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

A Study on the Disaster Exposures to Tokyo Metropolian Earthquake and the Areal Characterization Based on Them

鈴木　進吾[1]，林　春男[1]

Shingo SUZUKI[1] and Haruo HAYASHI[1]

[1]京都大学防災研究所
Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

Tokyo Metropolitan Earthquake will cause enormous damages because of highly accumulated exposures. And it will induce significant loss of social and economic activities because of the concentrated functions of government and economy. To take a general view of the disaster, this paper calcurates the exposures to natural conditions, such as estimated seismic intensity, and illustrates their characteristics of distribution. This paper also counts the exposure of critical infrastructures to recognize their centralization. As a result, 25 million people were estimated to exist in the area where seismic intensity will be lower 6 and over. Systems of power, railroad, public health were concentrative to the area of seismic intensity upper 6. Suffered area was classified into several areas according to exposures.

Keywords: *exposure, critical infrastructure protection, Tokyo Metropolitan earthquake, common operational picture, geographic information analysis*

１．序　論

我が国の首都がおかれている東京を含む南関東地域におけるマグニチュード 7 程度の地震は、場所は特定されていないが 2008 年から 30 年以内の発生確率が 70%と高く [1)] 、東京近傍で発生すればその被害は、甚大かつ重大なものとなることから、その対策の検討が急がれている。

2003 年、中央防災会議は、国際社会における我が国の経済社会面での役割が増大し、国の中枢管理機能の首都への集中、少子高齢化やコミュニティの衰退等社会経済情勢がめまぐるしく変化している中、首都直下の地震の切迫性が指摘されており、防災対策を強化する必要があるとして首都直下地震対策専門調査会を設置し [2)]、地震動等の外力想定、被害想定を実施し、2005 年 9 月に首都直下地震対策大綱、2006 年 4 月には首都直下地震防災戦略、応急対策活動要領を定めた。

これによると、南関東を震源とする想定地震として近い将来発生する可能性の低いものをのぞいた 18 タイプの地震断層が設定され、それぞれにおいて被害想定がなされている。18 のタイプの地震のうち、地震発生の蓋然性の高さ、首都機能の防護、被害の広域性の観点から、マグニチュード 7.3 の東京湾北部地震が検討の中心におかれている [3)4)5)]。この東京湾北部地震が発生した場合、被害が最大となる冬の夕方 18 時、風速 15m/s という条件下において 11,000 人の死者および約 85 万棟の建物全壊・焼失、約 112 兆円の経済被害が想定されている [4)5)]。そして、そのような災害に備えて、首都機能の継続性の確保および膨大な被害へ対応する国民運動の展開を柱とする対策大綱、10 年間で死者数を半減し、経済被害額を 40%減ずることを減災目標とする地震防災戦略が策定されている [6)7)]。

このような巨大災害において、災害発生後の災害対応によって被害を軽減するためには、事前の被害想定のみならず、対応を行う側の状況を想定し、認識しておくことが重要である。具体的には、人命救助・救出のための人員がどれだけいるか、参集できる自治体職員がどれだけいるか、二次災害・複合災害の懸念がどれだけあるか、災害に対応する医療機関等の被災状況などは社会のどのくらいの割合であるか、被災情報の収集解析の膨大さ、避難所・道路・情報ネットワーク・物資配給のコーディネートの確保等多岐にわたるであろう。そして、最終的な被害を最小化するためには、対応できる資源が限られている中で、全体的な最適化をはからなければならないのである。そのためには、行政の範囲にとどまらず、各主体が共通認識のもと、連携して対策を検討し講じていかなければならない。

首都東京は行政機関および多数の企業の中枢が集中し、それを取り囲むように位置する川崎・横浜・千葉・さいたまといった政令市と連担して東京大都市圏を形成している。2007 年現在、東京大都市圏は人口 3567 万人を要する世界最大の都市圏であり、国連の予測では 2025 年においても 3640 万人を擁する世界最大の都市圏であるといわれている [8)]。中央防災会議が想定している東京湾北部地震の震度分布を図 1 に示す。これによると、震度 7 となる地域はないものの、震度 6 強のゆれは東京湾奥沿岸部および東京 23 区の東部の全域を襲い、震度 6 弱以上のゆれの襲う範囲は、連担する都市を含み、東京港を中心とした半径 40km の圏内に達することがわかる。広域連

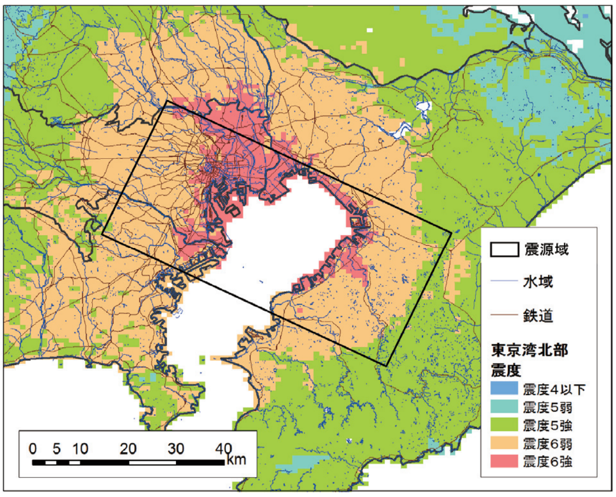

図１　東京湾北部地震の想定震度分布

携を含んだ想定被災域における災害対応の全体的な最適化を実現するためには、南関東全体での災害の全体像をつかむ必要があるのである。

本研究では、このような視点に立脚し、首都直下地震の全体像の認識および南関東の対策連携に資するため、首都直下地震の外力条件（誘因）にさらされている社会条件、すなわち第一に社会経済活動を行う人口・世帯の量、第二にそれを支える重要社会基盤施設の量を曝露指標とし、その計数的分析を行うことによってこの地震が社会に及ぼす潜在的影響を評価した。またその曝露指標の地理的分布から、各地域の災害様相や災害対応上の課題について考察を行った。

２．災害曝露指標の算出

災害に対する曝露指標を、ある所定の災害において、所定の地震動や津波、浸水などの自然条件（誘因）にさらされる地域に存在する人命や資産などの社会的条件（素因）の量として取り扱い、本研究では、首都直下地震を対象として曝露指標の計数的分析を行う。

