

開放式チャンバー法による湿面の蒸発速度の計測

渋谷俊夫

開放式チャンバー内に湿らせたペーパータオルを入れて、チャンバー内の水蒸気の収支から蒸発速度を求めます。さらに計測値にもとづいて湿面上の水蒸気拡散抵抗を算定します。

1. 開放式チャンバー法による蒸発速度の計測原理

図1のように、流入出口のあるチャンバーに湿面を入れて、そこに一定流量で乾燥空気を流入させます。湿面からの蒸発によって水蒸気がチャンバー内に供給されるので、流出口からは水蒸気を含む空気（湿り空気）が出ていきます。

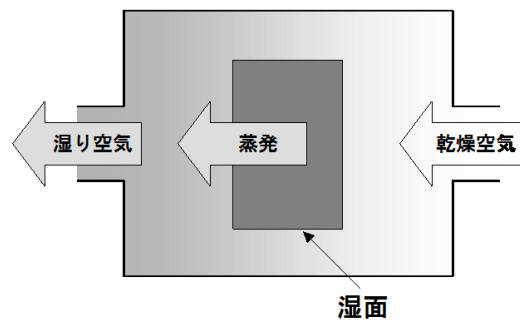


図1 開放式チャンバー法による蒸発速度の計測方法の概念図

このときチャンバーの水蒸気収支は次式のように表すことができます。

$$\text{【蒸発速度】} = \text{【チャンバーからの水蒸気流出速度】} - \text{【チャンバーへの水蒸気流入速度】} + \text{【チャンバー内の水蒸気増加速度】}$$

$(\text{gH}_2\text{O s}^{-1}) \quad (\text{gH}_2\text{O s}^{-1}) \quad (\text{gH}_2\text{O s}^{-1}) \quad (\text{gH}_2\text{O s}^{-1})$

乾燥空気を流入した直後は、チャンバー内の水蒸気量は時間とともに低下しますが、ある程度の時間が経過するとチャンバー内の水蒸気量の変化はほとんどなくなり、定常状態になります。チャンバー内の水蒸気量が定常状態のとき、チャンバー内の水蒸気増加速度はゼロとなることから、水蒸気収支は次式のように表すことができます。

$$\text{【蒸発速度】} = \text{【チャンバーからの水蒸気流出速度】} - \text{【チャンバーへの水蒸気流入速度】}$$

$(\text{gH}_2\text{O s}^{-1}) \quad (\text{gH}_2\text{O s}^{-1}) \quad (\text{gH}_2\text{O s}^{-1})$

チャンバーへ流入する空気は乾燥空気なので、チャンバーへの水蒸気流入速度はゼロとなることから、蒸発速度は次式から求めることができます。

$$\text{【蒸発速度】} = \text{【チャンバーからの水蒸気流出速度】}$$

(gH₂O s⁻¹)

(gH₂O s⁻¹)

チャンバーからの水蒸気流出速度は、流出空気の水蒸気密度と流出空気の流量から次式によって求めることができます。

$$\begin{array}{l} \text{【チャンバーからの水蒸気流出速度】} \\ \text{(gH}_2\text{O s}^{-1}\text{)} \end{array} = \begin{array}{l} \text{【流出空気の水蒸気密度】} \\ \text{(gH}_2\text{O m}^{-3}\text{)} \end{array} \times \begin{array}{l} \text{【流出空気の流量】} \\ \text{(m}^3\text{ s}^{-1}\text{)} \end{array}$$

チャンバー内の圧力変化がゼロと仮定すると、流出空気の流量と流入空気の流量は等しいと考えられるので、蒸発速度は次式から求めることができます。このときチャンバー内が十分に攪拌されていれば、流出空気の水蒸気密度はチャンバー内の水蒸気密度と等しいと考えることができます。

$$\begin{array}{l} \text{【蒸発速度】} \\ \text{(gH}_2\text{O s}^{-1}\text{)} \end{array} = \begin{array}{l} \text{【流出空気の水蒸気密度】} \\ \text{(gH}_2\text{O m}^{-3}\text{)} \end{array} \times \begin{array}{l} \text{【流入乾燥空気の流量】} \\ \text{(m}^3\text{ s}^{-1}\text{)} \end{array}$$

2. 水蒸気拡散抵抗の算定方法

植物葉内は水で満たされており、葉内の水ポテンシャルは大気よりも高いので、葉内と大気との間に水ポテンシャル差が生じ、水蒸気は葉内から大気へと輸送されます。このときに葉面抵抗、葉面境界層抵抗が水蒸気拡散抵抗として作用します。この実験では湿面を用いているので、葉面抵抗は存在しません。したがって、湿面上の境界層抵抗のみが湿面と大気との間の水蒸気拡散抵抗として作用することになります（図2）。

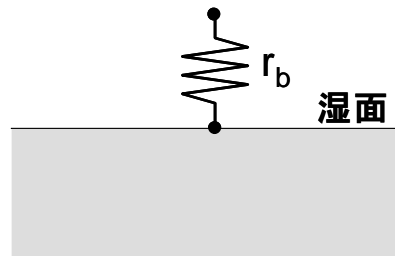


図2 湿面における水蒸気拡散抵抗の模式図

このとき、蒸発速度 (E) と葉面での水蒸気密度 (y_l)、大気の水蒸気密度 (y_a)、水蒸気拡散抵抗 (r_b) の関係は次式のようにになります。

$$E = \frac{y_l - y_a}{r_b} \quad \text{すなわち} \quad r_b = \frac{y_l - y_a}{E}$$

E : 湿面の蒸発速度 (gH₂O m⁻² s⁻¹)

y_l : 湿面における水蒸気密度 (gH₂O m⁻³)

y_a : 大気の水蒸気密度 (gH₂O m⁻³)

r_b : 水蒸気拡散抵抗 (s m⁻¹)

