

治水整備による水害リスクカーブの変遷に関する研究*

Time Series Variation of Flood Exposure Induced by Flood Prevention Projects*

藤見俊夫**・柿本竜治***・山田文彦***・廣瀬健康****

By Toshio FUJIMI**・Ryuji KAKIMOTO***・Humihiko YAMADA***・Takeyasu HIROSE****

1. はじめに

わが国では、治水整備の進展により水害被害は確実に減少してきた。しかし、その一方で、水害頻度の減少は従来水害に対して脆弱な土地であった氾濫原での開発を誘発しており、かえって被害の対象となる資産・人口は蓄積されていることが指摘されている¹⁾。そのような状況では、現状の治水整備の能力を超えるハザードが発生した場合、被害の規模はかえって大きくなる可能性がある。このような高頻度小・中被害の水害リスクから低頻度大被害の水害リスクへの変化については、定性的な議論にとどまっていることが大半である²⁾。

ハード対策が水害リスクを増大させる可能性を検討した先行研究としては以下のようなものがある。吉田・高木³⁾は、流出抑制施設整備、土地利用規制、洪水保険の3種類の施策を同時に評価できるモデルを構築し、3種の施策のうち流出抑制施設整備についてはかえって被害ポテンシャルを大きくするという結果を導き出している。市川ら⁴⁾は、土地利用規制政策とハード的対策のどちらが費用対便益において優れているかを検証し、どちらかが一方的に有利というわけではないことを明らかにした。しかし、これらの研究はモデルによって予測された結果に基づいている。実際の土地利用形態や建物分布のデータを長期にわたって調査し、そのデータに基づいて水害リスク構造の変化を検討した実証研究は見当たらない。

本研究では、「巨大ハザード時には浸水する地域であるにも関わらず、治水整備が行われたことで平常時のリスクが低減したため安全だと勘違いされ、そうした潜

在的危険地域に建物の立地が進むことによる、水害リスクの構造変化」を、その治水整備の前後を含む時系列で作成したリスクカーブの形状の遷移を観察することで定量的に明らかにする。具体的には、熊本市坪井川氾濫原を対象とし、1980年から2005年まで約5年刻みで調査した土地利用形態や建物分布のデータから各年の水害リスクカーブを作成して、治水整備前後の水害リスク構造の変化を検証する。水害リスクをリスクカーブにより定量評価した先行研究として、Merz and Thieken⁵⁾、Grunthal et.al.⁶⁾、Apel, H. et.al.⁷⁾などがあるが、これらは一時点の評価である。本研究では、リスクカーブを時系列で作成し、それらの形状の遷移を観察することで、水害リスク構造の変化を評価した点に特徴がある。

2. 調査対象地域の概要

本研究の対象地域は図-1に示す熊本市坪井川遊水池周辺である。熊本市中心部には坪井川（流域面積：141.7 km²、流路延長：23.5 km、2級河川）が流れており、これまで何度も水害に見舞われてきた。特に、1953年6月26日の「西日本大水害」は熊本市に甚大な被害をもたらした。洪水時に流量の一部を計画的に遊水させるため、1974年に坪井川遊水地の建設事業が開始された。しかし、1980年に、台風による集中豪雨により、建設中の遊水地

