

## 感覚の種類

種: 感覚の違い(視覚, 聴覚など)

質: 種の中での違い(明るさ, 色など)

特殊感覚: 固有の感覚器によるもの

受容細胞: 刺激を受け入れる細胞

1

## 感覚の種類と受容器

感覚の種類とその受容器

|          | 種<br>modality | 質<br>quality | 受容器(受容細胞)<br>receptor (数)              | C. N. S.<br>への数 | ビット/sec                          |
|----------|---------------|--------------|----------------------------------------|-----------------|----------------------------------|
| 特殊<br>感覚 | 視覚            | 明暗・色・形・運動・奥行 | 網膜(視細胞) $10^8$                         | $10^6$          | $3 \cdot 10^6$                   |
|          | 聴覚            | 大きさ・高さ・音色・方向 | 蝸牛(有毛細胞) $3 \cdot 10^4$                | $10^4$          | $2 \sim 5 \cdot 10^4$            |
|          | 嗅覚            | 各種           | 嗅粒膜(嗅細胞) $10^7$                        | $10^3$          | $10 \sim 100$                    |
|          | 味覚            | 酸・塩・甘・苦      | 味蕾(味細胞) $10^7$                         | $10^3$          | 10                               |
|          | 平衡感覚          |              | 半規管(有毛細胞)                              |                 |                                  |
| 体感<br>性覚 | 皮膚感覚          | 触・圧・温・冷・痛    | 皮膚(各種)触・圧 $5 \cdot 10^5$<br>温・冷 $10^5$ | $10^4$          | $2 \cdot 10^5$<br>$2 \cdot 10^3$ |
|          | 深部感覚          | 運動・拳重        | 筋・腱・関節の受容細胞                            |                 |                                  |
| 内感<br>臓覚 | 臓器感覚          | 飢・渴・吐・便・尿・性  | 組織内の受容細胞                               |                 |                                  |
|          | 内臓痛覚          |              | 同上                                     |                 |                                  |

C. N. S は中枢神経系のこと。

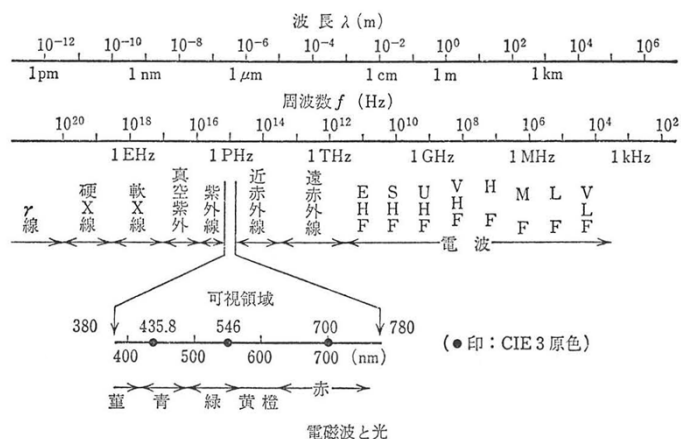
※ C.N.S. (Central Nervous System)

2

# 視覚について

## 1. 光と視覚

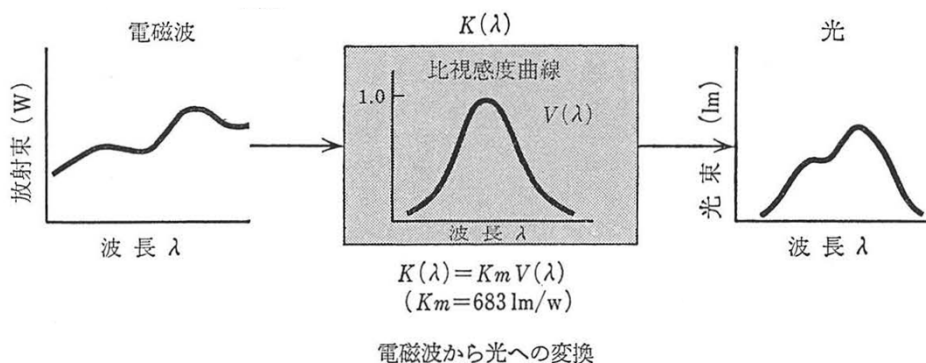
視感覚を刺激する範囲の電磁波(380~780nm)



3

電磁波から光への変換

放射束  $\times K(\lambda) =$  光束



4

### 放射束

電磁波の単位時間あたりの放射エネルギー  
(W), 物理量

### 光束

光の単位時間あたりの光量 (lm, ルーメン),  
心理物理量

5

### 視感度曲線 $K(\lambda)$

光に対する感度は波長によって異なるという  
特性を表す

### 比視感度曲線 $V(\lambda)$

最大感度波長555nmでの値を1として  $K(\lambda)$  を  
基準化したもの

$$K(\lambda) = K_m \cdot V(\lambda) \quad (K_m = 683 \text{ lm/W})$$

6

## 明るさ

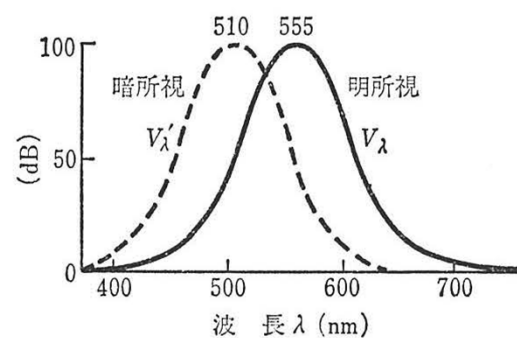
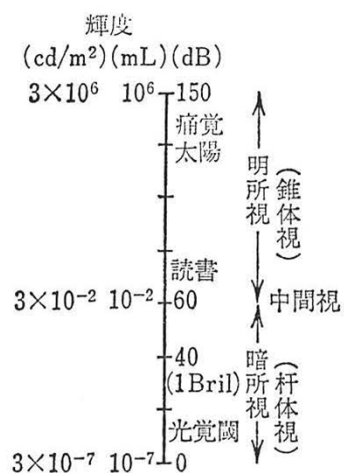
視感覚の範囲は約120dB

実際は刺激の平均の強さ(順応レベル)を中心とした狭い範囲

## 順応レベル

順応している日常外界の平均的な明るさ

7



刺激の強さと波長に対する応答範囲

8

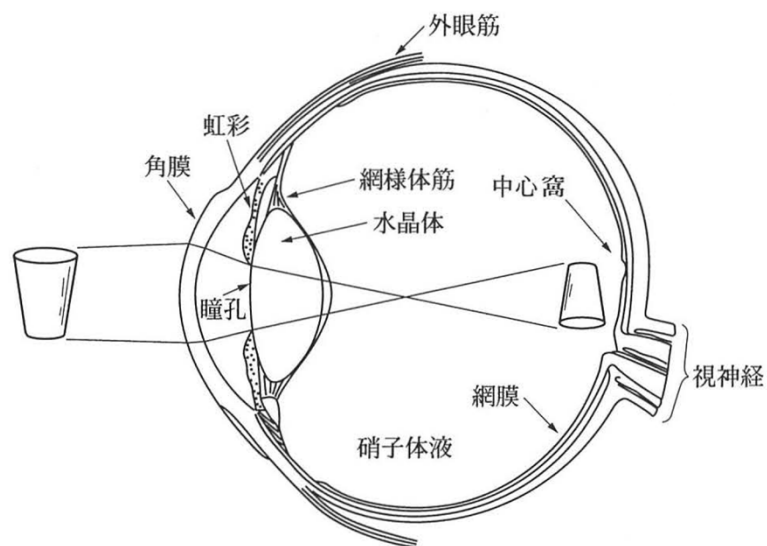
## 明暗順応

暗順応：明所から暗所になるときの順応，  
暗所に慣れる

明順応：暗所から明所になるときの順応，  
明所に慣れる

9

## 2. 眼球の構造

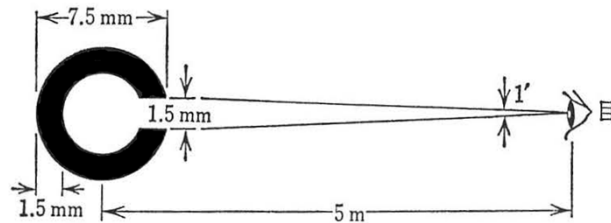


眼球の構造

10

## 視力

目が詳しくものを見る能力(分解能)



