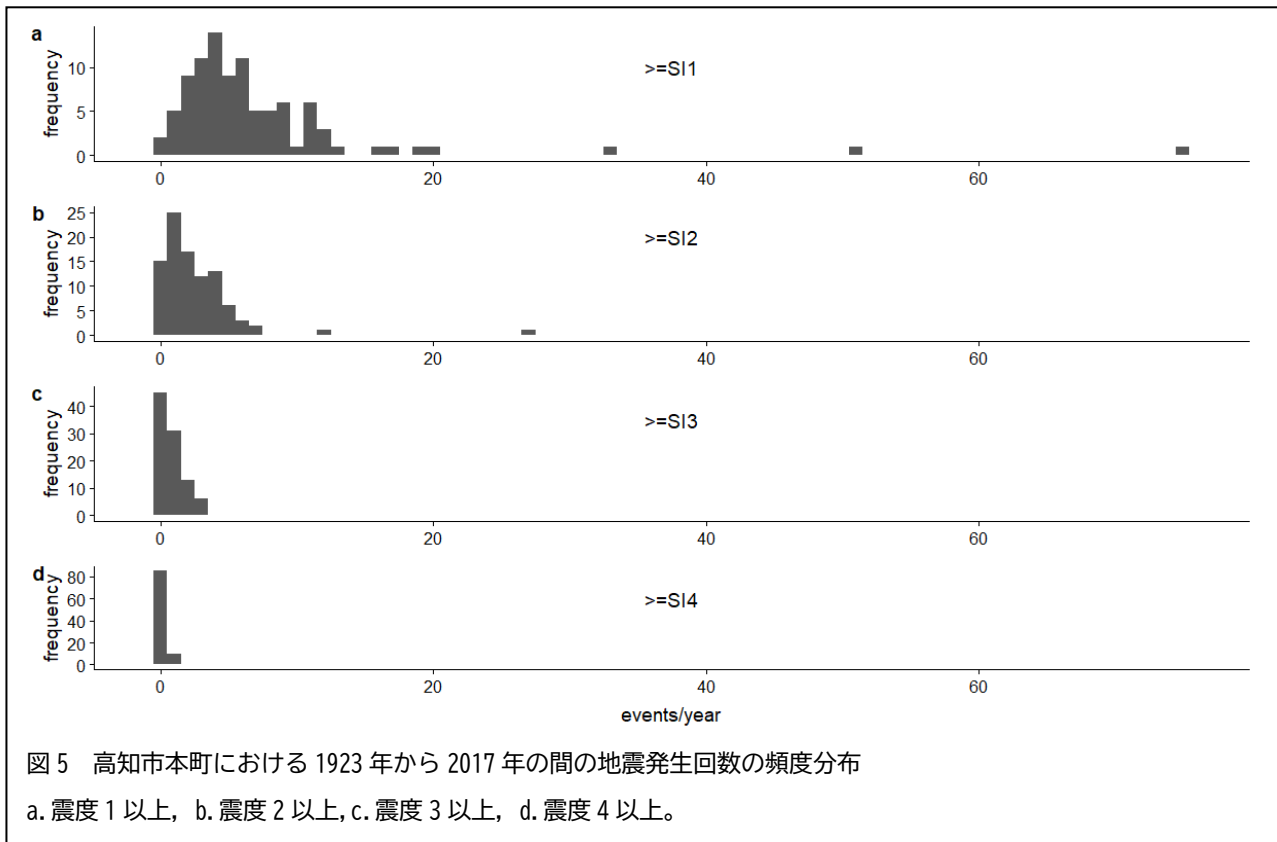
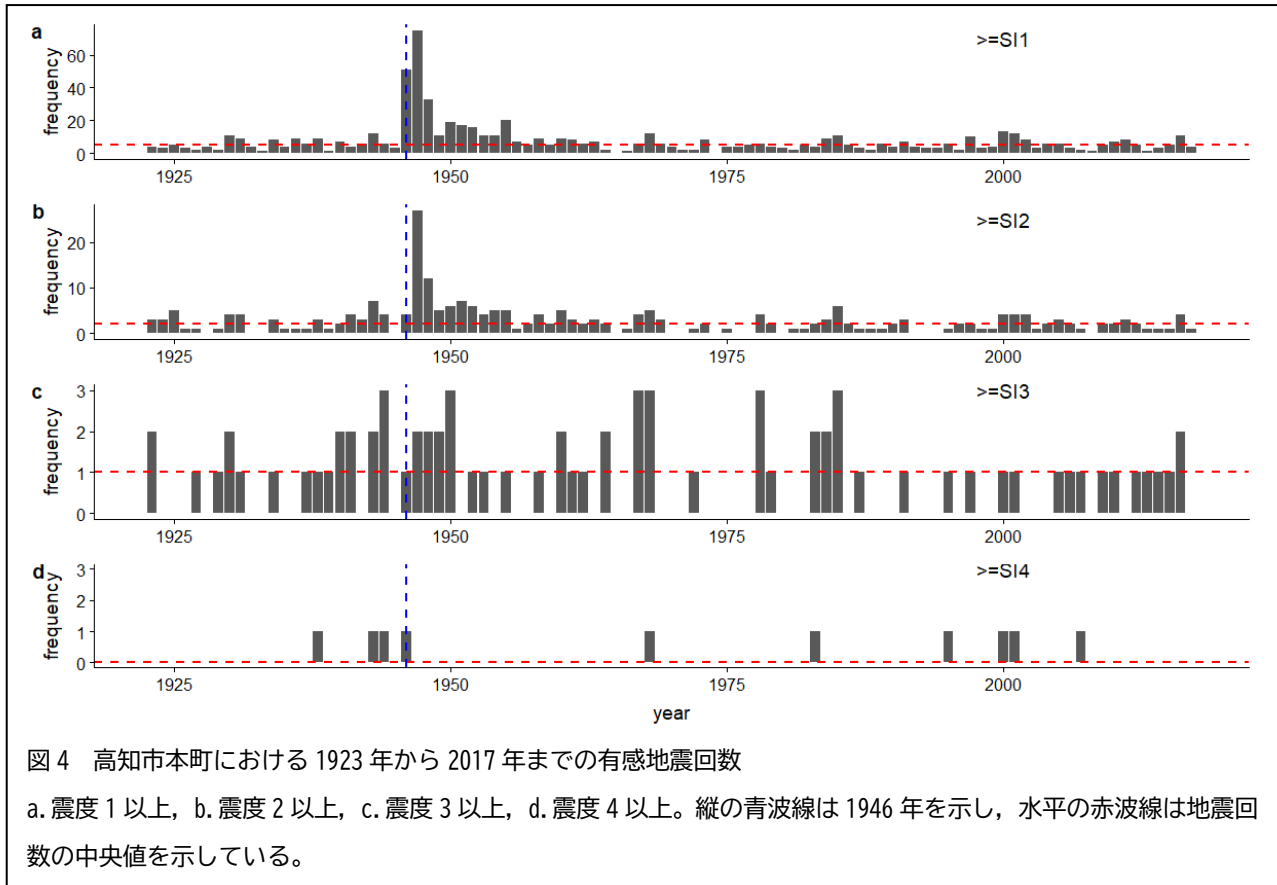
(3) 発生回数がポアソン分布をするか適合度検定により判定する

1946年の南海地震の影響が顕著ではない震度3以上及び震度4以上の有感地震について度数分布表(表5)を作成する。

表5 有感地震発生回数の度数分布表

発生回数/年	高知市本町 1923年－2017年（95年間）		宿毛市片島 1944年－2017年（74年間）	
	度数 震度3以上	度数 震度4以上	度数 震度3以上	度数 震度4以上
0	45	85	52	68
1	31	10	15	4
2	13	0	6	2
3	6	0	1	0

高知市本町及び宿毛市片島における震度3以上の度数分布について、適合度検定の手法を用いてポアソン分布に当てはまるのかを判定するための統計量（表6、表7）を計算する（詳細は付録3を参照）。



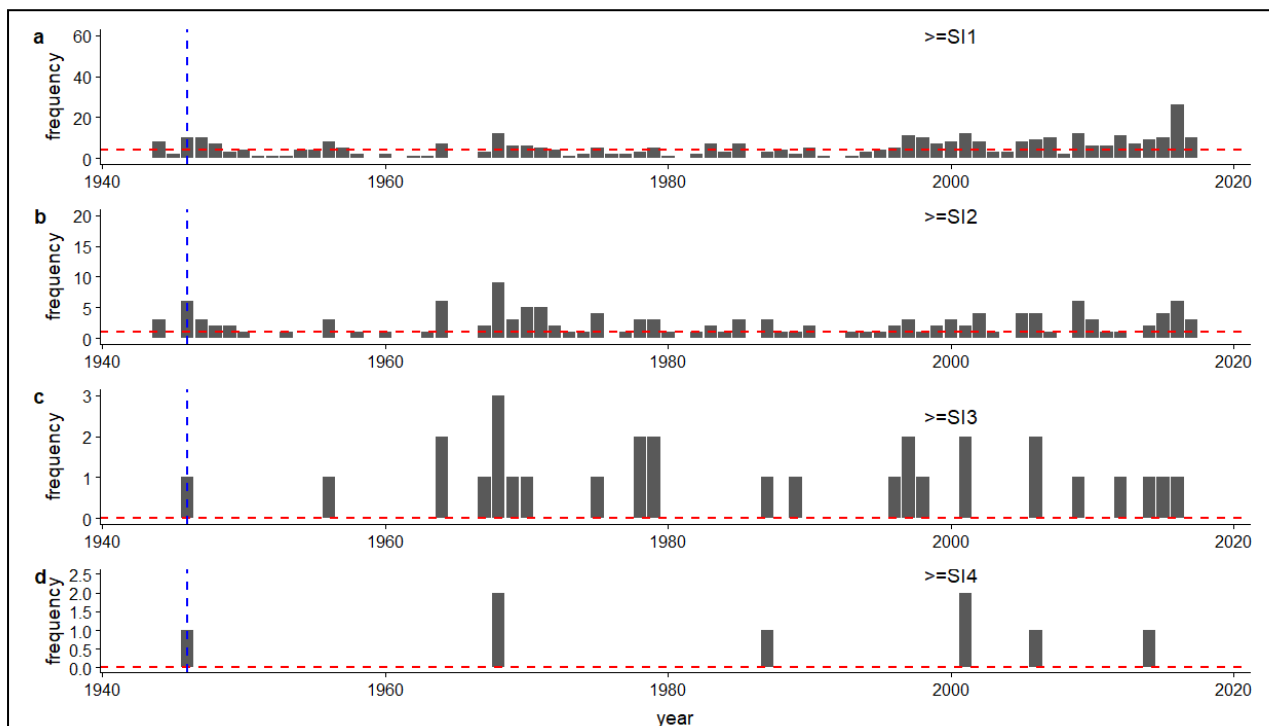


図 6 宿毛市片島における 1944 年から 2017 年までの有感地震回数

a. 震度 1 以上, b. 震度 2 以上, c. 震度 3 以上, d. 震度 4 以上。縦の青波線は 1946 年を示し、水平の赤波線は地震回数の中央値を示している。

