

家族経営農家支援を目的とした西洋ナシ圃場におけるセンサネットワーク構築と収穫時期推定に関する研究（継続）

代表研究者 山崎 達也 新潟大学 大学院自然科学研究科 教授

1 概要

情報通信技術（Information and Communications Technology; ICT）は日常生活や経済活動に不可欠な社会基盤となった。このような ICT との融合が進んでいる産業の一つとして農業が挙げられる。企業形経営であれば、ある程度の大きな規模で農業ができ、リスク分散もできるため、積極的に ICT 導入を試みることができる。しかし家庭経営形農家では ICT 導入のコストも障壁となり、未だに従事者の勘と経験に頼らざるを得ない現状である。このような背景の下、平成 26 年度より ICT を用いた家庭経営形農家への支援を目的として、農家の協力を得て実際の農業の現場にセンサ技術を導入するための研究を行っている。対象とする農作物は「ル レクチエ」という西洋ナシであり、研究代表者の地元の新潟県の特産品である。「ル レクチエ」の果実の品質の安定化に貢献し、地場産業の活性化による地方創成を促進するという大きな意義がある。

リンゴ、ブドウ、モモ、西洋ナシ等の生育には果実袋が用いられる。平成 26 年度は小形のセンサを用いて「ル レクチエ」の果実袋内の生育時の温度や湿度変化を測定することで、果実袋の特性の違いを明らかにした。用いた果実袋は 3 種類であり、130 日間に渡る連続計測によりデータを収集し、それらを統計分析することにより、果実袋内の環境や異なる果実袋の特性差を数値化し、農家に新たな知見を提供することに貢献した。

平成 27 年度は上記の手法を拡張し、外部環境データの収集を行うセンサも新たに設置することにより、西洋ナシの生育環境を説明するデータ量を増やす。さらに「ル レクチエ」は贈答品等に用いられることが多く、外観の品質が重要視されている。そのため、生育環境に関する収集データと外観品質の関係性をモデル化し、よい状態での収穫の判定時期推定に資する。

2 背景及び研究の目的

21 世紀に入り次第に ICT は日常生活や経済活動に不可欠な社会基盤となった。技術の成長が続いているときは、より新しいもの、より高性能なものの研究開発にリソースが投じられてきていたが、現在の ICT は新しい技術を産み出すフェーズから、社会に浸透させるフェーズに遷移してきているように思われる[1]。すなわち、ICT は社会の様々な経済活動において利用されることにより、あらゆる産業を抜本的に変革するポテンシャルを有している汎用技術（General Purpose Technology）として位置づけられてきている。

近年このような ICT との融合が進んでいる産業の一つとして農業が挙げられる[2]。その理由の一つは、センサネットワークやクラウドコンピューティングが、テクニカルな側面及びコスト的な側面から農業の現場に導入しやすくなったことがある。さらに、別の理由として農業におけるビジネスモデルの変化が挙げられる。いくら ICT が導入しやすくなったとしても、従来の家族経営形の農家では、多少なりともリスクがある新技術を自分の農地に試すということは現実的に困難である。企業であればある程度の大きな規模で農業ができ、リスク分散もできる。そして実際に企業が農業に参入しやすくなり、それによって農業のビジネスモデルが変わる中で ICT の導入も積極的に行われてきていると考えられる。

翻って考えてみると、上記のような農業 ICT は企業形農家では容易にかつ積極的に用いられ得るが、世帯レベルで農業を営む家庭経営形農家では ICT 導入の障壁は高く、従来の経験と勘に基づく農作業に頼らざるを得ないのが現状である。家庭経営形農家が全く ICT に触れていないわけではなく、自宅ではパソコンを使った情報交換や情報検索は行われてきている。また、スマートフォンやタブレット PC を用いた農業記録管理も実証実験レベルで行われている。

本研究では、導入コストがかなり抑えられるようになってきたセンサ技術を用いて、農業環境データを逐次収集及び蓄積し、これまで農家の持っていた経験と勘に基づいたノウハウを可視化することを目的とする。農業と一言でいっても対象となる農産物は多種多様であり、農産物により収集すべき情報や収集方法が異なる。前章で述べたように、本研究では新潟県の特産品の一つである「ル レクチエ」に焦点をあてることと

