

ドローン LiDAR 点群による植被率計測に関する研究

防災・復興システム工学(リモートセンシング) 谷本 百合香

1. はじめに

農業は日本の経済の根幹を担う重要な産業である。しかし、我が国では、農業従事者の減少と高齢化による人手不足が深刻な問題となっている。農林水産省によると、個人経営体の世帯員である基幹的農業従事者は減少傾向が続いている。令和2(2020)年の基幹的農業従事者数のうち、65歳以上の階層は全体の70%(94万9千人)を占める一方、49歳以下の若年層の割合は11%(14万7千人)となっている(図-1)¹⁾。

農業センサスは5年ごとの調査で、令和2(2020)年の年齢階層別基幹的農業従事者数を、平成27(2015)年の5歳若い階層と比較すると、70歳以上の階層では後継者への継承等により減少する一方、69歳以下の各階層で微増となった。このうち、令和2(2020)年の20~49歳層(平成27(2015)年時点の15~44歳層)の動向を見ると、親からの経営継承や新規参入等により12万4千人から14万7千人と2万2千人増加、60~69歳層(同55~64歳層)は36万7千人から39万3千人と2万6千人増加している。60~69歳層は退職後に就農するいわゆる定年帰農による増加と考えられる。一方、人数の多い70歳以上の階層の減少率が高いことから、基幹的農業従事者全体としては大

幅な減少となっている。

このような現象は、若者の都市部への移住や、農業の収益性の低下が要因として挙げられる。結果として、農業界全体での労働力不足が加速し、作物の生産性や品質の維持が難しくなっているのが現状だ。作物の生産性や品質の維持するためには、従来の方法に頼らない新しいアプローチが求められる。たとえば、スマート農業の導入や労働環境の改善、外国人労働者の活用など幅広い取り組みが人手不足解消に向けて重要な役割を果たすとされている。

リモートセンシング技術を用いた生育状況の調査では、作物の生育を表す指標の一つとして、植被率が用いられる。植被率は画像から算出可能であるため、高額な機器を必要とせず、広範囲の計測を容易に実施できる。一方、画像撮影時の天候や時間により、水面の反射や色調の変化など、太陽光の影響を受けるといった問題がある。そこで、能動型リモートセンシングを活用することで、色調の変化や反射の影響を受けないデータの取得が可能となる。

本研究では、画像から算出した植被率に対応するLiDAR点群植被指数を提案し、LiDAR点群から植被率を計算することができるかを検討した。

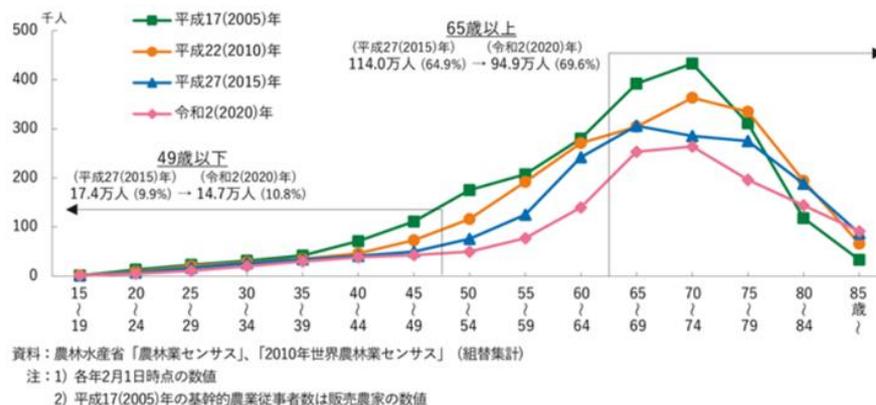


図-1 年齢階層別農業従業者数¹⁾

2. 使用機器・使用データ

2.1 LiDAR 点群計測機器

LiDAR とは、Light Detection Ranging（光の検出と測距）の略でレーザー光を利用して対象物を測量するリモートセンシング技術のことである。本研究では DJI 社製の MATRICE 300 RTK にドローン LiDAR システムとして DJI Zenmuse L1 を搭載したドローン LiDAR システムを用いる。

ドローン LiDAR 計測では、飛行時に RTK を Fix するため、モバイルルーターに接続する必要がある。接続することで、高精度で位置情報を取得しながら機体位置を制御することができる。また、水稻群落の 3D 点群に DJI Terra を使用して地図情報を付与した 3D 点群を生成する。

