

災害に対する社会的防止政策*

和田 佳之

概要：本稿の目的は、自然災害等の、社会的規模でその損失が発生ししかもその発生に関する情報が不完全であるような災害に対して、社会としてどのように最適防止活動水準を決定すべきかについて論じることである。その最適水準の決定に際しては、防止活動自体に要する費用、災害発生時に生じる直接的損失、および防止活動が失敗した場合に社会が負担しなければならない間接的損失を考慮し、その総和が最小化される水準に設定されるべきである。

I 序 論

本稿の目的は、自然災害等、その発生時期や規模などについての情報が不完全である災害に対する防御活動に、政府はどのように取り組めばよいかを議論することにある。言い換えれば、不確実性の下で、災害防御という一種の公共財の供給について、政府はどのように意思決定すべきかを考察することにある。

我々は、言うまでもなく、日常生活においてその発生が不確実な危険に直面している。そうした危険については、次のような分類が可能である。すなわち、その災害の効果が及ぶ対象が特定の経済主体に限定されるものと、その対象が市町村、都道府県、あるいは一国全体というように、特定規模の社会全体に波及するものと

に区別される。前者の典型例としては、交通事故や冬山の遭難等が挙げられる一方、後者については自然災害が真っ先に思い浮かぶ。殊に、日本における1994年夏の異常渇水に起因した深刻な水不足現象は記憶に新しいところである。この他にも同様の性質を持つ災害としては、府県レベルでは台風やそれに伴う高潮、地震やその後の津波、火山噴火、人災としての原子力事故等がある。また、国レベルのものとしては最近では1993年の凶作が原因となって1994年に現実化した米不足現象が挙げられるし、地球全体規模では、問題提起されて久しいオゾン層の破壊、温暖化問題等がこの範疇に含められよう。

上で列挙したような様々な危険に対し、我々はただ手をこまねいている訳ではない。その最も一般的な対処策は、保険への加入であろう。例えば、交通事故からの損失に備えて自賠責を含む各種の保険に加入したり、海外旅行へ行くときには万一に備えて保険に入る人が多い。また家族全体のために生命保険に加入する場合もある。しかしながらこれらはどれも、上の分類でいえば、前者に属する災害を対象としたものばかりであり、後者のように社会的規模で被害が発生する災害に対しては、保険制度が十分に確立されているとは言い難い。さらにいえば、たとえ保険制度が十分に万一のときの補償を整えていたとしても、後者に属する災害には人命等の、金銭的補償が困難な損失を与えるものが多い。このような災害に対する防御策としては、保険のような事後的救済策よりもむしろ、損害の発生を未然に防ぐかあるいはそれが困難であれば、少なくとも損失をできる限り軽減化する

*本研究は、平成6年度教育研究学内特別経費および、平成6年度陵水学術後援会学術調査・研究助成より財政的助成を受けて完成された。これらの関係諸団体に対し、ここに記して感謝したい。

という事前的防止策の方が経済学的見地から望ましい場合が多いように思われる。しかしその場合、後者に属するいわば社会的災害に対する防止策は、個人的規模で実施することは不可能に近い。そのことはそれに要する費用の側面からは明らかであるが、そればかりか災害防止策自体が持つ公共財的性質にも起因している。多くの災害の場合、その防止策の効果は地域住民全体に波及し、またたとえ住民数が増大したとしても通常そのために追加的な費用が必要になるわけではない。さらに地域全体が保護される結果、当該地域内の住民は、費用負担を怠ったとしても災害防止の恩恵は享受可能である。これら非競合性と排除不可能性という公共財を規定する二つの性質が災害防止活動には備わっているといえる。例えば、地方自治体で治水のためのダムを住民税で建設するとすると、当該河川の流域内に居住する者すべてにその便益は及び、新たに移住する人がいても先住の住民が得ていたその便益が減少することはない。またたとえ住民税の支払いを滞納している住民がいたとしても、その住民宅にのみ洪水が発生する訳ではない。このような結果として、政府による災害防止策の提供が経済学的に正当化される。

