

# 地震時の出火率、出火件数の予測に関する研究

水 野 弘 之・堀 内 三 郎

## STUDY ON THE RATIO OF THE OUTBREAK OF FIRES AND THE PREDICTION ABOUT THE NUMBERS OF THE OUTBREAK OF FIRES CAUSED BY THE EARTHQUAKES

By *Hiroyuki MIZUNO, and Saburo Horiuchi*

### Synopsis

In order to protect our towns and cities from the fire caused by the earthquakes, it is necessary to study on the outbreak of fires. We obtained many data on the outbreak of fires and the damage of dwelling houses caused by the earthquakes since "Kanto-dai-shinsai" in 1923. The relationship between the ratio of the outbreak of fires and that of totally destroyed dwelling houses, the season and the time when earthquakes occurred are obtained as the regression formula. The numbers of the outbreak of fires predicted by this formula are compared with that predicted by another method used up to this time.

### 1. は じ め に

関東大地震災をはじめとする地震災害は、日本の大都市における地震火災の危険を、まざまざと示してきたが、現代の大都市では、さらに都市域の拡大による広域火災化の危険や、「新しい地震火災の危険要因」が充満しており、危険はより一層大きくなりつつある。そのため、大都市をかかえる地方自治体では、地震火災の初害想定を行ない、防災対策をたてることをめざしているが、その実現の上で様々の困難があり、研究上でも解明すべき課題が、山積している。

地震火災の研究は、出火、延焼、避難の研究に、大別されるが、中でも、地震時の出火の研究は、次のような点で、とくに重要である。

- ① 延焼動態を支配する初期条件としての、地震時出火件数を科学的に予測するため。
- ② 地震時の出火要因、出火機構を明らかにし、出火防止対策をたてるため。
- ③ 延焼、避難の研究と合せて、総合的な震災対策と防災都市づくりを行なうため。

このため、筆者らの研究室では、都市防災の研究の一環として、地震時出火の研究を、

- ① 従来の地震火災の資料を用いて、季節・時刻を考慮した、出火率—住家全壊率の回帰式（出火率式）を求め、出火率式の統計的性質を調べて、地震時の出火件数を予測する方法を確立し、従来の出火件数を予測する方法と比較する。
- ② 日常時火災統計を活用して、火気器具別の出火危険度を明らかにし、出火防止対策を明らかにする、の、2段階に分けて研究を進めているが、本論文では、前者について報告する。

従来の地震時出火に関する研究としては、河角<sup>1)</sup>の関東大震災における出火率と全壊率の関係に関する研究があるが、本格的な取究は、端緒についたばかりで、1973年に第1報が出された東京消防庁<sup>2),3)</sup>の出火要因分布の実態調査をもとにした詳細な地域別出火危険度の算出法の研究があるだけである。この東京消防庁の研究は一層の進展が望まれる。

なお、災害の研究では、現実の「災害に学ぶ」ことが、極めて重要であるので、筆者らの研究室では、上記の研究と併行して、1974年伊豆半島沖地震<sup>4)</sup>、1975年阿蘇地震<sup>5)</sup>に於て、出火要因調査を行なってきた。従来の、地震時出火に関する調査としては、関東大震災から新潟地震に至るまでの地震で、簡単な出火源調査が行なわれているが、出火機構を綿密に調査したものとしては、村上<sup>6)</sup>らが行なった、石油ストーブ等火気器具の出火機構調査があり、石油ストーブの出火危険の大きさを指摘している。

## 2. 研究の方法

本研究では、地震時の出火率と住家全壊率の関係を明らかにすることを目標にして、Table 1 に示すような関東大震災以後の比較的大きな火災を伴った13コの地震の出火、および建物被害等の調査報告書を整理して、約千件の地震時出火資料を収集した。そして、それらを定性的に分析して、地震時出火の性質を明ら

Table 1. List of earthquakes.

| No. | 地 震 名                | 発生年月日        | 時 刻     | 全壊世帯数   | 焼失世帯数   |
|-----|----------------------|--------------|---------|---------|---------|
| 1   | 関 東 大 震 災            | 1923. 9. 1   | 11 : 58 | 128,266 | 447,128 |
| 2   | 北 但 馬 地 震            | 1925. 5. 23  | 11 : 10 | 1,295   | 2,180   |
| 3   | 丹 後 地 震              | 1927. 3. 27  | 18 : 27 | 12,584  | 3,711   |
| 4   | 男 鹿 半 島 地 震          | 1939. 5. 2   | 14 : 58 | 479     | 0       |
| 5   | 鳥 取 地 震              | 1943. 9. 10  | 17 : 38 | 7,485   | 254     |
| 6   | 東 南 海 地 震            | 1944. 12. 7  | 13 : 36 | 26,130  | 11      |
| 7   | 南 海 道 地 震            | 1946. 12. 21 | 4 : 19  | 11,591  | 2,598   |
| 8   | 福 井 地 震              | 1948. 6. 28  | 16 : 13 | 35,437  | 3,690   |
| 9   | 1952 年 十 勝 沖 地 震     | 1952. 3. 4   | 10 : 23 | 815     | 20      |
| 10  | 新 潟 地 震              | 1964. 6. 16  | 13 : 02 | 1,960   | 402     |
| 11  | え び の 地 震            | 1968. 2. 21  | 10 : 45 | 368     | 0       |
| 12  | 1968 年 十 勝 沖 地 震     | 1968. 5. 16  | 9 : 49  | 670     | 13      |
| 13  | 1974 年 伊 豆 半 島 沖 地 震 | 1974. 5. 9   | 8 : 33  | 92      | 5       |

かにし、簡単な出火機構モデルをつくり、それにもとづいて、出火率と地震動の強さ、地震の発生した季節や時刻との関係を明らかにした。なお、Table 1 の地震以外にも、出火を伴った地震は、いくつかあるが、それらは出火件数が少なく、出火資料の信頼度が低いので、除外した。また、これらの出火資料の掲載されている文献は、数多いので紙数の関係で本論文には記載できないが、これらの文献の大部分は、「大地震調査報告文献集<sup>7)</sup>」に収集されている。

## 3. 地震時の出火について

### 3.1 地震時出火の性質

地震ごとの出火件数を、Table 2 に示す。ここには、後述する出火率と住家全壊率の関係の解明に用いた出火件数だけを記した。つまり、建物被害のなかった市区町村の出火、および不確かな出火資料を除外してある。

Table 2 において、「即時消止火災」とは、地震で出火したが、建物内に拡大する前に、まわりの人が消し止めた火災のことであり、「炎上火災」とは、建物全体に火がまわってしまったか、あるいは、延焼の火元となった火災のことである。このように、出火を、「即時消止火災」と「炎上火災」に分けた理由は、「炎上火災」だけしか調べられていない例があること、および延焼する可能性のある火元数を求めるためである。なお、地震時出火データには、次のような限界がある (Table 2 参照)。① 関東大震災と丹後地震の出火

Table 2. Numbers of outbreak of fires.

| No. | 地 震 名                                           | 一般火気器具からの出火 |      | 薬品からの出火 |      | 特殊火源からの出火<br>(全火災*) |
|-----|-------------------------------------------------|-------------|------|---------|------|---------------------|
|     |                                                 | 即時消止火災      | 炎上火災 | 即時消止火災  | 炎上火災 |                     |
| 1   | 関東大震災<br>{ 旧東京市内<br>東京府郡部<br>横浜市、横須賀市<br>神奈川県郡部 | 47          | 77   | 18      | 12   | 4                   |
| 2   |                                                 | 13          | 14   | 4       | 4    | 9                   |
| 3   |                                                 | 2           | 266  | 0       | 14   | 16                  |
| 4   |                                                 | 28          | 75   | 0       | 13   | 12                  |
| 5   | 北 但 馬 地 震                                       | 5           | 16   | 0       | 0    | 1                   |
| 6   | 丹 後 地 震                                         | 381         | 87   | ?       | ?    | 7                   |
| 7   | 男 鹿 半 島 地 震                                     | 0           | 0    | 0       | 1    | 0                   |
| 8   | 鳥 取 地 震                                         | 5           | 11   | 0       | 1    | ?                   |
| 9   | 東 南 海 地 震                                       | 10          | 4    | ?       | ?    | ?                   |
| 10  | 南 海 道 地 震                                       | ?           | 13   | 0       | 0    | 3                   |
| 11  | 福 井 地 震                                         | 4           | 37   | 1       | 4    | 11                  |
| 12  | 1952 年 十 勝 沖 地 震                                | 5           | 2    | ?       | ?    | ?                   |
| 13  | 新 潟 地 震                                         | 3           | 1    | 4       | 0    | 5                   |
| 14  | え び の 地 震                                       | 2           | 0    | 0       | 0    | 0                   |
| 15  | 1968 年 十 勝 沖 地 震                                | 30          | 14   | 1       | 3    | 4                   |
| 16  | 1974 年 伊 豆 半 島 沖 地 震                            | 0           | 2    | 0       | 0    | 0                   |
| 計   |                                                 | 535         | 619  | 28      | 52   | 72                  |

(注) ? : 調査されていないため不明のもの

\* 即時消止火災と炎上火災を加えたもの

件数が圧倒的に多い。② 関東大震災の横浜市内、および福井地震などでは、炎上火災だけが調査されており、即時消止火災は、殆んど調査されていない。③ 丹後地震、東南海地震、1952年十勝沖地震では、出火源が詳しく調査されていない。

Table 3. Source of outbreak of fires.

| 出 火 源  |                     | 出火件数 | %             |
|--------|---------------------|------|---------------|
| 一般火気器具 | 炊 事 用 火 気           | 439  | 38            |
|        | 風 呂 釜               | 39   | 3             |
|        | 暖 房 用 火 気           | 143  | 12            |
|        | その他不明だが、一般火気と思われるもの | 536  | 46            |
| 計      |                     | 1154 | 100           |
| 特殊火源   | 工場の業務用火気            | 30   | 計<br>152<br>件 |
|        | 薬 品                 | 85   |               |
|        | 危 険 物               | 17   |               |
|        | 電気、その他              | 25   |               |
| 注目火気   | LPG使用火気器具           | 7    | 計<br>41<br>件  |
|        | 石油ストーブ              | 21   |               |
|        | 石油コンロ               | 13   |               |

(注) 不明分を除く、\* 特殊火源として薬品を含む

次に、出火事例を、出火源ごとに分けたものを **Table 3** に示すが、炊事用火気からの出火が圧倒的に多い。**Table 3** の内訳を地震ごとに調べた結果、次のようなことがわかった。

