

光の計測×情報処理 見えないものを捉える

向川 康博 Mukaigawa Yasuhiro

奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科 教授
2017年よりCREST研究代表者

特集 1

OVERVIEW ■

空間を飛び交う光線は角度、波長、時間などの高次元な視覚情報を含むが、通常のカメラでは平面画像しか撮影できない。これに対し、奈良先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科の向川康博教授は、多様な軸で光を計測する光学的な工夫と情報処理技術を組み合わせることで、豊富な視覚情報を含む画像を得ることに成功した。撮影シーンの深い理解を可能にする見えないものを捉える技術は、産業への応用が期待されている。

光が持つ多様な情報 2次元画像では消失

1800年代に木箱型カメラが登場して以来、さまざまなレンズや材料を組み合わせて、カメラでより鮮明にシーンを切り取ろうと改良が重ねられてきた。近年では、小型化・高性能化が一層進み、誰でも手軽に美しい写真を撮れるようになってきている。「自動運転やAIによる画像診断など、至る所でカメラ画像が活用されていますが、画像に全ての情報を落とし込めているわけではありません」と指摘するのは、奈良先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科の向川康博教授だ。

人もカメラも、レンズを通して入ってきた光の情報を処理することで「見る」ことができる。空間を飛び交う光には、通過位置や角度、波長、時刻、偏光状態などの情報が含まれており、反射や屈折、散乱などの光学現象を繰り返しながら人の目やカメラに届いている。つまり光は情報を運ぶ媒体といえる。

しかし、同じ光を受け取っていても人は瞬時に物体の材料や質感を判断できるのでに対し、AIなどが2次元画像からこうした情報を判別することは難しい。「これは2次元画像では、光が持

つ多角的な情報が失われているためです。しかし、もし必要な情報を的確に捉えることができるになれば、画像からより深くそのシーンを理解できるようになるはずだ」と語る。

自動運転であれば、霧や雨などの悪天候時でも、道路標識などの必要な情報を正確に抽出できれば、安全性は大きく向上するはずだ。あるいは、大掛かりな装置を使わず、病院ですぐに皮下の血管の様子を確認できれば、採血や診断に役立てられるに違いない。そこで、向川さんは「見たいものだけを見る」「見えないものを見る」といった特殊な撮影を可能にする技術を開発するために、CREST「多元光情報の符号化計測と高次元化処理の協調設計」を立ち上げた(図1)。

プロジェクトチームは4つに分かれており、向川さんの率いる計測グループでは多元光情報の計測や撮像過程を情報科学的にモデル化する。大阪大学大学院情報科学研究科の松下康之教授は、解析グループで高次元データ解析アルゴリズム設計とソフトウェア開発を担う。また、立命館大学情報理工学部の田中賢一郎准教授は、特定活用グループで多元光情報の学際活用と応用に合わせた最適化を、千葉大学大学院工学研究院の久保尋之准教授は、融合活用グルー

プで多元光情報の融合活用と最適な可視化を行う。

この4つのグループが互いに連携し、計測デバイスの光学設計と情報科学分野における計算アルゴリズムを融合し、両者を協調的に設計することで高次元光イメージングの実現を目指している。つまり、光学デバイスだけではなく、見えないものを見えるようにするための画像処理技術も併せて開発し、これまでにない画像を得ようとしているのだ。

トレンドは追わず 発想の転換で勝負

向川さんが目指す多元情報を含む画像もコンピューター上で処理するわけだが、画像の情報処理に関する研究の世界では、膨大な量の2次元画像を深層学習させる研究スタイルが主流になりつつある。コンピューターに学習させる画像を集めるのに以前は苦労していたが、近年インターネット経由でいくらかでも手に入るようになったことも大きな要因だ。今や画像処理の研究は、カメラ無しでも成り立つというから驚きだ。

これに対し「トレンドは追わない。発想の転換で世界の最先端に挑む」という標語を掲げる向川さんは、自分

たちで工夫した計測デバイスで情報量の多い画像を撮影することにこだわり続けている。「現在の深層学習のように情報量の少ない画像を素材としている限り、これまでの延長線上の成果しか得られないでしょう。私たちは画像の情報量を増やすことで、これまでにない全く新しい成果を打ち立てたいと考えています」と強調する。

