

表情評価モデルによる乗り心地の評価

正員 有馬 正和* 正員 池田 和 外**

Evaluation of Ride Comfort using Facial-Expression Analysis Models

by Masakazu Arima, Member Kazuto Ikeda, Member

Summary

The authors have elaborated an evaluation method of ride quality using facial expression. They introduced the concept of Fourier Descriptor (FD) to characterise the outline of facial factors such as eyes and mouth. Two facial-expression analysis models were proposed so as to relate one's facial expression with his/her psychological state as fundamental emotions. One was modelled for estimating subjects' own emotion from their facial expression. The discriminant analysis was applied to classify facial expressions into the six fundamental emotions, and the optimised model with a comparatively small number of FDs could discriminate them with a high discrimination rate. The other was modelled for estimating emotions by other people from subjects' facial expression. Fuzzy measure theory was here introduced to model human ambiguous judgement in evaluation. In this paper, these facial-expression analysis models were applied to subjects' facial expressions who actually felt sick in motion-exposure experiments using a ship-motion simulator and in a high-speed passenger craft. To conclude, facial expression can be an objective physiological index of motion sickness and the proposed models were found to be useful to evaluate ride comfort from facial expression.

1. 結 言

本研究の目的は、眼や口の形状にフーリエ記述子法¹⁾を適用して、①表情の定量的表現、②表情と心理状態との関連付け、③表情評価モデルの構築を行い、表情から乗り心地や乗り物酔いの発症を推定・評価するための手法を確立することである。

著者等は、フーリエ記述子法を用いて表情要素（眼と口）の特徴表現を試みた結果、眼や口のように2次元閉曲線で記述できる表情要素は、フーリエ記述子によって定量的に表現でき、統計的手法のひとつである判別分析を用いることにより、表情からそのときの心理状態を判別できる可能性があるということを示した²⁾。

そして、乗り物酔い発症者に特徴的に見られる「うつろ」な表情には、表情要素のすべてにうつろである手掛かりが示される必要のあること、眼と口の組み合わせでうつろの状態を表現し得ることを明らかにした³⁾。

また、フーリエ記述子による特徴表現を表情（両眼と口）に適用し、心理学の分野で用いられる6基本感情⁴⁾との関連性を調べてモデル化を試みた。この表情判別モデルでは、フーリエ記述子によって定量的に表された被験者の表情から本人の申告に基づく基本感情を推定・評価することのできるモデルの構築を目指した。そして、統計的手法の判別分析や重回帰分析をモデルに適用することによって、高い判別率で表情から基本感情の推定・評価が可能なモデルを提案することができた⁵⁾。

さらに、基本感情を表出した表情を第三者が評価する際に、表情要素のどの部分に重点を置いて評価を行うのかを明らかにするために、ファジィ測度の概念⁶⁾を導入した表情評価モデルを構築し、表情評価実験の結果よりモデルの妥当性・有効性を明らかにした⁷⁾。

本研究の最終目標は、表情を客観的で非侵襲な計測が可能な唯一の生理指標として乗り心地や乗り物酔いの発症を評価することである。本論文では、前述の表情判別モデル⁵⁾と表情評価モデル⁷⁾を、船体動揺模擬装置（乗り心地シミュレータ）を用いた動揺暴露実験および大阪湾を就航する高速旅客船における実船実験で実際に乗り物酔いを発症した被験者の表情に適用し、表情が乗り物酔いの発症や乗り心地評価の指標となり得ることと、表情評価モデルによる乗り心地評価手法の妥当性・有効性を示す。

* 大阪府立大学大学院工学研究科

** ダイハツ工業株式会社
(研究当時 大阪府立大学大学院工学研究科)

2. 表情評価のためのモデリング

表情から乗り心地や乗り物酔いの発症を評価する場合、客観的指標を用いて定量的に表現された表情と本人の心理的状态との関連、および表情と第三者による表情評価との関連を明らかにする必要がある。そこで、本人の内部モデルとして構築した表情判別モデルと、第三者による外部モデルとして構築した表情評価モデルを、実際に乗り物酔いを発症した被験者の表情に適用する。

