

## 3. 医療における物理と現代病

☆ 医療現場における物理

☆ 現代病 — タバコ

生活習慣病を加速する煙草

— コロンブスの発見の影の部分

# 医療現場での物理

---

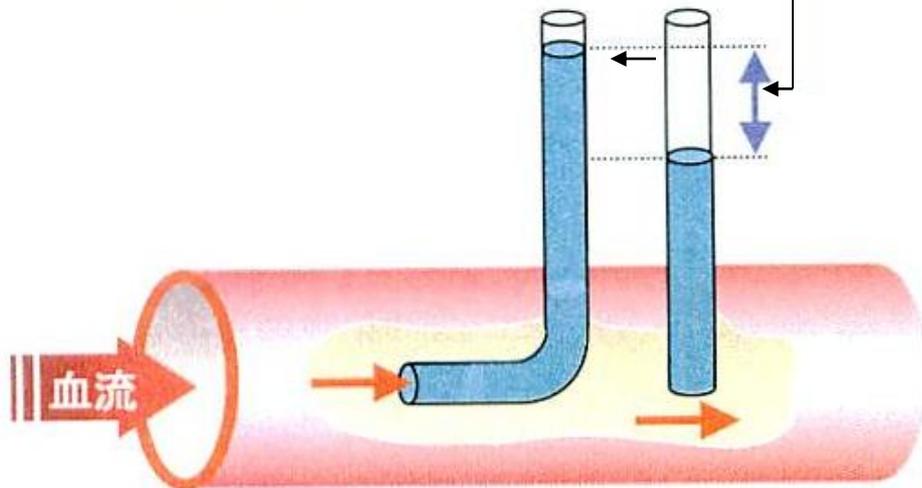
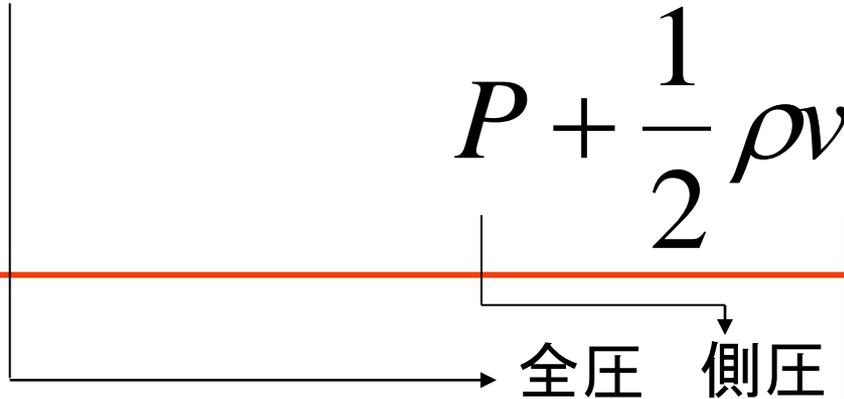
1. 血圧・・・ ベルヌーイの定理
2. 点滴・・・ サイフォンの原理
3. 体熱の産出・喪失・・・  
熱伝導率・対流・放射・蒸発
4. サーモグラフィ・・・ 赤外線検知器
5. 担架・・・ モーメント
6. 酸素吸入・・・ 圧力

# 1: 血 圧

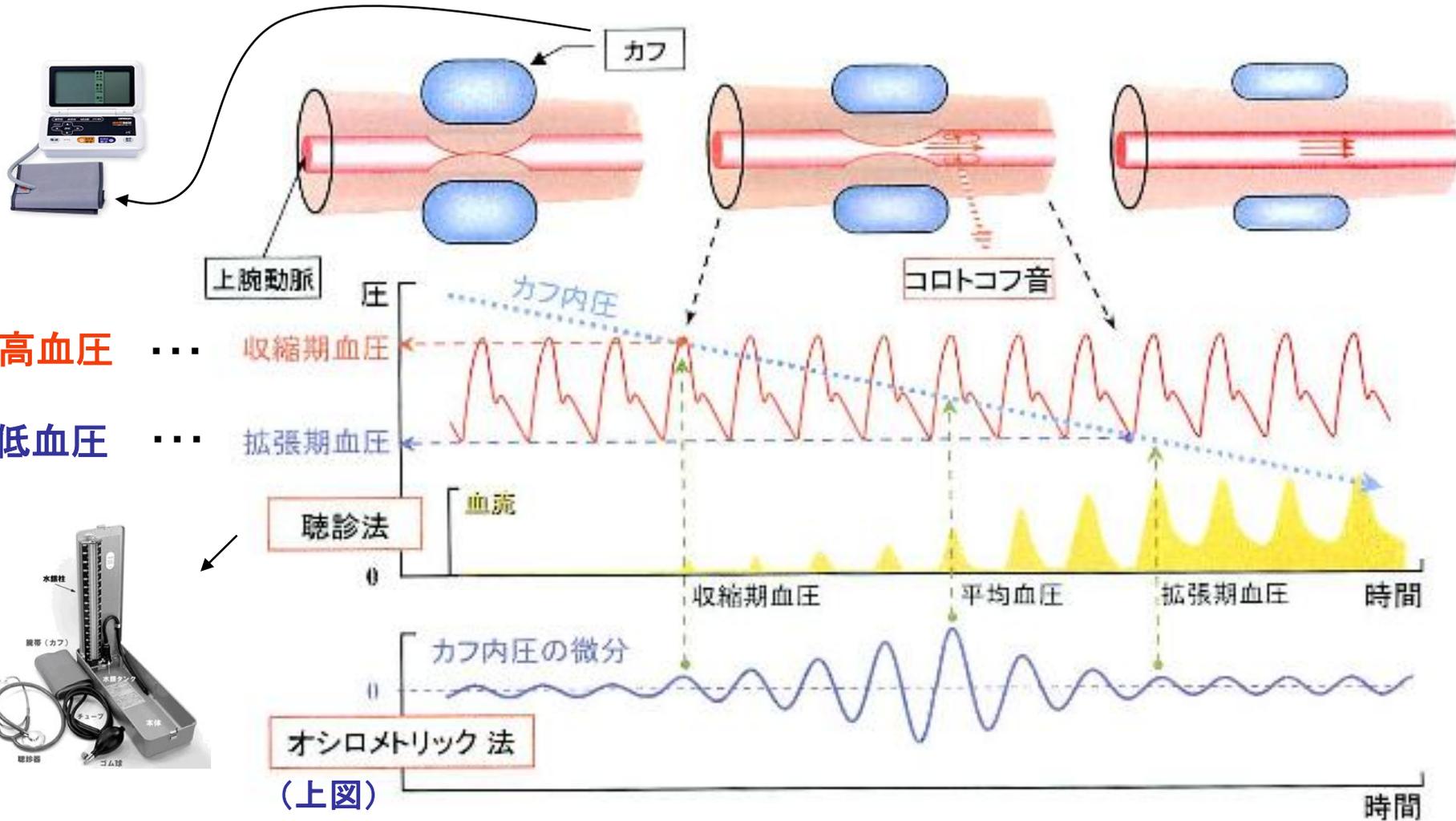
## ベルヌーイの定理

$$\boxed{\text{全エネルギー}} = \boxed{\text{圧力エネルギー}} + \boxed{\text{運動エネルギー}} + \boxed{\text{位置エネルギー}} = \text{一定}$$

$$P + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g h = \text{一定}$$



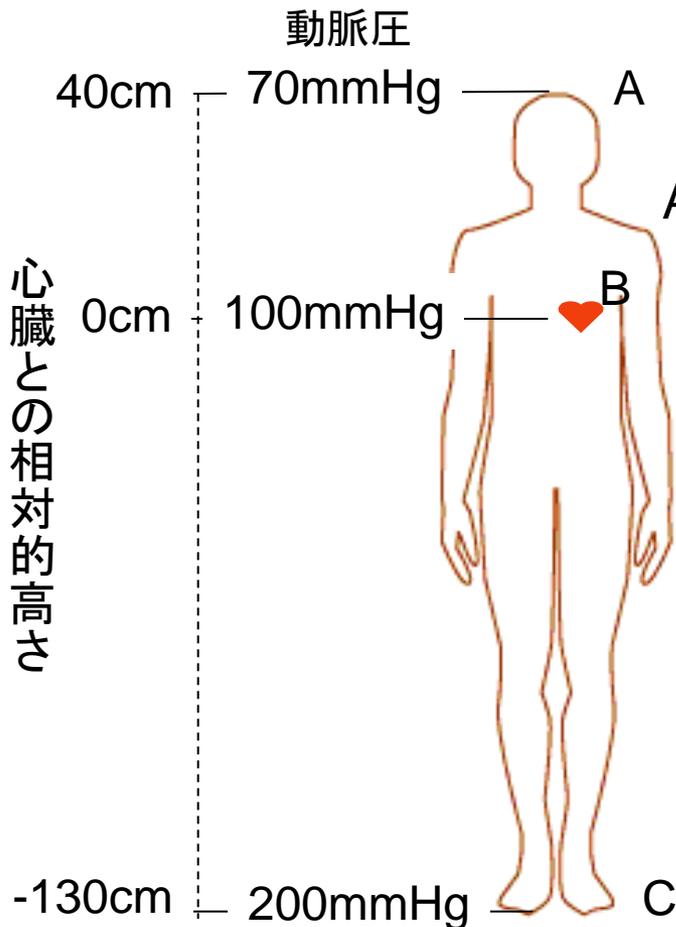
# 1. 血圧：間接測定の仕事み



# 1. 血 圧

血圧100mmHgとは：  
空気の圧力に逆らって水銀を100mm持ち上げる力

水銀の密度 =  $13.6\text{g/cm}^3$   
37°Cの血圧の密度 = 約 $1.06\text{g/cm}^3$

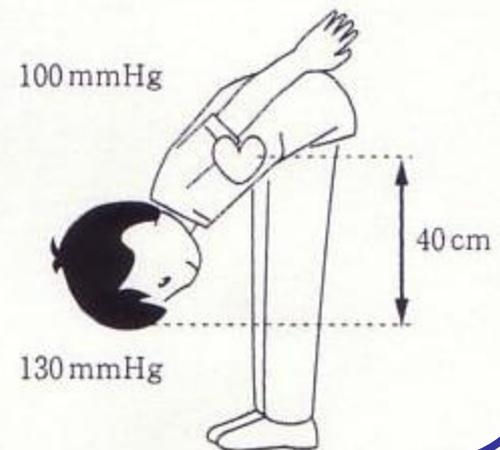


Aの位置では  
 $40\text{cm} \div 13.6 = 2.9\text{cm} \div 30\text{mm}$  より  
心臓よりも30mmHg低い70mmHgとなる。

