2025 年度終了報告書

先端国際共同研究推進事業（ASPIRE）
「Top 研究者/Top チームのための ASPIRE」

AI 駆動の新しいコンピュテーショナル・フォトグラフィ：理論から実践まで

日本側研究代表者：
松下　康之　大阪大学 大学院情報科学研究科　教授　　（2024 年 9 月 30 日まで）
大倉　史生　大阪大学 大学院情報科学研究科　准教授　（2024 年 10 月 1 日から）

相手国側研究代表者：
［カナダ］マイケル ブラウン　ヨーク大学 電子情報科学研究科　教授
［米国］　ミンシャン ヤン　カリフォルニア大学マーセッド校　電子情報科学研究科　教授

1．概要

(1) 研究および計画の概要

① 研究構想

一般的なカメラがレンズを通して得た被写体の像を忠実に記録する装置であるのに対して、コンピュテーショナル・フォトグラフィでは後処理計算を前提として、被写体の像そのものではなく、中間的な表現を記録する。このような「計算」を前提とした撮像方法により、従来のカメラでは獲得しえない光線空間情報を記録し、後処理によるピント調整や手ブレ除去や、あるいは近年ではブラックホールの撮影に応用されるなど、これまでに困難であった高機能な計測を可能とする。一方で、近年の深層学習に代表される人工知能（AI）技術の進展により、画像生成などの「生成」技術が盛んに研究されている。AI による画像生成技術では、未観測のもっともらしい画像を生成できる点において、「撮影」と「生成」の境界があいまいになりつつあると言える。コンピュテーショナル・フォトグラフィにおいても、圧縮センシングに代表されるように未観測情報の推定が中心的な問題であり、AI による「生成」とコンピュテーショナル・フォトグラフィによる「推定」は、未観測情報の獲得という点で同じゴールを持つと言える。本研究では、AI 技術をコンピュテーショナル・フォトグラフィに応用し、新しい AI 駆動型コンピュテーショナル・フォトグラフィの確立と体系化に取り組む。既存のコンピュテーショナル・フォトグラフィでは、照明、光学系、センサ、そしてアルゴリズムの各ブロックにおいてあらかじめ定義された計算ブロックによりパイプラインが実現される。これに対して、本提案の AI 駆動型コンピュテーショナル・フォトグラフィでは、出力となる画像またはタスクから得られる期待との差異を、照明、光学系、センサ、アルゴリズムの各計算ブロックにフィードバックし、各々の計算ブロックを最適化することで、これまでにない高度なコンピュテーショナル・フォトグラフィの枠組みを創出することを目的とする。

② 国際ネットワーク構築・拡大／国際頭脳循環の促進に資する若手研究者の人材育成

学会系の国際的なトップ研究コミュニティでは、中国・韓国を除くアジア諸国のプレゼンスが低下しており、日本を中心としたアジア諸国の一層の参画が求められている。わが国の若手人材を育成し、トップ研究コミュニティへの参画を後押しすることは、本提案の趣旨に沿うと同時に現在のトップ研究コミュニティのニーズにも応える。また、若手のうちに若手同士で国際的なネットワークを形成することは、次世代のトップ研究コミュニティ形成のために大変有効であるため、人材派遣・招へいや、シンポジウム開催による若手同士の交流の機会を多く計画する。パートナーPI は、コンピュータビジョン分野のコミュニティにおけるハブ的な存在であり、これらのグループとの交流を起点としてわが国の若手人材の研究力とネットワークを育成し、次世代の研究コミュニティを形成するトップ研究者の育成を目的とする。

(2) 成果の概要

Lilika Makabe、 Hiroaki Santo、 Fumio Okura、 Michael S. Brown、 Yasuyuki Matsushita、 Spectral sensitivity estimation with an uncalibrated diffraction grating、 *Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV)*、 2025。

概要：カナダ（ヨーク大学）への筆頭著者の滞在によって実現した共同研究の成果。コンピュータビジョン分野のトップカンファレンスに採録された。簡便なセットアップからのカメラ光学系（波長に対する感度）を推定する問題を扱っており、今後の継続的な国際頭脳循環へのマイルストーンとなった。

