

みかんの品質と気象条件の関連性

2年4組 宇都宮 隼成 2年4組 中井 英里
2年4組 二宮 亜斗 2年4組 彭 靖翔
指導者 合田 泰智

1 研究の背景・目的

近年、みかんの生産地として有名な愛媛県において、果樹類農業者が減少している【図1】。こうした課題の解決に向けて、AIやビッグデータを農業に活用する「スマート農業」が注目を集めている。「スマート農業」では、気温・日射量・降水量・土壌水分量等の気象データを、スマホを使ってリアルタイムに確認し、これまで農家の経験と勘に頼っていた判断を”見える化”することができる。これによって、従来の経験値不足を補うことが可能となり、新規従事者の取得が期待できる。

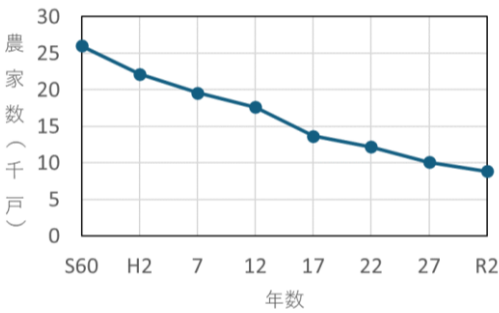


図1 愛媛県の果樹類農家数推移[1]

愛媛県では、トライアングルエヒメ推進事業「デジタル実装加速プロジェクト」の中で、『LPWAネットワークを活用した土壌水分センサーの設置～真穴みかんの品質・収量の高位安定化を目指して～』と題したプロジェクトが進められている[2]。このプロジェクトでは、みかんの生産における水管理(灌水)に着目し、農園に設置した土壌水分センサーで環境データを取得することで、生産者の勘と経験頼りだった灌水タイミングなど、栽培ノウハウの可視化の実現に取り組んでいる。

しかしその一方で、高品質のみかんを生産するためには、得られた気象データを基に、「どうすれば高品質のみかんが生産できるのか」が提示されている必要がある。そこで本研究では、灌水タイミングをはかる上でも重要な気象条件が、みかんの品質にどのように関連するかを明らかにすることを目的とした。

2 研究方法

① 宮川早生の品質データの分析

「愛媛県農林水産研究所果樹研究センターみかん研究所」から、2013年～2023年における各年のみかん(宮川早生)の品質データを提供していただいた。品質データとして糖度・酸度・横径・果重の4つに着目して分析を行った。

② 宮川早生の品質データと気象データの相関分析

(1) 土壌水分量のシミュレーション

(2) 宮川早生の品質データと気象条件の相関

方法①のデータの中で収穫時期にあたる12月1日時点の品質データと、気象条件との相関係数を求めた。気象条件は、気象庁の宇和島市における2013年～2023年の気象データ(降水量・日射量)を用いた。土壌水分量については、先行研究[3][4]に基づいて降水量と土壌条件からシミュレーションを行った。

横径 (cm)	横径 (cm)			
	H25	H26	H27	H28
7/1	2.67	2.74	2.97	3.08
7/11	3.03	3.19	3.52	3.45
7/21	3.51	3.70	3.93	3.82
8/1	3.92	4.15	4.19	4.10
8/11	4.23	4.64	4.47	4.30
8/21	4.41	4.90	4.86	4.60
9/1	4.95	5.30	5.35	4.91
9/11	5.19	5.54	5.64	5.20
9/21	5.38	5.83	5.88	5.60
10/1	5.56	6.01	6.15	5.83
10/11	5.97	6.17	6.24	6.04
10/21	6.19	6.37	6.42	6.25
11/1	6.38	6.55	6.53	6.45
11/11	6.52	6.71	6.74	6.54
11/21	6.56	6.77	6.81	6.68

