

桃栽培作業者の予備摘果における視線移動からの暗黙知抽出

井原 実咲[†] 上野 秀剛^{††} 福田 文夫^{†††}

[†] 奈良工業高等専門学校システム創成工学専攻 情報システムコース 〒639-1080 奈良県大和郡山市矢田町 22

^{††} 奈良工業高等専門学校情報工学科 〒639-1080 奈良県大和郡山市矢田町 22

^{†††} 岡山大学環境生命自然科学学域 〒700-8530 岡山市北区津島中 1-1-1

あらまし 熟練桃栽培者がもつ、高品質な桃を栽培するための知識は大部分が暗黙知であり、他者への伝達が難しいため非熟練者の教育に反映することが難しい。本研究では栽培工程の1つである予備摘果（果実の数を減らす作業）に対する熟練者の暗黙知を分析することを目的に、作業者の視線移動を計測する被験者実験を行い、その特徴を明らかにする。分析の結果、非熟練者は視線が一定箇所に留まる停留の割合が熟練者と比べて短く、個々の果実や枝を注視するよりも果実の探索にかける時間が長いことがわかった。また、AOIに対する注視を分析した結果、熟練者は非熟練者の1.3倍AOI数が多く、視線移動の方向を比較すると上下の視線移動（Y軸）について熟練者は非熟練者の14倍多かった。上下の視線移動が観測された際の視線映像からは、熟練者が予備摘果の際に枝を持ち下げたり枝の下に入り込むことで枝が地面側から見える位置、かつ、枝が視界の上下に伸びる状態で見ている場合が多く、果実が葉に隠れない状態で見ることによって果実同士の位置関係を効率的に把握し、除去する果実を判断していると考えられる。

キーワード 視線計測, 桃, 予備摘果, 暗黙知

Extracting Tacit Knowledge from Eye Movements in Preliminary Peach Thinning

Misaki IHARA[†], Hidetake UWANO^{††}, and Fumio FUKUDA^{†††}

[†] Department of Advanced Information Engineering, National Institute of Technology (KOSEN), Nara College
22 Yata-cho, YamatoKoriyama-shi, Nara, 639-1080 Japan

^{††} Department of Information Engineering, National Institute of Technology (KOSEN), Nara College
22 Yata-cho, YamatoKoriyama-shi, Nara, 639-1080 Japan

^{†††} Graduate School Of Environmental, Life, Natural Science and Technology, Okayama University
1-1-1 Tsushimanaka, Kita-ku, Okayama, 700-8530 Japan

1. はじめに

桃やブドウなどの果樹を栽培する生産者は高品質な果実を効率的に育てるための知識を有している。特に熟練の生産者は栽培の各工程ごとに様々な知識を有していると考えられる。だが、熟練者の持つ知識は言葉に表現できない知識（暗黙知）である場合が多く、生産者の高齢化が進んでいる果樹作農業の分野において非熟練者への教育による知識の伝達が重要な課題となっている。本研究では果樹の中でも桃を対象に、桃栽培工程の1つである摘果に着目する。摘果は育成中の果樹から果実の数を減らすことで残した果実に養分を集中させると同時に、果実同士の衝突による傷を回避することで商品になる桃の質と量が高める作業である[1]。どの果実を除去するか適切に判断す

るためには枝や果実の相互位置関係、葉の枚数、日光の当たる方角、枝の伸び具合など、多数の要素が関連していると考えられるが、果樹のどこを見てどのような基準で判断すれば良いのか、具体的な説明は桃栽培の本にも記載がなく、暗黙知である。また、摘果において短期間に急速に桃を減らすことは不良品の増加に繋がるため、4月に予備摘果、5月に本摘果、6月に修正摘果と、段階的に桃の数を減らしていく。このとき、予備摘果は主に数を減らす、修正摘果は主に品質の高い桃を残すというように、段階ごとに目的が異なるため必要な知識も異なると考えられる。

本研究は予備摘果の暗黙知を言語化し、共有可能にすることを目的に、熟練者と非熟練者の作業時の視線を比較して特徴を明らかにする。視線計測は熟練者の暗黙知を抽出する手段とし

て様々な分野の研究で用いられている [2] [3]. これらの研究はいずれも熟練者が判断にいたるまでの視線移動の特徴を分析している. また, 熟練者と非熟練者間で視線移動の特徴を比較することで, 熟練者の暗黙知を抽出している場合が多い [4] [6] [8]. 本研究で対象とする予備摘果においても, 果実を除去するか判断するまでに周辺の枝や果実を見る必要があるため, 熟練者と非熟練者の間で異なる視線移動の特徴が現れると考えられる.

