自由視点画像生成技術（NeRF）を用いた現地の可視化と解析

立川 浩祥[1]・天羽 啓太[1]・星野 諒[1]・片平 大暉[1]

[1]大日本ダイヤコンサルタント株式会社 北海道支社　技術部　道路基盤計画室
（〒001-0010 北海道札幌市北区北10条西2丁目13番地2）

一般国道改築に伴い，工事発生土の受け入れ先となる土捨て場の既存容量把握は，施工計画の合理化や工程管理において不可欠な作業である．しかし，対象地は傾斜や植生が多く，人力による測量は時間と労力を要する上，ドローンレーザー測量も高額な費用が課題となる．こうした背景から，本業務では，近年発展著しい自由視点画像生成技術NeRFに着目し，小型ドローンで撮影した動画から三次元データを生成することで，現地の可視化と土量評価を実施した．

NeRFは映像からの空間再構成に優れた特徴を有し，土木分野への応用は先進的な試みである．

本報では，得られた成果と課題を整理し，今後の実務展開の可能性について検討する．

Key Words ***：*** *NeRF, Neural Radiance Fields, SfM, MVS, 自由視点画像生成技術, 3次元*

１．はじめに

近年，土木分野における三次元計測技術の活用が進み，CIMの推進や災害対応の迅速化において，高精度な空間情報の取得が重要視されている．しかしながら，従来の地上測量やドローンレーザー測量は，地形条件やコスト面に課題があり，簡易かつ柔軟に利用できる手法の確立が求められている．

一方，近年登場した Neural Radiance Fields (NeRF)と呼ばれる自由視点画像生成技術は，少数の動画や画像から高精度な三次元モデルを生成可能であり，映像からの空間再構成技術として注目されている．本業務では，NeRFを市販の小型ドローン映像と組み合わせて活用することで，従来困難であった堆積土量の評価を低コストかつ短時間で実現した．

本稿では，その適用手法および実際の業務成果を整理するとともに，従来手法との比較，今後の課題と展開可能性について検討する．

２．技術概要と適用手法

(1) 自由視点画像生成技術の概要

自由視点画像生成技術とは，任意の視点(カメラ位置)から，陰影として表現されるシーンをコンピュータ上で再構成・生成する技術であり，視点の制約を受けずに仮想的なカメラ移動を可能とするものである．映像制作やゲーム分野において，よりリアルで臨場感ある映像表現を実現する目的で開発が進められてきており，近年では深層学習（AI）の活用により技術が急速に進歩し，現実空間を高精度かつ高密度に再現することが可能となっている．

特長としては，複数視点からの画像情報をもとに三次元空間の構造や輝度分布を推定することにより，仮想的に任意の視点からの画像や映像を生成できる点であり，撮影対象に対する物理的アクセスが困難な状況や，限られた視点しか取得できない現場においても有効な手法である．この技術は，映像解析，医療用画像，文化財のデジタル保存に加え，近年では建設やインフラ分野への応用も期待されている．

(2) NeRFの技術的特長

NeRFは，ニューラルネットワークと呼ばれる人工知能(AI)を用いた深層学習モデルを用いて，複数視点から撮影された画像をもとに，空間内の放射輝度場を学習・再構成する技術であり，任意の視点からの画像生成(レンダリング)が可能となる[1)]．従来のSfM(Structure from Motion) や MVS(Multi-View Stereo)が主に対応してきた三次元生成とは異なり，**図-1**に示すようにNeRFは白色や透明色,反射など，従来再現不可能といわれていた部分おいても連続的かつ高密度な3D情報を生成できる点が特長である[7)]．

また，**表-1**に示すように少数の入力画像でも高精細な再構成が可能であり，特に植生や地形の複雑な箇所において，3次元空間上の各点における「光の色(光度)」と「密度(物体の不透明度)」を学習することから再現性の高さが近年注目を集めている．

図-1　SfMとNeRFの精度差比較

表-1 NeRFとSfM／MVSの比較[2)3)]

項目	NeRF	SfM／MVS
再現方法	**AIで映像から光の情報を学習して再現**	複数の写真から形を立体的に復元
出力方式	**点群や3Dモデル(滑らかで高密度)**	点群(粗さに差が出やすい)
必要な画像枚数	**少なくても再現可能(動画可)**	多くの静止画が必要(重複率が重要)
複雑な形の再現性	**複雑な地形や植生も得意**	植生や細かい構造物は苦手
使用機材	**動画カメラ付きドローンでも可**	高精度な静止画カメラが望ましい
処理の負荷	**処理が重くクラウドやGPUが必要**	比較的軽く，PCでも処理しやすい
向いている用途	**中規模の地形や構造物の詳細**	広範囲の地形測量やCIMモデル作成
土木業界の普及度	**新しい技術(事例がほとんどない)**	土木業界で一般的に使われている
コスト	**安価(市販ドローンとクラウド利用)**	高価(専用ソフトが必要)

