

東京都市圏における水害リスク評価手法の開発

平野淳平*・大楽浩司*

Methodology for Flood Risk Assessment in Tokyo Metropolitan Area

Junpei HIRANO and Koji DAIRAKU

**Social System Research Department Disaster Risk Research Unit,
National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Japan
jhirano@bosai.go.jp, dairaku@bosai.go.jp*

Abstract

We developed an method for flood risk assessment in Tokyo metropolitan area. We estimated damage by inundation inside a levee at each prefecture based on a statistical method used in damage insurance field. On the basis of estimated damage, we developed flood risk curves in the Tokyo metropolitan area, representing relationship between damage and exceedance probability of flood. By analyzing the flood risk curves, we found out regional differences of flood risk. We identified high flood risk in Tokyo and Saitama prefecture. On the other hand, flood risk was relatively low in Ibaraki and Chiba prefecture. We found that these regional differences of flood risk can be attributed to both entire property value and ratio of damaged housing units in each prefecture.

Key words: Flood risk analysis, Risk curve, Tokyo metropolitan area, Regional difference, Adaptation to climatic change

1. はじめに

人間活動に起因する地球温暖化の影響は、生態系、水資源、食糧生産、公衆衛生など多方面に及ぶことが想定される。IPCC 第四次報告書 (IPCC 2007) によれば、気候変動の影響の多くは緩和策によって回避、軽減もしくは遅延され得るが、最も厳しい緩和努力を行ったとしても、今後数十年間は気候変動のさらなる影響を回避することができないことが指摘されている。そのため、気候変動の影響に対する対処を念頭に置いた新たな知見にもとづく適応策の開発が急務であると考えられる。気候変動による影響の中でも、降水強度や降水量の増加は、風水害の発生規模と頻度を増大させると考えられ、海面上昇等の諸要因と相まって低平地における水害リスクを増大させることが懸念される。そのため、今後、風水害に

よる被害を最小限に抑制するためには、気候変動に対応可能な新たな知見にもとづく水害リスク評価手法の確立が必要であると考えられる。

東京都市圏では、多くの人口と資産が低平地に集中的に分布しているため、一度、大規模な水害が発生すれば、甚大な被害が発生することが想定される。

1947 年のカスリーン台風や、1949 年のキティー台風の際には東京東部の低地帯を中心として大規模な被害が生じた。その後、治水設備整備の進展に伴って、破堤や越流を伴う外水氾濫の発生頻度は低下している。一方で、都市部を中心として下水道の雨水排水能力を超える雨が降る場合に低地が浸水することによって発生する内水氾濫は近年でも頻発しており石垣ほか (2011) によれば、都市部では内水氾濫による被害額が外水氾濫による被害額を超えていると

* 独立行政法人 防災科学技術研究所 社会防災システム研究領域災害リスク研究ユニット

というのが現状である。国土交通省(2005)は、「水害統計」のデータにもとづく調査結果から1993年から2002年の10年間において、全国平均では水害による被害額に占める内水氾濫による被害額の割合は約50%であるのに対して、東京都では約80%を占めていることを指摘した。したがって、現在の都市域における防災対策を考える場合、内水氾濫を考慮に入れた水害リスク評価手法を開発し、より詳細に水害リスクを把握することが自治体レベルで対策を行う上でも重要であると考えられる。

地域別に水害脆弱性を評価する上で、水害発生頻度と被害規模との関係を定量的に表現することが求められる。水害発生規模と頻度との関係を定量的に表現し、水害リスク評価を行うための手法として、水害リスクカーブを用いることが有効であることがApel *et al.* (2006)によっても指摘されている。水害リスクカーブを用いて水害リスク評価を行った試みとしては、Apel *et al.* (2006), Grunthal *et al.* (2006), Mertz and Thieken (2009)などが挙げられるが、これらはいずれも特定の一時点のみを対象としたものであった。一方、日本では、熊本市を対象として、治水設備整備にともなう水害リスクの変化を水害リスクカーブにもとづいて評価することが藤見ほか(2009)によって試みられた。藤見ほか(2009)では1980年から2005年の期間について5年ごとに作成したリスクカーブの時系列変化にもとづいて水害リスクの変化について議論をしている。しかし、対象としているのは熊本市のみであり、都道府県単位などの広域を対象としてリスクカーブを用いた水害リスク評価を行った研究はほとんど存在しない。

