

26. 地球温暖化に伴う全国の浸水被害額評価

EVALUATION OF FLOOD DAMAGES FOR CLIMATE CHANGE

町田宗一郎*・川越清樹**・風間聡**・沢本正樹***・横木裕宗****, 安原一哉****

Soichiro Machida*, Seiki Kawagoe**, So Kazama**, Masaki Sawamoto***,

Hiromune Yokoki****, Kazuya Yasuhara****

ABSTRACT; Flood damage cost was estimated based on numerical simulation with land-use category and the flood control economic research manual. The flood simulation was carried out by the distributed extreme precipitation data and the flood model in the whole country. The flood damages were assessed by the simulation results every return period and the flood damages calculation method. The results obtained are; 1) The inundation damage cost increases almost linear as the extreme precipitation increases, 2) When considering that the flood control measures to the extreme precipitation until the return period 50 years are completed, new measure costs are expected about 22 trillion yen to the probability precipitation of the return period 100 years, and 3) Similarly, when assuming the return period 30 years, the measures costs of about 36 trillion yen are needed.

KEYWORDS; flood simulation, land use, extreme precipitation, economic loss, counter measure

1. はじめに

現在、気候変動への対応が問題となっている。日本においては、集中豪雨の頻度、量ともに増加することが見込まれており、具体的には、気象庁・気象研究所の地域気候モデルによる研究成果から、100年後の100年確率日降水量は、現在に比べ全国的に20%程増加し、北海道～北東北、北陸、関東では40%増加する地域が多く見られるとしている。この傾向は、平成16年7月の新潟、福井豪雨でもみられた現象と酷似しており、これらの地域の河川では洪水リスクが高まる可能性を示している。よって、この現象に対する経済損失を定量的に見積もることが対策を考える上で重要となる。対策を考えるには、気候変動による適応費用を算出する必要がある。そこで本研究では、温暖化の対策費用の算出をするために、日本全土において整備された再現期間の降雨極値を用い、本来、治水整備によって守られている分から、降雨極値の増加によって、新たに対応が必要となる増加分の定量化を行なった。それと同時に、再現期間ごとに氾濫計算を行うことにより、降雨極値の増加率と浸水被害額の増加率との関係を明らかにした。

2. データセット

氾濫シミュレーションに、標高、土地利用、降雨情報を用いる。これらは、すべて1km×1kmの解像度で整備を行った。氾濫解析の結果も1km²の解像度による分布図となることから、浸水被害額の算定も同解像度の結果である。この1km²の解像度は、多種の社会基盤情報が用意されている。したがって、社会リスク

* 日揮株式会社 JGC Corporation, ** 東北大学大学院環境科学研究科 Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University, *** 東北大学大学院工学研究科 Graduate School of Engineering, Tohoku University, **** 茨城大学理工学研究科 Graduate School of Science and Engineering, Tohoku University

の算定および対策整備の分配の評価に利用しやすい解像度である。

1) 標高データ

国土数値情報の KS-META-G04-56M データに格納された 1km^2 の平均標高値を用いた。

2) 土地利用データ

国土数値情報の KS-META-L03-09M データに格納された 1km^2 の土地利用情報から、各メッシュ内において、最も占める割合が多い土地利用をそのメッシュにおける土地利用として整備を行った。

3) 降雨データ

川越ら(2007)によって、再現期間ごとに日本全国で整備された降雨極値データから、気候変化または土木構造物の設計基準等をふまえ、再現期間 5 年、10 年、30 年、50 年、100 年の降雨極値を用いた。なお本研究では、再現期間 5 年の降雨極値を基準年とし評価を行った。

3. 氾濫モデル

本研究では、河川構造物を考慮せず、原始河川に対して氾濫シミュレーションを行う。よって、日本全体を氾濫原として据え、氾濫モデルを適用した。モデルの形式として、氾濫流の伝播現象を、最も詳細に再現することができる二次元不定流モデルを選択した。式は(1)から(4)に示す。

連続方程式

$$\gamma \frac{\partial D}{\partial t} + \frac{\partial \gamma M}{\partial x} + \frac{\partial \gamma N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

