

不確実性下の出発時刻選択の意思決定フレーム
Decision frame for departure time choice under uncertainty

藤井聡*, 北村隆一**

Satoshi FUJII*, Ryuichi KITAMURA**

1. はじめに

運転者の意思決定は、不確実性下の典型的な意思決定問題の一つである。従来より、この点を考慮した多くの研究が蓄積されてきているが、その多くが期待効用理論¹⁾²⁾を基礎とするものであった³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾。期待効用理論では、意思決定者は結果の主観的確率分布と価値関数の双方から定義される効用の期待値(期待効用)が最大となる選択肢を選択する、と仮定される。

しかし、期待効用理論が提案されて以来、その基本前提が成立しない意思決定現象が数多く報告されている。その代表的な例としては、期待効用が等しくてもより確実な選択肢の方が好まれるアレのパラドクス⁹⁾、記述の仕方以外の点は全く等しい二つの問題が、異なった選好を喚起するフレーム効果(framing effect¹⁰⁾)が挙げられる。これらの意思決定現象はその後も繰り返し追認されている¹¹⁾¹²⁾と共に、それを説明するためのプロスペクト理論¹²⁾¹³⁾や状況依存焦点モデル¹⁴⁾等の新しい意思決定理論が提案されている。それらの意思決定理論が共通して強調しているのは、意思決定問題の主観的解釈、すなわち、意思決定フレーム(decision frame)¹⁰⁾の重要性である。

例えば次の様な意思決定問題を考えてみよう。

4万円を既に受け取ったとします。その場合以下の二つの選択肢がある場合、いずれを選択しますか？

[A1] 50%の確率で2万円を失うが、50%の確率で何も失わない。

[A2] 確実に1万円を失う。

この場合、従来の多くの実証研究¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾¹⁴⁾は、個人は [A1] を選択する傾向が強いことを示している。しかし、

次の二つの選択肢がある場合、いずれを選択しますか？

[B1] 50%の確率で2万円をもらい、50%の確率で4万円をもらう。

[B2] 確実に3万円を受け取る。

という選択の場合には、[B2]を選好する傾向が強いことが示されている。しかし、[A1]と[B1]の期待効用、および[A2]

と[B2]の期待効用はそれぞれ同一であり、したがって、前者で[A1]、後者で[B2]が選好されるという事態を期待効用理論では説明できない。これが、先述のフレーム効果の一例であるが、これを理論的に説明する一つの方法が、参照点(reference point)の存在を仮定する方法である。例えば、プロスペクト理論では[A1][A2]の選択問題では参照点が+4万円の位置にあり、後者の[B1][B2]の選択問題では0円の位置にあると考える。そして、多くの個人は前者を損失領域の問題と解釈する一方で、後者を利得領域の問題と解釈する。そして、この主観的な問題解釈、すなわち、意思決定フレームの相違が選択傾向の相違を生み出していると仮定される。

以上の議論は、参照点に基づいた意思決定フレームを考慮することが、意思決定記述のためには極めて有益である、ということの意味している。ところが、意思決定フレームを考慮するだけでは説明できない現象も報告されている。例えば、次のような意思決定問題を考えてみよう。

赤玉、黒玉、黄玉が合計で90個入っている箱を考えて下さい。赤玉は30個であるということは分かっているが、黒玉と黄玉の数は分からないとします。その場合、以下のいずれのくじを引きますか？

A. 箱から赤玉を取り出せば1万円もらえ、そうでなければ何ももらえない。

B. 箱から黒玉を取り出せば1万円もらえ、そうでなければ何ももらえない。

この場合、確率論に従えば、赤玉を引く確率も黒玉を引く確率も互いに等しく1/3である。したがって、期待効用理論は、両者は無差別であることを予想する。しかし、現実の多くの意志決定者はAを好む。この意思決定現象は曖昧性忌避(ambiguity aversion)¹⁵⁾と呼ばれている。この現象が意味するのはSavage²⁾が仮定したような単純な確率理論で不確実性の心理的表象(mental representation)を表現することは適切でない、という事である。

曖昧性忌避現象は、不確実性の心理的表象を不正確確率理論(imprecise probability theory)に基づいて表現することで説明されている¹⁶⁾。最も単純に定式化した場合、不正確確率は上限確率と下限確率という範囲をもって表現され

キーワード: 不確実性下の意思決定, 交通行動分析, 交通情報

* 正会員, 博士(工学), 京都大学大学院工学研究科

** 正会員, Ph.D., 京都大学大学院工学研究科

(〒6068501 京都市左京区吉田本町, tel: 075-753-5136, fax: 075-753-5916, fujii@term.kuciv.kyoto-u.ac.jp)