(3) 適用手順と処理工程

本業務では，市販の小型ドローン(従来型カメラ搭載)により現地を複数角度から空撮し，動画データを収集した．撮影は晴天時を選定し，被写体範囲を中心に上空から旋回しながら約3分程度の映像を取得した．

取得データは，クラウド型NeRF生成プラットフォーム(Luma AI[6])を用いて処理し，三次元の視点自由データを生成．これを点群形式(PLY／OBJ)に変換後，CADソフトへ取り込み，既存堆積土量の算定と残受入容量の計測に活用した．

３．撮影方法

(1) 撮影箇所

撮影箇所は，本事業において既に土捨て場として土砂を堆積している箇所を対象に検討を実施した．

検討箇所は，樹木などがない比較的撮影がしやすい場所を選定し，天候は快晴，風速は0m/sという状況下で撮影を実施した(図-2)．

図-2　空撮により撮影された対象地全景

(2) 撮影時の留意点

撮影手順は，従来のドローンを用いて空撮を行った．ただし，NeRFは撮影段階からの工夫や配慮が重要であるため，以下の内容に留意し撮影した．

a) カメラの設定

- フォーカスが動くと画の整合性が崩れるため，固定フォーカスに設定する(AFオフ)．
- 明るさがフレームごとに変わらないように明るさの自動調整をオフにする．
- 解像度が高いほどNeRFの精度が上がりやすいため，30fps以上のカメラを選定する．

b) 撮影環境

- 太陽光による影の動きはノイズとして処理されるため，日差しの強い時間帯を避ける．
- 木々の揺れ，対象物の動きはノイズとして処理されるため風の強い日は避ける．

c) 撮影方法

- カメラブレは致命的なノイズになるため，３軸ジンバルで安定させる．
- 撮影の対象を画角内に収める．

４．適用効果の検証と評価

(1) 生成三次元データの撮影方法検証

NeRFによる生成三次元データはCOLMAPと呼ばれる手法でカメラ位置を算出する．

COLMAPでは，複数画像から特徴量を抽出しマッチングを行うという特性上，特徴点の設定方法が重要であると考え，「直線経路で複数往復させる空撮方法(特徴点にバラツキを持たせた撮影方法)(図-3)」と「特徴点を一点に定める空撮方法(周回撮影)(図-5)」の２ケースで生成三次元データを作成した．