- ① 暖房用火気器具からの出火は、丹後地震、1968 年十勝沖地震が大半を占め、丹後地震では、こたつやいろりから、十勝沖地震では、石油ストーブから出火している。
- ② 夕方に発生した地震では、風呂釜からの出火も多い。
- ③ 特殊火源からの出火としては、ほとんどの地震で薬品から出火 (80 件) しており、一般の火気器具からの出火 (1154 件) の約 7% になっている。(Table 2 および Table 3 参照)
- ④ 石油基地からの出火としては、新潟地震が最も大きく、大延焼しているが、1968 年十勝沖地震でも、引火はしなかったが、危険物施設の破壊等による油洩れなどが発生しており、危険物施設の危険性を示している。
- ⑤ 近年、爆発的に普及してきたプロパンガス類の火気器具、石油コンロ、石油ストーブを、特に「注目火気」として、Table 3 に示しておいたが、これらの火気器具は、従来の薪炭、都市ガスの火気器具に比べてより大きな出火危険をもつことが 1964 年の新潟地震以後判明している<sup>4,5,6)</sup>。

出火した建物の用途を調べた結果を、**Table 4** に示すが、住宅や商店からの出火が、76% を占めること、

Table 4. Use of building where happened outbreak of fires.

| 建 物 用 途      | 出火件数 | %   |
|--------------|------|-----|
| 住 宅          | 148  | 22  |
| 商 店 { 一般商店   | 138  | 20  |
| 常時火気使用施設     | 226  | 34  |
| 公 衆 浴 場      | 17   | 3   |
| 一般住宅と推定されるもの | 95   | 14  |
| 工場・危険物施設等    | 50   | 7   |
| 計            | 674  | 100 |

(注) 不明分を除く

また商店の中でも、常時火気使用施設からの出火の多いことがわかる。常時火気使用施設とは、飲食店、クリーニング店、鋳造業等の長時間火源を絶やすことなく使用する施設を表わすが、これらは一般商店に比べて、数は少ないと考えられる。従って、常時火気使用施設の出火率は、一般商店のそれよりも、かなり大きな値であると考えられる。

地震時出火については、これらの火源や建物用途の外に、火気の転倒や落下などの出火に至った「経過」や着火物の存在などの火気周囲の条件等の資料が必要であるが、従来の調査では、それらは調査されていない。

以上にみてきたように、出火源は、一般火

気器具と特殊火源に大別されるが、前者が大半を占めている。また出火建物等の用途をみても、大工場・危険物施設からの出火は多くはなく、出火率を定めるための母数も不明確である。従ってここでは、一般火気器具からの出火、あるいは、一般の建物火災のみを扱うことにするが、薬品を含む特殊火源や危険物施設からの出火に関する研究は、今後、ぜひとも必要な研究課題である。

3.2 地震時出火機構について

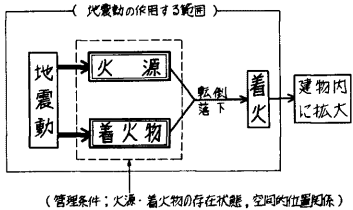


Fig. 1. Mechanism of outbreak of fires caused by earthquakes.

(1) 地震時出火機構の概要

地震時出火機構は、次のように考えられる (Fig. 1)。

- ① 出火現象を生ぜしめる外力は、地震動である。この地震動は、火源、着火物、建物に作用して、それらの転倒、落下、異常燃焼等をひきおこす。
- ② この外力としての地震動をうけて、出火を形成する出火要因としては、(イ) 火源としての、火気器具や危険物、(ロ) 火源の周囲の着火物の存在状態、(ハ) 火源から着火物に着火し、建物内に拡大する「経過」がある。
- ③ 前項②の出火要因の質と量は、季節、時刻、および時

代によって変る。

- ④ また、前項③の出火要因は、建物内で考えれば、建物構造や建物用途によって変り、都市的スケールで考えれば、都市構造によって変る。

## (2) 出火要因について

出火機構の項目②、③、④については、第3.1節で述べたように、過去の震災統計の資料が不十分であるので、それらを全面的に明らかにすることはできず、第4節以下に示す出火率と住家全壊率の関係の解明の前提条件は、次のように限定される。

- ・出火源としては、Table 3 に示したような特殊火源は扱わず、一般火気器具のみを扱う。
- ・火源の周囲の着火物の存在は、考慮しない。
- ・火源の転倒や周囲の着火物の火源上への転倒は、1968年十勝沖地震<sup>9)</sup>、1974年伊豆半島沖地震<sup>4)</sup>で調べられているだけである。また、家屋の倒壊と出火の関係についても、一部の地震で「家屋倒壊して、かまどから出火」という記述があるが、家屋が倒壊しなくても、出火する場合が多いことを考えると、この程度の記述では不十分である。ただし、住家被害率は、家屋の倒壊の指標でもあるので、住家被害率と出火率の関係は、家屋の倒壊を考慮した関係と考えることができる。
- ・季節や時刻によって、使用火気器具の種類や、実際に火がついているかどうかが変る。従来の地震で、地震が発生した時点で、使用中の火気がどれだけあったかということは、新潟地震以後の地震で調査されたこともあるが、他の地震では調べられていない。従って、本論では、東京消防庁の季節、時刻ごとの火気使用数の調査<sup>2)</sup>を用いて、季節と時刻を考慮した出火率と住家被害率の関係を求めることにする。
- ・建物用途としては、併用住宅を含む住家のみを考慮する。都市構造のちがいは、考慮していないが、建物用途、および都市構造のちがいを考慮してゆくことは、今後の研究課題である。

## 3.3 地震動の強さの尺度としての住家全壊率について

地震動の強さは、地震工学的には、地震動の加速度、周期、および家屋の被害をひきおこす地盤の破壊の程度であるが、これらのデータは過去の地震ごとに、個々の市区町村で十分には調べられていない。ところが、建物被害、とくに住家の被害については、過去のどの震災においても、それぞれの市区町村ごとに詳しく調べられており、地区ごとの被害率は、地震動の強さを表わす尺度として、現状では、最も有効である。

従って、地震動の強さを表わす尺度として、市区町村ごとに住家の被害率を、全壊率のみを用いて、次のように定める。

$$\text{住家全壊率} = \frac{\text{住家全壊世帯数}}{\text{全世帯数} - (\text{焼失世帯数} + \text{流失世帯数})} \dots\dots\dots (3.1)$$

建物被害は、全壊、半壊、破損、焼失、流失に分けて調査されているが、そのおおよその判定基準は、次のとおりである<sup>4,8,9,10,11)</sup>。

全壊：柱や梁等の骨組構造部分に致命的な損壊があって、建て直しをしないと住居に利用できないもの。

半壊：骨組構造部分に致命的な損壊がなく、建て直さなくとも、大修理をすれば、住居に利用できるもの。

破損：骨組構造部分には、殆んど損壊がなく、建物の一部分に損壊があるが、住むには大きな差し支えはないもの。

無被害：壁の小さなひびわれや瓦が多少ずれたものは無被害とする。

焼失（又は、全焼）、流失：住居として利用できないほど焼けたり、流されて破損したもの。

なお、半焼、又は部分焼が調べられているものは殆んどなく、あってもその世帯数は、わずかであるので無視した。

しかし、建物被害の判定基準は必ずしも上記のように、統一されていない場合があり、調査者の主観により、かなり左右される場合もある。たとえば、1952年十勝沖地震における北海道庁と道警察の二者の調査結果を、住家全壊率と住家半壊率のそれぞれについて、相関図に示すと、Fig. 2 のようになるが、道庁の被害統計は、道警察のそれに比べてかなり大きい。このように、市町村役場調べの被害統計は、過大評価を

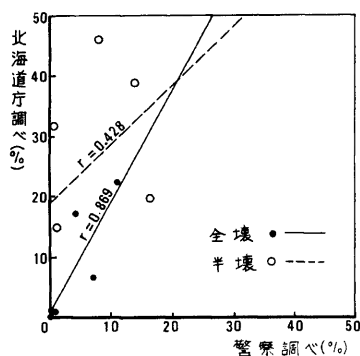


Fig. 2. Difference of statistics.

験的に行なわれているように、 $w=0.5$  とする方法

- ③ 全壊率と半壊率の関係から、“半壊率/全壊率”の関数として、 $w$  を求める方法があるが、この方法は計算が複雑であり、①の方法に比べて、被害率の分布は著しく異なることはないようである<sup>12)</sup>。

本論文では、①の方法を採用したが、その理由は以下のとおりである。すなわち、調査者によって、建物被害統計が異なることは、前述したとおりであるが、地震ごとに調査者の異なる二つの主要な調査報告(A, B とする)を取り出し、全壊率、半壊率、および全半壊率( $w=0.5$  のとき)のそれぞれについて、A と B の相関係数  $r$  を計算すると、一部の地震の場合を除いて、

$$r_{AB}(\text{全壊率}) > r_{AB}(\text{全半壊率}) > r_{AB}(\text{半壊率})$$

となる。従って、全壊率が調査主体による差が最も少なく、半壊率も考慮すると却って精度が悪くなるので、半壊率を無視することにした。

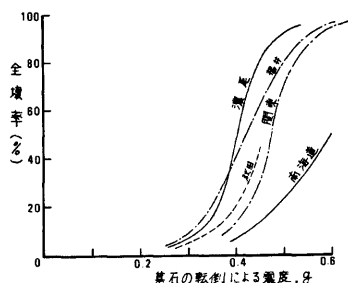


Fig. 3. Relationship between damage of wooden houses and the intensity of earthquakes (g).

のみの被害率を考えた。

また、戸数は、世帯数とほぼ等しいので、どちらをとっても大差はない。

(3.1) 式で、分母を、全世帯数から焼失世帯数と流失世帯数を差し引いたものとしたのは、焼失したり、

する傾向があることが、福井地震<sup>3)</sup>の時に報告されているので、注意が必要である。また、文献によって、建物被害の統計が異なる場合が多いので、同一市町村について、できるだけ多くの統計資料を参照して、住家被害世帯数を確定した。

住家被害率は、半壊家屋も考慮して、

$$\text{住家被害率} = (x_z + w \cdot x_H) / N_0 \cdots \cdots (3.2)$$

ここに、 $x_z$ : 全壊世帯数  $x_H$ : 半壊世帯数

$w$ : おもみ

$N_0$ : 全世帯数 - (焼失世帯数 + 流失世帯数)

と定義するのが普通である。おもみ  $w$  は、半壊を全壊に対して、どの程度考慮するかを意味し、その値のとり方には、次の3つの方法が考えられる。

- ① 半壊を全く考慮せず、 $w=0$  とする方法
- ② 従来の被害調査報告で、被害率分布を表わす場合に経

また、木造家屋の耐震性の向上によって、建物被害率と地震動の強さとの関係は、時代の経過や地域によって変ることが、Fig. 3 に示すような、住家全壊率と墓石の転倒から計算した震度との関係<sup>4)</sup>から予測される。しかし、墓石転倒震度だけでは、地震動の強さを表わせないという問題もあって、現段階では耐震性の向上を評価できる方法が確立されていないので、本研究では、それらを考慮していない。

住家全壊率を定めるための、地域の大きさのとり方は、等被害率線を用いて、被害率の大小によって地域分けをするべきであるが、データが不十分であるので、本研究では、市区町村単位とすることにす。

建物は、住家世帯数(又は、戸数)と非住家棟数に大別して調べられているが、非住家の被害率を算出するための市区町村ごとの非住家棟数の統計資料は少ないので、住家

流失した住家が，地震動そのものによって，どの程度の被害をうけたかは不明であり，焼失，又は流失と判定された住家は，全壊，半壊，破損に含められてはいないと判断されるためである。

