

ICT 活用農業担い手支援技術開発事業（第 1 報）

－水分センサーによる樹体情報の取得－

明賀 久弥 八塚 直紀 仙波 浩雅*1 重松 幸典*2

Development of assistive ICT technology for agricultural actors (Part 1)
-Acquisition of tree information by water sensor-

MYOGA Hisaya, YATSUZUKA Naoki, SENBA Hiromasa and SHIGEMATSU Yukinori

若手農業者が果樹へのかん水や施肥を行う時期の判定について、支援することを目的に、樹体の水分ストレス状態を可視化するための技術開発を行った。愛媛県の特産柑橘である甘平の圃場で、水分センサーによるデータ収集を行った。甘平は栽培時の果実の裂果が問題となっており、裂果がピークとなる時期の水分センサーのデータ解析を行い、水分ストレスに関する調査を行った。

キーワード：かんきつ、水分センサー、防水・防湿対策、コーティング剤、水分ストレス

はじめに

経験の浅い若手農業者は、柑橘の樹木・葉・果実の状態の観察により、広い範囲の園地のかん水や施肥等の適切な時期・量などを決定することが困難である。

そこで、かん水開始時期や量の意思決定を支援する技術の開発を行うために産業技術研究所が開発した「水分センサー」を利用し、H29年度は、露地栽培で使用できる水分センサーの改良を目的に、懸念される雨水・湿度に対する対策について検討した。H30年度は水分センサーをかんきつ圃場の樹体複数個所に設置し、園地内のかんきつの水分ストレス状態を可視化（マップ化）し、甘平の裂果が多い時期の水分ストレスと裂果の発生について解析を行った。

実験方法

1. 水分センサーの防湿対策

露地栽培圃場での水分センサー防湿対策として、ひずみゲージセンサー部への粘土状コーティング剤（共和電業(株) AK22）の塗布を検討した。比較実験のため、“コーティング剤多量区（約 0.4 g）”、“コーティング剤少量区（約 0.1 g）”、“コーティング剤無区”を設けた。マルチシートを施した同生育環境下の甘平果樹 3 体を選び、それぞれの果樹の枝（直径約 12mm、地上 120cm 位置、枝元付近）に同区の水分センサーを 3 体ずつ並べて取り付けた。

平成 29 年 10 月 25 日にセンサーを装着し、これ以降の各区のセンサー信号の変遷の差異及び同区内のセンサー信号のバラツキを解析し、センサー耐久性等について評価した。

2. 水分センサーの設置

コーティング剤塗布を行った水分センサーの結果を受けて、平成 30 年 8 月 30 日から愛媛県農林水産研究所 果樹研究センター（愛媛県松山市下伊台町）の甘平を栽培している圃場で試験を開始した。圃場の模式図とサンプリングに用いた樹木の位置を図 1 に示す。

(1) 柑橘圃場での測定対象の選定

試験圃場は山の斜面に拓かれており、図 1 のとおり大きく 3 段（高→低順で A 段 B 段 C 段）に分か

* 1 (現) 国立大学法人愛媛大学 * 2 愛媛県農林水産研究所 果樹研究センター

れている。各段は果樹の水管理試験のためにマルチシートによる被覆を行う試験区となっており、A段は通気性マルチシート、B段は防水性マルチシート、C段は露地（被覆なし）となっている。通気性マルチシートは水蒸気のみを通し、液体の水は通さないもので、土壌から蒸発する水蒸気は通すことで土壌の湿度が上がりすぎないように抑える効果がある。

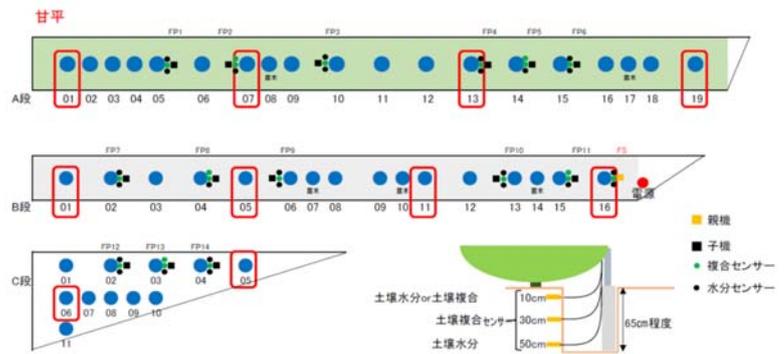


図1 甘平圃場の概略と測定果樹

図1の赤い枠で囲っている果樹に水分センサーを設置してデータを収集した。A段の4本、B段の4本、C段の2本からサンプリングを行った。また、図1にFS、FP1~14で示された小さな四角は、土壌水分・土壌EC（電気伝導度）を計測するために果樹研究センターが設置したセンサーを示す。FSが無線通信の親機で、FP1~FP14が無線通信の子機である。

