

赤外線カメラを利用したハウス内のピーマンの検出

Detection of green pepper in house using infrared camera

知能機械システム工学コース

機械・航空システム制御研究室 1225036 多田 敬佑

1. 緒言

日本の農業においては農林水産省が公表しているデータ⁽¹⁾⁽²⁾によると農業就業人口は年々減少しており、人手不足であると考えられる。野菜の収穫作業は多くが手作業であり大きな負担となることから作業の機械化・自動化が望まれている。また、高知県は「野菜園芸の中心である施設園芸は、海岸線に沿う平坦温暖部に産地が形成されており、なかでも安芸地区を中心とする県東部や高知地区などの中西部では、なす・きゅうり・ピーマン等を基幹品目とした大型産地が分布」⁽³⁾することから本研究では、ロボット技術による作業の省力化に注目し、野菜の中でもピーマンを対象とした自動収穫ロボットの開発を目標とする。自動収穫を行うためには、収穫を行う果実を認識する必要がある。トマトやイチゴは、色や形を利用することで果実を認識させることが比較的容易であるため自動収穫ロボットが研究・開発されている⁽⁴⁾⁽⁵⁾。しかし、ピーマンは色だけでなく形状も葉と似ていることから果実を認識させることが難しい。

本研究では、ピーマンを色以外で検出するために赤外線カメラと測域センサを用いる方法を提案する。検出の手順としては、まず赤外線カメラを用い果実がなっている大まかな範囲を特定する。次にその範囲内を測域センサにより計測することで果実の詳細な位置と姿勢を特定する。最後に特定した姿勢から摘み取り時に切断する茎の位置を特定する。

本報告では、赤外線カメラによる果実の特定についてその有効性を確認したのでこれについて述べる。

2. 赤外線カメラによる果実の特定

赤外線カメラによる果実の特定には葉と果実の温度差を用いた。特定方法としては以下に示す2つを提案する。

2.1 蒸散による温度差の利用

植物生理学によると「土壌の水分は根によって吸収され、導管あるいは仮導管を通して上昇し、その過程で水は植物体の各部分に供給される。上昇した水は最終的には葉から蒸発して、大気中に水蒸気として放出される。この最後の蒸発の過程によって、植物体の温度の調節が行われる」⁽⁶⁾、「蒸散は昼間盛んで、夜間はほとんど停止する」⁽⁷⁾、「蒸散を第一次的に規定しているのは特に光照射である」⁽⁷⁾、「蒸散が主に行われる気孔は一般に葉の裏面に多い」⁽⁸⁾とされている。この蒸散により日中は、葉の温度が抑えられるが果実は温度が上昇し葉と果実の間に温度差が生じることで果実が特定できる。以上が蒸散による温度差を利用した方法である。

2.2 熱容量の違いによる温度差を利用

ピーマンの葉は薄いことから熱容量が小さいため周囲の温度変化への反応が早いと考えられる。一方、果実は中が空洞で空気があることから熱容量が大きいいため周囲の温度変化への反応が鈍いと考えられる。ハウスは夜のはじめから明け方にかけて温度が下がり過ぎないようにボイラを炊くため、稼働するとハウスに温度変化が生じる。熱容量の違いから葉と果実に温度差が生じることで果実が特定できる。以上が熱容量の違いによる温度差を利用した方法である。

3. 夏場のハウスでの基礎実験

3.1 実験概要

ハウスでの実験により2章で提案した2つの特定方法について有効性の確認を行った。実験としては、ハウス内にて葉と果実の温度を赤外線カメラ、ハウスの温度を温湿度センサにより計測した。表1に条件を示す。

Table. 1 Basic Experimental condition

Date	2019/6/25 11:00 ~ 2019/6/27 10:59 (48h)	
weather	Sunny	6/25
	Cloudy Then rain	6/26
	rain	6/27
place	Geisei Village, Aki County, Kochi Prefecture	

