

デジタルアースと連携した UAV を用いた飛行型 センシングプラットフォームの開発

西岡一洋*、郭威*、本多潔**

*東京大学、**中部大学国際 GIS センター

1. はじめに

手軽な農場モニタリングツールとしてドローンを用いた農地モニタリングが世界的に広がりを見せている。ハードウェア市場は senseFly 社 (スイス) の eBee と DJI 社 (中国) の Phantom シリーズが席卷しつつあり、センシング用カメラおよびデータマッピング・ソフトウェアもこれらメーカー品の活用事例が拡大している。海外では PrecisionHawk 社 (米国) や AIRINOV 社 (仏) が受注センシング・コンサル業を拡大しており、海外の大規模農園ではドローンから得られた圃場データをもとに最適な量の肥料や農薬の散布データを農家に送付したり、アプリ経由でトラクターのスプレイヤーや灌水装置と連動するなど、農業経営上高い費用対効果を見せはじめている。一方、日本国内においても UAV モニタリングに乗り出す民間企業が現れ始めたが、大規模農園利用を前提とした海外製ソフトウェアの活用に止まっており、小規模栽培農家の多い国内では未だ費用対効果が低く、国土レベルでの農林業センサス・データとしての土地利用図[1]や地質等[2]の基盤地図情報といった調査・研究導入に止まっている。

ドローンには固定翼タイプとマルチコプタータイプ、その両方の飛行機能を持ち合わせたハイブリッドタイプに分けられる。senseFly 社 (スイス) の eBee に代表されるような固定翼タイプは滞空時間が長い為、海外や国内で言えば北海道のような大規模農園のセンシングに向いている。日本の北海道以外では、小規模面積を耕作する零細農家が多い為、合意を取って産地や地域、組合レベルで連携しない限り固定翼タイプの利用に費用対効果は期待できず、マルチコプターの利用がコストと運用面で現実的である。飛行時間が 20 分程度と短いものが多いマルチコプタータイプのドローンも、バッテリーの性能向上や燃料エンジン搭載型の登場によって飛躍的に飛行時間を延ばしつつある。姿勢制御性能の向上もめざましく、高度数十 m から圃場の植生や水ストレスの状況といった面的データの俯瞰に加え、収穫作物の個数や着色程度、病虫害被害程度といった営農上重要な情報を、低空での近接撮影から入手することも可能になりつつある。今後ドローンモニタリングで得られる情報量は格段に増加するものと考えられ、GIS ソフトウェアを活用したアンビエント・センシングに期待が寄せられている。

実圃場において、農業者や農機具、農地自体の物理・化学的な状態をモニタリングするセンシング・ネットワークについてはこれまで世界中で活発な研究開発が実施されてきており、特にここ数年の実用化の動きは加速的で目覚ましいものがある。最近では測距アプリや、農業日誌アプリなども GIS をベース機能としており、地図上のピンをワンタッチすることでセンシング・データにアクセスできるようになってきている[3]。

しかし、一方でドローン・センシングは黎明期であり、空撮データを加工・マイニングするための手ごろな GIS ソフトウェアが未だ見られない。ドローンによる空撮データと圃場のセンシング・ネットワークデータを同一データプラットフォーム上でハンドリングし、農業者の活動を拡張支援するためのアンビエント・インテリジェンスも必要である。しかし、セキュアにラスターデータも扱うとなるとシステムが高価にならざるを得ず、まだまだ研究開発でのデータ・マイニングの域を出ない。環境や植物形状 (樹冠管理など) の最適化、予測/推定/推奨情報の提供によって農業者や圃場作物の状態が変化し、それをセンシング・ネットワークによってさらに認識して推論を重ねる Cognition Cycle の形成が必須である。

