

地震火災時の都市住民避難性状の推定に関する研究
— 関東大震災における住民避難結果との比較による地震火災
時住民避難モデルの検証 —

**A Study on the Estimation of Urban Residents' Evacuation
Behaviors in Post-Earthquake Fires
- Validation of the Urban Residents' Evacuation Model at
Post-earthquake Fires by Comparison with the Evacuation
of Tokyo Residents at the Time of the Great Kanto
Earthquake Fire —**

西野 智研・田中 喙義

Tomoaki NISHINO, Takeyoshi TANAKA

1. はじめに

京都のような歴史・文化都市には国内外から毎日多くの観光客が訪れる。このような都市が大地震に見舞われて市内各所で火災が発生した場合には、都市の住民に加えて観光客も都市火災に巻き込まれることになり、その安全を図るための避難計画が課題となる。しかし、地震火災時に都市住民や観光客の避難性状がどんな様相を呈することになるのかを予想することは容易でない。我が国で大都市が地震に見舞われた最も近い例は阪神淡路大震災(1995)であるが、このときは幸いにして外気風が弱かったため、特段火災からの避難が問題になることはなかった。しかし、その約70年前の関東大震災(1923)では、東京市だけでも7万人近い住民が火災により命を失ったことは良く知られている。この地震火災では、低気圧の影響で風が強く、火災の延焼が速かったことと火災旋風が発生したことが多数の犠牲者の発生の原因になったことは言うまでもないが、風に吹き倒された火災の煙も住民の避難を困難にしたと考えられる。

地震火災時の都市避難のような大規模な現象の解明には、実験的手段など通常の手法を用いることは出来ず、手法的な困難が存在することは明らかである。唯一考えられる手法は過去に起こった類似の災害における避難性状を分析することであろう。この点、我が国では過去に大規模な都市火災を頻繁に経験し、犠牲者も多数だしている。例えば、江戸時代に頻発した大火では、10万人の死者が出たと言われる明暦の大火(1657)を始め、数万、数千人の犠牲者を出したことも少なくなかった。しかし、これら過去の大火などにおける住民の避難性状を分析する上での困難は、その当時の諸条件に関するデータが極めて少なく、また現在の条件とは大幅に異なっていることである。例えば、江戸時代の大火に関しては、

当時の都市の家屋の条件は現在とは想像つかないほど隔たりすぎているし、都市内の家屋配置を示すような地図などもなく、また火災時の風速なども知ることが出来ない。従って、地震火災時の都市避難性状の推測に利用できる火災事例は比較的最近の限られた例に限定されるが、それとても残されている資料から得られる情報は断片的でしかなく、データの不足は火災モデルや避難モデルなど、現代的手法で補わなければ避難性状の全体像の把握は出来ない。

観光客など、住民とは性格の異なる避難者が混在する場合の都市避難性状は、住民のみの場合に比較して、より複雑になることも考えられる。住民の場合は家屋など財産に執着があるので火災からの早期避難開始が出来にくい不利のある反面、都市の地理に明るい利点がある。一方、観光客など、都市への訪問者は早期避難開始については特に問題が無い反面、地理に不案内である点で不利がある。しかし、都市住民の避難に関しては既往の知見や利用可能なデータが著しく乏しいので、本論文では研究の第一ステップとして、観光客など訪問者を交えない、住民のみによる都市避難を対象とし、その性状を予測するためのモデルについて考察する。

2. 地震火災時の都市住民避難モデル

地震火災時における市街地など広域空間での避難行動に関する既往のモデルとしては、森脇ら¹⁾、小坂ら²⁾、岡田ら³⁾、青木ら⁴⁾によるモデルが挙げられる。これらのモデルの特徴は概ね：(1)ある人数の避難者を均質な属性を有する集団とみなす群集流として扱う；(2)火災の延焼を統計的なモデル、もしくは、簡略化した物理的モデルで予測する；(3)避難者の目的地やそこに至るまでの避難経路を計算開始前に、もしくは計算途中において逐次、陽に設定する、ものである。