以上に述べたように，住家全壊率は地震動の強さを正確に表わすとは言えず，様々な問題点をもっており，それを解明することは，今後の課題であるが，地震動の強さは，単純に最大加速度や墓石転倒震度だけでは表わせない点を考えると，過去の地震にさかのぼって適用することができ，地盤変動の影響も含まれている住家被害率は，地震動の強さを表わす尺度としては，現状では最も有効である。

さらに，後述するように，住家被害率は住家の倒壊による出火危険の増大の指標にもなりうると考えられる。

#### 4. 出火率－住家全壊率の関係について

##### 4.1 出火率と住家全壊率について

住家全壊率と出火率を定義するための単位地域は，第3.3節で述べたように，市区町村とする。そして，市区町村ごと（ $i=1, 2, \dots$ と添字をつける）に，次のように，出火率，住家全壊率を定義する。

住家全壊率については，(3.1)式で定義したように

$$X_i = x_i / N_{0,i} \quad \dots \dots \dots (4.1)$$

ここに， $X_i$ ：住家全壊率

$x_i$ ：住家全壊世帯数

$N_{0,i}$ ：全世帯数－(焼失世帯数＋流失世帯数)

添字  $i$ ：市区町村の番号

出火については，第3.1で述べたように，即時消止火災（ $y_{S,i}$ ），炎上火災（ $y_{E,i}$ ）がある。ここで，新しく，全出火件数（ $y_{s,i}$ ）を

$$y_{s,i} = y_{S,i} + y_{E,i} \quad \dots \dots \dots (4.2)$$

と定義する。ただし，市区町村によっては，即時消止火災件数が無い場合があるが，その市区町村では，即時消止火災は調査されなかったものと考えて， $y_{s,i}$ を考える場合には， $y_{S,i}=0$ である市区町村は除外し， $y_{S,i} \neq 0$ の市区町村だけを採用する。もちろん， $y_{E,i}$ だけを考える場合には， $y_{S,i}=0$ であってもかまわない。出火率は，次のように定義する。

$$Y_i = y_i / N_i \quad \dots \dots \dots (4.3)$$

ここに， $Y_i$ ：市区町村  $i$  についての，全出火，又は炎上火災の出火率

$y_i$ ：市区町村  $i$  についての，全出火件数（ $y_i = y_{s,i}$ ），又は，炎上火災件数（ $y_i = y_{E,i}$ ）

$N_i$ ：全世帯数

このように定義したのは，出火件数は火気器具の個数に比例し，火気器具の個数は，市区町村の全世帯数に比例すると考えられるからである。ただし，地区ごとに，火気器具の個数や質は異なるが，それらはデータの制約から，本研究では考慮されていない。

さて，具体的に住家全壊率と出火率の関係を調べる前に，市区町村の大きさを表わす  $N_i$  の分布に触れておく。出火率，住家全壊率を求めた市区町村の個数は，179個であり，その  $N_i$  の分布を Fig. 4 に示すが， $N_i$  は，小は100～200世帯のもの（村）から，大は10,000世帯に近いもの（大都市の一つの「区」や市制をしている「市」）に到るまで，広くばらついている。 $N_i$  のばらつきを小さくして，ほぼ同じ大きさの市区町村ごとに，出火率や住家全壊率を定義することが望ましかったが，データの制約から，このようにせざるを得なかった。

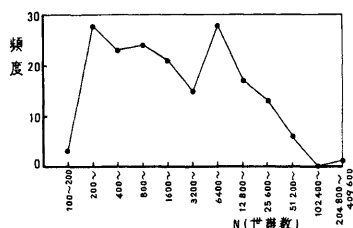


Fig. 4. Distribution of numbers of household.

## 4.2 出火率—住家全壊率の関係

第3.2節に述べた地震時出火モデルを整理して、地震時の出火率( $Y$ )は、地震動の強さとしての住家全壊率( $X_1$ )、地震の発生した季節と時刻( $X_2$ )、およびその他の要因( $X_3$ )の関数で表わされるとすれば、ここに、

$$Y=f(X_1, X_2, X_3) \dots\dots\dots(4.4)$$

$Y=y/N$ ,  $y$ : 出火件数,  $N$ : 全世帯数

$X_1=x/N_0$ ,  $x$ : 住家全壊数,  $N_0$ : (4.1)式参照

となる。

この節では、まず、出火率と住家全壊率の関係を調べることにする。過去の13回の地震から、出火率と全壊率が得られている市区町村の標本数は、Table 5 に示されているが、それらを、両対数グラフ、片対数グ

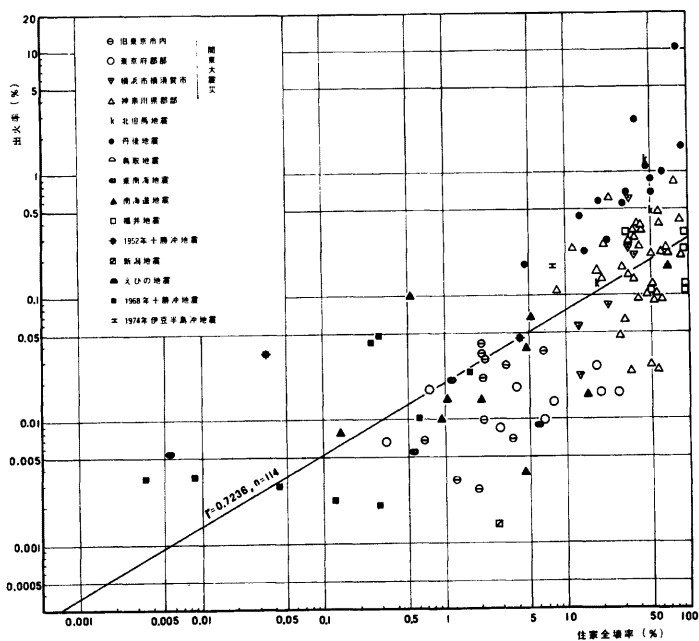
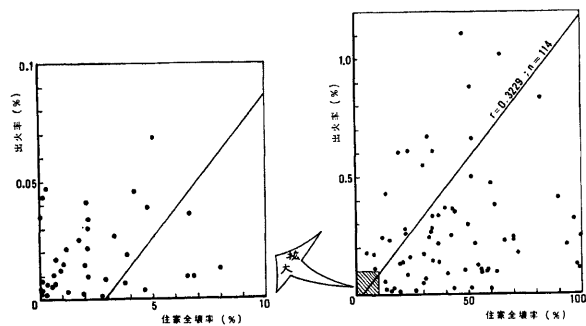
Table 5. Numbers of sample and values of  $\alpha$ , s.

| No. | 地 震 名                | 標 本 数*      |              | 火 気<br>使用率<br>$\alpha$ | 季 節 (s)  |
|-----|----------------------|-------------|--------------|------------------------|----------|
|     |                      | 全出火<br>について | 炎上火災<br>について |                        |          |
| 1   | 関東大震災                | 13          | 11           | 1.52                   | 夏 ( -1 ) |
| 2   |                      | 8           | 9            |                        |          |
| 3   |                      | 1           | 6            |                        |          |
| 4   |                      | 9           | 36           |                        |          |
| 5   | 北 但 馬 地 震            | 2           | 3            | 1.52                   | 春 ( 0 )  |
| 6   | 丹 後 地 震              | 31          | 14           | 2.50                   | 冬 ( 1 )  |
| 7   | 男 鹿 半 島 地 震          | 0           | 0            | 0.85                   | 春 ( 0 )  |
| 8   | 鳥 取 地 震              | 1           | 2            | 2.50                   | 夏 ( -1 ) |
| 9   | 東 南 海 地 震            | 7           | 4            | 0.85                   | 秋 ( 0 )  |
| 10  | 南 海 道 地 震            | 0           | 10           | 0.15                   | 冬 ( 1 )  |
| 11  | 福 井 地 震              | 1           | 6            | 2.50                   | 夏 ( -1 ) |
| 12  | 1952 年 十 勝 沖 地 震     | 4           | 2            | 1.10                   | 冬 ( 1 )  |
| 13  | 新 潟 地 震              | 2           | 1            | 0.85                   | 夏 ( -1 ) |
| 14  | え び の 地 震            | 1           | 0            | 1.10                   | 冬 ( 1 )  |
| 15  | 1968 年 十 勝 沖 地 震     | 10          | 9            | 1.10                   | 冬 ( 1 )  |
| 16  | 1974 年 伊 豆 半 島 沖 地 震 | 0           | 1            | 1.10                   | 春 ( 0 )  |
|     |                      | 90          | 114          |                        |          |

(注) \* 標本数とは、出火率と全壊率が得られている市区町村の個数のことである。

ラフ (出火率を対数目盛、全壊率を普通目盛とした場合)、および普通目盛のグラフにプロットし、その相関係数、回帰直線を計算したものを、Fig. 5(a) (b) (c) に示す。なお、炎上火災について、3組の回帰直線を普通目盛のグラフに書くと、Fig. 5(d) のようになる。この図によれば、普通目盛の場合は、相関係数  $r=0.323$  が小さく、出火率と全壊率に比例関係があるとするモデルは不適切であることがわかる。また、片対数の場合 ( $r=0.663$ ) は、両対数 ( $r=0.724$ ) に比べて、相関係数が小さく、さらに、全壊率が100%のときの出火率の期待値は約1.4%になり、この (全壊率、出火率)=(100%, 1.4%) の座標を Fig. 5(b) にプロットすると (プロットした図は省略、全壊率が100%近くの出火率のデータの平均的な値に比べてかなり大きくなるが、このように炎上火災の出火率の期待値が約1.4%にもなることは過去の事例からみても極めてまれである。よって片対数のモデルも不適切であると判断して棄却し、両対数のモデルを採用する。もちろん、両対数のモデルの場合、分散分析の形で  $F$  分布を用いて、出火率と全壊率の関係を検定した結果



Fig. 5 (b). Relationship between  $\log(x/N)$  and  $\log(y/N)$ ; (flare-up fires).Fig. 5 (c). Relationship between  $(x/N)$  and  $(y/N)$ ; (flare-up fires).

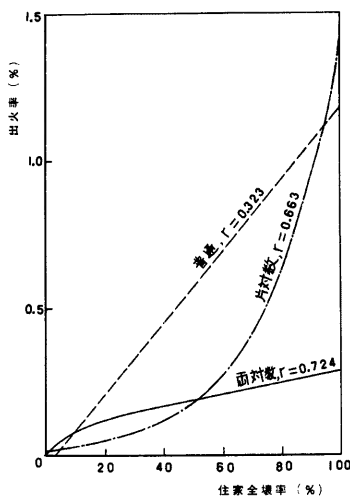


Fig. 5 (d). Rewriting 3 kinds of regression lines on the ordinal co-ordinate graph; (flare-up fires).

