



地震被害推定をより正確に行うための 構造種別や層数を考慮に入れた建物内人口データの構築

新井健介¹⁾, 境有紀²⁾

- 1) 学生会員 筑波大学大学院システム情報工学研究科, 大学院生
e-mail: e0511266@edu.esys.tsukuba.ac.jp
- 2) 正会員 筑波大学大学院システム情報工学研究科, 教授 工博
e-mail: sakai@kz.tsukuba.ac.jp

要約

地震被害推定をより正確に行うため、建物ベースではなく人口ベースで被害推定を行えるように、被害建物内人口で評価する方法を提案した。そのために必要な建物内人口を、国勢調査人口データより推定する方法について検討した。具体的には、建物種別を木造、10階以下の中低層非木造、11階以上の高層非木造の3つに分類し、3万個以上ある関東圏の1kmメッシュから人口の大小、夜間人口と昼間人口の比を万遍なく網羅するように20個の1kmメッシュを選んで調査を行い、そのデータを基に、それぞれの建物内人口を国勢調査などの人口データから推定する方法を構築した。その結果、いずれの場合も高い精度で人口データから建物内人口を推定できた。

キーワード： 地震被害推定, 建物内人口, 人口データ, 国勢調査, 地域メッシュ統計

1. はじめに

大地震時の被害推定や地震被害想定は、震度などの地震動強さ指標による被害関数を用いて行われることが多い。しかし、被害関数によって求められるのは被害の「率」であり、被害の「量」はその地点の建物数、人口によって変わってくる。また、日本の建物の大半は木造家屋であるが、人口が集中する都市部では、非木造建物や高層建物も数多く存在し、これらは被害と対応する周期帯が異なると考えられる。そのため、単独の地震動強さ指標や被害関数では、正確な被害推定は難しい。そこで、筆者らは木造家屋が多い地域から非木造建物や高層建物が集中する都市部まで、被害の「量」をより正確に求めるシステムとして、建物の構造種別・層数を考慮して建物を分類し、それぞれの建物被害と対応した地震動強さ指標による被害関数と、人口データから推定した建物群データをあわせて用いる方法を提案した¹⁾。しかし、この方法では木造建物一棟と高層建物一棟の重み付けが等しくなるため、建物の内に居住している人口（以下、建物内人口）が多い高層建物が多い都市部の人的被害を正確に推定できなくなってしまう。また、人口データから建物群データを推定する際に、団地などの特殊な点では推定精度が悪くなってしまうという問題点もあった。

そこで、建物ベースではなく人口ベースで被害推定を行うことを考えた。そのためには、構造種別や層数を考慮に入れた建物内人口データが必要になる。しかし、このような建物内人口データは、全国的に整備されておらず、建物群データと同様に、全国的に整備されている人口データから推定しなければ

ならない。建物内人口を推定する研究は行われているが²³⁾、被害と対応する周期帯が異なると考えられる高層建物が中低層建物と分けられていない。

本研究では、文献1)と同様に人口が集中する都市部ほど非木造建物内人口、非木造高層建物内人口が増えるのではないかと考え、国勢調査などによってメッシュ単位で整備された人口データから、構造種別・層数別の建物内人口を推定することにより、人口が集中し非木造建物が多い都市部から、人口が少なく木造建物が多い地域までの地震被害推定に適用可能な人口データの構築方法の検討を行った。

2. 建物内人口データの構築方法と被害推定システムの概要

建物内人口データは、1km、500mメッシュ単位で構築する。建物層数の違いによって被害が対応する地震動の周期帯（地震動強さ指標）が異なり、また、木造建物と非木造建物の耐震性能（被害関数）が異なることから建物群を木造、中低層（10階以下）非木造、高層（11階以上）非木造の3つの建物種別に分類し、建物種別ごとの人口を求める。非木造建物の中低層と高層を10階で分けたのは、非木造建物の大部分を占める鉄筋コンクリート造建物の1～10階の弾性周期が木造建物の弾性周期とほぼ同じ0.2～0.5秒⁴⁾⁵⁾⁶⁾となり、両者の被害関数の地震動強さ指標に同じものを用いることができると考えたためである。

検討に用いるのは、文献1)で建物群調査が行われている、3万個以上ある関東圏の1kmメッシュから人口の大小、夜間人口と昼間人口の比を万遍なく網羅するように選んだ20個の1kmメッシュ（図1,2）である。さらに、図3に文献1)の建物群調査結果より、検討対象メッシュの建物群割合を示す。これより、検討対象メッシュは人口、昼夜人口比に加え、建物群割合についても、人口が集中し非木造建物が多い都市部から、人口が少なく木造建物が多い地域までをカバーしていると考えられる。

まず、検討対象メッシュにおいて、現地調査を行って夜間における建物内人口データを入手し、入手した建物内人口データと1km、500mメッシュ単位で整備された人口データとの相関を検討し、夜間における建物内人口データの推定方法を構築する。昼間における建物内人口データについては、夜間からの人口移動を考慮し推定する。用いる人口データは国勢調査で調査がなされている、昼間人口、夜間人口、世帯数、11階以上共同住宅世帯数⁷⁾⁸⁾である（表1）。国勢調査で調査がなされている層数別の世帯数データには、11階以上共同住宅世帯数の他にも、1・2階、3～5階、6～10階といった区分もあるが、1・2階、3～5階においては木造建物と非木造建物が混在していると考えられる。実際、平成15年住宅・土地統計調査によると、全国の1・2階建住宅の86%が木造という結果となっている。また、1・2階、3～5階、6～10階を分離して推定することで、推定誤差が累積してしまうといった悪影響も考えられる。そこで、木造、中低層（10階以下）非木造、高層（11階以上）の3種類の建物内人口を推定するという目的を考慮し、世帯数と11階以上共同住宅世帯数を用いた。つまり、1km、500mメッシュ単位で全国的に整備された人口データ（昼間人口、夜間人口、世帯数、11階以上共同住宅世帯数）を用いて、木造、中低層非木造、高層非木造建物内人口を昼夜それぞれについて推定する方法を構築することになる。

建物内人口データを用いた地震被害推定システムの概要について図4に示す。強震観測データから、木造、中低層非木造建物の大きな被害と相関をもつやや短周期に対応した地震動強さ指標、高層非木造建物の大きな被害と相関をもつやや長周期に対応した地震動強さ指標を計算する。地震動強さ指標は、強震観測点でしか得られないため、面的補間を行い、メッシュごとの地震動強さ指標を得る。得られた地震動強さ指標を用いて、被害関数により建物種別ごとの全壊率、大破率を求める。そして、これに推定した建物種別人口データをかけることにより、各メッシュについての全壊・大破という大きな被害を受けた建物内人口が建物種別ごとに求まることになり、これを合計することで、メッシュごとに被害建物内人口が求まる。また、メッシュごとの被害建物内人口を合計することで、地震被害を人的ベースで評価することができる。