政府は、自然災害などについてはその発生時期や規模等についての情報が不完全なため、不確実性の下で最適な災害防止に対する投資水準を決定しなければならない。このような問題を理論的に分析した先行研究としては次のようなものが存在する。Schulze et al. (1990) は、地震に対する防衛政策の一つとして、地震を予測しそれに基づく地震警報の発令が経済にどのような費用/便益をもたらすかをシミュレーションによって分析し、警報発令は実施する価値があるという結論を導出している。しかしながらこの論文中のモデルでは、地震予測の成功/失敗の確率を政府の決定変数として扱っており、地震が持つ不確実性の効果が不明瞭である。この点を改善しモデル化した研究として、Howe et al. (1994) がある。この論文は、水不足防

止のために政府がどのように投資水準を決定すべきかを論じており、その中で水不足現象の発生確率が、政府の投資水準および政府にとって制御不可能な確率変数（気象条件など）に依存すると仮定している。しかしそこでのモデルの問題点は、災害発生に伴う損失をただ単に不足分の関数として処理し、Schulze et al. (1990) に見られるような、不確実性下に特有の防止計画の予想外の結果等を考慮した損失内容のより詳しい分析がなされていない点にある。本稿の貢献は、これら二論文中のモデルを統合することでより一般的なモデルを構築し、両者の短所を是正することにより、より現実的な分析結果を導出することにある。

次節以下の本稿の構成は以下のようになっている。第2節では、分析の出発点として完全情報下での政府の意思決定をモデル化する。第3節では、不完全情報下での意思決定を分析し、完全情報下では見られない費用が存在することが明示される。第4節では、3節で扱ったモデルの具体例を示し、現実的解釈を加える。最後に第5節で本稿の結論を総括する。

II 完全情報下における社会的最適災害防止活動水準の決定

この節では、災害の発生時期、規模等のあらゆる情報を政府が保有しているという意味で完全情報下での、政府による最適災害防止水準の決定問題を考える。この状況下での政府の目的は、その災害防止活動の遂行に要する費用と災害の発生に伴う社会全体の損失の和を最小化することにある。ここで災害防止の活動水準を a 、それに要する費用を $C(a)$ とする。(ただし、 $C' > 0, C'' > 0$ と仮定する。) これにはその活動自体に付随する費用（建設費等）に加えて、防止活動の遂行の結果社会が負担しなければならない損失（ダム建設に伴う水資源の破壊など）も含まれる。なお災害防止活動はある期にいったん遂行すると、その後 T 期先まで有効であ

るといふ耐用年数が確実に設定されているものとする。次に災害に伴う社会の損失については、当該社会の構成員が個別に被る損失の総和として定義する。各個人の損失は、政府が実施する災害防止活動水準と当該期に発生する災害の規模 x にのみ依存し、その性質・形状は各期を通じて不変であるとする。このとき第 t 期に代表的構成員 i が災害発生から被る損失は、第 t 期の災害規模を x^t とすると、 $d_i(a, x^t)$ として示される。関数上の性質として、 $\frac{\partial d_i}{\partial a} < 0, \frac{\partial^2 d_i}{\partial a^2} > 0$ および $\frac{\partial d_i}{\partial x} > 0, \frac{\partial^2 d_i}{\partial x^2} > 0$ を仮定する。従って災害防止活動水準決定問題に直面する政府の最適化問題は、

$$\text{Min}_a C(a) + \sum_{t=1}^T \frac{1}{(1+r)^t} \{ \sum_i d_i(a, x^t) \} \quad (1)$$

となる。ここで、 r は期間を通じて一定の割引率である。簡単化のため、 $\sum_i d_i(a, x^t) \equiv D^t(a, x^t)$ と定義し、これを(1)式に代入すると、

$$\text{Min}_a C(a) + \sum_{t=1}^T \frac{1}{(1+r)^t} D^t(a, x^t) \quad (1)'$$

となる。この問題の1階の条件は明らかに、

$$C' = - \sum_t \frac{1}{(1+r)^t} \frac{\partial D^t}{\partial a} \quad (2)$$

である。 D^t の定義より、 $\frac{\partial D^t}{\partial a} < 0, \frac{\partial^2 D^t}{\partial a^2} > 0$ である。(2)式は、通常最適化問題と同様に、防止活動に伴う限界費用が防止活動による損失の減少という意味でのその限界便益と均等化される水準で、最適水準が達成されることを示している。

