

自然災害における人的被害の極値とその推定法

河田 恵昭

ESTIMATION OF NUMBER OF THE DEAD DUE TO CATASTROPHIC NATURAL DISASTER

By Yoshiaki KAWATA

Synopsis

The technical terminology of power of disaster prevention and its potential has never been defined quantitatively. The effects of hard countermeasure and soft one are given by the function of one's lifespan in any area such as country, state and city. Power of disaster prevention can be expressed as equivalent lifespan (*EL*) which is calculated by *DPAI* (Disaster Prevention Appraisal Index). Disaster prevention potential (*DPP*) can be also defined as product of population and *EL*. Natural disasters are divided into two categories, i.e., uncontrollable disaster and partially controlled one. The former occurs without any countermeasure so that the number of the dead depends on only the power of natural disasters. The latter is characterized with social immunity against natural disasters. The population density is introduced to estimate the number of the dead in both disasters. The estimated number of the dead shows good agreement with the number empirically predicted.

1. 緒 言

数十年から数百年に1度という異常外力による巨大な自然災害が発生すれば、どの程度の人的被害、とくに死者数がでるのであろうか。このような問いに確たる答えを出す方法を私達はもっていない。たとえば、来るべき関東大震災による被害想定にかかわった嶋は、いみじくもその間の事情を説明している。その記事¹⁾を掲載した朝日新聞は、死者数を予測する理由として、つぎのように述べている。『被害を受ける人の数がかめなければ、食料・医薬品の備えや遺体の取り扱いなどの対策が立てられない。』しかし、このような後向きの見方ではなく、もっと積極的な捉え方があると思われる。それは、事前に起こるべき災害の規模として、正確な被害者数や被害額、あるいは電話・ガス・電力・水道などのライフラインの故障期間、交通機関の不通期間あるいは氾濫水の湛水日数などを明示できれば、それに対処するための防災・減災の技術的な戦術の提案と、それを実現する場合の財政的な負担限度の線引きを、より合理的に決定できる可能性をもっている。さらに、そのように数値化された正確なデータは、被災危険地域の住民やそこに通勤・通学などの目的で集まる人々にとって、災害が身近の問題となり、それが防災・減災の啓蒙にも大いに役立つだろう。

このような被害想定を行うには、私達の社会が自然災害に対してどの程度防災力をもっているかを定量的に評価できなければならない。それはできれば簡単な方法でありたい。そして、力というからにはその元になるポテンシャルを定義する必要もあろう。防災ポテンシャルという言葉を標題に含んだいくつかの研究が散見されるが、この用語の定義はなされていないと判断される。防災ポテンシャルが定量的に表現

されて、はじめて防災力も数値として表され、これら両者によって防災・減災の効果的な方法が提案できるだろう。これまで、防災ポテンシャルを定量化できなかったために、ひいては行政サイドの防災対策が必ずしも効果的でない事態が起こるわけである。従来のような災害復旧を通じての防災対策ではなしに、来るべき災害に対して有効な先制抑止策を立てられるとすれば、このようなアプローチが是非必要なことが理解できる。

著者²⁾は、マルチプル・リスクの概念と多重ロジックモデルを用いて、防災評価指標 (Disaster Prevention Appraisal Index, *DPAI*) を算定する方法をすでに提案している。そこで、ここでは、その発展形として、防災ポテンシャルと防災力の定義を試みる。そして、災害の特質を踏まえた型式の分類と、それぞれに対応した被害者の予測法を示す。そこでは、とくに人口密度の効果を導入するとともに、その応用例として、来るべき異常外力による災害で発生する恐れのある死者数を推定することを試みる。

2. 防災ポテンシャルの定義

自然災害の防止・軽減するには、いわゆるハードウェアとソフトウェアによる防災力を高めればよい。この防災力とよく使われている防災ポテンシャルの関係はどのようになっているのであろうか。ここで言えることは、防災ポテンシャルを示す指標は両者に関係する要因で表されるはずということである。しかも、その指標は防災ポテンシャルの歴史的な変遷や地域性の影響というような時空間的な変化の特性を検討できるものでなければならない。本章ではこのような性質をもつ指標を求め、これによって防災ポテンシャルを定義する。

2.1 防災力の評価²⁾

(1) ハードウェアによる防災効果

防災構造物・施設を設計する場合、必ずその設計外力をどう取るかが問題となろう。設計外力の再現期間が災害に対する安全性の指標となろう。しかし、安全性とは人々が感じる程度の問題であって、決して無機的な(力学的には意味があろうが)数字のみでは表されないことに留意する必要がある。そこでどうすればよいかを次に示す。たとえば、建築物では、風荷重に対してその耐用期間内に遭遇する確率を求めている³⁾。建築物の風に対する安全性はこれで評価されよう。

一方、防災構造物・施設ではもちろん設計外力が作用するとして建設するのであるから、再現期間と耐用期間が基本的に一致すると言える。このような条件下で人々はどのように安全性の基準を考えるのであろうか。その1つとして、生存中に災害に遭遇する確率が考えられる。具体的に例を挙げよう。いま、住民の平均寿命が n 歳の地域に再現期間が n 年の災害を防ぐための構造物が築造されたとしよう。そして平均寿命が $2n$ 歳の別の地域で再現期間が $2n$ 年の同種の構造物が作られた場合、いずれの住民にとっても、一生の内に災害に遭遇確率は全く同じである。つまり、もし災害に対する住民の意識が同じであれば(これは後述するソフトウェアに関するので別のファクターとなる)、住民にとってほぼ同じ程度の危険性と感じられるだろう。言い替えば、平均寿命が $2n$ 歳の地域に再現期間が n 年の災害に対する構造物が作られたとしたら、そこに住む人は n 歳の地域の人に比べてはなはだ危険と感じるに違いない。

そこで、これらの関係を図示したものが Fig. 1 である。図中の曲線は次式の関係を表している。

$$P = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^{T_1} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 P : 災害遭遇確率、 T_1 : 平均寿命、および T : 再現期間(年)である。従って、非遭遇確率は $1 - P$ となる。この図から、再現期間と平均寿命を等しく取れば、一生の間に遭遇する確率が 0.636 となることがわかる(これは式(1)で $T = T_1$ とすれば、この値に漸近する)。

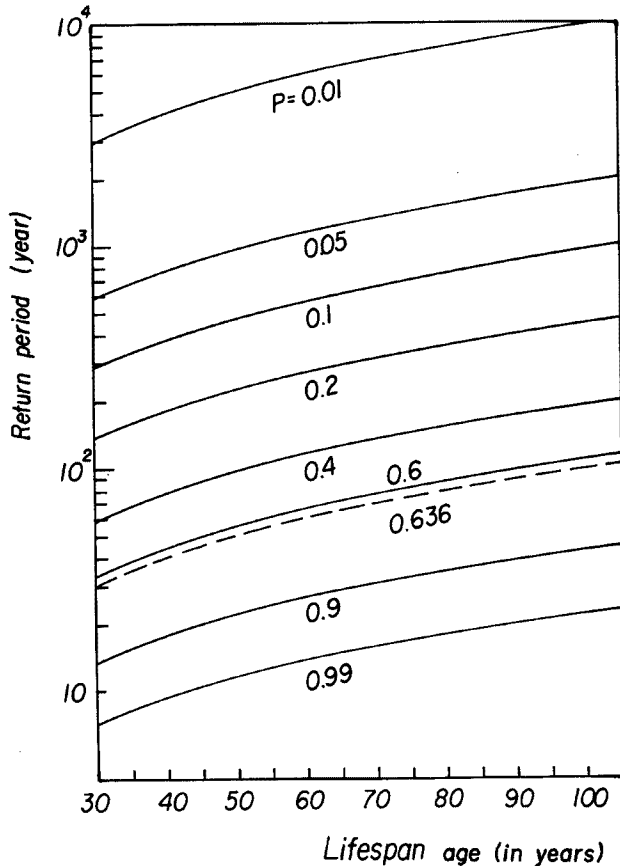


Fig. 1. Probability of encounters with natural disaster during one's lifespan.

