降雨極値データを利用した気候変動に伴う全国浸水被害額評価

EVALUATION OF FLOOD DAMAGES BY NUMERICAL SIMULATION AND EXTREME PRECIPITATION DATA

佐藤歩[1]・川越清樹[2]・風間 聡[3]・沢本正樹[4]
Ayumu SATO, Seiki KAWAGOE, So KAZAMA and Masaki SAWAMOTO

[1]学生会員 東北大学大学院環境科学研究科(〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-20)
[2]学生会員 博(環境科学) 東北大学大学院環境科学研究科(〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-20)
[3]正会員 博(工) 東北大学大学院環境科学研究科(〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-20)
[4]フェロー会員 工博 東北大学大学院工学研究科(〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-06)

Flood damages were estimated by the flood simulation model and cost-benefit for land use types. Economical value in each land use is obtained from the flood control and the economic research manual (The Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2005). The results obtained are as follows; 1) the economic damage by flood proportionally increases with increasing return period. 2) the expectation value of mean damage for 100 years return period is about 11 trillion yen per year, and 3) the estimated amount of damage in Niigata prefecture in 2004 is comparatively same with the values estimated by government.

Key Words: *flood damage, land use, flood simulation, economic loss, unit price*

1．序 論

近年，気候変動への対応に社会の関心が寄せられている．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る．例えば，気象庁・気象研究所の地域気候モデルによる研究成果[1)]によると，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．これらの傾向は，平成16年7月の新潟，福井豪雨に代表される異常多雨の頻発を示唆し，気候変動に伴う災害の増加を危惧させる．国土交通省河川局水害統計[2)]によると国土の1割にすぎない河川氾濫区域に資産の75%が集中する日本列島において，特に懸念される災害が洪水に伴う河川災害である．気候変動により，河川氾濫区域の拡大，既設対策では対応できない現象の出現が予想され，洪水リスクの増加が確実視される．今後，現行の治水対策に対する経済損失の定量的変化を見積もることが対策を考える上で重要となる．この評価には，気候変動による適応費用を算出する必要がある．地球温暖化研究による経済影響研究は，「温暖化による経済影響評価」と「温暖化対策による経済影響評価」の二つに大別される．前者は温暖化による経済損失を算出した研究である．さらに（1）直接的な被害費用および対策費用の評価[3), 4)]，（2）市場型の影響（市場が存在する財やサービスの生産と消費への影響）を考慮した被害費用の評価[5)]，（3）非市場型の影響（市場が存在しない財やサービスの生産と消費への影響）を考慮した被害費用の評価[6)]，に分類される．直接的な被害費用および対策費用の計測を行った伊藤・根木[3)]は，海面上昇に伴う運輸省所管の港湾区域における浸水被害ポテンシャルの推計および港湾施設・沿岸保全施設での対策費用を評価した．現状では，高潮・津波災害時に海面以下となる面積は6400km^2，人口は1400万人，資産は120兆円と推計された．そして，1mの海面上昇が生じた場合では，それぞれ7800km^2，1730万人，150兆円の被害に拡大することを予測した．この被害を防ぐための対策として施設の嵩上げと改築にかかる費用は12兆円（港湾施設：8兆円，海岸保全施設：4兆円）と評価された．この研究では概算的に潜在的な最大被害を計算し，人為的に保護すべき土地の面積と重要度を示している．しかしながら，温暖化対策による経済影響評価は，海面上昇の水位を設定し，予想される浸水被害を算出し，対策費用の算出を試みる，といった沿岸域における議論にとどまっており，陸域における浸水被害の適応費用といった議論には至っていない．本研究では，河川域を対象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，気候変動に対応可能

な洪水氾濫による被害の定量化を目的とする．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の関係を明らかにした．また，上記で得られた結果を実際に起きた災害実績と比較し，その精度を検証した．

2．データセット

氾濫計算に，標高，土地利用，再現期間の降雨極値の数値地理情報を用いる．これらは，すべて 1km×1km の解像度のグリッドセルデータである．氾濫計算の結果も 1km^2 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示される．1km^2 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，各グリッドセル内において，最も占める割合が多い土地利用をそのグリッドセルにおける土地利用と設定した．

