

# 札幌圏における都市の拡大と地震リスクの変遷に関する研究

北海道大学大学院工学研究院助教 中嶋 唯貴

## I. はじめに

近年、内閣府をはじめ各種自治体において被害想定が行われ、その結果を基に減災戦略の立案が行われてきている。減災戦略立案上重要となるのは、災害はその質と量において都市拡大や住環境の変化により時間と共に変化するということである。しかしながら、2011年の東日本大震災以降、災害を意識した都市計画の要求がより一層高まっているにもかかわらず、地震被害想定等においては現時点のデータを用いたリスク評価となっており、将来の地震リスクを考慮したマネジメントができない状態である。

将来の地震リスクを評価するためには、都市範囲や住居の耐震性能を考慮する必要がある。そこで、都市の変化や耐震性能の変化を考慮した地震リスクの時系列評価に関する研究が行われてきている。札幌市においては、岡田・太田<sup>1)</sup>らの研究がある。都市計画による地震危険性の長期評価を初めて行った研究であり、高震度領域への都市の拡大による地震被害の増大について言及されているが、建物耐力性能の時間変動性については対象外としている。また、耐震性能の変遷のみを考慮したものとして、たとえば、那仁・川瀬<sup>2)</sup>がある。都市の拡大と住宅の耐震性能の両方を考慮したものとして、筆者らは耐震性能の向上と劣化の両者を評価可能な評価手法を提案<sup>3)</sup>しており、近年の死者の変遷<sup>4)</sup>や耐震改修政策の立案など死者低減を目標に研究を展開している。また、清水ら<sup>5)</sup>は1880年から2040年までの地震リスクを評価している。

しかしながら、都市の変遷と耐震性能の両方を加味した評価は、全国を対象とした地震リスクの変遷に関する評価であり、地震発生確率を考慮したものとなっている。地震発生確率を考慮してしまうと、海溝型地震の高い発生確率が優位となり発生確率の低い地震を見逃してしまうという危険性がある。加えて、地震被害は面的に発生するため推定結果の絶対値に加え被害の面的な分布も大変重要となるが地震の発生確率を考慮するとそれらの検討が出来なくなる。<sup>6)</sup>地震リスクという概念では、都市の被害分布を見逃してしまう危険性を著者らは指摘しているのである。そこで、本研究は、地震について地震動による災害量（死者数）について戦後約50年間にわたる札幌市における地震リスクを人口分布及び建物の耐震性能の時間変動性に着目し、札幌市に影響を与える3断層を対象とし、現在までの変化を明らかにすることで、都市の地震に伴う死者を制御することを目的とし研究を開始した。なお、50年程度の長さではハザードの時間変動性は無視できるものとした。

## Ⅱ．評価手法の構築

過去 50 年の時代変遷を評価するに当たり、住居分布・人口分布・築年による木造住宅の耐震性能・劣化などを考慮する必要がある。しかしながら、これらを被害推定に重要な住宅の分布は取得が難しく、加えて 1970 年以降においては 1km メッシュによる人口分布が存在するものの、1km メッシュでは相当荒い解析になる危険性がある。また、1970 年以前においては詳細な人口分布は存在していない。より精度の高い分析評価可能にするためには、新たな評価手法を構築する必要がある。そこで、本研究においては、旧地形図から建築面積分布を取得する手法を利用し、人口分布の再構築を試みることにした。加えて、築年別の住宅の耐震性能や劣化を考慮することにより、死者発生リスクの変遷を評価した。用いたデータは、国勢調査地域メッシュ統計データ<sup>7)</sup>、住宅統計調査報告<sup>8)</sup>、住宅土地統計調査報告<sup>9)</sup>国土地理院の地形図である。地震動入力 H は北海道地震防災会議が想定した月寒断層、西札幌断層、野幌丘陵断層の 3 地震<sup>10)</sup>についての 250m メッシュ震度分布を用いた。

### 1．評価手法の概要

本研究では災害素因として 1)都市拡大と 2)住家立替や耐震改修及び経年劣化による住家耐震性能の影響をそれぞれ震度曝露人口及び住家損傷度曝露人口で評価し、両者の総合的影響として死者数を計算しリスクの時間変化を追う。評価には、時系列評価が可能な中嶋・岡田<sup>3)</sup>の手法に古地図情報から建築面積の抽出可能な著者らの手法<sup>1)</sup>を加え評価を行った。図 1 に評価の手順を示す。加えて、以下に評価法の概要を示す。

#### (1) 住宅分布・人口分布の作成

住宅分布を作成するため、気仙らの手法を用い 250m メッシュで建築面積を推定すると共に、国勢調査を 250 メッシュに建築面積で比例配分することにより人口分布を作成する。

#### (2) 震度曝露人口の作成

想定地震の 250m メッシュの震度分布と作成した人口分布を重ね合わせることで震度曝露人口を作成する。

#### (3) 損傷度曝露人口の算出

各年代の住宅土地統計データより、札幌市の年代別耐力分布を作成し、作成した震度曝露人口と木造住居の年代別耐力分布を中嶋・岡田の手法に適用することで、損傷度震度曝露人口を算出する。

#### (4) 推定死者数の算出

算出した損傷度曝露人口に棟死亡率関数を適用することで、年代別の各想定地震における死者数を算出する。

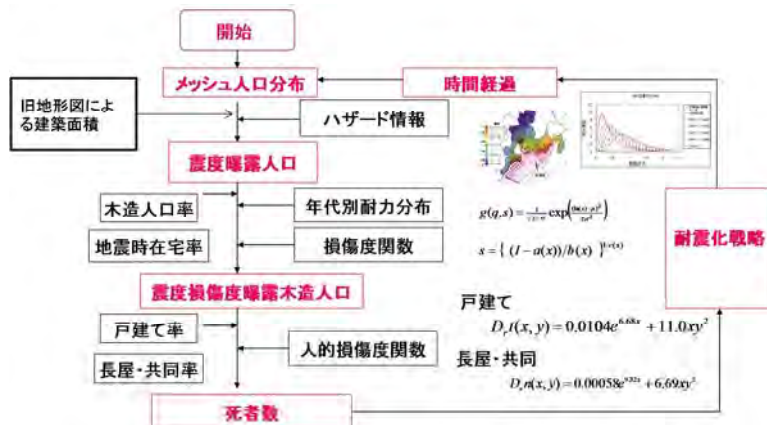


図1 時系列評価の流れ

## 2. 評価手法の札幌市への適用

### (1) 住宅分布の作成

評価手法を札幌市に適用する。まず、都市の拡大による災害時の被害を推測するため、各震度領域に居住する人口の総和（震度曝露人口）を求める。ただし、国勢調査の人口データは 1km メッシュと荒いので筆者らの手法を応用し地形図から得られた建築面積とメッシュ内の建築面積の比で 250m メッシュに配分する。建築面積の抽出の手順は次の①～④となる。スキャンした画像に各処理を行うことで、建物データを都市規模評価に必要な建築面積と集合パターンの特徴として求めることができる。処理による画像抽出進展の様子を表1に示す。

表1 画像処理内容と処理による変化（参考文献 11）より引用）

	元画像	①二値化	②建築密集地の色変換	③道路の白色変換	④住宅以外の部分の色変換
内容		カラーの地図を白と黒の2色に分ける。	斜線で表される密集市街地の部分を黒で塗る。	黒の画素が一定以上連続して連続する場合、白色に変換する。	縦横方向に一定以上黒が連続する以外の部分を白色に変える。
処理前の画像					

