■ 應用論文

一對比較에 의한 官能評價能力의 動的判別

Dynamic Discrmination of Sensory Evaluation Capability Using a Paired-comparison Method

김 정만* · 이 상도**

Abstract

Data obtained for sensory evaluation have a wide dispersion and fuzziness since human sensory organs are used as a means of measuring sensation instead of measuring instruments.

Such dispersion and fuzziness are caused by all kinds of time error and have a great influence on the sensory evaluation, but most of previous papers not consider time errors.

In this study, the comparative judgement capability of the evaluator was discriminated by means of the eigen-structure analysis on the premise that evaluation values of sensory evaluators obtained by a paired-comparison become different by the order of sample presentation.

Ⅰ. 서 론

인간의 감성을 정량적으로 취급하는 감성공학의 하위시스템인, 관능평가에서 사용하는 각종 감각계측방법 중 일대비교법(paired-comparison method)은 高精度의 간격척도구성법으로 인식되어 널리 이용 되고 있다.

관능평가에서는 인간의 감각기관을 측정수단으로 하므로 그 수단이 계측기의 경우와는 달리 통상평가자의 심리적 개인차로 인해 평가치의 산포가 크고 모호함을 내포하게 된다. 이러한 산포및 모호함은 일대비교에 있어서 대상 및 자극의 제시순서, 제시간격 및 제시시간등의 영향으로 나타나는 시간효과(time error)에 기인하는 것이나, 일대비교에 관한 종래의 연구들은 대부분 이들 시간효과를 고려하지 않은 것이었다.

따라서, 본 연구에서는 대상 및 자극에 관한 관능평가자의 일대비교판단능력 및 경향이 經時變化(change with the passage of time)할 수

* 경북산업대학교 산업공학과
** 동아대학교 산업공학과

있음을 고려하여, 평가대상이 둘이상의 관능특성을 가질때 시간효과의 검출이 가능한 비일치(nonsistency) 일대비교데이타의 구조에 대해 고유구조(eigen－structure)개념을 적용하여 관능평가자의 판단능력을 판별하고자 한다.

II. 일대비교에 의한 척도구성

인간의 감각계에 전달되는 정보량은 판단의 방법이 식별에 의한 절대판단과 辨別(discrimination)에 의한 비교판단(comparative judgement) 즉, 시간차를 두고 또는 병열로서 제시되는 2개의 대상에 대해 그 차를 식별케하는 방법이 있다.

정성적 특징과 주관적 의미의 계량적 특성(quantitative features with subjective meaning)을 수치화하는 관능적 판단에서, 인간의 상대적 판단능력은 절대적 판단능력에 비해 극히 우수한 바, 상대적 판단방식으로서의 일대비교법이 특히 훈련단계의 미숙련 관능평가자에게 널리 이용되고 있다. 일반적으로, 일대비교법은 실험에서 얻어진 비교결과를 미리 가정한 모델에 적합시켜 미지의 parameter를 결정하는 수치처리법의 총칭이며, 이러한 모델 중 대표적인 것이 Thurstone 및 Shepard－Kruskal流의 모델이 있다.[8] [3]

일대비교법중 Thurstone流에서는 선호도(preference)측면의 비교가 이루어짐에 비해 Shepard － Kruskal 流에서는 유사도(similarity)측면의 비교가 이루어진다. 즉, 대상 A_i가 주어지면 A_i의 척도치를 θ_i라 할때, 이 θ_i가 ,에 관해 객관적으로 측정 가능한 n개의 속성치 x_{1i}, x_{2i}, … ,x_{ni}에 따라서