乗り心地や乗り物酔い発症の評価に「幸福」、「驚き」、「恐怖」、「怒り」、「嫌悪」、「悲しみ」の6つの基本感情を用いる理由は、乗り心地・乗り物酔いの発症が直接表情に現れるわけではなく、乗り心地の良し悪しや乗り物酔いの発症に基づく感情表現として表情に表出されると考えたことによる。なお、本研究で提案する表情判別モデルと表情評価モデルでは、いずれの感情をも表出していない「平静」の表情からの変化として捉えることで、眼や口といった表情要素の個人差による影響をできるだけ排除している。

2.1 表情判別モデル (内部モデル)

表情判別モデルは、表情からその人の心理的状态を推定するためのモデルである。まず、右眼・左眼・口の輪郭形状からフーリエ記述子を算出する。表情表出実験のデータを用いて予め同定した線形判別式を用いて、前述の6基本感情に対してこれら3つの表情要素ごとの感情確信度を求める。そして、右眼・左眼・口の感情確信度から重回帰式によって表情全体が表す感情確信度を求める。この表情判別モデルの特徴は、右眼・左眼・口の輪郭形状から直接その感情を推定・評価するのではなく、表情要素ごとの感情確信度を求めて、重回帰係数として表される右眼・左眼・口の重視度(評価における寄与度)を考慮したモデルとなっていることである。また、判別分析の変数減少法によって、少ないフーリエ記述子から判別することのできる最適モデルを構築した。

2.2 表情評価モデル (外部モデル)

表情評価モデルは、ある人の表情を第三者が見たときの評価を表現するためのモデルである。まず、右眼・左眼・口の輪郭形状からフーリエ記述子を算出する。そして、右眼と左眼のフーリエ記述子の平均値と差、および口のフーリエ記述子の3つを用いて基本感情の推定・評価を行う。これら3つの評価項目を選んだ理由は、第三者が他人の顔の表情を見てその人の心理状態を推定・評価する場合、表情要素の形状の細かな変化を見ているわけではなく、大まかな眼の形状や開き具合、眼の形状の左右差、口の形状を見ていると判断したことによる。表情評価モデルの概念図をFig.1に示す。

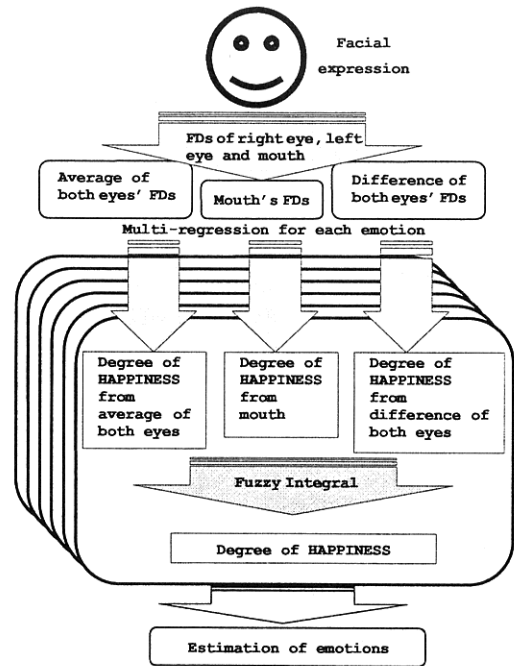


Fig.1 Schematic diagram of the facial-expression evaluating model.

この表情評価モデルの特徴は、どの評価項目が重要視されているかを考慮したモデルとするために、重視度をファジィ測度で表現したことである。両眼のフーリエ記述子の平均値、口のフーリエ記述子、両眼のフーリエ記述子の差の3つの評価項目から、重回帰式によって、それぞれの評価項目単独での基本感情の度合いを求める。そして、これらを個別評価値としてファジィ積分を行い、表情全体が表す基本感情の度合いを求める。なお、このモデルで使用したファジィ積分は、Choquet積分⁶⁾と呼ばれるものである。

3. 乗り物酔い発症者の表情評価

3.1 船体動揺模擬装置による動揺暴露実験

本研究では、大阪府立大学が所有する船体動揺模擬装置(乗り心地シミュレータ)⁸⁾を用いた動揺暴露実験で実際に乗り物酔いを発症した被験者の表情を解析した。動揺暴露実験は、1995年11月～1996年12月にかけて行われたもので、その詳細は文献⁹⁾に譲る。

動揺暴露実験では、動揺開始から5分ごとに乗り物酔いの発症程度をTable 1に示すような7段階で聞き取り調査している。聞き取り調査前後の定常的な表情を取得し、動揺開始前の乗り物酔いを発症していないときの表情を「平静」として、その表情からの変化をフーリエ記述子の差として解析に用いた。

Table 1 Subjective response scale¹⁰⁾.

