

2013年度 修士論文

マイクロジオデータを利用した大規模地震時の
広域被害評価方法の開発

Development for the Evaluation of Catastrophic Earthquake Damage
Using Micro-geo Data

小川 芳樹

Ogawa, Yoshiki

東京大学大学院新領域創成科学研究科

社会文化環境学専攻

目次

第1章 はじめに

1.1 研究の背景	1
1.1.1 地震の被害想定	1
1.1.2 現在の地震の被害想定と課題	2
1.1.3 リスクコミュニケーション	2
1.1.4 建物単位の被害想定	3
1.2 本研究の目的・独自性	3
1.3 本論文の構成	6

第2章 既往の研究事例

2.1 建物倒壊	7
2.2 火災	8
2.3 初期対応力を考慮した被害想定	9

第3章 研究手法

3.1 日本全土の空間データ整備	11
3.1.1 データ整備の流れ	11
3.2 ソースデータ	14

第4章 データ整備

4.1 建物ポイントデータの整備	15
4.1.1 デジタル住宅地図の構成	15
4.1.2 データ変換	16
4.1.3 日本全土の建物現況	19
4.2 建物ごとの出火率の算出	20
4.2.1 概要	20
4.2.2 地震動予測地図の結合	20
4.2.3 デジタル電話帳の結合	21
4.2.4 出火率の算出方法	22
4.3 建物毎の耐火性能推定	24
4.3.1 概要	24
4.3.2 耐火性能の推定方法	24
4.3.3 信頼性の検証	29

4.4	建物毎の構造推定	31
4.4.1	概要	31
4.4.2	構造の推定方法	32
4.4.3	信頼性の検証	34
4.5	建物毎の居住者情報推定	39
4.5.1	概要	39
4.5.2	居住者情報の推定方法	40
4.6	建物毎の築年代推定	42
4.6.1	概要	42
4.6.2	築年代の推定方法	42
4.6.3	信頼性の検証	46
4.7	建物毎の消防施設からの距離計算	49
4.7.1	概要	49
4.7.2	消防施設データの整備	49
4.7.3	消防施設からの距離計算	53

第5章 大規模地震時の倒壊・火災リスク評価

5.1	倒壊・火災リスクの計算方法	55
5.1.1	倒壊リスクの計算方法	55
5.1.2	火災リスクの計算方法	58
5.1.3	倒壊・火災の複合的リスクの計算方法	60
5.2	大規模地震時における倒壊・火災リスク	61

第6章 大規模地震時の初期対応力評価

6.1	初期対応力の計算方法	72
6.1.1	倒壊建物からの救助期待人数の計算方法	72
6.1.2	火災建物の消火期待棟数の計算方法	74
6.2	大規模地震時における初期対応力	76

第7章 大規模地震時の被害推定

7.1	被害推定方法	79
7.2	被害推定結果	81
7.3	結果の考察	85

第8章 結論

8.1	結論	96
8.2	今後の展開と課題	98

○ 参考文献	101
○ 資料	105
○ 謝辞	155

第1章 はじめに

1.1 研究の背景

2011年に発生した東日本大震災は、死者15,854人と甚大な被害をもたらした（警視庁2012）。国土交通省が2012年10月に発表した最新の巨大地震の被害想定では、地震時における火災で延焼する危険性が高く、避難が困難な「著しく危険な密集市街地」が17都府県に計5745ヘクタールあると予測されている（国土交通省2012）。特に、東京都や大阪府などの建物密集市街地では、その危険性が最も高いと言われている。また、内閣府によると今後予測される南海トラフ巨大地震の被害想定では、建物倒壊・火災・津波によって最大32万人の死者数に達すると推測されている。さらに、東京湾北部を震源とした首都直下地震も予測されており、日本全国で地震による建物倒壊・火災・津波の危険性は高い傾向にある。本章では、現状の地震の被害想定と求められている地震の被害想定、既往の被害想定に関する研究とその課題について述べる。

1.1.1 地震の被害想定

日本全土を対象にした地震の広域災害発生時における地域ごとの災害リスクと災害への対応力を、定量的かつ高精度に評価・比較する環境を整備することは、重要な課題であるといえる。しかしながら現段階ではこのようなデータは充分には整備・公開されていない。広域災害への防災政策を考える上では、国土や都道府県単位のマクロなスケールから、街区・丁目単位のミクロなスケール（住民スケール）まで、様々な単位での災害リスクと対応力の評価が重要である。

国土スケールでは、日本に6000haあると推定される大火の可能性が高い重点密集市街地の地震火災の被害軽減に向けた、戦略的政策をとるためのデータとなる。都道府県スケール・市区町村スケールでは、災害に強い都市計画・街づくりを進める上で大切になる。住民レベルでは、防災意識向上に伴う、住宅の耐震化・不燃化の最適化意思決定を考える上で大切となる。

よって対策の検討が必要となる地震の被害リスクデータは、建物単位の推定値を整

備しておき、それらを任意のスケール、すなわち国土スケールでは任意の領域やメッシュ単位等、住民スケールでは街区や地域コミュニティ単位で整備出来る環境を整えておくことが重要である。

1.1.2 現在の地震被害想定 of 課題

地震の被害リスクの解像度は、国土スケールでは都道府県や市区町村単位のレベル、市区町村スケールでも 500km メッシュであり (図 1.1.1 (川崎市 2010)) 住民スケールに立った被害想定は見られない。また従来の地震の火災リスク評価は、一律の出火確率で算出されてきたが、その確率は本来建物用途やそこでの予測される地震動によって変動すべきである。加えて人的リスク評価も建物単体の居住者数を考慮して行うことで高精度なリスク評価が可能となる。このような建物 1 棟 1 棟の建物用途や居住者数、地震動、を考慮することで、信頼性の高いリスク評価が可能になり、最適な防災政策の意思決定につながる。

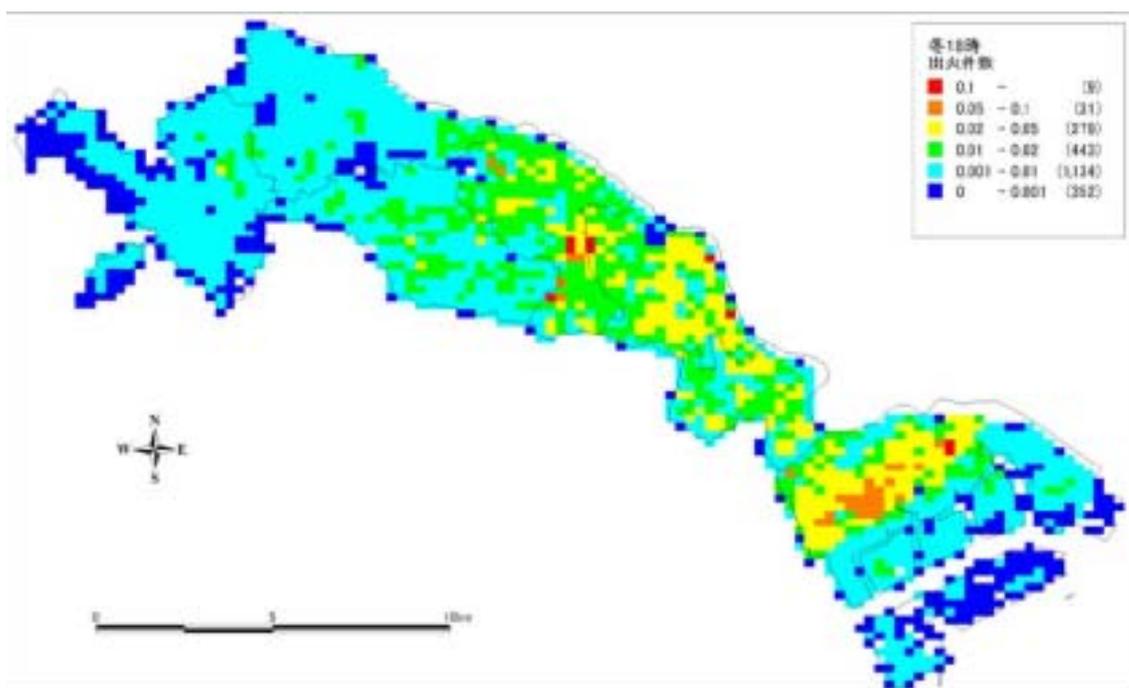


図 1.1.1 神奈川県川崎市における被害想定 (冬期 18 時における首都直下地震 (東京湾北部震源) が起きた場合の焼失棟数)

1.1.3 リスクコミュニケーション

信頼性と空間精度の高い被害想定をすることは、リスクコミュニケーションを促進する上でも大切になる。リスクコミュニケーションは、そのリスクがどのような影響

であるのか、許容されるリスクであるのかの情報を提供する (Heath(1994)). Covello (1992) はリスクコミュニケーションの定義をリスクの性質, 大きさ, 重要性, 対策に応じた利害関係者間の情報交換としている. また情報の利用可能性については, 住民がリスクに関する情報を得た上で選択を行うことができる. この中で当事者間のリスクコミュニケーションは, 意思決定やリスクの共有を可能にする. 住民に地震時の自宅周辺や地域のリスク情報を提供することが出来れば, 住民は自分の問題としてリアリティを持って捉えることが出来る. その結果, 地震を想定したリスクコミュニケーションが促進される.

1.1.4 建物単位の被害想定

建物 1 棟 1 棟を対象とした高精度かつ日本全土を含める広域を対象とした被害想定を行うためのデータ環境は, 十分ではない. 例えば地震による倒壊・火災のリスクを推定するには, リスクに大きく影響を与える建物の耐火性能(耐火・準耐火・防火)及び, 建物構造 (木造・非木造)についてのデータが建物 1 棟 1 棟単位で必要となる. しかしそのような建物単体の属性データの多くは日本では自治体が所有しており, 自治体は公開をしておらず, 全ての自治体が整備しているわけではない. その結果, 市区町村ごとに独自の被害想定をおこない, 市区町村間のリスクコミュニケーションがおこなわれない問題もある. また日本で市区町村単位に集計された形で公開されている木造・非木造戸数や世帯類型などの住宅に関する統計データである住宅土地統計調査は, 精度が市区町村単位であるため, 地震による建物のリスクを住民スケールで見するには十分ではない. 加えてそれらによって高精度な推定をするのは難しい.

一方近年, 我が国では建物 1 棟 1 棟の分布が観察できる詳細なデジタル地図や, 店舗・事業所の分布を観察できるデジタル電話帳などのマイクロジオデータが日本全土で整備されている.

また PC の処理能力の向上などによって, 従来ではできない大量かつマイクロなデータを利用したさらなるデータ開発が可能になりつつある.

このように, 地震の被害を広範囲かつ高い信頼性を持って想定する環境が整った今, 建物ごとの耐火性能・構造データを日本全土で開発, 整備し, 地震の被害想定を行うことは必要かつ極めて有意義である.

1.2 本研究の目的・独自性

本研究では, 地震災害リスクを国勢調査等の各種統計情報, 緯度経度座標付き電話帳データベース, デジタル住宅地図などの一般に公表・利用可能な汎用性の高く, 日

本全土をカバー出来る様々な統計・空間データを用いて、地震リスクの評価手法を開発し、全国を対象にそのリスクを任意の集計単位で定量的に評価可能にするとともに、地域間の相対的な災害対応力の差異を評価する環境とその手法を実現する。またその結果を踏まえて現状の課題と、今後取るべき対策を地域ごとにきめ細かく明らかにすることを目的とする。

上記と類似した手法を用いた研究（[1]中村ほか（2011））は既に存在するものの、本研究は以下の2点について新規性がある。

第一に既往の研究では前述した災害リスク・防災対応力の評価を行う集計単位が市区町村であったものを、建物単位から地域メッシュ単位（第5次メッシュ（約250m四方））とする点である。同一の市区町村内でも災害リスクや防災対応力が場所によって大きく異なる上に、平成の大合併に伴い一つの市区町村が広域になる場合も多いため、市区町村単位の評価では大規模地震による広域災害時の災害リスク・防災対応力の評価に最適に対応出来ないものと考えられる。

第二に、既往の研究では地震による建物倒壊、火災被害のいずれかを対象としているが、本研究ではこれらの全てを対象にし、総合的な地震災害評価を行う。この総合的な評価によって大規模地震発生時の高精度な災害対応力の評価が可能となる。

上記のデータ・手法が実現することにより、現状における大規模地震発生時の被害推定と災害対応力を国土スケールでの定量化・可視化が可能となり、同結果は地震災害軽減に向けた自治体間のリスクコミュニケーションに大きく寄与するものと考えられる。即ち本研究の成果は我が国の広域的な防災計画にはもちろん、市区町村毎の防災まちづくりや土地利用計画等の防災計画の立案にも活用されるものとなることが期待される。

本研究は日本全土を対象に大規模地震発生時における①建物の倒壊・火災リスク評価、②初期対応力評価、③被害推定の3ステップで行われる。

① 大規模地震発生時における建物の倒壊・火災リスク評価

まず大規模地震発生時における被害推定（建物の倒壊・火災によるリスク評価）を行う。同被害推定を全国規模で高精度に行うためには、正確かつ高精細な空間データが必要となる。そこでまずデジタル住宅地図を用いて全国の建物の位置を明らかにする。また建物ごとにそれらが立地する地点の確率的地震動を与えると同時に、建物毎の出火率（住宅地図の属性値、緯度経度座標付き電話帳データベース、商業集積統計（[2]秋山ほか（2011））を併用することで実現）、耐火性能推定（耐火・準耐火・防火の種別、[3]加藤ほか（2006）の手法を改良することで実現）、構造推定、築年代の推定（住宅地図の属性値、年代別DID地区指定情報、住宅土地統計を組み合わせることで推定）をそれぞれ行うことで、建物単位の大規模地震発生時の倒壊・火災の発生確

率と、それに伴う犠牲者の発生確率を明らかにする。本結果は建物毎に推定値として与えられるが、これらの結果を任意の単位で集計することで、小地域単位から広域での建物倒壊、あるいは火災による犠牲者の発生確率を高い信頼性を持って評価することが可能になる。

② 大規模地震発生時における初期対応力評価

続いて大規模地震発生時における建物倒壊・火災への初期対応力の評価を行う。初期対応力評価の指標として、倒壊建物毎の周辺住民による救助活動期待人数（国勢調査を非集計化することにより建物毎の居住者の分布推定を実施することにより実現）、出火建物毎に到達が期待される消防ポンプ車の台数、消防職員、消防団員数及びそれらの到着時間を用いる。即ち倒壊した建物から救助が期待される人数及び、出火した建物のうち消火が期待される棟数それぞれの推定値が明らかになる。これらの値は倒壊・火災リスクと同様に建物毎に推定値として与えられるため、同様に小地域単位等で集計することで、その地域の初期対応力を定量的に評価出来るようになる。

③ 大規模地震発生時における被害推定

最後に大規模地震発生による被害推定を行う。上述の処理により建物の倒壊及び火災による推定犠牲者数という「リスク」と、倒壊及び出火した建物からの救助期待人数という「初期対応力」が地域メッシュ単位で得られることになる。これらを組み合わせることで大規模地震時における建物倒壊・火災に伴う人的被害を推定することが出来る。この指標は地震時の災害対応力の限界を示すものであり、建物単位で広域的に明らかになった以上の結果より、最終的には我が国の災害対応力の現状の広域的な評価と、今後取りうるべき防災政策への提案に寄与するものであろう。また住民スケールでも理解しやすいものとなっており、建物の耐震化が必要かどうかの意思決定に寄与できるものである。

以上に挙げる大規模地震発生時のリスク及び初期対応力評価、被害推定が国土スケールで、なおかつ建物単位から任意の集計単位という柔軟かつ精細に明らかになることは、今後の国土防災計画を立案のみならず住民レベルで議論していく上で極めて有意義な情報となる。また一般市民にとっても建物単位で結果が明らかにされることで、地震災害発生時の自身の家もしくは居住地域の推定被害状況を把握しやすくなり、防災意識の向上とともに被害軽減のためにとるべき対応も容易に把握できるようになるものと期待される。

地震災害時の複合的な被害に対する災害対応力の全国的な評価を、建物単位という

精細さで明らかにした研究は前例が無い。近年利活用が可能になりつつあるマイクロスケールの地理空間情報（このようなデータを総称して「マイクロジオデータ」と呼んでいる（[5]秋山（2012）））を複合的に、かつ大規模に運用することにより、住民スケールから国土スケールの防災計画のために大いに貢献出来る本研究は、将来予測される巨大地震に対して減災推進をするためには、極めて有意義であるといえる

1.3 本論文の構成

本論文は以下のように構成されている。

- 第 1 章：研究背景
- 第 2 章：既往研究
- 第 3 章：研究手法
- 第 4 章：データ整備
- 第 5 章：大規模地震時の倒壊・火災リスク評価
- 第 6 章：大規模地震時の初期対応力評価
- 第 7 章：大規模地震時の被害想定
- 第 8 章：結論

第 2 章では、地震の被害想定に関する地震時の火災、倒壊、初期対応力について述べる。第 3 章では、本研究での被害想定手法について述べる。第 4 章では、具体的なデータ整備内容と手法について述べる、第 6 章～7 章でそれらのデータを利用した、リスク評価、初期対応力評価と被害想定について述べる。最後に、第 8 章において本研究の結論としての研究成果の考察及び今後の課題について述べる。

第 2 章 既往の研究事例

本節では、地震の被害想定に関する既往研究事例について、建物倒壊、火災、初期対応力評価の順で触れていく。

2.1 建物倒壊

現在、内閣府や多くの自治体で行われている建物の被害想定では、入力地震動に対する建物被害関数を用いて被害想定が行われている。[6]村尾ほか(2001)の被害関数は内閣府や東京都の被害想定のもとになっており多くの自治体で利用されており、兵庫県南部地震時に行った神戸市の被害調査結果と独自の方法で推定した灘区の地震動分布を用いて、構造・建築年代別の建物被害関数を構築している。構築された構造別の建物被害関数では、木造の被害は小さい地震動から発生し始め、かつどの最大速度値においても他の構造に比べて被害率が高くなるのに対し、RC造は高い地震動になっても被害率が低い(図 2.1.1 及び図 2.1.2)。また建築年代別では、木造以外の全てにおいて古い建物ほど小さい地震動で被害率が上がり始め、それぞれの地震動においても新しい建物より高い被害率を示している。ただし、兵庫県南部地震以降に様々な大きな被害をもたらした地震が発生しているため、[7]長尾ら(2011)により新潟県中越沖地震における柏崎市の被害データ分析を用いて1990年代と2000年代における被害関数が新たに加えられ改良されている。

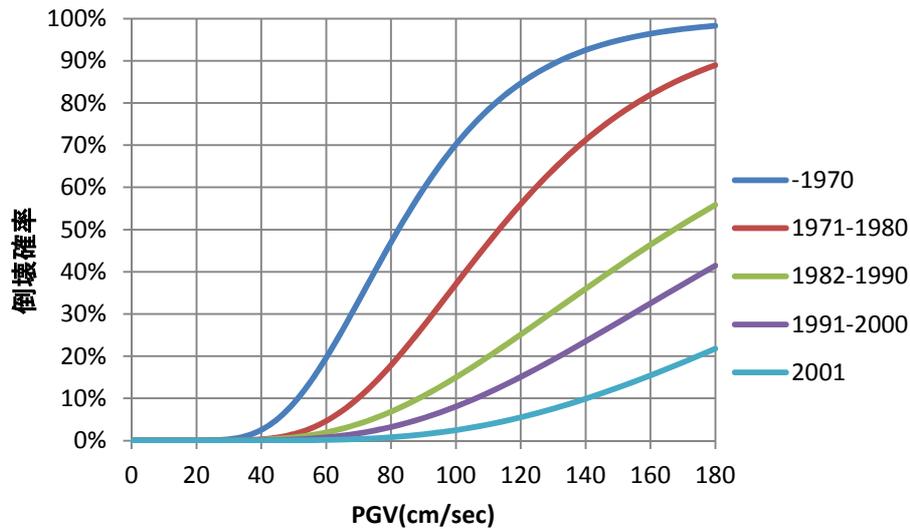


図 2.1.1 木造における年代別被害関数

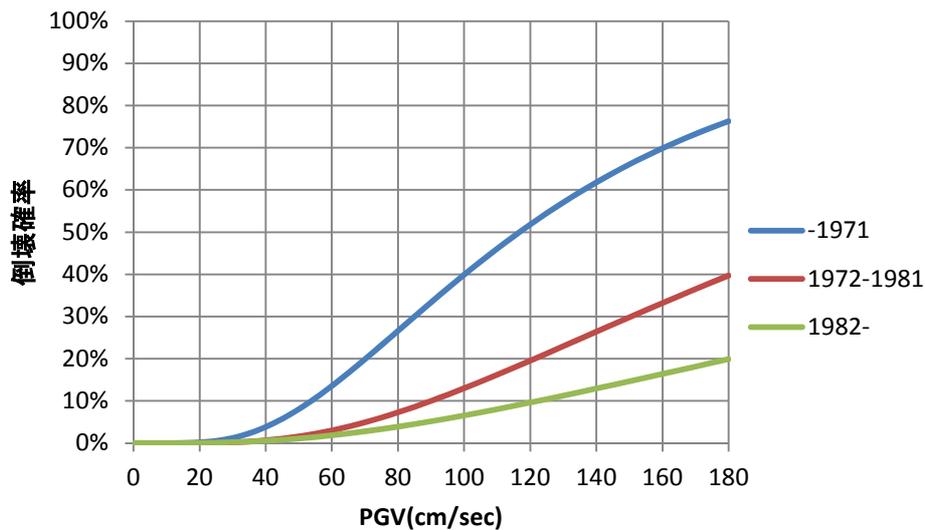


図 2.1.2 非木造における年代別被害関数

2.2 火災

加藤ほか（2006）は地震による火災リスクを国レベルから市民レベルまで把握するために、全国を対象として建物構造（耐火造，準耐火造，防火造）を建物面積，階数に応じて推定し，建物間の距離から延焼限界距離を計算することで，延焼のクラスターを作成し火災に対する，延焼だけでなく，出荷の可能性を考慮した延焼火災の危険性を絶対値で出力できるリスク評価を行なっている．また建物感の延焼課程を動的に扱わないことで，先に市街地全域に対して最終的に延焼する建物建物群（クラスター）

をあらかじめ確定し、建物群から出火する確率を与えることにより建物の延焼確率を求めている。この手法は建物データを用いて、さらに全国スケールの広い範囲を対象にしている点で非常に優れている。図 2.1.3 に本手法の例として川崎市における冬の気象条件での建物延焼クラスターを示す。

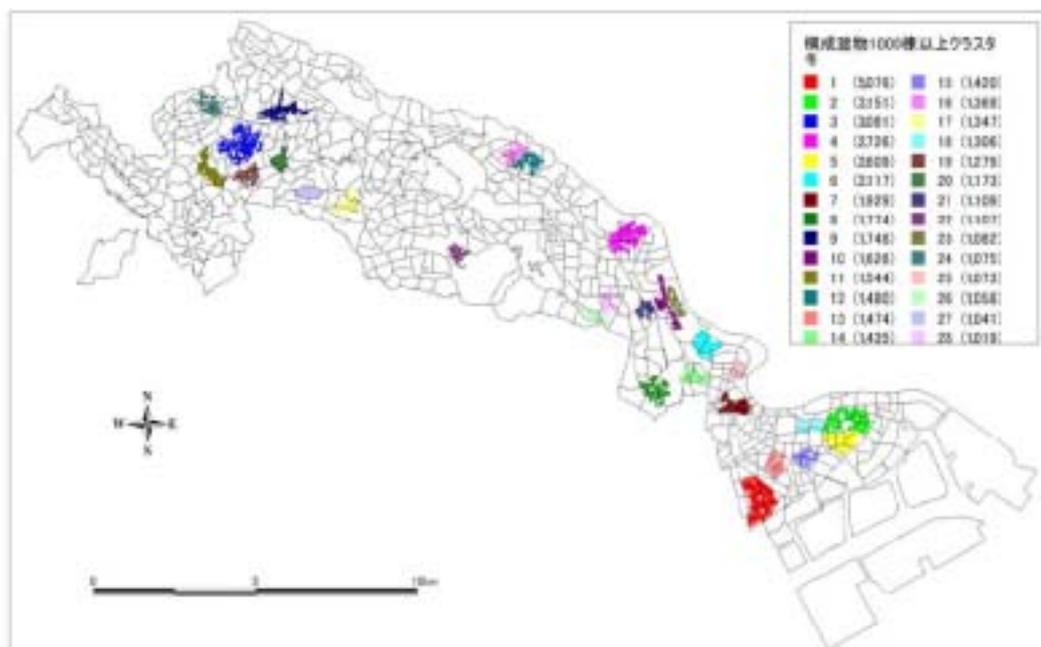


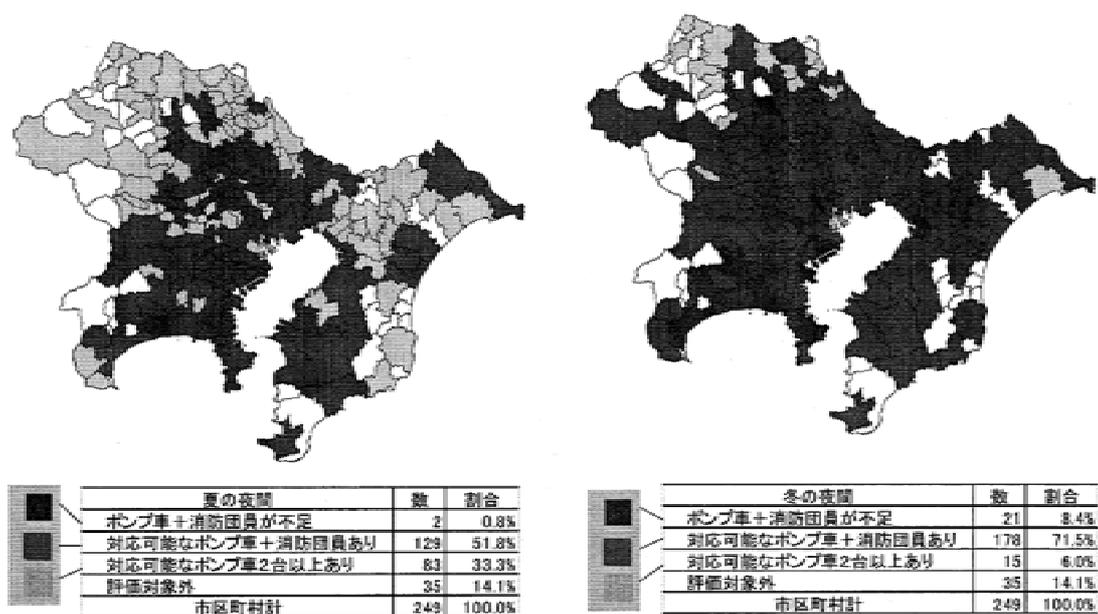
図 2.1.3 川崎市における冬の気象条件における建物クラスター分布 (川崎市 2012 年被害想定より)

2.3 初期対応力を考慮した被害想定

本研究の既往研究として、[1]中村ら (2006) の研究がある。地震災害の自治体間の対応力の差異を国勢調査などの一般に公開されているデータを用いて全国を対象に評価している。評価対象として、①住宅倒壊、②火災発生 of 2つの地震被害を対象としている。評価対象地は 1 都 3 県で、市区町村単位である。中村らの研究では、次の 3つのステップで行っている。ステップ 1: 被害の推定、ステップ 2: 初期対応力推定、ステップ 3: 地域災害力評価の順である。ステップ 1 とステップ 2 を踏まえて、地震に対する相対的な地域災害対応力の評価を行なっている。図 2.1.4 と図 2.1.5 にそれぞれ夏の夜間と冬の夜間における出火建物 1 戸当たりの消防ポンプ車と消防団員の和と対応力を示す。初期対応力を評価することで住民と消防の防災意識の向上やリスクコミュニケーションの促進に寄与するものと考えられる。

しかしながら既往研究の問題点として、既存の統計データが持つ集計単位に依存してしまいうため、市区町村単位や 500m メッシュ単位で評価しており、空間解像度が高くなく住民スケールでの評価ができない点、出火率が大きく変わる地震動や建物用

途を考慮していない点、利用統計データが都道府県単位のものである点が挙げられる。本研究では、建物単位での推定が可能である。加えて、耐火造・準耐火造・防火造といった建物現況に関するデータは、殆どの市区町村では一般に公開されていない。その結果、既往研究では、建物1棟1棟の推定耐火性能の信頼性検証もなされていない。また、多くの既往研究では、一部地域を対象としたケーススタディしかしていない。そのため既存の手法を広域に適用することは困難である。



図（左） 2.1.4 出火建物1戸当たりの消防ポンプ車と消防団員の和と対応力（夏の夜間）

図（右） 2.1.5 出火建物1戸当たりの消防ポンプ車と消防団員の和と対応力（冬の夜間）

第3章 研究手法

3.1 日本全土の空間データ整備

本章は日本全土の大規模地震災害発生時の被災リスクと初期対応力の評価を実施する上で必要となる空間データの整備方法に関する内容となっている。まず本研究におけるデータ整備の流れとソースデータを紹介する。続いて被災リスクと初期対応力評価のための非集計データとなる建物ポイントデータの整備方法について述べる。その後、建物ポイントデータに付加する様々な属性情報の与え方について述べる。

3.1.1 データ整備の流れ

本研究では既存統計の集計単位（市区町村・町丁字等・地域メッシュ等）にとらわれない、任意の集計単位を可能にすることを目的とするために、デジタル住宅地図（Zmap-TOWNⅡ：株式会社ゼンリン）から日本全土の建物の位置を取得し、ポイントデータ化することで、建物1棟1棟の分布を観察できるデータを整備する。そのデータに対して既存の各種統計情報やマイクロな空間データ（マイクロジオデータ）を配分していくことで、建物1棟1棟の災害リスクと災害への初期対応力を計算出来る環境を実現する（図3.1.1）。

建物1棟1棟には3種類のリスク情報（地震動による倒壊によるリスク情報、地震後に発生する火災によるリスク情報、地震後に発生する津波によるリスク情報）が付加される。またそれらのリスクにより被災する人々の情報（人的リスク）が付加される。さらに地震発生直後にこれらのリスクをどの程度軽減出来るか、ということの評価するための情報（初期対応力）も付加される。

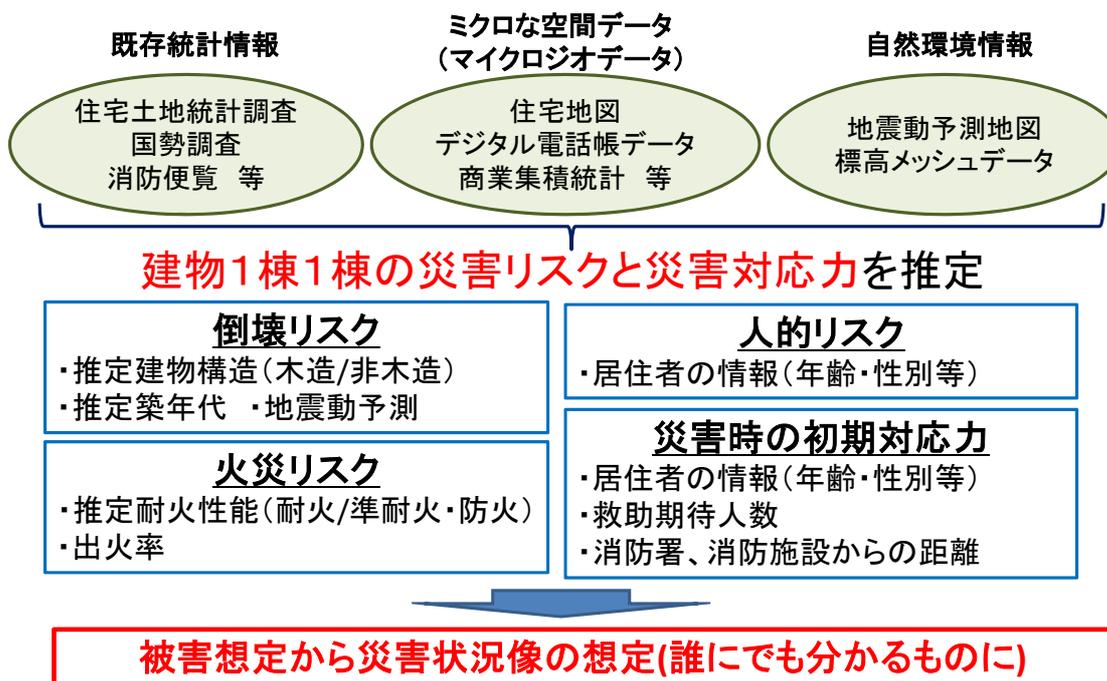


図 3.1.1 本研究のデータ整備に関する全体像

図 3.1.2 は上述した様々な属性情報を住宅地図から得られた建物ポイントデータに付加していく流れを示したものである。建物ポイントデータに対して様々な属性情報を連続的に付加していくことで、最終的には建物 1 棟 1 棟に図 3.1.2 に示す様々な属性が付加されることになる。それらを任意の集計単位で集計することで、任意の地域の災害リスクの計算 (5 章) と災害への初期対応力の計算 (6 章) が可能になる。またそれらを組み合わせることでその地域の被害推定が可能になる。集計単位が高精細なため、災害リスク、初期対応力、被害推定の結果を地域間で定量的に比較評価することが可能になる。

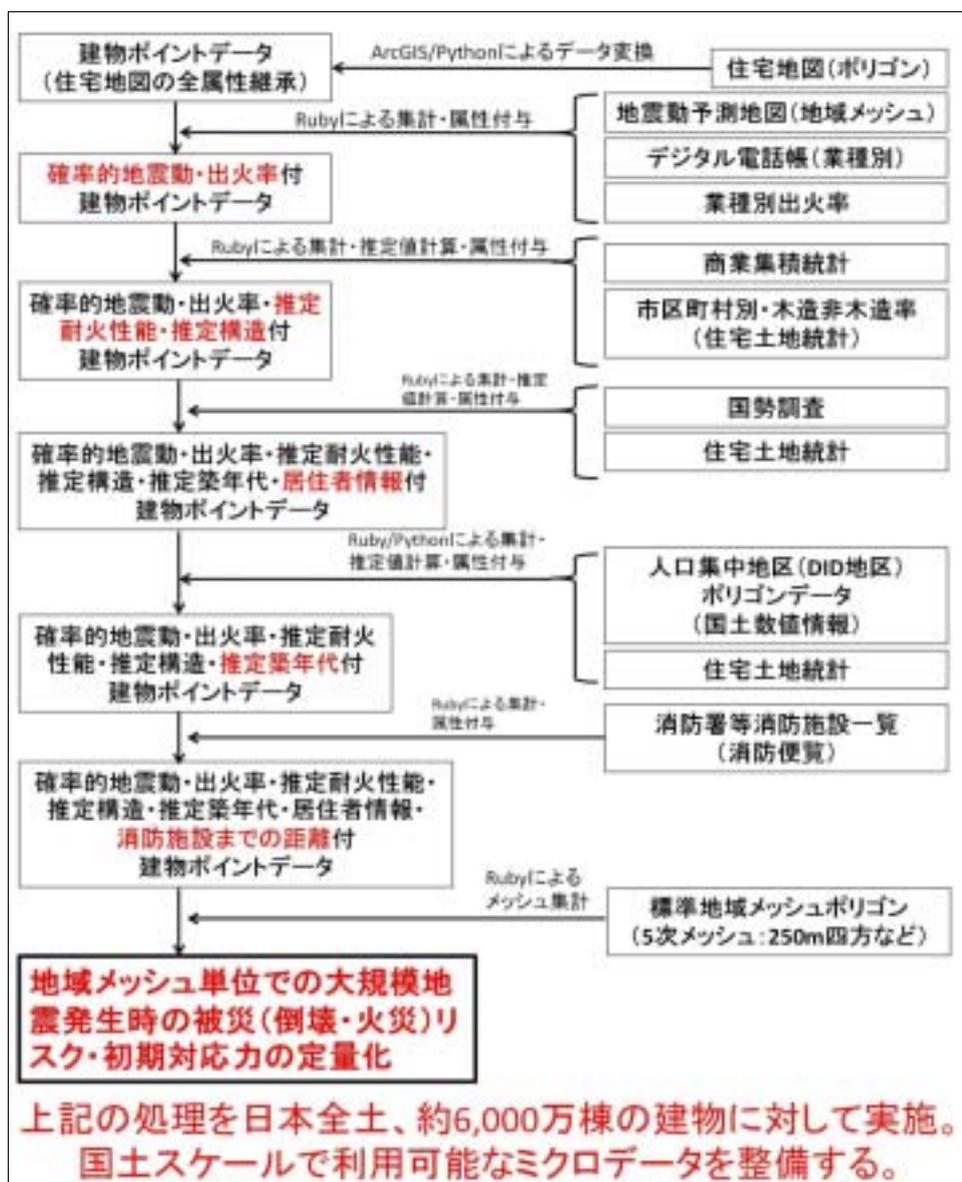


図 3.1.2 本研究のデータ整備の流れ

なおデータ整備の過程での開発言語は図 3.1.2 にも示すように、主に Ruby (ver.1.9.2/1.9.3) を使用した。Ruby は我が国で開発されたオブジェクト指向型言語であり、文法がシンプルで柔軟性が高く、言語処理にも優れている点が特徴である ([6] まつもとゆきひろ(2009))。本研究では様々な種類の統計・空間データに対してそれぞれ異なる処理が発生するため、上記の特徴を持つ本言語の使用が最適である。またシェープファイル形式のデータ処理については Python (Ver.2.5) を使用し、ESRI 社の ArcGIS Desktop (Ver.10) で提供される ArcToolbox の機能を自動的に呼び出し、大量のデータを処理する環境を実現した (arcpy ライブラリを活用)。

結果の可視化には ESRI 社の ArcGIS Desktop (Ver.10) を使用した。

開発環境は市販されているデスクトップ PC を使用しているが、扱うデータ容量が大きくデータ処理時のメモリーリーク発生が予想されたため、OS を 64bit (Windows7) とし、またメモリーにも十分に余裕がある (16.0GB) PC 及び (8.0GB) PC を用いた。

3.2 ソースデータ

表 3.2.1 に本研究で用いたソースデータの一覧を示す。建物の位置の取得に用いる住宅地図、火災発生リスクの計算で用いるテレポイントデータ、全国の消防署・消防施設の位置情報を取得するために用いる全国消防便覧はそれぞれ有償のデータであるが、それ以外のデータは全て無償で利用可能なデータとなっている。

表 3.2.1 本研究で用いるソースデータ一覧

内容	利用データ	集計単位	データの種類・内容	加工方法	発行元
建物の位置	住宅地図 (Zmap-TOWN II)	建物1棟1棟	日本全土の全ての建物の位置・形状・種類の把握	全ての属性を継承したポイントデータに変換	株式会社ゼンリン
地震動入力	地震動予測地図	5次メッシュ	今後50年に想定される確率的地震動		地震研究推進本部
住宅倒壊リスク	村尾・山崎式	構造・年代別	構造・建築年代別被害関数		
	住宅土地統計調査データ (2003)	市区町村ごと	構造・年代別建物総数		総務省統計局
	国土数値情報 人口集中地区データ	ポリゴン	人口集中地区 (DID) の年代別分布	5m間隔の点群データに変換後、建物データと結合。	国土交通省国土政策局
火災発生リスク	建物用途別の出火確率	用途別	建物の用途ごとの出火率	建物と結合し建物毎に業種を与え出火率を計算	消防法施工令
	テレポイントデータ	店舗事業所ごとのポイントデータ	緯度経度付き業種別電話帳		株式会社ゼンリン
	住宅土地統計調査データ (2003)	市区町村ごと	建物の木造・非木造率		総務省統計局
津波被害リスク	基盤地図情報数値標高モデル 10m メッシュ	10mメッシュ	細密な標高情報	5m間隔の点群データに変換後、建物データと結合。	国土地理院
居住者情報	国勢調査メッシュデータ (2005)	4次メッシュ	世帯数	建物ごとに世帯・居住者の推定分布情報を配置	総務省統計局
	国勢調査(2005)	市区町村ごと	年齢構成別人口		
救助活動期待人数	阪神淡路大震災の住民活動実施状況		年代・性別ごとの救助活動比率(夜間)	年齢構成別・性別の在宅人口から昼間の期待人数を算出。年代・性別の体力考慮。	文部科学省
	体力運動量調査データ (2004)		年代・性別ごと集計値		
消防の対応力評価	消防本部別(2008)	本部別	本部単位の消防ポンプ車などの保有台数	消防便覧から得られた消防署・出張所等に消防本部ごとに按分。	全国消防長会ウェブサイト
	消防本部別(2008)	本部別	本部単位の消防団員人数		
	全国消防便覧(平成24年度版)	消防署・出張所	全国の消防署・出張所の一覧とそれらが所属する消防本部の情報	消防署名・住所を手がかりに経緯度付加しポイントデータ化。	全国消防組織研究会

第 4 章 データ整備

4.1 建物ポイントデータの整備

本研究ではデジタル住宅地図（Zmap-TOWN II：株式会社ゼンリン）を用いて日本全土の建物の位置を取得し、ポイントデータ化することで、建物 1 棟 1 棟の分布を観察できるデータを整備する。ここでは建物ポイントデータのソースデータであるデジタル住宅地図の構成と、データ変換の概要、そして住宅地図から分かる我が国の建物現況について紹介する。なお「(1) デジタル住宅地図の構成」「(2) データ変換」は [7]秋山（2010 年）より引用・一部改変した。

4.1.1 デジタル住宅地図の構成

住宅地図とは各戸別の居住者名、ビル・建物名、公共施設、道路情報までを表示した多目的情報地図である。本研究で用いたデジタル住宅地図（以下住宅地図と表記）は、2007 年 4 月 1 日現在で全国 1827 市町村のうち 1817 市町村をカバーしている、我が国において最も大規模な住宅地図データである。年間延べ約 28 万人に及ぶ全国の調査員による現地調査によって作成されるデータである。

住宅地図はレイヤ構造となっており、レイヤ毎に格納されるデータが異なっている。これらは全て属性情報（dbf 形式）付きの Shape 形式のベクターデータである。またベクターデータとは別に、建物に入居する入居者のデータが dbf 形式で格納されている。表 4.1.1 に住宅地図のレイヤ構造を示す。本研究では建物とそこに入居する入居者の情報が必要であるため、建物面レイヤに格納された建物データと、建物に入居する入居者のデータである建物別記情報を用いた。

表 4.1.1 住宅地図のレイヤ構造

格納情報種別	フィーチャクラス名	タイプ
大字界面	XXXXX_ZMAP_OOAZA	Polygon
字丁目界面	XXXXX_ZMAP_AZA	Polygon
街区界面	XXXXX_ZMAP_GAIKU	Polygon
水域面	XXXXX_ZMAP_SUIIKI	Polygon
地下街・施設界面	XXXXX_ZMAP_CHIKA	Polygon
建物面	XXXXX_ZMAP_TATEMONO	Polygon
行政界面	XXXXX_ZMAP_GYOSEI	Polyline
水域・補助線	XXXXX_ZMAP_SUIHOJO	Polyline
道路	XXXXX_ZMAP_ROAD	Polyline
道路・補助線	XXXXX_ZMAP_ROADHOJO	Polyline
鉄道線	XXXXX_ZMAP_RAIL	Polyline
耕地・地類界面	XXXXX_ZMAP_CHIRUI	Polyline
施設線	XXXXX_ZMAP_SHISETSU	Polyline
建物・補助線	XXXXX_ZMAP_TATEHOJO	Polyline
目標物	XXXXX_ZMAP_MOKUHYO	Point
記号	XXXXX_ZMAP_SYMBOL	Point
建物別記情報	XXXXX_ZMAP_TATEMONO_BEKKI	DBF

注1) フィーチャクラス名の“XXXXX”は任意のデータ名

注2) これら以外にも地名等をラスタによるテキスト描画するレイヤがあるがここでは省略。

4.1.2 データ変換

●座標情報の付加

建物レイヤにはデフォルトでは経緯度や住所といった建物が存在する位置情報を表現するテキストデータは格納されていない。そこでまず全ての建物ポリゴンに経緯度情報を付加する。経緯度の位置は建物ポリゴンの重心とする。これは ArcGIS10 のジオメトリ演算を用いることで計算が可能である。ただし住宅地図は市区町村ごとに分割されたデータであるため、人の手による操作では膨大な時間がかかってしまう。そこでこれらを市区町村毎に全国まとめて処理するプログラムを開発 (Python 2.5 で開発) することで、全国データの整備を実現した。

なお住宅地図の座標系は平面直角座標系であり、座標数値は日本測地系に基づいている。上記の座標取得の段階で得られる経緯度は日本測地系の平面直角座標系の座標である。一方、これ以降で用いるデータの多くは地理座標系 (10 進経緯度) の世界測地系である。そこで座標変換も実施し、日本測地系、世界測地系それぞれの地理座標も与えるようにした。

●住所情報の付加

住所情報は建物レイヤの属性テーブルを元に作成できる。表 4.1.2 に建物レイヤの

属性テーブルの構成を示す。まず拡張市区町村コードによって市区町村名を決定出来る。これは総務省が定める全国地方公共団体コードと一致しており、市区町村名までを一義的に決定出来る。大字コード、字丁目コード、街区コードはそれぞれ表 4.1.1 の大字界面、字丁目界面、街区界面の属性テーブルと照合することで決定出来る。この結果に表 4.1.2 の CHIBAN フィールドを追加することで個別の建物の住所を決定出来る。図 4.1.1 に上記の一連の処理の流れを示す。

表 4.1.2 建物レイヤの属性テーブル構成

フィールド名	内容	データ型	総桁数
LAYERCD	レイヤコード	Short Integer	3
ATYPE	属性種別コード	Short Integer	4
JCODE	拡張市区町村コード	Long Integer	5
ACODE	大字コード	Short Integer	4
CCODE	字丁目コード	Short Integer	4
GCODE	街区コード	Short Integer	4
DCODE	住所コード	Text	17
CHIBAN	地番または戸番	Text	16
NAME	建物名称	Text	62
FLOOR	建物の階数	Short Integer	4
TPOLYCD	建物コード	Text	24
ATTRCD	属性コード	Text	24

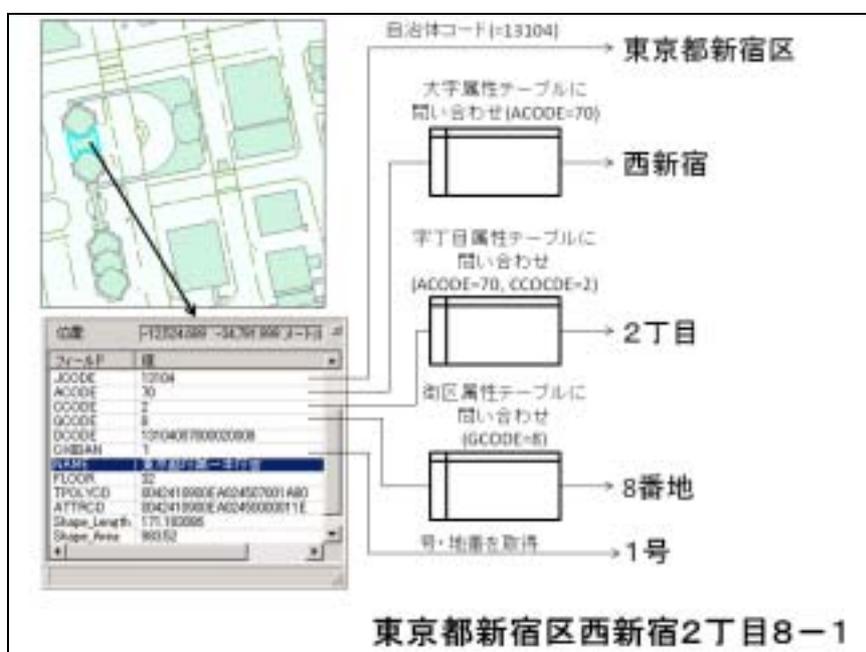


図 4.1.1 住宅地図の建物データに住所を付加する処理（東京都庁第一本庁舎の場合）

- 入居者情報の付加

住宅地図は建物用途(表 4.1.3 の ATYPE)によっては、その建物に複数の入居者(世帯・事業所等)が分布する場合がある。表 4.1.3 に住宅地図の建物用途を示す。このうち共同ビル(ATYPE=1363)や目標物(ATYPE=1200)には複数の入居者が存在する場合がある。入居者情報は表 4.1.1 の「建物別記情報」と呼ばれるデータベース(DBF形式)から収集できる。入居者はその用途に応じて住宅、事業所、目標物、会議室等、不明に分けられる。これらの数を建物毎に集計することで、その建物の入居者数を用途別に収集することが出来る。

表 4.1.4 に以上の属性情報を整理した本研究で用いる建物ポイントデータの属性を示す。表中白色の情報は住宅地図がデフォルトで持つ情報、黄色は新たに追加した属性情報である。本研究ではこれ以降、このデータに対して災害リスク、初期対応力を評価するための情報を付加していくことになる。

表 4.1.3 住宅地図の建物用途

ATYPE	建物用途	詳細
1200	目標物	公共施設・学校・神社仏閣等
1363	共同ビル	複数の入居者がいる建物。マンション・アパート・雑居ビル等が含まれる。
1364	個人宅	個人の戸建住宅
1365	事業所	戸建事業所。なお商業ビル等に入居している事業所は1363の入居者となる。
2090	その他	表札名不明の建物
2091~	その他	表札名不明・住所不明の建物

表 4.1.4 建物ポイントデータの属性一覧

フィールド名	内容	ソース
LAYERCD	レイヤCD	住宅地図固有
ATYPE	建物用途	住宅地図固有
JCODE	市区町村コード	住宅地図固有
ACODE	大字コード	住宅地図固有
CCODE	字丁目コード	住宅地図固有
GCODE	街区コード	住宅地図固有
DCODE	エリアコード	住宅地図固有
CHIBAN	地番	住宅地図固有
NAME	建物名称・表札	住宅地図固有
FLOOR	階数	住宅地図固有
TPOLYCD	ポリゴンCD	住宅地図固有
ATTRCD	建物GD	住宅地図固有
Shape_Leng	ポリゴン周長	算出(ArcGISのジオメトリ演算を利用)
Shape_Area	ポリゴン面積	算出(ArcGISのジオメトリ演算を利用)
X	経度(日本測地系)	算出(ArcGISのジオメトリ演算を利用)
Y	緯度(日本測地系)	算出(ArcGISのジオメトリ演算を利用)
ADDRESS	住所	別記データから作成
wx	経度(世界測地系)	変換プログラムによりXから算出
wy	緯度(世界測地系)	変換プログラムによりYから算出
mesh_j	第4次地域メッシュコード(日本測地系)	変換プログラムによりX、Yから算出
mesh_w	第4次地域メッシュコード(世界測地系)	変換プログラムによりwx、wyから算出
b1364	入居者数(住宅)	別記データを集計し作成
b1365	入居者数(事業所)	別記データを集計し作成
b1200	入居者数(目標物)	別記データを集計し作成
b9000	入居者数(会議室等)	別記データを集計し作成
b3118	入居者数(不明)	別記データを集計し作成
bsum	入居者総数	b1364+b1365+b1200+b9000+b3118で算出
atype2	建物用途2	別記データの各情報の割合から決定
total_area	推定総床面積	AREA×FLOORで算出
ave_area	推定平均床面積	total_area / bsumで算出

4.1.3 日本全土の建物現況

表 4.1.5 に本研究で用いた住宅地図（2008～2009 年頃調査）から作成した建物ポイントデータから得られる建物用途別棟数・入居者属性別入居者数とそれぞれの総数、および部屋総数を示す。なおここで言う「部屋総数」とは別記情報を持たない戸建の建物の総数と別記を持つ建物の入居者総数の和であり、この値が大きい都道府県ほど世帯や事業所が数多く分布していると言える。

太平洋ベルト地帯を中心に共同ビルの数が多くなっており、同時にこれらの地域では可住地面積（[8]国土交通省）当たりの部屋総数も多くなっている（ピンク色：上位 5 番目以内・黄色：6～10 位・緑色：11～20 位）。これらの地域は将来的に大規模な地震災害に曝される危険性も高い地域であるため、被害が大きくなることが予想されると言える。

表 4.1.5 建物ポイントデータでみる日本の建物現況

都道府県名	建物情報						別記情報						入居者総数	可住地面積[km ²] (2009年)	可住面積あたり入居者数
	建物総数	戸建住宅(1364)	戸建事業所(1365)	共同ビル(1363)	目標物(1200)	その他	別記総数	個人宅(1364)	事業所(1365)	目標物(1200)	会議室等(9000)	不明(3118)			
北海道	2423578	1164185	219832	127517	30784	881260	1562461	458497	84969	379	27881	990735	3866220	27046.29	142.95
青森県	847336	362336	65697	23438	10402	385463	199246	33799	12562	55	1777	151053	1025551	3147.20	325.86
岩手県	982039	350630	64049	21211	12934	533215	189314	32207	10208	68	2966	143865	1152999	3714.61	310.40
宮城県	1148702	473407	89394	44775	14467	526659	581464	90168	35416	194	5226	450460	1687842	3138.72	537.75
秋田県	770955	303076	56587	13508	11241	386543	121336	14364	8118	39	1327	97488	880229	3193.51	275.63
山形県	685918	281040	62126	13766	11934	317052	137246	21757	7088	46	2419	105936	810804	2890.22	280.53
福島県	1260363	484579	102896	30762	18887	623239	307442	52583	16006	79	2460	236314	1539759	4221.66	364.73
茨城県	2055411	722234	140538	44479	18898	1129262	453923	69225	20717	96	3491	360394	2468943	3997.93	617.56
栃木県	1227043	493151	104331	33632	13405	582524	336738	45348	14495	41	1236	275618	1532392	2963.06	517.17
群馬県	1269938	496974	108125	30373	13180	621286	298126	50435	12794	29	1068	233800	1540293	2299.04	669.97
埼玉県	2728089	1358560	266202	125543	24395	953389	1767623	583730	78075	305	6171	1099342	4376465	2569.19	1703.44
千葉県	2552409	1205841	210480	107237	24991	1003860	1547522	433308	63646	203	7342	1043023	4004031	3520.19	1137.45
東京都	2973063	1555609	408057	440887	25890	542620	6598465	1911003	604852	2104	47365	4033141	9195037	1443.48	6370.05
神奈川県	2401556	1433077	227739	204913	19572	516255	2866984	922589	148355	851	12886	1782303	5093802	1462.70	3482.47
新潟県	1381164	577291	121544	32539	20610	629180	316156	48958	20182	132	4119	242765	1668164	4475.78	372.71
富山県	697645	282195	58832	10910	10633	335075	137327	29317	10814	81	2515	94600	825168	1852.75	445.37
石川県	667622	284149	64843	18578	9846	290206	211564	37235	13919	73	2693	157644	862296	1380.55	624.60
福井県	530063	195878	50660	9454	10076	263995	108147	21206	8804	52	1953	76132	629877	1072.17	587.48
山梨県	548599	223790	54562	13268	8741	248238	141016	30182	6523	25	1430	102856	678084	950.30	713.55
長野県	1595798	573867	126115	35599	22760	837457	309962	58899	19651	97	3310	228005	1875607	3339.92	561.57
岐阜県	1375519	485263	119503	25095	17519	728139	298645	60973	17996	62	2930	216684	1651424	2159.10	764.87
静岡県	2031964	843146	203999	67172	21852	895795	729539	167422	35198	139	4419	522361	2699762	2737.67	986.15
愛知県	3112701	1349937	313394	128122	28482	1292766	2024005	567736	111223	308	13803	1330935	5016634	2968.18	1690.14
三重県	1256644	468947	95823	22087	14199	655588	263059	42698	12319	56	2422	205564	1499414	2033.55	737.34
滋賀県	822319	321215	58815	14919	13344	414026	208815	55542	12682	50	2915	137626	1017999	1286.06	791.56
京都府	1189352	595902	124848	37366	15472	415764	670256	223823	46339	200	6323	393571	1826481	1171.19	1559.51
大阪府	2758648	1499297	360959	142248	23494	732650	3027034	1080548	262261	701	24362	1659162	5664941	1319.25	4294.06
兵庫県	2218276	1075952	194373	84627	28416	834908	1543147	647420	96725	396	10475	788131	3683292	2769.35	1330.02
奈良県	712746	338439	54826	14579	10021	294881	211685	73185	13082	69	2738	122611	912128	849.21	1074.09
和歌山県	677744	275958	62301	11488	8637	319360	141649	38951	10722	43	2680	89253	809241	1100.02	735.66
鳥取県	360953	153785	28898	6852	6746	164672	29281	11581	4293	23	1155	12229	368447	838.48	463.28
島根県	493081	193806	36954	8497	11096	242728	51522	19035	4830	45	1391	26221	540808	1343.72	402.47
岡山県	1275440	498830	91051	31152	17654	636753	350543	71726	18224	59	3311	257223	1597262	2214.45	721.29
広島県	1429033	623030	119817	50263	19336	616587	732624	237453	51441	219	6419	437092	2117810	2264.36	935.28
山口県	926514	408956	66888	23909	12756	414005	280015	69044	14816	58	2947	193150	1184357	1765.94	670.67
徳島県	545518	207815	46104	10343	8305	272951	121725	27251	6802	28	1273	86371	658418	1021.58	644.51
香川県	702174	266721	53832	15326	9891	356404	181012	43597	11377	65	2648	123325	869740	1000.26	869.51
愛媛県	870744	404710	74499	20340	13720	357475	265496	63695	14620	51	4838	182292	1118187	1677.15	666.72
高知県	470092	225261	43462	12449	10261	178659	81334	30749	7841	34	2057	40653	546161	1161.63	470.17
福岡県	1954241	899122	184591	93544	25370	751614	1633310	331882	90063	282	17401	1193682	3498029	2750.05	1271.99
佐賀県	461153	204025	39037	10303	8041	199747	109937	15695	4905	34	1153	88150	561678	1339.17	419.42
長崎県	712339	372664	61700	24008	13137	240830	265683	69112	17357	70	4274	174870	955968	1630.56	586.28
熊本県	974494	427932	77943	27588	14792	426239	336656	72901	16330	55	3642	243728	1286225	2756.26	466.66
大分県	736090	298903	54915	19550	11859	350863	256058	49675	13177	70	3313	189823	974004	1774.46	548.90
宮崎県	707121	308980	54967	14432	8360	320382	184637	24852	9142	23	1334	149286	878829	1838.37	472.90
鹿児島県	1143533	493925	76593	25320	14261	533434	315009	65034	16660	65	3455	229795	1435097	3277.59	437.85
沖縄県	465003	222564	51370	30332	5354	155383	414074	193610	29573	216	11835	178840	850976	1156.07	736.09
合計	59130727	26286954	5354071	2354300	726021	24409381	32918812	9300000	2147192	8370	285148	21178102	89956875	126903	708.86

4.2 建物ごとの出火率の算出

4.2.1 概要

これ以降は 4.1 節で作成した建物ポイントデータに大規模地震による倒壊・火災の被害推定に必要な情報および初期対応力を評価するために必要な情報を与えていく。まずここでは建物 1 棟 1 棟にその推定出火率を与える。出火率はその地域が将来見舞われる可能性のある地震による地震動と、その建物の用途（業種）に応じて推定することが出来る。即ち建物 1 棟 1 棟にこれらの情報を付加した上で、建物毎にその出火率を計算していく。

4.2.2 地震動予測地図の結合

「全国地震動予測地図」は、地震発生の長期的な確率評価と強震動の評価とを組み合わせ合わせた「確率論的地震動予測地図」と、特定の地震に対して、ある想定されたシナリオに対する詳細な強震動評価に基づく「震源断層を特定した地震動予測地図」の 2 種類の性質の異なる地図から構成されている（[9] 地震調査研究推進本部）。本研究ではこのうち将来的に発生する地震による確率的地震動の情報をえるために「確率論的地震動予測地図」を用いる。

確率的地震動とは、日本及びその周辺で起こりうる全ての地震に対して、その発生場所、発生可能性、規模を確率論的手法によって評価し、さらにそれら地震が発生したときに生じる地震動の強さをバラツキも含めて評価することにより、一定の期間内に、ある地点が、ある大きさ以上の揺れに見舞われる確率を計算することにより作成されている。

確率論的地震動予測地図は標準地域メッシュの第 5 次メッシュ（250m 四方）単位で集計されたデータであり、メッシュ毎に表 4.2.1 に示す確率的地震動が格納されている。なお地震動の超過確率とは、着目地点において、その地点に影響を与える様々な地震について、ある期間内に少なくとも 1 回地震動の強さがあるレベルを超える確率のことをいう。

一方 4.1 節で作成した建物ポイントデータには経緯度が建物 1 棟 1 棟に与えられているため、全ての建物に地域メッシュコードを与えることが出来る。そのためこの地域メッシュコードを用いて、全ての建物に確率的地震動を与えることが出来た。

表 4.2.1 地震動予測地図で得られる確率的地震動

n年以内	超過確率[%]
30	3
	6
50	2
	5
	10
	39

4.2.3 デジタル電話帳の結合

表 4.2.2 は、東京消防庁が公開している地震動別の出火確率（東京都第 16 期火災予防審議会答申）である。表 4.2.2 が示すように建物の用途に応じてその建物の出火率を決定することが出来る。即ち建物の用途が判明すれば、その建物の出火率を明らかにすることが出来る。

そこで本研究ではテレポイントデータを建物ポイントデータに空間結合することで、建物ごとにそこに入居する店舗・事業所の業種を明らかにし、その建物の出火率の推定を行った。テレポイントデータには全件に経緯度が付加されているため、それらを用いて最近隣の建物ポイントデータにテレポイントデータが持つ業種情報を結合させた。建物によっては複数のテレポイントデータが結合する場合もある。これは例えば雑居ビルのように同一の建物内に複数の店舗・事業所が入居している建物等が該当する。このように複数の業種が入居する場合は、それらを全てその建物に継承するようにした。なおテレポイントデータは約 2,200 種類の業種が含まれる。そこで表 4.2.2 の業種に合うようにテレポイントデータの業種を置換した。

表 4.2.2 震度別・業種別の出火確率

用途	震度5弱		震度5強		震度6弱		震度6強		震度7	
	夏昼	冬夕								
映画館	0.0043%	0.0039%	0.0118%	0.0125%	0.0300%	0.0303%	0.0832%	0.1005%	0.1844%	0.2554%
キャバレー	0.0000%	0.0041%	0.0000%	0.0190%	0.0000%	0.0242%	0.0006%	0.0860%	0.0129%	0.2502%
料理店	0.0044%	0.0058%	0.0044%	0.0086%	0.0131%	0.0231%	0.0322%	0.0771%	0.0954%	0.2192%
飲食店	0.0065%	0.0073%	0.0094%	0.0106%	0.0291%	0.0303%	0.0808%	0.0958%	0.2054%	0.2188%
百貨店	0.0271%	0.0211%	0.1009%	0.0774%	0.2512%	0.1928%	0.7221%	0.5894%	1.8209%	1.4071%
物品販売店舗	0.0017%	0.0014%	0.0041%	0.0042%	0.0107%	0.0103%	0.0384%	0.0458%	0.1243%	0.3166%
旅館・ホテル	0.0148%	0.0151%	0.0644%	0.0652%	0.1600%	0.1618%	0.4566%	0.4752%	0.9653%	1.0709%
共同住宅	0.0007%	0.0012%	0.0011%	0.0027%	0.0021%	0.0070%	0.0090%	0.0249%	0.0249%	0.0757%
病院	0.0045%	0.0036%	0.0092%	0.0089%	0.0247%	0.0222%	0.0701%	0.0759%	0.2191%	0.4229%
診療所	0.0012%	0.0014%	0.0012%	0.0034%	0.0040%	0.0082%	0.0106%	0.0282%	0.0455%	0.1250%
寄宿舎	0.0014%	0.0016%	0.0028%	0.0025%	0.0075%	0.0068%	0.0228%	0.0246%	0.1116%	0.1456%
保育所	0.0025%	0.0002%	0.0032%	0.0009%	0.0095%	0.0013%	0.0246%	0.0094%	0.0604%	0.0192%
幼稚園	0.0018%	0.0012%	0.0018%	0.0042%	0.0056%	0.0109%	0.0127%	0.0594%	0.0431%	0.1772%
小学校	0.0082%	0.0022%	0.0136%	0.0056%	0.0374%	0.0142%	0.1002%	0.0612%	0.2599%	0.2175%
大学	0.0037%	0.0007%	0.0062%	0.0020%	0.0170%	0.0050%	0.0458%	0.0155%	0.1262%	0.0604%
公衆浴場	0.0000%	0.0009%	0.0009%	0.0027%	0.0026%	0.0064%	0.0071%	0.0225%	0.0282%	0.0174%
工場・作業場	0.0016%	0.0013%	0.0046%	0.0048%	0.0118%	0.0117%	0.0320%	0.0564%	0.0798%	0.1529%
事務所	0.0024%	0.0012%	0.0069%	0.0038%	0.0176%	0.0095%	0.0498%	0.0307%	0.1208%	0.0380%
住宅	0.0007%	0.0016%	0.0007%	0.0035%	0.0021%	0.0094%	0.0033%	0.0505%	0.0274%	0.1571%

※東京都第16期大震災予防審議会答申

4.2.4 出火率の算出方法

4.2.3 までの処理でテレポイントデータが分布する全ての建物に表 4.2.2 に対応する業種が与えられた。一方地震動予測地図の情報も結合されているため、各シナリオ(表 4.2.1 の 6 シナリオ)で発生が予想される震度も明らかになっている。以上より表 4.2.2 の用途(業種)と予想震度からその建物の出火率を決めることができる。

なお複数の業種を持つ場合はそれらの出火率の和を与える。またテレポイントデータが分布しない建物については、住宅地図が持つ建物用途(戸建住宅・戸建事業所・共同ビルの種別(表 4.1.5 参照)。何れも表 4.2.2 に含まれる。目標物は戸建事業所扱いとする。)に応じて出火率を与えた。用途不明の建物(表 4.1.5 のその他)については、全業種の出火率の平均値を割り当てる。

以上により全ての建物の出火率の推定が実現した。図 4.2.1, 図 4.2.2 に本手法で推定した建物の出火率の例を示す。何れの図からも複数の店舗・事業所、あるいは世帯が分布するとみられる建築面積の大きい建物で出火率が大きくなっていることが分かる。また地震動入力により大きい図 4.2.2 では図 4.2.1 と比べて全域的に出火率が高くなっていることがよく分かる結果となっている。



図 4.2.1 建物毎の出火率推定結果（50 年以内超過確率 39%の地震動入力を与えた場合・例）

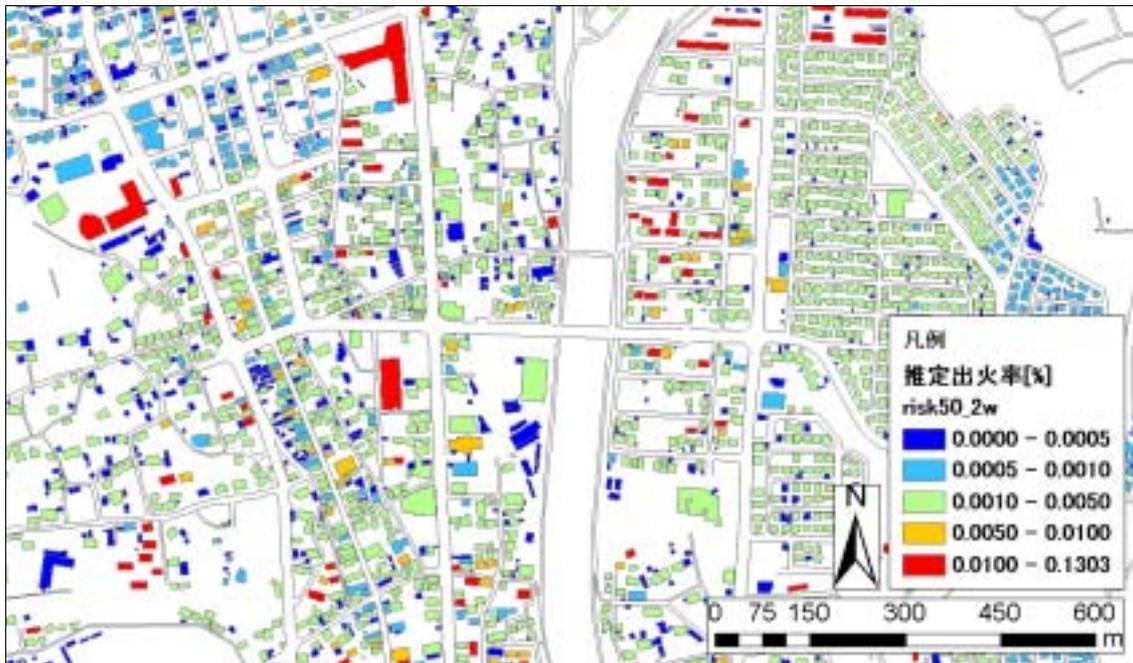


図 4.2.2 建物毎の出火率推定結果（50 年以内超過確率 2%の地震動入力を与えた場合・例）

4.3 建物毎の耐火性能推定

4.3.1 概要

建物の耐火性能には、一般的に耐火造・準耐火造・防火造の3つが挙げられる。建築物が密集する市街地で火災が発生すると、多くの人的、物的被害が発生してしまう。そのため被害を最小限に食い止め、市街地の不燃化を図るために我が国の都市計画では「防火地域」「準防火地域」が定められており、このような地域ではより厳しい建物の耐火性能の規定がある。

最も性能の高い「耐火造」の建物は火災に対し単に燃えないだけでなく、隣家からの火災の延焼を防止し、火熱のための変形や倒壊をしないような構造であることが求められている。2番目に性能の高い「準耐火造」の建物は、通常火災による延焼を抑制するような構造であることが求められている。「防火造」の建物は、通常火災に対して外壁や軒裏が延焼を抑制するような構造であることが求められている。主な商業地域や業務地区に分布する中高層建築や占有面積の広い大規模商業施設・公共施設の多くは耐火造、あるいは準耐火造となっている。一方、多くの低層建築物や一般住宅は防火造である。このような建物構造の違いにより地震時の火災リスクは大きく異なるため、耐火性能を考慮した地震時の火災のリスク評価が求められる。即ち建物毎の耐火性能を推定することが出来れば、この目的を達成することが出来る。

4.3.2 耐火性能の推定方法

4.2節までに作成した出火率付きの建物ポイントデータに対して、耐火性能の推定値を付加していく。なお本手法は[3]加藤ほか(2006)を発展・改良したものとなっている。

●商業地域の内外判定

まず建物ポイントデータに対して商業集積統計を空間結合することで、建物1棟1棟が商業地域の内部にあるか外部にあるかを明らかにする。これは商業地域の多くが建築基準法により防火地域や準防火地域に指定されていることから、こうした地域に耐火造および準耐火造の建物が多くなっているという仮定に基づいている。なお「商業集積統計」とは日本全土の商店街・商業地域の分布、形状(広がり)、規模(店舗数)

を観察できるポリゴンデータである ([10]秋山ほか (2011)・[11]Akiyama et al.(2011)).