(3) 降雨データ

降雨極値の数値地理情報をAMeDAS観測所における1980年から2000年の24時間降水量データとメッシュ気候値2000(発行：気象庁)を利用して作成する．手順の概要はa)からc)のとおりである．

a) AMeDAS 観測所毎に経年の最大 24 時間降雨量を頻度解析し，再現期間に対する 24 時間降雨量を求める．
b) 再現期間毎の降雨極値と AMeDAS 観測所の位置するメッシュ気候値の関係を気候タイプ毎の回帰式で示す．
c) 回帰式にメッシュ気候値を代入することで，再現期間に対する降雨極値の分布データが作成できる．

AMeDAS観測所に対する降雨極値の頻度解析に，確率分布型として極値分布であるGEV(Generalized Extreme Value)分布，母数推定法としてPWM(Probability Weight Moment)法を用いる．降雨極値は日本列島各地のAMeDAS観測所1024箇所のデータから求められた．また，1km^{2}の解像度による24時間降雨極値の数値地理情報を，AMeDAS観測所毎の降雨極値とメッシュ気候値2000に格納された月降水量を利用して作成した．メッシュ気候値2000は，地形因子を説明変数にする重回帰式から導かれた降水の数値地理情報である．牛山ら[7]はAMeDAS観測所の暖候期平年降水量と日降雨極値の関係を示した．統計的に有意な相関を利用して，回帰式による日降雨極値算定モデルを作成している．このアルゴリズムを用いて，メッシュ気候値に格納された暖候期降水量の利用による降雨極値の分布データを作成した．しかし，牛山らの日降雨量の結果を参考にすると，回帰式と降雨極値に約500mmの誤差が認められるAMeDAS観測所も存在する．この誤差を極力小さくするため，日本列

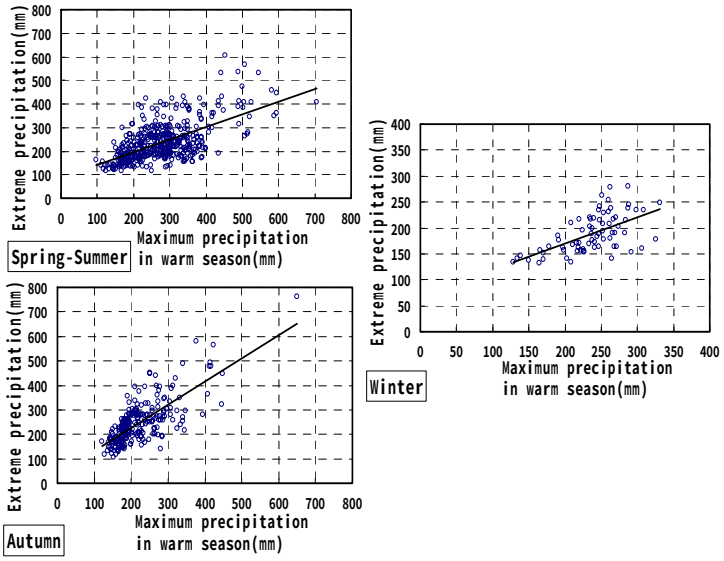
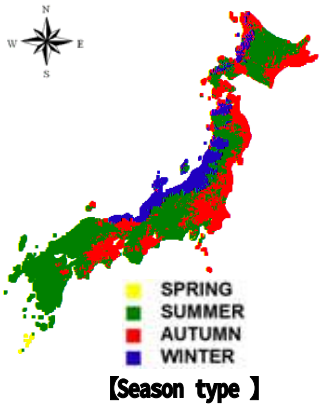
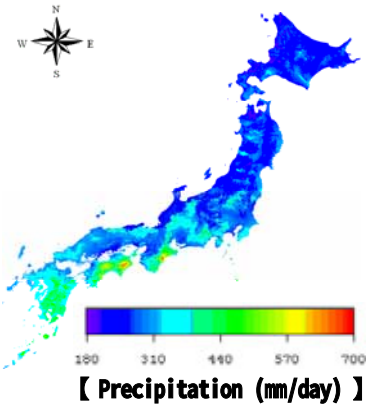


