

浸水災害時の金銭的被害に対する補償制度の検討

○中央大学 学生会員 及川 潤
中央大学 正会員 佐藤 尚次

1.はじめに

全国的に毎年のように集中豪雨により浸水災害が発生しているが、特に東京都内では狭い範囲内に人口や家屋が密集しており、一旦豪雨により浸水災害が発生すればその被害範囲は狭いとしても被害規模が大きくなってしまふ。そのための治水投資関連の手法として、災害の発生頻度の低減を目的とするリスクコントロールと、災害によって生じるリスクを経済的に補填しようとするリスクファイナンスという手法が存在する¹⁾。今回はこのうちのリスクファイナンスについて考えていく。

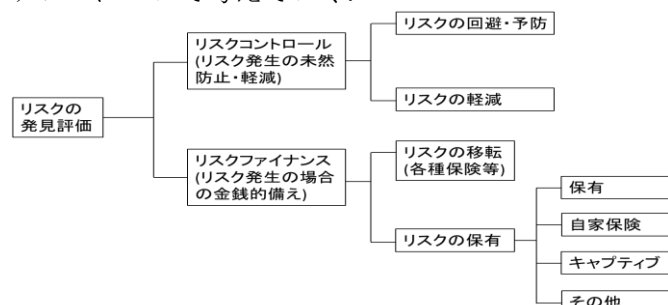


図-1 リスクマネジメントの手段

2.研究の目的・手法

従来、リスクファイナンスの面では被害に見合う十分な補償はなされていないという問題がある。そこで、過去の被害事例を参考にしながら、地域ごとに異なる降雨規模による被害金額を算出し、できるだけ被害に見合う補償制度を考えることを目的とする。東京都内を対象地域とし、過去の被災データと降雨量データを用い、構造信頼性の式(1)に適用し、被害金額の期待値を算出し、これを基に保険料率の設定など保険制度を提案する。

$$\begin{aligned}
 W &= p_f C_f \\
 &= \int_0^\infty \left\langle \int_0^s f_R(r) dr \right\rangle f_s(s) C_f(s) ds \\
 &= \int_0^\infty F_R(s) f_s(s) C_f(s) ds \quad (1)
 \end{aligned}$$

$f_R(r)$: 耐力(抵抗強度) R 側の確率密度関数

$f_s(s)$: 外力(降雨) S 側の確率密度関数

r, s : 耐力 R 側, 外力 S 側の降雨量

$C_f(s)$: 降雨量 s のときの被害金額(被害関数)

※ r と s は独立である。

3.確率密度関数の定義

耐力 R 側, 外力 S 側の確率密度関数を定義する。

耐力側は過去に被害が多く発生している地域においてある範囲を定め、その中で過去の浸水災害発生時にどの程度の割合が被災し、その時の最寄雨量観測所での最大時間雨量の関係からフラジリティカーブ(図-3)を作成し、確率密度関数 $f_R(r)$ とする。なお、これは床下・床上浸水両方について考える。外力側は東京都建設局の雨量観測所での年最大時間降雨量データを基に確率密度関数 $f_s(s)$ とする。 $f_R(r)$ は正規分布に、 $f_s(s)$ は Gumbel 分布に従うものとする。

