

松 山 大 学 論 集
第 34 卷 第 5 号 抜 刷
2 0 2 2 年 12 月 発 行

PageRank のアルゴリズムに基づく 主観的な相互評価

檀 裕 也

PageRank のアルゴリズムに基づく 主観的な相互評価

檀 裕 也

概 要

試験やレポートなど、授業担当者による知識の理解度やスキルの評価は、客観的な尺度に基づく公平性が担保されている。その一方で、創意工夫を盛り込んだプレゼンテーションなど表現された成果を評価するとき、多様な評価のポイントがあって、学生による比較的自由的な表現に対する評価は簡単ではない。そこで、学生一人ひとりの感性に基づく主観的な相互評価によって、多様な表現を評価するために、新しい手法が求められている。本稿では、2021年度後期に開講した「マルチメディア演習」の授業で実践した最終制作課題およびプレゼンテーション動画に対する相互評価について紹介し、PageRankのアルゴリズムを導入して主観的な相互評価を試みると、同じ課題に取り組んだ学生同士の投票による評価で一元的な順位を算出できることを示した。

キーワード：主観評価, 相互評価, ピアレビュー, PageRank, 感性工学

Summary

The evaluation of the understanding level and skill of the knowledge by professors such as examinations and assignments are ensured the fairness based on the objective scale. On the other hand, when evaluating the results expressed such as presentations, there are various evaluation items, and the evaluation by students for free expression is not easy. Then, we want to evaluate various expressions by subjective mutual evaluation based on the sensitivity of each student. In this paper, the mutual evaluation for the final production problem and presentation video practiced in the class of “Multimedia Programming” which was opened in fiscal 2021 was reported, and it was shown that when the algorithm of PageRank was introduced, the ordered ranking can be calculated by the evaluation by the vote between students who tackled the same assignment.

KEYWORDS : subjective evaluation, mutual evaluation, peer review, PageRank, affective engineering

1 はじめに

教育における学習評価には、成績評価や学習意欲の向上など、その目的に応じてさまざまな手法が存在する。大きく分けると、試験やレポートを通じて測定できる授業担当者による客観的な評価と学生同士のレポートやプレゼンテーションに対する主観的な評価である。特に、後者の評価方法のうち、同じ課題に取り組んだ学生による他者評価に基づき、知識の理解度やスキルではなく、比較的自由に表現された結果について評価する公正な方法が模索されている^[1]。

もちろん、表現に対する授業担当者の評価は既存のものである。複数の独立した観点から評価基準を定め、総合得点で評価することは客観的な評価として分かりやすい。また、学生による評価は主観的なものに留まるであろう。評価基準などをルーブリックのような形式で与えると、主観的な評価は客観化できるようにも見えるが、それは授業担当者の代用に過ぎない。比較的自由に表現されたものに対して、感性的な評価に意味があるのか、先行事例はきわめて数少なく、断定的な言い方はできない。しかし、デジタル技術を用いてピア評価ができるようになれば、このような感性的な評価の事例を集積でき、その意味を探究できると考えられる。

さらに、ある種の集合知のような形式で、学生による主観的な評価について PageRank のアルゴリズムによる評価値を計算することで授業担当者の評価と合致するかは大きな研究テーマである。PageRank とは、Google の検索エンジンに採用された有名なアルゴリズムである。ある Web ページが別の Web ページにリンクされるという仕組みを「投票」と見なし、優良な Web ページを定量的に測定できるものである。

本稿では、情報技術 (IT) に関するパソコン実習科目において、授業担当者による客観的な技術的な評価とは別に、学生による主観的な評価のうち、自己評価ではないピア評価を試み、最も簡単な投票という方法によってマルチメ

