

QoE 状況依存性に係る同一ユーザ群の評価レンジのモデル化

江口 真人^{1,a)} 三好 匠² 矢守 恭子³ 山崎 達也⁴

受付日 2013年4月17日, 採録日 2013年9月13日

概要: ユーザ体感品質 (QoE: Quality of Experience) は, ユーザが主観的に知覚するネットワーク品質の評価概念であるため, 遅延時間, パケット損失率, 帯域といったサービス品質 (QoS: Quality of Service) が等しい状況下でも, ユーザが置かれた状況により QoE 評価は異なる. すなわち QoE は状況依存性を持つ. したがって同一ユーザ群の中でも QoE は同じ QoS レベルに対して, 状況に応じて異なる評価を持ち, QoE 評価のとりうる幅, すなわち QoE 評価レンジを形成すると想定される. 従来研究として QoE の状況依存性を扱ったものはあるが, QoE 評価レンジについては明らかにされていない. 本研究では, 同一の被験者群に対し, 3つの異なる環境下において Web 画面の表示待ち時間を変化させた場合の主観評価実験を実施した. そして外的な環境要因に影響を受けた被験者の心理状態により, 同じ QoS レベルに対して, 同一の被験者群が異なる QoE 評価を行い, QoE 評価レンジをモデル化した.

キーワード: ユーザ体感品質, 遅延, 状況依存性, QoE 評価レンジ, 潜在曲線モデル

Modeling of the Evaluation Range by a Group of Users Concerning QoE Situation Dependency

MASATO EGUCHI^{1,a)} TAKUMI MIYOSHI² KYOKO YAMORI³ TATSUYA YAMAZAKI⁴

Received: April 17, 2013, Accepted: September 13, 2013

Abstract: Quality of Experience (QoE) is a concept of evaluation for the network service quality that users feel subjectively. Therefore the QoE evaluation by a group of users would be different according to the situation they experience even under the same Quality of Service (QoS) condition. It means that the QoE value has an evaluation range, that is there is the situation dependency of QoE evaluation. In this paper, we design an experiment in which a group of respondents experience imposed delay for page transition time of a web application under three different situations. Using the experimental results, we are modeling the evaluation range of QoE value for the same respondent group reflecting its situation dependency.

Keywords: Quality of Experience, delay, situation dependency, evaluation range, latent curve model

1. はじめに

インターネットの爆発的な普及により, IP ネットワークは実質的に情報通信社会のインフラストラクチャとして不可欠なものとなってきている. その中核的な利用サービスとして, 映像および音声データのストリーミングやダウンロードがあげられるが, これらの情報通信サービスと, 遅延時間, パケット損失率, 帯域といったサービス品質 (以下 QoS: Quality of Service) 要因の関係についてはすでに多くの研究が行われてきた. 近年は, QoS 要因に加え, ユーザ体感品質 (以下 QoE: Quality of Experience) 要因が, 顧

¹ エヌ・ティ・ティ・コミュニケーションズ株式会社
NTT Communications Corporation, Chiyoda, Tokyo 100-0004, Japan
² 芝浦工業大学システム理工学部
College of Systems Engineering and Science, Shibaura Institute of Technology, Saitama 337-8570, Japan
³ 朝日大学経営学部
Department of Business Administration, Asahi University, Mizuho, Gifu 501-0296, Japan
⁴ 新潟大学大学院自然科学研究科
Graduate School of Science & Technology, Niigata University, Niigata 950-2181, Japan
a) m.eguchi@ntt.com

客満足を向上させるサービスを開発するためにも重要な品質評価指標となると考えられている。

QoE は ITU-T (International Telecommunication Union, Telecommunication Standardization Sector) によって定義 [1] された, 人間の知覚・認知特性を考慮した主観的な品質評価であり, 感情等によっても影響を受ける評価値である [2]。したがって, 同じ QoS レベルであっても, ユーザの置かれた状況により QoE 評価は異なるため, QoE には状況依存性が存在することが指摘されている [3]。QoE は知覚や認知に関する概念であるため, その定量化が課題である [4]。

状況依存性を持つ QoE は, 個々人の嗜好やそのときどきのユーザの心理状態や状況 (緊急度等) 等によって評価は左右される [5]。これまで, 携帯端末を用いた QoE の状況依存性に関する研究はいくつか行われている。文献 [6] では, 移動中という状況を外的な環境要因として設定し, 映像視聴の QoE 評価を実施している。文献 [7] では, QoE 評価に利用端末の違いが及ぼす効果を測定している。文献 [8] では, 環境要因による QoE 評価を考察している。具体的には, 実験室における実験では, 自宅等よりも平均オピニオン評点 (以下 MOS: Mean Opinion Score) を高く回答する傾向があることを示すことにより, QoE の状況依存性の定量化を行っている。さらに文献 [9] においては, ユーザがリラックスした状態ほど, MOS が高くなることを検証している。しかし, リラックスしている被験者群とリラックスしていない被験者群は別々の被験者群であるため, 同一被験者群内の QoE の状況依存性を検証しているわけではない。

本研究の目的は, ユーザ個人の状況に応じた要求に対応できる, よりカスタマイズされたサービス検討に資するため, QoE の状況依存性が同一ユーザ群に与える影響を明らかにすることである。そこで, 異なる状況下で同一ユーザ群の持つ QoE 評価の違いを, 介入を行った主観評価実験を行い測定する。そして得られた QoE 評価に対して有意差検定を行い, QoE 評価レンジをモデル化する。本研究では, 同じ QoS レベルに対し異なる状況下で生じる QoE 評価の違いを, QoE 評価レンジと定義する。QoE に影響を及ぼす環境要因は, 内的と外的の 2 種類に分類される。内的な環境要因 (内的要因) とはユーザの内的状態に起因するもので, 主な例はコンテンツに対する選好である。一方, 外的な環境要因 (外的要因) はユーザの外界にある環境から働きかけられるものであり, サービス利用の時間的制約や使用する端末の利用状況による影響が含まれる。本研究では, 外的要因の 1 つの例として心理的要因を取り上げる。リラックスしている状態を 1 つの状況として考え, また心理的な切迫を受けている状態を別の異なる状況として考え, 状況変化によって QoE 評価が変化することを実証実験で検証する。