- ①二値化処理：旧地形図はカラー画像（うち、清田・太美・定山溪・銭函の合計9枚の画像に関しては白黒画像である。しかし、最初に二値化処理を行うため結果に影響はない。）である。このうち、建築物はすべて黒色であらわされているため、色によるノイズ部分の白色変換を行う。画素ごとの RGB を考慮して地図上の色の淡い画素を白に変え、それ以外の画素を黒に変える二値化処理を行う。
- ②道路の白色変換：道路など直線で表示されているものは建築物よりもアスペクト比が 1.0 から大きくはずれるこの特徴を利用し、白色変換を行う。試行の結果、黒色画素の連続数が 70 以上の部分をノイズとみなし白色に変換することによって、建築物を残したまま道路データの大部分を白色処理することが可能となる。

③建物密集地の色変換：旧版地形図では、住宅密集地が斜線でハッチングされている。斜線部分の正確な建物棟数や建築面積はこの地形図においては確認することが出来ないため、その斜線部が全て建築面積である（すなわち、区画内が全て建築物で充たされている状態）と仮定し抽出処理を行う。まず地図全体をプログラム上でトレースし、ハッチング部分を特定する。密集地部分の特徴はハッチングにより白色線分が黒色線分に囲まれていることであり、白色線分の画素数は地図によりほぼ一定値をとる。よって密集地のハッチング区画の白色部分の画素数を  $S_v$  とし、ある境界値  $S$  との間に以下の条件を満たす時にその白色部分を黒色に変える処理をする。

$$S_v \leq S \quad \dots (1)$$

今回の場合、白色線分の画素数は最大でもおおよそ 250 程度であることを確認した。この値は地域によっても変化する。今回対象とした札幌市域の中心市街地は道路によりほぼ 100m 区画に街区整理されており、ハッチングはその街区単位で塗りつぶされているものが多い。よって今回は、 $S=250$  と設定し、白色画素が黒色画素に囲まれている部分に対しこの条件を満たしたときに、その白色部分は建築密集地のハッチング部分であるとみなし全て黒色に変換する処理を実施し、密集地を抽出し黒色に塗りつぶす。

④非建物データの色変換：単体建築物及び建築物密集地を合わせた建物データのみを抽出するため、縦横両方において一定値以上黒色画素が連続している部分以外を白色化させる処理を行う。

上記処理を行い 250m メッシュで、黒色画素にあたる建築面積を総和した、札幌圏域の年代別建築面積の分布を図 2 に示す。時代が進むにつれて都市域が拡大していることが分かる。

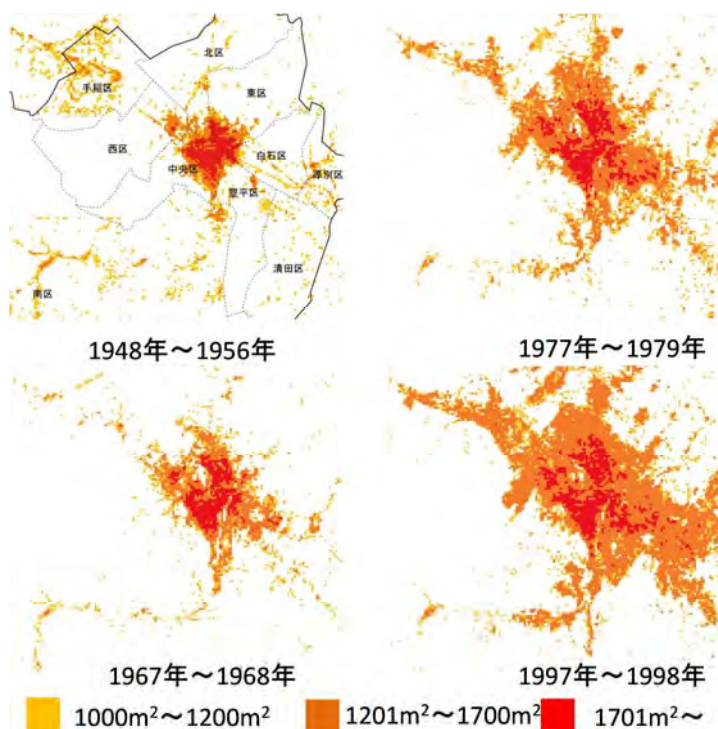


図 2 年代別建築面積分布 (250m メッシュ) <sup>11)</sup>より引用

## (2) 人口分布の作成

人口分布を作成するに当たり、自動抽出した建築面積と国勢調査による人口統計を用いる。国勢調査による人口統計は、1970年調査より、札幌市において1kmメッシュで得られている。この両データを用い1970年代、1980年代、1990年代において、メッシュごとに以下の作業を繰り返すことでメッシュ分布を作成した。各メッシュの人口は以下のようにあらわされる。また、1970年以前においては、建築面積と市区町村人口を用い算出した。

$$P_{mi} = \frac{B_{mi}}{B_m} \times P_m \dots (2)$$

ここで、 $P_{mi}$ は250mメッシュの人口、 $B_{mi}$ は250mメッシュの人口、 $P_m$ は1kmメッシュの人口又は市区町村人口である、 $B_m$ は1kmメッシュの建築面積もしくは市区町村別の建築面積である。各年代による人口分布を図3～9に示す。