3.2 実験結果と考察

結果の図においてグラフは葉と果実の画像から1か所、温度を抽出しハウスの室温とプロットした。上段の左の画像は抽出した葉と果実のピクセルの場所、右のグラフは1日を通してのハウス、葉、果実の温度のグラフである。中段のグラフは左のグラフが8時00分~17時00分の間で拡大、右のグラフが00時00分~2時00分の間で拡大したものである。下段の画像は各日に撮影した画像を3時間ごとに並べたものである。図1に6/25 11時00分~6/26 10時59分の結果を示す。夜間は温度差が生じていなかった。画像の23時00分と2時00分において葉も果実も白く映っており違いが表れていなかった。日中においては15時00分までは果実はハウスの室温と同等の温度であるが葉は他の2つに比べて温度が低いため温度差が生じていた。その後、温度が低下していき葉と果実の温度差がほとんどなくなっていた。画像の11時00分と14時00分においても果実が黒くはっきりと映っていた。

日中について天候が晴れであったため蒸散により葉の温度上昇が抑えられたため果実との間に温度差が生じていると考えられる。

実験結果より日中であれば日差しが強さによるハウスの温度変化によって葉と果実の間に温度差が生じることから赤外線カメラによる果実の検出は可能であると考えられる

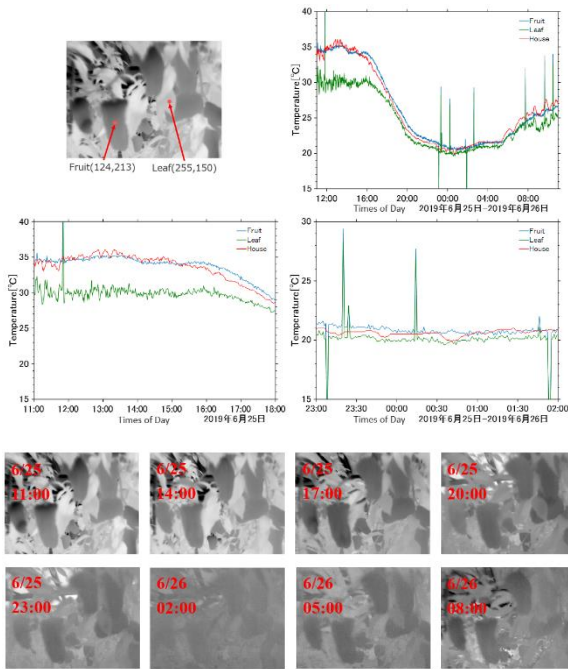


Fig.1 Results on June 26 at 11:00 to June 27 at 10:59

3.4 ハウスの温度を利用した温度抽出

実験結果より日中では葉はハウスの温度より低いが果実はハウスの温度と同程度である。この関係よりハウスの室温を利用することで果実の温度のみを抽出することができると考えた。ハウスの温度から一定範囲内の温度データを持つピクセルを抽出した。温度範囲は、ハウスの室温から $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 、 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 、 $\pm 4^{\circ}\text{C}$ の4つとした。温度抽出を行った画像とハウスの室温は14時のものを用いた。

結果を図2に示す。どの時間においても $\pm 4^{\circ}\text{C}$ では温度範囲が広いいため果実以外の部分が多く抽出されていた。一方、 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ では温度範囲が狭いため果実以外の部分はほとんど抽出されていないが果実においても一部しか抽出されていなかった。ハウスの温度を基準とした温度抽出は有効であると考えられる。

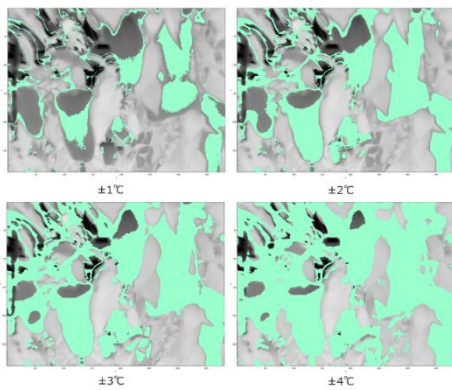


Fig.2 Temperature extraction result on June 25 at 14:00

3.4 画像処理による果実の検出

3.3 節にて果実の温度抽出を行った画像に対して画像処理を行い果実の検出を行うことができるか検証を行った。

結果を図3に示す。果実の部分が着色されており検出はできていた。しかし、温度範囲が広い抽出画像から果実を検出した場合、果実以外の部分も果実として検出されていた。温度を抽出した画像に対して画像処理を行うことで果実である部分が着色されていることから温度による果実の検出は可能であると考えられる。

