

# お客さまの影響を考慮した輸送影響指標の研究



福山 浩史\*

現在の輸送障害規模を示す指標は、運休列車本数や列車の遅延（時間、本数）といった鉄道運行側のデータや、全体の影響人数が「〇〇万人」といったデータが中心で、お客さま個々の観点で影響をみたものは存在しない。そこで、輸送障害発生時のお客さまへの影響を考え、影響を受けたお客さまの人数と損失した時間を考慮した総影響「人・分」の評価方法の研究、ならびに、輸送障害の影響を受けたお客さまが当社の輸送をどのように捉えているのかを定量化する研究を進めてきた。本稿では、総影響人分の考え方、遅延時間の認知や輸送障害の原因別のお客さまの不満度などの定量化、感覚的な表現を活用したPOINT制について紹介する。

●キーワード：輸送障害、指標、待ち行列理論

## 1 はじめに

輸送障害（なんらかの原因による列車ダイヤの乱れ）が発生した際、その規模を示すデータとしては、列車の運休や遅延といった鉄道運行側のデータや総影響人数のデータが主に利用されている。一方、当社では中期経営構想「ニューフロンティア2008」の基本的な経営の方向の3本柱のひとつとして「お客さまの視点に立脚したサービスの実践」とうたっているように、お客さま本位のサービスを追求している。そこで安全研究所では、輸送障害の規模を定量的に示し、お客さまの観点からの影響を評価できる指標づくりに取り組んできた。お客さまの観点からの輸送影響指標を確立することによって、当社の輸送安定度を定量的に把握することができ、ひいては効果的な対策をとることができるものと考えている。

## 2 輸送影響指標について

### 2.1 輸送影響指標の概念

まず、「人・分」を単位とした輸送影響指標について、その考え方や算出方法について述べる。一般に規模や発生頻度の異なる事象を指標化する場合、その事象の発生頻度と発生後の影響との積を算出することにより分析を行う。すなわち、輸送障害が発生する頻度を $F$ 、輸送障害による影響を $C$ とすると総合輸送影響 $I$ を式(1)により求めることができる。

$$I = F \times C \quad \dots \text{式 (1)}$$

今回対象とする分析については、発生後の影響について、列車の遅延時間や影響を受けたお客さまの数を対象とした。また、お客さまへの影響を評価するためには、列車の遅延や運休ではなく、影響を受けたお客さまの人数とそのお客さまが損失した時間を考慮する必要があると考えられる。輸送障害発生時には、お客さまの目的地への到着時間が増加する場合がほとんどであるので、その増加した時間を、影響を受けたすべてのお客さまについて積算すれば、お客さまへの影響を定量的に把握することができるというのが、輸送影響定量化の基本である。

そこで、お客さまの立場から輸送影響を知ることができ新しい輸送影響指標の基本概念として、総影響人分を用いることとし、以下の式(2)のように定義することとした。ここで、ある輸送障害が発生した際の総影響人分を $R$ 、そのときに影響を受けた列車 $i$ ごとのお客さまの人数を $P_i$ 、遅れ時間を $T_i$ とした。

$$R = \sum (P_i \times T_i) \quad \dots \text{式 (2)}$$

例えば、到着に30分遅れた列車にお客さまが100人いて、20分遅れた列車にお客さまが200人いたとすると、 $30[\text{分}] \times 100[\text{人}] + 20[\text{分}] \times 200[\text{人}] = 7,000[\text{人} \cdot \text{分}]$ と算出可能である。

### 2.2 輸送影響指標の算出の考え方

上記で定義した、お客さまが影響を受けた人数や、その時間は、残念ながら実際には計測することは不可能である。そこで、いくつかの仮定をおき、影響を受けた人数や時間を推定することとした。

