

360 度インターネット生放送における視聴者 POV 分析結果の提示

高田真也¹ 齊藤義仰¹

Presentation of Viewers' Interests Based on POV Analysis in 360-degree Internet Live Broadcasting

MASAYA TAKADA¹ YOSHIA SAITO¹

1. はじめに

YouTube に代表されるインターネット生放送サービスは多くのユーザに利用されており、コメントを中心としたリアルタイムコミュニケーションを気軽に楽しむことが出来る。YouTube では 2015 年から全方位カメラに対応した 360 度インターネット生放送サービスの提供も開始しており、一般ユーザでも全方位カメラを用いた放送ができるようになった。360 度インターネット生放送とは、全方位カメラによって撮影される全天球映像を配信する放送形式で、視聴者は自身の興味に合わせて POV を 360 度全方向に変更することができる。POV とは Point Of View の略称で、視聴者が視聴している方向を示す。

しかし、360 度インターネット生放送には、放送者が視聴者の POV を確認する方法が存在しないため、視聴者の興味関心が把握できないという問題がある。従来のインターネット生放送では、単一のレンズを持った Web カメラが用いられており、Web カメラのレンズが限定的な矩形の撮影範囲を示していた。そのため、放送者は感覚的に視聴者の視聴している映像や撮影範囲を把握することができた。それに対し、360 度インターネット生放送で用いる全方位カメラは魚眼レンズや複数のレンズを搭載しているため、レンズ方向から視聴者の視聴している範囲がどこなのかを放送者が把握することができなくなった。これまでも、遠隔コミュニケーションツールにおける対話者の注視情報や視線情報が担う役割については多く論じられている [1][2]。その中で、対話者の注視情報は相手の興味や関心、話題の中心を示すということが明らかにされている。つまり、360 度インターネット生放送において、視聴者の POV は視聴者が全方位映像の中で何を見ているのかを示す情報であると同時に、視聴者の興味や関心を示す情報でもある。

我々はこれまでこの問題に対して、球体状のヒートマップを用いて視聴者の POV を可視化する手法を検討してきた [3]。また、発展形として可搬式全方位カメラを用いたユースケースにも取り組んでいる [4]。可搬式全方位カメラを用いた 360 度インターネット生放送は観光地の紹介や不動産物件の紹介など、空間全体の情報を提供する目的で利用できる [5][6]。現在我々が想定しているユースケースは、放送者が観光地に赴いて散策しながら放送を行うというもの

である。放送者は全方位カメラをリュックサックに固定し、放送用のノートパソコンを手を持って放送する。

放送者が観光地などで移動しながら放送を行った場合、手元のノートパソコンに長時間注視することは安全面に問題があり困難である。また、放送者は自身の進行方向を見ながら移動を行うため、進行方向で発生した出来事や関心を惹く物については自身で気づくことが可能である。そこで、放送者の進行方向以外に向けられた POV から、放送者が気づいていない可能性のある視聴者の興味や関心の対象を推定し、放送者に提示することとした。

そのため、常に視聴者の POV を全て通知するのではなく、放送者の正面範囲以外に向けられた POV から放送に有益な情報のみを抽出して提示する必要がある。そこで、視聴者の POV を分析することで視聴者が興味や関心を持ったものを推定し、その結果を放送者に提示することとした。これにより放送者が視聴者とのコミュニケーションを円滑に進められるようになることが期待される。本研究では、可搬式全方位カメラを用いた 360 度インターネット生放送において、視聴者 POV から興味のある方向を検出し放送者に提示する効果について検討する。

2. POV 分析に関する事例

360 度動画や 360 度インターネット生放送における、視聴者の POV 分析に関する研究や事例は複数存在する。ここでは、複数の事例と 360 度インターネット生放送における分析の必要性について述べる。

