船舶の乗り心地評価に関する研究 (第5報)

—表情による心理的变化の客観的計測・評価—

学生員 平井達之* 正員 有馬正和**
正員 細田龍介**

Evaluation of Ride-Quality and Incidence of Seasickness (5th report)

—Objective measurement and evaluation of psychological situation

by means of facial expression analysis—

by Tatsuyuki Hirai, *Student Member* Masakazu Arima, *Member*
Ryusuke Hosoda, *Member*

Summary

The authors pointed out in the previous paper that it may be possible to understand / evaluate the psychological situation under stressed conditions analyzing facial expressions and feelings of subjects exposed to low-frequency oscillations.

The present paper deals with the objective measurements, analyses and evaluation of emotional and psychological situation from analyses of facial expressions deliberately expressed by subjects. They added blinks for taking the dynamic changes of facial expressions into account.

The method of discriminant analysis was applied to extract dominant parameters, and then the linear multiple regression analysis was applied to evaluate and estimate the relations between psychological situations and facial expressions.

Though the number of experiments is not many, they obtained results that psychological situation may be estimated from facial expressions with relatively high possibilities.

1. 緒言

船舶を初めとする乗り物の設計、製造、運用において、乗客の快適性の評価は極めて難しいことは良く知られている。また、乗り物に限らず、人工システムの設計から運用までの全般に亘って、高度且つ複雑な機能を持つマン・マシンインターフェイスが搭載されていることが多い。しかし、高度であり複雑であることが時としてヒューマンエラーを引き起こし、重大事故に繋がることは

最近の多くの事例が示すところである。

その理由の一つは、これらの高度な人工システムおよび搭載されているマン・マシンインターフェイスの設計において、操作する人間と機械の関係だけでなく、人間そのものまでもブラックボックスとして扱うことにあると考えるのは自然であろう。乗り物酔い発症やヒューマンエラー発生メカニズムが満足できるまでに解明されていない現状では致し方のないところかも知れないが、大量の人や貨物を運ぶ輸送機械の事故の多くは、人命は言うに及ばず、損害や周辺環境に与える影響も大きいことに十分な配慮がなされるべきであると考えられる。

日常的あるいは非日常的な外的刺激、内・外的ストレスに曝された状態における人体の反応を計測することは、技術的な困難さだけでなく、対象が人間であるため

* 大阪府立大学大学院

** 大阪府立大学工学部

に避けることのできない個人差や場合差による曖昧さに由来するところが大きい。特に、心理的反応を客観的に計測することは極めて困難とされてきた。

本研究は、船舶に代表される乗り物の乗り心地、乗り物酔いのメカニズムの解明に関する研究のための基礎研究として、人体に低周波動揺刺激を加えたときの生理・心理的反応を表情から評価しようとする研究の一環である。前報¹⁾において動揺暴露実験時に乗り物酔いを発症した被験者のビデオ映像と愁訴による心理的变化の解析を行った結果、眉間の幅、眼の開き、口の開きの変化を用いて表情と酔いの程度と関連づけることが可能であることを示すとともに、心理的变化という動的な変化を捉えるためには顔面表情の動的要素の計測・解析・評価が必要であること、動揺暴露中の人体および頭部の揺れの影響を補償する必要のあることなどを明らかにした²⁾。

本研究においては、頭部の揺れの影響を除くために、顔面を正面から撮影し、微細な表情の変化を捉えることのできる表情計測用ヘルメットを開発・製作した。次いで、表情評価によく用いられる6基本感情³⁾および乗り物酔い発症時の被験者によってしばしば表出される心理状態の変化を意図的に創出する実験を行った。本論文の目的は、創出される感情・心理状態の関係を客観的に計測・解析・評価することであるとともに、表情評価における動的な表情変化の影響を調べることにある。

現状では、ビデオ映像からの解析用データ作成が煩雑で時間を必要とするため、被験者数は少ないものの、表情解析を通して人間の心理的变化を客観的に計測・解析・評価することが可能であることが明らかとなったので、ここに報告する。

