

緊急時資産退避作業の意思決定過程の分析*

東北大学 奥村 誠

東北大学 森合 一輝

1. はじめに

2019年10月の台風19号豪雨による千曲川の洪水によって北陸新幹線長野車両基地が浸水し、120両の新幹線車両が被災し廃車処分を余儀なくされた。この影響で必要な車両数が確保できず、東京長野間の定期列車の運行本数を減少させるとともに、年末年始の臨時列車もこれまでに比べて減少せざるを得なくなった。同じ台風19号に洪水に対して、福島県郡山市のバス事業者は事前に水没の危険性を認識し、バスの退避を始めたものの作業は完了せず、結果的に多数のバス車両が水没する被害に遭った。他方、東北新幹線（那須電車留置線）や長野市、仙台市のバス事業者は車両の退避により被害を免れたし、航空会社は通常成田空港や羽田空港に駐機している旅客機を、新千歳空港やハワイの空港まで退避させた。

これらの経験から、鉄道、バスなどの移動可能な資産を持つ交通事業者は、被災の可能性に応じて資産を安全な場所を移動させる「資産退避作業」を事前に計画しておく必要性が認識され、国土交通省からも資産退避作業手順を事前に検討するよう、全国の鉄道事業者への通知が発出された。

しかしながら、退避作業は費用を必要とし退避作業中にさらなる被害を受ける危険性がある。作業を進めるために早めに運休にすることや、台風などの通過後に回復が遅れることは、利用者の移動を困難にして社会的な費用を生む危険性もある。したがって資産退避作業は被災の危険性があるなら必ず行えば良いというような単純なものではなく、多様な影響を踏まえた上で、作業を実施するか否かを判断することが求められる。

本研究では、洪水等のリスクに直面する交通事業者が、資産退避作業を行うか否かを分析するモデルを構築し、作業実施が選択されやすい条件を確認する。また、事業者と利用者の立場の違いによる判断の相違、時間の経過に伴う判断の変化について分析を行う。

2. 意思決定構造の想定

洪水災害による資産被災の可能性がある状況において、時間の推移に遡り、①洪水の危険性が最高となる時点（洪水発生予想時刻）、②災害が激化し資産退避作業が危険になる時点（退避作業終了時刻）、③資産退避作業の実施を事業者が決定する時点（意思決定時刻）の3時点を考える。なお③の意思決定は1回とは限らず、時間において複数回行われる可能性がある。意思決定時点において事業者が認識する洪水発生の主観確率を p とする。また意思決定が遅く、退避作業が可能な時間が短くなれば、対象資産の退避が終了しない可能性がある。このような状況を表現するため、意思決定時点から退避作業を開始した場合の作業完了確率を q 、退避作業非完了時の資産の退避率を $\beta \leq 1$ とする。これらはいずれも、意思決定者が主観的に設定す

*Decision process of emergent vehicle relocation under risk by Makoto Okumura and Kazuki Moriai.

るものとする。

次に発生した状況に応じた損失額を想定する。まず、洪水被災による資産の損失額を A で表す。損失額は当該資産の再調達費用に加え、再調達までに営業が制約されることの影響を含める。一方、資産退避作業を実施するためには労力や電力などが必要となる。ここでは退避作業時間や作業の完了にかかわらず一定値と仮定して退避コストと呼び C で表す。また、退避作業を行うと資産が通常時と異なる場所に移動され、すぐに営業活動が再開できない状況が起こる。洪水が発生すれば翌日運休とした上で資産を戻す時間がかかることができ、再開遅延は問題とならないが、洪水が発生しなかった場合には営業開始の遅れによる機会損失が発生すると仮定する。これを空振り損失と呼び B で表す。さらに、資産退避が完了せず安全性の低い場所で被災すると余分な損失を受けると仮定し、追加被害と呼び D で表す。

事業者の評価として、 $A > (B, C, D) \geq 0$ を仮定できる。これは、対象となる資産が高価であり、洪水による想定損失がより少ない費用を用いて回避できる可能性がある場合に、資産退避行動が意味を持つことから、そのような場合を想定して分析を行うことを意味している。他方で、利用者の立場からの評価は異なり、 $(B, C) > (A, D) \geq 0$ であると仮定する。すなわち利用者は、退避作業の実施や営業開始の遅れに伴うサービスの停止は自らに直接及ぶ影響であるため強く認識しているが、事業者が持つ資産の損失に関する認識が弱いと仮定している。