VRCH[7]は、株式会社ジョリーグッドが開発している 360° VR のコンテンツ解析とユーザ行動のパターン解析を人工知能によって行うという取り組みである。視聴中の 360 度動画のリアルタイム解析を動画にオーバーレイ表示でき、人物や物体、話されている言語、雰囲気、シーン構成、ストーリーなどの様々な動画の構成要素を統合的に解析できる。当該システムはビジネスに活用されるオンデマンド形式の VR コンテンツについて、視聴者のニーズ分析やより質の高い 360 度動画の作成を支援することが目的とされている。そのため、当該システムでは、一般ユーザが利用する全方位カメラを用いたインターネット生放送への利用は想定されていない。

YouTube が公開した 360 度動画の分析結果に関する記事

¹ 岩手県立大学大学院 ソフトウェア情報学研究科
Iwate Prefectural University,
Graduate School of Software and Information Science

[8]では、2017年6月に提供を開始した360度動画のヒートマップ解析ツールの解析結果をまとめた結果についても言及されている。具体的な内容としては、動画再生時間のうち75%の間、動画の正面方向を中心とした90度の範囲に視聴者のPOVが集中しているということが述べられている。また、人気のある360度動画であっても360度全範囲を視聴したユーザは全体の20%程度であるということも述べられている。

これまでに挙げた事例は360度動画において、視聴者の興味や関心、ニーズを抽出するためには視聴方向の分析が必要であるということを示している。一方で、これらの分析はオンデマンド形式の360度動画のみを対象にしており、360度インターネット生放送における利用は想定されていない。一方で、360度インターネット生放送はリアルタイムなレスポンスが必要になるため、オンデマンド形式の360度動画と比べてより視聴者の興味や関心の把握が重要となる。視聴者の興味や関心を分析して把握することで、リアルタイムに視聴者のニーズに応えることが可能になる。このことから、360度インターネット生放送を想定したリアルタイム分析手法の検討は新規性と重要性がある。

3. POV分析アルゴリズム

POV分析アルゴリズムを作成するにあたり、仮説を3つ立ててPOVの収集と検証を実施した。その結果仮説が成り立つことを確認することが出来たため、仮説を基に放送者の正面範囲と視聴者の状態分類をシステム上で定義し、分析アルゴリズムを作成した。ここでは、仮説の検証と放送者の正面範囲の定義、視聴者の状態分類の定義、アルゴリズムについて述べる。

我々は360度インターネット生放送における分析手法を検討するため3つの仮説が立て、成り立つことを確認した[4]。1つ目の仮説は「視聴者のPOVは放送者の進行方向に向けられる」である。オンデマンド動画の場合、編集が加えられており、基準となる動画の正面方向が明示的である。それに対し、360度インターネット生放送では、リアルタイムな映像であるため編集が不可能で、明示的な動画の正面方向は存在しない。そのため、放送者の進行方向が動画の正面方向として理解されるのではないかと考えた。2つ目の仮説は「視聴者が興味を持ったものがある場合、その対象に対して視聴者のPOVが追従する」である。360度インターネット生放送において、その特徴であるPOVの変更は、視聴者が興味関心をもとに自由に行われている。そのため、興味の対象を追従するようにPOV変更が行われると考えた。3つ目の仮説は「興味の対象が見切れるか、興味を失うとPOVは進行方向に向けられる」である。これは1つ目の仮説と同様で、動画視聴の基準となる正面方向が明示的でないため、放送者の進行方向が基準方向として理解されると考えた。追従を終了した時点で基準方向の視聴を再開することが予想される。以上の仮説が成り立つことが確認できたため、360度インターネット生放送における視聴者のPOV変化に関する行動シナリオが明らかになった。視聴者のPOVは基本的に放送者の進行方向に向けられており、興味や関心の対象が見つかり追従するようにPOVが進行方向から外れる。興味や関心を失うか、対象

