

## 震災時ガソリン購入行動に関する研究

The study of gasoline purchase behavior in earthquake disaster

河本 憲\*

Ken KAWAMOTO

\*地域計画学研究室 (指導教員: 奥村誠 教授)

In the Great East Japan Earthquake, a lot of consumers rushed to gas stations and spent too much time to purchase gasoline. Gas stations distributed the priority tickets or limited purchase quantity. This study proposes a consumer behavior model and examines the effectiveness of these policies (Distribution of the priority tickets and Limited purchase quantity). We found that when the consumers' feel pessimism at future's gas supply, these policies promotes rush of consumers and are not effective ways to relax making long lines in the disaster.

**Key Words** : Gasoline Purchase, Disaster Management, Decision making, Consumer Behavior

## 1. 本研究の背景と目的

2011年3月11日に発生した東日本大震災では、ガソリン不足が発生し、ガソリンスタンド(以下:GS)への殺到によって長蛇の列が生じて<sup>1)</sup>、平常時よりも圧倒的に長い待ち時間をかけて、少ない量のガソリンしか手にできないという結果となった。この待ち時間のために他の行動が制限されたり、車の行列により交通が阻害されたという点で、このGSの殺到は大きな損失をもたらした。

この殺到行為は、被災地へのガソリン輸送の途絶によって、供給量が減少したことをきっかけに発生した。3月下旬に塩釜港へのタンカー輸送が復旧した後も、一旦解消したものの、4月7日の最大余震により、供給量が減少する前の時点で再発生したことを考えると、消費者が不安を感じて行動を変化させ、そこでできた行列が、また別の消費者の不安をあおるといった、一連のプロセスによって発生していると考えられる。

本研究では、待ち時間と品切れを考慮した、消費者のガソリン購入行動モデルを提案し、その行動結果の行列を見ながら並ぶかどうかを消費者が選択するという一連のプロセスをモデル化して、GSへの殺到が起こるメカニズムの解明を行う。また、震災時に行われた販売政策について、変更した時に消費者の購入行動や期待効用に与える影響を分析する。

## 2. ガソリン購入行動モデル

本研究では、消費者は1期にGSに並ぶことの期待効用  $E_1[u_1]$  と、2期から並ぶことの期待効用  $E_1[u_2]$  を比較し、

$E_1[u_1] \geq \delta E_1[u_2]$  なら1期に並ぶものとする。ただし  $\delta$  は割引率である。

## 2.1 GSの販売可能量の定式化

当該期(便宜上  $t$  期とおく)のGSのガソリン販売可能量  $s_t$  は、 $t-1$  期からのガソリン繰り越し量  $\varphi_t$  と  $t$  期のガソリン補充量  $\theta_t$  の和で決まり、以下のように表わされる。

$$s_t = \varphi_t + \theta_t \quad (1)$$

また、ガソリン繰り越し量  $\varphi_t$  は、 $t-1$  期のガソリン販売可能量  $s_{t-1}$  が  $t-1$  期にGSに並ぶ消費者数  $N_{t-1}$  よりも大きい時のみ発生し、以下のように表される。

$$\varphi_t = \begin{cases} s_{t-1} - N_{t-1} & \text{if } N_{t-1} \leq s_{t-1} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

## 2.2 消費者の期待効用の定式化

当該期(便宜上  $t$  期とおく)に  $n_t$  番目にGSに到着する消費者を考える。消費者  $n_t$  がそのままGSに並び、ガソリンを購入できれば ( $n_t \leq s_t$ )、効用  $v_t$  を得るが、待ち時間が  $n_t$  発生する。品切れは発生するまで予告されないものとする。品切れが起きた時 ( $n_t > s_t$ ) は、ガソリン販売可能量  $s_t$  に等しい待ち時間だけが発生し、次期に再びGSに並ぶものとする。当該期に  $n_t$  番目にGSに到着する消費者が得られる効用関数  $u_t(n_t)$  は、以下のようになる。

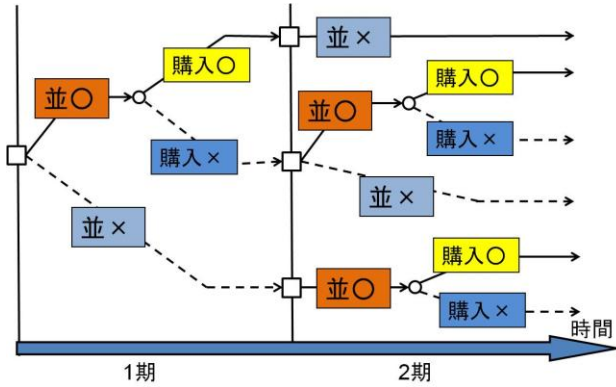


図1 本研究の消費者の決定木

$$u_t(n_t) = \begin{cases} v_t - w_t n_t & \text{if } n_t \leq s_t \\ -w_t s_t + E_t[u_{t+1} | n_t > s_t] & \text{if } n_t > s_t \end{cases} \quad (3)$$

