【土木学会論文集　第353号／Ⅳ-2　1985年1月】

土木計画への数量化理論Ⅱ類適用の信頼度に関する実験的研究

AN EXPERIMENTAL STUDY ON THE RELIABILITY OF QUANTIFICATION METHOD TYPE Ⅱ IN THE APPLICATION FOR INFRASTRUCTURE PLANNING

大 橋 健 一*・青 山 吉 隆**

By Kenichi OHASHI and Yoshitaka AOYAMA

As the computer has been developed, increased in size and become generally available, so Quantification Methods have been applied to various fields, e. g. individual behavior modeling and urban environment evaluation. But there are still many problems and some of their applications are unreliable for the practical purpose.

The aim of this study is to investigate the reliability of Quantification Method Type Ⅱ with a special attention to its applicability for Infrastructure Planning. Through a Monte Carlo Simulation experiment, we have made it clear that the reliability is largely determined by three major factors, i. e. the number of samples, correlation ratio and the number of categories. Among them, the number of samples is the most important factor. When the number of samples is insufficient, the results will not be in agreement with the true values.

1. 序　　論

林知己夫によって体系化された一連の数量化理論[1),2)]は多変量解析の一手法であり，現在までに土木計画の分野はもちろんのこと，社会学・農学・工学などの広い分野で適用されてきた．なかでも数量化理論Ⅱ類は，定性的な独立変数と従属変数の因果関係を数量化できるモデルであり，定性的な外的基準の予測モデルを構築できる実用的な手法である．

しかし，数量化理論は他の多変量解析手法と比較すると適用の歴史も浅く，アイテムカテゴリー数やサンプル数などの必要十分な大きさについての客観的な基準や，あるいは相関比の十分な大きさに関する基準について経験に乏しく，応用例の有効さの判断が不統一となっている．このため適用にあたっては，分析者の経験に加えて主観によって判断されることも多く，適用に際しての問題点も多い．また，信頼度の劣る適用例も数多くみられる状況である．

著者らは，これまで，数量化理論Ⅱ類適用に際し真値と実験値が乖離する[3)~5)]こととか，適用例の特徴を分類整理[6)]してきたが，本研究では，これらに加筆修正したものである．Ⅱ類においては，外的基準とアイテムカテゴリーのクロス表から求まる最大固有値，固有ベクトルが相関比，スコアーとなり，分析に用いるサンプルの連続的な増加に対してクロス表におけるアイテムカテゴリーへの反応数の増加は離散的となる．このため，相関比やスコアーはサンプル数の増加に伴って固有の変動を示すことが予想され，任意の適用条件における妥当なサンプル数を統計理論的に決定することは困難と思われる．

そこで，相関比・アイテムカテゴリー・サンプル数などⅡ類を適用する場合の周辺条件に着目し，あらかじめ設定した真値に対して相関比とスコアーがどのように変動するか実験的に考察する．まず，土木計画への適用例を分類整理してⅡ類の特徴を調べ，併せて適用例の信頼性を検討する．次いで，パイロットスタディーにより，信頼度に最も大きく影響するサンプル数と相関比，スコアーの変動から，Ⅱ類適用の信頼度を定量化する．さらに，住環境満足度調査の結果に本研究の信頼度分析を行って，住環境評価における信頼度の指数的変化を実証する．

*　正会員　工修　明石工業高等専門学校助教授　土木工学科
（〒674　明石市魚住町西岡679）
**　正会員　工博　徳島大学助教授　工学部建設工学科
（〒770　徳島市南常三島町2-1）

2. 土木計画への数量化理論Ⅱ類の適用例

数量化理論はあらゆる分野で利用されているが，ここでは土木計画に関連した分野にとどめる．またこの分野は，早くから頻繁に利用されている分野でもある．土木工学，都市計画，交通工学の既発表論文 45 編においてⅡ類適用の特徴を調べるために，外的基準から適用例を分類評価する．さらに，アイテムカテゴリーなどの適用条件と信頼度について考察を加える．なお，本論文の最後にⅡ類適用の論文リストを付記する．

(1) 適用例の分類

適用例は広範囲にわたっており，いろいろな分類が考えられるが，外的基準に着目するならば，Table 1 に示す分類が考えられる．まず，外的基準が計測しやすい「現象モデル」と，計測しにくい「評価モデル」に分けられる．「現象モデル」については，「自然現象」と「社会現象」に分類でき，社会現象については，周囲の条件とか環境によって生ずる事故などを単に「現象」とし，人間の意識を通して評価された後に生ずる交通機関の選択などを「行動」とする．また，「行動」と「意識」については，外的基準の主体が同じ人間であり同一のものと考えることもできるが，環境に影響される意識の状態そのものを示す場合を「意識」とし，人間の意識を通して生ずるものを「行動」とする．

