

Ⅳ—14 累積法による交通調査の設計に関する研究

北海道大学 学生員 ○田村 亨
 北海道大学 正員 佐藤 馨一
 北海道大学 正員 五十嵐 日出夫

1. はじめに

近年、交通施設計画の実施が人々にもたらす満足感・不満感の構造を抽出し、定量的な分析を行なうことにより、計画を評価する際の情報としようという分野の研究が盛んに行なわれている。これは、従来の技術的・経済的側面からの計画評価に加えて、より総合的な観点から交通施設計画を見つめようとする傾向が強くなったためであろう。ところで、この分野における困難な問題点の1つは、調査結果が定量的に与えられないことである。Stevens の尺度分類に従うと、調査結果は、比率尺度や間隔尺度といった定量化できる値ではなく、順序尺度や名目的尺度といった定性的な値として得られる。特に交通調査においては、交通サービスに対する満足、普通、不満といった例に見られるように、順序尺度で表わされることが多い。従来、このような順序尺度で与えられるデータを用いて、データ間の関係を扱う手法としては、Pearson の χ^2 検定法や尺度に相当な点数を与えて分析する評点法などがある。しかし、 χ^2 検定法は順序関係を無視した分析であり、評点法は点数の与え方に恣意性を含めたため、どちらも適確な手法とはいえない。そこで、これらの難点を補うものとして、累積法が提案されている。累積法には、 χ^2 分布に近似させた累積 χ^2 検定法と、F分布に近似させた累積F検定法があり、乗客の効果判定など自然科学的分野における応用例が普通である。ところが、これらの検定法は、十分に比較検討されているとはいえない。そこで、本研究では、1要因/応答の2元分割の場合に限って、 χ^2 検定法、累積 χ^2 検定法、累積F検定法について、シミュレーションにより検出力の比較を行ないこれらの長短を比較している。さらに、累積法の交通計画への適用として、実際の交通調査における有効性を明らかにしようとしている。

2. 意識データにおける累積法の有効性

ここでは、交通調査で用いられる意識データ例によって、累積法の有効性を論じる。交通調査におけるある要因のいくつかの水準に対応する応答の有意性を検定する場合、もし有意性があるとすれば、要因の水準と応答との間に一定の順序があらうと想像される場合は少なくない。たとえば、大量輸送機関の利用意識(応答)と運賃(要因)との関係において、運賃が安ければ安いほど、利用意識が高まるであろうというようなことである。このように、「対立仮説が一定の傾向を持つと仮定されるようなモデルにおいては、通常の統計量を計算するよりも、適った統計量を用いるほうが検出力が大きくなるであろう」

という考え方が、累積法の基本であるといわれている。たとえば、大量輸送機関の利用意識と運賃について考えてみよう。表-1と表-2は、運賃が50円と100円の2水準において、利用意識の程度ごとに応答した人数の割合を示したものである。表-1は、要因が応答の平均値をわずらす効果を持つ場合を示している。表-2は、要因が応答の分散に変化を与える効果を持つ場合を示している。実際の調査では、表-1のような変化が起り易い。そして、要因と応答との間になんらかの関係があるか否かを検定しようとするとき、表-1のような変化を起こす場合には累積法が有効な手法とされ、表-2のような変化を起こす場合には従来の χ^2 統計量の方が有効な手法とされている。²⁾

表-1 平均値のずれを示す2元分割表

応答 要因	大に利用 した	今まで通り に利用した	あまり利用 したくない	計
50円	30%	50%	20%	100%
100円	10%	50%	40%	100%

表-2 分散のずれを示す2元分割表

応答 要因	大に利用 した	今まで通り に利用した	あまり利用 したくない	計
50円	30%	50%	20%	100%
100円	10%	80%	10%	100%

