

農業アプリケーションのためのマルチ光学コンステレーション衛星データの 協調利用に関する研究

長井正彦*、江口毅*

*山口大学応用衛星リモートセンシング研究センター

1. はじめに

国内外で様々な衛星画像が利用できる環境が整いつつある。米国のPlanet Labs社が130機以上の小型衛星（重量約5kg）による衛星コンステレーションを実現している。衛星画像を用いたアプリケーション開発において、様々な衛星画像を、時系列に補完し合いながら有効に活用することが不可欠になってくる。そのためには、センサー毎の特徴、バンドの波長域、大気の状態等による見え方の違いなどを理解して衛星データを補正し、協調利用（ハーモナイゼーション）することが重要である。本研究では、農業アプリケーションのためのマルチ光学コンステレーション衛星データの協調利用に関する研究を目的とする。

特に、ドローンや衛星等のリモートセンシング技術は対象地域を俯瞰的かつ定期的に観測できるという利点から、農業分野における圃場モニタリングに有効なツールの1つである^{1,2)}。一方で、ドローン画像と衛星画像の利用において、観測波長帯の違いや大気の影響等により、同じ日時に観測した画像においても画素値や画像の見え方に違いが生じる。本研究では、マルチスペクトルドローンと光学衛星から取得されたデータのクロスキャリブレーション手法の開発を試みる。具体的には、スペクトルメータ、ドローン、衛星によって計測した地表面の反射率の比較から近似直線および近似曲線を求め、その近似式に基づきマルチスペクトルドローンと光学衛星データのクロスキャリブレーションを行う。

2. 方法

2.1 対象地域と使用データ

本研究では、山口県山口市の山口きらら博記念公園と美祢市の秋吉台国定公園を対象地域として現地調査およびデータ収集を行った。図1に対象地域の位置を示す。また、本研究で使用したデータの一覧を表1に示す。AIRBUS Defence & Spaceが運用するSPOT、DJI社製のP4 Multispectral、ASD社製のHandHeld2を使用し、データは2020年8月から2021年12月の期間に観測または現地調査で計測したデータを使用した。なお、雲等の影響により、必ずしも衛星とドローンおよびスペクトルメータの観測日は同じ日ではない。

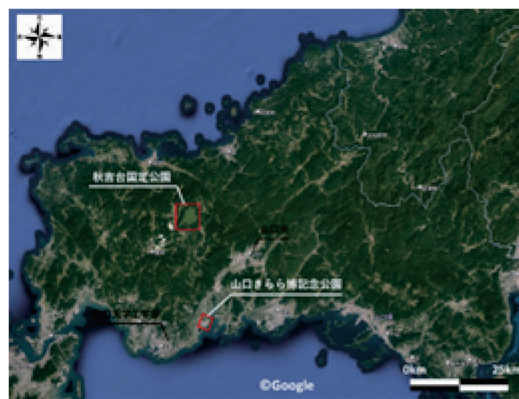


図1 対象地域の位置と範囲

表1 使用データの一覧

データ	データ観測/計測日
SPOT-6, 7	2020年8/24, 9/28, 10/30, 11/13. 2021年2/24, 5/6, 6/9, 7/29, 10/15.
P4 Multispectral	2020年8/24, 9/23, 10/13, 10/28, 11/17, 11/27, 12/7. 2021年1/19, 2/10, 2/25, 3/17, 4/21, 5/28, 6/24, 7/29, 8/31.
HandHeld2	2020年8/24, 9/23, 10/13, 10/28, 11/17, 11/27, 12/7. 2021年1/19, 2/10, 2/25, 3/17, 4/21, 5/28, 6/24, 7/29, 8/31.

