Vol.2021-CLE-34 No.3
2021/5/28

圃場環境ダイジェストシステムの開発とその評価

志賀 寛羽[1,a)]　谷口 雄太[2,b)]　峰松 翼[2,c)]　大久保 文哉[2,d)]　島田 敬士[2,e)]　谷口 倫一郎[2,f)]

概要：就農者の高齢化や担い手不足などの問題が深刻化し，スマート農業に注目が集まっている．それに伴い，新規就農者を育成する農業大学校や農業高校においても，スマート農業を学ぶ機会を充実させることが重要だとされている．農業教育では，圃場に設置されたセンサから得られた気温や湿度などを通して環境情報などを管理するためのシステムも利用される．しかし，授業時間という限られた時間では，授業時間外に生じた圃場の変化を見つけ出すのに掛かる時間や見落としの問題があり，農業教育での圃場センシング情報の有効活用が困難であった．そこで本研究では，圃場環境ダイジェストシステムを提案することで，学習者にとっての圃場センシング情報の注目すべき時間帯やイベントなどを抽出し，提示することで，学習者がその期間を見つけ出す負担を軽減する．本稿では開発したシステムの内容と，ダイジェスト評価実験の結果について述べる．

1. はじめに

農業教育では，一般の座学教育で用いられるような e-Learning システムなどの学習支援システムの利用に加えて，圃場センシング情報を通して環境情報などを管理するための圃場管理システムも利用される．圃場センシング情報とは，圃場の気温や湿度など，圃場から得られた圃場センシング情報をデータベース化したものである．農業教育の現場の学習者にとって，圃場は毎日管理するものではなく，授業時間での管理が主になる．圃場センシング情報を用いることで，授業時間外の圃場の状況や変化を把握することでき，授業時間外に農作物が受けた影響を振り返ることが可能になる．急激な温度変化や湿度変化は農作物の品質低下を招くため，圃場の変化を把握することで，農作物の状態の変化を捉えることができると考えられる．

単純な圃場センシング情報の可視化では図 1 のように，気温などの時系列データの時間変化が単純なグラフとして表されていることが多い．しかし，授業時間という限られた時間の中での管理が主である農業教育の現場において，このように可視化するだけでは授業時間外に生じた圃場の変化を見つけ出すのに時間が掛かる．また，従来はセンシング情報の適切な取捨選択が行われていないため，情報量

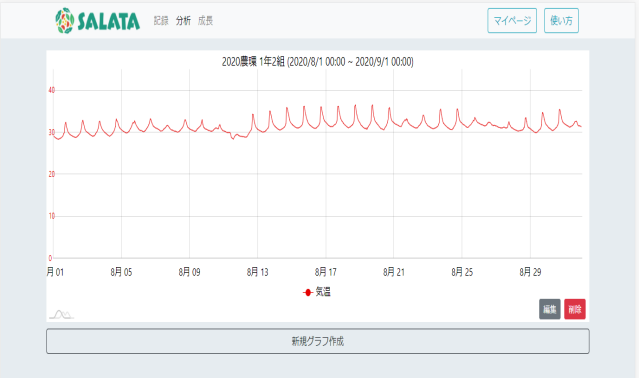

図 1　圃場センシング情報可視化システム SALATA[1] による可視化の例．従来のシステムでは，日時と気温などを時系列データにしたグラフが提供されている．

が多くなり見落としが発生する．そのため，農業教育に圃場センシング情報が有効活用されないという問題がある．

この問題に対し，現在まで，圃場センシング情報の可視化として，NTT 東日本の e センシング For アグリ[*1]，DJI の P4Multispectral[*2]，赤山らの SALATA[1] のように，グラフや図や写真を用いた可視化が提案されてきた．しかし，学習者はグラフや図や写真から圃場の変化や状況を読み取るための知識や時間が必要であり十分に支援できているとは言えない．現在，この負担を軽減するために，圃場センシング情報から圃場の変化を見つけ出す支援を行うシステムは我々の知る限り存在しない．

そこで，本研究では，圃場環境ダイジェストシステムを提案し，学習者にとっての圃場センシング情報の解釈を容

1　九州大学 大学院システム情報科学府 情報理工学専攻 修士課程
2　九州大学 大学院システム情報科学研究院
a)　shiga@limu.ait.kyushu-u.ac.jp
b)　taniguchi.yuta.941@m.kyushu-u.ac.jp
c)　minematsu@limu.ait.kyushu-u.ac.jp
d)　fokubo@ait.kyushu-u.ac.jp
e)　atsushi@ait.kyushu-u.ac.jp
f)　rin@ait.kyushu-u.ac.jp

*1　https://business.ntt-east.co.jp/service/sensing_agri/
*2　https://www.dji.com/jp/p4-multispectral/

ⓒ 2021 Information Processing Society of Japan

易にすることを目指す．圃場センシング情報から一日のデータを要約し，学習者が時系列データから概要を読み取る労力を削減する．また，圃場センシング情報から圃場の変化を表す期間を抽出し，提示することで，学習者がそのような期間を見つけ出す労力を削減する．変化を表す期間を抽出する際には，時系列データの異常検知の手法である ChangeFinder [2] を用いた．ChangeFinder とは，リアルタイムな変化検知のために，オンラインで変化スコアを与える手法である [3].