本研究では、世界的に作付面積が広く、最も Precision Farming が進んでいる醸造用ブドウ園をテストケースとして、農業者の入力負担が少なく Cognition Cycle の形成を助けるセンシング・プラットフォームについて考察、プロトタイプングを行った。また、昨年を引き続き、実栽培で役立つフェノタイプングツールの開発と位置付けて、ベレーゾン期における果房の着色プロセスを定量的に把握、ログするための画像解析アルゴリズムを考案した。

2. ワイン用ブドウ園において想定される入力データについて

国内の小規模な醸造用ブドウ栽培園でのデータ取得を想定した。日本国内のワイナリーでは垣根栽培だけ

でなく、甲州やマスカット・ベリーA など、品種によっては棚式栽培によってブドウ栽培が行われている。漸増中の新興ワイナリーでは垣根栽培が主であるが、生食用ブドウ栽培から始まったワイナリーは収量優先で棚式栽培を採用するところが多い。こうした仕立て方法に対して一般的な高度（数メートル～20m）でのドローン・センシングから取得が見込める情報は、植生指数、水ストレス、葉色（N 含量/肥効）、草丈、花数等が既に実用化されたものとして挙げられる。棚下の飛行とセンシングは、ローターからの風圧による被写体の揺れ問題や、棚下構造物の回避飛行精度、安全性、日中の逆光条件など数多くの技術的問題があり将来的にも厳しく、人によるモバイル・センシングの領域を出ることはないと考えられる。HaaS(Human as a Sensor)も重要な情報収集技術であり[4]、人による棚下でのモバイル・センシングであれば、カラーチャートを用いた果房の着色程度（ベレーゾンの進行）、果実品質（平均房重、Brix、糖酸比など）まで取得可能である。一方、垣根栽培においては畝間飛行が必要となるが、オートパイロットでなくても熟練した操縦者であれば着房位置の撮影は無理ではない。マニュアル・センシングよりも短時間で果房や樹冠葉全体の着色度を広くセンシング可能となる。さらに、GPS が標準的に搭載されているスマホもセンサとして大いに役立つようになってきており、専用アクセサリがなくても環境光計測や LAI 推定、葉面積測定、葉色計測等が可能なアプリが既に利用可能である。専用アクセサリをスマホに装着すれば、サーマルカメラ化して樹冠や果実、地表面などの温度分布計測も可能である。GPS 情報から農業者の1日の行動履歴をマッピングして作業タスクの進捗管理に役立てることも可能である。

3. GIS ソフトウェアの必要条件について

センシング対象としての農業情報を内容で分類すると、作業情報（防除、除草、摘心、除葉、摘房、収穫、作業場所・時間等）、植物生理情報（樹液流量、水ストレスインデックス、葉濡れ時間等）、フェノロジー情報（新梢長、葉面積、植生指数、葉色、萌芽、開花、果房着色程度等）、環境情報（温度、湿度、日射量、土壤水分、地温、風向風速、雨量等）、果実品質情報（房重、色、Brix、糖酸比等）に分けられる。ただし、ここで想定される農業情報の取得・記録頻度の内、オートマティックに記録されないものについては不定期な不連続データとなる。また、マニュアルでセンシングされる情報については、毎回必ず同じ場所で計測されるとは限らない。ドローン・センシングやセンシング・ネットワークにより機械的に得られる情報が農業において有効に役立つには、管理基準となりうるフェノロジー情報や収益につながる果実品質情報との関係性を分析・推論できるようなプラットフォームが必要となる。その際に重要なのは、全てのデータを植物の生物層上で扱えるようにすることである。具体的には、植物の生育スピードと高い相関が知られている有効積算温度（GDD）や DAB（萌芽後日数）を用いることで、当年と例年のフェノロジー・ステータスの違いを把握し、フェノロジーに合わせた再現性の高い栽培管理日の決定が可能となる。植物生理情報や果実品質情報もフェノロジー・ステータスと合わせてその変化状況を把握することで、よりよい栽培管理のために何が必要かの推論が楽になる。