は、有意であった。

従って、出火率と全壊率の関係は、次式のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \ln(y/N) &= a \ln(x/N_0) + b \\ \text{又は,} \\ (y/N) &= B(x/N_0)^a \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.5)$$

ここに、

$$\ln = \log_e \text{ (自然対数, 以下同じ), } B = e^b$$

#### 4.3 季節，時刻，およびその他の要因

##### (1) 季節，時刻について

地震の発生した季節や時刻によって、実際に使用されていた火気器具の種類や個数が異なり、それによって出火率が左右されることは明らかである。しかし、過去の地震において、実際に使用されていた火気器具が、どの程度あったかは、新潟地震以後の地震で、若干調べられているだけである<sup>4,13)</sup>。従って、本研究では、東京消防庁による東京都下での、季節ごとの火気使用時間帯の調査<sup>2)</sup>を用いて、時刻を考慮した出火率—住家全壊率関係を求めることにする。

東京消防庁<sup>2)</sup>で調べた時刻ごとの火気使用数の変化を、1時間あたりの平均火気使用数に対する、各時刻の火気使用数の比（火気使用率  $\alpha$  とする）で表わし、それを Fig. 6 に示す。Fig. 6 は変化が激しいので、これを平滑化したものを、Table 6 に示す。以後の計算では、 $\alpha$  は Table 6 に示した値を用いる。地震ごとの、発生時刻から求められる  $\alpha$  の値を、Table 5 に示す。

出火率は、火気使用率  $\alpha$  に比例することは明らかであるから、発生時刻の異なる地震の出火率を相互比較するためには、出火率  $Y$  を、 $\alpha$  で除して、 $Y/\alpha = y/(\alpha \cdot N)$  として比較すればよい。従って、(4.5) 式は、次のようになる。

$$y/(\alpha \cdot N) = B(x/N_0)^a \dots\dots\dots (4.6)$$

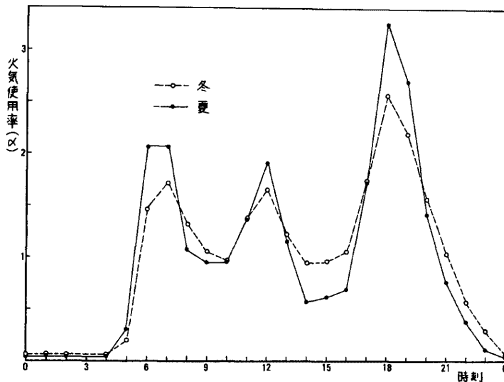


Fig. 6. Use of fire-tools in each time.

Table 6. Round off values of Ratio of use of fire-tools in each time.

| 時 刻   | $\alpha$ |
|-------|----------|
| 1~4   | 0.046    |
| 4~5   | 0.15     |
| 5~6   | 0.98     |
| 6~8   | 1.64     |
| 8~11  | 1.10     |
| 11~13 | 1.52     |
| 13~16 | 0.85     |
| 16~17 | 1.30     |
| 17~19 | 2.50     |
| 19~20 | 1.80     |
| 20~21 | 1.10     |
| 21~23 | 0.45     |
| 23~24 | 0.12     |

次に、季節による出火率の違いを考える。まず、全国規模の火災統計<sup>14)</sup>を用いて、昭和33年から42年までの、10年間の平均をとって日常時の月別出火件数を求める。そして、この月別出火件数と、1年を通じての月平均出火件数との比をとると、Fig. 7 のようになる。

この図から、出火件数の大・小に応じて、季節を次のようにに分ける。

春 (4月1日～5月31日)

夏 (6月1日～10月31日)

秋 (11月1日～12月15日)

冬 (12月16日～3月31日)

こうしておいて、季節係数  $\beta$  を、

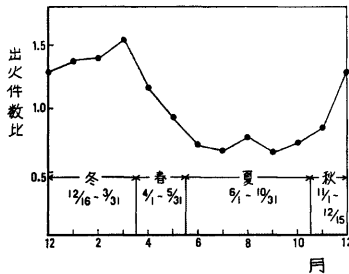


Fig. 7. Numbers of outbreak of fires in each month.

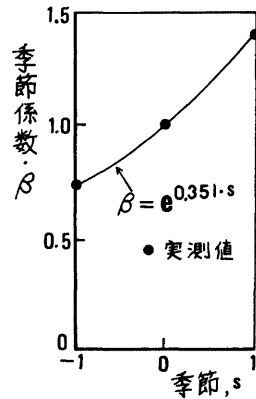


Fig. 8. Season coefficient.

$$\beta = \frac{\text{季節ごとの月平均出火件数}}{\text{1年を通じての月平均出火件数}} \quad (4.7)$$

と定義し、日常時の火災における  $\beta$  と季節の関係を、プロットしたものを Fig. 8 に示す。

いま、季節を変数 ( $s$ ) で表わし、夏 ( $s=-1$ )、春秋 ( $s=0$ )、冬 ( $s=1$ ) と定め、Fig. 8 の3コの実測値を通り、かつ、後述の計算の便宜上、対数変換をした場合、線型になれば十分であると考え、 $\beta$  と  $s$  の関係は、次の式で表わされると仮定する。

$$\beta = e^{\gamma s} \dots\dots\dots (4.8)$$

ここに， $\gamma$  は，未定係数であり，(4.8) 式で表わされる曲線が，Fig. 8 にプロットした点を通るように， $\gamma$  を定めると， $\gamma=0.351$  となった。このときの，(4.8) 式の計算値を，Fig. 8 に併記しておく。

日常時出火における冬 ( $s=1$ ) と夏 ( $s=-1$ ) の季節係数の比を求めると，

$$\frac{\beta_{\text{冬}}}{\beta_{\text{夏}}} = \frac{e^{0.351}}{e^{-0.351}} = \frac{1.420}{0.704} \approx 2.0$$

となる。ところで，地震時と日常時では，季節係数に大きな差があるが，そのことを，実際の地震時出火データでみよう。まず，地震の発生した季節を，Table 5 に示す。冬期の地震と夏期の地震について，市区町村ごとの出火率と住家全壊率の関係を，両対数のグラフにプロットし，その相関係数と回帰直線を求めたものを，Fig. 9 に示す。この図から，冬期の出火率は，夏期の出火率に比べて相当大きいことがわかる。たとえば，全壊率 1% のときの季節係数の比は，次のようになる。

$$\frac{\beta_{\text{冬}}}{\beta_{\text{夏}}} = e^{2\gamma} = \begin{cases} 3.9 \cdots \text{全出火} & (\gamma=0.68) \text{ のとき} \\ 10.3 \cdots \text{炎上火災} & (\gamma=1.16) \text{ のとき} \end{cases} \dots\dots\dots (4.9)$$

このように，地震時の季節係数の比 ( $\beta_{\text{冬}}/\beta_{\text{夏}} \approx 4 \sim 10$ ) は，日常時のそれ ( $=2.0$ ) に比べて，はるかに大きい。

以上で，地震時の季節係数を求める意義は明らかになったのであるが，(4.9) 式で求めた値は，地震の発生した時刻を考慮していないので，あらためて，季節と時刻を考慮して出火率式を求める必要がある。その方法を次に述べる。

地震時出火率は，季節係数  $\beta$  に比例するので，

$$\gamma/N \propto \beta = e^{\gamma s} \dots\dots\dots (4.10)$$

となる。この式と，(4.6) 式を組み合わせると，次式がえられる。

$$\gamma/(\alpha \cdot N) = \beta \cdot B(x/N_0)^a \dots\dots\dots (4.11)$$

従って，両辺の自然対数をとれば

$$\ln \{ \gamma/(\alpha \cdot N) \} = a \cdot \ln (x/N_0) + \gamma \cdot s + b \dots\dots\dots (4.12)$$

ここに， $B=e^b$

この式が，季節，および時刻を考慮した出火率式である。

この式の，未定係数  $a, b, \gamma$  は，次のようにして求められる。過去の地震時出火データから，市区町村 ( $i$ ) ごとに出火率 ( $y_i/N_i$ ) を，火気使用率  $\alpha_i$  で割った値 ( $y_i/\alpha_i \cdot N_i$ )，および住家全壊率 ( $x_i/N_{0,i}$ ) を求め，さらに，地震ごとに，Table 5 のように  $\alpha_i, s_i$  を定め，これらの関係が，(4.12) 式で表わされる両対数グラフ上での直線式に最も適合するように，最小自乗法で，すなわち，

$$s_i = \ln \{ y_i/(\alpha_i \cdot N_i) \} - [a \ln (x_i/N_{0,i}) + \gamma s_i + b] \dots\dots\dots (4.13)$$

として， $\sum s_i^2$  が最小になるように， $a, b, \gamma$  を求める。

このようにして求められた  $a, b, \gamma$  の値を，Table 7 に示す。

Table 7. Values of  $a, b, \gamma$  and  $B$ .

|         | $a$    | $b$     | $\gamma$ | $B$      |
|---------|--------|---------|----------|----------|
| 全出火の場合  | 0.5696 | -5.4907 | 0.9730   | 0.004125 |
| 炎上火災の場合 | 0.6041 | -5.7597 | 0.8791   | 0.003152 |

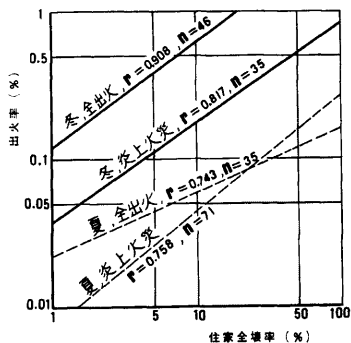


Fig. 9. Difference of  $\log (x/N) - \log (y/N)$  relations by the season.

以上の結果より季節と時刻を考慮した、地震時の全出火件数、および炎上火災件数を予測する方法をまとめてみると、次のようになる。

- ① 地震の発生する季節 ( $s$ ) と時刻を設定して、(4.8) 式から  $\beta$  を、Table 6 から  $\alpha$  を求める。
- ② 住家全壊率を仮定する。予測に用いる場合は、 $x$ : 住家全壊世帯数、 $N$ : 全世帯数とし、 $x/N_0$  の代りに、 $x/N$  を代入する。但し、この場合、全壊率の単位は百分率ではなく、たとえば、3% は、0.03 として計算する。

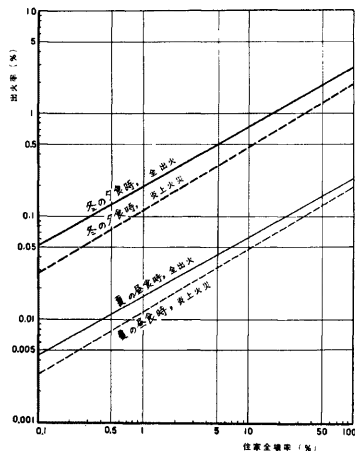


Fig. 10. The formula of outbreak of fires at lunch-time in summer and supper-time in winter.