また，農業教育における学習支援システム上への圃場環境ダイジェストシステムの実装では，複数の学習ツールを利用する農業教育の学習環境を想定し，現在利用されている学習ツールと統合した新しい学習環境として提供する．従来の学習環境よりもツール間の切り替え時間や労力の削減，ツール同士の物理的な距離を短くすることで，学習効率の向上を図る．

2. 関連研究

圃場センシング情報の可視化として，現在までに NTT 東日本の e センシング For アグリ，DJI の P4Multispectral，赤山らの SALATA のように，グラフや図や写真を用いた可視化が提案されてきた．農業従事者は圃場センシング情報を用いることで，圃場に行かずとも，インターネットを通じて圃場の状況を把握できるので，放棄地の減少や就業者の需要の減少に繋がると考えられている．

圃場センシング情報可視化システムにおける，代表的な可視化手法としてはグラフや図や写真を用いたものが多い．それらの場合，利用者はグラフなどから圃場の変化や状況を読み取るための知識や時間が必要である．これは，長年農業に携わっている農家のような知識がある者が圃場の変化や状況を読み取る際には有用なものとなるが，農業教育の現場にいる学習者のような知識が乏しい者がグラフや図や写真から圃場の変化や状況を読み取る際には多くの時間や労力が必要になってしまう．しかし，現在，この負担を軽減するための支援を行うシステムは我々が知る限り存在しない．そこで本研究では，学習者が圃場の変化や状況を読み取る際の時間や労力を削減することを目指す．

圃場センシング情報である気温や湿度などの時系列データを分析することで，圃場の状況や変化を把握でき，農作物が受けた影響や農作業計画を振り返ることが可能になる．異常な温度や湿度，また急激な温度変化や湿度変化は農作物の品質低下を招く恐れがあることから，本研究では，時系列データ分析する手法として，時系列データの変化検知に着目した．

変化検知の手法としては ChangeFinder [2] を挙げることができる．ChangeFinder とは，リアルタイムな変化検知のために，オンラインで変化スコアを与える手法である [3]．本研究では，この ChangeFinder を用いて，圃場センシング情報の時系列データの変化を検知することで，圃場の変化があった期間を抽出しダイジェストとして提供する．

3. 圃場センシング情報可視化システム

提案する圃場環境ダイジェストシステムは，従来システムのように時系列データを可視化するだけでなく，圃場センシング情報から圃場の変化を表す部分のダイジェストを作成し提示することで，圃場センシング情報の解釈の補助を行い，利用者が圃場の変化の把握を容易にすることを目指す．また，作成したダイジェストへのフィードバックを学習者から得られるような仕組みも用意する．これにより，そのダイジェストの重要性を計って将来のダイジェスト作成の参考にしたり，学習者同士でフィードバックを共有したりすることができるようになる．

この提案システムでは，SALATA-API から得られたデータを利用している．SALATA-API とは，SALATA が運営するサービスで，みどりクラウドと呼ばれる圃場センサから得られる圃場センシング情報を集約し提供している．また，この提案システムは Python の Web フレームワークである Flask[*3]を用いて作成している．

3.1 圃場センシング情報のグラフによる可視化

グラフによる可視化では，日付と日数をユーザが指定し，それによって圃場センシング情報を表示する期間を決定する (図 2)．左の日付を指定する部分では，指定した期間の前後の期間に変更することができる．また，右の日付や日数を指定する部分では，カレンダーを用いて指定したい日付を選択できる．期間は指定された日付を起点に指定した日数の分だけ過去の圃場センシング情報を可視化する．可視化方法としては，時系列データをグラフを用いて可視化する．

また，グラフはチャートライブラリ amCharts[*4]を利用した．ユーザがグラフをより詳細に見ることを想定して作成しており，グラフの拡大縮小・カテゴリの変更を容易に行うことができる．

3.2 圃場センシング情報の要約と可視化

圃場センシング情報の要約では，指定した期間の圃場センシング情報から 1 日単位で圃場センシング情報の最大値・最小値・平均値を算出し表にまとめて表示する (図 3)．グラフを用いて可視化した圃場センシング情報よりも簡単にまとめられているので，より簡単に過去の圃場センシング情報を振り返ることができると考えられる．また，要約された表の要素をクリックすることで，グラフの該当部分を表示する機能を備えているので，要約された情報から詳細な圃場センシング情報を参照することもできる．表の要