なお、このような遭遇確率の取り扱いが現状では不可能な災害がある。たとえば、崖崩れがそうである。わが国では急傾斜地危険指定箇所（直高5 m以上で、人家5戸以上、あるいは公共建物のある箇所）は7万以上を数える⁴⁾。その対策の進捗状況は1992年で25%が見込まれている。しかし、次のように考えることができればここでの解析結果が適用可能であろう。すなわち、崖崩れのように全国の至るところで発生可能な災害に対して、その対策はほかの自然災害の場合とのバランスを考えて進められているはずである。各種災害対策の進捗状況に若干の差はあっても、ある特定の災害だけに対して特別安全であるような政策は通常取られないであろう。戦後わが国で進められた災害対策を振り返れば、概ねそのようになっていよう。従って、たとえば河川の洪水危険度と急傾斜地の崖崩れ危険度は、1つの国単位で考える限り同程度と推定してもそれ程の間違ひではないであろう。このような理想的な解釈をすれば、ここで示したような外力の再現期間で代表させた防災ポテンシャルの評価法はかなり一般性をもっていると考えられる。

このように、自然災害に対するハードウェアによる防災・減災の効果は自然外力の再現期間と平均寿命で一般的に表すことができる。

(2) ソフトウェアによる防災効果

防災・減災のためのソフトウェアは気象情報、災害情報、避難情報あるいは防災教育などの知識・情報とその伝達、および都市化に代表されるような社会基盤の変化やこれに対処する防災政策などから成り立っており、その構成要素は多岐かつ有機的につながっている。したがってこれらの要素を組み合わせ、1つの指標を帰納的に求めることは不可能に近いことであって、これまでこれを代表するような指標の提案はなされていない。したがって、ソフトウェアを構成する要素をほぼ支配する、言い替えれば包括的に関係する指標を見いだす必要がある。

そこで、人文・社会科学の分野でこれに相当する候補を多く取り上げ、定性的ながらも最適なものを選ぶ作業を重ねた。当初、新聞の購読率やラジオ・テレビの普及率などを考えたが、これら1つでとても前述した多くの要素を表せるとは考えられないので、さらに上位の指標を考えることにした。きっかけとなったのは、次のようなことである。すなわち、危険性とはまさに生命に対するものであり、従って、指標はなんらかの形で『生命』と結び合わさっていなければならない。そこで医学関係の書物を当たった結果、『平均寿命』が最適の指標であるという結論に達した。その理由は以下に挙げる。

古川⁵⁾は66の指標に対する多変量解析の一種のクラスター分析を行った結果、平均寿命がその国の富と情報量に大きく依存していることを明らかにした。Fig. 2はその結果であって、図中の数字は自己相関係数から1を引いて100倍した値であって、類縁度を示す量であり、値の小さいものほど相関が高く、

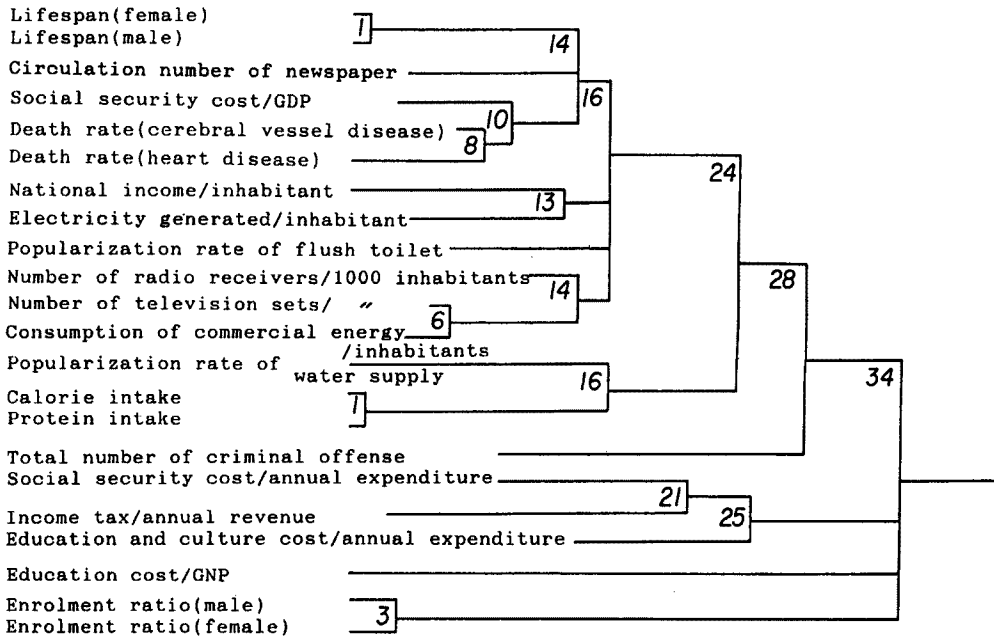


Fig. 2. Property and information clusters of social factors which correlate with lifespan (the number 0 corresponds to correlation co-efficient 1 and 100 means -1)⁵⁾.

また直線の交点は異種のグループ融合を表す。古川は、この結果をつぎのように説明している。すなわち、平均寿命と密接な関係がある社会指標は富と情報のクラスターであり、たとえば在学率、ラジオ、テレビの台数、新聞発行部数、それに教育・文化費などの意味する共通項は情報量である。これは見方をかえると社会の豊かさを表すものである。国民所得、所得税、社会保障費、発電量、エネルギー消費量、摂取カロリーや蛋白も富を表していることになる。なお、保健・医療のクラスター（医師数や病床数など）は死亡率を引き下げるのに役立っていると推定されている。

Table 1 は平均寿命と前述した代表的な要因との相関係数を表す。さらに、Figs. 3 および 4 は平均寿命とそれぞれ県民所得

Table 1. Correlation coefficient between lifespan and some social factors related to property and health⁶⁾.

	Lifespan (male)	Lifespan (female)
Income/inhabitant	0.735	0.762
Illiteracy rate	-0.829	-0.846
Circulation number of newspaper	0.762	0.777
Calorie intake	0.824	0.864
Protein intake	0.795	0.833
Number of sickbed /inhabitant	-0.579	-0.578
Number of medical doctor /inhabitant	-0.714	-0.678

および国民所得との関係を示したものである。まず、Table 1 から平均寿命と富と関係する社会指標との高い相関性が再度確認される。つぎに、Fig. 3 では、わが国における男女それぞれの平均寿命と県民所得の間に、図中2本の曲線で示される関係が見いだされている⁶⁾。なお、同図の楕円群は該当年におけるデータの分布範囲を表

したものである。また、Fig. 4 は国民所得であって、社会主義体制のソ連や中国と石油収入が国家財政を支えているイランなどの例外はあるものの、平均寿命と国民1人当りの国民所得の間には明白な関係が認められる。これらの事実から、古川の指摘が妥当なことがわかる。

これらの検討結果から、社会の富と情報に関する総合的な指標として、平均寿命が適切であることが実証されたわけであるが、後半の議論から、富の指標と

して国民所得（あるいは国民総生産 GNP や国内総生産 GDP）などの方がより適切ではないかという疑問が出てこよう。これに対しては、つぎの理由から反論できる。すなわち、国民所得のような貨幣による価値の評価を経済分析の武器あるいは政策の手がかりとして用いるようになったのは、1936年のJ. M. ケインズによる『雇用、利子および貨幣の一般理論』の出版以降のことである。したがって、各種経済統計の資料整備の歴史も、先進国においてさえたか

だかその時点付近まで遡れるに過ぎず、それ以前の社会の富に関する指標としては大まかな推定とならざるを得ず、結局適用できない。まして他の国を含む世界的な範囲では、不明の部分が多く比較も不可能

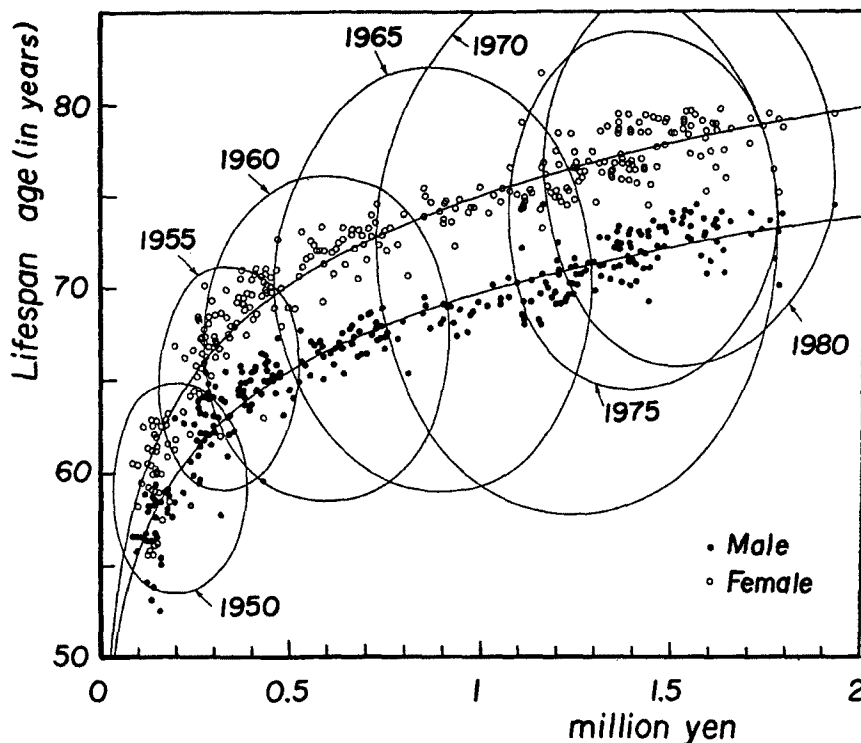


Fig. 3. Relationship between annual income in every prefectural inhabitant and lifespan⁶⁾.