## (2) その他の要因

以上、述べてきた季節や時刻の外に、地震時出火率を左右する要因と考えられるものがあるが、それらの要因について検討した結果は、次の通りである。

i) 前震の影響について……前震を伴った地震は、Table 8 に示すように、3 個あるが、これらの地震の出火率は、他の地震に比べて、幾分小さい。とくに、えびの地震は、冬期にも関わらず出火件数が少なかったが、これは 2 時間前に発生した前震で、石油ストーブなどの火が消されていたためである。ただし、本研究

- ③ 上記の数値と、Table 7 に示す値から、(4.11) 式を用いて、出火件数を予測することができる。同様に、(4.12) 式からは、出火率 ( $y/N$ ) と住家全壊率の関係を計算することができるが、たとえば、冬の夕食時 ( $s=1$ ,  $\alpha=2.5$ )、および夏の昼食時 ( $s=-1$ ,  $\alpha=1.52$ ) のときの出火率と全壊率の関係を、計算したものを、Fig. 10 に示す。Fig. 10 から、夏の昼食時と冬の夕食時には、出火率に著しい差があることがわかる。

これに関して、Table 7 の  $\gamma$  の値から、冬と夏の季節係数の比を求めると、次のようになる。

$$\frac{\beta_{\text{冬}}}{\beta_{\text{夏}}} = e^{2\gamma} = \begin{cases} e^{1.946} \approx 7.0 \cdots \text{全出火のとき} \\ e^{1.758} \approx 5.8 \cdots \text{炎上火災のとき} \end{cases} \quad (4.14)$$

つまり、日常時の火災統計では、 $\beta_{\text{冬}}/\beta_{\text{夏}} \approx 2$  倍であるが、地震時では、それが 6~7 倍となり、地震時の方が、冬と夏の出火率の差が大きいくことを示している。これは、冬期に使用される暖房用火気の出火危険度が、炊事用火気のそれに比べ、大きいためであると推定される。

Table 8. Earthquakes with preshock.

| 地 震                                      | 前 震 の 状 況                                   |
|------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 1952 年 十 勝 沖 地 震<br>1952. 3. 4 AM10: 23  | 3 月 2 日 PM0: 31 に、本震とほぼ同じ震央をもつ M6.0 の前震が発生  |
| え び の 地 震<br>1968. 2. 21 AM10: 45        | 群発型の地震で、本震の約 2 時間前 (8 時 52 分) に、M5.7 の前震が発生 |
| 1968 年 十 勝 沖 地 震<br>1968. 5. 16 AM 9: 49 | 5 月 2 日に、M5.2 の前震あり                         |

では、データが少ないので、前震の影響を考慮していない。

- ii) 遠地型地震と直下型地震による差を調べたが、両者の出火率に差は認められない。

iii) 関東大震災から今日に至るまで，火気器具の変化等によって，出火危険が質的に変化していると考えられるが，今回調査したデータだけから見れば，時代の推移による出火率の変化に差があるかどうかは，わからない。しかし，このことは，出火件数に変化がないことを意味するものではなく，世帯数の増加している市区町村は，出火件数は増大する。

#### 4.4 各地震における出火率—住家全壊率の関係の比較

各々の地震は，発生した季節や時刻が異なるので，各々の地震における出火率と住家全壊率の関係を比較するためには，次のようにする。

(4.11) 式より

$$\frac{1}{\alpha\beta} \left( \frac{y}{N} \right) = B \left( \frac{x}{N^0} \right)^a \dots\dots\dots (4.15)$$

ここで，便宜的に，(4.15) 式の左辺を，修正出火率と命名すると，修正出火率と住家全壊率の関係は，両対数グラフ上で直線になる。実際の地震で得られたデータから

$$\frac{1}{\alpha_i\beta_i} \left( \frac{y_i}{N_i} \right) \text{ と } \frac{x_i}{N_i}$$

の関係を，両対数グラフ上にプロットすると，Fig. 11 (a) (b) のようになる。なお， $\alpha_i$  は，Table 5 ですでに求められている。 $\beta_i$  は地震の発生した季節  $s$  (Table 5 参照)，および係数  $\gamma$  (Table 7 参照) を用いて，(4.8) 式から計算した値 (Table 10 参照) から求められる。地震ごとの  $\alpha_i\beta_i$  を Table 9 示す。

Fig. 5 (a) (b) と Fig. 11 (a) (b) を比べれば，季節，時刻を考慮しない場合と考慮した場合の，出火率と住家全壊率の関係の違いがわかる。たとえば，相関係数の 2 乗 (寄与率) は，全出火の場合で，0.62 から 0.76 に，炎上火災の場合で，0.52 から 0.63 に向上しており，地震の発生した季節と時刻を考慮した出火率式 [(4.11) 式，(4.12) 式] の妥当性を示している。

次に，それぞれの地震ごとの修正出火率と住家全壊率の関係から回帰直線を求めたものを，Fig. 12 に示す。Fig. 12 には，すべての地震に対する回帰直線 (Fig. 11 (a) に示したのもの) も書き込んであるが，この図から，東南海地震と1952年十勝沖地震を除けば，他の地震の回帰直線は，全地震のそれと大差がないことがわかる。東南海地震と1952年十勝沖地震が他の地震と，とくに異なった性質をもっているかどうかを調

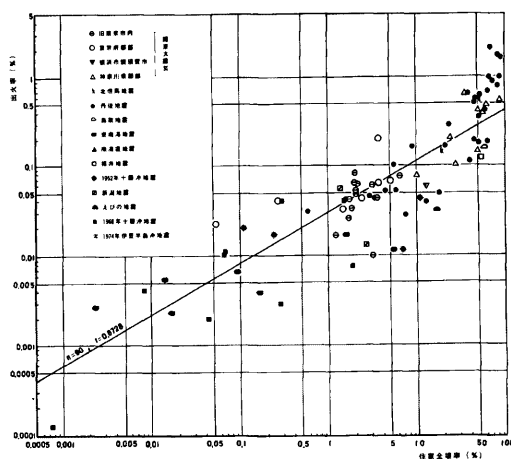


Fig. 11 (a). Relationship between  $\log (x/N)$  and  $\log [y/(\alpha\beta\cdot N)]$ ; (whole fires).

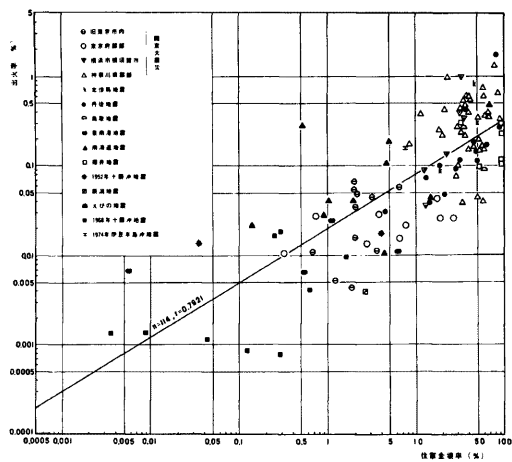


Fig. 11 (b). Relationship between  $\log (x/N)$  and  $\log [y/(\alpha \cdot \beta \cdot N)]$ ; (flare-up fires).

Table 9. Values of  $\alpha$ ,  $s$  and  $\alpha \times \beta$  in each earthquakes.

| No. | 地震名                                              | 火気<br>使用率<br>$\alpha$ | 季節 ( $s$ ) | $\alpha \times \beta$ |      |
|-----|--------------------------------------------------|-----------------------|------------|-----------------------|------|
|     |                                                  |                       |            | 全出火                   | 炎上   |
| 1   | 関東大震災<br>{ 旧東京市内<br>東京府郡部<br>横浜市, 横須賀市<br>神奈川県郡部 | 1.52                  | 夏 ( $-1$ ) | 0.57                  | 0.63 |
| 2   |                                                  |                       |            |                       |      |
| 3   |                                                  |                       |            |                       |      |
| 4   |                                                  |                       |            |                       |      |
| 5   | 北但馬地震                                            | 1.52                  | 春 ( $0$ )  | 1.52                  | 1.52 |
| 6   | 丹後地震                                             | 2.50                  | 冬 ( $1$ )  | 6.01                  | 6.02 |
| 7   | 男鹿半島地震                                           | 0.85                  | 春 ( $0$ )  | 0.85                  | 0.85 |
| 8   | 鳥取地震                                             | 2.50                  | 夏 ( $-1$ ) | 0.94                  | 1.04 |
| 9   | 東南海地震                                            | 0.85                  | 秋 ( $0$ )  | 0.85                  | 0.85 |
| 10  | 南海道地震                                            | 0.15                  | 冬 ( $1$ )  | 0.40                  | 0.36 |
| 11  | 福井地震                                             | 2.50                  | 夏 ( $-1$ ) | 0.94                  | 1.04 |
| 12  | 1952年十勝沖地震                                       | 1.10                  | 冬 ( $1$ )  | 2.91                  | 2.65 |
| 13  | 新潟地震                                             | 0.85                  | 夏 ( $-1$ ) | 0.32                  | 0.35 |
| 14  | えびの地震                                            | 1.10                  | 冬 ( $1$ )  | 2.91                  | 2.65 |
| 15  | 1968年十勝沖地震                                       | 1.10                  | 冬 ( $1$ )  | 2.91                  | 2.65 |
| 16  | 1974年伊豆半島沖地震                                     | 1.10                  | 春 ( $0$ )  | 1.10                  | 1.10 |

Table 10. Values of season coefficient  $\beta$ .

| 季節   | 夏 ( $s=-1$ ) | 春, 秋 ( $s=0$ ) | 冬 ( $s=1$ ) |
|------|--------------|----------------|-------------|
| 全出火  | 0.3779       | 1.0            | 2.6459      |
| 炎上火災 | 0.4152       | 1.0            | 2.4087      |

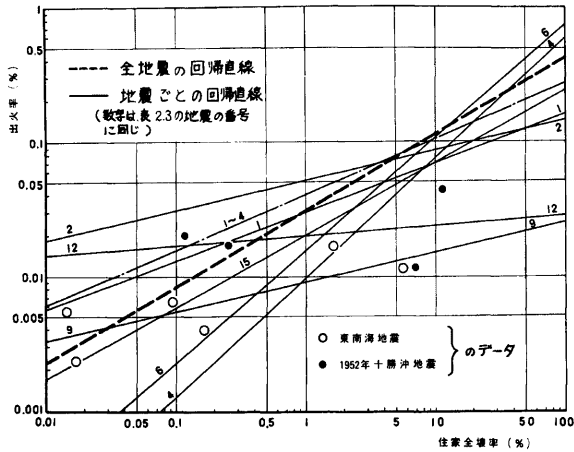


Fig. 12. Regression line of each earthquake.