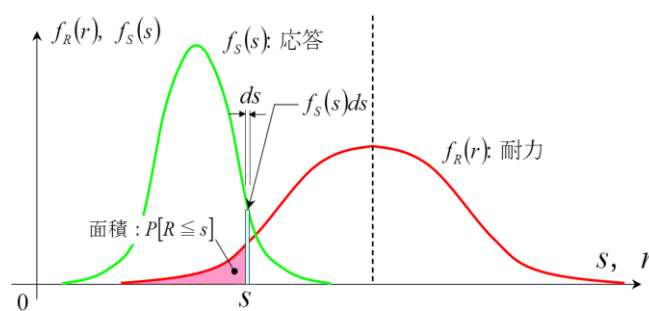


図-2 耐力 R と外力 S の関係

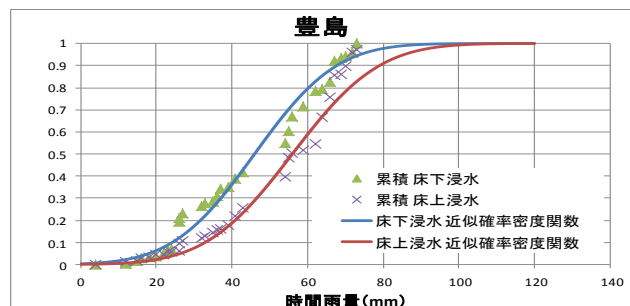


図-3 フラジリティカーブ(豊島観測所周辺地域)

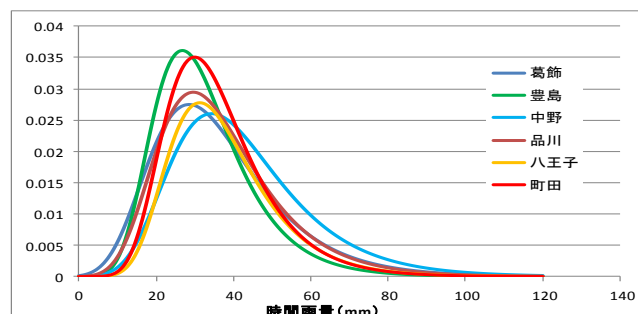


図-4 降雨の確率密度関数

4.対象地域

対象地域は東京都内の耐力(抵抗強度) R 側, 外力(降雨強度) S 側ともにデータが多くある地域とする。葛飾、豊島、中野、品川、八王子、町田の6ヶ所で、

それらの地名は東京都建設局の雨量観測所名²⁾であり、その周辺のある範囲(河川周辺の低地)で考える。



図-5 対象地域(雨量観測所)

5.被害金額の期待値の算出

式(1)中の $C_f(s)$ を関数形式で表すことを考える。時間雨量によって被害金額が変化するような関数を定義する。都内各地の被害事例を分析し、過去に発生した集中豪雨の際のある地域での被害データ(被害家屋数)による金銭的被害金額と、そのときの最寄雨量観測所での時間最大雨量との関係を図示して関数 $C_f(s)$ を定義する。なお、ここでの都内各地とは、前述の対象地域 6 ヶ所に限らず、都内各地での被害事例を分析している。これ以降、 $C_f(s)$ は家屋 1 戸あたりの金銭的被害金額とそのときの時間最大雨量の関数として考えていく。金銭的被害金額の算出方法は国土交通省・治水経済マニュアル(案)³⁾によるものとし、家屋被害額、家庭用品別被害額、家庭応急対策費の 3 つを合計した一般資産被害額で評価する。治水経済マニュアル(案)の方法により、金銭的被害額を算出し、そのときの時間最大雨量との関係を図示し、関数 $C_f(s)$ を定義する(図-6)。都内全体のデータで関数を定義すると、床上浸水において直線から離れるデータが多くあるため、都区内東部、都区内西部、都内西部の 3 つの地域に分けて考えることにする。床上浸水被害に関しては、都区内西部が突出して降雨量の増加に伴い被害金額が大きくなる傾向がみられる。