江口らの研究 [10] では, QoS 要因である遅延が変化する

際に, 内的要因である個人の選好が QoE 評価に与える影響がモデル化されている。その結果, ユーザは見たいコンテンツは待ってでも見たいということが定量的に検証されている。文献 [11] では, 外的要因である時間的制約 (タイムプレッシャ) に着目し, 2 種類の異なるタイムプレッシャに対する被験者の QoE 評価の差を, 主観評価実験により測定した。その結果, タイムプレッシャの有無, およびタイムプレッシャの種類によって QoE 評価が異なることを示した。しかしながら, 文献 [9] と同様に異なる被験者を用いて主観評価実験を行っているため, 文献 [11] では, タイムプレッシャ要因よりも個人差要因すなわち個々人が持つ資質の方が, QoE 評価の差に影響を与えていると考えられる。本研究では, 文献 [9], [11] のアプローチとは異なり, 同一の被験者群に対して異なる外的要因を与える主観評価実験を行うことで, QoE 評価レンジのモデル化を行う。

本論文の構成は以下のとおりである。まず 2 章で, PC 上で Web の画面遷移時間を用いた主観評価実験の実験計画, ならびに使用した尺度について説明する。3 章では, 分析に用いた手法の説明と, 得られた推定値からの QoE 評価レンジのモデル化を行う。最後に 4 章で得られた結果からの示唆と今後の課題について述べる。

2. 主観評価実験の内容

2.1 実験環境

実験は, 芝浦工業大学システム理工学部で実施した。実験室における実験では, 自宅等より MOS を高く回答する傾向があることが指摘されている [8]。そのため, 実験実施場所は, 被験者である学生が普段の授業や自主学習において, 実際に使用している場所である PC 教室とした。実験用端末は, HP 社製デスクトップ PC dc7900SF/CT で, OS は Microsoft 社製 Windows XP Professional である。CPU は Intel Core 2 Duo E8400 (3GHz), メモリは 16GB DDR2 SDRAM 800MHz であり, ディスプレイは HP 社製 DVI-D 対応 17 インチ液晶ディスプレイ L1750, 画面解像度は 1,280 × 1,024 である。

2.2 実験タスク

本研究では, 外的要因から影響を受けた心理状態が QoE 評価に与える影響を測定するために, 同一の被験者群に対して以下に述べる 3 つの状況を想定し, 以下で述べる実験タスクを実施してアンケートで回答する実験計画とした。

被験者は 18 歳から 23 歳までの男女 48 人 (男性 42 人, 女性 6 人) である。実験タスクとしてインターネットを利用するアプリケーションを想定し, 複数の簡単な四則演算の計算問題を 90 秒の制限時間内に解く Web ページを作成した。これを, 2.3 節の実験計画で述べる 3 つの条件における同一の課題とし, 13 設問実施する。1 設問は, 複数の四則演算で構成されており, 制限時間内であれば回答後に

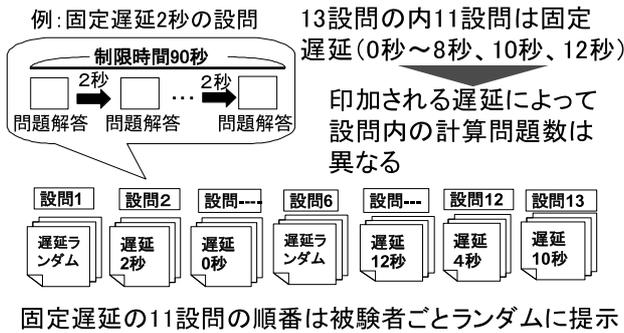


図 1 被験者への問題提示のパターン例
Fig. 1 An example of the pattern of the delay.

繰り返し問題が提示され、次の計算問題へ遷移するまでに遅延時間が印加される。被験者への問題提示のパターン例を図 1 に示す。

計算問題遷移に印加する遅延時間として、固定遅延とランダム遅延の 2 種類を用いた。固定遅延は、0 秒から 8 秒まで 1 秒間隔に設定した 9 設問と、10 秒と 12 秒に設定した 2 設問の計 11 設問より構成される。同一設問内の計算問題では同一の固定遅延が印加される。一方、ランダム遅延では、0 秒から 12 秒の遅延時間を 1 つの設問内における各問題間でランダムに決定する。ランダム遅延を用意した理由は、被験者が実験中に同じ時間間隔で問題が提示されることに気づき、その遅延時間を推測してしまうことによる QoE 評価のバイアスを避けるためである。なお、被験者に対する遅延時間の事前告知は行わない。

実験用の Web ページは JavaScript により実装しており、設問ごとに芝浦工業大学内の Web サーバからダウンロードされる。各設問内での計算問題遷移時の遅延印加はすべて被験者の PC 上で制御される。よって、ネットワークによる遅延の影響を受けない。

実験タスク 13 設問のうち、設問 1 と設問 6 をランダム遅延とし、残りを固定遅延とした。固定遅延を印加する 11 設問の提示順番は、被験者ごとにランダムとした。なお、各設問における解答制限時間は 90 秒間に設定されているため、印加される遅延時間の違いにより設問ごとの計算問題数は異なる。

実験タスクのトップ画面を図 2 に示す。

2.3 実験計画

本研究の実験計画は行動群と遅延の 2 要因被験者内実験計画 [12] となる。

実験は、前述した芝浦工業大学の PC 教室の列ごとに、ながら群、対照群、プレッシャ群の 3 つの実験実施場所を固定した。3 つの条件の実験に携わる順序によるバイアスを避けるため、クロスオーバ実験デザインとした。

今回のクロスオーバ実験においては、48 回の実験に対して、ながら群、対照群、プレッシャ群ですべて考えられる



図 2 実験タスクトップ画面
Fig. 2 The top screen of the experiment.

6 通りの順列組合せがそれぞれ 8 回ずつ出るように均等に配置したくじを作成し、被験者にはこれらの中から 1 つを無作為に選択させた。したがって、順序効果の影響はあるが、被験者群全体についての傾向は議論可能な実験になっていると考える。被験者は、くじ引きの結果に従い 3 つの実験実施場所を移動することで、各条件の実験を実施した。

(1) 「ながら行動群」(以下、ながら群)

— ユーザを心理的にリラックスさせる群

被験者に、外的要因の 1 つであるながら行動による介入を行い、PC で行う実験タスクにあまり集中する必要がないという状況を設定する。具体的には、TV 視聴を想定したながら行動を実施させる。TV を見ながら PC で作業するのは一般的に行われる行動である [13]。ながら行動をとる PC 利用においては、遅延時間に対するセンシビリティが低くなることが予想され、ユーザはそれほど接続品質が悪くなくても満足する(それほど高い QoS レベルを要求しない)と考えられる。本研究におけるながら行動では、実験用端末と同じ画面内で映像を視聴しながら 13 設問の実験タスクを実施することとし、そのときの QoE 評価を測定した。同一画面上におけるながら行動は、デジタルネイティブ [14] と呼ばれる世代の中でも、特に先進的なユーザが日常的に行う視聴行動であることが被験者へのインタビューから確認されている。先進ユーザのながら行動による QoE 評価について明らかにすることで、将来のユーザが要求する QoS レベルに関する知見を得ることが可能となる。再生する映像コンテンツは、NHK 総合テレビジョンの「ニュースウオッチ 9」(月-金曜日、21 時台放送) [15] とし、当番組を DVD に録画して各被験者の PC 上で再生する方法をとった。ニュース番組を選択したのは、TV を見ながら PC を利用するユーザの多くが主にニュース番組を見ているとの報告に基づく [16]。

