



卒業研究報告書

令和5年度

研究題目

桃栽培の摘蕾における
熟練者と非熟練者の視線比較

指導教員 上野秀剛 准教授

氏名 井原実咲

令和06年03月08日 提出

奈良工業高等専門学校 情報工学科

桃栽培の摘蕾における 熟練者と非熟練者の視線比較

上野研究室 井原実咲

岡山県は白桃の生産量が日本一であり、熟練の生産者は高品質な桃を安定的に生産する知識を有している。生産者の高齢化により、生産者の減少が進む中で知識を次世代に伝達する必要があるが、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、桃生産者においても熟練者から新規就農者などの非熟練者への知識の伝達が難しい。本研究では、知識伝達が難しい桃生産工程の1つである摘蕾に着目する。摘蕾とは、果実を芽の段階で枝から除去することで残った実に養分を集中させるための作業である。視線計測は熟練者の特徴を抽出する手段として多くの研究で用いられている。だが、木で生成される果物に対する視線計測を行っている研究がないため、本研究では、桃に対する視線計測が熟練者の特徴を分析する手段として有用なのか確かめることを目的とする。その判断を行うため、摘蕾における熟練者と非熟練者の視線移動を比較し、違いを明らかにすることで、非熟練者への指導材料となる熟練者特有の視線の動きを発見する。実験では、岡山県の総社もも生産組合の代表の方を熟練者、経験3か月の方を非熟練者として、商品を育てている木に対して実際に摘蕾をする際の視線移動を計測した。熟練者は非熟練者と比較してより俯瞰的に見るという仮説に対し、注視の範囲や着眼点の差を表すと考えられる3つの指標(1)3次元距離、(2)1次元距離、(3)AOI数を比較した。3次元距離は連続する2フレーム間の視線移動距離を意味し、1次元距離は各軸における連続する2フレーム間の視線移動距離を意味する。また、AOI数とは、視界中の3次元空間を直方体に分割し、実際に注視した直方体の数を意味する。タスク条件の近い2タスクを比較した結果、熟練者の方が非熟練者より3次元距離、1次元距離ともに長い割合が高く、AOI数も多かった。そのため、熟練者は非熟練者と比較してより広範囲を見て摘蕾を行っていると考えられる。この結果は、桃栽培農家の熟練者の特徴を分析する手段として視線移動を計測することが有用である可能性を示唆している。

目次

1	はじめに	2
2	準備	4
2.1	摘蓄	4
2.2	視線計測	4
3	摘蓄における視線移動	6
4	実験	7
4.1	分析対象	7
4.2	視線計測装置	8
4.3	分析	9
4.3.1	3次元距離	10
4.3.2	1次元距離	10
4.3.3	AOI数	11
5	結果と考察	13
5.1	3次元距離	13
5.2	1次元距離	14
5.2.1	結果	14
5.2.2	考察	15
5.3	AOI数	18
6	おわりに	21
	謝辞	22
	参考文献	23

1 はじめに

岡山県は白桃の生産量が日本一であり、熟練の生産者は高品質な桃を安定的に生産する知識を有している。生産者の高齢化により、生産者の減少が進む中で知識を次世代に伝達する必要があるが、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、桃農家においても熟練者から新規就農者などの非熟練者への知識の伝達が難しい。

本研究では、知識伝達が難しい桃生産工程の1つである摘蕾に着目する。摘蕾とは、果実を芽の段階で枝から除去することで残った実に養分を集中させるための作業である。成木一樹になる約10万個の芽を約4か月で約5千個まで減らす必要があり、残す芽の場所や条件によって果実の育成状況や品質が変化する。そのため、残す芽なのか排除する芽なのかを正しく、素早く判断する知識が必要である。

視線計測は、熟練者の特徴を抽出する手段として多くの研究で用いられている[2][3][4]。平田らは苺に対する熟練農家と新規就農者の視線を分析している[3]。だが、木で生成される果物に対する視線分析を行っている研究はなく、木になる果物に対する視線分析は本研究が初めてである。

そのため、本研究は桃に対する視線計測が熟練者の特徴を分析する手段として有用なのか確かめることを目的とする。その判断を行うため、摘蕾における熟練者と非熟練者の視線移動を比較し、違いを明らかにすることで、非熟練者への指導材料となる熟練者特有の視線の動きを発見する。桃生産者は芽が成長した後も各芽に陽があたるか、芽の向きや角度を見比べながら摘蕾をしている。また、枝の長さによって残す芽数に目安があり、枝の長さも見ながら摘蕾している。以上のように、芽や枝の状態を見て成長後の様子を判断した上で芽を除去するか判断を行うため、桃農家の芽に対する視線を分析することで、熟練者のノウハウを抽出できると考える。

視線分析では熟練者と非熟練者の間で芽や枝に対する視線移動距離や視野の広さが異なると仮定し、これらの指標に違いがあるか分析することで熟練者の特徴を抽出可能か判断する。本研究では熟練者の視線は俯瞰的であり、非熟練者は近視眼的であるという仮説をたて、3つの分析を行う。俯瞰的なのか、近視眼的なのか判断する指標として、被験者の視野に対する視点の割合の大きさを分析する。また、注視対象が3次元空間に存在する樹木であるため、X,Y,Z軸それぞれにおける視線の移動距離をみることで、芽や枝に対してどのような見方をしているのか分析する。視線移動の特徴を表す指標に差が見られれば、視線計測が熟練者の暗黙知なノウハウを抽出し、非熟練者に伝える手段になると考えられる。

本研究では実際の桃生産者が育成する樹木に対して、摘蕾を行う際の視線移動を計測する。そのため、摘蕾作業の量や枝の形状、状態など個々の樹木の特徴にばらつきがある。加えて、統計的な分析を行うのに十分な視線データを収集す

ることが困難である．そのため，本研究では複数タスクの結果を平均化した分析を行うとともに，条件が近い特定の2タスクを比較した分析を行う．

以下，2章で摘蓄，視線について説明し，3章で，摘蓄における視線移動について述べる．4章で詳しい実験方法について述べ，5章では結果と考察を示し，6章では結論を述べる．

2 準備

2.1 摘蕾

桃は剪定、摘蕾、摘果、収穫の手順で栽培される。剪定とは枝の量を調整する作業であり、摘果は果肉がついてきた段階で果実の量を調整する作業である。本研究の対象とする摘蕾は、芽を枝から排除する作業であり、芽の数を調節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。摘蕾期間は12月から3月までの4カ月とされている。成木一樹あたり10万個の芽があり、それらを約5千個まで減らさなければならない。また、摘蕾期間は剪定と同時並行で行わなければならない。摘蕾が十分に進まず、摘蕾の次の工程である摘果での数調整を試みた場合、核割れという果実が歪む、割れるといった問題が生じる可能性が高くなる [1]。また、残す位置が悪かった場合、摘果で数をさらに減らさなければならなくなり、正品率の減少につながってしまう。そのため、生産者は成長した後も各桃に陽があたるよう、芽の向きや角度を見比べながら摘蕾している。また、枝の長さによって、残す芽数の目安が決まっており、枝の長さを見て残す芽数を決めている。このように、摘蕾する際に生産者は芽の向きや角度や枝の長さを目視で確認し、芽を排除するか判断する。また、以上から、排除する芽なのか判断するには素早さと正確性がもとめられることがわかる。この判断に要する知識が熟練者の暗黙知なノウハウであり、非熟練者に説明することが難しいとされている。