表 1 対リスク戦略と出発時刻選択肢

| 選択肢 | 対リスク戦略 |
|----------------------|------------|
| <i>Safe Period</i> | 完全リスク回避 |
| RP_{early} | 効果的完全リスク回避 |
| <i>Risky Period</i> | リスク受容 |
| RP_{late} | 究極的リスク受容 |
| <i>Failed Period</i> | 完全リスク無視 |

Safe Period: $(-\infty, RP_{early})$
Risky Period: (RP_{early}, RP_{late})
Failed Period: $(RP_{late}, +\infty)$

運転者は、こうして定義される2つの時刻、ならびに、3つの時間帯の合計5つを主観的な出発時刻の選択肢と見なして、出発時刻選択を行うと仮定する。

(3) 対リスク戦略に関する仮説

こうして構成された各々の選択肢は、表1に示す対リスク戦略にそれぞれ対応していると仮定する。まず、*Safe Period*は遅刻する可能性がほとんど無い時間帯であり、したがって、完全リスク回避戦略の運転者に選択される。逆に、*Failed Period*は、間に合う可能性がほとんどない時間帯であり、したがって、完全リスク無視戦略の運転者が選択される。その間の*Risky Period*では、間に合うかも、遅刻するかも知れない時間帯であり、リスク受容戦略の運転者に選択される。一方、時刻 PT_{early} は、遅刻する可能性を最小限に止めた上で、できるだけ出発時刻を遅くさせる運転者に選択される。この戦略を効果的完全リスク回避戦略と呼称する。最後に PT_{late} は、間に合う可能性が少しでも存在する範囲で、できるだけ出発時刻を遅くさせる運転者に選択される。この戦略を、究極的リスク受容戦略と呼称する。

る。例えば、上述の問題で赤玉を引く不正確確率は $[1/3, 1/3]$ であるが、黒玉を引く不正確確率は $[0, 2/3]$ である。こうして、上記のAとBの不確実性の心理的表象を区別して表現することで、曖昧性忌避を説明する。

以上の議論は不確実性の判断には可能範囲(possible range)が活用されることを意味している。同様の知見は、確率判断の研究¹⁷⁾においても示されているし、ファジー理論の主張¹⁸⁾とも類似するものであると言える。

さて、ここまで述べてきた議論から、以下のような結論が導けるであろう；1)意思決定記述にあたって、参照点と意思決定フレームが重要である、2)不確実性の心理的表象を表現する際、単純な確率理論ではなく、可能範囲を用いた表現方法を用いることが適切である。本研究は、意思決定研究のこれら2つの帰結に基づいて、制約条件下の運転者の出発時刻選択の意思決定モデルを提案する。

2. 到着時刻制約下の上発時刻意思決定モデル

(1) 不確実な旅行時間の心理的表象の仮説

運転者は以下の様な形で、可能範囲を用いて不確実な旅行時間を予想していると仮定する。

旅行時間は速ければ $[AT_{max}]$ 、遅ければ $[AT_{min}]$ くらいかかるだろう。

以下、上記の AT_{max} を最大認知旅行時間、 AT_{min} を最小認知旅行時間と呼称する。

(2) 意思決定フレームに関する仮説

到着時刻制約下において運転者が出発時刻を選択する場合、運転者は「遅刻するか」「間に合うか」という観点から、時刻を主観的にフレーム化した上で、出発時刻選択の意思決定を行うと仮定する。その際、

$$PT_{early} = T_{fix} - AT_{max} \quad (1)$$

$$PT_{late} = T_{fix} - AT_{min} \quad (2)$$

という2つの時刻を基準としたフレームを構成するものと考える。ここに、 T_{fix} が到着制約時刻である。運転者はこの2つの時刻に基づいて連続的客観的な時間軸を以下の3つの時間帯にフレーム化するものとする。

3. モデルの妥当性に関する実証分析

以上に述べた意思決定モデルの基本仮説の妥当性を確認するための調査分析を行った。利用したデータは、阪神高速道路15号堺線(以下、堺線)全面通行止め期間中(1998年11月1日～8日)の通勤行動調査¹⁹⁾から得られた。この調査では、被験者募集のために、事前に堺線料金所にて被験者募集ハガキを5000枚配布し、それに反応した704名に調査票を郵送配布し、最終的に335部の有効回答票が得られた。

