滋賀県立大学圃場実験施設内の気象観測装置の観測結果

環境生態学科 3 回生

1. はじめに

1.1. 背景

滋賀県立大学圃場実験施設(以下圃場)に気象観測装置が設置されており、気温、降水量などさまざまな気象データが開学当初から記録、保管されている。しかし、これまでそれらのデータは分析されたことがなく、実際にどのような気象データが記録されているか知られていない。

1.2. 目的

本報告書では気象観測装置の観測項目を確認した上で、2020 年 4 月から 2021 年 3 月の 1 年間の主な気象データをとりまとめた。また、圃場の気象環境の特徴を評価し、北東に 3.3 ㎞離れた彦根気象台の気象データと月別で比較した。さらに、圃場のデータを用いて可能蒸発散量を求め、評価した。

2. 気象観測装置およびデータの整理

図 1 に圃場の気象観測装置と気象庁の彦根気象台の位置を示した。気象観測装置は圃場の農地内に位置し、大学周辺も水田が広がっているため農地環境を現しているといえる。一方、彦根気象台は周辺が住宅地や道路などであり、近くに彦根城の堀や北野神社の林があるとはいえ都市域環境を現しているといえる。一般的に東京や大阪といった大

図 1. 滋賀県立大学圃場実験施設気象観測装置と彦根気象台の場所 [1)]

地図データ@2021Google

都市におけるヒートアイランド現象が大きな問題となっている。この現象が彦根市のような地方都市でも生じていると可能性がある。そこで 2 か所の観測データを比較し、ヒートアイランド現象がみられるかも検証した。

2.1 滋賀県立大学圃場実験施設気象観測装置(図 2)

図 2. 滋賀県立大学圃場実験施設気象観測装置(2021 年 11 月 1 日撮影)

滋賀県立大学圃場実験施設気象観測装置(北緯 35 度 15.5 分、東経 136 度 12.9 分、標高 86.2m)の設置日は不明であるが設置当初から自記紙によって記録が続けられており、現在も圃場で保管されている。その後、システムが改修され、2008 年 1 月 12 日からキャンベル社のデータロガー(CR1000)で 1 分間ごとに記録されるようになり、月別でエクセルファイルで整理されて USB メモリに保管されている。

次に、圃場の気象観測施設の測定項目と各項目の収録、測定範囲、測定機器を表 1 にとりまとめた。今回、1 年間のデータを扱うため、VBA を用いて 1 分ごとのデータを日平均(降水量は積算)に変換した。なお欠損期間が少しでも存在する日はデータ欠損日とし、変換データから除いた。

今回対象とした 2020 年 4 月から 2021 年 3 月の気象データの入ったエクセルファイルを確認したところ、表 2 に示すような欠損データがあった。このうち 2020 年 12 月 12 日 8 時 5 分～12 月 12 日 15 時 54 分は電気事業法に基づく自家用電気工作物の定期点検により大学全体で停電しており、このためにデータがおかしな値となった。他の期間はデータそのものが存在しなかったが、その理由は未解明である。

今回、欠損データの扱いとしては欠損期間が少しでも存在する日はデータ欠損日とし、変換データから除いた。

表 1. 圃場実験施設気象観測装置の測定項目

測定項目	収録	測定範囲	測定機器
地温北側深い	平均値	－20℃～＋40℃	地温計 TS-181
地温北 深い	平均値	－20℃～＋40℃	地温計 TS-181
地温北側浅い	平均値	－20℃～＋40℃	地温計 TS-181
地温北 浅い	平均値	－20℃～＋40℃	地温計 TS-181
日照	平均値	0~10h	日照計 MS-091
光量子	平均値	0~12E・m^{-2}・h^{-1}	光量子計 ML-020P
瞬間風向	瞬時値	0～540°	風向風速計 WS-B56
最大風速	瞬時値	0～60ms^{-1}	風向風速計 WS-B56
風向 10 分平均	平均値	0～540°	風向風速計 WS-B56
風速 10 分平均	平均値	0～60ms^{-1}	風向風速計 WS-B56
風速 1 分平均	平均値	-	風向風速計 WS-B56
気温	平均値	－50℃～＋50℃	温度計 TS-3D1
湿度	平均値	0~100%	湿度計 HMP155
地温露場浅い	平均値	－50℃～＋50℃	地温計 TS-181
地温露場深い	平均値	－50℃～＋50℃	地温計 TS-181
雨量	瞬時値	0~100mm	雨量計 RS-222
蒸発	瞬時値	0~100mm	蒸発計 ES-100
日射	平均値	0~1.5kW・m^{-2}	日射計 MS-42
放射収支	平均値	-0.3~1.2kW・m^{-2}	放射収支計 MF-11
赤外放射	平均値	0~0.5kW・m^{-2}	赤外放射計 MS-201
紫外線	平均値	0~5W・m^{-2}	B 領域紫外線計 MS210W
雨量パルス	積算値	0.5mm パルス$^{-1}$	雨量計 RS-222

