

森林物理学実験及び実験法－環境計測の基礎

森林水文学分野

目的

森林生態系の多面的機能には、

- 生物多様性保全
- 地球環境保全
- 土砂災害防止機能／土壤保全機能
- 水源涵養機能
- 快適環境形成機能
- 物質生産機能
- 保健・レクリエーション機能
- 文化機能

などがある。このうち、下線の項目を定量評価し予測可能にするためには、森林をとりまく微環境や、森林と環境との相互作用の現れである物質の動き(=フラックス)を計測する必要がある。

本実習では、様々な森林環境計測の基礎となる気象要素や、樹体内の水のフラックス(樹液流速)の計測法を学ぶ。

方法

5班に分かれて、以下の作業を行う

1日目:農学部総合館内部および周辺の木立において、光量子量、温湿度、樹液流速の測定を行う。①測定原理を学ぶ、②測定プランに合わせてデータロガーをプログラミングし設置の準備を行う、③測器を設置し翌日に渡って連続自記計測する。④アスマン通風乾湿計を使って自記温湿度計の較正を行う

2日目:①アスマン通風乾湿計を使って自記温湿度計の較正を行う、②測器の撤収、③データの回収、④計測データを整理し、各結果についてレポートを作成する。

1—① 測定原理を学ぶ

放射環境、温湿度の測定 (配布資料:竹内均監修「地球環境調査計測事典 第一巻 陸域編①」フジ・テクノシステム 2002年(第4編第3章第2節「植物群落の微気象測定法」p777-p791)のP777-783を参照、アンダーラインは本実習で使用する測器)

本実習で使う測器

1. SQ-110(光量子計)、2. TR-72wf(温湿度計)、3. 自作の熱電対温度計、4. アスマン通風乾湿計

放射環境の計測器:

- 光量子計(P778)
- 日射計、正味放射計、赤外放射計、紫外放射計、分光放射計、照度計など(P777-779)

★光量子計の出力と光合成有効光量子束密度(PPFD)の関係

今回実習に用いる光量子計(フォトダイオードタイプ, SQ-100, Apogee)は、光合成有効光量子束密度(400-700nmの波長域における光量子束密度) $5\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ で 1mV の出力を生じる。通常放射計は、製品・個体によって出力が違うので注意。

温度の計測器:

- ガラス製温度計 (P779)
- 熱電対温度計 (P779)
- 抵抗温度計 (白金測温抵抗体、サーミスターなど) (P780)
- 放射温度計 (P781)

★熱電対の起電力と接点間の温度差の関係

銅—コンスタンタン熱電対(T型熱電対)の場合: 自然な温度の範囲では、接点間 1°C の温度差で約 $40\mu\text{V}$ の起電力を生じる。

湿度の計測器:

- 通風乾湿計 (アスマン通風乾湿計など) (P782)
- 抵抗変化型 (高分子膜抵抗式など) および 容量変化型 (静電容量式) 湿度センサー (P783)

★アスマン通風乾湿計の乾球温度 T_{dry} と湿球温度 T_{wet} から水蒸気圧 e を計算する方法

$$e_s(T) = 6.1078 \times 10^{\frac{7.5 \times T}{237.3 + T}} \quad (1)$$

$$e = e_s(T_{\text{wet}}) - 0.66(T_{\text{dry}} - T_{\text{wet}}) \quad (2)$$

e : 水蒸気圧 (hPa), $e_s(T)$: 温度 T における飽和水蒸気圧 (hPa)

★水蒸気圧 e 、気温 T_a における飽和水蒸気圧 $e_s(T_a)$ 、相対湿度 RH の関係

$$RH = \frac{e}{e_s(T_a)} \times 100 \quad (3)$$

★気温 T_a 、水蒸気圧 e から大気飽差を計算する方法

$$\delta e = e_s(T_a) - e \quad (4)$$

δe : 大気飽差 (hPa)

大気飽差は、空気の乾燥具合を表し、蒸発しやすさの指標となる

★測器は必ず正しく測れているか検定を行い、必要に応じて補正を行う。本実習では、アスマン通風乾湿計を用いて、TR-72wf による気温・湿度を検定する。

樹液流速の測定 (配布資料: 森林水文学編集委員会編「森林水文学」森北出版 2007 年(第 5 章、P116-119 参照)

本実習で使う測器 1. グラニエ法センサー

樹液流速の計測器:

- ヒートパルス法 Heat pulse method (Swanson & Whitfield 1981J. Exp. Botany)
- 茎熱収支法 Stem heat balance method (Sakuratani 1981 J. Agric. Meteorol.)
- グラニエ法 Thermal dissipation probe method (Granier 1987 Tree Physiol.)

