気候変動影響を考慮した 道路物流ネットワークの水害リスク評価

水谷　圭宏[1]・徐　非凡[2]・加藤　博和[3]

[1]非会員　名古屋大学大学院　環境学研究科（〒464－8601 愛知県千種区不老町）
E-mail:ymizutani@urban.env.nagoya-u.ac.jp

[2]正会員　名古屋大学大学院研究員　環境学研究科（〒464－8601 愛知県千種区不老町）
E-mail: xu@urban.env.nagoya-u.ac.jp

[3]正会員　名古屋大学大学院教授　環境学研究科（〒464－8601 愛知県千種区不老町）
E-mail: kato@genv.nagoya-u.ac.jp

近年，水害などの激甚気象災害が頻発しており、気候変動の進展によってさらに増加することが懸念される．道路交通においても，道路が長期間にわたり寸断されるなどの被害が生じ，物流にとって大きな障害になっている．これらの災害対策には多くの時間と費用がかかるが，将来的な人口減少により人材と予算の両方が不足するため，道路区間ごとの対策の優先度を判断する必要がある．そこで，貨物地域流動調査で整理されている都道府県相互間輸送トン数表を利用し，高速道路ネットワーク上で道路貨物の最短経路探索を行うことで，各道路区間での貨物輸送量を推定し，さらに，推定量と将来のシナリオでの浸水深データを使用して，重要性と脆弱性の両方を考慮したリスク評価を行った．結果，気候変動の影響でリスクが高くなる高速道路区間が明らかになった．

Key Words: *road network, logistics, climate change, flooding, OD data*

1. はじめに

気候変動による自然災害の激甚化・頻発化が懸念されている．水害や土砂災害を引き起こす大雨について，全国で 1 時間降水量が 50mm 以上となる年間の発生回数は，統計期間 1976~2022 年で 10 年あたり 28.7 回増加しており，長期的に増加している．自然災害による被害は道路交通にも及び，2020 年 7 月 8 日の災害では，飛騨川の増水により国道 41 号が崩落し仮復旧に 40 日かかる等，一度被災すると長期的な被害が見込まれる．

一方，災害時において被災地域に物資を届けるのみならず，被災しなかった地域での産業への悪影響がないよう物流が確保されることが必要であり，寸断されない道路ネットワークが確保されることは必要不可欠である．国は「国土強靭化基本計画」において，道路・鉄道等幹線交通ネットワークの機能強化を掲げているが，その対策には長い期間がかかり，人口減少によって人材と予算の両方が不足することが考えられる．そのため，被災リスクの高い区間から優先的に対策する必要がある．

本研究では，道路ネットワークを利用する物流を対象とした水害リスクの評価手法を提案し，それを用いて中部圏での道路ネットワークの水害リスク評価を，気候変動の進展を加味して行うことを目的とする．

2. 先行研究と本研究の位置付け

気候変動による交通ネットワークの災害リスク増大に関する研究は田島ら [1)]の例がある．鉄道ネットワークにおける水害リスクを“危険源”“暴露”“脆弱性”からなる 3 因子によって定義し，柳原ら [2)]のデータセットを用いることにより，沖縄を除く 46 都道府県間でネットワーク分析により水害リスクを評価している．

物流 OD 推計の先行事例は，関谷ら [3)]の研究がある．全国貨物流動調査（物流センサス）と各種統計を用い，輸送貨物ごとに貨物 OD を作成している．また，末廣ら [4)]は物流の中でも食料供給機能に着目し，産業連関表を用いて北海道の道路を分析している．

物流に着目した研究や，気候変動影響を考慮して鉄道ネットワークを評価した研究は見られるものの，気候変

動影響を考慮し道路ネットワークで物流の水害リスクを評価したものはないため，本研究ではその点を分析した.

3. 対象範囲

中部圏（静岡県，愛知県，岐阜県，三重県，滋賀県，富山県，石川県，福井県，長野県）の都市高速を除く高速道路を評価対象とした.