●市区町村毎の非木造率の計算

本研究では耐火性能の推定に際して、耐火造と準耐火造を非木造と仮定する。そこで市区町村ごとに戸建・非戸建別の非木造戸数が掲載されている住宅土地統計調査 (2008) を用いる。

本研究では「建物ごと」の耐火性能の推定を行う。即ち木造・非木造の「建物棟数」が明らかになる必要がある。一方、住宅土地統計に収録されている木造・非木造の数は「世帯数」である。そこで住宅土地統計を世帯数単位から建物棟数単位に変換する (図 4.3.1)。まず住宅地図からは棟数と戸数両方が分かるため、対象とする市区町村の棟数と戸数の合計から、建物 1 棟当たりの戸数 (拡大係数 C) を戸建・非戸建各々算出する。続いて拡大係数 C で住宅土地統計調査の値を除することで棟数単位の統計値に変換する。最後に戸建・非戸建の木造・非木造棟数から市区町村毎の非木造率 Q を算出する。用途不明の建物については、戸建と非戸建の双方の可能性あることから、棟数ベースの平均値を用いて非木造率 Q を算出した。

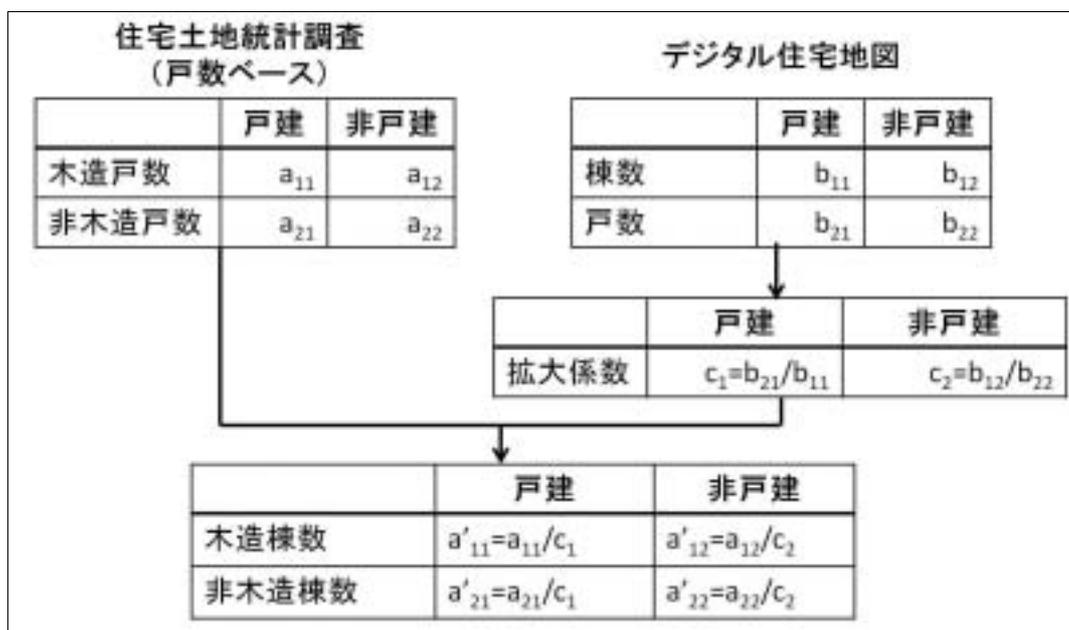


図 4.3.1 住宅土地統計の世帯数を棟数に変換する方法

●3 階建以上建物の耐火性能推定

3 階建以上の耐火性能の割り当ては、東京都世田谷区の即知の GIS データ ([12]せたがや i-map) との比較および、著者らによる静岡県沼津市での現地調査の結果から表 4.3.1 のよう

に配分する。

配分方法は該当する建物の棟数分の耐火造 (1)・準耐火造 (2)・防火造 (3) の数列を発生させ、それをランダムにシャッフルしてから該当する建物に配置していく。なおこの際に建物側も建築面積による重み付けが行なわれており、建築面積が大きい建物ほど耐火性能が高くなりやすくなる処理を行なっている。

表 4.3.1 耐火造・準耐火造・防火造の推定方法

階数	商業集積内外判定	建物用途	耐火造率(%)	準耐火造率(%)	防火造率(%)
5>	—	—	100	0	0
4	集積内	—	97	3	0
4	集積外	—	98	2	0
3	集積内	戸建	30	60	10
3	集積内	戸建事業所	50	45	5
3	集積内	共同ビル	68	30	2
3	集積内	目標物	0	0	100
3	集積内	その他	40	20	40
3	集積外	戸建	15	60	25
3	集積外	戸建事業所	40	45	15
3	集積外	共同ビル	67	30	2
3	集積外	目標物	0	0	100
3	集積外	その他	60	10	30
1,2	集積内	戸建	それぞれの場合に対して地域係数kを算出し構造比率により配分。		
1,2	集積内	共同ビル			
1,2	集積内	不明			
1,2	集積外	戸建			
1,2	集積外	共同ビル			
1,2	集積外	不明			

●2 階建以下建物の耐火性能推定

2 階建以下の耐火性能の割り当てについては、地域による耐火造・準耐火造の多寡を考慮するために地域係数 k を定義する。地域係数 k は式 4.3.1 で定義される。

$$k = \frac{(\sum n_{ij})Q_i}{\sum (n_{ij}(r_{ij} + s_{ij}))} \quad (4.3.1)$$

n_{ij} は面積区分別の建物棟数 (i は戸建・非戸建の種別), r_{ij} は j での耐火造率 (j は面積区分), s_{ij} は j での準耐火造率である。地域係数 k は、商業集積内外か、戸建・非戸建・不明別に 6 つのパターンで各々において算出される。 n_{ij} の面積区分は、0~75 m², 75

～100 m², 100～200 m², 200 m²以上の4区分である。

r_{ij} , s_{ij} は図 4.3.2 に示す東京都世田谷区の即知の GIS データとの比較から得られた耐火・準耐火の構造比を用いることにする。 Q_i は、2階建て以下の推定非木造率である。また地域係数 k は、表 4.3.2 の6つ地域で算出する。地域による耐火造率、準耐火造率の多寡を市区町村別の2階建て以下の非木造比率 Q_i と表 4.3.2 に示す面積区分別総数 n を用いて重み付けして補正するための係数である。2階建て以下の非木造非率 Q_i に合うように地域係数 k を定めることで、戸建・非戸建の面積別、耐火・準耐火構造の棟数が推定することが可能になる。地域係数 k を用いて、耐火造率は $k \times r_{ij}$ 、準耐火造率は $k \times s_{ij}$ となる。2階建て以下の非木造率 Q_i は式 4.3.2 で与えられる。

$$Q' = \frac{Q \cdot M - \sum (R^{(3)} + S^{(3)})}{\sum n_{ij}} \quad (4.3.2)$$

M は住宅地図から得られる市区町村別の建物総棟数、 $R^{(3)}$ は3階以上の耐火造の棟数、 $S^{(3)}$ は3階以上の準耐火造の棟数である。よって耐火造の棟数 $R^{(2)}$ 及び、準耐火造の棟数 $S^{(2)}$ は、式 4.3.3 及び式 4.3.4 で与えられる。

$$R^{(2)} = n_{ij} \cdot k \cdot r_{ij} \quad (4.3.3)$$

$$S^{(2)} = n_{ij} \cdot k \cdot s_{ij} \quad (4.3.4)$$

また防火造の棟数 $T^{(2)}$ は式 4.3.5 で与えられる。

$$T^{(2)} = Q' \cdot M - (R^{(2)} + S^{(2)}) \quad (4.3.5)$$

最後に上記方法で求められた建物の棟数分の耐火造 (1)・準耐火造 (2)・防火造 (3) の数列をコンピュータにより発生させ、それをランダムにシャッフルしてから該当する建物に配置していく。なおこの際も3階建以上と同様に、建物側も建築面積による重み付けが行なわれており、建築面積が大きい建物ほど耐火性能が高くなりやすくなる処理を行なっている。

図 4.3.2 に本手法による建物の耐火性能の推定結果の例を示す。建築面積の大きい建物の多くは耐火造や準耐火造となっていることが分かる。また中央の川を挟んで西側の道路沿いは商業地域になっており、こうした地域の主に道路沿いで耐火や準耐火造の建物が多くなる。このような地域は、防火地域として指定されている場合が多いためであり、本研究で用いた商業集積統計と建物用途が反映されている事がわかる。

表 4.3.2 構造種別面積別の建物構造比（耐火・準耐火）

商業集積	建物用途	建物面積 [m ²]	耐火造	準耐火造
商業集積内	戸建	0-75	r ₁₁ =2.0	s ₁₁ =8.0
		75-100	r ₁₂ =2.0	s ₁₂ =1.0
		100-200	r ₁₃ =3.0	s ₁₃ =1.0
		200-	r ₁₄ =3.0	s ₁₄ =3.0
	非戸建	0-75	r ₂₁ =4.0	s ₂₁ =3.0
		75-100	r ₂₂ =4.0	s ₂₂ =5.0
		100-200	r ₂₃ =6.0	s ₂₃ =6.0
		200-	r ₂₄ =12.0	s ₂₄ =6.0
	不明	0-75	r ₃₁ =3.0	s ₃₁ =5.5
		75-100	r ₃₂ =3.0	s ₃₂ =3.0
		100-200	r ₃₃ =4.5	s ₃₃ =3.5
		200-	r ₃₄ =7.5	s ₃₄ =4.5
商業集積外	戸建	0-75	r ₁₁ =2.0	s ₁₁ =4.0
		75-100	r ₁₂ =2.0	s ₁₂ =10.0
		100-200	r ₁₃ =3.0	s ₁₃ =1.0
		200-	r ₁₄ =3.0	s ₁₄ =2.0
	非戸建	0-75	r ₂₁ =4.0	s ₂₁ =10.0
		75-100	r ₂₂ =4.0	s ₂₂ =10.0
		100-200	r ₂₃ =6.0	s ₂₃ =13.0
		200-	r ₂₄ =12.0	s ₂₄ =12.0
	不明	0-75	r ₃₁ =3.0	s ₃₁ =10.0
		75-100	r ₃₂ =3.0	s ₃₂ =7.0
		100-200	r ₃₃ =4.5	s ₃₃ =7.0
		200-	r ₃₄ =7.5	s ₃₄ =7.0



図 4.3.2 建物毎の耐火性能推定結果（例）

4.3.3 信頼性の検証

●1 棟 1 棟単位の信頼性検証

東京都世田谷区の3地域（世田谷区豪徳寺・三軒茶屋・北沢）の8,419棟を対象に、1棟1棟に対して耐火性能が正しく推定されているかどうかの検証を行う。検証データは「せたがやi-map」から得られる建物現況調査(2008年)を手作業により住宅地図側にマッピングして、建物1棟1棟に耐火性能の真値を与えることで作成した。

表4.3.3に建物1棟1棟の推定値と真値の突合による信頼性検証結果を示す。総合信頼性が76.98%である。耐火造と防火造については信頼性が83.23%、82.28%であり本手法が有効であることが分かる。一方で準耐火造の精度は42.15%にとどまっている。これは、耐火造と準耐火造の建物構造が非常に似ていることが挙げられ、本研究手法だけで耐火と準耐火を十分に判別することが難しいということを示している。また住宅地図側の問題として、建物階数に屋根裏部屋や半地下などを含んでしまうために、実際の階数とは違う階数の属性が付与されていることも信頼性に影響を与えていた。なお同様の手法で世田谷区と同様に耐火性能の情報が一部公開されている八王子市の八王子駅周辺の7,034棟についても検証を行った。表4.3.4にその結果を示す。八王子市においても世田谷区と同様の傾向が見られ、耐火造・防火造については良好な結果が得られている一方で準耐火については同様の理由で信頼性が低くなっている。

●地域メッシュ単位の信頼性検証

本研究で開発した建物の耐火性能の推定データは1棟1棟単位で突合した場合でも約75%が真値と一致するという、高い信頼性が得られることが示された。一方、本研究における地震時の火災被害リスク評価においては、任意の集計単位（地域メッシュ等）で集計することで信頼性の高い結果を得ることを目的としていた。加えて我が国では個人情報保護法等により、本研究で推定した建物1棟1棟の地震時の火災被害リスクを公開することは難しいものと考えられる。

そこで本研究では建物の耐火性能の推定結果と、上記検証で利用した真値をそれぞれ第4次地域メッシュ（約500m四方、概ね地域コミュニティの単位）で集計し、耐火性能別に棟数の比較を行なった。図4.3.3 東京都世田谷区における耐火造・準耐火造・防火造それぞれの建物棟数の比較結果を示す。また図4.3.4に同様の検証を東京都八王子市で行った結果を示す。本研究で開発した建物データと実際の建物データの棟数との間にはいずれの耐火性能においても決定変数=0.8以上の強い相関があることがわかる。先の検証では信頼性がそれほど高くはなかった準耐火造についても、4次メッシュ集計では高い信頼性が得られている。

以上より、我々の耐火性能の推定データは地域コミュニティ単位でその地域の耐火

性能を評価する目的においては充分信頼出来る性能があることが確認された。

表 4.3.3 東京都世田谷区における耐火性能推定の信頼性検証結果

		検証データ(真値)				信頼性
		耐火	準耐火	防火	合計	
推定データ	耐火	1191	158	82	1431	83.2%
	準耐火	284	483	379	1146	42.1%
	防火	341	694	4807	5842	82.3%
	合計	1816	1335	5268	8419	77.0%

表 4.3.4 東京都八王子市における耐火性能推定の信頼性検証結果

		検証データ(真値)				信頼性
		耐火	準耐火	防火	合計	
推定データ	耐火	907	94	146	1147	79.1%
	準耐火	329	88	356	773	11.4%
	防火	447	507	4160	5114	81.3%
	合計	1683	689	4662	7034	73.3%

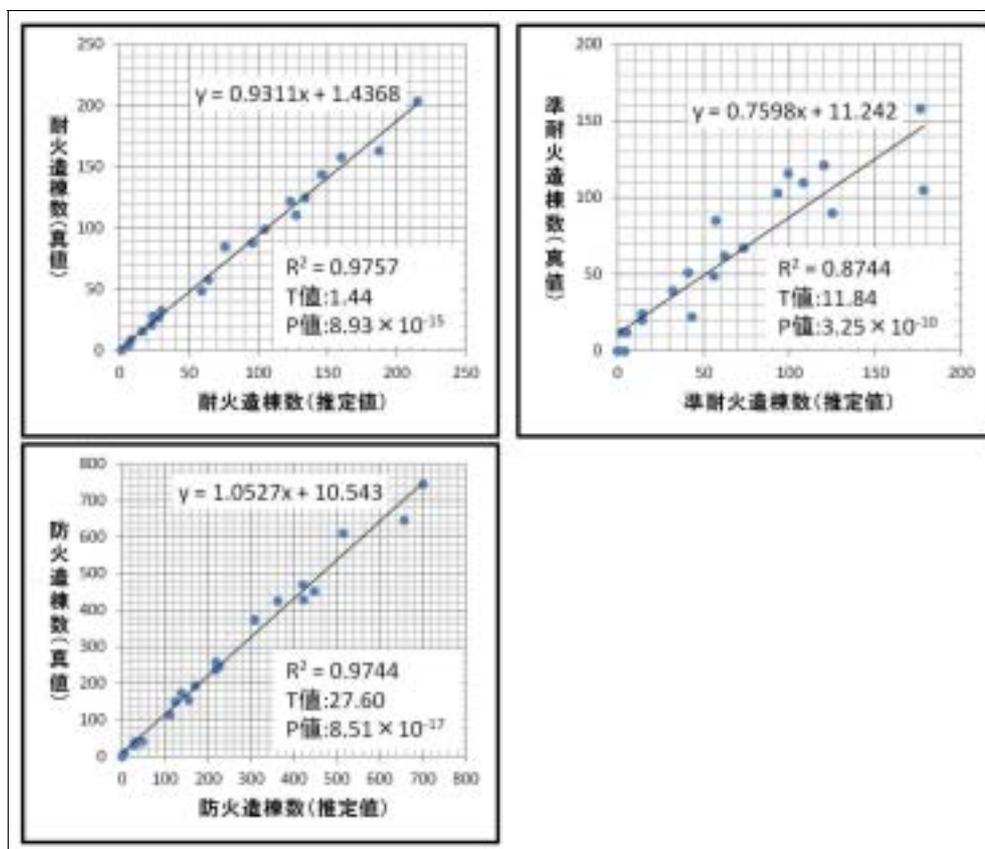


図 4.3.3 東京都世田谷区における耐火性能の推定値と真値の比較

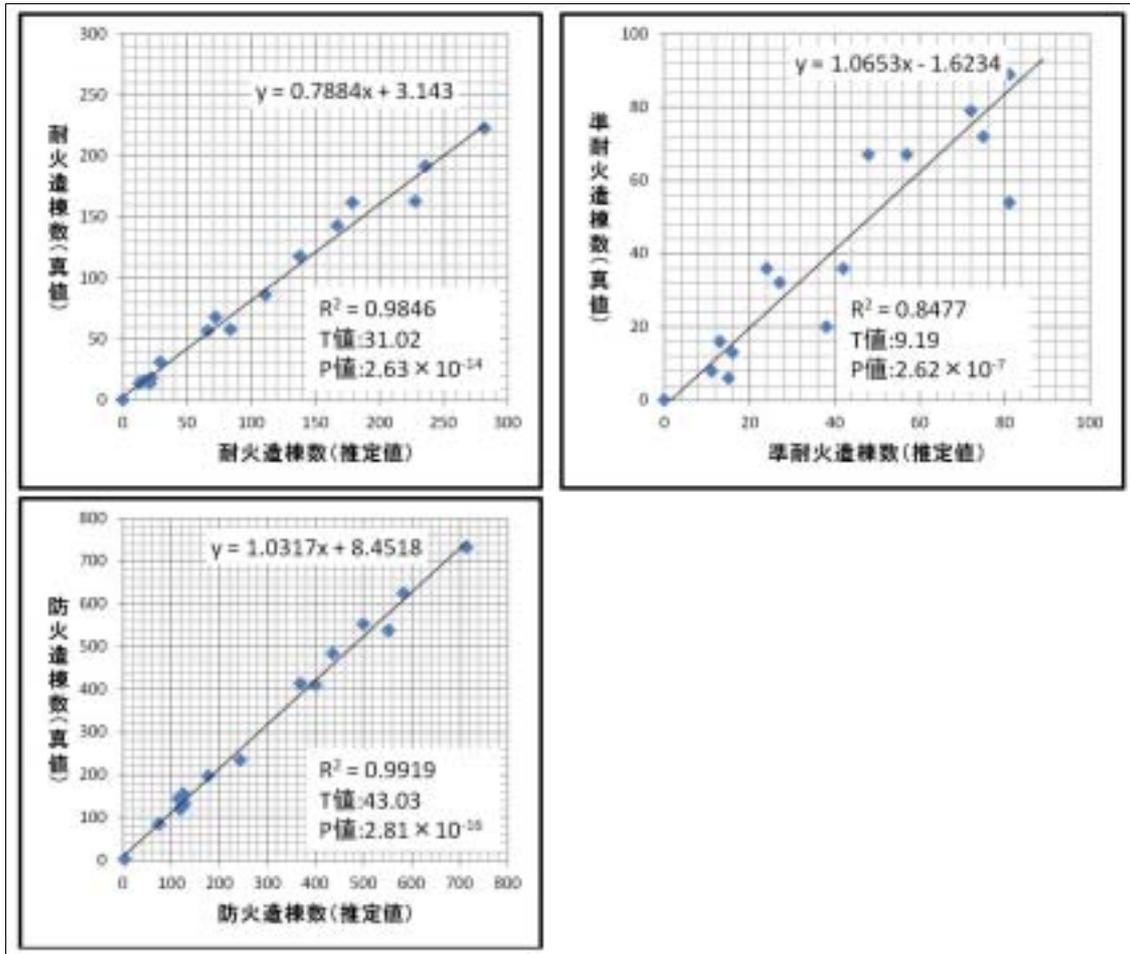


図 4.3.4 東京都八王子市における耐火性能の推定値と真値の比較

4.4 建物毎の構造推定

4.4.1 概要

地震による倒壊のリスク評価をする際には、建物の構造（木造か非木造か）が大きく影響を与える。1995年の阪神淡路大震災時の神戸市の調査によれば、全壊率および全半壊率ともに木造が最も高く、次いで鉄骨造（以下S造）、軽量鉄骨造（以下軽量S造）、鉄筋コンクリート（以下RC造）と低くなっている。棟数が全体の4分の3を占める木造と残りの約半分を占めるRC造とを比較すると、木造の全壊率（52.4%）はRC造（9.3%）の約6倍となっている。このような建物構造の違いにより、地震時の倒壊リスクは大きく異なるため、建物構造を考慮した地震時の倒壊のリスク評価

が求められる。そこで本研究では建物毎の構造を推定する手法を開発した。ただし S 造と RC 造の判別は公開されている情報からだけで推定することは困難であるため、本研究では木造と非木造 (S 造, 軽量 S 造, RC 造) の 2 区分の推定とする。

4.4.2 構造の推定方法

本研究では 4.3 節で得られた耐火性能付きの住宅地図に、市区町村ごとに戸建・非戸建別の非木造戸数が掲載されている住宅土地統計調査データ (2008) を併用することで建物構造を推定する。なお我が国の場合、建築基準法の定めるところにより、非木造建築は耐火造及び準耐火造にする必要があるとされている。ただし必ずしも全ての非木造建築がこの条件を満足しているとは限らない点に注意されたい。

本研究では建物 1 棟 1 棟単位の構造推定を行う。住宅土地統計調査データから得られる市区町村別の戸建・非戸建の非木造率 Q を 4.3 節と同様に算出し、木造・非木造棟数を推定して配分する。用途不明の建物については、戸建と非戸建の双方の可能性があることから、非木造率は戸建と非戸建の非木造率の平均値を用いる。我が国の建築基準法では建物面積と階数に応じて建設することが出来る建物が定められている。そこで本研究では同法に従い図 4.4.1 に示す方法で構造の推定を行う。

ただし、建築基準法で定められていない状態にある建物については、木造・非木造棟数を 4.3 節と同様にコンピュータでランダムに発生させて、建物構造を建物データに配分させていく。配分していく際には、重み付けを行い防火造、商業集積外、容積の小さい建物ほど木造に配分されやすいようにしている。

図 4.4.2 に本手法による建物構造の推定結果の例を示す。耐火性能と同様に建築面積の大きい建物で非木造構造が多いことが分かる。また中央の川を挟んで西側の道路周辺に非木造構造の建物が多くなっている。このような地域は、防火地域として指定されている場合が多いためであり、非木造化が進んでいると考えられる。

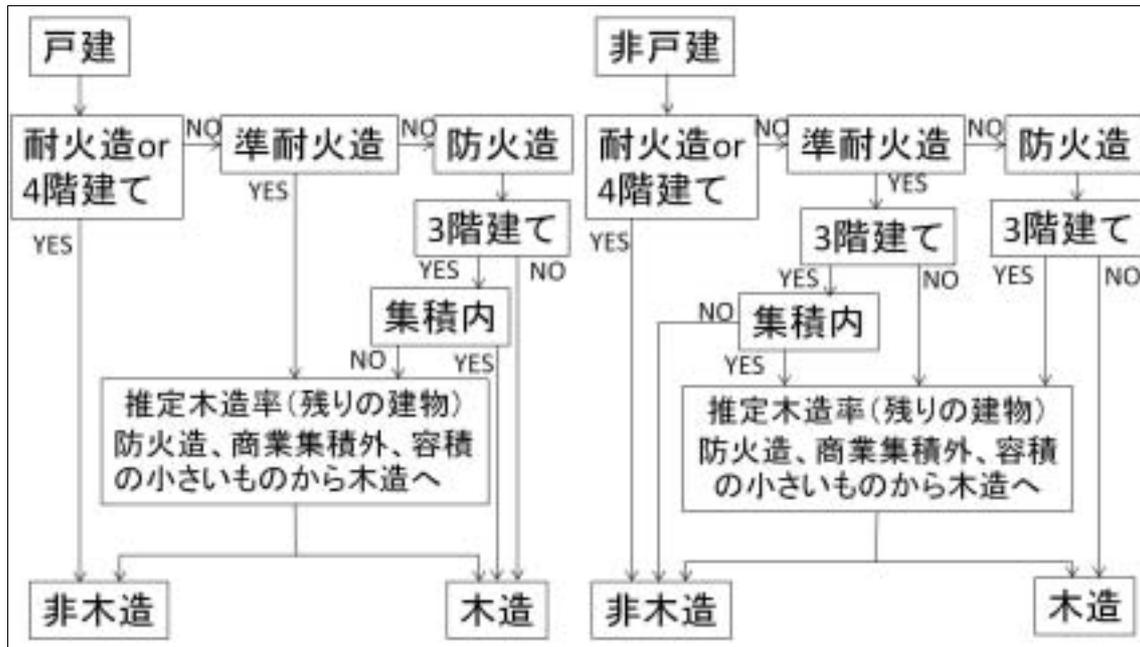


図 4.4.1 建物構造の推定方法



図 4.4.2 建物毎の構造推定結果 (例)

4.4.3 信頼性の検証

●1 棟 1 棟単位の信頼性検証

不動産株式会社アットホームから提供されたデータを用いて、1 棟 1 棟に対して建物構造が正しく推定されているかどうか検証を行う。検証データで用いるアットホームのデータの対象地は 1 都 3 県（埼玉県，千葉県，東京都，神奈川県）であり，アットホームデータ，建物ポイントデータ共に住所と経緯度を持つため，それらを元にアットホームデータと住宅地図から作成した建物ポイントデータ（2009 年）を結合する。まず住所を参照し，住所が完全に一致する建物同士を結合する。住所表記には表記ゆれが見られるため（数字の全角半角，ローマ数字と漢数字の混在，全角半角ハイフンの混在など）それらを解消出来るようにテキスト処理を実施して，結合を行った。続いて経緯度を参照し，アットホームデータから最近隣に分布する建物ポイントデータと結合処理を行った。ただし 2 点間距離が双方の建物面積から得られる円の半径の合計を超える場合は，アットホームデータ側のジオコーディングレベルが低いものとして除外する（図 4.4.3）。

次に建物名称の同一性判定を行う。アットホームデータは主に共同住宅の場合は，建物名称を持っている。一方，住宅地図も個人宅以外の多くの建物は建物名称を持っている。そこで双方共に建物名称を持っている場合は，その同一性を確認して，名称が合わない場合は取り除く。n-gram という手法も用いて建物名には地名や駅名などは基本的には含まれないため，頻出語削除の処理は行わない。n-gram では双方が 3 文字以上の場合は 3-gram，一方あるいは両方が 2 文字なら 2-gram，一方あるいは両方が 1 文字なら 1-gram を利用した。また一方がもう一方の文字列に部分完全一致する場合は類似度=1 とした。ただし同一と見なす類似度の閾値を決定する必要がある。そのため，各都県から双方名称を持つサンプルデータをランダムに抽出し，それらの同一性を目視で判読し，n-gram の結果と比較することで，n-gram による類似度の閾値（どの値を超えた場合に同一と判定するべきか）を決定する。各都県から抽出するサンプル数は最大誤差 5%以内，信頼率 95%（対応する正規分布%点:z=1.96），想定する調査結果 0.5（以上，一般的な標本調査時のパラメータ）として決定した。母集団のサイズが既知の場合のサンプル数は式 4.4.1 により決定する。

$$n = \frac{N}{\left(\frac{e}{k}\right)^2 \frac{N-1}{P(1-P)} + 1} \quad (4.4.1)$$

N：建物総数（母集団サイズ）

e：許容出来る誤差範囲（ここでは 0.05）

k：信頼度係数（信頼率 95%の場合，1.96）

P：想定する調査結果（ここでは0.5.）

以上の方法により各都県から取得するサンプル数は、埼玉県：380件、千葉県：379件、東京都：383件、神奈川県：382件である。

その結果類似度0.35を閾値とした。類似度0.35以上に混じる名称不一致の建物については、判定ミスとして残ってしまうが、類似度0.35以上の建物に占める割合は非常に小さいため（今回の検証データの場合7件/1257件=0.57%）検証データとして使うには十分実用に耐えうる。このようにして結合したデータの内、建物構造データが存在するものを用いて行う。表4.4.1に検証データの都道府県名とその棟数を示す。

表4.4.2～表4.4.6に建物1棟1棟単位での建物の構造推定棟数結果と、アットホームデータによって得られた真値とのエラーマトリックスによる信頼性検証の結果を示す。また、表4.4.7に全地域を合算した場合の信頼性検証の結果を示す。埼玉県と千葉県では信頼性が80%を超えており、1棟1棟単位で見てもかなり高いものとなっている。誤差の原因としては、非木造建物がやや過剰に分布してしまう傾向がある地域が見られた。これは構造推定のために用いた統計値が市区町村全体のものであるため、非木造建物が真に多い地域の影響を受けているものと考えられる。同様の理由で建築面積の小さい小規模な工場・事業所が数多く分布する地域では、非木造の建物が木造に判別されている割合が高い。表4.4.7が示すように全体で見ると木造は約90%と十分高い信頼性と言えるが、非木造に関しては約71%とやや低い傾向にあり改善すべき点であろう。これらは集計単位がより細かい統計データが利用可能になれば、直ちに改善されるものと考えられる。

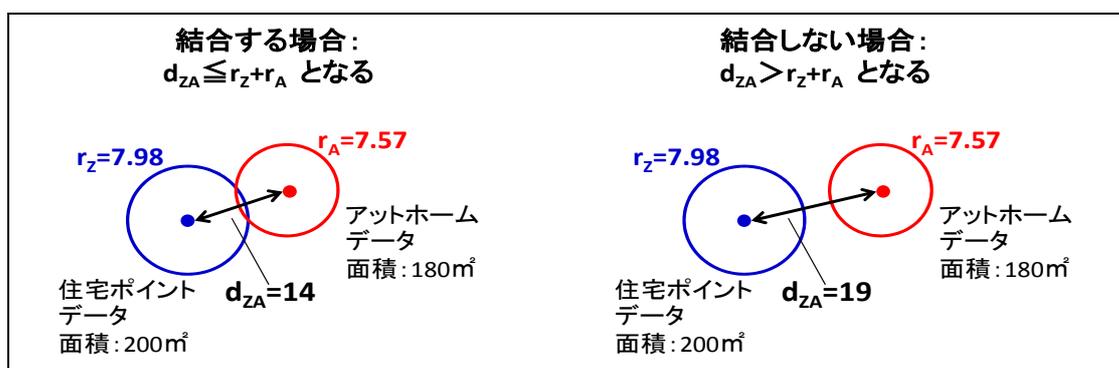


図 4.4.3 アットホームデータと住宅地図との結合処理手法

表 4.4.1 検証データの地域とその建物棟数

都道府県名	調査棟数
埼玉県	48937
千葉県	34566
東京都	134387
神奈川県	82599
合計	300489

表 4.4.2 埼玉県における構造推定の検証結果

		検証データ(真値)			信頼性
		木造	非木造	合計	
推定棟数	木造	15559	1557	17116	90.90%
	非木造	7793	24028	31821	75.51%
	合計	23352	25585	48937	80.89%

表 4.4.3 千葉県における構造推定の検証結果

		検証データ(真値)			信頼性
		木造	非木造	合計	
推定棟数	木造	10723	1084	11807	90.82%
	非木造	5694	17065	22759	74.98%
	合計	16417	18149	34566	80.39%

表 4.4.4 東京都における構造推定の検証結果

		検証データ(真値)			信頼性
		木造	非木造	合計	
推定棟数	木造	23787	1532	1532	93.95%
	非木造	35837	73231	109068	67.14%
	合計	59624	74763	134387	72.19%

表 4.4.6 神奈川県における構造推定の検証結果

		検証データ(真値)			信頼性
		木造	非木造	合計	
推定棟数	木造	21677	4071	25748	84.19%
	非木造	14045	42806	56851	75.30%
	合計	35722	46877	82599	78.07%

表 4.4.7 1都3県における構造推定の検証結果

		検証データ(真値)			信頼性
		木造	非木造	合計	
推定棟数	木造	71746	8244	79990	89.69%
	非木造	63369	157130	220499	71.26%
	合計	135115	165374	300489	76.17%

●地域メッシュ単位の信頼性検証

本研究で開発した建物の構造推定データは1棟1棟単位で突合した場合でも検証対象地域全体で約80%が真値と一致するという、信頼性が得られることが示された。一方、4.3節でも説明したように本研究における地震時の火災被害リスク評価においては、任意の集計単位（地域メッシュ等）で集計することで信頼性の高い結果を得ることを目的としている。

そこで 4.3 節と同様に建物の構造推定の結果と、上記検証で利用した真値をそれぞれ第 5 次地域メッシュ（約 250m 四方、概ね地域コミュニティの単位。）で集計し、構造別に棟数の比較を行なった。図 4.4.4～4.4.7 にそれぞれ 1 都 3 県の比較結果を示す。

本研究で開発した建物データと実際の建物データの棟数との間には埼玉県の木造も除けば、いずれの構造においても決定変数=0.8 以上の強い相関があることがわかる。特に非木造については、いずれの都道府県においても決定係数≒0.95 と両者の値の分布の傾向が一致しているだけでなく、回帰直線の傾き≒0.8 となることより、その棟数もよく一致していることが分かる。

以上より、我々の構造推定データは地域コミュニティ単位でその地域の建物構造を評価する目的においては充分信頼出来る性能があることが確認された。

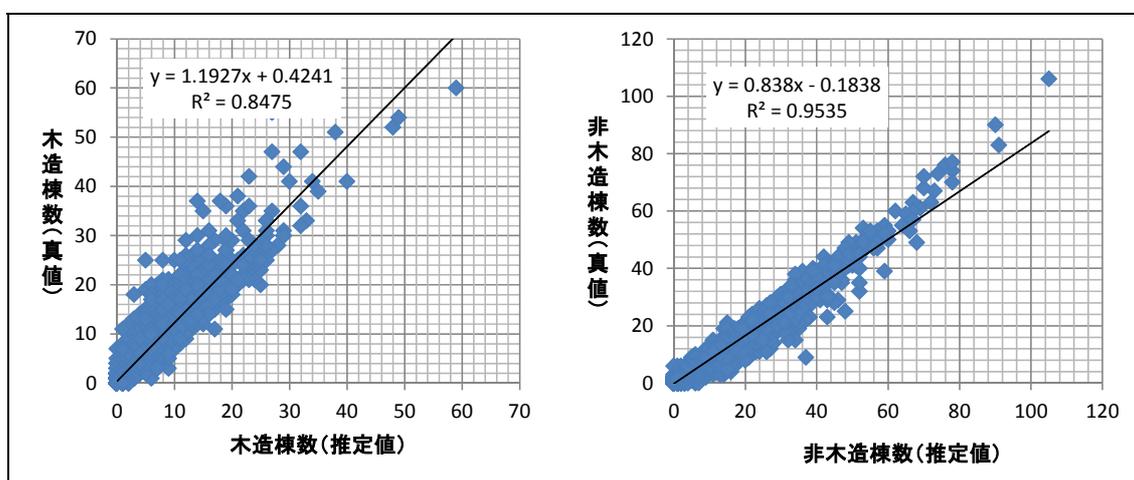


図 4.4.4 埼玉県における構造の推定値と真値の比較

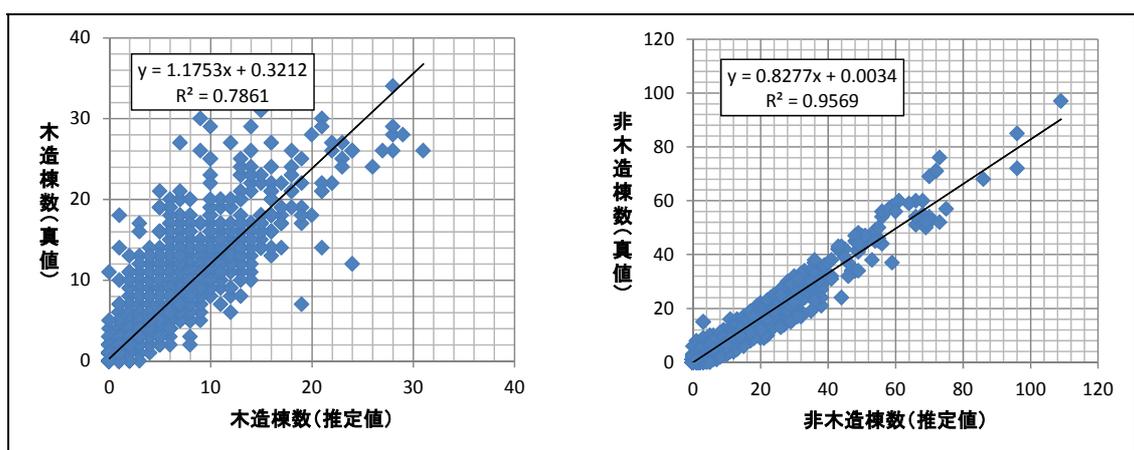


図 4.4.5 千葉県における構造の推定値と真値の比較

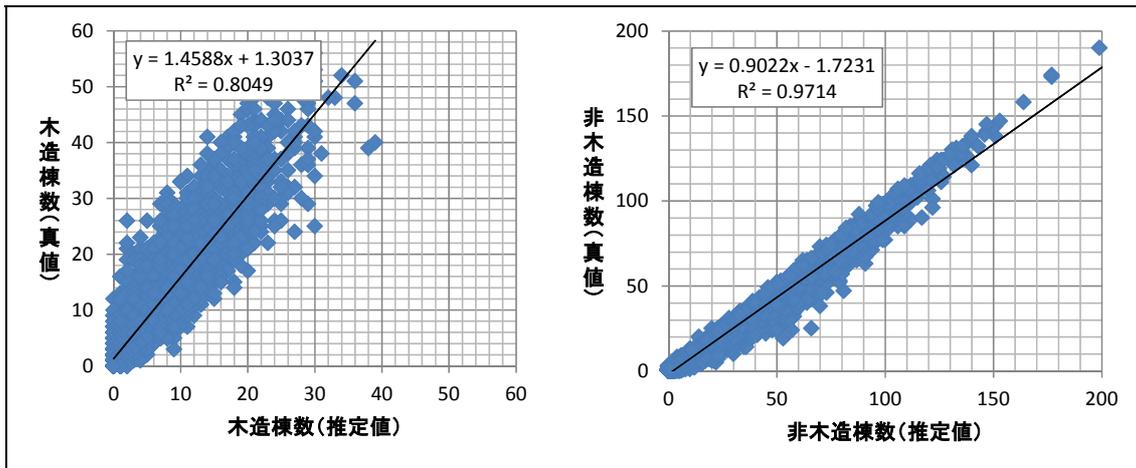


図 4.4.6 東京都における構造の推定値と真値の比較

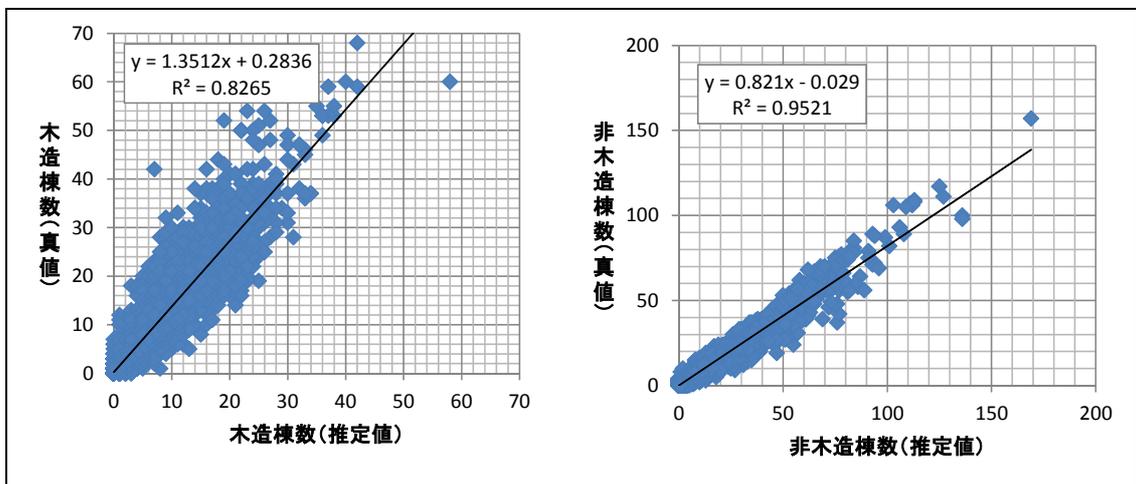


図 4.4.7 神奈川県における構造の推定値と真値の比較

4.5 建物毎の居住者情報推定

4.5.1 概要

これまでの処理で建物 1 棟 1 棟に大規模地震災害時の地震動入力と、それによる建物の倒壊・火災の確率を評価するための値を与えることが出来た。引き続きここでは建物ごとにそこに入居する世帯と、それを構成する居住者の情報の推定値を与える方法を説明する。

現在,我が国における全国規模の居住者分布情報として広く公開されているものは,国勢調査である.しかし現在公開されている国勢調査は,市区町村単位や地域メッシュ単位に集計されているため,ここで目的にするより詳細な人口の分布状況の把握は困難である.またメッシュ等への集計により,実際には人口がそのメッシュ内で空間的には偏在している地域においても,その分布が均質化してしまう課題もある([13]高阪(2011)).

そこで本研究では,[14]秋山(2012),[15]Akiyama et al.(2013)の手法を用いて,ここまでに整備してきた建物ポイントデータに対し,国勢調査の世帯・居住者データを国勢調査から得られる複数の統計表を組み合わせることにより確率的に配分,即ち非集計化することで世帯・居住者の推定分布データを整備する.

4.5.2 居住者情報の推定方法

図 4.5.1 に[14]秋山(2012),[15]Akiyama et al.(2013)の手法によるデータ作成の流れを示す.まず国勢調査(2005年・第4次地域メッシュ集計)から集計単位ごとの世帯数を取得する.地域メッシュごとに得られる世帯数に応じて世帯を配置する建物を住宅地図から決定する.

続いて国勢調査の世帯情報に関する複数の統計表の情報を,前述した世帯が配置される建物に対して配置することで,世帯の分布推定を行う.国勢調査と住宅地図は共に世帯の延べ床面積の情報を持つため,それらの情報を利用出来る.

最後に国政調査の居住者に関する複数の統計表の情報を人口動態調査も併用して,前述の処理で整備した世帯に対して分配することで,居住者の分布推定を実現する.手法の詳細は[14]秋山(2012),[15]Akiyama et al.(2013)を参照されたい.なお同様の手法はマイクロシミュレーションとして知られており,古くは[16]Orcutt(1961),近年の我が国の研究例では[17]杉木ほか(2008)や[18]花岡(2009)などがある.

図 4.5.2 に秋山らの手法で整備したマイクロ人口統計の例を示す.世帯が分布すると考えられる建物1棟1棟にそこに分布する世帯の推定情報を与えられている.また各世帯に居住する居住者の情報(年齢・性別・間柄)も観察できる.ただし本データはあくまでも推定値であるため,建物1棟1棟に割り当てられた世帯の情報が実際の世帯情報と建物ごとの単位で一致するというものではない.ある程度のサイズの集計単位で集計することで,実際の分布状況の集計値と良好に一致する性能を持つデータである.即ち任意の集計単位で集計可能な国政調査データと言える.本研究では大規模地震による被害推定や初期対応力の計算でも広域においては地域メッシュ単位で集計するため,上述する性能を持つ本データが有意義であるといえる.

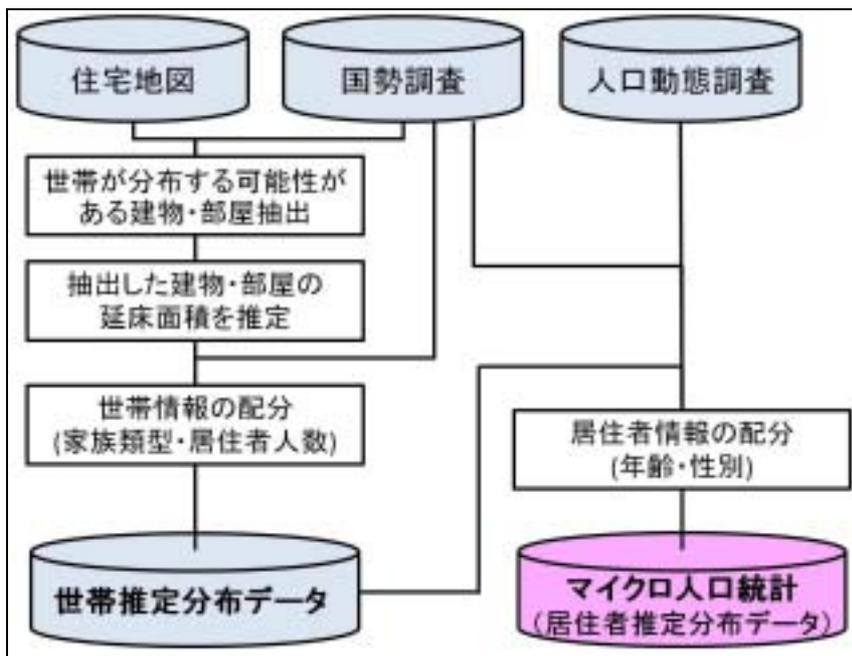


図 4.5.1 マイクロ人口統計作成の流れ

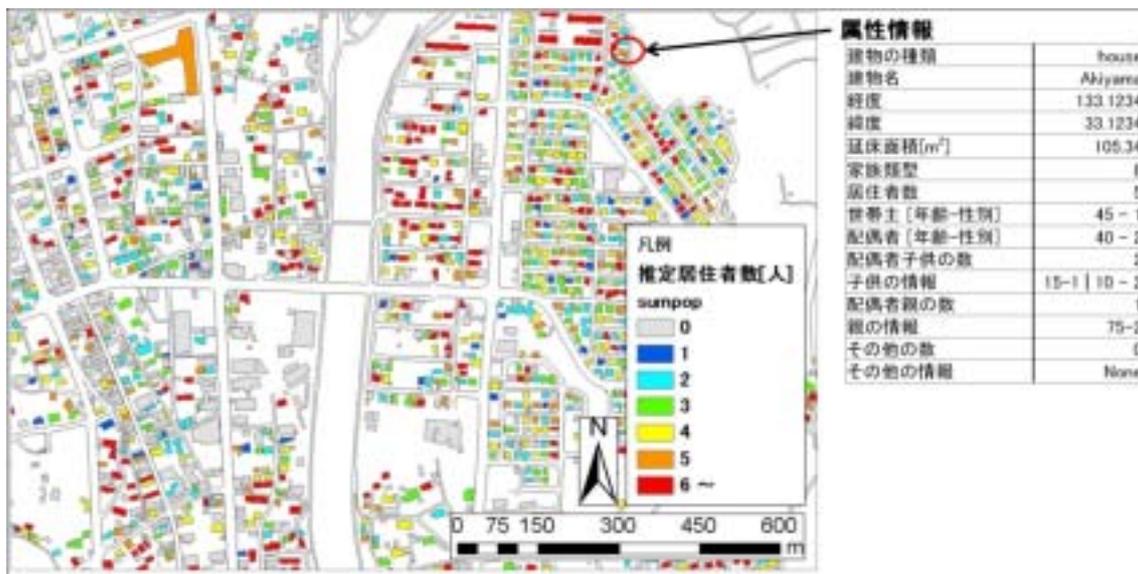


図 4.5.2 マイクロ人口統計 (例)。中央の川を挟んだ東側の住宅地では殆どの建物に居住者の分布が見られる。一方川の西側は商業地域であるため、居住者の分布は少なくなる。

以上の手法により世帯が分布する可能性のある全ての建物に世帯・居住者の情報が配分された。

4.6 建物毎の築年代推定

4.6.1 概要

建物倒壊リスクを評価する際には、建物構造に加え、築年代が倒壊リスクに大きな影響を与える。特に1981年6月1日 建築基準法施行令改正（新耐震）が行われたことで、その前後で建物倒壊に対する地震の耐力が大きく異なる。しかしながら建物の築年代のデータについては市区町村単位でしか公開されておらず、建物単位での築年代のデータは多くの場合公開されていない。また建物毎の倒壊確率の多様性を被害推定に反映させるためには、市区町村単位の集計値ではなく、建物毎の築年代情報を利用できるのが理想的である。そこで本研究では統計データからマイクロシミュレーションを用い、建物ポイントデータに築年代の情報を追加する。マイクロシミュレーションの手法は、マルコフ連鎖モンテカルロ法を用いる。同手法により～1970年、1971～1980年、1981～1990年、1991～2000年、2001年～現在までの5区分の築年代を建物1棟1棟に与える。

4.6.2 築年代の推定方法

本研究では、住宅土地統計データ（2008）、国土数値情報から得られるDID地区（人口集中地区）ポリゴンデータ、4.5節で推定した建物世帯年齢及び、住宅地図から得られる建物階数を用いて、築年代の推定を行う。

●住宅土地統計の整理

まず住宅土地統計の整理を行う。住宅土地統計からは市区町村別の建物用途と建物構造（木造・非木造）、建物構造と世帯主年齢、世帯主年齢と築年代、それぞれの組み合わせの統計表を得ることが出来る。これらをクロス集計することで、建物用途×建物構造×世帯主年齢×築年代のクロス表を作成出来る（表4.6.1）。また建物用途と建物構造、建物構造と建物階数、建物階数と築年代、それぞれの組み合わせの統計表も得ることが出来る。同様にこれらをクロス集計することで、建物用途×建物構造×建物階数×築年代のクロス表を作成できる（表4.6.2）。以上のクロス集計を用いて、築年代を推定する理由は以下の通りである。まず建物の築年代と世帯主年齢の間には相関が見られるためである。即ち高齢者ほど地区年代の古い建物に分布している傾向が見ら

れる。また同様に地区年代と建物階数の間にも相関が見られ、建物階数が大きい建物ほど近年建てられた新しい建物である傾向が見られる。以上のように築年代と世帯主年齢、あるいは建物階数の間に有意な相関が見られることから上述したクロス集計を採用している。

表 4.6.1 建物用途×建物構造×世帯主年齢×築年代のクロス表による組み合わせ数

種類	建物用途	建物構造	世帯主年齢	築年代	クロス集計
区分数	2	2	6	5	120
区分名	戸建 非戸建	木造 非木造	～24歳 25～34歳 35～44歳 45～54歳 55～64歳 65歳～	～1970年 1970年代 1980年代 1990年代 2000年代	

表 4.6.2 建物用途×建物構造×建物階数×築年代のクロス表による組み合わせ数

種類	建物用途	建物構造	建物階数	築年代	クロス集計
区分数	2	2	9	5	180
区分名	戸建 非戸建	木造 非木造	1階 2階 3階 4階 5階 6～7階 8～10階 11～14階 15階～	～1970年 1970年代 1980年代 1990年代 2000年代	

●DID 地区ポリゴンデータの収集

続いて過去及び現在の DID 地区のポリゴンデータを収集する。DID 地区（人口集中地区）とは国勢調査基本単位区及び基本単位区内に複数の調査区がある場合は調査区（以下「基本単位区等」）を基礎単位として、原則として 1) 人口密度が 1 平方キロメートル当たり 4,000 人以上の基本単位区等が市区町村の境域内で互いに隣接して、2) それらの隣接した地域の人口が国勢調査時に 5,000 人以上を有するこの地域、と定義されている。即ち DID 地区の指定を受けた地域は、その年代以降に大きく開発・発展したと考えられることから、その地域の建物の多くはその年代以降のものが多いことがわかる。

本研究では 1970 年、1980 年、1990 年、2000 年、2005 年の DID 地区ポリゴンデータを[19]国土数値情報から取得した。これらのポリゴンデータを建物ポイントデータと結合して建物 1 棟 1 棟にどの年代の DID 地区の内部に分布しているか、という情報を与えた。なお DID 地区指定の時期と都市化された時期との関係は表 4.6.3 を参

考にされたい。

また DID 地区の指定解除を受けた建物も存在するが、過去のある時期に DID 地区に指定されている場合、過去の DID 地区指定を受けた時期にその地域が都市化されていることは明らかであるため、最初に DID 地区の指定を受けた時期を、その建物が分布している地域が都市化した時期とする。しかしながら、DID の年代が古いほどたて替わりが行われている可能性があるため、後述する教師データによりパラメータの設定を行った。

●住宅地図属性別の条件付き確率の算出

住宅土地統計データの建物用途×建物構造×世帯主年齢×築年代のクロス表（表 4.6.1）と、建物用途×建物構造×建物階数×築年代のクロス表（表 4.6.2）から、築年代に対する建物用途×建物構造×建物階数×世帯主年齢の条件付き確率を算出する（図 4.6.1）。

上記確率を算出する際には DID 地区指定時期による重み付けを行うことで、より市区町村内の地域特性を反映させることが可能になる。DID 地区に指定された時期から表 4.6.3 に示すようにその建物が分布する地域が開発された年代が分かる。そこで表 4.6.4 に示すように、DID 指定時期に対して築年代ごとに重み付けを行なう。それぞれのウエイトは、各々の DID 地区における不動産会社アットホームの教師データと統計データ（住宅土地統計調査）の比較から得られたものである。

表 4.6.3 DID 地区指定時期と都市化された時期の関係

DID地区	都市化された時期
1970年	～1970年
1980年	1971～1980年
1990年	1981～1990年
2000年	1991～2000年
2005年	2001～現在

表 4.6.4 DID 地区指定時期と重み付けの関係

DID地区	都市化された時期	重み付け
1970年	～1970年	0.18
1980年	1971～1980年	0.85
1990年	1981～1990年	1.70
2000年	1991～2000年	1.78
2005年	2001～現在	1.40

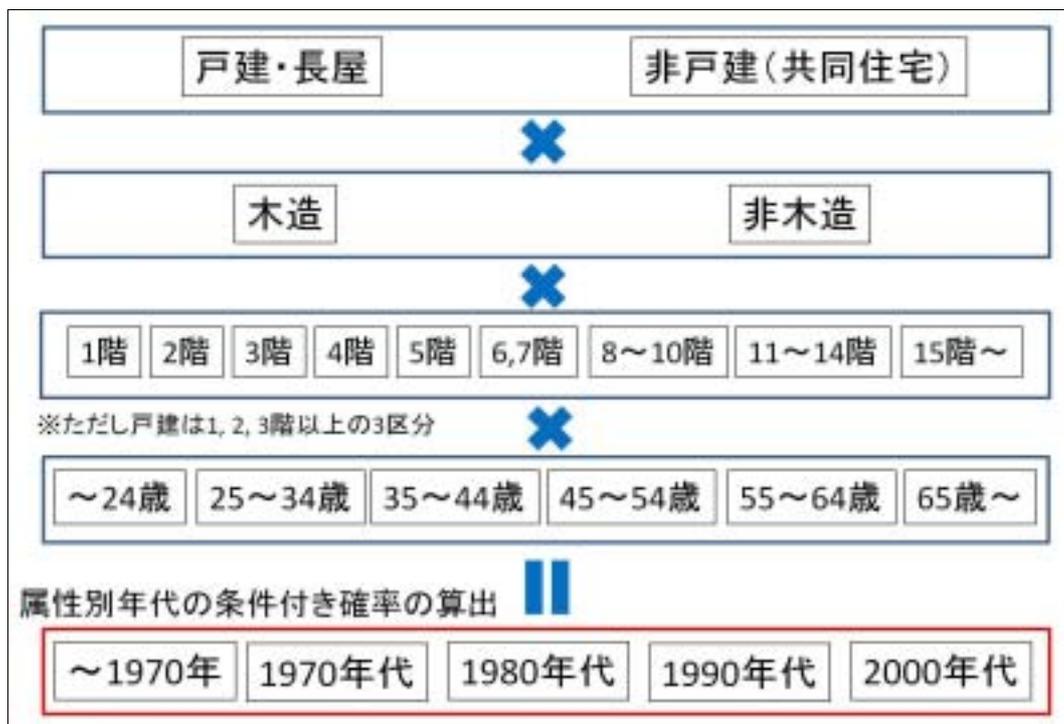


図 4.6.1 住宅土地統計データから住宅地図属性別の条件付き確率算出の方法

●マルコフ連鎖モンテカルロ法を用いた建物築年代の推定

以上により算出された条件付き確率を元に、マルコフ連鎖モンテカルロ法を用いて推定を行う。本研究ではマルコフ連鎖モンテカルロ法の中のメトロポリス法を用いた。メトロポリス法とはモンテカルロ法において、乱数発生により作った新しい状態を棄却するか採択するかをの基準の与え方の一つである。この手法を用いた最適化アルゴリズムとして知られるのが焼きなまし法であり ([20]Kirkpatrick, S. et al. (1983)), 本手法を用いた代表的な分析例として「巡回セールスマン問題」などがある ([21]Kohn, S. et al. (1977)). 即ち本手法はあるランダムに与えられた属性を、ある与えられた条件 (ここでは図 4.6.1 で与えられる複数の条件付き確率) に合致するように、その属性値を最適化していくことを意味している。

本研究においてマルコフ連鎖モンテカルロ法のメトロポリス法を適用すると次のようになる。まず対象の建物 x_i に対して任意の初期状態 (適当な建築年代を割り当てる) を与えた上で、以下の処理を誤差が 1/100 オーダーとなるように 1000 回繰り返す。

1. 対象となる建物 x_i を 10 ステップおきにランダムに選ぶ。
2. 選んだ変数 x_i の値を x'_i に置き換え、他の x_i はそのままにした状態を次の「候補」とする。

3. 「候補」の確率と現在の状態の確率比 r を計算する. ある変数 x_i の確率比 r は, 式 4.6.1 で与えられる.

$$r = \frac{p(x'_i)}{p(x_i)} \quad (4.6.1)$$

4. $0 \leq R \leq 1$ の一様乱数 R を発生させる.
5. $R < r$ の場合, 2 の候補を次の状態として採用する. $R \leq r$ の場合, 現状維持とする.

図 4.6.2 に本手法による築年代の推定結果の例を示す. 古くから都市化されている地域, 即ち 1970 年に既に DID 地区に指定されていた地域 (図中黄色の地域) では, より古い年代の建物が数多く分布していることが分かる. 一方, その周辺の 2005 年に DID 地区に指定された地域では新しい年代の建物が多くなっている.

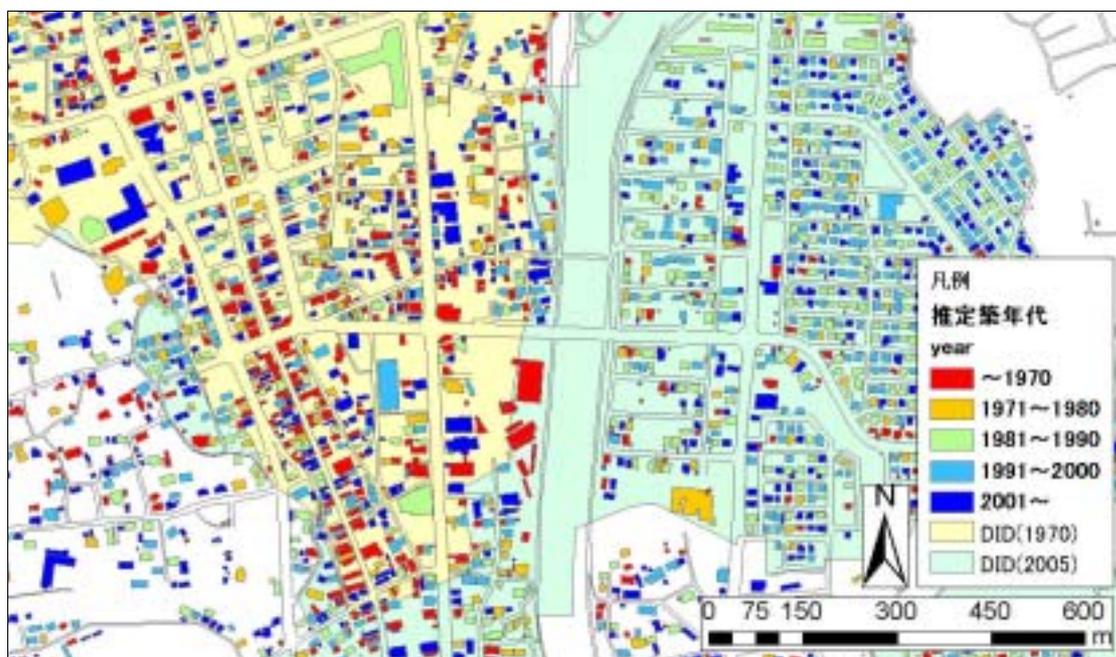


図 4.6.2 建物の築年代推定結果 (例)

4.6.3 信頼性の検証

建物構造同様に不動産株式会社アットホームから提供されたデータを用いて, 1 棟 1 棟に対して築年代が正しく推定されているかどうか検証を行う.

表 4.6.5 に埼玉県での建物 1 棟 1 棟単位での築年代の推定結果と, アットホームデータによって得られた真値とのエラーマトリックスによる信頼性検証の結果を示す.

