

第 8 回目 環境と人体の熱平衡 (教科書 pp. 61~64)

◎ 前期の中間 3 回分の学修内容

- ・ 7 回目 (中間の **1** 回目) : 湿度とは? (水分の特性)
- ・ 8 回目 (中間の **2** 回目) : 人と熱環境 (特に湿度) との関係
- ・ 9 回目 (中間の **3** 回目) : 温熱環境における目標値 (数値目標, 設定温度) を考える

⇒人と環境の関係を考えたい

0 今日の内容 : 人と周囲の (温) 熱環境との「関係」を説明できるようになるう

(例) どうして暑いと感じるのか? 寒いと感じるのか? その仕組みは?

注) **3**と**4**のみ後で再掲。**1**と**2**はこのページのみ。

1 今日のポイント : たった 1 つ!! (この資料ではもう一度は出て来ず)

私達は周囲の環境と熱エネルギーをやりとりしている

→周囲の温熱環境が変化すると、私達の感じ方も変わる (相対的なもの)

2 実態の把握 : 温熱環境を測定する際に用いる機器 (この資料ではもう一度は出て来ず)

→配布資料 80~81 頁を参照

→測定 of 仕組みを説明できるように、その内容を理解したい

アスマン通風乾湿計 (アスマンは人名)

グローブ温度計 (教科書 p. 63 も参照)

(周囲との熱のやり取りが平衡状態に達したときの温度)

③ 周囲の温熱環境のどんな要素がどのように変わると、どのように人間は反応するか？

温熱環境の変化

ヒトの物理的な反応

ヒトの心理的な反応

(生理的な反応)

④ ヒト (人間) 全体としては、どのように周囲の温熱環境と熱エネルギーのやりとりをしているか？

→周囲の温熱環境の変化を全体で考える

→さらに、来週は、個人差のある人の反応を一つの指標で表すことを考える

③ 周りの温熱環境のどんな要素がどのように変わると、どのように人間は反応するか？

ポイント：熱エネルギーはどのような経路でどのように移動するか？熱エネルギーの移動をどのようにコントロールするか？

(1) 前提

熱エネルギーのやりとり：3 + 1 種類

①熱伝導

②対流による熱伝達

③放射による熱伝達

④相の変化

例) 注射の時のアルコール消毒

(液体→気体, 気化熱)

教科書 p. 62 を参照

┌顕熱 (温度が変化) : ①~③

└潜熱 (温度が変化せず, 相が変化) : ④

相の変化に熱エネルギーを費やす

視点 熱エネルギーの移動量に影響を与える温熱環境の要素に結びつけて考えたい

測定できる温熱環境の要素：温度，風速，放射，湿度

(2) 実際の熱エネルギーのやりとり

①熱伝導：影響は小さいので省略

②対流熱伝達 (空気が動くことで熱エネルギーが移動) (②：「(1) 前提」の数字に対応)

$$[\text{熱エネルギーの移動量}] = [\text{対流熱伝達率}] \times [\text{温度差}]$$

a 風速が影響 **b** 温度

a 風速

要素の変化	物理的なお話	人間の反応
速くなる	対流で「人体→周囲」に移動する熱エネルギーの量が増加, または大きくなる	涼しくなる, 寒くなる
遅くなる	対流で「人体→周囲」に移動する熱エネルギーの量が減少, または小さくなる	暑くなる, あたたかくなる

b 温度 気温と人体の温度 (体温。ただし, 体の表面温度を考えることが多い) との差

パターン**ア** 気温が体温より高いとき ([体温] < [気温], 夏の特殊な時)

要素の変化	物理的なお話	人間の反応
[体温] < [気温]	対流で「周囲→人体」に熱エネルギーが移動	暑くなる

パターン**イ** 気温が体温より低いとき ([体温] > [気温])

要素の変化	物理的なお話	人間の反応
差が大きくなる	対流で「人体→周囲」に移動する熱エネルギーの量が増加, または大きくなる	寒くなる, 涼しくなる
差が小さくなる	対流で「人体→周囲」に移動する熱エネルギーの量が減少, または小さくなる	暑くなる, あたたかくなる