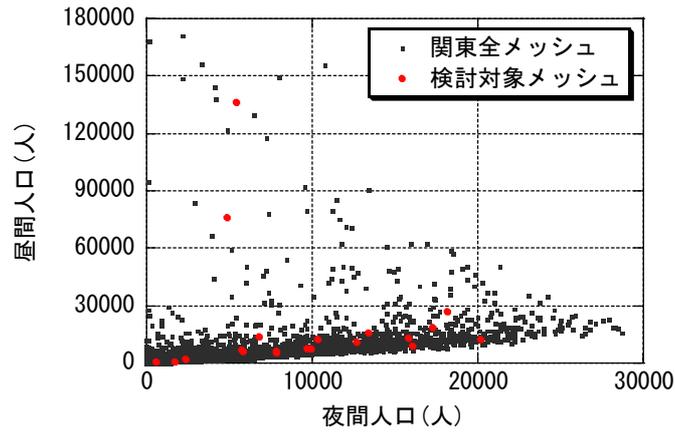


図1 関東圏の夜間人口，昼間人口の分布と検討対象メッシュ



図2 検討対象メッシュ

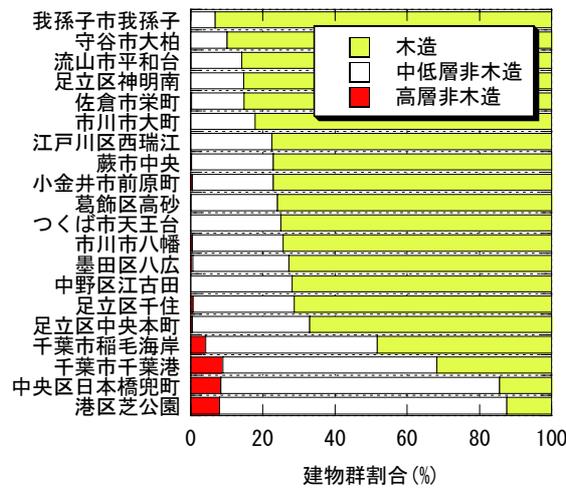


図3 検討対象メッシュの建物群割合

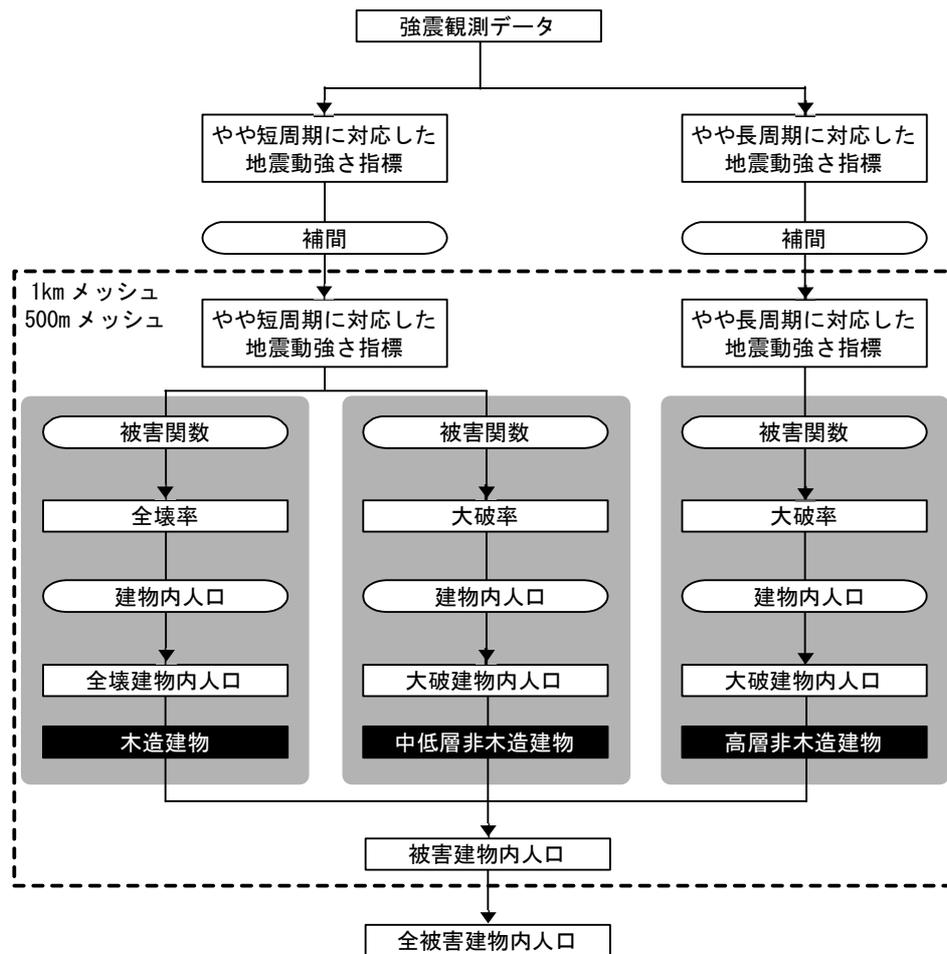


図4 建物内人口データを用いた地震被害推定の概要

3. 建物内人口データの収集

推定方法を検討するために、建物内人口データが必要となる。そこで、夜間における建物内人口データを得るために、検討対象メッシュで中低層非木造建物世帯数調査を行った。具体的には、各メッシュ内の全ての中低層非木造建物について世帯数を判定し、記録した。世帯数の判定は、一戸建て及び小規模な集合住宅の場合は目視、大規模な集合住宅の場合は目視、郵便受けの数及び管理人へのヒアリング調査により行った。調査は平成20年5～8月に行い、延べ21日・人を要した。これより得られた中低層非木造世帯数に非木造建物における一世帯当たり人数(非木造建物世帯人員/非木造建物世帯数)をかけることで、夜間中低層非木造人口とすることができる。平成15年住宅・土地統計調査より得られる非木造建物における一世帯当たり人数の都道府県別平均値の分布を図5に示す。非木造建物における一世帯当たり人数は、全国平均値2.29(人/世帯)周辺に集中して分布していることがわかる。また、非木造建物における一世帯当たり人数は、都市部ほど一人暮らしや核家族が多いことも考えられ、人口密度に依存する可能性もある。そこで、非木造建物における一世帯当たり人数の都道府県別平均値と人口密度の関係を図6に示す。近似直線を赤線で示すが、傾きは非常に小さく、非木造建物における一世帯当たり人数は人口密度に依存していない。さらに、検討対象メッシュにおいて、該当都県における非木造建物における一世帯当たり人数を用いて算出した夜間中低層非木造人口と、非木造建物における一世帯当たり人数の全国平均値を用いて算出した夜間中低層非木造人口を比較して図7に示す。両者はよく対応おり、全国平均値を用いても影響は少ないといえる。これらより、非木造建物における一世帯当たり人数は全国平均値を用いることにし、調査によって得られた中低層非木造建物世帯数に非木造建物における一世帯当たり人数の全国平均値2.29(人/世帯)をかけて、夜間中低層非木造人口とした。夜間高層非木造人口に関し

ては、国勢調査によって11階以上共同住宅世帯数が全国的に整備されているので、これに非木造建物における一世帯当たり人数の全国平均値2.29(人/世帯)をかけたものとした。これらを夜間人口からひいて、夜間木造人口とした。なお、非木造建物における一世帯当たり人数に全国平均値を用いたことや推定時の丸め誤差の影響などから、夜間中低層非木造人口、夜間高層非木造人口が過大評価されてしまい、夜間木造人口を算出した際に、値が負になる地点が存在する。そのような地点に関しては、夜間木造人口を0人とした。そのようにして得られた夜間建物内人口データを表1に示す。