し、その果実袋の特性や生育環境と収穫時の果実品質との関連を ICT により分析する。これまで、生育中の果実袋内の温度や湿度についての測定はほとんどされておらず、果実袋の効果は収穫後の果実を調査によらざるを得なかった[3]-[5]。本研究では、果実袋内の生育時の温度や湿度変化、並びに西洋ナシ圃場の温度及び湿度を測定し、これらの計測データと果実品質との関連性をモデル化することを目的とする。

3 西洋ナシ生育環境のセンシングデータ収集

新潟県三条市の「ル レクチェ」生産農家の協力を得て、同市にある二つの圃場で西洋ナシ生育環境のデータ収集を行った。二つの圃場は直線距離にして 100m 程度離れて位置しており、土壌の性質に差異があり、一方は約 54m × 78m で、もう一方は約 29m × 72m の広さを有する。2015 年 6 月 7 日に各センサの設置及び袋掛けを行い、同年 10 月 16 日に各センサの回収及び果実の回収を行った。各センサの計測期間は 2015 年 6 月 8 日 1:00 から同年 10 月 15 日 24:00 である。

果実袋はおおよそ 135mm × 195mm の大きさであり、袋中に設置しても果実の成長を妨げず、温度及び湿度を測定できるセンサとして、図 1 に示す温湿度センサを用いた。平成 26 年度購入した同型のセンサのうち正常に動作する 18 個に加え、新たに 10 個のセンサを購入し、計 28 個のセンサを果実袋内に設置した。図 1 中の黄色で示されているのは固定用のビニルテープで、センサはテープで巻かれた部分でその大きさは一円玉の大きさに満たないことがわかる。センサを設置する果樹は 2 本に限定し、果実のできている枝の箇所を念入りに選定することで、果実生育の違いを明確にするように測定を行った。



図 1 果実袋内温湿度センサ

計測に用いた果実袋は、S 社製の 3 種類及び K 社製の 1 種類の合計 4 種類である。全ての袋は外紙が半透明色、内紙が黄色のパラフィン紙の二重袋となっている。それぞれの果実袋の寸法等を表 1 に示す。

表 1 各果実袋の寸法等

	寸法	備考
果実袋 A	155mm × 195mm	S 社製幅広品
果実袋 B	144mm × 195mm	S 社製一般販売品
果実袋 C	144mm × 195mm	S 社製厚口品
果実袋 D	144mm × 195mm	K 社製

さらに、西洋ナシ圃場の屋外環境データとして、雨量、気温、湿度の測定を行った。図 2 及び図 3 に圃場に設置したセンサを示す。図 2 における白い方形状の装置が雨量測定ますであり、ここに入ってくる雨の量が計測される。また、図 3 における中央の黒い筒状の装置が温度及び湿度センサ部である。雨量、気温、湿度の測定は 1 時間毎に行い、データは圃場に設置したロガーに記録し、定期的にデータ収集を行った。

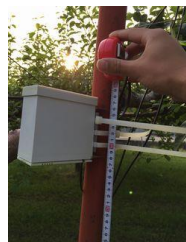


図 2 圃場用屋外雨量センサ



図 3 圃場用屋外温度及び湿度センサ

4 測定データ

西洋ナシが成長していく段階において、生理的な障害や風雨等による落果が避けられない。その結果、果実袋内に設置した 28 個のセンサの中で、収穫までの計測期間のデータが取得できたものは 15 個であった。一日単位の測定において各袋内の温度及び湿度の最高値と最低値を抽出し、1 か月を上旬、中旬、下旬と分けた上で各旬別に平均値を算出した結果を図 4 から図 7 に示す。図 4 及び図 5 は袋内温度の最高値と最低値の変化、図 6 及び図 7 は袋内湿度の最高値と最低値の変化である。横軸は各月の月上旬、中旬、下旬を示し、縦軸が温度若しくは湿度を表し、15 個の袋別の推移を示している。