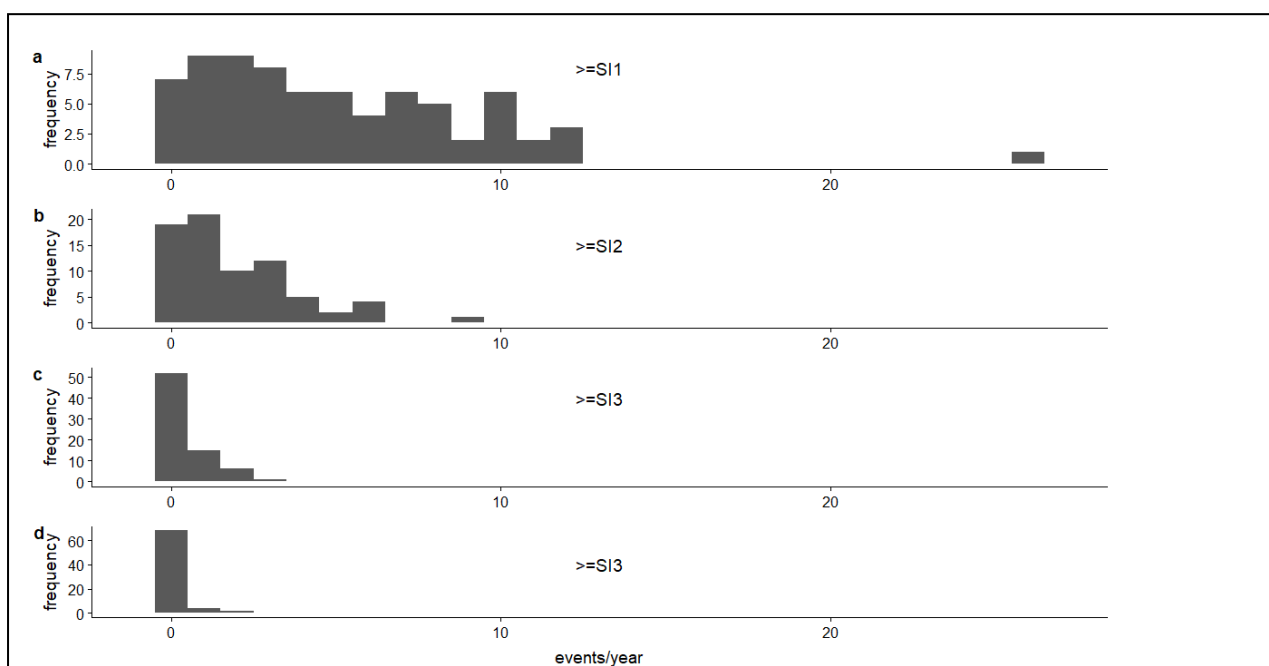


図 7 宿毛市片島における 1944 年から 2017 年の間の地震発生回数の頻度分布

a. 震度 1 以上, b. 震度 2 以上, c. 震度 3 以上, d. 震度 4 以上。

表6 高知市本町（震度3以上）の観測度数と期待度数

発生回数/年	観測度数	期待度数	偏り
0	45	43.138	0.080
1	31	34.056	0.274
2	13	13.443	0.015
3以上	6	4.362	0.615
合計	95	95	0.984
平均発生回数	0.789	$\chi^2(0.05, 4-1-1)$	5.991

表7 宿毛市片島（震度3以上）の観測度数と期待度数

発生回数/年	観測度数	期待度数	偏り
0	52	49.336	0.144
1	15	20.001	1.251
2以上	7	4.663	1.172
合計	74	74	2.566
平均発生回数	0.405	$\chi^2(0.05, 3-1-1)$	3.841

観測度数とポアソン分布 $P_0(\lambda)$ から期待される期待度数との偏りの合計を検定統計量(適合度統計量) T とすると、

$$T = \sum \frac{(\text{観測度数} - \text{期待度数})^2}{\text{期待度数}}, \quad \text{期待度数} = \text{観測総数} \times P_0(\lambda)$$

検定統計量 T は χ^2 分布に従う。帰無仮説(H_0)「ポアソン分布に従う(観測度数と期待度数は等しい)」, 対立仮説(H_1)「ポアソン分布ではない(観測度数と期待度数は等しくない)」に対して、検定統計量 T がカイ二乗値 $\chi^2(0.05, \text{自由度} = \text{階級数} - 1 - 1)$ より小さければ、有意水準 5%で帰無仮説は棄却できないとする。

高知市本町では検定統計量 $T = 0.984 < \chi^2(0.05, 4 - 1 - 1) = 5.991$, 宿毛市片島では検定統計量 $T = 2.566 < \chi^2(0.05, 3 - 1 - 1) = 3.841$ なので、2 観測点における震度 3 以上の有感地震回数はポアソン分布に従うという仮説は棄却できない。適合度検定においては期待度数が 3 以上になるように階級を小さい方から統合するのが良いとされている(東京大学教養学部統計教室, 1992)ので、宿毛市片島のデータについては発生回数 2 と 3 をまとめて発生回数 2 以上を度数 7(=6+1)としている。

なお、震度 4 以上についてはデータ数(度数)及び階級数が少ないので上記の適合度検定の手法が使えない。階級数が 2 以下ではカイ二乗値の計算ができなくなる。

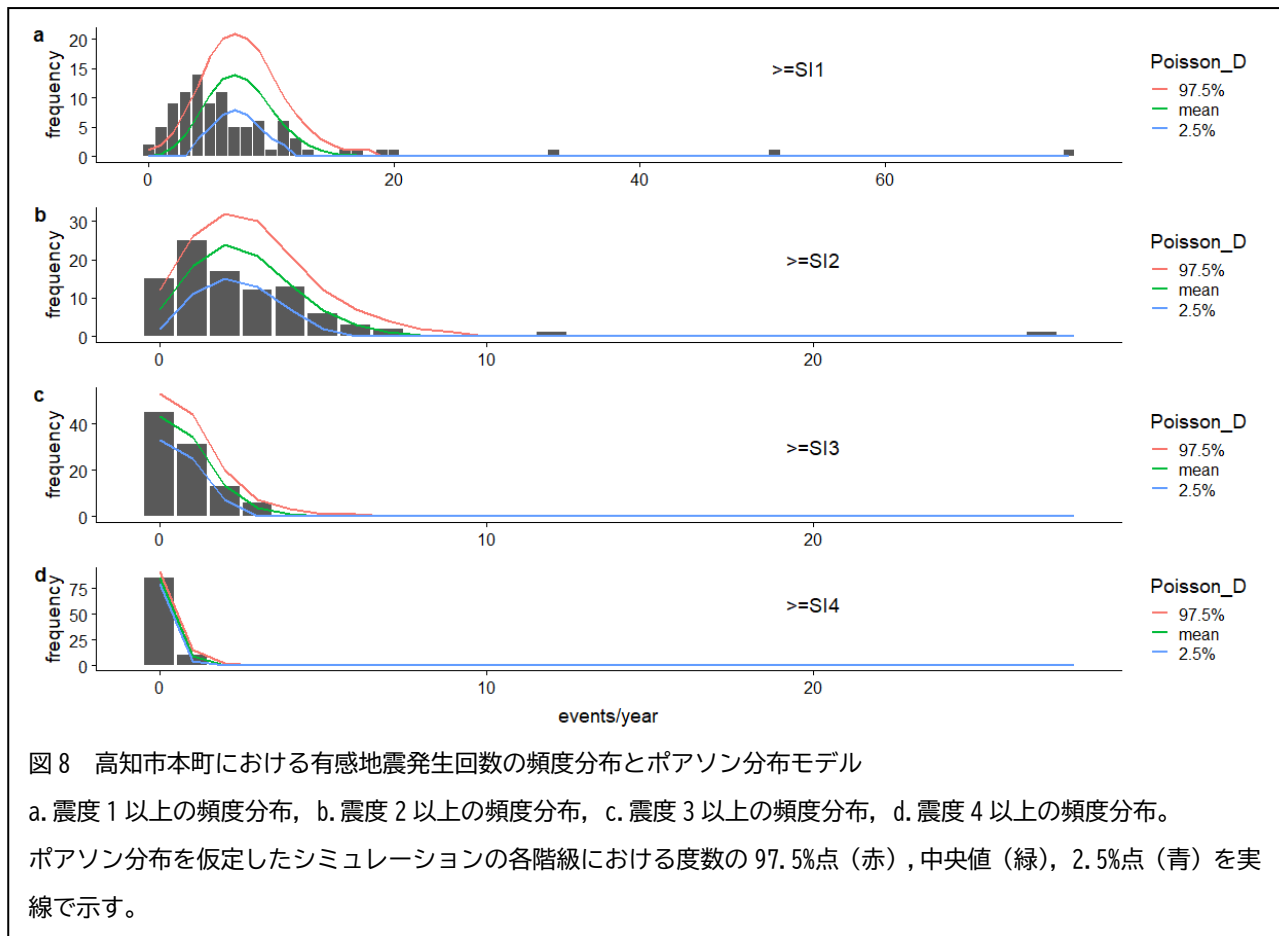
(4) 発生回数がポアソン分布により説明できるかをシミュレーションにより検討する