結果，特徴点を１点に定め撮影することでより精度の高い生成三次元データを作成することができた(図-4)(図-6)．

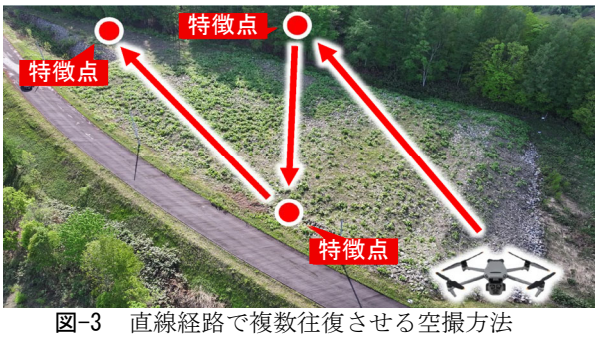


図-3　直線経路で複数往復させる空撮方法

図-4　図-3の計測結果

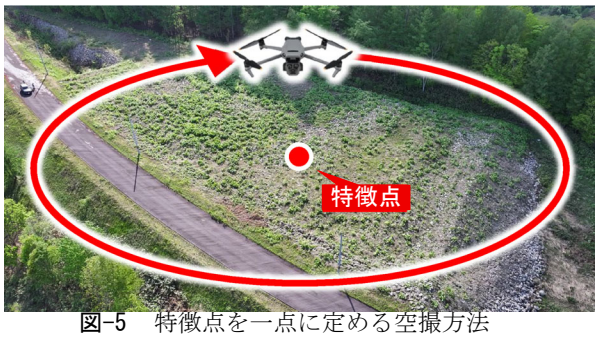


図-5　特徴点を一点に定める空撮方法

図-6　図-5の計測結果

(2) 生成三次元データの精度検証方法

精度検証は，後日公共地上レーザー測量により取得した点群データ(図-7)と生成３次元データにより取得したデータ(図-8)の差分解析により検証した．

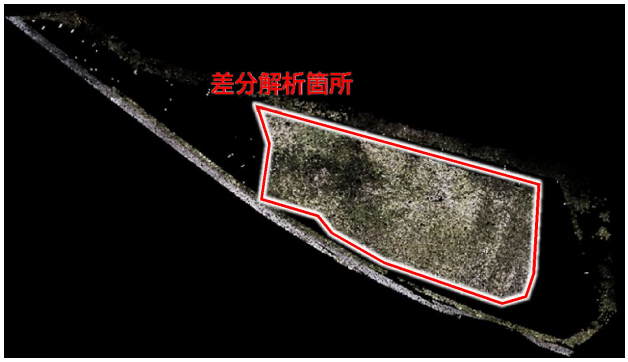
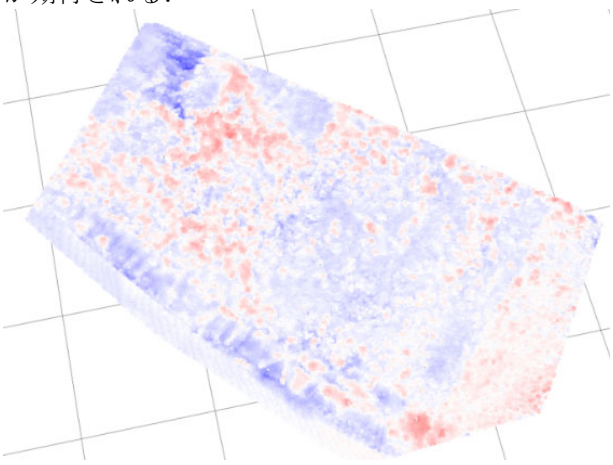


図-7　地上レーザー測量により取得したデータ

図-8　生成３次元データにより取得したデータ

(3) 生成三次元データの差分解析結果

図-9は，NeRF点群と地上レーザー測量点群との高さ差を±10cmの範囲でカラーマップ表示したものである．青は-10cm以内，赤は+10cm以内の差分を示し，白は差分が発生していない箇所を示している．差分解析結果は，全体の約99%がこの範囲内に収まっており，NeRF生成点群は安定した精度で再構成されていることが確認された．一方，樹木付近や影の多い斜面では，局所的に±15cmを超える誤差がみられ，今後は撮影条件や補間処理の最適化による精度向上が期待される．



	ロック	標高	色	R	G	B
1	☑	-0.100		0	0	255
2	☐	-0.090		25	25	255
3	☐	-0.080		51	51	255
4	☐	-0.070		76	76	255
5	☐	-0.060		102	102	255
6	☐	-0.050		127	127	255
7	☐	-0.040		153	153	255
8	☐	-0.030		178	178	255
9	☐	-0.020		204	204	255
10	☐	-0.010		229	229	255
11	☑	0.000		255	255	255
12	☐	0.010		255	230	230
13	☐	0.020		255	204	204
14	☐	0.030		255	179	179
15	☐	0.040		255	153	153
16	☐	0.050		255	128	128
17	☐	0.060		255	102	102
18	☐	0.070		255	77	77
19	☐	0.080		255	51	51
20	☐	0.090		255	26	26
21	☑	0.100		255	0	0

図-9　点群を基準とした生成三次元データの差分解析結果(カラーマップ)と凡例

５．適用効果の評価

(1) 精度・コスト・作業期間の評価

生成された点群データは，過去に取得された既存地形データと比較することで精度を評価した．

a) 精度

NeRFによる三次元座標の再現性は概ね「３次元計測技術を用いた出来形管理要領(案)[4]」の規定値である±10cmの誤差範囲に収まっており，実務での体積評価には十分な精度が確認された．

b) コスト

コストは，レーザー測量に要する費用が約400万円/回であるのに対し，NeRFの活用は撮影から変換・解析までを業務内で完結でき，クラウドサービス契約費用として年額4,300円程度を要するのみであった．全体として，従来比で約1/1000以下のコストで同程度の解析結果を得ることができた．

c) 作業期間

また，作業期間も，通常の現地踏査の一環として計測可能であり，従来の測量と比べ10日程度の外業時間の縮減を行うことができた．

表-2 従来技術とNeRFの適用効果の比較

項目	精度	コスト(1回)	効率(1000㎡)
従来技術	±2～10mm	400万円	10日程度
NeRF	**±10mm程度**	**4,300円**	**0.5日程度**

(2) 実用性・新規性・展開可能性の評価

本手法は，低コストかつ高効率で三次元データの即時取得が可能であり，特に災害現場・人力立入困難な箇所における現況把握で大きな可能性を示した．

また，従来のSfMでは再現が難しかった高低差のある複雑地形についても，NeRFによる映像ベースの学習により高密度な可視化が可能となった．

本技術の土木分野への活用事例は少なく，学会や学術報告での報告数も限られている．本業務はその先進的な活用例として高い新規性を有している．今後の技術選択肢の一つとして広く活用が期待される．

(3) 応用事例：樹木解析への展開

NeRFによって生成された三次元モデルから点群データを抽出し，オンライン点群処理ソフトウェアScanX[5]に読み込ませて樹木解析を実施した(**図-10**)．

