

危険物輸送におけるリスクを考慮した経路選択の有効性に関する研究

枝廣 篤, 畠山 満則

A Study on Efficacy of Risk-Averse Routing for Hazardous Materials Transportation

Atsushi EDAHIRO, Michinori HATAYAMA

On routing for hazardous materials transportation, it is proposed that transporters should consider risk of accidental spillage. In most cases, however, transporters don't choose risk-averse route, but choose shortest route. Thus, in this study, we compare total cost of risk-averse route with total cost of shortest route by using data about road and population. And we check up the efficacy of risk-averse routing for hazardous materials transportation.

Keywords: 危険物輸送(Hazardous materials transportation),

リスクを考慮した経路選択(Risk-Averse Routing),

リスクマネジメント(Risk Management)

1. はじめに

一般的な輸送においては、輸送コストが最小となるように輸送経路が選択されると考えられる。しかしながら、可燃性物質や有毒物質など、事故により漏出した場合に周囲に甚大な被害を巻き起こす可能性のある危険物を輸送する場合には、輸送コストのみを考慮した経路選択は、社会的コストの観点から不十分である。

現に危険物輸送車両の絡む事故は発生しており、

その中には危険物が環境中に流出する事故もある。これらの事故は頻度こそ低いものの、発生すれば大惨事を招く危険性を孕んでいる。実際に 2008 年 8 月には首都高速道路において、タンクローリーが横転、炎上するという事故が発生している。この事故での被害は道路内に収まり、人的被害は軽微であったが、事故現場のすぐ近くにはマンションが建っており、甚大な被害が生じる危険性も高かったといえる。

このような背景を受けて、リスクの影響を考慮した経路選択や輸送の分散化についていくつかのモデルが提案してきた(朝倉ほか, 2002; Bell, 2006; 長江・赤松, 2007)。しかしながらこれらの研

枝廣：京都府宇治市五ヶ庄 京都大学防災研究所
京都大学大学院情報学研究科

0774-38-4037, edahiro@imdr.dpri.kyoto-u.ac.jp

究では、実際にどのような条件ならば漏出事故によるリスクを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。

したがって本研究では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、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. 経路ごとの被害額設定

まず朝倉ほか(2002)によるモデル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

$$damage = p \cdot \exp\left(-\frac{l}{k}\right) \quad (1)$$

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。

また拡散広がり方の違いを考慮して、幂乗関数型の拡散についても検討を行う。具体的には影響を受ける範囲を漏出点から a (km) として、

$$damage = p \cdot \left(1 - \frac{l^k}{a}\right) \quad (2)$$

によって地点 P の資産が被る被害を表す。

ここで事故確率が経路や道路形状に依存せずに決まる(すなわち走行距離のみに依存)と仮定すれば、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

$$d_i = \int_0^{L_i} \sum_{P \in D} p \cdot \exp\left(-\frac{l(x)}{k}\right) dx \quad (3)$$

で表すことができる。なお D は資産が存在する全

ての点の集合である。

ここで、積分を近似して一定間隔ごとに被害額を求めて和を計算すれば、

$$d_i = \sum_{i=0}^{L_i/u} \sum_{P \in D} p \cdot \exp\left(-\frac{l(x)}{k}\right) \quad (4)$$

$$d_i = \sum_{i=0}^{L_i/u} \sum_{P \in D} p \cdot \left(1 - \frac{l(x)^k}{a}\right) \quad (5)$$

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。

3. 総コストを考慮した経路選択

実際の経路選択において、リスクのみを考慮した経路を選択することは非現実的であり、通常の輸送コストと合わせて比較することが合理的であると考えられる。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。

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

$$c_i = L_i + r \cdot d_i \quad (6)$$

と表せる。ここで r は（単位距離あたりの事故確率／単位距離あたりの輸送コスト）である。事故率は非常に低い（事故時に危険物が流出する確率はさらに低い）ため、 r は高く見積もって（1万 km に 1 回の事故、1 km あたり 100 円のコストとして）も 10^{-3} 程度にしかならないと考えている。

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。

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.

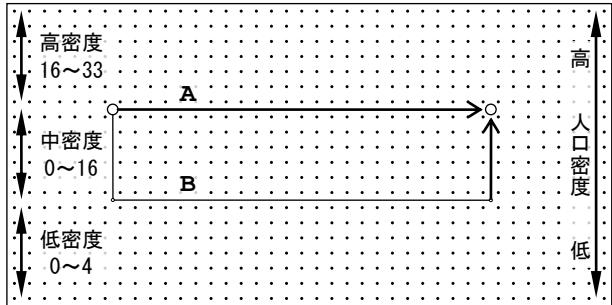


図 1 設定したネットワーク概略

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(4)式を用いて計算した. 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.

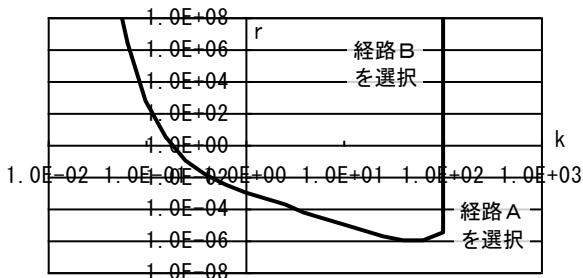


図 2 k, r の値による選択経路

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.

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.

またこの模式的ネットワークでの計算において, 計算間隔 u を変えて計算を行った. その結果, u を 10(m)以下に設定しても精度にほとんど違いはみられなかった.