図2 宮川早生の品質データの一部

3 結果1（宮川早生の品質データ（糖度・酸度・果重・横径）の分析）

図3，図4はそれぞれ横径と果重、糖度と酸度の発育過程を表したものである。まず品質データの各計測時における10年間分の平均を算出した。その後、糖度・酸度・果重・横径のデータは単位や大きさが様々であるため、比較分析するためにデータを正規化（データと最小値の差 ÷ 最大値と最小値の差）している。

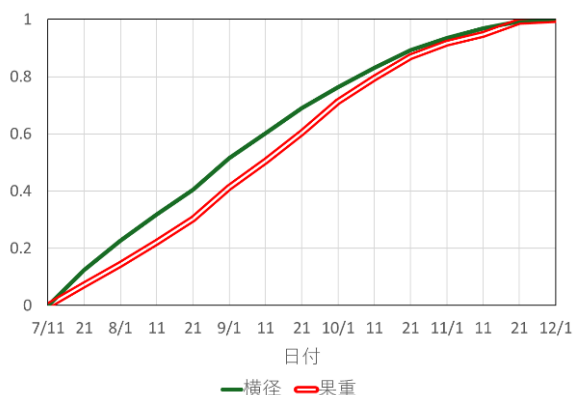


図3 横径・果重の成長過程

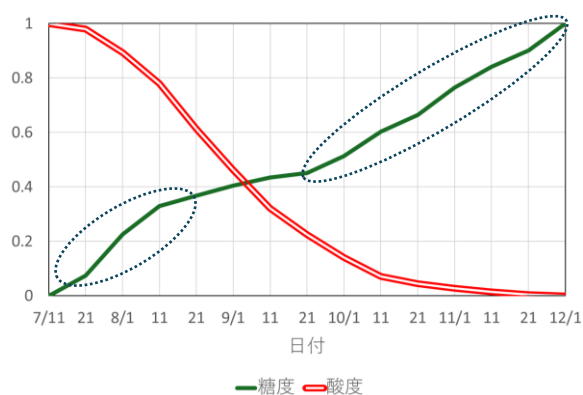


図4 糖度・酸度の成長過程

酸度の値は低下していき、糖度、果重、横径の値は増加していくことがわかった。また、図4の糖度に注目すると糖度値の増加量が大きい区間が2箇所存在することが分かった（図中の○印）。7月下旬から8月上旬は果実の成長に従ったもの、10月以降は酸度・果重・横径の成長が落ち着いた時期であることから、果実の成熟を示すための糖度増加であると考えた。

4 結果2（宮川早生の品質データと気象データの相関）

① 土壌水分量のシミュレーション

降水量をそのまま分析に用いると、土壌の保水力に限界があるため、木が吸収する水分量と降水量に差が生じる可能性がある。例えば、降水が短時間に集中した場合、土壌が吸収しきれずに水分が流出してしまうことが考えられる。そこで、降水量と土壌条件から土壌水分量をシミュレーションすることとした。

θ : 土壌含水率
 r : 1分間の降水量, dz : 土壌の区画の幅,
 j : 土壌の深さ

$$\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_j = -\frac{Q_{j-1} - Q_j}{\rho_w dz} \quad (1 \leq j \leq J)$$

$$Q_0 = r - E_r, Q_j = -\rho_w K_j,$$

$$Q_j = -\rho_w K_{j-1} \left(1 + \frac{\Psi_j - \Psi_{j+1}}{dz}\right) \quad (1 \leq j \leq J-1)$$

$$K_j = K_{SAT} \left(\frac{\theta_j}{\theta_{SAT}}\right)^{2b+3} \quad (1 \leq j \leq J+1),$$

$$\Psi_j = -\frac{10^5}{1 - \frac{10^5}{\Psi_{SAT}} \left(\frac{\theta_j + \theta_c}{\theta_{SAT}}\right)^b} \quad (1 \leq j \leq J)$$