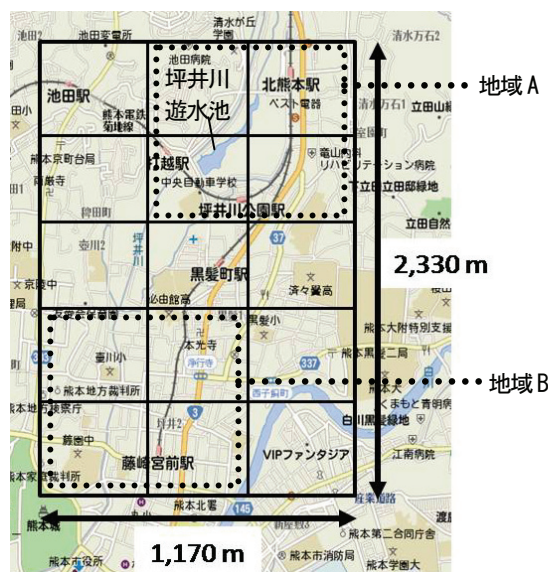


図-1 調査対象地域

*キーワード：洪水リスク，土地利用，リスクカーブ

**正員，農博，熊本大学大学院自然科学研究科
(熊本県熊本市黒髪2-39-1，
TEL096-342-3693, FAX096-342-3507)

***正員，工博，熊本大学大学院自然科学研究科
(熊本県熊本市黒髪2-39-1，
TEL096-342-2040, FAX096-342-3507)

****学生会員，熊本大学大学院自然科学研究科
(熊本県熊本市黒髪2-39-1，
TEL096-342-3693, FAX096-342-3507)

周辺で大きな浸水被害が生じている（図－２）．それ以降は、坪井川の大規模な破堤、越水等の外水氾濫による水害被害は生じていない．1997年には遊水地の運用が開始され、現在では50年確率での堤防等の河川整備は完了している．しかし、内水被害は現在でも年に数回の頻度で発生している．この地域は、河川より地盤高が低い地域が多く、内水氾濫により1m弱の浸水が発生することも珍しくない．調査対象の範囲は、図－１の太枠で囲まれた南北2,300m、東西1,170mの区画である．対象地区内の人口は現在約3万人である．その中で、細線で分けられた15の区画は、国土地理院の定める第4次地区区画（500mメッシュ）に一致している．



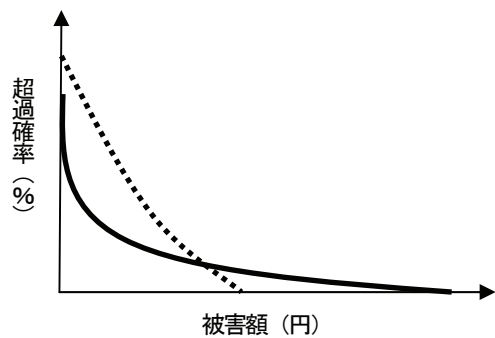
図－２ 1980年の集中豪雨による遊水地周辺の浸水

3. 水害リスクカーブの作成

（１）リスクカーブ

リスクカーブは超過確率曲線とも呼ばれ、縦軸に年超過確率、横軸に被害額を置いたグラフである．図－３にその概念図を示す．図中の破線は小・中規模被害の生起確率は大きいものの、甚大な被害が出る確率はなくなるような水害リスクを表している．これは、水害危険地域に農地や空き地しかないような状況での水害リスクに相当する．一方で太線は、小・中規模の被害の生起確率は小さいものの、甚大な被害を出す確率が僅かであるが存在している水害リスクを表している．これは治水整備が進んで、潜在的な水害危険地域に住宅やビルが建設されている状況での水害リスクに相当する．治水整備に伴い、対象地区のリスクカーブが高頻度小・中規模水害を表す破線から、低頻度大規模水害を表す太線へと推移していれば、水害リスクの構造が変化したと判断できる．

本研究では、再現期間 5 年、7 年、10 年、20 年、50 年、100 年、150 年、200 年の降雨規模による水害で生ずる被害額を算出し、それらをプロットすることで水害リスクカーブを作成する．1980 年から 2005 年までのリスクカーブを約 5 年刻みで作成することにより、対象地域の水害リスク構造の変遷を明らかにする．以下では、その作成手順を①対象地区のメッシュデータの作成、②再現期間別の氾濫解析、③再現期間別の被害額の算定、④リスクカーブの作成の 4 項目に分けて説明する．



