

津波避難における自動車利用の問題点

東京理科大学工学部第二部建築学科

辻本研究室

5108412 北村航蔵

5108426 松本昭彦

津波避難における自動車利用の問題点

第1章	はじめに	
1.1	研究の背景	1
1.2	研究の目的	1
1.3	本論文の構成	1
第2章	自動車利用の避難の実態	
2.1	津波避難について	2
2.2	東日本大震災 実際の避難について	
2.2.1	東日本大震災概要	3
2.2.2	地震発生から津波到達までの時間	4
2.2.3	実際の避難方法	4
2.3	米国における自動車利用の避難方法について	
2.3.1	ハリケーン	9
2.3.2	トルネード	10
第3章	自動車利用避難での避難時間予測	
3.1	避難時間シミュレーション方法	
3.1.1	渋滞の定義	11
3.1.2	避難時間予測	11
3.1.3	条件別シミュレーション	13
3.2	奥尻島における車の避難について	
3.2.1	北海道南西沖地震概要	18
3.2.2	調査地区概要	19
3.2.3	実際の避難	20
3.2.4	各種避難の時間計算	24
3.3	宮城県名取市閑上地区における車の避難について	
3.3.1	調査地区概要	27
3.3.2	津波浸水状況	28
3.3.3	各種避難の時間計算	30
第4章	考察	
4.1	北海道奥尻町青苗地区	33
4.2	宮城県名取市閑上地区	33

第5章 結論

5.1 結論 34

5.2 今後の課題 35

参考文献

付録

謝辞

第1章 はじめに

1.1 研究の背景

東日本大震災は、3月11日14時46分に地震が起き、それに伴う津波によって、甚大な被害が出た。人的被害は15821名の死者、行方不明者3926名である¹⁾。

多くの被害者は海沿いに集中しているため、津波によるものが多いと考えられる。東日本大震災以前の防災中央審議会では、津波避難の際に車を使用するのは禁止という方針だった。車で渋滞を起こし、津波の被害にあう事実があったが、6割の生存者が車で避難をした。今回の東日本大震災では、「禁止」から「原則禁止」の方針に変更した¹⁾。高齢者や、歩行困難な人にとって車で避難するしか方法がない場合は使ってもよいとされている。

1.2 研究の目的

津波の際に車を利用して避難した場合、渋滞を引き起こし、津波に巻き込まれる条件をシミュレーションによって導き出す。その結果を用いて津波からの車を利用した避難の限界を明らかにする。

1.3 本論文の構成

本論文は、本章を含めて五章から構成される。第2章では、自動車利用の避難の実態を東日本大震災の津波からのアンケートや、アメリカの災害の事例を扱いながら、本研究の立場を明らかにする。第3章では、避難地域の車が避難した際にどれくらいの時間をかけて避難場所まで避難できるかをシミュレーションするプログラムについて説明をする。作成したプログラムを使用し、1993年北海道南西沖地震の際に、津波の被害が大きかった奥尻島の青苗5区と東日本大震災で津波の被害が大きく、避難の際に車の渋滞がみられた名取市閑上地区に関して、シミュレーションの内容および結果を報告する。第4章では実験結果についてさらに詳しく考察する。第5章では、本論文の研究内容を総括し、今後の研究の課題について述べる。

第2章 自動車利用の避難の実態

2.1 津波避難について

津波の特徴

- ・津波の速度は海が深い程早くなる
- ・陸地近くで津波は高くなる
- ・津波は押し波と引き波で繰り返し到達する。

〈津波からの避難情報 ウェザーニュース〉

避難では次の項目が挙げられている。

- ・地震の揺れを感じた時は、すぐに高台や決められた避難地へ避難する
- ・より遠くではなく、より高い場所に避難する
- ・逃げ切れないときは、頑丈な建物の高層階に避難をする
- ・小さい揺れや、ゆったりした揺れでも津波に注意する
- ・津波は長時間続くため、津波警報・注意報が解除されるまでは海岸に近付かない
- ・津波は河川を遡上するため、川沿いからも避難をする。

〈津波からの避難情報 ウェザーニュース〉

以上のように、地震の揺れを感じたらすぐに高台や、指定された避難所に避難することが挙げられている。周りに高台がない場合は、津波から避難できる高さや耐震をもった建物の避難できるように標識がある（図-1）。

そのほかに、静岡県危機管理部のホームページには、「車で避難をしない」「財産の持ち出しをあきらめる」等、車で避難をしないように呼びかけをしている³⁾。



図-1 津波避難ビル標識⁴⁾

2.2 東日本大震災 実際の避難について

2.2.1 東日本大震災・地震、津波発生、被害状況

地震概要

発生日時 2011年3月11日(金)14時46分

震源及び規模 マグニチュード9.0 深さ約24km

津波概要

津波による浸水面積は561km²(図-2)

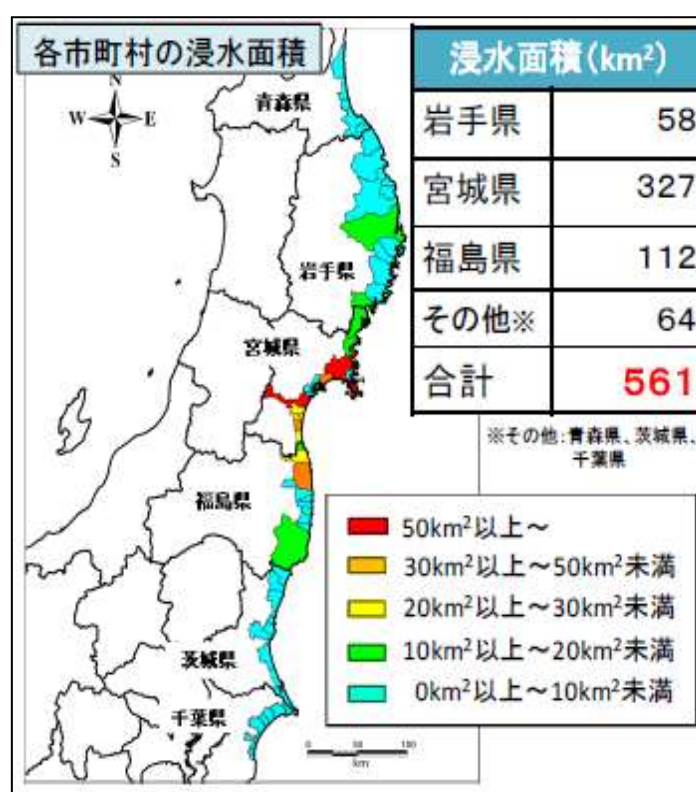


図-2 東日本大震災津波浸水面積¹⁾

被害状況

人的被害 死者:15,821名、行方不明者:3,926名

建物被害 全壊建物:118,499戸 半壊建物:180,297戸

〈東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会報告要点〉

2.2.2 地震発生から津波到達までの時間

地震発生は14時46分だった。その16分後に津波警報が確認され、津波が到来したのは、16時01分と地震発生から75分後であった（表-1）。津波警報については避難しなければならない地域の住人が津波警報を知るまでの時間である。実際は、停電や、防災無線が正常に機能せずに、津波警報を知るまで平均で16分かかった⁵⁾。

表-1 津波到達までの時間⁵⁾

	時刻	時間差
地震発生	14:46	
津波警報	15:02	16分
津波到来	16:01	75分

2.2.3 実際の避難

地震が発生してから津波が来るまでの避難行動の有無について。

地震が発生し、津波が来る前に避難行動を開始していた人は、全体の約63%であった（図-3）。そのため、津波が来た地域の人たちは地震が発生後すぐに津波が来るということ把握していたことになる。

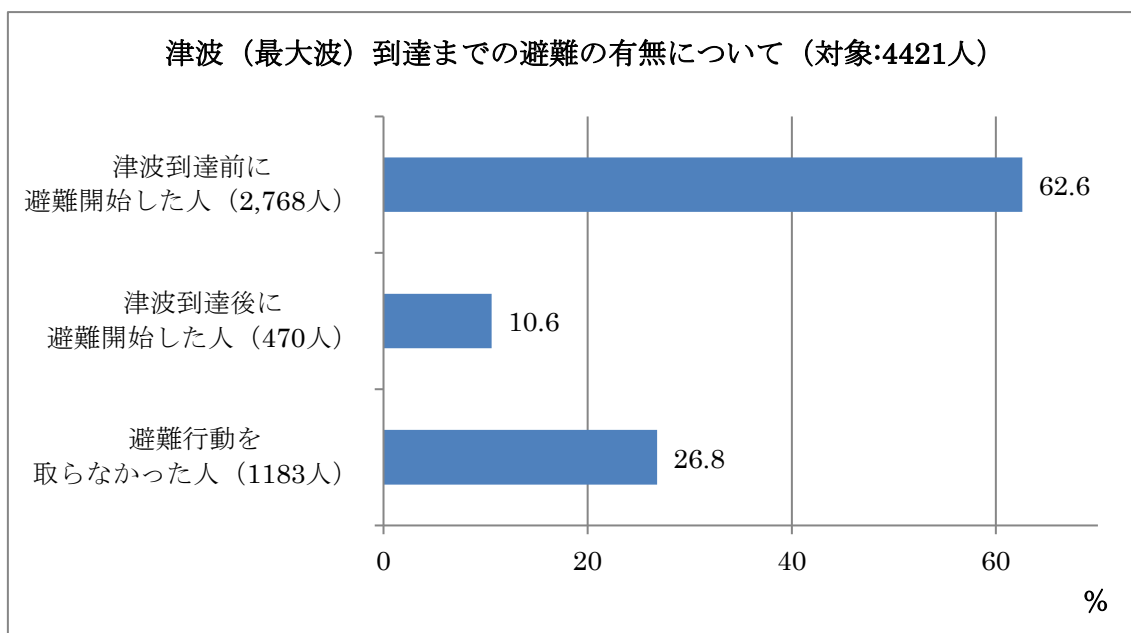


図-3 津波到達までの避難の有無について⁶⁾

図-3の調査詳細は次の通りである。

調査対象市町村

津波被害を受けた、青森・岩手・宮城・福島・千葉6県の太平洋側62市町村

調査対象

浸水区域内に居住している個人（約 60 万人）をサンプリング（約 1.5%）

サンプル数：9574 の内、現在約 5000 サンプルを集計中

調査時期

平成 23 年 9 月下旬から 12 月末

避難開始時間

生存者の避難開始時間は平均で 19 分、約 7 割の人が 1 時間以内に避難を開始している（図-4）。津波が到来するのは、75 分後のため、一時間を過ぎると津波が来てからの避難になる。死亡者は、平均で 21 分であった。ほとんどが分からないや、無回答であるが、生存者に比べて、避難しなかった割合が多かった。また亡くなった方の中には避難所にたどり着いた後に、再び家族を助けるために危険場所へ戻って行った。また、安全な場所にいたが、保育園や小学校に子供を迎えに行く為に危険な場所に行き津波に巻き込まれる事例があった。

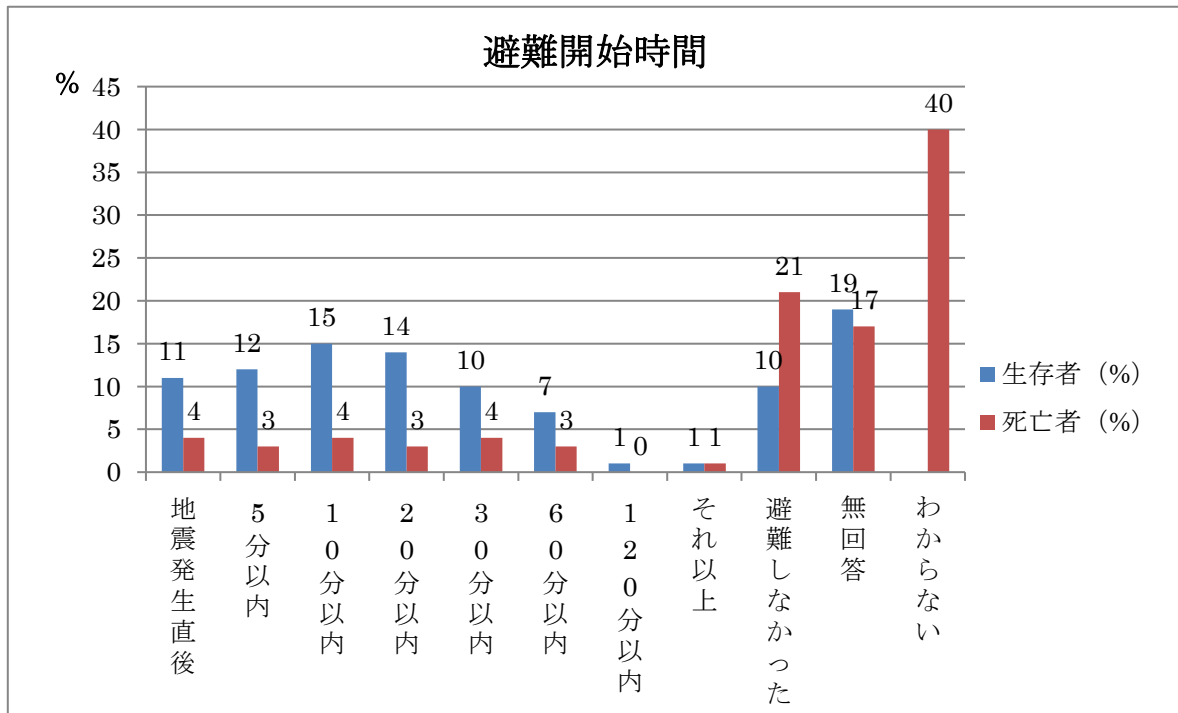


図-4 避難開始時間⁶⁾

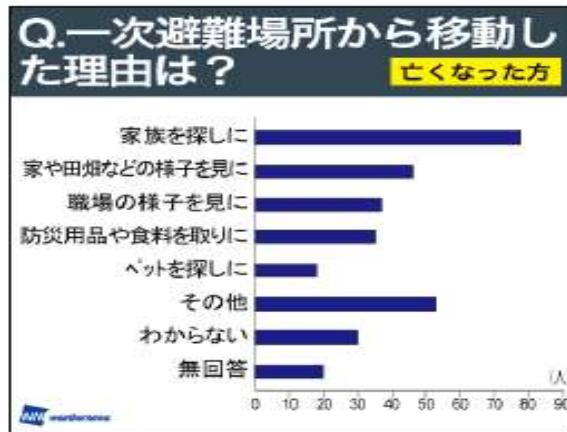


図-5 1次避難場所から移動した理由

移動手段

グラフから約97%の人が車や徒歩で避難した。そのうち51%が車で避難をし、約46%が徒歩で避難をしている。自転車やバイクやその他に避難が、2.5%と少ない割合であった(図-6)。

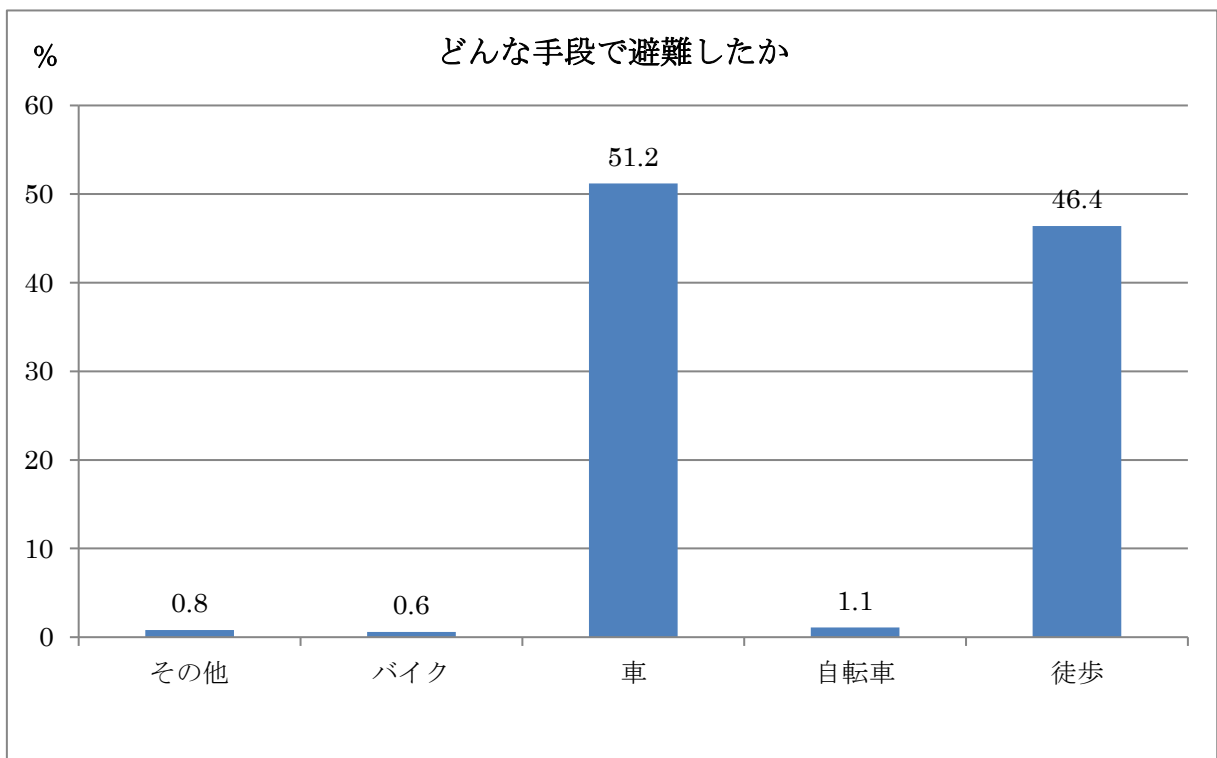


図-6 どんな手段で避難したか⁶⁾

移動手段別平均距離

移動手段別の平均距離では、車は2431m、徒歩が438mとなっている。そのため、車を禁止にした場合、500m以内に、避難所や、津波に耐えるビルを建設することが必要になってくる（図-7）。