2.2 視線計測

視線の計測方法には、計測装置を眼球に接触させるもの（侵襲性）と接触させないもの（非侵襲性）がある。本研究では、被験者への身体的な負担が少ない非侵襲性の計測装置を用いる。非侵襲性の視線計測装置は、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。両眼の視線の交点が両眼注視点であり、両眼注視点の連続を本論文では視線移動と呼称する。両眼注視点（視点）を座標として1秒未満の短い間隔で記録し、視線計測を行う。被験者によって眼球の大きさ、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変わるため、視線計測を行う前にキャリブレーション（補正）を行う。キャリブレーションとは、測定座標と実際の座標とのズレを減らすため、被験者の視点の補正として行われる。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）を置き、このキャリブレーション面に被験者の視点をあわせ、計測した視点と実際の位置とのズレを補正する。

視線計測は、非熟練者と熟練者の違いや作業者の着眼点を分析することを目的として、多く研究で活用されている [2][3][4]。永富らは機械図面理解における熟練者と非熟練者の視線特性を比較した [2]。分析の結果、熟練者の方が非熟練者に

比べて視線速度が速く、正答率が良いことを明らかにした。また、熟練者は見るべき場所がわかっているため注視数が少ないことも示された。平田らは農作業技術継承マニュアル作成手法を提案するため、イチゴの収穫作業に焦点をあて、熟練者と非熟練者の視線データの比較解析を行った[3]。分析の結果、熟練者は一点に集中するのではなく、手元や奥の方を交互に見ながら作業しており、非熟練者は手元だけを見ていることを明らかにした。村田らは運転初心者と熟練者に運転状況の静止画像を見せることで危険予知を行わせ、その場面を視線計測することによって両者の特性を比較した[4]。その結果、熟練者は重要エリアで注視が始まるまでにかかる時間が初心者よりも短く、重要エリアへの注視時間も短いことを明らかにした。

以上の文献のように、判断にいたるまでの間の視線には熟練者特有の特徴があり、視線データを分析することで、その特徴を抽出することができる。本研究で対象とする摘蓄では、各芽を排除するか判断するまでに、他の芽と見比べ、芽を除去するかどうか考える際の動作が視線に現れると考えられる。この際に、視野の広さなどが視線分析によって現れる。このことから、本研究では熟練者と非熟練者の特徴抽出のために視線計測を採用する。

また、本研究では視線計測装置の特性上、計測可能な要素は視界の中心からの距離であり、頭の移動量は計測できていない。そのため、頭の移動量は考慮せず、被験者の視界の中での視点座標のみを用いる。

3 摘蕾における視線移動

摘蕾は残した芽の位置が悪い場合、成長後、各桃に十分な陽があたらない、また、核割れを起こす等、正品率が下がってしまうため、重要な工程である。正品率が良くなるよう、桃生産者は各芽の向きや角度、位置を見比べながら摘蕾している。また、枝の長さによって残す芽数に目安があり、枝の長さも見ながら摘蕾している。以上のように、摘蕾は目視で芽の向きや角度、位置、枝の長さを確認するため、視線を分析することで熟練者と初心者の差が発見できると考える。

また、2.2節で述べたように、非熟練者と熟練者の違いや作業者の着眼点を分析することに視線計測を用いた研究が多数ある。本研究において、これらの研究と同じく摘蕾を行う際に芽や枝を目視で確認し、芽を除去するか判断しているため、熟練者と非熟練者で差が発見できると考える。平田らの研究では、イチゴを対象とした研究を行っている[3]。イチゴは、多年草の植物であり、枝はない。また、ビニールハウスの中で整列しているイチゴを対象として研究が行われた。一方で、本研究の対象である桃は枝になる植物であり、枝の向きが揃っていない。また、枝の裏にも芽は存在するため、多方面から確認する必要がある。そのため、平田らの研究では視線計測が有用とされていたが、枝になる桃でも同様に有効かを確認する必要がある。

平田らの研究では、熟練者は一点に集中するのではなく、手元や奥の方を交互に見て作業を行っている一方で、非熟練者は手元だけを見ていることがわかっている。

平田らの研究結果から、本研究では以下の2つの仮説をたてる。

- 仮説1: 熟練者の視線は一点に集中せず俯瞰的
- 仮説2: 非熟練者の視線は一点に集中し、近視眼的

俯瞰的とは、各フレーム間での視線移動距離において長い割合が高く、視野に対して実際に見ている範囲が多いと定義する。近視眼的とは、各フレーム間での視線移動距離において短い割合が高く、視野に対して実際に見ている範囲が少ないと定義する。

4 実験

本研究では桃生産者の摘蕾時における熟練者と非熟練者の視線を比較することで、熟練者のノウハウ分析に視線計測が有用なのかを確かめるために視線を計測する実験を行う。

4.1 分析対象

被験者は、熟練者として岡山県総社もも生産組合の組合代表1名、非熟練者として同組合の経験3か月の生産者1名の計2名である。組合代表である秋山陽太郎氏は、20品種を組み合わせて栽培することで出荷時期を拡大し、高品質で安定的な生産を実現しているほか、総社桃生産組合の組合長に最年少の30歳で就任する等の業績が認められ、岡山県内で農業振興に努めている農業者へ送られる「矢野賞」を受賞した経歴をもつ[6]。また、秋山氏が厳選した白桃は最高品質の印「柳連田」でも取り扱われ、2玉10万円で取引されることもある[7]。一方で、経験3ヶ月の生産者は、桃栽培に必要な基本的知識はあるが、自身が持つ木で生成される桃を販売するまでにはいたらず、熟練の生産者から指導されながら桃栽培を学んでいる段階である。

実験において被験者には桃の木を対象に摘蕾作業を行ってもらい、1つの木を対象に一定時間摘蕾する作業を1タスクとし、作業中の視線を計測する。対象の木は総社もも生産組合に所属する生産者が正品として出荷するための実を育てている木であり、平地に複数の桃の木がある。対象となる成木の樹高は約4mであり、成木の中で上の方の蕾を摘蕾する際は、踏み台等を用いて行う。

