

## 第4回 感覚と認知 一触覚認知一

### 今日の参考文献

- 『E.H. Weber on the Tactile Senses (2nd edition)  
– Helen E. Ross and David J. Murray, Erlbaum (UK)  
Taylor & Francis, 1996
- 『タッチ＜神経心理学コレクション＞』  
– 岩村吉晃著 株式会社医学書院発行, 2003

## 触覚情報処理

「触る」ということ

DVT作業で人が受け取る情報は？



# 触覚とは？

- 触覚とは
  - 触覚・圧覚・温度感覚（温覚・冷覚）・痛覚などの総称
  - 皮膚感覚 (cutaneous sensation)
  - 皮膚感覚受容器で起こる感覚
- 英語では…
  - **Tactile**
    - of or connected with the sense of touch
    - perceptible or designed to be perceived by touch
    - given to touching others in a friendly or sympathetic way
  - **Haptic**
    - relating to the sense of touch

Compact Oxford English Dictionaryより

5

## 触覚の定義

- 分野によって、Tactile / Hapticの定義は異なる

Tactile	Haptic
Skin, Joints, & Muscles	Achieving touch
No motion	Motion
Passive touch	Active touch
Touch	Grasp
Device does not move	Device moves
Static touch	Static touch + Kinesthetic
Focuses on action of touch	Focuses on object touched
A sub-component of haptic	General term includes Tactile
System – static & User – moves	System – dynamic & User – static
No perceivable difference	

6

# 皮膚感覚受容器の分類

- 3つの分類方法
  - 適刺激による分類
  - 形態による分類
  - 順応による分類

7

## 適刺激による分類①

### 1. 機械受容器 : mechanoreceptor

- 外部の物体との接触による、または自分の運動や姿勢の変化に伴って起る、圧迫、伸展などの組織の機械的変形を検知
- 触覚・圧覚・振動覚

8

- 機械的刺激
  - 機械受容器が反応
  - 触覚・圧覚・振動覚に対応
  - 現在では明確な区分はされていない
- 種類
  - 触針
  - 振動刺激
  - 触覚ディスプレイ
  - 点刺激（静・動）

9

## 適刺激による分類②

### 2. 温度感覚受容器 : thermoreceptor

- 組織局在の温度とその変化を捉える受容器で、温・冷受容器がある
- 温度感覚

- 温度刺激
    - 温度感覺受容器が反応
    - 発生法
      - 液体
      - 導体・半導体での電流（ペルティエ効果）
    - 単位
      - 熱力学的には水の三重点を237.16Kとし、その逆数を1K（ケルビン）と定義
      - セルシウス温度（°C：摂氏度）
- $t = T - 273.16$   
( $t$ =セルシウス温度,  $T$ =ケルビン絶対温度)

11

### 適刺激による分類③

- 侵害受容器：nociceptor
  - 痛覚受容器ともいう
  - 機械的刺激のみ応答するもの（機械侵害受容器）と、機械的、化学的、熱などすべての侵害刺激に応答するポリモーダル（polymodal）受容器
  - 組織の傷害が直接、あるいは傷害により遊離する発痛物質が刺激となる
  - 痛覚

## 電気刺激

- 電気刺激
  - 侵害受容器が反応
  - もっとも簡単な刺激
  - 発生法
    - 脳波測定用の用電極などの単電極
    - 同心円電極

13

## 形態による分類

- カプセルあるいは受容細胞構造の明確なもの
  - メルケル細胞
  - マイスナー小体
  - パチニ小体
  - ルフィニ終末
- 自由神経終末

14

# 皮膚の断面

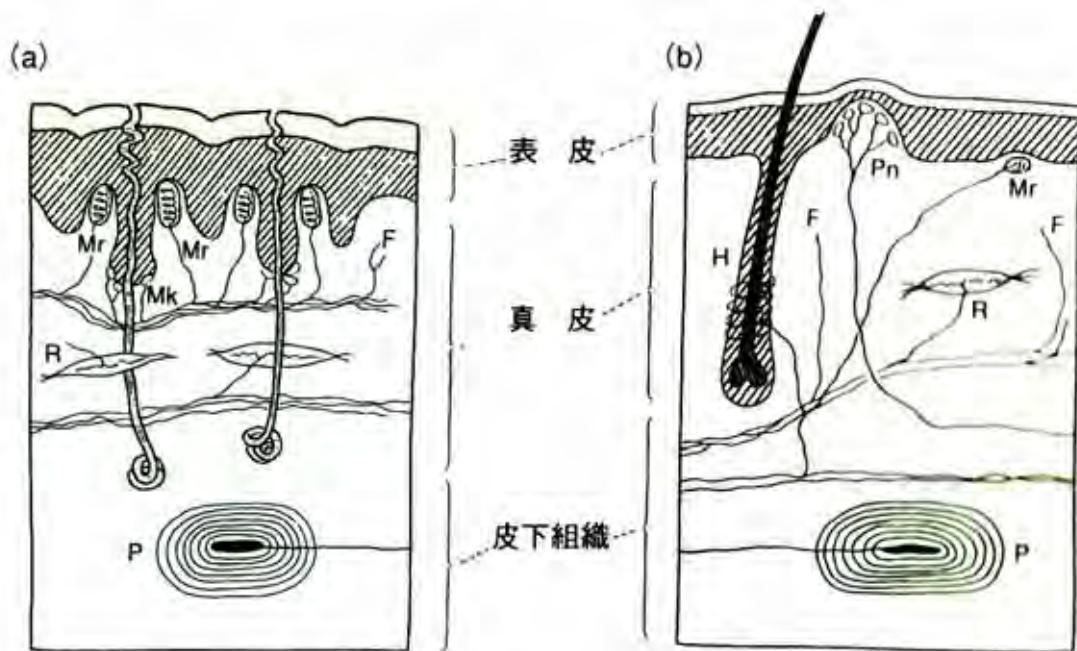
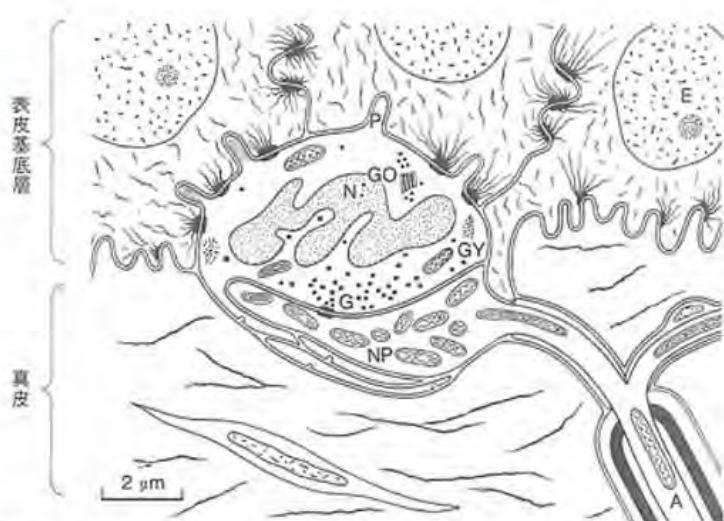


