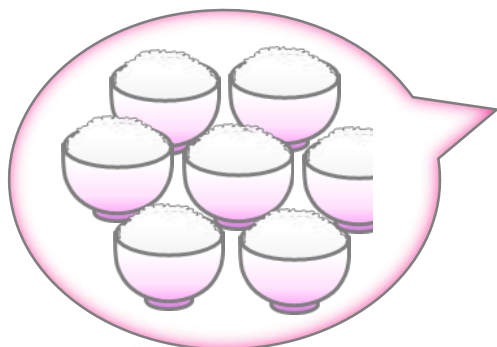


食べた食事の発熱を冷やすには

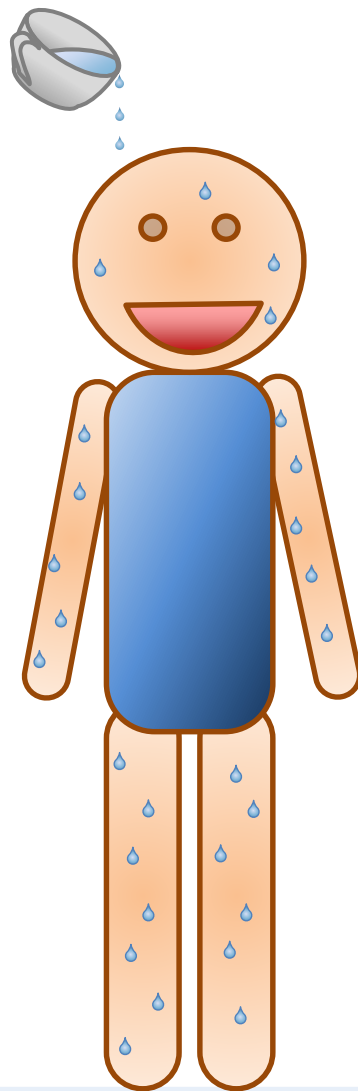
食べた発熱を冷やすには

水の蒸発冷却モデル

1日の食事がすべて発熱する。
水の蒸発熱で冷却。
空冷はしない。



食事1600kcal
=6700[kJ]



蒸発熱のみで
体温を維持する

気温37°C

暑くて空気では
冷えない

食事量見積もり



計算

食べた発熱を蒸発熱で冷やす

水 x [g]蒸発させたときの熱量変化

$$-x\Delta H$$

食べた熱量が6700kJのとき、

$$6700 - x\Delta H = 0$$

食べた熱量

蒸発冷却

体温を維持

ΔH : 水の気化熱

$$\Delta H = 2.25 \text{ [kJ/g]}$$

$$\begin{aligned} \text{一日の食事量} &= 1600 \text{ [kcal]} \\ &= 6700 \text{ [kJ]} \end{aligned}$$

必要な水は

$$x = 3.0 \times 10^3 \text{ [g]}$$

参考: (参照日2018年07月24日)