ディアの表現について適切な評価値を得るべく、2021 年度授業において実践した結果を報告する。

2 PageRank のアルゴリズムによる評価

2.1. アルゴリズムの概要

PageRank とは、インターネット上の Web 空間におけるハイパーリンクのグラフ構造を解析し、優良なページを決定する指標である。Page ら (1999) によって提案された PageRank^[2] は、Google の検索エンジンにアルゴリズムとして実装され、より精度の高い検索結果を出力したことで知られている。「多くの良質なページからリンクされるページは、やはり良質である」という発想に基づき、Web ページの内容ではなく、ハイパーリンクのグラフ構造に着目した点が特徴である。

例えば、3つのノードから構成されるグラフの構造 (図 1) を考える。ここで、A は B を評価し、B は A および C を評価し、C は A を評価していると仮定し、その関係性を単方向および双方向の矢印で表示した。

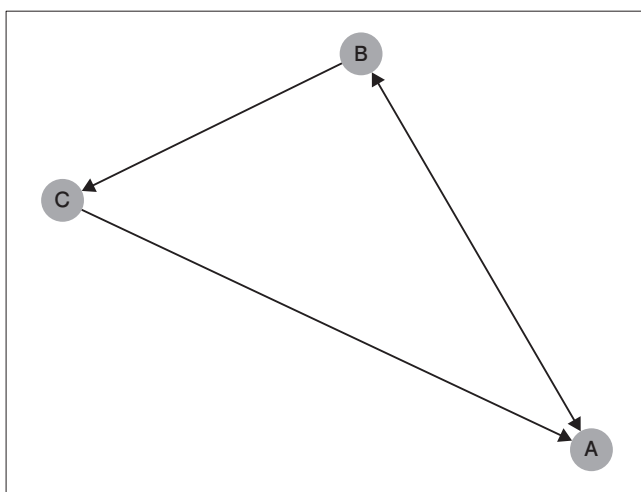


図 1 3つのノードから構成されるグラフの構造

Web ページでは、ハイパーリンクを設定する行為が「評価」に相当する。このとき、隣接行列は

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

と記述することができる。隣接行列の1行目はAの評価がBのみであること、2行目はBの評価がAおよびCであること、3行目はCの評価がAのみであることを表している。このままでは、2票の評価を与えたBは影響力が大きくなるため、ランダムサーファーマデルに従って、遷移確率行列 P の形式

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ \frac{1}{2} & 0 & \frac{1}{2} \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

に正規化する。すなわち、行列 P の成分 p_{ij} について

$$0 \leq p_{ij} \leq 1$$

および

$$\sum_j p_{ij} = 1$$

を満たすように、評価を等分する。このとき、行列 P の固有値1に対応する固有ベクトルは、PageRankを与える。実際、上記の行列 P に対して

$$\vec{x}P = \vec{x}$$

を満たすベクトル \vec{x} を求めると、

$$\vec{x} = \begin{bmatrix} \frac{2}{5} & \frac{2}{5} & \frac{1}{5} \end{bmatrix}$$

は固有値1に対応する固有ベクトル (PageRank) である。

3 授業の概要

3.1. 授業の到達目標および評価の方法・基準

本論文で取り上げる「マルチメディア演習」は、松山大学経営学部情報コースの専門科目として2年次生を対象に開講されている。2021年度は、Blenderによる3DモデリングおよびCGアニメーションをテーマに、マルチメディアの表現と技術について学んだ^[3]。なお、本授業科目はマルチメディア表現および技術（実習を含む。）として高等学校教職課程情報免許の必修科目にも設定されている。

毎回の授業では、事前視聴を前提とするオンデマンド動画および教室におけるリアルタイムの対面授業によって3DモデリングおよびCGアニメーションに関する基礎理論を理解し、その後は各受講生の個性で多様な表現が生まれるような実習課題が提示される。形状を表現する3Dモデリングと動きを表現するCGアニメーションの技術的な実装は毎回の課題として評価されるほか、次回授業の冒頭にて、技術的な実装に関する質疑応答のほか、その表現の部分は受講生同士で共有される。例えば、初回の実習課題は「おでん屋を開店し、自慢の商品のスクリーンショットを提出せよ」というもので、ポリゴンによる基本図形（プリミティブ）、シェーディング、マテリアル設定などの基本的な技法を学んだことを前提に、受講生の創意工夫によって自由に表現することができる（図2）。