視力 1.0 の場合のランドルト環

## 視野

目を動かさずに一度に見える範囲

両眼で共通に見える範囲: 上下左右約 $60^\circ$

11

## 中心窩

視野の中心の $1^\circ 20'$ の範囲で最も視力が良い

## 中心視

中心窩でしか詳しく見ることができない

→眼球運動が必要

## 周辺視

時間的に変化する刺激を検出する

→必要に応じて視線を向ける

おおまかな形を把握するのには重要

12

## 視細胞

光を電気エネルギーに変換する  
錐体と桿体の2種類がある

### 錐体

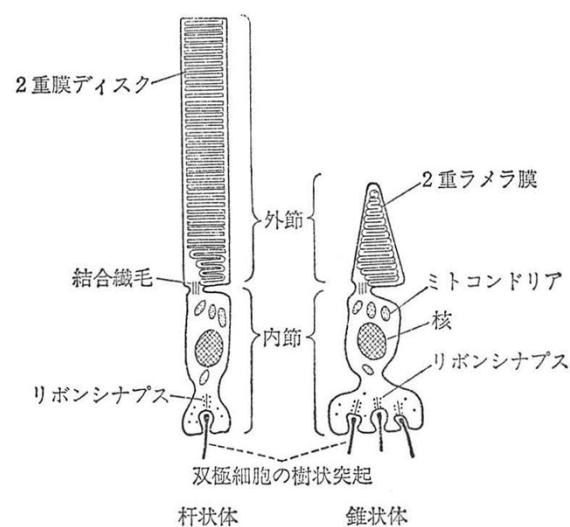
中心窩の周辺のみ分布し、明るい部分で細かな対象を見るのに適している

赤(R), 緑(G), 青(B)に関係する3種類がある

網膜において3種類の色の要素を担当する受容器により抽出されている

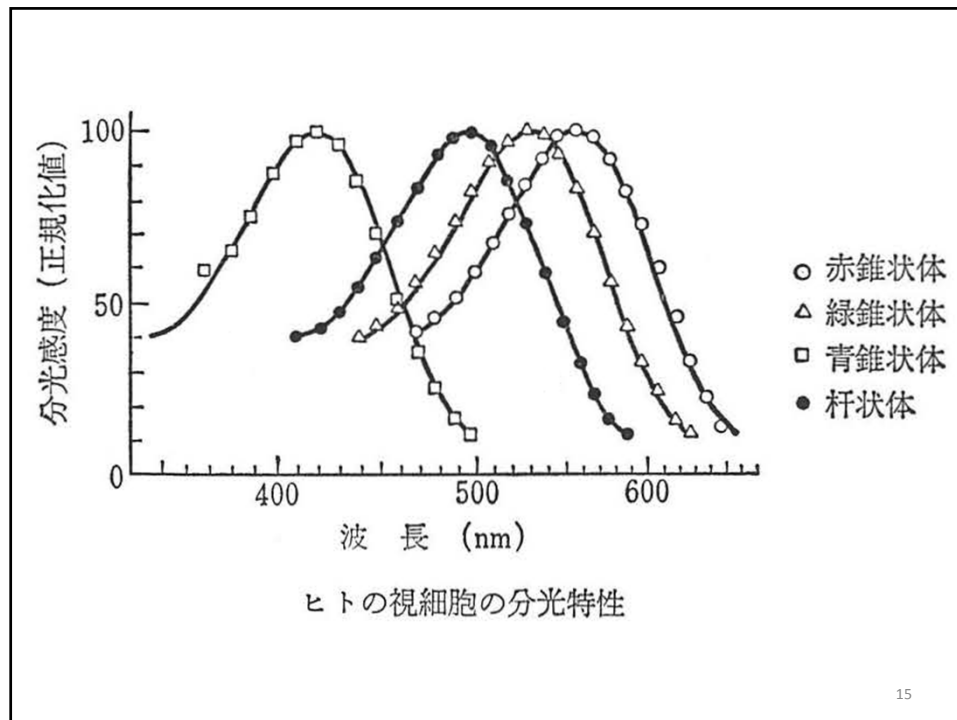
13

## 視細胞の構造



視細胞の構造の模式図 (断面)

14



## 桿体

網膜周辺部に多く分布し、明暗や時間的情報の処理を担う

網膜は層構造になっていて、明るさや色のコントラストの強調、動きの検出などの時空間的な処理を行っている

## 伝達経路

視細胞→双極細胞→神経節細胞→視神経

## 色

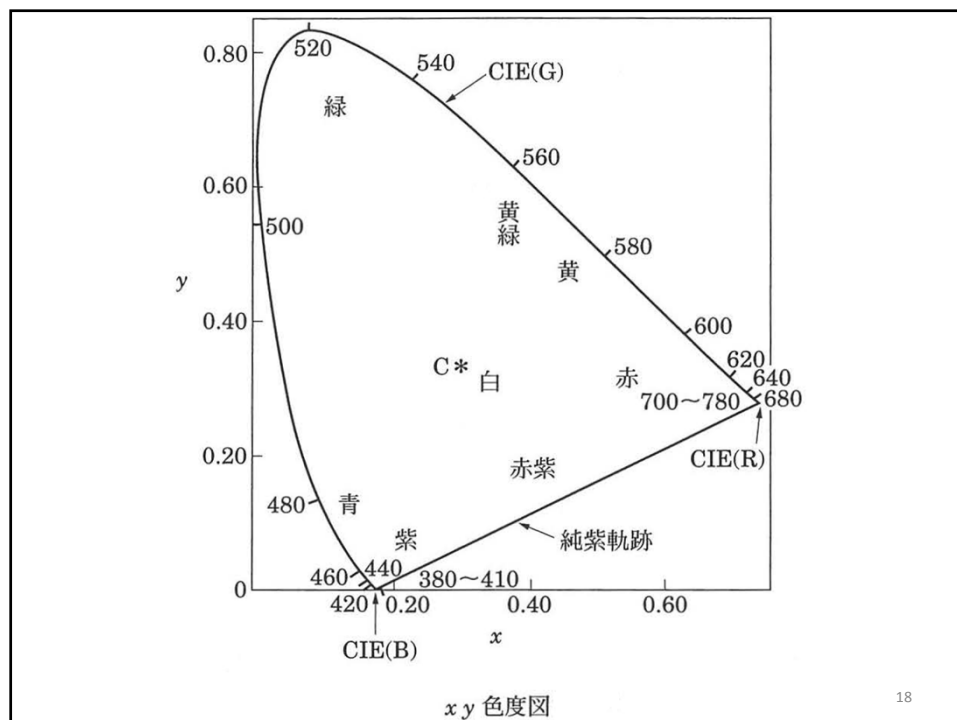
分光組成(スペクトル分布)の違いによって生じる視感覚

同じ色に見えるからといって分光組成が同じとは限らない(例:テレビに映った黄色のバナナ)

ある分光組成を持った光が入ってくると, 赤, 緑, 青にそれぞれ反応する3種類の錐体細胞に振り分けられ, 脳の中で総合的に情報処理されて, 色として感じる.