なお、ながら群においては、録画されたビデオを再生しながら実行するという、比較的 CPU に負荷が大きい実行

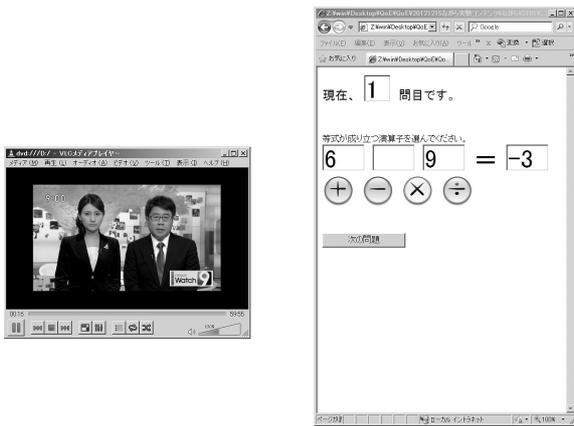


図 3 ながら群画面

Fig. 3 The screen of the simultaneous seeing and hearing group.

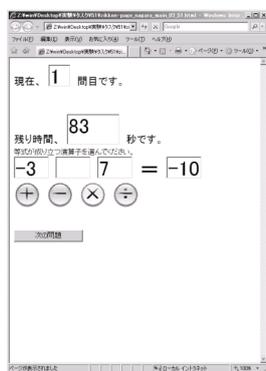


図 4 プレッシャ群画面

Fig. 4 The screen of the task pressure group.

方法となっている。しかしながら目視した範囲では、今回の実験における設定と比較して影響を与える可能性のある遅延は確認されていない。

ながら群の実験タスクの実行画面を図 3 に示す。

(2) 「タスクプレッシャ群」(以下、プレッシャ群)

— ユーザを心理的に切迫させる群

被験者に、問題を速く正確に解かせるための心理的な介入を行い、作業の重要度をあげることで実験タスクに集中させる状況を設定する。介入は、「この実験は企業と大学が共同で実施する、タスク実施に迅速さと正確さを要する非常に重大な実験である」というカバーストーリー [17] による教示を行うことで 13 設問の実験タスクを実施した。さらに、より被験者にプレッシャを与えるために、本実験条件のみ、被験者が四則演算を行う画面内で同時に残り時間が表示されるインタフェースとした。被験者は、心理的圧力により、遅延時間に対して非常にセンシティブが高くなることが予想され、よって高い QoS レベルを求めると考えられる。たとえば、学生が就職活動のためのエントリーシートを締切間際に企業のホームページにアップロードするような、重要度の高いタスクを PC で集中して行う状況を近似的に再現することを目的とした。

プレッシャ群の実験タスクの実行画面を図 4 に示す。

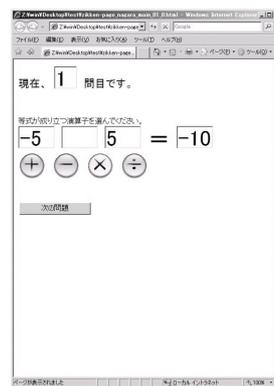


図 5 対照群画面

Fig. 5 The screen of the control group.

1. 「次の問題」ボタンを押してから、次の問題が表示されるまでの時間をどのように感じましたか(横線でチェック)



図 6 実験に使用した視覚的アナログ尺度

Fig. 6 The continuous scale used in the experiment.

(3) 「対照群」[18]

— 実験に介入しない群

ながら群、およびプレッシャ群への介入の影響を確認するために、介入がない状態で被験者が 13 設問の実験タスクを行い、そのときの QoE 評価を測定する群である。被験者の遅延に対するセンシティブつまり QoE 評価は、ながら群とプレッシャ群の中間に位置することが予測される。対照群の実験タスクの実行画面を図 5 に示す。

2.4 評価尺度

被験者は各設問が終了するたびに、そのときに体感した待ち時間に対する評価(質問項目: 「次の問題」ボタンを押してから、次の問題が表示されるまでの時間をどのように感じましたか)をアンケートに記入する。評価尺度として、ITU-R Rec. BT.500-11 [19] に準拠した連続尺度を用いる。これは視覚的アナログ尺度として知られ、線分の任意の箇所に印をつけることで被験者が対象に対する評価を回答するものである。被験者は視覚的アナログ尺度に横線

を記入し、待ち時間に対する評価を回答する。視覚的アナログ尺度の長さは 100 mm とし、グラフの最下端から被験者が記入した横線までの長さを測ることにより、QoE 評価の測定を行う。評価値は 1 mm を 1 に換算し測定する。実験に使用した視覚的アナログ尺度を図 6 に示す。なお、図で線分の右側の部分は、本論文の説明用に付け加えたものである。評価は 5 段階とし、1 段階目の評価語「1. 長いと感じた」を最下端から 10 mm の場所に、その後 20 mm 間隔で他の評価語を尺度上に示している。

3. 分析方法と実験結果

3.1 分析に使用した手法

図 6 のアンケートを用い、同一の被験者に対してながら群、対照群、プレッシャ群の 3 つの状況下で Web 画面遷移待ち時間に対する体感品質を、QoE 評価として測定した。一般に、待ち時間と QoE 評価の関係は、非線形であることが知られている。そこで、被験者の QoE 評価を、底を自然対数 e として対数変換し、線形関係にしたうえで分析に用いた。3 つの状況下での対数化した QoE 評価の状況依存性を定量化して明確化させるため、以下のように定式化する。ここで、 q は QoE 評価を表す。

$$q_{itj} = t \times \beta_{ij} + 1 \times \alpha_{ij} + e_{itj} \quad (1)$$

α_{ij} と β_{ij} はそれぞれ正規分布 $N(\alpha_i, \tau_i^2)$, $N(\beta_i, \eta_i^2)$ に従う。なお、 α_i と β_i はそれぞれ α_{ij} と β_{ij} の平均である。