図 8-1 皮膚断面と皮膚感覚受容器<sup>1)</sup>

(a)：無毛部, (b)：有毛部。Mr：マイスナー小体, Mk：メルケル盤, R：ルフィニ終末, P：パチニ小体, Pn：ピンカスの毛盤（触覚盤）, H：毛包受容器, F：自由神経終末

15

## カプセルあるいは受容細胞構造の明確なもの



- 表皮：約1mm
- 真皮：1～3mm
- 皮下組織

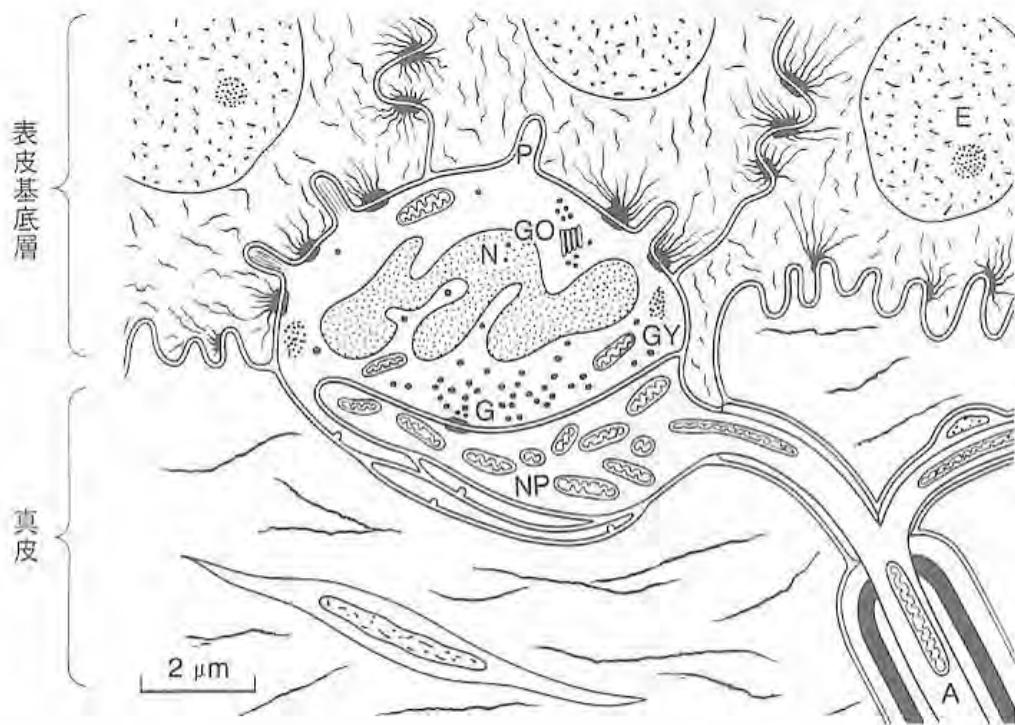
図 2-3-1 メルケル細胞の構造 (Iggo & Muir, 1969)

A: 神経軸索の有髓部分, NP: 神経の終末、盤状となり、メルケル細胞に接している。メルケル細胞は核(N), 賴粒胞(G), グリコゲン(GY), ゴルジ装置(GO)などを含む。細胞の突起(P)が表皮基底層に突入している。

16

# カプセルあるいは受容細胞構造の明確なもの

## メルケル細胞の構造



17

# カプセルあるいは受容細胞構造の明確なもの

## マイスナー小体の構造



図 2-3-2 マイスナー小体の構造 [Andres & Düring, 1973]