水の気化熱 [水の話～化学の鉄人小林映章が「水」を斬る！～/『1.2.3 水の注目すべき特性\(2\) —比熱容量、気化熱、融解熱、熱伝導率—』](#)より

結果

食べた発熱を蒸発熱で冷やす

水 x [g]蒸発させたときの熱量変化

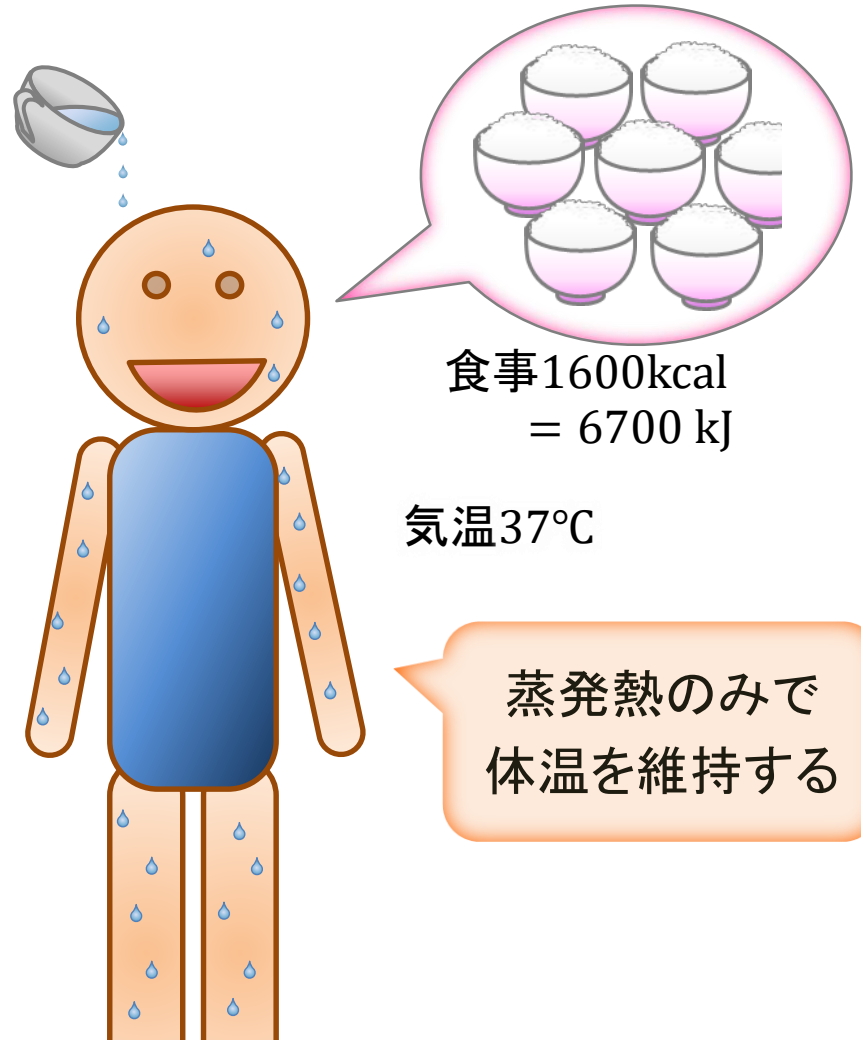
$$-x\Delta H$$

食べた熱量が6700kJのとき、

$$6700 - x\Delta H = 0$$

必要な水は

$$x = 3.0 \times 10^3 \text{ [g]}$$



食事1600kcal
= 6700 kJ

気温37°C

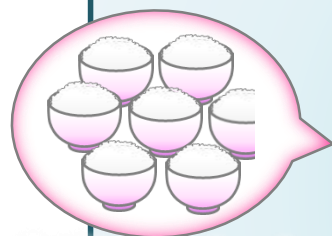
蒸発熱のみで
体温を維持する

約3Lの水の蒸発が必要！

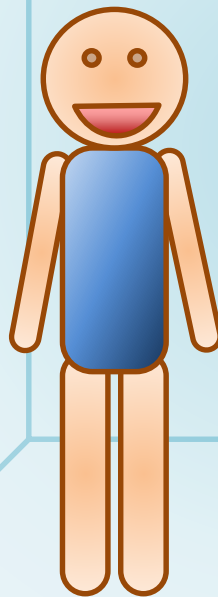
食べた発熱を空気で冷やす

空冷モデル

1日の食事がすべて発熱する。
周辺空気で体を冷やす。
20°Cの涼しい部屋を想定。



食事1600kcal
= 6700 kJ



空気で
熱を吸収する

蒸発しない

20°C
1気圧

冷却用空気 50m³

計算

食べた発熱を空気で冷やす

発熱 H のときの空気の温度変化 ΔT

$$\Delta T = \frac{H}{c_v(a)\rho L}$$

$$\Delta T = \frac{6700}{1.0 \times 1.2 \times 50}$$

$$= 110 \text{ [K]}$$

気温は

$$t = 20 + 110$$
$$= 130 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

危険な気温！

**気温が体温に達した
時点で体温も上昇**

H : 食事で摂取した熱量

$c_v(a)$: 空気の比熱

ρL : 空気の質量

t : 気温(セルシウス度)

T : 温度(絶対温度)

$$t = T - 273.15$$

$$H = 6700 \text{ [kJ]}$$

$$c_v(a) = 1.0 \text{ [kJ/kg K]}$$

$$\rho L \approx 1.2 \times 50 \text{ [kg]}$$

参考: (参照日2018年07月24日)

空気の比熱 [HAKKO八光電気/Q&Aキット/『各種物質の性質: 気体の性質』](#)より
空気の密度 [『空気』- Yahoo!辞書](#) 日本大百科全書(ニッポニカ)の解説より

再計算

食べた発熱を空気で冷やす

発熱 H のときの空気の温度変化 ΔT

$$\Delta T = \frac{H}{c_v(a)\rho L}$$

空気を 37°C まで温める熱量 H_0 は

$$37 - 20 = \frac{H_0}{1.0 \times 1.2 \times 50}$$

$$H_0 = 1000 \text{ [kJ]}$$

残りの熱量は気温と体温をさらに ΔT 上昇

$$\begin{cases} H - H_0 = H_a + H_w \\ \Delta T = \frac{H_a}{c_v(a)\rho L} = \frac{H_w}{c_v(w)m} \end{cases}$$

$$H = 6700 \text{ [kJ]}$$

$$H_0 = 1000 \text{ [kJ]}$$

H_a : 空気で吸収した熱量

H_w : 体で吸収した熱量

$c_v(w)$: 水の比熱

$c_v(a)$: 空気の比熱

m : 人間の質量

ρL : 空気の質量

$$H = 6700 \text{ [kJ]}$$

$$c_v(a) = 1.0 \text{ [kJ/kg K]}$$

$$\rho L \approx 1.2 \times 50 \text{ [kg]}$$

再計算

食べた発熱を空気で冷やす

残りの熱量は気温と体温をさらに ΔT 上昇

$$\begin{cases} H - H_0 = H_a + H_w \\ \Delta T = \frac{H_a}{c_v(a)\rho L} = \frac{H_w}{c_v(w)m} \end{cases}$$

$$\begin{aligned} H &= 6700 \text{ [kJ]} \\ H_0 &= 1000 \text{ [kJ]} \\ H_a &: \text{空気で吸収した熱量} \\ H_w &: \text{体で吸収した熱量} \\ c_v(w) &= 4.2 \text{ [kJ/kg K]} \\ c_v(a) &= 1.0 \text{ [kJ/kg K]} \\ m &= 50 \text{ [kg]} \\ \rho L &\approx 1.2 \times 50 \text{ [kg]} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow H_b = 0.35 H_r$$

$$H_r = 4200 \text{ [kJ]}$$

温度は

$$\Delta T = 70 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$\begin{aligned} t &= 37 + 70 \\ &= 107 \text{ [}^\circ\text{C]} \end{aligned}$$

参考: (参照日2018年07月24日)

