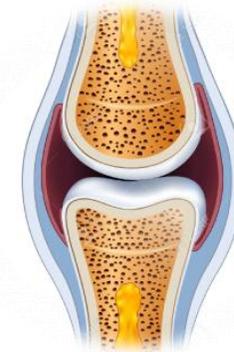
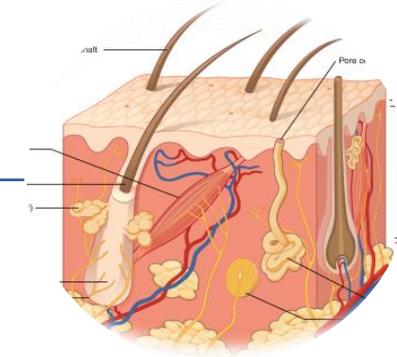


感覚システム sensory system

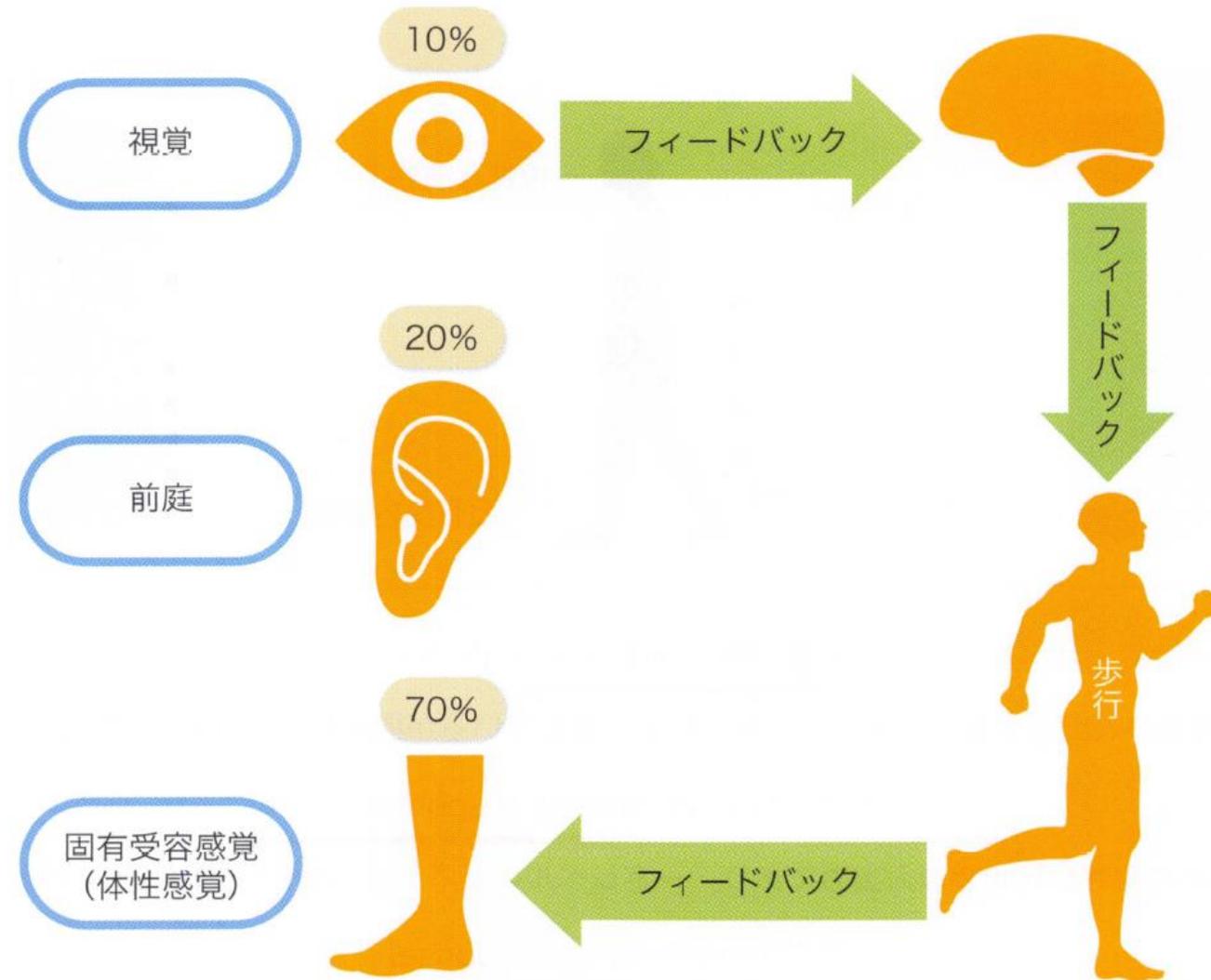
体性感覚 = 身体の知覚

