

マルチスペクトルカメラによるインデックスマッピングと それらのフルカラー3D 造形

Index mapping by multispectral camera and their full-color 3D modeling

内田 孝幸¹, 杉山 尚輝¹, 栗崎 駿¹, 柴田 太樹¹

Takayuki UCHIDA¹, Naoki SUGIYAMA¹, SHUN Kurisaki¹, Taiki SHIBATA

¹東京工芸大学

¹Tokyo Polytechnic University.

【要約】.

UAV やそれらに搭載できる高性能カメラ, LiDAR さらにはマルチスペクトルカメラなどの技術の進展と SfM の普及に伴って 3D モデルの PC 上での構築が身近になってきた. このような背景の中, フルカラーの 3D 造形の技術に注目が集まっている. 本ショーケースでは, 紙積層型フルカラー3D プリントによって造形した, 地形, 建築物, 車, 人といったモデルを展示した. さらに地形のモデルには可視光の 3D モデルだけでなく, 赤外や NDVI といった 3D のインデックスマッピングを示し, その発展の一例を示した. 色のフルカラー表示は, 加法混色が基本原理であり, それは CMY のインク以上に元のベース白色が重要である. この基本の材料が白く, 歴史がある材料である紙の優位性を再認識するような展示を行った.

キーワード: 3D, NDVI, フルカラー3D, 紙積層型, フォトグラメトリ

【Abstract】

With the advancement of technologies such as UAVs and their onboard high-performance cameras, LiDAR, and multispectral cameras, as well as the spread of SfM, 3D modeling on PCs is becoming more and more familiar. Against this backdrop, full-color 3D modeling technology is attracting attention. In this showcase, models of landforms, buildings, cars, and human created by paper-laminated full-color 3D printing were exhibited. In addition, the terrain models showed not only visible light 3D models, but also 3D index mapping such as infrared and NDVI, which is an example of the development of this technology. The basic principle for full color display is additive color mixing, which is important for the original base white color as well as for CMY inks. The exhibit was designed to reaffirm the superiority of paper, a material that is white and has a history of this basic material.

Keywords: 3D, NDVI, full color, paper laminates, photogrammetry

1. 序論

フォトグラメトリは古くは「写真測量」という意味であったが, 近年の 1) UAV (無人航空機) やジンバルの性能向上によって, あらゆる視点からの画像・映像が安定して取得できるようになったこと. 2) カメラの小型化, 高性能化が進んだこと, 3) カメラ位置の座標の確定にかかわる, GNSS (GPS を代表とする, 全地球航法衛星システム) ならびに, それらの精度を向上させる RTK-GNSS などの技術によって, cm オーダーまで位置精度も向上している. 4) そして何より, これらの莫大な画像・位置情報を現在の意味であるフォトグラメトリ (多視点からの 3D) 構築技術が進展したこと, すなわち SfM のソフトウェアの技術向上と, それらをつかさどる PC (GPU) のマシンパワーの格段の向上が, 上記の技術進展を複合的に高め合いながら, 目覚ましい開発のスピードで社会の多くの分野に広がっている.

本研究では, マルチスペクトルカメラを搭載した UAV を用いて, 山や水田, 建築物などを撮影し, その画像から SfM によって, 3D モデリングさらには, その 3D データをもとに, 紙積層型フルカラー3D プリンタを用いて, それらを 3D 造形した. さらに,

インデックスマッピングにおいてはリモートセンシングなどでよく用いられる NDVI (正規化差分植生指数) を用いて, 植生のマッピングを行った. 通常, このマッピングはその用途から 2D に留める場合が多いが, 今回は 3D モデルならびに上記の紙積層型フルカラー3D プリンタを用いて 3D 造形も行った.