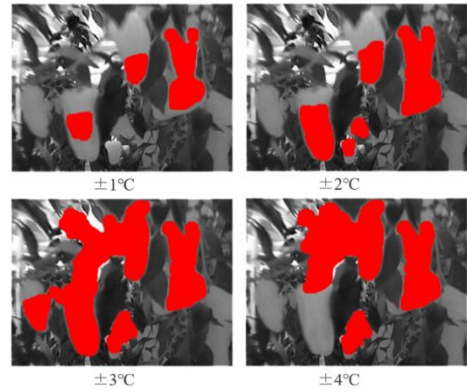


Fig.3 Detection result on June 25 at 14:00

4. 冬場のハウスでの実験

4.1 実験概要

第3章の結果より温度差を利用した方法の有効性が確認されたため収穫時期である冬場のハウスにて実際に検出が可能であるか同様の実験を行った。表2に条件を示す。

Table. 2 Experimental condition

Date	2019/12/10~2019/12/17	
weather	Sunny and then cloudy	12/10
	Cloudy	12/11
	Sunny	12/12~12/16
	Cloudy then rain	12/17
place	Geisei Village, Aki County, Kochi Prefecture	

4.2 実験結果と考察

実験結果は曇りの日：12月11日、晴れの日：12月14日、雨の日：12月17日について図4~図6に示す。各結果の図においてグラフは葉と果実の画像から1か所、温度を抽出しハウスの室温とプロットした。上段、中段、下段の画像およびグラフは第3章と同様に結果を並べたものである。図4より曇りの日は、葉と果実はハウスの温度に追従するように温度が上昇しているが11時00分から15時00分の間、葉の温度がハウスの温度より低くなっており晴れの日より差は小さいが温度差が生じていた。図5より晴れの日、ハウスの温度上昇が止まった後も果実の温度は上昇し続けた。葉はハウスの温度の同じように上昇しているがその後、温度が少し低下しハウスの温度より低くなっている。図6より雨の日は、日中においてハウスの温度、葉、果実に温度差があまり生じていなかった。図5と図6の夜間においてはハウスの温度が下がりにくいようにボイラが焚かれているため、温度が小刻みに上昇と低下を繰り返していた。

蒸散による温度差について図4・図6の8時00分～17時00分グラフより曇りと雨の時は、日差しが弱いのでハウスの温度が上がらず蒸散も活発ではないため葉と果実に温度差が生じていない。一方、図5の8時00分～17時00分ではハウスの温度が上昇し終わった後から少しずつ葉の温度が低下しているが果実の温度は高いままであった。葉は蒸散により温度の上昇が抑えられたため果実との間に温度差が生じていると考えられる。晴れの日の日中においては、蒸散による温度差を利用した果実の特定は有効であると考えられる。

熱容量の違いによる温度差について図5の00時00分～2時00分のグラフより温度が低下しているときハウスの温度に葉の温度は追従しているが果実は緩やかに温度が低下しており温度差が生じている。また、図6の00時00分～2時00分のグラフでもボイラの稼働回数は少ないが稼働した後は温度差が生じている。夜のはじめから明け方にかけてはボイラ稼働後に果実と葉の間には温度差が生じていることから熱容量の違いによる果実の特定は有効であると考えられる。

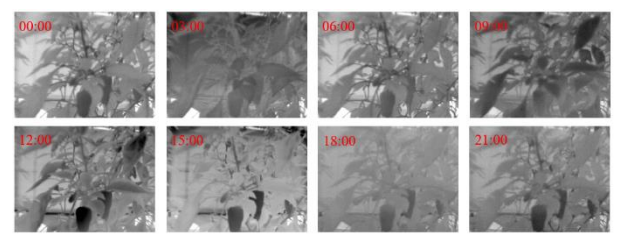
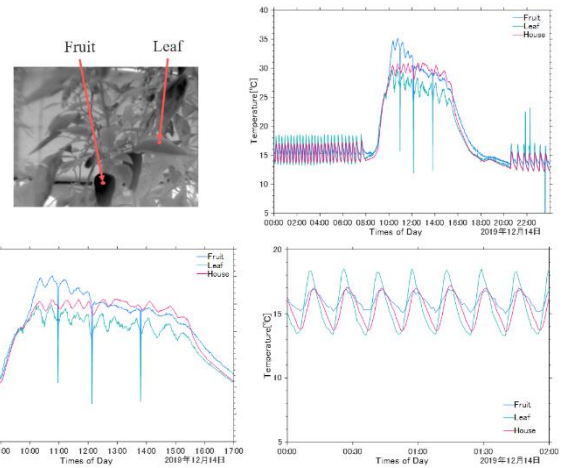