黒い矢印：コラーゲン線維により神経細胞が表皮と結合する方向を示す。白い矢印：小体の下半分の動きの方向を示す。ax：軸索(有棘)、ra：受器器内細胞(無棘)、SC：シュワン細胞、pn：神経周囲細胞、cp：毛細血管

18

## カプセルあるいは受容細胞構造の明確なもの

### パチニ小体の構造

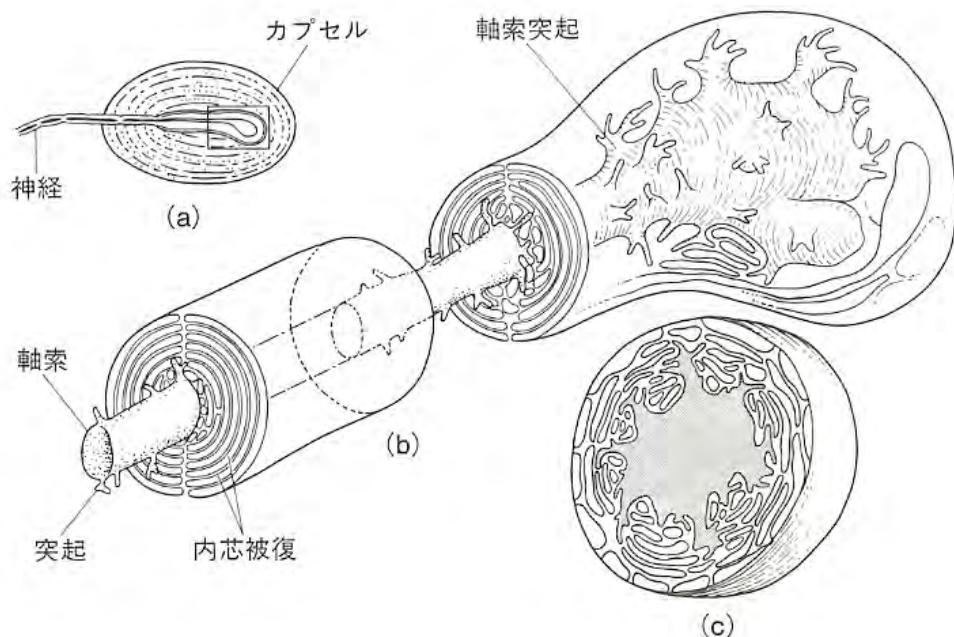


図 2・3・4 パチニ小体の構造 (Spencer & Schaumburg, 1973)

(a) 全体図 (b) a 図において、四角で囲った部分を拡大したもの  
(c) b 図の終末部の断面

19

## カプセルあるいは受容細胞構造の明確なもの

### ルフィニ終末の構造



図 2・3・3 ルフィニ終末の構造 (Chambers,

Andres, During, & Iggo, 1972)

全長約 0.5mm のルフィニ終末の約 2/3 を示す。

AX: 神經點素、これより先で無髓となり分枝する。KF: コラゲン線維、IC: 内芯、CS: 総合組織間隙、C: カプセル

20

# 自由神経終末

- 自由神経終末の特徴
  - 主に温度覚・痛覚を伝える
  - 受容器としての特別な構造をもたない

cf. 体毛は自由終末に似た神経が毛に絡みついた  
触覚受容器



21

## 毛包受容器の構造

- 櫛状構造
- 1本の毛に分布する終末の数は、毛の太さに比例

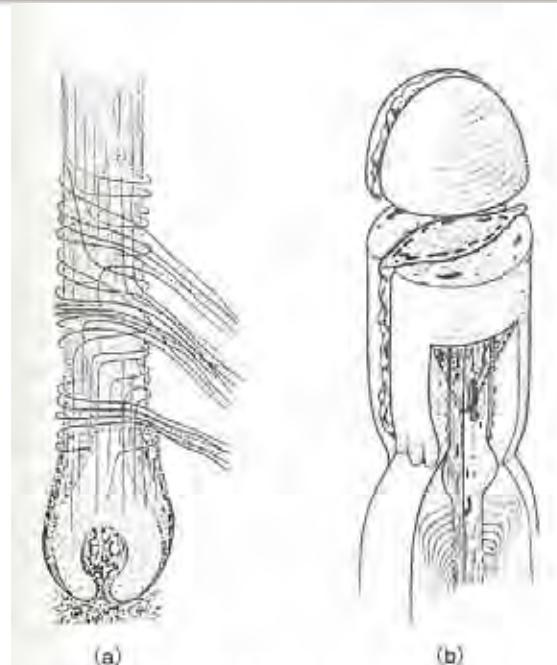


図 2・3・5 毛包受容器の構造 (Munger, 1971)  
(a)感覚毛の神経支配。多数の神経線維が毛幹に沿って上、下行している。  
(b)1本の神經終末の構造。終末は無髓、扁平な形となり、シュワン細胞に挟まれている。終末の長軸方向が毛幹に接する。

22

## 順応による分類

### 機械刺激に対する神経応答の順応の速さによる分類

1. 速い (rapidly adapting : RA)
2. 遅い (slowly adapting : SA)

### 機能的分類

- 振動（加速度）検出型（acceleration detector）、触（速度）検出型（velocity detector）、圧（position detector）に対応
- 侵害受容器には順応しない
  1. 非常に速い (very rapid)
  2. 速い (rapid)
  3. 遅い (slow)