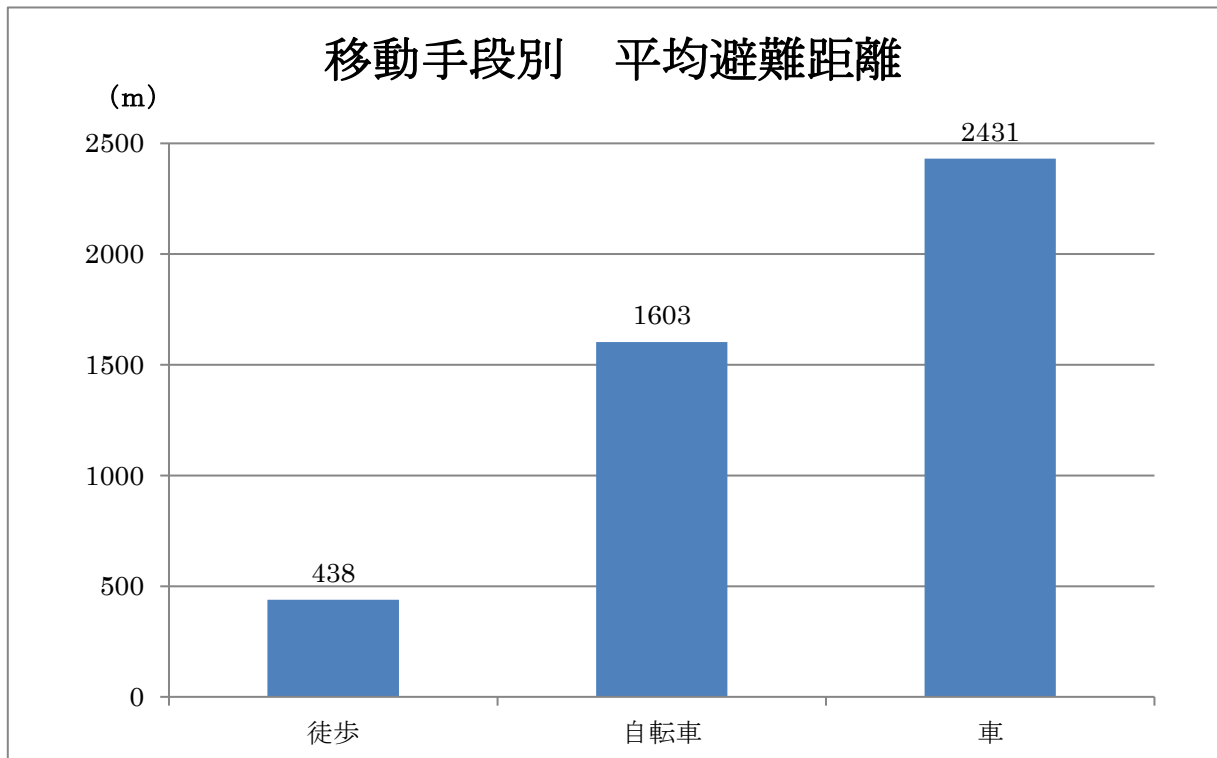


図-7 移動手段別平均避難距離⁶⁾

津波避難経路の問題点

アンケート結果（図-8）より、車に関する項目が多く、渋滞があつて車が動けない状態だったのは、約 3 割が渋滞にあつていた。また、停電のため信号が点灯していない。そのため、車での移動が困難であつた。

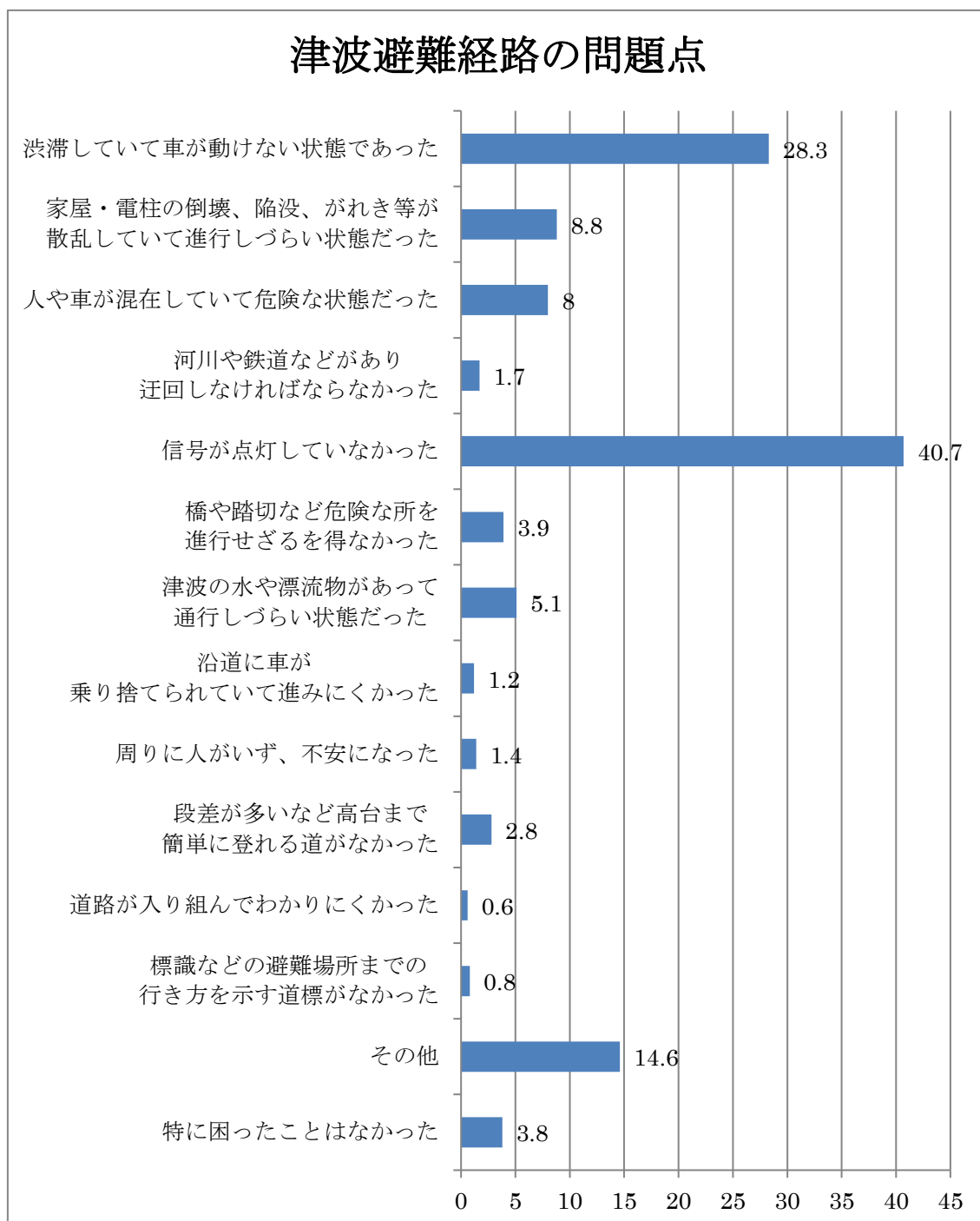


図-8 津波避難経路の問題点⁶⁾

2.3 米国における自動車利用の避難方法について

ハリケーンの特徴

ハリケーンは北大西洋、カリブ海、メキシコ湾および西経 180 度より東の北東太平洋に存在する熱帯低気圧のうち、最大風速が約 33m/s 以上になったものである¹¹⁾。

ハリケーンからの避難方法

アメリカではハリケーンの際に車を使って避難をする。石油会社の shell のホームページでは、車での避難を推奨し、気をつけることが詳細に記載されていた。他に「New York City of Emergency Management」というホームページでも車での避難を推奨していた。

- ・早めに避難する。
- ・地元の情報を聞く。
- ・非常時の備蓄一式を持って行く

〈VIRGINIA HURRICANE EVACUATION GUIDE〉

ハリケーンは発生前の 24 時間～36 時間前に予想ができる。そのため、車での避難が有効であり、燃料補給と避難経路の確保が重要となる。

ハリケーン時の車を使った避難について

車の避難について推奨していたが、別のサイトには、車の避難は渋滞が起これば効率的ではないと記述が載っていた。対策として、ハリケーンの際に、反対車線のレーンを、避難方向のレーンにすることによって、交通容量を大きくする対策がとられている。

2.3.2 トルネード

竜巻の特徴

- ・発達した積乱雲に伴って発生する激しい渦巻き
- ・短時間で狭い範囲に集中して甚大な被害をもたらす。
- ・移動スピードが非常に速い

〈竜巻から身を守る 気象庁〉

竜巻からの避難方法

- ・安全確保にある程度の時間を要する場合には、早めの避難開始を心がける。
- ・頑丈な建造物の物陰に入って身を小さくする。
- ・家の中では窓から離れ、窓のない1階の部屋に移動する。

〈竜巻から身を守る 気象庁〉

竜巻からの車を使った避難について

「Homeland Security Emergency Preparedness」によると、リスクが大きい条件に車にいる人、モービルハウスの人々と、挙がっている。

他に、車を置いていくこと、車両の外に出て、側溝にうつ伏せになることというように記されている⁹⁾。

ハリケーンの際は、車を推奨していたが、竜巻の際は車から出て避難行動をとるようにと書いてある。竜巻は、現在の観測・予測の技術では、竜巻などの激しい突風の発生を予想できない場合がある。また、日本において「竜巻注意情報」が発表されるのは1時間前である。そのため、車で逃げるより、屋内に避難する呼びかけをしている。

第3章 自動車利用避難での時間予測

3.1 避難時間シミュレーション

3.1.1 渋滞の定義

区分	高速道路	都市高速道路	一般道路
渋滞	時速 40km 以下	時速 20km 以下	時速 10km 以下
混雑	—	時速 20km～40km	時速 10km～ 20km

表-2 渋滞の定義¹³⁾

渋滞の定義は道路の種別などによって異なり厳密に決まってない。したがって本論では JARTIC の定義する「一般道路では時速 10km 以下」を渋滞とする¹³⁾。

3.1.2 避難時間予測方法

避難所から避難地域までを一直線上に自動車を車間距離が適当にばらつく様に配置した。避難所の座標を 0 とおき、避難する車を避難所に近いほうから x_1 、 x_2 、 \dots 、 x_i とする。座標から車間距離 L を

$$L = x_{i+1} - x_i$$

として、車間距離 L が 10m 以上の時、時速 20km (秒速 5.5m) で進み、車間距離 L が 10m 以下の時、 $L \times 0.55$ (m/s) に減速させ、

$$L \geq 10: V = 5.5 \text{ (m/s)}$$

$$L < 10: V = L \times 0.55 \text{ (m/s)}$$

Δt 秒後の自動車の位置を

$$x_i^{t+\Delta t} = x_i^t - V \times \Delta t$$

とした。

減速した車がさらに減速する事は可能だが、一度減速した車が加速するためには、前の車との車間が 10m 以上開いた後、5 秒間減速した速度で走行すると加速するとし

た。

この条件で、対象地区の全車両が地震発生直後に道路に一斉に出てきた場合に車両の最後尾が避難所に到達するのに要する時間を求めた。(図-9)で具体的に解説をする。

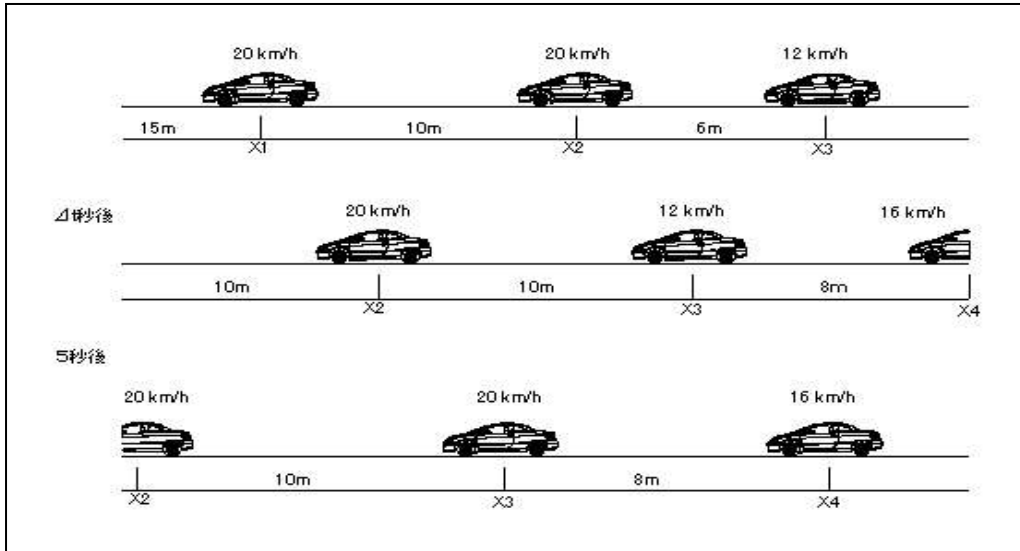


図-9 プログラム速度変化

図の上段で、 X_1 と X_2 は前の車との車間が10m以上空いているので時速20kmで走っている。 X_3 は X_2 との車間が6mとなっており10m未満なので時速が $L \times 0.55$ に減速され時速12kmとなっている。

中段の図は上段の Δt 秒後の状態で X_2 と X_3 の車間が10m開いているが、再加速はそれから5秒たたないとできないプログラムとしている。

下段の図が X_2 と X_3 の車間が10m開き5秒経過した図になる。 X_3 は時速を20kmにあげて走ることができる。同様に X_4 はこの後、 X_3 との車間が10m開き5秒経過すると時速20kmで走行可能になる。

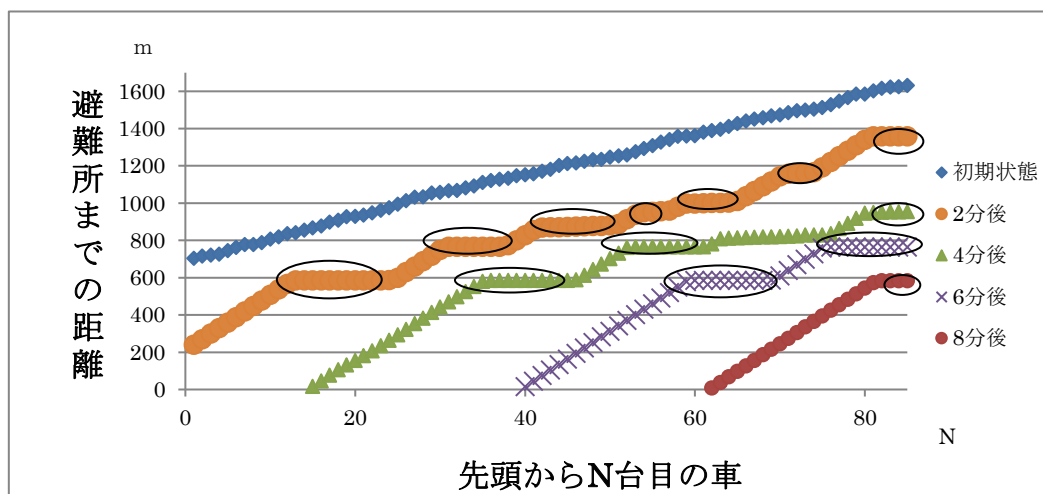


図-10 避難時間シュミレーショングラフ

図-10 は時間経過ごとの車の流れ方をグラフにしたものである。円で囲まれている部分が渋滞によって車が進んでいない箇所になっている(図-10)。3.1.3 条件別シミュレーション

3.1.3 条件別シミュレーション

初期条件

避難する車は全て一直線上にあり、一斉に避難を開始する。

車間 L は $L=X_{i+1}-X_i$ で決定される。

X_i は初期状態で避難場所に最も近い車を 1 として、一列に並んでいる車に順に番号をつけたものである

速度が変化する条件

車間 L が $L < 10$ になると減速をする。また、一度減速した車が加速するためには、 $L \geq 10$ になりかつ、そこから待機時間が経過すると再び最大速度になる。

減速のさせ方について

グラフ 1~5、9~11

$$0 \leq L < 10 \text{ の時 } V=L \times 0.28$$

$$10 \leq L \text{ の時 } V=2.8$$

グラフ 6~8、12~14

$$0 \leq L < 10 \text{ の時 } V=L \times 0.55$$

$$10 \leq L \text{ の時 } V=5.5$$

グラフ 15~17

$$0 \leq L < 10 \text{ の時 } V=L \times L / 35.71$$

$$10 \leq L \text{ の時 } V=2.8$$

グラフ 18~20

$$0 \leq L < 10 \text{ の時 } V=L \times L / 18.18$$

$$10 \leq L \text{ の時 } V=5.5$$

車間距離が一定値以下になった時の減速のさせ方、減速モードから抜け出すまでの待ち時間を表-3 に示すように色々と変えてシミュレーションを行った結果、以下の様な点が分かった。

渋滞の発生は、初期状態の車の相互の車間距離に大きく左右される。たとえばケース 1-5 では、減速モードから抜け出すまでの待機時間を 3 秒から 7 秒まで変化させているが、その間に 3 秒では渋滞が起き、4 秒、5 秒では渋滞が起こらず、6 秒ではまた渋滞が生じる。