Ⅲ 不完全情報下における社会的最適災害防止活動水準の決定

この節では、政府にとって災害の発生時期及び発生規模等の情報が不完全である場合の、最適な災害防止活動水準の決定問題を考える。そのため前節とは異なり、災害の発生規模 x が確率変数として扱われる。発生時期の不確実性に

ついては、任意の期における災害の発生規模が政府は $x = x_0$ (x_0 : 災害が発生しないという事象) と予想したのに反し、実際は $x \neq x_0$ であったということで、規模の不確実性の特殊ケースとして解釈する。 $X = \{x_0, x_1, \dots, x_n\}$ を政府が予想する、有限の、災害の発生可能規模全体の集合とする。政府は、実際に発生しうる災害は X の要素のいずれかであると想定して防止活動の最適水準を決定しようとする。 x は連続型の確率分布をし、その密度関数を $p(x)$ で表わす。これより第 t 期における災害発生からの社会的損失の期待値は、

$$E(D^t(x^t)) = \int_{x^t \in X} D^t(x^t) p^t(x^t) dx^t \quad (3)$$

となる。前節でのように損失はの他に防止活動水準にも依存しており、また第 t 期に任意の大きさの損失を社会が被る確率は、確率変数としての災害規模とともに防止活動水準にも依存していると考えられるため、

$$E(D^t(a, x^t)) = \int_{x^t \in X} D^t(a, x^t) p^t(a, x^t) dx^t \quad (3)'$$

を損失の期待値として用いることにする。ただし、 $\frac{\partial p^t}{\partial a} < 0, \frac{\partial^2 p^t}{\partial a^2} > 0$ と仮定する。

ここで、不確実性の下での社会的損失を検討するには新たに次の点を考慮する必要がある。それは、政府が発生を想定しないような規模の災害が発生した場合の考慮である。言い換えれば、 X に含まれないような要素が実際に起こったケースの対処に要する費用を上記の社会的損失に含める必要がある。現実例を見ても、河川の氾濫に対する損害賠償を国や地方自治体に求めた裁判において、被告側に現実化したような水位の上昇を予見する能力が存在したかどうか争点となる事例が数多く存在している。このように、防止活動水準との関連で訴訟に発展した場合の裁判費用や、そうした事態を回避するために、災害防止活動の有効性・限界等について研究・調査するための費用がこれに含まれ

る。第 t 期におけるこの追加的費用要素を、 $G^t(a, \tilde{x}^t)$ で表わす。ここで、 \tilde{x}^t は政府が想定しなかったにもかかわらず第 t 期に現実化した災害の発生規模を示す新たな確率変数で、その全体の集合を、 \tilde{X} とする。 G^t の a と \tilde{x}^t への依存性は、施行された防止活動が有効である災害規模と、現実化した災害規模との乖離の度合によって、この費用が決定されるためである。ただし、 $\frac{\partial G^t}{\partial a} < 0, \frac{\partial^2 G^t}{\partial a^2} > 0$ および、 $\frac{\partial G^t}{\partial \tilde{x}^t} > 0, \frac{\partial^2 G^t}{\partial \tilde{x}^t{}^2} > 0$ を仮定する。これらは次のように解釈できる。前者については、災害防止活動水準が大きいほど、予期せぬ規模の災害が発生した場合でも、その結果生じる社会的費用が小さくなることを意味する。後者は、実際に発生した災害と予想との乖離が大きいほど、負担する損失が大きくなることを示している。さらに、その乖離度が大きいほど、新たに災害防止活動についての研究・調査に投資される費用も大きくなると考えるのが自然であろう。その結果この新たな費用要素を加えると、不確実性下での政府の最適化行動は、

$$\begin{aligned} \text{Min}_a C(a) + \sum_{t=1}^T \frac{1}{(1+r)^t} \{ E(D^t(a, x^t)) \\ + \int_{\tilde{x} \in \tilde{X}} G^t(a, \tilde{x}^t) q^t(a, \tilde{x}^t) d\tilde{x}^t \} \end{aligned} \quad (4)$$

