

3D映像の品質評価技術

昨今映像メディアの3D化により、奥行き感が生まれ、ユーザは臨場感溢れる映像を楽しむことができるようになりました。しかしその一方で3D映像の視聴によりユーザが不快感や疲労感を受けているという報告がされるようになってきました。本稿では、3D映像の劣化要因とユーザ体感品質 (QoE: Quality of Experience) の関係を概説し、QoE評価法についての検討状況、および国際標準化動向を紹介いたします。

かわの たいち かわしま きみこ
河野 太一 / 川嶋 喜美子

NTTネットワーク基盤技術研究所

3D映像のQoE評価の重要性

近年、映画産業を中心に3D映像が世界的に普及し、映像サービス市場の活性化に大きく貢献しています。3D映像が視聴できる端末として、3D対応のTV、PC、スマートフォンなどが販売されており、3D映像を気軽に楽しめる時代になってきました。これまで映像メディアは、HD (High Definition) 化により映像品質が向上してきましたが、さらに3D映像に拡張されたことにより奥行き感が生まれ、ユーザに新たな映像体験を提供しています。一方、国民生活センターには3D映像の視聴による体調不良の声も挙がってきており⁽¹⁾、3D映像が及ぼす不快感や疲労感など負の要素も顕在化してきました。魅力的な3D映像を提供するためには、ユーザが体感する品質 (QoE: Quality of Experience) に基づいたサービス設計・監視を実施することが重要です。そのためには3D映像のQoEを評価する方法論の確立が必要不可欠です。

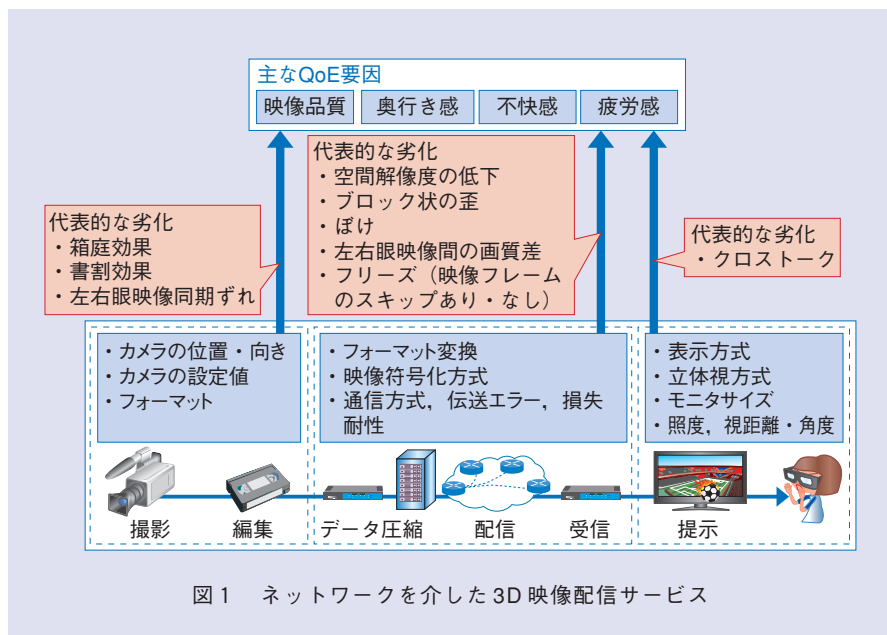
3D映像のQoE

3D映像配信サービスのQoEについて概説します (図1)。ITU-R勧告

BT.2021において、3D映像のQoEは映像品質、奥行き感、不快感で構成されていると定義しています⁽²⁾。また3D映像視聴時の疲労感⁽³⁾の問題も顕在化しており、QoEの重要な要因の1つとなっています。本稿では、ITU-R勧告BT.2021に定義される映像品質、奥行き感、不快感に疲労感を加え、QoEと定義します。これらQoE要因は、図1に示すデータ処理方法に影響を受けています。

