

生体計測学概論 1 Biometrics

bio : 生体の metrics : 計測、測定

人体の情報を測定する医用機器の種類と原理
および診断法の概要を学ぶ。

北大病院 核医学診療科
北大保健科学研究所 加藤千恵次

北大医学部 加藤千恵次

北大病院 核医学診療科

担当講義

大学院医学研究科 医・融合後・西側形成の原理 医・融合後・西側形成の原理(POC)

医学部 核医学 PETによる病態の定量化 エンビロメントモデル構築

保健学科

保健学科2年 保健医療概論 原子力医療実用事故が人体に与える影響 医療従事者の健康について

保健学科2年 生体計測学概論

放射線技術科学専攻

核医学総論 核医学検査技術学

核医学検査技術学実習

放射線
放射線
放射線
放射線

検査技術科学専攻

医療情報学

医用工学 第1種ME認定試験勉強会

医用工学実習

核医学総論・演習

画像検査学 読影1&2

画像検査学 読影1&2

講義スライドを
載せた
ホームページ

chtgkato.com

令和6年度は、ホームページのスライドを見て、
各自、都合の良い時間に自習して下さい。
講義日1週間以内に出席票を提出して下さい。

北大医学部保健学科 2年

生体計測学概論 Biometrics 御質問、御問合せはこちらへ

令和6年度 後期 水曜 3講目 オンデマンド Web 講義

講義は、オンデマンド授業です。各自、都合のよい時間に自習して下さい。試験は多目的室で行います。

スマホでスライド参照する場合は、ブラウザはサファリを使用し、見たい講義名を長押しして下さい。

出席票は下記アドレスへメールで送って下さい。

hokudaisakatoh@gmail.com 出席票提出状況

メールの件名および添付ファイル名には、学生番号、氏名を明記して下さい。

10月 2日 講義1 出席票1 印刷用ファイル

10月 9日 講義2 出席票2 印刷用ファイル

10月16日 講義3 出席票3 印刷用ファイル

10月23日 講義4 出席票4 印刷用ファイル 放射2年は10月22、23日 8:50 から総長主催の放射線新規訓練講習をRセンターで必ず受講して下さい

10月30日 講義5 出席票5 印刷用ファイル CT原理資料 PSF2g CT2g PET2g 2g読影ツール1(hsca) 2g読影ツール2g Visual C++ 2008

11月13日 講義6 出席票6 印刷用ファイル

11月20日 試験 多目的室 13:00~14:00 解答・成績 アンケート回答ページ アンケートの回答もお願いします。

11月27日 放射線2年2年のみ放射線新規Web講習(放射は必修) 印刷用 受講票 11月30日までに受講票を提出して下さい。

新規講習受講者一覧 (受講しないと放射3年に連続できません)

講義予定

1. ME、測定基礎、単位、血圧計
2. 心電計、脳波計、筋電計
3. 超音波
4. 眼底検査
5. CT
6. MRI、核医学検査(PET)

医用機器(ME: Medical Engineering)に
関係する資格があります。

第2種ME技術実力検定試験

受験資格はない。試験は毎年9月。
学会認定資格(日本生体医工学会)。
国家資格ではないが、就職に有利。
(特に病院以外の企業を希望する場合)

医用機器の仕組み、臨床的使用方など
に習熟した人材として認められる。

第2種ME技術実力検定試験 (2種ME)

誰でも受験できる。合格率30%。

詳細はホームページで確認を。

組 織

第1種ME技術
実力検定試験

第2種ME技術
実力検定試験

臨床ME認定
専門士

関連図書
のご案内

LINK

HOME

第2種ME技術実力検定試験

第30回第2種ME技術実力検定試験

◆実施日:2006年9月7日(日)