運動方程式

(x 方向) :

$$\begin{aligned} \lambda \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{MN}{D} \right) + \gamma g D \frac{\partial (D+h)}{\partial x} \\ + \gamma g n^2 \frac{M \sqrt{M^2 + N^2}}{D^{7/3}} + \frac{1}{2} \frac{(1-\gamma)}{B} C_D \frac{M \sqrt{M^2 + N^2}}{D} = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

(y 方向) :

$$\begin{aligned} \lambda \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{N^2}{D} \right) + \gamma g D \frac{\partial (D+h)}{\partial y} \\ + \gamma g n^2 \frac{N \sqrt{M^2 + N^2}}{D^{7/3}} + \frac{1}{2} \frac{(1-\gamma)}{B} C_D \frac{N \sqrt{M^2 + N^2}}{D} = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

$$\lambda = \gamma + (1-\gamma) C_M \quad (4)$$

ここで、モデルの各パラメータについては、風間ら(2005)を参考に、以下のように設定した。 x : 東向きの座標, y : 北向きの座標, t : 時間, D : 水深, h : 標高, M, N : x, y 方向の単位幅流量, g : 重力加速度, n : マニングの粗度係数, $(1-\gamma)$: 家屋占有率, B : 家屋の平均寸法, C_M : 家屋の付加質量係数, C_D : 家屋の抗力係数である。家屋は正方形と想定して $C_M = 0.2$, $C_D = 1.0$ とした。 n, γ, B は土地利用に応じて値を変化させる。

4. 被害額算定式

国土数値情報 KS-META-L03-09M データの土地利用分類に従い、基本的な算出方法は治水経済調査マニユ

アル(2005)を参考に、計算を簡略化することに加え、分布的な評価を可能とするため、土地利用ベースで計算方法を下記のように分類した。ここで用いる土地利用は、(1)田 (2)畑地 (3)建物用地 (4)ゴルフ場 (5)幹線交通用地 (6)森林 (7)荒地 (8)その他の用地 (9)河川地及び湖沼 (10)海浜 (11)海水域 とする。以下に項目毎の計算方法を説明する。

(1) 田

$$\text{被害額(千円)} = 489(\text{t/km}^2) \times 285(\text{千円/t}) \times \text{浸水面積(km}^2) \times \text{浸水深別被害率}$$

ただし、 $489(\text{t/km}^2)$ は、単位面積当たりの水稻平年収量の全国平均値である。 $285(\text{千円/t})$ は、平成11年度の米の単位評価額である。

(2) 畑地

$$\text{被害額(千円)} = 5,770(\text{t/km}^2) \times 264(\text{千円/t}) \times \text{浸水面積(km}^2) \times \text{浸水深別被害率}$$

ただし、 $5,770(\text{t/km}^2)$ は、単位面積当たりのトマトの平年収量の全国平均値である。 $264(\text{千円/t})$ は、平成10年度のトマト評価額である。畑地の農作物は、水稻以外の様々な農作物が考えられる。しかし、日本全土における分布的な浸水被害額を評価することを目的としていること、全ての農作物に対する個別の評価は困難と考え、トマトに代表させることとした。トマトの選定理由は、農林水産省による主要な農作物の平均値、 $271(\text{千円/t})$ が、トマトの評価額 $264(\text{千円/t})$ と近似することと、全国で幅広く栽培されている作物であることからである。

(3) 建物用地

建物用地の多くが、現存区分の対象となっている。経済および政策改変に伴い利用状況が変化する事態を考慮すれば、極力簡易的な区分が必要である。そこで、国土数値情報 KS-META-A02-60M「指定地域メッシュ」を利用し、「居住地」と「事業所」に分けることとした。指定地域メッシュには、都市計画区域についての区切りが存在する。都市計画区域は、国土の25.7%を占め、91.6%の人が住んでいる。その中で、市街化調整区域は、国土の約10.3%、つまり、都市計画区域の約4割を占める区域である。市街化調整区域とは、市街化を抑制する区域である。この区域では、開発行為は原則として抑制され、都市施設の整備も原則として行われない。よって、本研究においては、この区域を「居住地」とし、残りの区域を「事業所」とすることにより、建物用地を2種類に分類する。居住地域の被害額は、家屋被害と家庭用品被害を足し合わせることであり算定する。事業所の被害額は、家屋被害と償却・在庫資産を足し合わせることであり算定する。

a) 住宅地被害 = 家屋被害 + 家庭用品被害

b) 事業所被害 = 家屋被害 + 償却・在庫資産被害

a-1) 家屋被害

$$\text{家屋被害(円)} = \text{都道府県別家屋 } 1\text{km}^2 \text{ 当たり評価額(円/km}^2) \times \text{浸水面積(km}^2) \times \text{浸水深別被害率}$$