ここで、式 (1) における添え字の i は 3 つの想定状況を表し、 $i = 1$ のとき「ながら群」、 $i = 2$ のとき「対照群」、 $i = 3$ のとき「プレッシャ群」とする。 t は、実際に印加した固定遅延時間を表し、 $t = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12$ の値をとる。 j は被験者を表す。また、 α_{ij} は切片、 β_{ij} は傾き、 e_{itj} は誤差を、 τ_i^2 は切片 (α_{ij}) の分散、 η_i^2 は傾き (β_{ij}) の分散を表す。この分析手法は、共分散構造分析のモデルの 1 つである潜在曲線モデル [20] である。分析の目的は、同一被験者群に対する 3 つの状況における切片と傾きを推定することである。推定に使用するモデルを図 7 に示す。図 7 の切片 (α) と傾き (β) は因子を表す。 $i = 1 \sim 3$ の各群の測定データを潜在曲線モデルで分析した結果、切片の因子には各群の切片の推定値と有意確率が出力される。また、傾きの因子には各群の傾きの推定値と有意確率が出力される。

潜在曲線モデルを使用した理由は以下の 4 点である。

- 計量心理学およびマーケティングサイエンスの分野で、時系列データや繰返し測定データの解析に用いられる定評あるモデルである。
印加される遅延に対する QoE 評価データの分析を考える。先行研究 [7], [21], [22] における各遅延に対する QoE の測定では、被験者に対してランダムな順序で遅延時間を提示することで主観評価実験を実施してい

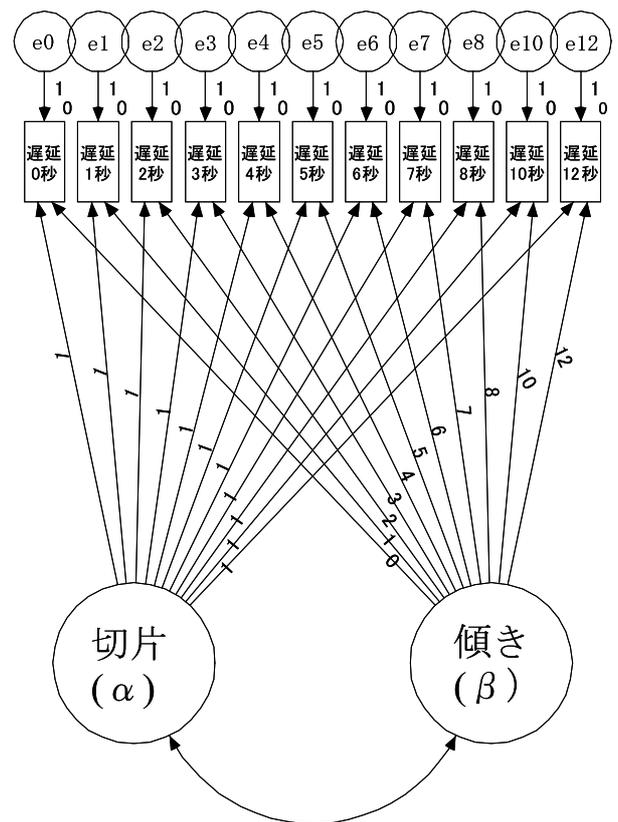


図 7 潜在曲線モデル

Fig. 7 The latent curve model.

る。よって、実際には被験者は遅延時間の短い順に体感するわけではない。これまでの分析では、遅延が時系列データであると仮定して分析を行っているが、分析結果には特に異常値は出ていない。このことから、ユーザはランダムな遅延に対しても時系列として体感する遅延に対してもそれほど時間感覚が変わらないものと考えられる。本実験においても、ランダムな順序で遅延時間を提示しているが、それを遅延が短い順に並べ替えたものを時系列データとして扱い、QoE 評価に対する分析を試みる。

- 因子である切片と傾きの推定値を、一次関数のパラメータである切片と傾きの代表値として解釈することができる。
潜在曲線モデルは、被験者ごとに異なるパラメータである直線の切片と傾きを表現するモデルである。個人的にパラメータを推定すると、推定精度は低くなる。潜在曲線モデルでは、パラメータ自身が確率分布に従う因子と想定するため、パラメータ数は大幅に減少する。しかも、因子である切片と傾きの推定値は、そのまま、一次関数のパラメータである切片と傾きの代表値として解釈することができる。本研究のように、多くの個人パラメータが存在するケースにおいて、有効な手法である。
- 統計的に群間の構造に有意差があるかどうか、多母集団の同時分析 [23] により厳密に検定することができる。

表 1 実験結果の平均と分散

Table 1 The mean values and the variances of logarithmic-converted QoE.

遅延時間 (秒)		0	1	2	3	4	5	6	7	8	10	12
ながら群	平均	4.533	4.300	4.143	4.080	4.033	3.986	3.834	3.849	3.735	3.581	3.453
	分散	0.008	0.085	0.087	0.127	0.117	0.145	0.396	0.296	0.320	0.421	0.504
対照群	平均	4.499	4.301	4.032	3.860	3.675	3.562	3.436	3.387	3.304	2.801	2.587
	分散	0.018	0.067	0.168	0.118	0.265	0.342	0.417	0.410	0.435	0.683	1.064
プレッシャ群	平均	4.503	4.176	3.953	3.650	3.649	3.409	3.287	3.112	2.845	2.644	2.267
	分散	0.411	0.455	0.374	0.330	0.267	0.405	0.541	1.190	1.219	1.718	2.808

表 2 3つの潜在曲線モデルの切片と傾きの推定値

Table 2 The mean values of intercepts and slopes in three latent curve models.

	ながら群	対照群	プレッシャ群
切片 (α)	4.385	4.391	4.340
傾き (β)	-0.081	-0.153	-0.177

$i = 1 \sim 3$ の3つの潜在曲線モデル, すなわち印加される遅延時間に対する QoE 評価の, 各状況間の変化構造に有意差があるかどうかを, 尤度比検定を使用して検定することができる. さらに, その検定結果は, 潜在曲線モデルから導出される $i = 1 \sim 3$ の3つの一次関数の有意差における検定結果とすることができる.

- モデルの切片と傾きの分散の有意確率を導出することで, 被験者個人間での QoE 評価の有意差検定ができる.

潜在曲線モデルの持つ大きな特徴であり, 分散分析や相関分析にはないものである. 切片あるいは傾きの分散が有意であれば, 被験者 1 人 1 人の切片あるいは傾きの QoE 評価には有意差があることとなる.