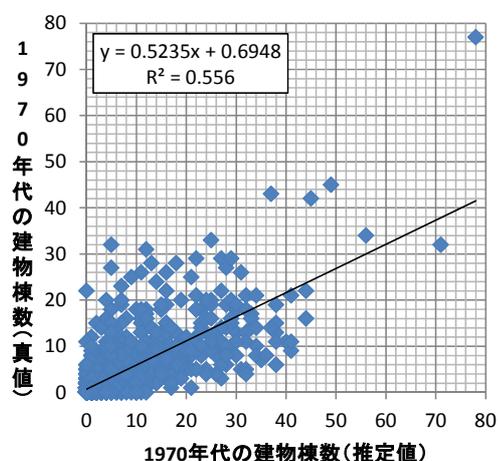
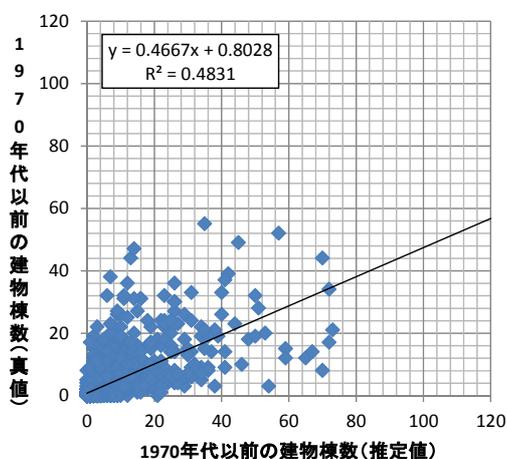
全体での信頼性は 47.7%であり，年代が古いものに比べ新しい方が信頼性の高い傾向にある。これは年代の古い建物は建て替りが進んでいるた DID による推定では把握しきれない側面があるためと予想される。また誤差の原因としては，マイクロ人口統計及び建物構造の推定誤差から伝播した誤差のためと考えられる。こうした原因を改善するには，詳細なパラメータ設定や新たな建物の属性を考慮する必要がある。

表 4.6.5 埼玉県における築年代推定の検証結果

築年代		検証データ(真値)					合計	信頼性
		～1969	1970	1980	1990	2001～		
推定データ	～1969	693	386	418	214	31	1742	39.78%
	1970	132	921	684	1083	374	3194	28.84%
	1980	46	2351	4141	2829	1524	10891	38.02%
	1990	246	465	925	6454	327	8417	76.68%
	2001～	13	1836	4961	1643	6481	14934	43.40%
	合計	1130	5959	11129	12223	8737	39178	47.71%

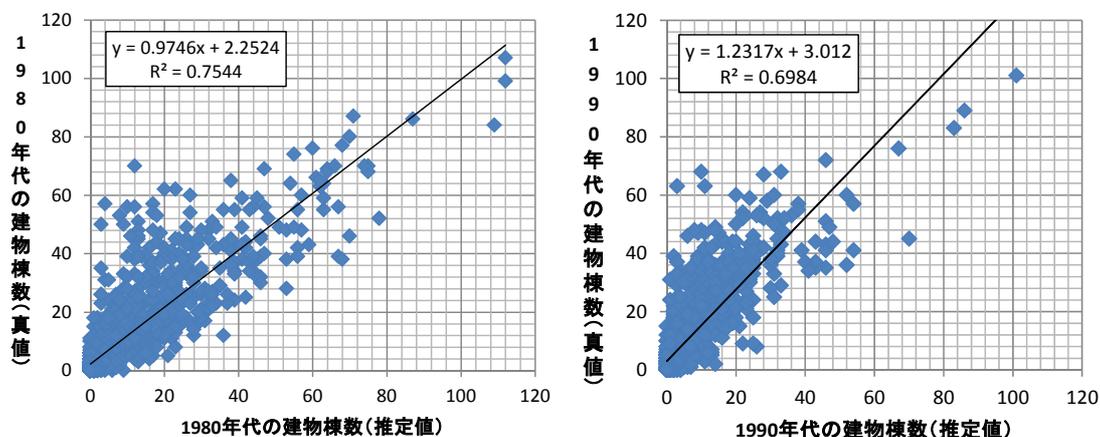
4. 3 節と同様に建物の構造推定の結果と，上記検証で利用した真値をそれぞれ第 5 次地域メッシュ（約 250m 四方，概ね地域コミュニティの単位。）で集計し，築年代別に棟数の比較を行なった。図 4.6.3～4.6.7 にそれぞれ埼玉県における年代別の建物棟数の比較結果を示す。

本研究で開発した建物データと実際の建物データの棟数との間には，1980 年代と 1990 年代については決定変数=0.8 近い相関があることがわかる。一方で 80 年代以前と 2000 年代については，決定変数=0.5 とより，高い信頼性は得られなかった。この原因として，適切なパラメータ調整や居住者詳報及び建物構造の推定データを用いたことによる誤差の伝播が考えられる。こうした原因については今後改良しなければならない課題である。



左図 4.6.3 埼玉県における 1970 年代以前の建物の推定値と真値の比較

右図 4.6.4 埼玉県における 1970 年代の建物の推定値と真値の比較



左図 4.6.5 埼玉県における 1980 年代の建物の推定値と真値の比較

右図 4.6.6 埼玉県における 1990 年代の建物の推定値と真値の比較

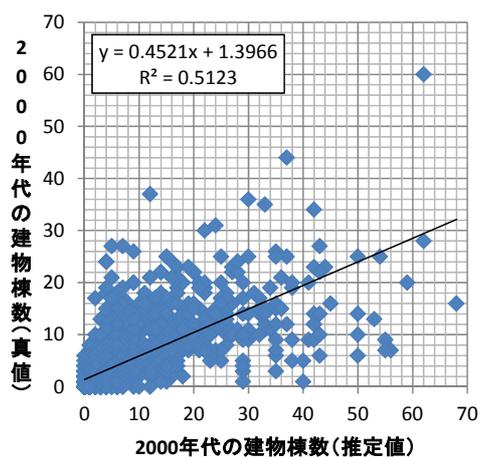


図 4.6.7 埼玉県における 2000 年代の建物の推定値と真値の比較

4.7 建物毎の消防施設からの距離計算

4.7.1 概要

本研究では大規模地震災害後の初期対応力として、倒壊建物内からの周辺住民による救助期待人数と、火災建物の消防力（消防ポンプ車、消防職員および消防団による

建物火災の消火力)による消火期待棟数を建物1棟1棟で計算する(詳細は第5章参照)。ここではその計算を実施するための準備として、各建物に最近隣の消防施設(消防署・出張所等)の情報を与える方法を説明する。

4.7.2 消防施設データの整備

各建物の最近隣の消防施設(消防署やその出張所等。ここでは消防施設と呼ぶ。)を明らかにするためには、日本全国の消防施設の所在地が分かるデータを整備すれば良い。また消防施設ごとにそこが保有していると予想される消防力(消防ポンプ車台数・消防職員数)も明らかにする必要がある。

●消防施設データの整備

まず全国の消防施設の所在地(住所・経緯度)、消防施設名、その消防施設が所属する消防本部名が分かるデータを整備した。[22]全国消防便覧(2011)から全国の消防施設に関する上記の情報を収集し、まずアドレスマッチングを行なって経緯度情報を取得した。更に位置精度の低いデータについてはデジタル電話帳及び住宅地図との結合(施設名称・住所を用いたマッチング)を実施し、全ての施設に詳細な位置情報を与えた。表4.7.1に消防施設データの例を示す。なおポイントデータ化する際、同一地点に複数の施設が分布する場合は1つの地点に集約する処理を実施した。

●消防本部ごとの消防力の整理

続いて消防本部ごとにそこが保有する消防ポンプ車の台数、消防職員数、管轄内の消防団員数を明らかにした。消防本部ごとの以上の情報は全国消防長会ホームページ(<http://www.fcj.gr.jp/>)にて取得することが出来る。消防ポンプ車の台数については消防本部ごとに保有する装備の数が取得できるため、表4.7.2に示す装備をその消

表 4.7.1 消防施設データの例(静岡県の場合・一部)

消防本部	消防署等名	出張所等名	住所	経度	緯度
静岡市消防防災局			静岡市葵区追手町6-2	138.3817	34.97606
静岡市消防防災局	調整室		静岡市葵区追手町6-2	138.3817	34.97606
静岡市消防防災局	追手町消防署		静岡市葵区追手町6-2	138.3817	34.97606
静岡市消防防災局	追手町消防署	平和出張所	静岡市葵区平和1丁目3-58	138.3653	34.98829
静岡市消防防災局	追手町消防署	南田町出張所	静岡市葵区南田町1-1	138.3707	34.96414
静岡市消防防災局	追手町消防署	山崎出張所	静岡市葵区山崎2丁目3-8	138.3547	34.97762
静岡市消防防災局	追手町消防署	井川出張所	静岡市葵区井川994-1	138.243	35.22343
静岡市消防防災局	石田消防署		静岡市駿河区石田3丁目12番35号	138.3987	34.95647
静岡市消防防災局	石田消防署	東豊田出張所	静岡市駿河区聖一色206番地の3	138.4263	34.98925
静岡市消防防災局	石田消防署	稲川出張所	静岡市駿河区稲川1丁目5番12号	138.3909	34.96706
静岡市消防防災局	石田消防署	鎌田出張所	静岡市駿河区鎌田54番地の4	138.3602	34.94611
静岡市消防防災局	石田消防署	用宗出張所	静岡市駿河区用宗2丁目7番5号	138.3657	34.92577
静岡市消防防災局	石田消防署	大谷出張所	静岡市駿河区水上28番地の10	138.4284	34.95564
静岡市消防防災局	千代田消防署		静岡市葵区東千代田2丁目1-10	138.4077	35.00112
静岡市消防防災局	千代田消防署	城東出張所	静岡市葵区城東町55-10	138.3907	34.98736
静岡市消防防災局	千代田消防署	瀬名出張所	静岡市葵区瀬名1丁目19-11	138.4238	35.01397
静岡市消防防災局	清水消防署		静岡市清水区東大曲町6-8	138.473	35.02147
静岡市消防防災局	清水消防署	高部出張所	静岡市清水区押切1587	138.455	35.03058
静岡市消防防災局	清水消防署	有度出張所	静岡市清水区吉川507-1	138.4587	35.01533
静岡市消防防災局	湾岸消防署		静岡市清水区横砂408-13	138.5042	35.04181
静岡市消防防災局	湾岸消防署	庵原分署	静岡市清水区由比716-1	138.5706	35.11116
静岡市消防防災局	湾岸消防署	興津出張所	静岡市清水区八木間町409-2	138.5245	35.06198
静岡市消防防災局	湾岸消防署	小島出張所	静岡市清水区小河内3445-1	138.5134	35.10739
静岡市消防防災局	日本平消防署		静岡市清水区村松625-4	138.4865	34.98893
静岡市消防防災局	日本平消防署	三保出張所	静岡市清水区三保3503-47	138.52	35.00555
浜松市消防局	消防局		浜松市中区下池川町19番1号	137.727	34.71583
浜松市消防局	中消防署		浜松市中区下池川町19番1号	137.727	34.71583

防本部が持つ消火能力を持つ車両数として集計した。消防職員数，消防団員数については消防本部別に集計されているため，それらをそのまま採用する。

●消防施設データへの消防力の割り当て

表 4.7.1 に示すように全ての消防施設は何れかの消防本部に所属している。また消防力は消防本部毎にそれらが管轄する消防施設に，概ね均等に配置されるとされている ([23]総務省消防庁)。そこで本研究では消防本部毎にそれらが管轄する消防施設数で消防ポンプ車数，消防職員数，消防団員数を除すことで，各消防施設に消防ポンプ車数，消防職員数，消防団員数をそれぞれ割り当てた。例えばある消防本部が消防ポンプ車を 12 台保有しており 3 箇所の消防施設を管轄している場合，それら 3 箇所の消防施設に配備される消防ポンプ車の数はそれぞれ 4 台となる。

●各消防施設が管轄する建物数の計算

最後に各消防施設が管轄する建物数を明らかにする。各消防施設が管轄する建物数が分かることで，その消防施設がカバーすべき建物の棟数が明らかになる。管轄する建物数が多い消防施設ほど，その管轄圏内に分布する建物にその消防力が到達することが困難になることが予想される。本研究では管轄範囲内の建物棟数で各消防施設に割り当てられた消防ポンプ車台数，消防職員数，消防団員数を除すことで，それらが管轄範囲内の各建物に到達する期待値とした。例えばある消防施設の保有する消防

ポンプ車が 10 台であり、その管轄範囲内に 1,000 棟の建物があれば、それら 1,000 棟の建物それぞれに到達が期待される消防ポンプ車の台数は 0.01 台となる。

理想的には各消防施設の管轄範囲が分かるデータがあれば、その消防施設が管轄する建物棟数を正確に把握することが出来る。しかしそのようなデータは現在のところ公開されていない。そこで本研究では各建物からネットワーク距離で最近隣の消防施設を検索することで、各消防施設の管轄する建物の棟数を決定した。道路データは、基本道路データ（日本デジタル道路地図協会発行）を用いて行う（図 4.7.2）。最短経路を検索する際には、図 4.7.3 の示すように建物及び消防施設から最短（最近隣）のノードをそれぞれ検索し、そこから最短距離の算出をダイクストラ法（Dijkstra's Algorithm）により行った。この際、都道府県をまたいだ消防力の移動は無いものと仮定した。即ちこの計算は都道府県単位で行なっている。また離島などで、消防施設の無い地域では算出を行わない。図 4.7.4 に東京都世田谷区北沢周辺における各々の建物から最近隣の消防施設までの最短距離の算出結果を示す。また表 4.7.3 に消防施設毎に割り当てられた消防ポンプ車台数、消防職員数、消防団員数とそれらがそれぞれ管轄する建物棟数を整理したデータの例を示す。

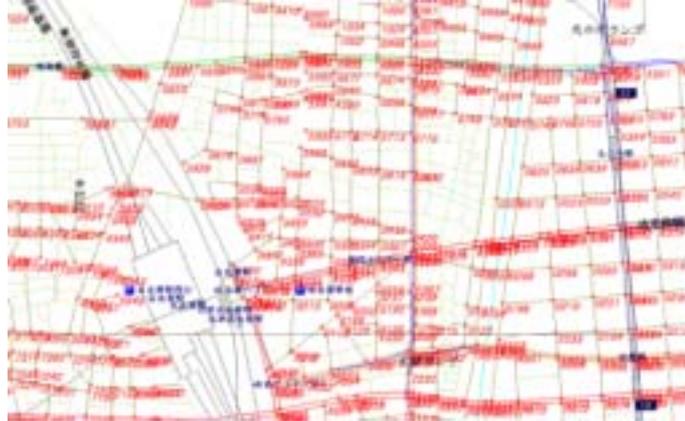


図 4.7.2 基本道路データの例

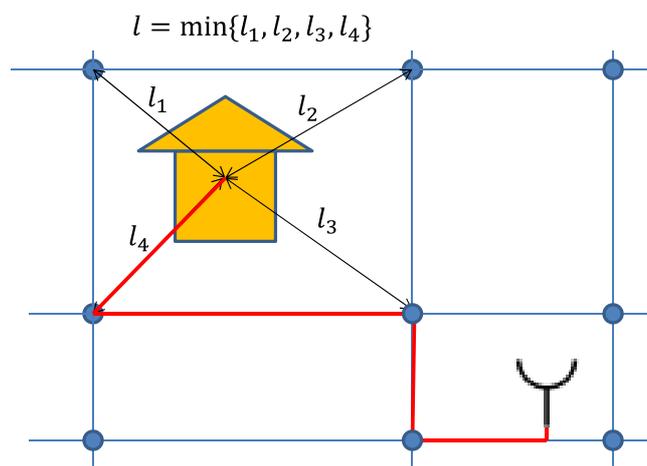


図 4.7.3 最短経路の検索方法



図 4.7.4 世田谷区北沢周辺における各々の建物から最近隣の消防施設までの最短距離

4.7.3 消防施設からの距離計算

4.7.2 で各建物から最近隣の消防施設までの距離は計算済みである。その値を用いることで各建物の最近隣の消防施設と消防施設までの距離を明らかにすることができる。最近隣の消防施設が分かるため、そこからその建物に到達が期待出来る消防ポンプ車台数、消防職員数及び消防団員数も計算出来る。ここで得られた値は第 5 章において用いる。

表 4.7.2 消化能力を持つ車両

装備名	消防ポンプ車として集計
ポンプ車	○
はしご自動車	○
屈折はしご車	○
化学消防車	○
大型化学消防車	○
高所放水車	○
泡原液搬送車	×
排煙高発泡車	○
林野工作車	×
救助工作車	×
電源車	×
救急車	×
高規格救急車	×
消防艇	×
ヘリコプター	×
指令指揮車	×
査察広報車	×
防災教室車	×
起震車	×
救急指導車	×
救援車	×

表 4.7.3 消防施設データに消防力・管轄建物を追加した例（静岡県の場合・一部）

消防本部	消防署等名	出張所等名	住所	経度	緯度	ポンプ車数	消防職員数	消防団員数	管轄建物数
静岡市消防局	/調整室/追手町消防署	/	静岡県静岡市葵区追手町6-2	138.3817	34.97606	1.4782609	33.652174	128.26087	7839
静岡市消防局	追手町消防署	平和出張所	静岡県静岡市葵区平和1丁目3-58	138.3653	34.98829	1.4782609	33.652174	128.26087	20989
静岡市消防局	追手町消防署	南田町出張所	静岡県静岡市葵区南田町1-1	138.3707	34.96414	1.4782609	33.652174	128.26087	9683
静岡市消防局	追手町消防署	山崎出張所	静岡県静岡市葵区山崎2丁目3-8	138.3547	34.97762	1.4782609	33.652174	128.26087	16679
静岡市消防局	追手町消防署	井川出張所	静岡県静岡市葵区井川	138.243	35.22343	1.4782609	33.652174	128.26087	4335
静岡市消防局	石田消防署		静岡県静岡市駿河区石田3丁目12-	138.3987	34.95647	1.4782609	33.652174	128.26087	18105
静岡市消防局	石田消防署	東豊田出張所	静岡県静岡市駿河区聖一色206-3	138.4263	34.98925	1.4782609	33.652174	128.26087	16135
静岡市消防局	石田消防署	稲川出張所	静岡県静岡市駿河区稲川1丁目5-	138.3909	34.96706	1.4782609	33.652174	128.26087	11083
静岡市消防局	石田消防署	鎌田出張所	静岡県静岡市駿河区鎌田54-4	138.3602	34.94611	1.4782609	33.652174	128.26087	16150
静岡市消防局	石田消防署	用宗出張所	静岡県静岡市駿河区用宗2丁目7-5	138.3657	34.92577	1.4782609	33.652174	128.26087	10155
静岡市消防局	石田消防署	大谷出張所	静岡県静岡市駿河区水上28-10	138.4284	34.95564	1.4782609	33.652174	128.26087	12913
静岡市消防局	千代田消防署		静岡県静岡市葵区東千代田2丁目1-	138.4077	35.00112	1.4782609	33.652174	128.26087	13577
静岡市消防局	千代田消防署	城東出張所	静岡県静岡市葵区城東町55-10	138.3907	34.98736	1.4782609	33.652174	128.26087	16628
静岡市消防局	千代田消防署	瀬名出張所	静岡県静岡市葵区瀬名1丁目19-1	138.4238	35.01397	1.4782609	33.652174	128.26087	21221
静岡市消防局	清水消防署		静岡県静岡市清水区東大曲町6-8	138.473	35.02147	1.4782609	33.652174	128.26087	23239
静岡市消防局	清水消防署	高部出張所	静岡県静岡市清水区押切1587	138.455	35.03058	1.4782609	33.652174	128.26087	15393
静岡市消防局	清水消防署	有度出張所	静岡県静岡市清水区吉川1507-1	138.4587	35.01533	1.4782609	33.652174	128.26087	16460
静岡市消防局	湾岸消防署		静岡県静岡市清水区横砂408-13	138.5042	35.04181	1.4782609	33.652174	128.26087	12074
静岡市消防局	湾岸消防署	庵原分署	静岡県静岡市清水区由比716-1	138.5706	35.11116	1.4782609	33.652174	128.26087	12448
静岡市消防局	湾岸消防署	興津出張所	静岡県静岡市清水区八木間町409-	138.5245	35.06198	1.4782609	33.652174	128.26087	8121
静岡市消防局	湾岸消防署	小島出張所	静岡県静岡市清水区小河内3445-	138.5134	35.10739	1.4782609	33.652174	128.26087	8263
静岡市消防局	日本平消防署		静岡県静岡市清水区村松625-4	138.4865	34.98893	1.4782609	33.652174	128.26087	19665
静岡市消防局	日本平消防署	三保出張所	静岡県静岡市清水区三保3503-47	138.52	35.00555	1.4782609	33.652174	128.26087	8446
浜松市消防局	消防局/中消防署	/	静岡県浜松市中区下池川町19-1	137.727	34.71583	1.6666667	33.037037	120.92593	11264
浜松市消防局	中消防署	鴨江出張所	静岡県浜松市中区鴨江2丁目1-11	137.7167	34.70486	1.6666667	33.037037	120.92593	12232
浜松市消防局	中消防署	相生出張所	静岡県浜松市中区相生町8-7	137.7477	34.70976	1.6666667	33.037037	120.92593	19981
浜松市消防局	中消防署	高台出張所	静岡県浜松市中区住吉3丁目18-1	137.724	34.73654	1.6666667	33.037037	120.92593	20016
浜松市消防局	中消防署	富塚出張所	静岡県浜松市中区富塚町1714-1	137.7039	34.72497	1.6666667	33.037037	120.92593	15166
浜松市消防局	東消防署		静岡県浜松市東区徳ヶ瀬町1374	137.777	34.72201	1.6666667	33.037037	120.92593	19271
浜松市消防局	東消防署	上石田出張所	静岡県浜松市東区上石田町827	137.7893	34.75366	1.6666667	33.037037	120.92593	19912
浜松市消防局	東消防署	有玉出張所	静岡県浜松市東区有玉南町1498-	137.7482	34.75394	1.6666667	33.037037	120.92593	22110
浜松市消防局	西消防署		静岡県浜松市西区馬都町4074-1	137.6304	34.68199	1.6666667	33.037037	120.92593	11267

第5章 大規模地震時の倒壊・火災リスク評価

本章は前章までに整備した空間データを用いて、大規模地震発生に伴う建物の倒壊と火災のリスクを評価する方法に関する内容となっている。

5.1 倒壊・火災リスクの計算方法

5.1.1 倒壊リスクの計算方法

本研究で言う「倒壊リスク」とは、地震による建物倒壊に伴う死者の発生確率のことを言う。即ち各建物の倒壊確率、建物倒壊に伴う死者率、そしてそこに分布する居住者の情報が分かればその値を明らかに出来る。

●建物倒壊確率の計算

地震の揺れによる建物倒壊確率は、PGVと建物被害の関係式を利用することで建物1棟1棟において算出可能である。PGVとは地震動の強さを示す地表最大速度[cm/sec]である。地震動に関する情報は、4.2節の建物の出火率を推定する際に建物1棟1棟に付加されている確率的地震動の情報を利用する。

地表最大速度対応の建物被害予測式は、日本の被害想定で多く用いられている式を用いる（[4]村尾ほか（2000））。村尾ほかの式は阪神・淡路大震災時の罹災証明に基づいて作成されており、ある建物*i*がある地震動*x*のときに被災ランク*R*以上の被害が発生する確率 $P_{Ri}(x)$ は、標準正規分布の累積確率分布関数 $\phi(x)$ を用いて式5.1.1で定義される。

$$P_{Ri}(PGV) = \phi((\ln(PGV_i) - \lambda_i) / \xi_i) \quad (5.1.1)$$

λ , ξ は $\ln(x)$ の平均値及び標準偏差であり、建物の構造とその被害状況により表 5.1.1 で与えられる。また木造と非木造の築年代別の PGV と建物倒壊確率の関係を図 5.1.1, 図 5.1.2 に示す。なお本研究では建物の構造は木造か非木造かの判別しか行われていない。そこで本研究では非木造の λ および ξ の値を表 5.1.1 の RC 造, S 造, 軽量 S 造のそれぞれの地区年代別に平均した値を用いる。ただし築年代が 1990 年代と 2000

年代については、[6]長尾ら（2011）の被害データ検証によりそれぞれパラメータを100.27kineにおいて全壊率が7.3%、1.95%となるように定めた。その結果、築年代が1990年代と2000年代における λ は、5.18と6.13となった。

以上により建物毎にその建物の倒壊確率が与えられる。なお与えられるPGVは、4.2節で建物に与えられている確率的地震動のうち、最も発生する可能性が小さい、即ち被害が大きくなると予想される50年超過確率2%のシナリオと、最も発生する可能性が大きい、即ち被害はそれほど大きくなると予想される50年超過確率39%のシナリオのものを与えて計算した。

表 5.1.1 地表最大速度対応の建物被害予測式に用いる構造別・築年代別の λ および ξ の値（[4]村尾ほか（2000））

		全壊			全半壊		
		λ	ξ	R^2	λ	ξ	R^2
木造	-1951	4.36	0.411	0.957	3.66	0.674	0.880
	1952-61	4.44	0.353	0.976	3.97	0.490	0.952
	1962-71	4.45	0.342	0.977	4.02	0.458	0.958
	1972-81	4.73	0.376	0.974	4.25	0.395	0.976
	1982-1994	5.12	0.496	0.881	4.61	0.474	0.959
	全年代	4.51	0.410	0.983	4.07	0.514	0.983
RC造	-1971	5.12	0.646	0.954	4.72	0.691	0.929
	1972-81	5.33	0.575	0.941	4.85	0.612	0.844
	1982-94	6.00	0.789	0.802	5.33	0.789	0.917
	全年代	5.50	0.705	0.968	4.99	0.716	0.924
S造	-1971	4.64	0.619	0.718	4.25	0.712	0.788
	1972-81	4.97	0.490	0.941	4.49	0.549	0.797
	1982-94	5.84	0.731	0.893	5.01	0.733	0.824
	全年代	5.14	0.628	0.752	4.69	0.672	0.888
軽量S造	-1971	4.70	0.550	0.928	4.41	0.504	0.913
	1972-81	5.82	0.972	0.728	4.95	0.855	0.783
	1982-94	6.19	1.101	0.858	5.28	0.865	0.849
	全年代	5.03	0.584	0.944	4.73	0.601	0.970

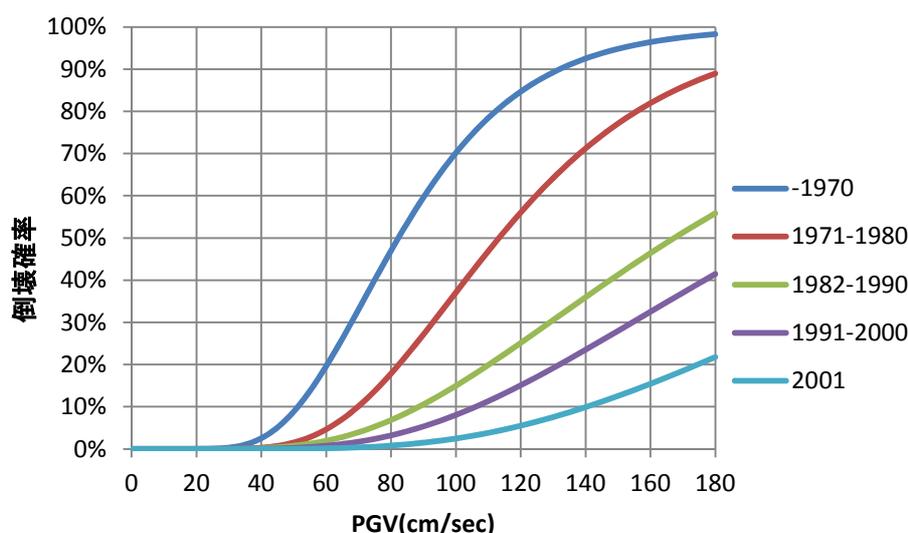


図 5.1.1 PGV と建物倒壊確率の関係（木造の場合）

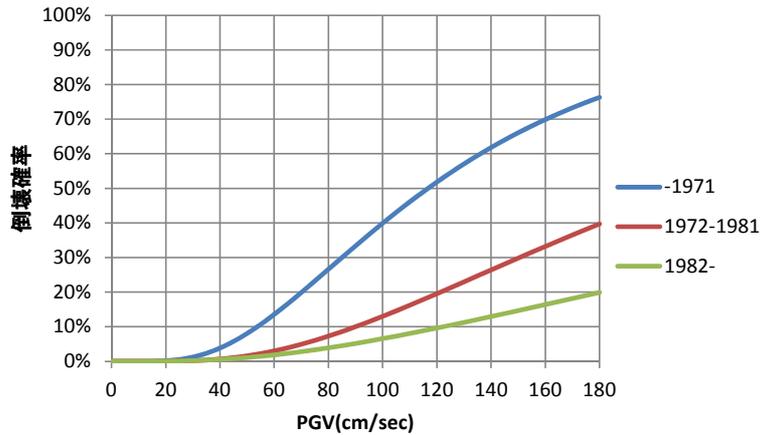


図 5.1.2 PGV と建物倒壊確率の関係（非木造の場合）

●建物倒壊に伴う死者数の計算

続いて建物倒壊による人的リスク，即ち発生が予想される死者数を建物毎に計算する．先の計算で建物毎に倒壊確率が与えられている．また 4.5 節で建物毎の推定居住者数が明らかになっている．これらを組み合わせることで建物 1 棟 1 棟の建物倒壊に伴う死者数の推定が可能となる．また木造建物と非木造建物では，死者等の発生の様相が異なることから，木造建物と非木造建物を区別する．以上をまとめると，ある建物 i で建物倒壊によって死者が発生する確率 DC_{ri} は式 5.1.2 により推定できる．

$$DC_{ri} = P_{Ri}(PGV_i) \cdot P_{di} \quad (5.1.2)$$

P_{di} は近年において 300 人以上の死者が発生した 5 地震（鳥取地震，東南海地震，南海地震，福井地震，阪神・淡路大震災）の被害事例から算出した全壊棟数と死者数との関係の値であり（[24]中央防災会議（2012）），木造および非木造建物における地震による建物倒壊時の死者率（木造：6.76%，非木造：1.67%）である．

更に建物 i の居住者数 n_i を与えることで，式 5.1.3 により建物 i における倒壊による死者数 DC_i を推定できる．

$$DC_i = DC_{ri} \cdot n_i = P_{Ri}(PGV_i) \cdot P_{di} \cdot n_i \quad (5.1.3)$$

以上により建物毎にその建物で建物倒壊に伴い発生する可能性のある死者数が明らかになる．図 5.1.3 に世田谷区北沢周辺にける倒壊に死者数を示す．赤色で示された死者数の大きい建物があるがこれは，マンションなどによりその建物に住んでいる人が多いためである．

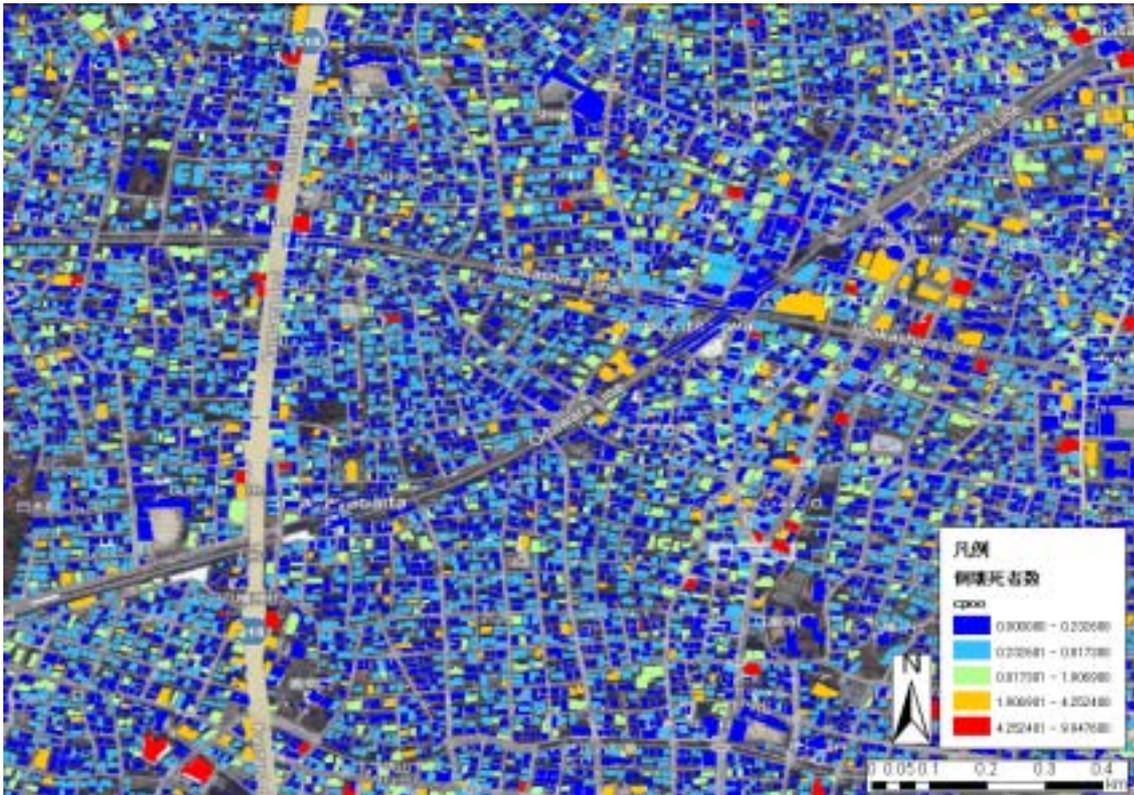


図 5.1.3 世田谷区北沢周辺における倒壊による死者数

●建物倒壊に伴う任意の集計単位（地域メッシュなど）ごとの死者率の計算

最後にこの結果を任意の集計単位に集計する。建物1棟あたりの死者数 DC_i に対し、任意の集計単位における1人あたりの死者率の予測値 DCr は、集計単位に含まれる建物の死者数 DC_i と居住者数 n_i の総和の比に等しくなることから、式 5.1.4 で与えられる。

$$DCr = \frac{\sum DC_i}{\sum n_i} \quad (5.1.4)$$

以上により任意の集計単位でその地域の建物倒壊に伴う死者率が明らかになる。建物倒壊によるリスク評価は、式5.1.4により任意の集計単位毎に与えられた1人あたりの建物倒壊による死者率の予測値 DCr を用いて評価される。

5.1.2 火災リスクの計算方法

本研究で言う「火災リスク」とは、地震による建物火災に伴う死者の発生確率のことを言う。即ち各建物の出火に伴う焼失確率、建物焼失に伴う死者率、そしてそこに分布

する居住者の情報が分かればその値を明らかに出来る。

●ある地震動に対する建物の焼失確率

まず建物毎にその建物にある地震動が与えられた際の建物の焼失確率を明らかにする。ある建物における焼失確率 Pp_i は加藤ほか（2006）より式 5.1.5 で与えられる。

$$Pp_i = 1 - \exp(-p \cdot (1 + s)) \quad (5.1.5)$$

p は 4.2 節で与えられた建物毎の地震動入力シナリオごとの出火率、 s は建物の延焼確率である。 s は [25] 平成 19 年度版消防白書の建物構造別延焼率（耐火造：1.0320%，準耐火造：1.1295%，防火造：1.2175%）を用いた。

●建物焼失に伴う死者数の計算

続いて建物焼失による人的リスク、即ち発生が予想される死者数を建物毎に計算する。先の計算で建物毎に焼失率が与えられている。また 4.5 節建物毎の推定居住者数が明らかになっている。これらを組み合わせることで建物 1 棟 1 棟の建物焼失に伴う死者率 DF_{ri} を推定できる。 DF_{ri} は式 5.1.6 で算出できる。

$$DF_{ri} = Pp_i \cdot P_{df} \quad (5.1.6)$$

P_{df} は火災 1 件当たりの死者率（0.046 人/件）である。これは平成 17 年～平成 22 年の 5 年間の全国における 1 建物出火当たりの死者数を採用している（[24] 中央防災会議（2012））。

更に建物 i の居住者数 n_i を与えることで、式 5.1.7 により建物 i における建物焼失による死者数 DF_i を推定できる。

$$DF_i = DF_{ri} \cdot n_i = Pp_i \cdot P_{df} \cdot n_i \quad (5.1.7)$$

以上により建物毎にその建物で建物焼失に伴い発生する可能性のある死者数が明らかになる。図 5.1.4 に世田谷区北沢周辺にける倒壊に死者数を示す。赤色で示された死者数の大きい建物があるがこれは、商業施設で比較的出火率の高い業種がその建物に多く入店しているためである。



図 5.1.4 世田谷区北沢周辺における火災による死者数

- 建物火災に伴う任意の集計単位（地域メッシュなど）ごとの死者率の計算

最後にこの結果を任意の集計単位に集計する. 建物 1 棟あたりの死者数 DF_i に対し, 任意の集計単位における 1 人あたりの死者率の予測値 DFr は, 集計単位に含まれる建物の死者数 DF_i と居住者数 n_i の総和の比に等しくなることから, 式 5.1.8 で与えられる.

$$DFr = \frac{\sum DF_i}{\sum n_i} \quad (5.1.8)$$

以上により任意の集計単位毎にその地域の建物火災に伴う死者率が明らかになる. 建物火災によるリスク評価は, 式5.1.8により地域メッシュ毎に与えられた1人あたりの建物火災による死者率の予測値 DFr を用いて評価される.

5.1.3 倒壊・火災の複合的リスクの計算方法

以上により地震発生による倒壊および火災のリスク評価が可能になった. 一方, ここまでは倒壊と火災がそれぞれ独立に発生すると考えて評価をしているため, この評

価方法では倒壊と火災によるリスクがダブルカウントされる。倒壊確率と火災の焼失確率は独立であるため、ある建物 i における倒壊および火災による焼失が発生する確率 D_{ri} は式 5.1.9 で算出できる。

$$D_{ri} = DC_{ri}(1 - DF_{ri}) + DF_{ri}(1 - DC_{ri}) \quad (5.1.9)$$

更に建物 i の居住者数 n_i を与えることで、式 5.1.10 により建物 i における建物焼失による死者数 D_i を推定できる。

$$D_i = D_{ri} \cdot n_i = \{DC_{ri}(1 - DF_{ri}) + DF_{ri}(1 - DC_{ri})\} \cdot n_i \quad (5.1.10)$$

続いて倒壊・火災リスクの場合と同様に、この結果を任意の集計単位に集計する。建物 1 棟あたりの死者数 D_i に対し、任意の集計単位における 1 人あたりの死者率の予測値 Dr は、集計単位に含まれる建物の死者数 D_i と居住者数 n_i の総和の比に等しくなることから、式 5.1.11 で与えられる。

$$Dr = \frac{\sum D_i}{\sum n_i} \quad (5.1.11)$$

以上により任意の集計単位ごとにその地域の建物倒壊及び火災による焼失に伴う死者率が明らかになった。

5.2 大規模地震時における倒壊・火災リスク

●倒壊・火災リスクを独立して評価した結果

図 5.2.1 に世田谷区北沢周辺における地震による倒壊・火災による死者率を示す。また、図 5.2.2 に日本全土（沖縄県を除く・以下同様）における地震による倒壊・火災による死者率を 4 次メッシュ集計したものを示す。なお地震動は 50 年超過確率 2% の地震が冬期夕刻に発生した場合を想定している。国土スケールでは関東南東部から東海地方を経て中京地方にかけての地域で特に倒壊による死者率が高い地域が広がっている。また地盤の状態が良好ではない地域、具体的には中央構造線沿いの地域、フォッサマグナ該当する地域、石狩平野南部、仙台平野、大阪平野、奈良盆地等でも倒壊による死者率が高い。

図 5.2.3 は同じシナリオの地震動を与えた場合の太平洋ベルト地帯を拡大したもの、

図 5.2.4 は大規模地震による被害が大きくなると予想されている中京地方を拡大したものである。図 5.2.3 より東海地方でも特に主な都市では倒壊に加えて火災による死者率も高くなっており、こうした地域では建物の耐震化・耐火性能向上を共に図っていく必要がある。3 大都市圏に注目すると特に大阪でその中心部を取り囲むように、倒壊・火災何れの被害も大きくなる地域が広がっている。一方東京では耐震化・耐火性能の向上がかなり進んでいることが伺える。しかし特に 23 区東部では火災による被害が大きくなることが分かる（資料も参照）。図 5.2.4 の中京地方では名古屋市を除く多くの都市で、その中心部から周辺にかけて倒壊・火災共に被害が大きくなる地域が広がっている。一方名古屋市では西部と東部で傾向が異なっている。概ね東海道新幹線を挟んで東側では倒壊による被害は小さいものの、火災による被害は大きくなる可能性があることが分かる。一方西側では倒壊による被害も大きくなる。



図 5.2.1 世田谷区北沢周辺における地震による倒壊・火災による死者率（50 年超過確率 2%の地震が冬期夕刻に発生した場合）

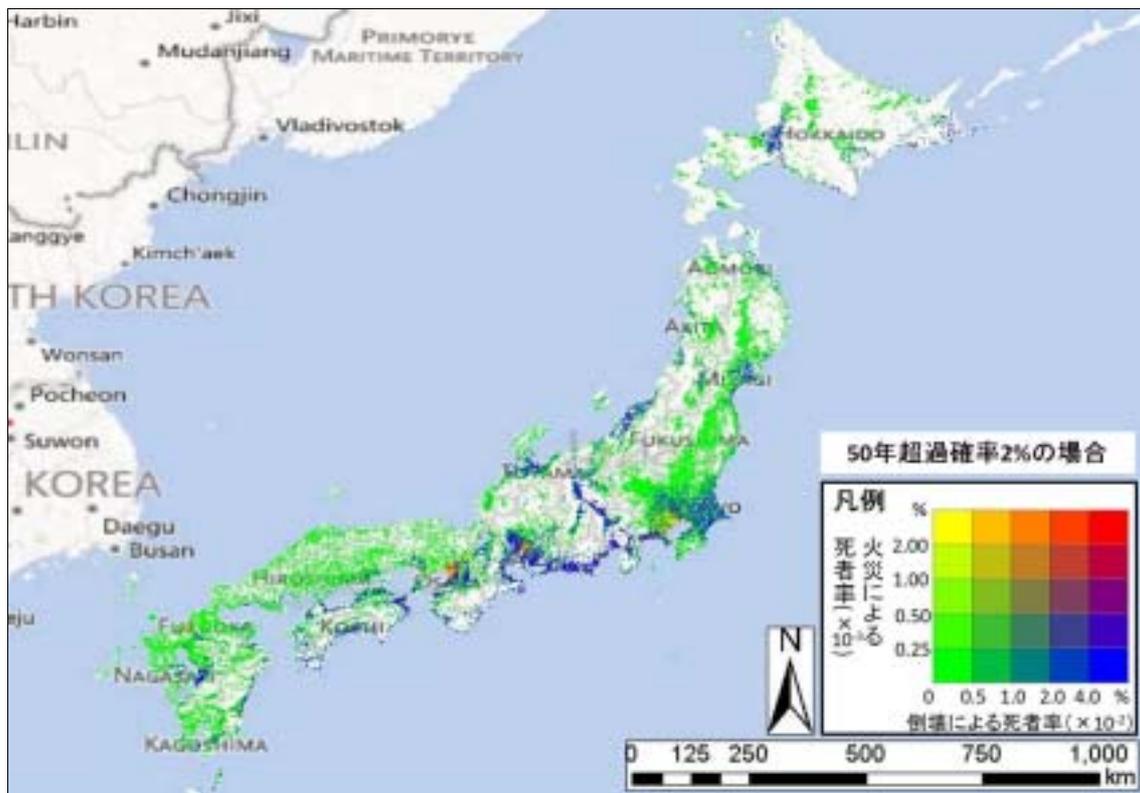


図 5.2.2 日本全土（沖縄県を除く・以下同様）における地震による倒壊・火災による死者率（4次メッシュ集計・50年超過確率2%の地震が冬期夕刻に発生した場合）

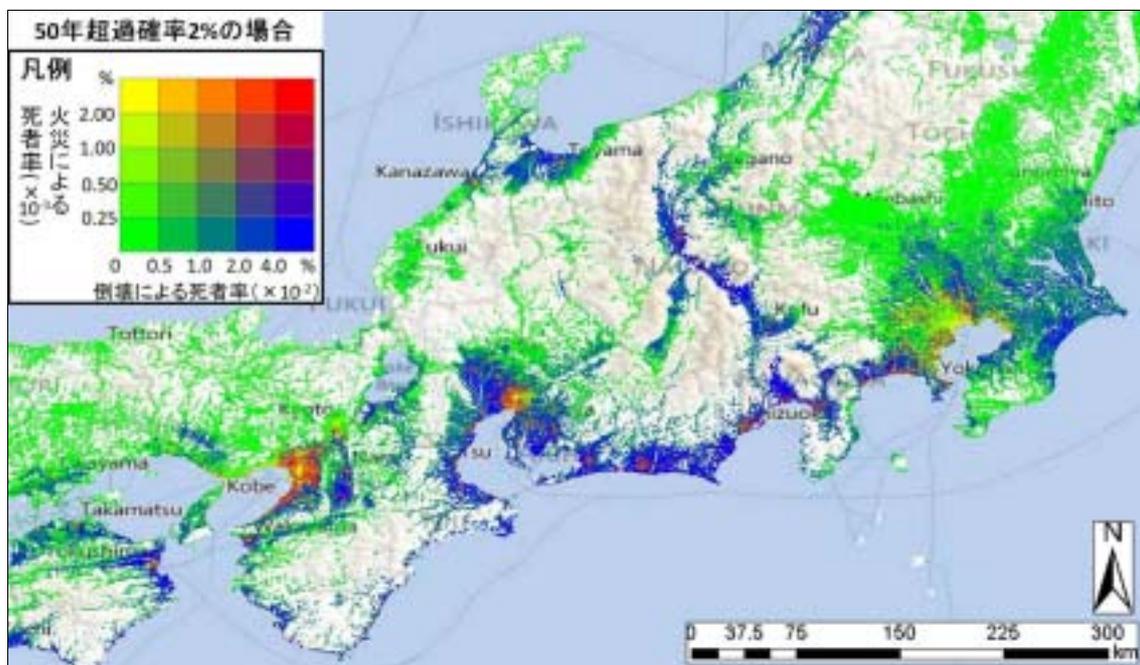


図 5.2.3 太平洋ベルト地帯における地震による倒壊・火災による死者率（4次メッシュ集計・50年超過確率2%の地震が冬期夕刻に発生した場合）

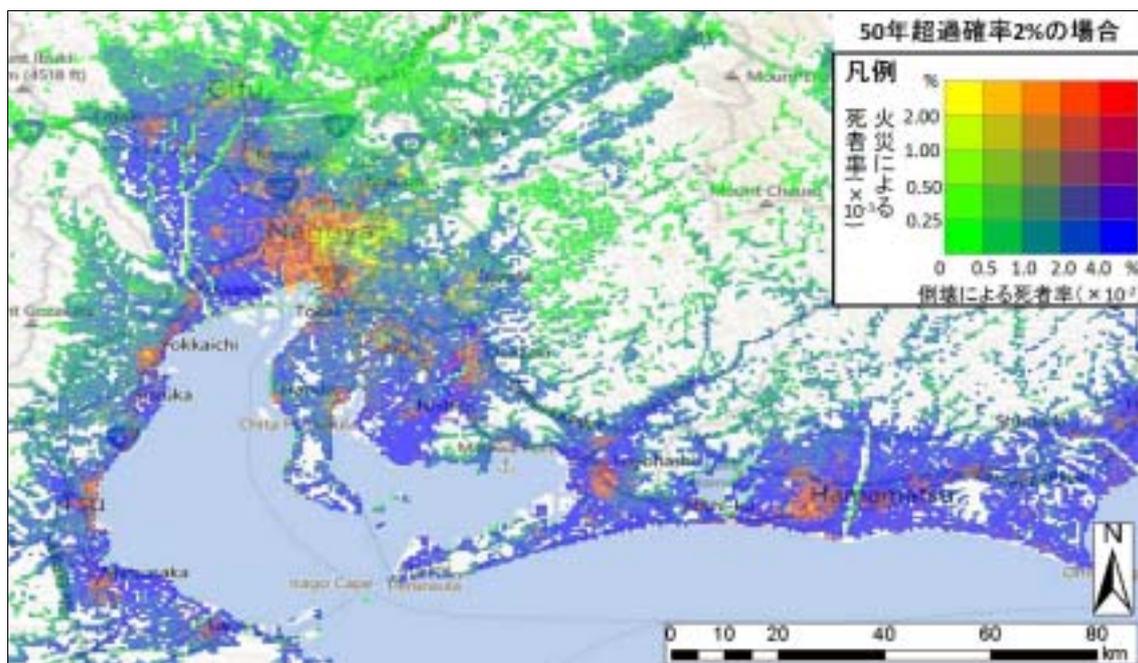


図 5.2.4 中京地方における地震による倒壊・火災による死者率（4 次メッシュ集計・50 年超過確率 2%の地震が冬期夕刻に発生した場合）

続いて地震動入力を変更してみる。図 5.2.5～図 5.2.8 は先と同じ範囲において 50 年超過確率 39%の地震が冬期夕刻に発生した場合を想定した結果である。先ほどの結果と比べてその被害はかなり小さくなったことが分かる。とは言え静岡県から愛知県にかけての太平洋側では依然として倒壊リスクが高いことが分かる。このように本研究で整備したデータは地震動入力を変更することで、その地震動入力に応じた被害状況を直ちに反映させることが出来る。

以上より倒壊と火災のリスクをそれぞれ独立して評価することで、任意の集計単位（今回の場合は地域メッシュ）で、その地域が全国の状況と比較して相対的に倒壊・火災へのリスクがどの程度の水準にあるのかを、全国横並びに評価が出来る。このような結果は自治体や住民にとっては自分の住んでいる地域が全国的に見て、あるいは周辺の自治体、コミュニティとくらべてどのようなリスク水準にあるのかを定量的かつ視覚的に把握できるものである。

なお他の地域の拡大図、主要都市圏の拡大図については資料を参照されたい。



図 5.2.5 世田谷区北沢周辺における地震による倒壊・火災による死者率（50年超過確率 39%の地震が冬期夕刻に発生した場合）



図 5.2.6 日本全土における地震による倒壊・火災による死者率（4次メッシュ集計・50年超過確率 39%の地震が冬期夕刻に発生した場合）

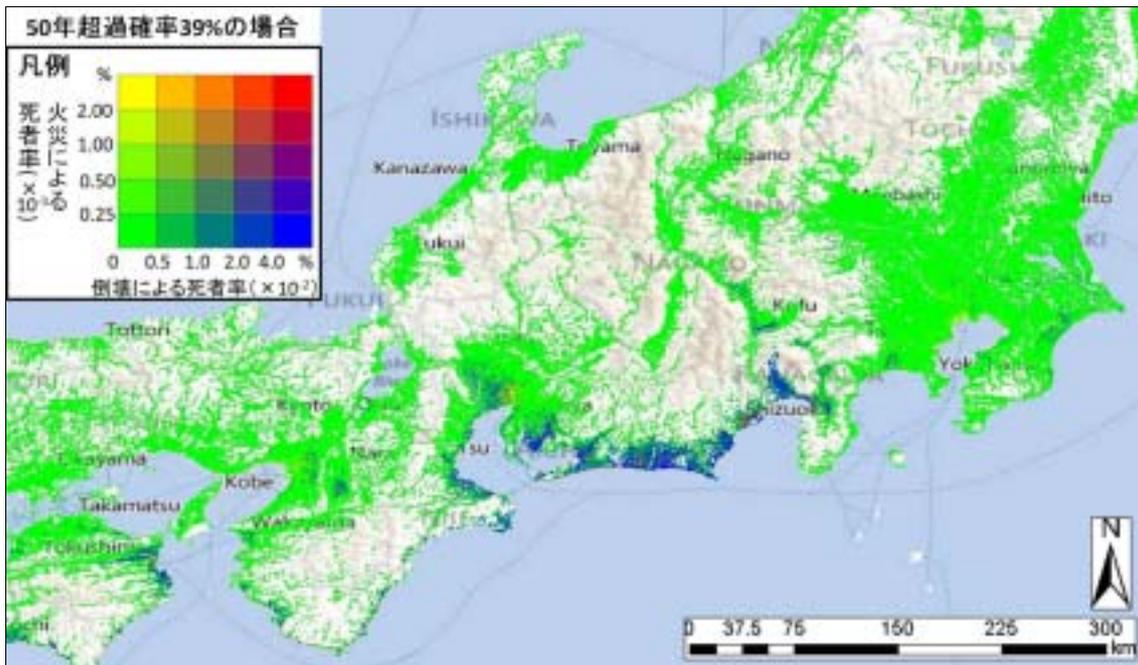


図 5.2.7 太平洋ベルト地帯における地震による倒壊・火災による死者率 (4次メッシュ集計・50年超過確率39%の地震が冬期夕刻に発生した場合)

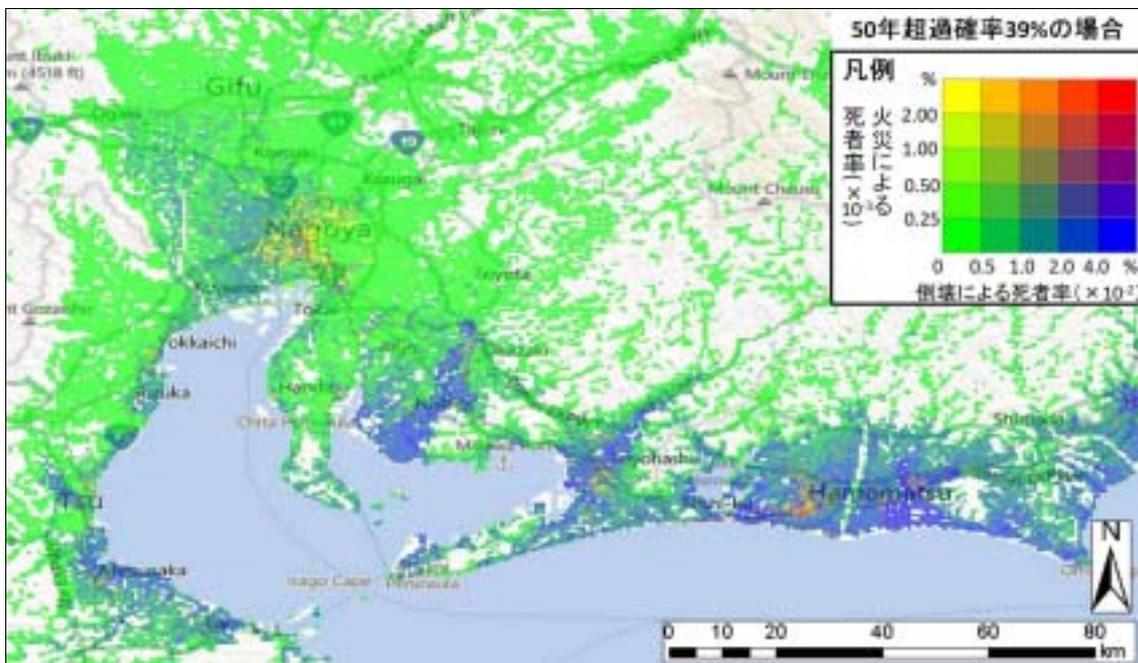


図 5.2.8 中京地方における地震による倒壊・火災による死者率 (4次メッシュ集計・50年超過確率39%の地震が冬期夕刻に発生した場合)

●倒壊・火災リスクを複合して評価した結果

続いて倒壊と火災のリスクを複合して評価した結果を示す。図 5.2.9 に世田谷区北沢周辺における倒壊・火災のリスクを複合して評価した死者率を示す。図 5.2.10 に日本全土（沖縄県を除く・以下同様）における倒壊・火災のリスクを複合して評価した死者率を 4 次メッシュ集計したものを示す。なお地震動は 50 年超過確率 2%の地震が冬期夕刻に発生した場合を想定している。東海地方の太平洋沿岸や神奈川県西部、大阪平野で特にその値が大きい。また中央構造線沿いの地域、特に和歌山平野、奈良盆地、徳島平野、高知平野等や、糸魚川静岡構造線周辺でもその値が大きくなっている。

図 5.2.11 は同じシナリオの地震動を与えた場合の太平洋ベルト地帯を拡大したもの、図 5.2.12 は中京地方を拡大したものである。東海地方の太平洋沿岸での被害の大きさが顕著に現れている。また名古屋市西部に広く被害の大きくなる地域が広がっていることがわかる。大阪の場合は中心部を挟んでその東西に被害が大きくなる地域が見られる。一方、東京は耐震化・耐火性能向上が進んでいることから、その値は小さくなっている。とは言え 23 区東部にはその値が大きい地域も分布している。ただしこの数字はあくまでも「死者率」であるため、その地域に居住する人口が大きければ死者の数も大きくなる点に注意されたい。

図 5.2.13～図 5.2.16 には先程と同様に地震動を 50 年超過確率 39%に変更した結果を示す。

以上より倒壊・火災のリスクを複合して評価した場合のリスクについても、その分布状況を日本全土で明らかにすることが出来た。その結果、その値は空間的にかなり偏りが見られ、また同じ都市の中でもその状況は大きく違うことが分かった。このような結果は従来の研究で見られたような市区町村単位での集計結果からでは観察することが出来なかったものである。同じ自治体内でも特にどこが危険な地域なのか、またそれは建物の倒壊によるものなのか、火災によるものなのかを評価することが出来るようになった。更に 6 章で評価する初期対応力をこの被害推定に組み合わせることで、最終的な被害推定を行なっていく（第 7 章）。

なお他の地域の拡大図、主要都市圏の拡大図については資料を参照されたい。



図 5.2.9 世田谷区北沢周辺における倒壊・火災リスクを複合して評価した死者率(50年超過確率 2%の地震が冬期夕刻に発生した場合)

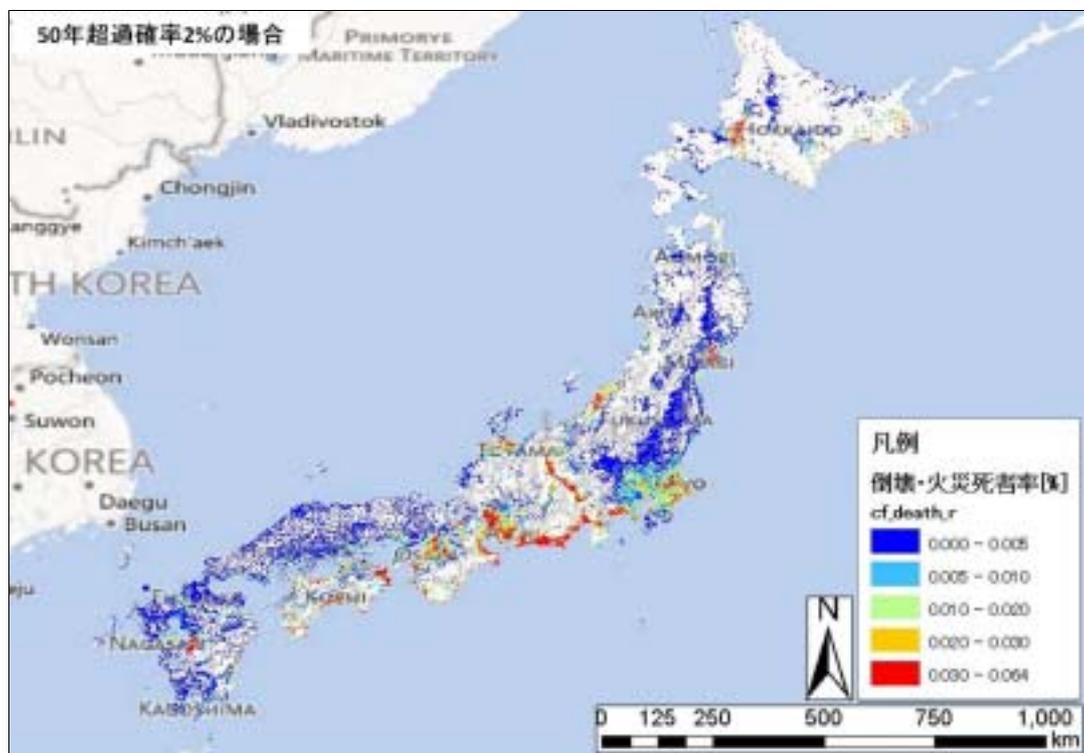


図 5.2.10 日本全土における倒壊・火災リスクを複合して評価した死者率(4次メッシュ集計・50年超過確率 2%の地震が冬期夕刻に発生した場合)

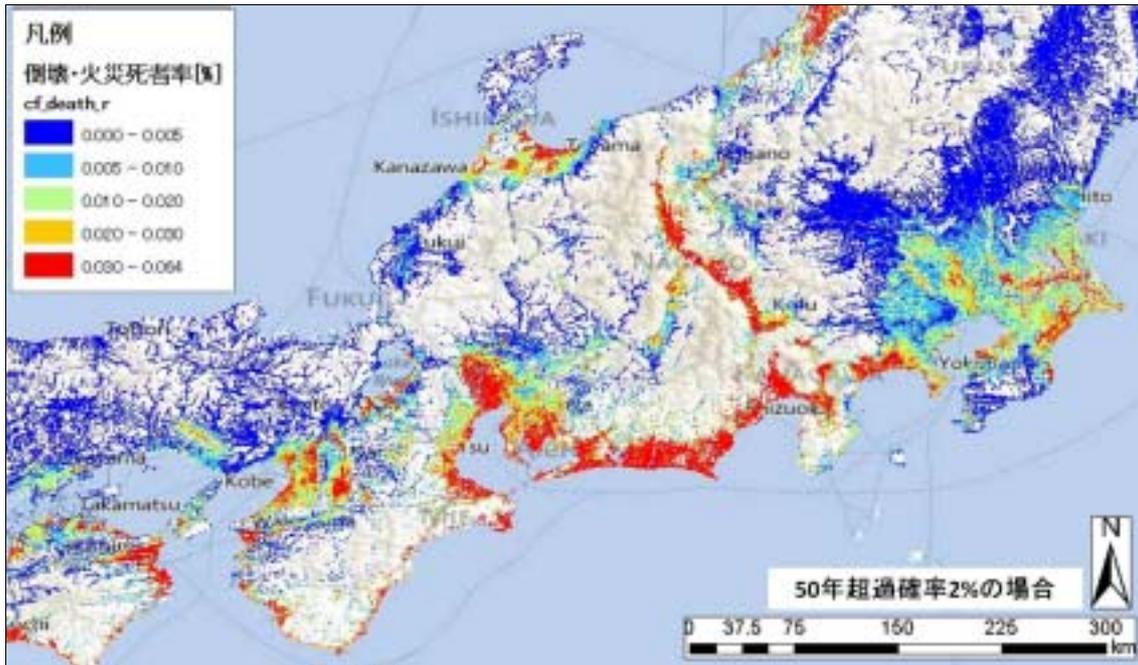


図 5.2.11 太平洋ベルト地帯における倒壊・火災リスクを複合して評価した死者率（4次メッシュ集計・50年超過確率2%の地震が冬期夕刻に発生した場合）

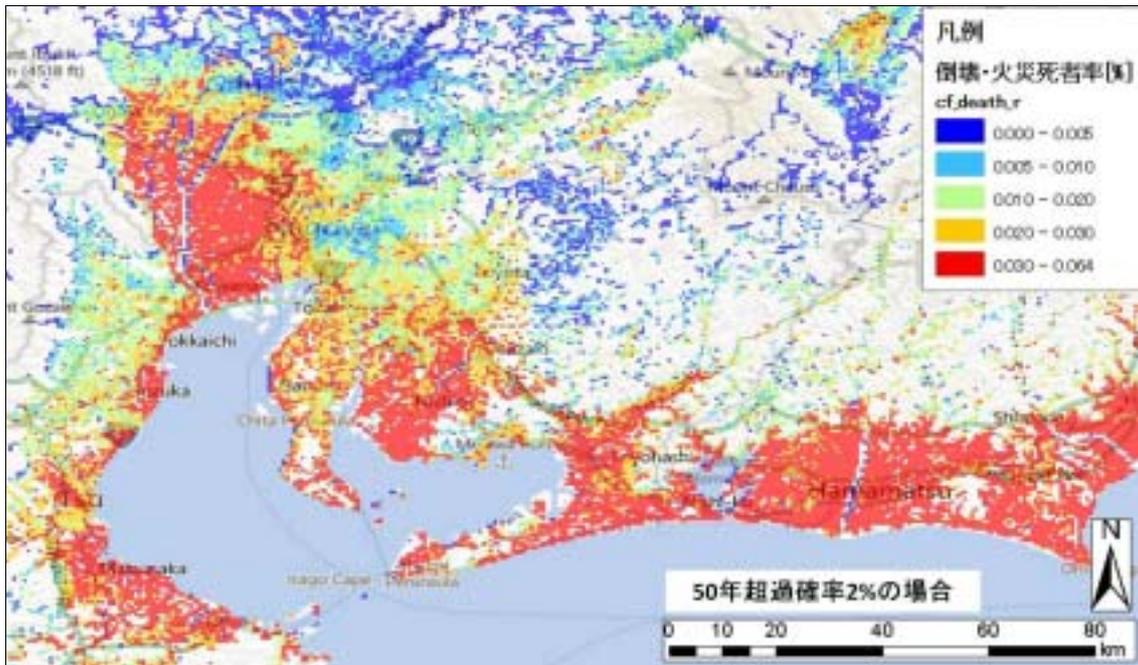


図 5.2.12 中京地方における倒壊・火災リスクを複合して評価した死者率（4次メッシュ集計・50年超過確率2%の地震が冬期夕刻に発生した場合）



図 5.2.13 世田谷区北沢周辺における倒壊・火災リスクを複合して評価した死者率 (50年超過確率39%の地震が冬期夕刻に発生した場合)

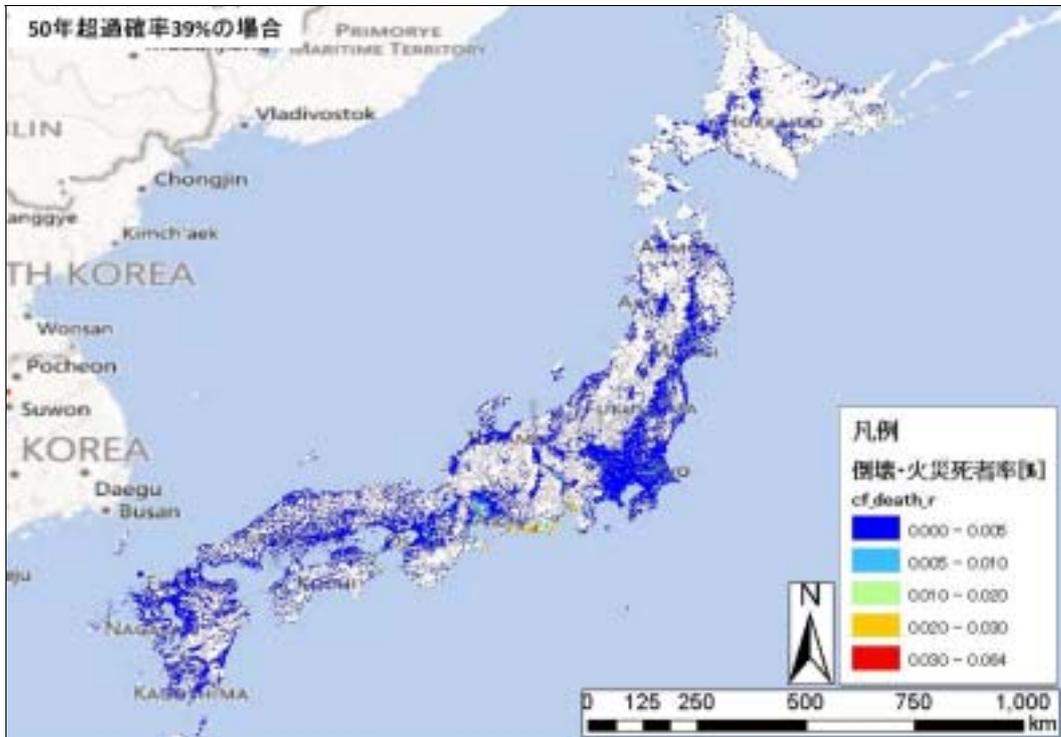


図 5.2.14 日本全土における倒壊・火災リスクを複合して評価した死者率 (4次メッシュ集計・50年超過確率39%の地震が冬期夕刻に発生した場合)

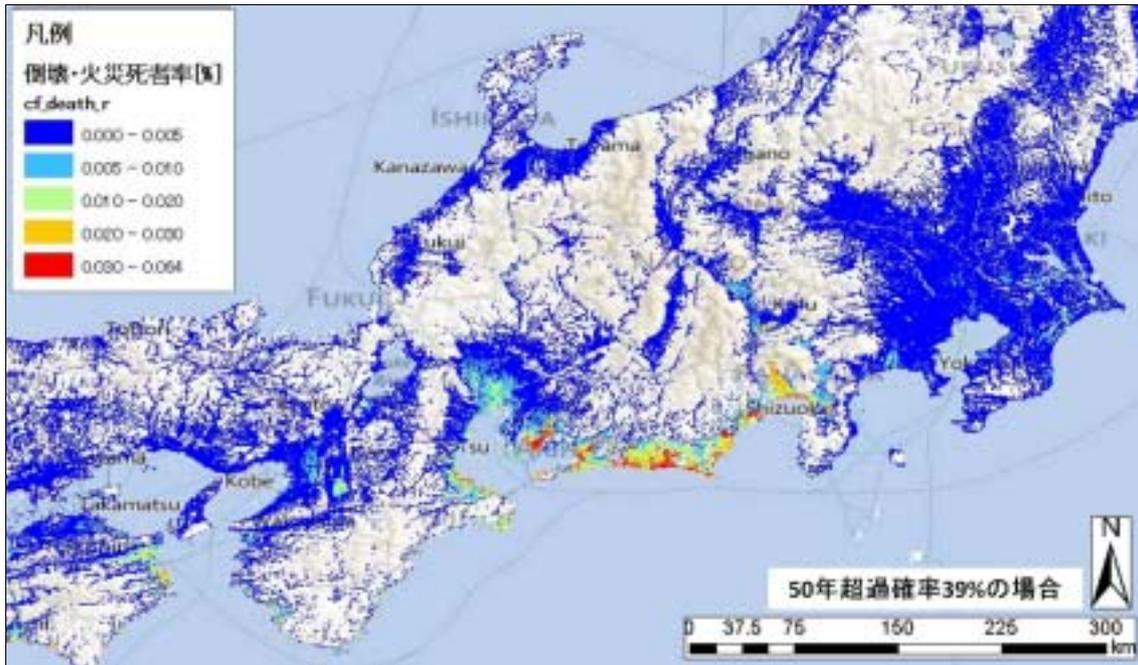


図 5.2.15 太平洋ベルト地帯における倒壊・火災リスクを複合して評価した死者率（4次メッシュ集計・50年超過確率39%の地震が冬期夕刻に発生した場合）

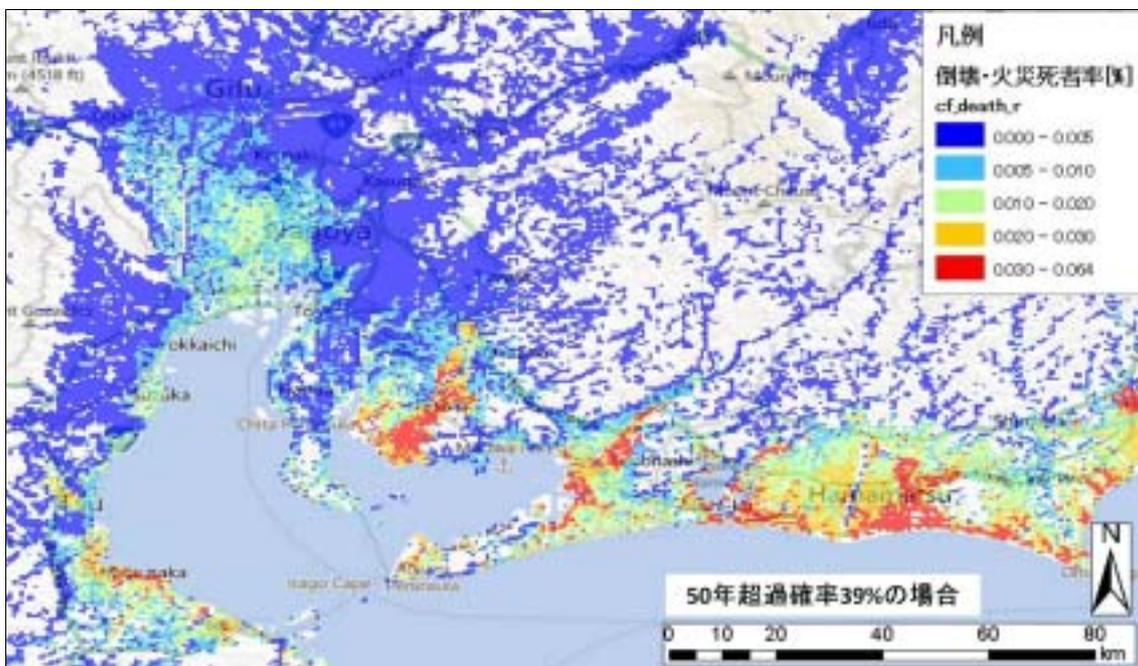


図 5.2.16 中京地方における倒壊・火災リスクを複合して評価した死者率（4次メッシュ集計・50年超過確率39%の地震が冬期夕刻に発生した場合）

第 6 章 大規模地震時の初期対応力評価

本章は第 4 章で整備した空間データを用いて，大規模地震の初期対応力を評価する方法に関する内容となっている。

6.1 初期対応力の計算方法

本研究では大規模地震時の初期対応力を，地震発生に伴う倒壊建物からの救助期待人数と，火災建物の消火期待棟数によって評価する。なお前者を「共助力」，後者を「公助力」と呼ぶ。