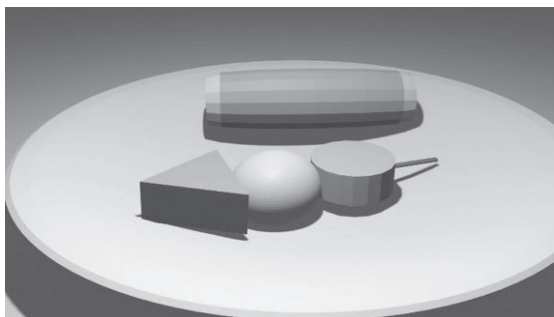


図2 制作課題の例

なお、本授業科目における学習の到達目標は、以下のとおりである。

- マルチメディアの表現と技術について理解する
- デジタルコンテンツの制作に関する知識と技能（スキル）を身につける
- オリジナル作品を制作し、インターネットなどのメディアを通じて公開することができる
- CG-ARTS 検定「マルチメディア検定」のエキスパートまたはベーシックに合格できる水準に達する

また、評価の方法・基準については、毎回の提出課題（50%）および最終課題（50%）によって総合的に評価するものである。最終課題はオリジナル作品を制作することであるが、2021年度は、さらに一人5分程度のプレゼンテーション動画^[4]を作成させることにした。その際、授業担当者による最終課題の評価とは別に、PageRankのアルゴリズムについて説明した上で、受講生同士の相互評価を取り入れることを事前にアナウンスした。

本授業でLMSとして用いたGoogle Classroomにおける相互評価の案内は図3のとおりである。リンク先のプレゼンテーション動画を見てから、良いと思うものに複数投票できるフォームを用意した。

第15回【課題】PageRankのアルゴリズムに基づく相互評価

Yuya DAN・1月24日（最終編集: 1月24日）

期限: 2月4日 12:00

最終課題として提出されたプレゼンテーション動画について、PageRankのアルゴリズムに基づき相互に評価します。「あなたのClassroom上の表示名」を選択の上、「あなたにとって印象に残った作品の作者」に投票【複数選択可】してください。期限内であれば、入力内容を編集可能です。

2021年度 成果

<https://sites.google.com/g.matsuyama-u.ac.jp/multimedia/2021%E5%B9%B4%E5%BA%A6%E6%88%90%E6%9E%9C>

図3 Web および LMS を用いた相互評価

4 評価結果

最終課題のオリジナル作品を紹介する 5 分程度のプレゼンテーション動画を相互に見られるように Web サイトを用意し、すべての受講生に Google フォームを用いて「あなたにとって印象に残った作品の作者」に投票させた。その結果について述べる。

4.1. 単純集計

単純に得票数を集計した結果は、図 4 のとおりである。最も多くの票を獲得した学生 B は 19 票を得ている。ただし、得票数 0 の学生は表示していない。これまでに取り入れられている相互評価として、デジタル技術を取り入れなくても容易に実現できることから、最も多くの実績があると考えられる方法である。票数の積み上げが分かりやすく、学生にも比較的納得してもらえる単純な評価方式であるといえる。