23

## 2つの脊髄伝導路

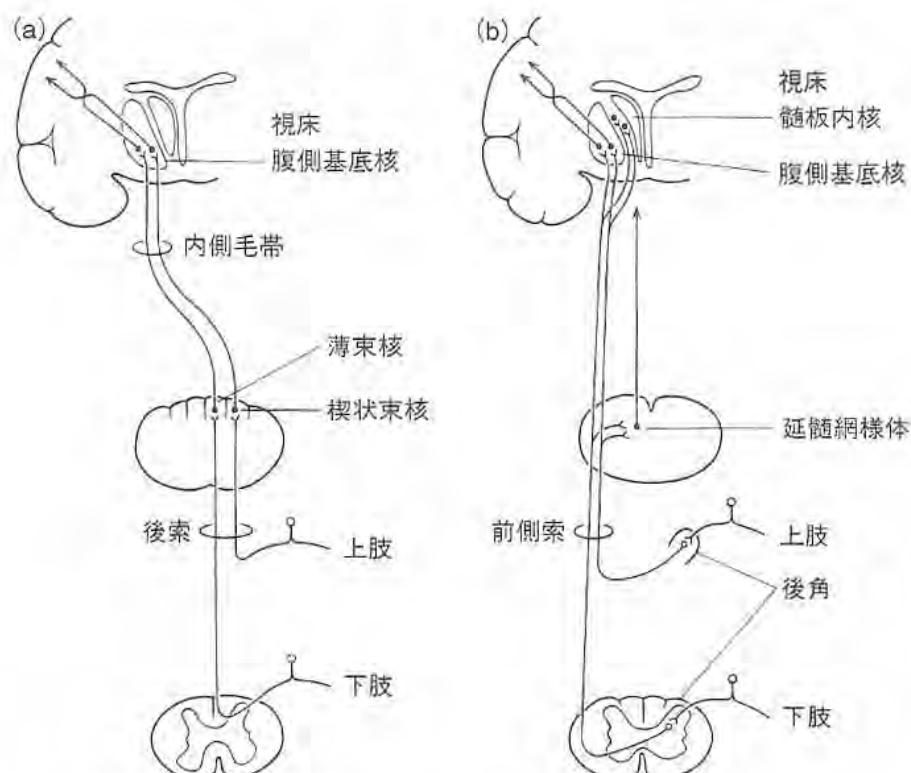


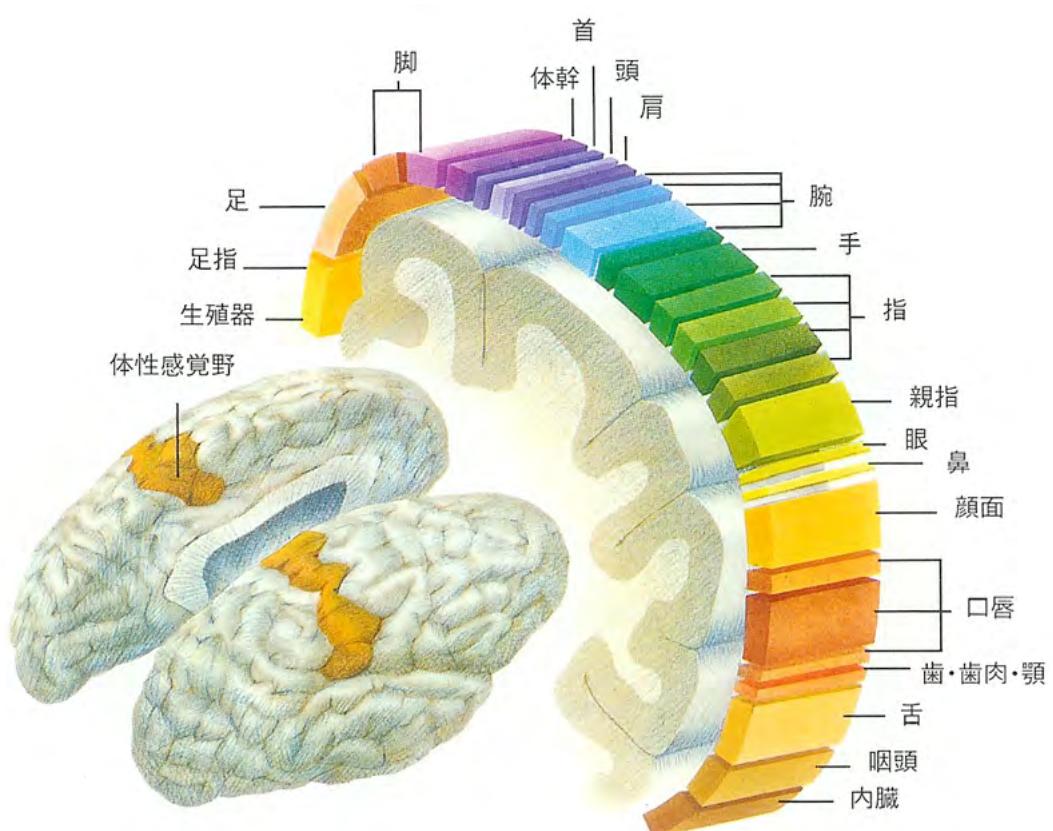
図 2・8・1 脊髄伝導路

(a) 後索-内側毛帯 (b) 脊髄視床路および脊髄網様体路 (前側索)

