

学 位 論 文 題 名

内水氾濫を想定した避難施設配置及び避難に関するソフト的対策の評価 -韓国ソウル市江南区をテストフィールドとした研究-

(Evaluation of Evacuation Ways and Shelter Arrangement Assuming Inland Water Flooding -The Case Study of Gangnam Ward, Seoul City, in Korea-)

学位論文内容の要旨

近年、地球温暖化やヒートアイランド現象等の影響を受けて、世界的に異常な気象現象が頻発し、夏季の台風や梅雨前線による豪雨が増加傾向にある。特に、限られた地域における短時間の豪雨（所謂、集中豪雨）による被害が多発している。集中豪雨とは、気象学的に明確な定義はないが、直径 10km から数十 km の範囲に時間雨量 50 ミリ超の降雨が生じる豪雨をいう。韓国では、近年多くの地点で 1 時間雨量や 24 時間雨量が観測史上 1 位を記録するような豪雨が観測され、都市部においては、内水氾濫による多くの被害が発生している。特に、韓国の首都であるソウル市は、経済成長に伴い、人口や建物が密集し、宅地開発等の影響で雨水の浸透能力の低い土地面積の増加と共に、地下街、地下鉄、地下を有する建物等、水害に対して脆弱な施設が増加している。さらに、少子高齢化が日本以上に急速に進行しており、高齢者人口の増加により災害時の「自助」能力の低下に加え、自治会や防災団を担う人々の減少が災害時の「共助」能力も低下させると考えられる。

ソウル市では豪雨対策として、「水防施設能力向上 4 年計画 (2007 年～2010 年)」を策定しているが、ソウル市の対策は、大河川の氾濫（外水氾濫）を想定した河川拡幅や下水道整備等のハード対策が中心となっている。しかし、降雨発生から浸水までの時間が極めて短い集中豪雨に対しては、避難に関するソフト的対策である避難施設の配置問題や災害時要援護者の避難支援対策、避難開始時間の改善等が重要な課題となる為、ハード中心の既往の対策のみでは都市部の内水氾濫に対応しきれない恐れがある。以上の背景から、本研究では、豪雨災害が懸念される韓国ソウル市の内水氾濫対策を具体的に展開することを目的に、避難施設の配置と避難行動を助長するソフト的対策の具体案を提示し、またその効果を MAS(Multi-Agent System) シミュレーションで評価し、検討する。

本論文は、7 章から構成され、各章の概要は以下の通りである。

第 1 章「序論」では、本研究の背景・目的ならびに内容や構成についてまとめた全体像を示した。

第 2 章「降雨状況と浸水被害状況の変化」では、近年の降雨状況の変化の原因を考察すると共に、各国の外水氾濫と内水氾濫の被害状況を比較し、内水氾濫の被害特性を明らかにすることで、第 6 章の MAS シミュレーションにおける外的要因（降雨量、降雨状況、被害状況）の設定や避難限界水深までに達する降雨時間について検討した。内水氾濫の特徴として、豪雨発生の予測が困難であること、雨雲発生から最大降雨量到達までの時間が非常に短いこと、急激な水位の上昇に対して適切な避難行動が困難であること、外水氾濫より浸水範囲が狭く浸水深が浅いこと等、内水氾濫の特性を示した。

第 3 章「江南区における水害対策の現状と問題」では、本研究の対象地域であるソウル市江南区の地理的な位置及び水害対策の現状と問題点を明らかにし、豪雨対策としての避難施設の配置問題について具体的に検討を行った。ソウル市は朝鮮半島の西部に位置し、1394 年に朝鮮王朝の首都となり、現在まで韓国の政治、経済、社会、文化、教育の中心地として発展してきた。江南区は、ソウル市の行政区の一つであり、ソウル市の東南圏の副都心である。ソウル市の水害対策の課題は、都市計画と防災計画間の連携を図ること、豪雨に対するソフト的対策を推進していくことが挙げられる。さらに江南区に絞った場合、既存の避難施設は地下にあること、避難施設の規模が民

防衛基本法に定めている最小規模である 660 に達していない施設が多く、豪雨に対する避難所が決定的に少ないこと等を指摘した。MAS シミュレーションにより具体的改善策を見いだすために江南区の中から中心部である 10 箇所の洞(行政単位)を研究対象地域とし、その地域で災害時に避難施設として利用可能な学校及びその施設を中心とする避難圏域を新たに選定した。

