

都市防災システム論

河田 恵昭

STUDY ON URBAN DISASTER PREVENTION SYSTEMS

By *Yoshiaki* KAWATA

Synopsis

From the view point of analogy between human body and urban structure, we discussed about what is the missing function in our urban disaster prevention and how to respond to complex disasters due to over-dense and huge population in mega cities. The system of homeostatis is applicable to urban disaster prevention systems. The self-detecting and self-defensive functions in lifeline network systems are exclusively required to realize quick action of disaster prevention activities. Centralized disaster information systems at the present, therefore, has to be improved because it operates only under some ideal conditions. Even if it focuses on property damages, it takes too much time to repair or to recover. The disaster preventive force can be defined as the function of population density and amount of revenue in every large city. This criterion is applicable for the classification of urban natural disasters.

1. 緒言

東京に代表されるわが国の大都市は、1960年代の急激な都市化によってスプロール現象を伴いながら変貌し、まるでカオスのように無秩序に膨張してきた。芦原¹⁾は、このような日本の大都市を「アメーバ都市」と名付けている。しかし、これは何もわが国に限定されるだけでなく、都市化が現在急速に進行中の多くの発展途上国の巨大都市でも認められる。しかも、それらの多くは災害多発地帯に位置している。そして、発展途上国ではいずれもトリレンマと呼ばれる人口、経済、環境の問題に直面し、防災事業がほかの事業と比較して、プライオリティを与えられていない。とりわけ、都市の防災事業は、都市形成の無秩序さも災いして、大変困難になっている。これに加えて、地球環境の悪化によって、これまで自然災害と無縁に近かった地域に位置する都市でも、異常自然力による新たな自然災害の発生が憂慮されており、今や都市防災はグローバルに極めて重要な課題となっている。

従来の都市防災では、ライフラインを中心とした社会基盤施設及び建築物そのものの安全性の向上や、防災施設の建設によって目に見える形での防災力の強化が図られてきた。近年では、これに災害情報などのソフト防災が付加され、総合防災に近い形で充実されつつあると言える。このような都市防災の方向は好ましいものであろう。しかし、残念ながら、これらは具体的に都市の防災力をどのようにして向上させ、その効果を定量的に評価する方法に基づいて行なわれているのではない。したがって、費用便益の観点から必ずしも最善の方法と確信して事業を推進している訳ではない。また、災害は社会の変化とともに進化するという特性をもっているため、現在から将来にかけての防災対策において不十分な部分や抜け落ちた部分があれば、それが被害の拡大要因となる危険性がある。

このようなことを考えるとき、都市防災のシステムを災害とよく似た現象とのアナロジーから考察し、その現象に認められるような安定化のためのシステムとの比較において考察することが1つの方法として考えられる。著者はすでに、疫病環境と災害環境の間にアナロジーが成立することを示した²⁾。そこで、その応用として、ここでは生体防御と都市防御の關係にアナロジーが成立するとして、都市防災システム論を展開する。その場合、たとえばわが国のいずれの大都市からこのようなシステム論的な防災対策を実施すべきかという問いに対する答えとして、都市の災害脆弱性の評価を試み、都市防災実施の優先順位を示す。

2. 巨大都市群の発生と災害環境

2.1 都市化の歴史的背景

都市化の歴史を辿れば、国単位の大規模なものとして、19世紀末のイギリスが挙げられる。そこでは、1851年の都市人口の比率は、50.1%となり、1891年には72.0%まで上昇する。この時期に、ほかの先進諸国の都市人口の比率が、フランス37.4%、プロシャ40.7%、アメリカ合衆国27.6%と、すべてイギリスよりはるかに低くなっている³⁾。ちなみに、わが国では、明治初期の1880年に12.6%と言われている。イングランド・ウエールズに関しては、さらに1901年に77.0%に達し、わが国の1990年の値とほぼ同じとなっている。大ロンドンでは、1870年頃より1910年頃にかけて、10年毎に約80万人ずつ増加し、都市人口は725万人に達している。このような都市化は、産業革命の進展と植民地の帝国主義的経営の結果であると言われるが、それが直ちに市民生活の向上や都市環境の整備につながったわけではない。むしろ、貧困と非衛生は都市の機能を阻害し、重大な社会的問題となったことがわかっている。このように社会的に重大事となって初めて、社会基盤の整備の重要性が認められ、上下水道の建設や公共施設の整備が実施され始めた。1875年の公衆衛生法の制定はその基準を明らかにし、都市環境の改善を法的に進めるものであった。

ヨーロッパにおいて、近代医学が疫病の発病のメカニズムを解明するまで、ペストをはじめとする多くの疫病は自然災害と見なされていたことをすでに指摘した²⁾。そこでは、疫病環境と災害環境のアナロジーが成立することを示した。ロンドンでは、19世紀後半の都市化の急激な進展がもたらした都市環境の悪化は、自然災害を多発させ、しかも極めて広範囲に拡大させたと言える。この歴史的な事実は、急激な都市化が災害・防災ポテンシャル間のアンバランスを招き、自然災害の多発と規模の拡大をもたらすことを証明している。

このようなことを考えるとき、1990年のわが国の都市人口の比率が、1900年当時のイギリスとよく似た値となり、しかも東京の人口や人口密度が当時疫病の多発したロンドンのそれらを上回っている環境では、防災ポテンシャルが低下すれば、都市災害が起こってもおかしくない状況にあると言ってよいだろう。後述するように、東京を代表するわが国の大都市では、過去30年間に渡って、都市化に伴う人口増に比例した防災投資が行われていない。むしろ、過去30年間の自然外力が比較的中庸で、しかもわが国の大都市を直撃していない幸運を喜ぶべきであろう。たとえば、超低頻度災害である地震発生を考えると、わが国の大都市防災のために残された時間はあまり多くないというのが実情である。

