

オジギソウの就眠運動
～就眠運動を引き起こす光の波長の特定と概日リズムが及ぼす影響について～
～Mimosa's Sleeping Behavior～
今西いろは 杉山千恵 辰井謙斗 永井愛夏
Imanishi Iroha Sugiyama Yukie Tatsui Kento Nagai Manaka

1. 要旨

オジギソウの就眠運動（開葉・閉葉運動）は、昼夜の明暗刺激によって起こり、固有の概日リズムによってコントロールされるものである。私たちは、太陽光のどの波長の光によって開葉運動が起こるのか、またどの程度概日リズムの影響を受けるかについて調べた。その結果、開葉運動は青色光によって引き起こされ、開葉・閉葉運動ともに特定の時刻を境に人為的な明暗刺激よりも、概日リズムに従って引き起こされることが分かった。

2. 研究目的

動く植物に興味を持ち、その運動のメカニズムや目的が気になった。そこで知育教材などでよく使われていて身近なオジギソウが思いつき、調べていくとオジギソウには接触による刺激によって葉を閉じる膨圧運動と昼夜の明暗刺激によって葉を閉じる就眠運動（今後は開葉・閉葉運動と明記）という運動をすることが分かった。その中でも、就眠運動の際の葉の開閉運動に着目し、研究を進めることにした。

3. 研究方法

【予備実験】

オジギソウとは：原産南アメリカ、現在は世界中に帰化している。日本には江戸後期にオランダ船により持ち込まれたとされている。現在は沖縄で帰化植物として野外で繁殖している。本来は多年草であるが、耐寒性が低いため日本の園芸では一年草扱いにすることが多い。5月頃に種子を蒔くと、7-10月頃にピンクの花が開花する。今回実験に使用したオジギソウはドイツ産で、ネット通販により入手。室内の温室で栽培した。（図1、2参照）

①. オジギソウが完全に閉葉する明るさを測定する。

<準備物>

オジギソウ、照度計、暗室

<方法>

オジギソウを暗化状態にさらして閉葉させる。その際、照度を測定し記録する。

<結果>

10luxより低い値でオジギソウは閉葉した。

②. オジギソウを暗化状態においたとき葉が閉じきるのに十分な時間を測定する。

<準備物>

オジギソウ、照度計、暗室、ストップウォッチ

<方法>

オジギソウを5個体ずつに段ボール箱をかぶせ、それぞれ20分、30分、40分、50分、60分のタイミングで段ボール箱をあけて葉が閉じているかを確認する。

<結果>

30分後に箱を開けたときの5個体はどれも完全に閉葉していた。

③. オジギソウがLEDライトで開葉するかどうかを観察する。

<準備物>

オジギソウ、暗室、白色LEDライト（赤、緑、青の3色を含むもの）

<方法>

閉葉しているオジギソウに白色LEDライトの光を当てる。

<結果>

白色LEDライトの光を当てると、自然光と同様にオジギソウは開葉する。

◎今後の本実験を行う上での前提条件

予備実験の結果より、10 lux より低い値の照度でオジギソウの葉を閉葉させる。また、葉が完全に閉葉するのに十分な時間を40分間とし、暗化条件にさらす。先行研究よりオジギソウの概日リズムは一度定着すれば約5日保全されることが分かっているため実験による概日リズムの乱れは考えない。加えて、オジギソウの鉢に個体番号を振り、連続での実験は避ける。

実験は低温培養器内で行い外気温は25度に統一する。(図3参照)

◎開葉・閉葉の判断基準

オジギソウの葉が密着しているものを閉葉しているものと考え、葉と葉の間に隙間が確認できた時を開葉開始時とした。また、光を照射したのち、葉の開葉運動が見られなくなり、主葉枕の運動のみが見られた時を葉が完全に開葉したものとする。

ただし、今回の実験では葉の開閉のみに注目したため主葉枕の運動は考えない。

判断基準に個人差が生じるのを防ぐため、今回の実験における開葉・閉葉運動の判断は一人に固定した。

【本実験】

オジギソウは、昼夜の明暗刺激によって就眠運動を行うことが先行研究より分かっている。そして、就眠運動を行う理由として「光合成を効率よく行うため」「敵から身を守るため」「体内の水分が蒸散するのを防ぐため」など様々な説がある。そこで私たちは、光合成を効率よく行うためという説に注目し、実験①を行った。