表 2. 圃場実験施設気象観測装置のデータの欠損期間

欠損開始時刻	欠損終了時刻	備考
2020 年 5 月 8 日 9 時 5 分	2020 年 5 月 16 日 16 時 59 分	
2020 年 6 月 19 日 9 時 12 分	2020 年 6 月 19 日 14 時 5 分	
2020 年 7 月 8 日 9 時 11 分	2020 年 7 月 10 日 17 時 14 分	
2020 年 7 月 29 日 12 時 21 分	2020 年 7 月 30 日 14 時 13 分	
2020 年 8 月 18 日 9 時 20 分	2020 年 8 月 22 日 14 時 14 分	
2020 年 9 月 28 日 9 時 19 分	2020 年 10 月 1 日 14 時 20 分	
2020 年 11 月 5 日 10 時 52 分	2020 年 11 月 6 日 16 時 52 分	
2020 年 11 月 25 日 9 時 59 分	2020 年 11 月 26 日 14 時 45 分	
2020 年 12 月 12 日 8 時 5 分	2020 年 12 月 12 日 15 時 54 分	定期停電
2020 年 12 月 25 日 9 時 21 分	2020 年 12 月 25 日 18 時 17 分	
2021 年 1 月 13 日 13 時 24 分	2021 年 1 月 13 日 14 時 19 分	
2021 年 3 月 22 日 14 時 00 分	2021 年 3 月 22 日 14 時 14 分	
2021 年 3 月 22 日 14 時 30 分	2021 年 3 月 22 日 14 時 38 分	
2021 年 3 月 26 日 14 時 21 分	2021 年 3 月 27 日 14 時 53 分	

2.2 彦根気象台(図 3)

彦根気象台(北緯 35 度 16.5 分、東経 136 度 14.6 分、標高 87.3m)は明治 26(1893)年 10 月 1 日に滋賀県立彦根測候所として気象観測の業務を開始した。その後、国への移管や気象台への改称を経たものの移転されることなく、観測が続けられている[2)]。

彦根気象台のデータは気象庁のホームページから取得した[3)]。圃場の気象観測施設と比較するため、気温、風速、湿度を日平均で日降水量と共に取得した。

表 3 に彦根気象台の測定項目とその測定単位と対応する圃場の測定項目をとりまとめた。

図 3. 彦根気象台(2021 年 11 月 1 日撮影)

3. 結果と考察

日単位でデータを比較したが季節ごとのおおまかな特徴がつかみにくかった。このため、

表 3. 彦根気象台の測定項目とその測定単位と対応する圃場の測定項目

測定項目	測定値の最小単位	圃場の対応項目
気温	0.1℃	気温
湿度	1%	湿度
降水量	0.5mm	雨量パルス
平均風速	0.1 ms^{-1}	風速 1 分間平均

日平均をさらに月平均に集約して、圃場の気象観測装置と彦根気象台を比較した。降水量以外のデータは月平均を算出する際、圃場気象観測装置のデータが欠損している日は比較せず、両方のデータが存在する日データをのみ用いて月平均を算出した。降水量は一般的に平均ではなく積算のデータで扱われるため、データが欠損している日データは同じ日の気象台の降水量を用いて月別降水量を算出した。

なお、各項目を比較する際には圃場実験施設と彦根気象台の月別データをグラフ化し全体の変動を評価した。また、圃場の測定値を基準とした彦根気象台との差もグラフ化した。

3.1 気温

2020 年 4 月から 2021 年 3 月の月平均気温を図 4 に示した。両地点でほとんど同じ季節変動をしており、共に 8 月に気温が最も高く、1 月が最も低かった。図 4 から求めた圃場

の年平均気温は 15.22℃であり、気象台の 15.73℃より 0.51℃低かった。

圃場の気象観測装置と彦根気象台の気温の差を図 5 に示した。1 年間にわたって圃場の気温が 8 月を除いて 0.4~0.5℃程度低かった。これは気象台の周辺は市街地であり、圃場に比べて地表面が建物やアスファルトで覆われている場所が多いため、地表面からの蒸発散による熱流出が抑制されたと考えられる。また、アスファルトやコンクリートは熱を蓄えやすいため、日射により表面温度が上昇し、大気を加熱することで顕熱輸送により気温が増加したと考えられる。一方、圃場の周辺は水田が多く、水面からの水の蒸発や植物の蒸散による潜熱輸送がなされ日中の気温の上昇が抑えられたと考えられる。