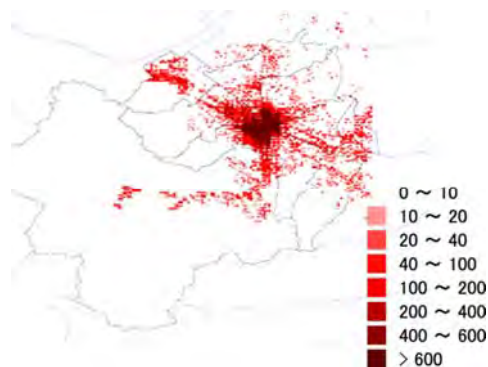


図3 1947年人口分布

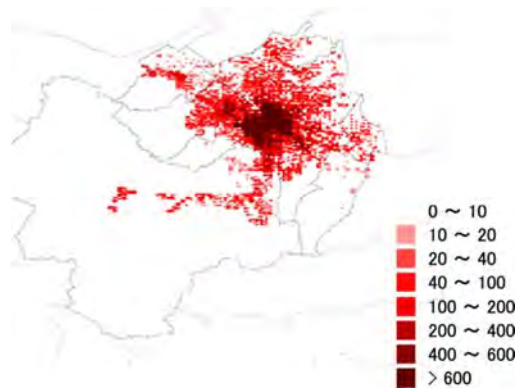


図4 1960年人口分布

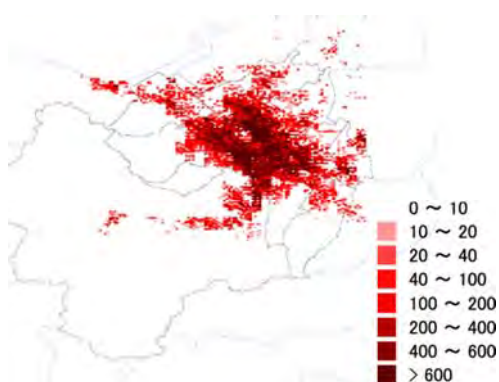


図5 1970年人口分布

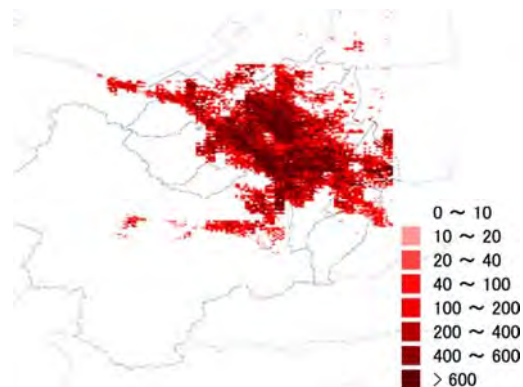


図6 1980年人口分布

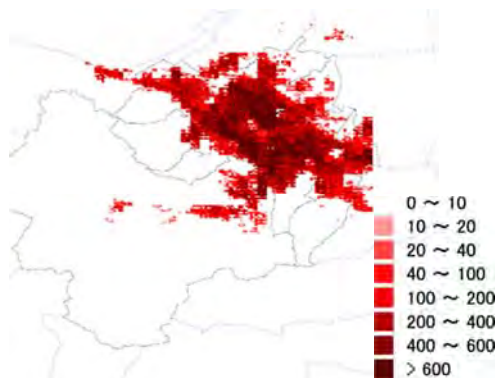


図7 1985年人口分布

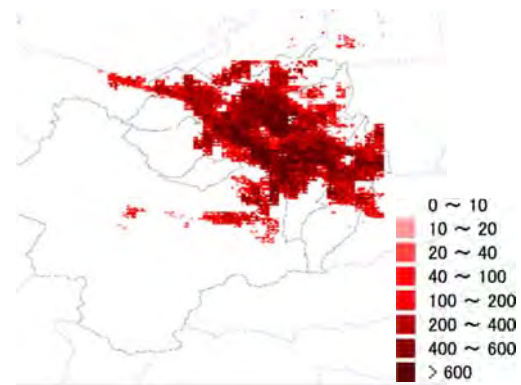


図8 1990年人口分布

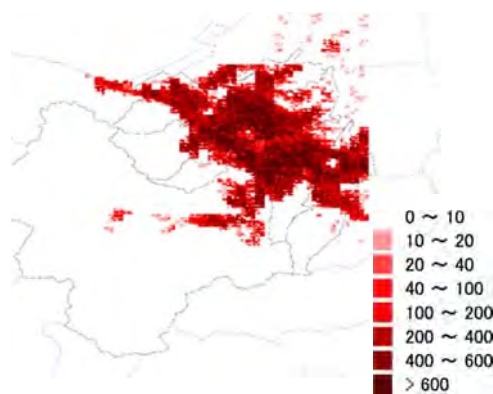


図9 1995年 人口分布

### (3) 震度曝露人口の算定

震度曝露人口とは、能島ら<sup>12)</sup>により提案された、各震度に曝される人口である。各札幌で想定されている月寒断層・西札幌断層・野幌断層を対象とした想定地震による震度分布と作成した人口分布を重ね合わせることで震度曝露人口を生成する。想定地震には、北総研作成の地震動予測結果<sup>10)</sup>を用いた。図10に月寒断層、図11に西札幌断層、図12に野幌断層における震度分布、図13～図15に各想定地震における震度曝露人口を示す。すべての想定地震において震度6強以上の人口が近年大きく上昇しているのが分かる。

