

数量化理論第 I 類による輸送環境条件の定式化手法

山崎 潔*・陳 謙**・金谷 一朗**・島田 哲夫**

Formulation of the various environmental conditions by means of Quantification Method I

Kiyoshi YAMASAKI*, Qian CHEN**, Ichiroh KANAYA** and Tetsuo SHIMADA**

本研究では、多変量解析法を用い、外装段ボール容器に影響を及ぼす環境劣化要因を定量化する方法について検討した。一般に多変量解析は、多変量の数値を、観測し得るデータから推定する手法であり、流通過程の各種要因に影響を受ける包装仕様に対し、それらの寄与因子の正確な把握に有用である。本稿では多変量解析のなかの数量化理論第 I 類を用いて、各種物流環境条件を定式化することにより、劣化係数を算定し、圧縮強さを推定する手法について論じた。

また本研究から求められた物流環境条件に伴う劣化係数は、ウィンドウズ上で稼働する CAD システムの段ボール強度の推定ルーチンに適用され、システム構築に供した。

キーワード：包装設計、CAD システム、圧縮強度解析、強度推定、原紙構成、多変量解析法、数量化理論第 I 類

This paper describes a computer aided packaging design system specified by formulation of the various environmental conditions of distribution by means of methods in multivariate analysis. In a general way, the characteristic feature of multivariate analysis is the consideration of various objects, on each of which are observed the values of multivariate data. This paper is concerned with scheme of the computing the degradation factors of the corrugated fibreboard box with respect to environmental conditions of distribution by means of methods in multivariate analysis. This system consists of the compressive strength analysis and computation processing for various purposes. The strength-deducing algorithm has the function of computing the necessary package strength from the calculated strength of the corrugated fiberboard of specified liner and fluting construction, taking into account the degradation factors. One of the most important factors in successful packaging design is whether it is given the latest degradation factors with respect to environmental conditions and up-to-date corrugated cardboard and buffer materials or not. In this paper, we show the scheme which is formulated by means of Quantification Method I in multivariate analysis.

Keywords : packaging design, computer aided design system, the compressive strength analysis, strength deduction, corrugated fiberboard construction, multivariate analysis, quantification method I

*兵庫県立工業技術センター（〒654-0037 神戸市須磨区行平町3-1-12）：Hyogo Prefectural Institute of Industry 3-1-12, Yukihiro, Suma, Kobe 654-0037, Japan

**和歌山大学システム工学部デザイン情報学科（〒640-8510 和歌山市栄谷930）：Wakayama University 930 Sakae-dani, Wakayama 640-8510, Japan

1. はじめに

輸送包装設計のCADシステム化¹⁾を図る場合、流通環境負荷を定量的に把握することが最も重要であり、そのためには精確な計測と定量化手法が必要不可欠である。

貨物を輸送する際に、包装容器に劣化が生じ、状況によっては内容品まで損傷するという事態を見受けることができる。劣化・損傷を防止するためには、予め流通中の包装劣化を見込んだ設計が必要となる。外装容器として最も多く使用されている段ボール箱は、素材である紙の経時劣化や温湿度劣化、振動・衝撃・落下などの物理的損傷による劣化など、多くの物流環境の要因がもとで強度劣化をおこす。そこで強度劣化を予測し、流通中に内容物の品質に異常をきたさない必要包装強度を計算することが、包装設計の基本となる。また必要強度に直接影響を及ぼす劣化を数値化したものが劣化係数であるため、最終的には劣化係数の精確な算出が包装設計の基本であると言え換えることができる。

劣化係数を用いた段ボール箱の強度計算については、従来多くの定式化の方法が報告²⁾されているが、特定の要因のみを対象としている場合が多く、物流全般に係わる広範な要因について寄与の度合から考察している報告は見あたらない。また包装現場で基準とされているJIS規格(JIS Z-0200)においては、包装容器の吸湿性のみを要因とし、大雑把に数値を例示しているが、適正包装に対しては各種物流条件に対応したきめ細かな数値設定が必要であるため、定式化手法の確立が要望されている。