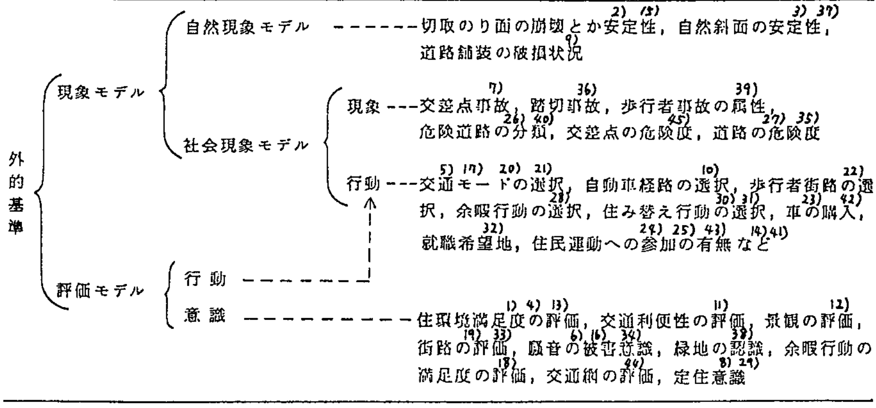
取り上げた文献の多くが社会的事象を対象としていることにもよるが，自然現象への適用は少ない．これは，説明変数に線形結合を仮定しているⅡ類の性質より，内部構造をブラックボックス化しアウトプットされた因果関係に着目する傾向が強いためであろう．このため，「自然現象」への適用については，のり面の安定性など多くの因子が複雑に影響し内部構造の理論的解明が困難な場合に限定されている．一方，「社会現象」には多くの適用例がみられる．社会現象の「現象」そのものについては，交通事故の分析に多く使用されている．現象を出現度数でみるならば定量的となり，このため，現象面への適用は比較的頻度の少ないものに限定されており，むしろ，事故による危険度の分析ではⅡ類よりもⅠ類がより適していると思われる．社会現象の「行動」については，人間の意識を通して行動が選択されるため，行動という外的基準そのものが定性的となりⅡ類の使用に適する．しかし，Ⅱ類ではモデルの内部をブラックボックスとする問題点もあり，経済モデルなどⅡ類以外の分析モデルもよく利用されている．評価モデルの「意識」についても，多くの適用例がみられる．住民を取り巻く環境の評価も基本的には定量的な因子と考えられるが，現象面の計測のように統一した基準が見当たらないため序数的尺度で計測せざるを得ない．このため，居住環境，交通利便性，騒音被害など土木施設が作用する環境を総合的に評価する方法としてⅡ類はよく利用されている．

(2) 適用例の周辺条件

アイテムカテゴリーなどの周辺条件は適用例において大きく変化しており，おおよその範囲は，アイテム数で 3～30，総カテゴリー数で 20～100，サンプル数で 50～2 000，相関比で 0.3～0.8 である．

サンプル数に対する総カテゴリー数の上限は Fig. 1 のような関係があり，任意のサンプル数に対してこの境界曲線以上のカテゴリーは取られない傾向，あるいは，任意の総カテゴリー数に対してこの曲線以上のサンプル数が取られる傾向がある．また，この曲線の下ほどに適用例が集中していることより，分析者は暗黙のうちにカテゴリー数と比較してサンプル数を増し，分析結果の信頼度を高めるように安全側の配慮をしている．つまり，この境界曲線より上側の適用例ではサンプル数も少なく分析結果の自由度も低いものであり，下側ではサンプル数も多く自由度も高い．カテゴリースコアー決定の自由度が低ければ得られる相関比は大きく，自由度が高ければ

Table 1 Classification of application based on External Criterion.



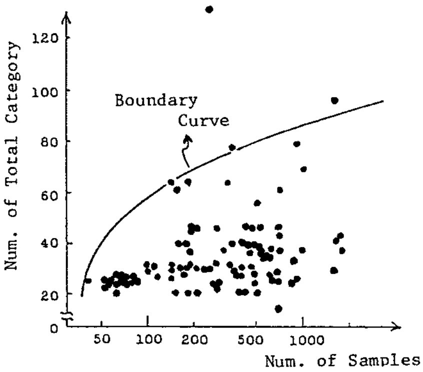


Fig. 1 Relationship between Number of Total Category and Number of Samples.

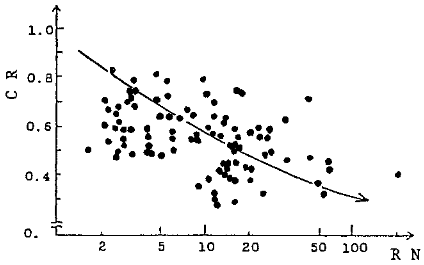


Fig. 2 Relationship between Correlation Ratio (CR) and Relative Number of Samples (RN).

相関比も小さくなることが予想される.