水の比熱 [水の話～化学の鉄人小林映章が「水」を斬る！～/『1.2.3 水の注目すべき特性\(2\)―比熱容量、気化熱、融解熱、熱伝導率―』](#)より

空気の比熱 [HAKKO八光電気/Q&Aキット/『各種物質の性質: 気体の性質』](#)より

空気の密度 [『空気』- Yahoo!辞書](#) 日本大百科全書(ニッポニカ)の解説より

計算結果

食べた発熱を空気で冷やす

残りの熱量は気温と体温をさらに ΔT 上昇

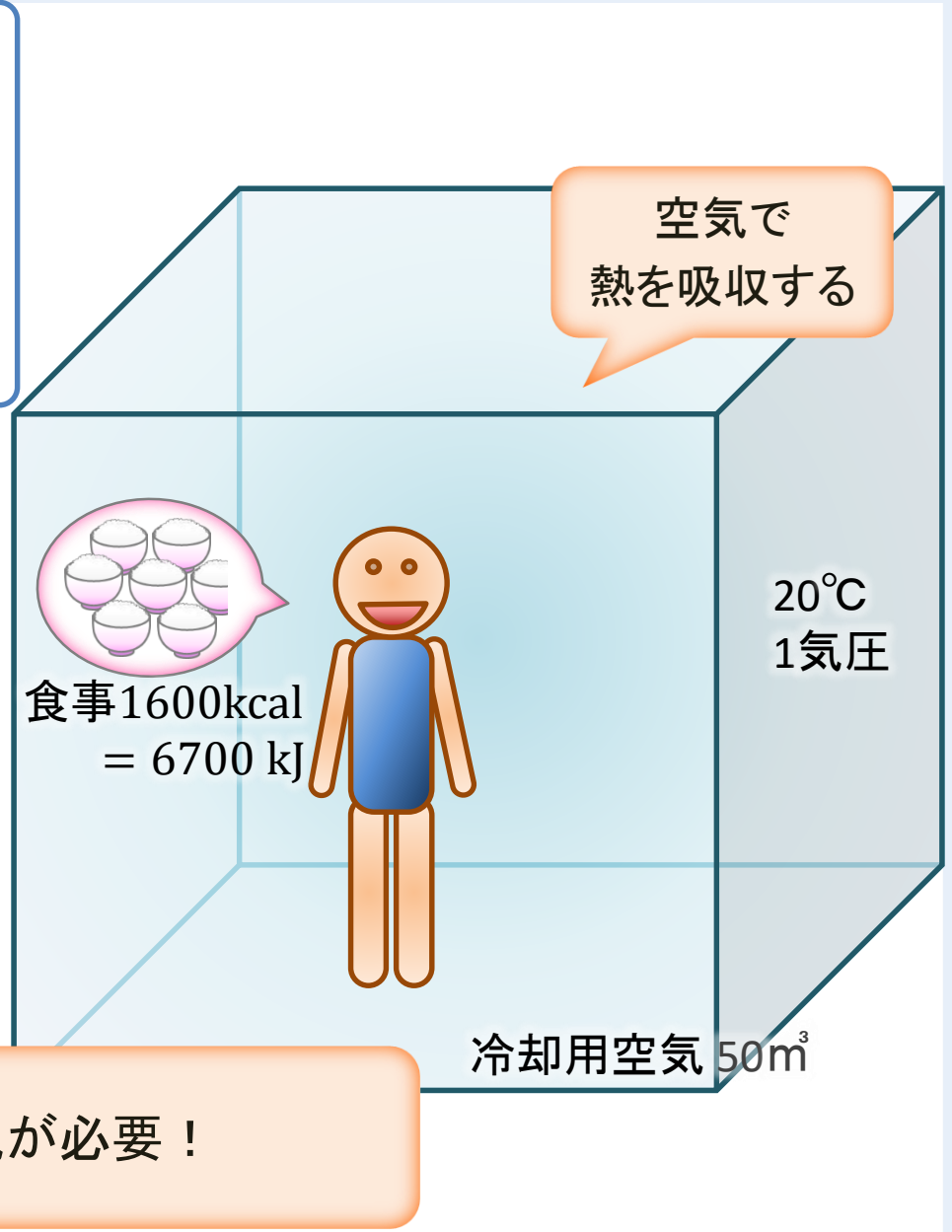
$$\begin{cases} H - H_0 = H_a + H_w \\ \Delta T = \frac{H_a}{c_v(a)\rho L} = \frac{H_w}{c_v(w)m} \end{cases}$$

温度は

$$\Delta T = 70[^\circ\text{C}]$$

$$t = 37 + 70 \\ = 107[^\circ\text{C}]$$

危険な体温！



換気が必要！

食べた食事の発熱を修正

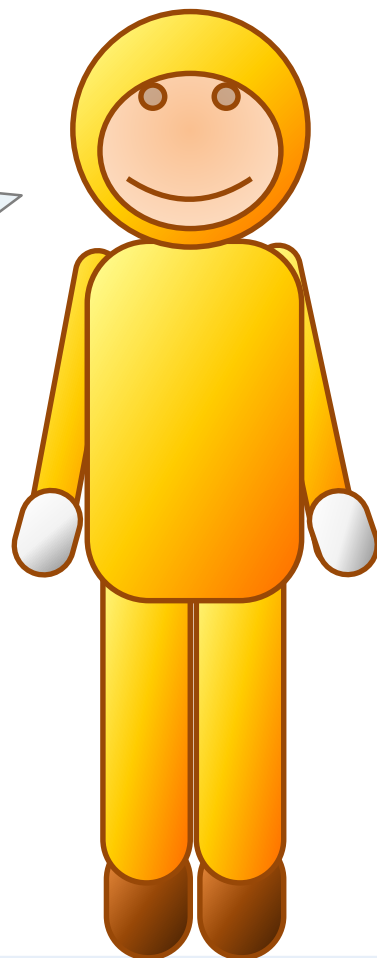
呼吸による蒸発熱

呼吸による蒸発熱

呼吸による蒸発熱で修正

呼吸による蒸発熱を考える。

呼気 12m^3
温度 37°C
湿度 100%



汗の効果は
考えない

気温 20°C 湿度 50%

断熱服を着る

呼吸量見積もり



参考: (参照日2018年08月17日)

[空気の学校 | ダイキン工業株式会社](#)

[放射能の話～生きのびるための基礎知識](#)

[ヒトが呼吸する空気量 | クリップ | NHK for School](#)

式

呼吸による蒸発熱で修正

水 x [g]蒸発させたときの気化熱 H_1

$$H_1 = -x\Delta H$$

空気 ρL を ΔT 暖める消費熱量 H_2

$$H_2 = -\Delta T c_v(a)\rho L$$

呼吸で放出する熱量 H

$$H = H_1 + H_2$$

吐き出した水分量

$$\begin{aligned} x &= \{a(37^\circ\text{C}) - 0.5a(20^\circ\text{C})\} \times 12 \\ &= \{ 44.0 - 0.5 \times 17.3 \} \times 12 \\ &= 420[\text{g}] \end{aligned}$$

