

2013年5月13日

無人ヘリコプターによる放射線モニタリング（福島大学敷地内森林部）

日本原子力研究開発機構 福島技術本部

福島環境安全センター

1. はじめに

福島大学は、原子力発電所事故以来、キャンパス内の放射線量の測定や除染作業を計画的に実施してきた。今後、敷地内の森林について実態把握及び除染計画策定を予定している。森林内は人手が入る場所が限られ、地上からの測定では、実態把握が難しい。そこで、上空からの面的な測定が可能な、無人ヘリコプターによるモニタリングを実施した。本件は、福島大学と原子力機構の協力協定の一環である。

2. モニタリングの概要

(ア)測定実施日：平成25年5月3日 9:00 - 11:00

(イ)使用機材

ヤマハ発動機(株)自律型無人ヘリコプターR-MAX G1

検出器 LaBr₃ シンチレータ

(ウ)測定範囲：

福島県福島市金谷川1 福島大学敷地内

無人ヘリコプター測定点（図1の黒点線）

無人ヘリデータの妥当性確認のための地上測定（図1の青点）

3. モニタリングの方法（詳細は別添資料参照）

- 無人ヘリコプターを対地高度 80 - 100 m、飛行速度は、5 m/s (=18 km/h) でフライトする。
- 得られたデータを、あらかじめ設定したパラメータを用いて地上 1m 高さの線量率に換算する。
- 線量率の換算値から、天然の放射性核種による線量率 (30 nSv/h) を差し引き、文科省マニュアルに記載のある線量率-放射能換算係数により、Cs-137、Cs-134 の沈着量に換算する。
- 換算値は、市販の GIS ソフトを用いて、内挿法（クリギング）によりマップ化する。

4. 結果

- 結果を図2に示す。
- 放射線の分布マップに、大きな勾配はなかった。
- 最大値は、線量率 0.93 μ Sv/h、Cs-137 沈着量 1.93E+5Bq/m²、Cs-134 沈着量 1.03E+5Bq/m²であった。
- 結果の妥当性を確認するために、無人ヘリの測定値と地上で測定した線量率と放射性セシウムの沈着量との比較を図3に示す。