3. χ^2 統計量, 累積 χ^2 統計量, 累積F統計量の比較

2元分割表により, χ^2 統計量, 累積 χ^2 統計量, 累積F統計量と比較しよう。表-3は, 1要因による1応答(1元配置実験)の2元分割表であり, 応答のカテゴリーに順序関係があるものとする。N個の調査結果が, 要因の1から ℓ までの水準に, それぞれ $N_1, N_2, \dots, N_\ell$ 個ずつ割り当てられている。各応答は, m 個の順序カテゴリーのいずれかで得られている。ここに N_{ij} は, 第 i 水準に割り当てられたもののうち, 第 j カテゴリーに回答したものの個数を示す。また, $\sum_{j=1}^m N_{ij} = N_{i\cdot}$, $\sum_{i=1}^{\ell} N_{ij} = N_{\cdot j}$ と表わすものとする。

ここで, 要因と応答とが独立であると仮定できるか否かを検定するものとし, 各統計量について説明する。

表-3 要因と応答による2元分割表

応答 要因	1	2	...	j	...	m	計
1	N_{11}	N_{12}	...	N_{1j}	...	N_{1m}	$N_{1\cdot}$
2	N_{21}	N_{22}	...	N_{2j}	...	N_{2m}	$N_{2\cdot}$
...	...	...	...	...	...	...	...
i	N_{i1}	N_{i2}	...	N_{ij}	...	N_{im}	$N_{i\cdot}$
...	...	...	...	...	...	...	...
ℓ	$N_{\ell 1}$	$N_{\ell 2}$	...	$N_{\ell j}$	...	$N_{\ell m}$	$N_{\ell \cdot}$
計	$N_{\cdot 1}$	$N_{\cdot 2}$	...	$N_{\cdot j}$	...	$N_{\cdot m}$	N

(1). χ^2 統計量

一般には, 以下に示す統計量が, 仮説のもとで漸近的に自由度 $(\ell-1) \cdot (m-1)$ の χ^2 分布に従うことを用いて検定する。

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{\ell} \frac{(N_{ij} - N_{i\cdot} N_{\cdot j} / N)^2}{N_{i\cdot} N_{\cdot j} / N} \quad \text{--- (1)}$$

(2). 累積 χ^2 統計量³⁾

N_{ij} に対する母確率を P_{ij} とする。

$$\sum_{j=1}^m P_{ij} = 1, \quad i=1, 2, \dots, \ell$$

したがって, $N_{ij} (j=1, 2, \dots, m)$ は, 母数 $N_{i\cdot}$, 確率 $P_{ij} (j=1, 2, \dots, m)$ の多項分布に従う。ここで, 第 i 水準における第 R カテゴリーまでの, 累積頻度 R_{iR} と累積確率 S_{iR} は, 次のように示される。

$$R_{iR} = \sum_{j=1}^R N_{ij}, \quad i=1, 2, \dots, \ell, \quad R=1, 2, \dots, m-1$$

$$S_{iR} = \sum_{j=1}^R P_{ij}, \quad i=1, 2, \dots, \ell, \quad R=1, 2, \dots, m-1$$

このとき, 各 R について, 帰無仮説 $H_0: S_{1R} = S_{2R} = \dots = S_{\ell R} = S_R$ を考える。ここに S_R は未知であり, ℓ 個の母集団分布が等しい)とすると, 仮説のもとで S_R の最大推定量は, 次のように示される。

$$\hat{S}_R = \sum_{i=1}^{\ell} N_{iR} / N$$

この累積された R 番目の値について, χ^2 統計量を求めると以下の式が得られる。

$$\begin{aligned} T_R &= \sum_{i=1}^{\ell} \left[\frac{(R_{iR} - N_{i\cdot} \hat{S}_R)^2}{N_{i\cdot} \hat{S}_R} + \frac{\{(N_{i\cdot} - R_{iR}) - N_{i\cdot} (1 - \hat{S}_R)\}^2}{N_{i\cdot} (1 - \hat{S}_R)} \right] \\ &= \sum_{i=1}^{\ell} \frac{(R_{iR} - N_{i\cdot} \hat{S}_R)^2}{N_{i\cdot}} \left\{ \frac{1}{\hat{S}_R} + \frac{1}{(1 - \hat{S}_R)} \right\} = \frac{1}{\hat{S}_R (1 - \hat{S}_R)} \sum_{i=1}^{\ell} \frac{(R_{iR} - N_{i\cdot} \hat{S}_R)^2}{N_{i\cdot}} \end{aligned}$$