第 4 章「避難行動を助長するソフト的対策の検討」では、豪雨時の避難行動の実態を考察し、ソフト的対策について検討した。シミュレーションに取り入れるソフト的対策として、豪雨時に適切な避難行動、災害時要援護者対策、避難開始時間の改善を中心に検討した。避難行動に関する対策としては、豪雨時の避難行動の実態分析から、地域特性に応じた早期避難、冠水時等の屋外移動の回避、高層階ビルを利用した垂直避難等について検討した。災害時要援護者対策に関しては、「災害時要援護者支援班」の設置を検討した。避難開始時間の改善に関しては、迅速かつ効果的な情報の伝達や住民の防災リテラシーの向上等を通じて住民の避難開始時間が改善されると想定し、シミュレーションに取り入れることとした。

第 5 章「シナリオの想定及び避難モデルの構築」では、豪雨による江南区の内水氾濫シナリオを想定した。シナリオの想定は、第 2 章で検討した近年の降雨状況の変化や内水氾濫の特性を踏まえ、発生時期、要避難者数、豪雨発生から浸水発生までの時間、避難開始時間、浸水発生から避難限界水深に至るまでの時間等に斟酌した。シナリオに則り、MAS を利用し、避難が必要な住民の避難行動を「迅速に、最短経路で避難施設へ避難する」モデルを構築した。モデルは、避難が必要な住民を住民エージェント、避難経路である道路をリンク、交差点をノードエージェントとするネットワーク型で構成し、各々のエージェントには、初期位置、移動速度、標高、幅員、浸水深等を基本情報として与え、リンクの接続状況や浸水状況により、接続リンクの勾配、混雑状況、浸水深に合わせて移動速度の低減値を設定した。また、接続しているリンクが 2 つ以上の場合は、混雑度や浸水深により、迂回リンクを選択させた。なお、避難モデルの適用については、対象地域の重要幹線道路や公園、標高差等を考慮し、シミュレーションに適用した。

第 6 章「避難施設の配置及びソフト的対策の評価」では、構築した避難モデルを利用し、シミュレーションによる現状理解と対策による効果の検討を行った。避難圏域の都市構造や地形等の影響で避難完了時間は変化したが、第 1 に最も避難完了時間を要した圏域に関して、臨時避難施設の追加・垂直避難行動を対策とし、その効果を検討した。第 2 に、災害時要援護者の避難支援対策や避難開始時間の改善が避難完了率に及ぼす影響を分析した。第 3 にこれらソフト的対策と臨時避難施設の追加を組み合わせ、全体の避難完了率に及ぼす影響を分析した。本シミュレーションを実施することで様々な対策の組み合わせの効果が検討できるが、避難開始時間が避難完了率の向上の為に最も重要であることを明らかにした。加えて、内水氾濫の特性から、従来の避難所と異なり一時的に建物内の高所へ移動することを考慮し、特定の圏域を抽出して垂直避難行動を含めた全ての対策の組み合わせの効果を検討した。この検討により、建物内での垂直避難が有効な対策であることが明らかになった。

第 7 章「結論」は、本研究を総括であり、各章における成果と、豪雨による内水氾濫における被害軽減に関してのより詳細な検討方法及び一般化の方向性を述べた。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 岡 田 成 幸
副 査 教 授 瀬 戸 口 剛
副 査 准教授 高 井 伸 雄

学 位 論 文 題 名

内水氾濫を想定した避難施設配置及び避難に関するソフト的対策の評価 -韓国ソウル市江南区をテストフィールドとした研究-

(Evaluation of Evacuation Ways and Shelter Arrangement Assuming Inland Water Flooding -The Case Study of Gangnam Ward, Seoul City, in Korea-)