5. 実際のネットワークにおける計算

次に実際の道路および人口データを用いて計算を行った. 本研究では, 大都市近郊で比較的人口密集度の高い滋賀県と, 人口密集度の低い北海道のデータを用い, それぞれ道県内の数点間を輸送する場合の総コストを(6)式により計算した.

なおパラメータは, (4)式については, $k=10^1, 10^2, 10^3, 10^4$ の 4 通り, (5)式については, $k=0.5, 1, 2, 4, 8, a=10, 50, 100, 500, 1000, 5000, 10000, 50000(m)$ の 40 通り設定した. (5)式については距離による減衰がないパターンも計算を行った.

以上の計算をもとに, それぞれのパターンについて最短距離となる経路とリスク最小となる経路について, r の違いによる総コストの比較を行った. 結果の一部 ((5)式で減衰なし $a=500m, 50000m$) を図 3 から図 6 に示す. グラフは x 軸が r の値, y 軸がリスク最小となる経路の総コストと距離最小となる経路の総コストの比である. すなわち, x 軸より上部は最短距離経路が有利となる領域であり, x 軸より下部はリスク最小経路が有利となる領域である.

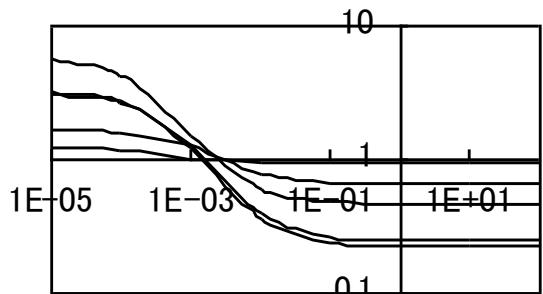


図3 影響範囲 500m の場合（滋賀県）

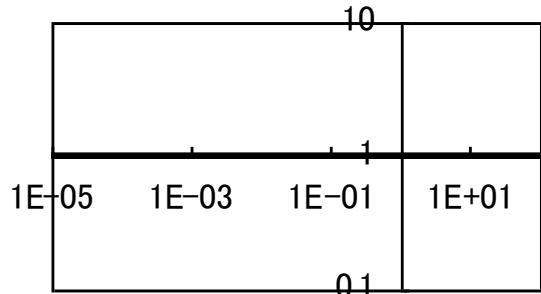


図4 影響範囲 50km の場合（滋賀県）

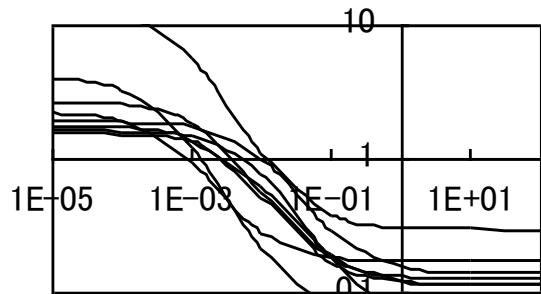


図5 影響範囲 500m の場合（北海道）

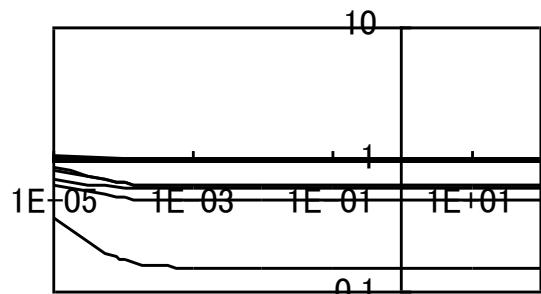


図6 影響範囲 50km の場合（北海道）

(5)式を用いた場合、 $a=10, 50, 100$ (m)に設定した場合は、極端に r の値が大きい場合以外は距離最小となる経路の方が総コストが小さいことが分かった。 $a=500, 1000$ (m)に設定した場合、事故率が高く、距離による被害の減衰が小さければリスク最小経路を選びうることが示唆される。 $a=5000, 10000$ (m)では、比較的小さい事故率(100万 km に1回)程度でもリスク最小経路を選びうる。以上のパターンについては滋賀県と北海道で大きな差は見られなかった。

$a=50000$ (m)に設定した場合には、滋賀県と北海道で大きな違いがみられた。すなわち滋賀県については図4が示すように、 r の値に関係なく経

路ごとの差があまり見られない一方で、北海道では、図6に示すようにリスク最小経路を選ぶことが有利となる領域が大きいことが分かった。

なお(5)式を用いた場合は $k=10^4$ の場合のみリスク最小となる経路を選ぶことが有利となつた。

6. おわりに

本研究では危険物輸送車両の事故に、影響が及ぶ範囲を複数想定してリスクを計算し、それぞれ最短経路とリスク最小経路について、総コストの比較を行つた。その結果、影響範囲が狭い場合にはそもそも危険に曝される人口が小さいために総コストが小さくなり、最短経路が有利となること、影響範囲が中程度の場合はリスク最小経路を選びうることを示した。また影響範囲が非常に広い場合は人口密集度によって有利となる経路が異なることを示した。

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。実際には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。また本研究の内容からは外れるが、冒頭に触れた首都高速道路での事故では周辺人口への影響が皆無であった一方で、構造物被害や通行止めの経済的影響も甚大であり、これらのリスクも加味して評価することが重要であると言える。

参考文献

- 朝倉康夫・羽藤英二・青山洋・伊藤龍秀 (2002) 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(CD-ROM).
- 長江剛志・赤松隆 (2007) 危険物輸送のためのカタストロフ回避戦略、「土木学会論文集 D」, Vol.63 No.4, 509-523.
- Bell, M.G.H. (2006) Mixed route strategies for the risk-averse shipment of hazardous materials, Networks and Spatial Economics, Vol. 6, pp. 253-265.