サンプル数と相関比については，サンプルの増加につれて相関比の減少傾向がみられる．これらの適用例はいずれも総カテゴリー数が変化しており，カテゴリースコアー決定の自由度に相当するサンプル数と相関比を比較するため，サンプル数を総カテゴリー数で除した相対サンプル数を求め，相対サンプル数（RN）と相関比（CR）の関係を示したのが **Fig. 2** である．サンプル数の場合と同様に相関比が減少しており，相対サンプル数の増加に対し相関比の有意な変動がみられる．すなわち，相関比は分析母集団固有の値をとり，一般にランダムとなることが予想されるが，かなりの適用例においてサンプルが不足したためにこのような結果が生じたものであり，サンプルが不足すれば，それだけII類適用の信頼度は乏しくなるものと思われる.

3. サンプル数とII類適用の信頼度

II類によって得られる相関比，スコアーは，アイテム数，カテゴリー数，相関比の真値の大小，サンプル数などの適用条件によって真値から固有の変動を示すものと考えられる．なかでも，相関比の大小，サンプル数，総カテゴリー数の条件が大きく影響している．そして，相関比の真値は対象とする数量化問題固有のもので，操作性もなく，適用に際して未知な条件である．一方，アイテムカテゴリーは適用に際して先決される条件である．このため，II類適用にあたり，信頼度に影響する操作可能な条件はサンプル数であり，II類の信頼度を保つことは，他の条件が先決された後，サンプル数をいかほどにするかということに帰結するものと思われる.

ここでは，相関比とスコアーの真値をあらかじめ設定しておき，母確率によって仮定した母集団からモンテカルロ法によりサンプル数を徐々に増加して相関比・スコアーの真値に対する変動を調べることにより，II類適用の信頼度を検討する．なお，サンプル抽出である住民意識調査等の資料収集も，アイテムカテゴリーの決定においては，本研究で行っている母確率からサンプルの特性を決定する操作にほかならない.

（1） 分 析 例

Table 2 に示す各ケースについて分析する．これらケースのアイテムカテゴリーはすべて同一で，アイテム数と総カテゴリー数の影響を除いたものであるが，相関比とアイテム相関の有無をそれぞれのケースについて変化させ，サンプル数に加えアイテム相関の影響について

Table 2 Four cases in the Case Study.

Case	Population Value of CR	Total Category (Item Category)	Item Dependence
1	0.499	10 (2,3,5)	NO
2	0.787	10 (2,3,5)	NO
3	0.576	10 (2,3,5)	NO
4	0.500	10 (2,3,5)	YES

( ) means the number of categories in each item.

Table 3 Population Probability in the Case Study.

Case	EC	Item 1		Item 2			Item 3				
		1	2	1	2	3	1	2	3	4	5
1	1	0.600	0.400	0.500	0.300	0.200	0.300	0.250	0.200	0.150	0.100
	2	0.400	0.600	0.200	0.300	0.500	0.100	0.150	0.200	0.250	0.300
2	1	0.800	0.200	0.600	0.300	0.100	0.400	0.250	0.200	0.100	0.050
	2	0.200	0.800	0.100	0.300	0.600	0.050	0.100	0.200	0.250	0.400
3	1	0.700	0.300	0.520	0.300	0.180	0.288	0.244	0.200	0.156	0.112
	2	0.300	0.700	0.180	0.300	0.520	0.112	0.156	0.200	0.244	0.288

EC : External Criterion

Table 4 Item Dependence (Case 4).

(Item) Category		(2) 1	2	3
(1)	1	0.700	0.300	0.
	2	0.100	0.300	0.600

も併せて考察する．Table 3 に分析例の母集団確率 $P^t(jk)$〔外的基準 t の j アイテム k カテゴリーに属する割合で，$\sum_k P^t(jk)=1$〕を示す．なお，ケース 4 の母確率はケース 3 と同一であるが，アイテム（1）と（2）に Table 4 に示す相関が存在する場合である．

これらの 4 ケースについて，サンプル数を 20 から 2 500 までの範囲でそれぞれ 30 回繰り返し実験する．モンテカルロ法でアイテムカテゴリーを決定するが，サンプル数の増加につれて累積させるのではなく，任意のサンプル数でその全データを母確率から逐一決定する．また，サンプルが少ないときは結果の変動も大きく，サンプルが多くなれば変動も小さくなると思われ，実験の頻度も，サンプルが少ないときは密に，サンプルの増加とともに疎となるように行う．

（2） 相関比・カテゴリースコアーの真値

母確率に任意の有限母集団を仮定することにより，外的基準とアイテムカテゴリーのクロス表を求めることが可能となる．Table 3 と Table 4 の母確率から求めた相関比・スコアーの真値を Table 5 に示す．

