

# 東海地方で発生した地震の統計的解析

2018SS076 横井春香

指導教員：白石高章

## 1 はじめに

南海トラフ発生について様々な推測がある。南海トラフで被害を受ける可能性が高いのが東海地方である。本研究では、東海地方で発生した地震を調べ、地震の回数がポアソン分布に従うことを利用して東海地方の地震の発生頻度の違いと特徴を解析する。

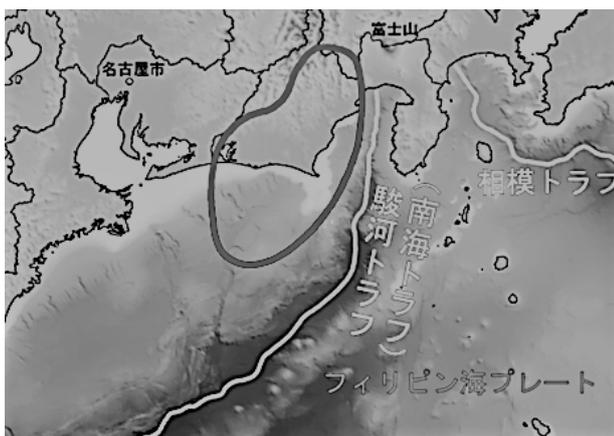


図1 東海地方のプレート (参考文献 [1])

## 2 東海地方の震度3以上の地震

### 2.1 データについて

本研究では、「国土交通省 気象庁」[1]のサイトより地震のデータを収集した。データの詳細としては、2000年1月1日から2021年11月30日までに東海地方4県とその周辺の湾・灘で発生した地震データを収集した。解析する範囲を愛知県、岐阜県、静岡県、三重県、湾・灘（相模湾、伊豆大島近海、伊豆半島東方沖、三宅島近海、新島・神津島近海、駿河湾、駿河湾南方沖、遠州灘、三河湾、伊勢湾）に分けてそれぞれ解析を行った。各県付近の湾等は、湾・灘の範囲のみに含めるとする。

### 2.2 東海地方の地震の分析結果

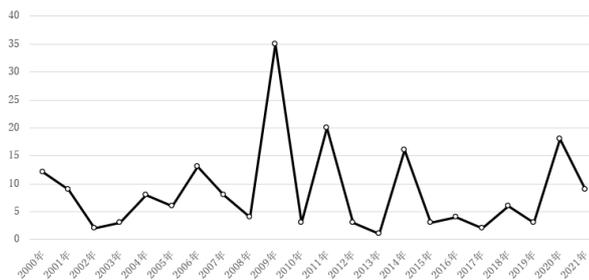


図2 東海地方で発生した震度3以上の地震

東海地方では東日本大震災が発生した2011年より、2009年の方が地震発生回数が多いことが分かった。2009年8月11日5時7分頃、駿河湾の深さ23kmでマグニチュード6.5の地震が発生し、静岡県内で最大震度6弱を観測した。また、2021年9月19日～9月21日までに23回の地震（震度1以上）が岐阜県飛騨地方で観測されている。（震源地は岐阜県北部や岐阜県寄りの長野県あたり）この地域は火山活動の影響で群発地震が起きる地域であり、震源の真上では非常に強い揺れになることがある。

## 3 地震データの解析

### 3.1 東海地方のデータ解析

稀に起こる現象の回数はポアソン分布に従う。

2項分布  $B(n, p)$  において、 $np = \mu$  (正かつ一定) とおき、 $n \rightarrow \infty$  (すなわち  $p \rightarrow 0$ ) とすると、

$\lim_{n \rightarrow \infty} c_n = c$  のとき、 $\lim_{n \rightarrow \infty} (1 + \frac{c}{n})^n = e^c$  より  $i = 1, 2, \dots, k$  に対して、第  $i$  群の第  $j$  日目に起きた震度3以上の地震の回数を  $X_{ij}$  とする。さらに  $X_{ij}$  は平均  $\mu_i$  のポアソン分布に従うとする。

$$P(X_{ij} = x) = \frac{(\mu_i)^x}{x!} e^{-\mu_i}, E(X_{ij}) = \mu_i \text{ である.}$$

$$W_i \equiv X_{i1} + \dots + X_{in_i}$$

$$G_i \equiv \left\{ \frac{\chi_{2W_i}^2 \{ (1 + (1 - \alpha)^{\frac{1}{k}}) / 2 \}}{2n_i} \right. \\ \left. < \mu_i < \frac{\chi_{2(W_i+1)}^2 \{ (1 - (1 - \alpha)^{\frac{1}{k}}) / 2 \}}{2n_i} \right\} \\ (i = 1, 2, \dots, k)$$