まず、3D映像の撮影および提示プロセスと人間の眼の機能との差が生む

劣化要因について説明します。3D映像においては、両眼視差を再現した2つの映像を、それぞれ専用の眼鏡を用い対応する眼に振り分けます。しかしこのとき、3D映像撮影時のカメラの位置・向き (カメラ間の距離、幅角など) やカメラの設定値 (画角、被写界深度など) が人間の眼と必ずしも一致しないため、立体像が実物よりも小さく感じられる「箱庭効果」、立体像が平たく感じられる「書割効果」、左右眼映像間で空間・時間的にずれが発生する「左右眼映像の同期ずれ」などの



劣化が発生することがあります。また、左右眼映像を各眼に振り分ける専用眼鏡においては片眼の映像がもう一方の映像に漏れて映り、不自然な像が提示される「クロストーク」が発生することがあります。

次に、データ圧縮プロセスで発生する劣化要因について説明します。配信コストやストレージコストを抑えるために3D映像はフォーマット変換（ダウンサンプリング）やデータ量圧縮が施されます。3D映像配信サービスでは既存の2D映像のデータ圧縮・配信システムを利用できるように、左右眼映像の2枚のフレームを縮小して、2D映像の1枚のフレームに収めるフォーマット（Frame compatible方式）への変換が行われることがあります。そのような場合、符号化前に映像の解像度を半分にし、3D映像提示の際に解像度を引き伸ばすため、「空間解像度の低下」をユーザが知覚することがあります。Frame compatible方式では、既存の2D映像の符号化方式が適用されるため、2D映像と同様に、符号化により、「ブロック状の歪」「ぼけ」などの劣化が発生することがあります。一方、「空間解像度の低下」を避けるため、左右眼映像のフレームを縮小せずに、左右眼の映像フレームを交互に1つのストリームに収めるフォーマット（Frame sequential方式）を用いることがあります。Frame sequential方式では、フレームレートが倍になり、データ量が多くなるため、左右眼映像

間の冗長性を利用して効率的にデータ圧縮を行うH.264/MVC（Multi View Coding）がしばしば適用されますが、H.264/MVCでは左右眼映像に割り振るビットレートを非対称にするなど、ブロック状の歪、ぼけに加えて「左右眼映像間に品質差」が発生することもあります。

次に、配信プロセスで発生する劣化要因について解説します。ネットワークの輻輳などより3D映像データを含んだパケットは損失し劣化が発生することがあります。パケット損失補償が実施されない場合、ブロック状の歪が発生することがありますが、ユーザ端末でパケット損失補償を実施することで、映像に損失がある間は正常に受信した映像フレームを提示し続け、損失した映像をスキップして提示する「フリーズ（映像フレームのスキップあり）」が発生することがあります。また、パケットがネットワークの帯域の制約などにより、正常に受信できなくなるなどした場合、ユーザ端末のバッファに映像データが一定以上蓄積（リバッファリング）されるまで映像をフリーズさせた後、映像を再生することがあります〔フリーズ（映像フレームのスキップなし）〕。

その他、モニタサイズ、周辺照度、視距離・角度などによって劣化の知覚のされ方が変わることがあります。このように3D映像では、多種多様な劣化要因が存在し、それらが複合的に各QoE要因に影響を与えるため、これら

劣化要因を考慮し、QoEを評価する方法論の確立が必要になります。

3D映像品質主観評価法

QoE評価はユーザが3D映像を視聴して評価を行う主観評価が基本です。3D映像品質の主観評価法においては、2D映像品質評価法と同様の手法がITU-R勧告BT. 2021にて標準化されています。前述したとおり、3D映像のQoEは映像品質以外のQoE要因の影響を受けるため、3D映像のQoEを評価するためには、映像品質に加え、奥行き感、不快感、疲労感などの評価法を確立していくことが必要です。現在、映像品質専門家グループ（VQEG: Video Quality Experts Group^{*1}）では3D映像の主観評価に関する検討を進めており、2D映像で扱ってきた映像品質に加え、奥行き感、不快感を対象としたアンケートベースの主観評価法の勧告化を目指しています。しかし、不快感や疲労感に対しては、自覚症状を感じることのない弱いレベルのものを評価していく必要があります。アンケート評価に加えて、心拍、呼吸、瞳孔、調節、瞬目、皮膚電位、脳活動などの生体情報を用いて評価することが有効であると考えられています。当研究グループでも3D映像の疲労感を定量化するため、疲労感と生体情報の関係について研究を進