24

## 触覚と脳

### 触覚地図



# ホムンクルス



- 身体各部の表面に割り当てられる脳の体性  
感覚野の広さの比率

27

触覚の特徴

# パターン知覚

表 9-1-1 2次元的パターンの触知覚モードとディスプレイ・モード (Loomis & Lederman, 1986 に加筆)

コントロールの有無	情報の種類	触知覚モード	ディスプレイ・モード	接触する身体部位
受動的モード 情報の拾いあげを自分でコントロールしない	皮膚感覚情報	静的対象の接触による知覚	静止モード 走査モード スリット走査モード 部分モード 筆頭モード ラングムモード 仮想運動モード	指、手掌、腹部、背中 指、手掌、腹部、背中 指、手掌、腹部、背中 指、手掌、腹部、背中 指、手掌、腹部、背中 指、手掌、腹部、背中 指、手掌、腹部、背中
		動的対象の接触による知覚	走査モード スリット走査モード	指、手掌、腹部、背中 指、手掌、腹部、背中
		求心性の筋肉運動感覚	受動的筋肉運動感覚による知覚	指、手掌、腹部、背中
		皮膚感覚情報 + 求心性の筋肉運動感覚		
	能動的モード 情報の拾いあげを自分でコントロールする	求心性の筋肉運動感覚 + 遠心性のコピー(指令)	能動的筋肉運動感覚による知覚	指、手掌
		皮膚感覚情報 + 求心性の筋肉運動感覚 + 遠心性のコピー(指令)	能動的触運動知覚	

29

## 受動触 (passive touch) と能動触 (active touch)

- J. J. Gibson(1962,1966)
- 受動触 (passive touch)
  - 身体の動きがない人に環境内の事象が接触したときの印象
  - 皮膚の受容器の興奮のみに依存
- 能動触 (active touch)
  - 自分で外界を探索し、その感覚印象がフィードバックされるもの
  - 効果器の活動が対象を触る過程で生じるもの

30

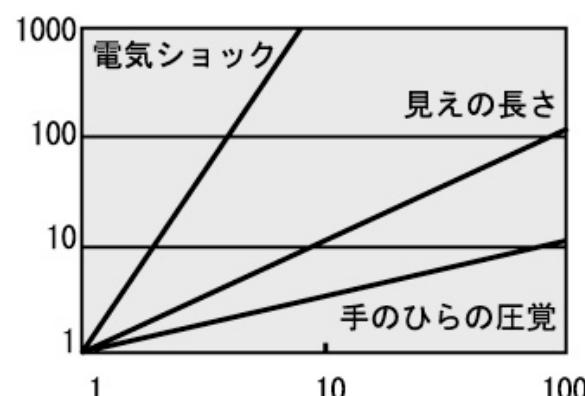
# 触覚的知覚 (tactual perception) の種類

- 触知覚 (tactile perception)
  - 皮膚に与えられる機械的刺激によって得られる知覚
- 運動感覚による知覚 (kinesthetic perception)
  - 自己の身体の一部を動かすことによって得られる知覚
- 触運動知覚 (haptic perception)
  - 皮膚感覚と運動感覚とが共に働くことによって得られる知覚

31

## 感覚の大きさと受容器の興奮

- 皮膚の触刺激を大きくすると、感覚の大きさも増大する
  - べき関数
- 刺激と神経活動の関係には個人差はない
  - 刺激と感覚の個人差は大きい



## 刺激閾

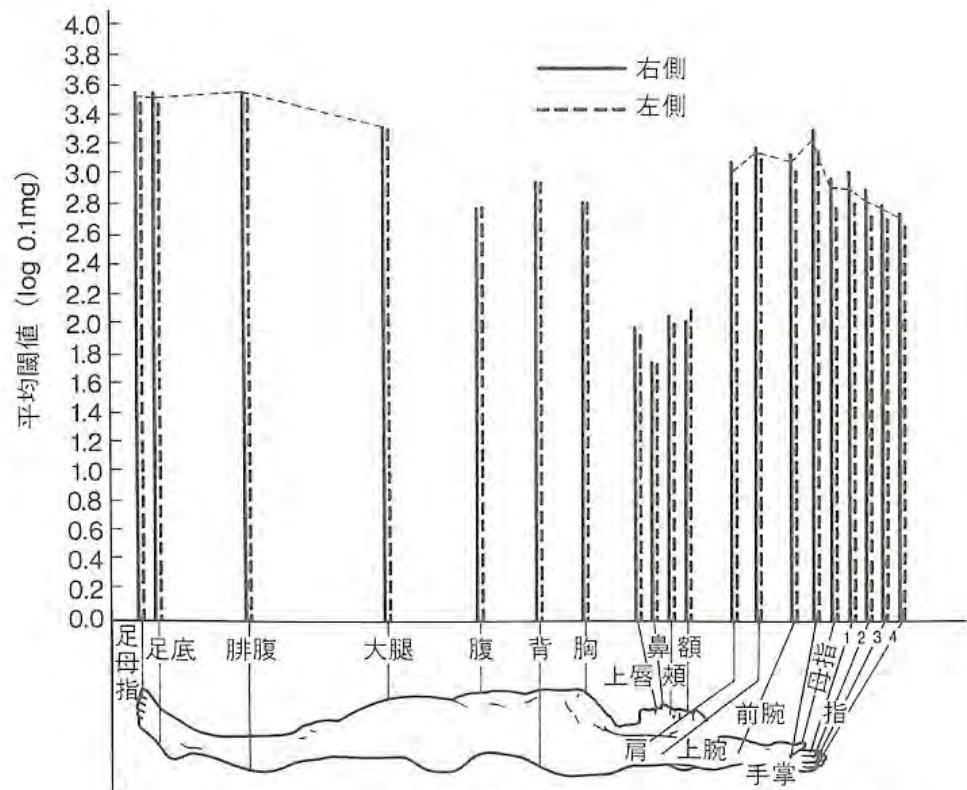


図 5・1・1 身体各部における男子の圧覚閾 (Weinstein, 1968)