震度 ■ 0 ~ 4 ■ 4 ~ 4.5 ■ 4.5 ~ 5 ■ 5 ~ 5.5 ■ 5.5 ~ 6 ■ 6 ~ 6.5 ■ > 6.5

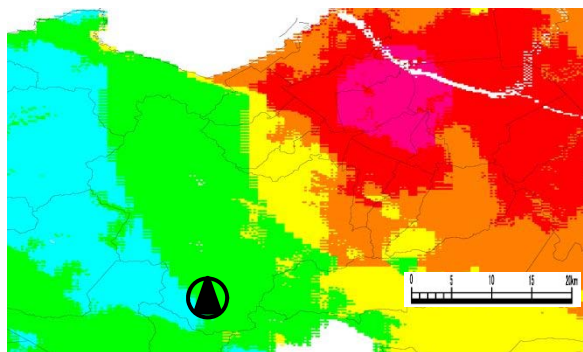


図10 月寒断層震度分布

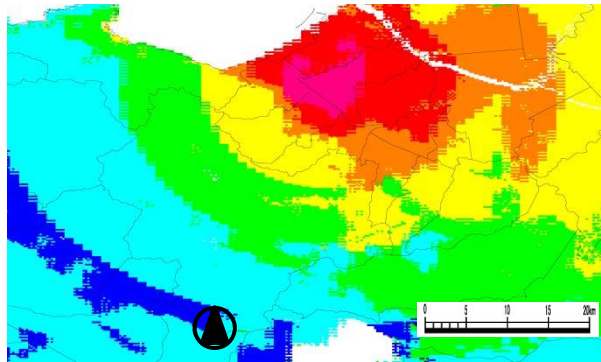


図 11 西札幌断層震度分布

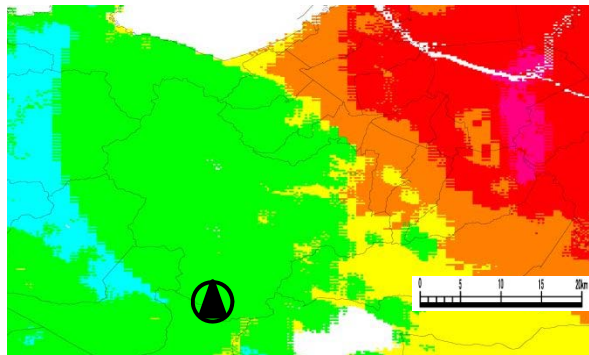


図 12 野幌断層震度分布

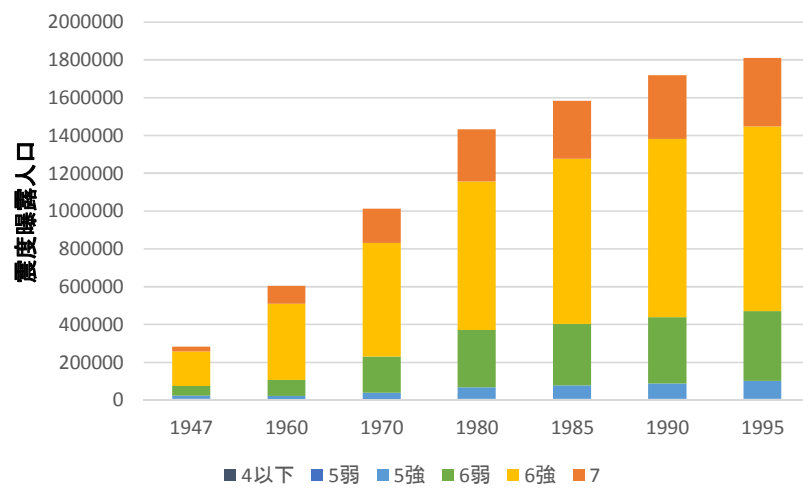


図 13 月寒断層における震度曝露人口の変遷

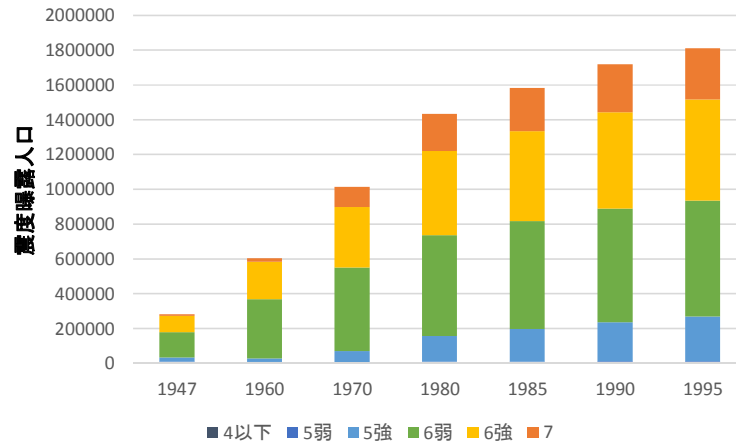


図 14 西札幌断層における震度曝露人口

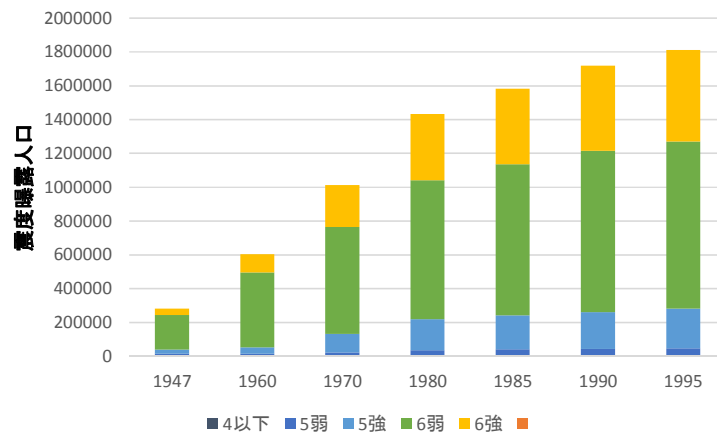


図 15 野幌断層における震度曝露人口

#### (4) 木造損傷度曝露人口の算定

震度曝露人口に、損傷度関数<sup>3)</sup>を当てはめることで木造損傷度曝露人口を算出する。

##### ① 損傷度関数

損傷度関数をもとに、震度  $I$  の時の損傷度  $x$  を与える耐震評点  $s$  を逆計算する関数を用意する。損傷度  $x$  をパラメータとするべき乗関数を仮定し、既往の損傷度関数に整合するように係数を当てはめる。求められたべき乗関数を表 2、図 16 に示す。

$$s = \{(I - a \cdot x) / b \cdot x\}^{1/(c \cdot x)} \quad \dots (3)$$

ここに、 $I$  は震度、 $x$  は損傷度、 $a$ 、 $b$ 、 $c$  は係数である。求められたべき乗関数は、日本の木造住家の平均的損傷度関数（木造在来構法）を与えていると見なせる。本稿では日本の平均的損傷度関数に準じたべき乗関数をそのまま用いることとする。



表 2 評点の評価式の損傷度別係数<sup>3)</sup>

	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
<b>a</b>	1.59088	1.279466	0.928317	0.489953	-0.05298	-0.88746	-2.16353	-4.71887	-14.4826
<b>b</b>	4.478027	5.071245	5.607693	6.188446	6.858455	7.807897	9.183317	11.8786	21.7951
<b>C</b>	0.213637	0.171425	0.144571	0.122933	0.104969	0.086492	0.068715	0.049498	0.02426

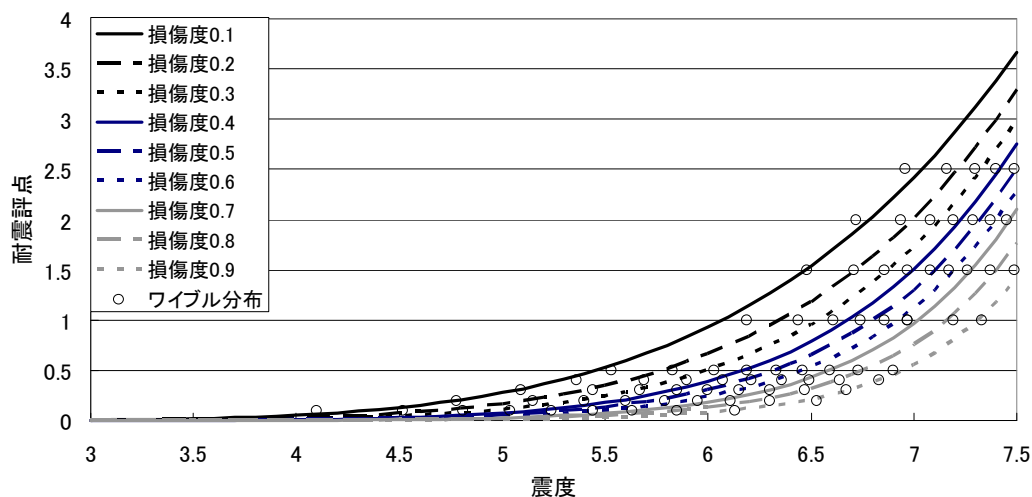


図 16 損傷度関数に当てはめたべき乗関数（震度 I と損傷度  $\Delta x$  と耐震評点  $s$  の関係）<sup>3)</sup>

② 木造住宅の年代別耐力分布  $g(q,s)$

木造住宅の耐震評点の分布は、対数正規分布を用いて以下で表される。

$$g(q,s) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(\ln(s)-\lambda)^2}{2\sigma^2}\right) \quad \dots (4)$$

ここに、 $q$  は建築年代(-1950,1951-1960,1961-1970,1970-1981,1981-1990,1991-)、 $s$  は耐震評点を意味する。本報告においては、住宅の耐力分布には木耐協による全国平均を用いることとした。対数正規分布の平均と標準偏差は表 3 であらわされる。

表 3 築年代別耐力分布の係数

Cases	-1950	1951-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-
$\lambda$	-1.097	-0.760	-0.585	-0.402	-0.186	-0.030
$\sigma$	0.823	0.705	0.558	0.533	0.512	0.481

上記耐力分布は 2004 年のものである。木造住宅は、経年劣化により耐力が減少する。ここでは、建物は経年により一定の割合で耐力が減少すると仮定し、下記の式を利用する。

$$F(t') = -0.00021 \times t' + 1$$

$$t' = q_0 - q + t \quad \dots (5)$$

ここに、 $q_0$  : 現在の年  $q$  : 建築年  $t$  : 現在からの経過年  $t'$  : 築後経過年数

ここで、各年代における劣化を考慮した耐力分布は以下のように表すことができる。

$$g(q, s, t') = \frac{1}{\sqrt{2\pi s \theta}} \exp\left(-\frac{(\ln(s)-\lambda)^2}{2\sigma^2}\right) \times F(t') \dots (6)$$

札幌市における木造住宅の耐震性能の時代変遷を見るには、各時代において築年ごとの住宅割合を知る必要がある。これには、住宅土地統計より、札幌市の建築年代年代(-1950, 1951-1960, 1961-1970, 1970-1981, 1981-1990, 1991-)別の建物棟数データが利用できる。評価単位毎の建築年代別の建物棟数データの割合を  $T(q)$  とする。年代別の耐震評点分布  $g(q, s)$  に、評価単位毎の年代別建物割合  $T(q)$  を乗じ、耐震評点  $s$  の発現確率  $g(s)$  を計算する。

$$g(s, t') = \sum_q (g(q, s, t') \times T(q) \times F(t')) \dots (7)$$

式(7)を用い、推定年代に  $F(t')$  を考慮した、札幌市における各年代の耐力分布を図 17 に示す。時代が経過するごとに木造の耐震性能が向上しているのが読み取れる。