以上



図1 無人ヘリの軌跡と地上測定点

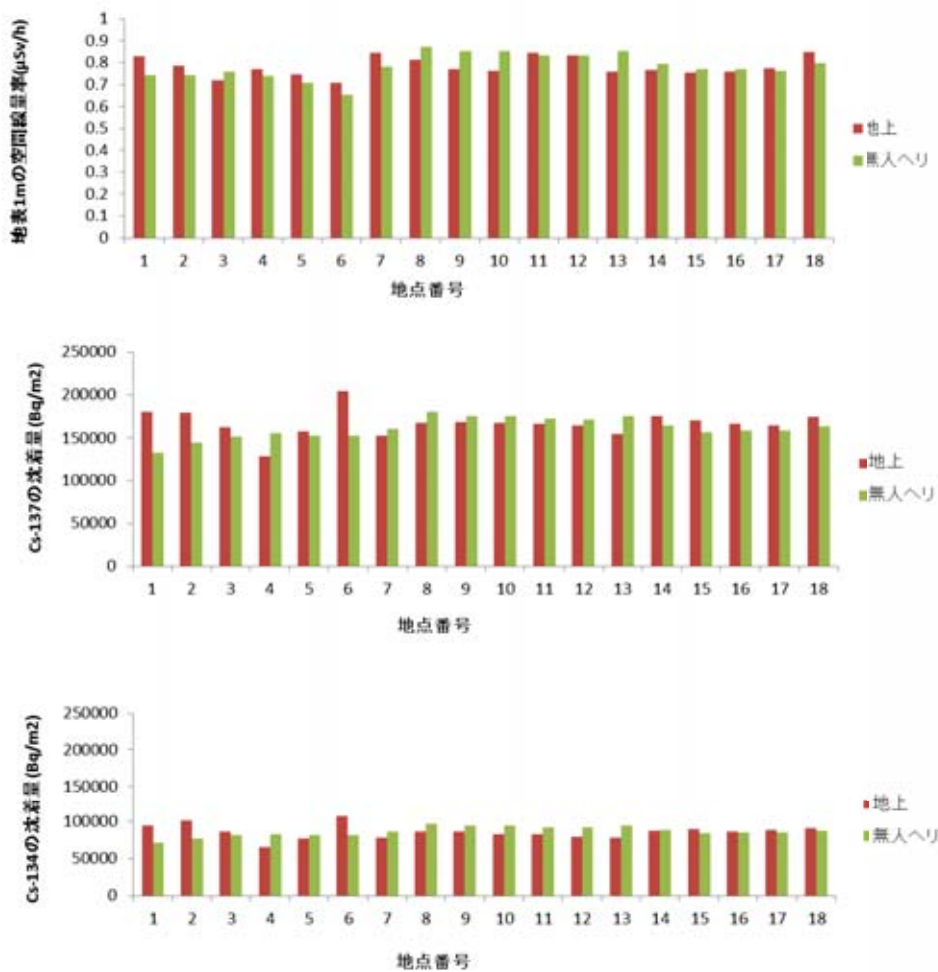


図3 地上データとの比較

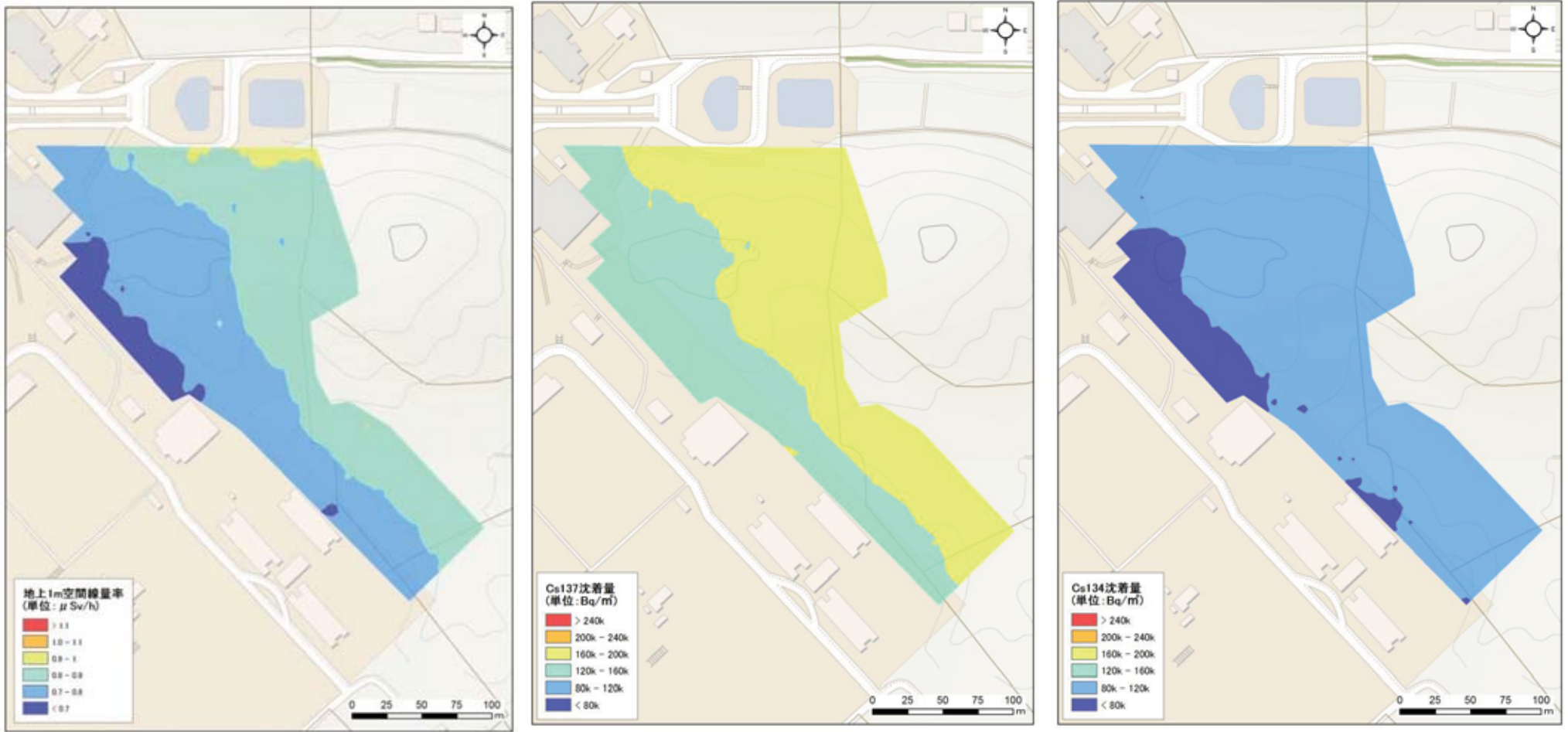


図2 福島大学敷地内（森林部）における放射線量マップ（左：線量率、中：Cs-137 沈着量、右：Cs-134 沈着量）

別添資料 無人ヘリコプターモニタリングの方法

① 無人ヘリコプターによる測定でのデータの取得方法

無人ヘリコプターによる放射線測定システムを図1に示す。無人ヘリコプターの飛行高度は、安全性を考慮して対地高度 80 m 程度としており、その測定値は、無人ヘリコプター下部の半径 80 m 程度（飛行高度により変化）の円内のガンマ線量を平均化したものである。無人ヘリコプターの軌跡幅（測線間隔）は、80 m、飛行速度は、8 m/s（約 30 km/h）程度とした。放射線検出器で測定される 1 秒毎のガンマ線のデータ（計数率）とエネルギースペクトル及びそれに対応する GPS による位置情報を記録した。

② 無人ヘリコプターで取得された測定データの地上 1 m 高さでの空間線量率への換算

上空で測定されたガンマ線計数率を地上 1 m 高さでの空間線量率の値に換算するための係数を算出するため、空間線量率の勾配が小さく、平坦な場所をテストサイトとして設定し、NaI サーベイメータを用いて、テストサイトを中心とした半径 100 m の円内における地上から 1 m 高さの空間線量率の平均値を求めた。次に、テストサイト上空の対地高度 80 m で無人ヘリコプターをホバリングさせ、この高度（基準高度）で取得されたガンマ線計数率と上述したテストサイト周辺の地上における空間線量率とを比較し、空間線量率換算係数 CD (cps/ μ Sv/h) を算出した。その後、テストサイト上空の対地高度 10 m から 120 m までを 10 m 毎にホバリングし、各高度におけるガンマ線計数率を測定した。測定された高度毎のガンマ線計数率を基に、対地高度とガンマ線計数率との関係式を求め、空気によるガンマ線計数率の減弱係数 μ を算出した。

