

Activity Based Model を用いた洪水発生時の 交通需要推計手法の検討 —タイ・ウボンラチャタニ市を対象として—

積田 典泰¹・Rizky Wahyulinata²・Sidney Schreiner³・端野 良彦⁴
・Sittha Jaensirisak⁵・福田 敦⁶

¹学生会員 日本大学大学院 理工学研究科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1)
E-mail:csno20001@g.nihon-u.ac.jp

²学生会員 日本大学大学院 理工学研究科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1)
E-mail:csri20019@g.nihon-u.ac.jp

³非会員 日本大学 理工学部 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1)
E-mail:sideney@gmail.com

⁴正会員 株式会社 PTV グループジャパン (〒156-0057 東京都世田谷区上北沢 4-15-13 フィル・パーク上
北沢 2F)
E-mail:yoshihiko.hashino@ptvgroup.com

⁵非会員 ウボンラチャタニ大学 工学部 (〒34190 Warin Chamrap District, Ubon Ratchathani)
E-mail:sittha.j@ubu.ac.th

⁶正会員 日本大学 理工学部 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1)
E-mail:fukuda.atushi@nihon-u.ac.jp

東南アジア諸国の都市では洪水が頻繁に発生し、その影響は年々深刻さを増している。これらの都市は低平地に位置しており、一度洪水が発生すると広範囲かつ長期間にわたって浸水が生じるため、都市生活に甚大な被害をもたらす。このような状況に適応し、最小限のモビリティを確保するためには、交通状態と交通行動の変化や特性を十分に把握し、その影響を反映して交通需要を推計する必要がある。しかし、洪水発生時の交通状態や行動パターンの変化は十分に明らかにされていない。そこで、本稿では、タイ・ウボンラチャタニ市を対象に洪水発生時の交通行動の変化を住民のアクティビティ別に把握するとともに、その結果にアクティビティベースモデルを適用して交通需要を推計し、洪水発生時の交通状態を推定した。

Key Words: Urban Flooding, Activity Based Model, Travel Pattern, Developing Countries

1. はじめに

近年^{1,2)}、東南アジア諸国の都市では頻繁に洪水が発生し、人的および物的な被害が年々深刻さを増している。これらの洪水発生の原因は様々あり、内水氾濫（豪雨が排水システム能力を超えた際に発生）、外水氾濫（河川の氾濫によって発生）、高潮および海面上昇等が挙げられる。特に、これらの都市は、低平地に位置しており、都市内での高低差が小さいため、洪水が発生した際には、広範囲かつ長期間にわたって浸水状況が継続することで、都市生活に甚大な被害をもたらす。これに対して、以前は、氾濫域を避けた居住地の選択や高床式住居の生活を

営むことで、洪水の発生に適応していた。しかし、無秩序な都市域の急拡大によって溢水を逃がす役割を担っていた土地についても開発が進んでしまったため、洪水発生時の被害が深刻化している。

一方で、今後^{3,4)}、気候変動の影響によって以前にも増して洪水の発生が増加し、その影響は拡大する可能性が高いことが示唆されている。そのため、従来の治水対策ではこれらの洪水発生による被害を完全に防ぐことはできず、都市生活に影響が及ぶことは避けられない。

このような状況に対して適切な適応策を講じ、被害の軽減に向けて社会システムや人々の活動の調整をすることが求められている。特に、交通分野においては、持続

可能かつレジリエントな交通システムを実現することで、洪水発生時においても最小限のモビリティを確保することが求められている。効果的かつ効率的に適応するためには、第一に洪水発生時の交通状況とそれに対応した人々の交通行動の変化や行動の特性を詳細に把握する必要がある。また、これらの交通行動特性を把握した結果を洪水発生時の交通需要の推計時に反映することでより現実的な実態の分析および適応策の評価を進めていくことが求められている。しかし、これまで、洪水発生時の住民の交通行動の変化とそれに伴う交通状況の変化については、十分に明らかにされていない。特に、長期間に渡って浸水するような場合は、住民によって行動変化が大きく異なると考えられ、日常のアクティビティ別の行動変化を把握しておくことが重要となる。

そこで、本稿では、雨季に洪水が頻繁に発生するタイの東部のウボンラチャタニ市を対象に、洪水発生時の交通行動の変化を住民のアクティビティ別に把握するとともに、その結果にアクティビティベースモデルを適用して交通需要を推計し、洪水発生時の交通状態を推定する。また、定常時と洪水発生時の交通状態を比較することで、洪水の発生が交通状態に与える影響を分析する。最後に、今後の洪水発生時の交通状態の分析に関する課題や問題点について整理する。

本稿の構成は以下の通りである。2 では、これまでの洪水発生時の交通行動や交通状態に与える影響を分析した研究および交通分野における適応策の評価に関する研究について整理する。3 では、定常時と異なる洪水発生時の交通需要をアクティビティベースモデルで推計する方法を概説する。また、対象としたタイ・ウボンラチャタニ市での洪水被害と適応について述べる。そして、洪水発生時の交通行動を把握するために実施したアンケート調査の概要について示す。4 では、洪水発生時の交通行動把握に向けて実施したアンケート調査の結果を示す。そして、アクティビティに基づく手法とトリップに基づく手法の交通状態の推定結果の比較する。最後に、5 にて得られた知見をまとめ、今後の洪水発生時の交通状態の推定に関わる課題について述べる。