また、図1にFS、FP1~14で示された小さな四角は、土壌水分・土壌EC（電気伝導度）を計測するために果樹研究センターが設置したセンサーを示す。FSが無線通信の親機で、FP1~FP14が無線通信の子機である。

i) 水分センサーについて

短冊状に切り取ったゴムシートにひずみゲージを接着し、降水の影響を避けるために防水処理を施したセンサーを用いた。幅1cm、長さ10cmに切断したゴムシートに、ひずみゲージを接着して作成した。

ii) データ収集について

50chのデータロガー（株東京測器 TDS-150）を用いて水分センサー×40チャンネル、対照区×1チャンネル、温度センサー×1チャンネル、湿度センサー×1チャンネルのデータ収集を行った。

各果樹に設置した水分センサーは、対象の果樹の枝の水分ストレスを計測するために枝に2カ所、果実の水分ストレスを計測するために水分センサーを2カ所の合計4カ所へ設置した。

枝へのセンサーの設置は、直射日光が当たりにくい枝で太さが12mm程度の枝を選んで設置した。果実への設置は、日当たりが良い果樹の上部と南側と西側の果実を避けて設置した。8月30日から計測を開始し、翌年3月まで計測した。なお、計測間隔は10分ごととした。

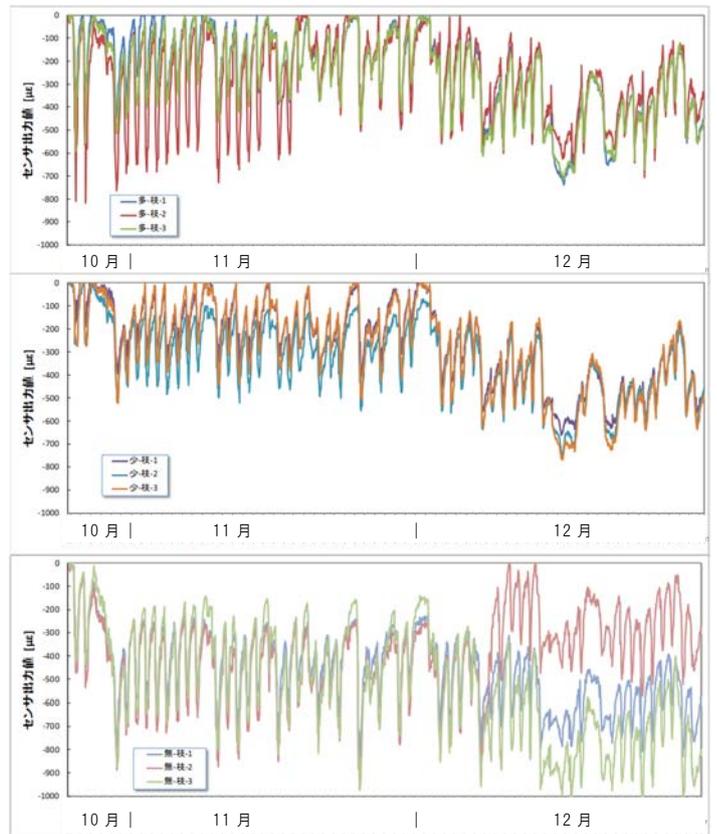
結果と考察

1. 水分センサーデータの解析

センサーのデータ収集は気温の低下とともに果樹の活動が低下する11月頃までのデータを用いた。収集したデータは、対照区となるガラス管に巻き付けた水分センサーの値を差し引いて、ひずみゲージの温度による変動の影響を補正した後に、環境条件と水分ストレスの相関関係と裂果が起こる時期の詳しい条件の解析を行った。

