

# 遊水池と土地利用規制効果の評価

柿本 竜治<sup>1</sup>・早島 健吾<sup>2</sup>・山田 文彦<sup>3</sup>・藤見 俊夫<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 熊本大学教授 大学院自然科学研究科 (〒860-8555 熊本市中央区黒髪2丁目1-39)  
E-mail:kakimoto@gpo.kumamoto-u.ac.jp

<sup>2</sup>非会員 熊本市 都市建設局 (〒860-8601 熊本市中央区手取本町1-1)

<sup>3</sup>正会員 熊本大学教授 大学院自然科学研究科 (〒860-8555 熊本市黒髪2丁目1-39)  
E-mail:yamada@gpo.kumamoto-u.ac.jp

<sup>4</sup>正会員 熊本大学教授 大学院自然科学研究科 (〒860-8555 熊本市黒髪2丁目1-39)  
E-mail:fujimi@gpo.kumamoto-u.ac.jp

河川改修や洪水調整池等の治水整備の推進は、洪水による被害や犠牲者を着実に減少させてきた。ハード整備による水害頻度の減少は、かつて河川の氾濫原だった地域の都市化を促し、国土が狭小なわが国では経済活動を支える人口の受け入れ先ともなった。一方で、ハード整備による洪水対策は、ある想定された水準までの防災対策であり、その水準を超えた場合の対策については顧みられていない。したがって、想定された水準を超えた洪水が発生した場合、そのような地域は、都市化されたが故に以前と比べて被害が甚大となる。これまでの治水対策事業は、想定される洪水に対して地域の治水安全度を高めるとともに、土地利用の変化に伴い低頻度高被害リスクを孕むというジレンマを抱えながら進められてきた。近年、従来からのハード対策に加え、開発制限や建築規制による土地利用規制を組み合わせた流域管理的治水が注目されている。本研究では、熊本市の水害危険地域を対象に遊水池整備や土地利用規制の効果を水害リスクカーブによって評価し、流域管理的治水政策の評価・検討への水害リスクカーブの適用性を検討する。

**Key Words :** *flood risk curve, integrated flood risk management, economic loss, land-use regulation*

## 1. はじめに

近年、地球温暖化等による集中豪雨や洪水流量の増大が顕著となってきており、現状の治水整備水準では住民の生命や財産の安全を確保するのに十分であるとは言いがたい。また、厳しい財政状況や人々の環境意識の高まりのなかで、ダム建設などによる治水安全度を高めることも難しい状況にある。一方、避難訓練、自主防災組織の設立、洪水ハザードマップの各戸配布などのソフト対策も、住民の防災への関心の低さ、地域コミュニティの脆弱化などにより、その効果は限定的である。この袋小路的な状況の打開策として、治水施設整備と併せて土地利用の規制と誘導を行う「流域管理的治水」が有効であると考えられる。端的に言えば、洪水に対して危険な場所の開発を規制する、または、利用を制限するという治水政策である。

流域管理的治水を早くから実践しているのは、イギリス、フランス、ドイツなどの欧州諸国である<sup>1)</sup>。そこには、地域の治水安全度に応じて定めた洪水危険ゾ

ーンを設定し、洪水ハザードマップを国民に積極的に公開し、水害土地利用規制を行っているところもある<sup>2)</sup>。日本においては実質的な土地利用規制はないが、市街化調整区域の指定や建築基準法第39条による災害危険区域の設定などがある。災害危険区域の指定については、多くが土砂災害に関する区域であり、出水に関しては少ない<sup>3)</sup>。日本の多くの都市は想氾区域内に形成されており、水害防止に関する土地利用規制は、経済活動を阻害しかねないと導入が躊躇されていた。しかしながら、人口減少に転じた現在、被害に遭いにくい土地利用へ転換を図る時期を迎えていると言えよう。

適切な土地利用による水害リスクの軽減といった流域管理的な水防の考え方が提示されてからかなりの年月が経過している。しかしながら、そうした水防災手法の適用性や妥当性、現実可能性に関する分析は、それほど多くなされていない。吉田・高木ら<sup>4)</sup>は、水害リスクを内生化した立地モデルを構築し、洪水保険、土地利用規制、治水施設の影響を数値シミュレーションしている。一方、寺本、市川ら<sup>5)</sup>も同様に土地利用