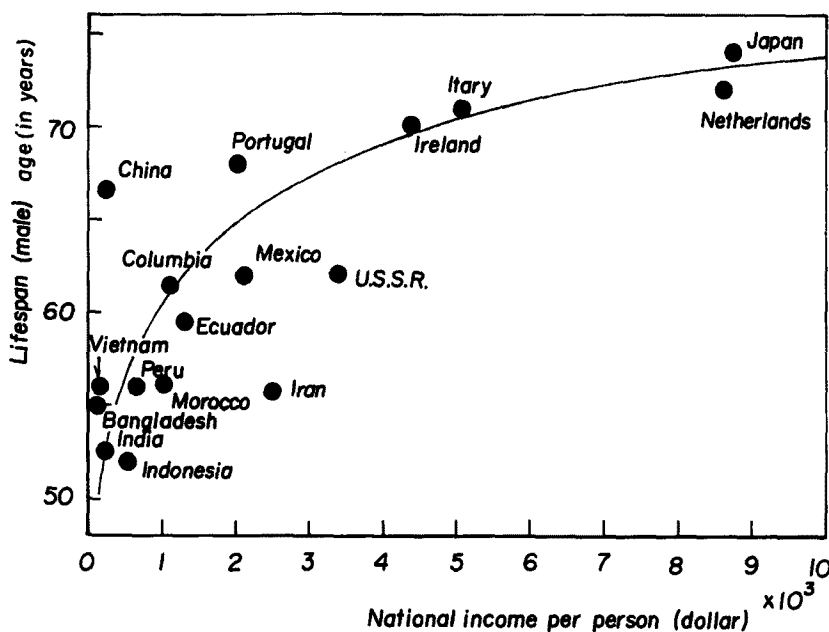


Fig. 4. Relationship between national income per person and lifespan.

であって、使用上大きな制約があるといえる。後述するように、指標としての平均寿命については、約25万年前の北京原人（推定平均寿命13歳）の頃からのものが調べられており、紀元後についてはかなりの推定精度をもっていると言われている⁷⁾。このようなことから、防災ポテンシャルの歴史的変遷を議論する立場からも、この平均寿命という指標は適切であると言える。

前述した防災・減災のソフトウェアに関係する要素がほとんどすべて平均寿命に関係する要素と重なり、しかもその関係の強さも非常に相似することがわかる。そこでこの結果から、ソフトウェアを表す指標として平均寿命をとることにした。さらに、将来的にソフトウェアが非常に充実した場合に、平均寿命も伸びていると考えられるが、現在も平均寿命は時代と共に線形的に増加しており、しかも百歳以上の老人の生存数も増えていることから、その上限を限界寿命と言われている120才⁸⁾として規格化した。

なお、念のため記しておくが、災害による死者数の増減は平均寿命にはほとんど影響しないことである（たとえば、15世紀半ばのペストの流行による当時のヨーロッパの人口の約1/3が死亡するというような場合は別であるが⁹⁾）。ここでは、社会の豊かさの指標として平均寿命をとることが妥当であるということを確認しておきたい。

(3) 両効果の結合と防災評価指数の提案

ハードウェアとソフトウェアの各々の効果を表す変数が定義できたが、両者を総合して1つの指標にする必要がある。そのためにここではマルチプル・リスク¹⁰⁾の概念を適用する。それは複数の危険因子が重なって病気が起こるという考え方であり、防災・減災もハードウェアとソフトウェアの効果が重なって実現できると考えることにした。そこで、複数の効果を評価する数学的方法として、多重ロジスティック関数を用いることにすると、両者の効果が結合された場合の自然災害の危険性を表す P_d は、次のように表される。

$$P_d = \frac{1}{1 + \exp\{-(\alpha + \beta P_1 + \gamma P_2)\}} \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 α 、 β および γ は係数であり、 P_1 は非遭遇確率で、式(1)から $1 - P_1$ 、 P_2 は平均寿命/限界寿命である。この P_d は、つぎのような危険性を意味していると考えられる。すなわち、ハードウェアの整備に関係する危険性 P_1 は、国を1つの単位として国民が平均寿命の期間中に自然災害に被災する確率である。一方、 P_2 はソフトウェアの充実に関係する確率で、ここでは平均寿命と限界寿命の比で表され、国単位の人口を対象として求められる。将来、限界寿命近くまで生きる長寿の時代になれば、この比は1に近づき災害に遭遇しにくくなる。これら両者が式(2)に示すように積の形で結合しているので、結局 P_d は各国民がその国の平均寿命の期間中に自然災害に被災する確率であるといえる。

つぎにこれらの係数の決め方が問題になるが、現状では決めようがないので、1つの試案を示すことにしたい。まず、ハードおよびソフトウェアに関係しない係数の α である。これは、ここにおける議論が自然外力は時間の経過と共に変化しないという前提で進めているが、たとえばわが国とか中国では長期的な気温変化が何度か繰り返されており¹¹⁾、そのような時間的な変化を表す項と考えられる。たとえば、海面上昇に伴い海岸災害が激化すればこれに対応する。ここでは、トレンドの形で顕在化するまでは、この影響はそれほど大きくないとして考慮しないことにした。つぎに β と γ であるが、これらは災害に寄与するハードとソフトウェアの割合であり、ここでは便宜上両者が等しいとして0.5とおくことにした。式(2)において、ソフトウェアとハードウェアの効果が全然期待できない場合に100、逆に両効果が期待できる場合に0になるように規格化すると、次式のようになる。

$$DPAI = 433(0.731 - P_d) \dots\dots\dots (3)$$

この関数をここでは防災評価指標 (Disaster Prevention Appraisal Index, 略してDPAI (デーパイ))と名づける。

ところで、ここで示した取り扱い、国単位の地域を対象としたものであって、さらに個々の自然災害

に対する狭い地域の防災・減災を考えると、当然それらの内容は変わるであろう。これら両者の整合性について具体例を挙げて若干考察しておこう。

高橋¹²⁾は水害から見た社会の防災力の構造が、次の5つからなることを示している。すなわち、(1) 防災施設、(2) 土地利用の変化、(3) 水文現象の変化、(4) 防災制度・行政・組織の対応、および(5) 防災意識の変化、である。これらは、(1)がハードウェアに、(2)、(4)および(5)がソフトウェアに対応するものであって、(3)は気候変動に依存するので、たとえばトレンドとしての取り扱いなどが可能であろう。従って、式(2)や(3)によってかなり包括できようが、さらに詳しく検討するためには式(2)の多重ロジスティック関数の P_1 と P_2 の代わりに、上記の(1)から(5)に対応した $\beta_i P_i$ を導入すればよい。ここに、 β_i は係数である。そしてこれらの係数は目的関数、すなわち防災の基本方針を表すような定量化された関数を満足するように決めてやればよいわけである。そのほかの災害についても同様であって、要するに何を目的として、あるいはどの程度の地域を対象として防災力を論じようとするのかと言う立場によって区分の程度が変わってくるだろう。

このようなことから考えて、ここで示した指標はハードとソフトウェアの両効果をもっとも簡単な形で表したものと理解できよう。

(4) 防災評価指標 (DPAI) の特性

ここでは、いくつかの典型的な例を取り上げて、DPAIの特性を示してみよう。まず、防災・減災のためのハードウェアが全く設置されていない場合を考えてみよう。Fig. 5の記号Aの線はこの条件 ($P_1 = 0$) としてDPAIの平均寿命による変化を示したものであって、後者、すなわち情報などのソフトウェアの充実によって線形的にDPAIが減少し、自然災害に対して防災力が備わることが認められる。

つぎに、記号Bの線は、ハードウェアの設計外力の再現期間とそれによって守られる人々の平均寿命を等しくした場合 ($P_1 = P_2$ で、災害に対していずれの地域でも同じレベルの安全性を感じていることになる)、ソフトウェアのみによる防災・減災に比べてDPAIが平均寿命にほぼ関係なく20程度小さくなるので、かなり安全といえる。さらに、ハードウェアの再現期間を100年、200年としたC及びDの場合には、AやBの場合に比べて平均寿命によるDPAIの減少傾向が小さくなり、かつソフトウェアが未発達(平均寿命が短いことに対応している)なほど、ハードウェアの設置の効果が大きく現れている。

このように、私達も持っている自然災害の危険性に対する常識的な感覚が、DPAIによって数値的に明確になることが認められる。

2.2 防災ポテンシャルの定義

防災ポテンシャルという言葉は、自然災

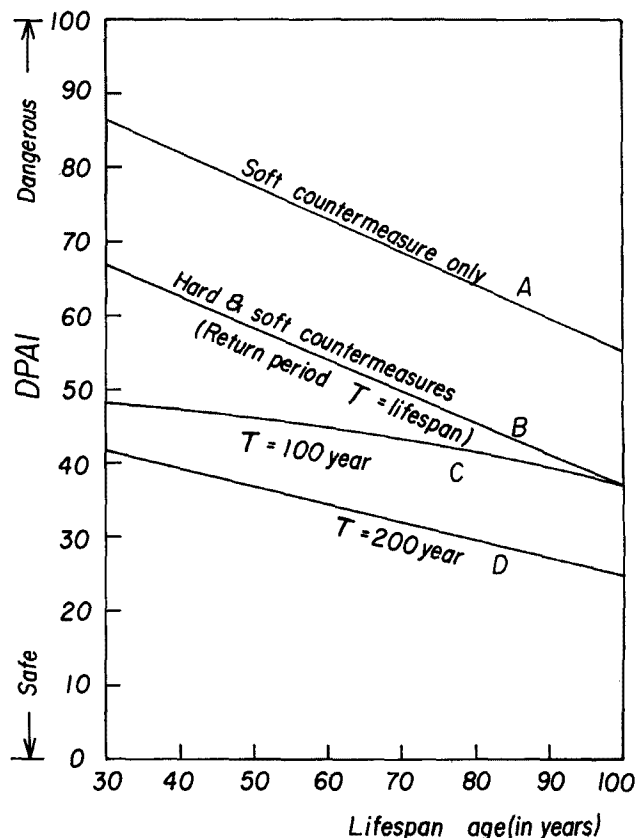


Fig. 5. Changes of DPAI (Disaster Prevention Appraisal Index) with lifespan.

