

脚立を使ったリンゴ栽培作業時の不安定性評価

Evaluation of instability during apple cultivation work on a stepladder

○石戸谷陸*, 佐藤直樹*, 佐川貢一*

○Riku Ishidoya*, Naoki Sato*, Koichi Sagawa*

*弘前大学

*Hirosaki University

キーワード： 不安定性 (Unstability), 重心 (Center of Gravity), 高所作業 (Work at Height), 脚立 (Stepladder) リンゴ栽培 (Apple Cultivation)

連絡先： 〒 036-8561 青森県弘前市文京町 3 番地
弘前大学 大学院 理工学研究科 機械科学コース 佐川研究室
石戸谷陸, Tel.: (080)2804-5967, E-mail: h21ms504@hirosaki-u.ac.jp

1. 緒言

リンゴ栽培作業中に脚立から転落し、頸椎損傷などの後遺症を伴う怪我を負うことが問題視されている。重症例では、外科的手術や集中治療管理を要し、入院期間も長期化し、高額な医療費を必要とした。神経学的予後が不良な症例も存在し、予防策の構築が急務である¹⁾。リンゴ栽培農家に対するアンケート調査では、1年間に脚立からの転落を経験をしたものは男性 36.2%、女性 23.7%であった²⁾。転落が発生しやすい作業としては、剪定や果実収穫が挙げられた。転落の原因を解明するため、転落に至った要因についてのアンケートを調査すると、「自分が体のバランスを崩した (57%)」、「設置場所が平らではなかった (38%)」と使用上の問題に起因する回答が多く、「脚立に問題があった」は 2.4%にとどまった³⁾。すなわち、転落の主な原因は、脚立の不適切な使用方法や、平たん

ではない場所での使用であることが判明している。バランスを崩す要因として、無理な姿勢で作業を行うことが考えられる。そのため、転落を防止するためには、脚立の適切な使用法を理解するとともに、危険な姿勢について知ることや、危険な姿勢になった時に警告を発するシステムの開発が有効である。これを実現するためには、脚立作業中の姿勢について不安定性を評価し、バランスを崩す予兆を検出することが必要である。

農家に限らず、一般の人が脚立を使う際、本来の使用法で使っていないことが多いと判明している⁴⁾。安全な使用方法として Fig.1 に示すように、昇降面を作業面に正対させ、脛部分を天板の側面に当てながら作業を行うことが推奨されている。推奨理由としては、体が前方向に傾くため後ろに倒れにくくなり、仮に倒れた場合でも片足が出て足から落ちることになるため、命に関わる大きな事故につながりにくくな

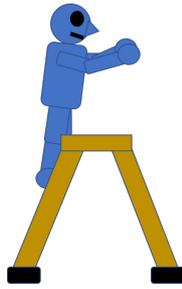


Fig. 1 Safe use of stepladder

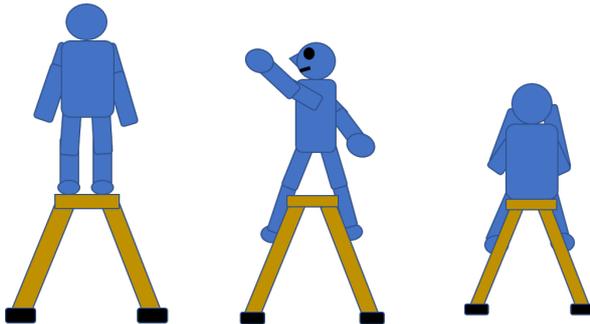


Fig. 2 Dangerous use of stepladder

ることが挙げられる。また、最大リーチと姿勢の安定性の両面を考慮すると、前方へ手を伸ばす作業では天板の2段下に立って作業することが望ましい⁵⁾。一方、Fig.2に間違った使用例を示す。Fig.2左は、天板の上に両足で立って作業をしている状態であり、体を支える部分や掴める部分がないため、非常に危険である。Fig.2中央は、天板をまたいで作業している状態であり、足の内側で脚立を挟むことでバランスをとれるが、一定の方向にしか力を加えることができないため不意にバランスを崩しやすい。Fig.2右は、天板に座った状態で作業をしている状態であり、前後に体が触れると支えがないため転落しやすく危険である。さらに、Fig.1のような安全と考えられる姿勢で作業を行う場合でも、片手にかごを持ちながらリングを収穫する際には、不安定な姿勢となり、転落の危険性が高くなることもあると考えられる。しかし、このような状況での不安定性を評価した研究は見られない。