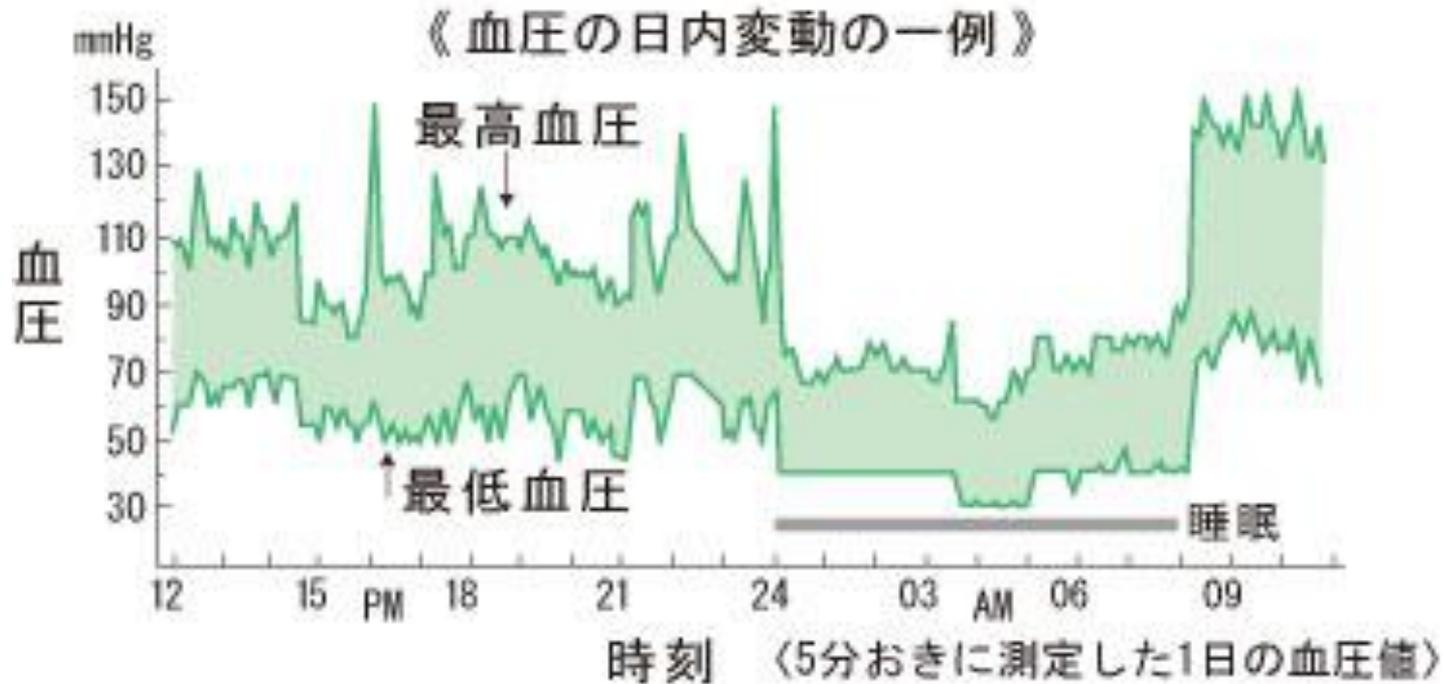
## 起立性低血圧

急に立ったり、立位を長い  
間保っていると起きる

右図の姿勢をとると気分  
が悪くなる。頭部の血圧  
が増加し、血液量が増す



# 1. 血 圧

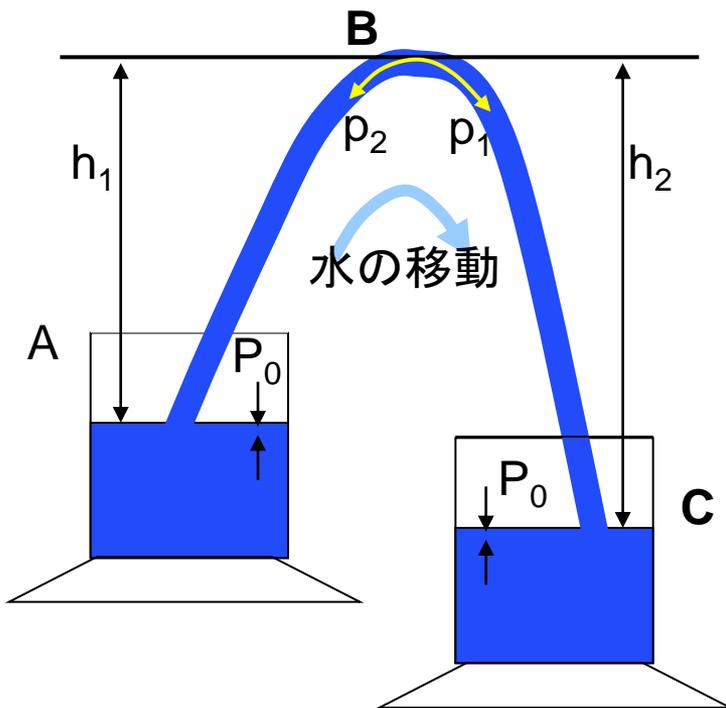


病院で140/90mmHg以上、家庭で135/85mmHg以上\*の人は高血圧

\* 日本高血圧学会 高血圧治療ガイドライン2004年度版

# 2. 点 滴

サイフォンの原理 : A→Cへの水の移動



$$p_1 = P_0 - \text{高さ}h_1\text{の水柱の圧力}$$
$$(p_1 = P_0 - \rho gh_1)$$

$$p_2 = P_0 - \text{高さ}h_2\text{の水柱の圧力}$$
$$(p_2 = P_0 - \rho gh_2)$$

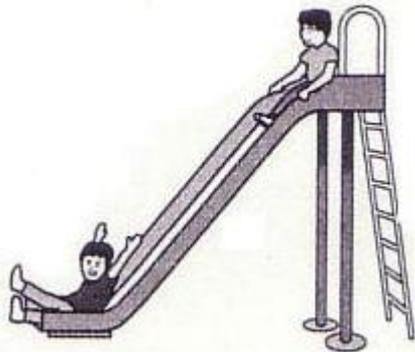
$$p_1 - p_2 = \rho g(h_2 - h_1) > 0$$

水はA→Bに流れる。 $h_1 = h_2$ が成立つと水の移動は止まる

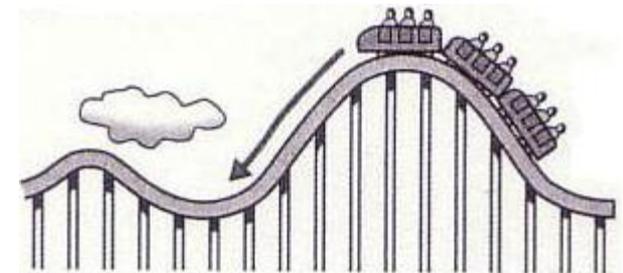
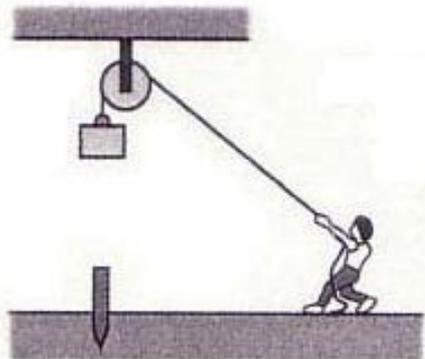
## 2. 点滴：落下速度

$$\begin{array}{ccccc} \text{運動} & & \text{位置} & & \text{力学的} \\ \text{エネルギー} & + & \text{エネルギー} & = & \text{エネルギー} \\ \frac{1}{2}mv^2 & & mgh & & \end{array}$$

位置エネルギーが  
運動エネルギーに変化



高いところの物体は位置  
エネルギーを持っている



## 2. 点滴：液体の落下速度



$$\frac{1}{2}mv^2 = mgh \quad \text{より}$$

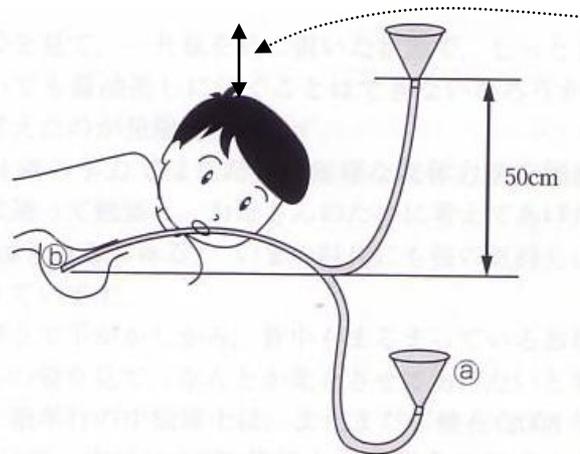
$$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{20h}$$

高いところから落下するほど速い。

実際は、液体の種類や粘性、温度、または管の半径により変わる。

# 2. 点滴：サイフォンの原理を活用

## 【胃洗浄】



15cm以下  
これ以上にする  
と胃壁を刺激  
する

aが低すぎると速度が  
速くなり、胃壁に対する  
吸引力が働き、胃の粘  
膜を刺激してよくない

醤油ちゅるちゅる; 正式名称  
Dr.中松考案



## 【腹膜透析(CAPD)】

Continuous(連続的に)  
Ambulatory(携行可能な)  
Peritoneal(腹膜を使った)  
Dialysis(透析)



汚れた透析液を汲み出す  
ときにサイフォンの原理が  
利用されている

# アイスクリームの偽者？



市販のアイスクリームの中には、ヨウ素でんぷん反応を起こすものがある。



水で薄めた  
ヨード系うがい薬

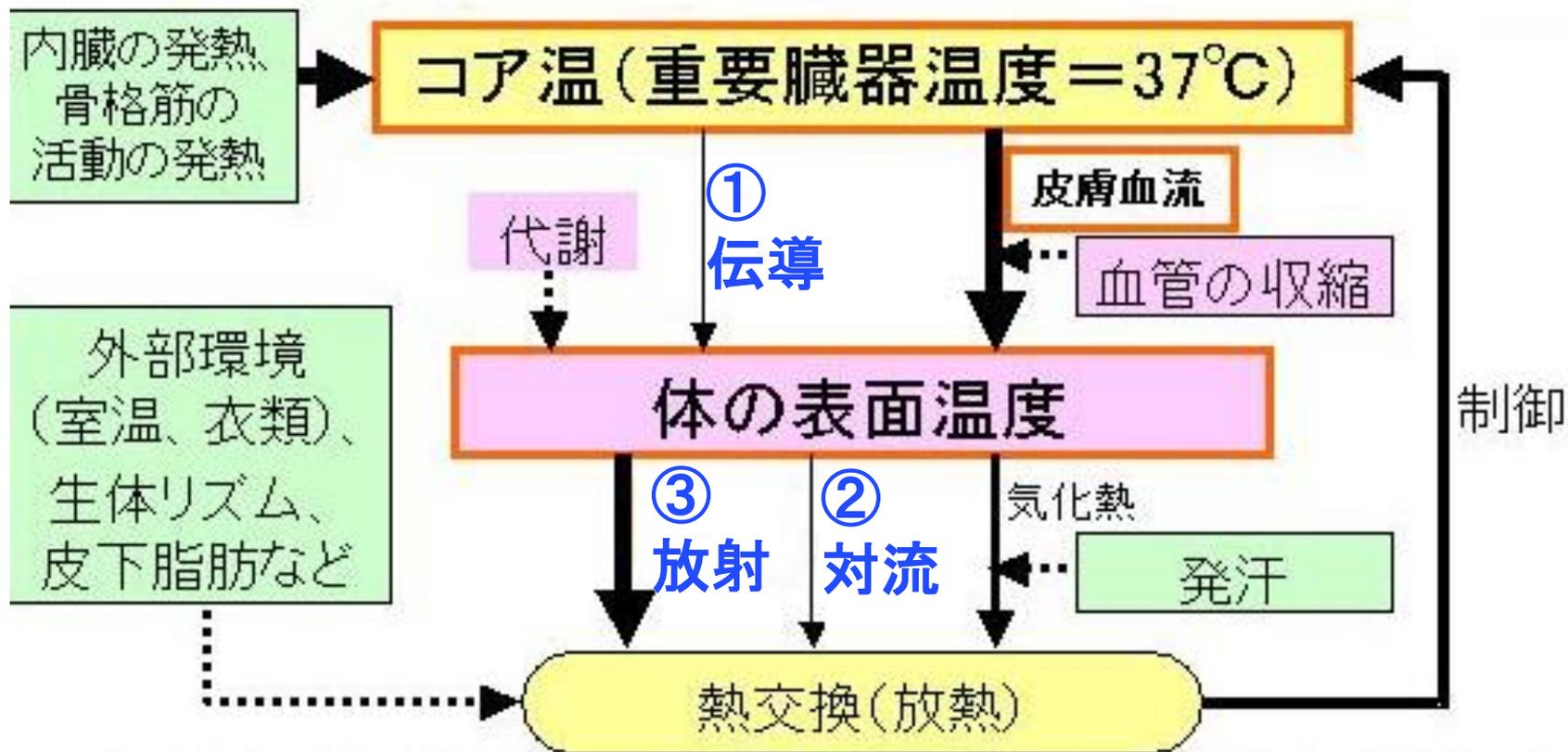


変色すれば・・・偽アイスクリーム

解答：増粘多糖類・・・一種のデンプンノリのようなもの  
乳固形分が少ないアイスは安定剤として増粘多糖類が含まれる

# 3. 体熱の産出・喪失

## 人体の体温調節機構

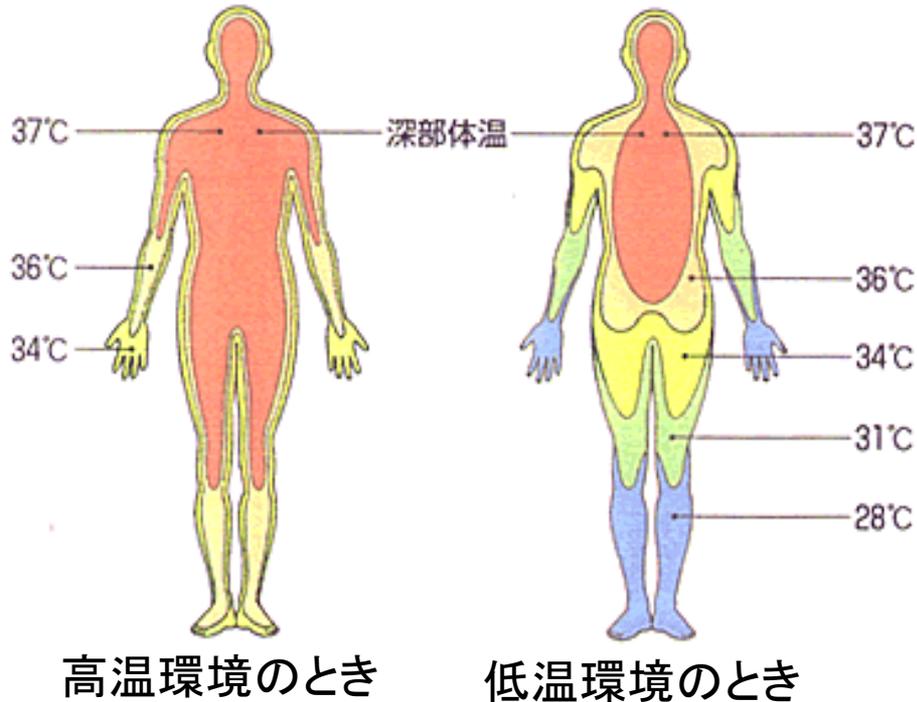


- 血管の収縮で血流による熱の流れを増減させ、体の表面温度を調節し、コア温を37°Cに保つ。発汗がない場合は約80%の熱交換は放射により行われる。放射のみで調整ができない場合は発汗により熱交換を促進する。
- 体の表面温度は個人差や外部環境の違いがあること、さらに体の表面の熱交換で体全体の平衡安定まで時間がかかりかかることなどが原因して、体の表面温度は安定しない。