害の分野でよく使われる基礎的用語と言えるが、いまだに明確な定義はなされていない。そのため、災害関係の議論でしばしば微妙な食い違いが生じる。これは災害ポテンシャルという言葉についても同じことである。このような未定義の原因として、定量的に評価できないということが挙げられる。そこで、ここでは力学的エネルギー保存の法則とのアナロジーで防災ポテンシャルと防災力の定義を試みよう。

(1) 防災における力とポテンシャルの関係

いま、保存力 F のなす仕事 U は、質点の移動経路、すなわち保存力場内の S と S_0 を結ぶ曲線の形には無関係であるから、次式が成立する。

$$U = \int F dr \dots\dots\dots (4)$$

ここに、 r : 位置ベクトルである。この仕事 U を点 S_0 を基準としたときの点 Q における力 F のポテンシャルという。すなわち、力の空間積分がポテンシャルである¹³⁾。

そこで、まず防災力を表す指標を定義しよう。すでに、防災評価指標 ($DPAI$) によって社会の防災力が表示できることを示した。ただし、これは0から100までの値を取り、数値が大きければ危険が増加することを意味する。したがって、防災力が大きければ安全であるという通常の意味と反対となる。そこで、新たに防災力として、相当平均寿命 (Equivalent Lifespan, EL) を、つぎのように定義する。

$$FL = 100 - DPAI \text{ (歳)} \dots\dots\dots (5)$$

なぜ『相当』なのかは、つぎの理由による。すなわち、式(2)あるいは(3)から、防災に対するハードウェアとソフトウェアの両者の効果はいずれも平均寿命の関数となる。しかも、平均寿命は社会の富を表す指標であるから、これが高ければ高いほど防災力が大きいといえる。ただし、ハードウェアの効果は設計外力の再現期間と平均寿命との比の関数となるから必ずしも単純ではない。そこで、 $DPAI$ でそれを総合的に評価したわけである。そのような理由から、100から $DPAI$ を引いた値は一種の平均寿命に相当するわけである。

つぎに、防災ポテンシャルを定義しよう。防災力の何に関する積分値が防災ポテンシャルかということである。前述の場合、力学のポテンシャルはエネルギーであるから、防災のためのエネルギーは一体どういうものかということであろう。しかも、防災力が国とか地域とかを単位として評価されているので、防災ポテンシャルも自動的に地域性を反映している必要がある。地域性ということは、対象とする地域が防災に関して、ほかの地域と違うところという意味を含んでおり、能動的な防災を考えるので、そこに何人住んでいるかということによって代表されると考えてよいだろう。つまり、人口 (PO) が関係するわけである。そこで、防災ポテンシャル (Disaster Prevention Potential, DPP) は、つぎのように定義できる。

$$DPP = EL \times PO \text{ (歳} \cdot \text{人)} \dots\dots\dots (6)$$

これから、地域として国単位だけでなく、もっと小さな市町村や地区単位でも人口が求めれば防災ポテンシャルは定義できることがわかる。

以上のことを国単位に考えると非常に理解しやすい。いま、Fig. 4から近似的に平均寿命が一人当りの国民所得に置き換えてもほぼ間違いではないので、その場合、防災ポテンシャルは1国の国民所得となる。つまり、国全体の富の総量が防災ポテンシャルなわけである。式(6)から、防災ポテンシャルとは、ある地域の人口が相当平均寿命に相当する期間、継続するものとも捉えられる。

このように、防災ポテンシャルに人口の多寡が直接関係するわけである。そして、たとえば人口稠密地帯と過疎地帯で防災ポテンシャルの値が同じ場合、前者の方が後者に比べて防災力が小さいという結果になる。これは私達のもっている常識と一致する。地区単位で考えれば、ある地区の人口が増えればその増えた分だけ防災に対する投資が行われなければ、ほかの地区に比べて防災力は相対的に低くなるわけである。わが国の大都市臨海地帯での爆発的な人口集中が進む一方で、その地域の人口増に見合った社会基盤整備や防災施設の建設などの財政投融資が必ずしも十分行われてきていないと言えるので、そこでの防災力は以前に比べて低くなっていることもあることが理解できよう。

これまで、災害科学の分野で、『わが国の大都市ほど潜在的な災害危険度が以前に比べて大きくなってきている』ということの内容が、防災力の定義によってより具体的にイメージできるわけである。それは、人口の集中や社会資本の集積に見合った防災投資がなされていないために、そのアンバランスの間隙をぬって都市災害が発生する危険性が高まっていることの表現である。このことから、都市災害とは、社会環境の激変に対応した防災・減災のための十分な対策がなされていないことが原因として起こる災害と定義できる。

3. 自然災害における人的被害の極値

3.1 巨大自然災害における人的被害の特性

ここでは、国単位を対象とし、災害による死者の絶対数ではなく、人口当りの死亡率（死亡リスク）によって、災害の危険度を表すものとする。データ整理は、数千人以上の死者をもたらした自然災害をリストアップし、発生当時の国の人口で割って、死亡率を求める作業からなる。その結果を用いて、前章の考察から、これと平均寿命との関係の妥当性を実際のデータを用いて検証しようというわけである。したがって、必要な諸量は、災害発生時の人口、平均寿命および死者数である。

(1) 平均寿命

平均寿命については、出土人骨などを用いて、約25万年前まで遡って推定されている。とくに、歴史時代に入ってから精度が高いと言われており、紀元後についてまとめて示したものが、**Figs. 6 (a)** および **(b)** である^{14), 15), 16)}。両図の横軸の時間スケールを見るとわかるように、**(b)** はとくに19世紀以降を国別に詳しく示している。これから、平均寿命が20歳から30歳になるまでおよそ1700年の長い年月がかかっていることが見いだされる。そして、18世紀後半の産業革命による生活水準の向上と1796年にジェンナーが発明した種痘による第1次寿命革命の所産によって、平均寿命が飛躍的に伸びるわけである。図**(b)** から、平均寿命の値と変化には、国の経済力が確かに反映されていることが見いだされる。そして、先進国と開発途上国における平均寿命の差は、16世紀頃から生じ始め、徐々に拡大し、第2次世界大戦後、やっとその差が小さくなる傾向が認められる。

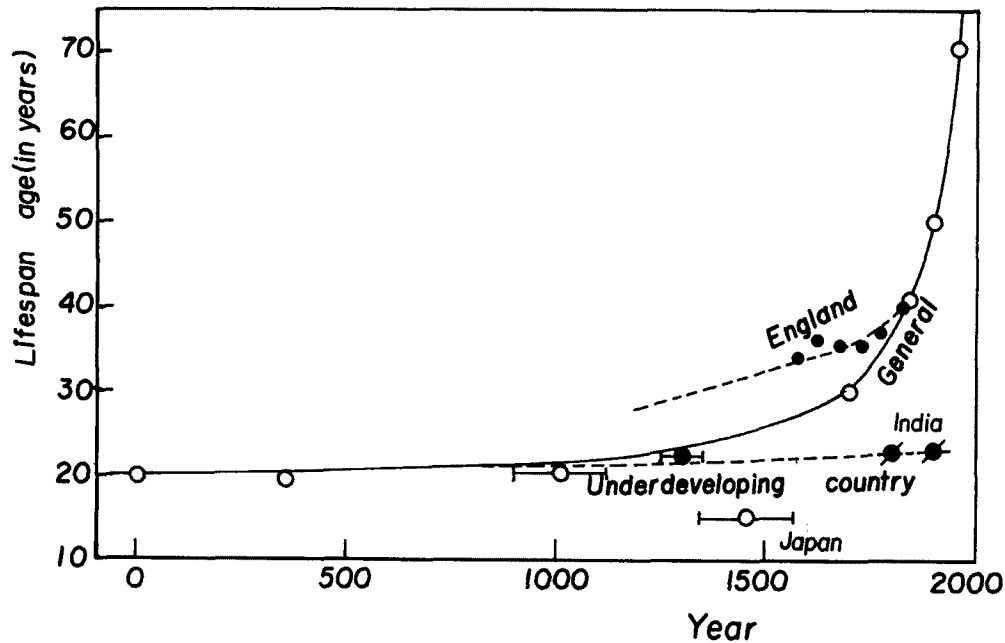
(2) 人口

歴史時代における国別人口の変遷が、かなり正確に評価されているのはわが国ぐらいであって、ヨーロッパでは中世以降19世紀に至るまで、評価はできるが精度は劣ると言われている。**Fig. 7** は参考文献¹⁷⁾に基づいて、中国の人口の経年変化を示したものである。災害国について同様の図面を作成して、当該年の人口を推定することにする。