モデルを活用して、複数の土地利用規制の間で適用性を費用便益分析に基づいて比較している。前者は、既往洪水の下での提案政策のシミュレーションであり、後者は再現期間毎の洪水被害状況から規制の範囲を探し出そうとしている。

流域管理的治水政策は、従来用いられている期待被害額を指標としたのでは、適切に評価できない場合がある。なぜなら、期待被害額では、甚大な被害でもその発生確率が小さいリスクと、被害は小さいが頻繁に生ずるリスクが同程度に評価されてしまうためである。人々の安心・安全を確保するためには前者の低頻度大被害リスクを重視すべきであろう。本研究では、水害リスクカーブ<sup>7)</sup>を用いて低頻度大被害リスクを考慮する。水害リスクカーブは、超過確率とそのときの被害額の関係を表しており、ある超過確率の洪水に対する土地利用状況の脆弱性の定量的な評価が出来る。リスクカーブに基づく災害リスク評価は、地震に関しては多く見られるものの、水害に関しては数少ない。リスクカーブによる水害評価にはMerz and Thielen<sup>9)</sup>などがあるが、これらは現在の土地利用を所与としている。一方で、土地利用の変化を考慮して水害リスクを評価した研究として吉田・高木<sup>5)</sup>やBrouwers<sup>10)</sup>があるが、期待被害額により評価されている。本研究は、水害時の浸水域での土地利用規制導入効果の検証を水害リスクカーブによって行うことを目的し、それが本研究の特徴でもある。

具体的には、熊本市壺川地区を対象地域に、地区の中央を流れる坪井川に建設された遊水地の効果を水害リスクカーブにより検証し、治水整備が低頻度大被害リスクを高めている可能性を指摘する。次に、被害の大きさに影響する洪水流の流体力に基づく水害危険度で、水害時の浸水域を分類する。そして、その水害危険度を考慮した上で土地利用規制導入効果や遊水地などハードな河川整備効果の特徴を水害リスクカーブに基づいて整理する。

## 2. 遊水地整備の効果

### (1) 対象地域の概要

研究の対象地域は、図-1に示す熊本市坪井川遊水池周辺の熊本市壺川地区である。地区の中心部を2級河川の坪井川が流れており、壺川地区は過去に何度も水害に見舞われてきた。そのため、壺川から清水に広がる水田地域を機能的氾濫原として有効利用する坪井川遊水地が建設<sup>11)</sup>され、1997年より運用が開始された。現在の坪井川は、50年確率で堤防等の河道や遊水地の整備が終了している。坪井川遊水地の運用が開始されて以降、対象地区で、大規模な洪水は発生していない。なお、対象地域を細線で分けた15の区画は、国土地理院の定める第4次地域区画(500mメッシュ)に一致している。



図-1 対象地域：熊本市壺川地区

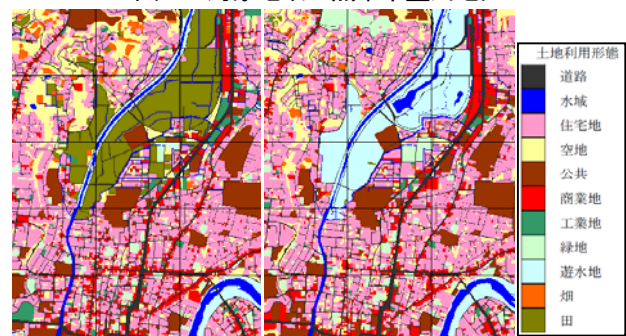


図-2 対象地域の土地利用状況

### (2) 再現期間別氾濫解析

遊水地運用前の土地利用が反映された1980年と運用が開始された後の2005年の状況の下で氾濫シミュレーションを行う。洪水をもたらす降雨量の再現期間は、5年、10年、20年、50年、100年と設定する。具体的には、たとえば、再現期間50年の計画降雨量は256mm/9hr、100年は287mm/9hrを設定している。氾濫シミュレーションでは、まず、低平地で内水氾濫が起り、河川流量が坪井川の通水能力を超えた時点で外水氾濫が発生すると仮定した。なお、坪井川の通水能力は、泥川との合流部付近で、1980年時点で190m<sup>3</sup>/s、2005年時点で遊水地と合わせて320m<sup>3</sup>/sと設定している。また、流出モデルは貯留関数モデルを用いている。これらの降雨解析と流出解析は熊本県庁河川課による坪井川水系報告書を基に行った。