*3 http://flask.pocoo.org/
*4 https://www.amcharts.com/

図 2 提案システムによる圃場センシング情報の可視化．画面左上では，日付を変更することができる．画面右上では，日付をカレンダーで指定できる．また表示させたい期間を指定できる．画面中央では，従来手法同様に時系列データをグラフを用いて可視化している．

日付	12/18(金)	12/19(土)	12/20(日)
気温 (°C)	10.8 -0.1 6.9	9.5 0.4 6.8	9.2 0.9 5.9
湿度 (%)	82.0 51.0 66.1	74.0 42.0 58.1	75.0 51.0 59.6
飽差 (g/m^3)	4.7 1.0 2.8	4.9 1.3 3.3	4.4 1.3 3.0
日射量 (klux)	73.2 0.0 7.1	69.9 0.0 10.9	63.2 0.0 9.7
雨量 (m/s)	0.0 0.0 0.0	0.0 0.0 0.0	0.0 0.0 0.0

図 3 圃場センシング情報を要約した表．表示する期間を 3 日間としたときの表である．行は日付．列は気温や湿度などのカテゴリを配置し，要素としてそれぞれの最高値 (赤字)・最低値 (青字)・平均値 (黒字) を要約した表となっている．

約された圃場センシング情報をクリックしたときの例を図 4 に示す．この例では，クリックされた日付，カテゴリの圃場センシング情報をグラフ上に表示する．

3.3 圃場センシング情報のダイジェストの作成

ダイジェストの作成には，SALATA-API から得られた圃場センシング情報のデータを，気温や湿度などの各カテゴリごとに分けて利用する．n 個の計測結果からなる時系列データ $\{x_t\}$ $(t = 1, 2, \cdots, n)$ に対して，ChangeFinder を適用して得られる時刻 t における変化点スコア $\mathrm{Score}(t)$ を式 1 で正規化して $\mathrm{Score}'(t)$ を算出する．

図 4 表からグラフの拡大縮小・カテゴリの変更を行う例．表中の各カテゴリ，日付，要素をクリックすることで，該当カテゴリや該当期間のグラフを表示することができる．

$$\mathrm{Score}'(t) = \frac{\mathrm{Score}(t) - \left(\min_{t=1,2,\cdots,n} \mathrm{Score}(t)\right)}{\left(\max_{t=1,2,\cdots,n} \mathrm{Score}(t)\right) - \left(\min_{t=1,2,\cdots,n} \mathrm{Score}(t)\right)} \tag{1}$$

変化点として取り出す閾値を p として，正規化後の変化点スコア $\mathrm{Score}'(t)$ が p 以上となる部分を取り出し，連続した t を変化点の期間として採用し，ダイジェストとする．

ダイジェストの提示方法としては，変化点として抽出された期間がリストの形で表示される (図 5)．リストは圃場センシング情報のカテゴリごとに分類されている．各カテゴリをクリックするとリストに表示されるカテゴリを変更することができる．また，リストの項目をクリックすることで，グラフの該当部分をハイライトする (図 6)．圃場の変化を表す部分を提示することで，圃場センシング情報の注目点が明確になり，従来のように時系列データから圃場の変化を表す部分を見つけ出す必要性が減ることから，圃場センシング情報から圃場の変化を読み取ることが容易になると考えられる．

また，各ダイジェストに対して，ダイジェストの確認の有無を把握できる機能である既読機能，ダイジェストを

ⓒ 2021 Information Processing Society of Japan

図 5 ダイジェストのリスト．ChangeFinder から得られた各ダイジェストをリストの形式で表示する．

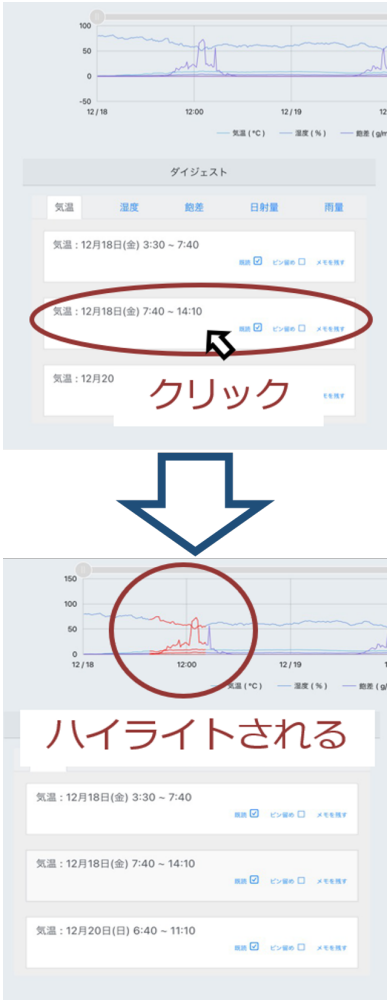

図 6 ダイジェストのリストの項目からグラフのハイライト．ダイジェストのリストの項目をクリックすることで，グラフ中の該当期間の部分が赤くハイライトされる．

トップに固定しておく機能であるピン立て機能，ダイジェストに対してコメントを残しておける機能であるコメント機能などがある (図 7)．これにより，ダイジェストに対してのフィードバックを得られるようにする．