6.1.1 倒壊建物からの救助期待人数の計算方法

阪神淡路大震災時の調査から真野地区南東では，火災が発生し約 8 時間燃え続けたが，地元消防団，住民が初期消火にあたり，43 戸だけの焼失で延焼を食い止めた。またマンションビル倒壊で 19 人が生き埋めになったが，住民だけの手 10 人を生存で救出している ([25]高寄 (1996))。倒壊建物から救助された住民の 8 割はその地域の住民により救助されているとされる ([26]河田 (1997))。そこで本研究ではある建物の周辺に居住する住民がその建物の住民を救助すると想定する。地域住民による救助能力として住民 1 人 1 人の性別・年齢・体力・救助要員となる周辺住民がいる建物からの距離を考慮する。

●周辺住民による救助到達人数

ある周辺住民による救助到達人数はその年齢・性別により決定する。年齢・性別による住民の救助活動状況は阪神大震災時の調査結果から表 6.1.1 のようになることが明らかになっている ([27]東京消防庁 (2005))。例えばある建物 j のある住民の年齢

が 25 歳男性である場合，表 6.1.1 より救助到達人数は 0.1733 となる．またある建物 j 全体の救助到達人数 Rr_j はその建物に居住する居住者全員の救助到達人数を表 6.1.1 より求め，それらを合計することで得られる．

表 6.1.1 年齢性別による救助到達人数

年代	男子体力	女子体力	実施率	男子活動率	女子活動率	男子期待値	女子期待値
10	1	0.85	0.228	0.76	0.24	0.1733	0.0465
20	1	0.76	0.228	0.76	0.24	0.1733	0.0416
30	0.96	0.76	0.229	0.72	0.28	0.1583	0.0487
40	0.93	0.73	0.298	0.72	0.28	0.1995	0.0609
50	0.9	0.72	0.228	0.63	0.37	0.1293	0.0607
60	0.84	0.7	0.191	0.74	0.26	0.1187	0.0348
70～	0.78	0.65	0.129	0.75	0.25	0.0755	0.0210

●倒壊建物からの距離による重み付け

ある建物 i が倒壊した場合，その建物の周辺の建物に居住する住民が初期対応を行う．ただし建物 i からある程度距離が離れた建物から住民が建物 i に救助に到達する可能性は小さい．即ちある建物に期待される救助到達人数はある範囲内からしか到達し得ないと仮定し，距離が離れている程，認知に時間が掛かると仮定して減衰させる．そこで本研究では建物 i から 100m 圏内の建物に分布する居住者が救助に来るものと想定する．また建物 i から離れるほど救助期待人数が低下するように重み付けを行う．建物 i から離れるほどその到達期待人数は対数的に減少し，最大距離の 100m まで離れた場合は，そこから建物 i に到達する救助期待人数が半減するような重み付けを行う．建物 i から d_j [m]離れた建物 j の居住者に与えられる重み dw_j は式 6.1.1 で表現できる．

$$dw_j = \frac{1.502}{\log(1+d_j)+1} \quad (0 \leq d_j \leq 100) \quad (6.1.1)$$

●倒壊建物からの救助期待人数

以上より建物 i における救助期待人数 RS_i は式 6.1.2 で与えられる．

$$RS_i = \frac{\sum Rr_j \cdot dw_j}{5} \quad (6.1.2)$$

Rr_j はある建物 j 全体の建物 i への救助到達人数， dw_j は建物 i ～建物 j 間の距離に応じた重みである．また阪神大震災時の調査より ([26]河田 (1997))，救助に到達した人が平均 5 人いれば 1 人救助出来る事が分かっているため，本研究でもこの値を採用

し、救助に到達した人数を 5 で除すことで、この建物からの救助期待人数を算出した。

●任意の集計単位（地域メッシュなど）ごとの共助力の計算

最後にこの結果を任意の集計単位に集計する。建物 1 棟あたりの救助期待人数 RS_i に対し、建物 1 棟あたりの救助期待人数の予測値 RS_r は、集計単位に含まれる建物の救助期待人数 RS_i の総和と建物総数 N の比に等しくなることから、式 6.1.3 で与えられる。

$$RS_r = \frac{\sum RS_i}{N} \quad (6.1.3)$$

以上により任意の集計単位（地域メッシュなど）ごとにその地域の共助力、即ち建物あたりの建物倒壊からの平均救助期待人数が明らかになる。

6.1.2 火災建物の消火期待棟数の計算方法

火災状態の建物を消火出来る力である消火期待棟数は、その建物が立地する地域の消防力、即ちその地域を管轄する消防施設（消防署・出張所等）から到達する消防ポンプ車台数、消防職員数、および消防団員数により推定できる。4.7 節で全ての建物にそこに到達が期待される消防ポンプ車台数と消防職員数、およびそれらが配置されている消防施設からの距離が与えられている。また消防団員数も同様に与えられている。そこでこれらの値を利用して、各建物の消火期待棟数を求める。

●消防ポンプ車、消防職員、消防団員による消火期待棟数の計算

消防ポンプ車については消防ポンプ車 2 台で 1 棟消火できるものと仮定する。また同様に消防職員、消防団員については 20 人で 1 棟消火出来るものと仮定する（[28]愛知県（2003）、[27]総務省消防庁（2005））。ただし消防ポンプ車を 1 台稼働させるためには、消防職員を 5 人動員する必要があるため（[27]総務省消防庁（2005））、実際に動員出来る消防職員の数にはポンプ車の台数×5 を差し引いた人数となる。

●消防施設からの距離による重み付け

消防ポンプ車と消防職員については消防施設からの距離に応じて、その到達台数・人数に重み付けを行う。なお阪神大震災時の調査より消防団員の平均動員完了時間は約 11.7 分とされている。そこで本研究ではこの値を採用し、消防ポンプ車が消防施設から 11.7 分以内に到達した場合は消防力の減衰無しとし、到達時間がそれ以上になっ

た場合は、対数的に減衰させていくものとした。ある建物 i の最近隣の消防施設からの距離に応じた重み dw_i は式 6.1.4 及び式 6.1.5 で与えられる。

$$dw_i = \frac{1}{\log\left(\frac{d_i}{s_i} - 11.7 + 1\right) + 1} = \frac{1}{\log(t_i - 10.7) + 1} \quad (t_i \geq 11.7) \quad (6.1.4)$$

$$dw_i = 1 \quad (0 \leq t_i < 11.7) \quad (6.1.5)$$

d_i は建物 i から最近隣の消防施設までの距離[m]、 s_i は消防ポンプ車の平均走行速度[m/分]である。 s_i は[29]損害保険料率算定協会(1998)より政令指定都市では 15km/h、それ以外の地域では 25km/h と仮定した。

●火災建物の消火期待棟数の計算

以上よりある建物 i の消火期待棟数 RF_i は式 6.1.6 で与えられる。

$$RF_i = \left\{ \frac{NP_i}{2} + \frac{(NF_i - 5NP_i)}{20} \right\} \cdot dw_i + \frac{ND_i}{20} \quad (6.1.6)$$

NP_i は建物 i に到達が期待される消防ポンプ車の台数、 NF_i は消防職員の数、 ND_i は消防団員の数である。

●任意の集計単位（地域メッシュなど）ごとの共助力の計算

最後にこの結果を任意の集計単位ごとに集計する。建物 1 棟あたりの消火期待棟数 RF_i に対し、建物 1 棟あたりの消火期待棟数の予測値 RFr は、集計単位に含まれる建物の消火期待棟数 RF_i の総和と建物総数 N の比に等しくなることから、式 6.1.7 で与えられる。

$$RFr = \frac{\sum RF_i}{N} \quad (6.1.7)$$

以上により任意の集計単位(地域メッシュなど)ごとにその地域の公助力、即ち建物あたりの建物火災時の平均消火期待棟数が明らかになる。

6.2 大規模地震時における初期対応力

以上により任意の集計単位（地域メッシュ単位など）でその地域の共助力（救助期待人数）と公助力（消火可能件数）が明らかになった。これらを組み合わせて表示することで、その地域の共助と公助の比較・検討が可能となり初期対応力の評価が可能になる。

図 6.2.1 に世田谷区北沢周辺における大規模地震時における初期対応力を示す。図 6.2.2 に日本全土の大規模地震時における初期対応力を示す。北沢は、建物が密集しているが、住宅が多いため全国に比べ共助力が高いことがわかる。しかしながら、建物棟数が多い故に公助力は分散され小さくなっている。また図 6.2.3 には太平洋ベルト地帯の、図 6.2.4 には中京地方の初期対応力を示す。都市部を除く多くの地域では共助力・公助力共に小さい値となっている。これは第 5 章の結果を見ても分かるように、こうした地域の多くは地震によって予想される被害が小さい。こうした地域の多くは都市郊外や農村部である。主な都市の中心部とその周辺ではその多くで共助力が大きく、公助力は小さいことが分かる。一方山間部では共助力は小さいが公助力は大きい。これはこうした地域の消防施設が管轄する必要がある建物の棟数が少ないためである。共助力・公助力共に高い地域は東京 23 区内や大阪の中心部など一部で見られるものの、多くは分布していない。

以上の結果より日本における大規模地震時における初期対応力は、都市部では共助力は比較的充実しているが、公助力が不十分な地域が多く分布しており、一方山間部では公助力は充実しているものの、共助力は不足している事がわかった。それ以外の地域では共に全国の水準から見れば低い状態にある。こうした地域は想定されている被害が小さいことや、居住者の少ない地域であるために、共助力・公助力共に低い水準にあるものと見られるが、今後想定外の大規模地震がこうした地域で発生した場合は被害が大きくなる可能性があるものと考えられる。

なお他の地域の拡大図、主要都市圏の拡大図については資料を参照されたい。

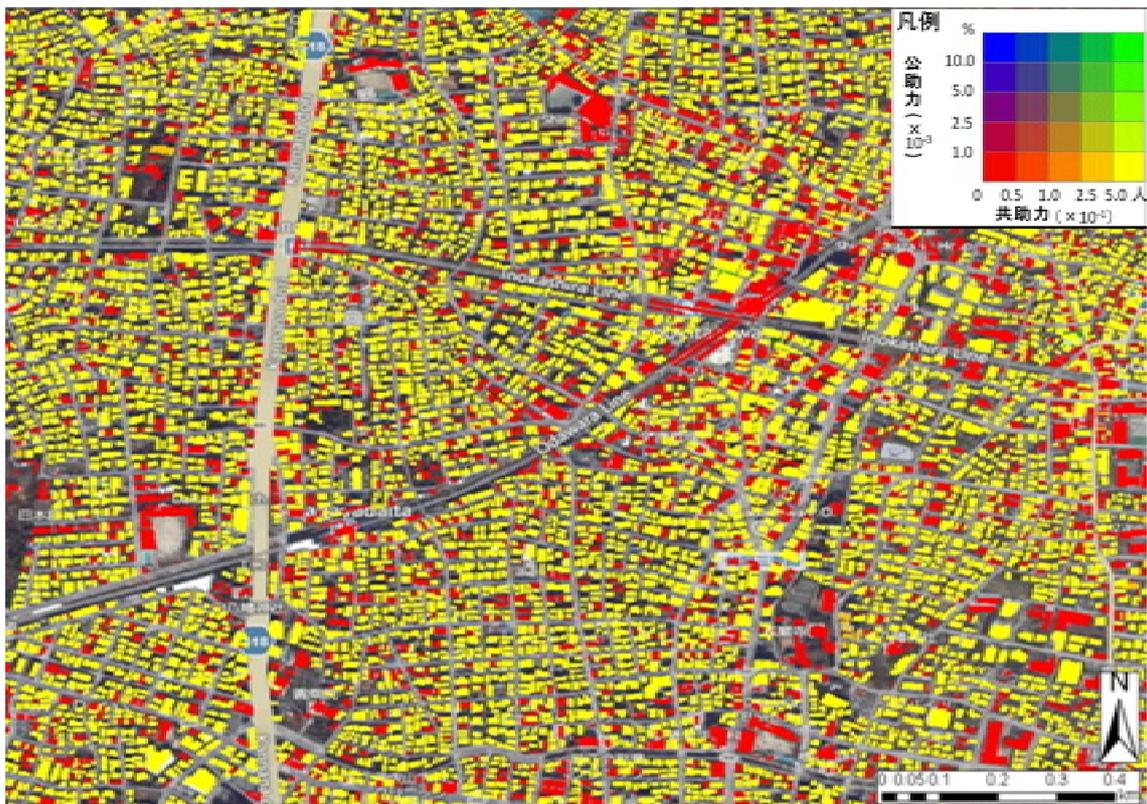


図 6.2.1 世田谷区北沢周辺における大規模地震時の初期対応力

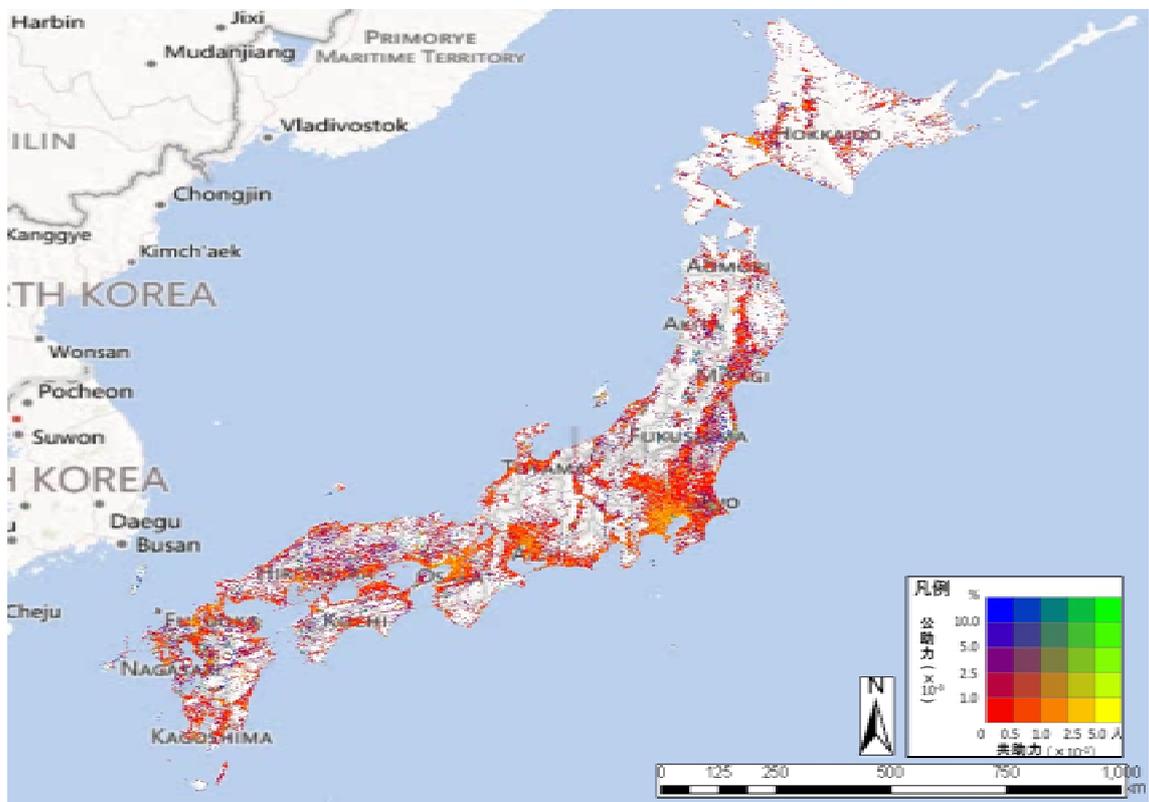


図 6.2.2 日本全土における大規模地震時の初期対応力 (4次メッシュ集計)

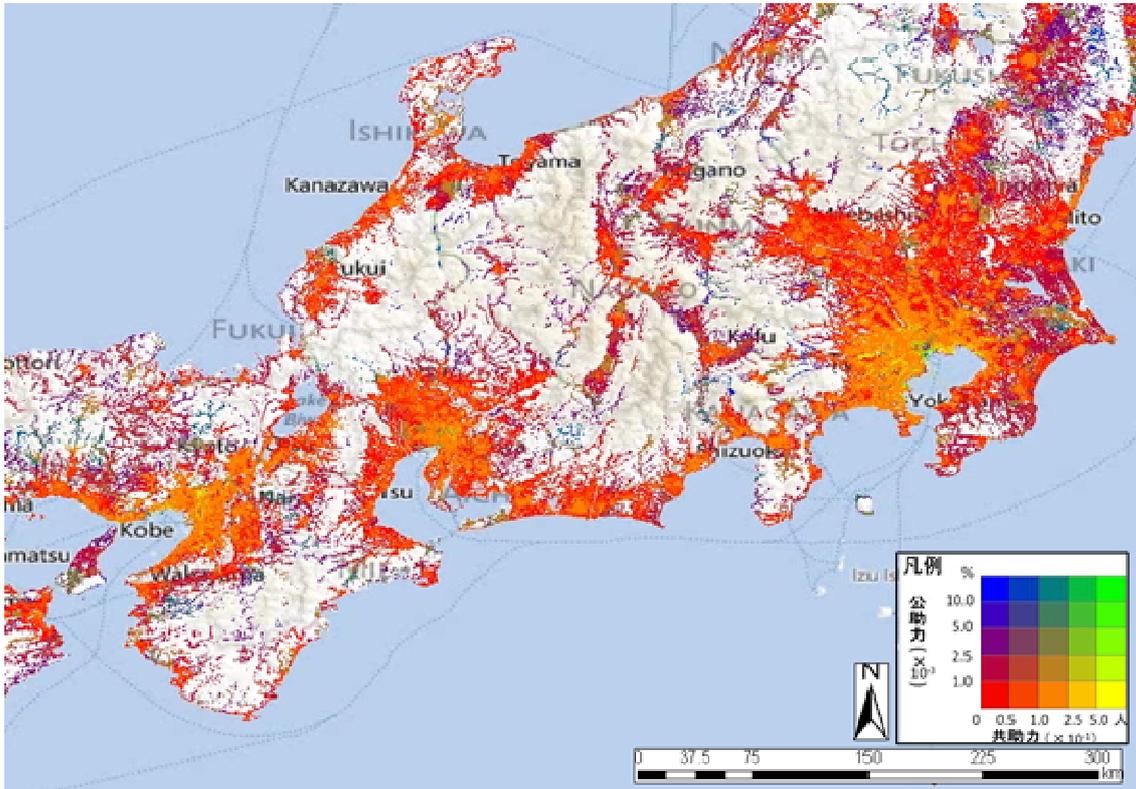


図 6.2.3 太平洋ベルト地帯における大規模地震時の初期対応力（4次メッシュ集計）

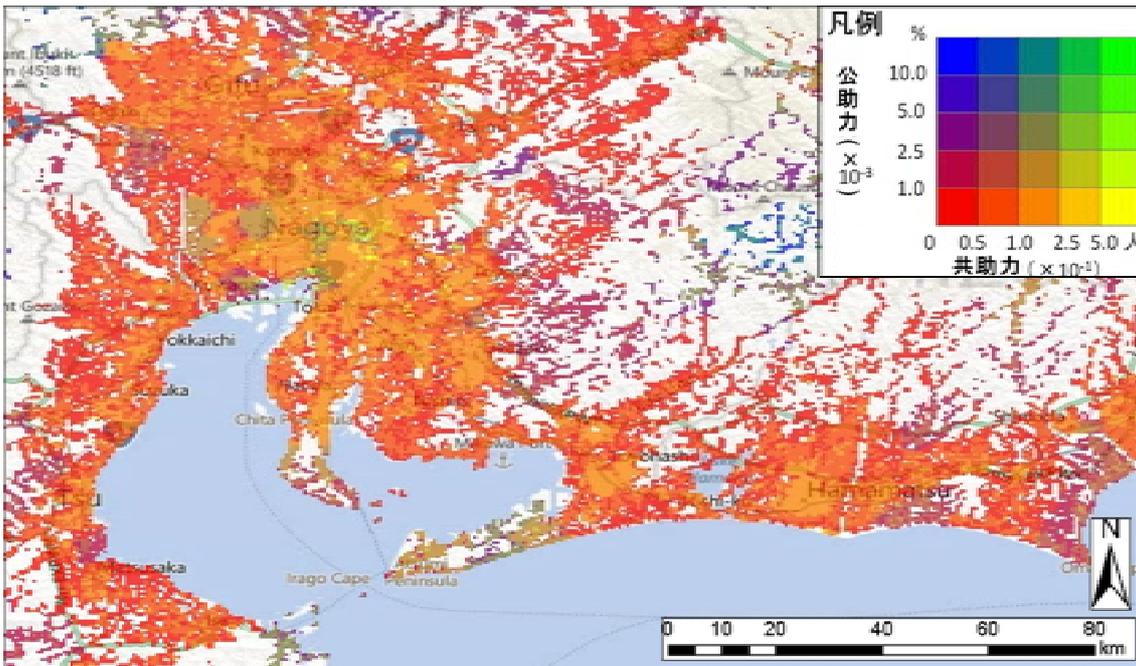


図 6.2.4 中京地方における大規模地震時の初期対応力（4次メッシュ集計）

第 7 章 大規模地震時の被害推定

本章は第 5 章で整備した建物毎の大規模地震時の倒壊・火災リスクの情報と、第 6 章で整備した建物毎の初期対応力の情報を組み合わせることで、大規模地震時の被害推定を行う手法について説明する。なお第 6 章、第 5 章と同様に、日本全土という広域をまとめて評価するために、結果は第 4 次地域メッシュ (500m 四方) に集計される。またその結果を活用して考察を行う。

7.1 被害推定方法

第 5 章において地震による建物倒壊及び火災に伴う死者数が建物毎に与えられている。一方、第 6 章において共助力、公助力という形で前者は倒壊建物から何人救助できるか、後者は出火した建物を何棟消火することが出来るか、という値が建物毎に与えられている。即ちこれらの値を組み合わせることで、その建物の被害状況とそこに与えられる共助・公助力を考慮した上での被害状況を明らかにすることができる。

●建物倒壊による推定死者率の計算

ある建物 i の建物倒壊による推定死者率 EDC_{ri} は式 7.1.1 で与えられる。

$$EDC_{ri} = \frac{(DC_i - RS_i)}{n_i} \quad (7.1.1)$$

DC_i は建物 i における倒壊による死者数 (式 5.1.3)、 RS_i は共助力、即ち倒壊からの救助期待人数 (式 6.1.2)、 n_i は居住者数である。ただし $EDC_{ri} < 0$ の場合、その建物では倒壊建物から全員が救助される、即ち倒壊によって死者が発生する可能性は 0 と見なし、 $EDC_{ri} = 0$ とする。

●建物火災による推定死者率の計算

ある建物 i の建物火災による推定死者率 EDF_{ri} は式 7.1.2 で与えられる。

$$EDF_{ri} = \frac{(DF_{ri} - RF_i) \cdot n_i}{n_i} = DF_{ri} - RF_i \quad (7.1.2)$$

DF_{ri} は建物 i における火災による死者率 (式 5.1.6), RF_i は公助力, 即ち火災建物の消火期待棟数 (式 6.1.6), n_i は居住者数である. ただし $EDF_{ri} < 0$ の場合, その建物では消失前に消火される, 即ち火災によって死者が発生する可能性は 0 と見なし, $EDF_{ri}=0$ とする.

●建物倒壊・および火災による推定死者率の計算

ある建物 i の建物倒壊および火災による推定死者率 ED_{ri} は式 7.1.1 及び式 7.1.2 で与えられる建物倒壊による推定死者率 EDC_{ri} , 及び建物火災による推定死者率 EDF_{ri} を用いて式 7.1.3 で与えられる.

$$ED_{ri} = EDC_{ri} \cdot (1 - EDF_{ri}) + EDF_{ri} \cdot (1 - EDC_{ri}) \quad (7.1.3)$$

●任意の集計単位 (地域メッシュなど) ごとの被害推定

最後にこの結果を任意の集計単位に集計する. まず居住者数が n_i の建物 i における死者数の推定値 ED_i は式 7.1.4 で与えられる.

$$ED_i = ED_{ri} \cdot n_i \quad (7.1.4)$$

集計単位内の建物 1 棟あたりの推定死者率 ED は, 集計単位に含まれる建物の建物毎の推定死者数 ED_i の総和と居住者数 n_i の総和の比に等しくなることから, 式 7.1.5 で与えられる.

$$ED = \frac{\sum ED_i}{\sum n_i} \quad (7.1.5)$$

以上により任意の集計単位ごとにその地域の被害状況と初期対応力を考慮した, 被害推定結果を得ることが出来た.

7.2 被害推定結果

図 7.2.1～図 7.2.4 に 50 年超過確率 2%の地震動（冬期夕刻発生）による世田谷区北沢周辺，日本全土，太平洋ベルト地帯，中京地方それぞれの被害想定の結果を示す。特に被害が大きくなることが予想される地域は静岡県から愛知県の太平洋沿岸，三重県北部沿岸，奈良盆地，徳島平野，高知平野，糸魚川静岡構造線沿い，越後平野，富山平野，仙台平野，石狩平野南部，根釧台地，房総半島北東部等である。これらの地域は想定される被害の大きさ（第 5 章で算出）に対する初期対応力（第 6 章で算出）が不十分な地域である。特に静岡県の太平洋沿岸は被害が大きくなると考えられる地域が連続的に分布しているため，3 連動地震等で想定される広域災害となった場合には，現状では地域間で消防力を融通するようなことも難しく，被害が大きくなることが予想される。

3 大都市圏に注目してみると，それぞれの都市圏で状況が異なることがわかる。第 5 章の結果（図 5.2.3，図 5.2.9 参照）では阪神都市圏での倒壊と火災による複合的な被害が大きくなることが明らかになった。まだ中京都市圏では特にその西部で倒壊による被害が大きくなる地域が広域に広がっていることが分かった。一方東京都市圏では耐震化・耐火性能の向上が進んでいることから何れの被害も比較的低いものに抑えられることが分かった。これらに初期対応力を作用させた結果をみると，東京都市圏では東京 23 区東部の一部を除いて，住民の死者率はかなり低い水準に抑えられていることが分かる。これは前述した耐震化に加えて，東京都市圏の初期対応力も全国的に見て高い水準にあることが影響している。大阪も初期対応力が広域に渡って比較的高い水準にあることから，東京ほどでは無いものの，人的被害の発生をかなり食い止めることが出来ている。一方，中京都市圏では特にその西部の木曾三川流域で被害が大きくなることを確認できる。この地域では先の結果でも耐震化，初期対応力共に低い水準にあるため，早急な対策が必要であると考えられる。

続いて入力する地震動を 50 年超過確率 39%に変更する。図 7.2.5～図 7.2.7 は 50 年超過確率 39%の地震動（冬期夕刻発生）による日本全土，太平洋ベルト地帯，中京地方それぞれの被害想定の結果である。その被害状況は 50 年超過確率 2%の結果と比較すると，全国的に大幅に低い水準になることが分かる。このように複数の地震動入力のシナリオを準備してその被害状況を推定出来るため，データ利用者が任意の地震動を入力して，必要に応じた被害推定を行うことが可能となった。

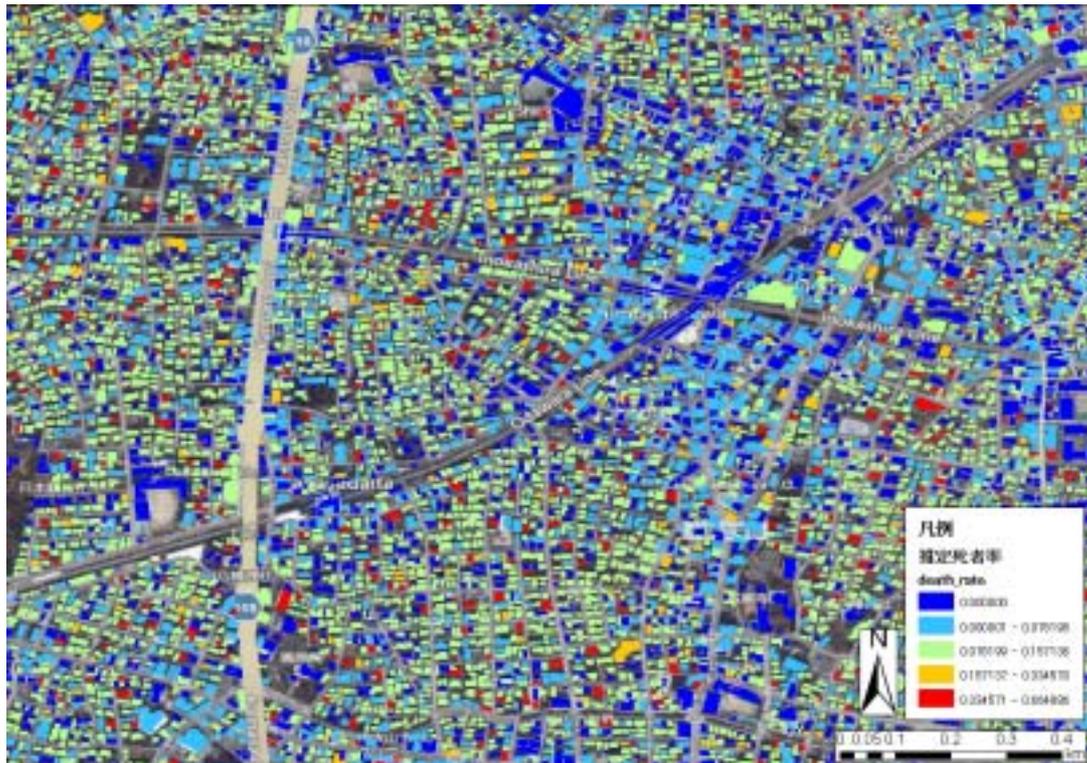


図 7.2.1 世田谷区北沢周辺における大規模地震時の被害推定（50年超過確率2%の地震が冬期夕刻に発生した場合）

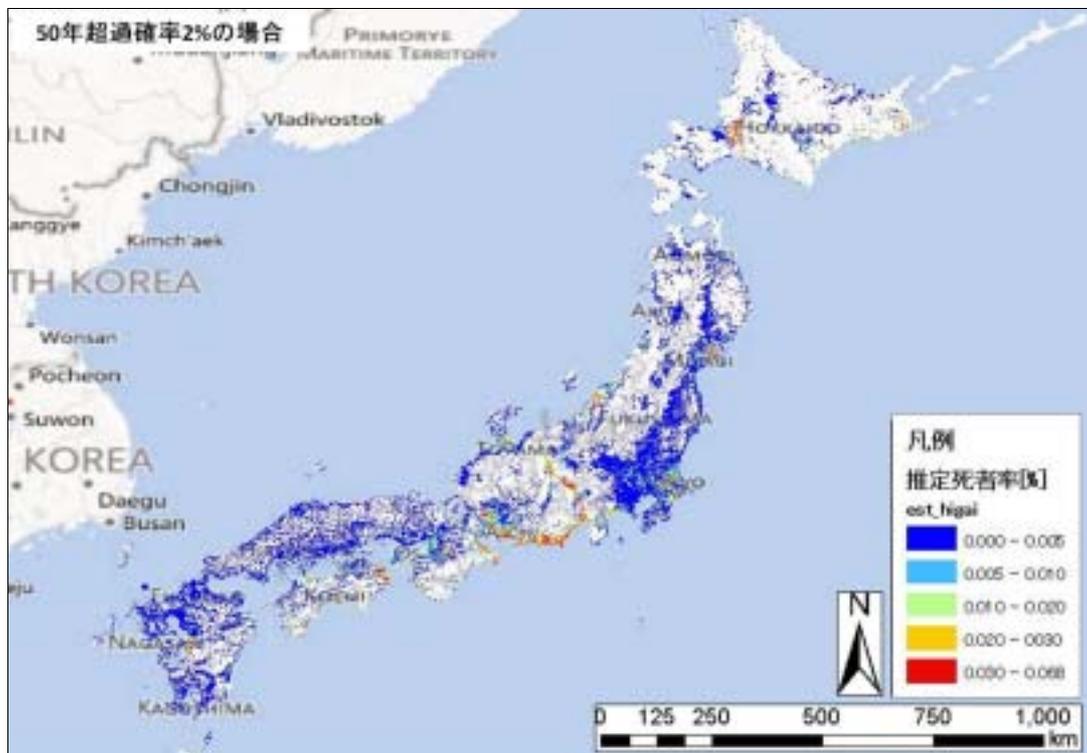


図 7.2.2 日本全土における大規模地震時の被害推定（4次メッシュ集計・50年超過確率2%の地震が冬期夕刻に発生した場合）

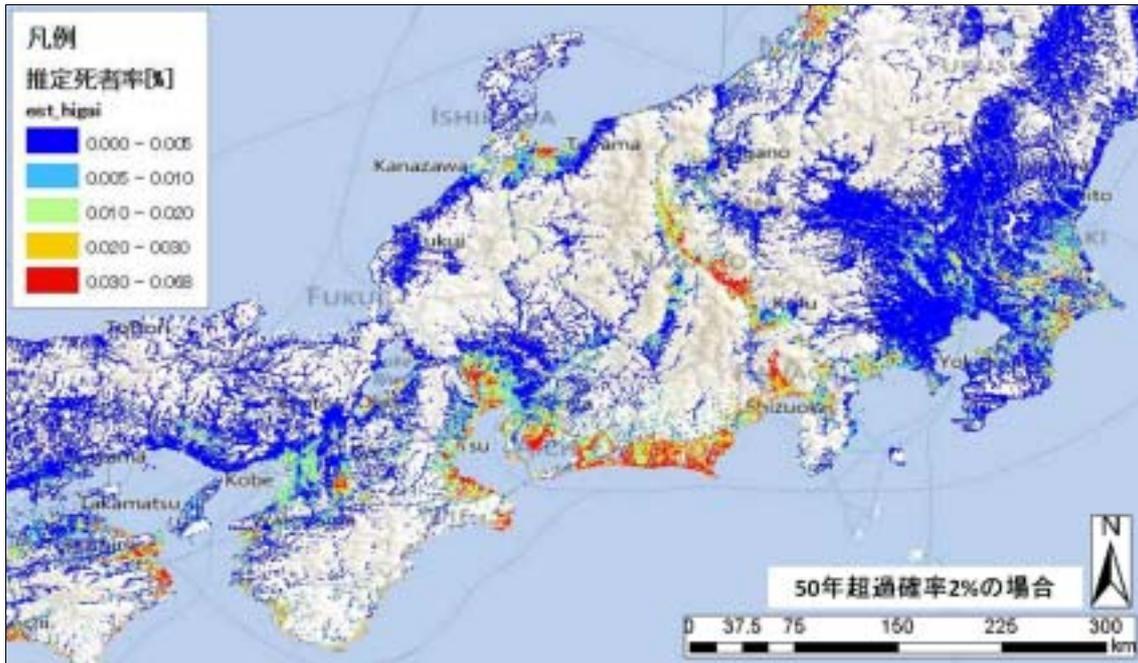


図 7.2.3 太平洋ベルト地帯における大規模地震時の被害推定（4次メッシュ集計・50年超過確率2%の地震が冬期夕刻に発生した場合）

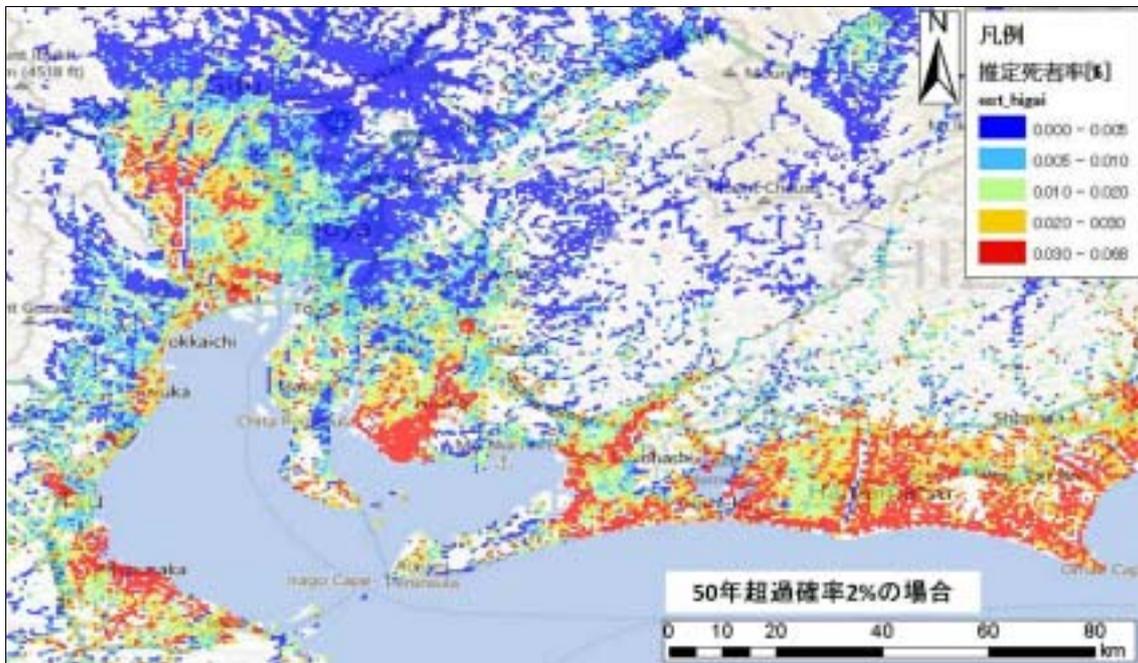


図 7.2.4 中京地方における大規模地震時の被害推定（4次メッシュ集計・50年超過確率2%の地震が冬期夕刻に発生した場合）

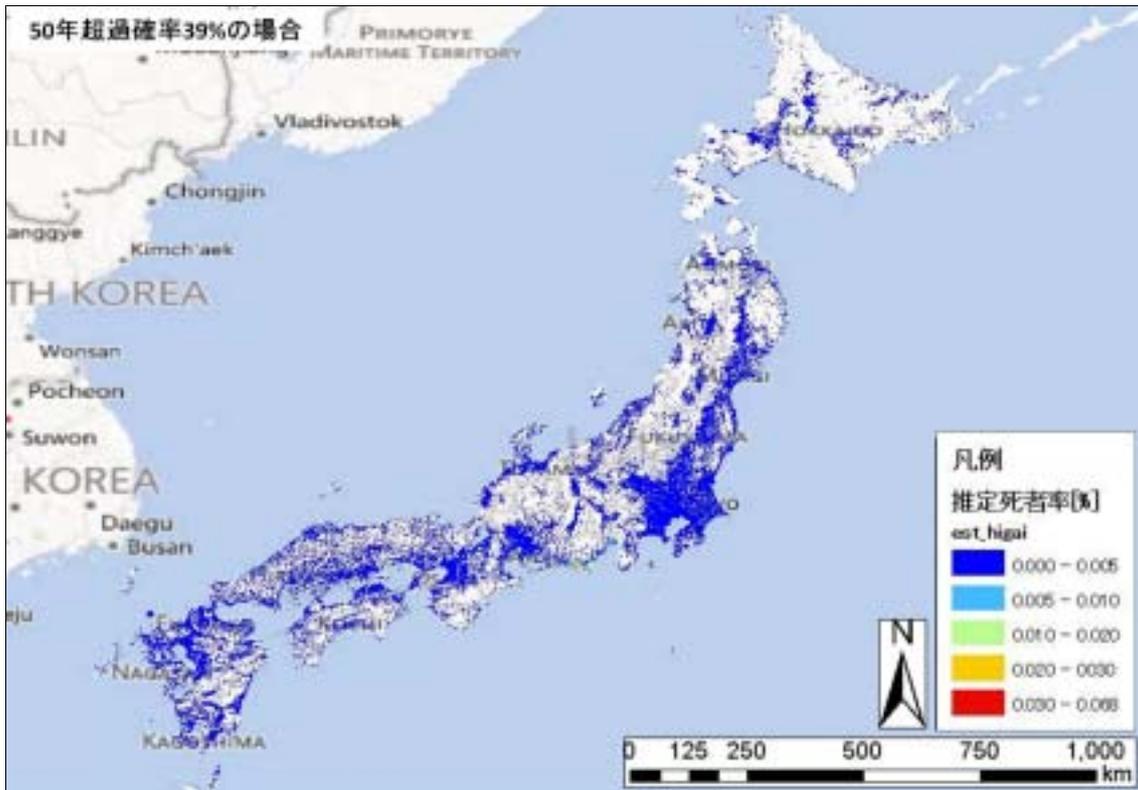


図 7.2.5 日本全土における大規模地震時の被害推定（4次メッシュ集計・50年超過確率39%の地震が冬期夕刻に発生した場合）

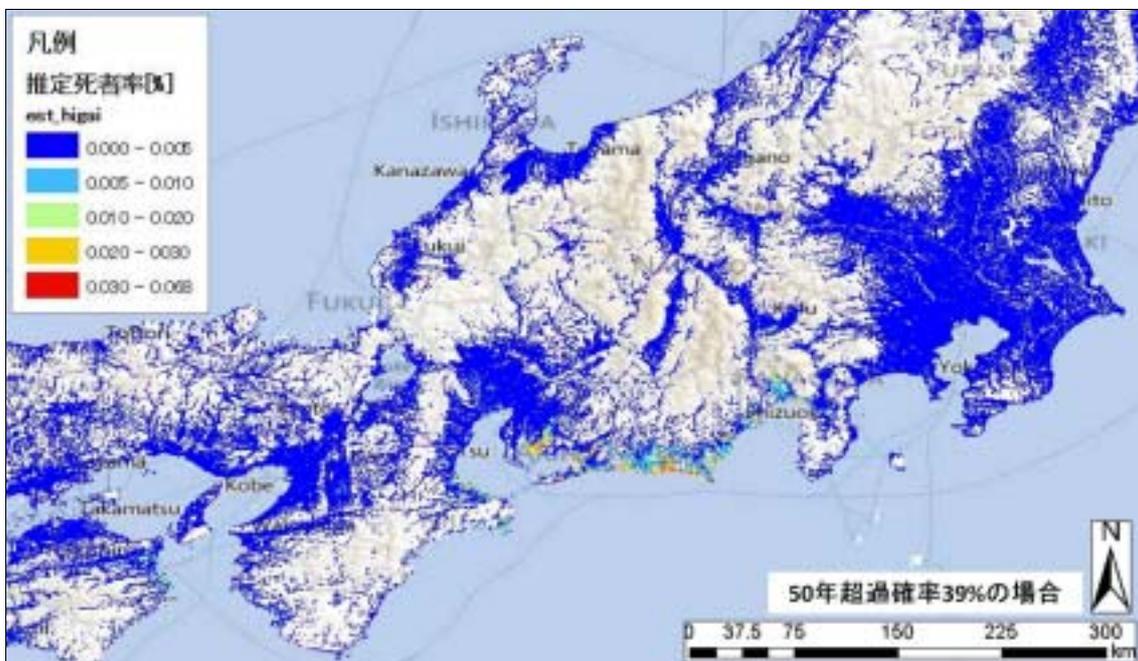


図 7.2.6 太平洋ベルト地帯における大規模地震時の被害推定（4次メッシュ集計・50年超過確率39%の地震が冬期夕刻に発生した場合）

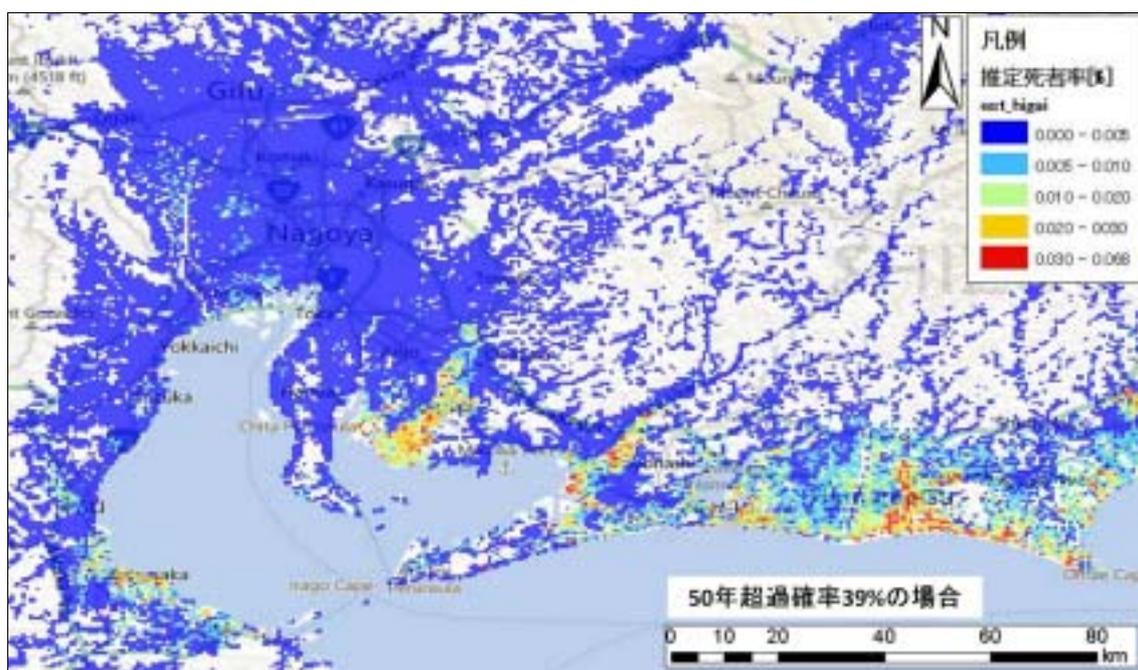


図 7.2.7 中京地方における大規模地震時の被害推定（4次メッシュ集計・50年超過確率39%の地震が冬期夕刻に発生した場合）

7.3 結果の考察

以上により任意の地震動入力シナリオに対して、それによる倒壊・火災によって発生する被害状況の分布、それらに対処し被害を低減させる初期対応力の分布、そしてそれらを組み合わせることによって得られる被害推定が、日本全土を対象に可能な環境が実現した。日本全土の情報を横並びに同じ評価軸で観察、評価することが可能になった。そしてこれまでの結果から、我が国における今後取るべき防災政策の議論が可能になった。本研究で得られた結果のみからでも以下の事が分かる。

●倒壊・火災リスクについて（第5章）

- ・国土スケールでは関東南東部から東海地方を経て中京地方にかけての地域で特に倒壊による死者率が高い地域が広がっている。
- ・地盤の状態が良好ではない地域、具体的には中央構造線沿いの地域、フォッサマグナ該当する地域、石狩平野南部、仙台平野、大阪平野、奈良盆地等でも倒壊による死者率が高い。
- ・東海地方では特に主な都市（静岡市・浜松市・沼津市・富士市等）で倒壊に加えて

火災による死者率も高くなっている。

- ・四国地方の中央構造線沿い（徳島平野・高知平野等）や、熊本平野南部でも東海地方と同様に倒壊・火災による死者率が共に高くなっている。

- ・阪神都市圏では大阪市の中心部を取り囲むように、倒壊・火災何れの被害も大きくなる地域が広がっている。

- ・東京都市圏では耐震化・耐火性能の向上がかなり進んでいることが伺える。しかし特に 23 区東部では火災による被害が大きくなることが分かる。

- ・名古屋市では西部と東部で傾向が異なっている。概ね東海道新幹線を挟んで東側では倒壊による被害は小さいものの、火災による被害は大きくなる可能性があることが分かる。一方西側では倒壊による被害も大きくなる。

- ・日本全土で倒壊による被害、火災による被害がそれぞれ大きくなる地域が定量的に明らかになるため、この結果から非木造化（耐震化）、耐火性能向上何れの対策を強化すべきかを、国土スケールから地域コミュニティのスケールまできめ細かく検討することが出来る。

●初期対応力について（第 6 章）

- ・主な都市の中心部とその周辺ではその多くで共助力が大きく、公助力は小さいことが分かる。こうした地域では物理的には数多くの居住者が分布しているため、共助力が大きくなる。ただし彼らが震災後に真に共助力として機能するかどうかは、その地域のコミュニティが機能しているかどうかの影響するものと考えられる。公助力については 1 つの消防署が管轄する建物が多くなるため小さくなってしまう。

- ・山間部では共助力は小さいが公助力は大きい。こうした地域では居住者が少ないため共助力が小さく、消防施設が管轄すべき建物の棟数が少ないため公助力が大きい。しかしこうした地域では都市部よりも地域コミュニティが健全に機能していることも予想されるため、この結果よりも現実には高い共助力が発揮される可能性もある。

- ・共助力・公助力共に高い地域は東京 23 区内や大阪の中心部など一部で見られるものの、多くは分布していない。

- ・その他の地域（都市部・山間部を除く多くの地域）では共助力・公助力共に小さい。こうした地域の多くは地震によって発生が予想される被害が小さい地域である。

- ・日本全土で共助力、公助力の定量的分布それぞれが分かるため、この結果から共助力、公助力何れを強化すべきかを、国土スケールから地域コミュニティのスケールまできめ細かく検討することが出来る。ただしこの際に共助力については地域コミュニティの健全さによって、その力が左右されるものと考えられる。「地域コミュニティの健全さ」という情報をいかに定量化して、このデータに導入するか、という点は今後の課題である。

●被害推定について（第7章）

・特に被害が大きくなることが予想される地域は静岡県から愛知県の太平洋沿岸，三重県北部沿岸，奈良盆地，徳島平野，高知平野，糸魚川静岡構造線沿い，越後平野，富山平野，仙台平野，石狩平野南部，根釧台地，房総半島北東部等である．これらの地域は倒壊・火災リスクに対する初期対応力が不十分な地域である．

・特に静岡県の太平洋沿岸は被害が大きくなると考えられる地域が連続的に分布している．3連動地震等で想定される広域災害となった場合には，現状では地域間で消防力を融通するようなことも難しく，被害が大きくなることが予想される．

・東京都市圏では東京23区東部の一部を除いて，住民の死者率はかなり低い水準に抑えられていることが分かる．これは建物の耐震化に加えて，東京都市圏の初期対応力も全国的に見て高い水準にあることが影響している．

・阪神都市圏も初期対応力が広域に渡って比較的高い水準にあることから，東京ほどでは無いものの，人的被害の発生をかなり食い止めることが出来る．

・中京都市圏では特にその西部の木曾三川流域で被害が大きくなることが確認できる．この地域は建物の耐震化，初期対応力共に低い水準にあるため，早急な対策が必要であると考えられる．

また入力する地震動を変更することで，その結果が大きく異なることも分かった．第4章の被害推定では50年超過確率39%の地震の場合，東海地方の太平洋沿岸などで一部被害が大きくなるものの，多くの地域でその被害は低い水準となることが分かった．このように任意の地震動入力に応じて結果をフレキシブルに変化させることが出来るため，東南海地震などの地震動データが得られれば直ちにそれらの様々なシナリオに対応した結果を作成することが可能である．

●自治体間のリスクコミュニケーションのためのデータ提供

ここまでの結果では，自分達の市区町村・地域が日本の中でどのような位置づけにいるのか，ということ把握することが出来た．一方で更に小さな単位，例えば同じ都道府県内で自分達の市区町村が周辺の市区町村と比べて，どのような位置づけにいるのか，また自分達の都道府県，あるいは市区町村のどの地域に重点的な対策が必要か，ということ把握したい場合もある．このような情報は周辺の市区町村も含んだ広域防災政策を議論していく上で重要な情報となりうる．

このような需要にも本研究データは対応できる．例えば図7.3.1は静岡県のメッシュだけを取り出してその被害推定の結果を示したものである．図7.2.2の結果では静岡県の被害は全域的に一樣に大きくなっていったが，これは全国を基準に見た場合であり，図7.3.1のように静岡県という単位でその値を相対的に比較すると，同じ県内でもその状況は大きく異なることが分かる．静岡県内では富士宮市北部，富士市の太平

洋沿岸東部（田子の浦付近）、藤枝市中部（新名神高速・藤枝岡部インターチェンジ付近）、牧之原市、掛川市から湖西市にかけての太平洋沿岸、天竜川沿いで特に人的被害が大きくなる事がわかる。一方都市化されていても被害が小さい地域としては、静岡市駿河区や浜松市中区が挙げられる。この人的被害は既に説明してきているようにその地域の消防力（共助・公助）も考慮しているため、より現実的な被害推定と言える。

この違いの原因は何か。それを明らかにするには、まずそれぞれの地域の倒壊と火災による被害の程度を把握すれば良い。図 7.3.2 は静岡県の倒壊による死者率、図 7.3.3 は火災による死者率を示したものである。この結果によると被害が大きくなる地域は、何れも火災ではなく倒壊による被害が原因となることが分かる。特に掛川市から湖西市にかけての太平洋沿岸と天竜川沿いの地域は、被害が大きくなる地域が連続的に分布しているため、大規模地震発生時に広域災害に発展する恐れがある。

一方図 7.3.4 は静岡県の共助力、図 7.3.5 は公助力を示したものである。先に挙げた被害が大きくなる地域で被害が大きくなる原因は、その全てが倒壊による被害によるものであることが分かった。即ちこうした地域では共助力が大きければその被害を軽減できる。しかし図 7.3.4 によると何れの地域も共助力は比較的低い水準にあることが分かる。これらの地域に分布する居住者の数が、倒壊建物から住民を十分に救助するには物理的に不足していることを意味しており、こうした地域では建物の耐震化を進めると共に、地域コミュニティの機能向上を図る必要が高いと言える。

このように倒壊・火災によるリスクと、初期対応力それぞれを組み合わせることで、その地域が単にどの程度の被害を受けるのかが把握出来るだけでなく、その対策として具体的に何をすべきか、というところまで踏み込んだ議論をするための材料として本研究の成果は利用できるものといえる。

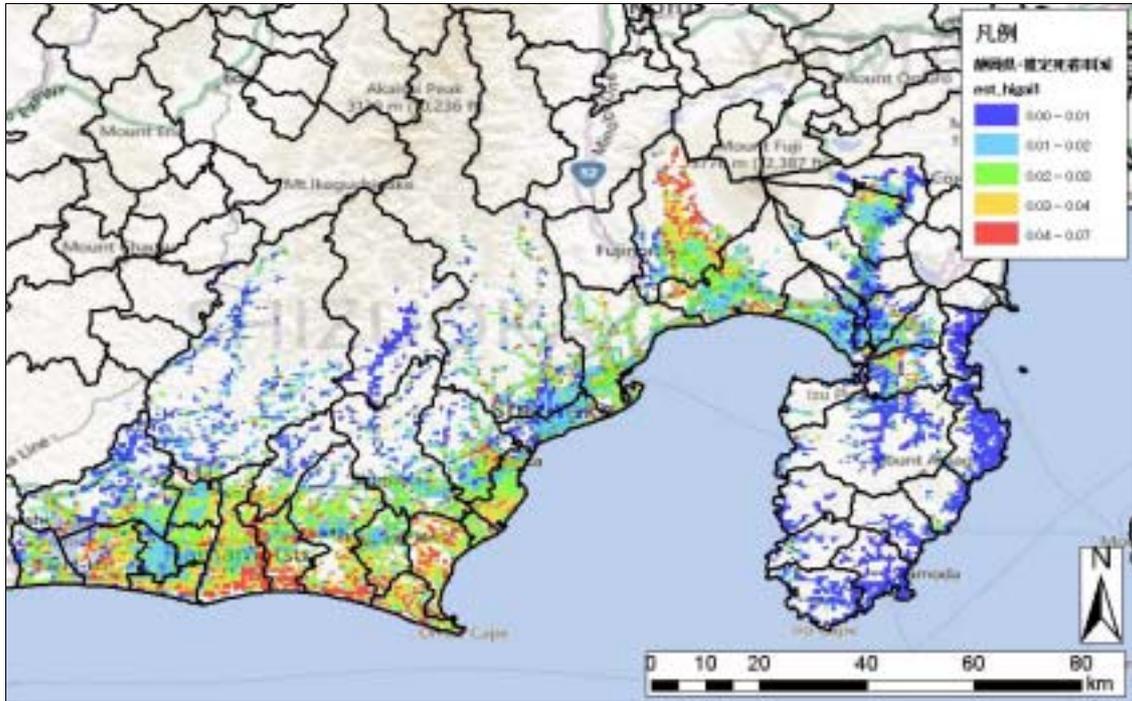


図 7.3.1 静岡県における大規模地震時の被害推定（4次メッシュ集計・50年超過確率2%の地震が冬期夕刻に発生した場合）

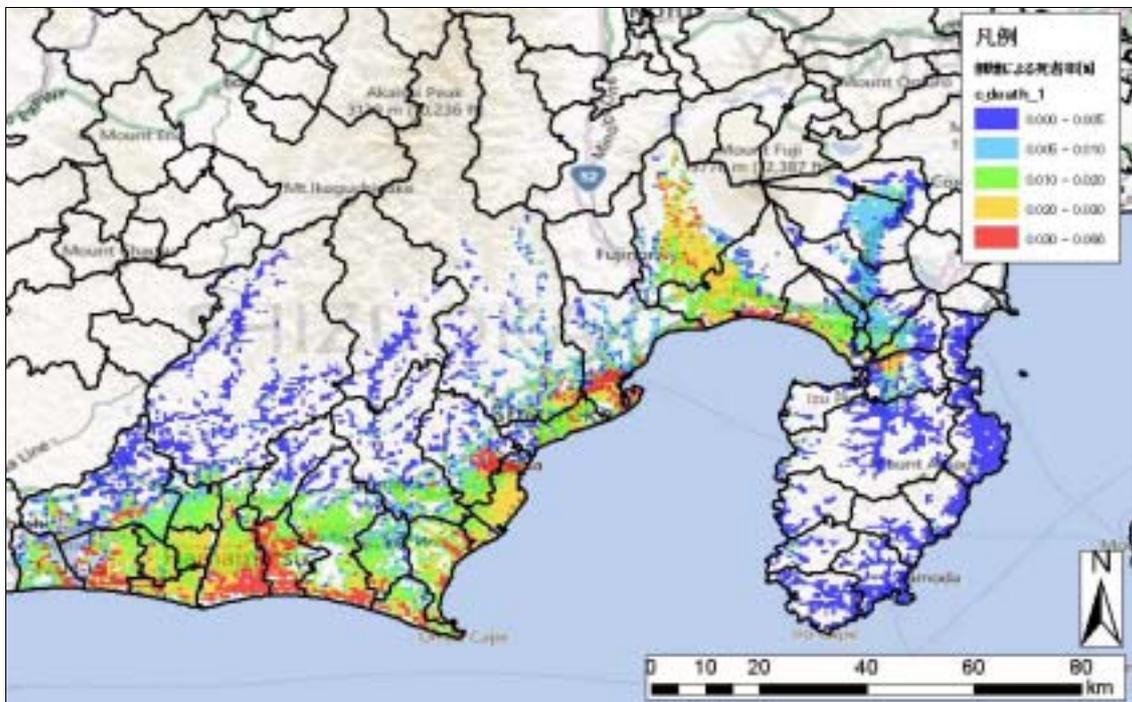


図 7.3.2 静岡県における倒壊による死者率（4次メッシュ集計・50年超過確率2%の地震が冬期夕刻に発生した場合）

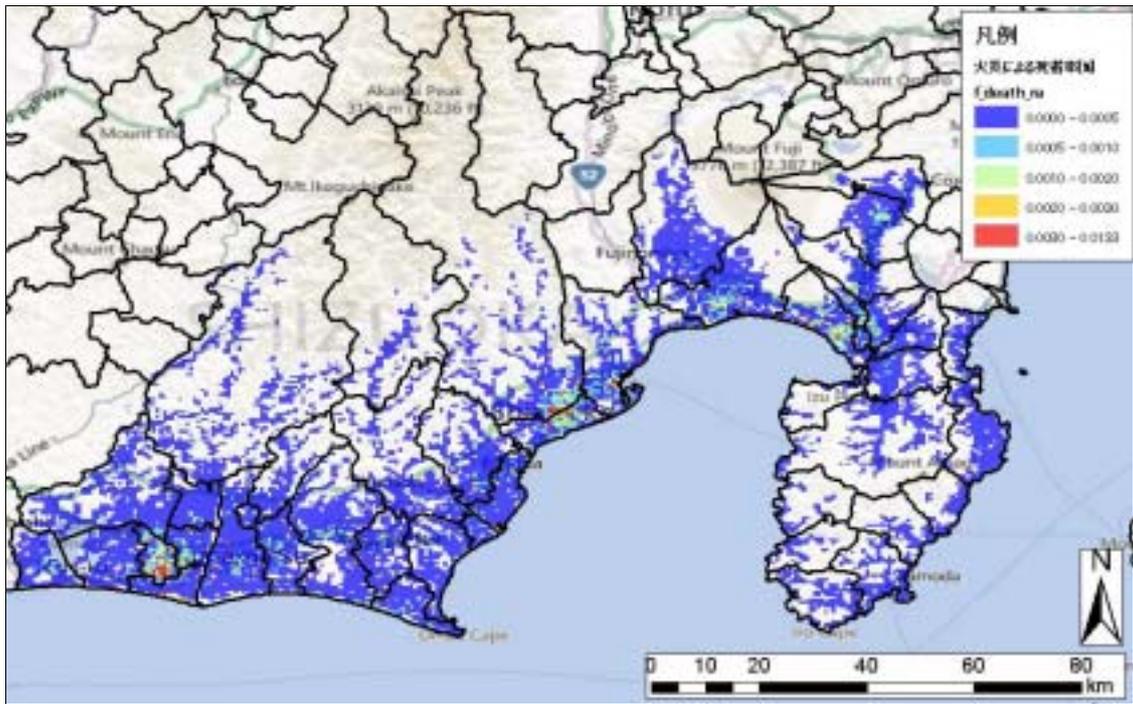


図 7.3.3 静岡県における火災による死者率（4次メッシュ集計・50年超過確率2%の地震が冬期夕刻に発生した場合）

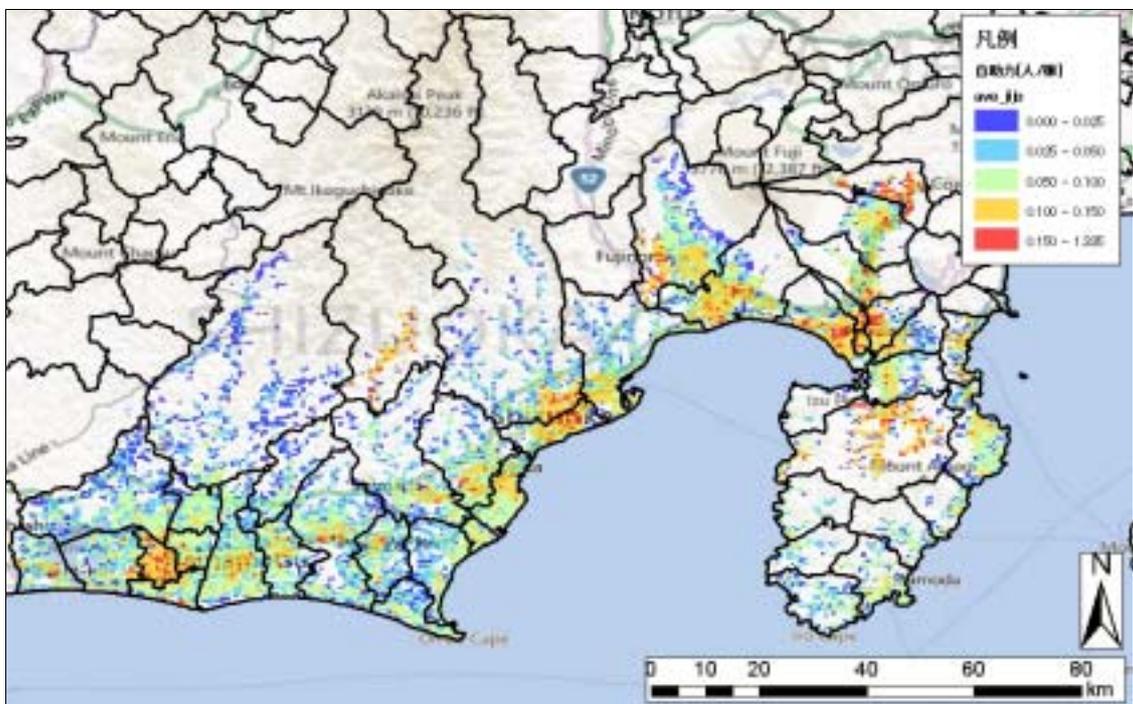
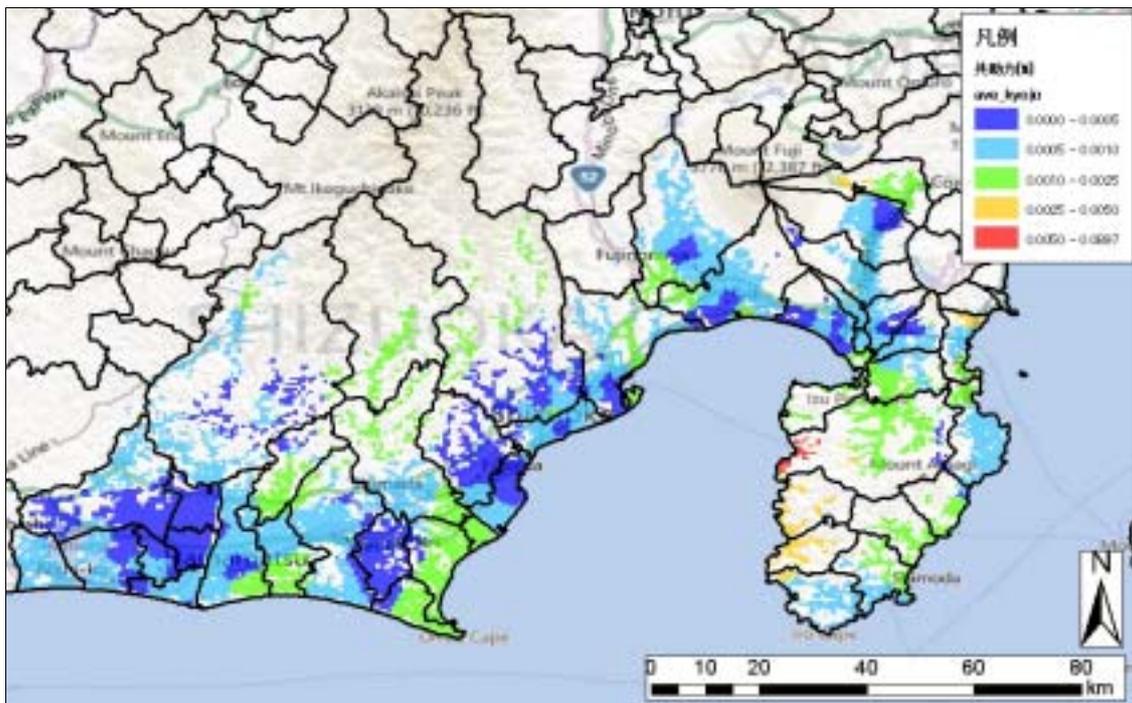