最後に、実際のフライトで取得されたガンマ線計数率を上述の空間線量率換算係数 CD から空間線量率 (μ Sv/h) に換算するとともに、対地高度と空気によるガンマ線計数率の減弱係数 μ により、高度補正を行った。なお、対地高度は GPS により測定した海拔高度から国土地理院が作成した 10 m メッシュの数値標高モデル (DEM: Digital Elevation Model) のデータを差し引くことにより求めた。

③ 無人ヘリコプターで取得された測定データの放射性セシウムの沈着量への換算

地上で実施した in-situ 測定の結果を基に、天然放射性核種（カリウム 40、ウラン系列、タリウム系列）による空間線量率の平均値 (30 nSv/h) を求め、前項で求めた空間線量率から、この値を差し引くことにより、放射性セシウム (セシウム 134、137) のみによる空間線量率を算出した。その後、文部科学省「ゲルマニウム半導体検出器を用いた in-situ 測定法」(p. 83-84) に記載されている緩衝深度 ($\beta=1.0$ g/cm²)^{*1} の場合の地表面における放射性セシウムの沈着量と地上 1 m 高さでの空間線量率の換算係数を使用し、地表面におけるセシウム 134 及びセシウム 137 の沈着量を算出した。無人ヘリコプターの検出器で測定されたガンマ線のエネルギースペクトルの例を図 2 に示す。

④ 無人ヘリコプターを活用した空間線量率及び放射性セシウムの沈着量を記したマップの作成

¹ 文科省による、第 2 次分布状況等調査の結果から、福島第一原発から 80 km 圏内では、緩衝深度 (β) が平均 1.2 g/cm² であることが確認されているが、 $\beta=1.0$ を $\beta=1.2$ にした際の放射性セシウムの沈着量と地上 1 m 高さでの空間線量率の換算係数 ($(\mu$ Gy/h)/(kBq/m²)) は、セシウム 137、134 とともに 1.5~1.8% 程度の差しかないため、本調査では、文部科学省「ゲルマニウム半導体検出器を用いた in-situ 測定法」に従い、航空機モニタリングの換算方法と同様に $\beta=1.0$ を使用することとした。