*1 VQEG: ITU-TおよびITU-Rで取り扱う映像品質評価に関する技術検討を横断的に実施するために組織された専門家グループ。

めています。疲労感評価の一例を図2, 3に示します。左右眼映像間の品質差が疲労感に与える影響(図2)、左右眼映像間の品質差が瞬目の単位時間当たりの回数(瞬目率)の及ぼす影響(図3)を示しています。図2より左右眼映像間の品質差が大きくなると疲労感が強くなる傾向が分かります。また、図3より、図2と同じ評価条件において、左右眼映像間の品質差が大きくなると瞬目率が高くなることが分かります。これらの関係より、左右眼映像間の品質差のある3D映像から受ける疲労感を、瞬目率により評価できる可能性を示唆しています。

3D映像品質客観評価法

QoE監視を実現するためには、サービス提供中にオペレータやユーザにQoEを逐次評価をしてもらうことは現実的ではなく、3D映像信号などの物理情報から主観評価で得られるQoEを推定する客観評価技術の確立が必要になります。

3D映像においても、2D映像同様に客観品質評価法の検討が進められています。客観品質評価法を構築するためには、劣化要因を考慮して、映像品質を推定することが重要となります。ブロック状の歪、ぼけ、フリーズなどのような符号化や伝送に関連する劣化要因は、原理的に2D映像と変わらないため、2D映像品質客観評価技術を応用することが考えられます。一方、2D映像では発生しない「左右眼映像間の

品質差」「左右映像同期ずれ」「クロストーク」などは3D映像特有の劣化要因として3D映像品質客観評価技術でとらえていく必要があります。

NTTネットワーク基盤技術研究所

では、2D映像品質客観評価技術で出力される左右眼映像の2D映像品質値を用いて3D映像品質を導出する、3D映像品質客観評価技術の構築を進めています⁽⁴⁾。表はその一例であり、左

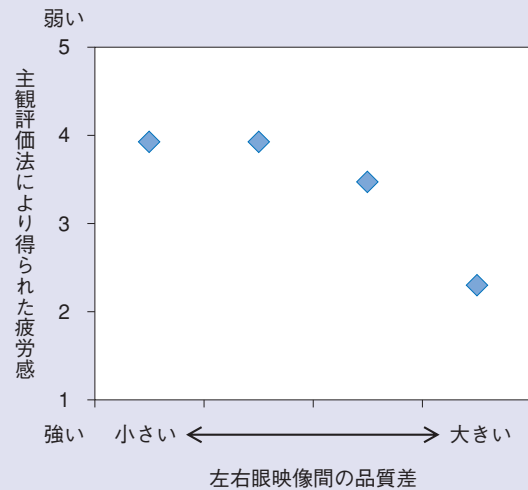


図2 左右眼映像間の品質差と疲労感の関係

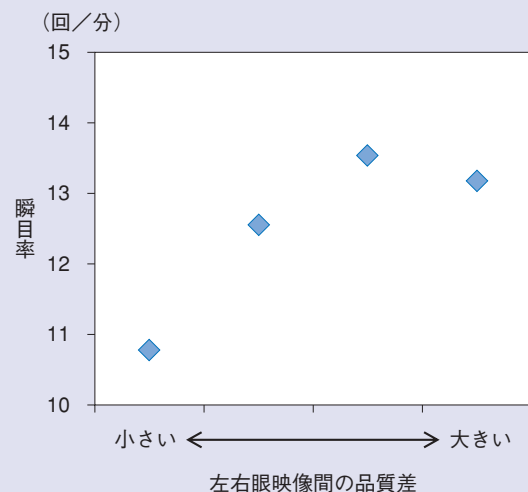


図3 左右眼映像間の品質差と瞬目率の関係

表 3D映像品質推定モデルの品質推定精度

| | モデルA | モデルB (提案モデル) |
|-------------------------|------|--------------|
| $0 \leq dMOS-LR \leq 1$ | 0.24 | 0.22 |
| $1 < dMOS-LR$ | 0.35 | 0.23 |