図5 土壌水分量の導出式

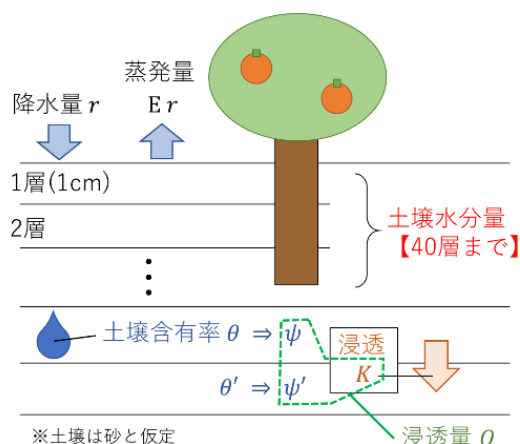


図6 土壌水分量導出のイメージ図

土壌水分量の計算には先行研究 [3],[4] の式【図5】を用いた。まず、気象庁から宇和島の2013/4/1～2023/12/10の1日ごとの降水量の過去データを収集した。次に、土壌に関わる仮定として、土壌は砂、土壌の深さの空間間隔を0.01m、土壌全体の深さを地表から0.50mとした。その他の計算条件は先行研究と同じにした。

シミュレーションはPythonを用いて行った。Euler法で図5の微分方程式を数値的に解き、1分ごとのシミュレーションを行った。みかんの木が根を張る深さが0.40m程度であるため、シミュレーションで求めた土壌含水率の、地表から深さ0.40mまでの値の平均を土壌水分量として採用した。最後に、求めたい期間に応じて土壌水分量の和を求めた。

② 品質データと気象条件の相関

表2は宮川早生の品質データと土壌水分量の相関係数、表3は宮川早生の品質データと日射量の相関係数である。

相関係数の導出の際には、以下の2つの変量を用いた。

変量1・・・土壌水分量の和・日射量の和

変量2・・・収穫時期（12月1日）における品質データ

この2つの変量の年ごとの組を活用して、Excelを用いて相関係数を導出した（図7の作業を表2・表3のすべての値で行った）。分析の際には、0.6以上の値を正の相関、-0.6以下の値を負の相関と判断した。

	2013年	2014年	・・・	2023年
土壌水分量 (7月上旬)	95082	103013	・・・	100214
糖度 (12月1日)	12.7	12.4	・・・	13.3

図7 土壌水分量(7月上旬)と糖度(収穫時)

表2 品質データと土壌水分量の相関

	糖度		酸度		横幅		重さ	
	旬合計	月合計	旬合計	月合計	旬合計	月合計	旬合計	月合計
7月上旬	0.034	0.270	0.041	0.256	0.483	0.168	0.357	-0.099
中旬	0.048		0.351		-0.135		-0.374	
下旬	0.494		0.139		0.027		-0.155	
8月上旬	-0.284	-0.034	-0.067	0.096	0.441	0.126	0.131	-0.147
中旬	0.039		0.331		-0.399		-0.323	
下旬	0.141		-0.132		0.390		-0.061	
9月上旬	0.269	0.191	-0.554	-0.248	0.682	0.354	0.275	0.409
中旬	0.077		0.122		-0.235		0.157	
下旬	0.015		-0.021		0.256		0.452	
10月上旬	-0.504	-0.811	-0.425	0.128	0.810	0.253	0.790	0.439
中旬	-0.479		0.538		-0.027		0.104	
下旬	-0.773		0.201		-0.041		0.193	

表3 品質データと日射量の相関

	糖度		酸度		横幅		重さ	
	旬合計	月合計	旬合計	月合計	旬合計	月合計	旬合計	月合計
7月上旬	-0.229	-0.138	-0.233	-0.296	0.014	-0.109	0.488	-0.032
中旬	-0.180		-0.065		0.064		-0.098	
下旬	0.040		-0.153		-0.271		-0.323	
8月上旬	0.281	-0.009	-0.222	-0.194	-0.165	-0.004	0.179	0.257
中旬	-0.336		-0.222		0.369		0.405	
下旬	0.175		-0.012		-0.321		-0.154	
9月上旬	-0.640	0.136	0.314	-0.106	-0.122	-0.077	0.040	-0.279
中旬	-0.069		-0.234		0.282		0.259	
下旬	0.652		-0.036		-0.335		-0.732	
10月上旬	0.444	0.764	0.294	0.271	-0.865	-0.392	-0.593	-0.631
中旬	0.652		0.156		-0.243		-0.642	
下旬	0.791		-0.036		0.101		-0.353	

