

社会の防災力の評価に関する一考察（Ⅲ）

—— 社会生態学の提唱 ——

河田恵昭・柄谷友香

要 旨

これまで、著者らは大規模な人的被害に基づく間接被害額を平均寿命と GRP の関係を用いて評価し、その手法を 1995 年の阪神・淡路大震災などの災害事例に適用してきた。この手法を世界各国に適用しようとすれば、各国の統計データが必ずしも公表されていないなどの問題がある。そこで本研究では、普通死亡率と平均寿命の関係に着目することによって、従来の手法を簡便に用いることができるようにした。その手法を 1999 年のトルコおよび台湾の地震に適用した結果、人的被害による社会的価値の損失は 33.3 億ドルおよび 30.9 億ドルと推定された。

キーワード：社会の防災力、トルコ・マルマラ地震（1999）、台湾・集集地震（1999）、平均寿命、間接被害額、人的被害

1. 緒 言

1999 年トルコおよび台湾において、マグニチュード (M) 7.0 を超す直下型地震が発生し、いずれも甚大な被害を受けた。とくに、人的被害については、台湾で死者数 2,400 人以上、トルコではその数が 18,000 人を上回った。このような世界各国で発生する自然災害に対して、有効な防災投資や援助を行うためには、それに伴う直接被害だけでなく、間接被害を迅速に評価できることが肝要といえよう。従来、著者らは、大規模な人的被害に基づく間接被害額を平均寿命と GDP (Gross Domestic Product: 国内総生産) あるいは GRP (Gross Regional Product: 地域内総生産) との関係を用いて評価し、その手法を 1995 年に発生した阪神・淡路大震災などのわが国における災害事例に適用してきた (河田ら, 1998; 河田・柄谷, 1999)。本論文では、これらの従来の研究に対し、次に示すような 2 つの問題を提起し、それらに対してより詳細な検討を加えるものとする。1 つは、著者らが提案する人的被害発生に基づく間接被害額推定手法で用いてきた平均寿命と GDP との関係の再検討である。従来、わが国の短期間における両者

の関係には、線形関係が成り立つものと仮定してきた。しかし、それを世界の諸地域に本手法を適用できるのかといった問題が残る。そこで、平均寿命のもつ特性を再認識するとともに、諸外国、特にアジア地域における平均寿命と GDP との関係に着目し、両者の関係について検討を行う。また、その関係を用いた間接被害額推定手法を阪神・淡路大震災に適用する。第 2 の問題は、世界の諸地域における統計データには不備、未公表などの大きな制約があり、本手法を世界各地に適用することが容易でないことである。例えば、日本や米国といったいわゆる先進国と呼ばれる地域では、自然災害による被害を含む種々の社会・経済統計が整備されている。一方、開発途上国の多くでは、そのような統計は未整備であるのが現状である。また、個々のデータを過去に遡及して利用するとなると、世界の多くの地域において困難な場合がある。そこで本論文では、より広範な地域への適用を考慮した人的被害に基づく間接被害額の簡易的な推定手法を提案する。また、その手法を 1999 年に発生したトルコおよび台湾の地震に適用し、それらによる人的被害に基づく間接被害額の推定を試みる。

2. 人的被害に基づく間接被害額推定手法

2.1 大規模な人的被害が社会に与える影響

災害によって社会が失うものを大別すると、生命、財産、社会活動などが挙げられる。当然ながら、財産の所有や社会活動の遂行にはその主体となる人間の存在は不可欠である。それ故、災害による大規模な人的被害の発生は、被災地域で暮らす人々の人生や生活に重大な影響を及ぼす。すなわち、被災地域における労働力や生産・消費活動など経済活動の低下、あるいは精神的なダメージや文化活動の停止など、地域社会に与える影響は極めて大きいといえる。したがって、災害に起因する人的被害の大きさは、その社会が災害によって受けたインパクトを端的に表現しうるものと考えられる。

2.2 平均寿命を用いた人的被害の影響評価

災害・事故・疾病などに起因する多くの人命の損失を評価する社会指標として、人口学の分野では大別して「普通死亡率」および「平均寿命」の2つを挙げている。著者らは、社会が大規模な人命損失の発生によって受ける影響を評価する指標として、後者の平均寿命を用いた。その理由としては、次のような点が挙げられる。

(1) 異なる地域・時代間の死亡水準を比較できること

平均寿命は、その基礎データとして人の属性（性別・年齢など）の影響を含む優れた死亡指標である。平均寿命は年齢別死亡率から年齢別死亡確率を導き計算される生命表によって求められる。この生命表は、現実の人口集団の年齢構造には影響されない形で、純粋にその集団の死亡状況のみを集約しているため、異なる地域の人口集団あるいは異なる時代の間で死亡の水準を比較するのに非常に優れている。一方、人口を死亡数で除しただけの普通死亡率は、その算出が容易であるという長所をもつが、人口の男女年齢別構成の差異による影響を受けるので、死亡の水準を精密に比較するには平均寿命ほど万能ではない（山口ら、1995）。

(2) 地域社会のもつ豊かさ（富と情報量）を表せること

医学の分野において古川（1996）は、1970年から1990年にかけて61の社会指標に対するクラスター分析を66カ国について行った。これによると、平均寿命は国民所得、国内総生産に占める社会保障費の割合、1人当たりエネルギー消費量、およびテレビ（ラジオ）台数、歳出に占める教育・文化費用の割合、入学率などと強い関係があることを示している。

これらのうち前者は富を反映し、後者は情報量を反映している。このような結果から、平均寿命はその国（地域）の豊かさ（富と情報量）に大きく依存することを結論づけている。また、Sandhu, K.S. (1986)によると、日本とアセアン諸国における人々の死亡率（死亡傾向）は社会のもつ情報量と相関関係を有することが明らかにされている。すなわち、災害による大規模な人命の損失の発生を平均寿命の低下量を用いて表すことによって、災害がある地域のもつ豊かさ（富と情報量）に与えた影響（豊かさの低下）を定量化することができる。

2.3 GRP（GDP）を用いた社会的価値の損失の定量化

災害などによる大規模な人的被害は、前述したように被災地域における労働力や生産・消費活動などの経済活動の低下をもたらす。本論文では、このような災害後の社会現象を定量化するための指標としてGRP（GDP）を用いた。その利点を以下に示す。

(1) 被害の定量化（金額表示）

GRP（Gross Regional Product：地域内総生産）とは、ある地域内において1年間に創出される付加価値の合計であり、その地域の経済活動の水準を示す指標である。ある国の各地域におけるGRPの総和は、その国のGDP（Gross Domestic Product：国内総生産）に相当する。GRPを人命の損失に伴う社会的価値の損失の評価に用いることによって、そのインパクトの定量化を可能にするとともに、金額を単位として表示することができる。その結果、人命の価値の損失を貨幣単位で統計的に扱うことができ、本手法で得られた結果が、将来的に人命救済などに対する社会的支払額の基準となりうるものと考えられる。