ただし、 $w_t$ は時間価値で、 $E_t[u_{t+1} | n_t > s_t]$ は当該期に品切れが起きた時に次期に並ぶことの期待効用である。消費者はガソリン補充量 $\theta_t$ は確率的にしかわからず、その値は平均 $\mu_t$ 分散 $\sigma_t^2$ の正規分布に従うものとする ( $\theta_t \sim N(\mu_t, \sigma_t^2)$ )。

本研究では、2期間のモデルを提案する。複数の消費者を考慮し、1期にガソリンスタンドに到着する順番のみが異なり、それ以外は同質と仮定する。消費者の選択とガソリン購入の有無を表す決定木を図1に示す。図1の四角ノードは「選択ノード」を、丸ノードは「確率ノード」を表す。消費者は1期か2期に必ず並ぶものとし、1期に購入できた場合は、2期には再び並ばないものとする。

消費者が1期にGSに並ぶことの期待効用 $E_1[u_1]$ と、2期に初めてGSに並ぶことの期待効用 $E_1[u_2]$ を以下のように表す。

$$E_1[u_1(n_1)] = \int_{n_1 - \varphi_1}^{\infty} (v_1 - w_1 n_1) f(\theta_1) d\theta_1 + \int_{-\infty}^{n_1 - \varphi_1} \{-w_1 s_1 f(\theta_1) + \delta E_2[u_2 | n_1 > s_1]\} d\theta_1 \quad (4)$$

$$E_1[u_2(N_1, \hat{i}_2)] = \int_{N_1 - \varphi_1}^{\infty} E_2[u_2 | N_1 \leq s_1] d\theta_1 + \int_{-\infty}^{N_1 - \varphi_1} E_2[u_2 | N_1 > s_1] d\theta_1 \quad (5)$$

$$E_2[u_2] = \int_{n_2 - \varphi_2}^{\infty} (v_2 - w_2 n_2) h(\theta_2 | \theta_1) f(\theta_1) d\theta_2 + \int_{-\infty}^{n_2 - \varphi_2} \{-w_2 s_2\} h(\theta_2 | \theta_1) f(\theta_1) d\theta_2 \quad (6)$$

ただし、 $f(\theta_1)$ は $\theta_1$ の確率密度関数を、 $h(\theta_2 | \theta_1)$ は $\theta_1$ の下での $\theta_2$ の条件付き確率密度関数を表す。式(4)の第1項は購入できた時の効用を、第2項は購入できなかった時の効用を表し、1期に購入できなかった時に2期に再び並ぶ効用が含まれている。式(5)の第1項は1期に品切れが起きない時の2期の期待効用を、第2項は1期に品切れが起きた時の2期の期待効用を表す。式(6)は2期の期待

表1 平常時の数値設定

$v_1$	100	$\mu_1$	30	$\hat{i}_2$	20
$v_2$	100	$\mu_2$	30	$\hat{N}_2$	100
$w_1$	1	$\sigma_1$	1	$\delta$	0.95
$w_2$	1	$\sigma_2$	1		

効用を表す。

消費者は1期において、新たに2期に並ぶ消費者数 $\hat{N}_2$ 台中、 $\hat{i}_2$ 番目GSに到着できると予想するものとする。2期に実際に購入できる順番 $n_2$ は、2期の全消費者数に $\hat{i}_2 / \hat{N}_2$ を乗じたものとなる。1期に品切れが起きた時 ( $n_1 > s_1$  or  $N_1 > s_1$ )には、1期に購入できなかった人も2期に再び並ぶので、 $n_2$ は以下ようになる。

$$n_2 = \begin{cases} (n_1 - s_1 + \hat{N}_2) \hat{i}_2 / \hat{N}_2 & \text{if } n_1 > s_1 \\ \hat{i}_2 & \text{if } N_1 \leq s_1 \\ (N_1 - s_1 + \hat{N}_2) \hat{i}_2 / \hat{N}_2 & \text{if } N_1 > s_1 \end{cases} \quad (7)$$

### 2.3 消費者行動とGSに並ぶ消費者数の決定

2つの行動が無差別になる時に、1期に並ぶ順番 $n_1$ と1期に並ぶ消費者数 $N_1$ が等しくなる。したがって以下の均衡条件式から1期に並ぶ消費者数 $N_1^*$ が決まる。

$$N_1^* = N_1 = n_1 \quad \text{if } E_1[u_1(n_1)] = \delta E_1[u_2(\hat{i}_2)] \quad (8)$$

