

〈第 41 回山崎自然科学賞優良賞〉

# ドローンと AI を活用した竹の分布解析

静岡県立静岡城北高等学校

2年 岩邊早叶 望月健太 谷津風花 江河歩美 森竹美月 西井陽萌  
平濱泰成 伊東優輝 澤田翔空 鈴木圭吾 木村泰

## 1 要旨

竹害の状況を、竹林を歩き回り調べるには時間がかかる。そこで私たちは、ドローンを利用して上空から竹林の周辺の撮影をし、「竹」「その他」の画像を AI を利用し自動的に解析する手法を確立した。今回の研究では、まずはドローンによる空撮によって広範囲の竹の撮影データを効率的に集めることができた。また、プログラミング言語の Python で TensorFlow を使って AI を動かし、ディープラーニングを行い空撮画像の竹の判別を自動的に行う AI「竹しらべ〜る君」を作成した。今回の研究によって、ドローンと「竹しらべ〜る君」を使うことにより、より効率的に竹害の状況を調査する方法を確立した。

## 2 動機

近年、気候変動の影響により森林や植物の分布が大きく変化しつつある。その中でも竹害は、山林の管理不足によって竹林が荒れて、雑草のごとく増殖してしまう現象で、全国的な環境問題となっている。竹が急速に繁殖することで、他の植物が生息できなくなり、生態系のバランスが崩れてしまう。まず、私達はこの状況を調べるため、静岡市の山林に生えている竹の進行状況を調べにいった。しかし、実際に竹林の中を歩いてみたところ、とても歩きにくく、狭い範囲しか観察できないため、非効率であることに気が付いた。そこで今度は、Google Map を使用して調査をしようとしたところ、Google Map に載っている写真の撮影期間が把握できず、また、衛星画像から写真か判断できなかったため、ドローンを使って竹林を空撮することを考えた。ドローンを使用すれば、リアルタイムな竹の繁殖状況を正確に観測することができると考えた。

## 3 仮説

竹が生えている山林では、藪などが生い茂っていることや、太陽の光が地面まで届かないので暗く視界が悪くなってしまっていることが原因で歩いて調査するのは大変であることが分かった。(図 3-1) そこで、ドローンを使った空撮ができれば、より広範囲のデータを効率的に集めることができると考えた。さらに、ドローンで収集した竹の画像データを AI に読み込ませれば、自動的に空撮の画像を解析することができると考えた。



図 3-1 竹林の写真

## 4 方法

以下の手順で、ドローンによる竹林の撮影と AI の解析を行った。機体は、カメラの性能と本体の性能から DJI Mini 3 を選定した。ドローンを利用して上空 80 m から竹林の周辺の撮影を行った。ドローンの撮影の際には、国土交通省の無人航空機の飛行のルールを順守した。撮影した画像のうち、何%が竹かどうかを判定するために、TensorFlow の AI を利用する。



図 4-1 ドローン操作

撮影場所は法律のことを考慮し、次の2か所にて行った。

場所1・住所：静岡市駿河区用宗城山中学校付近 南向き斜面

- ・撮影日時 8月5日：10:00~11:00
- ・選定理由：山林を所有する教員の私有地で許可を得たため
- ・高度 80m（ただし、離陸地点からの高度）

場所2・住所：静岡市駿河区谷津山 北向き斜面

- ・撮影日時：8月20日：13:30~14:30
- ・選定理由：山林を所有する生徒の祖父の私有地の許可を得たため
- ・高度 80m（ただし、離陸地点からの高度）

今回の場合は、竹が写った広域の空撮画像（図4-1-2）を縦横に分割し、複数のサンプル画像を作成する。また、そのサンプル画像を人の手で「竹の画像」と「その他の画像」に分別する。その後、分割した画像を、AIに機械学習させる。機械学習とは、人の手で用意したサンプル画像を学習データとしてAIに学習させ、最終的にはAIが自分で判断できるようにすることである。今回の研究では、空撮画像から、竹の部分とその他の部分をAIに判定させたい。