実験①；昼夜の明暗刺激によって起こる就眠運動は、太陽光のどの波長によって引き起こされているのか調べる。

<準備物>

オジギソウ、ビデオカメラ、LEDライト、暗室用のダンボール箱、照度計、ストップウォッチ

<実験方法>

(1)オジギソウを40分間暗化状態にさらして閉葉させる。

(2)閉葉させたオジギソウに波長の異なる光である赤色(波長約625nm)、緑色(波長約510nm)、青色光(波長約460nm)のLEDライトを当てて開葉運動の有無を、ビデオカメラで録画し観察する。

*実験は25度一定の低温培養器内で行った。また、実験個体は赤色・緑色・青色光それぞれ8個体で行った。(図4参照)

<仮説>

赤と青の光の波長は就眠運動を引き起こす、緑の光の波長では引き起こさない。

理由→植物内に赤と青の光を吸収する受容体(クロロフィルに代表される光合成色素など)が存在するので、就眠運動にも利用されているのではないかと推測される。

先行研究より、オジギソウの就眠運動は、オジギソウに備わる固有の概日リズム(体内時計)によってコントロールされることが分かっている。この先行研究をもとに、実験②、実験③を行った。

実験①'；オジギソウに青色より波長の短い紫外線(波長356nmと254nmのもの)を当てたとき葉が開くかどうかを観察する。

<準備物>

オジギソウ、ビデオカメラ、暗室用のダンボール箱、照度計、ストップウォッチ、紫外線ライト(波長356nm-254nm2種で切り替え可能)(図5参照)

<実験方法>

照射する光を紫外線ライトに切り替えたのち、実験①と同じ方法で行う。

<仮説>

紫外線の波長を変えても葉は開葉するのではないかと推測される。

実験②；オジギソウの夕方における閉葉運動がどの程度、概日リズムにコントロールされるのか調べる。

<準備物>

オジギソウ、ビデオカメラ、LEDライト、暗室用のダンボール箱、照度計、ストップウォッチ

<実験方法>

- (1)オジギソウを40分間暗下状態にさらして閉葉させる。
- (2)閉葉させたオジギソウに青色LEDライトを当てて、開葉運動の有無と、開葉に要した時間を、ビデオカメラで録画した動画をもとに調べる。
 - *8時から閉葉させる個体、9時から閉葉させる個体など、各個体で閉葉させる時間帯を決めて実験を行った。
 - また、実験①より、青色LEDライトを当てると葉が開いたため、この実験で葉を開葉させる際、青色LEDライトを用いた。実験は、全47個体25度一定の温室内で行った。

<仮説>

自然界におけるオジギソウの就眠運動と同じ周期で切り替わる。

実験③；オジギソウの朝方における開葉運動が、どの程度概日リズムにコントロールされるのか調べる。

<準備物>

オジギソウ、ビデオカメラ、LEDライト、暗室用のダンボール箱、照度計、ストップウォッチ

<実験方法>

オジギソウが太陽による光刺激を受け、葉を開き始める明け方まで暗下状態にさらしたオジギソウを、ビデオカメラで録画し、観察する。

*比較のため、自然状態でのオジギソウの明け方の開葉運動の様子も記録した。

オジギソウは、各18個体用い、25度一定の温室内で実験を行った。

<仮説>

自然界におけるオジギソウの就眠運動と同じ周期で切り替わる。

4. 結果

(実験①)

赤色、緑色のLEDライトを当てたオジギソウは開葉しなかった。

青色LEDライトを当てたオジギソウは、開葉した。

(実験①')

356nmの紫外線を当てたとき葉はわずかに開いた。

254nmの紫外線を当てたとき葉は開かず、その後オジギソウは枯れた。

(実験②)

8時～15時50分の間に閉葉させ、人為的な光照射を行ったオジギソウ全29個体は、どの個体も開葉運動が見られた。*すべての個体とも4月～6月頃に実験

16時以降に人為的な光照射を行ったオジギソウ全18個体は、どの個体も開葉運動が見られなかった。そのうち2個体で、人為的な光照射により葉が開き始めたものの、完全に開ききらないという運動が見られた。

*すべての個体とも5月17日～29日に実験(グラフ1参照)

(実験③)

明け方まで暗化状態にさらしていたオジギソウは、18個体中12個体が午前5時46分から午前6時31分の間に開葉した。そのうち、8個体は再び閉葉した。

*7月19日に実験 日の出は午前5時05分(国立天文台 暦計算室より引用)