Subjective Response	Corresponding Feeling
1	No symptoms
2	Any symptoms, however slight
3	Mild symptoms, e.g. stomach awareness but no nausea
4	Mild nausea
5	Mild to moderate nausea
6	Moderate nausea, but can continue
7	Moderate nausea, want to stop

乗り物酔いを発症した被験者の表情評価結果の一例を Table 2 に示す。表は、内部モデル (Int) と外部モデル (Ext) による 6 基本感情の評価結果である。被験者 TU39 は、乗り物酔いの発症程度が動揺開始時の「1. 普段と同じである」から 5 分後に「7. 気分が悪く、実験を続けることも困難である」となり、8 分 01 秒に嘔吐して動揺を停止した被験者で、被験者 YS41 は、動揺開始直後から「5. 少し気分が悪く、やや吐き気もする」で 3 分 57 秒後に本人の要望で動揺を停止した被験者である。被験者 KT65 は、途中で吐き気を訴えたが、その後「1」にまで快復した。被験者 YS53 は、20 分後に「5」に至り、22 分後に嘔吐している。

表より、乗り物酔い発症時には、「嫌悪」や「悲しみ」、「怒り」といった基本感情が表出されていると評価されることがわかる。いずれの表情も「幸福」と評価されたものではなく、乗り物酔い発症者の表情には「幸福」が現れにくいことから妥当な結果であると判断することができる。TU39 の外部モデルでは、「驚き」と評価されているが、これは口が開いたことによるものである。

以上のように、内部モデルと外部モデルを組み合わせることで、表情による乗り心地評価が可能となると考えられる。

3.2 高速旅客船による実船実験

株式会社 淡路開発事業団のご理解と全面的なご協力を得て、淡路島洲本港 (兵庫県洲本市) と関西国際空港 (大阪府泉佐野市) を結ぶ高速旅客船「パールブライト 2」(総トン数: 73 トン) で乗り心地評価のための実船実験を実施する機会を得た。計測項目は、船体運動と被験者の心電図および表情である。また、気分に関するアンケート調査も実施した。

船体運動の解析については別に述べる¹¹⁾が、本論文では、荒天時に乗り物酔いを発症した被験者の表情を用いて乗り心地の評価を試みた。

2004 年 10 月 21 日 (木) 洲本港 14:50 発、関西空港 15:39 着の上り第 5 便で、乗り物酔いを発症し嘔吐した被験者 2 名の表情に適用した結果を Figs. 2, 3 に示す。

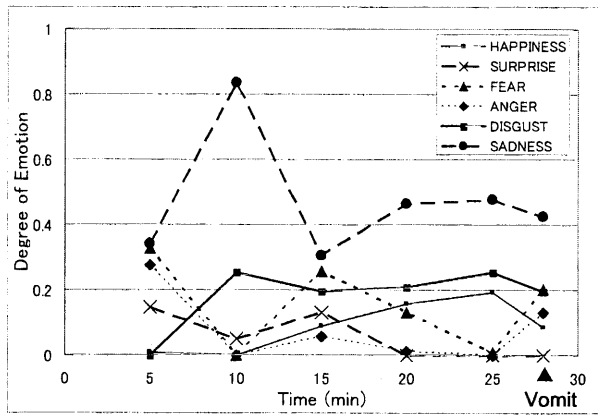
図は、横軸に出港後の時間を取り、縦軸には 6 つの基本感情の度合いを取って、その時間的変化を表している。出港直後の表情を「平静」として、出港後 5 分ごとの表情の変化を調べた。

