

平成 27 年 5 月 27 日現在

機関番号：17401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560645

研究課題名(和文) 水害リスク指標VaRに基づく土地利用規制・誘導政策の実行可能性に関する研究

研究課題名(英文) Feasibility Study of Land-use Regulation in Flood Hazard Area using VaR with Flood Risk Curve

研究代表者

柿本 竜治 (KAKIMOTO, RYUJI)

熊本大学・自然科学研究科・教授

研究者番号：00253716

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：住宅と商業用を対象にいくつかのシナリオのもと土地利用規制を実施したときの効果をリスクカーブから算出されるVaR指標で評価した。遊水地を建設せずに浸水域全体に土地利用規制を行った場合より、規制をかけず遊水地整備を行った方が被害額の減少が大きかったことが分かった。しかし、危険度の最も高いゾーン4に着目した場合、98%水準までは遊水地整備による効果が大きいが、それ以上では土地利用規制による効果が遊水地整備による効果を上回ることが分かった。これらの結果から、水害被害を抑えるためには遊水地等のハード整備は不可欠であり、さらに危険度が高い地域では、土地利用の規制の実施の必要性が確認された。

研究成果の概要(英文)：Since 1950s, the large number of flood control facilities such as dam, levee, and flood storage basin has been constructed in Japan. These infrastructures reduced the frequency of flood, and it made population and property accumulate in the flood area. Since such area is still vulnerable for flood, the potential of economic loss may increase. Then, it is assumed that socioeconomic risk structure changes to low-frequency and catastrophe type. This is a paradox of flood control. In this paper, spatial land use patterns are observed before/after construction of flood control facilities, and the dynamic changes of flood risk curves are empirically analyzed to confirm this paradox. Then, the need for integrated flood risk management is proposed and the effectiveness of land use regulation for flood area is tested.

研究分野：土木計画学

キーワード：水害リスクカーブ 流域管理的治水 土地利用規制 予防的避難 氾濫シミュレーション 災害危険区域

1. 研究開始当初の背景

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。

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。中でもイギリスでは、国の都市計画に関する政策方針 Planning Policy Statement (PPS) の一つ PPS25 で、水害リスクに応じた都市開発の方針について取りまとめている。その中では、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。一方、わが国でも、2005年の水防法の改正により、各市町村には洪水ハザードマップの作成が義務付けられ、住民に洪水に脆弱な地域の情報が周知されるようになった。また、2007年度の社会資本整備会(河川分科会)答申の中には、「浸水常襲地域等において、新規の宅地開発等を極力抑制し、被害に遭いにくい土地利用の転換を図るため、まちづくりと連動した被害最小化策を推進する。」と明記されている。このように、洪水に脆弱な地域が明らかにされ、そして水害リスクの大きな地域での土地利用の転換の必要性は示されているが、現在のところ水害防止に関する土地利用規制・誘導は積極的には進められていない。

人口が増加し、経済が発展している段階では、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が、人口減少に転じた現在、被害に遭いにくい土地利用の転換を図る時期を迎えていると言えよう。望ましい方向に土地利用を誘導していくためには、規制とともに水害リスクに関する情報開示や保険制度等を適切に組み合わせた施策が必要である。現在でも洪水ハザードマップにより、水害に関する情報が開示されているが、既往最大の静的な状況を表しているに過ぎず、土地利用規制への住民の合意形成や保険制度の設計には情報が不足している。

2. 研究の目的

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。その指標として、本研究課題では、バリュー・アット・リスク (VaR) を用いることを提案する。VaRは金融分野で広く用いられているリスク指標であり、所与の信頼水準での予想最大損失額を示す。例えば99% VaRはその値より被害額が小さい確率が99%であることを意味している。本研究課題では、流域管理的な治水政策の評価をVaR指標で行う手続きを構築することを第一目的とする。そして、VaR指標に基づいたゾーニングによる土地利用規制・誘導政策や広域的水害補償政策などの流域管理的治水政策を提案することを第二の目的とする。さらに、氾濫シミュレーションの範囲を熊本市圏全体に拡大し、複数のシナリオの土地利用規制・誘導政策を検証するとともに社会的影響を分析し、実効可能性の高い「総合治水対策の提案」を行うことを第三の目的とする。

3. 研究の方法

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。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。

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。

(1) 対象地域の概要

本研究の対象地域は、熊本市坪井川遊水地周辺の熊本市壺川地区であり、住宅地図を基に作成した1980年時点と2005年時点の対象地域の土地利用状況を図1に示す。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。

地区の南部は、1980年当時から住宅や商業用途が立地している旧市街地であり、北部側の大部分は田畑であった。その後、南部の旧市街地で空洞化が進み、北部のかつて田畑や湿地が広がっていた地域には、遊水地の建設とともに住宅や商業用途が立地している。このように、対象地域は、治水事業による治水安全度の向上とともに、かつての水害常襲地帯へ住宅系や商業系の立地が進み、低頻度高被害リスクを孕んでいる可能性があることが分かる。なお、北西部の空地に住宅が立地している地域が見られるが、この地域は高台であり、坪井川治水緑地事業の影響が直接ない地域である。