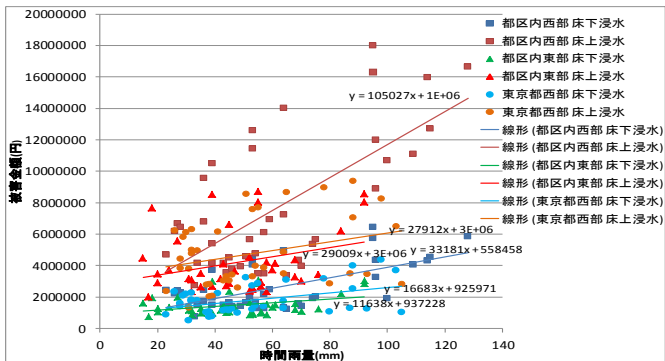


図-6 $C_f(s)$ の図示

これにより被害金額の期待値 W を算出する。結果が図-7 である。また、この後で述べる治水レベルが向上しているとした場合の $f_R(r)$ を用いて計算した

W の結果が図-8 である。

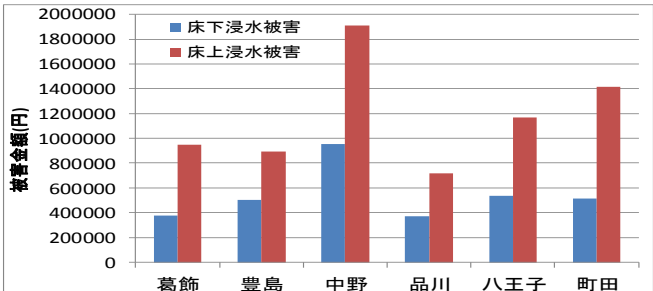


図-7 被害金額の期待値(治水整備前)

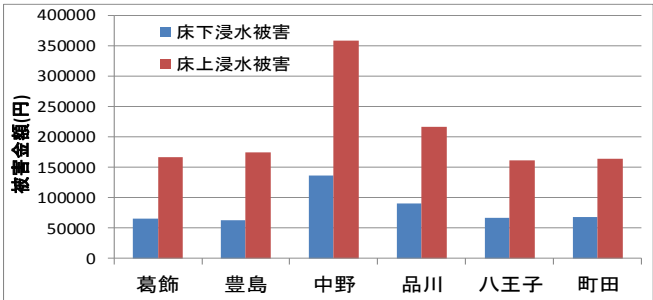


図-8 被害金額の期待値(治水レベル向上後)

被害金額の期待値 W を計算する際、式(1)の積分範囲の上限値 s^* (時間雨量) を境に、それ以下は免責リスクとする。この免責リスクは、治水整備により低減すべきリスクであり、これが 0 になるように行政により治水整備がなされるものである。 s^* を上回る範囲は自己責任リスクであり、保険により補償がなされるものとする(図-9)。本研究で対象としている東京都内における集中豪雨対策は、1 時間に 50mm までの降雨を前提に整備されており、補償レベル s^* を $s^* = 50 \text{ mm}$ とする。図-10 に免責リスクと自己責任リスクの割合を示す。