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後に視線計測を開始し、摘蕾を開始してもらい、本実験で取得したデータの一覧を表1に示す。表の各列は左から順に被験者、タスク、各タスクの計測時間、視点データ数、計測時の被験者と枝の位置関係を示している。表の位置関係に示すように、タスク1、2では被験者の目より少し低い位置の枝を摘蕾してもらった。タスク3、4では、成木のほぼ根元から出ている枝に対して摘蕾してもらった。タスク5では、被験者の目よりも高い位置であり、見上げながら摘蕾してもらった。

表1 分析対象データ

	タスク	時間 (s)	視点データ数	位置関係
熟練者	1	105.4	6009	目線より少し低い位置の枝
	2	255.2	14864	タスク1と同様
	3	316.8	17764	低い位置の枝
非熟練者	4	346.6	17356	低い位置の枝
	5	108.8	4633	高い位置の枝

熟練者は3タスク, 非熟練者は2タスクのデータを対象に分析を行う。なお, 表の視点データ数は, 以下の式(4.1.1)でもとめられたものである。

$$\text{視点データ数} = \text{タスクの計測時間} * 60 - \text{計測できていないデータ} \quad (4.1.1)$$

式(4.1.1)での視点データ数は, タスクの計測時間に視線計測装置の記録周波数である60Hzをかけ, 瞬きをしたことにより計測できなかったデータ数を引いたものである。表1の時間とデータ数, 位置関係から, 各タスクにばらつきがあることがわかる。本研究では, 桃に対しての視線計測が有用なのかを確かめることを目的に, 実験用の木や学生被験者などを対象とせず, 正品を育てる木に対する, 生産者の方の実務中の視線を対象とした。そのため, 計測時間やデータ数, タスク内容などを揃えずに計測を行い, 個々のタスクを比較することで熟練者と非熟練者の違いを検証する。具体的には, 2つの理由からタスク3と4を状況が最も近い2タスクとして比較する。理由の1つ目は, 計測時間が近い点である。計測時間が近いことにより, 視点データの総数に対する各視点の重みが近くなるため, 外れ値があった場合, 外れ値が結果に対して与える影響の大きさが近くなる。理由の2つ目は, 被験者と枝との位置関係が似ている点である。位置関係が似ていることにより, 枝に対する被験者の視線の向きが近くなるため, 視点データの各軸と実際の枝や芽との位置関係が近くなる。

4.2 視線計測装置

本研究ではナックイメージテクノロジー社製のアイマークレコーダEMR-10(以下, EMR-10)を用いる[5]。図1にEMR-10の外観を示す。EMR-10は2.2節に示した非侵襲性の視線計測装置であり, 帽子型の視線計測装置である。計測データは無線で送られるため, 計測者はリアルタイムに無線モニタリングを行える。また, 計測中も被験者は自由に活動でき, 被験者の身体的負担を軽減することができる。摘蓄をするうえで, 被験者は頭を動かしながら自由に移動する必要があるため, 活動を阻害しない本視線計測装置を採用する。

視線計測装置の記録周波数は60Hzであり, 視点の座標を時系列で記録する。瞬目(まばたき)をしている間や, 瞳孔がフレームアウトしている間は視点座標が計測されず, 座標データがないフレームとして処理される仕組みとなっている。図1に視野カメラと眼球カメラが示されているように, EMR-10には視野を記録する1つのカメラと, 各眼球を記録する2つのカメラがついているため, 被験者の視野と眼球の映像を同時記録することができる。EMR-10で計測した眼球と視野の映像の例を図2に示す。図は計測した動画から抽出した1フレームを表す。視野カメラが撮影した映像の左上と右上に被験者の眼球が表示され, 右眼(+), 左眼(□), 両眼の視点(○)が映像上に表示される。この視点の位置がフレームごとに3次元の座標(mmおよびpixel)としてcsvファイルに出力される。



図 1 EMR-10

EMR-10が計測する両眼注視点の座標定義を図3に示す。図に示すように、キャリブレーションした面の左上端を原点とし、その原点からどれぐらい離れているかで視線位置が計算される。被験者から見て、X軸は視野の中心から右がプラス、左がマイナスとなる。Y軸は視野の中心から上がプラス、下がマイナスとなる。Z軸は視野の中心から奥がプラス、手前がマイナスとなる。また、左眼注視点と右眼注視点は補正されておらず、実際に被験者が見ている位置とEMR-10によって計測された視点とのズレが大きい可能性が高いため、本研究では、補正済みの両眼注視点のみを使用する。

4.3 分析

4.2節に示したとおりEMR-10では、各フレームごとに被験者の視野に対する視点の3次元の座標(pixel,mm)として記録される。本研究では、両眼注視点の3次元の座標(mm)を使用して分析を行う。3章に示したように、本研究では熟練者の視線は俯瞰的であり、非熟練者の視線は近視眼的であるという仮説をたてた。分析では次に示す3つの指標から仮説を検証する。なお、指標(1)、指標(2)、指標(3)はそれぞれ3次元距離、1次元距離、AOI数と呼称する。

- 指標(1):連続2フレーム間の視線移動距離
熟練者は距離が長い割合が高く、非熟練者は距離が短い割合が高いと考える
- 指標(2):連続2フレーム間の各軸における視線移動距離
各軸における視線移動距離においても熟練者と非熟練者で異なると考える
- 指標(3):視界中の3次元空間を直方体に分割し、実際に見た直方体の数
視野の広い熟練者は多く、視野の狭い非熟練者は少ないと考える



図 2 EMR-10 計測映像

4.3.1 3次元距離

連続する2つのフレーム(f1,f2)における注視点の座標(x,y,z)から式(4.3.1)を用いて3次元距離をもとめる。

$$d(f1, f2) = \sqrt{(x_{f1} - x_{f2})^2 + (y_{f1} - y_{f2})^2 + (z_{f1} - z_{f2})^2} \quad (4.3.1)$$

式の x_{fn} , y_{fn} , z_{fn} はそれぞれn番目のフレームのX, Y, Z座標を表す。3次元距離はフレーム間で求めるため、視点データ数Fに対してF-1個算出される。算出された移動距離の長さに応じてグループ分けを行い、各グループに分類される3次元距離の数を全距離数(F-1)で割ることにより、各グループの割合を算出する。

3次元距離が長い割合が高い場合、視線が近距離に集中せず、広範囲を見ながら摘蓄していることを示す。反対に3次元距離が短い割合が高い場合、視線が近距離に集中して摘蓄していることを示す。