③放射熱伝達 [熱エネルギーの移動量] = [放射熱伝達率] × [温度差]

※太陽で考えてみよう

要素の変化	物理的なお話	人間の反応
太陽が出ているとき ⇒温度差 <big>大</big>	放射で「周囲→人体」に移動する熱エネルギーの量が大きい, または増加	暑くなる, あたたかくなる
太陽が出ていないとき ⇒温度差 <big>小</big>	放射で「周囲→人体」に移動する熱エネルギーの量が小さい, または減少	寒くなる, 涼しくなる
	逆に, 「人体→周囲」に熱エネルギーが移動	寒くなる, 涼しくなる

④相変化

汗の蒸発によって, 熱エネルギーが人体の表面から人体の周囲へと移動する (奪われる)

⇒相対湿度と関係する

要素の変化	人間の生理的な反応	物理的なお話	人間の反応
相対湿度が低いとき	汗が蒸発しやすい (体温が下がりやすい)	「人体→周囲」に移動する熱エネルギーの量が大きい, または増加	涼しくなる, 寒くなる / カラットして快適に感じる (より心理的な面の評価)
相対湿度が高いとき	汗が蒸発しにくい (体温が下がりにくい)	「人体→周囲」に移動する熱エネルギーの量が小さい, または減少	暑くなる, あたたくなる / ジメジメとして不快に感じる (より心理的な面の評価)

⑤着衣の抵抗 (熱抵抗)

着衣は熱エネルギーの移動を邪魔する (ある意味, 断熱材ともいえる)

要素の変化	物理的なお話	人間の反応
衣服を薄く ／脱ぐ	抵抗が小さくなる ⇒ 「人体→周囲」に移動する 熱エネルギーの量が増加, または大きくなる	涼しくなる, 寒くなる
衣服を厚く ／重ね着する	抵抗が大きくなる ⇒ 「人体→周囲」に移動する 熱エネルギーの量が減少, または小さくなる	あたたかくなる, 暑くなる

注) 実際には, 放射+対流の合わせ技で熱が移動

⑥代謝量 (人間が活動するために必要な熱エネルギーを体内で生産, 活動量ともいう)

要素の変化	物理的なお話	人間の反応
代謝量大きい	体内で多くの熱エネ ルギーをつくる	暑くなる, あたたかくなる
代謝量小さい	体内でつくる熱エネ ルギーは少ない	寒くなる, 涼しくなる

注) 人間の反応については来週再度まとめる予定

ヒト (人間) は

- ・温冷感 (暑い／寒い)
- ・快適感 (快／不快)
- ・適温感 (もっと暑く／もっと寒く)

の 3 つを, 別々に評価されている

なお, 「温冷感」のかわりに「寒暑感」を使うこともある

◎まとめ

私たちが、「暑い」もしくは「寒い」と感じる感覚（温冷感）に影響を与える要素とその単位
→測定できる要素でまとめてみると

(①熱伝導：考えず)

②対流

②a 風速 [m/s]

②b 気温 [°C] ([K])

③放射 [W/m²]

もしくは、放射温度 [°C] ([K])

④相の変化

④相対湿度 [%]

⑤着衣 (の抵抗) [clo] (クロ) →クロ値

⑥代謝量 (活動量) [met] (メット)

1 met = 58.2 W/m²

人間 1 人当たりだいたい 100 W

・環境側の 4 要素

気温, 風速, 放射, 湿度

・人体側の 2 要素

着衣, 代謝量

参考) おおよその値

台風の風速 20~30 m/s

室内の風速 0.5 m/s 以下

梅雨の相対湿度 100% 近く

飛行機の中 10~20% (かなり乾燥)