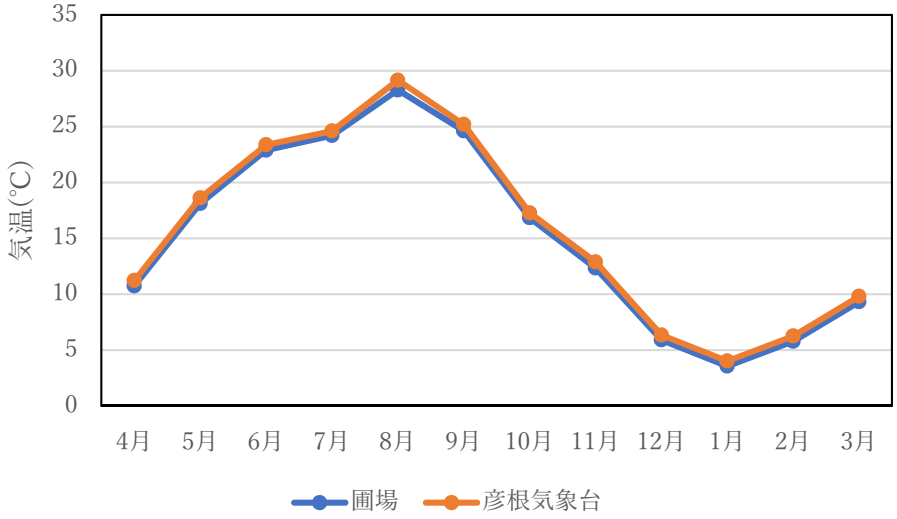

図 4. 気温の月別平均値(2020/4~2021/3)

8 月は圃場の気温が彦根気象台より 0.87℃低く最も差があった。その要因として、8 月は水田が湛水されており、水田の水面の蒸発に加え、水稲の蒸散が最大であったことも気温の上昇を抑えたと考えられる。また、夏場のエアコンの室外機などの人口排熱が彦根気

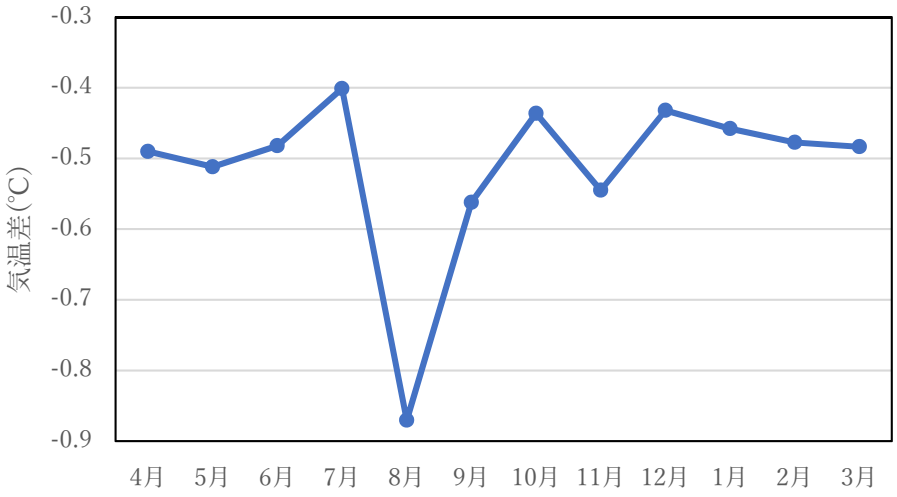

図 5. 圃場の気温に対する彦根気象台の気温差(2020/4~2021/3)

象台周辺のほうが多いことも要因であると考えられる。さらに、彦根気象台の 2020 年 8 月の日照時間は 8.4 時間であり、年平均の 5.4 時間と比べて非常に長いこともあげられる[3)]。日照時間が長いと地表面温度が増加しやすく、顕熱輸送が増加しやすいため、地表面被覆の違いによる熱輸送が他の季節より大きく影響したと考えられる。

3.2 湿度

2020 年 4 月から 2021 年 3 月の月平均湿度を図 6 に示した。両地点共に湿度はほぼ同じ季節変動をしており 7 月の湿度が 86%前後で最も高く、4 月が 70~71%で最も低かった。なお、圃場の年平均湿度は 77.7%であり、気象台の 76.1%より 1.6%大きい程度で

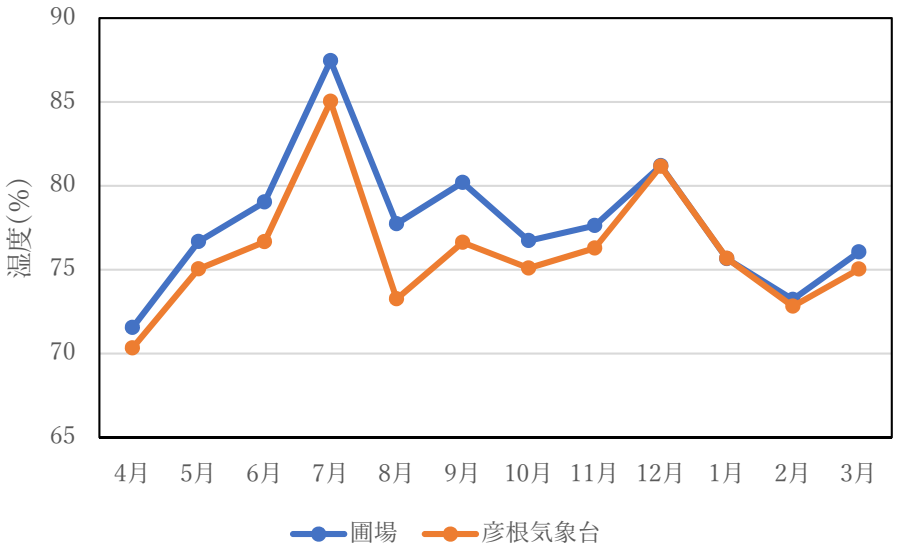

図 6. 湿度の月別平均値(2020/4~2021/3)