本稿で報告する実験では桃栽培の熟練者 3 名と非熟練者 3 名が指定した範囲を予備摘果する際の視線移動を計測する. 指定する範囲は枝ごとであるため, 被験者は葉や枝に隠れた果実を探索し, 果実を除去するか残すか判断するための周辺情報を取得し, 除去と判断した場合には実際に除去を行った上で次の果実の探索に移行するといった一連の流れを行う必要がある. 予備摘果においては次に判断を行う果実を探索するまでの時間が熟練者と非熟練者の間で異なると仮定する. 熟練者は果実の位置把握に優れていることから次の判断を行う果実を探して視線を移動する時間が少なくなると予想される. 本稿ではタスク中の視線移動を果実を探す視線と何かを注視している視線に分類し, 熟練者と非熟練者の間で差があるか分析する. また, 差の要因となる暗黙知を明らかにするため, 注視領域や 3 軸における視線移動に熟練者と非熟練者間で違いがあるか分析する.

以下, 2 章で摘果, 視線計測について説明し, 3 章で詳しい実験方法について述べる. 4 章では結果と考察を示し, 5 章では結論を述べる.

2. 準備

2.1 摘果

摘果は花芽の開花後に形成された果実に果肉がついてきた段階で一部の果実を間引き, 量を減らす作業である. 果実の数を少なくすることで養分競合を減らし, 果実肥大を良好にするために行われる.

摘果を行う際には, 摘果後の果実の成長に伴う状況の変化を想定する必要がある. 果実が成長して重さが増加すると果実の付いた枝のしなりが大きくなり, 他の果実や枝との位置関係が変化する. そのため, 摘果で残した果実の位置が悪い場合, 他の果実の影に入って十分な日光が当たらなくなり, 果実の成長が不十分になる. また, 他の果実や枝と衝突することで傷が付き, 不良品になる可能性が高くなる. 摘果を行う生産者は個々の果実の状態に加え, 果実が枝に付いている向きや角度, 周辺の枝に残す果実の位置などを考慮しながら除去する果実を選定していると考えられる.

桃の予備摘果に関する知識として文献 [1] には最終着果量の約 20% 増 (産地によって異なる) になるように果実を減らすことが記載されている. また, 枝の長さによって残す果実数の目安が決まっており, 30cm 以上の枝には 2 果, 10~30cm の枝には 1 果, 10cm 未満の枝には 5 本に対して 1 果が収穫時期に着いていることを想定し, 枝の長さを見て残す果実数を決めている [1]. これらの知識は予備摘果の知識が無い初心者が摘果を行う際の目安となる有用な知識である. 一方で, 具体的にどの果実を除去するか判断する為には前述のように様々な要素を見

て成長後の状態を推測する必要がある, 枝のどこを見れば良いのか, 果実同士の位置関係の良し悪し, 状況把握の仕方等, 具体的な説明は文献に記載されていない. これらの判断材料は熟練者が経験に基づいて獲得した暗黙知であり, 熟練者自身が言葉にして非熟練者に説明, 教育することは難しい.

2.2 視線計測

暗黙知の抽出において, 視線計測は医療 [4] [5], 建築業界 [6] [7], 鉄道運転手 [8] など様々な分野で用いられている. Li らは模擬手術中の熟練医師と非熟練医師の視線データを比較した [4]. タスク実施中の視線の停留時間やサッケード時間, 視線の分布, 視線移動を分析した結果, 熟練者は停留時間が長く, サッケード時間は短く, タスク関連領域への注視が多かった. さらに, タスクの複雑さが熟練者と非熟練者の視線移動の違いを和らげることがわかった. Dzeng らは建設業における熟練作業員が危険箇所を特定する際に用いている暗黙知を明確化するため, 作業現場内の危険箇所を特定する際の視線データを熟練者と非熟練者で比較した [6]. 実験の結果, 熟練者の方が危険箇所の評価が早かった. また, 熟練者の方が注視回数が少なく, 危険箇所を評価するための視線経路は, 高所にいる作業員という高リスクの対象を評価し, 続いて地上にいる作業員を評価するという順になっており, 非熟練者に比べて規則性をもった視線経路となっていた. この視線経路は, 初心者への教育へ活かせることが示唆された.