明け方まで自然状態にさらしていたオジギソウは、18個体中全ての個体が午前5時19分から午前5時44分の間に開葉した。再び閉葉した個体はなかった。

*7月9日に実験 日の出は午前4時59分(国立天文台 暦計算室より引用)

5. 考察

(実験①)

オジギソウは就眠運動の時、青色の光に反応した。しかし、光エネルギーを吸収する光合成色素の代表であるクロロフィルは、赤色と青色の光を吸収する。このことから、就眠運動は、必ずしも光合成を効率よく行うための運動ではないと考えられる。(グラフ2,3)

(実験①')

葉が開ききらなかったことから、オジギソウは紫外線には反応しない、もしくは今回実験に使用した紫外線の強度がオジギソウにとって強すぎたため細胞を破壊され反応できなかったと考えられた。そのため、オジギソウの就眠運動は波長の短い光ではなく460nm付近の限られた波長の光に反応していると予想した。また、356nmの紫外線を当てたとき葉が少し開いたが、これは紫外線ライトからわずかに出て

いる可視光に反応した可能性も考えられるため、紫外線には反応していないとは断定できない。

(実験②)

15時50分までに光を照射した個体はすべて開葉し、16時から光を照射した個体はすべて開葉しなかったことから、オジギソウの就眠運動に優先されるものが人為的な明暗刺激から概日リズムに切り替わる時間帯は、15時50分から16時の間であると考えられる。また、光を当てていても16時以降はオジギソウの開葉を確認できたことから、葉が開葉し始める時間帯は、概日リズムに従うという先行研究が証明された。(グラフ4,5参照)

(実験③)

太陽光が当たらない状態でもオジギソウの葉が開葉し始めたことから、開き始めとなる時間も閉じ始める時間と同様に、概日リズムに従うことが証明された。しかし太陽光が当たる状態で実験した時、当たらない状態で実験した時よりも開葉し始める時間が早まったことから、太陽光を受けることで開葉し始める時間が早まると考えられる。また、太陽光が当たらない状態で観察した時、開葉した個体も再び閉葉し始めたことから、開葉した状態を保つためには継続的に光を受けることが必要であると考えられる。

6. 結論、今後の課題

オジギソウの就眠運動は、自然界における日没と明け方の明暗刺激によって葉の開閉を開始するが、その就眠運動に利用されている光の波長はまだ特定に至っていない。しかし今回の実験により、オジギソウの就眠運動を引き起こした光の波長は赤、緑、青の三色光のうち青のみであったことから、就眠運動においては太陽光のすべての光の波長を受容しているわけではなく、特定の光(青色)のみを受容していることが明らかになった。そして私たちは、先行研究にある「オジギソウが就眠運動を行う理由は光合成を効率よく行うためである」という説については、光合成色素の代表であるクロロフィルが受容している光が、赤と青の二色であるのに対し、オジギソウの就眠運動を引き起こす光の波長は青のみであることから、光合成と就眠運動の関係性についてはより考察が必要ではないかと考えた。

またオジギソウは、午前中から16時前までは人為的な暗化条件後に外部刺激(光照射)を与えると開葉するが、16時以降は開葉を示さないことから、この時間を境に概日リズムによるコントロールが優先され、外部刺激によって開葉が引き起こされなくなる。よって、就眠運動の開始時間と終了時間を決めてるのは概日リズムであると確認することができた。

そして就眠運動のうち開葉運動にのみ焦点をおいた時、明け方に概日リズムにしたがって開葉した状態を維持させるためには、継続的な光照射が必要だと考える。しかし、このことについてはより実験回数を増やし考察を深めていく必要がある。

以上のことから、オジギソウの就眠運動を研究して行くことで、オジギソウの就眠運動がその生態にどのように関わっているのかを調べていきたい。特に就眠運動を行うマメ科の植物の育成と就眠運動の関係性に注目することで、効率の良いマメ科植物の育成方法につなげていきたいと考えている。

今回は全ての実験を4月~7月と短い期間で行ったため、日没と日の出の時刻に大きな差はなかったが、今後は概日リズムによってコントロールされている開葉・閉葉運動を始める時間は、季節の違いによって変化するのかを調べていきたい。そのために、概日リズムにコントロールされている就眠運動を毎日観察し、その日の日の出、日没の時間と比較していく。最終的に四季ごとに比較し観察する。もしも、開葉・閉葉運動を始める時間に違いがみられたならば、季節によって概日リズムが変化していると考えられる。