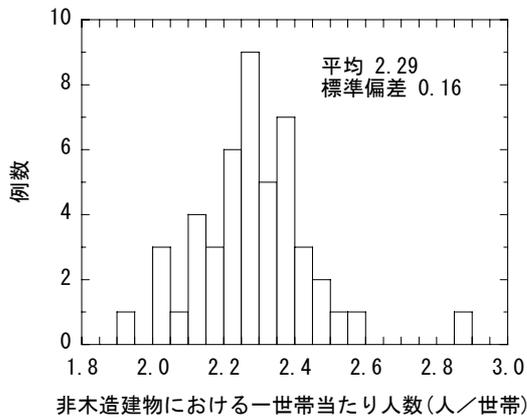


図5 非木造建物における一世帯当たり人数の都道府県別平均値の分布

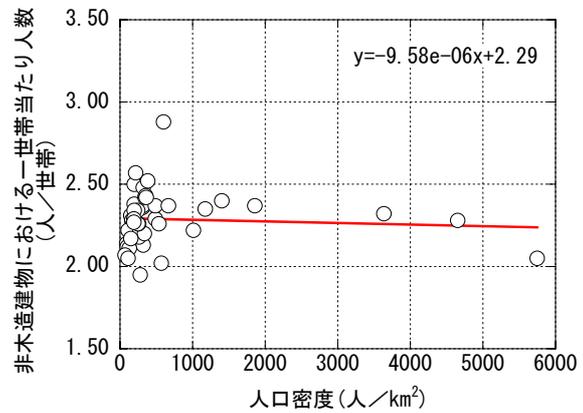


図6 非木造建物における一世帯当たり人数の都道府県別平均値と人口密度の関係

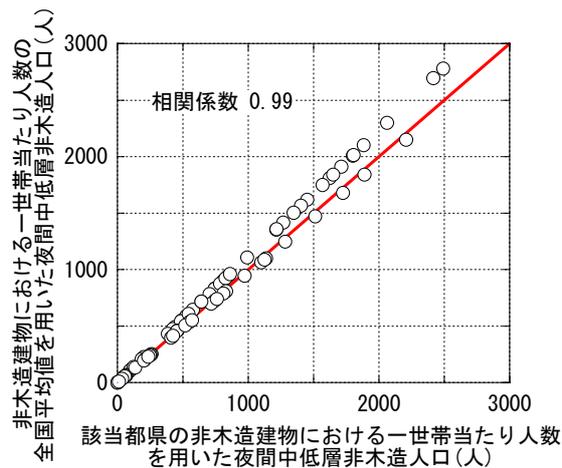


図7 該当都県の非木造住宅における一世帯当たり人数を用いた夜間中低層非木造人口と非木造建物における一世帯当たり人数の全国平均値を用いた夜間中低層非木造人口との対応

表1 推定に用いる人口データと調査より得られた夜間建物内人口データ

500mメッシュ コード	地点	人口データ ⁵⁾				夜間建物内人口データ		
		夜間人口	昼間人口	世帯数	11階以上 世帯数	木造	中低層 非木造	高層 非木造
53394666-1	墨田区八広	5170	4184	2242	195	4231	492	447
53394666-2		3015	2548	1251	0	2181	834	0
53394666-3		5107	4623	2184	582	2947	827	1333
53394666-4		2521	1714	1125	96	1396	905	220
53394612-1	中央区日本橋兜町	913	43800	682	321	59	119	735
53394612-2		1367	28954	809	414	192	227	948
53394612-3		429	40054	303	122	45	105	279
53394612-4		2669	23676	1486	614	791	472	1406
53393680-1	港区芝公園	838	11682	582	326	0	208	747
53393680-2		951	26135	538	125	234	431	286
53393680-3		333	12145	233	2	188	140	5
53393680-4		2686	25995	1659	970	0	552	2221
53394430-1	小金井市前原町	2753	1217	1224	0	2167	586	0
53394430-2		3609	2230	1921	162	1328	1910	371
53394430-3		2228	2661	1095	0	1282	946	0
53394430-4		4078	4814	2397	438	380	2695	1003
53394689-1	葛飾区高砂	1338	1565	466	52	576	643	119
53394689-2		1924	1439	701	0	1381	543	0
53394689-3		1591	1140	644	22	756	785	50
53394689-4		2957	2210	1103	0	2082	875	0
53394563-1	中野区江古田	5267	2955	2932	0	2968	2299	0
53394563-2		4850	1964	2612	0	2072	2778	0
53394563-3		5436	4220	2689	0	3430	2006	0
53394563-4		4632	3325	2177	0	2823	1809	0
53395624-1	足立区中央本町	4020	6037	1888	165	1803	1839	378
53395624-2		4499	4359	1990	271	1778	2100	621
53395624-3		3977	2674	1867	39	2473	1415	89
53395624-4		4780	5864	1899	453	1993	1750	1037
53394694-1	足立区千住	4670	5031	2216	250	2084	2013	573
53394694-2		3850	5659	1904	43	2399	1353	98
53394694-3		4691	6818	2175	236	2532	1619	540
53394694-4		4967	9844	2411	937	1255	1566	2146
53395646-1	足立区神明南	2363	2116	935	0	1646	717	0
53395646-2		2868	2152	1085	0	2261	607	0
53395646-3		1980	1904	757	0	1057	923	0
53395646-4		2432	1666	924	0	1326	1106	0
54401047-1	つくば市天王台	348	133	142	0	304	44	0
54401047-2		0	2	0	0	0	0	0
54401047-3		757	197	420	0	297	460	0
54401047-4		607	474	372	0	151	456	0
53397738-1	守谷市大柏	190	142	60	0	188	2	0
53397738-2		1241	643	429	0	1172	69	0
53397738-3		268	608	91	0	204	64	0
53397738-4		655	622	238	0	598	57	0
53403028-1	千葉市千葉港	5	223	5	0	5	0	0
53403028-2		176	5391	86	48	0	133	110
53403028-3		2138	2274	806	469	256	808	1074
53403028-4		4456	5855	1758	1139	1124	724	2608
53403056-1	千葉市稲毛海岸	2914	2792	1476	723	0	2148	1656
53403056-2		1877	1827	873	292	418	790	669
53403056-3		2277	1433	1250	936	0	398	2143
53403056-4		2873	1656	1164	308	696	1472	705
53406032-1	我孫子市我孫子	910	2344	359	0	706	204	0
53406032-2		959	532	351	0	904	55	0
53406032-3		1941	1336	685	0	1687	254	0
53406032-4		2016	1860	716	0	1480	536	0
53395717-1	市川市大町	70	34	23	0	65	5	0
53395717-2		13	139	4	0	13	0	0
53395717-3		371	176	121	0	337	34	0
53395717-4		136	57	40	0	125	11	0
53394764-1	市川市八幡	4388	7475	2261	370	1702	1839	847
53394764-2		3193	4105	1589	142	1620	1248	325
53394764-3		2967	1647	1309	0	2021	946	0
53394764-4		2845	2735	1311	0	2147	698	0
53404168-1	佐倉市栄町	1039	1594	373	0	792	247	0
53404168-2		1642	1718	599	95	1227	197	218
53404168-3		1864	1414	794	155	769	740	355
53404168-4		1183	2068	528	57	638	414	131
53396722-1	流山市平和台	1459	1577	558	0	953	506	0
53396722-2		1994	1209	724	0	1754	240	0
53396722-3		1077	672	401	0	848	229	0
53396722-4		3322	2062	1099	252	1066	1679	577
53394721-1	江戸川区西瑞江	4231	1915	1751	0	2873	1358	0
53394721-2		5105	3054	2185	0	3603	1502	0
53394721-3		3714	1717	1421	0	2997	717	0
53394721-4		2967	2432	1262	0	2007	960	0
53395584-1	蕨市中央	2024	3208	806	0	925	1099	0
53395584-2		2817	3868	1146	0	1754	1063	0
53395584-3		2267	2273	973	0	1715	552	0
53395584-4		3179	3208	1421	0	2091	1088	0