4. 分析手法と使用するデータ

水害リスク評価は先行研究 [1]で用いられているリスク評価の式をベースとし，以下のように定義した.

$$R = H \times E \times V \tag{1}$$

ここで

R：水害リスク値（トン/日）

H：危険源（-）

E：暴露（トン/日）

V：脆弱性（-）

(1) 危険源

「21 世紀末気候のリンクiにおける 1 メートル以上の浸水リスクがあるエリアの割合」と定義する.

$$E = \frac{E_{Fi}}{N_i} \tag{2}$$

ここで,

N_i：リンクiの路線長

E_{Fi}：21 世紀末気候Fにおいてリンクi内での浸水リスクが認められる路線長

(2) は以下のように書き換えることができる

$$E = \frac{E_{Pi}}{N_i} \times \frac{E_{Fi}}{E_{Pi}} \tag{3}$$

ここで,

E_{Pi}：現在気候Pにおいてリンクiでの浸水リスクが認められる路線長

この書き換えにより，現在気候での浸水リスクと 21 世紀末気候に遷移する際のリスクの増加率を判断することができる.

今回用いた気候データ [2]を表-1，表-2 に示す.

表-1 未来気候の気候データ

年代	2080-2100 年(21 世紀末気候)
再現期間(年)	再現期間 30 年
社会経済シナリオ	SSP5(化石燃料依存シナリオ)
気候モデル	MIROC6
土地利用変化	固定
メッシュサイズ	5 次メッシュ

表-2 現在気候の気候データ

年代	1980-2000 年(現在気候)
再現期間(年)	再現期間 30 年
メッシュサイズ	5 次メッシュ

(2) 暴露

「ノードiが断絶したときに直接影響を受ける物資の通過量」と定義する．平常時でのリンクiにおける物資の通過量（トン/日）を推計し，それを用いて表す.

県庁所在地間で最短経路探索をして貨物トラックの流動を推定，そこに貨物地域流動調査 [5]より得られる都道府県間貨物の自動車流動量を当てはめ，道路の通過量を推計する.

本研究では，高速道路分担率を推計した先行の事例 [4]より，貨物地域流動調査の流動のうち 20%が高速道路を利用したと仮定して計算する．最短経路探索での推計では，静岡発着の貨物は距離が短い新東名高速道路を通ることになり，東名高速道路のリスク評価ができない．そのため道路交通センサス [6]を参照し，天竜川付近の大型車の 24 時間交通量の値を用いて，新東名：東名＝7:2 に按分した.

(3) 脆弱性

脆弱性は一般的にネットワークの形状から脆弱な箇所を判断する指標である．本研究で脆弱性を表す指標として，ノード断絶によって生じる迂回距離を考え，迂回率として以下を定義する.

$$V = \frac{V_i}{N_i} \tag{4}$$

ここで,

V_i：リンクiが断絶した時の迂回路線長

道路交通では高速道路が通行止めになった場合は一般道に迂回することも考えられるが，水害による高速道路の被災の場合は，高速道路周辺の一般道も同様に被災していることが多く，広域に迂回する必要が生じると考え，迂回は高速道路のみを対象とした.

5. 分析結果

(1) 危険源の分布

初めに図-1 に，再現期間 30 年での危険源の分布を示す．中部圏の評価対象の道路にまんべんなく存在しているが，木曽三川流域では年代が進むごとに危険源の範囲が拡大している様子が見て取れる．