◆会 場:札幌、仙台、東京、名古屋、大阪、岡山、福岡

第29回2種ME術実力検定試験結果

応募者数: 4,721名

受験者数: 4,466名

合格者数: 1,466名

合格率 : 32.8%

第29回2種ME術実力検定試験結果

応募者数: 4,450名

受験者数: 4,188名

合格者数: 1,275名

合格率 : 30.4%

臨床工学技士（CE: Clinical Engineer）

国家資格。手術室の人工心肺などの操作や透析装置の操作などを行う。

受験資格は、4年制大学の臨床工学技士専門コース修了者、または、

医療資格取得（予定）者（看護、検査、放射、理学、作業）で、大学卒業後に1年間の臨床工学技士専門コースで受験資格を得た者。

（札幌には1年間CEコースをもつ大学は無い）

手術室で人工心肺を操作中の臨床工学技士。業務内容の詳細は、映画「チーム バチスタの栄光」を見て下さい。



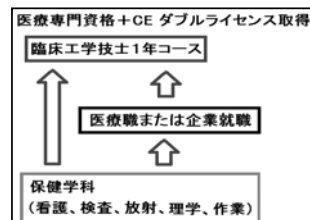
臨床工学技士（Clinical Engineering）

- ・1988年に制度化された国家資格
- ・生命維持管理装置の操作及び保守点検をする職種



医療現場では、各種医療専門の資格を持った臨床工学技士を求めている。目指せdouble license。北大では、検査専攻卒業生の内、毎年1～2人程度、東京や大阪などでの専門コース終了後に、CE取得。国立大卒のCEは、殆どいないので、高確率で希望する病院（東大、東北大、東女医大などの大病院）に就職している。

北大病院のCEは5人が検査専攻の卒業生。皆、大変優秀と好評。



医療現場では、臨床工学技士が不足している。

臨床工学専攻科一年制は、看護師、臨床検査技師、診療放射線技師、理学・作業療法士などの医療資格を持つ人を対象にした学科。

北里大、日本工学院、天理大、その他数校。（道内には無い）

授業料は 70万～130万円 程度。

技師として数年働いた後に、1年間、東京で学生気分に戻るのも良いでしょう。臨床工学技士は就職先に困らない。（北大、東大、などの大病院や、透析センター（透析は臨床工学技士の業務））



文部科学大臣が指定した学校又は都道府県知事が指定した臨床工学技士養成所（1年） 全国12校

医療機器センター

都道府県	学校・学科	所在地
東京都	首都医校	160-0023 新宿区西新宿1-7-3
東京都	帝京短期大学	151-0071 渋谷区本町6-31-1
東京都	日本工学院専門学校	144-8655 大田区西蒲田5-23-22
新潟県	北里大学保健衛生専門学院	949-7241 南魚沼市黒土新田500
石川県	小松短期大学	923-8511 小松市四丁町ヌ1-3
愛知県	名古屋医専	450-0002 名古屋市中村区名駅4-27-1
京都府	京都保健衛生専門学校	602-8155 京都市上京区千本通竹屋町東入主税町910
大阪府	大阪ハイテクノロジー専門学校	532-0003 大阪市淀川区宮原1-2-43
大阪府	大阪医専	531-0076 大阪市北区大淀中1-10-3
大阪府	日本メディカル福祉専門学校	533-0015 大阪市東淀川区大隅1-3-14
兵庫県	神戸総合医療専門学校	654-0142 神戸市須磨区友が丘7-1-21
宮崎県	九州保健福祉大学 臨床工学別科	882-8508 延岡市吉野町1714-1

生体計測 Bio-metrics とは
人体から、計測したい量を、装置(センサー)を用いて、間接的に物理的手法で測定すること。

単純な値(スカラー)の測定

(身長、体重、血圧、血中酸素飽和率 など)

1次元的な値(=曲線)の測定

(心電図、脳波、筋電図 など)

2～3次元的な値(=画像)の測定

(エコー、CT、MRI、PET、眼底検査 など)