ここで仮定した条件は以下の通りである。

- (1) 影響を受けた人数の基礎データとして、年に1度実施している全線交通量調査データを用い、列車ごとの乗車人数を積算し、上り・下り、平日・土曜・休日別に算出。
- (2) 影響の受け方を、輸送障害発生から運転再開までに影響を受け始めた場合(A)と、運転再開後に影響を受け始めた場合(B)とに分割。
- (3) Aの場合、運転再開後の1列車の最大輸送力を乗車率250%とし、乗り切れなかったお客さまは、通常の列車間隔で来ると仮定した次の列車を待つ。
- (4) Bの場合、列車間隔を正確に把握することは困難だが、待ち行列理論を用いて列車間隔を推定し、Bの場合のダイヤが平常状態に復旧するまでの影響を算出。
- (5) 駅に到着するお客さまは、平均的に同じように駅に到着するものと仮定。

運転再開までの影響を図示したものが図1(A)で、運転再開後について図示したものが、図1(B)である。図1では、指標の概念の理解を助けるため、時間帯を10分ごとに区切り、通常のお客さまは乗車率67%で一定としている。また1330に輸送障害が発生し、1500に運転再開、1630にダイヤが平常状態に復

旧したものとしている。

図1(A)、(B)において輸送影響を受けたお客さまは、各時間帯において実際に乗車されたお客さまが通常のお客さま以下になった部分であり、お客さまの待ち時間増加分は、実際に乗車されたお客さまの人数から通常のお客さまの人数差がグラフ上で右側にシフトした分として求めることができる。

### 2.3 運転再開後の輸送影響の詳細な算出方法

本節では、輸送障害発生後のBの場合の算出方法について詳説する。東京圏など列車が数分間隔で運行されている路線では、たとえ列車が遅れていても列車が次々と運転されていけば、利用するお客さまからみると影響は小さい。お客さまは、列車の発車時刻をあまり意識することなく駅に来て、来た電車に乗って目的地へと向かうことが多いと考えられ、待ち時間から見た実影響は小さいという状態となる。そこで前述の通り、Bの場合、輸送障害が発生した時刻からダイヤ平常状態に復旧する時刻までの列車の待ち時間という観点から影響時間を算出し、輸送影響の実態を把握することとした。

運転再開後の待ち時間の増分(以下「待ち増分」と呼ぶ)は、再開後の運転間隔の待ち時間と通常の待ち時間との差となり、待ち時間が平均運転間隔以上となる確率およびその期待値を求めることにより「遅れた場合の待ち増分累計」を推定することが可能である。この累計値が運転再開後の待ち増分の合計時間となり、これと1列車あたり乗車人員との積が運転再開後に通常運転時より増加した影響と考えられる。ところが、運転再開後の列車間隔を残した実測データはほとんど現存せず、また今後、輸送障害発生時に運転再開後の運転間隔データを記録していくことも現実的ではない。そこで、待ち時間が平均間隔以上となる場合、およびその確率について理論的に考察し、近似値を求めることとした。

一般に、あるイベントが一定時間内に生じる頻度がポアソン分布に従うとき、そのイベントの生じる時間間隔 $x$ の確率分布 $y$ は指数分布  $\lambda e^{-\lambda x}$  [ $e$ は自然対数の底]をとることが知られている(待ち行列理論)。なお、このときの平均待ち時間は、指数分布の $1/\lambda$ となる。つまり、設備上の最小運転間隔を超過する間隔が指数分布となると仮定し、その間隔と確率とを指数分布の定義により求めることとし