(2) 異なる国家（地域）間での比較が可能

GDPは国連の定めるSNA（System of National Accounts：国民経済計算体系）によって計測され、現在、自国（地域）の経済活動状況を把握するために多くの国々で採用されている。したがって、GDPを用いて災害による社会的価値の損失を評価することによって、異なる国家（地域）間での相互比較が可能になる。

2.4 人的被害発生に伴う社会的価値の損失の定義

災害に伴う人的被害がその地域に与える影響を平均寿命で評価する。また、そのような寿命の短縮に伴う社会的価値の損失をその事象によるGRPの低下、すなわち、その事象が起こらなかった場合に達成していたであろうGRPと、実際にその事象が起こ

ってしまった場合に創出される GRP との差分であると定義した。また、社会的価値の損失を、いわゆる直接被害額と区別するために間接被害額とも記述する。ただし、ここでの間接被害額とは、災害による総被害額から直接被害額を差し引いたすべてのものを表すのではなく、あくまで人的被害発生が社会に及ぼすインパクト（これを社会的インパクトとよぶ）を評価したものとする。なお、人口学の分野では、平均寿命と所得水準との間に強い相関関係のみられることが指摘されている。

Figure 1 に示すように、平均寿命と GRP との相関関係を明らかにし、その関係を用いてある事象に伴う損失余命に対する GRP の変化量を推定する。これをもって、その事象により発生した人的被害に伴う社会的価値の損失（間接被害額）と定義した。

2.5 人的被害発生に伴う社会的価値の損失の推定手法

Figure 2 は、1965 年から 1995 年までの 5 年毎の日本の各都道府県における 1 人当たりの実質 GRP と平均寿命との関係を男女別に示したものである（経済企画庁経済研究所、1998；厚生省大臣官房統計情報部、1997）。なお、ここで用いた GRP とは、各年における名目 GRP を 1990 年基準価格によって調整した値である。Figure 2 より、1 人当たりの GRP の増加に伴い、平均寿命も増加することがわかる。また、1 人当たりの GRP の増加に伴い、平均寿命の上昇率は逓減することがわかる。このような GRP と平均寿命との関係は、戦後のわが国における社会・経済的情勢の変化からも説明できる。戦後のわが国における平均寿命の伸びは、抗生物質などの医薬の開発、普及による感染性死因の抑制が主な原因

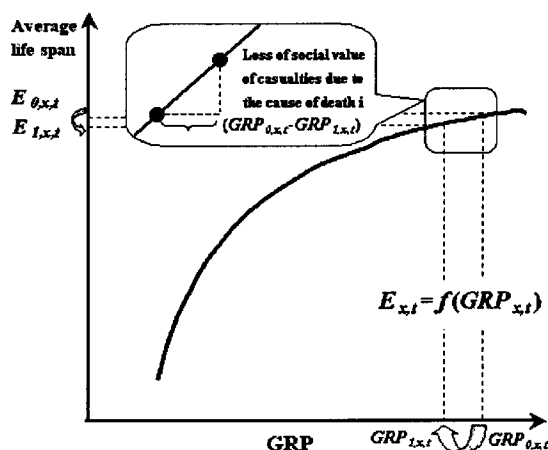


Fig. 1 Loss of social value due to heavy casualties with the cause of death i

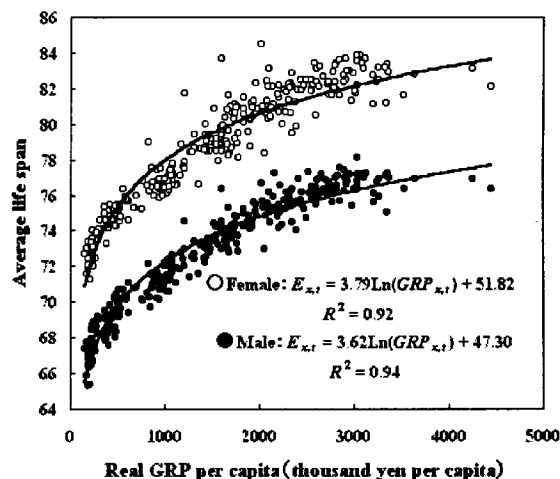


Fig. 2 Relationship between average life span and real GRP per capita at constant prices per prefecture in Japan (1965-1995, every 5 year)

であった。これと同時に、戦後の経済発展に伴う社会・経済的諸条件の改善も寿命の上昇に大きく貢献してきた。しかし、現在の主な死因は、たとえば成人病のようにその予防と治療について不明な点も多く、所得水準が上昇しても、それほど平均寿命は上昇しなくなっている。また、古川（1989）によると、人間の生命は無限に延長するものではなく、その寿命に限界がある（限界寿命 120 年）ことを示している。このことも、おおよそ限界の特定されない所得の水準に対して、寿命の上昇率が逓減することの裏付けとなろう。なお、このような傾向は、わが国のみならず、世界各国のデータを用いた分析でも確認できる（濱ら、1997）。以上のような社会的見解から、両者の間には従来の研究において用いてきた線形関係ではなく、次式のような対数関係が成り立つものと仮定し、単回帰分析を行った。

$$E_{x,t} = a \ln(GRP_{x,t}) + b \quad (1)$$

ここに、 $E_{x,t}$ および $GRP_{x,t}$ は対象地域 x 、被災後第 t 期における平均寿命および GRP、 a および b は係数である。

その結果、自由度修正決定係数が、男子の場合は 0.938、女子の場合は 0.916 となり、1 人当たりの GRP と平均寿命との関係は、式(1)のように定式化できることが支持された（Male: $a=3.62$, $t_a(325)=129.6$, $P_a=0.000$, $b=47.30$, $t_b(325)=70.27$, $P_b=0.000$, Female: $a=3.79$, $t_a(325)=103.8$, $P_a=0.000$, $b=51.82$, $t_b(325)=56.36$, $P_b=0.000$ （ただし、 a および b は式(1)に示したとおりである）。ある事象（災害・事故・疾病など）の影響を含む場

合、および含まない場合の GRP は式(1)よりそれぞれ次式のように表される。

$$E_{1,x,t} = a \ln (GRP_{1,x,t}) + b \quad (2)$$

$$E_{0,x,t} = a \ln (GRP_{0,x,t}) + b \quad (3)$$

ただし、下付き添え字の 1 および 0 は、それぞれ影響を含む場合および含まない場合に達成したであろう GRP および平均寿命を表す。

したがって、ある事象（特定死因）による人的被害に伴う社会的価値の損失 $L_{GRP,x}$ は、式(2)、(3)から次式で与えられる。

$$\begin{aligned} L_{GRP,x} &= GRP_{0,x,t} - GRP_{1,x,t} \\ &= \exp[(E_{0,x,t} - b)/a] - \exp[(E_{1,x,t} - b)/a] \quad (4) \end{aligned}$$