図-1 季節別の暖候期月最大降水量と再現期間30年の24時間降雨極値の関係



【Season type】

図-2 降水の気候タイプ分布



【Precipitation (mm/day)】

図-3 再現期間100年の降雨極値分布

表-1 暖候期の月最大降水量24時間降雨極値の関係要素

再現期間	季節型	相関係数	回帰式	
			係数	切片
10年	春型･夏型	0.66	0.37	53.39
	秋型	0.77	0.60	26.68
	冬型	0.71	0.36	39.91
30年	春型･夏型	0.69	0.53	88.10
	秋型	0.80	0.94	38.42
	冬型	0.67	0.51	67.43
100年	春型･夏型	0.64	0.64	121.37
	秋型	0.70	1.19	52.11
	冬型	0.62	0.64	89.24

島を気候特性から区分し，複数の回帰式による24時間降雨極値算定モデルの作成を試みた．本研究に用いる降雨の気候は最大月降水量の該当する季節から分類される．春型は3月から5月，夏型は6月から8月，秋型は9月から11月，冬型は12月から2月と区分した．春と夏型，秋型，冬型毎の暖候期中の最大月降水量と，再現期間に対する降雨極値から，気候に応じた回帰式を求める．春季に最大降雨量を示す地域は，薩南諸島以南のみであること，この地域の夏季と春季の降雨差はほとんどないことの理由から夏型に統合することとした．各気候タイプに対し，暖候期中の月最大降水量と再現期間30年の降雨極値の関係を回帰式で示したものが**図-1**である．回帰式との誤差は，最大でも250mm程度に改善されていることがみてとれる．**図-2**はメッシュ気候値2000から作成された日本列島の気候タイプの分布図である．各メッシュの暖候期中の月最大降水量を各気候タイプに応じた回帰式に導入することで，日本列島全域の降雨極値分布を作成できる．**表-1**に各気候タイプにおける暖候期中の月最大降雨量と降雨極値の関係要素を示す．**図-3**に再現期間100年の降雨極値分布を示す．

３．氾濫モデル

本研究では，堤防やポンプ場といった河川構造物を考慮しない河川に対して氾濫シミュレーションを行う．被害ポテンシャルを計算する上で，本研究はベースとして位置づけられる．よって，流出域を定義せず，日本全体を氾濫原として据え，全域に氾濫モデルを適用した．氾濫水は標高の低い部分へと流れ込むため，河道に戻り排除される．モデルの形式は，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[8]．式は(1)から(4)に示す．

連続方程式

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

運動方程式

（x方向）：

$$\lambda\frac{\partial M}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda\frac{M^2}{D}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\lambda\frac{MN}{D}\right)+\gamma gD\frac{\partial(D+h)}{\partial x}+\gamma gn^2\frac{M\sqrt{M^2+N^2}}{D^{7/3}}+\frac{1}{2}\frac{(1-\gamma)}{B}C_D\frac{M\sqrt{M^2+N^2}}{D}=0 \qquad (2)$$

（y方向）：

$$\lambda\frac{\partial N}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda\frac{MN}{D}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\lambda\frac{N^2}{D}\right)+\gamma gD\frac{\partial(D+h)}{\partial y}+\gamma gn^2\frac{N\sqrt{M^2+N^2}}{D^{7/3}}+\frac{1}{2}\frac{(1-\gamma)}{B}C_D\frac{N\sqrt{M^2+N^2}}{D}=0 \qquad (3)$$

表-2　土地利用ごとの粗度係数一覧

土地利用番号	土地利用	粗度係数
1	田	0.06
2	その他の農用地	0.05
3	森林	0.06
4	荒地	0.05
5	建物用地	0.05
6	幹線交通用地	0.047
7	その他の用地	0.05
8	河川地及び湖沼	0.03
9	海浜	0.03
10	海水域	0.03
11	ゴルフ場	0.05

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

ここで，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．家屋の占有率は市街地で大きい傾向があるが，家屋の平均寸法は場所による傾向はみられないことが認識されている[9]．土地利用が建物用地の場合，家屋の平均寸法は一定とした．本モデルでは，粗度係数は水深によって変化するとし，水深がある程度深くなると底面の影響は無視できるため，粗度係数はその土地利用による値となる[9]．粗度係数は，水理公式集[10]を参考に**表-2**のように設定した．

