

蒸発速度

律速過程を組み合わせたら

ぬれた服は冷たい

水が蒸発して服を冷やす。



冷たい

水の蒸発する
速さは？



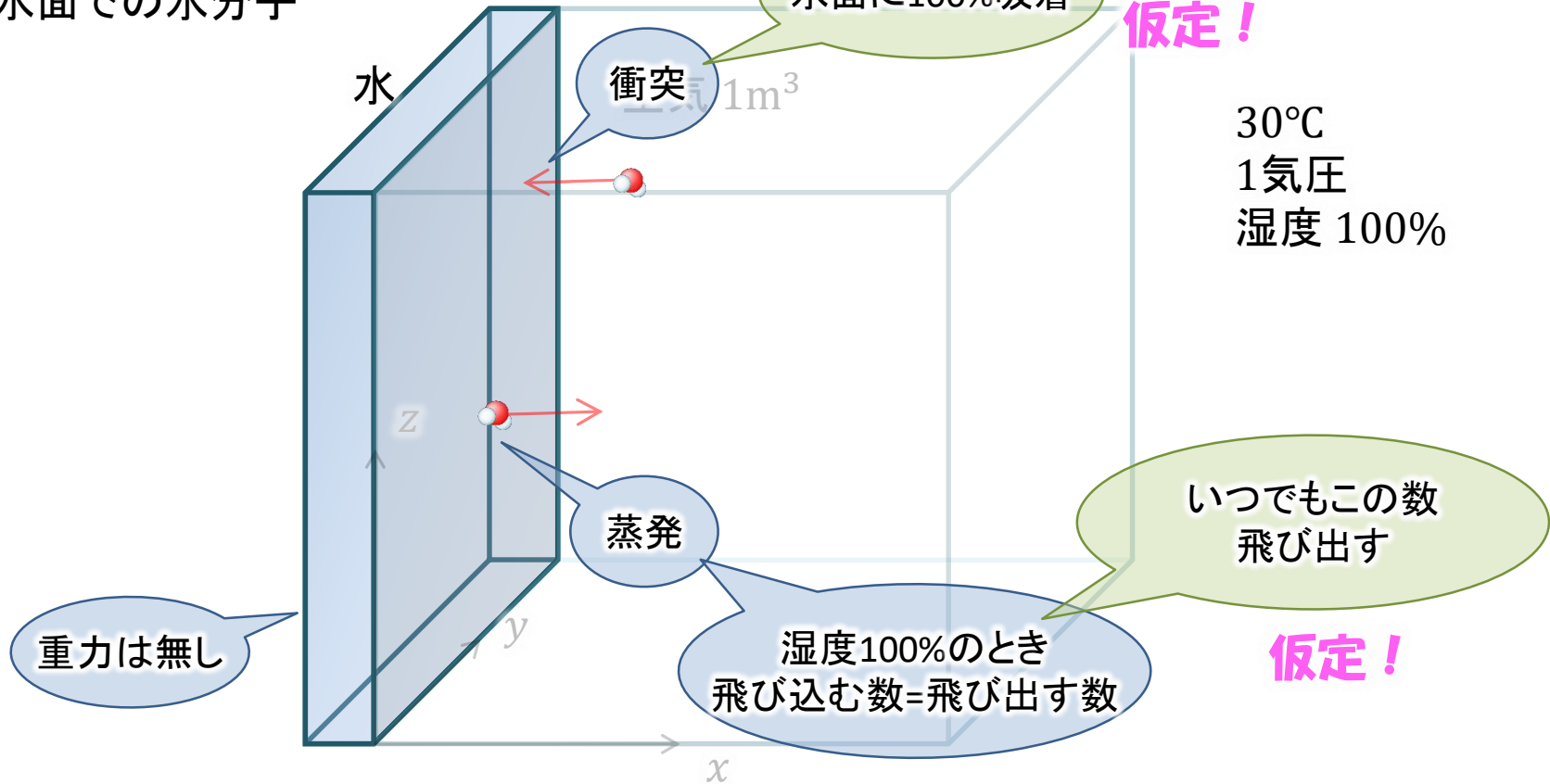
冷たくない

モデル

30°Cの理想気体 空気1m³と水の壁

仮定!