しかし、地震火災時のより現実的な避難性状を予測するためには、今回のモデルでは：(1)個々の避難者の行動に着目する；(2)避難行動は火災からの熱気流や輻射熱による危険に影響される；(3)安全であると受け取られている避難地に対して避難しようとする住民の心理的指向性が存在する；(4)避難者の目的地とそこへの避難経路を陽に設定せず、避難行動は避難地への心理的指向性と火災による市街地の危険度に応じて行われる、と考え、地震火災時における都市住民の避難性状を定量的に予測する新しい手法を開発する⁵⁻⁷⁾。

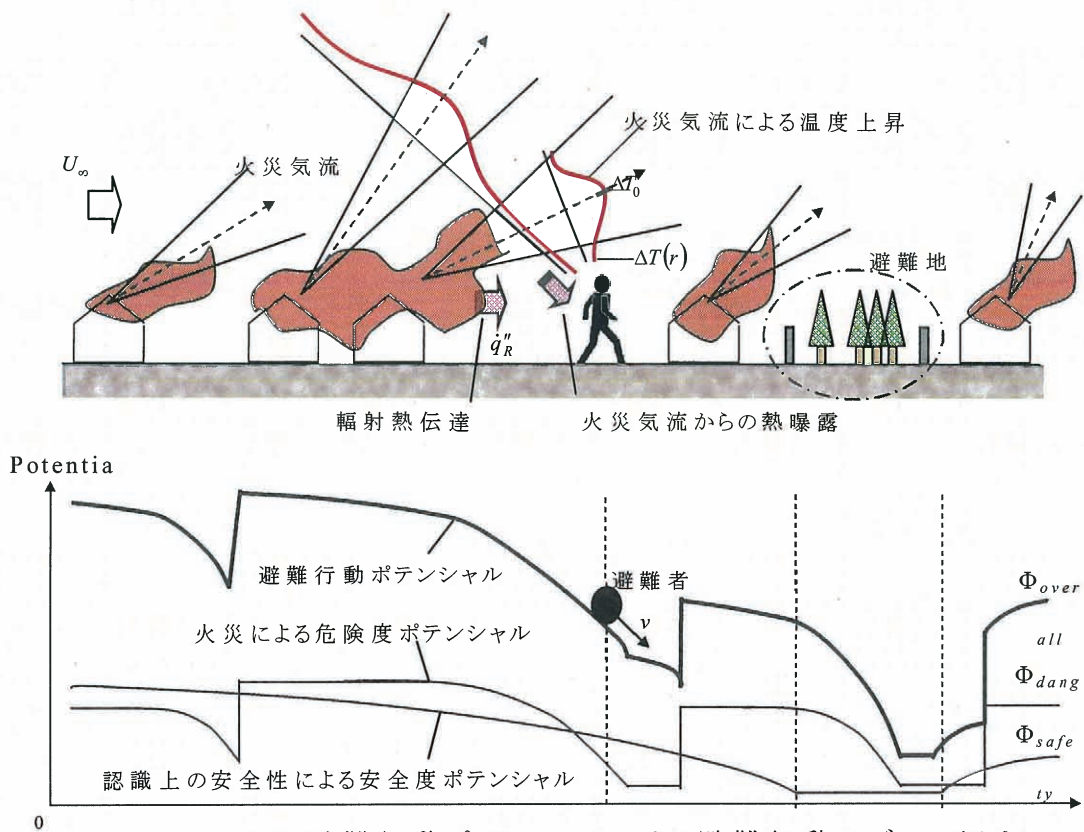


図 1 避難行動ポテンシャルによる避難行動モデルの概念

将来の都市地震火災時の住民避難予測を可能にするためには、地震火災の延焼予測も行う必要がある。しかし、まず住民避難性状予測モデルの確立を図るためには、出来るだけ延焼性状に関する不確実性を排除する必要がある。このため、本研究では、①火災性状は被災調査により延焼動態が知られている事例を用いて推定する；②延焼動態調査データから知られる燃焼範囲から発生する熱量を推定する；③発生する熱量と外気風速から火災気流による市街地の温度上昇と火災建物からの輻射熱伝達量を推定し；④これらを基に市街地上における「危険度ポテンシャル Φ_{danger} 」を評価する；⑤一方、都市大火の際にも安全な避難地として住民が認識する避難地を源として市街地に広がる心理的指向を「安全度ポテンシャル Φ_{safety} 」として評価し、⑥「危険度ポテンシャル Φ_{danger} 」と「安全度ポテンシャル Φ_{safety} 」の和として市街地空間にポテンシャル場を構築する；⑦個々の避難者はこのポテンシャル勾配に応じて避難する、とする。この避難モデルの概念は図1に図解している。要約すれば、避難者は安全な避難地に向かって、火災による気流や熱輻射を避けながら避難するというものである。