2.2 対象圃場

対象地域は、計測協力を得た「JA 越後ながおか」の指標田の一つである新潟県長岡市宮路町地区（2023 年度）及び新潟県長岡市越路中沢地区（2024 年度）である。

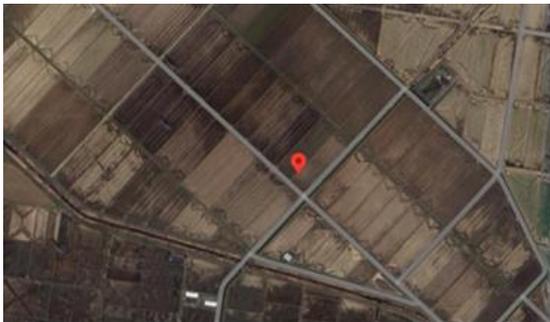


図-2 対象圃場(2023 年度)

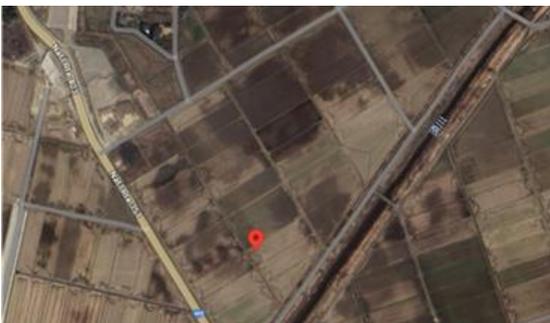


図-3 対象圃場(2024 年)

2023 年のドローン計測は 6 月 8 日から 7 月 31 日まで、概ね 10 日間隔で計 6 回実施した。2024 年のドローン計測は 6 月 4 日から 7 月 31 日まで、概ね 7 日間隔で計 9 回実施した。両年とも飛行高度は 10m である。

表-1 測定日一覧

| | | | | |
|--------|-------|--------|------|-------|
| 2023年度 | 6月8日, | 6月19日, | ・・・, | 7月31日 |
| 2024年度 | 6月4日, | 6月13日, | ・・・, | 7月31日 |

3. 方法

3.1 二値化

二値化とは、画像を白（対象）と黒（背景）の二色に変換する処理のことであり、ある値以上の画素値を白、ある値未満の画素値を黒に変換する。この値を閾値という。二値化処理は、画像を解析しやすくするために不可欠なステップであり、様々な方法が開発されている。処理を上手に行うには適切な閾値の設定が重要である。閾値が適切でない場合、重要な情報が失われるか、または無関係な情報が強調される可能性がある。

二値化は、画像を白と黒の二色に変換する処理であるが、この定義に沿ったものを作成することは閾値の調整だけでは難しいと考えた。そのため、本研究では、目視で対象か背景かを判別し、二値化が不十分である部分に手動で微修正を行うことで、正確な二値化を行った。

3.2 植被率

植物の栽培においては播種時の土壌の乾湿やその後の気温、降水量によって初期生育量が変動しやすく、生育の初期段階から生育診断に基づいて追肥、除草剤散布、土入れ、踏圧などの中間管理作業を適切に行うことが、収量・品質の高位安定化のために重要である。そこで、植被率を利用した収穫予測や生育の診断が行われている。植被率とは、一定の面積の土地を覆っている植生の占める割合のことであり、植物の成長とともに増加する。植被率を画像から算出するためには、対象と背景の二つに分類すること(二値化)が必要である。

本研究では、UAV-LiDAR 計測時に圃場の空撮画像を撮影し、二値化処理を施して植被率を算出した。植被率は、対象圃場内の5領域を選定し、それぞれの空撮画像から算出した。植被率の算出には(式1)を用いる。

$$VCR = \frac{T}{T+B} \quad (1)$$

ここで、 VCR は植被率、 B は背景領域の画素数、 T は対象領域の画素数とする。

3.3 選定した領域との対応

植被指数を算出するには、選定領域と対応する点群を抽出する必要がある。写真と点群の位置合わせには、切り取り領域を表示したオルソ画像をGIS上に表示し、ポリゴンを作成する方法を用いた。