そこで本報告では、リング栽培作業などでの

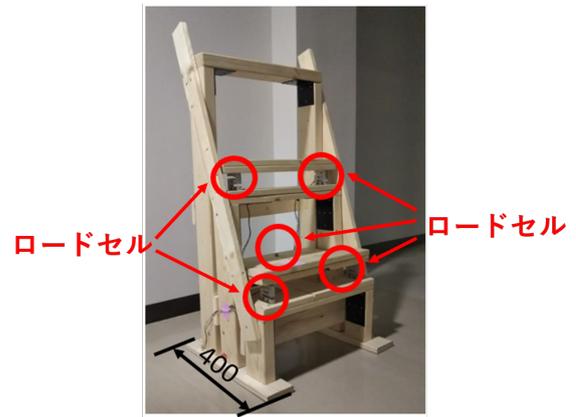


Fig. 3 Front view of stepladder

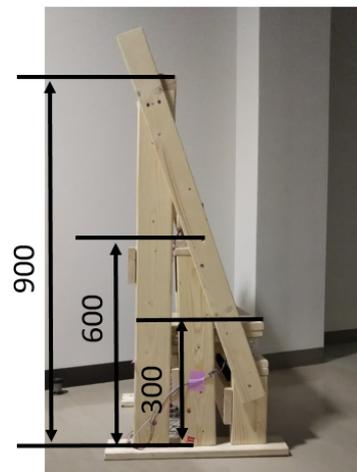


Fig. 4 Side view of stepladder

脚立からの転落を予防する方法を考案するため、Fig.1と同等の脚立を使用した状況下で高所にあるリングの収穫を模擬した動作を計測し、手に持っているカゴの重さが異なる場合の重心位置の変化から、不安定性を評価する。評価結果から、どのような状況下で安定性が損なわれるかについて調査する。

2. 計測装置

脚立上で作業しているときの重心位置を測定するため、段差に作用する力を測定できる2段式の装置を作成した。作成した装置は脚立を模して設計しており、装置の前面を Fig.3、側面を Fig.4 に示す。手すり部分を抜いた全体の高

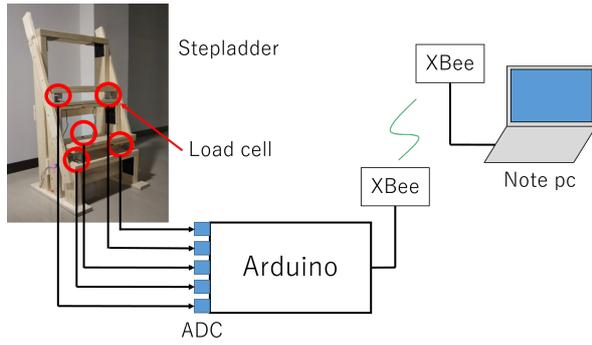


Fig. 5 Measurement system of COG on stepladder

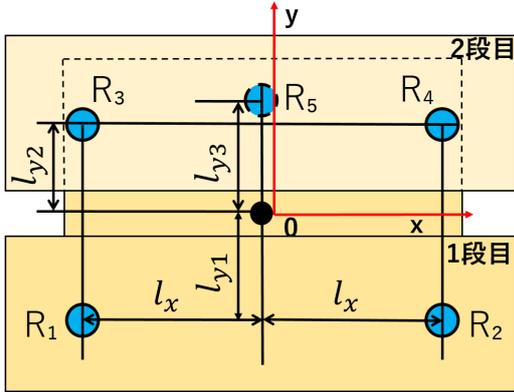


Fig. 6 Positional relationship of load cells

さは 900mm、奥行きは 400mm となっている。脚立に作用する力や重心の位置は 1 軸ロードセル (SC301A、定格容量 100kg、定格出力 $2.0 \pm 0.1\text{mv/v}$ 、印加電圧範囲 12V、サイズ $52 \times 50 \times 12\text{mm}$) 5 個と、AD コンバータ (HX710、電源電圧 5.5V、利得 128、サンプリング周波数 10Hz、分解能 24 ビット) を使用して測定した。また、1 段目に作用する踏力は 3 つのロードセルを使用し、ふみ板に作用する前後および左右方向の重心の動きを測定した。2 段目に作用する踏力は、2 つのロードセルを使用し、左右方向の重心の動きを測定した。計測データはサンプリング周波数 10Hz で荷重に応じた電圧として出力される。センサの出力は Arduino 内で g 単位に変換され、無線通信ユニット XBee を用いた UART 通信によりパソコン上のターミナルエミュレーター Tera Term に表示される。表示されたデータを Tera Term のログ機能を使って