2. 圧縮強さと劣化係数

まず、段ボール箱の圧縮強さを算出するための一般式を導く。Kellicutt式に従う計算荷重を P_k 、各種物流環境による総合的な劣化係数を D とすると、劣化を考慮に入れた推定荷重 P は式(1)となる。

$$P = D \cdot P_k \quad (1)$$

よって推定値は劣化係数 D の算定の方法に大きく影響され、各種の物流環境条件に伴って変化する。

ここでは物流条件として、流通環境に関する要因と荷役に関する要因に分類した。前者では輸送振動・温湿度雰囲気下での疲労劣化を、後者では落下事故・貨物のハンドリング・倉庫内積み替え作業などを想定した。具体的には振動試験・クリープ試験・落下試験・回転六角ドラム試験・繰り返し圧縮試験を行い、劣化再現試験を行った後の段ボール箱の圧縮強さから劣化係数算出のためのデータを求めた。

包装設計上では季節・期間・天候・段積み・荷扱いの5つの要因に分類し、圧縮強さに及ぼす影響の度合いを2～5段階のレベルとして条件設定を行った(Tab. 1)。また実験に供した段ボール箱はTab. 2のとおりである。

各種要因に関する劣化の影響を求めるには、上記試験結果の組み合わせの中から、それぞれの条件に該当する劣化係数を導き出すが、従来劣化因子の軽重を加減せず、おのおのの要因に関する係数を単に累積計算させているため、結果としてかなり大きな数値が得られる³⁾。これらは現実の包装設計において比較

Tab.1 The testing conditions

test item	temp.-humi.condition	loading weight	other condition
stacking test	four seasons (setting)	dead weight (30~50kg)	cyclic times (1~5 times)
vibration test	four seasons fine,rainny weather (actual)	dead weight (60kg)	logarithmic sweep (JIS,Z-0200) ±0.75G (freight car) 60 min. (>2,000 km) dummy load(woody ballΦ40mm,10kg)
drop test	four seasons fine,rainny weather (actual)		drop height (JIS,Z-0200) 30,35,55,60 cm 1 corner, 3 edges, 6 faces dummy load(woody ballΦ40mm,10kg)
revolving hexagonal drum test	four seasons fine,rainny weather (actual)		7 type drum tester (obstacles free) (JIS,Z-0200) 10 rotations (60 falls) dummy load(woody ballΦ40mm,10kg)
repeated compression test	standard condition (20°C,65%RH)	20,40,60,80% stresses of max. compression strength	repeated times (10,20,30 times)

的多くの場合で用いられている JIS Z-0200 の参考値と大きく異なっていることでもわかる。包装を取り巻く流通環境には多くの要因が存在し、しかも互いに影響を及ぼし合うなど複雑に絡み合っているのが現実である。そこで多変量解析手法を用いて、各種要因の寄与の割合を明らかにし、確度の高い強度推定を可能とする定式化を試みた。

3. 数量化理論第 I 類による環境条件の定式化

本研究では多変量解析手法のうち、外的基準とそれに影響を与える複数項目との関係を求める際に最も有用である数量化理論第 I 類 (Quantification method I) を用いることとした。この方法は、目的とする量 (外的基準) が、いくつかの項目 (アイテム) の有無から

成り立っていると見なせるとき、複数の離散的な項目の実現値 (カテゴリー) をもとに外的基準を予測したり、特定要素の寄与の割合を推測するために用いられている⁴⁾。

Tab.2 Data of quantification method I

external criterion	item	item1		item2	
		category 1	category 2	category 1	category 2
y	y ₁	δ _{1,1,1}	δ _{1,1,2}	δ _{1,2,1}	δ _{1,2,2}
	y ₂	δ _{2,1,1}	δ _{2,1,2}	δ _{2,2,1}	δ _{2,2,2}
	:	:	:	:	:
	y _{m-1}	δ _{m-1,1,1}	δ _{m-1,1,2}	δ _{m-1,2,1}	δ _{m-1,2,2}
	y _m	δ _{m,1,1}	δ _{m,1,2}	δ _{m,2,1}	δ _{m,2,2}

Tab. 2 は 2 つのアイテムと対応する外的基準 y に関するデータの一覧表である。また、アイテム 1 にはカテゴリー 1 と 2 を、アイテム 2 もカテゴリー 1 と 2 を持っている。ここで、

$$\delta_{j,j,i} = 0, 1 \quad (2)$$

Tab.3 Input data of environmental conditions

No.	degradation coefficient	season			period					weather		pallet stacking		handling			
		summer	spring & fall	winter	short term	a week	half a month	a month	two months	fine	rainy	one	over two	wild	rough	ordinary	polite
1	0.4	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1
2	0.4	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0
3	0.5	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0
4	0.5	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1
5	0.9	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1
6	0.9	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1
7	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1
8	0.2	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0
9	0.2	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0
10	0.2	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0
11	0.2	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0
12	0.3	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0
13	0.4	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1
14	0.3	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0
15	0.5	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0