(参考文献: 日本サーモロジー学会、熱画像診断テキスト)

# 3. 体熱：伝導（熱伝導率）

## 体内温度の等温分布



身体組織の熱伝導率が小さいため、外が寒くても身体内部に影響を受けず、暖かさを保てる。

## 熱伝導率

物質名	熱伝導率 (cal/cm·s·°C)
銅	0.95
アルミ	0.57
氷	$4.0 \times 10^{-3}$
ガラス	$2.0 \times 10^{-3}$
パラフィン	$5.7 \times 10^{-4}$
動物の筋、脂肪	$5.0 \times 10^{-4}$
木	$2.0 \times 10^{-4}$
空気	$5.7 \times 10^{-5}$
綿毛	$4.8 \times 10^{-5}$

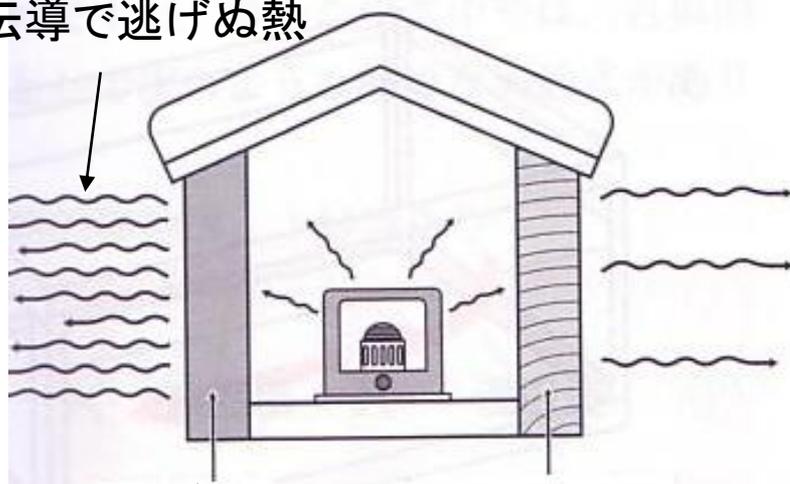
# 3. 体熱：熱伝導率②

伝導による熱の移動は、1秒あたり

= 熱伝導率 × 接触面積 × 単位厚さ当りの温度差

## 外壁の比較

伝導で逃げぬ熱



コンクリート

木材(コンクリートの  
1/10の熱喪失)

【例】

皮膚温 $34^{\circ}\text{C}$ の人が図のような衣服で外気温 $0^{\circ}\text{C}$ の場所にいる。

熱伝導率 $10^{-5}(\text{kcal}/\text{m}\cdot\text{s}\cdot^{\circ}\text{C})$ 、体表面積 $1.8\text{m}^2$ とすると1時間あたりに逃げる熱量は

$$10^{-5} \times 1.8 \times 3400 \times 3600 \cong 220 \text{ kcal}$$

(体重 $70\text{kg}$ の人が安静時に発生する熱量： $70\text{kcal}/\text{h}$ )



暖房費：

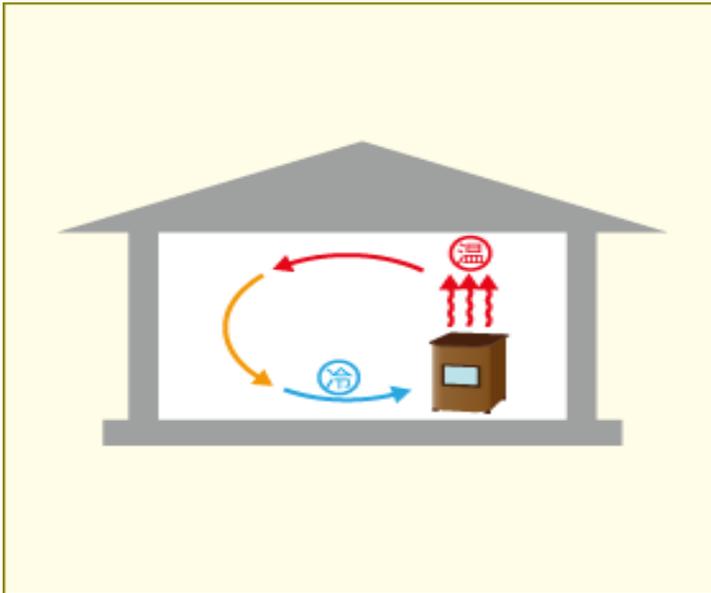
コンクリート壁 > 木材壁

# 3. 体熱 : 対 流

対流による熱の移動は、1秒当たり  
= 対流熱伝導率 × 表面積 × 温度差

## ストーブによる部屋の空気の暖まり方

暖められた空気は密度が小さくなり(軽くなり)上昇する。  
冷えた空気は下降する。



### 【例】

皮膚表面積 $1.8\text{m}^2$ 、皮膚温 $34^\circ\text{C}$ の人が裸の状態で $29^\circ\text{C}$ の部屋で休んでいる。裸の人間の対流熱伝導率を $17 \times 10^{-4}(\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C})$ とすると1時間当たりに逃げる熱量は

$$17 \times 10^{-4} \times 1.8 \times (34 - 29) \times 3600 = 54 \text{ kcal}$$

体重 $70\text{kg}$ の人が安静時に発生する熱量： $70\text{kcal}/\text{h}$ と比較すると、およそ8割が対流で運ばれることになる。

# 3. 体熱：放射

物体から放射される熱の値は高温の物体ほど大きい

ステファンボルツマンの法則

$$P = \alpha T^4$$

を用いると

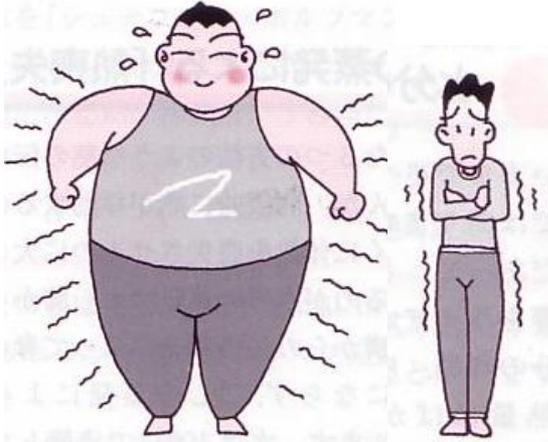
放射による熱の移動は、1秒あたり

$$= \text{定数} \times \text{表面積} \times (\text{絶対温度})^4$$

# 3. 体熱 : 水分蒸発による熱損失

## ☆ 皮膚からの汗の蒸発

体熱の産生は身体の体積、  
喪失は表面積に比例する。



産生する熱量に対し発散していく熱の割合が小さい→寒さに強い  
寒さに弱い

## ☆ 肺からの水分蒸発



ハア、ハア

空気を吐き出し、身体冷却している

## 体熱の産生と喪失のバランス

代謝により産生された熱量

-

仕事に消費された熱量

=

伝導、対流による喪失熱量

+

放射による喪失熱量

+

肺からの水分、皮膚からの汗の蒸発による喪失熱量



## 空気の熱伝導率が小さい

- 登山で山に迷った人が新聞紙を巻きつけ、寒さとたたかった。
- 冬、衣服を重ね着する。
- 髪が縮れている — 太陽の強い熱から頭皮を守る  
縮れた髪:頭皮の間に空気を含む



## 保温性から見た3匹の子豚の家

### 熱伝導率

わらの家	小
木の家	中
レンガの家	大



### 日本最古の木造



宇治平等院鳳凰堂  
11世紀の建造物(木造建築)



雪の中を駆け回る



冷たい外気に触れない  
よう表面積を小さくする  
→丸くなる



実際は・・・ 犬の方が寒さに弱く病気になりやすい  
(獣医さん曰く)

# 4. サーモグラフィ:赤外線検知器

物体から放射される赤外線量を計測して  
温度を求める

黒体輻射の式

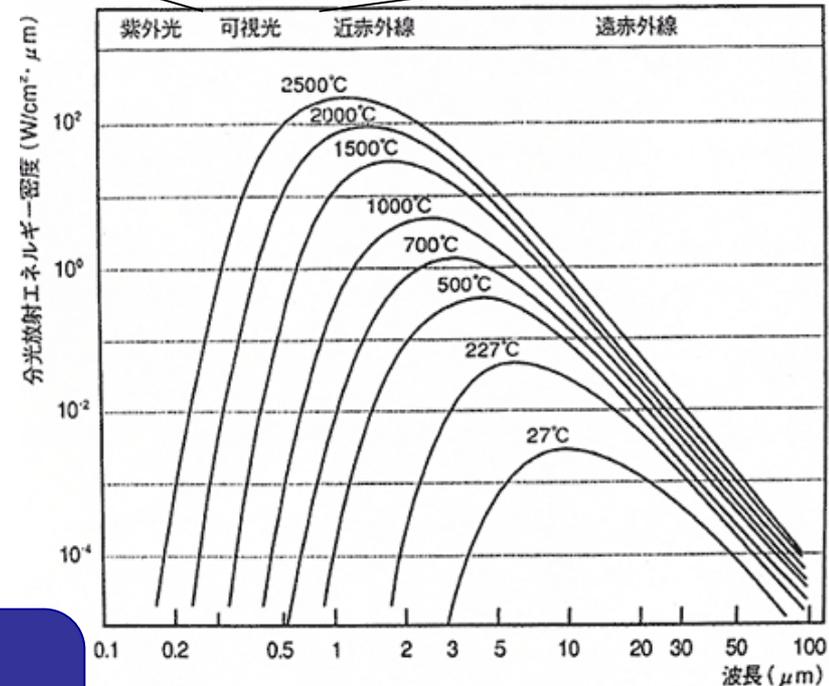
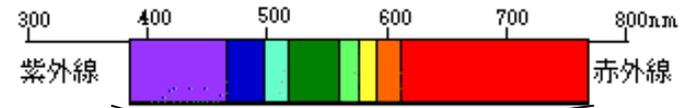
$$L(\lambda) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{\exp(hc/\lambda k_B T) - 1}$$