光源の波長分布と物体の分光反射率の積で決まる→色の不良設定問題(後日説明)

17



18

## 色覚

物体に入射する光が観測者の方向へ反射する際に、特定の波長のみが反射され(それ以外は吸収され)、観測者には反射された光だけが届くため、その波長に基づき判断される色が、その物体の色として認識される(判断し、認識しているのは人間の脳)。

19

実際には、物体において波長に応じて反射率が異なり、反射した光の組成(スペクトル)によって、様々な色として認識される。

全波長が反射される→白

全波長が吸収される→黒

可視光域は人間と他の生物では異なるため、見え方も異なる場合がある。

20

網膜内にある、赤・緑・青に対応する3種類の錐体細胞が吸収する可視光線の割合が色の感覚を生む。そのため、独立した複数の色を合成することで人間に別の色を感じさせることができる。

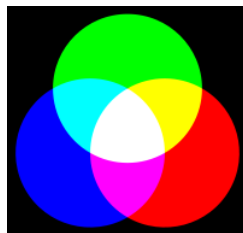
たとえば、黄の波長の光は、赤の波長の光と緑の波長の光の組み合わせによって、同様の刺激を与えることが可能である。つまり、黄の波長だけが入っている場合と、赤の波長と緑の波長が組み合わさって入っている場合とを人間は区別することはできない。

21

### 加法混合

有色の光線によって色を表現する場合に光を加える形で色を合成する方法

白色の光を合成するための波長を「光の三原色」と言い、原色として赤 (Red) ・緑 (Green) ・青 (Blue) の3色を用いる。

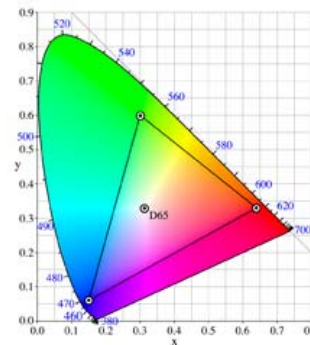


22

## RGB

テレビなどのディスプレイ類(ブラウン管, 液晶ディスプレイ)はRGBを用いて様々な色を加法的混合で表現している.

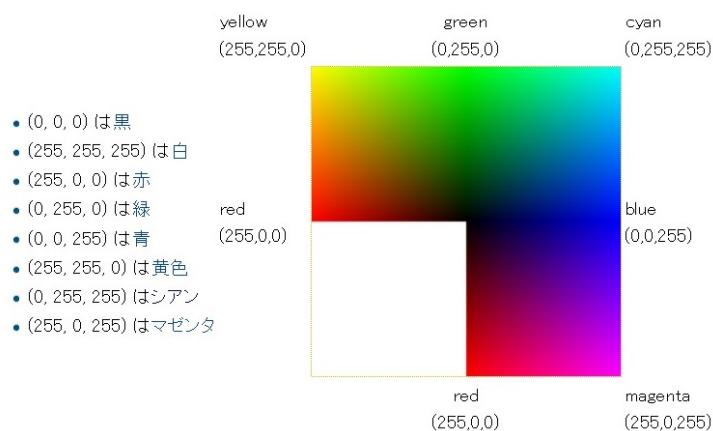
カラートライアングルの内側の色しか表現できないので, これをどれだけ大きくすることができかが問題となる.



23

## デジタル(数値表示)の場合

24ビットカラーでは, RGBの各要素を8ビット(0~255)で表現する.

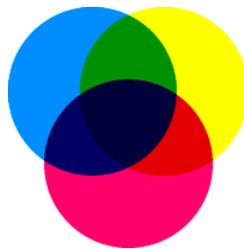


24

## 減法混合

物体の表面を特定の色にするためにインク等を塗る場合に元の光を遮る形で色を合成する方法

合成の元になる色は一般に「色料の三原色」と言われ、シアン(緑味の青)、マゼンタ(赤紫)、イエロー(黄)の3色を用いる。



25

## CMYK(四色印刷)の場合

印刷では、様々な色を表現するために減法混合の原色であるシアン、マゼンタ、イエローの3色が用いられる。理論上は3色すべてを均等に混ぜることで黒が生まれるはずであるが、実際にはきれいな黒は作れない。そこで、この3色に加えて黒のインキがカラー印刷に使われる。

これはCMYKモデルと呼ばれるもので、シアン(Cyan)、マゼンタ(Magenta)、イエロー(Yellow)、キー(Key)の略である。

26

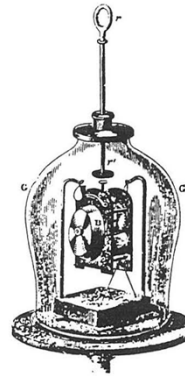
## 聴覚について

- 音の定義

音波またはそれによって起こされる聴覚的感覚

- 音の伝わり方

音は縦波(粗密波)



ボイルの実験図

27

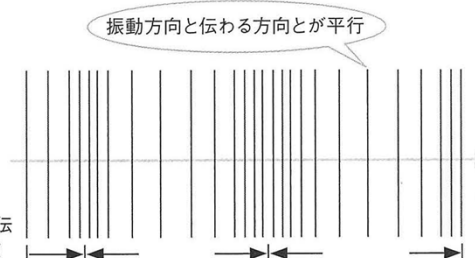
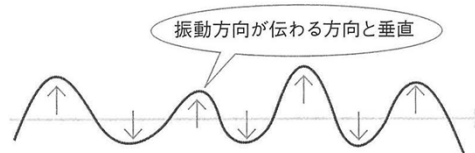
### 音を伝える縦波とは？