測定されていない地域の空間線量率及び放射性セシウムの沈着量の値は、各測定地点の空間線量率及び放射性セシウムの沈着量の測定結果を基に、内挿法（クリギング法）を用いて内挿補間した。



図1 無人ヘリコプターの仕様

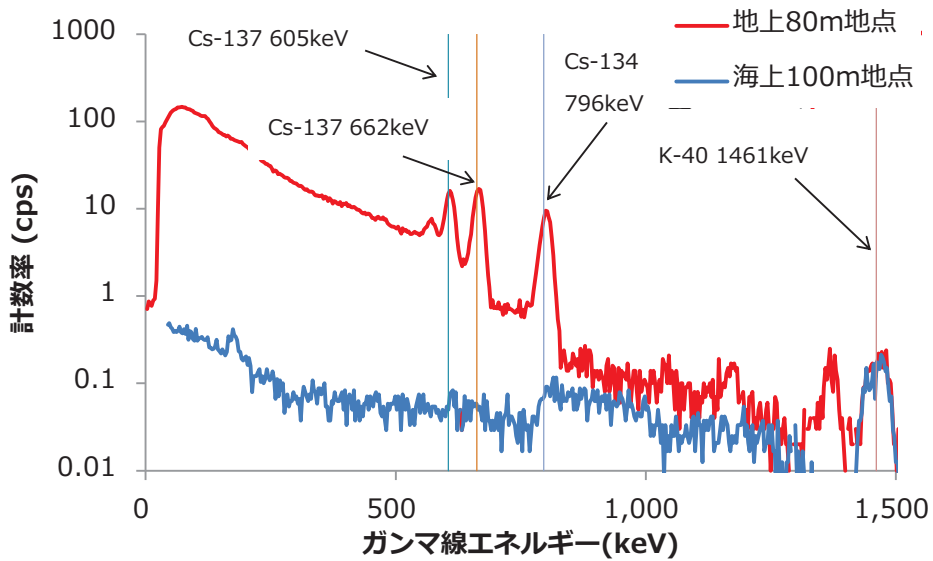


図2 無人ヘリコプターの検出器で測定されるガンマ線のエネルギースペクトルの事例
(青：海上でのデータ；赤：地上でのデータ)

(参考) 福島大学のオルソ画像による 3D マップの作成

無人ヘリコプターによる放射能分布測定における課題として、地形が測定値に及ぼす影響が挙げられている。今回、放射線測定と併せてオルソ画像を取得し、画像から数値標高モデル (DEM; Digital Elevation Model) を作成することによって、無人ヘリコプターによる放射能測定結果の解析への活用を検討する。

オルソ画像取得のための撮影ポイントを図 1、作成された 3D 画像を図 2, 3 に示す。

*オルソ画像：航空写真では、高い建物や山間部、また写真の中心から外周に行くに従ってひずみが生じ、このような状態では、計測を行うこととも地図と重ね合わせることもできない。このひずみを修正することをオルソ補正といい、この補正をかけた航空写真のことをオルソ画像と呼ぶ。