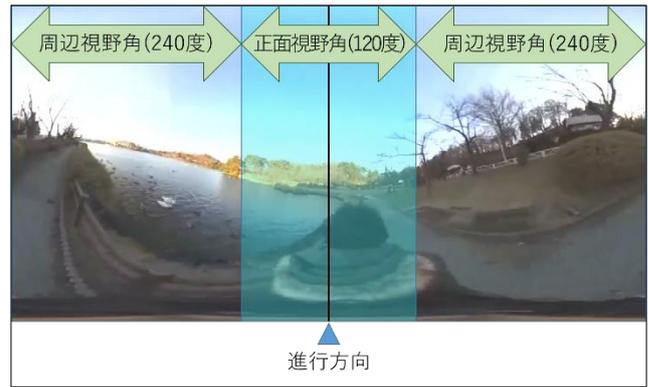


図1：放送者の視野角の模式図

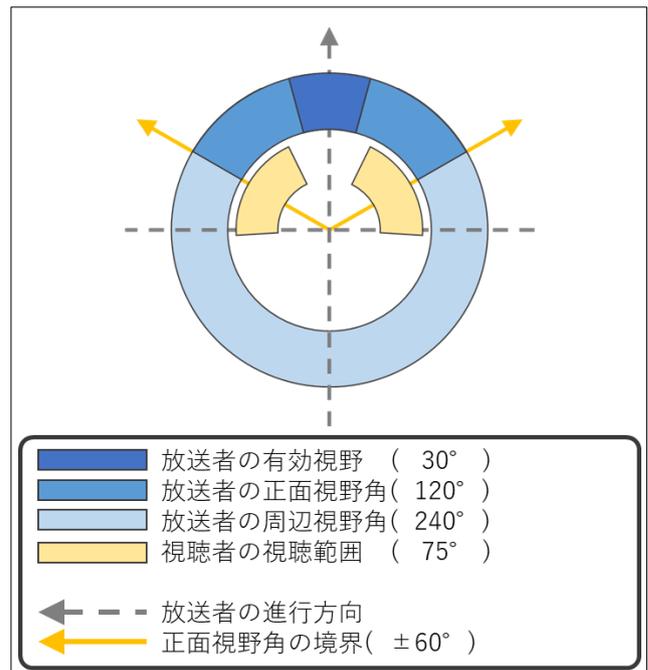


図2：放送者の視野角と視聴者の視聴範囲

物が見切れると視聴者のPOVは放送者の進行方向に再び向けられる。

放送者の正面範囲をシステム上で定義することで、放送者が気づくことが出来る範囲と気づくことが難しい範囲の境界を決定した。正面範囲の定義では人間の視野角を参考にした[9]。人間の場合、眼球運動のみで瞬時に視線を移動し情報需要を行うことが出来る範囲を有効視野と呼び、水平方向30度の範囲である。眼球運動に加えて頭部運動を行うことにより無理なく情報需要出来る範囲を安定注視野と呼び、水平方向60度から90度の範囲である。さらに、顔の正面を0度とした際の±50度から±100度の範囲は補助視野と呼ばれ、単純な視角情報のみを受容できる範囲である。放送者は放送に際して身体的な制限を受けずに放送を行うため、これらの安定注視野よりも大きな範囲を確認できる可能性がある。そこで本研究では安定注視野に30度のマージンを設け、進行方向を中心とした120度範囲を放送者の正面視野角と定義した。同時に、正面視野角以外の範囲を周辺視野角と定義する。マージンを30度と設定したのは、視聴者の視聴する映像が画角75度で設定されているためである。POVは映像の中心が向いた方向を示して

いるため、POV 方向±37.5 度範囲を視聴していることになる。マージンを 30 度と設定することで正面視野角以外の方向を視聴している際に放送者の有効視野が映像に含まれないようにした。図 1 にエクイレクタングラー映像に放送者の視野角を重畳表示した模式図を、図 2 に放送者を中心とした正面視野角と視聴者の視聴範囲の模式図を示す。