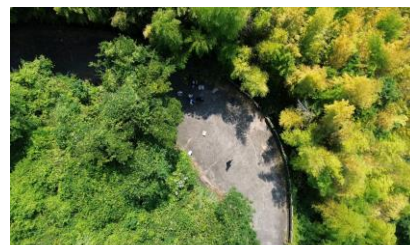


図4-1-2 空撮画像

まずは、「竹」と「その他」に分別した複数のサンプル画像を空撮画像から用意し、それをAIに画像を読み込ませる作業を行う。この時、読み込ませる際には、画像をAIにまずは判定させ、そのAIの答えが正しいかを人の手で教えて学習させた。この作業を複数回数行った上で、AIの学習状況を評価するため、AIをテストして評価する作業を繰り返した。このとき、読み込ませる画像の数を様々に変化させることでAIの精度を向上させられるか調べた。また、「竹」と「その他」を判別できるようになった竹の画像を判定するAIを、以下「竹しらべ〜るくん」と呼ぶ。学習回数や、画像の種類を工夫しながらより高精度な「竹しらべ〜るくん」の完成を目指した。

#### 4-3-1 竹しらべ〜るくん1号

以下のような条件で学習させたAIを「竹しらべ〜るくん1号」とする。

右のような空撮画像を以下に示す分割数で分割し、サンプル画像を生成する。すべてをAIに読み込ませるのではなく、90%を学習用サンプルデータとして利用し、10%は評価する際の評価用サンプルデータとして利用した。

写真数：1枚 空撮画像分割数：10×10 学習条件：1回あたり6枚のサンプル画像の学習

サンプル画像数：100枚うち、90枚は学習用データとして利用し、AIに読み込ませる。

学習回数：合計最大15回学習 画像分類：「竹」「その他」

#### 4-3-2 竹しらべ〜るくん2号

以下のような条件で学習させたAIを「竹しらべ〜るくん2号」とする。このとき、1号からサンプル画像数を増加させた。

写真数：4枚 分割数：10×10 学習条件：1回あたり26枚のサンプル画像の学習

サンプル画像数：400枚のうち、360枚は学習用データとして利用し、AIに読み込ませる。

学習回数：合計15回学習 追加した画像の種類：竹と木の写真 減らした画像の種類：なし

分類 「竹」「その他」

### 4-3-3 竹しらべ〜るくん3号

以下のような条件で学習させたAIを「竹しらべ〜るくん3号」とする。このとき、2号からサンプル画像数を増加させた。

写真数：12枚 分割数：10×10 学習条件：1回あたり80枚のサンプル画像の学習  
サンプル画像数：1200枚のうち、1080枚は学習用データとして利用し、AIに読み込ませる。  
学習回数：合計最大15回学習 増やした画像の種類：竹と木の写真  
減らした画像の種類：境界部分の写真 分類 「竹」 「その他」

### 4-3-4 竹しらべ〜るくん4号

以下のような条件で学習させたAIを「竹しらべ〜るくん4号」とする。このとき、3号から竹の分類を増加させた。

写真数：12枚 分割数：10×10 学習条件：1回あたり80枚のサンプル画像の学習  
サンプル画像数：1200枚のうち、1080枚は学習用データとして利用し、AIに読み込ませる。  
学習回数：合計最大15回学習 増やした画像の種類：なし 減らした画像の種類：なし  
分類 「緑の竹」 「枯れた竹」 「その他」

### 4-3-5 竹しらべ〜るくん5号

以下のような条件で学習させたAIを「竹しらべ〜るくん5号」とする。

写真数：5枚 分割数：40×40 学習回数：合計最大15回学習  
サンプル画像数：7000枚のうち、6300枚を学習用データとしてAIに読み込ませる。  
学習条件：1回あたり466枚のサンプル画像の学習 分類「緑の竹」「枯れた竹」「その他」