- ✓ 体性感覚に関与する末梢受容器(皮膚・関節・筋)からの感覚情報に基づいてヒトは身体を知覚する.
- ✓ 運動において体性感覚が占める役割は大きい



体性感覚の重要性

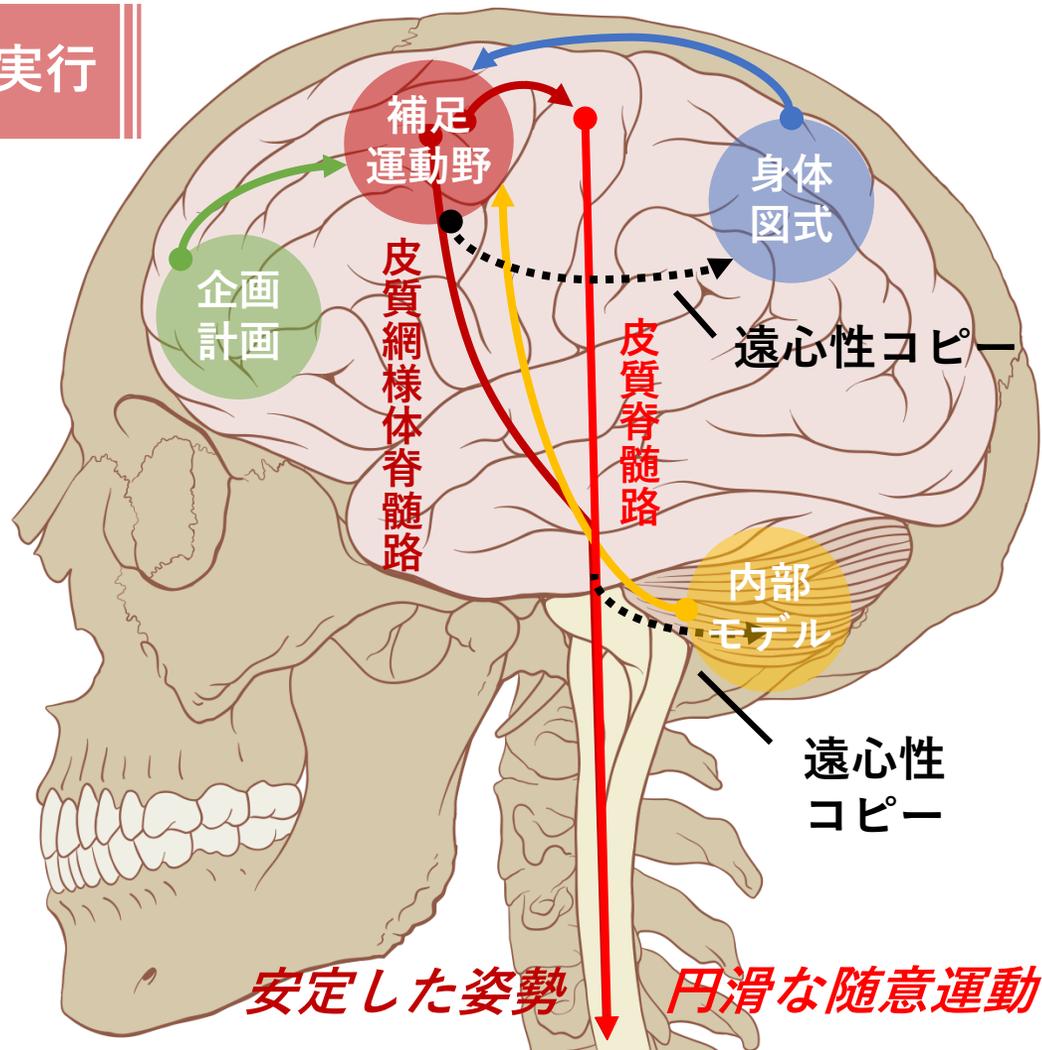
- ✓ しっかりとした支持基盤のある明るい環境では、健常者は70%を体性感覚情報に依存している。