収集した POV を分析した結果、視聴者の視聴者の状態は 4 種類に分類することが出来ること分かった正面視野角を視聴し続けている「通常視聴状態」、興味関心を惹かれる対象物を発見して周辺視野角を視聴し始めた「特殊視聴開始状態」、周辺視野角の興味関心を惹かれる対象物を視聴し続けている「特殊視聴継続状態」、興味関心を失った、または対象物が見切れたため正面視野角の視聴に戻った「特殊視聴終了状態」の 4 つの状態に分類した。通常視聴状態は視聴者の POV が正面視野角の範囲内に留まっている状態であり、この状態であることが最も多い。特殊視聴開始状態は、正面視野角から周辺視野角へと POV が移動している状態である。特殊視聴継続状態は放送者の周辺視野角の範囲内に POV が留まっている状態である。特殊視聴終了状態は周辺視野角から正面視野角に POV が移動している状態である。これらの状態は即座に遷移させると誤検出が増加するため、現在の状態と異なる状態のデータが 10 件分検出された時点で遷移することとした。0.1 秒ごとに POV を取得しているため、10 件分の POV データは 1 秒分に当たる。そのため、通常視聴状態から特殊視聴開始状態に状態遷移するためには正面視野角から周辺視野角に移動してから 1 秒経過する必要がある。これは正面視野角と周辺視野角の境界線付近を視聴している視聴者が誤検出されることを防ぐ目的がある。

以上のことを踏まえて作成したアルゴリズムのフローチャートを図 3 に示す。フローチャートで使用する変数と条件式について、図 4 に示す。作成したアルゴリズムではまず、進行方向を 0~360 の水平方向の角度座標として取得する。その後、最新の POV データから 10 件分のデータを遡って取得し、4 つの状態のどれに該当するかを条件式によって判断する。誤検出の割合を考慮し、同じ状態が 1 秒間継続した場合、状態を遷移する。ただし、全方位カメラの特性上、全方位カメラがどのように固定されるかが確定的ではないため、放送のたびに進行方向がずれてしまうことが予測される。本アルゴリズムを使用する際には、全方位カメラを同じ固定方法で利用するか、加速度センサなどを用いて進行方向を取得、補正する必要がある。

4. インターネット生放送システム

本研究で用いたインターネット生放送システムは我々がこれまでに POV の分析を行うために作成した放送システムに POV 提示機能を追加実装したものである。ここでは、既存システム部分と追加実装部分について述べる。

4.1 既存システム部分

既存のシステムは WebRTC および Three.js を用いて実装したものである。これは、2016 年に Google が提供する Chrome ブラウザでの Flashplayer のサポート廃止[10]を受けて、インターネット生放送サービスで HTML5 に対応した新方式が提供されるようになったためである[11][12]。

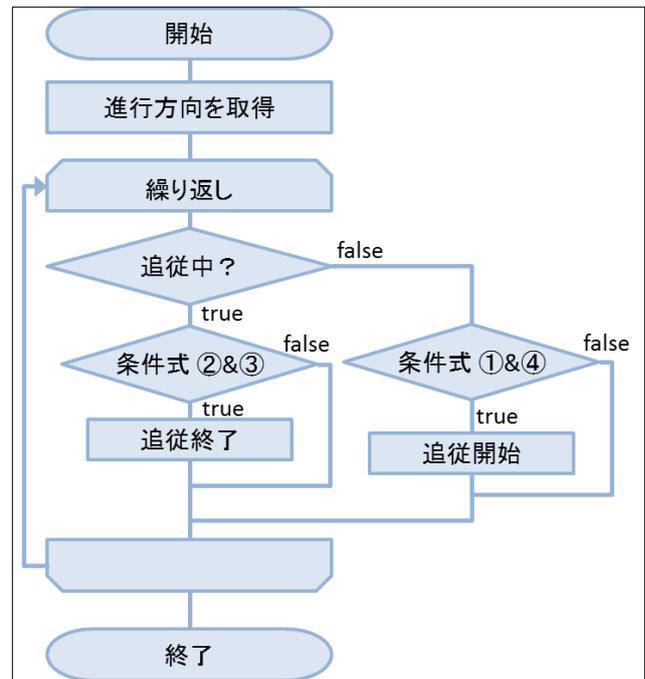


図 3：アルゴリズムのフローチャート

変数

$\phi_i = \{\phi_{i1}, \phi_{i2} \dots \phi_{in}\}$ 視聴者 POV の水平方向極座標
 $\theta_i = \{\theta_{i1}, \theta_{i2} \dots \theta_{in}\}$ 視聴者 POV の垂直方向極座標
 forward = [進行方向の ϕ 座標]

