

論文の内容の要旨  
Thesis Summary

河川水害リスクの地理的構造の把握とその自然的・社会的要因の解明  
Analysis of Geospatial Flood Risk Structure and its Natural and Social Factors

氏名 山田 真史

我が国の一級水系の治水目標の設定や、水系間の治水目標バランスの検討は、基準点流量に関する確率年評価に基づいている。一方で、各水系における治水事業効果を定量的に評価する際には、想定被害額と年超過確率の関係を表す曲線であるリスクカーブが用いられ、流域全体、あるいは流域を分割した氾濫ブロックのリスクカーブの事業前後の変化から便益を分析している。今後、将来的な気候変動による災害外力の強大化や、人口減少に伴う公共事業財源不足が想定される中では、効果的な治水事業への選択と集中が求められ、確率的・定量的リスク概念に基づいた治水事業評価の重要性は増していくと考えられる。

しかしながら、現状の確率的・定量的リスク評価は、各水系において個別に実施されるに留まっている。ある領域全体に関する1本のリスクカーブ、すなわち面的なリスクカーブを、複数の対象領域について比較検討し、水害リスク特性の地域性や多様性を明らかにすることは、各水系・地域の治水事業の効率検証、全国的な治水目標のバランスの再検討に繋がり、面的な確率的リスク情報の活用例の提示となる。本研究では、面的なリスクカーブの領域間比較を通じた、水害リスクの地域性・多様性の検討を第一の目的とする。一方で、各地点のリスクカーブを算出することも近年の計算機の能力向上により可能となってきた。これらは前述の面的なリスクカーブと対比して、点的なリスクカーブであると言える。点的な確率的リスク情報の活用は未だ十分ではなく、また領域内部の各点の確率的リスク特徴は河川計画・治水計画において考慮されていない。本研究では、流域を点的な確率的リスク特性の類似性に基づいて構造化し、流域内部の水害リスクの地理的構造を明らかにすることを第二の目的とする。また、明らかにした水害リスクの地理的構造と、地形地質など自然的条件や、流域の歴史的発展や土地利用変化など社会的条件との関係を分析し、水害リスクの地理的構造が成立する要因を明らかにすることを第三の目的とする。上述の3つの目的を通じて、面的・点的双方の水害リスク情報のさらなる活用可能性を提示するとともに、面的リスク情報の背後にあって見落とされてきた点的リスク情報への着目を促すことが、本研究全体のねらいである。

第一章「序論」では、我が国の治水政策における治水水準とリスク概念の扱いを整理し、治水水準が基準点流量など外力の確率的評価に基づく一方、確率的リスクは事業効果の裏付けにのみ

用いられ、治水水準自体の妥当性検証には用いられてこなかったという歴史的経緯を指摘した。また、既往研究の整理から、面的な確率的リスク特性の比較によるリスクの地域性・多様性の議論が不足していること、および、点的な確率的リスク特性が地理的構造を持つという視点が欠落してきたことを示し、本研究が新規性を持つことを示した。

第二章「全国一級水系の回帰的リスク分析」では、我が国に 109 ある一級水系の面的なリスクカーブの比較から、面的な確率的リスク特性の多様性・地域性を分析した。リスクカーブの算出には水害統計に基づく Frequency-Damage 法 (FD 法) を用いた。また、大量のリスクカーブを比較検討する手法として、再帰期間ごとの水害リスク寄与率を新たに提案・導入した。その結果、再帰期間 50~100 年の低頻度大被害年のリスク寄与率が最も大きい水系群 (類型 A) が存在する一方、低頻度大被害年のリスク寄与率が最も小さい水系群 (類型 C) も存在し、一級水系スケールでの面的な確率的リスク特性の多様性を定量的分析から明示した。さらに、類型 A の水系は大規模な平野・盆地の発達と人口の偏在が生じるフォッサマグナ周辺の関東・東北部に偏在すること、一方で、類型 C の水系は台風等の外力に対する高い治水水準とそれを上回る外力が生じる西南日本と稀に台風等が来襲する北海道東部の小流域に偏在することから、一級水系スケールでの面的な確率的リスク特性の地域性を示し、また流域スケール・地方スケールでの自然的・社会的条件がそれに影響している可能性を指摘した。