能島らは震度階級に関する居住地人口の曝露量を震度曝露人口と定義し、震度と人口の空間分布特性の重なり合いを考慮した、震災ポテンシャルを評価する指標として提案した [9]。そして、過去に発生した災害および想定東海・東南海地震における震度曝露人口を算出し、想定地震の被害の概略を相対的にとらえるためのベンチマークとして、また、初動体制や広域応援体制を構築するための資料として役立てることが可能であるとしている。また、能島らは震度情報ネットワークを利用することで震度曝露人口を即時推定し、震度情報の補助的情報としての即時活用という方向性で震度曝露人口の利用性を検討したり [10]、震度曝露人口から住家被害・人的被害の総量を推計するモデルを構築している [11]。一方で、津波災害については、越村らが、インド洋のプレート境界に沿った地震空白域で発生し得るマグニチュード 9 クラスの巨大地震を想定して、沿岸人口の高度分布を考慮した津波曝露人口を算出し、インド洋沿岸諸国の津波脆弱性を評価する指標として提案している [12]。

人口規模は、社会基盤や社会経済活動の規模を規定し、そのような都市の規模は、河田が定義するように、都市化災害、都市型災害および都市災害といった被害様相や災害対応の特質を規定するため、曝露人口は重要な意味を持つと考えられる [13]。

一方で、重要社会基盤施設への被害は社会経済活動、特に首都においては国家の機能に大きな影響を与える。米国においては、情報技術の発展と社会基盤のネットワーク化によって懸念が高まった重要社会基盤施設へのテロ攻撃からそれらを守るために、1996 年大統領令（Exective Order 13010）によって創設された重要社会基盤施設保護（Critical Infrastructure Protection ; CIP）に関する大統領委員会が、米国経済と国民の生活のインフラへの依存について調査を行っている [14]。その結果、攻撃される可能性のある重要社会基盤として、情報通信、エネルギー、金融サービス、交通、水、緊急対応機関などを指定し、守るべきそれらの施設の量を算出し、防護戦略を検討している [15]。

以上のことから、人口や社会基盤施設に関する災害曝露指標の算出は次のような点で災害をとらえるのに意義深い。

（1）被害発生可能性のある対象の量であり、災害の巨大化のポテンシャルを表す。

（2）被災地に存在する対象の絶対量であり、その大小は災害対応業務の量に関係する。

（3）過去の災害等との比較から当該の災害を相対的に位置づけられ、過去の事例より災害のイメージの形成やシナリオの検討に有用である。

（4）自然条件と社会条件の重ね合わせから、地域を特徴付け、地域内連携および広域連携による全体的な防災戦略を検討することが可能になる。

これらを念頭に置き、本研究においても、首都直下地震による想定被災域における曝露指標の計数的分析を行い、その分布を用いて地域特性を把握する。本研究で求める曝露指標は、災害の特質を規定する一因となる人口、世帯等の統計量と、重要社会基盤施設の数量とする。対象とする地域は、地震が恐れられている東京都とその周辺の神奈川・埼玉・千葉の南関東 4 都県とし、対象とする地震は、発生の概然性が高く、被害が最も大きいと想定されている中央防災会議想定の東京湾北部地震とする。

曝露指標は、ある自然条件の特性値（震度、PL 値）の範囲に対して、それにさらされている人、モノの量であり、以下の手順で地理情報分析を行って求められる。

（1）GIS を用いて震度分布等の自然条件に関するデータセットと人口統計等の社会条件に関するデータセットを読み込んで重ね合わせる。

（2）自然条件データセットから、一定の自然条件を満たすメッシュを属性検索し、該当するメッシュを選択する。

（3）選択されたメッシュ内に重心があるフィーチャ（ポイントやライン、ポリゴン）を社会条件データセットから空間検索し、該当するフィーチャを選択する。

（4）選択されたフィーチャの属性値である人口等の統計量やフィーチャの数の総量を求める。

本研究において、自然条件は、震度、PL 値および標高とした。データセットとして、東京湾北部地震の震度分布、液状化可能性分布については内閣府より提供を受けた約 1km 四方の標準地域メッシュ単位の計測震度データ、PL 値データを用い、標高分布については、国土地理院の数値地図 50m メッシュ標高および数値地図 5m メッシュ標高（東京都区部）を用いた [16][17]。

社会的条件は、人口、世帯数、重要社会基盤施設とした。重要社会基盤施設は USA Patriot Act において CIP の対象とされている「それが破壊あるいは無力化されたと

きに、社会や経済におけるセキュリティ、安全保障等を弱体化するシステムおよび資産」のうち、Power/Energy、Transportation、Emergency Services、Public Health、Postal and Shipping の各システムおよび Key Assets を取り上げる。これらのデータセットには、以下のデータを使用している。

- ・ 人口、世帯に関するデータ：平成 12 年（2000 年）国勢調査地域メッシュ統計（約 500m 四方の 2 分の 1 地域メッシュ）[18]
- ・ 重要社会基盤施設：国土交通省国土数値情報 [19]、国土地理院数値地図 2500（空間データ基盤）および同 25000[20]、平成 13 年（2001 年）事業所・企業統計調査地域メッシュ統計（標準地域メッシュ）[21]

３．首都直下地震における人口・世帯の曝露量

はじめに、首都直下地震対策の一つの課題である、膨大な被害への対応に関して、人口・世帯等の統計調査から、地震外力にさらされている量を算出する。

(1) 震度曝露面積

気象庁の震度階級関連解説表によると、震度 6 弱で耐震性の低い木造建物に倒壊が発生し始め、震度 6 強で耐震性の低い鉄筋コンクリート建物に倒壊が発生し始めるとしている [22]。また翠川らは 1995 年兵庫県南部地震や 2000 年鳥取県西部地震などの最近の 5 つの地震での罹災調査による住家被害率と計測震度の関係を検討し、全壊率、全半壊率および一部損壊以上の被害率は、それぞれ震度 6 強、震度 6.0 前後および震度 6 弱を境として、それ以上の震度で急増する傾向にあることを指摘している [23]。そしてこのような建物被害は人的被害、火災、電力・通信インフラの破壊、避難者数、および社会のストックとフローに影響を及ぼす [24]。このような理由から、本研究では震度に関しては、震度 6 弱および震度 6 強について曝露量を計測する。