なお、ここで用いた「ある事象の影響を含まない場合の平均寿命」とは、次のように定義した。ある死因による死亡が全く除かれたと仮定すると、 x 歳でその死因によって死亡することを免れた人は、いずれ x 歳以後に他の死因で死亡することになる。すなわち、ある死因の影響を除去することにより、死亡時期が遅れることになり、その結果、平均寿命が延長する。したがって、本研究で対象とした死因ごとにそれぞれ生命表を作成することによって、その死因が平均寿命に与える影響の大きさを把握した。

3. 阪神・淡路大震災への適用

本研究で提案したモデルを用いて、阪神・淡路大震災が兵庫県および全国にもたらした人的被害による社会的価値の損失を評価した。

3.1 兵庫県における社会的価値の損失

ここで、兵庫県における人的被害に伴う社会的価値の損失を推定するために、Fig. 2 に示した日本の各都道府県における 1 人当たりの実質 GRP と平均寿命との関係を用いた。つまり、1 人当たりの GRP と平均寿命のいずれも、兵庫県がもし被災していなければ、兵庫県以外の地域と同様な傾向で推移していたものと仮定している。なお、震災の影響を除くために 1995 年の兵庫県のデータは除いた。これらの関係を式(4)に適用すると、兵庫県での阪神・淡路大震災による人的被害発生に伴う県民 1 人当たりの社会的価値の損失 $L'_{GRP,x}$ は、男女について求めるとそれぞれ次のようになる。

$$L'^M_{GRP,28} = \exp[(76.10 - 47.30)/3.615]$$

$$\begin{aligned} &= \exp[(75.54 - 47.30)/3.615] \\ &= 414 \text{ (千円/人)} \quad (5) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L'^F_{GRP,28} &= \exp[(82.68 - 51.82)/3.786] \\ &= \exp[(81.83 - 51.82)/3.786] \\ &= 697 \text{ (千円/人)} \quad (6) \end{aligned}$$

なお、上付き添え字 M および F は男女の区別を表し、下付き添え字 28 は兵庫県を表す。

また、阪神・淡路大震災が兵庫県全体にもたらした社会的価値の損失は、仮に死者が男女のいずれかで構成されたとして、式(5)および(6)の結果に兵庫県の 1995 年の人口 5,402 (千人) を考慮すれば、それぞれ次のようになる。

$$\begin{aligned} L^M_{GRP,28} &= 414 \text{ (千円/人)} \times 5,402 \text{ (千人)} \\ &\approx 2.24 \text{ (兆円)} \quad (7) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L^F_{GRP,28} &= 697 \text{ (千円/人)} \times 5,402 \text{ (千人)} \\ &\approx 3.77 \text{ (兆円)} \quad (8) \end{aligned}$$

式(7)および(8)により得られた結果は、それぞれ阪神・淡路大震災による死者がすべて男子であった場合とすべて女子であった場合の社会的価値の損失を表すものといえる。そこで、阪神・淡路大震災による実際の男女別死者数の割合である男子：女子 = 2,709 : 3,676 を用いて、これらの結果を比例配分すると、次のようになる。

$$\begin{aligned} L_{GRP,28} &= 2.24 \times \frac{2,709}{6,385} + 3.77 \times \frac{3,676}{6,385} \\ &\approx 3.12 \text{ (兆円)} \quad (9) \end{aligned}$$

したがって、提案したモデルを用いると、阪神・淡路大震災が初年度に兵庫県にもたらした人的被害による社会的価値の損失は 1 人当たり約 556 千円、県全体で約 3.12 兆円となることが推定された。

3.2 全国における社会的価値の損失

ここでも、前節と同様に、全国における人的被害に伴う社会的価値の損失を推定するために、Fig. 2 に示した各都道府県における 1 人当たりの実質 GRP と平均寿命との関係を用いた。これらの関係を式(4)に適用すると、全国での阪神・淡路大震災による人的被害発生に伴う国民 1 人当たりの社会的価値の損失 $L'_{GRP,x}$ は、男女について求めるとそれぞれ次のようになる。

$$\begin{aligned}
L^M_{GRP,0} &= \exp[(76.72-47.30)/3.615] \\
&\quad - \exp[(76.70-47.30)/3.615] \\
&= 19 \text{ (千円/人)}
\end{aligned} \tag{10}$$

$$\begin{aligned}
L^F_{GRP,0} &= \exp[(83.26-51.82)/3.786] \\
&\quad - \exp[(83.22-51.82)/3.786] \\
&= 42 \text{ (千円/人)}
\end{aligned} \tag{11}$$

なお、下付き添え字 0 は日本全国を表す。

また、阪神・淡路大震災が日本全体にもたらした社会的価値の損失は、仮に死者が男女のいずれかで構成されたとして、式(10)、(11)の結果に日本の 1995 年の人口 125,570 (千人) を考慮すれば、それぞれ次のようになる。

$$\begin{aligned}
L^M_{GRP,0} &= 19 \text{ (千円/人)} \times 125,570 \text{ (千人)} \\
&\approx 2.39 \text{ (兆円)}
\end{aligned} \tag{12}$$

$$\begin{aligned}
L^F_{GRP,0} &= 42 \text{ (千円/人)} \times 125,570 \text{ (千人)} \\
&\approx 5.27 \text{ (兆円)}
\end{aligned} \tag{13}$$

式(12)および(13)により得られた結果は、それぞれ阪神・淡路大震災による死者がすべて男子であった場合とすべて女子であった場合の社会的価値の損失を表すものといえる。そこで、阪神・淡路大震災による実際の男女別死者数の割合である男子：女子＝2,720：3,696 を用いて、これらの結果を比例配分すると、次のようになる。

$$\begin{aligned}
L_{GRP,0} &= 2.39 \times \frac{2,720}{6,425} + 5.27 \times \frac{3,696}{6,425} \\
&\approx 4.05 \text{ (兆円)}
\end{aligned} \tag{14}$$

したがって、提案したモデルを用いると、阪神・淡路大震災が初年度に日本全国にもたらした人的被害による社会的価値の損失は 1 人当たり約 31 千円、国全体で約 4.05 兆円になるものと推定された。

3.3 震災が社会に与えたインパクトの空間的特性

3.1 および 3.2 で得られた結果から、阪神・淡路

Table 1 Indirect loss due to the Hanshin-Awaji earthquake disaster (1995; Loss of social value)

	Hyogo Pref.	Outside of Hyogo Pref.	Japan
Indirect losses per capita (thousand yen)	555.5	7.7	30.5
Indirect losses (trillion yen)	3.12	0.93	4.05