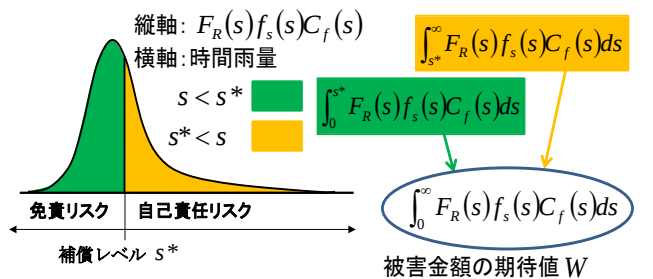


図-9 免責リスクと自己責任リスクの関係

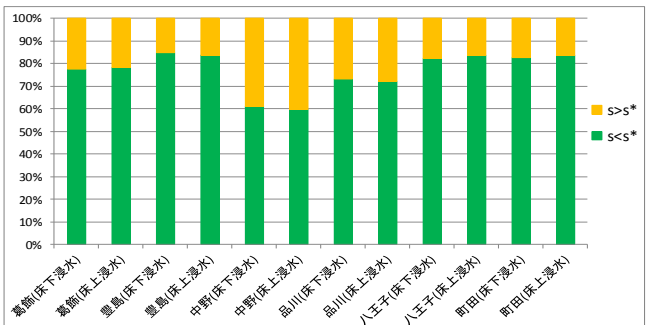


図-10 各地域における免責リスクと自己責任リスクの割合

6.保険料率の算出

保険料率とは、基準保険金額(通常、火災保険は 1,000 円)に対する保険料のことをいう。現行の水害保険は火災保険に付随する形で存在しており、水害保険が独立して存在しているわけではない。火災保険の一般的な保険料率は 1,000 円当たり 0.20 円~0.35 円であり、このうち水害保険料分は 0.1 円程度とされている。保険料の決め方として、保険価格に保険料率を掛けた値を用いることが一般的であり、保険料を E 、保険料率を r とし、式(2)に示す。保険価格とは、被害時に予測される最大の金額 F であり、1 世帯当たり 47,899,000 円⁴⁾とし、床上浸水被害の保険料を決める上での保険価格をこの値とする。一方、床下浸水被害に対する保険価格は、過去に実際に被害が発生した際の被害金額規模を総合的に判断して算出式が定められている治水経済マニュアル(案)に従って、金銭的被害評価で用いるパラメータの比を用いて 2.85 分の 1 に相当する 16,800,000 円とする。

保険料： $E = F \times r$ (2)

例えば床上浸水被害に対する保険料としては、保険価格 47,899,000 円、保険料率が 1,000 円当たり 0.1 円であれば、これらを掛けて 4789.9 円となる。

以上のことを踏まえた上で被害金額の期待値 W を算出する。この値は被害が発生した場合の金銭的被害額を、確率論を考慮した値である(単位は円)。保険制度を考える上で年あたりの値を用いて保険料率を算出することを考える。そこで、年あたりの被害金額の期待値を算出する。治水経済マニュアル(案)の方法を参考にしながらこの値を算出する。算出方法は表-1 に従うが、この方法では表-1 中の被害発生確率の欄は入っていない。時間雨量を 10mm 刻みで最大 120mm まで考え、その時間降雨量に対する年超過確率と W の値についてそれぞれの区間の平均値を求め、その平均値同士を掛けた年平均被害金額を算出し、これらを時間雨量 120mm までの分を累積した値を年あたりの被害金額の期待値 w とする。

上記の方法により得られた年あたりの被害金額の

期待値 w と、先に述べた保険料 E を比較する。式(2)中の保険料率 r を変化させていき、両者が等しくなる際の r を求める。この場合、地域、床下・床上浸水の区分によって差はあるものの、保険料率が 1,000 円当たり 6~23 円程度と、一般的な火災保険の料率と比べて数十~百倍程度大きくなり、現実的なものではない結果となった。この算出過程では表-1 中の被害発生確率(耐力 R 側についての確率密度関数)を考慮していない。

次に表-1 に従って外力 S 側だけではなく耐力 R 側を加え、同様に時間雨量 10mm 単位で被害の発生確率を用いて料率を算出する。ここで用いる耐力 R 側の確率密度関数 $f_R(r)$ は過去に実際に被害が発生した際の値を用いる。この結果としても料率が 1,000 円あたり 3~23 円と外力 S 側だけを考慮した場合よりは小さくなったが、それでも現実的な値ではない。

そこで、耐力 R 側について、治水整備レベルが向上しているという前提のもとに、東京都の治水関連対策の資料⁵⁾を参考にして治水安全度が向上したとした場合の確率密度関数 $f_R(r)$ を再び定義する(表-1 中の被害発生確率の欄の値を変える)。先に示した 2 つのケースと同様に w と E が等しくなるように、式(2)の右辺中の r を変化させていく。その結果、1,000 円当たり 0.11~0.81 円程度と、現実的な保険料率の値となった。これを示したものが図-11 である。縦軸が保険料と年あたり被害金額の期待値の差を表す不足金額、横軸が保険料率を表し、縦軸の値が 0 になるときの保険料率がその地域でのその値とする。

河川周辺の低地以外でも同様に考えていくが、治水レベルが向上すれば被害の発生確率が極めて低くなり、地形的に安全な台地では 1,000 円当たり 0 円に限りなく近い値になる。

河川周辺の低地、地形的に安全な台地以外の地域として例えば、これまで度々浸水被害を受けていた中野区内の旧河川地域では床下浸水被害に対しては 1,000 円当たり 0.32 円、床上浸水被害に対しては同 0.15 円となった。