はじめに、東京湾北部地震の外力にさらされている国土の量を算出した。図 1 に示した中央防災会議想定の震度分布から震度 6 強および震度 6 弱と想定されている地域の総面積を計算すると、それぞれ 645km^2、3,680km^2 となり、2 つの地域を合計した面積は 4,325km^2 に達する。これは、南関東 4 県の面積の 32％を占める [25]。

(2) 震度曝露人口

南関東4県の人口分布を東京湾北部地震の震度に重ねて図2に示す。人口分布は国勢調査による居住地人口（夜間人口）の総人口であり、2000年の時点における値である。居住地人口は都心（ここでは皇居の東の丸の内とする）から5kmの範囲まではその密度が低く、5ー10kmの範囲でその密度が最も高くなっており最大で41,540人/km^{2}となる。さらに都心から20kmまでの範囲ではまんべんなく人口密度が4000人/km^{2}を超えるDID（人口集中地区）となっており、それより外の範囲においては、鉄道に沿って放射状に人口が分布している。これに対して、赤い枠線で示した震度6強の範囲と橙の線で示した震度6弱の範囲は都心の位置で東京都区部を東西に分断することがわかる。

図2の赤枠で囲まれた震度6強の地域および赤枠と橙枠で挟まれる震度6弱の地域に存在する総人口を都県別、震度階毎に積算すると、表1のようになる。表1から東京湾北部地震が発生すると震度 6 強のゆれにさらされる人口は 4 都県合計で、500 万人を超え、震度 6 弱のそれをあわせると 2500 万人を超えることがわかる。これは、2000 年における 4 都県合計人口である 3,420 万人の約 4 分の 3 にあたり、我が国人口の約 5 分の 1 が被災域にいる状況が出現するのである。能島らは過去に発生した地震の震度分布を求め、それらの地震の際の震度曝露人口を算出しているが、これによると、1995 年兵庫県南部地震の震度 6 弱以上の曝露人口で約 300 万人強である [9]。また、人と防災未来センターが試算した、中央防災会議想定東海・東南海・南海地震の震度 6 弱以上、四国・東海・近畿地方における曝露人口で 750 万人程度である [26]。首都直下地震の曝露人口規模はこれらの 8 倍および 3 倍といった膨大な値となる。

都県別にみてみると、東京都については、約 347 万人が震度 6 強、約 716 万人が震度 6 弱のゆれにさらされ、両者をあわせた人口は 1,000 万人に達し、東京都だけで阪神・淡路大震災の 3 倍以上、東海・東南海・南海地震の曝露人口に迫る。震度 6 弱以上に曝される人口は千葉県で 440 万人、神奈川県で 680 万人、最も曝露人口が小さい埼玉県でも 350 万人と、各都県において阪神・淡路大震災のそれを超えるのである。このことからも、首都直下地震の規模の大きさ、また、東京だけの問題ではなく、南関東 4 県全体の問題となることがわかる。

さらに、震度 5 強以下の人口と対比するために、都県人口に占める割合を算出すると、東京都では震度 6 弱以上の曝露人口が全人口の 86%，千葉、神奈川でもそれぞ

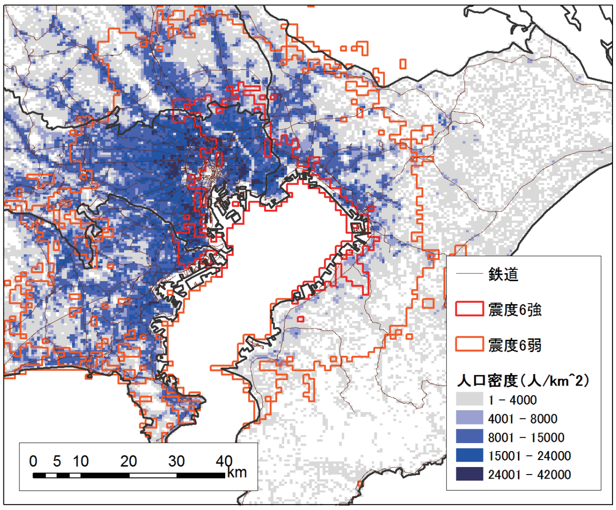

図 2　震度 6 弱・6 強の地域と人口分布

表 1　都県別、震度曝露人口（単位：人）

	震度 6 強 (4 都県に占める割合)	震度 6 弱 (4 都県に占める割合)	合計 (都県人口に占める割合)
東京	3,470,677 (69.1%)	7,164,775 (35.1%)	10,635,452 (85.7%)
埼玉	443,544 (8.8%)	3,111,543 (15.3%)	3,555,087 (49.7%)
千葉	791,360 (15.8%)	3,614,500 (17.7%)	4,405,860 (73.8%)
神奈川	311,963 (6.6%)	6,481,734 (31.8%)	6,793,697 (78.4%)
都県合計	5,017,544	20,372,552	25,390,096 (74.2%)

表 2　都県別、震度曝露世帯数（単位：世帯）

	震度 6 強 (4 都県に占める割合)	震度 6 弱 (4 都県に占める割合)	合計 (都県世帯に占める割合)
東京	1,497,231 (69.9%)	3,321,910 (39.7%)	4,819,141 (86.6%)
埼玉	174,092 (8.1%)	1,124,249 (13.4%)	1,298,341 (50.7%)
千葉	335,385 (15.7%)	1,337,386 (16.0%)	1,672,771 (76.4%)
神奈川	134,013 (6.3%)	2,583,477 (30.9%)	2,717,490 (79.6%)
4 県計	2,140,721	8,367,022	10,507,743 (76.5%)

れ 74%、78%となり、比較的被害が少なくなると考えられる震度 5 強以下の人口は都県の 7 分の 1 から 4 分の 1 程度しかないことが分かる。一方、埼玉については震度 6 弱以上の曝露人口が全県人口に占める割合は約 5 割であり、他の都県よりは条件は厳しくないということもわかる。

各都県の曝露人口の 4 都県合計値に占める割合をみると、東京が震度 6 強、6 弱の両者において 65%、35%と最も高いシェアとなっているが、震度 6 強の千葉県のシェア、震度 6 弱の神奈川のシェアも他県に比べて高くなっており、広域連携のコーディネートを検討する際には着目すべき点であろう。

