

博士論文

福島第一原発事故が住民の避難行動、周辺地域の
救急搬送体制、住民の健康に与えた影響に関する研究

森田 知宏

タイトル：福島第一原発事故が住民の避難行動、周辺地域の
救急搬送体制、住民の健康に与えた影響に関する研究

所属： 大学院医学系研究科生殖発達加齢医学専攻

指導教員： 北村 俊雄

申請者： 森田 知宏

目次

要旨	5
1. 研究の背景と動機	6
1.1. 高齢化の進行と健康リスク	6
1.2. 高齢社会における災害の健康被害	7
1.3. 福島第一原子力発電所事故について	9
1.4. 本論文の目的	10
1.5. 倫理的配慮について	10
2. 福島第一原発事故後の地域住民の人口変動に関する研究	12
2.1. 背景	12
2.2. 方法	14
2.2.1. 南相馬市の状況	14
2.2.2. 内部被曝調査の実施	15
2.2.3. 内部被曝調査参加者への避難行動調査	15
2.2.4. データ収集	16
2.2.5. 統計解析	17
2.3. 結果	22
2.4. 考察	32
3. 福島第一原発事故後の地域における救急搬送体制に関する研究	36
3.1. 背景	36
3.2. 方法	37
3.2.1. 研究デザイン	37
3.2.2. データ収集	39
3.2.3. 統計解析	41
3.3. 結果	43
3.4. 考察	53
4. 福島第一原発事故後の地域住民への二次的な健康被害に関する研究 ..	57
4.1. 目的	57
4.2. 方法	58
4.2.1. データ元	58
4.2.2. 調査対象	58

4.2.3. データ解析	59
4.3. 結果	61
4.4. 考察	72
5. 総合結論と考察	77
5.1. 福島第一原発事故による高齢社会における災害の間接的被害の実態	77
5.1.1. 福島第一原発事故による避難の実態	78
5.2. 福島第一原発事故が引き起こした間接的な健康被害の原因	79
5.2.1. 強制避難に伴う健康被害	79
5.2.2. 自主避難に伴う健康被害	81
5.3. 今後の原子力災害対策	84
5.4. 今後の課題	85
6. 謝辞	87
7. 参照論文	88

要旨

福島第一原発事故が周辺地域のコミュニティに与えた影響、それによる健康被害を明らかにすることを目的とし、南相馬市における人口推移を推計し、相馬地方（新地町、相馬市、南相馬市、飯舘村）の救急車搬送時間の変化、相馬市・南相馬市住民の、災害による直接的な健康被害による外因死を除く、間接的な健康被害による死亡リスクを、災害前と比較した。

災害後、南相馬市の屋内避難区域、避難指示の出していない区域では87%の住民が自主的に南相馬市外へと避難していた。救急搬送時間は災害後11週間にわたって延長していた。災害前と比較した災害後の相対死亡リスクは災害からの1ヶ月間で有意に上昇した。

福島第一原発事故後の大規模な自主避難は、救急医療体制の機能低下などを引き起こし、災害の間接的な健康被害を拡大させた可能性がある。

1. 研究の背景と動機

1.1. 高齢化の進行と健康リスク

世界中で高齢化が急速に進行している。60歳以上の高齢者は過去60年で世界人口の8%から10%へと増加したが、今後の40年で22%へとさらに増加すると推計されている。¹ このように高齢者が増加するなか、高齢者は若年層と比較して健康が悪化するリスクが高いため、高齢者の健康リスクを軽減させることが先進国・発展途上国ともに社会的な課題となっている。そのなかには、慢性疾患のコントロールなどの医学的支援だけでなく、高齢者の貧困対策などの経済的支援²や、高齢者のコミュニティづくりなどの社会的支援³なども含まれる。

高齢者の健康を守るうえで、近年では社会状況が健康に与える影響が注目されている。社会格差、環境、社会からのサポート、ネットワーク、ソーシャル・キャピタル、社会経済的状況など多くのことが健康と関連していることが指摘されている。⁴⁻⁶ これらの情報を総合して、社会的脆弱性（social vulnerability）という概念が提唱されている。実際に、社会的脆弱性が高いほど、死亡率が高いことが明らかとなっている。⁷

1.2. 高齢社会における災害の健康被害

特に、高齢者の健康リスクが顕在化するのには、災害時である。例えば、1995年に発生した阪神大震災やシカゴ熱波後の被害を調べると、高齢者の死亡率は、若年層に比べて高い傾向を示した。⁸ 2005年のハリケーン・カトリーナでは、米国ニューオーリンズ州では災害前人口のうち高齢者が占める割合が15%であったにも関わらず、ハリケーンによる直接死のうち75%が高齢者であった。⁹ 一方で、気候変動や政治・経済的な不安定な状況により、災害のリスクは上昇傾向にあると指摘されている。^{10 11} そのため、高齢社会での災害対策の重要性は高まっている。^{12 13} このような、災害後の健康被害が高齢者に多い理由は、主に2つ考えられる。まず、高齢者は災害による直接的な被害を受けやすいからだ。移動能力の低下、危険察知能力の低下、情報不足によって、災害からの避難が遅れる、適切な災害対策をとることができないなどが原因で、高齢者は災害による直接的な健康被害を受けやすい。¹⁴ もう1つは、災害の間接的な健康被害のリスクが大きい可能性がある。災害は、物理的な被害だけでなく、コミュニティに対しての被害によって、二次的な健康被害を引き起こす。¹⁵ 例えば、

災害によってコミュニティが破壊された後の強制的な移住は健康問題を増加させることが知られている。^{16 17} 災害に伴う強制的な移住は、世界情勢の不安定化に伴う人的災害の増加、温暖化に伴う自然災害の増加などによって増加傾向にある。国内避難民監視センター (IDMC) の調査では、新たに強制的に移住させられた住民の人口は、2003年には520万人だったが、2011年から2015年の5年間では、平均して760万人が避難を余儀なくされていた。¹⁸ このような避難に伴う健康問題は、環境変化に脆弱な高齢者でのリスクが高い。

さらに、災害によって医療へのアクセスが遮断されることで、災害後の死亡率が増加する。¹⁹ このような、災害がコミュニティに与える影響に伴う、間接的な健康被害は、高齢者でリスクが高い可能性がある。したがって、高齢社会での災害対策には、災害がコミュニティへ与える影響、さらにそれに伴う健康被害を正しく評価する必要がある。しかし、災害後の長期的な健康情報、コミュニティへの影響を評価した研究は少ない。

1.3. 福島第一原子力発電所事故について

2011年3月11日に起きた東日本大震災・東北地方太平洋沖地震とそれに引き続く津波、さらに福島第一原子力発電所事故（以下、原発事故）は、最近の先進国で起きた代表的な災害の例である。特に、原発事故は、事故による周辺地域の放射線被曝だけでなく、周辺地域のコミュニティへ、長期にわたって大きな影響を与えている。たとえば避難指示による強制避難や放射線被曝への不安から起きた自主避難によって、合計16万人以上の住民が災害後に避難したと言われている。²⁰ さらに、これらの住民が去った自治体では、避難指示解除後に住民の帰還が進まず、過疎化・高齢化が進行するなど、周辺地域のコミュニティへ、長期にわたって大きな影響を与えている。

これまでの研究では、原発事故後の周辺地域住民の受けた被曝量は、内部被曝・外部被曝ともに小さく、大きく見積もって50 mSv以下であると推計されている。^{21 22} したがって、放射線被曝による発がん率上昇などの健康被害については、現時点では否定的である。一方で、今回の原発事故が周辺地域のコミュニティへ与えた影響、またそれに伴う間接的な健康被害については実態がわ

かっていない。

1.4. 本論文の目的

本論文では、福島第一原発事故によって相馬地方で起きた住民避難の実態や、それが救急搬送体制に与えた影響を明らかにすること、さらにこのようなコミュニティへの影響によって生じたと考えられる間接的な健康被害を評価することを目的とする。

本論文は以下のように構成される。第2章では、福島第一原発事故後の地域住民の人口変動を、第3章では地域における救急搬送体制への影響を、第4章では地域住民への健康影響を調査した。第5章では全体の要約および高齢社会における災害対策について考察する。

1.5. 倫理的配慮について

本研究は、南相馬市で行われた内部被曝調査で集められたデータ、厚生労働省の集計データの二次利用を利用した解析を行っている。内部被曝調査につい

て、研究者は、被験者、小児の場合その保護者より同意書を取得している。本研究は東京大学医科学研究所、研究地域の医療機関（相馬中央病院、南相馬市立総合病院）の倫理委員会にて審議の上、承認された（医科学研究所での承認番号：23-11-0819, 23-46-0113, 23-52-0209, 25-40-1011）。

2. 福島第一原発事故後の地域住民の人口変動に関する研究

2.1. 背景

自然災害・人的災害がコミュニティに与える被害の1つに、大規模な避難が挙げられる。²³ 災害の中でも、放射線災害は避難という点で特徴的である。目に見える被害がなくても、大規模な避難が発生するうえに、放射性物質が目に見えないことで、不安や恐怖によって避難の規模が拡大することがある。²⁴ 1987年のチェルノブイリ原子力災害の際には、原子力発電所周囲の数百キロに住んでいた35万人が避難した。^{25 26}

原子力災害の対策はこれまで、急性放射線被曝を防ぐために迅速な避難が推奨されてきた。しかし、このような迅速な避難はときに無秩序な避難を生み、避難によって二次的な健康被害が生じる可能性がある。²⁷ さらに、大規模な避難が起きた後では、医療へのアクセスが維持できなくなる、コミュニティ間でのサポートが不足するなど、地域住民の健康を支えていた被災地のコミュニティ自体が被害を受ける。このような避難に伴う二次的な健康被害を防ぐためには、まず災害直後の人口移動の実態について把握することが重要だ。^{28 29} しか

し、原子力災害に伴う大規模な避難によって、被災地域の人口がどのように変化するかについてはよく分かっていない。

南相馬市は、原発から 14–38km 北方に位置し、市内に強制避難区域、屋内避難区域、避難地域外のすべてを含む唯一の自治体である。(図 1) 災害前には約 72,000 人の人口がいたが、福島第一原発事故後 1 ヶ月間で、人口は約 1 万人に減少したと言われている。^{30 31} そこで我々は、南相馬市の住民を対象として行われた内部被曝調査での問診データを用いて、福島第一原発事故後の地域住民の人口変動を評価した。

2.2. 方法

2.2.1. 南相馬市の状況

2011年3月12日、日本政府は福島原発事故に対応して原子力緊急事態を宣言し、福島第一原子力発電所の半径20km以内すべての地域に避難指示を出した（強制避難区域）。3月15日、発電所の半径20~30km以内の住民は、屋内に滞在するよう指示された（屋内避難区域）。³² 南相馬市には強制避難区域と屋内避難区域の二種類の避難区域が設けられ、災害時点ではそれぞれ住民約10,955人と44,773人が住み、市の人口の16%と66%を占めていた。政府規制に該当する地理的範囲を図1に示す。

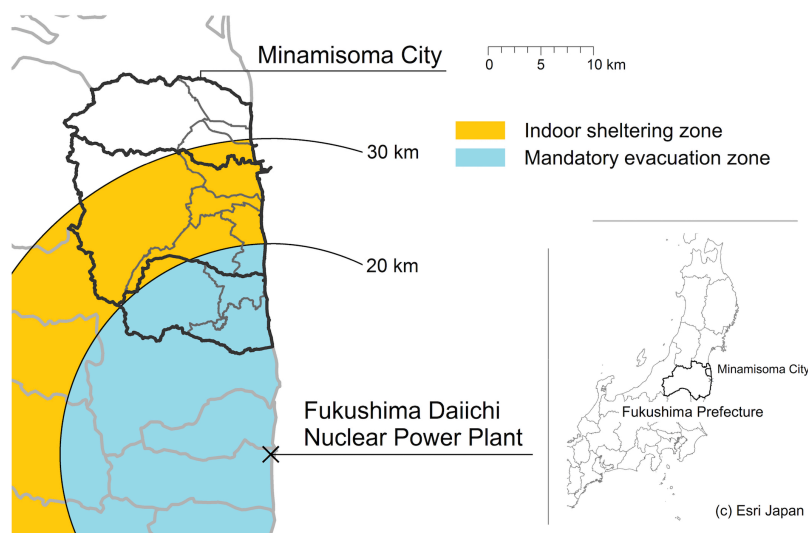


図 1: 南相馬市の位置

2.2.2. 内部被曝調査の実施

南相馬市では、この災害に対応して、2011年7月に市町村住民向けに内部被曝調査を開始した。内部被曝調査施設は、福島原子力発電所から北に23kmに位置する南相馬市立総合病院に設置され、現在まで調査が続けられている。この調査は、住民に無料で提供された。6歳未満の未就学児の測定には適していないため、6歳以上の住民のみが調査対象となった。³³ 本調査の対象には、他の地域に避難していた元住民が含まれるが、市の住民登録を使用して追跡することができる。この通知は、病院のウェブサイト、市のPRマガジン、各世帯への郵便を使って広報された。³⁴

2.2.3. 内部被曝調査参加者への避難行動調査

内部被曝調査の参加者を対象として、住民の災害後の避難行動を記録することを目的としたアンケートを実施した。内部被曝調査の待ち時間に受診者全員にアンケートを行い、検査開始前に回答完了して返却する方式を利用しており、回答率はほぼ100%だった。子供の場合は、両親がアンケートに回答した。この調査には、福島災害後の最初の月（2011年3月11日から3月31日まで）にお

ける住民の避難行動に関する質問（避難したかどうか、避難していた日程と避難先の場所）が含まれていた。また、内部被曝調査の際に、就学前の子供と一緒に暮らしているか、70歳以上の高齢者と暮らしているか、または単独で住んでいるかなど、世帯の情報を収集した。この避難行動に関するアンケートは、内部被曝調査の初回受診者にのみ実施され、二度目以降の者には実施されなかった。

2.2.4. データ収集

内部被曝調査開始日である2011年7月11日から2013年4月30日までに、内部被曝調査受診者の避難行動調査からデータを抽出した。データは性別、年齢、家族の他のメンバーとデータ共有をするための家族識別番号、災害前の住宅地、避難先の場所、避難日、また、戻った先とその日付を含む2011年3月30日までの避難行動、そして検査時の家庭情報を記録した。災害前後の住所は、市の行政区画の最小区分（例えば、市区町村以下である大字）まで分解した。強制避難区域、屋内避難区域、避難地域外に含まれる大字の数はそれぞれ31、63、41であった。

相馬市、南相馬市の災害前の登録人口の人口動態については、2011年3月1日時点での人口データ（大字レベルでの性別、年齢、住所）を用いた。この人口データは、各市町村単位で管理されている住民票情報を使用した。この登録簿には、登録された住民に関する基本的なデータが含まれている。市外への避難者は自治体の住民票の登録を変更していない者が多いため、災害発生後の住民票登録が災害前の登録のままの場合が多い。そのため、住民票に基づく死亡データを利用して、災害後の避難者の死亡についても評価可能である。以後、避難行動に関するアンケートから得られた災害前の居住地と同様に、災害後のある時点での住所を「居住地域」とする。

2.2.5. 統計解析

災害発生後1ヶ月間（2011年3月11日-3月31日）の南相馬市における人口推移を推計した。震災後に避難せず、南相馬に残った人口の要因を特定するため、以下の3つの分析を行った。

一次解析: 震災から1ヶ月間の6歳以上人口モデル

災害発生後 k 日の南相馬市の人口を推定するため、次の式を使用した。

$$P_k = \sum_{a=1}^A \sum_{b=1}^B \sum_{c=1}^C N_{a,b,c,k} \times \frac{1}{R_{a,b,c}}$$

ここでの $N_{a,b,c,k}$ とは、災害後 k 日の性別 a 、年齢層 b 、居住地域 c における内部被曝調査の受診数である。 $R_{a,b,c}$ は、性別 a 、年齢層 b 、および居住地域 c の倍率係数であり、次の式を用いて算出した。

$$R_{a,b,c} = \frac{N'_{a,b,c}}{P'_{a,b,c}}$$

ここでの $N'_{a,b,c}$ は、調査期間（2011年7月11日–4月30日）の性別 a 、年齢層 b 、居住地域 c における内部被曝調査の受診者数である。 $P'_{a,b,c}$ は2011年3月1日現在の性別 a 、年齢層 b 、居住地域 c における災害前の人口であり、住民登録のデータを使用した。したがって、 $R_{a,b,c}$ は、性別 a 、年齢層 b 、居住地域 c における、災害前人口に対する内部被曝調査受診者数の割合を示す。

モデルの予測精度を最大にするため、以下の三モデルの性別、年齢、住所の分類方法それぞれで予測能を比較して、最大となる分類方法を選択した。

- (I) 性別：男性、女性、年齢：1歳階級ごと、住所：強制避難区域、屋内避難区域、避難地域外
- (II) 性別：男性、女性、年齢：5歳階級ごと、住所：大字ごと
- (III) 性別：男性、女性、年齢：6–9歳, 10–14歳, 15–19歳, 20–39歳, 40–64歳, 65–74歳, 75歳以上、住所：大字ごと

三種類のモデルでの予測能 “predictability” は、以下のように計算した。

$$Predictability = \frac{1}{P'} \times \sum_{a=1}^A \sum_{b=1}^B \sum_{c=1}^C \begin{cases} P'_{a,b,c} & (N'_{a,b,c} > 0) \\ 0 & (N'_{a,b,c} = 0) \end{cases}$$

例えば、内部被曝調査参加者が、すべての性別、年齢群、住所にわたって存在するとき、この“predictability”は100%と計算される。“predictability”が最も高くなる分類方法が、南相馬市の災害後人口を推定するのに最も適していると考え

えた。

二次解析: 震災から1ヶ月間の6歳未満人口モデル

内部被曝調査は6歳以上の住民に対して行われたため、6歳未満の小児（未就学児）における災害後の避難行動は不明であった。しかし、6歳未満住民の避難行動は家族の避難行動と同じであると想定し、（家族が内部被曝調査を受診した場合）家族識別番号によって6歳未満住民に関するデータと家族のデータを結びつけることが可能である。この仮定に基づき、避難行動が家族内で同一であった6歳未満住民のデータを抽出した。そして、6歳未満住民を1つの年齢層（例：0-5歳）とし、一次解析と同様の方法を用いて災害発生後 k 日の南相馬市における6歳未満の住民の総人口を推定した。

