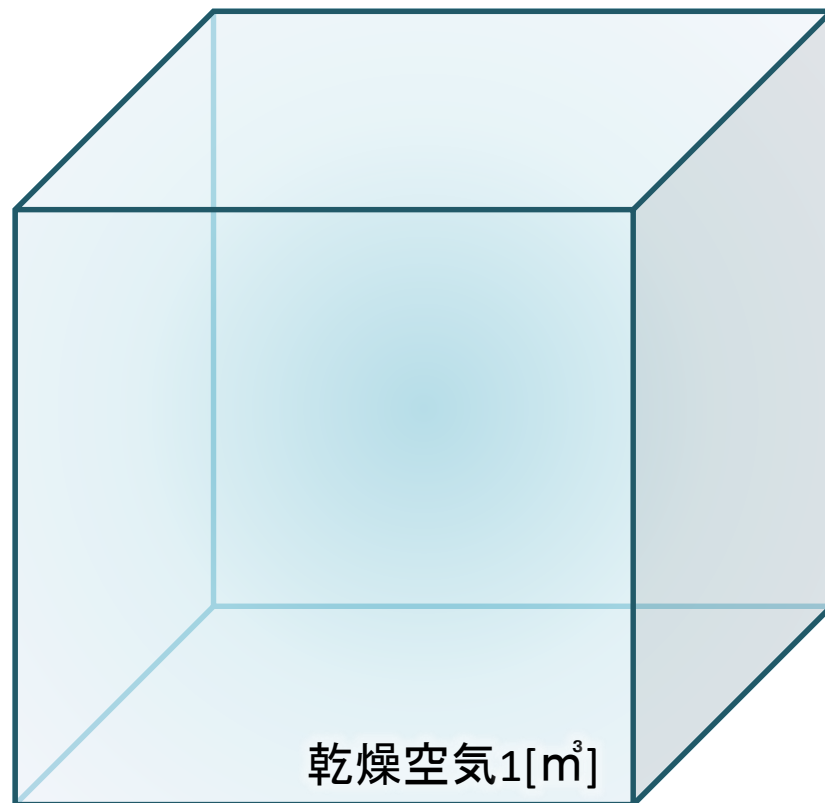


# 空気の密度

乾燥空気 $1\text{m}^3$ の質量は？



# 気体の状態方程式

## 理想気体の状態方程式

$$P V = n R T$$

## van der Waalsの状態方程式

$$\left(P + \frac{a}{v^2}\right)(v - b) = RT$$

## 気体の質量密度 $\rho$

$$\rho = M \frac{n}{V} = \frac{M P}{R T}$$

$P$  : 圧力  
 $V$  : 体積  
 $n$  : 粒子モル数  
 $R$  : モル気体定数  
 $T$  : 絶対温度

$v = \frac{V}{n}$  : モル体積  
 $a, b$  : 定数

$M$  : 空気の平均モル質量

## 理想気体の状態方程式

$$P V = n R T$$

## van der Waalsの状態方程式

$$\left(P + \frac{a}{v^2}\right)(v - b) = R T$$

気体の質量密度 $\rho$

$$\rho = M \frac{n}{V} = \frac{M P}{R T}$$

$$P = 1.01325 \times 10^5 \text{ [Nm}^{-2}\text{]} \quad (\text{1気圧とする})$$

$$V = 1 \text{ [m}^3\text{]} \quad (\text{固定とする})$$

$n$ : 粒子モル数

$$R = 8.314 \text{ [N m mol}^{-1}\text{K}^{-1}\text{]}$$

$$T = (273.15 + t) \text{ [K]} \quad (t \text{ [}^\circ\text{C]とする})$$

$$v = \frac{V}{n}: \text{モル体積}$$

$$a = 135 \times 10^{-3} \text{ [N m}^4\text{/mol}^2\text{]}$$

$$b = 36.6 \times 10^{-6} \text{ [m}^3\text{/mol]}$$

$$M = 28.966 \text{ [g/mol]}$$

理論値

大気の標準組成は  
O<sub>2</sub> 20.99%, N<sub>2</sub> 78.04%,  
CO<sub>2</sub> 0.03%, Ar 0.94%  
これらの分子量より計算。