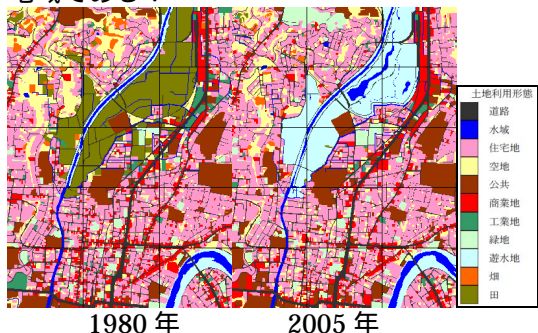


図1 対象地域の土地利用状況

(2) 再現期間別氾濫解析

遊水地等の防災施設や各土地利用規制のシナリオが反映された土地利用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こり、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190m³/s、2005年時点で遊水地と合わせて320m³/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2次元の長波方程式を差分法で離散化し、計算した。

4. 研究成果

(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、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の例を参考に、対象域を危険度で分類した。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、危険度の指標に単位幅比力を用い、その大きさに応じて表1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。

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2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3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

表1 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

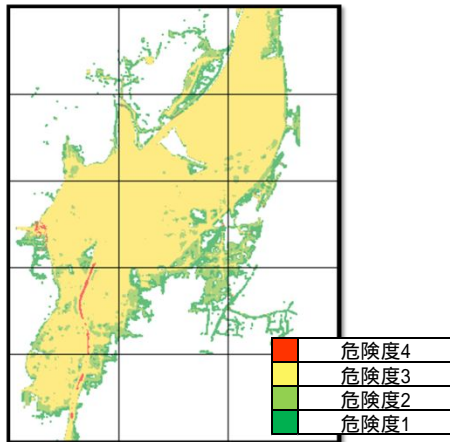


図2 水害危険度の空間的分布

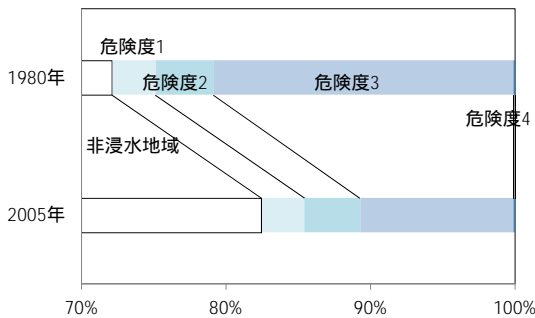


図3 水害危険度割合の変化

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。

(3) 土地利用規制の効果の検証

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がある。そこで、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した。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した。ここで考慮した土地利用規制は、下記の3種類である。

- ・ 浸水域全域で全用途の新規立地の規制
- ・ 浸水域全域で商業系用途の新規立地の規制
- ・ 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4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

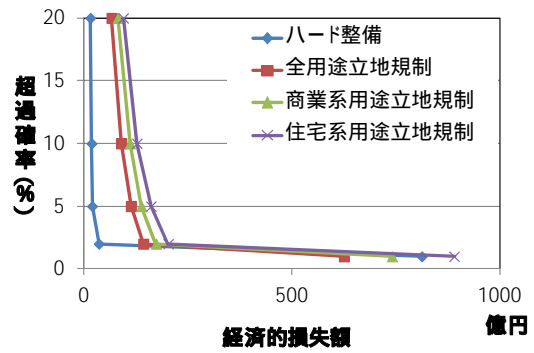


図4 土地利用規制下の水害リスクカーブ
載している。この図から、水害による経済的損失の軽減効果は、全用途の立地規制、商業系用途の立地規制、住宅系用途の立地性の順に高いことが分かる。全用途の立地規制の効果が高いのは当たり前であるが、対象地域の中で立地量が少ないにも関わらず、商業系用途の立地規制の効果が住宅系より高かったのは、被害単価が高いためである。再現期間50年以下(超過確率2%以上)の高頻度低被害の領域では、ハード整備の効果が土地利用規制に比べて圧倒的に高いが、再現期間100年(超過確率1%)の低頻度高被害の場合は、全用途の立地規制や商業系用途の立地規制の効果が高いことが読み取れる。

(4) 水害危険地域での土地利用規制の効果

(3)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5に示す。(3)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5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年の場合に八