2. 表情の客観的計測

本研究においては、6基本感情³⁾および乗り心地に関連のある心理状態を表現する表情を客観的に把握することを目的とした表情計測実験が行われた。

2.1 表情計測装置および表情計測座標点の配置

前報¹⁾において指摘した通り、人体を動揺環境下においたとき、姿勢の変化、頭部の揺れなどのため、顔面に配置する計測点、標点間距離の測定が困難な場合が多い。

そこで、計測のための視点を被験者の顔面に対して一定に保つことのできる小型 CCD カメラ付きヘルメットを製作した。市販品のヘルメットを軽量化(総重量 890g)し、顔面前方約 26cm の位置に小型 CCD カメラ(約 35 万画素、外径 15mm)を装着した。CCD カメラも市販品であるが、頸椎の負担および視野の阻害、また心理的な威圧感を軽減するため CCD 部分と増幅器部分を切り離し

である。この方式により視点を顔面の相対的位置関係が略一定となり、微少な補正で顔面表情のかなり細かい変化を捉えることが可能となった。Fig.1 にヘルメットの装着の様子と取得画像の例を示す。

解析に用いる表情の特徴量を抽出するための顔面の測定位置は Fig.2 に示される通りであるが、実際には眼、眉、口部に総計 30 点の測点を置き³⁾、更に瞳孔の変位を計測するための 2 点を追加した。

2.2 感情および心理状態と表情の表出

表情表出実験において対象とした基本的感情は「幸福」、「驚き」、「恐怖」、「怒り」、「嫌悪」および「悲しみ」の 6 感情³⁾である。また、乗り物酔いを発症したときによく現れる心理状態として「だるい」(疲れて身体に力が入らない)、「こらえる」(苦しみ、痛みなどをじっと我慢する)、「気分が悪い」「眠い」、「うつろ」(気力や生気を失い、ぼんやりしている)および「平静」の 5 状態を採り上げた。心理状態としてはマイナスイメージの変化を挙げているが、これは乗り物酔いを想定しているためである。以上の感情および心理状態を意図的に創出し、表情として表出することを被験者に依頼した。

被験者の表情表出に際しては、被験者自身の判断で感情の強さや心理状態をイメージするよう依頼し、写真の呈示や言葉による詳しい説明は行わず、意味の捉え難い感情、心理状態についてのみ簡単な説明を行った。即ち、「嫌悪」に関しては「嫌なものを見たとき」、「気分が悪い」に関しては「酔いを発症して胸がむかむかする」、「うつろ」に関しては「脱力感があり、視点が定まらない」の語句を付加した。また、各被験者によって、イメージした感情の強さ、心理状態が異なると考えられるので、その度合いを知るために、実験後にアンケート調査を実施した。調査内容は各感情・心理状態について平静状態との差を 1: 少し, 2: まあまあ, 4: 非常に、の 3 段階の評点で評価してもらった。

Fig.1 Set-up of face expression measuring system and obtained image.

Fig.2 Measuring points.

2.3 表情表出実験

実験の手順は以下の通りである。

- ① 研究の目的、実験の内容を被験者に説明し、同意を得る。(informed consent の取得)
- ② 着座姿勢で CCD カメラ付きヘルメットを装着する。
- ③ 基本的感情を表す語句(「幸福」、「驚き」、「恐怖」、「怒り」、「嫌悪」、「悲しみ」)のカードを順番に呈示し、被験者の表情表出の準備ができた後、各表情を 15 秒間撮影する。
- ④ 乗り心地に関する心理的変化を表す語句(「だるい」、「こらえる」、「気分が悪い」、「うつろ」)、および「眠い」、「平静」のカードを順番に呈示し、被験者の表情表出の準備ができた後、各表情を 1 分間撮影する。
- ⑤ 表情表出の際の主観的な感情の度合いまたは心理程度に関するアンケートを実施する。

実験は研究室室内で行われ、被験者への外部からの影響はできるだけ排除した。CCD カメラで撮影された表情は、ビデオテープに録画された。なお、被験者は大学教員、学生の成年男子述べ 13 名である。内 2 名については、日常眼鏡をかけているが実験は外した状態で行った。

3. 表情評価特微量の抽出

解剖学的見地からは、表情の表出は顔面表情筋によってなされ、さらに顔面神経系によってコントロールされている。従って、感情の強さや心理状態と表情との間の神経-筋肉系の働きを考慮に入れるべきであろうが、現状ではこの働きを計測する手段を持たない。そこで顔面におかれた測点の動きと感情の心理状態を工学的手段によって関連づける。