本研究で用いるデータは、通行止めの直前日に記入を要請した調査項目から得た。まず、被験者に平均的な通勤日を想定してもらい、到着制約時刻 T_{fix} を「遅くとも、何時までに着かなければなりませんか?」という形で尋ねた。次に、いくつかの他のデータ項目の回答を要請した後に、出発時刻を「何時に出発しますか?」と尋ね、出発時刻を記入してもらった。再び異なる質問の回答を要請した後に、最後に「自宅から目的地までの合計の所要時間は?」との質問に「早ければ__分、遅ければ__分」という回答欄に回答するように要請した。これを、最大認知旅行時間 AT_{max} 、最小認知旅行時間 AT_{min} とした。

(1) 意思決定フレーム仮説の妥当性の検証

表2 出発時刻選択肢別の選択者数

| 選択肢 | 対リスク戦略 | 選択者数(%) |
|---------------|------------|-------------|
| Safe Period | 完全リスク回避 | 154 (53.8%) |
| RP_{early} | 効果的完全リスク回避 | 44 (15.4%) |
| Risky Period | リスク受容 | 45 (15.7%) |
| RP_{late} | 究極的リスク受容 | 19 (6.6%) |
| Failed Period | 完全リスク無視 | 24 (8.4%) |

もしも、本研究で仮定するような意思決定フレームの仮説が妥当ではなく、運転者が PT_{early} や PT_{late} を選択肢と捉えていないとするならば、偶然に PT_{early} や PT_{late} に出発することがあったとしても、それはさほど多い頻度ではないことが予想される。逆に、偶然の頻度以上に運転者が PT_{early} や PT_{late} に出発しているとするなら、その事実は本モデルの意思決定フレーム仮説を支持していると言えよう。この点を確認するために、先述のデータから式(1)、(2)に基づいて PT_{early} 、 PT_{late} を求め、5つの出発時刻選択肢別の選択者数を集計した(表2)。表2より RP_{late} を選択した運転者は6.6%、 RP_{early} を選択した運転者は15.4%と合計で全体の22.0%となった。この割合は偶然以上のものと考えられよう。さらに完全リスク回避者と完全リスク無視者を除き、 RP_{late} から RP_{early} の間に出発した108人のみに着目すると、 RP_{late} と RP_{early} のいずれかの時点で出発した運転者は58.3%にも上った。両時刻の差の平均が29.5分であったが、その中の単なる2つの時点での出発者率が58.3%となるのは偶然以上の結果であると考えられる。すなわち、この結果は意思決定フレーム仮説の妥当性を支持するものと考えられる。

(2) 対リスク戦略の仮説の妥当性の検証

対リスク戦略の仮説から、以下の4つの推論が理論的に誘導できる。

推論 1) 一般に通勤者は遅刻リスクを回避する傾向が強い^{3, 7)}。したがって、より早い時刻の選択肢がより頻繁に選択される傾向にあるだろう。

推論 2) 到着制約時刻の重要性は運転者によって異なるだろう。おそらく職場内の地位が高い通勤者ほど、その重要性が低くなる傾向が想像される。本調査では職場内地位を計測していないが、職場内地位は年齢とある程度相関を持つだろう。したがって、高齢者ほど、より遅い時刻の選択肢をより頻繁に選択するだろう。

推論 3) 本調査ではフレックスタイムが職場に導入されている通勤者に対しても、主観的な到着制約時刻を尋ねているが、その重要性はそれ外の通勤者よりも低いだろう。したがって、フレックスタイムが導入されている通勤者は、より遅い時刻の選択肢をより頻繁に選択するだろう。

推論 4) 到着制約時刻の主観的な重要性が低い運転者は、その制約時刻を全ての基準とした意思決定フレームを構成しないかも知れない。もしそうであるなら、そのような運転者は連続的な時間軸における単なる一つの時点にしか過ぎない PT_{early} 、あるいは PT_{late} を選択する理由を特に持たない。一方、上述の様に高齢者やフレックスタイム制の通勤者は到着時刻制約の主観的重要性は低いだろう。以上より、高齢者やフレックスタイムの通勤者は、 PT_{early} と PT_{late} を選択する頻度が低いだろう。

以上の4つの推論を統計的に検定するために、表1に示した5つの選択肢を選択肢集合として、かつ、高齢者(50才以上)ダミーとフレックスタイム導入者ダミーを説明変数とする多項ロジット回帰分析を行った。推定結果を表3に、得られた係数推定値を図1に図示する。

