

1995年兵庫県南部地震の全体像から学ぶもの

東京大学 飯田昌弘

兵庫県南部地震の全体像を考察した。断層から10 km以内に位置する都市区域を、4つのパターンに分類した。被害の大きかった地域において、被害の特徴を考察した。被害を支配するのは、人口密集度よりも堆積層である。また、今回は起こらなかったけれども、要注意と考えられる被害を列挙した。現在の耐震基準は、一定の役割を果たしてはいるが、地下構造の影響を考慮する必要があると感じた。地震被害想定においても、必要な要素を欠いており、かつマクロ・ゾーネーションが重要だと思った。最後に、物理的なメカニズムや因果関係に従って被害を考察する必要性、直下型地震に対して理論波形を評価して活用する必要性、を強調したい。

1. 序

1995年1月17日5時46分に淡路島北部を震源とするマグニチュード7.2の地震（兵庫県南部地震）が発生し、5000名を越える死者が出た。すでに多くの人々がこの地震に関する速報的な報告書やルーチンワーク的な研究をまとめている。それらの多くは、神戸市の大被害に関するものである。他方ここでは、この地震の全体像について考えてみたい。

2. マクロな地域分類（図-1）

神戸市の東灘区から須磨区に至る、海岸沿いの6区の大被害に多くの人々の目が向けられているが、断層から10 km以内に位置する都市には、同市の垂水区・西区・北区及び明石市があり、これらの地域では対照的に被害がきわめて少ない。他方、断層からは少し離れているが、神戸市の東隣に位置する芦屋市・西宮市では被害が大きい。断層がほぼ東西方向に走っているため、地下構造や地形の側面から、①北から南に向けて、六甲のふもとから堆積層を経て海岸の埋め立て地へとひろがる、神戸市の海岸沿

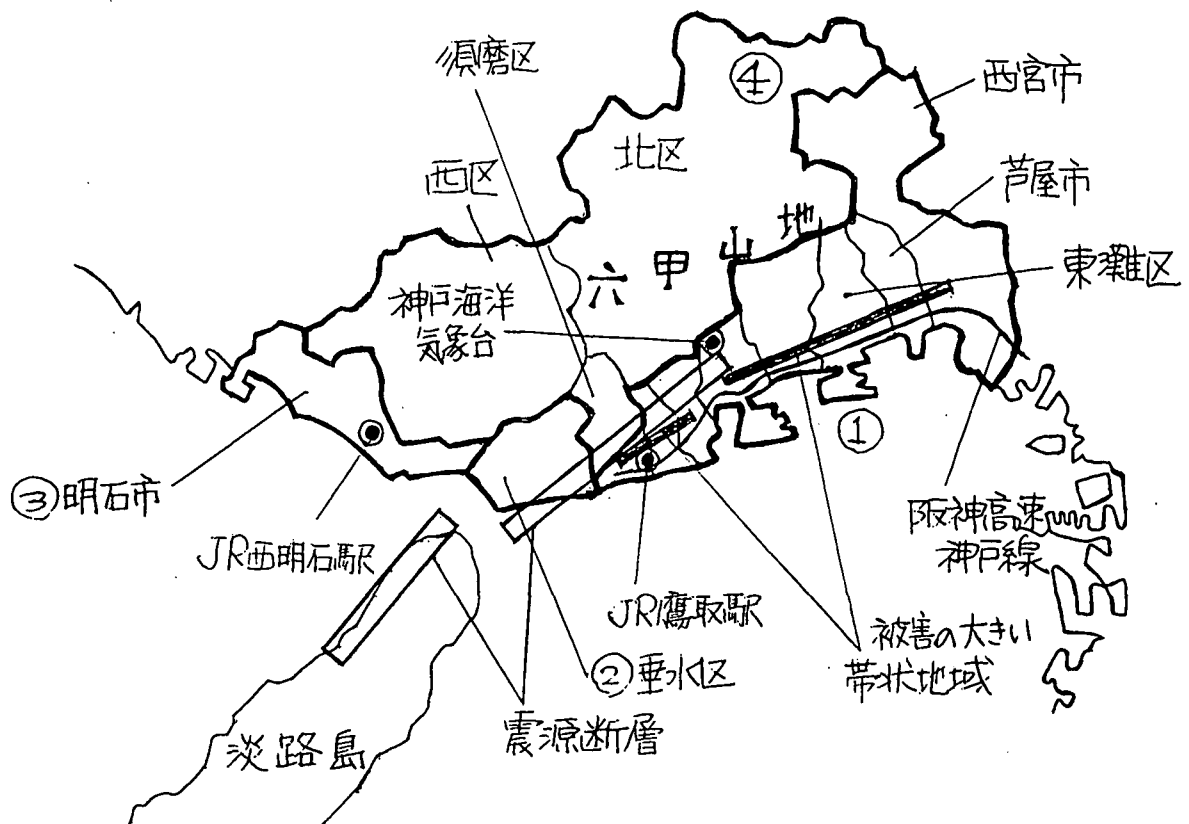
いの6区（但し、須磨区北部を除く）・芦屋市・西宮市、②小高い山が海岸までせまる垂水区、③播磨平野東部に位置する明石市、④六甲山中の西区・北区・須磨区北部、の大きく4つの地域パターンに分類できると思う。