4.3.2 1次元距離

1次元距離は3次元空間の1つの軸に対する視線移動距離を表す。式(4.3.2), 式(4.3.3), および式(4.3.4)を用いてそれぞれX軸, Y軸, およびZ軸における視線移動距離をもとめる。

$$d_x(f1, f2) = \sqrt{(x_{f1} - x_{f2})^2} \quad (4.3.2)$$

$$d_y(f1, f2) = \sqrt{(y_{f1} - y_{f2})^2} \quad (4.3.3)$$

$$d_z(f1, f2) = \sqrt{(z_{f1} - z_{f2})^2} \quad (4.3.4)$$

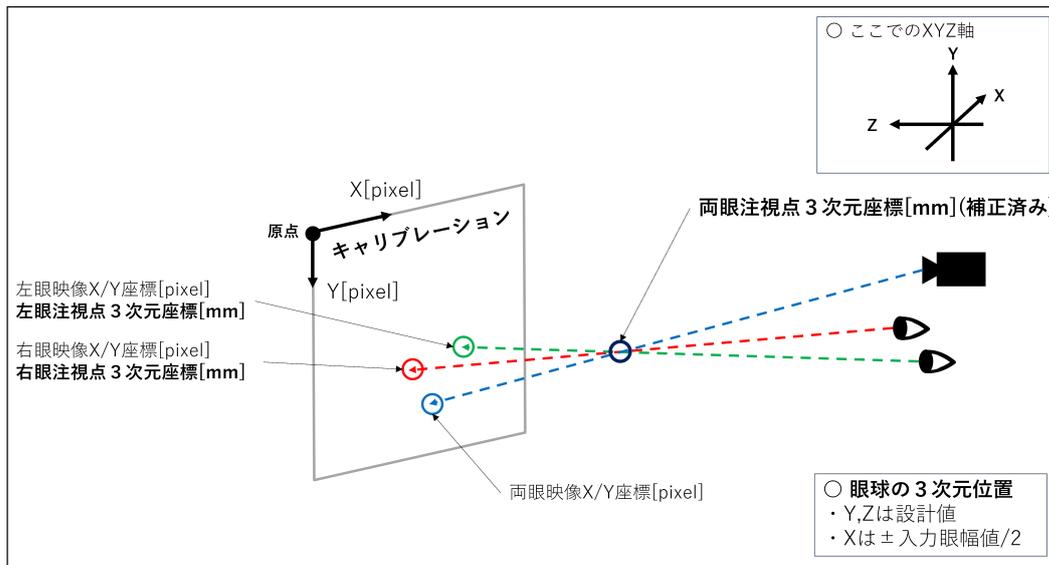


図3 EMR10 座標原理 (nac社資料を参考に著者が作成)

1次元距離も3次元距離と同様に視点データ数Fに対してF-1個算出される。各軸の1次元距離についても長さに応じてグループ分けを行い、各グループの割合を算出する。

4.2節に示したように、X軸は左右、Y軸は上下、Z軸は奥への視線移動を表している。2.2節に示したように、平田らの研究において、熟練者は奥と手元を交互に見て作業していた[3]。本研究においても、熟練者は奥方向、つまりZ軸の視線移動距離が非熟練者の視線移動距離に比べて大きくなると考える。また、各方向への視線移動の割合比から、桃生産者の視線移動に特有の傾向があるか評価する。

4.3.3 AOI数

AOI(Area of Interest)とは、興味関心領域の略称である。任意に範囲を設定し、その領域がどの程度注視されたかを算出する。本研究では、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軸それぞれで最大値の視点と最小値の視点を算出し、各軸の最大値と最小値間を100分割する。各軸を100分割したことにより、縦100個×横100個×奥100個の各直方体を1つのAOIとし、計1,000,000個のAOIを設定する。被験者のフレームごとの視点座標(3次元)を各AOIに割り振り、1回以上、視点が入ったAOI数を調べる。

熟練者は、摘蕾中に手元や特定の箇所など一点に視線を集中させず広範囲を見るため、AOI数が多くなると考えられる。一方で、非熟練者は、摘蕾中に手元付近に視線が集中するため、熟練者に比べてAOI数が少なくなると考えられる。なお、2.2節に示したように、本研究で用いる視線計測装置は頭の動きを計測せ

ず, 顔が向いている空間に対する座標 (視点座標) である.

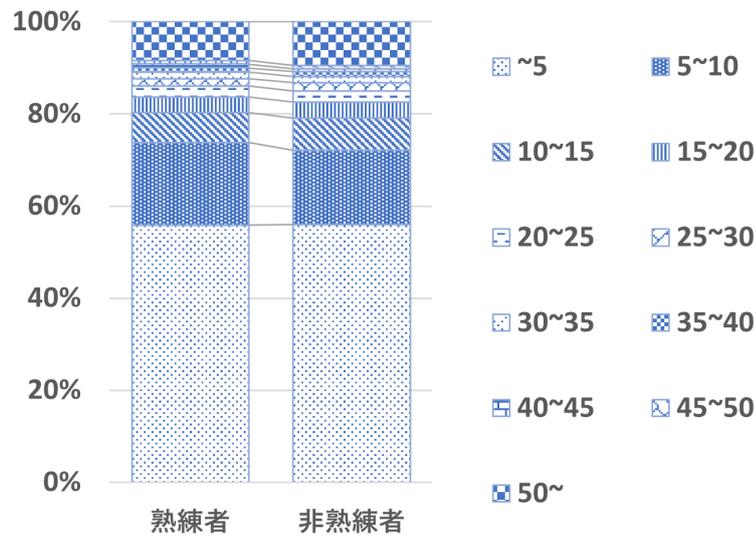


図4 3次元距離（平均）

5 結果と考察

5.1 3次元距離

図4に熟練者と非熟練者の3次元距離を示す。図は各タスクにおける3次元距離の出現回数をグループ毎に求め、その割合を全タスクで平均して作成した。縦軸は各グループの割合を示す。熟練者と非熟練者いずれも5mm未満が55%を占め、5mm以上のグループについては5~10mmのグループ、50mm以上のグループでわずかな違いがあるが大きな差異は無い。そのため、状況が異なるタスクのデータを平均した結果からは、熟練者と非熟練者の3次元距離に差があるとはいえない。

図5に熟練者と非熟練者で状況に近い2タスクにおける3次元距離を示す。5mm未満の割合が熟練者は49.2%に対して、非熟練者は58.1%と非熟練者の方が8.9%大きく、50mm以上のグループでは、熟練者(12.9%)が非熟練者(5.1%)より7.7%大きい。熟練者は非熟練者と比べて距離の離れた箇所を見ることが多いことから、より広範囲を見ながら摘蕾しており、反対に非熟練者は距離の近い箇所を多く見ており、より狭い範囲を見ながら摘蕾していると考えられる。熟練者が広範囲を見ている意図は木の全体像の把握するためだと考える。木の全体像を把握することにより、未来の木の状態を予測し、芽が成長後にも陽があたるか、芽の数や、養分競合に偏りはなにか等を考慮していると考えられる。

分析の結果、特定の2タスクの間では熟練者と非熟練者に差が見られた一方で、平均の比較では熟練者と非熟練者に差は見られなかった。この理由として、タスク状況の違いが考えられる。本研究では実際の商品を育てている生産者の桃の木に対する摘蕾を計測しており、タスクごとに異なる木を対象としている。その