条件式①

$$\text{forward} - 60 < \phi_{in-9} < \text{forward} + 60$$

条件式②

$$\phi_{in-9} < \text{forward} - 60 \parallel \text{forward} + 60 < \phi_{in-9}$$

条件式③

$$\text{forward} - 60 < \phi_{in} < \text{forward} + 60$$

条件式④

$$\phi_{in} < \text{forward} - 60 \parallel \text{forward} + 60 < \phi_{in}$$

図 4：各変数と条件式

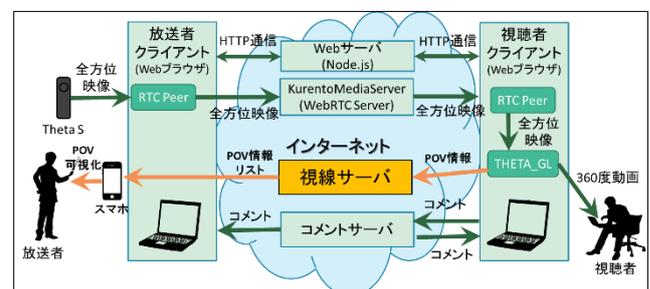


図 5：システム構成図

HTML5 に対応した WebRTC では、映像や音声の配信やファイル共有など、リアルタイムコミュニケーションに必要な様々な機能が簡単に利用できる。映像の配信は WebRTC に対応した KurentoMediaServer[13]を利用した。本研究では RICOH 社が販売する全方位カメラ THETA S を用いて放送を実施しており、放送用のノートパソコンから

THETA S の映像を KurentoMediaServer へと送信している。360 度動画への加工には Three.js 使用しており、WebGL 上の仮想空間上に球体オブジェクトを設置してその球表面の内側に映像を描画することで実現している。再生する映像のソースを WebRTC サーバから取得することでインターネット生放送として利用できる。図 5 にシステムの構成を、図 6 にシステムインタフェースを示す。

本システムでは、WebGL の 3D 空間上にある球体オブジェクトの中心にカメラ位置が設定されている。球体の内側表面には 360 度動画の映像がマッピングされているため、球体の中心からカメラを通して映像を見ることで 360 度動画形式の映像になる。視聴者の POV カメラがどの方向を向いているのかを示しており、球表面の極座標系(ϕ, θ, r)によって管理されている。

4.2 追加実装部分

追加実装部分では、各視聴者へのユニーク ID の割り振り、POV の重畳表示機能を実装した。視聴者クライアントは Web ブラウザを通して利用することができ、視聴者が Web ページにアクセスした段階でユニーク ID が割り振られる。視聴者クライアントでは、視聴を行っている間、0.1 秒ごとに視聴者の POV を取得し、割り振られたユニーク ID と時刻データを付加した上で POV 情報を集計する POV サーバへと送信する。POV サーバは視聴者クライアントから受信した POV を分析アルゴリズムに従って処理を行い、特殊視聴継続状態になった POV のみを放送者クライアントへと送信する。その後、受信したすべての POV はリスト化して、POV サーバ内にログとして保存する。

放送者クライアントも視聴者クライアントと同様に Web ブラウザを通して利用することが出来る。放送者クライアントを利用することで、放送者は放送中にエクイレクタングラー映像と視聴者からのコメントを確認することが出来る。この時、POV サーバから特殊視聴継続状態の POV を受け取った場合、エクイレクタングラー形式で表示される映像に対して円形の画像を重畳表示することで POV を提示する。特殊視聴継続状態の POV が円で重畳表示されている様子を図 7 に示す。