## 3. 平常時と震災時の購入手順の分析

モデルに具体的な数値を設定し、震災時の消費者行動の性質を明らかにする。

### 3.1 平常時の購入手順

平常時には、2期にはGSにガソリンが十分あり、購入できる確率が高いと予測する。すなわち全ての消費者が2期のガソリン補充量の平均値よりも早い順番でGSに到着できると想定し ( $\hat{i}_2 < \mu_2$ )、表1のような数値設定を考える。

表1の数値設定の下、1期に $n_1$ 番目にGSに到着した消費者の、1期に並ぶことの期待効用 $E_1[u_1(n_1)]$ と、2期に初めて並ぶ期待効用 $\delta E_1[u_2(N_1 = n_1 | \hat{i}_2)]$ を図2に示す。

図2の $n_1 < 30$ における $E_1[u_1(n_1)]$ の減少は1期の待ち時間の増加のためで、 $n_1 = 30$ 付近の大幅な減少は1期の品切れのためである。2つの期待効用の $n_1 = 70$ 付近の大幅の減少は、2期の品切れのためである。式(8)の均衡条件式を満足する2つの効用の交点より、1期に並ぶ消費

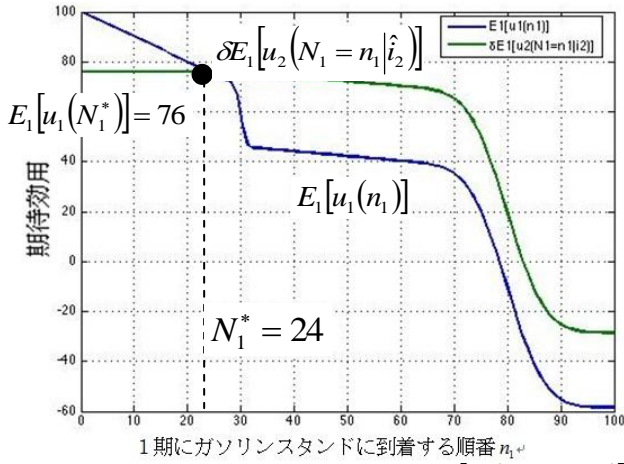


図2 平常時における  $E_1[u_1(n_1)]$  と  $\delta E_1[u_2(N_1 = n_1 | \hat{i}_2)]$

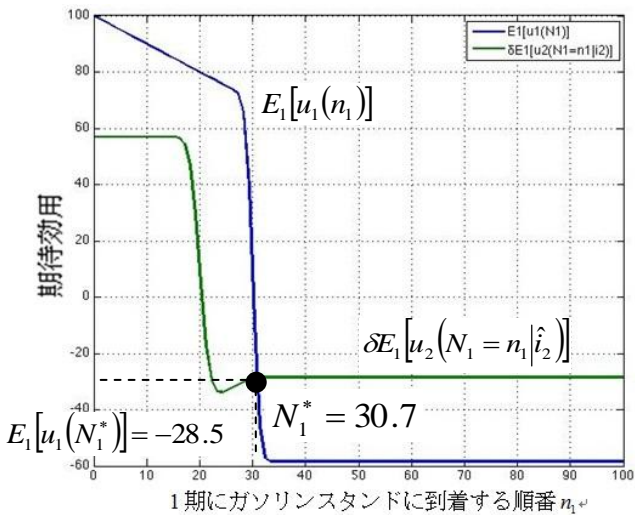


図3 震災時における  $E_1[u_1(n_1)]$  と  $\delta E_1[u_2(N_1 = n_1 | \hat{i}_2)]$

者数が  $N_1^* = 24$  となり、その最後尾の消費者の期待効用は  $E_1[u_1(N_1^*)] = 76$  となる。

### 3.2 震災時の購入行動

震災時の消費者は、将来の状況を悲観的に予測したと考えられる。消費者が2期にGSに到着する順番を悲観的に予測する状況を考え、表1の設定のうち  $\hat{i}_2 = 20$  から  $\hat{i}_2 = 40$  に変更する。この時、1期に  $n_1$  番目にGSに到着した消費者の、1期に並ぶことの期待効用  $E_1[u_1(n_1)]$  と、2期に初めて並ぶ期待効用  $\delta E_1[u_2(N_1 = n_1 | \hat{i}_2)]$  を図3に示す。