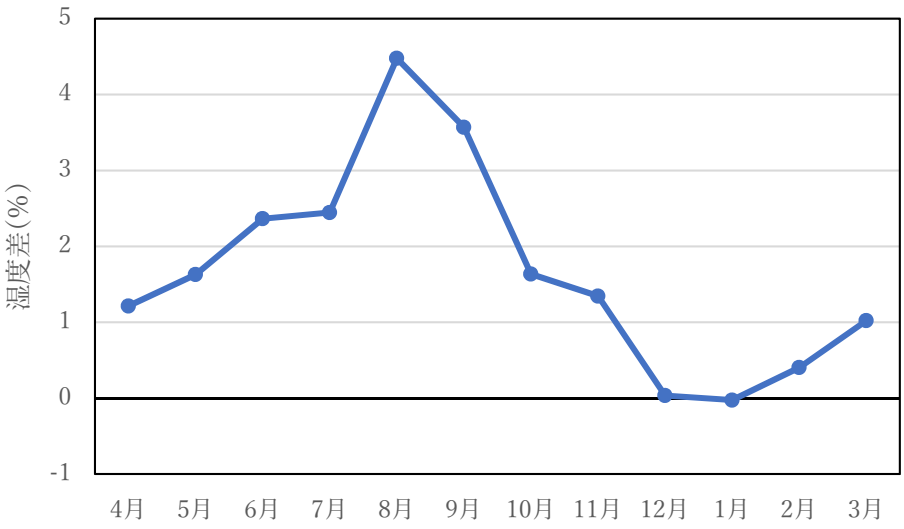

図 7. 圃場の湿度に対する彦根気象台の湿度差(2020/4~2021/3)

あった。

圃場気象観測装置と彦根気象台の湿度の差を図 7 に示した。夏場は 8 月の 4.4%を筆頭に圃場のほうが大きく、冬場は 12、1 月の差がほぼ 0 であり小さかった。この要因としては圃場周辺の水田の湛水状況が影響したと考えられる。つまり、夏場は水田が湛水されている期間であり、夏は高い気温と日射により蒸発散が盛んに行われ圃場の湿度が上昇したが彦根気象台周辺では水田がないため蒸発散が比較的少なくなり湿度の上昇が圃場より小さくなったと考えられる。反対に 12 月や 1 月といった冬は作物を育てておらず、水田に水が張っていない。そのため、地表面の水分状況が同じになることで蒸発散が小さくなり、彦根気象台と差がほとんど見られなくなったと考えられる

3.3 降水量

2020 年 4 月から 2021 年 3 月の降水量を図 8 に示した。両地点で 7 月の降水量が最大であり、400mm を超えていた。近畿地方の梅雨明けは例年 7 月 19 日ごろであるのに対して 2020 年は 8 月 1 日と大幅に遅れたことにもよると考えられる。なお、圃場の年合計降水量は 1855mm であり、気象台の 1874mm よりわずかに 19mm 少なかった。

圃場気象観測装置と彦根気象台の降水量の差を図 9 に示した。図 9 より、7 月と 3 月で 20mm 以上圃場のほうが気象台より降水量が多くなった。7 月は特に降水量の差が 31mm と多かった。そこで 7 月の日データより 5mm 以上の差がある日を表 4 に示した。7 月 30 日は 9mm、7 月 31 日では 23.5mm 圃場のほうが気象台より降水量が多く、特に 31 日は圃場でのみ降雨が観測された。この 2 日間において近距離の観測地点で大きな降水量の差が見られたことから局地的なゲリラ豪雨が発生していたと考えられる。そこでこの 2 日間の降水量を無視して 7 月の月合計降水量を算出すると圃場では 402mm で気象台

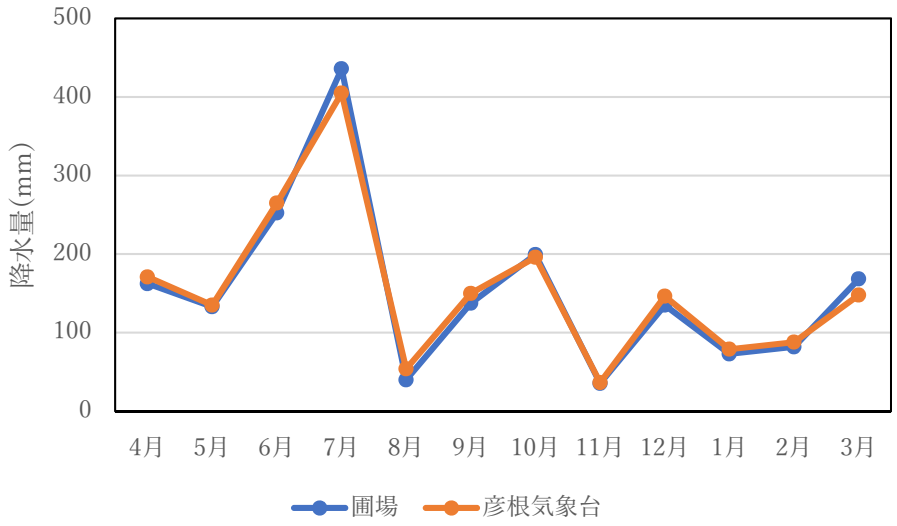

図 8. 降水量の月別平均値(2020/4~2021/3)