内水氾濫の解析には、内水氾濫の水位で一定とし、解析領域の低地部に溜まった水量と領域内に降った降雨の総雨量が釣り合うように浸水深を決定するレベル湛水法を用いている。外水氾濫解析は、洪水氾濫の現象を下記に示す2次元の長波方程式を差分法で離散化し計算した。

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial(uM)}{\partial x} + \frac{\partial(vM)}{\partial y} + gh \frac{\partial(h+z)}{\partial x} = -g \frac{n^2 M \sqrt{M^2 + N^2}}{h^{7/3}} \quad (1)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial(uN)}{\partial x} + \frac{\partial(vN)}{\partial y} + gh \frac{\partial(h+z)}{\partial x} = -g \frac{n^2 N \sqrt{M^2 + N^2}}{h^{7/3}} \quad (2)$$

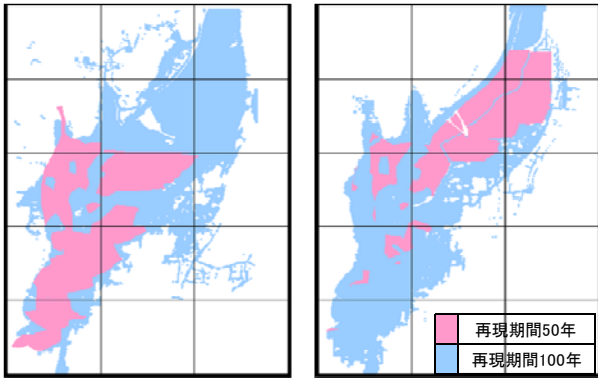


図-3 再現期間50年と100年の浸水域の比較

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

ここで、M：X方向流量(m<sup>3</sup>/s)、N：Y方向流量(m<sup>3</sup>/s)、u：X方向速度(m/s)、Y方向速度(m/s)、h：水深(m)、z：標高(m)、n：粗度係数、g：重力加速度、である。なお、氾濫箇所は、複数の候補で氾濫シミュレーションを実行し、浸水域が一番拡大した箇所に設定した。

1980年と2005年の再現期間50年と100年の浸水域を図-3に示す。再現期間50年の場合、遊水地が建設される前の1980年は、坪井川の下流の地区の南西側に浸水域が広がっていたが、遊水地が運用されてからは、それらの地域での浸水域がかなり縮小している。2005年に北東側に浸水域が広がっているのは、大部分が遊水地である。再現期間100年の場合も、遊水地が運用されてから浸水域が全体的に縮小しているのが分かる。浸水域の広がりから見ると、遊水地が機能的氾濫原としての役割を果たしている。

### (3) 水害リスクカーブによる遊水地の効果検証

氾濫シミュレーションの結果と図-2に示した土地利用状況から、浸水被害額を算定する。本研究では、メッシュ単位で被害額を算定し、対象地域全体で総計することで、浸水による経済的損失の総額を算定する。そこで、1つのメッシュ全体をある用途の土地利用が占有していると仮定しても差し支えない大きさである5mメッシュ単位で浸水被害額を算定する。各用途の浸水被害額は、治水経済調査マニュアル<sup>12)</sup>にしたがって算定される。表-1に示す各用途の1メッシュ当たり換算浸水被害額に、地形勾配と浸水深さ応じた各用途の被害率を掛け合わせることで、メッシュ単位の被害額が算定される。

再現期間別に浸水被害額を算定し、その再現期間に対応した超過確率との関係を表すものが、水害リスクカーブである。ここで、再現期間5年は超過確率20%、10年は10%、20年は5%、50年は2%、100年は1%にそれぞれ対応する。1980年および2005年の水害リスクカーブを図-4に示す。遊水地建設後の2005年の水害リスクカーブが、1980年の水害リスクカーブに対して大きく左にシフトしている。これは、各超過確率に対して浸水