GIS の基本機能 [5]、①データ検索機能、②地図総描機能、③地図抽象化機能、④地図シート操作機能、⑤バッファ生成機能、⑥多辺形重ね合わせ分解機能、⑦格子分析機能、⑧計測機能、⑨デジタル地形分析機能のうち、①～⑦までは農業用の GIS ソフトウェアに必須な機能である。地理情報システム関連省庁連絡会議は 2002 年以降 GIS コンテンツの利用普及に向けて GIS アクションプログラム 2002-2005 を策定した。OpenGIS コンソーシアム (OGC) は産学官の団体からなる非営利団体として、異なる GIS 間での空間情報の相互利用を可能にするオブジェクト指向型のソフトウェア仕様を検討してきた。GIS は地理情報の標準規格である OGC 標準に準拠することで、システムに依存せずネットワーク上でシームレスな空間情報の相互利用が可能となる。GIS を基盤とした農業情報管理システムは、2.1. で取り上げたような多様なコンテンツを同梱する必要があり、空間データの記述言語の選択が重要である。日本情報処理開発協会により開発され、既に ISO によって標準化済みの G-XML も候補として考えられるが、業界標準のファイル形式は SHP であり、近年 SHP 形式での提供が増えている [6]。センサデータについては認識・推論が必要となるため商業レベルでは CephFS や HDFS といった分散ファイルシステムの利用が必須となる。

4. 材料および方法

4.1 GIS WEB アプリのプロトタイプ

本研究では GIS 初心者ユーザーとして想定し、以下の仕様に開発内容を制限した上で、農業者の入力負

担が少なく、初歩的なデータ・マイニングが可能な最小構成の GIS WEB アプリをプロトタイピングした。mBaaS (NIFTY Cloud mobile backend) と Ruby 上から R を呼び出せる RSRuby を組み合わせて使用した。また、その中で昨年度より開発してきたベレーゾン期における果房の着色程度をラフに数値化するための着色程度解析アルゴリズムを考案し、MATLAB を用いて解析エンジンを別途試作実装した。その後、圃場で取得した情報を本 WEB アプリに格納し、アプリの運用テストを行い、機能の過不足についてワイナリー関係者にヒアリングを行った。

GIS WEB アプリの機能概要

1. 表示機能

- ・メインマップ（固定表示で1週間分のデータ毎に内容を切り替え表示、選択図形の作成・表示はなし）
- ・任意個数のラスターデータを格納可能なセルポイントを表示
- ・セルポイントを中心とした円と色の組み合わせによる2変数同時表示
- ・有効積算温度の表示（別途入力した一部入力情報をマウスオーバー時に表示）

2. 編集機能

- ・既存レイヤの読み込み（ベクタ、ラスター、メッシュ）
- ・DBのデータ編集、セキュリティ管理なし

3. 文書機能

- ・文章入力（農業日誌）機能
- ・リンク機能（セルポイント内に外部センシング・データへのアドレスを埋め込み）

4. メモ機能

- ・写真貼り付け

5. インポート機能

- ・国土数値情報
- ・空中写真等の画像データ取り込み
- ・位置DB (csv)

6. エクスポート機能

- ・csv, SHAPE

4.2 画像センシングによる果房の着色程度解析アルゴリズム

昨年度の成果において、ブドウ垣根間において、ドローンもしくは移動体（ドローン以外のロボットや農作業車両、人）によって着果部位（地表50～70cm程度）の状況を動画撮影し、得られた動画から生成した静止画を用いて個々の房を検出するアルゴリズムを報告した。今回は検出された個々の果房着色程度を画像解析するためのアルゴリズムを考案した。

再現性の高い色解析には多数のカラーチャートを圃場内に設置する必要が生じるが、着色系ブドウ栽培の現場で実際に栽培者が欲する情報はそこまで厳密なものではなく、品種毎や圃場内の小区画(10m四方程度)毎におよその着色の進行程度が5段階程度でクラス分けされればよい。撮影される画像内において結果枝は茶色～黒色だが、背景色の大半は緑色であり、圃場空間内において着色過程および着色完了後の青紫色～黒紫色は得意である。そこで、HSV色空間の色相のみを用い、以下の手順により果房の着色程度をクラス分けした。