ウィーンの変位則

$$\lambda_{\max} = \frac{2897}{T} \quad (\mu)$$

例: 人体表面温度37度(310K)ならば

$\lambda_{\max} = 10\mu$  10μ m付近に  
ピークを持つ赤外線が人体より放射



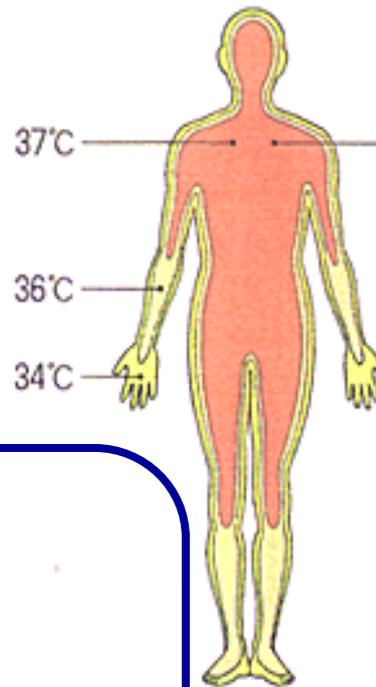
温度による赤外線の放射  
エネルギーの波長分布<sup>20</sup>

# 4. サーモグラフィ②

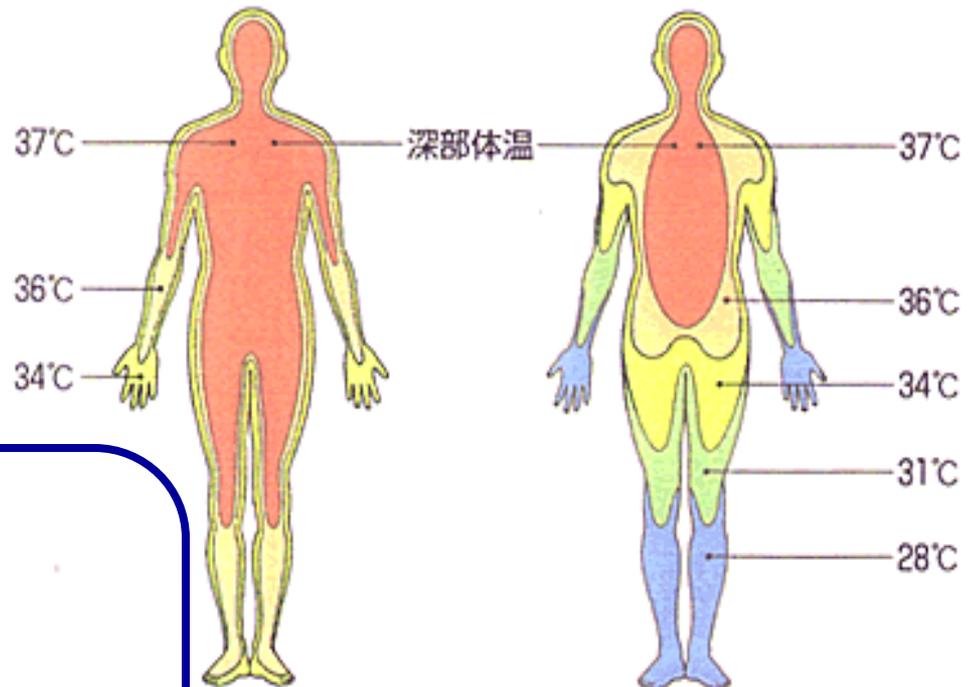
## 利 点

1. 非接触で測定できる。
2. 幅広く温度分布が測定できる。
3. レスポンスが速く、リアルタイム測定ができる。

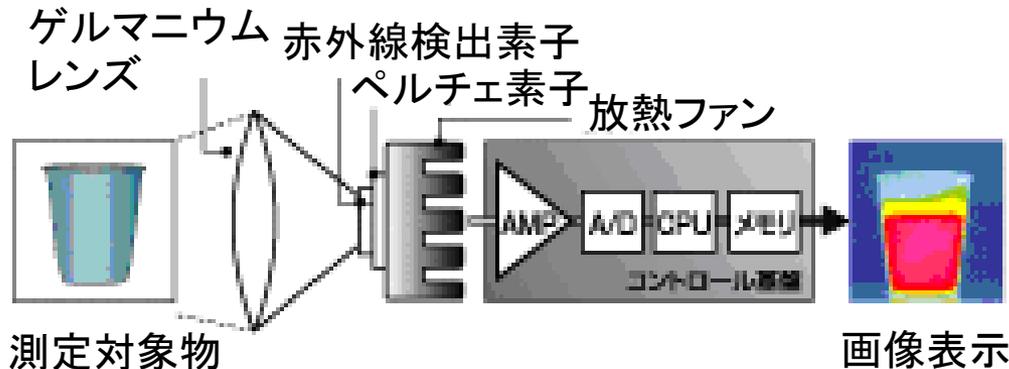
高温環境



低温環境

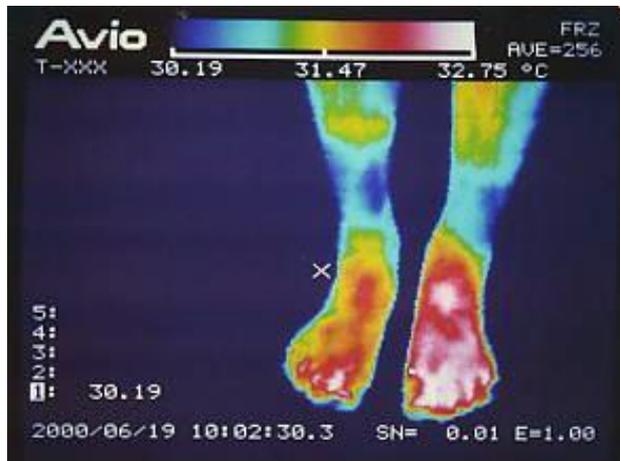


## 構 造

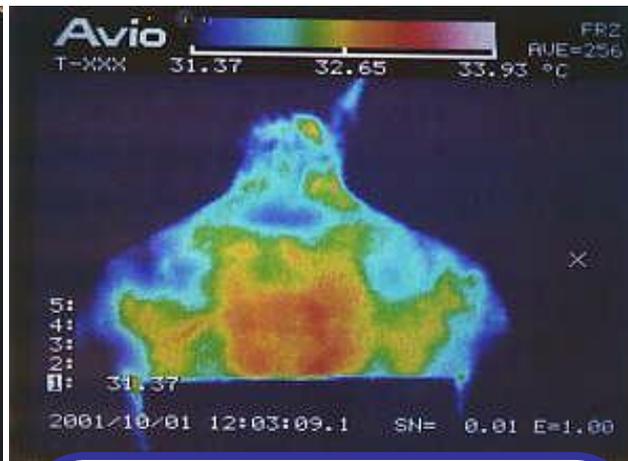


# 4. サーモグラフィ：測定例

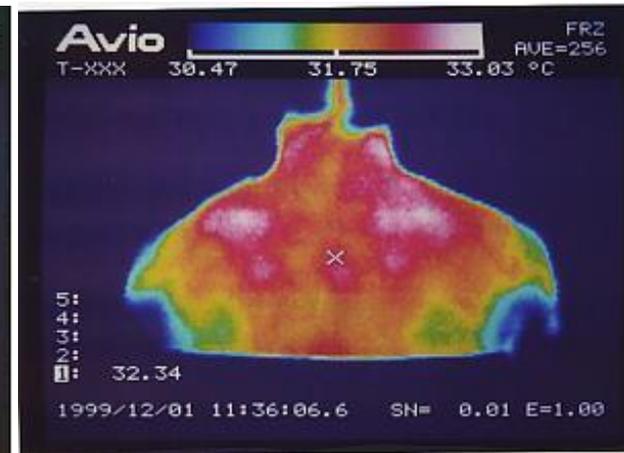
温度の低い場所は紺色、温度が高くなるにしたがい、  
緑→黄→橙→赤→白色に変化



歩行不能の左足関節炎  
左足関節に高度の炎症  
が確認される。



慢性的な肩凝り  
背中に比べて首、特に左  
首から左肩の血液循環  
が悪く低温になっている。



むち打ち症  
首の炎症が観察できる。



# 【4.サーモグラフィ】紫外線カット(日傘)

白っぽい色 or 黒っぽい色 : どちらが有効？

白 : 紫外線を反射  
黒 : 紫外線を吸収

吸収によるカットの方が効果は大



# 5. 担架：トルクと「てこ」

トルク：回転軸のまわりの力のモーメント

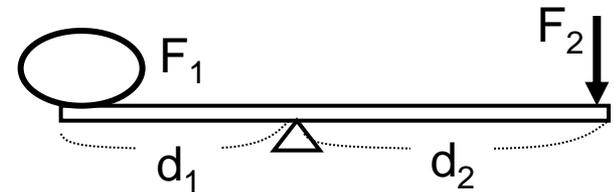
$$\mathbf{N} = \mathbf{r} \times \mathbf{F}$$

$r$ ：腕の長さ

$F$ ：物体に加わる力

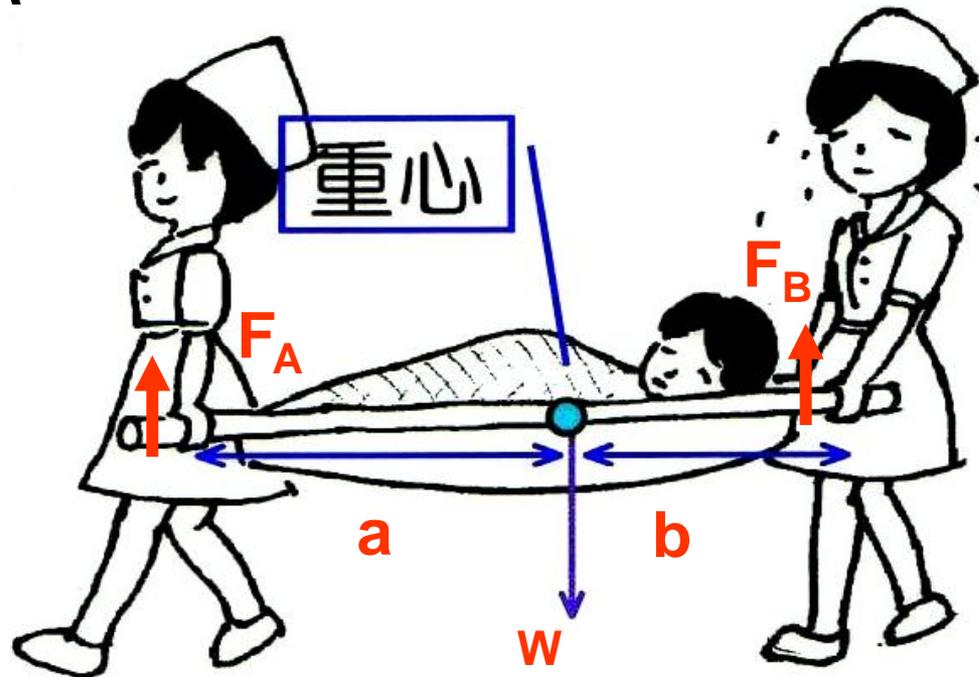
てこの原理：支点、力点、作用点からなる力の関係

$$d_1 F_1 = d_2 F_2$$



# 5. 担架

重心の位置が中心より頭側にあるので、頭側を持つ人のほうが重い

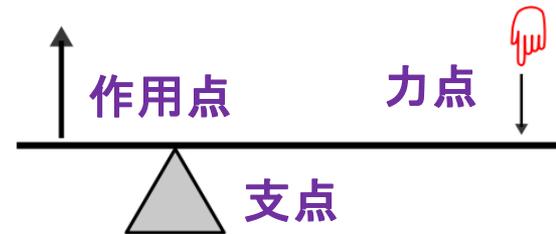


$$a > b \quad \longrightarrow \quad F_B > F_A$$

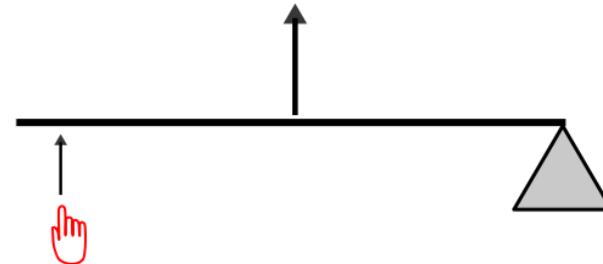
重心が担架の中央  $\longrightarrow a = b$  : 同じ重さ

# 5. 第1,2,3種でこの原理

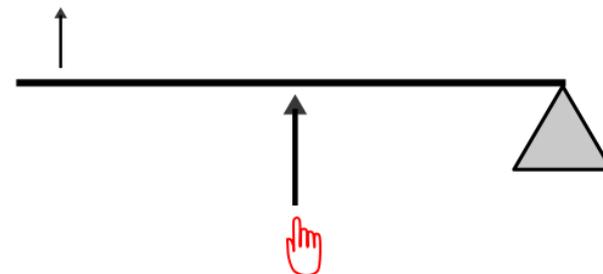
第1種でこの原理



第2種でこの原理

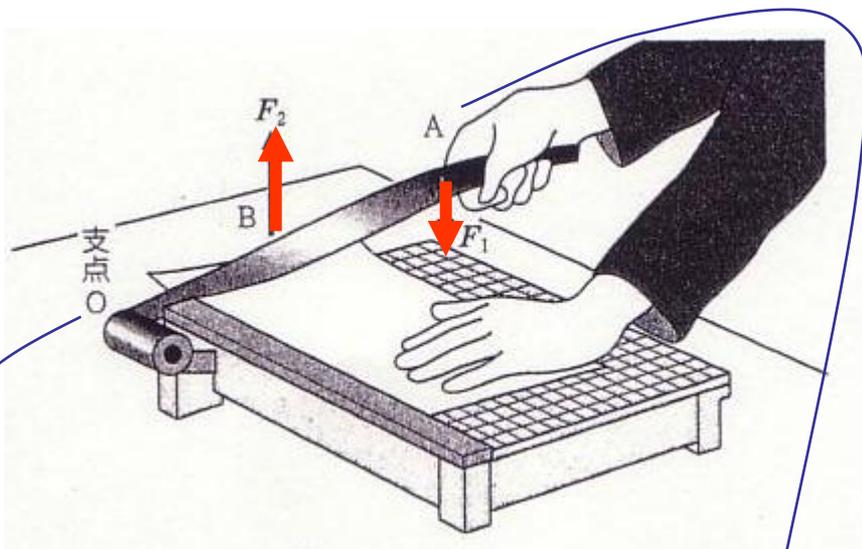


第3種でこの原理

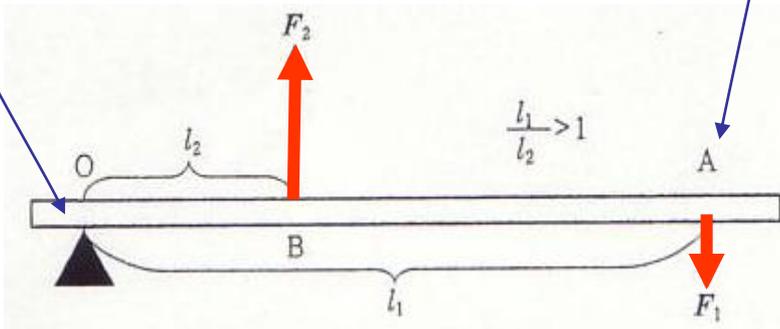
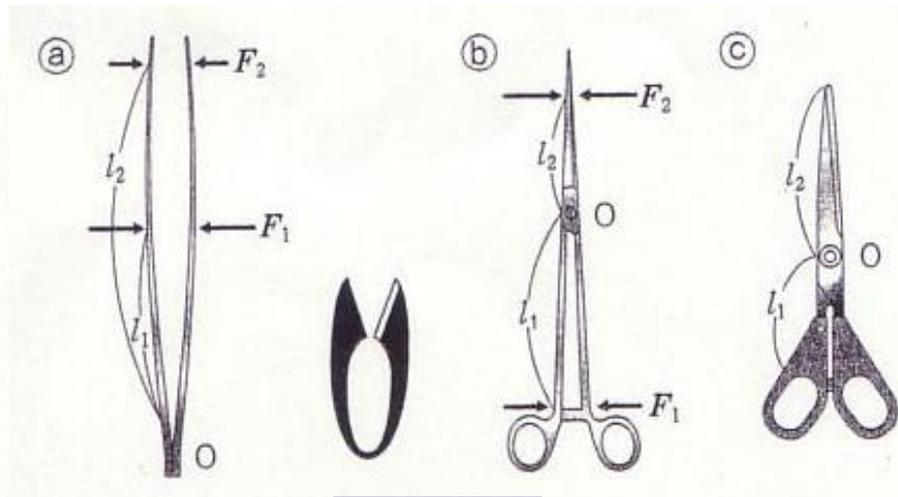