ここで、 E は前述のチャンバー法で求めることができます。“ y_l ”は葉面が水で飽和していると仮定すると、湿面の表面温度での飽和水蒸気密度と考えることができます。“ y_a ”はチャンバー内の水蒸気密度を計測することによって求めることができます。

3. 実験方法

計測装置

計測装置の模式図を図3に示します。ガラス製容器をチャンバーとして用います。チャンバー内に電子天秤を入れて、電子天秤の上に十分に濡らしたペーパータオルを置きます。ポンプを用いてチャンバー内に乾燥空気を送ります。乾燥空気をつくるのに乾燥剤（塩化カルシウム）を用います。乾燥空気の流量は流量調節器を用いて調節します。ファンを用いてチャンバー内の空気を攪拌します。温湿度センサをチャンバー内に設置します。

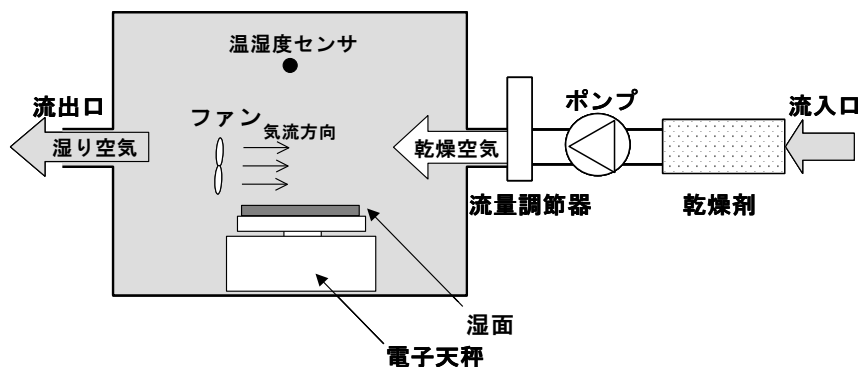


図3 開放式チャンバー法による蒸発速度の計測装置

計測手順

- ・ 流入空気の流量を流量調節器で調節して、一定流量でチャンバー内に乾燥空気を送り込みます。
- ・ チャンバー内の気温および相対湿度が定常状態になるまで待ちます。
- ・ 定常状態になったとみなしたら、攪拌用のファンを止めて湿面の質量を読みとります。
- ・ 攪拌用ファンを動かし 10 分間待ちます。この間に気温および相対湿度の指示値が大幅に動く場合には湿面の質量の読みとりをやり直します。
- ・ 攪拌用ファンを止めて湿面の質量を読みとります。

計測条件

下記の条件でそれぞれ計測をおこないます。

- ・ 流入空気の流量：3 段階
 - ・ 湿面上における気流速度：3 段階
- ファンの回転数を電圧調節器で制御することによって気流速度を調節します。

風速計でチャンバー内の気流速度を計測します。

計測項目

下記の項目の時間変化を計測します。

- ・ チャンバー内の気温および相対湿度
- ・ 流入空気の流量
- ・ ペーパータオルの質量

算定項目

上記の計測値から、各計測条件における下記の項目を算定して下さい。

- ・ チャンバー法と秤量法での湿面の蒸発速度（単位は $\text{gH}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ で湿面面積あたりとする。）
- ・ 湿面上の水蒸気拡散抵抗（便宜上、湿面表面温度は気温と等しいと仮定して算定して下さい）
- ・ チャンバー内空気の飽差（飽和水蒸気圧と水蒸気圧との差、単位は kPa ）

水蒸気密度および飽差の算定に必要な式

実験で用いる温湿度センサは気温と相対湿度を出力します。これらの値から下式を用いて水蒸気密度および飽差を求めることができます。

$$e_s = 6.1078 \cdot \exp\left(\frac{17.2693882 \cdot T}{T + 237.3}\right) \quad y = \frac{0.794 \cdot e}{1 + 0.00366 \cdot T}$$

T : 温度 ($^{\circ}\text{C}$)

e_s : 飽和水蒸気圧 (hPa)

e : 水蒸気圧 (hPa)

y : 水蒸気密度 ($\text{gH}_2\text{O m}^{-3}$)

4. レポート

計測原理・計測方法を分かりやすく正確に記述してください。このテキストに書いてある内容を写すだけでは不十分です。結果は図や表にまとめ、そこから読みとれることを文章で説明してください。図や表は何を伝えたいのかをよく考えて作成してください。単位は正確に記述して下さい。下記の内容について考察してください。他の項目について考察しても構いません。

・ チャンバー法での蒸発速度の計測精度

秤量法での蒸発速度の計測値と比較して、チャンバー法での蒸発速度の計測がどの程度正確におこなわれたかを述べて下さい。過大評価もしくは過小評価になったときには、なぜその

ようになったのかを考察して下さい。

- **チャンバー内の飽差と蒸発速度の関係**

チャンバー内の飽差を横軸に、蒸発速度を縦軸にとったグラフを作成して、容器内飽差と蒸発速度の関係を求め、なぜそのような関係になったのかを考察して下さい。

- **湿面上における気流速度が蒸発速度および水蒸気拡散抵抗におよぼす影響**

気流速度が変化したときに、蒸発速度および水蒸気拡散抵抗がどのように変化したかを記述し、なぜそのようなようになったかを考察して下さい。

- **本計測方法におけるチャンバー容積の意味**

この実験での蒸発速度の計測方法において、チャンバー容積はどのような意味を持つかを論理的に考察して下さい。

- **植物の蒸散計測への応用について**

この方法を植物の蒸散計測に応用するときに、何に留意すべきかを記述して下さい。