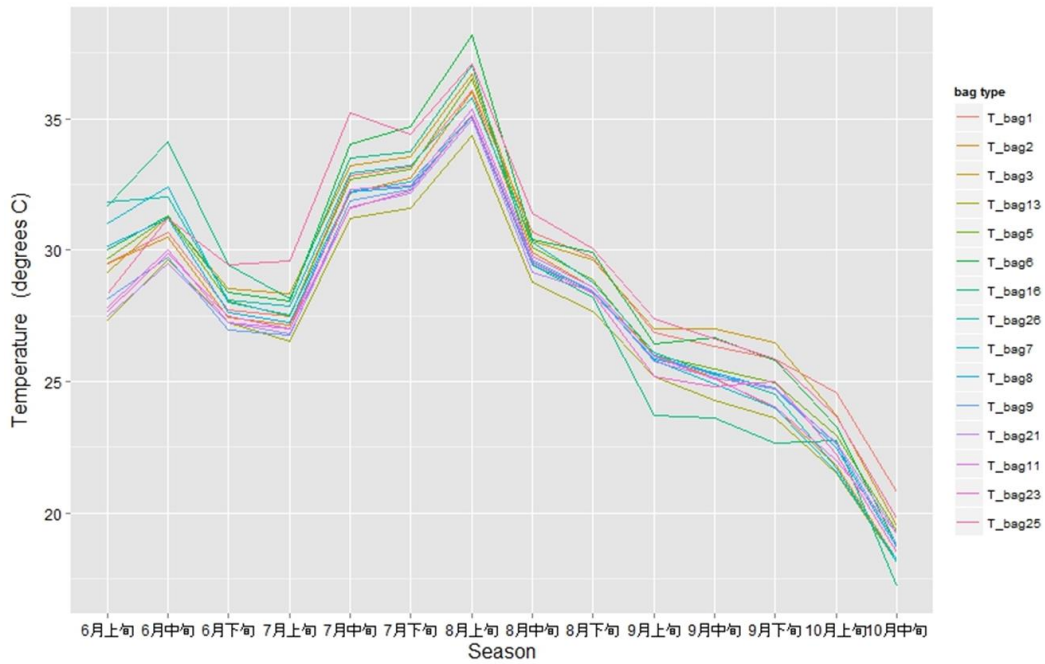


図 4 果実袋内の温度の最高値の変化

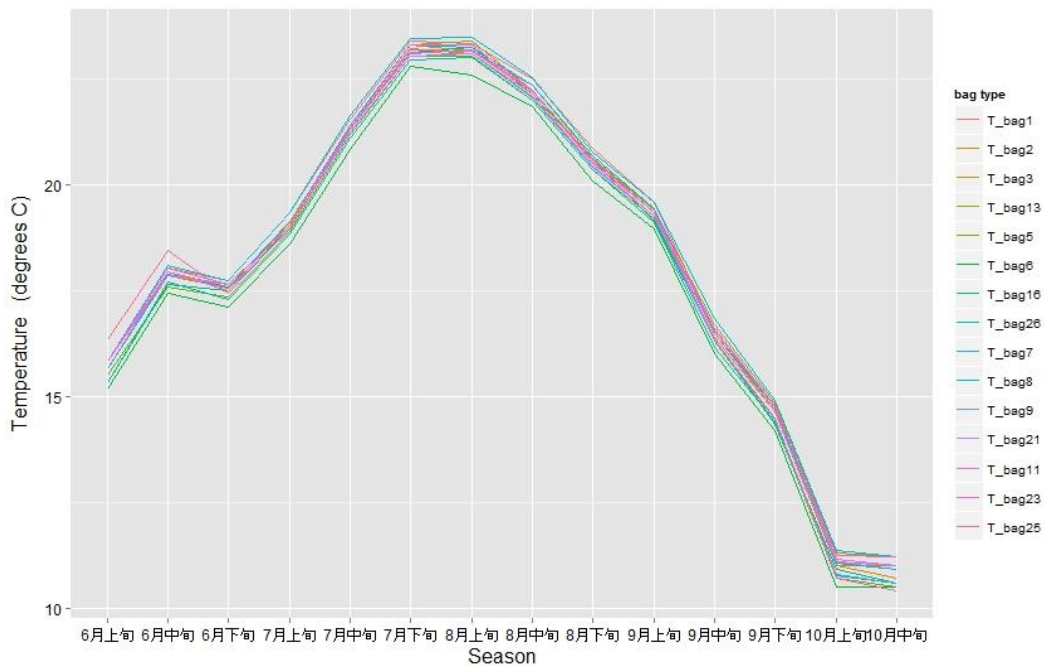


図 5 果実袋内の温度の最低値の変化

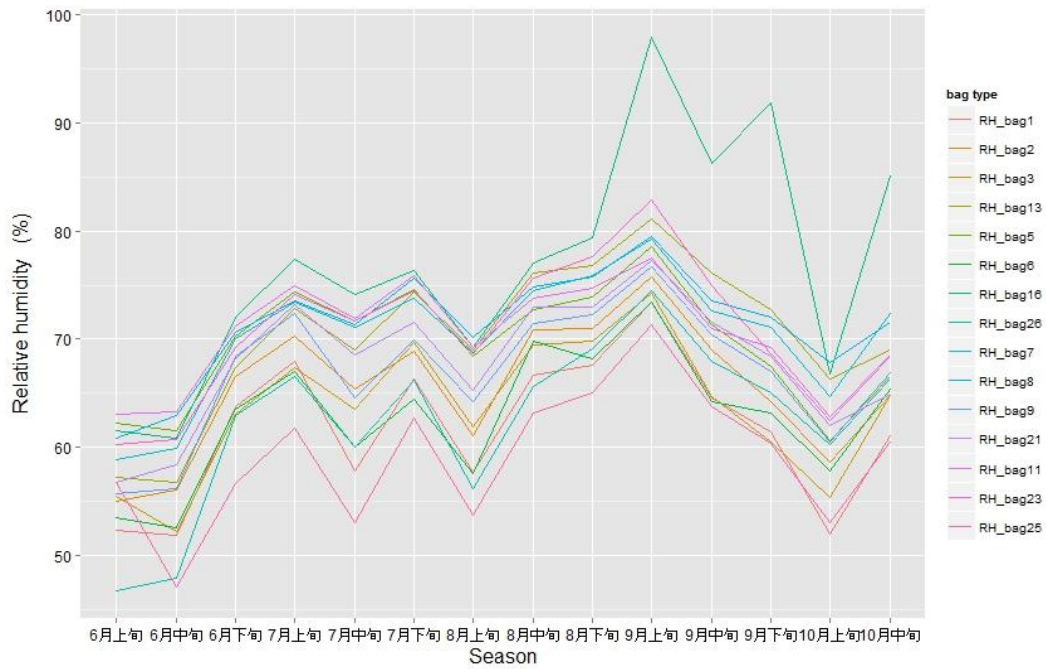


図 6 果実袋内の湿度の最高値の変化

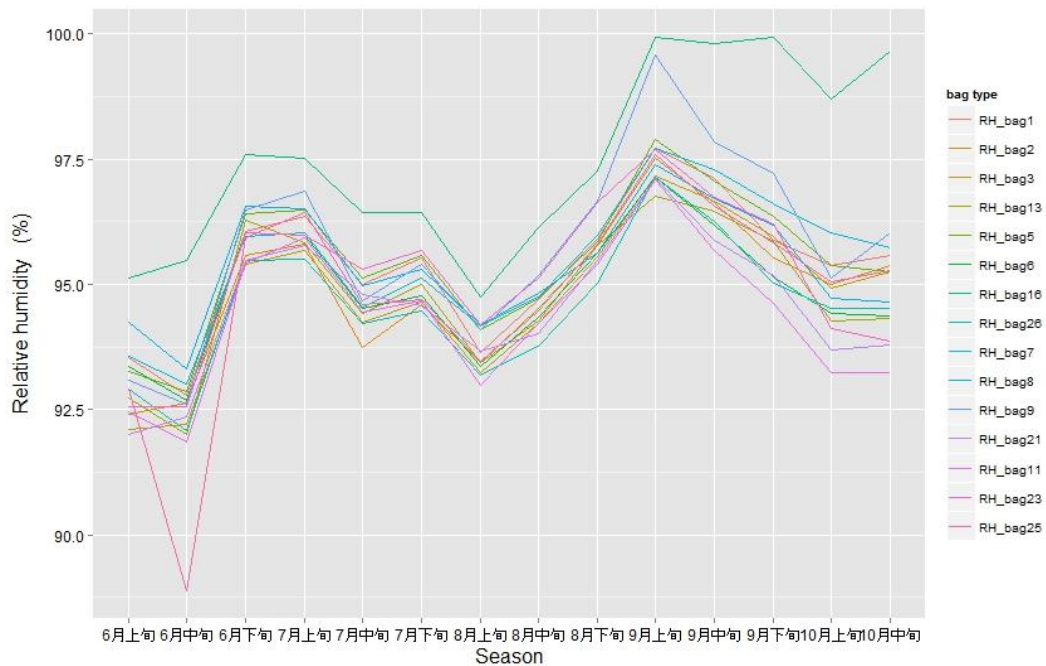


図 7 果実袋内の湿度の最低値の変化

これらの測定結果より、果実袋内環境においては温度変化より湿度変化に対して袋の特性によりばらつきが生じることが分かる。さらに、温度変化の中でも最低温度の変化は袋の特性にはほとんど依存していないことが分かる。湿度変化に関しては8月より徐々に値が大きくなり、収穫時期に近い9月、10月に下がり始めるため、一つの収穫時期の目安になると考えられる。

図3に示すセンサで収集された、西洋ナシ圃場自体の温度の統計量を表2に、湿度の統計量を表3に示す。

表2 西洋ナシ圃場の温度統計量

全計測期間	6月	7月	8月	9月	10月	