2. 水分センサーの防湿対策

(1) コーティング剤の効果についてコーティング剤塗布の効果は、対照区の水分センサーの出力信号において明らかな差がみられた。枝のセンサー値は多量区、少量区とも無区に比べて相関が高い（図2）。無区は、塗布区と比べ、日中のセンサー出力の低下量が大きく、特に雨天が続くと大きく低下する傾向にある（図2；下図の左端 10月28日-10月30日の挙動）。塗布区



(上：多量区、中：少量区、下：無区)

図2 水分センサーのコーティング剤塗布の効果

は、多量、少量ともほぼ同じ挙動を示す（図2；上図、中図）。

(2) データのバラツキについて

センサー出力値は、いずれの区においても、日中の信号の最低時の値はややバラツクが、比較的安定していることがわかる。コーティング無区では、12月6日以降からデータがばらついている（図2；下図）。当日0℃を下回る気温が記録されたことが一つの原因として考えられる。

(3) センサー耐久性（信頼性）

秋季終盤からのセンサー設置では、センサーは環境因子（日照、温度、湿度）によりゴム部が破壊する危険性は小さい（風や人の手によりリード線を引っ掛けて切断してしまうケースは存在する）。5カ月程度はセンサーとして機能する。

3. 水分ストレスと生育環境での相関

図1で示した甘平圃場に設置して、得られた水分センサーの値と気温・湿度などの測定データの相関係数を求め、影響の多い要素の検証を行った。

(1) 水分センサーの測定値

図3に甘平果樹 B-16（土壌水分センサーも設置）の枝に設置した水分センサーの測定値を示す。多くの日において下向きのピークがあり、これは午後の気温が高く乾燥した時間帯で見られた。このセンサー値の低下は、枝が収縮状態にありゴムのテンションが下がっているためであり、日中は水分ストレスが高い（水分量が低下している）状態にあることがわかる。

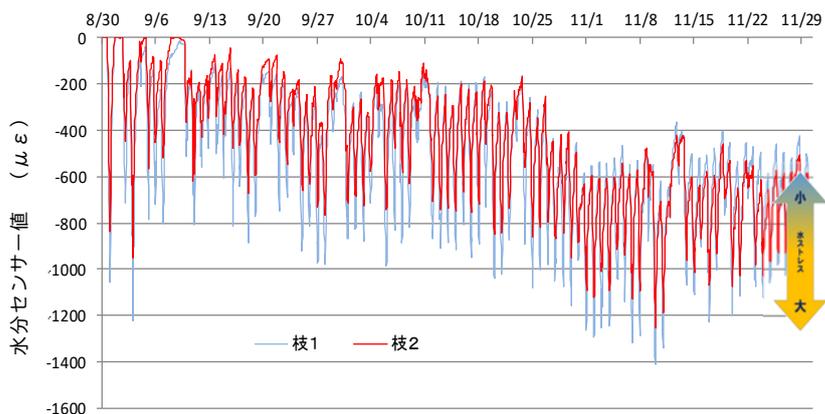


図3 甘平果樹の枝における水分センサー値

(2) 水分ストレスと環境条件の相関性

樹体の水分ストレスに、周囲の環境がどのように関係しているかを調査するため、水分センサー値、気温、湿度、降水量、土壌水分の間で相関係数を求めた。裂果が最も多かった9月のデータを使い、水分ストレスとの関係が高い状態の影響を見やすくするため、各データは日ごとの最大値と最小値に分けて、相関係数を求めた。（表1）

