

臨海低平都市における海岸防災論

河 田 恵 昭*・服 部 昌 太 郎**

1. 緒 言

東京、大阪、名古屋などの臨海低平大都市では、幸いにも、過去30年以上にわたって大型台風の直撃もなく、それゆえ計画高潮に近いものが発生していない。また、これらの都市には近代以降大津波が来襲してはなく、津波防災の指針さえないような状態である。過去30年間にわたって、これらの地域は巨大外力の空白期に遭遇し、ある意味で幸運であったと言ってよいであろう。そのような背景では、30年以上前に策定された海岸防災の基本条件を見直すというような動機が、行政側に自然発生するはずがなく、事実、過去の基準をあまり変えることなく継続している。しかし、これらの地域ではこの間、都市化がとくに集中し、ますます進みつつある。このような社会環境の短期間の変化（それはほとんど悪化と言える）はわが国の歴史上かつてなかったものである。これに伴って、私達が過去に経験しなかったような被災形態や拡大過程をもつ新たな自然災害の発生が憂慮されている。しかも、埋立の継続やウオータフロントの開発などが重なり、自然環境の変化がこれに拍車をかけている。これらの地域で本格的な海岸防災対策を考え、それを実行するには莫大な予算が必要であり、必然的に事業期間は数十年を要することになる。この間に海面上昇も継続するかも知れない。そのことを考えると、いま、将来に向かって新しい海岸防災指針を定め、実行に移すべき時期なのではないだろうか。ここでは想定される新しい被災形態を示しながら、海岸防災の指針の基礎的な部分を提示したい。

2. 災害環境と疫病環境のアナロジー

歴史学者の多くは、歴史の転換が政治・経済上のイベントにほぼ支配されてきたと考えている。これは、わが国の中学・高等学校での歴史の勉強が、そのようなイベントが発生した年代の暗記とその背景を理解することで構成されていることから明かである。しかし、そのよう

に単純に割り切れるものであろうか。そのように考える1つの理由は、私たちにとって“死”ほど切実なものはないという仮説の妥当性であって、中世のヨーロッパのペストを中心とした疫病環境とわが国の災害環境のアナロジーの成立がそれを証明している。それを再記すれば、表一1（河田、1991a）のようである。

これは基本形であって、時代の推移と共に内容が変化するのは当然である。このようなアナロジーの必要性は、つぎのような理由による。1つは、従来の災害対策は、過去に起こった形態の災害を将来起こらないことを目的としたものであって、いわば対症療法である。これが有効なのは自然・社会環境がほとんど変わらず、歴史的に同じパターンの災害を繰り返す田園災害の場合である。ところが、後者の環境が激変しつつある臨海低平大都市域では被災形態、被害拡大過程そして復旧過程が極端な場合、時時刻刻変化し、歴史的に同じパターンを繰り返さず、予測が困難である。具体的な災害が発生するまで、原因と結果の因果律が不明である。これを都市災害と言うのである。田園災害と都市災害の境界は、人口数と人口密度で決まるようであるが、その数値は地域によって相違する特性を本来的にもっている。境界付近には、表一2のように都市化災害や都市型災害があることはす

表一1 疫病環境（樺山、1984）と災害環境の類似性

疫 病 環 境
1) 気候、動植物などのいわゆる自然環境
2) 人口の総数や分布、人間相互の接触機会の量的増減などの社会環境
3) 人間身体がその時点でおかれていた主体の生理的環境
4) 農産物生産や流通経路などの経済的条件
5) 戦争や改革などの政治的環境
6) 対症態度や知識・経験などの文化的環境
災 害 環 境
1) 自然外力、地形・地質などの自然環境
2) 人口の総数や分布、人口密度、社会資本の集積度などの社会環境
3) 人間社会がその時点でおかれていた社会病理的環境
4) 富及び情報の充実などを支配する経済的条件
5) 戦争や改革などの政治的環境
6) 災害の知識、経験、知恵などの文化的環境