ケース 4 のアイテム（1）と（2）の相関は属性相関のクラマーのコンティンジェンシー係数で 0.585 と高く，このため，ケース 4 の相関比がケース 3 と比較して大きく減少している．レンジについても，ケース 3 と比較してケース 4 のアイテム（1）と（2）は減少しており，アイテム 3 のレンジが相対的に上昇している．説明変数と外的基準の因果関係を定量化するモデルにおいては，説明変数相互の関係は独立である方が望ましく，相関のあるアイテムを除いたのが Table 5 のケース 4(a) と (b) である．相関関係にあるいずれのアイテムを除いても，

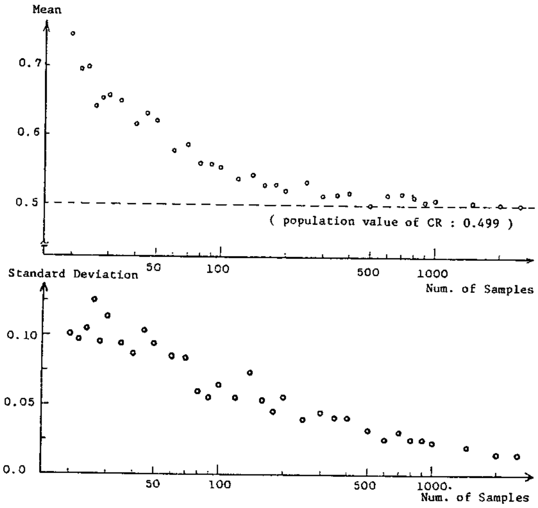


Fig. 3 Change of Correlation Ratio (Case 1).

適合度を示す相関比はほとんど減少していない．

（3） 相関比の変動

サンプル数を増加させたときの相関比の変動を Fig. 3 に示す．この結果，相関比の高いケースほどより少ないサンプルで真値に近づき，相関比が低いほど多くのサンプルを必要とする．また，相関比の大小にかかわらず，いずれのケースもサンプルが少ないときは真値よりも大きめに現われ，サンプルの増加とともに真値に漸近している．すなわち，相関比の実験値は，サンプルの増加につれて 1 から真値に向かって指数的に漸近するものと思われる．一方，相関比の標準偏差もサンプルの増加とともに指数的に逓減して 0 に近づいている．平均の場合と同様，相関比の真値が高いほど標準偏差は小さく，低いほど大きい．

ここで，本分析の相関比はすべて簡単化したケースの実験値であり，次に，サンプル数の変化に対して相関比がどのように変動するか微視的な考察を行う．

これまでの実験値の比較により，Fig. 4 に示すように，

Table 5 Population Values of Category Score and Correlation Ratio.

Case	Item 1: 1	Item 1: 2	Item 2: 1	Item 2: 2	Item 2: 3	Item 3: 1	Item 3: 2	Item 3: 3	Item 3: 4	Item 3: 5	CR
1	-0.106 (0.212)	0.106	-0.251 (0.502)	0.	0.251	-0.292 (0.584)	-0.146	0.	0.146	0.292	0.499
2	-0.209 (0.418)	0.209	-0.248 (0.495)	0.	0.248	-0.261 (0.522)	-0.144	0.	0.144	0.261	0.787
3	-0.228 (0.455)	0.228	-0.278 (0.556)	0.	0.278	-0.233 (0.466)	-0.116	0.	0.116	0.233	0.576
4	-0.161 (0.321)	0.161	-0.216 (0.433)	0.	0.216	-0.297 (0.594)	-0.149	0.	0.149	0.297	0.500
4(a)	-0.291 (0.581)	0.291				-0.297 (0.594)	-0.149	0.	0.149	0.297	0.479
4(b)			-0.312 (0.624)	0.	0.312	-0.261 (0.523)	-0.131	0.	0.131	0.261	0.483

(　　) shows the range of item scores.

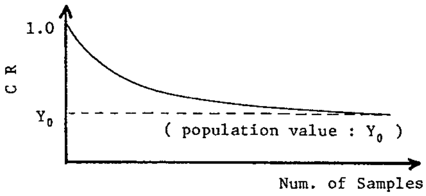


Fig. 4 Change of Correlation Ratio.

相関比は一様に減少して 1 から真値 Y_0 に漸近している.

このため，相関比の変化量を相関比の大きさに比例して減少すると仮定するならば，次のように示すことができる.

$dY'/dN' = -bY'$ ……………………………………(1)

ここで，b は定数，Y を相関比，Y_0 を相関比の真値，N をサンプル数，N_0 を総カテゴリー数として，

$Y' = Y - Y_0$ ……………………………………………(2)

$N' = N - N_0$ ……………………………………………(3)

となる．そして，式（1）の微分方程式は，定数 a を用いて，次のように表わせる.

$Y' = a\exp(-bN')$ ……………………………………(4)

さらに，サンプル数の変化に対する相関比の境界条件より，相関比の変動式は，結局，

$Y = (1 - Y_0)\exp\{-b(N - N_0)\} + Y_0$ ………………(5)

となり，式（1）の仮定のもとでは指数的な変動を示す.