3.1 表情のサンプリング

ビデオ映像として収録された画像の取り込み、代表フ

レームの決定等に関して前報¹⁾と同じであるので省略する。

本報においては、表情の動的変化を計測する一方法として、1 分間のビデオ映像から瞬目に関する諸特微量を抽出したので、その方法について述べておく。

Fig.3(a)に示されるように、黒目部分は眼瞼の開閉動作により拡張するため、この部分を捉えることで瞬目を把握できると考えられる。しかし、眼球は上下左右に動くため、眼瞼の動きを正確に把握するために Fig.3(b)に示すように範囲を設定し、表情ごとに閾値を定めて 2 値化²⁾を行い、黒目部分の垂直方向最大画素数を計測した。この処理を各表情について 15 フレーム/秒のサンプリングレートでデジタル画像に施し、時系列波形データを作成した。

Fig.3 Method for generating time-history.

3.2 表情パラメータの抽出

本研究は、表情パラメータを指標として感情の強さや心理的状态を客観的に認識・評価することを目的としている。従って、一般に静的な表情表出が評価対象となる感情の評価のための表情パラメータとしては、15 秒間の映像の中で離散的に現れる特異な表情を除き、定常的と見なせる静止画像と平静状態との差をパラメータ値として抽出した。また、心理的変化を表す表情は、計測点の動的な変化を調べる必要があるが技術的困難さのため真に動的な変化を抽出してはいない。従って、感情表現の場合と同様のパラメータ抽出を行った。但し、本報においては動的な特徴を最もよく表現すると考えられる瞬目を動的パラメータとして採用し、表情評価に用いることにした³⁾。

Fig.2 に示される測点の変位量および和、差を用いて

16項目を設定し、評価に用いるのに十分でない項目および従属性のある項目を除き11項目を表情パラメータとして採用した。表情パラメータの値は目頭間の距離を用いて正規化した。

一方瞬目に関しても、Fig. 3(e)に示される時系列波形より9項目の量を抽出し、重要性の低いもの、従属性のあるものを除いて6項目の瞬目パラメータを採用した。表情パラメータおよびその定義は以下の通りである。

- (1) 外側眼瞼交連(目尻)上下方向変位 $(3y+4y)/2$
- (2) 下眼瞼上下方向変位 $(5y+6y)/2$
- (3) 眼の開き $\{(7y-5y)+(8y-6y)\}/2$
- (4) 眉と上眼瞼の距離 $\{(9y-7y)+(10y-8y)\}/2$
- (5) 眉上下方向変位 $(9y+10y)/2$
- (6) 眉間の距離 $12x-11x$
- (7) 瞳孔中心上下方向変位 $(17y+18y)/2$
- (8) 口角上下方向変位 $(13y+14y)/2$
- (9) 上唇上下方向変位 $16y$
- (10) 口の開き $16y-15y$
- (11) 口角左右方向変位 $14x-13x$
- (12) 瞬目率
- (13) 群発性瞬目発生率
- (14) 平均[開→閉]時間
- (15) 平均瞬目持続時間
- (16) 平均瞬目周期
- (17) 平均瞬目振幅

(1)~(11)に示されるパラメータはすべて変化量を表し、長さ単位で表す。定義式の数字はFig. 2の測点の位置を示し、xは水平方向、yは上下方向を意味する。(1)~(11)の中で(7)の瞳孔中心上下方向変位は従来表情評価で取り扱われたことはないが、有意であると考えられるので採用した。(12)の瞬目率は1分間あたりの瞬目回数、(13)の群発性瞬目は瞬目周期が1秒未満の瞬目と定義し、その発生率は1分間の瞬目回数における群発性瞬目発生回数を比率で表した。(14)の平均[開→閉]時間は、眼瞼が閉じるまでの時間を、(15)の平均瞬目持続時間は瞬目の動作時間を、(16)の平均周期は瞬目開始点から次の瞬目開始点までの時間を、それぞれ1分間あたりの平均値として表したものである。(17)の平均振幅は瞬目時における眼の開き幅の平均値を「平静」時の開き幅の平均値で無次元化したものである。

Fig. 4に感情および心理状態の表現のために表出された表情パラメータ値の平均を示す。図中の(1)~(11)の表情パラメータにおける縦軸は目頭間の距離に対する特徴量の比(%)を表す。瞬目に関しては、群発性瞬目発生率(13)を除いて全て「平静」の値で無次元化表示されている。但し、(13)に関しては全瞬目回数に対する群発性