* 正会員 工博 京都大学教授 防災研究所附属地域防災システム研究センター
** 正会員 工博 中央大学教授 理工学部土木工学科

表-2 都市の災害の分類

	被災地域の人口密度	都市基盤・防災施設整備	被災の種類	主たる被災過程
都市化災害	経年的に増加中	整備途上	古典的	単 一
都市型災害	国の人口密度の数倍から10倍程度	一応整備完了	物的被害に集中	既 知
都市災害	同20倍程度以上	不均衡	人的・物的巨大被害	未 知

ランスを考慮できないという本質をもっている。生体防御は、私たちの身体全体の防衛機構であり、局所的なアンバランスのみに対処するものではない。したがって、生体防御の仕組みを参照して、臨海低平大都市における自然災害制御を考えることは十分妥当と考えられる。

3. 臨海低平都市の防災の基本的思想

に指摘した通りである（河田，1991b）。

とくに、災害環境の3）は、現代のわが国では、つぎのような表現になる。すなわち、『コンピュータとハイテク機器によって高度にシステム化・集約化された社会環境では、多重に張り巡らされたネットワークで情報そのものが一人歩きして、発生した災害を増幅する』わけである。最近のニューヨーク・ワールドトレードセンターでの爆破事件の後遺症の大きさと長期化は、爆破の代わりにコントロールセンターの浸水でも発生するものであり、このことを裏付けている。ネットワーク社会と呼ばれるような、情報やエネルギーが相互に密接かつリアルタイムにつながっているような社会が実現すれば、ちょっとした異常情報や過剰エネルギー、事故によって、広域的・長期的に影響が波及・拡大する脆さが顕在化することが必定であり、これを都市機能の糖尿病化と名づけてよい。そして、その反面、被災経験の空洞化は都市住民を自然から遠ざけ、災害文化の一層の衰退をもたらしているわけである。過剰情報化社会は糖尿病にかかった脆弱な社会なのである。

ほかの1つは、藤澤（1991）が指摘するように、近代科学技術の基本的性格から派生するものである。それが描く自然像は、生物界の生命や魂の尊さと、それに関係する美とか倫理とか価値とかの魅力を十分含む自然の具体的かつ全体の中から、人間の生存と行動に差し当たってもっとも直接に関係し役に立つような、目に見え定量化できる物の局面だけを抜きだした像に過ぎないと言われる。その意味で近代科学技術が対象とし、解析した結果は抽象的・部分的であって、決して具体的・全体的でない。たとえば、ライフラインの信頼性解析は、災害の都度修正、改良され、差し当たっての局面では合理化・効率化を実現しながら、それ以外の全体的な場面では『考慮外の事態』に対処できない場合が発生する。その信頼性解析の結果の適用と、発災時と後の社会の復旧過程に及ぼす人間行動の影響評価の間には恐ろしくい断絶がある。防災や減災は工学と理学の立場からだけではすでに限界があるという認識がいま必要であり、その具体化が急がれる。防災・減災対策は社会全体との調和が必要であり、近代科学技術は、前述した通り全体的なパ

いま、臨海低平都市で巨大災害を起こす危険性のある代表的な外力として、地震と洪水・高潮・津波の氾濫とを考えてみよう。その共通の特徴は、それらの初期値は与えられたものであり、それら自身が増大する能力はないということである。この性質はウイルスのそれと全く同じである。これらの外力が増大するかどうかは地盤条件や周囲の自然・社会環境条件に依存する。それは、地盤沈下状態、液状化のしやすさ、都市のスラム化やドーナツ現象のひどさにも大きく依存しよう。これらはいずれも災害制御不全に結びつくわけである。

