

遠隔社会におけるグラフィックスパラダイム

Graphics Paradigms for Remote Society

大河原 将[†] 藤代 一成[‡]
Masaru Ohkawara Issei Fujishiro

1 遠隔社会の功罪

2020 年から本格化した COVID-19 の感染拡大は、社会の様相を大きく変え、オンライン会議システムをはじめとする遠隔技術に再び注目が集まるきっかけにもなった。遠隔技術を積極的に利活用する社会 (遠隔社会) においては、遠隔技術によって合理化される社会経済活動が多数ある一方で、教育を代表とする継続や品質維持が困難な活動もある。また、人々の繋がり希薄化によって社会経済への悪影響も生じる。

本稿では、「コンピュータグラフィックス (CG) 教育の品質維持」と「共存感を考慮した遠隔技術」というテーマで遠隔社会を切り取る。そして、両課題に対する著者らの取組みを報告し、遠隔社会における CG の新しい価値 (グラフィックスパラダイム) を考察する。

2 節では、「CG 教育の品質維持」をテーマとしてクラウドベースの CG 実習教材を紹介する。また、3 節では、「共存感を考慮した遠隔技術」をテーマとして照明を考慮したポートレート合成を紹介する。そして、4 節で両取組みを総括し、遠隔社会におけるグラフィックスパラダイムを提示する。

2 クラウドベースの CG 実習教材

本節では、先行研究 [1] を基にクラウドベースの CG 実習教材について詳説する。なお、本節の内容の概略を図 1 に示す。

2.1 開発背景

慶應義塾大学理工学部情報工学科では、2019 年度から、学部 3/4 年生向けの通年専門科目として「ビジュアルコンピューティング (IA/B, II)」を開講している。当該科目では、ビジュアルコンピューティング領域の

基礎的な事項から先進的なトピックスまでを系統的かつ統合的に扱っている。本節で採り上げるのは、そのなかの CG プログラミング実習を支える教材である。

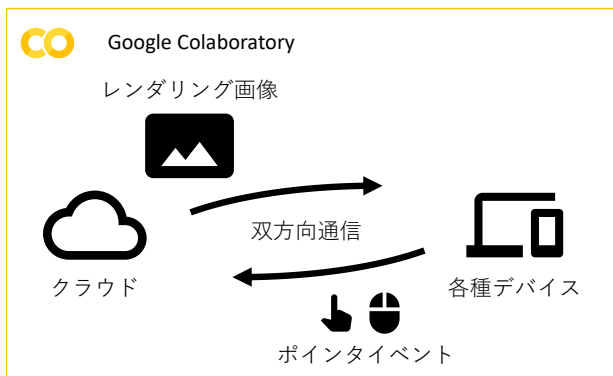
本教材を設計するにあたり、2つの目標を設定した：1) GPU パストレーシングを通して、CG プログラミングと GPU コンピューティング (GPGPU: General-Purpose computing on GPU) を同時に体験させること、2) 学生間の計算資源の差異を教材自体が吸収し平等な実習環境を提供すること。これらを達成するためには、受講する学生数に応じた GPGPU 環境を用意する必要がある。一般的に、Extended Reality (XR) を支える領域は特殊なハードウェア/ソフトウェア (HW/SW) を要する場合が多く、そのような XR 関連領域の教育は当然ながら特殊な HW/SW を要する。こうした実情をふまえて、柔軟に計算資源を提供可能なクラウドの活用が著者らの必然的な選択となった。

2.2 教材の位置付け

パストレーシングは写実的な CG を生成する際の事実上の標準技術として知られており、これを取り扱う教材はいくつか存在する。それらの教材は実行環境の違いによって、スタンドアローン型、WEB アプリ型、クラウドネイティブ型の 3 種類に分類することが可能である。スタンドアローン型は、実行環境がオフラインであることが特徴で、ネットワーク環境に依存しないという利点がある。代表的な教材として『Ray Tracing in One Weekend Book Series』 [2] が知られている。WEB アプリ型は、実行環境がブラウザ上であることが特徴で、環境構築なしで即座に実習を開始できるという利点がある。代表的な教材には Rayground [3] や ShaderToy [4] がある。ただし、スタンドアローン型も WEB アプリ型もローカル端末の計算資源を使用することになるので、使用端末への性能要求が高くなってしまふ。クラウドネイティブ型は、クラウドコンピューティングの力を最大限に活用することが特徴であり、ローカル端末の性能にほとんど依存することなく高負荷な処理を実行できるという利点がある。