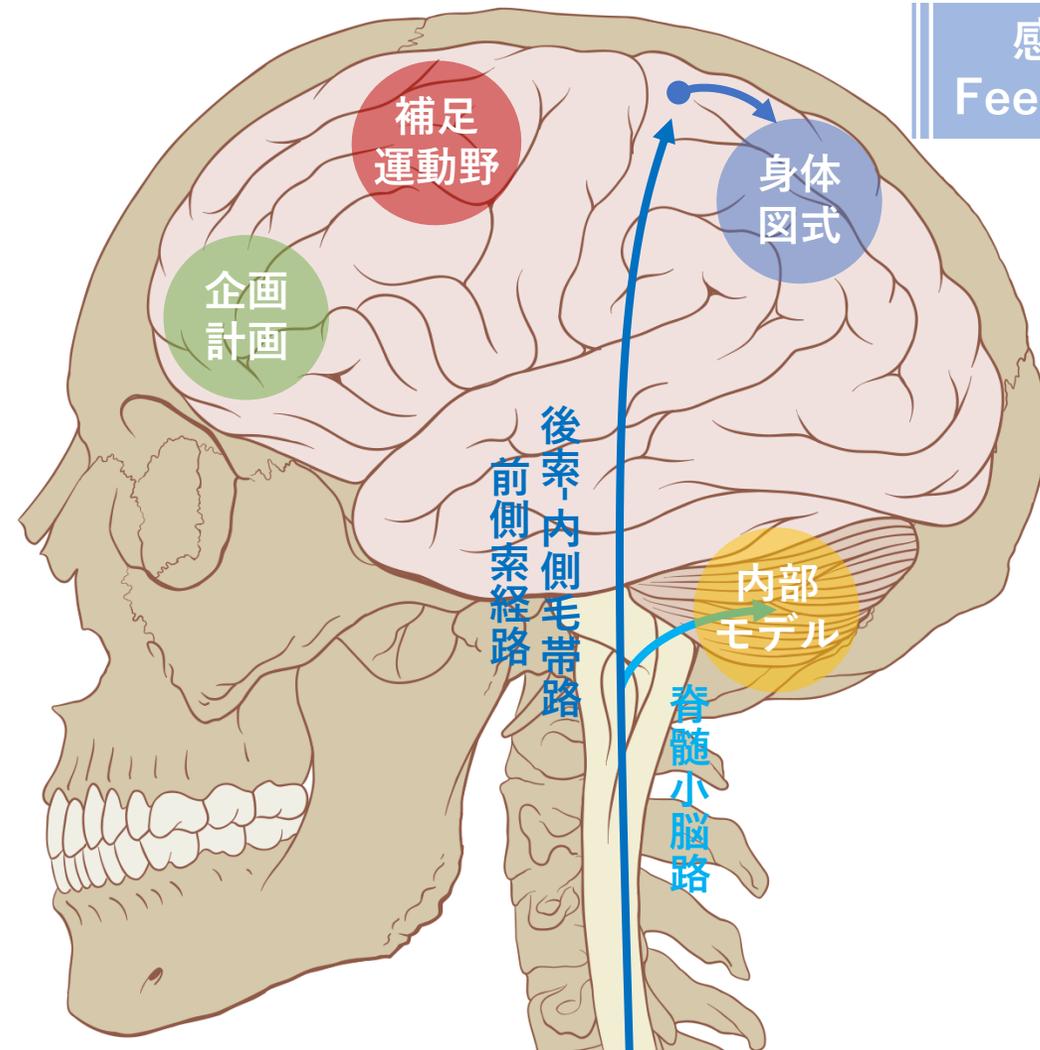
体性感覚の役割

- ✓ ①体性感覚に基づいて, 運動を計画する. (今のカラダの位置が分かるから, どこに動かせばよいかわかる)
- ✓ ②体性感覚に基づいて, 運動を修正する. (結果が返ってくるから, 次どうすればいいかわかる)