7. 参考文献

上田 実 「植物の運動を支配する鍵化学物質」

https://www.jstage.jst.go.jp/article/kagakutoseibutsu1962/40/9/40_9_578/pdf/-char/ja

土屋 隆英 「植物の運動 —オジギソウの運動を中心として—」

<http://www.st.sophia.ac.jp/scitech/prmags/no12/no12toku.html>

田澤 仁 「マメから生まれた生物時計：エルヴィン・ビュニングの物語」

<http://topics.libra.titech.ac.jp/en/recordID/catalog.bib/BA91609687>

8. 謝辞

これまで熱心に助言してくださった鶴木先生、林先生、研究に携わってくださった先生方にこの場をお借りしてお礼申し上げます。

9. 図表・画像



(図1) オジギソウの栽培の様子



(図2) オジギソウ



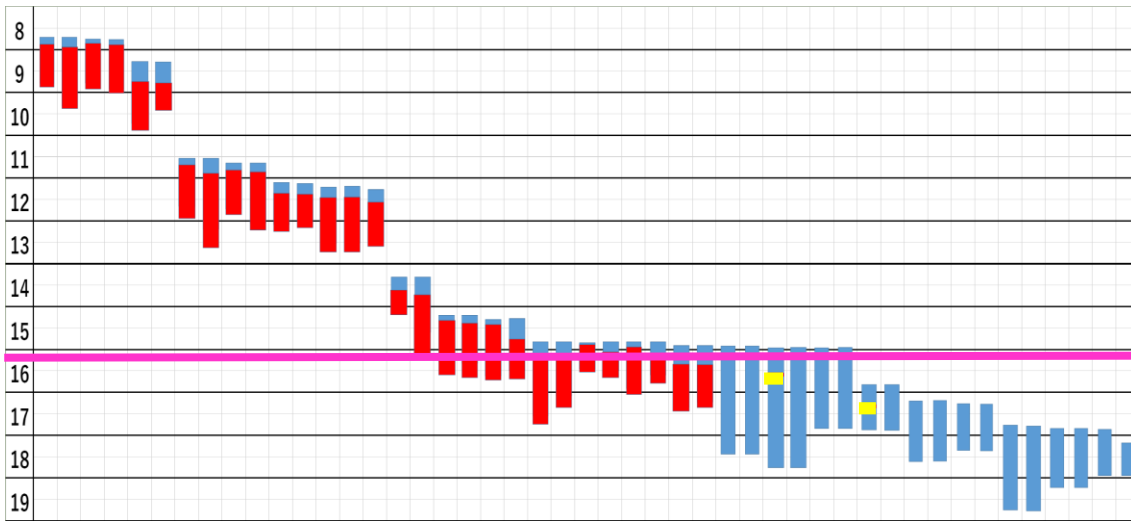
(図3) 撮影の様子 (外)



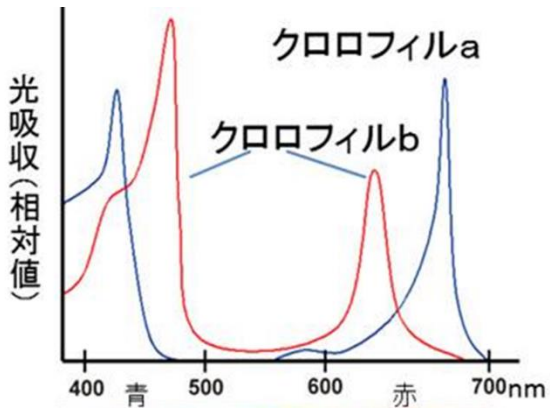
(図4) 撮影の様子 (中)