ここで，式（1）から導かれた相関比の変動式（5）の回帰の相関係数はいずれのケースも約 0.85 であるが，より精度を増すために，サンプル数に次の補整を行う.

$Y = (1 - Y_0)\exp\{-b(N - N_0)^c\} + Y_0$ ………………(6)

Table 6 Regression of Correlation Ratio.

Case	Y_0	b	c	R
1	0.499	0.368	0.392	0.983
2	0.787	0.302	0.452	0.958
3	0.576	0.307	0.451	0.974
4	0.500	0.377	0.380	0.980

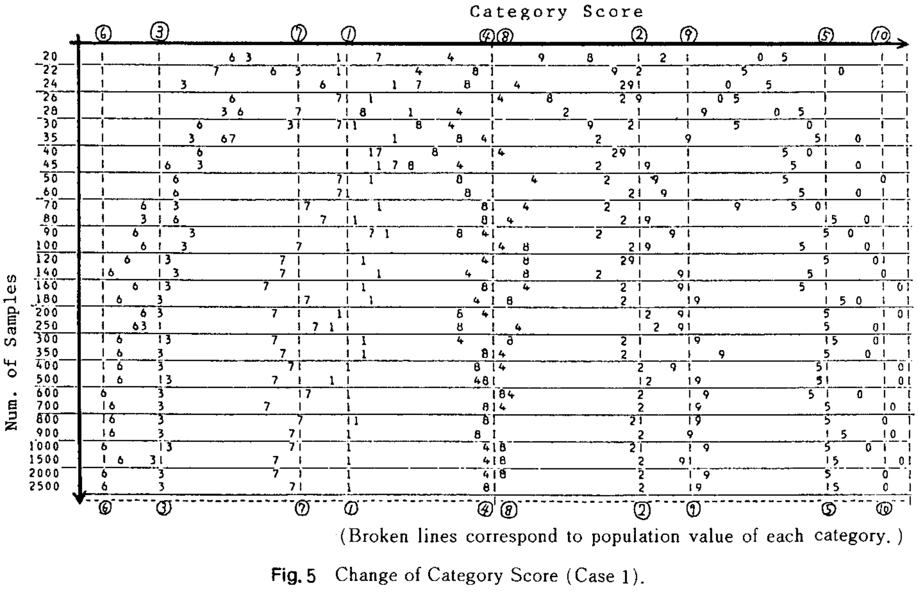
$Y = (1.0 - Y_0)\exp(-b(N - N_0)^c) + Y_0$

すなわち，式（6）は，式（1）の右辺にサンプル数の項を乗じたものにほかならない．式（6）において，c を繰り返し与え回帰分析で誤差が最小となるパラメーターを各ケースについて求めたのが **Table 6** であり，相関係数もすべて 0.95 以上と高く，式（6）により相関比の変動が表わせるものと思われる.

（4） カテゴリースコアーの変動

Fig. 5 にケース 1 の変動を示す．縦軸にサンプル数，横軸にカテゴリースコアーを取り，10 個のスコアーの変動を示す．いずれのケースも，サンプルの少ないときはスコアーが中心の零の方に偏っており，破線で示される真のスコアーと大きく乖離している．そして，サンプルの増加とともに大きなばらつきを示しながらも真値へと特化していく．これをアイテムの影響力を示すレンジでみるならば，サンプルが少ないときレンジは真値と関係なくランダムとなり，サンプルの増加につれて真値に近づく．つまり，サンプルが少ないときはアイテムの寄与率が均等化され，大きなアイテムは小さめに，小さなアイテムは大きめに現われる傾向がある.

スコアーの変動を各ケースごとに比較するならば，相関比の場合と同様に，相関比の真値が高いケースほど早く真のスコアーに漸近している．また，カテゴリーを個々



(Broken lines correspond to population value of each category.)

Fig. 5 Change of Category Score (Case 1).

にみるならば着目するカテゴリーによって信頼度も変化しており，相関のあるアイテムに比較して独立したアイテムに属するカテゴリーの信頼度は高い．

カテゴリースコアーの標準偏差についても，サンプルの増加とともに指数的に減少している．また，真の相関比の高いケースほど小さくなっており，相関比の場合と同様である．そして，標準偏差を個々のアイテムカテゴリーについてみるならば，カテゴリー数の少ないアイテムほど小さくなっている．これは，カテゴリーの多いアイテムほど単位カテゴリーに反応するデータは少なくなり，サンプルから得られる情報が減少するためであろう．すなわち，Ⅱ類ではアイテムの情報がカテゴリースコアーに反映されるため，$\sum_{t} P^{t}(jk)$ の小さなカテゴリーの信頼度は劣るものと思われる．また，独立したアイテムと比較して，相関のあるアイテムに属するカテゴリーの標準偏差も大きく信頼度が劣っている．