本稿では、東京都市圏(東京都、埼玉県、千葉県、茨城県、神奈川県)を対象として、過去の水害に関する統計データにもとづいて、内水氾濫の発生頻度と被害規模との関係を定量的に表す水害リスクカーブを作成し、都道府県単位で内水氾濫についてのリスクを評価するための手法を考案することを目的としている。

2. 方法

2.1 水害リスクカーブの作成

水害の被害額を推定する方法のひとつとして、F-D法(Frequency-Damage method)がある。F-D法とは罹災件数と1件あたりの平均的な被害額の積から

被害額を推定する方法である。本稿では1年間の合計被害額(年間被害額)を推定することを目的とし、式(1)に示したように、罹災件数を罹災率(F)と世帯数(N)の積として、1件あたりの平均的な被害額を平均損傷率(D)と1世帯あたりの平均資産価値(E)の積として求めた。

$$L = (F \times N) \times (D \times E) \quad (1)$$

ここで、 L ;年間被害額、 F ;罹災率、 N ;世帯数、 D ;平均損傷率、 E ;1世帯あたりの平均資産価値とする。

本稿では、モンテカルロ・シミュレーションにより被害額を確率的に評価するため、統計期間における年毎の罹災率(F)および平均損傷率(D)を確率分布に当てはめた。罹災率(F)は年毎に集計した罹災世帯数(年間罹災世帯数)を全世帯数で割った値として求めた。統計年ごとの平均損傷率(D)は、全世帯の世帯当たり平均一般資産価値に対する罹災世帯の平均被害額の割合として求めた。なお、罹災率(F)と平均損傷率(D)は都道府県別に推定した。また、世帯数(N)は、対象期間である1976年から2008年までの期間平均値を使用した。年間罹災世帯数および年間の被害総額は、国土交通省河川局より発行されている「水害統計」に記載されている1961年～2008年の市区町村別の一般資産被害額および罹災世帯数を東京都市圏(東京都、埼玉県、千葉県、茨城県、神奈川県)についてデジタル化して使用した。「水害統計」には市区町村単位で水害が発生した河川名、日付、水害の原因、被災棟数、被災世帯数、一般資産被害額などが記載されており、過去の風水害に関する最も網羅的かつ系統的なデータである。なお、「水害統計」データは1961年～2008年についてデジタル化した。今後、水害被害額と降水量や降水強度の変化との関連について検討する予定であるため、本稿の解析対象期間はアメダス観測網が整備された1976年以降とした。年間世帯数のデータは、国勢調査から求めた。図1は、本研究で水害リスクカーブを作成する過程を表している。