測定値には、必ず誤差(error)がある。

error【名詞】誤り, 間違い, 過失, 失策, 誤差

誤差 = 測定値 - 真の値

正しい測定装置ほど、正確な測定ができる。

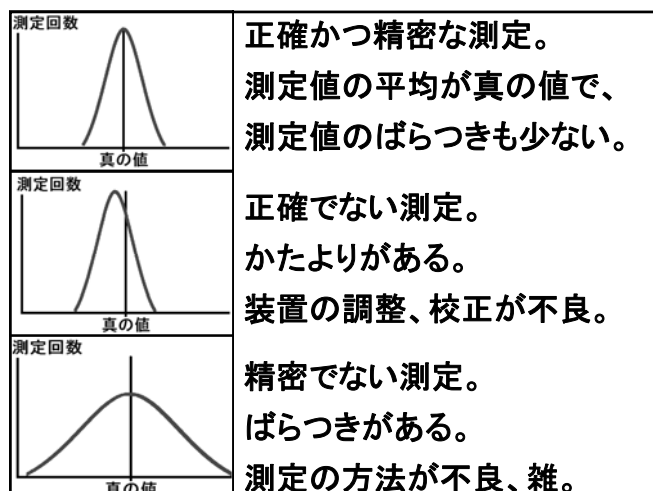
正しい測定方法ほど、精密な測定ができる。

正確 accurate:

真の値と比べ、かたよりが少ないこと

精密 precise:

真の値と比べ、ばらつきが少ないこと



誤差を含む測定値の表示

平均±標準偏差 $m \pm \sigma$

分散(標準偏差 σ の2乗)

$= \{ (\text{測定値1} - \text{平均})^2$

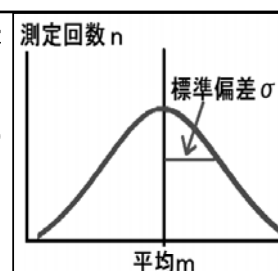
$+ (\text{測定値2} - \text{平均})^2$

$+ \dots$

$+ (\text{測定値n} - \text{平均})^2 \} / n$

$\sigma = \sqrt{\Sigma(X_n - m)^2 / n}$

標準偏差 σ は、ばらつきを示す指標。



誤差を含む測定値の表示 有効数字

平均が 1.6 で 標準偏差が 0.37 の場合、
正しい表示法は、 1.6 ± 0.37 ではなく、
 1.6 ± 0.4 である。有効数字の桁を揃える。

1.6 という値は、概ね 1.56 ~ 1.64 程度と
解釈すると、標準偏差 0.37 の 0.07 は
あまり意味がないので、四捨五入する。

誤差を含む測定値の計算

誤差 a, b を含む値 A, B の和 C、差 D は、
($A \pm a$ と $B \pm b$ の和 C、差 D は)

和 $C = (A+B) \pm \sqrt{a^2 + b^2}$

差 $D = (A-B) \pm \sqrt{a^2 + b^2}$

和、差の誤差和はピタゴラス
と覚えましょう。

これは理解できなくても結構です。

誤差の伝搬法則

まず、ある関数、を設定します。 $y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_p)$

それぞれの、 x_i が正しい場合には、 y_i は真の値をとりますが、

実際にはそれぞれに誤差を含みます。

そこで、 j 回目の測定値を、 $m_{1j}, m_{2j}, \dots$ とすると、

$$x_{1j} = m_{1j} + \Delta_{1j}$$

$$X_j = f(m_{1j} + \Delta_{1j}, m_{2j} + \Delta_{2j}, \dots)$$

$$= f(m_{1j}, m_{2j}, \dots) + \frac{\partial f}{\partial x_1} \Delta_{1j} + \frac{\partial f}{\partial x_2} \Delta_{2j}, \dots$$

$$\equiv M_j + \frac{\partial f}{\partial x_1} \Delta_{1j} + \frac{\partial f}{\partial x_2} \Delta_{2j}, \dots$$