1. 認識した各果房の果房長とプロジェクションエリアを算出した。
2. 抽出された果房の色相(Hue)ヒストグラムを作り、シーケンス上に並べ、シーケンス上にあるヒストグラムの分布を比較した(Histogram Intersection)。
3. ヒストグラム上に現れるピーク・パターンを5分類(図1)し、果房の着色レベルとした。
4. 抽出した果房の位置情報と着色レベルを紐付け、GIS WEB アプリ上に格納・表示した。

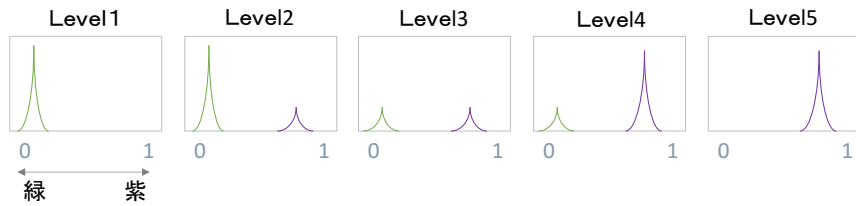


図1 果房の色相ヒストグラムとピーク・パターンによる着色レベルの分類

山梨県内のワイナリーにおいて垣根栽培されている醸造用ブドウ‘Petit Verdo’を試験サンプルとした。今回は着色程度の解析アルゴリズムを確立することが主目的であったので、ドローンの揺れによる画像のボケなどを無視するために、スタビライザー付きのハンディカメラ（GoPro3）での撮影を着色期間中定期的実施した（2015/8/5～2015/9/4）。

5. 結果と考察

5.1 GIS WEB アプリのプロトタイピング

前述の仕様を満たした WEB アプリを試作した。図2に示したアプリ内のマップ中にあらかじめ指定したセルポイントに複数の変数を自由記述可能とした。計測期間中、土壌 pH、EC、果房着色レベル、房数、果汁 pH を不定期にログした。マップ上ではセルポイントの色と円の大きさによって、選択した2つの変数をマッピングでき、直感的に圃場の状態を俯瞰できる。図2では土壌 pH を色で、果房の着色レベルを円サイズで表示している。土壌 pH、着色レベルともに圃場内でのばらつきがわずかに見られたが、今回の取得データから特に異なる変数間での関連性について議論できそうな結果は得られなかった。

ワイナリー関係者へのヒアリングでは、これまで数年おきに担当者の人事移動とともに変更されてきた圃場データの記録形式が一部統一されることに大きな魅力を感じるという回答を得た。入力データの取得をどのくらいの日数間隔で取得すべきか、全てのデータ・セットを1週間で取り終えるのは計測負担が大きいなどの声もあり、運用面でまだ作業負担に課題が残るが、海外のように計測を外注する運用スタイルにすれば問題は解決すると考える。



図2 試作した GIS WEB アプリのメイン画面

5.2 果房の着色程度解析

ベレーゾン期において撮影画像から検出された果房に HSV 色空間情報のヒストグラム診断を適用し、色相ヒストグラムを作成した。8月12日の画像から赤色領域の出現頻度が顕著に高くなりだし、この日を検出された果房のベレーゾン開始日とした。2015年の夏は例年のよりもゆっくりとした遅い着色プロセスを示した。図3に示した期間中の解析結果では、色相ヒストグラムのピーク・パターンが着色レベル1～4まで徐々に変化していくプロセスを確認でき、その後レベル5に達した。実用上は圃場内を広域に画像モニタリングすることで、圃場内の着色レベルのバラつきを GIS アプリ上で俯瞰し、収穫日を場所ごとに変えたり、果実品質の選別基準にすることが考えられる。今回は赤ワイン用のブドウ果房を実験に供試したが、白ブドウのように近傍にある葉色と同系色を呈す場合は、DTSM 法[7]を用いても果房のみの抽出は困難となる。また、白ブドウは色相の変化が黒葡萄ほど顕著でないため、現状では着色レベルは赤ワイン用の黒葡萄のみ適用可能である。白ブドウの着色レベルを同様の手法で分類するには高解像度のカメラと専用カラーチャートが不可欠と考える。