Fig.5 Results on December 14

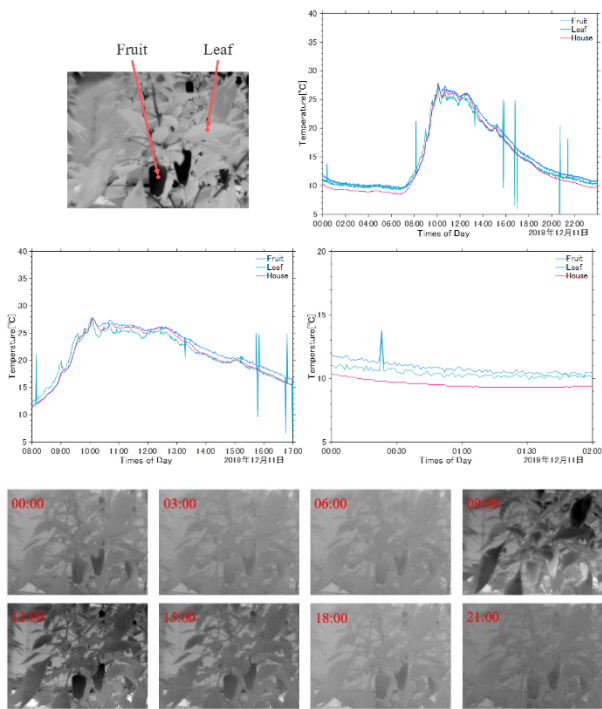


Fig.4 Results on December 11

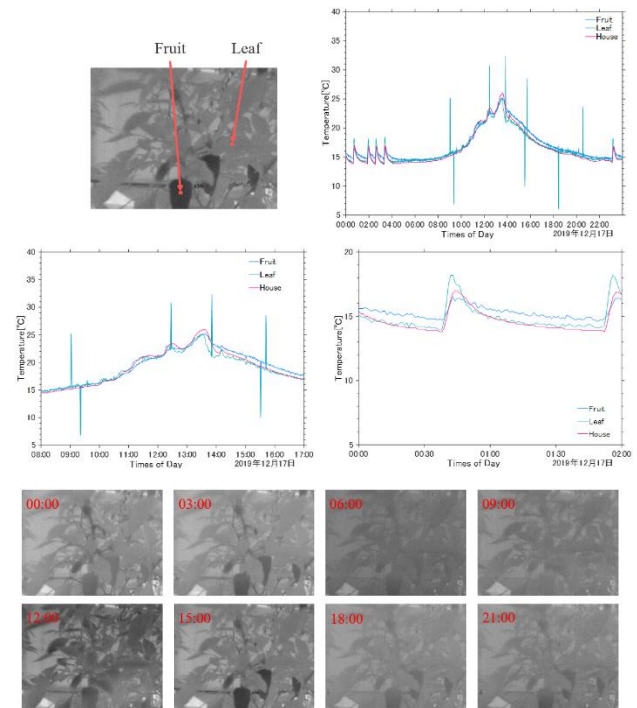


Fig.6 Results on December 17

5. 実際のピーマンの検出

5.1 ハウスの室温を利用した果実の温度抽出

5.1.1 日中における果実の温度抽出

第4章の結果より第3章の基礎実験で得られた葉はハウスの温度より低いが果実はハウスの温度と同程度である関係が見受けられたため、同様にハウスの温度から一定範囲内の温度データを持つピクセルを抽出した。温度範囲は、ハウスの温度から $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 、 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 、 $\pm 4^{\circ}\text{C}$ の4つとした。図7に12月11日15時00分、

