

旅行時間価値を考慮した火山災害時における交通行動に関する研究

北海道大学大学院工学研究科	学生員	若山 裕司
北海道大学大学院工学研究科	正会員	内田 賢悦
北海道大学大学院工学研究科	フェロー	加賀屋 誠一
北海道大学大学院工学研究科	正会員	萩原 亨

1. はじめに

2000年3月、有珠山の噴火により、国道230号線をはじめとして多くの道路が途絶した。それにより国道230号線では代替道路として道道豊浦洞爺線及び道道豊浦京極線の一部区間が国道の代替機能を果たした。だが、これは緊急措置としてのものである。災害による影響を事前に予測することができれば、災害の際、迅速に対応することができる。しかし、災害時における交通行動をモデル化した研究は少ない。本研究では、交通行動によって得られる便益に基づく災害時の自動車交通行動をモデル化した。同モデルにより、災害時にここでは有珠山の噴火を想定し、道路が途絶した場合の影響を調べる。

2. モデルの定式化

人の交通行動は、目的地に行くことによって得られる便益は目的地に行くまでに消費する費用より大きいと起こると考えられる。火山災害によって、災害後は災害前よりも目的地に行くまでに要する時間が長くなるのが一般的である。この時間費用が目的地に行くことによって得られる便益より大きくなれば交通行動をとりやめる。一方、災害前に交通行動を起こさない人は、時間費用が増加するため災害後も起こさないとみなし、解析の対象としない。災害前に交通行動を起こし、災害後交通行動を起こさない人は、災害前に目的地に行くのに要した時間分、別の用事に使えるので、その分だけ便益が増大する。この時間を利用して他の交通行動を起こすことも考えられるが、ここでは考慮しないことにする。一方、災害前に交通行動を起こしていた場合の便益の減少も生じる。そのため、全体として災害後の得られる便益は災害前より小さくなる。以上より災害前後を便益は以下のように定式化する。

$$\text{災害前の便益} : B_{rs}^p = b_{rs} f_{rs}^p - t C_{rs}^p f_{rs}^p \quad (1)$$

$$\text{災害後の便益} : B_{rs}^a = b_{rs} f_{rs}^a - t C_{rs}^a f_{rs}^a + t C_{rs}^p e_{rs}^a \quad (2)$$

$$(B_{rs}^p - B_{rs}^a) \geq 0 \quad (3)$$

b_{rs} : 起点 r から終点 s に行くことによって得られる便益 (円)

t : 時間価値 (円/分・台)

C_{rs}^p : 災害前の OD ペア rs 間の所要時間 (分)

C_{rs}^a : 災害後の OD ペア rs 間の所要時間 (分)

f_{rs}^p : 災害前の OD ペア rs 間の交通量 (台/日)

f_{rs}^a : 災害後の OD ペア rs 間の交通量 (台/日)

e_{rs}^a : OD ペア rs 間で災害前に目的地に行っていたが、災害後は交通行動をやめた交通量 (台/日)

災害前の OD 交通量は災害後の OD 交通量と交通行動を止めた交通量との和に等しい。(式(4))

$$f_{rs}^a + e_{rs}^a = f_{rs}^p \quad \forall rs \quad (4)$$

災害前の OD ペア rs 間の所要時間は、需要固定型の利用者均衡配分を行うことによって、求めることができる。本研究では以下の一般的なリンクコスト関数を用いた。

$$t_a(x_a) = t_a(0) \times (1 + \alpha (x_a / C_a)^\beta) \quad (5)$$

$t_a(x_a)$: リンク a の所要時間

$t_a(0)$: ゼロフロー時のリンク a の所要時間

C_a : リンク a の交通容量

x_a : リンク a の交通量

α : パラメータ ($\alpha = 0.21$, $\beta = 1.59$)

災害後の交通行動は、災害前後における便益の差が最小となるような行動を行うと仮定し、これが目的関数とした。(式(6))

$$\text{Min} L = \text{Min} \sum_{rs} (B_{rs}^p - B_{rs}^a)^2 \quad (6)$$

また、災害前後における OD 間の所要時間を考慮した制約条件として、式(7)を仮定する。

$$\sum_{rs} (C_{rs}^a f_{rs}^a + C_{rs}^p e_{rs}^a) \leq \sum_{rs} C_{rs}^p f_{rs}^p \quad (7)$$

キーワード 便益、災害時モデル、時間価値

連絡先 〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目 北海道大学工学研究科 TEL 011-706-6212 FAX 011-706-6211

災害前後における便益の低下を最小化するとき、式(7)の左辺と右辺はほぼ等しい値をとると考えられる。このことを利用すると式(6)は、式(8)で近似することができる。

$$\text{Min}L = \sum_{rs} (b_{rs} - 2tC_{rs}^p)^2 (f_{rs}^p - f_{rs}^a)^2 \quad (8)$$