Fig. 2 は、出港後 28 分過ぎに嘔吐した被験者 MF08 の表情評価結果で、(a) と (b) は、それぞれ内部モデル (表情判別モデル) と外部モデル (表情評価モデル) によるものである。内部モデルでは、10 分後に強く「悲しみ」と評価されているが、その後「嫌悪」や「悲しみ」、「恐怖」の評価が高くなっている。外部モデルでは、全体的に「驚き」の評価が高いが、25 分後以降「悲しみ」と「嫌悪」が高くなっている。

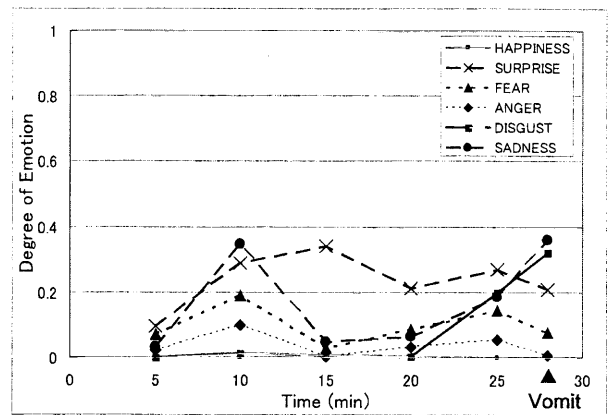
Fig. 3 は、出港後 26 分過ぎに嘔吐した被験者 KO09 の表情評価結果である。(a) に示す内部モデルでは、「悲しみ」と「嫌悪」の評価値が高いことがわかる。15 分後と嘔吐直前の 26 分後に「幸福」と評価されているが、これはアンケート記入後に作り笑いを浮かべているためである。(b) の外部モデルでは、「悲しみ」、「恐怖」、「怒り」と評価されており、15 分後以降「嫌悪」は低くなっている。

Table 2 Examples of facial-expression evaluation by the models.

SUBJECT	MODEL	HAPPINESS	SURPRISE	FEAR	ANGER	DISGUST	SADNESS
TU39	Int.	0.108	0.121	0.161	0.169	0.179	0.152
	Ext.	0.044	0.281	0.054	0.003	0.037	0.078
YS41	Int.	0.058	0.000	0.000	0.167	0.500	0.559
	Ext.	0.000	0.000	0.058	0.137	0.114	0.201
KT65	Int.	0.000	0.163	0.304	0.000	0.365	0.371
	Ext.	0.000	0.290	0.271	0.394	0.268	0.420
YS53	Int.	0.000	0.000	0.225	0.186	0.406	0.326
	Ext.	0.000	0.041	0.291	0.242	0.005	0.363

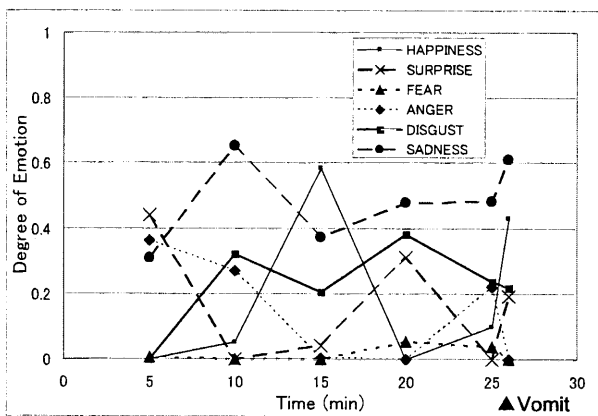


(a) Int. Model

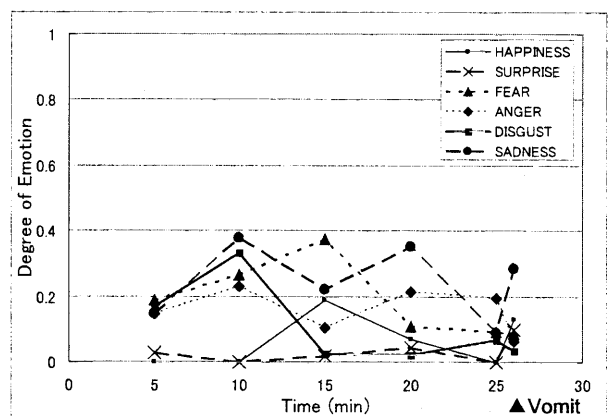


(b) Ext. Model

Fig.2 Time histories of facial-expression evaluation by the models (SUBJECT: MF08 who felt sick).