大震災が兵庫県、全国および兵庫県以外の地域にもたらした人的被害による社会的価値の損失は **Table 1** のようになった。

なお、兵庫県以外の地域の社会的インパクトは、全国と兵庫県におけるその差分とした。まず、兵庫県全体が震災から受けた社会的インパクトは 3.12 兆円に相当することが推定された。阪神・淡路大震災におけるストック被害の規模約 10 兆円と比較すると、それは約 1/3 に相当することから、その軽減も重要な防災対策と位置づけるべきであろう。すなわち、その地域の富や情報量を向上させるようなソフト対策の充実が必要不可欠といえる。また、日本全体が震災から受けた社会的インパクトが 4.05 兆円と推定されたことから、震災の影響は兵庫県以外の地域に対して 0.93 兆円分波及していることがわかった。一方、兵庫県とそれ以外の地域における 1 人当たりの社会的インパクトをみると、震災が兵庫県に与えた社会的インパクトは、それ以外の地域の 70 倍以上にも達することが推定された。また、これより、阪神・淡路大震災の影響は、全国と比べて、いかに兵庫県に集中して分布していたのかが推測できる。以上のように、本論文で提案した手法は、大規模な人的被害発生に伴う社会的価値の損失を推定するとともに、その社会的インパクトの空間的特性(分布)を定量的に捉えることができる。

4. アジア地域への適用を考慮した人的被害に基づく間接被害額の推定手法

4.1 諸地域における統計データの問題

緒言において触れたように、世界の諸地域における統計データにはその種数に厳しい制約があり、本手法を世界のあらゆる地域に適用することは容易でない。例えば、日本やアメリカといったいわゆる先進国と呼ばれる地域では、自然災害による被害を含む種々の社会・経済統計が整備されている。一方、国連の分類による開発途上国の多くでは、そのような統計は未整備であるのが現状である。また、世界各国の開発途上国において、災害による人的被害が極めて甚大であることは事実である。**Figure 3** は、1988 年から 1997 年までの 25 年間にわたるアジア地域諸国における開発度ごとの被災者に関する年間平均の割合を示したものである (World Disasters Report, 1999)。なお、開発度とは国連の定めた国の開発度別分類に基づくものである。これによると、先進国に比べて、開発途上国における死者数および被災者数の割合とも極めて大きいことがわかる。このことから、開発途上国では災害に対する社会の防災力が

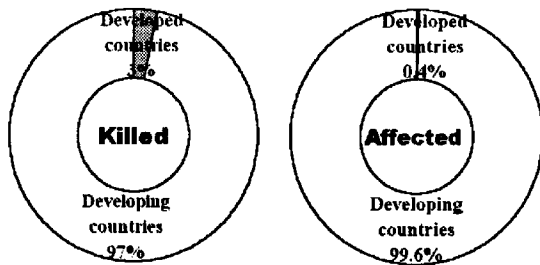


Fig. 3 Percentage of number of people killed and affected by disaster in developing and developed countries (annual average from 1988 to 1997)

低いことが推測される。このような地域において、今後、有効な減災戦略を講じるためには、間接被害額の推定を行うことは重要と考える。

さて、本手法を様々な地域に適用する際には、人命損失による寿命の短縮を求められるかどうかことが重要となる。平均寿命を求めるためには、まず、生命表の作成が不可欠である（山口ら、1995）。この生命表とは、簡単にいえば年齢別の死亡秩序を確率の形で表したものである。具体的には、年齢別死亡確率や生存数、生存延べ年数、平均寿命などの一連の生命表関数を計算したもので通常男女別に作成する。この生命表における計算の最終段階で求められる数字が「平均寿命」である。これは異なった時代や国（地域）の間で死亡の水準を比較するのに非常に優れている。たとえば、人口で死亡数を除しただけの普通死亡率では、人口の男女年齢別構成の差異による影響を受けるので、死亡の水準を精密に比較する際には平均寿命ほど万能ではない。しかしながら、生命表を作成するためには詳細な死亡統計を要するので、災害後、迅速に被災地における間接被害を把握し、それに対応していくためには、限られたデータを用いて平均寿命を推定する手法を新たに考案する必要がある。

4.2 平均寿命の簡易推定法

ここでは、災害後、迅速に間接被害を把握し、それに対応するために、普通死亡率と平均寿命との関係を用いた平均寿命の推定手法を提案する。普通死亡率は、死者数とその地域の総人口がわかれば簡単に求められる指標である。実際には、普通死亡率は当該地域人口の男女年齢別構成の影響を受け、この男女年齢別構成は過去の出生率と死亡率との累積的結果を反映している（上田ら、1978）。このような人口学的要因が介入しているので、普通死亡率と平均寿命が必ずしも単純な相関関係をもつとはいえないが、大体の相関関係を経験的に知ることが可能であ

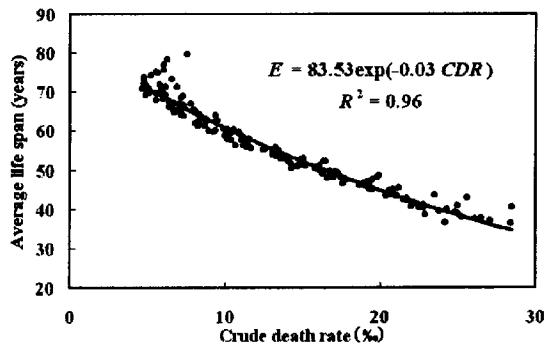


Fig. 4 Relationship between crude death rate (per 10³ people) and average life span in 19 Asian countries (1950-1995)

ると考えた。Figure 4 はアジア地域諸国における死亡率（人口 1,000 対）と平均寿命（男女平均）との関係を示したものである。なお、用いたデータは 1950 年から 95 年までのアジア地域諸国についてのものである。なお、ここでのアジア地域諸国とはイラン以来において、必要なデータを入手可能であった 19 ケ国を指す。これによると、死亡率が人口 1,000 人につき 10 以下の範囲では両者の適合度が若干悪くなるが、それ以上の死亡率の範囲においては指数関数がよく適合している。したがって、以降この結果を用いることによって、実際の大規模災害発生による人的被害に基づく間接被害額を推定する。また、この手法は、平均寿命の簡易推定を可能にするとともに、開発途上国をはじめとする人口に関する詳細なデータが得られない国々への適用も期待できよう。

4.3 アジア地域における平均寿命と GDP との関係

Figure 5 は、1960 年から 1995 年までのアジア地域の 38 カ国における平均寿命と 1 人当たり実質 GDP との関係を示したものである。なお、GDP には 1990 年を基準とした米ドル価格を用いた。これらの