（5）　数量化理論Ⅱ類の信頼度

信頼度は，本来ならばスコアーで検討すべきであるが，スコアーの信頼度がカテゴリー個々にばらついており，またアイテム相関もあって，真のスコアーとの誤差も不安定となる．このため，スコアー全体の適合度を示す相関比に着目し，Ⅱ類適用の信頼度を求める．相関比をサンプル数の各断面についてみれば，**Fig. 6** のような変動を示しており，サンプルが不足した場合，相関比の分布において，真値付近よりも平均値付近の結果がスコアーなどから判断して真値に近い情報を得ている．すなわち，標本抽出の偏りによって，判断しやすいデータの組合せとなった場合は平均より大きく1に近くなり，判別しにくいデータの場合は平均より小さくなる．そして，任意のサンプル数において平均から離れたものほど信頼度が低いとみなし，サンプルの増加による相関比の分散 σ^2 の変動を次式で回帰する．

$$\sigma=\alpha \exp\{-\beta(N-N_0)^{\gamma}\} \cdots\cdots\cdots\cdots (7)$$

α，β，γ は未知パラメーターであり，回帰の相関係数も高く，上式で相関比のばらつきが表わせるものと思われる．また，任意のサンプル数における相関比の大半は正規分布に従っており，相関比が正規分布であるとするならば，サンプルによって変化する相関比の平均 Y と分散 σ^2 が式（6），（7）で得られているため許容誤差内に入る割合を求めることが可能となる．任意のサンプル数における相関比がその平均から許容誤差内に含まれる確率をⅡ類適用の信頼度とする．一方，信頼度を先決すれば分散から許容誤差が求まり，平均と許容誤差から信頼区間も求まる．相関比の許容誤差は外生的に決まるものであるが，0.05とした場合のⅡ類適用の信頼度を **Table 7** に示す．適用条件の違いによって信頼度に大きな差がみられる．また，式（6）の相関比の真値との乖離量を **Table 8** に示す．

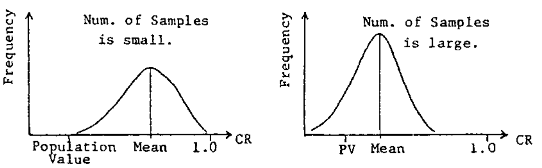


Fig. 6　Distribution of Correlation Ratio.

Table 7　Reliability on Application of Quantification Method（%）.

Samples	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
50	44.9	72.7	48.2	44.7
100	54.8	84.9	58.8	54.6
200	66.9	94.1	71.4	66.6
500	85.5	99.5	89.1	84.5
1000	96.5	100.0	97.9	95.6

(allowable error of CR : 0.05)

Table 8　Mean error of Correlation Ratio.

Samples	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
50	0.105	0.043	0.084	0.108
100	0.059	0.021	0.041	0.062
200	0.028	0.008	0.016	0.032
500	0.008	0.002	0.003	0.010
1000	0.002	0.000	0.000	0.003

4.　住環境満足度評価による信頼度の実証分析

これまでの分析によって得られた結果を実証するため徳島市で行われた住環境満足度調査の過去3か年の資料より，有効サンプル数3 276を母集団とし，外的基準3，10アイテム，総カテゴリー数30において，各サンプル数で20回の繰り返しⅡ類分析を行った．さらに，パイロットスタディーでは全く触れなかった偏相関係数，適中率，外的基準の平均満足度，満足度の境界値についても，サンプルの増加につれてどのように変動するか調べる．

相関比の変動を **Fig. 7** に，相関比から求めた信頼度を **Table 9** に示す．信頼度の指数的変化がみられ，パイロットスタディーで得られたⅡ類適用の信頼度変化が実証されたものと思われる．なお，サンプルが少ないとき標準偏差に大きなばらつきがあり，このため，サンプルが少ないときの信頼度は高くなっているが，この原因は，パイロットスタディーと比較して本実証分析のカテゴリー数は3倍であるにもかかわらず，Ⅱ類分析の繰り返し回数を減じたためと考えられる．

偏相関係数については，レンジと同様に，サンプルが少ないとき各アイテム寄与率が均等化され，サンプルの増加とともに真値へと特化している．適中率については，

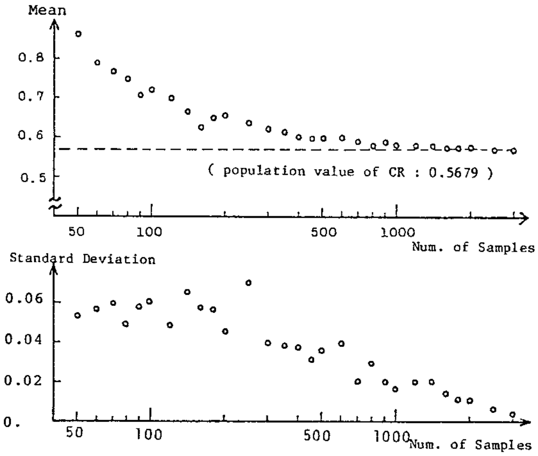


Fig. 7 Change of Correlation Ratio on the Evaluation of Residential Environment.