ΔH : 水の気化熱
 $c_v(a)$: 空気の比熱
 ρL : 空気の質量
 x : 吐き出した水分量
 $a(t)$: 飽和水蒸気量

 t : 気温(セルシウス度)
 T : 温度(絶対温度)
 $t = T - 273.15$

1気圧で、空気 1m^3 あたりの
飽和水蒸気量 a

T[°C]	a[g/m ³]
40	51.17707
37	43.95623
30	30.40076
20	17.31559
10	9.411891
0	4.855668

参考: (参照日2018年08月21日)

湿度-測定方法(JIS Z 8806)

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



定数値と計算結果

呼吸による蒸発熱で修正

水 x [g]蒸発させたときの気化熱 H_1

$$H_1 = -x\Delta H$$

空気 ρL を ΔT 暖める消費熱量 H_2

$$H_2 = -\Delta T c_v(a)\rho L$$

呼吸で放出する熱量 H

$$H = H_1 + H_2$$

吐き出した水分量

$$\begin{aligned} x &= \{a(37^\circ\text{C}) - 0.5a(20^\circ\text{C})\} \times 12 \\ &= \{44.0 - 0.5 \times 17.3\} \times 12 \\ &= 420[\text{g}] \end{aligned}$$

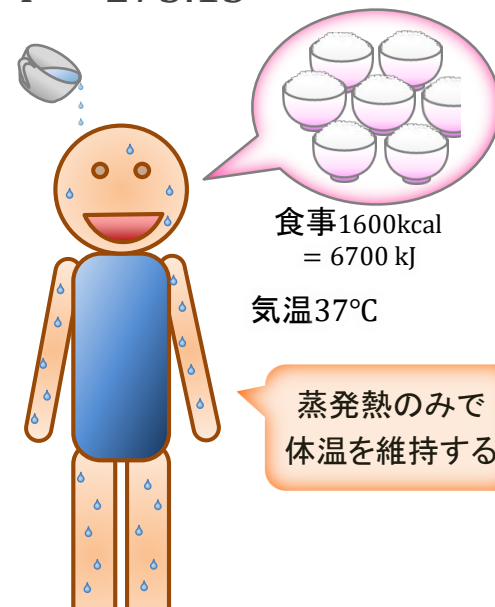
3Lの14%

$$\begin{aligned} \Delta H &= 2.25 [\text{kJ}/\text{g}] \\ c_v(a) &= 1.0 [\text{kJ}/\text{kg K}] \\ \rho L &\approx 1.2 \times 12 [\text{kg}] \\ x &= 420[\text{g}] \\ a(t) &: \text{飽和水蒸気量} \end{aligned}$$

t : 気温(セルシウス度)

T : 温度(絶対温度)

$$t = T - 273.15$$



約3Lの水の蒸発が必要!

参考: (参照日2018年07月24日)

水の気化熱、比熱 [水の話～化学の鉄人小林映章が「水」を斬る!～/『1.2.3 水の注目すべき特性\(2\)―比熱容量、気化熱、融解熱、熱伝導率―』より](#)

定数値と計算結果

呼吸による蒸発熱で修正

水 x [g]蒸発させたときの気化熱 H_1

$$H_1 = -x\Delta H$$

空気 ρL を ΔT 暖める消費熱量 H_2

$$H_2 = -\Delta T c_v(a)\rho L$$

呼吸で放出する熱量 H

$$H = H_1 + H_2$$

$$\Delta H = 2.25 \text{ [kJ/g]}$$

$$c_v(a) = 1.0 \text{ [kJ/kg K]}$$

$$\rho L \approx 1.2 \times 12 \text{ [kg]}$$

$$x = 420 \text{ [g]}$$

$a(t)$: 飽和水蒸気量

t : 気温(セルシウス度)

T : 温度(絶対温度)

$$t = T - 273.15$$

計算すると、

$$H_1 = -420 \times 2.25 = -945 \text{ [kJ]}$$

$$\begin{aligned} H_2 &= -(37 - 20) \times 1.0 \times 1.2 \times 12 \\ &= -225 \text{ [kJ]} \end{aligned}$$

$$H = -1170 \text{ [kJ]}$$

参考: (参照日2018年07月24日)