[†]慶應義塾大学 大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Technology, Keio University

[‡]慶應義塾大学 理工学部情報工学科
Department of Information and Computer Science, Faculty of Science and Technology, Keio University



動作の仕組み

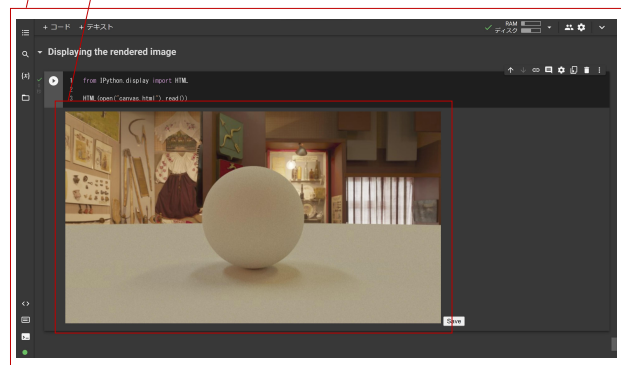
デバイスのポインタイベントからカメラの位置姿勢を決定
クラウドレンダリングによって画像生成しデバイスへ転送

クラウドコンピューティングの力を最大限に活用する
クラウドネイティブ設計により性能要求を極小化

無料でGPU搭載インスタンスを個人利用可能な
Google Colaboratory (Colab) にすべてが実装されており
受講生の数に制限されずに実習環境を提供可能

Colab notebook で実装が完結しており
使用者はアクセスしてすぐに実行可能
必要なのはWEBブラウザのみ

GPUクラウドインスタンスから転送される
レンダリング画像の対話的表示
高負荷演算はすべてクラウドが担うため
ラップトップPCをはじめ、タブレットや
スマートフォンなどでも実行可能



実行時のスクリーンショット

図 1: クラウドベースの CG 実習教材 [1] の概略

本教材はクラウドネイティブで設計されており、実装にあたっては Google Colaboratory (Colab) [5] を基幹クラウドサービスとして採用した。Colab では、GPU 搭載インスタンスを個人が無料で使用できるため、費用の観点において、教材の使用が受講生の規模に制限されることがない。つまり、多くの学生に平等な実習環境を与えることを可能にしている。また、高負荷な処理のほとんどをクラウドが担うことにより、ネットワーク環境さえあればタブレットやスマホからでも GPU パストレーシングを体験することが可能となっている。

2.3 活用状況

本教材は 2019 年度の「ビジュアルコンピューティング (IA/B, II)」新規開講から 3 年度に渡って、慶應義塾大学理工学部情報工学科にて活用実績がある。この 3 年度のうち、直近の 2 年度は COVID-19 の感染拡大の影響で遠隔講義を余儀なくされた年度であった。2019 年度の対面講義時と 2020 年度の遠隔講義時の学習効果を、同内容の課題 (20 点満点) の平均スコアで評価すると、2019 年度が 16.2 点、2020 年度が 16.9 点となり [1]、いずれの場合でも同様の効果が得られたといえる。これは、本教材がクラウドネイティブで設計されていたことによって教育の品質が維持されたものと解釈できる。

3 照明を考慮したポートレート合成

本節では、先行研究 [6] を基に照明を考慮したポートレート合成について詳述する。なお、本節の内容の概略を図 2 に示す。

3.1 研究背景

幸か不幸か、COVID-19 の感染拡大の影響により、オンライン会議システムをはじめとする遠隔技術の積極活用が急進している。それにより、人々は物理的な移動から開放され、本質的タスクへ集中できるようになった。これは、理想的には社会経済の合理性を上昇させることに繋がるが、現実的には人々の生産性の低下を招いている。Microsoft の報告書 [7] によれば、人々是对面コミュニケーションのなかで社会的・心理的な繋がりを形成しており、遠隔コミュニケーションにおいてその繋がりが欠如することにより精神的ストレスを感じ生産性も低下してしまうようである。ここで、対面コミュニケーションのなかで形成される社会的・心理的な繋がりを共存感と呼称することにする。著者らは、この共存感の一部が視覚情報によってもたらされると仮定し、デジタル画像コンポジットにおける視覚的整合性の保持に取り組んだ。