図－３ リスクカーブの概念図

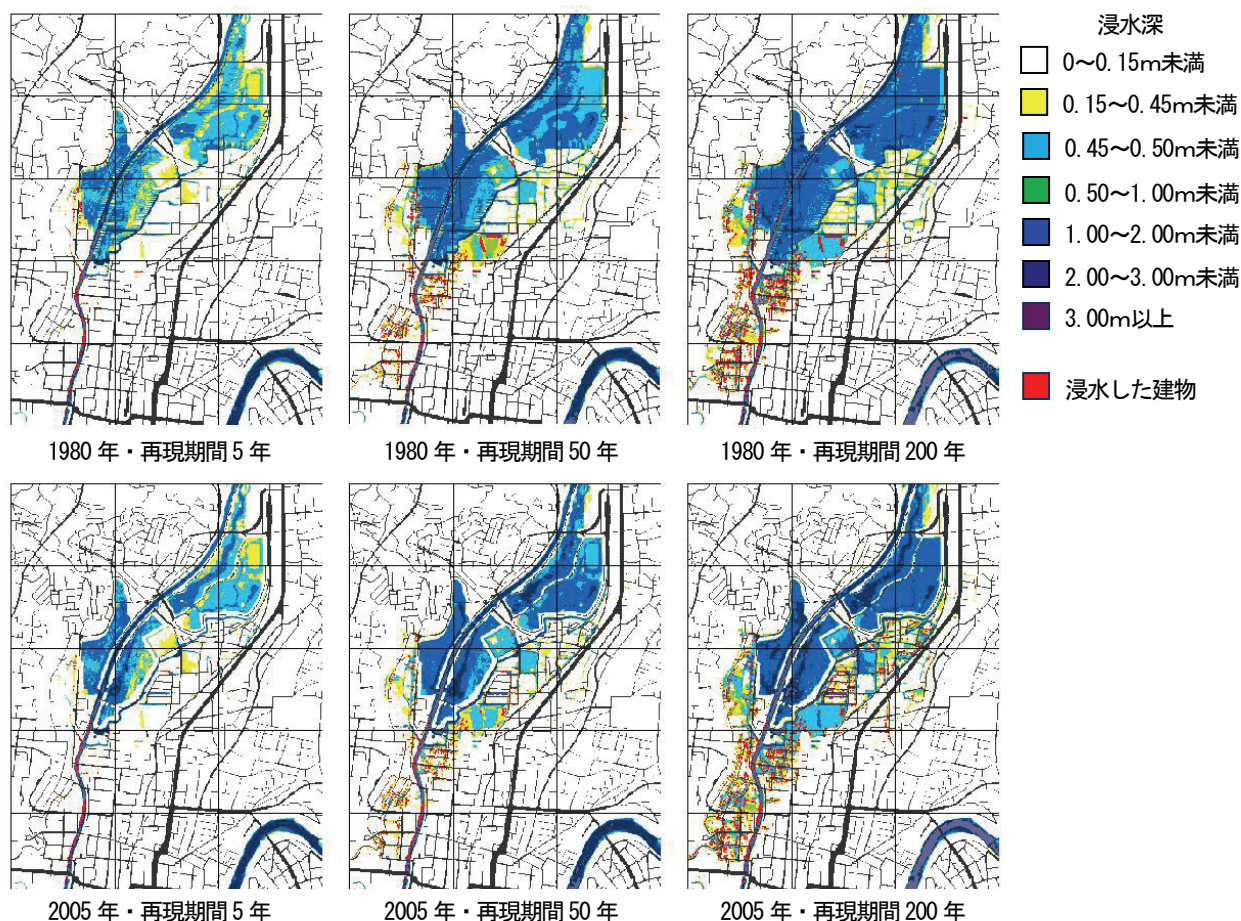
（２）対象地区のメッシュデータの作成

対象地区内の土地利用と建物を調査するために、ゼンリンの住宅地図を用いた．対象地区を家屋一軒が半割でできる 5m×5mのメッシュに分割し、5mメッシュ内の建物の被膜状況から建物の有無を判別した．また、土地利用形態も 5mメッシュで判別した．土地利用の区分は、道路、水域、住宅用途、空き地、公共用途、商業用途、工業用途、緑地、遊水地、田、畑の 11 種類とした．地盤高については、正確なデータは 2005 年のレーザー・プロファイラー・データ（LP データ）しか存在しない．そのため、それ以外の各年においては、原則として 2005 年の地盤高データを用いている．ただし、坪井川遊水地の建設以前である 1970 年から 1995 年の遊水地建設場所の地盤高は、2005 年のデータを用いることができない．そのため、1977 年の国土地理院の地形図（1/25000）から等高線を読み取って地盤高データ作成した．これらの地盤高データを基に、それぞれの地盤勾配のデータを作成する．勾配は 100m メッシュ内にある 20×20 の 5m メッシュ間の最大値と最小値の比高差によって算出し、それらを 1/1000 未満、1/1000～1/500 未満、1/500 以上の 3 段階に設定する．