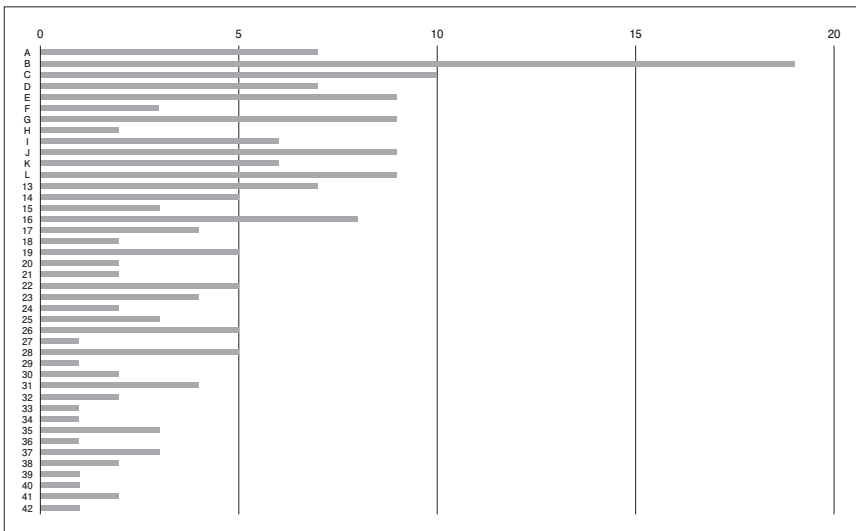


図 4 単純集計 (PageRank による評価と同じ順番)

一人の投票者が複数の投票ができる点については、公平性の観点から、票数を等分するなどの工夫を取り入れる余地はある。しかし、今回の試行では PageRank による評価を主眼としたことから、単純集計に関する最適化については度外視した。

4.2. PageRank による評価

投票の結果から隣接行列を生成した。Python で作成したプログラム（リスト）を用いて、投票による有向グラフの構造を可視化するとともに PageRank を求めた。Python の数値計算ライブラリには NumPy^[5] があって、行列計算における固有値の計算など優れた性能を発揮する。今回は、52 次正方行列に対する固有値および固有ベクトルを計算するために、NumPy に含まれている固有値計算の機能を使うとともに、汎用的な方法として逐次法で計算したものを検算用に併記した。

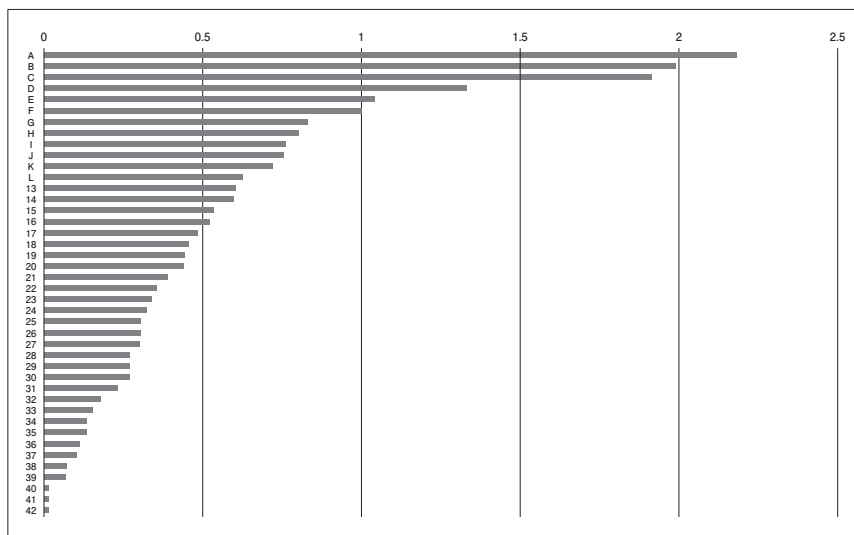


図5 PageRank による評価

その結果は表 1 のとおりであって、図 5 はグラフで表示したものである。また、受講生同士の投票行動を可視化した有向グラフの構造は図 6 および図 7 である。

表 1 全受講生の PageRank

学生	PageRank	学生	PageRank
A	2.181	22	0.356
B	1.988	23	0.340
C	1.915	24	0.324
D	1.331	25	0.306
E	1.042	26	0.304
F	1.001	27	0.301
G	0.831	28	0.270
H	0.802	29	0.269
I	0.758	30	0.269
J	0.756	31	0.231
K	0.719	32	0.177
L	0.624	33	0.152
13	0.605	34	0.135
14	0.597	35	0.134
15	0.535	36	0.112
16	0.522	37	0.101
17	0.483	38	0.071
18	0.456	39	0.068
19	0.444	40	0.015
20	0.440	41	0.015
21	0.390	42	0.014