★グラニエ法の仕組みと樹液流速の計算方法



図のような二つで一組の針状プローブを辺材部に挿入する。上側はヒーター付温度センサー (HS)、下側はリファレンス温度センサー (RS) (どちらも温度センサーは熱電対温度計) である。HS には一定の熱量がかけられる。樹液流速が早いほど HS 周辺の樹液流が熱を持ち去るので、HS と RS の温度差が小さくなる。2 点間の温度差を測定し、以下の式で樹液流速を算定する。

$$u = 1.19 \times 10^{-4} K^{1.23} \quad (5)$$

$$K = (\Delta T_{\max} - \Delta T(u)) / \Delta T(u)$$

u : 単位辺材面積あたり樹液流速 ($\text{m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)、 ΔT_{\max} : u が 0 の時の 2 センサー間温度差、 $\Delta T(u)$: u 測定時の 2 センサー間温度差

1-② 測定プランに合わせてデータロガーをプログラミングし設置の準備を行う

1. TR-72wf(温湿度計)の設定と設置準備

PC と通信し、設定を送信 (10 分インターバルで測定)

ロガー上での出力値を確認

本体を自然通風シェルターに、シェルターを三脚に取り付ける。

⇒ 1-④を適宜行う

2. データロガーMIJ01 のプログラミングと設置準備

データロガーの電源供給確認 (テスターで出力電圧の確認)

PC とデータロガーMIJ01 を接続する(要:COM ポートの調整)、時計合わせ
PC(ソフトウェア:E_LOGsetting)で測定プログラム作成(P6 参照)
プログラムをデータロガーMIJ01 に送る

3. SQ-110(光量子計)の設置準備

三脚上にセンサーを取り付ける(設置時にレベルを合わせる)
データロガーへ配線(赤-Diff1_H、黒-Diff1_L、透明-AG)
テスターを使って出力 mV の確認、ロガー上での出力値を確認

4. 熱電対温度計の自作と設置準備

銅-コンスタンタン熱電対の両側の被覆を 2cm 程度剥ぐ
片側に接点を作り、接点側をシェルター内に入れる
データロガーへ配線(銅-Diff2_L、コンスタンタン-Diff2_L)
ロガー上での出力値を確認

5. グラニエ法センサーの設置準備

(今回は制作済みのセンサーを使用し、ヒーターは別途ロガーで制御)
センサーのデータロガーへの配線用ケーブルを準備し、配線を確認
(赤: Diff3_H、黒: Diff3_L、緑: Diff4_H、白: Diff4_L)

6. プログラムをデータロガーに送って、ロガーをスタートさせる

7. 設置準備

TR-72wf と MIJ01 の現在のデータを確認する

データを回収してみて記録すべきものが記録されているかを確認

8. 物品の整理整頓、設置手順と道具の確認 (8. までできたら外に移動)

★データロガーMIJ01 で PPF D、自作熱電対気温、樹液流速用センサー間温度差を 10 分インターバルで
測定、記録するための設定手順

MIJ01の使い方(マニュアルより抜粋)(手順2)

2.1 メモリーカードを装着する(方向間違わないように！)

2.2 電池を入れる、テスターで電圧を確認

3.0 MIJ01とPCを接続し、PCで専用ソフトウェアELOGsettingを立ち上げる

3.1 PC上でCOMポートを設定する (今回はCOM1に設定する)

Connectボタンを押して通信を開始する(MIJ01のスイッチはSTOP位置に！)

3.2 時計合わせ: Set Timeボタンを押してロガーの時計をPCに同期させる(その前にPCの時計を合わせる)

4.0 測定インターバルを選ぶ(今回は10分に設定する)

4.2 光量子計を使ってDIFF1chで測定するよう、設定する

今回使用する光量子計は $5\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ で1mVの出力を生じ、

光量子量は晴天日の最大で $2000\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 程度なので、 $\pm 1250\text{mV}$ レンジを選ぶ

4.2 自作の熱電対温度計を使ってDIFF2chで気温を測定するよう、設定する

銅コンスタンタン熱電対=「T型熱電対」で、MIJ01に専用モードがあり、内部温度計を基準温度として、接続した熱電対の接点とロガー内部温度との差(測定されるmV値)から自動で接点の温度を計算してくれる