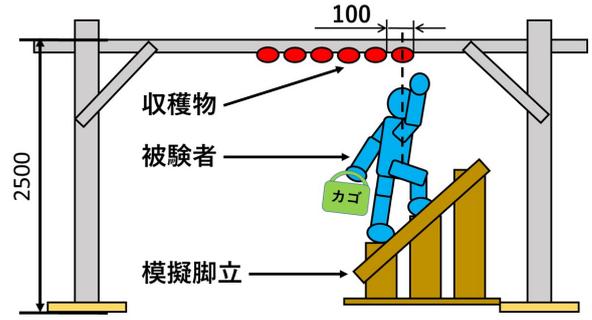


Fig. 7 Overview of the experiment

記録する。重心計測装置の概要を Fig.5 に示す。

3. 解析方法

本報告では、脚立作業中の不安定性を評価するため、装置に作用した荷重から重心位置を導出し、重心の移動距離と、動作毎の移動距離の変化量の違いをカゴに入れた重りの有無で評価する。解析には、行列計算ソフト MATLAB を使用している。Fig.6 に示す各ロードセルの位置関係より、各ロードセルに作用した荷重 R_1 から R_5 [kg] と、その位置関係情報 $l_x, l_{y1}, l_{y2}, l_{y3}$ [mm] を使用し、重心の位置座標 $G(X_g, Y_g)$ を次式で求める。

$$X_g = \frac{(R_2 + R_4 - R_1 - R_3)l_x}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5} \quad (1)$$

$$Y_g = \frac{(R_3 + R_4)l_{y2} - (R_1 + R_2)l_{y1} + R_5l_{y3}}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5} \quad (2)$$

不安定性を評価するために、重心の移動距離を利用する。 n サンプル時の重心の移動距離 $D(n)$ は、1 サンプル前の重心位置 $G(n-1)$ と現在の重心位置 $G(n)$ の差分を積算し、次式のように求める。

$$D(n) = \sum_{i=1}^n \sqrt{(X_d)^2 + (Y_d)^2} \quad (3)$$

ただし、

$$X_d = X_g(i) - X_g(i-1)$$

$$Y_d = Y_g(i) - Y_g(i-1)$$

とする。



Fig. 8 Objects imitating apple as harvest

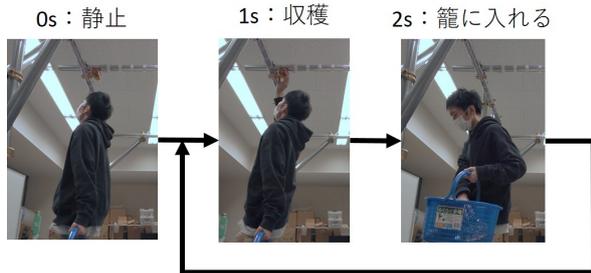


Fig. 9 Experimental order to harvest objects

4. 実験方法

Fig.7 に実験装置全体の概要を示す。実験は、医師からの運動制限がなく、リンゴ栽培の農業経験がある健常若年者（年齢 22 歳、身長 178cm、体重 58kg、男性 1 名）を対象に、弘前大学コラボ 3 階医用共通実験室にて計測を行った。実験はカゴに重りが入っていないときと、カゴに 5kg の重りが入っているときの 2 つの条件で各 10 回ずつ行う。収穫物を模擬した物体として、リンゴの平均的な重さである 300g のペットボトルを用意した (Fig.8)。以後、これを収穫物と呼ぶ。収穫物にはマジックテープを付けており、同じくマジックテープをつけた高さ 2.5m の単管パイプに 100mm 間隔で 6 つ吊り下げる。この時、装置に乗った被験者の頭上に 1 個目の収穫物が来るように設置する。また、実験風景をビデオカメラで常時撮影した。