この統計量を j について, 1から $m-1$ まで加えて, 新たな統計量を作成するのであるが, $T_1, T_2, \dots, T_{m-1}$ は互いに独立ではない。そこで, $T = \sum_{R=1}^{m-1} T_R$ に次に示す Q を乗じて, $Q \cdot T$ と自由度中の χ^2 分布に近似し, これを用いて検定を行なう。

$$Q \cdot T = Q \cdot \sum_{R=1}^{m-1} T_R \quad \text{但し, } Q = \frac{\phi}{(\ell-1) \cdot (m-1)}, \quad \phi = \frac{(\ell-1)(m-1)^2}{(m-1) + 2 \sum_{R=2}^{m-2} \sum_{k=R+1}^{m-1} \frac{\hat{S}_R (1 - \hat{S}_R)}{[\hat{S}_k (1 - \hat{S}_k)]}} \quad \text{--- (2)}$$

(3). 累積F統計量⁴⁾

累積 χ^2 統計量において, χ^2 分布への近似とF分布への近似にしたのが, 累積F統計量である。これは次のように示され, 自由度 $\{\phi, (N-1)(m-1) - \phi\}$ のF分布に従うとして検定を行なう。

$$F = \frac{T / (\ell-1)(m-1)}{\{N(m-1) - T\} / \{(N-\ell)(m-1)\}} \quad \text{--- (3)}$$

4. シミュレーションによる検出力の比較

累積法は、要因のいくつかの水準に対応する応答の変化が平均値とずらすように作用する場合、有効な手法とされている。ここでは、累積法が、どのくらいの分散を持つ場合で、平均値のずれがどのくらいの場合に有効な手法であるかを検討するとともに、サンプル数の変化における近似分布の安定性を検討する。

4-1. 標本の作成

シミュレーションで扱う標本は、応答のカテゴリー数を5個、要因のカテゴリー数を2個とした1元配置実験の場合について行なっている。そして、応答のカテゴリーに順序があるとして、このカテゴリーに潜在連続体と仮定し、その上の分布を正規分布とする。第1母集団(要因の第1カテゴリー)においては、 $N(0, 1)$ の正規分布で、応答の各カテゴリーにおける確率が一樣($P_{11} = P_{12} = P_{13} = P_{14} = P_{15} = 0.20$)となるように区間を固定する。これに対し、第2母集団(要因の第2カテゴリー)においては、応答の各カテゴリーにおける確率を次に示す平均値と分散を持つ正規分布として、シミュレーションを行なう。第2母集団の確率は次のようにして求める。

表-4 第1母集団の累積確率

累積確率 仮説	R_{11}	R_{12}	R_{13}	R_{14}	R_{15}
第1母集団の分布	0.200	0.400	0.600	0.800	1.000

$$P_{21} = \Phi[(T_1 - \mu)/\sigma]$$

$$P_{22} = \Phi[(T_2 - \mu)/\sigma] - \Phi[(T_1 - \mu)/\sigma]$$

$$P_{23} = \Phi[(T_3 - \mu)/\sigma] - \Phi[(T_2 - \mu)/\sigma]$$

$$P_{24} = \Phi[(T_4 - \mu)/\sigma] - \Phi[(T_3 - \mu)/\sigma]$$

$$P_{25} = 1 - \Phi[(T_4 - \mu)/\sigma]$$

但し T : 正規分布における区間点, μ : 平均, σ : 分散

ここに、 μ は、0.0から1.0まで0.2きざみに5通り、 σ^2 は、1.0, 2.0, 3.0の3通りを設定した。

表-4は、第1母集団における応答の各カテゴリーの累積確率を示すものである。表-5は、第2母集団における応答の各カテゴリーの累積確率と、平均値と分散の組合せに対応させて示したものである。比較するサンプル数は、40, 60, 80, 100の4通りとし、発生させる乱数は、一樣乱数を各標本ごとに1000組用意した。検定における有意水準は、 $\alpha = 0.01, 0.05, 0.10$ の3通りの場合と取り上げる。