表-1 各用途のメッシュ単位あたり浸水被害額

用途区分	評価額と内訳
商業用途	81,935,300円/25m <sup>2</sup> 家屋資産+事業所償却+在庫資産+付加価値額
工業用途	64,037,817円/25m <sup>2</sup> 家屋資産+事業所償却+在庫資産+付加価値額
住宅用途	7,019,523円/25m <sup>2</sup> 家屋資産+家庭用品+世帯清掃労働対価
田畑	3,478円/25m <sup>2</sup> 収穫される農作物の平均価格

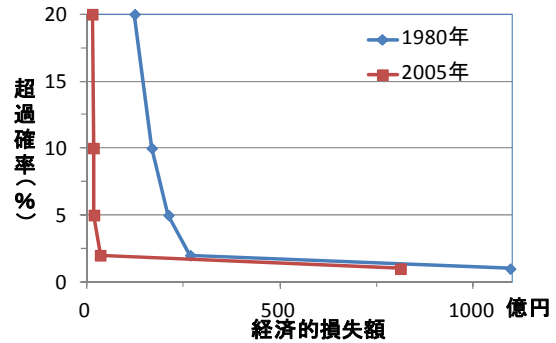


図-4 遊水地整備前後での水害リスクカーブの変化

被害額が低下していることを示しており、遊水地建設の効果を確認できる。2005年の水害リスクカーブは、再現期間50年以下でほぼ垂直になっており、内水氾濫による被害を受けるリスクも減少したことが分かる。一方で、遊水地建設後でも、再現期間100年規模の外水氾濫が発生した場合、被害は依然として甚大である。図-3に示したように浸水域は1980年の半分程度に減少しているが、被害額の減少はそれほど大きくない。これは、浸水域に多くの住宅系や商業系の用途が立地しているためである。したがって、治水整備が低頻度大被害リスクを誘発している可能性が指摘される。

## 3. 水害危険区域の設定

### (1) 水害危険度の分類

建築基準法第39条に、「地方公共団体は、条例で、津波、高潮、出水等による危険の著しい区域を災害危険区域として指定することができる。」とある。しかしながら、出水に関する適用事例は、名古屋市や札幌市などに見られるが、危険区域を設定する基準自体が明確化されておらず、出水に関して適用している自治体は少ない。

そこで本研究では、まず、地域の治水安全度に応じて定めた洪水危険ゾーンを設定しているイギリスの開発規制<sup>3)</sup>の例を参考に、対象域を危険度で分類する。外水氾濫による浸水は、流体力の大きさに応じて経済的損失額を大きくするだけでなく、人的被害にも深く関わってくる。そこで、本研究では、危険度の指標に、式(4)で与えられる単位幅比力を用いる。

$$M = \frac{u^2 h}{g} + \frac{h^2}{2} \quad (4)$$

表-2 水害危険度の分類

危険度	比力の大きさ	備考
1	0.125 未満	避難は可能
2	0.125～0.25 未満	避難が困難
3	0.25～2.5 未満	建物の被害大
4	2.5 以上	建物の流出が発生