デジタル画像コンポジットにおける視覚的整合性の欠如

標準的なコンポジットと理想的な集合写真を比較すると

- ・それぞれの人物が受ける照明の統一性
- ・人物が落とす影の有無

これらに決定的な差異が確認できる

この視覚的整合性の欠如が**共存感**の欠如を誘発すると仮定

背景のシーンデータと三次元再構成された人体モデルを
組み合わせて大域照明効果をシミュレーションによって再現

視覚的整合性を保持したデジタル画像コンポジットを実現

共存感を考慮したポートレート合成の一例

図 2: 照明を考慮したポートレート合成 [6] の概略

3.2 研究の位置付け

デジタル画像コンポジットは、複数の視覚要素を単一画像に併合する技術で、主に映像コンテンツを作成する技術として知られている。このとき、併合される視覚要素は必ずしも照明環境を共有していないため、コンポジット画像を構成するそれぞれの視覚要素間の光学的な一貫性は保証されない。こうした視覚的整合性の欠如は、画像全体の違和感として人間に知覚される。この課題へのアプローチとして再照明という手法が存在する。たとえば、Total Relighting [8] は、ポートレートから人物体表面の光学情報を推定し、全く別の照明環境下における外観を模擬できる。しかし、多くの再照明手法は環境照明を前提としており、人物とその近接環境との間で発生する照明効果はほとんど考慮できない。一方、提案手法では、最終的なコンポジット画像を構成するシーンを想定して大域照明を計算することにより、局所的な遮蔽が生み出す半影などの大域照明効果を再現できる。たとえば、デジタル画像コンポジットによって集合写真を合成することを考えると、それぞれの人物が受ける照明の統一性や、人物が床に落とす影、人物同士にかかる影が無視できなくなる。特に、こうした影については環境照明を前提とする再照明手法だけでは再現することが困難である。しかし、提案手法のフレームワークを使用すればコンポ

ジットと同時にこれを再現できる (図 2)。提案手法が再現する大域照明効果はコンポジット画像全体の視覚的整合性を保持する役割を果たし、特に複数人を対象としたポートレート合成においては共存感を創出することに繋がると考えられる。

提案手法は、デジタル画像コンポジットを「映像コンテンツ作成技術」から「遠隔技術」としてリフレーミングすることにより、遠隔社会におけるデジタル画像コンポジットの新たな課題、すなわち、デジタル画像コンポジットにおける共存感の欠如にスポットライトを当てている。そして、「共存感の保持」と「視覚的整合性の保持」を結びつけ、視覚的整合性を考慮したデジタル画像コンポジットを実現することにより、当該課題を解決する糸口を示している。

3.3 展望

COVID-19 の感染拡大が本格化した 2020 年以降、共存感に着目した遠隔技術の進展がいくつか見られる。オンライン会議システムのひとつである Microsoft Teams では、共有背景に会議参加者をコンポジットする Together Mode が 2020 年にリリースされている [9]。また、Project Starline [10] とよばれる立体視を活用した遠隔対話システムも 2021 年に発表されている。これらは対話性および双方向性を重視して設計されており、

コミュニケーションツールとしての実用性がきわめて高くなっている。一方、提案手法で現状確認できている有効性はスナップショットの作成についてまでであり、ストリームデータに対する有効性は確かめられていない。遠隔社会において共存感を考慮した遠隔技術の研究開発が注目されていることは事実であり、こうした流れを考慮して提案手法のコミュニケーションツールとしての実用性の向上も目指していきたい。

4 クラウドネイティブと共存感

「CG 教育の品質維持」と「共存感を考慮した遠隔技術」という二つのテーマで、遠隔社会課題に対する著者らの取組みを紹介した。「CG 教育の品質維持」の観点では、クラウドネイティブ型教材を用いることが大いに役立つことが明らかになった。本稿では、パストレーシングという具体的な実習対象にそってクラウドネイティブ型の利点について説明したが、一般的に、高負荷な処理を含む対象であればクラウドネイティブ型の有効性が発揮されると期待できる。つまり、CG に限らず XR 関連領域にも応用できる概念であると考えられる。一方、「共存感を考慮した遠隔技術」という観点では、遠隔技術の利用で発生する共存感の欠如が視覚的整合性の欠如に誘発されているという仮定のもとで、遠隔社会におけるデジタル画像コンポジットの在り方を再定義した。今後ますます遠隔技術の活用が進むと考えられるなかで、共存感の保持は解決すべき重要な課題であり、ますます注目を集める分野になると期待される。