とする。このとき、参考文献 [2] より、

$$\text{(条件1)} \quad e^{-n_i \mu_i} \leq \frac{(1 - (1 - \alpha)^{\frac{1}{k}})}{2} \quad (1 \leq i \leq k)$$

の下で、 $G_1, \dots, G_k$  は

$P(\mu_1 \in G_1, \mu_2 \in G_2, \dots, \mu_k \in G_k) \geq 1 - \alpha$  を満たし、 $G_1, \dots, G_k$  は  $\mu_1, \dots, \mu_k$  に関する信頼係数  $1 - \alpha$  の同時信頼区間である。この  $k$  個の区間が交わらなければ  $\mu_1, \dots, \mu_k$  が異なると判定する。ただし、 $\chi_n^2$  は自由度  $n$  のカイ二乗分布を表す。

### 3.2 同時信頼区間によるデータ解析

表1 東海地方で発生した震度3以上の地震

期間	回数	日数	一日の平均回数
2000.01.01~2008.12.31	65	3287	0.0198
2009.01.01~2011.12.31	58	1094	0.0530
2012.01.01~2021.11.30	65	3560	0.0183

$\alpha = 0.05$  として同時信頼区間を求める。 $n_1 = 3287, n_2 = 1094, n_3 = 3560, W_1 = 65, W_2 = 58, W_3 = 65$  を当て

はめる.

$$\frac{1 + (1 - \alpha)^{\frac{1}{3}}}{2} = 0.9915, \quad \frac{1 - (1 - \alpha)^{\frac{1}{3}}}{2} = 0.0084$$

$$n_1 \hat{\mu}_1 = 65, \quad n_2 \hat{\mu}_2 = 58, \quad n_3 \hat{\mu}_3 = 65$$

であるので,

$$\max\{e^{-n_1 \mu_1}, e^{-n_2 \mu_2}, e^{-n_3 \mu_3}\} = 0 < 0.0084$$

となる信頼区間を与える (条件 1) が満たされる.

$$2W_1 = 130, \quad 2(W_1 + 1) = 132$$

$$2W_2 = 116, \quad 2(W_2 + 1) = 118$$

$$2W_3 = 130, \quad 2(W_3 + 1) = 132$$

を当てはめ, Excel によりカイ二乗分布の上側  $100\alpha$  % 点を求めると,

$$\chi_{130}^2(0.9915) = 94.663, \quad \chi_{132}^2(0.0084) = 173.969$$

$$\chi_{116}^2(0.9915) = 82.795, \quad \chi_{118}^2(0.0084) = 157.849$$

$$\chi_{130}^2(0.9915) = 94.663, \quad \chi_{132}^2(0.0084) = 173.969$$

を得る.  $n_1 = 3287, n_2 = 1094, n_3 = 3560$  より, 信頼係数 0.95 の同時信頼区間は

$$0.0144 < \mu_1 < 0.0265$$

$$0.0378 < \mu_2 < 0.0721$$

$$0.0133 < \mu_3 < 0.0244$$

となる.

### 3.3 分析結果

$\mu_1$  と  $\mu_2$ ,  $\mu_2$  と  $\mu_3$  の間に信頼区間の交わりはないため, 東海地方での地震発生回数は 2009 年から 2011 年が発生前後と比べて異常に多いことが分かった.