## 5 結果および考察

### 5-1 竹しらべ〜るくん1号の結果・考察

AIに学習させるサンプル画像数を1回の学習につき6枚づつ学習させたときのAI判別精度の変化を調べた。このとき、AIの判別精度を評価するために、それぞれの画像を学習用データとして読み込ませた上で、正答率を調べた。このときの正答率とは、サンプル画像のうち、10パーセントをランダムに抽出し評価用サンプルとして出題し、AIに出題することで調べた。図5-1-1は、縦軸が正解率、横軸が学習回数、図5-1-2のグラフは、縦軸が誤差、横軸が学習回数である。なお、それぞれ以下のように定義する。

正解率の定義

(評価用サンプル正答率)

$$= (\text{評価用サンプルの正解数}) \div (\text{評価用サンプル数})$$

誤差の定義

誤差は評価関数による計算結果である。誤差関数は、機械学習の精度を評価するものであり多数存在する。TensorFlowの誤差関数は、回帰(MeanSquaredError)や多クラス分類(CategoricalCrossentropy)があるが、今回は添付のソースコードにあるように

「categorical\_crossentropy」を利用した。値は0から1をとり、0に近いほうがよりAIが正しく判定できたと言える。正答率について、分析の精度は学習を重ねるごとに上がっていった。しかしグラフの凹凸が大きく、AIの判定にぶれがあり、安定した結果が出なかった。誤差についても、回数を重ねてもぶれがあり、全体的に大きかった。

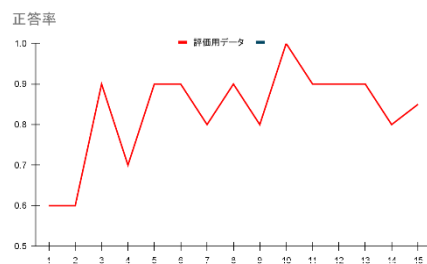


図 5-1-1 1号の正解率と学習回数

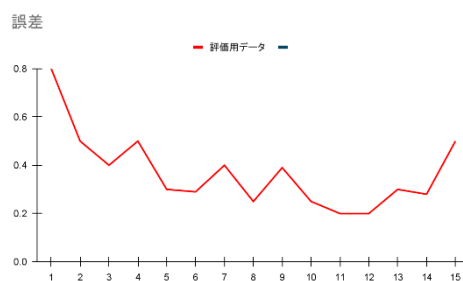


図 5-1-2 1号の誤差と学習回数

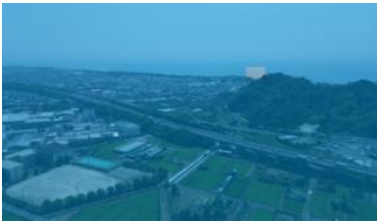


図 5-1-3



図 5-1-4



図 5-1-5

この原因について、AIの判断を詳細に調べるために、学習させたAIを使い実際に写真を分析した。図5-1-3,4,5において、写真の青い部分が、AIが竹と判定した部分である。図5-1-5では一部の竹が竹ではないと判定されていて、図5-1-3では竹が写っていないのに写真全体が竹と判定されてしまっている。これは、竹や枯れた竹、竹以外のサンプル画像をAIに読み込ませる枚数が不足、竹と枯れた竹の茶色や地面の茶色、学習させた画像にはない建物などを、AIが区別できていないためであると考えた。

### 5-2 竹しらべ〜くん2号の結果

5-1の結果を踏まえて、AIに読み込ませるサンプル画像の内、竹とその他の木の画像の枚数を増やした上での画像判定を行った。グラフの凹凸が図5-1-1よりも小さく、竹とその他の木のサンプル画像の枚数を増やしたことで、AIが様々な種類の画像を読み込み、判定に偏りがなくなった。また、全体的に見ていくと、正答率は学習回数を重ねるに従い高くなり、誤差は低くなっている。