3.4 圃場環境ダイジェストシステムの実装

実際に，農業教育の現場で，圃場環境ダイジェストシステムを実装する際には，CLE (Compositional Learning Environments) [4] を用いて，現在の農業教育の現場で利用されている 3 種類の学習ツールと統合し実装する．これにより，学習環境が乱雑になるのを防ぎ，従来よりもツール間の切り替えを簡単にし，切り替えに掛かっていた時間や労力の削減とともに，利用者の学習効率の向上を目指す．

図 7 ダイジェストへのフィードバック．各ダイジェストに対して，既読・ピン留め・メモを残すなどのフィードバックを残す機能がある．

現在，3 種類の LTI ツールが利用されている．LTI ツールとは，学習プラットフォームである LMS を拡張する目的で作成された学習ツールのことである．具体的には，デジタル教材配信システム BookRoll [5]，農業センシング情報の収集可視化システム SALATA，学習日誌運用支援システム Reflection [6] が利用されている．そこで，BookRoll，Reflection，SALATA に代わって第 2 章で述べる圃場環境ダイジェストシステムの 3 種類の学習ツールからなる新たな 1 つの CLE ツール，すなわち，学習ツール統合システムを作成する．

従来の 3 種類の LTI ツールの切り替えでは，1 つ 1 つの LTI ツールが独立していたために，同一画面内でデジタル教材や圃場センシング情報を参照しながら学習日誌を書くことは非常に困難だった．しかし，学習ツール統合システムでは，同一画面内にデジタル教材，圃場環境ダイジェストシステム，学習日誌を配置することで，ツールの切り替えが容易になり，複数ツールの同時利用も容易になる (図 8)．

4. 実験

本実験では，圃場環境ダイジェストシステムで作成されたダイジェストが圃場センシング情報から圃場の変化を表す期間を見つけ出すために有効であるかを検証した．

4.1 実験設定

本実験では，変化点として検出された点がダイジェストとして妥当であるかどうかという点について，変化検知と異常検知という 2 つの観点から対比的に分析をすることにより行った．圃場環境ダイジェストシステムでは異常検

(a) BookRoll タブを展開した画面

(b) ダイジェストタブを展開した画面

図 8 学習ツール統合システムの表示画面．(a) は BookRoll のタブを展開した状態の画像で，画面左側にデジタル教材配信システム BookRoll を，画面右側に学習日誌運用支援システムを配置し，教科書を参照しながら日誌を書くことが従来よりも容易になる．(b) はダイジェストシステムのタブを展開した状態の画像で，画面左側にダイジェストシステムを，画面右側に学習日誌運用支援システムを配置し，圃場センシング情報を参照しながら日誌を書くことが従来よりも容易になる．

知手法である ChangeFinder を用いてダイジェストを作成するが，ChangeFinder が特に農業教育に適したダイジェスト作成を行えるかは自明ではない．一方，農作物の品質という視点から言えば，例えば急激な温度変化は農作物の品質低下を招くことが知られており，農業教育において注目すべき現象であることは明らかである．そこで，本実験では，比較的自明な重要性をもつ急激な変動箇所を ChangeFinder を評価する際の基準として採用する．そのような箇所全てがダイジェストとして相応しいとは限らないものの，農業における重要性をある程度考慮した評価が可能になる．具体的には単位時間あたりの変動が，指定された量 N 以上である部分を抽出し，そのような部分と ChangeFinder が抽出する部分についてどのような差異が見られるか比較を行う．

実験データは周期的な気温の時系列データと，非周期的な体積含水率の時系列データを題材として評価に用いる．気温の変化を捉えることは農作物の品質への影響を捉えること繋がり，他方で体積含水率の急激な変化を捉えれば降雨や水やりなどの圃場環境の変化を把握することに繋がる．SALATA-API のデータから，2019 年 8 月 1 日 0 時から 2020 年 9 月 31 日 24 時までの 1 時間おきのデータを取り出して利用する．