図 7.3.4 静岡県における共助力（4次メッシュ集計）



7.3.5 静岡県における公助力（4次メッシュ集計）

●住民間のリスクコミュニケーションのためのデータ提供

以上の結果は都道府県や市区町村というスケールで防災政策を議論するための材料として利用できるだけでなく、住民が自分達の地域の状況を把握し、防災意識の向上、住宅の耐震化、地域コミュニティのあり方の議論などをしていく上で有意義な情報となりうる。

このような需要にも我々のデータは対応できる。例えば図 7.3.6 は静岡県浜松市佐鳴湖周辺における被害推定の結果である。ここでは佐鳴湖を挟んで東西に位置する佐鳴台と大平台に注目する。佐鳴台では全域的に被害は小さく、特に佐鳴湖沿岸の佐鳴台 6 丁目では被害が小さい。一方、佐鳴湖を挟んだ大平台では、佐鳴台とくらべて全域的に被害は大きく、特に大平台 1 丁目の佐鳴湖沿岸で被害が大きくなる。その一方で大平台 3 丁目と 4 丁目では大平台の中でも被害は小さくなる。このように大字・丁目スケールで見ても、被害状況がかなり異なることが分かる。大平台 1 丁目や 2 丁目は同じ大平台の 3 丁目や 4 丁目よりも被害が大きくなる可能性があり、地域コミュニティによる日頃からの備えが重要な地域といえよう。

ではどのような備えが必要だろうか。それは先ほどの静岡県の例と同様に、倒壊と火災による被害がどの程度発生するのか見れば良い。図 7.3.7 は図 5.6.6 の地域メッシュに、それぞれの倒壊と火災による死者率を重ねて表示したものである。佐鳴台では

全域的に倒壊による死者率は低く、地盤の状態が比較的安定しているとともに、建物の耐震化も進んでいるものと考えられる。一方で火災による死者率は佐鳴台3丁目付近で高くなっているが、被害推定ではこの地域の被害は小さいため、公助力が高いものと考えられる。実際に図 6.3.8 を見るとこの地域では公助力が高いことが分かる。一方、大平台では倒壊による死者率が高くなっており、特に大平台1丁目から2丁目にかけての地域で倒壊による被害が大きくなっている。これらの地域は特に建物の耐震化を進めるべき地域といえる。

次に共助力・公助力を見てみると（図 7.3.8）、佐鳴台では全体的に共助力・公助力共に高く、特に佐鳴台3丁目は何れの力も充実している。一方、大平台では一丁目の佐鳴湖沿岸で共助力が小さいことがわかる。この地域は倒壊による死者率も高いことから、その結果として図 7.3.6 が示すように最終的に得られる死者率も高くなっている。この地域では共助力が物理的に不足しているため、この地域の地域コミュニティの防災意識の向上、防災訓練の実施等を通して共助力を強化すると共に、建物の耐震化も推進するべきであることが分かる。

また本研究データは、建物単位でも見ることができる。世田谷区北沢周辺における死者率をメッシュ集計した結果と建物単位での結果をそれぞれ図 7.3.9 と図 7.3.10 に示す。メッシュ単位のもと建物単位のもの比べるとメッシュの青色で示された試写率の低い安全な地域でも建物単位で見ると所々に赤色の死者率の高い建物がありメッシュ内でもばらつきがるのが見て取れる。図 7.3.11 に世田谷区東松原駅周辺における死者率を示す。地域コミュニティレベルではこうした詳細なデータが防災計画を立てる上で大切となる。死者率の高い赤色の建物の分布を見ることで住民の災害時の避難経路計画や避難場所、自治会がどの建物にまず救助しに行くかなど地域コミュニティレベルで事前の備えを進めることが可能である。こうしたデータは防災計画を立てる上で非常に有用であることがわかる。地震被害想定データが建物単位かつ日本全土で整備されているデータは本研究が初めてである。

以上のように本研究で得られた成果は、大字・町丁目という地域コミュニティ単位で、その地域のリスクと初期対応力のあり方を議論することにも有意義である。今後は地域住民にもより分かりやすい表現方法を検討していくことで、本研究で整備したデータは住民の防災意識の向上、地域コミュニティの防災に対する機能強化に貢献していけるものと期待できる。

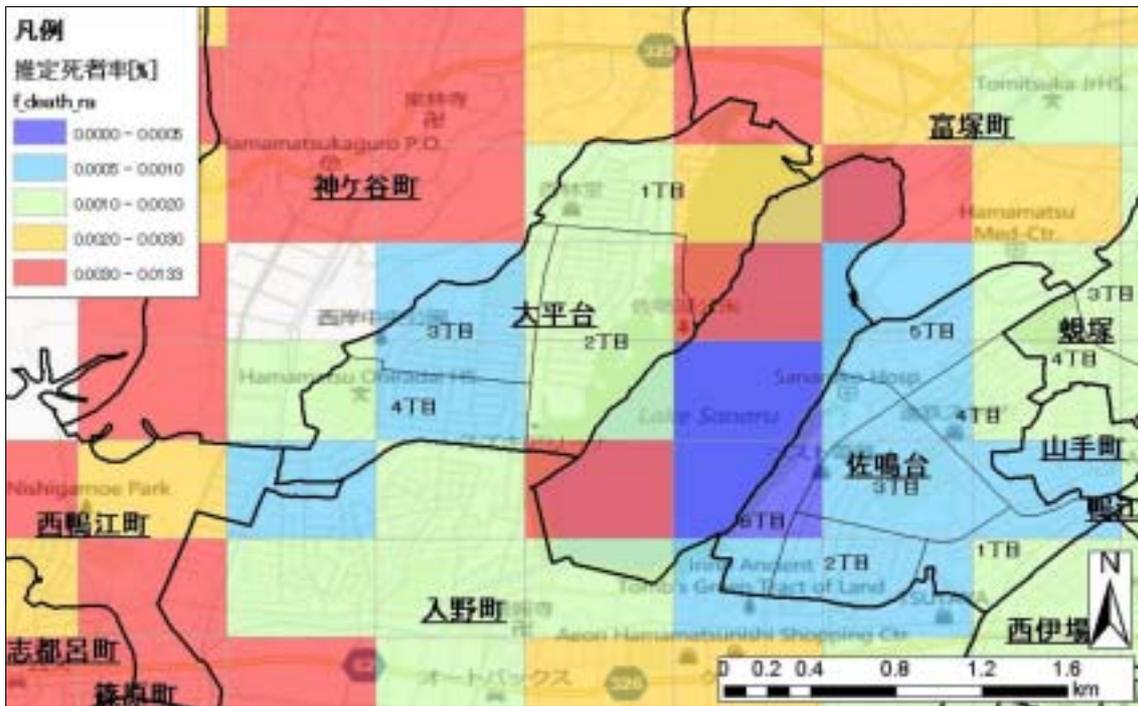


図 7.3.6 静岡県浜松市佐鳴湖周辺における大規模地震時の被害推定(4次メッシュ集計・50年超過確率2%の地震が冬期夕刻に発生した場合)

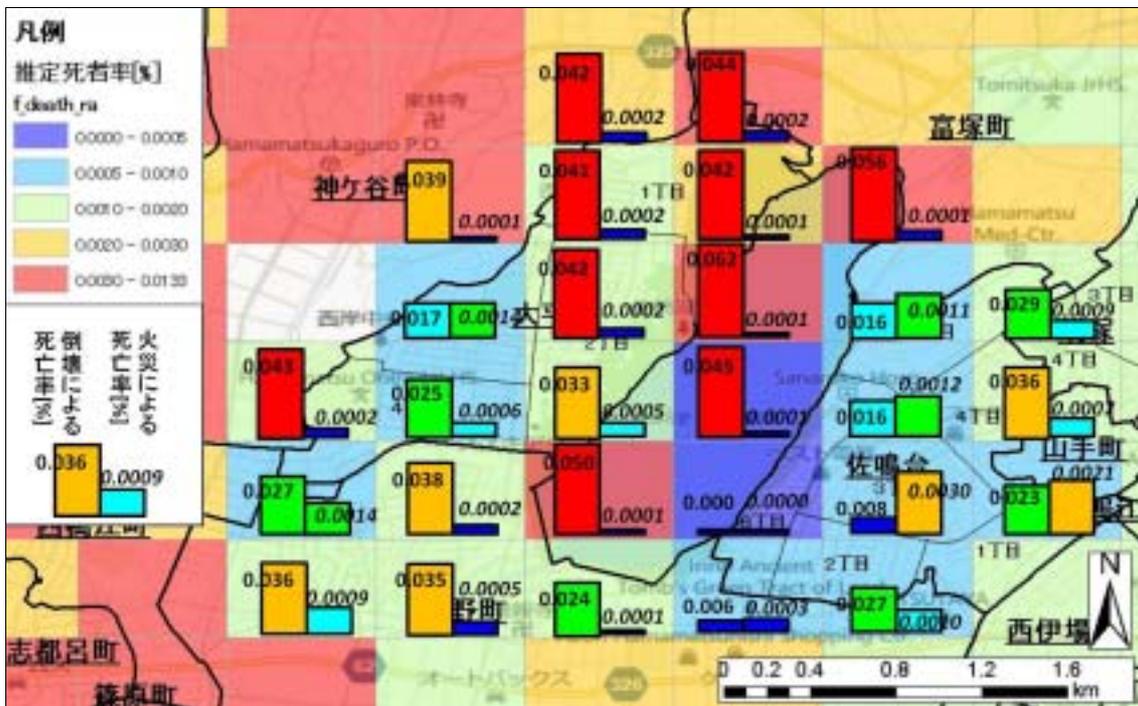


図 7.3.7 静岡県浜松市佐鳴湖周辺における倒壊による死者率(4次メッシュ集計・50年超過確率2%の地震が冬期夕刻に発生した場合)とメッシュ毎の倒壊及び火災による死者率

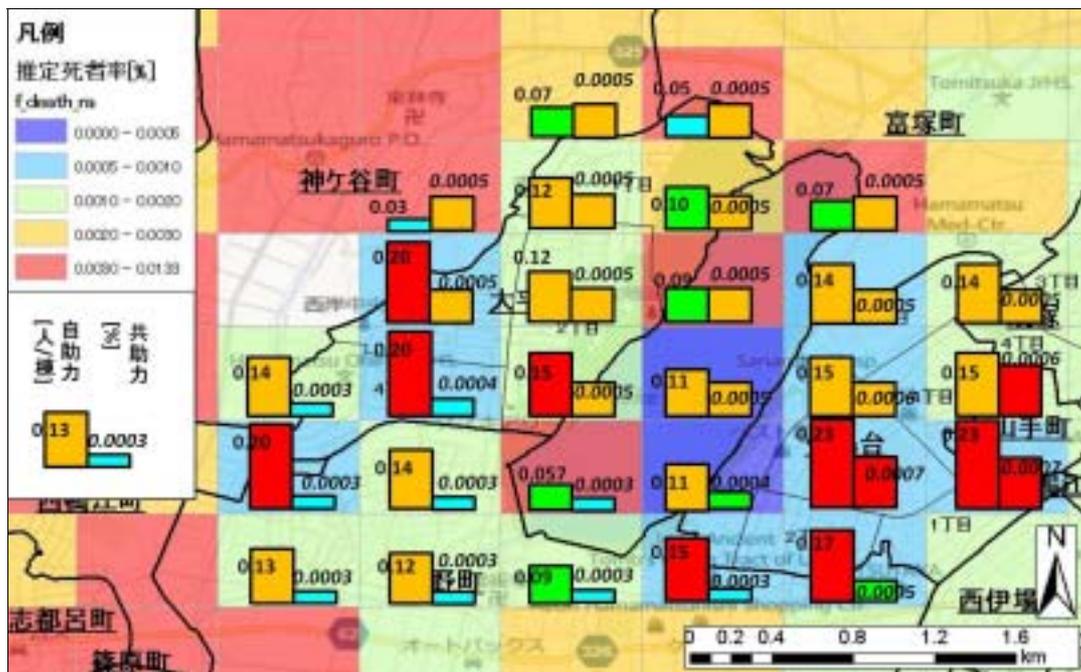


図 7.3.8 静岡県浜松市佐鳴湖周辺における倒壊による死者率（4次メッシュ集計・50年超過確率2%の地震が冬期夕刻に発生した場合）とメッシュ毎の共助力及び公助力

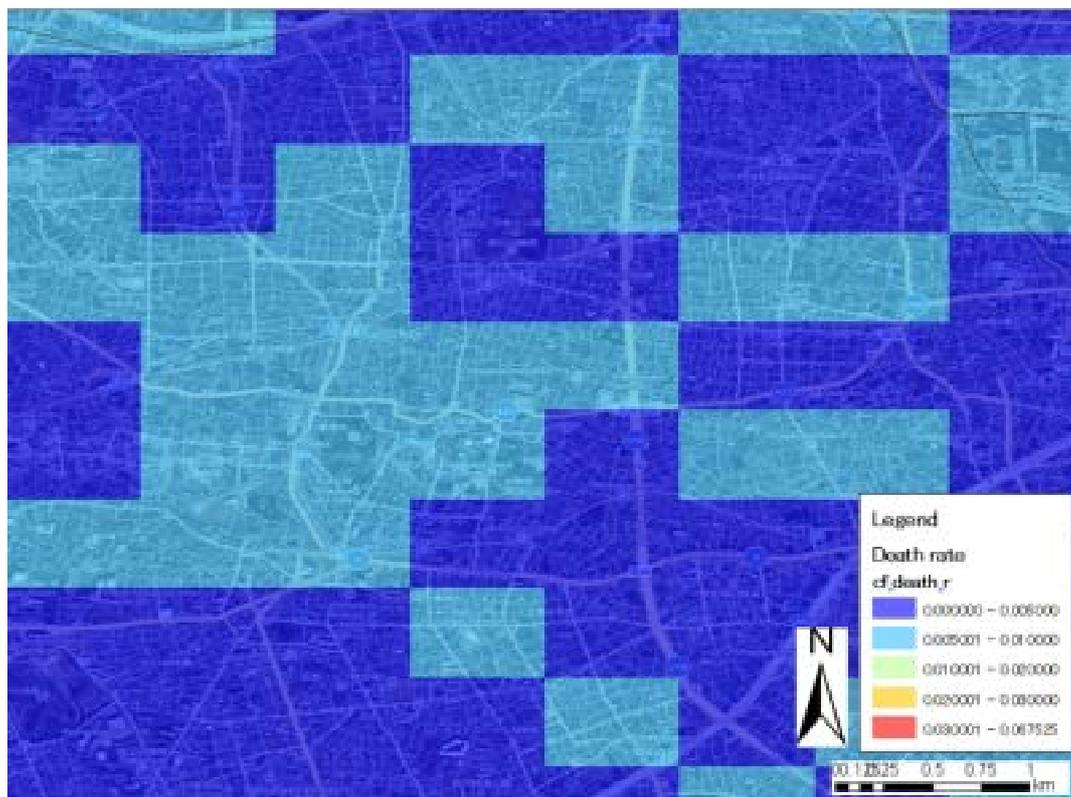


図 7.3.9 世田谷区北沢周辺における死者率（5次メッシュ集計・50年超過確率2%の地震が冬期夕刻に発生した場合）

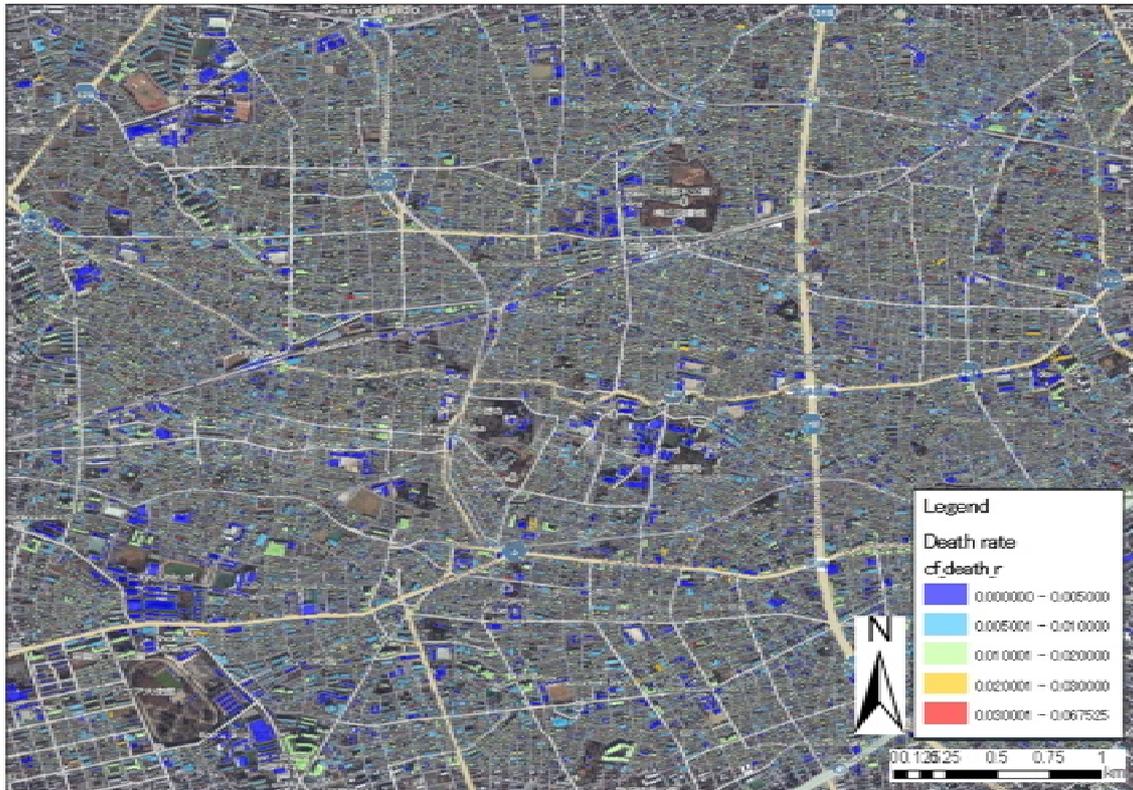


図 7.3.10 世田谷区北沢周辺における死者率（建物単位）

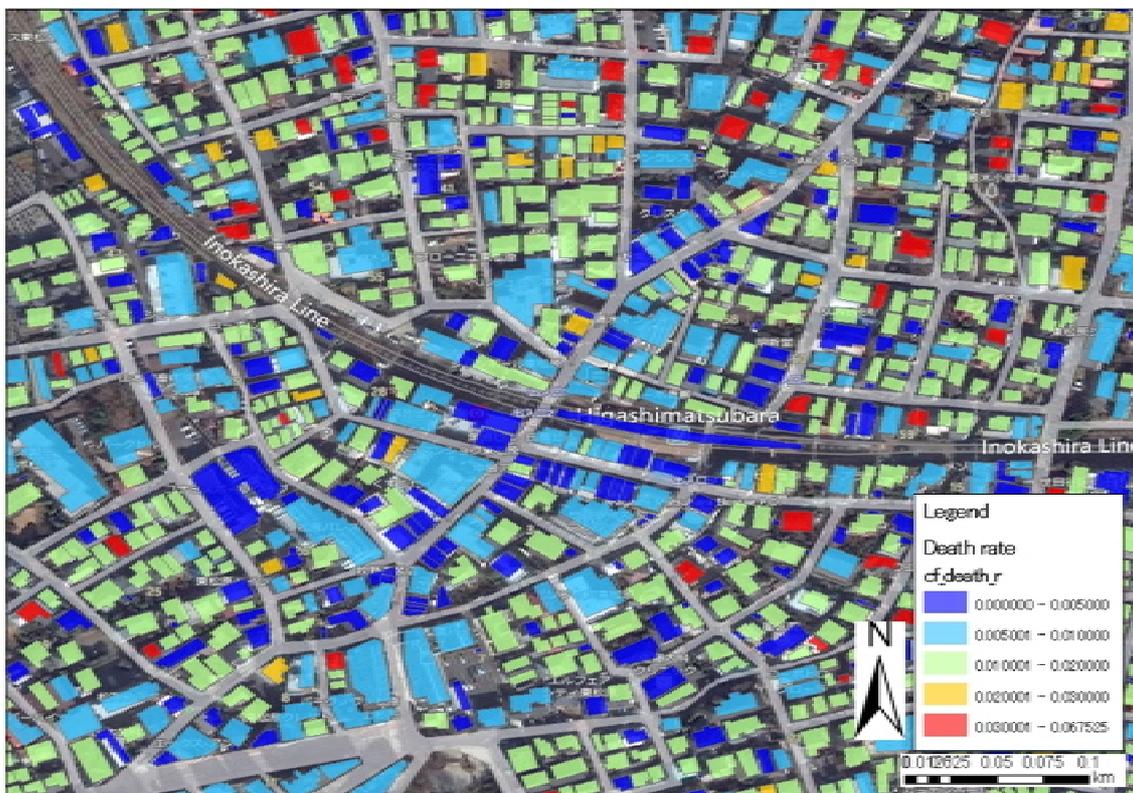


図 7.3.11 世田谷区東松原駅周辺における死者率（建物単位）

第8章 結論

8.1 結論

本研究では、大規模地震発生に伴う人的リスクを、各種統計情報やデジタル住宅地図等の大規模空間データ（マイクロジオデータ）を複合的に利用することで、地震災害に伴う倒壊・火災・津波の災害リスクと初期対応力を評価するための基盤データを整備した。またそれらを用いて任意の地震動入力に対する災害リスクと初期対応力を、任意の集計単位で定量的に評価する簡易的な手法を実現した。

任意の集計単位として本研究では全国を示す際には、地域メッシュ（第4次メッシュ（500m四方））を用いた。地域メッシュ単位で上記の評価を行うことで、同一の市区町村内でも災害リスクや初期対応力が場所によって大きく異なることが分かった。また建物単位で評価できることで、従来知り得なかった詳細なリスクを把握できるようになった。地域メッシュ単位では、安全と評価できるメッシュでも建物単位にすると、安全でないと評価できる建物が含まれていることが本研究によりわかるようになった。減災という概念は、災害時に伴う被害発生を前提としながら被害を軽減する被害想定を作成や地域防災組織の活性化など大きな被害が想定される場合に対する事前のソフト面での取り組みを意味する。そのため、住民レベルでのリスクコミュニケーションにより地域の危険地帯を把握することで災害発生時に危険な状態に置かれる高齢者・子供など災害弱者の存在つまりマイクロ人口統計を考慮した被害想定データを作成することは、地域コミュニティレベルで事前の備えを進め、防災計画を立てる上で非常に有用である。そのようにして減災に備えそれぞれの地域の問題を把握し、事前対策を立てるためには国や行政だけでなく、住民レベル、町内会などのコミュニティレベルでそれぞれの責務を果たす必要がある。地域で災害の被害を受ける様々な主体が協同しながら、地域レベルでガバナンスを形成し、リスクへの対策を話し合うことつまりリスクコミュニケーションを促進することが大切である。こうしたことが適切に行われることが、災害に強い社会のガバナンス構築につながるため、本研究データはこうした課題に対して有用なデータになりうるといえよう。

更に本研究では地震による建物倒壊、火災の被害を考慮すると共に、それらへの対処として初期対応力を考慮した総合的な地震災害評価が実現した。このような情報が

利用可能なため、地域ごとに現状では何が問題なのか、また今後どのような対策をするべきか、その検討を行う資料としても有意義であることが分かった。また公助である消防団の活動は、高齢化地域や過疎化地域などにおいては他の地域に比べて重要になるため、そうした地域で本研究のデータを活用することで災害発生時の出動体制についてのルール作りをすることが可能となる。例えば、東日本大震災では同じ市区町村内においても、被害の程度には大きな差があり、被害の小さい分団の投入が計画的に行われた場所があった。しかしながら市区町村を超えての対応は非常に限定されていた。本研究のデータであれば、建物スケールから都道府県スケール、さらには国土スケールまで把握できるため、都道府県消防協会レベルにおいて災害時の出動態勢についてのルール作りにも活用できるであろう。

日本全土を対象としたデータ整備と被害推定から、日本ではどの地域が危険な状態にあるのか、またそれは倒壊・火災の何れによるものなのか、という情報が日本全土で明らかになった。また初期対応力についても同様に日本全土で評価することが出来た。

今後この成果が適切に公開・共有されることで、自治体間や住民間のリスクコミュニケーションの促進が期待される。また真に危険度の高い地域が分かることで、住民の防災に対する意識の向上のみならず、危険度の高い地域の耐震化促進が期待される。

8.2 今後の展開と課題

本研究では震災に伴う倒壊・火災の災害リスクと初期対応力を評価するための基盤データの整備と、それを用いた簡易的な評価手法が実現した。しかし現状ではひとまず基盤となるデータの整備が日本全土で完了したに過ぎず、数多くの課題が残されている。以下にそれらの課題と今後の課題についてまとめる。

●結果の公開方法について

被害推定、初期対応力、推定死者率何れも建物1棟1棟単位で明らかに出来る。ただしこの結果はあくまでも推定値あり、建物1棟1棟で「確実に」当たるものではない。情報を提供する際には、信頼性を表示するなど、このような問題点を注意深く説明する必要がある。ただし、本来の目的は任意の集計単位で評価できるデータの開発することであり、地域メッシュや町丁目等、任意の集計単位で集計することで信頼性の高い結果を得ることである。この点については本研究の成果は概ね満足しているといえる。

では自治体や住民が議論していく上では、どのような集計単位での結果提供が望ましいだろうか。これは今後このデータを活用していく中で適切な集計方法及びその単位のあり方を議論していく必要があるだろう。また集計単位を変えることによって得られる結果の信頼性についても検討が必要である。一般的に集計単位が大きくなれば、真値との誤差も小さくなるものと考えられる。一方で集計単位を小さくすることで、誤差が大きくなる場合がある。どの程度のスケールの集計単位までなら、結果の信頼性が担保されるのか検討していく必要がある。同時に集計単位を小さくすることで発生すると予想される世帯や個人特定のリスクについても検討が必要である。

また集計データの元になっている建物単位の非集計データは、センシティブなデータであるため非集計データの流出、一人歩きが起こらないような管理が必要である。

●地域コミュニティ機能の定量化について

共助力（住民による倒壊建物からの救助期待人数）は、地域のコミュニティが健全に機能しているか否かによって、その力が地域によってかなり左右されるものと考えられる。この情報をいかに定量化して共助力の計算に盛り込むかは今後の課題である。例えば、日頃の避難訓練やハザードマップの作成の有無によって地域コミュニティを定量的に把握することでこうした課題を解決する必要がある。

●延焼率について

本研究では建物の火災リスクの評価を行う際、一律の延焼率を与えていた。しかし実際には周辺建物や防火帯等との関係や、気象条件、地形条件等によって延焼率は大きく変化する。即ち建物毎にその建物が分布している地域の地理的条件によって決定する最適な出火率を与えて計算を実施するべきであろう。建物単位の延焼有無、延焼率等に関する研究としては[3]加藤ほか（2006）の研究等があり、今後はこれらを参考に適切な延焼を与える方法を導入していく。

●冬期夕方以外の時間帯で発生する地震について

現状では住民が全員自宅にいることを想定し、地震発生は冬期の夕方のみとしている。それ以外の時間帯、特に住民が自宅にいない時間帯で被害推定を行うためには、昼間人口の推定分布データを整備する必要がある。これは商業統計、パーソントリップデータ、モバイル統計等を活用することで実現できる可能性がある。今後は時間帯別の推定分布データの開発方法についても行う予定である。

●終わりに

以上のように現状では、課題は残されているものの、日本全土で建物単位の将来発生しうる地震の被害とその対応力を評価出来るデータ基盤が整ったことは、広域災害に対して国土防災政策・国家戦略の立案に今後大いに貢献出来る可能性がある。本研究で整備したデータから得られる情報からは、防災に関する国土スケールから地域コミュニティスケールまでのすべての空間スケールの議論において様々な知見を得ることが出来る。

本研究で得られた情報の登場により、今後どの地域に対して具体的にどのような防災政策を講じていくべきか（耐震化，耐火性能向上，共助公助力の向上等），優先順位をつけて議論できる環境が実現した。これらを活用することでこれまで以上に東日本大震災のような国土スケールでの広域災害に迅速かつ効率的な災害対応力向上を図っていけるであろう。

また自治体間，住民間などの主体間におけるリスクコミュニケーションを今以上に促進するためには，本研究の成果を適切な形で公開していくべきである。ただし本研究で得られる成果はある種のセンシティブな情報であるため，これらをいかにして適切に発信・共有するべきか，またそのためにどのような情報の加工が必要になるのか，議論を進めて行くべきである。

獲得出来る情報量は非常に膨大かつ多様なため，それらを十分に解釈し活用していくことは困難であると予想される。そのため今後は前述したように本研究の成果を適切な形で公開していくとともに，任意の地震動等の情報を入力し，任意の集計単位で結果を得られるシステムを実現することも必要と考えられる。多くの研究者・有識者等に利用してもらうことで，本研究が更に発展していくものと期待される。

○参考文献

資料番号が入っているものは本文内で直接引用した文献である。資料番号は本文内での参照順である。また資料番号が入っていないものは本研究を推進する中で参考とした文献であり、日欧順に第一著者苗字の五十音順で並べてある。

論文

- [1] 中村仁・加藤孝明, 2011 年, 「地震災害における自治体間の相対的な地域災害対応力評価」, 地域安全学会論文集, 14, pp.47-55.
- [2] 秋山祐樹・仙石裕明・高田裕之・田村賢哉・柴崎亮介, 2011 年, 「日本全土の商業集積統計の開発に関する研究」, CSIS DAYS 2011 研究アブストラクト集, pp.22.
- [3] 加藤孝明・程洪・亜力坤玉素甫・山口亮・名取晶子, 2006 年, 「建物単体データを用いた全スケール対応・出火確率統合型の地震火災リスクの評価手法の構築」, 地域安全学会論文集, 8, pp.279-288.
- [4] 村尾修・山崎文雄, 2000 年, 「自治体の被害調査結果に基づく兵庫県南部地震の建物被害関数」, 日本建築学会構造系論文集, 527, pp.189-196.
- [5] 長尾拓真; 山崎文雄. 2007 年新潟県中越沖地震における柏崎市の建物被害分析. 地域安全学会論文集, 2011, 14: 249-254.
- [6] 秋山祐樹, 2012 年, 「マイクロジオデータの登場とマイクロジオデータ研究の最前線」, 日本地理学会発表要旨集(82), pp.43.
- [7] 秋山祐樹, 2010 年, 「都市空間の詳細時空間データセット開発と商業集積地域の時空間分析」, 東京大学大学院新領域創成科学研究科社会文化環境学専攻平成 22 年度博士論文
- [10] 秋山祐樹・仙石裕明・高田裕之・田村賢哉・柴崎亮介, 2011 年, 「日本全土の商業集積統計の開発に関する研究」, CSIS DAYS 2011 研究アブストラクト集, pp.22.
- [11] Akiyama, Y., Sengoku, H., Hiroyuki, T., and Shibasaki, R., 2011, "Development of Commercial Accumulation Polygon Data Throughout Japan Based on the Digital Classified Telephone Directory", CUPUM2011 (Computers in Urban Planning and Urban Management), F-TC-3(1).
- [13] 高阪宏行, 2011 年, 「国勢調査小地域統計による都市地域分類に関わる諸問題」, エストレーラ, 202, pp.2-9.
- [15] Akiyama, Y., Takada, H., and Shibasaki, R., 2013, "Development of Micro Population Census through Disaggregation of National Population Census", CUPUM2013, Unpublished. (2013/07/02 以降に発行予定)
- [17] 杉木直・宮本和明・北詰恵一, 2008 年, 「マイクロシミュレーション都市モデル

のための非集計世帯・人口データの作成に関する研究」, 土木計画学研究講演集, 37, 325.

[18] 花岡和聖, 2009年, 「動的な空間的マイクロシミュレーションモデルを用いた社会シミュレーション-京町家の取り壊し分析を事例に-」, 地学雑誌, 118(4), pp.646-664.

[20] Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D., and Vecchi, M. P., 1983, "Optimization by Simulated Annealing", *Science, New Series*, Vol. 220, No. 4598, pp.671-680.

[21] Kohn, S., Gottlieb, A., and Kohn, M., 1977, "A Generating Function Approach to the Traveling Salesman Problem", *ACM Annual Conference*, ACM Press, pp. 294-300.

[25] 高寄昇三, 1996年, 「復興事業と基本戦略」, 都市政策論集 17集, 勁草書房

[26] 河田恵昭, 1997年, 「大規模地震災害による人的被害の予測」, 自然災害科学, 16(1), pp.3-13.

浅見泰司, 1998年, 「国勢調査住宅関連統計のIPF法による度数分布表推計の精度: 東京大都市圏を例として」, 日本建築学会計画系論文集, 514, pp.185-189.

浅見泰司・木戸浩司, 1998年, 「国勢調査住宅関連統計のIPF法による度数分布表推計の精度」, 日本建築学会計画系論文集, 514, pp.185-189.

石澤公明, 2009年, 「防災力向上を目的とした地域間の住民連携に関する研究」, 日本建築学会東北支部研究報告集. 計画系, 72, pp.155-158.

稲垣誠一, 1986年, 「世帯情報解析モデルについて」, 日本アクチュアリー会会報, Vol.39, pp. 89 - 188.

大久保浩光, 2004年, 「地震時における建物被害評価手法 迫りくる大地震対策に向けて」, 中部電力株式会社技術開発ニュース, 106, pp.23-24.

梶谷義雄・岡田憲夫・多々納裕一, 2001年, 「災害復興過程における人間活動分布の時空間分析に関する研究」, 土木計画学研究講演集, 24(2), pp.953-956.

亀井千尋・花岡和聖・中谷友樹, 2009年, 「震災時の道路閉塞状況からみた文化財の危険度評価—建物の建築年代・建築構造に着目したシミュレーション—」, GIS—理論と応用, 17(1), pp.73-82.

熊谷兼太郎・小田勝也・片田敏孝・本間基寛, 2008年, 「津波リスクコミュニケーションの効果の測定方法及び測定事例」, 土木計画学研究・講演集, Vol.38, No.121.

杉木直・宮本和明・大谷紀子, 2010年, 「Varameth VICHENSAN: 総合的属性からなる世帯マイクロデータの推計方法」, 土木計画学研究・講演集, 42, CD-ROM.

鈴木進吾・林春男, 2008年, 「首都直下地震災害の曝露指標の算出とその地域的特性に関する研究」, 地域安全学会論文集, No.10, pp.97-104.

大門文男, 2001年, 「地震保険における地震被害予測と対策」, 地学雑誌, Vol.110, 6,

pp.971-979.

豊田早苗・糸井川栄一, 2008年, 「在宅状況が地震時の出火可能性に及ぼす影響に関する研究: 単身学生世帯における地震時出火確率算定の適用」, 地域安全学会論文集, 10, pp.583-590.

秦康範・目黒公郎, 2002年, 「電力供給量の変化に着目した建物被害評価に関する基礎研究」, 土木学会論文集, No.696, I-58, pp.185-196.

Ballas, D., and Clarke, G., 2000, "GIS and Microsimulation for Local Labourmarket Analysis", *Computers, Environment and Urban Systems*, 24, pp.305-330.

Ballas, D., Clarke, G., and Turton, I., 1999, "Exploring Microsimulation Methodologies for the Estimation of Household Attributes", Paper presented at the 4th International conference on GeoComputation.

Covello, V. T., 1992, "Risk Communication: An Emerging Area of Health Communication Research", In S. A. Deetz (Ed.), *Communication yearbook 15*, pp. 359-373.

Cumpston, J. R., 2010, "Alignment and Matching in Multi-purpose Household Microsimulations" *International Journal of Microsimulation*, 3(2), pp.34-45.

Eguchi, R. T., Goltz, J. D., Seligson, H. A., Flores, P. J., Blais, N. C., Heaton, T. H., and Bortugno, E., 1997, "Real-time Loss Estimation as an Emergency Response Decision Support System: the Early Post-earthquake Damage Assessment Tool (EPEDAT)." *Earthquake Spectra*, 13, 4, pp.815-833.

Heath, R. L., 1994, "Environmental Risk Communication: Cases and Practices Along the Texas Gulf Coast", In B. R. Burelson (Ed.), *Communication yearbook 18*, pp.225-277.

Ogawa, Y., Akiyama, Y. and Shibasaki, R., 2013, "Evaluation of Catastrophic Earthquake Damage throughout Japan using Estimated Micro Data", CUPUM2013 conference papers, 103.

書籍

[6] まつもとゆきひろ, 2009年, 「プログラミング言語 Ruby」, オライリージャパン

[16] Orcutt, G.H., 1961, "Microanalysis of Socioeconomic Systems, A Simulation Study", Harper and Brothers.

[]高寄昇三, 1996年, 「復興事業と基本戦略」, 都市政策論集 17 集, 勁草書房

朝日新聞社, 2011年, 「報道写真全記録 2011.3.11-4.11 東日本大震災」, 朝日新聞出版

- 阿部智子, 2012年, 「動物たちの3.11 被災地動物支援ドキュメンタリー」, エンターブレイン
- 石井光太, 2011年, 「遺体—震災, 津波の果てに」, 新潮社
- 稲垣誠一, 2007年, 「日本の将来社会・人口構造分析—マイクロ・シミュレーションモデル (INAHSIM) による推計」, 財団法人日本統計協会
- 下平英寿・久保川達也・竹内啓・伊藤秀一, 2004年, 「データ解析のための統計モデリング入門—一般化線形モデル・階層ベイズモデル・MCMC (確率と情報の科学)」, 岩波書店
- 辻真吾, 2010年, 「Python スタートブック」, 技術評論社
- 林春男・河田恵昭・大大特成果普及事業チーム 33, 2009年, 「巨大地震災害へのカウントダウン—東海・東南海・南海地震に向けた防災戦略—」, 東京法令出版
- 樋口知之, 2011年, 「予測にいかす統計モデリングの基本—ベイズ統計入門から応用まで」, 講談社
- 広瀬弘忠, 2004年, 「人はなぜ逃げおくれるのか—災害の心理学」, 集英社
- 平岡和幸・堀玄, 2009年, 「プログラミングのための確率統計」, オーム社
- 星野崇宏, 2009年, 「調査観察データの統計科学—因果推論・選択バイアス・データ融合 (シリーズ確率と情報の科学)」, 岩波書店
- 前田修吾・まつもとゆきひろ・やまだあきら・永井秀利, 2002年, 「Ruby アプリケーションプログラミング」, オーム社
- 吉原直樹, 2012年, 「防災の社会学—防災コミュニティの社会設計に向けて (シリーズ・防災を考える)」, 東信堂
- Allen. D. W., 2011年, 「Getting to Know ArcGIS Modelbuilder」, Esri Pr; Pap/Dvdr 版
- Conway. D., and White. J. M., 2012年, 「入門 機械学習」, オライリージャパン
- ESRI ジャパン株式会社, 2011年, 「ArcGIS Desktop 逆引きガイド (バージョン 10 対応)」, ESRI ジャパン
- TBC 東北放送, 2011年, 「東日本大震災の記録—3.11 宮城」, 竹書房
- Thomas. D., with Fowler. C., and Hun. A., 2010年, 「プログラミング Ruby 1.9 — 言語編—」, オーム社

資料

- [14] 秋山祐樹, 2012年, 「住宅地図を用いた国勢調査の非集計化データの開発と活用」, 研究集会「官庁統計データの公開における諸問題の研究と他分野への応用」講演資料 (<http://shiba.iis.u-tokyo.ac.jp/member/akiyama/paper/2012/tokei20121026.pdf>)
- [22] 全国消防組織研究会, 2011年, 「全国消防便覧 平成 24 年度版」

- [23] 総務省消防庁，2004年，「消防力の整備指針に関する答申（平成16年12月28日消防審議会）」
- [24] 中央防災会議，2012年，「南海トラフの巨大地震 建物被害・人的被害の被害想定項目及び手法の概要」
- [25] 総務省消防庁，2007年，「平成19年版消防白書」
- [27] 東京消防庁，2005年，「東京都第16期火災予防審議会答申 地震時における人口密集地域の災害危機要因の解明と消防対策について」
- [28] 愛知県，2003年，「愛知県被害想定資料2003」
- [29] 損害保険料率算定協会，1998年，「地震調査研究46」
- 川崎市，2011年，「川崎市地震被害想定調査報告書」
- 杉木直，2009年，「世帯空間分布予測 マイクロシミュレーションにおける基準年データの推計」，計画交通研究会：都市モデルを用いた都市・交通政策評価に関する研究会 講演資料
- 中央防災会議，2008年，「中部圏・近畿圏の内陸地震に係る被害想定手法について」，中央防災会議「東南海，南海地震等に関する専門調査会」（第31回）
- 東京消防庁，2011年，「自主防災組織の手引きーコミュニティと安心・安全なまちづくりー」
- 福島孝治，2003年，「モンテカルロ法の前線ーサイコロを振って積分する方法ー」，若手研究者・学生向けに最新技術をわかりやすく紹介する講演会 講演資料
- 山梨県，2009年，山梨県東海地震被害想定調査
- 横浜市，2012年，「横浜市消防力の整備指針」

ウェブページ

（URLは2013年3月8日現在に確認）

- [8] 国土交通省 土地総合情報ライブラリー「土地所有・利用の概況 ○平成21年度集計結果，都道府県別，可住地面積」
http://tochi.mlit.go.jp/syoyuu/H21/H21_tbindex.htm#p1-5
- [9] 地震調査研究推進本部 (http://www.jishin.go.jp/main/p_hyoka04.htm)
- [12] せたがや i-map (<http://www.sonicweb-asp.jp/setagaya/>)
- [19] 国土数値情報 人口集中地区データ
<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/jpgis/datalist/KsjTmplt-A16.html>

○資料

資料一覧

資料 1：地震時の住民及び消防による初期対応力評価（共助・公助）

資料 2：地震による倒壊・火災による死者率（4 次メッシュ集計・50 年超過確率 2%の地震が冬期夕刻に発生した場合）

資料 3：地震による倒壊・火災による死者率（4 次メッシュ集計・50 年超過確率 39%の地震が冬期夕刻に発生した場合）

資料 4：倒壊・火災リスクを複合して評価した死者率（4 次メッシュ集計・50 年超過確率 2%の地震が冬期夕刻に発生した場合）

資料 5：倒壊・火災リスクを複合して評価した死者率（4 次メッシュ集計・50 年超過確率 39%の地震が冬期夕刻に発生した場合）

資料 6：大規模地震時の初期対応力（4 次メッシュ集計）

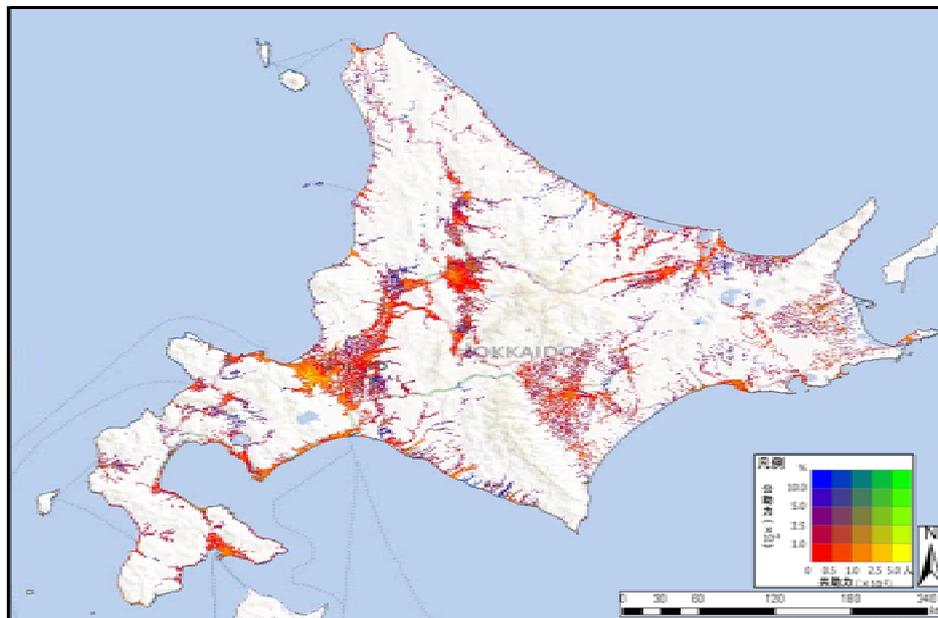
資料 7：被害推定（4 次メッシュ集計・50 年超過確率 2%の地震が冬期夕刻に発生した場合）

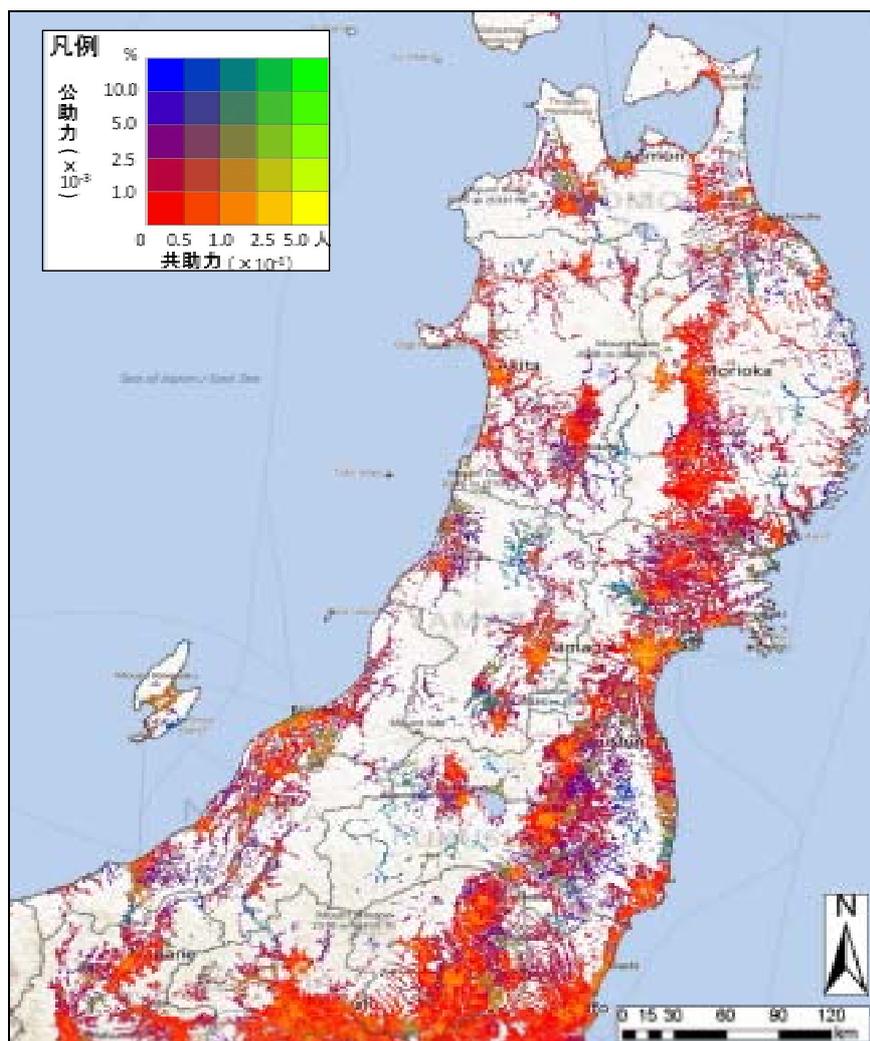
資料 8：被害推定（4 次メッシュ集計・50 年超過確率 39%の地震が冬期夕刻に発生した場合）

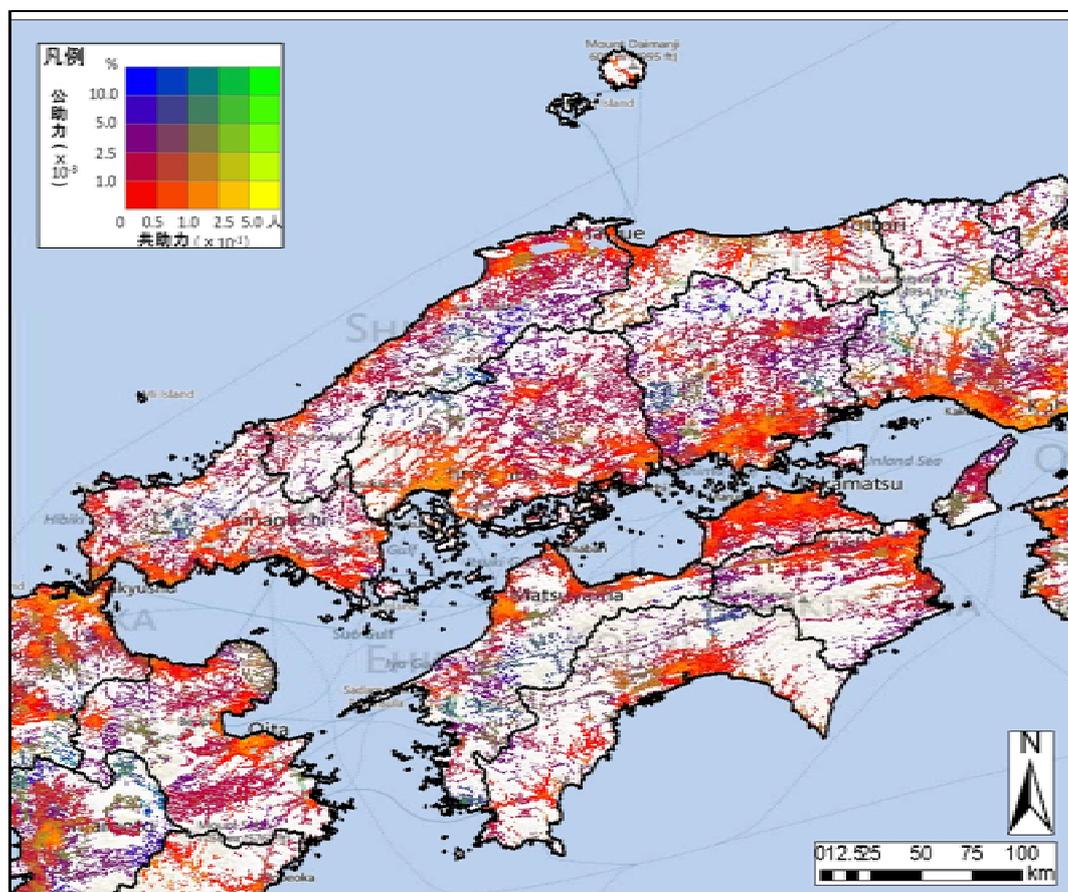
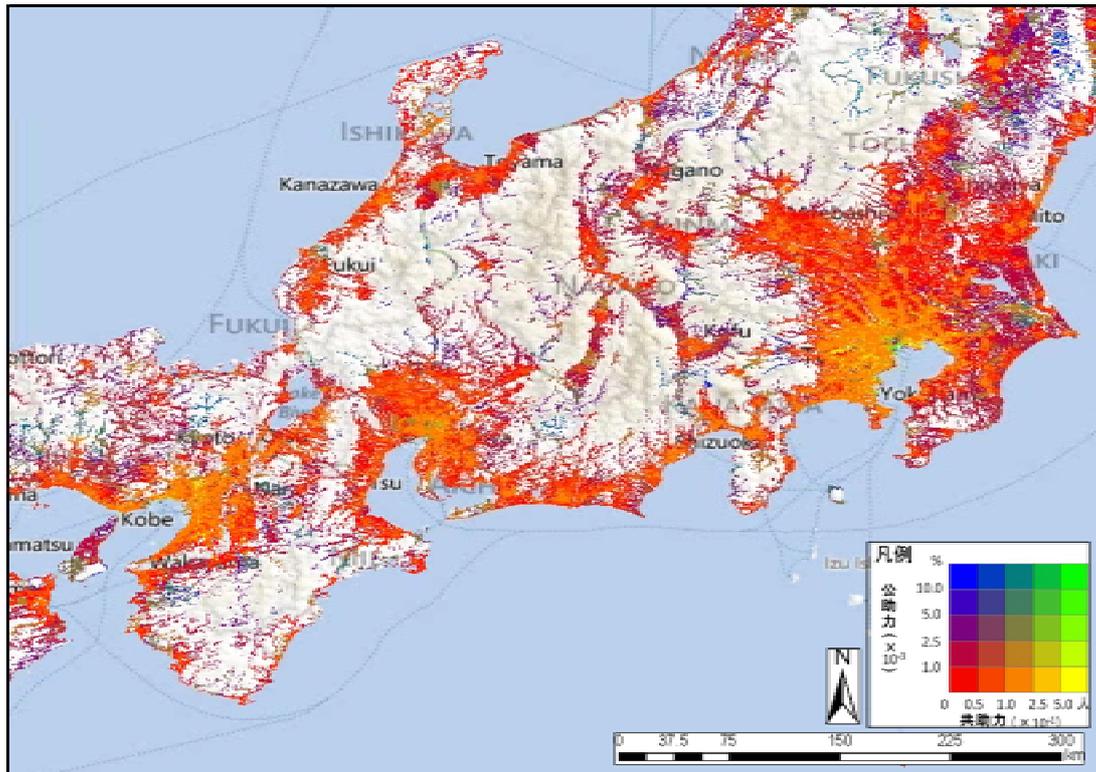
何れの資料も以下の地方を拡大した結果を示す（以下の順で掲載）。

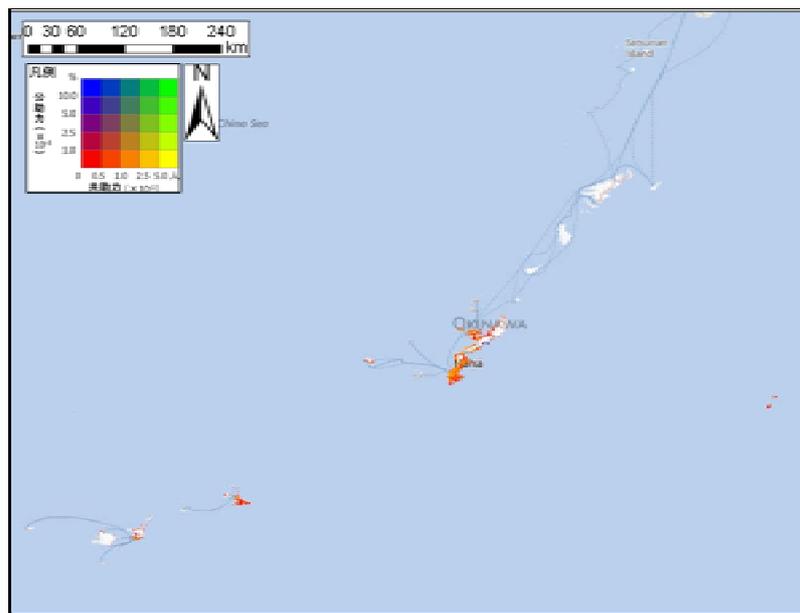
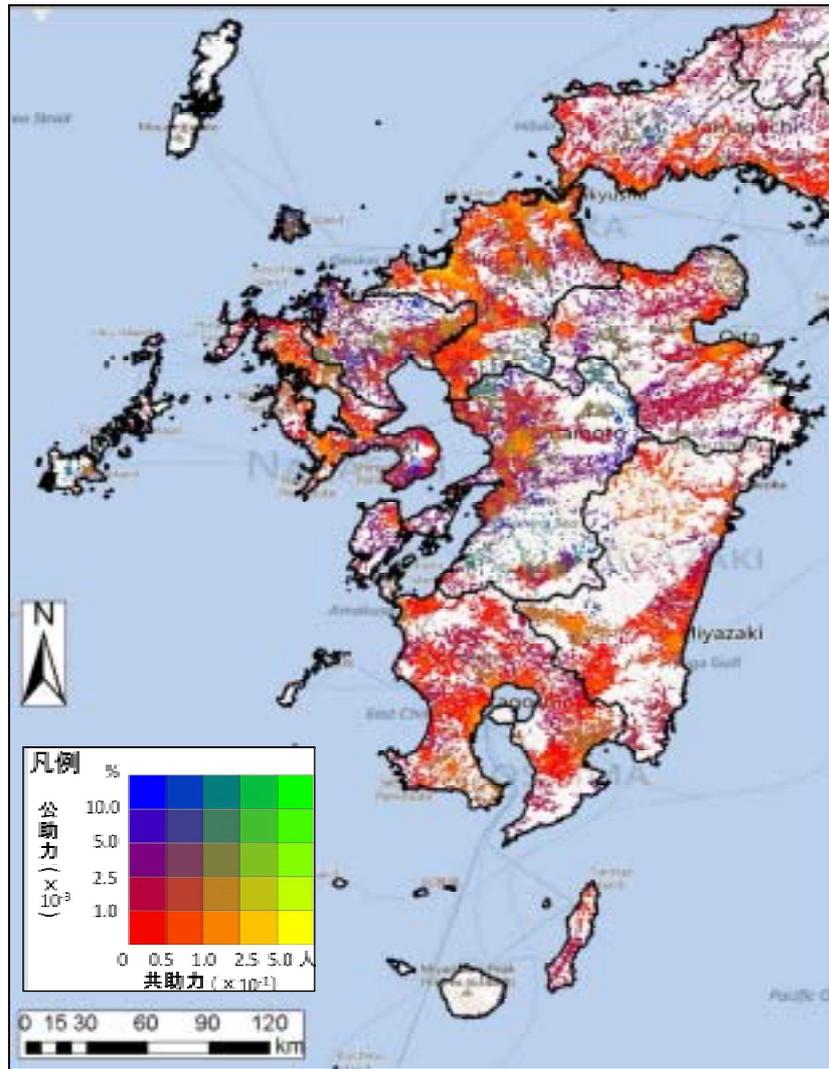
- ・北海道地方
- ・東北地方
- ・関東中部近畿地方
- ・中国四国地方
- ・九州地方
- ・沖縄地方
- ・札幌市周辺
- ・仙台市周辺
- ・東京 23 区周辺
- ・名古屋市周辺
- ・大阪市周辺
- ・福岡市周辺

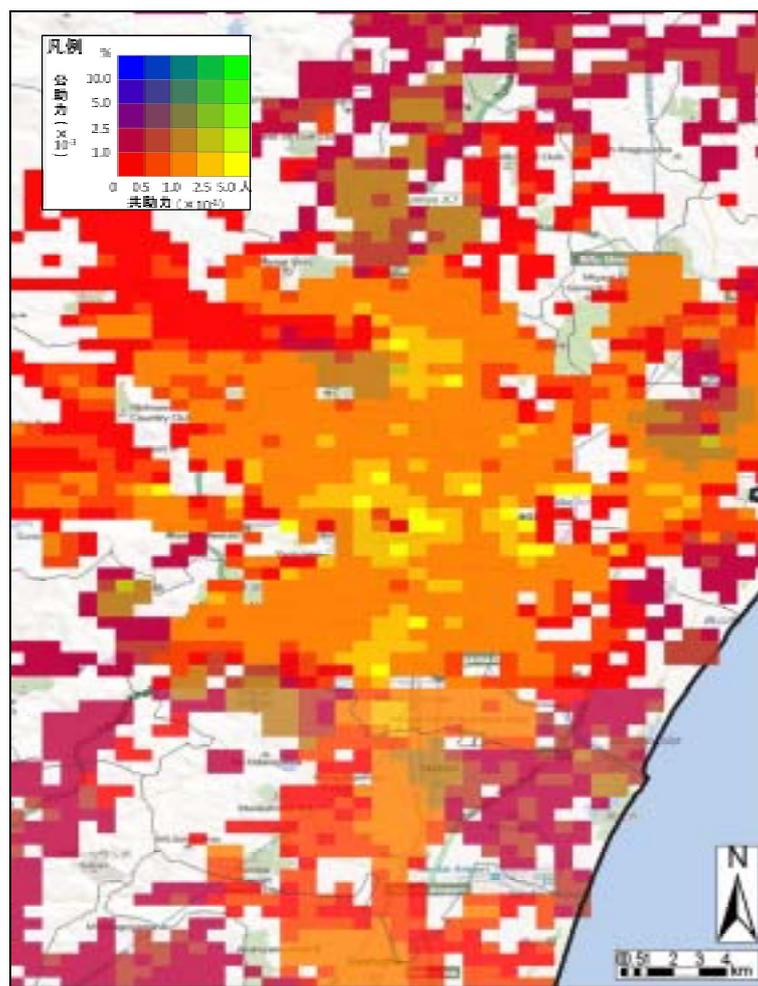
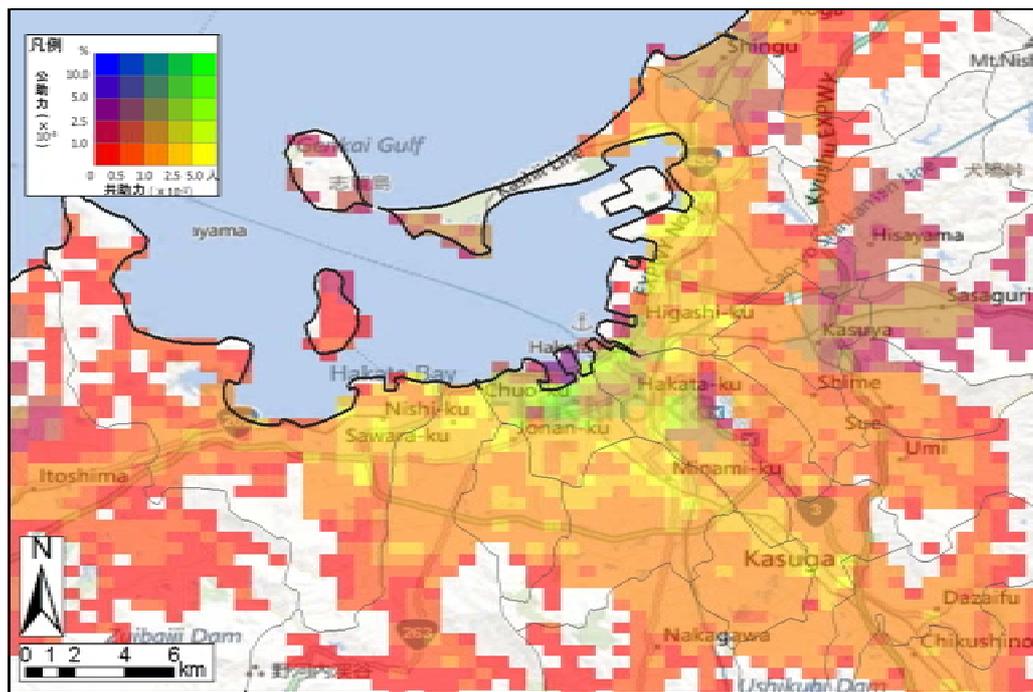
資料 1：地震時の住民及び消防による初期対応力評価（共助・公助）

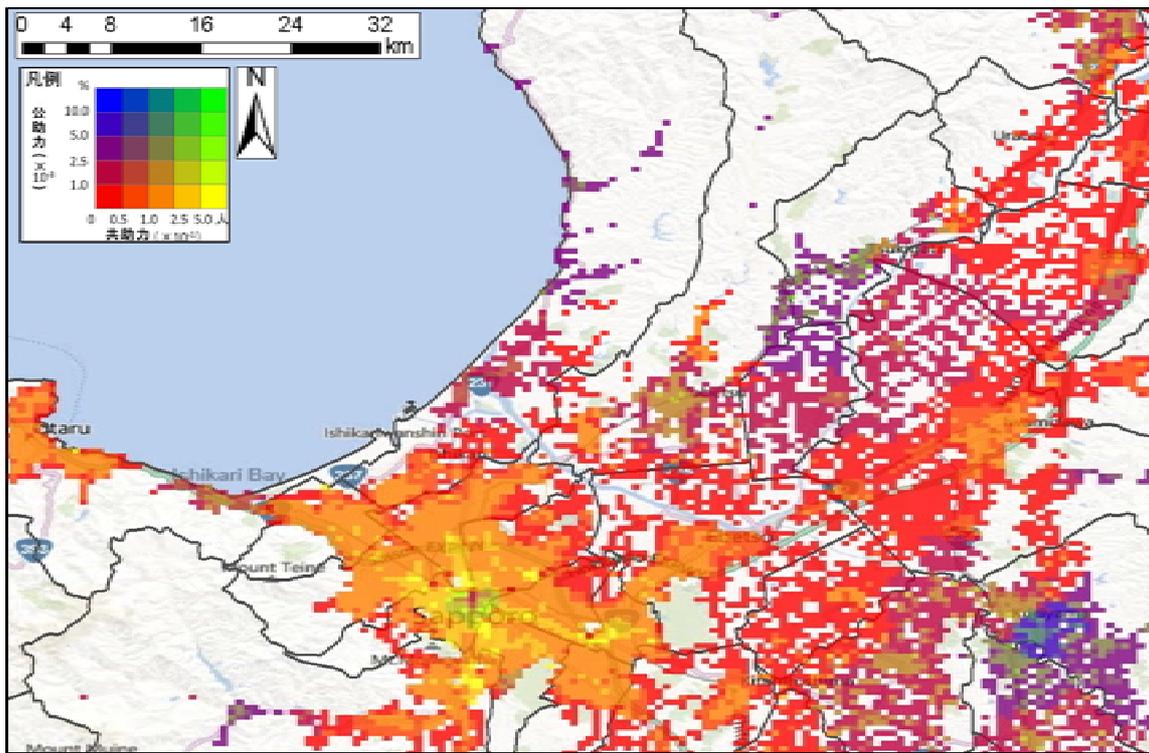
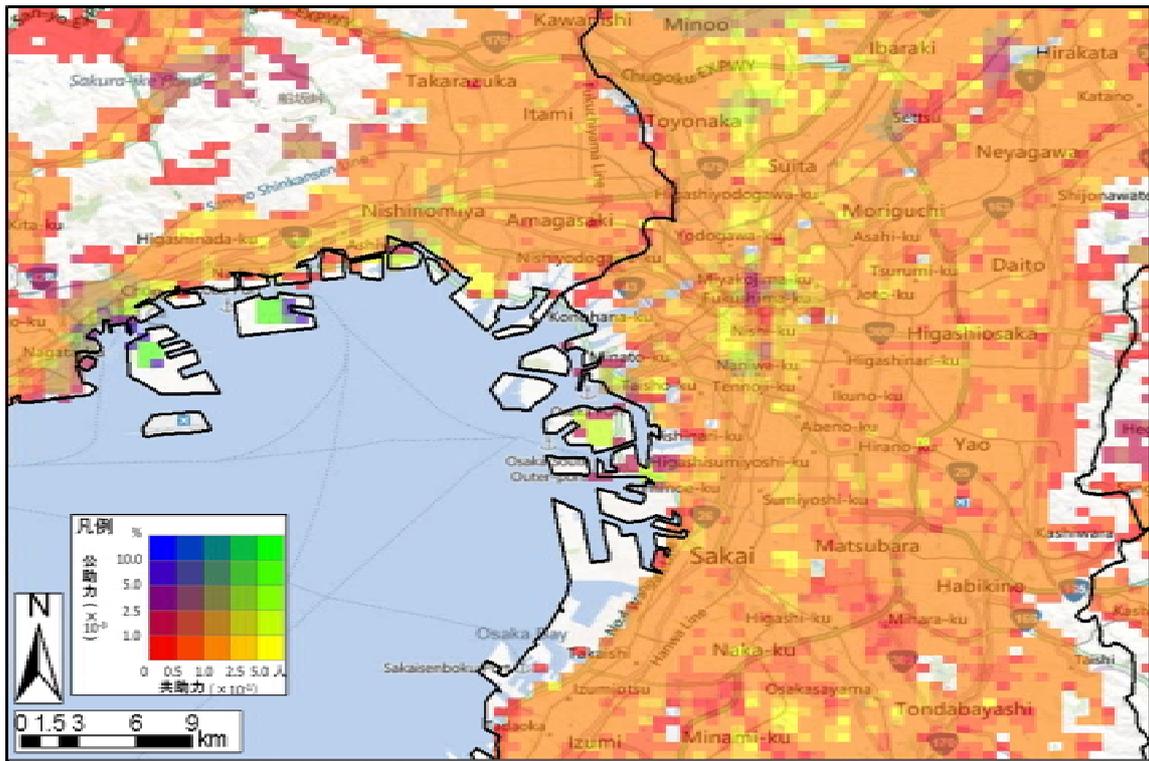