三次解析: 避難せずに残る住民のリスク因子

自主避難後に被災地に残る住民の特徴を評価するため、各住民の避難行動に対して多変量回帰分析を行った。“evacuate”、つまり避難という行動は、2011年3月31日までに、一度以上南相馬の外に出ること、と定義した。一方で、南相

馬市内で移動を行った住民や、避難を行わなかった住民については、“remain in place”、避難せずに留まること、と定義した。強制避難の影響は今回の解析から除外するため、この解析に関して屋内避難区域、避難地域外でのデータを使用し、強制避難区域での避難行動データを除いた。

被説明変数が evacuate, remain in place の二種類であるため、プロビット回帰分析を用いた。プロビット回帰分析の説明変数として、6 の説明変数、すなわち 1 つのカテゴリカル変数（年齢：年齢群の分類は、一次解析で選択したモデルと同じものを使用した）、5 つのバイナリー変数（性別：男性・女性、地域：屋内退避区域・避難地域外、内部被曝調査参加時点で 6 歳未満住民と同居していたかどうか、内部被曝調査参加時点で 70 歳以上の高齢者と同居していたかどうか、内部被曝調査参加時点で独居かどうか）を用いた。

2.3. 結果

合計 20,149 人が調査期間（2011 年 7 月 11 日–2013 年 4 月 30 日）に南相馬市立総合病院の内部被曝調査を受診し、災害後の避難行動に関するアンケートに回答した。1 回目の検査受診者の性別と年齢、内部被曝調査時の世帯情報を表 1 に示す。災害前の居住地に関しては、内部被曝調査受診者の半分以上（13,801 人 [68%]）が屋内避難区域に住んでいた。一方で、強制避難区域には 3,415 人（17%）、その他の地域には 2,933 人（15%）が住んでいた。また、受診者の 55%（11,032/20,149）が女性であった。年齢の平均は 41、標準偏差（SD）は 23 であり、受診者の 19%（3,752/20,149）が 65 歳以上の高齢者であった。世帯別では、6 歳未満住民と同居、70 歳以上の高齢者と同居していた割合はそれぞれ 14%、28%であり、少数（3%）は独居していた。内部被曝調査受診者のうち、2011 年 3 月 31 日までに南相馬市外に避難した者はそれぞれ強制避難区域から 3,394 人（99%）、屋内避難区域から 12,771 人（93%）、その他の地域から 2,697 人（92%）であった。

表 1: 2011 年 7 月 11 日から 2013 年 4 月 30 日までの内部被曝調査参加者 (n=20,149) の人口構成

Pre-disaster dwelling area (n,%)	Mandatory evacuation zone (3,415, 17)	Indoor sheltering zone (13,801, 68)	Other areas in the city (2,933, 15)	Total (whole areas) (20,149, 100)
Sex (n, %)				
Male	1,526 (45)	6,250 (45)	1,341 (46)	9,117 (45)
Female	1,889 (55)	7,551 (55)	1,592 (54)	11,032 (55)
Age [years]				
Mean (SD)	42 (22)	42 (23)	38 (23)	41 (23)
By group (n, %)				
6–9	228 (7)	981 (7)	279 (10)	1,488 (7)
10–14	331 (10)	1,633 (12)	484 (17)	2,448 (12)
15–19	327 (10)	1,182 (9)	214 (7)	1,723 (9)
20–39	659 (19)	2,550 (18)	573 (20)	3,782 (19)
40–64	1,302 (38)	4,736 (34)	918 (31)	6,956 (35)
65–74	337 (10)	1,732 (13)	295 (10)	2,364 (12)
75–	231 (7)	987 (7)	170 (6)	1,388 (7)
Household (n, %)				
Living with pre-school children	541 (16)	1,730 (13)	524 (18)	2,795 (14)
Living with an elderly person aged 70 years or older	1,133 (33)	3,617 (26)	884 (30)	5,634 (28)
Living alone	65 (2)	565 (4)	55 (2)	685 (3)
Evacuation behaviors (n, %)*				
Evacuees	3,394 (99)	12,771 (93)	2,697 (92)	18,862 (94)
Remainees	21 (1)	1,030 (7)	236 (8)	1,287 (6)

SD: standard deviation, IQR: interquartile range.

* 2011 年 3 月 31 日時点で南相馬市外へ避難した住民を、もしその後市内へ戻ってきていても‘Evacuees’、3 月 31 日時点まで南相馬市内に留まり続けた住民を‘Remainees’と定義した。

年齢、世帯情報は、内部被曝調査を受診した時点での情報を用いた。

住民登録によると、2011年3月1日現在の南相馬市の総人口は70,919人であり、6歳以上の人口は67,929人（96%）であった（表2）。そのうち災害前、強制避難区域には12,201人、屋内避難区域に40,773人、その他の地域に10,955人住んでいたことから、それぞれ28%、31%、27%の住民が検査期間内に南相馬市立総合病院の内部被曝調査を受診したことになる。

表 2: 災害前（2011年3月1日時点）での人口構成

Dwelling area	Mandatory evacuation zone (n=12,694)	Indoor sheltering zone (n=46,830)	Other areas in the city (n=11,395)	Total (whole areas) (n=70,919)
Sex (n, %)				
Male	6,104 (48)	22,896 (49)	5,546 (49)	34,546 (49)
Female	6,590 (52)	23,934 (51)	5,849 (51)	36,373 (51)
Age group as of March 1, 2011 [years]				
0-5	493 (4)	2,057 (4)	440 (4)	2,990 (4)
6-9	622 (5)	2,266 (5)	511 (4)	3,399 (5)
10-14	566 (4)	2,239 (5)	529 (5)	3,334 (5)
15-19	670 (5)	2,282 (5)	475 (4)	3,427 (5)
20-39	2,478 (20)	10,465 (22)	2,345 (21)	15,288 (22)
40-64	4,384 (35)	15,979 (34)	3,940 (35)	24,303 (34)
65-74	1,435 (11)	5,442 (12)	1,304 (11)	8,181 (12)
75-	2,046 (16)	6,100 (13)	1,851 (16)	9,997 (14)

SD: standard deviation, IQR: interquartile range.

I から III までの各モデルの人口予測能 “population predictability” は、96.3%、96.9%、および 98.7% であった。そこでモデル III（性別：男性、女性、年齢：6-9 歳, 10-14 歳, 15-19 歳, 20-39 歳, 40-64 歳, 65-74 歳, 75 歳以上、住所：大字ご

と)を採用した。モデル III における $R_{a,b,c}$ の中央値は 0.27 (0.00–1.00)であった。

図 2 は、2011 年 3 月 11 日から 31 日にかけて南相馬市で 6 歳以上の人口を推定したものを示す。この期間の人口推定値の実際の値は表 3 に示す。人口減少のペースは、災害後 1 週目に最も顕著であったが、地域によって大きく異なった。

例えば、災害直後の 2 日間は強制避難区域の住民は、屋内避難区域やその他の区域の住民よりも早く避難した可能性が高い。2011 年 3 月 15 日(災害 4 日後)から、政府から屋内避難指示が出されたとき、屋内避難区域とその他の地域の人口減少のスピードが速くなった。南相馬市の人口減少は、災害後 11 日目の 2011 年 3 月 22 日にピークに達した (7,107 人、災害前の 11%)。市内の各地域の人口規模を分析したところ、強制避難区域は 3 月 22 日 (132 人、1.1%)、屋内避難区域は 21 日 (5,595 人、13%)、その他の地域は 23 日 (1,333 人、13%) に最も少ない規模となった。

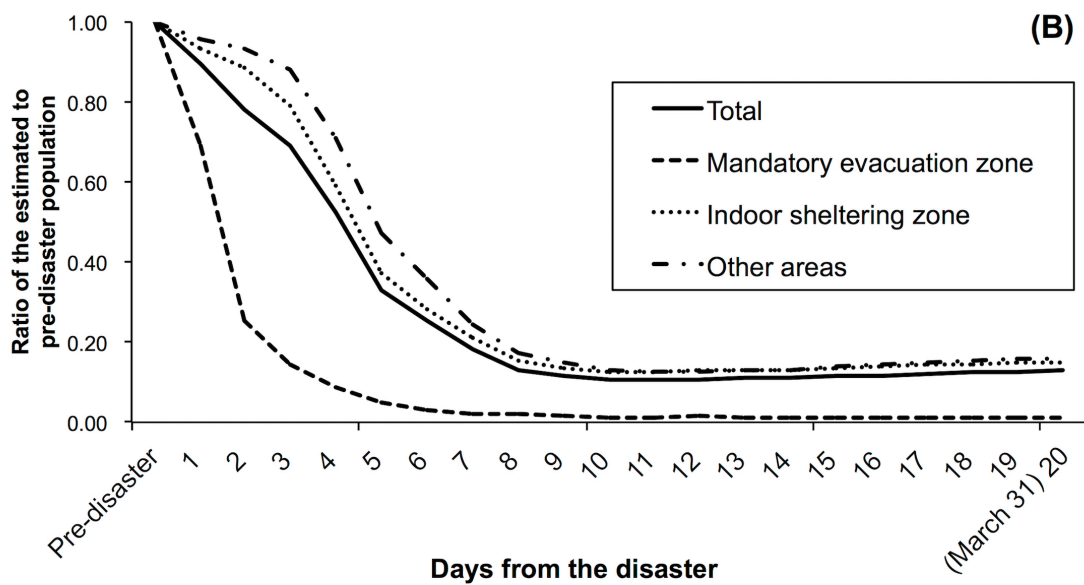
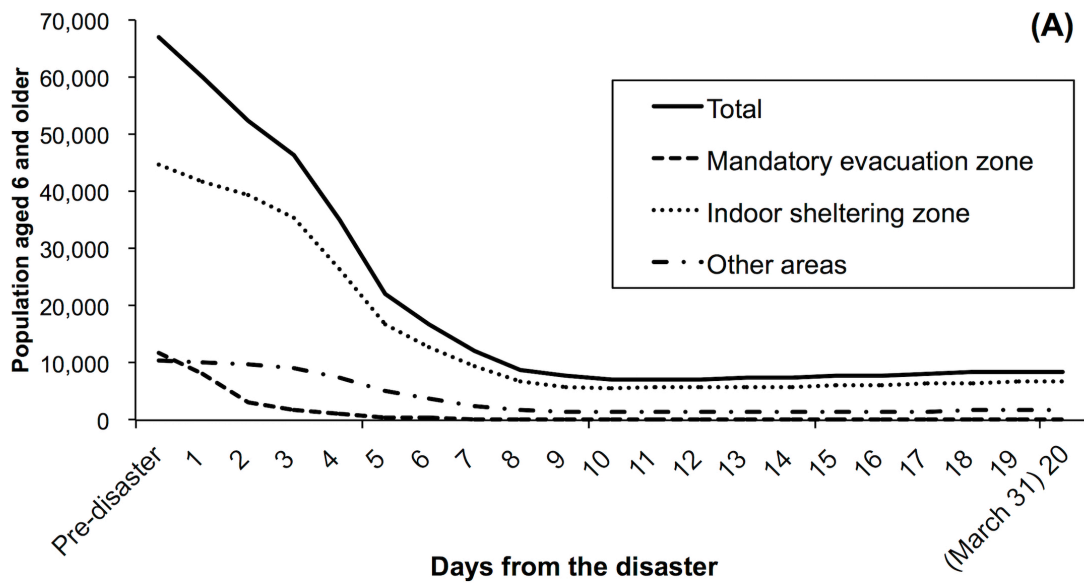


図 2: (A) 南相馬市の 6 歳以上のモデル推計人口推移 (B)災害前と比較した 6 歳以上モデル推計人口の割合の推移

‘Pre-disaster’ は、2011 年 3 月 1 日時点の人口に相当する。Day 4 (3 月 15 日)が、屋内避難指示が発令された日である。

2011年3月11日から31日の南相馬市における6歳未満住民の推定値の推移を図3に、人口の推定値における実際の値は表3に示した。強制避難区域では、6歳未満住民も、6歳以上の住民と同様に急激な人口減少を示し、2011年3月31日が最も少なかった(0.3%)。一方で屋内避難区域やその他の地域では、災害発生後の4日間、つまり屋内避難指示が出される前の人口減少のペースは、6歳以上の住民より6歳未満の住民の方が速かった。

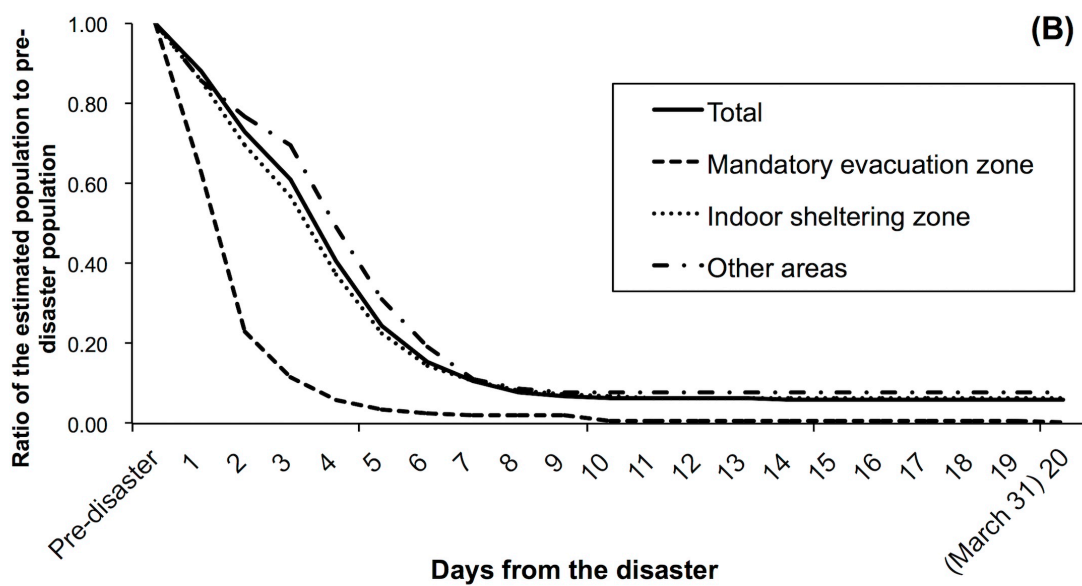
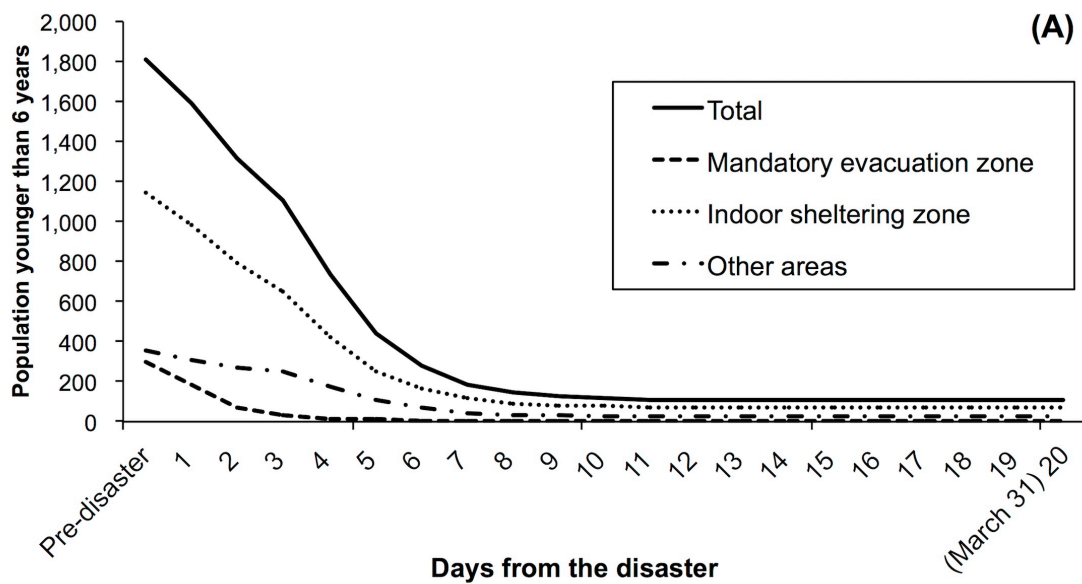


図 3: (A) 南相馬市の 6 歳未満のモデル推計人口推移 (B)災害前と比較した 6 未満のモデル推計人口割合の推移

‘Pre-disaster’ は、2011 年 3 月 1 日時点の人口に相当する。Day 4 (3 月 15 日)が、屋内避難指示が発令された日である。

表 3: 2011 年 3 月 1 日から 3 月 31 日までの、南相馬市の地域別モデル人口

	Days from the Fukushima disaster (e.g. 1; March 12, 2011, 20; March 31, 2011)																				
	Pre-disaster (March 1, 2011)																				
Total	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Population	70,919	63,548	55,562	49,051	37,067	23,522	17,840	12,934	9,388	8,151	7,550	7,518	7,631	7,731	7,909	8,067	8,265	8,569	8,770	8,945	9,093
(%)	(100)	(90)	(78)	(69)	(52)	(33)	(25)	(18)	(13)	(11)	(11)	(11)	(11)	(11)	(11)	(11)	(11)	(12)	(12)	(13)	(13)
younger than 6	2,990	2,628	2,176	1,822	1,214	726	455	313	235	207	192	184	184	184	182	182	180	180	179	179	179
(%)	(100)	(88)	(73)	(61)	(41)	(24)	(15)	(10)	(8)	(7)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)
Mandatory evacuation zone																					
Population	12,694	8,788	3,222	1,833	1,133	613	375	290	243	220	170	141	176	160	173	148	168	151	151	145	167
(%)	(100)	(69)	(25)	(14)	(9)	(5)	(3)	(2)	(2)	(2)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
younger than 6	493	310	114	58	28	18	12	10	10	10	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2
(%)	(100)	(63)	(23)	(12)	(6)	(4)	(2)	(2)	(2)	(2)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(0)
Indoor evacuation zone																					
Population	46,830	43,783	41,519	37,065	27,743	17,478	13,317	9,816	7,136	6,217	5,873	5,912	5,990	6,076	6,204	6,314	6,436	6,663	6,818	6,980	7,078
(%)	(100)	(93)	(89)	(79)	(59)	(37)	(28)	(21)	(15)	(13)	(13)	(13)	(13)	(13)	(13)	(13)	(14)	(14)	(15)	(15)	(15)
younger than 6	2,057	1,765	1,431	1,165	766	460	297	215	166	148	139	132	132	132	130	130	128	128	128	128	128
(%)	(100)	(86)	(70)	(57)	(37)	(22)	(14)	(10)	(8)	(7)	(7)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)	(6)
Other areas in the city																					
Population	11,395	10,890	10,655	10,015	8,110	5,373	4,094	2,777	1,983	1,692	1,485	1,442	1,441	1,472	1,509	1,581	1,633	1,728	1,772	1,791	1,821
(%)	(100)	(96)	(94)	(88)	(71)	(47)	(36)	(24)	(17)	(15)	(13)	(13)	(13)	(13)	(13)	(14)	(14)	(15)	(16)	(16)	(16)
younger than 6	440	377	337	305	216	136	85	49	38	35	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
(%)	(100)	(86)	(77)	(69)	(49)	(31)	(19)	(11)	(9)	(8)	(8)	(8)	(8)	(8)	(8)	(8)	(8)	(8)	(8)	(8)	(8)

