

京都大学工学部地球工学科 学生員 ○後藤 周
京都大学防災研究所 正会員 多々納 裕一

1. 研究の背景と目的

大規模火山噴火がおこると、火砕流や噴石だけでなく、広範囲で降下火山灰が観測される事により甚大な被害が生じることが予測されている。このとき、危険地帯にいる住民は広域に避難する必要があるが、降灰中の避難には多くの障害が発生すると考えられるので、このような場合事前に広域避難を開始し噴火までに終了させることが望ましい。噴火までの迅速な避難を実現するためには、避難に使用する道路ネットワークの特性を把握した上で、交通に関する施策を実施し避難を効率化することが重要であるとする。そこで本研究では、桜島での大規模噴火の際の事前広域避難を対象とし、避難の際にかかる時間を算定し、避難時間短縮のための交通施策を提案することを目標とする。なお本研究では車による避難を扱う。

2. 分析手法

本研究ではまず Daganzo, So [1]の手法を用いた理論上の最適避難時間を算出した。避難は図1のように、災害の中心に近くリスクの高い上流から、リスクの低い下流の方向に行われるとする。この理論は InFO(Innermost First Out)という戦略に基づいており、これは、リスクの高い上流から避難してくる上流の避難者が、外部からネットワークに流入する流入点において、流入する避難者より優先的な通過権をもつという戦略である。この戦略により、高リスクの避難者を優先的に避難させることができる。また避難路のある部分 i において、それより下流にある最小の交通容量をもつ道路の部分、下流ボトルネックと定義し、その容量を下流ボトルネック容量 B_i とする。流入点においては、その部分の交通量が、 B_i 以下の場合にのみ流入できる。また、図1のように、災害の中心を考慮して同じリスクの点を連ねた等リスク線を設定し、その線に囲まれる地域を等リスク帯とする。次に、ある等リスク帯 i の中およびそれより上流の地域を $nest\ i$ とし、その地域にいる避難者数を P_i とする。そして各リスク帯 i における避難時間を、 $T_i = P_i / B_i$ とし、ネットワーク全体における最適避難時間 T_{min} を、 $T_{min} = \max_i T_i$ として計算する。なおここで Daganzo, So [1]は重要な仮定として、外部からネットワークに流入する避難者は、等リスク帯の中であれば、どの避難路にも流入できるとしている。

次に、Daganzo [2]の提案した Cell Transmission Model(CTM)を用い、避難時間を算出した。CTM は交通流を巨視的に捉えて表現する流体モデルを離散化したもので、矩形のセルの中を、セルをつなぐコネクタに沿って車が移動するモデルである。各時間における各セル内の車の台数でネットワーク上の交通量配分の状態が記述され、その単純な構造から大規模ネットワークにおける数値解析計算に適している。これを用いて、交通施策を実施する場合とそうでない場合の避難時間を比較し、施策の有効性を検討した。

3. 桜島噴火を対象とした実証分析

実証分析として、鹿児島県の桜島噴火による避難を想定し避難時間を計算した。避難対象地域は、降灰予想厚 30cm 以上の地域の中で、桜島より北西の、鹿児島市を含む地域とする。避難台数は車 1 台あたり 2 人の乗車として 399000 台とする。この全避難者が避難を開始してから避難対象地域の外に出るまでの時間を避難時間とする。なお避難路は図1のように、主に西側、中間、東側道路の3本に分かれている。