## 弁別閾

- 今世紀前半までの研究
  - ステップ状の圧刺激を皮膚に呈示したときの圧強度弁別閾におけるWeber比は、0.14-0.20とされている
  - Sherrick & Cholewiak, 1986
- 近年の研究
  - 2msのパルス刺激を呈示したところ、0.2-0.35程度
  - Craig, 1972

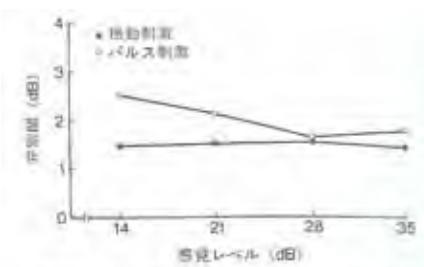


図 5・1・4 示指にパルス刺激または160Hzの機械的刺激を提示して測定された強度弁別閾 (Craig, 1972)

## 空間的分解能

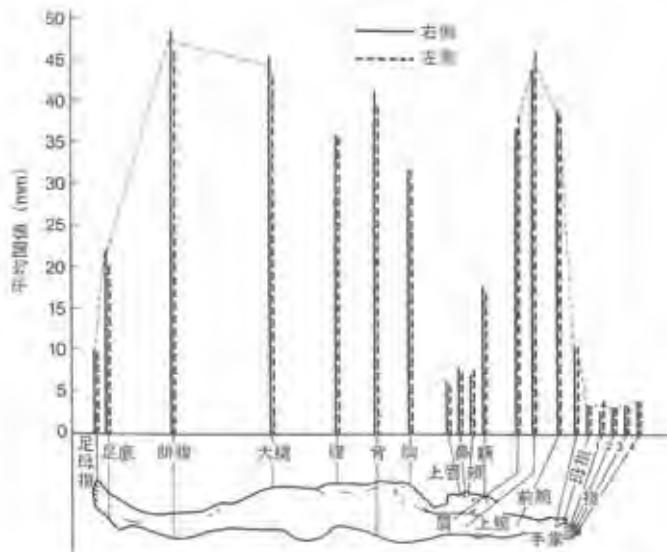
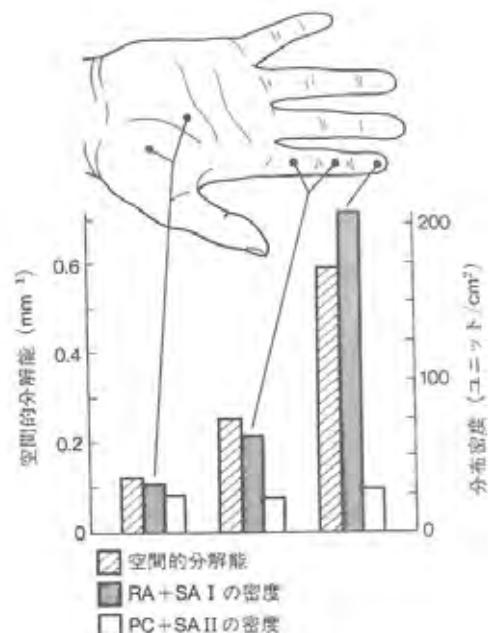


図 5・3・1 カリパスを用いて測定された男子の 2 点弁別閾 (Weinstein, 1968)

- 2点弁別閾より決定されている
- Weinstein(1968) : カリパス (calipers, 測径器) を用いて、身体の20箇所の2点弁別閾を測定

35

## 空間分解能 2



- Vallbo & Johansson (1984): 手における空間的分解能を測定
- 密度が高いと2つの刺激間に神経発射しない小受容野の存在する確率が増す

図 5・3・2 2 点弁別閾測定で求められた空間的分解能と機械受容単位密度の、3 か所(拇指、指の中・基節、手掌)における比較。図中の分解能は 2 点弁別閾値の逆数である。RA + SA I の密度の增加とともに分解能があがることに注意。(Vallbo & Johansson, 1984)

36

# 空間的分解能と受容器の密度

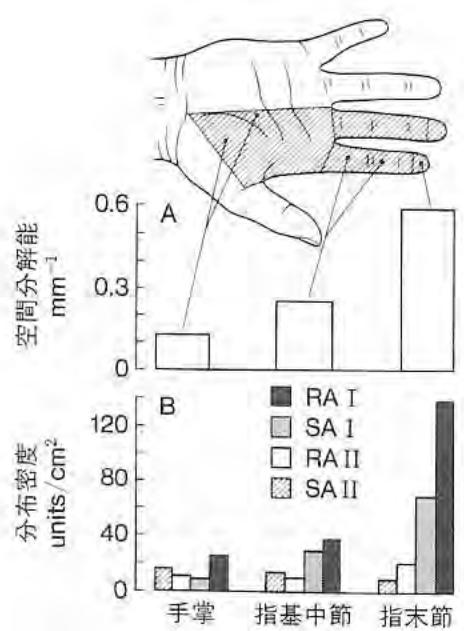


図 2.4.4 空間分解能と受容器密度の相関  
(Johansson & Vallbo, 1983)