2．目的・目標の達成状況

(1) 研究構想上の達成目標

＜当初目標＞

本研究では、AI 技術をコンピュテーショナル・フォトグラフィに応用し、新しい AI 駆動型コンピュテーショナル・フォトグラフィの確立と体系化に取り組む。既存のコンピュテーショナル・フォトグラフィでは、照明、光学系、センサ、そしてアルゴリズムの各ブロックにおいてあらかじめ定義された計算ブロックにより画像生成パイプラインが実現される。これに対して、本提案の AI 駆動型コンピュテーショナル・フォトグラフィでは、出力となる画像またはタスクから得られる期待との差異を、照明、光学系、センサ、アルゴリズムの各計算ブロックに自動的にフィードバックし、各々の計算ブロックを最適化することで、これまでにない高度なコンピュテーショナル・フォトグラフィの枠組みを創出することを目的とする。この実現により、獲得したい画像やタスクに特化したコンピュテーショナル・フォトグラフィパイプラインの設計が自動化されるとともに最適化され、さらに新しいイメージングパイプラインを創出する。期間全体を通じて、コンピュータビジョンおよびコンピュテーショナル・フォトグラフィ分野のトップ国際会議である CVPR、 ICCV、 ECCV、 ICCP 等において、10 篇以上の論文を発表し、成果の広報に努める。

＜得られた成果＞

滞在先との共著にて 2024 年 11 月に CVPR2025 への投稿を 1 件（York University との共著）行い、2025 年 3 月に ICCV2025 への投稿を 2 件（York University との共著が 2 件）行った。うち 1 件が ICCV2025 に採録（York University の Micheal S. Brown 教授との共著）された。

また、滞在先との共著ではないが、2024 年度は、滞在中あるいはその前後の成果に基づくトップ会議（CVPR、SIGGRAPH、ECCV）論文を計 6 件、2025 年度は CVPR2025 で 1 件の発表を行った。また、本研究に関連して当分野の中心的な国内会議である MIRU において 8 件発表し、4 件受賞した。

総じて、2023 年末～2024 年度の成果が 2024～2025 年度において既に合計 8 件のトップ会議論文として発表されており、研究構想上の達成目標が十分に達成可能な、順調なスタートを見せた。

(2) 国際ネットワーク構築・拡大に関する達成目標

＜当初目標＞

研究終了時において、研究代表者らのグループが AI x コンピュテーショナル・フォトグラフィ分野において、国内外の研究者らが定期的に訪問・滞在するハブ拠点となっている状態を目指し、若手人材が新しい国際ネットワークを獲得できる環境整備を目的とする。

＜実施したこと＞

- 若手研究者の長期派遣（職名・学年は派遣当時）
  - 山藤助教、York University（2024.4－2024.9）、UC Merced（2024.10－2025.3）、計 12 ヶ月。York University においては、項目(1)、(2)に係る事前調査及び既存アルゴリズムの実装・整備を実施し、物理法則を考慮した深層学習器の設計、微分可能表現による計算ブロック

の設計に着手し、実際に分野トップ会議である CVPR に共著論文を投稿した。UC Merced においては、項目(1)の事前調査及び既存アルゴリズムの実装・設計を実施し、特定タスクの高度化に向けた検討を進めた。

- D3 学生、UC Merced (2024.11- 2025.1)、3 ヶ月。UC Merced において項目(1)の事前調査及び既存アルゴリズムの実装・設計を実施し、特定タスク（主に波長分解）の高度化に向けた研究に取り組んだ。ICCV2025 に投稿し、採録された。
- D2 学生、UC Merced (2024.12 – 2025.2)、 3 ヶ月。UC Merced において項目(1)の事前調査及び既存アルゴリズムの実装・設計を実施し、特定タスク（主に AI による画像生成技術）の高度化に向けた研究に取り組んだ。
- M1 学生、York University (2024.7 – 2024.9)、 3 ヶ月。York University において項目(1)、(2)に係る事前調査及び既存アルゴリズムの実装・整備を実施し、物理法則を考慮した深層学習器の設計、微分可能表現による計算ブロックの設計の研究に取り組み、CVPR2026 への投稿に向けて準備している。
- D1 学生、 York University (2024.8 – 2024.11)、 3 ヶ月。York University において項目(1)、(2)に係る事前調査及び既存アルゴリズムの実装・整備を実施し、特に、物理法則を考慮した深層学習器および対応ハードウェアの設計の研究に取り組んだ。

- トップ研究者招へい
  - Ming-Hsuan Yang (UC Merced、 教授、パートナーPI)、約 7 日間 x 2 回
  - Gene Cheung (York University、 教授)、約 7 日間 x 1 回
- 海外若手研究者招へい
  - York University 博士前期課程学生 1 名 x 3 ヶ月
  - UC Merced 博士後期課程学生 2 名 x 各 3 ヶ月
- 研究代表者と若手研究者によるパートナー拠点訪問
  - 2023 年度末：松下康之（大阪大学、教授、PI）・山籐（助教）・D3 学生・M1 学生、9日間 x 1回