この原因は明確ではないが、渋滞が生じない時の車の流れは順調で、このことは 8 分時の避難終了台数で確認できる。

-また待機時間にも左右され、待機時間が長い方が渋滞を引き起こしやすく、ケース 9-11 では待機時間が 5 秒の時に渋滞を起こし、3 秒と 4 秒の時には渋滞を起こさなかった。また、ケース 15-17 では待機時間が 3 秒の時だけ渋滞が起きなかった。

ケース 6-8、ケース 12-14、ケース 18-20 では全て待機時間で渋滞をおこしているの、渋滞が起きなかったケース 9-10 とケース 15 では待機時間が短かったのが渋滞を起こさなかった原因だと考えられる。以上の事より車間距離と待機時間が渋滞の発生に関係があると考えられるので、減速の始まる車間距離を 10m で一定にしていたのでこれを変化させると、渋滞の状況も変わってくると考えられる。

最初の渋滞の発生する場所がケース 1-14 の場合の減速モードよりもケース 15-20 の減速モードの方が避難所から離れているので渋滞の発生が早いことが確認できる。

表-3 条件別シミュレーション結果

	最大速度(km)	減速の始まる車間距離(m)	減速のさせ方	待機時間(秒)	渋滞の有無	最初の渋滞と避難場所の距離(4分後)	避難終了台数(8分後)
1	10	10	$L \times 0.28$	3	○	552.52 $X_i=55$	52
2	10	10	$L \times 0.28$	4	×		71
3	10	10	$L \times 0.28$	5	×		63
4	10	10	$L \times 0.28$	6	○	565.69 $X_i=56$	52
5	10	10	$L \times 0.28$	7	○	582.10 $X_i=51$	45
6	10	10	$L \times 0.55$	3	○	570.60 $X_i=56$	52
7	10	10	$L \times 0.55$	4	○	586.95 $X_i=61$	63
8	10	10	$L \times 0.55$	5	○	585.78 $X_i=59$	56
9	20	10	$L \times 0.28$	3	×		126
10	20	10	$L \times 0.28$	4	×		100
11	20	10	$L \times 0.28$	5	○	562.99 $X_i=60$	83
12	20	10	$L \times 0.55$	3	○	534.64 $X_i=95$	87
13	20	10	$L \times 0.55$	4	○	583.68 $X_i=76$	65
14	20	10	$L \times 0.55$	5	○	586.10 $X_i=62$	54
15	20	10	$L \times L/35.71$	3	×		103
16	20	10	$L \times L/35.71$	4	○	756.84 $X_i=73$	87
17	20	10	$L \times L/35.71$	5	○	723.06 $X_i=63$	74
18	20	10	$L \times L/18.18$	3	○	717.45 $X_i=89$	110
19	20	10	$L \times L/18.18$	4	○	672.65 $X_i=67$	89
20	20	10	$L \times L/18.18$	5	○	588.28 $X_i=73$	99

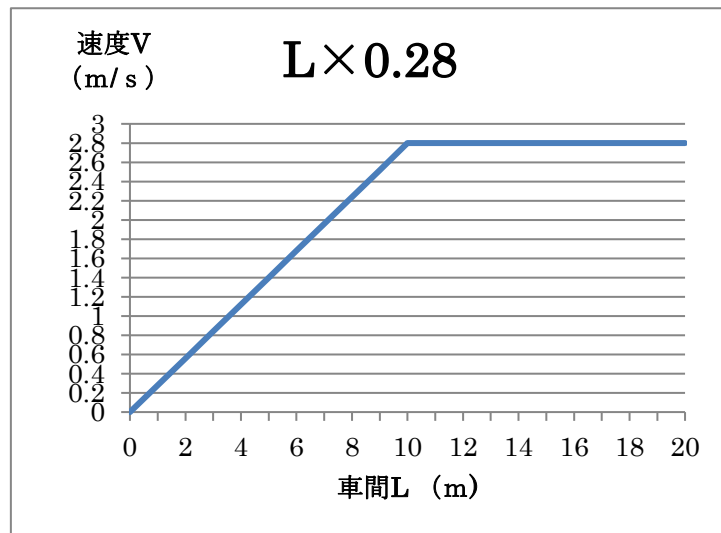


図-11 減速モード L×0.28

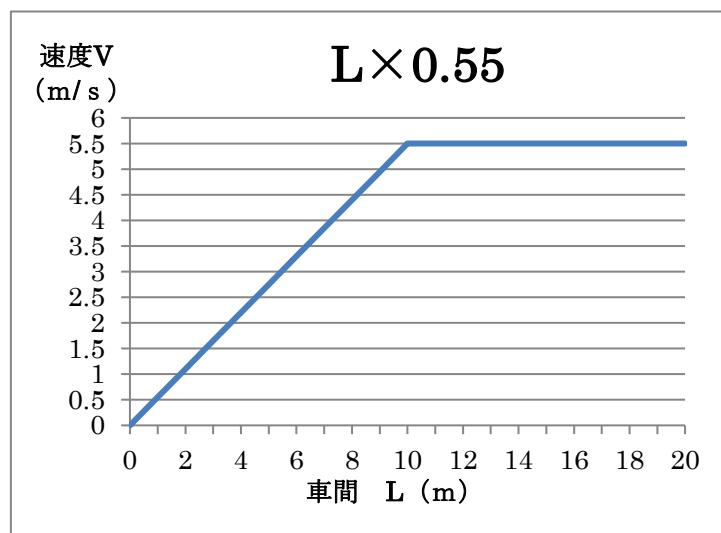


図-12 減速モード L×0.55

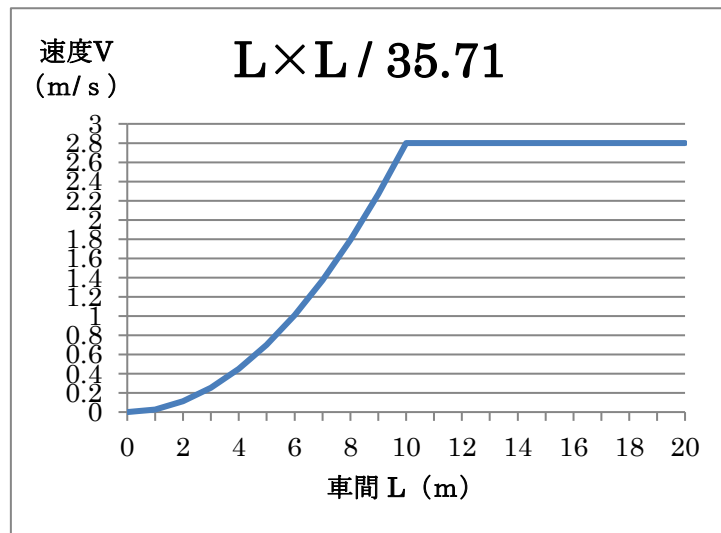


図-13 減速モード $L \times L / 35.71$

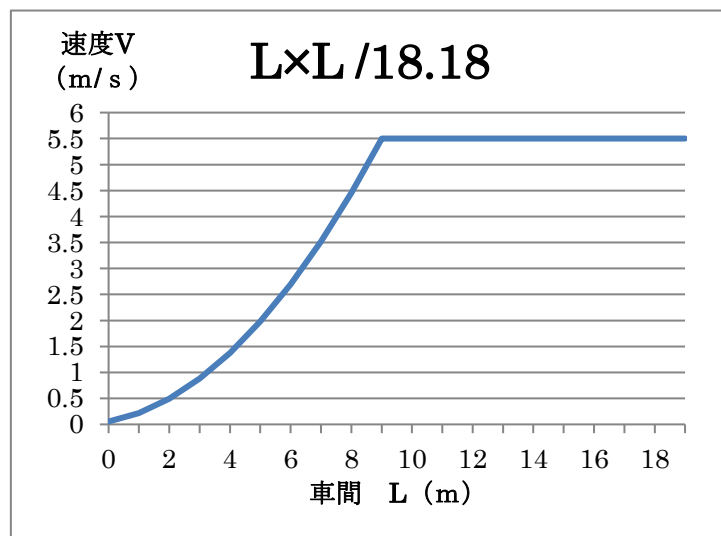


図-14 減速モード $L \times L / 18.18$

3.2 奥尻島における車の避難について

3.2.1 北海道南西沖地震概要

地震の震源は、北海道南西沖、震源の深さは 34 km、マグニチュード 7.8。奥尻島は地震計が設置されてないため、震度は 6 と推定される(図-11)。

震源に近い奥尻島は、地震発生から津波の 2～3 分で第一波の津波が来襲したとみられている。

地震による死者は 172 人、行方不明者は 26 人。今回、調べた青苗地区の死者は 87 人、行方不明者は 20 人であった¹³⁾。



図-15 北海道南西沖震源地¹³⁾



図-16 北海道奥尻町青苗地区被害状況図¹⁴⁾

3.2.2 調査地区概要

奥尻町青苗地区は奥尻島の南東部にある。この地区は平野部の 1-5 区と高台の 6, 7 地区がある。小高い丘には緑が丘団地と言われる住宅地がある (図-13)。

この地区には当時 1015 人が住んでいたが、そのうち 107 人が亡くなった。このうち青苗 5 区では 214 人の住民のうち、72 人の行方不明者を出した (表-3)。青苗 5 区から高台までは約 1 km 程度であった。

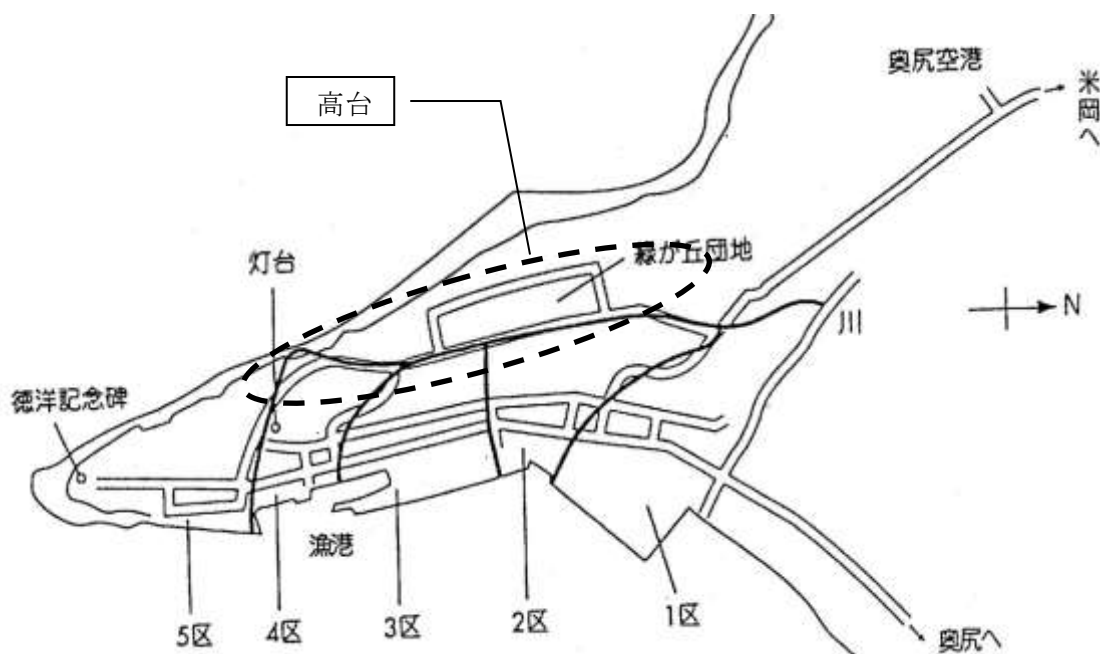


図-17 青苗築避難場所¹³⁾

表-4 青苗地区被害状況¹³⁾

	世帯数	人口	人的被害	全壊家屋
青苗 1 区	87	242	10	71
青苗 2 区	74	218	21	74
青苗 3 区	59	174	1	59
青苗 4 区	56	167	3	28
青苗 5 区	77	214	72	77
奥尻町全体	895	2559	197	428

3.2.3 実際の避難

津波の到達時間

表-5 北海道南西沖地震津波発生時刻¹³⁾

	時刻	時間差
地震発生	22:17	
津波警報	22:20	3分
津波到来	22:22	5分

奥尻島では、西から津波が襲った。地震発生後、津波は藻内地区には4分、青苗地区には4-5分で津波は到達した。震源地が近かったため、地震発生直後に津波が来たと考えられる¹⁴⁾。

避難の時期

表-5より奥尻町の住民の平均避難時間は5.3分となっている。5分以内の避難は75.2%である(表-5)。平均時間の5.3分で避難を開始した場合、青苗地区は、津波が到達している時間になっているため、避難が間に合わない。

表-6 避難時間¹³⁾

	N	%
1分以内に避難	8	4.4
1分後	5	2.7
2分後	9	4.9
3分後	30	16.5
4分後	20	11.0
5分後	65	35.7
6分後	2	1.1
7分後	2	1.1
8分後	2	1.1
10-14分後	21	11.5
15-19分後	1	0.5
20-24分後	4	2.2
30-34分後	1	0.5
無回答	12	6.6
合計	182	100

平均時間:5.3分

避難手段

自動車で避難した人が47.8%いた(図-14)。また、家族全員で避難した割合が65.4%もいた(図-15)。グラフから分かるのが、多数の住人が、家族全員または、家族の一部、近所の人たちと一緒に、車に乗って避難している。

高台から一番遠い青苗地区5区から、避難場所の高台まで約1キロほどである。その距離を車で避難するということは、家族や家財道具を守るために車を使ったと思われる。

地震の後、走って逃げた人は避難できたが、歩いて避難した人や、車に家財道具詰め込んでいた人、家族を迎えに行った人は被害にあったと記述があった。また高齢者が多く被害にあっているため、走って高台まで避難できない可能性があった(図-16)。

青苗地区では、車で避難中に亡くなった世帯は、推定で8世帯ほどであった。車で避難する時に、貴重品など家財道具を積み込んで避難するため、そうした避難が遅れた車により渋滞が起これり津波にあった可能性がある。