図3より、 $E_1[u_1(n_1)]$  の大幅な減少は  $n_1 = 30$  付近の1か所だけに見られ、 $\delta E_1[u_2(N_1 = n_1 | \hat{i}_2)]$  の大幅な減少が、さらに  $n_1$  の小さい所で見られる。これは  $n_1 = 20$  付近ですでに2期の品切れ確率が高くなっていることによる。2つの効用の交点より、1期に並ぶ消費者数は  $N_1^* = 30.7$ 、

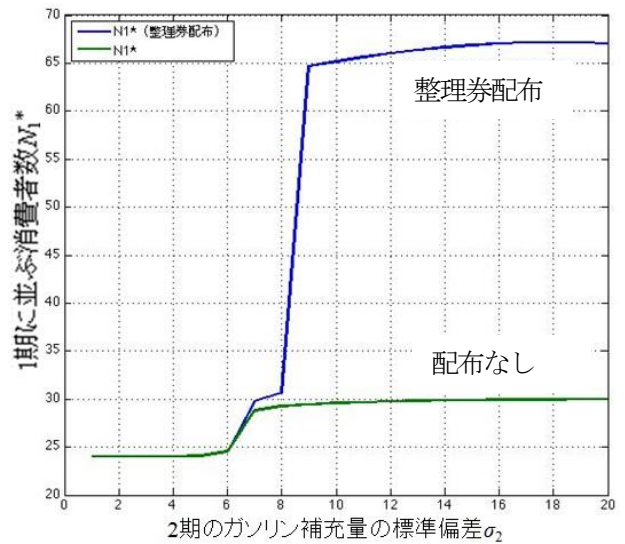


図4  $\sigma_2$  と  $N_1^*$  の関係 (整理券配布時と非配布時)

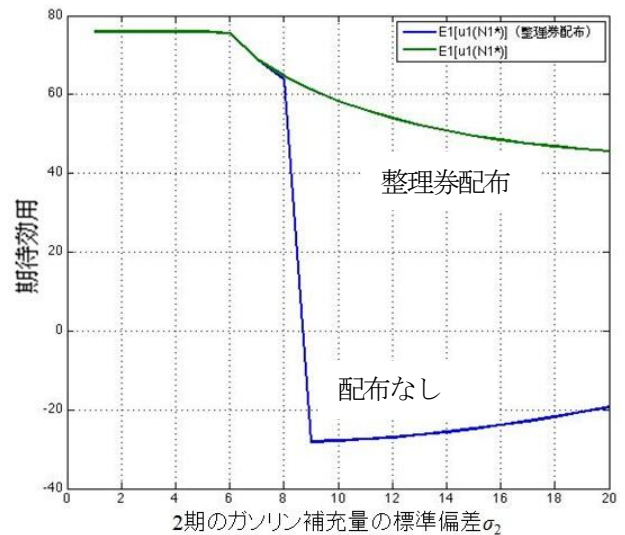


図5  $\sigma_2$  と  $E_1[u_1(N_1^*)]$  の関係 (整理券配布時と非配布時)

最後尾に並ぶ消費者の期待効用は  $E_1[u_1(N_1^*)] = -28.5$  となる。消費者が将来のを悲観的に予測した結果、1期に並ぶ消費者数が増加し、品切れ確率が高くなることがわかった。

## 4. 販売政策変更の影響分析

### 4.1 整理券を配布する時

震災時には、GSで品切れが起きた場合、ガソリンを購入できなかった消費者に対して整理券を配布した例が見られた。このような整理券の配布影響を分析する。

1期に並んだが品切れのため購入できなかった消費者 ( $n_1 > s_1$ ) に対し、並んだ順に整理券が配られ、2期では  $n_1 - s_1$  番目に購入できるものとする。また2期に初め

て並ぶ時は、1期に品切れで購入できなかった  $N_1 > s_1$  台の消費者の後に購入できる。したがって、2期に購入できる順番は、以下のように表すことができる。

$$n_2 = \begin{cases} n_1 - s_1 & \text{if } n_1 > s_1 \\ N_1 - s_1 + \hat{N}_2 & \text{if } n_1 > N_1 > s_1 \end{cases} \quad (9)$$

表1の数値設定から、2期のガソリン補充量の不確実性が大きくなり、その標準偏差  $\sigma_2$  を連続的に変化させる。表1の数値設定の下、整理券を配布した時とそうでない時の、1期にGSに並ぶ均衡状態の消費者数  $N_1^*$  の変化を図4に、最後尾に並ぶ消費者の期待効用  $E_1[u_1(N_1^*)]$  の変化を図5に示す。