2. 洪水発生時の交通状態に関する研究

これまで災害に強いレジリエントな交通システムや交通ネットワークの実現に向けて、洪水発生による交通行動や交通状態の変化に着目した研究、グラフ理論に基づいたネットワークの脆弱性分析に関する研究、適応策の導入効果の推計等の研究として、国内外問わず様々な手法の開発や分析が進められてきた。洪水発生時の交通行動の変化は、アンケート調査の結果から得られた定常時

および洪水発生時の交通行動を比較し、分析することで明らかにされている。例えば、Hannan ら⁵⁾は、2011年に発生した台風発生に伴う豪雨が交通状態に与える影響について尾張東部地区を対象にアンケート調査およびプローブデータに基づいて分析している。また、Abad ら⁶⁾は、フィリピン・メトロマニラにおける通勤者の利用交通機関および出発時刻の変化をアンケート調査から把握し、そのデータに基づいてカイニ乗検定の適用および交通機関選択モデルを構築し、洪水発生に伴う交通行動への影響を明らかにしている。この他にも Cools ら⁷⁾、Zanni ら⁸⁾も同様にアンケート調査の結果から洪水や豪雨発生時の交通行動の変化を分析している。これらの研究では、主に、通勤や通学を目的とした移動に焦点が当てられて分析されている。

また、近年では、モバイルデータやプローブデータ等のビックデータを活用して道路交通の状態変化を効率的に把握されている。例えば、川崎ら⁹⁾は、平成30年西日本豪雨発生時における商用車のプローブデータを用いて、迂回の検出および迂回発生の原因について分析している。また、Takano らは¹⁰⁾、2018年のタイ・バンコクのプローブデータを用いて、洪水発生時の速度低下と降水量の関係性を推定した。この他にも Wang ら¹¹⁾や Li ら¹²⁾もプローブデータを用いて、洪水発生時の交通行動への影響を分析している。さらに、これらの研究に関連して、Pregolato ら¹³⁾、Hilly ら¹⁴⁾は、洪水発生による速度低下と浸水深および降水量等の関係性を定式化した関数を推定した。

一方で、レジリエントな交通ネットワークの実現に向けてアクセシビリティ、サービスアビリティ等の観点から交通ネットワーク上の脆弱な地点の分析や災害発生時の都市全体のアクセシビリティやモビリティへの影響について分析されている。例えば、山下ら¹⁵⁾は、2011年に発生した大洪水による道路交通ネットワークへの浸水や寸断の影響についてタイ・バンコクを対象として道路利便性の低下を分析している。結果として、洪水発生によって都市全体で移動円滑性が著しく低下していることが明らかにされた。また、Luatthep ら¹⁶⁾は、タイ・ハジャイ市を対象として避難所までのアクセシビリティについて、アンケートデータから収集した実際の洪水発生時の住民の行動を反映した上で交通量配分の結果から把握している。これらの他に Chen ら¹⁷⁾、Evans ら¹⁸⁾等の研究で道路ネットワークの脆弱性について分析されている。

これに加えて、洪水発生時の交通分野における適応策に関する議論も進められている。Stamos ら¹⁹⁾は、交通分野におけるソフトおよびハード面からみた適応策を列挙し、短期・中期・長期の交通分野における適応策を組み合わせたロードマップを作成している。また、Vajjarapu ら²⁰⁾は、インド・バンガロール首都圏を対象として洪水発生

が交通状態に与える影響の軽減に向けて、交通分野における適応策を組み合わせた複数のシナリオを設定し、四段階推定法を用いて総走行距離、総走行時間およびトリップの減少率等に基づいて評価している。

さらに、近年では、個人の活動と交通行動の関係を定式化し、交通需要を推計するアクティビティベースモデルを用いた分析も進められている。例えば、Pyatkova ら²¹⁾は、洪水発生時の自動車交通への浸水の影響を自由流速度の低下として表現した上で、アクティビティベースモデルを適用して、交通行動パターンや旅行時間の変化を分析している。また、Yu ら²²⁾は、アメリカ・フロリダ州マイアミ・デイド群を対象として、アクティビティベースモデルを用いて 2045 年の将来時点の交通需要を推計した上で、台風発生による洪水に対する適応策を評価している。結果として、洪水の規模によって総走行時間に与える影響は異なり、とりわけアクティビティ別に大きく変化が異なることが示された。また、Cools ら²³⁾や Saddi ら²⁴⁾も同様に洪水発生が自動車交通に与える影響を自由流速度や交通容量の変化を通じて表現し、洪水発生の影響について人的被害量や総走行時間および総走行距離等に基づいて分析している。

しかしながら、既存研究の多くはトリップに着目し、洪水の発生が交通状態に与える影響を分析しているため、個人や世帯間の関係性による行動パターンの変化についての分析は不十分である。一方で、洪水発生時の交通状態をアクティビティベースモデルの推計結果に基づいて分析している研究は、本稿で対象とするような長期間浸水した状態が継続するような都市での分析は十分でない。また、著者ら²⁵⁾は、洪水発生時の交通ネットワークのサービスレベルの低下を表現した上で、都市活動の変化について分析しているが、交通行動のパターンの変化や行動変容について分析に主眼が置かれていないため、交通状態への分析は不十分である。