2.2 一般資産価値の評価

式(1)において、平均損傷率(D)を算出するために、都道府県別の一般資産価値を算出する必要がある。

図2は、一般資産価値の算出方法を示している。本研究で算出する都道府県毎の一般資産価値は、家屋資産、家屋用品資産、事業所在庫・償却資産、

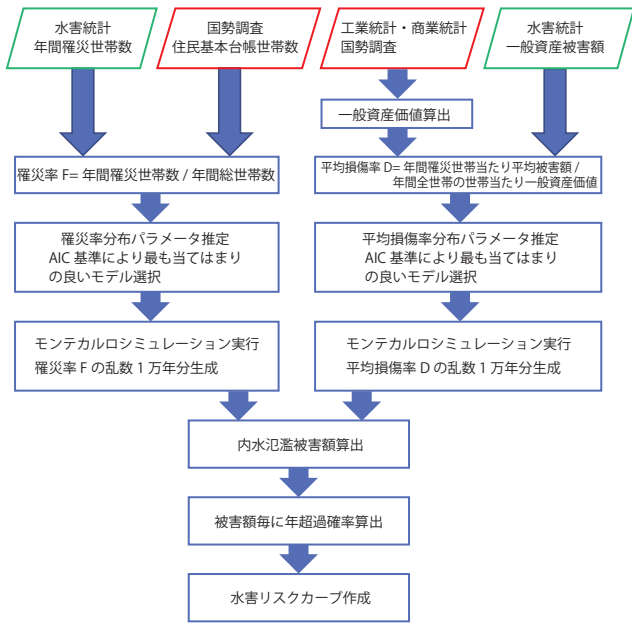


図1 水害リスクカーブの作成過程
Fig. 1 Method for development of flood risk curve.

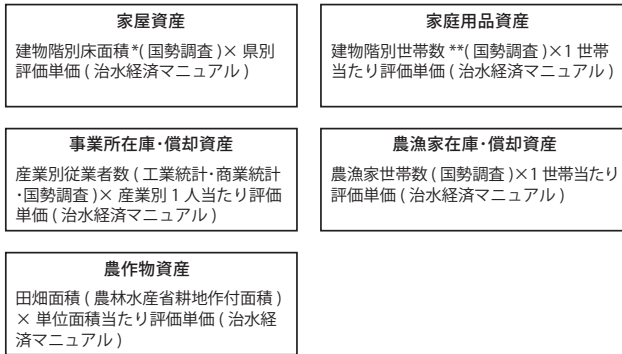


図2 一般統計データにもとづく一般資産価値算出方法
Fig. 2 Calculation method of property value based on general statistical data.

農漁家在庫償却資産、農作物資産を合計したものである。

各資産は国勢調査から求めた床面積、産業別従業者数、田畑面積、建物階別世帯数、農漁家世帯数に都道府県別の評価単価を乗じることによって各資産価値が算出される。都道府県別の評価単価は、国土交通省(2003)の治水経済マニュアルに記載されている値を用いた。家屋用品資産額算出のために、床面積データを用いているが、床面積については高層住宅での水害被害額が過大にならないようにするため高度分布を考慮して、水害によって被害を受ける階が建物の1・2階のみであることを仮定し、建物高

さごとの床面積(1・2階)を用いた。

図3は、都道府県別の一般資産価値を示している。一般資産価値は東京都や神奈川県において高く、千葉県や茨城県では低い傾向を示す。この結果から東京都市圏の中でも東京都や神奈川県に資産が集中して分布していることがわかる。

ここで、算出した都道府県別の一般資産価値を国勢調査から求めた都道府県毎の年間総世帯数で除することによって、全世帯の年間世帯当たり平均一般資産価値を算出した。また、年間罹災世帯当たり平均被害額については、水害統計から求めた都道府県別の年間の一般資産被害額の総額を都道府県別の年間総世帯数で除することによって算出した。その上で、年間罹災世帯当たり平均被害額を全世帯の年間世帯当たり一般資産価値で除した値を平均損傷率(D)とした。一方、罹災率(F)については、水害統計から求めた都道府県別の年間罹災世帯数を国勢調査から求めた年間総世帯数で除することによって算出した。

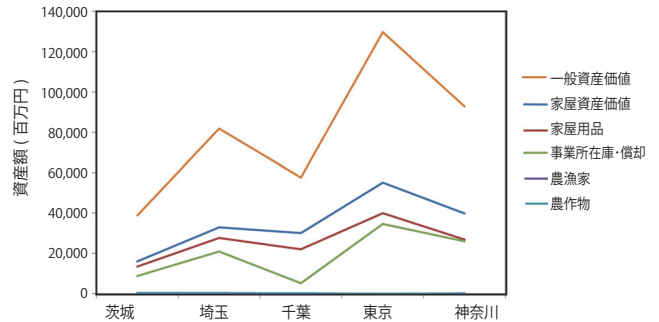


図3 都道府県毎の一般資産価値とその内訳
Fig. 3 Property for each prefecture.