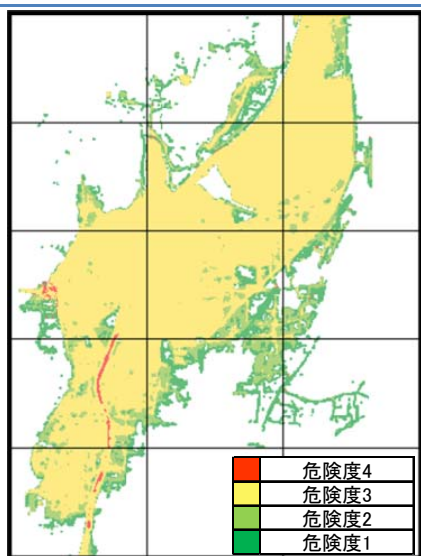


図-5 水害危険度の空間的分布

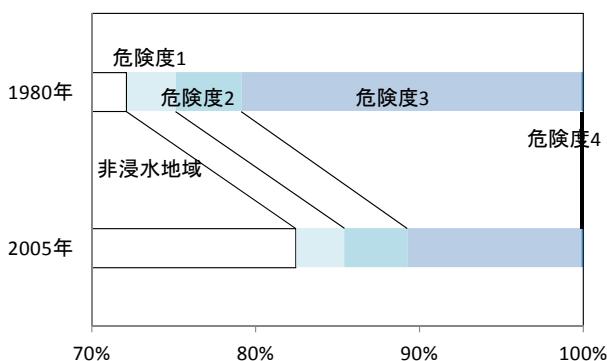


図-6 水害危険度割合の変化

ここで、 $M$ : 単位幅比力,  $u$ : 流速,  $h$ : 水深,  $g$ : 重力加速度である。参考文献13)の避難体験実験の結果と建物被害に関わる値を考慮し、単位幅比力の大きさに応じて表-2に示すような4段階の危険度を設定した。危険度を設定する降雨の再現期間は100年とする。これは、アメリカの地方自治体が氾濫原規制を行う区域は、再現期間100年洪水位よりも標高の低い地域としていることを参考にした<sup>4)</sup>。

対象地域の1980年の状況を、再現期間100年で氾濫シミュレーションした結果を危険度に換算したものを図-5に示す。浸水域の大部分が危険度3であり、浸水後の避難はほぼ不可能であり、また、対象地域で多数の建物被害が発生することが分かる。再現期間100年のときの対象地域の各危険度の割合を、1980年と2005年で比較したものを図-6に示す。2005年には、非浸水地域が80%以上となり、危険度3の地域の割合が1980年の半分程度にな

っている。遊水地建設等の河川整備により、かつて危険度3であった地域の安全度が向上していることが分かる。一方で、危険度4の地域は、河川整備完了後も依然と変わらず残っている。

## (2) 水害危険区域の水害リスクカーブ

浸水した際に経済的損失が大きいのは、被害率の高い危険度3および4の地域である。そこで、まず、危険度3および4の地域の土地利用状況を見ていく。図-7に1980年と2005年の土地利用状況を示す。浸水域の大部分を占める危険度3の地域で、2005年には住宅系や商業系の土地利用の割合が、1980年に比べて増加していることが分かる。これは、河川整備が完了したこととその他の土地利用の部分の危険度が下がったことと、住宅や商業が新規に立地したことによる。とくに、遊水地周辺の田畑での宅地造成による新規立地が顕著である。一方、図-5に示される危険度4の浸水域は、1980年と2005年の間でほとんど変化していない。しかしながら、ここでも住宅系の新規立地がみられ、住宅系の土地利用の割合が増加している。

このように危険度3、4の地域に資産の集積が見られるが、これが水害リスクの構造にどのような影響を及ぼしているか、浸水域がほとんど変わっていない危険度4の地域で見てみる。危険度4の地域の1980年と2005年の水害リスクカーブを図-8に示す。2005年の水害リスクカーブを見ると、坪井川の整備水準である再現期間50年程度の降雨までは軽度の内水氾濫しか起こらず、1980年に比べて経済的損失額は激減していることが分かる。しかしながら、整備水準を超える降雨により洪水が発生してしまうと、河川整備が完了したにも関わらず1980年時以上の経済的損失を被ることが分かる。このように、河川整備後の資産の集積が、地域の水害リスクの構造を、低頻度高被害型の構造に変化させている。図-8より期待被害額は、明らかに1980年より2005年は小さくいる。しかしながら、上述のように再現期間100年の経済的損失は、2005年が上回っている。以上より流域管理的治水政策では、低頻度高被害のリスクを考慮する必要性がある。