表-5 第2母集団の累積確率

σ^2	μ	R_{11}	R_{12}	R_{13}	R_{14}	R_{15}
1.0	0.2	0.149	0.334	0.511	0.739	1.000
	0.4	0.107	0.265	0.432	0.671	1.000
	0.6	0.075	0.204	0.355	0.595	1.000
	0.8	0.050	0.152	0.284	0.517	1.000
	1.0	0.033	0.110	0.220	0.437	1.000
2.0	0.0	0.276	0.436	0.564	0.724	1.000
	0.2	0.231	0.381	0.508	0.675	1.000
	0.4	0.190	0.329	0.451	0.623	1.000
	0.6	0.154	0.279	0.396	0.568	1.000
	0.8	0.123	0.234	0.343	0.512	1.000
3.0	1.0	0.096	0.193	0.292	0.455	1.000
	0.0	0.314	0.448	0.552	0.686	1.000
	0.2	0.274	0.403	0.506	0.644	1.000
	0.4	0.237	0.359	0.460	0.600	1.000
	0.6	0.203	0.316	0.415	0.555	1.000
3.0	0.8	0.172	0.277	0.371	0.510	1.000
	1.0	0.144	0.239	0.328	0.464	1.000

4-2. 検出力の比較

表-6, 表-7, 表-8, 表-9は、サンプル数 $N_1 = N_2 = 40, 60, 80, 100$ のそれぞれにおける、 χ^2 検定, 累積 χ 検定, 累積 F 検定の検出力を示すものである。

表-6 サンプル数 $N_1 = N_2 = 40$ における検出力

検定法	α	$\alpha=1.0\%$						$\alpha=5.0\%$						$\alpha=10.0\%$					
		0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
1.0	累積F		5.0	16.9	46.3	76.0	92.3		13.8	35.7	67.7	88.7	97.0		20.7	48.4	78.3	93.7	98.1
	累積 χ^2		5.7	19.6	49.8	78.3	93.3		16.0	39.9	70.8	90.7	97.6		23.9	50.7	80.7	94.8	98.4
	χ^2		2.5	7.7	24.2	51.3	76.0		9.3	21.9	47.0	75.8	90.7		18.7	33.4	62.7	84.9	95.7
2.0	累積F	1.7	3.9	13.4	26.9	50.5	69.7	8.8	12.7	30.9	47.3	70.0	85.5	16.7	22.9	41.5	59.0	80.1	90.7
	累積 χ^2	2.1	4.1	12.3	25.9	50.2	69.6	9.2	14.0	30.7	48.0	70.2	85.7	17.8	24.1	42.4	59.0	80.9	90.9
	χ^2	4.3	5.5	10.7	20.7	36.0	50.4	17.0	19.5	28.4	41.4	60.1	75.7	27.3	30.9	40.3	54.3	71.6	85.2
3.0	累積F	3.9	5.5	11.5	21.8	37.3	55.1	14.6	16.9	28.2	44.7	62.6	78.7	26.5	29.4	41.7	56.4	72.4	86.4
	累積 χ^2	3.5	4.5	10.0	19.8	35.3	53.7	14.2	15.4	26.7	43.0	61.5	76.7	25.0	28.8	39.8	55.4	71.8	85.8
	χ^2	13.8	13.0	19.8	27.0	35.8	48.8	34.3	32.1	42.9	50.5	61.2	73.6	46.4	47.7	56.2	63.7	74.3	83.5