プロジェクトでは、はじめに画像が含む情報の次元を大幅に上げるため、波長軸、視点位置軸、ナノ秒単位時間軸の3つの軸で光線を計測

図1 CRESTの実施体制



図2 光の透過と散乱を見分ける計測技術の開発



通常のカメラで撮影した画像(左)と透過光のみを用いて画像から再構成した画像(中央)と計測システム(右)。位相をずらしながら細かいチェッカーパターンをプロジェクターで投影しつつ撮影することで、透過光と散乱光を分離している。チェッカーパターンはコンピュータの画像処理から逆算するように設計している。

し、これまで利用されてこなかった潜在的な視覚情報を抽出する方針を立てた。しかし、高次元になるほど計測には時間とコストがかかる。また得られたデータのノイズも増え、膨大なデータ量に複雑な計算処理も必要だ。その上、計測デバイスの性能には物理的・光学的な限界もある。

そこで、向川さんらはカメラの撮影原理を根底から改め、計測デバイスの光学設計に情報科学分野の計算アルゴリズムを融合させた画像処理を前提とする撮影方法を設計した。

「特殊なカメラで撮影した情報を用いるコンピュータービジョン研究は少なく、計測と情報の掛け合わせによりオリジナリティーを高められるというメリットもありました」と狙いを説明する。

この考え方に基づく研究成果の1つが、濁った水の中にある物体の撮影だ。普通のカメラであれば、ぼんやりした画像しか得られないが、このシーンには光源から真っ直ぐ水中を透過する光と、散乱する光が存在する。水中の物体に当たった光が透過

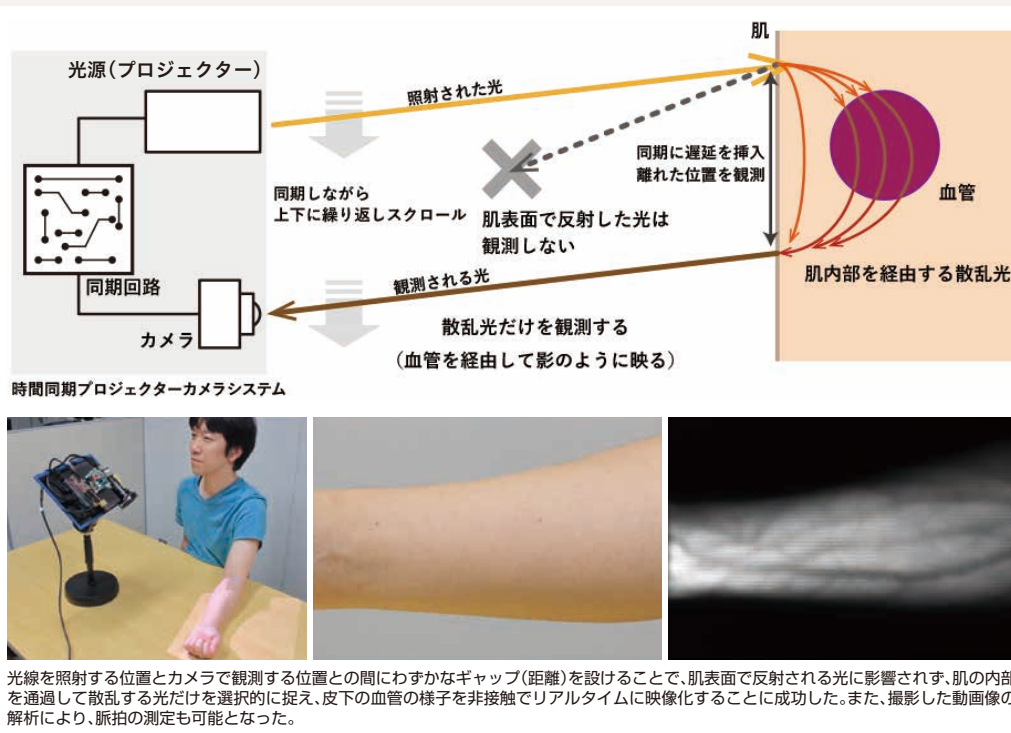
することはないため、真っ直ぐ透過する光だけを取り出すことができれば、物体が影となって現れるという仕掛けだ(図2)。もちろんそのようなことは物理的には不可能で、後でコンピューター上にその画像を再現できるように、逆算して計測方法を設計している。