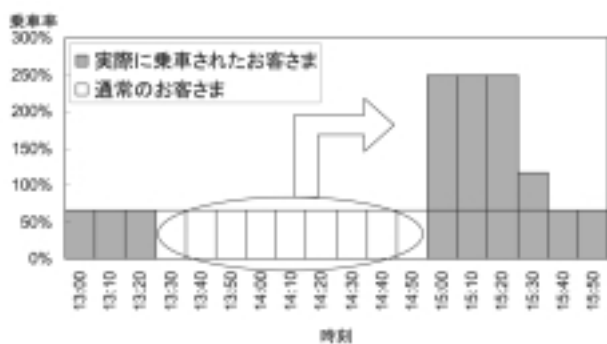


図1(A) 運転再開までの影響

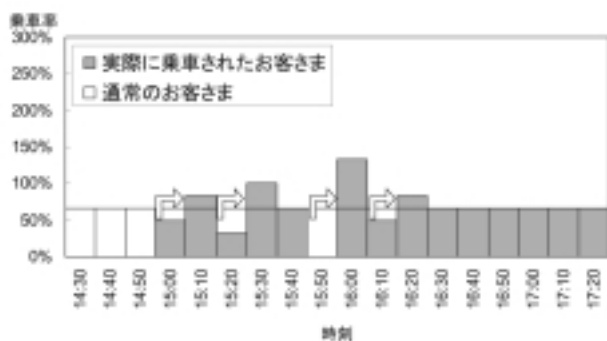


図1(B) 運転再開後の影響

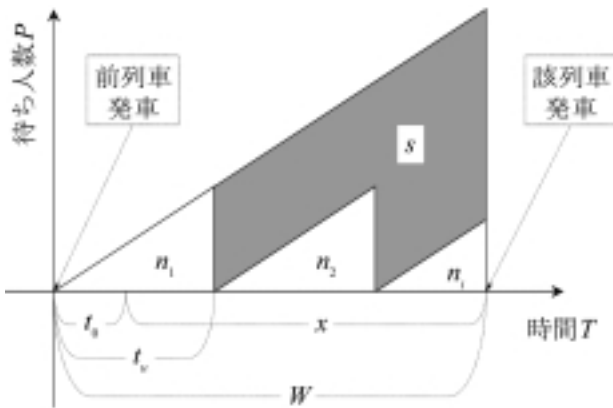


図2 増分比概念図

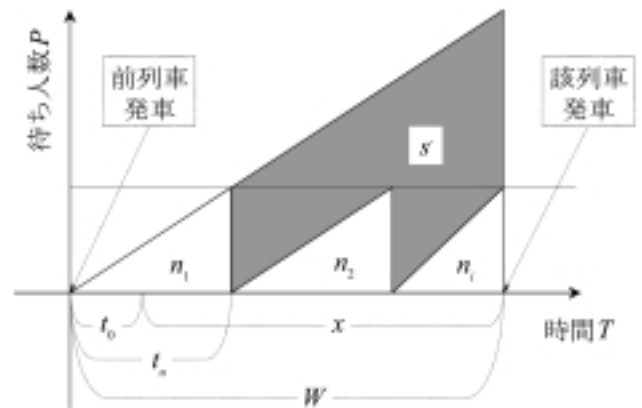


図3 sの値の置き換え概念図

た。

そこで、

- $t_0$  : 設備上の最小運転間隔(分)
- $t_u$  : 通常時の平均運転間隔(分)
- $W$  : 再開後の任意の時刻での運転間隔(分)
- $t_m$  : 再開後の平均運転間隔(分)
- $t_m - t_0$  : 指数分布となる間隔の平均値

とおくと、 $t_m$ は $W$ の平均値であり、さらに指数分布の定義により、 $\frac{1}{\lambda} = t_m - t_0$ であるから、式(3)の $\lambda$ を求めることができる。

$$\lambda = \frac{1}{t_m - t_0} \quad \dots \text{式(3)}$$

また、列車間隔が任意の時間 $W$ となる際の超過待ち増分比は図2中の三角形の面積 $n_1$ に対する斜線部の面積比 $s$ となるから、

$$(s + n_1 + \dots + n_i) : n_1 = (x + t_0) : t_u \quad \dots \text{式(4)}$$

とおけ、 $n_1 = 1$ としたときの $s$ の値を求めればよい。 $n_j$ は、 $x + t_0$ が $t_u$ の整数 $i - 1$ 倍を超えるごとに値が変化し、

$$n_j = \begin{cases} 1 & (j=1, 2, \dots, i-1) \\ \left\lfloor \frac{x + t_0}{t_u} \right\rfloor + 1 & (j=i) \end{cases} \quad \dots \text{式(5)}$$

であるから、

$$s = \left( \frac{x + t_0}{t_u} \right)^2 - \left[ \text{int} \left( \frac{x + t_0}{t_u} \right) + \left\lfloor \frac{x + t_0}{t_u} \right\rfloor + 1 \right] \quad \dots \text{式(6)}$$