(3) 震度曝露世帯数

震度曝露世帯数を平成 12 年国勢調査地域メッシュ統計の世帯総数を用いて求める。震度曝露世帯数は、罹災証明の発行業務量、インフラの復旧需要、建物棟数に近似すれば耐震化の需要、応急被災度判定業務量などに関するデータを得るために重要な指標であると考えられる。

表 2 に、算出された都県別の震度曝露世帯数を示す。全体では震度 6 弱以上のゆれに襲われる世帯は 1,050 万世帯にのぼることがわかる。震度 6 弱以上においては、建物の倒壊・損傷、家具の転倒・破損、それによる生活用品の損失、電力、水道、ガスなどのライフラインの途絶が発生する可能性があるが、1050 万世帯という値は平成 12 年時点での我が国の総世帯数 4678 万世帯の 22%を占め、膨大な対象のなかから被害の全体像を把握する新たな仕組みが必要であるとともに、最大で我が国のストックの 5 分の 1 に達する量の物資需要が見込まれそれらを全国でどのように処理するかの戦略の検討が必要となる。

(4) 液状化曝露指標

震度に加えて液状化可能性も、被害の増幅を考慮する上で重要な自然条件となる。そこで、中央防災会議想定の東京湾北部地震の液状化可能性指数PL値をもとに、その曝露指標を求めた。

図 3 に中央防災会議想定の東京湾北部地震の液状化可能性指数 PL 値の分布、表 3 に PL 値の範囲ごとの曝露人口を示す。ここでの分類は PL 値が 5 より大かつ 15 以下の液状化の可能性が中程度の地域、PL 値が 15 を超える液状化の可能性が大である地域とし、それぞれ曝露人口を求めた。中央防災会議が 1964 年新潟地震時の液状化発生状況に基づき被害想定のために設定した、それぞれのランクにおける液状化面積率は 5<PL≦15 の地域で 5%, PL>15 の地域で 18%である [24]。それぞれの地域において液状化面積率に応じたライフライン被害や家屋被害の増幅が考えられる。

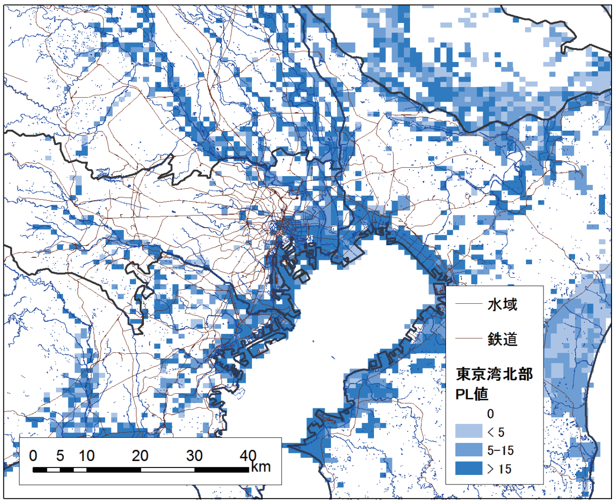

図3　PL値分布

表 3　都県別、液状化曝露人口（単位：人）

	PL>15 (4 都県に占める割合)	5<PL<=15 (4 都県に占める割合)	合計 (都県人口に占める割合)
(面積)	1531.9km^2	1338.1km^2	2870 km^2
東京	1,750,389 (31.5%)	1,070,265 (31.5%)	2,820,654 (22.7%)
埼玉	841,019 (15.1%)	473,085 (13.9%)	1,314,104 (18.4%)
千葉	1,336,960 (24.0%)	865,191 (25.4%)	2,202,151 (36.9%)
神奈川	1,635,999 (29.4%)	987,884 (29.1%)	2,623,883 (30.3%)
4 県計	5,564,367	3,396,425	8,960,792 (26.2%)

図3によると、液状化可能性の高い地域は、震度分布よりも分散した分布となり、東京湾沿岸から約10kmの範囲の低地、および荒川・多摩川・利根川・相模川などの流域に分布している。表3からは、PL>15の地域に居住する人口は4都県あわせて550万人、5<PL≦15の曝露人口を合わせると896万人に達する。PL>15の地域と5<PL≦15の地域の面積比率が1.15：1であるのに対して、人口の比率は1.64:1となっていることから、より液状化の可能性の高い地域に人口が分布している傾向にあることがわかる。

さらに、都県別にみてみると、東京都が最も多いものの神奈川県、千葉県がそれに続いており、震度よりも各都県に分散していることがわかる。

(5) 標高曝露指標

液状化は、その上に直接建てられている建物への被害のみならず、即方流動等によって護岸・堤防などへの被害を発生させ、防災施設の機能が失われる [27,28]。このとき、同時期に高潮や洪水が発生すると、より被害が拡大する複合災害となることが考えられる。

高潮や洪水を考える場合、地域の標高等は重要な自然条件となる。首都直下地震において液状化が発生する可能性のある地域は標高の低い地域と重なる。図4に南関東における居住地の標高分布を，表4に標高曝露人口を示す。標高0m以下のゼロメートル地帯と、洪水等の被害を受け

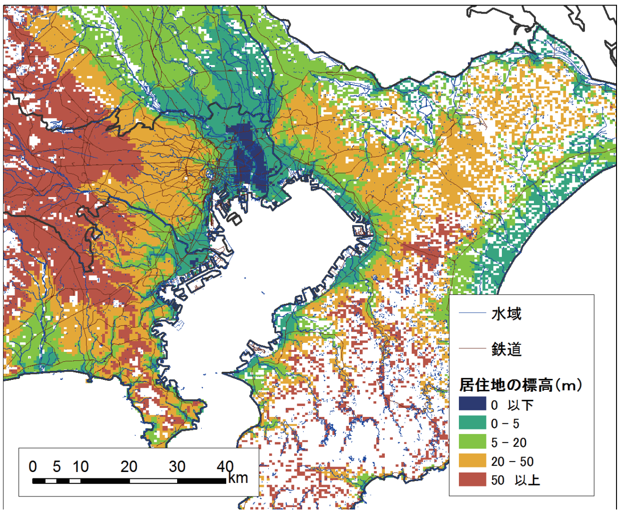

図 4　南関東における居住地の標高分布

表 4　都県別、標高曝露人口（単位：人）

	標高<=0m	0<標高<=5m	合計
(面積)	71.1km^2	1066.9km^2	1189km^2
東京	1,133,807	2,387,836	3,521,643
埼玉	0	1,606,704	1,606,704
千葉	17,443	1,363,311	1,380,754
神奈川	35,821	898,925	934,764
4 県計	1,187,071	6,256,776	7,443,847