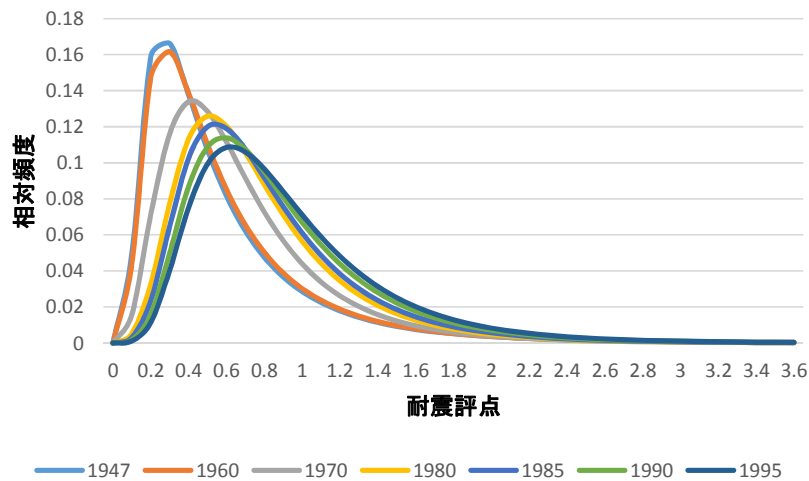


図 17 各年代の耐力分布

### ③ 木造損傷度曝露人口 $M_f(I, \Delta x)$

震度 I における損傷度  $x$  以上の被害を受ける超過確率  $P(s)$  から、損傷度  $x$  以上の被害を受ける地域内分布  $P(I, x)$  を計算する。耐震評点  $s$  は、損傷度関数のべき乗関数を用いて損傷度  $x$  と震度  $I$  から求める。以上より、木造損傷度曝露人口 は以下で表される。この意味は、震度 I の時に損傷度  $\Delta x = [x-0.1, x]$  が予想される建物内に居住する人口である。

$$P(s) = \int g(s) ds = \int \sum_q (g(q, s, t') \times T(q) \times F(t')) ds \dots (8)$$

$$P(I, x) = \int \sum_q (g(q, \{(I - a(x))/b(x)\}^{1/c(x)}) \times T(q) \times F(t')) ds \dots (9)$$

以上より、木造損傷度曝露人口 は以下で表される。この意味は、震度 I の時に損傷度  $\Delta x = [x-0.1, x]$  が予想される建物内に居住する人口である。

$$M_f(I, \Delta x) = M_f(I) \times p(I, \Delta x) \dots (10)$$

ここに、震度 I の場合の木造震度曝露人口は以下で表される。

$$Mf(I) = f(I) \cdot zf \cdot mf \quad \dots (11)$$

また、震度 I の時の損傷度  $[x-0.1, x]$  の発現確率は以下の式で表される。

$$P(I, \Delta x) = P(I, x) - P(I, (x-0.1)) \quad \dots (12)$$

上記式を用い札幌市における年代別損傷度曝露人口を求める。図 18～図 20 より震度曝露人口は増加し、高震度側に住む人数は増加の一途をたどっているが、建物被害で見ると、大地震で 1947 年以降増加し、1985 年をピークに減少しているのが分かるであろう。

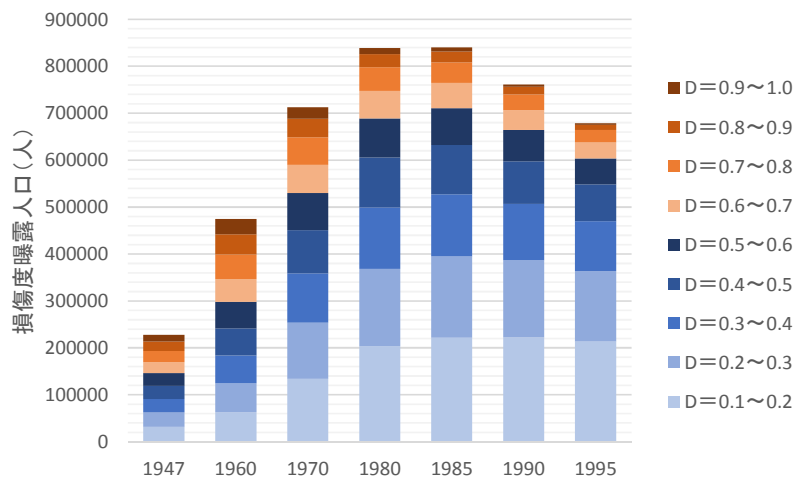


図 18 月寒断層における木造損傷度曝露人口

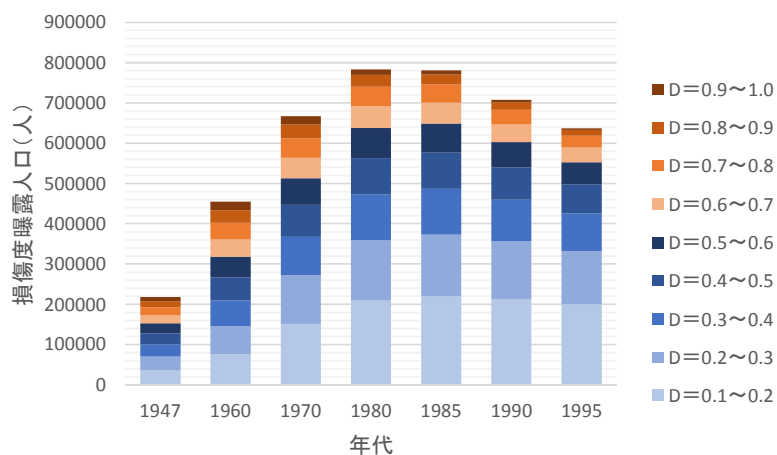


図 19 西札幌断層における木造損傷度曝露人口

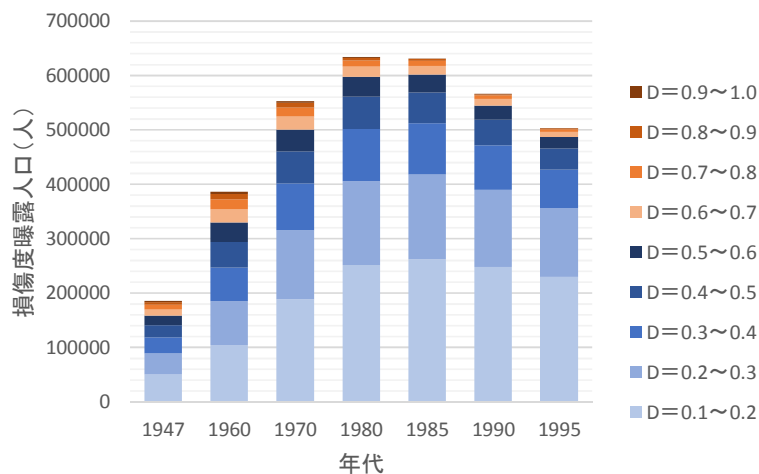


図 20 野幌断層における木造損傷度曝露人口

(5) 死者数の算定

死者の算定には、田畑・岡田(2007)<sup>13)</sup>の手法による木造住家の死者数の予測式を用いる。下式に死者予測手法を示す。xは損傷度であり、0.6未滿の半壊以下では死者は発生しないとしてカウントしない。yは周辺全壊率、a、b、cは住宅形式毎の係数である。

$$Dr(x, y) = ae^{bx} + cxy^2 \quad \dots (13)$$

ここに、Dr(x,y): 棟死亡率(%) x: 建物損傷度 y: 周辺全壊率 a・b・c: 住宅形式別係数(戸建て・長屋共同)となる。住宅形式ごとに係数を代入すると以下の2式となる。