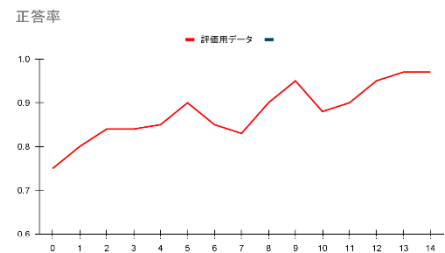


図 5-2-1 2号の正解率と学習回数

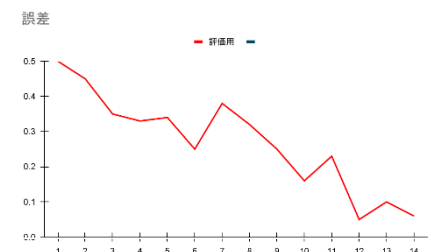


図 5-2-2 2号の誤差と学習回数



竹の割合：32%



竹の割合：32%



竹の割合：3%

図 5-2-3

図 5-2-4

図 5-2-5

1号と同様に、AIがどのような画像を認識したかを実際に写真を使って分析した。図5-2-5、図5-2-4の写真から分かる通り枯れた竹の部分や竹を含まない部分が正しく判別されている。だが、新たな問題として緑の竹が判別できていない。

### 5-3 竹しらべ〜くん3号の結果

2号の結果を踏まえて緑の竹の画像の割合を増やした上で画像判定を行った。図5-3-1と図5-3-2グラフの凹凸が小さく、回数を重ねるごとに安定して正答率が上昇し誤差は減少している。写真から分かる通り精度は前回に比べて向上したが、2号でできていた枯れた竹の判別ができなくなってしまった。2号では緑の竹が上手く判定できなかったため、緑の竹の画像を増やしたが、その結果枯れた竹のサンプル画像の割合が小さくなってしまい、枯れた竹の判定ができなくなってしまったと考えられる。

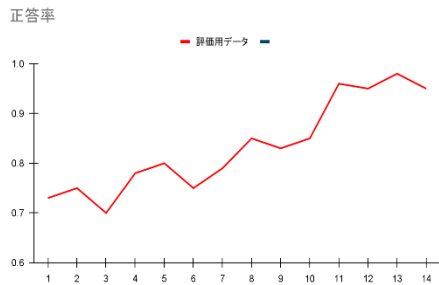


図5-3-1 正解率と学習回数

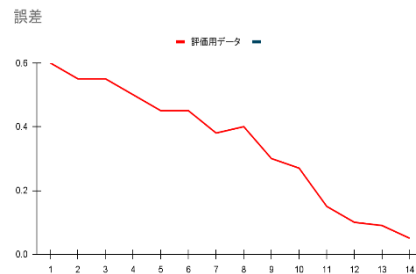


図5-3-2 誤差と学習回数



竹の割合: 0%



竹の割合: 18%



竹の割合: 12%

図5-3-3

図5-3-4

図5-3-5

#### 5-4 竹しらべ〜るくん4号の結果・考察

4号の特徴は、上の条件にあるように分類を3つに増やしたという点である。これまでは、「枯れた竹」も、「緑の竹」も同じ「竹」として学習させていたが、これらの特徴が大きく異なるので、AIに「緑の竹」「枯れた竹」「その他」の3つの分類で学習を行った。

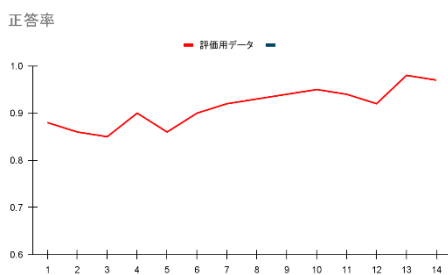


図5-4-1 正解率と学習回数

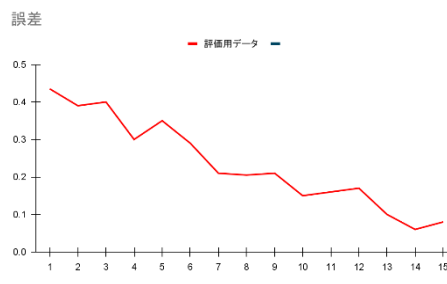


図5-4-2 正解率と学習回数

今回の手法での特徴は、正答率が初回から安定しているという点である。また、正答率は少しずつ上昇し、誤差も小さくなった。サンプル画像の「竹」の分類を「竹」と「枯れた竹」に分けたことで、AIの判定に偏りがなくなり、竹の判定が正確に行われたと考えられる。また、AIにはこのように分類を細かく学習させることで精度を向上させることができると考えられた。同じ写真を学習させたにもかかわらず精度が飛躍的に向上し誤差も数%に抑えられた。