やすい標高が5m以下の低地について標高曝露人口を計算すると、4都県合計で、ゼロメートル地帯の標高曝露人口は118万人、ゼロメートル地帯を含まない低地のそれは626万人となり、合計すると744万人に達する。これらの曝露人口は東京湾北部地震と高潮や洪水が同時あるいは時間的に近接して発生すれば、地震の被害がなくても、高潮や洪水による被害を受ける人口であり、まして震度の大きいところは、連続して複数の災害が発生することを念頭に置いた被災者対応、災害対応、復旧戦略の検討が必要とされるのである。

以上、震度、液状化可能性指数および標高について、その曝露人口を算出してきた。ここで、3 つの自然条件を組み合わせて 4 都県合計の曝露人口を評価してみると、表 5 のようになり、表 5 の各セルに該当する地域は図 5 に色分けして表示したようになる。表 5 によると、震度 6 強かつ PL>15 となる最も条件の厳しい地域の人口は 216 万人であり、図 5 の黒で塗りつぶされた地域となる。さらにそのうち標高 0m 以下の地域の人口は 51 万人に上ることがわかる。首都直下地震後に高潮が来襲するような最悪の複合災害となる場合、膨大な人口を避難させなければならない状態となるのである。死者 1420 人を出したハリケーン・カトリーナ災害の場合で避難対象が 40 万人であったことからも、この曝露人口の大きさと相当規模の避難が発生する可能性があることがうかがえる[29]。

この章では、震度およびPL値等を用いて、それぞれにさらされる人口、世帯数といった災害発生の基礎的な統計量をみてきたところ、4都県に広がる首都直下地震の曝露指標はこれまでのどの災害をも遥かにしのぐ膨大なものとなることが示された。

４．重要社会基盤施設の曝露指標

表5　震度別、PL値別曝露人口（単位：人）
()内は標高0m以下の曝露人口で内数

	PL>15	5<PL<=15	0<PL<=5	PL=0
震度6強	2,165,877 (517,108)	1,141,546 (412,797)	80,769 (0)	1,629,034 (255,615)
震度6弱	2,726,234 (0)	1,740,816 (0)	573,020 (0)	15,229,229 (0)
震度5強	643,454 (111)	494,989 (146)	316,047 (316)	6,172,234 (0)

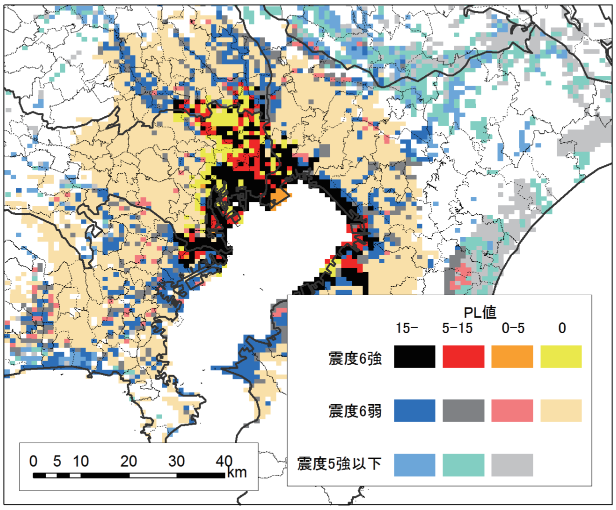

図 5　震度×PL 値の分布

次に、首都直下地震対策のもう一つの課題である、首都機能の継続性の確保に関して、都市あるいは国のシステムを維持し災害対応を行うのに必要な重要社会基盤施設が、地震外力にさらされている量を算出する。

本論文で算出する重要社会基盤施設は米国CIPの対象とされているもののうち、主に公共施設に焦点を絞って（１）Power/Energy、（２）Transportation、（３）Emergency Services、（4）Public Health、（5）Postal and Shippingおよび（6）Key Assetsをとりあげ、それらの分布および曝露量を求めた。ここでは、これらの曝露量を、前章で検討した震度曝露面積および、震度曝露人口と対比させて、その集中の特徴をみる。上述のおのおのの対象の震度曝露指標の算出結果を表6に示す。さらにこれらの重要社会基盤が支える社会経済活動をみるために、事業所数、従業者数についてもその震度曝露指標を算出して検討した。

(1) Power/Energy

電力・エネルギーを供給するシステムについては、水力・火力・原子力・地熱発電所について曝露発電機数を調べた。使用したデータは国土交通省国土数値情報の発電所ポイントデータで、その作成年次は 1995 年のものである。その結果、震度 6 強以上が想定される地域には 34 基（うち、LNG 火力 24 基、石油火力 10 基、合計認可出力 1230 万 kW）、震度 6 弱が想定される地域の発電機数は 32 基（うち、LNG 火力 18 基、石油火力 10 基、石炭火力 4 基、合計認可出力 1330 万 kW）になることがわかった。南関東に存在する火力発電所は東京湾沿岸に展開しており、震度 6 強と震度 6 弱の地域の面積比率が 0.18 : 1 であるのに対して、発電機数はほぼ同数となっていることからも、震度 6 強地域への発電所の集中度合い

表 6　重要社会基盤施設の曝露指標
面積比率は震度 6 強：震度 6 弱＝0.18:1
人口比率は震度 6 強：震度 6 弱＝0.25:1

重要社会基盤施設	震度 6 強	震度 6 弱	合計	曝露比率
Power/Energy				
発電所（機）	34	32	66	1.06:1
Transportation				
線路延長(km)	638	1,852	2,490	0.34:1
道路延長(km)	8,255	44,395	52,650	0.19:1
空港	1	1	2	1:1
駅	305	800	1,105	0.38:1
港湾	3	5	8	0.6:1
Emergency Services				
自治体の機関	67	246	313	0.27:1
国の機関	275	481	756	0.57:1
警察機関	498	1,474	1,972	0.34:1
消防署	150	538	688	0.27:1
Public Health				
病院	638	935	1,537	0.68:1
厚生機関	42	101	143	0.41:1
Postal and Shipping				
郵便局	647	1,920	2,567	0.34:1
Key Assets				
ダム	0	12	12	-
原子力発電所	0	0	0	-