災害時点で屋内退避区域、避難地域外に在住していた住民のデータを用いて、自主避難後に被災地に留まる住民の因子を調べた（表 4）。他の変数で調整後、男性は女性よりも避難地域に留まる可能性が高かった（odds ratio (OR) of 1.72 (95% confidence intervals (CI): 1.64–1.85, $p<0.001$)。屋内退避区域の住民は、避難地域外の住民に比べて、被災地に留まる可能性が高かった（OR: 1.25 [1.16–1.35], $p<0.01$ ）。年齢ごとでは、被災地に留まる可能性が最も低かったのは 6–9 歳で、75 歳以上と比較して OR=0.34 [0.27–0.42] ($p<0.001$) であり、最も高かったのは 40–64 歳で、75 歳以上と比較して OR=1.40 [1.24–1.58] ($p<0.01$) であった。世帯情報では、6 歳未満の児童がいる世帯は被災地に留まる可能性が低く（OR: 0.56 [0.50–0.62], $p<0.001$ ）、70 歳以上の高齢者がいる世帯、独居世帯では、被災地に留まる可能性が高かった(それぞれ OR: 1.18 [1.03–1.34], $p<0.05$, OR: 1.71 [1.50–1.94], $p<0.001$)。

表 4: 人口属性情報が福島第一原発事故後に南相馬市に留まる可能性に与える影響
(オッズ比, n = 16,734)

Variable	n	Odds ratio	95% CI	P-value
Sex				
Female	9,143	1.00		
Male	7,591	1.72	1.64–1.85	<0.001
Pre-disaster dwelling area				
Other areas	2,933	1.00		
Indoor sheltering zone	13,801	1.25	1.16–1.35	<0.01
Age [years]				
6–9	1,157	0.34	0.27–0.42	<0.001
10–14	2,027	0.37	0.31–0.44	<0.001
15–19	5,654	0.38	0.31–0.46	<0.001
20–39	3,123	1.18	1.03–1.34	0.22
40–64	1,396	1.40	1.24–1.58	<0.01
65–74	2,117	0.89	0.78–1.02	0.38
75–	1,260	1.00		
Household				
Living with children younger than 6 years				
No	14,480	1.00		
Yes	2,254	0.56	0.50–0.62	<0.001
Living with the elderly aged 70 years or older				
No	12,233	1.00		
Yes	4,501	1.18	1.09–1.27	<0.05
Living alone				
No	16,114	1.00		
Yes	620	1.71	1.50–1.94	<0.001

CI: confidence interval. 強制避難区域の住民のデータは含まれていない。
表中の変数は互いに調整後である。

2.4. 考察

本研究は、2011年に起きた福島原発事故後の避難による人口変動を評価した。この研究では事故後11日目（2011年3月22日）に南相馬市の全人口は、災害前の人口の11%（7,107/67,044）にまで減少したことがわかった。この結果は、携帯電話の位置情報を用いた先行研究の、南相馬市の居住者が災害後1ヶ月以内に10,000人以下に減少したという結果と矛盾しない。³¹

本研究が明らかにしたのは、（1）強制避難区域でも住民が1%程度残っていること、（2）屋内退避区域、避難地域外でも90%近くの住民が自主的に避難していたこと、の二点である。まず、強制避難区域では、99%（12,524/12,694）の住民が原発事故後10日以内に避難した一方で、1%が地域内に留まっていた。これは、1987年のチェルノブイリ原発事故以降の状況と同等である。チェルノブイリの強制避難区域でも、*samosely* と呼ばれる違法住民が現在に至るまで生活している。³⁵ そのような人は、公的な社会保障サービス（医療保険や年金など）の対象外となる可能性がある。

³⁶ 行政当局は、強制避難指示を発令した後も、その地域内に住民が留まっている可能性を認識し、その住民への準備、対応を考慮することが重要である。

さらに、屋内退避区域、避難地域外では、住民の 87%が自主的に避難していた。

このような自主避難は、放射線災害の悪化への不安、放射線被曝への恐怖などの複数の理由によって引き起こされると考えられる。先行研究によると、多くの住民は、原発事故後に政府から出る情報の信憑性を疑い、放射線被曝による健康被害を過大評価する傾向があった。³⁷ 他の原因として、物資不足もあげられる。例えば、原発事故後、屋内退避区域にある病院が、食料、燃料などの物資不足に陥り病院でのサービスを提供できなくなったため、患者と一緒にスタッフが避難したという報告もある。³⁸

この物資不足は、放射線被曝を恐れた運搬業者が屋内退避区域への物資の搬入を断ったことが原因である。屋内退避指示は急性放射線被曝を防ぐための効果的な方法だと言われている。³⁹ 一方で、同一自治体内で複数種類の避難指示が出たことで、住民の混乱を招き大量の自主避難につながった可能性もある。災害後の意図しない無計画な避難は、適切なサポートを受けられないため被災地の罹患率や死亡率を増加させる可能性がある。⁴⁰ したがって、今後の原子力災害後には、住民の自主的な避難によって起きる健康被害と、放射線被害によって起きる健康被害のバランスを考慮して避難指示を発令することが重要だ。

また、原発事故後の自主避難が、性別、年齢および家庭構成によって異なるパタ

ーンを呈したことは特筆すべきである。自主避難せず南相馬市に留まる可能性の高い住民の因子は、高齢者と同居または独居の世帯、40–64 歳、男性であった。逆に、子供がいる世帯、20 歳未満、女性は避難する傾向が強かった。自主的な避難の違いは、年齢による放射線への感受性の違いに関連している可能性があり、具体的には、放射線被曝に関して高齢者よりも子供に対しての方が健康被害を受けやすい。さらに、原発事故後の心理的ストレスは、一般的に男性よりも女性のほうが大きいと報告されている。⁴¹ このような違いが、住民の避難行動に影響を与えた可能性がある。災害対策として重要なのは、高齢者と一緒に住んでいる住民が留まる傾向があったことだ。これの正確な理由ははっきりしないが、高齢者の移動が困難であることや、情報・財源の不足など、社会的および経済的限界に関連している可能性がある。^{14 29} この研究で示唆された避難の違いにおける理由を明らかにするためには、さらなる研究が必要である。

本研究にはいくつかの限界がある。まず、選択バイアスの問題がある。本研究では内部被曝調査の参加者を対象としているため、非参加者と比較して放射線被曝をより不安に感じていると考えられる。放射線被曝を不安に感じる住民は、より避難する傾向が強いと報告されている。⁴² 従って、本研究の参加者は、住民全体と比較して

避難する傾向が強い可能性があり、避難する住民を過大評価している可能性がある。

一方で、本研究は南相馬市で実施された内部被曝調査の参加者を対象としていること

から、遠方へ避難した住民が参加できなかった可能性がある。このことにより、避難

住民の数を過小評価している可能性がある。これらの影響の合計によって、本研究で

は避難者を過大評価または過小評価した可能性がある。さらに、本研究で使用した内

部被曝調査に参加する割合が、住民の年齢によって異なる点にも留意すべきである。

南相馬市住民の 10–14 歳の住民の 73% (2,448/3,334) が内部被曝調査に参加していた

一方で、75 歳以上の住民の参加割合は 14% (1,388/9,997)であった。従って、参加割合

の低い高齢者の人口推計については、若年層と比較して不正確になる可能性がある。

また、本研究で実施された南相馬市内に留まる住民に関する多変量解析も結果の

解釈に注意が必要である。住民の年齢情報と世帯情報が独立でない可能性がある。例

えば、高齢者住民では高齢者と同居する可能性が高い。従って、高齢者と避難の有無

との関係には、高齢者と同居する世帯という変数が交絡している可能性がある。

3. 福島第一原発事故後の地域における救急搬送体制に関する研究

3.1. 背景

迅速な救急搬送に支えられた救急搬送体制（EMS）は、迅速な診断、治療のために不可欠である。しかし、災害時には、EMS 自体が被害を受けることもある。⁴³⁻⁴⁵ 例えば、災害後の外傷患者の増加によって、救急搬送の需要は高まる。一方で、災害による道路の破壊や病院インフラの破壊によって、迅速な救急搬送が阻害されることがある。⁴⁶ 特に、大災害時には、被災地の病院の救急部門が完全に機能を停止することもある。⁴⁷ このような状況下では、EMS の運営自体が妨げられることもあるが、逆に被災者のトリアージや初期対応など、EMS の役割はさらに重要となる。⁴⁸⁻⁵⁰

原子力災害は、EMSを阻害しうる災害の1つである。これまでの研究によると、原子力災害に伴う急性放射線被曝によって救急搬送を利用する人数は少ない。なぜなら、これまでの災害で急性放射線被曝を受けたのは、放射性物質をそうとは知らずに、または適切な知識なしに取り扱う少数の原子力発電所作業員に限られていたからだ。

⁵¹⁻⁵³ しかし、原子力災害のなかには放射線被曝への恐怖などからくる周辺地域の混乱を招くものもあり、その場合には周辺地域の医療スタッフが避難するなどしてEMS が影響を受ける可能性がある。実際、このような原子力災害発生地域での医療スタッ

フ不足は1979年のスリーマイル島原発事故でも認められ、被害を受けた原発付近の病院では、70人の医師のうち6人しか残らなかった。⁵⁴ しかし、原子力災害のEMSへの影響を評価した研究はこれまでにない。

本研究の目的は、福島第一原発事故後が救急搬送体制へ与えた影響を評価することである。我々は、救急要請から救急車両が病院へ到着するまでにかかった救急搬送時間を、原発事故後9ヶ月間にわたって調べ、震災前の2年3ヶ月の期間と比較した。

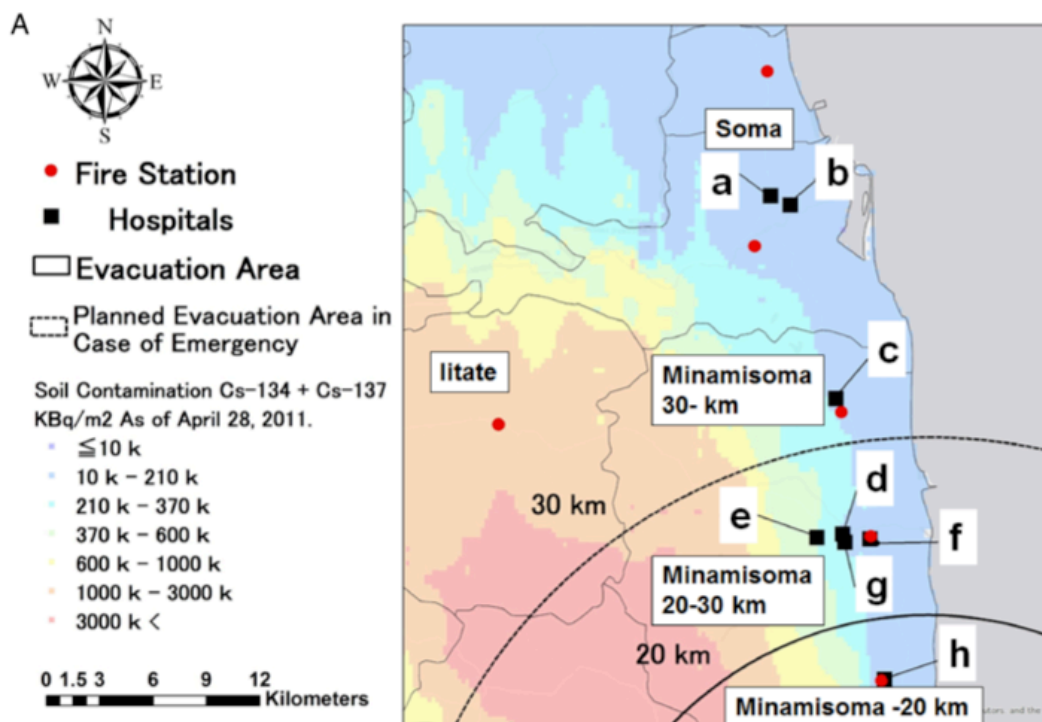
3.2. 方法

3.2.1. 研究デザイン

EMS の機能を評価するうえで、救急搬送時間を評価することは、先行研究でも用いられている有用な方法である。^{48 55 56} 本研究も、先行研究の方法に則り、救急搬送時間を用いて EMS 機能を評価した。

本研究は、2011年3月11日から12月31日に相馬地区における救急車で搬送された患者の症例を使用した後ろ向き観察研究である。救急医療システムに対する災害

の影響を判断するため、この期間の救急医療に関するデータと 2009 年 1 月 1 日から 2011 年 3 月 10 日までの過去の対照データとを比較した。相馬地区は飯舘村、南相馬市、相馬市、新地町の 4 つの市町村で構成されており、平成 23 年 3 月 1 日現在の人口はそれぞれ、6,132、70,752、37,721、8178 人である。これらの地域には、救急部を有する 8 つの病院と、救急車を有する 5 つの消防署があった。8 つの病院のうち 5 つが災害から 10 日以内に閉鎖された（図 4B）が、消防署内の 152 名の救急隊員は避難しなかった。原発事故後、政府の避難指示を元に、調査対象地域を 5 地域に分類した。³² 1) Minamisoma -20km：南相馬市の、原発から 20km 圏内の地域で、2011 年 3 月 12 日以降は強制避難区域。2) Minamisoma 20-30km：南相馬市の、原発から 20-30km 圏内の地域で、2011 年 3 月 15 日から 4 月 22 日までは自主避難区域。3) Minamisoma 30-km：南相馬市の、原発から 30km 以上離れた地域で、避難指示はない。4) Iitate：原発から北西 25~45km に位置する飯舘村で、2011 年 4 月 11 日から強制避難区域。5) Soma：原発から北に 40km 以上離れた相馬市・新地町から構成される地域で、避難指示なし（図 4A）。



B

Hospital ID	Hospital beds, n	Closing date	Reopening date
a	240	None	None
b	97	None	None
c	80	None	None
d	230	20 March	09 May
e	199	19 March	20 June
f	188	18 March	18 April
g	175	18 March	Closed
h	99	13 March	Closed

図 4 : (A) 研究対象地域の分類と、対象地域にある病院の一覧。研究対象地域は、以下の 5 地域に分類された。1) Minamisoma -20km : 南相馬市の、原発から 20km 圏内の地域で、2011 年 3 月 12 日以降は強制避難区域。2) Minamisoma 20-30km : 南相馬市の、原発から 20-30km 圏内の地域で、2011 年 3 月 15 日から 4 月 22 日までは自主避難区域。3) Minamisoma 30-km : 南相馬市の、原発から 30km 以上離れた地域で、避難指示はない。4) Iitate : 原発から北西 25~45km に位置する飯舘村で、2011 年 4 月 11 日から強制避難区域。5) Soma : 原発から北に 40km 以上離れた相馬市・新地町から構成される地域で、避難指示なし。

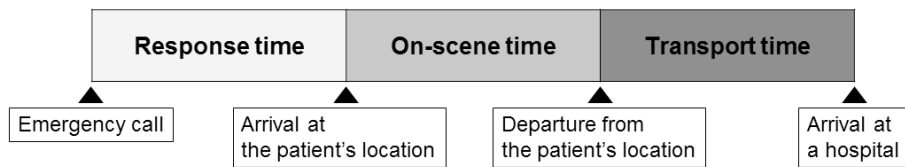
(B) 各病院の閉鎖期間。アルファベットは A)中の文字と対応する。

3.2.2. データ収集

相馬地方広域消防署に保存された救急搬送記録から 2009 年 1 月 1 日から 2011 年

12月31日までの救急医療データを収集した。搬送記録には年齢、性別、主訴や症状を含む臨床データと、救急車を呼んだ日時、また病院の場所など、時間や地理データが含まれている。救急車の出発時刻、救急要請場所への到着時刻、救急要請場所の出発時刻、病院への到着時刻については、救急搬送時に救急車内で自動的に記録され、その情報が転載されている。過去の救急搬送に関する論文の分類を元に、主訴を以下の12項目に分類した：災害による傷害、CPA、災害とは無関係の傷害、胸の痛み、意識障害（DOC）、神経症状、発熱、息切れ（SOB）、全身の衰弱、腹痛、非特異的な痛み、過剰摂取/毒性曝露、および過去の救急医療に基づいた自傷。^{57 58} 分類は、2人の研究者が独立に行って一致することを確認し、不一致であった場合には一致した項目になるまで作業を繰り返した。救急車にかかる総時間は、呼び出しから救急車が病院に到着するまでの時間と定義され、Response time、On-scene time、Transport time の3つに分類された。⁵⁹ それぞれ、Response time は救急車呼出しから患者のいる場所に救急車が到着するまでの時間、On-scene time は患者のいる場所に到着してから出発するまでの時間、そして Transport time は、患者のいる場所を出発してから病院に到着するまでの時間として定義された（図 5A）。地理空間データを Google maps⁶⁰ を使用して経度と緯度に変換し、ArcGIS ソフトウェア⁶¹ を使用して、消防署から患者の場所まで、患者の場所から病院までの実際の距離を計算した。