$$\theta_i = f(x_i) \quad 단,\ x_i = (x_{1i},\ x_{2i},\ \cdots,\ x_{ni})$$

로 기술될 수 있다. 여기에서 Thurstone流는 목적함수 θ_i와 θ_j간의 비교를, Shepard － Kruskal流는 설명변수 X_i 와 X_j간의 비교를 문제로 한다. 따라서, 관능평가대상 A_i, A_j의 한쌍(pair)(i,j)의 시간차 제시에 따라 특히, 미숙련 관능평가자에게 크게 나타나는 시간효과의 검출및 선호도 평가에는 Thurstone流의 평점 data로부터 척도를 구성함이 필요하다. Thurstone流의 방법중 Scheffe 의 原法 [7]에서는 1인의 평가자가 1개의 쌍(i,j)만을 판단하는데, 이는 대형의 기호조사와 같이 다수의 소비자를 대상으로 하는 경우에만 적합하다. 그러나, 실험실및 공장의 관능평가에서는 각 평가자가 모든 쌍(i,j)를 1회씩 평가하도록 함이 바람직 하므로, 이를 보완하기 위해 본 연구에서는 n개의 대상에 대한 제시순서 (i,j)와 (j,i)를 고려한 n(n－1)/2회의 일대비교방식을 적용하는데 단, n(n－1)/2회의 비교판단이 시간차를 두고 2회에 걸쳐 이루어지는 것으로 한다. 즉, n개의 대상 Ai (i=1,2,…,n)가 있고 이들의 한쌍을 (i,j)라 하면 (i,j=1, 2,…,n), 각 쌍(i,j)에 관해서 제시순서를 무작위로 한 상호독립적인 비교판단을 한때 i가 j보다 上位임을 지정하는 판단을 i〉j 로 나타낸다. 한쌍(i,j)의 대상에 대한 비교판단의 평가치를 a_{ij}로 나타내면 이는 평가자에게 주어진 자극범주(category)에 대응하는 응답치이다.

즉, i －〉 j (i 는 j에 비해)일때

$$\left.\begin{array}{l} a_{ij} \rangle 1 \text{ 이면 } i \rangle j \\ a_{ij} \langle 1 \text{ 이면 } i \langle j \\ a_{ij} = 1 \text{ 이면 } i = j \end{array}\right] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

이다. 여기에서 $(a_{ij}+a_{ji}) \neq 0$ 이면 시간효과가 있다고 하며, 현실적으로 미숙련관능평가자의 평가에 이 효과가 영향을 미칠수 있음을 고려한 動的측면의 분석이 이루어 져야 할 것이다.

또한, category수는 평가대상의 성질, 평가자의 능력, 숙련도등에 따라 달라져야 할것인 바, Conklin은 잘 훈련되지 않은 평가자의 경우 單極尺度(single scale)로서 5, 兩極尺度(double scale)로서 9가 최대라 하며 [1], Peryam은 category 수가 9일때, 7혹은 5에 비해 신뢰계수도 크고 (+0.96) 재현성도 나쁘지 않음을 실험에서 확인하였다[5]. 따라서, 본 연구에서는 한쌍의 대상에 대한 평가치를 表 1에서와 같이 中性點을

1로하는 3, 5, 7, 9의 9단계 양극척도로 나타내며 i, j간의 차의 비교가 극단적으로 곤란한 경우 중간값(intermediate value) 2, 4, 6, 8을 인정하며 피로 및 순응효과(adaptation effect)등은 고려하지 않는다.

표 1. 9 category척도

category	i→j
9	극히 좋음(like extremely)
7	대단히 좋음(like very much)
5	제법 좋음(like moderately)
3	약간 좋음(like slightly)
1	좋지도 싫지도 않음 (neither like nor dislike)
-3	약간 나쁨(dislike slightly)
-5	제법 나쁨(dislike moderately)
-7	대단히 나쁨(dislike very much)
-9	극히 나쁨(dislike extremely)

III. 비일치구조의 역수행열

일대비교 데이타로 구성된 n(n−1)의 비일치 구조의 행열로 부터 각 평가자의 판별능력분석에 필요한 고유벡터의 도출에, Power방식의 알고리즘을 적용하기 위해서 평가치 a_{ij}에 대해 음의 평가치를 양의 역수로, 주 대각선상의 값을 1로 변환하면 이는 비일치구조의 역수행열을 이루게 되는데, 이의 사용은 Satty등에 의해 제안된 바 있다[6]. 즉, Ai (i=1,2,…, n)를 대상들의 집합이라 할때, Satty는 {1/9, 1/8, …, 1, 2,…, 8, 9}와 같은 유한 집합으로 구성되는 유리수 행열 A 즉,

$$A=\begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \cdots & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

의 사용을 제안하였다.