となる。ただし、 $\text{int}(x)$ は $x$ を超えない最大の整数値を示し、 $\text{mod}(x)$ は除算 $x$ の剰余を示す。

通常運転間隔になるまでに $W$ の値が変化した場合の $s$ の期待値を $S_T$ とすると、 $S_T$ は $s$ の総和に他ならず、 $S_T$ が求める待ち増分比となる。また、列車間隔が任意の時間 $W$ となる確率は $\lambda e^{-\lambda x}$ であるので、

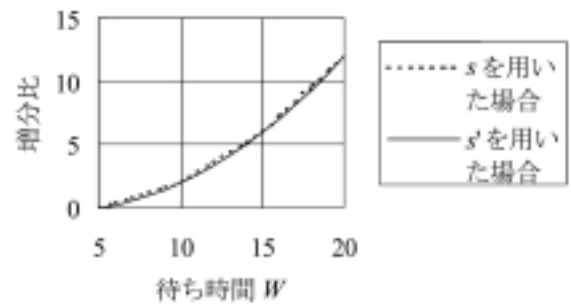


図4 算出法の差異による増分比の差

$$S_T = \int_{t_0}^{\infty} [\lambda e^{-\lambda x} s] dx \quad \dots \text{式(7)}$$

となる。 $s$ の値が図2、すなわち式(6)の概念で求められていると $S_T$ の積分値を場合分けして求める必要がある。そこで簡便的に

$$s' = \left( \frac{x + t_0}{t_u} \right)^2 - \left( \frac{x + t_0}{t_u} \right) \quad \dots \text{式(8)}$$

とおく。この場合、図3のように $n_j$ が、 $n_1$ と相似の三角形から $n_1$ と高さ同一な三角形に変わり、 $s' \leq s$ と過小評価されることになるが、その差は図4に示すように小さく十分代用できると考えられる。

よって、運転再開後の待ち増分比 $S_T$ は、 $s'$ を用いて式(9)のように求めることができる。

$$S_T \cong \int_{t_0}^{\infty} \left[ \lambda e^{-\lambda x} \left( \left( \frac{x + t_0}{t_u} \right)^2 - \left( \frac{x + t_0}{t_u} \right) \right) \right] dx \quad \dots \text{式(9)}$$

$$= \frac{e^{-\lambda(t_0 - t_0)}}{t_u^2} \left( \frac{t_u}{\lambda} + \frac{2}{\lambda^2} \right)$$

ここで、求めた増分比 $S_T$ の概念について触れておく。 $S_T$ は増分比であり、通常の待ち時間を1とした場合の増加待ち時間を示す。例えば、増分比 $S_T$ が0となった場合は図2の $s$ がすべて0となり明らかに増加待ち時間がない状態であり、増分比が1となると通常の2倍の待ち時間となる。また、

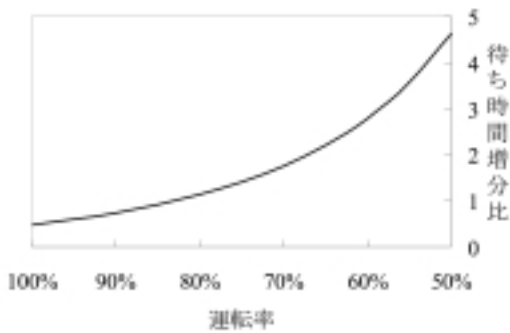


図5 運転間隔を指数分布とした場合の運転率と待ち時間増分比との関係

運転再開後ダイヤ平常状態に復旧までの運転率と増分比  $S_r$  との関係は、最小運転間隔2分、通常運転間隔5分とした場合は、図5 に示すとおりであり、この場合、運転率が80%であっても待ち増分比が1を超え、通常時の2倍以上の待ち時間となることがわかる。

さて、前述の通り、増分比  $S_r$  とダイヤ回復までの平均待ち時間との積に、その間のお客さまの人数を掛ければ影響人分が求まる。すなわち、

- $R_B$ : 運転再開後の影響(人・分)
- $T_R$ : 平均待ち時間[=平均運転間隔/2](分)
- $P_m$ : ダイヤ回復までのお客さまの人数(人)

とすると、式(10)により運転再開後の影響を求めることができる。

$$R_B = T_R \times S_r \times P_m \quad \dots \text{式(10)}$$

ここまで述べた方法によって、総影響人分を輸送障害時のデータから算出することが可能となった。実際の輸送障害時のデータは非常に少ないが、いくつかのデータを用いて検証を行った。