円形の表示は水平方向 25 度の範囲を示すように直径を調整し、ユーザごとに色を変えて表示することにした。視聴者はエクイレクタングラー方式の映像を水平方向で画角 75 度分を切り出してディスプレイ上に表示しており、映像の全範囲を注視することは不可能である。今回実験で使用したディスプレイは 21.5 インチで解像度が 1920×1080 の FullHD 画質のものであり、視聴者クライアント上に表示される映像は 14.28cm×10.71cm のサイズになる。弁別視野と呼ばれる人間が眼球運動と頭部運動を行わずに高精度の情報処理が出来る視野角は水平方向 5 度以下と言われているため、視聴者の目がディスプレイから 60cm の距離の場合、弁別視野で認識できるディスプレイ上の範囲は水平方向 5.24cm 以下となる。このことから視聴時に視聴者が注視しているのは映像の水平方向 3 分の 1 程度であることが分かる。このことから、POV の表示はカメラ画角の 3 分の 1 である水平方向 25 度の範囲を目安として提示することとした。この基準は今回の実験で試験的に用いるものであり、精度に関しては今後検討する必要がある。



図 6：システムインタフェース

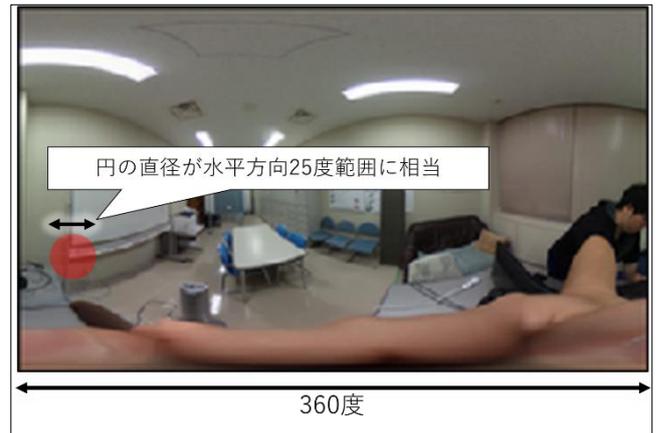


図 7：特殊視聴継続状態の POV 提示

5. 実験

特殊視聴継続状態の POV を放送者に提示する効果について調査するため放送実験を実施した。放送実験は 2 回実施し、各回 4 名の実験協力者が参加した。実験協力者のうち 1 名が放送者を担当し、残りの 3 名が視聴者となった。放送場所は白鳥の飛来地としても知られる岩手県盛岡市高松にある高松ノ池周辺である。池の周囲を右回り左回りそれぞれ 1 回ずつ、30 分の放送時間で実施した。今回、全方位カメラは放送者が背負うリュックに対して一脚を利用して固定した。そのため、映像は放送者の後方上部を中心としたものになっている。放送者にはコメントの確認と視聴者の POV が手元のノートパソコンに表示されることを伝えた。また、確認を行う際は歩道上で一時停止して確認することを指示した。放送内容への指示や身体的な制限は行っていない。視聴者には 360 度インターネット生放送のテスト放送を実施するとだけ伝え、放送を視聴してもらった。

今回の実験で期待される効果としては、放送者が従来の放送システムでは気づくことのできなかった周辺視野での出来事や、視聴者の関心を惹く物体への気づきや、視聴者の興味や関心の把握が挙げられる。これは、分析アルゴリズムによって抽出された POV が提示されることで、放送者は視聴者の見ている方向や範囲を容易に確認できるようになるためである。

放送実験終了後に POV のログデータから特殊視聴に該当するデータを抽出し、放送者に録画映像と共に提示して聞き取り調査を実施した。聞き取り調査では、POV の表示に気づいたか、POV 表示から視聴者が何を視聴しているか

分かるか、視聴対象は放送の話題として利用できると感じるか、そのように考えた理由は何か、について各特殊視聴のデータについて聞いた。特に気になる回答については、オープン形式の質問で追加の質問を行った。

6. 実験結果

実験の結果、1回目の放送では35件、2回目の放送では48件の特殊視聴が検出できた。検出したデータについて、実験終了後の放送者に対して、放送に活用できるような話題性があると感じたか聞いた結果とそう感じた理由を表1に示す。実験の結果、複数の特殊視聴において視聴対象が共通している場合が多かった。話題性があるとされた場合では主に池や野鳥などの様子が変化しやすいものが多く特殊視聴されており、観光客が多く利用する足漕ぎボートもブルーシートで隠されていたものの次いで特殊視聴が多かった。一方で、話題性が無いとされた場合では街路樹や建築物などあまり様子が変化しないものや、通行人などの風景に違和感を与えないものが挙げられた。