A



B

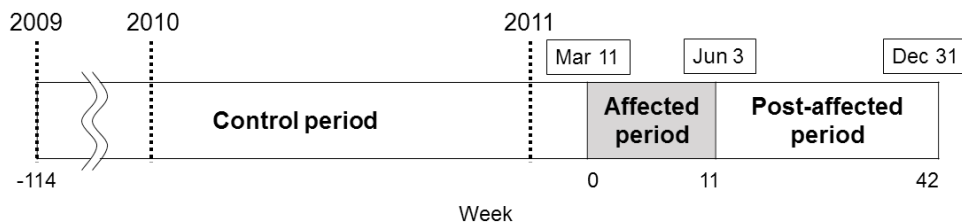


図 5 : (A) 救急搬送時間のセグメント、タイミングごとの定義、(B) 研究期間の定義
Week は、震災発生後 1 週間（2011 年 3 月 11 日-17 日）を Week 0 と定義した。

3.2.3 統計解析

トリプル災害による、相馬地区の救急車搬送における混乱の程度を、救急搬送の時間を用いて評価した。

震災のあった週（2011 年 3 月 11 日-17 日）を 0 週目と定義し、救急搬送の総時間を週ごとに集計した。そして、2011 年 3 月 11 日から 2011 年 12 月 31 日までの各週のデータを、Mann-Whitney U 検定を用いて対照期間（control period: 2009 年 1 月 1 日から 2011 年 3 月 10 日）の同じ週のデータと比較した。⁶² 例えば、Week 0（2011 年 3 月 11 日-17 日）の救急搬送時間の分布を Control period における 2009 年 3 月 11 日-17 日、2010 年 3 月 11 日-17 日を合計した救急搬送時間の分布と比較した。0 週から開始して、救急搬送時間が有意に影響を受けていた期間を affected period と定義した

(図 5B)。これらの変数に対する災害の影響を評価するため、t 検定を用いて、救急搬送の臨床的な変数（年齢、性別、主訴）または地理・時間的な変数（救急要請を行った時刻、救急要請を行った曜日、救急要請を行った場所、救急搬送先の場所）の分布を control period と affected period とで比較した。

3.3. 結果

2011年3月11日から12月31日までに、2,648件の救急要請があった。2,648件のうち、334件は病院への搬送がないものや病院から病院への搬送だったため、除外した。救急搬送の時間が書かれていないものや、不完全なデータを含む94件を除外し、残り2,240件の搬送を救急搬送時間の分析に使用した。Control period（2009年1月1日から2011年3月10日）の救急要請8,384件のうち、救急搬送が行われていたのは7,107件であった。7,107件の搬送のうち、救急搬送時間の適切な情報が入力されていた7,087件の搬送を、control periodのデータとして使用した。Control period期間では、救急搬送数や週当たりの救急搬送時間の中央値に季節性変化は見られなかった。

図6は、研究期間中の2,314人の患者の救急搬送患者数および救急搬送時間（中央値）の傾向を示す。震災発生後1週間（2011年3月11日-17日）を0週と定義した。救急搬送患者数は、0週にピーク（ $n = 182$ ）を認めた。そのうち約半分（83/182）は、最初の2日間に搬送された。0週目の搬送の主な理由は、地震や津波（56件）、DOC（23件）、災害とは無関係の傷害（14件）、腹痛（14件）、一般的な衰弱（13件）、

および神経学的症状（13 件）であった。その後、救急搬送件数は、control period と比較して、同等またはより低いレベルに減少した。

救急搬送の総時間の中央値は、第 2 週目で 48 分とピークに達したが、control period の同じ時間と比較して統計的に有意な延長は、第 11 週まで続いた（表 5）。従って、affected period は 0 週目から 11 週目と定義され、この期間の輸送件数 2,314 件のうち 706 件についてさらなる解析を行った。

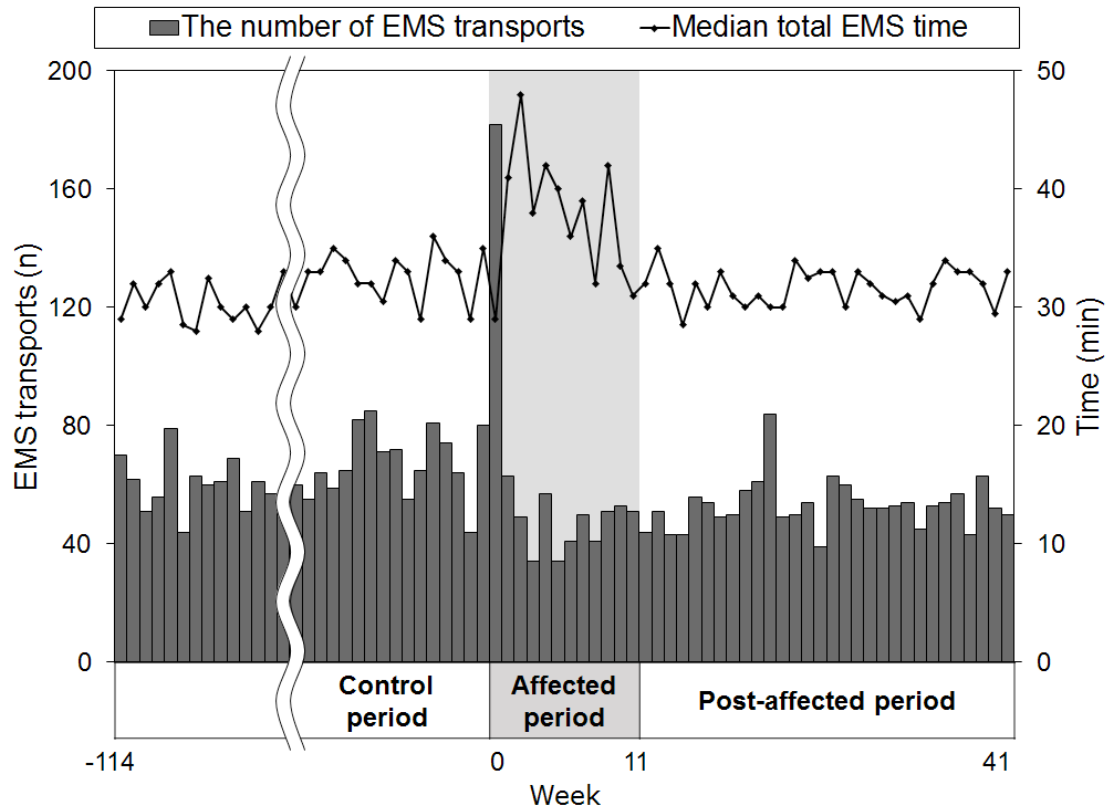


図 6 : 救急搬送件数 (折れ線グラフ)、救急搬送時間 (棒グラフ) の推移。
 Week は、震災発生後 1 週間 (2011 年 3 月 11 日-17 日) を Week 0 と定義した。

表 5 : 週ごとの救急搬送時間の比較

Week	2011			Control Period			2011 vs Control
	n	median	IQR	n	median	IQR	P value †
0	182	29	19	125	30	13	0.83
1	62	41	29	121	31	18	0.00
2	49	48	36	105	29	14	0.00
3	32	38	22	122	30	15	0.02
4	56	42	31	126	31	20	0.00
5	34	40	27	126	31	13	0.00
6	39	36	18	116	27	12	0.01
7	50	39	26	147	35	21	0.06
8	41	32	17	129	30	18	0.08
9	51	42	26	109	32	17	0.01
10	52	34	13	107	30	15	0.01
11	51	31	16	119	28	10	0.04
12	44	32	11	107	30	19	0.40
13	51	35	14	116	30	13	0.00
14	43	32	10	113	29	16	0.15
15	42	29	8	94	30	18	0.58
16	52	32	13	134	32	21	0.69
17	54	30	14	133	29	16	0.67
18	47	33	12	151	33	19	0.63
19	49	31	13	141	29	18	0.55
20	53	30	13	132	28	10	0.28
21	59	31	12	145	31	16	0.60
22	79	30	9	168	32	18	0.98
23	49	30	11	127	32	15	0.35
24	50	34	10	116	30	15	0.12
25	52	33	16	123	30	14	0.07
26	39	33	11	127	32	22	0.85
27	57	33	16	98	30	21	0.22
28	55	30	19	123	29	14	0.60
29	55	33	14	116	30	17	0.16
30	51	32	17	122	33	19	0.79
31	51	31	15	134	31	18	0.96
32	52	31	11	112	30	16	0.83
33	52	31	12	113	29	15	0.61

34	41	29	10	135	29	16	0.65
35	52	32	11	129	30	19	0.29
36	54	34	13	133	34	21	0.80
37	57	33	17	141	33	17	0.89
38	43	33	10	114	33	14	0.87
39	61	32	15	124	32	16	0.25
40	52	30	17	128	31	17	0.41
41	48	33	12	155	31	18	0.26

† P 値は、Mann-Whitney U test を用いて比較した。

IQR: interquartile range.

表中の n は期間中の搬送件数、median は搬送時間の中央値、IQR は搬送時間の四分位範囲を示す。

Week 0 を震災発生後 1 週間（2011 年 3 月 11 日-17 日）と定義した。

Control period は、2009 年 1 月 1 日から 2011 年 3 月 10 日で、Week と同じ期間の合計数と比較した。

表 6 に、control period、affected period における救急搬送の特徴を示す。Control period および affected period では、週あたり搬送数の平均はそれぞれ 62 および 59 件であった。0-14 歳の小児の 1 週間あたり搬送数は 3.5 から 1.9 に減少した。また、Minamisoma -20km 地域からの 1 週間あたり搬送数は、7.0 から 1.4 に減少した。対象地域については、control period から affected period において、Minamisoma -20km (1.2 vs 0.3) および Minamisoma 20-30km (30.8 vs 13.6) 地域への輸送数が減少した。なお、急性放射線被曝を主訴として救急搬送を要請した被験者はみとめなかった。

表 7 は、control period と affected period との救急車の経過時間の比較を示す。救急搬送時間 (total EMS time) の中央値は、control period では 31 (IQR 24-40) 分だったが、affected period には 36 (IQR 27-52) 分に延長された。その結果、救急搬送の総時間が 60 分を超える搬送の割合は、control period 中の 8.2% (584/7087) から affected period 中の 22.2% (151/679) に増加した。図 7 は、control period および affected period における救急搬送の総時間および 3 つの時間セグメント (response time, on-scene time, transport time) の分布の密度曲線を示す。Control period と比較して、affected period では 3 つの時間セグメントすべての平均および中央値が有意に増加したが、最も増加量が大きかったのは Transport time であった (標準化平均差 : 0.41 vs 0.13-17)。

表 6 : control period、affected period における救急搬送の特徴

Characteristic	Control Period	Affected Period	P value† (Control vs Affected)
	(Week -114 to -1) n=7107	(Week 0 to 11) n=706	
	No./Week	No./Week	
All	62.3	58.8	0.41
Patient age, year			
0-14	3.5	1.9	0.02 *
15-64	22.4	21.8	0.92
65-	36.4	35.2	0.89
Sex			
Male	32.6	27.6	0.30
Female	29.8	31.3	0.82
Time of the day			
6 AM-12 PM	20.9	17.8	0.51
12 PM-6 PM	19.2	15.7	0.30
6 PM-12 AM	15.4	15.8	0.64
12 AM-6 AM	6.8	9.6	0.39
Day of the week			
Weekday	44.0	40.0	0.64
Weekend	18.3	18.8	0.89
Scene of EMS call			
Soma	19.0	18.1	0.83
Minamisoma 30- km	4.9	4.2	0.34
Minamisoma 20-30 km	22.7	22.8	0.94
Minamisoma -20 km	7.0	1.4	<0.001 ***
Iitate	4.6	5.7	0.13
Others	0.2	0.3	0.33
Reason for EMS call			
Disaster-related	0.0	4.8	NA
Abdominal pain	6.0	5.8	0.89
Chest pain	2.9	3.3	0.37
CPA	2.2	1.4	<0.01 **
DOC	10.1	8.6	0.38
Fever	2.2	3.9	<0.01 **
General weakness	3.9	4.0	0.89

Gynecology	0.1	0.2	0.87	
Intoxicated	0.7	0.7	0.24	
Neurologic symptom	6.8	6.0	0.37	
Pain, unspecified	3.1	1.5	<0.001	***
Self-harm	0.4	0.7	0.12	
SOB	4.7	3.3	0.04	
Trauma	15.8	8.9	<0.001	***
Others	0.9	1.3	0.48	
Destination area				
Soma	20.0	24.1	0.41	
Minamisoma 30- km	4.1	3.3	0.65	
Minamisoma 20-30 km	30.8	13.6	<0.001	***
Minamisoma -20 km	1.2	0.3	<0.01	**
Iitate	0.0	0.1	0.58	
Outside of study area	5.7	16.7	<0.01	**

EMS, emergency medical services; IQR, interquartile range; CPA, cardiopulmonary arrest; DOC, disturbance of consciousness; SOB, shortness of breath.

† P 値は Student's t test を用いて求めた。

* P 値が 0.05 未満で統計的有意

** P 値が 0.01 未満で統計的有意

表 7 : control period と affected period の救急搬送時間の比較

	Control Period (Week -114 to -1) n=7087	Affected Period (Week 0 to 11) n=679	P-value (Control vs Affected)	SMD (95% CI)
Total EMS time (minutes)				
Median (IQR)	31 (24-40)	36 (27-52)	<0.001 †	
Mean (SD)	35 (17.4)	43 (23.2)	<0.001 ‡	0.41 (0.40-0.43)
>60 min (%)	584 (8.2)	151 (22.2)	<0.001 ¶	
Response time (minutes)				
Median (IQR)	8 (6-10)	8 (6-11)	<0.001 †	
Mean (SD)	8.5 (4.6)	9.2 (5.3)	<0.001 ‡	0.17 (0.14-0.20)
On-scene time (minutes)				
Median (IQR)	13 (10-18)	15 (11-19)	<0.001 †	
Mean (SD)	15 (7.4)	16 (8.5)	<0.001 ‡	0.13 (0.10-0.15)
Transport time (minutes)				
Median (IQR)	7 (4-14)	10 (5-23)	<0.001 †	
Mean (SD)	12 (13.2)	18 (19.1)	<0.001 ‡	0.41 (0.39-0.43)

EMS, emergency medical services; SMD, standardized mean difference; IQR, interquartile range; SD, standard deviation; CPA, cardiopulmonary arrest; DOC, disturbance of consciousness; SOB, shortness of breath.

† Mann-Whitney's U test を用いて、救急搬送時間の分布を比較した。

‡ Welch's t test を用いて、救急搬送時間の平均値を比較した。

¶ Chi-square test を用いて、60 分以上かかった救急搬送の割合を比較した。

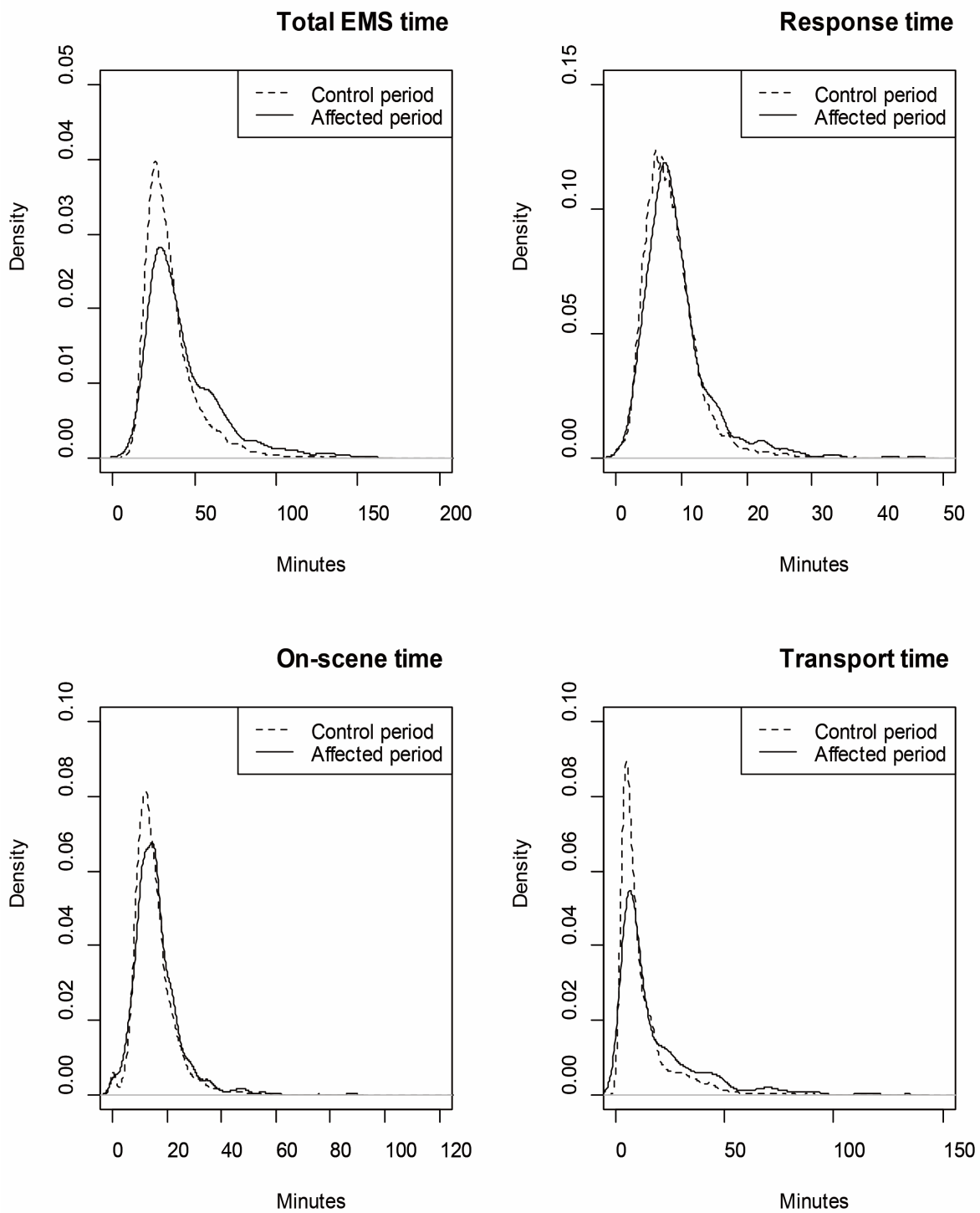


図 7: 救急搬送の時間セグメント (total EMS time, response time, on-scene time, transport time) ごとにおける、control period と affected period の救急搬送時間の密度分布