平均値	22.82	22.59	25.58	26.04	20.46	15.51
分散	33.93	23.39	25.60	23.23	16.55	22.53
標準偏差	5.83	4.84	5.06	4.82	4.07	4.75
中央値	22.60	21.30	24.65	24.70	20.20	15.00
最大値	39.40	35.30	38.50	39.40	33.10	26.90
最小値	6.10	13.30	15.60	17.70	10.60	6.10

表3 西洋ナシ圃場の湿度統計量

全計測期間	6月	7月	8月	9月	10月	
平均値	82.95	80.11	84.20	82.40	85.67	80.41
分散	265.10	359.24	278.00	229.27	196.87	270.08
標準偏差	16.28	18.95	16.67	15.14	14.03	16.43
中央値	90.00	87.15	91.60	89.10	91.95	87.90
最大値	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	99.10
最小値	29.40	38.30	29.40	44.50	39.60	39.80

5 西洋ナシの生育環境と果実の外観品質との関連性

西洋ナシの生育環境と西洋ナシ果実の外観品質の直接の関係性の有無を立証するのは非常に困難であり、そのモデル化はこれまで確立されてきていない。そこで、本研究では共分散構造分析（SEM：Structural Equation Modeling）を導入し、果実袋内環境の観測データと果実外観の観測結果の間の関係性をモデル化する。外観品質に関しては、新潟県農業総合研究所園芸研究センターからの知見を得て、湿害関連の症状である「斑点状汚損」と「面状汚損」の発生数、及び生理障害に起因する「ブラックエンド」と「ハードエンド」の発生の有無を記録し評価した。また、SEMを用いる利点は、複数の観測データを変数として一つの潜在変数にまとめることができ、観測データ間の複雑な関係を理解しやすい形でモデル化できる点である。ここで、潜在変数とは直接観測できない構成概念を表現するために導入する変数で、一方、実際に観測することで得られるデータは観測変数と位置づけられる。