西日本では震度 4 以上の地震発生回数が少なく、適合度検定の手法が使用できない場合が多いと考えられる。そこで、シミュレーション(島谷, 2017)による検討を次の手順で行う。高知市本町の場合には、

- ポアソン乱数を使いポアソン分布に従う 95 個(観測期間 95 年に対応)の乱数を作成する
- 95 個の数値の中に k (発生回数, 回/年)という数値が何個あるか数える(度数をカウントする)
- (a)と(b)の作業を 10000 回繰り返す
- ある k で観測度数が 10000 回のどの値よりも大きい, あるいは小さい数値であればポアソン分布のもとでは 10000 回に 1 回も起きないことが起きていると考え、ポアソン分布モデルでは説明できないと考える。
- また、各 k の観測度数がシミュレーション度数の上から 250 番目(97.5%)と下から 250 番目(2.5%)の外側にあるなら、やはりポアソン分布モデルでは説明できないと考える。

高知市本町の震度 1 以上から震度 4 以上について、上記のシミュレーションを実施した結果を図 8 に示す。図中の実線はシミュレーションによる各階級(発生回数/年)の頻度の 97.5%点(赤), 中央値(緑), 2.5%点(青)を表す。観測度数(棒グラフ)が 2.5%点と 97.5%点の間にあれば、ポアソン分布により説明できると

考える。震度 1 以上（図 8a）及び震度 2 以上（図 8b）はシミュレーションの範囲を外れている箇所が見られる。一方、震度 3 以上（図 8c）と震度 4 以上（図 8d）の観測度数は、シミュレーションの範囲にありポアソン分布で説明が可能である。



宿毛市片島の結果を図 9 に示す。震度 1 以上（図 9a）及び震度 2 以上（図 9b）はシミュレーションの範囲を外れている箇所が見られる。一方、震度 3 以上（図 9c）と震度 4 以上（図 9d）の観測度数は、シミュレーションの範囲にあり高知市本町と同様にポアソン分布で説明できると考えられる。

以上より、適合度検定の手法では震度 3 以上についてのみポアソン分布の可能性が示せたが、シミュレーションにより震度 4 以上についてもポアソン分布により説明が可能であることが分かった。

(5) 地震発生確率を計算する

高知市本町及び宿毛市片島の震度 3 以上及び震度 4 以上の有感地震回数について、ポアソン分布に従うとして地震発生確率を求める。結果を表 8 に示す。

震度 3 以上の有感地震の 1 年当たりの発生確率は、高知市本町では 0.55[0.46, 0.63], 宿毛市片島では 0.33[0.24, 0.44]である。実際に 2018 年の 1 年間で高知市本町及び宿毛市片島においてそれぞれ震度 3 を 1 回記録している。震度 4 以上の揺れは観測されていない。

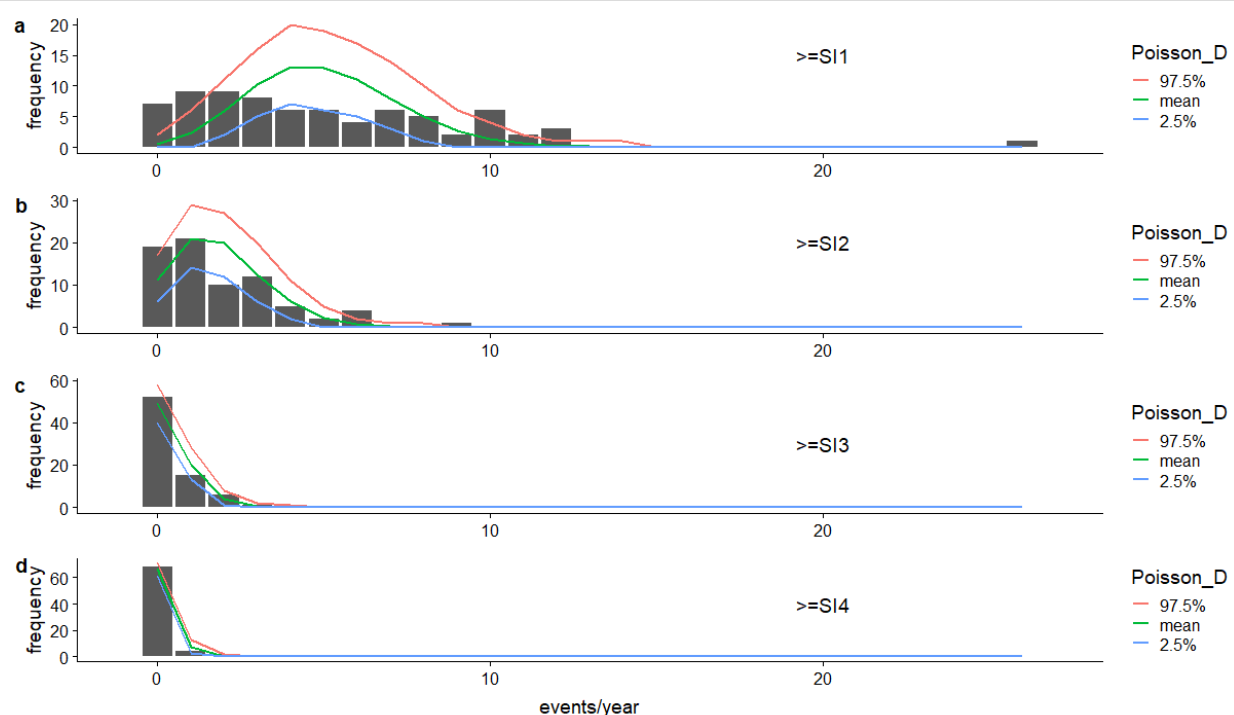


図9 宿毛市片島における有感地震発生回数の頻度分布とポアソン分布モデル

a. 震度1以上の頻度分布, b. 震度2以上の頻度分布, c. 震度3以上の頻度分布, d. 震度4以上の頻度分布。

ポアソン分布を仮定したシミュレーションの各階級における度数の97.5%点(赤), 中央値(緑), 2.5%点(青)を実線で示す。

表8 高知市本町及び宿毛市片島における平均地震発生回数と1年間の地震発生確率

	震度3以上		震度4以上	
	高知市本町	宿毛市片島	高知市本町	宿毛市片島
期間(n)	95	74	95	74
地震回数(W)	75	30	10	8
平均発生回数(λ)	0.789	0.405	0.105	0.108
有意水準(α)	0.05	0.05	0.05	0.05
$\exp(-n\lambda)$	2.679E-33	9.358E-14	4.541E-05	3.355E-04
95%信頼区間下限	0.621	0.274	0.050	0.047
95%信頼区間上限	0.990	0.579	0.194	0.213
1年間の発生確率	0.546	0.333	0.100	0.102
95%信頼区間下限	0.463	0.239	0.049	0.046
95%信頼区間上限	0.628	0.439	0.176	0.192

(6) 震央分布を確認する

高知市本町及び宿毛市片島において震度3以上及び震度4以上の揺れを記録した地震の震央分布を図10と図11に示す。同じく、宿毛市片島において震度3以上、震度4以上を記録した地震の震央分布を図12と図13に示す。

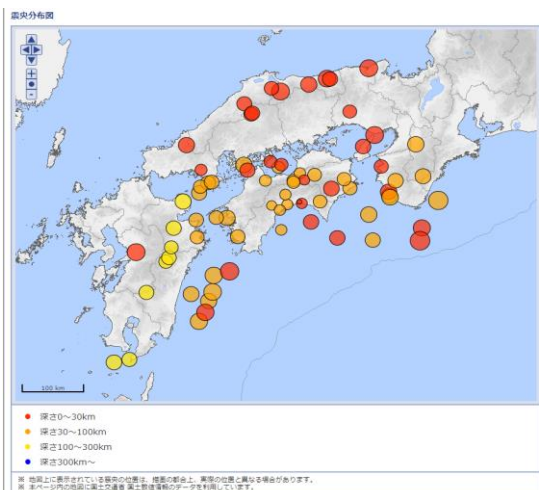


図 10 高知市本町 (1923 年－2017 年) で震度 3 以上を記録した地震の震央分布 (気象庁震度データベースより)

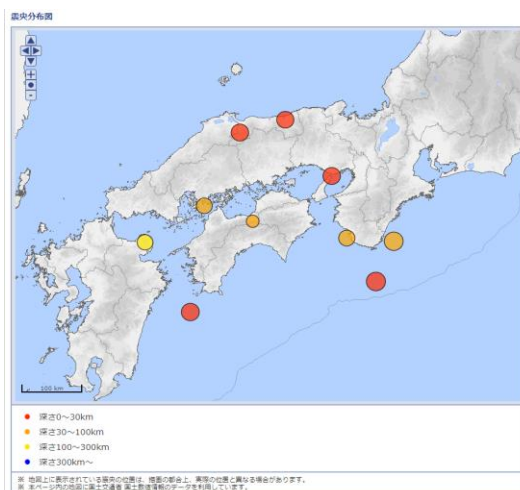


図 11 高知市本町 (1923 年－2017 年) で震度 4 以上を記録した地震の震央分布 (気象庁震度データベースより)