図8に12月14日15時00分、図9に12月17日15時00分のときの各温度範囲で果実の温度を抽出した画像を示す。曇りの日であった図7では温度範囲が $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 以上になると果実の温度以外も含まれてしまい画像全体が抽出された。 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ では、抽出された部分は少なくなっているが果実以外の部分も多くあり果実の温度抽出となっていなかった。雨の日であった図9ではどの温度範囲においても果実以外の場所が抽出されていた。晴れの日であった図8では $\pm 4^{\circ}\text{C}$ だと果実以外の部分が多く抽出されていた。また、 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ では多くの果実の部分が抽出されていなかった。 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ と $\pm 3^{\circ}\text{C}$ では果実以外の大部分は抽出されなかったがハウスの骨組みなど果実と同じ温度であった部分が抽出されていた。晴れの日であれば葉と果実の間に温度差が生じておりハウスの温度と同等まで果実の温度が上昇していることからハウスの温度を基準とした果実の温度抽出は有効であると考えられる。

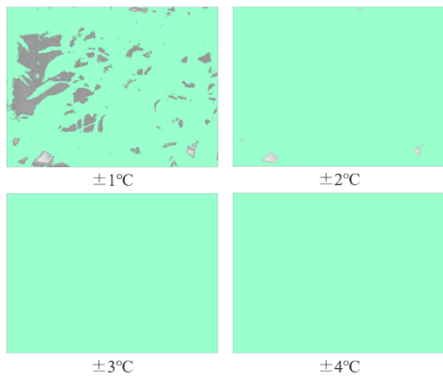


Fig.7 Daytime temperature extraction results on December 11

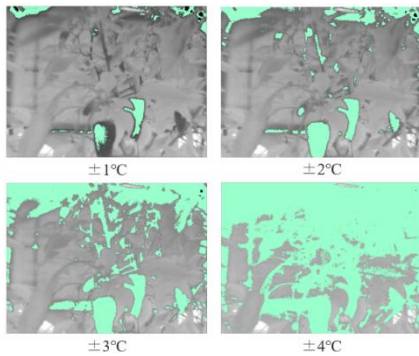


Fig.8 Daytime temperature extraction results on December 14

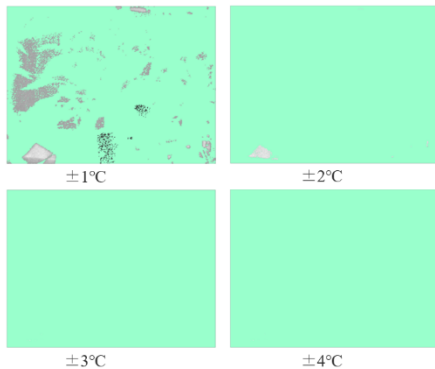


Fig.9 Daytime temperature extraction results on December 17

5.1.2 夜間における果実の温度抽出

第4章の実験結果より夜間ではボイラが稼働することによりハウスに温度変化が生じ、葉と果実に温度差が生じていた。ボイラが稼働していた日のにおいても葉の温度はハウスの温度より低くなっていたが果実の温度はハウスの温度を下回ることはなかった。この関係から、ハウスの温度から一定範囲以上の温度を果実の温度として抽出を行った。また、ボイラが稼働するタイミングは日によって異なるためハウスの温度から図10に示すように極小値を見つけその時間の画像に対して温度抽出を行った。温度範囲は、ハウスの温度から $+0.5^{\circ}\text{C}$ 、 $+1.0^{\circ}\text{C}$ 、 $+1.5^{\circ}\text{C}$ 、 $+2.0^{\circ}\text{C}$ の4つとした。図11に12月14日00時37分、図12に12月17日00時37分のときの抽出した結果を示す。温度範囲を $+2.0^{\circ}\text{C}$ とするとすべて抽出されるか全く抽出されないかの2パターンであった。 $+1.5^{\circ}\text{C}$ では果実の一部が抽出された。 $+1.0^{\circ}\text{C}$ では図11ではしっかりと果実が抽出されたが図12では果実の一部が抽出された。 $+0.5^{\circ}\text{C}$ では果実の大部分が抽出されているが $+1.0^{\circ}\text{C}$ に比べて果実以外の部分が多く抽出された。範囲が $+2.0^{\circ}\text{C}$ では果実の温度以上になり全く抽出されないかすべてが抽出されるかとなっていたことから温度差はどの日においても 2°C 以内であったと考えられる。図11は、雨の日であり日中は温度変化がほとんど生じなかったがボイラの稼働により温度変化が生じていたことから夜間であれば検出が可能であると考えられる。夜間の温度抽出においては、どの日においても果実の温度が抽出できている温度範囲である $+0.5^{\circ}\text{C}$ と $+1.0^{\circ}\text{C}$ が有効ではないかと考えられる。