（３）再現期間別の氾濫解析

本研究では、内水被害のみに焦点を当てる．なぜなら、外水被害は破堤の場所や時期の仮定に大きく左右されるため、結果が恣意的になる恐れがあるためである．内水被害のみを考慮することで、低頻度大被害リスクは実際より小さくなり、より控えめな立場での結論が得られる．

内水氾濫解析にはレベル湛水法を用いる．そこでは、内水氾濫の水位で一定とし、解析領域の低地部に溜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が決定される．降雨の継続時間は 6 時間とした．なぜなら、大規模な集中豪雨の降雨時間が約 6 時間であることが多いためである．実際、1980 年から 2005 年まで期間で、熊本市の年最大降雨量(1 時間最大降雨量)を記録した降雨について降雨継続時間の平均を算出したところ、それは 6.3 時間であった．



図－3 1980 年と 2005 年の再現期間別の浸水域

再現期間 5 年, 7 年, 10 年, 20 年, 50 年, 100 年, 150 年, 200 年に相当する 6 時間確率降雨量は以下の手順で求めた。まず, 各再現期間の 6 時間降雨量が極値 I 型分布に従うと仮定した。つぎに, 1980 年から 2005 年までの熊本市アメダスの年最大 6 時間降雨量データを用いて, 最小二乗法により極値 I 型分布関数のパラメータを推定した。この推定結果に基づき, 各再現期間の 6 時間降雨量を算出した。

上記の氾濫解析結果に基づいた各再現期間別の浸水深の空間分布を, 遊水地建設以前の 1980 年と建設後の 2005 年に分けて図-3 に示す。濃い青色ほど浸水が深いことを意味しており, 赤点は浸水した建物を表している。また, 結果の妥当性については, 現地での聞き取り調査により, 問題がないことを確認している。

(4) 再現期間別の被害額算定

氾濫解析で得られた浸水深と各種メッシュデータ(土地利用データ, 建物データおよび勾配データ)を用いて再現期間別に被害額を算定する。被害額の算定は, 国土交通省の治水経済調査マニュアルに基づいて行う。本研究では, 資産の移動に伴う被害の変化を考慮するため, 人身被害を除いた直接被害のみを対象とする。また, 各

年の物価変動の影響を除外するため, 全対象年度の各種資産評価単価は平成 17 年のもので統一する。被害額の算定には, 床面積, 世帯数, 事業所の従業員数, 水田・畑の面積の計 4 種の基礎数量データが必要となるが, 5m メッシュのデータは存在しない。そのため, 国勢調査, 事業所・企業統計調査に関する地域メッシュ統計の 4 次メッシュ(500m メッシュ)データを, そこに含まれる 5m メッシュのうち当該するメッシュに按分することで, 5m メッシュ当たりの数量に換算した。国勢調査と事業所企業統計調査の調査年次のずれは, 前者に後者を合わせることで調整した。表-1 に土地利用形態ごとの被害対象資産(算定対象資産)の内訳を, 表-2 にそれら資産被害額の算定式を示す。

表－1 土地利用形態別の算定対象資産

土地利用形態の分類	算定対象資産
道路, 水域, 空き地, 緑地, 遊水地	0 (考慮しない)
住宅地	建物被害額+家庭用品被害額
公共, 商業, 工業用途	建物被害額+事業所償却被害額+事業所在庫被害額
畑, 田	農作物被害額