- 指先の空間的分解能  
→ 手掌部の約5倍

- ただし . . .
  - 指の中節・基節では空間的分解能は悪い

RA I型・SA I型受容器の密度  
→ 指先  $140/\text{cm}^2 \cdot 70/\text{cm}^2$   
→ 手掌部  $25/\text{cm}^2 \cdot 10/\text{cm}^2$

37

# 温・冷感と温熱的快・不快感

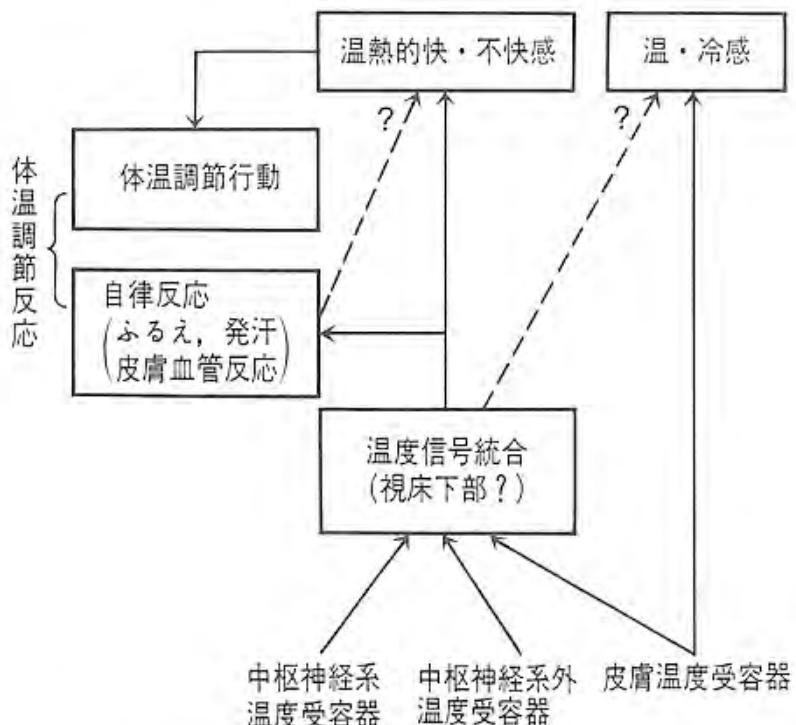


図 7.3.2 温・冷感と温熱的快・不快感

38

## 順応

- 皮膚は圧に対して順応しやすい
  - 例： 指輪や時計はすぐに装着感が失われてしまう
- Zigler (1932)
  - 圧の順応時間は刺激の重さに比例し、刺激面積に逆比例する
- Boring (1942)
  - 順応時間は、50mgの重りで手を刺激すると 2.4sec、2000mgで9.5sec

39

## 奥行き知覚

- White et al. (1970)
  - 振動ディスプレイ上に呈示
  - 傾斜の知覚や「きめ」の密度勾配の効果が有効
  - 仰角 (elevation) も有効

40

## 奥行き知覚

- 振動ディスプレイ（触覚ディスプレイ）



41

## 加齢効果

- 加齢により低下する
- 閾値の変化は約20歳から発生
- パチニ小体の層状構造部分が加齢とともに成長し、フィルタ特性が変化すること
- 加齢と共にパチニ小体が減少すること

42

# 性差

- Weinstein (1968)
  - 圧覚閾に関する性差を検討
    - 性差は鼻以外の部位に発生
    - 男性 > 女性
    - 特に体幹、四肢に大きな男女差
  - 2点弁別閾
    - 男性 > 女性
    - 胸、肩のみに優位差が見られる
  - 刺激点定位
    - 性差なし

43

## 触覚の錯覚

# 幻肢

- 幻肢 (phantom limb)
  - 切断によりないはずの身体の部分をあると感じる体験
  - 四肢切断後95%以上の症例で出現
  - 幻肢は誘発されることもある
    - 例) 下肢を膝から無くした人で、大腿部が刺激されると足が存在するように感じる
    - 例) 乳房を切除した癌患者が、耳たぶを触られると乳首があるように感じる
  - 体性感覚野で隣り合った部分が影響している
  - 幻肢は視覚でコントロール可能