退避作業の有無、完了、被災の組み合わせにより、図1に示す6通りの状況が発生し、それぞれの状況における利得が A, B, C, D を用いて計算できる。

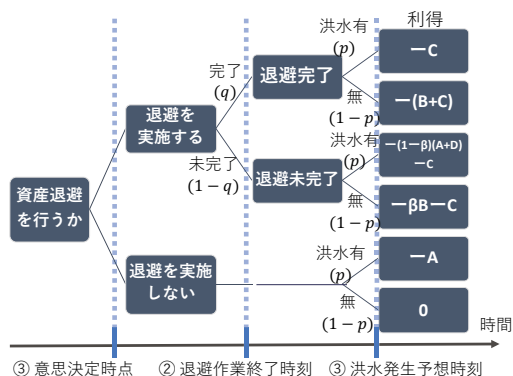


図1 ディンジョンツリーと利得

3. 交通事業者の意思決定

まず交通事業者が期待利得に基づいて意思決定を行うケースを考える。退避行動実施時、非実施時それぞれの期待利得 E_1 および E_2 は以下のように表される。

$$E_1 = -p(1-q)(1-\beta)A - (1-p)\{q + (1-q)\beta\}B - C - p(1-q)(1-\beta)D \quad (1)$$

$$E_2 = -pA \quad (2)$$

$E_1 > E_2$ ならば退避行動を実施し、 $E_1 < E_2$ ならば実施しない。 $E_1 = E_2$ の境界線は式(3)で与えられる p - q 平面上の双曲線で、その右上側が退避実施、左下側が非実施の領域となる。

$$q = \frac{1}{1-\beta} \frac{-\beta(A+B) + (1-\beta)D}{A+B+D} + \frac{(A+B+D)C + DB}{(1-\beta)(A+B+D)^2} \frac{1}{p - \frac{B}{A+B+D}} \quad (3)$$

式(3)の右辺第一項は水平漸近線の位置を表し、負である。また $A > (B, C, D) \geq 0$ から第2項の分母内で垂直漸近線の位置を表す $\frac{B}{A+B+D}$ が 0 と 1 の間の値をとる。 $(p, q) = (1, 0), (1, 1)$ における E_1, E_2

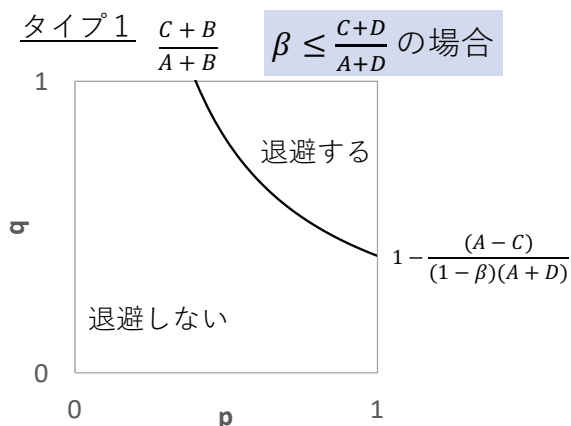


図2 タイプ1の境界線

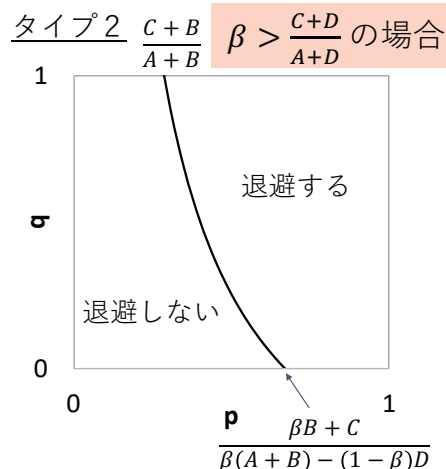


図3 タイプ2の境界線

の大小関係から、双曲線は $\beta \leq \frac{C+D}{A+D}$ の時タイプ1 (図2) または $\beta > \frac{C+D}{A+D}$ の時タイプ2 (図3) と

なる。 $q=1$ において両タイプの境界線とも $p = \frac{C+B}{A+B}$ に位置する。 A が大きいほど、また B, C が小さいほどこの位置は左側に近づくため、より低い洪水発生確率において退避行動が選択される。