水の気化熱、比熱 [水の話～化学の鉄人小林映章が「水」を斬る!～/『1.2.3 水の注目すべき特性\(2\)―比熱容量、気化熱、融解熱、熱伝導率―』](#)より

食事量と比較

呼吸による蒸発熱で修正

水 x [g]蒸発させたときの気化熱 H_1

$$H_1 = -x\Delta H$$

空気 ρL を ΔT 暖める消費熱量 H_2

$$H_2 = -\Delta T c_v(a)\rho L$$

呼吸で放出する熱量 H

$$H = H_1 + H_2$$

計算すると、

$$H_1 = -420 \times 2.25 = -945 \text{ [kJ]}$$

$$H_2 = -(37 - 20) \times 1.0 \times 1.2 \times 12 \\ = -225 \text{ [kJ]}$$

$$H = -1170 \text{ [kJ]}$$

呼気 12m^3
温度 37°C
湿度 100%

食事 1600kcal
 $= 6700 \text{ kJ}$

気温 20°C 湿度 50%

食事量の17%を呼吸で放出

食事量と比較

呼吸による蒸発熱で修正

水 x [g]蒸発させたときの気化熱 H_1

$$H_1 = -x\Delta H$$

空気 ρL を ΔT 暖める消費熱量 H_2

$$H_2 = -\Delta T c_v(a)\rho L$$

呼吸で放出する熱量 H

$$H = H_1 + H_2$$

計算すると、

$$H_1 = -420 \times 2.25 = -945 \text{ [kJ]}$$

$$H_2 = -(37 - 20) \times 1.0 \times 1.2 \times 12 \\ = -225 \text{ [kJ]}$$

$$H = -1170 \text{ [kJ]}$$