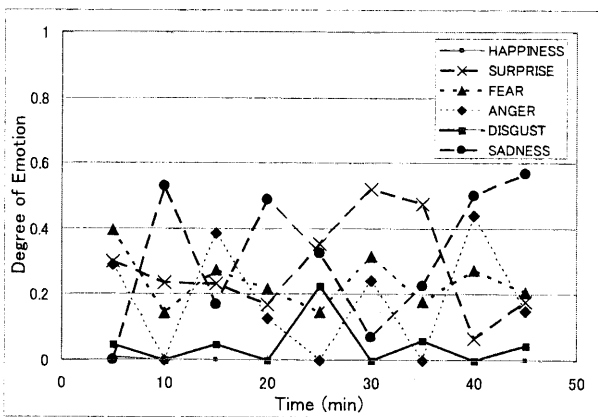


(a) Int. Model

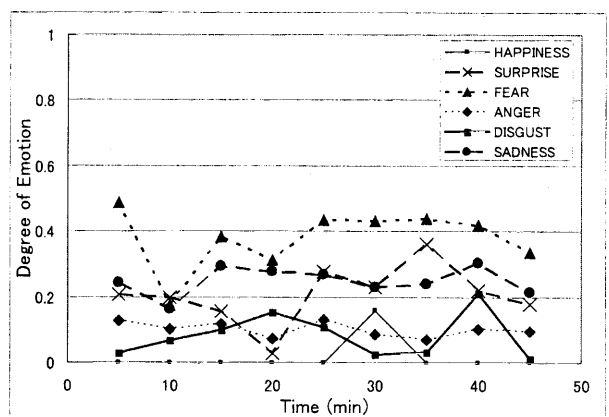


(b) Ext. Model

Fig.3 Time histories of facial-expression evaluation by the models (SUBJECT: KO09 who felt sick).



(a) Int. Model



(b) Ext. Model

Fig.4 Time histories of facial-expression evaluation by the models (SUBJECT: MY02 who did not feel sick).

15分後と嘔吐直前の26分後に「幸福」が少し高くなっているが、内部モデルのように顕著ではない。

次に、乗り物酔いを発症しなかった被験者の評価結果の一例を Fig.4 に示す。図の見方は、Figs.2, 3 と同一である。2005年2月21日(月)洲本港14:50発、関西空港15:39着の上り第5便で計測された表情である。図より、乗り物酔いを発症しなかった被験者では、(a)に示す内部モデルで

「悲しみ」や「驚き」が高いものの、乗り物酔いを発症した被験者に比べると「嫌悪」は明らかに低く評価されていることがわかる。この被験者は乗り物酔いを発症していないが、乗船中、緊張した面持ちであったため、特に(b)に示す外部モデルでは、全体的に「恐怖」が高く評価されている。また、乗り物酔い発症者に比べると「嫌悪」は低く評価されていることがわかる。

実船実験では、表情計測用のヘッドセットを装着した状態で5分ごとのアンケート調査を課せられているので、自然な表情を保つことは容易ではないと考えられる。しかし、それにも拘わらず、提案した表情評価の手法を用いて実際に乗り物酔いを発症した被験者の表情を解析すると、「悲しみ」や「嫌悪」、「恐怖」といった基本感情として評価されること、および乗り物酔いを発症しなかった被験者では「嫌悪」の感情は低く評価されているということから、提案する表情評価手法によって乗り心地や乗り物酔い発症の推定・評価が可能であると判断することができる。

4. 結 言

本研究では、これまで量的な表現が困難であった表情の解析にフーリエ記述子法を適用することによって表情要素の特徴表現を行い、心理学分野における6つの基本感情を表出した表情からその感情を推定・評価するための表情評価モデルを構築して、表情を客観的な生理指標とする新しい乗り心地評価手法を提案した。