表-7 サンプル数 $N_1 = N_2 = 60$ における検出力

σ^2	μ	$\alpha = 1.0\%$						$\alpha = 5.0\%$						$\alpha = 10.0\%$					
		0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
1.0	累積F		5.2	24.6	67.2	93.2	98.9		14.2	49.2	83.2	97.7	99.8		24.7	59.8	89.3	98.9	99.9
	累積 χ^2		6.6	34.1	72.2	93.7	99.3		17.3	52.6	85.4	98.0	99.8		27.4	63.1	90.6	99.3	100.0
	χ^2		3.2	14.2	41.2	77.5	94.8		10.8	34.1	68.1	92.4	99.0		17.5	48.4	78.6	95.8	99.4
2.0	累積F	1.8	6.6	17.8	46.9	69.5	89.3	4.8	17.7	38.5	68.1	84.7	96.4	19.8	29.2	51.0	77.3	91.0	98.3
	累積 χ^2	1.9	6.9	17.8	46.2	69.3	88.6	10.9	18.6	39.6	67.8	85.2	96.6	20.5	31.1	51.2	77.9	91.6	98.2
	χ^2	9.2	10.3	18.6	37.7	56.6	80.3	22.4	27.8	40.4	61.7	76.1	92.0	33.1	39.3	52.8	73.2	85.3	96.0
3.0	累積F	6.0	10.5	20.6	37.9	59.8	80.7	22.5	29.9	43.7	63.8	80.3	91.8	38.2	45.3	57.1	77.2	88.7	95.7
	累積 χ^2	5.6	9.6	19.3	36.6	56.7	78.4	20.4	27.9	41.6	62.0	79.2	91.4	37.8	44.3	56.1	75.5	88.1	95.1
	χ^2	24.2	30.3	36.0	48.3	61.2	76.1	50.3	55.1	58.7	72.2	81.4	91.4	64.8	67.4	71.6	83.3	89.9	95.3

表-8 サンプル数 $N_1 = N_2 = 80$ における検出力

σ^2	μ	$\alpha = 1.0\%$						$\alpha = 5.0\%$						$\alpha = 10.0\%$					
		0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
1.0	累積F		7.3	40.9	83.7	97.7	100.0		19.6	62.0	94.8	99.6	100.0		30.0	71.5	96.9	100.0	100.0
	累積 χ^2		9.1	45.2	86.6	98.6	100.0		23.6	67.0	96.1	99.8	100.0		33.3	75.0	97.7	100.0	100.0
	χ^2		3.9	21.5	61.9	90.5	99.4		13.9	45.4	83.6	97.5	100.0		23.5	56.3	91.5	98.8	100.0
2.0	累積F	2.9	8.8	27.0	62.9	86.6	97.3	14.3	24.0	44.6	82.6	95.0	99.4	25.5	36.0	62.0	88.9	98.0	99.9
	累積 χ^2	2.8	8.5	27.3	63.5	86.7	97.5	14.4	25.1	50.9	83.2	95.6	99.4	26.4	36.7	62.7	89.3	98.0	99.9
	χ^2	12.3	15.6	30.8	54.5	77.7	91.8	29.6	35.2	53.2	77.4	92.0	98.1	43.3	48.1	63.7	84.5	95.7	99.2
3.0	累積F	8.8	14.7	28.6	53.0	78.7	91.7	29.2	39.6	56.9	77.1	91.7	98.1	48.0	55.2	71.8	85.1	95.8	99.3
	累積 χ^2	7.3	13.8	28.8	50.0	76.8	90.8	28.0	37.2	54.4	75.7	90.8	97.7	46.8	53.2	71.5	84.9	95.4	99.3
	χ^2	37.6	43.1	52.5	64.5	81.2	89.6	61.5	66.5	74.8	83.2	91.9	97.2	73.9	76.2	82.6	89.0	95.5	98.9