呼気 12m^3
温度 37°C
湿度 100%

食事 1600kcal
 $= 6700 \text{ kJ}$

気温 20°C 湿度 50%

食事量の14%を呼吸の水分で放出

食べた食事の発熱を修正

吸収されない熱量

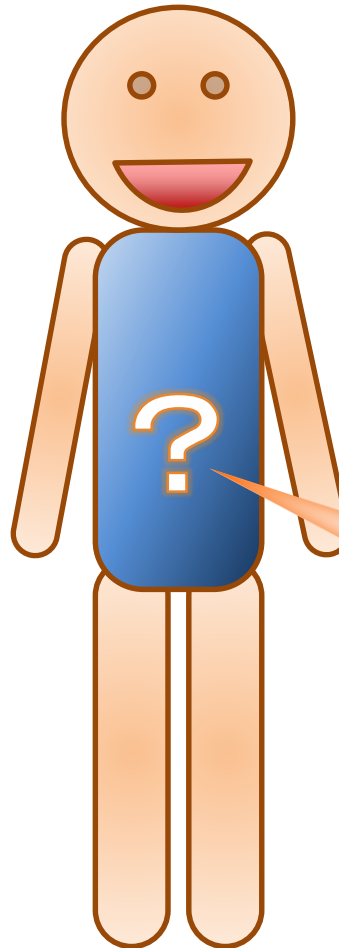
食事はすべて発熱するのか

吸収されない熱量で修正

排泄物から考察



食事1600kcal
= 6700 kJ



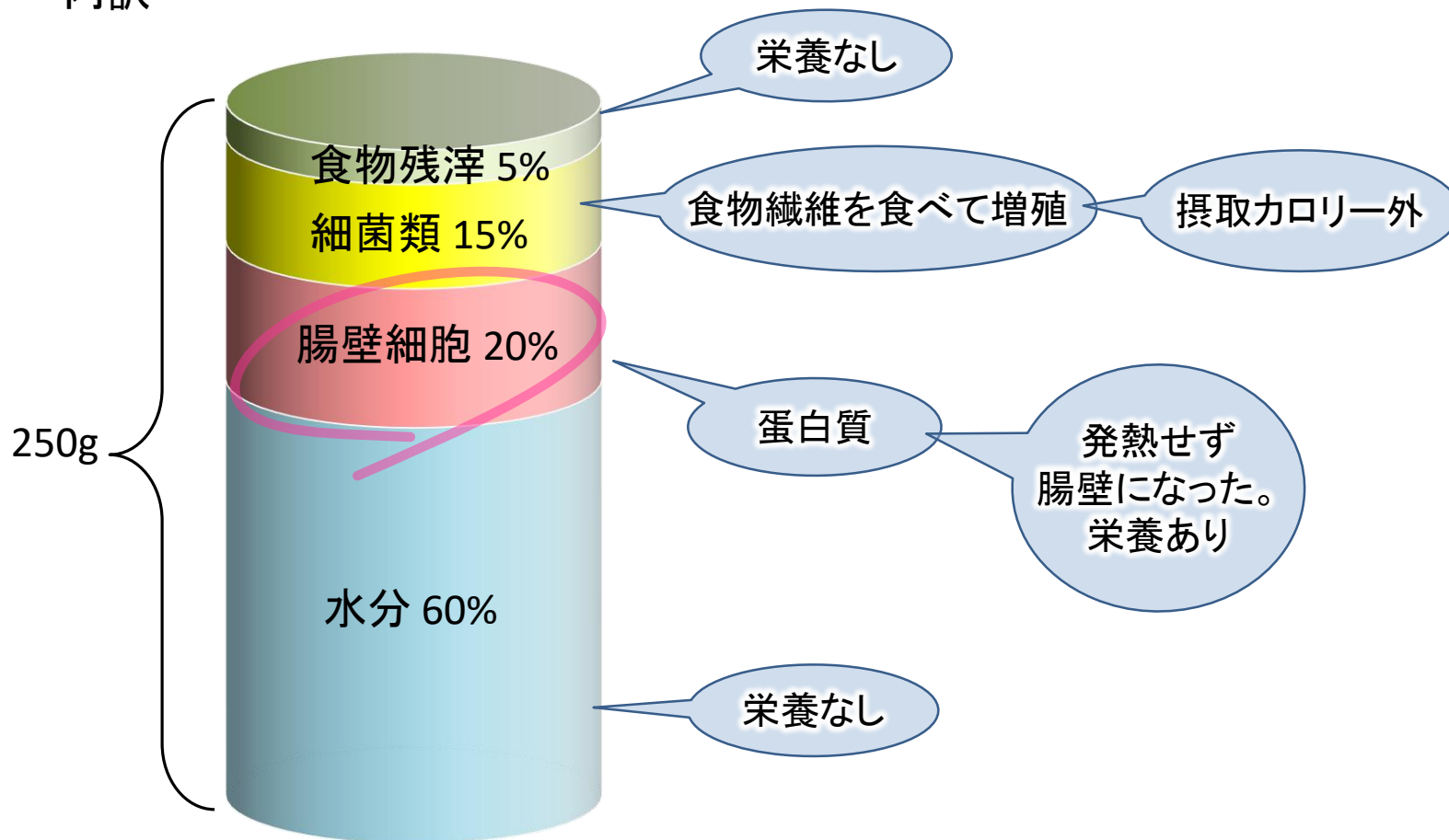
すべて吸収
されるのか

排泄物の内訳

吸収されない熱量で修正

人間の1日の排泄量 : 250g

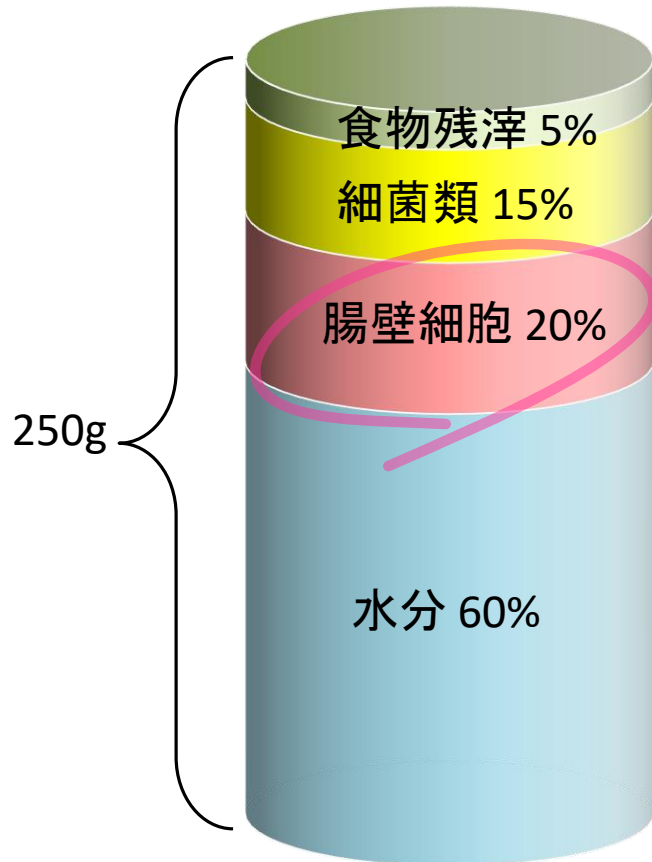
内訳



熱にならない蛋白質

吸収されない熱量で修正

腸壁細胞になった蛋白質は、熱にならず排泄される。



$$\begin{aligned} \text{腸壁細胞の量} & : 250 \times 0.20 = 50 \text{ [g]} \\ \text{蛋白質の熱量} & : 4 \text{ [kcal/g]} \end{aligned}$$

$$\text{水の比熱 } c_v(w) = 4.2 \text{ [kJ/kg K]}$$

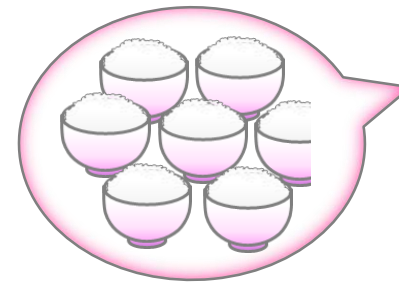
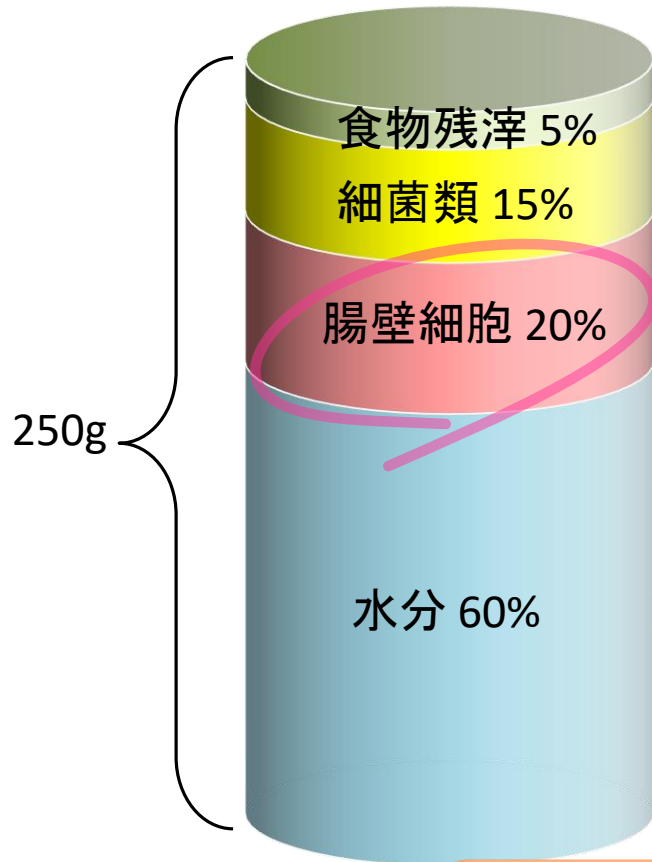


$$\begin{aligned} \text{腸壁細胞の熱量} \\ 50 \times 4 & = 200 \text{ [kcal]} \\ & = 840 \text{ [kJ]} \end{aligned}$$