2.2 都市化の進展

Table 1 は、1970年以降の都市化の進捗状況を、先進国、発展途上国のグループ別に、また、わが国とインドネシアについて示したものである。世界的な都市化の進捗状況は、2000年におよそ世界人口の50%強が都市人口になることを示しており、それが2025年には65%に達すると推察されている。これらの都市化を加速しているのは発展途上国であって、都市人口の割合の増加は、現在継続中の発展途上国での人口の爆発的な増加を考慮すれば、いかに大量の人びとが都市に集中しつつあるかが理解できる。また、人口がおよそ500万人以上の都市を大都市と定義すれば、これらの都市人口の増加は、大都市への人口集中と言い替えてもよい。要するに、人口がそれぞれの地域を代表する大都市に集中しつつあることが、進行中の都市化

Table 1 Urbanization in the world.

Region/Country	1970	1990	2000	2025 year
Worldwide	36.6	45.2	51.1	64.6
Developed countries	66.6	72.6	74.9	82.5
Developing countries	24.7	37.1	45.1	61.2
Japan	71.2	77.0	77.7	80.1
Indonesia	17.1	30.5	39.5	58.8

Unit : %

の特徴と言える。このことは、人口 800 万人以上の巨大都市や 100 万人以上の都市の数の変化を示す Table 2 からわかる。推定した諸機関によって数字は若干相違するが、国連によれば、2000 年には前者が 28 都市でその内 22 都市が発展途上国に属し、100 万人以上の都市に至っては 400 以上と指摘されている。したがって、現在進行形の形で、世界の人口が都市に、さらに大都市に集中し、そして巨大都市の形成に向かっていると断言できる。

この事実は、大都市における災害環境を考えると、非常に深刻な問題を提起すると考えられ、すでに一部は顕在化している。すなわち、1960 年代から 70 年代にかけてのわが国の急激な都市化の下で、防災対策が都市開発の後手後手になり、「災害のゲリラ化」と呼ばれる現象が全国的に発生した。これは、外力が異常であったことよりも、主として開発による土地条件の改変が災害を引き起こし、もしくは助長したと解釈すべきである。その証拠に、自然災害の中で、とくに土砂災害が集中的に起こっている。このような災害環境の悪化は、つまるところ人口の増加に見合った社会基盤施設の建設などの防災投資が行われなかった、あるいは公共投資の性格上、先行投資が行われにくい状況下で、災害の多発をもたらしたと言ってよいであろう。このように考えると、現在、発展途上国で進行中の都市化はもっと大規模なものであり、その上、防災投資が社会的にプライオリティを与えられておらずもっぱら対外援助に依存する状況では、外力の大きさに依存して、被害規模、とくに人的被害が想像を絶するものになる危険性が大きいと言える。

今後の巨大都市災害の発生の具体的事例は、つぎのように挙げられる。

(1) 大規模な土地改変・都市化：揚子江流域では大規模な流域開発が行われており、かつ農村部からは人口流出が継続している。そのため、大量の土砂が河道内に堆積し、疎通能力が低下している。1991 年の大規模な水害はこれによって発生した。揚子江流域の都市は、ほとんどすべてこの脅威下にある。とくに、上海ではこれと地盤沈下が相乗し、高潮や浸水災害の発生が懸念される。

(2) 地球環境の変化に伴う気候変動の影響：1993 年のミシシッピー川流域の大規模洪水のように、降雨の長期化現象が顕在化してきている。これは同年の鹿児島災害にも当てはまる。それらの対策では、金額と時間のいずれも膨大な量を要する。いずれの場合も、防災対策で想定された計画降雨量を遥かに上回るものであって、早急な改善が望めない。台風 9311 による東京都心部の水害もこれに当てはまる。

(3) 大都市、巨大都市の地震災害：世界の大都市、巨大都市の多くが地震帯上に位置しており、もし地震がその付近で起これば発展途上国ではとくに未曾有の被害になると推定される。過去数年に起こった発展途上国の地震災害は幸いにも大都市、巨大都市を襲ったものではないが、人的被害は千人から数万人にわたる

Table 2 Changes of number of megacities and cities with population of more than one million.

	Worldwide	Japan
1900 year	11	1
2000	more than 400	11
	mega city 28 (22)	2

() shows in developing country

ものが多かった。この事実は、人口が都市に集中すればするほど災害脆弱性が大きくなることを示している。一方、先進国の都市では、東京での地震災害の発生がもっとも懸念される。近年、ロマプリータ地震に襲われたサンフランシスコやノースリッジ地震を蒙ったロスアンジェルスで起こった災害は、都市災害ではなく都市型災害であって、いずれの地震も都市の中核部で大きい被害を出した訳ではない。したがって、これらの都市に比べて、人口規模、人口密度、社会資本のいずれを比べても 2 倍近く大きい東京は、都市災害に対する脆弱性が極めて大きくなっている。しかも、地震災害などの単一の災害が浸水災害などのそのほかの被災形態を惹起する複合災害の形態となりやすいと考えられる。いわば全身体力の低下による発病の危険性が大きくなっているわけで、都市全体の災害に対する抵抗力が落ちていると断言してよい。

3. 生体防御の概略

生体防御の仕組みを都市防御へと適用するに当たって、前者の概略をここで紹介する。大都市が高潮・津波や河川洪水、地震の来襲に際して十分な防災能力をもっていれば、被害はくい止められる。しかし、不幸にして防災能力を超える、あるいは想定された被災パターンと相違する、さらに人的な要因が増幅する場合は、都市域全体が未曾有の被害を蒙る危険性がある。そのような状況を想定して、ここでは生体防御のメカニズムを紹介する。