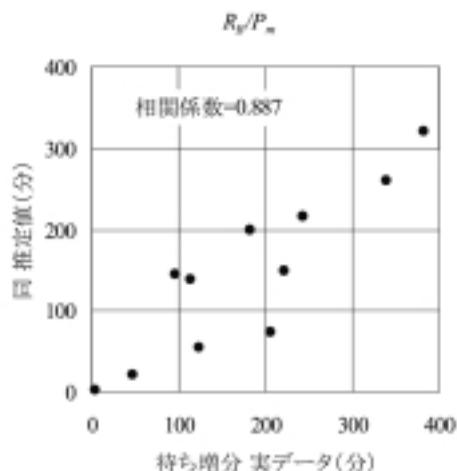


図6 実データと推定値との比較

実データについては、輸送障害発生時の実際に列車が走行した結果の列車ダイヤから、駅での列車間隔を直接読み取るにより求めた。なお、ここで検証が必要なのは列車間隔であるので、お客さま人数は排除することとし  $R_B / P_m$  の比較を行った。結果を示したのが図6である。推定値に多少のずれを生じるが、相関係数が0.887と、社会現象の説明としては相関係数が高く、ほぼ実用可能な値となっていると考えられる。

## 2.4 総影響人分の算出事例

ここまで述べた算出方法で、具体的に、ある首都圏の路線の輸送障害を評価したものが表1である。

事例2、3は、ラッシュ時に都心部で発生した輸送障害を示す。これらは、表中の「現在の表現」に示すように、ほぼ同規模のものであり、総影響人分もほぼ等しくなる。事例1は、夜間にこの路線の末端で生じた輸送障害であり、運転整理により、途中駅での折り返しを実施し、お客さまへの影響が小さかったもので、総影響人分も小さくなっている。また事例4、5は、昼間時に郊外で発生した輸送障害を示したもので、その中間の値となっていることがわかる。以上のことから、列車の運休本数や遅延状況等の様々な数値を用いている輸送障害の状況を、[人・分]という単位を用いて一意的に表すことができていると考えられる。

表1 総影響人分の算出事例

	発生時刻等	現在の表現	総影響人分
事例1	2003年9月 21時頃 人身事故	運転再開まで23分、 運休6本、遅延10本 (23分～5分)	35万人・分
事例2	2003年9月 8時頃 人身事故	運転再開まで48分、 運休80本、遅延29本 (44分～4分)	2,360万人・分
事例3	1999年8月 17時頃 人身事故	運転再開まで47分、 運休81本、遅延33本 (47分～15分)	2,334万人・分
事例4	1999年8月 11時頃 人身事故	運転再開まで83分、 運休71本、遅延9本 (94分～3分)	204万人・分
事例5	1999年4月 11時頃 人身事故	運転再開まで53分、 運休58本、遅延29本 (48分～1分)	299万人・分

## 2.5 総影響人分の課題等

ここで示した総影響人分は直感的でないという指摘や、値が大きすぎるのではないかと考えるもある。

前者については、数字の見た目が大きすぎるのが原因と

思われるが、積算して値が大きくなってしまふのはどうしても避けられない。ただし、表1の事例に示したように、ラッシュ時に発生したほぼ同規模の事故は、指標がほぼ等しく算出され、昼間帯はそれより少なめ(表1の事例においてはラッシュ時の約10分の1)に表現されている。お客さまへの影響を考慮する輸送障害の大きさを比較するのに適した指標であると考えている。

後者については、指標算出の際に仮定を用いているが、仮定に含まれていない事項として、振替乗車等による他路線へのお客さまの移転がある。この点について首都圏の主な路線を対象に分析したところ、影響人数は全体の1割程度と高くないことが確認できた。また、他の仮定した各項目については、小さな誤差の積み上げが原因となっている可能性があるが、推定値が大幅にズレるとは考えにくい。