と書き換えることができます

$$X_j - M_j \equiv \Delta_j \quad \text{とすると、}$$

$$\Delta_j = \frac{\partial f}{\partial x_1} \Delta_{1j} + \dots \quad \text{となりますので、この二乗の総和の平均をとると、}$$

$$\left\langle \Delta^2 \right\rangle = \sum_{j=1}^n \Delta_j^2 = \frac{1}{n} \left[\left(\frac{\partial f}{\partial x_1} \right)^2 \left(\sum_k \Delta_{1k} \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2} \right)^2 \left(\sum_k \Delta_{2k} \right)^2 + \dots + 2 \frac{\partial f}{\partial x_1} \frac{\partial f}{\partial x_2} \sum_k \Delta_{1k} \Delta_{2k} + \dots \right]$$

となります。

後半の項目

$$\sum_k \Delta_{1k} \Delta_{2k}$$

は誤差が正規分布に従うとすると、おののおの正、負をとる確率は等しくなるので、結局ゼロとなります。従って、 y_i の値の平均二乗誤差を、 σ_y とすると、

$$\sigma_y = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1} \sigma_{x_1} \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2} \sigma_{x_2} \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_n} \sigma_{x_n} \right)^2}$$

誤差伝搬の法則(誤差を含む値の和、差)

偏微分による誤差の加算

$$(M_1 \pm \varepsilon_1) \pm (M_2 \pm \varepsilon_2)$$

$$f: M_1 + M_2$$

$$x_1: M_1, x_2: M_2$$

$$\sigma_1: \varepsilon_1, \sigma_2: \varepsilon_2$$

$$\sigma^2 = \left(\frac{\partial(M_1 + M_2)}{\partial M_1} \cdot \varepsilon_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial(M_1 + M_2)}{\partial M_2} \cdot \varepsilon_2 \right)^2 = \varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2$$

$$(M_1 \pm \varepsilon_1) \pm (M_2 \pm \varepsilon_2) = (M_1 \pm M_2) \pm \sqrt{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2}$$

誤差を含む測定値の計算

誤差 a, b を含む値 A, B の積 E 、商 F は、
($A \pm a$ と $B \pm b$ の 積 E 、商 F は)

$$\text{積 } E = (A \times B) \pm \sqrt{(Ba)^2 + (Ab)^2}$$

$$\text{商 } F = (A / B) \pm \sqrt{(a / B)^2 + ((A / B^2)b)^2}$$

積、商の誤差和は難しいので覚えなくてよいです(参考程度)。

誤差伝搬の法則(誤差を含む値の積、商)

$$(M_1 \pm \varepsilon_1) \times (M_2 \pm \varepsilon_2)$$

$$f: M_1 \times M_2 \quad x_1: M_1, x_2: M_2 \quad \sigma_1: \varepsilon_1, \sigma_2: \varepsilon_2$$

$$\sigma^2 = \left(\frac{\partial(M_1 \times M_2)}{\partial M_1} \cdot \varepsilon_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial(M_1 \times M_2)}{\partial M_2} \cdot \varepsilon_2 \right)^2 = (M_2 \cdot \varepsilon_1)^2 + (M_1 \cdot \varepsilon_2)^2$$

$$(M_1 \pm \varepsilon_1) \times (M_2 \pm \varepsilon_2) = (M_1 \times M_2) \pm \sqrt{(M_2 \cdot \varepsilon_1)^2 + (M_1 \cdot \varepsilon_2)^2}$$

$$(M_1 \pm \varepsilon_1) / (M_2 \pm \varepsilon_2)$$

$$f: \frac{M_1}{M_2} \quad x_1: M_1, x_2: M_2 \quad \sigma_1: \varepsilon_1, \sigma_2: \varepsilon_2$$

$$\sigma^2 = \left(\frac{\partial(M_1 / M_2)}{\partial M_1} \cdot \varepsilon_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial(M_1 / M_2)}{\partial M_2} \cdot \varepsilon_2 \right)^2 = \left(\frac{1}{M_2} \cdot \varepsilon_1 \right)^2 + \left(\frac{M_1}{M_2^2} \cdot \varepsilon_2 \right)^2$$

$$\frac{M_1 \pm \varepsilon_1}{M_2 \pm \varepsilon_2} = \frac{M_1}{M_2} \pm \sqrt{\left(\frac{1}{M_2} \cdot \varepsilon_1 \right)^2 + \left(\frac{M_1}{M_2^2} \cdot \varepsilon_2 \right)^2}$$