これらの研究はいずれも判断を含むタスク中の熟練者と非熟練者それぞれの視線移動の特徴を分析している. 一方で農業分野で同様の視線分析を行っている研究は少なく, 本研究が対象とする桃栽培の分野においても暗黙知の抽出が行われていない. 本研究では桃栽培における予備摘果を対象に各果実を除去するか判断する際の視線移動を計測し, 熟練者と非熟練者の特徴の差を分析することで暗黙知の抽出を行う.

3. 実験

3.1 実験設定

被験者は, 熟練者として岡山県農業研究所果樹研究室の研究員 3 名, 非熟練者として岡山県農業大学の学生 3 名の計 6 名である. 熟練者は実務経験が 3 年から 17 年, 非熟練者は摘果の基礎知識を習得済みで大学で経験を積んでいる段階である.

タスクとして被験者には対象の木の予備摘果を行ってもらう. 1 つの木に対して指定した範囲を予備摘果する作業を 1 タスクとし, 作業中の視線を計測する. 対象の木として岡山県農業研究所が育成している, 予備摘果が可能だがまだ行っていない木を採用する. 木の樹高と横幅はいずれも約 4m であり, 木の上部にある果実に対して予備摘果を行う際には被験者の判断で踏み台を用いて行う.

被験者にはタスク開始前に視線計測装置を装着してもらい, キャリブレーションを行う. 各タスクが始まる前に予備摘果の対象とする枝を指定し, 視線計測を開始する. 1 つのタスクで対象とする枝は被験者が 1 分程度で作業を完了できる分量を指定する. 被験者には作業時間を指定せず, 指定された枝の予備摘果が終わったと判断するとタスクを終了し, 次のタスクへと



図1 EMR-10



図2 EMR-10 計測映像

移行する。

3.2 視線計測

視線計測には非侵襲性で帽子型のアイマークレコーダであるナックイメージテクノロジー社製 EMR-10 を用いる。図1に EMR-10 の外観を示す。眼球カメラが被験者の両目を撮影し、視野カメラが被験者が見ている視野を撮影する。眼球カメラには赤外線ライトが付属しており、被験者の目に弱い赤外線を当てた時にできる反射点と瞳孔の位置から眼球の向きである視線を計算する。被験者によって眼球の大きさや特徴が違い、周囲の照明環境によっても赤外線の反射や瞳孔の見え方が異なるため、視線計測の前にはキャリブレーションを行う必要がある。被験者から一定の距離離れた場所に架空の面（キャリブレーション面）を設定し、キャリブレーション面上に定義した9点に相当する位置に板などの注視可能な物を設置することで被験者の視点をあわせ、キャリブレーションを行う。各カメラの映像は有線で接続された EMR-10 コントローラーで記録、処理される。EMR-10 コントローラーはウエストバックで被験者の腰部に固定され、無線接続されたタブレット端末を通じて操作する。本装置は被験者の移動や頭部の動きを制限しないため、木の周辺を移動しながら作業する予備摘果の視線計測に適している。

EMR-10 は両眼の視点を視野映像と共に 60Hz で記録する。EMR-10 で計測した眼球と視野の映像から抽出した1フレームを図2に示す。毎フレームの視点位置が右眼(□), 左眼(+), 両眼(○)として映像上に表示される。また、3種類の視点位置がフレームごとに3次元の座標(mm)として csv ファイルに出力される。瞬目や計測漏れが生じた場合の視点座標は計測されず、座標データがないフレームとして記録される。