表-9 サンプル数 $N_1 = N_2 = 100$ における検出力

σ^2	μ	$\alpha = 1.0\%$						$\alpha = 5.0\%$						$\alpha = 10.0\%$					
		0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
1.0	累積F		10.3	51.6	91.4	99.7	100.0		24.0	72.1	96.6	100.0	100.0		33.8	80.6	99.0	100.0	100.0
	累積 χ^2		13.4	55.8	92.5	99.8	100.0		27.5	75.4	97.9	100.0	100.0		37.9	83.7	99.1	100.0	100.0
	χ^2		3.6	32.7	76.3	97.9	100.0		16.8	55.9	91.4	99.4	100.0		25.8	67.2	95.2	99.9	100.0
2.0	累積F	4.7	10.4	39.3	72.0	93.8	99.2	18.2	28.2	62.6	87.7	97.8	100.0	30.0	43.3	74.1	93.6	99.1	100.0
	累積 χ^2	4.4	10.8	39.2	72.2	93.8	99.3	18.7	28.6	62.9	88.0	97.9	100.0	32.2	44.3	75.0	93.8	99.1	100.0
	χ^2	15.6	19.7	40.3	68.5	89.6	98.2	38.3	42.7	66.1	86.2	96.6	99.6	50.4	54.4	77.0	91.0	98.2	99.7
3.0	累積F	14.8	21.5	42.5	69.3	88.0	96.7	41.7	50.3	72.7	88.3	96.3	99.7	60.4	67.7	83.8	94.6	98.3	99.9
	累積 χ^2	12.7	18.5	40.4	66.2	86.5	96.3	39.6	48.0	71.3	87.4	96.3	99.7	58.0	65.5	82.8	94.0	98.1	99.9
	χ^2	51.2	56.0	67.7	80.1	89.2	96.8	76.0	78.7	84.9	93.0	96.9	99.6	84.4	86.9	91.5	96.7	98.8	100.0

これら検出力の比較結果より、以下のことが明らかとなった。

- (1). 第2母集団の分散が、第1母集団の分散と等しく1.0の場合、サンプル数、平均値の差にかかわらず、累積 χ^2 検定、累積F検定、 χ^2 検定の順に検出力が高くなる。
- (2). 第2母集団の分散が、2.0の場合、サンプル数にかかわらず、平均値の差が0.6から0.8以上になると、累積 χ^2 検定、累積F検定のほうが、 χ^2 検定に比べて検出力が高くなる。
- (3). 第2母集団の分散が、3.0の場合、サンプル数、平均値の差にかかわらず、 χ^2 検定、累積F検定、累積 χ^2 検定の順に検出力が高くなる。
- (4). 上記の(1)から(3)の傾向は、サンプル数が、40, 60の場合、有意水準 α が1.0%から10.0%へと大きくなるほど強く、サンプル数が、80, 100の場合、逆に有意水準 α が10.0%から1.0%へと小さくなるほど強い。これは、サンプル数によつて、検定統計量の分布、近似分布の近似精度が異なるために起こるものと考えられる。この点に関しては、サンプル数と各統計量による第1種の過誤との関係から明らかにされるべきものであり、必要サンプル数との関係から、今後検討を要する課題である。

5. 交通調査への適用

累積法の交通調査への適用性を明らかにするため、昭和55年旭川市の2地区で行なった交通調査⁵⁾を例として検討を行なう。本調査は、新興住宅地におけるバスサービスの改善を目的としたもので、交通機関選択モデルを構築するためのバス利用意識調査である。まず、実験計画法に基づいた調査より得られたデータを用いて、交通機関選択に影響を与える要因の抽出と分散分析を行なっている。

次いで、有効と判定された要因を用いて交通機関選択モデルを構築している。ここでは、分散分析を取り上げ、累積法の適用性について検討する。

5-1. 調査の概要

実験計画法に基づいた意識調査を実施するためには、交通機関選択に影響を与えると思われる要因と水準をあらかじめ設定しなければならない。要因の設定においては、地元のバス協会と協議し、運賃に関する要因は現状のままとし、表-10に示す要因と水準を採用した。表-10は、これらの要因と水準とを直交表に割付けした結果を示すものである。この18種類のアンケート項目の回答肢は、「大いにバスを利用する」、「今まで通りバスを利用する」、「しぶしぶバスを利用する」、「バスを利用しない」の4水準である。調査は、昭和55年10月、旭川市の春光台、豊岡東光地区の648世帯を対象に実施し、606世帯より、1227票の個人票が回収できた。