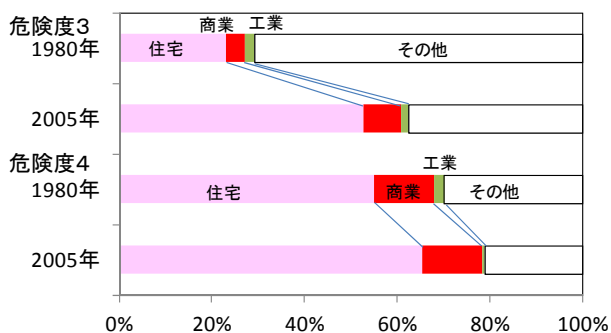


図-7 危険度3、4の地域での土地利用状況

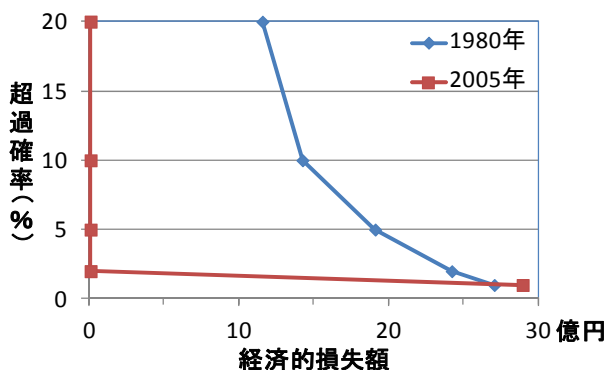


図-8 危険度4の地域の水害リスクカーブの変化

#### 4. 土地利用規制の効果

##### (1) 土地利用規制の効果の検証

前章の分析結果から、低頻度の大規模洪水の経済的被害を軽減するには、遊水地等の河川整備とともに危険度の高い地域である程度土地利用の抑制を図る必要性があることが分かった。そこで、本章では、浸水域での土地利用規制の経済的被害の軽減効果を検証する。

土地利用規制のみの効果を抽出するために、遊水地等のハード整備が行われなかったとの仮定の下、土地利用規制を実施し、各再現期間の2005年の経済的損失を算定する。ここで考慮する土地利用規制は、下記の3種類である。

- (ア) 浸水域全域で、全用途の新規立地の規制
- (イ) 浸水域全域で、商業系用途の新規立地の規制
- (ウ) 浸水域全域で、住居系用途の新規立地の規制

なお、各土地利用規制下での2005年の土地利用状況は、次のように仮定している。1980年の実際の土地利用状況を基に、どの規制でも1980年から2005年の間に実際に滅失した建物等は考慮し、また、新規立地についても、規制対象以外の用途で2005年までに実際に立地したものは、その状態を土地利用に反映させるものとする。

このようにして作成された各土地利用規制下での2005年の土地利用状況において、各再現期間の氾濫シミュレーションを行い、水害による経済的損失額を算定した。

図-9に 各土地利用規制の下での水害リスクカーブを示す。また、実際の2005年の水害リスクカーブを比較対象のためにハード整備下での水害リスクカーブとして同図に掲載している。この図から、水害による経済的損失の軽減効果は、全用途の立地規制、商業系用途の立地規制、住宅系用途の立地性の順に高いことが分かる。全用途の立地規制の効果が高いのは当たり前であるが、対象地域の中で立地量が少ないにも関わらず、商業系用途の立地規制の効果が住宅系より高かったのは、被害単価が高いためである。再現期間50年以下の高頻度低被害の領域では、ハード整備の効果が土地利用規制に比べて圧倒