# 5. てこの原理活用(1/2)

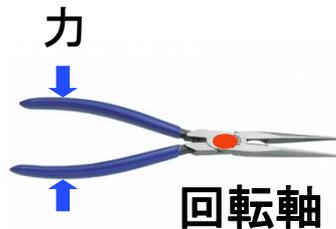
【カッターの場合】



【ピンセット、和バサミ、  
かんし、西洋バサミ】



その他



# 5. てこの原理活用(2/2)

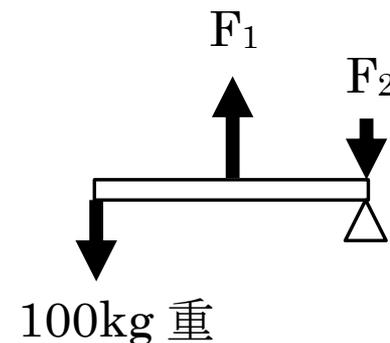
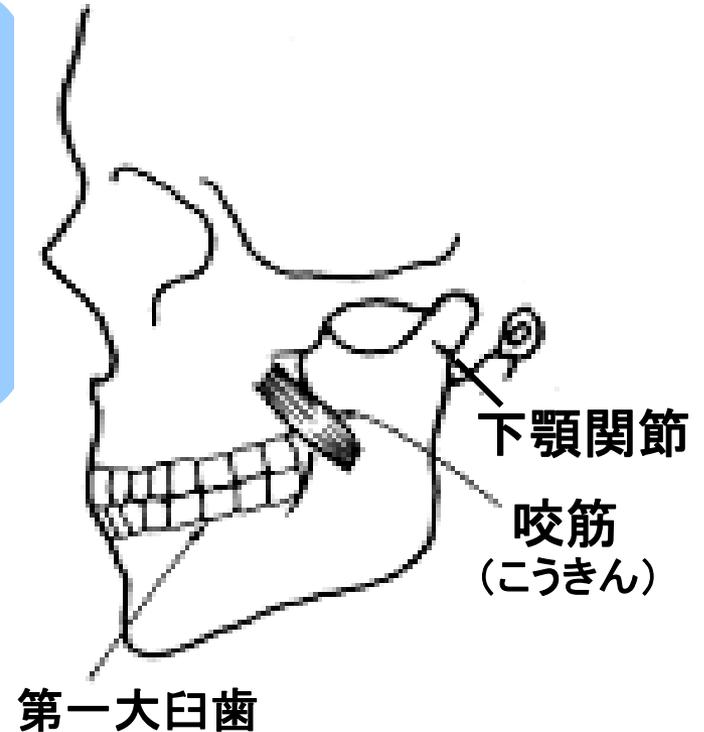
固いものを咬むとき、どちらが咬みやすい？

前歯？ それとも奥歯？

ここにも、てこの原理が...

あごがはずれるのは...

第一大臼歯の噛み砕く力の最大値は100Kg重といわれている。



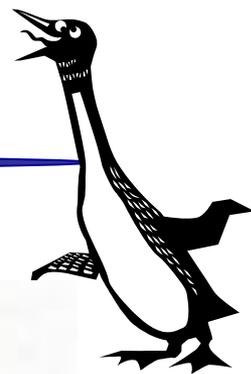
# 【5.担架】

Do you know what? Tell me.



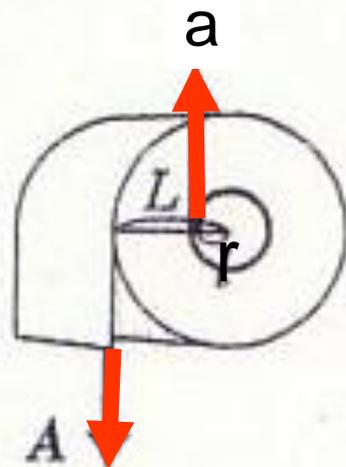
# トイレットペーパー

)))



こんなところにもトルクが...

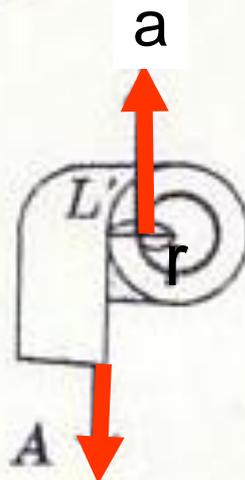
①



$$A \cdot L > a \cdot r$$

きれいに切れる

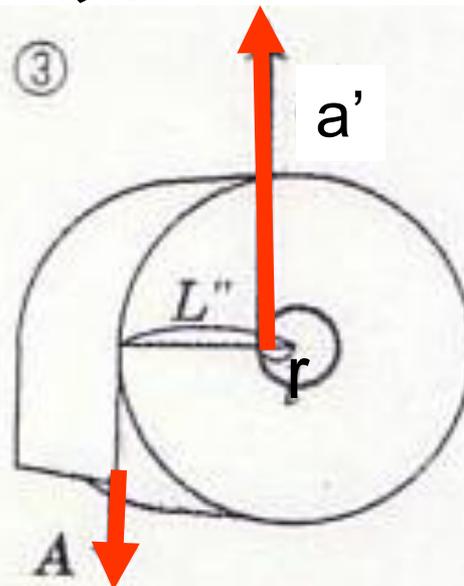
②



$$A \cdot L' < a \cdot r$$

無理に引くとAが大きくなりすぎる

③



$$A \cdot L'' < a' \cdot r$$

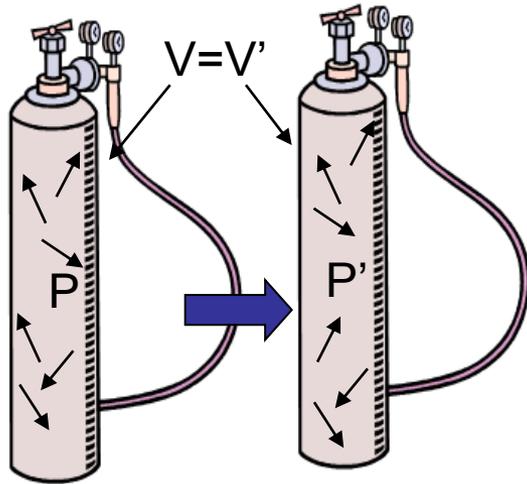
L''が大きいので a'が大きくなる

ボール紙の筒とホルダ一枠との間の摩擦力 : a

ホルダ一の中心から測ったロールの半径 : L, ホルダ一の半径 : r

# 6.酸素吸入：圧力

150kg/cm<sup>2</sup>の圧力で充填してあるポンベを  
日なたに放置して温度が20℃から25℃に  
上がった場合



$t^\circ\text{C}, V$

$(t + \Delta t)^\circ\text{C}, V'$

$$\frac{150V}{273 + 20} = \frac{P'V'}{273 + 25}$$

$$P' = 152.6 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

ボイル・シャルルの法則

$$PV = nRT$$

P: 圧力

V: 体積

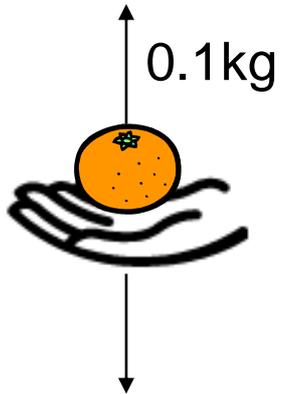
n: モル数

R: 定数

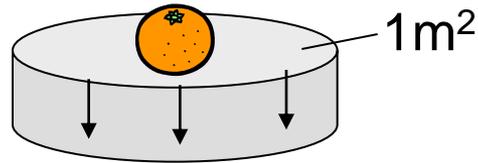
T: 絶対温度(室温 + 273)

$$\frac{PV}{T} = \text{一定}$$

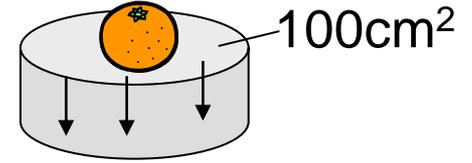
# 6.酸素吸入：圧カーパスカル(Pa)



0.1kgw=1N



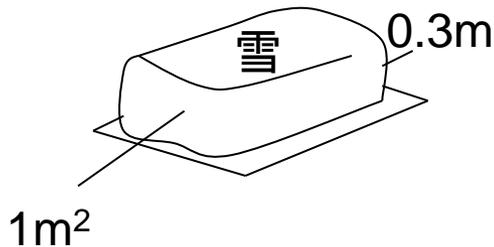
$$\text{圧力} = \frac{1\text{N}}{\text{m}^2} = 1\text{Pa}$$



$$\text{圧力} = \frac{1\text{N}}{0.01\text{m}^2} = \frac{100\text{N}}{\text{m}^2} = 100\text{Pa}$$

1m<sup>2</sup>の屋根に30cmの積雪の場合

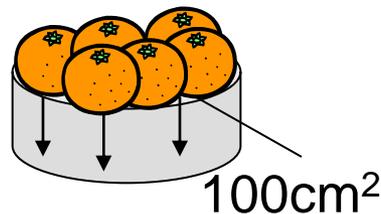
600Pa



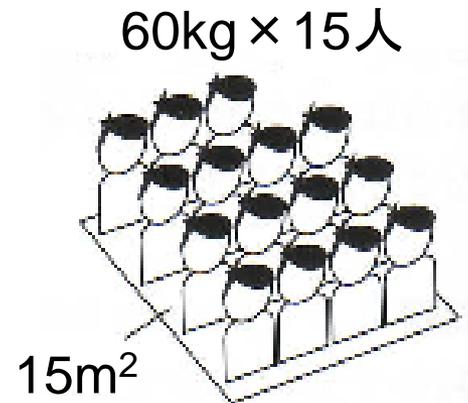
(雪の平均密度: 0.2g/cm<sup>3</sup>)