瞬目の発生回数を表す。Fig. 4より6基本感情および心理状態によって表出される表情を以下のようにまとめることができる。

- 幸福 : 目を細め、口角を上げるように口を開く。
 驚き : 目を大きく見開き、口を開く。
 恐怖 : 驚きの表情に近いが強くない。目に大きな変化はない。
 怒り : 眉間にしわを寄せ、顔をしかめる。口の動きは小さい。
 嫌悪 : 少し顔をしかめ、目を細めるが、怒りの表情に近い。
 悲しみ : 眼を伏せる。口の動きは小さい。
 だるい : 上眼瞼が垂れ、少し口を開ける。まばたきの頻度は低い。
 こらえる : 眉間にしわを寄せ、口をつぐむ。まばたきの頻度は高い。
 気分が悪い : 上眼瞼が垂れ、伏し目がちとなる。まばたきの頻度は高い。
 眠い : 上眼瞼が垂れ、少し口を開ける。まばたきの頻度は高く、群発傾向がある。
 うつろ : 眼が細くなる。視線が定まらない。まばたきの頻度は低い。

これらの特徴は、他人の表情を観察する場合にもよく見られることから、本報で採用した表情パラメータは感情や心理状態の評価に適していると考えられる。

4. 統計的手法を用いた表情評価

人間の感情や心理状態に関係する諸量には曖昧さがあるとともに、諸量間の独立性も保証される訳ではない。このような場合にはファジィ積分、ファジィ測度の考え方の導入が望まれるが、本報で採用した17項目の要素を用いるとファジィ測度の推定に膨大な量の実験が必要となる。

そこで本論文においては、人間の感情や心理状態をカテゴリ変数、表情パラメータとして得られる特徴量を説明変数として、統計的な手法の一つである線形判別分析⁶⁾を行い、表情パラメータ17項目の重要度を求めるとともに感情、心理状態をどの程度判別可能であるかどうかを調査する。

次いで、最も高い判別率を与える表情パラメータを用いて、線形重回帰分析⁶⁾により回帰式を求め、回帰式による評価の可能性を調べる。

4.1 判別分析を用いた表情判別

抽出した表情パラメータから表情の判別を行う方法として線形判別モデル⁶⁾を考える。このモデルでは、測定値と各群の重心(平均ベクトル)との間のマハラノビ

Fig. 4 Contribution of facial expression parameters in expressing emotional and psychological situation.

スの汎距離が最小になるような群に判別を行う。モデル化に際して、少ない項目数で判別率の高いモデルを構築する必要がある。

項目選択方法は変数減少法を用いた。説明変数の候補すべてが含まれたモデルからスタートし、回帰係数の最小となる項目を順番に除外して判別を繰り返し、最適なモデルとして判別率が高く且つ項目数の少ないモデルを選択する。感情（6感情）を表す表情群（11パラメータ）、心理状態（5状態）を表す表情群（17パラメータ）および瞬目項目を除いた表情群による心理状態の判別結果を Fig5 に示す。図中の | は正解率の範囲を、●印は平均値を示す。Fig5(1),(2)より、感情を表現する表情群では7項目以上を用いたモデル、心理状態を表現する表情群では9項目以上を用いたモデルにおいて、比較的高い判別率が得られる。また、Fig5(2),(3)より、瞬目項目を除いたモデルでは極端に心理状態の判別率が低下することがわかる。このことから、静的な表情だけで心理状態の変化を捉えることが困難であることがわかる。

Table.1 に、Fig.5(1),(2)において最良と判断される判別が行われた場合(図中矢印で示す)の正解率、誤判別率を示す。各行の対角要素が正しく判断されたポイントで、他は誤判別のポイントを表す。全体的に判別分析による正解率が高いことがわかる。しかし、「恐怖」や「嫌悪」はここで採用した表情パラメータでは若干判別し難く、また、心理状態に関しても正解率が高いものの表情パラメータによって複合的に表現されることが理解できる。

Fig.5(1) Rate of discrimination succeeded (Emotional situation).

Fig.5(2) Rate of discrimination succeeded (Psychological situation).

Fig.5(3) Rate of discrimination succeeded without contribution of blink (Psychological situation).