4. 夜間における建物内人口の推定

まず、夜間高層非木造人口は、11階以上共同住宅世帯数が1km、500mメッシュ単位で全国的に整備されているので、これに非木造建物における一世帯当たり人数の全国平均値2.29(人/世帯)をかけたものとする。夜間高層非木造人口が算出できたので、合計が夜間人口になることを考慮すると、残る夜間木造人口が夜間中低層非木造人口のどちらかが推定できれば、もう一方は自動的に決まることになる。そこで、1km、500mそれぞれにおいて3章で得られた夜間木造人口、夜間中低層非木造と世帯数との関係を図8に示す。夜間中低層非木造人口が世帯数と相関が見られるのに対し、夜間木造人口は世帯数に対してばらついている。これは、団地など高層の集合住宅が多い地点では、世帯数が多い割に夜間木造人口が

少ないためであると考えられる。つまり、世帯数が同程度でも、高層の集合住宅に集中して居住している場合と、木造住宅に別個に居住している場合が考えられ、このことが世帯数からの夜間木造人口の推定を困難にしている。そこで、世帯数を説明変数とした夜間中低層非木造人口の推定式を構築した(式(1), (2))。式の形は一次式とし、最小二乗法によって係数を決定した。

$$X_{1k} = 0.82F_{1k} \quad (1)$$

$$X_{500} = 0.77F_{500} \quad (2)$$

ここで、 X_{1k} , X_{500} : それぞれ1km, 500mメッシュにおける中低層非木造人口, F_{1k} , F_{500} : それぞれ1km, 500mメッシュにおける世帯数である。残りの夜間木造人口は、夜間中低層非木造人口と夜間高層人口を夜間人口から引くことで推定する。以上のようにして推定した夜間木造人口と夜間中低層非木造人口と、3章の調査による人口との対応を、1km, 500mメッシュそれぞれにおいて図9に示す。いずれの場合においても、建物内人口を精度よく推定できている。しかし、推定の目的変数として用いたのは、3章の調査結果を基にした建物内人口データであり、対象地点の正確な建物内人口データとは異なる。そのため、今後より正確な建物内人口データとの対応を検討していく必要がある。