例題

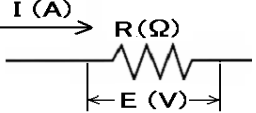
誤差1%の 300Ω と 400Ω の抵抗を直列接続したときの合成抵抗値は。

$$A = 300 \pm 3, B = 400 \pm 4$$

$$A + B = 700 \pm \sqrt{9 + 16}$$

$$= 700 \pm 5 (\Omega)$$

オームの法則 抵抗の単位 : オーム(Ω)
 中学、高校では、オームの法則とは
 $R(\Omega)$ の抵抗に $I(A)$ の電流が流れると、抵抗に
 $IR(V)$ の電圧が生じる、と習ったと思いますが、
 この記述は間違い。(抵抗の意味が分からない。)
 正しいオームの法則は、 1Ω の抵抗の意味を定義。
 1Ω とは、 $1(A)$ の電流 I が流れている所に $1(V)$ の
 電圧 E を生じさせる抵抗値。だから $E=IR$ となる。



電流の流れにくい所は
 電圧(電流の圧力)が生じる。

問題 49 SI 単位で正しい組合せはどれか。2つ選べ。

1. 温度 ——— K
2. 熱量 ——— J
3. 圧力 ——— mmHg
4. 質量 ——— g
5. 放射能 ——— Ci

18年国家試験

解答 1, 2

国際単位系 SI単位

The International System of Units、略称SI

MKS単位系(長さの単位にメートル(m)、質量の単位にキログラム(kg)、時間の単位に秒(s)を用い、この3つの単位の組み合わせで作られたいろいろな量の単位。

ジュール J, ワット W,
 ベクレル Bq, グレイ Gy など.

(mmHg、g、Ci など SI単位ではない。)

放射能の強さの単位 Bq (ベクレル)

Bq は SI単位系

1秒間に1個のガンマ線や電子線などが出る
 (1秒間に1個の原子核が崩壊する)放射能の強さ

1ベクレル(Bq) = 1 decay per second (dps)
 (decay : 崩壊、壊変)

Ci (キュリー)は、昔の放射能の単位。

ラジウム1gの放射能 = 3.7×10^{10} Bq

エネルギーの大きさの単位 J (ジュール)

J は SI単位系

$1J = 1W \times 1s = 1N \times 1m$

Cal (カロリー)は、SI単位ではない。

$1cal = 4.19J$

1gの水の温度を $1^\circ C$ 上げるエネルギー。

温度の単位 K (ケルビン kelvin)

Kは、メートルやキログラムや秒のMKS基本単位と次元が異なる単位だが、国際単位系の基本単位(SI単位系)とされている。

すべての分子の運動が停止する絶対零度を
 0 ケルビン(K)と定義。

$^\circ C$ (セルシウス度、摂氏)は $K - 273.15$

Kは、温度の単位。

$^\circ C$ は、水が凍る温度を基準とした温度の尺度。

圧力の大きさの単位 mmHg

(水銀柱ミリメートル、ミリエイチジー、略称 トル Torr)

血圧など、生体内の圧力を表す単位として
医療分野で多用される圧力の単位。
SI単位系ではない。

圧力の SI単位は、Pa(パスカル)