がみられる。

(2) Transportation

交通を担うシステムについては、交通の基盤施設となる、鉄道線路延長、道路延長、空港、駅、および港湾について調べた。線路・道路については国土地理院数値地図 25000 のラインデータを、駅については同数値地図 2500 のポイントデータを、空港（2007 年時点）および港湾（2006 年時点）については国土数値情報からそれぞれの代表点のポイントデータを用いた。表 6 の結果から、震度 6 強にさらされる道路延長は 8,255km、鉄道線路延長は 638km、駅は 305 駅という数に上り、また、震度 6 強地域と 6 弱地域の曝露量の比率をみてみると、道路については、その比率は面積比率と同程度であるが、駅や線路等の鉄道システムにおいては人口比率よりも高くなっており、人口に比べて、震度 6 強の地域へ集中していることが分かった。

(3) Emergency Services

緊急対応にあたるシステムについては、地方公共団体の機関、国の機関、警察機関および消防署について調べた。データは数値地図25000の公共施設ポイントデータを使用した。表6の結果によると、国の機関は地方公共団体の機関の数よりも多く、震度6弱以上の範囲に756施設が存在する。同公共施設ポイントデータから、全国に存在する国の機関の箇所数を調べると7,548施設であり、実に国の機関全体の、しかもその中枢機能を持つ1割もの量が震度6弱以上に見舞われることになる。震度6強と震度6弱の比率をみてみると、国の機関において、0.57:1と面積や人口の比率からみても大きな値となっている。国の機関の点密度をGISを用いて分析したものが図6である。点密度は1km四方のグリッドの各々に、その中心点から半径3kmの範囲を検索して得られる点の密度を計算しているが、この図からも都心部に国の機関が集中していることがわかる。

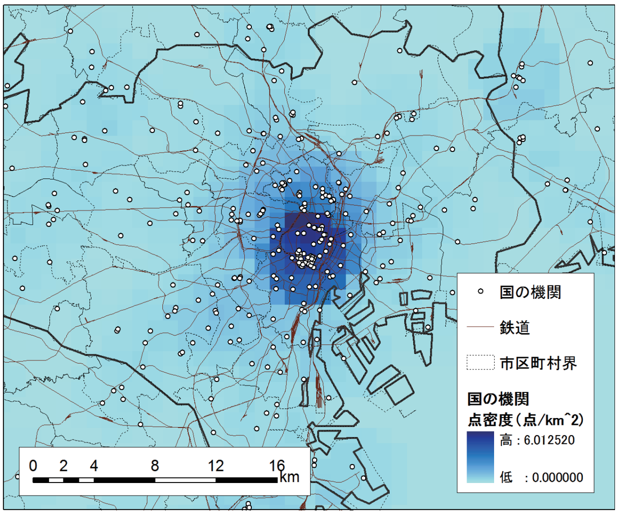

図 6　都心部における国の機関の集中

さらに警察および消防については、どちらも、4都県全域に存在する総施設数のうち3分の2にあたる数が震度6弱以上のゆれに見舞われることが分かった。

(4) Public Health

医療・衛生機能を提供するシステムについては、病院および主に保健所等の厚生機関について調べた。これらも緊急対応機関セクターと同じ、数値地図25000の公共施設ポイントデータを使用した。その結果、表6のように病院については実に1,537施設が震度6弱以上のゆれにさらされるが、これは4都県の全病院数の89%を占め、強いゆれが襲う地域に病院が集中していることがわかる。病院が震度6弱以上のゆれによって支障が出るとすると、わずか11%の病院で対応しなければならなくなる。また、震度6強の曝露量と震度6弱の曝露量の比率が0.68:1となっていることからも、震度6強の地域へ病院が集中していることがわかる。

(5) Postal and Shipping

郵便や海運など運送を担うシステムは、国・地域の経済活動を支え、持続的なモノやサービスの供給を支える。ここでは郵便局を調べた。データは、前段と同じく数値地図25000公共施設ポイントデータを利用している。南関東全域にある3,660箇所の郵便局のうち、約70%にあたる2,567の郵便局が震度6弱以上のゆれにさらされ、運送システムでは、そのノードが停止することによる影響が考えられる。

(6) Key Assets

米国で行われている CIP においては、原子力発電所やダム、超高層ビルのように、個々の施設は特別に国や社会の機能を支えるものではないが、ひとたびそれらに被害が発生すると、それだけで大量の被害となるもの、あるいは、国の記念物など破壊されると国の威信や信頼に損害を与えるものなどを、Key Assets として指定している。ここでは、原子力発電所およびダムについて調べた。データは、国土数値情報から原子力発電所およびダムのポイントデータを使用している。原子力発電所は平成 7 年、ダムは平成 17 年に作成されたものである。この結果、原子力発電所は震度 6 弱以上となる範囲にはなく、ダムに

表 7　経済活動の震度曝露指標

	震度 6 強	震度 6 弱	合計	曝露比率
全事業所	341,976	818,223	1,160,119	0.42:1
従業者数	4,378,800	8,887,899	13,266,699	0.49:1

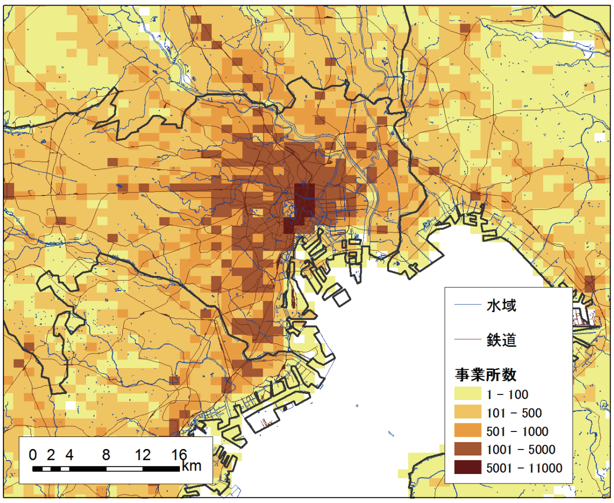

図 7　都心部における事業所の集中

ついては千葉・神奈川・埼玉にある 12 カ所（目的別には洪水調節 4 カ所、不特定用水 3 カ所、灌漑 1 カ所、上水道 8 カ所、工業用水 5 カ所、総貯水容量は 46,752m^3）が震度 6 弱にさらされることがわかった。