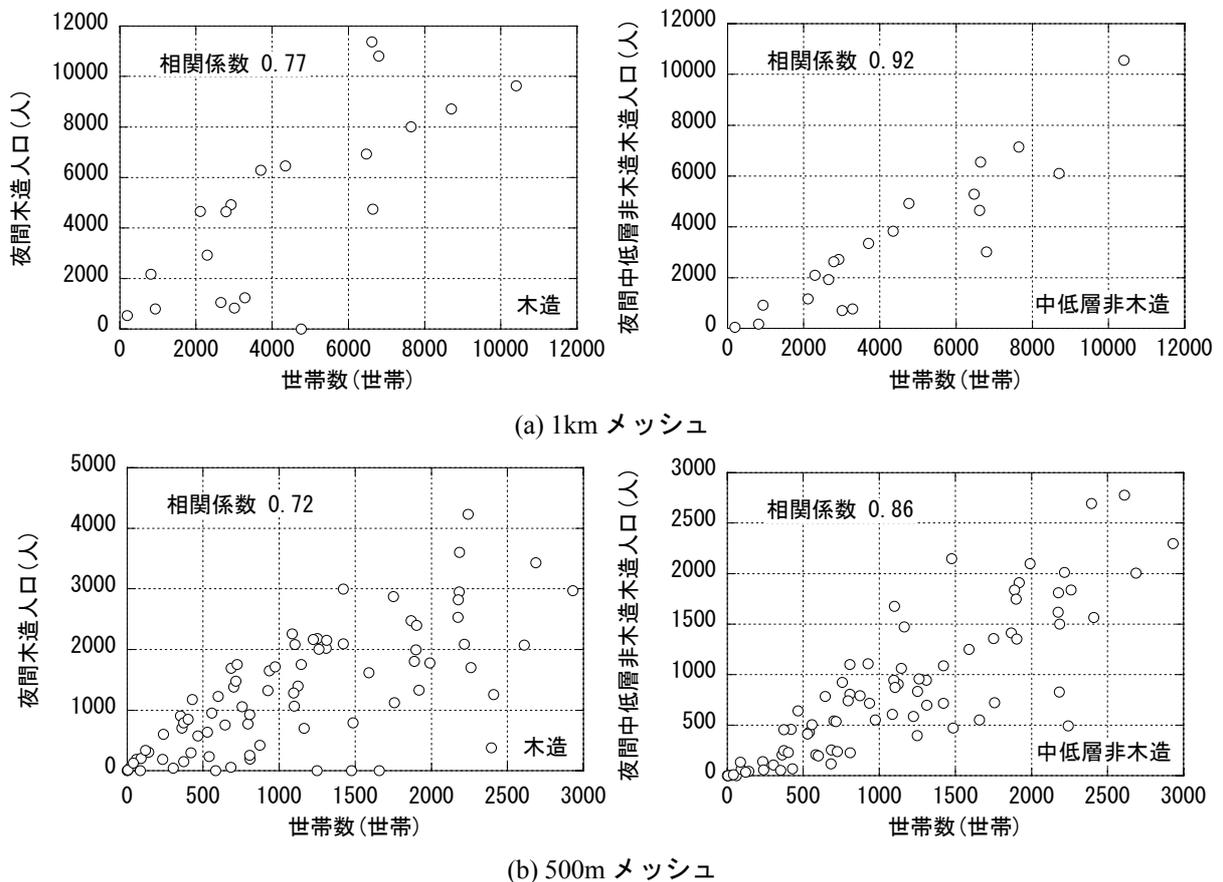


図 8 夜間木造人口、夜間中低層非木造人口と世帯数の関係

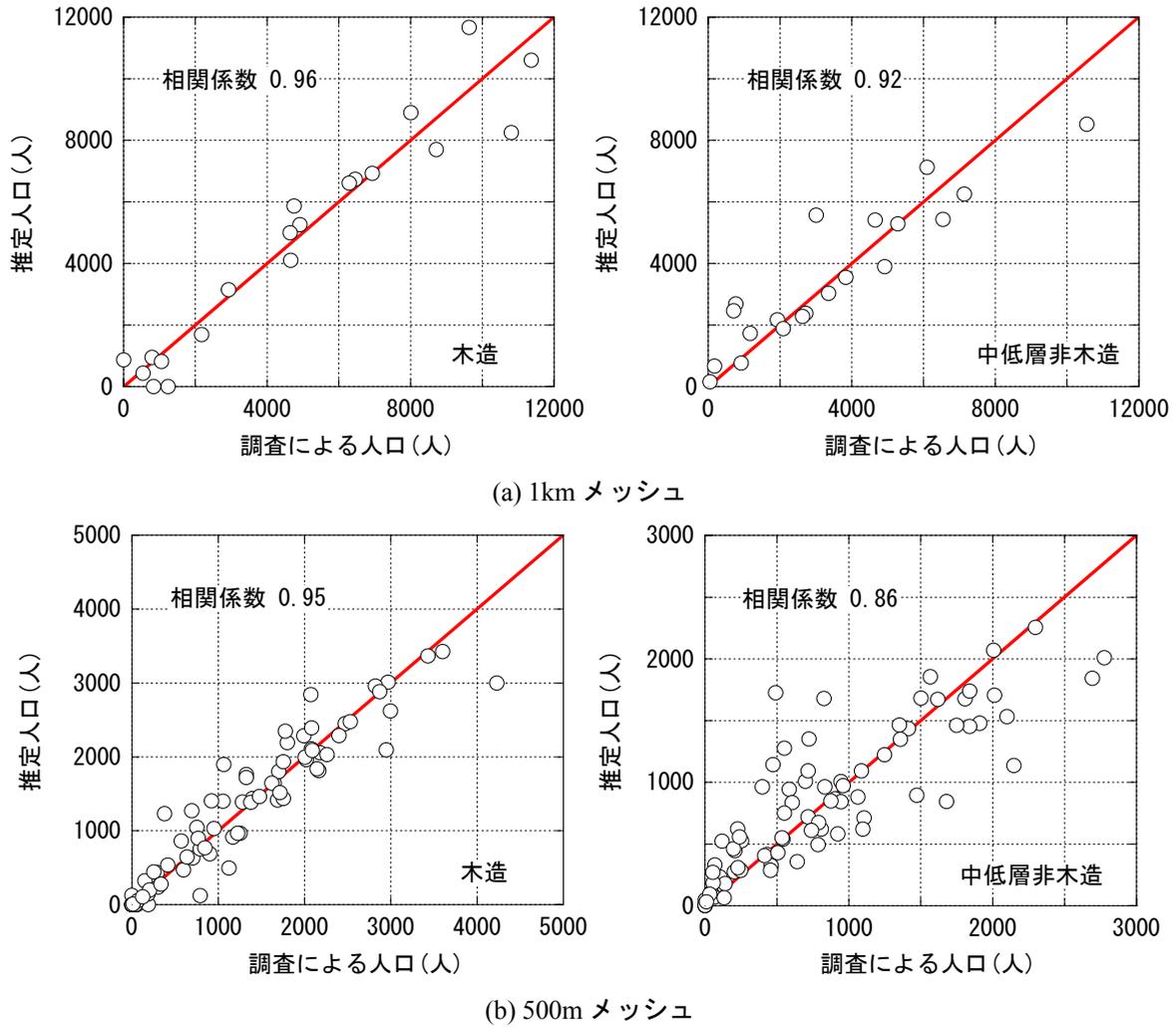


図9 調査による人口と推定した人口の対応

1km, 500m メッシュそれぞれにおいて建物内人口を精度よく推定することができたが、メッシュサイズが小さくなると局所的な特徴が出るため推定精度が悪くなっていることがわかる。しかし、メッシュサイズが小さいほうが局所的な被害推定が可能となり、メッシュサイズと建物内人口の推定精度はトレードオフの関係になっている。そこで、メッシュサイズと推定精度の関係の検討を行う。

1km メッシュと 500m メッシュにおける推定誤差を比較して図 10 に示す。比較のため、500m メッシュの推定誤差は該当する 1km メッシュごとの合計値としてある。救援活動に要する時間は、1km メッシュから 500m メッシュへメッシュサイズが 1/4 となることでかなり減少すると考えられる。それに対し、500m メッシュの誤差が 1km メッシュの誤差を下回っている地点も存在するなど、誤差の増加は少ない。

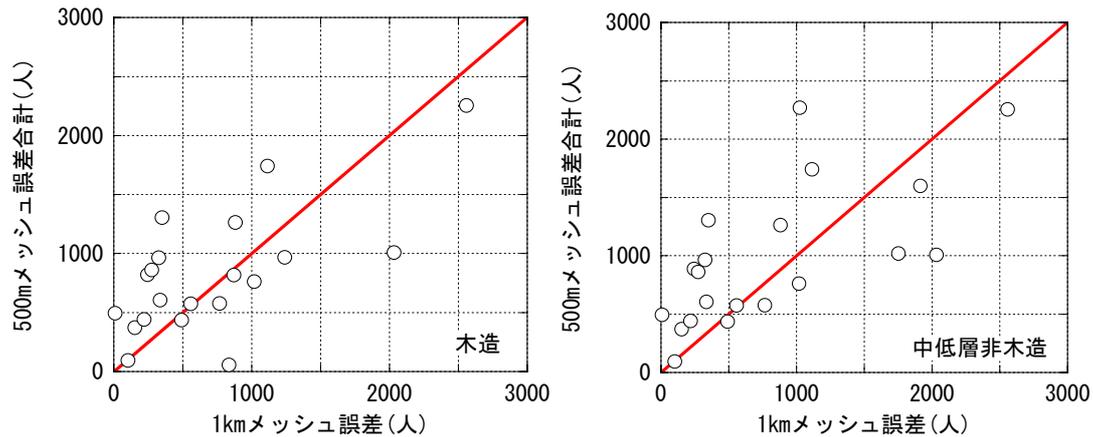


図 10 1km メッシュと 500m メッシュの誤差の比較

5. 昼間における建物内人口の推定

夜間における建物内人口について検討を行ってきたが、昼間地震が発生したときは、昼間における建物内人口を用いなければならない。しかし、昼間における建物内人口は、夜間の場合のように調査で得ることが難しい。そこで、夜間における建物内人口からの人口移動を考慮して、昼間における建物内人口を推定する。

推定手順を図11に示す。推定した夜間人口に、昼間在宅率（昼間在宅人口／夜間人口）をかけることで、昼間在宅人口が得られる。なお、昼間在宅人口は、世帯人員から通学者と通勤者を引くことで算出した。平成17年国勢調査から得られる昼間在宅率の都道府県別平均値の分布を図12に示す。これより、昼間在宅率は全国平均値0.447周辺に集中して分布していることがわかる。また、昼間在宅率は、都市部ほど共働き夫婦が多いことも考えられ、人口密度に依存する可能性もある。