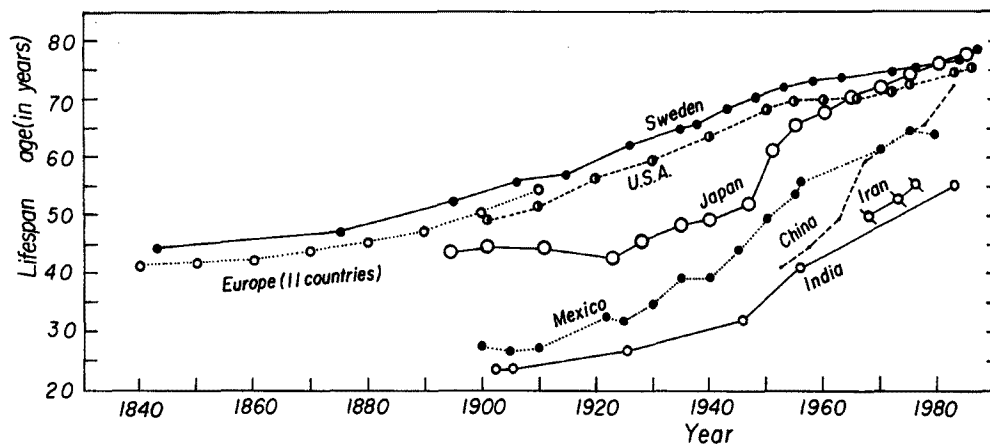
(3) 死亡リスク

世界の大災害は、いくつかの参考文献^{18), 19), 20), 21)}に基づいて選び出した。ただし、10世紀以前については、死者数が明かでないとか複数の国にわたっていたりするので、精度が落ちると考えられる。そこで、ここでは10世紀以降を対象にしている。**Table 2** はその結果をまとめたもので、このうち最大の死亡リスクは1287年、オランダの高潮災害で発生し、 3.86×10^{-2} にも達した。つまり、死者5万人で、住民約25人に1人が犠牲になっている。

Fig. 8 は、**Table 2** のデータをプロットしたものである。災害の種類ごとに特定の位置にかたまらず、入り混じっており、どの災害がもっとも危険であるかという評価はできないことがわかる。ここでは巨大災害以外はデータ整理しなかったが、この点群の下方に無数の中小規模の災害事例が位置することになる。これから、巨大災害と呼ばれるものは、平均寿命が60歳以下の時代にあつては（先進国では、20世紀以前に相当する）、国単位の死亡リスクが 10^{-2} から 10^{-3} の間に達するものと言える。



(a) Overall feature



(b) After 1840

Fig. 6. Historical changes of lifespan.

3.2 人的被害の上限値と災害型式

(1) 死亡リスクの上限値

Fig. 8 から、平均寿命による死亡リスクの変化には上限値が存在し、1本の包絡線を形成することがわかる。それは、その当時の平均寿命に対して、高潮、飢饉、地震および火山噴火で記録されており、災害の種類に関係なく自然災害の危険度の上限に対応していると考えられる。この曲線を著者はK曲線と名づけた。さらに、平均寿命が60歳以下の範囲(20世紀以前に対応)では、平均寿命の増加とともに死亡リスクが緩やかに減少していることが見いだされる。一方、60歳以上(先進国で20世紀以降)では死亡リスクが急激に減少していることが認められる。これらは異なる性格の災害であって、前者を外力非制御型、後者を外力制御型災害と名づけることにする。

平均寿命が60歳以下、すなわち先進国でも1900年以前に相当する時代には、ソフトによる防災のみし

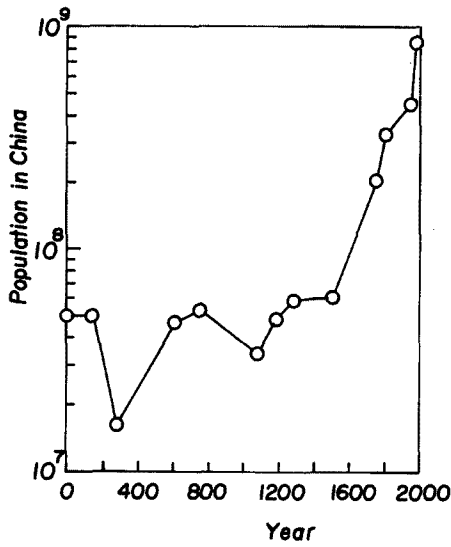


Fig. 7. Population in China.

かないので、Fig. 5のAの直線に対応する。したがって、*DPAI*は70以上となり、災害に対して非常に危険である、言い替えば被害の規模は外力の大きさに決まるわけである。平均寿命が60歳以上になると、ハードウェアによる防災も徐々に充実されてくるので、Fig. 5から*DPAI*は概ね50以下になって、安全性を増すと言える。すなわち、ハードとソフトウェアによる災害の制御がある程度行われるようになるということである。このような捉え方をすれば、世界的にみて、国単位の平均寿命が約30歳から80歳まで分布しており、外力制御型・非制御型災害を蒙る可能性の国が地域的に混じり合っていることになる。

(2) 新しい災害型式—非免疫型近代災害—

さて、ここで1つの疑問が出てこよう。それは平均寿命が60歳以上の国ではすべて外力制御型災害かどうかということである。これまでのソフトウェアとハードウェアによる防災・減災の方針は、特定の自然災害の、しかもある種の被災形態を想定して設定されているものが大半であろう。たとえば、関東大震災では建物の倒壊よりも火事による死者が圧倒的に多かったために、現在の首都圏の震災対策は火事対策を中心に考えられているわけである。このような同一のパターンの被災形態が将来においても変わらないと言えるのであろうか。外力非

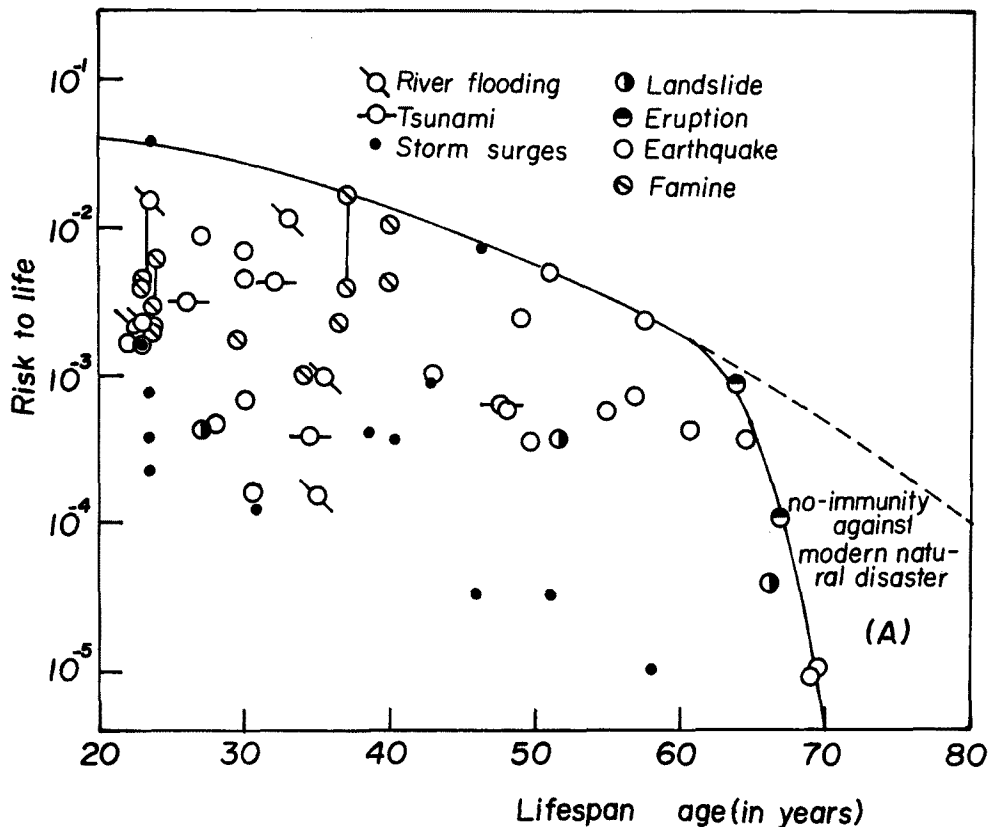


Fig. 8. Changes of risk to life in every catastrophic natural disaster with lifespan (solid line corresponds to the upper limit).