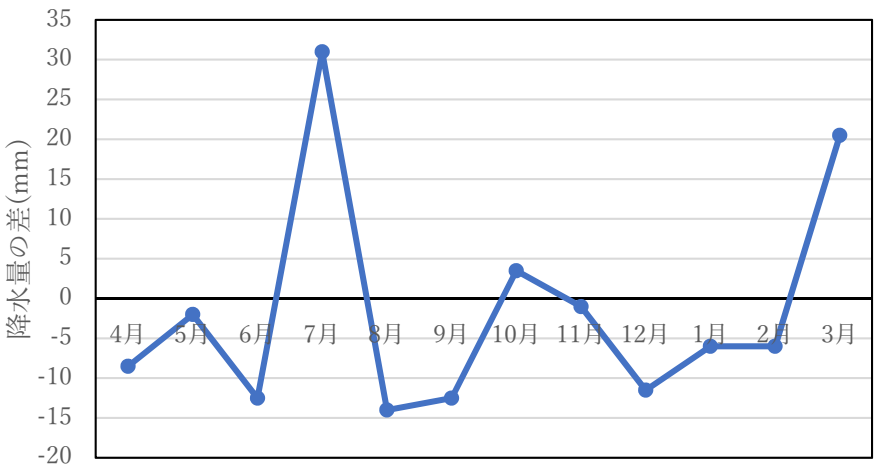

図 9. 圃場の降水量に対する彦根気象台の降水量差(2020/4~2021/3)

表 4. 2020 年 7 月の日データで 5mm 以上の差があった日の降水量とその差

日付	圃場(mm)	気象台(mm)	差(mm)
7 月 30 日	10.5	1.5	9
7 月 31 日	23.5	0	23.5

では 403.5mm となった。ゲリラ豪雨を除くと 2 地点で降水量の差がないといえる。

3.4 平均風速

2020 年 4 月から 2021 年 3 月の月平均風速を図 10 に示した。図 10 より 1 年を通して、

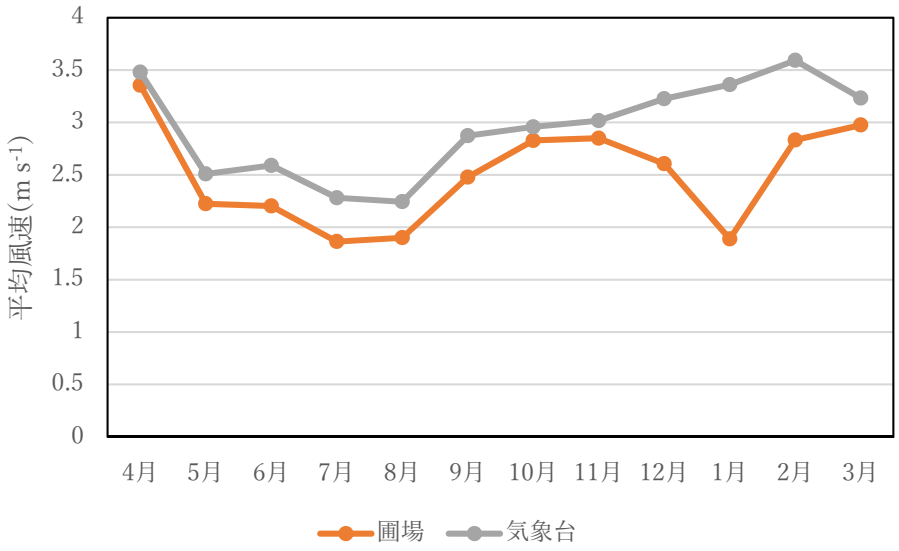

図 10. 平均風速の月別平均値(2020/4~2021/3)

圃場のほうが気象台より平均風速が小さくなっていた。4 月から 11 月の期間は 2 つの地点は似た変動をしていた。しかし、12 月から 2 月では似た変動をせず圃場のほうが気象台より平均風速が小さくなっていた。圃場の年平均風速は 2.50ms^{-1} であり、気象台の 2.95m/s より 4.50ms^{-1} 小さかった。

圃場気象観測装置と彦根気象台の平均風速の差を図 11 に示した。図 11 より 12 月~2 月を除いて、0.1～0.4ms^{-1} 程度圃場の平均風速が低かった。12 月~2 月は差が大きく、特に 1 月は圃場の平均風速が 1.5ms^{-1} 近く小さかった。そこで圃場の 1 月の生データ(1 分間平均)と彦根気象台の 1 時間の平均値を図 12 に示し、比較した

図 12 より、1 月 1～3 日、1 月 24、31 日平均風速が 0.05ms^{-1} 付近で長時間一定になっている時間帯が存在していた。さらに 1 月 8 日 21 時 52 分から 1 月 12 日 10 時 2 分までの間 3.69ms^{-1} 付近で一定になっていた。3 日間にわたって平均風速が一定になることは