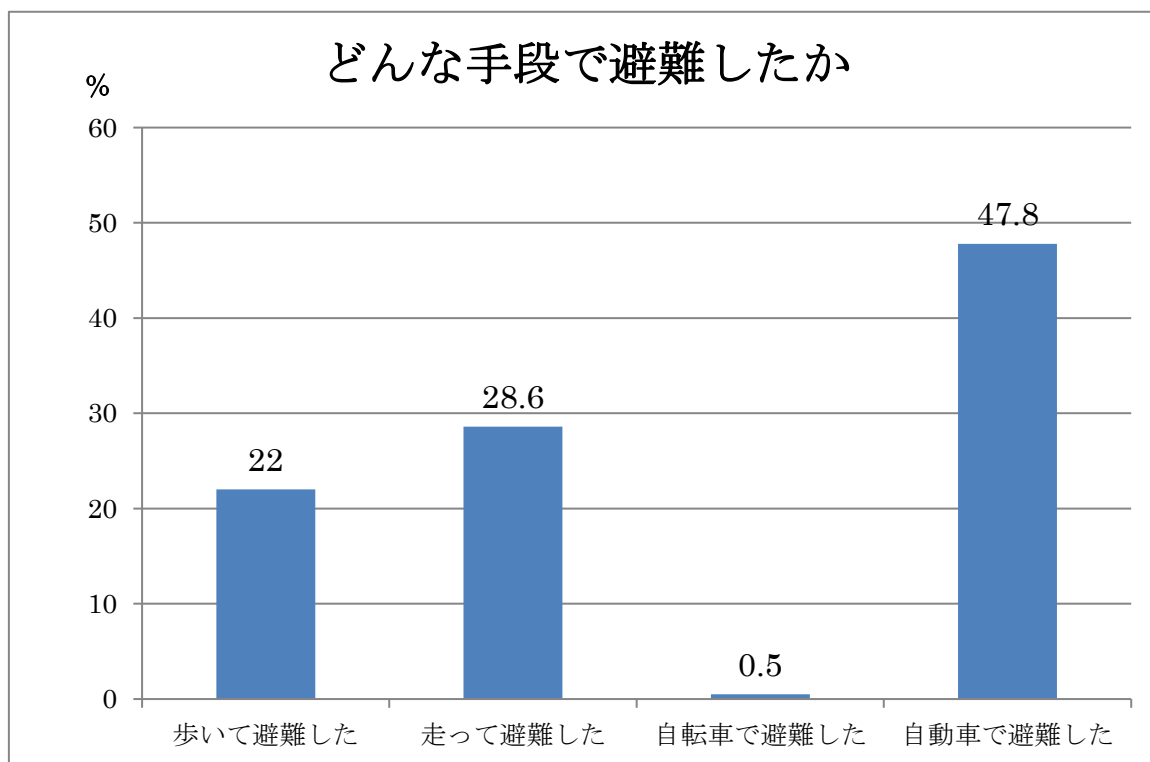


図-18 どんな手段で避難したか¹³⁾

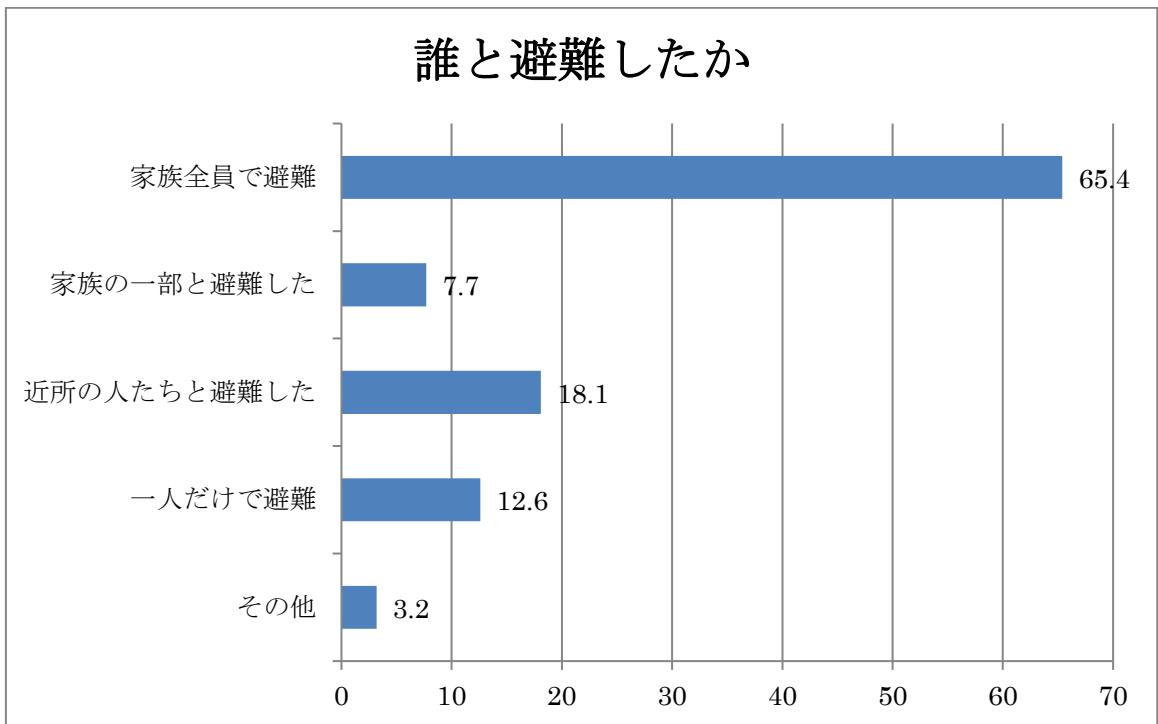


図-19 誰と避難したか¹³⁾

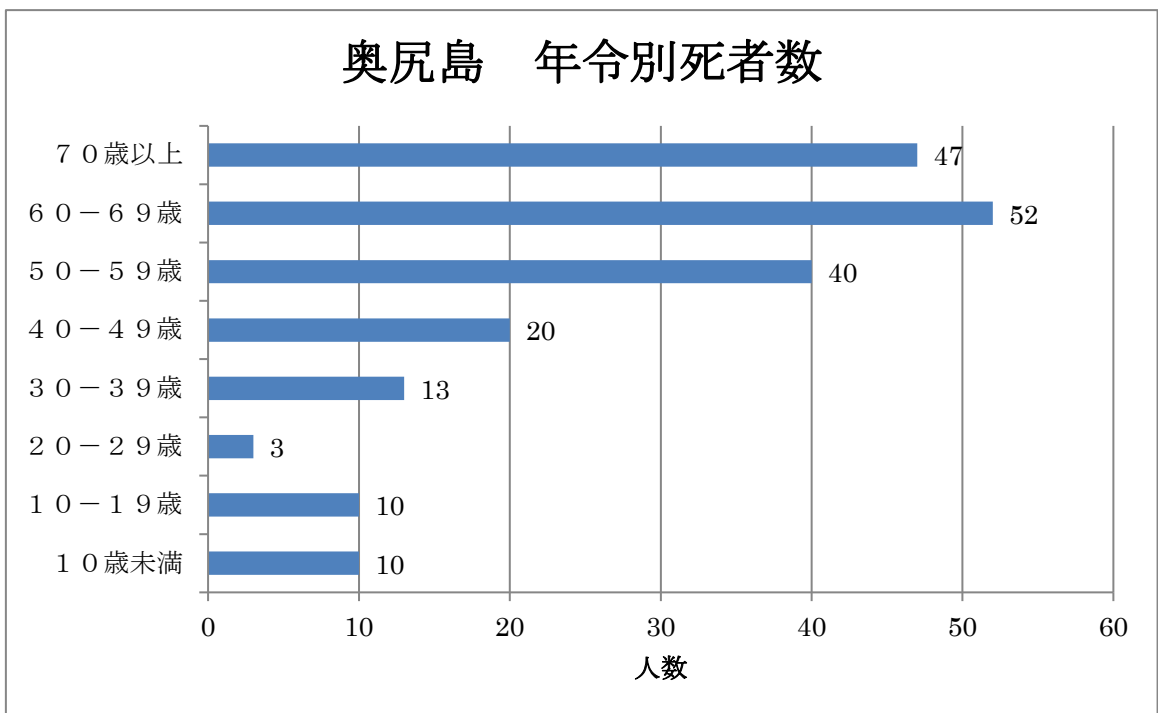


図-20 年齢別死者数¹³⁾

津波避難時に車を使用して被害

表-6 から車を利用して被害にあった住人が 7 名ほど確認されている。

表-7 青苗 5 区の死者行方不明者と推定される状況¹³⁾

番号	氏名 (性別・年齢)	推定される状況
9	H. R (男・73)	車で避難中に津波にあう。
12	H. T (女・70)	H. K (男・38) が車を運転。
	H. K (男・38)	
23	T. K (男・62)	早くから避難開始していたが、車で避難中、津波にあう。夫婦。
	T. S (女・50)	
48	O. T (女・55) O. M (男・29)	O. M さんが車の鍵を取りに行く。逃げる方向を間違えた。

3.2.4 避難時間計算

計算対象

北海道奥尻町青苗5区

人口 214人

世帯数 77世帯

車の台数 40台

想定した避難経路

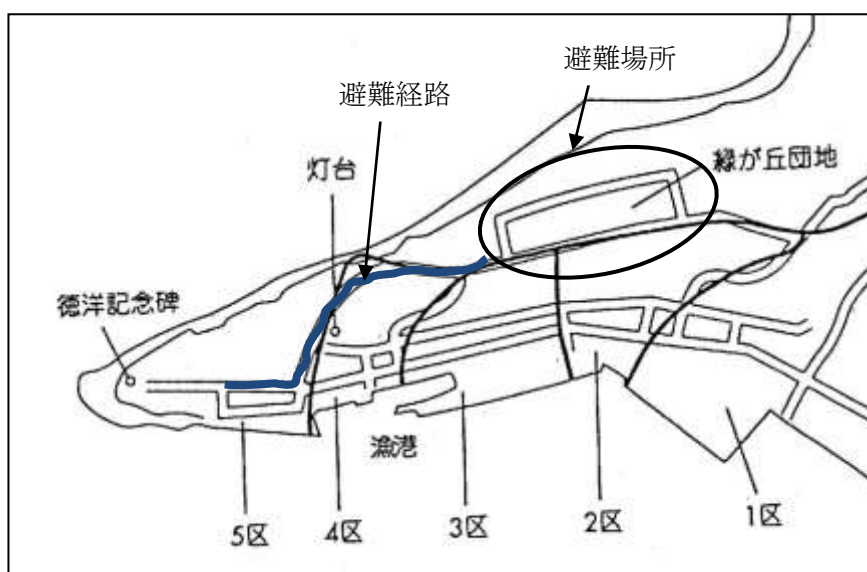


図-21 想定した避難経路

計算結果

表-8 計算結果

台数	青苗5区 10台	青苗5区半数 20台	青苗5区全車両 40台
避難時間 (速度3秒維持)	2.8分	3.2分	4.1分
避難時間 (速度4秒維持)	2.8分	3.4分	4.6分
避難時間 (速度5秒維持)	2.9分	3.6分	5.1分

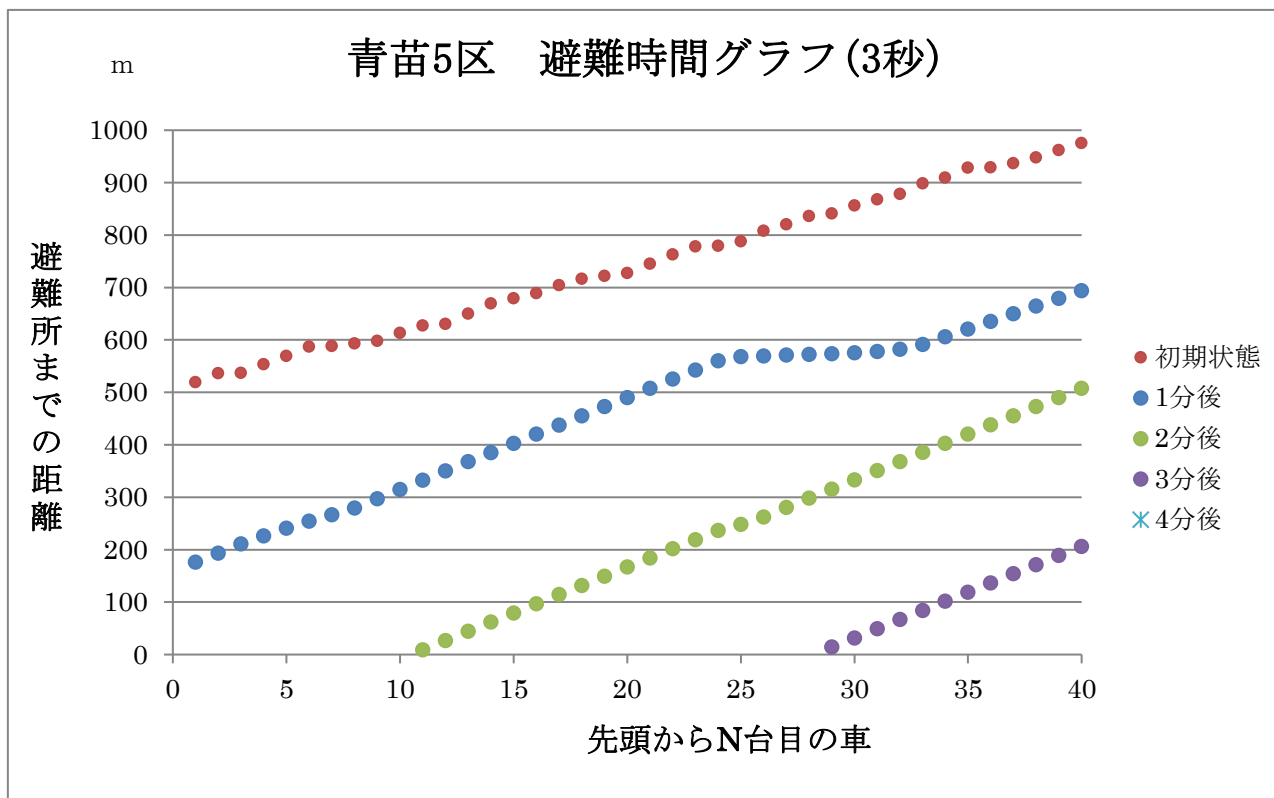


図-22 青苗5区避難時間グラフ 速度3秒維持

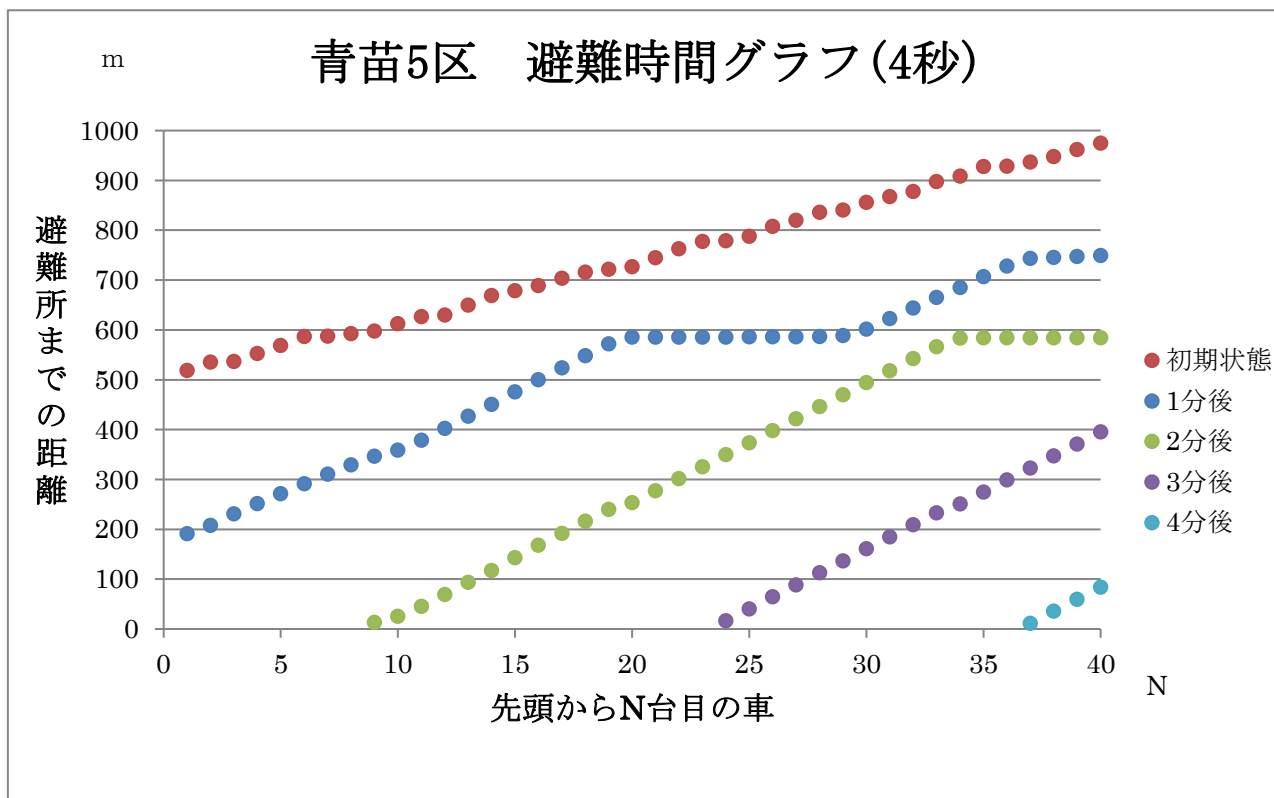


図-23 青苗5区避難時間グラフ 速度4秒維持

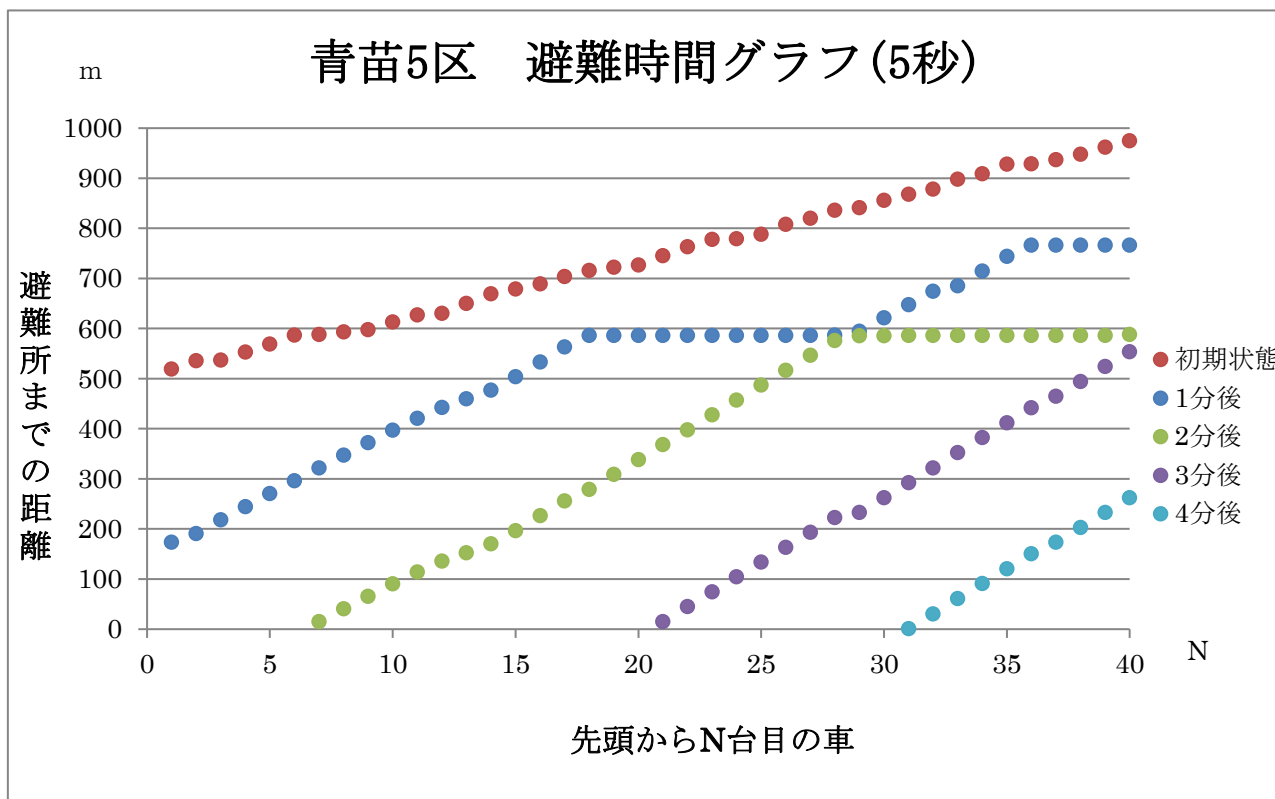


図-24 青苗5区避難時間グラフ 速度5秒維持

3.3 宮城県名取市閑上地区における車の避難について

3.3.1 調査地区概要

宮城県名取市閑上地区

人口 5530 人（平成 23 年 2 月末¹⁶⁾）

特徴

漁港を中心とする市街地。海岸からすぐに市街地が形成されており、名取市の他の地区と比べても被害が大きい地区であった¹⁷⁾



図-25 名取市閑上地区（出典：グーグルマップ）

渋滞

「宮城県名取市の閑上地区でも、海岸から市役所方面などに向かう県道に車が殺到」この記事から県道 129 号線が渋滞し、津波に流され被害にあったと思われる。また、名取市閑上地区の津波の際のニュース映像で確認をした。渋滞をしているとはいえないが、多数の車が津波に流されそうな映像が残っていた（図-22）。