(7) 重要社会基盤が支える経済活動

以上の結果からは、震度曝露人口に比べて、震度 6 強地域への重要社会基盤施設の集中がみられた。これは、比較に用いた震度曝露人口比率が居住値人口を用いて算出されているためでもあり、震度曝露人口でははかれない震度 6 強地域への経済活動の集中があるからであると考えられる。

そこで、地域の経済活動に関する震度曝露指標を全産業事業所数、従業者総数について求めた。全産業事業所数および従業者総数については平成13年度事業所・企業統計調査を使用した。この結果を表7に示す。

計数の結果、全産業事業所数は震度6弱と6強を合わせて116万所、従業者総数は同じく1,327万人に上った。平成13年度事業所・企業統計調査における全国の全産業事業所総数が635万101所であるから、この地域には全国の事業所数の実に18%が集中していることになる。同様に全国の従業者数（60,158,044人）に対する震度曝露従業者数の割合は22%となり、全国の5分の1の労働力がさらされている計算となる。また、震度6強と震度6弱の曝露量比は、震度曝露面積および震度曝露人口より高く、経済活動が震度6強地域へ集中していることがみられる。事業所数の分布を地図に示すと、図7のようになり都心で最も多く、山手線の内側およびその周辺で多くなっている。

5．曝露指標の地域的特性

前章まで自然条件と社会的条件を重ね合わせて、各種の自然条件にさらされる人口・世帯・重要社会基盤施設の量を計数的に分析してきた。これを総合すると、首都直下地震の被災域は、東京都区部においては、

（1）震度6強かつ液状化可能性指数が高く、ゼロメートル地帯を要する低地である、東京23区の東部

（2）国の機関が集中し大量の事業所と従業者を有する山手線の内側の地域

（3）震度は6弱程度で液化化可能性も低く、標高も比較的高いが、大量の人口・世帯が集中する東京23区西部

の3つの地域に分類できる。これは古くから用いられている、下町、都心、山の手に対応する。曝露指標の算出と分析においても述べたが、それぞれの代表的な被害シナリオや対策の課題は次のようになるだろう。

（1）下町においては、震度6強による大量の住宅の倒壊が発生し、地盤が液状化し堤防や護岸等の防災構造物に被害を及ぼす。防災力が低下しているところへ洪水あるいは高潮が来襲すれば、ハリケーン・カトリーナ災害のように低地に広がるゼロメートル地帯が長期湛水し、その地域に居住する50万人が避難し、その生活再建に影響をあたえることになる。

（2）都心においては、震度6強と震度6弱の地域が混在し、この地域に集中する国の機関や多数の事業所、その政治経済機能を支える集積した重要社会基盤が被害を受け、未知の被害拡大シナリオが発生する可能性がある。また、居住地人口が小さく従業者数が多いことから、地域への人口の流入流出が激しく、被災住民と住民外被災者の両方の対応が必要となる。重要社会基盤の防護とどのような事象に対しても効果的な危機対応ができる一元的な危機対応システムが必要となろう。

（3）山の手においては、震度、液状化可能性等の自然条件は下町や都心に比べて高くないが、人口密度が高く、中央防災会議が想定しているように火災延焼による被害や大量に発生する被災者への対応が問題となるだろう[30]。東京都の震度6弱地域の震度曝露人口が716万人というようにこれまでの災害にない膨大な量であることからも、火災や被災者数は未経験の領域に入ると考えられる。

一方で、東京都区部より外側では、

（4）震度6強かつ液状化可能性指数が高いが、人口密度が比較的低い沿岸部をもつ千葉県

（5）震度6弱ではあるが液状化可能性指数が高く、人口密度も比較的高い沿岸部をもつ神奈川県

（6）震度6弱以上、液状化可能性中程度以上の曝露人口の県人口に対する割合が比較的少ない埼玉県

のように、分類することができると考えられる。首都直下地震の被災域は行政界によらず広がる。このような地域の特性を考慮した都県間および都県外との広域連携が重要となろう。

6．結　論

本研究では、首都直下地震の被災域の特性を把握するため、外力や自然条件に曝露されている量を求め、重要社会基盤施設の量を算出し、それらの量と分布から首都直下地震被災域の地域特性を検討した。その結果得られた結論は以下の通りである。

（1）首都直下地震がひとたび発生すると、2500 万人を超える人々、1000 万世帯を超える世帯が震度 6 弱以上のゆれにさらされ、その値はこれまで発生した過去の地震よりも、また現在想定されている他の地域の地震よりも遥かに大きい規模となる。これが被害量や災害対応業務量に直結するものではないが、被害量や災害対応業務量は被害想定において曝露量から被害関数や多くの仮定のもとに変換されるものであり、そこには予測の幅が存在

する。対して、曝露指標は被災・非被災に関わらず、想定した外力に対して被災地全体の曝露量を示すものであり、被災地全体の状況を認識する上で同時に把握しておくことが重要であると考えられる。

（2）首都直下地震の南関東各都県における震度 6 弱以上の曝露人口は、どの県においても 1995 年兵庫県南部地震におけるそれをこえ、東京都のみの問題にとどまらない。また地域間応援や広域連携の調整が必要となる。

（3）首都直下地震にさらされる重要社会基盤施設のうち、発電所、国の機関、鉄道システム、病院・厚生機関が特に震度 6 強地域へ集中していること、また経済活動についても震度別曝露事業所の計数の結果、震度 6 強地域へ集中していることがわかった。