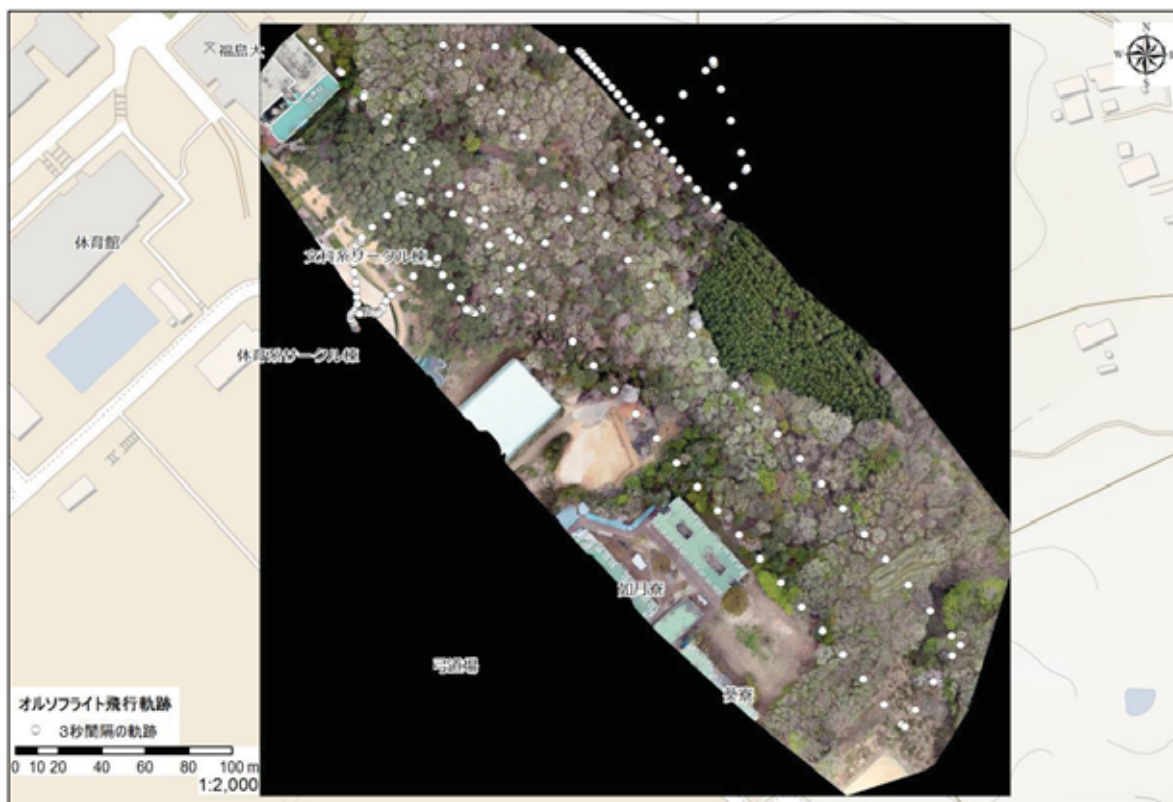


図 1 オルソ画像取得のための撮影ポイント (白い点：背景オルソ画像)