４．被害額単価の作成

国土数値情報 KS-META-L03-09Mデータに格納されている15の土地利用分類に従い，治水経済調査マニュアル[11]の「直接被害の対象資産」を参考に，土地利用ごとの計算手順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．計算式は治水経済調査マニュアル[11]で示されている手法をそのまま用いた．以下に項目毎の計算方法を説明する．

(1) 田

被害額(千円)＝489(t/km^2)×285(千円/t)×浸水面積(km^2)×浸水深別被害率

ただし，489t/km^{2}は，単位面積当たりの水稲平年収量の全国平均値[12]である．285千円/tは，平成11年度の米の単位評価額[13]である．

(2) 畑地

被害額(千円)＝5,770(t/km^2)×264(千円/t)×浸水面積(km^2)×浸水深別被害率

ただし，5,770t/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[12]である．264千円/tは，平成10年度のトマト評価額[13]である．畑地の農作物は，水稲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である．

そこで，前作物中最も平均的な数量を表す代表種を作物統計[12]より抽出したところ，トマトの評価額が264千円/t（全国作物平均評価額：271千円/t）であり最も近い．この値を計算に利用する．ここである作物を代表させることで，今後価格の地域差を反映させることができる．

(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「指定地域メッシュ」を利用し，住宅地と事業所に分けることとした．

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

a-1) 家屋被害

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

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[11]を用いた．

a-2) 家庭用品被害

家庭用品被害額(千円)＝14,927(千円/世帯)×浸水世帯数(世帯)×浸水深別被害率

ただし，14,927千円/世帯は，1世帯当たりの平成16年の評価額[11]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

償却資産被害額(千円)=18,090(千円/人) ×浸水影響従業員数(人)×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/人除いた平成16年度の事業所従業者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[11]である．

(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) (人)×浸水深別被害率

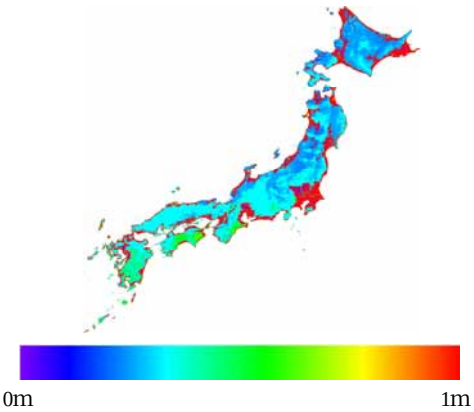


図-4 再現期間100年の確率降雨に対する最大浸水深分布

表-3 再現期間ごとの被害額（単位：億円）

	agricultural lands	residential areas	utilities	total damages	increase rate
100year	7,867	414,672	702,455	1,124,994	2.9
50year	6,032	335,149	567,742	908,923	2.3
30year	4,820	283,883	480,897	769,600	2.0
10year	2,039	202,746	343,452	548,238	1.4
5year	734	143,392	242,907	387,033	1.0

償却資産被害額(千円)＝3,667(千円/人)×影響従業者数

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[11]である．

(5) 幹線交通用地

幹線交通用地被害額は，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[10]である．

(6) その他の用地について

(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

氾濫計算の結果として，**図-4** に再現期間 100 年の確率降雨に対する氾濫計算の結果による，各グリッドセルの最大浸水深の分布を示す．**表-3** に再現期間ごとにおける被害額の算定結果を示す．標高データと比較すると，関東の広い範囲に，浸水深の領域が認められる．また，近畿以南は比較的浸水領域が狭い傾向を示す．ただし，再現期間 100 年の降雨極値分布（**図-**

3）と比較すると，九州，四国地方といった降雨極値の大きい地域は，最大浸水深も大きい特徴を持つ．一方，相対的に降雨極値の小さい地域である北海道や東北地方では，最大浸水深の分布も小さい傾向が現れている．このように，解析結果から地域的な洪水の特徴を明らかにした．表-3 から基準年とした再現期間 5 年の浸水被害額は約 40 兆円であることに対し，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．