3.1 生体防御の基本

外部から侵入を試みる異物や内部で発生する異物的成分によって、生体の健康というバランスが簡単に壊れることのないように、生体にはこのような有害成分を処理し、取り除く機能が備わっている。これによって生体は恒常性を維持できるのであって、このような均衡を保つことを生体防御という。生体防御が対象としている場とその機能は、つぎのようである。

1) 皮膚 (skin) : 外来の微生物や有害化学物質の侵入防止

2) 体腔 (coelom) 内 (腸管, 気道, 肺) : 粘膜 (mucosal) を通過して組織内へと侵入しようとする微生物の阻止, 増殖の制御

3) 組織内 (粘膜や皮膚の内側) : 外来の微生物や有害化学物質のみならず, 身体の中で作られたガン細胞のような異物的になった自己成分のみならず, 老廃赤血球, 損傷を受けた細胞, 役割を果たした活性物質などの処理

つぎに、生体防御の時間経過に伴う連続的なバリアー⁴⁾ について紹介する。細菌のような異物粒子が皮膚や粘膜という機械的バリアーを突破して組織内に局所的に侵入した場合には、つぎのような順序で、生体側は異物粒子に対応する。

1) 体液中に普遍的に存在するリゾチウム, トランスフェリンなどの活性物質群

2) 異物侵入の場で選択的に機能を発揮する補体, インターフェロンなどの体液性防御因子や食細胞 (phagocyte) による殺菌

3) 走化性因子 (chemotactic factor) の情報による好中球 (neutrophil) の集合と食菌, 殺菌

4) マクロファージ (macrophage) の集合と食菌, 殺菌

5) 免疫の成立と免疫による排除, すなわち抗体 (antibody) や感作リンパ球の産生それらを介する集中攻撃

これらの基本的な防御のほかに、つぎのような防御も並行する。

1) 抗原 (非自己物質) 刺激を受けなくても異物的細胞に結合して破壊する NK (ナチュラル・キラー) 細胞

2) 好中球と同じく細胞質内に顆粒をもつが、食作用は弱く、寄生虫に付着して障害を与える好酸球

3) 未感染細胞に作用して、ウイルス感染に抵抗性を与え、また NK 細胞の活性を高めるインターフェロ

ンの参加

このような過程で侵入してくる異物粒子のほかに、何らかの原因でいきなり血液中に侵入する場合がある。このときには肝臓や脾臓に定着しているマクロファージが血液中から異物粒子を除くこと、すなわち限局型に変えることから防御が始まる。限局型感染に変えることが重要となっている。

3.2 ウイルス感染

ここで、なぜウイルスだけを特別に取り上げたかは、つぎの理由による。細菌、真菌（カビの一種）、原虫（アメーバのような単細胞動物）の侵入には、前節で述べた基本的パターンが作用する。しかし、ウイルスの場合は、生体防御の対象はウイルス粒子自身とウイルス感染細胞になり、このウイルスは自分自身では増殖能力はない。自然災害の外力が私達の社会を襲うとき、外力自身が経時的に増幅しながら被害を与えるのではない。社会環境が被害を増幅させるのである。たとえば、ウオーターフロントで津波を制御しきれず、背後地に氾濫したときそこに地下生活空間があれば、そこへ浸入して被害を拡大させるわけである。こうなると防災・減災の対象は初期の津波のみではなく、氾濫・変形過程にある津波に被害を受けた空間それ自身に拡大せざるを得ない。大量の氾濫水を飲み込んだ地下空間自身が巨大な外力と変身したわけである。

ウイルスの増殖、もしくは毒素産生の速度が、抗体や感作リンパ球の産生（免疫応答という）の速度より大きければ、生体防御に失敗するわけである。免疫応答の過程は大変複雑で、現状でもまだすべて解明されたわけではないが、つぎのように解釈しても大略間違いではないであろう。ウイルス感染した細胞は、生体自身もっているのとは異なる非自己抗原もっている。生体の抗体がこれを非自己と判別したとき免疫反応が加速される。つまり、鍵と鍵穴がぴったりと合わない場合、鍵穴（この場合、抗原）を非自己と判定するのである。この自己、非自己の判定が免疫の仕組みであり、抗体がリンパ球によって産出されることがこのメカニズムの基本となっている。たとえば、地下空間に入った氾濫水が非常にゆっくりした速度で空間内を伝播するとき、そこから避難することは容易であろう。しかし、大量の氾濫水が急速に浸入し、それが高速で伝播するとき、災害ポテンシャルは極めて大きい。その場合は制御の対象となるわけである。エイズが恐ろしいのは、免疫の仕組みを狂わすからであって、自己と非自己の判定が曖昧となって、自己自身を攻撃するメカニズムが発現する⁵⁾。予防注射をしたり、一度麻疹にかかると2度と麻疹にならないのは、鍵を予め作ったり、いつも身体の中に存在させて、非自己をいち早く感知できるからである。

4. 都市と生体との類似性

高度情報化時代にあっては、大都市では人、もの、情報が大量に動き、社会・経済・文化活動などが日夜行われている。これに伴って既存の都市域の再生と郊外への膨張が繰り返され、各種ライフラインもより高密度、広域に敷設されるようになり、都市はその骨格のみならず性格までも変貌させている。これを都市の進化と呼ぶならば、そこで発生する災害も当然進化する。しかも、都市を形づくるそれぞれの要素が独立ではなく、有機体のように結びついており、まるで人工的な生命をもつ生き物のようである。そのような理由から、自然災害に対する都市防御は、都市という人工的な生体の防御と言い替えることができる。かつて著者は、疫病環境と災害環境の類似性を示したが、これは中世という時代に限定された性質のみならず、冒頭に述べた理由から、現代にも適用することが可能である。