図4より、 $\sigma_2$  が大きくなると  $N_1^*$  も増加するが、整理券を配布した時の方が、並ぶ消費者数よりは多くなる。これは2期の品切れがいつ起きるかが分からなくなり、1期に整理券だけでも入手したいと考える消費者が増加したためである。また図5より、 $\sigma_2$  が大きくなると期待効用は減少するが、整理券を配布する時は品切れの確率が高まり、期待効用が負になることもある。

2期のガソリン補充量の不確実性が大きい時に整理券を配布すると、消費者が1期に殺到し、配布しない時よりも品切れ確率が高くなり、効用が下がることがわかった。

#### 4.2 購入量制限を行う時

震災時のガソリンスタンドでは、多くの消費者がガソリンを購入できるようにと、購入量を制限した。購入量制限を制限することによって、消費者がガソリン購入することで得られる効用が低下し、各期のガソリン補充量の台数で測った平均値は増加すると仮定する。購入量制限を行う時にガソリンを購入することで得られる効用  $v'_i$  とガソリン補充量  $\mu'_i$  を以下のように表す。

$$v'_i = av_i \quad (10)$$

$$\mu'_i = \mu_i/a \quad (11)$$

ただし、 $a$  は  $0 < a \leq 1$  を満たす、購入量制限の厳しさを表す定数であり、具体的には、制限なしの時 ( $a = 1$ ) から、 $a = 1/2$ ,  $a = 1/3$ ,  $a = 1/4$  の場合を考える。この4種類の制限の下で、2期にGSに到着する順番の予測値  $\hat{i}_2$  に対して、1期の最後尾に並ぶ消費者の期待効用の変化を図6に示す。

図6より、購入量制限を厳しくするほど、効用の大幅な減少は  $\hat{i}_2$  が大きい値に時に起きる。これは品切れ確率が減少するからである。また、平常時 ( $\hat{i}_2 = 20$ ) よりも  $\hat{i}_2$  がわずかに大きくなると ( $30 < \hat{i}_2 < 60$ )、制限なしの時よりも、購入量制限を行う時の期待効用の方が大きく

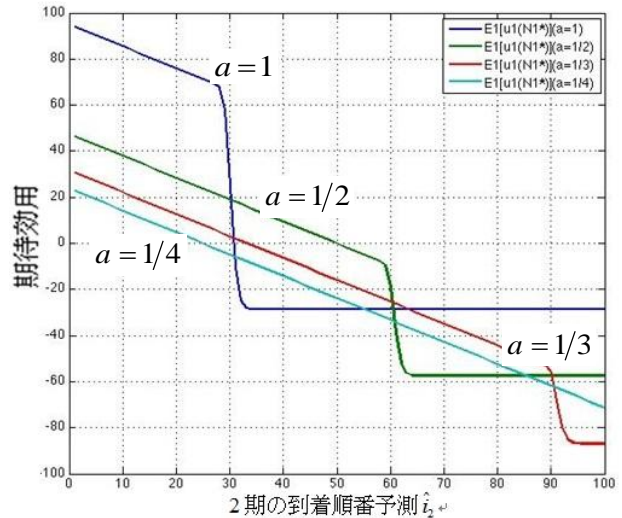


図6 購入量制限を行う時の  $\sigma_2$  と  $E_1[u_1(N_1^*)]$  の関係

なる。しかし  $\hat{i}_2$  がさらに大きくなると ( $60 < \hat{i}_2$ )、購入量制限を行う時の期待効用の方が小さくなる。この要因は以下の2点である。

- ①購入量制限を厳しくすると、多くの消費者が購入できるので、最後尾に並ぶ消費者の待ち時間が増加する。
- ②購入量制限により、購入できたことによる効用が減少する。

以上より、購入量制限は、必ずしも消費者の効用を大きくするとは限らないことがわかる。

#### 5. おわりに

本研究では、待ち時間と品切れを考慮した、ガソリン購入行動モデルを提案した。ガソリン補充量が変わらない場合でも、消費者が将来購入できる順番を悲観的に予測することで、GSに殺到し、品切れが起きることがわかった。将来のガソリン補充量の不確実性が大きい時に、整理券を配布すると、消費者の殺到を招き、品切れが起きることがわかった。また、購入量制限は、将来の予測があまり悲観的でない時に限り効果を持ち、必ずしも期待効用を上昇させる政策とは言えないことがわかった。

本研究では、均衡状態を1点のみとしているが、複数均衡が生じる場合も確認されている。複数均衡の生じる条件を明らかにすることが本研究の課題である。

#### 参考文献

- 1) 河北新報社: 河北新報 特別縮刷版 3.11 東日本大震災 1か月の記録, 2011.

(2012年2月8日提出)