右眼映像の主観品質評価値MOS*² (Mean Opinion Score) を入力し、単純に左眼映像のMOS (MOS-L) と右眼映像のMOS (MOS-R) の平均値で3D映像品質を推定した場合 (モデルA)、左右眼映像間の品質差 [dMOS-LR=ABS (MOS-L-MOS-R)] を考慮して [3D映像品質は片眼の品質の高い方により支配されるという、両眼視抑圧 (Binocular suppression) を考慮して、の意] 3D映像品質値を推定した場合 (モデルB) のRMSE (Root Mean Square Error) を左右眼映像間の品質差が小さい映像と大きい映像に分けて示しています。RMSEはモデルの品質推定誤差を表しており、RMSEが小さいほど品質推定精度が高いことを意味しています。我々が提案する左右眼映像間の品質差を考慮した品質推定モデルを用いることにより、品質眼映像間の品質差が大きい映像に対しても3D映像品質を精度良く推定できることが分かります。

VQEGにおいても3D映像品質を対象とした客観評価技術の検討が開始され、今後は、技術の性能検証のためのテストプランの策定が進められます。

*2 MOS: 5段階品質尺度 (5:非常に良い, 4:良い, 3:普通, 2:悪い, 1:非常に悪い) を用いた評点のユーザ平均。

今後の展開

3D映像は、2D映像に奥行きが加わったことにより、ユーザに臨場感溢れる映像体験を提供しています。一方で、3D映像のQoEに影響を与える要因は、2D映像よりも複雑化しており、ユーザにより満足してもらう3D映像サービスを提供するためには、QoEに影響を与える要因を明らかにし、QoEを見える化することが課題になっています。NTT研究所では、映像品質と疲労感を定量化する主観評価法の検討、主観評価法で得られる映像品質を推定する客観評価技術の構築を進めてきました。今後は、我々の3D映像品質客観評価技術の標準化を目指し、VQEGに技術提案を実施していく予定です。また、3D映像品質以外のQoE要因に対しても、生体情報を活用しながら、主観・客観評価技術を構築していきます。これら構築した技術の実用化を進め、安全かつ快適な3D映像配信サービスの提供に貢献していきます。

参考文献

- (1) http://www.kokusen.go.jp/news/data/n-20100804_2.html
- (2) ITU-R BT.2021: "Subjective Methods For The Assessment Of Stereoscopic 3DTV Systems," Aug. 2012.
- (3) M. Lambooj, W. Ijsselsteijn, M. Fortuin,

and I. Heynderickx: "Visual discomfort and visual fatigue of stereoscopic displays: a review," Journal of Imaging Science and Technology, Vol.53, No.3, pp.30201-1-30201-14, 2009.

- (4) K. Yamagishi, T. Kawano, and T. Hayashi: "Effect of Difference in 2D Video Quality for Left and Right Views on Overall 3D Video Quality," IEEE ICIP 2012, Orlando, U.S.A., Sept.-Oct. 2012.



(左から) 河野 太一/ 川嶋 喜美子

ユーザが感じる品質に基づいてサービスを設計・監視するための基盤技術を確立し、ユーザに安全で快適な3D映像配信サービスを提供する仕組みを実現したいと考えています。

◆問い合わせ先

NTTネットワーク基盤技術研究所
 通信トラヒック品質プロジェクト
 TEL 0422-59-6936
 FAX 0422-59-6364
 E-mail kawano.taichi@lab.ntt.co.jp