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

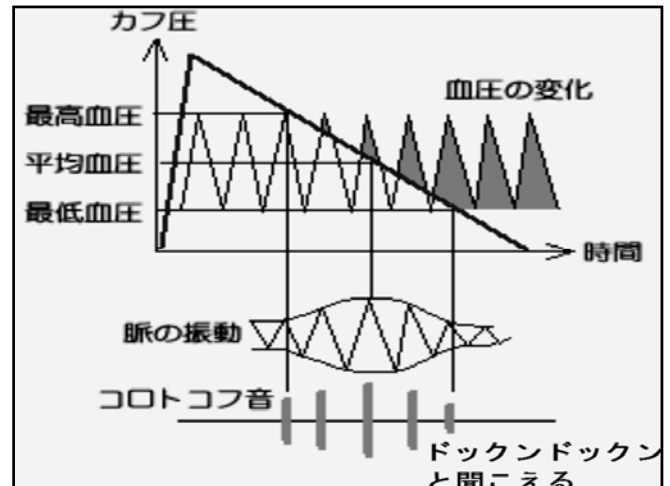
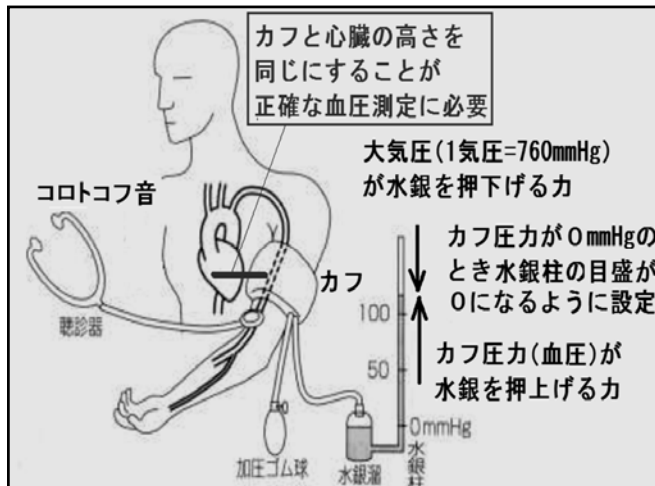
$$1\text{ mmHg} = 133.3\text{ Pa}$$

水銀を1mm 押し上げる圧力。

血圧測定 血圧の単位は mmHg

通常は、上腕にカフ(圧迫帯)を巻いて 左室の収縮期血圧を超える圧力で上腕動脈を圧迫する。その末梢側に聴診器をあて、カフ圧を収縮期圧以下にすると動脈血流が出現し、拍動音(コロトコフ音)が聞こえる。

拡張期血圧までカフ圧を下げる間は動脈は圧迫されているので通常の状態より動脈壁が振動して血流が通るので、拍動音は拡張期血圧のカフ圧に下がるまで聞こえる。



血圧測定でカフ圧を収縮期血圧以上にすると
動脈がふさがって血流が止まります。

血圧測定でカフ圧を収縮期血圧以下にすると
ふさがった動脈内腔が開いて動脈血流が出現
します。

血圧測定でカフ圧を拡張期血圧以下にすると
動脈内腔が完全に開いて、動脈拍動血流が
動脈壁にあたって生じる動脈音が消えます。

現在普及している血圧計は水銀を用いていない。
(水銀Hg は環境汚染物質なので使用制限あり)



成人における血圧値の分類(mmHg)

分類	収縮期血圧	拡張期血圧
至適血圧	<120	かつ <80
正常血圧	<130	かつ <85
正常高値血圧	130-139	または 85-89
I度高血圧	140-159	または 90-99
II度高血圧	160-179	または 100-109
III度高血圧	≥180	または ≥110

血圧測定頻度が高いと、誤差を生じます。

最低血圧を検出してからカフの空気を急排気するまでの間、血液が静脈に貯留し、静脈圧や毛細血管の圧が上昇する鬱血(うっけつ)が起きます。

このために、血管の状態が回復するには約2～3分間必要です。したがって、間隔を置かずに連続して頻回に血圧測定をすると、正しい測定ができない場合がありますので注意が必要です。