3. アクティビティベースモデルを用いた交通需要の推計方法

本章では、対象としたタイ・ウボンラチャタニ市における洪水の発生に伴う被害の発生状況について述べる。また、洪水発生時における交通行動の変化を把握するために実施したアンケート調査の概要を示す。そして、洪水発生時の交通需要を推計するために適用したアクティビティベースモデルについて概説する。

(1) 対象都市

本稿では、タイ東北部の中規模都市であるウボンラチャタニ市を対象として分析した。同都市は、都市中央部を南北に分断するようにムン川が流れており、雨季は上流から大量の水が流出してくることで河川周辺の住宅だけでなく、道路区間の浸水および寸断が発生する。雨季に毎年洪水が発生しているが、特に、規模が大きい洪水が 1938, 1950, 1978, 1998–2002, 2019 年に発生した。2002 年に発生した都市洪水²⁶⁾では、同市を南北に移動する際に通行可能な 4 つの道路区間（1：西側バイパス、2&3：中央の橋、4：東側バイパス）があるが、これらを含む河川周辺の多くの道路区間で浸水や寸断が発生し、都市内のモビリティが著しく低下した。この洪水によって総計で 10 億バーツ（1 バーツ≒3.4 円）の被害が発生した。そのため、地方自治体は、図-1 に示す西側および東側バイパス（赤色マーカー部分）を 50~150cm 高上げた。また、治水対策としてダム建設や防水壁が設置された。これによって、2019 年 9 月中旬に発生した洪水が発生した場合でも中央の橋（図-1①）の上の道路区間は通行不可能となった。しかし、西側バイパス（図-1②）や東側バイパスは、2002 年の洪水発生後に高上げされたため、浸水が一部の区間で発生し、定常時よりも速度は低下したものの多くの区間で通行可能であった（図-2）。しかし、将来的には洪水の発生に伴う被害が深刻化していくため、治水対策だけでなく、浸水リスクが高いエリアからの移転（立地選択）を含めた適応策の検討が求められている。

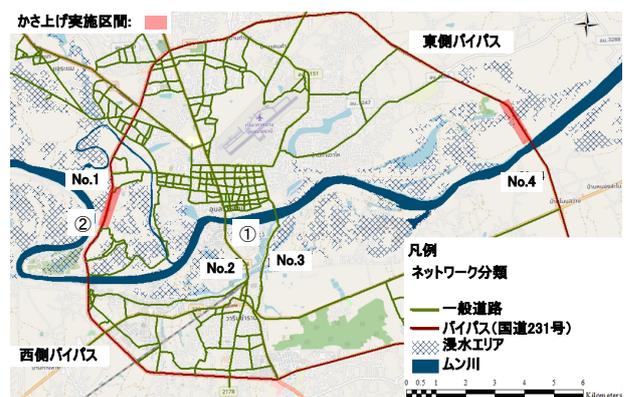


図-1 道路ネットワークと浸水エリア



図-2 洪水発生時の道路交通の様子

(2) 洪水発生時の交通行動アンケート調査の概要

洪水発生時の交通行動の変化を把握するために²⁶⁾、著者らは、ウボンラチャタニ市在住の住民の方々に対してアンケート調査を実施した。アンケート調査内容を表-1に示す。アンケート調査は、2019年9月の洪水発生後の交通行動の変化を把握するために2019年12月～2020年1月にかけて実施し、合計300人の方にご回答をいただいた。アンケート内では、3つのトリップ目的(1:通勤・通学, 2:子供の送迎, 3:買い物)を想定した。このうち、アンケート回答者の方々が行っている移動の目的についてのみご回答いただいた。

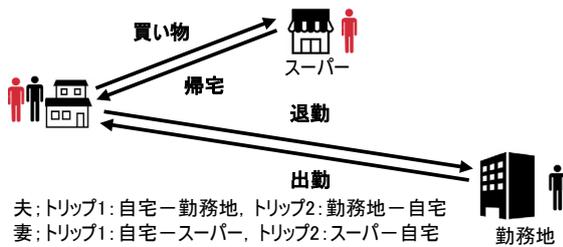
本アンケート内容は、トリップ頻度、目的地および交通機関選択、避難行動の有無、経路選択、2019年に経験した浸水深、個人情報のおおきく分けて7項目を設定した。

表-1 洪水発生時の交通行動アンケート調査概要

調査期間	2019年12月～2020年1月		
取得サンプル	300		
トリップ目的	(1)通勤・通学	(2)子供の送迎	(3)買い物
アンケート内容	-トリップ頻度	-交通機関選択	-経験した浸水深
	-目的地選択	-ルート選択	-個人情報
	-避難行動の有無		

定常時：

世帯タイプA: 夫(就業者), 妻(専業主婦)