3.2 実験結果

主観評価実験により得られた QoE 評価を自然対数変換したときの平均と分散を, 遅延時間ごとに表 1 に示す.

3.3 切片と傾きの推定結果と検定結果

切片と傾きの推定結果を表 2 に示す. 切片と傾きの推定値の有意確率 P は, すべて $P < 0.001$ であった. ここで, 3つの潜在曲線モデル (以下, 3つの群) の切片の推定値, および傾きの推定値が統計的に異なることを明らかにするため, 以下の2つのモデルを設定し, 多母集団の同時分析によるモデル比較を行った.

モデル 1: ながら群切片, 対照群切片, プレッシャ群切片, およびながら群傾き, 対照群傾き, プレッシャ群傾きは等値でない, すなわち, モデルとして3つの群の切片と傾きは異なるというモデル. $AIC = 1647$.

モデル 2: ながら群切片, 対照群切片, プレッシャ群切片,

表 3 3つの潜在曲線モデルの切片と傾きの分散の推定値と有意確率

Table 3 The estimated variances of intercepts and slopes and significance probabilities for three latent curve models.

	ながら群	対照群	プレッシャ群
切片 (τ^2)	0 (定数)	0.006	0.066
有意確率		$P > 0.05$	$P < 0.01$
傾き (η^2)	0.002	0.004	0.005
有意確率	$P < 0.001$	$P < 0.001$	$P < 0.001$

およびながら群傾き, 対照群傾き, プレッシャ群傾きは等値である, すなわち, モデルとして3つの群の切片と傾きは同じであるという制約を置いたモデル. $AIC = 1688$.

2つのモデルの尤度比検定を行った結果, 帰無仮説であるモデル 2 は, 対立仮説であるモデル 1 が正しいとの仮定のもとで, $CMIN$ (適合度 χ^2 値) = 50.45, df (自由度) = 5, $P = 0$ で有意に棄却された. 帰無仮説が棄却されたことで, モデル 2 の適合は問題があることが分かった. したがって, 3つの群の切片, および傾きの推定値は統計的に異なることが検証された. また AIC の大小関係からもモデル 1 が採択される.

次に切片と傾きの分散の推定結果と有意確率を表 3 に示す. 切片においては, プレッシャ群のみ被験者個人間での対数化した QoE 評価に有意差が存在した. しかしながら一方で, 傾きにおいては, 3つの群のすべてに被験者個人間での対数化した QoE 評価に有意差が存在した. したがって傾きにおいては, 被験者 1 人 1 人の対数化した QoE 評価に, 有意差があることが検証された. 順序効果による影響もあるが, 全体としては相殺される実験方法をとっているため, 全体の傾向を見るうえでは問題ないと判断している. なお, 3つの群の分散の推定値が全体的に小さいのは, 測定データを対数変換したためと考えられる.

3.4 潜在曲線モデルから導出された一次関数

図 7 の潜在曲線モデルの切片と傾きを一次関数で表現したものが図 8 である. 縦軸は対数で示す. それぞれの関数は, 以下のとおりである.

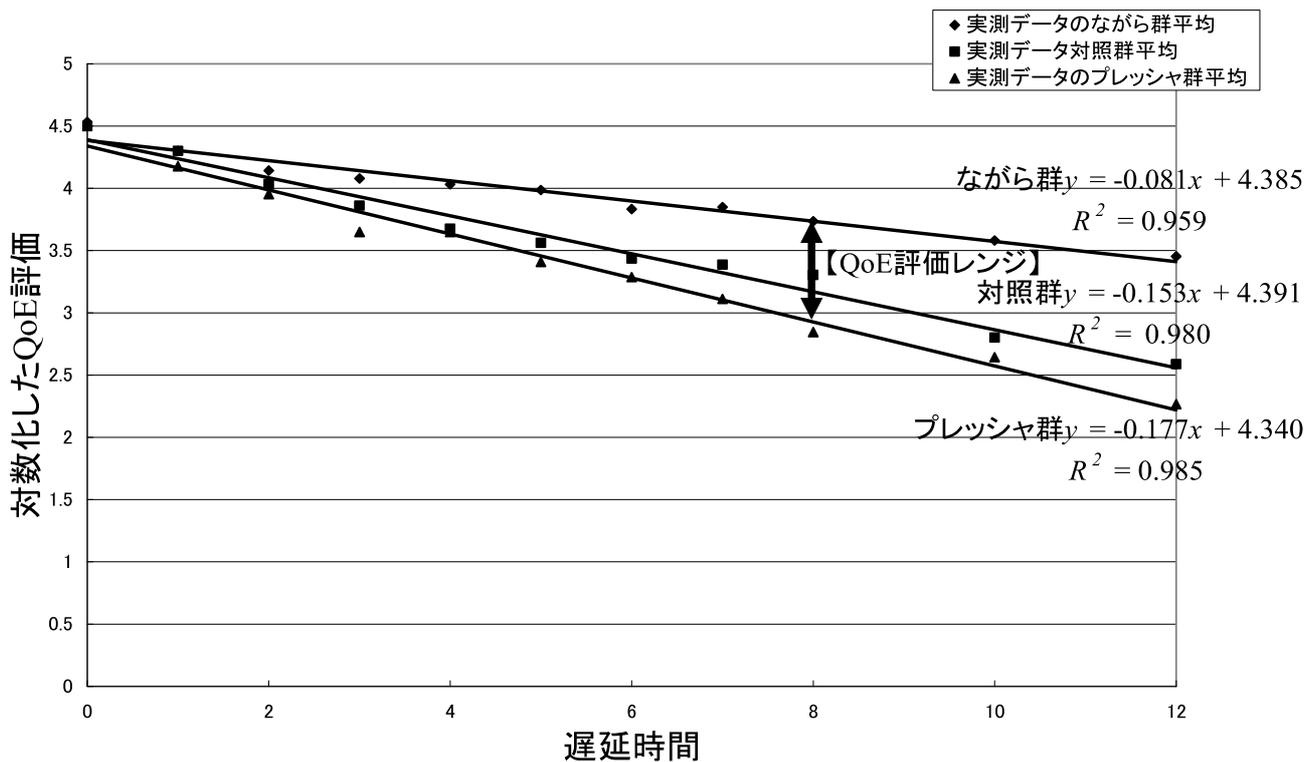


図 8 潜在曲線モデルの切片と傾きの推定値の一次関数化ならびに、実測データの平均値
 Fig. 8 Linear function models of the intercepts and slopes corresponding three latent curve models and the mean values of the measured data.