2.2 解析手順

本研究におけるドローンデータと衛星データのクロスキャリブレーションのフローチャートを図 2 に示す。それぞれの手順における工程は以下の通りである。

i) データ収集

衛星の観測日時に合わせて、スペクトルメータによる地物の分光反射（スペクトル値）の計測とドローンによる空撮を実施した。また、GNSS（Ichimill）を用いて計測地点の位置情報を取得した。

ii) 前処理

入手した各データをデジタルナンバーから反射率に変換する前処理を行った。スペクトルメータのデータは View Spec Pro (Ver. 6.2)、ドローンデータは Pix4D mapper (Ver. 4.8.0) を用いて処理を行った。また、ドローンデータについては、オルソモザイク処理を行った。

iii) ドローンデータのキャリブレーション

スペクトルメータの反射率を基準としてドローンデータのクロスキャリブレーションを行った。本研究では、スペクトルメータとドローンで計測した 12 色のカラーボードの反射率を比較することで近似直線を求め、その近似式を用いて Blue, Green, Red, RedEdge, NIR の 5 バンドのクロスキャリブレーションを行った。

iv) 衛星データのキャリブレーション

キャリブレーション後のドローンデータ（以下、補正済みドローンデータ）を基準として衛星データとのクロスキャリブレーションを行った。まず、補正済みドローンデータを衛星データの解像度に合わせて 3.7m/pixel にリサイズし、補正済みドローンと衛星データから正規化植生指数（Normalized Difference Vegetation Index : NDVI）を算出した。次に、NDVI 値の時系列データよりそれぞれの 3 次近似曲線を求め、その近似曲線式から擬似的に同日の NDVI 値を算出した。擬似的に求めた同日の NDVI 値の比較より近似直線を求め、その近似式を用いて衛星データのキャリブレーションを行った。

v) キャリブレーションの精度評価

キャリブレーション結果は、基準とするデータとキャリブレーションするデータの差分が小さくなったデータの数をを用いて精度評価した。

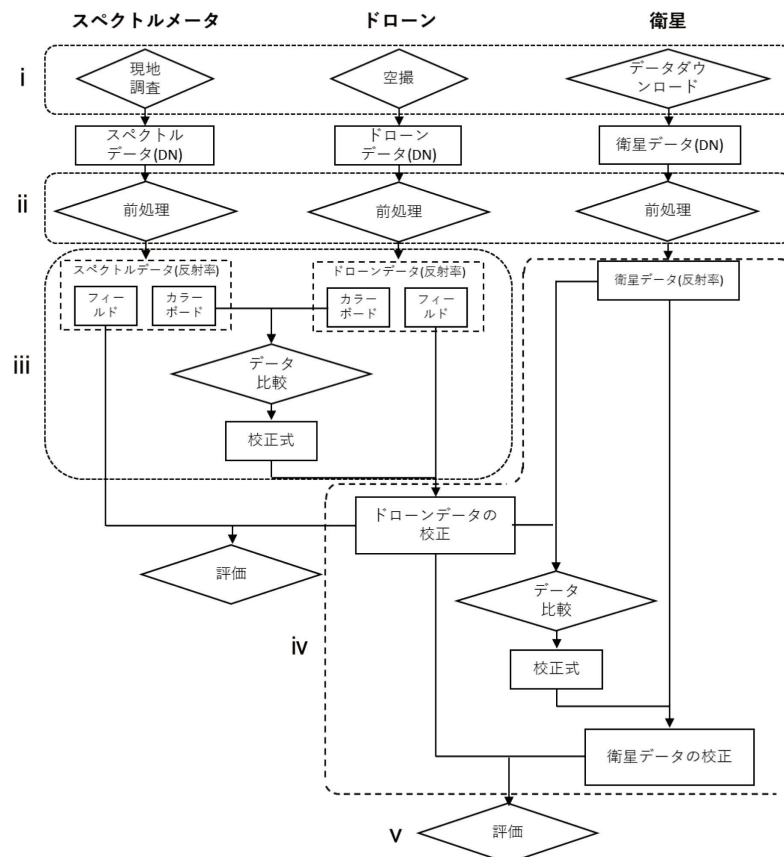


図 2 データ取得からクロスキャリブレーションまでの流れ

3. 結果・考察

3.1 ドローンデータのキャリブレーション

スペクトルメータとドローンの反射率から得られた、ドローンデータのクロスキャリブレーション式を式 1 に示す。また、式 1 を用いたドローンデータのキャリブレーション結果を図 3 に示す。

$$Ref_{calID} = 0.9488 * Ref_{oriD} + 0.0657 \quad \text{式 1}$$

ここで、 Ref_{calID} は補正済みドローンデータの反射率[-]、 Ref_{oriD} はキャリブレーション前のオリジナルドローンデータの反射率[-]である。図は対象地域内の地物を対象として計測したスペクトルメータとドローンの同一地点における反射率をプロットしたもので、ここでは、近赤外データの結果を例として示す。