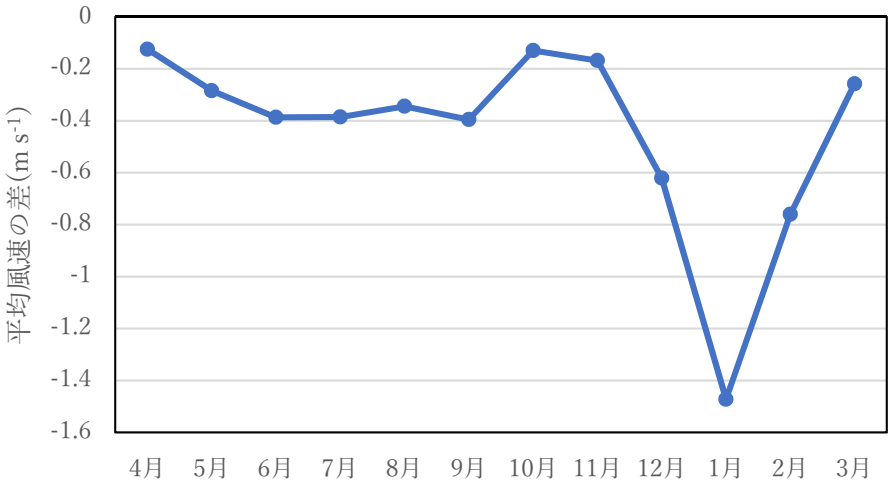

図 11. 圃場の平均風速に対する彦根気象台の平均風速差(2020/4~2021/3)

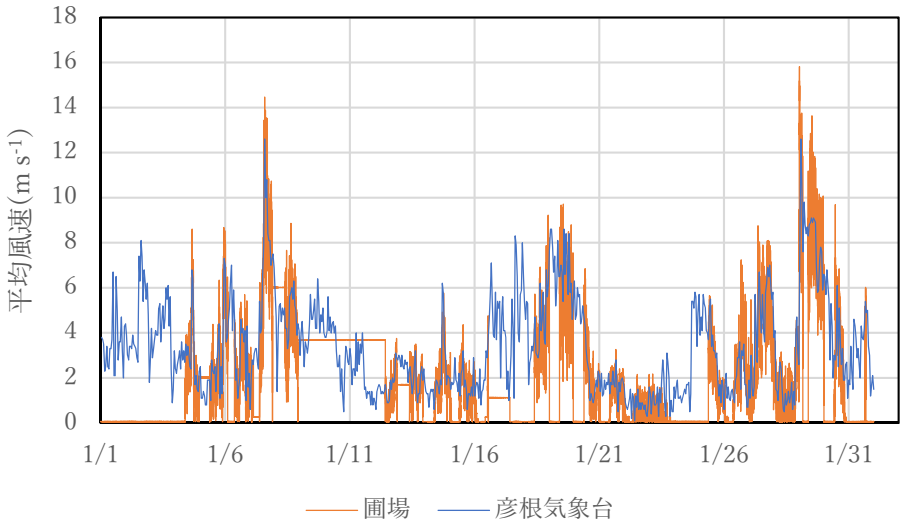

図 12. 2021 年 1 月の平均風速の比較

考えにくいため、測定機器やデータロガーの不具合が生じている可能性が高いと考えられる。1 日以上続けて平均風速が一定になっていた 1~3、8~12、24、31 日のデータを無視し、気象台との差を計算すると-1.47ms^{-1} であった差は-1.44ms^{-1} となりほとんど変わらなかった。これは圃場のほうが気象台より平均風速が高い 1 月 10 日から 1 月 12 日の区間が影響したことで差が小さくならずほとんど変化しなかったと考えられる。今回は平均風速が 1 日以上一定になっている期間を無視したが図 12 を見ると 1 月 17 日から 1 月 20 日の期間でも平均風速が一定になっており、他にも短時間平均風速が一定になっている区間がいくつか存在していた。そのため、平均風速データは使用する際には一定になっている期間がないか注意すべきである。特に気象台との差が大きかった冬場は生データを確認する必要があると考えられる。

4. ペンマン法による可能蒸発散量の推定

4.1. 目的

これまでは滋賀県立大学の圃場で水収支を計算する場合に彦根気象台の気象データが用いられていた。しかし、圃場には気象観測装置が設置されているため、そのデータを用いることでより正確な値が算出できると考えた。そこで彦根気象台と比較し、ずれを検討した上で圃場の気象データを問題がないか評価することを目的とした。

4.2. 計算方法

今回は蒸発散推定法で最も有名であり、一般的に利用されているペンマン式(1)を用いて推定した。

$$ET_{pen} = \frac{\Delta}{\Delta+\gamma}\cdot\frac{S}{l} + \frac{\gamma}{\Delta+\gamma}f(u_2)(e_{sa}-e_a)\cdots(1)$$

但し、

ET_{pen}:ペンマンの蒸発散位(mm)

Δ:気温 t での温度飽和水蒸気圧曲線の勾配(mbar・℃$^{-1}$)