本実験での ChangeFinder のパラメータは，忘却パラメータについては気温の場合は 0.01，体積含水率の場合は 0.05 を採用した．他のパラメータは両データで共通とし，自己回帰モデルの次数は 1，平滑化の範囲は 10 とした．また，ダイジェストの作成には，学習データ (2019 年 8 月 1 日から 2019 年 8 月 31 日まで) の変化点スコアを除いた期間 (2019 年 9 月 1 日から 2020 年 9 月 31 日まで) の変化点スコアに対して正規化し，気温の場合は閾値 $p = 0.15$，体積含水率の場合は閾値 $p = 0.5$ を採用した．また，評価の基準として用いる急激な変動箇所としては，気温のデータでは，12 時間あたり最高気温と最低気温の気温差が N °C 以上の期間について $N = 6, 8, \cdots, 14$ で検証し，体積含水率のデータでは，1 時間あたり体積含水率の変化が N %以上の期間について $N = 5, 15, \cdots, 25$ で検証する．ChangeFinder の急激変動箇所に対する評価は，Precision/Recall (適合率・再現率) の 2 つの尺度を用いて行う．ダイジェストとして採用された期間を総検出数，単位時間あたりの変動がパラメータ N 以上である部分を検出すべき検証点の数，出現期間の中でダイジェストが提示していた期間を検証点と一致した検出数とした．また，再現率は式 2 により計算し，適合率は式 3 により計算した．

$$\text{再現率} = \frac{\text{検証点と一致した検出数}}{\text{検出すべき検証点の数}} \tag{2}$$

$$\text{適合率} = \frac{\text{検証点と一致した検出数}}{\text{総検出数}} \tag{3}$$

4.2 実験結果

4.2.1 気温の実験結果

まず，気温のデータに関しての実験結果を述べる．2019 年 9 月 1 日から 2020 年 9 月 31 日までの実験結果を表 1 にまとめた．再現率において，気温差が 6°C 以上の場合では 17.8 %検出したことに比べ，気温差が 14°C 以上の場合では 50.0 %検出できていた事が表 1 わかる．変化の大きな期間の方をより多く検出できているので，変化点を提示するダイジェストとして妥当だと言える．

具体的に，12 時間の最高気温と最低気温の差が 10°C 以上ある期間に関して，検出された変化点には，最高気温と最低気温の差の変化が小さい期間が続いた後に，差が 10°C 以上となった期間 (図 9) があった．しかし，図 10 のように最高気温と最低気温の差が 10°C 以上の期間が数日間続いた際には，初日は検出できたが，初日以外は検出されないことが多かった．この期間を検出するためには，忘却パラ

表 1 気温のデータに関する実験結果.

	気温差				
	6°C 以上	8°C 以上	10°C 以上	12°C 以上	14°C 以上
検出すべき検証点の数	320	205	105	35	10
検証点と一致した検出数	57	46	33	15	5
再現率	0.178	0.277	0.397	0.471	0.500
適合率	0.582	0.469	0.337	0.153	0.051

メータを大きくし，過去のデータの影響を受けにくくすることで初日以外も検出できるようになると考えられるが，忘却パラメータを大きくすることで，変化点スコアのピークが増え，ダイジェストとして採用される変化点が増加すると考えられる．

実際に，忘却パラメータを 0.01 から 0.1 にした実験結果をまとめた表 2 によると，総検出数は 98 箇所から 262 箇所に増加し，検出数は 33 箇所から 94 箇所に増えた．再現率において，忘却パラメータが 0.01 のときには 31.4 %だったのに対して，0.1 にしたときには 89.5 %になっているので，初日以外も検出できるようになっている．図 10 と同じ期間で比較してみると図 11 のようになり，10°C 以上の期間が変化点として検出された．上記のように忘却パラメータを調整することで，検出される変化点数を調整できるが，変化点が過度に増加した場合，ダイジェストの視認性の低下につながると考えられ，アプリケーションの実装における画面サイズなどを考慮してパラメータを設定する必要がある．

また，適合率において，気温差が 6°C 以上の場合では 58.2 %になっていた．したがって, 残りの約 40 %の検出された変化点に関しては, 気温差以外の観点から ChangeFinder が変化点を検出したと考えられる．12 時間の最高気温と最低気温の差が 10°C 以上ある期間に関して，検出された変化点には，前 3 日で同じような気温の変動が続いた後に変動が異なった期間 (図 12) があった．一定した変動が続いた後に変動が異なった期間であるので，12 時間の単位などではなく，周期的な変動を繰り返す中に，現れる異なる変化も捉えられていると考えられる．また，気温が氷点下の期間 (図 13) があった．

今回の実験のデータの中に氷点下を記録した期間は 2 箇所しかなく，ChangeFinder では変化が大きい部分として外れ値も検出されると考えられる．今回の実験データの中には，センサの入れ替えで正常にデータを記録出来ていない期間 (2020 年 1 月 23 日から 2020 年 2 月 27 日まで) があったが，図 14 のように，その前後も変化点として捉えることができていた．センサに異常による変化も捉えられていると考えられる．