6．考察

(1) 降雨極値と被害額の関係

降雨極値と浸水被害額との関係を調べるために，再現期間 5 年の降雨極値の被害を基準に，再現期間毎の増加率を示した．**図-5** に再現期間 5 年の降雨極値を 1 とした時の再現期間 10，30，100 年の降雨極値の増加率の分布図を示す．再現期間 5 年に比べ，10 年では約 1.2 倍，30 年では約 1.5 倍，100 年では約 2.0 倍の増加があることが分かる．再現期間ごとの降雨極値の増加率を横軸に，再現期間ごとの被害額の増加率を縦軸にとったものが**図-6** である．**図-6** より，現在気候に基づいた解析では，降雨極値の増加に伴い，洪水被害はほぼ線形に増加することが分かる．上述したように，気象庁・気象研究所の地域気候モデルによる研究成果では，100 年後の 100 年確率日降水量が，現在に比べ，全国的に 20%程増加する．この結果によると，洪水被害も 20%ほど増加すると考えられる．

また，治水施設のように全体としてのリスクを低下させるプロジェクトについては，リスクプレミアムを考慮する必要がある．例えば，50 年に1 回の確率で1,000 万円の被害を被る選択肢と，これを回避するために毎年20 万円を支出する選択肢とがある場合，年間の損失の期待値はともに20 万円であるが，通常後者が有利と判断する．これは，所得の限界効用逓減により，1,000 万円の損失による犠牲の方が20 万円の損失による犠牲の 50 倍よりも大きいためであり，両者の差異がリスクプレミアムとなる．リスクプレミアムがある場合，通常の投資よりも低い割引率で評価するか，もしくは便益を高く評価することが考えられる．このため，解析で得られた被害額を，治水経済調査マニュアル[10]の年平均被害軽減期待額算定手法を参考に，確率区間ごとに年平均被害期待額として算出した．結果を**表-4**に示す．このように再現期間ごとの被害を定量的に対比させることで，降水量や確率規模の違いによって期待される被害の大きさを把握することができる．また，算出した値は治水事業を行う際の基礎資料となる．再現期間100年までの年平均被害期待額の累計は，約11兆円である．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3,000億円，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ヵ年はほぼ同様の値）．この値をもとにすると，今回算出した年平均被害期待額は約9年分の対策費用と考えられる．

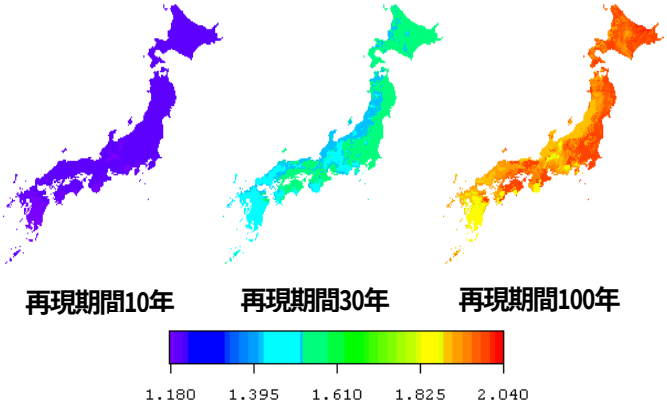


図-5　再現期間5年の降雨極値を1とした時の再現期間10，30，100年降雨極値の増加率

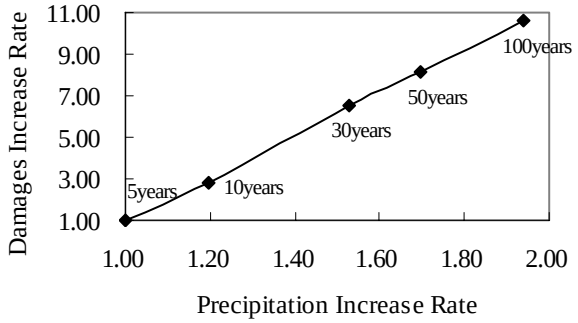


図-6　降雨極値と被害額との関係（基準年：再現期間5年）

表-4　再現期間ごとの年平均被害期待額（単位：億円）

再現期間(単位:年)	年平均超過確率	被害額	区間平均被害額	区間確率	年平均被害期待額	年平均被害期待額の累計
5	0.20	387,033				
10	0.10	548,238	467,636	0.100	46,764	46,764
30	0.03	769,600	658,919	0.067	43,928	90,691
50	0.02	908,923	839,262	0.013	11,190	101,882
100	0.01	1,124,994	1,016,959	0.010	10,170	112,051