2. コンセプト

通常の撮影用の UAV は可視画像を取得するものであるので, カメラは単眼 (FOV 複合型を除く) であるが, マルチスペクトルカメラはその名の通り, 数バンドでの特定の帯域に特化したカメラを搭載している. 一例として, 図1に, 今回用いたマルチスペクトルカメラの外観とその帯域を示す. インデックスマッピングとは, 測定者や解析者が必要とする, 注目すべき特徴にフォーカスを当て, その特徴の大きさによって, マッピングを行うものである. 分かりやすい例として, サーモグラフィがあり, この場合, 抽出すべき特徴は温度であり, その温度の高低差を被写体にマッピングするものである. そのインデックスは, その図面の作者に委ねられるが, 一般には, 直感的に分かりやすくアサインする方がよく, 温度であれば, 高温

側を「赤」に低温側を「青」にアサインする。

今回はインデックスとして植生すなわち植物の育成の状態を示す NDVI (正規化差分植生指数) を用いて、各撮影画像における NDVI を算出した。NDVI は図1のカメラの画像データ (TIFF) をもとに①式で与えられる。

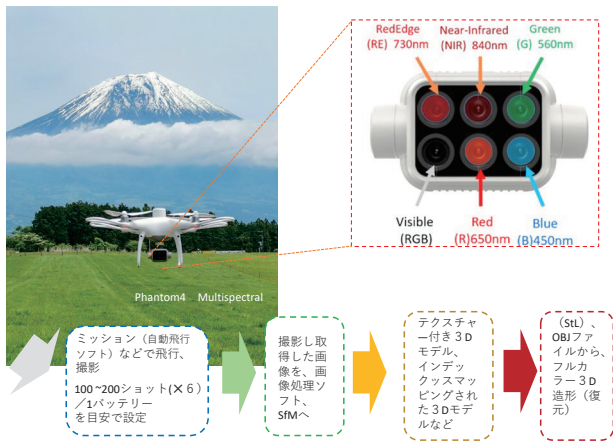


図1. マルチスペクトルカメラを搭載したドローンによるインデックスマッピング作成の流れ

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R}) \quad \cdots \textcircled{1}$$

この値はその名の通り、「近赤外 (NIR) と赤 (R) の差分」をその項目 (NIR と R) の総和で割った = 規格化したものであり、この値の範囲は -1 ~ 1 までの値となる。低い値が植生が不良、+1 側が植生が良好であることを示している。前にも述べたが、この式は極めて単純であるが、衛星画像などでの解析でもよく用いられていることから、比較的、指標として信頼がおかれている。なにより、「規格化」されていることから、光量補正がなされているため、天候や気象の変動に対して、補正がかかった値を示す。(スペクトルバランス変わる場合を除く)。

今回は NDVI を算出できる SfM として、Pix4D Fields, 3D として MetaShape を主に使用した。これらで得られた、オルソ画像や 3D モデルを、単色の場合は STL でカラー 3D については、主に OBJ 形式で出力し、そのファイルを紙積層型フルカラー 3D プリンタ専用のスライサーソフトウェア (ColourIT) を用いて処理した。

この分野の予稿では説明の必要もないが、フルカラープリンタに関して 3D プrint の方法にはプラスチックフィラメントをノズルから吐出する FDM (Fused deposition modeling: 熱溶解積層造形方式)、UV 硬化樹脂を用いた光造形インクジェット方式、粉末燃結方式、粉末固着(接着)方式などがある。これらは、材料を吐出させ熱 (冷却) や UV の光エネルギーで硬化させるか、粉体などの材料にバインダーを吐出して硬化させ造形させるのが主流である。現在、その造形の再現性や精度は格段の向上がみられ、工業製品の試作のみならず、粉末冶金に匹敵する金型レスのレーザーアブレーションを伴った金属 3D やエラストマーのフィラメントである熱可塑性ポリアウレタン (TPU) フィラメントの材料開発も進み、

上述の工業製品のみならず、医療などの分野でも広く応用が進んでいる。

このように、3D プリンタの技術は進んでおり、カラー化においても、3D プrint で一番ポピュラーな FDM でも、数種のカラーフィラメントを装着しているものなどがある。しかし、エリアカラーで造形できるものはあるが、現在、紙にプリントするような、例えば 24 (8×3) ビットフルカラーで 3D 造形できるものは数少ない。現状で代表的なものを上げると、CMYKW 各色の UV 硬化樹脂と水溶性のサポート用 UV 硬化樹脂を用いたタイプの^{1),2),3)}、石膏の粉末に CMY インクを塗布し、その後、バインダを加え 1 層ずつ硬化させていくもの⁴⁾がある。最近では、コンシューマー向けとしてはあるが FDM の熔融状態に特殊な CMY インクを加え、造形するものも市販に至っている⁵⁾。