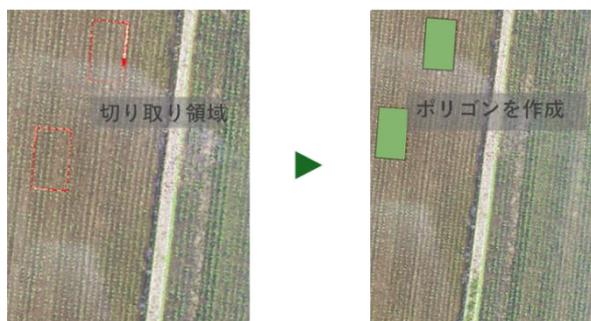


図-4 写真と点群の位置合わせ

3.4 植被指数

LiDAR 点群から植被率に対応する指数を設定し、「植被指数 CL」定義とした。植被指数は、点群を鉛直方向に層に分けて考えたとき、ある一定の層で上空からの見え方と同じになる高さが存在するという考え方を適用した。その層の厚さを植被指数とすると、植被率と植被指数が対応していると考えられることができる。

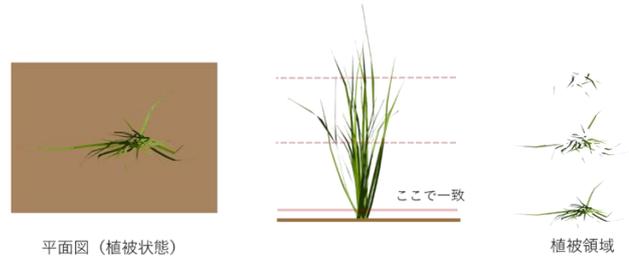


図-5 植被領域の変化

植被指数の算出には(式2)を用いる。

$$CL = VD_{high} - VD_{low} \quad (2)$$

ここで、 VD_{high} はLiDAR計測される水稻群落層の最上部、 VD_{low} は植被率に対応する植被領域が得られる高さとする。

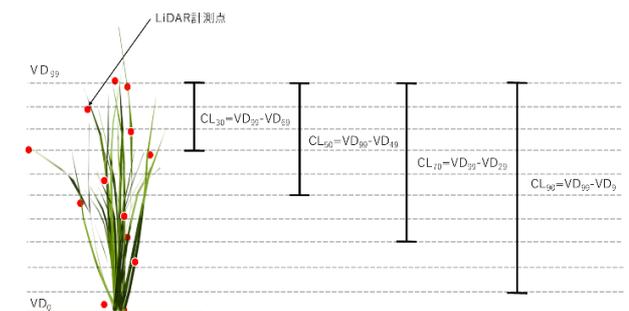


図-6 点群から植被率の算出

VD_{low} について、 VD_{69} 、 VD_{49} 、 VD_{29} 、 VD_9 のパーセンタイル高さについて検討し、 VCR と CL の対応関係の解析を行う(図-6)。画像から得られる植被率を正解値とし、画像から算出した植被率に対応するLiDAR点群の植被指数を提案した。

4. 結果

4.1 二値化画像の修正結果

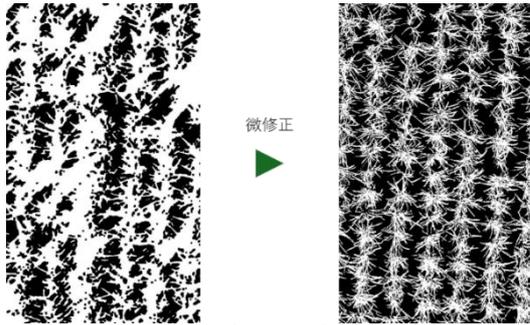


図-7 修正例(2023年6月19日)

図-7は微修正を行う前(左)と行った後(右)の写真である。微修正を行う前は水面の反射により対象の植物の領域が不明確になっている。微修正を行うことで正確に対象と背景を二値化することでできていると確認できた。

二値化画像の修正結果を図-8、図-9、表-2に示す。

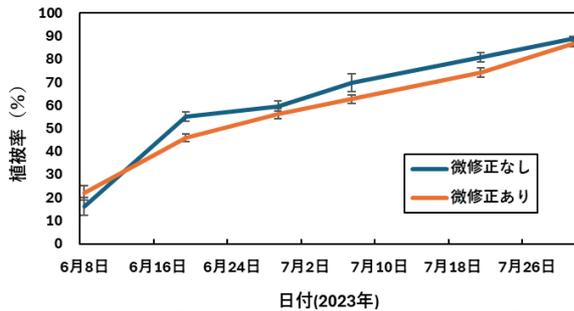


図-8 二値化画像の修正ありとなしの比較(2023年度)