放送中のPOV提示にどの程度気づくことが出来たかに関して聞いた結果を表2に示す。放送者は放送中ノートパソコンの画面を注視することが出来ないため、POV表示の確認を行うためには一度立ち止まる必要があった。そのためPOV提示に気づかない可能性も十分に考えられたが、コメントを確認しながら放送を行う都合上、コメント確認のため頻繁に立ち止まっており、POVの表示にも気づいたということがインタビューから分かった。結果として1回目の放送では62.86%、2回目の放送では54.35%のPOV提示に気づくことが出来た。

提示されたPOVのうち、放送後の聞き取り調査で話題性があると判断されたものは1回目の放送で14件、2回目の放送では22件となった。これらのデータについて放送者からは「野鳥への興味を把握することが出来た」「POVの向いていた警察の見回りを話題にすることで多くのコメントを得ることが出来た」とポジティブな意見を得ることが出来た。さらに放送中に気づけなかったものに関しても「ボートへの興味に気づいていたらもう少し近づいて話題にした」「放送中に気づくことが出来たら話題に使用したと思う」という意見が得られた。一方で、話題性が無いと判断されたものであっても放送者からは「確認の手間は大きくなく、提示されてもあまり気にならなかった」「話題にはならないものの、車の往来に気づくことが出来て助かった」という意見が得られた。このことから、話題性の無い特殊視聴が提示に含まれてもコミュニケーションや放送に対して負の影響は大きくないと予想される。

7. 考察

実験後の聞き取り調査と追加のインタビューで得られた結果について、POVを提示することによる影響を検討した。話題性の有無に関する理由から、判断理由が3つに分類できることが分かった。1つ目は対象の様子や状態の変化が話題性になるからである。野鳥や池の凍結状況など様子が変化するものを話題にすることで、変化に合わせて話を続けることが可能になる。2つ目はコメントで確認できない視聴者の興味を確認できたからである。視聴者から放送者

表1：特殊視聴の聞き取り結果

放送	話題性	視聴対象×回数	主な理由
1回目 (35件)	有り (20件)	池の野鳥×9	様子が面白く話が広がると感じた
		足漕ぎボート×4	ボートに興味があることが分かった
		池の淵×3	池の形などが話に広げやすかった
		その他×4	犬の散歩や池の鯉などの話が広げられる
	無し (15件)	街路樹×5	話が広がらないと感じた
		池の様子×5	池に何も見えなかった
2回目 (46件)	有り (39件)	建築物と通行人×4	そこにあるのが自然で、触れづらい
		後方確認×1	後ろには特に何もなかった
		凍った池×11	自身と視聴者両方が興味を持っていた
		池の野鳥×9	様子が面白く話が広がると感じた
	無し (7件)	通行人の親子×9	楽し気に餌をあげており話題性を感じた
		その他×10	職務質問をする警官や散歩する人など、公園の利用者に関する話ができただ
		凍った池×2	野鳥の話をしているタイミングだった
		乗用車×2	そこにあるのが自然で触れづらい
	家屋×1	そこにあるのが自然で触れづらい	
	その他×2	特に意味のない視聴だと感じた	

表2：POV提示の発見回数

放送	話題性	表示に気づいた数	割合
1回目 (35件)	有り (20件)	14件 (40.0%)	62.86% (22件/35件)
	無し (15件)	8件 (22.86%)	
2回目 (46件)	有り (39件)	22件 (47.83%)	54.35% (25件/46件)
	無し (7件)	3件 (6.52%)	

へのコミュニケーション手段はテキストベースのコメントのみであり、視聴者から自発的にコメントを送信しない限り、放送者は視聴者の興味や関心がどこに向けられているのかを判断することが出来ない。しかし、今回のPOV提示を確認した際に複数のPOV表示が重なっている状態を確認したことで、コメントでは触れられていなかったボートなどへの興味に気づくことが出来、話題に利用することが可能になった。3つ目は自身の発言に対する興味を確認できたからである。今回の放送において、放送者は視聴者に対して質問やコメントを求める発言を行っており、POVが発言の対象に向けられていることを確認することで、放送者の発言に対する興味を確認することが可能になっていた。