이때, 행열 A의 각 요소는 일대비교판단의 결과를 나타낸 것으로서 $a_{ij}=1/a_{ji}$, $a_{ii}=1$ 이며 trace가 n, $\lambda_{max}\fallingdotseq n$, 기타 고유치는 0에 접근하다.

이같은 일대비교의 개념의 활용은 Federov, Lootsma, Triantaphyllou등 많은 연구자의 관심을 야기 시켰다[2][4][9].

그러나, 본 연구에서는 시간차를 두고 무작위로 제시되는 n(n−1)/2 회의 비교판단에서 $a_{ij}=1/a_{ij}$ 혹은 $a_{ij}\neq 1/a_{ij}$ 즉, 관능평가자의 시간효과로 인해 동일한 쌍에 대해서도 달라질 수 있음을 전제로 하였다.

따라서, $a_{ij}\cdot a_{ji}=1$ 이면 시간효과는 없고, $a_{ij}\cdot a_{ji}\neq 1$ 이면 시간효과가 있다고 한다.

만약, 대상 A_i가 A_j와 비교해서 1 이 아닌 값중 하나를 취한다면 A_j는 A_i와 비교할때 역수의 값을 나타내게 된다.

행열 A가 완전일치인 경우 요소 $a_{ij}=W_i/W_j$ (W_i, W_j는 대상 A_i의 실제값)와 역수행열 A는 일치하게 된다.

즉, $a_{ij}=a_{ik}\cdot a_{kj}$ (i, j, k=1, 2,…, n)…… (3)

이 경우 A는 0 이 아닌 고유치 즉, λ=n이고 계수(rank)가 1 이다.

따라서,

$A(t)\cdot X(t)=nX(t)$, X(t)는 고유벡타…… (4)

또한, $a_{ij}=W_i/W_j$ 이므로

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij}\cdot W_j = \sum_{j=1}^{n} W_i = n W_i \quad (i=1, 2,\cdots, n)\cdots (5)$$

혹은

$A(t)\cdot W(t)=nW(t)$, …… (6)

이다.

式(5)에서 n은 고유벡타 W(t)에 상응하는 A(t)의 고유치이며 $a_{ij}=a_{ik}\cdot a_{kj}$ 일때 대상 A_i의 상대가중치인 벡타 W(t)가 행열 A(t)의 고유벡타이다.

또한, 요소 a_{ij}가 실제비율 W_i/W_j와 일치하지

않는 비일치일 경우 일대비교는 완전한 구조가 되지 못하며 이때 式(3)은 모든 쌍에서 성립하지 않는다.

요소 a_{ij}가 다소 변하면 고유치는 이와 유사한 경향을 나타내고 최대고유치는 $n(\lambda_{max}\rangle n)$에 접근하고 나머지는 0에 접근한다.

이같은 비일치일 경우 상대가중치는 최대고유치 λ_{max}에 상응하는 고유벡타에 의해 구할 수 있다.

즉, $A(t) \cdot W(t)=\lambda_{max}\ W(t)$, $(\lambda_{max}\approx n)$을 만족하는 고유벡타 W(t)를 구한다.

Ⅳ. 능력판별의 정합성평가

관능평가자의 판단능력을 평가함에 있어서 정합도(consistency index : CI)를 평가의 척도로 사용할때, $a_{ik}=a_{ij} \cdot a_{jk}$가 모든 i, j, k에 대해 성립하면 행열 A는 정합성이 있다고 하고 정합도(CI)를 $CI=(\lambda_{max}-n)/(n-1)$ 으로 나타낼때 정합성이 약할수록 이 값은 커지게 되는데, 본 연구에서는 최대고유치와 이에 상응하는 고유벡타를 Power방식의 알고리즘을 사용하여 구하였다.

또한, Satty등은 두대상의 선호도(relative importance)를 정하기 위해, 주대각 요소는 1, 그 외는 {1/9, 1/7,⋯,1/3, 1, 3, 5, 7, 9}의 값으로한 $n(n-1)/2$ 개의 값을 무작위로 추출하여 500~1,000개의 n×n행렬로부터 정합도의 평균을 취한 무작위 정합도(random consistency index : RC)를 제시하였다.(表 2)

표 2. 무작위 정합도

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RC	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

여기에서 정합비(consistency ratio : CR)를 CR=CI/RC이라 할때 $CR\leq 0.1$ 이면 관능평가자의 판단에 정합성이 있다고 하고 대상간의 상대적 선호도로서 구한 서수적(ordinal)순위에 무리가 없다고 할 수 있다.