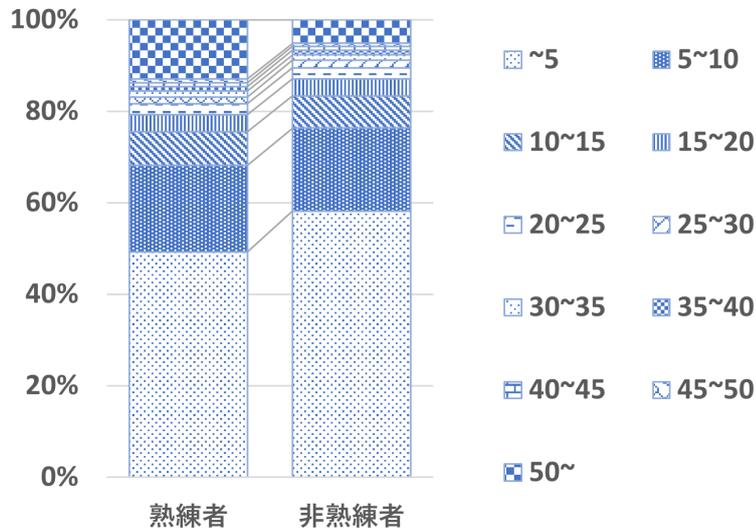


図5 3次元距離 (2タスク)

ため各タスクにおいて摘蕾作業の対象となる枝についている芽の数や位置が異なる。また、枝の長さや形状、枝と枝の距離も異なる。通常、芽と芽の距離よりも枝と枝の距離の方が大きいため、あるタスクで対象とした木の特性上、枝間の視線移動が芽間の視線移動より多くなると熟練者・非熟練者にかかわらず3次元距離が大きくなる。そのため、熟練者と非熟練者の間で差が見られなかった可能性がある。タスク状況が近い2タスクを対象とした場合は熟練者と非熟練者に差が見られたため、タスク状況を揃えることができれば、3次元距離は熟練者、非熟練者の比較手段になると考える。

5.2 1次元距離

本節では考察が長いため、結果と考察に節を分けて述べる。

5.2.1 結果

図6に熟練者と非熟練者それぞれの各軸における1次元距離を被験者ごとに比較した結果を示す。5.1節と同様に各タスクにおける距離ごとのグループに対する割合の平均を示している。熟練者、非熟練者ともに5mm未満の視線移動でY軸でもっとも多く、Z軸でもっとも少ない。

次に、5mm以上の各グループにおいても、Y軸がもっとも少なく、Z軸がもっとも多くなるのか確認するため、図6の5mm以上のグループのみを示したグラムを熟練者と非熟練者でわけ、それぞれ図7、図8に示す。横軸が各グループを示しており、縦軸は各軸での5mm未満も含めた全グループに対する各グループの割合を示

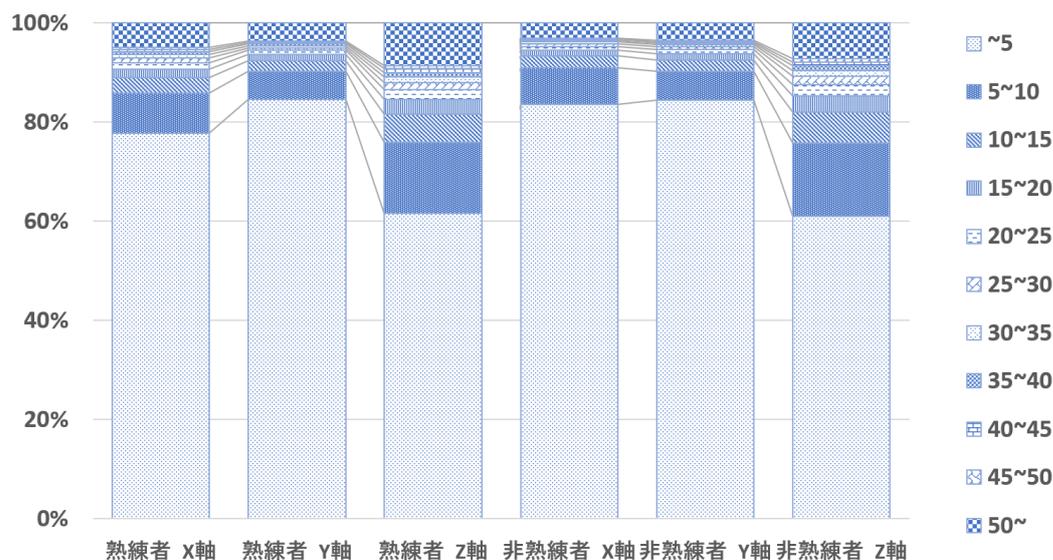


図6 各被験者の1次元距離（平均）

す。図7より、熟練者はどのグループにおいても、5mm未満のグループと同様、Y軸、X軸、Z軸の順で1次元距離が増加している。一方で、図8より、非熟練者はX軸、Y軸、Z軸の順で1次元距離が増加している場合もあり、25mm以上30mm未満の場合、X軸とY軸の差が0.001%以内になっている。

次に、図9に図6と同じデータを軸ごとに比較した結果を示す。X軸で5mm未満の割合が熟練者(77.7%)の方が非熟練者(83.5%)よりも5.8%小さい。一方で、同じ5mm未満の割合がY軸で熟練者(84.5%)、非熟練者(84.3%)、Z軸で熟練者(61.0%)、非熟練者(61.0%)と大きな差異は無い。

最後に、図10に熟練者と非熟練者で状況に近い2タスクにおける1次元距離を示す。X軸で5mm未満の割合が熟練者(73.5%)の方が非熟練者(85.9%)よりも12.4%小さい。Y軸では熟練者(83.4%)の方が非熟練者(86.6%)よりも3.3%小さく、Z軸では熟練者(56.0%)の方が非熟練者(62.6%)よりも6.6%小さい。また、熟練者の5mm未満の割合では、X軸(73.5%)とY軸(83.4%)の差が9.9%ある。一方で、非熟練者では、X軸(85.9%)とY軸(86.6%)の差が0.7%ある。

以上の結果より、平田らの研究と同様に、本研究においても奥方向への視線移動が大きくなった。また、特定の2タスクを対象とした分析では、熟練者と非熟練者に差が見られたが、熟練者の全タスクと非熟練者の全タスクをそれぞれ平均した結果ではY軸とZ軸において、差が見られなかった。