# 計算方法1

平均モル質量と理想気体の状態方程式から空気の質量密度を計算

$$\rho = \frac{M P}{R T}$$

$$= \frac{28.966 \times 10^{-3} \times 1.01325 \times 10^5}{8.314 \times (273.15 + t)}$$

$$= \frac{351.9}{(273.15 + t)} \text{ [kg m}^{-3}\text{]}$$

$$P = 1.01325 \times 10^5 \text{ [Nm}^{-2}\text{]}$$

$$R = 8.314 \text{ [N m mol}^{-1}\text{K}^{-1}\text{]}$$

$$T = (273.15 + t) \text{ [K]}$$

$$M = 28.966 \text{ [g/mol]}$$

平均モル質量とvan der Waalsの状態方程式から空気の質量密度を計算

$$\left(P + \frac{a}{v^2}\right)(v - b) = RT, \quad \rho = \frac{M}{v}$$

$$R = 8.314 \text{ [N m mol}^{-1}\text{K}^{-1}\text{]}$$

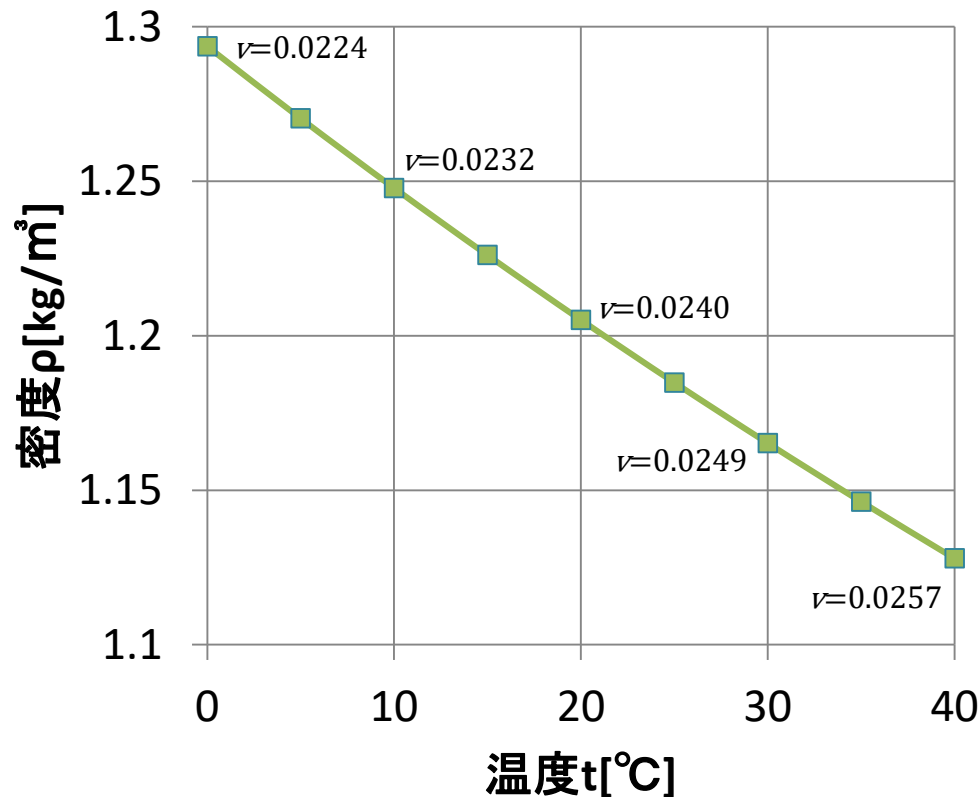
$$T = (273.15 + t) \text{ [K]}$$

$$v = \frac{V}{n} : \text{モル体積} \text{ [m}^3\text{]}$$

$$a = 135 \times 10^{-3} \text{ [N m}^4\text{/mol}^2\text{]}$$

$$b = 36.6 \times 10^{-6} \text{ [m}^3\text{/mol]}$$

$$M = 28.966 \text{ [g/mol]}$$



■ van der Waals

# 計算方法3

0°C 1気圧の空気の質量密度 :  $\rho_0 = 1.293 \text{ [kg m}^{-3}\text{]}$

実験で測定

空気のおよその重さを測るには、栓をしたフラスコにゴム管をピンチコックで取り付け、真空ポンプで空気を抜き、その減じた重さを秤量(ひょうりょう)する。[中原勝儼]

$$\rho = \frac{M P}{R T} \propto \frac{1}{T} \quad \Rightarrow \quad \rho = \rho_0 \frac{273.15}{T}$$



ピンチコック  
ホフマン式  
【ASKUL】ピンチコック 通販

0°C 1気圧の空気の質量密度から反比例の式で計算

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1.293 \times 273.15}{273.15 + t} \\ &= \frac{353.18}{(273.15 + t)} \text{ [kg m}^{-3}\text{]} \end{aligned}$$



多分こんな感じ

参考: (参照日2018年09月5日)