図3に EMR-10 が計測する両眼注視点の座標定義を示す。3次元両眼座標の X, Y は図2に示す被験者の視界映像の中心を原点とし、Z は被験者の眼の位置を原点として視点位置が表現される。被験者から見て右、上、奥がプラス、左、下、手前がマイナスとなる。また、キャリブレーション面から離れた位置を注視した場合、左眼注視点と右眼注視点はズレが大きい可能性が高い。そのため、本研究では補正済みの両眼注視点のみを使用する。また、3.1で述べた木の樹高と横幅より、1つのタスクで計測した視線データに対して X 軸、Y 軸、Z 軸それぞれの最小値と最大値を-4m~+4m, -4m~+4m, 0m~4m と定める。

3.3 分析

3.3.1 停留率

熟練者と非熟練者の間で摘果の判断対象である果実を探索する効率に差があるか比較するために、1タスクで計測された視線移動のうち、停留に分類された視線移動の時間長の割合である停留率を求める。計測した視点データから、一定の時間長以上の間に一定の範囲内に視点が留まる状態である停留を求める。停留と次の停留の間の視線移動はサッケードと呼ばれ、サッケード中に見た画像は処理されず、知覚されない[9]。停留率が相対的に少ない視線移動は、果実や枝を注視するよりも探す時間や次の対象物に移動する時間が長い事を示す。そのため、果実の除去を判断するために使える時間が少なく、同じタスク時間で摘果できる数が少なくなる。

本研究では視線データから停留を抽出するために、視点間の距離に基づいて停留を抽出する移動重心点法を用いる。半径10cmの球体内に視点が計100ms以上連続して存在する場合、その視線群を1つの停留としてみなす。その停留群の中心点を停留点とし、停留群の中にある視点数の時間長の合計が停留時間長(秒)となる。停留率は、タスク中における停留時間長(秒)の合計をタスク時間(秒)で割った値である。

3.3.2 AOI

熟練者と非熟練者の間で注視箇所やその変化に差があるか比較するため、停留点を AOI (Area of Interest: 興味関心領域) に割り振る。停留位置の変化は読み手が興味を持つ場所の時間変化を表すとされ、視線分析に関する多くの研究で用いられおり[10][11]、停留位置として AOI を用いた分析もよく行われている[8][10]。

本研究では計測する視点で構成される3次元の空間を縦100個×横100個×奥100個の各直方体に分割した1,000,000個領域を AOI と定義し、連続した停留が同じ AOI に含まれる場合、1回の AOI に対する停留として AOI 数を数える。空間的に近い箇所に対する連続した停留は同じ対象物(果実や枝など)に対する注視と考えられるため、AOI 数を見ることで、タスク中に注視する対象物の多少を比較する。また、過去に見た対象物を繰り返し注視している場合、AOI 数が多くても実際に確認した対象物の数は少ない可能性がある。非熟練者は摘果の判断を行う際に、成長度合いを比較したい果実2つを何度も見比べたり、周辺の枝や果実を繰り返し確認すると予想される。本稿で

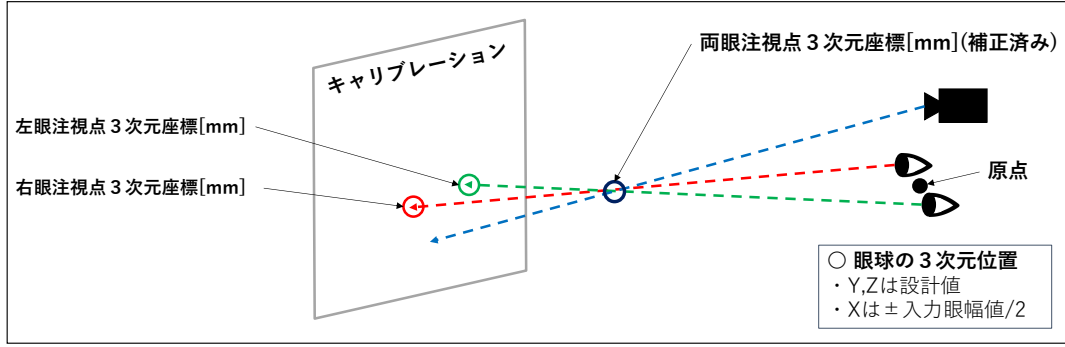


図3 EMR-10 座標系 (nac 社資料を参考に著者が作成)