45

# 関節位置の錯覚

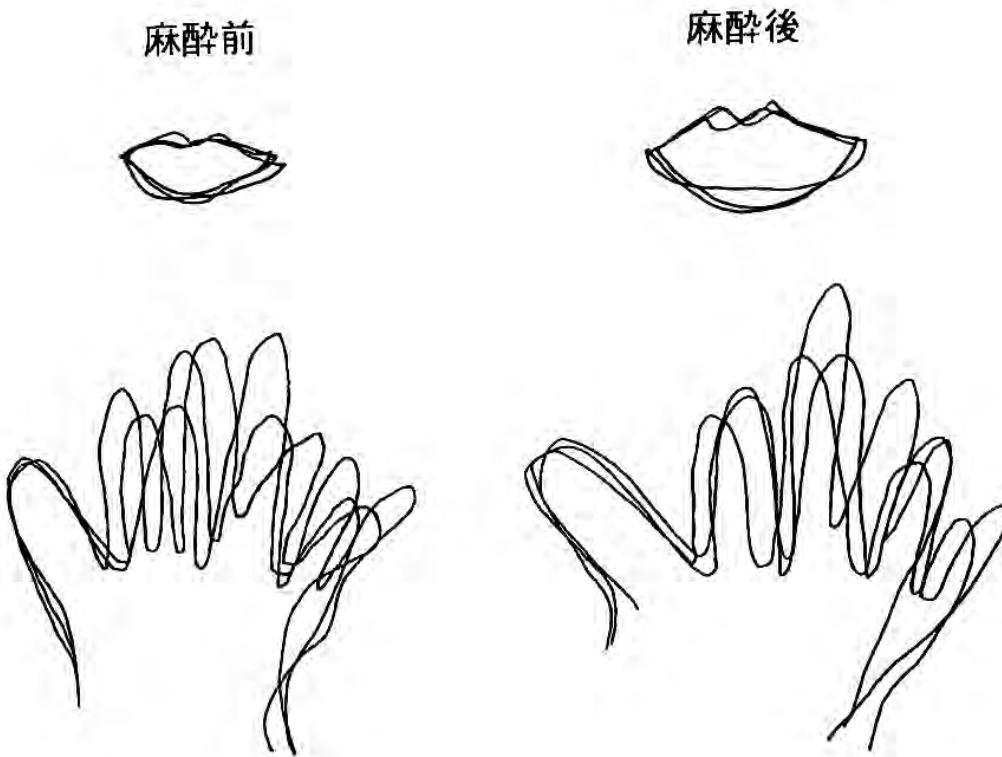
- 振動刺激により誘発される姿勢の変容体験

実際の姿勢	体験された姿勢

46

# 身体部位の錯覚

- 麻酔による身体部位の主観的なサイズ変化



47

## ファントム・センセイション (Phantom sensation)

- ファントム・センセイション  
(*Phantom sensation*) とは

- ある距離を隔てて皮膚上に置かれた2つの振動刺激素子によって同時あるいは極端に短い時間間隔でほぼ等強度に刺激されると、2刺激は個別には感じられずに、2刺激の中間地点に1つの触振動感覚として知覚される現象

48

# 跳躍現象(cutaneous saltation)

- 跳躍現象 (cutaneous saltation) とは
  - 機械的あるいは電気的刺激パルスを皮膚に与えたとき、第2の触刺激パルスが時間的にも空間的にも接近して与えられると、第1刺激の触感覚位置が第2刺激の方向へ変位して感じられる現象

49

触覚に関するモデル

## 特異感受性説

- Von Frey (1894)
  - 皮膚感覚の4種類の質
    - 温受容器 : 温刺激に特異的に応答
    - 冷受容器 : 冷刺激に特異的に応答
    - 触受容器 : 触刺激に特異的に応答
    - 痛受容器 : 痛刺激に特異的に応答

51

## パターン説

- Nafe (1934), Weddell & Miller (1962)
  - 受容器の刺激に対する選択的活動を否定
- Iggo (1982)
  - Nafeらを否定。
  - 皮膚に分布する種類の異なる受容器は、1種類の刺激に対してのみ反応するのではなく、特定の刺激にのみ強く反応し、他の刺激に対する反応は小さい

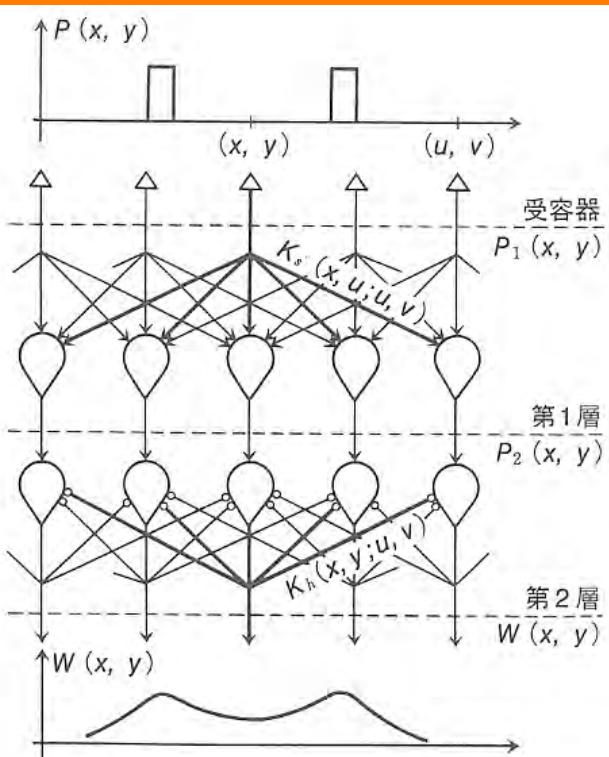
52

# 触覚系のモデル

- 線形モデル
  - ブラック・ボックスを用いた考え方
  - フーリエ変換を用いて入力-出力の関係を記述
- 非線形モデル
  - ブラック・ボックスを生理学的知見から、いくつかに分割して記述

53

## 非線形モデル



- 第1層：側加算 (lateral summation)
- 第2層：側抑制 (lateral inhibition)

図 3・3・1 ニューロンに側加算と側抑制効果を考慮した2点触刺激と感覚分布の関係を示す模式図 (Chorzempa, 1980)

54