そこで、これら課題の解決方策のひとつとしてお客さまの感覚を加えた評価方法について検討することとした。

### 3 お客様の感覚からの輸送影響指標

#### 3.1 遅延時間に関するアンケート

評価値が大きすぎる理由の1つとして待ち時間が過大に評価されているのではないかという問題意識に立ち、列車の待ち時間について、お客さまの感覚を考慮した評価方法を検討した。

一般的に、鉄道の遅延時間に対する認知とは「列車の到着・運行時間の遅延に対してイライラする」ことであると考えられるので、「イライラした状態にある人の割合(イライラ人数比)」を考慮することで遅延時間認知度を評価しようと試みた。アンケートにて、遅延時間ごとにイライラするか否かを回答してもらった結果(N=267)のイライラする比率の平均値を対数正規分布で近似し、実時間を乗ずることで遅延時間認知度を推定することとした。実時間30分ではほぼ全員がイライラするという結果であり、この結果だけを利用すると30分以上での遅延時間認知度は実時間と同一となってしまう。

そこで、一般的な人の感覚として「感覚量は刺激量の対数に比例する」というWeber-Fechnerの法則が知られているので、これを活用することとした。イライラ人数比100%

となる実時間30分からは、この法則を活用することとし、アンケート結果の近似曲線とつなげることにした。これらにより定量化した認知時間遅延度を図7に示す。

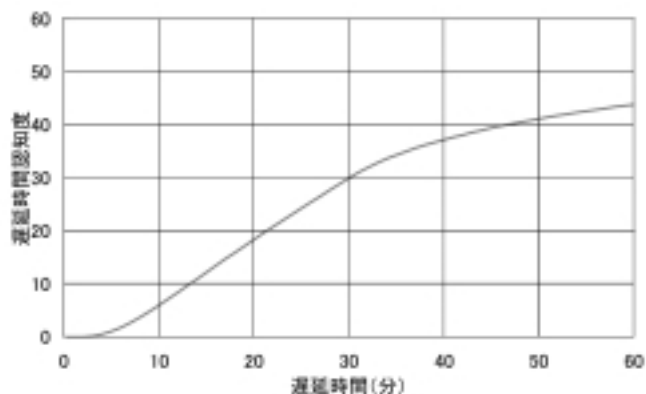


図7 実遅延時間と遅延時間認知度との関係

#### 3.2 お客さまの声の分析

本研究では、イライラの度合いを「不満度」と定義し、「お客さまの声」(お客さまからいただいた当社へのご意見、ご要望)データを用いて不満度を設定することとした。規模の大きい輸送障害のほうが「お客さまの声」データの件数が多いと考えられるので、「お客さまの声」データ件数が、輸送障害の不満度を表しているのではないかと考えた。ここでは、当社内の東海道線、中央線、常磐線を代表的な路線として選び、この3路線で発生した2001年度から2003年度までの3年間の輸送障害のデータと、その3年間の「お客さまの声」データが、その輸送障害と関連しているかどうかを調査し、輸送障害の原因別に分類した。

遅延時間と不満度との定量的な関連を見るため、輸送障害の規模ごとのお客さまの声平均件数という観点で比較を行った。輸送障害を、車両故障など当社の原因により発生した「部内原因」、沿線火災など当社外の原因のうち自然災害以外により発生した「部外原因」、台風等の自然災害により発生した「災害原因」の3区分に分類し、輸送障害と関連する「お客さまの声」とのデータを用い、輸送障害の総遅延時間60分ごとのバンドにデータを区切り、その区切ったバンド内で、「お客さまの声」件数/輸送障害件数をプロットし、先述の輸送障害の3区分ごとに回帰分析を行った(図8)。

その結果、部内原因の輸送障害発生時のお客さまの声件数は、それ以外の原因によるものと比べて約3倍の傾きを持っていることが確認できた。すなわち、遅延時間の増加に対するお客