これらの地域は、最悪の直下型地震を経験したと考えられるが、重要なことが2つある。（1）①の神戸市6区の、最も被害の大きかった東西にひろがる带状地域では、筆者の知る限り強震記録は得られていない（ただし、JR鷹取駅の記録は、带状地域のものかもしれない）。带状地域の北側の六甲のふもと（最大加速度で550-800 gal）や、南側の阪神高速神戸線沿い（同600-800 gal）の記録から、带状地域では最大加速度にして800 gal以上であったと推定できる。（2）②-④の地域は、地震被害とはあまり縁がないものと思われる。ちなみに、JR西明石駅の記録は、最大加速度が400 galで、六甲のふもとの神戸海洋気象台の記録と波形が似ている（おそらく地盤条件が似ている）。（1）と（2）を分けたものは、地下構造の差であると考えられる。

今回の地震の被害分布から感じることは、マイクロ・ゾーネーションよりマクロ・ゾーネーションがより重要ではないか、ということである。地震被害想定において、500 mや1 kmメッシュが通常使用されるが、その有効性に疑問を感じた。地下構造

キーワード：全体像，マクロ・ゾーネーション，
地下構造

東京大学地震研究所，03-3812-2111(5779)



図－1 マクロな地域分類

や地形に基づくマクロな地域分類が、まず必要とされるのではないだろうか。また、強震計配置は、そのマクロな地域分類を意識してなされるべきであると思う。

3. 被害の印象

被害の大きかった神戸市は、イメージほど新しい都市ではないと感じた。関西地方は一般に木造が多く、神戸市では1965年以前の木造家屋の割合は住宅総数の17%にのぼる（東京23区は12%）。『古い建造物の被害が大きい』、『剛建造物の被害が大きい』（例えば高架橋は、周辺の建造物に比較して被害が大きいと感じた）、というのが、現地を訪れた者の共通の印象であった。『剛建造物の被害が大きい』という特徴は、わが国の最近の地震被害とは異なるものである。別の言い方をすると、過去の多くの地震で多かった盛土被害や一般道路の被害が、今回の地震では意外に少なかった。地震動の卓越周期や建物の固有周期が重要であり、被害は選択的であることを意味している。

諸報告では、東西方向の帯状の被害が目され、南北断面の考察が多いが、東西断面では、以下の要素を考慮する必要がある。（1）神戸は、大阪側から発展した町で、古くからある地域を除いて、東側ほど古いという傾向がある。（2）東側ほど堆積層が厚くなっている。このことを反映して、断層に対して東側（神戸市灘区・東灘区・芦屋市・西宮市）で、建造物の被害が多く、液状化した地点が多いのではないだろうか。

さらに、今回の地震で、わが国の都市が2次災害に弱いことがはっきりした。その1例は、神戸市長田区の大火で、Loma Prieta地震におけるサンフランシスコ市とは異なり、消火栓が全滅して、ほとんど火を消し止められなかった。大火の原因は、火災の発生件数が多かったからではなく、延焼速度にある。長田区は、化学工場や商店が多く、古くて質の悪い木造住宅が密集している。

表-1 被害（死者の率）を決めるファクター

地域	死者の率 (%)	人口密度 (人/km ²)	堆積層	建築物の 古さ
西宮市	0.21	4,164	↑厚い	
芦屋市	0.46	4,971		
神戸市東灘区	0.65	5,657		○
灘区	0.63	4,379		○
中央区	0.19	4,781		
兵庫区	0.31	8,681		
長田区	0.51	12,430		◎
須磨区	0.17	6,491		
垂水区	0.00	8,077		
明石市	0.00	5,344		○
神戸市北区	0.00	781		
西区	0.00	1,021		

4. 被害を決めるもの

人口密集地域は災害に弱い、と経験的に言われる。人口密集度が災害の大きさを支配するファクターかどうかを見るために、断層周辺に位置する都市に関して、人口密度と死者の率の関係を調べた（表-1）。人口密度が高いのは、神戸市長田区、ついで兵庫区・垂水区である。長田区で大火が発生したことを裏づける数字ではあるが、兵庫区の死者の率は他の地域に比較して高いとは言えず、垂水区に至っては死者の率は0に近い。人口密度がそれほど高くない東灘区・灘区が、死者の率で長田区を上回る。さらに東に位置する芦屋市でも、死者の率は高い。人口密度と死者の率の相関は良くない。