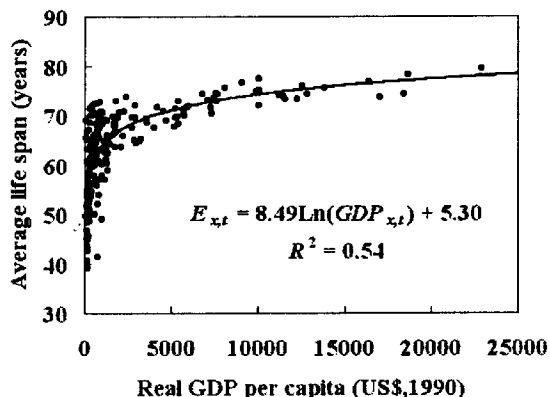


Fig. 5 Relationship between average life span and real GDP per capita in 38 Asian countries (1960-1995)

平均寿命と1人当たり実質GDPの間に存在する関係性について次のような2種類の検討を行った。

まず、1つ目の検討は、2章で述べた日本における平均寿命と1人当たり実質GDPとの関係にみられたように、アジアにおける両者の関係に対しても対数関係を適合させる。この理由としては、前述したように、社会が豊かになること（社会・経済的諸条件の改善）によって平均寿命が増加すること、平均寿命の上昇率がある一定の域に達すると徐々に逓減することなどを考慮すればよいであろう。また、いま1つの検討では、社会がある平均寿命を超えると、それとGDPとの間にある構造が不連続に変化するものとする。すなわち、貧困層に属する地域と裕福層に属する地域とでは、平均寿命やGDPなどの社会・経済統計の変化の構造そのものが異なると捉えるのである。これに対しては、チャウ・テスト（Chow test）を用いて検定し、その構造変化の有無を判定した。ここで、チャウ・テスト（Chow test）とは、あらかじめ与えられた時点における構造変化の有無を判定するものである。この手法は、時系列データを構造変化があったとみられる時点をはさんで2分割し、前半の n 個のデータによって推定されたパラメータと後半の m 個のデータによって得られたパラメータが等しいかどうかを、 F 検定により検定するものである（刈屋，1997）。その結果、平均寿命が65歳付近で両者のもつ構造が変化することを明らかにした。すなわち、両者の関係がその点を境として定まる2本の回帰直線で表せる。一方、GDPの側でみると、約4,000ドルの付近で両者のもつ構造が変化することがわかった。これらの境界値のもつ意味に対しては今後の検討が必要であるが、アジア地域諸国の平均寿命とGDPとの関係がある値を境にして異なるフェーズをもつことを示唆している。

次に、ここで提案した2つの関係のうちいずれがアジア地域における平均寿命とGDPとの関係として適しているかを検定した。そこで、それぞれの関係によって得られた推定値に対する残差の二乗和を計算したところ、チャウ・テストを実施した後者よりも対数関係を適合した前者の方が小さくなった。したがって、アジア地域における平均寿命と1人当たりの実質GDPとの間には、式(15)のような対数関係が成り立つことが支持された（ $a=8.489$, $t_a(201)=15.28$, $P_a=0.000$, $b=-5.297$, $t_b(201)=1.257$, $P_b=0.210$, $r^2=0.540$ （ただし、 a および b は式(15)に示したとおりであり、 a は傾き、 b は切片のパラメータを示す））。

$$E_{x,t} = a \ln(GRP_{x,t}) + b \quad (15)$$

4.4 広範な地域への適用を考慮した間接被害額推定手法

アジア地域諸国への適用を考慮した大規模な人的被害に基づく間接被害額の推定は、以下の手順で行う。

- ① 人的被害発生による死亡率の変化（災害が発生しなかった場合と発生した場合の死亡率）を求める。
- ② 平均寿命（損失余命）を、①で求めた死亡率からそれぞれ求める。ここでは、Fig. 4 に示した死亡率と平均寿命との関係を適用する。
- ③ アジア地域諸国全体における平均寿命と1人当たりの実質GDPとの関係を検討する。ここでは、Fig. 5 に示した関係を適用する。
- ④ ③で得られた関係を用いて、②で求めた平均寿命の変化に対する1人当たりの実質GDPの変化分を求める。
- ⑤ 当該国の人口をかけて、国全体における人的被害に基づく間接被害額に換算する。

この①から⑤の手順で得られた結果をもって、人的被害発生に伴う被災地域における初年度の間接被害額と定義した。

4.5 過去の地震災害への適用

ここでは、1948年以降にアジア地域で発生した大規模な地震災害に本手法を適用した。なお、ここで用いた災害に関するデータは、ミュンヘン再保険会社（World Map of National Hazards, 1998）により公表されたものである。Table 2 は、地震発生年月日、被災国、死者数、直接被害額（貨幣換算できる被害を対象）、本手法で算定した人的被害に基づく間接被害額を示した。これによると、直接被害額と人的被害に基づく間接被害額との間に顕著な関係はみられなかった。しかし、間接被害額が直接被害額を上回るケースもあることから、直接被害の抑止と同様に、被災後の間接被害も重視すべきである。ここで提案した手法は、平均寿命と1人当たり実質GDPとの関係に、アジア地域諸国全体のデータを用いた。したがって、Table 2 に示したように、その地域に属する様々な国に本手法を適用することができ、災害によってその国が受けたインパクトを評価および比較することが可能となる。また、近隣地域諸国（例えばアジア地域など）における平均寿命とGDPとの間にほぼ同様な関係が成り立つという仮説に従えば、データの未整備な国においても、その国を含む地域のデータを利用することによって災害による社会的インパクトが評価できる。Figure 6 は、アジア地域の50カ国において1965年から1995年までの5年毎の平均寿命とGDPの両方のデータがどれだけ整備さ

Table 2 Catalogue of major earthquake disasters

Date	Nation	Deaths	Losses*	L _{GDP}
05.10.1948	Turkmenistan	19800	25	202
15.08.1950	India	1526		10
16.03.1956	Lebanon	136		6
01.09.1962	Iran	12225	12	206
16.06.1964	Japan	26	800	9
19.08.1966	Turkey	2500	35	151
16.05.1968	Japan	50	160	20
31.08.1968	Iran	12100	40	388
28.03.1970	Turkey	1086	9	96
10.04.1972	Iran	5044	5	260
01.05.1974	China	20000		7774
28.12.1974	Pakistan	994		32
04.02.1975	China	300		120
25.06.1976	Indonesia	6000	25	261
27.07.1976	China	290000	5600	10554
17.08.1976	Philippines	4000	120	763
24.11.1976	Turkey	3626	25	509
12.06.1978	Japan	28	865	14
16.09.1978	Iran	20000	11	1826
13.12.1982	Yemen	3000	90	52
26.05.1983	Japan	104	560	51
30.10.1983	Turkey	1346		259
06.11.1988	China	750	269	268
07.12.1988	Armenia	25000	14000	3799
23.01.1989	Tajikistan	274	25	101
21.06.1990	Iran	40000	7100	12142
16.07.1990	Philippines	1660	1000	622
29.04.1991	Georgia	270	1700	59
20.10.1991	India	2000	100	38
13.03.1992	Turkey	547	750	171
12.12.1992	Indonesia	2500	100	622
12.07.1993	Japan	247	1000	95
30.09.1993	India	9475	280	1624
03.06.1994	Indonesia	222	3	50
17.01.1995	Japan	6348	100000	23481
03.02.1996	China	304	500	103
28.02.1997	Iran	800		389
10.05.1997	Afghanistan	1573	500	19
10.01.1998	China	70	285	23
04.02.1998	Afghanistan	4600		67
17.08.1999	Turkey	15826		2923
21.09.1999	Taiwan	2191		2048