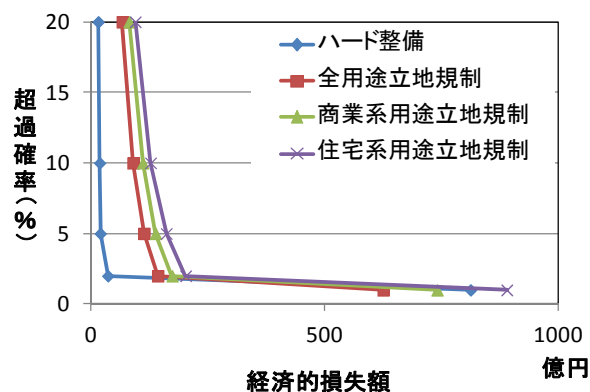


図-9 土地利用規制下の水害リスクカーブ

的に高いが、再現期間100年の低頻度高被害の場合は、全用途の立地規制や商業系用途の立地規制の効果が高いことが読み取れる。

##### (2) 水害危険地域での土地利用規制の効果

前節の結果から浸水域で立地規制をすることで、経済的損失を軽減できることが明らかになった。しかしながら、それは災害が起きた場合の損失の軽減であり、通常時に関しては、新規立地の規制は経済活動の阻害となる。そこで、規制する地域を再現期間100年の洪水の場合に、建物被害が大きい水害危険度3、4となる地域に対してのみ適用した場合を検討する。前節と同様に1980年の土地利用状況を基準とし、それ以降の水害危険度3、4の地域での全用途の新規立地を規制した場合と遊水地のハード整備を行った場合の水害リスクカーブを図-10に示す。前節に示したように遊水地を含むハード整備は、確実に計画水準までの被害を軽減している。そこで、ハード整備とともに土地利用規制を行った場合の水害リスクカーブも図-10に示す。

新規立地規制のみの場合、再現期間50年以下では前節と同様にハード整備に比べてその効果は低く、再現期間100年の場合にハード整備の効果を上回る。ハード整備とともに土地利用規制を行った場合は、再現期間50年以下ではハード整備のみ効果とほとんど変わらないが、再現期間100年の場合に土地利用規制の効果が発揮され、ハード整備のみの場合より、経済的被害が軽減される。このように、ハード整備に加えて、土地利用規制等のソ

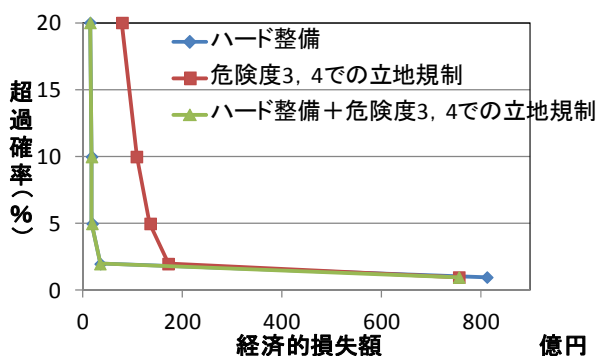


図-10 浸水危険地域での土地利用規制下

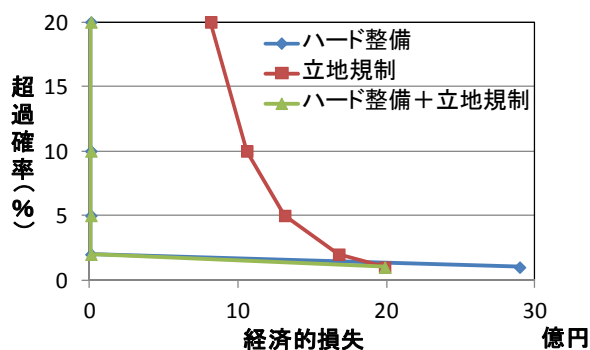


図-11 危険度4の区域の水害リスクカーブ

フト施策を組み合わせることで、計画水準までの洪水に対する治水安全度の向上が誘発する新規立地による被害ポテンシャルの上昇を防ぐことができるであろう。

最後に、水害危険度4の地域内だけで規制の効果を検証する。ハード整備のみ、土地利用規制のみ、ハード整備と土地利用規制を同時に行った場合の水害危険度4の地域の水害リスクカーブを図-11に示す。全域での水害リスクカーブと同じ傾向であるが、遊水地整備の効果や土地利用規制の効果の特徴がより明確に出ている。対象地域が狭いので額は小さいが、再現期間100年の洪水に対してハード整備より土地利用規制を行った場合の効果が大きいことが分かった。このことから、水害危険度の高い地域で、土地利用規制の効果がより高いことが分かった。このように水害リスクカーブを用いることで、低頻度大被害リスクを明示的に取り扱うことが出来、また、その領域での治水施策の効果の比較検討が可能となることが示せた。