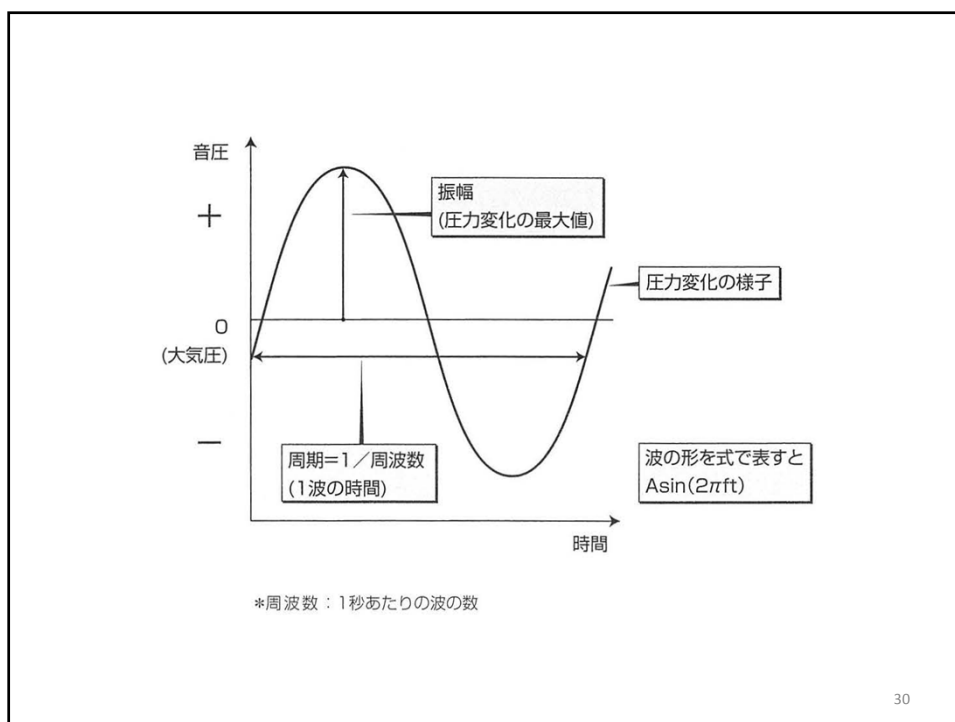
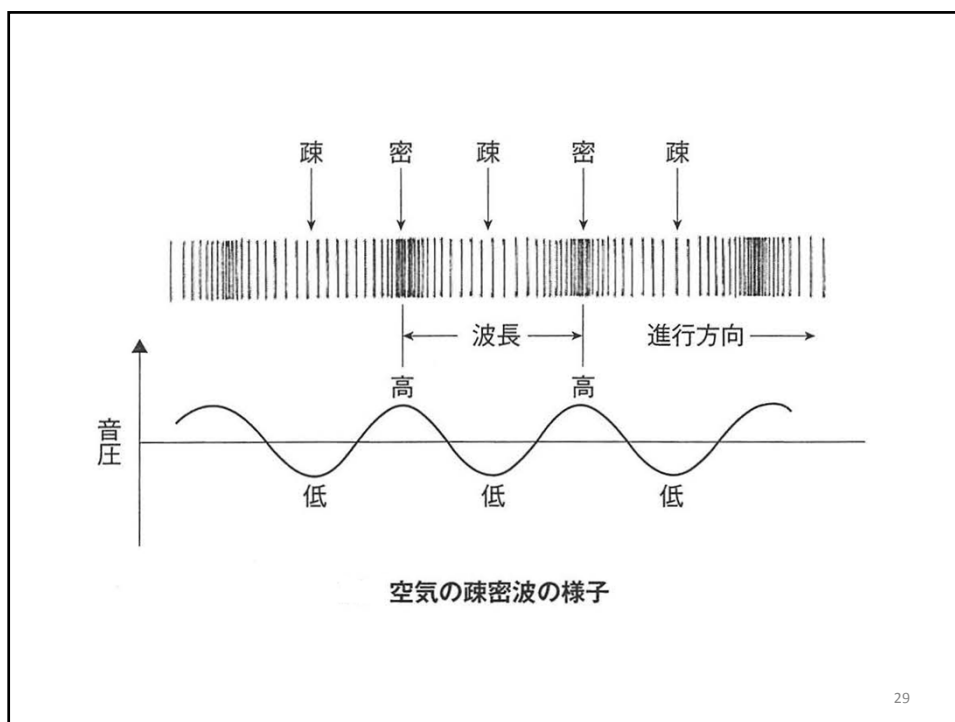
池に投げ込まれた石が  
作る波→横波



音が空気=媒質を伝  
わる場合の波→縦波



28



- 物理的性質

- 音の強さ

$$\alpha = 10 \log_{10}(I/I_0) \quad \text{強さのレベル}$$

$$= 20 \log_{10}(p/p_0) \quad \text{音圧レベル (SPL)}$$

単位はデシベル (dB)

基準の強さ:  $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ , 基準の音圧:  $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$

(1000Hz正弦波の最小可聴値にほぼ対応)

- 周波数

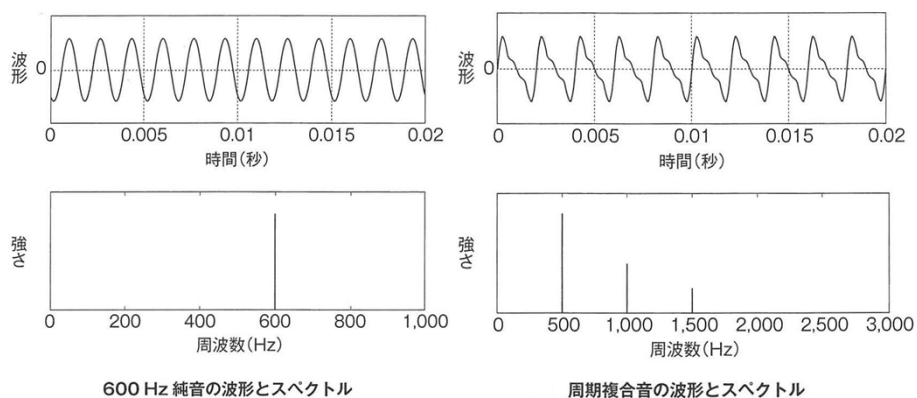
周期的現象が毎秒繰り返される回数

純音: 正弦波

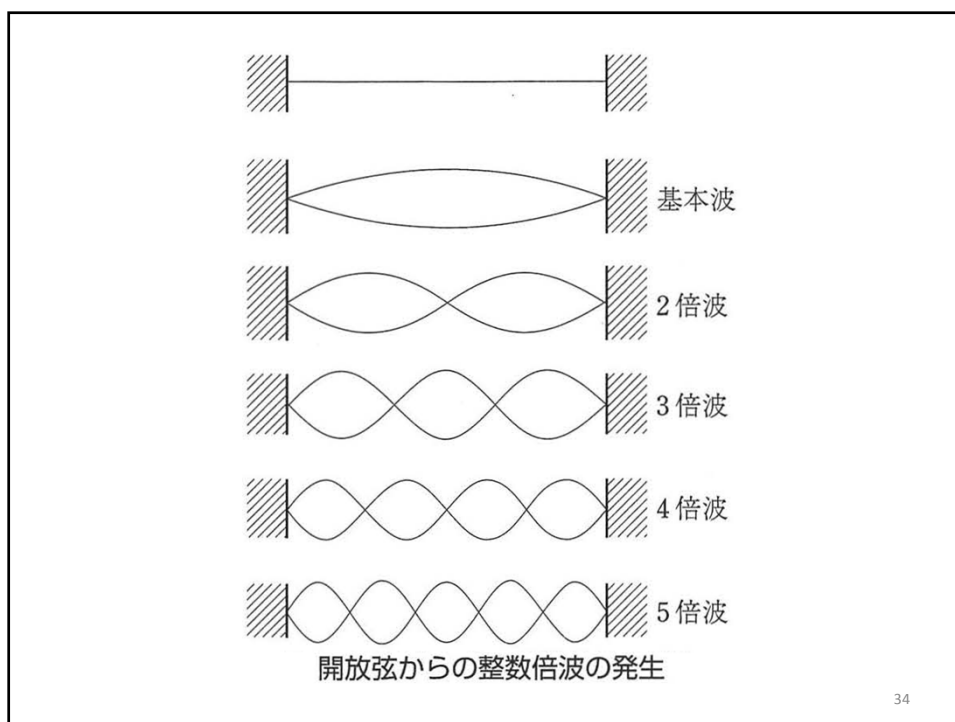
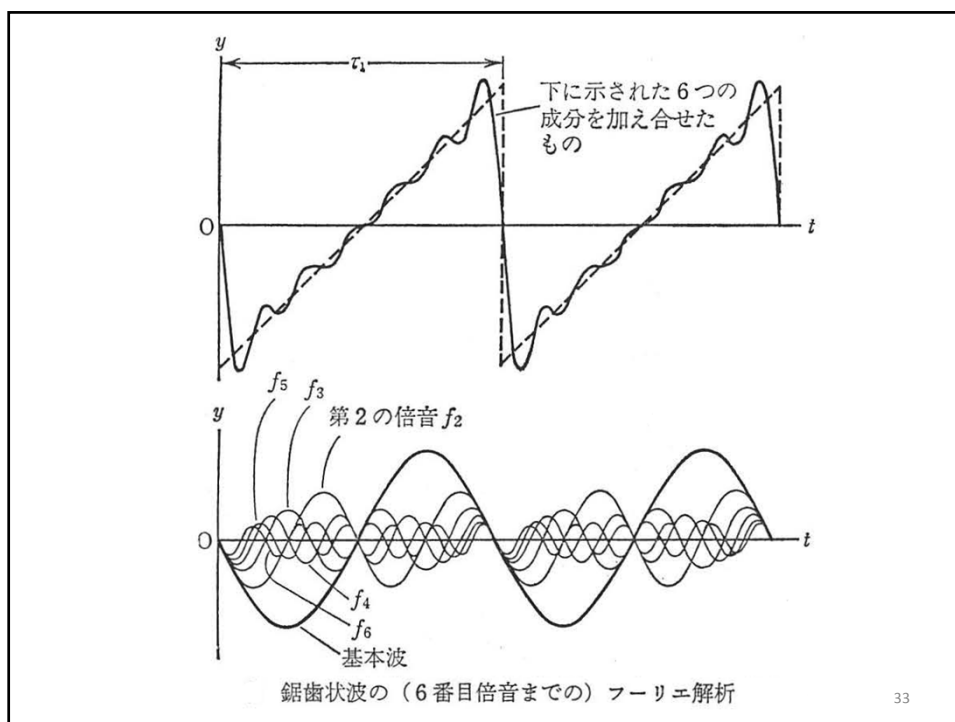
複合音: 基本波とそのn倍の高調波