「T型熱電対」モードを選ぶとレンジは自動で $\pm 15\text{mV}$ に設定される

4.2 グラニエセンサーの2センサー間温度差(熱電対温度差)をDIFF3chで測定するよう、設定する
自作の気温計と同じT型熱電対だが、グラニエセンサーではセンサー2点間の温度差を測定したいので、ロガーの「T型熱電対」モードと内部温度計を使わず、mV出力を直接測定する

5. Other settingで、ロガー内部のサミスター温度計での熱電対冷接点温度と電圧を記録するよう設定する

6. Physical Value Settingで、mVから物理量への計算式を設定する

(ここでセンサーを接続する。)(手順3, 4, 5)

マニュアル3.に戻って (手順6)

3.4 Read Nowで今の出力値を確認

3.5 バッテリーの持ち時間を確認する(アルカリ電池2000mAhとして計算)

3.6 Logger statusを確認する

3.7 設定ファイルを保存し、ロガーにも送る

3.8 ケーブルを外し、ロガーのスタートボタンを押す

(ロガーをストップしてデータを取り出すとき)(手順7)

7.2 ストップボタンを押し、点滅が終わるのを待って、SDカードを取り出す

注意! :再度作業するときは、まずロガーとPCを繋いでから、ELOGを立ち上げ、Connectし、使用中のプログラムをPCの保存先から読み込む

7.3 SDカードをカードリーダーに装着し(方向注意!)、PCに挿し、ELOGでConvertする

1-③ 測器を設置し翌日に渡って連続自記計測する

(今回はグラニエ法センサーは幹に設置済みです)

光量子計の設置(レベル合わせる)・TR-72wf(温湿度計)の設置・自作の熱電対温度計配線・設置
グラニエ法センサーの配線

データの確認

防水

1-④

2-① アスマン通風乾湿計を使って自記温湿度計の較正を行う

1-②(室内準備)の段階から始め、翌日にかけて、10点以上の比較測定を行う(記録は画板へ)

★アスマンの使い方

1. アスマン通風乾湿計を箱から出して、測定したい地点に吊す。

一般的な気温、湿度の観測の場合、アスマンの吸い込み口を 1.5m の高さにする。(実際には読みにくければ、温度計の目盛りを目の高さにする。)壁、電柱など熱容量の大きいものの近くには吊さない。その物体の熱の影響を受けてしまう。直射日光の下でも正確に測定できるが、できれば日陰にする。

2. 電源を投入する。ゼンマイ式の場合は、ゼンマイをいっぱいまで巻く。

3. 湿球のガーゼにスポイトで水をつける。

スポイトで多めに水を付け、水を捨てたスポイトで、再度余分な水をガーゼから吸い取る。その後、アスマン通風乾湿計からは離れて待機する。

4. 3分以上経過したら、乾球、湿球の値を読みとる。3分以上であれば、10分以内いつでも構わない。ただし、乾燥時は湿球の水分が蒸発するのでその前に読みとる。湿球の温度が上昇し始めたら、水分が不足しているので再度3. を繰り返す。3. の水分補給後は再度、3分間待つ。事前に大体の温度を離れて読みとっておいて、実際に読むときは息を止め、一瞬で読みとる。ちょうど、吸い込み口が口の近くにあるので、体温や息で0.1~0.2℃は簡単に上昇してしまう。そこで、上記のようにできるだけ、迅速に乾湿温度を読みとる。
5. 乾球温度(T_{dry}) 湿球温度(T_{wet})を記録する。飽和水蒸気圧表を使って湿度を計算する。

2-② 測器の撤収

グラニエセンサーの配線を外し、グラニエセンサー以外の物品を室内へ持ち帰る

2-③ データの回収

1. TR-72wf および MIJ01 からそれぞれデータを回収する
2. あらかじめ数日間測定してあった分のデータもらう
元データの形式と拡張子(.csv)、データの保管方法について
3. 道具の片づけ

2-④ 計測データを整理し、各結果についてレポートを作成

1. TR-72wf の温度・湿度とアスマン通風乾湿計による温度・湿度をそれぞれグラフに書いて比較し、較正式を作成する
2. TR-72wf および MIJ01 から回収した元データをエクセルに読み込み、時間などフォーマットを整える
3. 必要があればアスマンとの比較で作成した較正式を使って温度・湿度の値を補正する
4. TR-72wf の気温・湿度から、水蒸気圧と大気飽差を計算する
5. 樹液流センサーの温度差から樹液流速を計算する
6. 提出用グラフとレポートを作成する