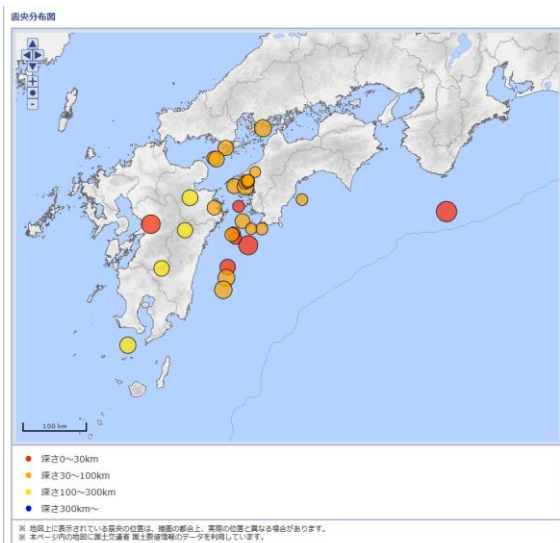


図 12 宿毛市片島 (1944 年－2017 年) で震度 3 以上を記録した地震の震央分布 (気象庁震度データベースより)

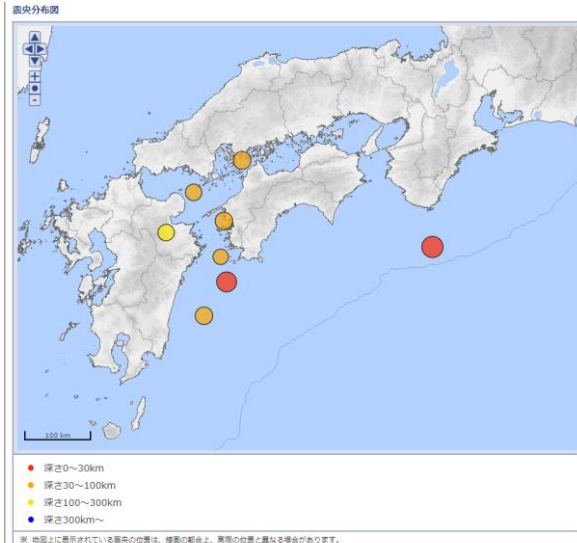


図 13 宿毛市片島 (1944 年－2017 年) で震度 4 以上を記録した地震の震央分布 (気象庁震度データベースより)

震度 3 以上の揺れを高知市本町及び宿毛市片島に記録した地震の震央分布 (図 10, 図 12) を見ると、高知市本町では西日本の広い地域で起きた地震により震度 3 以上の揺れを記録しているが、宿毛市片島では近くの日向灘から豊後水道で起きている地震が主であるという相違が見える。震度 4 以上については、地震数が減るので明瞭ではないがその傾向が見られる (図 11, 図 13)。

3.2 有感地震の発生間隔は指数分布に従うのか

3.1 では単位時間当たりの発生回数をもとに、ポアソン分布に従うかを検証した。ここでは、地震の発生間隔が指数分布に従うのかを検証する。

ポアソン分布では、単位時間当たり平均 λ 回起きる事象（ここでは地震）が単位時間中に k 回起きる確率関数（確率質量関数）は、

$$P_o(X = k|\lambda) = \frac{e^{-\lambda}\lambda^k}{k!} \quad (k = 0, 1, 2, \dots)$$

となる。また、平均 $E[X](= \lambda)$ と分散 $V[X]$ は等しいという性質がある。ポアソン分布に従う事象の発生間隔は指数分布に従い、単位時間当たり平均 λ 回起きる事象の発生間隔が t 単位時間である確率密度関数は、

$$f(t|\lambda) = \lambda e^{-\lambda t} \quad t \geq 0, \text{ 実数}$$

で与えられる。発生間隔の平均を $\beta(= 1/\lambda)$ とすると確率密度関数は

$$f(t|\beta) = e^{-t/\beta}/\beta$$

のように書き換えられる。累積分布関数（ t までの期間に事象が1つ以上おきる確率）は次のようになる。

$$P_e(t|\beta) = \int_0^t f(t|\beta)dt = 1 - e^{-\frac{t}{\beta}} = 1 - e^{-\lambda t}$$

発生間隔を確率変数 T とすると、その平均と分散は次式で与えられ

$$E[T] = \beta = 1/\lambda, \quad V[T] = \beta^2$$

平均と標準偏差が等しいという性質がある。また、平均発生間隔 β の $100(1 - \alpha)\%$ 信頼区間は次のように与えられる（白石, 2013）,

$$\frac{2W}{\chi_{2n}^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)} = \frac{2n\hat{\beta}}{\chi_{2n}^2\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \leq \beta \leq \frac{2W}{\chi_{2n}^2\left(1-\frac{\alpha}{2}\right)} = \frac{2n\hat{\beta}}{\chi_{2n}^2\left(1-\frac{\alpha}{2}\right)}, \quad W = \sum_{i=1}^n T_i, \quad \hat{\beta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i$$

ここで、 $\chi_{2n}^2(\alpha/2)$ は自由度 $2n$ のカイ二乗分布の上側 $100(\alpha/2)\%$ 点を表す。ポアソン分布に従う事象の平均発生回数の信頼区間を求める場合には正則条件を必要としたが、指数分布に従う事象の平均発生間隔の信頼区間を求める場合には正則条件のような前提条件はない。

(1) 地震発生間隔を求める

気象庁震度データベース（気象庁, 2019）にて検索をした高知市本町（1923 年－2017 年）及び宿毛市片島（1944 年－2017 年）において震度 3 以上及び震度 4 以上の地震動を記録した地震の発生間隔を計算する。その結果を、表 9 から表 12 に示す。

表9 高知市本町における震度3以上の地震と発生間隔

地震の発生日時	震央地名	発生間隔(年)	地震の発生日時	震央地名	発生間隔(年)
1923/12/05 08:40:25.9	土佐湾		1964/11/09 02:56:28.2	瀬戸内海中部	2.848
1923/12/12 13:04:06.3	瀬戸内海中部	0.020	1964/11/14 12:56:08.7	豊後水道	0.015
1927/03/07 18:27:39.2	京都府北部	3.236	1967/01/01 03:03:13.7	高知県中部	2.130
1929/11/20 14:54:29.9	和歌山県北部	2.709	1967/01/11 02:49:33.2	徳島県北部	0.027
1930/12/20 23:02:24.3	広島県北部	1.083	1967/11/28 11:36:54.6	宮崎県南部山沿い	0.880
1930/12/21 21:14:25.9	広島県北部	0.003	1968/04/01 09:42:04.0	日向灘	0.342
1931/11/02 19:02:56.0	日向灘	0.866	1968/08/06 01:17:06.3	豊後水道	0.347
1934/01/09 08:07:05.3	徳島県北部	2.188	1968/12/11 20:45:32.1	高知県東部	0.350
1937/02/27 23:41:58.1	周防灘	3.139	1972/01/08 07:22:27.2	高知県中部	3.075
1938/01/12 00:11:59.6	和歌山県南方沖	0.871	1978/05/23 16:50:28.4	種子島近海	6.376
1939/03/20 12:22:24.5	日向灘	1.185	1978/06/04 05:03:53.2	島根県東部	0.032
1940/05/28 23:23:24.9	徳島県南部	1.193	1978/07/04 11:40:55.4	宮崎県北部山沿い	0.083
1940/11/18 21:47:23.8	和歌山県北部	0.477	1979/07/13 17:10:12.9	周防灘	1.025
1941/11/19 01:46:25.9	日向灘	1.000	1983/05/20 18:36:54.9	愛媛県東予	3.855
1941/12/25 18:31:04.7	紀伊水道	0.101	1983/08/26 05:23:34.4	大分県北部	0.267
1943/03/05 04:50:09.0	鳥取県東部	1.190	1984/05/30 09:39:44.8	兵庫県南西部	0.762
1943/09/10 17:36:53.5	鳥取県東部	0.519	1984/08/07 04:06:38.9	日向灘	0.188
1944/06/07 19:15:01.8	伊予灘	0.743	1985/01/27 06:36:11.6	宮崎県北部山沿い	0.474
1944/07/14 10:14:42.6	山口県中部	0.100	1985/04/17 19:22:15.7	高知県中部	0.221
1944/12/07 13:35:40.0	三重県南東沖	0.400	1985/05/13 19:41:00.3	愛媛県南予	0.071
1946/12/21 04:19:04.1	和歌山県南方沖	2.037	1987/03/18 12:36:29.0	日向灘	1.846
1947/02/03 06:11:44.4	高知県中部	0.121	1991/08/28 10:29:02.2	島根県東部	4.449
1947/02/22 07:00:52.5	四国沖	0.052	1995/01/17 05:46:51.8	大阪湾	3.391
1948/04/18 01:11:30.6	和歌山県南方沖	1.153	1997/06/25 18:50:12.7	山口県中部	2.440
1948/06/15 20:44:43.8	紀伊水道	0.161	2000/10/06 13:30:17.9	鳥取県西部	3.284
1949/05/18 07:47:52.0	高知県中部	0.922	2001/03/24 15:27:54.5	安芸灘	0.463
1949/07/12 01:10:51.4	安芸灘	0.150	2005/05/27 03:17:20.6	愛媛県東予	4.177
1950/04/26 16:04:59.0	和歌山県南部	0.791	2006/06/12 05:01:24.9	大分県西部	1.044
1950/09/16 21:48:41.5	大分県南部	0.392	2007/04/26 09:02:56.9	愛媛県東予	0.872
1950/11/06 02:37:28.8	四国沖	0.138	2009/12/16 14:12:51.4	土佐湾	2.644
1952/07/18 01:09:51.4	奈良県	1.698	2010/10/06 13:51:47.7	土佐湾	0.805
1953/05/30 23:37:39.4	瀬戸内海中部	0.868	2012/10/27 04:44:37.9	高知県中部	2.059
1955/07/27 10:20:50.8	徳島県南部	2.157	2013/04/13 05:33:17.7	淡路島付近	0.460
1958/09/08 23:53:18.6	周防灘	3.122	2014/03/14 02:06:50.8	伊予灘	0.917
1960/01/31 14:08:17.3	和歌山県南方沖	1.396	2015/07/13 02:52:05.9	大分県南部	1.332
1960/03/04 12:53:09.1	薩摩半島西方沖	0.090	2016/04/16 01:25:05.4	熊本県熊本地方	0.761
1961/02/27 03:10:49.1	日向灘	0.985	2016/10/21 14:07:22.5	鳥取県中部	0.517
1962/01/04 13:35:41.3	和歌山県南方沖	0.853			