は、AOI 数からタスク中に既に停留があった AOI を除外した新規 AOI 数を定義し、比較する。くわえて、AOI 数、新規 AOI 数について、対象とする視線移動における停留時間長が長いほど数が増える傾向があると考えられるため、停留時間長で割った AOI 数/秒、新規 AOI 数/秒を求め、分析する。

3.3.3 視線移動の向き

熟練者と非熟練者の間で果実や枝の位置関係を把握する際の枝に対する見方を比較するために視線移動の向きを求める。摘果の対象となる果実は1つの枝に複数ついており、枝の長さによって残す果実数の目安が決まっているため、1つの枝全体を見ながら個別の果実の摘果を判断すると考えられる。このとき、1本の枝が伸びている方向は視界中の左右、上下、前後のいずれかに分類され、その向きによって果実間の距離の把握しやすさや、葉に隠れた果実の発見しやすさが異なると考えられる。

本研究では視線移動の向きを連続する2つの停留間における各軸ごとの移動距離の比率から求める。次の式を用いて連続する2つの停留 f_i, f_{i+1} , $i = 1 \dots F-1$ 間の移動距離 d について、各軸に対する移動距離 d_x, d_y, d_z を算出する。

$$d_x(f_i, f_{i+1}) = |x_i - x_{i+1}|$$

$$d_y(f_i, f_{i+1}) = |y_i - y_{i+1}|$$

$$d_z(f_i, f_{i+1}) = |z_i - z_{i+1}|$$

式の x_i, y_i, z_i はそれぞれ f_i の座標 (x, y, z) を表す。移動距離は連続する停留間でもとめるため、停留数 F に対して $F-1$ 個算出される。個々の d の各軸に対する移動距離 d_x, d_y, d_z において、各軸の移動距離の比率 r_x, r_y, r_i を算出する。

$$r_x(f_i, f_{i+1}) = \frac{d_x(f_i, f_{i+1})}{d_x(f_i, f_{i+1}) + d_y(f_i, f_{i+1}) + d_z(f_i, f_{i+1})}$$

$$r_y(f_i, f_{i+1}) = \frac{d_y(f_i, f_{i+1})}{d_x(f_i, f_{i+1}) + d_y(f_i, f_{i+1}) + d_z(f_i, f_{i+1})}$$

$$r_z(f_i, f_{i+1}) = \frac{d_z(f_i, f_{i+1})}{d_x(f_i, f_{i+1}) + d_y(f_i, f_{i+1}) + d_z(f_i, f_{i+1})}$$

各軸の比率が0.5以上になった場合、その軸方向の視線移動として捉える。いずれの軸に対しても0.5以上の比率にならない視線は本稿の分析対象から除外する。

表1 分析対象データ

	タスク数	平均タスク長 (秒)
熟練者	1	26
	2	23
	3	25
	平均	25
非熟練者	4	5
	5	4
	6	6
	平均	5

$$direction(f_i, f_{i+1}) = \begin{cases} X \text{ 軸} & \text{if } r_x(f_i, f_{i+1}) \geq 0.5 \\ Y \text{ 軸} & \text{if } r_y(f_i, f_{i+1}) \geq 0.5 \\ Z \text{ 軸} & \text{if } r_z(f_i, f_{i+1}) \geq 0.5 \\ \text{other} & \text{otherwise} \end{cases}$$

4. 結果と考察

実験で取得したデータの一覧を表1に示す。熟練者3人で74タスク、非熟練者3人で15タスクを実施し、タスク時間の平均はそれぞれ48.6秒、47.9秒だった。

4.1 停留率

表2に停留率と1回あたりの停留時間を示す。停留率について、熟練者(81.7%)は非熟練者(68.1%)より13.6%多かった。また、熟練者は72.1%~87.9%と比較的狭い範囲に収まっているのに対して、非熟練者は53.8%~84.1%と被験者によって差が見られた。一方で、平均停留時間は熟練者(0.77秒)と非熟練者(0.77秒)に違いはなかった。