べるために，この2つの地震についてだけ，データをプロットしてみたが，プロットされた点は，ほぼ全地震の回帰直線のまわりにばらついており，特異なデータとは言えないようである。

## 5. 地震時出火率式の性質

### 5.1 重回帰式のあてはめ

出火率式 (4.12) 式において，

$$u = \ln \left( \frac{x}{N} \right), \quad v = \ln \left( \frac{y}{\alpha N} \right) \quad \dots\dots\dots (5.1)$$

とおけば，(4.12) 式は，

$$v = au + \gamma s + b \quad \dots\dots\dots (5.2)$$

となる。このことは，従属変数 ( $v$ ) が，2つの独立変数 ( $u, s$ ) の線型重回帰式で表わされることを示している。実際の地震から得られた市区町村 ( $i$ ) ごとのデータ

$$u_i = \ln \left( \frac{x_i}{N_i} \right), \quad v_i = \ln \left( \frac{y_i}{\alpha_i N_i} \right), \quad s_i$$

から，このような重回帰式のあてはめが妥当であるかどうかを，分散分析<sup>15)</sup>の形で， $F$ 分布によって検定した結果，有意水準1%でも，十分有意であった。

また， $u_i$  と  $s_i$  が与えられたとき，(5.2) 式で求められる  $v$  の推定値

$$\bar{v}_i = au_i + \gamma s_i + b \quad \dots\dots\dots (5.3)$$

と，実測値  $v_i$  との相関係数，すなわち重相関係数  $R$  を計算すると，

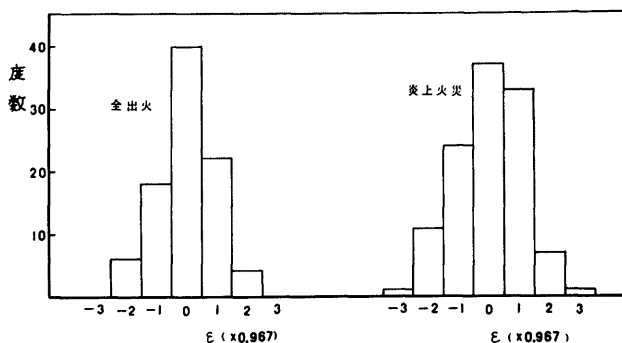
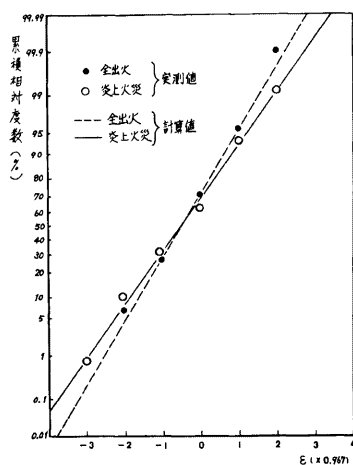
全出火のとき…… $R=0.9029$  (寄与率  $R^2=0.82$ )

炎上出火のとき…… $R=0.7726$  ( $R^2=0.62$ )

となる。つまり， $v$  は  $u, s$  によって，6～8割説明できるわけである。残りの2～4割は，本論文では考慮しなかった出火要因であるところの火気周囲の状態，建物用途，都市構造に左右されるものと考えられ，これを解明することは，今後の課題である。

次に，推定値  $\bar{v}_i$  と実測値  $v_i$  との誤差

$$\varepsilon_i = v_i - (au_i + \gamma s_i + b) \quad \dots\dots\dots (5.4)$$

Fig. 13. Frequency distribution of  $\varepsilon_i$ .Fig. 14. Cumulative frequency distribution of  $\varepsilon_i$ .

## 5.2 出火率式の信頼区間

(5.2) 式において,  $u = u_0, s = s_0$  に対する母数

$$v_0^* = a^* u_0 + \gamma^* s_0 + b^* \dots \dots \dots (5.5)$$

ここに,

$$v_0 = \ln \left( \frac{y_0}{\alpha_0 N_0} \right), \quad u_0 = \ln \left( \frac{x_0}{N_0} \right)$$

$v_0^*, a^*, \gamma^*, b^*$  は, それぞれ,  $v_0, a, \gamma, b$  に対する母数

の  $100(1-\delta)\%$  の信頼区間を求める。

(5.3) 式より求められる値

$$\bar{v}_0 = a u_0 + \gamma s_0 + b \dots \dots \dots (5.6)$$

の度数分布を, Fig. 13 に示す。また, 累積度数分布の実測値, および  $\varepsilon_i$  標準偏差と平均を用いた正規分布の計算値を正規確率紙にプロットしたものを, Fig. 14 に示すが, この図から,  $\varepsilon_i$  はほぼ正規分布すると仮定してもよいことが解る。また, とくに飛び離れた値もなく, 異質のデータが入りこんでいないことがわかる。

なお, 出火件数の異なる市区町村ごとの出火率を, 同じウェイトで扱ってよいかどうかという問題があるが, 上記のように,  $\varepsilon_i$  がほぼ正規分布することをもって, 出火率の回帰直線まわりのばらつきは, 確率的な現象であるとみなし, 出火件数が異なっても, 出火率は同じウェイトで扱った。

を用いて， $v_0^*$  の信頼区間は次式から求められる<sup>16)</sup>。

$$|v_0^* - \bar{v}_0| < t(\phi_E, \bar{\delta}_0) V(\bar{v}_0) \quad \dots\dots\dots (5.7)$$

ここに，

$t(\phi_E, \bar{\delta}_0)$ : 自由度  $\phi_E = n - 3$  ( $n$ : 標本数) に対する  $t$  分布の値

$\bar{\delta}$  は危険率で，ここでは 5% の危険率の両側検定となるため  $\bar{\delta}_0 = 2.5\%$  とする。

$V^2(\bar{v}_0)$  は， $\bar{v}_0$  の不偏分散であり，次式で与えられる。

$$V^2(\bar{v}_0) = \frac{S_E}{n-3} \left[ \frac{1}{n} + (u_0 - \bar{u})^2 C_{11} + (s_0 - \bar{s})^2 C_{22} + 2(u_0 - \bar{u})(s_0 - \bar{s}) C_{21} \right] \quad \dots\dots\dots (5.8)$$

ここに，

$$\begin{aligned} C_{11} &= S(s, s) / \{S(u, u)S(s, s) - S^2(u, s)\} \\ C_{21} &= -S(u, s) / \{S(u, u)S(s, s) - S^2(u, s)\} \\ C_{22} &= S(u, u) / \{S(u, u)S(s, s) - S^2(u, s)\} \\ n &: \text{標本数}, \quad \Sigma = \sum_{i=1}^n \\ S_E &= \Sigma \varepsilon_i^2 = \Sigma [v_i - (au_i + \gamma s_i + b)]^2 \\ S(u, u) &= \Sigma u_i^2 - n\bar{u}^2 \\ S(s, s) &= \Sigma s_i^2 - n\bar{s}^2 \\ S(u, s) &= \Sigma u_i s_i - n\bar{u}\bar{s} \\ \bar{u} &= \Sigma u_i / n, \quad \bar{s} = \Sigma s_i / n \end{aligned}$$

夏の昼食時 ( $s_0 = -1, \alpha_0 = 1.52$ )，および冬の夕食時 ( $s_0 = 1, \alpha_0 = 2.5$ ) について， $x_0$  の値を変化させて，(5.7) 式の信頼区間を計算した結果を， $\ln(y_0/N_0)$  と  $\ln(x_0/N_0)$  の関係として，Fig. 15 (a) (b) および Fig. 16 (a) (b) に示す (内側の実線)。

次に，与えられた  $x_0, s_0$  の値から，ただ 1 回の観測で得られる  $v^*$  の値，すなわち予言に用いられる値の  $100(1-\bar{\delta})\%$  の信頼区間は，次のようになる<sup>17)</sup>。

$$|v^* - \bar{v}_0| < t(\phi_E, \bar{\delta}_0) V_e(\bar{v}_0) \quad \dots\dots\dots (5.9)$$

ここに，

$$V_e^2(\bar{v}_0) = \frac{S_E}{n-3} \left[ 1 + \frac{1}{n} + (u_0 - \bar{u})^2 C_{11} + (s_0 - \bar{s})^2 C_{22} + 2(u_0 - \bar{u})(s_0 - \bar{s}) C_{21} \right]$$

この式についても，夏の昼食時と冬の夕食時について計算した結果を，前述の Fig. 15 (a) (b) および Fig. 16 (a) (b) に書き加えておく (外側の破線)。なお，信頼区間の計算に用いる定数値を，Table 11 に示しておく。

Table 11. Values used in calculation of confidence interval.

|         | $n$ | $t(\phi_E, \bar{\delta}_0)$ | $S_E$   | $\bar{u}$ | $\bar{s}$ | $C_{11}$ | $C_{22}$ | $C_{21}$   |
|---------|-----|-----------------------------|---------|-----------|-----------|----------|----------|------------|
| 全 出 火   | 90  | 1.982                       | 68.215  | -3.2713   | 0.1222    | 0.001489 | 0.01256  | -0.0001226 |
| 炎 上 火 災 | 114 | 1.978                       | 121.691 | -2.3491   | -0.3158   | 0.002118 | 0.01257  | 0.002061   |

Fig. 15 (a) (b)，および Fig. 16 (a) (b) から， $v_0^*$  の信頼区間は狭く，精度の良い推定ができるが，予言に用いられる  $v^*$  の信頼区間は広いので，精度の良い予言は期待できないことがわかる。

なお，夏の昼食時の出火率式と冬の夕食時の出火率の妥当性を調べるために，(5.9) 式の予言値の信頼区

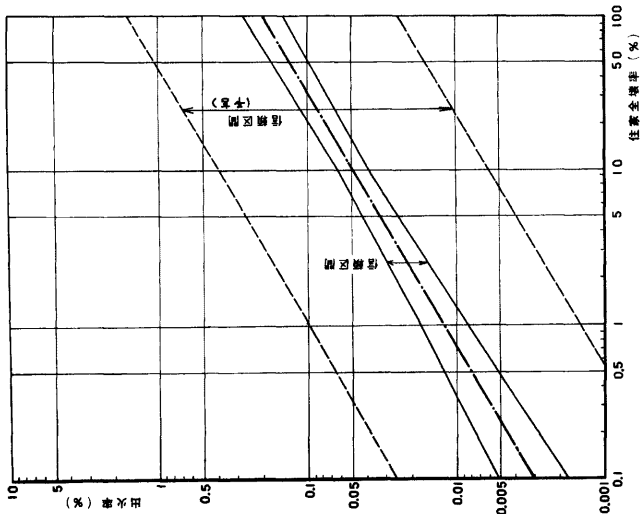


Fig. 15 (a). Confidence interval of formula of outbreak of fires at lunch-time in summer; (whole fires).

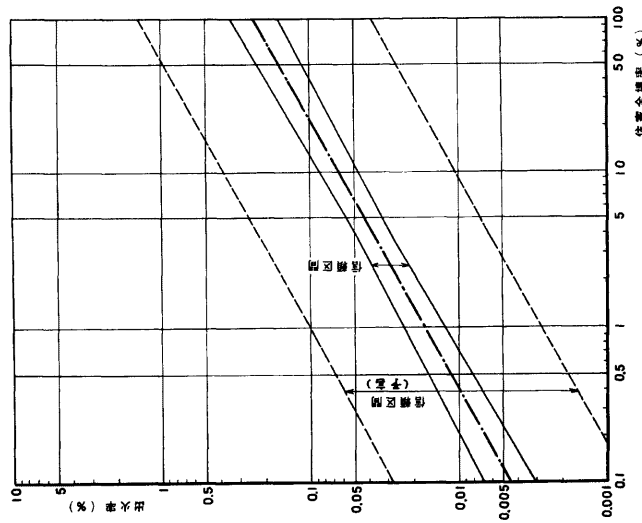


Fig. 15 (b). Confidence interval of formula of outbreak of fires at lunch-time in summer; (flare-up fires).