表-11は、回答結果とまとめたものである。1個人票にアンケート項目を3つずつ割付けたため、総サンプル数は、3618である。各項目ごとのサンプル数は、通勤者用が220サンプル台であるのに対し、非通勤者用は170サンプル台と少なくなっている。

5-2. 要因効果と累積法

前述のように、累積法は、応答のカテゴリー間の平均値とずらすような要因効果がある場合に、有効な手法である。シミュレーションによる検出力の比較においては、順序のあるカテゴリーに潜在連続体を仮定し、その上の分布が正規分布するものとして比較を行なった。しかし、実際の応答においては、順序あるカテゴリーが離散量として与えられる。そこで、本研究では、応答のカテゴリーに次に示す得点を与え、各要因が全体とどのように変動させる効果を持つか、その平均値と分散より検討する。得点は、「大いにバスを利用する」とし、「今まで通り利用する」を2、「しぶしぶ利用する」と3、「利用しない」を4とした。

表-12は、要因効果と要因ごとの平均値、分散を示

表-10 要因と水準の割付け

票種	交通目的	バス乗車の 乗車時間(分)	バス乗車の 徒歩時間(分)	バスの 運行間隔	バスの 乗車時間(分)
1	通勤	3分	3分	10分	10分
2	通勤	6分	3分	20分	20分
3	通勤	9分	3分	30分	30分
4	通勤	3分	6分	10分	20分
5	通勤	6分	6分	20分	30分
6	通勤	9分	6分	30分	10分
7	通勤	3分	9分	20分	10分
8	通勤	6分	9分	30分	20分
9	通勤	9分	9分	10分	30分
10	非通勤	3分	3分	30分	30分
11	非通勤	6分	3分	10分	10分
12	非通勤	9分	3分	20分	20分
13	非通勤	3分	6分	20分	30分
14	非通勤	6分	6分	30分	10分
15	非通勤	9分	6分	10分	20分
16	非通勤	3分	9分	30分	20分
17	非通勤	6分	9分	10分	30分
18	非通勤	9分	9分	20分	10分

表-11 回答の集計結果

票種	大いにバスを利用(1)	今まで通りバスを利用(2)	しぶしぶバスを利用(3)	バスを利用しない(4)	計 (n)	サンプル数
1	40.4	30.9	8.1	20.6	100	223
2	29.3	28.9	20.2	21.6	100	218
3	20.1	20.1	15.4	44.4	100	234
4	9.0	39.0	23.3	28.7	100	223
5	8.8	26.7	26.7	37.8	100	217
6	19.2	26.1	18.8	35.9	100	234
7	0.9	14.0	28.4	56.7	100	222
8	1.8	19.3	30.7	48.2	100	218
9	8.1	37.0	20.9	34.0	100	235
10	17.3	54.0	14.1	14.6	100	185
11	53.5	31.6	10.7	4.2	100	168
12	29.6	30.1	20.7	19.6	100	179
13	13.1	47.0	25.1	14.8	100	183
14	7.7	39.9	30.4	22.0	100	168
15	31.1	45.0	11.7	12.2	100	180
16	1.1	24.0	42.1	32.8	100	183
17	10.7	37.5	31.0	20.8	100	168
18	6.7	30.0	33.3	30.0	100	180
計	308.4	581.1	411.6	498.9	1800	3618

すものである。シミュレーションにおける平均値、分散とは比較できないが、この表より次のことが明らかとなった。

表-12 要因効果

要因	水準	バス を利用	バス を利用	バス を利用	利用(分)	平均値	分散
通勤 乗車 時間	通勤	15.3	26.9	41.4	36.4	3.390	1.261
	通勤	19.0	37.7	34.3	19.0	2.734	1.050
	3分	13.6	34.8	23.5	28.1	2.660	1.029
	6分	18.6	30.7	25.0	25.7	2.579	1.064
	9分	19.1	31.4	20.1	29.4	2.597	1.100
	3分	31.7	32.6	14.9	20.8	2.248	1.112
	6分	14.8	37.3	22.7	25.2	2.583	1.022
	9分	4.9	27.0	31.1	37.0	3.004	0.915
	運行 間隔	10分	25.5	36.8	17.6	20.1	2.323
20分		14.7	29.4	25.7	30.2	2.712	1.050
30分		11.7	30.6	25.3	33.0	2.800	1.022
乗車 時間	10分	21.4	28.8	21.6	28.2	2.567	1.113
	20分	17.0	31.1	24.8	27.1	2.622	1.058
	30分	13.0	37.1	22.2	27.7	2.647	1.023
全 体		17.1	32.3	22.9	27.7	2.612	1.065