そこで、昼間在宅率の都道府県別平均値と人口密度の関係を図13に示す。近似直線を赤線で示すが、傾きは非常に小さく、昼間在宅率は人口密度に依存していない。さらに、検討対象メッシュにおいて、該当都県における昼間在宅率を用いて算出した中低層非木造昼間在宅人口と、昼間在宅率の全国平均値を用いて算出した中低層非木造昼間在宅人口を比較して図14に示す。両者はよく対応おり、全国平均値を用いても影響は少ないといえる。これらより、昼間在宅率は全国平均値を用いることとした。したがって、推定した夜間人口に昼間在宅率の全国平均値0.447をかけ、昼間在宅人口を算出する。これを合計し、昼間人口から引くことで、流入人口が求まる。流入人口は、事務所建物や学校建物など非住宅建物に入るので、非木造建物のみに入ってくると仮定し、これを高層非木造、中低層非木造に振り分ける。最後に、昼間在宅人口と流入人口をそれぞれ合計すれば、昼間における構造種別・層数を考慮した建物内人口が得られる。流入人口を振り分けるために、高層流入人口比（高層流入人口／中低層流入人口）があらゆる地点で必要となる。そこで、検討対象メッシュにおいて、高層流入人口比を単位床面積当たり人口が一定であると、これを高層非住宅建物延床面積／中低層非住宅建物延床面積として住宅地図⁹⁾上の建築面積に文献1)の調査結果による層数をかけて算出した。高層流入人口比は、昼夜人口比（昼間人口／夜間人口）が大きい都市部ほど大きいと考えられる。そこで、高層流入人口比と昼夜人口比の関係を1km、500mメッシュそれぞれで図15に示す。これより、昼夜人口比を説明変数とした、高層流入人口比の推定式を構築した(式(3)、(4))。1kmメッシュでは、高層流入人口比を精度よく推定できるが、500mメッシュでは、局所的な特徴が出てしまい、精度が悪くなっている。そこで、500mメッシュにおいて、推定した高層流入人口比を用いて求めた昼間人口と、地図より算出した高層流入人口比を用いて求めた昼間人口の対応を図16に示す。高層流入人口比は精度よく推定できないものの、人口ベースではおおむね良い精度で推定できている。これより、式(4)による高層流入人口比を用いても昼間人口の推定は可能であるといえる。