図-26 渋滞と津波の状況映像²⁰⁾

3.3.2 津波浸水状況



図-27 名取市関上地区遡上区域（出典：国土地理院）



図-28 名取市関上地区 2009年3月31日 (Google earth)

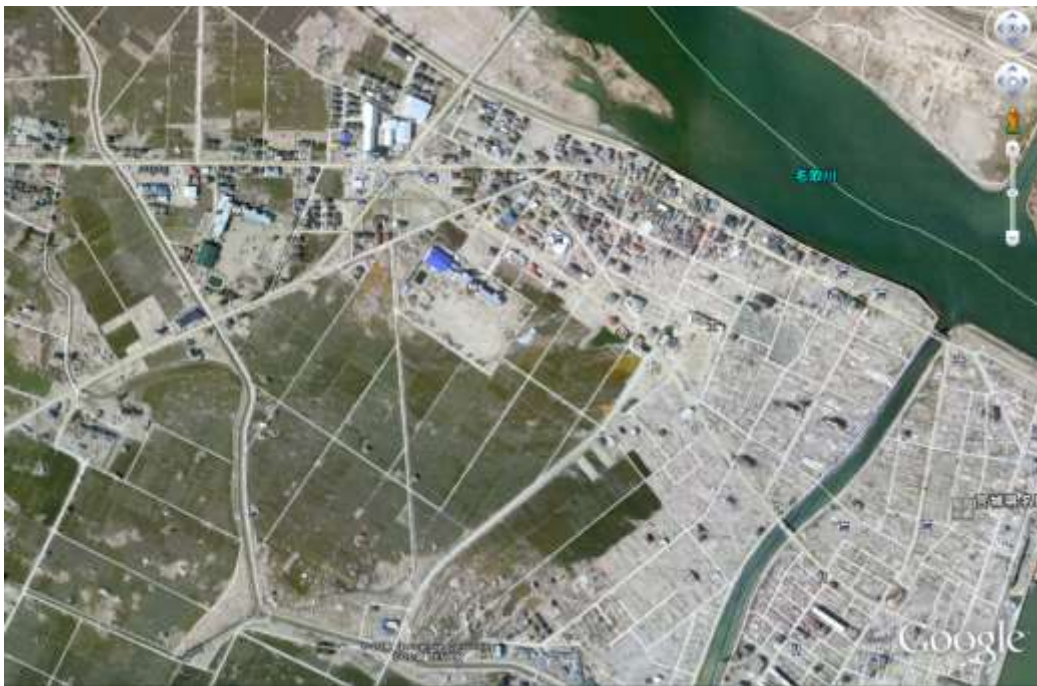


図-29 名取市関上地区 2011年3月14日 (Google earth)

3.3.3 各種避難計算

計算対象

関上3丁目、4丁目、5丁目、6丁目

人口:2706人

世帯:988世帯

車の台数:1290台

面積:800m²

被害状況:死者 894人 行方不明者 176人

想定した避難経路



図-30 想定した避難経路

表-9 閑上地区全体

台数	閑上地区半数 645 台	閑上地区全車両 1290 台
避難時間 (速度 3 秒維持)	29.51 分	56.75 分
避難時間 (速度 4 秒維持)	38.12 分	74.71 分
避難時間 (速度 5 秒維持)	44.74 分	90.26 分

表-10 丁別計算結果

台数	閑上地区 3 丁目 155 台	閑上地区 4 丁目 354 台	閑上地区 5 丁目 222 台	閑上地区 6 丁目 555 台
避難時間 (速度 3 秒維持)	8.54 分	17.35 分	11.58 分	25.66 分
避難時間 (速度 4 秒維持)	11.14 分	22.25 分	14.93 分	33.57 分
避難時間 (速度 5 秒維持)	12.77 分	39.67 分	17.04 分	38.73 分

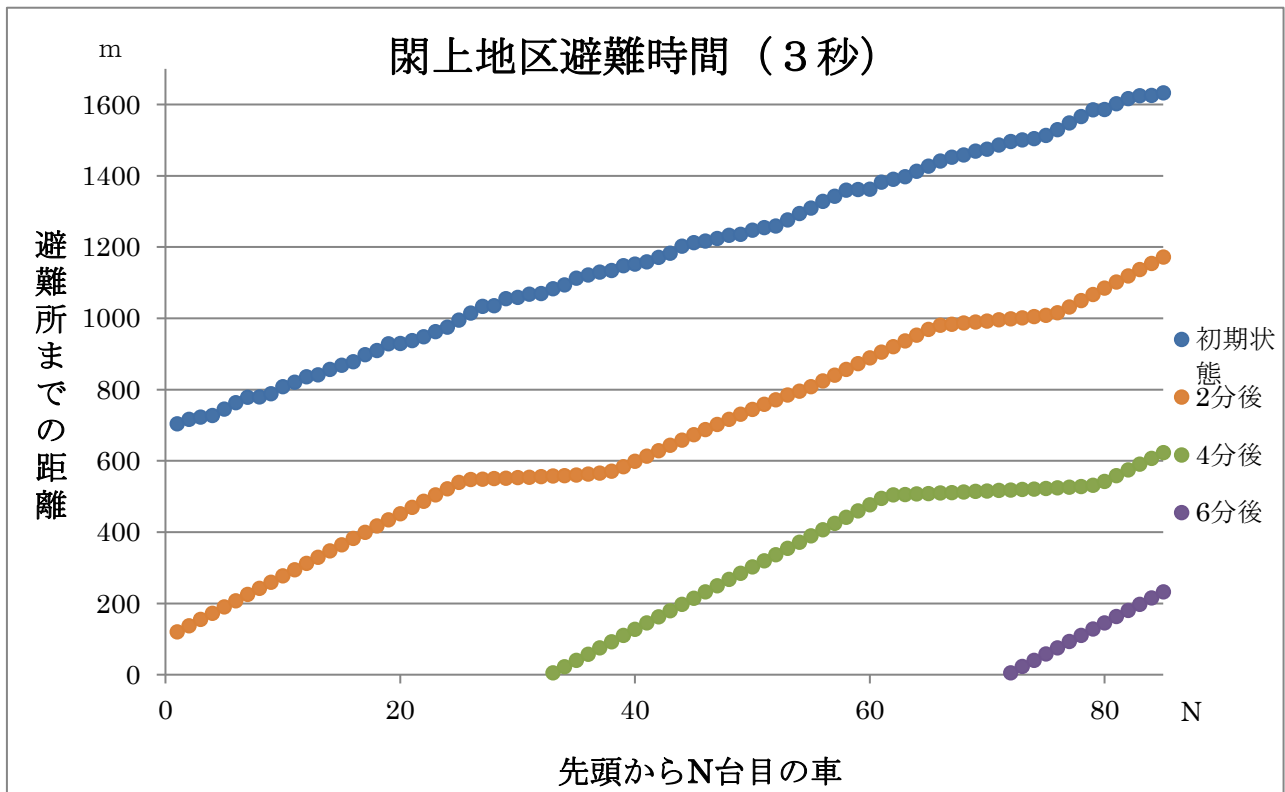


図-31 閑上地区避難時間グラフ 速度 3 秒維持

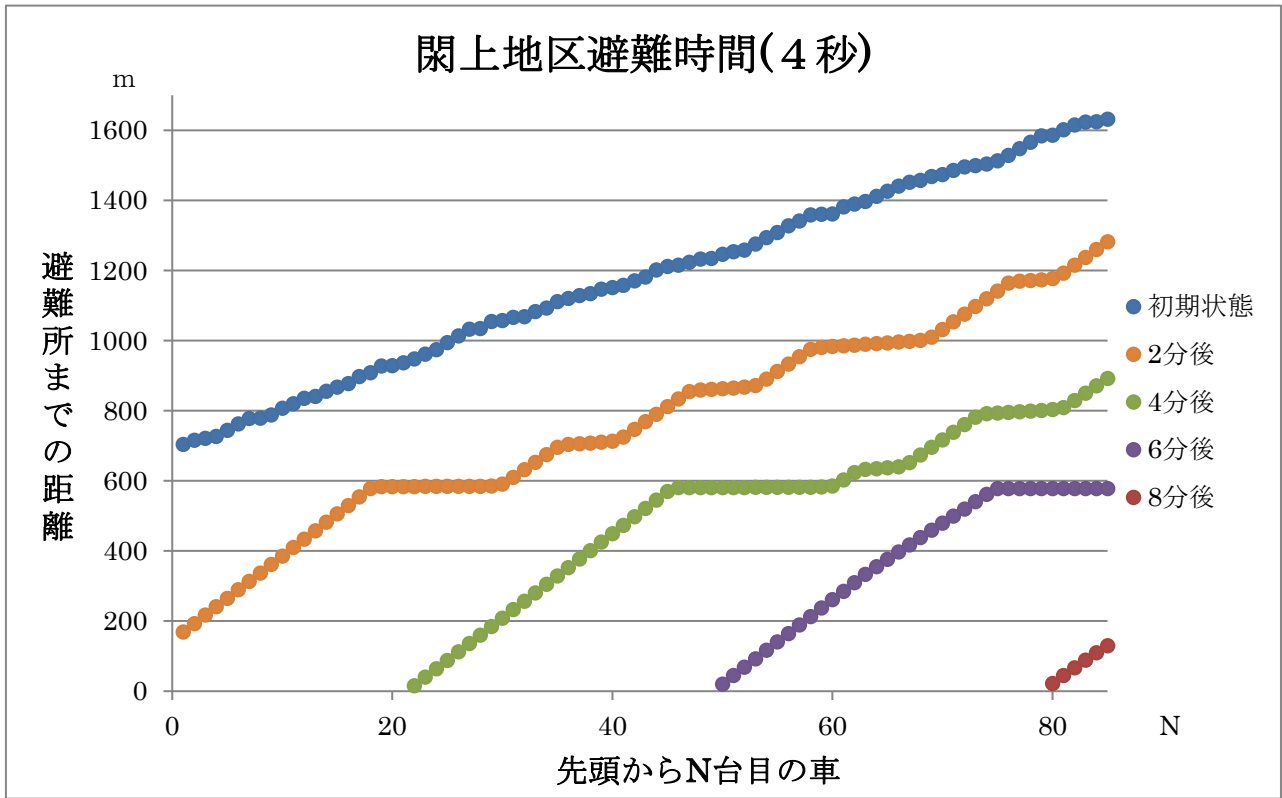


図-32 閑上地区避難時間グラフ 速度4秒維持

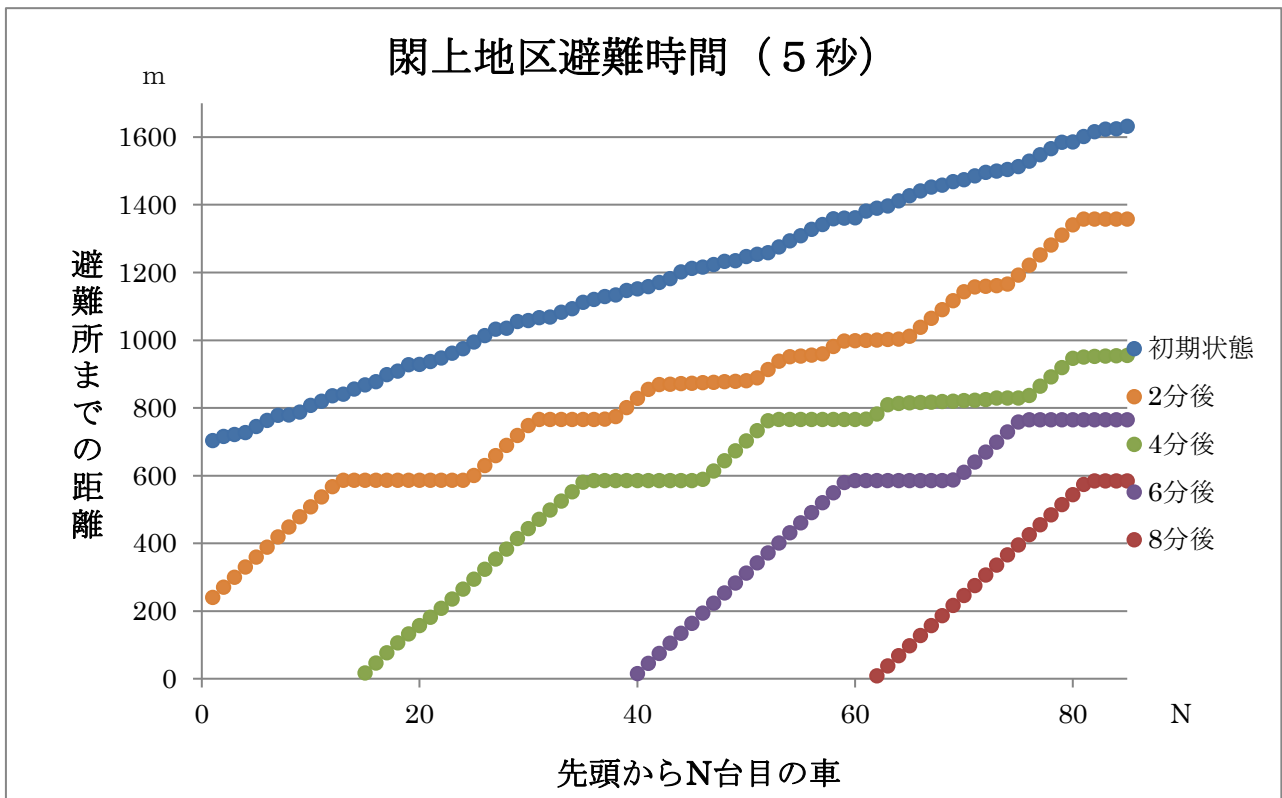


図-33 閑上地区避難時間グラフ 速度5秒維持

第4章 考察

4.1 奥尻島

北海道南西沖地震では地震発生から2分後に津波警報が発令され、その3分後に津波が到達した。震源地が近かったため、地震から津波まで5分と短かった。そのため計算結果の5秒では、地震発生直後に青苗5区の住人が車で避難した場合、高台まで避難できる計算だった。

しかし、津波警報が発令してから避難をした場合は、避難場所に到達する前に津波が到達してしまい避難途中で津波に巻き込まれる。青苗5区の半分の台数の20台で計算結果を出すと、3.5分と間に合う計算になった。そのさらに半分の10台で計算をすると2.9分と津波警報が発令されてから避難を開始しても間に合う結果となった。しかし、青苗5区は世帯数77世帯、人口214人であるため、10台の車で逃げるのは困難である。地震発生後すぐに徒歩や走って、逃げるのが重要になってくる。

4.2 名取市

東日本大震災では、津波警報が16分後、津波の到来が76分後だった。名取市閑上地区3～6丁目の全部の台数が地震発生直後に車で避難した場合、90.26分となり、津波の避難が間に合わない結果となった。半分の台数だと、44.74分で、避難所まで間に合う結果となった。津波警報を知ってから行動した場合は、間に合わない車も出てくる計算になる。

そして、町丁別に見てみると、名取市閑上三丁目のみ158台だと渋滞せずに避難所まで避難できる結果となった。

条件を変えた3秒ストップだと、閑上半分の台数で走った場合は、避難所までたどり着ける。閑上地区全台数でも、津波到達直前に避難所までたどり着ける計算結果となった。そのため、スムーズに走ることができれば、車両が多くても、避難所までたどり着ける。しかし、アンケートにあったように、地震発生直後は信号が停電のため点灯していない、また道に障害物があるためスムーズな避難は困難であると考えられる。そのため、津波からの避難の際に車の使用を制限することによって、渋滞による津波の被害は少なくなる。

第5章 結論

考察結果から津波避難における車利用は、台数が増えることによって渋滞が発生し、避難所まで避難ができないことがシミュレーションで分かった。そのため地域ごとに車で避難をする制度を作ることが必要になってくる。

奥尻島の被害者の年齢分布から、高齢者に被害が多かった。高齢者や体の不自由な方は歩いて避難することが困難なため、車で避難させることシステムを作る。その際に各々の家族が車に乗せて避難をさせるのではなく、地域ごとに乗合をしていくことによって、車の台数を減らすことができる。

その時に問題になるのが、津波警報が発令されてから避難時に車で逃げようとする人をどうやって歩いて避難するようにするかということである。徒歩で避難した人の避難距離は図-7のように72%が500m以内である。そこで避難ビルを500mごとに配置し、歩いて逃げることを容易にする。これは「東北太平洋沖地震を教訓とした・地震津波対策に関する専門調査会」でも、「避難ビル等の指定」の中で記されている。

自動車で安全に逃げるためには、山沿いの狭い道が多い石巻のような三陸海岸沿いや、名取市閑上地区のように平野部の道など、地域によって道路状況が違う。そのため、車を禁止にすることによって、平野部で避難所が遠いところにいる住人は、避難することができない場合がある。自動車で安全に避難できるように、各自治体で取り決めをしなければならない。その際に、それぞれの地域で、話し合いをし、車で逃げるルールを作る必要がある。