そもそも、物体への色の表示は「減法混色」が基本であり、その色の要素は CMY であるが、その暗黙の原点は、ベースの色が「白」であることが重要である。この観点に立って、フルカラー 3D を見直したとき、前述した UV 硬化樹脂を用いた光造形インクジェット方式も CMY の UV インクを吐出する前に、W (白) をまずコーティングする。

この観点に立って 3D の材料を考えたとき、紙という材料は、すでに、色を表示するための様々な検討がなされており、その点での優位性は確固たるものがある。

今回のショーケース (展示) では、この色のリアリティを付与した、様々な 3D 造形物を用意した。これらは、これから述べる「紙積層型フルカラー 3D プリンタ: (Mcor IRIS)⁶⁾」を用いている。

この紙積層型 3D プリンタの最大の特長は、カラー 3D モデルのための着色を、前処理としてそのスライスデータの輪郭の部分だけに、紙 1 枚ずつに対して汎用のインクジェットプリンタによって着色を行う点である。その 3D プrint の概要を図 2 に示す。この図の右側の紙束が、3D のスライスカラーデータに対応しモデルの輪郭周辺のみをフルカラー印刷したものである。

近年、フルカラープリンタの技術の進展に伴って、オフィス向けの高速度大容量インクの機種が発売さ

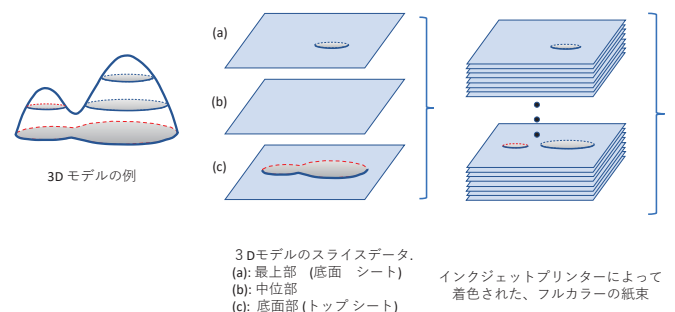


図2. 紙積層型フルカラー 3D 造形の構成要素の概略図⁷⁾

れるに至り、この前処理過程の両面印刷速度や色出力性能が格段に向上した。これに伴って、最近、このタイプのプリンタの有用性・有効性が再認識されるようになった。

例えば、この特長を活かして衛星画像などのリモートセンシングの分野では、この紙積層型フルカラープリンタを用いた地理空間情報の立体模型への展開といった報告もなされている⁸⁾。

図3に紙積層型フルカラー3Dプリンタの造形過程の概要を示した。前処理によって各輪郭をカラー印刷した紙束をメインの装置にセットして、1枚ずつフィード、糊付け、輪郭のカット（紙1枚のみ）を繰り返して、目的の3D造形物を得るものである。

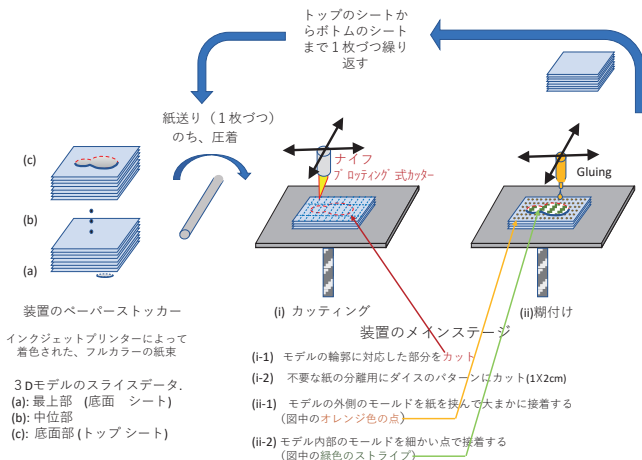


図3. 紙積層型フルカラー3D造形の積層過程概要⁷⁾

従来の多くの3Dプリンタは、熱や光を利用するものに関わらず、フィラメント、UV硬化樹脂といったプラスチックを用いている。昨今のSDGsやカーボンニュートラルの動きに伴って、プラスチック資源循環法が施行されたため、これらに代わる代替材料の検討が喫緊の課題と位置づけられ、この点でも、公害が少なく、リサイクル可能な「紙」の新たな技術は注目に値する。