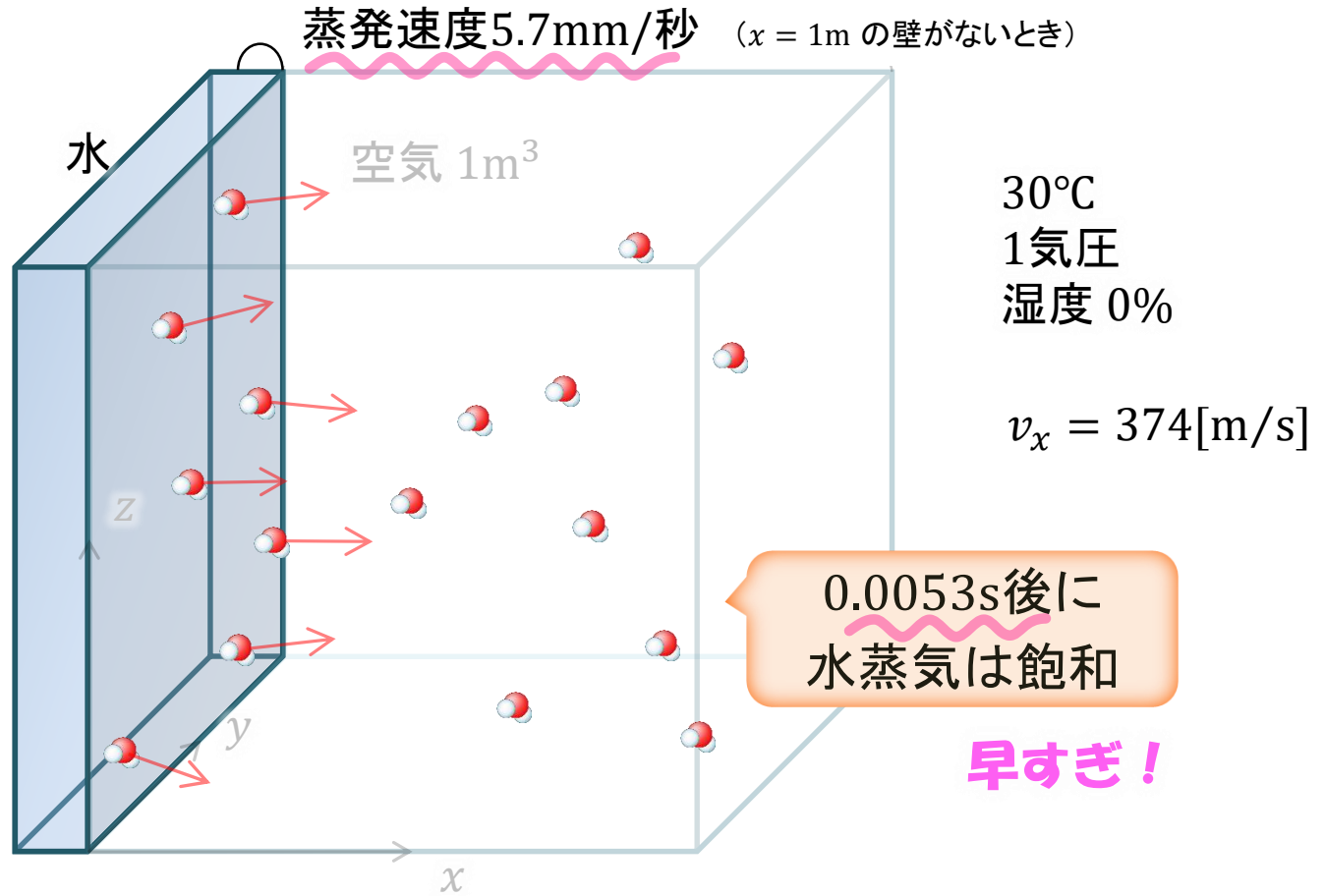
水面での水分子



湿度0%のときの蒸発速度

蒸発速度5.7mm/秒

乾くの早すぎ！

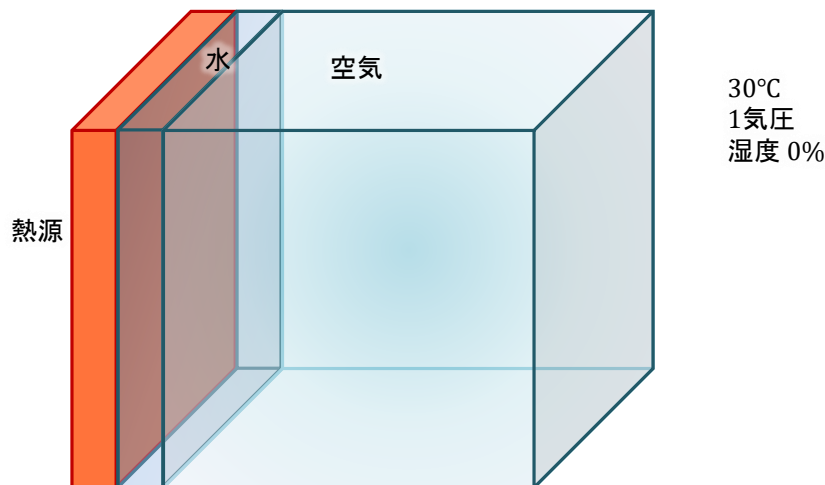


水分子は①平均自由行程の範囲で往復するため、拡散で全体に充満する
→拡散律速のモデル

ここを検討した

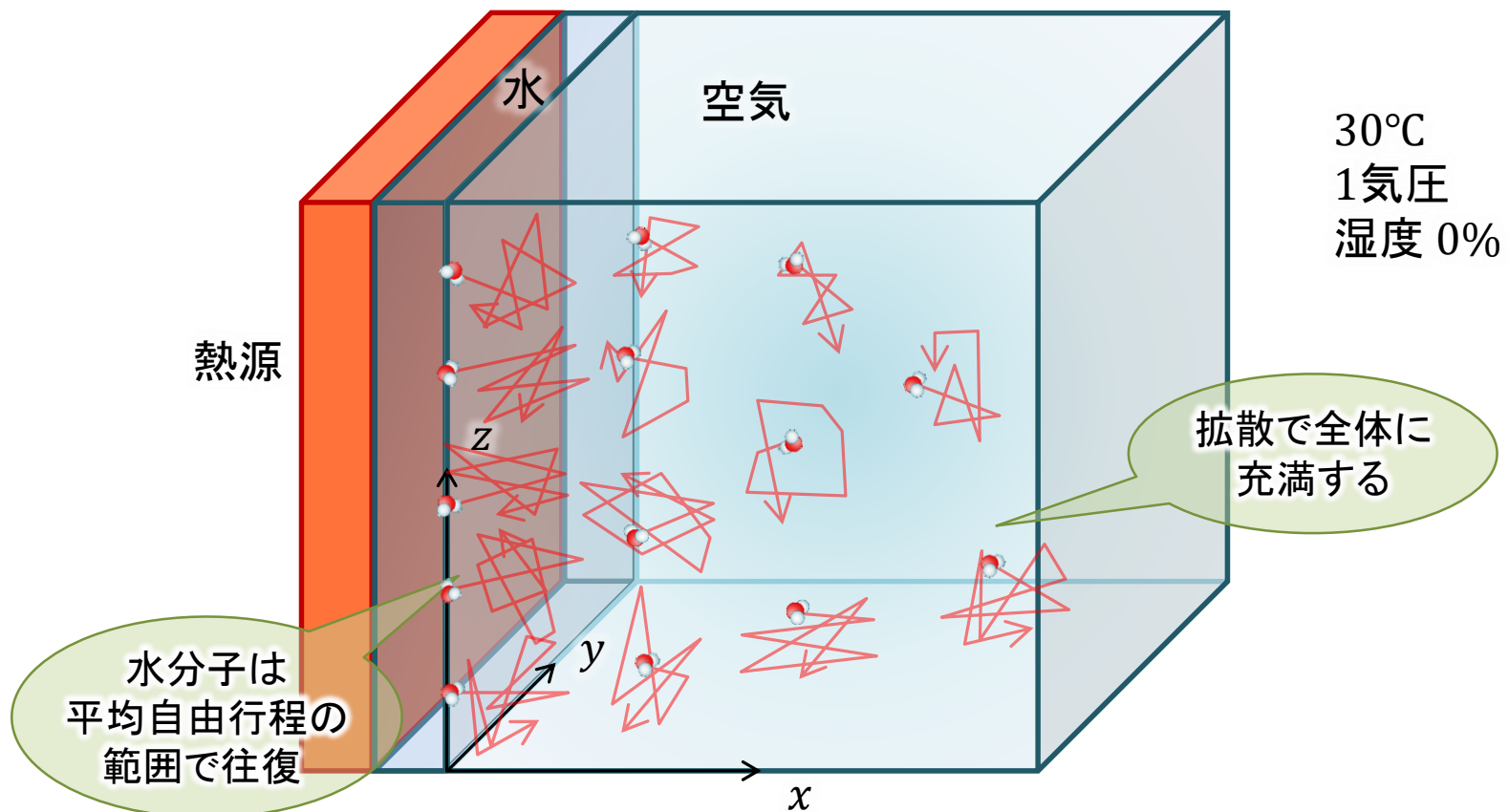
水分子は水面に100%②吸着しないかもしれない
→界面律速のモデル

③蒸発の潜熱で気温は下がるため、30.40gも蒸発しない
→水側に熱源を想定



水分子の拡散モデル

30°Cの空気と水の壁と30°Cの熱源



日記: (参照日2018年10月21日)

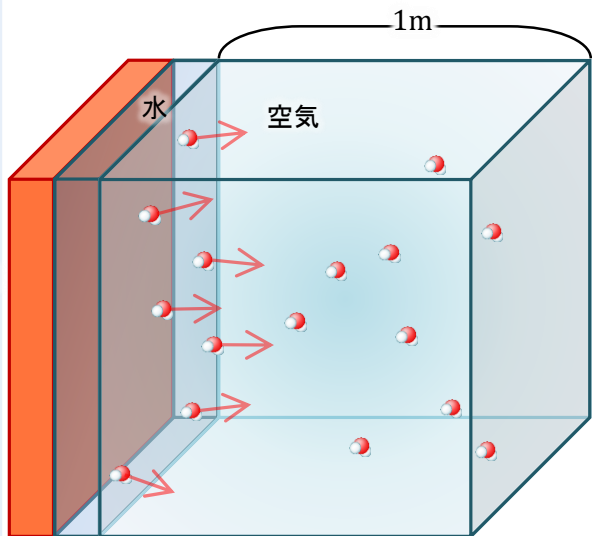
[水の気化熱でどれだけ涼しくなるのか] [水蒸気の拡散係数](#) [水蒸気の拡散時間](#)