皮下血管の可視化技術や非接触タッチパネルを開発

こうした光を分離して抽出する技術を使うことで、皮下

の血管も見られるようになる。光源から肌に光を照射すると光の大部分は肌の表面で反射するが、ごく一部は肌の内部に入り込んで散乱する。そのため、光が肌に当たった位置と内部で反射して外に出てくる位置との間には、わずかなギャップが生じる。向川さんらは肌の内部を経由する散乱光に着目し、その光を計測するためにレーザー走査型プロジェクターとローリングシャッター方式のカメラを並行に配置した装置を構築した(図3)。

図3 非接触・リアルタイムでの皮下血管の可視化



光線を照射する位置とカメラで観測する位置との間にわずかなギャップ(距離)を設けることで、肌表面で反射される光に影響されず、肌の内部を通過して散乱する光だけを選択的に捉え、皮下の血管の様子を非接触でリアルタイムに映像化することに成功した。また、撮影した動画の解析により、脈拍の測定も可能となった。

具体的には、光線の照射と撮影のタイミングに、意図的に1ミリ秒以下のわずかな遅延時間を挿入することで光線の照射位置とカメラで撮影される位置をずらし、肌の表面で反射する光ではなく、肌の内部を通過して散乱する光だけを選択的に捉えるという。また、外光の影響を受けにくいので日常的な明るさの室内でも利用でき、X線と異なり健康への影響も少ない。「非接触かつリアルタイムで皮下の血管が見られるので、血管が細い高齢者や子どもへの採血や注射、あるいは血管の形態が変化する疾患の診断などにも応用できると考えています」と語る。

表面より少し奥に入った光を捉えられるなら、表面より少し手前の光を

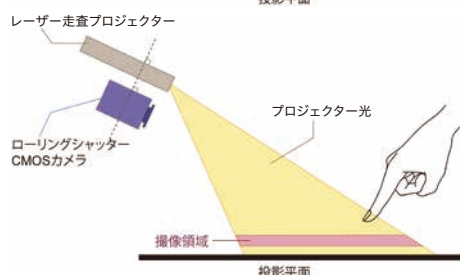
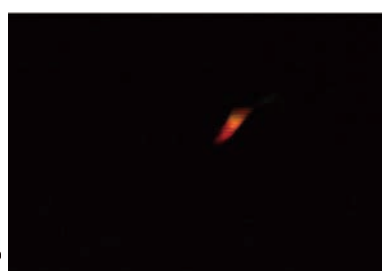
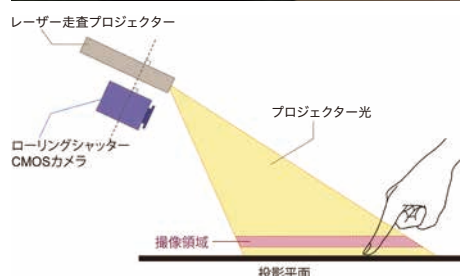
計測したら何ができるだろう。その発想から生まれたのが、プロジェクターから投影した画面を指先でタイムラグ無く操作できるタッチセンシング技術だ(図4)。従来は、プロジェクターが投影した映像全体を別のカメラで撮影し、指先の位置を検出していた。しかし、この方法では指先の位置をピンポイントで検知するのが難しくだけでなく、投影した映像自体に手が映っていると、ユーザーの手と見分けられない、画像処理に時間がかかるなどの問題があった。

そこで向川さんらは、コンピューター処理を行うことを前提に、プロジェクターとローリングシャッター方式のカメラを組み合わせた装置を作成。カメラでの撮影はファインダー

に収まる範囲全体ではなく、指で触れたかどうかの判定に必要な平面に対して少し上の空間、すなわち平面と平行方向の数センチメートルの厚みの範囲だけに限定した。指が面に触れたときは指の一部が撮影され、触れないときは撮影されない仕組みである。