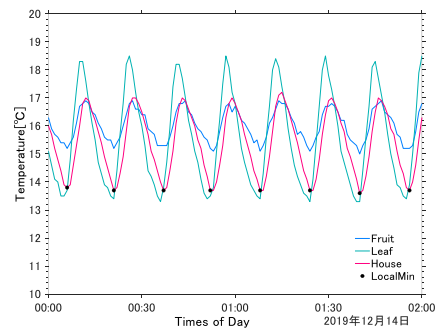


Fig.10 Minimum value search

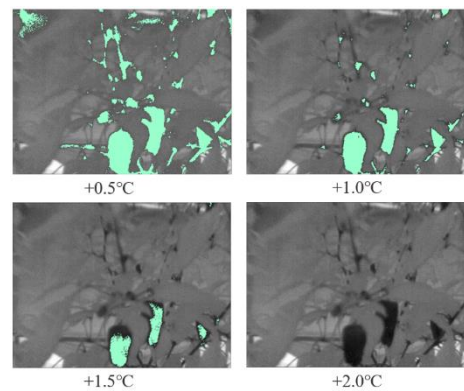


Fig.11 Night temperature extraction results on December 14

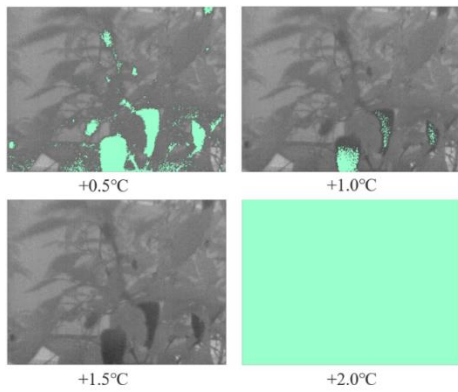


Fig.12 Night temperature extraction results on December 17

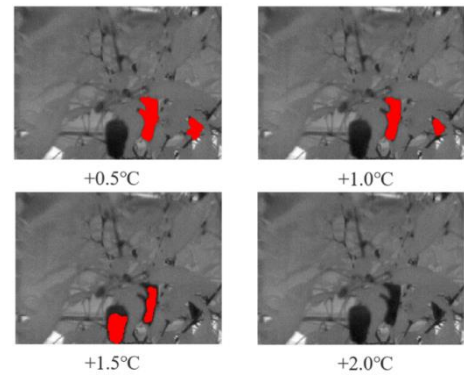


Fig.14 Night image processing results on December 14

5.2 画像処理による果実の検出

5.1 節にて果実の温度抽出を行った画像に対して画像処理により果実の検出を行った

5.2.1 日中における果実検出

果実の温度の抽出ができていた図8に対して画像処理を行った結果を図13に示す。温度範囲が広い場合は、果実以外の場所も果実として検出されていた。±1°Cでは果実のみを抽出できていた。±2°Cの時、温度抽出では果実の温度を抽出できていたが画像処理によって検出を行うと片方の果実しか検出していなかったことから画像処理のアルゴリズムやパラメタによってうまく検出できていなかったと考えられる