熟練者と非熟練者の間で停留時間に差がない一方で、停留率に差が見られた理由として、停留点から次の停留点に移動するためのサッケードに費やす時間の差が考えられる。図4に実験で計測された熟練者と非熟練者の視線移動の一部を示す。(a)熟練者と(b)非熟練者のいずれも合計フレーム数が1秒付近(60フレーム±2フレーム以内)の視線移動を表しており、円は停留、矢印はサッケードを示し、円の大きさは停留長、矢印の太さはサッケードにかかった時間を示す。停留長が長いほど、円が大きくなり、サッケードの時間が長いほど矢印が太くなる。茶色の線は視線付近にあった枝を示す。図4(a)の熟練者は停留

表2 停留率と1回あたりの停留時間(秒)

		停留率	平均停留長(秒)
熟練者	1	72.1%	0.69
	2	87.9%	1.11
	3	85.9%	0.66
	平均	81.7%	0.77
非熟練者	4	84.1%	0.93
	5	53.8%	0.57
	6	64.3%	0.82
	平均	68.1%	0.77

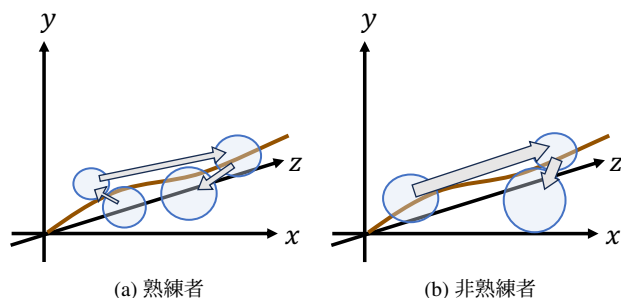


図4 タスク中の視線移動の例

点から次の停留点への移動に時間がかかっておらず、次に着目する果実や枝の場所を判断・識別する動作が早いと考えられる。一方で、図4(b)の非熟練者は停留点から次の停留点への移動により長い時間をかけており、次に着目する箇所を判断・識別する動作が遅いと考えられる。

4.2 AOI

表3に各被験者のAOI数、新規AOI数(全タスクの平均)を示す。AOI数に着目すると熟練者は平均50.0に対して非熟練者は平均38.5と低く、新規AOI数についても熟練者36.4、非熟練者29.7と同様の傾向が見られた。AOI数と新規AOI数共に熟練者が高いのは、熟練者の方が停留率が高く(表2)、同じタスク時間内により多くのAOIを見て、摘果に必要な情報を集めているためと考えられる。一方で、停留時間あたりのAOI数に着目すると熟練者は平均1.36に対して非熟練者は平均1.74と高く、停留時間あたりの新規AOI数についても熟練者1.04、非熟練者1.46と同様の傾向が見られた。1秒あたりのAOI数は非熟練者の方が多く、非熟練者は注視するAOIをより高い頻度で変更していると考えられる。

非熟練者がより狭い範囲を対象により短い時間の注視を行っていることに加え、前節で示したとおり停留率が低いことから摘果の判断を行うために必要な情報をもつ周辺の果実や枝を探索することにタスク時間が使われている事を示唆している。タスク中の視線を記録した動画においても、一度着目して通り過ぎた果実に戻って果実を再度確認する動作や、果実を探すように枝の上を往復する視線移動が見受けられた。

4.3 視線移動の向き

図5に視線移動の向きを示す。なお、本稿において視線移動がX,Y,Z軸のいずれにも分類されなかった(otherに分類された)視線移動の割合は熟練者が32%、非熟練者が20%だった。

表3 AOI数

		AOI数	AOI数/秒	新規AOI数	新規AOI数/秒
熟練者	1	51.8	1.68	37.3	1.29
	2	35.7	0.87	26.7	0.66
	3	61.3	1.49	44.4	1.12
	平均	50.0	1.36	36.4	1.04
非熟練者	1	28.2	1.24	28.8	0.91
	2	44.8	2.33	30.0	1.99
	3	42.8	1.76	27.3	1.57
	平均	38.5	1.74	29.7	1.46