$$0.3 \times 20\text{kg/m}^3 = 60\text{kg} \div 100 = 600\text{Pa}$$

=



=



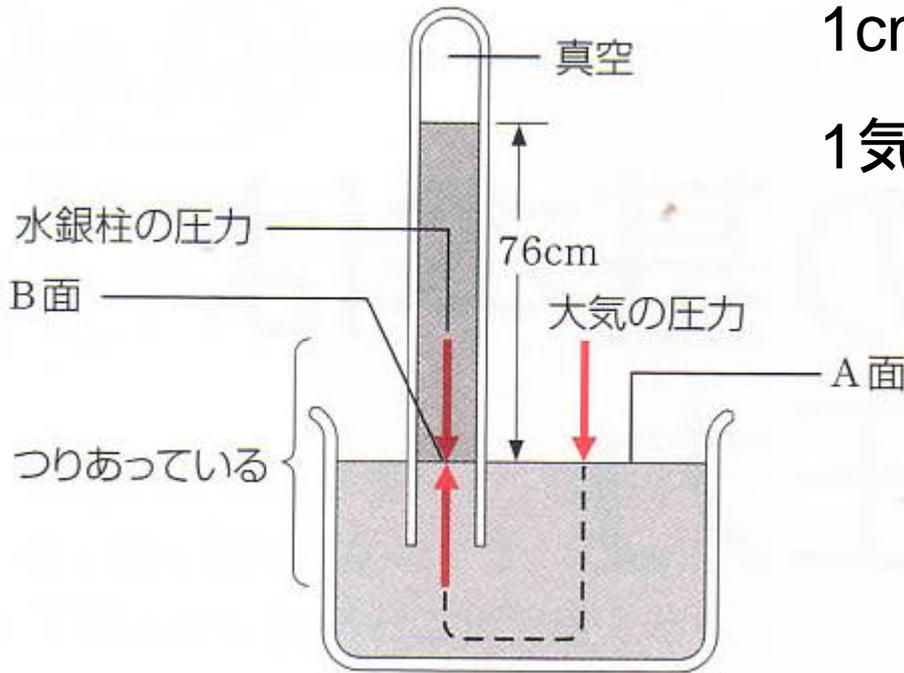
# 6. 気圧

## トリチェリの実験

$$1 \text{ 気圧} = 76 \text{ cmHg} = 76 \times 13.6 = 1 \text{ kg/cm}^2$$

$$1 \text{ cmHg} = 13.6 \text{ cmH}_2\text{O}$$

$$1 \text{ 気圧} = 76 \text{ cmHg} = 10 \text{ mH}_2\text{O}$$



【水銀の密度：13.6g/cm<sup>3</sup>】

オットー・フォン・ゲーリケ：ドイツの物理学者  
マグテブルグの半球実験

銅製の半球をグリースを用いて密着させ、  
これを引き離すのに16頭の馬で引っ張ら  
なければならなかった

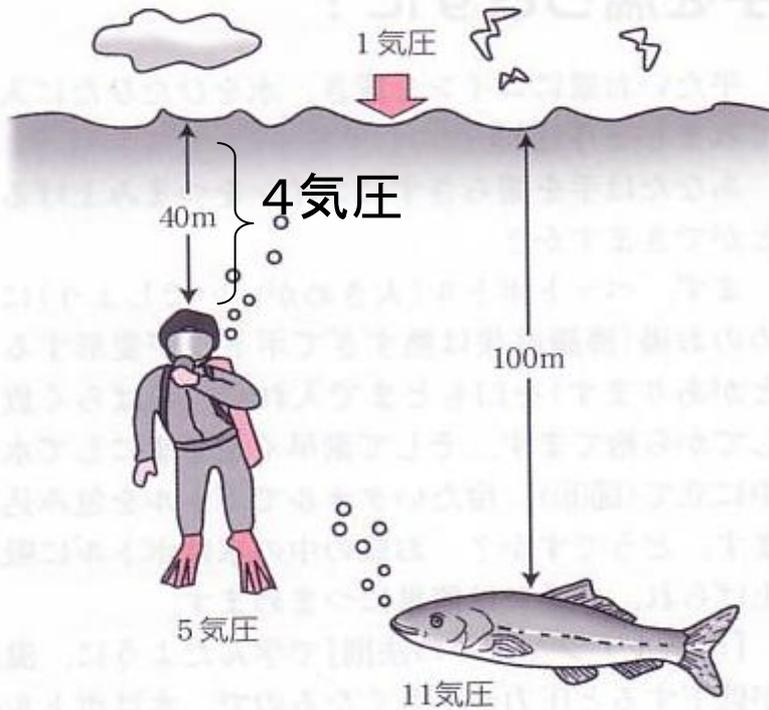


# 6. 圧力差によって生じる病気【1】

## ① 減圧症(潜水病)

急浮上すると...

窒素の放出 < 窒素が細胞や血液中に溶け出す速度



空気 { 20%...酸素  
80%...窒素  
(タンク中の空気も同様)

## ② 気圧外傷-1

### 肺の気圧外傷

圧力が高い...空気が圧縮される

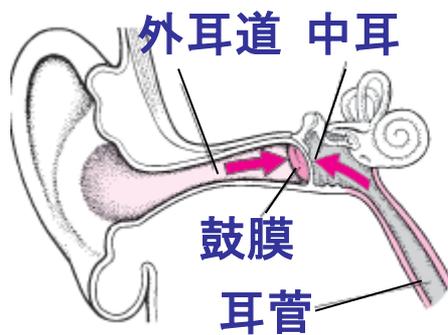
水深10メートル(2気圧)...1回に吸う空気の分子の数は、地表で吸う空気の2倍

圧力が下がるにつれて空気は膨張し体積は増加する。そのため水深10メートルで圧縮空気を肺に満たして息を吐かずに上昇すると、空気の体積は2倍になり肺が過度に膨張する。

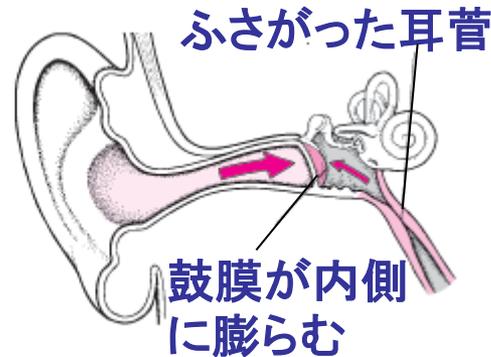
# 6. 圧力差によって生じる病気【2】

## ② 気圧外傷-2

耳管・・・鼓膜の内外の空気圧を等しく保つ



[ 空気圧が等しい ]



[ 空気圧に差がある ]



耳が痛み、鼓膜が傷ついたり破れたりする。

## その他

- ・ 高山病
- ・ 気圧による体調の変化

「雨が降ると古傷が痛む」  
「憂うつな気分になる」

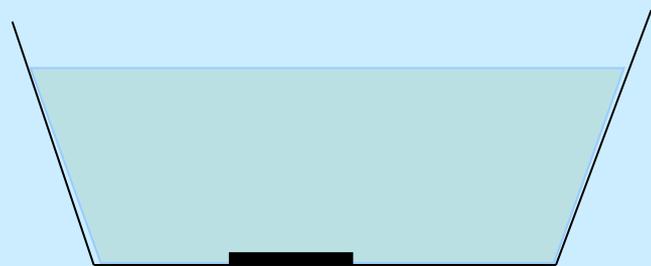
痛みが強まるのは内耳が気圧変化を感知し、自律神経のバランスが崩れて交感神経が興奮するため

## 【6.圧力】

手をぬらさずに  
コインをつまみ上げることができるか？

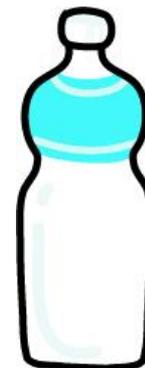


水が入った容器の底  
にコインがある



コイン

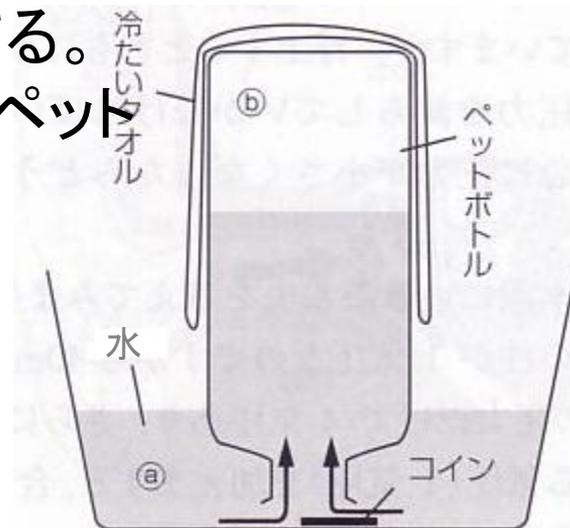
ペットボトルに暑いお湯  
を口元まで入れる



このお湯をすばやく捨てる

下図のように逆さにし  
て水の中に立てる。  
冷たいタオルでペット  
ボトルを包む。

結果は？



注意：水の量<ペットボトルの容量

# 禁煙の歴史

- 1600 ジェームズ1世の規制  
ニューアムステルダム禁煙令
- 1605 噛み煙草 ペストの予防
- 1800 ビクトリア女王 たばこ嫌い
- 1612-15 日本 たばこ法度
- 1716 キセルたばこ奨励

アメリカ

1890—09

未成年者シガレット販売禁止法

ドイツ

1942

ヒトラー 反喫煙キャンペーン

アメリカ

1980

喫煙関係条例

日本

1900

未成年者喫煙禁止法

1978

嫌煙運動

2002

健康増進法案

# 路上禁煙などの条例制定の取り組み

## 東京都

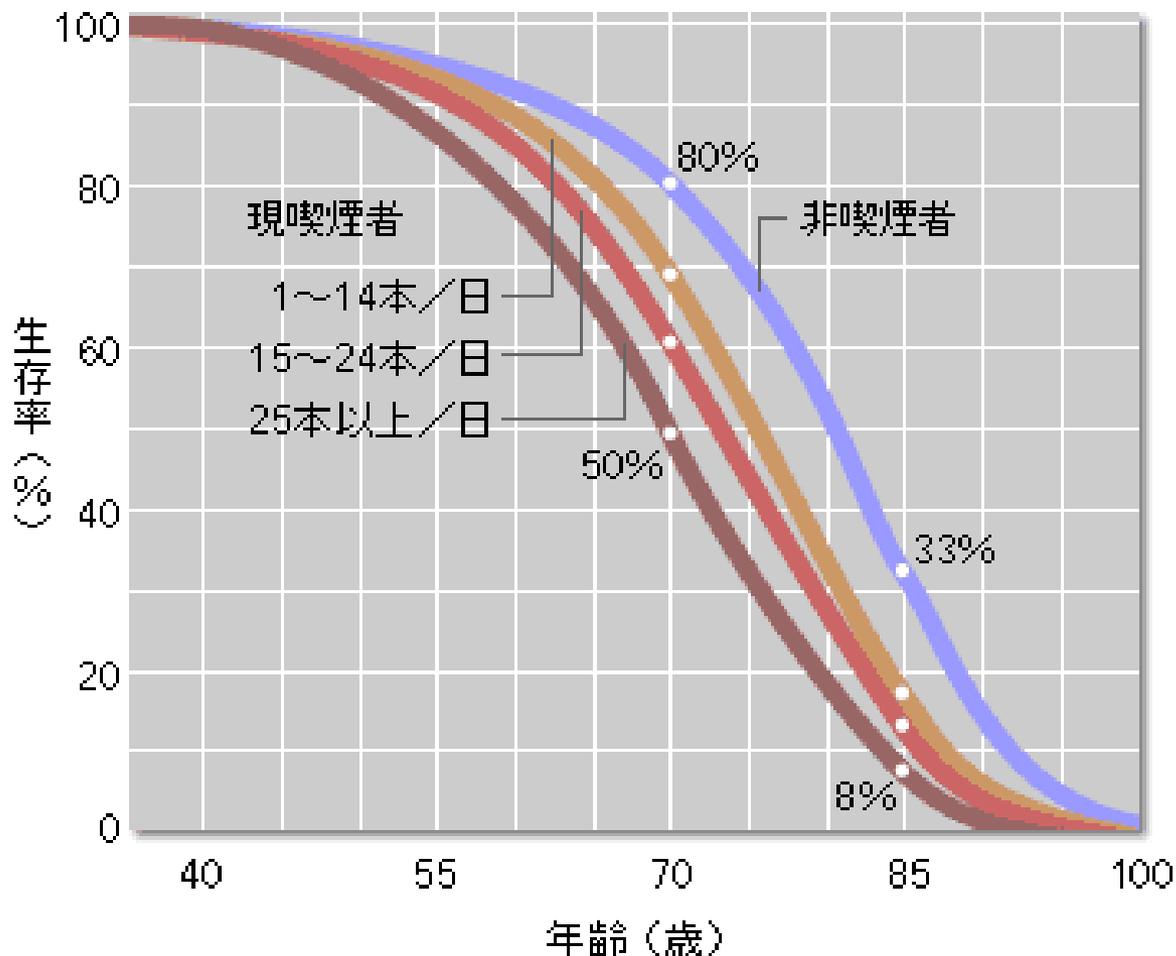
自治体名	規制内容	罰則	施行時期
千代田区	指定地区内での喫煙禁止	過料2万円以下	2002.10
板橋区	指定地区内での路上喫煙禁止	過料1万円以下	2004.10
新宿区	区全域で歩きたばこ、ポイ捨て禁止	なし	2005.8

## その他の地区

自治体名	規制内容	罰則	施行時期
千葉県 千葉市	指定地区内での 喫煙禁止	過料2万 円以下	2004. 4
埼玉県 川口市	指定地区内での 路上喫煙禁止	なし	2005.5
神奈川県 川崎市	指定区域内で指 定場所以外での 路上喫煙禁止	過料2万 円以下	2006.4