一戸建ての場合: Dnk(x,y)

$$Dnk(x, y) = (0.0104e^{6.68x} + 11.0xy^2) / 100 \quad \dots (14)$$

長屋・共同の場合: Dnt(x,y)

$$Dnk(x, y) = (0.00058e^{9.32x} + 6.69xy^2) / 100 \quad \dots (15)$$

上記、地震による建物倒壊に伴う死者予測式を用いて、木造損傷度曝露人口  $Mf(I, \Delta x)$  と建て方別の人口比(一戸建人口率  $k_f$ 、長屋共同人口率  $t_f$ )から死者数  $Dn$  を算出する式は以下のようにあらわされる。

$$Dn = \sum_{x=0.6}^1 \sum_{l=0}^1 Dnk(x, y) \times Mf(I, \Delta x) \times kf + Dnt(x, y) \times Mf(I, \Delta x) \times tf \quad \dots (16)$$

ここに、Dnk(x,y): 一戸建ての死亡率  $k_f$ : 一戸建人口率 Dnt(x,y): 長屋・共同の死亡率  $t_f$ : 長屋共同人口率  $Mf(I, \Delta x)$ : 木造損傷度曝露人口

上記式を用い、木造倒壊に伴う死者発生危険度評価結果を図 21 に示す。3 想定地震すべてで大きく減少してきているのが分かるであろう。

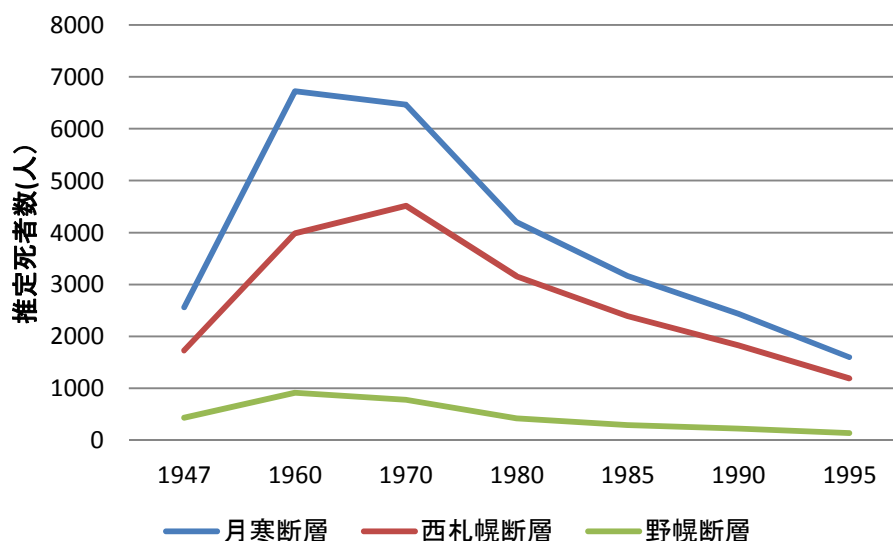


図 21 想定 3 地震における推定死者数

### Ⅲ. 札幌市における分析

#### 1. 震度曝露人口の変遷

250m メッシュ人口について地理的移動を時間経過で見る (図 22)。中心市街地が空洞化し郊外に拡大するスプロール現象が確認できる。この様に居住空間の分布の変遷は各地震ごとに大きく異なることが分かる。死者の発生する可能性が高い震度 6 強以上及び震度 7 以上について札幌市の全人口に占める震度曝露人口の割合を示している。(図 13~15)一番多く死者発生が予測されているのは全年代とも月寒地震である。3 地震に共通し、全期間 (1940 年代から 1990 年代) において震度曝露人口は増加しており、札幌の都市圏が高震度地域に拡大し続けていることが分かる。特に、全地域が震度 6 強の揺れに見舞われる月寒地震に対しては 1940 年代から 1960 年ごろにかけての高震度域への人口集中が著しい。(図 23)しかし一方で、1970 年から 1980 年にかけて高震度領域の人口割合が減少し、震度の低い地域の開発がより進んだようである。1980 年以降は 3 地震においてほぼ震度曝露人口の構成割合は変わらず、人口の増加に応じて高震度領域に居住する人口が一定割合で増加する傾向にあると言える。近年は札幌市東部の開発が進んでおり、当該地域に高震度をもたらす野幌丘陵断層地震においての震度 6 弱以上の曝露人口増加傾向が著しい。

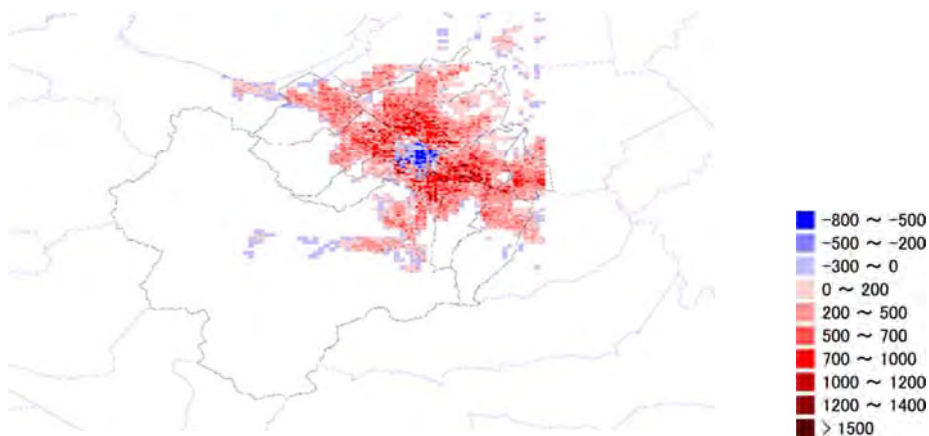


図 22 1940 年～1990 年の人口の変遷

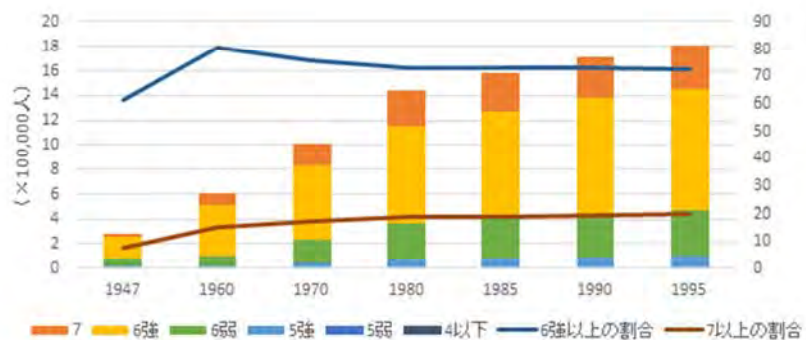


図 23 月寒断層における震度曝露人口の変遷

## 2. 損傷度曝露人口

次に住家耐震性能の時間変動の影響を見るために、震度曝露人口に損傷度関数を適用して算出した損傷度曝露人口のうち、被災時の建物損傷度 ( $x$ ) については、 $x=0.6$  以上で死者が発生する可能性があるとしてされているため、 $x=0.6$  以上の木造家屋の居住人口と全壊率について注目する。(図 24～26)。計算結果より 3 地震共に  $x=0.6$  以上の木造家屋に居住すると想定される人口は 1960 年まで増加し、1970 年以降は減少していることが分かる。近年においては札幌市の総人口数は増え続けているものの、被災時に損傷度が高くなる木造家屋に住む人口は減っていく傾向にあること、また札幌市内の建築物の耐震評点が向上してきていること(図 17)に起因しており、札幌市は市全体としてみると、十分とは言えないまでも住家耐震性能の向上が着実に成果を結びつつあることを意味している。