表10 高知市本町における震度4以上の地震と発生間隔

地震の発生日時	震央地名	発生間隔(年)
1938/01/12 00:11:59.6	和歌山県南方沖	
1943/09/10 17:36:53.5	鳥取県東部	5.665
1944/12/07 13:35:40.0	三重県南東沖	1.243
1946/12/21 04:19:04.1	和歌山県南方沖	2.037
1968/04/01 09:42:04.0	日向灘	21.294
1983/08/26 05:23:34.4	大分県北部	15.410
1995/01/17 05:46:51.8	大阪湾	11.403
2000/10/06 13:30:17.9	鳥取県西部	5.724
2001/03/24 15:27:54.5	安芸灘	0.463
2007/04/26 09:02:56.9	愛媛県東予	6.092

表11 宿毛市片島における震度3以上の地震と発生間隔

地震の発生日時	震央地名	発生間隔(年)
1946/12/21 04:19:04.1	和歌山県南方沖	
1956/08/10 05:35:00.1	日向灘	9.644
1964/03/02 01:42:14.1	愛媛県南予	7.564
1964/11/14 12:56:08.7	豊後水道	0.705
1967/11/28 11:36:54.6	宮崎県南部山沿い	3.038
1968/04/01 09:42:04.0	日向灘	0.342
1968/08/06 01:17:06.3	豊後水道	0.347
1968/08/06 13:21:04.3	豊後水道	0.001
1969/11/30 01:43:16.5	愛媛県南予	1.316
1970/07/26 16:10:35.5	日向灘	0.654
1975/12/28 11:34:18.5	豊後水道	5.427
1978/05/23 16:50:28.4	種子島近海	2.403
1978/07/04 11:40:55.4	宮崎県北部山沿い	0.114
1979/07/13 17:10:12.9	周防灘	1.025
1979/12/11 17:04:13.6	日向灘	0.414
1987/03/18 12:36:29.0	日向灘	7.271
1989/12/17 18:54:40.3	四国沖	2.754
1996/10/19 23:44:41.4	日向灘	6.844
1997/04/01 00:51:12.6	愛媛県南予	0.447
1997/04/03 06:47:31.9	愛媛県南予	0.006
1998/05/23 04:49:35.2	伊予灘	1.137
2001/03/24 15:27:54.5	安芸灘	2.840
2001/04/25 23:40:08.3	豊後水道	0.089
2006/03/27 11:50:26.3	日向灘	4.922
2006/06/12 05:01:24.9	大分県西部	0.210
2009/12/16 14:12:51.4	土佐湾	3.516
2012/10/10 05:49:35.0	日向灘	2.818
2014/03/14 02:06:50.8	伊予灘	1.424
2015/07/13 02:52:05.9	大分県南部	1.332
2016/04/16 01:25:05.4	熊本県熊本地方	0.761

表12 宿毛市片島における震度4以上の地震と発生間隔

地震の発生日時	震央地名	発生間隔(年)
1946/12/21 04:19:04.1	和歌山県南方沖	
1968/04/01 09:42:04.0	日向灘	21.294
1968/08/06 01:17:06.3	豊後水道	0.347
1987/03/18 12:36:29.0	日向灘	18.626
2001/03/24 15:27:54.5	安芸灘	14.028
2001/04/25 23:40:08.3	豊後水道	0.089
2006/06/12 05:01:24.9	大分県西部	5.132
2014/03/14 02:06:50.8	伊予灘	7.759

(2) 基本統計量を計算する

地震発生間隔のデータ（表 9 から表 12）から、発生間隔の平均、分散、標準偏差を求める。その結果を表 13 に示す。

表13 高知市本町及び宿毛市片島における地震発生間隔の平均・分散・標準偏差

	震度3以上		震度4以上	
	高知市本町	宿毛市片島	高知市本町	宿毛市片島
期間（年）	95	74	95	74
発生間隔データ数(n)	74	29	9	7
平均発生間隔(年) (β)	1.256	2.392	7.704	9.611
分散	1.658	7.096	49.338	72.876
標準偏差	1.288	2.664	7.024	8.537

高知市本町及び宿毛市片島の震度 3 以上については、平均発生間隔とその標準偏差はよく一致しているように見える。震度 4 以上については極端に差があるとは言えないが、統計的に許容される範囲にあるか調べる必要がある。

(3) 発生間隔が指数分布をするか適合度検定により判定する

まず、地震の発生間隔についての度数分布を求める（詳細は付録 4 を参照）。震度 3 以上についてはビン幅（階級幅）を 1 年、震度 4 以上についてはデータ数が少ないのでビン幅を 5 年として度数分布を求める。その結果を、高知市本町について表 14 に、宿毛市片島について表 15 に示す。

表14 高知市本町における地震発生間隔の度数

高知市本町1923年－2017年（95年間）			
発生間隔（年）	度数 震度3以上	発生間隔 （年）	度数 震度4以上
0～1	43	0～5	3
1～2	12	5～10	3
2～3	9	10～15	1
3～4	7	15～20	1
4～5	2	20～25	1
5～6	0		
6～7	1		
7～8			
8～9			
9～10			
合計	74	合計	9

表15 宿毛市片島における地震発生間隔の度数

宿毛市片島1944年－2017年（74年間）			
発生間隔（年）	度数 震度3以上	発生間隔 （年）	度数 震度4以上
0～1	12	0～5	2
1～2	5	5～10	2
2～3	4	10～15	1
3～4	2	15～20	1
4～5	1	20～25	1
5～6	1		
6～7	1		
7～8	2		
8～9	0		
9～10	1		
合計	29	合計	7

次に、適合度検定のために指数分布を仮定したときの期待度数を計算し観測度数に対する偏りを計算する（詳細は付録 5 を参照）。期待度数は次式により計算する。

$$P_e(t_1 \leq t < t_2 | \beta) = P_e(t_2 | \beta) - P_e(t_1 | \beta) = e^{-\frac{t_1}{\beta}} - e^{-\frac{t_2}{\beta}}, \quad \text{期待度数} = \text{総観測数} \times P_e(t_1 \leq t < t_2)$$

高知市本町の震度 3 以上について表 16, 宿毛市片島の震度 3 以上について表 17 に示す。 3.1 の適合度検定で行ったように, 期待度数が 3 を超えるように階級の大きい方から集約してある。

表16 高知市本町（震度3以上）の観測度数と期待度数

発生間隔(年)	観測度数	期待度数	偏り
0~1	43	40.623	0.139
1~2	12	18.323	2.182
2~3	9	8.264	0.065
3~4	7	3.728	2.873
4以上	3	3.063	0.001
合計	74	74	5.260
平均発生間隔	1.256	$\chi^2(0.05, 5-1-1)$	7.815

表17 宿毛市片島（震度3以上）の観測度数と期待度数

発生間隔(年)	観測度数	期待度数	偏り
0~1	12	9.909	0.441
1~2	5	6.523	0.356
2~3	4	4.294	0.020
3~4	2	2.827	0.242
4~5	1	1.861	0.398
5以上	5	3.586	0.558
合計	29	29	2.015
平均発生間隔	2.392	$\chi^2(0.05, 6-1-1)$	9.488

高知市本町については, 適合度検定量 $T(=5.260)$ がカイ二乗値 $\chi^2_3(0.05)(=7.815)$ よりも小さいので, 有意水準 5% で帰無仮説 H_0 「指数分布に従う」は棄却できない。同じく, 宿毛市片島についても帰無仮説は棄却できない。

震度 4 以上については, 期待値が 3 以上になるように集約を行うと適合度検定の手法が使用できなかった。

(4) 発生間隔が指数分布により説明できるかをシミュレーションにより検討する

地震発生回数のところでおこなったシミュレーションと同様の手順でシミュレーションを行う。高知市本町の震度 3 以上の場合には,

- 指数乱数を使い指数分布($\beta = 1.256$)に従う 74 個の乱数(発生間隔データ)を作成する
- 74 個のデータについて度数分布(ビン幅 1 年)を求める
- (a) と (b) の作業を 10000 回繰り返す
- ある発生間隔で観測度数が 10000 回のどれよりも大きい, あるいは小さい数値であれば指数分布の下では 10000 回に 1 回も起きないことが起きていると考え, 指数分布モデルでは説明できないと考える。
- また, ある発生間隔の観測度数がシミュレーション度数の上から 250 番目(97.5%)と下から 250 番目(2.5%)の外側にあるなら, やはり指数分布モデルでは説明できないと考える。

高知市本町において震度 3 以上を記録した地震の発生間隔についてのシミュレーション結果を図 14 に, 震度 4 以上の結果を図 15 に示す。宿毛市片島について図 16 及び図 17 に示す。震度 3 以上についてはビン幅を 1 年, 震度 4 以上についてはデータ数が少ないのでビン幅 5 年として観測度数分布を求め, シミュレーション結果と合わせて表示した。図 14b, 図 15b, 図 16b, 図 17b における赤, 緑, 青の線はそれぞれシミュレーションにより得られた各階級(発生間隔)の 97.5%点, 平均, 2.5%点を表す。高知市本町及び宿毛市片島における震度 3 以上及び震度 4 以上のいずれについても, 観測度数が 2.5%点と 97.5%点の間にあるので指数分布で観測値は説明できると考えられる。