2.3 罹災率と平均損傷率の分布関数推定

1976年から2008年の期間について求めた罹災率(F)と平均損傷率(D)について、それぞれ分布関数を当てはめた上で、赤池情報量基準(AIC)が最小になるものを最も当てはまりの良い分布関数として選択した。表1および、表2は罹災率(F)と平均損傷率(D)について各分布関数についての赤池情報量基準(AIC)を示したものである。検討の結果、罹災率(F)については全都道府県で対数正規分布が選択され、平均損傷率(D)については、茨城県と埼玉県でジョンソンSU分布、他の都県については対数正規分布が選択された。

表 1 各都道府県の罹災率に当てはめた分布関数と赤池情報量基準値(AIC) ※は選択された関数を示す。

Table 1 Fitting functions for ratio of damaged housing units and Akaike information criterion (AIC) value for each prefecture.

東京都	埼玉県	千葉県	茨城県	神奈川県
対数正規※ -399.13	対数正規※ -315.08	対数正規※ -377.09	対数正規※ -389.13	対数正規※ -440.78
指数分布 -386.84	ワイブル -314.00	ジョンソン SI -375.13	ジョンソン SI -388.84	ワイブル -439.31
ワイブル -383.75	極値 -314.00	ワイブル -374.85	一般化対数 -386.67	極値 -439.31
	ジョンソン SI -312.82	極値 -374.85	ジョンソン SU -386.19	ジョンソン SI -438.38
	一般化対数 -312.64	一般化対数 -374.62	ワイブル -382.14	一般化対数 -438.32
	ガンマ -312.23		ガンマ -378.45	ガンマ -437.57
			指数 -372.84	ジョンソン SU -435.73
				指数 -432.50

表 2 各都道府県の平均損傷率に当てはめた分布関数と赤池情報量基準値(AIC) ※は選択された関数を示す。

Table 2 Fitting functions for ratio of damage and Akaike information criterion (AIC) value for each prefecture.

東京都	埼玉県	千葉県	茨城県	神奈川県
対数正規※ -505.57	ジョンソン SU ※ -87.04	対数正規※ -115.44	ジョンソン SU ※ -110.00	対数正規※ -29.28
ワイブル -505.52	対数正規 -80.67	ガンマ -115.32	ジョンソン SI -103.20	ジョンソン SI -28.17
極値 -505.52	ジョンソン SI -79.52	ジョンソン SI -112.67	対数正規 -99.83	一般化対数 -26.82
ガンマ -504.27	ワイブル -55.55		ワイブル -71.26	ジョンソン SU ※ -25.52
ジョンソン SI -503.27			極値 -71.26	ワイブル -14.78
			ガンマ -44.97	極値 -14.78
				ガンマ 6.04

選択した各分布関数にもとづいてモンテカルロ・シミュレーションを実行することによって、1 万年分の罹災率 (F) と平均損傷率 (D) の乱数を生成し、式 (1) から 1 万年分の被害額を算出した。算出した被害額について年超過確率を計算することによって、内水氾濫についての水害リスクカーブを作成した。

3. 結果

図 4 は、式 (1) にもとづいて算出した 1 万年分の内水氾濫被害額について、年超過確率と被害額(内水氾濫規模)との関係を表した都道府県毎の水害リスクカーブである。リスクカーブから、東京都市圏では東京都や埼玉県で内水氾濫リスクが高い一方で、茨城県や千葉県では内水氾濫に対するリスクが他の都県と比べて相対的に低いことが分かる。このような地域性が生じる要因の一つには、各地域間における資産額の相違が考えられる。図 4 の結果を図 3 に示した都道府県別の一般資産価値と比較すると、おおむね、一般資産価値の高い都県で内水氾濫に対するリスクが大きくなっている傾向が認められる。ただし、神奈川県では一般資産価値が埼玉県よりも高いが、内水氾濫に対するリスクは埼玉県よりも低い。この要因は資産価値の違いだけでは説明することはできない。式 (1) で示したように、水害被害額の大きさには資産価値だけではなく、罹災率 (F) が関係する。そこで、図 5 では、都道府県別に 1976 年～2008 年について期間平均した (F) の値を示して比較した。この図から、期間平均した罹災率の値は、埼玉県で最も大きく、神奈川県で最も小さいことが分かった。したがって、図 4 でみられた埼玉県と神奈川県の水害リスクの相違は、主に両県間での罹災率 (F) の大きさの違いによるものであることが示唆されたといえる。