2014年 検査技師国家試験 解答 1

パルスオキシメータで利用している光の特性はどれか。

1. 吸収
2. 屈折
3. 蛍光
4. 散乱
5. 反射



パルスオキシメータのプローブは発光部(LED)と受光部(フォトダイオード)で構成されている。

発光部は赤色光と赤外光を発し、これらが指先(爪)を透過または反射した光を受光部で測定。

血液中のヘモグロ빈は酸素との結合の有無により赤色光と赤外光の吸光度が異なるので、センサーで透過光を測定して血中酸素飽和度 SpO₂ を測定できる。

正常血中酸素飽和度 SpO₂ 98%
(動脈血中の赤血球の98%が酸素を運んでいる)

17年国家試験

問 48

(2005)

誤っている組合せはどれか。

1. k(kilo) ——— 10³
2. M(mega) ——— 10⁶
3. G(giga) ——— 10¹²
4. μ(micro) ——— 10⁻⁶
5. p(pico) ——— 10⁻¹²

答 3

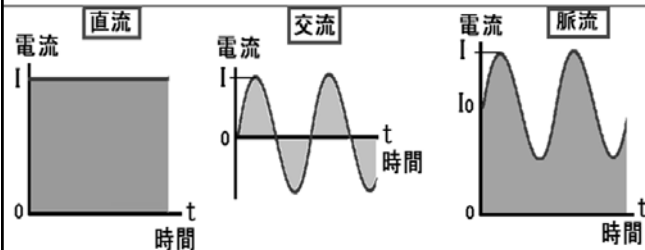
SI(国際単位系)接頭辞

電流の種類

直流 : 電池など

交流 : コンセントの電源(商用交流)など

脈流 : 体表で計測される心電図や脳波など



直流 DC : Direct Current

電流の大きさと向きが、時間経過で変動しない。

交流 AC : Alternating Current

電流の大きさと向きが、時間経過で変動する。

(電流の向きが、頻繁に逆転する。)

脈流 : Pulsating Current

電流の大きさは変動するが、向きは変動しない。

電流 Electric current とは、

電線や導体中の電子の流れによるエネルギー。

直流は、一定速度で電子が同じ方向へ移動。

交流は、向きが往復する電子の移動。

脈流は、向きは変わらないが、速度が変化する。

しかし、電子はマイナスの電荷をもつ粒子で、

電子は自力では動かない。

電子には、能動的に電線や導体(人体など)の中を移動する機能、性質はない。

右ねじの法則 (電流と電磁波の関係)

電線に電流が流れると電線周囲の空間に、

電線を取り巻くように電流の進行方向に対して

右回りの磁力線が生じる

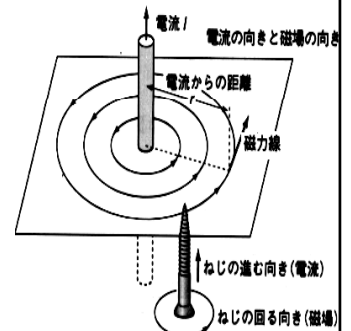
と習ったと思いますが、

本当は、電線周囲の

空間に電磁波が生じて

その電磁力で電線の中

の電子が受動的に動く。



電力(電気エネルギー)は、電線の中を電子が流れて運ばれるという考えは間違い。

電力は、電線周囲の空間に発生する電磁波(正確な表現は、ポインティングベクトル)によって運ばれる。

電線は、電磁波(ポインティングベクトル)が進む方向を支えるレールの役目をする。

強い電力は、電線の支えがなくても空間を伝わる(これを一般的に、電波という)。

電磁波(X線、ガンマ線、光線、電波など)は、空間の振動エネルギー。

空間(Universe)とは何もない所ではない。

空間とは、物理的実在物(構造物)である。

空間構造の振動が、X線、ガンマ線、

可視光線、電波などの電磁波になる。

電磁波の名称と波長

X線, ガンマ線: 10 ピコ~10 ナノメートル

可視光線 : 400~800 ナノメートル

マイクロ波, 電波: 数マイクロ~メートル

Maxwellの式 光、X線、電波など 電磁波の速度を数式化
真空中の電磁波の速さ $c = 1 / \sqrt{\mu_0 \epsilon_0} =$ 秒速30万km
(μ_0 : 真空の透磁率 ϵ_0 : 真空の誘電率)