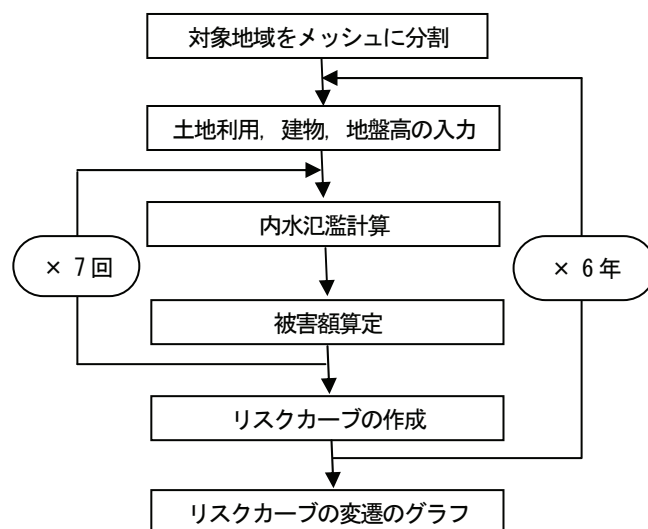
表－2 土地利用形態別の算定対象資産

資産被害額の種類	算定式
建物被害額	1 メッシュ当たり床面積 ×建物 1m ² 当たり評価額×被害率
家庭用品被害額	1 メッシュ当たり世帯数 ×1 世帯当たり家庭用品評価額×被害率
事業所償却資産被害額	1 メッシュ当たり従業者数 ×従業者 1 人当たり償却資産評価額×被害率
事業所在庫資産被害額	1 メッシュ当たり従業者数 ×従業者 1 人当たり在庫資産評価額×被害率
農作物	1 メッシュ当たり水田・畑面積 ×平年収量×農作物価格×被害率

算定式にある「被害率」は、国土交通省の治水経済調査マニュアルに定められているものであり、資産の種類や浸水浸などによって異なる。

(5) 水害リスクカーブの作成

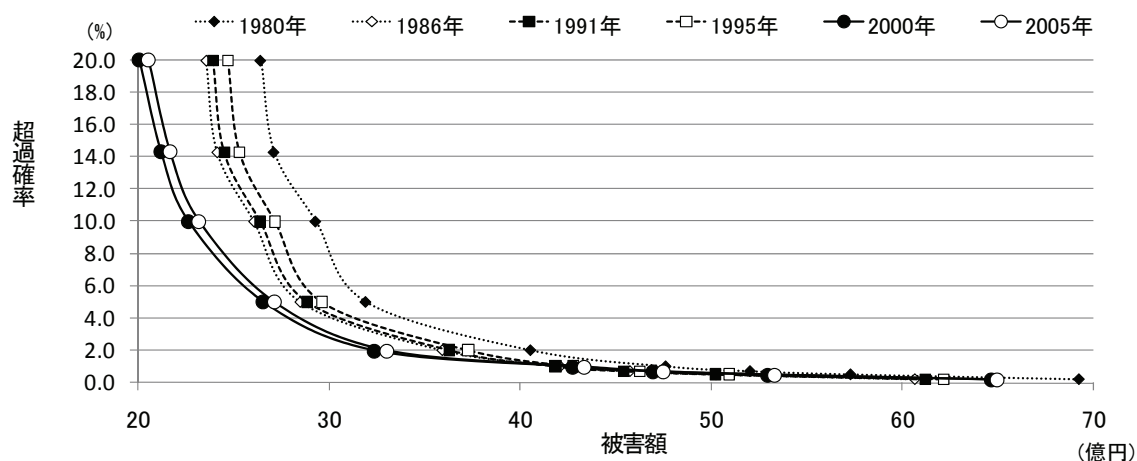
再現期間別の内水被害額が算出されれば、再現期間 5 年は超過確率 20%，7 年は 14.3%，10 年は 10%，20 年は 5%，50 年は 2%，100 年は 1%，150 年 0.7%，