表2・表3から以下の結果が得られた。

- 表2「品質データ」と「土壌水分量」の相関について
 - (i) 10月（特に下旬）の「土壌水分量」と「糖度」が負の相関【10月の土壌水分量が大きいと糖度が下がる】
 - (ii) 9・10月の各月の上旬の「土壌水分量」と「果重・横幅」が正の相関【9・10月の土壌水分量が大きいと果重・横幅が大きくなる】
- 表3「品質データ」と「日射量」の相関について
 - (iii) 9月下旬～10月の「日射量」と「糖度」が正の相関【9月下旬～10月の日射量が大きいと糖度が上がる】
 - (iv) 9月下旬～10月の「日射量」と「糖度」が正の相関【9月下旬～10月の日射量が大きいと糖度が上がる】
- 表2と表3を比較して
 - (v) 表2と表3の相関係数は、全体的に大きさがほぼ同じで正負が異なる値

5 考察

結果(i)【10月の土壌水分量が大きいと糖度が下がる】について、3章の宮川早生の成長過程を踏まえた考察を行う。

宮川早生の成長過程によると、10月は糖度の2段階目の増加箇所と一致する(図8の□部分)このことから、10月に土壌水分量が大きくなり、根や茎から運ばれる水分量が増加したとき、その水分によって糖度が薄まってしまい、糖度の2段階目の増加量が少なくなってしまうのではないかと考察した。

また、結果(v)【表2と表3の相関係数は、全体的に大きさがほぼ同じで正負が異なる値】については、今回扱った2つの気象条件(土壌水分量と日射量)との間に強い負の相関があることが予想されるため、それが原因となっていることが考えられる。

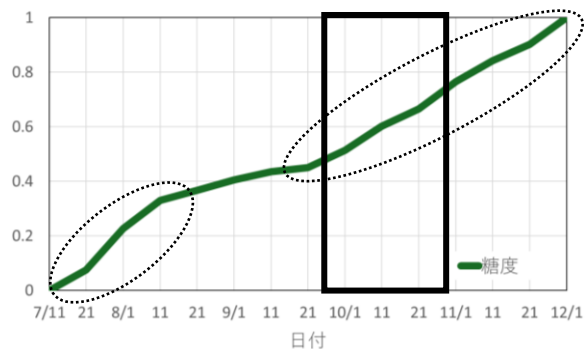


図8 宮川早生の糖度の成長過程

6 まとめと今後の課題

今回の研究を通して、9月～11月の気象条件が、みかんの品質に大きく影響していることが示唆された。特に、10月の気象条件が、品質に大きく影響していることが分かった。今後は、今回研究した気象条件以外の影響について分析を進めていきたい。また、日射量から光合成量を求めることで、さらに信憑性のあるデータ処理を行っていきたい。

7 謝辞

本研究に当たり、愛媛県農林水産研究所果樹研究センターみかん研究所様、愛媛県農政課様をはじめ多くの方々からデータのご提供、アドバイスをいただきました。この場をお借りしてお礼申し上げます。ありがとうございました。

参考文献

- [1] 愛媛県農林水産部(2024)「愛媛県農業の動向」
- [2] TRY ANGLE EHIME (2023)「LPWA ネットワークを活用した土壌水分センサーの設置」
https://dx-ehime.jp/wp-content/uploads/2023/10/11J_R5成果報告.pdf
- [3] 近藤純正 (1993)「表層土壌水分量予測用の簡単な新バケツモデル」
- [4] 近藤純正 (1993)「降雨による表層土壌中の含水率の時間経過」
・栗山隆明 (1988)「ウンシュウミカン果実の品質改善に関する研究」