γ:乾湿計定数(=0.66mbar・℃$^{-1}$)

l:水の蒸発潜熱(MJ・kg^{-1})

u_2:2m での風速(m/s)

e_{sa}:気温 t における飽和蒸気圧(mbar)

e_a:空気の水蒸気圧(mbar)

$f(u_2)(e_{sa}-e_a)$:ダルトン型蒸発量推定式(mm day^{-1})

である。

ペンマン式の計算は三浦ら(1993)がペンマン式による蒸発散位計算方法の詳細で提案している 14 のステップをもとに可能蒸発散量を推定した[5]。計算に必要なデータである日平均の気温、湿度、風速、日照時間は 2020 年 4 月から 2021 年 3 月の圃場、気象台

の日平均データを用いた。風速計設置地上高さは圃場実験施設を 10m、彦根気象台を 19.7mとした[6]。圃場の日照時間のデータは気象台のデータを用いた。また、アルベド値は草地の 0.225 とした。

計算によって得られた 1 日当たりの可能蒸発散量を 2 か所の気象データの季節による違いを見るため、エクセルで月別に平均した。データは月平均を算出する際、圃場気象観測装置のデータが欠損している日は比較せず、両方のデータが存在する日データをのみ用いて月平均を算出した。

4.3. 結果と考察

計算によって算出された 2020 年 4 月から 2021 年 3 月の月平均可能蒸発散量(mm/day)を図 13 に示した。図 13 より、両地点で 8 月の可能蒸発散量が最も高く、12 月で最も低かった。圃場の年平均可能蒸発散量は 2.3mm/day で気象台では 2.4mm/day であり、約 0.1mm/day 圃場のほうが低かった。

また、入力したデータである気温、湿度、平均風速、日照時間と可能蒸発散量の相関係数を表 5 に示した。

圃場気象観測装置と彦根気象台の可能蒸発散量の差を図 14 に示した。図 14 より可能蒸発散量は 1 年間を通して圃場のほうが低くなっており、特に 8 月で最も大きい 0.25mm の差があった。1 年間を通して圃場の可能蒸発散量が彦根気象台と比べて低くなった要因としては図 5 より気温が圃場のほうが低かったこと、図 7 より湿度が圃場のほうが高かったこと、図 11 より平均風速が低かったことがあげられる。表 5 より、各項目の相関

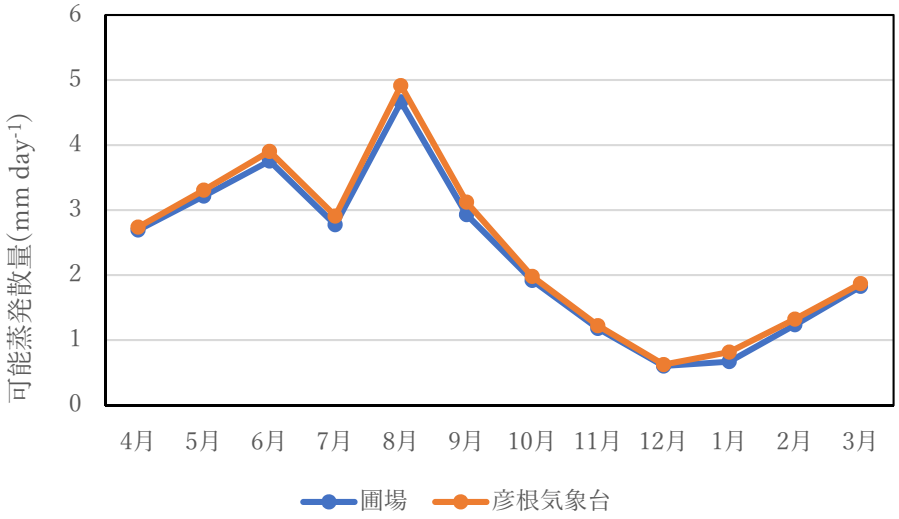

図 13. 可能蒸発散量の月別平均値(2020/4~2021/3)

表 5. 各入力データの可能蒸発散量と相関係数

	気温	湿度	平均風速	日照時間
圃場実験施設	0.725	-0.306	0.138	0.576
彦根気象台	0.746	-0.407	-0.004	0.585

係数の絶対値を見ると気温は両地点で 0.7 を超えており最も高く、平均風速は最も低く彦根気象台は 0 に近かった。このことから可能蒸発散量には気温が最も関係していると考えられる。特に 8 月の差が大きかった原因としては気温が 0.87℃圃場のほうが気象台より気温が低かったこと、湿度が 4.5%近く圃場のほうが高かったことが反映していると考えられる。そのため、8 月など夏場に彦根気象台のデータを使用する際には可能蒸発散量の値を高く評価してしまう可能性があるため注意しなければならない。