なお、個々の避難者は避難中に熱気流や熱輻射の暴露を受けながら避難を続けるが、この累積暴露量が致死量を越すと死亡する。その他、避難開始も、この暴露量がもはや避難しなければ危険と感じさせる閾値に達したときと仮定しているが、詳細は省略する⁷⁾。

3. 関東大震災時の東京市住民避難性状と予測の比較

3.1 計算条件

上記の都市避難モデルの検証のため、避難関東大震災における住民避難を例にとって比較した。シミュレーションの計算条件は当時の実態に沿って設定し、シミュレーションのために設定した経路ネットワークを図 2 に、設定した避難地を図 3 に示す。なお、図 2 あるいは 3 において、色が周囲よりも濃い地域が火災により焼失した地域に相当する。図 2 の経路ネットワークについては、震災予防調査会による当時の調査結果に基づいて作成された東京市の延焼動態図⁸⁾を基に再現した。避難地については、文献資料^{9,10,11)}に記述されている避難地のうち代表的なものを設定した。避難地の収容人数は、同文献により避難したと記述される人数を設定した。



図 2 避難経路ネットワーク

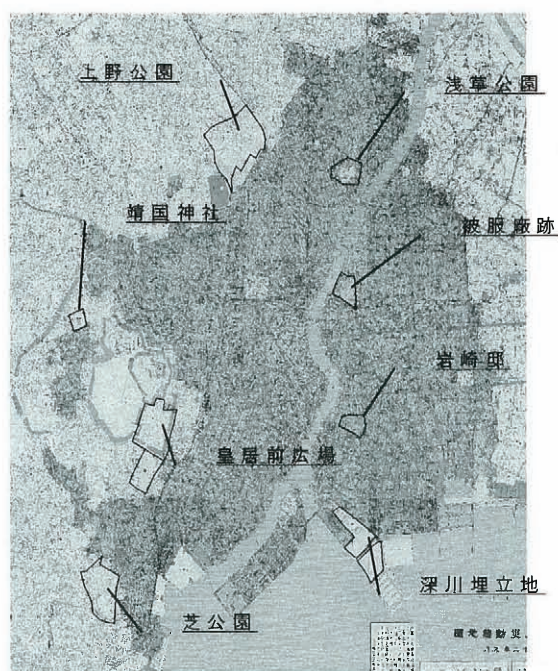


図 3 想定避難地

住民の安全認識に基づく安全ポテンシャルは、流体力学の分野における速度ポテンシャルとのアナロジーで求めることにした。速度ポテンシャル ϕ は、下式で与えられるラプラス方程式：

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = 0 \dots \dots \quad (1)$$

を満たすことは良く知られている。これを経路ネットワーク上の避難行動の場合にもポテンシャル Φ に拡張すると次式が得られる。

$$\sum_j \frac{\Phi_i - \Phi_j}{L_{i,j}} \cdot \Delta b_{i,j} = 0 \quad \dots\dots\dots(2)$$

ただし、 L はリンクの長さ、 Δb は幅である。式(2)は経路ネットワークを構成するノードごとに成立することから、これをノードの数だけ連立して解くことで各ノードのポテンシャル Φ を計算する。図3は住民の認識による安全ポテンシャルの計算結果である。