*Economic losses in US\$ million, L_{GDP}:Indirect loss

れているかを示したものである。ただし、ここでは国連が人間開発報告書（1996-1999）において公表している統計に基づいた。すなわち、最大で7年分のデータ（平均寿命と GDP の組み合わせ）をもつことになる。Figure 6 によると、最も多く両者のデータ

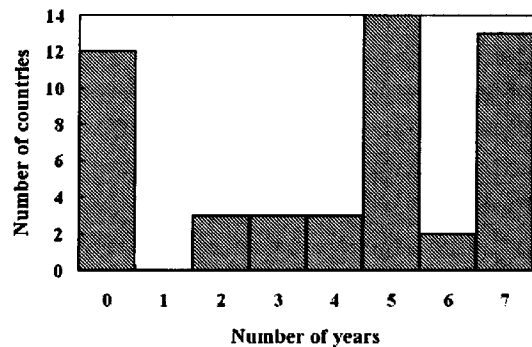


Fig. 6 Histogram between recorded duration (year) and number of countries (duration means of complete sets of average life span and GDP)

（7年分のデータ）が整備されていた国は、50カ国中13カ国であった。逆に、両者とも不明であった国（0年分）は12カ国も存在した。この結果をみてもわかるように、平均寿命と GDP だけに着目しても、個々の国のデータを時系列で収集することは容易ではない。このような現状を踏まえると、ある地域のもつ平均的な特性（例えば、Fig. 5 に示した関係）を個々の国で利用することは有用であろう。

しかし、ここで用いた平均寿命と GDP との関係はある地域に属する国々の平均的な関係を表すので、個々の国がもつ特性は十分に反映されない。そこで、データが整備された国に対して、その国自体がもつ平均寿命と GDP の関係を本手法に取り入れ、災害による社会的インパクトを検討してみよう。

4.6 トルコ（1999）および台湾（1999）の地震への適用

ここでは、個々の国における平均寿命と1人当たり実質 GDP との関係を用いた間接被害額推定手法を1999年のトルコおよび台湾の地震に適用した。

(1) トルコおよび台湾の地震による被害の概要

(a) トルコ・マルマラ地震

1999年8月17日午前3時2分（現地時間）、トルコ北西部の工業都市コジャエリ県イズミット市の近傍で深さ18kmを震源とするマグニチュード(M)7.4の地震が発生した。米国地質調査所(USGS)によると、北アナトリア断層面上での横ずれ運動により起こった内陸直下型地震と推定された。断層が動いた部分の長さは阪神・淡路大震災のときの約40kmより長く、放出された地震のエネルギーはそれの約6倍といわれている。この地震による人的被害については、2000年3月1日現在で死者18,368人、負傷者48,901人に上っており、トルコ政府は最終的な死者数が約20,000人に及ぶものと推定している。震源地のイズミットでは石油精製所などで火災が発生

し、約 110km 西のイスタンブールでも建物の倒壊が相次いだ。また、トルコ最大の商工業地域であるマルマラ地域が被災したため、同国の産業経済に与える影響は非常に大きい。この地域には、ブリヂストン、トヨタ自動車など進出日系企業のほとんどが立地しており、トルコの GNP (Gross National Product : 国民総生産) の約 4 割およびその貿易額の約 6 割を占めている。その他、ブルサの国営火力発電所の機能が一時的に停止し、道路、通信および電力もイズミットなど一部で寸断された。なお、World Bank は、この地震による直接被害に関する被害金額を概算で約 160 億 US ドル (約 1 兆 7000 億円) と推定している。

(b) 台湾・集集地震

1999 年 9 月 21 日午前 1 時 45 分 (現地時間), $M7.6$ の地震が台湾中部の南投県で発生した。震源地は台北の南南西約 145km にある南投県の日月潭付近で、USGS によると、震源の深さは約 33km であった。フィリピン海プレートとユーラシアプレートの東西圧縮の逆断層運動により起こった内陸直下型地震と推定された。台湾はフィリピン海プレートとユーラシアプレートの境界に位置するため、世界でも地震が活発な地域で、これまでマグニチュード 7 クラスの地震は起きているが、今回の地震の規模は今世紀最大であったといえる。この地震による人的被害については、2000 年 2 月 16 日現在で死者 2,400 人、負傷者 11,000 人であった。経済的な被害については、停電の長期化により、台湾経済を支えるハイテク産業への影響が大きい。とくにハイテク企業が集中する新竹市は、震源地から離れているため、各企業の生産設備などに大きな被害はなかった。しかし、地震発生後、電力制限が続いたことに伴う経済的影響は深刻である。台湾経済研究院によると、停電が 7 日間続いた場合、産業界が受ける経済的被害は 1,800 億台湾ドル (約 6,000 億円) に上ると試算されている。また、この影響によって、台湾における 99 年度の経済成長率は 0.1% 下がり、5.24% にとどまることを予測している。さらに、この報告において、製造業ではライン停止に伴う生産量の減少が避けられないことや、金融業では債務者が被災して融資回収に支障をきたす可能性など今後の経済被害についても併せて指摘している。

なお、トルコおよび台湾の地震の被害状況を Table 3 に示した。

(2) トルコおよび台湾の地震への適用

ここでは、4.4 で示した広域への適用を考慮した間接被害額推定法の手順に従って、トルコおよび台湾の地震による間接被害額を推定する。

① 1999 年のトルコにおける自然死亡者数 (推計) は 435 千人であり、人口は約 66.6 百万人 (推計) である (世界人口予測, 1996)。したがって、災害が発生しなかった場合の普通死亡率は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} CDR_0 &= \frac{D_0}{N} \cdot 1,000 \\ &= \frac{435,000}{66,600,000} \times 1,000 \\ &= 6.532 \text{ (‰)} \end{aligned} \quad (16)$$