はサンプル*i*がアイテム*j*のカテゴリ-*k*に反応すれば1、そうでなければ0であることを示している。*i*はサンプルである観測データ、*j*はアイテムの種類(アイテム1、2)、*k*はカテゴリ-の種類(カテゴリ-1、2)である。

アイテム*j*のカテゴリ-*k*に与える数量を a_{jk} (カテゴリ-スコア)としたとき、外的基準を表す数量*y*を a_{jk} と $\delta_{i,j,k}$ の線形結合、すなわち

$$y_i = a_{11}\delta_{i11} + a_{12}\delta_{i12} + a_{21}\delta_{i21} + a_{22}\delta_{i22} \quad (3)$$

と表すことができる。

数量化理論第I類は、外的基準を最もよく予測するために、予測誤差の平方和を最小とする最小自乗法により係数 a_{11} 、 a_{12} 、 a_{21} 、 a_{22} を決定する方法である。

$$f(a_{11}, a_{12}, a_{21}, a_{22}) = \sum_{i=1}^m (y_i - \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 a_{jk}\delta_{ijk})^2 \quad (4)$$

としたときに、係数 a_{11} 、 a_{12} 、 a_{21} 、 a_{22} のそれぞれについて偏微分した値を零と置いたのが式(5)、式(6)、式(7)、式(8)である。これら4つの式を計算することによって、4個の

カテゴリ-スコア a_{11} 、 a_{12} 、 a_{21} 、 a_{22} を導き出すことが可能となる。

$$\frac{\partial f(a_{11}, a_{12}, a_{21}, a_{22})}{\partial a_{11}} = \frac{\partial}{\partial a_{11}} \sum_{i=1}^m (y_i - \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 a_{jk}\delta_{ijk})^2 \quad (5)$$

$$\frac{\partial f(a_{11}, a_{12}, a_{21}, a_{22})}{\partial a_{12}} = \frac{\partial}{\partial a_{12}} \sum_{i=1}^m (y_i - \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 a_{jk}\delta_{ijk})^2 \quad (6)$$

$$\frac{\partial f(a_{11}, a_{12}, a_{21}, a_{22})}{\partial a_{21}} = \frac{\partial}{\partial a_{21}} \sum_{i=1}^m (y_i - \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 a_{jk}\delta_{ijk})^2 \quad (7)$$

$$\frac{\partial f(a_{11}, a_{12}, a_{21}, a_{22})}{\partial a_{22}} = \frac{\partial}{\partial a_{22}} \sum_{i=1}^m (y_i - \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 a_{jk}\delta_{ijk})^2 \quad (8)$$

Tab. 3は環境条件の入力データである。

本論の対象である総合的な劣化係数は外的基準*y*に相当し、上述の*i*は実験によって得られた個々の観測データである劣化係数の個数15個に対応している。

*j*はアイテムの種類であり、環境条件である季節・期間・天候・段積み・荷扱いの5種類の要因に対応する。*k*はカテゴリ-の種類である。アイテムが季節の場合のカテゴリ-は「夏」・「春&秋」・「冬」の3種類である。また期間の場合は「短期」・「一週間」・「半月」・「一カ月」・「二カ月」の5種類である。天候の場合は「晴れ」・「雨」の2種類。段積

Tab.4 Category score

No.	category score
1	-0.108771
2	-0.1035087
3	0.291228
4	1.7369298
5	0.0592982
6	0.0435087
7	-0.0249122
8	-0.0301754
9	0
10	0
11	0.0533333
12	-0.0466666
13	-0.1623391
14	-0.114970
15	0.0797660
16	0.1534502

みの場合は「一段」・「一段以上」の2種類である。最後に荷扱いの場合の категорияは「極めて悪」・「悪」・「普通」・「良い」の4種類のレベルに対応している。