3.4. 考察

本研究は、福島第一原発事故後の混乱のなか、救急搬送システム（EMS）がどのような影響を受けたのかを評価した。本研究では、救急搬送時間の中央値が、震災翌週から 11 週間にわたって延長していた。

この 11 週間にわたって延長した大きな原因として、救急要請場所から搬送先病院までの距離が伸びたことが原因と考えられる。救急搬送時間のセグメントのなかで、最も大きく変化していたのは、transport time、つまり救急要請場所を出発してから病院までの到着時間であった（表 7）。さらに、今回調査対象とした相馬地方外への搬送が、災害前は 1 週間あたり 5.7 (9.1%) であったのが、affected period では 16.7 (28.4%) と有意に増加していた。一方で、事故をおこした福島第一原発から 30km 圏内にある病院への救急搬送は、有意に減少していた (32.0 vs 13.9, 表 6)。したがって、災害前と比較してより遠方への搬送が増加し、搬送先病院までの距離が長くなることで transport time の延長が起き、救急搬送時間の延長へつながったと考えられる。

遠方への搬送が長くなった原因は、原発周辺地域の病院が閉鎖したことが原因だと考えられる。災害発生から 2 週間以内に、今回の研究対象地域にある 8 病院のうち

5 病院が閉鎖していた。この閉鎖はそれぞれ災害後 5 週、8 週、14 週目まで続いた。

この期間は、救急搬送時間が延長していた期間と概ね一致する（図 8）。

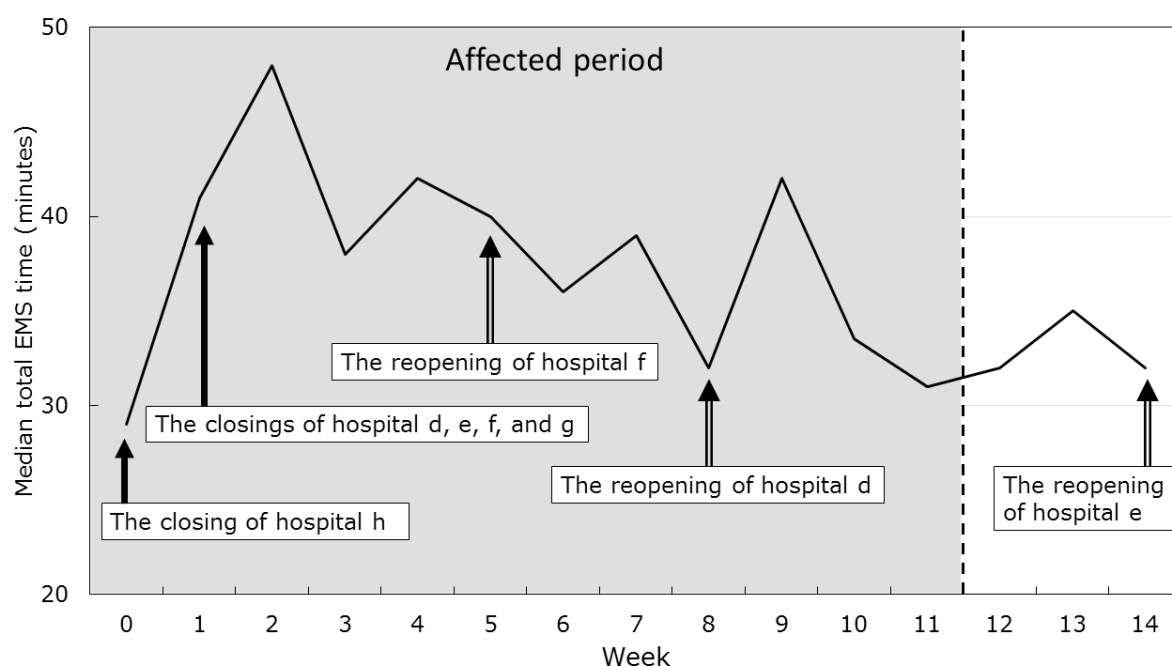


図 8: 救急搬送時間と病院閉鎖・再開との関係。アルファベットは図 4A と一致する。

この病院閉鎖は、強制避難によるものと自主避難によるものの二種類に分類できる。閉鎖した 5 病院のうち 1 つは、強制避難区域に位置したため、2011 年 3 月 12 日に避難指示に従いスタッフ・患者の避難が行われ、病院が閉鎖した。他の 4 病院は自主避難地域に位置した。自主避難地域にあった 4 病院すべてがいったん閉鎖した理由は様々であるが、主な原因は人的資源、物的資源不足である。例えば、今回の研究対象地域で最大の 180 床の入院病棟を持つ南相馬市立総合病院は、239 人のスタッフが 71 人まで減少した。³⁸ このような病院スタッフの自主避難は、スリーマイル島原発

事故のような原発事故だけでなく、Chi-Chi 地震のような自然災害でも報告されている。^{54 63} 結果、自主避難地域の 4 病院、強制避難区域の 1 病院すべてが災害後 2 週間以内 (week 1) に閉鎖した (図 4B)。この地域の病院は、災害前の震災・津波による物理的被害が小さかったことを考慮すると、この閉鎖は病院のスタッフ不足によるものと考えられる。一方で、EMS スタッフは全員が勤務を続けたことは特筆に値する。EMS スタッフと病院スタッフでは災害後のリスク許容度が違うことは先行研究でも評価されている。^{64 65} 従って、病院スタッフの自主避難は災害後に発生しうる可能性があると思定し、災害後の病院スタッフ不足に対して対策をたてる必要があると考えられる。

本研究では、大量の避難が起きたにもかかわらず、EMS の機能がある程度保たれていたことを示した。1 週間あたり救急搬送件数は、災害発生から 1 週間が最大で、災害前の 2.9 倍に増加した。この搬送のうち約 1/3 が地震・津波に伴う外傷 (57/182) であり、急性放射線障害を示唆する主訴はなかった。この救急搬送の増加にもかかわらず、救急搬送時間はこの期間には延長していなかった。過去の研究では、災害による大量の被災者発生によって救急搬送時間が遅延することが報告されている。^{66 67} しか

し、本研究では、東日本大震災に伴う外傷患者の増加は、研究対象地域の EMS 機能を上回るほどの量ではなかったと考えられる。

本研究の限界は、救急搬送記録には、患者の血圧や体温などのバイタル情報、患者の転帰や死亡などの情報が含まれないことである。従って本研究で認められた救急搬送の遅延が患者の経過に与えた影響は分からない。今後は、各医療施設の記録を用いるなど、患者の経過に関する影響を評価した研究が待たれる。

4. 福島第一原発事故後の地域住民への二次的な健康被害に関する研究

4.1. 目的

災害による健康被害には、直接的なものと間接的なものがある。⁶⁸ 災害による直接的な健康被害とは、外傷や熱傷など災害に起因する外的要因によるものだ。⁶⁹ 高齢者では、災害後の直接的な健康被害が大きいことが知られている。⁷⁰ 例えば、2005年のハリケーン・カトリーナでは、米国ニューオーリンズ州では災害前人口のうち高齢者が占める割合が15%であったにも関わらず、ハリケーンによる直接死のうち75%が高齢者であった。⁹ このような、災害後の直接的な健康被害が高齢者に多い理由は、移動能力の低下、危険察知能力の低下、健康状態の悪化などが原因と言われている。¹⁴ 一方、災害後の社会・環境変化に伴う間接的な健康被害については、災害後の統計情報を集めることが困難であるため、研究がほとんどない。

2011年3月11日に起きた東日本大震災・東北地方太平洋沖地震とそれに引き続く津波、さらに福島第一原子力発電所事故（以下、原発事故）は、最近の先進国で起きた代表的な災害の例である。本章では、一連の災害の間接的な健康被害による死亡率の変化・その原因を明らかにするため、原発の北方10-45kmに位置する相馬市・南相馬市の住民を対象とし、2011年3月11日から5年間における死亡率・死亡原因

を調べた。

4.2. 方法

4.2.1. データ元

厚生労働省が管理する人口動態調査を使用し、2006年1月から2015年12月までの相馬市、南相馬市の結果を利用した。人口動態調査には以下の情報が含まれる：相馬市、南相馬市住民の死亡日、死亡原因（ICD-10コード）、死亡者の生年月日。人口動態調査の死亡調査票の二次利用については、統計法にもとづき厚生労働省の許可を得た。死亡データは、調査期間の1ヶ月ごとに年齢、性別、死亡原因ごとに集計されている。死亡原因は、the International Classification of Diseases and Health-Related Problems, 10th Revision（ICD-10）分類に従ってコーディングされている。人口データは、市区町村が管理する住民基本台帳にもとづき、自治体ごと、年齢ごと、各性別の人口を使用した。

4.2.2 調査対象

災害の直接的な健康被害による死亡者を調査対象から除くため、以下の死亡を「直接死」と定義し、間接的な健康被害を評価するデータ解析から除外した：3月11日に発生した死亡のうち、ICD-10コードでS00-S09（頭部外傷）、S12（頸部骨折）、S20-

S29（胸郭外傷）、T00–T07（多部位の外傷）、T14（部位不明の外傷）、T29（多部位の熱傷）、T71（窒息）、T79（外傷の合併症）、T75.1（溺死）。今回のデータでは、X30–X39（自然現象による受傷）と分類されたものはなかった。

本研究では、直接死を除いた2006年から2015年すべての死亡情報が使用された。一連のトリプル災害の間接的な健康被害を調査するため、災害前後の直接死以外の死亡リスクを比較した。

4.2.3. データ解析

4.2.3.1 全死亡率の災害前後での比較

まず、すべての死亡情報について、2006年から2015年までの各年における男女別年齢調整死亡率を、1985年の日本人口に基づくモデル人口⁷¹を利用して計算した。2011年から2015年にかけての各年の年齢調整死亡率を、災害前（2006年から2010年）の平均とカイ二乗検定を用いて比較した。

4.2.3.2 直接死を除く月ごと死亡リスクの災害前後比較

直接死を除いた死亡リスクが、年ごとにどのように変化しているかを評価するた

め、ポワソン回帰モデルを使用して、2011年から2015年における各月の死亡リスクを、災害前の死亡リスク平均と比較した。

推計モデルは、以下のように表される。(説明のため単純化している)

$$\ln(\text{死亡者数} / \text{人口}) = a + \beta_1 \times X_1 + \beta_2 \times X_2 + \beta_3 \times X_3$$

これは、以下のように変換可能である。

$$\ln(\text{死亡者数}) = a + \beta_1 \times X_1 + \beta_2 \times X_2 + \beta_3 \times X_3 + \ln(\text{人口})$$

上記式のように、死亡数の自然対数をアウトカム変数とし、人口あたり死亡数を評価するために人口の自然対数をオフセット値として利用した。以下の3変数をモデルに組み込んだ。1つのダミー変数 (X1 (都市) : 相馬市/南相馬市) と2つのカテゴリカル変数 (X2 (死亡時の年齢) : 65歳未満、65歳以上74歳以下、75歳以上84歳以下、85歳以上 ; X3 (年) : ベースライン (2006年から2010年)、2011年、2012年、2013年、2014年、2015年) である。本研究での主要な目的は、災害後の各年 (2011–2015年) と災害前のベースラインの死亡リスク平均の比較であり、「年」という変数による影響 (上記モデルでの β_3) に相当する。1月から12月までの月ごとの死亡リスクについて、災害前ベースラインと比較して、災害後の各年の死亡の相対リスクを計算した。

4.2.3.3 死亡原因ごとの死亡リスクの災害前後比較

死亡原因ごとで、災害後の死亡リスクの変化に差があるか調べるため、特定の死亡原因での死亡について上記モデルを用いて月ごと死亡リスクの変化を評価した。死亡原因については、2011年の3月の直接死を除く死亡を抽出し、多いものから順に4つの死亡原因を選択した。

4.2.3.4 年齢ごとの死亡リスクの災害前後比較

年齢により災害後の死亡リスクの変化に差があるか調べるため、各年齢群での死亡について上記モデルを用いて月ごと死亡リスクの変化を評価した。

上記の解析については、STATA/MP version 14.1 を用いた。P 値は 0.05 未満を統計的有意とした。グラフの描画には R version 3.30 を使用した。

4.3. 結果

災害前 2006 年から 2010 年までの総死亡者数は 6163 人、災害後 2011 年から 2015 年までの総死亡者数は 7215 人だった。災害後の死亡者のうち、直接死と診断された

1090 人の死亡を解析から除外した。その結果、災害前の死亡者 6163 人（うち女性は 2938 人：48%）、災害後の死亡者 6125 人（うち女性: 2953 人：48%）がこの後の解析対象となった。直接死をふくむ総死亡者数の、年齢、性別、死亡年ごとの集計を、表 8 に示した。

表 8：直接死をふくむ総死亡者数の、年齢、性別、死亡年ごとの集計

Age	Predisaster period (Men)										Postdisaster period (Men)														
	2006	2007	2008	2009	2010	Total	2011	2012	2013	2014	2015	deaths	2006	2007	2008	2009	2010	Total	2011	2012	2013	2014	2015	deaths	
0-39	16	11	19	19	10	75	11	18	10	6	7	52	88												
40-64	91	97	112	96	116	512	89	92	86	78	95	440	171												
65-74	120	142	140	130	133	665	96	114	123	109	142	584	104												
75-84	222	227	225	207	243	1124	217	220	216	213	204	1070	121												
85-	149	158	168	190	184	849	194	167	217	210	238	1026	38												
	Predisaster period (Women)										Postdisaster period (Women)														
	Total										Total														
	indirect										indirect														
	direct										direct														
Age	2006	2007	2008	2009	2010	Total	2011	2012	2013	2014	2015	deaths	deaths												
0-39	13	8	10	12	8	51	3	5	7	5	4	24	79												
40-64	48	40	40	47	42	217	36	27	42	51	36	192	151												
65-74	60	62	64	68	48	302	38	62	40	58	48	246	126												
75-84	168	187	172	157	182	866	158	164	151	134	140	747	142												
85-	275	297	323	272	335	1502	352	307	333	355	397	1744	70												

直接死は、2011年3月11日に発生した死亡のうち、ICD-10コードでS00-S09 (頭部外傷)、S12 (頸部骨折)、S20-S29 (胸部外傷)、T00-T07 (多部位の外傷)、T14 (部位不明の外傷)、T29 (多部位の熱傷)、T71 (窒息)、T79 (外傷の合併症)、T75.1 (溺死) と分類されていたもの。

図 9 は、人口 10 万人あたりの男女別年齢調整死亡率の 2006 年から 2015 年にかけての推移を表している。災害前（2006–2010 年）の死亡率と比較すると、男性では 2014 年 (598 vs. 493, $p < 0.01$) と 2015 年 (598 vs. 528, $p = 0.04$) で有意な減少を認め、女性では 2015 年 (300 vs. 247, $p = 0.03$) に有意な減少を認めた。

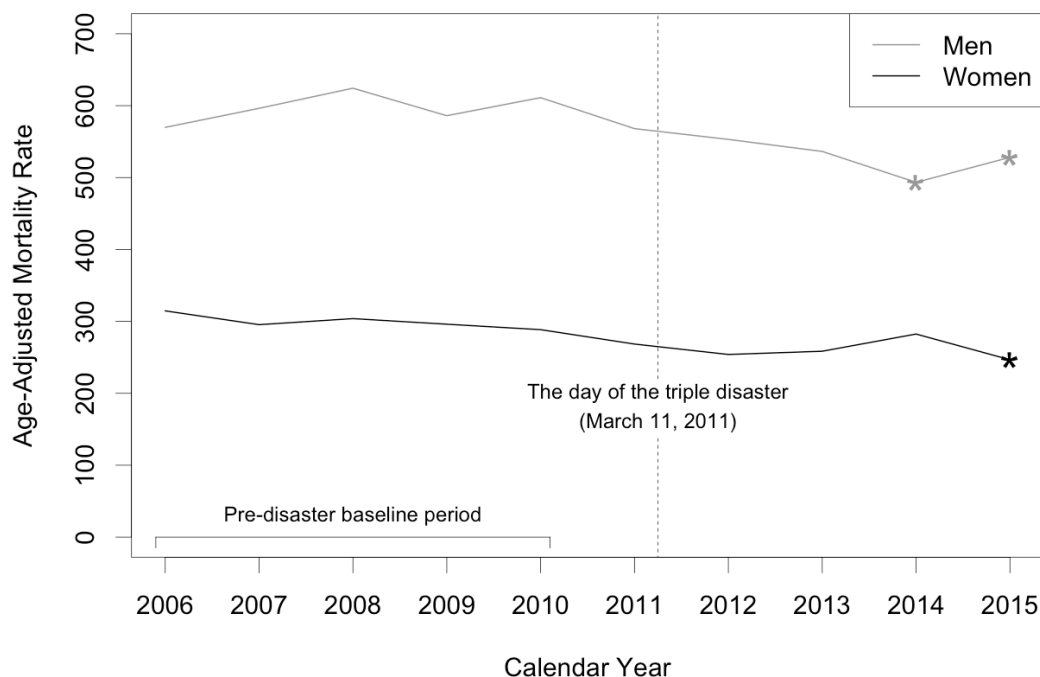


図 9：人口 10 万人あたりの男女別年齢調整死亡率の 2006 年から 2015 年にかけての推移

図 10 に、ポワソン回帰モデルを使用して計算した、災害前の同期間と比較した月ごとの相対死亡リスクの推移を示した。災害による直接死を除いた死亡

リスクを都市、年齢で調整したところ、災害後死亡リスクは、男女ともに災害から1ヶ月の間で有意に上昇していた（男性でRR: 2.64, 95% CI: 2.16–3.24）、女性でRR: 2.46, 95% CI: 1.99–3.03）。この災害後1ヶ月間での死亡リスク上昇は、災害による間接的な健康被害によるものと考えられる。この死亡リスクは、男女ともに災害翌月には災害前と同程度に下がり、災害から10ヶ月、11ヶ月では逆に死亡リスクの減少を認めた。災害後1年間の相対死亡リスクの推移については、表 9 に示した。