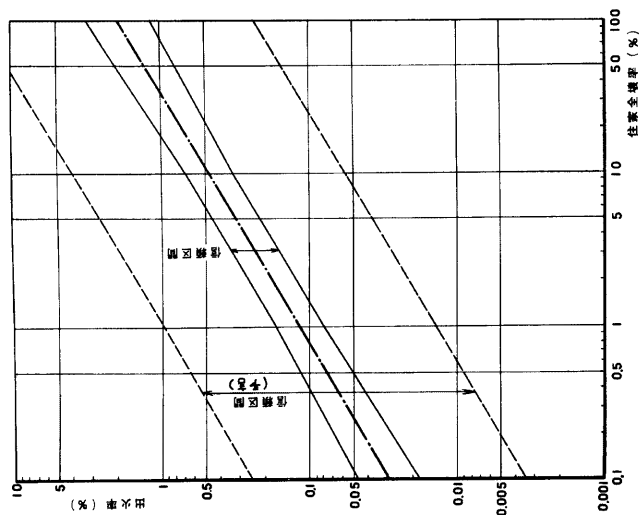


Fig. 16 (b). Confidence interval of formula of outbreak of fires at supper-time in winter; (flare-up fires).

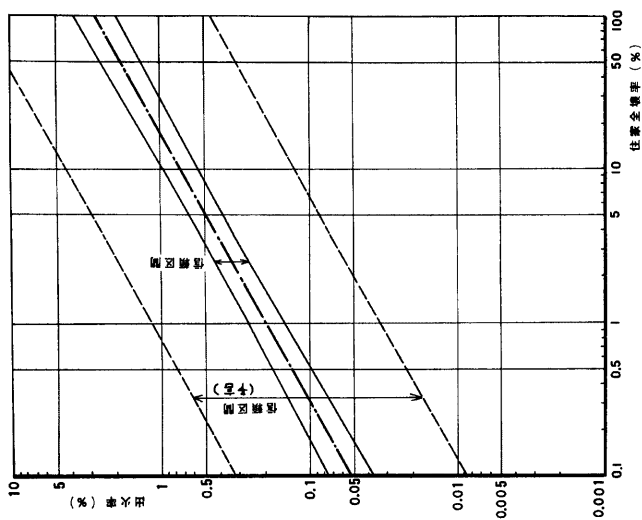


Fig. 16 (a). Confidence interval of formula of outbreak of fires at supper-time in winter; (whole fires).

間と、実際に夏の昼食時に起きた関東大震災、および冬の夕食時に起きた丹後地震の出火率、住家全壊率の関係をプロットすると、それぞれ Fig. 17 と Fig. 18 のようになる。これらの図は、出火率式、およびその信頼区間の妥当性を示している。

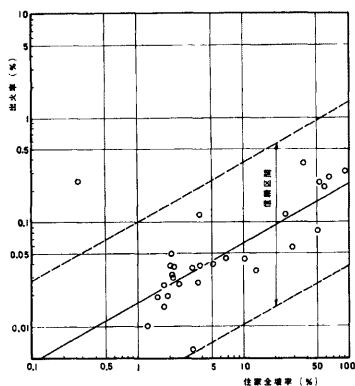


Fig. 17. Comparison between calculated value and "Kanto-Dai-Shinsai"; (whole fires).

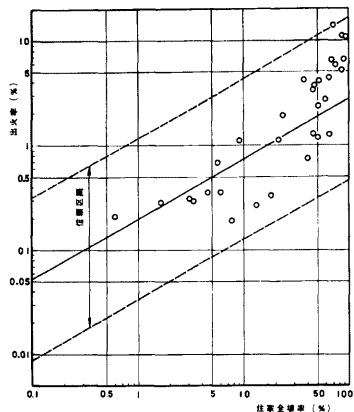


Fig. 18. Comparison between calculated value and "Tango-zishin"; (whole fires).

### 5.3 出火件数の予測

#### (1) 一つの地区で出火件数を予測する場合

前節 5.2 で述べた出火率式の信頼区間を用いて、ある一つの地区の地震時の出火件数を予測する方法について述べる。

ある一つの地区について、地震動による建物の被害（住家全壊率  $x_0/N_0$ ）、および地震の発生する季節（ $s_0$ ）、その時刻の火気使用率（ $\alpha_0$ ）を設定すれば、予測出火件数の95%信頼区間の上限値  $y_p$  は、(5.5) 式、および予言に用いられる場合の (5.9) 式を用いて、

$$\left. \begin{aligned} y_p &= \alpha_0 N_0 e^{D_0} = \alpha_0 N_0 e^{(\hat{D}_0 + d_0)} \\ \text{ここに、} \quad D_0 &= t(\phi_B, \hat{\delta}_0) V_c(\bar{v}_0) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5.10)$$

で与えられる。この式を、(5.5) 式、および (5.6) 式を用いて、書きかえると、

$$\left. \begin{aligned} y_p &= e^{d_0} [\alpha_0 \beta_0 B N_0 (x_0/N_0)^a] \\ \text{ここに、} \quad \beta_0 &= e^{r \hat{\delta}_0}, \quad B = e^b \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5.11)$$

となる。この式において、[ ] の中は、不偏推定値を表わし、(4.11) 式において、 $\alpha = \alpha_0$ 、 $\beta = \beta_0$ 、 $x = x_0$ 、 $N = N_0$  とおいたものと同じである。そして、 $e^{d_0}$  は信頼区間の幅を表わしている。これらの不偏推定値と信頼区間は、Fig. 15 と Fig. 16 に示されているので、おおよその感じはつかめるが、 $e^{d_0}$ （すなわち、予測出火件数  $y_p$  が、不偏推定値の何倍になるか。）は、 $s_0$  や  $x_0/N_0$  が変わっても、大きな変化はなく、 $s_0 = -1 \sim 1$ 、 $x_0/N_0 = 0.001 \sim 1.0$  の範囲では、

$$e^{d_0} = \begin{cases} \text{約} 5.9 \sim 6.0 & (\text{全出火の場合}) \\ \text{約} 8.1 \sim 8.5 & (\text{炎上火災の場合}) \end{cases}$$

であり、信頼区間の幅は相当大きい。このことは、とりもなおさず、本論文のように、住家全壊率、および地震の発生した季節や時刻を考慮しただけでは予言の精度が粗いことを示している。従って予測の精度をあ

げることが今後の課題であり，過去の地震時出火データだけでは限界があるので，日常時出火統計等のデータを活用して補完することが必要である。さらに，被害想定を行なう場合，このような精度の粗さを十分考慮すべきである。

(2) 複数の地区に分けられた都市で，出火件数を予測する場合

都市域が， $m$  個の地区に分けられ，それぞれの地区 ( $j$ ) において，予測される地震に対して，住家全壊率 ( $x_j/N_j$ ) が与えられた時，(5.11) 式において， $N_0, x_0, d_0$  の代りに， $N_j, x_j, d_j$  とおいたものを

$$y_{p,j} = e^{d_j} [\alpha_0 \beta_0 B N_j (x_j/N_j)^a] \quad \dots\dots\dots (5.12)$$

とすれば，

都市域全体の合計出火件数の95%信頼区間の上限値  $y_0$  は，安全側をとって

$$\begin{aligned} y_0 &= \sum_{j=1}^m y_{p,j} \\ &= \sum_{j=1}^m e^{d_j} [\alpha_0 \beta_0 B N_j (x_j/N_j)^a] \quad \dots\dots\dots (5.13) \end{aligned}$$

で与えられる。

ここに，添字  $j(j=1, 2, \dots, m)$  は，地区番号を示し， $\alpha_0, \beta_0$  は， $j$  に無関係な値で，想定された地震の発生時刻と季節によって定められる。

なお，合計出火件数の不偏推定値  $\hat{y}_0$  は，(5.13) 式の [ ] の中の値を用いて，

$$\hat{y}_0 = \sum_{j=1}^m [\alpha_0 \beta_0 B N_j (x_j/N_j)^a] \quad \dots\dots\dots (5.14)$$

で与えられる。

## 6. 従来の予想出火件数との比較，および市民消火率について

### 6.1 従来の予想出火件数との比較

従来，東京都をはじめとして，地方自治体では，地震火災の被害想定を行ない，地震時の出火件数を予測しているので<sup>(18,19,20)</sup>，本論文の方法と比較検討する。比較を簡単にするために，大都市全体の出火件数だけを比べる。また，従来の方法は，平均的な出火件数だけを予測しているので，本論の方法も，(5.11) 式の [ ] の値を使う。

本論の方法の場合，住家全壊率は，従来の方法における値とほぼ同じ値を頼い，世帯数は，昭和45年国勢調査の値を用いる。両者の方法で，夏の昼食時と冬の夕食時の予測出火件数を計算した値を，Table 12 に示す。

Table 12. Comparison of predicted numbers of outbreak of fires.

|         | 夏の昼食時 |       | 冬の夕食時 |       |
|---------|-------|-------|-------|-------|
|         | 従来の方法 | 本論の方法 | 従来の方法 | 本論の方法 |
| 東京都23区内 | 304   | 712   | 732   | 8,197 |
| 横浜市     | 633   | 673   | —     | 7,748 |
| 名古屋市    | 115   | 147   | 248   | 1,694 |

両者を比べると，夏の昼食時においては，著しい差はみられないが，冬の夕食時においては，約10倍の差がみられる。その理由は以下の通りである。

従来の方法では，夏の昼食時の出火件数を，Fig. 19 示すような河角<sup>1)</sup>の関東大震災における出火率と全壊率の係数を用いて求めている。関東大震災は，夏の昼食時に発生しているから，季節と時刻については，全く問題はない。しかし，出火率，全壊率の定義が，Table 13 に示すように本論の定義と異っており，

河角の用いたデータが不明なので、定義の違いによる両者の出火率と全壊率の関係は不明である。両者の夏の昼食時における予測出火件数の差は、出火率と全壊率の定義の違いによる差、および出火率—全壊率の関係の差にもとづいているが、大差ではないので、とくに問題とするにはあたらな。

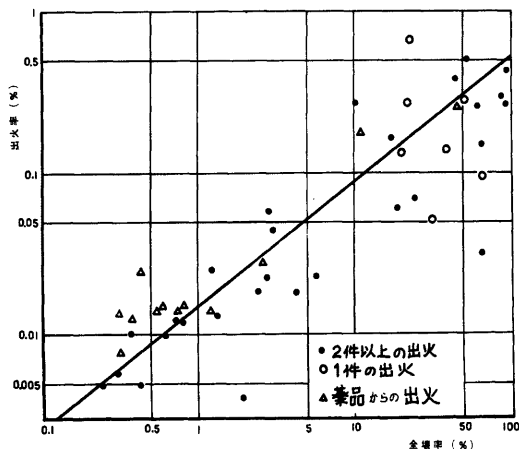


Fig. 19. Kawasumi's relationship between the ratio of outbreak of fires and the damage of wooden houses in "Kanto-Dai-Shinsai."