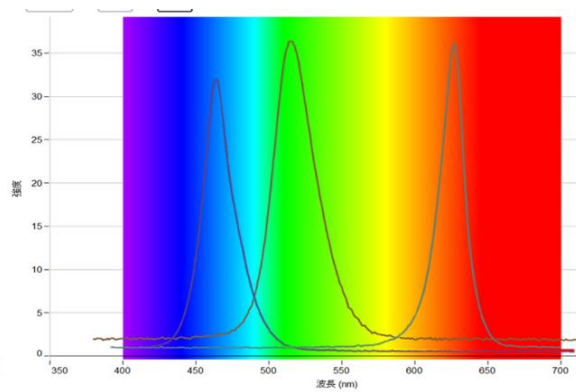
(図5) 紫外線ライト



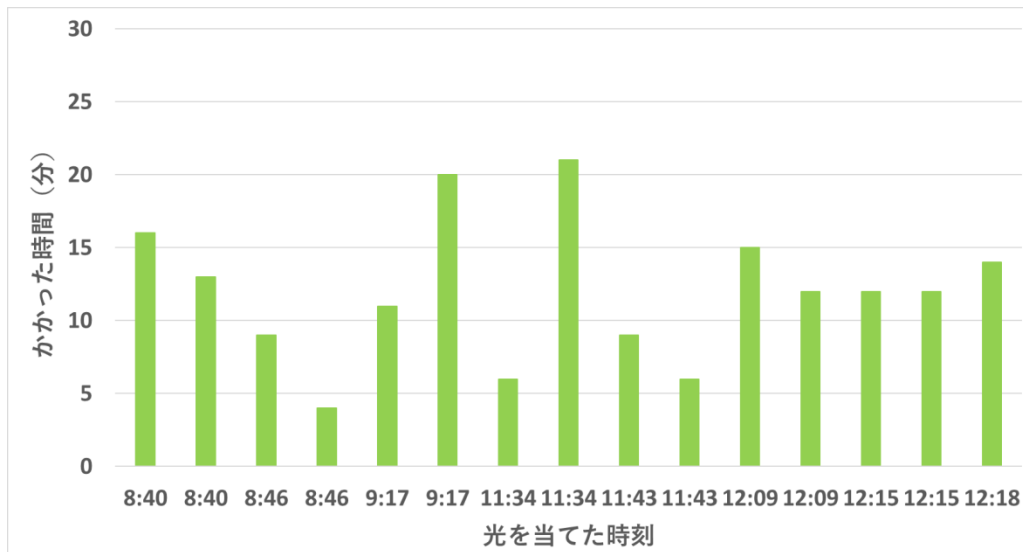
(グラフ1) 実験②結果
 青：光を当ててから開葉し始めるまでの時間
 赤：開き始めから開ききるまでの時間
 黄色の印がある個体（2個体）：開き始めたが完全に開葉しなかった個体