今後の課題

今回の計算のモデル化は、避難所までの道路を直線と仮定し、それぞれ車間距離をバラつかせて配置したものを使用した。そのため結果は、地震発生後すぐに車で避難を開始し、避難所までの時間をプログラムでシミュレーションしたものである。

モデル化が単純なため、モデル化を地域ごとに詳細に設定をし、シミュレーションをすることによってシミュレーション結果が有意義なものになるのではないかと思う。

《参考文献》

第1章

- 1) 防災中央審議会 http://www.bousai.go.jp/chubou/28/28_shiryo1-1.pdf

第2章

- 2) 津波からの避難情報 ウェザーニュース
<http://weathernews.jp/tsunami/html/mechanism/09.html>
- 3) 静岡県災害情報部
<http://www.pref.shizuoka.jp/bousai/chosa/sonae/tunami02.html>
- 4) 「津波避難ビル等に係るガイドライン」防災内閣府 2005.6
- 5) 東日本大震災 津波調査 2011年9月8日 weather news
http://weathernews.com/ja/nc/press/2011/pdf/20110908_1.pdf
- 6) 「東日本大震災の津波被災現況調査結果（第3次報告）」国土交通省
- 7) shell ホームページ
http://www.shell.us/home/content/usa/aboutshell/media_center/storm_center/are_you_ready/know_before_you_go/car_evacuation.html
- 8) New York City Office of Emergency Management
http://www.nyc.gov/html/oem/html/hazards/storms_hurricaneevac.shtml
- 9) Homeland Security Emergency Preparedness
<http://gohsep.la.gov/factsheets/WHATTODOINATORNADO.htm>
- 10) 「竜巻から身を守る 竜巻注意情報」気象庁
<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/tatumaki/tatsumaki2009.pdf>
- 11) VIRGINIA HURRICANE EVACUATION GUIDE
http://www.virginiadot.org/travel/hurricane_default.asp
- 12) Hurricane evacuation Wikipedia
http://en.wikipedia.org/wiki/Hurricane_Evacuations

第3章

- 13) JARTIC 財団法人 日本道路交通情報センター
<http://www.jartic.or.jp/guide/qhanrei.html>
- 14) 「蘇る夢の島 北海道南西沖地震災害と復興概要」奥尻町
- 15) 「1993年北海道南西地震における住民の対応と災害情報の伝達」
東京大学社会情報研究所 1994.1
- 16) 「平成5年北海道南西沖地震災害記録」北海道 1995.3
- 17) 東日本大震災 地域基盤再建総合調査団（第二次総合調査団）中間とりまとめ（案）
http://committees.jsce.or.jp/2011quake/system/files/2011_2nd_0059.pdf

- 18) 47news 2011年5月1日
<http://www.47news.jp/CN/201105/CN2011050101000460.html>
- 19) 名取市ホームページ
http://www.city.natori.miyagi.jp/soshiki/soumu/shisei/toukei/tikubetsu/node_10280
- 20) 名取市閑上地区渋滞映像 youtube
http://www.youtube.com/watch?v=eGyoMQVAtT0&feature=results_video&playnext=1&list=PL6544CA72840546E5
- 21) 「2万5千分1 浸水範囲概況図」 国土地理院
<http://www.gsi.go.jp/common/000061585.pdf>
- 23) YOMIURI ONLINE 2011年9月24日
<http://www.yomiuri.co.jp/national/news/20110924-OYT1T00621.htm>

付録

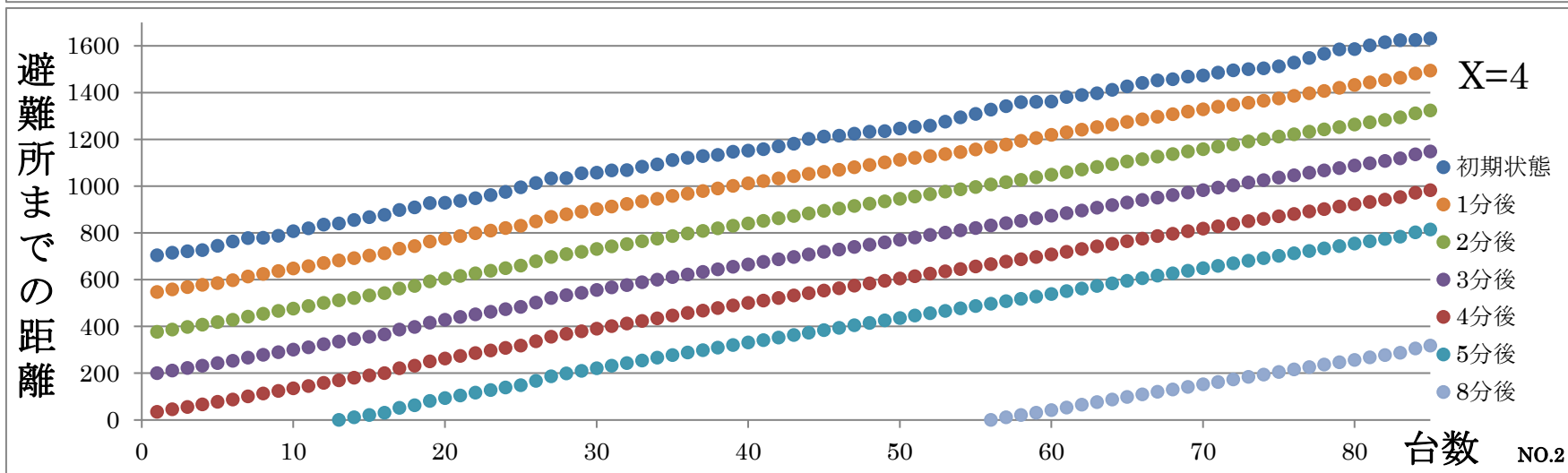
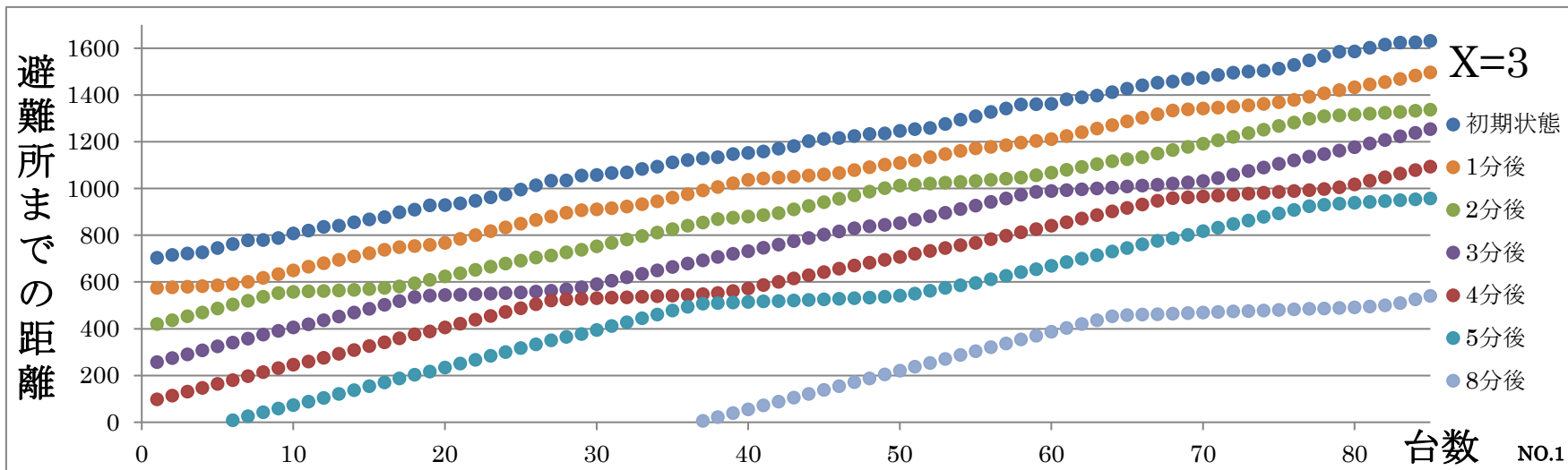
プログラム概要

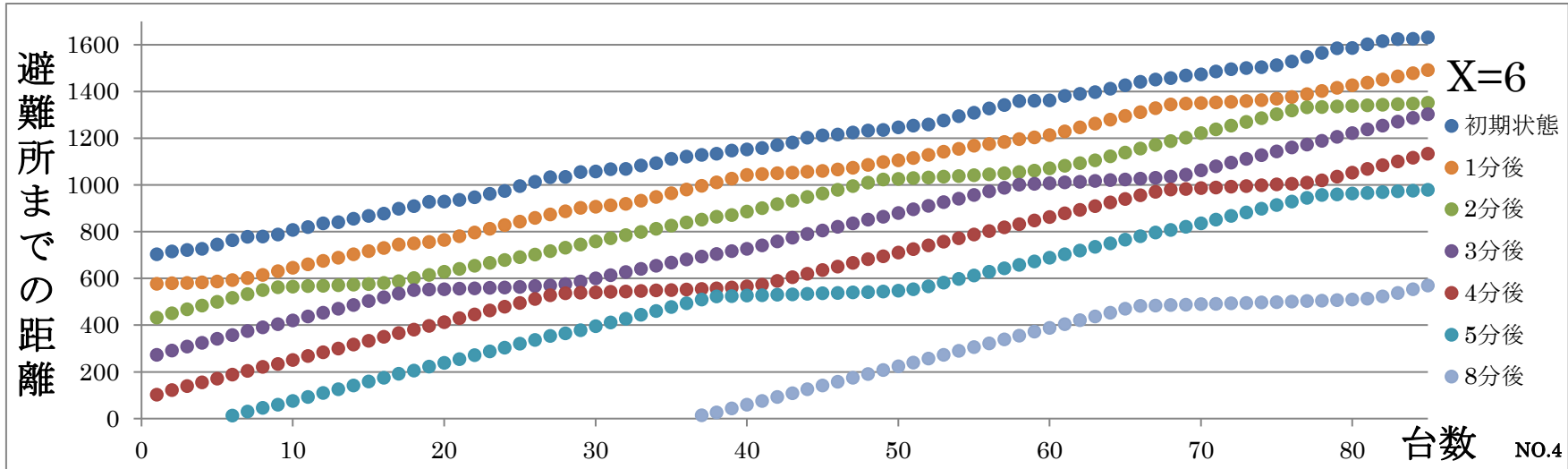
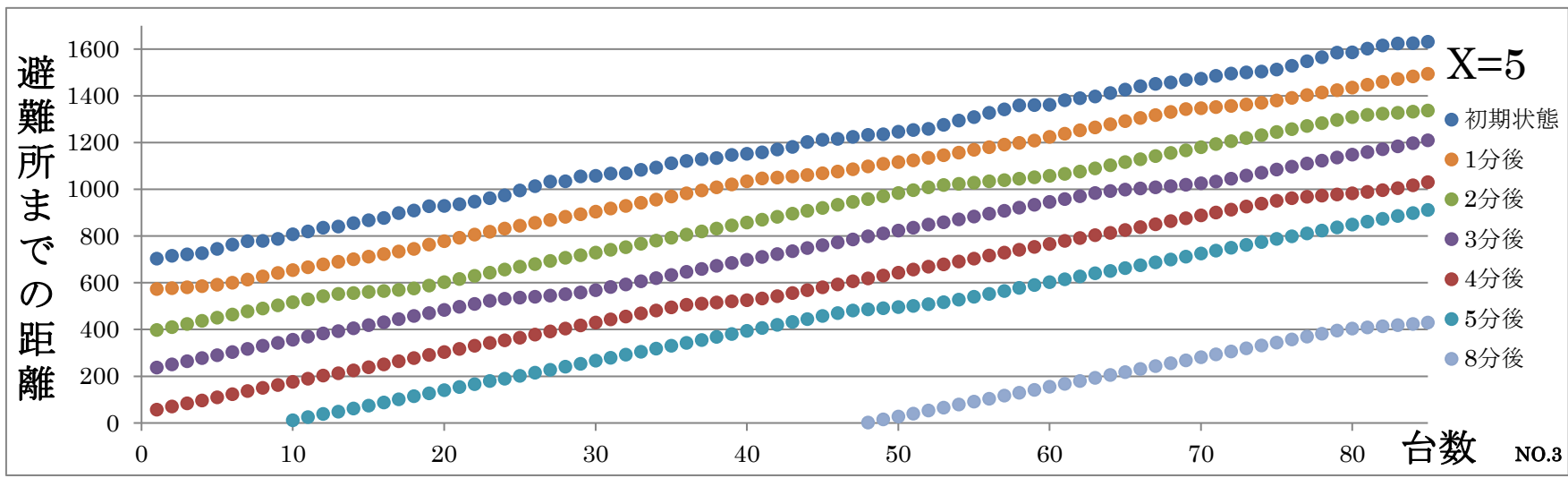
条件：車の台数：648 台

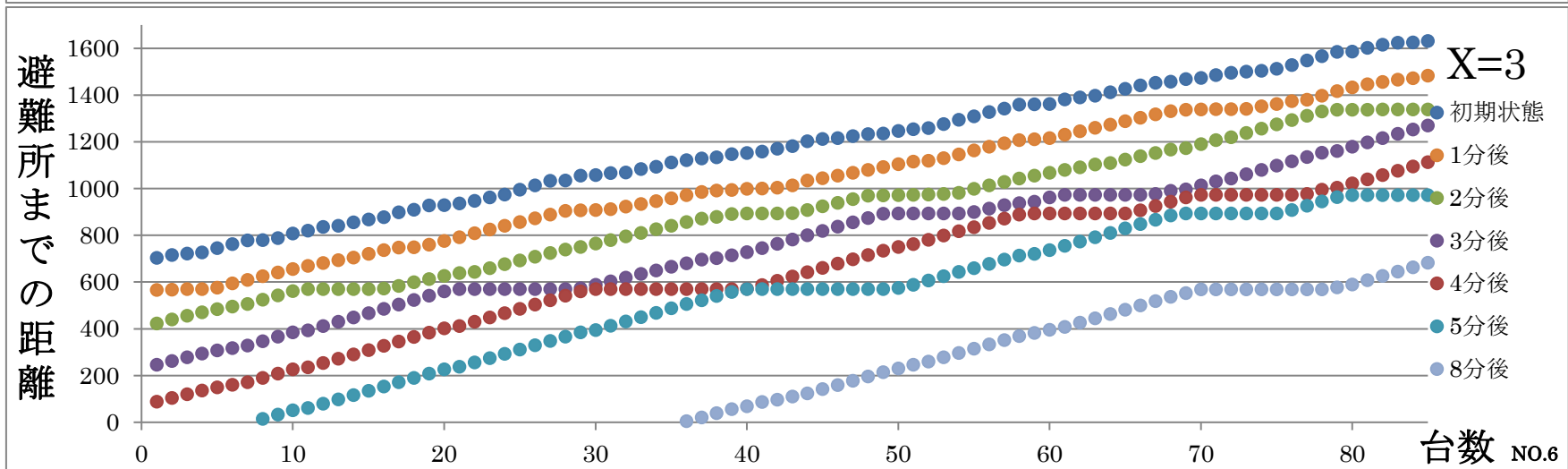
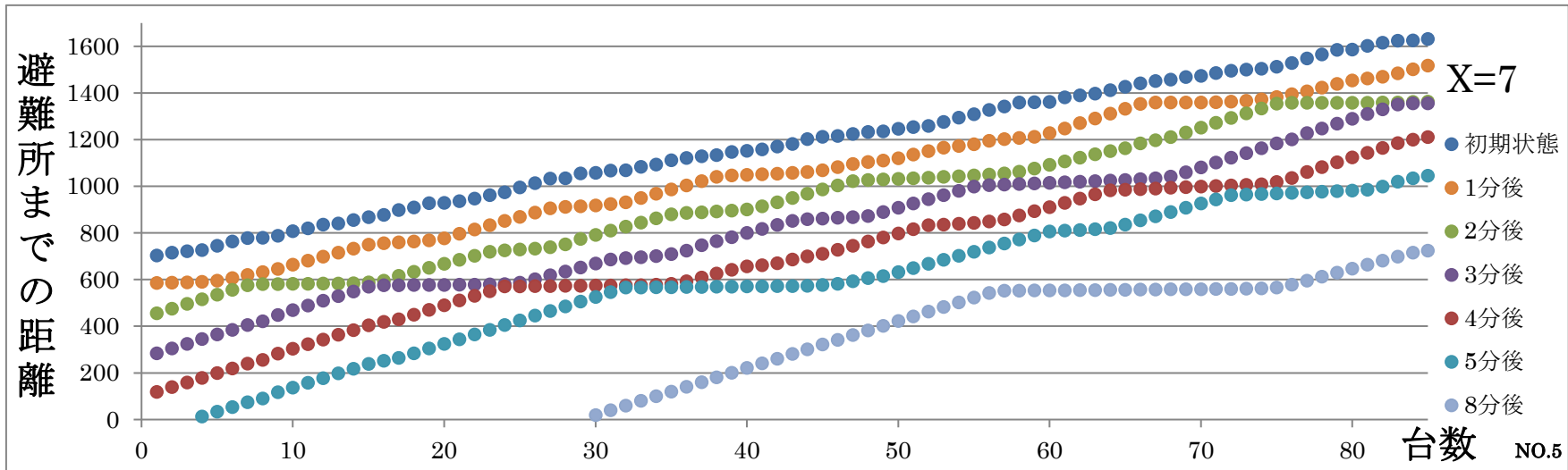
速度維持：5 秒