エイズ感染者がグローバルに急増しているのは、エイズウイルスに対する免疫を未だ作れないからである。免疫がなくても特効薬が開発されてもよいが、それまでに多くの犠牲者が出てしまうことになろう。都市災害の場合でも同じことが言える。そもそも災害に対して免疫があれば、図-1のように田園災害として被害の軽減を図ることはそれほど困難ではない。しかし、新しい被災形態を取るような都市災害に対しては、社会に免疫がなく、しかも発災前に特効薬を準備することは困難である。それよりも社会に抵抗力、すなわち防災力を高めておくことが重要であろう。都市災害の脆弱性は、人口数や社会資本の価値に比較して防災投資が極めて少ないというアンバランスが大きな原因である。災害が起こってからの

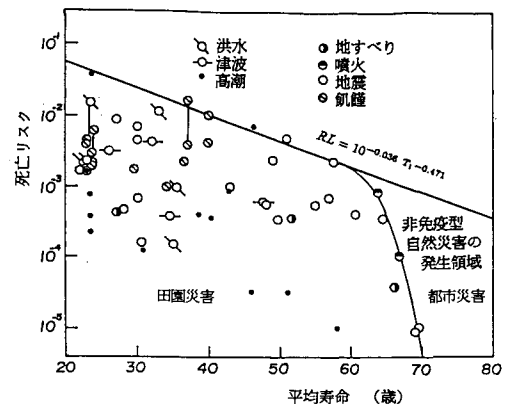


図-1 12世紀以降の世界の巨大災害における人的被害の社会の防災力（平均寿命の関数）による変化

対策では遅すぎるのである。

基本的な考え方としては、まず、社会の防災力の増大によって、災害の伝播速度を遅らせ、拡大を阻止することである。たとえば氾濫水の伝播・拡大を阻止することである。つぎに、不幸にして起こった場合は、速やかな回復を図ることである。都市機能の喪失そのものが重大災害なのである。前者においては、気象災害に170年という明瞭な周期性があり（河田・法花，1989），それ以上長期の再現期間に対応する統計値を取っても、エルゴート性の破綻から推定値にもはや意味がないということである。一方、現状では物理過程の解析からも、高潮の潮位や津波の波高の上限値を設定することが未だ不可能であるため、現状の設計基準の上乗せ方式的な改訂による防災施設では、あらゆる規模の外水の侵入を完全に防ぐことできないと考えられる。後者については、現在の都市構造そのものが市街地の浸水危険性の存在を前提として計画されていないので、防災よりも減災を考え、浸水した場合の対策と復旧方法を考える方が現実的だからである。図-2は大阪にいま室戸台風高潮が再来して、浸水した場合の想定氾濫図であり、1934年のそれに比べて、浸水域の2倍以上の拡大と臨海部での浸水深の増大となり、とくに後者の重要性が裏付けられる。なお、これに地球温暖化による海面上昇分が加わると、想定氾濫域はさらに大きくなる。

それでは、前述した地震災害と水災害の場合について、その制御方法を考えてみよう。地震災害の特徴は、強風災害や内水災害とはほぼ同じく、同時かつ広域にわたって異常外力が働くことである。一方、洪水・津波・高潮災害では異常水位が外力となるから、都市の水際線にまず外力が作用することになる。したがって、前者では被災危険地域全域の対策が必要であるのに対して、後者ではその対策は氾濫水が浸入する箇所をまず強化しなければならない。地震対策であらゆる建築物や施設、ライフラインなどが耐震の対象となるのは周知の通りである。

ここで、海岸防災に的を絞れば、表-3に示すように、地震災害では第1次防御は個々の海岸構造物・施設の耐震、耐火、免震、制震化が必要となろう。第2次防御は被害拡大を防ぐための地域のブロック化であって、被害拡大を阻止するためにはネットワーク内の連続的な相互乗り入れ機能を強制的に遮断する工夫が必要となろう。わが国の大都市の臨海地帯は埋立によって水際線が前進した所が多い。したがって、高い地下水位と沖積層の軟弱地盤は、内陸部に比べて液状化を容易に引き起こすと考えられる。防潮堤や施設のすぐ隣まで人家等が密集している現状では、二線堤を築造することは不可能に近く、なおかつここにフェイルセーフの思想を導入しようとするれば、沿岸に沿ったベルト地帯のブロック化の重要性が