洪水発生時：

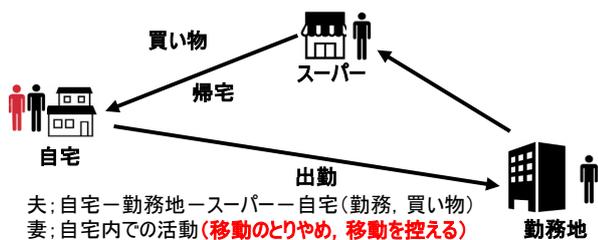


図-3 定常時から洪水発生時の交通状態の変化

(3) 洪水発生時のアクティビティベースモデルを用いた交通需要推計の必要性

本稿では、洪水発生時に目的別トリップに基づく四段階推定法で表現することが出来ない交通行動パターンの変化について扱うために、アクティビティベースモデルを用いて交通需要の推計した。アクティビティベースモデルを用いた分析の必要性としては、行動パターンの変化の割合を世帯別に把握することが出来ること等が挙げられる。

定常時の交通行動については、四段階推定法およびアクティビティベースモデルの両手法を適用した場合に、通勤トリップおよび買い物トリップの1つとして捉えることができるため、いずれの手法でも表現することが出来る。しかし、洪水発生時については、妻がトリップを取りやめ、夫が帰宅途中でスーパーに立ち寄ってから自宅に帰る等の交通行動のパターンの変化については、トリップに基づく場合には目的別のトリップに基づいて交通行動の変化を推定することが出来ないが、アクティビティに基づく場合には、行動パターンの変化の割合を把握することが出来るので、推定可能となる(図-3)。

(4) アクティビティベースモデルを用いた交通需要推計手法の概要

これまで、多くの研究で様々な種類のアクティビティベースモデルが新たな交通需要推計手法として構築されている。既存研究で構築されてきたアクティビティベースモデルは、大きく分けて3種類に分類することが出来る。1つ目は、Ben Akivaら²⁷⁾、金森ら²⁸⁾、Yagiら²⁹⁾が用いている離散選択モデルを適用したランダム効用理論に基づく、個人の活動パターンを確率的に選択する手法である。活動パターンの要素としては、アクティビティパターン、時間配分、交通機関および目的地等が選択される。2つ目は、藤井ら³⁰⁾、Saddiら²⁴⁾、Yuら²²⁾の研究で用いられているプリズム時空間制約等のルールに基づいて移動および活動を1つずつ逐次的に選択していく手法である。3つ目は、上記の2つの手法を統合したハイブリット型のモデルの開発が進められている。本稿では、Scherrら³¹⁾が開発したハイブリット型モデル MATSimを改良したMobi.planモデルを用いて分析した。

初めに、アクティビティダイアリー調査やPT調査およびセンサスデータから交通需要の推計に必要な合成人口の生成を行う。本稿では、IPU(Integrative Proportional Updating)法を用いてウボンラチャタニ市の世帯および人口データを生成した(世帯:68,555 および人口:257,113人)。次に、アクティビティダイアリー調査やPT調査から交通機関選択やパラメータ推定した上で、アクティビティに基づく交通需要分析を実施する(図-4)。具体的には、主要なツアーの目的地を選択し、ツアー頻度の

を決定する。その後、主要なアクティビティの目的地および交通機関の選択を行った上で、サブツアーの目的地および交通機関の選択する。最終的に、アクティビティの時間の設定およびアクティビティを始める時間を計算することで、個人のツアーデータが生成される。そのデータをトリップ毎に分割し、OD 表を作成する。最終的には、この OD 表を用いて配分交通量の計算を実施する。この配分交通量の結果を自動車および自動二輪車交通のサービスレベルをツアー生成時の計算に戻し、繰り返し計算を行い、最終結果としている。なお、本稿では、100 回繰り返し計算を行ったデータから OD 表の生成および最終的な配分交通量を計算している。

本稿では、定常時の交通状態をこのモデルで表現した上で、洪水発生による浸水の影響を交通ネットワークのサービスレベルを変更し、表現した。具体的には、アンケート調査で得られた個人の浸水深データから、浸水深の分布を推定した。その後、推定した浸水深に基づいて、各道路区間の自由速度の低下または寸断を設定することで、洪水発生時の交通状態の再現した。

4. 洪水発生時の交通需要の推定結果

(1) 洪水発生時の交通行動アンケート調査の結果

洪水発生時の交通行動アンケート結果のうち交通機関選択、目的地&移動頻度および経路選択行動についてまとめた結果を以降に示す。初めに、定常時と洪水発生時の交通機関選択について図-5に示す。それぞれのトリップ目的で定常時と洪水発生時の比較した。結果として、いずれのトリップ目的においても自動車、ピックアップおよび自動二輪車が定常時および洪水発生時に 85~100%と大半を占めている。洪水発生時には、道路交通が浸水や道路区間の寸断によって大きな影響を受ける可能性があるが、定常時と大きな差がない。これは、多くの住民が代替交通手段を持っていないことが挙げられる。そのため、住民は道路交通への浸水の影響を大きく受ける可能性がある。

表-2にそれぞれの目的別の定常時からみた洪水発生時の移動頻度および目的地選択の変更について示す。結果として通勤・通学および子供の送迎を目的とした移動は約 90%の回答者が移動頻度・目的地選択ともに変更されていない。一方で、買い物をトリップ目的は、約 20%の回答者が目的地を変更しており、35%程度がトリップの頻度を減少させている。買い物を目的とした移動は、洪水発生前にまとめ買いを行うことや定常時よりも自宅から近い場所で購入できる。しかし、通勤・通学や子供の送迎の場合には、学校や会社の場所がすでに決まっているため、大きな変化が生じなかった可能性がある。