# 質量密度を比較

理想気体の状態方程式と平均モル質量から

$$\rho = \frac{351.9}{(273.15 + t)} \text{ [kg m}^{-3}\text{]}$$

0°C 1気圧の空気の質量密度から

$$\rho = \frac{353.18}{(273.15 + t)} \text{ [kg m}^{-3}\text{]}$$

van der Waalsの状態方程式から

$$\left(P + \frac{a}{v^2}\right)(v - b) = RT, \rho = \frac{M}{v}$$

$t$ [°C]	$\rho$ (平均モル質量)	$\rho$ (van der Waals)	$\rho$ (0°C 1気圧の質量密度)
40	1.123	1.128	1.128
30	1.161	1.165	1.165
20	1.200	1.205	1.205
10	1.243	1.248	1.247
0	1.288	1.294	1.293

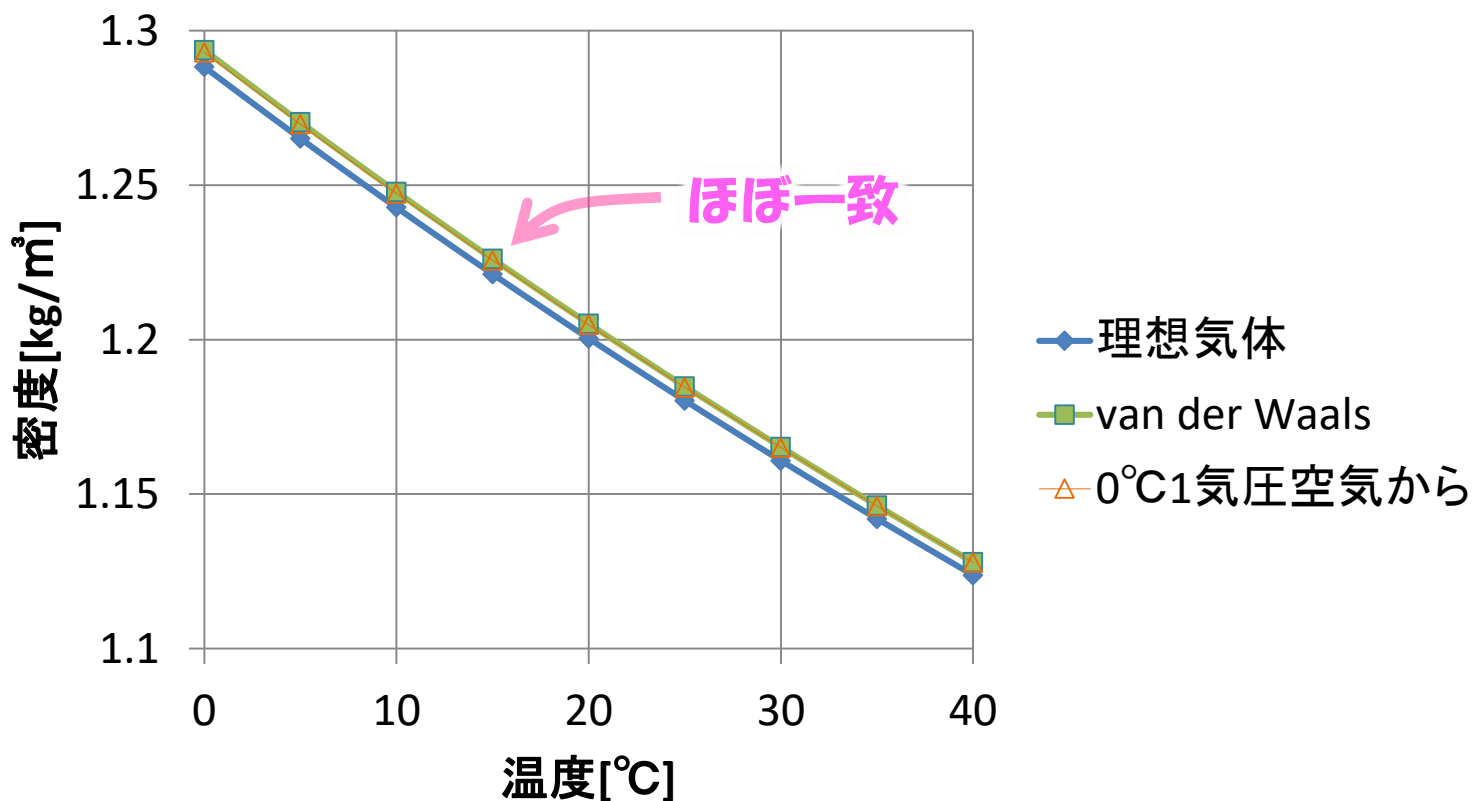
ほぼ一致



# 質量密度を比較

0°C 1気圧の空気の質量密度から計算すると良い近似になりそう

$$\rho = \frac{353.18}{(273.15 + t)} [\text{kg m}^{-3}]$$



# 良さそうな算出法は

0°C 1気圧の空気の質量密度 :  $\rho_0 = 1.293 \text{ [kg m}^{-3}\text{]}$

反比例の式で計算

$$\begin{aligned}\rho &= \rho_0 \frac{273.15}{T} \\ &= \frac{353.18}{(273.15 + t)} \text{ [kg m}^{-3}\text{]}\end{aligned}$$