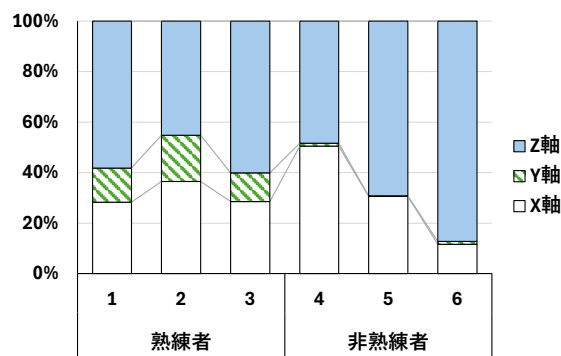


図5 視線移動の向き

いずれの被験者もZ軸に対する視線移動がもっとも多く、熟練者(平均54.8%)が非熟練者(平均69.7%)より14.9%少ない。X軸では熟練者(30.9%)と非熟練者(29.6%)で平均に差はないが、各被験者の割合を見ると熟練者が28.3%~36.5%である一方で非熟練者は11.6%~50.5%と個人差がある。Y軸に着目すると非熟練者はほとんど移動が見られず(平均1.0%)、熟練者(平均14.3%)と13.3%の差が見られた。

熟練者と非熟練者の間でもっとも差が顕著だったY軸方向の視線移動が多いタスクについて、視線動画を確認した結果、木や枝に対する向きが異なる場面が多く確認された。図6に異なる熟練者が行ったタスク中の視線動画から抽出した2つのフレームを示す。図6上は枝の奥側が細く、葉の奥に他の木が映っていることから摘果対象の枝が生えている木の幹近くにしゃがんでいることが分かる。また、図6下では枝と葉の奥に空が映っており、枝の先端を持ち下げながら見ていることが分かる。いずれの場合においても、枝の裏側が視界に対して上下に長く配置されており、枝に沿って視線を移動することでY軸方向の視線が多くなったと考えられる。

一方で、図7に示す非熟練者の場合、幹の正面に立って枝を斜め上から見ている場合が多く確認された。また、枝の高さによっては枝の先端が視界の手前、幹側が奥にあるため、非熟練者は熟練者と比べてZ軸方向の視線移動が多くなったと考えられる。枝を正面や斜め上から見ると果実が葉に隠れて果実の位置が把握しにくいことが考えられる。また、正面から見ると手前にある果実と奥にある果実の間の距離が把握しにくく、枝の長さあたりの摘果数を基準とした摘果が難しくなると考えられる。熟練者と非熟練者の木に対する向きの違いは、停留率や



図6 熟練者の枝の見方

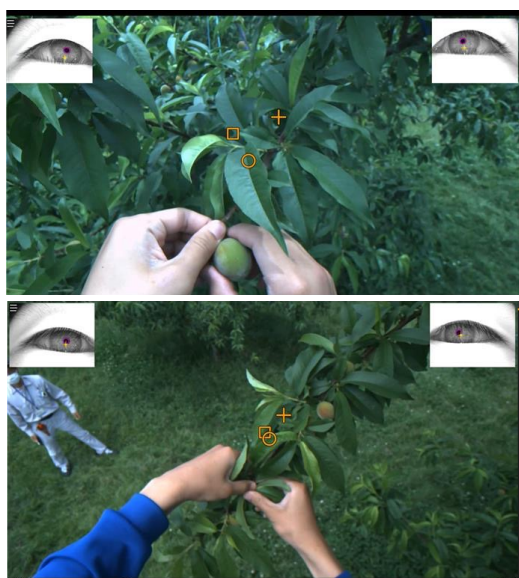


図7 非熟練者の枝の見方

AOI の分析で示唆された非熟練者の果実や注視箇所を探索する効率が悪い原因である可能性がある。一方で、摘果における枝を見る時の視界や立ち位置についての説明は桃栽培に関する書籍には記載が無く、熟練者が持つ暗黙知として非熟練者に教える事で摘果の効率や効果を高められる可能性がある。