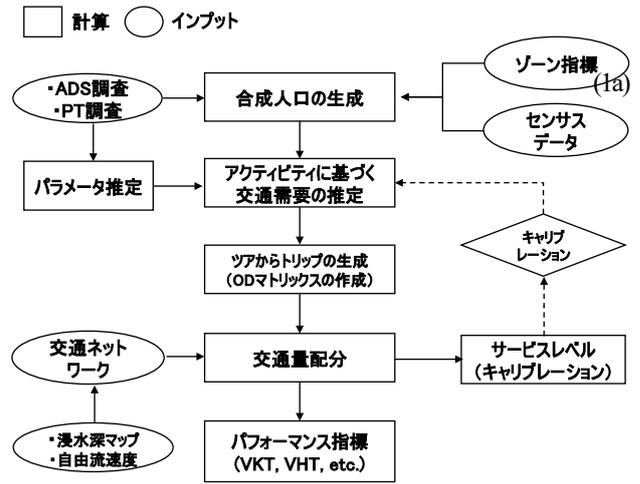


図4 洪水発生時のアクティビティに基づく交通需要予測推定

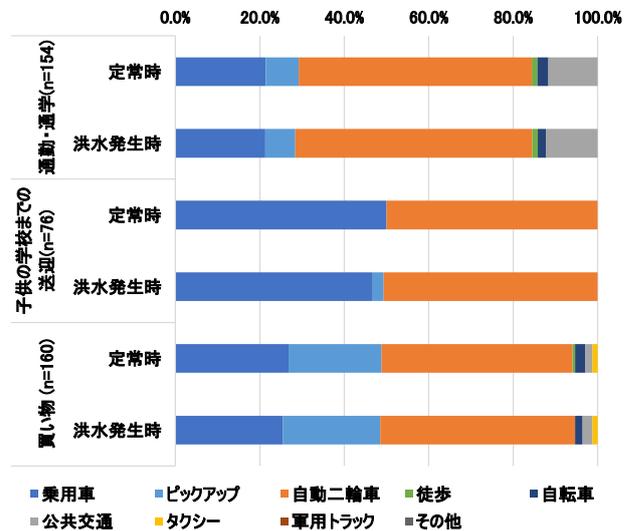


図5 洪水発生時と定常時の交通機関選択

表-2 洪水発生時の移動頻度および目的地選択の変化

通勤・通学(N=157)		
移動頻度/目的地選択	変更有	変更無
変化なし	2.5%	89.2%
減少	0.6%	6.4%
とりやめ	0.6%	0.6%
子供の送迎(N=76)		
移動頻度/目的地選択	変更有	変更無
変化なし	1.3%	90.8%
減少	0.0%	2.6%
とりやめ	1.3%	3.9%
買い物 (N=168)		
移動頻度/目的地選択	変更有	変更無
変化なし	1.8%	45.2%
減少	13.1%	27.4%
とりやめ	6.5%	6.0%

最後に、回答者の定常時と洪水発生時の経路選択行動の代表的な例を図-6および図-7に示す。図-6では、回答者は定常時においては、都市中央にかかる橋を含む都市中央の道路区間を利用して移動している。一方で、洪水発生時には橋やその周辺の道路区間が浸水および寸断してしまうため、西側バイパスを迂回路として利用し、移動している。なお、目的地は浸水域から外れており、目的地の変更は発生していない。また、図-7も同様に定常時においては、中央の橋（右側）を利用しているが、洪水発生時には、通行不可能になってしまうため、東側バイパスを迂回路として利用されている。アンケート調査の結果は、(2)四段階推定法を用いた洪水発生時の交通需要推計および(3)アクティビティベースモデルを用いた洪水発生時の交通需要推計時に裏付けとして用いた。