Table 13. Difference of definition of  $x/N$  and  $y/N$ .

|           | 全 壊 率                                         | 出 火 率                                      |
|-----------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 河 角 の 方 法 | $\frac{(\text{全壊木造家屋棟数})}{(\text{木造家屋の全棟数})}$ | $\frac{(\text{全出火件数})}{(\text{木造家屋の全棟数})}$ |
| 本 論 の 方 法 | $\frac{(\text{全壊世帯数})}{(\text{全 世 帯 数})}$     | $\frac{(\text{全出火件数})}{(\text{全 世 帯 数})}$  |

問題は、冬の夕食時の方にあり、従来の方法は、夏の昼食時の出火件数に、次のような日常時の小火を含む建物火災の火災統計から求めた修正係数を乗じて、冬の夕食時の出火件数を求めている。

$$K_1(\text{時刻修正係数}) = \frac{\text{夕食時の出火件数}}{\text{昼食時の出火件数}} \approx 1.3 \sim 1.5$$

$$K_2(\text{季節修正係数}) = \frac{\text{冬の出火件数}}{\text{夏の出火件数}} \approx 2.0$$

本論の方法において、 $K_1$ に相当するものは、時刻による火気使用率 (Table 6 参照) の比

$$K_1' = \alpha(\text{夕食時}) / \alpha(\text{昼食時}) = 2.5 / 1.5 \approx 1.7$$

であり、 $K_2$ に相当するものは、季節係数  $\beta$  (Table 10 参照) の比

$$K_2' = \beta_{\text{冬}} / \beta_{\text{夏}} \approx 7.0 (\text{全出火})$$

である。 $K_1$ と $K_2$ の積、または $K_1'$ と $K_2'$ の積が、夏の昼食時の出火件数に対する冬の夕食時の出火件数の比を表わすことになるが、これらの値を Table 14 に示す。 $K_1$ と $K_1'$ には、大差がないが、 $K_2$ と $K_2'$ には大差がある。従って、夏と冬の出火危険の比を、上記の如く日常時の出火統計から求められる修正係数 $K_1$ 、 $K_2$ だけで表わす従来の方法は、再検討を要すると思われる。ところで、 $K_2$ と $K_2'$ に大差が生じる

Table 14. Values of  $K_1$  and  $K_2$ .

|       | $K_1$    | $K_2$ | $K_1 \cdot K_2$ |
|-------|----------|-------|-----------------|
| 従来の方法 | 約1.3~1.5 | 約2.0  | 約2.5~3          |
| 本論の方法 | 1.67     | 7.0   | 約11~12          |

理由としては次のようなものが考えられる。

(1) 東京消防庁<sup>21)</sup>の調査によれば，冬期は夏期の約2倍の火気を使用しているので， $K_2' \approx 7$ 倍のうち，2倍の分だけは，この火気使用数のちがいで説明できるが，残りの3.5倍が問題となる。

(2) 夏期は主として，炊事用，風呂用の火気を使用し，冬期はこれに加えて，暖房用の火気を使用するので，残りの3.5倍は，暖房用の火気の出火危険の高さによるものと考えられる。暖房用の火気の出火危険の高さは，地震時に暖房用火気が転倒しやすいこと，転倒した場合に，居室で使用しているため，着火しやすいことなどが考えられるが，この点を説明することは，今後の研究課題である。

以上，従来の方法については，基本的な点だけをおさえて，本論文の方法と比較してきたが，この他にも，常時火気使用施設からの出火，本造家屋と耐火造家屋からの出火のちがい，および石油ストーブからの出火等を考慮して出火件数を予測する方法<sup>19)</sup>もあることを付記しておく。

## 6.2 炎上率，市民消火率について

従来の自治体の大震災の被害想定では，出火件数を予測し，そのうち何件かは市民が初期消火することを期待している。たとえば，東京都防災会議は，関東大震災時の市民による初期消火率は，42.5%であり，日常時火災の初期消火率は，80~82%であるので，きたるべき地震に際しては，60%を都民が消火してくれるものと期待している<sup>18,21)</sup>。

この妥当性を調べるために，過去の地震で即時消止火災 $y_{S,i}$ と炎上火災 $y_{E,i}$ の両方のデータが得られている市区町村( $i$ )について，次のように「炎上率 $E_i$ 」を定義し，その性質を調べた。

$$E_i = y_{E,i} / (y_{S,i} + y_{E,i}) \quad (1.6)$$

なお，市民消火率は， $(1 - E_i)$ となる。13コの地震について，炎上率と住家全壊率の関係をプロットして，Fig. 20に示したが，両者の独立性を検定した結果，両者は独立であった。また，炎上率の平均値の95%

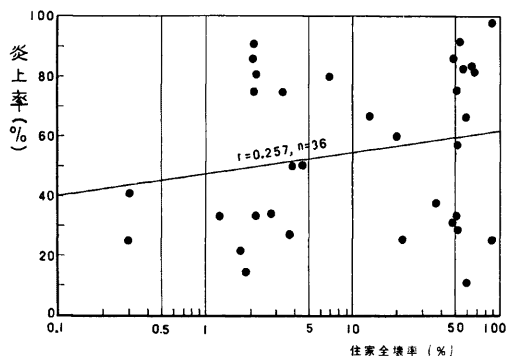


Fig. 20. The ratio of the numbers of flare-up fires to those of whole fires.

の信頼区間は， $53.7 \pm 8.9(\%)$ であった。従って，市民消火率の平均は，約46%である。つまり，過去の地震時出火事例では，住家全壊率に関係なく，炎上率約54%（市民消火率約46%）という結果になっているの

であるから、きたるべき地震で、市民消火率を前述のように60%と期待することは、過大な期待ではなかろうか。なお、本論文の出火件数予測方法では、炎上火災件数を直接求めることができるので、市民消火率という概念はとくに必要ではないことを付記しておく。

## 7. ま と め

本研究では、関東大震災以後、1974年伊豆半島沖地震までの、比較的大きな火災を伴った13コの地震(Table 1)について、まず、地震時出火資料を整理し、出火源を分類(Table 3)し、出火した建物の用途分類(Table 4)をした結果、一般火気器具からの出火が圧倒的に多いこと、薬品による出火が、一般火気からの出火の約7%を占めること、近年とくに多くなってきたLPGを燃料とする火気器具、石油ストーブがとくに出火危険が大きいこと、および常時火気使用施設からの出火が多いことなどを明らかにした。

次に、全出火の場合と炎上火災の場合のそれぞれについて、出火率(従属変数)を、①地震動の強さとしての住家全壊率、②地震の発生した季節、および時刻、を独立変数とする回帰式〔(4.11)式および(4.12)式〕として求めた。この式を用いれば、地震の発生する季節と時刻を設定して、その時の住家全壊率を与えると、出火件数、および出火率を95%の信頼水準で予測することができる〔(5.11)式、および(5.13)式〕。

これらの式をもとに、2～3の大都市について、出火件数を予測し、従来の方法と比較し、従来考えられていたより、はるかに多くの火災の発生が予測されることを示した。

従って、今後の地震火災の対策と研究では、次のような点が重要である。

① 従来の地震時出火のデータだけでは、これ以上の地震時出火機構の解明をすることは、困難があるので、日常火災の統計と日常時出火危険の研究<sup>23)</sup>の成果等を活用して、地震時出火機構を深く解明し、出火件数そのものを圧倒的に少なくする出火防止対策の研究をすることが必要である。なかでも、都市ガスを地震時に緊急遮断できるようにしておくことは、絶対に必要であろう。

② とくに冬の夕食時には、極めて多数の火災が発生することが予想されるが、その原因は、暖房用火気器具によるものと考えられるので、それに的を絞った出火防止対策およびそのための研究が必要である。

③ 従来の出火件数予測にもとづく、延焼火災や広域避難計画についても、再検討を要するものと考えられる。

## 謝 辞

本研究の推進にあたり、御指導、御協力いただきました名古屋大学工学部菊池洋一教授、同福本昉士教授、京都大学工学部の朝木善次郎先生、助手室崎益輝氏をはじめ、堀内研究室の皆様から心から感謝いたします。

## 参 考 文 献

- 1) 浜田稔他：建築防火論，建築学大系21，彰国社刊，昭50.7.20，p.441.
- 2) 東京消防庁防災部：出火要因分布実態調査および域別出火危険度の研究報告書，昭和48年3月.
- 3) 東京消防庁：地域別出火危険度と対策について，昭和49年3月.
- 4) 堀内三郎・水野弘之他2名：1974年伊豆半島沖地震調査報告（その1）——地震時の出火危険とその要因について——日本建築学会論文報告集第233号，昭和50年7月.
- 5) 堀内三郎・水野弘之：1975年阿蘇地震における出火危険に関する調査報告，建築雑誌，1975年4月.
- 6) 東京都防災会議：1968年十勝沖地震時における石油ストーブ等火器による出火機構（追跡）調査報告書，昭和44年11月.
- 7) 宇佐見竜夫，津野潤三：大地震調査報告文献集，地震研究所彙報，Vol. 47 (1969) pp. 271-394.
- 8) 北陸震災調査特別委員会：昭和23年福井地震震害調査報告，II 建築部門，1951，p. 48.
- 9) 内務省社会局：震災調査報告，大正13年6月，p. 7.
- 10) 1968年十勝沖地震調査委員会：1968年十勝沖地震調査報告，p. 632.

- 11) 大庭正八：1944年12月7日東南海地震に見られた遠江地方の家屋被害分布と地盤との関係，地震研究所彙報35号，1957，p. 204.
- 12) 宮部直巳：地震による木造家屋の被害度，地震研究所彙報，24号，1946.
- 13) 警視庁警備心理学研究会：大震災対策のための心理学的調査研究——地震と人間行動——総括報告，昭和46年7月。  
新潟市消防本部：新潟地震時の防火活動等調査集計表，1964年.
- 14) 浜田 稔ら：建築防火論，建築学大系21，彰国社版，昭和45年2月.
- 15) 近藤良夫・舟阪 渡：技術者のための統計的方法，共立出版，昭和46年6月，p. 382.
- 16) 同，p. 372.
- 17) 安川数太郎・内山守常：新統計学，共立出版，昭和43年5月，p. 178.
- 18) 東京都総務局行政部：東京都の大震災火災被害の検討，1967，7.
- 19) 神奈川県防災会議：初期被害想定，昭和46年8月.
- 20) 名古屋市消防局：名古屋市地震被害想定資料（建築物倒壊—出火編），1971，8.
- 21) 浜田 稔：東京大震災火災への対応——主として現状および将来の避難計画，日本損害保険協会，昭和49，3.
- 22) 関沢 愛・堀内三郎：地域特性と出火危険に関する統計的研究（その2），日本建築学会昭和50年学術講演梗概集.