ただし、都道府県別家屋 1km^2 当たり評価額は平成16年度の評価額を用いた。

a-2) 家庭用品被害

$$\text{家庭用品被害額(千円)} = 14,927(\text{千円/世帯}) \times \text{浸水世帯数(世帯)} \times \text{浸水深別被害率}$$

ただし、 $14,927(\text{千円/世帯})$ は、1世帯当たりの平成16年の評価額である。

b-1) 家屋被害

a-1)と同様の手段で求める。

b-2) 事業所償却・在庫資産

$$\text{償却資産被害額(千円)} = 18,090(\text{千円/人}) \times \text{浸水影響従業員数(人)} \times \text{浸水深別償却資産被害率}$$

在庫資産被害額(千円)=3,084(千円/人)×浸水影響従業員数(人)×浸水深別在庫資産被害率

ただし、18,090(千円/人)及び、3,084(千円/人)は、それぞれ、日本標準産業分類（1993 改訂版）のうち、農業、林業、漁業を除いた平成 16 年度の事業所従業員 1 人当たりの償却資産評価額および在庫資産評価額の平均値である。従業員数については平成 13 年事業所・企業統計調査より求めた。

(4) ゴルフ場

ゴルフ場被害額は、事業所・企業統計調査の大分類項目におけるサービス業被害額として計算する。よって、償却資産と在庫資産の合計額をゴルフ場被害額とする。

ゴルフ場被害額=償却資産+在庫資産(サービス業)

償却資産被害額(千円)=3,667(千円/人)×影響従業者数(人)×浸水深別被害率

在庫資産被害額(千円)=465(千円/人)×影響従業者数(人)×浸水深別被害率

ただし、3,667(千円/人)及び 465(千円/人)は、それぞれ、平成 16 年サービス業従業者 1 人当たりの償却及び在庫資産評価額である。従業員数については平成 13 年事業所・企業統計調査より求めた。

(5) 幹線交通用地

幹線交通用地は、資産からの直接的な推計が困難なため、一般資産被害額との関係から算出する。

幹線交通用地被害額=一般資産被害額×1.694

ただし、一般資産被害額=家屋被害+家庭用品被害+事業所償却・在庫資産被害額 である。1.694 は一般資産被害額に対する公共土木施設の被害率である。

(6) その他の土地利用について

(6)森林 (7)荒地 (8)その他の用地 (9)河川地及び湖沼 (10)海浜 (11)海水域については、浸水に伴う被害はないものと仮定し、被害額は考慮しない。

5. 解析結果および考察

5.1 潜在的な浸水被害額

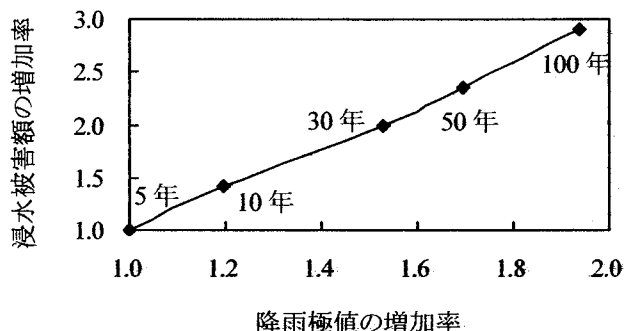
日本全国における降雨極値分布データを用い、原始河川に対し、再現期間ごとに氾濫シミュレーションを行った。本研究では、気候変化または土木構造物の設計基準等をふまえ、再現期間 5 年、10 年、30 年、50 年、100 年の降雨極値を用いた。その結果から、河川構造物を考慮しない潜在的な浸水被害額の算定を行った。表-1 に再現期間ごとの潜在的な浸水被害額の算定結果を示す。基準年とした再現期間 5 年の浸水被害額は約 40 兆円となった。一方、多くの 1 級河川において河川計画の基礎資料となっている再現期間 100 年の確率降雨に対しては、約 110 兆円の被害となる。基準年に対して、再現期間 10 年では、1.4 倍、30 年では 2.0 倍、50 年では 2.4 倍、100 年では 3.0 倍ほどの被害が潜在的に見込まれる。