Table 3 は、生体と都市の類似性の立場から各種要素と現象について対応するものをまとめたものである。まず、皮膚は直接外部世界に接する機械的バリアーであり、海岸護岸、防潮堤、河川堤防などの水際線を形づくるものに対応しよう。筋肉、脂肪は都市インフラストラクチャー、建築・家屋群及びエネルギー施設に対応しよう。なお、都市の地盤は骨格に相当するものと考えられる。気道、肺、胃腸などの体腔は、都市河川、地下街、地下鉄、地下空間などの都市空間である。血管、知覚・神経系はライフラインである。血液、組織液そして知覚情報は情報及び物流の対象となるものである。そして、細胞は人間に対応する。

Table 3 Correspondence of elements and phenomena in disease and urban natural disasters.

Human body	Urban structure
a. Elements	
skin	sea wall, coastal dike, levee
muscle, fat	urban infrastructure, building
trachea, lungs, coelom	urban river, underground shopping center, subway, urban space
blood vessel and nervous system	lifeline
blood, tissue fluids	information, knowledge, wisdom
cell	human being
b. Phenomenon	
disease	urban natural disaster
immunodeficiency	incomplete prevention of natural disaster
complications	complex disaster
slow recovery	secondary disaster

Figure 1 は臨海低平大都市における都市防災と生体防衛における対応する要素、現象を示したものであり、生体についてはイタリック体で記述してある。

また、そこで起こる現象として、病気は都市災害、免疫不全は防災不全である。防災不全とは、かつて経験した被災形態を再発させることであって、過去の被災経験が有効に働かないことを指している。複数の病気の生起という余病併発は複合災害、回復不全は被害の長期化であって、二次災害に対応する。

さらに、Table 4 は病気と都市災害に至るまでの、両者に認められる予備的な諸現象についてまとめたものである。老化と防災施設の老朽化、不潔と施設の管理・維持不備、発育不良と防災投資の不足、慢性化と防災機能の低下力である。

なお、さらに細かな両者の対応関係を提示することは可能であるが、その反面余り細かくすると、必ずしも良好な対応がいつも成立するとは限らず、おのずと比較災害論的手法に限界がある。ここでは、都市防災のシステムとして最適なものを提案するという立場から、生体と都市のアナロジーを仮定しているのである。それが基本的に成立することがわかれば、両者の関係の深い追求はあまり意味がない。

5. アナロジーに基づく都市防災の方法

都市の災害対策に限らず、これまでの災害対策の基本は、同じ災害を二度と繰り返さないことであった。この方法は、被害の大きさが外力の大きさのみに依存し、災害の性質そのものは変化しない状況下では有効であった。自然災害では、田園災害、都市化災害及び都市型災害⁶⁾がこれに当てはまる。Table 5 に示したように、これらは伝染病と特効薬あるいはワクチンや予防接種との関係に類似している。しかし、難病たとえば、エイズなどに対しては現在、対症療法しかなく、この関係は都市災害に対しては、従来の防災対策があまり効果なく、新しい防災システムを構築しなければならない事情とよく似ている。第二次世界大戦直後から、わが国では、大河川の氾濫災害が頻発したが、1976年の長良川右岸の破堤以降発生していない。この間、都市化に伴う流域開発や山地開発が原因して起こった水害は多く、たとえば、1982年の長崎水害、1983年の山陰豪雨災害、1986年の利根川・小貝川の破堤・氾濫、1993年の東京・神田川の水害、鹿児島水害があげられ、都市の水害ポテンシャルがますます大きくなってきている。一方、地震災害についても同様であって、1978年の宮城県沖地震災害による仙台での被災形態に都市型災害の兆候が見られた後、同様の