前章で記述した測定データを用いて、さらに温度と湿度の一日の最高値及び日最低値に対し、(a)全計測期間、(b)梅雨季（～7月25日）、(c)夏季（7月26日～8月31日）、(d)秋季（9月1日～）の4期間における各平均を算出し、各期間に対する関係性のモデル構築を行った結果を図8に示す。ここで、各外観不良症状の発生原因仮説に則して二つの因子（湿害汚損発生要因、生理障害発生要因）を導入した。モデル適合度は適合度指標（GFI）=0.895、修正適合度指標（AGFI）=0.656、比較適合度指標（CFI）=1.000、平均二乗誤差平方根（RMSEA）=0.000であった。図8より、平均最低湿度から湿害汚損発生要因へのパス係数が高く、そこから特に面状汚損へのパス係数が高いことが分かる。したがって、果実袋内の最低湿度上昇の面状汚損発生への影響が大きいと解釈できる。一方、生理障害発生要因に関しては、二種類の外観不良症状へのパス係数がともに高い値を示しており、これらの症状の発生に共通して影響する因子であるということが分かる。次に、(b)～(d)の3期間におけるモデルを比較する。パス係数に着目すると、平均最低湿度から湿害汚損発生要因へのパス係数が、計測期間の後期になるほど値が高くなっている。これより、果実の生育が進むにつれ最低湿度上昇による湿害汚損発生のリスクが高まると考えられる。また、SEMによるモデル間の適合度を比較する指標として赤池情報量基準（AIC：Akaike's Information Criterion）があり、この値が小さいほど良いモデルであると判断される。各モデルのAICは、AICb=57.270、AICc=56.712、AICd=55.287であり、計測期間の後期におけるモデルほど適合度が良いことが分かる。したがって、果実の生育が進むにつれ、果実袋内の温湿度から外観汚損発生要因への影響をより正確に予測できるといえる。