4.2.2 体積含水率の実験結果

次に，体積含水率のデータに関しての実験結果を述べる．2019 年 9 月 1 日から 2020 年 9 月 31 日まで実験結果を表 3 にまとめた．体積含水率に変化がある場合には，降雨や水やりの影響で変化する場合が多く，変化量は大きくなる．

体積含水率の変化が 5 %以上の場合では，再現率が約 5 割となっていた．具体的に，体積含水率が 1 時間で 10 %以上変化した期間に関して，検出された変化点は，体積含

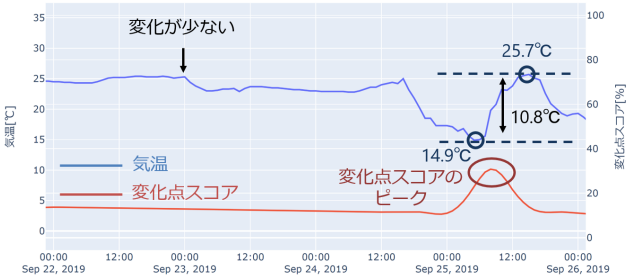

図 9 10°C 以上の変化が検出された例.

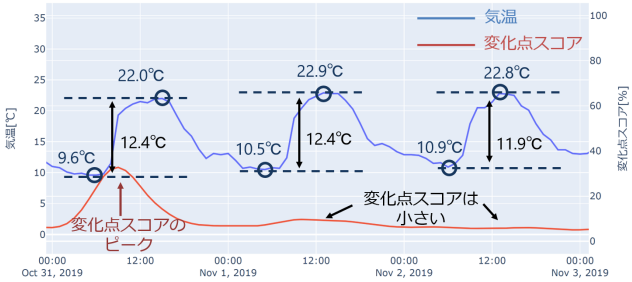

図 10 10°C 以上の変化が検出されなかった例.

表 2 気温差 10°C 以上で忘却パラメータを変更した実験結果.

忘却パラメータ	0.01	0.1
総検出数	98	262
検出すべき検証点の数	105	105
検証点と一致した検出数	33	94
再現率	0.314	0.895
適合率	0.337	0.359

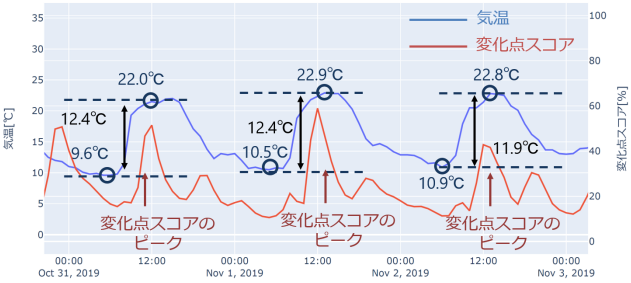

図 11 忘却パラメータを変更して 10°C 以上の変化が検出された例.

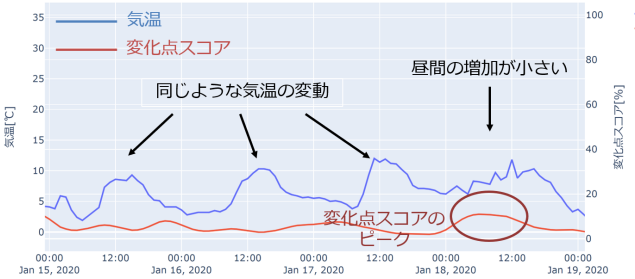

図 12 前 3 日で同じような気温の変動が続いた後に変動が異なった例.

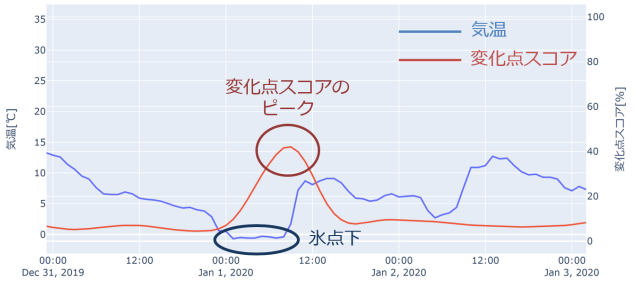

図 13 気温が氷点下の例.

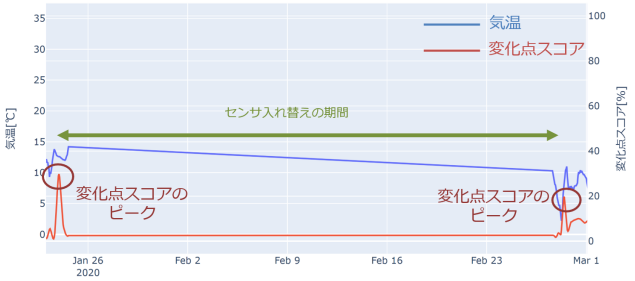

図 14 センサの入れ替えの期間の気温とその変化点スコア.