表 9 : 災害前 (2006-2010 年) と比較した、災害後 1 年間の相対死亡リスク推移

Men			
Time from the disaster (month)	RR	95% CI	P-value
1 (Mar 2011)	2.64	2.16–3.24	<0.001
2 (Apr 2011)	0.99	0.75–1.32	0.95
3 (May 2011)	0.96	0.72–1.27	0.76
4 (Jun 2011)	0.99	0.72–1.36	0.94
5 (Jul 2011)	1.18	0.88–1.58	0.27
6 (Aug 2011)	0.86	0.63–1.18	0.36
7 (Sep 2011)	1.05	0.78–1.40	0.75
8 (Oct 2011)	1.04	0.77–1.40	0.82
9 (Nov 2011)	0.92	0.70–1.22	0.58
10 (Dec 2011)	0.52	0.36–0.74	<0.001
11 (Jan 2012)	0.35	0.23–0.53	<0.001
12 (Feb 2012)	0.92	0.70–1.22	0.58
Women			
Time from the disaster (month)	RR	95% CI	P-value
1 (Mar 2011)	2.46	1.99–3.03	<0.001
2 (Apr 2011)	1.16	0.88–1.52	0.30
3 (May 2011)	1.30	0.98–1.72	0.07
4 (Jun 2011)	0.97	0.71–1.33	0.86
5 (Jul 2011)	1.04	0.76–1.42	0.81
6 (Aug 2011)	1.15	0.87–1.52	0.33
7 (Sep 2011)	0.73	0.51–1.05	0.09
8 (Oct 2011)	1.28	0.95–1.72	0.10
9 (Nov 2011)	0.76	0.55–1.05	0.10
10 (Dec 2011)	0.63	0.45–0.89	0.01
11 (Jan 2012)	0.29	0.18–0.45	<0.001
12 (Feb 2012)	0.98	0.75–1.29	0.91

相対死亡リスクは、都市・年齢で調整した。RR, relative risk; CI, confidence interval. Time from the disaster は、2011 年 3 月 11 日から 4 月 10 日を 1 と定義し、1 ヶ月ごとにカウントした。

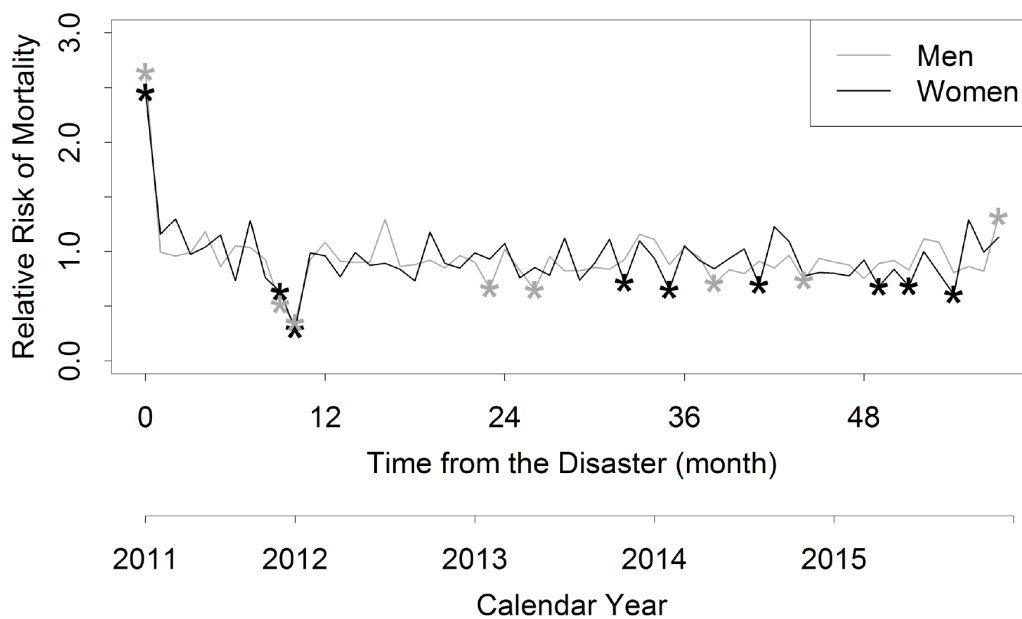


図 10：災害前の同期間と比較した月ごとの相対死亡リスクの推移
 災害前期間：2006年1月1日から2010年12月31日。

直接死を除いた災害後死亡リスクがもっとも高かった、災害後1ヶ月において、多い死亡原因は順に、肺炎（ICD10: J12-18, 全死亡のうち28%; n = 47）、脳卒中（ICD 10: I60-I69, 15%; n = 25）、冠動脈心疾患（ICD 10: I21-I25, 10%; n = 16）、がん（ICD 10: C00-97, 9%; n = 15）であった。災害前同月における、肺炎、脳卒中、冠動脈心疾患、がんによる死亡は、それぞれ全体の16%（n = 1049）、14%（n = 877）、9%（n = 580）、26%（n = 1659）を占めた。災害後1ヶ月間の死亡原因で最も多かった肺炎について、相馬市・南相馬市に残っていた医療記録を参照したところ、47例中23例について情報を得た。彼らのうち15名（65%）は、

災害発生時の段階で入院中か介護施設入所中の高齢者だった。

これらの4大死亡原因について、それぞれの死亡原因による死亡リスクについて災害前後での推移を評価した。図 11 に、各死亡原因での、災害前と比較した月ごと相対死亡リスクの、災害から12ヶ月間の推移を示した。肺炎、脳卒中、冠動脈心疾患、がんによる死亡は、災害前と比較して災害後の一ヶ月間でリスクが有意に上昇していた。

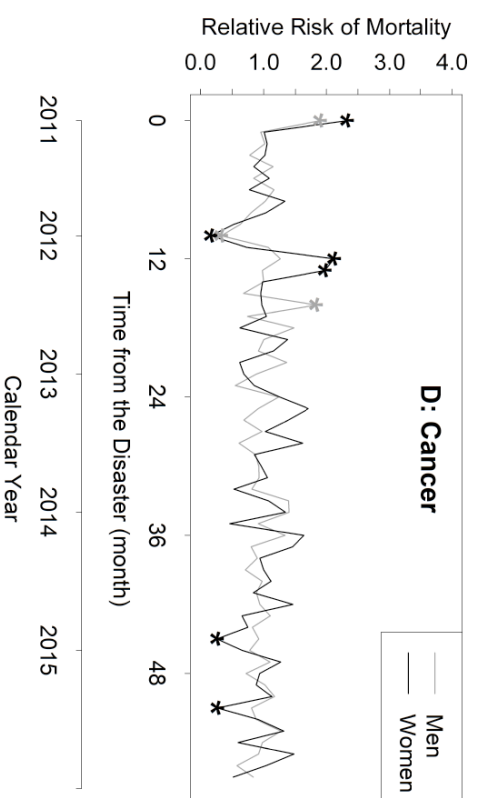
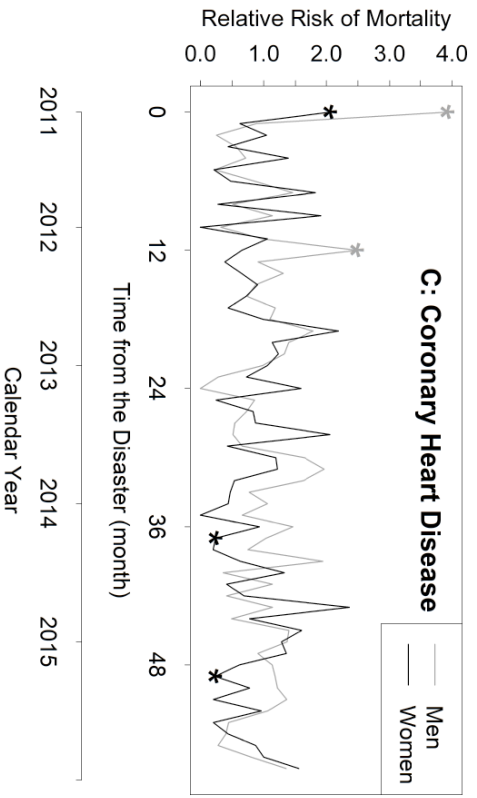
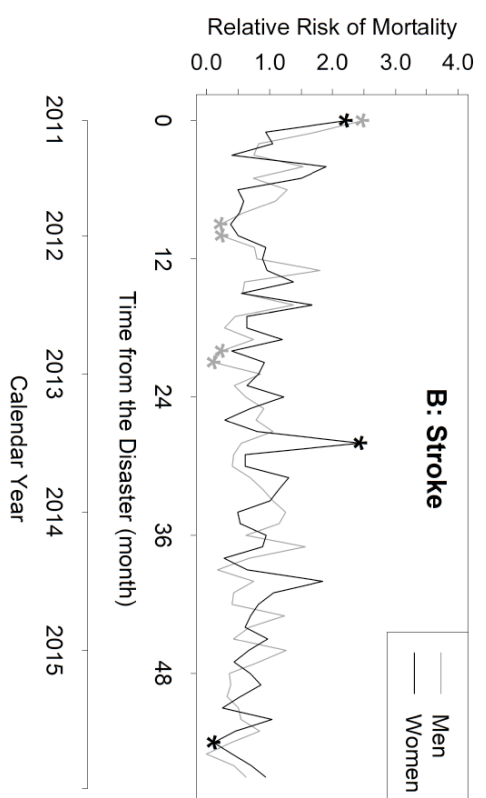
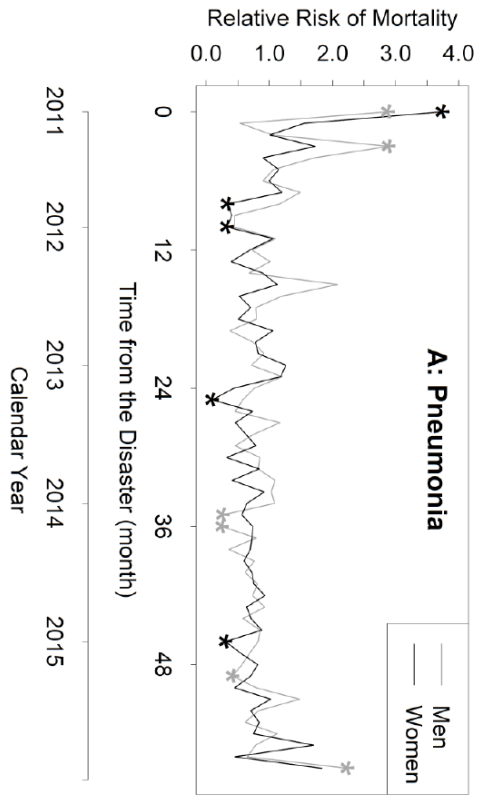


図 11：各死亡原因での、災害前と比較した月ごと相対死亡リスクの推移

各年齢群での災害前と比べた災害後の相対死亡リスクを評価した (図 12)。

男性・女性どちらでも、どの年齢群でも災害から1ヶ月の死亡リスクが、災害前同期間と比較して上昇していた。特に85歳以上の女性では、死亡リスクの上昇は、災害から3ヶ月間(2011年5月)にわたって続いていた。

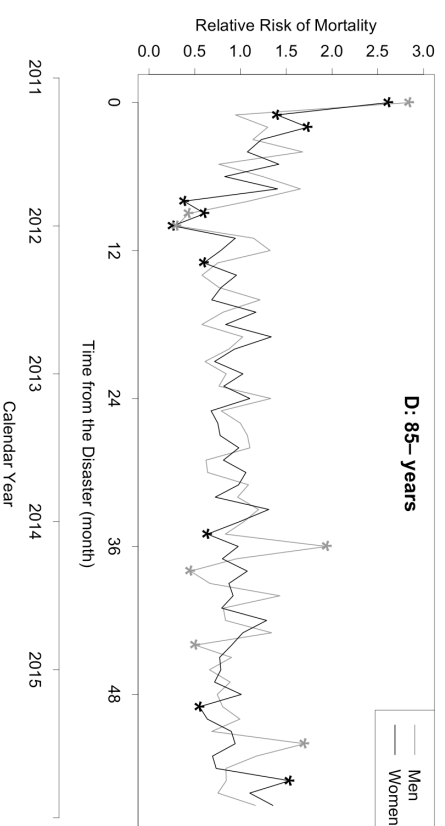
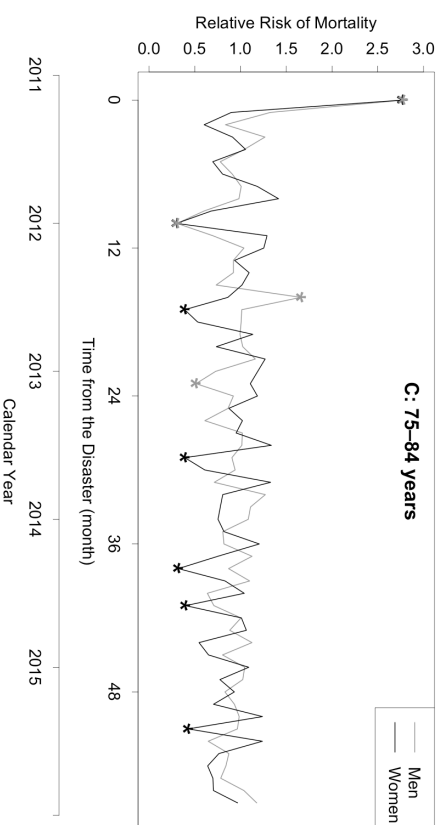
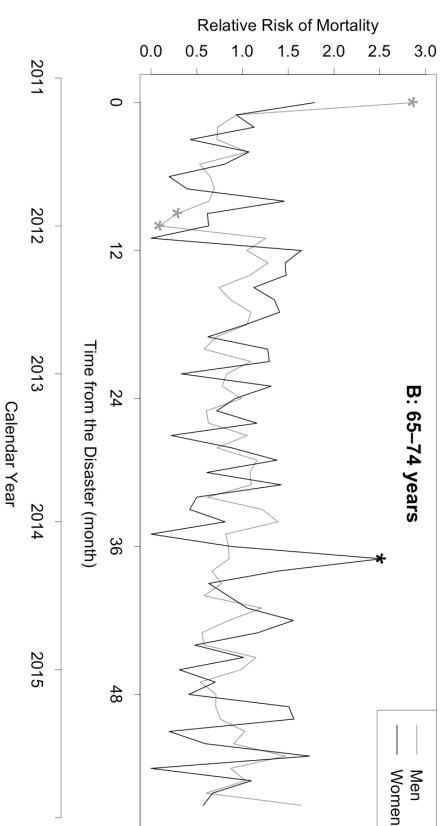
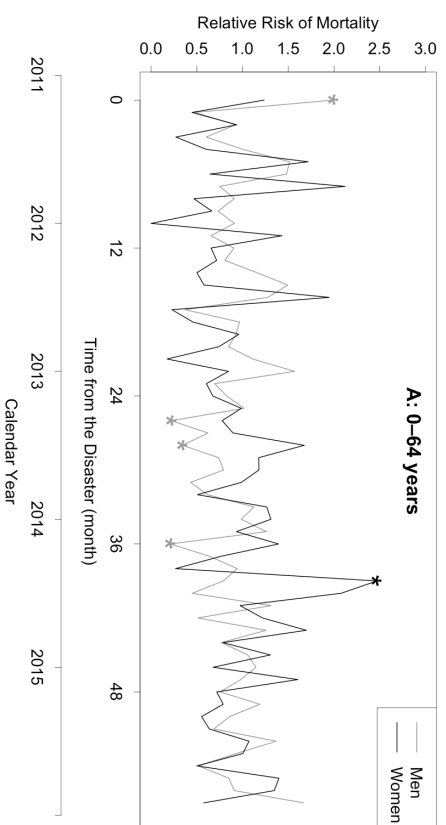


図 12：各年齢群での災害前と比べた災害後の相対死亡リスク

4.4 考察

本研究は、災害後5年間の死亡リスクが最も高かったのが災害からの1ヶ月間であることを示した。この死亡リスクの上昇は災害の間接的な健康リスクによるものと考えられる。これまでの研究では、福島原発事故後に慢性疾患や精神疾患リスクが上昇していることが指摘されており、今回の知見と矛盾しない。

⁷²⁻⁷³ このような災害の間接的な健康リスクを軽減するためには、災害初期に、人々への情報伝達やコミュニティでのサポートを実現するため、コミュニティ形成や生活に必要なインフラの復旧、心理社会的なサポートなどの対策が重要であると言われている。⁷⁴⁻⁷⁶ 本研究はさらに、このような災害初期のサポートは特に、災害後1ヶ月間に行うことが、災害後の間接的な健康リスク軽減のために有効であることを示唆している。

死亡リスクの上昇は、85歳以上の女性では災害から3ヶ月間にわたって続いていた。このことは、災害の間接的な健康リスクが、高齢者ではより深刻に、より長期にわたって続く可能性があることを示している。その理由は、高齢者は身体的なハンディキャップ、慢性疾患、聴力低下などの感覚器官の能力低下、

社会的・経済的な制約などを抱えている可能性が高いため、災害後の環境に適応する能力が若年層よりも低いからである。¹⁴²⁹ これまでの研究では、災害の間接的な健康リスクが高齢者層でより高い可能性があることを示している。⁷⁷⁷⁸ 本研究では、災害の健康リスクを軽減するための援助が、高齢者に対してより重要であることを示した。