### 3.4 平均相違によるデータ解析

白石 [3] より,  $\mu_i$  の点推定量は,

$$\hat{\mu}_i = \frac{W_i}{n_i} (i = 1, 2, 3) \quad (1)$$

で与えられる. このとき,

$$\sqrt{n}(\hat{\mu}_i - \mu_i) \xrightarrow{\mathcal{L}} Y_i \sim N(0, \frac{\mu_i}{\lambda_i})$$

が成り立つ. ここで, shiraishi [4] より

$\sigma_i \equiv \sqrt{\mu_i}$  の推定量として  $i = 1, 2, 3$  に対して,

$$\hat{\sigma}_i \equiv \sqrt{\hat{\mu}_i} \quad (2)$$

である. 次に信頼係数  $1 - \alpha$  の同時信頼区間は次のように与えられる.

$$\sigma_i - \sigma_{i'} \in \hat{\sigma}_i - \hat{\sigma}_{i'} \pm a(k; \alpha) \cdot \sqrt{\frac{1}{4n_i} + \frac{1}{4n_{i'}}} \quad (3)$$

$$(1 \leq i < i' \leq 3)$$

{帰無仮説  $H_{(i,i')} : \mu_i = \mu_{i'}$  vs. 対立仮説  $H_{(i,i')}^A : \mu_i \neq \mu_{i'} \mid 1 \leq i < i' \leq 3$ } に対して, 検定統計量を

$$T_{ii'} = \frac{2(\hat{\sigma}_i - \hat{\sigma}_{i'})}{\sqrt{\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_{i'}}}} \quad (1 \leq i < i' \leq 3) \quad (4)$$

とおく.  $T_{ii'} > a(k; \alpha)$  となる  $(i, i')$  に対して,  $H_{(i,i')}$  を水準  $\alpha$  で棄却する.  $a(3; 0.05) = 2.344$  である.

### 3.5 平均相違によるデータ解析

表 1 を用い,  $\alpha = 0.05$  として解析する.

$$n_1 = 3287, \quad n_2 = 1094, \quad n_3 = 3560$$

$$W_1 = 65, \quad W_2 = 58, \quad W_3 = 65$$

をそれぞれ (1) に代入して計算すると,

$$\hat{\mu}_1 = 0.0198, \quad \hat{\mu}_2 = 0.053, \quad \hat{\mu}_3 = 0.0183$$

を得る. 次に,  $\hat{\mu}_1, \hat{\mu}_2, \hat{\mu}_3$  を (2) に代入すると

$$\hat{\sigma}_1 = 0.14, \quad \hat{\sigma}_2 = 0.23, \quad \hat{\sigma}_3 = 0.135$$

を得る. これらを (3) に代入すると以下の同時信頼区間を得る.

$$-0.131 < \sigma_1 - \sigma_2 < -0.049 \quad (*1)$$

$$0.023 < \sigma_1 - \sigma_3 < 0.033 \quad (*2)$$

$$-0.054 < \sigma_2 - \sigma_3 < 0.136 \quad (*3)$$

さらに,  $\hat{\sigma}_1, \hat{\sigma}_2, \hat{\sigma}_3$  をそれぞれ (4) に代入すると

$$|T_{12}| = 5.157 > 2.344$$

$$|T_{13}| = 0.413 < 2.344$$

$$|T_{23}| = 5.496 > 2.344$$

となり, 水準 0.05 で帰無仮説  $H_{12}, H_{23}$  が棄却された. (\*1) より,  $\mu_1 < \mu_2$  の関係がわかる. よって地震の発生回数は駿河湾の地震と東日本大震災が発生した 2009~2011 年は発生前より回数が多いことが分かった.

## 4 おわりに

東海地方全体として分析したときは 2009~2011 年の地震発生回数が最多であった. 駿河湾と東日本大震災のように大きな地震が立て続けに起こった結果と, 最近の地震の多さから, 南海トラフが遠くないことをあらわしていると考えられる. 日本は地震大国であるが地震発生後の対策が進んでいるとはいえないため, 出来ることを考えていかなければならない.

## 参考文献

- [1] 国土交通省 気象庁 地震データベース (<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.html>) 2022 年 1 月 13 日 閲覧
- [2] 白石高章: 『多群の 2 項モデルとポアソンモデルにおけるすべてのパラメーターの多重比較法』, 日本統計学誌, 第 42 巻, 第 1 号, 55~90 頁, 2012 年.
- [3] 白石高章: 『統計科学の基礎』, 日本評論社, 東京, 2012
- [4] T. Shiraishi: Multiple comparison procedures for Poisson parameters in multi-sample models, Behaviormetrika, Vol39, No.2, 2012
- [5] 安田奈紗: 卒業論文ポアソン過程に基づく近年の日本における地震頻度の統計解析 <http://www.st.nanzan-u.ac.jp/info/gr-thesis/2017/shiraishi/pdf/14ss094.pdf>