リスト Python プログラムのソースコード

```
import numpy as np

A = np.array([
    [
        0.,1.,1.,1.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,1.,0.,0.,1.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,
        0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,
        0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.],

        /* 以下、隣接行列の2次元配列（省略） */

    ])
np.set_printoptions(threshold=np.inf)
pr = np.ones(52)
pr /= 52
A /= A.sum(axis=1)[:, np.newaxis]
print(A)
print(A.sum(axis=1))
print(pr)
for i in range(100):
    pr = np.dot(pr,A)
    print(pr)
pr = np.dot(pr, A)
print(pr)

eig, v = np.linalg.eig(A)
print(eig)
print(v)
```

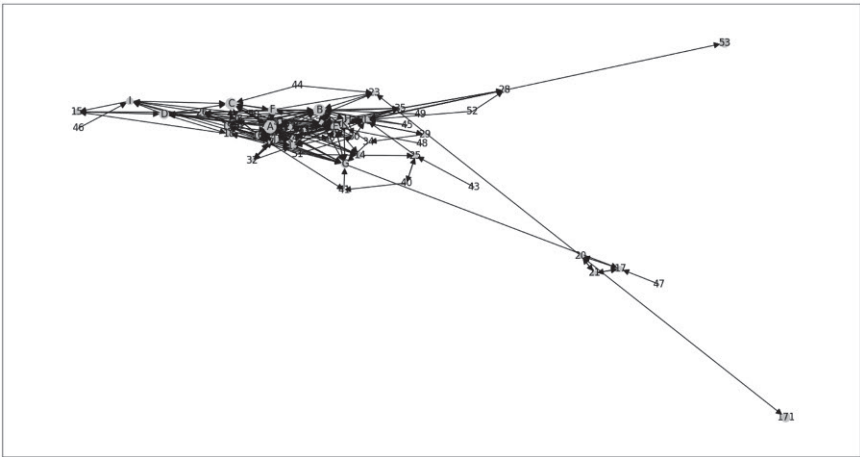


図6 すべてのノードから構成されるグラフの構造

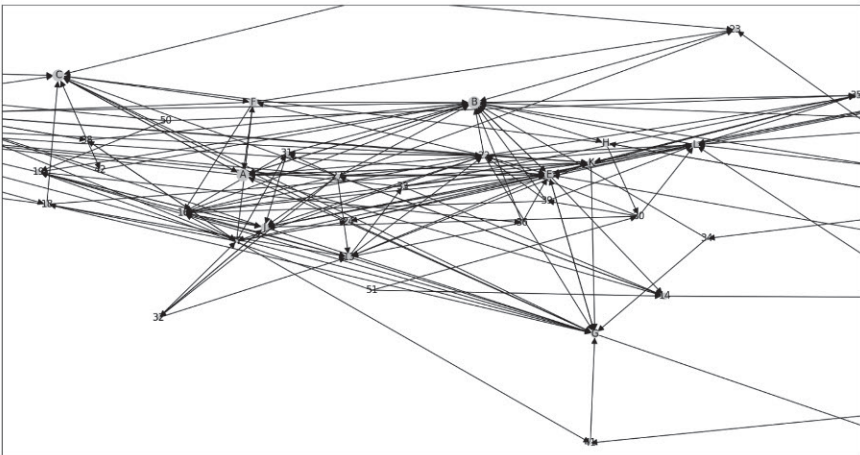


図7 中核的なノードから構成されるグラフの構造

図4に示した単純集計は、比較しやすいようにPageRankによる評価と同じ順番で縦軸に項目を並べた。今回の相互評価では、1本当たり5分程度のプレゼンテーション動画を視聴することになるため、複数の動画を多く視聴するには時間がかかる。特に、PageRank上位12名は、自分自身が高い評価を得ているだけでなく、時間をかけて他人のプレゼンテーション動画を丁寧に視聴している様子がうかがわれる。実際、表2のように、複数の動画を視聴した結果を投票に反映させている。