運動実行



感覚 Feedback



体性感覚を正しく知覚する

大事

触れたのは指先？

皮膚における
触覚位置

触覚の
大きさ

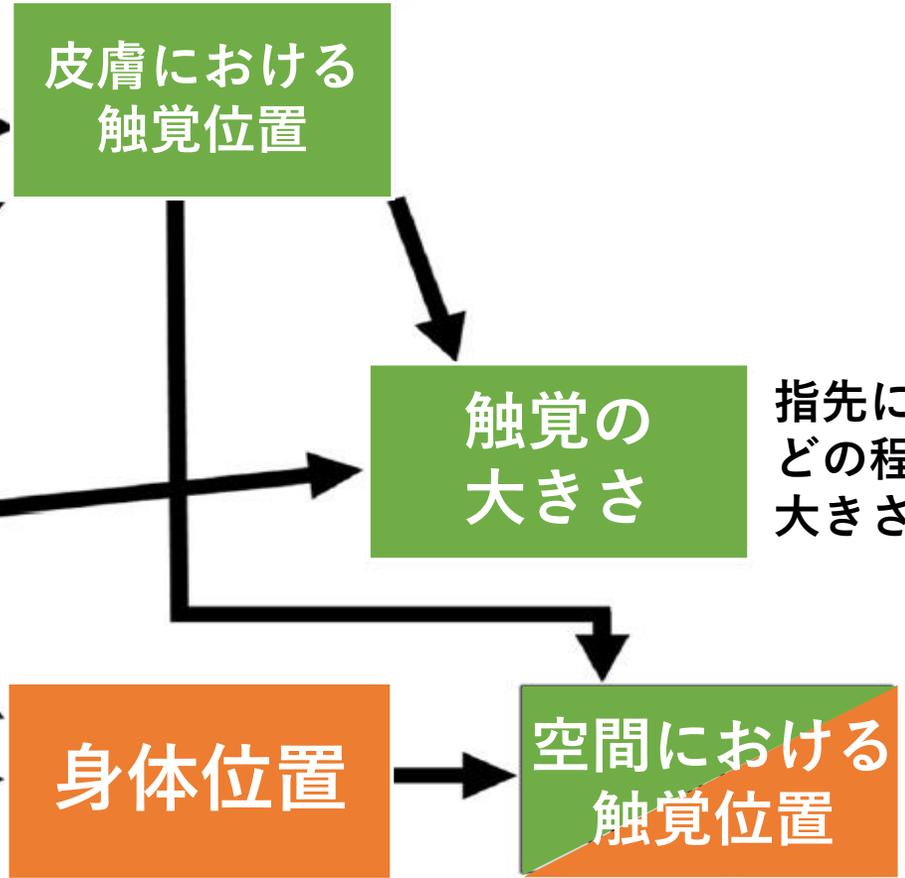