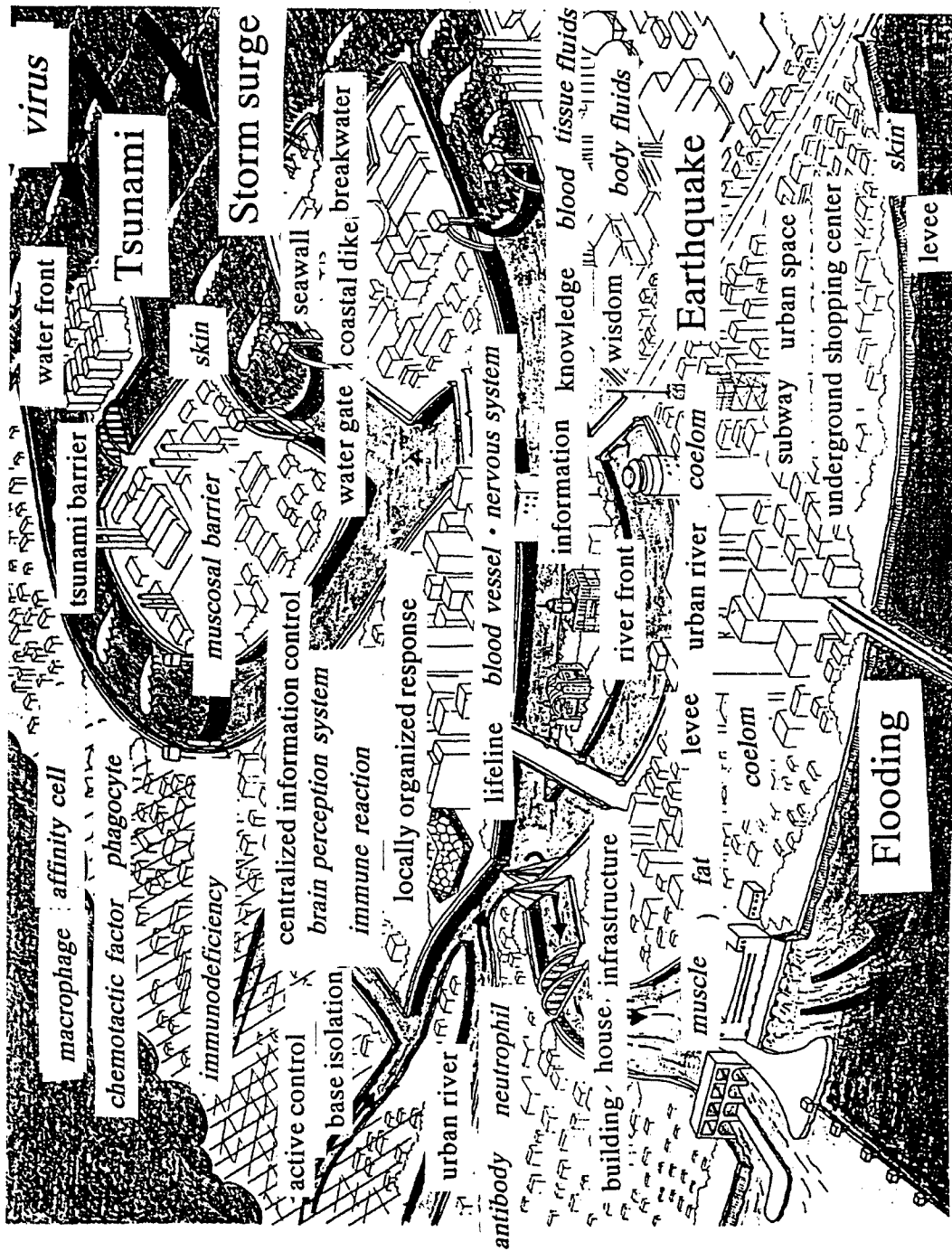


Fig. 1 Comparative diagram of elements and phenomena in in homeostatis and urban disaster prevention systems.

Table 4 Correspondence of phenomena in a premonitory symptom in disease and urban natural disasters.

human body	urban structure
aging	superannuated infrastructure
incomplete growth	decrease of disaster investment
unsanitary conditions	incomplete maintenance
chronic disease	functional disorder

Table 5 Development of countermeasures in disease and natural disasters.

disease	medical treatment	natural disaster	countermeasure
infectious disease	specific medicine	rural natural disaster urbanizing natural disaster pseudo-urban natural disaster	traditional countermeasure
incurable disease	symptomatic therapy	urban natural disaster	synthesized disaster prevention systems

災害が先進国では1989年のロマプリータ地震、1994年のノースリッジ地震へと続いている。

これらの災害は、いずれも幸いなことに大都市を広範囲に直撃していない。したがって、私達が過去の事例に学びながら積み上げてきた防災対策が、本格的な都市災害に有効であるという確証は、残念ながら未だない。著者は、すでに1987年に都市災害の危険性を指摘したが⁷⁾、最近になってやっとそれぞれの分野でその危険性が指摘され始めている。ここでは、とくに東京や大阪という臨海低平大都市を念頭において、そこにおける防災システムについて考察する。

5.1 外力の特性

都市防災の対象となる外力の特性について、都市の特質との関係で今一度検討を加える。

(1) 地震災害の場合

地震の場合、エネルギーは地中を伝播し、震源位置に関係なく、都市全域にほぼ同時的に来襲する。つまり、都市では面的に同時に地震力を受けるわけである。したがって、建築物や社会基盤施設はそれぞれが耐震性を持っている必要がある。極論すれば、都市において質量をもつすべての構成要素が地震力を受けるわけであり、それぞれが抵抗力、すなわち耐震性を持っていなければならない。とくにライフラインと呼ばれ、ネットワークとして運用されているものについては、特定の箇所の被災は、ネットワーク全体に影響を及ぼす恐れがある。

このように、地震と水災害の外力は、いずれも都市環境、すなわち地形、地質、土地利用、地下空間面積、河川網、地下水位、地盤条件などの影響を受けて変化もしくは増幅するのであって、そこに到達するまでは都市環境の影響を受けない。この性質はウイルスの性質と同じであって、ウイルス自身は増幅せず、細胞に侵入して始めて、増幅能力が与えられる。この仕組みは都市災害の発生や増幅機構と類似である。

(2) 氾濫災害の場合

河川の洪水、内水、高潮および津波が都市域での氾濫災害の外力である。その内、洪水、高潮及び津波は、外力がまずウオーターフロントに作用するのに対し、内水の場合は地震の場合と同じく面的に影響を及ぼす。洪水では、どこかで破堤もしくは越流すれば河川の水位が下がり、堤防に沿ったほかの箇所の安全性が高くなるという特徴を持っている。これは、河川水が河道内に限られ、海水に比べて有限であるからであ

る。高潮と津波では、前者では高潮位が数時間継続するのに対し、後者では1波当たりの高潮位の継続時間は数分から数10分位であるが、通常数波来襲し、しかも長波として陸地でほぼ完全反射するので、極端な場合には半日程度も高潮位が周期的に継続する。たとえば、陸地に囲まれた日本海では、津波が対岸で反射してこのようなことが起こる。