水率の変化が小さくなった後，10 %以上増加した期間があった (図 15)．晴れが続いた後に，降雨や水やりの影響で変化したと考えられる降雨や水やりのイベントを捉えたと考えられる．実際に，2019 年 12 月 1 日から 2 日にかけて福岡県立糸島農業高校がある糸島市では雨が降っていた．

また，適合率において，変化が 5 %以上の場合では 70 %になっていた．したがって，残りの約 30 %の検出された変化点に関しては，センサの異常によるものが多かった．図 16 のように体積含水率が約 40 %変化した直後に，40 %前後の変化を繰り返した期間を捉えられていなかった．しかし，センサの異常の始点の期間や，図 17 のような体積含水率の急激な減少の期間を捉えたので，体積含水率に関しては，センサの異常による変化だと考えられる．同様に，センサの入れ替えで正常にデータを記録出来ていない期間では，図 18 のように，その前後も変化点として捉えることができていた．

4.3 考察

今回の実験では，単純な変化点として気温差や体積含水

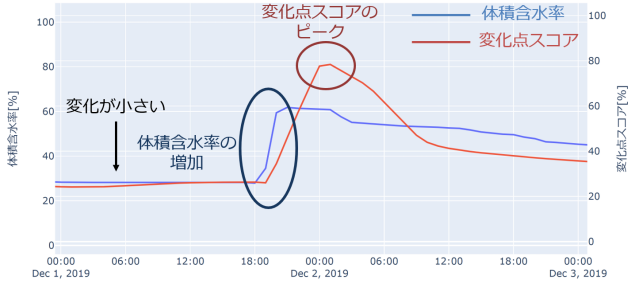

図 15 10 %以上の変化が検出された例.

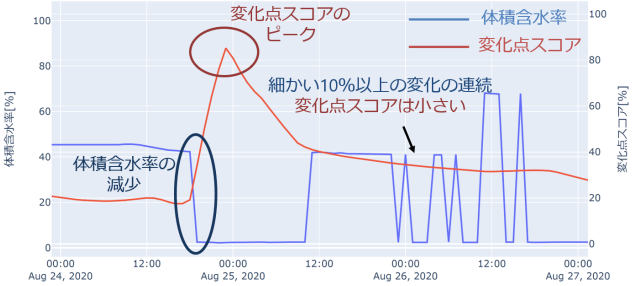

図 16 センサ異常による激しい変化を捉えた例.

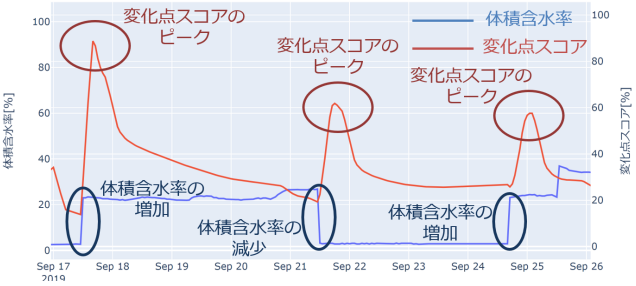

図 17 センサの異常による急激な減少を捉えた例.

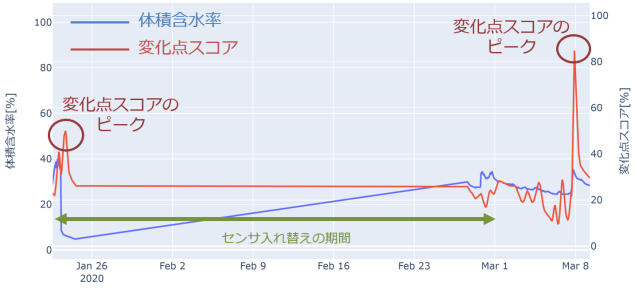

図 18 センサの入れ替えの期間の体積含水率のとその変化点スコア.

率の変化の大きな期間を検証点として採用したが，全ての検証点がダイジェストとして相応しいとは限らず，適合率・再現率の値以外にも，検出された変化点が圃場の変化を表すダイジェストとして妥当なのかを検証した．

今回の実験結果から，気温，体積含水率の両データともに再現率は最大でも約 50 %と高い値ではなかった．ChangeFinder では，大きな変化が連続で続く場合，初めの期間は検出するが，後に続く大きな変化は検出しにくいことが原因に考えられる．気温の変化では，連日 10°C 以上の大きな変化が続く期間が多く，初めの期間以外を捉え

表 3 体積含水率のデータに関する実験結果.