	最大値	最小値	最高気温	最低気温	降水量	最高湿度	最低湿度	土壌10大	土壌10小	土壌30大	土壌30小	土壌50大	土壌50小
センサー最大値(μ ε)		0.624282	0.325474	0.681369	0.252764	0.049299	0.210755	0.080073	-0.0987	0.306297	0.045034	0.225511	-0.26951
センサー最小値(μ ε)	0.624282		-0.2669	0.280149	0.595321	0.221455	0.771837	0.193615	-0.01919	0.398539	0.154151	0.278297	-0.06897
最高気温(°C)	0.325474	-0.2669		0.631673	-0.53481	-0.55021	-0.63902	-0.49511	-0.43433	-0.41189	-0.47637	-0.46305	-0.57262
最低気温(°C)	0.681369	0.280149	0.631673		-0.19785	-0.2091	-0.00463	-0.32195	-0.30741	-0.17899	-0.25394	-0.3345	-0.52165
降水量(mm)	0.252764	0.595321	-0.53481	-0.19785		0.423883	0.613233	0.264496	0.041942	0.480866	0.1837	0.528302	0.17638
最高湿度(%)	0.049299	0.221455	-0.55021	-0.2091	0.423883		0.509027	0.722402	0.568215	0.675578	0.588904	0.674129	0.61916
最低湿度(%)	0.210755	0.771837	-0.63902	-0.00463	0.613233	0.509027		0.32023	0.134993	0.391854	0.251041	0.339414	0.177411
土壌水分10cm最大(%)	0.080073	0.193615	-0.49511	-0.32195	0.264496	0.722402	0.32023		0.889634	0.899671	0.919385	0.909173	0.87774
土壌水分10cm最小(%)	-0.0987	-0.01919	-0.43433	-0.30741	0.041942	0.568215	0.134993	0.889634		0.709469	0.965024	0.714596	0.95753
土壌水分30cm最大(%)	0.306297	0.398539	-0.41189	-0.17899	0.480866	0.675578	0.391854	0.899671	0.709469		0.819267	0.958155	0.698273
土壌水分30cm最小(%)	0.045034	0.154151	-0.47637	-0.25394	0.1837	0.588904	0.251041	0.919385	0.965024	0.819267		0.800767	0.91908
土壌水分50cm最大(%)	0.225511	0.278297	-0.46305	-0.3345	0.528302	0.674129	0.339414	0.909173	0.714596	0.958155	0.800767		0.74199
土壌水分50cm最小(%)	-0.26951	-0.06897	-0.57262	-0.52165	0.17638	0.61916	0.177411	0.87774	0.95753	0.698273	0.91908	0.74199	

表1 甘平果樹の枝における9月の相関係数

乾燥ストレスの高さを示す水分センサーの最小値と最も相関係数が高かったのは最低湿度であった。湿度が下がると植物からの蒸散量が増えるため、乾燥ストレスが高まったものと考えられた。土壌水分量も蒸散に関連するが、土壌水分は圃場へのかん水により人為的なコントロールが施されているため相関係数が低くなっていると考えられた。水分センサー最大値に最も相関が高かった

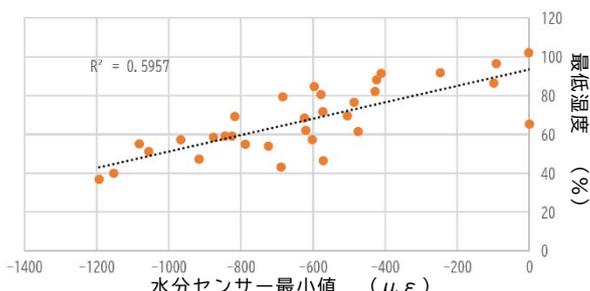


図4 相関散布図(センサー最小値と最低湿度)

のは、最低気温であった。(図4、図5)

10月、11月のいずれの月においても同様の傾向が認められ、全期間を通して最低湿度は水分ストレスに大きく影響することが分かった。

3. 一日周期の水分センサー値の解析

甘平果実の裂果は、9月がピークであったため、9月の水分センサー値についてさらに詳細な解析を行った。日ごとのセンサー値の変動の違いを調べるため、水分ストレスが低下する午前6時にセンサーの値を0に補正し、一日周期の変動幅をグラフ化したものを図6に示す。

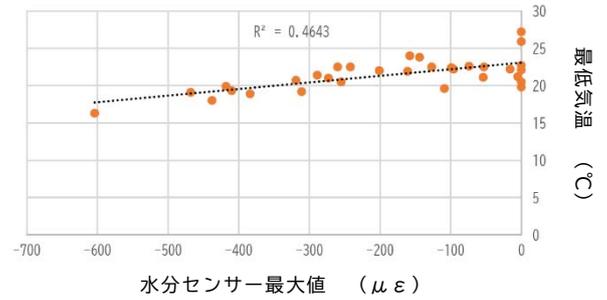


図5 相関散布図(センサー最大値と最低気温)