得られたカテゴリースコアを Tab. 4 に示す。たとえば Tab. 4 の No. 1 というサンプルを例にあげると劣化係数の観測値は 0.4 である。カテゴリースコアの番号 1 から 16 の値は、環境条件 (Tab. 3) の全カテゴリー 16 個に相当し、劣化係数の予測値 y は $\delta_{1,j,k}$ が 1 であるカテゴリーに対応するカテゴリースコアを足し加えたことによって得られる。具体的には $\delta_{1,j,k}$ が 1 ($\delta_{1,1,2}$ 、 $\delta_{1,2,4}$ 、 $\delta_{1,3,1}$ 、 $\delta_{1,4,2}$ 、 $\delta_{1,5,4}$ の 5 個) であるカテゴリーは「春 & 秋」、「晴れ」、「一段以上」、「良い」であり、そのカテゴリースコアはそれぞれ a_{12} 、 a_{24} 、 a_{31} 、 a_{42} 、 a_{54} である (Tab. 4 のカテゴリー番号では 2、7、9、12、16 に相当する)。

ゆえに予測値 y は、各カテゴリースコアの値 a_{12} 、 a_{24} 、 a_{31} 、 a_{42} 、 a_{54} の総和、すなわち、 -0.1035087 と -0.0249122 と 0 と -0.0466666 と 0.1534502 に、観測値の平均 0.46

Tab.5 The observed and estimated values

No.	observed value	estimated value	error
1	0.4	0.4383625	-0.0383625
2	0.4	0.2391812	0.1608187
3	0.5	0.4646783	0.0353216
4	0.5	0.5173099	-0.0173099
5	0.9	0.8330994	0.0669005
6	0.9	0.9330994	-0.0330994
7	1	1.0173099	-0.0173099
8	0.2	0.1594152	0.0405847
9	0.2	0.1909941	0.0090058
10	0.2	0.2173099	-0.0173099
11	0.2	0.2173099	-0.0173099
12	0.3	0.3594152	-0.0594152
13	0.4	0.4330994	-0.0330994
14	0.3	0.3330994	-0.0330994
15	0.5	0.5646783	-0.0646783

を足し加えた値 0.43836 (=0.46-0.02163) となる。

同様にして No. 2 から No. 15 を含めて得られた結果が Tab. 5 である。

4. CAD システムへの実装

包装設計における段ボール箱の強度推定ならびに原紙構成の決定に際し、寸法、フルートおよび原紙などの仕様の選択に次いで、物流環境条件を順次設定する必要がある。

物流環境条件の入力方法として

- (1) 加重および容器の吸湿性を考慮した劣化係数値の設定 (JIS Z-0200)
- (2) 各社独自の劣化係数値の設定
- (3) 担当者の経験と勘に基づいた劣化係数値の設定

などの 3 つの選択が一般的であるが

本研究では、確度の高い圧縮強さを推定するため、物流環境条件の定式化手法を用いて、

Fig.1 Input screen of environmental conditions

新たな一連の入力方法を開発し、システム化を試みた。

Fig. 1 は CAD システムに実装した入力画面であり、季節・期間・天候・段積み・荷扱いの 5 アイテムに対して逐次カテゴリーを選ぶことで、自動的に全体の劣化係数を算出することが可能となる。

5. 結言

本研究は、多変量解析法を用いて環境条件を定量化する方法について考察し、輸送包装設計用 CAD システムに実装することによっ

て、包装合理化に供しようとするものである。

本研究で用いた多変量解析法手法は、複数の要因が関与する全体の劣化係数に対し、各要因の寄与の度合を求めることができ、物流中に予想される更に多くの劣化要因が付け加えられた包装設計に対しても、精確な劣化係数の算出が容易となり、多様な設計作業に対応することが可能であると考えられる。

<引用文献>

- 1) 山崎潔、陳謙、島田哲夫、日本包装学会誌、18(3)、111(1999)
- 2) 例えば、
村尾千秋、日本包装学会誌、4(4)、287(1995)
村尾千秋、日本包装学会誌、5(1)、32(1996)
村尾千秋、日本包装学会誌、5(3)191(1996)
村尾千秋、日本包装学会誌、6(5)、247(1997)
河西、包装技術、24(12)、1136('86)
松田、包装技術、26(6)528('88)
前沢、包装技術、26(10)986('88)など
- 3) 一森和之、山崎 潔、島田哲夫、包装研究、10(2)、1(1990)
- 4) 森典彦、“デザインの工学”、朝倉書店、p.150(1999)

(原稿受付 1999 年 9 月 22 日)

(審査受理 2000 年 2 月 25 日)