5. おわりに

本稿は桃栽培農家の熟練者の暗黙知を言語化することを目的に、栽培工程の1つである予備摘果における熟練者と非熟練者の視線移動を比較した。実験では予備摘果を実際の桃の木に行う際の視線移動を計測し、タスク時間における視線の停留時間の割合やAOI、視線移動の方向を分析した。実験の結果、熟練者の方が非熟練者より停留率が高い一方で1秒あたりのAOI数は少なく、果実を探す時間が短いことが示唆された。また、視線移動の方向の差を分析した結果、熟練者と非熟練者で枝を見

る際の立ち位置や視界の向きに差が見られ、果実が葉に隠れず、果実間の距離が把握しやすい向きから見ることで摘果の効率が向上する可能性が示された。摘果を行う際の立ち位置は書籍などに記載されておらず、熟練者の暗黙知として教育に組み込むことで非熟練者の作業効率・効果の向上に繋がる可能性がある。

本研究の今後の発展として、予備摘果と修正摘果の間で視線移動に違いがあるか調べることが挙げられる。1.章で述べたように、摘果は段階段階ごとで主目的が異なるため、視線移動を比較して違いを明らかにすることで新たな熟練者の暗黙知を抽出できると考える。また、柿や梨など他の果樹においても、桃と同様に視線計測による暗黙知の分析を行うことで果樹栽培の効率・効果を高める知見が得られる可能性があり、本研究と同様の実験を行うことは興味深い発展である。

謝辞 データ採取にご協力いただいた元岡山大学大学院環境生命 自然科学研究科 松田早恵様、岡山県農業大学校の皆様、岡山県農業研究所の皆様に厚く御礼申し上げます。

文 献

- [1] 宮田 晃, "基礎からわかる おいしいモモ栽培", 農山漁村文化協会 (2018).
- [2] Jun Nakamura, Sanetake Nagayashi, The pottery skills and tacit knowledge of a master: An analysis using eye-tracking data, *Procedia Computer Science*, Vol.159, pp.1680-1687 (2019).
- [3] Weiwei Yu, Dian Jin, Wenfeng Cai, Feng Zhao, Xiaokun Zhang, Towards tacit knowledge mining within context: Visual cognitive graph model and eye movement image interpretation, *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, Vol.226, No.107107, (2022).
- [4] Shan Li, Melissa C. Duffy, Susanne P.Lajoie, Juan Zheng, Kevin Lachappelle, Using eye tracking to examine expert-novice differences during simulated surgical training: A case study, *Computers in Human Behavior*, Vol.144, No.107720 (2023).
- [5] Mashiro Sugimoto, Naomi Kaneko, Michiko Oyamada, Atsumi Tamita, Mitsue Sato, Eye-tracking analysis for situation awareness of incontinence pad changing during older adult nursing training: An observational study, *Nurse Education in Practice*, Vol.76, No.103935 (2024).
- [6] Ren-Jye Dzung, Chin-Teng Lin, Yi-Cho Fang, Using eye-tracker to compare search patterns between experienced and novice workers for site hazard identification, *Safety Science*, Vol.82, pp.56-67 (2016).
- [7] Hanliang Fu, Yubing Tan, Zhongjing Xia, Kailun Feng, Xiaotong Guo, Effects of construction workers' safety knowledge on hazard-identification performance via eye-movement modeling examples training, *Safety Science*, Vol.180, No.106653 (2024).
- [8] Anna Warchol-Jakubowska, Using eye tracking to enhance the efficiency and safety of tram drivers - designing visual attention training, *ETRA '24*, No.29, pp.1-3 (2024).
- [9] Yuan Zhang, Matteo Valsecchi, Karl R Gegenfurtner, Jing Chen, The execution of saccadic eye movements suppresses visual processing of both color and luminance in the early visual cortex of humans, *Journal of Neurophysiology*, Vol.131, No.6, pp.1156-1167 (2024).
- [10] Harutake Yoshioka, Hidetake Uwano, An Analysis of Program Comprehension Process by Eye Movement Mapping to Syntax Trees. *Studies in Computational Intelligence*, Vol.1125 (2024).
- [11] Yanjun Wang, Liwei Wang, Siyuan Lin, Wei Cong, Jianfei Xue, Washington Ochieng, Effect of Working Experience on Air Traffic Controller Eye Movement, *Engineering*, Vol.7, No.4, pp.488-494 (2021).