5.2 防御方法

(1) 地震対策

Table 6 に示すように、個々の構造物は耐震、制震、免震、耐火性を持っていなければならない。この場合、従来の視点で忘れられているのは、地震はエネルギーの伝播現象であるということである。すなわち、このエネルギーを都市域に伝播させないような努力、あるいは進入したエネルギーを捕捉することなく通過させる方法を都市計画の中で検討することも必要であろう。従来のように、地震力をそのまま各構造物が受容するような立場での取り組みは、地域全体の経済性をとすれば無視する結果となる。とりわけ、新旧の構造物が混在する場合には、地域の面的な耐震性の向上が図られるべきであって、個々の構造物の改良は、時間と経費の点から得策でない場合も発生する。例えば、埋立地の場合には、従来であれば個々の構造物や施設が液状化などによって被害を受けないような設計がなされてきた。これは、外郭施設に囲まれた空間に土砂を充填して埋立地を造成することから自然と発生するものである。この場合、外郭施設で囲まれた堤内地を浮体工法によって築造して、土という媒体の連続性を遮断し（もちろん土そのものは不連続であるが、接触する土粒子間でエネルギーが伝わる）、地震エネルギーの伝播を遮断するのも1つの方法であろう。土木工学的な発想に立てば、構造物の基礎の部分に土があることを前提としているが、構造物の耐用年数を考慮すれば、このような方法も現実性のあるものと考えられる。要するに、与えられた環境下での設計が、トータルに考えて、必ずしも最適でない場合が起こりうるわけである。

従来、地震に対して木造構造物の耐力が大きいことが指摘されている。これは個々の柱や筋かいなどによる枠構造が強いというほかに、コンクリートや石に比較して構造物が軽く、地震エネルギーを捕捉しないということも原因している。

次に、ほとんどのライフラインはネットワークとして運用されているので、特定の被災が全体に波及しないように、ブロック化を進める必要がある。いわば森林の防火帯を作るのと同じ発想である。さらに、生体防御とのアナロジーから、個々のライフラインは故障箇所、あるいはその近傍で単独に応急措置が講じられるようになっていく必要がある。それと同時に、その情報が中央の指令室に伝わらなければならない。具体例を下記に示す。

- 1) 電力ケーブル；電柱の倒壊やケーブルの破断箇所を示す情報、バイパスへの自動切り替え
- 2) 電話・通信ケーブル；不通箇所を示す情報と共に、その近傍で有線から無線方式に切り替える施設の建設
- 3) ガス管；破断箇所の情報とその近傍での自動遮断装置の設置
- 4) 水道管，下水管；破断箇所の情報とその近傍での自動遮断装置の設置
- 5) 地下鉄や都市鉄道；路線区間毎の電力の複数供給システムの採用と停電時の区間毎の運転マニュアル

Table 6 Countermeasures against earthquake disaster and flood disaster.

	Earthquake disaster	Flood disaster
primary prevention	earthquake-proof, fireproof, active control, base isolation	hard-countermeasures
secondary prevention	block division	leveled-up low-lying area
tertiary prevention	soft-countermeasures	soft-countermeasures

6) 都市高速道路；不通箇所などの道路情報の表示と緊急時に高架道路から地上へ運転者、同乗者が避難するためのスロープの建設

(2) 水害対策

外力としての水位の上昇に対して、都市内での地下空間を含む湛水量の評価を行ない、都市が許容できる量をまず決める必要がある。わが国のウォーターフロントでは各種の堤防はほとんど1線堤であるから、外力がこれを突破すれば、背後地は浸水災害を蒙る。**Figure 2**は1934年の室戸台風高潮が現在の大阪に来襲し、防潮システムが不完全の場合に浸水する地域を示したものであって、面積は2倍以上となっている。各種の原因による氾濫災害は沖積平野では宿命であって、これを是正するには地上げによる方法が最良である。とくに海拔ゼロメートル地帯と呼ばれる地域では、水害の危険性が常在しているので、これを緩和する方向で都市計画を進めるべきであろう。

また、水害対策で考慮しなければならない新しい事項は、地下空間対策であろう。わが国の地下空間は、漏水対策以外に浸水対策は講じられていないと言ってよい。例えば、大阪市地下鉄の場合、高潮対策の一環として、線路が地下から地上に上がってくる箇所には水門が設置されている。また、低平地区の地下鉄への連絡口では角落としをはじめとする浸水対策が行なわれている。台風接近が高潮発生のかかなり以前より報道されている場合には、これらは何ら支障なく機能を発揮するであろう。しかし、津波が来襲したり、地震が満潮時に起こり液状化によって水防災施設が破壊され、地震水害が起こって、ゼロメートル地帯に伝播した場合には、このような時間的な余裕がない。とくに東京では丘陵地に地下鉄が建設されているために、路線にかなりの縦断勾配のある場合が少なくない。地上より氾濫水が浸入した場合、その先端の伝播速度が3 m/sにも達する場合が起こる⁸⁾。したがって、地下空間への連絡施設では、自動的に水密構造となるような機能をもっている必要がある。

(3) 都市防災システム

本論文では冒頭に生体防御とのアナロジーで都市防災のシステムを論ずることを目的とすることを述べた。生体防御では、非常にシステムテックに行なわれていることを紹介した。それでは、これとの比較で都市防災システムはどうあるべきであろうか。