まず、Safe Period、 RP_{early} 、Risky Period の定数項の推定値は有意に正だが、それ以外の定数項は有意ではなかった(表3)。また、定数項の推定値は、概してより早い出発時刻の選択肢ほど小さくなる傾向にある(図1、表3)。これらの結果は、運転者の一般的な危険回避傾向を意味する推論1)に一致している。次にElderの推定値に着目すると、定数項とは逆にSafe Period、 RP_{early} 、Risky Periodでの係数が負であった(図1、表3)。特に RP_{early} は有意に負であった(表3)。これらの結果は、高齢者ほど危険回避傾向が低い推論2)に一致している。Flexitimeに着目すると、Safe Periodと RP_{early} が有意に負であった(表3)。その推定値に着目すると、概してより早い選択肢ほど小さい係数となっている(表3、図1)。これらの結果も、フレックスタイムが導入されている運転者の方が、そうでない運転者よりも危険回避傾向が低いことを意味しており、推論3)に一致している。また、ElderとFlexitimeのそれぞれにおいて、 RP_{early} の係数は最も小さなものとなっている(表3、図1)。特に、上述のようにElderの係数の中で有意に負であったのは RP_{early} のみであったし、Flexitimeの RP_{early} での係数も有意に負であった(表3)。これらの結果は、高齢者とフレックスタイム導入運転者は、 RP_{early} の選択頻度がそれ以外の運転者よりも低いことを意味している。この結果は、推論4)を支持している。ただし、 PT_{late} に関しては推論4)で予想された傾向は全く見られなかった。これは PT_{late} のリスク傾向が過度に強すぎたために、運転者が選択肢として認知していなかったことが原因かも知れない。逆に、高齢者は PT_{late} をより頻繁に選択する傾向が若干伺えるが(表3)、これは、到着時刻の重要性が低い運転者にとっては究極的リスク受容戦略は選択可能な戦略であるためかも知れない。

表3 ロジット回帰分析の結果

| 選択肢 | 定数項 | | Elder [†] | | Flexitime ^{††} | |
|---------------------|--------|---------|--------------------|--------|-------------------------|----------|
| | coeff. | t | coeff. | t | coeff. | t |
| Safe Period | 2.67 | 7.29*** | -0.57 | -1.2 | -1.82 | -3.88*** |
| RP _{early} | 1.68 | 4.29*** | -1.19 | -2.02* | -3.14 | -3.75*** |
| Risky Period | 1.29 | 3.22*** | -0.66 | -1.24 | -1.02 | -1.93 |
| RP _{late} | -0.38 | -0.70 | 0.75 | 1.18 | -0.54 | -0.86 |
| Failed Period | 0 | - | 0 | - | 0 | - |

* p > .05, ** p > .01, *** p > .001

サンプル数=286, L(C)=50.8, L(B)=29.3, $\chi^2 = 43.0$ (df = 8) p < .0001

[†] = 1 if 50 才以上; = 0 otherwise

^{††} = 1 ブレックスシステムが職場に導入されている; = 0 otherwise

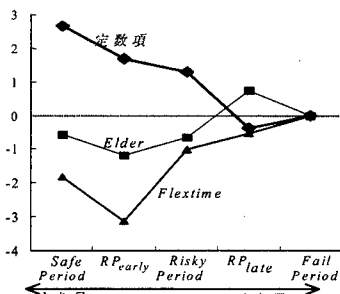


図1 係数推定値の選択肢間推移

以上の様に、本モデルの基本仮定に基づいて演繹した4つの推論は、概ねデータに一致するものであった。このことは、本モデルの基本仮定を間接的に支持するものである。特に推論4)は、本モデルでの意思決定フレームの存在を前提としない場合には論理的に予測することが難しいように考えられるため、それが部分的にも確認されたことは、本モデルでの意思決定フレームの仮説の妥当性をより強く支持しているものと言えるであろう。

4. 結論

選択時刻の選択肢別の集計結果、および、ロジット回帰分析は、運転者は到着制約時刻と認知旅行時間の可能範囲を用いて選択問題を主観的に構成した上で、すなわち意思決定フレームを構成した上で出発時刻を選択している、という本研究で提案した意思決定モデルの基本的仮説を支持するものであった。今後は、より広範なデータに基づいた分析や、PT_{late}が選択肢として認知されているか否かに関する追加分析、種々の選択要因の考慮、到着制約時刻の重要性の分析など、様々な課題が残されている。しかし、少なくとも本研究での実証分析結果からも、以下のような政策上の含意が議論できるのではなかろうか。すなわち：1) 従来の研究において、可能範囲を用いて認知旅行時間を計測する方法が用いられてきたが^{9), 19) 20)}、その方法は、運転者の心理的表象に適した観測方法であることが確認された。