ここで提案した昼間における建物内人口の推定方法の妥当性について検証するため、対象地域のより正確な人口データとの整合性を検証していく必要があるが、現状ではそのようなデータが得られていないため、今後データが入手できれば行っていく必要がある。

$$r_{1k} = 0.22 \ln(X_{d1k}/X_{n1k}) + 0.073 \quad (3)$$

$$r_{500} = 0.20 \ln(X_{d500}/X_{n500}) + 0.101 \quad (4)$$

ここで、 r_{1k}, r_{500} : 1km, 500mメッシュそれぞれにおける高層流入人口比, X_{d1k}, X_{d500} : 1km, 500mメッシュそれぞれにおける昼間人口, X_{n1k}, X_{n500} : 1km, 500mメッシュそれぞれにおける夜間人口である。

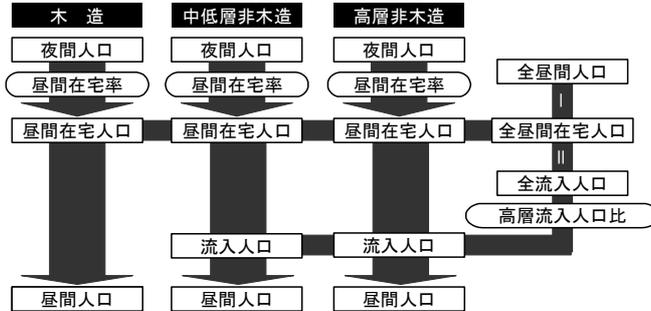


図 11 昼間人口算出のフロー

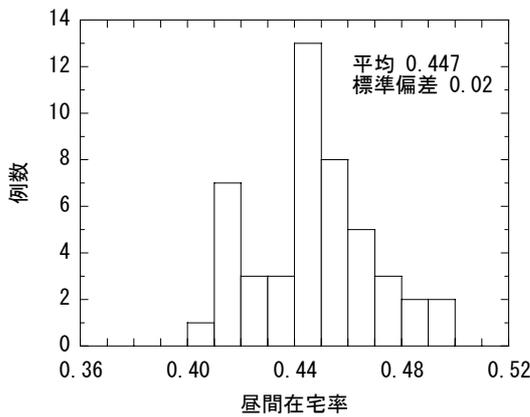


図 12 昼間在宅率の都道府県別平均値の分布

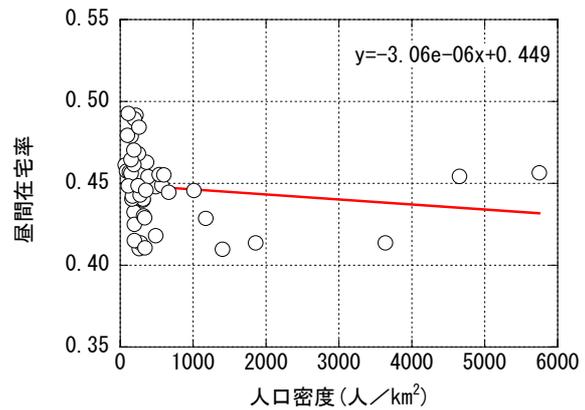


図 13 昼間在宅率の都道府県別平均値と人口密度の関係

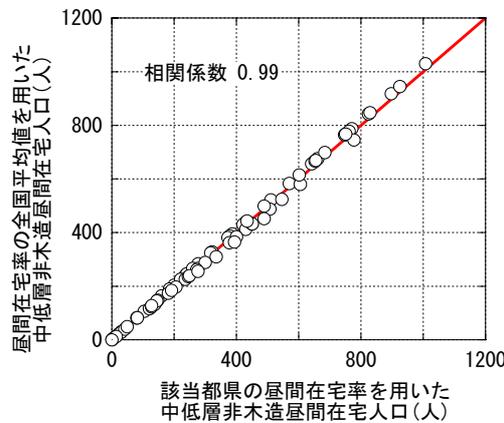


図 14 該当都県の昼間在宅率を用いた中低層非木造昼間在宅人口と昼間在宅率の全国平均値を用いた中低層非木造昼間在宅人口との対応

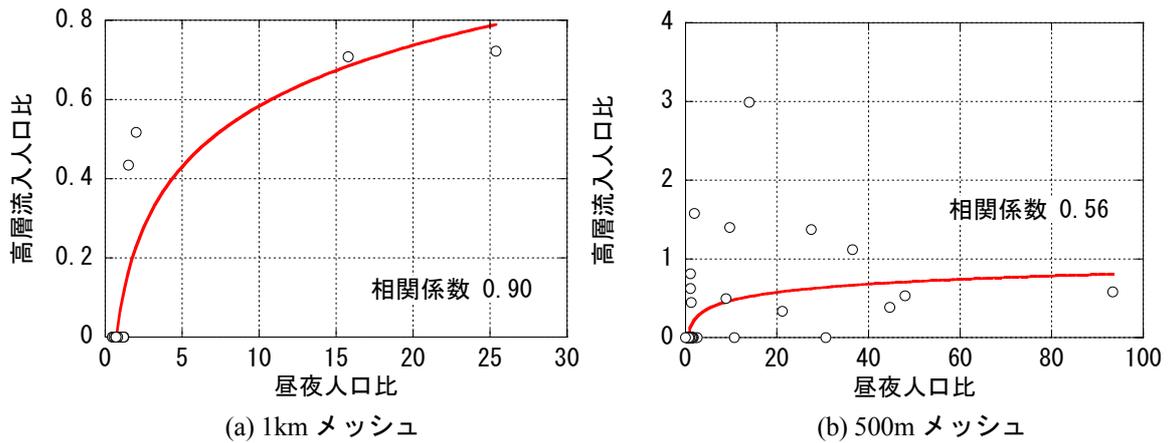


図 15 高層流入人口比と昼夜人口比の関係

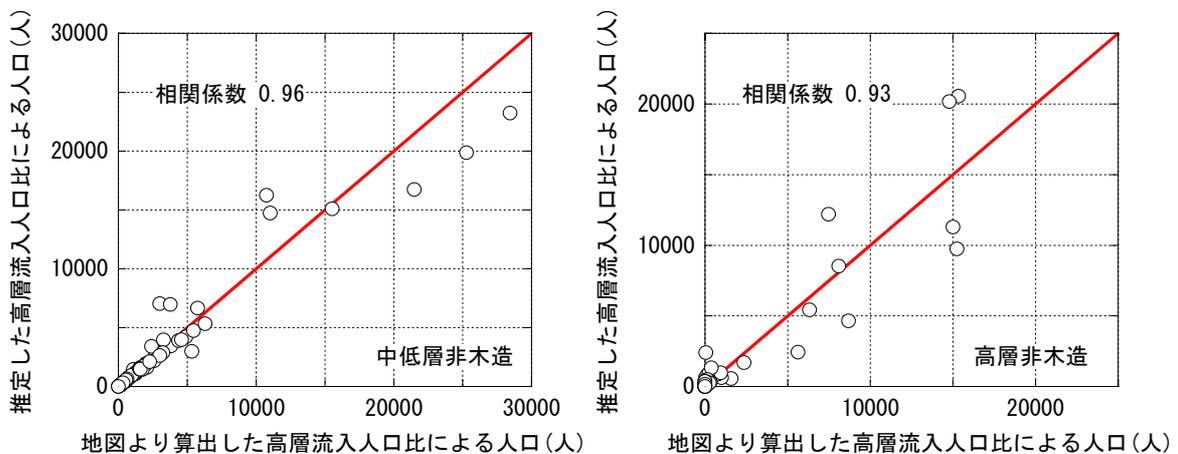


図 16 推定した高層流入人口比による人口と地図より算出した高層流入人口比による人口の対応

6. 建物内人口を用いた被害推定の適用例

建物内人口を国勢調査による人口データよりメッシュ単位で推定することができたので、最後に、2004年新潟県中越地震を対象に、図4に示した提案する被害推定システムの適用例を示す。被害推定は500mメッシュ単位で行うが、地震動強さ指標は観測点でしか求められないため、メッシュ単位にするために地表面で三角形線形補間法¹⁰⁾を用いた。補間の際に用いた地震動データは、防災科学技術研究所のK-NET、KiK-net及び、気象庁、地方自治体の震度計のものである。補間を行った地震動強さ指標は、木造建物被害と相関の高い1-2秒平均速度応答¹¹⁾、中低層非木造建物被害と相関の高い1-1.5秒平均速度応答¹²⁾、高層非木造建物被害と相関の高い2-4秒平均速度応答¹³⁾である。補間した地震動強さ指標を用いて式(5),(6),(7)¹¹⁾¹²⁾¹³⁾により建物分類ごとに被害率を算出する。このようにして得られた建物分類ごとの被害率分布を図17に示す。どの建物分類においても、多くの被害があった川口町周辺で被害率が高くなっている。さらに、図18には文献1)で提案されている被害建物数の分布、及び本研究で提案した被害建物内人口の分布を示す。建物群データは、対象地域の人口データ⁷⁾⁸⁾より、文献1)で提案されている推定方法によって推定したものをを用いた。新潟県中越地震は、土曜日の夕方5時56分に発生したので、建物内人口は夜間のものを用いた。被害率に関しては川口町周辺で高くなっているが、小千谷市周辺の方が人口が多いという理由から、被害建物数や被害建物内人口は小千谷市周辺の方が大きくなっており、これは川口町での重傷者数38人、全壊家屋606棟、小千谷市での重傷者数120人、全壊家屋665棟という実際の被害¹⁴⁾とも対応している。このことは、被害の「率」ではなく、被害の「量」によって評価を行うことの優位性を示している。推定した被害建物数の合計は1069棟となり、文献13)の自治体による全壊

建物数を 1/2 にして補正¹⁵⁾した 1587 棟とよい対応を示している。被害建物内人口の合計は 6384 人となり、これに対応する既存のデータは何かは判断が難しいが、重軽傷者数 4794 人¹⁴⁾とほぼ対応している。また、新潟県中越地震においては、高層非木造建物が存在する長岡市中心部で、高層非木造建物被害率が 0%となるため、大破高層非木造建物数ならびに大破高層非木造建物内人口はともに 0 となる。しかし、高層非木造建物が多く建ち並ぶ東京などの都心部で長周期地震動が発生した際には、高層非木造建物の被害が甚大になることが想定され、そのような場合において、単独の地震動強さ指標を用いた被害推定では、高層非木造建物の被害を正確に推定することが難しく、本手法が有用であると考えられる。今後、新潟県中越地震以外の過去の被害地震においても、提案する被害推定システムを適用し、被害建物内人口と人的被害との対応について検討していく予定である。

本来ならば、5 章までの推定結果をもとに、対象地域のより正確な人口データとの整合性を検証していく必要があるが、現状ではそのようなデータが得られていないため、今後データが入手できれば行っていく。

$$D_w = \Phi(-8.78 + 3.24 \log(V_{1-2})) \quad (5)$$

$$D_l = \Phi(-7.07 + 2.36 \log(V_{1-1.5})) \quad (6)$$

$$D_h = \Phi(-13.98 + 5.78 \log(V_{2-4})) \quad (7)$$

ここで、 D_w : 木造建物被害率、 D_l : 中低層非木造建物被害率、 D_h : 高層非木造建物被害率、 V_{1-2} : 1-2秒平均速度応答、 $V_{1-1.5}$: 1-1.5秒平均速度応答、 V_{2-4} : 2-4秒平均速度応答、 Φ : 標準正規分布の累積確率である。