ながら群

$$y = -0.081x + 4.385 \quad (2)$$

対照群

$$y = -0.153x + 4.391 \quad (3)$$

プレッシャ群

$$y = -0.177x + 4.340 \quad (4)$$

図 8 では、印加した各遅延時間における被験者 48 人分の QoE 評価の平均値もあわせてプロットしている。潜在曲線モデルは、モデルに強い線形性の仮定をおくものである。

本研究では、前述のように QoE 評価は自然対数変換後の値を示しており、最大値は $\ln 100 \cong 4.61$ となる。図 8 では、同じ遅延時間に対し、被験者が置かれた状況により異なる QoE 評価を示すことが、視覚的かつ統計的に確認できる。このことから、QoE の状況依存性に係る QoE 評価レンジのモデル化がなされたと結論できる。

例として、ウェブサイト構築の際のガイドライン、または経験則の 1 つとして 1999 年頃までよく言われていた 8 秒ルール [24] に基づき、遅延時間 8 秒の QoS レベルに対する QoE 評価レンジの平均値を示す。図 8 より、遅延時間 8 秒の QoS レベルに対するながら群の対数化した QoE 評価は 3.74 である。分析の際に対数化したことを考慮して図 6 における QoE 評価に再変換すると、42.0 となり、満足度の評価は「ふつう」となる。一方、プレッシャ

群は、図 8 における対数化した QoE 評価が 2.92、図 6 における QoE 評価は 18.6 となり、満足度の評価は「不満足」となる。このことから、遅延時間 8 秒という QoS レベルに対して、同一ユーザの群間における満足度が大きく異なっており、広い QoE 評価レンジが存在していることが分かる。また、遅延時間に比例して、QoE 評価レンジの幅が広がる傾向として確認できる。

一方、図 8 において、図 6 の QoE 評価が 40 (「3. どちらともいえない」と「2. どちらかといえば長いと感じた」の中間値) と被験者に評価される遅延時間を考察する。この値を下回ると、ユーザの満足度はやや不満足となる。QoE 評価の対数化を考慮すると、図 8 における対数化した QoE 評価は 3.69 となる。図 8 より、ユーザがやや不満足に感じ始める遅延時間は、ながら群で 8.59 秒、プレッシャ群で 3.68 秒となる。ながら行動によりリラックスした状態で実験タスクを行う状況と、プレッシャを感じながら集中して速く正確に実験タスクを行う状況では、QoE 評価 40 に対して遅延時間で 4.91 秒の差があることが分かる。このように、同じ QoS レベルから QoE 評価レンジを計算するのは反対に、同じ QoE 評価から QoS レベルを対比させることで、同一ユーザ群の中で、やや不満足に感じ始める遅延時間に大きく差があることが分かる。

以上の結果から、本研究において QoE の状況依存性が同一ユーザ群に与える影響を明確化できたと結論できる。

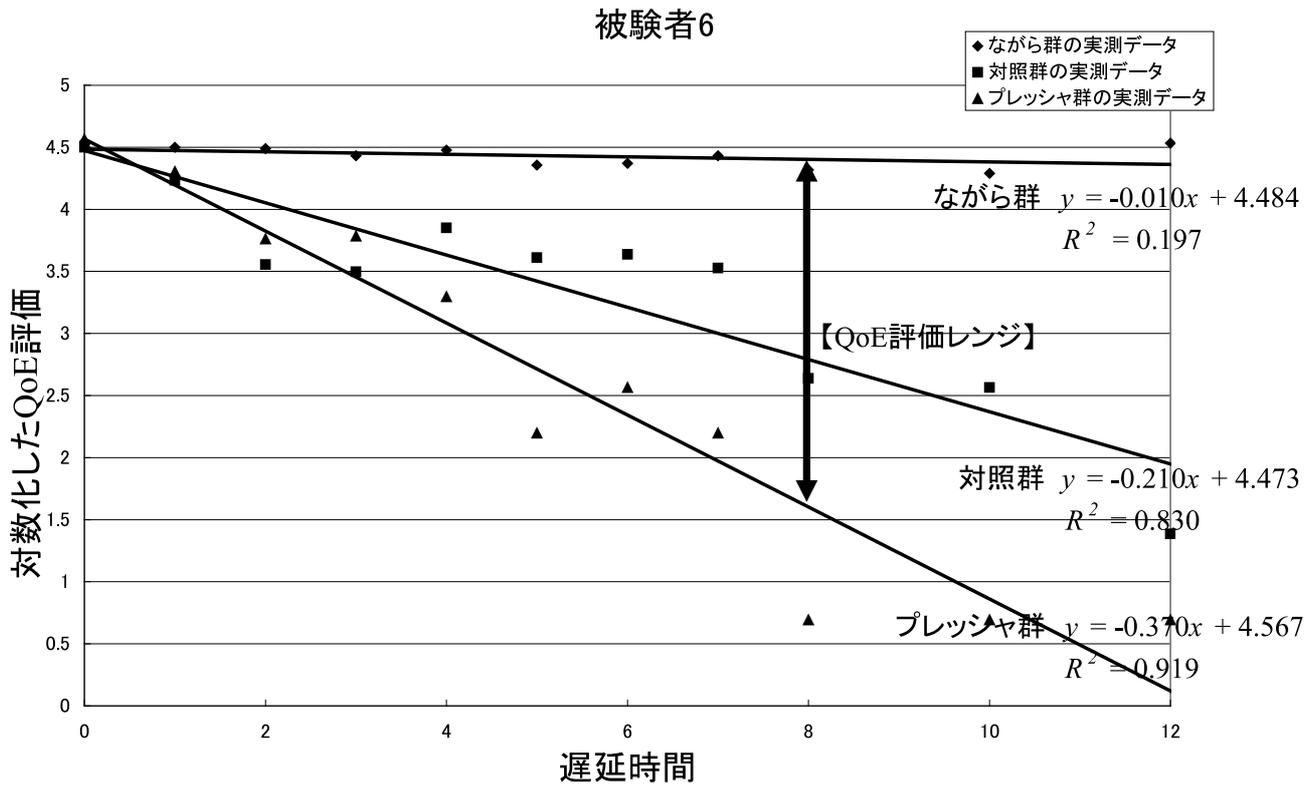


図 9 被験者 6 の実測データと一次関数による近似

Fig. 9 The measured data and their linear approximation for the respondent No.6.