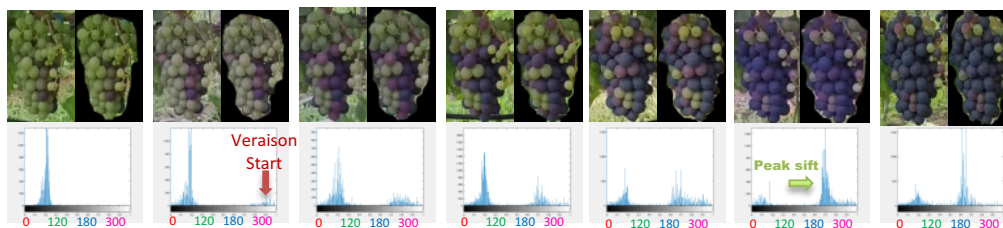


図3 ベレーゾン期における‘Petit Verdo’の着色レベルの推移（2015/8/5～9/4、左から8/5、8/12、8/17、8/19、8/21、8/24、8/31、9/4）

6. まとめ

ワイン用ブドウ園をテストケースとして、ドローン・センシングやセンシング・ネットワーク、モバイル・センシングによって得られるデータを統合管理し、日々の栽培にフィードするための GIS WEB アプリを試作実装した。また、赤ワイン用黒ブドウの着色プロセスを時空間的に把握するために、房の着色レベルを分類するための画像解析アルゴリズムを考案した。実圃場で得られたデータを GIS WEB アプリに入力し、入力情報の時空間変異を可視化できるようにした。今回、入力データを生物暦と関連付けるところまで実装できなかった。今後のアプリの改良で有効積算温度もしくは DAB と着色レベルの GIS マップを連動すれば、海外で行われているような圃場レベルでの原料ブドウの品質管理が可能になり、合理的に収穫区画を分類できるようになると考える。日本においても海外ほどでないにせよ今後ブドウ園の集約化は離農者の増加に伴って徐々に進むものと考えられ、そうした状況が進めば GIS ソフトウェアによる圃場情報管理に費用対効果が生じてくるだろう。なるだけ既存の継続した安定運用が見込みやすい大企業の無料サービスを流用し組合せ、低コストで使い勝手のいい GIS ソフトウェアに向けて今回の試作アプリを改良していきたい。

7. 謝辞

本研究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 IDEAS2014 I -1 の助成を受けたものであり、本助成制度に対しここに深く感謝の意を表す。

参考文献

1. 仁平尊明, 橋本雄一, GIS と GPS を利用した農業の空間分析-農林業センサスのダウンロードから土地利用図の作成まで-, 地理学論集, No. 86, pp115-126, 2011.
2. e-土壌図、<http://agrimesh.dc.affrc.go.jp/e-dojo/>
3. 株式会社 IHI, 宇宙の視点から農業生産を支援する-日本の農業を元気づける農業情報サービス“Field Touch” -, IHI 技報, Vol. 55 No. 1, p10-11, 2015.
4. 大槻知明, 渡辺尚, 中澤仁, 川島英之, 滑川徹, 山本高至, 知的環境とセンサネットワーク-アンビエントセンサネットワーク-
5. 大場亨, View による地域分析入門, 2001, 成文堂
6. Babinonia, <http://www.uclmail.net/users/babayoshihiko/gis/qgis/index.html>
7. Wei Guo, Uday K. Rage, Seishi Ninomiya. Illumination invariant segmentation of vegetation for time series wheat images based on decision tree model. Computers and Electronics in Agriculture, 96, 58-66. doi:10.1016/j.compag.2013.04.010