

京都大学大学院情報学研究科 学生員 ○枝廣 篤
 京都大学防災研究所 正会員 多々納裕一
 京都大学防災研究所 正会員 畑山 満則

1. はじめに

可燃性物質や有毒物質等の危険物を輸送する場合、人口密集地を通過する最短経路が存在しうるなど、コスト最小の経路が必ずしもリスク最小となるとは限らない。したがってリスクの影響を考慮した経路選択や分散についていくつかのモデルが提案されてきた^{[1-3]など}。しかしながらこれらの研究では、実際にどのような場合にリスクの影響が考慮されるのか、考慮することが合理的なのかについての検討はあまりなされていない。

本研究ではGISを用いて、実際の日本国内における道路ネットワークデータと人口データを用いて、どのような条件（人口密集度、ネットワーク形状、輸送する物質の特性など）のときにこのようなリスクを考慮した輸送計画が合理的かを検討する。

2. 経路リスクの設定

まず朝倉らのモデル^[1]に基づいて経路上で流出事故が生じた場合の被害を設定する。ある地点Pに存在する資産額を p (億円)とする。ここでは主に人間が被害を受けることを想定しているが、障害など死亡以外の被害を含めるために便宜的に金額換算する。

いま、経路上の点XからPまでの距離を l (km)とすると、地点Xで流出事故が起きた場合に地点Pの資産が被る損害は

$$\text{damage} = p \cdot \exp(-l/k) \quad (1)$$

で表される。ここで k は危険物が拡散する度合いを示すパラメータであり、流出した場合の被害範囲が広い場合には $k \rightarrow \infty$ 、逆に被害範囲が狭い場合は $k \rightarrow 0$ となる。

実際の広がり方や被害を受ける度合いは、物質の種類をはじめとした様々な要因が絡む複雑なモデルとなることが考えられるが、ここではそれらをまとめてパラメータ k に代表させている。

ここで事故確率が経路や道路形状に依存せず決まる(すなわち走行距離のみに依存)と仮定すれば、各経路 i (長さ L_i)の、他の経路に対する相対的なリスクコストは経路方向を x 座標にとって

$$d_i = \int_0^{L_i} \sum_{P \in D} p \cdot \exp\left(-\frac{1}{k} \cdot l(x)\right) dx \quad (2)$$

で表すことができる。相対的としたのは、単位距離あたりの事故確率を係数として導入していないからである。これについては後で述べる。なおDは資産が存在する全ての点の集合である。

ここで、コンピュータで計算することを考えて、一定間隔ごとに計算するとすれば、

$$d_i = \sum_{i=0}^{L_i/u} \sum_{c \in D} p \cdot \exp\left(-\frac{1}{k} \cdot l(x)\right) \quad (3)$$

によって求められる。ここで u は計算を実施する経路上の間隔である。なお十分な精度をもつ u の間隔は別途の計算によって資産の存在する点の間隔と同水準で良いことが分かった。

3. 総コストを考慮した経路選択

実際に輸送主体が経路を選択する際には、各経路の総コストを比較して、より小さい方を選択すると考えるのが合理的である。ここで上述のような想定被害については、事故確率と被害額を乗じてリスクコストとして計算することが一般的である。しかしながら危険物輸送の事故に関しては生起確率が非常に低く、確率よりむしろ輸送主体の持つ意思が大きく影響すると考えられることから、事故確率に代わって、輸送主体が流出事故発生時に想定される被害をどの程度考慮に入れるかという相対的な指標を用いる。経路 i の総コスト c_i は、通常のコストが距離に比例すると仮定し、係数を整理すれば

$$c_i = L_i + r \cdot d_i \quad (4)$$

と表せる。

4. 模式的ネットワークでの計算

まず、図1のような簡単なネットワークを設定して簡単な経路選択モデルによる計算を行った。「周辺人口が多く短い経路」と「周辺人口が少なく長い経路」を想定して設定したものであり、経路Bの長さは経路Aのちょうど2倍である。