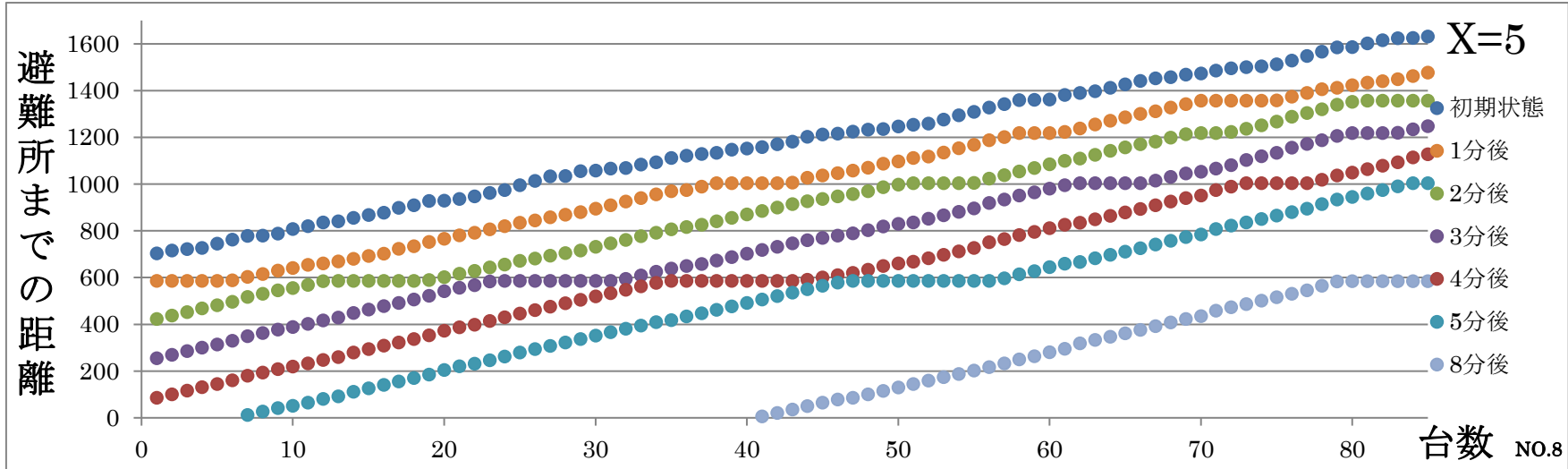
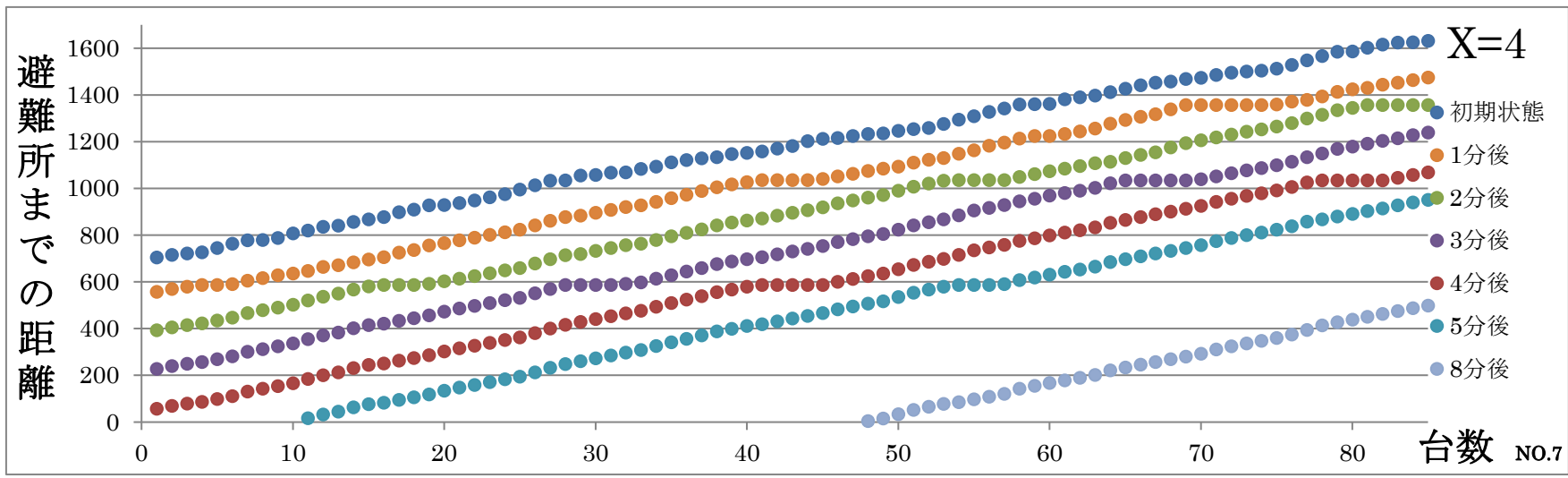
```
Sub 避難()  
Application.ScreenUpdating = False  
  
Dim V(4 To 648) As Double  
Dim LP(4 To 648) As Double  
Dim V2(4 To 648) As Double  
Range("K1") = 0  
X = 5 / Range("E2")  
  
For i = 4 To 648  
LP(i) = 0  
V(i) = 5.5  
Next i  
  
Do  
For i = 5 To 648  
If LP(i) > 0 Then  
LP(i) = LP(i) - 1  
Else  
L = Cells(i, 2) - Cells(i - 1, 2)  
  
If L < 10 Then  
V2(i) = L * 0.55  
If V2(i) < V(i) Then  
V(i) = V2(i)  
Else  
LP(i) = X  
End If  
Else  
V(i) = 5.5  
End If  
End If  
Next i  
  
ボタン = Range("H1").Value  
Range("H1").Value = ボタン + 1  
  
Cells(4, 2) = Cells(4, 2) - 5.5 * Range("E2")  
  
For i = 5 To 648  
Cells(i, 2) = Cells(i, 2) - V(i) * Range("E2")  
  
If Cells(i, 2) < Cells(i - 1, 2) Then  
Cells(i, 2) = Cells(i - 1, 2) + 0.01  
Range("K1").Value = Range("K1") + 1  
End If  
Next  
  
Loop While Cells(648, 2) >= 0  
  
Application.ScreenUpdating = True  
  
End Sub
```

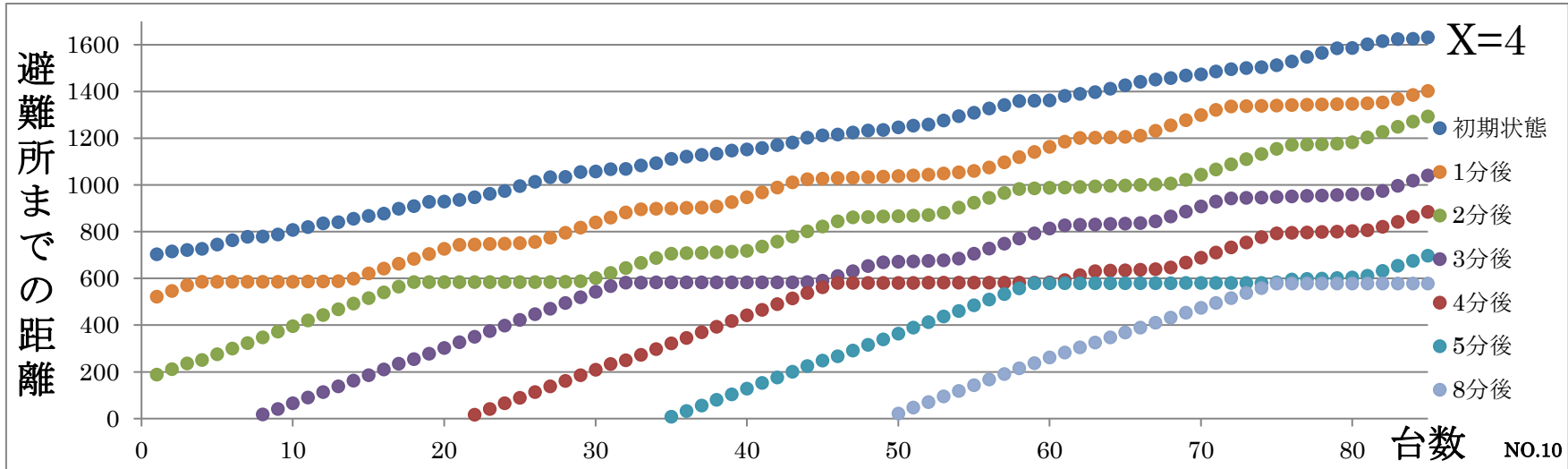
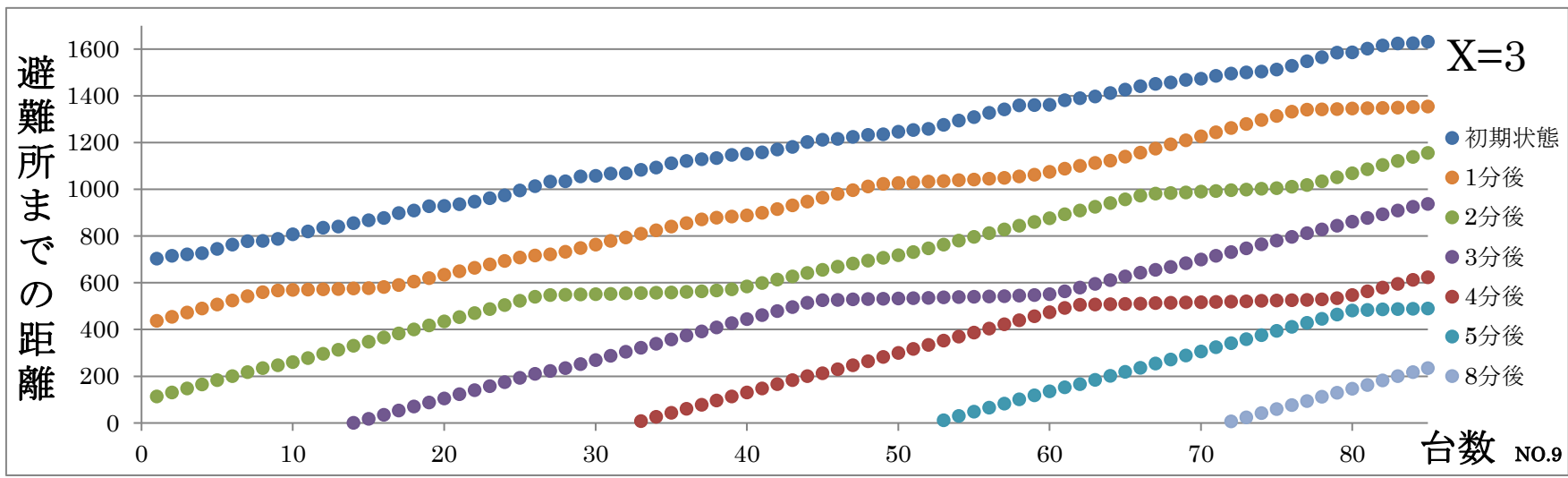
条件別シミュレーション避難時間グラフ

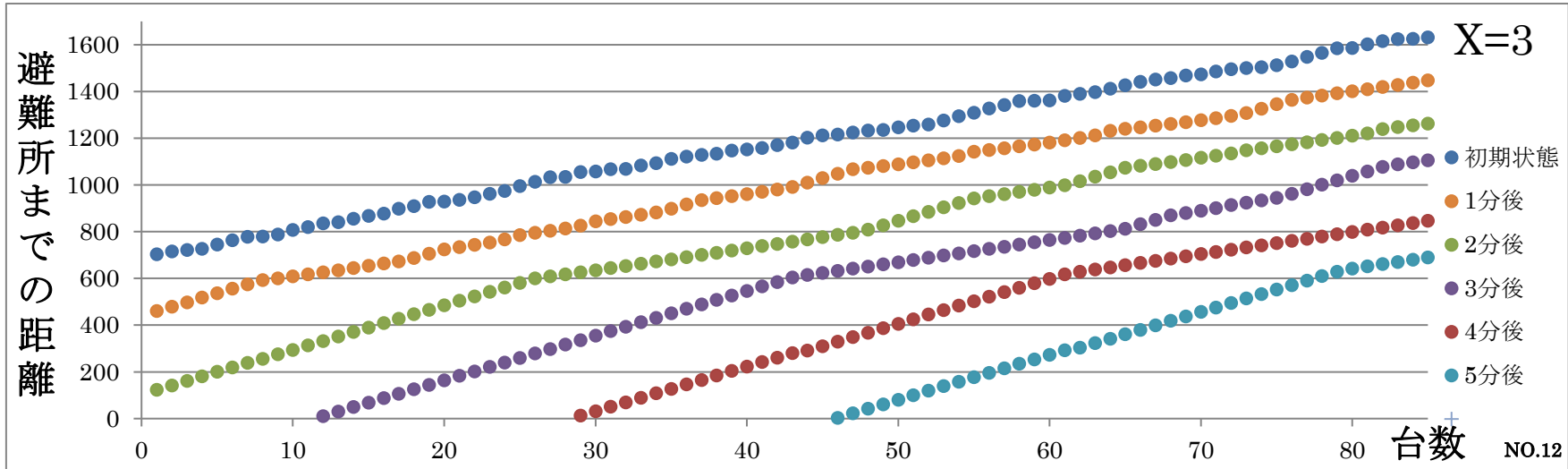
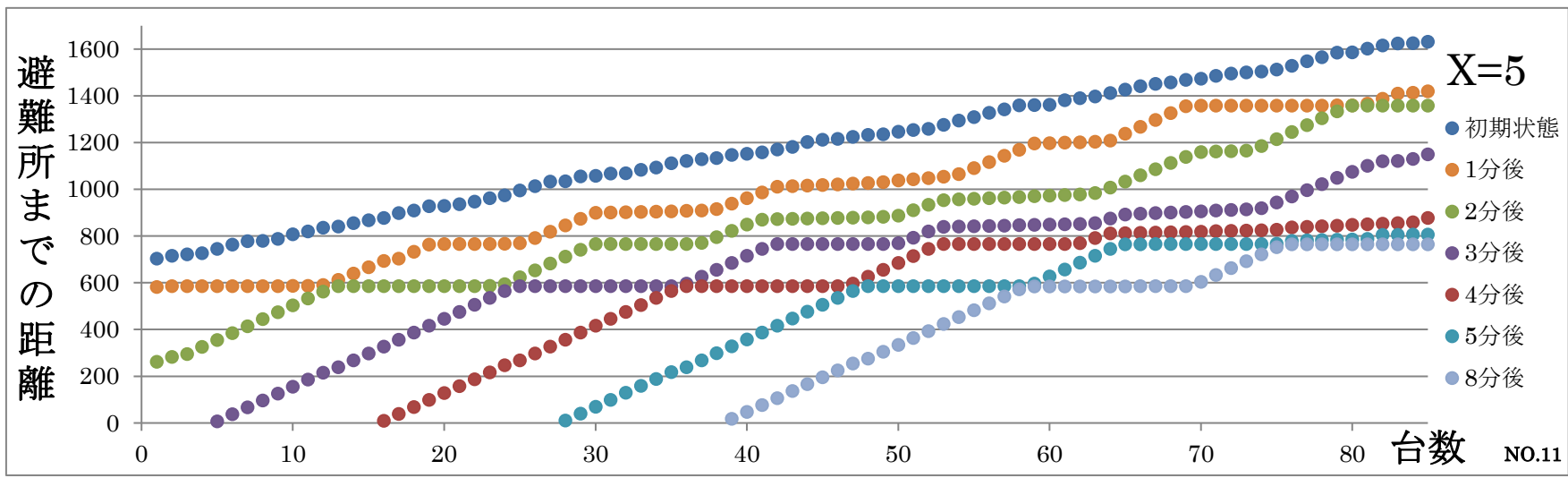