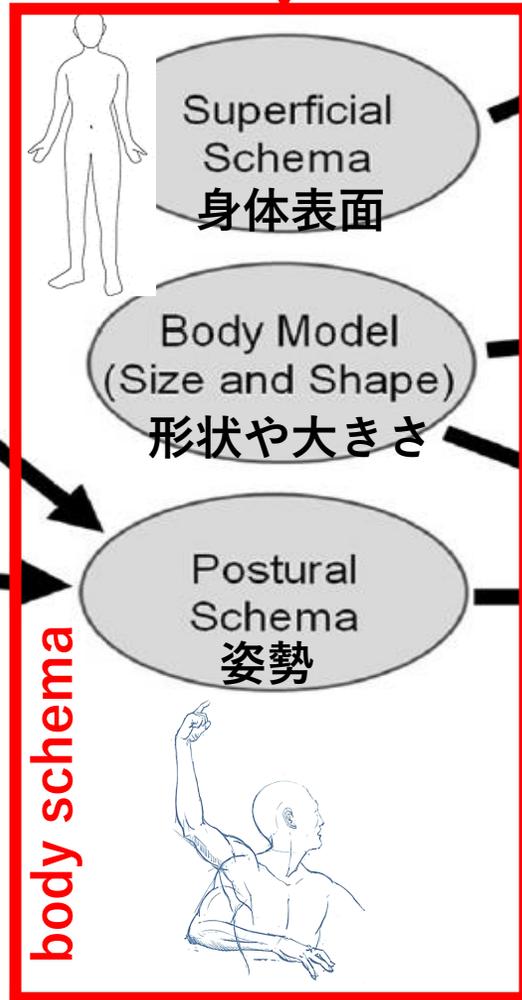
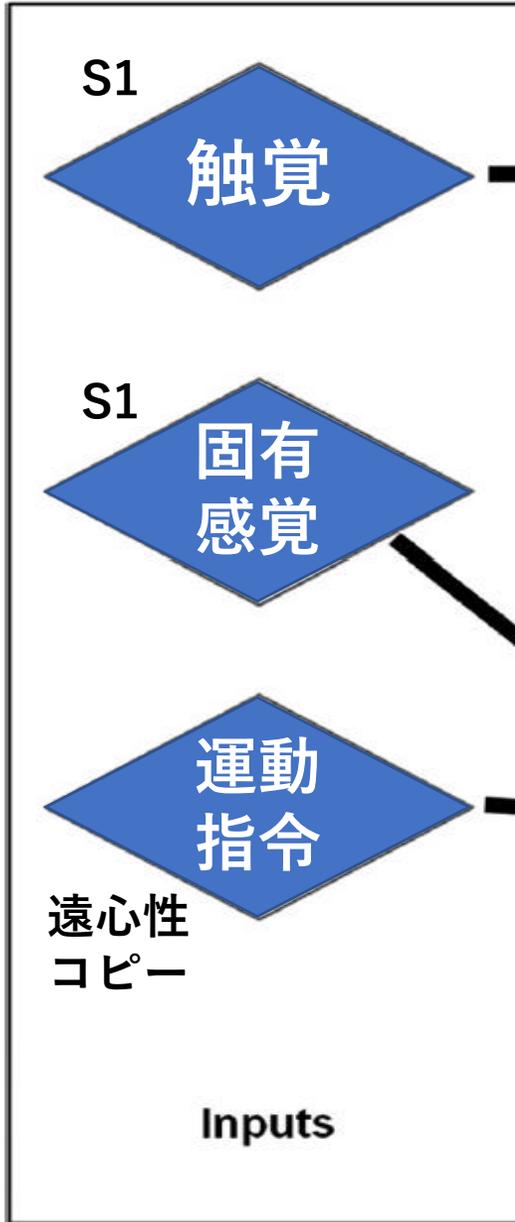
指先に対して
どの程度の
大きさ？