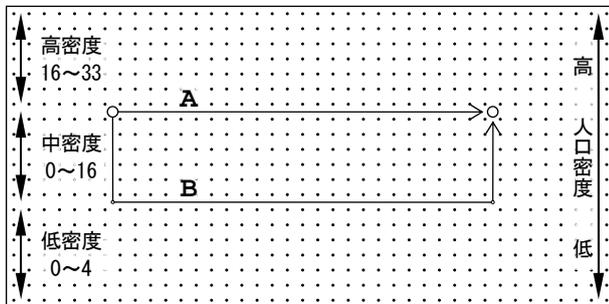


図1 設定したネットワーク概略

また資産は質点様に存在するとし、設定した範囲内に約8万点の人口質点を設定している。資産質点は経路Aに近い範囲内上部1/3が16~33、中央部1/3が0~16、経路Bに近い下部1/3が0~4として乱数によって与えている(単位は億円)。そのほか詳細な設定についてはここでは割愛する。

この模式的ネットワーク上で1単位の輸送が行われる際に、 k および r の値に応じてどちらの経路が選択されるかを計算した。結果が図2である(太線より上が経路Bが選択される領域)。今回は資産質点の乱数による発生とその都度の被害額計算を33回試行し、結果の平均を取っている。なお各試行の結果に大きなバラツキはなかった。



図2 k, r の値による選択経路

k が非常に小さい場合は、どちらの経路を選択しても絶対的な被害額が小さくなるため、総コストに占めるリスクコストの割合が小さくなり、距離コストのみで経路選択が行われる。一方 k が大きい場合はどちらの経路を使っても、流出時の影響範囲が広く被害が甚大であるため、なるべく短い経路を選択することを意味する。

一般的に大きい r の値を取る(すなわちリスクに極端に過敏な反応を示す)場合は限られていると考えられるので、この仮想的なネットワークにおいては k が1~2桁程度の場合のみ流出リスクが考慮されうると言える。

もちろんネットワークごとにこの範囲は変わるが、この模式的ネットワークと同様に最短経路が人口密集地を経由する一方で、人口希薄地を迂回する経路があるようなネットワークで同様の計算を行えば、似たような傾向が出るだろうと考えられる。

5. 実ネットワークでの計算

本研究では実際の日本国内の道路ネットワークおよび人口分布データに対して前節のような計算を行い、条件に応じてどの程度リスクが考慮されるか検討する。計算結果については講演時に譲る。

6. まとめと今後の課題

本研究ではまず最短経路が人口密集地を経由する一方で、人口希薄地を迂回する経路が存在するようなネットワークにおいても、輸送車両から危険物が流出する事故が生じるリスクが考慮されうる場合とされ得ない場合があることを示した。さらに国内の道路ネットワークにおいて同様の計算を行った。

ただし本モデルにおいては危険物が拡散する時間を考慮していないという問題がある。すなわち、事故が起きた瞬間、全域に影響が生じるというモデルになっている。実際には(物質ごとに異なる)拡散時間が存在し、遠くで事故が起きた場合は避難することも可能であるため、異なる結果が出ると考えられる。したがって、危険物の拡散をステップごとに追いつながりながら影響を計算することを検討中である。

参考文献

[1] 朝倉康夫, 羽藤英二, 青山洋, 伊藤龍秀: 危険物輸送を考慮した道路ネットワークのリスク評価, 土木計画学研究・講演集 Vol.26, 2002

[2] Bell, M. G. H.: Mixed route strategies for the risk-averse shipment of hazardous materials, Networks and Spatial Economics, Vol. 6, pp. 253-265, 2006.

[3] 長江剛志, 赤松隆: 危険物輸送のためのカストロフ回避戦略, 土木学会論文集 D, Vol. 63, No.4, 509-523, 2007.