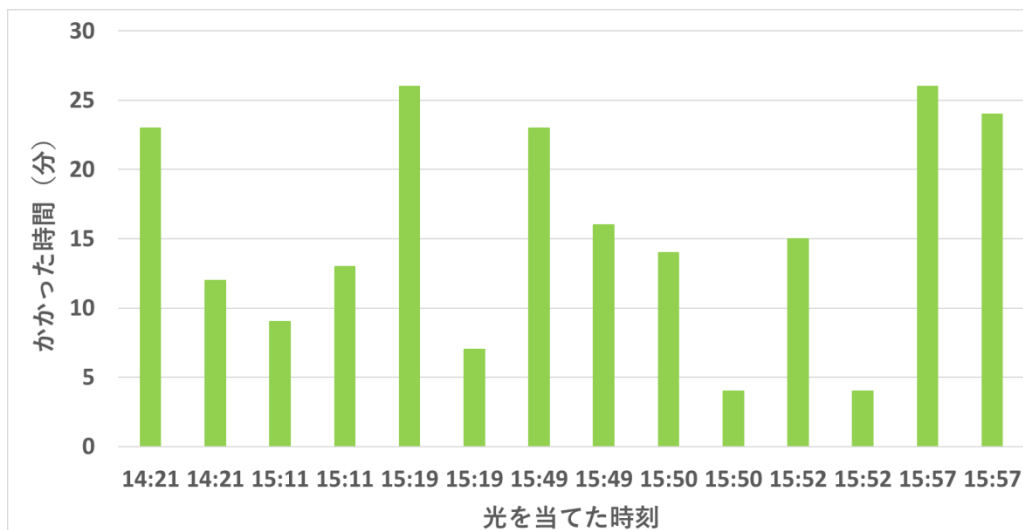
(グラフ2) クロロフィルが吸収する光の波長



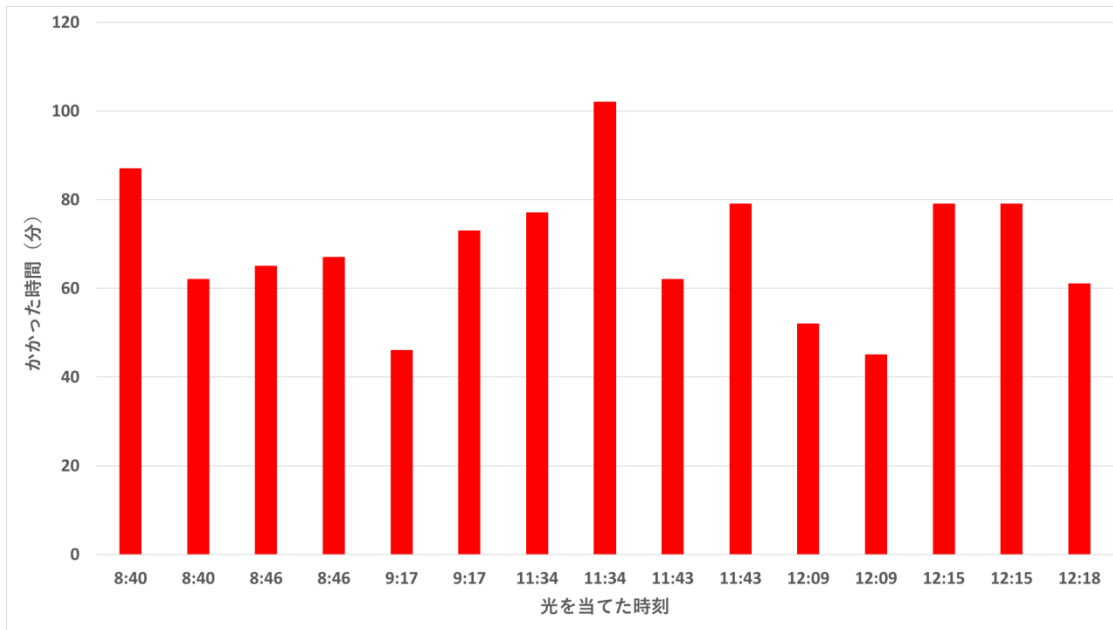
(グラフ3) LED光源の波長



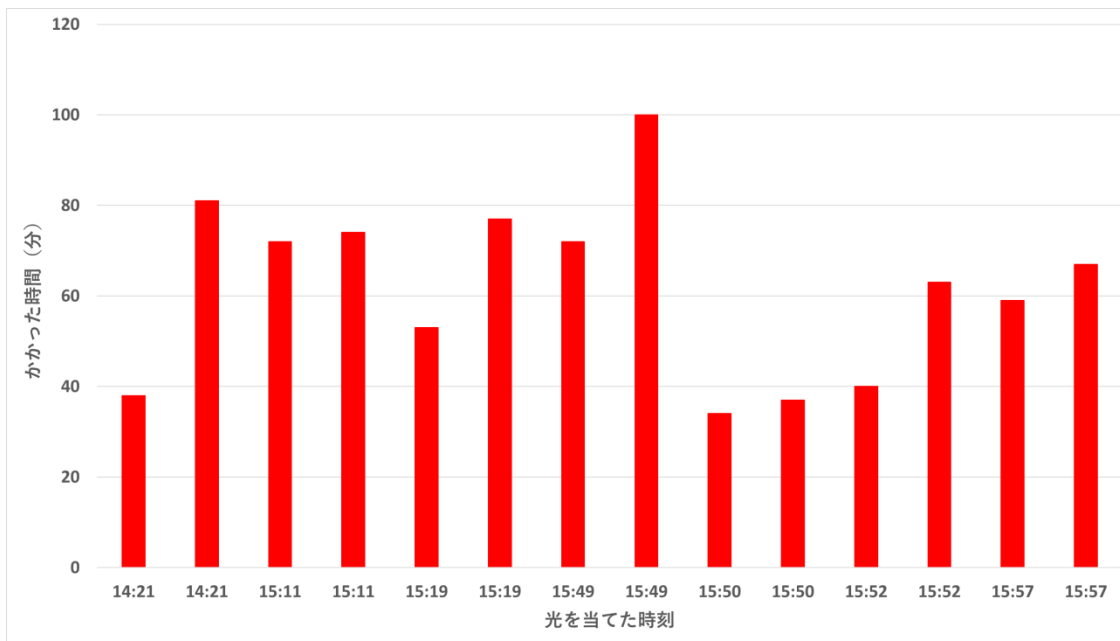
(グラフ 4-1) 各個体に光照射後、開葉開始までに要した時間 (8:40～12:18 の間)



(グラフ 4-2) 各個体に光照射後、開葉開始までに要した時間 (14:21～15:57 の間)



(グラフ 5-1) 開葉し始めてから開ききるまでに要した時間 (8:40~12:18 の間)



(グラフ 5-2) 開葉し始めてから開ききるまでに要した時間 (14:21~15:57 の間)