5.2.2 考察

図6において、Y軸がもっとも多くなった理由は、枝と芽の配置が関係していると考えられる。桃の木の枝は、図11に示すように上方向に伸びていることが多い。な

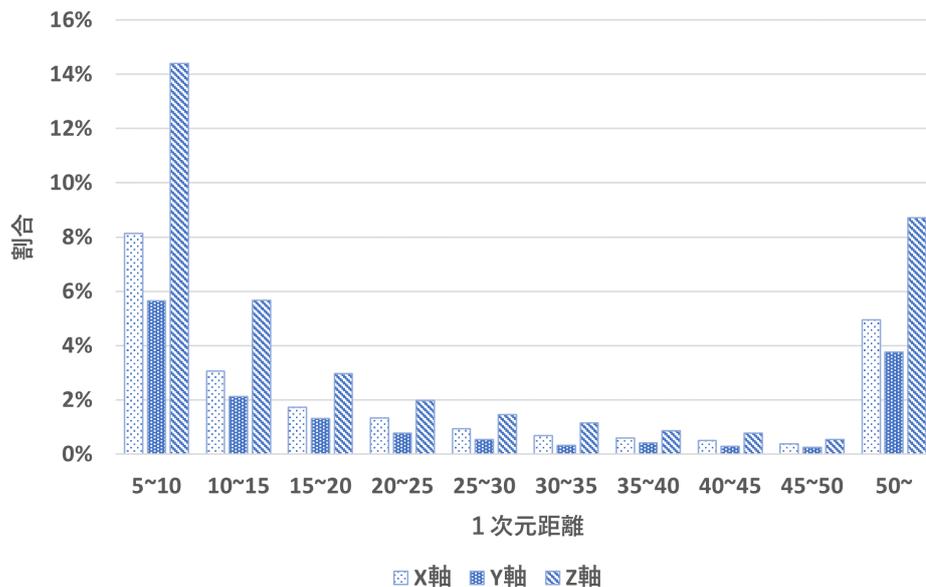


図7 熟練者の1次元距離（平均，5mm以上）

お、図(a)は桃の木の枝をイラスト化したものであり、図(b)は摘蕾時の様子を切り出したものである。図に示すように、一つの枝の中で、ある芽から次の芽に視線を移すときは、芽と芽の距離が短い。かつ、枝は上方方向に伸びているため、上下の移動、つまりY軸での1次元距離が短くなる。一方で、一つの枝を見終わり次の枝に移動する。また、別の枝との配置関係を見ながら摘蕾しようとする、一つ一つの枝が離れている。かつ、図のように左右へ配置されている、または、奥へ枝が配置されている場合が多く、左右、奥への移動、つまりX軸とZ軸の1次元距離が長くなる。そのため、5mm未満の視線移動においてY軸がもっとも多くなったと考えられる。

以上のように、5mm未満の視線移動でY軸がもっとも多くなった理由について、芽の配置関係によるものだと考えられる。だが、枝間の移動を示すX軸とZ軸において、Z軸がもっとも少なくなった理由については、熟練者に奥の枝と見比べるよう指導されているか、陽があたるかを計算するために芽を見比べる際にZ軸方向にある枝と見比べることが多いのか、といった被験者側に問題があると考えられる。

次に、図7と図8において、熟練者はX軸とY軸の視線移動距離の差が大きくなる一方で、非熟練者はX軸とY軸の1次元距離の差が小さくなった理由は、視線移動の違いによるものだと考える。熟練者の摘蕾の仕方を図12に示す。熟練者は、図(a)の矢印のように、違う枝の芽と見比べながら摘蕾する場面が多く、枝から枝への視線移動が多い。また、図(b)のように、一度に複数の枝を同時に摘蕾している場面も見受けられた。そのため、X軸方向への移動が大きくなり、X軸とY軸の1次元距離の割合差が大きくなったと考える。

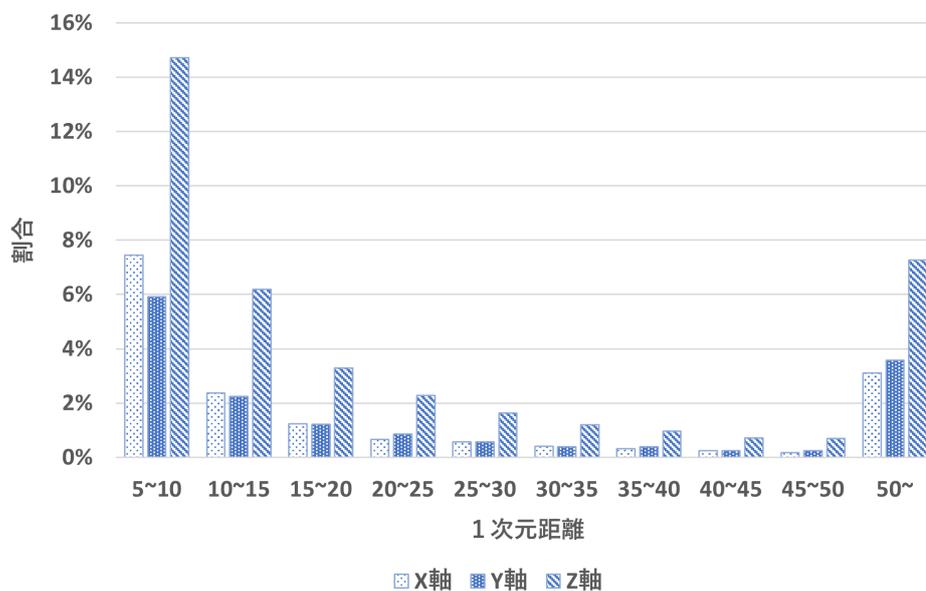


図8 非熟練者の1次元距離（平均，5mm以上）

非熟練者の摘蕾の仕方を図13に示す。非熟練者は、図(a)のように、同じ枝にある芽同士を見比べながら摘蕾する場面が多く、芽から芽への視線移動が多い。また、図(b)のように、熟練者は同時に複数の枝の摘蕾を行うが、非熟練者は一本ずつ摘蕾していく。そのため、Y軸方向への移動が大きくなり、X軸とY軸の1次元距離の割合差が小さくなったと考える。

次に、図9において、X軸のみ熟練者と非熟練者で差がでた理由は、図12と図13で述べたように、熟練者は別の枝にある芽同士を見比べながら摘蕾するため、X軸の5mm未満の1次元距離が少なくなったと考えられる。非熟練者は同じ枝にある芽同士を見比べながら摘蕾するため、X軸の5mm未満の1次元距離が多くなったと考えられる。

次に、図9において、非熟練者のX軸とY軸の差が小さくなった理由は、図12、図13で述べたように、非熟練者は同じ枝にある芽同士を見比べながら摘蕾する場面が多く、芽から芽への視線移動が多く、一本ずつ摘蕾していく場面が多いことが関係していると考えられる。また、状況に近い2タスクを対象とした場合、熟練者は非熟練者より1次元距離が大きくなり、X軸とY軸の差も大きいことから、一点に集中せず、広範囲を見ながら摘蕾していると考えられる。反対に非熟練者は熟練者より1次元距離が小さく、X軸とY軸の差も小さいことから、一点に集中して摘蕾していると考えられる。熟練者が広範囲を見ながら摘蕾する意図は5.1節に示したように、木の全体像を把握し、未来の木の状態を予測するためであると考えられる。