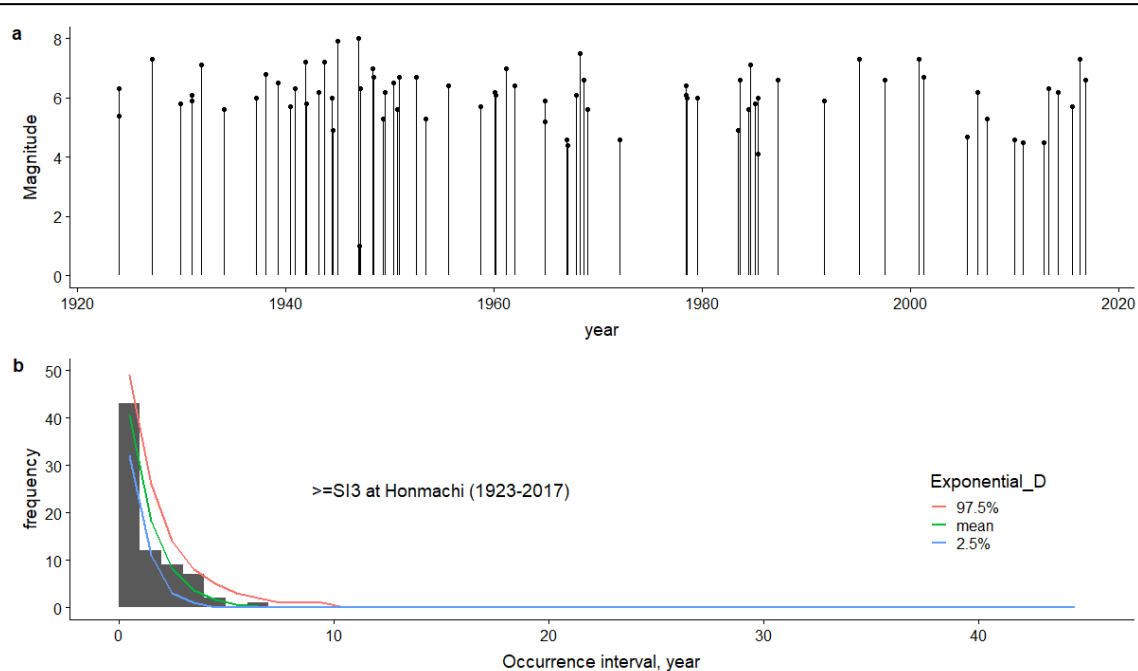


図 14 高知市本町（1923－2017）において震度 3 以上を記録した地震の発生間隔の頻度分布と指数モデル

a. 地震発生の時系列, b. 発生間隔の度数分布（ビン幅 1 年）と指数分布モデル。指数分布を仮定したシミュレーションの各階級（発生間隔）における度数の 97.5%点（赤）, 中央値（緑）, 2.5%点（青）を実線で示す。

マグニチュード不明の地震はマグニチュード 1 として処理してある。

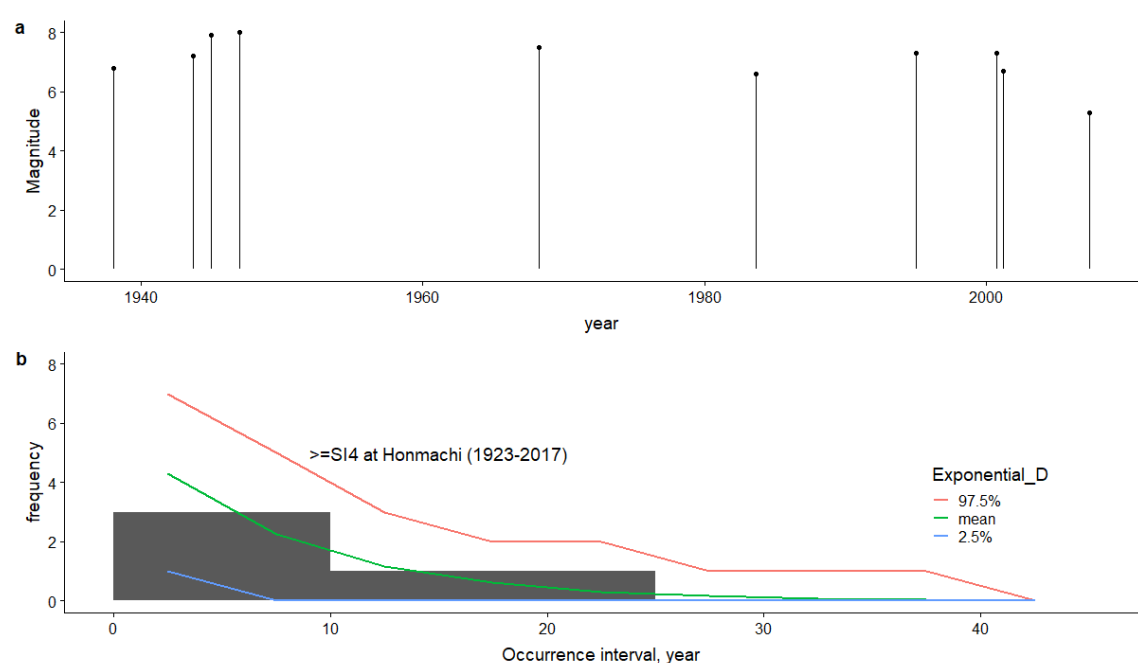


図 15 高知市本町（1923－2017）において震度 4 以上を記録した地震の発生間隔の頻度分布と指数モデル

a. 地震発生の時系列, b. 発生間隔の度数分布（ビン幅 5 年）と指数分布モデル。指数分布を仮定したシミュレーションの各階級（発生間隔）における度数の 97.5%点（赤）, 中央値（緑）, 2.5%点（青）を実線で示す。

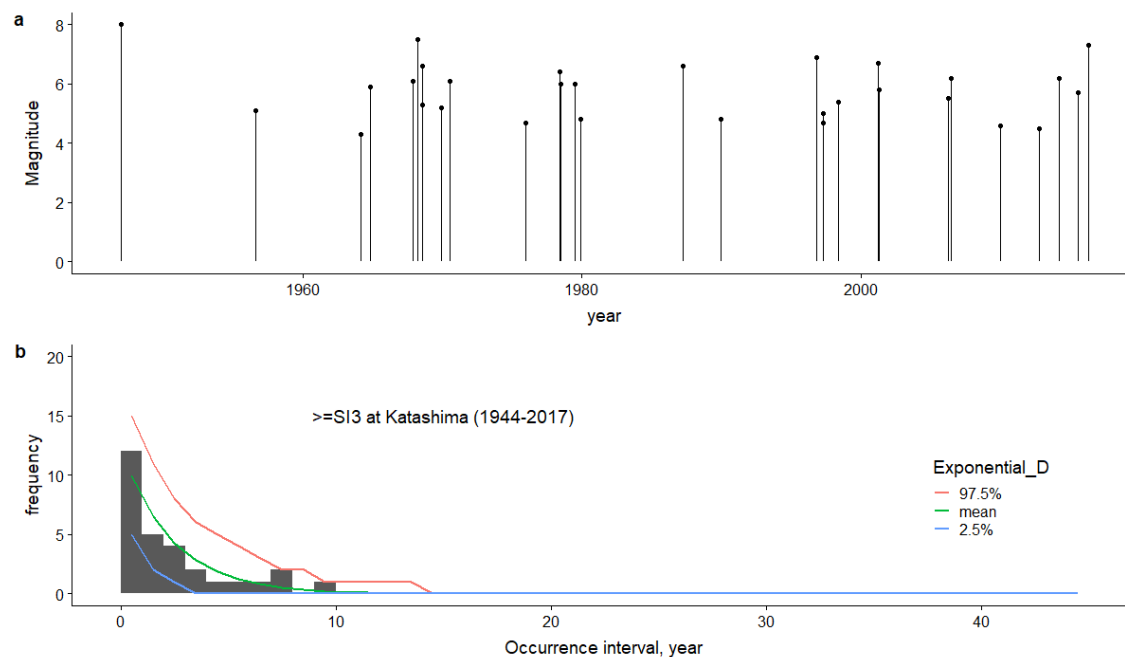


図 16 宿毛市片島（1944－2017）において震度 3 以上を記録した地震の発生間隔の頻度分布と指数モデル

a. 地震発生の時系列, b. 発生間隔の度数分布（ビン幅 1 年）と指数分布モデル。指数分布を仮定したシミュレーションの各階級（発生間隔）における度数の 97.5%点（赤）, 中央値（緑）, 2.5%点（青）を実線で示す。