竹の割合: 0%



竹の割合: 29%



竹の割合: 24%

図5-4-3

図5-4-4

図5-4-5

#### 5-5 竹しらべ〜るくん5号の結果

これまでのAIは分割数が、10×10の100枚のサンプルを用意していたが、その理由は、これ以上、分割数を増やしてしまうと1枚1枚のサンプル画像の画質が悪くなり、人の目では竹と竹以外の判断ができなくなってしまうためであった。また、分割数を増



図5-5-1

やせば増やすほど、人の手で学習させなければならない学習データの数が増えてしまい、それを識別するのも大量の時間がかかることも問題であった。しかし、現状の分割数よりも増やすことができれば、より細かく竹の分布を調べることができる。そこで、教師データを作って読み込ませるという工程をAIを使って自動化する方法を以下のように考えた。

- ① 人の手で、全体画像中の竹部分を赤などの色で着色する。このとき、着色前の画像も保存しておく。
- ② ①の画像を、これまでのように複数のサンプル画像に分割する。着色前の画像も分割する。
- ③ 着色されたサンプル画像をAIで「赤」と「その他」の2グループに分別する。このとき、赤の着色があるため、AIは正確に画像を判断することができる。
- ④ ③で「赤」に分類された竹の画像は赤く塗りつぶされているため、そのまま評価用データとして使用することができない。そのため、塗りつぶした後の画像と対応している着色前の画像を集め、その画像を評価用データとして使用する。

この方法では「枯れた竹」と「緑の竹」が判別できたように、色が異なる画像は簡単に判別できるためAIを使い自動で効率よく多くの教師データを用意することができる。4号の判定方法に加えて、新たな画像収集方法を使って画像を収集した上でAIで画像判定を行った。図5-5-2のグラフでは、常に正答率が八割を超えている。また、正答率の凹凸も非常に小さく、1回目から15回目までの正答率の幅は約0.1以内である。竹と竹以外の境界線部分も正確に判定させることができた。

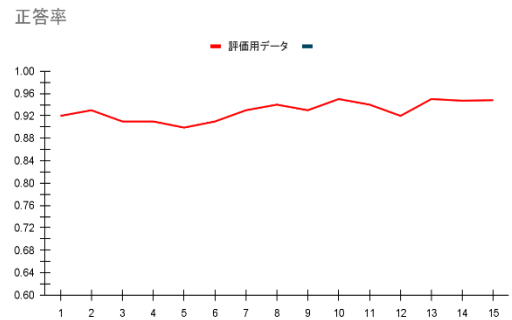


図 5-5-2 正解率と学習回数

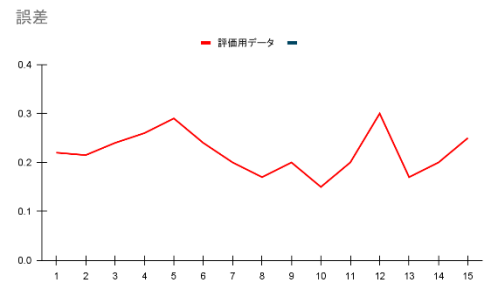
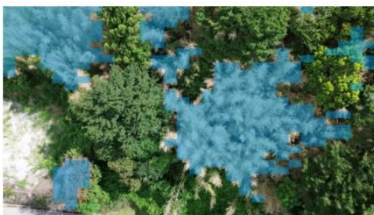