これにより指が画面に触れているかどうかを1台のカメラから判定できるようになった。また指先の有無を検知するだけなので処理にかかる時間が圧倒的に短くなり、スマートフォンを操作する時のような快適な操作性が実現した。「この研究はタッチセンシングする領域をコントロールできるので、タッチレス操作への応用も可能です。非接触での操作ができるようになれば、感染症対策にも有効でしょう」と、向川さんは期待を込める。

図4 投影画面を指先で操作するタッチセンシング技術



タッチセンシングする領域を限定することで、非接触でのタッチ操作を実現した。右はローリングシャッター方式カメラの撮影画像。タッチしている(操作が判定される)時は指の一部が撮影される。

世界遺産のステンドグラス 分光撮影でアーカイブ化

プロジェクトでは、計測デバイスの設計と情報処理を各チームが密接に連携しながら進めることで、大きな成果につなげてきた。特にプロジェクト発定時には、CRESTの理念を大切にしたいと考え、メンバーと頻繁にミーティングを行ったほか、学生も含めたディスカッションや合宿などを実施し、お互いに考え方を共有することに重きを置いてきた。

ところが、新型コロナウイルス感染症により研究は一時中断し、ミーティングの回数も激減してしまった。はた目には大変な状況にも見えるが、向川さんはこの逆風が新しい展開をもたらしたと振り返る。「多少お互いの距離ができたことで、メンバーそれぞれが新しいアイデアを生み出し、試していったのです。理念は共有できていたので、新しい方向性を自由に展開してもらいました」。

当初の波長軸、視点位置軸、ナノ秒単位時間軸の3軸に新たに加えられたのは、ピコ秒単位の時間軸、被写体に対する照明角度、遠赤外帯域の波長、照

図5 アミアン大聖堂のステンドグラスの分光撮像



明と観測の走査の時間差の4軸だ。これらを単独で、あるいは融合して用いることで応用範囲はさらに広がった。

その成果の1つが、フランスが進める建築遺産の高精度なデジタルアーカイブ化事業の一環で行った世界遺産「アミアン大聖堂」のデジタルアーカイブ化だ。仏ピカルディ・ジュール・ヴェルヌ大学との共同研究によるもので、建築の形状をピカルディ・ジュール・ヴェルヌ大学が、ステンドグラスを向川さんがそれぞれ担当した。

この撮像に用いられたのは、高分解能分光計と回転ミラーシステムで構成される計測システムだ。400～2500ナノ(ナノは10億分の1)メートルの範囲で、1ナノメートル以下の分解能で高精細な分光撮像ができる。しかし、画像の1画素ずつを走査線として画面の上から順にスキャンしていく方式であるため、画像全体の計測には数時間かかってしまう。そのため、時々刻々と天気や太陽高度が変化する環境で外光を透過するステンドグラスの色彩を正しく計測することは困難だ。

そこで、向川さんは上から順に走査していく途中で、走査線と垂直方向に1列

だけ追加してスキャンを行った。「これで変動の影響を受けた分光画像と、受けていない追加計測で、二重に画像を得ることができます。それら2つを比較すると自然光による変動成分が得られるので、この成分を変動した分光画像から差し引くことにより、変動の影響を校正した画像が得られました」と向川さんは成果の要因を語る。さらに、この手法で得られた高次元のデータを短時間で解析する方法も開発。外光の変化に影響されない色彩のステンドグラスのデジタルデータ化が実現した(図5、6)。

多元光計測研究は、食品から自動車、医療、文化財まで、あらゆる分野への応用が考えられるが、奈良県出身で文化財をずっと身近に感じてきた向川さんは、今後、特にこのような文化財分野での応用を進めていきたいという。すでに研究室では、古文書の裏写りを消して文字を読みやすくするなどの実績もある。「世界遺産のデジタルアーカイブ化の実績を足がかりに、いつかキトラ古墳の壁画をはじめとした奈良の文化財も手掛けたいですね」と思いをはせた。

(TEXT: 桜井裕子, PHOTO: 石原秀樹)

図6 自然光の変動を補償した分光画像の取得