堆積層は、神戸市須磨区から東へ行くにつれて厚くなる。町の古さに関しては、神戸市長田区は「平氏」の頃から発展してきた地域であり、また大阪側に位置する神戸市東灘区・灘区は相対的に古い。

『やや深い地下構造（堆積層の厚さ）』と「町（建築物）の古さ」は、ともに正確に定量化できるファクターではない。また、震源断層の東端がどこまで延びているのかはいくぶん不確定であるが、『堆積層の厚さ』に「建築物の古さ」を加えると、死者の

率と相関が良くなる。ちなみに、明石市は古い町であるが、堆積層が存在しないために、地震断層に近い地域にありながら被害はきわめて小さかった。

5. 経験しなかった被害への配慮

たまたま発生しなかった被害への大胆な想像も必要であろう。以下の3ケースが重要であると考えた。

（1）発生時間帯によって、被害の様相は変化する。早朝の地震であったから、自宅での生き埋めによる圧死・窒息死が9割以上を占めたものと思われる。昼間の発生なら、多くの人々が職場にいたはずである。また、もっと火器を使用しており、多くの火災が発生したことであろう。圧死・窒息死が多かったのは、直下型地震という地震の性格にもよる。

（2）危険構造物への対応は特に重要である。例えば今回の地震では、LPGタンクのガス漏れで8万人が避難した。1964年の新潟地震では、石油タンクが炎上している。危険構造物は海岸沿いに多い。例えば、神戸市には、3つの石油コンビナートに415基の石油タンクがある。加えて、今回は津波が発生しなかった。

（3）今回の地震では、海岸沿いの埋立地盤の被

害が軽微だった。その理由として、埋立地盤は液状化に強いマサ土によって埋め立てられたこと、埋立時期が新しい（進んだ地盤改良技術が使用された）こと、直下型地震なので高周波地震動が卓越し、軟弱地盤の卓越周期とは一致しなかったと考えられること、が挙げられる。しかし、1985年のメキシコ地震で示されたように、軟弱地盤は特定の周期帯の地震動を大きく増幅させる。

6. 耐震基準と被害

最も印象的なことは、最悪であろう直下型地震と、地域によらずほぼ一定の現在の耐震規定に対して、震源域の4つの地域パターンのうち、3つでは軽被害ですんだことであり、現在の耐震規定が一定の役割を果たしたことを示している。現在の耐震規定は震度法であり、基準震度に対して、「地域別係数」、「地盤係数」、「構造物係数」が補正される。他方、残る地域パターンである、神戸市6区・芦屋市・西宮市に被害をもたらした最大の要因は堆積層であろう。また、被害は周波数に関して選択的であった（具体的には、直下型地震のために剛構造物の被害が大きかった）。

耐震基準は、汎用的であることが要求され、数値的に表現される必要があるので、その設定は容易ではない。けれども、今回の地震被害の特徴を考えると、被害を防止するためには、いくつかの別のファクターがより重要であると感じる。特に、地下構造の影響を大まかにおさえることがいかに重要か、ということである。

7. 都市防災（地震被害想定）の問題点

大都市の地震被害想定は、マイクロ・ゾーネーションによるいくつかの被害項目の評価によってなされており、そのための多くの方法論が提案されている。今回、直下型地震が大都市を実際に直撃した。

その結果、以下のファクターが一般に欠落していることが問題であると感じた。（1）直下型地震を想定していない。津波を考慮していないことがある。

（2）地震動評価において、震源・構造というファクターを考慮していない。（3）土木構造物、ライフライン、危険・重要構造物の被害及びその波及効果を考えていない。

また、地震被害想定で通常使用される500mや1kmメッシュの有効性に疑問を感じた。マイクロ・ゾーネーションの前にマクロ・ゾーネーションを実施する必要があると思う。

8. まとめ

カリフォルニア州で発生したLoma Prieta地震、Northridge地震という都市型災害の教訓は、なぜ生かされなかったのだろうか。それは、物理的なメカニズムや因果関係を考慮することなく、経験に基づいて、直接的な被害の類推だけを行なったからではないだろうか。経験は事実ではあるが、条件が異なれば、異なる被害が発生するのは当然ではないだろうか。

直下型地震の震源の効果が明瞭に存在することは、過去の研究からも知られている。内陸では、地下構造もある程度調べられていることが多い。直下型地震では、かつて他の地域で得られた記録ではなくて、理論波形を評価して活用する時代にきていると思う。

Lessons learned from the whole image of the 1995 Hyogoken-Nanbu earthquake

Masahiro Iida

We classify the urban area within 10 km of the fault into 4 patterns. The deep-basin effects are more closely related to the damage than the population density. We need to add the underground effects into the building code, and make macrozonation in damage estimation. We should consider damage following the causality and evaluate theoretical waveform for inland faults.