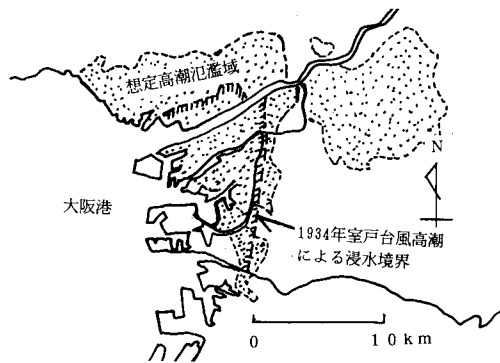


図-2 想定高潮氾濫域

認識される。第3次防御は人的被害を軽減するためのソフトの開発であり、それには地震が起ると、津波の来襲をはじめ身の回りでどういう現象が発生するかも知れないという知識が役に立つに違いない。

前述の水災害では、堤防の強化が肝心であって、河川堤防や防潮堤、津波水門などの高規格化がまず第1次防御となろう。しかし、規模がどうであれ、現状では堤防などの1本のラインで背後地を守っていることに変わりなく、フェイルセーフになっていない。そこで、それに相当するものとして第2次防御は、臨海低平地の地上げが考えられる。この効果はすでにジェーン台風の高潮災害で実証済みであって、その実行では長期的な都市計画の策定が必要となっている。計画高潮や基本高水に対して氾濫原の地盤が、昭和年代の地盤沈下の累積の結果、余りにも低くなりすぎていることがこれら水災害のポテンシャルの増大を招いているのである（例えば、東京の海拔ゼロメートル地帯は124ha、大阪のそれは60haもあり、東京都江東区では累積地盤沈下量が4.5m、大阪市港区では2.8mにも達している）。第3次防御では、地震と同じくソフトの開発である。水災害に関しては、水防の知恵と言われるような災害文化がかつては存在しており、その復活が自主防災組織の確立と共に望まれよう。

いずれの第3次防御でも、今後は防災ボランティアの育成やパブリック・インフォームド・コンセント（公共事業に対する関係住民への説明と同意）の実施を通して、住民の防災教育を行いながら、災害文化の発達を期待したい。

表-3 都市災害の防御方法

	地震災害	洪水・津波・高潮災害
第1次防御	耐震，耐火，制震，免震化	高規格堤防・水門化
第2次防御	地域のブロック化	地上げ
第3次防御	ソフトウェアの開発	ソフトウェアの開発 (災害文化の育成など)

4. 想定被災形態とその発生要因例

たとえば、高潮や津波あるいは洪水との同時氾濫や地震によるゼロメートル地帯の海岸施設の破壊による海水の流入によって、背後地に発生する現象と被災形態を時間的に追ってみると、つぎのようになる。

1) 内水と高潮あるいは津波の単独もしくは組み合わせによる氾濫

1') 外水と高潮あるいは津波の単独もしくは組み合わせによる氾濫

2) 親水施設の破壊

3) 臨海地帯の地盤沈下による浸水深の増大と長期化

4) ライフラインを格納する共同溝の水没と絶縁不良などの機能障害

5) 地下街や地下鉄などの地下空間の水没

5') インテリジェントビルなどの地下のコントロールルームや地下駐車場の水没

6) 人的被害の広域発生

これらのほかに、大量の浮遊物の発生、自動車などの水損による障害物化、地下駅のエスカレータ、券売機などの各種施設の破損などは災害の長期化をもたらす重大な要因になりうる。