Table 2. List of catastrophic natural disasters.
(a) Earthquake and storm surges

Disaster	Country	Year	Number of dead	Risk to life	Lifespan (in years)
Earthquake	China	1290	10	1.69	22
	"	1556	83	9.9	27
	U. S. S. R.	1667	8	—	—
	Italy	1693	6	4.51	30
	"	1693	9.3	6.94	30
	India	1737	30	1.57	23
	Italy	1908	7.5	2.45	49
	China	1920	20	0.47	28
	Japan	1923	14.3	2.38	57.5
	China	1932	7	0.163	30.5
	U. S. S. R.	1948	10	0.571	55
	Morocco	1960	1.2	1.01	43
	Iran	1962	1.2	0.580	48
	"	1968	1.2	0.354	49.6
	Peru	1970	7	4.96	51
	China	1976	25	0.366	64.6
	Iran	1978	2.5	0.737	56.8
	Mexico	1985	0.8	0.0102	69.4
	Ecuador	1987	0.4	0.427	60.7
	U. S. S. R.	1988	2.5	0.00897	69
Storm surges	Netherland	1287	5	38.6	23.5
	Indonesia	1737	30	1.57	23
	Japan	1828	1.3	0.406	38.5
	India	1864	5-7	0.226	23.5
	"	1876	20	0.769	23.5
	Vietnam	1881	30	—	—
	India	1882	10	0.373	23.5
	"	1942	4	0.125	30.8
	Bangladesh	1963	2.2	0.371	40.4
	"	1965	5.7	0.917	42.8
	"	1970	50	7.14	46.3
	India	1971	1	0.0228	46
	"	1977	2	0.0328	51
	Bangladesh	1985	1	0.0101	58

制御型災害においても、社会環境の変化とともに被災形態が変わってきたことは、たとえば大阪の津波・高潮災害の歴史からも明らかである。その場合は、不幸にして異常外力に対して当時の人々はなすすべを知らなかったわけで、災害に対して受身の立場に留まらざるを得なかった。そのため、時代とともに（平均寿命の延伸とともに）、自然災害に対して徐々にしか安全にならなかったといえる。それが、この部分のK曲線の緩やかな下降減少に対応していよう。

平均寿命が60歳以上の国になれば、ソフトとハードウェアの防災がある程度効果を発揮するようになり、同じようなパターンの災害の発生を食い止められる、あるいは被害を軽減できる。そのために、Fig. 8からわかるように、K曲線が折れ曲がったように下方に向かって死亡リスクが減少しているのである。すなわち、災害に対して学習の効果が発揮される、いわば社会の中に異常外力に対して免疫ができていくわけである。したがって、外力制御型災害とは免疫型災害と言ってもよいことに気がつく。では、非免疫

Table 2. (Continued).
(b) River flooding, tsunami, famine, landslide and eruption

Disaster	Country	Year	Number of the dead	Risk to life	Life span (in years)
River flooding	China	1642	30	2.22	22.5
	Japan	1786	3	0.984	35.5
	U. S. S. R.	1824	1	0.153	35
	China	1887	90-600	2.3-15.4	23.5
	"	1939	several millions	11.4	33
Tsunami	Japan	1498	3.2	3.36	26
	"	1707	2	0.687	30
	"	1771	1.2	0.393	34.5
	Portugal	1755	1	4.34	32
	Indonesia	1883	3.5	—	—
	Japan	1896	2.7	0.635	47.5
Famine	India	1769-70	300	3.95	23
	Japan	1782-86	20	1	34
	Ireland	1846-51	100	4.2	40
	China	1876-79	900-1300	1.97-2.85	23.5
	India	1876-78	350	2.29	23.5
	"	1896-97	500	4.46	23.5
	"	1899-1900	125-350	2.23-6.25	23.5
	U. S. S. R.	1921-22	120-500	3.96-16.5	37
	China	1928-29	300	1.75	29.5
	U. S. S. R.	1932-34	500	10.3	40
	India	1953-54	150	2.27	36.5
	Landslide	China	1920	18	0.429
U. S. S. R.		1949	1.2	—	—
Peru		1962	0.4	0.369	51.6
Italy		1963	0.2	0.0394	66.2
Eruption	Mexico	1982	0.8	0.106	66.8
	Columbia	1985	2.5	0.873	63.7

型災害はどのような場合に起こるのであろうか。1つは外力非制御型災害のほとんどがこれに含まれよう。そのほかに、たとえソフトウェアとハードウェアがかなり充実していても発生する場合がある。その条件は、つぎの2つにまとめることができよう。すなわち、

(a) 新しい形態の災害の発生

外力の特性が変わらなくても、社会環境の激変にともなって、新しい被災形態の災害発生が懸念される。著者は先進国で被害がカタストロフィックになる場合、つぎの5つの特質をもつことを指摘した²⁾。

- 1) 被害の素因と誘因の関係の複雑さ…両者の因果律が明かでない。
- 2) 被害の広域性…地理的条件にはほぼ無関係に発生する。
- 3) 危険の常在性…時間的変動があまりない。
- 4) 意識における危険の存在とパニック…精神の脆弱性が露呈される。
- 5) 災害後の復旧の困難さ…情報依存社会の弱点である。

これらの要因が複数個存在すれば、未曾有の被害に結びつく可能性がある。例として必ずしも適切とは言えないが、つぎの疫病の場合とよく似ている。毎年冬になるとインフルエンザが流行するので、事前に予防接種を受けることが数年前まで、学童に対して半ば強制的であった。しかし、何型が流行するかの予想

は極めて難しく、新型が上陸すると、手の施しようがなくなるほど大流行する。そうこうする内に副作用が社会的に問題となり、予防接種する学童の絶対数さえ大幅に減少する傾向が見られる。そうすると、現代人はあらゆる型のインフルエンザに対する免疫はなく、ただ栄養を取って体力をつけていることが、19世紀初頭までのインフルエンザの流行期の人々の状況と違うだけである。つまり、極端に言えば社会の病気に對する(栄養)基盤が変わっただけで、何も変わっていないことになる。確かに、当時に比べてインフルエンザで死亡する人は少なくなったけれど、逆に、人口過密地帯での患者の多さ、その流行の速さと規模は比較にならないほど現代の方が上である。しかも、高齢化社会を直撃するインフルエンザ様疾患の流行で、1988年のわが国の死亡者は前年に比べ約4万人も増えたといわれている²²⁾。これは、平均寿命の伸びにともなう社会的活動の高齢化に對して、インフルエンザ対策が遅れていることが原因と言われている。これなどはまさしく、社会環境の変化による新しい階層への疾患の発生と位置づけられる。

このような例を考えると、自然災害の場合にもこれとよく似たことは起こり得ることに気がつく。しかも、先進国でとくに発生が憂慮されるのであるから、この種の自然災害を非免疫型近代災害と名づけてもよいだろう。

(b) 災害助長・拡大要因としての社会の不安の存在

巨大災害ともなると、歴史的にみて平均的に百年以上の間隔で繰り返し発生しているわけである。したがって、被災後の経過年数が増えれば増えるほど、個人の経験の伝承をはじめ行政の取り組みを含めて、ますます希薄化し、緊張感がなくなる傾向がある。しかも、わが国を例に挙げると、現在社会そのものが、実態がよくわからない変革期に遭遇し、将来の不透明さがそれに輪をかけており、非常な不安感が漂っている。そして、社会に共通規範的なものがない、言い替えば価値観が多様化しているといってもよい。そのため、どの方向に進んでいくのかがよくわからない状況にある。このような背景では、ちょっとした未経験の事態が発生すると、過剰・連鎖反応が起こる可能性は大きい。たとえば、災害によってライフラインが長期にわたって支障を来すようになると、人々がどのような反応を示すのかほとんど判っていない。このような事情は、災害の助長要因として非常に重要である。

以上の議論から、Fig. 8の中で破線とK曲線で囲まれた部分Aは、非免疫型近代災害の場合の死亡リスクの分布領域に對應している。近代に入ってから、先進国において2度同じ様な異常外力を受けていないので、次の災害で、もし被害がカタストロフィックになるとすれば、以上述べたような条件が当てはまる場合であると推定される。

4. 被害者数の推定法

防災・減災の第一の目標は、被害者をなくす、あるいはその数を減らすことであり、そのためには来るべき異常外力による災害で、どの程度の人的被害が発生するかを定量的に推定できなければならない。人的被害と物的被害はかなり関係するはずであり、前者が軽微であれば、後者も小さくなると期待できる。災害時に人命救助が最優先されるので、これが少なければ、災害復旧により力を発揮できよう。

4.1 人口密度の効果

自然災害毎にその被災可能地域の面積は異なる。外力が大きくなれば当然それに対応してその面積は大きくなろう。死亡リスクの計算に際して、この特定の地域に居住している住民数を分母にとれば、国単位のものより当然大きくなろう。しかし、外力との関係を検討すると、地域の面積を小さく取れば取るほど、必ずしも両者の関係が明らかにならない²³⁾。その1つの原因は、被害の発生が確率的であって、地域の単位を小さく取ると局所性の影響を受けるためであると考えられる。巨大災害の場合に、国単位でまとめれば災害の種類に関係なく、死亡リスクの上限値が1本の包絡線で表されるのは、被害発生の上限と国単位

の防災力の関係が特定されることに対応していよう。

それでは、国より小さな地域、たとえば都道府県や市単位の被害者数を推定するにはどのようにすればよいだろう。まず、外力のエネルギーが一定の場合、その被災可能面積が大きければ、単位面積当たり受けもつエネルギーは小さくなる、すなわち被害が相対的に軽くなる。このことは、被害が被災可能面積に逆比例する傾向にあるといえる。一方、同一の面積をもつ複数の地域を考えると、住民数が多い地域の方が被害者数は多くなるであろう。このように考えると、死亡リスクには人口密度が大きく影響すると推察される。