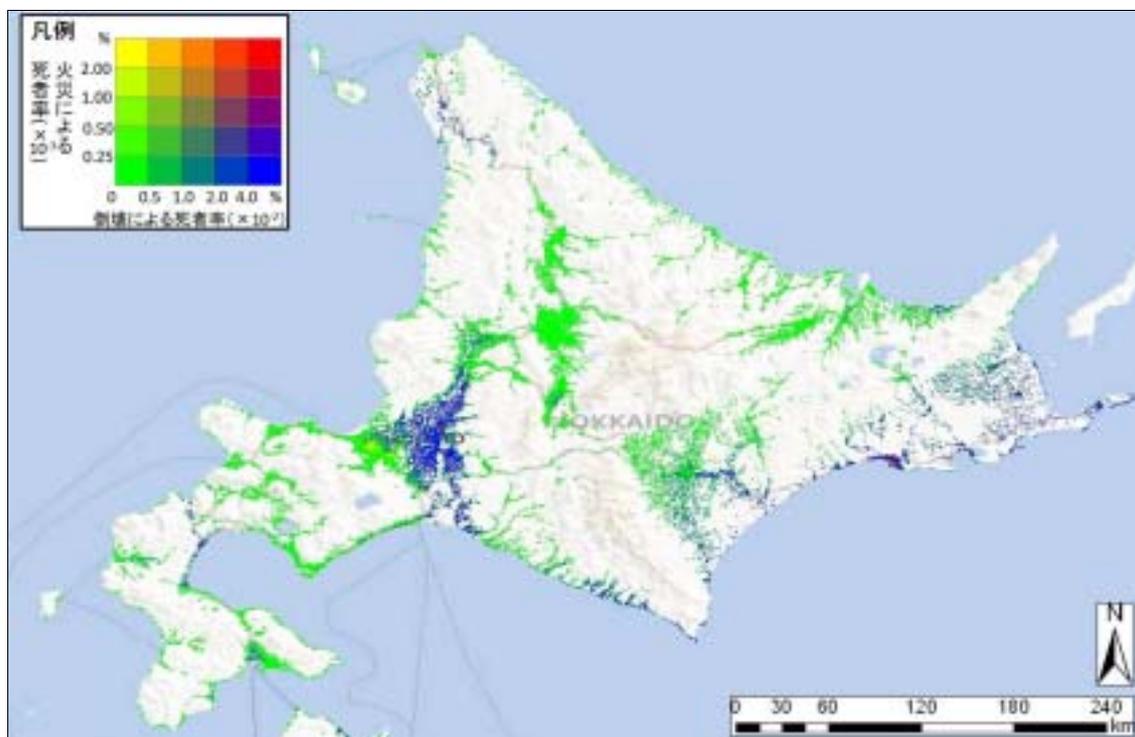


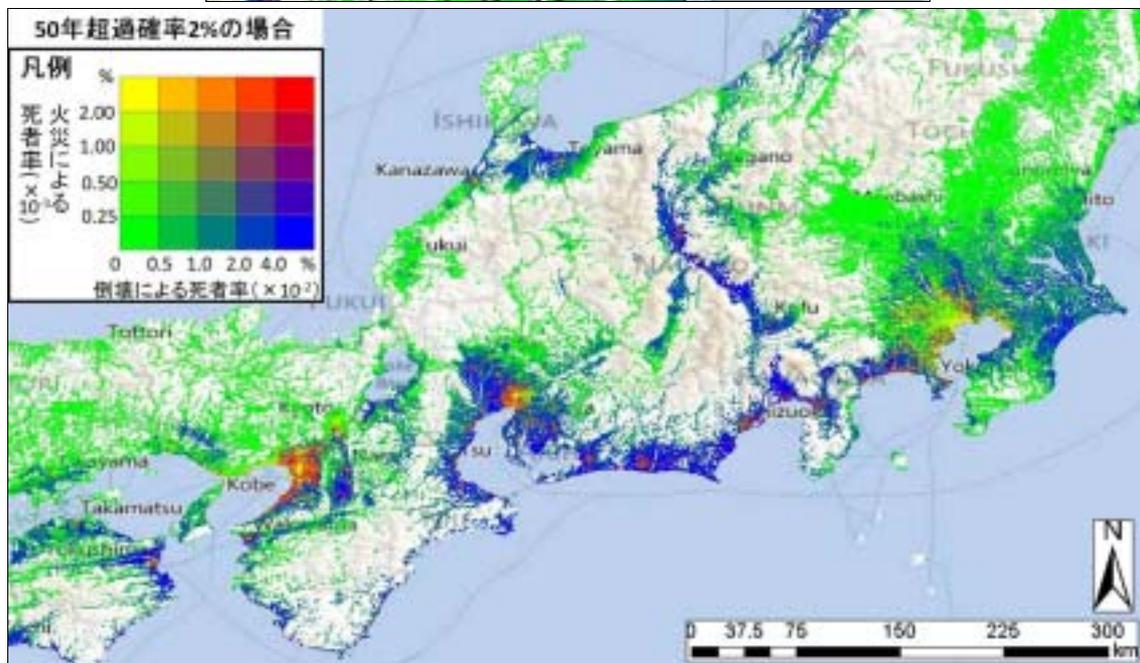
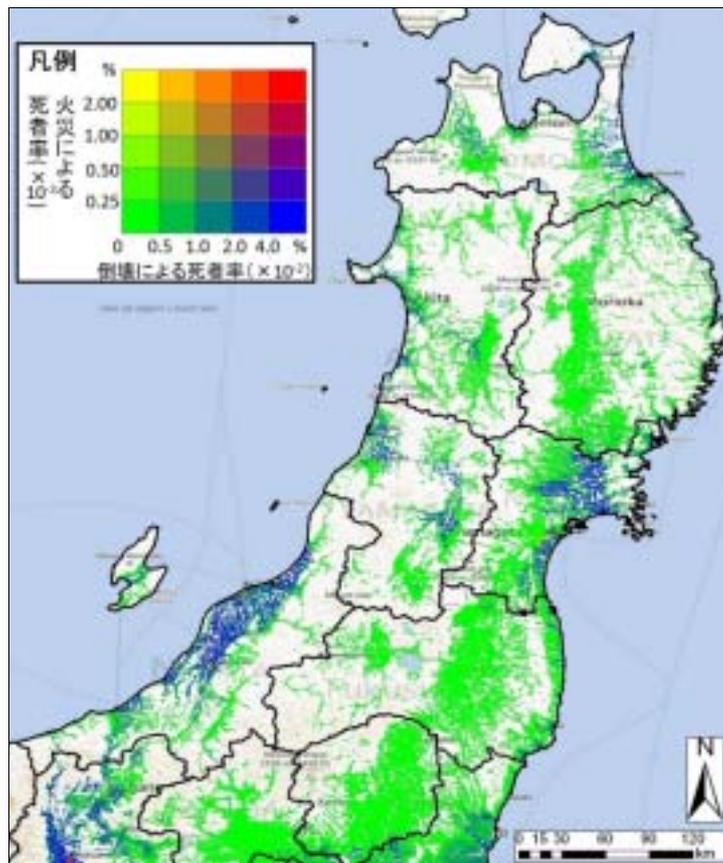


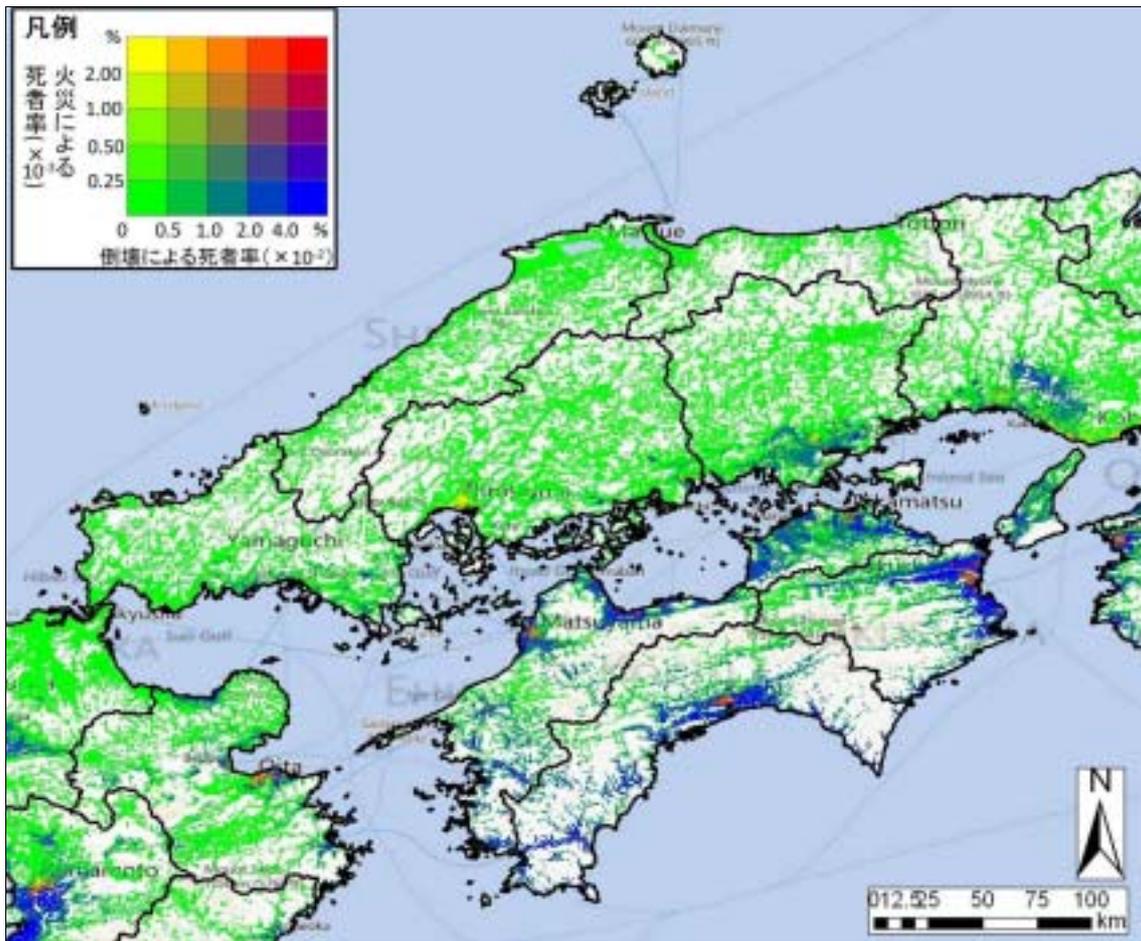


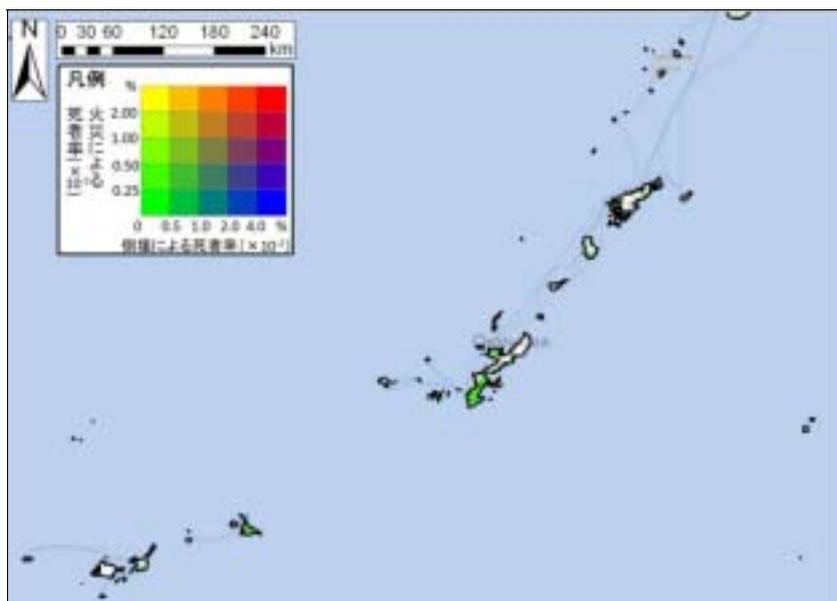
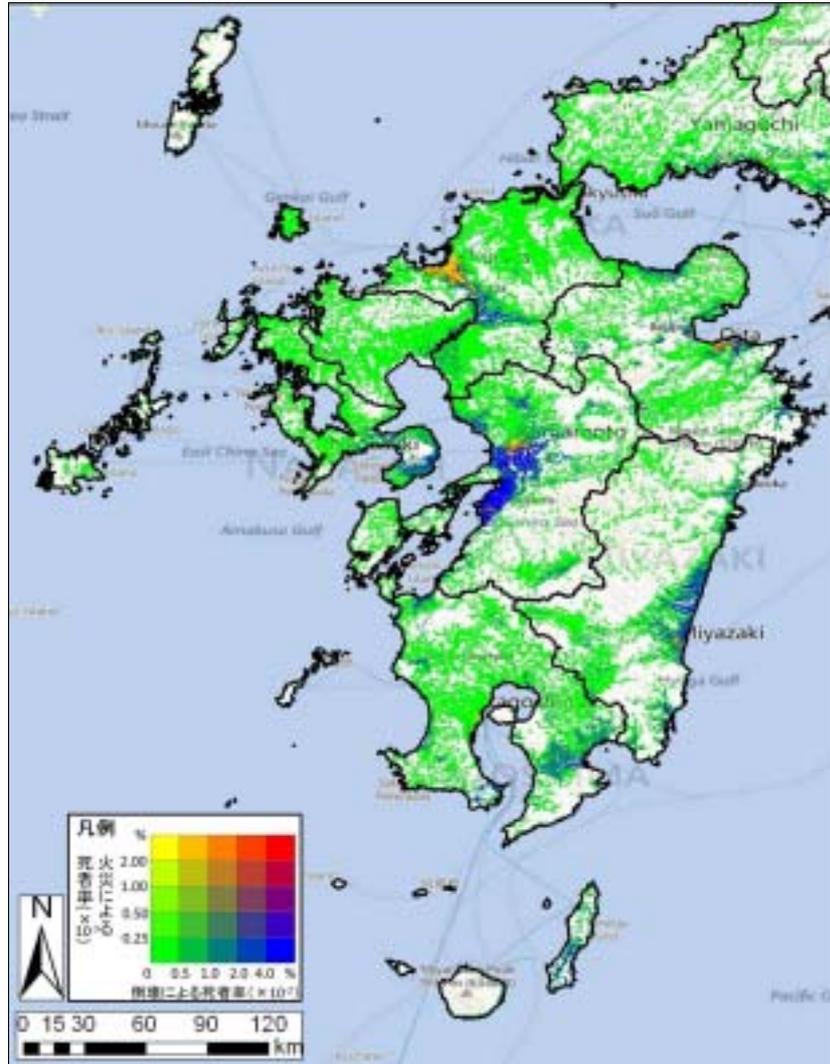


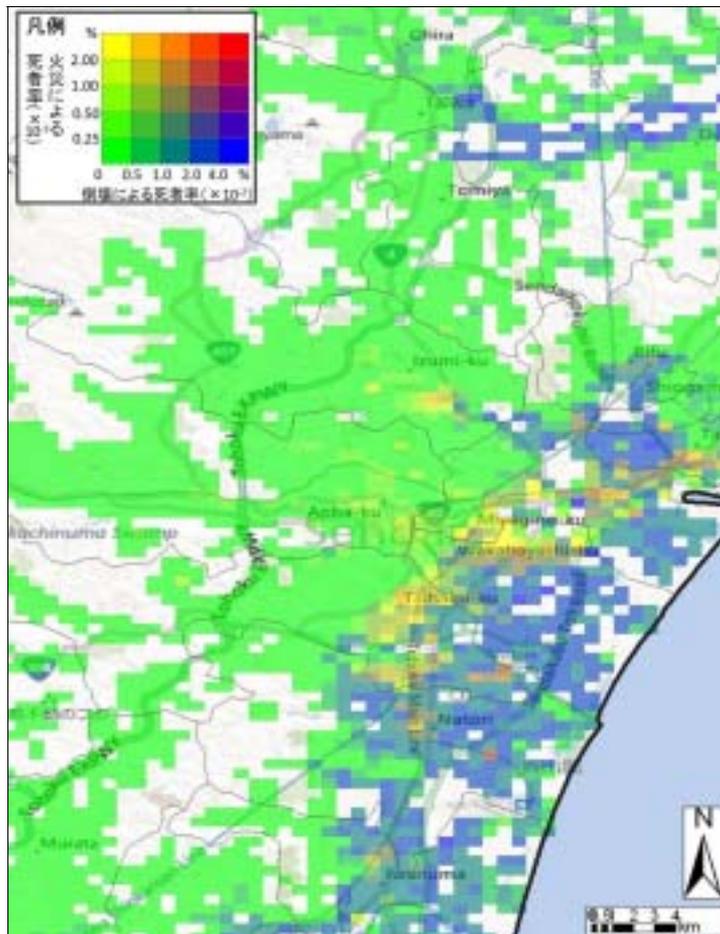
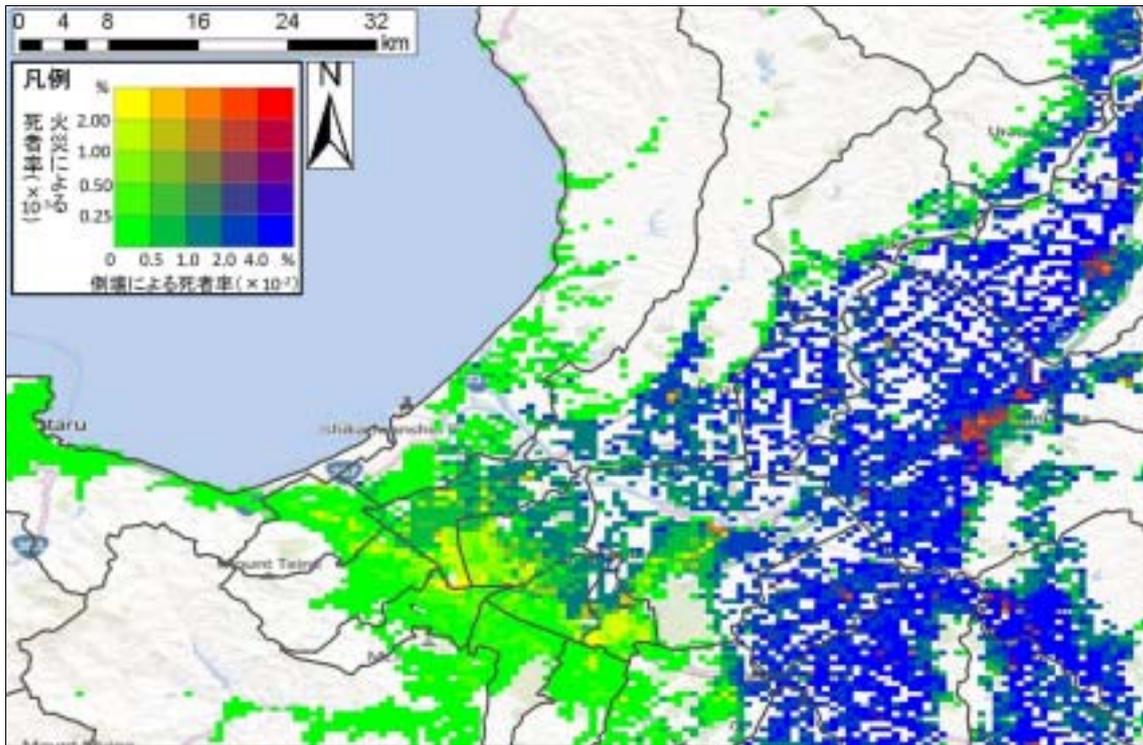
資料 2：地震による倒壊・火災による死者率（4次メッシュ集計・50年超過確率2%の地震が冬期夕刻に発生した場合）

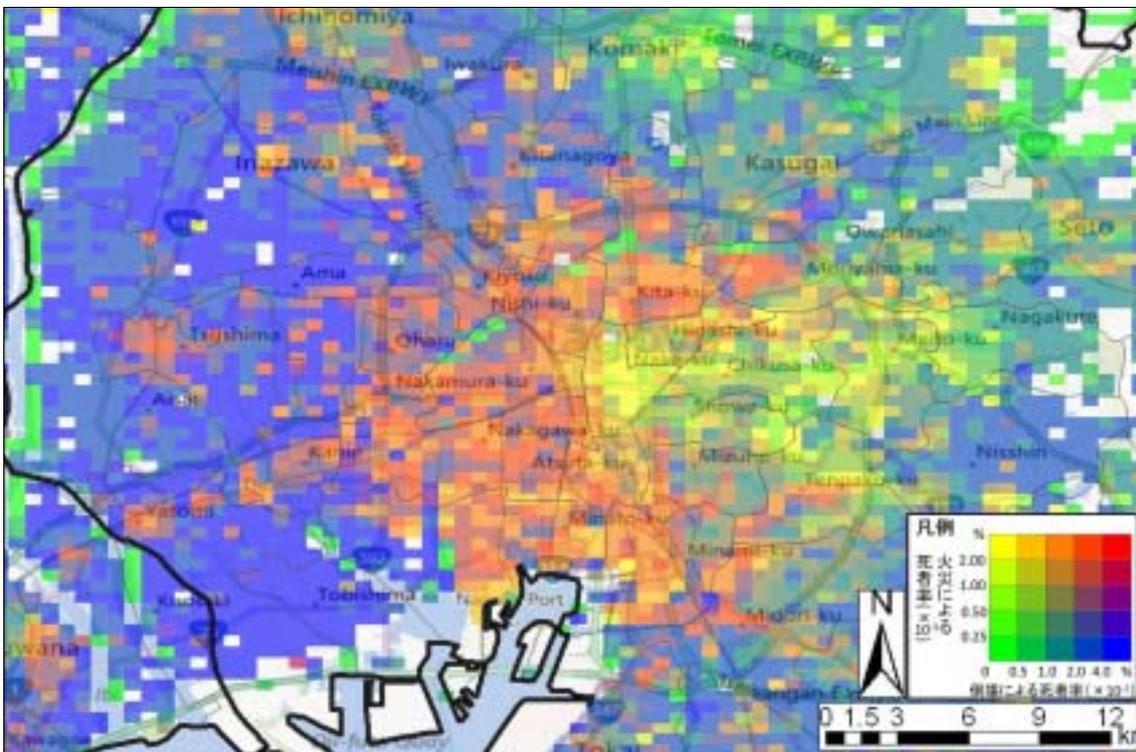
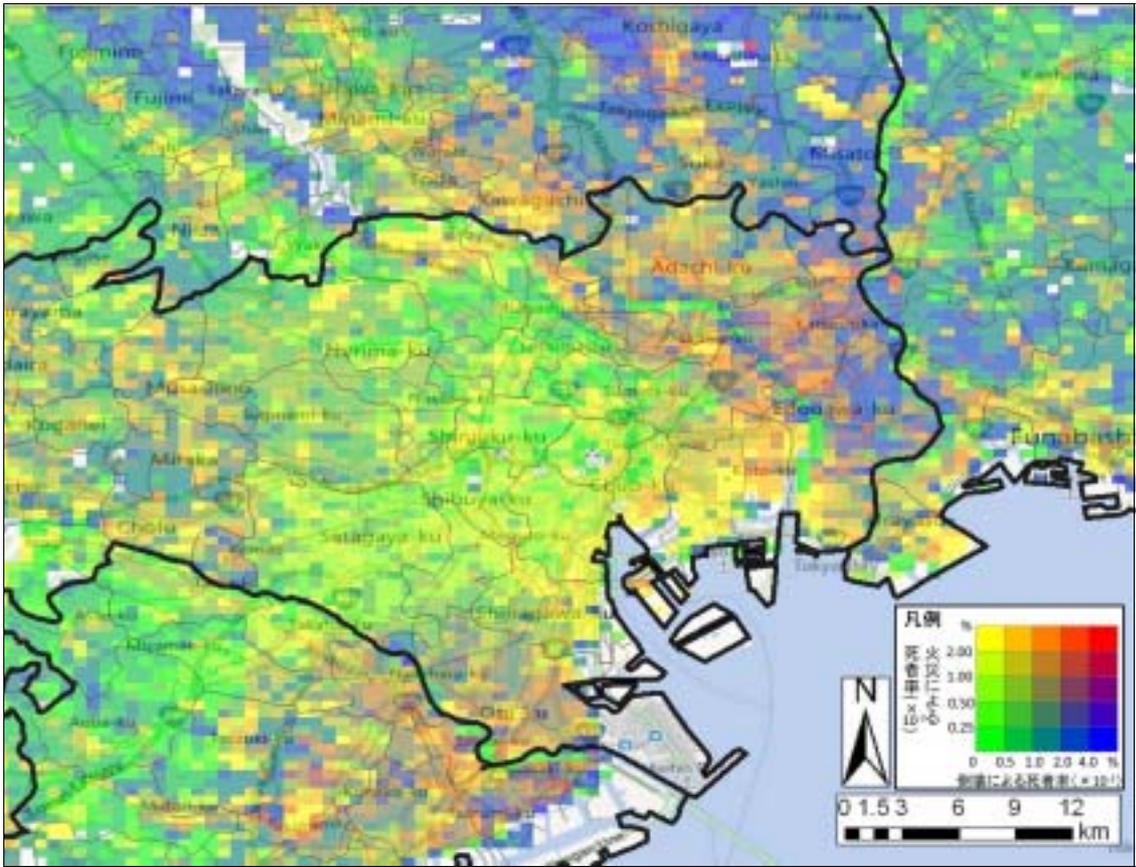


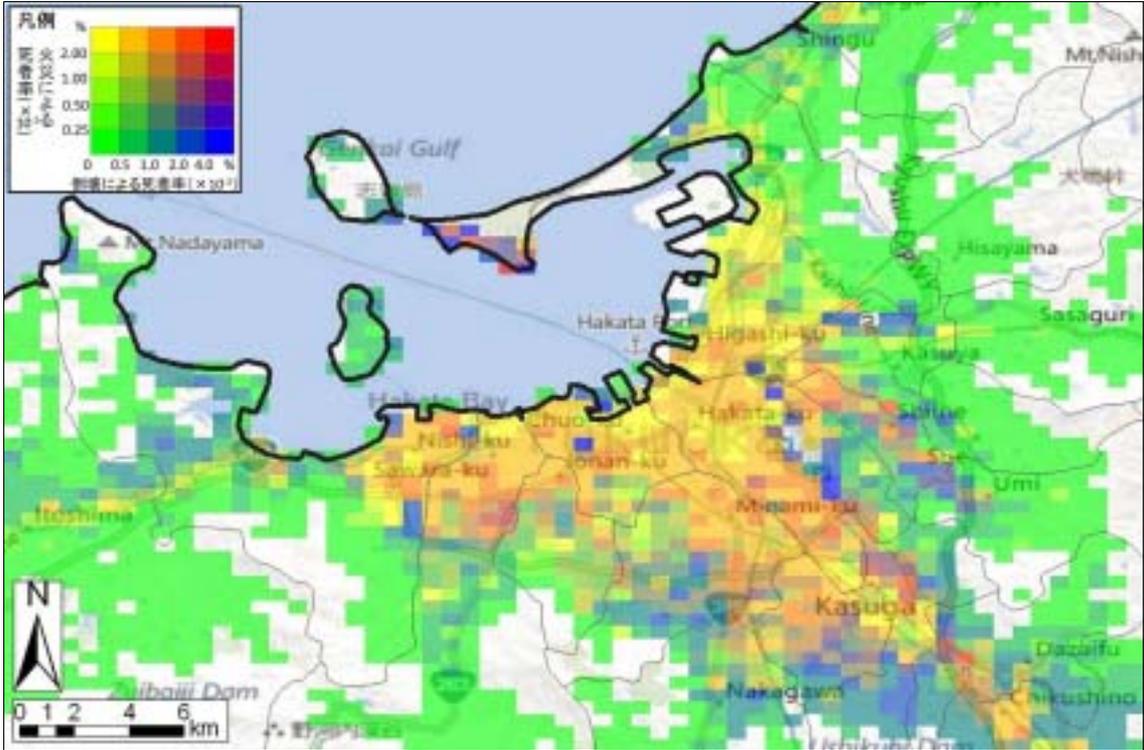
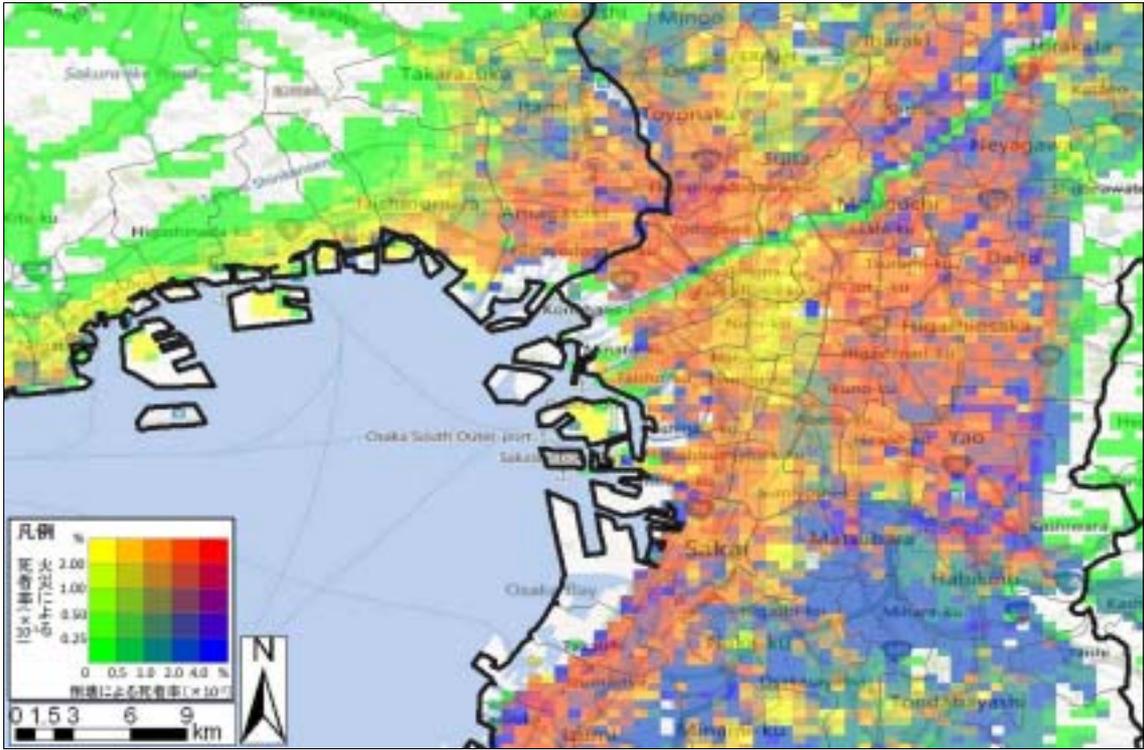


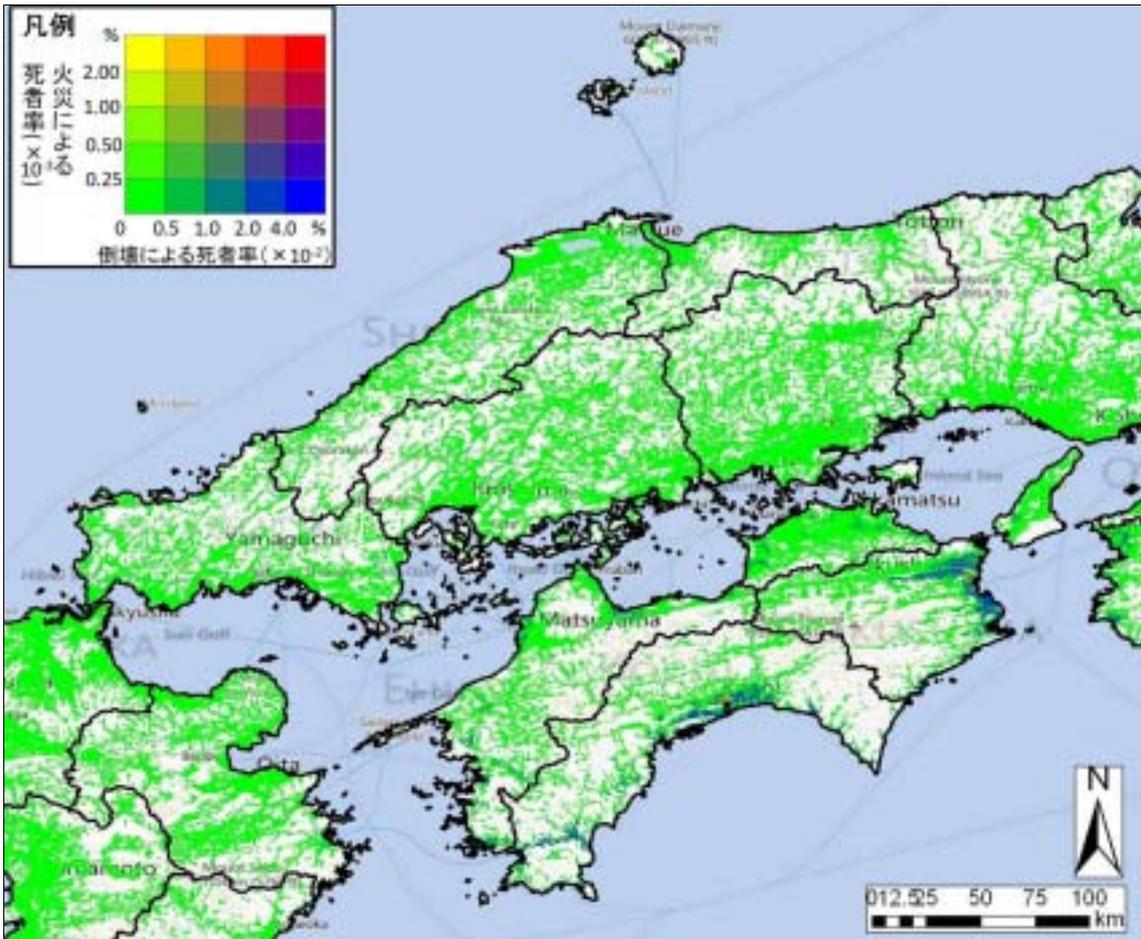
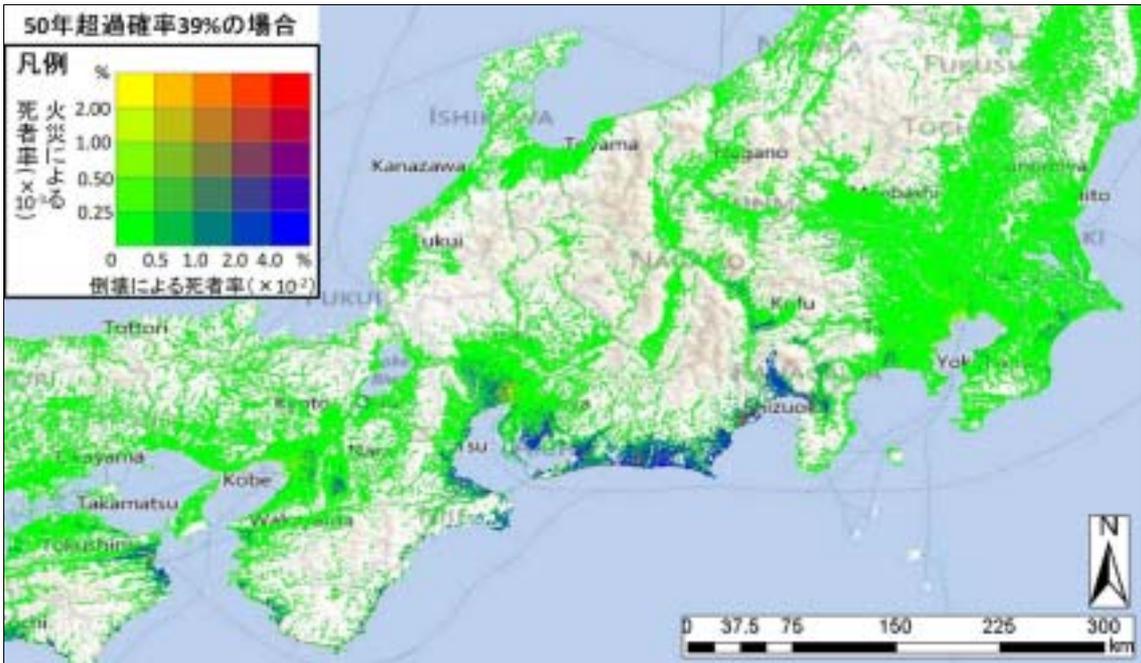


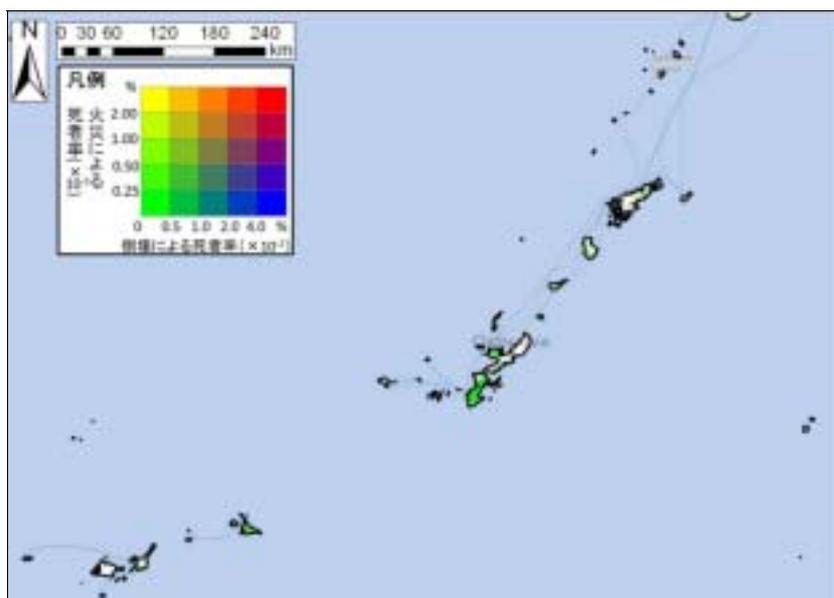
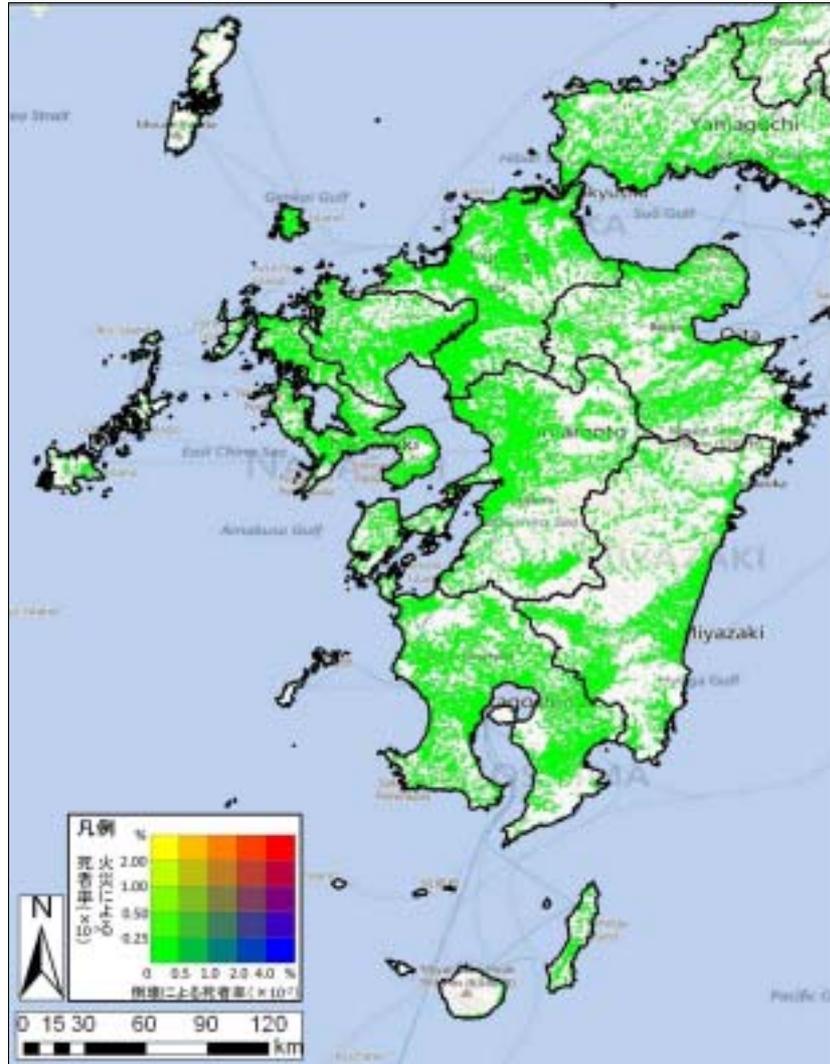


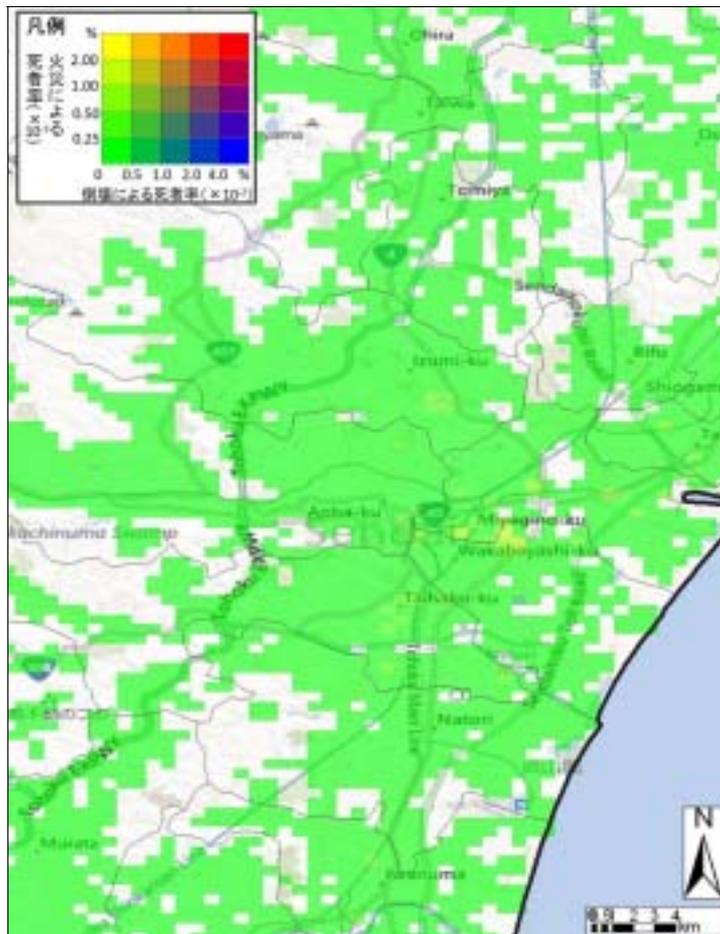
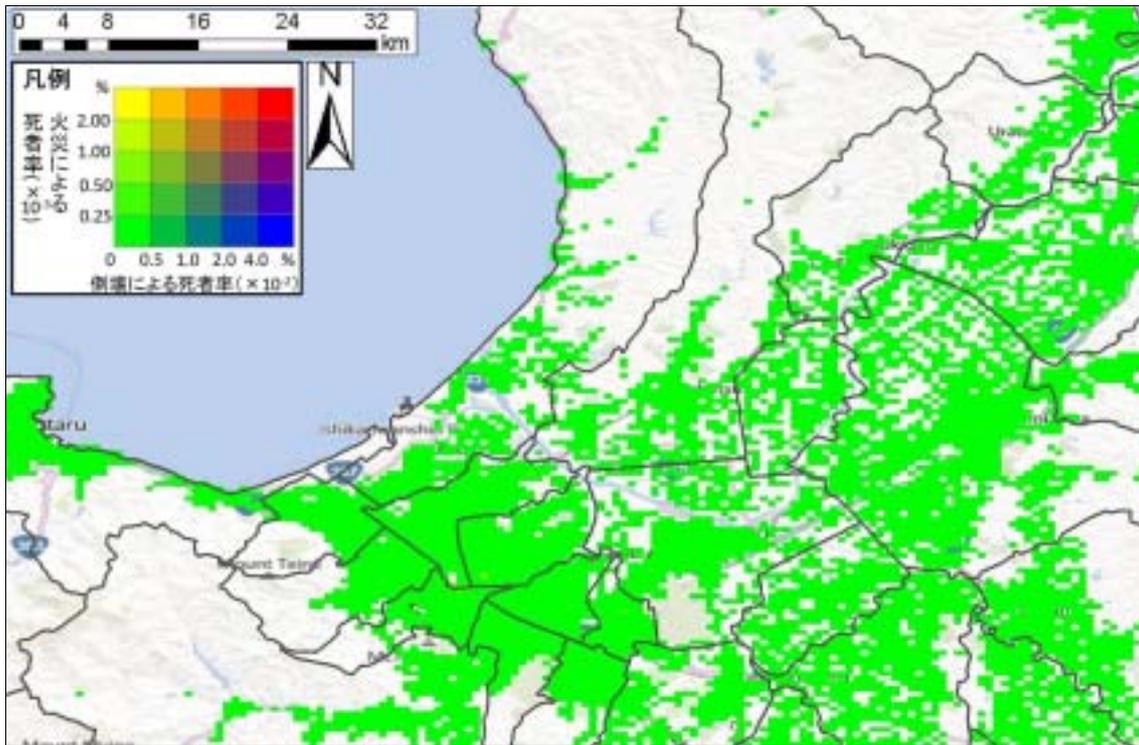


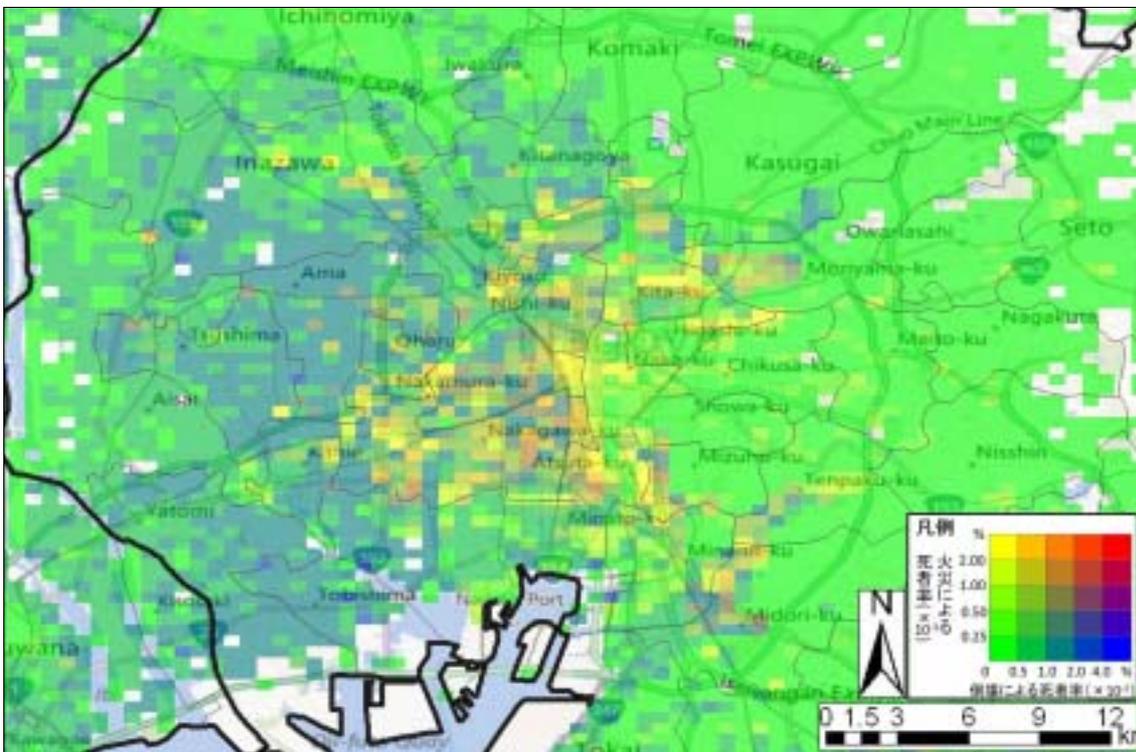
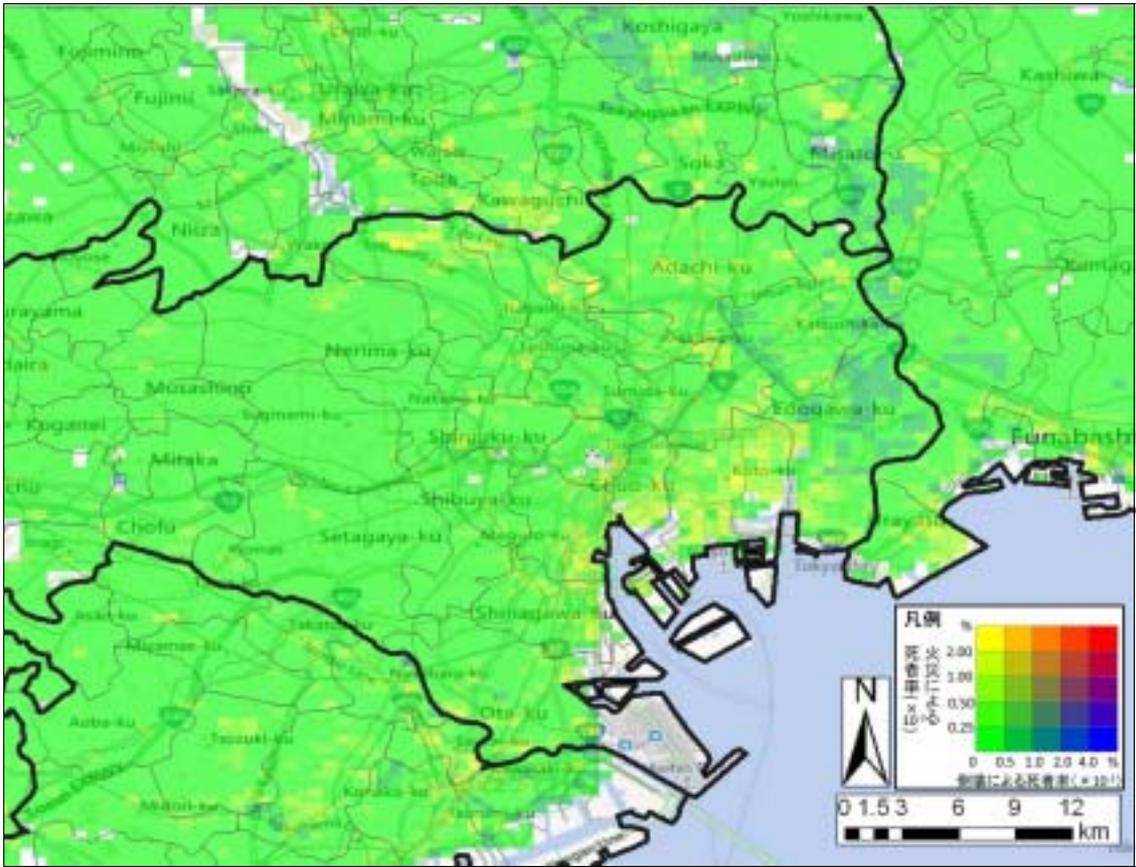


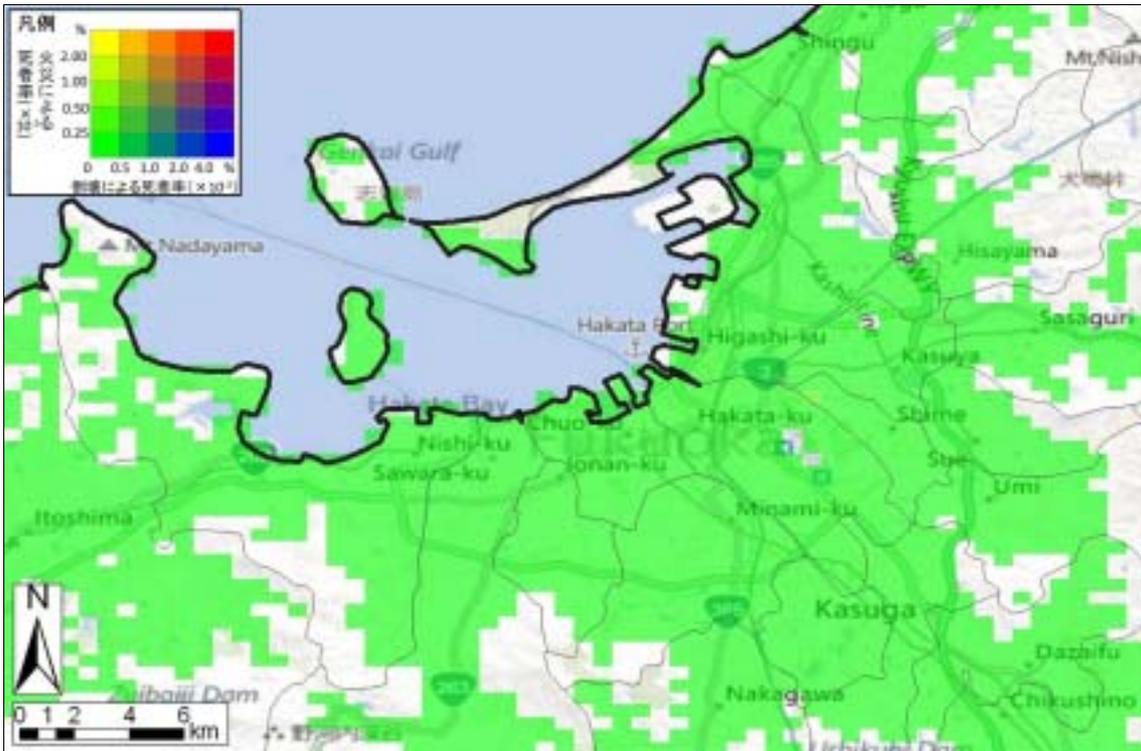
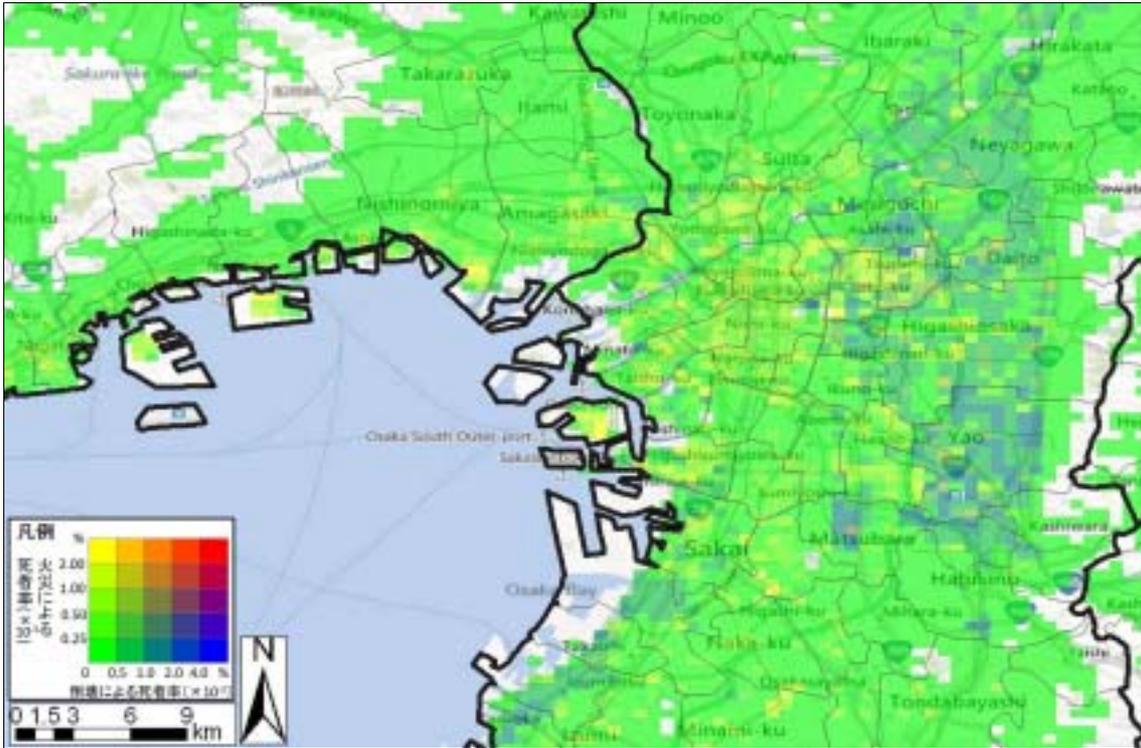


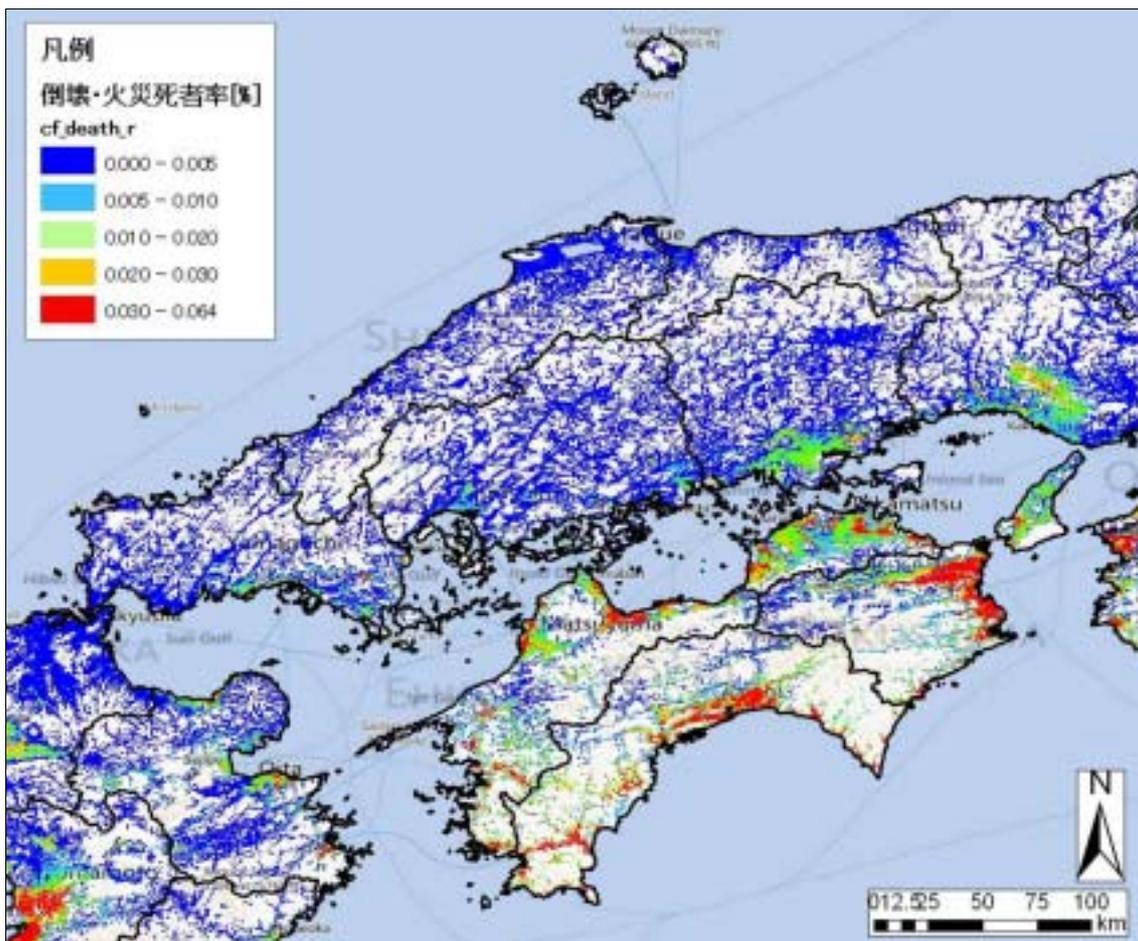
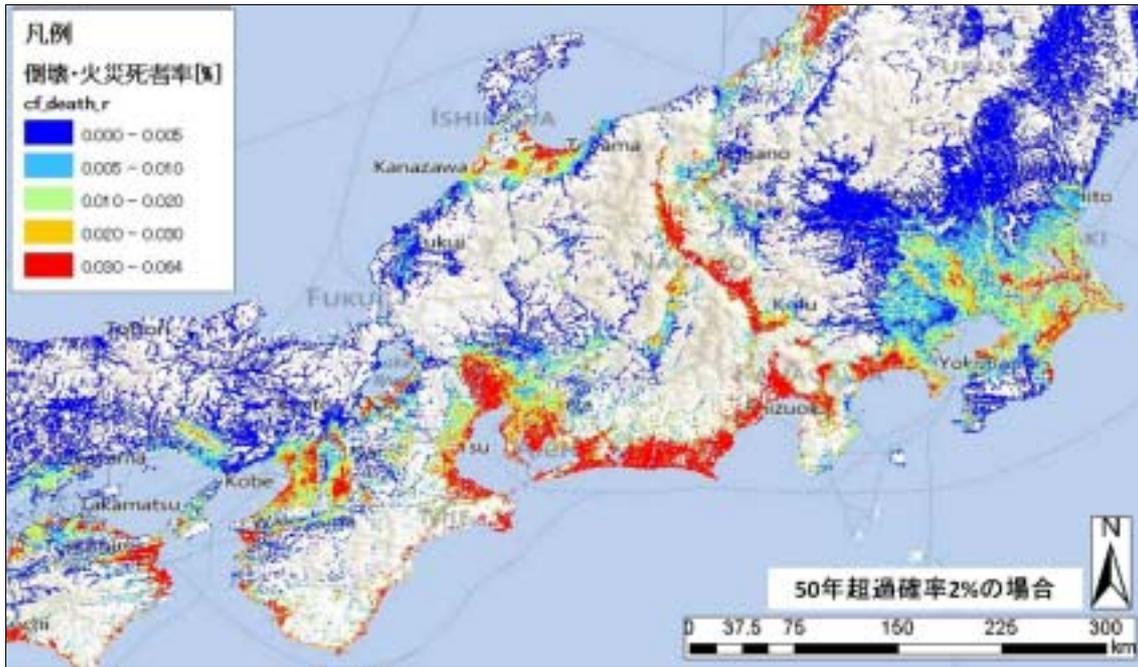


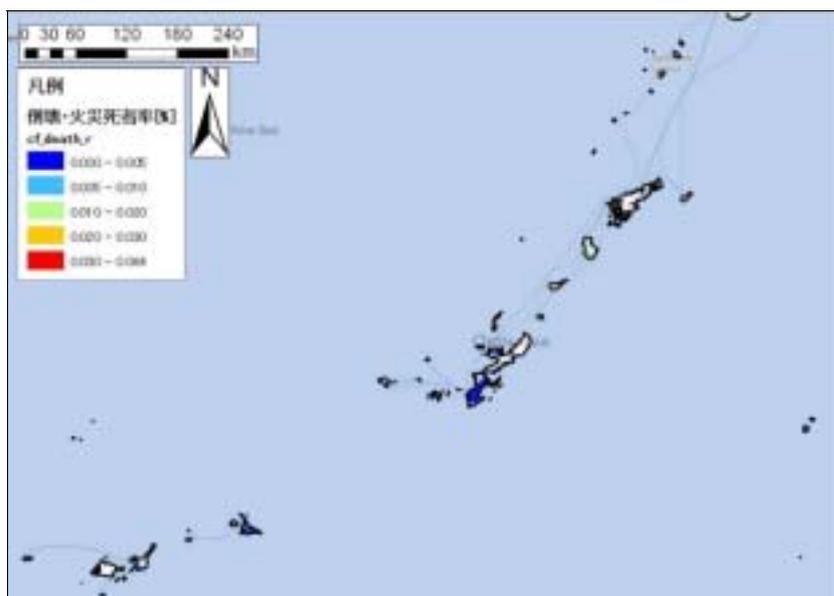
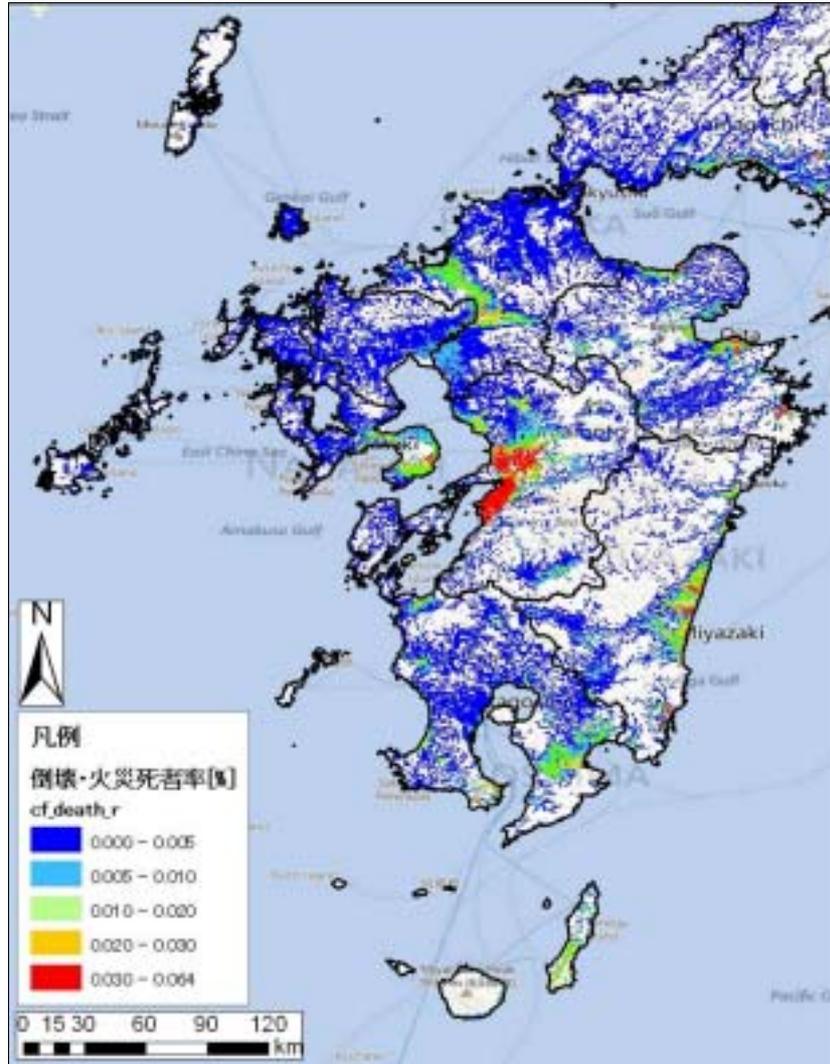