以上をふまえて、最後に、遠隔社会における新しいグラフィックスパラダイムとして「クラウドネイティブ」と「共存感」を提示する。これらのグラフィックスパラダイムは、遠隔社会における新しいフロンティアとして注目を集めるメタバースにおいても大きな価値をもつ。メタバース体験の本質である没入感が「相互作用/関係性」によってもたらされるとするとき、膨大な計算と通信を要するメタバースとの間でユーザが「相互作用」するためには、ユーザがローカル端末で利用できる以上の処理能力を提供する仕組み、すなわち、「クラウドネイティブ」設計が必須となる。また、分散化によって失われる要素間の「相互関係」を復元するには、それらを統合させ「共存感」を創出する必要がある。このように、遠隔社会で逆説的に重要視される「相互作用/関係性」をこれらのグラフィックスパラダイムが支えることになると考える。

謝辞

本研究の一部は、科研費基盤研究 (A) 21H04916 および科研費挑戦的研究 (開拓) 20K20481 の支援により実施された。

参考文献

- [1] M. Ohkawara, H. Saito, and I. Fujishiro, “Experiencing GPU path tracing in online courses,” *Graphics and Visual Computing*, vol. 4, paper 200022, 2021. DOI: [10.1016/j.gvc.2021.200022](https://doi.org/10.1016/j.gvc.2021.200022)
- [2] P. Shirley, *Ray Tracing in One Weekend Book Series*, accessed on 21 June 2022. URL: <https://github.com/RayTracing/raytracing.github.io>
- [3] N. Vitsas, A. Gkaravelis, A.-A. Vasilakis, K. Vardis, and G. Papaioannou, “Rayground: An online educational tool for ray tracing,” in *Eurographics 2020 - Education Papers*, M. Romero and B. Sousa Santos, Eds. The Eurographics Association, 2020. DOI: [10.2312/eged.20201027](https://doi.org/10.2312/eged.20201027)
- [4] P. Jeremias and I. Quilez, “Shadertoy: Learn to create everything in a fragment shader,” in *SIGGRAPH Asia 2014 Courses*, ser. SA '14. New York, NY, USA: ACM, 2014. DOI: [10.1145/2659467.2659474](https://doi.org/10.1145/2659467.2659474)
- [5] Google, *Welcome to Colaboratory - Colaboratory*, accessed on 21 June 2022. URL: <https://colab.research.google.com/notebooks/intro.ipynb>
- [6] M. Ohkawara and I. Fujishiro, “Illumination-aware group portrait compositor,” *The Visual Computer*, 2022. DOI: [10.1007/s00371-022-02508-z](https://doi.org/10.1007/s00371-022-02508-z)
- [7] S. Jared, *The future of work—the good, the challenging & the unknown*, Blog Post on Microsoft 365 Blog, July 2020, accessed on 21 June 2022. URL: <https://www.microsoft.com/en-us/microsoft-365/blog/2020/07/08/future-work-good-challenging-unknown/>
- [8] R. Pandey, S. O. Escolano, C. Legendre, C. Häne, S. Bouaziz, C. Rhemann, P. Debevec, and S. Fanello, “Total relighting: Learning to relight portraits for background replacement,” *ACM Trans. Graph.*, vol. 40, no. 4, July 2021. DOI: [10.1145/3450626.3459872](https://doi.org/10.1145/3450626.3459872)
- [9] R. Susanna, *Video fatigue and a late-night host with no audience inspire a new way to help people feel together, remotely*, Story on Microsoft Innovation Stories, July 2020, accessed on 21 June 2022. URL: <https://news.microsoft.com/innovation-stories/microsoft-teams-together-mode/>
- [10] J. Lawrence, D. Goldman, S. Achar, G. M. Blascovich, J. G. Desloge, T. Fortes, E. M. Gomez, S. Häberling, H. Hoppe, A. Huibers, C. Knaus, B. Kuschak, R. Martin-Brualla, H. Nover, A. I. Russell, S. M. Seitz, and K. Tong, “Project starline: A high-fidelity telepresence system,” *ACM Trans. Graph.*, vol. 40, no. 6, December 2021. DOI: [10.1145/3478513.3480490](https://doi.org/10.1145/3478513.3480490)