罹災率 (F) は、総世帯数に対する罹災世帯数の割合である。したがって、その大きさは、各都府県での世帯数、下水道等治水設備の整備状況、水害に対する暴露世帯数、豪雨発生頻度などの諸要因によって決定されると考えられる。

今後、これらの各要因と罹災率 (F) との関係の詳細に分析することによって、各都道府県間における罹災率 (F) の地域性を説明する要因を明らかにすることが必要であると考えられる。

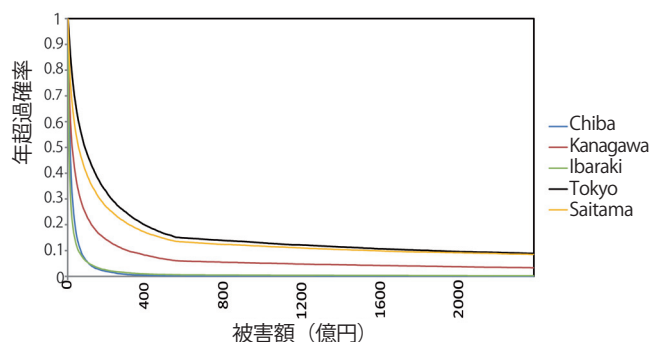


図4 東京都市圏における都道府県別の内水氾濫リスクカーブ

Fig. 4 Flood risk curves of inundation inside the levee in Tokyo metropolitan area.

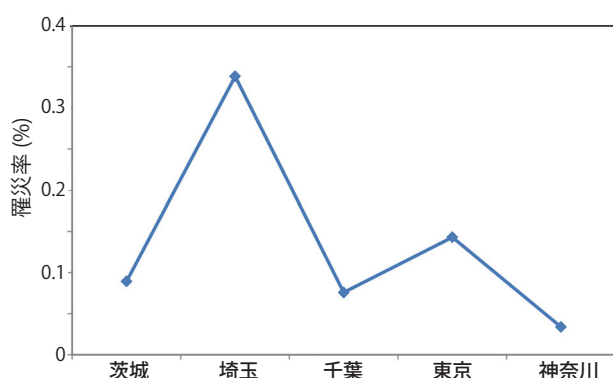


図5 1976年～2008年の間で平均した都道府県別罹災率
Fig. 5 Average of ratio of damaged housing units at each prefecture for the period 1976 ~ 2008.

4. まとめ

本稿では、地球温暖化に伴う気候変動に対する新たな適応策策定へ向けた研究・開発の一貫として、東京都市圏を対象として都道府県単位で内水氾濫に対する脆弱性を水害リスクカーブにもとづいて用いて評価する新たな手法を構築した。

東京都市圏における過去の内水氾濫に関する統計データをもとに、統計的に算出した1万年分の内水氾濫被害額と年超過確率との関係を表す水害リスクカーブを作成することによって、都道府県単位で水害に対する脆弱性の地域差を定量的に評価することが可能になった。

リスクカーブに関する分析の結果、東京都市圏では、東京都や埼玉県で水害リスクが大きく、千葉県や茨城県ではリスクが低いことが明らかになった。おおむね、一般資産価値の大きい都県ほど水害リスクが大きい傾向がみられたが、神奈川県では、資産価値が大きいにも関わらず、水害リスクが比較的小

さいことが明らかになった。この要因として、神奈川県では、罹災率(総世帯数に対する罹災世帯数の割合)が低いことが水害リスクを減少させる要因になっていることが示唆された。一方、罹災率が高い埼玉県の場合は、一般資産価値が小さいにも関わらず水害リスクが大きいことが明らかになった。