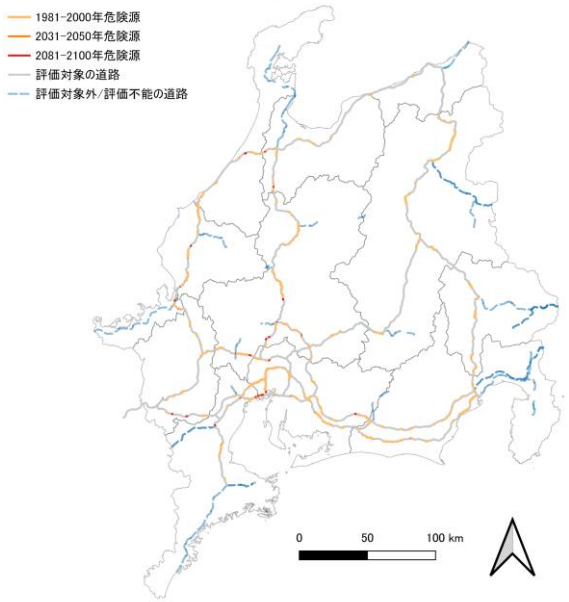


図-1 危険源の分布

(3) 式第1項よりノードiに占める標準気候の危険源の比率を求めたのが図-2である．

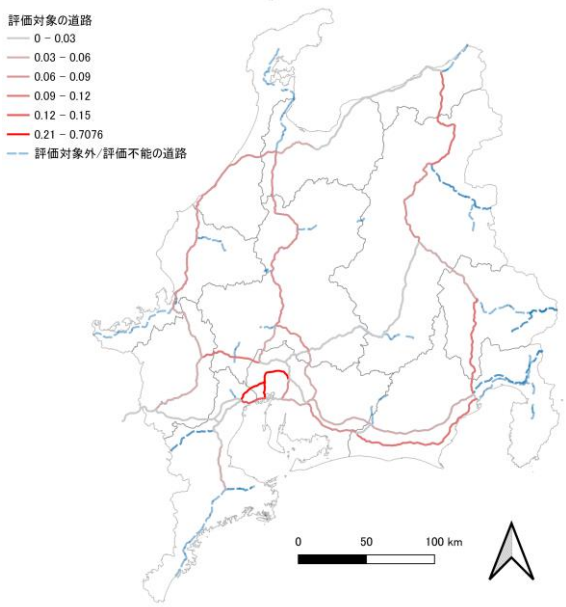


図-2 危険源の比率

標準気候で危険源の比率が高い区間を表-3に示す．

表-3 危険源の比率が高い区間

順位	区間	値
1	名古屋第二環状自動車道（名古屋南 JCT-飛島 JCT）	0.71
2	東名阪自動車道（名古屋西 JCT-四日市 JCT）	0.66
3	名古屋第二環状自動車道（名古屋西 JCT-上社 JCT）	0.32
4	伊勢湾岸自動車道（飛島 JCT-四日市 JCT）	0.14
5	中部横断自動車道（清水 JCT-新清水 JCT）	0.11

また，(3) 式第2項より，ノードiに占める危険源の増加率が高い地域は図-3および表-4の通りである．

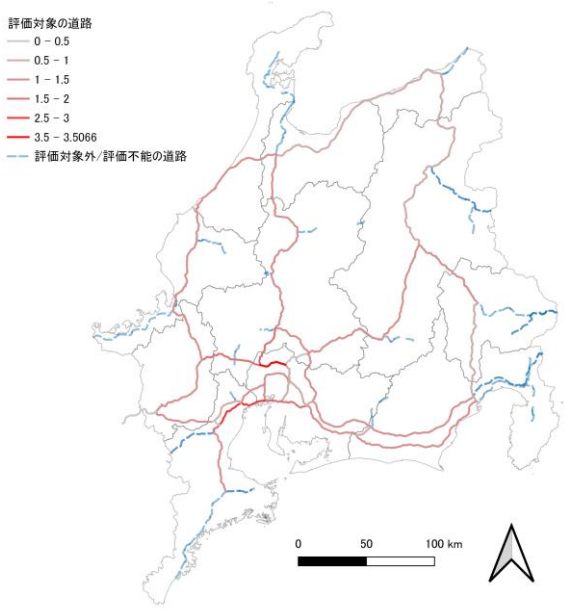


図-3 危険源の増加率

表-4 危険源の増加率

順位	区間	値
1	東名・名神高速道路（小牧 JCT-一宮 JCT）	3.51
2	伊勢湾岸自動車道（飛島 JCT-四日市 JCT）	2.65
3	東名阪自動車道（四日市 JCT-亀山 JCT）	2.64
4	東名阪自動車道（亀山 JCT-伊勢関 JCT）	2.00
5	伊勢湾岸自動車道（名古屋南 JCT-飛島 JCT）	1.97