それでは、どうしてこのような現象が発生するかについて、例を挙げて説明する。津波来襲による港湾での新しい被災形態として、埋め立て地背後の狭海域での津波の重ね合わせによるバース水深の不足が挙げられる。図-3はA港における4千トン以上の定期船の喫水とバース水深の関係の1例であり、図中の数字は隻数である。津波来襲時に大船が座礁・転覆する危険性と、津波で座礁・転覆した船が海岸施設に衝突して破壊するケースが重要になると考えられる。そのため、バースの水深を既往の津波のトラフレベルを参照して、複雑な形状の水域

で回折波が重なったりする場合にも問題にならない水深とすべきであろう。高潮災害では、1934年の室戸台風と1950年のジェーン台風で同様のことがすでに発生している。すなわち、当時の防潮施設は、後年の検討から多くの問題をもっていたことが判明しているが、大量の氾濫水の浸入をもたらした最大の原因は、強風のために大型の係留船が錨を引きずって吹き寄せられ、これが防波堤や防潮堤を破壊したことであった。

5. 地下空間への氾濫水の浸入

(1) 氾濫水の到達時間：いまモデル高潮が来襲し、A市の防潮水門が不全のため、都市河川の堤防を越流して氾濫水が浸入したと考えてみよう。基礎式は水深積分した1レベルモデルで、氾濫水の先端条件は0.5mmの水深として計算した。その結果、特定の地上の地下鉄駅への階段の入り口に、およそ20分前後で到達し、最大水深は1.3m前後となった。一方、B市で防潮水門からの点源として氾濫水が主要道路を選択的に伝播する場合においても、5ないし20分で複数の地下鉄の入口に達することがわかった。このことから考えると、ゼロメートル地帯に位置する地下空間への開口部は、地上から1.5m以上の擁壁構造で通路部のみ角落とし構造にするか、既往の浸水深がそれ以上あったことがわかっているところでは、非常時に水密構造にして、高潮警報が発令されれば通行を遮断するくらいの規制が必要であり、津波に対しても同様である。

(2) 開口部からの浸入機構：不幸にして開口部で越流して地下空間に氾濫水が浸入する場合を考えてみよう。この場合、階段を流下する水深が小さければ、階段の各ステップでナップを形成する流れとなるが、水深の増加とともに三角粗度上の流れになる。このモデル化と水理実験からある程度解析可能であろうが、ここでは、1953年の西日本水害で水没した関門海峡トンネルの場合を、堰の公式を用いてどの程度推定できるかを調べてみた。用いた堰の公式は、次式である。

$$Q = C_1 B h^{3/2}, \quad C_1 = 1.444 + 0.352(h/L) \quad \dots (1)$$

$$0.1 \leq h/L \leq (1.5 \sim 1.9)$$

ここに、 Q ：流量、 B ：堰幅、 h ：越流水深、 L ：堰長で、単位はMKS系である。

当時の国鉄の調査報告書によれば、門司側からの時間的な流入量とトンネル内での湧水量がわかっており、また、トンネルの入り口は上述した、3方擁壁で複線の部分(9.7m)は土囊積みとなっている。線路に沿ったこの擁壁の長さは各々340mである。門司駅構内の浸水深の時間的な変化は残念ながら不明であるが、報告書の写真から判断して、最大浸水深は擁壁上およそ0.6~0.7mと推定された。計算の結果、流入量は 6.7×10^4 から 9.1×10^4 と

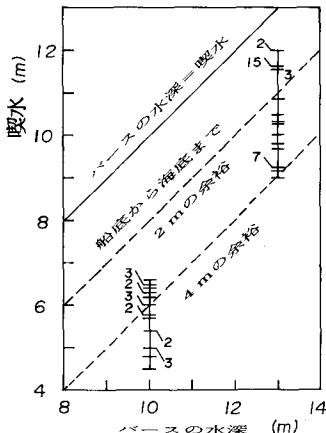


図-3 バースの水深と喫水との関係