最後に、特定の2タスクを対象とした分析では熟練者と非熟練者に差が見られたが、平均した結果では差が見られなかった理由は、5.1節で述べた理由と同様に、

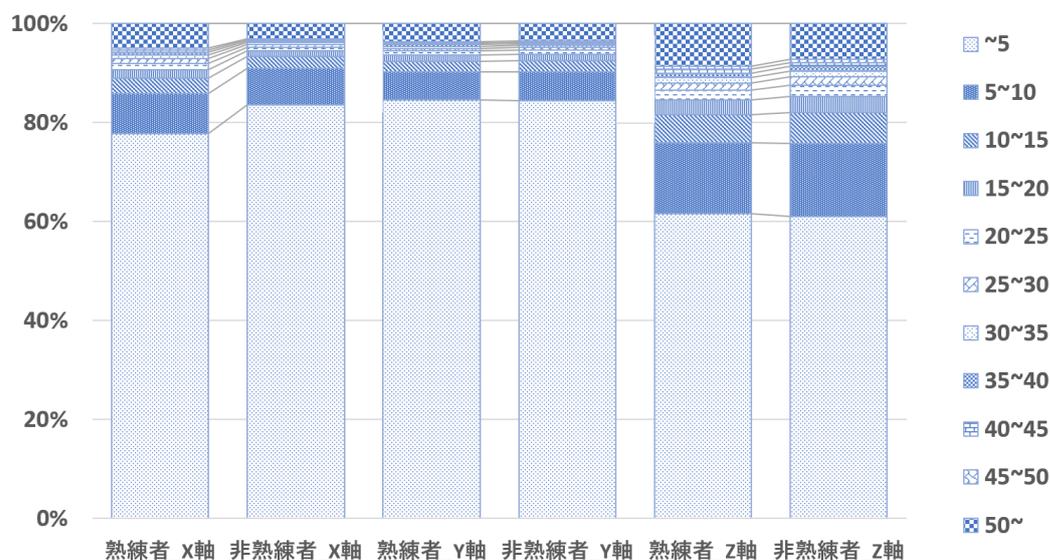


図9 各軸の1次元距離（平均）

タスクの状況の違いによるものだと考える。そのため、タスク状況を揃えることができれば、1次元距離は熟練者、非熟練者の比較手段になると考える。

5.3 AOI数

表2に熟練者、非熟練者それぞれのAOI数の平均を示す。また、「AOI数/s」はAOI数に対して時間で割り、その結果を熟練者と非熟練者でそれぞれ平均した結果である。熟練者のAOI数(614.3)は非熟練者(323.5)に比べて1.9倍多い。また、1秒当たりのAOI数では、熟練者(2.421)は非熟練者(2.027)に比べて1.2倍多い。すなわち、熟練者の方が視野に対してより多くの箇所を見ており、より広範囲を見ている一方で、非熟練者は見ている箇所が少なく、一点に集中して摘蓄を行っていると考えられる。

表3に熟練者と非熟練者で状況に近い2タスクにおけるAOI数を示す。非熟練者

表2 AOI数（平均）

	タスク番号	AOI数	時間(s)	AOI数/s
熟練者	1	170.0	105.4	1.612
	2	486.0	255.2	1.904
	3	1187.0	316.8	3.747
	平均	614.3	225.8	2.421
非熟練者	4	300.0	346.6	0.866
	5	347.0	108.8	3.189
	平均	323.5	227.7	2.027

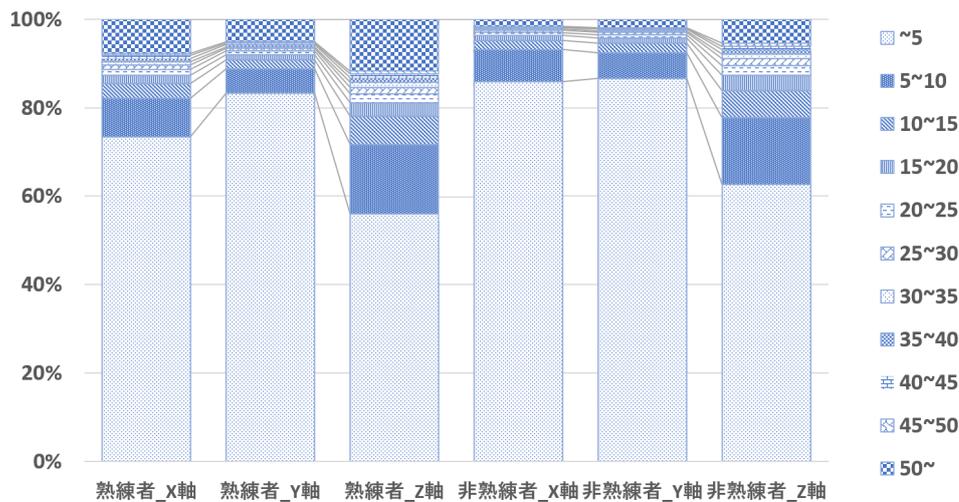


図 10 1次元距離 (2タスク)

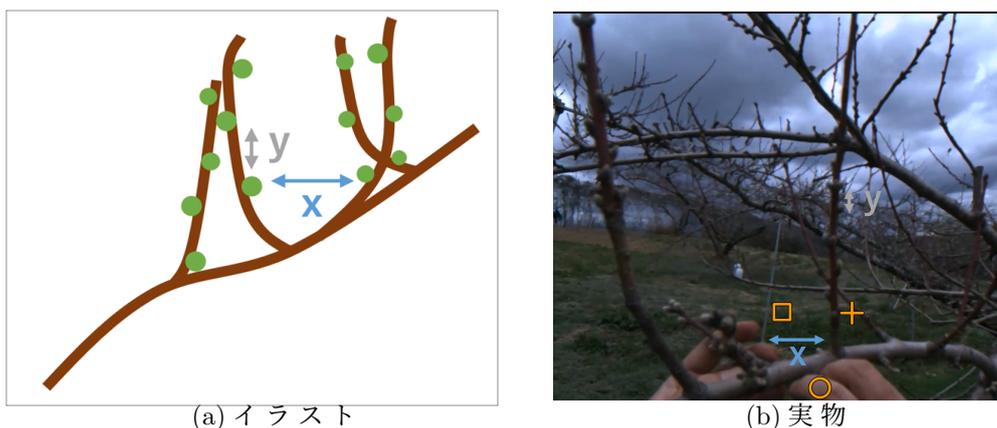


図 11 桃の枝の生え方

のタスク時間 (346.8 秒) が熟練者 (316.6 秒) より 9.1% 多いにもかかわらず, AOI 数は熟練者 (1187.0) が非熟練者 (300.0) に比べて 3.96 倍と極めて多い. 1 秒当たりの AOI 数についても, 熟練者 (3.747) が非熟練者 (0.865) に比べて 4.3 倍と極めて多い. 状況に近い 2 タスクにおいては平均した場合よりも差が大きく, 熟練者と非熟練者では摘蕾中に注視する範囲に違いがあると考えられる.