図中の近似直線の傾きと切片より、クロスキャリブレーションを行い、スペクトルメータとドローンデータの差分を小さくできたことが確認できる。ここでは、421 個中 242 個 (57.5%) のデータについて差分を小さくすることができた。しかし、可視光青や赤データのクロスキャリブレーションでは差分が大きくなる結果となった。キャリブレーション式を求めるために使用した 12 色のカラーボードと精度評価に使用した草地や石灰岩等の地物の反射率を比較した結果、カラーボードの反射率は 0 から 0.7 まで幅広い値を示すのに対して、地物の反射率は 0 から 0.4 の範囲に値が集中していることがわかった。このことから、キャリブレーション式を求める際には、実際の地物の反射率に近い値を示す色のカラーボードのデータのみを使用するのが良いと考えられる。この点については、今後の研究において、バンド毎に有効となる色の選択について検討を行う予定である。

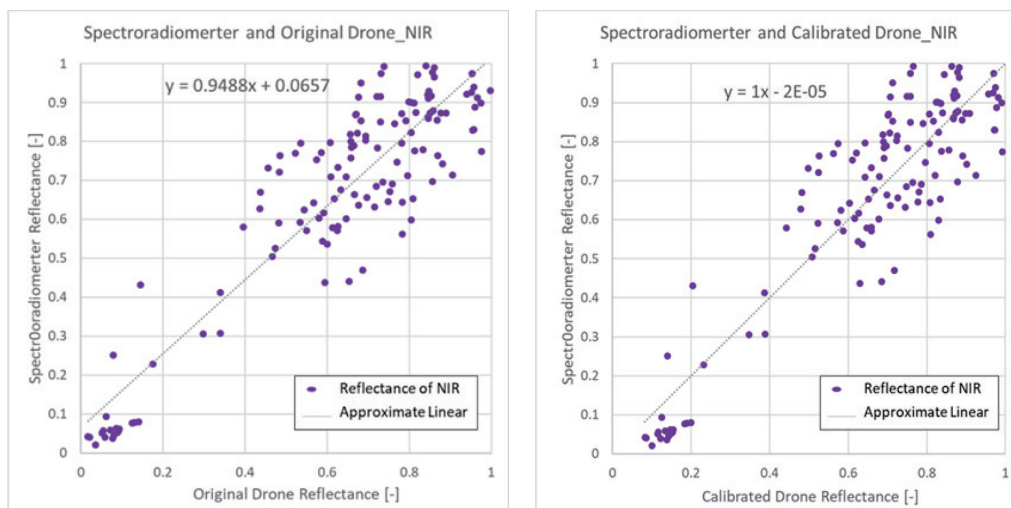


図 3 キャリブレーション前後のスペクトルメータとドローンの反射率の比較

3.2 衛星データのキャリブレーション

擬似的に求めた同日の NDVI 値より得られた衛星データのクロスキャリブレーション式を式 2 に示す。また、式 2 を用いた衛星データのキャリブレーション前後の NDVI 値および秋吉台国定公園の NDVI 画像を図 4 と図 5 に示す。

$$NDVI_{calis} = 0.8631 * NDVI_{oris} + 0.0056 \quad \text{式 2}$$

ここで、 $NDVI_{calis}$ はキャリブレーション後の衛星データ (以下、補正済み衛星データ) の NDVI[-]、 $NDVI_{oris}$ はキャリブレーション前のオリジナル衛星データの NDVI[-]である。図 4 中の破線は、緑色が補正済みドローンデータ、青色がキャリブレーション前の衛星データ、赤色がキャリブレーション後の衛星データの 3 次近似曲線を示す。図中の近似曲線より、キャリブレーションによって補正済みドローンデータと衛星データの差分を小さくできたことが確認できる。ここでは、190 個中 125 個 (65.7%) のデータについて差分を小さく