熱にならない蛋白質

吸収されない熱量で修正

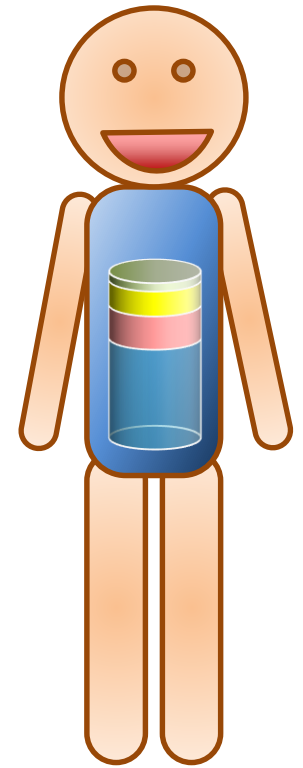
腸壁細胞になった蛋白質は、熱にならず排泄される。



食事1600kcal
= 6700 kJ

腸壁細胞の熱量

$$50 \times 4 = 200 \text{ [kcal]} \\ = 840 \text{ [kJ]}$$



蛋白質の代謝は食事量の13%

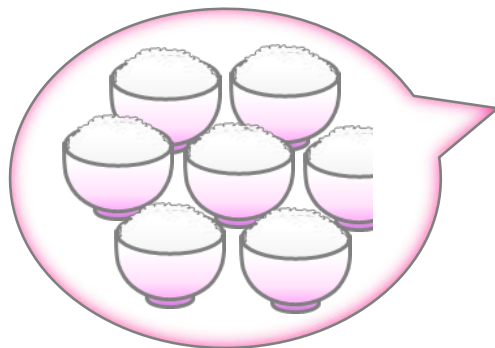
食べた食事の発熱を修正

呼吸と代謝で失われる熱量で修正

食事の熱量で修正

食べた食事の発熱を修正

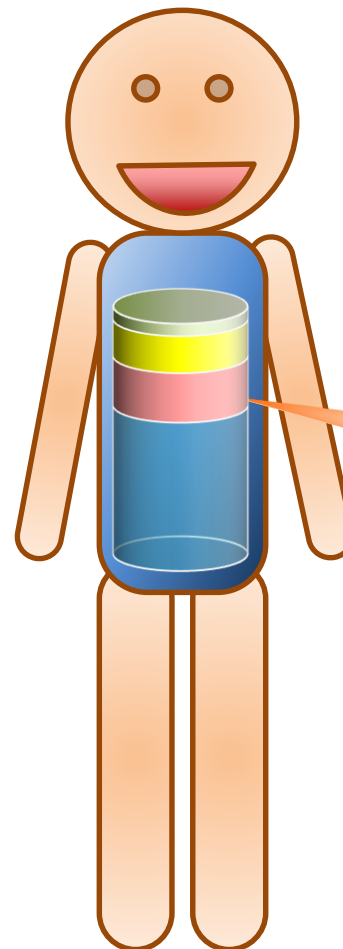
呼気の水分で14%を放出
蛋白質の代謝で13%発熱せず



食事1600kcal
= 6700 kJ

$$6700 \times (1 - 0.14 - 0.13) \\ = 4900 \text{ [kJ]}$$

空気を温めている熱量は4900 kJ



呼気の水分で
14%を放出

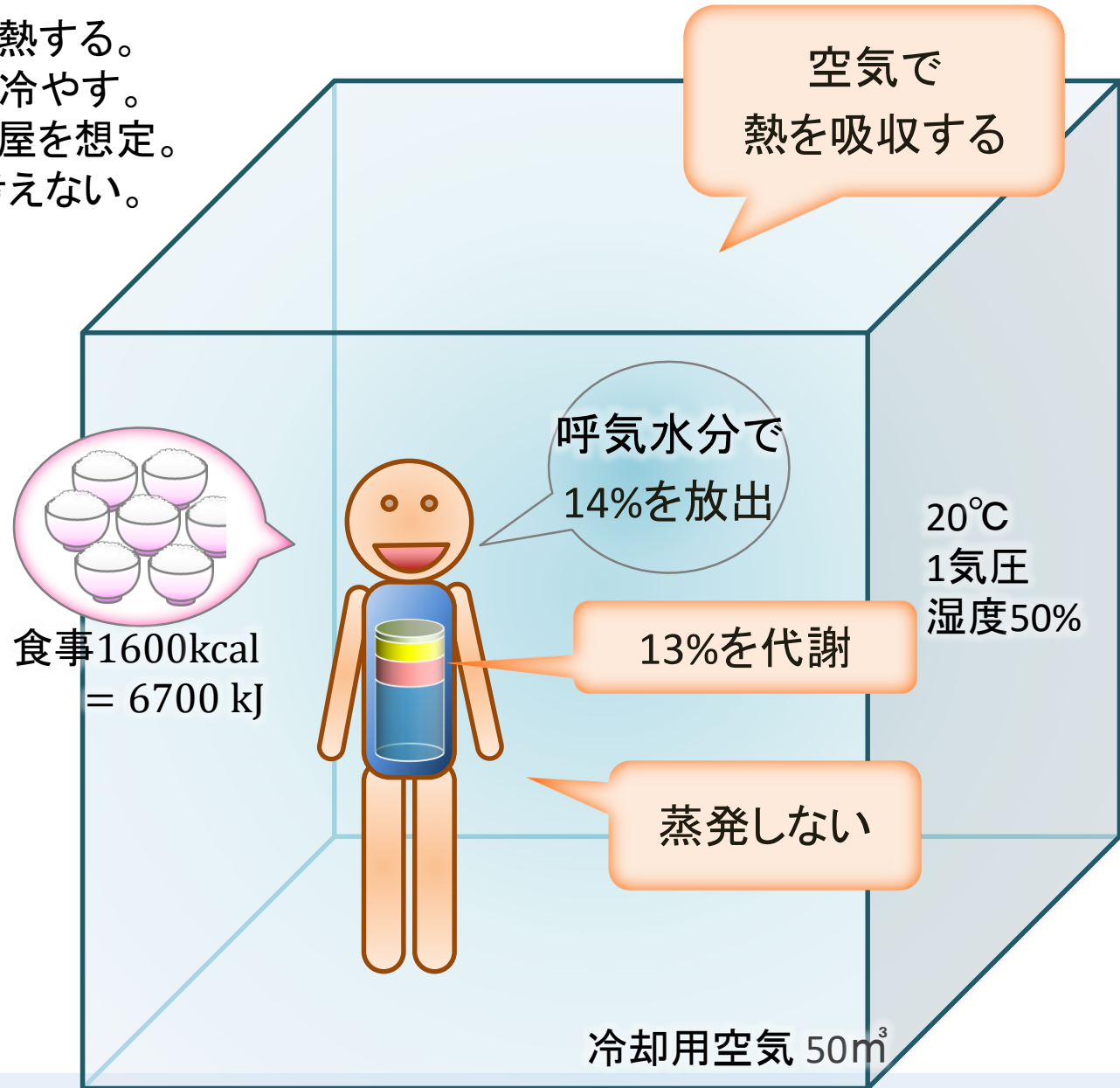
13%を代謝

気温20°C湿度50%

発熱を空気で冷やす

食べた食事の発熱を修正

1日で4900 kJ発熱する。
周辺空気で体を冷やす。
20°Cの涼しい部屋を想定。
体温の上昇は考えない。



計算

食べた食事の発熱を修正

発熱 H のときの空気の温度変化 ΔT

$$\Delta T = \frac{H}{c_v(a)\rho L}$$

$$\begin{aligned}\Delta T &= \frac{\cancel{6700}^{4900}}{1.0 \times 1.2 \times 50} \\ &= \cancel{110}^{82} \text{ [K]}\end{aligned}$$