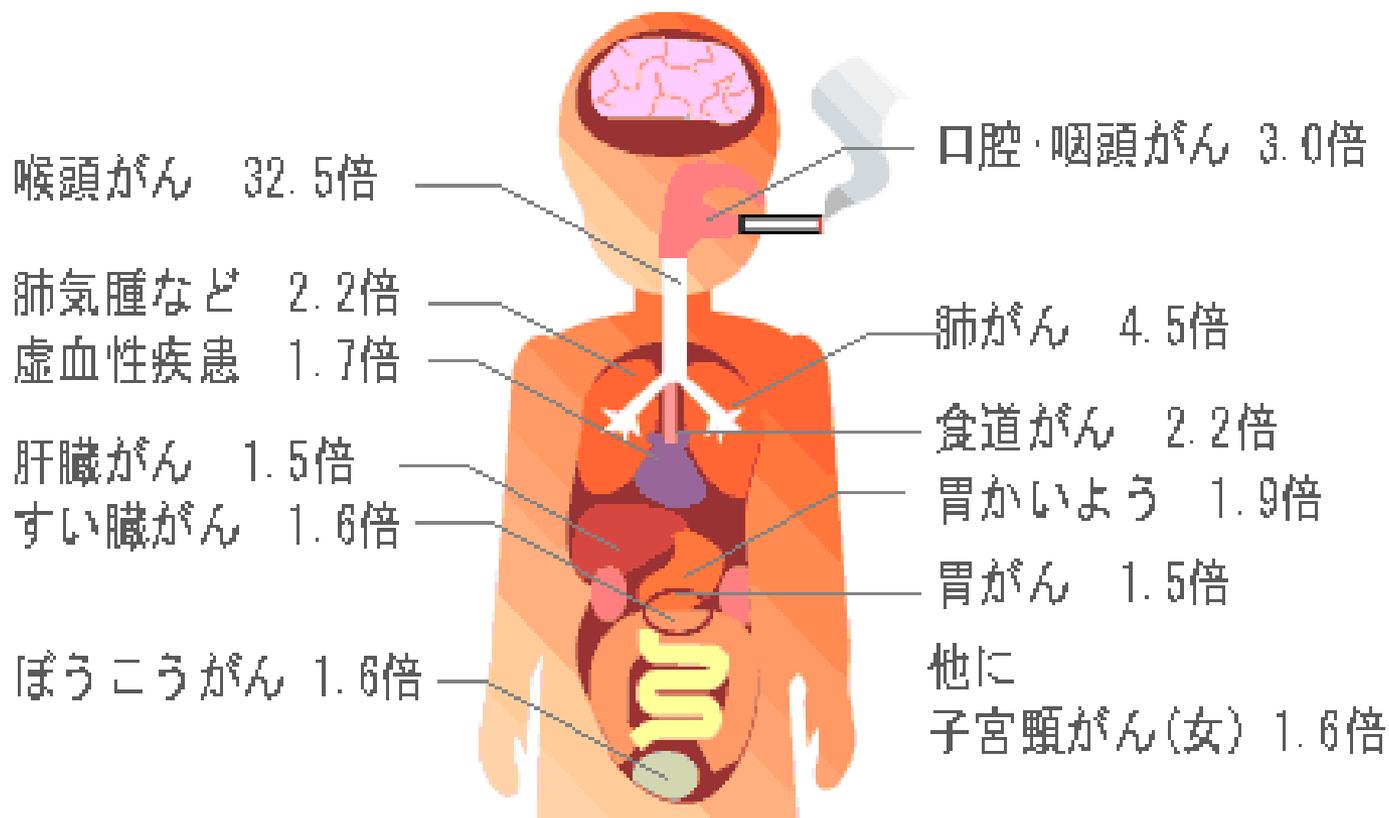
# たばこと死亡リスク

●35歳以降の生存率曲線



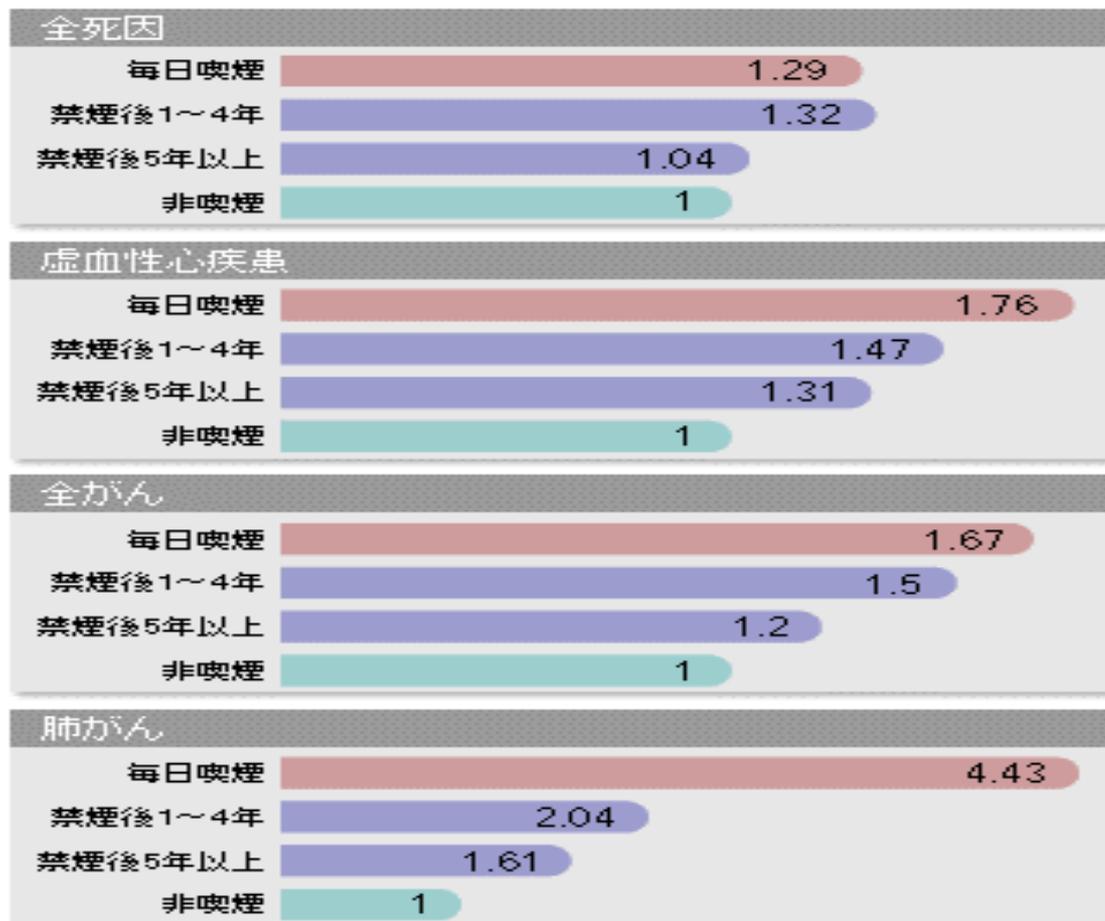
# 身体に及ぼす影響

全死因 1.3倍 全がん 1.7倍



# 禁煙後の死亡リスク

## ●禁煙後の死亡リスク



非喫煙者の死亡率を1とし、喫煙者の禁煙後の死亡率の変化を示す。  
禁煙年数が増すにつれ死亡率は低下している。

(平山 雄：予防ガン学，メディサイエンス社，1987)  
(淺野牧茂編著：写真で見る喫煙関連疾患，医学教育出版，1992)

# たばこを吸ってはいけない病気

- 高血圧、狭心症、心筋こうそく

喫煙により血圧の上昇、心拍数が増加  
血管の内皮が障害を受ける

- 糖尿病

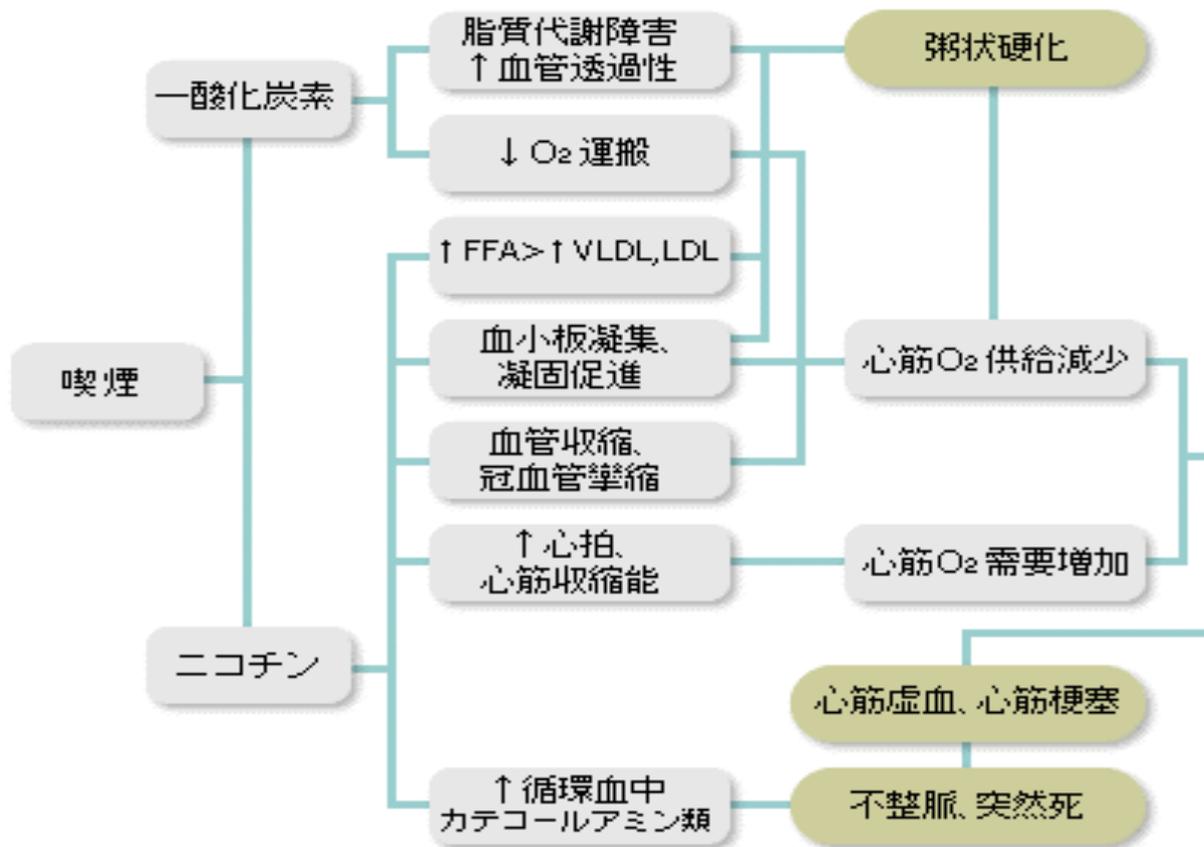
喫煙により、血中のニコチン濃度が上がる  
ため、アドレナリンが分泌され、血糖が上  
昇する可能性がある

# 喫煙による高脂血症の増加

- 喫煙をすると、動脈硬化の防止作用を妨げる。
- ニコチンの血管収縮作用

# 呼吸器・循環器とたばこ

●喫煙によって吸収されたニコチンおよび一酸化炭素が、虚血性心疾患の進展に関与する作用機序を示す模式図



(Benowitz, NL, 1986)

(五島雄一郎監修：目で見える喫煙のリスクと禁煙指導法、朝日ホームドクター社、1993)