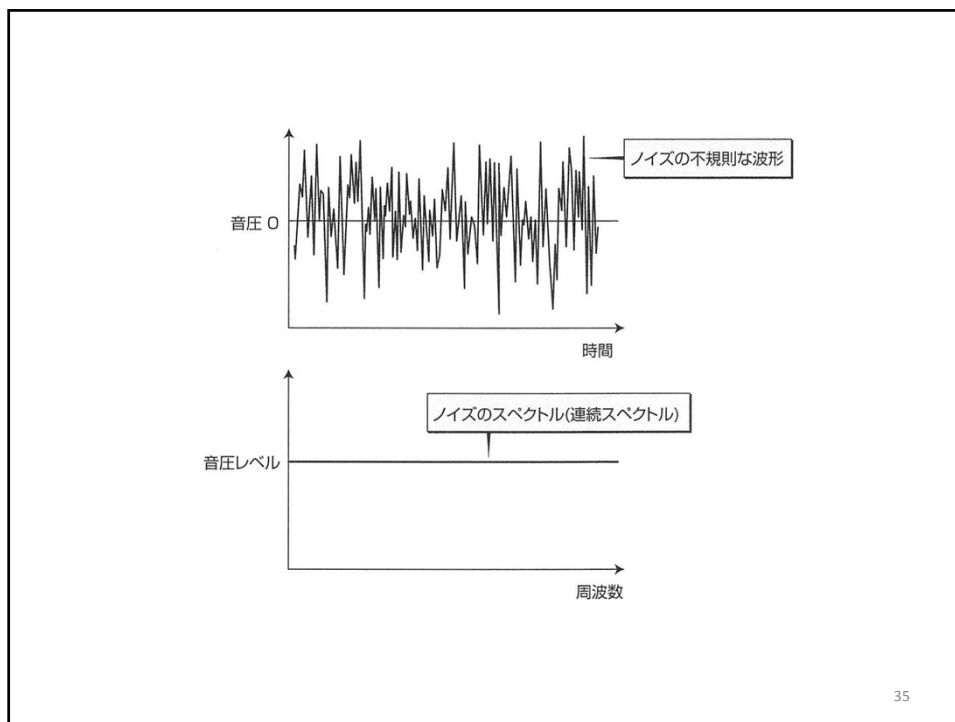
(これらの組み合わせがスペクトル)