	体積含水率の差				
	5 %以上	10 %以上	15 %以上	20 %以上	25 %以上
検出すべき検証点の数	57	34	31	30	24
検証点と一致した検出数	28	18	17	16	11
再現率	0.491	0.529	0.548	0.533	0.458
適合率	0.700	0.450	0.425	0.400	0.275

られていない事象もあった．また，体積含水率の変化では，センサの異常による大きな変化が連続で続いた期間に関して，初めの期間以外を捉えられていないことがあった．しかし，気温の比較実験のように，忘却パラメータを大きくし，過去のデータの影響を受けにくく設定することで再現率を上げることは可能だとわかったが，検出数が増加し，ダイジェストとして表示される期間が増えてしまうため，視認性の低下を招く問題が出てくる．このシステムを実用する際には，利用者や学習環境に合わせてこのトレードオフを考える必要がある．

また，適合率において，気温の実験では最大 58.2 %，体積含水率の実験では最大 70 %と必ずしも高い値ではなかった．しかし，気温では，N °C 以上の差があった部分以外にも，周期的な変動を繰り返す中に現れる異なる変化，外れ値と考えられる氷点下，センサ異常による変化を，気温差以外の観点から変化点として検出することができていた．また，体積含水率では N %以上の差があった部分以外にもセンサの異常による変化を変化点として検出していた．これらの変化点も圃場の変化やセンサの異常などを表すダイジェストとしては重要であると考えられ，これらを見つけられた事は単純な変化率を用いた手法に対する ChangeFinder の強みであると言える．

以上より，提案するダイジェスト提示システムについて一定の有用性が示されたと言える．また，ChangeFinder と変化率ベースの変化検知手法の双方に長所と短所があることが確認され，今後はこれらを上手く統合していくことが必要と考えられる．

5. おわりに

本論文では，圃場センシング情報から圃場の変化を読み取るための補助を担う圃場環境ダイジェストシステムを提案した．従来，圃場センシング情報は日時と気温などを時系列データにしたものが可視化されたものであり，長年，農作業に従事しており経験や知識のある農家にとっては，圃場環境を把握するのに役立つシステムであったが，農業に関しての経験や知識の乏しい学習者にとっては圃場センシング情報から圃場の変化を読み取ることが困難だった．

本研究では，この問題を解決するために時系列データを可視化した圃場センシング情報だけでなく，圃場センシング情報から圃場の変化を表す部分のダイジェストを作成し，圃場センシング情報から圃場の変化を読み取るための補助となるシステムを開発した．実験より，ChangeFinder を利用して作成したダイジェストが，気温や体積含水率の大きく変化する部分やセンサ異常に関連する部分を提示していたことがわかった．しかし，今回行った実験に関しての再現率は高くなかった．ChangeFinder のパラメータを調整することで，再現率を改善できることが確認されたが，適合率が低いためにダイジェストの総数が増加してしまうことが分かった．これによりアプリケーションの視認性の低下を招くという実用上の問題が起きると考えられる．今後は，このトレードオフについても考えなければならない．

また，本研究の圃場環境ダイジェストシステムでは，圃場の変化やセンサの異常などを見つけ出す負担は軽減できると考えられるが，依然として，ダイジェストとして提示された部分の時系列データからどのような変化や異常があったかを解釈するための補助は十分ではない．今後の課題として，従来のシステムから得られた農業従事者の経験や知識をもとに，学習者が変化や異常を解釈するための補助を担うようなシステムも必要になると考えられる．

謝辞

本研究は JST JPMJCR19U1，および JSPS 科研費 JP18H04125，JP18H04117 の助成を受けたものです．

参考文献

[1] Akayama, N., Arita, D., Shimada, A. and Taniguchi, R.: SALATA: A Web Application for Visualizing Sensor Information in Farm Fields, *9th International Conference on Sensor Networks (SENSORNETS 2020)* (2020).

[2] Takeuchi, J. and Yamanishi, K.: A unifying framework for detecting outliers and change points from time series, *IEEE transactions on Knowledge and Data Engineering*, Vol. 18, No. 4, pp. 482–492 (2006).

[3] 山西健司：異常検知: 外れ値検知と変化検知 (異常検知と変化点検出)，日本信頼性学会誌 信頼性， Vol. 37, No. 3, pp. 134–143 (2015).

[4] 谷口雄太，峰松翼，島田敬士：構成的学習環境，研究報告教育学習支援情報システム (CLE)， Vol. 2020, No. 4.

[5] Ogata, H., Oi, M., Mohri, K., Okubo, F., Shimada, A., Yamada, M., Wang, J. and Hirokawa, S.: Learning analytics for e-book-based educational big data in higher education, *Smart sensors at the IoT frontier*, Springer, pp. 327–350 (2017).

[6] 野崎聖斗，峰松翼，島田敬士，谷口倫一郎：学習日誌分析システムの開発とその評価，研究報告教育学習支援情報システム (CLE) (2021).