晴天時の太陽からの放射 (日射) 800~900 W/m²

着衣や代謝量 (活動量) は教科書 p. 61 を参照

座っている時は 1.0 met

秋や春の服がだいたい 1 clo

4 人間全体としては、どのように周りの温熱環境と熱エネルギーのやりとりをしているか？

→熱エネルギーを作り出す／それ以外（移動させる），に分けて考える

産熱

熱エネルギーをつくりだす

代謝のみ

（プラスして，本当に寒いときは震える）

放熱

熱エネルギーを周囲に放出する

（移動させる）

+

熱エネルギーを使う

（違うエネルギーに変換）

熱伝導＋対流熱伝達＋放射熱伝達

＋相変化（主に蒸発）

＋外部に対してする仕事（筋肉を動かす）

＋呼吸

「放熱＝産熱」でない時

- ・ 風邪で「ねつ」が出たとき：ウイルスとたたかうために体温を上げる
産熱が多くなり，放熱は変化なし→体温が上昇する
- ・ 熱中症：放熱が上手く行かない時←体調が悪くなってしまふ
産熱は変化なし，放熱が少なくなる（放熱を多くできると体調は改善する）
- ・ 冬山での凍死：過剰に放熱してしまふ
産熱が少なくなり，放熱がとて多くなる（寝ると代謝量（活動量）はさらに減少）

発展 「人間-環境系」として全体をひとつの系として捉える考え方

系：まとめ、仕組みの全体、などの意味

「感・知・認・動」モデル（注）ただし、あくまでモデル）：人間と環境の関係を示すモデル

【補足】-----

4 体感温度（教科書 pp. 61~68）

1 環境と人体の熱平衡（教科書 pp. 61~64）

1-3 温熱環境の測定（教科書 pp. 63~64）

参考文献 [1] も参照のこと。

→3年生後期配当の『居住環境調整工学実験』で使う測定器が多いので、詳細はその時に説明。

→<http://www.pu-kumamoto.ac.jp/~m-tsuji/kougi.html/jikkenn.html/kyojikkenn.html>

「①温度／②湿度」の補足

アスマン通風乾湿温度計 (→仕組みをしっかりと理解する) は、ドイツの気象学者 R. Assmann が 1887 年に考案した。温度計自体は、ガラス製温度計 (ガラス容器に水銀を封入)。湿球温度計の示度は、感温部が水の蒸発により冷やされて乾球温度計の示度よりも低くなる。これらの差を用いて相対湿度を計算する (JIS の表、もしくは Sprung (スプリング) の公式などを用いる)。



写真 自記式温度計
(出典：佐藤計量器製作所の HP)



写真 湿度温度プローブ*1
(出典：ヴァイサラの HP)



写真 デジタル温湿度計*2
(出典：佐藤計量器製作所の HP)

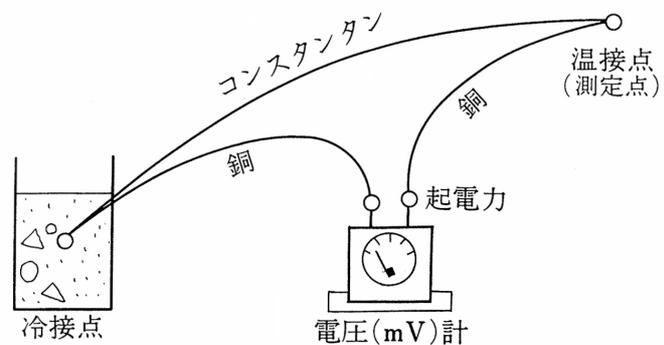


図 熱電対のダイアグラム*3
(出典：参考文献 [1], p. 70)

(注意)

- *1：温度センサは「白金測温抵抗体」、湿度センサは「静電容量式センサ」。
- *2：温度センサは「サーミスタ (測温体)」，湿度センサは「高分子抵抗変化型湿度センサ」。
サーミスタは金属 (マンガン，ニッケル，コバルトなど) の酸化物からなる半導体で，温度が高くなるにつれて抵抗値が小さくなる素子のこと。
- *3：図の組み合わせは，T 型熱電対 (読みは「ねつでんつい」という)。コンスタンタンは，銅とニッケルの合金。1821 年ドイツ人のゼーベックによって発見された「ゼーベック」効果 (温度差によって起電力が生じる現象) による。

「③風速」の補足



写真 三杯式風速計
(出典：ヴァイサラの HP)



写真 熱線式風速計*1
(出典：日本カノマックスの HP)