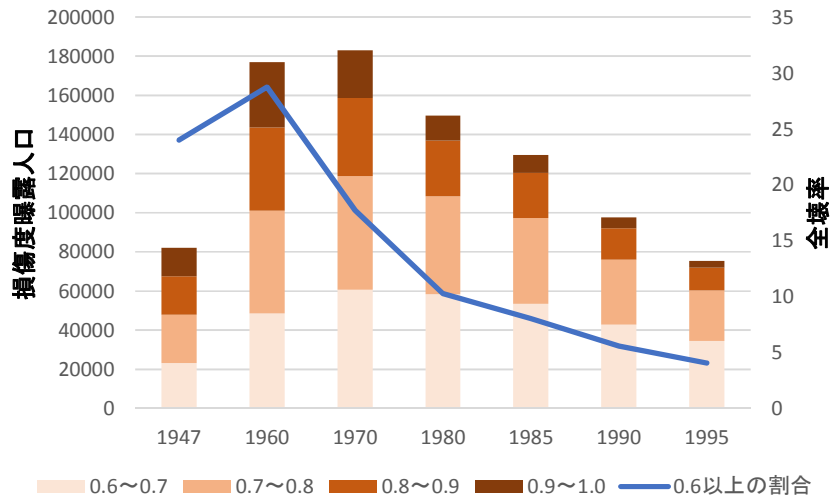


図 24 月寒断層における損傷度曝露人口と全壊率

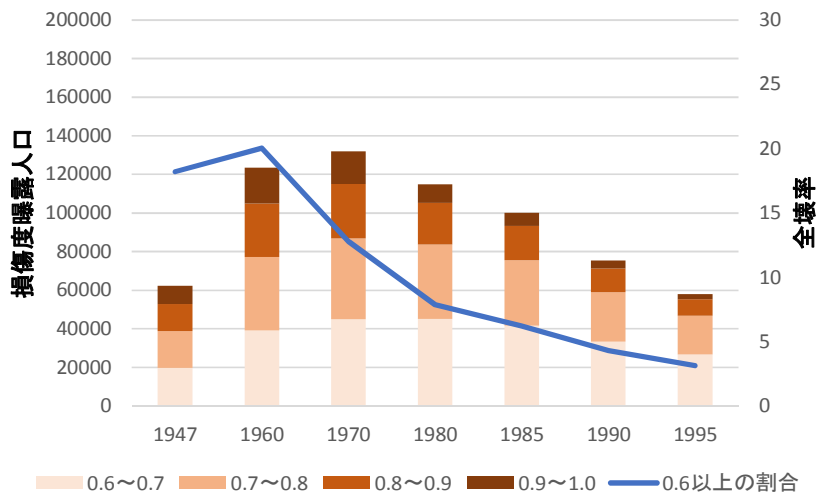


図 25 西札幌断層における損傷度曝露人口と全壊率

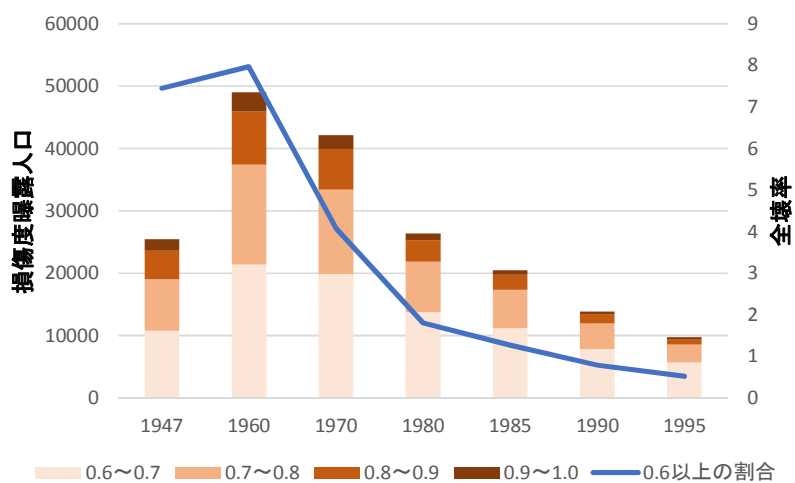


図 26 野幌断層における損傷度曝露人口と全壊率

### 3. 推定死者数

続いて損傷度曝露人口に戸建・長屋率を反映させた棟別損傷度関数を適用させ、死者数及び人口あたりの死者率の想定を行った（図 27～図 29）。この数値は既述のとおり、都市圏の拡大及び建物の耐震性それぞれの時間変動性を考慮した総合結果である。建物の耐震性向上の効果を把握するために、耐震性が変化しない場合をシミュレーションし図 27～図 29 の破線で示す。すなわち都市拡大のみの影響を想定すると死者数増大は天井知らずとなるところ、建物の耐震性能向上により 1960 年以降死者数が減少する傾向にあることが分かった。3 地震共に都市の危険領域への拡大の影響よりも建築物の耐震性向上の効果が上回る事が分かる。但し、この結果は地域を単位として死者数を評価したマクロ解析に依ることを強調しておく。住家個別に見た場合は、住家耐震性能は経年劣化しており個々の死亡率は時間と共に高くなるはずである。地域としてみた場合、地域内の住家立替や耐震改修が進んでいるために地域の死亡率を低下させているということである。住家耐震化を促進させることの重要性が一段と協調される結果であり、この変化を良しとして個々の世帯の耐震化施策を停滞させることは厳禁である。加えて、死者の低減効果は近年減少してきており、現在の低減速度を維持するためにも耐震化施策が大変重要となる。