ここに、 CDR_0 および D_0 は災害が発生しなかった場合の普通死亡率 (crude death rate) および死亡者総数、 N は人口総数を表す。また、トルコ地震による死者数として 1999 年 10 月 5 日現在の値 15,826 人を用いると、災害後の死亡率 CDR_1 は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} CDR_1 &= \frac{D_1}{N} \cdot 1,000 \\ &= \frac{435,000 + 15,826}{66,600,000} \times 1,000 \\ &= 6.769 \text{ (‰)} \end{aligned} \quad (17)$$

ここに、 D_1 は災害が発生した場合の死亡者総数を表す。

② 災害が発生しなかった場合の死亡率 CDR_0 に対応する平均寿命および災害が発生した場合の死亡率 CDR_1 に対応する平均寿命を推定する。死亡率と平均寿命との関係は Fig. 4 より次式で表される。

$$E = 83.53 \exp(-0.03 CDR) \quad (18)$$

ここに、 E は平均寿命を表す。

Table 3 Damage due to Turkey Marmara and Taiwan Chi-Chi earthquake (1999)

	Marmara Earthquake	Chi-Chi Earthquake
Date	1999.08.17 03:02 AM	1999.09.21 01:45 AM
Magnitude	$M7.4$	$M7.6$
Epicenter	Izmit	Nanto
Deaths	18,368 (00/03/01)	2,400 (00/02/16)
Injured	48,901 (00/03/01)	11,000 (00/02/16)
Economic loss (A)	16 billionUS\$	9.2 billionUS\$
(A)/GDP	8.6%	3.3%
Financial contributions (B)	110,989,954 US\$	6,236,270 US\$
(B)/Economic loss	0.60%	0.07%
Donor countries	60 (00/04/04)	24 (99/11/16)

したがって、災害が発生しなかった場合および発生した場合の平均寿命 E_0 および E_1 は次のようになる。

$$\begin{aligned} E_0 &= 83.53 \times \exp(-0.03 \times 6.532) \\ &= 68.665 \text{ (年)} \end{aligned} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} E_1 &= 83.53 \times \exp(-0.03 \times 6.769) \\ &= 68.179 \text{ (年)} \end{aligned} \quad (20)$$

③ トルコにおける平均寿命と 1 人当たりの実質 GDP との関係は、Fig. 7 に示した (State Institute of Statistics Prime Ministry Republic of Turkey, 1998)。なお、対象期間は 1960 年から 95 年までとし、GDP には 1990 年基準価格を用いた。これによると、両者の関係は次式で表される。

$$GDP'_{x,t} = 45.11 \exp(0.0543 E_{x,t}) \quad (21)$$

ここに、 GDP' は 1 人当たりの実質 GDP を表す。

④ ③で求めた関係から、②で求めた平均寿命に対する 1 人当たりの実質 GDP を求めるとそれぞれ次のようになる。

$$\begin{aligned} GDP'_0 &= 45.11 \exp(0.0543 \times 68.665) \\ &= 1,878 \text{ (ドル/人)} \end{aligned} \quad (22)$$

$$\begin{aligned} GDP'_1 &= \exp(0.0543 \times 68.179) \\ &= 1,828 \text{ (ドル/人)} \end{aligned} \quad (23)$$

したがって、これらよりトルコ地震での人的被害発生に基づく国民 1 人当たりの間接被害額 L'_{GDP} は次のようになる。

$$\begin{aligned} L'_{GDP} &= GDP'_0 - GDP'_1 \\ &= 1,878 - 1,828 \\ &= 50 \text{ (ドル/人)} \end{aligned} \quad (24)$$

⑤ ④で求めた値は、国民 1 人当たりについてのものなので、総人口 66.6 百万人分に換算する。すると、トルコ地震での人的被害発生に基づく初年度の間接被害額 L_{GDP} は次のようになる。

$$\begin{aligned} L_{GDP} &= 50 \text{ (ドル/人)} \times 66.6 \text{ (百万人)} \\ &= 33.3 \text{ (億ドル)} \end{aligned} \quad (25)$$

ここでは、死者数を 15,826 人として試算したが、トルコ政府によると、最終的にそれが 20,000 人に達する可能性を示唆している。そこで、Fig. 8 には死者数の違いによって、それに基づく間接被害額がどのように変化するのかを示した。これによると、死者数の増加とともに、人的被害に基づく間接被害額も増加し、仮に死者数が 20,000 人に達すれば、初年度の間接被害額は約 40 億ドルにも上ることが試算された。これは、トルコにおける GDP の約 2.3% に相当し、World Bank の推定した直接被害額の 160 億ドルの約 25% に相当する。また、1 人当たりには換算すると、人命の社会的価値は約 25 万ドル (約 3,000 万円) と推定された。

また、99 年の台湾・集集地震に対しても、同様の手法を適用した。なお、Fig. 9 には、ここで用いた台湾における平均寿命と 1 人当たりの実質 GDP との関係を示した (Directorate-General of Budget, Accounting and Statistics Executive Yuan, 1998)。なお、対象とした期間は 1970 から 98 年である。その結果、

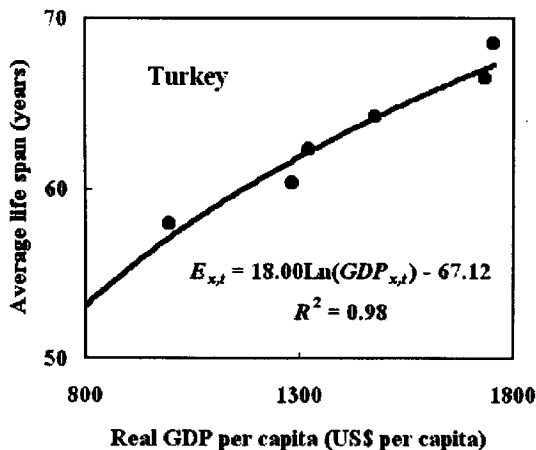


Fig. 7 Relationship between real GDP per capita and average life span in Turkey (1960-1995)

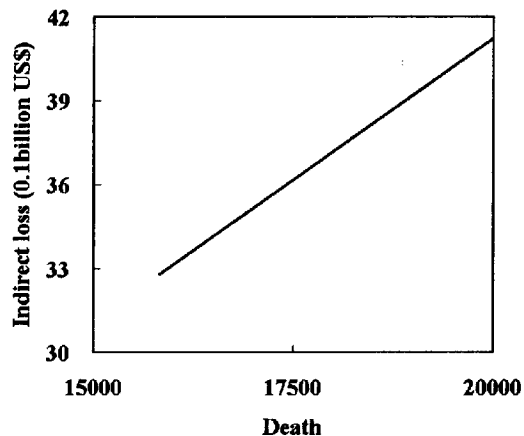


Fig. 8 Relationship between number of deaths and indirect loss

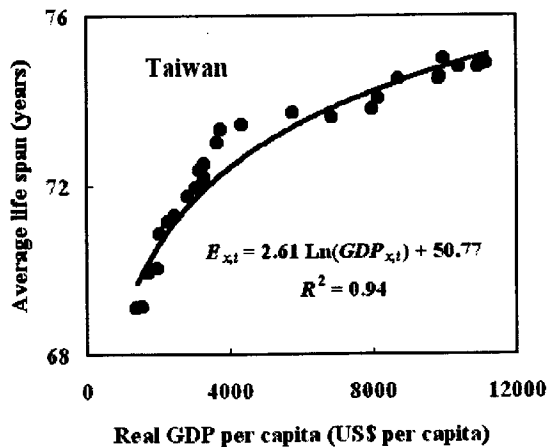


Fig. 9 Relationship between real GDP per capita and average life span in Taiwan (1970-1998)