※このイラストは大きさが不正確

モデルの改善結果

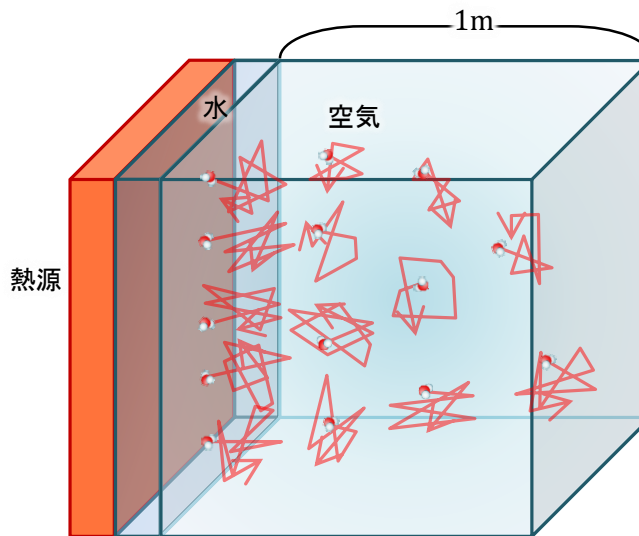
水分子は①平均自由行程の範囲で往復するため、拡散で全体に充満する
→拡散律速のモデル

理想気体



30°C
1気圧
湿度 0%
 $v_x = 374[m/s]$

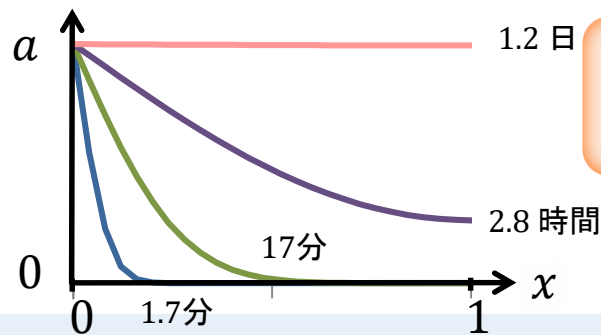
衝突する気体



30°C
1気圧
湿度 0%

0.0053s後に
水蒸気は飽和

水蒸気濃度



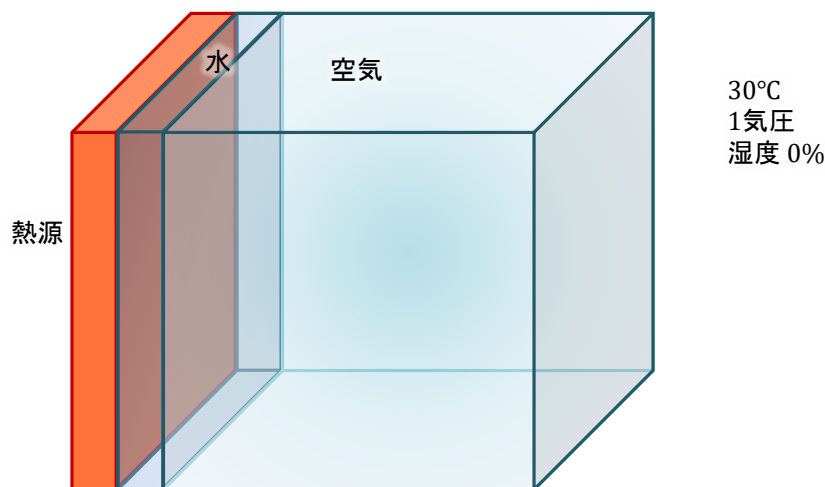
1日後に
水蒸気は飽和

水分子は①**平均自由行程の範囲で往復**するため、拡散で全体に充満する
→拡散律速のモデル

水分子は水面に100%②**吸着しないかもしれない**
→界面律速のモデル

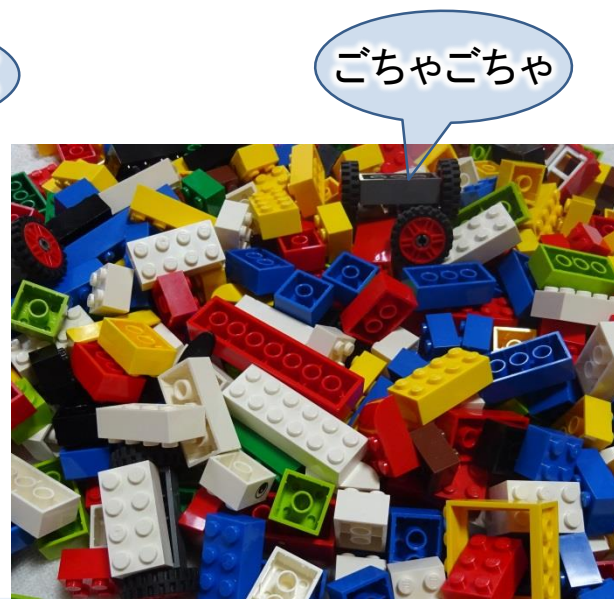
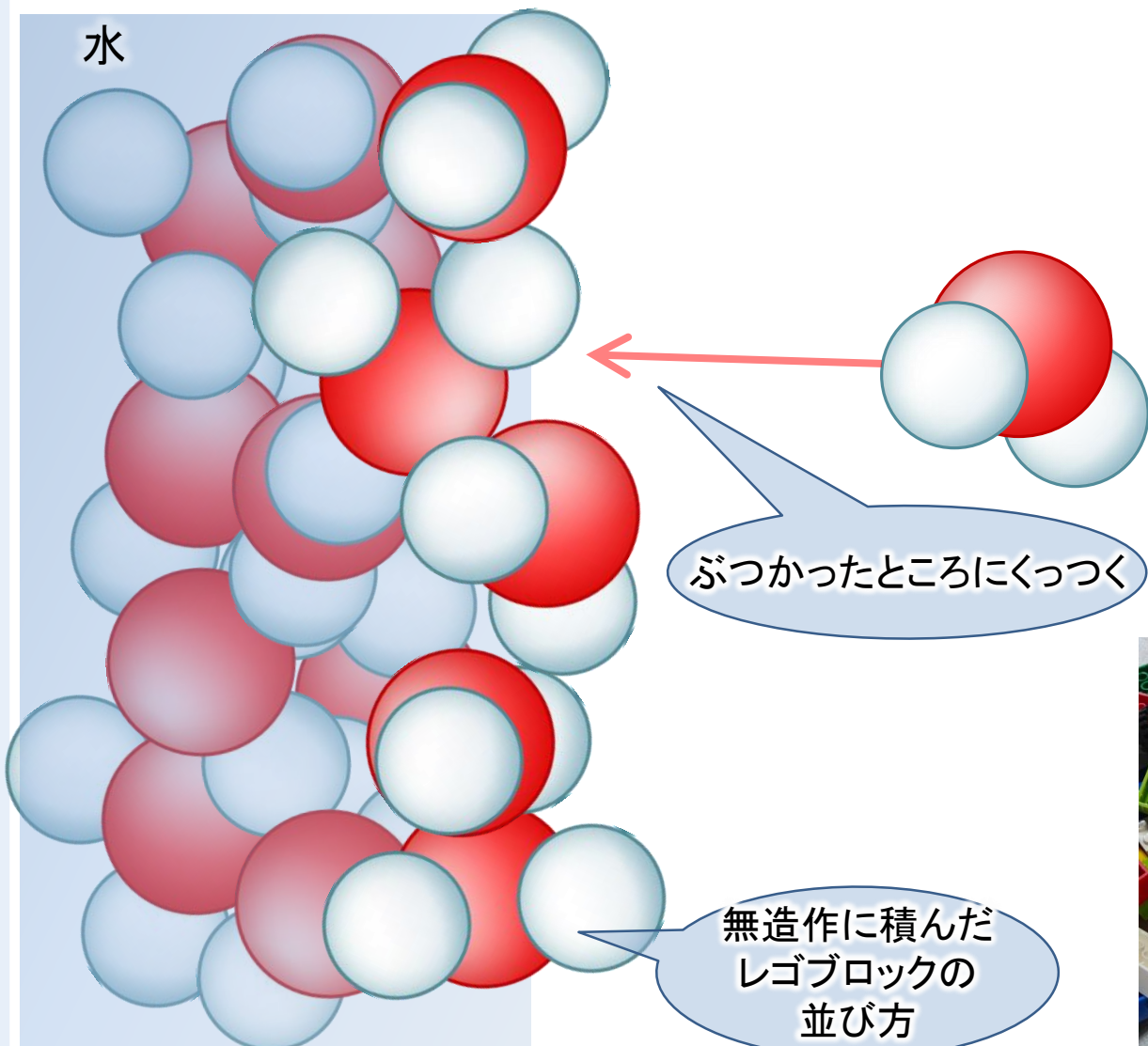
今回はここを検討