31

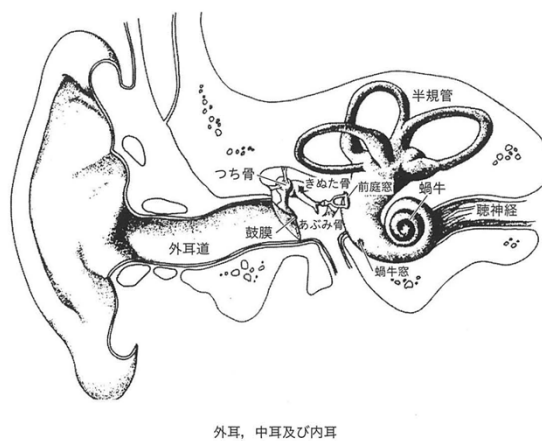


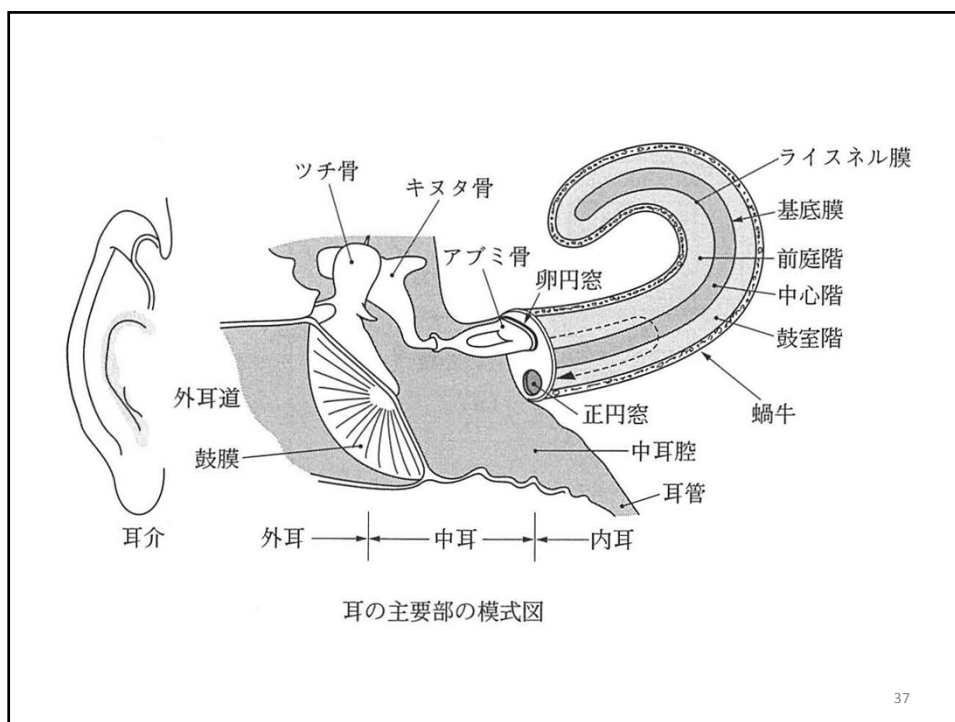
32





## • 耳の構造

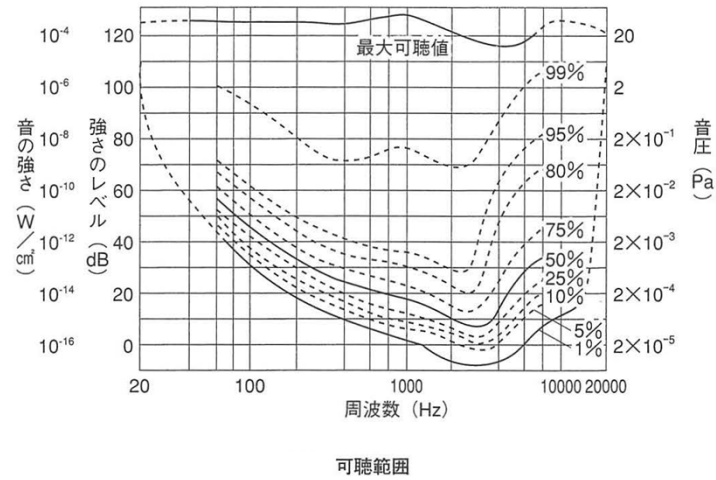




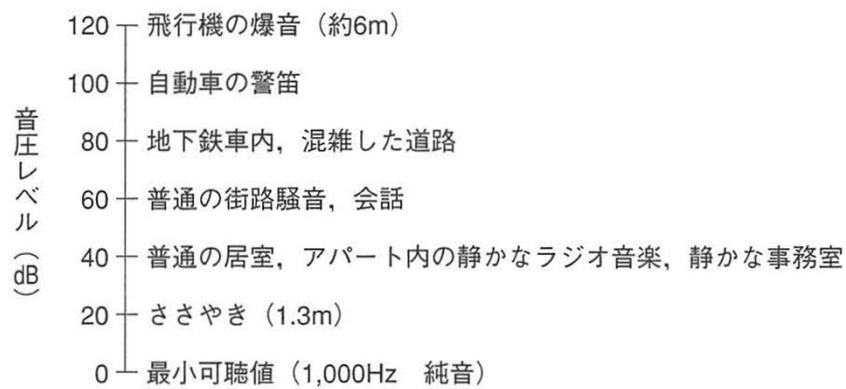
37

- 聴覚の基本的特性
- 可聴周波数範囲  
20～20,000Hz
- 音圧レベルの範囲  
0～120dB (20μPa～20Pa)