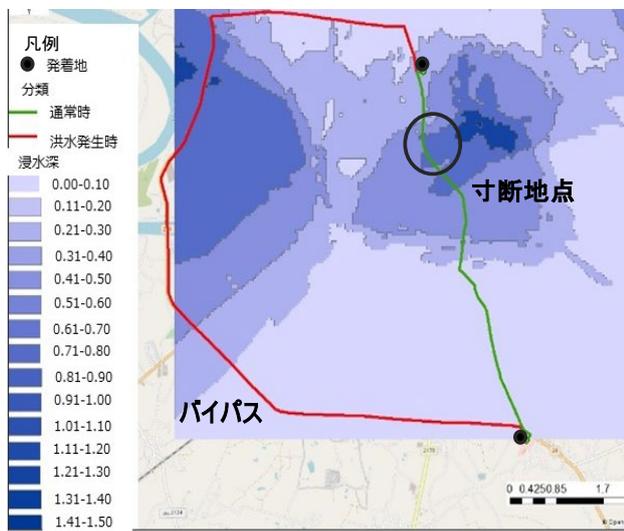


図-6 定常時と洪水発生時の経路選択行動の比較 1

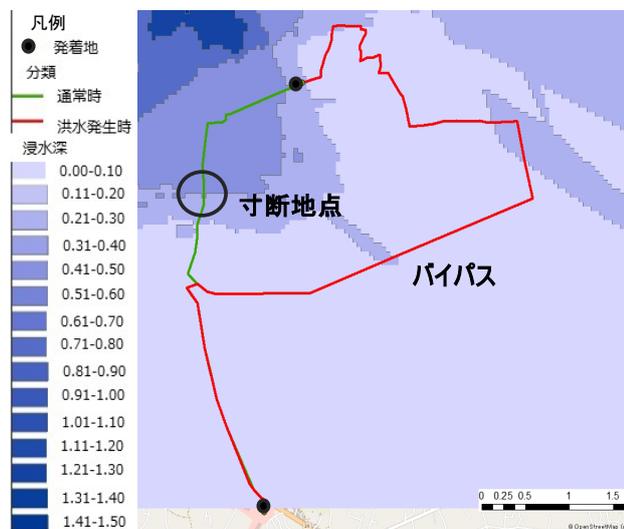


図-7 定常時と洪水発生時の経路選択行動の比較 2

(2) 四段階推定法を用いた洪水発生時の交通需要の推計結果

アクティビティベースモデルを用いた洪水発生時の交通状態の推定する前に、同都市で 2015 年に実施された PT 調査のデータから自動車および自動二輪車の OD 表を作成し³⁾、配分交通量を計算した。なお、洪水発生時の影響を表現するために、アンケート調査の結果から推定した浸水深と道路区間を重ね合わせて、各道路区間の洪水発生時の浸水深を把握した。その後、著者らが推定した浸水深と速度との関係性を表す関数に基づいて各道路区間で洪水発生による速度低下を表現した(図-8)。図中では、5つの定常時の速度のそれぞれで、浸水深ごとの速度低下を把握した。浸水深が 0.75m 以下の場合には、定常時の速度によって速度の低下量が異なるが、それ以上の浸水深になった場合には、15km/h 以下となっている。各道路区間の浸水深毎に、この関数に基づいて速度を設定することで、洪水発生時の道路交通への影響を表現した。結果として、2019年の洪水発生時の中央の2つの橋を含む、河川周辺の道路区間が浸水したことで、東側バイパスを迂回路として利用する状態が表現することが出来ている(図-9)。なお、東側バイパスは、ピーク1時間当たり6000台程度の車両が配分された。

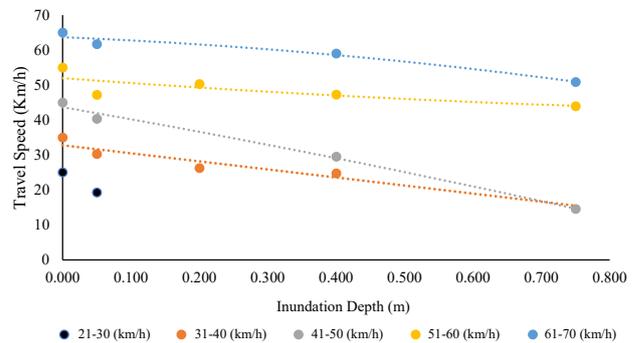


図-8 浸水深と速度低下の関係性

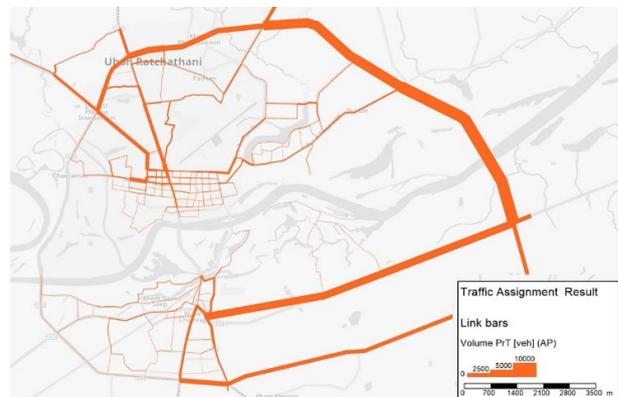


図-9 トリップに基づく配分交通量の結果

(3) アクティビティベースモデルを用いた洪水発生時の交通需要の推計結果

(2)の計算時と同様に、洪水発生時の浸水深に基づいて各道路区間の速度低下の影響を含めることで、道路交通への浸水の影響を表現した上でネットワークのサービスレベルを低下させてアクティビティベースモデルの入力データとして利用し、計算した結果を図-10に示す。なお、アクティビティベースモデルの計算に当たっては、前述のように配分結果の各道路区間のサービスレベルの変化を旅行時間として次ステップの交通需要の推計時に利用して繰り返し計算した。(2)と同様に西側バイパスおよび中央の橋とその周辺の道路区間が浸水及び寸断することで、人々は東側バイパスに多くの車両が配分されている。具体的には、ピーク1時間当たり10,000台程度の車両が配分された。多くの道路区間で、PT調査の結果から作成した四段階推定法の結果と比較して、配分交通量が増加している。これは、四段階推定法と比較してアクティビティベースモデルを適用した場合には、捉えられなかったトリップについても表現することができたためである。