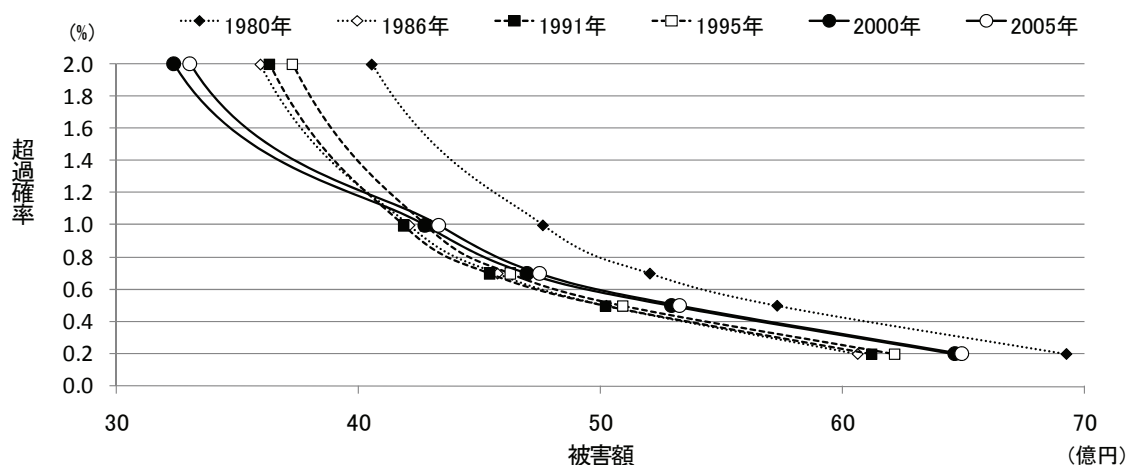
図－4 リスクカーブ作成のフローチャート

200 年は 0.5%にそれぞれ対応することを踏まえ、それらをプロットすることで一本のリスクカーブが描ける。

以上の手順を 1980 年、1986 年、1991 年、1995 年、2000 年、2005 年について繰り返すことで、計 6 年分の水害リスクカーブを作成する。この作業のフローチャートを図－4 に示す。



図－5 水害リスクカーブの時系列変化



図－6 低頻度範囲における水害リスクカーブの時系列変化

4. 考察

(1) 水害リスクカーブの時系列変化の結果

前章で述べた手順で作成したリスクカーブを図-5に示す。この図から、超過確率が2%以上の範囲では、水害リスクカーブを「1980年」, 「1986年, 1991年, 1995年」, 「2000年, 2005年」の大きく3つに分けて捉えれば、それらは左にシフトしつつある傾向が見える。これは、再現期間50年規模より少ない降雨では、内水被害が着実に減少していることを示している。特に、1980年から1991年と、1995年から2000年に、リスクカーブの大きな移動がみられる。前者に関しては、後述するように、1980年に発生した大水害により被害を受けた世帯、企業が水害危険地域から転出したためだと考えられる。後者に関しては、1997年に遊水地運用が開始されたため、中・高頻度の水害に対する対象地域の安全性が高まったからだと考えられる。

つぎに、低頻度大規模な水害に焦点を当てるため、超過確率が2%~0.2% (再現期間が50年~200年) となる範囲のリスクカーブを図-6に示す。この図から、1997年の遊水地運用後である2000年と2005年のリスクカーブの傾きが緩くなっていることがわかる。その結果、超過確率1%未満 (再現期間100年以上) の降雨に対して、2000年と2005年の被害額は1995年や1986年を上回っている。これは、治水整備により水害リスクが低頻度大規模型の方

(2) 水害リスク構造の変化原因の考察

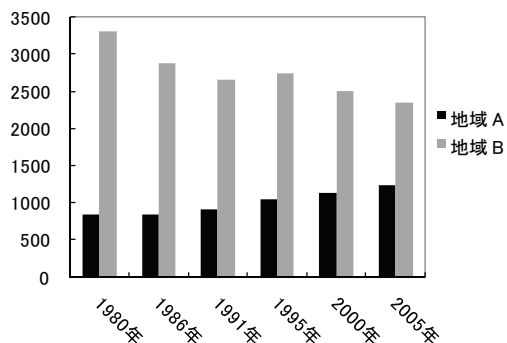


図-7 一戸建て・一階に住む世帯数の変化

水害リスクの低頻度大規模型方向への変化は、本研究の仮説のとおり、遊水地の整備が潜在的な水害危険地域に人口や資産の進出を促したことで生じた結果なのであろうか。この点について検証するために、遊水地整備の前後における人口の変化を検討する。