図1のような交通ネットワークで、5 ケースに分け避難時間を計算した。まずケース1 および2 では、Daganzo, So [1]の手法を用い、理論上の最適避難時間を算出した。ケース1 ではネットワーク全体に等リスク帯を設定し、流入者は等リスク帯の中で自由に流入点を決められるとし、避難時間を計算した。またケース2 では、流入者は最寄りの避難路にしか流入できないとする代わりに、ネットワーク上流の分岐部において、下流の避難者数分布を考慮した最適な分岐避難者数を設定することでケース1 で計算した最適な避難時間に近づくことを目指した。このケースではネットワークが上流で3本の避難路に分岐していると考え、それぞれの避難路に関して等リスク帯ごとの避難時間を計算し、各避難路でボトルネック部が最大効率で使用され、かつ各避難路の避難時間が等しくなる時の分岐部における最適分岐避難者数と避難時間を求めた。またケース3,4,5 ではCTMを用い避難時間の計算を行った。ケース3 では交通施策を実施せず自由に避難する場合、ケース4ではDaganzo, So [1] のInFO 戦略を用い避難する場合、ケース5はケース4に加え、ケース2で算定した上流の分岐部における最適な分岐避難者数を適用した避難を行う場合として、それぞれ避難時間を計算した。なお、ケース3,4,5では、流入者は最寄りの避難路に流入するものとする。

4. 結論

ケース1,2,3,4,5の避難時間は、それぞれ50.6時間、56.9時間、61.0時間、71.9時間、57.9時間となった。Daganzo, So [1]がInFO 戦略を用いる時においた、流入者が等リスク帯内で自由に流入点を選べるとした仮定は現実的ではないが、その仮定を取り払った場合でも、ケース4,5の結果から、上流の分岐部において下流の避難者数分布を考慮した最適な分岐避難者数を設定することで、避難時間を大きく短縮できることが示された。実際に、ケース5の結果は最適な避難時間であるケース2の値に近い値となり、非常に効率的な避難であることがわかる。このような避難を実現するための交通施策としては、まずInFO 戦略を実現するために、各流入点において常に交通量を測定し、下流ボトルネック値を下回る場合にのみ流入させるという交通規制を行う必要がある。次に上流の分岐においては、あらかじめ上流の避難者がどの避難路を使用するかを地域ごとに指定しておき、避難の際に指定された避難路を使用させることが必要であるといえる。

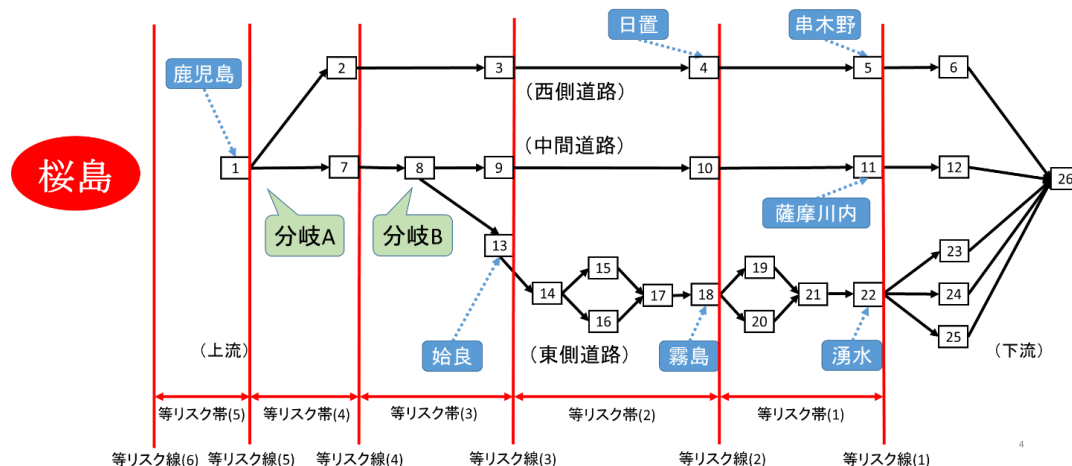


図1 避難ネットワーク・等リスク帯模式図

(参考文献)

- [1] C. F.Daganzo and S. K. So : Managing Evacuation Networks, Procedia Social and Behavioral Sciences, vol.17, pp.405-415, 2011..
- [2] C.F.Daganzo : The Cell Transmission Model: A Simple Dynamic Representation of Highway Traffic Consistent with the Hydrodynamic Theory, Transportation Research, 20B, pp.269-287,1994..