今回の試行結果を振り返ると、学生 A および学生 B の評価について単純集計の結果と PageRank による評価結果で逆転していることが注目される。単純集計の結果によると、学生 A の得票に 3 倍近い差をつけて学生 B が票を集めている。ところが、表 2 を見てもわかる通り、学生 A は PageRank 上位 12 名の学生から半数にあたる 6 票を得ており、4 票に留まった学生 B の PageRank が伸び悩んだと読み取れる。隣接行列の固有値計算によって得られる評価値は、単純集計では得られない票の重みという効果を含むことができる。

[illegible]

実際、図 8 は学生 A のプレゼンテーション動画から抜粋したものである。動画の冒頭に完成アニメーションを流し、後半で制作の作業工程を解説した。照明効果（ライティング）やカメラワークなどの高度な技術を用いて CG アニメーションを制作しているが、理解する方にも知識が必要である。

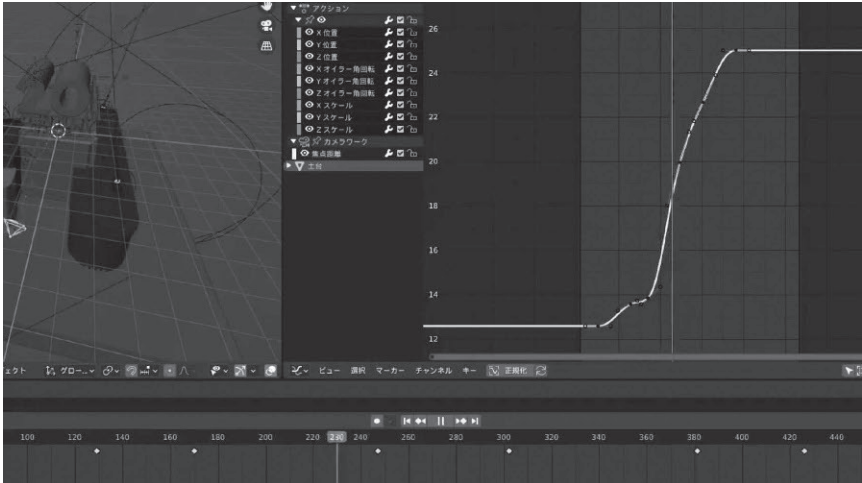


図 8 学生 A のプレゼンテーション動画（抜粋）

一方、図 9 は学生 B のプレゼンテーション動画から抜粋したものである。このプレゼンテーションの冒頭で、制作意図やコンセプトを説明し、中盤で完成作品を流し、終盤に制作の技術的なポイントを解説している。導入から分かりやすいプレゼンテーションを展開し、5 分間で至るところに興味を引く話題を提供していることもあって、多くの受講生の目を引いたと考えられる。

今回のプレゼンテーション動画は、LMS からアクセスさせるため、Google ドライブ上で受講生に共有された。そのため、YouTube を通じて共有したときのように、実際のアクセス統計を得ることができず、両者の比較は推定に過ぎない。また、投票は Google フォームを用いて実施したが、投票先としてプ