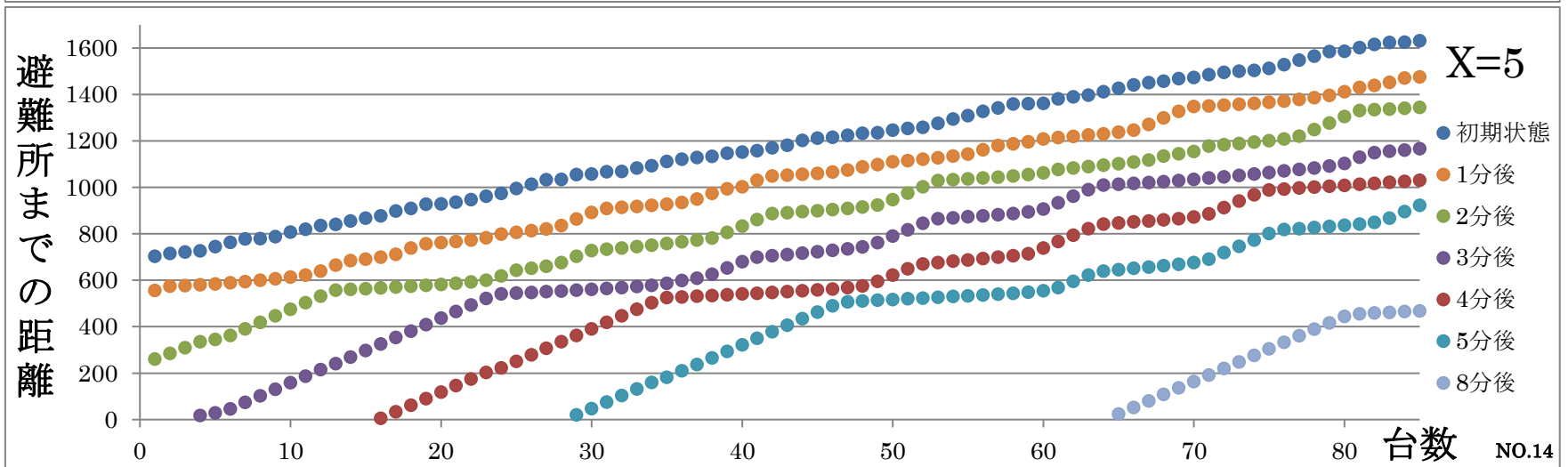
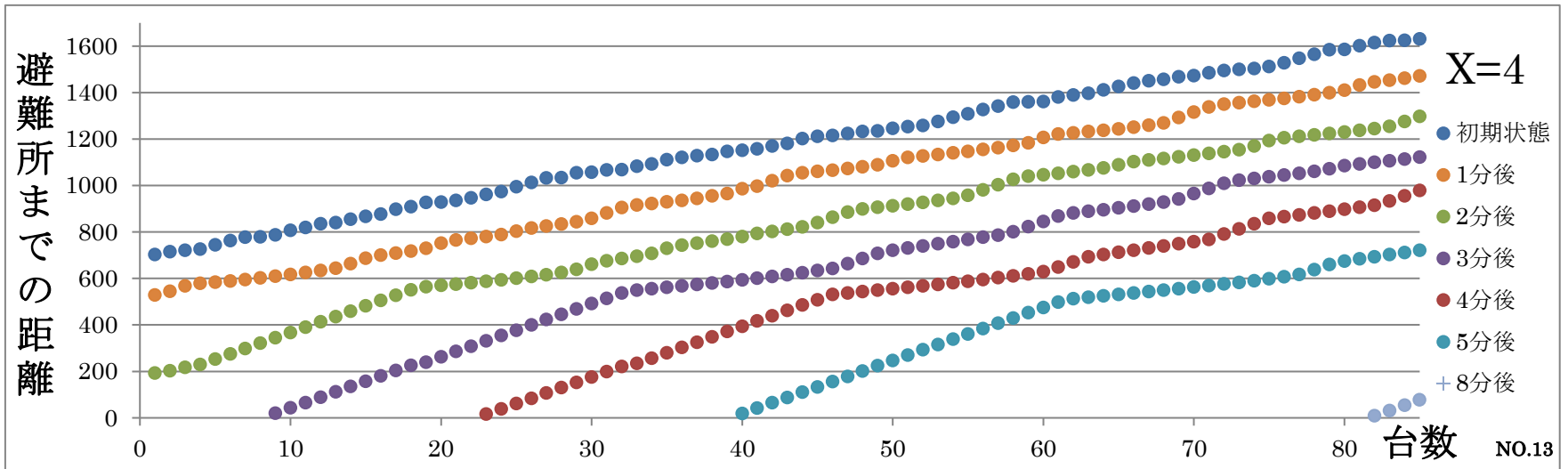


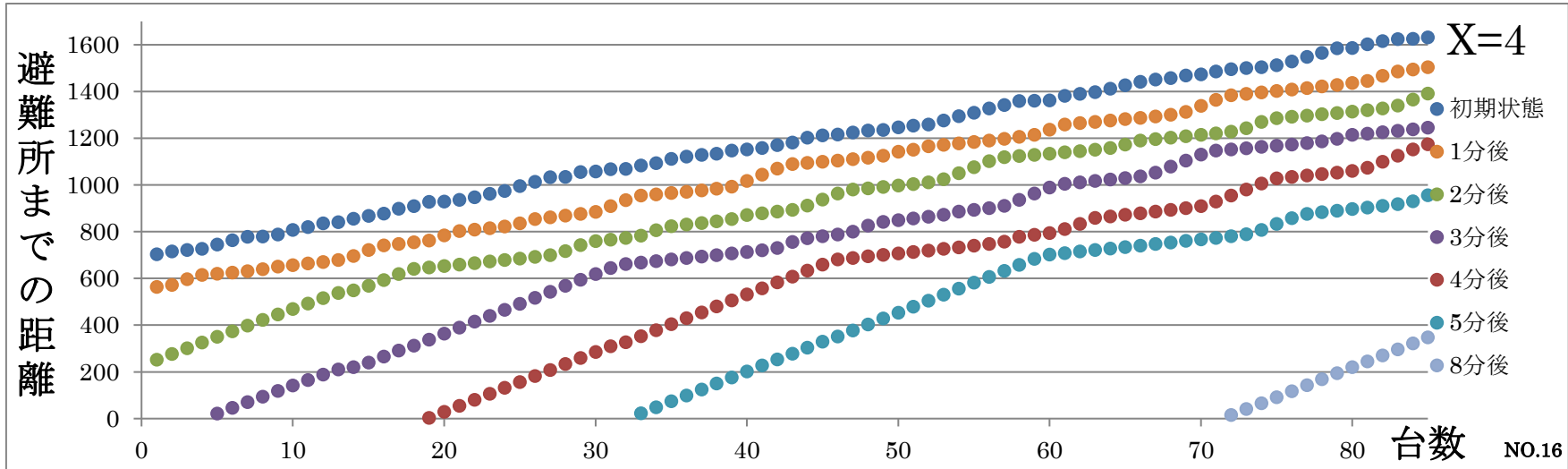
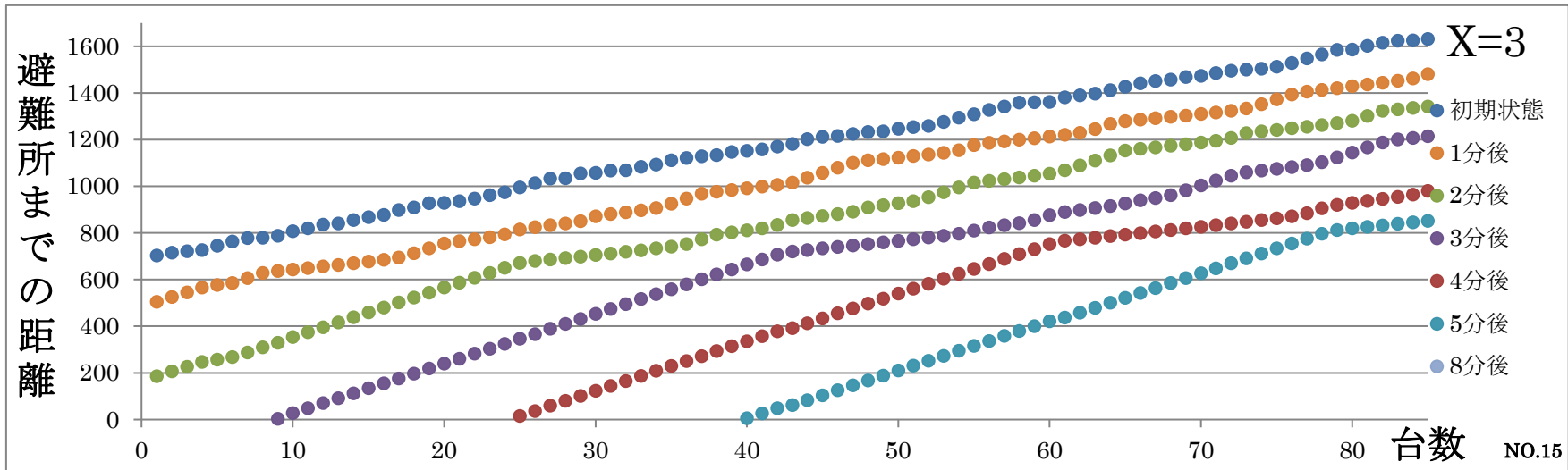


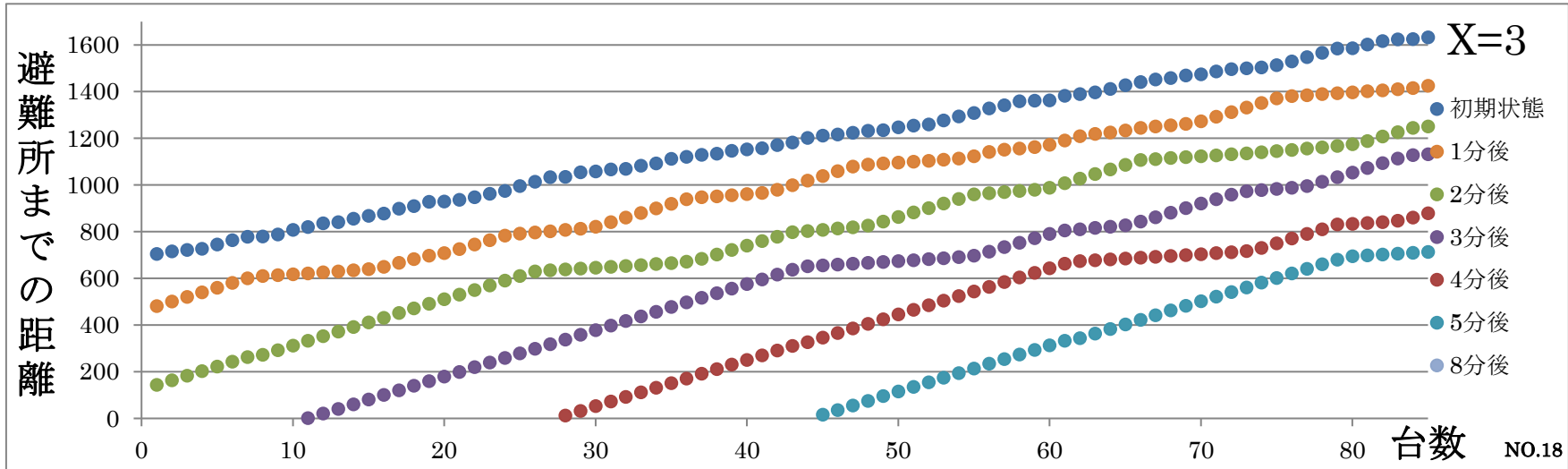
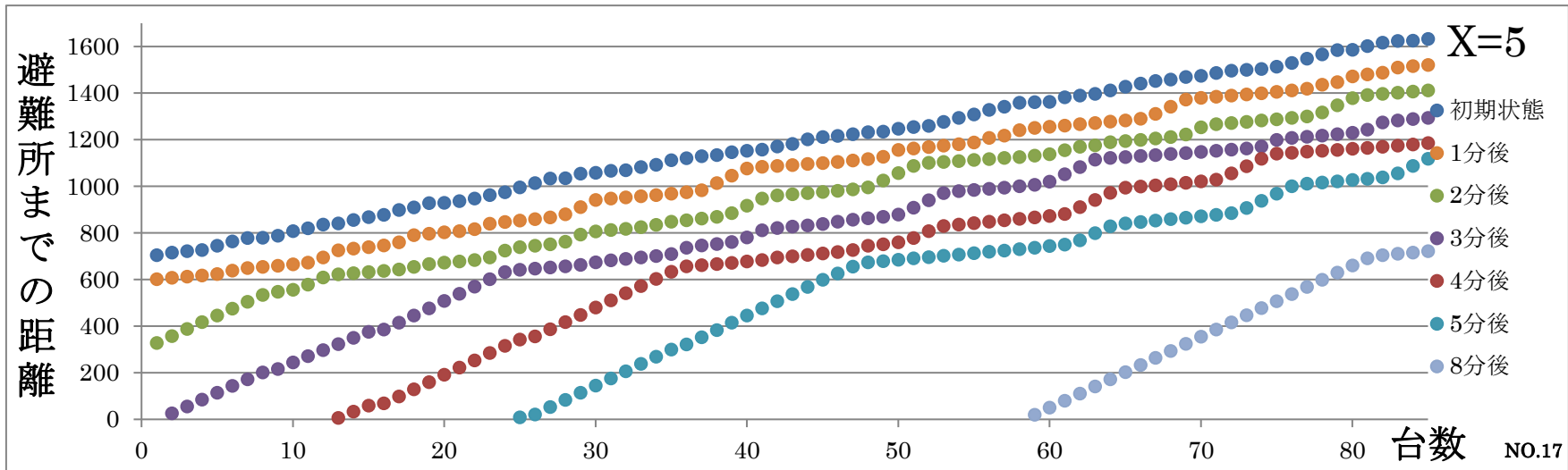


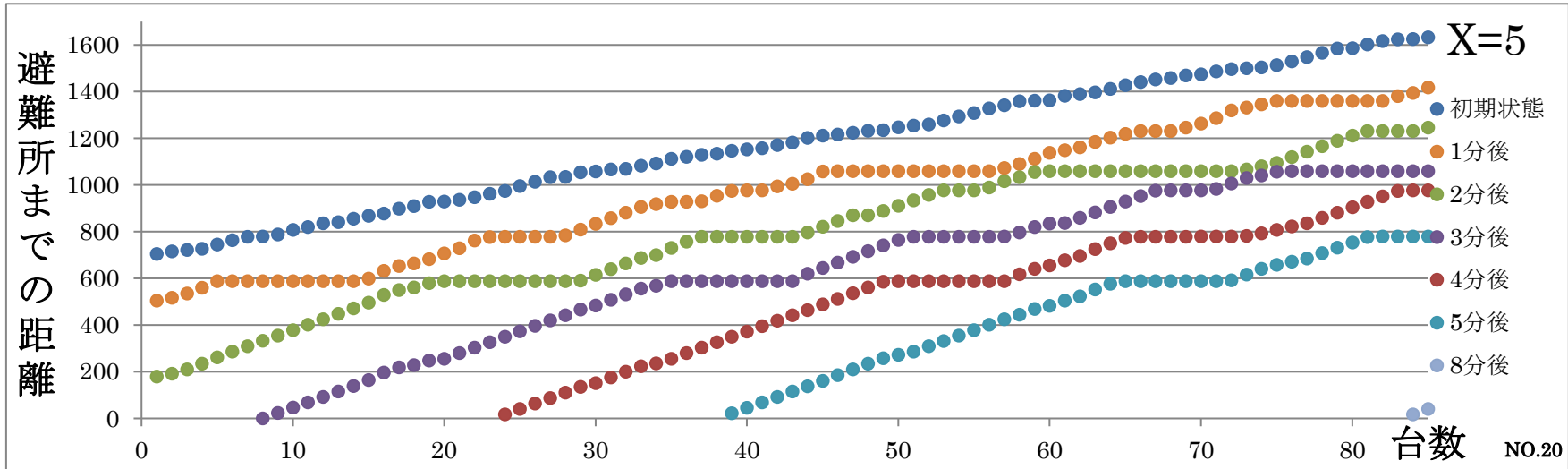
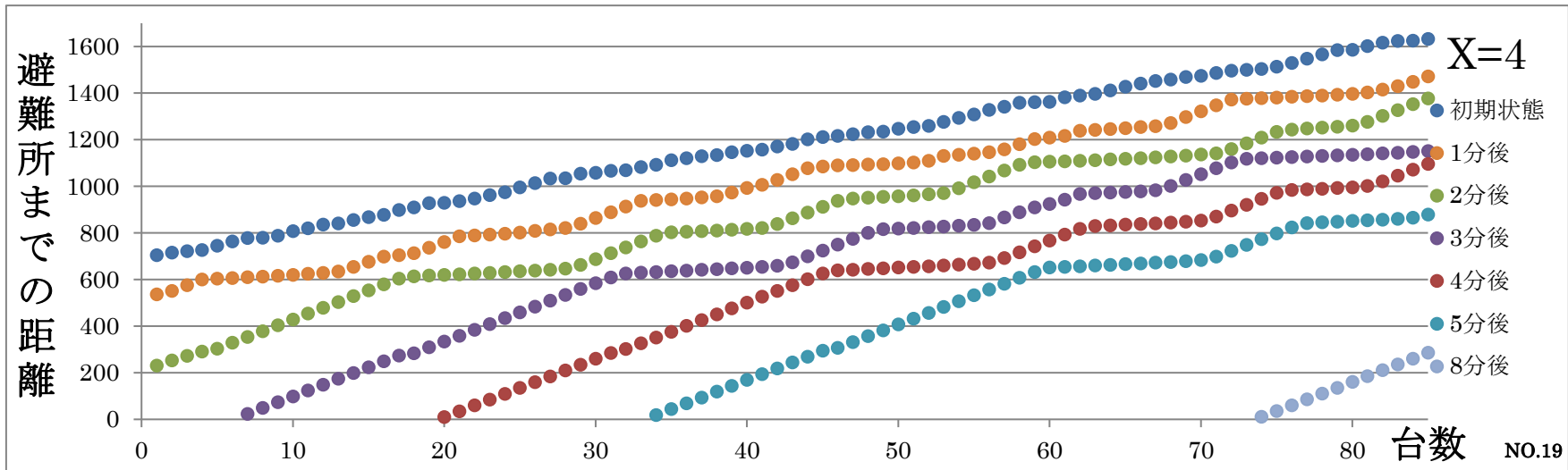












謝辞

本研究を進めるにあたり、熱心にご指導して頂いた辻本誠教授、西田幸夫先生に深く感謝いたします。2011年3月11日14時46分に起きた東日本大震災では津波により多くの被害が出ました。筆者の実家が宮城県のため、津波による避難について取り組みました。

車における避難という辻本教授の専門外の研究だったのですが、辻本教授が持っている知識の中から本研究に適した情報を与えてくれ、またわからない事でも筆者らと共に考え、方向性を示して頂けたからこそ、本研究をまとめる事ができました。ありがとうございました。