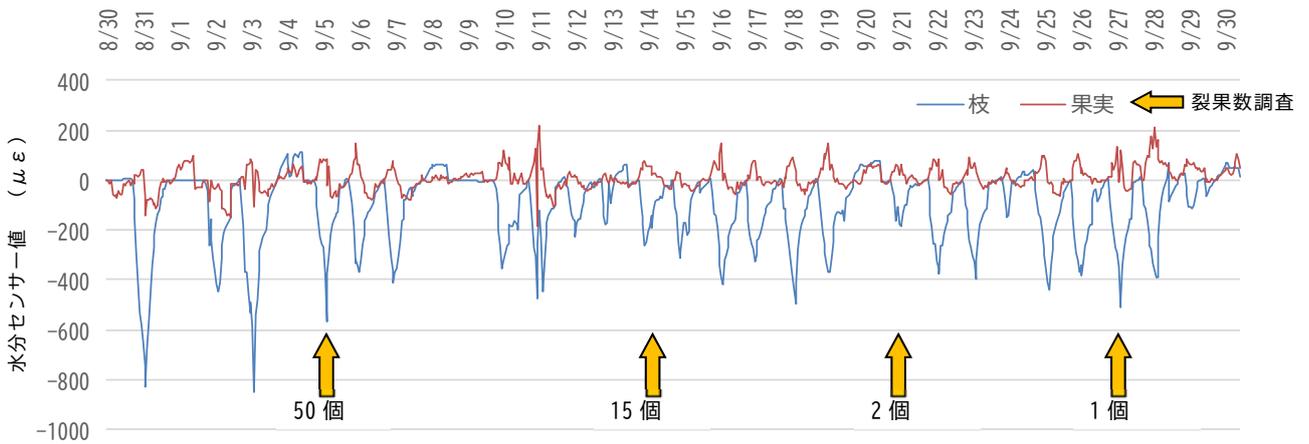


図6 甘平の枝と果実の一日周期でのセンサー値変動と裂果数

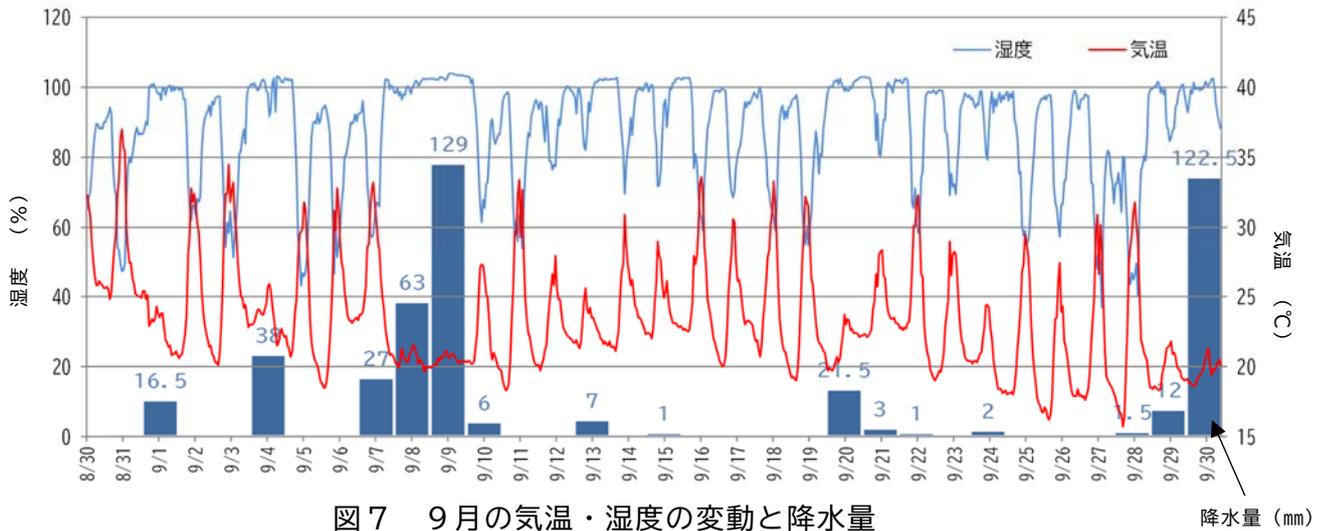


図7 9月の気温・湿度の変動と降水量

図6の枝に設置した水分センサーの測定値は、天候の良い日は午前中から低下しはじめ、午後2時～3時頃に最低値となり、そこから深夜から早朝に最高値となる。しかし、図6に示す9月1日、4日、7～9日などの湿度が高い日や降水のあった日は水分センサーに変化はなく、乾燥ストレスが低下していた。これは、湿度が高く蒸散が行われなかったためと考えられた。