のようになる。 $q^t(a, \tilde{x}^t)$ は、 \tilde{x}^t の確率分布に対する密度関数である。ここでも、

$\frac{\partial q^t}{\partial a} < 0, \frac{\partial^2 q^t}{\partial a^2} > 0$ を仮定する。この場合の 1 階の条件は、

$$\begin{aligned} C' = - \sum_t \frac{1}{(1+r)^t} \{ \int_x (\frac{\partial D^t}{\partial a} p^t + D^t \frac{\partial p^t}{\partial a}) dx^t \\ + \int_{\tilde{x}} (\frac{\partial G^t}{\partial a} q^t + G^t \frac{\partial q^t}{\partial a}) d\tilde{x}^t \} \end{aligned} \quad (5)$$

となる。改めて(5)式を見て明らかになることは、不確実性の下での最適防止活動水準の決定に際しては、確実性の下では存在しなかった二つの要因を新たに考慮する必要があるということ

とである。第一には、(5)式右辺第 1 項に含まれている災害規模が不確実である効果である。この効果は、本稿中で確実性と不確実性とを区別する基準となる要因であり、当然予想される要因である。第二には、(5)式右辺第 2 項が示すところの、政府による防止活動の有効性についての予想が誤っていることに起因する効果である。いわば、政府の災害防止政策が失敗したときの影響である。この項は、Schulze et al. (1990) が指摘した地震予測の失敗が社会に与える効果に対応している。

この段階で次の命題が得られる。

命題 1 : $\frac{\partial D^t}{\partial a} > \int_x (\frac{\partial D^t}{\partial a} p^t + D^t \frac{\partial p^t}{\partial a}) dx^t$
 $+ \int_{\tilde{x}} (\frac{\partial G^t}{\partial a} q^t + G^t \frac{\partial q^t}{\partial a}) d\tilde{x}^t$ ならば、不完全情報下における最適防止活動水準は、完全情報化におけるよりも大きい。

(証明) (2)式と(5)式を比較すれば明らか。 ■

命題 1 中の条件には、次のような示唆が含まれている。すなわち不確実性の世界における災害防止活動の最適水準の決定には、この活動が完全情報の世界にはない 3 つの効果を持つことを考慮しなければならない。完全情報下では防止活動が災害の直接的損害をいかに軽減させるかという効果のみが重要であったが、不完全情報下ではこれに加えて、防止活動が、予想される災害規模発生確率分布にどのような影響を与えるか、間接的損失負担の大きさをどれほど削減するか、また想定外の規模の災害が発生する確率分布が防止活動の結果どのように変化するか、3 効果を新たに考慮する必要が生まれてくるのである。従って、単純に費用項目が増大するだけでは済まないのである。

さらに、(5)式から次のような結論が即座に得られる。

命題2 (比較静学) : 不完全情報化における最適災害防止活動水準は, パラメータの変化に対して以下のように反応すると期待される。

- ①当該災害防止活動の有効期間 (T) が長いほど, 最適水準は大きい。
- ②割引率 (r) が大きいほど, 最適水準は小さくなる。
- ③予想される発生可能な災害規模集合 (X) が大きいほど, また予想外の規模で発生する災害の集合 (\bar{X}) が大きいほど, 最適水準は大きくなる。

IV 例 示

この節では, Schulze et al. (1990) 中の表記法を用いて, 前節で導出したモデルを簡単な例を用いて確認する。以下ではこの目的のために次のような諸仮定を置く。

- [仮定] ・ 選択可能な災害防止活動水準は a_1, a_2 の2種類のみで, 災害規模が x_1 の場合には a_1, x_2 の場合には a_2 がそれぞれ最適水準となる。従って政府はこのいずれかを選択しなければならない。ただし, $X = \{x_1, x_2\}$
- ・ 防止活動はその次の期にのみ有効である。 ($T = 1$)

こうした仮定の下で, 防止活動水準, 災害規模共に二通りあるから両者の組み合わせとして4通りの場合が考えられる。 $p_{ij} (i = 1, 2; j = 1, 2)$ を, (防止活動水準, 災害規模) = (a_i, x_j) という場合が生じる確率とすると, 条件付確率の定義から, $p_{ij} \equiv p(a_i \cap x_j) = p(a_i \setminus x_j)p(x_j)$ として表わされる。ここで新たに次のような確率を定義する。 (a_i, x_j) において $i = j$ の場合には防止水準と実際に発生した災害規模とが一致しているのであるから, その防止政策が成功したと解釈できる。反対に, $i \neq j$ の場合には政府が期待した災害規模とは異なる規模の災害が発生しているため, その政策は失敗に終わったと解釈できる。防止政策 a_i が成功する確率を