最終的に提出するもの

方法

結果

図1. 測器の較正結果 (TR-72wf 温度vsアスマン温度、TR-72wf 湿度vsアスマン湿度)

図2. 光量子量、気温 (TR-72wf と自作熱電対の両方)・湿度・水蒸気圧・飽差の時系列変化

図3. グラニエ法センサーの温度差および樹液流速の時系列変化

各グラフについて結果の簡単な説明と考察

最後に班メンバーの名前と、本実習に対する感想・意見を書いてください

★図の見本

チェックポイント

- ✓ 図1は直線回帰の線と式を入れる
- ✓ 軸見出しをきちんとつける
- ✓ 凡例が必要なものは凡例をいれる
- ✓ x 軸 y 軸のレンジを整える
- ✓ グラフの大きさをそろえる
- ✓ 外枠線を消す
- ✓ 白黒で見やすく表現できるようマークやラインを工夫する
- ✓ 文字や数字を適切な表記方法で十分大きく Arial などのゴシック系フォント&黒で
- ✓ グラフ枠や補助線を見やすく整える
- ✓ 線の太さやフォント・大きさなどが図内で揃うよう精密に調整
- ✓ エクセルの図が完成したら、「拡張メタファイル」形式でワードに張り付ける
- ✓ 図の下に、図1などとして適切なタイトルをつける(ワード上で)

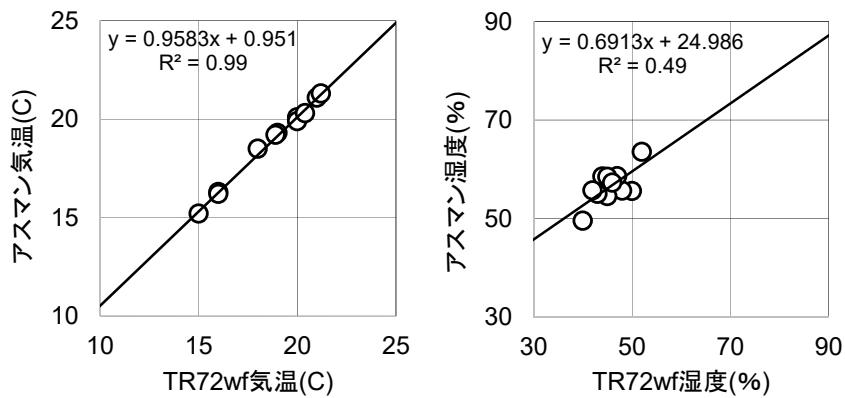


図1. TR-72wf(センサー品番:02025FCE)の温度および湿度をアスマン通風乾湿計で較正した結果。
(較正日:2016年5月19日~5月20日)