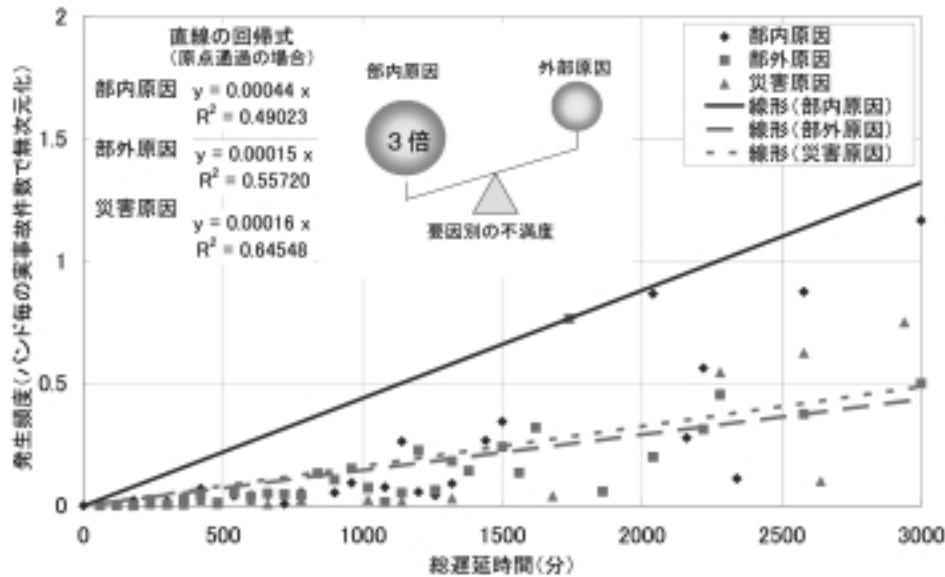


図8 総遅延時間60分ごとの「お客さまの声」平均件数

さまの声件数の増加度は、部内原因の場合は、その他の原因の3倍のインパクトを持っていると考えられる。なお、この性質は、回帰直線が原点を通る場合でも、通らない場合でも同じであった。

### 3.3 感覚に訴える指標の表現方法

世の中に存在する指標として、震度階級や風力階級などがある。これらの指標は、どの階級になるかを数字で定量的に示すとともに、その階級を代表する状況を直感的な表現で補足している。たとえば、震度階級の「震度5強」は定量的な計測震度5.5以上6未満という定量的な区分のほかに「非常に恐怖を感じる。多くの人が、行動に支障を感じる。」という直感的な表現が加えられている。また、風力階級では「風力6」は風速10.8(m/s)以上13.9(m/s)未満という区分のほかに「大枝が動く。電線が鳴る。傘は差しにくい。」という表現が加えられている。

表2 POINTの階級分け(案)

POINT	影響(人・分)	感覚的な表現
1	10人・分	影響なし
2	100人・分	影響些少
3	1,000人・分	影響あり
4	1万人・分	不満度小
5	10万人・分	不満度中
6	100万人・分	不満度大きめ
7	1,000万人・分	首都圏ラッシュ時、不満度大
8	1億人・分	首都圏数時間運休
9	10億人・分	首都圏終日運休

そこで、今までに述べてきた指標を組み合わせ、階級の考え方を組み込む「POINT(Personage Of Influence on

Transportation)」なる概念を考案した。すなわち、表2のように輸送障害を階級分けして評価することを試みた。表中の「感覚的な表現」は、現在考案段階のものであり、実際のデータと厳密には合致していないかもしれないが、この案に示したように的確な表現ができれば、総影響人分の算出に直感的な表現を加えることができ、総影響人分の当初の問題点を解決できると考えている。

表3 POINTを用いた試算例

発生日	事象	POINT
2003年9月	信号トラブル終日影響	8.4
2005年3月	ラッシュ後車両故障午前中影響	7.9
2003年9月	ラッシュ時人身事故(抑止48分)	7.4
2005年3月	近郊区間橋りょう強風(抑止41分)	5.6

なお、具体的な輸送障害事例について、総影響人分に3.2の結果と3.3の結果を加え、簡易的にPOINTを算出したところ、表3のようになった。表2に示す「感覚的な表現」とほぼ一致しており、問題は少ないと考えている。

## 4 今後の進め方

いままで述べた各種の考え方の指標への適用可否について、実データを用いた検証を行い、全社展開に向けPOINTの階級分けの表現方法を深度化する予定である。また、当社内「輸送に関する安定性向上委員会」の議論を受け、当社内の輸送障害の管理指標として利用していく予定である。