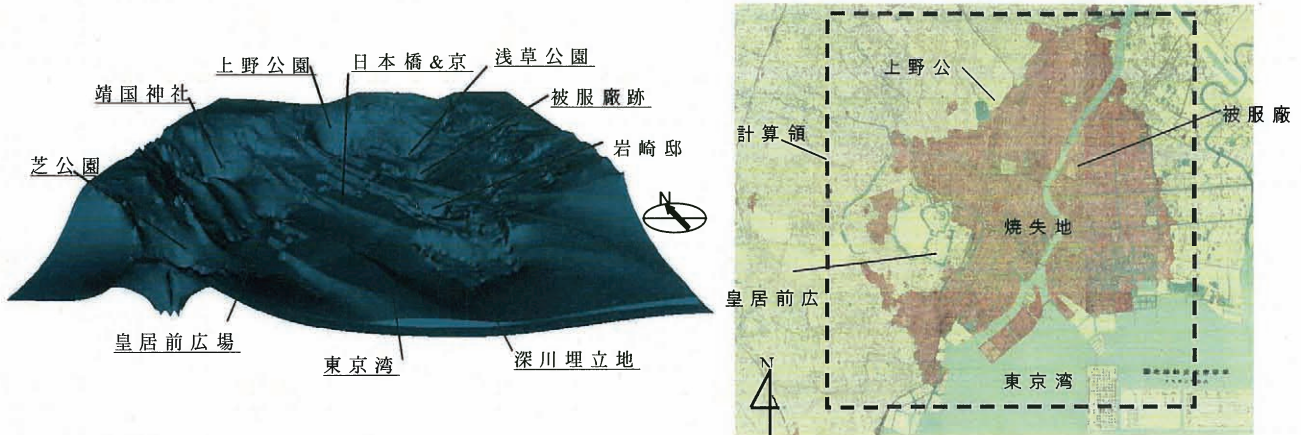


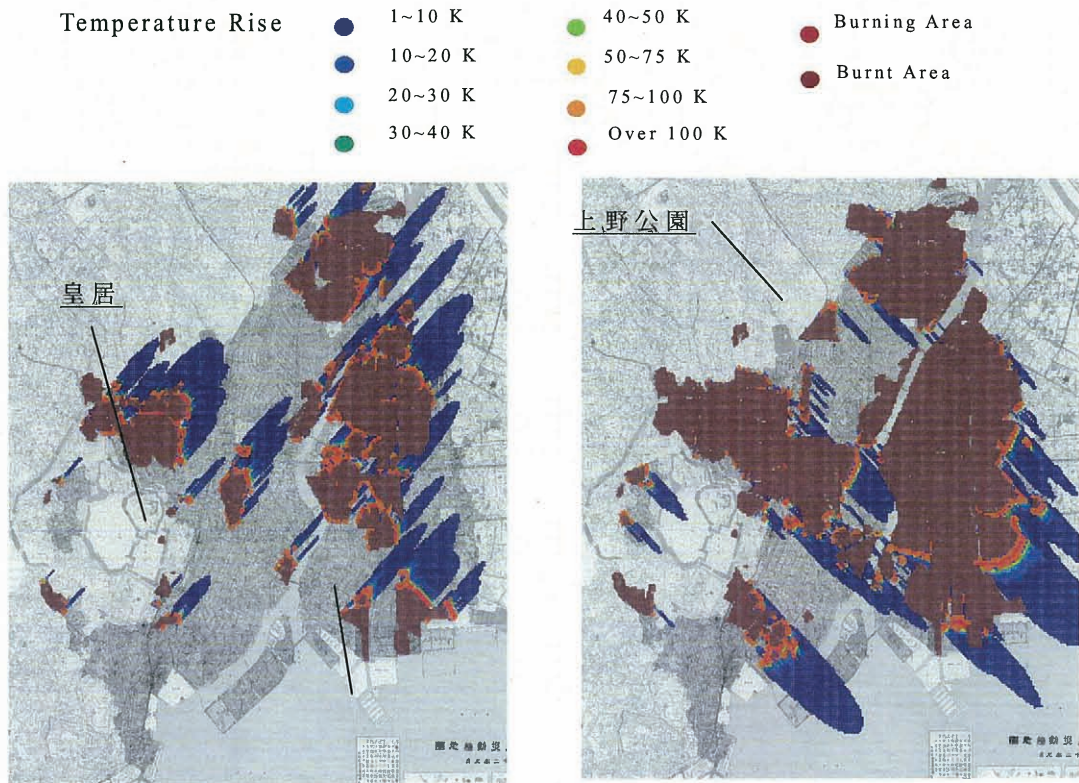
図4 認識上の安全ポテンシャル計算結果

3.2 関東大震災における住民避難シミュレーション

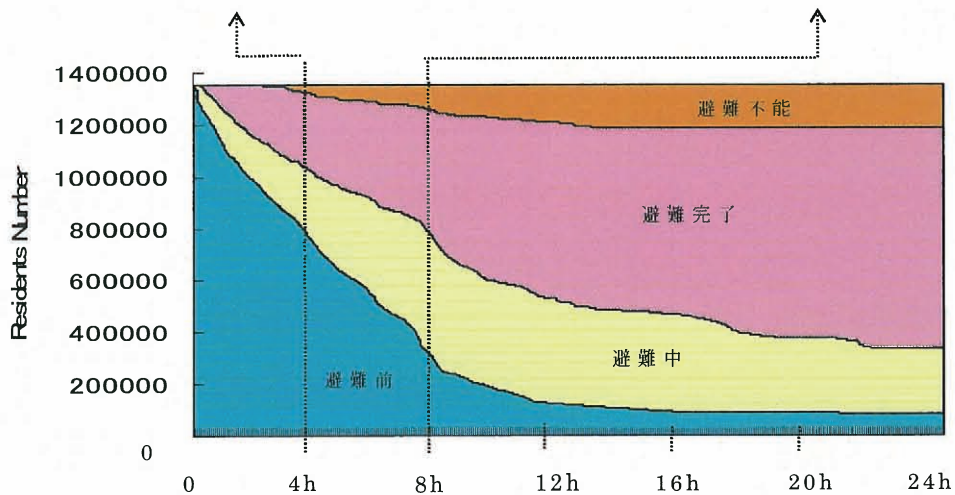
1923年9月1日午前11時58分に発生した関東大震災による関東一円に及んだが、中でも被害が特に甚大であった東京市での死亡者数は68,660人であった。その殆どは火災によっている。被災地域に居たと考えられる130万人以上の住民により、大規模な都市避難が起こったことは確実であるが、その全容は解明されていない。ここでは、上述したモデルが全容解明の手がかりを与える手法してどの程度の妥当性を有するかを調べる。

図5は予測結果の一部を示している。(a)は火災により生じた火災気流が市街地を覆っている様子を発災後4時間および8時間について例示している。火災中の風向は時々刻々と変化し、伴って延焼方向とともに火災気流に覆われる地域も変化した。避難者は、このように変化する気流の中を右往左往しながらの避難を強いられたと思われ、これが多大な犠牲者の発生に繋がった可能性もある。(b)は時間後との避難者の状態の変化である。出火当初から避難を開始する住民は次第に増加し、4時間後までの凡そ半分、8時間後にはほぼ全員が避難を開始している。避難の犠牲者は3時間後位から発生し始め、8時間後程度までの発生が著しい。避難者の変化は12時間までの変化が大きく、その後緩やかになっているが、これは火災の延焼が初期に著しかったことに対応しているものと考えられる。