③**蒸発の潜熱で気温は下がる**ため、30.40gも蒸発しない
→水側に熱源を想定



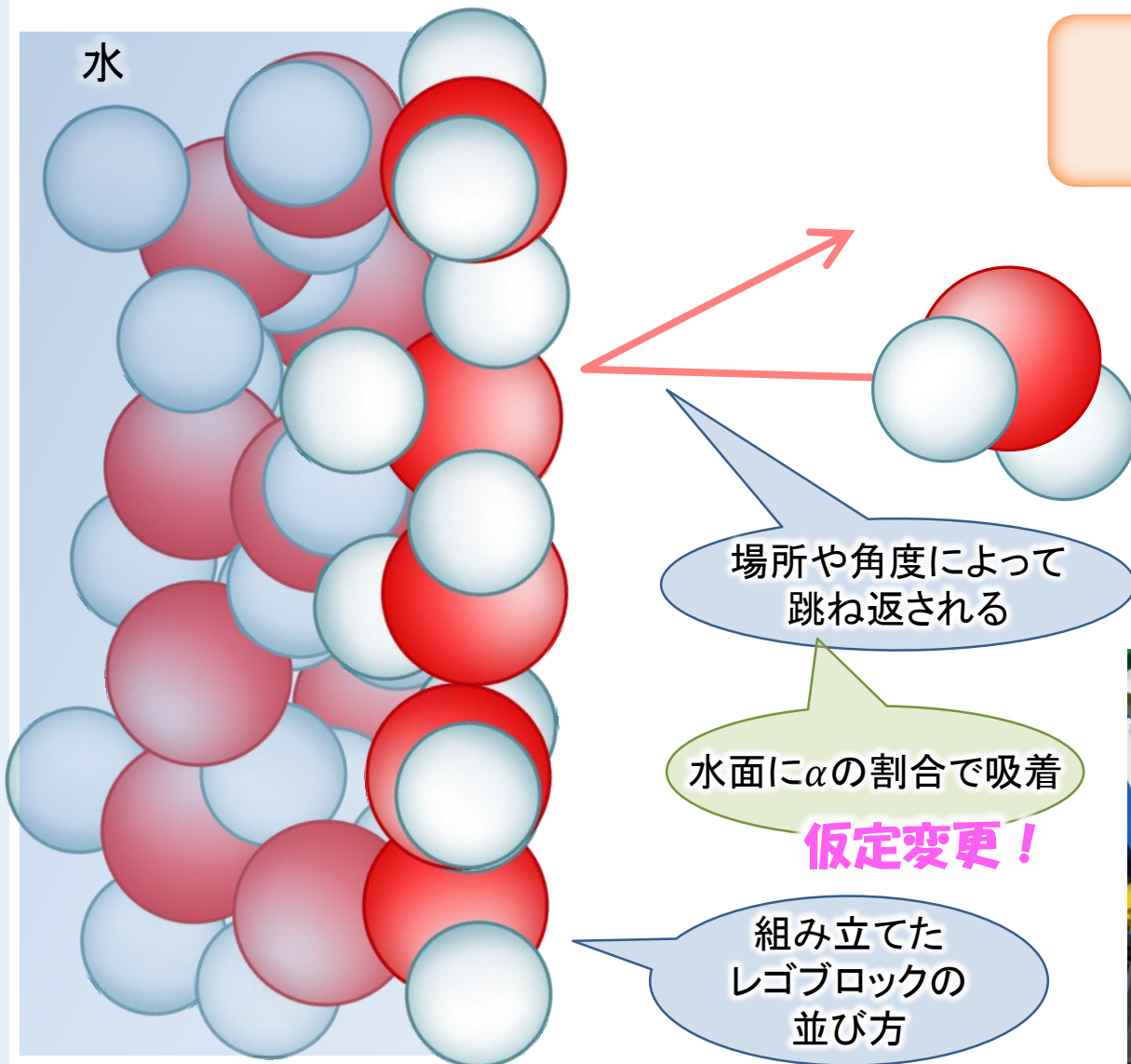
水分子が水面に当たったとき

水面の水分子がランダムな向きならば



表面張力があると

水面の水分子は表面に沿って2次元構造

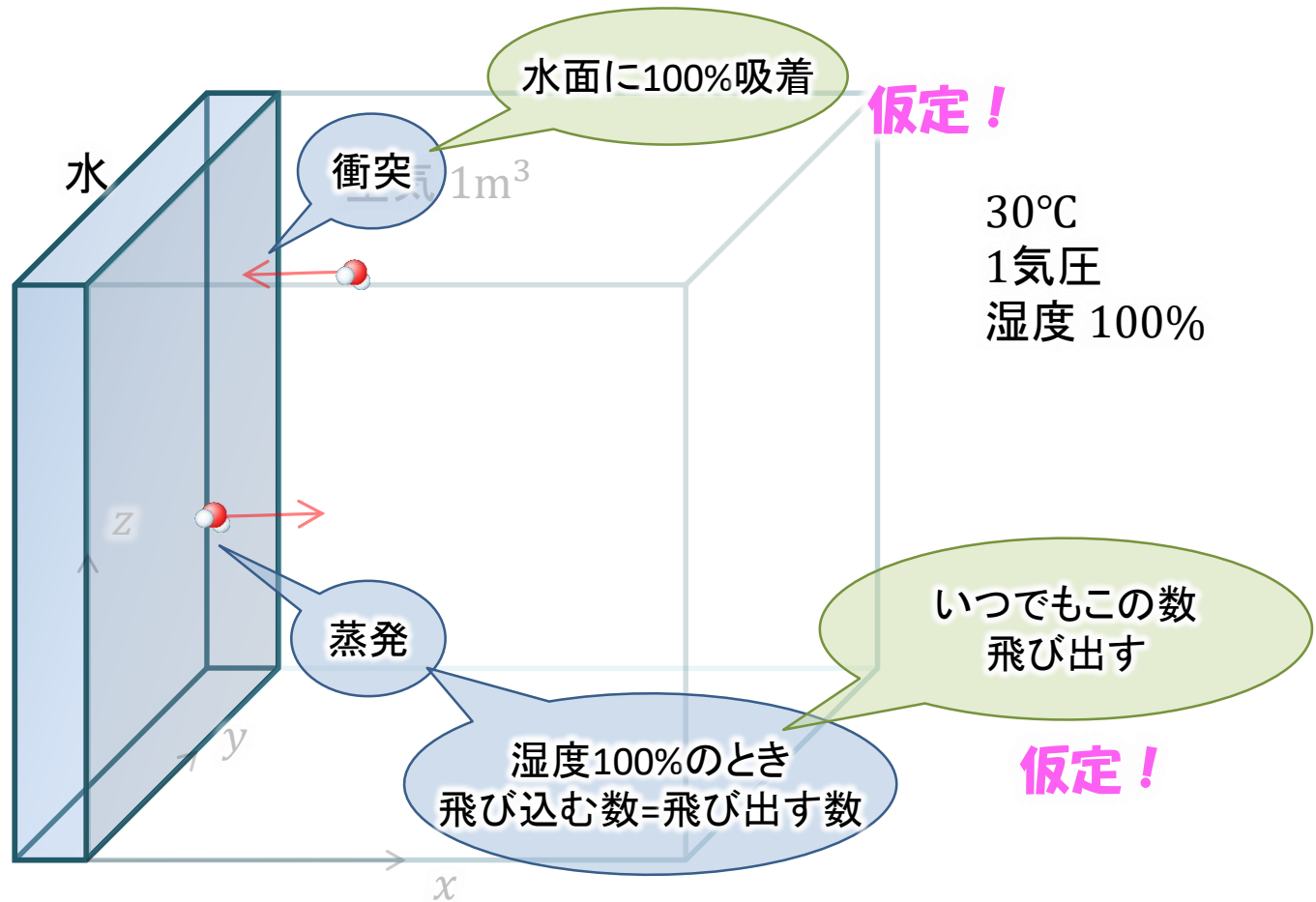


界面律速のモデル

表面が
つるつる

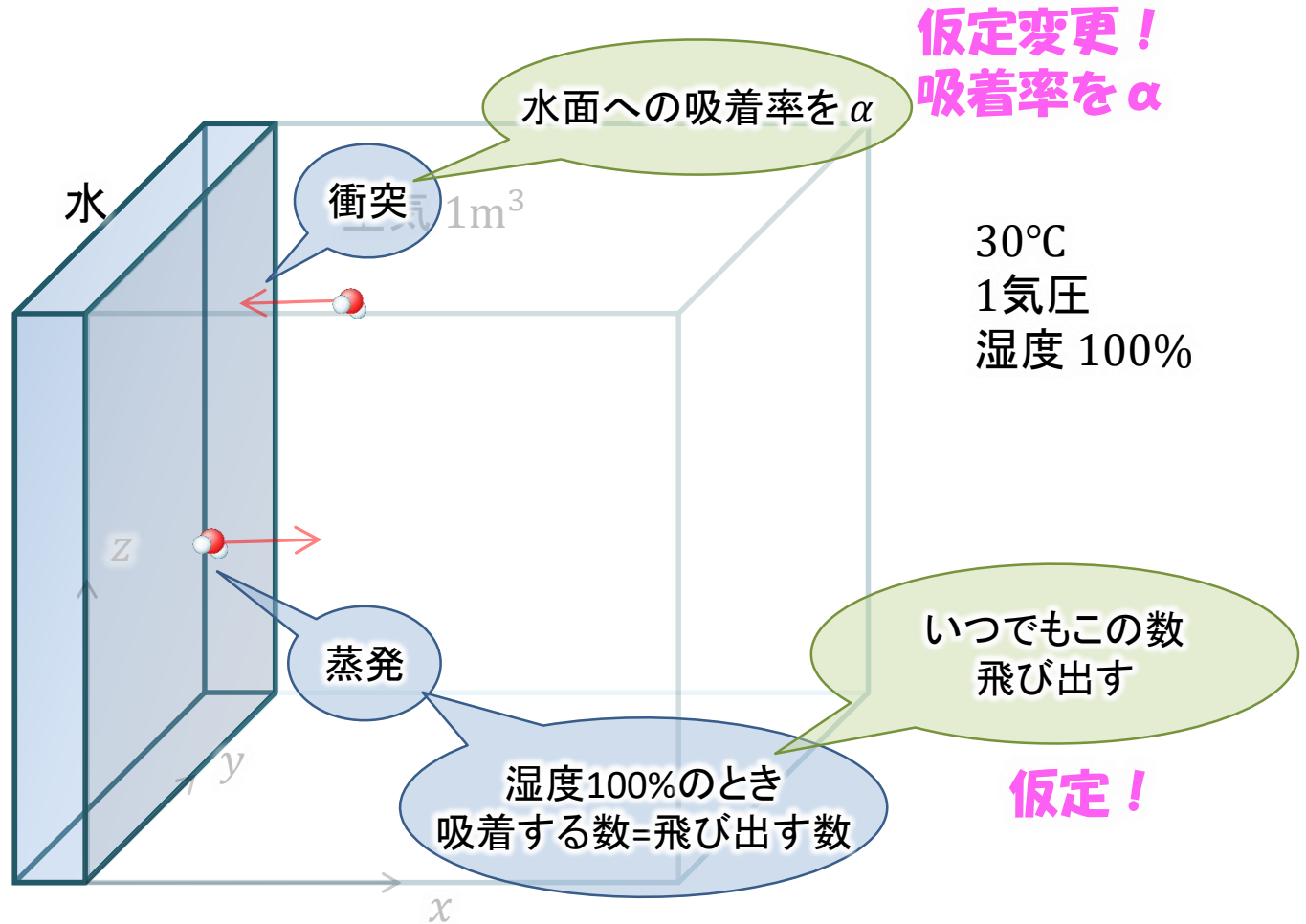


水面での水分子



※このイラストは大きさが不正確

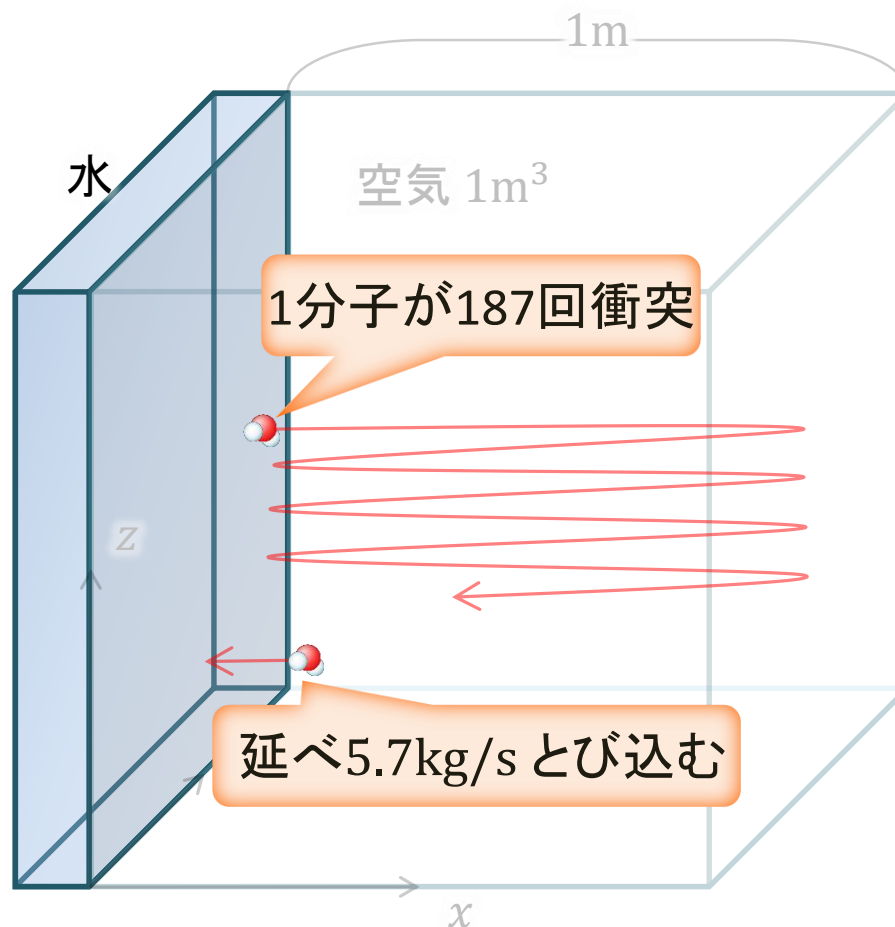
水面での水分子



理想気体水分子が水面に飛び込む数

ここまでの話

1秒間の衝突量 $187\text{往復} \times 30.40\text{g} = 5680\text{g}$



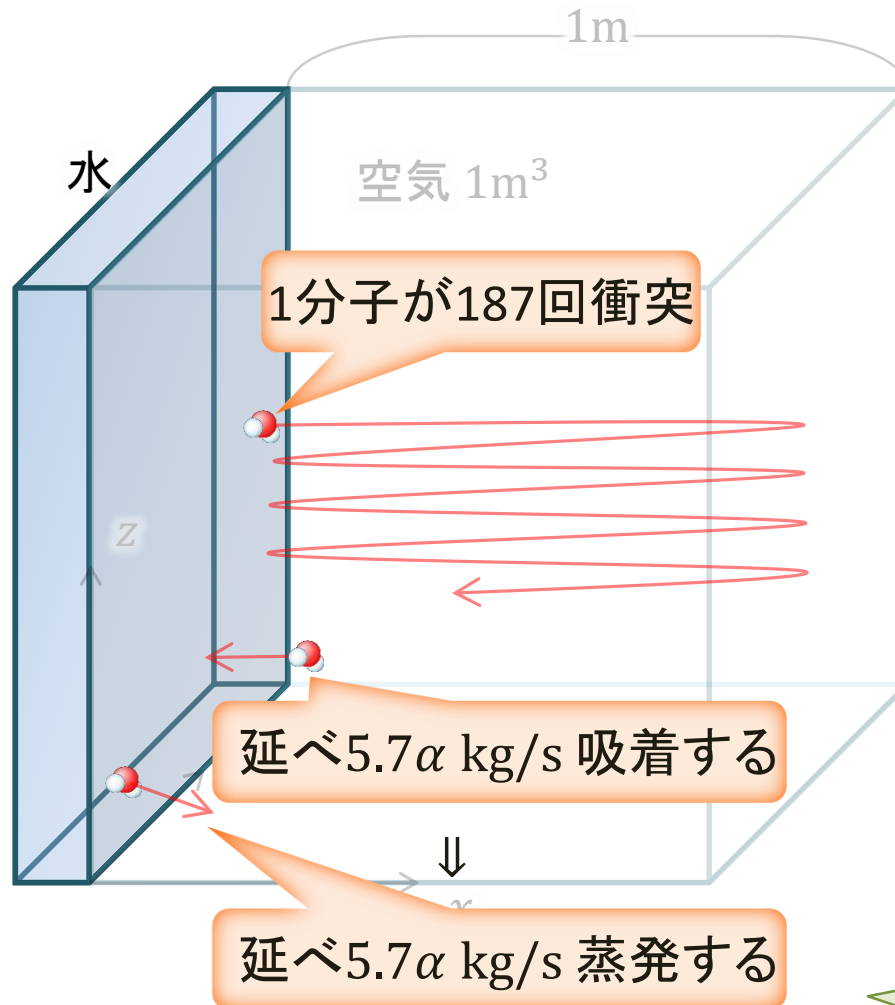