$t[\text{°C}]$	$\rho[\text{kg m}^{-3}]$
40	1.128
30	1.165
20	1.205
10	1.247
0	1.293

参考: (参照日2018年09月5日)



参考サイト

1気圧で、空気1m<sup>3</sup>あたりの飽和水蒸気量 $a$ 、空気の重さ $\rho$ として、

T[°C]	$a$ [g/m <sup>3</sup> ]	$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]
40	51.1	1.128
30	30.3	1.165
20	17.2	1.205
10	9.39	1.247
0	4.85	1.293

参考：(参照日2018年07月24日)



1気圧で、空気1m<sup>3</sup>あたりの飽和水蒸気量 $a$ 、空気の重さ $\rho$

T[°C]	$a$ [g/m <sup>3</sup> ]	$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]
40	51.1	1.128
30	30.3	1.165
20	17.2	1.205
10	9.39	1.247
0	4.85	1.293

$$\rho = \frac{1.293P \times 273.15}{273.15 + T} \left( 1 - \frac{0.378e}{P} \right)$$

$e$ : 水蒸気圧[atm]、 $P$ : 大気圧[atm]、 $T$ : 温度  
[°C]

$e = 0, P = 1$ で計算

$a$ は文献の一覧表より。 $\rho$ は計算より。



1気圧で、空気1m<sup>3</sup>あたりの飽和水蒸気量 $a$ 、空気の重さ $\rho$

T[°C]	$a$ [g/m <sup>3</sup> ]	$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]
40	38.4	
30	24.1	
20	14.7	
10	8.61	
0	4.85	

$$a(T) = \frac{217 \times e(T)}{T + 273.15}$$

$$e(T) = 6.1078 \times 10^{\frac{7.5T}{T+273.3}}$$

$e$ : 水蒸気圧[atm]、 $P$ : 大気圧[atm]、 $T$ : 温度  
[°C]

$e(T)$ : 飽和水蒸気圧[hPa]



1気圧で、空気1m<sup>3</sup>あたりの飽和水蒸気量 $a$ 、空気の重さ $\rho$

T[°C]	$a$ [g/m <sup>3</sup> ]	$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]
40		1.1274
30		1.1646
20		1.2043
10		1.2469
0		1.2925

$$\rho = \frac{P}{R(T+273.15)}$$

$$R = 8.314\ 4598(48) \text{ [J K}^{-1}\text{mol}^{-1}\text{]}$$

$$P = 101\ 325 \text{ [Pa]}、1Pa = 1 \text{ [N m}^{-2}\text{]}$$

$$1 \text{ [N]} = 1 \text{ [kg m s}^{-2}\text{]}、1 \text{ [kg重]} = 9.80665 \text{ [N]}$$

$T$ :気温[°C]

$R$ :気体定数



# 飽和水蒸気量と空気の密度

1気圧で、空気1m<sup>3</sup>あたりの飽和水蒸気量 $a$ 、空気の重さ $\rho$

T[°C]	$a$ [g/m <sup>3</sup> ]	$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]
40		1.091
30		
20		1.166
10		
0		1.251





# 飽和水蒸気量と空気の密度

1気圧で、空気1m<sup>3</sup>あたりの飽和水蒸気量 $a$ 、空気の重さ $\rho$

T[°C]	$a$ [g/m <sup>3</sup> ]	$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]
40	51.1	
30	30.4	
20	17.3	
10	9.41	
0	4.85	



1気圧で、空気1m<sup>3</sup>あたりの飽和水蒸気量 $a$ 、空気の重さ $\rho$

T[°C]	$a$ [g/m <sup>3</sup> ]	$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]
40	51.17707	
37	43.95623	
30	30.40076	
20	17.31559	
10	9.411891	
0	4.855668	

$$a(T) = \frac{217 \times e(T)}{T + 273.15}$$

$T$ :温度[°C]

$e(T)$ :飽和水蒸気圧[hPa]は一覧より

参考: (参照日2018年08月21日)

湿度-測定方法(JIS Z 8806)

SON-NTAG の式から求める

$$\ln(e_w/Pa) = -6096.9385T^{-1} + 21.2409642 - 2.711193 \times 10^{-2}T + 1.673952 \times 10^{-5}T^2 + 2.433502 \ln(T)$$

誤差は0.005%未満

[JIS Z 8806:2001 湿度-測定方法 - 日本工業規格の簡易閲覧](#)

目次へ