38

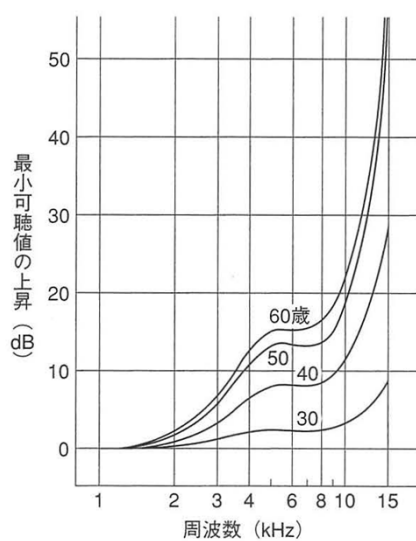


39



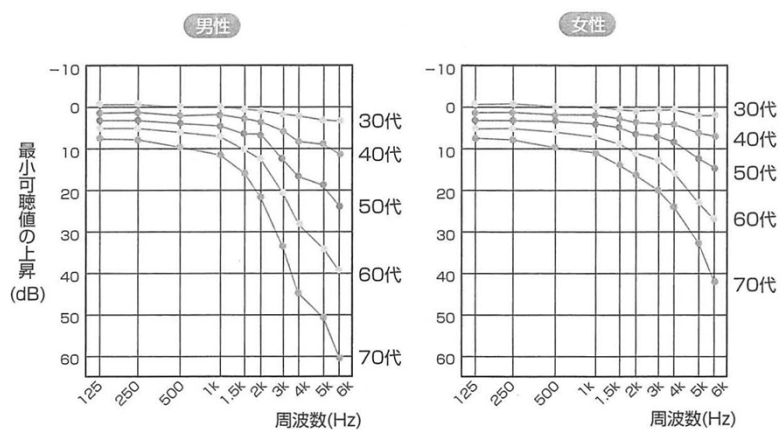
日常生活におけるいろいろな音の大きさ

40



加齢による最小可聴値の変化

41



\* 20歳代を基準(0)として、各年代での聴力低下を示しています。

42

- 弁別閾

ちょうど弁別可能となるために必要な刺激の増分

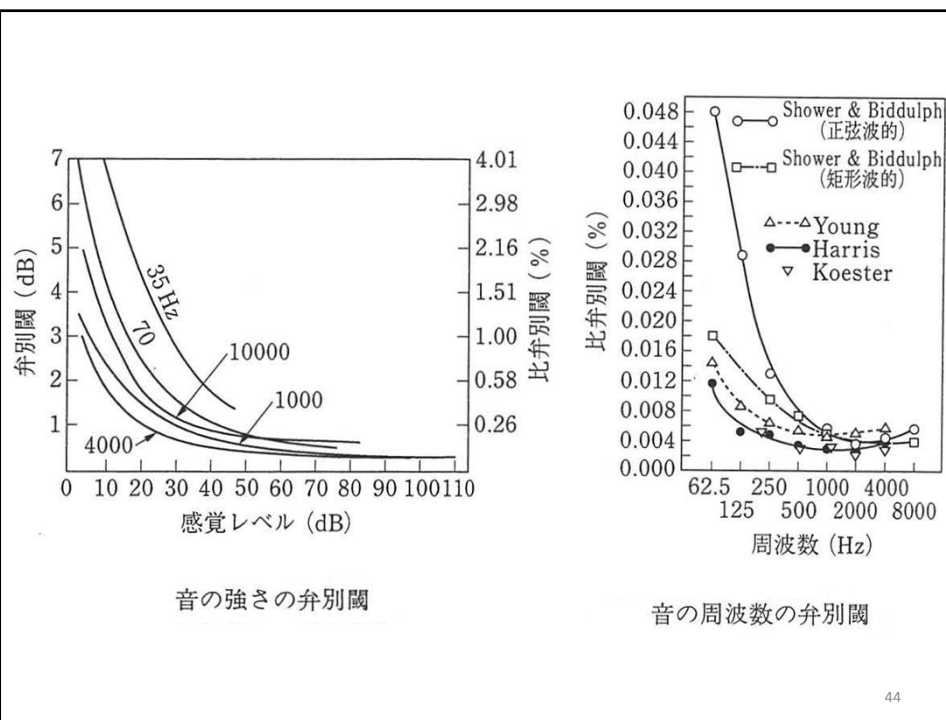
- 強さの弁別閾

20dB～30dB以上で0.5dB～1dB

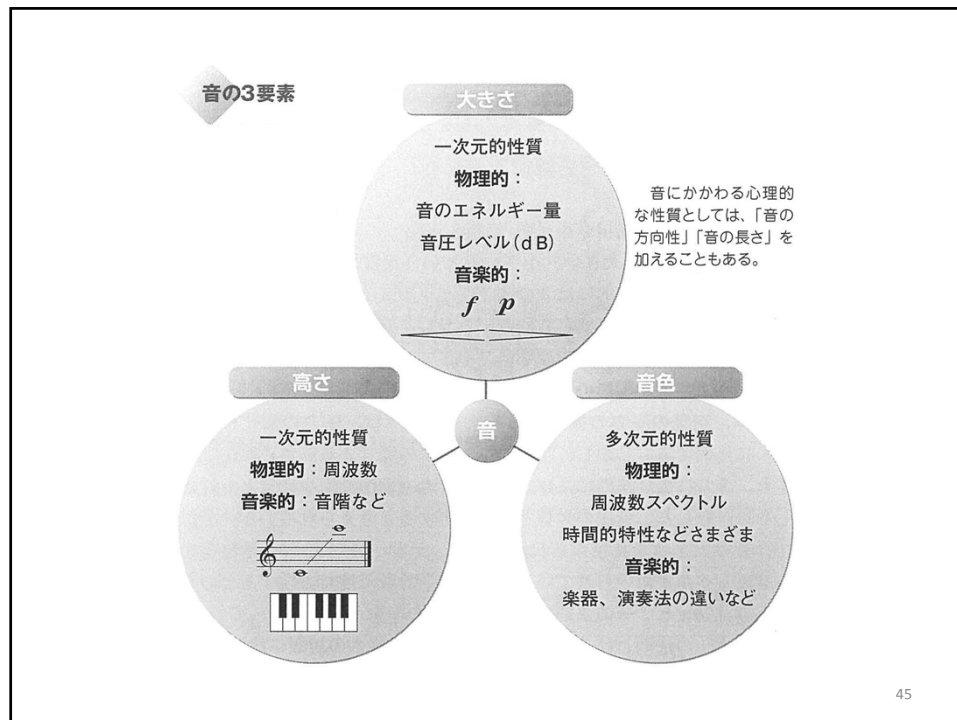
- 周波数の弁別閾

1000Hz純音で2Hz

43



44



- 音の大きさ

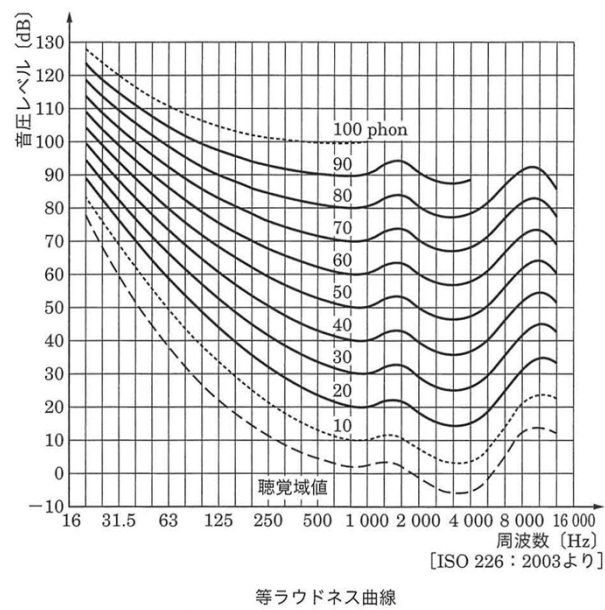
- 音圧レベル

1000Hzの音を基準音として、他の周波数の音が基準音と同じ大きさに感じられる

音圧レベル

単位ホン

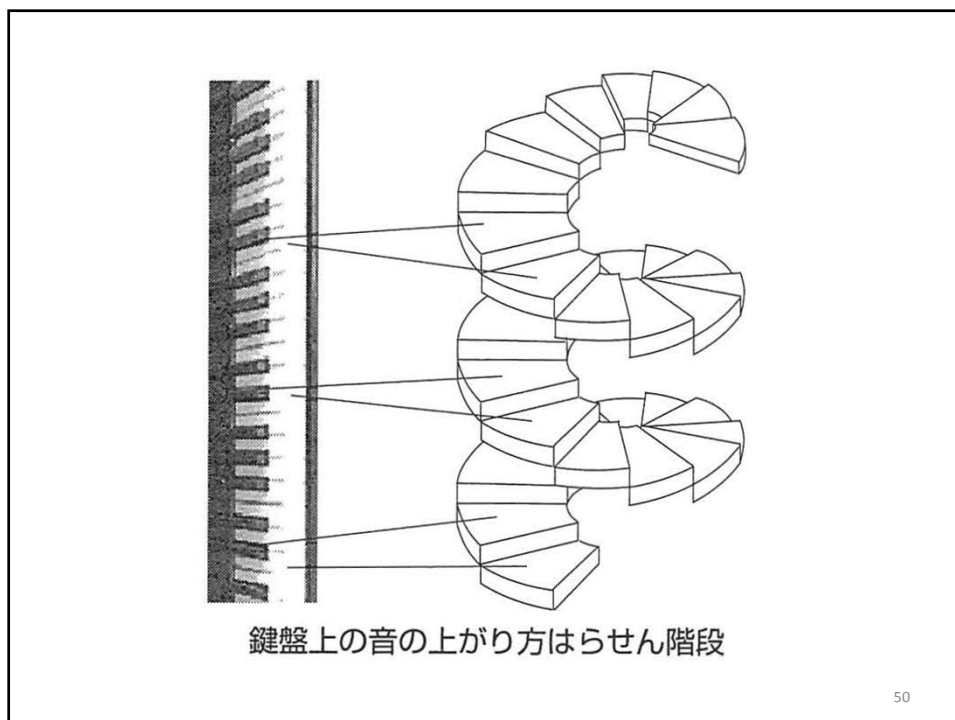
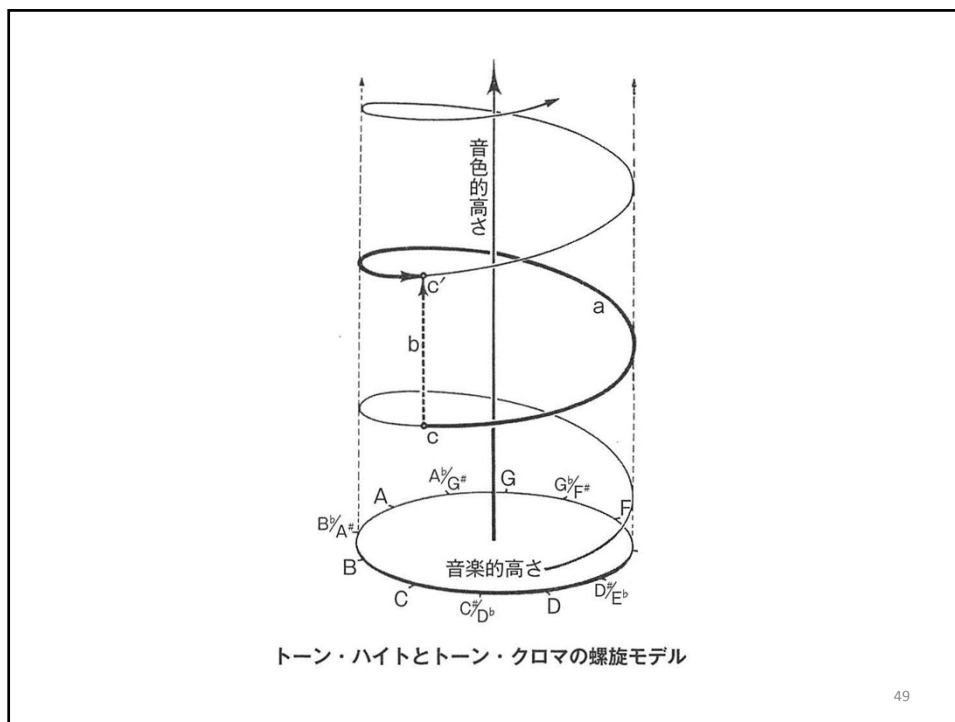
→音の大きさの等感曲線