따라서, 고유구조분석에 의한 관능적 판단능력을 신뢰받기 위해서는 Triantaphyllou[9]등이 제시한 바와 같이 CR이 매우작은 값이 될때까지 미숙련관능평가자의 습숙을 유도함이 바람직하나 현실적으로 무리가 따르므로 본 연구에서는 $CR\leq 0.1$을 기준으로 한다.

또한, 평가대상이 둘이상의 관능특성을 가지며 이러한 관능특성에 대한 평가가 시간차를 두고 이루어질때, 인간의 감각역치(sensoring threshold value)는 시간효과의 영향을 크게 받는데, 일반적으로 자극의 제시시간이 길수록 정합도는 높아지나 장시간 제시되면 오히려 정합도는 낮아지며, 시간적으로 선행 또는 후행하는 자극을 과대평가하는 경향이 있음이 알려져있다. 즉, 대상의 객관적 순위에 무관하게 시간효과에 따라 동일한 두 대상(1쌍)간의 선호도를 과대, 과소평가하는 경우 전자를 正의 시간효과, 후자를 負의 시간효과라 하면 평가자 O_l $(l=1,2,\cdots,m)$에 대한 시간효과(TE : time error)는 행열 $A=\{a_{ij}\}$로부터

$$TE(O_l)=\sum_{i}^{n}\sum_{j}^{n}\{1-(a_{ij} \cdot a_{ji})\} \cdots\cdots\cdots\cdots (7)$$

으로 구할 수 있고 $TE(O)=0$ 이면 시간효과는 없다고 하고

$TE(O_l)\rangle 0$ 이면 正의 시간효과

$TE(O_l)\langle 0$ 이면 負의 시간효과가 있다고 할 수 있다.

이상, 관능평가자의 판단능력판별 절차는 다음과 같다.

〈1〉 시점 t_1에서의 관능평가자 O_l 의 대상 i, j 에 대한 일대비교치를 주대각의 상부에 기입한다.

〈2〉 시점 t_2에서의 관능평가자 O_l 의 대상 i,

j 에 대한 일대비교치를 주대각의 하부에 기입한다.

〈3〉 위에서 얻어진 평가치에 대해 음의 요소를 양의 역수로, 주대각요소를 1로 변환하여 비일치 역수행열을 구축한다.

〈4〉(3)에서 구축한 각 역수행열에 대해 최대 고유치와 이에 상응하는 고유벡타를 계산 하여 고유벡타행열을 구축한다.

〈5〉 CR≤0.1 을 기준으로하여 평가능력을 판별한다.

〈6〉 관능평가자에 대한 CI값과 CR값을 계산하여 [Min{CR}/각 관능평가자의 CR값}을 기준으로 각 평가자의 가중치를 계산하여 대상가중치벡타를 구축한다.

〈7〉 고유벡타행열과 가중치 행열을 곱하여 순위가중치벡타를 구축하고, 대상에 대한 순위를 부여한다.

V. 실　험

자동판매기의 커피한잔은 커피 2.5g, 프림 10g, 설탕 10g 및 물 100g으로 만들어진다.

먼저 설탕을 10g으로 고정하고 커피의 함량(A특성)을 2.0g(A_1), 2.5g(A_2), 3.0g(A_3)로 변화시키고, 프림의 함량(B특성)을 8g(B_1), 10g(B_2)로 변화시켜 A, B특성에 관해 관능평가 대상을 A_1B_1, A_1B_2, A_2B_1, A_2B_2, A_3B_1, A_3B_2 의 6개 특성조합으로 정하고 이들을 ① ② ③ ④ ⑤ ⑥으로 나타낸다.

평가자는 커피를 좋아하는 학생 10명(남자 7명, 여자 3명)으로 하고, 실내에서 수온 90℃의 조건으로 미각테스트를 하였다.

또한, 기호효과(code bias)및 잔존효과(residual effect)를 방지하기 위해 겊의 번호는 알파벳으로 밑바닥에 기입 하였고 1개 시료에 대한 평가후 물로 입안을 충분히 가시도록 하였다.