30°C
1気圧
湿度 100%
水分子30.40g
 $v_x = 374[\text{m/s}]$

計算
 $v_x/2 \times a = 5680$
1秒間に往復できる距離から

水分子が水面から飛び出す数

界面律速 × 理想気体

1秒間の衝突量 $187\text{往復} \times 30.40\text{g} = 5680\text{g}$



30°C
1気圧
湿度 100%
水分子 30.40g
 $v_x = 374$ [m/s]

計算
延べ5.7kgの水は
 $\frac{5700}{18} \times 6.0 \times 10^{23} = 1.9 \times 10^{26}$
 1.9×10^{26} 個の水分子である。

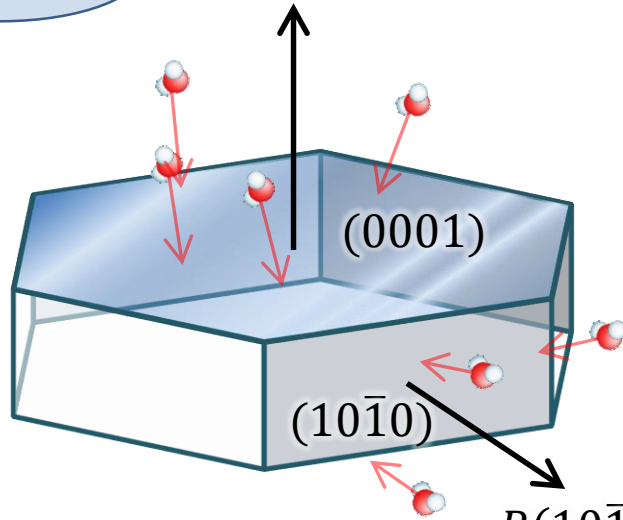
$1.9 \times 10^{26} \alpha$ 個/s
蒸発する

吸着率 α を氷から予測

氷結晶の成長の場合
 -15°C、過飽和度〇〇 **過飽和度!**