次に、交通事業者が悲観的であり、最悪の状況の発生を考えてその利得の大きい戦略（マキシミン戦略）を選択するケースを考える。退避行動を選択する場合の最小利得は $(p, q) = (1, 0)$ に対する $-(1-\beta)(A+D) - C$ と $(p, q) = (0, 1)$ に対する $-(B+C)$ の小さい方で、 $A > (B, C, D)$ という仮定では前者が該当する可能性が高い。他方退避行動を選択しない場合の最小利得は q によらず $p=1$ に対する $-A$ である。結局 $(p, q) = (1, 0)$ における利得の比較となり、先に述べた境界線タイプの区分と同じ条件で、退避の有無が決定する。すなわち β, A が大きいほど、また B, C, D が小さいほど退避行動が選択される可能性が大きい。

4. 利用者の立場からの評価

利用者の評価構造 $(B, C) > (A, D) \geq 0$ を前提に式(1), (2)を用いて期待利得 E_1 および E_2 を比較すると、 (p, q) の全域において $E_1 < E_2$ が成立し、退避行動は選択されない。すなわち事業者の退避行動への理解を利用者から得るためには、利用者に、事業者の損失の重要性を認識してもらう必要があることがわかる。

5. 時間の経過に伴う事業者の意思決定の変化

時間の経過とともに事業者が意思決定を複数回繰り返す状況を分析する。退避行動を決定し

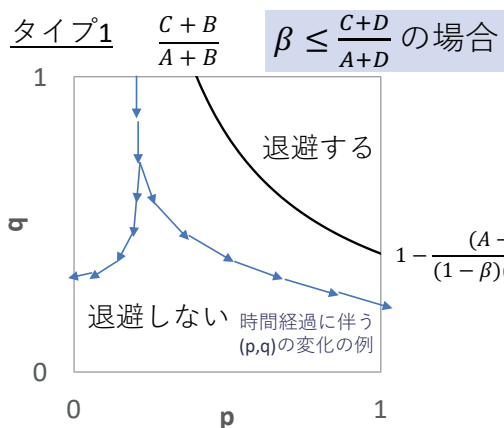


図4 タイプ1における時間経過

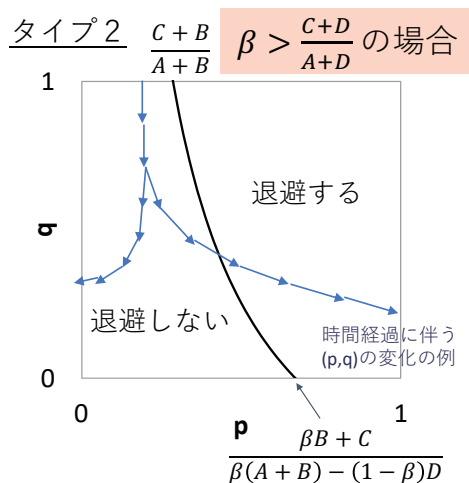


図5 タイプ2における時間経過

て実行すれば災害発生時刻まで新たに判断することはなくなる。問題は退避行動を取らないまま時間が経過し、災害予測精度が上昇する一方で活動終了時刻までの時間が減少して、退避完了確率 q が低下していく状況である。図2, 3で示した2つの境界線タイプに対する状況の変化をそれぞれ図4, 5にプロットした。

災害発生確率 p が高まる (p が1に近づく) 場合、図5のタイプ2ならば (p, q) が境界線を横切って右下方に超える時点が存在し、その時点で退避作業を実施する判断に切り替わる。ただし、時間の経過とともに非完了時の退避率 β が低下し、境界線も右方にシフトしている可能性があるため、早い時点でできるだけ確実性の高い災害予測情報を得ることが望ましい。一方、図4のタイプ1の場合、 (p, q) が境界線の左下の領域から出発して右下方に推移しても、途中で境界線を越えないことが起こりうる。これは、対応を逡巡している間に退避行動の効果が失われてしまう状況を表している。

6. おわりに

以上、交通事業者による資産退避行動の意思決定をモデル化し、資産価値や各種の費用の大きさが判断にもたらす影響を分析した。利用者が、自らが被るサービス停止への影響のみを認識する限り、事業者の退避行動は理解されない。早めの計画運休やサービス再開までの余裕時間に対する一般市民の理解を得るための努力が必要と考えられる。今後は、交通事業者のほか一般市民もマイカーの退避行動をとり、各々の完了確率が影響するようなゲーム論的状况に拡張して検討を行いたい。

参考文献 1) 佐藤良太, 谷口綾子: 東日本大震災における路線バス運行現場の災害応急対応, 実践政策学 2(1), pp. 37-44, 2016.