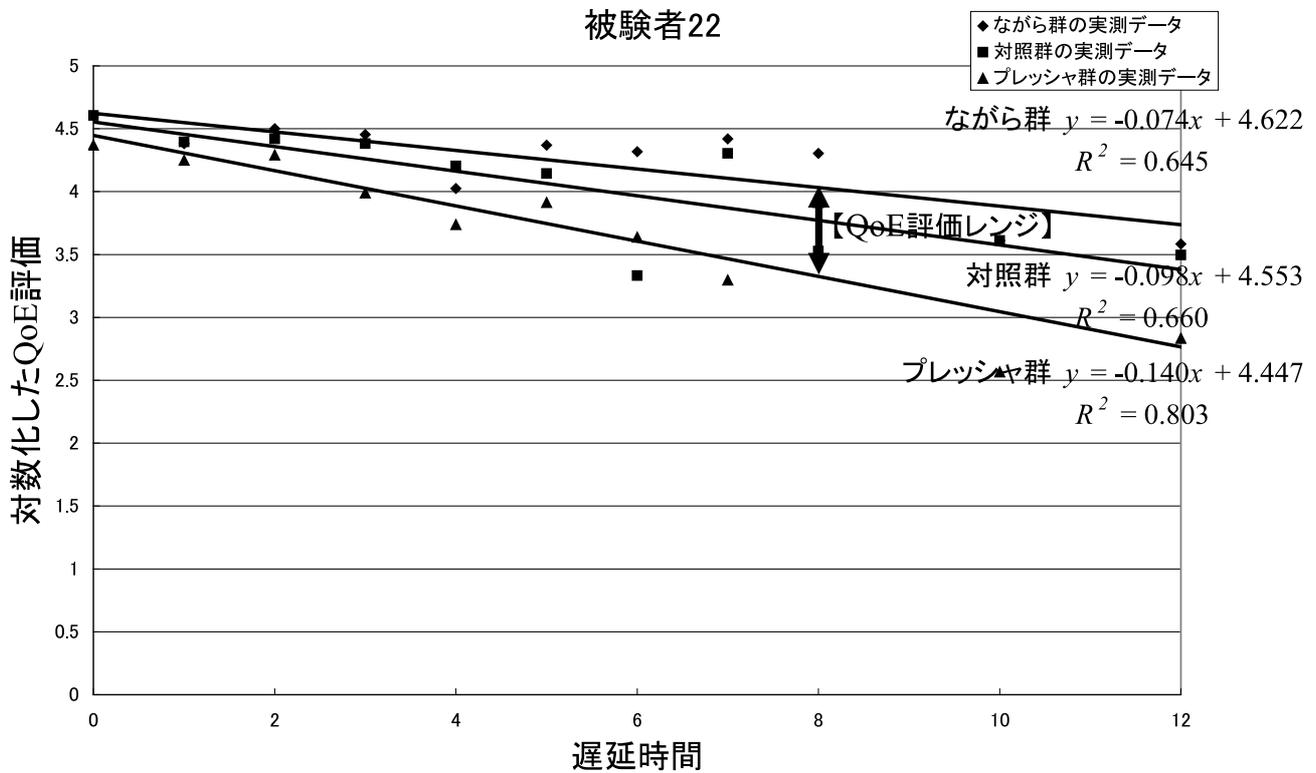


図 10 被験者 22 の実測データと一次関数による近似

Fig. 10 The measured data and their linear approximation for the respondent No.22.

3.5 同一ユーザの持つ QoE 評価

本実験の特徴は、同一ユーザの対数化した QoE 評価を行っていることである。そのため同一ユーザでの QoE の差を評価することが可能である。そこで、被験者 48 人のうち特に明確に対数化した QoE 評価の差が現れた被験者 6、ならびに比較的差が小さかった被験者 22 を、それぞれ図 9、図 10 に示す。推定値と比較して、個人差により傾向は変わってくるが、ながら群は対照群より対数化した QoE 評価に寛容になり、プレッシャ群は対照群より対数化した QoE 評価が厳しくなるのが明確に見て取れる。

4. むすび

本研究では、外的要因に影響を受けた心理状態が QoE 評価に与える影響をモデル化するため、同一被験者群に異なる 3 つの状況を設定した主観評価実験を実施した。得られた QoE 評価に対して潜在曲線モデルを適用することにより、モデルの切片と傾きの違いを一次関数化し、同一被験者群における QoE 評価レンジを切片と傾きの推定値を使用して明示した。本研究の結果から、ユーザの置かれた状況に応じた以下のような QoS 制御の可能性が示唆される。第 1 の例は、ユーザが重要度の高い作業を PC で集中して行う場合である。この場合、ユーザは切迫している心理状態であり、短期的に高い QoS レベルを要求すると考えられる。このことを、直接的、あるいは間接的な方法で情報通信事業者に知らせることができれば、ユーザが必要としている帯域を一時的に保証するようなサービスを提供し、ユーザの満足度を向上させることができると考えられる。第 2 の例は、ユーザがながら行動により PC に向かっている場合である。現在、TV と PC の機能をあわせ持ったスマート TV の開発が進んでいる。その場合、動画配信には高い QoS レベルを保証するが、同時に行うインターネット上の作業に関しては、QoS レベルがあまり高くなくてもユーザの満足度を担保できると考えられる。さらに、第 3 の例として、通信帯域の最適配分の可能性があげられる。情報通信事業者としては、ユーザがながら行動を行っているという情報を何らかの形で把握することができれば、第 2 の例であげた、あまり高くない QoS レベルでも満足度を担保できるユーザの帯域を、一方で切迫している心理状態であるユーザへの帯域へ一時的に割り当てることが検討できる。すなわち、ネットワーク資源の最適配分を考察することができると考えられる。

来るべき新世代ネットワークサービスの時代では、ユーザの多様化する要求条件を満足するよう、ユーザ間での資源競合を解決しながら、ネットワーク資源やサービスを適切に構成し、ユーザが利用しやすい形で提供するしくみが必要とされるであろう [25]。今後、本研究で得られた知見を汎用化し、実際にユーザニーズを検証できるプロトタイプサービスの開発につなげるためには、被験者数を増やし、個々の被験者を

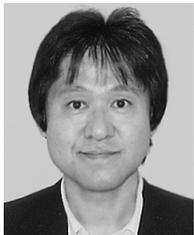
QoE 評価レンジの傾向によってセグメント化する必要がある。また、さまざまな状況要因や文脈を想定し、QoE 評価レンジのイグザンプルを積み重ねていく必要がある。さらには、さまざまな状況下での QoE レベルに対する支払い意思額等も考察する必要がある。より現実的なユーザの要求を明らかにしていくため、さらなる実験を実施する必要がある。