すでに定義した防災ポテンシャルを用いても、このことが理解できる。すなわち、式(6)から、防災ポテンシャルは相当平均寿命と人口の積で表される。したがって、人口の多い方が防災ポテンシャルは大きいはずである。ところが実際には、防災に関係した社会基盤整備は、災害復旧対策的な色合いが濃いために、長期的な観点からは、人口の多いところほど1人当りの投資額が少ないのが実情である。そのような歪の存在のために、防災ポテンシャルの算定の基礎となる人口は、現実には実人口でなく、それよりも少ない人口が取られていることに対応している。そうすると、防災ポテンシャルを実人口で割って得られる防災力が小さくなるので、人口稠密の都市ほど災害に対して脆弱ということになる。都市災害の特質はここにあるわけである。

このような推論から、人口密度が具体的にどのような関数形で死亡リスクに結びついているかを検討してみよう。いま、関東大震災を取り上げる。当時の国単位の死亡リスクは、 2.3×10^{-4} である。また、国単位の人口密度は162人/km²、東京の人口(区部)は1995567人、人口密度は3501人であった。もし死者数(N_p)が人口密度の比(DP)に比例するとすれば、次式のように表されよう。

$$N_p = \alpha_1 \times RL \times PO \times PD \dots\dots\dots (7)$$

$$PD = \frac{\text{対象地域の人口密度}}{\text{国単位または広域の人口密度}} \dots\dots\dots (8)$$

ここに、 α_1 は係数である。実際に、東京区部では60140人の死者・行方不明者が発生したのであるから²⁴⁾、逆算すれば指数 α_1 は約0.59となる。この値の算定では、被害を受けた地域の正確な人口密度が必要なわけで、過去の被害の極値に対応するような災害では、これがほとんど不明である。したがって、この値の妥当性の検証はここではこれ以上行わないことにして、それを用いた被災者数の具体的な推定法を、つぎに示すことにしたい。

4.2 災害型式に基づく被災者数の推定法

(1) わが国と米国との死亡リスクの比較

従来、自然災害における死亡リスクで単純比較して、わが国の方が米国に比べて10倍程度大きく、危険であると算定されてきた。果してそうであろうか。いま、前節における結果から、死亡リスクの比較に、米国の人口密度²⁵⁾を基準としてわが国のそれを考慮し、米国の死亡リスクを修正して重ねて図示した結果がFig. 9である。ただし、係数 α_1 は前節の考察より0.59としている。これから、1965年頃に修正された米国の死亡リスクはわが国のそれより大きくなり、それ以前と逆転する傾向が見られる。つまり、人口密度の値を同じにしてやれば、1965年以降わが国の方が米国に比べて自然災害に対しては相対的に安全になったことになる。

それでは、前章の防災力の定義を用いて、その妥当性を検討してみよう。式(5)から、防災力の大きさは相当平均寿命の長短で判断される。まず、防災のハードウェアの整備であるが、たとえば洪水の再現期間は、1960年当時、米国²⁶⁾で200年という河川がある一方、日本の1級河川では、最大100年であった。そこで、防災に対するハードウェアとソフトウェアの効果の割合が、両国で共通して0.5と変わらないのであれば、Fig. 5から、当時は米国の方が洪水災害に対する防災力を表す相当平均寿命が10歳程度高かったことになる。しかし、その後1971年にわが国のA級河川の洪水の再現期間が最大200年と改訂さ

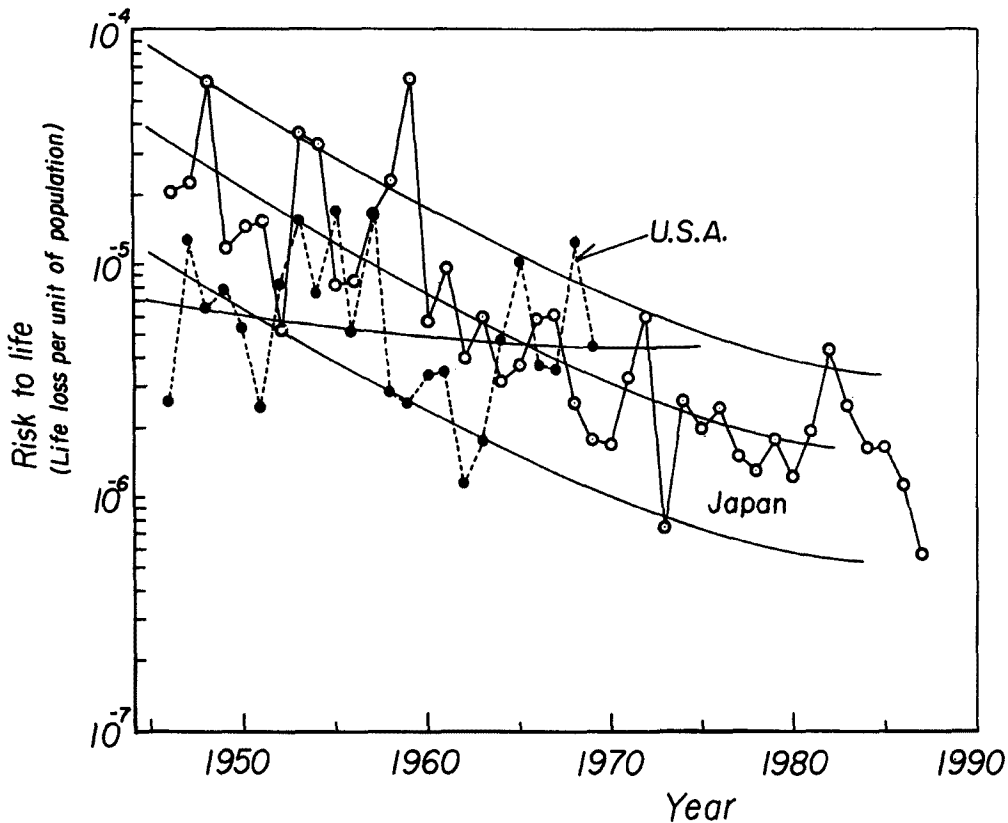


Fig. 9. Change of risk to life due to natural disasters between Japan and U. S. A. (the data in U. S. A. are modified with the ratio of population density in Japan to that in U. S. A.).

れており²⁷⁾、その間7、8年で、ハードウェアによる両国の差はほぼなくなったと考えられる。そうすると、防災力はソフトウェアの程度で差がつくことになる。このことは、式(2)から、平均寿命の長短と相当平均寿命のそれがそのまま対応することを意味する。ところで、両国の平均寿命そのものは1962、3年頃に等しくなっている。これらのことから、1960年初頭における両国の平均寿命の逆転減少は、両国の防災力の逆転と対応していると結論してよいであろう。

(2) 非免疫型近代災害の場合の被害者数の推定

非免疫型近代災害の発生は、過去の災害のあとに策定された防災目的の各種の施策や、被災住民の教訓などが防災・減災に活かされない場合である。そこでは、新しい被災形態を取るものの、被災危険地域に居住・勤務あるいはたまたま居合わせる人々にとっては外力非制御型災害を蒙る場合と内容的には変わらない。その場合、ソフトウェアによる防災の向上に‘間接的’に寄与する社会の総合力が期待される。なぜ間接的かは、災害教育や災害情報などの充実は、災害の種類が多岐にわたっても、具体的な被災形態を対象としており、人々が遭遇する新しい被災形態は初めてのケースになるからである。たとえば、関東大震災の場合に、犠牲者の大部分は火災で発生している。したがって、将来の関東大震災級の地震が発生した場合の防災計画の柱は、火災対策になっていると言ってもよい。しかし、火災以外ではそれほど多くの犠牲者が発生しないと断言できるであろうか。どのような種類の被災形態が生じる可能性があるかについては、ここではあまり触れないが、1923年当時に比べて、とくに東京の区部における人口と車、各種都市施設の極度の集中と生活・社会活動空間の拡大は、あらゆる種類の被災形態を起こす可能性があると言える。

Fig. 8の各データは、およそ過去千年間の巨大災害のものであって、千年以上の繰り返し期間をもつ低頻度の災害でない限り、死亡リスクの上限を表す包絡線上、もしくはそれ以下の領域に位置すると考えられる。しかしながら、関東地方での歴史地震の発生間隔をみる限り、そこに69年周期説²⁸⁾に見られるような、歪エネルギーの蓄積と放出という数十年から百年単位の期間での繰り返しが見られることから、発生間隔が千年以上の超低頻度地震は実質的には問題とならないと言える。ただし、台風などのように、未だエネルギーの上限値が物理的に決まらないものについては、そのような超長期の再現期間に対応したスケールが存在するかもしれない。ここで地震を対象としたのは1つにはその議論を避けるためである。Fig. 8に描かれた破線は、非制御型災害の死亡リスクの上限を表す包絡線の延長であって、以上の検討から、非免疫型近代災害といえどもこれを超える死亡リスクにはならないと考えられる。そこで、1985年に関東大震災級の地震が発生したと仮定した場合の、東京都区部での犠牲者数の上限を試算し、従来の推定結果と比べてみよう。