身体位置

腕はどこにある？

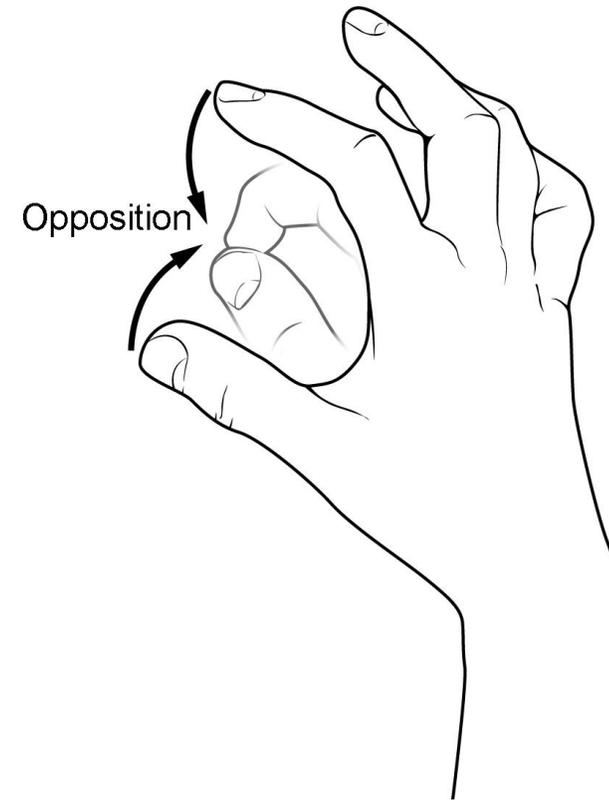
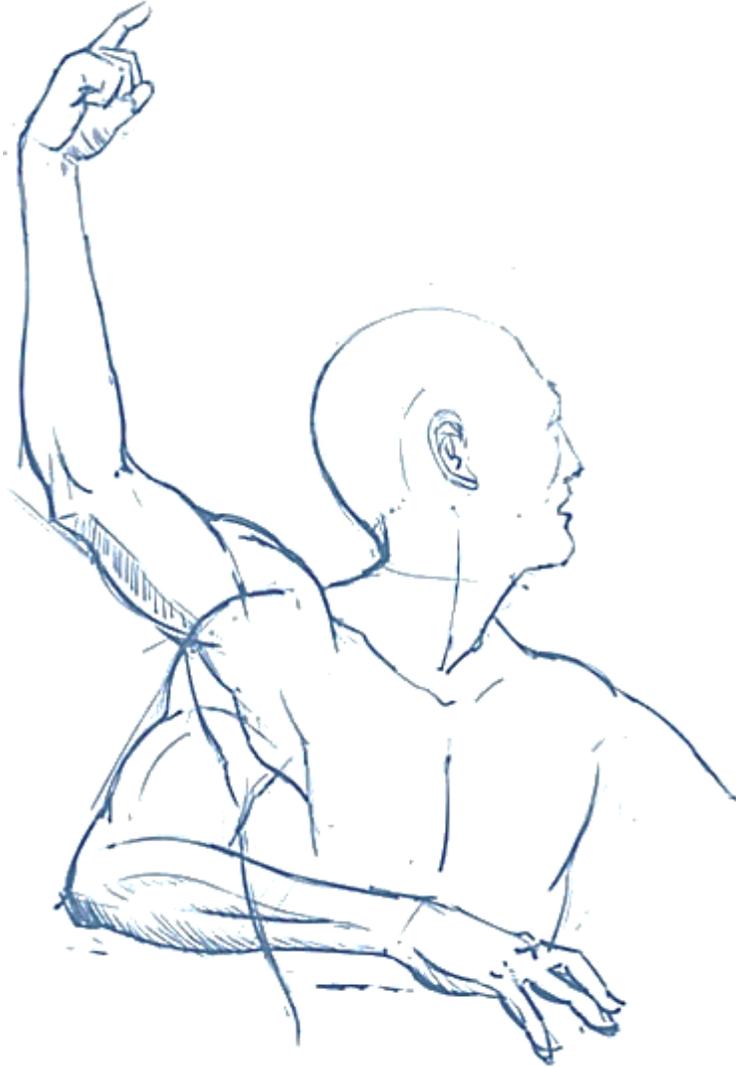
空間における
触覚位置