表-1 再現期間ごとの浸水被害額（単位：億円、基準年：再現期間 5 年）

再現期間	農地	建物用地	公共施設	総被害額	増加率
100 年	7,900	414,700	702,500	1,125,100	2.91
50 年	6,000	335,200	567,700	908,900	2.35
30 年	4,800	283,900	480,900	769,600	1.99
10 年	2,000	202,800	343,500	548,200	1.42
5 年	700	143,400	242,900	387,000	1.00

5.2 降雨極値と浸水被害額との関係

再現期間ごとの降雨極値の増加率を横軸に、浸水被害額の増加率を縦軸にとったものが図-1 である。図-1 より、再現期間の降雨極値の増加率と浸水被害額の増加率は、おおよそ比例の関係にあると言える。



5.3 降雨極値の増加に伴う対策費用の算出

図-1 降雨極値の増加率と被害額の増加率との関係
(基準年：再現期間 5 年)

河川構造物は歴史的治水対策の産物である。戦後 60 年間の治水整備事業により、再現期間 50 年までの降雨イベントに対しては、氾濫が生じないものと仮定とする。また、中小河川や都市化されていない地域では、設定されている整備目標も、その達成率も低いことが予想されるため、再現期間 30 年の降雨に対する被害も評価に加える。この仮定から、被害額の差をとることによって、本来守られている分から、降雨極値の増加によって新たに対応が必要となる増加分の定量化が可能となる。結果を表-2 に示す。再現期間 50 年までの降雨極値に対する治水整備が完了しているとみなしたとき、再現期間 100 年の確率降雨に対して新たな対策費用として必要と考えられる期待額は約 22 兆円、同様に 30 年までの仮定については約 36 兆円となった。この値は、現在、治水計画の事業評価として用いられている費用対効果 (B/C) を 1.0 と仮定すると、そのまま対策費用の目安とすることができる。また、平成 19 年度の河川局予算案によると、国土基盤河川に対する事業費が約 8,000 億円、地域河川に対しては約 4,000 億円であり、合計で約 1.2 兆円である（最近 5 か年はほぼ同様の値）。この値をもとにすると、今回算出した対策費用は、50 年確率までの仮定においては約 18 年分、30 年確率までの仮定では約 30 年分の対策費用と考えられる。加えて、水害統計によると、最近 10 年間の年間の水害被害は数千億円である。しかし、年間の浸水被害が数千億円単位であることに對し、温暖化による降雨極値の変化が日本全体に及ぼす浸水被害の影響は、数十兆円単位で増加することが見込まれるため、この点を十分考慮して治水計画を行うことが望ましいと言える。

表-2 100 年のリターンピリオド降雨に対する適応額 (億円)

再現期間	農地	建物用地	公共施設	総被害額
100-50 年	1,800	79,500	134,700	216,000
100-30 年	3,100	130,800	221,600	355,500

表-4 平成 16 年新潟豪雨の災害実績と降雨極値の増加に伴う算出被害額との比較 (単位：億円)

実績被害額 (出典：平成 16 年度水害統計)			2,400
再現期間	100 年	50 年	100-50 年
被害額	15,300	13,400	1,900
再現期間	100 年	30 年	100-30 年
被害額	15,300	11,000	4,300

表-3 平成 16 年新潟豪雨における AMeDAS 観測所の最大 24 時間降水量および再現期間

AMeDAS 観測所名	日降水量 (mm/day)	再現期間 (年)
栃尾	421	530
長岡	225	175
三条	208	155
寺泊	194	175
新津	101	10
巻	109	15
小国	127	20
十日町	88	2
津南	121	25
小出	136	25
流域平均再現期間		113