計測動作について説明する。被験者は、左手に籠を持ち、左足を装置の 1 段目、右足を装置の 2 段目に置いた状態で実験を行う。計測動作

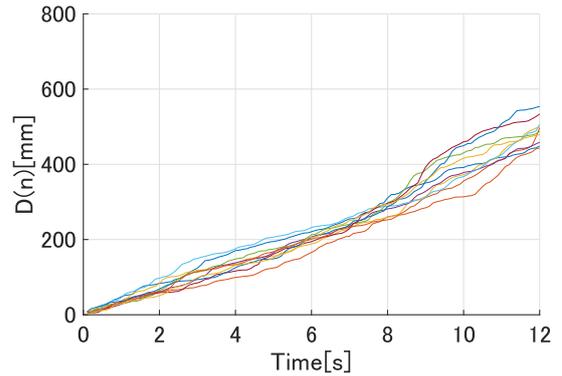


Fig. 10 Travel distance of center of gravity with empty basket

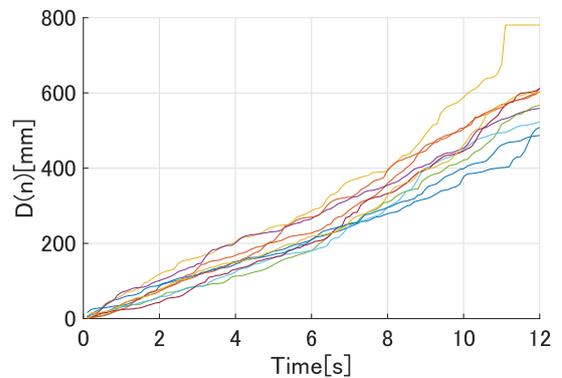


Fig. 11 Travel distance of center of gravity with a basket containing 5kg weight

は Fig.9 に示すように、計測開始時 (0 秒) は静止、1 秒の時に収穫物を掴み、2 秒の時に収穫物を籠に入れ、3 秒で次の収穫物を掴む、4 秒で収穫物を籠に入れるという動作を、6 つ目の収穫物を籠に入れるまで繰り返す。この動作は、メトロノームを用いて秒数を 1 秒間隔で計っている状態で行う。

5. 実験結果と考察

空のカゴと、5kg の重りの入ったカゴをもって行った実験より求めた重心の移動距離を Fig.10 と Fig.11 に示す。2 つの波形を比較すると、5kg の重りを籠に入れた状態での結果の方が波形のばらつきが大きいことがわかる。波形のばらつきや傾きについて評価するため、各条件 10 回の

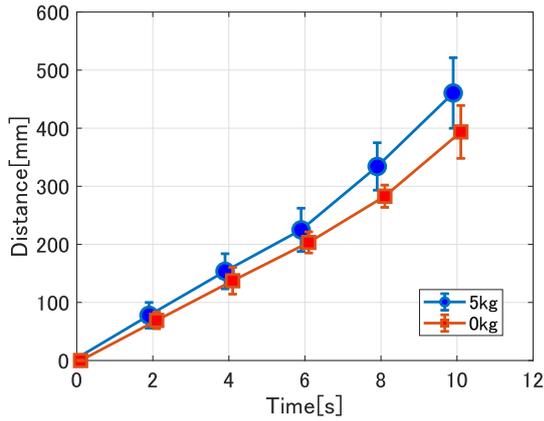


Fig. 12 Travel distance of COG

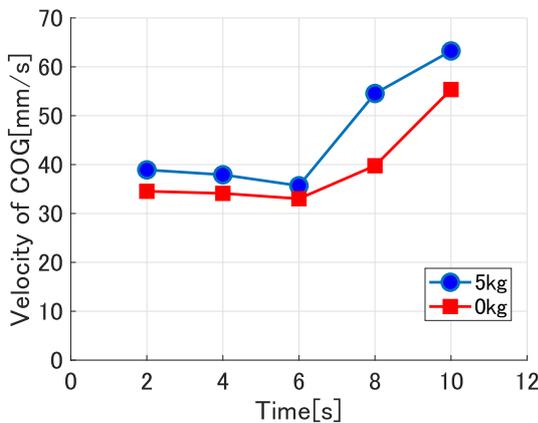


Fig. 13 Velocity of COG

平均と、標準偏差を求めた。その結果を Fig.12 に示す。このグラフから、籠に重りを入れた状態の時のほうが重心の移動距離が大きいことがわかる。また、グラフの右側、つまり時間経過にしたがって2つの波形間の距離が徐々に離れていくことがわかる。次に、2秒で1回行われる動作毎の重心の移動距離に着目し、被験者と収穫物の位置関係と、重心の移動について評価する。1回毎の収穫動作と、重心の1秒当たりの移動距離との関係を Fig.13 に示す。グラフより、横軸の6秒以降から急激に波形が増加傾向になっていることがわかる。これは、被験者の頭上後方300mmより後方の収穫物を取るために手を伸ばし、Fig.14に示すような反った姿勢になったことが考えられる。ここで、1段目に作用している力を利用して重心の動きを求めた。結果