触れた対象は
空間のどの位置？



身体図式（特に*postural schema*）とは？

- ✓ それぞれの関節の「可動域の地図」が*postural schema*として保存されている。

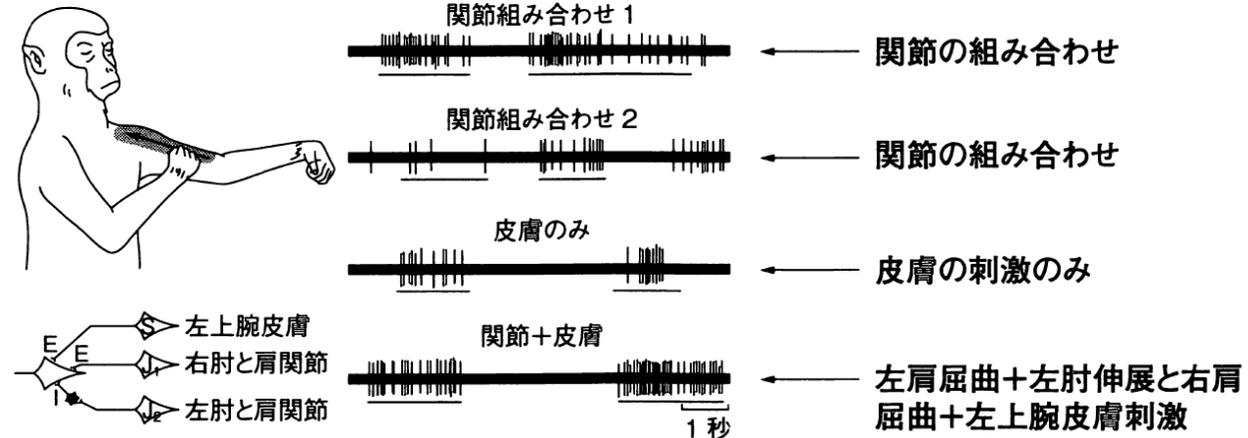
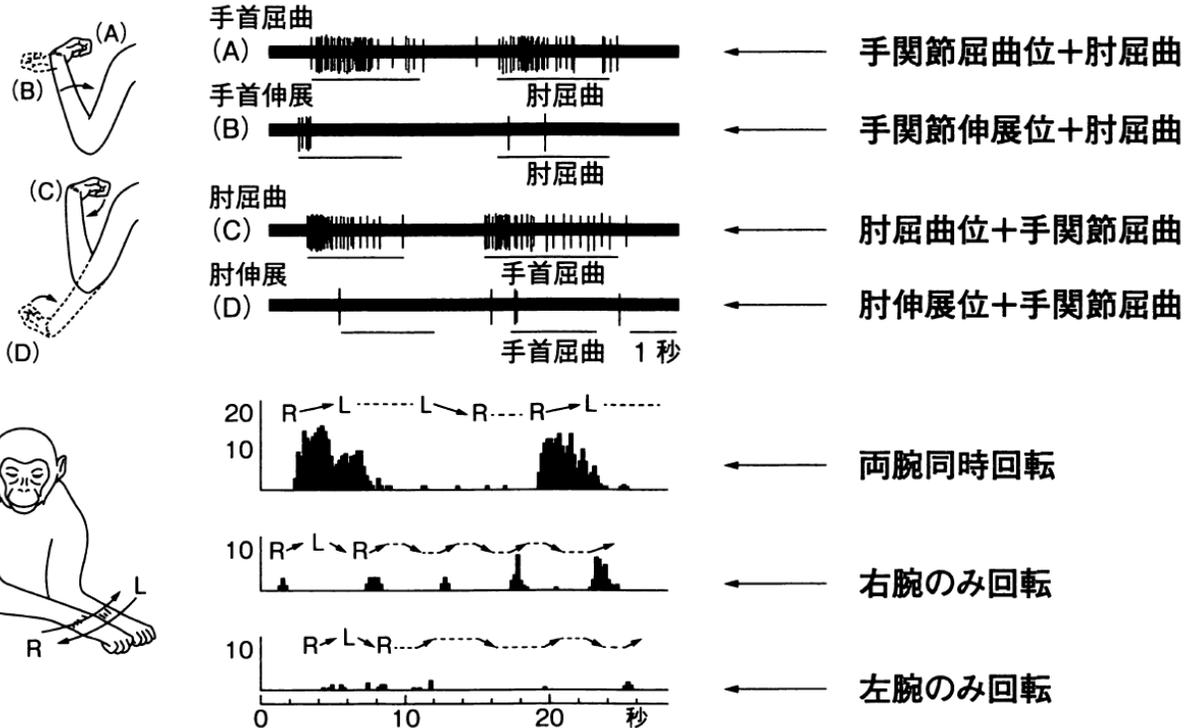


どう作られる？

- ✓ 上頭頂小葉(5野)には、**各関節の位置で特異的に反応するニューロン**が集まっているため、どの関節の位置でも「今自分の身体がどの位置にあるか」が分かる (≒ **body schema**)