第三章「市区町村スケールの回帰的リスク分析と改良 FD 法の提案」では、我が国の市区町村の面的なリスクカーブの比較から、面的な確率的リスク特性の多様性・地域性を分析した。この際、市区町村スケールでは記録年度の大半で災害が記録されず、従来の FD 法では確率的リスク特性が再現できない問題がある。本研究では、災害が発生しない年を陽に考慮できる手法として、災害発生の有無を考慮するベルヌイ分布と災害発生時の被害を表す条件付き確率連続確率分布を複合した改良 FD 法を提案し、従来の FD 法と改良 FD 法の比較からリスクカーブ形状と年被害額期待値の双方について適用性が向上していることを確認し、市区町村スケールでの改良 FD 法の有用性を示した。続いて、改良 FD 法による市区町村のリスクカーブを再帰期間ごとの水害リスク寄与率に基づいて類型化し、再帰期間 50~100 年の低頻度大被害年のリスク寄与率が最も大きい水系群と、低頻度大被害年のリスク寄与率が最も小さい水系群の双方が存在し、市区町村スケールでの面的な確率的リスク特性の多様性を定量的分析から明示した。さらに、地域的分布に基づく地域性は見出されなかった一方で、同一の水系流域内部において隣接した市区町村が大きく異なる確率的リスク特性を持つ事例があることを指摘し、基礎自治体スケールの確率的リスク特性には、流域スケール・地方スケールより小さな地理的スケールでの自然的・社会的条件が影響している可能性を指摘した。

第四章「地先の水害リスクの算出と地理的構造化手法の提案」では、吉野川流域中下流部右岸側 (吉野川市・石井町・徳島市の一部) を主な対象領域として、領域内各点でのリスクカーブおよびハザードカーブ (浸水深・年超過確率曲線) を算出し、それに基づいた領域の地理的構造化

を試みた。はじめに、降雨アンサンブルデータ d4PDF と降雨流出氾濫一体モデル RRI を用いた合計 1500 仮想年に関する流出氾濫解析から、各セルでのリスクカーブ・ハザードカーブを算出した。続いて、多数の年超過確率曲線群の分類手法として、第二章で提案した再帰期間ごとのリスク寄与率に基づく類型化に加えて、曲線群自体のクラスタリングによる曲線形状の類似性評価を提案した。双方の手法を用いた流域内の地理的構造化の結果、どちらも同様の地理的構造を抽出できていることが示され、その適用可能性を検証した。構造化の結果、谷底平野区間と蛇行原区間では、確率的リスク・ハザード特性の地理的構造が異なることが示された。谷底野区間では、上流から下流に向けて縦断的に確率的リスク・ハザード特性が移り変わるという地理的構造が明らかとなり、一方で蛇行原区間では、本川からの距離に応じて蛇行原に対し横断的に確率的リスク・ハザード特性が移り変わるという地理的構造が明らかとなった。

第五章「水害リスクの地理的構造の要因分析」では、前章で指摘した谷底平野区間と蛇行原区間で異なる確率的リスク特性の地理的構造が生じる要因を考察した。吉野川中下流域は中央構造線に沿って東西に延びる直線的な谷底平野が特徴的であり、その左右岸で地質が異なる。北岸（左岸）の山塊は和泉層群主体の阿讃山地であり、その活発な土砂生産により左岸側支川群は急勾配の土石流型扇状地を形成する。一方で南岸（右岸）の山塊は三波川変性帯主体の剣山地であり、土砂生産量は少なく、右岸側支川群は扇状地を形成しない。吉野川市川島町上流の谷底平野区間（吉野川市旧山川町・同旧川島町）では谷幅自体が狭く、本川河道は北岸の支川扇状地により南岸山塊へ押しつけられ、山塊に河道が接する箇所ができる。こうして、下流側が閉塞した谷底平野では、支川が閉塞部に行く手を阻まれて本川へ合流する。そのため、最下流端の頻繁な湛水区域から上流に移動するにつれリスク・ハザードが変化する地理的構造が形成された。一方で、吉野川市川島町下流（吉野川市旧鴨島町、石井町、徳島市の一部）の蛇行原区間では、谷幅が拡大し北岸の扇状地も小規模になるため閉塞部は形成されず、度重なる流路の変化で本川と平行な支派川・旧河道群が発達した。支派川周りの低地は帯状の氾濫地帯となったが、江戸時代の間は、藍作のための洪水客土を得る必要性や、徳島城下への洪水流を抑える遊水池としての役割から、本川との間に堤防は設置されなかった。明治期に入り連続堤防が築堤されると、かつての派川が締切・堤内地化し帯状浸水域となり、また主要支川に沿った溢水型の帯状浸水域が形成される一方、その周囲の微高地・自然堤防が島状・帯状の低リスク・ハザード域となった。こうして、現河川と平行な確率的リスク・ハザード構造が形成された。以上の分析から、自然的要因として流域スケールの地質分布と土砂生産傾向・中地形分布が微高地・旧河道の分布に影響し、さらに社会的要因として歴史的治水政策・築堤過程が影響することで、谷底平野区間・氾濫原区間のそれぞれで異なる確率的リスク・確率的ハザードの地理的構造が成立したことを示した。

本研究の知見は、面的および点的な確率的リスク情報双方の活用可能性を示すものであるとともに、面的リスク情報の背後にあって見落とされてきた点的リスク情報への着目を促すものであり、河川計画・治水政策上有効なものであると考えている。

□