水害リスクカーブの変化の原因を考察するために、対象地域のうち、図-1に点線で示す地域Aと地域Bに焦点を当てる。地域Aは遊水地周辺であり、かつて田畑であったところが郊外化にともない新しく大型店舗が進出しつつある地域である。地域Bは、古くからの商店街と住宅地のある地域であり、近年衰退が目立つ地域である。それぞれ4つの4次メッシュで地域を指定することで、国勢調査に関する地域メッシュ統計を用いることができる。図-7に地域Aと地域Bの一戸建て、またはマンション・アパート等の1階に住む世帯数のグラフを示す。この図から、水害リスクカーブが全体として左にシフトしているのは、地域Bの世帯数が減少していることが原因の一つであることがわかる。特に、

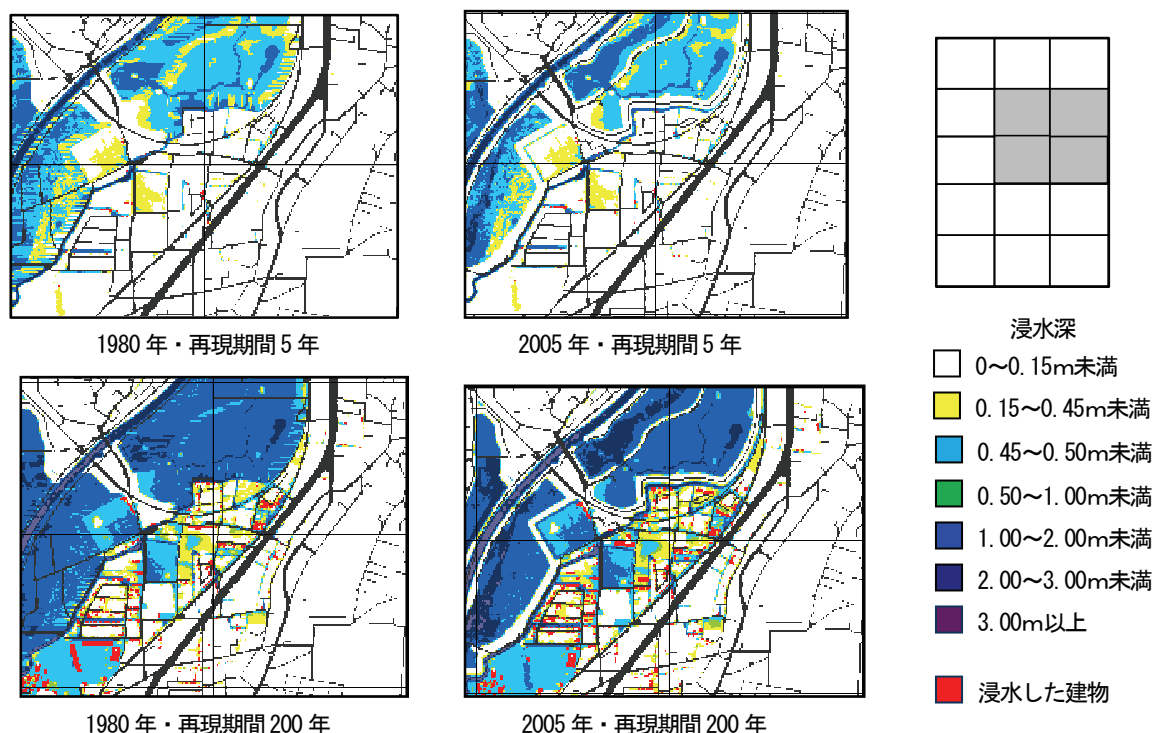


図-8 再現期間5年, 200年における遊水池周辺の浸水地図

1980 年から 1986 年に大きく世帯数が減少しているのは、1980 年の大水害のためであろう。一方、地域 A は遊水地運用が開始される 1997 年あたりから、世帯数の伸び率が大きくなっている。この結果は、遊水地の整備により遊水地周辺の潜在的な水害危険地域に住宅が進出したことを示唆している。