謝辞 潜在曲線モデルのご指導をいただいた統計数理研究所副所長・椿広計教授に謝意を表する。

参考文献

- [1] ITU-T Rec. P.10/G.100 Amendment1, New Appendix I — Definition of Quality of Experience (QoE) (2007).
- [2] ITU-T Rec. G.1080, Quality of experience requirements for IPTV services (2008).
- [3] 田坂修二：NGN・NWGN における QoE 研究の指針，電子情報通信学会第 5 回 QoS ワークショップ (2007).
- [4] 高橋 玲：ITU-T の概要と QoE 評価技術の標準化動向：ITU-T SG12 の 2010 年 5 月会合を終えて，電子情報通信学会技術研究報告，CQ2010-28 (2010).
- [5] 山崎達也：次世代ネットワーク時代におけるサービス品質の将来像，電子通信情報学会誌，Vol.91, No.2, pp.113-116 (2008).
- [6] 須田洋平，矢守恭子，田中良明：携帯端末を用いた映像視聴の品質に対するユーザ評価の要因分析，電子情報通信学会技術研究報告，CQ2006-90 (2007).
- [7] 上村郷志，新井田統，中村 元：通信サービス利用における待ち時間の知覚・評価モデル確立をめざして：利用環境の効果の検討，日本認知科学会第 26 回大会，P2-21 (2009).
- [8] Uemura, S., Niida, S. and Nakamura, H.: A Web Script-Based Field Evaluation Method to Assess Subjective Quality of Mobile Services, *IEICE Trans. Commun.*, Vol.E94-B, No.3, pp.639-648 (2011).
- [9] Niida, S., Uemura, S. and Nakamura, H.: MOBILE SERVICES: User Tolerance for Waiting Time, *IEEE Vehicular Technology Magazine*, pp.61-67 (2010).
- [10] 江口真人，三好 匠，矢守恭子，山崎達也：遅延条件とコンテンツに対する選好を考慮した共分散構造分析による QoE モデルの構築，電子情報通信学会論文誌 (B)，Vol.J92-B, No.12, pp.1810-1822 (2009).
- [11] 坂田優一郎，三好 匠，江口真人，矢守恭子，山崎達也：時間的制約下におけるユーザ体感品質の分析，電子情報通信学会総合大会，B-11-22 (2010).
- [12] 後藤宗里，大野木裕明，中澤 潤：心理学マニュアル 要因計画法，北大路書房 (2000).
- [13] 橋元良明，是永 論，小室広佐子，吉田暁生，元橋圭哉，田村和人：“デジタルネイティブ”はテレビをどう見ているか？：番組視聴実態 300 人調査，放送倫理・番組向上機構 (BPO) 青少年委員会調査報告書 (2009).
- [14] 橋元良明，奥 律哉，長尾嘉英，庄野 徹：ネオ・デジタルネイティブの誕生：日本独自の進化を遂げるネット世代，ダイヤモンド社 (2010).
- [15] 入手先 (<http://www.nhk.or.jp/nw9/>) (参照 2012-12-15).
- [16] 志岐裕子，村山 陽，藤田結子：若者のテレビ視聴とメディア並行利用行動：大学生のオーディエンス・エスノグラフィ調査から，慶應義塾大学メディア・コミュニケーション研究所紀要，メディア・コミュニケーション，No.59 (2009).
- [17] 太幡直也：懸念的被透視感の喚起直後に生起する非言語的反応，東洋大学社会学部紀要，Vol.47, No.1 (2009).
- [18] 利島 保，生和秀敏：心理学のための実験マニュアル：

- 入門から基礎・発展へ, 北大路書房 (1993).
- [19] ITU-R Rec. BT.500-11, Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures (2002).
 - [20] 豊田秀樹: 共分散構造分析 [応用編]: 構造方程式モデリング, 朝倉書店 (2000).
 - [21] 野村一智, 矢守恭子, 高橋英士, 三好 匠, 田中良明: 画像表示待ち時間対効用の関係と優先制御への適用, 電子情報通信学会技術研究報告, NS2001-71 (2001).
 - [22] 新井田統, 上村郷志, 中村 元: 待ち時間に対する満足度を考慮したアプリケーション分類に関する一検討, 電子情報通信学会技術研究報告, CQ2010-15 (2010).
 - [23] 田部井明美: SPSS 完全活用法 共分散構造分析 (Amos) によるアンケート処理, 東京図書 (2001).
 - [24] Zona Research inc.: The Need for Speed, USA (1999).
 - [25] 太田 能, 新熊亮一, 長谷川剛, 矢守恭子, 村瀬 勉: パレート最適ネットワーク制御技術の実現にむけて, 電子情報通信学会総合大会, BS-5-1 (2011).



江口 真人

1985年早稲田大学政治経済学部政治学科卒業。同年日本電信電話株式会社 (NTT) 入社。2004年筑波大学大学院ビジネス科学研究科博士前期課程修了。現在, エヌ・ティ・ティ・コミュニケーションズ株式会社カスタマサービス部勤務, 修士 (経営学)。主に, 電気通信のマーケティング, 顧客満足に関わる業務に従事。電子情報通信学会会員。



三好 匠

1994年東京大学工学部電子工学科卒業。1999年同大学大学院博士課程修了。早稲田大学国際情報通信研究センター助手を経て, 現在, 芝浦工業大学システム理工学部教授。博士 (工学)。コンテンツ配信, オーバレイネットワーク, アドホックネットワーク等に関する研究に従事。2010~2011年フランス UPMC Sorbonne Universités LIP6 訪問研究員。電子情報通信学会学術奨励賞, エリクソン・ヤング・サイエンティスト・アワード受賞。IEEE, 電子情報通信学会各会員。



矢守 恭子

1995年朝日大学経営学部情報管理学科卒業。2000年同大学大学院博士後期課程修了。博士 (情報管理学)。現在, 同大学経営学部准教授。通信ネットワーク・情報社会論の研究・教育に従事。電子情報通信学会論文賞受賞, エリクソン・ヤングサイエンティスト・アワード受賞。電子情報通信学会会員。



山崎 達也 (正会員)

1987年新潟大学工学部情報工学科卒業, 1989年同大学大学院工学研究科修士課程修了。同年郵政省通信総合研究所 (現, 独立行政法人情報通信研究機構) 入所。2013年8月より新潟大学大学院自然科学研究科教授。1992~1993年ならびに1995~1996年カナダ National Optics Institute 客員研究員。1997~2001年 (株) エイ・ティ・アール環境適応通信研究所勤務。博士 (工学)。画像処理, 通信品質制御, ユビキタスネットワーク, 生活支援 ICT に関わる研究に従事。IEEE, 電子情報通信学会, 映像情報メディア学会, 日本顔学会各会員。