5.4 災害実績を用いた値の検証

上記で得られた結果を実際に起きた災害実績によって考察する。平成 16 年は集中降雨頻度の増加により、日本各地で水害が多発した。日本において、昭和 36 年に水害統計調査を開始して以来、最も大きな被害となった年である。この背景に、台風の上陸が過去最大数であったこと、梅雨前線の停滞に伴う豪雨が頻発したことが挙げられる。7 月 12 日夜から 13 日にかけて、日本海から東北南部に停滞する梅雨前線の活動が活発化し、新潟・福島両県で豪雨となった。特に、13 日朝から昼過ぎにかけて、新潟県の長岡地域、三条地域を中心に非常に激しい雨が降った。13 日の日降水量は、新潟県栃尾市で 421mm に達するなど、長岡地域、三条地域の一帯でこれまでの最大日降水量の記録を上回った。新潟県における信濃川流域の AMeDAS 観測所 10 地点（栃尾、長岡、三条、寺泊、新津、巻、小国、十日町、津南、小出）における日降水量から、それぞれ再現期間を導いた。表-3 に結果を示す。表-3 より、この異常気象における信濃川流域の平均再現期間 113 年を得た。本研究で評価に用いた降雨極値の分布データは、再現期間 100 年であることから、この災害実績を検証に用いる。この異常気象について、平成 16 年版水害統計から、新潟県全域での被害額は約 2,400 億円と報告されている。本研究における被害算定により、新潟県において算出した結果と実績被害とを表-4 に示す。実績被害に対して、上述の再現期間 50 年までの仮定における算出値である 1,900 億円を比較すると、数千億円規模の浸水被害を概ね再現できている。よって、本研究で算出された被害額は、異常気象による降雨災害に対して、流域単位での評価においては、実績被害を概ね再現できていると言える。

6. 結 論

治水経済調査マニュアルを参考に、土地利用分類による簡易な浸水被害額の算定方法を作成した。降雨極値の分布データと氾濫モデルを用いて、全国で氾濫シミュレーションを行った。この結果と作成した被害額算定法から、想定される浸水被害を再現期間ごとに評価した。本研究から、以下の結論を得た。

- 1) 再現期間の降雨極値の増加と浸水被害額の増加は、比例の関係にある。
- 2) 再現期間 50 年までの降雨極値に対する治水整備が完了しているとみなしたとき、再現期間 100 年の確率降雨に対して、新たな対策費用として必要と考えられる期待額は約 22 兆円である。
- 3) 同様に、再現期間 30 年までの仮定では、約 36 兆円の対策費用が必要となる。

また、本研究で算出された被害額について、平成 16 年の異常気象災害の実績被害との検証を行ったところ、流域単位で概ね再現できていることを確認した。これらの計算は、相対的な被害額の分布情報を知ることが可能になったが、適応額の予測において一律な整備水準を考慮していることや、期待値の導入をしていない等、改善する必要がある。今後は、地域レベルの詳細な被害額推定と適応額推定結果との比較を行い、本手法の検証を進めると同時に、気候変動の適応策について考察する予定である。

謝辞

本研究は、環境省地球環境研究総合推進費(S-4)：「温暖化の危険な水準及び温室効果ガス安定化レベル検討のための温暖化影響の総合評価に関する研究」から援助を受けました。ここに記して謝意を示します。

参考文献

- 1) 和田一範, 村瀬勝彦, 富澤洋介：地球温暖化に伴う降雨特性の変化と洪水・渇水リスクの評価に関する研究, 土木学会論文集, No.796/II-72, pp.23-37, 2005.
- 2) 川越清樹, 風間聡, 萱沼和紀, 沢本正樹：数値地理情報と降雨極値データを利用した土砂災害発生確率モデルの構築, 自然災害科学, 12pp, 2007 (投稿中).
- 3) 風間聡, 長尾昌朋, 武藤裕則, 多田毅：土地利用を考慮した氾濫水理解析と予測, 平成 16 年度河川懇談会共同研究資料, 117pp, 2005.
- 4) 国土交通省河川局：治水経済調査マニュアル (案), 106pp, 2005.
- 5) 国土交通省河川局：平成 16 年版水害統計, 2006