5. 結論

本研究では、タイ・ウボンラチャタニ市を対象に洪水発生時の交通状態を分析するために、アクティビティ別に住民の交通行動の変容をアンケート調査から把握した。また、その結果に基づいてアクティビティベースモデルを用いて洪水発生時の交通需要を推計した。アンケート調査の結果から、洪水発生時の交通機関選択は大きく変化せず、定常時と同様に自動車・ピックアップおよび自動二輪車が主な交通手段(85~100%の回答者が利用)となっていることが示された。そして、目的地および移動頻度については、トリップの目的に応じて大きく変化することが示唆された。そして、経路選択行動の分析から西側および東側バイパスは洪水発生時の迂回路として利用されていることが示された。また、このアンケート調査の結果から得られた浸水深データから各道路区間の浸水深を推定し、著者らが推定した浸水深と速度低下を表現する関数を用いて速度の変更及び道路区間の寸断をさせることで洪水発生時の交通状態を表現した。これらの道路ネットワークデータを用いて四段階推定法とアクティビティベースのそれぞれで交通需要を把握した上で、配分交通量を計算した。結果として、アクティビティベースモデルを適用することで迂回路として配分された東側バイパスでピーク1時間当たり6,000台、10,000台という結果になった。アクティビティベースモデルを適用することで、四段階推定法の枠組みでは捉えられなかった

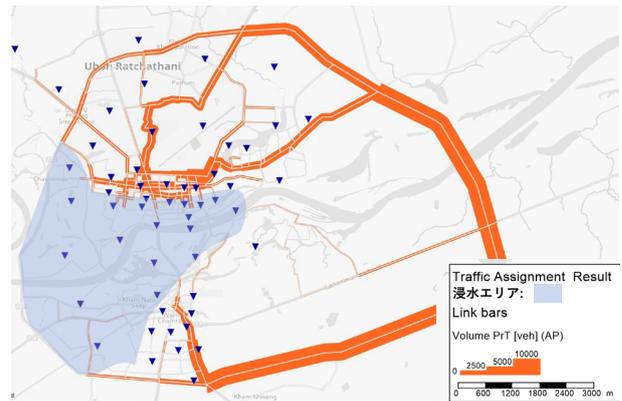


図-10 アクティビティベースモデルを用いた交通需要推計結果

交通行動を表現することが出来たため、配分交通量が増加した。

参考文献

- 1) Hijioka, Y., E. Lin, J.J. Pereira, R.T. Corlett, X. Cui, G.E. Insarov, R.D. Lasco, E. Lindgren, and A. Surjan, 2014: Asia. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1327-1370, 2014.
- 2) Kimuli, B. J., Di, B., Zhang, R., Wu, S., Li, J. and Yin, W.; A Multisource Trend Analysis of Floods in Asia-Pacific 1990-2018: Implications for Climate Change in Sustainable Development Goals. International Journal of Disaster Risk Reduction, 59 (2021) 102237.
- 3) 田平由希子, 川崎昭如: 東南アジアの洪水常襲地帯における住民の災害対応と支援の関係タイとミャンマーの比較分析から, 水文・水資源学会会誌, Vol.30, No.1, pp.18-31, 2017.
- 4) 日本学術会議土木工学・建築学委員会気候変動と国土分科会: 低平地等の水災害激甚化に対応した適応策推進上の重要課題, 32pp, 2020.
- 5) Hannan, M., Khan, M., Fujita, M. and Jindawat, W. W.: Analysis on Car Commuters' Behavior during a Massive Downpour Based on Probe Data and Questionnaire Survey, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. F3 (Civil Engineering Informatics), Vol. 72, No. 2, I_1-I_13, 2016.
- 6) Abad, P. R. and Fillone, A.: Changes in Travel Behavior during Flood Events in Relation to Transport Modes: The Case of Metro Manila, Philippines, Transportation Research Procedia, Vol.48, pp. 1592-1604, 2020.
- 7) Cool, M. M. E., Creemers, L., and Wets, G.: Changes in Travel Behavior in Response to Weather Conditions Do Type of Weather and Trip Purpose Matter, Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board, No.2157, pp. 22-28, 2010.
- 8) Zanni, M. A., and Ryley, J. T. The Impact of Extreme Weather Conditions on Long Distance Travel Behaviour, Transportation Research Part A Policy and Practice, 66, pp.