今後、自治体レベルでの気候変動に対する適応策の策定に向けて、本稿で明らかになった都道府県による水害リスクの地域性の要因をより詳細に検討することが必要である。特に、罹災率は、豪雨頻度や世帯数、土地利用、治水施設整備状況など様々な要因の影響を受けると考えられるため、これらの諸要因と罹災率との関係を定量的に分析することは、都道府県レベルでの水害リスクの大きさを決定する要因を解明する上で極めて重要である。自治体レベルでの気候変動に対する適応策策定に向けて、将来の気候変動や社会経済的要因の変化を考慮に入れて、将来生じうる水害リスクの変化を定量的に評価することができるように、今回考案した水害リスク評価手法のさらなる高度化に取り組む予定である。

謝辞

本研究を遂行するに際して、国立環境研究所の山形与志樹首席研究員、瀬谷創特別研究員、中道久美子特別研究員(現、東京工業大学)、防災科学技術研究所の中根和郎研究参事、損害保険料率算出機構リスク業務室の皆様および防災科学技術研究所・社会システム研究領域・災害リスク研究ユニットのハザード・リスク勉強会の皆様には、貴重なコメントとご助言をいただきました。また、水害統計データのデジタル化については、防災科学技術研究所の羽鳥優子氏、角里佳氏、高野美穂子氏、松浦玲子氏にご協力いただきました。お世話になった皆様には謝意を表します。

なお、本研究は文部科学省による気候変動適応研究推進プログラム(RECCA)および気候変動リスク情報創生プログラムの一部として行いました。

参考文献

- 1) Apel, H., Thieken, A.H., Mertz, B., and Blöschl, G.A. (2006): Probabilistic Modeling System for Assessing Flood Risks. *Natural Hazards*, **38**, 79-100.
- 2) 国土交通省(2005): 水害対策を考える. (<https://>

www.mlit.go.jp/river/pamphlet_jirei/bousai/saigai/
kiroku/suigai/suigai_3-3-2.html 2012.9.07)

- 3) 藤見俊夫・柿本竜治・山田文彦・廣瀬健康 (2010) : 治水整備による水害リスクカーブの変遷に関する研究. 土木計画学研究・論文集, **27**, 65-70.
 - 4) Grünthal, G., Thieken, A.H., Schwarz, J., Radtke, K.S., Smolka, A., and Merz, B. (2006): Comparative Risk Assessments for the City of Cologne- Storms, Floods, Earthquakes. *Natural Hazards*, **38**, 21-44.
 - 5) IPCC. (2007): *Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, edited by M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, 996p Cambridge University Press, Cambridge.
 - 6) 石垣泰輔・戸田圭一・尾崎 平・馬場康之・井上和美 (2011) : 内水氾濫時における大規模地下空間浸水と避難. 京都大学防災研究所年報, **54**, 471-476.
 - 7) Merz, B. and Thieken, A.H. (2009): Flood risk curves and uncertainty bounds. *Natural Hazards*, **51**, 437-458.
- (2012年 9月20日原稿受付,
2012年10月29日改稿受付,
2012年10月30日原稿受理)

要 旨

本研究では、気候変動の影響に対する対処を念頭に入れた新たな自治体レベルでの風水害に対する適応策策定に向けた研究・開発の一貫として、東京都市圏における過去の水害データにもとづいて、都道府県毎の内水氾濫に対する脆弱性を評価するための新たな手法を考案した。都道府県別に内水氾濫の被害額と年超過確率との関係を水害リスクカーブを構築することによって、水害リスクの地域性を定量的に評価・分析した結果、おおむね、一般資産価値が大きな自治体ほど水害リスクが高い傾向がみられた。しかし、罹災率(総世帯数に対する罹災世帯数の割合)が低い自治体では、一般資産価値が大きくても水害リスクが小さいことが明らかになった。これらの結果は、都道府県レベルでの水害リスクには、資産価値以外に、治水設備整備状況、土地利用、世帯数、豪雨発生頻度などの諸要因が罹災率を介して関係していることを示唆するものである。

キーワード : 水害リスク分析, リスクカーブ, 東京都市圏, 地域性, 気候変動適応策