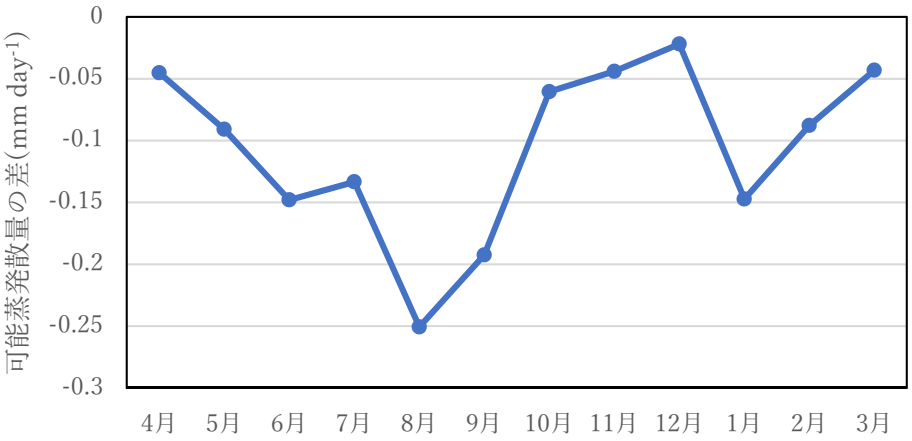

図 14. 圃場の可能蒸発散量に対する彦根気象台の可能蒸発散量の差 (2020/4~2021/3)

5. おわりに

5.1. まとめ

滋賀県立大学圃場実験施設に設置されている気象観測装置は 22 項目の気象データが測定されている。圃場の気象環境の特徴を評価するため、2020 年 4 月から 2021 年 3 月の 1 年間の主な気象データをとりまとめ、彦根気象台の気象データと月別で比較した。比較項目は両地点で測定されている気象データ(気温、湿度、降水量、平均風速)とした。その結果、気温は圃場のほうが 8 月を除く 1 年間にわたって 0.4~0.5℃程度低く、8 月では 0.87℃と目立って低かった。これは圃場の周辺が比較的水田が多く、蒸発散が盛んなために日中の気温の上昇が抑えられたためと考えられる。8 月は日照時間が長く、水面の蒸発散が盛んなことに加えて、夏季のエアコン使用による人口排熱が彦根気象台周辺のほうが多いことで特に大きな気温差を引き起こしたと考えられる。湿度はほぼすべての月で圃場のほうが高く、夏場は 8 月を筆頭に圃場のほうが大きく、冬場は差が小さかった。これも圃場周辺に水田が多いことによる蒸発散量の違いが要因と考えられる。夏と冬に間の湿度差は水田の水管理の影響を受けていると考えた。降水量は特に 7 月で差が大きく、圃場のほうが多かった。7 月の日データを確認したところ圃場のみで降水が観測された日があり、ゲリラ豪雨が降水量の差を生み出した可能性が示された。平均風速は 1 年を通して、圃場のほうが小さかった。4 月から 11 月の期間は 2 つの地点は似た変動をしていたが、12

月から 2 月では 1 月を筆頭に圃場のほうが著しく小さかった。生データを確認したところ平均風速が数日間一定になっている期間があり、何らかの不具合の可能性がある。圃場の測定項目を用いて、ペンマン法で可能蒸発散量の推定を行ったところ 1 年間にわたって圃場のほうが低く、特に 8 月で差が大きかった。そのため、可能蒸発散量を算出する際に彦根気象台のデータを使用すると値を高く評価してしまう可能性が特に 8 月で高いことがわかった。

5.2. 今後の課題

今回の調査ではデータが 1 年分しか評価されておらず、今回の調査期間において示された各気象データの特徴が同様でない可能性がある。特に降水量は梅雨の時期や台風、ゲリラ豪雨といったその年ごとに変化が大きい要素が多いため、特徴が年によって差が出る可能性が高いと考えられる。より正確な評価するためには複数の年のデータをとりまとめる必要がある。圃場実験施設には 2008 年 1 月 12 日からエクセルファイルでデータが存在するため、できる限りの年数をとりまとめることでより正確な評価が可能となる。また、多くの年数をとりまとめるにはかなりの時間がかかるため、プログラミングなどを用いて作業を効率的行えるようにすることが不可欠である。

さらに圃場には今回評価を行っていない測定項目が多く存在するため、それらも評価する必要がある。

参考文献

1) 国土地理院. 地理院地図 (2021 年 11 月 2 日確認)
https://maps.gsi.go.jp/14/35.266684/136.234577/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c0j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f1

2) 彦根気象台ホームページ、沿革(2021 年 11 月 2 日確認)
https://www.jma-net.go.jp/hikone/gyoumu/enkaku.html

3) 気象庁ホームページ、各種データ・資料、過去の気象データダウンロード(2021 年 11 月 2 日確認)
http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php

4) 気象台、各種データ資料、梅雨入りと梅雨明け(確定値) (2021 年 11 月 2 日確認)
https://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/baiu/kako_baiu07.html

5) 三浦健志ほか(1993):ペンマン式による蒸発散位計算方法の詳細、農業土木学会、1993 巻 164 号 p.157-163 a3 (2021 年 11 月 2 日確認)
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsidre1965/1993/164/1993_164_157/_pdf/-char/ja

気象庁、地域気象観測所一覧 (2021 年 11 月 2 日確認)
https://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/amedas/ame_master_20210902.pdf