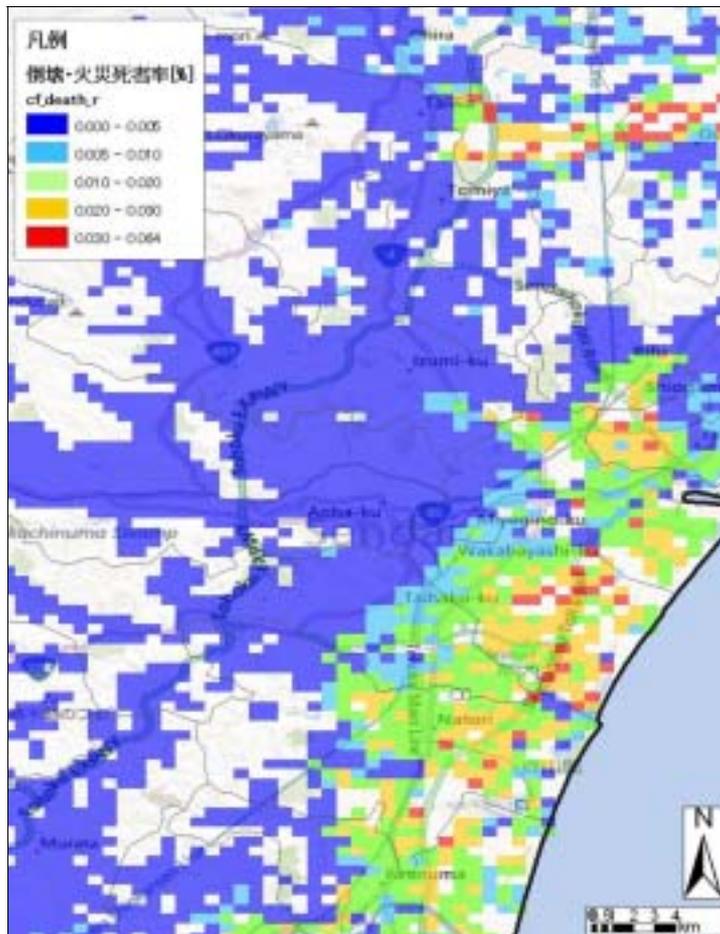
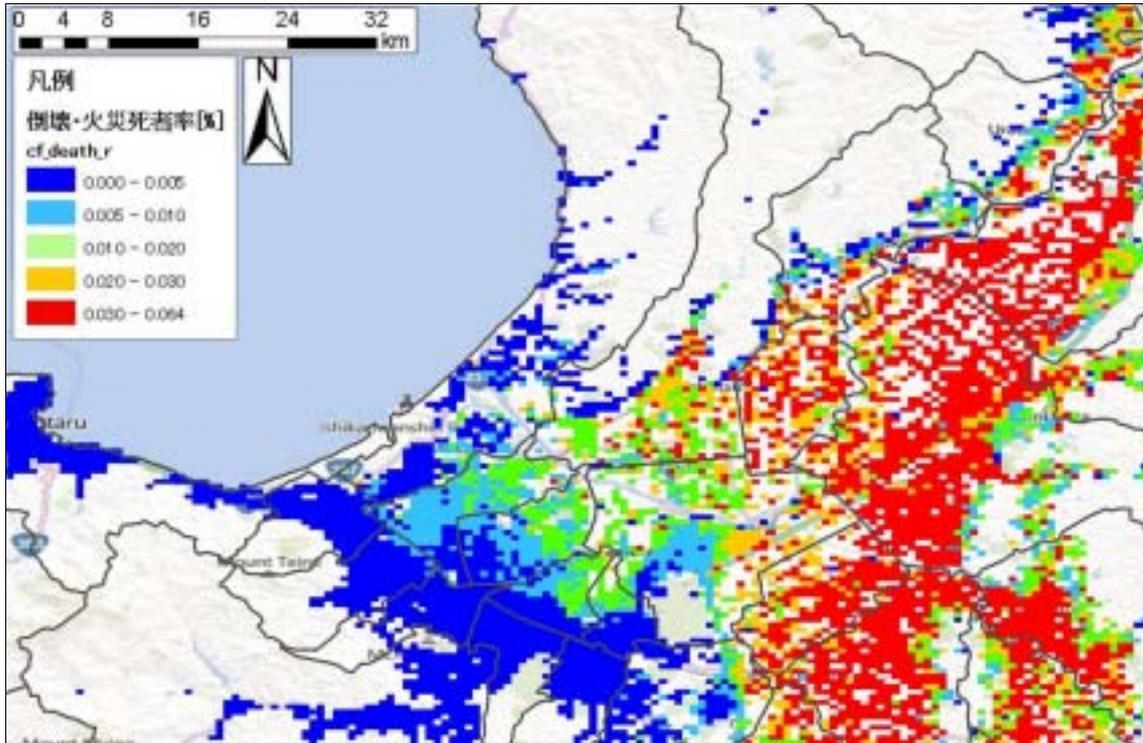


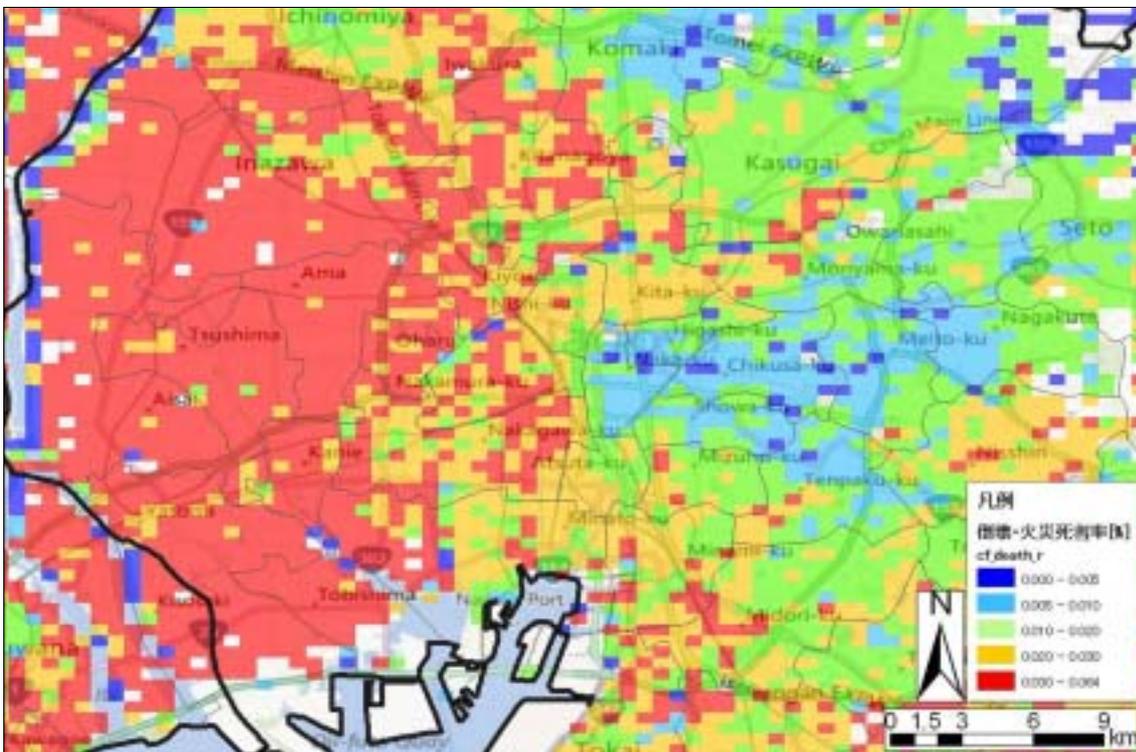
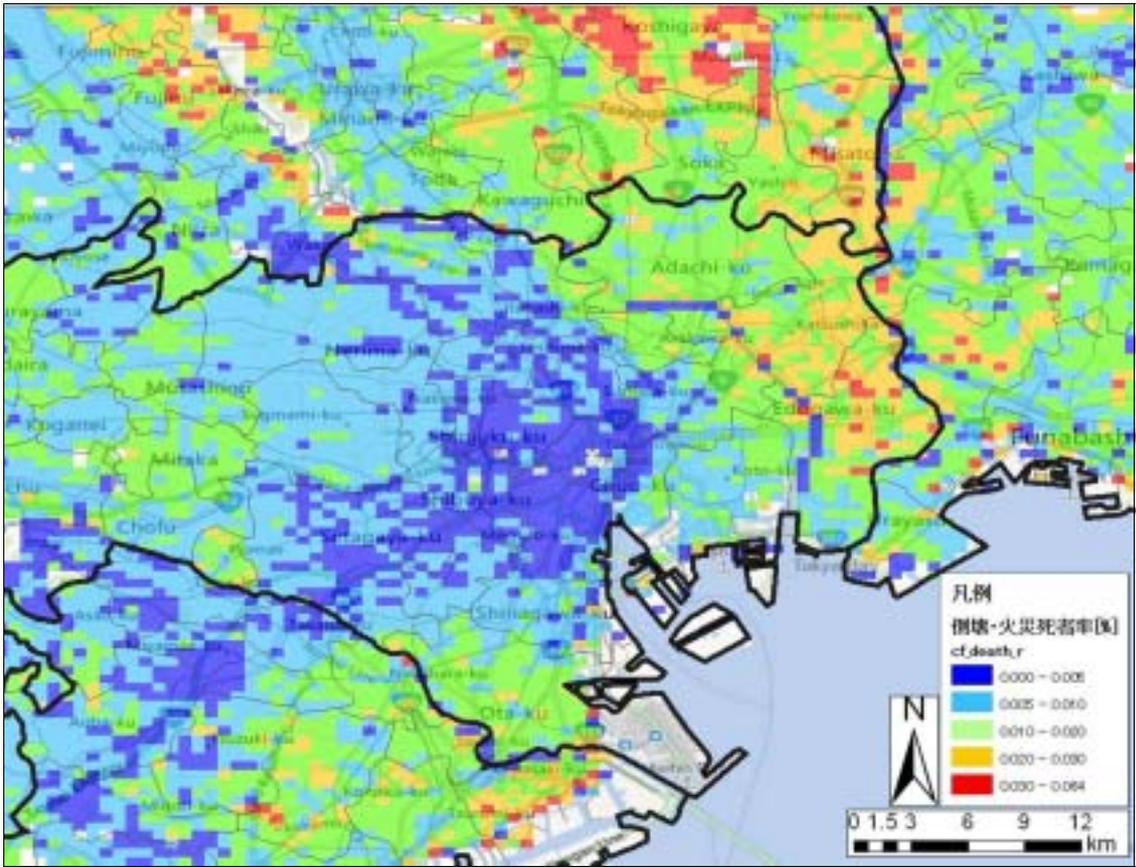


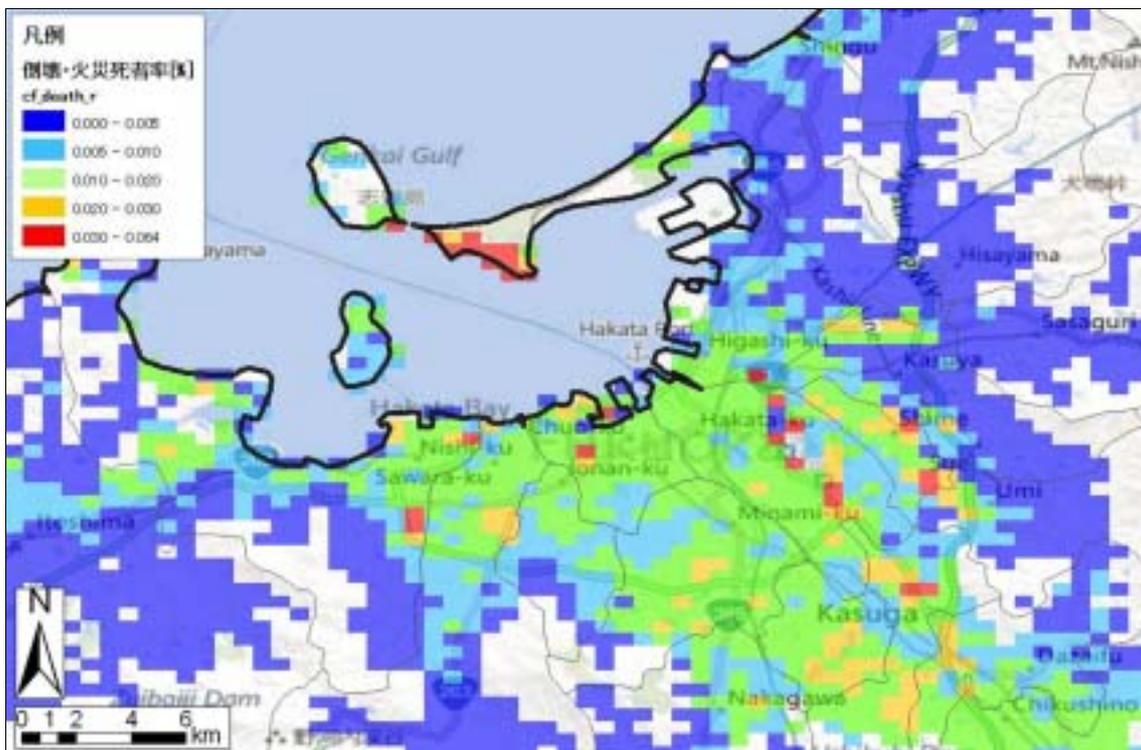
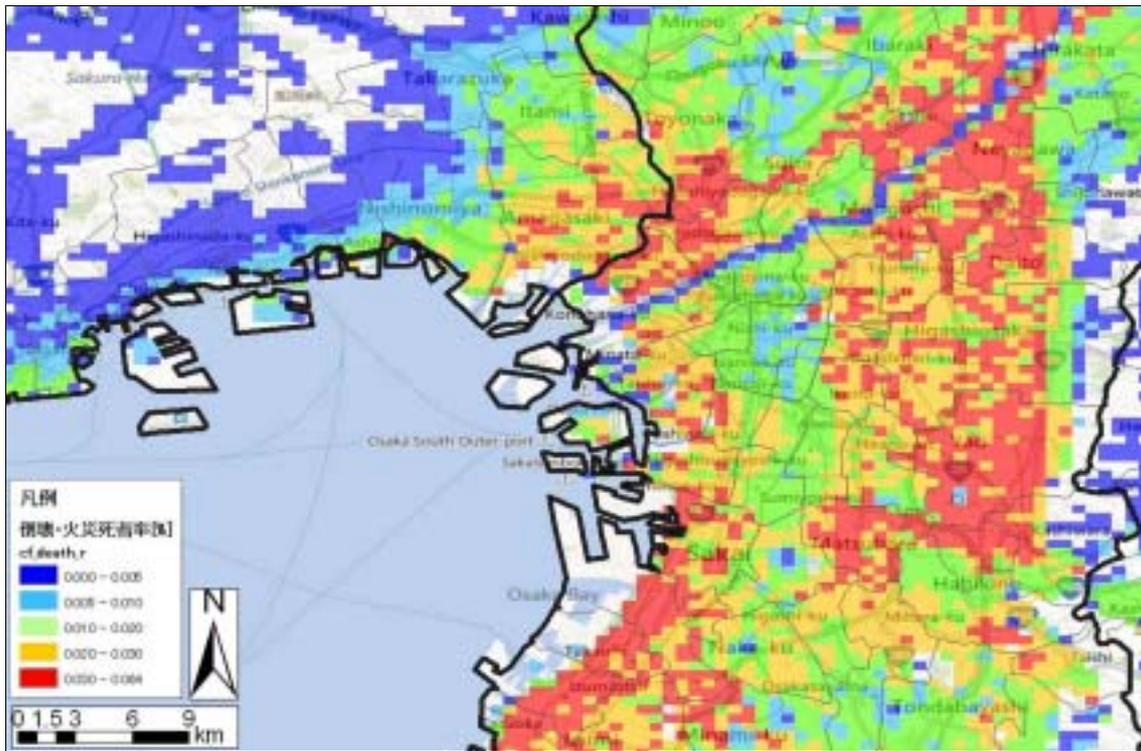




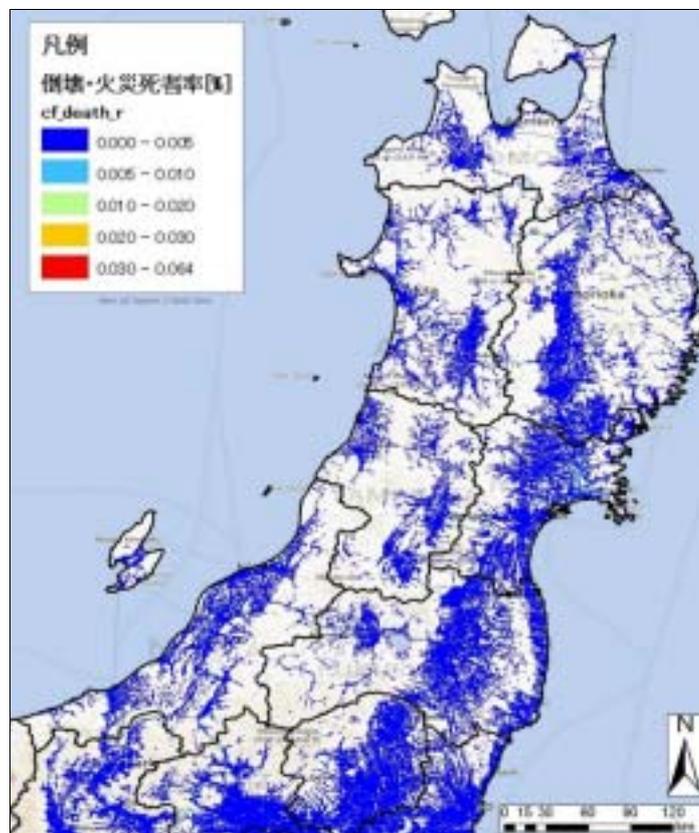
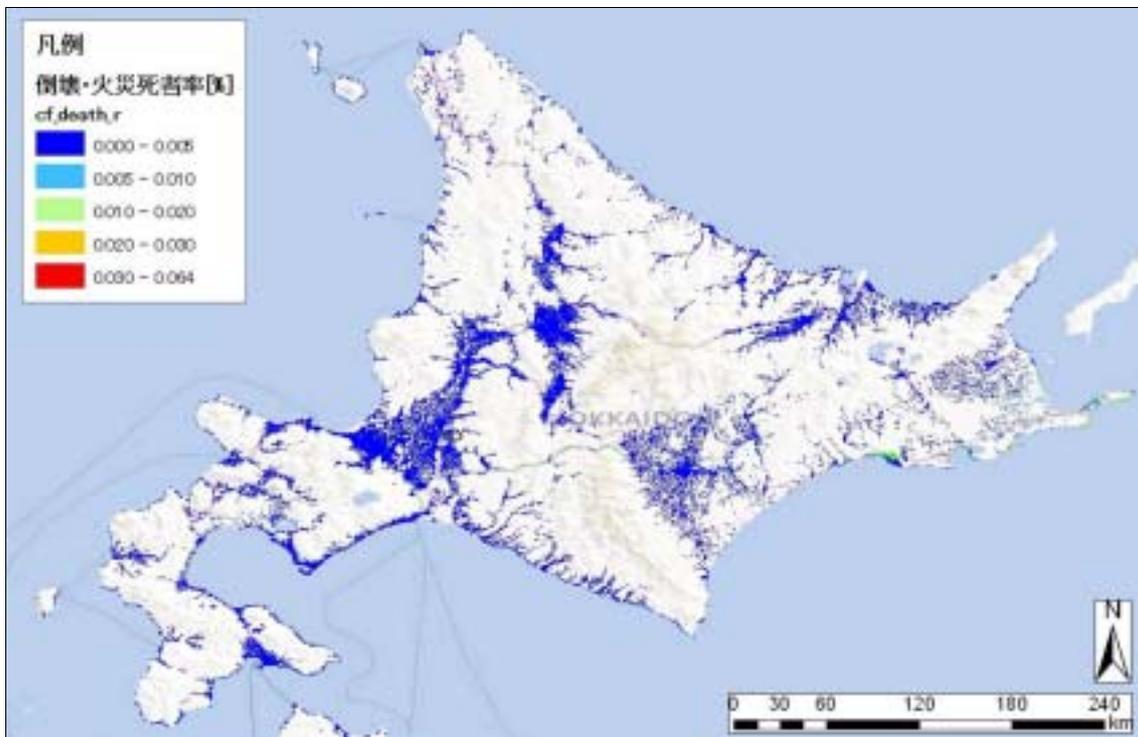


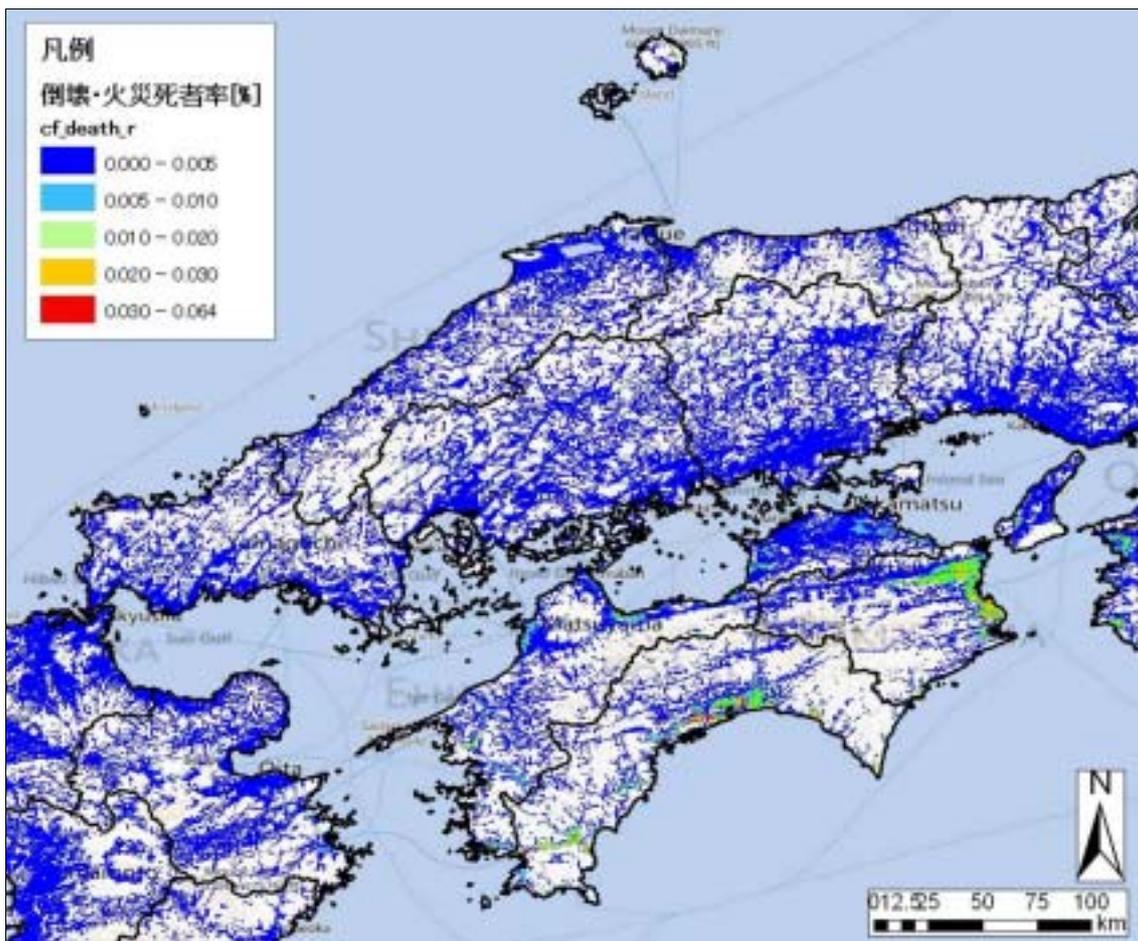
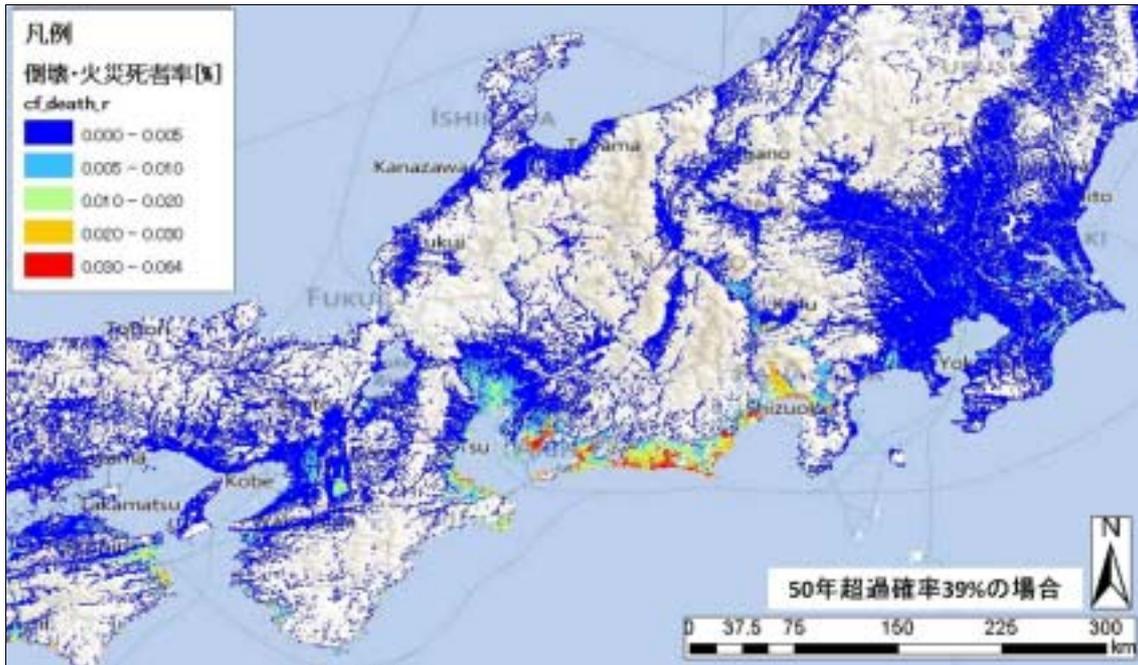


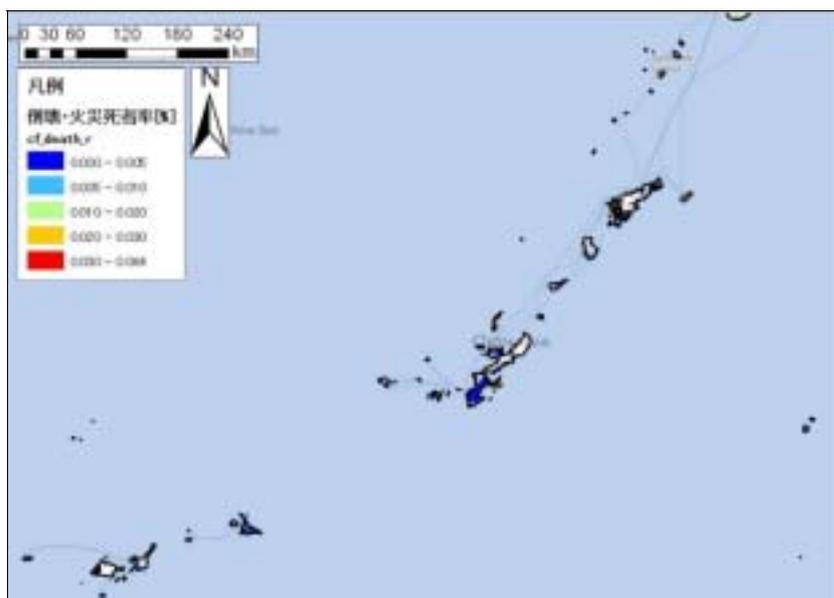
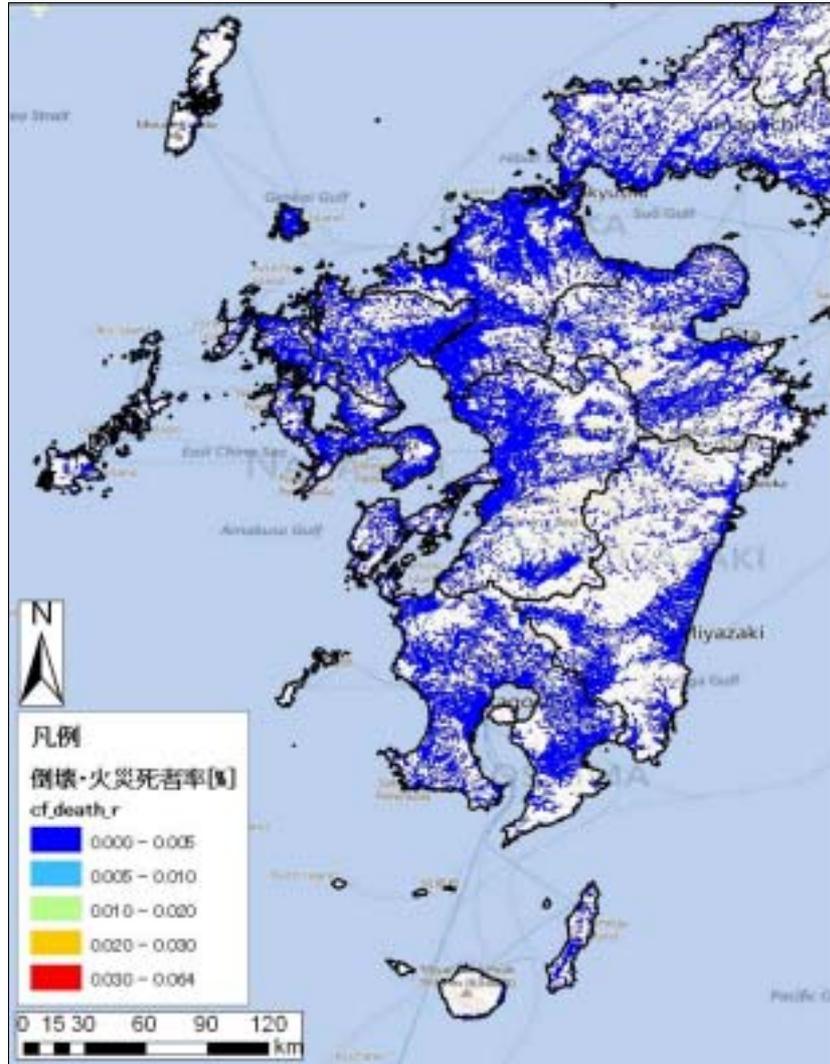


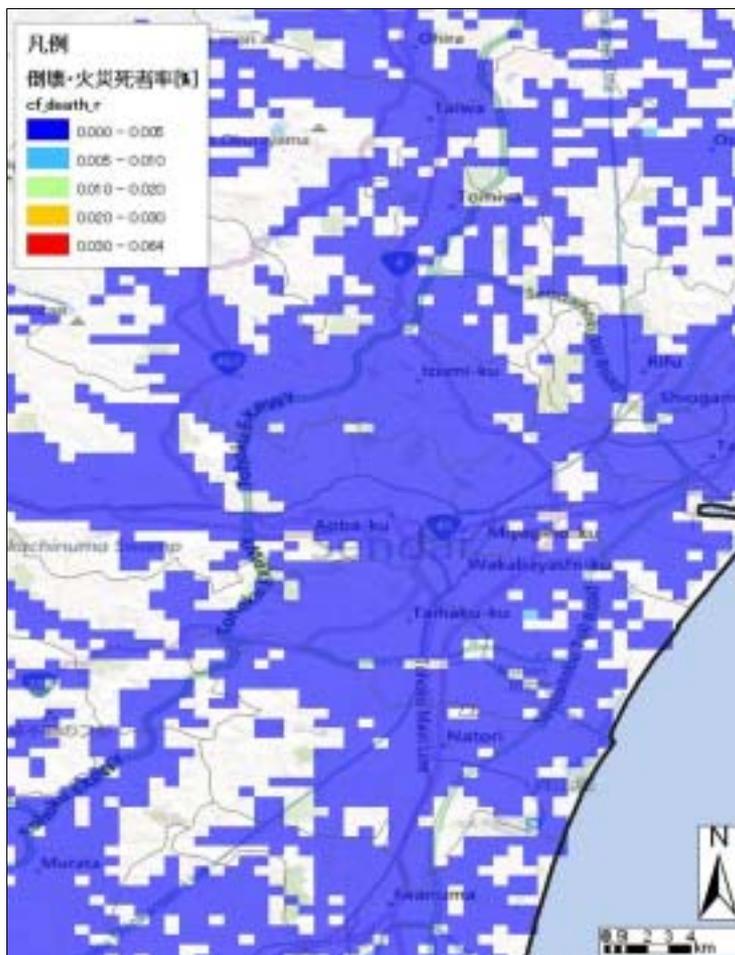
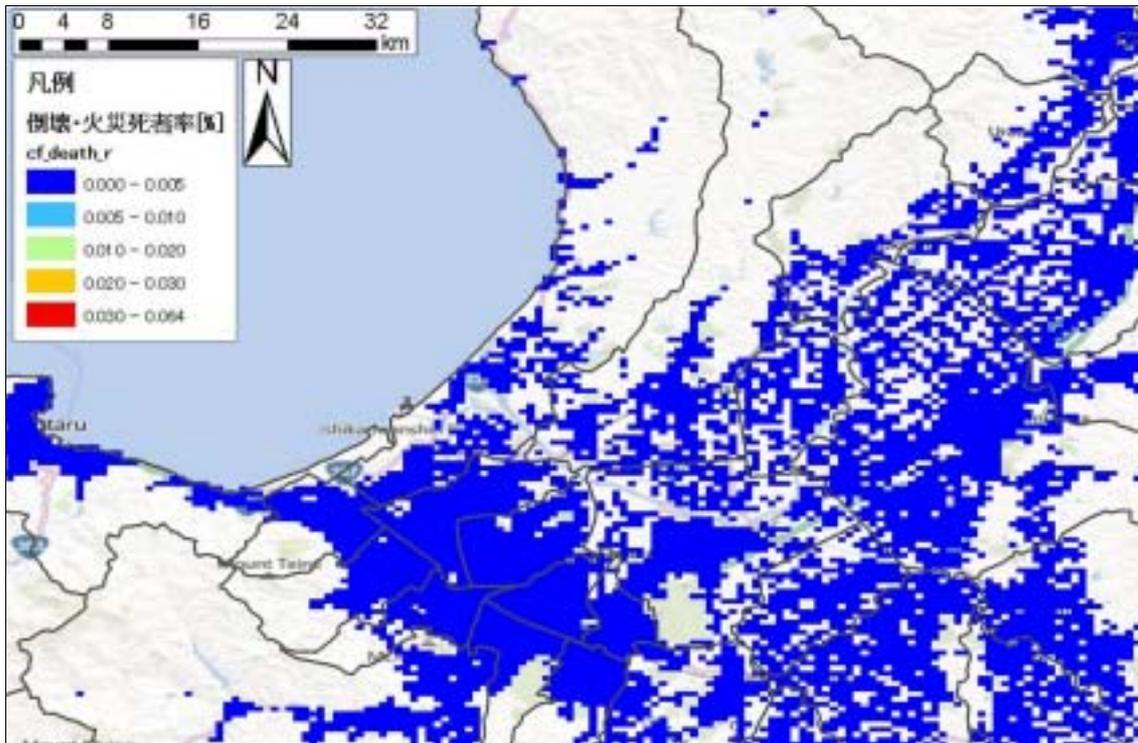


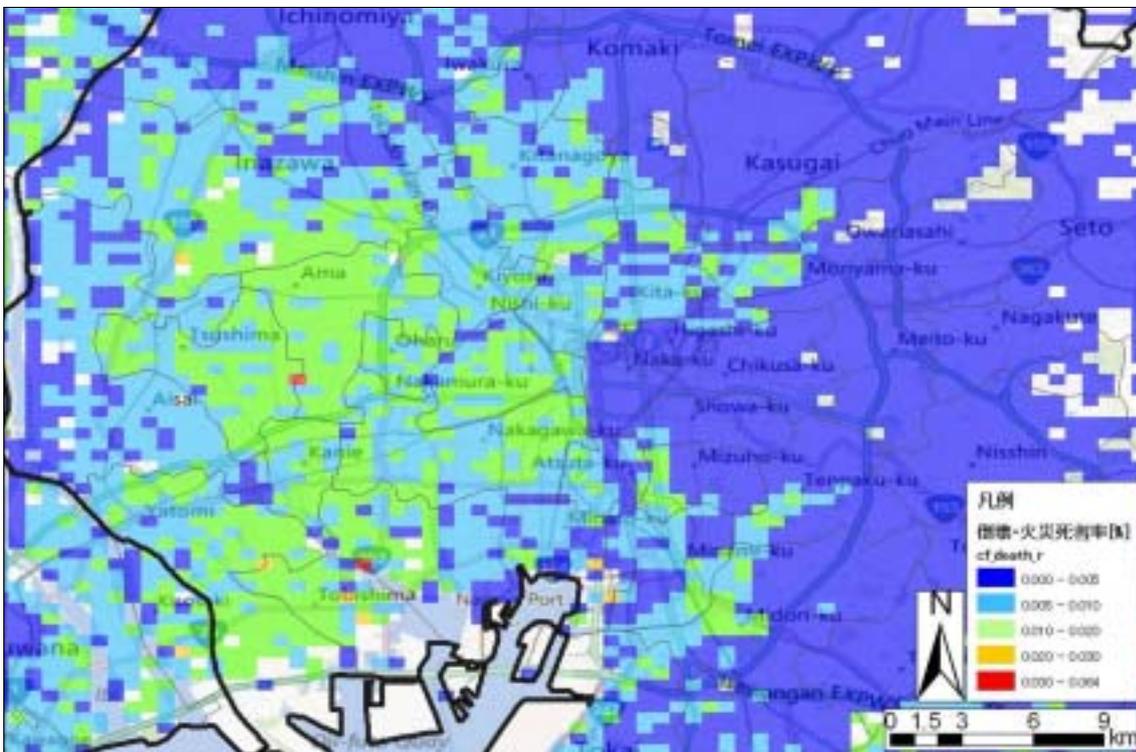
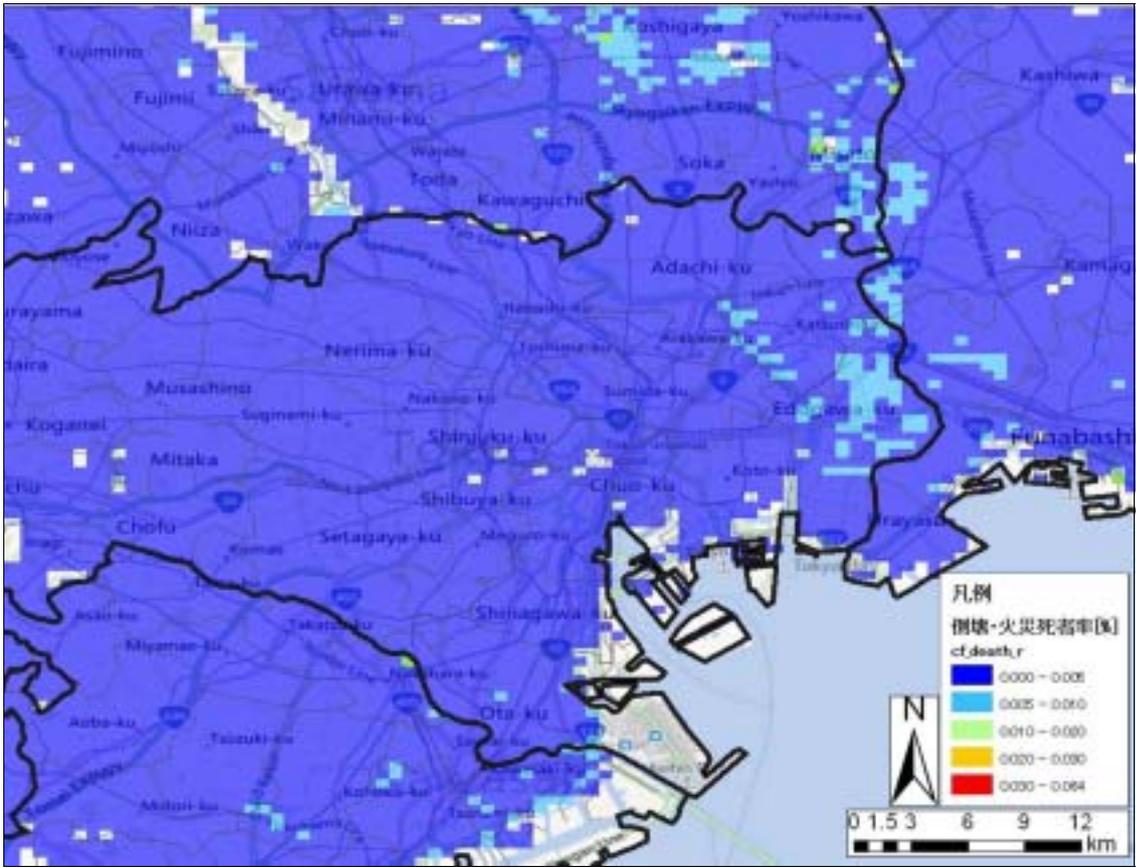
資料 5：倒壊・火災リスクを複合して評価した死者率（4次メッシュ集計・50年超過確率 39%の地震が冬期夕刻に発生した場合）

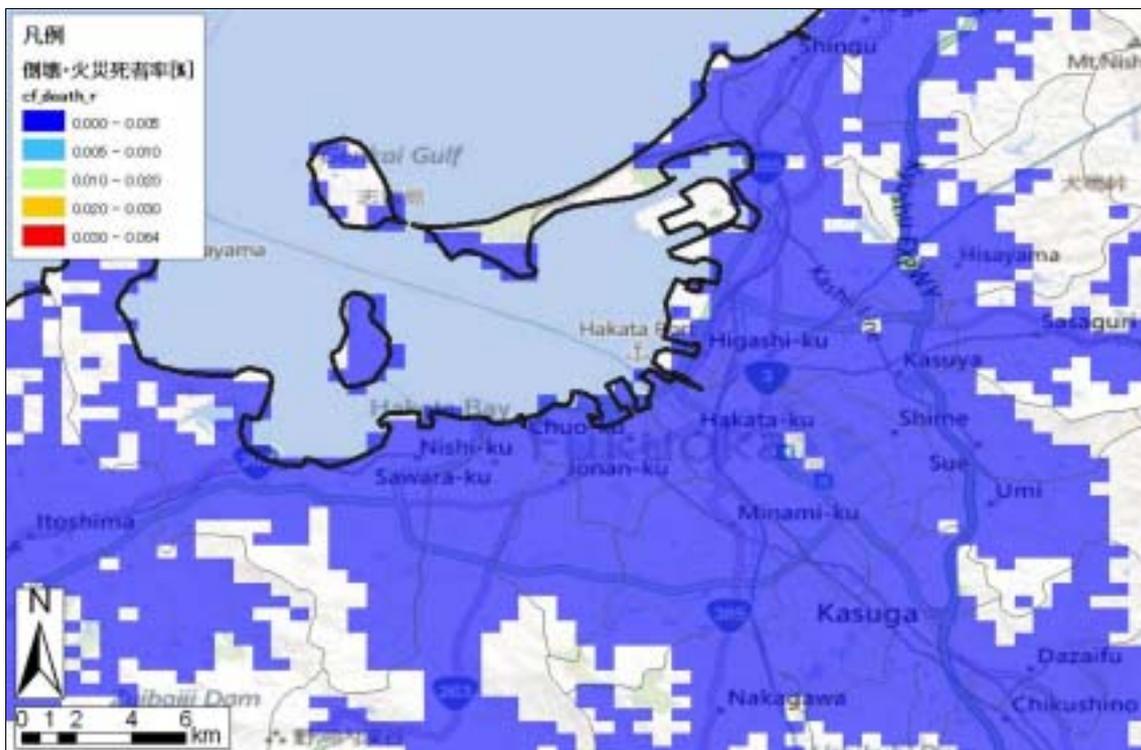
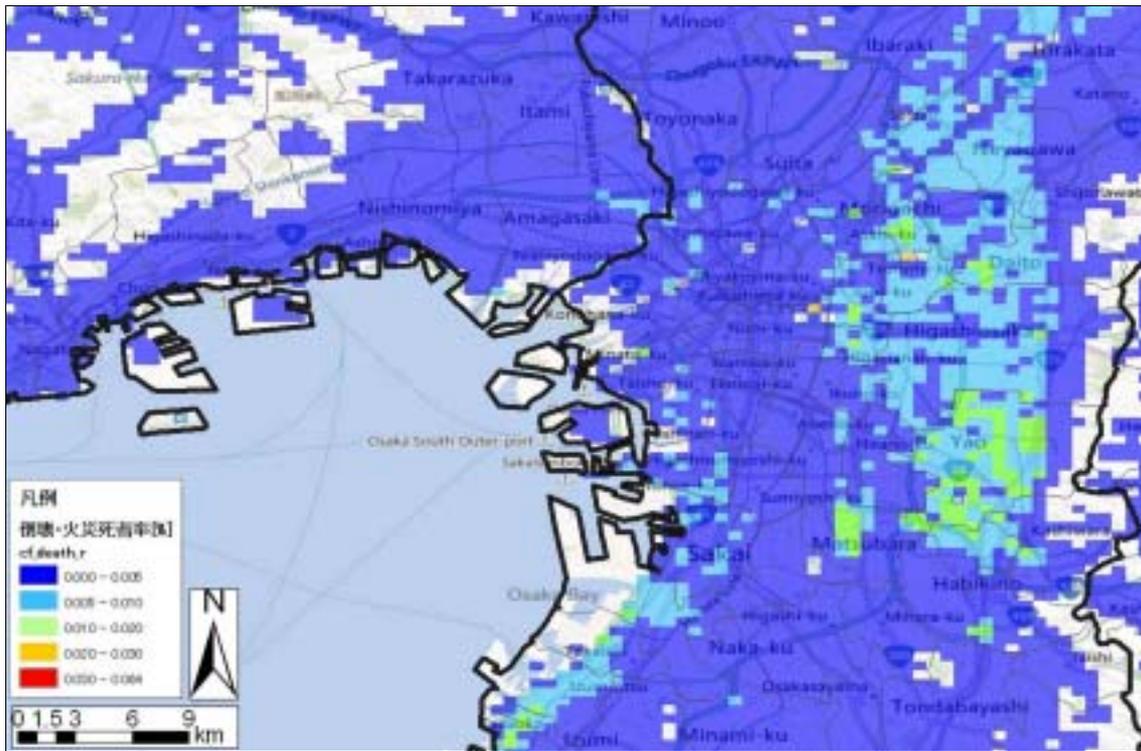




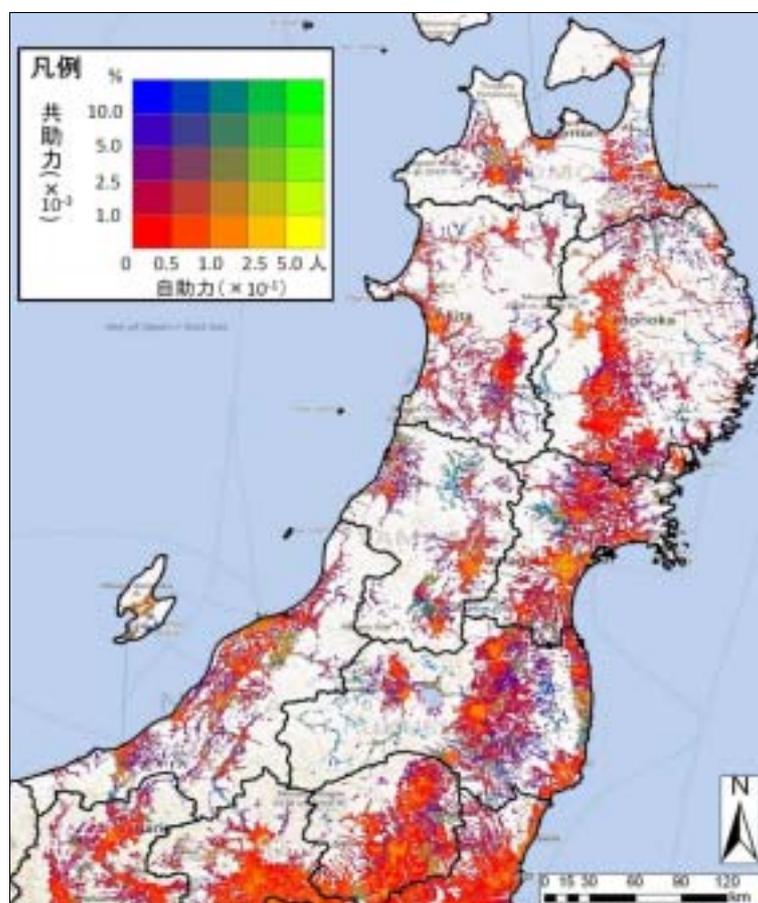
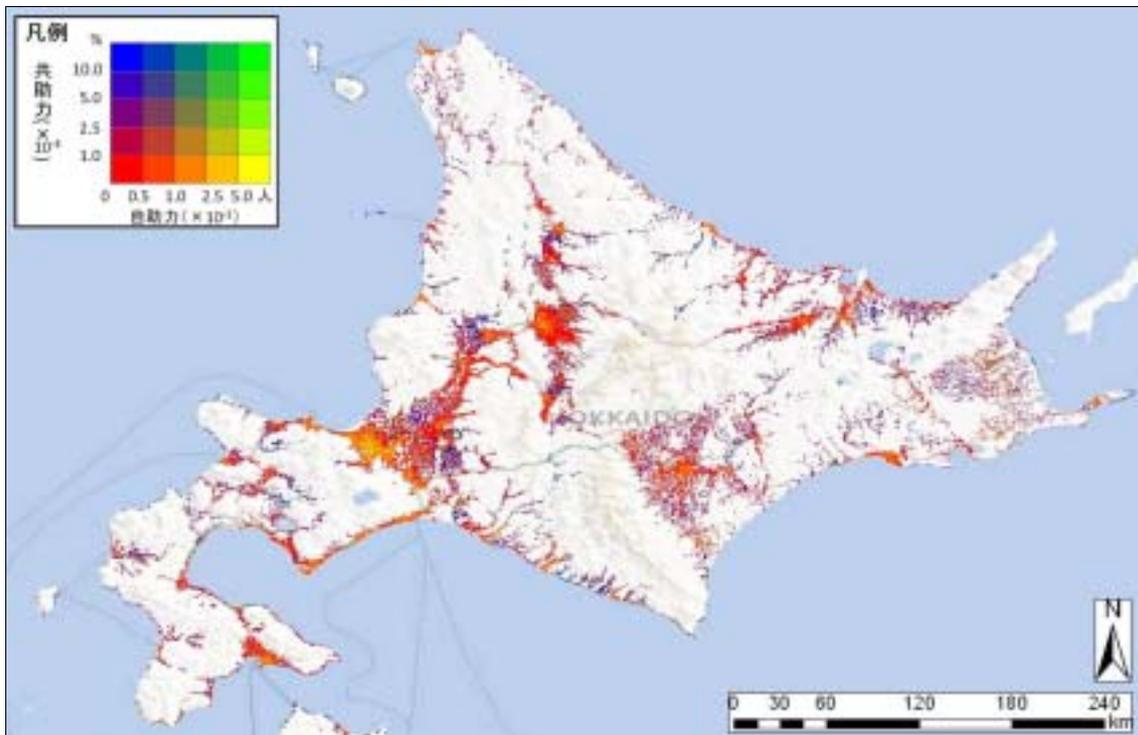


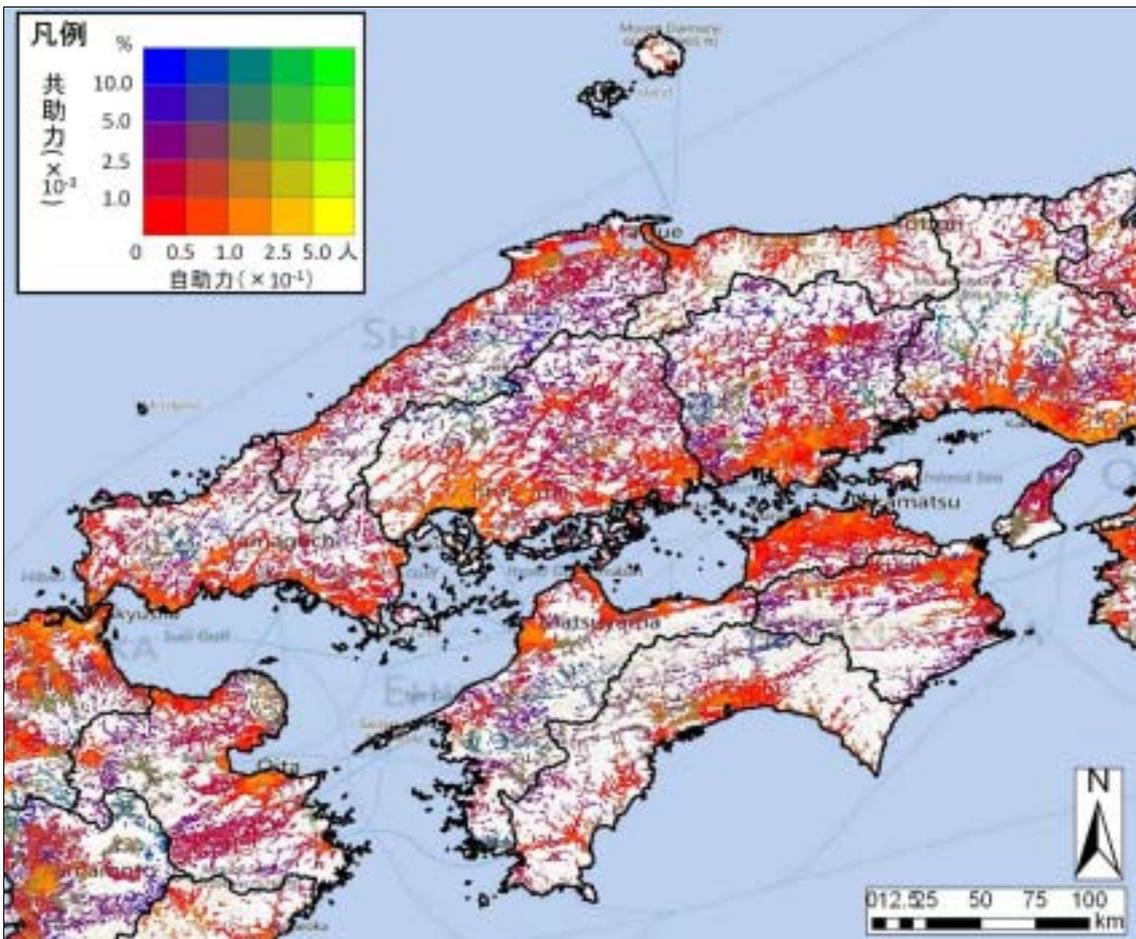
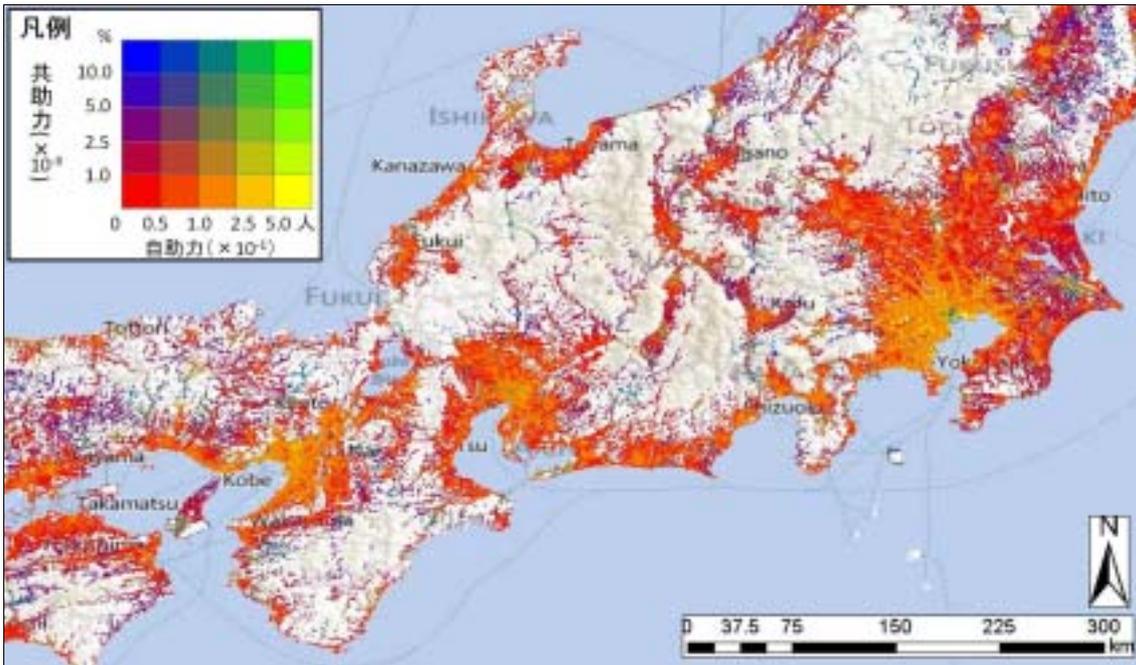


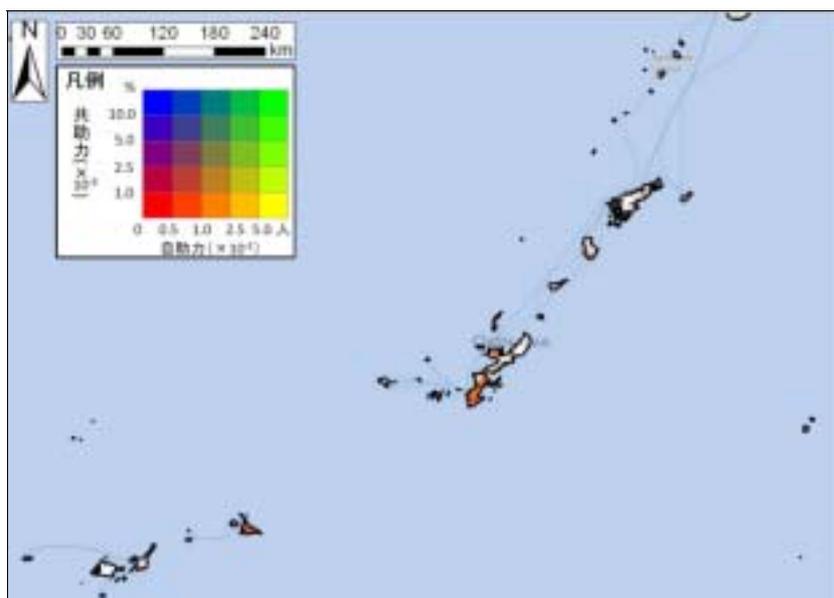
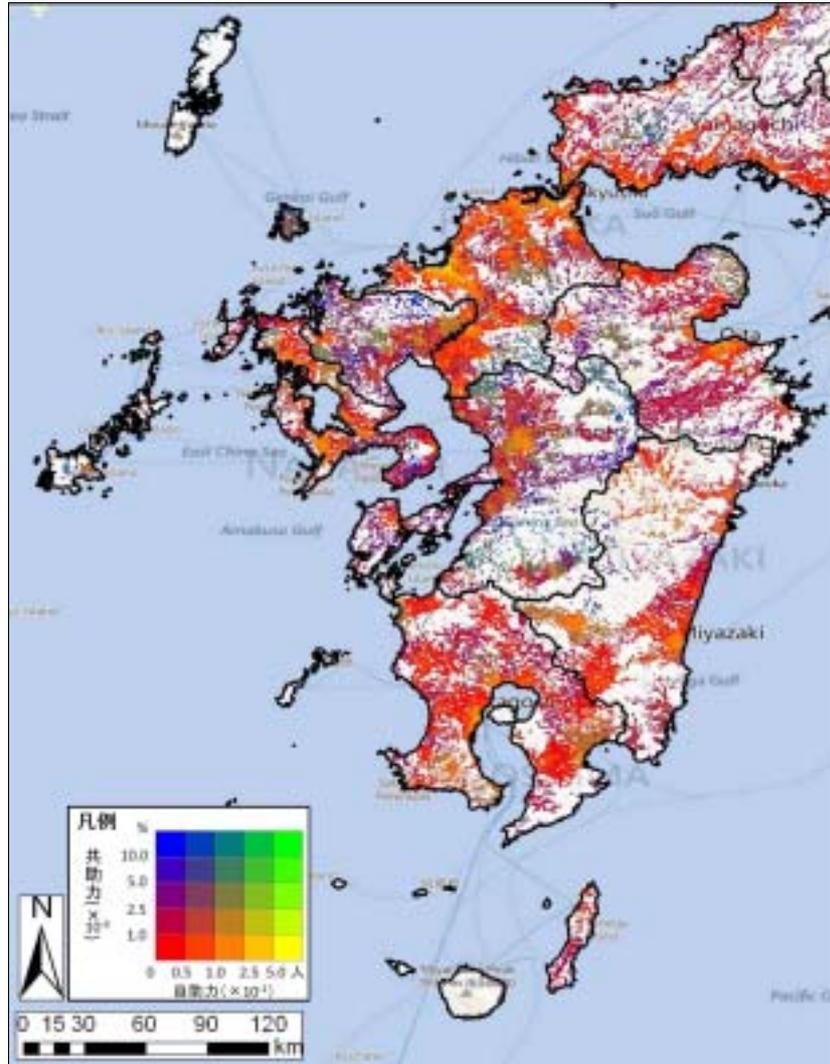


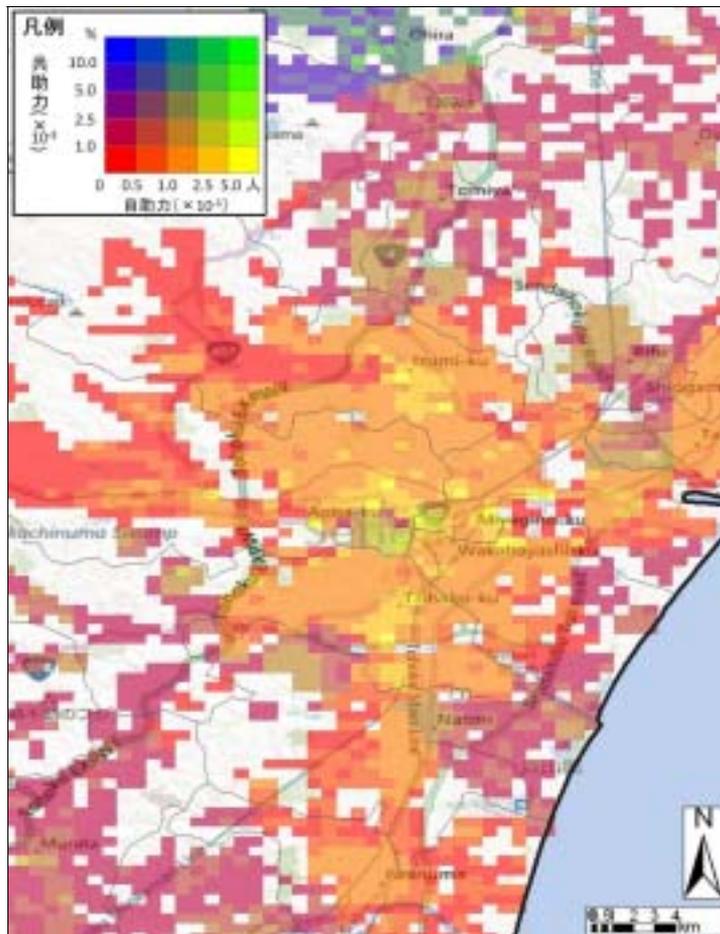
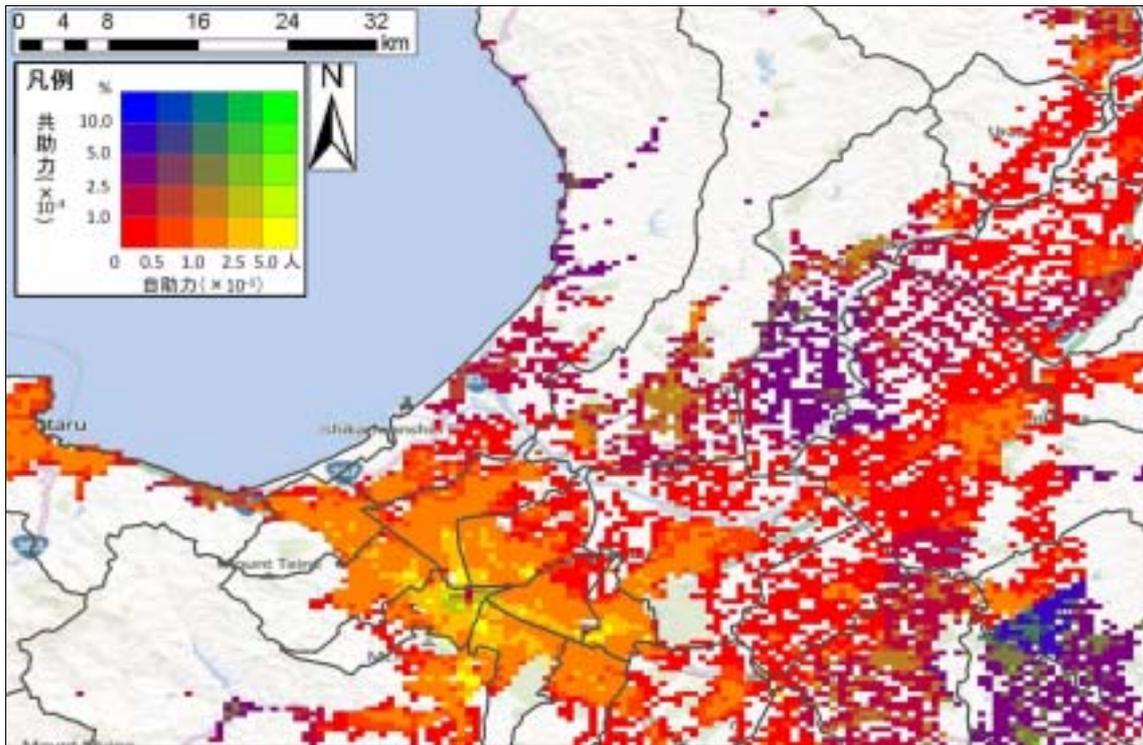