## 5. おわりに

本研究では、水害リスクカーブを用いて、水害時の浸水域での土地利用規制導入の効果を実証的に検証した。土地利用規制を行うにあたり、まず、被害の大きさに影響する洪水流の流体力に基づく水害危険度で対象地域を分類した。そして、潜在的な水害危険度が高い地域で、遊水地など治水整備後の資産集積により、低頻度大規模災害の際に、以前より経済的損失が増していることが明らかになった。浸水域への土地利用規制の導入は、それ単独ではハード整備の効果に及ばないが、低頻度の大規模災害時に経済的損失を軽減する効果がある。ハード整備とともに土地利用規制を行うことで、地域の治水安全度向上による新規土地利用の誘発による被害ポテンシャルの上昇を防ぐことができることが分かった。

しかしながら、大規模な立地規制は現実的には経済活動への影響が大きく、規制への社会的合意を難しいであろう。本研究の場合でも浸水域の大部分が水害危険度3であり、河川整備後でも水害危険度3の地域が対象地域の20%程度を占めており、その全域での規制は難しい

と思われる。一方で、水害の危険性が高い地域への資産の集積は、一度洪水が発生すると甚大な経済的損失を被り、また、人的被害の発生確率も高くなる。したがって、少なくとも水害危険度4の地域には土地利用規制を導入する必要がある。水害危険度4の地域は、水害リスクカーブから見ても、ハード整備に合わせて土地利用規制を導入する効果が高いことが明らかである。

本研究が提案している水害リスクカーブを用いた流域管理的治水政策の評価は、低頻度大被害リスクの存在やハード整備や土地利用規制の効果を視覚的に整理することができ、流域管理的治水政策を評価・検討するための有効なツールの1つとなる。本研究では、土地利用規制による土地利用の機会費用の損失については考慮していない。また、再現期間の設定次第で浸水域も変化し、地域の危険度も変わる。社会的に適正な土地利用規制を検討するには、再現期間毎に水害による経済的損失の軽減と土地利用の機会費用の損失との間のトレードオフを考慮する必要がある。これについては、今後の課題とする。

## 参考文献

- 1) 吉田恭, 古本一司, 馬場美智子: イギリスにおける水害土地利用規制・誘導と関連諸制度に関する研究, 都市計画論文集 No.45-1, pp.63-71, 2010
- 2) 吉田恭, 古本一司, 馬場美智子: フランスにおける PPR を中心とした防災型土地利用規制に関する研究, 都市計画論文集 No.46-1, pp.88-98, 2011
- 3) Planning Policy Statement 25 - Development and Flood Risk - : Annex D: The Sequential Test and Exception Test, Department for Communities and Local Government, pp.21-29, 2010
- 4) 末次忠司: 「6.3 土地利用規制」, 河川の減災マニュアル, 山海堂, pp.240-241, 2004
- 5) 吉田正卓, 高木朗義: 災害リスクマネジメントに基づいた総合治水対策の評価モデルの構築, 土木計画学・論文集 Vol.20 no.2, pp.313-322, 2003
- 6) 寺本雅子, 市川温, 立川康人, 椎葉充晴: 水災害危険度に基づく土地利用規制の適用性に関する分析, 土木学会論文集 B Vol.66 No.2, pp.130-144, 2010
- 7) 藤見俊夫, 柿本竜治, 山田文彦, 廣瀬健康: 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 Vol.27 no.1, pp.65-70, 2010
- 8) 柿本竜治, 田代達郎, 山田文彦, 藤見俊夫: 土地利用の空間分布推定の曖昧性を考慮した水害リスクカーブ生成システムの構築, 都市計画学会学術研究論文集 Vol.46, No.3, pp.931-936, 2011
- 9) Merz, B. and Thielen, A. H. : Flood risk curves and uncertainty bounds. Natural Hazards, Vol.51, pp.437-458, 2009
- 10) Brouwers, L.: Spatial and Dynamic Modeling of Flood Management Policies in the Upper Tisza, Interim Report, IR-03-002, <http://www.iiasa.ac.at>, 2003
- 11) 熊本県: 坪井川計画書, 1969
- 12) 国土交通省河川局: 治水経済調査マニュアル (案), pp.1-106, 2005
- 13) 大西良純, 石垣泰輔, 馬場康之, 戸田圭一: 地下空間浸水時における避難困難度指標とその適用, 水工学論文集, Vol.52, pp.841-846, 2008.

(2012.5.1 受付)