Table1 Results of discrimination analysis. (%)

		Estimation					
		HAPPY	SURPRISE	FEAR	ANGER	DISGUST	SAD
Petition	HAPPY	91.7	0.0	8.3	0.0	0.0	0.0
	SURPRISE	0.0	83.3	16.7	0.0	0.0	0.0
	FEAR	8.3	16.7	58.3	0.0	8.3	8.3
	ANGER	0.0	0.0	0.0	75.0	25.0	0.0
	DISGUST	0.0	0.0	8.3	8.3	75.0	8.3
	SAD	0.0	0.0	16.7	0.0	16.7	66.7

		Estimation				
		feel WEARY	feel HARD	feel ILL	feel SLEEPY	feel HOLLOW
Petition	feel WEARY	66.7	8.3	16.7	0.0	8.3
	feel HARD	8.3	75.0	8.3	0.0	8.3
	feel ILL	8.3	16.7	58.3	8.3	8.3
	feel SLEEPY	8.3	8.3	8.3	58.3	16.7
	feel HOLLOW	8.3	0.0	0.0	0.0	91.7

4.2 線形重回帰モデルを用いた感情・心理状態の評価

本研究で行った実験では、被験者の感情の強さおよび心理状態のレベルを愁訴によって得ている。従って、被験者本人の主観に基づく感情や心理状態の度合いを客観的に評価するため、判別分析において最良と判断された表情パラメータ群を用いて線形重回帰分析⁶⁾を行った。得られた線形重回帰モデルを Table2 に示す。表中の () 内の数字は 3.2 に掲げた表情パラメータの番号を表す。

Fig.6 は、線形重回帰モデルを用いて評価した感情および心理状態である。図中の横軸は感情、心理状態の主観に基づく度合い（1：少し、2：まあまあ、4：非常に）であり、横軸にモデルによる評価値をプロットしたものである。また、図中の () 内は自由度調整済み相関係数である。全データ組数が少ないため、図中の相関係数（自由度調整済み）が負になっている例もあり、図の結果の全てが良好であるという判断はできない。しかし、図に示される関係からは、全般的に評価結果は良好であるが感情表現に関しては比例尺度とならない可能性が高いことを表している。一方、心理状態の変化に関して

Table2 Linear multi-regression model for emotional and psychological situation.

<Happy>	=	$-0.561 \times (3) - 0.453 \times (4) + 0.402 \times (5) + 0.006 \times (6) + 0.203 \times (8) - 0.231 \times (9) + 0.045 \times (10) - 1.862$
<Surprise>	=	$0.207 \times (3) + 0.287 \times (4) - 0.076 \times (5) + 0.010 \times (6) + 0.038 \times (8) + 0.140 \times (9) + 0.060 \times (10) + 1.126$
<Fear>	=	$0.117 \times (3) + 0.082 \times (4) + 0.176 \times (5) - 0.237 \times (6) + 0.064 \times (8) + 0.106 \times (9) + 0.051 \times (10) + 1.306$
<Anger>	=	$-0.020 \times (3) - 0.244 \times (4) + 0.270 \times (5) - 0.176 \times (6) - 0.061 \times (8) + 0.057 \times (9) - 0.121 \times (10) + 2.520$
<Disgust>	=	$-0.239 \times (3) - 0.169 \times (4) + 0.250 \times (5) + 0.005 \times (6) + 0.000 \times (8) - 0.076 \times (9) + 0.020 \times (10) + 2.163$
<Sad>	=	$0.414 \times (3) + 0.316 \times (4) - 0.004 \times (5) + 0.064 \times (6) - 0.248 \times (8) + 0.279 \times (9) - 0.044 \times (10) + 2.912$
<feel Weary>	=	$0.457 \times (1) - 0.054 \times (3) - 0.281 \times (7) - 0.012 \times (6) - 0.059 \times (11) + 0.013 \times (10) - 9.853 \times (13) - 1.323 \times (14) - 0.420 \times (16) + 6.171$
<feel Hard>	=	$0.583 \times (1) - 0.147 \times (3) - 0.002 \times (7) - 0.220 \times (6) + 0.072 \times (11) - 0.132 \times (10) - 1.194 \times (13) + 5.440 \times (14) - 0.290 \times (16) - 3.436$
<feel Ill>	=	$-0.032 \times (1) + 0.076 \times (3) + 0.177 \times (7) + 0.195 \times (6) - 0.054 \times (11) - 0.073 \times (10) - 0.103 \times (13) + 0.076 \times (14) + 0.699 \times (16) + 3.888$
<feel Sleepy>	=	$0.150 \times (1) - 0.078 \times (3) - 0.280 \times (7) + 0.171 \times (6) - 0.017 \times (11) + 0.052 \times (10) + 2.996 \times (13) - 0.242 \times (14) + 0.148 \times (16) + 1.340$
<feel Hollow>	=	$0.395 \times (1) + 0.349 \times (3) + 0.267 \times (7) - 0.750 \times (6) - 0.117 \times (11) + 0.093 \times (10) - 0.714 \times (13) + 3.078 \times (14) + 0.362 \times (16) - 2.732$