以上, 3次元距離, 1次元距離, AOI 数の 3 つの分析を行った. 全分析に共通して, 状況に近い 2 タスクの比較では熟練者と非熟練者の間に差があるが, 平均の比較では差が小さくなる, もしくは消えてしまう結果となった. 平均の比較で差が小さくなった原因は, 5.1 節で述べたように, タスク間の差であると考えられる. よって, 今後の発展として, 統計的な処理をする場合は, タスク間の差を可能な限り小さくする必要がある. だが, 実際に商用として利用される木に対する業務を対象にする以上, 差を 0 にすることはできないため, 被験者への指示や他の実験設

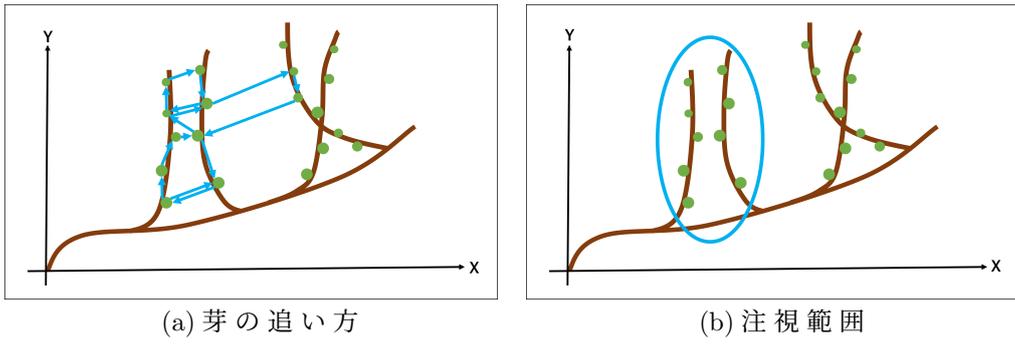


図 12 熟練者の摘蕾の仕方

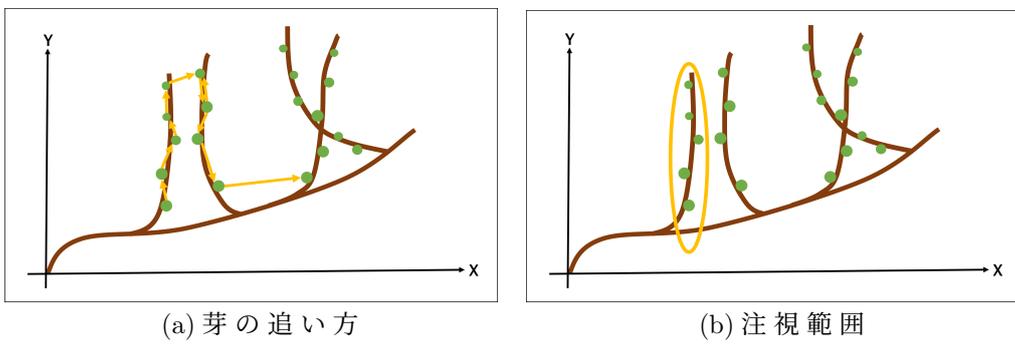


図 13 非熟練者の摘蕾の仕方

定を工夫する必要があると3つの分析を通してわかった。

表 3 AOI 数 (2 タスク)

	AOI 数	時間 (s)	AOI 数/s
熟練者	1187.0	316.8	3.747
非熟練者	300.0	346.6	0.865

6 おわりに

本研究は、桃栽培農家の熟練者のノウハウを分析する手段として視線計測が有効か確認することを目的に、栽培工程の1つである摘蕾に着目し、熟練者と非熟練者の視線移動を比較した。実験では岡山の桃生産者が商品を育てている木に対して実際に摘蕾をする際の視線移動を計測した。熟練者は非熟練者と比較してより俯瞰的に見るという仮説に対し、注視の範囲や着眼点の差を表すと考えられる3つの指標(1)3次元距離、(2)1次元距離、(3)AOI数を比較した。タスク条件の近い2タスクを比較した結果、熟練者の方が非熟練者より3次元距離、1次元距離ともに長い割合が高く、AOI数も多かった。そのため、熟練者は非熟練者と比較してより広範囲を見て摘蕾を行っていると考えられる。熟練者が広範囲を見る意図は、木の全体像を把握し、未来の木の状態を予測するためだと考える。この結果は、桃栽培農家の熟練者のノウハウを分析する手段として視線移動を計測することが有用である可能性を示唆している。

本研究の今後の発展として、本研究の結果および考察をもとに被験者へのインタビューを行うこと、実験設定を整理した上でより多くのデータを計測し、統計的な分析を行うことが挙げられる。また、視線移動は時系列の分析を行うことでどのような順番で見て、判断しているのかがわかる。本研究においても桃の木に対する視線移動を時系列で分析することで、どのような順番で芽や枝を見て摘蕾するかの判断に至るのかがわかり、熟練者特有の特徴が発見できれば、非熟練者への指導材料になると考える。桃を対象とした視線分析で知見を得ることができれば、葡萄や柿等の他の果物の栽培における熟練者のノウハウを分析する手法に応用が可能と考えられる。

謝辞

本研究を行う上で、ご協力いただいた総社もも生産組合の皆様，岡山大学の先生方に心から感謝を申し上げます。また，研究や論文の作成などご尽力いただきました上野准教授に厚く御礼申し上げます。査読教員である山口智浩教授には，大変貴重な意見をいただき，感謝を申し上げます。

参考文献

- [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] 永富雄貴, 上野秀剛, ”図面理解における熟練者と非熟練者の視線特性”, 信学技報 (ET), Vol.119, No.468, pp.23-28 (2020).
- [3] 平田結愛, 村上幸一, 笠松雅史, 脇坂颯, ”視線データと動画注釈システムを用いた農作業技術継承マニュアル作成手法の提案”, 人工知能学会全国大会論文集, 4I1-GS-7b-03 (2021).
- [4] 村田厚生, 森若誠, ”危険予知課題における運転者の視覚情報処理特性－運転初心者と運転熟練者の比較－”, 人間工学, Vol.46, No.6, pp.393-397 (2020).
- [5] ナックイメージテクノロジー社, https://www.eyemark.jp/product/emr_10/, 2023年12月26日閲覧
- [6] KCT 倉敷テーブルテレビ, <https://tv.kct.jp/program/detail.php?id=16943>, 2024年1月9日閲覧
- [7] 安心堂, https://anshindo-d.com/c/shop_category/shop_fruits/shop_fruits_momo/1321, 2024年1月9日閲覧