表-1 治水経済マニュアル(案)を参考にした年あたりの被害金額期待値の算出方法

時間雨量	年平均超過確率	被害額の期待値(円)	区間平均被害額(円)	区間確率(超過確率)	被害発生確率	被害額(円)	区間被害額(円)	年平均被害額(円)	年平均被害金額期待値(円)
10mm	①	③	⑤ = $\frac{③+④}{2}$	⑥ = ①~②	⑦	⑧ = ⑤ × ⑦			
20	②	④	・	・	0.129820481	⑨	⑩ = $\frac{⑧+⑨}{2}$	⑪ = ⑥ × ⑩	⑪
30	0.591700196	この欄は被害金額の期待値を計算した積分値	・	0.245969749	0.298101527	0	・	⑫	⑬ = ⑪ + ⑫
40	0.345730447		0	0.16370717	0.526909358	0	0	⑭	⑮ = ⑬ + ⑭
50	0.182023277	$W = \int_0^{\infty} F_R(s) f_R(s) C_f(s) ds$	166078	0.091252599	0.746934633	124049.41	62024.705	10153.88895	
60	0.090770677	332156	343097	0.046703595	0.896569881	307610.4363	215829.9232	19695.04147	
70	0.044067083	354038	359784	0.022948924	0.968530182	348461.663	328036.0497	15320.46269	
80	0.021118158	365530	368478	0.011060237	0.992994656	365896.6849	357179.1739	8196.87784	
90	0.010057921	371426	372919	0.005281737	0.998872297	372498.458	369197.5714	4083.412732	
100	0.004776185	374412	375162.5	0.002511296	0.999869761	375113.6394	373806.0487	1974.345088	
110	0.002264889	375913	376288.5	0.00119158	0.999989269	376284.4619	375699.0506	943.4915151	
120	0.001073309	376664					188142.231	224.1864472	この欄の値が年あたりの被害金額の期待値 74509.79336

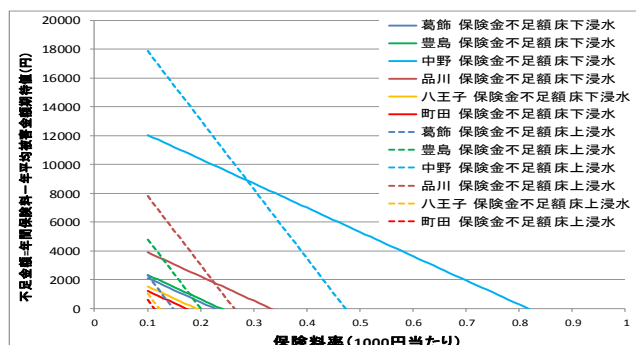


図-11 不足金額と保険料率との関係

7. 保険制度の提案・地域ごとの保険料率

これまで述べたことを踏まえた上で保険制度の提案をする。地域ごとの降雨特性や地形的な違いにより被害の発生頻度や金銭的被害額、保険料率が異なっている。それらを考慮しながら各地域の保険料率とそれに対する被害発生時の補償の上限額を示す。河川周辺の低地、旧河川地域、地形的に安全な台地、大きく分けるとこの3つのパターンで考える。

まず河川周辺の低地では補償上限額は高めに設定する。床下・床上浸水に対してそれぞれ考え、先に述べた保険価格と、図-10に示す保険による損失補償の割合($s \cdot s^*$ を示す黄色の部分)を掛けた値とする。なお、この割合は $f_R(r)$ の式が治水整備の前後で異なるが、 W の計算過程ではある範囲まで積分した定数であるため、いずれの場合でも同じ結果となる。

一方、地形的に安全な台地では被害の発生頻度が極めて小さく、6.で述べたように保険料率計算では限りなく0に近い場合、保険料率を一律1,000円当たり0.05円とする。補償上限額は治水経済マニュアル(案)に基づいた計算により決める。計算過程は省略するが、東京都内の平均的な家屋面積の世帯の補償上限額は床下浸水：1,200,000円、床上浸水：3,320,000円となった。