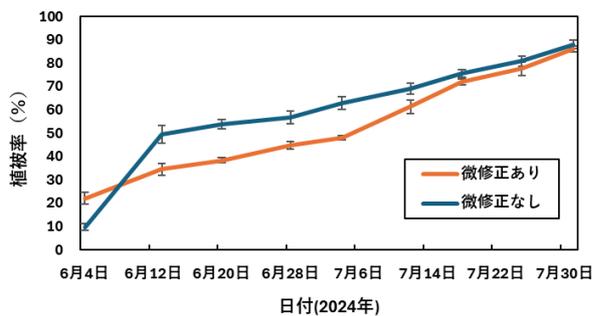


図-9 二値化画像の修正ありとなしの比較(2024年度)

表-2から、植被率は同じ日でもばらつきがあり、標準偏差は1~4%程度になっていることが確認できた。修正ありの場合となしの場合の標準偏差には大きな違いはみられないものの、各日付の修正による植被率の差は最大で16%となった。そのため、二値化が不十分でない場合植被率が正確に算出できないと考える。

表-2 二値化画像の修正結果

| (a) 2023年 | | | | | 数値の単位は% |
|-----------|------|------|------|------|---------------|
| 日付 | 自動 | | 補正後 | | 差 (補正後-自動) |
| | 平均 | 標準偏差 | 平均 | 標準偏差 | |
| 6月8日 | 16.2 | 3.7 | 22.0 | 3.2 | 5.8 |
| 6月19日 | 55.0 | 1.9 | 45.9 | 1.6 | 9.1 |
| 6月29日 | 59.6 | 2.2 | 56.4 | 2.1 | 3.2 |
| 7月7日 | 69.9 | 3.8 | 62.8 | 1.8 | 7.1 |
| 7月21日 | 80.8 | 2.2 | 74.2 | 1.9 | 6.6 |
| 7月31日 | 88.9 | 1.0 | 86.8 | 1.3 | 2.1 |

| (b) 2024年 | | | | | 数値の単位は% |
|-----------|------|------|------|------|---------------|
| 日付 | 自動 | | 補正後 | | 差 (補正後-自動) |
| | 平均 | 標準偏差 | 平均 | 標準偏差 | |
| 6月4日 | 9.8 | 1.3 | 22.1 | 2.4 | 12.3 |
| 6月13日 | 49.3 | 3.9 | 34.5 | 2.6 | 14.9 |
| 6月20日 | 53.9 | 2.0 | 38.3 | 1.2 | 15.6 |
| 6月28日 | 56.8 | 2.7 | 44.8 | 1.5 | 12.1 |
| 7月4日 | 62.8 | 2.8 | 48.0 | 0.9 | 14.8 |
| 7月12日 | 69.0 | 2.3 | 61.3 | 3.0 | 7.8 |
| 7月18日 | 75.6 | 1.6 | 71.9 | 1.3 | 3.7 |
| 7月25日 | 80.8 | 2.2 | 77.6 | 3.0 | 3.2 |
| 7月31日 | 88.0 | 1.7 | 86.2 | 1.3 | 1.8 |

4.2 写真からの植被率の算出

2023年度は、選定した5領域について6測定日の計30枚の画像を二値化し、植被率を算出した(図-10)。

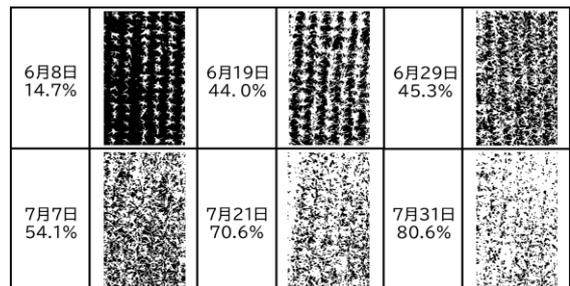


図-10 植被率の例(2023年度)

6月8日の二値化画像では背景地面の黒い領域が多く、日を追うごとに植物の領域が増え、白い領域が多くなる様子が確認された。それに伴い植被率も増加していることが確認できる。