(1). 平均値の比較から、実徒歩時間を除く他の4要因については、平均値をずらす効果があることが分かる。最も平均値をずらす効果が大きい要因はバス停までの徒歩時間であり、全体の平均2.6に對し、2.2 から3.0 まで平均値をずらす効果がある。

(2). 分散の比較から、どの要因における分散の値も全体の分散とはほぼ均しい値を取っている。

これらの結果より、この標本においては、累積法の適用が可能と考えられる。

5-3. 累積法による分散分析

従来の交通調査における分散分析では、たとえば、

応答の「大」にバスを利用する」と回答した

表-13 累積法による分散分析

人数の割合の引き取り上げでの分析であった。これに対し、分散分析に累積法を用いることの特長は、応答のカテゴリーを総合評価して分析できることと、より検出力の高い分析ができることである。

表-13は、累積F検定の結果である。この表より次のことが明らかとなった。

要因	偏差平方和	自由度	分散	F値	p-値	修正F値	寄与率
交通目的	11029.35	3	3676.45	10.55		14.44	15.5
実徒歩時間	1031.23	6	171.87	0.49			-
徒歩時間	32654.44	6	5442.41	15.61		21.38	47.0
運行間隔	13453.06	6	2242.18	6.43		8.80	18.0
乗車時間	1572.39	6	262.07	0.75			-
乗車時間と乗車時間の交互作用	289.00	6	48.17	0.14			-
誤差	6274.63	18	348.59	-			19.5
計	66304.10	51					100.0

(1). 誤差の寄与率は、19.5%と低く、取り

上げた要因や水準の妥当性、回答誤差が少なかったことが分かる。

(2). 交通機関の選択に、最も強い影響を与える要因は、バス停までの徒歩時間であり、次いで、バスの運行間隔、交通目的と続いている。

6. おわりに

本研究では、2元分割表におけるχ検定、累積χ検定、累積F検定の検出力をシミュレーションにより比較し、累積法が有効となる場合について検討した。また、実際の交通調査への適用を試み、累積法による分散分析の有効性を明らかにしている。累積法の交通調査への適用としては、既に創路地域における分散分析への適用例⁶⁾、中距離都市間交通における分散分析への適用例⁷⁾、多次元尺度構成法による構造分析への適用例⁸⁾などによって、その有効性が明らかとなっている。最後に、本研究を始めるにあたり、学部4年田高淳昌、修士1年奈良人司君の協力を得た。ここに名前を記し感謝の意を表する。

参考文献 1) 竹内啓：「現象と行動のなかなの統計数理」、新曜社、1980年。

2) 児玉寛典、上坂浩之、後藤昌司：「順序カテゴリデータにおける2標本検定」、品質 Vol.8, No.3, 1977年。

3) 竹内啓、広津干尋：「計数データに関する累積カイ2乗法」、応用統計学 Vol.8, No.2, 1978年。

4) 田口玄一：「第3版 実験計画法」、丸善、1978年。

5) 八銀久隆：「交通機関選択特性を考慮したバス路線網の評価に関する研究」北大交通工学研究報告1981年。

6) 田村孝、佐藤馨一、五端日出夫：「累積法による交通選択モデルの構築に関する研究」第3回土木計画学研究発表会、1981年。

7) 佐藤馨一、田村孝、五端日出夫：「都市間交通における交通機関選択特性に関する研究」第4回土木計画学研究発表会、1982年。

8) 奈良人司、佐藤馨一、後藤正：「累積データを用いた多次元尺度構成法の適用に関する研究」土木学会第36回全国学術大会、1981年。