3. 展示物について

前にも述べたように、今回展示した3Dモデルは、地形、建築物、車、人など多種多様なものを用意した。3Dプリンタは上述の紙積層型フルカラー3Dプリンタを用い、紙のサイズはA4であり、紙束の外周をそのまま残して、展示用にアクリルケース(特注)にそれぞれ入れてある。(人形のモデルを除く)

地形として、

①(a)十国峠、①(b)その山頂部分の可視光3DモデルとそのNDVI⁹⁾(図4)。

②(a)本厚木カンツリークラブ、その10番ホールの可視光3DとNDVI(図5)。

なお、NDVIは植生が良好なもの(+1側)を緑に、不良

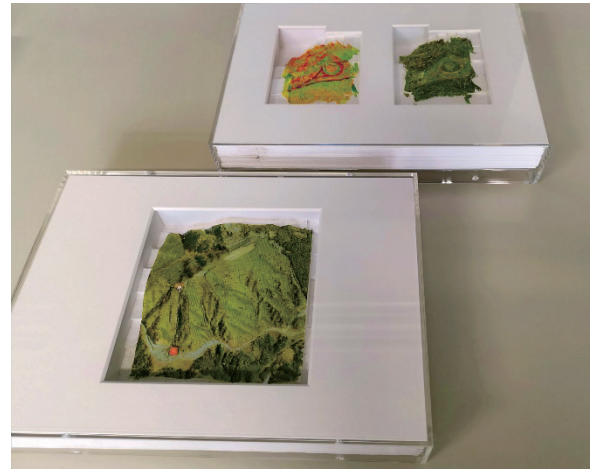


図4. (a)十国峠, (b)その山頂部分の可視光3DモデルとそのNDVI⁹⁾。

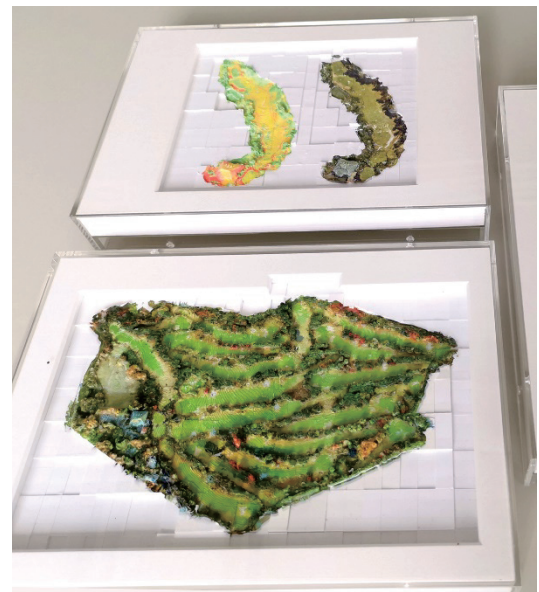


図5. (a)本厚木カンツリークラブ, (b)10番ホールの可視光3DモデルとそのNDVI。

なものまたは無機物(-1側)を赤としてカラーをアサイ



図6. 東京工芸大学厚木キャンパスの3D造形

ンした。

建築物としては

③東京工芸大学, 厚木キャンパスの3Dモデルを示した(図6). 通常よくみかける建築物や都市の3Dモデルは, 単色の模型に後から着色する場合が多い. この場合, 各構成物の素材の色に着色する場合が多く, 臨場感が乏しい. それに対して, 実際に撮影しテクスチャーとして貼り付けた画像の場合, 影の陰影などが忠実に再現される. このため, 例えば, ビルの窓の凹凸なども, 3D造形の解像度としては, それほどクリアでなくても, 各窓の陰影を色で表示することで, 窓の凹凸の臨場感を示すことが出来ている. このような事からも, 3Dモデリング, シミュレーションで行われているような, 照明の位置, 反射, 散乱, 鏡面においてはその映り込みなどを忠実に着色してプリントする技術は, これまで以上に必要になってくると思われる.