旧河川地域については、今後治水レベルの向上により被害発生確率が小さくなると考えられるが、台地に比べて浸水被害を受ける可能性は考えられる。このため、台地の場合に比べて保険料率が高くなり、この高い分に応じて(比例して)補償上限額も高く設定する。以上を基に保険料率と補償上限額の関係を示したグラフが図-12である。台地とは地域を問わず地形的に安全な箇所、その他6ヶ所地名で示されている箇所はそれぞれ河川周辺の被害を受けやすい箇所をさす。この図より、保険料率と補償上限額との関係を直線近似すると、各点が1本の直線上に集まるような形になる。このため、保険料率に比例して補償上限額を決めることとする。

一方、地域・地点ごとに異なるが保険料率の計算を6.で述べた方法と同様に多くの地点で行うことで各箇所でのこの値を示すことができる。地域・地点ごとに保険料率がどの程度なのかを分かりやすくするため、この値を色分けした地図を作成する(図-13)。

8. まとめ・今後の課題

治水安全度が向上しているとした場合に保険料率が現実的な値になり、水害保険制度が成り立つには、さらなる治水整備がなされていることが条件となる。

保険料率、支払上限額、保険により補償がなされる割合はともに中野で最も高い。これは耐力 R 側、外力 S 側ともに被害が起きやすい要素が多いためと考えられる。その他の地域では保険料率が1,000円当たり0.1~0.3円程度と低い結果となった。いずれの地域でも現行の保険制度並みの保険料率となった。

今後の課題として、治水整備がなされた場合の被害の発生確率(耐力 R 側)をより正確に評価した上で保険料率計算を行っていくことが必要である。また、床下浸水・床上浸水被害それぞれに対して独立に考えたが、より効率的な保険制度を実現させるために両方を一体化させて考える必要がある。また、加入者の年あたり保険料支払額を決定する必要がある。保険料と年あたりの被害金額の期待値が等しくなるように設定したが、民間の保険会社が運営するとして、収益比を考慮した場合、この収益比を保険料に掛けた金額を、実際の年あたり保険料支払額と設定するといった方法が考えられる。

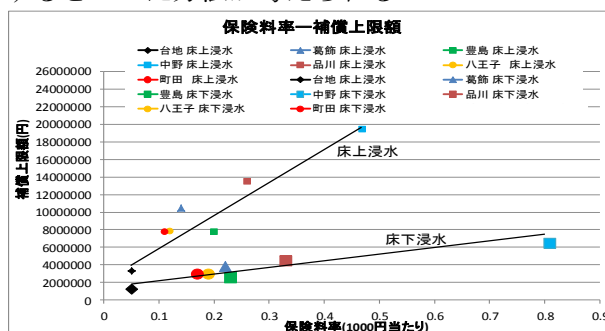


図-12 補償上限額と保険料率との関係

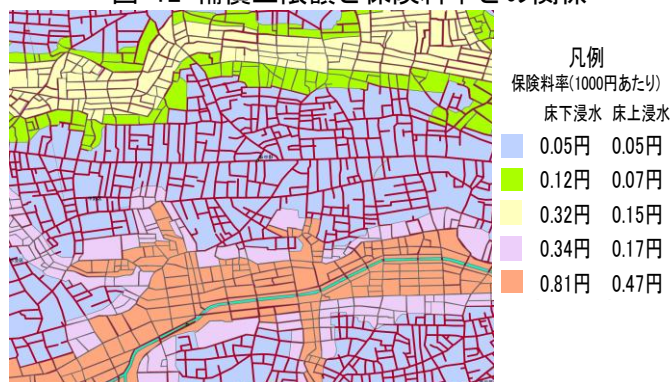


図-13 保険料率マップ(中野観測所周辺)

<参考文献>

- 1) 高木朗義, 多々納裕一: 防災の経済分析, 第1章, 勁草書房, 2005
- 2) 東京都建設局 過去の水害記録
- 3) 国土交通省河川局: 治水経済マニュアル(案), 2005
- 4) 総務省統計局・平成21年全国消費実態調査 家計資産に関する結果
- 5) 神田川流域豪雨対策計画 東京都総合治水対策協議会, 2009 など