Fig.6 Estimation of emotional and psychological situation by linear multi-regression model.

は感情に比べて良好な評価値を与えていることがわかる。

4.3 統計的モデルの検証

4.1, 4.2 に示した線形判別分析モデル, 線形重回帰モデルの検証を行うために, 新たに用意した1名分のデータを用いて評価を行った。

Table3 に判別結果を示す。表に示される通り, 全体では7/11の正解率を与えることがわかる。この判別結果に対する評価は, 現在のところ下せない。

また, 線形重回帰モデルによる評価結果を Fig.6 に×印で示す。図より「怒り」, 「嫌悪」, 「気分が悪い」, および「眠い」に関する評価結果は満足できるが, 他については高い評価値を与えることがわかる。この不一致に関してはデータ数を増して信頼を上げることが可能であると考ええる。しかし, 「幸せ」に対する評価値について, 収録映像の表情を確認した結果, 眉, 上眼瞼に大きな差が見られた。これは, 全データによって構築される統計的モデルの中には, 個別的に現れる個人差あるいは場合差の影響を考慮することの難しさを示すものと考ええる。

Table3 Verification of discriminant analysis model using new subject's data.

Petition	Estimation	Judge
HAPPY	HAPPY	OK
SURPRISE	SURPRISE	OK
FEAR	SURPRISE	×
ANGER	DISGUST	×
DISGUST	DISGUST	OK
SAD	SAD	OK
feel WEARY	feel WEARY	OK
feel HARD	feel HARD	OK
feel ILL	feel SLEEPY	×
feel SLEEPY	feel SLEEPY	OK
feel HOLLOW	feel WEARY	×

5. 結言

著者等は本研究において, 表情の計測に関する改良, それに伴う表情表出データの精度向上, 表情評価における動的影響の瞬目による考慮を行い, 統計的分析法を組み合わせて用いることによって感情や心理的状態の客観的計測・解析・評価が可能であることを示した。

本報告において用いられたデータは総計13名分であるため普遍的な結論を得るには至っていない。しかし, 少ないデータ数にも拘わらず一定の傾向を導けたことは, データ数の増加に伴いモデルの信頼度向上に期待の持てることを示すものである。

更に, 表情の動的要素を加えることが心理的状態の評価に大きく寄与することは, 従来は静的な扱いをしてきた感情の評価にも必要であることを示していると考ええる。本論文で提案した表情評価モデルは, 乗り物酔い発症について評価する際に有効な手法として活用できると考える。さらに, ヒューマンエラーの発生メカニズム解明に応用することが可能であると考ええる。

本研究を遂行するにあたり被験者として協力された大阪府立大学工学部・海洋システム工学科学学生諸君に御礼申し上げる。

参考文献

- 1) 有馬正和, 平井達之, 細田龍介: 船舶の乗り心地評価に関する研究(第4報)ー乗り物酔い発症時の表情の変化ー, 日本造船学会論文集, No.184, pp.603-609, (1998).
- 2) P.Ekman, W.V.Friesen (工藤力訳): 表情分析入門, 誠信書房, (1987).
- 3) 原文雄: 表情認識システム, 感性の科学, サイエンス社, 東京, pp.132-136(1997).
- 4) 八木信之: C 言語で学ぶ実践画像処理, オーム社, 東京, (1992).
- 5) 田多英興, 山田富美雄, 福田恭介: まばたきの心理学, 北大路書房, 京都, (1994).
- 6) 田中豊, 垂水共之, 脇本和昌: パソコン統計解析ハンドブック II 多変量解析編, 共立出版, 東京, (1984).