写真 超音波風速計*2
(出典：ソニックの HP)

(注意)

*1：「熱式」と言う場合もある。気流の冷却効果を利用。

*2：原理的に、風速 0 m/s (風速ゼロメートル) を測定できる。応答性も良い。

「⑤各種温度計器」の補足



写真 カタ寒暖計 (カタ温度計)
(出典：柴田科学の HP)



写真 WBGT 計
(出典：京都電子工業の HP)

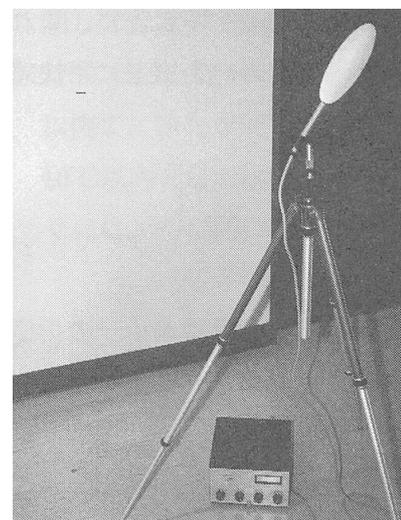


写真 コンフォートメーター
(出典：参考文献 [2], p. 73)

【参考文献】(順に, タイトル, 編著者名, 出版社, 発行年月, 価格, ISBN。[] 内は熊本県立大学図書館所蔵情報)。

[1] 『快適な温熱環境のメカニズム 豊かな生活空間をめざして』(空気調和・衛生工学会編, 空気調和・衛生工学会 (丸善), 1997 年 12 月, ¥4,500+税, ISBN: 4-87418-019-1) [和書 (2 F), 528.2 || Ku 28, 0000225353, 0000225354]

→新版あり (改訂第 2 版, 2006 年 3 月, ¥3,624+税, ISBN: 4-87418-037-X) [和書 (2 F), 528.2 || Ku 28, 0000302144]

[2] 『環境工学教科書 第二版』(環境工学教科書研究会編著, 彰国社, 2000 年 8 月, ¥3,500+税, ISBN: 4-395-00516-0) [和書 (2 F), 525.1 || Ka 56, 0000275620, 0000308034]

→第三版あり (2020 年 2 月, ISBN: 978-4-395-32146-9) [和書 (2 F), 525.1 || Ka 56, 0000387929] [電子ブック, 5000001065]

【参考 URL】

[1] 株式会社佐藤計量器製作所のホームページ

<https://www.sksato.co.jp>

[2] ヴァイサラ株式会社 (日本) のホームページ

<https://www.vaisala.com/ja>

[3] 日本カノマックス株式会社のホームページ

<https://www.kanomax.co.jp>

[4] 株式会社ソニックのホームページ

<https://www.u-sonic.co.jp>

[5] 柴田科学株式会社のホームページ

<https://www.sibata.co.jp>

[6] 京都電子工業株式会社のホームページ

<https://www.kem.kyoto>

復習プリント

学年：_____ 学籍番号：_____ 名前：_____

今日の講義の内容を、自分なりに、整理してください。まとめてください。

学年：_____ 学籍番号：_____ 名前：_____

次の問のそれぞれの記述のうち、①～④で最も不適当なものはどれですか。それぞれの理由もあわせて述べてください。

【1】

- ①気流の速度が変わると、同じ温度でも体感温度は変わる。
- ②気圧は、温度と並んで温熱感覚についての主要な要素である。
- ③温度が高くても湿度が低ければ不快感は少ない。
- ④温度が同じであっても、服装が変われば温熱感も変わる。

答え：

[理由]

【2】

- ①椅座安静状態における成人の単位体表面積当たりの代謝量は、約 $100\text{W}/\text{m}^2$ である。
- ②グローブ温度計は、つや消し黒塗りの無発熱球の放射と対流による平衡温度を測定するものである。
- ③室内における温熱感覚は、室温、湿度、風速、周壁の平均表面温度などによって定まる。
- ④着衣による断熱性能は、一般にクロ [clo] という単位が用いられる。

答え：

[理由]