 最大成長速度 $R_{\max} = 30\mu\text{m/s}$

$\alpha = 1$ の場合

$R(0001) = 0.05 \mu\text{m/s} \Rightarrow \alpha = 0.0017$



$R(10\bar{1}0) = 0.5 \mu\text{m/s} \Rightarrow \alpha = 0.017$

水の吸着率が氷より大きいならば
 $\alpha > 0(0.001)$

参考: (参照日2019年07月8日)

氷の成長速度 黒田登志雄(1984)『結晶は生きている ~ その成長と形の変化のしくみ ~』サイエンス社 p.96
 ※このイラストは大きさが不正確

吸着率 α を気化熱から予測

吸着率

氷結晶の成長の場合

-15°C、過飽和度〇〇

最大成長速度 $R_{\max} = 30\mu\text{m/s}$

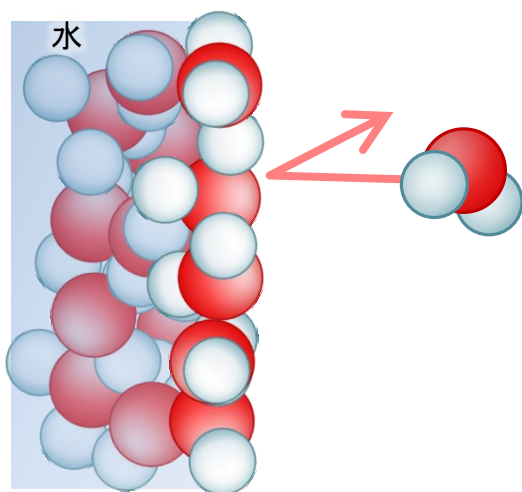
参考: (参照日2019年07月8日)