1개 시료당 평가에 소요된 시간은 약 2분, 30개 쌍에 대한 1인당 소요 시간은 휴식시간 2시간을 제외한 3시간(오전 90분, 오후 90분), 1일 2명으로 5일이 소요되었으며, 그외 평가방법에 대해서는 일반적 관능검사절차에 따랐다.

表 3의 평가자별 평가치에서 대각선 상,하부의 15개 시료 쌍은 무작위 순서로 제시 되었으며 대각선 상,하부도 평가자에 따라서 오전

표 3. 평가자별 평가치 (초기 데이타 행열)

O_1	O_1						O_2						O_3						O_4						O_5					
i \ j	①	②	③	④	⑤	⑥	①	②	③	④	⑤	⑥	①	②	③	④	⑤	⑥	①	②	③	④	⑤	⑥	①	②	③	④	⑤	⑥
①		-3	-9	-5	-7	-5		5	-3	3	-3	-5		-3	-7	3	-7	-9		3	-9	-5	-3	-7		3	1	3	-5	-5
②	3		-9	1	-5	-3	-5		-7	3	-7	-5	4		-3	5	-5	-7	1		-9	-7	-3	-9	-3		3	1	-9	-9
③	9	7		5	1	3	5	7		9	-3	3	5	3		5	1	-5	7	9		5	7	1	2	-5		3	-3	-3
④	3	5	-7		-3	-3	-7	-3	-7		-9	-5	1	-3	-5		-7	-9	7	5	-9		1	-3	-5	-3	-5		-9	-9
⑤	7	5	-3	5		3	7	5	1	9		5	7	5	-5	5		-3	3	5	-3	2		-5	5	9	3	9		1
⑥	5	5	-3	3	-3		1	5	-5	7	-3		7	3	5	5	1		3	7	1	1	3		7	5	3	9	2	

O_1	O_6						O_7						O_8						O_9						O_{10}					
i \ j	①	②	③	④	⑤	⑥	①	②	③	④	⑤	⑥	①	②	③	④	⑤	⑥	①	②	③	④	⑤	⑥	①	②	③	④	⑤	⑥
①		3	-5	1	-7	-5		1	-7	3	-3	-7		-3	-7	1	-9	-7		-2	-3	-5	-5	-9		-3	-5	-3	-9	-7
②	-3		-9	1	-9	-7	3		-3	5	1	-3	3		-3	3	-5	-7	1		-3	-7	-9	-7	3	-5	1	-9	-7	-7
③	7	7		3	-3	2	9	7		9	5	3	7	3		5	-3	-5	3	3		-5	-5	-7	7	5		-3	-7	1
④	1	-3	-5		-5	-3	-3	-7	-9		-7	-9	4	-3	-3		-7	-9	7	5	3		-5	-5	5	2	-5		-7	-5
⑤	9	9	3	5		5	2	1	-3	5		3	7	5	3	7		-3	7	8	5	3		-5	9	7	3	7		2
⑥	7	5	1	3	-3		7	1	-5	9	1		9	5	3	7	2		9	7	7	3	5		7	5	1	7	-3	

혹은 오후로 무작위로 정해지도록 하였다.

즉, 초기 데이타는 오전, 오후의 시간차에 따라 동일한 쌍에 대해서도 평가치가 다른 비일치구조의 행열을 이루게 된다.

또한, 능력판별 기준 CR을 구함에 Power방식의 알고리즘을 적용하기 위해, 表 3의 초기 데이타를 전술한 절차에 따라 조작하여 비일치 역수행열을 구축하였으며(表 4)이로 부터 구한

표 4. 평가자 O_1의 비일치 역수행열

i j	①	②	③	④	⑤	⑥
①	1	1/3	1/9	1/5	1/7	1/5
②	3	1	1/9	1	1/5	1/3
③	9	7	1	5	1	3
④	3	5	1/7	1	1/3	1/3
⑤	7	5	1/3	5	1	3
⑥	5	5	1/3	3	1/3	1