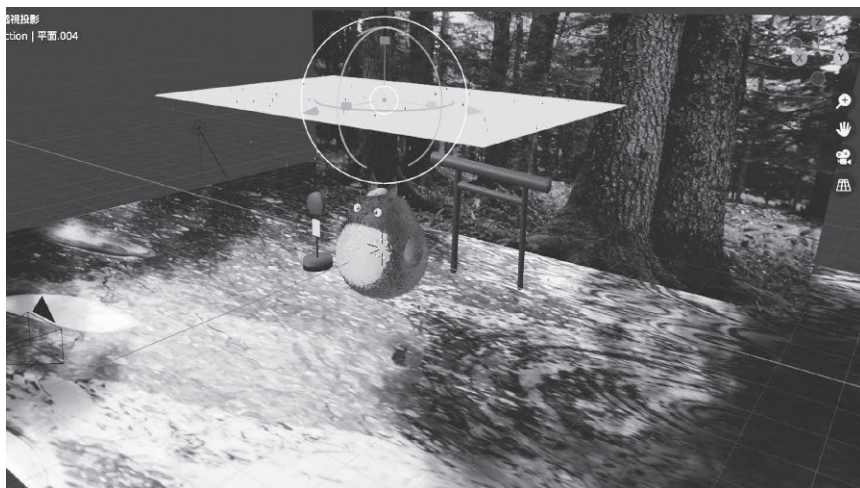


図9 学生Bのプレゼンテーション動画（抜粋）

プレゼンテーション動画等をランダムに並べ替えたものではないため、順序のバイアスがかかっていることは否定できない。Google ドライブ上のサムネイル画像も受講生が選べるわけではないため、YouTube を通じて概要欄やサムネイル画像も含めた“魅せかた”ができると、別の結果を導く可能性がある。

5 考 察

本稿では「マルチメディア演習」の表現および技術に関する授業課題のうち、表現の最終課題に対する主観評価について論述したものである。

Blender を用いて制作された CG アニメーションなどのコンテンツは、C# スクリプトとして実装されているプログラミングなどの技術的な要素について、バランスのいいチェックリストやいくつかのマイルストーンを設定するなどの方法によって、容易に客観的な評価が可能である。その一方で、表現的な要素について評価する場合、カラーアクセシビリティやアニメーション理論に基づく評価値は定量化しやすい反面、デザインコンセプトや世界観など個人の好み

や世代間のギャップに左右される要素が入ると、その評価は主観的なものに留まってしまう。

そこで、制作された CG アニメーションなどの作品とともに、その制作過程についてプレゼンテーションした動画の評価をする場合、同じ課題に取り組んだ学生たちによるピアレビューは、評価者への教育的効果を含めて、PageRank のアルゴリズムに基づく評価値を計算することで定量化することができる。

金澤ら^[6]は、映像や音声の主観評価モデルとして、物理要因および心理要因を提示し、心理学的測定法として尺度構成法などの手法を挙げている。マルチメディアのコンテンツは、映像や音声といった視覚および聴覚など人間の五感に作用する信号であるため、感性的な情報の受容について理解することは必要不可欠である。

また、井上^[7]や飯田^[8]の感性工学に基づく評価は、自動化などの方向で有用な可能性が示唆されるが、コンテンツそのものから抽出される情報を使うため、前処理と評価に計算資源がかかるという点は、素朴に教育における評価には使いづらい面がある。

そこで、複数の選択方式（チェックボックス）によって、作品を評価するという単純な投票行動の集合体からグラフ構造を生成し、PageRank を計算する本手法は、手軽に評価できるという優位性があると考えられる。

平成 29・30・31 年に改訂された学習指導要領^[9]によると、学校教育法第 30 条第 2 項が定める学校教育において重視すべき三要素（「知識・技能」「思考力・判断力・表現力等」「主体的に学習に取り組む態度」）のうち、「思考力・判断力・表現力等」の評価について、「問題を発見し、その問題を定義し解決の方向性を決定し、解決方法を探して計画を立て、結果を予測しながら実行し、プロセスを振り返って次の問題発見・解決につなげていくこと（問題発見・解決）や、情報を他者と共有しながら、対話や議論を通じて互いの多様な考え方の共通点や相違点を理解し、相手の考えに共感したり多様な考えを統合したりして、協力しながら問題を解決していくこと（協働的問題解決）のために必要

な思考力・判断力・表現力等である。」と位置付けている。特に、問題発見・解決のプロセスの中で、以下のような「表現」を行うことができることが重要であるとして、「伝える相手や状況に応じた表現」を挙げている。

すなわち、ターゲットを明確にしたうえでコンセプトメイキングの段階から適切な技術を選択して作品を完成させ、その想像された価値が相手に伝わるかどうかは本質的に重要なポイントである。