災害から1ヶ月間の死亡原因が多かった4大疾患は、肺炎、冠動脈心疾患、脳卒中、がんであった。これらの疾患が、災害後に死亡リスクが上昇することは過去の研究でも指摘されている。⁷⁹⁸⁰ がんのような慢性的な疾患を抱えている患者も、肺炎、冠動脈心疾患、脳卒中のような急性疾患の患者も、適切な医療ケアによって状態が保たれているため、災害後の混乱期で適切な医療ケアが出来なくなった場合に、状態が悪化しやすい。

特に、地震後最初の1ヶ月間は肺炎による死亡者が全体の28% (47/165人) を占めた。以前の研究では、津波によって運ばれてきた塵や水を飲み込んだことにより、災害後の肺炎の増加が引き起こされたという仮説がある。⁷⁹ しかし、

我々がカルテを閲覧した結果では、肺炎で死亡した患者の半数以上が入院中または施設入所中であり、津波の影響を直接受ける状態ではなかった。災害後の肺炎患者に関する先行研究では、ほとんどの肺炎が老人ホームで起きた誤嚥性肺炎であり、日常生活（ADL）が低い状態にある患者に関連していることが示唆されている⁸⁰ 災害後のスタッフ不足や混乱に伴い、誤嚥性肺炎を防ぐための十分な口腔ケアを提供することは難しくなる。⁸¹ その結果、誤嚥性肺炎が増加して死亡率増加につながった可能性がある。

以前の災害研究では、被災地の住民の慢性疾患の悪化が報告されていたが、災害発生後の初めの1ヶ月とは対照的に、2ヶ月以降死亡リスクは有意に増加しなかった。^{72 73} その理由としていくつか可能性がある。第一に、仮設住宅は、地震前の住所に基づいて住居割当が行われ、三大災害後の心理的ストレス⁸² と社会的孤立⁸³ による死亡リスクを軽減するために提供されたため。第二に、災害後の2ヶ月以降、被災地の保健施設が部分的に復旧し、慢性疾患の悪化による死亡率の増加を抑えることができたと言える。⁸⁴ 災害後の効果的な長期的支援のためには、一つ一つの措置の有効性をさらに高めることが不可欠である。

災害発生後5年間にわたって死亡リスクは増加され続けなかったことにも注目したい。一連の災害、特に福島第一原子力発電所の原発事故は、被災地の住民の健康問題に深刻な影響を引き起こした。過去の研究では、調査した地域の住民の放射線被曝は、健康上の問題を引き起こすほど高くなかったと言われている。^{85 86} しかし、未だに放射線被曝による健康被害の恐れが残っている。⁸⁷ この研究では、がんによる死亡率は増加しなかった。放射線の潜在的な発がん性を評価するには5年の研究期間が十分ではないため⁸⁸、本論文の結果で放射線被曝によるがんの発生率が増加していないと結論づけることはできない。放射線被曝ががん発症に与えた影響を評価するためには、さらに長期的な研究が必要である。

本研究にはいくつかの限界があり、長期的な死亡リスクは正確に評価できない可能性がある。まず、全死亡原因による年齢調整死亡率は図9に示されるように、低下傾向にある。これは、日本全体の傾向とも一致し、がんの死亡率低下や慢性疾患の治療法改善によるものと考えられる。^{89 90} 従って、災害により

長期的な死亡リスク上昇があったとしても、この死亡リスク低下傾向によって打ち消された可能性がある。さらに、災害から数年が経過すると住民票を変更する住民が増加している可能性があるため、特に災害から数年後における災害前の相馬市民・南相馬市民の死亡リスクが十分に評価できない可能性がある。

また、本研究で行った年齢別、疾患別の死亡リスク評価については解釈に注意が必要である。年齢別死亡リスクでは、65歳未満のように死亡者数が少ない群が含まれるため、月別の相対死亡リスクの増減について正しく評価できない可能性がある。また、今回のような人口動態調査を元にした死亡リスク評価では、特に高齢者の死亡原因、病名が正確でない可能性があることが指摘されている。⁹¹ 従って、疾患別死亡リスクについても注意が必要である。

5. 総合結論と考察

高齢社会での公衆衛生上の重要課題の 1 つである災害対策⁹²として、近年注目されているのが、間接的な健康被害を防ぐことである。しかし、災害時のデータの収集の困難さや災害前の統計データ不足から、このような研究は少ない。^{68 93} 本研究は、高齢社会で起きた代表的な災害である福島第一原発事故を例に、避難行動や間接的被害の実態を明らかにし、今後の災害対策に資することを目的とした。

5.1. 福島第一原発事故による高齢社会における災害の間接的被害の実態

過去の研究では、災害による間接的な健康被害が 1 年以上続く例も報告されている。⁹⁴ しかし、福島第一原発事故後では、死亡率の上昇は災害から 1 ヶ月間にとどまり、長期的な死亡リスクの上昇は認めなかった。⁹⁵ このことは、日本で行われる災害対策が、長期的な健康被害を防ぐことに役立った可能性を示唆する。例えば、仮設住宅の速やかな提供、さらに災害前住所に基づく割り当ては、精神的ストレスや社会的孤立に伴う死亡リスクを下げる可能性があるとして報告されている。^{82 83} 一方で、高齢者の死亡リスクは災害から 3 ヶ月にわたっ

て上昇していた。このことは、災害による間接的な健康影響が高齢者では遷延していたことを意味する。そこで、災害直後から 3 ヶ月間にわたって高齢者の死亡リスクが上昇した原因を避難の実態から以下に考察する。

5.1.1. 福島第一原発事故による避難の実態

福島第一原発事故の避難は、大きく強制避難、自主避難に分けられる。まず、原子力発電所から 20km 圏内は警戒区域に指定され、3 月 12 日には避難指示が発令され許可なしの立入が禁止された。我々の推計によると、避難指示発令から 10 日後には南相馬市の警戒区域では人口の 99% (12,524/12,694) が避難していた。

さらに重要なことは、大量の自主避難が発生したことだ。原子力発電所から 20-30km 離れた地域は屋内退避指示が発令された。30km 以上離れた地域では、特に空間放射線量が高い地域を除いて避難指示は発令されなかった。しかし、南相馬市の屋内退避区域、原子力発電所から 30km 以上離れた地域からは、ともに住民の 87%が自主的に避難していた (それぞれ 40,957/46,830, 9,954/11,395)。

5.2. 福島第一原発事故が引き起こした間接的な健康被害の原因

5.2.1. 強制避難に伴う健康被害

5.2.1.1. 強制避難による健康リスク

避難による健康被害は、他の災害でも報告されている。例えばアメリカのハリケーン後の避難に伴う死亡リスク上昇である。^{96 97} このような健康被害は、避難中・避難先の居住環境が避難前よりも悪化すること、医療へのアクセスがなくなること、災害前のコミュニティが崩壊することによる社会的孤立などが原因であると言われている。⁷³ 特に、このような健康被害は高齢者、慢性疾患患者、貧困層など健康レベルや社会経済的地位の低い住民で大きい。⁹⁸ 高齢社会では被害が大きくなることが予想され、対策が重要だ。

日本では過去の災害の経験を元に、避難時の仮設住宅の整備、支援物資の配布、医療支援チームの派遣など、避難に伴う健康被害を防ぐための試みが行われてきた。福島第一原発事故後のこれらの支援がどの程度効果的であったかを評価した研究はこれまでになく、今後の調査が待たれる。

5.2.1.2. 強制避難区域に留まった住民の健康リスク

また、我々の推計では、強制避難区域の人口のうち 1%が、避難指示発令後にも避難せずに留まっていた。これまでの災害でも避難指示発令後に地域へ留まる住民は報告されている。このような場合、情報不足・理解不足によるリスクの過小評価、避難への準備不足、避難中に発生する人種差別や不平等なども避難指示後に留まる要因となる。⁹⁹ 高齢社会においては、高齢者に情報が十分に伝わらないこと、移動能力がないことが原因で避難が遅延することが報告されており¹⁴、避難指示発令時に高齢者をサポートすることが重要だ。

特に、原子力災害では被害が目に見えないため、避難指示後も地域に留まりやすい可能性がある。チェルノブイリ原発事故でも強制避難区域に住民が留まった例が報告されている。³⁵ 強制避難区域には、住民が存在しないという建前があるため、このような自主的に留まった住民に対しては、公的な社会保障サービスが提供されないことがある。³⁶ 特に原子力災害では避難指示発令後にも、被災地に留まった住民に対してどのような支援を行うべきか、議論が必要だ。

5.2.2. 自主避難に伴う健康被害

5.2.2.1. 自主避難による健康リスク

福島第一原発事故後、避難住民への健康対策を困難にしたのが、福島第一原発事故後に大量に発生した自主避難である。このような自主避難が大量に発生する災害は他に例が乏しく、過去の災害との単純な比較は困難だ。しかし、自主避難は強制避難による健康リスクに加えて別の健康リスクが生じる。まず、避難する際の混乱である。日本では避難指示が出た後には仮設住宅がコミュニティごとに整備される、避難のための運送手段が提供されるなど、避難の混乱を少なくする対策がとられている。¹⁰⁰ しかし、自主避難は各個で避難先を探すため、秩序だった避難が行われない。従って、避難先では災害前のコミュニティを保つことは困難である。⁹⁶ このような場合、医療へのアクセスが途絶え、避難先での環境変化による健康リスクが生じる。¹⁰¹

特に、介護施設入所中の高齢者などでは注意が必要だ。避難に際してスタッフ不足や運搬車両不足などが原因で、避難中に十分なケアが提供されない可能

性がある。¹⁰² そのため避難に伴う健康影響を受けやすく、福島第一原発事故後でも避難を行った介護施設では、高齢者の死亡リスクが上昇していた。¹⁰³ そのため、避難することにより生じる健康リスクと被災地に留まった場合の健康リスクのバランスを考慮することが重要だ。¹⁰⁴

自主避難を行った住民のなかでも、特に高齢者は避難先で十分な災害支援を受けられなかった可能性がある。避難先が住民によって異なるため、行政がすべての避難先を把握できないからである。避難指示に基づく避難ではないため、行政からの災害支援を行わない自治体もあった。¹⁰⁵ しかし、住民の9割近くが自主避難を行っていたこと、1979年のスリーマイル島原発事故でも避難指示が発令された地域の外で自主避難が大量に発生したこと¹⁰⁶を考慮すると、住民の移動の自由があるかぎり、原子力災害後には自主避難は一般的に発生すると考えられる。従って、このような自主避難を行った住民を把握し、適切な支援を行うのが、災害後の被害拡大を防ぐためには必要だろう。

5.2.2.2. 避難後に残された住民の健康リスク

さらに、避難を行わずに被災地に留まった住民の間でも健康リスクが高まっていた可能性がある。本研究によると、自主的な避難行動は世代・世帯構成によって違いがあり、高齢者のいる世帯、さらに独居世帯では自主的な避難を行わない傾向があった。従って、自主避難後のコミュニティでは、高齢者や独居世帯が多いことが明らかになった。高齢者、独居世帯はいずれも社会的孤立に陥りやすく、健康リスクが高い。⁷²

この自主避難は医療提供体制にも影響を与えた。南相馬市・相馬市にある 7 病院を調査した研究では、屋内退避区域にあった 4 病院では、2011 年 4 月 1 日時点で職員数は震災前の 40%未満へ減少していた。¹⁰⁷ それにより 4 病院すべてが入院機能を維持できなくなった。このことは、相馬地方全体の救急搬送が約 3 ヶ月にわたって延長するなど、救急医療へのアクセスの低下に繋がった。この医療提供体制への影響も住民の健康リスク上昇につながった可能性がある。

5.3. 今後の原子力災害対策

本研究の結果は、今後の原子力災害対策への重要な知見となる。従来のガイドラインでは、原子力災害発生後には住民の放射線被曝を避けるため、積極的に避難指示が推奨されていた。¹⁰⁸ 実際、強制避難指示、屋内退避指示などの避難指示は、原子力災害直後の放射線被曝を防ぐためには効果的であると知られている。³⁹ しかし、福島第一原発事故後の研究で、避難に起因する健康問題が大きいことが明らかになった。今後の原子力災害後に避難指示を発令する際には、周囲の状況、住民への影響を勘案し、避難に伴う健康リスクと予想される放射線被曝のバランスを考慮することが重要だ。

また、自主的な避難への対策についても考慮する必要がある。本研究では、屋内退避区域でも住民の 80%以上が自主的に避難を行っていた可能性が示唆された。このような福島第一原発事故後の自主避難は、スリーマイル島原発事故など他の原子力災害でも報告されている。¹⁰⁶ したがって、今後の原子力災害でも、自主的な避難が大量に発生することを考慮して対策をたてることが重要だ。例えば、自主的な避難を行った住民に対しても、避難指示によって避難した住

民と同様の災害支援を行うことや、自主避難によって人口が減った被災地で見回りの強化を行い住民の社会的孤立を防ぐことなどである。

5.4. 今後の課題

本研究は、高齢社会で発生した原子力災害の短期的な健康影響を評価し、高齢者では死亡リスクへの長期的な影響は認めなかったが、短期的な死亡リスク上昇が遷延することを明らかにした。今後の災害に伴う死亡リスク軽減のために優先すべきことは災害から数ヶ月以内の高齢者を対象としたサポートである。高齢社会のなかでの災害対策について、福島第一原発事故の経験を活用することが望まれる。

一方で、長期的な健康への影響については、さらなる研究がまたれる。本研究では、死亡リスクを用いて災害の健康被害について評価を行ったが、高齢社会においては、Quality of life や、Healthy life expectancy など、多面的な指標で健康を評価することが有用である。特に、今回の原子力災害が住民に与えた精神的な影響は大きいと考えられるため、これを評価することが重要だ。今後は、

住民の主観的な健康評価や、身体情報、精神的な状態を評価し、健康状態を評価する研究が待たれる。

また、住民の健康被害だけでなく、今回の原子力災害が与えた社会的な影響も無視できない。例えば、高齢化に伴う介護費用の増加である。南相馬市では高齢者一人あたりの介護費用が、震災前に比較して 30%増加したと報告されている。¹⁰⁹ これは、福島第一原発事故後の避難によって若年層が減少し、高齢者の介護を支える若年層が減少し、高齢者が公的サービスに依存する割合が増加したことが原因と考えられている。今後、高齢者の身体状態の変化や経済的な変化など、福島第一原発事故後の社会変化が医療・介護へ及ぼした影響を評価することは、高齢社会で発生した災害の影響を適切に評価するために重要である。

6. 謝辞

本論文を作成するにあたり、多くの方々にご指導・ご支援いただいた。この場を借りて御礼申し上げます。福島県浜通りでのフィールドワークを続けるにあたり、いつも適切なアドバイスとフォローをしてくださった北村俊雄先生はじめ、研究室スタッフには心から感謝申し上げます。また、被災しながらも医療を提供し、地元住民の健康を支えた南相馬市立総合病院の金澤幸夫・前院長、及川友好・現院長、立谷秀清・相馬市長、相馬中央病院の標葉隆三郎・院長、各病院のスタッフ達、相馬市、南相馬市、相双保健所の行政スタッフに心より感謝申し上げます。

東京大学の渋谷健司先生には統計解析および地域医療といった広い視点を、いわき明星大学・公益財団法人ときわ会の加藤茂明先生には論文をまとめる際の論理的な考え方を、相馬中央病院の坪倉正治副院長には福島県浜通りの放射線被曝に対する現状と対策を、医療ガバナンス研究所の上昌広先生には被災地の医療の特徴をご教授いただいた。本論文が今後の災害対策にむけて、さらに現在も災害の影響に苦しんでいる多くの方々に有益なものとなることを願う。

7. 参照論文

1. Bloom DE, Chatterji S, Kowal P, et al. Macroeconomic implications of population ageing and selected policy responses. *Lancet* 2015;**385**(9968):649-57.
2. Melchiorre MG, Chiatti C, Lamura G, et al. Social support, socio-economic status, health and abuse among older people in seven European countries. *PloS one* 2013;**8**(1):e54856.
3. "Centers for Disease" CP. Social support and health-related quality of life among older adults--Missouri, 2000. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep* 2005;**54**(17):433-7.
4. McCulloch A. Social environments and health: cross sectional national survey. *Bmj* 2001;**323**(7306):208-9.
5. Kawachi I, Kennedy BP, Lochner K, et al. Social capital, income inequality, and mortality. *American journal of public health* 1997;**87**(9):1491-8.
6. Kawachi I, Berkman L. Social cohesion, social capital, and health. *Social epidemiology* 2000:174-90.
7. Andrew MK, Mitnitski AB, Rockwood K. Social vulnerability, frailty and mortality in elderly people. *PloS one* 2008;**3**(5):e2232.
8. Kennedy P, Ressler E. *Handbook of disaster research*: Springer Science & Business Media, 2009.
9. Wingate MS, Perry EC, Campbell PH, et al. Identifying and protecting vulnerable populations in public health emergencies: addressing gaps in education and training. *Public health reports* 2007;**122**(3):422-6.
10. Mathers CD, Stevens GA, Boerma T, et al. Causes of international increases in older age life expectancy. *Lancet* 2015;**385**(9967):540-8.
11. Cutter SL, Ismail-Zadeh A, Alcantara-Ayala I, et al. Global risks: Pool knowledge to stem losses from disasters. *Nature* 2015;**522**(7556):277-9.
12. Aitsi-Selmi A, Egawa S, Sasaki H, et al. The Sendai framework for disaster risk reduction: Renewing the global commitment to people's resilience, health, and well-being. *International Journal of Disaster Risk Science* 2015;**6**(2):164-76.
13. Watts N, Adger WN, Agnolucci P, et al. Health and climate change:

- policy responses to protect public health. *Lancet* 2015;**386**(10006):1861-914.
14. Fernandez LS, Byard D, Lin C-C, et al. Frail elderly as disaster victims: emergency management strategies. *Prehospital and disaster medicine* 2002;**17**(02):67-74.
 15. Long D, Wong YL. Time bound: the timescape of secondary trauma of the surviving teachers of the Wenchuan Earthquake. *The American journal of orthopsychiatry* 2012;**82**(2):241-50.
 16. Uscher-Pines L. Health effects of relocation following disaster: a systematic review of the literature. *Disasters* 2009;**33**(1):1-22.
 17. Yzermans CJ, Donker GA, Kerssens JJ, et al. Health problems of victims before and after disaster: a longitudinal study in general practice. *International Journal of Epidemiology* 2005;**34**(4):820-26.
 18. Internal Displacement Monitoring Centre. Grid 2016 - Global Report on Internal Displacement. Secondary Grid 2016 - Global Report on Internal Displacement. <http://www.internal-displacement.org/globalreport2016/>.
 19. Spiegel P, Sheik M, Gotway-Crawford C, et al. Health programmes and policies associated with decreased mortality in displaced people in postemergency phase camps: a retrospective study. *Lancet* 2002;**360**(9349):1927-34.
 20. Hasegawa J, Hidaka H, Kuriyama S, et al. Change in and long-term investigation of neuro-otologic disorders in disaster-stricken Fukushima prefecture: retrospective cohort study before and after the Great East Japan Earthquake. *PloS one* 2015;**10**(4):e0122631.
 21. World Health Organization. *Health risk assessment from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan earthquake and tsunami, based on a preliminary dose estimation*: World Health Organization, 2013.
 22. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and effects of ionizing radiation. UNSCEAR 2013 report to the General Assembly, SCIENTIFIC ANNEX A:
Levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident after the 2011 great east-Japan earthquake and tsunami. 2013.
 23. Bohorquez JC, Gourley S, Dixon AR, et al. Common ecology quantifies human insurgency. *Nature* 2009;**462**(7275):911-4.