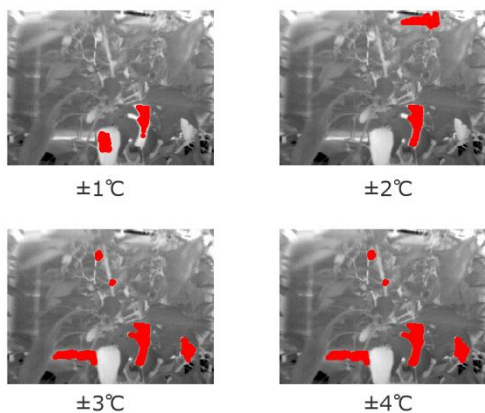


Fig.13 Daytime image processing results

5.2.2 夜間における果実の検出

図11に対して処理を行った結果を図14, 図12に対して処理を行った結果を図15に示す。図14より温度範囲が2.0°Cになると果実は検出されていなかったがそれ以外の温度範囲では果実のみを検出できていた。しかし、すべての果実を検出することはできていなかった。図15より温度範囲が+1.0°Cのとき果実を検出できているがそれ以外の温度範囲では検出できていなかった。図15のとき雨の日であり日中は温度差がなく果実を検出できなかったがボイラ稼働による温度差によって検出することができていたことから夜間であれば天候に関係なく検出可能ではないかと考えられる。

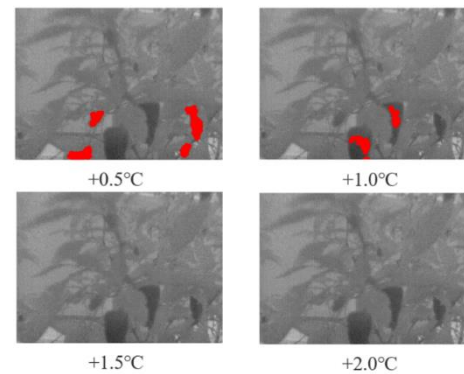


Fig.15 Night image processing results on December 17

6. 結言

今回、赤外線カメラを利用した温度によるピーマンの果実の検出方法について提案した。ハウス実験によりハウスの温度、果実と葉の温度をグラフ化した結果、果実と葉の間には温度差が生じていることが分かった。画像処理により果実を検出しやすくするためにハウスの温度を利用した画像から果実の温度抽出を行った。日中においては果実とハウスの温度が同程度まで上昇していることからハウスの温度から一定範囲内の温度を果実の温度とした。夜間については葉の温度がハウスの温度に追従していたことからハウスの温度から一定範囲上の温度を果実の温度とした。画像処理による果実の検出では、日中・夜間ともに検出することはできたが検出されない部分や果実以外の部分が検出された。

今後は、画像処理の手法の見直しや変更を行いより正確な検出を行えるように改善していきたい。

謝辞

本研究は、高知県プロジェクト[「IoT (Internet of Plants)」が導く「NEXT 次世代型施設園芸農業」への進化]の助成により行っています。

参考文献

- (1) 農林水産省ホームページ：農業労働力に関する統計
<http://www.maff.go.jp/j/tokei/sihyo/data/08.html>
(参照日 2020年1月19日)
- (2) 農林水産省ホームページ：農業就業者の動向
http://www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/h23_h/trend/part1/chap3/c3_3_02.html
(参照日 2020年1月19日)
- (3) JA 高知県ホームページ：JA の特徴
<https://ja-kochi.or.jp/agriculture/method/>
(参照日 2020年1月18日)
- (4) 農研機構ホームページ：イチゴ収穫ロボット
<https://www.naro.affrc.go.jp/laboratory/brain/iam/urgent/urgent100/043434.html>
(参照日 2020年1月18日)
- (5) 矢口裕明, 長谷川貴臣, 長濱虎太郎, 稲葉雅幸, “収穫装置と視覚認識に着目したトマト自動収穫ロボットの構成法”, 日本ロボット学会誌 Vol.36 No.10(2018), pp.693-702
- (6) 増田芳雄, “植物生理学[改訂版]”, (2001), 培風館, p123
- (7) 増田芳雄, “植物生理学[改訂版]”, (2001), 培風館, p129
- (8) 増田芳雄, “植物生理学[改訂版]”, (2001), 培風館, p130
- (9) 大崎貴士, 岡宏一, “ピーマン収穫ロボットの収穫率向上”, 2009年度計測自動制御学会四国支部学術講演会
- (10) 多田敬佑, 岡宏一, 原田明德, “ハウス内における赤外線カメラを利用したピーマンの検出”, 第62回自動制御連合講演会(2019年)