# たばこの三悪

## ◆ニコチン

毒性の強い依存性薬物

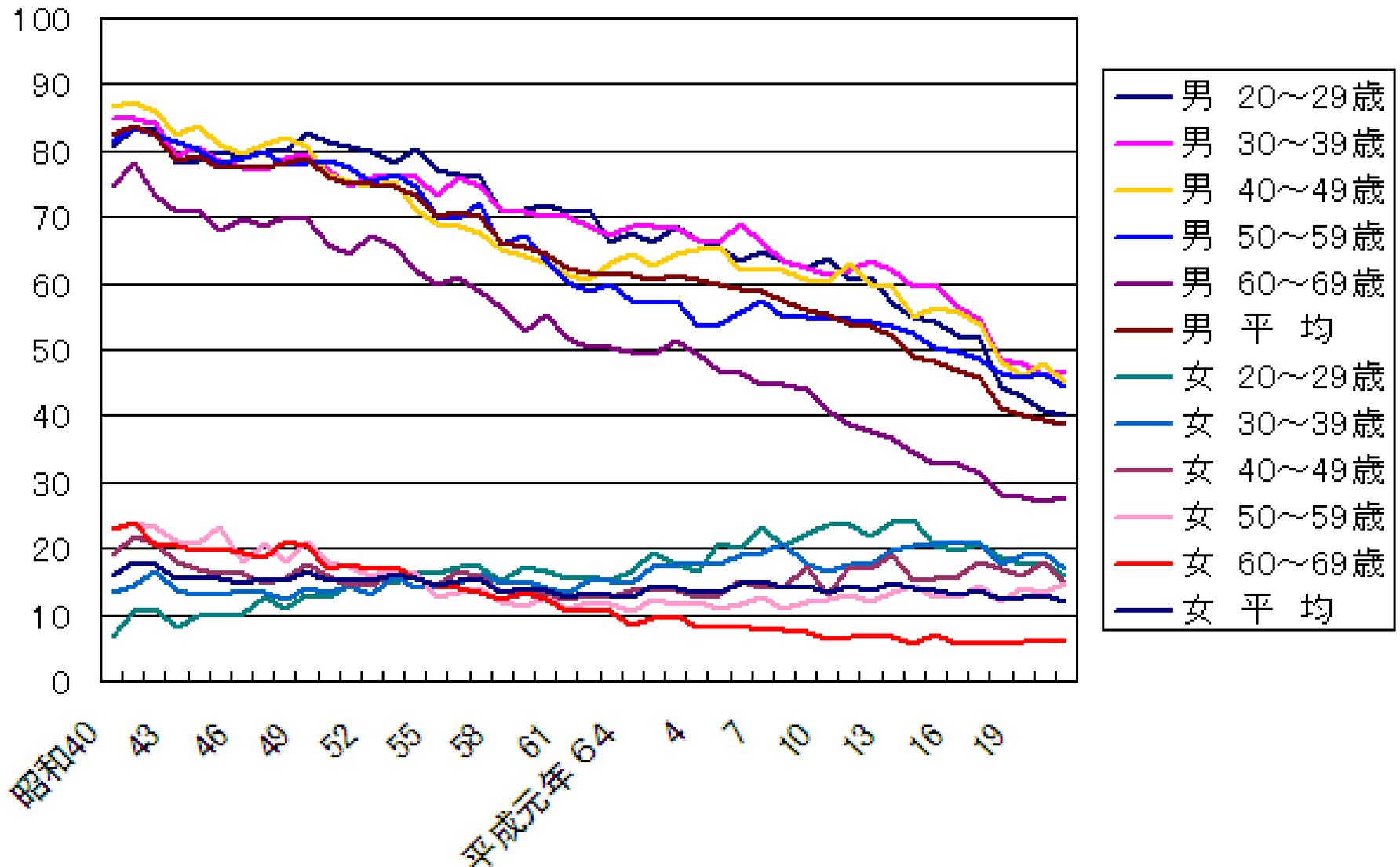
## ◆タール

発がん作用があり、多くの発がん物質を含んでいる

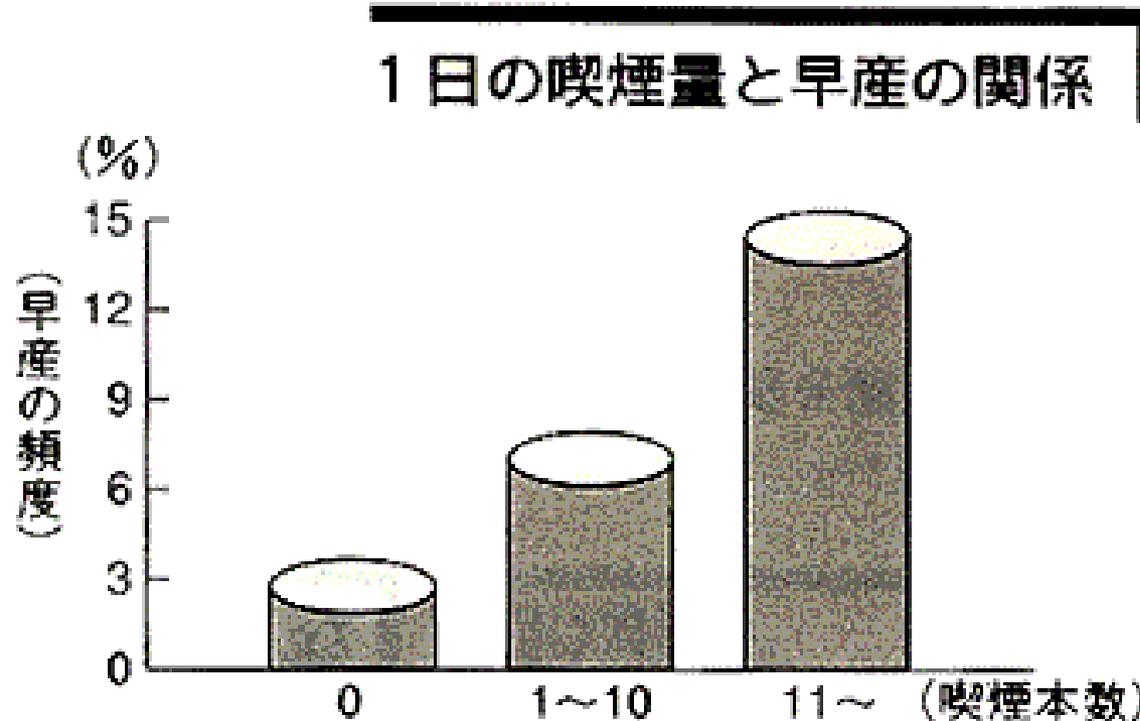
## ◆一酸化炭素

酸欠状態をもたらす

# 喫煙率の推移



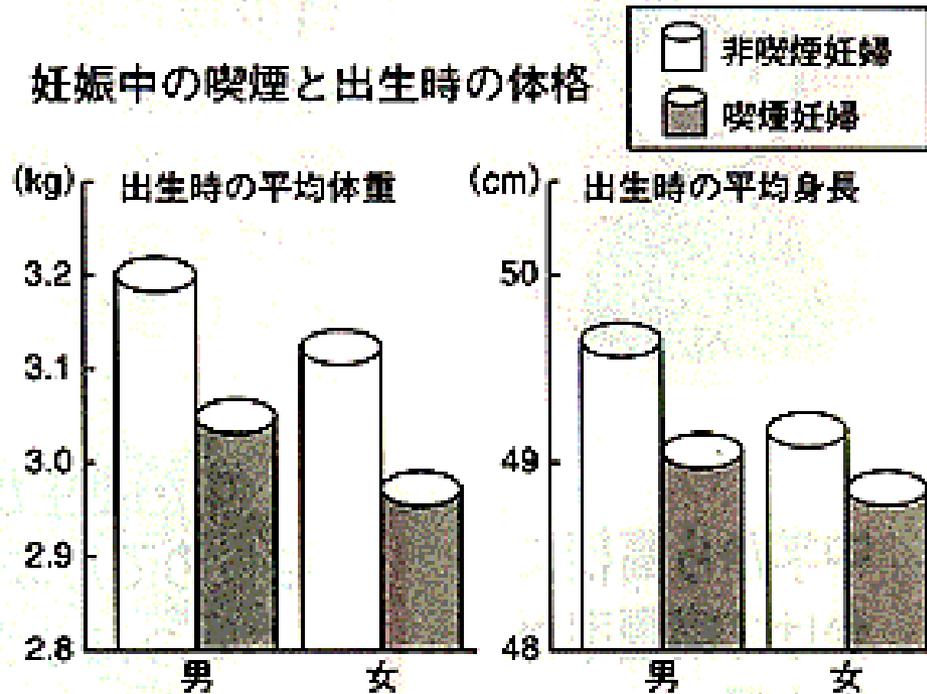
# 妊娠・出産への影響



出典：(財)日本食生活協会発行「健康づくりのためのたばこ対策行動指針」

## 妊娠中にたばこを吸うと、赤ちゃんの体格に影響を及ぼす

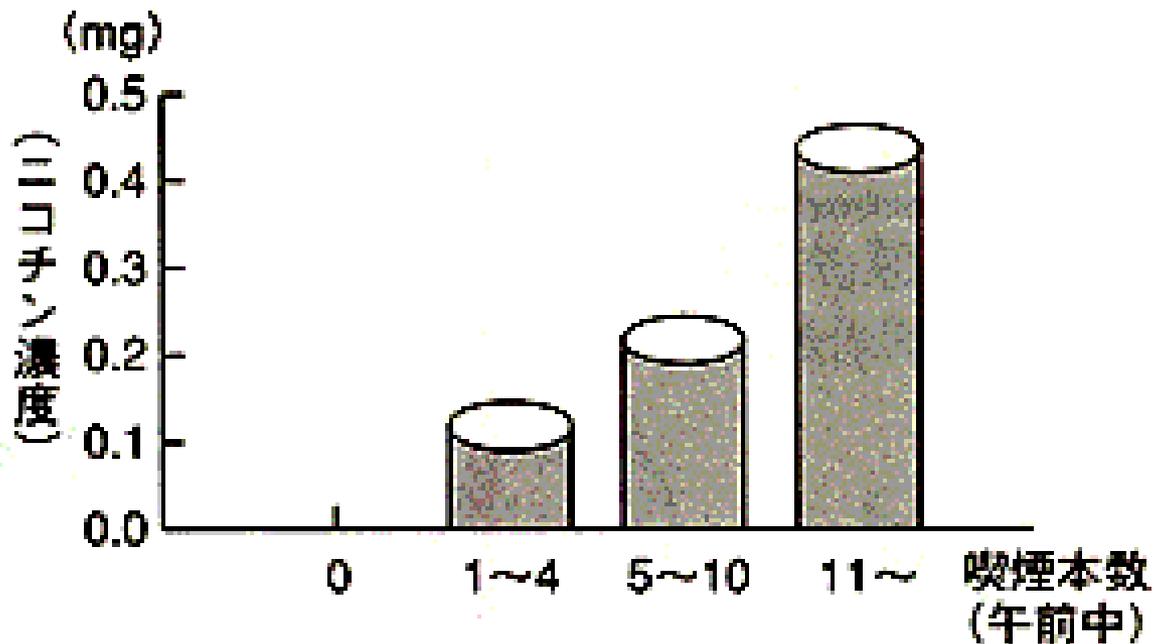
妊娠中の喫煙と出生時の体格



出典：(財)日本食生活協会発行「健康づくりのためのたばこ対策行動指針」

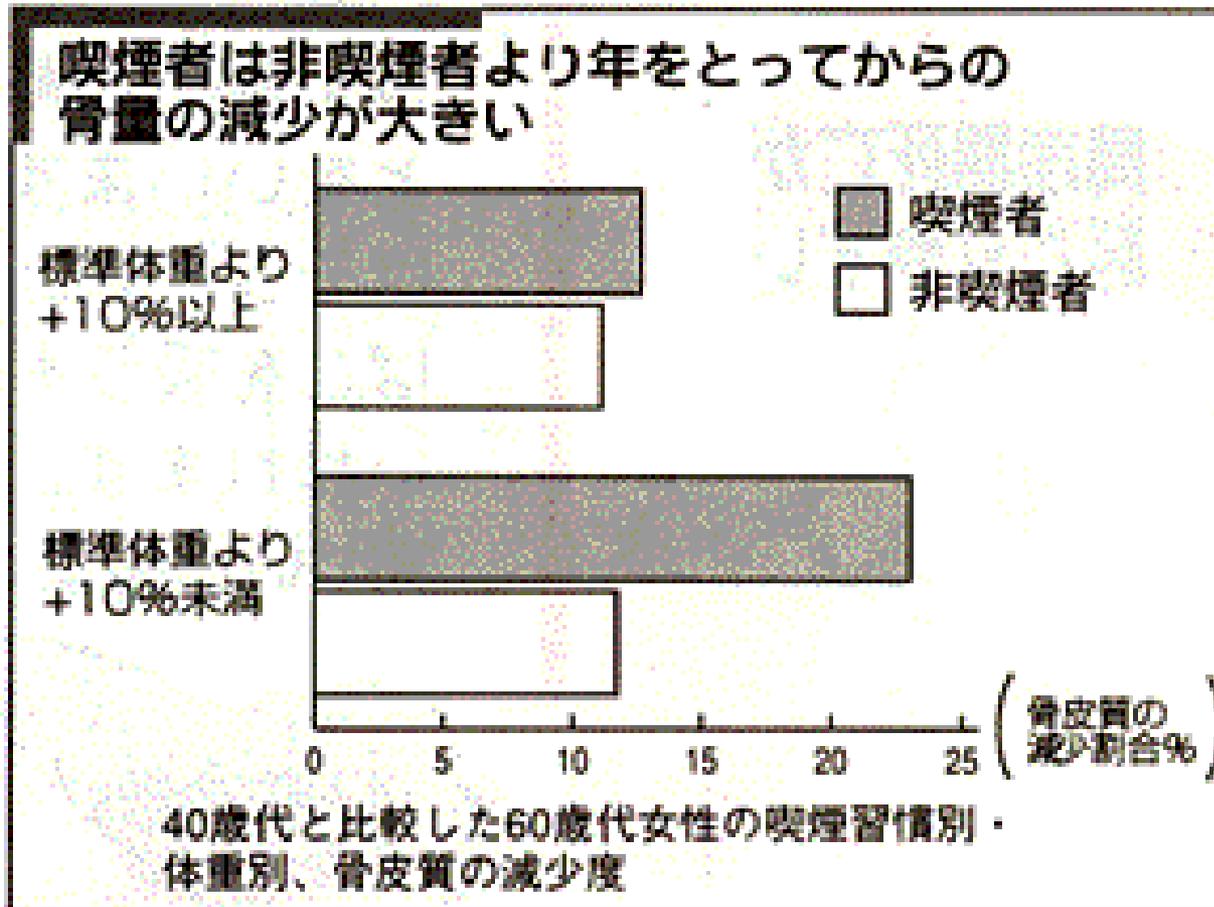
# 子供への影響

喫煙本数と乳汁中のニコチン濃度



出典：(財)日本食生活協会発行「健康づくりのためのたばこ対策行動指針」

# 骨量の減少



# 喫煙指数～ブリンクマン指数～

## ブリンクマン指数

**1日当たりの喫煙量 × 喫煙年数**

- **400以上は肺がんに対する注意が必要**

# 主な医療機器

超音波診断装置



肝臓、胆嚢、腎臓、膀胱、  
膵臓などの形態を観察

PET-CT  
(Positron Emission Tomography)  
陽電子放出断層装置



CT やMRI などの形をみる検査  
とは異なり、細胞の活動状況を  
画像で見ることができ、がん、  
脳、心臓などの病気の診断に  
有用

CT-リニアック  
(放射線治療装置)



2つ以上の方向からX線を  
照射し病変部でこれらが  
重なり合うようにすると、そ  
こに高い放射線量があた  
るので、まわりを傷つけず  
にがんを治療することがで  
きる