Table 9 Reliability and error of CR on the Evaluation of Residential Environment.

Samples	Reliability	Error of CR
50	59.7(%)	0.248
100	63.1	0.151
200	69.1	0.083
500	84.1	0.027
1000	97.7	0.008
1500	100.0	0.003

(allowable error of CR : 0.05)

相関比と同様に指数的に減少しているが，相関比ほど急激な減少はみられない．一方，数量化された結果である外的基準の平均満足度とその境界値は，スコアーが変化しているにもかかわらず，サンプルの増加に対してほとんど変化なく一定であり，ばらつきだけが指数的に変化している．

5. 結　　論

土木施設が作用する環境の評価モデルとしてⅡ類はよく利用されており，なかでも意識の総合評価においては最も適切な方法の一つとなっている．ところが，適用例の判断基準があいまいなために，サンプル数が不足するものも数多くみられる．本研究では，Ⅱ類を適用する場合の信頼度について，主に相関比とスコアーから検討した．モンテカルロシミュレーションによる方法は，計算に要する時間も膨大で必ずしも効率的な方法とはいえない．また，実証例として特定のアイテムカテゴリーについてのみ信頼度分析を行ったが，このような分析をいろいろな適用条件について行い，結果が蓄積されるならば，Ⅱ類に必要とされるサンプル数のおおよその推定も可能になるものと思われる．ただし，いずれの数量化問題も真値は未知であり，このため現実的には，得られたサンプル数の範囲において数通りのサンプル抽出を行い繰り返しⅡ類分析することにより，信頼度を判断する必要があると思われる．

本研究により明らかとなった点を列挙するならば，次のとおりである．

（1） Ⅱ類の適用条件において，サンプル数，相関比，総カテゴリー数が信頼度に大きく影響する．そして，相関比は適用母集団固有で，アイテムカテゴリーも先決されるため，土木計画システムへの適用時に操作可能な条件はサンプル数のみとなる．

（2） サンプル数を増加していった場合，相関比は1から指数的に減少して真値に近づいており，このことは，サンプル数が少ない場合分析の適合度を過大評価する危険性がある．特に現象モデルへの適用では，カテゴリー数に比較して母集団から収集できるデータとか母集団の大きさそのものが限られる場合が多く，注意を要する．

（3） サンプル数を増加していった場合，カテゴリースコアーは零付近から真値へと指数的に特化する．このため，外的基準と説明アイテムの要因分析などでは，母相関比（真値）が小さい場合，アイテムの傾向は把握できるものの厳密性に欠けることがある．

（4） 母集団確率の外的基準に関する和 $\sum_{t} P^{t}(jk)$ が小さいカテゴリーほど，真値との誤差や標準偏差も大きく，スコアーの信頼度も劣る．すなわち，多くのカテゴリーに細分化されたアイテムとか，サンプルの反応の少ないカテゴリーは，他のカテゴリーと比較して信頼度が低くなる．

（5） 相関比やスコアーの標準偏差は指数的に逓減しており，また，母相関比が高いほど偏差も小さくなっている．そして，母相関比は標本抽出におけるサンプリング理論の母分散に似た性質を示しており，本研究で定義した信頼度と母相関比は比例関係にある．

（6） 土木計画システムが対象とするアイテムには相互に何らかの関係があり，特に，環境の総合評価モデルなどにおいては多くのアイテム間に従属関係が存在する．そして，従属関係にあるアイテムに属するカテゴリースコアーのばらつきは大きく，信頼度が低下するため，Ⅱ類適用上の大きな問題となっている．この場合，一方のアイテムを除いても相関比はあまり減少しない．むしろ信頼度からみるならば，従属関係にあるアイテムの一方を除いた方がよい．

（7） スコアーの変動からも明らかなように，アイテムの寄与率を示すレンジと偏相関係数も，サンプルの増加につれ，ランダムな状態から真値へと特化する．また，適中率も相関比と同様に変動しており，サンプル数が少ない場合，Ⅱ類分析の期待値は真値と一致しない．とこ

ろが，合成変量の平均値と境界値は，サンプルの多少にかかわらず一定で，サンプルの増加につれてばらつきだけが減少している．

（8） 数量化された結果であるカテゴリースコアーの信頼度は個々に変化しており，スコアーから直接II類適用の信頼度を求めることは困難である．このため，適合度を示す相関比に着目し，相関比のばらつきから求めた信頼度は適用条件によって大きく変化しており，特に，母相関比の違いによって必要とされるサンプル数に大きな隔たりが生じている．なお，II類適用の信頼度としていろいろな方法が考えられるが，いずれの方法による信頼度も本研究で求めたのと同様，必要とするサンプル数に大きな差が生じている．