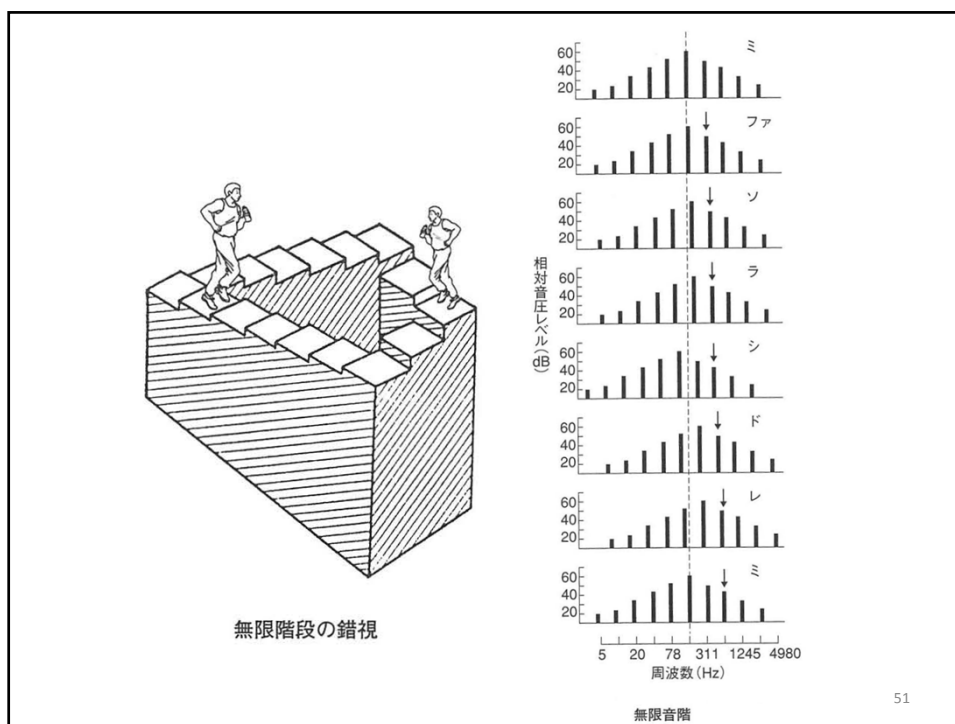


47

- 音の高さ
- 1次元の性質  
「低い」から「高い」まで1次元的に変化する性質
- 循環的性質  
1オクターブごとに類似した音が循環的に現れる性質  
4～5kHzまで
- 無限音階  
1次元の性質はなく、循環的性質だけを感じさせる

48





## • 音色

「明るさ」、「きれいさ」、「豊かさ」など、多次元的であり、1つの尺度では表現できない

物理的には、周波数スペクトルや様々な時間的特性が影響する

- 音の知覚の生理学的対応

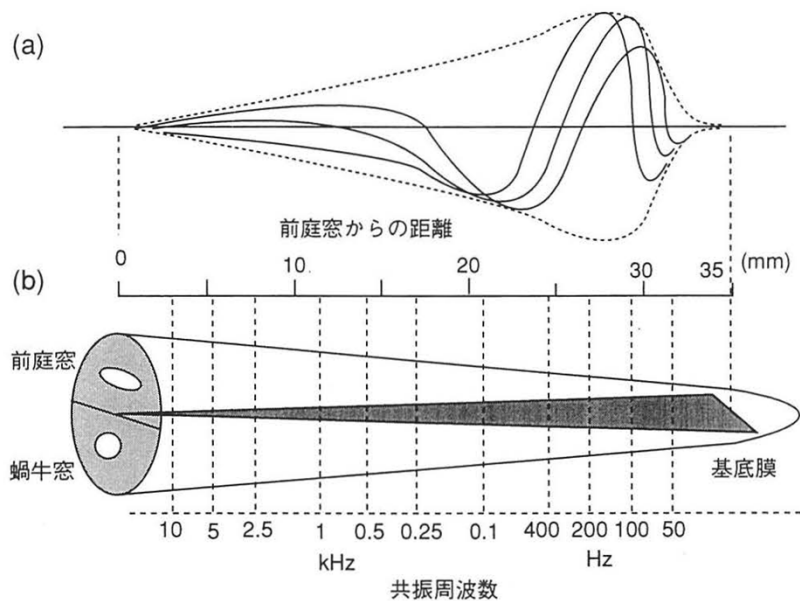
- 1 次元的性質

基底膜の場所(周波数)に対応して音の高さが決定されている

- 循環的性質

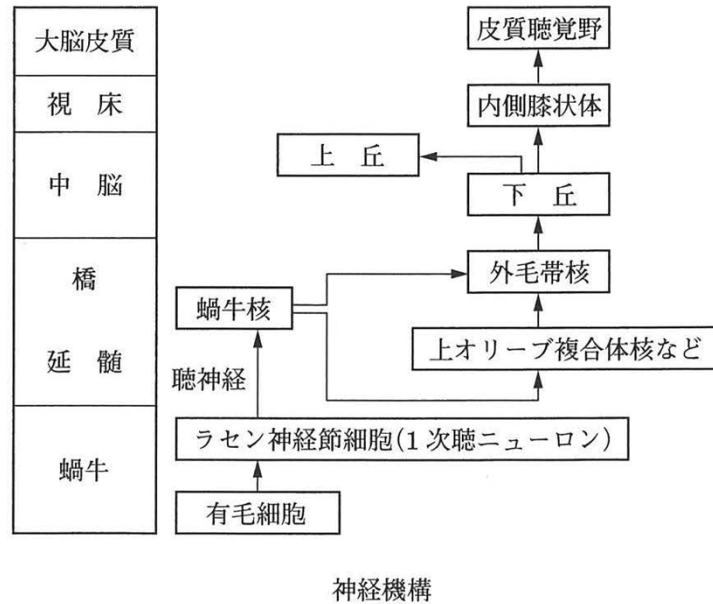
周波数がオクターブだけ異なる2音に対するパルスの時間間隔は一致する

53

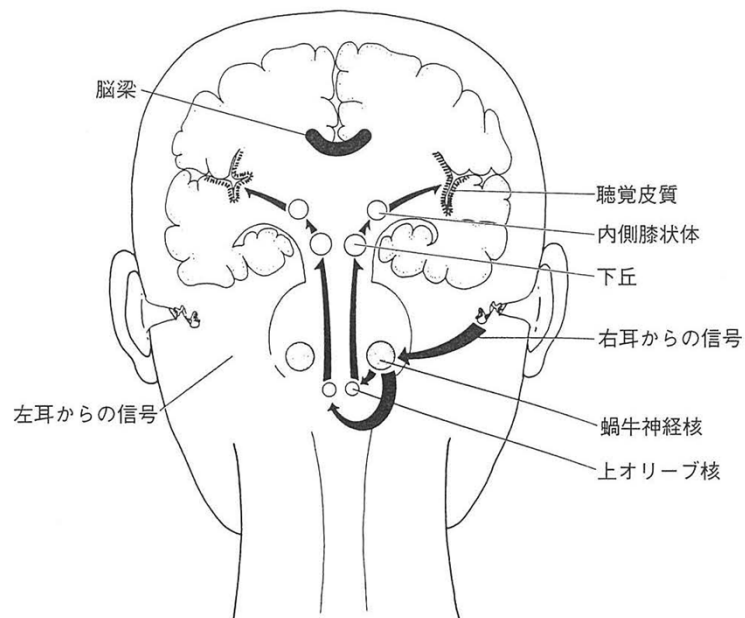


基底膜によって周波数情報を位置に変換するメカニズム  
基底膜上を進む進行波（上図）と基底膜上の位置と共振周波数の関係（下図）。

## • 大脳皮質の聴覚野への経路



55



耳から聴覚皮質への経路

56