真空(=空間)は、透磁率や誘電率を持つ構造物である。
=空間は物理的構造物である。空間構造の振動が電磁波。

空間に構造がなければ、真空中の透磁率 μ_0 (磁力線の生じやすさ)と 真空中の誘電率 ϵ_0 (電界の生じやすさ)は0のはず。 $\mu_0 = 0$ 、 $\epsilon_0 = 0$ ならば、真空中の電磁波速度は $c = 1 / \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}$ から無限大になるはずで、現実と矛盾する。

水中での可視光線の速度は、秒速約23万km (25%減速)
そのために、光は水面で屈折する。水中では μ_0 、 ϵ_0 が空中より大きいために、光の速度は、空中より遅くなる。

地上から太陽が見えるのは、太陽と地球の間にある空間が、太陽から出た電磁波(可視光線、紫外線等)を通すため。

空間に何もないと、空間に光などの電磁波が伝わらないので地上から太陽は見えないはず。

空間(宇宙空間)には、電磁波を通す何らかの物理的構造がある。(その構造は、まだ発見されていません。)

空間の構造は、まだ解明されていません。

誰か解明して下さい。発見すればノーベル賞確実です。

空間の構造は、3次元ではなく、9次元以上と考えられています。

宇宙膨張説は正しいとされている。地球から遠い星ほど赤く見える。これは、ドップラー現象で、遠い星ほど高速度で遠ざかっているためである。(高速度で過ぎ去る救急車のサイレンの音は低く聞こえるのと同じ現象。)(赤色は周波数の低い光。周波数の高い光は青や紫。)(地球に近いシリウスは青く見える。)

宇宙膨張説が正しいならば、この世には宇宙ではない場所があると考えざるを得ない。この世がすべて宇宙空間で満たされているならば、宇宙は膨張しない。宇宙の外側には、宇宙ではない場所がある。宇宙と宇宙外は物理的に区別できるはず。空間のある場所が宇宙(宇宙空間)で、その外側には空間が無いと解釈できる。つまり空間とは、何も無い所ではなく、物理的に構造がある実在物である。

空間の構造の振動が、光やX線などの電磁波である。空間に構造がある間接的な証明として、重い星の近傍では光が屈折する現象が観測されている。つまり空間に構造があり、それが重い質量で歪んでいるために光が直進しない現象が、空間に構造があることを証明している。

空間の歪みが、重力の生じる原因と考えられている。

光や重力が届く速度は、秒速30万kmで、人間の感覚ではとても速く感じるが、仮に、太陽系全体を見渡せる神、または巨人がいたら、太陽から地球に光が届く時間が8分かかるとは、とても遅いと思うだろう。つまり空間の構造は、巨視的には、かなり粘度の高い、ネバネバしたものと予想される。

有名な実験: マイケルソン・モーレーの実験

地球は左回りに1日1回転しているので、赤道(1周4万km)近くでは、東向きの光は、初速度4万 km / 24時間で、西向きの光(初速度 -4万 km / 24時間)より速いはず、と予想した。

そこで、西向きの光を鏡で反射させて、東向きの光と並べて、きわめて高速度で回転する歯車の歯の遮蔽板において、光の切れ目の長さの差を精密に測定したが、西向きの光と、東向きの光の速度は、差がなかった。

この結果から、アインシュタインは、光、電磁波の速度は、空間の構造により一定では、と考えた。(特殊相対性理論)。

光やX線など電磁波の速度が、常に秒速30万kmで一定なのは、一見、奇妙に感じるが、空間の構造の振動で電磁波が伝わると理解すれば、それは空間の構造で決まる物理的な一定値であって、光源の初速度とは無関係であると理解して下さい。