図 5-5-3 誤差と学習回数



竹の割合：31%



図 5-5 - 5



竹の割合：0%

図 5-5 - 6

図 5-5 - 4

## 6 総括

AIに読み込ませたサンプル画像の枚数を変えていないにも関わらず、3号から4号に変えたときに大きくAIの画像判定の精度の向上が見られた。3号では画像を「竹」「その他」4号では「緑の竹」「枯れた竹」「その他」に分類している。また、5号では枚数を大幅に増やしているにも関わらず精度にあまり違いが見られない。このことから画像の分類を正しく行うことが判定の精度に大きく影響していることがわかる。AIを使うことにより、ドローンで集めた膨大なデータを自動で分析できることがわかった。また、AIがより正確に画像認識を行うために以下のことについて注意するべきだと考えた。

- ・竹しらべ～るくん3号では、「竹」「その他」の2種類の分類から、4号では「緑の竹」「枯れた竹」「その他」の三種類に増やしたことで、精度が向上した。よって、サンプル画像の分類を増やす。

- ・竹しらべ〜くん5号の結果より7,000枚のサンプル画像をAIに読み込ませたときに最も精度が良くなり、誤差は数%に抑えられた。よってサンプル画像数を多くする。
- ・1号の結果より、使用するサンプル画像において、本題である竹以外の画像を少しずつ混ぜて使用する。



図 6-1 竹の画像サンプル      図 6-2 枯れた竹の画像サンプル      図 6-3 竹以外の画像サンプル

## 7 展望

今回の研究を踏まえて、もっと多様な画像を収集して判定する画像を適切な枚数、AIに読み込ませることが考えられる。また、今回の場合であれば、あらかじめ竹と木のみが写っている写真を用意し、条件を狭めて判定をすることで判定の偏りや幅が広がりすぎてしまうことを防げると考えた。また、今回の研究から、次の改良案を考えた。

- ・画像の色と色の境界である「輪郭」を調べる。
- ・色の濃淡や輝度の違いを使って領域を分けていく。

このように複数の方法を組み合わせて画像解析をすればよりAIの精度が上がると思う。

研究成果の利用については、例えば、農業の自動化で貢献できると考えている。AIの画像判断によって、受粉に最適な花を見つけたり病害虫の診断をし、ドローンで自動的に受粉させる、農薬の散布をするなどというものだ。今日の社会では農業の従事者数が減っているため、その問題に対する大きな助け舟になると考えた。

## 8 謝辞

本研究を遂行するにあたり、多くの方々から多大なご支援とご助力を賜りましたことを、心より感謝申し上げます。ドローンの購入にあたって、山崎自然科学振興会の助成金を活用させていただきました。感謝いたします。また、県立静岡城北高校の高橋先生、増井先生、松野先生には、撮影するための山の提供や、貴重なご助言とご指導をいただき、大変感謝しております。先生方的確なアドバイスと温かい励ましがなければ、本研究をここまで進めることはできませんでした。論文が完成するに至ったのは、これら多くの方々のご支援の賜物であり、ここに深く御礼申し上げます。

## 9 引用文献・参考文献

|      |   |        |
|------|---|--------|
| 文献 1 | <a href="https://qiita.com/iketuba/items/9b2a374b3b1b55219bcf">https://qiita.com/iketuba/items/9b2a374b3b1b55219bcf</a>           | 9月28日  |
| 文献 2 | <a href="https://pystyle.info/opencv-split-and-concat-images/">https://pystyle.info/opencv-split-and-concat-images/</a>           | 9月28日  |
| 文献 3 | <a href="https://qiita.com/ka10ryu1/items/015c6a6a5fa287a47828">https://qiita.com/ka10ryu1/items/015c6a6a5fa287a47828</a>         | 9月28日  |
| 文献 4 | <a href="https://aikostudio.hatenablog.com/entry/2023/06/07/080442">https://aikostudio.hatenablog.com/entry/2023/06/07/080442</a> | 9月28日  |
| 文献 5 | <a href="https://jp.mathworks.com/discovery/image-analysis.html">https://jp.mathworks.com/discovery/image-analysis.html</a>       | 9月28日  |
| 文献 6 | <a href="https://qiita.com/pocokhc/items/d67b63ec9ca74b453093">https://qiita.com/pocokhc/items/d67b63ec9ca74b453093</a>           | 12月23日 |