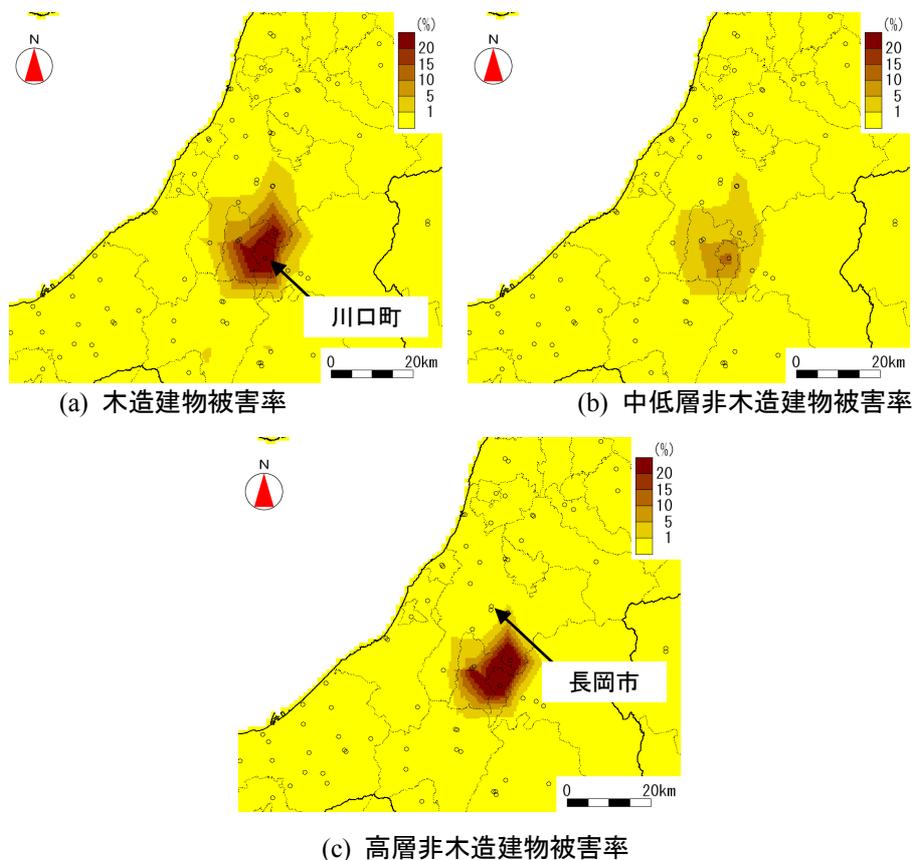


図 17 建物分類ごとの被害率

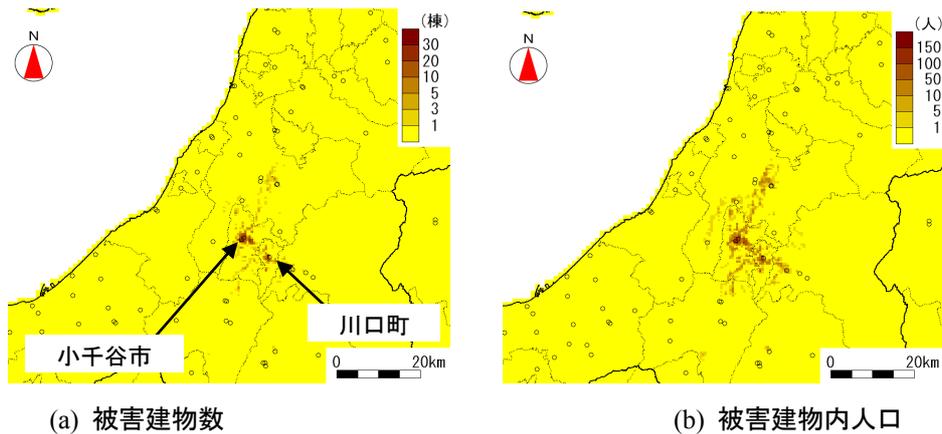


図 18 被害建物数・被害建物内人口の分布

7. まとめ

地震被害推定をより正確に行うため、建物ベースではなく人口ベースで被害推定を行えるように、被害建物内人口で評価する方法を提案した。そして、そのために必要な建物内人口を、1km、500mメッシュ単位それぞれで国勢調査人口データより推定する方法について検討した。3万個以上ある関東圏の1kmメッシュから人口の大小、夜間人口と昼間人口の比を万遍なく網羅するように20個の1kmメッシュを選んで調査を行い、その結果より夜間における建物内人口データを得た。そのデータと国勢調査人口データとの相関から、夜間における建物内人口を推定する方法について検討した。その結果、調査より得られた建物内人口を高い精度で推定することができた。さらに、夜間からの人口移動を考慮し、昼間における建物内人口を推定する方法を示した。しかし、夜間建物内人口の推定に関しては、調査によるデータを目的変数にしており、昼間建物内人口に関しては、推定方法を提案するにとどまった。そのため、今後、対象地域のより正確な建物内人口データが入手できれば、提案した推定方法の妥当性を検証していく必要がある。なお、本論文の一部は文献¹⁶⁾¹⁷⁾で既に発表している。

謝辞

分布図作成には埼玉大学教育学部谷謙二先生が開発された地理情報分析支援システムMANDARAを使用させて頂きました。

参考文献

- 1) 境有紀, 福川紀子, 新井健介: 地震被害推定をより正確に行うための構造種別や層数を考慮に入れた建物群の構築, 日本地震工学会論文集, 第9巻5号, 2009.11., pp.21-28.
- 2) 内閣府: 地震被害想定支援マニュアル, 2001.10.
- 3) 胡哲新, 吉成主税, 佐土原聡: 地震防災のための時間帯別被害推定に関するデータベースの構築と活用(その2)—GISを活用した人の空間分布に関する研究—, 地域安全学会梗概集, No.11, pp.147-150, 2001.11.
- 4) 境有紀, 吉岡伸悟, 瀧澤一, 壁谷澤寿海, 1999年台湾集集地震に基づいた建物被害を予測する地震動の破壊力指標の検討, 日本建築学会構造系論文集, 第549号, 2001.11., pp.43-50.
- 5) 境有紀, 飯塚裕暁, 非線形地震応答解析による地震被害推定を目的とした平均的な木造建物群モデルの構築, 日本地震工学会論文集, 第9巻, 第1号, 2009.1., pp.32-45.
- 6) 境有紀, 地震動の性質と建物被害の関係 特集: 地震動の性質と被害—近年の地震からの知見—, 日本地震工学会誌, No.9, 2009.1., pp.12-19.
- 7) (財)統計情報開発センター: 平成17年国勢調査, 平成18年事業所・企業統計調査等のリンクによる地域メッシュ統計データ
- 8) (財)統計情報開発センター: 平成17年国勢調査による地域メッシュ統計データ
- 9) ゼンリン: いつもNAVI, <http://www.zmap.net/>

- 10) 川名清三, 今北統夫, 柴山明寛, 佐久間景子, 久田嘉章: 広域な面的震度情報を対象とした関東におけるリアルタイム地震情報システムに関する研究(その1)理論, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2000.9.
- 11) 境有紀, 瀧澤一, 神野達夫: 建物被害率の予測を目的とした地震動の破壊力指標の提案, 日本建築学会構造系論文集, 第555号, 85-91, 2002.5.
- 12) 熊本匠, 境有紀: 非木造建物の被害と相関を持つ地震動の周期帯—2007年能登半島地震、中越沖地震の非木造建物の被害状況との対応—, 日本建築学会学術講演梗概集, 675-676, 2008.9.
- 13) 福川紀子: 地震直後被害予測のための精密な建物群データの構築に関する研究, 筑波大学大学院博士課程システム情報工学研究科修士論文, 2007.3.
- 14) 新潟県中越地震災害対策本部: 平成16年新潟県中越地震による被害状況について(第68報), 2004.
- 15) 山口直也, 山崎文雄: 1995年兵庫県南部地震の建物被害率による地震動分布の推定, 土木学会論文集, No.612, 325-336, 1999.1.
- 16) 新井健介, 境有紀: 地震被害推定のための構造種別や層数を考慮した建物内人口データの構築, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 257-256, 2009.8.
- 17) 新井健介, 境有紀: 建物種別や層数を考慮した建物内人口データの推定精度とメッシュサイズの関係, 日本地震工学会・大会—2009梗概集, 134-135, 2009.11.

(受理: 2010年4月21日)
(掲載決定: 2010年9月15日)

Development of Population Data Classified According to Building Type for Earthquake Damage Estimation

ARAI Kensuke ¹⁾, and SAKAI Yuki ²⁾

- 1) Student Member, Graduate Student, Graduate School of Systems and Information Eng., Univ. of Tsukuba
- 2) Member, Professor, Graduate School of Systems and Information Eng., Univ. of Tsukuba, Dr. Eng.

ABSTRACT

We developed population database classified according to story and building type from census population database in order to estimate earthquake damage more accurately assuming that there are correlation between numbers of non-wooden or high-rise buildings and the population. We constructed the method of estimating population of wooden houses, low-to-mid-rise(1-10 story) and high-rise(over 11 story) non-wooden buildings in the 1km and 500m mesh from The Grid-square Statistics based on the population data we investigated and collected in the selected 20 meshes in Kanto area. We could accurately estimate population of three classified buildings.

Key Words: Earthquake Damage estimation, population database, population of buildings, national population census, The Grid-square Statistics