まず、外力が作用し、そこにおいて何らかの不都合が発生した場合、現場で(in situ)応急的に対処するこ

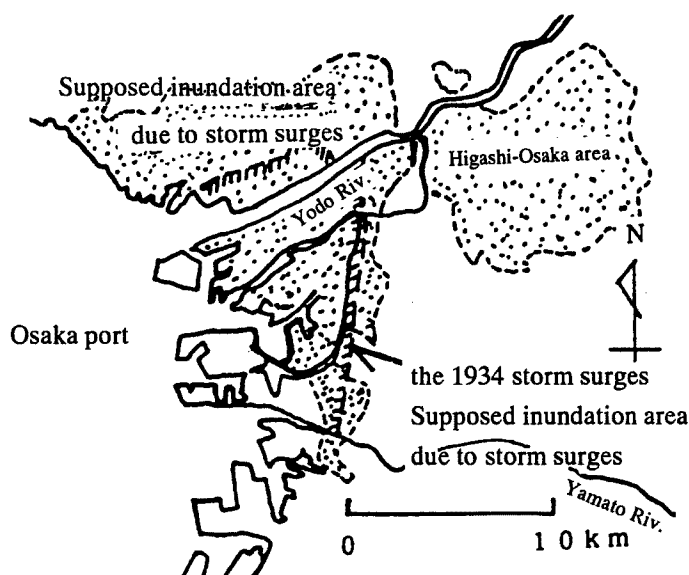


Fig. 2 Estimated inundated area due to 1934 storm surges in accompany with Muroto typhoon.

とが被害を拡大させないために重要である。それと同時にその情報を中枢センターに送ることも必要である。生体防御では、そのような仕組みになっている。ライフラインの被災では、とくに前者の措置がほとんど考えられていないことに気がつく。すなわち、ライフラインの防災方式は中央指令方式であって、現場で即応できる体制になっていない。これは、ライフラインのみならず防潮堤などについても同じである。後者は、天端高をある区間にわたって一定としてあるから、もし高潮位で越流すれば一斉に起こると暗黙のうちに考えられている。しかし、地震で防潮堤の特定の部分が破壊し、そこから浸水が始まった場合には、それを情報として伝える方策は現状ではない。このようなことを考えると、天端高が揃った防潮堤でも、外水位などに関する情報をモニタリングして、適切な対応ができるシステムが必要であると言える。決壊口から侵入する氾濫水量は膨大であって、早急に対策を行なわないと、ゼロメートル地帯が水没する危険がある。このような新しい被災シナリオが必要である。Figure 3 はわが国のある大都市の港湾における喫水深とバース水深の関係を調べたものである。図中の数字は1年間の

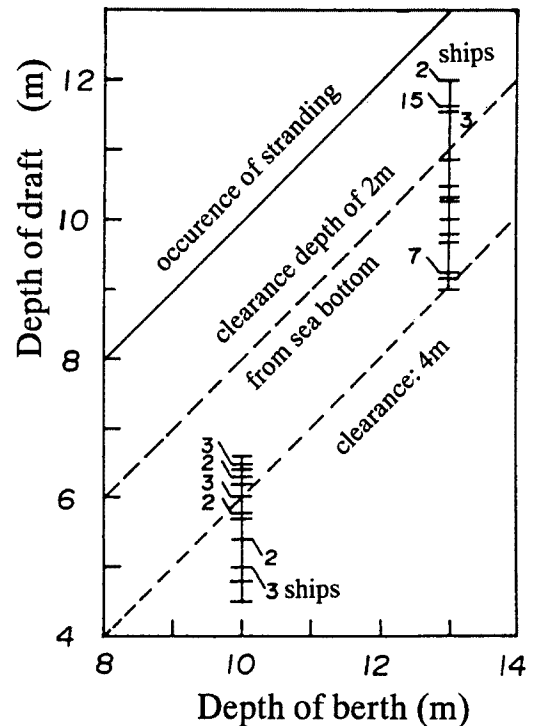


Fig. 3 An example of new type disaster-tsunamis in harbor and stranding of ships.

の繫留船舶数である。これから大部分2m位の余裕水深しかないことが見いだされる。わが国では大型船舶の泊地が数十ヘクタールの面積をもつ埋立地の陸側に建設されることが多い。そうすると、津波が来襲したときに背後の泊地で回折が起り、繫留船舶が座礁する恐れがある。津波は通常数波来襲するので、転覆船舶が次の津波と共に内陸方向に運ばれ、防潮施設を破壊して、そこから氾濫水が侵入する危険性が発生する。

これらのことは、異常が発生したときに、どこで何が起っているかをキャッチして、現場である程度処理できる体制が必要であることを示している。防災を行政だけに任せていたのでは不十分であると言える。そこで考えられるのはボランティアあるいは自主防災組織である。つまり、自動化できないものについては、たとえば市民組織による防災ボランティアの援助を仰ぐことが重要になってきている。かつて全国各地で見られた水防団による土のう積みはその好例であって、日頃から身近に災害と接して生活することが重要となる。

さらに、人的被害の軽減では、防災のソフトウェアの開発と実施が要請される。防災教育を通しての災害現象の理解と迅速な避難が、被害軽減に寄与することは論を待たない。この場合、情報が個別的かつ具体的であることが必須であって、現状のように地域が都道府県単位のような警報発令では余りにも漠然としすぎていると言えよう。したがって、もっと精度の高い解析が必要となっている。Table 6には第3次の対策としてこれを挙げている。

ここで指摘したように、防災システムの構築に当たっては、マクロな視点である都市計画への導入が抜けていること、またミクロな視点である一人ひとりの個人への対応がやはり欠けていることが指摘できる。言い換えれば、前者は、地震エネルギーや総氾濫水量をどれくらい都市が受容できるかという視点であり、後者は、都市における外力や異常事態発生を検知し、それに適切に対応するシステムの整備促進や市民のボランティアを育成するという観点である。