24. Gouweloos J, Duckers M, te Brake H, et al. Psychosocial care to affected citizens and communities in case of CBRN incidents: a systematic review. *Environment international* 2014;**72**:46-65.
25. Yablokov AV, Nesterenko AV, Nesterenko VB, et al. *Chernobyl: consequences of the catastrophe for people and the environment*: Yablokov, Nesterenko, Nesterenko, 2011.
26. World Health Organization. Chernobyl: The true scale of the accident. 20 years later a UN report provides definitive answers and ways to repair lives. 2005.
27. Salama P, Spiegel P, Talley L, et al. Lessons learned from complex emergencies over past decade. *Lancet* 2004;**364**(9447):1801-13.
28. Balcan D, Colizza V, Goncalves B, et al. Multiscale mobility networks and the spatial spreading of infectious diseases. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 2009;**106**(51):21484-9.
29. Aldrich N, Benson WF. Disaster preparedness and the chronic disease needs of vulnerable older adults. *Prev Chronic Dis* 2008;**5**(1):A27.
30. Harasawa K, Tanimoto T, Kami M, et al. Health problems in the temporary housing in Fukushima. *Lancet* 2012;**379**(9833):2240-1.
31. Hayano RS, Adachi R. Estimation of the total population moving into and out of the 20 km evacuation zone during the Fukushima NPP accident as calculated using "Auto-GPS" mobile phone data. *Proc Jpn Acad Ser B Phys Biol Sci* 2013;**89**(5):196-9.
32. Morimura N, Asari Y, Yamaguchi Y, et al. Emergency/disaster medical support in the restoration project for the Fukushima nuclear power plant accident. *Emergency medicine journal : EMJ* 2013;**30**(12):997-1002.
33. Hayano RS, Yamanaka S, Bronson FL, et al. BABYSCAN: a whole body counter for small children in Fukushima. *Journal of radiological protection : official journal of the Society for Radiological Protection* 2014;**34**(3):645-53.
34. Tsubokura M, Gilmour S, Takahashi K, et al. Internal radiation exposure after the Fukushima nuclear power plant disaster. *JAMA : the journal of the American Medical Association* 2012;**308**(7):669-70.
35. Marples D. *Belarus: from Soviet rule to nuclear catastrophe*: Springer, 1996.

36. Morris H. After Chernobyl, they refused to leave. CNN,(November 7, 2013).
37. McCurry J. Fukushima residents still struggling 2 years after disaster. *Lancet* 2013;**381**(9869):791-2.
38. Kodama Y, Oikawa T, Hayashi K, et al. Impact of natural disaster combined with nuclear power plant accidents on local medical services: a case study of Minamisoma Municipal General Hospital after the Great East Japan Earthquake. *Disaster medicine and public health preparedness* 2014;**8**(6):471-6.
39. Clarke R, Valentin J. The history of ICRP and the evolution of its policies. *Annals of the ICRP* 2009;**39**(1):75-110.
40. Toole MJ, Waldman RJ. The public health aspects of complex emergencies and refugee situations. *Annu Rev Public Health* 1997;**18**:283-312.
41. Sugimoto T, Shinozaki T, Naruse T, et al. Who was concerned about radiation, food safety, and natural disasters after the great East Japan earthquake and Fukushima catastrophe? A nationwide cross-sectional survey in 2012. *PloS one* 2014;**9**(9):e106377.
42. MURAKAMI M, NAKATANI J. Perception of Radiation Risk and Willingness to Return Home Following Decontamination. *ENVIRONMENTAL SCIENCE* 2015;**28**(3):193-210.
43. Ahn KO, Shin SD, Cha WC, et al. A model for the association of the call volume and the unavailable-for-response interval on the delayed ambulance response for out-of-hospital cardiac arrest using a geographic information system. *Prehospital emergency care : official journal of the National Association of EMS Physicians and the National Association of State EMS Directors* 2010;**14**(4):469-76.
44. Eckstein M, Isaacs SM, Slovis CM, et al. Facilitating EMS turnaround intervals at hospitals in the face of receiving facility overcrowding. *Prehospital Emergency Care* 2005;**9**(3):267-75.
45. Halpern P, Tsai MC, Arnold JL, et al. Mass-casualty, terrorist bombings: implications for emergency department and hospital emergency response (Part II). *Prehospital and disaster medicine* 2003;**18**(3):235-41.

46. Quinn B, Baker R, Pratt J. Hurricane Andrew and a pediatric emergency department. *Annals of emergency medicine* 1994;**23**(4):737-41.
47. Berggren RE, Curiel TJ. After the storm--health care infrastructure in post-Katrina New Orleans. *N Engl J Med* 2006;**354**(15):1549-52.
48. Schultz CH, Koenig KL, Noji EK. A medical disaster response to reduce immediate mortality after an earthquake. *N Engl J Med* 1996;**334**(7):438-44.
49. Aylwin CJ, Konig TC, Brennan NW, et al. Reduction in critical mortality in urban mass casualty incidents: analysis of triage, surge, and resource use after the London bombings on July 7, 2005. *Lancet* 2006;**368**(9554):2219-25.
50. McKay MP. Commentary: Emergency Medical Services: Just the Beginning of an Effective System. *Annals of emergency medicine* 2008;**52**(4):454-56.
51. Baranov A, Gale RP, Guskova A, et al. Bone marrow transplantation after the Chernobyl nuclear accident. *N Engl J Med* 1989;**321**(4):205-12.
52. Ramalho AT, Nascimento AC. The fate of chromosomal aberrations in ¹³⁷Cs-exposed individuals in the Goiania radiation accident. *Health physics* 1991;**60**(1):67-70.
53. Hiramata T, Tanosaki S, Kandatsu S, et al. Initial medical management of patients severely irradiated in the Tokai-mura criticality accident. *The British journal of radiology* 2003;**76**(904):246-53.
54. Maxwell C. Hospital organizational response to the nuclear accident at Three Mile Island: implications for future-oriented disaster planning. *American journal of public health* 1982;**72**(3):275-9.
55. Blackwell TH, Kaufman JS. Response time effectiveness: comparison of response time and survival in an urban emergency medical services system. *Acad Emerg Med* 2002;**9**(4):288-95.
56. El Sayed M, Mitchell PM, White LF, et al. Impact of an emergency department closure on the local emergency medical services system. *Prehospital emergency care : official journal of the National Association of EMS Physicians and the National Association of State EMS Directors* 2012;**16**(2):198-203.
57. Burt CW, McCaig LF, Valverde RH. Analysis of ambulance transports and diversions among US emergency departments. *Annals of emergency*

medicine 2006;**47**(4):317-26.

58. Marks PJ, Daniel TD, Afolabi O, et al. Emergency (999) calls to the ambulance service that do not result in the patient being transported to hospital: an epidemiological study. *Emergency medicine journal : EMJ* 2002;**19**(5):449-52.

59. Spaite DW, Valenzuela TD, Meislin HW, et al. Prospective validation of a new model for evaluating emergency medical services systems by in-field observation of specific time intervals in prehospital care. *Annals of emergency medicine* 1993;**22**(4):638-45.

60. Inc. G. Secondary. <https://maps.google.com/>.

61. Arc G. 9.2 soft ware “the Esri Web site”(www. esri. com/partners). Accessed on February 2012.

62. Wilson KV. A distribution-free test of analysis of variance hypotheses. *Psychological bulletin* 1956;**53**(1):96-101.

63. Hwang SJ, Shu KH, Lain JD, et al. Renal replacement therapy at the time of the Taiwan Chi - Chi earthquake. *Nephrology Dialysis Transplantation* 2001;**16**(suppl 5):78-82.

64. Asaeda G. WORLD TRADE CENTER ATTACK. 2005.

65. Iseron KV, Heine CE, Larkin GL, et al. Fight or flight: the ethics of emergency physician disaster response. *Annals of emergency medicine* 2008;**51**(4):345-53.

66. Lerner EB, Schwartz RB, Coule PL, et al. Mass casualty triage: an evaluation of the data and development of a proposed national guideline. *Disaster medicine and public health preparedness* 2008;**2 Suppl 1**:S25-34.

67. McIntyre T, Hughes CD, Pauyo T, et al. Emergency surgical care delivery in post-earthquake Haiti: Partners in Health and Zanmi Lasante experience. *World journal of surgery* 2011;**35**(4):745-50.

68. Dominici F, Levy JI, Louis TA. Methodological challenges and contributions in disaster epidemiology. *Epidemiologic reviews* 2005;**27**:9-12.

69. Shoaf K. Organizing the health sector for response to disasters. *Ciencia & saude coletiva* 2014;**19**(9):3705-15.

70. Rofi A, Doocy S, Robinson C. Tsunami mortality and displacement in Aceh province, Indonesia. *Disasters* 2006;**30**(3):340-50.

71. Hori M, Matsuda T, Shibata A, et al. Cancer incidence and incidence rates in Japan in 2009: a study of 32 population-based cancer registries for the Monitoring of Cancer Incidence in Japan (MCIJ) project. *Japanese journal of clinical oncology* 2015;**45**(9):884-91.
72. Morita T, Tanimoto T, Hori A, et al. Alcohol use disorder due to social isolation after a nuclear disaster in Fukushima. *BMJ Case Rep* 2015;**2015**.
73. Nomura S, Blangiardo M, Tsubokura M, et al. Postnuclear disaster evacuation and chronic health in adults in Fukushima, Japan: a long-term retrospective analysis. *BMJ open* 2016;**6**(2):e010080.
74. Logue JN. The public health response to disasters in the 21st century: reflections on Hurricane Katrina. *Journal of environmental health* 2006;**69**(2):9-13, 26.
75. Reyes G, Elhai JD. Psychosocial interventions in the early phases of disasters. *Psychotherapy: Theory, research, practice, training* 2004;**41**(4):399.
76. Dodge GR. In defense of a community psychology model for international psychosocial intervention. *Handbook of international disaster psychology* 2006;**1**:51-64.
77. Sharma AJ, Weiss EC, Young SL, et al. Chronic disease and related conditions at emergency treatment facilities in the New Orleans area after Hurricane Katrina. *Disaster medicine and public health preparedness* 2008;**2**(1):27-32.
78. Heo JH, Kim MH, Koh SB, et al. A prospective study on changes in health status following flood disaster. *Psychiatry Investig* 2008;**5**(3):186-92.
79. Uchimura M, Kizuki M, Takano T, et al. Impact of the 2011 Great East Japan Earthquake on community health: ecological time series on transient increase in indirect mortality and recovery of health and long-term-care system. *Journal of epidemiology and community health* 2014;**68**(9):874-82.
80. Shibata Y, Ojima T, Tomata Y, et al. Characteristics of pneumonia deaths after an earthquake and tsunami: an ecological study of 5.7 million participants in 131 municipalities, Japan. *BMJ open* 2016;**6**(2):e009190.
81. Bassim CW, Gibson G, Ward T, et al. Modification of the risk of mortality from pneumonia with oral hygiene care. *Journal of the American Geriatrics*

Society 2008;**56**(9):1601-07.

82. Miller AC, Arquilla B. Chronic diseases and natural hazards: impact of disasters on diabetic, renal, and cardiac patients. *Prehospital and disaster medicine* 2008;**23**(2):185-94.

83. Holt-Lunstad J, Smith TB, Layton JB. Social relationships and mortality risk: a meta-analytic review. *PLoS medicine* 2010;**7**(7):e1000316.

84. Nishikawa Y, Fukuda Y, Tsubokura M, et al. Managing type 2 diabetes mellitus through periodical hospital visits in the aftermath of the Great East Japan Earthquake Disaster: a retrospective case series. *PloS one* 2015;**10**(5):e0125632.

85. Tsubokura M, Kato S, Nihei M, et al. Limited internal radiation exposure associated with resettlements to a radiation-contaminated homeland after the fukushima daiichi nuclear disaster. *PloS one* 2013;**8**(12):e81909.

86. Tsubokura M, Kato S, Morita T, et al. Assessment of the Annual Additional Effective Doses amongst Minamisoma Children during the Second Year after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Disaster. *PloS one* 2015;**10**(6):e0129114.

87. Shibuya K, Gilmour S, Oshima A. Time to reconsider thyroid cancer screening in Fukushima. *Lancet* 2014;**383**(9932):1883-4.

88. Ron E, Lubin JH, Shore RE, et al. Thyroid cancer after exposure to external radiation: a pooled analysis of seven studies. *Radiation research* 1995;**141**(3):259-77.

89. Katanoda K, Hori M, Matsuda T, et al. An updated report on the trends in cancer incidence and mortality in Japan, 1958-2013. *Japanese journal of clinical oncology* 2015;**45**(4):390-401.

90. Garcia-Lizana F, Sarria-Santamera A. New technologies for chronic disease management and control: a systematic review. *J Telemed Telecare* 2007;**13**(2):62-8.

91. Mieno MN, Tanaka N, Arai T, et al. Accuracy of death certificates and assessment of factors for misclassification of underlying cause of death. *Journal of epidemiology* 2016;**26**(4):191-98.

92. Pillemer K, Wells NM, Wagenet LP, et al. Environmental sustainability in an aging society: a research agenda. *Journal of aging and health*

2011;**23**(3):433-53.

93. Uscher-Pines L. "But for the hurricane": measuring natural disaster mortality over the long-term. *Prehospital and disaster medicine* 2007;**22**(2):149-51.

94. Miller AC, Arquilla B. Chronic diseases and natural hazards: impact of disasters on diabetic, renal, and cardiac patients. *Prehospital and disaster medicine* 2008;**23**(2):185-94.

95. Morita T, Nomura S, Tsubokura M, et al. Excess mortality due to indirect health effects of the 2011 triple disaster in Fukushima, Japan: a retrospective observational study. *Journal of epidemiology and community health* 2017;**71**(10):974-80.

96. Eisenman DP, Cordasco KM, Asch S, et al. Disaster planning and risk communication with vulnerable communities: lessons from Hurricane Katrina. *American journal of public health* 2007;**97 Suppl 1**:S109-15.

97. Mokdad AH, Mensah GA, Posner SF, et al. When chronic conditions become acute: prevention and control of chronic diseases and adverse health outcomes during natural disasters. *Prev Chronic Dis* 2005;**2 Spec no**:A04.

98. Cutter SL, Emrich CT. Moral hazard, social catastrophe: The changing face of vulnerability along the hurricane coasts. *The Annals of the American Academy of Political and Social Science* 2006;**604**(1):102-12.

99. Elder K, Xirasagar S, Miller N, et al. African Americans' decisions not to evacuate New Orleans before Hurricane Katrina: a qualitative study. *American journal of public health* 2007;**97 Suppl 1**:S124-9.

100. Hattori H. [Mental management of elderly people in middle-long term after the wake of disasters]. *Nihon Ronen Igakkai Zasshi* 2013;**50**(1):79-81.

101. Comfort LK. Crisis management in hindsight: Cognition, communication, coordination, and control. *Public Administration Review* 2007;**67**(s1):189-97.

102. Dosa DM, Grossman N, Wetle T, et al. To evacuate or not to evacuate: lessons learned from Louisiana nursing home administrators following Hurricanes Katrina and Rita. *Journal of the American Medical Directors Association* 2007;**8**(3):142-9.

103. Nomura S, Gilmour S, Tsubokura M, et al. Mortality risk amongst

nursing home residents evacuated after the Fukushima nuclear accident: a retrospective cohort study. *PloS one* 2013;**8**(3):e60192.

104. Dosa D, Hyer K, Thomas K, et al. To evacuate or shelter in place: implications of universal hurricane evacuation policies on nursing home residents. *Journal of the American Medical Directors Association* 2012;**13**(2):190 e1-7.

105. Hasegawa R. Disaster Evacuation from Japan's 2011 Tsunami Disaster and the Fukushima Nuclear Accident. *Studies* 2013.

106. Cutter S, Barnes K. Evacuation behavior and Three Mile Island. *Disasters* 1982;**6**(2):116-24.

107. Ochi S, Tsubokura M, Kato S, et al. Hospital Staff Shortage after the 2011 Triple Disaster in Fukushima, Japan-An Earthquake, Tsunamis, and Nuclear Power Plant Accident: A Case of the Soso District. *PloS one* 2016;**11**(10):e0164952.

108. Lochard J, Bogdevitch E, Gallego E, et al. Application of the commission's recommendations to the protection of people living in long-term contaminated areas after a nuclear accident or a radiation emergency. *Ann ICRP* 2009;**39**(3).

109. Morita T, Leppold C, Tsubokura M, et al. The increase in long-term care public expenditure following the 2011 Fukushima nuclear disaster. *Journal of epidemiology and community health* 2016;**70**(7):738.