24 時間後には6割以上の避難が完了しているが、なお避難中がかなりの数に上るのは、危険が生じて避難を開始したものの、途中の風向きの変化や火災の衰えなどで、途中から避難の必要がなくなったため、計算領域の周辺に留まるという計算になった避難者がかなり含まれていると考えられる。



(a) 地上付近の温度上昇計算結果例



(b) 予測による出火後の避難状態の変化

図 5 火災気流性状の予測例および避難人数の推移

東京市における実際の死亡者分布を図 6(左)に、モデルによって計算された死亡者分布を図 6(右)に示す。点の大きさが死亡者数に相当する。実線で囲まれた地域に見られるように、神田、日本橋、芝、京橋における死亡者分布は類似しているが、その反面、その他の地域では分布に相違が見られた。モデルによる計算結果では、死亡者が、浅草公園近辺や岩崎邸近辺、深川埋立地近辺のような避難地近辺や、中洲町や厩橋付近のような特定の地点に集中して発生した。また本モデルによる避難不能者数は約 20.8 万人の予測に対して、実際は約 6.6 万人とされるので数的にはかなり差があるこれらの要因として、(1) 当時の市街地構造に関する資料の不足によって、想定した経路ネットワークの信頼性に限界があること、(2) 収容人数の限界に達した避難地に到着した住民のその後の移動が、危険度ポテンシャルのみによっているとしていること、(3) 全ての住民が一様な心理的認知空間を有しているものとしていること、が挙げられる。