6. 都市の災害増幅比の表示

すでに著者は、国単位の社会の防災力が人の平均寿命の関数となることを示した⁹⁾。これは、富と情報が豊かになれば平均寿命が延びるという事実と、防災力も経済の発展及び情報の質と量の充実に依存するということが対応しているからである。さらに、都市における災害が発生したときの被害の大きさは、都市の人口と生産力の関数になると推定される。前者は、災害発生時の人的な被害が人口数と人口密度によって表されると考えるものであり、後者は、物的な被害が都市の資産に比例し、これが都市の生産額の関数で与えられるとするものである。いま、入手可能な都市の経済統計量のうち都市の資産に関係するものとして、ここでは都市の単位面積当たりの歳入額を採用した。その理由は、歳入額は固定資産税や不動産税などの税金が大半であって、これが都市の資産の多寡にほぼ比例すると考えられるからである。なお、規準値はわが国の全市平均の値を用いている。

Figure 4 はこれを図示したものであって、縦軸は災害増幅比、横軸は都市災害指数として人口密度比と歳入額比を加えたものであって、わが国の人口100万人以上の都市を対象にしている。ここでは、都市災害指数の具体的な関数形は示さなかったが、多重ロジスティック関数がほぼ適用できると考えられるので、それぞれの効果が和の形となるように横軸は対数に取ってある。これから、わが国の大都市の都市災害指数は4つのグループに分けられるようであり、50を超える大阪と東京、30から50の間の川崎と横浜、10以上の福岡、名古屋、神戸、京都、10以下の北九州、札幌、仙台と続く。この指数の大小が都市災害、都市型災害及び都市化災害の境界を与えると推定される。

このような特性は、災害脆弱性の大きさの順序を反映しているとも考えられる。したがって、都市災害指数の大きい都市ほど、防災投資を積極的に行なわなければならないと言える。

7. 結語

ここでは、都市防災システム論を展開し、都市を生き物と捉えて、生体防御と都市防御とのアナロジーが成立すると仮定して検討した。その結果、両者の構成要素や諸現象がよく対応することを見いだした。さらに、現行の都市防災対策では、都市の生命線であるライフラインに対する防災対策において、異常事態の発

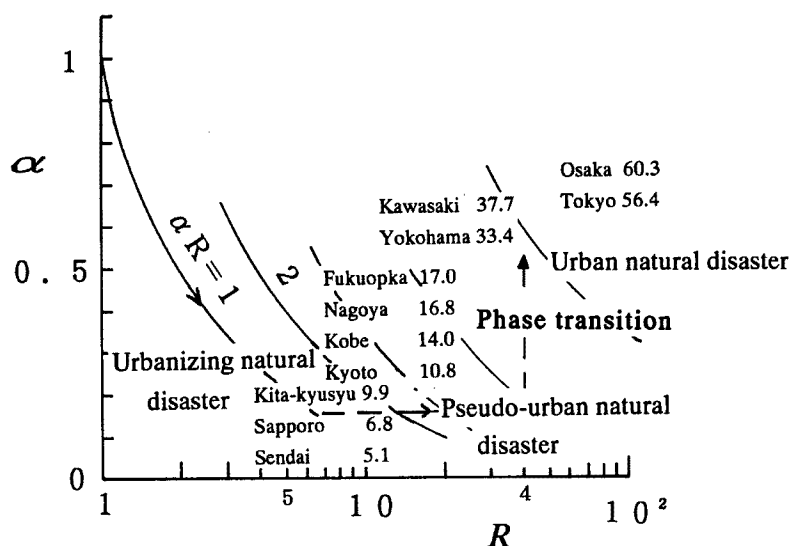


Fig. 4 Vulnerability of big cities due to natural disasters in Japan.

生検知網や現場における即応的な復旧体制に一層の改善が必要との結論を得た。これらのミクロ的な視点に加えて、マクロ的な視点から、都市の許容地震エネルギーの評価や許容氾濫水量を評価するという戦略的な検討も必要なことを指摘した。これは、具体的には従来のような都市インフラストラクチャーに関する信頼性解析のみならず、防災マネジメントや都市計画段階での防災アセスメントの必要性がとくに重要であることを意味している。つぎに、都市の災害脆弱性、すなわち発生危険度の指標として都市の人口密度と歳入額の組み合わせによる関数を提案し、これをわが国の大都市に適用することを試みた。その結果、都市災害指数によって災害脆弱数が表わされることを見出した。最後に、本研究は文部省科学研究費試験研究(B)(No. 05558050)の補助を受けて実施した研究であることを付記する。

参考文献

- 1) 芦原義信：東京の美学—渾沌と秩序—，岩波新書，1994，187 pp.
- 2) 河田恵昭：比較自然災害論序説—天変地異とペスト—，京大防災研年報，第34号B2，1991，pp.507-524.
- 3) 大阪市立大学経済研究所編：ロンドン，世界の大都市，東京大学出版会，1985，345 pp.
- 4) 野本亀久雄：免疫とはなにか，講談社ブルーバックス，1987，214 pp.
- 5) 多田富雄：免疫の意味論，青土社，1993，236 pp.
- 6) 河田恵昭：都市災害の特質とその巨大化のシナリオ，自然災害科学，Vol. 10，No. 1，1991，pp.33-45.
- 7) 河田恵昭：災害史に学ぶ，NHK 市民大学テキスト（災害の科学），1987，pp.129-143.
- 8) 河田恵昭・服部昌太郎：臨海低平都市における海岸防災論，海岸工学論文集，第40巻，1993，pp.1176-1180.
- 9) 河田恵昭：防災ポテンシャルの評価法，自然災害科学，Vol. 9，No. 1，1990，pp.1-16.