気温は

$$\begin{aligned}t &= 20 + \cancel{110}^{82} \\ &= \cancel{130} \text{ [}^\circ\text{C]} \\ &= 102\end{aligned}$$

これでも危険な気温！

H : 食事で摂取した熱量

$c_v(a)$: 空気の比熱

ρL : 空気の質量

t : 気温(セルシウス度)

T : 温度(絶対温度)

$$t = T - 273.15$$

$$H = \cancel{6700}^{4900} \text{ [kJ]}$$

$$c_v(a) = 1.0 \text{ [kJ/kg K]}$$

$$\rho L \approx 1.2 \times 50 \text{ [kg]}$$

参考: (参照日2018年07月24日)

空気の比熱 [HAKKO八光電気/Q&Aキット/『各種物質の性質: 気体の性質』](#)より
空気の密度 [『空気』 - Yahoo!辞書](#) 日本大百科全書(ニッポニカ)の解説より

結果

食べた食事の発熱を修正

発熱 H のときの空気の温度変化 ΔT

$$\Delta T = \frac{H}{c_v(a)\rho L}$$

$$\begin{aligned}\Delta T &= \frac{\cancel{6700}^{4900}}{1.0 \times 1.2 \times 50} \\ &= \cancel{110}^{82} \text{ [K]}\end{aligned}$$

気温は

$$\begin{aligned}t &= 20 + \cancel{110}^{82} \\ &= \cancel{130}^{102} \text{ [}^\circ\text{C]}\end{aligned}$$

これでも危険な気温！

H : 食事で摂取した熱量

$c_v(a)$: 空気の比熱

ρL : 空気の質量

t : 気温(セルシウス度)

T : 温度(絶対温度)

$$t = T - 273.15$$

$$H = \cancel{6700}^{4900} \text{ [kJ]}$$

$$c_v(a) = 1.0 \text{ [kJ/kg K]}$$

$$\rho L \approx 1.2 \times 50 \text{ [kg]}$$

参考: (参照日2018年07月24日)

空気の比熱 [HAKKO八光電気/Q&Aキット/『各種物質の性質: 気体の性質』](#)より
空気の密度 [『空気』- Yahoo!辞書](#) 日本大百科全書(ニッポニカ)の解説より

結果

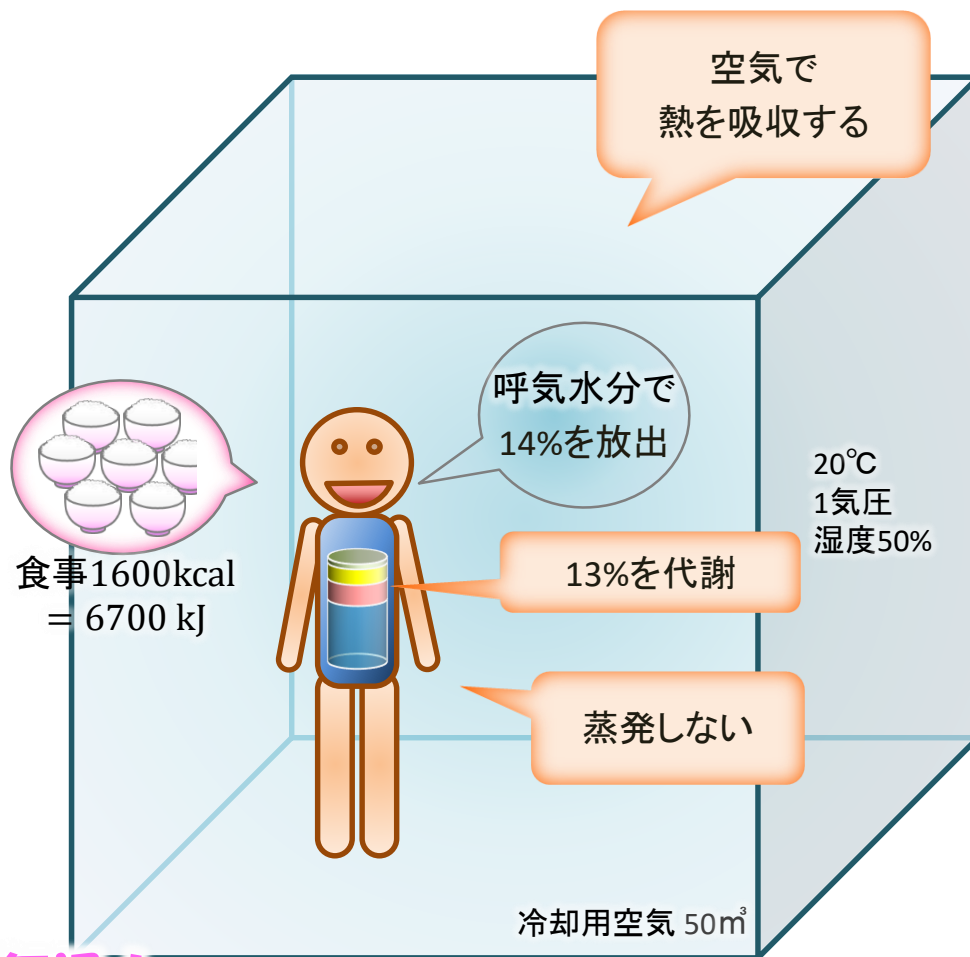
食べた食事の発熱を修正

1日で4900 kJ発熱する。
周辺空気で体を冷やす。
20°Cの涼しい部屋を想定。
体温の上昇は考えない。



気温は

$$t = 20 + \overset{82}{110} \\ = \overset{102}{130} [^{\circ}\text{C}]$$



これでも危険な気温！

考察

実際の20°Cの涼しい部屋



空気以外にも熱を
吸収するものがいっぱい！