ScanXは深層学習(AI)による樹木の自動抽出機能を有しており，本業務では，1,000㎡の範囲において樹木の位置・本数・樹高を解析対象とした．

その結果，現地での目視調査により確認された樹木本数と，AI抽出による本数との一致率は約95%であり，高精度の樹木計測が可能であることが確認された．樹高も，±20cm程度の誤差範囲に収まる結果が得られ，定量的な植生管理に資する有効な手段であると考えられる．これにより，都市緑地や山林管理分野でのモニタリングの応用可能性が示された．

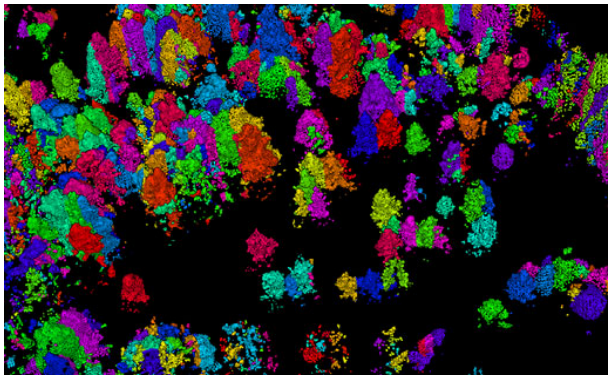


図-10 自動樹木解析の結果(着色は樹木分類結果を示す)

6．課題と今後の展望

NeRF技術は汎用性が高い一方，撮影条件の影響を大きく受ける点に留意が必要である．今回の業務では，天候条件やカメラアングル，植生密度の違いによって，一部に精度・密度のばらつきが見られた．以上から，今後は，以下のような対応が求められる．

(1) 撮影条件の最適化と標準化

NeRFは画像ベースの再構成技術であるため，撮影時の光条件や影の入り方，カメラの動き方がデータ品質に大きく影響する．不適切な時間帯や天候では，ノイズの増加や部分欠損が発生する場合があるため，「撮影推奨時間」「気象条件の管理」「飛行ルートの標準化」を図ることで汎用性の高い技術になる．

(2) 空間補間処理によるデータ補正の高度化[8]

撮影画像の抜けや角度不足によって，生成された点群に穴(欠損)や粗い部分が生じることがある．

また，植生や水面など視認性の低い対象は再構成が不完全になりやすいなどの問題もあるため，今後は異常領域の自動検出等の高度化を図る必要がある．

(3) ノウハウのマニュアル化と研修体制の整備

NeRFは従来の測量と異なる手順・注意点が多いため，映像取得方法によるバラつきが精度や効率に影響しやすい．現場で再現性の高い運用をするには，標準作業手順書の作成や技術教育が不可欠である．

7．終わりに

本業務では，NeRF技術を活用することで，従来困難であった現地の三次元可視化と体積評価を，短期間かつ極めて低コストで実現した．生成されたデータは，精度・実用性ともに現場での要求を満たしており，土木分野における三次元データ取得の新たな選択肢として高く評価されるものである．

今後は，さらなる適用事例の創出と精度向上のための技術的検討を進めることで，NeRFの標準的活用に向けた展望が開かれることが期待される．

本手法は，今後の三次元測量技術の新たな選択肢として，継続的な検証と実装が期待される．

謝辞：本報の作成にあたり，業務機会をご提供いただいた北海道開発局旭川開発建設部の皆様に深く感謝申し上げます．また，現地撮影や技術的検討にご協力いただいた社内関係者の皆様にも謝意を表します．さらに，NeRF技術の活用にあたりご助言を賜った関係各位に，記して謝意を表します．

参考文献

1) Mildenhall, B., Srinivasan, P. P., Tancik, M., et al. : NeRF: Representing Scenes as Neural Radiance Fields for View Synthesis, ECCV 2020.
2) Schonberger, J. L., & Frahm, J. M. : Structure-from-Motion Revisited, CVPR 2016.
3) Furukawa, Y., & Ponce, J. : Accurate, Dense, and Robust Multi-View Stereopsis, IEEE TPAMI, 2010.
4) 国土交通省：３次元計測技術を用いた出来形管理要領(案)，令和7年3月．
5) ローカスブルー(株)：ScanX-オンライン点群処理．
6) Luma AI : Luma AI - Neural Capture Platform, 2024.
7) 立花健太郎，他：UAVとSfM/MVSを用いた三次元地形計測の精度評価，地形学雑誌，第69巻，第1号，2018．
8) 小山智也，坂口真澄，田中健太郎，他：NeRFを用いたインフラ構造物の三次元再構成に関する検討，第22回画像センシングシンポジウム予稿集(SSII2023)，2023