Fig. 14 Werped posture

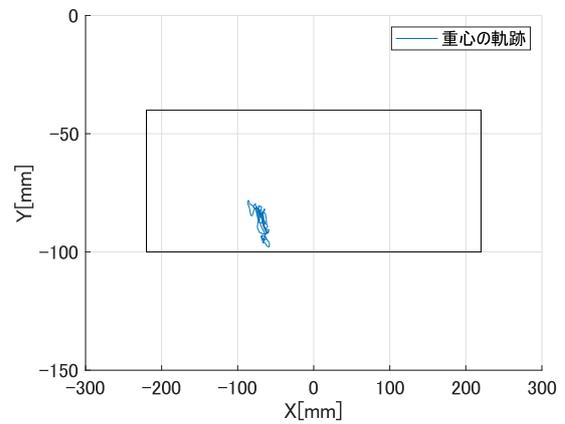


Fig. 15 Trajectory of the COG

を Fig.15 に示す。黒い枠は1段目のふみ板の形状を表しており、重心の位置が足場のへり近くに移動していることがわかる。反った姿勢になることにより重心の位置が足場のへり近くに移動し、不安定性が増加しバランスを崩しそうになった結果、バランスを保つために姿勢の安定する位置まで重心を大きく移動させた。その結果、波形上では重心の移動距離が急激に増加したと考えられる。

以上の結果より、脚立を使用したリング栽培における高所作業時には、籠にある程度の重さがある場合や、体より頭上後方の、ある程度離れた位置のリングを収穫する際に不安定性が増加することが確認された。しかし実際の収穫作業の時には、重い籠を持った状態で脚立の昇り降りも行う。その際に不安定性が増加し、バラ

ンスを崩し転落することも十分に考えられる。また、脚立を移動させたり脚立の昇り降りの回数を少なくするため、今回の実験で設置した収穫物の位置よりも取るのが難しく、後方以外の場所にあるリングにも手を伸ばすこともある。枝や葉などの収穫動作を妨げる要因も多く存在することから、それらの障害物を避けつつ収穫する場合もある。さらに、重いものを持った状態では、作業時間が長くなると疲労が蓄積する。疲労状態で作業を行うと、姿勢の制御や自分が収穫できる範囲の判断が難しくなるため、不意にバランスを崩し転落する可能性が高くなると考えられる。今後は、より現場の作業状況に近い環境を設定し、不安定性を評価する実験を行う必要がある。

6. 結言

本報告では、力センサを用いて脚立上でのリング収穫作業動作の計測を行い、重心位置およびその移動距離を導出した。その結果、籠の重さや、収穫物の位置により重心位置の移動距離に違いが生じることが確認された。今後は、脚立使用者に危険な状況を警告するために、転落に至るメカニズムの解明や、作業者の姿勢と落下の危険性との関係について検討していく予定である。

参考文献

- 1) 町野ひろみ, 野村理, 和田簡一郎, 熊谷玄太郎, 田中直, 浅利亨, 石橋恭之, 花田裕之, りんご農作業に関連する頸椎損傷の症例集積研究, 弘大医学 71, pp108-112, 2021
- 2) 江武瑛, 「リング栽培における脚立作業の人間工学的研究—第1報、脚立の使用状況や労働負担に関する調査」, 日本農村医学学会雑誌 Vol.3, pp1-5, 1983

- 3) 中尾許弘, 加藤義久, 菅間敦, ”アウトリガー一体式4脚伸縮脚立”ダン吉”の開発, 人間工学 Vol.54, pp55-59, 2017
- 4) 厚生労働省, 『はしごや脚立からの墜落・転落災害をなくしましょう!』, 厚生労働省安全衛生リーフレット, pp1, 2017
- 5) 菅間敦, 大西明宏, ”最大リーチ長さおよび作業姿勢の評価による脚立への安定した立ち方の検討”, 人間工学 Vol.54, pp40, 2016