(2) 暴露の分布

暴露の分布を図-4に，暴露が大きい区間を表-5に示す．中部圏の都道府県間同士の貨物しか対象にしていないこと，ODを県庁所在地間と仮定して推計していることか

ら，各道路区間の輸送貨物の比率が実際とは異なる可能性があるが，東海4県同士の貨物流動が大きい結果となった．

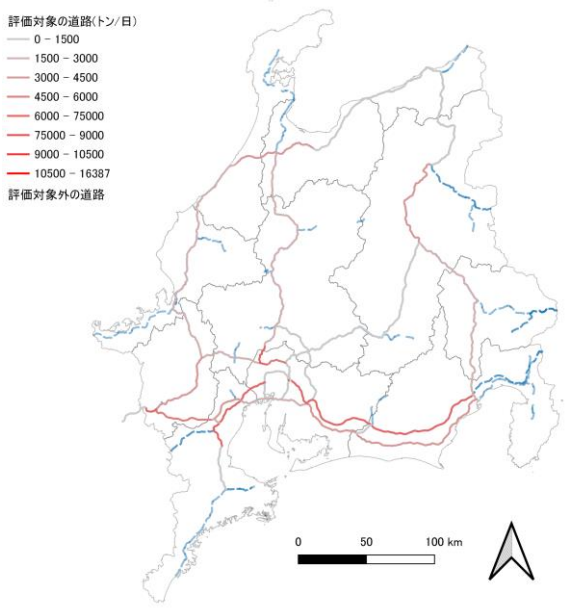


図-4　暴露の分布

表-5　暴露が大きい区間

順位	区間	トン/日
1	東海北陸自動車道 （岐阜各務原 IC-一宮 JCT）	16,386
2	東名阪自動車道 （四日市 JCT-亀山 JCT）	15,530
3	伊勢自動車道 （伊勢関 JCT-津 IC）	15,530
4	東名阪自動車道 （名古屋 JCT-四日市 JCT）	15,309
5	東名阪自動車道 （四日市 JCT-亀山 JCT）	14,101

(3)　脆弱性の分布

脆弱性を図-5 および表-6 に示す．東名高速道路，新東名高速道路などを中心に，迂回路が並行している道路でリスクが小さい結果となった．水害リスク値を算出する際に伊勢関 JCT-津 IC 間のリスクができないことを防ぐため，この区間は別途リスク値を 8.0 と仮定して評価した．

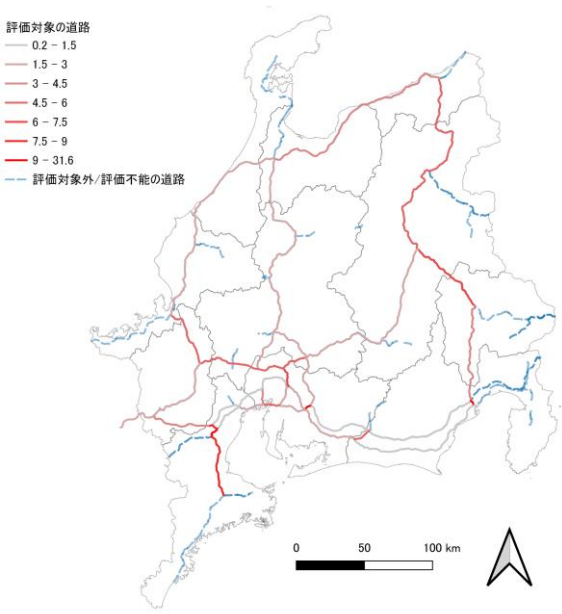


図-5　脆弱性の分布

表-6　脆弱な区間

順位	区間	値
1	中部横断自動車道 （清水 JCT-新清水 JCT）	31.61
2	東名阪自動車道 （亀山 JCT-伊勢関 JCT）	25.89
3	伊勢湾岸自動車道 （名古屋 JCT-四日市 JCT）	23.39
4	新名神高速道路 （亀山 JCT-亀山西 JCT）	8.07
5	中央自動車道 （双葉 JCT-岡谷 JCT）	7.32