まず、わが国の1985年当時の男女の平均寿命は77.7歳である。Fig. 6から、国単位の死亡リスクの上限値は、 1.5×10^{-4} である。人口密度は、全国平均で320人/km²、東京（区部）で13930人/km²であったから、これらの値を式(7)に代入すると、推定死者数は約 3.9×10^4 人となる。これは、東京都区部で住民登録している人数（ほぼ夜間人口に等しいと言える）であって、昼間の人口²⁹⁾は郊外から都心に流入する分が増加し、夜間人口との比 α_2 はFig. 10に示すように、1.3程度になる。その場合、昼間の人口密度が大きくなって、式(7)から、推定死者数の上限値は 5.1×10^4 人に達する。なぜ昼間の方が犠牲者が多くなるかは、つぎのことを想定すると納得できる。すなわち、とくに朝の通勤ラッシュは高々1時間程度の継続であって、あらゆる交通機関によって都心に人口が流入するわけである。そして、その時間帯を過ぎて夕方のラッシュを迎えるまで、交通機関は人々の都心からの短時間脱出には対応できなくなっている。それは各種交通機関の時刻表を見れば一目瞭然である。しかも、地震による道路や鉄道などの不通も発生しよう。それらを考えると、避難はほとんど徒歩でしなければならなくなり、それだけ危険地域に留まる時間が長くなり、被災可能性が高くなると言える。

これらの結果を、東京都の1978年の推定結果である35675人と比較すると、今回の常住人口に対する推定とがほぼ等しいことがわかる。しかし、昼間の都心部への人口集中時では、さらに多くの犠牲者がでる可能性が大きいことを考える必要がある。

なお、従来の被災形態の延長上での算定値と、推定する根拠がこれとまったく違う今回の推定値が、なぜよく似た値となるかについて、検討してみよう。関東大震災の場合、火気の使用を伴う屋敷時であったために、倒壊家屋などからの火災が発生し、それが拡大して焼死者が極端に多く

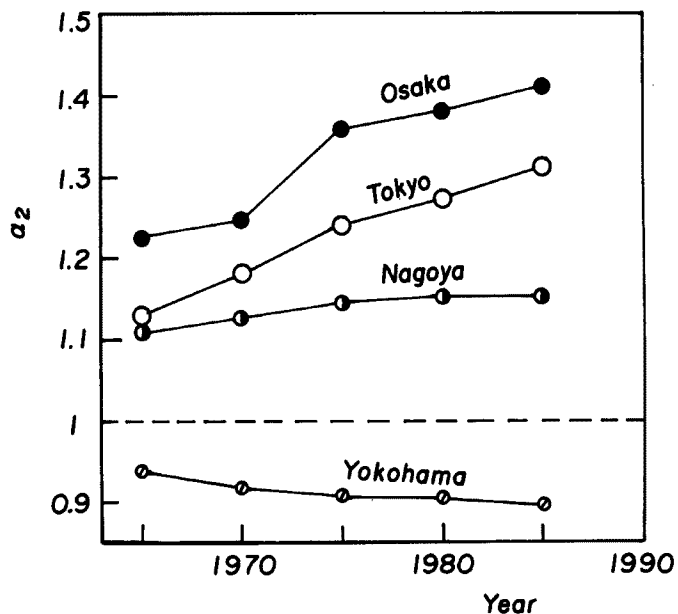


Fig. 10. Historical changes of ratio of population in daylight time to that at night.

なったわけである。現在では、昼間の都心では、鉄道・地下鉄内やそれらのターミナル、地下街やショッピングセンター、ビジネス街などに人々が集中して存在している。しかも、地震時の火災発生事由とその拡大要因が多岐かつ広範囲の地域に分布するとともに、防潮堤に守られた平均満潮位以下の地帯が124 km²（その内、平均海面以下のいわゆるゼロメートル地帯は70 km²）にも達し³⁰⁾、これらの地域とかなり重なって分布している。たとえば、車、ガソリンスタンド、都市ガス施設、常温発火危険薬品、高圧電力ケーブル、液化天然ガスや石油タンク群などは新たな火元になる恐れのあるほか、防潮堤や防潮施設の破壊や地盤の液状化に伴う地震水害などに伴って、化石燃料が面的に急速に拡大する恐れがあり、また地下鉄や地下街などの地下空間の瞬時の水没危険性が危惧される。これらからどの様な被災過程を経て被害が伝播・拡大するかは、まさに非免疫型近代災害の中心を形成すると言っても過言ではない。つまり、災害の引金は従来と変わらなくても、それ以後の災害の時空間伝播特性が時代を反映して、すなわち社会環境の変化に応じて予測が困難なほど、多点・同時・複合・連鎖的にかつ広範囲にわたって発生し、しかもその影響が長期間継続する危険性があるということであろう。

5. 結 語

ここでは、防災ポテンシャルと防災力を定量的に評価するとともに、その応用例として、異常外力によって巨大災害となる場合の人的被害の上限値の推定法を具体的に示した。得られた主要な成果は、つぎのように要約される。

1) 自然災害に対する社会の防災力は相当平均寿命 (equivalent lifespan) によって与えられ、防災ポテンシャルは相当平均寿命と人口の積で定義されることを示した。

2) 歴史時代の巨大災害における死亡リスクには、災害の種類に関係なく上限値が存在する。その包絡線の特性から、国単位の平均寿命が60歳以下の場合には、外力非制御型災害、それ以上では外力制御型災害となって、両者を明確に区分できることがわかった。

3) 外力制御型災害においても、過去の被災形態とならずに、新しい形態になる場合には、人的被害は外力非制御型災害の場合のそれに相当することを示した。この範疇の災害を非免疫型近代災害と名づけ、都市災害の特質として位置づけた。

4) 死亡リスクの評価では人口密度の効果があらわに含まれることを示し、非免疫型近代災害の場合の適用例として、関東大震災級の地震の発生による東京都区部における死者数を求めた。そして、評価した値が従来の経験的に予測された値とよく一致することを見いだした。

ここで示したように、巨大災害の死亡リスクの上限値は1つの法則、すなわち、それは平均寿命の関数として表される社会の防災力によって支配されていることを明らかにした。また、これを適用すれば、巨大災害に遭遇したとき、死亡数の最大値を予測できるので、防災・減災の戦略・戦術を企図し実施するうえで有用であろう。

最後に、本研究は文部省科学研究費重点領域研究による成果の一部であることを付記し、感謝する。

参 考 文 献

- 1) 災害を検証する—死者数予測—, 朝日新聞夕刊 (10月30日), 1989.
- 2) 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.
- 3) 岡内 功・伊藤 學・宮田利雄: 耐風構造, 丸善, 1977, 418 p.
- 4) 松澤 勲監修: 自然災害科学事典, 築地書館, 1988, 602 p.
- 5) 古川俊之: 社会指標からみた文明と寿命, 高齢化社会の構造 (太田邦夫・阿部 裕・古川俊之編), サイエンス社, 1981, pp. 36-55.

- 6) 厚生省編：日本の人口・日本の社会，東洋経済新報社，1989，155 p.
- 7) 菱沼従伊：寿命の限界をさぐる，人口と寿命（小泉 明編），東大出版会，1985，pp. 35 - 78.
- 8) 笹本 浩：人の寿命，老化とは何か（塚田裕三・豊倉康夫・渡辺 格編），講談社，1979，pp. 10 - 20.
- 9) 村上陽一郎：ベスト大流行，岩波新書，1983，192 p.
- 10) 古川俊之：高齢化社会の設計，中公新書，1989，199 p.
- 11) 河田恵昭・法花眞治：わが国と中国における自然災害発生の周期性について，京大防災研年報，第 32 号 B-2，1989，pp. 891 - 908.
- 12) 高橋 裕：水害から見た社会の防災力構造，未発表.
- 13) 宇野利雄・洪妊植：ポテンシャル，培風館，1976，198 p.
- 14) 森本芳樹：ヨーロッパ中世における自然の領有，歴史における自然，岩波書店，1989，pp. 117 - 140.
- 15) 国連統計局編：世界人口年鑑，Vol. 1 ~ 36，1653 ~ 1688.
- 16) 河野綱果：世界の人口，東大出版会，1986，239 p.
- 17) 中村敬子：中国の人口問題，東大出版会，1989，271 p.
- 18) 朝日新聞社：世界災害史年表，世界の歴史（災害と人口），57，1989，p. 355，382，1989.
- 19) Encyclopedia Americana：Disasters (Vol. 9)，Flood (Vol. 11)，Grolier Incorporated，1986，pp. 161 - 165，408 - 414.
- 20) Cornell, J. (本蔵義守訳)：世界の大災害，講談社，1977，356 p.
- 21) 国土庁編：防災白書，1989，p. 123.
- 22) 高齢者を脅かすインフルエンザ，朝日新聞日曜版（4月22日），1990.
- 23) 河田恵昭：台風の風速と死亡リスクの評価，未発表.
- 24) 宇佐美龍夫：日本被害地震総覧，1975，p. 164.
- 25) 米国商務省（原書房翻訳）：アメリカ歴史統計，1986，609 p.
- 26) 米国大統領府災害対策局編：防災体制（防災計画研究会編訳），山海堂，1975，p. 383.
- 27) 建設省近畿地方建設局編：淀川百年史，1974，p. 1821.
- 28) 河角 広：関東南部地震 69 年周期の証明とその発生の緊迫度ならびに対策の緊急性と問題点，地学雑誌，Vol. 79，1970，pp. 115 - 138.
- 29) 関西情報センター：大都市圏の整備，1989，p. II-12，13.
- 30) 東京都建設局河川部：東京の低地対策河川事業（パンフレット），1989.