本論文では、乗り物酔いを発症した被験者の表情に表情判別モデルと表情評価モデルを適用して乗り心地の評価を試みた。表情判別モデル(内部モデル)は、表情からその人の心理的状态を推定・評価するためのモデルで、表情評価モデル(外部モデル)は第三者による評価をモデル化したものである。そして、乗り物酔いを発症した被験者の表情では「嫌悪」や「悲しみ」が高く評価されたことは、表情を乗り心地や乗り物酔い発症の評価指標として用いることの可能性を示したもので、本研究が提案する表情評価手法が妥当なものであると結論づけることができる。しかしながら、モデルの構築過程では、基本感情を意図的に表出した20名分の表情データを用いてパラメータの同定を行ったために、現段階では実際に乗り物酔いを発症した被験者の表情を完全に評価できると断言することはできない。また、乗り物酔いを発症した被験者の表情データが少ないため、提案した表情判別モデルおよび表情評価モデルによる推定結果から乗り心地を定量的に評価するには至っていない。今後、実験データを蓄積することによって、乗り心地の定量的評価が可能で一般的なモデルのパラメータを得ることができると考えている。

また、本研究で提案した手法は、船舶の乗り心地や乗り物酔い発症の評価という船舶海洋工学分野の問題解決にとどまらず、新しいヒューマン・インターフェイスの構築に有効である。個人の生体認証技術や医療機関における患者モニタリング、交通機関の運転手/大規模プラントの操作者の体調管理、ドライバーの居眠り防止技術など応用対象は多く、社会的ニーズも広範囲に亘ると考えられる。

謝 辞

船体動揺模擬装置を用いた動揺暴露実験に被験者として協力して下さった大阪府立大学および大阪大学の学生諸君に改めて感謝する。

また、高速旅客船の乗り心地評価実験に対してご理解と全面的なご協力をいただいた株式会社 淡路開発事業団の森脇明宏部長および洲本パールライン「パールブライト2」の乗組員、関係各位に厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) C.T. Zahn and R. Z. Roskies : Fourier descriptors for plane closed curves, IEEE Trans. on Computers, Vol.C-21, pp.269-281, 1972.
- 2) 池田和外, 有馬正和, 細田龍介: 表情による快適性の評価に関する研究(第2報) —表情と心理状態の関連—, 関西造船協会論文集, 第242号, pp.155-160, 2004.
- 3) 有馬正和, 太田直幸, 池田和外, 細田龍介: 表情による快適性の評価に関する研究(第3報) —乗り物酔い発症時の表情の特徴抽出—, 関西造船協会論文集, 第242号, pp.161-166, 2004.
- 4) P. Ekman, W.V. Friesen (工藤力訳): 表情分析入門, 誠信書房, 1987.
- 5) 池田和外, 有馬正和, 細田龍介: 表情による快適性の評価に関する研究(第4報) —表情の特徴抽出による基本感情の評価—, 関西造船協会論文集, 第243号, pp.153-157, 2005.
- 6) 例えば, 室伏俊明, 菅野道夫: ファジィ測度論入門[VII], 日本ファジィ学会誌, Vol.4, No.2, pp.244-255, 1992.
- 7) 有馬正和, 池田和外: 乗り心地評価のための表情評価モデルの構築, 日本船舶海洋工学会論文集, 第1号, pp.145-150, 2005.
- 8) 細田龍介, 岸光男, 山田智貴, 有馬正和, 中島武士, 桜井秀一: 大阪府立大学海洋システム工学科 乗り心地シミュレータについて, 関西造船協会誌, 第220号, pp.145-151, 1993.
- 9) 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) —乗り物酔い発症時の表情の変化—, 日本造船学会論文集, 第184号, pp.603-609, 1998.
- 10) Golding, JF and Kergulen, M.: A comparison of nauseogenic potential of low frequency vertical versus horizontal linear oscillation, Aviation, Space and Environmental Medicine, 63, No.5, pp.491-497, 1993.
- 11) 有馬正和, 田村裕貴: 高速旅客船の乗り心地評価に関する研究(第1報) —船体運動の計測と解析—, 日本船舶海洋工学会論文集, 第2号, 2006(印刷中).