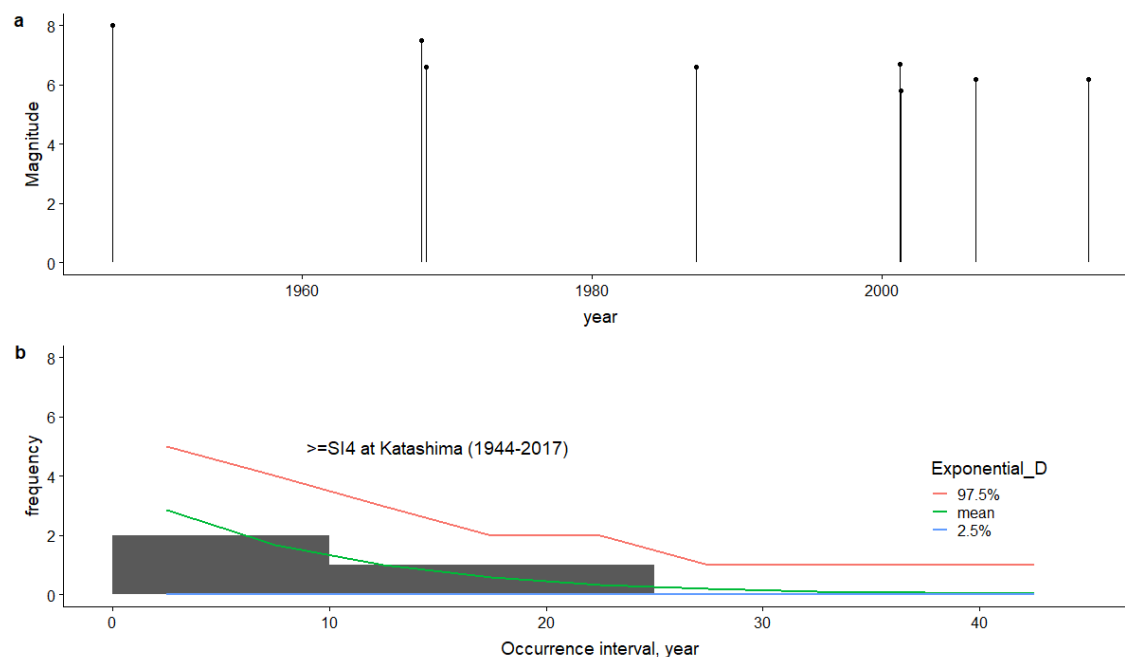


図 17 宿毛市片島（1944－2017）において震度 4 以上を記録した地震の発生間隔の頻度分布と指数モデル

a. 地震発生の時系列, b. 発生間隔の度数分布（ビン幅 5 年）と指数分布モデル。指数分布を仮定したシミュレーションの各階級（発生間隔）における度数の 97.5%点（赤）, 中央値（緑）, 2.5%点（青）を実線で示す。

(4) 地震発生確率を計算する

高知市本町及び宿毛市片島において震度 3 以上及び震度 4 以上を記録した地震の発生間隔は、指数分布で説明できることがわかったので、指数分布に従うとして平均発生間隔の 95%信頼区間、1 年間の発生確率とその 95%信頼区間を計算する。結果を表 18 に示す。

表18 高知市本町及び宿毛市片島における平均地震発生間隔と1年間の地震発生確率

	震度3以上		震度4以上	
	高知市本町	宿毛市片島	高知市本町	宿毛市片島
期間 (年)	95	74	95	74
発生間隔データ数(n)	74	29	9	7
データ合計(M)	92.943	69.333	69.333	67.274
平均発生間隔(年) (β)	1.256	2.392	7.704	9.611
有意水準(α)	0.05	0.05	0.05	0.05
95%信頼区間下限	1.013	1.714	4.398	5.151
95%信頼区間上限	1.600	3.572	16.847	23.904
1年間の発生確率	0.549	0.342	0.122	0.099
95%信頼区間下限	0.465	0.244	0.058	0.041
95%信頼区間上限	0.628	0.442	0.203	0.176

地震発生回数をもとにした地震発生確率（表 8）と同様の結果が得られていることが確認できる。

4. おわりに

ある地域における定常的な地震活動（「地震の相場観」）を定量的に知ることは、様々な地震活動情報を理解する上で必要となる知識の一つである。本論文では、小泉・今給黎(2016a, b)により提唱された「地震の相場観」を得るための手法を、学生が独学可能なように詳細に紹介した。また、小泉・今給黎(2016a, b)による地震発生予測は点推定（最尤推定）であったが、その 95%信頼区間を求める方法も示した。更に発展問題として、地震発生予測をするための仮定、すなわち地震の発生回数がポアソン分布に従う、あるいは発生間隔が指数分布に従うという仮定が成立しているか（正確には可能性が否定できないか）どうかを検証する方法も示した。さらに詳しい検証方法や解釈については宇津(1969)を参照すると良い。統計的な扱いについては、学習者の学習履歴に合わせて取捨選択をすれば良いと考える。

加藤（2016, 2019）は「地震の相場観」と同様に定常的な地震活動から短期的な地震発生予測（当り前に起きる確率）を行う別の方法を提案している。こちらは、ある地域内に発生するあるマグニチュード M 以上の地震の発生間隔の度数分布から条件付き確率として求める方法である。3.2 で示した有感地震の発生間隔の度数分布に基づく手法と類似しているが、「1 観測点での震度 M 以上の有感地震」ではなく「ある領域で発生するマグニチュード M 以上の地震」である点と特定の確率分布を当てはめなくてもよい点が異なる。ある地域のマグニチュード M 以上の地震は、気象庁の公開している震源カタログから抽出することができる。しかし、気象庁震度データベースのように簡単ではないので、気象庁震度データベース（気象庁, 2019）を利用した「地震の相場観」から入るのが容易であると考えられる。

事例として示した高知市本町と宿毛市片島における有感地震の震央分布の相違から、表層地盤や地下構造との関係へと発展させる教材としても「地震の相場観」は有用と考えられる。

本論文を片手に「地震の相場観」を実際に調べ、地震情報リテラシーを高めることで地震情報のよりよい理解へと繋がることを期待する。

謝辞 気象庁震度データベースの維持管理に携わっておられる多くの気象庁職員並びに関係諸氏に感謝いたします。匿名の査読者による有益なコメントにより原稿が改善されましたことを記して感謝いたします。

文献

- 今給黎哲郎, 2016, 平常的な地震活動と「予測」の価値－当たり前の地震について－, 地震予知連絡会会報, 95, 425–431.
- 岩崎 学, 2010, 『カウントデータの統計解析』, 朝倉書店, 210pp.
- 地震調査研究推進本部, 2018, 全国地震動予測地図 2018 年版 解説編,
<https://www.jishin.go.jp/main/chousa/l8_yosokuchizu/yosokuchizu2018_tk_3.pdf>, (参照 2019-06-03).
- 加藤 護, 2016, 地震活動データを用いた平常時の地震発生短期確率の簡便な計算法, 地震 2, 68, 163–167, DOI:10.4294/zisin.68.163.
- 加藤 護, 2019, 訂正 地震活動データを用いた平常時の地震発生短期確率の簡便な計算法, 地震 2, 71, 231–232, DOI:10.4294/zisin.2018-13.
- 気象庁, 2019, 震度データベース検索, <<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.php>>, (参照 2019-04-01)
- 小泉尚嗣・今給黎哲郎, 2016a, 震度データを用いた地震の中期予測－地震発生の「相場観」を理解してもらうために－, 地震ジャーナル, 62, 35–40.
- 小泉尚嗣・今給黎哲郎, 2016b, 気象庁震度データベースを用いた地震予測, 地震学会ニュースレター, vol. 68, NL6 号, NL-6-22~NL-6-25.
- 島谷健一郎, 2017, 『ポアソン分布・ポアソン回帰・ポアソン過程』, 近代科学社, 124pp.
- 白石高章, 2012, 『統計学の基礎』, 日本評論社, 272pp.
- 白石高章, 2013, 多群指数モデルにおける平均パラメータの多重比較法, 計量生物学, 34, 1–20.
- 東京大学教養学部統計学教室編, 1992, 基礎統計学 III 自然科学の統計学, 東京大学出版会, 366pp.
- 宇津徳治, 1969, 地震の時間的分布に関連する諸問題 (その 1): 地震の回数と時間間隔の分布について, 北海道大学地球物理学研究報告, 22, 73–93, DOI:10.14943/gbhu.22.73 .
- 宇津徳治, 2001, 『地震学 第 3 版』, 共立出版, 390pp.

付録1 気象庁震度データベースで検索する

(1) 気象庁「震度データベース検索」の Web ページにアクセスし、[観測された震度・地域の規模等を指定して検索]をクリックする

<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.php>

(2) 検索条件を設定し、[震度別地震回数表を作成] をクリックする

- ・地震の検索条件 地震の発生日時 (2012/01/01 00:00~2017/12/31/ 23:59)
- ・観測された震度の検索条件
都道府県 (高知県), 市町村 (指定しない),
震度観測点 (指定しない), 震度 (震度 4 以上)

(3) 表示された下記の部分をマウスで選択してコピーし、Excel に貼り付け (元の書式を保持) する

検索条件

地震の発生日時	2012/01/01 00:00 ~ 2017/12/31 23:59
観測された震度	高知県
	上記で 震度 4 以上 を観測

検索結果

- 地震回数集計：年別回数

震度別地震回数表

期間	震度 1	震度 2	震度 3	震度 4	震度 5 弱	震度 5 強	震度 6 弱	震度 6 強	震度 7	合計
2012年	－	－	－	0	0	0	0	0	0	0
2013年	－	－	－	0	0	0	0	0	0	0
2014年	－	－	－	0	1	0	0	0	0	1
2015年	－	－	－	2	0	0	0	0	0	2
2016年	－	－	－	1	0	0	0	0	0	1
2017年	－	－	－	0	0	0	0	0	0	0
合計	－	－	－	3	1	0	0	0	0	4

(4) 次に、[地震を検索]（表示順：発生日時の古い順）をクリックし、表示された下記の部分をマウスで選択してコピーし、Excel に貼り付け（元の書式を保持）する

検索条件

地震の発生日時	2012/01/01 00:00 ~ 2017/12/31 23:59
観測された震度	高知県
	上記で 震度 4 以上 を観測

検索結果

- 検索結果地震数：4 地震（「地震の発生日時の古い順」で表示）

[震央分布図に移動](#)

震源リスト

	地震の発生日時	震央地名	緯度	経度	深さ	M	最大震度	検索対象 最大震度
1	2014/03/14 02:06:50.8	伊予灘	33°41.5'N	131°53.4'E	78km	M6.2	5 強	5 弱
2	2015/02/06 10:25:12.4	徳島県南部	33°44.0'N	134°22.2'E	11km	M5.1	5 強	4
3	2015/07/13 02:52:05.9	大分県南部	32°59.5'N	131°51.3'E	58km	M5.7	5 強	4
4	2016/04/16 01:25:05.4	熊本県熊本地方	32°45.2'N	130°45.7'E	12km	M7.3	7	4