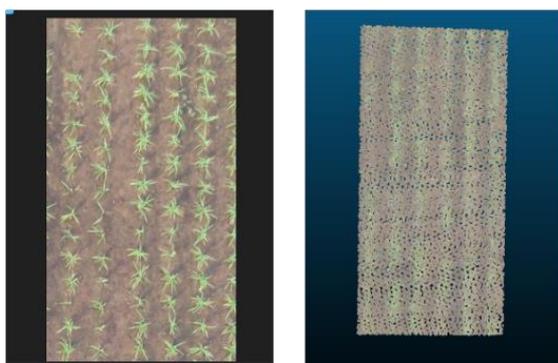
2024年度は、選定した5領域について9測定日の計45枚の画像を二値化し、植被率の算出した(図-11)。

| | | | | | |
|----------------|--|----------------|--|----------------|--|
| 6月4日 19.8% | | 6月13日 38.3% | | 6月20日 38.5% | |
| 6月28日 44.7% | | 7月4日 47.1% | | 7月12日 57.7% | |
| 7月18日 70.9% | | 7月25日 82.0% | | 7月31日 86.1% | |

図-11 植被率の例(2024年度)

2024年度も2023年と同様に最初の測定日には、背景の地面である黒い領域が多く、日を追うごとに対象の植物である領域が増え、白い領域が多くなる様子が確認できた。また、それに伴い植被率も増加していることが確認できる。

4.2 写真と点群の位置合わせ



切り取り領域の写真

切り取り領域の点群

図-12 ポリゴン領域内の点群抽出の例

ポリゴン領域内の点群を抽出した(図-12)。これは2023年6月8日の選定した5領域のうちの1つである。同様にして、残りの領域につい

ても抽出を行った。

4.3 植被率と植被指数の対応関係

対応関係は、線形、多項式、対数の3種類で近似し検討した。

線形近似では最初の測定日及び後半の測定日は推定値との乖離が大きくなり、近似が上手くできていないと考え、次に多項式の近似を行った。しかし、多項式の近似では推定値にピークがあり実際の植物の成長の様子にそぐわないと考え、対数での近似を行った。近似式は(式3)で表される。

$$VCR = f \times \ln CL + g \quad (3)$$

近似式から植被指数を推定した際に得られる値について、平均二乗偏差 RMSE を求めることで評価した（表-3、表-4）。

推定誤差は 9.3~12.1%程度となった（表-3）。植被率の低い作付直後は、曲線から外れた下部に集中していることが確認できる。そのため、植被率の低い作付直後の段階では推定が難しいと考える。最初の測定日を外れ値として除外した場合を考える。

最初の測定日を除外した場合での推定誤差は 7.1~7.8%程度となった（表-5）。層の厚さ（CL）の違いによる RMSE の差は、全ての測定日を含めた場合で 2.8%程度、最初の測定日を除外した場合で 0.7%程度となった。このことから、作付け直後の段階を除けば水稻の上部分だけでも植被率を推定できると考える。

また、最初の測定日の植被率が小さくなった原因は水稻の成長の仕方に関係していると考えられる。水稻は田植え後、数日で新しい根が発生し、養分や水分を吸収し始める。この時期は茎の数が増える分けつ期であり、その後、花芽ができて穂が形成される。穂は葉に包まれ、完成後に出穂して花が咲き、花粉が受精を終えると、種子が肥大し穂が垂れ下がって黄金色に実る。この期間を登熟相と呼び、このようにしてイネの成長が完了する。一般に、発芽から分けつまでの草丈の成長率は低く、分けつから出穂までの草丈の成長率は高く、そして出穂から収穫までの草丈はほぼ一定とされる。そのため、作付け直後の植被率が低くなったことは、水稻がまだ分けつ期を迎えていなかったためであると考えられる。また、遅い測定日の植被率も推定曲線の下に多く位置していることから、収穫段階に位置していると考えられる。

表-3 定数と R²

| CL | f | g | R ² |
|------------------|-------|--------|----------------|
| CL ₃₀ | 40.83 | -43.47 | 0.65 |
| CL ₅₀ | 44.44 | -65.44 | 0.65 |
| CL ₇₀ | 46.63 | -81.48 | 0.70 |
| CL ₉₀ | 47.06 | -92.94 | 0.80 |