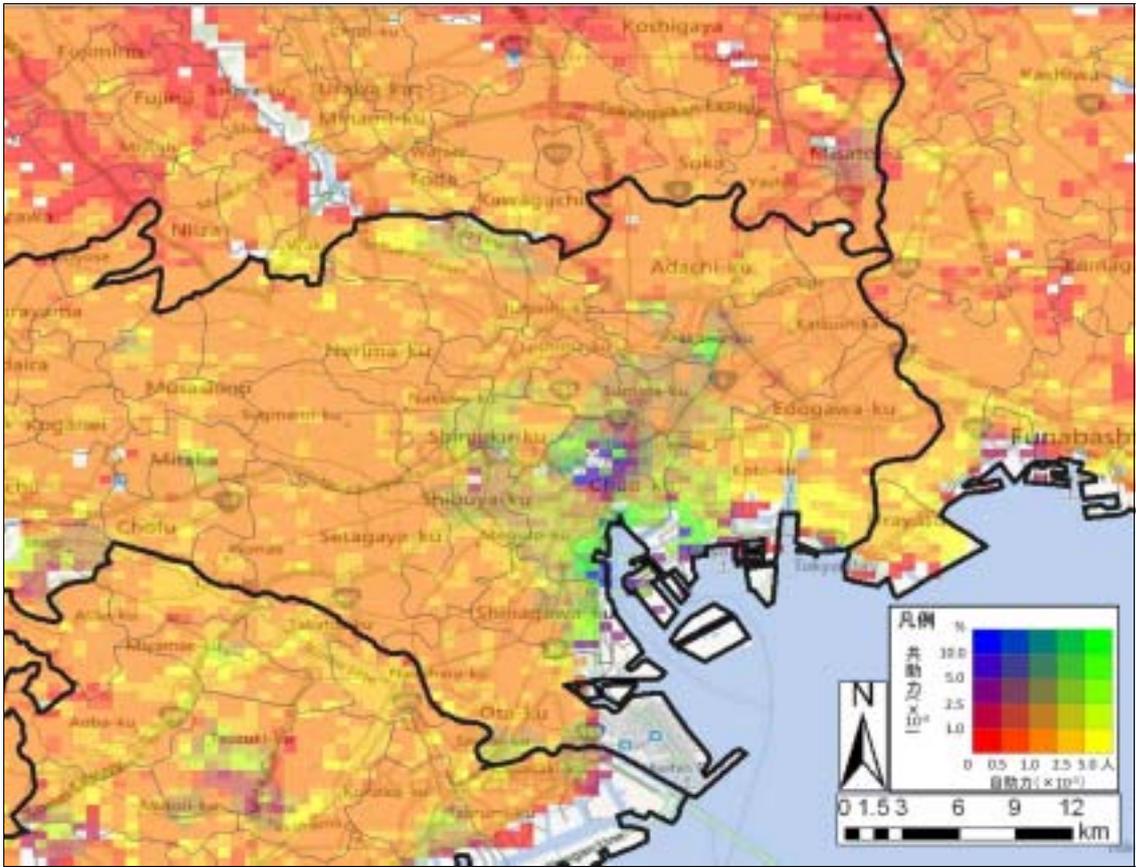
資料 6：大規模地震時の初期対応力（4次メッシュ集計）

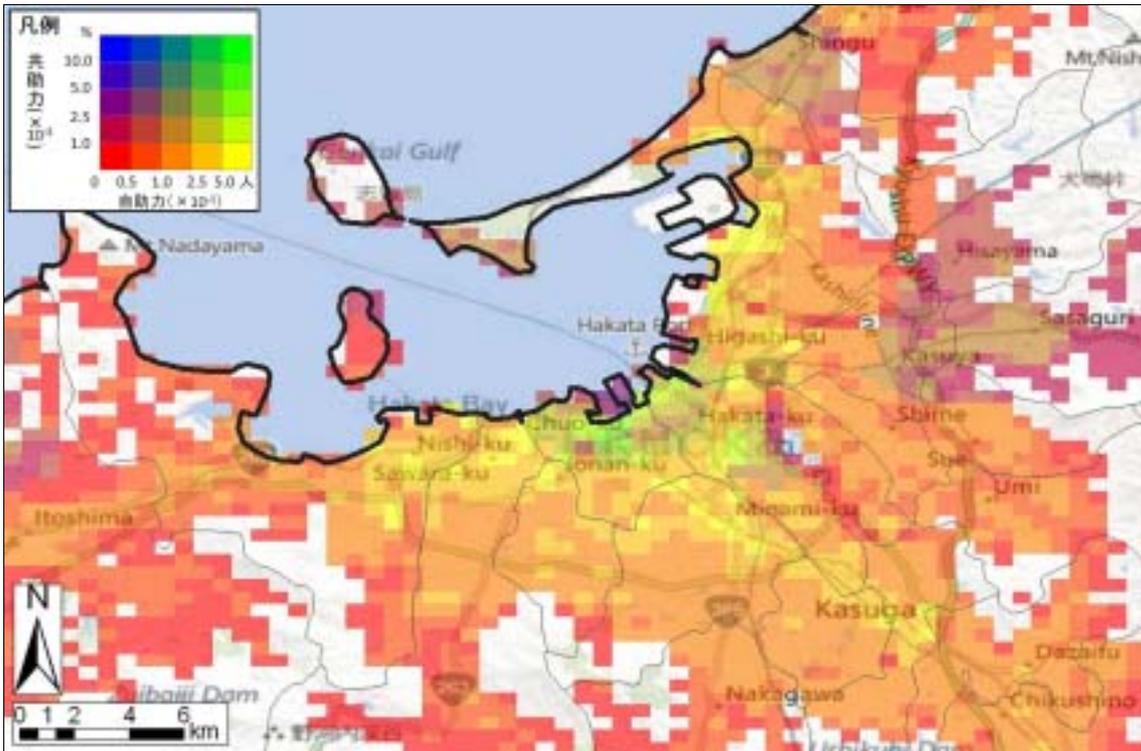
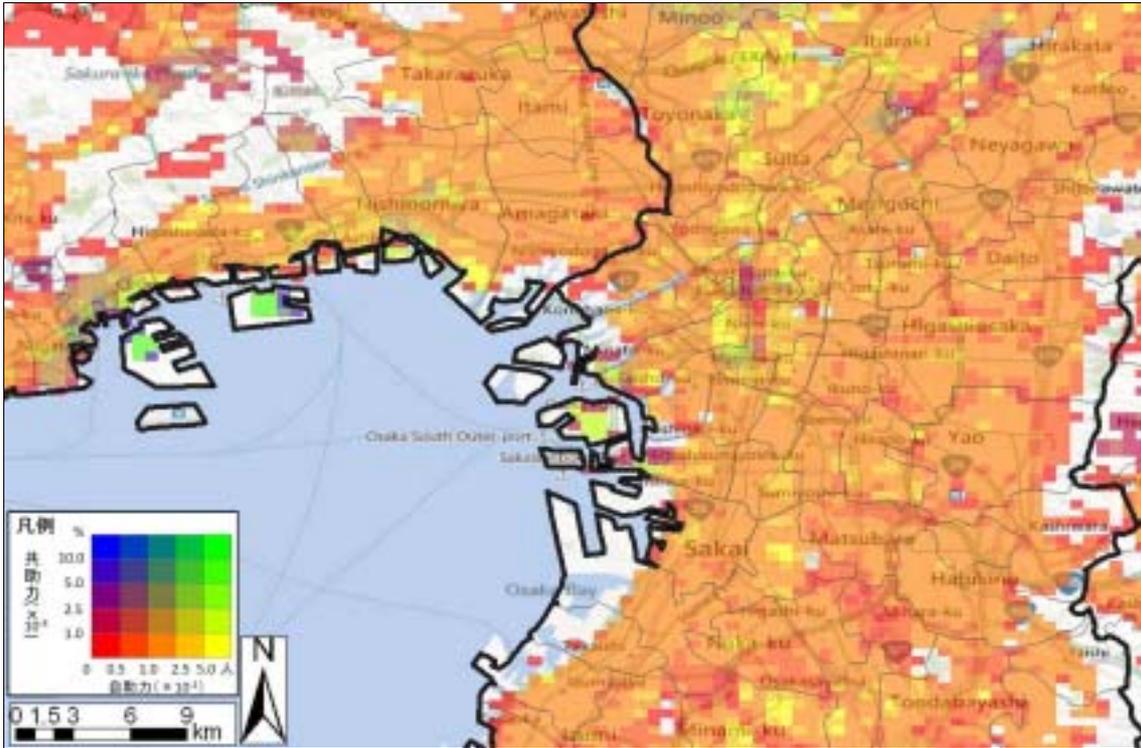




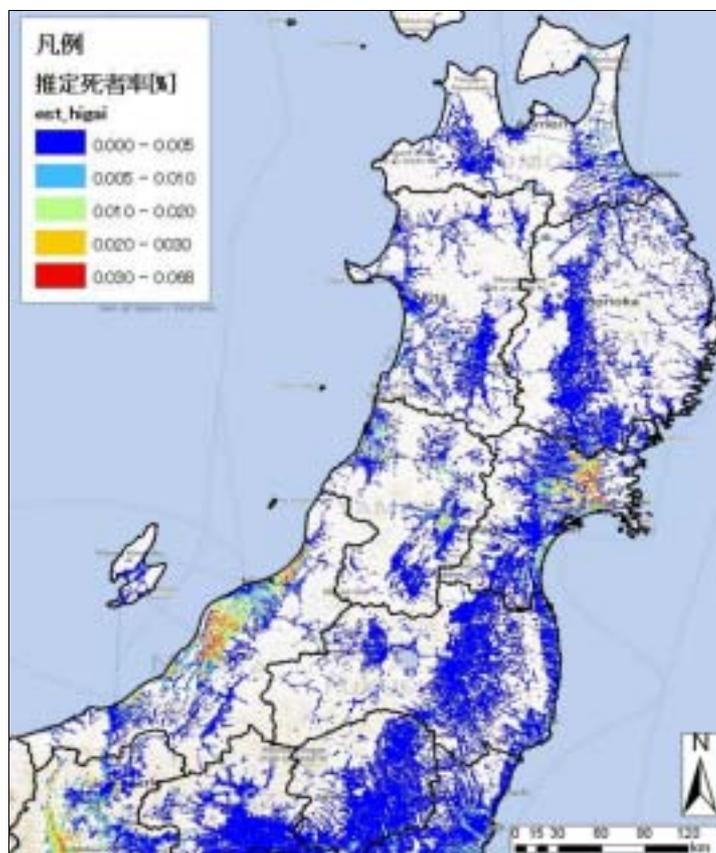
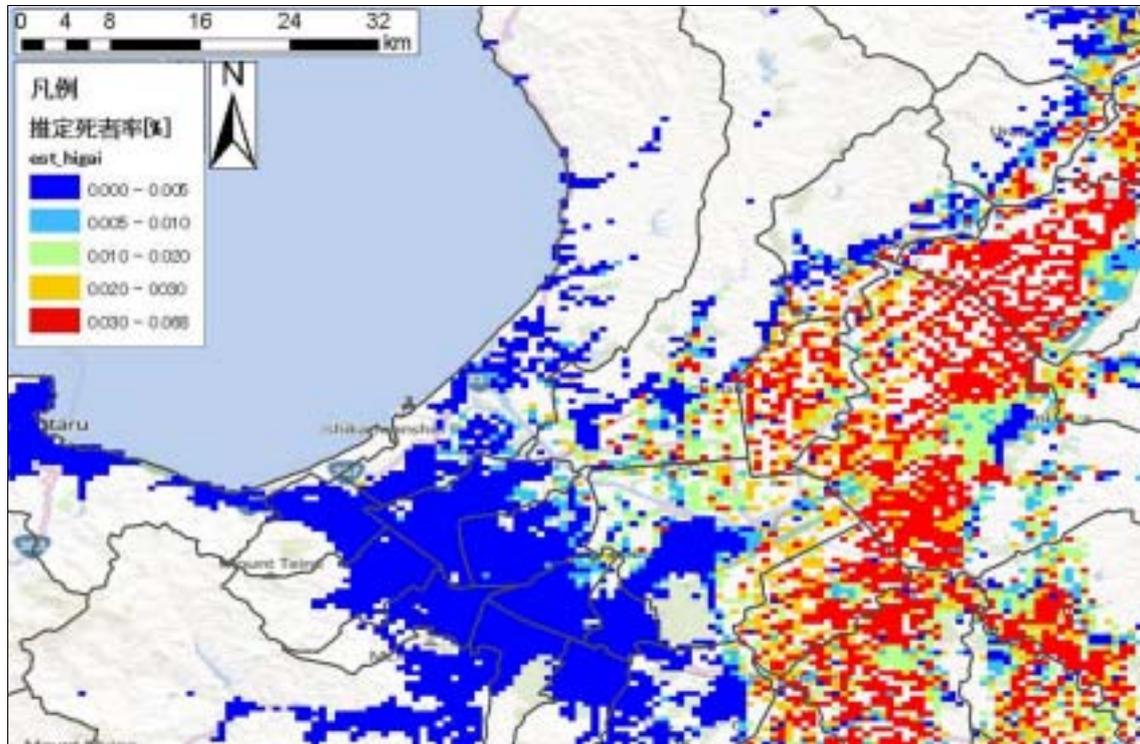


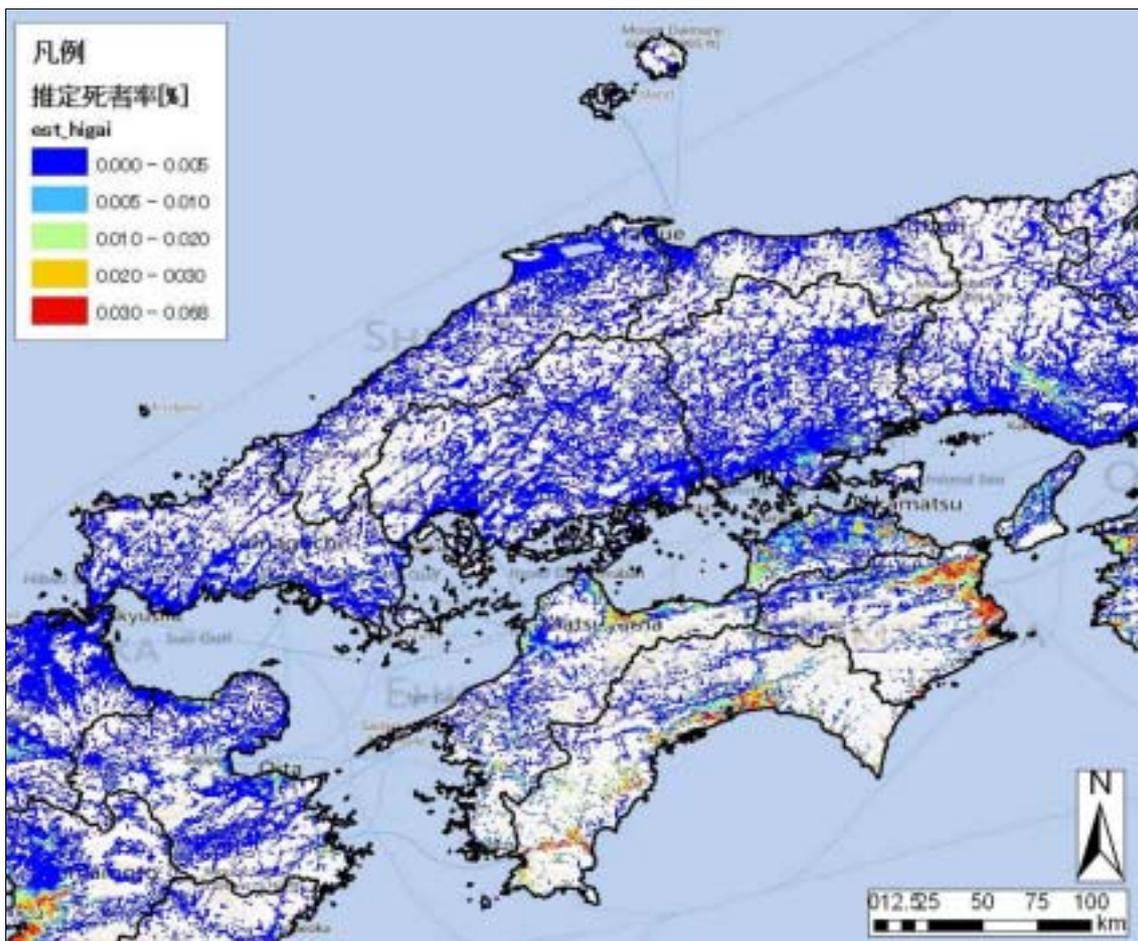
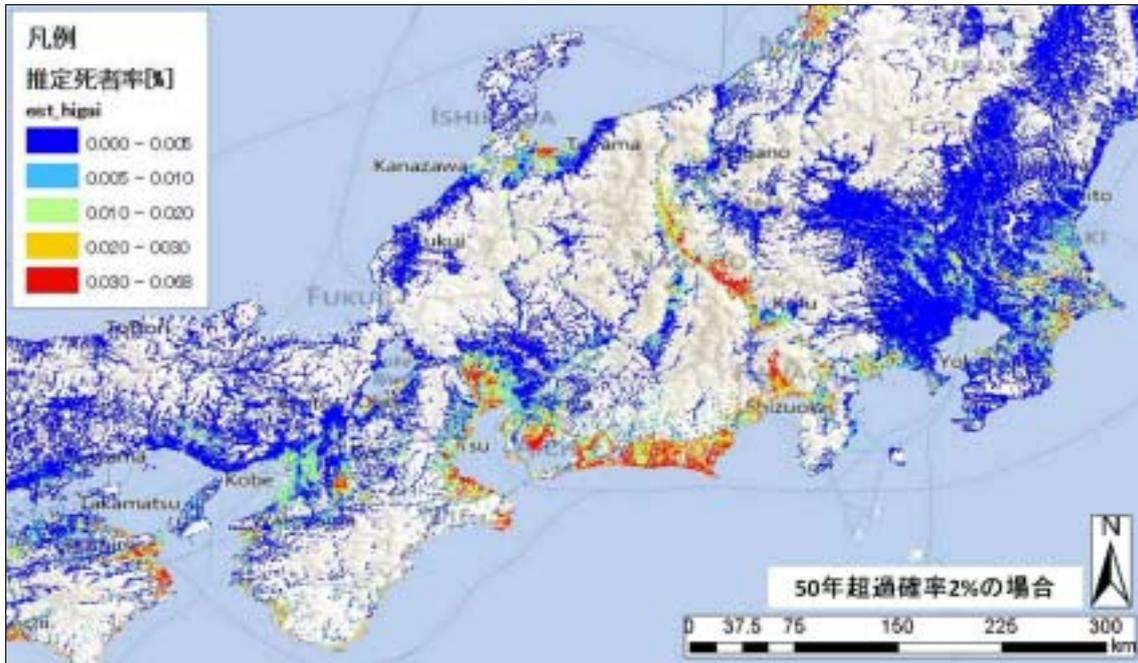


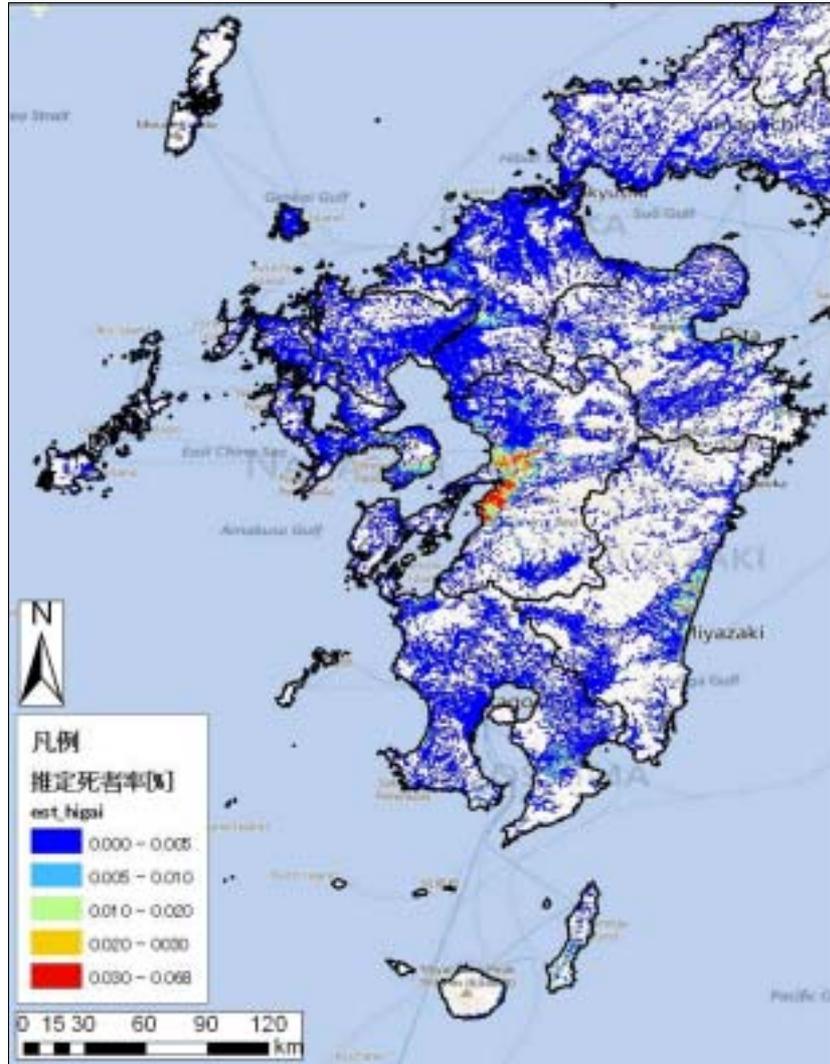


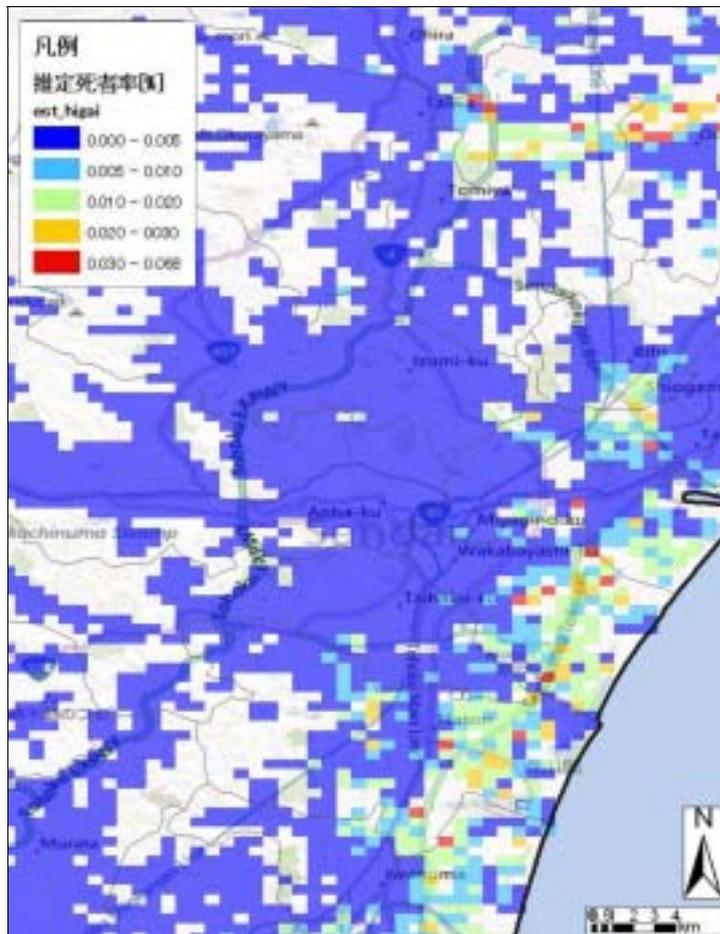
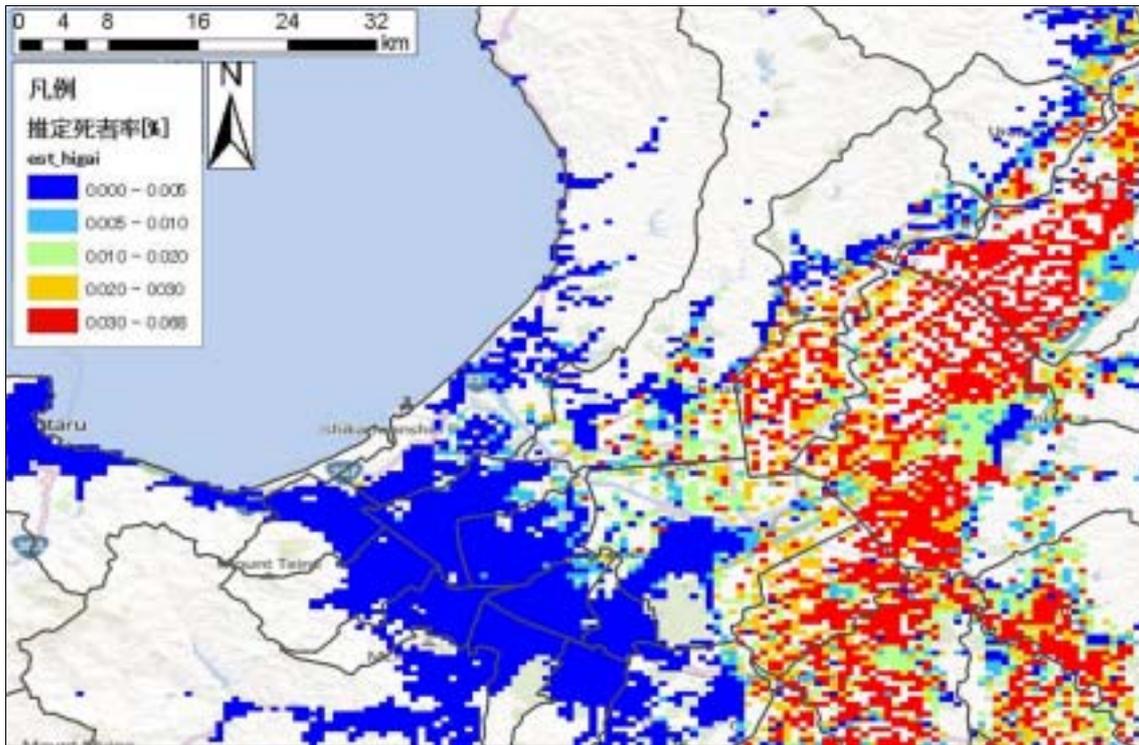


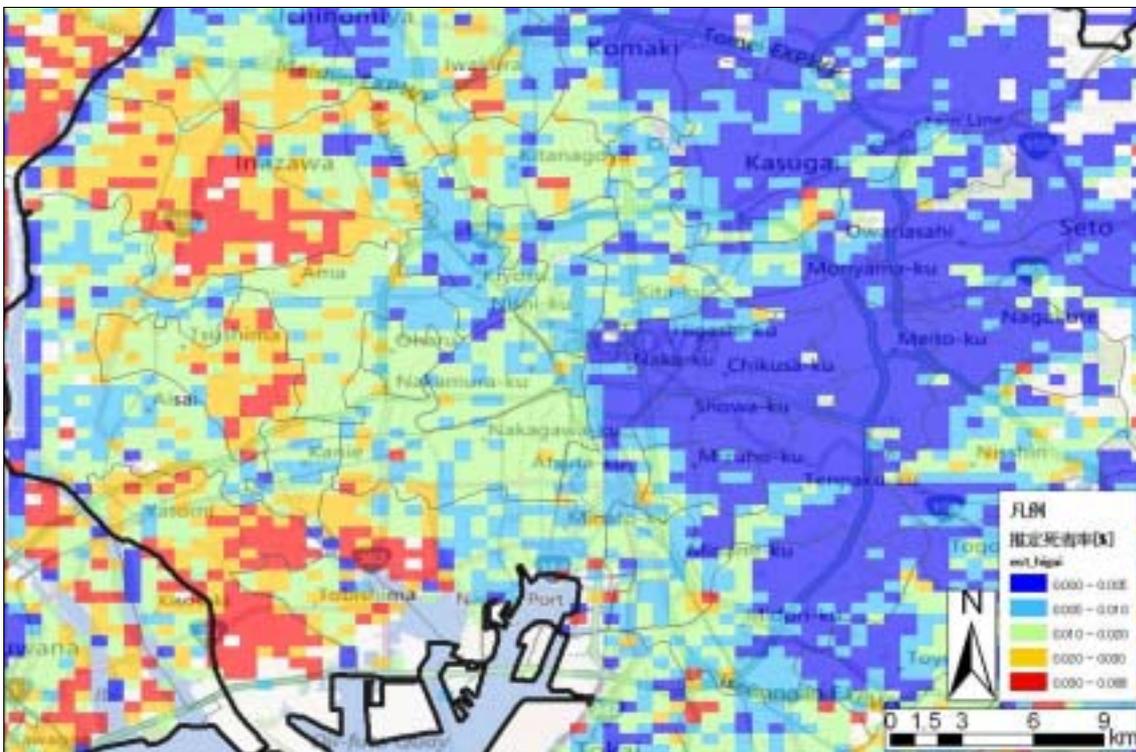
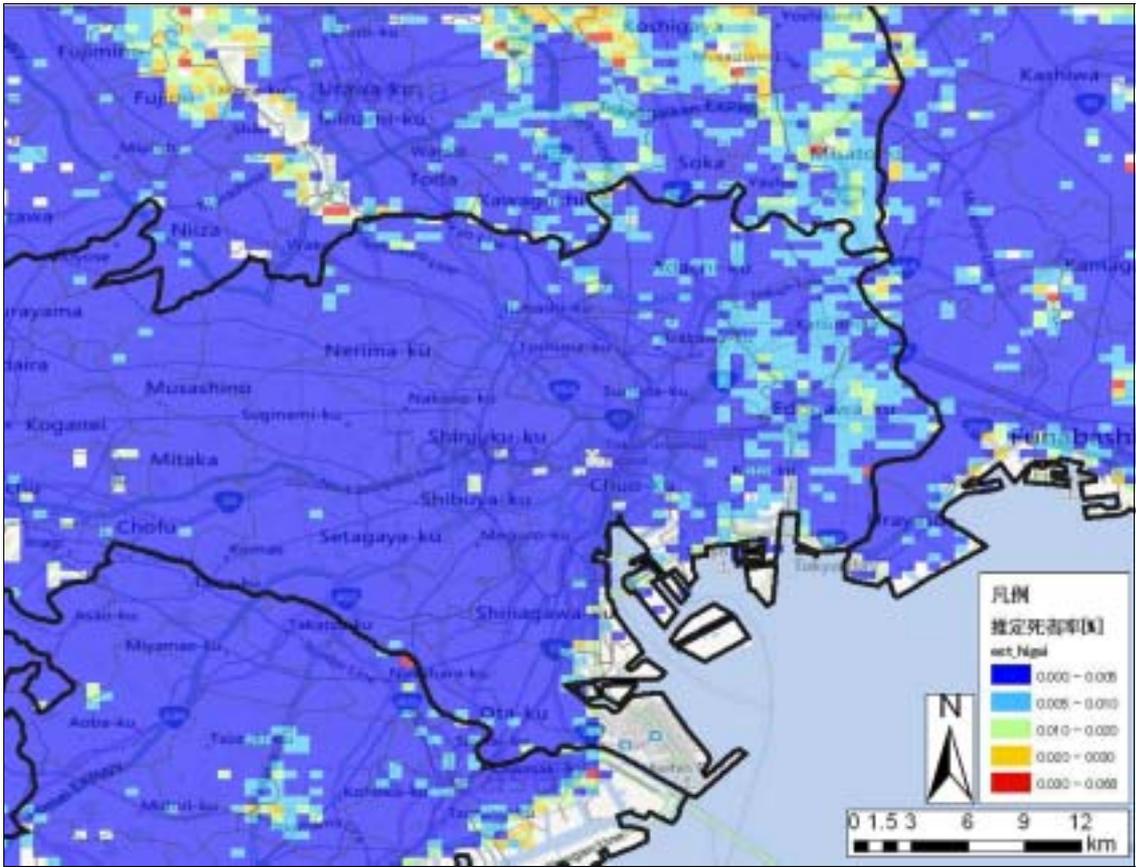
資料 7：大規模地震時の被害推定（4次メッシュ集計・50年超過確率2%の地震が冬期夕刻に発生した場合）

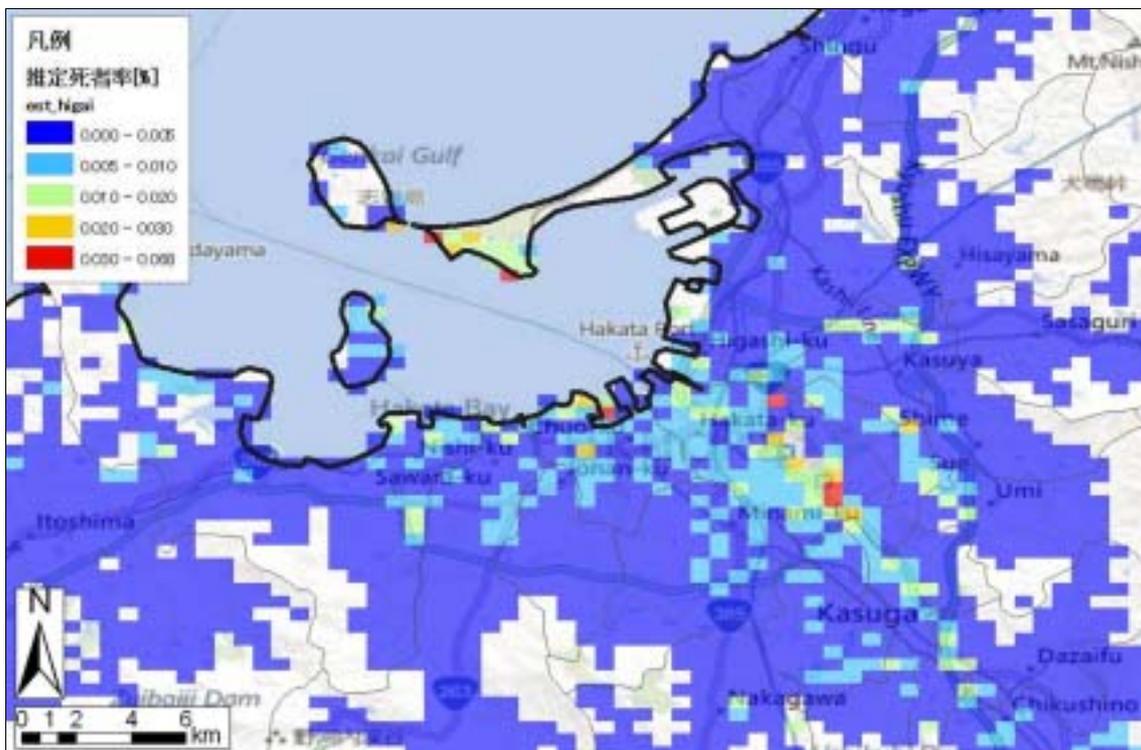
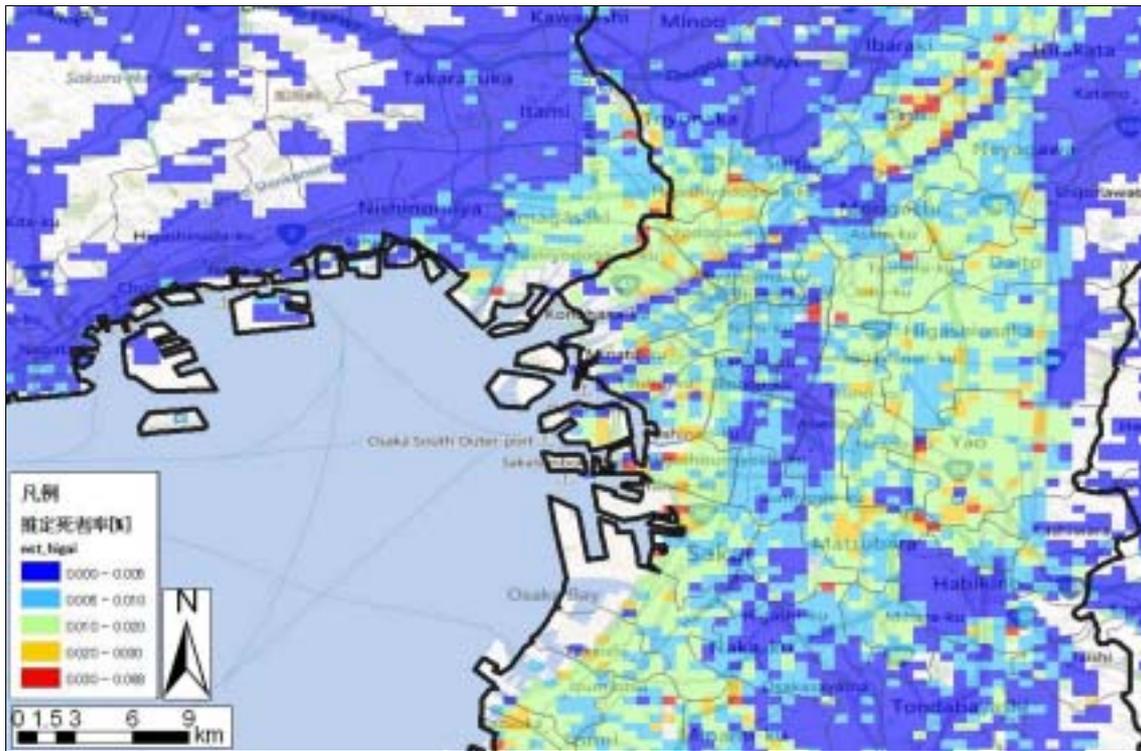




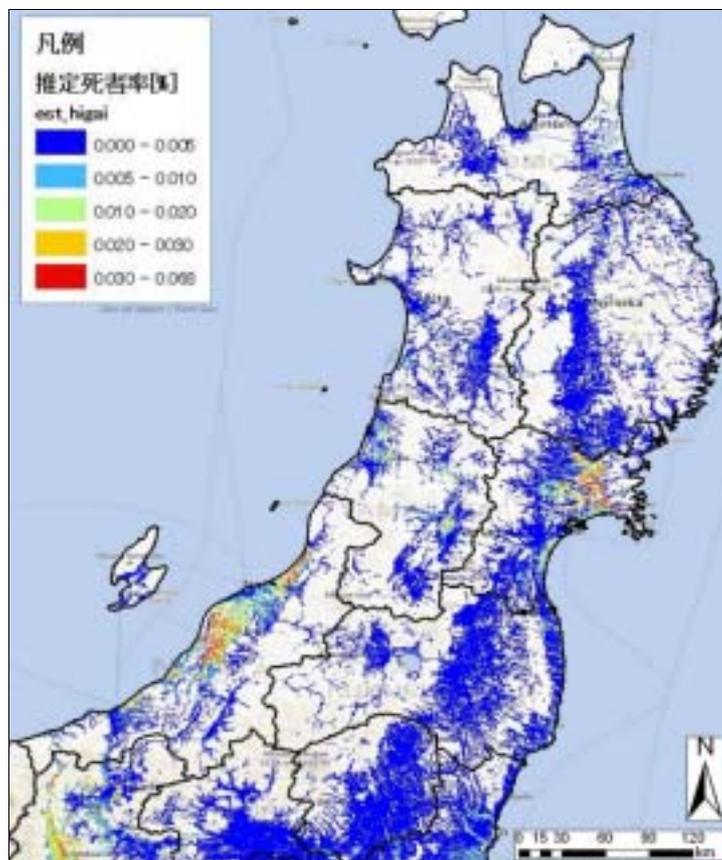
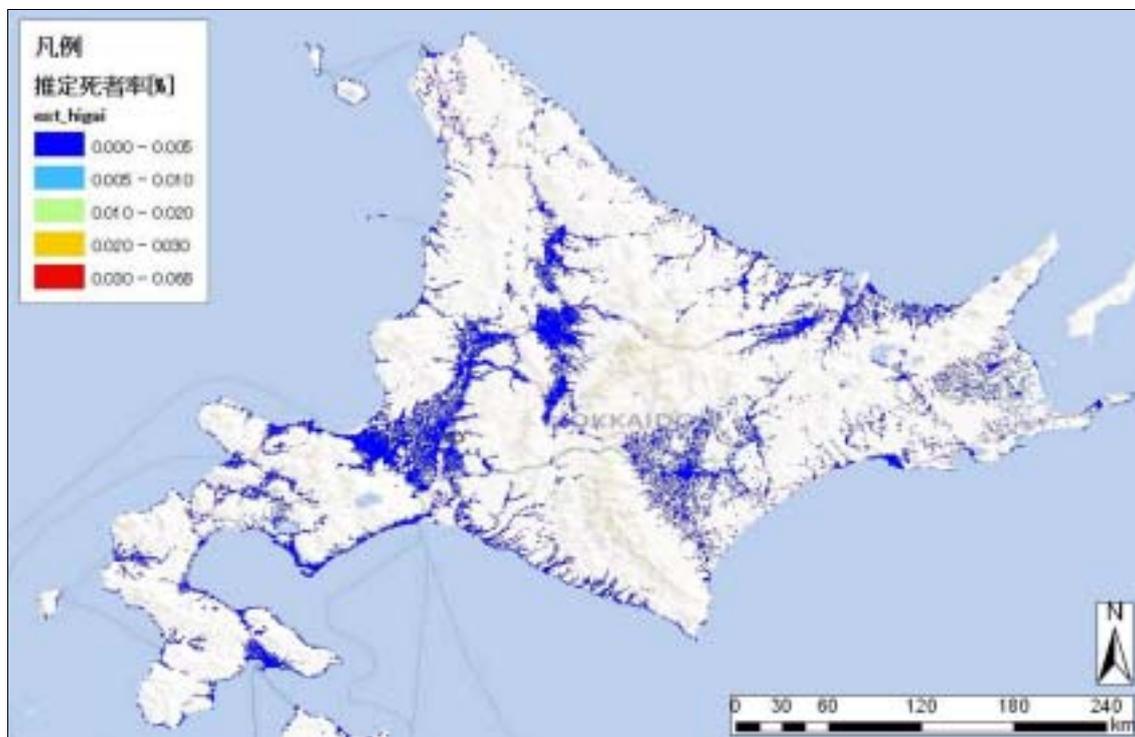


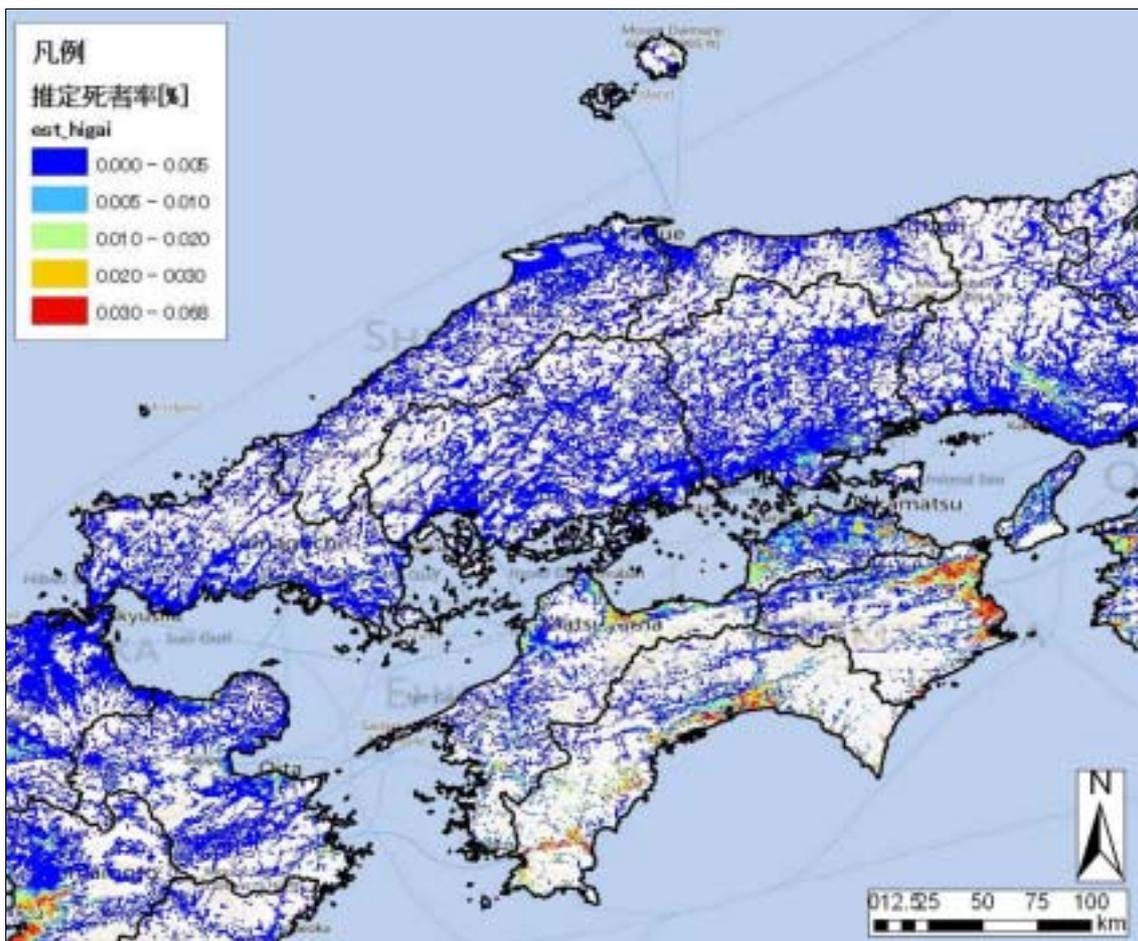
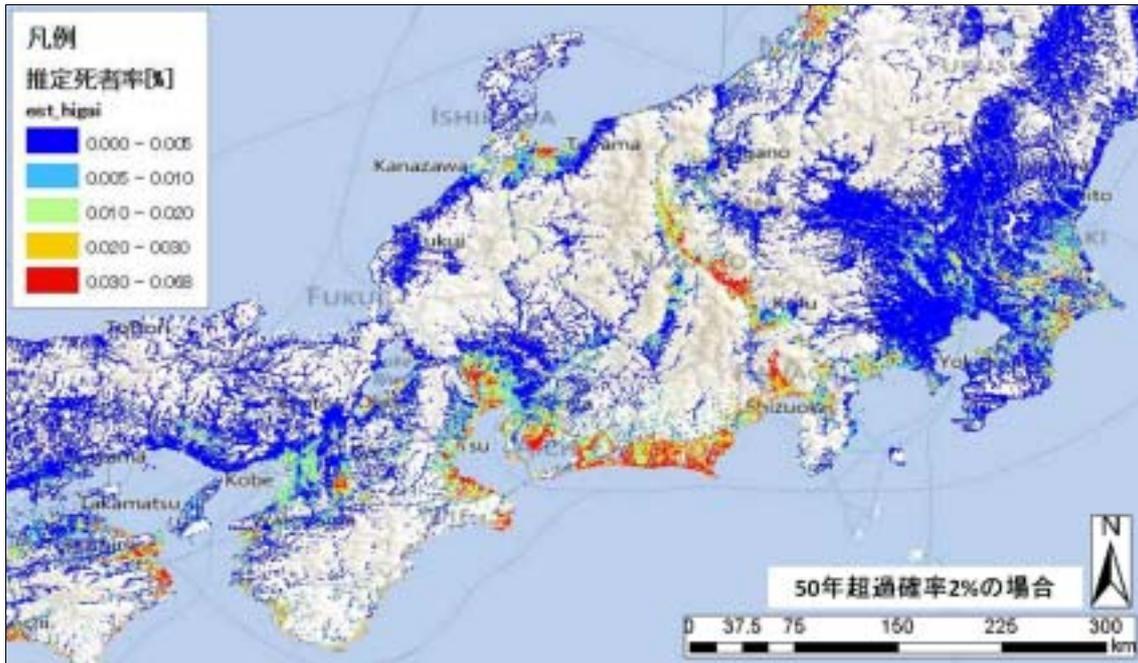


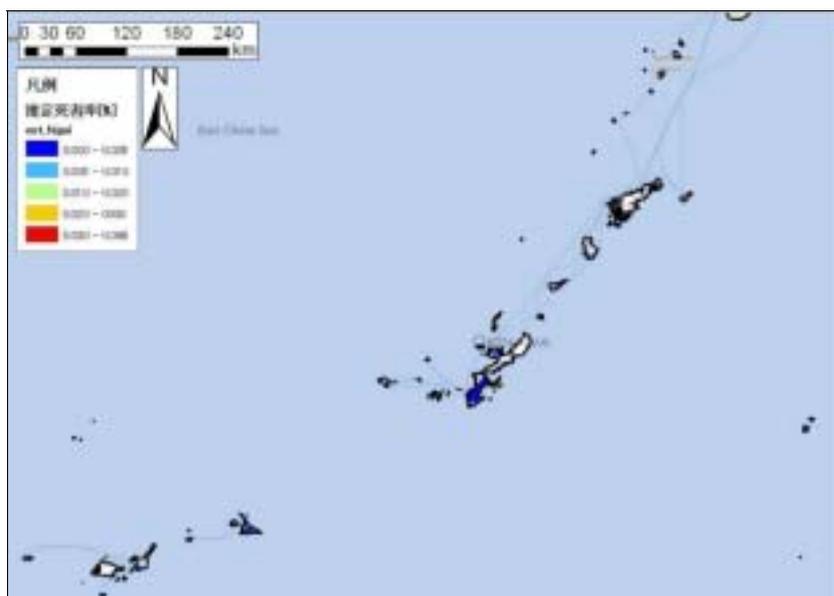
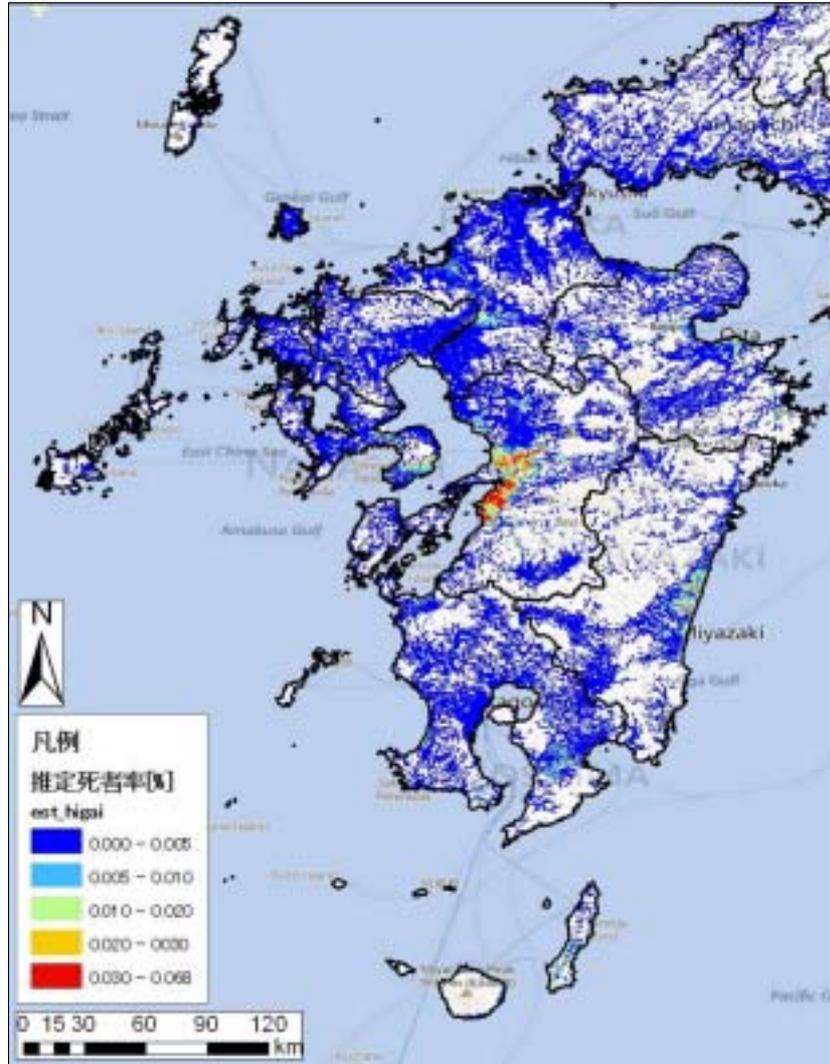


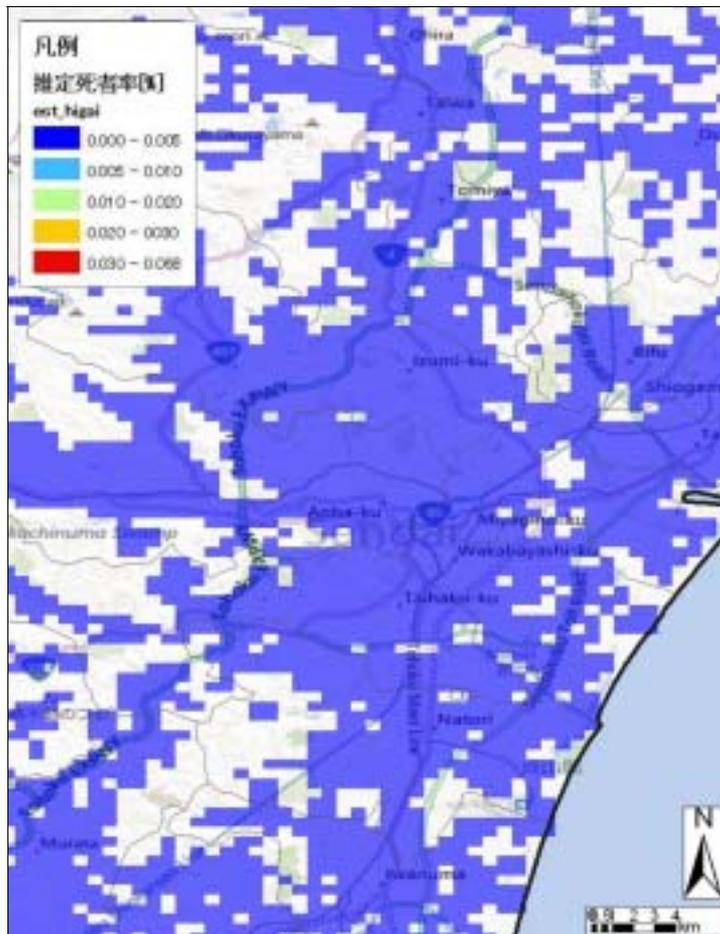
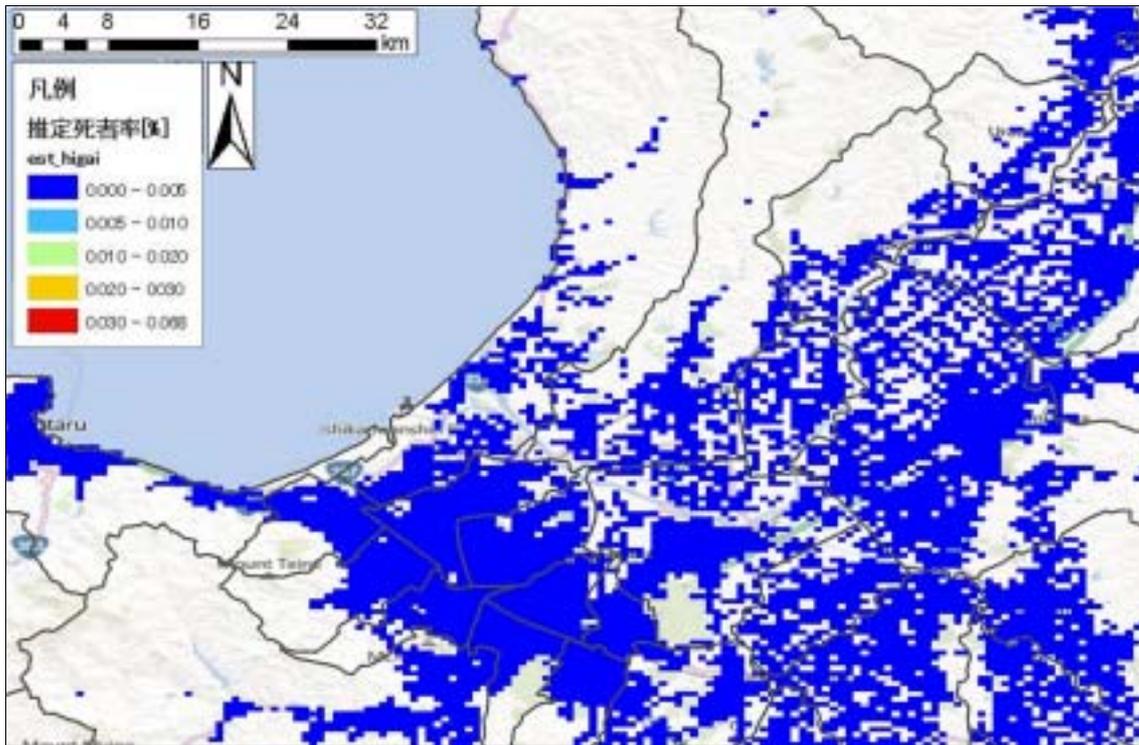


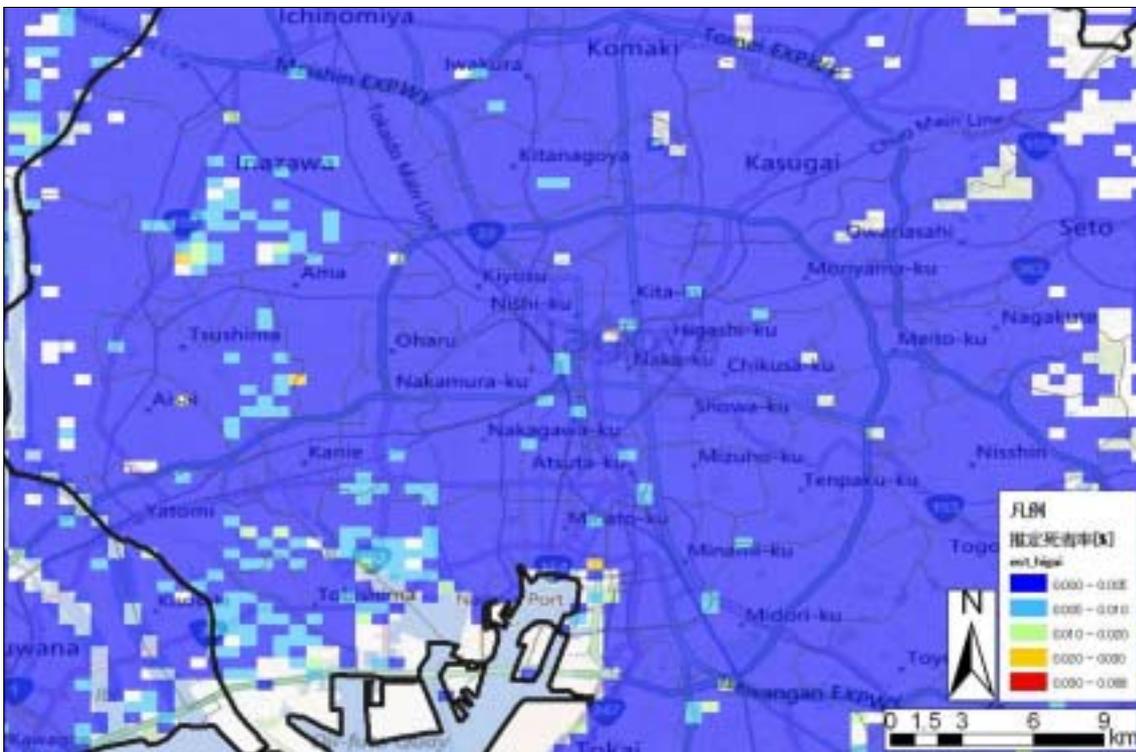
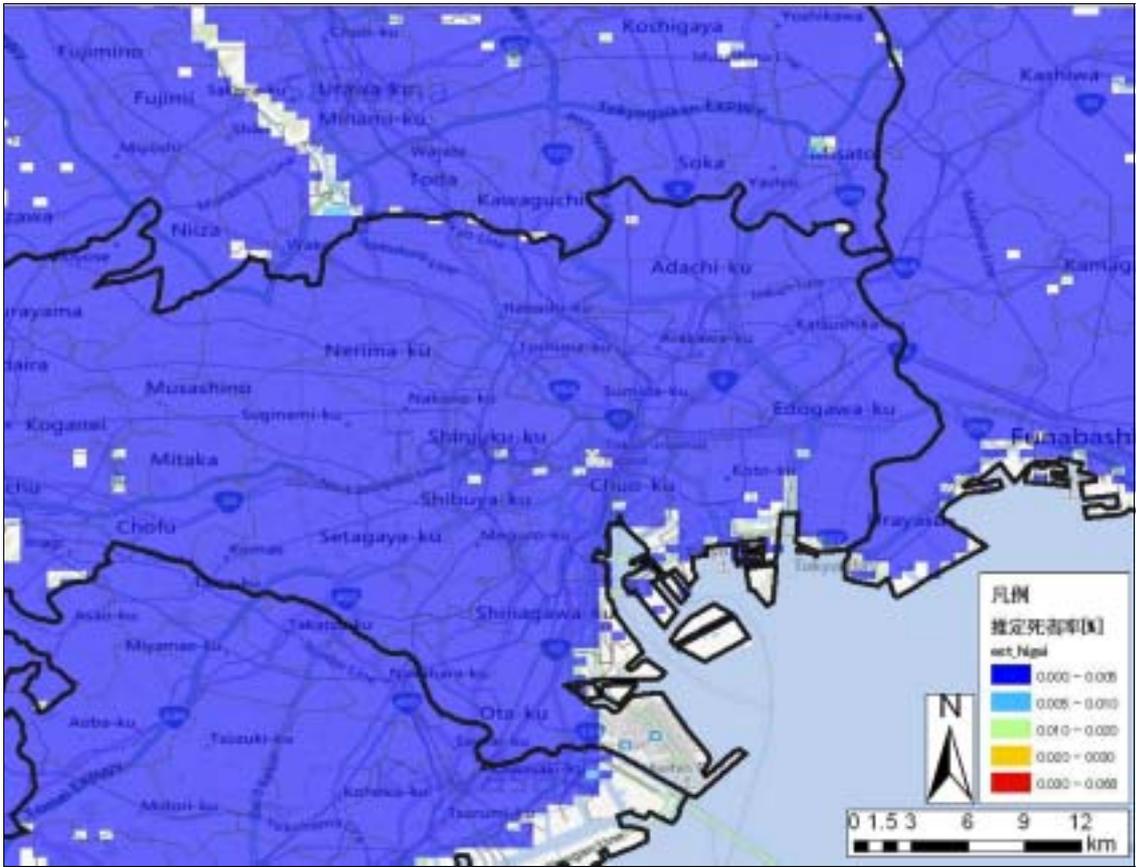
資料 8 : 大規模地震時の被害推定 (4 次メッシュ集計・50 年超過確率 39%の地震が冬
期夕刻に発生した場合)

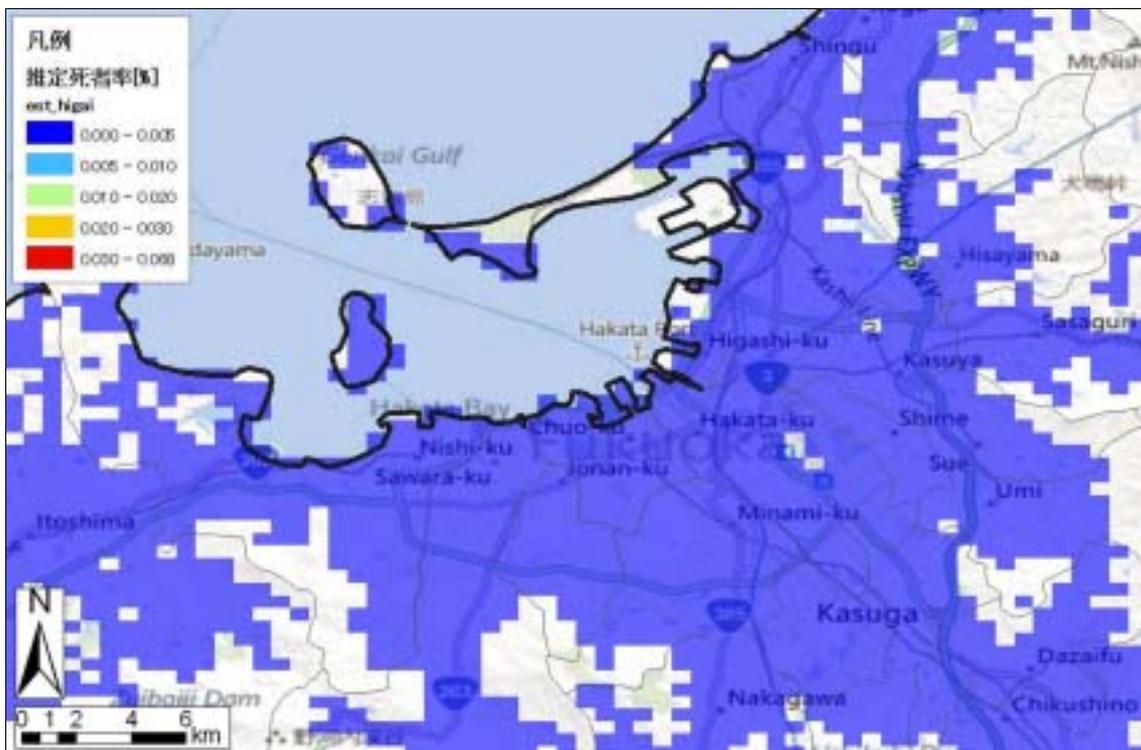
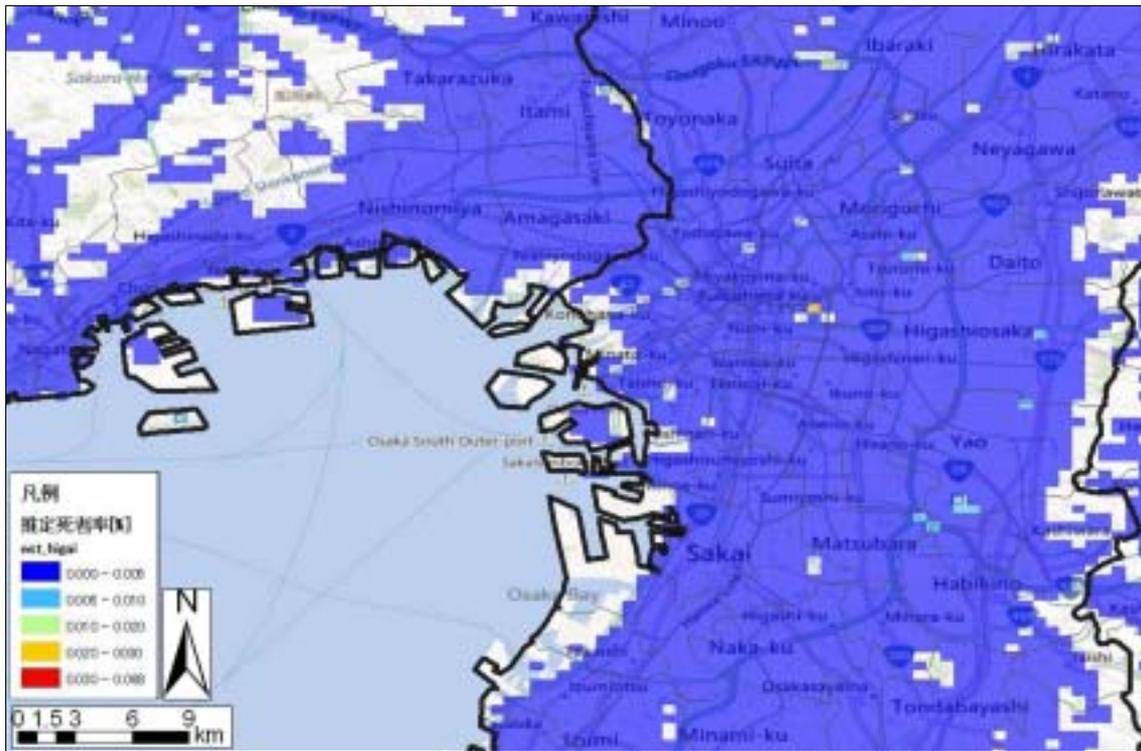












謝辞

本研究を行うにあたり、大変多くの方々のご指導ご協力があり、ここに1篇の修士論文を仕上げることができました。

本学主査である柴崎亮介教授には、本研究に関して終始ご指導ご鞭撻を頂き、心より感謝致します。研究テーマで悩んでいた際には「もっと研究室にしかないデータを探して、誰もしていないような研究を、日本全土を対象に取り組んで、上を目指したほうがいい。」という助言をいただき、私にとって大変刺激となりました。そしてこの助言が私の修士論文の出発点となりました。日本のみならず世界でご活躍されている柴崎教授は、日々研究でお忙しい中でも私の研究に多くの時間を割いてくださり、研究内容、論文校正、発表資料など細部に至るまでに多くの助言をいただきました。心より感謝いたします。

また、本学副査である浅見泰司教授には、本研究の完成度の向上、発展のためのご指導をしていただきました。深謝致します。

秋山祐樹助教授には、研究手法から論文の校正に至るまで多くのご指導をしていただきました。私が入学した直後には研究のテーマ設定に助言をくださり、共に徹夜でプログラミングをしていただいたこともありました。また、休日にも関わらず親切にご指導していただいたことは今でも昨日のここのように思い出されます。秋山助教授の研究に対する熱心な姿勢やご指導は、私の研究に対する姿勢を大きく変えてくださいました。本研究を目標であった全国スケールまで拡大できたのは、秋山博士の多大なご支援によるものです。厚く御礼を申し上げます。

加藤孝明准教授には、非常にお忙しい中多くの時間を割いてミーティングをしていただき、防災の視点から本研究に関する的確な助言を頂きました。心より感謝いたします。

仙石さんには、様々なイベントに誘っていただき、それらを通して色々な分野の方々と交流を深めることができました。その中で得られた知見は研究を進めるにあたり大変役立ちました。仙石さんの明るいキャラクターにより日々楽しい研究生活を過ごすことができました。本当にありがとうございました。

中村さんには、プログラミング指導、ネットワーク距離の計算などについて優しく指導していただきました。心より感謝いたします。

秘書である秋枝様、本間様には、出張の際にはいつも事務手続きをして下さいました。厚く御礼申し上げます。

また、4章のデータ整備にあたっては、奈良大学地理学部様、津田塾大学の山田佐和子様、山中葵様、千葉大学の岩瀬紗彩様にご協力をいただきました。心より感謝い

たします。

今後もこの修士論文での経験を活かして研究に精進してまいります。

最後になりますが，最後まで一緒に頑張って来た研究室の皆様，そして最大限このような研究生活に協力してくれた両親に感謝いたします。ありがとうございました。

なお本研究は，国土交通省国土政策局平成 24 年度国土交通省国土政策関係研究支援事業の助成を受けていることをここに記しておきます。

2013 年 7 月 31 日 小川 芳樹