死者数を 2,191 人 (1999 年 10 月 1 日現在) とした場合、それに基づく初年度の間接被害額は 30.9 億ドルに達することが試算された。これは、台湾における GDP の約 1.4% に相当する。また、これを 1 人当たりで換算すると、人命の社会的価値は約 1.4 百万ドル (約 1.5 億円) と推定された。本手法を適用すると、当然のことながら、人命の社会的価値は国あるいは地域によって大きく異なる。なぜなら、本論文で定義した人間の命の社会的価値はその国 (地域) の物価水準や GDP などに関係しているためである。このような人命の社会的価値の評価を用いることによって、今後、防災投資や援助に対するコスト・ベネフィット分析が可能になるものと考えている。

5. 結論と今後の課題

本研究の成果は以下のようにまとめられる。

- (1) 従来の研究において、短期間での平均寿命と 1 人当たり実質 GDP との関係に線形関係を適合してきた。本論文で平均寿命の特性や諸外国における検討を行った結果、長期間かつ広範な地域におけるそれらの関係には対数関係が成り立つことを提示した。
- (2) アジア地域諸国における統計データの事情や災害対応の迅速化を踏まえ、普通死亡率を代用した平均寿命の簡易推定法を提案することによって、従来用いていた手法のより広域への適用を可能にした。
- (3) アジア地域諸国における過去の地震災害に本手法を適用し、人的被害の発生に基づく間接被害額を推定した。その結果、間接被害額が直接被害額を上回るケースもあり、直接被害の抑止と同様に、被災後の間接被害も重視すべきであることを示唆した。
- (4) 開発途上国における統計データの欠如や、その地域での災害による被害の規模を考慮した上で、本

論文で提案した間接被害額推定手法の適用が有効であることを示唆した。

(5) 本手法を 1999 年に発生したトルコおよび台湾の地震に適用した。その結果、トルコでは 33.3 億ドル、台湾では 30.9 億ドルの人的被害に基づく間接被害額がいずれも初年度に発生することを推定した。

本研究において提案した手法は、一般に世界的に公表されているデータと単純な推定式に基づいて、人的被害に基づく間接被害額の推定を可能にしている。このことは、地域によるデータの制約を克服できるとともに、被災後に迅速な対応を行う際に有効といえる。今回はデータの制約もあり、アジア地域諸国に焦点をあて、本手法を適用したわけであるが、データの集計に努め、より広域への検討が必要であるものと考えられる。また、近年の災害事情によると、死者だけではなく、負傷者の発生も多大であり、社会に与えるインパクトは極めて甚大である。このような負傷者の取り扱いについては、保険金支払い実績などに基づいた評価手法をすでに開発しているもので、データを取得して、解析を行う予定である。

参考文献

- 上田耕三・大林和正・大友 篤 (1978): アジア人口学入門, アジア経済研究所, pp.79-116.
- 刈屋武昭 (1997): 計量経済分析の基礎と応用, 東洋経済新報社, pp.78-132.
- 河田恵昭・朴 基顕・柄谷友香 (1998): 社会の防災力の評価に関する一考察—巨大災害による総被害額評価方法への適用—, 京都大学防災研究所年報, 第 41 号, B-2, pp.77-87.
- 河田恵昭・柄谷友香 (1999): 社会の防災力の評価に関する一考察 (II), 京都大学防災研究所年報, 第 42 号, B-2, pp.1-12.
- 経済企画庁経済研究所 (1998): 県民経済計算年報 (平成 10 年版), 615pp.
- 厚生省大臣官房統計情報部 (1997): 平成 7 年都道府県別生命表, 厚生統計協会.
- 世界人口予測 (1996): 国際連合経済社会情報・政策分析局人口部, 原書房.
- 古川俊之 (1989): 高齢化社会の設計, 中公新書, 199pp.
- 濱 英彦・山口喜一 (1997): 地域人口分析の基礎, 古今書院, 235pp.
- 古川俊之 (1996): 寿命の数理, 朝倉書店, 242pp.
- 山口喜一・南條善治・重松峻夫・小林和正 (1995): 生命表研究, 古今書院, 332pp.
- Directorate-General of Budget, Accounting and Statistics Executive Yuan (1998): Statistical Yearbook

- of the Republic of China.
- Sandhu, K.S. (1986) : 日本とアセアン諸国における死亡率の社会経済的相関に関する研究, 総合研究開発機構.
- State Institute of Statistics Prime Ministry Republic of Turkey (1998) : Statistical Yearbook of Turkey.
- UNDP 人間開発報告書 (1996) : 経済成長と人間開発, 国際協力出版会.
- UNDP 人間開発報告書 (1997) : 貧困と人間開発, 国際協力出版会.
- UNDP 人間開発報告書 (1998) : 消費パターンと人間開発, 国際協力出版会.
- UNDP 人間開発報告書 (1999) : グローバリゼーションと人間開発, 国際協力出版会.
- World Disasters Report (1999): International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, pp.139-163.
- World Map of National Hazards (1998): Munich Reinsurance Company, 55pp.

Study on Estimation of Disaster Prevention Potential (Ⅲ)

— Proposal of Social Ecology —

Yoshiaki KAWATA and Yuka KARATANI

Synopsis

This Paper proposes a method to estimate indirect losses due to large scale natural disasters based on the GDP (Gross Domestic Product) and the average life span. We already applied to estimate indirect losses due to the 1995 Great Hanshin-Awaji Earthquake Disaster. This approach requires death data in the damaged areas for calculation of average life span, which is not always available in many countries in the world. Therefore, we tried our conventional model to apply other countries using a correlation between the crude death rate and the average life span. In this paper, we put the method to the quakes in Turkey and in Taiwan in 1999. It was found that indirect losses in the first year were roughly estimated to be \$3.33 billion in Turkey and \$3.09 billion in Taiwan respectively.

Keywords: disaster prevention potential; Turkey Marmara Earthquake (1999); Taiwan Chi-Chi Earthquake (1999); average life span; indirect loss; human damage