2) RP_{early}が少なからずの運転者に選択されているという事実は、例えば「A) 最も遅くともこれくらいの時間はかかる」あるいは「B) いくら遅くともいつまでには到着できる」という情報が主観的に分かりやすく、運転者の認知負荷が低い情報であることを意味している。例えば、情報板などの公共的な情報提供媒体では上のA)の様な情報、車載式情報媒体ではB)のような個別的信息が提供可能だろう。逆に、到着制約時刻の重要度の低い運転者にとっては、「早くいけば・・・」「いくら早くとも・・・」という種類の情報が有益であるかも知れない。いずれにしても、運転者は可能範囲を用いて旅行時間を認知しているのである以上、一点の数値情報ではなく、旅行時間の可能範囲を考慮した情報の提供の方策を検討するのが得策であろう。

謝辞：本研究の調査は、阪神高速道路公団大阪管理部の全面的協力を得て実施された。ここに記して深謝の意を表したい。

参考文献

- 1) Von Neumann, J., and Morgenstern, O.: *Theory of Games and Economic Behavior*. Princeton University Press, Princeton, 1944.
- 2) Savage, I.R.: *The foundations of statistics*. New York: Wiley, 1954.
- 3) 桑原雅夫: 道路交通における出発時刻選択に関する研究解説, 土木学会論文集, No. 604/IV-41, pp. 73-84, 1998.
- 4) 山下智志・黒田勝彦: 交通機関の定時性と遅刻回避型効用関数, 土木学会論文集, No. 536/IV-31, pp. 59-68, 1996.
- 5) 藤井聡, 守田武史, 北村隆一, 杉山守久: 不確実性に対する態度の差異を考慮した交通需要予測のための経路選択モデル, 土木計画学研究・論文集, No. 16, pp. 569-576, 1999.
- 6) Dial, R.B. (1971) A probabilistic multipath traffic assignment model which obviates path enumeration. *Transportation Research*, 5, pp. 83-111.
- 7) Eliahu, M. and Guttman, J.M. (1986) Uncertainty, continuous modal split, and the value of travel time in Israel. *Journal of transport economics and policy*, 20 (3), pp. 369-375.
- 8) Noland, R.B. and Small, K.A. (1995) Travel-time uncertainty, departure time choice, and the cost of morning commutes. *Transportation Research Record*, 1493, pp. 150-158.
- 9) Allais, M.: Le comportement de l'homme rationnel devant le risque, critique des postulats et axiomes de l'école américaine. *Econometrica*, 21, 503-546, 1953.
- 10) Tversky, A. and Kahneman, D.: The framing of decisions and the psychology of choice. *Science*, 211, pp. 453-458, 1981.
- 11) Kühberger, A.: The influence of framing on risky decisions: a meta-analysis. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 75(1), pp. 23-55, 1998.
- 12) Kahneman, D. and Tversky, A.: Prospect theory: An analysis of decision under risk. *Econometrica*, 47, pp. 263-291, 1979.
- 13) Tversky, A., and Kahneman, D.: Advances in Prospect Theory: Cumulative representation of uncertainty. *Journal of Risk and Uncertainty*, 5, 297-323, 1992.
- 14) Takemura, K. and S. Fujii: *Contingent focus model of decision framing under risk*, Paper presented at 17th biennial conference on Subjective Probability, Utility and Decision Making, Mannheim, Germany, 1999.
- 15) Ellsberg, D.: Risk, ambiguity, and the Savage axioms. *Quarterly Journal of Economic*, 75, 643-669, 1961.
- 16) Walley, P.: *Statistical Reasoning with Imprecise Probability*, Chapman and Hall, London, 1991.
- 17) Beyth-Marom, R.: How probable is probable?: Numerical translation of verbal probability expressions. *Journal of Forecasting*, 1, pp. 267-269, 1982.
- 18) 秋山孝正: ファジ理論の土木計画分野における適用に関する整理と展望, 土木学会論文集, No. 395/IV-9, pp. 23-32, 1988.
- 19) 藤井 聡, 中野雅也, 北村隆一, 杉山守久: 認知旅行時間の環境適応プロセスに関する理論実証研究, 土木計画学研究・論文集, -投稿中-
- 20) 林成卓, 藤井 聡, 北村隆一, 大窪鋼文: ドライバーの認知所要時間の確率構造に関する実証的研究, 土木学会第53回年次学術講演会講演概要集第4部, pp.652-653 1998.