（4）曝露指標の地域的特性を考察した結果、東京都区部では下町・都心・山の手という分類で災害様相や課題が大きく異なることが分かった。下町は、震度 6 強かつ地盤が液状化しやすく、15000 人/km^2 となる人口密集地域であり、もっとも曝露指標が大きい地域である。また液状化で防災力が低下しているところへ洪水あるいは高潮が来襲すれば、ハリケーン・カトリーナ災害のように低地に広がるゼロメートル地帯が長期堪水し、その地域に居住する 50 万人が避難の避難が課題となろう。都心には、震度 6 強と震度 6 弱の地域が混在し、被災度が場所によって大きく異なる地域となる。国の機関や多数の事業所、重要社会基盤が集中し、未知の被害拡大シナリオが発生する可能性がある。重要社会基盤の防護とどのような事象に対しても効果的な危機対応ができる一元的な危機対応システムが必要となろう。山の手は、人口が多いが、震度、液状化可能性等の自然条件は下町や都心に比べて高くなく、火災延焼による被害を軽減することや大量に発生する物資需要への対応が課題となるだろう。

一方で、東京都区部より外側では、震度 6 強かつ液状化可能性指数が高いが、人口密度が比較的低い沿岸部をもつ千葉県、震度 6 弱ではあるが液状化可能性指数が高く、人口密度も比較的高い沿岸部をもつ神奈川県、震度 6 弱以上、液状化可能性中程度以上の曝露人口の県人口に対する割合が比較的少ない埼玉県といったような地域的特性あった。このような地域の特性を考慮した都県間および都県外との広域連携が重要となろう。

本論文では首都直下地震の外力にさらされる地域の諸量の一部を求めたにすぎず、また対応を検討する際には被害想定による被害の量と合わせて、災害対応の需要量および供給量を検討し、災害対応上の課題を明確化しなければならない。今後は、他の諸量についてもその曝露量を分析するとともに、これらのデータをもとに首都直下地震対策を検討することに資する総合的な GIS データベースを開発することが必要であると考えられる。

謝辞：本研究は，文部科学省首都直下地震防災・減災特別プロジェクト「3．広域的危機管理・減災体制の構築に関する研究（研究代表者：林春男　京都大学）」によるものである。

参考文献

1) 地震調査研究推進本部：海溝型地震の長期評価の概要（算定基準日（平成 20 年（2008 年）1 月 1 日），オンライン，http://www.jishin.go.jp/main/choukihyoka/kaikou.htm　，2008 年 5 月 20 日取得.
2) 中央防災会議：首都直下地震対策専門調査会ホームページ，http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/shutochokka/index.html，2008 年 5 月 20 日取得.
3) 首都直下地震対策専門調査会地震ワーキンググループ：地震ワーキンググループ報告書，首都直下地震対策専門調査会第 12 回資料，2004.
4) 内閣府（防災担当）：直接的被害想定結果について，首都直下地震対策専門調査会第 13 回資料，2004.
5) 内閣府（防災担当）：被害想定結果について，首都直下地震対策専門調査会第 15 回資料，2005.
6) 中央防災会議：首都直下地震対策大綱，平成 17 年 9 月
7) 中央防災会議：首都直下地震の地震防災戦略，平成 18 年 4 月 21 日
8) United Nations : World Urbanization Prospects The 2007 Revision, Executive Summary, 26 February 2008.
9) 能島暢呂・久世益充・杉戸真太・鈴木康夫：震度曝露人口による震災ポテンシャル評価の試み、自然災害科学、23-3、pp.363-380, 2004.
10) 能島暢呂・杉戸真太・久世益充・濱本剛紀：震度情報ネットワークによる震度曝露人口のリアルタイム推計、地域安全学会論文集、vol.06, pp.181-190. 2004.
11) 能島暢呂・久世益充・杉戸真太：2000〜2005 年の主な地震による震度曝露人口と住家・人的被害との相関に関する考察、自然災害科学、25− 2、pp.165− 182、2006
12) 越村俊一・高島正典・鈴木進吾・林春男・今村文彦・河田惠昭：インド洋における巨大地震津波災害ポテンシャルの評価，土木学会海岸工学論文集，第 52 巻，pp.1416-1420，2005.
13) 河田惠昭：都市大災害，近未来社，233p.
14) The White House : Exective Order EO 13010, Critical Infrastructure Protection, July 15, 1996.
15) The White House : The National Strategy for the Physical Protection of Critical Infrastructures and Key Assets, 2003
16) 国土地理院：数値地図 50m メッシュ（標高）
17) 国土地理院：数値地図 5m メッシュ（標高）
18) （財）統計情報研究開発センター：平成 12 年国勢調査 地域メッシュ統計 基本指標パック
19) 国土交通省：国土数値情報ダウンロードサービス、http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html
20) 国土地理院：基盤地図情報、http://sdf.gsi.go.jp/
21) 総務省統計局：平成 13 年事業所・企業統計調査、http://www.stat.go.jp/data/jigyou/2001/index.htm
22) 気象庁：震度階級関連解説表、http://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/shindo/kaisetsu.html，オンライン，2008 年 5 月 21 日取得.
23) 翠川三郎・藤本一雄：計測震度と住家被害率の関係−罹災調査結果を用いた検討−、日本地震工学会論文集、第 2 巻、第 2 号、2002
24) 内閣府（防災担当）：首都直下地震に係る被害想定手法について、首都直下地震対策専門調査会第 15 回資料，2005.
25) 国土地理院：平成 19 年全国都道府県市区町村別面積調
26) 阪神・淡路大震災記念　人と防災未来センター：東海・東南海・南海地震に近畿圏はどう立ち向かうか？，大都市大震災軽減化特別プロジェクト研究成果普及事業「地域社会の防災力の向上を目指した自治体の防災プログラムの開発と普及」報告資料集，2007
27) 若松加寿江：首都直下地震による液状化の発生と被害，地学雑誌，116(3/4)，pp.480-489，2007.
28) 濱田政則：臨海コンビナートの耐震性，消防防災，3(2)，pp.2-8，2004.
29) 林春男・河田恵昭・牧紀男・Bruce P. Baird・田村圭子・重川希志依・田中聡・岩崎敬・原口義座・永松伸吾：ハリケーン「カトリーナ」災害に対する米国の危機対応，地域安全学会論文集，No.8，2006.
30) 中央防災会議：首都直下地震の被害想定（概要），http://www.bousai.go.jp/syuto_higaisoutei/pdf/higai_gaiyou.pdf，2008 年 5 月 22 日取得

(原稿受付　2008.5.24)
(登載決定　2008.9.13)