いずれにしても、「思考力」および「判断力」とともに、問題解決の手段として「表現力」が位置付けられていることが分かる。

本稿における今回の実験では、プレゼンテーション動画視聴時の表示順やサムネイル情報などノイズの影響が出ていることは否定できない。さらに、PageRankによって不公平感の平準化を試みたとはいえ、集中してプレゼンテーション動画を視聴した学生とそうではない学生との温度差の影響を評価する必要があると考えられる。そして、作品そのものの主観評価およびプレゼンテーションによって影響を受けた作品の視点の両面があって、結果的には総合評価となっているが、個別にプレゼンテーションによる評価への影響を測定することも課題として残っている。

今回の試行実験は、受講生同士のピアレビューとなったため、レベルの高い作品制作に対する技術的な苦勞が見える（を見せる）プレゼンテーションほど高く評価される傾向となった。どちらかといえば、表現より技術に重点を置いて評価しがちな授業担当者による最終課題の評価は、結果的には、PageRankに基づく序列に一致した。

6 ま と め

試験やレポートなど、授業担当者による知識の理解度やスキルの評価は、客観的な尺度に基づく公平性が担保されている。その一方で、プレゼンテーションなど表現された成果を評価するとき、多様な評価のポイントがあって、学生による自由な表現に対する評価は簡単ではない。そこで、学生一人ひとりの感

性に基づく主観的な相互評価によって、多様な表現を評価したい。本稿では、2021 年度後期に開講した「マルチメディア演習」の授業で実践した最終制作課題およびプレゼンテーション動画に対する相互評価について報告し、PageRank のアルゴリズムを導入して主観的な相互評価を試みると、同じ課題に取り組んだ学生同士の投票による評価で一元的な順位を算出できることを示した。

学生による主観的な評価について、単純集計では人気投票の意味合いが濃くなるが、PageRank のアルゴリズムに基づく評価値を計算することで授業担当者の評価に近い順位が得られることが分かった。実際、授業担当者による最終課題の評価は、マルチメディアの表現よりもその表現技術に寄ったものになるため、違和感はない。

今後は、プレゼンテーション動画視聴時の表示順やサムネイル情報などノイズの影響を評価するとともに、集中してプレゼンテーション動画を視聴した学生とそうではない学生との温度差を含めた投票行動に対する評価について精査することが課題である。

参 考 文 献

- [1] 中島英博「学習評価」玉川大学出版部 (2018)
- [2] L. Page, S. Brin, R. Motwani, T. Winograd, “The PageRank Citation Ranking: Bringing Order to the Web,” Technical Report. Stanford InfoLab. (1999)
<http://ilpubs.stanford.edu:8090/422/>
- [3] 檀裕也「Blender を用いた 3D モデリングおよびアニメーションの反転授業」情報処理学会第 84 回全国大会講演論文集, Vol. 4, 7H-05, pp. 565-566. (2022)
- [4] 2021 年度マルチメディア演習 成果
<https://sites.google.com/g.matsuyama-u.ac.jp/multimedia/2021%E5%B9%B4%E5%BA%A6%E6%88%90%E6%9E%9C>
- [5] NumPy, <https://numpy.org/>
- [6] 金澤勝, 小宮山撰, 稲垣敏彦, 森本一成「マルチメディアのための品質評価 マルチメディアの評価技術 映像・音声・印刷の主観評価の基礎とヒューマンインタフェース」映像情報メディア学会誌 54 巻, 6 号, pp. 802-811. (2000)
- [7] 井上正之「マルチメディアのための品質評価 感性情報処理の評価感性工学における

評価 感性工学における評価」映像情報メディア学会誌, 54巻, 11号, pp. 1521-1525. (2000)

<https://doi.org/10.3169/itej.54.1521>

- [8] 飯田健夫「マルチメディアのための品質評価 感性の客観的計測とヒューマンインタフェース評価」映像情報メディア学会誌, 54巻, 12号, pp. 1712-1718. (2000)

<https://doi.org/10.3169/itej.54.1712>

- [9] 文部科学省：学習指導要領「生きる力」

https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/

(以上, URL は 2022 年 8 月 10 日閲覧)