表-4 CL と RMSE

| CL | CL ₃₀ | CL ₅₀ | CL ₇₀ | CL ₉₀ |
|------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| RMSE | 12.132 | 12.101 | 11.179 | 9.263 |

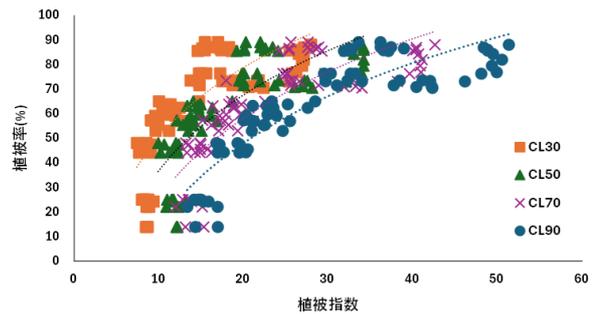


図-13 植被率と植被指数の対数近似

表-5 最初の測定日を除外した場合の定数と R²

| CL | f | g | R ² |
|------------------|-------|--------|----------------|
| CL ₃₀ | 29.77 | -10.69 | 0.70 |
| CL ₅₀ | 32.50 | -27.02 | 0.70 |
| CL ₇₀ | 34.16 | -39.33 | 0.70 |
| CL ₉₀ | 35.94 | -53.36 | 0.74 |

表-6 最初の測定日を除外した場合の CL と RMSE

| CL | CL ₃₀ | CL ₅₀ | CL ₇₀ | CL ₉₀ |
|------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| RMSE | 7.753 | 7.763 | 7.710 | 7.126 |

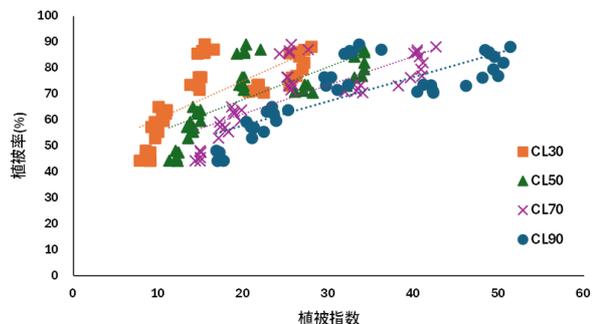


図-14 最初の測定日を除外した場合の植被率と植被指数の対数近似

5. 結論

本研究では、ドローン LiDAR 点群を用いて植被率を推定することを目的とし、画像の二値化による植被率と、ドローン LiDAR 点群による植被指数を算出し、対応関係の検討を行った。対応関係の検討は、線形近似、多項式近似、対数近似の 3 種類について検討した。線形近似では最初の測定日及び後半の測定日は推定値との乖離が大きく上手く近似できていないと考え、多項式の近似を行った。多項式の近似では推定値にピークがあり実際の植物の成長の様子にそぐわないと考え、対数での近似を行った。

推定モデルにより予測される植被率は、7.1～12.1%程度の範囲内で予測することが出来ると確認できた。層の厚さ (CL) の違いによる RMSE の差は小さく、作付け直後の段階を除けば水稻の上部分だけでも植被率を推定できると考える。また、稲の草丈は成長段階により成長率が異なり 1 つの式だけで作付けから出穂の推定を行うことはできないと考える。

6. 参考文献

- 1) 農林水産省：基幹農業従事者
<https://www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/r3/r3_h/trend/part1/chap1/c1_1_01.html>.
- 2) アセアンブリッジコンサルティング株式会社：
農業の人手不足 | 深刻な現状とデータでわかる原因と対策
<<https://aseanbc.co.jp/tips/>>.
- 3) 農研機構：水稻群落の植被率連続計測システム
<<https://www.naro.go.jp/project/results/laboratory/narc/2000/narc00-1033.html>>.
- 4) 本多嘉明ほか：3D レーザスキャナーを用いた植生物理量計測
<https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsprs1975/39/2/39_2_46/_pdf/-char/ja>.
- 5) 株式会社セキド：DJI Matrice 300RTK-セキドオンラインストア DJI ドローン
<<https://sekido-rc.com/?pid=178519926>>.
- 6) DJI JAPAN 株式会社, Support for Zenmuse L1
<<https://www.dji.com/jp/support/product/zenmuse-l1>>.
- 7) 高橋成人：イネの生物学, 大槻書店, pp12-pp19, 1990.