氷の成長速度 [黒田登志雄\(1984\)『結晶は生きている ~ その成長と形の変化のしくみ ~』サイエンス社](#) p.96

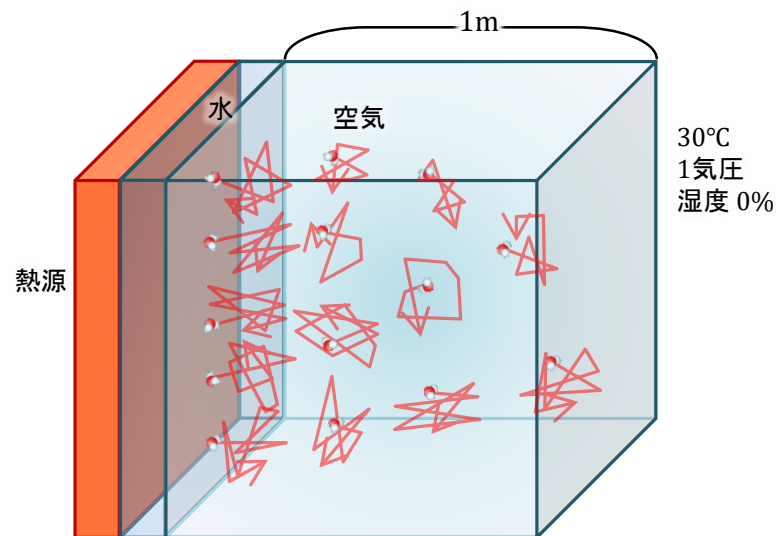
※このイラストは大きさが不正確

蒸発しにくく拡散も遅いとき

水面での吸着率 α

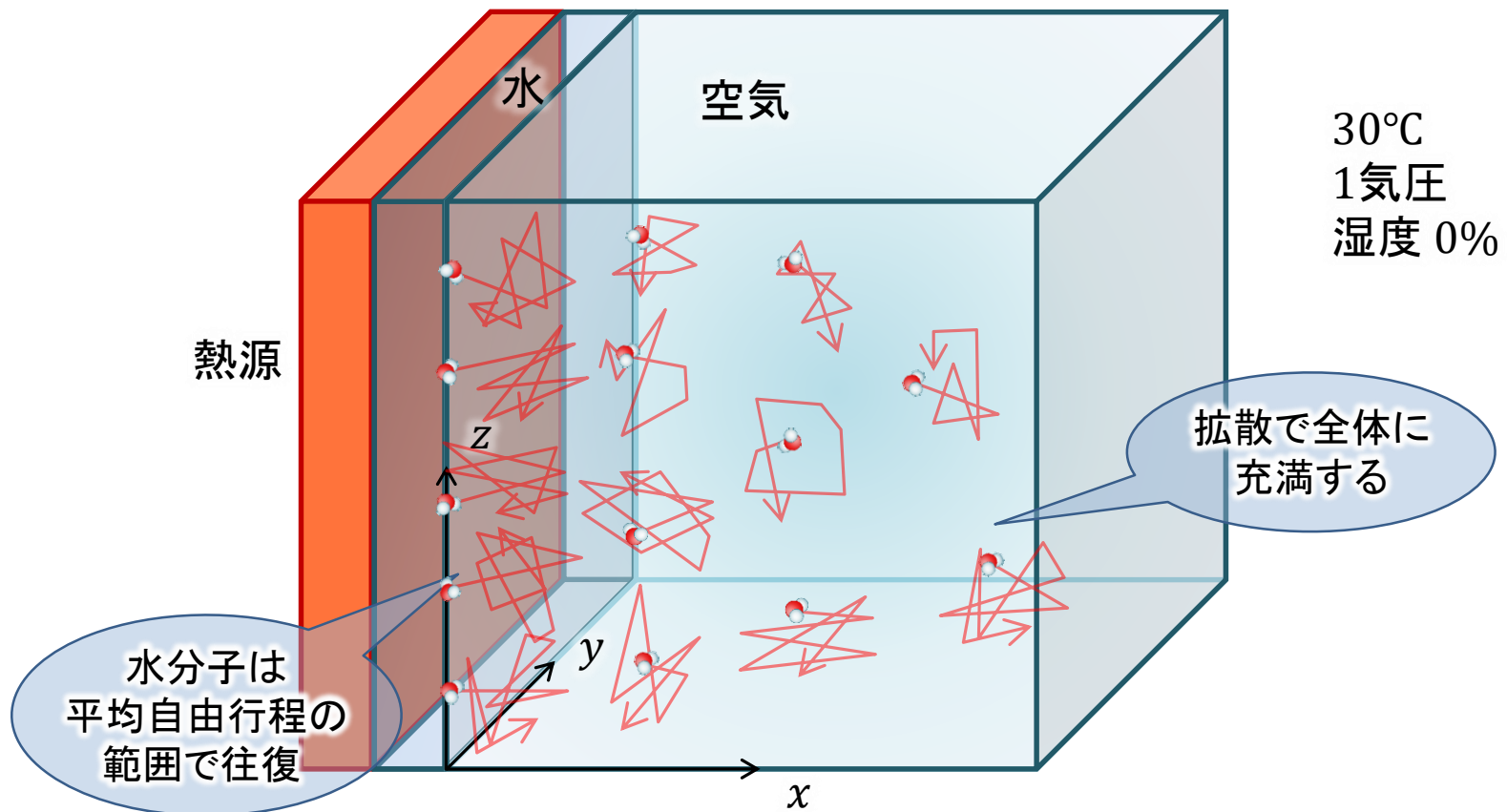


水分子の拡散



水分子の拡散モデル

30°Cの空気と水の壁と30°Cの熱源



日記: (参照日2018年10月21日)

[水の気化熱でどれだけ涼しくなるのか][水蒸気の拡散係数](#) [水蒸気の拡散時間](#)