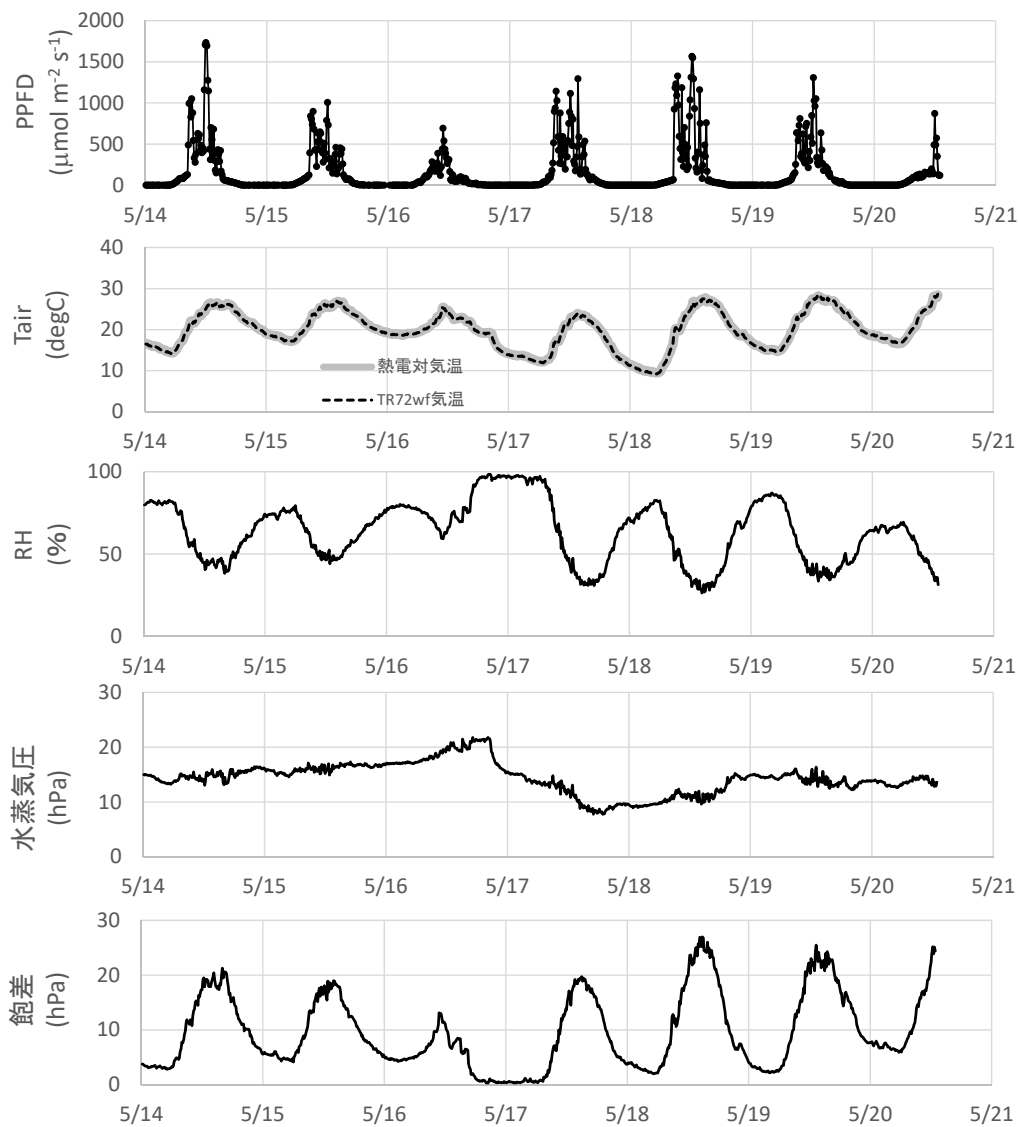


図2. 光量子量、気温・湿度・水蒸気圧・飽差の時系列変化。気温は TR-72wf と自然通風筒(市販品)、ないし自作熱電対と自作通風筒の2つのセットで測定した。測定期間は2016年5月14日～5月20日。

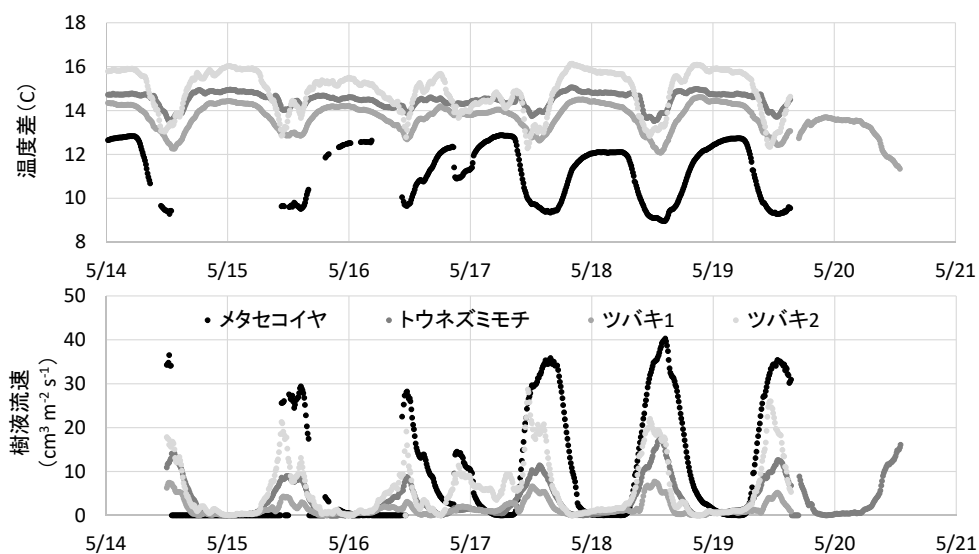


図3. グラニエ法センサーの温度差および樹液流速の時系列変化。京都大学北部構内の樹木4個体を対象とした。測定期間は2016年5月14日～5月20日。