車(自家用車)としては

④車(自家用車)のモデルは, 地形撮影で用いた, 平面でのミッション飛行(図7の左に相当)でなく図7(b)に示すようにUAVをノーズインサークルさせて, 車全体の画像を撮影した後, SfMによってモデリングした.

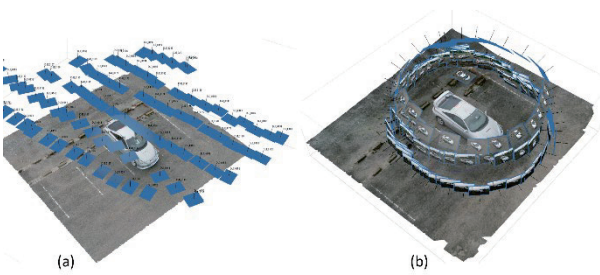


図7. 自家用車に対する UAV の撮影位置とそれによって作成された 3D モデル

(a)平面飛行、(b)ノーズインサークル

人(人物)としては

⑤人の例としては, iPhone12 proMAXに搭載されているLiDAR(カメラ(光源: VCSEL(垂直共振面発光レーザー)))を用い, iPhoneのソフト, polycamを用いて3Dモデル化し, obj形式で3Dプリンタにインポートし, 3Dプリントした. 一例を図8に示す.



図8. 紙積層型フルカラープリントによる人物の造形例



図9. 紙積層型フルカラープリントによる種々の造形例

以上①～⑤に加え, 国土地理院のGSIMAPsなどの3Dデータ¹⁰⁾を利用し, 図9のような様々なフルカラーの造形物を展示する予定である.

4. 結論

UAVやそれらに搭載できる高性能カメラ, LiDARさらにマルチスペクトルカメラなどの技術の進展とSfMの普及に伴って, 3Dモデルの構築が身近なってきた. このような背景の中, そのモデルの復元に当たる, フルカラー3D造形のニーズが高まっている. 今回紹介した紙積層型フルカラー3D造形は, 3Dプリント黎明期に一時展開されたのみにとどまっている. しかしながら, 上述の様々な3D構築を支える飛躍的な技術の進展によって, 形, 特に色の再現力の高いこの方法が見直されるものと思われる. そういった点で, 今回のショーケースでは, 地形, 建築物, 車, 人といったモデルを展示した. さらに地形のモデルには可視光の3Dモデルだけでなく, 赤外やNDVIといった3Dのインデックスマッピングを示し, その発展の一例を示した.

参考文献

1. 八角 邦夫: “フルカラー3Dプリンター, —2D印刷から3D印刷へ—”, 化学と教育, vol. 68, No. 2, (2020), pp. 66-67.
2. 八角 邦夫: “UVインクジェット法によるフルカラー3Dプリンター”, 日本画像学会誌, Vol. 60, No. 4, (2021), pp. 358-365.
3. <https://www.stratasys.co.jp/3d-printers>, accessed online, 30 Sep. 2023.
4. 春日寿利: “3Dプリンタの7つのプリントエンジンの仕組みと特徴”, 成形加工, Vol. 26, No. 4, (2014), pp. 154-157.
5. <https://www.xyzprinting.com/ja-JP/stories/coral-with-3d-print>, accessed online, 30 Sep 2023.
6. Ekelund, Daniel Ihlen: Master thesis of NTNU (2015).
7. 内田 孝幸, 美田 翼, 久原 泰雄, 東 吉彦, 日本印刷学会誌/59, 4, pp. 192-197, (2022)
8. 大塚康弘: 国土地理院, 平成30年度調査研究年報, 地理空間情報部, (2018), p. 56.
9. 内田孝幸, 小嶋優輝, 行谷時男, 小林信一, 安田洋司, 越地福朗, 高橋章浩, 日本写真学会誌86, I, pp. 50-55 (2023)
10. 地理院地図, GSI Maps, 国土地理院. <https://maps.gsi.go.jp>, accessed online, 30 Sep. 2023.