近年、地球温暖化やヒートアイランド現象等の影響を受け、集中豪雨による災害発生が増加傾向にある。特に韓国では自然災害による死者発生のうち豪雨によるものが第一位を占めており、効果的な対策が急がれている。本研究の対象地域であるソウル市(韓国)では「水防施設能力向上4年計画(2007年～2010年)」を策定しているが、大河川の氾濫(外水氾濫)を想定した河川拡幅や下水道整備等のハード対策が中心である。しかし、降雨発生から浸水までの時間が極めて短い集中豪雨に対しては、ハード中心の既往の対策のみでは都市部の内水氾濫に対応しきれない恐れがある。以上の背景から、本研究では、韓国において既往対策が未熟な内水氾濫対策をソウル市をテストフィールドに具体的に展開することを目的に、避難施設の配置と避難行動を助長するソフト的対策の具体案を提示し、またその効果をMAS(Multi-Agent System)シミュレーションで評価し、検討している。各章の概要を以下に記す。

第1章「序論」では、本研究の背景・目的ならびに内容や構成についてまとめ論文の全体像を示している。

第2章「降雨状況と浸水被害状況の変化」では、近年の降雨状況の変化の原因を考察すると共に、各国の被害状況を比較し内水氾濫の被害特性を明らかにすることで、第6章のMASシミュレーションにおける外的要因について検討している。

第3章「江南区における水害対策の現状と問題」では、ソウル市東南圏の副都心である江南区の水害対策の現状と問題点を明らかにしている。ソウル市(特に江南区)の水害対策の課題は、対策が氾濫抑止に関するハード対策に偏っており、内水氾濫に対して有効な避難所が決定的に少ないことを指摘している。これは民防衛施設としての空襲対策避難のみを考えているためであり、既存避難施設は内水氾濫には無力な地下施設のためである。豪雨に対する避難所がMASシミュレーションにより具体的改善策を見いだすために江南区を街区モデル化し、その地域内で災害時に避難施設として利用可能な学校及びその施設を中心とする避難圏域を新たに選定している。

第4章「避難行動を助長するソフト的対策の検討」では、豪雨時の避難行動の実態を考察し、豪雨時における適切な避難行動の観点より「地域特性に応じた早期避難」「冠水時等の屋外移動の回避」「高層階ビルを利用した垂直避難」を提案し、また災害時要援護者対策の観点より「災害時要援護者支援班」の設置を提案し、さらに避難開始時間の改善として「迅速かつ効果的な情報の伝達」

「住民の防災リテラシーの向上」を提案し、MAS シミュレーションに取り入れるべくそれぞれの効果を検討している。

第 5 章「シナリオの想定及び避難モデルの構築」では、MAS シミュレーションのための内水氾濫シナリオを想定している。第 2 章で検討した内水氾濫の特性を踏まえ、発生時期、要避難者数、避難開始時間、浸水発生から避難限界水深に至るまでの時間等々の設定、及び避難が必要な住民を住民エージェントとし、各々のエージェントには初期位置・移動速度等を基本情報として与え、かつ第 3 章で新たに選定した避難所を運営すべく街区モデル化した江南区をネットワーク型で構成し、各種状況によりエージェントの移動速度の低減値を設定し、現状の再現並びに対策の効果評価に供している。

第 6 章「避難施設の配置及びソフト的対策の評価」では、構築した避難モデルを利用し、シミュレーションによる現状理解と対策による効果の検討を行っている。その結果、第 1 に避難完了時間を最も要した危険圏域に関しては臨時避難施設の追加・垂直避難行動が効果的であること、第 2 に災害時要援護者の避難支援対策や避難開始時間の改善が避難完了率に及ぼす影響も無視できないこと、第 3 にこれらソフト的対策と臨時避難施設の追加を組み合わせると全体の避難完了率に及ぼす影響を分析し、避難開始時間が避難完了率の向上に最も重要な要因であることを明示し、これらをソウル市江南区への内水氾濫対策として提言している。加えて、内水氾濫の特性から、一時的に建物内の高所へ移動する垂直避難が一時的には極めて効果が高いことも指摘している。

第 7 章「結論」は、本研究の総括であり、各章における成果と、豪雨による内水氾濫における被害軽減に関してのより詳細な検討方法及び一般化の方向性を述べている。

これを要するに筆者は、韓国に多大な被害をもたらす内水氾濫に対する防備体制を、緊急的かつ実現性の高い避難所配置と避難方法によるソフト的立場から論じ、かつ MAS シミュレーションがその具体的評価効果を与え得ることを示し、以て諸外国への防災技術移転の可能性を広げたものであり、防災工学及び自然災害科学に対して貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。