以上のことより，数量化理論II類適用にあたって最も注意しなければならない点は次のとおりである．II類の適用例において，適用条件の付記されていないものが多い．ところが，サンプルによって指数的に変動する性質より，相関比・スコアーの期待値は母集団の不偏推定量とはならない．このため，得られた相関比だけでII類の適合度を判断することは危険である．相関比・サンプル数・総カテゴリー数を同時に考慮したうえで適合度を判断すべきであり，II類適用において，この3条件は必ず明記する必要があるものと思われる．

最後に，本論文をまとめるにあたり，大橋が文部省内地研究員として京都大学工学部交通土木工学科滞在中，天野光三教授，戸田常一講師，阿部宏史助手から適切なご指導をいただいた．さらに，本論文の投稿に際し，匿名の査読員の方から有意義なご意見も数多く頂いた．ここに，記して，感謝の意を表する．

参考文献

1) Hayashi, C.：On the Prediction of Phenomena from Qualitative Data and the Quantification of Qualitative Data from the Mathematico-Statistical Point of View, Annals of the Institute of Statistical Mathematics, Vol. 3, No. 2, 1952.
2) 林知己夫・樋口伊佐夫・駒沢 勉：情報処理と統計数理，産業図書，1970.
3) 大橋健一・青山吉隆：数量化理論II類の適用に関する一考察，土木学会第35回学術講演概要集IV，1980.
4) 大橋健一・青山吉隆：モンテカルロ法による数量化理論II類の信頼性について，土木学会第36回学術講演概要集IV，1981.
5) 青山吉隆・大橋健一：数量化理論II類の意識調査への適用に関する研究，第4回土木計画学研究発表会講演集，1982.
6) 青山吉隆・大橋健一：数量化理論II類の適用例に関する基礎的考察，第5回土木計画学研究発表会講演集，1983.

〔付表〕 土木計画へのII類適用の論文リスト

1) 天野光三ほか，都市計画別冊6，1971.
2) 久保村圭助ほか，土木学会論文集194，1971.
3) 持永竜一郎ほか，土木学会論文集197，1972.
4) 吉川和広ほか，土木学会論文集204，1972.
5) 森田綽之，土木学会論文集216，1973.
6) 青島縮次郎ほか，土木学会論文集219，1973.
7) 藤目節夫ほか，都市計画79，1974.
8) 石見利勝，都市計画別冊9，1974.
9) 福山俊郎，土木学会論文集224，1974.
10) 栗本典彦ほか，交通工学19-1，1974.
11) 杉恵頼寧，都市計画別冊10，1975.
12) 榊原和彦ほか，都市計画別冊10，1975.
13) 光吉健次ほか，都市計画別冊10，1975.
14) 稲村 肇，土木学会論文集239，1975.
15) 南部光広ほか，土木学会論文集241，1975.
16) 中村英夫ほか，土木学会論文集244，1975.
17) 渡辺新三ほか，都市計画86，1976.
18) 永井 譲，都市計画88，1976.
19) 小野正和，都市計画別冊11，1976.
20) 杉恵頼寧，都市計画別冊11，1976.
21) 本多義明ほか，都市計画別冊11，1976.
22) 深海隆恒，都市計画別冊12，1977.
23) 阿部成治，都市計画別冊12，1977.
24) 定井喜明ほか，都市計画別冊12，1977.
25) 定井喜明ほか，土木学会論文集267，1977.
26) 本多義明ほか，交通工学12-1，1977.
27) 三谷 浩，交通工学12-5，1977.
28) 江口陽子ほか，都市計画101，1978.
29) 川上光彦ほか，都市計画別冊13，1978.
30) 小栗幸夫ほか，都市計画別冊13，1978.
31) 定井喜明ほか，土木学会論文集277，1978.
32) 和泉 潤ほか，都市計画別冊14，1979.
33) 小場瀬令二ほか，都市計画別冊14，1979.
34) 大野春雄ほか，都市計画別冊14，1979.
35) 斉藤和夫ほか，土木学会論文集284，1979.
36) 長浜友治，土木学会論文集290，1979.
37) 沖村 孝ほか，土木学会論文集290，1979.
38) 大野春雄ほか，都市計画別冊15，1980.
39) 小場瀬令二，都市計画別冊15，1980.
40) 吉田信夫ほか，交通工学15-6，1980.
41) 小栗幸夫ほか，都市計画別冊16，1981.
42) 芦沢哲蔵，都市計画別冊16，1981.
43) 森田恒幸，都市計画別冊16，1981.
44) 天野光三ほか，土木学会論文集314，1981.
45) 佐々木喜忠，交通工学16-2，1981.

（1983.11.14・受付）