(2) 災害実績を用いた値の検証

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．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生じた．**図-7**に示す新潟県における信濃川流域のAMeDAS観測所10地点における日降水量から，それぞれ再現期間を導いた．**表-5**に結果を示す．**表-5**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[2)] から，新潟県全域での被害額は2,394億円と報告されている．堤防は歴史的治水対策の産物であり，戦後60年で再現期間50年までの降雨に対する日本の河川整備事業は完成したと仮定する．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．この被害算定により，新潟県において算出した結果と実績被害とを**表-6**に示す．実績被害に対して，再現期間50年までの仮定における算出値である1,937億円を

表-5　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**

表-6　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）			**2,394**
再現期間	100年	50年	100-50年
被害額	15,283	13,346	**1,937**

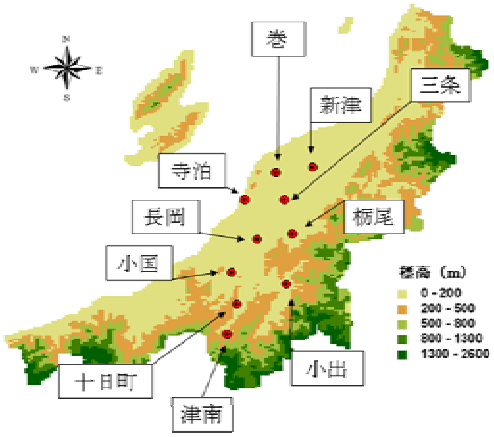


図-7　新潟県における信濃川流域のAMeDAS観測所

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．

7．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） 現在気候においては，再現期間の降雨極値の増加に伴い，被害はほぼ線形に増加する．
2） 再現期間100年までの年平均被害期待額の累計は約11兆円であり，平成19年度の国土基盤河川に対する事業費の約9年分に相当する．
3） 平成16年新潟豪雨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．

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，冨澤洋介：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) 国土交通省河川局：平成16年版水害統計，104p，2006.
3) 伊藤隆夫，根木貴史：海面上昇による影響の対応戦略の考え方について，第1回地球環境シンポジウム講演集，pp.228-233，1993.
4) S.Kitajima, T.Ito, N.Mimura, Y.Tsutuki, K.Izumi.: Impacts of sea level rise and cost estimate of countermeasures in Japan. in Vulnerability assessment to sea level rise and costal zone management, Proceedings of the IPCC Eastern Hemisphere Workshop, pp.115-123, 1993.
5) 大野栄治：海面上昇による土地損失の影響の経済評価（タイの場合），環境システム研究論文集，28，pp.445-452, 2000.
6) H.Morisugi, E.Ohno, K.Hoshi, A.Takagi, Y.Takahashi.: Definition and Measurement of a Household's Damage Cost Caused by an Increase in Storm Surge Frequency Due to Sea Level Rise，Journal of Global Environment Engineering, 1, pp.127-136, 1995.
7) 牛山素行・寶馨：AMeDASデータによる暖候期降水量と最大1時間・日降水量の関係，水文・水資源学会誌，Vol.13, No.4pp.368-374, 2004.
8) 宮城昌和：水路の粗度係数を考慮した氾濫シミュレーション，東北大学卒業論文, 65p, 2005.
9) 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，117p，2005.
10)土木学会：水理公式集，丸善，89p，1999.
11)国土交通省 河川局：治水経済調査マニュアル(案)，91p，2005.
12)農林省農林経済局統計調査部：平成14年版作物統計，2002.
13)建設省 河川局砂防部：地すべり対策事業の費用便益分析マニュアル(案)，34p，2000.

（2007.9.30 受付）