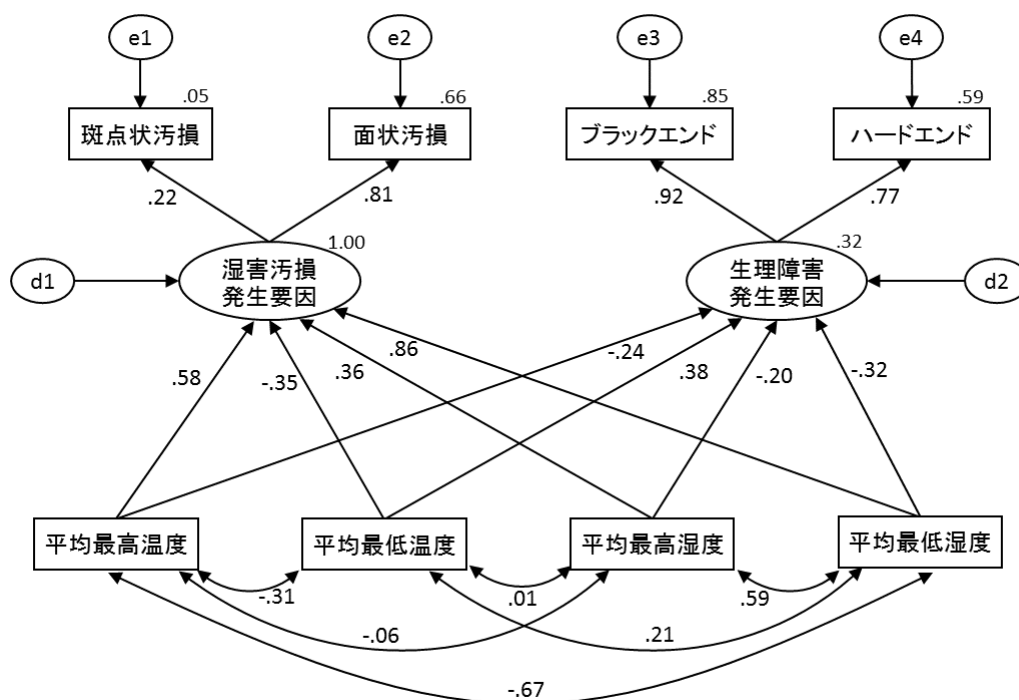


図 8 共分散構造分析による西洋ナシ生育環境と果実外観品質との関連性モデル

6 まとめ

本研究では、実際の圃場において西洋ナシの生育環境を測定し分析を行うことで、果実袋被覆による温湿度環境の変化を明確に示し、さらに果実袋内環境と外観品質の因果関係のモデルを構築した。測定にあたっては、果実袋製造メーカーの協力を得て特性の異なる複数の果実袋を用い、種類ごとにデータを分析することで果実袋の種類の違いによる西洋ナシ生育環境の差異を明らかにすることができた。各種果実袋内温湿度と圃場温湿度の比較から、袋内の温湿度変化は袋外に比べ小さい傾向にあることが示され、特に最低湿度に関しては袋内と袋外で大きな違いがあった。また、果実袋種間の比較から、温湿度のばらつきは均一ではなく果実袋種ごとにある程度の特性があり、湿度分布に関しては果実袋種間に有意な差があることが示された。この結果、農業関係者は袋内湿度を意識して果実袋を選択することができるようになると思われる。さらに収穫間際の果実袋内の温湿度データの変化より、収穫時期の推定にもつながるものと考えられる。

果実袋内温湿度の計測データと外観品質の評価データを組み合わせ、共分散構造分析により因果関係モデルを構築し、その結果果実袋内温湿度の外観品質への影響力の可視化を行った。各外観汚損発生要因に対する温湿度条件による影響のうち、平均最低湿度の湿害汚損への特に強い影響力が示され、季節の変動によりこれらの影響力に変化があることが示された。

今後の課題として、分析のための標本数をさらに増やすために継続して環境センシング実験を行い、より精度の高い因果関係モデルを構築することが挙げられる。

【参考文献】

- [1] 森川博之, “ストーリーとしての研究開発,” 信学誌, vol.96, no.8, 巻頭言, Aug. 2013.
- [2] 川辺眞一, スマート農業－農業・農村のイノベーションとサステナビリティ, 農業情報学会, 農業統計出版株式会社, 東京, Sept. 2014.

- [3] C. Amaranteab, N.H. Banksac and S. Max, “Effect of Preharvest Bagging on Fruit Quality and Postharvest Physiology of Pears (*Pyrus Communis*)”, *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, Vol. 30, No. 2, pp. 99–107, 2002.
- [4] S.J. Qin, F.D. Li, D.G. Lv and W.S. Gao, “Effect of Preharvest Bagging on Fruit Epidermis Epiphyte Community Structure of ‘Red Fuji’ Apple”, *Middle-East Journal of Scientific Research*, Vol. 12, No. 9, pp. 1276–1281, 2012.
- [5] T. Liu, S. Song, Y. Yuan, D. Wu, M. Chen, Q. Sun, B. Zhang, C. Xu and K. Chen, “Improved Peach Peel Color Development by Fruit Bagging. Enhanced Expression of Anthocyanin Biosynthetic and Regulatory genes Using White Non-woven Polypropylene as Replacement for Yellow Paper”, *Scientia Horticulturae*, Vol. 184, pp. 142–148, 2015.

〈発 表 資 料〉

題 名	掲載誌・学会名等	発表年月
洋ナシ環境センシングデータと外観汚損要因の因果関係モデル構築	電子情報通信学会総合大会	2016年3月
画像処理による洋ナシの等級判別の基礎検討	電子情報通信学会総合大会	2016年3月
共分散構造分析による洋ナシの生育環境と外観品質の因果関係モデル構築の検討	電子情報通信学会信越支部学生ブランチ学生研究発表交流会	2015年12月
画像処理による洋ナシの外観品質劣化要因の検出に関する基礎検討	電子情報通信学会信越支部学生ブランチ学生研究発表交流会	2015年12月
画像処理による洋ナシ果面外観の汚損検出	農業情報学会	2015年11月
洋ナシの生育環境と外観品質の因果関係モデルの一検討	農業情報学会	2015年11月
環境センシングデータと洋ナシ果面品質の関係性モデリング	電子情報通信学会信越支部大会	2015年10月
Temperature and Humidity Measurement inside Pear (<i>Pyrus Communis</i>) Bags during Preharvest Bagging	The 34th Chinese Control Conference and SICE Annual Conference 2015 (CCC&SICE2015)	2015年7月
洋ナシ果面における品質劣化要因の検出に関する基礎検討	農業情報学会	2015年5月