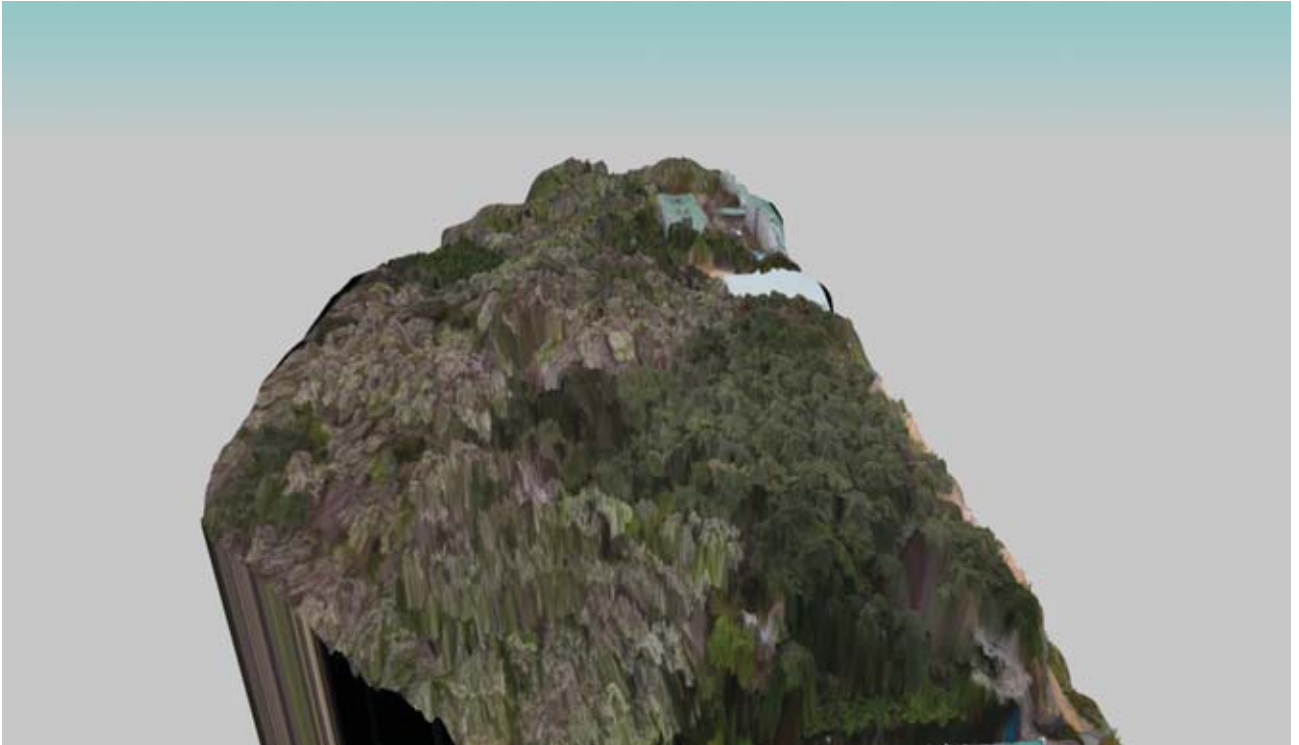


図2 3D画像（福大生協から学生寮方向を見た図）

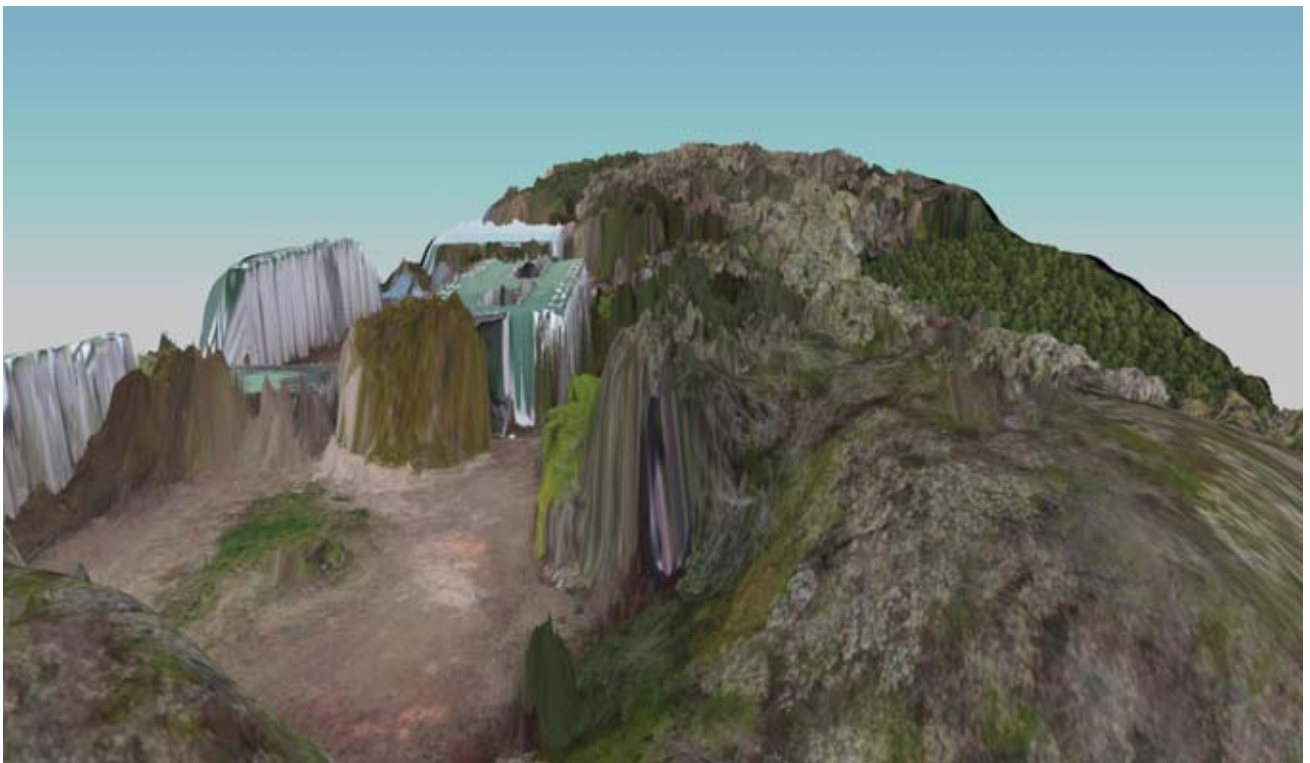


図3 3D画像（既舎から福大生協方向を見た図）