することができた。また、図5に示すNDVI画像の比較からからも、本キャリブレーション手法の有効性を示すことができた。今後の研究では、データの計測を継続的に行い、より長い期間のデータを用いた場合のキャリブレーションを試みる予定である。

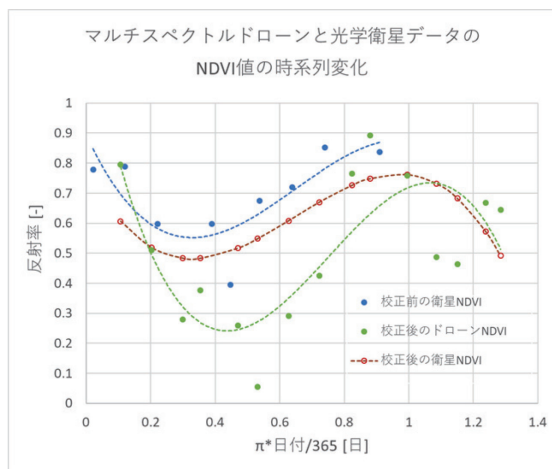


図4 キャリブレーション前後のドローンと衛星のNDVI値の時系列変化

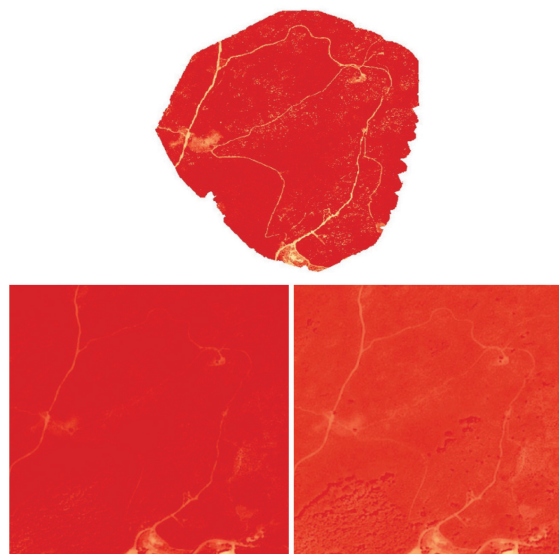


図5 キャリブレーション前後のドローンと衛星のNDVI画像 (上図)ドローンNDVI画像, (左下図)キャリブレーション前衛星NDVI画像, (右下図)キャリブレーション後衛星NDVI画像

© Airbus DS 2023

4. まとめ

本研究では、ドローンと衛星の統合利用を目的として、マルチスペクトルドローンと光学衛星のクロスキャリブレーション手法の開発を試みた。その結果、ドローンデータのクロスキャリブレーションでは、スペクトルメータとドローンデータの反射率の比較より得られた近似式を用いることにより、421個中242個(57.5%)のデータについて差分を小さくすることができた。衛星データのクロスキャリブレーションでは、擬似的に求めた同日の補正済みドローンと衛星データのNDVI値より得られた近似式を用いることにより、190個中125個(65.7%)のデータについて差分を小さくすることができた。また、NDVI画像の比較においても、本キャリブレーション手法の有効性を示すことができた。今後の研究では、キャリブレーションに用いるターゲットの色の検討やより長い期間のデータを用いた場合のキャリブレーションを試みや複数の衛星データ間でのクロスキャリブレーションを検証する予定である。

5. 謝辞

本研究の一部は、中部大学問題複合体を対象とするデジタルアース共同利用・共同研究IDEAS202302の助成を受けたものです。

参考文献・データ

- 1) 植松 恒, 松田 優花, 熊谷 樹一郎: 衛星画像を用いた植生分布の空間的な集積状態とその変遷の分析, 土木学会論文集F3(土木情報学), 71巻, 2号, pp. II_1-II_9, 2015.
- 2) 片桐 哲也, 安藤 和登, 松本 由美, 森 静香, 藤井 弘志: ドローンによる圃場生育評価と無人ヘリによる可変追肥システムを利用した水稻の収量・品質改善について, 計測と制御, 55巻, 9号, pp.806-809, 2016.