$p_{s_i} \equiv p(a_i \setminus x_j) (i = j)$, 失敗する確率 $p_{f_i} \equiv p(a_i \setminus x_j) (i \neq j)$ と定義すると, 4通りの場合の発生確率は,

$$p_{11} = p_{s_1} p(x_1), p_{12} = p_{f_1} p(x_2) \\ p_{21} = p_{f_2} p(x_1), p_{22} = p_{s_2} p(x_2)$$

というように書き直すことができる。ここで $p(x_j) (j = 1, 2)$ は, 規模が x_j の災害が発生する確率である。上記の確率の定義から明らかのように, $p_{s_i} (i = 1, 2)$ が1に近づき, $p_{f_i} (i = 1, 2)$ が0に近づくにつれて, $p_{11} \rightarrow p(x_1), p_{22} \rightarrow p(x_2), p_{12} \rightarrow 0, p_{21} \rightarrow 0$ にそれぞれ近づく。これらを用いてこの場合の政府の最適災害防止活動水準選択問題を定式化すると,

Min. $a \in \{a_1, a_2\}$ such that

$$\left\{ \begin{array}{l} C(a_1) + \frac{1}{1+r} \{ p_{s_1} p(x_1) D(a_1, x_1) \\ + p_{f_1} p(x_2) G(a_1, x_2) \}, \\ C(a_2) + \frac{1}{1+r} \{ p_{s_2} p(x_2) D(a_2, x_2) \\ + p_{f_2} p(x_1) G(a_2, x_1) \}, \end{array} \right\} \quad (6)$$

となる。(6)式からわかるように, この例の場合, 社会的損失の2要素それぞれを負担する確率は, その災害防止政策が成功あるいは失敗する確率と, 問題となっている災害がどの規模で発生する可能性があるかに依存しているといえる。このことを命題にまとめると以下のようになる。

命題3 : 不確実性下での災害防止政策を効率的に遂行するには, 災害の発生規模についての情報ばかりでなく, 防止政策の適合性についても情報を収集する必要がある。

V 結 論

本稿では, 社会的規模でその損失が発生するような災害を事前的に防御する—防止する—という一種の公共財供給の, 不確実性の下での社

会的決定法について論じた。そこで明らかになったことは、第一に発生時期や規模のような当該災害の性質についての情報が不完全にしか政策担当者に保有されていないとき、最適防止活動水準を決定する際考慮すべき社会的損失としては、災害の発生自体に伴う直接的な損失はもちろん、災害防止政策の不完全性に起因する間接的な社会的費用をも損失として計算する必要があるということである。そのとき完全情報下での最適水準と比較すると、予想される災害の発生規模の集合の大きさ、そのうちのどの規模が発生するかという確率が防止活動にどのように依存しているか等によって、単純に大小比較は論じられない。第二には、この事に関連して、不確実性下での災害防止政策を効率的に遂行するには、その不確実性を小さくする方法として、発生しうる災害についての情報を収集することと並んで、選択すべき防止政策の目的への適合可能性を向上させることも必要である。

本稿の分析では、次のような点を十分考慮していない。第一に、本論で述べたようにここでの不確実性は飽くまで災害の性質に関してのみであった。現実にはこの他に損失関数について

も政策担当者が完全な情報を保有しているとは言い難い。この点を踏まえて分析すると、最適防止水準の決定過程が更に複雑化するものと予想される。第二には、災害防止活動の有効期間についても、現実には完全な予測が可能な場合ばかりではない。政府の予想よりも短期間に防止活動に欠陥が生じれば、更に予期せぬ損失の発生を招くことになる。この点に関する不確実性の導入も今後の課題として挙げられよう。

【参考文献】

- Howe, C. W. and M. G. Smith with L. Bennett, C. M. Brendecke, J. E. Flack, R. M. Hamm, R. Mann, L. Rozaklis, and K. Wunderlich (1994), "The Value of Water Supply Reliability in Urban Water Systems", *Journal of Environmental Economics and Management* 26, pp. 19-30.
- Schulze, W. D. and D. S. Brookshire, R. K. Hageman and S. Ben-David (1990), "Should We Try to Predict the Next Great U.S. Earthquake?", *Journal of Environmental Economics and Management* 18, pp. 247-262.