(4)　水害リスク値

水害リスク値は図-6 のように分布した．木曽三川を中心にリスクが高い結果となった．水害リスクが高い区間については表-7 に示す．

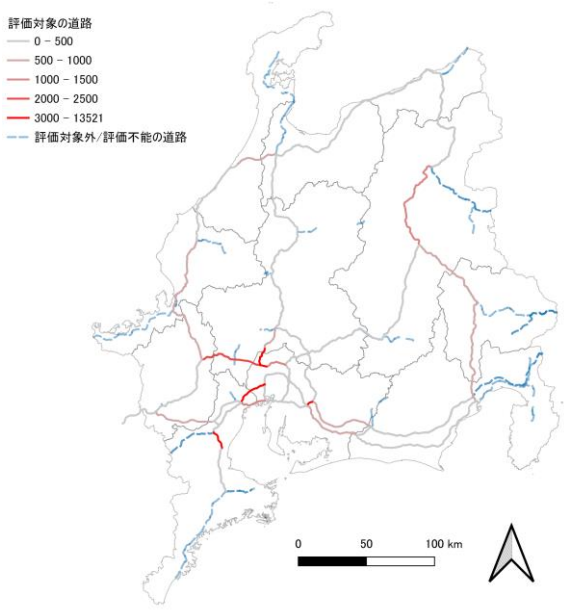


図-6　水害リスク値の分布

表-7　水害のリスクが高い区間

順位	区間	値
1	東名阪自動車道 （名古屋西 JCT-四日市 JCT）	13,521
2	名神高速道路 （一宮 JCT-一宮 IC）	10,545
3	伊勢湾岸自動車道 （豊田東 JCT-豊田 JCT）	8,022
4	伊勢自動車道 （伊勢関 JCT-津 IC）	4,765
5	東海北陸自動車道 （岐阜各務原 IC-一宮 JCT）	4,377

6.　今後の課題と発展性

本研究では，評価対象となる地域を中部圏に限定している．特に中部圏は東京と大阪の中央に位置する等，通過交通も多いため，エリア外からの流量も加味した分析が必要であると考えられる．

また，本研究では一般道を完全に評価対象外とした．物流は一般道も含んでネットワークを構成しているため，より実態を考慮した正確な分析を行うためには，一般道も考慮する必要があると考えられる．

さらに，本研究では危険源が重なったところの評価を，ノードに占める割合として間接的に評価するにとどまっている．実際の対策に生かすためには，さらに橋梁などの老朽化を考慮した分析を行う必要がある．

謝辞：本研究は（独）環境再生保全機構の環境研究総合推進費（JPMEERF20S11818）の一環として実施した．

REFERENCES

1) 田島治希，徐非凡，加藤博和：気候変動による鉄道ネットワークの水害リスク変化予測，土木学会中部支部研究発表会，IV-71，2023
2) 柳原駿太，風間聡，多田毅，山本道，峠嘉哉：共有社会経済経路（SSP）を用いた気候変動と土地利用変化による日本全国の洪水被害の変化，土木学会論文集 G（環境），Vol.78,No.5,pp.I_387-I_396,2022.
3) 関谷浩孝，小林正憲，上坂克巳，古川誠，奥谷正，南部浩之，柴崎隆一：輸送貨物の価値に着目した貨物流動分析の基礎データ（貨物 OD データ）の構築手法－物流分析基盤の構築－，国土技術政策総合研究所資料，第 575 号，2010.
4) 末廣真道，岸邦宏，岩舘慶多，中辻隆：道路ネットワークの食料供給機能寸断による地域経済影響評価手法に関する研究，土木学会論文集 D3（土木計画学），Vol.73,No.5,pp.I_269-I_280,2017.
5) 国土交通省総合政策局情報政策課：貨物地域流動調査，2021.
6) 国土交通省道路局道路経済調査室：令和 3 年度　全国道路・街路交通情勢調査，2021.
7) 国土交通省不動産・建設経済局情報活用推進課：国土数値情報　高速道路時系列，2022.

(Received October 13, 2023)

FLOOD RISK ASSESSMENT OF ROAD LOGISTICS NETWORK CONSIDERING CLIMATE CHANGE IMPACTS

Yoshihiro MIZUTANI, Feifan XU and Hirokazu KATO