表 5. 평가자별 고유치 및 CR값

평가자 \ 대상 / 고유치		A_1B_1 ①	A_1B_2 ②	A_2B_1 ③	A_2B_2 ④	A_3B_1 ⑤	A_3B_2 ⑥	C R	대상가중치 벡 타
O_1	6.654	.078	.171	1.000	.295	.825	.484	.105	0.276
O_2	6.322	.259	.106	.743	.067	1000	.327	.052	0.558
O_3	6.271	.123	.266	509	.097	.589	1.000	.044	0.659
O_4	6.610	.103	.075	1.000	.302	.308	.546	.098	0.296
O_5	6.707	.240	.186	.236	.065	.905	1.000	.114	0.254
O_6	6.544	.111	.065	.482	.102	1.000	.401	.088	0.330
O_7	6.625	.093	.232	1.000	.047	.351	.330	.101	0.287
O_8	6.441	.088	.198	.422	.127	.752	1.000	.071	0.408
O_9	6.297	.065	.065	.130	.278	.502	1.000	.044	0.659
O_{10}	6.177	.071	.129	.377	.184	1.000	.607	.029	1.000
순위가중치벡타		0.544	0.684	2.432	0.745	3.524	3.251		
선 호 도		4.87%	6.12%	21.75%	6.66%	31.52%	29.08%		

평가자별 고유치및 CR값은 表 5와 같다.

즉, 선호도가 최대인 시료는 특성 A와 B의 상호작용으로 인해 ⑤(A_3B_1)가 되어 현행 특성조합(A_2B_2)을 조성할 필요가 있으며, CR≤0.1을 기준으로 할때 평가자 O_2, O_3, O_4, O_6, O_8, O_9, O_{10}이 판단능력이 있다고 인정된다.

Ⅵ. 결 론

제품의 품질이 관능적 특성으로 표현될 때 이에 대한 선호도 평가에서, 이용의 용이성과 高精度의 보증이란 잇점때문에 널리 이용되는 일대비교법을 적용하여, 관능평가자의 일대비교판단능력의 판별및 대상의 선호도 평가를 經時的측면에서 다루었다.

즉, 복합적 관능특성을 평가대상으로 할때, 일대비교의 평가치로 부터 비일치 역수행열을 구축하고 고유구조분석을 활용하여 특성의 선호도에 대한 시간효과의 영향을 분석 하였다.

그러나, 평가자가 전문관능평가 panel이 아닌 훈련 단계의 미숙련자일때, 평가에 공여된 제반조건 및 평가방법이 현실적으로 평가치의 精度에 크게 영향을 미치므로 정합성 척도로서의 CR값에 대한 객관적 보증이 다소 결여된다는 점과, 시간효과 이외의 각종 심리효과도 평가에 영향을 미친다는 점을 고려하여야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] Conklin E.S.(1967), "The scale of values method for studies in gentic psychology." Univ. Pre. Publ., 2, No.2

[2] Federov, V.V., Kuzmin,V.B., and Vereskov,A. I., 1982, Membership degrees determination from Saaty matrix totalities. Approximate Reasoning in Decision Analysis, edited by M.M. Gupta and E. Sanchez(Amsterdam: North－Holland).

[3] Kruskal,J.B.(1974), "Multidimensional Scaling by Optimizing Goodness of Fit to a Nonmetric Hypothesis," Psychometrika, 29－1, pp.1 ～ 27

[4] Lootsma,F.A., 1988, Numerical scaling of human judgment in pairwise－comparison methods for fuzzy multi－criteria decision analysis. Mathematical Models for Decision Support. NATO ASI Series F, Computer and System Sciences (Berlin: Springer),48,57～88.

[5] Peryam,D.R.(1970),Food preferences of men in the U.S. Armed Forces, Dept. of Army.

[6] Satty,T.L.(1985), "A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures," Journal of Mathematical Psychology, Vol. 15, No.3, pp. 234～281

[7] Scheffe ,H.(1962), "Anlysis of Variance for Paired Comparisons," J. Am. Stat. Ass., 47, pp.381 ～400

[8] Shepard,R.N.(1982), Multidimensional Scaling I, II, Seminar Press

[9] Triantaphyllou,E.(1989), "An Examination of the Effectiveness of Multidimensional Decision－Making Methods: A Decision－Making Paradox," International Journal of Decision Support Systems, No.5, pp.303～312