- 305-319, 2015.
- 9) 川崎洋輔, 梅田祥吾, 桑原雅夫: 機械学習による西日本豪雨時の商用車の迂回の検出および迂回原因の分析, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.75, No.1, pp.143-154, 2019.
 - 10) Takano, T., Morita, H., Nakamura, S., Miyazaki, H., Pattara-atikom W. and Poamsa-nga, N., Impact of Rainfall on Urban Traffic Flow based on Probe Vehicle Data in Bangkok, *Journal of Intelligent Information and Smart Technology*, Vol.4. pp.72-76, 2020.
 - 11) Wang, L., Yamamoto, T., Miwa, T. and Morikawa, T.: An Analysis of Effects of Rainfall on Travel Speed at Signalized Surface Road Network Based on Probe Vehicle Data, In Proceedings of the Conference on Traffic and Transportation Studies, ICTTS, Xian, China, 2-4 August, pp. 615-624.
 - 12) Li, Q., Luo, H. and Luan, X.: Multistage Impacts of the Heavy Rain Process on the Travel Speeds of Urban Roads, *International Journal of Geo-Information*, Volume 10, Issue 8, 1-15.
 - 13) Pregolato, M., Ford, A., Wilkinson, M. S. and Dawson, J. R.: The Impact of Flooding on Road Transport: A Depth-disruption Function, *Transportation Research Part D*, 55, 67-81, 2017.
 - 14) Hilly, G., Vojinovic, Z., Weesakul, S., Sanchez, A., Hoang, N. D., Djordjevic, S., Chen, S. A., Evans, B.: Methodological Framework for Analyzing Cascading Effects from Flood Events: The Case of Sukhumvit Area, Bangkok, Thailand. *Water*, 10, 1-26, 2018.
 - 15) 山下優輔, 中村晋一郎, 杉本賢二, 林良嗣: 2011 年タイ洪水における道路利便性の推計と対策評価手法の検討, 土木学会論文集 B1 (水工学), 第.73, 4 号, I_301-I_306, 2017.
 - 16) Luatthep, P., Sittha, J.: Evaluation of Accessibility to Evacuation Centers in Asian Developing City, *Advanced Material Research*, Vol. 931,
 - 17) Chen, X., Lu, Q., Peng, Z. Ash, J. E.: Analysis of Transportation Network Vulnerability under Flooding Disasters, *Journal of the Transportation Research Record*, 2532, 37-44, 2015.
 - 18) Evans, B., Chen, S. A., Djojević, S., Webber, J., Gomez, G. A. and Stevens, J.: Investigating the Effects of Pluvial Flooding and Climate Change on Traffic Flows in Barcelona and Bristol, *Sustainability*, pp.1-18, 2020.
 - 19) Stamos, I., Mitsakis, E. and Grau, S. M. J: Roadmaps for Adaptation Measures of Transportation to Climate Change, *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 2532(1), 1-12, 2015.
 - 20) Vajjarapu, H., Verma, A. and Allirani, H.: Evaluating Climate Change Adaptation Policies for Urban Transportation in India, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 47, 2020, 101528.
 - 21) Pyatkova, K., Chen, S. A., Butler, D., Vojinović, Z. Djordjević, S.: Assessing the Knock-on Effects of Flooding on Road Transportation, *Journal of Environmental Management*, 244, 48-60, 2019.
 - 22) Yu, H., Changjie, C., Zhong-Ren, P. and Pllab, M.: Evaluating Impacts of Coastal Flooding on the Transportation System Using an Activity-Based Travel Demand Model: a Case Study in Miami-Dade County, FL. *Transportation*, 2021.
 - 23) Cools, M., and Creemers, L.: The Dual Role of Weather Forecasts on Changes in Activity-travel Behavior, *Journal of Transport Geography*, Vol. 28, pp. 167-175, 2013.
 - 24) Saddi, I., Mustafa, A., Teller, J., and Cools, M.: Investigating the Impact of River Floods on Travel Demand based on an Agent-based Modeling Approach: The Case of Liège, Belgium, *Transport Policy*, 67, pp.1-17, 2017.
 - 25) Kikuchi, H., Tsumita, N., Jaensirisak, S. and Fukuda, A.: Impacts of Transport and Land-use Adaptation Policies on Flood Risk in Middle-sized City Analyzed by System Dynamics Model: A Case Study of Ubon Ratchathani, Thailand, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol.13, pp.2487-2505, 2019.
 - 26) Tsumita, N., Jaensirisak, S., Kikuchi, H. and Fukuda, A.: Analysis of Travel Behaviors during Floods in Ubon Ratchathani City, Thailand, *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 832(1): 012034, 2021.
 - 27) Ben-Akiva, E. M. and Bowman, L. J.: Activity Based Travel Demand Model Systems, *Equilibrium and Advanced Transportation Modelling*, pp27-46, 1998.
 - 28) 金森亮, 森川高行, 山本俊行, 三輪富生: 総合交通戦略の策定に向けた統合型交通需要予測モデルの開発, 土木学会論文集 D, Vol.65, No.4, 503-518, 2009.
 - 29) Yagi, S. and Mohammadian, K. A.: An Activity-Based Microsimulation Model of Travel Demand in the Jakarta Metropolitan Area, *Journal of Choice Modeling*, 3(1), pp.32-57, 2010.
 - 30) 藤井聡, 大塚祐一郎, 北村隆一, 門間俊幸: 時看的空間的制約を考慮した生活行動軌跡を再現するための行動シミュレーションの構築, 土木計画学研究・論文集, No.14, pp.643-652, 1997.
 - 31) Scherr, W., Joshi, C., Manser, P., Frischknecht, N. and Metrailler, D.: Mobi.plans: A Microscopic, Activity-Based Travel Demand Model of Switzerland, 19th Swiss Transport Research Conference, 1-22, 2019.
 - 32) The Office of Transport and Traffic Policy and Planning.: The Study of the Master Plan Development of the Public Transportation Systems in Cites, Regions of the Country, Thailand, 37 pp.

(???? ???? 受付)