このから、特殊視聴を行っているPOVを提示することで、放送者は視聴者の興味や関心を基にした話題の提示を行えるようになるだけでなく、自身の発言に対するレスポンスをPOVの表示からも得られるようになるということが分かった。さらに、3つの判断基準はPOVの話題性を分析する上で利用できる可能性が有る。

また、ノートパソコンの画面上に重畳表示でPOVを提示する方法は、放送者が気づけない場合が半数程度あることが分かった。今後は放送者が移動しながらでもPOVを確認することが出来るようなPOV提示方法が必要になる。具体的には、音や振動などの視覚に頼らない提示方法が考えられる。また、話題性の無いPOVについても提示に含めてしまっているため、話題性の有無に関しても自動で識別する手法を検討する必要がある。

8. まとめ

本研究では、360度インターネット生放送において視聴者のPOVを分析し、放送者に提示することで、放送者と視聴者のコミュニケーションにどのような効果があるのか検証した。その結果、放送者は視聴者のPOVから興味や関心だけでなく、自身の発言に対するレスポンスを得ることが出来るということが分かった。また、POVから話題性の有無を判断する際の判断基準として、様子に変化する視聴対象であること、複数視聴者の視聴対象が重複すること、放送者の発言対象と視聴対象が一致することの3つがあるということが明らかになった。今後はPOV提示の方法と、話題性の有無について自動識別する手法の検討が必要になる。

参考文献

- [1] Roel Vertegaal, "The GAZE groupware system: mediating joint attention in multiparty communication and collaboration", CHI '99 Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems, pp.294-301(1999).
- [2] David M. Grayson, Andrew F. Monk, "Are you looking at me? Eye contact and desktop video conferencing", ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI) Volume 10 Issue 3, September 2003, pp.221-243(2003).
- [3] 高田真也, 西岡大, 齊藤義仰: 全方位カメラを用いたインターネット生放送における視線ヒートマップの開発, 分散協調とモバイルシンポジウム 2017 論文集, pp.1081-1088(2017).
- [4] 高田真也, 西岡大, 齊藤義仰: 360度インターネット生放送における視聴者 POV の分析, 分散協調とモバイルシンポジウム 2019 論文集, pp.889-894(2019).
- [5] "渚の駅" たてやまで VR 体験 | 館山市役所, <https://www.city.tateyama.chiba.jp/minato/page100266.html>, (2020年2月参照).
- [6] ウェブで360度不動産物件見学ができる、VR制作できる「houseVR」 | VRbouz 株式会社, <http://www.vrbouz.com/>, (2020年2月参照)
- [7] VRCHHEL, <https://vrchel.com/>, (2020年2月参照).
- [8] 360° 動画のヒートマップレポート, <https://support.google.com/youtube/answer/7407544/>, (2020年2月参照).
- [9] 早田赳, 岩切宗利, "周辺視野への視角外空間の表示による視野拡張に関する一検討", 研究報告グラフィクスとCAD(CG) 2015-CG-158(10), pp.1-5(2015).
- [10] Intent to implement: HTML5 by Default, https://groups.google.com/a/chromium.org/forum/#!searchin/chromium-dev/HTML5%20by%20default/chromium-dev/0wWoRRhTA_E/_E3jf40OAAJ, (2020年2月参照).
- [11] YouTube Engineering and Developers Blog: YouTube now defaults to HTML5 <video>, https://youtube-eng.googleblog.com/2015/01/youtube-now-defaults-to-html5_27.html, (2020年2月参照).
- [12] 「動画視聴ページ HTML5 版 (β)」提供開始のお知らせ - ニコニコインフォ, <http://blog.nicovideo.jp/niconews/ni064261.html>, (2020年2月参照).
- [13] Kurento, <http://www.kurento.org/>, (2020年2月参照).