※このイラストは大きさが不正確

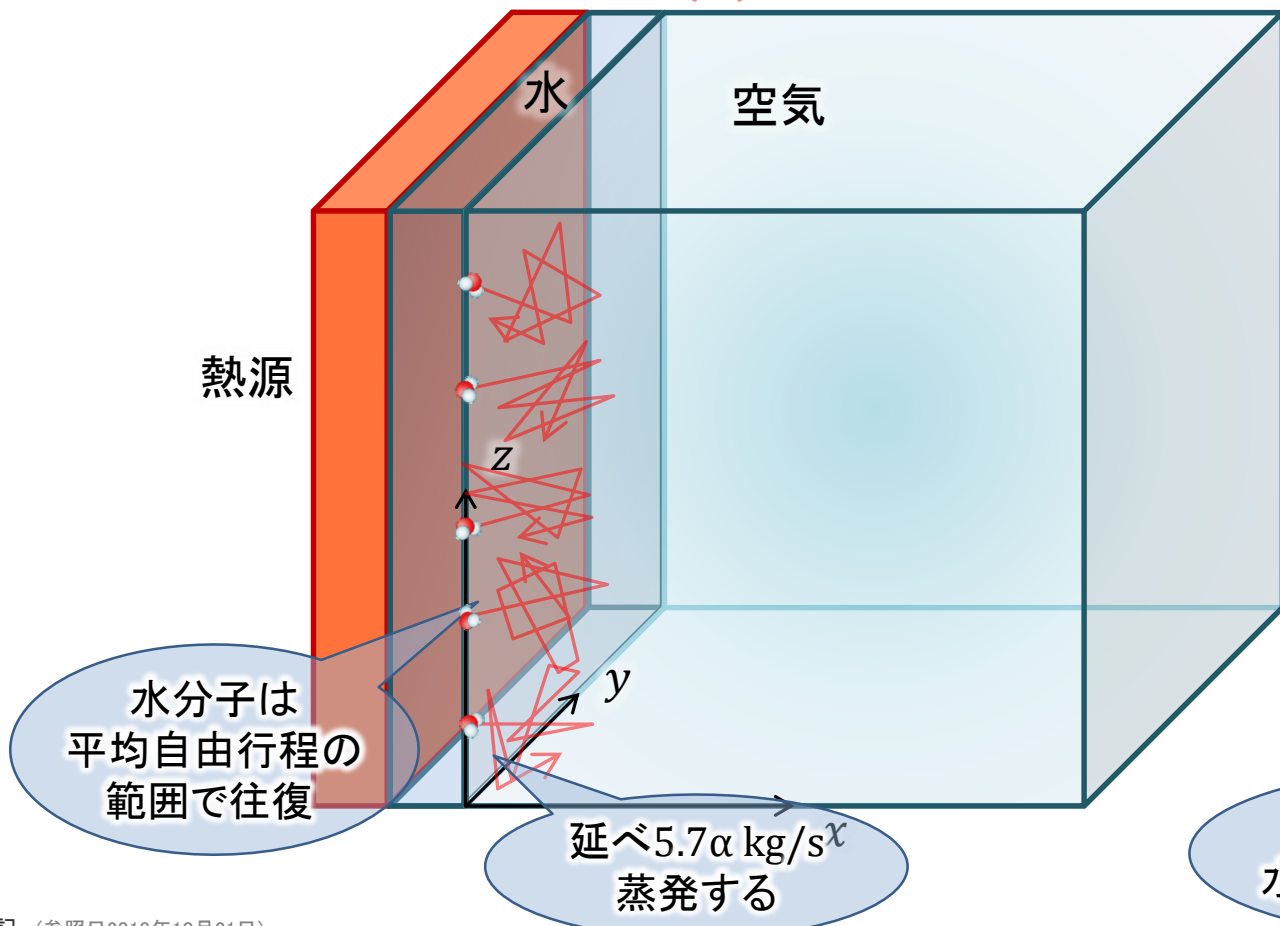
水分子の拡散モデル

界面律速 × 拡散律速

30°Cの空気と水の壁と30°Cの熱源

平均自由行程 $l = 68[\text{nm}]$

この範囲の飽和時間は？



30°C
1気圧
湿度 0%
水分子30.40g

計算

水面から平均自由行程内の空気が水蒸気飽和に達する時間

$$\frac{l}{\alpha av_x/2} = 1.1 \times 10^{-11}/\alpha [\text{s}]$$

$\alpha = 10^{-11}$ なら1秒で飽和
3時間で飽和するなら $\alpha = 10^{-16}$

比較: 1mの箱が拡散で飽和する時間~1.2日

$\alpha < 10^{-11}$ のとき、
水面湿度は100%未満

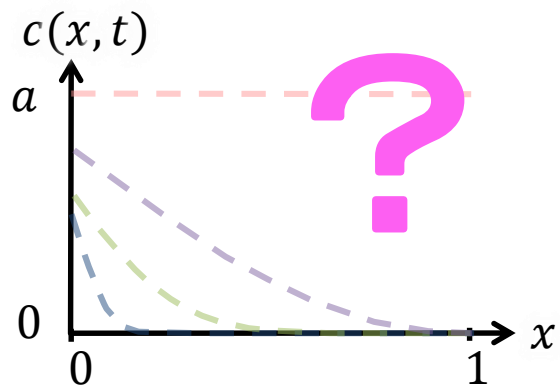
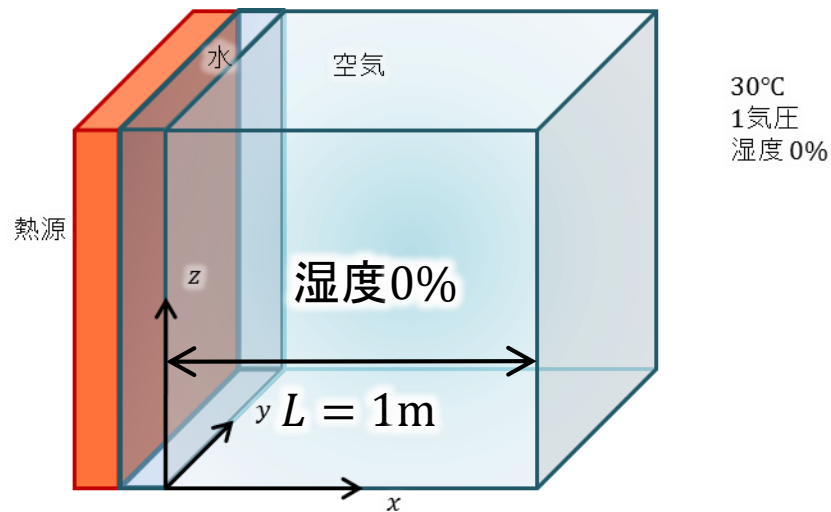
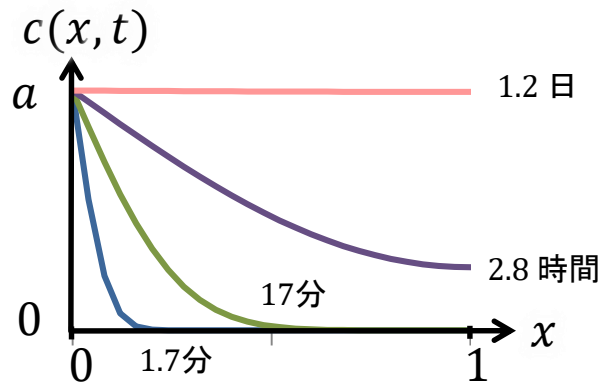
日記: (参照日2018年10月21日)

[水の気化熱でどれだけ涼しくなるのか] [水蒸気の拡散係数](#) [水蒸気の拡散時間](#)

※このイラストは大きさが不正確

水面湿度が100%なかったら

界面律速 × 拡散律速



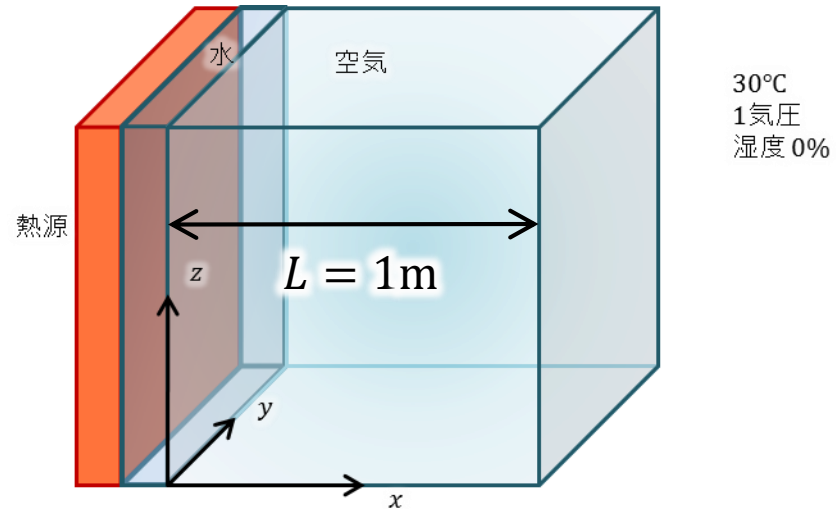
拡散方程式と境界条件

界面律速 × 拡散律速

x 方向への拡散方程式

$$\frac{\partial c(x, t)}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c(x, t)}{\partial x^2}$$

$c(x, t)$: 水蒸気の質量密度分布
 $D = 2.2 \times 10^{-5} [\text{m}^2/\text{s}]$
(30°C常圧の水分子)



参考: (参照日2019年01月10日)

拡散係数 [米沢富美子\(1986\).『ブラウン運動』共立出版](#)
フーリエ級数展開 [大石進一\(1989\)『フーリエ解析』岩波書店](#)

水面での境界条件

界面律速 × 拡散律速

水の蒸発速度は(フィックの法則)

$$m J(x, t) = -D \frac{\partial c(x, t)}{\partial x}$$

水面から蒸発する流れは

$$m J_+ = \alpha a v_x / 2$$

水面へ飛び込む流れは

$$m J_- = -\alpha c(0, t) v_x / 2$$

密度の半分が飛び込む方向、
という仮定がまずい。

境界条件は

$$\alpha \frac{v_x}{2} \{a - c(0, t)\} = -D \frac{\partial c(x, t)}{\partial x} \Big|_{x=0}$$

これだと、今までの拡散の式が
うまくいかないね(T_T)

- $J(x, t)$: 単位時間に単位面積を通過する水分子数
 $c(x, t)$: 水蒸気の質量密度分布
 a : 飽和水蒸気質量
 $D = 2.2 \times 10^{-5} [\text{m}^2/\text{s}]$
(30°C常圧の水分子)
 m : 分子の質量