Excel にコピーした際に、「地震の発生日時」の日時が元の Web ページのように表示されない場合には、Excel の[書式]－[セルの書式設定]－[ユーザー定義]でセルの書式を「yyyy/mm/dd hh:mm:ss.0」と設定する。

震央分布図（例えば図 3）についても別途コピーし、Excel ファイルに貼り付ける。

各観測点でいつから観測記録があるかは、下記の資料を見ることで確認できる。

- ・気象庁震度観測点一覧表

<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/kyoshin/jma-shindo.html>

- ・気象庁以外の観測点：震度データベース検索の使い方 別表

<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/help.html#Disclaimer>

付録2 Excelを用いて有感地震の発生回数の度数分布表を作成する

有感地震の発生回数がポアソン分布に従うのかどうかを検証するための準備として、年当たりの有感地震回数の度数分布を作成する必要がある。以下に Excel を用いて作成する手順を示す。

(1) 対象とする有感地震回数（例えば、震度 4 以上）が 1 年に何回起きているかの合計を求める。（下図 K 列）

(2) 合計の列(K3:K8)をもとに COUNTIF 関数(範囲, 値)を使用して度数を求める。

- ・セル M3 から M5 に発生回数/年の数値（0～2）を入力する
- ・セル N3 に =COUNTIF(\$K\$3:\$K\$8, M3) と入力する。合計値のあるセル K3 から K8 までの数値の中にセル M3 の数値に等しいものが何個あるかを数える。
- ・セル N3 をコピーし、セル N4 から N5 に貼り付ける。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1														
2	期間	震度 1	震度 2	震度 3	震度 4	震度 5 弱	震度 5 強	震度 6 弱	震度 6 強	震度 7	震度 4 以上 合計		発生回数/年	度数
3	2012年	—	—	—	0	0	0	0	0	0	0		0	=COUNTIF(\$K\$3:\$K\$8, M3)
4	2013年	—	—	—	0	0	0	0	0	0	0		1	2
5	2014年	—	—	—	0	1	0	0	0	0	1		2	1
6	2015年	—	—	—	2	0	0	0	0	0	2			
7	2016年	—	—	—	1	0	0	0	0	0	1			
8	2017年	—	—	—	0	0	0	0	0	0	0			
9	合計	—	—	—	3	1	0	0	0	0	4			

付録3 Excelを用いてポアソン分布の適合度検定をする

観測度数がある統計確率分布に従っているかどうかを調べる手法に適合度検定がある。ここでは、Excel を用いて観測度数がポアソン分布に適合するかを調べる手順を述べる。

(1) 付録 2 の手順を参考にして観測データ（ここでは 1 年当たりの有感地震の回数）の度数分布表を作成する。[セル B3 から C6]

(2) 平均発生回数（＝有感地震総数/年数）を求め、その値を使いポアソン分布に従うとした場合の期待度数を計算する。

- ・平均発生回数[セル C8] に =SUMPRODUCT(B3:B6, C3:C6)/C7 を入力する。
- ・期待度数 [セル D3] に =\$C\$7*POISSON.DIST(B3, \$C\$8, FALSE) を入力しコピーし、セル D4:D5 に貼り付ける。
- ・期待度数 [セル D6] に =C7-SUM(D3:D5) を入力する。合計が観測の総和に等しくなるようにする。

(3) 偏り [= (観測度数－期待度数)²/期待度数] を計算し、その合計（検定統計量、カイ二乗値と呼ばれることがある）を計算する。

・偏り [セル E3] に $=(C3-D3)^2/D3$ を入力してコピーし、セル E4:E7 に貼り付ける。

・カイ二乗値 [セル E7] に $=SUM(E3:E6)$ を入力する。

(4) 有意水準 5%, 自由度 $2(=4-1-1)$ のカイ二乗値を求める。

・ [セル E8] に $=CHIINV(0.05, 2)$ を入力する。

※自由度は、「階級数-1-パラメータ数」で、ポアソン分布の確率を決めるパラメータは一つ (λ) だけなので、自由度は $2(=4-1-1)$ とする。

(5) 検定統計量 $T = 0.9839 < \chi^2(0.05, 2) = 5.9915$ なので

帰無仮説 H_0 : ポアソン分布である (観測度数と期待度数は等しい)

対立仮説 H_1 : ポアソン分布ではない (観測度数と期待度数は等しくない)

のもとで、有意水準 5% で仮説 H_0 「ポアソン分布である」は棄却できない。

	A	B	C	D	E	F
1						
2		発生回数/年	観測度数	期待度数	偏り	
3		0	45	$=\$C\$7*POISSON.DIST(B3, \$C\$8, FALSE)$	$=(C3-D3)^2/D3$	
4		1	31	34.05627929	0.274276676	
5		2	13	13.44326814	0.014615988	
6		3	6	$=C7-SUM(D3:D5)$	0.61465006	
7		合計	95	95	0.983917797	検定統計量
8		平均発生回数	$=SUMPRODUCT(B3:B6, C3:C6)/C7$	$\chi^2(0.05, 4-1-1)$	5.991464547	
9						

適合度検定では、期待値が小さいと χ^2 分布での近似が悪くなるので、階級毎の期待値が 3 以上になるようにデータを大きい方から集約する方法が推奨されている。必要に応じてそのような操作が必要になる。

付録 4 Excel を用いて有感地震の発生間隔についての度数分布表を作成する

有感地震の発生間隔が指数分布に従うのかどうかを検証するための準備として、発生間隔毎の度数分布を作成する必要がある。以下に Excel を用いて作成する手順を示す。

(1) 震源リストから地震の発生間隔を求めために、セル D3 に $=(B3-B4)/365$ を入力する。セル D3 をコピーしてセル D4 から D5 に貼り付ける。数値が表示されない場合には、Excel の [書式] - [セルの書式設定] - [標準] を設定する。なお、単位を年にするために 365 で単に割っているだけなので、閏年は考慮していない。

(2) 発生間隔の列 (D3:D5) をもとに COUNTIFS 関数 (検索範囲, 検索条件 1, 検索条件 2) を使用して度数を求める。

・セル F3 から F4, またセル G3 から G4 に発生間隔を表す数値を入れる。発生間隔が 0~1 年 ($0 \leq t < 1$) なら、セル F3 に 0, セル G3 に 1 を入力する。

・セル H3 に $=COUNTIFS(\$D\$3:\$D\$5, ">=" & F3, \$D\$3:\$D\$5, "<" & G3)$ と入力する。セル D3 から D5 までの範囲で、セル F3 以上, セル G3 より小さい値の数値が何個あるかを数える。

・セル H3 をコピーし、セル H4 に貼り付ける。

	A	B	C	D	E	F	G	H
1		地震の発生日時	震央地名					
2				発生間隔(年)		発生間隔 (年)		度数
3	1	2016/04/16 01:25:05.4	熊本県熊本地方	0.761478295		0	1	3
4	2	2015/07/13 02:52:05.9	大分県南部	0.429274908		1	2	0
5	3	2015/02/06 10:25:12.4	徳島県南部	0.902318037				
6	4	2014/03/14 02:06:50.8	伊予灘					
7								

付録5 Excel を使い指数分布の適合度検定をする

ここでは、Excel を用いて観測度数が指数関数に適合するかを調べる手順を述べる。

(1) 付録4の手順を参考にして地震の発生間隔に関する度数分布表を作成する。[セルB3からD9]

(2) 発生間隔のデータから平均発生間隔を求め、その値を使い指数分布に従うとした場合の期待度数を計算する。

- ・平均発生間隔の値をセルD11に入力する。
- ・期待度数の列、セルD3に $=\$D\$10*(EXP(-B3/\$D\$11)-EXP(-C3/\$D\$11))$ を入力する。
- ・セルD3をコピーし、セルD4:D9に貼り付ける。

(3) 度数と期待度数の合計(セルD10,E10)を求める。

(4) 発生間隔4~5以下は期待度数が3以下になっているので、度数の集約処理をする。

- ・度数(集約)の列のセルF7に $3(=2+0+1)$ を入力する。F3~F6には、D3からD6の値を貼り付ける。

・期待度数(集約)の列のセルG3からG6に、E3からE6の値を貼り付ける。セルG7には $=D10-SUM(G3:G6)$ を入力する。

(5) 偏り $[=(\text{観測度数}-\text{期待度数})^2/\text{期待度数}]$ を計算し、その合計(検定統計量、カイ二乗値と呼ばれることがある)を計算する。

- ・偏り [セルH3] に $=(F3-G3)^2/G3$ を入力してコピーし、セルH4~H7に貼り付ける。
- ・カイ二乗値 [セルH10] に $=SUM(H3:H7)$ を入力する。

(6) 有意水準5%, 自由度 $3(=5-1-1)$ のカイ二乗値を求める。

- ・[セルH11]に $=CHIINV(0.05,3)$ を入力する。

(7) 検定統計量 $T = 5.260 < \chi^2(0.05,3)=7.815$ なので

帰無仮説 H_0 : 指数分布である(観測度数と期待度数は等しい)

対立仮説 H_1 : 指数分布ではない(観測度数と期待度数は等しくない)

のもとで、有意水準5%で仮説 H_0 「指数分布である」は棄却できない。

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2		発生間隔（年）		度数	期待値	度数（集約）	期待値（集約）	偏り
3		0	1	43	40.623	43	40.623	0.139
4		1	2	12	18.323	12	18.323	2.182
5		2	3	9	8.264	9	8.264	0.065
6		3	4	7	3.728	7	3.728	2.873
7		4	5	2	1.681	3	3.063	0.001
8		5	6	0	0.758			
9		6	7	1	0.342			
10		合計		74	73.719	74	74	5.260
11		平均発生間隔		1.256			$\chi^2(0.05, 5-1-1)$	7.815
12								