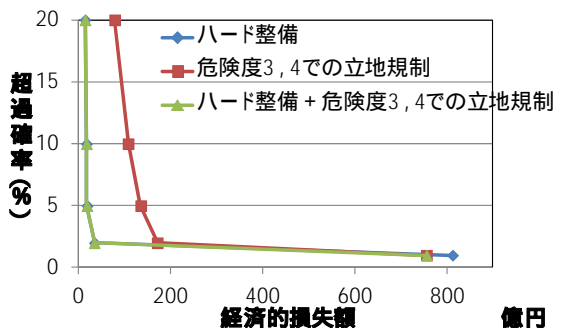


図5 浸水危険地域での土地利用規制下の水害リスクカーブ

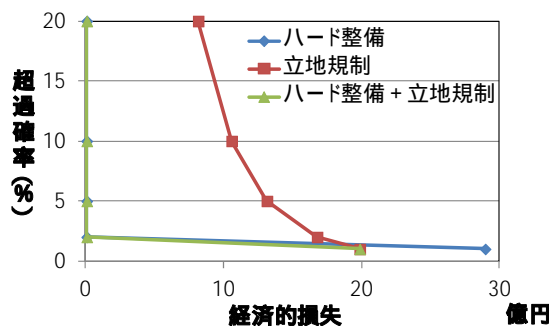


図6 危険度4の区域の水害リスクカーブ
ハード整備の効果を上回る。ハード整備とともに土地利用規制を行った場合は、再現期間50年以下ではハード整備のみ効果とほとんど変わらないが、再現期間100年の場合に土地利用規制の効果が発揮され、ハード整備のみの場合より、経済的被害が軽減される。このように、ハード整備に加えて、土地利用規制等のソフト施策を組み合わせることで、計画水準までの洪水に対する治水安全度の向上が誘発する新規立地による被害ポテンシャルの上昇を防ぐことができるであろう。

次に、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6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。

最後に、住宅と商業用とを対象にいくつかのシナリオのもと土地利用規制を実施したときの効果をVaR指標で評価した。遊水地を建設せずに浸水域全体に土地利用規制を行った場合より、規制をかけず遊水地整備を行った方が被害額の減少が大きいことが分かった。しかし、ゾーン4に着目した場合、98%水準までは遊水地整備による効果が大きい、それ以上では土地利用規制による効果が遊水地整備による効果を上回ることが分かった。これらの結果から、水害被害を抑えるためには遊水地等のハード整備は不可欠であり、さらに危険度が高い地域では、土地利用の規制の実施の必要性が確認された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計17件)

柿本竜治、金華永、吉田護、藤見俊夫：

予防的避難の阻害要因と促進要因に関する分析，都市計画学会学術研究論文集，査読有，Vol.49, No.3, pp.321-326, 2014。
吉田護，柿本竜治：災害マネジメントフェーズを考慮した住民の自助・共助・公助と減災行動，都市計画学会学術研究論文集，査読有，Vol.49, No.3, pp.297-302, 2014。

Hwayoung Kim, Ryuji Kakimoto：Local Hazard Mitigation Plan is Properly Working?, Journal of Korea Society of Hazard Mitigation, 査読有，Vol.14, No.5, pp.1-10, 2014。

吉田護，柿本竜治，藤見俊夫：水害対策の実施主体の空白化指標の提案，自然災害科学，査読有，33(4), pp.347-358, 2015。

柿本竜治，山田文彦：地域コミュニティと水害時の避難促進要因，都市計画学会学術研究論文集，査読有，Vol.48, No.3, pp.945-950, 2013。

柿本竜治，山田文彦，藤見俊夫：水害危険地域への土地利用規制導入効果検証への水害リスクカーブの適用，都市計画学会学術研究論文集，査読有，Vol.47, No.3, pp.901-906, 2012。

柿本竜治，榎村康史：水害リスク情報の表現方法が水害リスク認知の促進に及ぼす影響について，土木学会論文集D3(土木計画学)，査読有，Vol.68, No.5(土木計画学研究・論文集第29巻)，I_175-I_183, 2012。

[学会発表](計26件)

Ryuji Kakimoto, Fumihiko Yamada：Factors in Stimulating Evacuation Behavior during Floods, The 10th Annual International Conference of the International Institute for Infrastructure Renewal and Reconstruction the Disaster Management, 2014.5.20-22, West Lafayette, IN, USA.

Ryuji Kakimoto: Expression of Flood Risk Information and Recognition of Flood Risk, The 9th Annual International Conference of the International Institute for Infrastructure Renewal and Reconstruction the Disaster Management, 2013.7.7-10, Brisbane, Australia.

Hwayoung Kim, Ryuji Kakimoto：Local Hazard Mitigation Plan (LHMP) is Properly Working?: Evaluation for the LHMP of Kumamoto City, Korean Society of Hazard Mitigation, 2014.2.19-20, Seoul, Korea.

Kakimoto, R., Yamada, F. and Fujimi, T.: Dynamic Change of Flood Risk Curve by Flood Control and Land-use, Proc. of the Disaster Management 2012, 2012.8.24-26, Kumamoto, Japan.

6. 研究組織

(1)研究代表者

柿本 竜治 (KAKIMOTO RYUJI)

熊本大学・大学院自然科学研究科・教授
研究者番号：00253716