＜得られた成果＞

山藤助教が計 1 年間（York、UC Merced に半年ずつ）の滞在を行うことにより、国際頭脳循環の基盤が構築できた。ASPIRE 終了後も協力関係は継続予定であり、共著論文の出版などが見込まれる。また、修士学生が海外滞在により、博士後期課程への進学を決断する、という重要な成果もあった。

(3) 国際頭脳循環の促進に資する若手研究者の人材育成に関する達成目標

＜当初目標＞

本研究による国際頭脳循環を通じて若手研究者が国際ネットワークを構築し、それを通じて国際会議等においてさらに広いネットワークを自身で獲得できる状態を目指す。また、獲得した国際ネットワークをもって国際共同研究をリードできるようにする。また、複数名の若手人材が主要国際会議の領域チェアやオーガナイザーとして活躍し、国際的なプレゼンスを発揮している状態を目指す。

＜得られた成果＞

研究代表者である大倉（自身もおそらく若手研究者の範疇である）がコンピュータビジョンのトップ会議である ICCV2025、 CVPR2026、 WACV2026 および機械学習のトップ会議である NeurIPS2025、海外派遣対象の山藤が機械学習のトップ会議である NeurIPS2025 のエリアチェアを任されるなど、ASPIRE プロジェクト期間中に、研究参加者の国際的なビジビリティが顕著に向上した。山藤は、海外派遣終了後の 2025 年度に准教授へ昇任し、本プロジェクトは人材育成の面でも重要な役割を果たした。初年度完了時点において、既に当初目標である「複数名の若手人材が主要国際会議の領域チェアやオーガナイザーとして活躍」を達成している。

3．今後の計画および展望

(1) 研究構想上の将来展望

＜当初研究構想における展望＞

将来的には本研究の成果からコンピュテーショナル・フォトグラフィにおける画像生成パイプラインの自動設計への指針が確立され、新しいカメラ設計や生成 AI のための撮影方式などの応用が期待できる。AI 駆動型のコンピュテーショナル・フォトグラフィにより各計算ブロックが最適化されることで、従来のコンピュテーショナル・フォトグラフィと比較した際に性能向上が期待され、ハードウェアデバイスの簡略化にも貢献すると考えられる。

＜今後の展望＞

本プロジェクトは、約 1 年という短期間でありながら、当初（5 年半）の目標を十分に達成可能な卓越した成果を出した。本プロジェクトの成果は、2025 年度スタート予定の新規課題（代表：長原、分担：中島・大倉）で継続および発展予定である。

(2) 国際ネットワーク構築・拡大に関する将来展望

＜当初研究構想における展望＞

将来的には本研究を通じて育った若手人材が国内外に複数のハブ拠点を形成し、国際ネットワーク構築のサイクルを回すことができる状態を目指す。また、本研究を通じて培った国際ネットワーク形成に関する知見を共有し、わが国の国際的な人材育成に活用する。

＜今後の展望＞

2025 年度スタート予定の新規課題（代表：長原、分担：中島・大倉）においては、本課題で構築したネットワーク（York U および UC Merced）を維持しつつ、コンピュテーショナル・フォトグラフィ分野の世界的トップ研究室（コロンビア大の Shree Nayar 教授・CMU の Srinivasa Narasimhan 教授）を相手先拠点として新たに開拓した。今後の国際ネットワーク形成および人材育成に活用する。

(3) 国際頭脳循環の促進に資する若手研究者の人材育成に関する将来展望

＜当初研究構想における展望＞

本研究で育成した若手人材が国際研究コミュニティの中でリーダーシップをとり、主要国際会議のオーガナイザーや領域チェア、また主要な国際ジャーナルの編集委員などに複数名が参画していることが期待できる。また、本研究で育成した若手人材が次世代の若手人材の育成者となり、わが国の研究者が継続的に国際コミュニティへ参画している状態を目指す。

＜今後の展望＞

既に本プロジェクトの参加者である大倉・山藤らがコンピュータビジョンコミュニティのインナーサークルに入っていることに続き、今後も本プロジェクトの参画者が継続的に本分野を引っ張っていくことを現実的な目標としている。

4．計画・実施体制等の妥当性

2024 年度は、研究代表者の暫定的な移譲にあたり、既に予定されていた海外渡航に係る最低限の経費以外を使用しなかった。全ての経費が若手人材の海外渡航および相手先研究者の招へいに用いられており、極めて効率的かつ妥当である。