式(8)と式(3)の関係より、式(7)を制約条件とする最適化問題は、式(9)に示す Lagrangian 関数で表現される。

$$\begin{aligned} \text{Min}L' = & \sum_{rs} (b_{rs} - 2tC_{rs}^p)^2 (f_{rs}^p - f_{rs}^a)^2 \\ & + \lambda \sum_{rs} t(C_{rs}^p f_{rs}^a + C_{rs}^a e_{rs}^a - C_{rs}^p f_{rs}^p) \end{aligned} \quad (9)$$

となる。ここでは、Lagrangian 乗数である。(7)式の不等式制約から λ は非負の有限値となる。式(9)は、最終的に式(10)で表される。

$$\begin{aligned} \text{Min}L' = & \sum_a \int_0^{x_a} \{t'_a(\omega)\omega + t_a(\omega)\} d\omega \\ & - \sum_{rs} \int_0^{f_{rs}^a} \{C_{rs}^p + 2/\lambda (b_{rs} - 2tC_{rs}^p)^2 (f_{rs}^a - v)\} dv \end{aligned} \quad (10)$$

式(10)は、需要変動型の利用者均衡モデルに等価な数理最適化問題となっている。すなわち、式(10)第1項の積分内をリンクコスト関数とし、第2項の積分内が逆需要関数を示している。式(10)第1項の積分内はリンク交通量に対して単調増加関数となり、その積分値は狭義の凸関数となる。第2項の積分内はOD交通量に対して単調減少関数であり、同様な議論から第2項も狭義の凸関数となる。すなわち、式(10)は解の一意性が保証された非線形最適化問題となっており、効率的な解法アルゴリズムも開発されている。

上記のモデルでは、時間価値(t)、始点 r から終点 s に行くことによって得られる便益 (b_{rs})、ネットワークデータおよび現状の OD 交通量データがあれば解析を行うことができる。時間価値は、第11次五箇年計画による 53.12 (円/分・台) を用いることにする。OD データについては平成 11 年交通センサデータをを用いることにする。

b_{rs} については、OD ペア rs ごとに途絶前における便益と逆需要関数から得られる消費者余剰が等しくなる条件 (式(11)) から求めることにする。

$$b_{rs} f_{rs}^p - tC_{rs}^p f_{rs}^p = (t/\lambda) (b_{rs} - 2tC_{rs}^p)^2 f_{rs}^{p^2} \quad (11)$$

式(11)を式(3)の条件のもとで b_{rs} について解くと b_{rs} は式(12)で表される。

$$b_{rs} = 2tC_{rs}^p + (\lambda/2tf_{rs}^p) \left(1 + \sqrt{(4/\lambda)t^2 C_{rs}^p f_{rs}^p + 1} \right) \quad (12)$$

3. 有珠残噴火を例にしたモデルの適用

3.1 ネットワークの設定

北海道全域の交通ネットワークを対象として有珠山が噴火した際のシミュレーションを行った。有珠山のハザードマップから噴火によって災害予想区域内の7本のリンクが途絶すると仮定しシミュレーションを行った。

3.2 結果・考察

リンクの途絶によって火山周辺地域におけるリンク交通量が 1.5 倍～1.1 倍に増加した。特に洞爺湖の南側のリンクの多くが途絶しているため北側の交通量が大きく増加していた。その他のリンクでは、交通量は減少傾向にあった。これは、途絶によるリンクコストの増加によって交通行動を中止したか、あるいは経路変更をしたためと考えられる。1日の全道の OD 交通量 8,329,696 (台/日) のうち 9.7% に当たる 809,984 台が交通行動を中止した。災害による便益の損失は 2 億 1946 万円 (円/日) と試算された。災害前と同じ交通行動を起こさない場合、実際には目的地を変更したり、他の交通機関を利用して目的を達成する可能性があるが、本モデルでは考慮していない。これらの値はこうした条件下で算出されたものである。

4. まとめ

本研究では便益を用いたモデルから災害時の損失便益を求めることができる。本モデルでは交通目的を分けておらず、業務や通勤を目的とする場合と観光などを目的とする場合では災害による影響の大きさは異なり、また時間価値も災害前後に変化すると考えられる。今後、目的別に交通行動を分けて交通行動の分析をしていく必要がある。

参考文献

- 1) 赤松隆、宮脇治：利用者均衡条件下での交通ネットワーク際大容量問題、土木計画学研究・論文集、No12、pp719～729
- 2) 交通ネットワークの均衡分析 最新の理論と解法、土木学会、1998