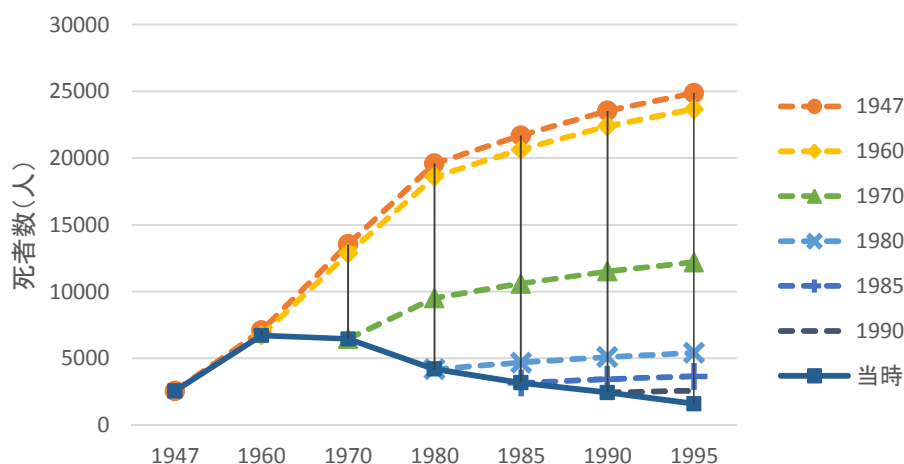


図 27 月寒断層における推定死者数

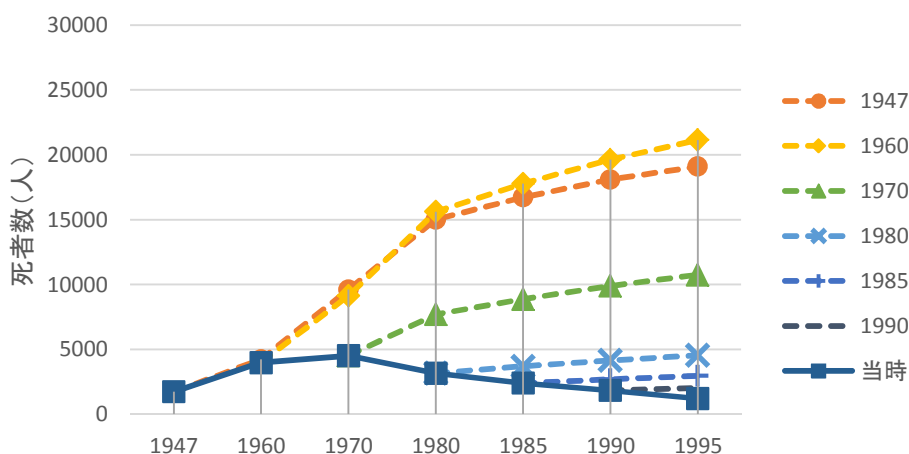


図 28 西札幌断層における推定死者数



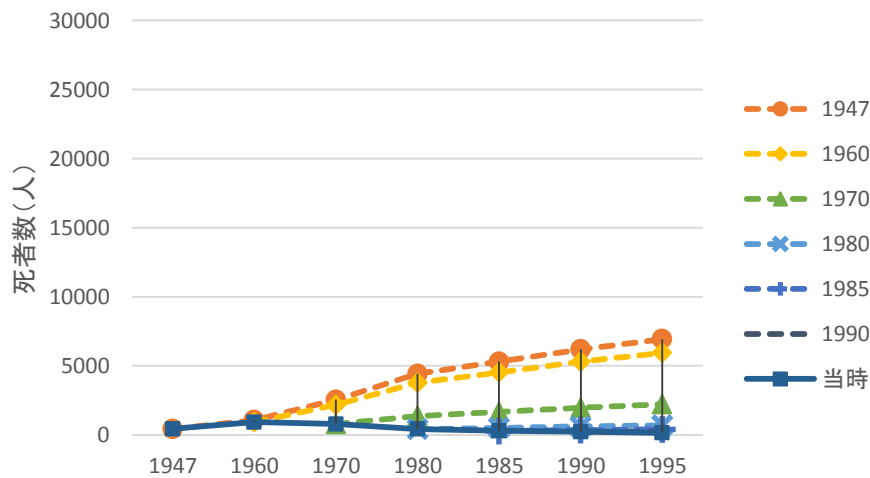


図 29 野幌断層における推定し死者数

#### IV. おわりに

本研究では札幌市を対象として 3 地震の災害量（死者数）について時代変遷を初めて明らかにしたものである。本研究により判明した以下の事項は、今後、札幌市の死者軽減方策を検討するうえで重要な知見となるであろう。

- (1) 本研究は、筆者らの既往の手法を組み合わせることにより各市区町村における死亡リスクの検討可能な評価式を提案した。
- (2) 各震度に曝される震度曝露人口の結果より、想定地震すべてにおいて、高震度領域の人口が年々増加していることが判明した。
- (3) 年代別の建物の耐震性能は、年々向上してきており全壊以上になる建物数は年々減少してきていることが判明した。
- (4) 高震度領域に居住する人口は増加傾向にあるが、建物の耐震性能が向上による影響が増加の影響を上回り、推定死者数は年々減少してきていることが判明した。
- (5) しかしながら、死者低減速度は低下してきており、死者を軽減させ続けるためにも住宅の耐震化施策の立案が重要となる。

今後は、死者低減速度を上げるべく、本研究で得たデータを基本情報とし都市計画や耐震化戦略の立案を実施していく。また、本論は建物倒壊による死者の変遷を評価しているが、人的被害においては家具の転倒・散乱を原因とするものも多数発生している。家具の転倒散乱に起因する人的被害の発生リスクの変遷についても検討して行く所存である。

#### 謝辞

本研究を遂行するに当たり、想定地震の震度分布を北方建築研究所からご提供いただいた。また、国土地理院の地形図を利用させていただいた。加えて、被害評価には北海道大学大学院工学研究科の村口紗也氏の協力を得た。ここに記して謝意を表する。

## 参考文献

- 1)岡田成幸・太田裕：都市圏居住域の時間拡大性を考慮した地震危険性の長期評価－札幌圏を例として－，日本建築学会構造系論文報告集，389，10-20，1988.
- 2) 那仁満都拉，川瀬 博時系列的な建物被害率評価：巨大地震被害予測スキームを用いた時系列被害予測とその環境負荷評価への応用に関する研究 その 1 日本建築学会構造系論文集 74(636)，253-258，2009.
- 3)中嶋唯貴・岡田成幸：時間軸上の死者低減率最大化を主目標とした木造住宅耐震化戦略の策定：東海・東南海連動型地震を対象とした東海 4 県への適用事例日本建築学会構造系論文集 73(623)，79-86，2008.
- 4)中嶋唯貴：近年の住環境の変化とその影響による木造家屋在住者の地震時死者発生リスクの変遷地域安全学会論文集 (15)，241-247，2011.
- 5) 清水 智，小丸 安史，若浦 雅嗣，藤原 広行，中村 洋光，森川 信之，早川 譲：1890年～2040年の地震の揺れによる住宅全壊リスクの変遷，日本地震工学会論文集 Vol. 16 (2016) No. 1 特集号「第14回日本地震工学シンポジウム」その 2 p. 1\_258-1\_273.
- 6) 中嶋 唯貴，岡田 成幸死者低減を目的とした行政レベルの震災対策意思決定のための多種想定地震の戦略的選択法：名古屋市域における事例研究－日本建築学会構造系論文集 74(639)，775-783，2009.
- 7)公益財団法人統計情報研究開発センター、地域メッシュ統計(国勢調査)＜集計結果データ＞昭和45年～平成17年.
- 8) 総務省統計局：住宅統計調査報告書，昭和28年，昭和33年，昭和38年，昭和43年，昭和48年，昭和53年，昭和58年.
- 9)総務省統計局：住宅土地統計調査報告書，昭和63年，平成5年、平成10年.
- 10) 戸松誠・南慎一，北海道における想定地震のグループ化による想定地震決定に関する研究，日本建築学会北海道支部研究報告集 No83,2010.
- 11) 64.気仙誠・岡田成幸・中嶋唯貴：地震防災学的観点からの都市施設の時空間変遷視覚化の試み，日本建築学会技術論文報告集，21，47，89-94，2015.
- 12) 能島 暢呂，久世 益充，杉戸 真太，鈴木 康夫震度曝露人口による震災ポテンシャル評価の試み 自然災害科学 23(3)，363-380，2004.
- 13) 田畑直樹・岡田成幸：地震時の木造建築物倒壊に伴う死者数推定に向けた棟死亡率関数の提案，日本建築学会構造系論文集，605，71-78，2006.