図-8 は、1985 年と 2005 年の再現期間 5 年、200 年の浸水図において、遊水地周辺を拡大したものである。4 次メッシュで指定すれば、上から 2~3 行、左から 2~3 列の範囲である。赤点は浸水した建物を表している。この図から、再現期間 5 年では遊水地周辺で浸水した建物の数に 1985 年と 2005 年とで大きな差はないことがわかる。一方、再現期間 200 年では、2005 年のほうが浸水した建物の数が大幅に多いことが見てとれる。これは、高頻度小規模なハザードでは安全だが、低頻度大規模なハザードでは浸水する地域に、建物が進出していることを意味している。以上のことから、遊水地整備により高頻度小・中被害の水害リスクが低下したことから、潜在的な浸水危険地域に住宅の立地が進み、低頻度大被害型の水害リスクへと変化したことが推察される。

5. おわりに

本研究では、「治水整備に伴い、水害リスクが高頻度小・中規模水害型から低頻度大規模型へと構造変化する」という仮説を、熊本市坪井川遊水地周辺地域を対象として、リスクカーブに基づき実証的に検討した。その結果、本研究の対象地域では、水害リスクが低頻度大規模型へと変化していることが示された。また、その原因として、遊水地整備により高頻度小・中被害の水害リスクが低下したことから、潜在的な浸水危険地域に住宅の立地が進み、低頻度大被害型の水害リスクへと変化したことが推察された。本研究では内水だけを考慮したが、外水を含めると、平常時は安全でも巨大ハザード時は浸水する地域は広がり、浸水は深くなると考えられるので、水害リスクの構造変化はより明瞭になるであろう。これ

らのことは、想定外の巨大水害が発生したときでも深刻な被害が発生しないような頑健な社会をつくるには、治水整備により誘引される潜在的な浸水地域への建物の立地を抑制する政策が必要であることを意味する。このとき、リスクをどこまで保有するかが問題となるが、水害リスクカーブがあれば、VaR (Value at Risk) などの指標を用いて、リスク保有のあり方を定量的に検討することができる。本研究では、外水氾濫も考慮していないこと、モデルの不確実性を考慮することなどの欠点を有する。これらは今後の課題である。

参考文献

- 1) 永松伸吾：減災政策論入門－巨大災害リスクのガバナンスと市場経済－，弘文堂，pp.25-27，2008.
- 2) 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，土木計画学研究・論文集，Vol.20，No.2，pp.313-322，2003.
- 3) 市川温・松下将士・堀智晴・椎葉充晴：水害危険度に基づく土地利用規制政策の費用便益評価に関する研究，土木学会論文集，Vol.13，No.1，pp.1-15，2007.
- 4) Merz, B. and Thieken, A. H.: Flood Risk Curves and Uncertainty Bounds, *Natural Hazards*, Vol.51, pp.437-458, 2009.
- 5) Grunthal, G., Thieken, A. H., Schwab, J., Radtke, K. S., Smolka, A. and Merz, B.: Comparative Risk Assessments for the City of Cologne – Storm, Floods, Earthquakes, *Natural Hazards*, Vol.38, pp.21-44, 2006.
- 6) Apel, H., Thieken, A. H., Merz, B. and Blöschl, G.: A Probabilistic Modelling System for Assessing Flood Risks, *Natural Hazards*, Vol.38, pp.79-100, 2006.
- 7) 国土交通省河川国：治水経済調査マニュアル（案），2005.

治水整備による水害リスクカーブの変遷に関する研究*

藤見俊夫**・柿本竜治***・山田文彦***・廣瀬健康****

本研究では、熊本市坪井川遊水地周辺地域を対象として、水害リスクカーブの時系列変化を検証することで、水害リスクが低頻度大規模型へと変化していることを明らかにした。また、その原因として、遊水地整備により高頻度小・中被害の水害リスクが低下したことから、潜在的な浸水危険地域に住宅の立地が進み、低頻度大被害型の水害リスクへと変化したことが推察された。

Time Series Variation of Flood Exposure Induced by Flood Prevention Projects*

By Toshio FUJIMI**・Ryuji KAKIMOTO***・Humihiko YAMADA***・Takeyasu HIROSE****

In order to verify the hypothesis that flood risk structure is changing from high frequency, low damage type to low frequency, high damage type, we plot flood risk curves in 1980, 1985, 1990, 1995, 2000, and 2005, respectively in Kosen town in Kumamoto city. These results show that the flood risk basin triggered to change risk structure from high frequency, low damage type to low frequency, high damage type