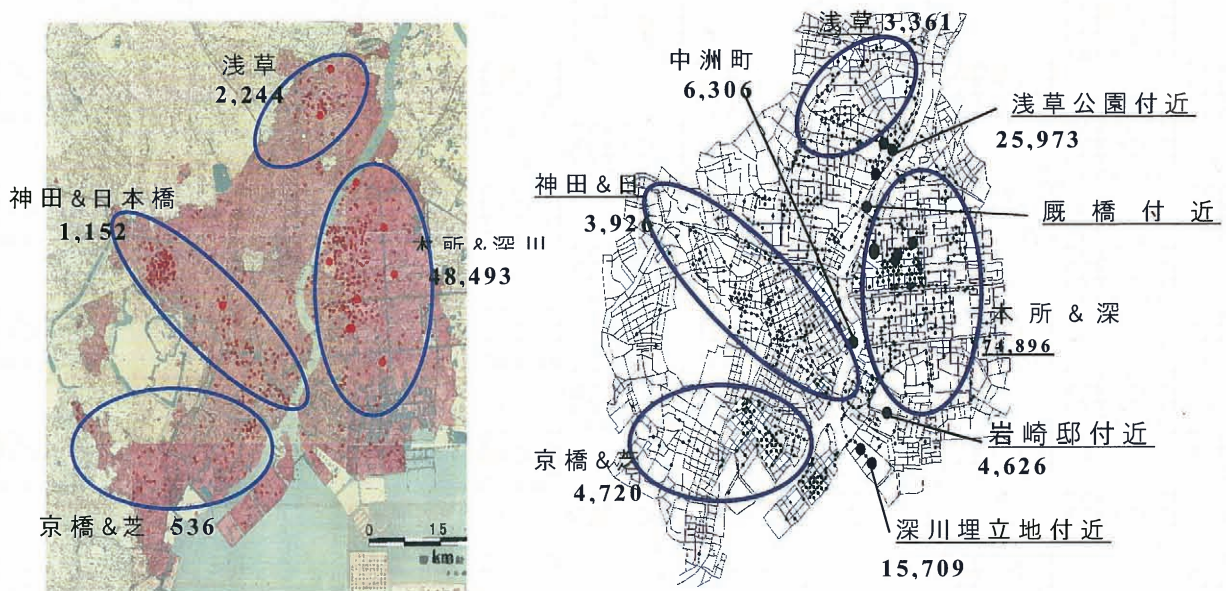


図 6 避難者の死亡位置と人数(左:調査結果、右:予測結果)

4. まとめ

地震火災時における住民の避難性状を予測するためのモデルの開発し、このモデルを関東大震災に適用し、東京市の住民避難予測を行った。市街地にポテンシャル場を考えるこの方法が、地震火災時の避難性状予測に有効であるという見込みが示された。しかし、予測精度を向上させるため改良の余地は多くある。

参考文献

- 1) 森脇哲男・松本博文・江田敏男：大震火災時の避難シミュレーション，日本建築学会論文報告集，No.341，pp.142-149，1984.7
- 2) 小坂俊吉・堀口孝男：広域避難シミュレーション手法による大震火災時の群集行動解析，土木学会論文集，No.365，pp.51-59，1986.1
- 3) 岡田光正・吉田勝行・柏原士郎・辻正矩：大震火災による人的被害の推定と都市の安全化に関する研究-(1) 延焼過程を組み込んだ避難シミュレーションシステムの設計-，日本建築学会論文報告集，No.275，pp.141-148，1979.1
- 4) 青木義次・大佛俊泰・橋本健一：情報伝達と地理イメージ変形を考慮した地震時避難行動シミュレーションモデル，日本建築学会計画系論文報告集，No.440，pp.111-118，1992.10
- 5) 中尾美穂・田中哮義：都市火災避難時における危険度の推定手法に関する研究，日本建築学会学術講演梗概集，pp.237-238，2001.9
- 6) 那須野晶子・西野智研・円谷信一・田中哮義：市街地火災時における都市住民避難モデルに関する研究 その 1，日本火災学会研究発表会概要集，pp.32-33，2007.5
- 7) 西野智研・那須野晶子・円谷信一・田中哮義：市街地火災時における都市住民避難モデルに関する研究 その 2，日本火災学会研究発表会概要集，pp.34-35，2007.5
- 8) 震災予防調査会：震災予防調査会報告 100 号 戊付図，1925
- 9) 吉村昭：関東大震災，文春文庫，pp.132-134，2004
- 10) 大日本震災調査会：振天動地 大震災史，pp.330-332，1923.4
- 11) 中央防災会議：災害教訓の継承に関する専門調査会報告書 1923 関東大震災，pp.213，2006.7