図6の果実に設置した水分センサーの測定値は、天候の良い日は午前中にセンサー値が上昇し、午後2時前後でピークとなり、以降は温度の低下に伴い低下し、夜間にかけては非常にゆっくりと上昇した。果実と枝のピークの方法が正負に逆転した形となる。これは、果実は水分含量が高いため、温度上昇により水の体積が増加すること、吸水により果実が膨張するためと考えられた。

甘平果実の裂果が最も多かったのは、9月5日の裂果数調査(8月30日～9月5日の間)であった(図6)。次の9月14日の裂果数調査では大きく減少しており、その後はさらに減少し終息していっ

た。9月7日からの降水量の多い期間であっても裂果数が増加しなかったため、裂果は果実の吸水による膨張だけではなく、別の要因も関係していることが推測された。

裂果が多かった期間のうち、8月31日、9月2日の果実の水分センサー値は平常時と異なった挙動を示した。本来は気温が上昇する午前から午後3時ごろにかけての果実肥大に伴い、水分センサー値が上昇するが、この期間はほとんど上昇していなかった。一方、その後は水分センサー値が低下していることから、果実が縮小している通常の傾向がみられた。以上の結果から、この期間は果実の吸水や蒸散のバランスが崩れ、果実への乾燥ストレスが大きい状態となっていると考えられる。

また、農林水産研究所の栽培担当者から、甘平はかん水を頻繁に行うことで裂果が抑制されること、激しい乾燥と降水の切り替わりといった乾燥ストレスの変動が裂果に影響することなどの見解を得ており、今回の試験においても、乾燥ストレスが高まった9月2日前後の1日と4日にまとまった降水があったため、乾燥ストレスが大きく変動し裂果に影響した可能性が高い。乾燥ストレスが大きくなる原因として強い乾燥による水分の蒸散増加、高温による植物の活力低下、果実の生育段階の変化などが考えられるが、今後も調査を継続していく。

ま と め

柑橘の甘平の裂果を引き起こすストレスの調査のために水分センサーを設置し、枝と果実の水分ストレスのデータ収集と解析を行った。

1. 水分センサーにコーティング剤を塗布し、防湿対策を施すことによって、露地栽培に適応することが可能となった。
2. 甘平の水分ストレスは周囲の環境条件、特に日中の湿度の低さが大きく影響していることが分かった。
3. 甘平の裂果は、果実を肥大させる吸水量の多さだけではなく、強い乾燥ストレスとその緩和による変動の大きさにも影響されることが示唆された。今回の検討によって、水分センサーを用いることで、果実の乾燥ストレスが強い状態のデータも得ることができた。

謝 辞

甘平試験圃場での実験は、愛媛県農林水産研究所 果樹研究センター 重松幸典主任研究員に協力いただきました。

文 献

- 1) 仙波浩雅, 安西昭裕, 菊地敏夫: 植物の水ストレスセンサの開発 (第一報) - 茎ひずみ評価センサおよび給液制御システムの開発 -, 日本生物環境工学会講演要旨集, 168-169 (2011).
- 2) 安西昭裕, 仙波浩雅, 菊地敏夫: 植物の水ストレスセンサの開発 (第二報) - 茎ひずみ評価センサにより給液制御した促成トマトの収量と品質 -, 日本生物環境工学会講演要旨集, 170-171 (2011).
- 3) 仙波浩雅, 菊地敏夫, 安西昭裕: 植物の水ストレスセンサの開発 (第三報) - 茎ひずみ評価センサの信頼性向上及び果樹への適用可能性 -, 日本生物環境工学会講演要旨集, 36-37 (2012).
- 4) 仙波浩雅, 石本 守, 菊地毅洋: ひずみセンサを用いたカンキツの水ストレス評価及び無線式水ストレス評価装置の開発, 愛媛県産業技術研究所研究報告 No. 53 (2015)