関節組み合わせニューロン

皮膚・関節組み合わせニューロン

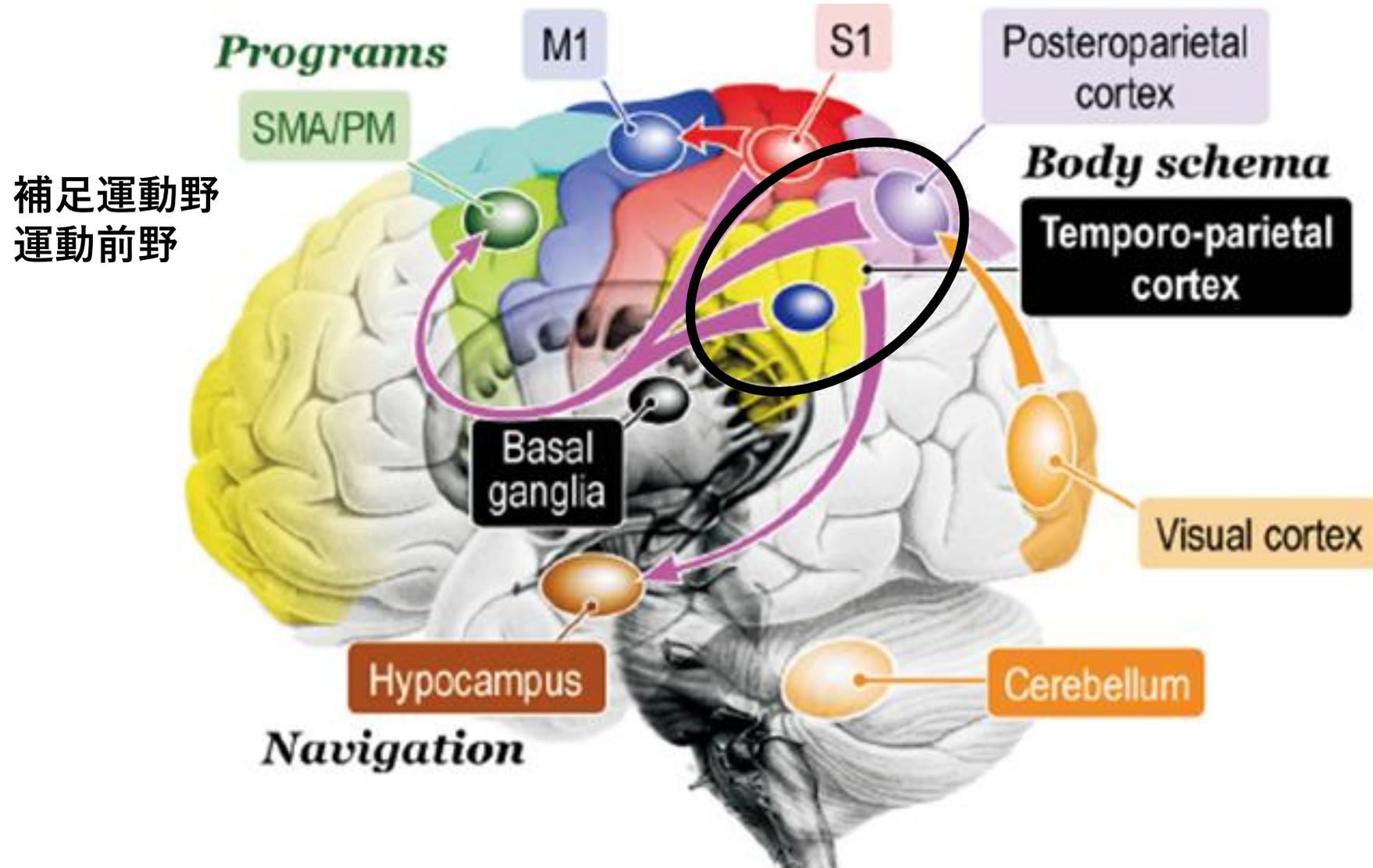


ある関節の組み合わせによって発火するニューロン

皮膚刺激と関節運動刺激の組み合わせによって発火するニューロン

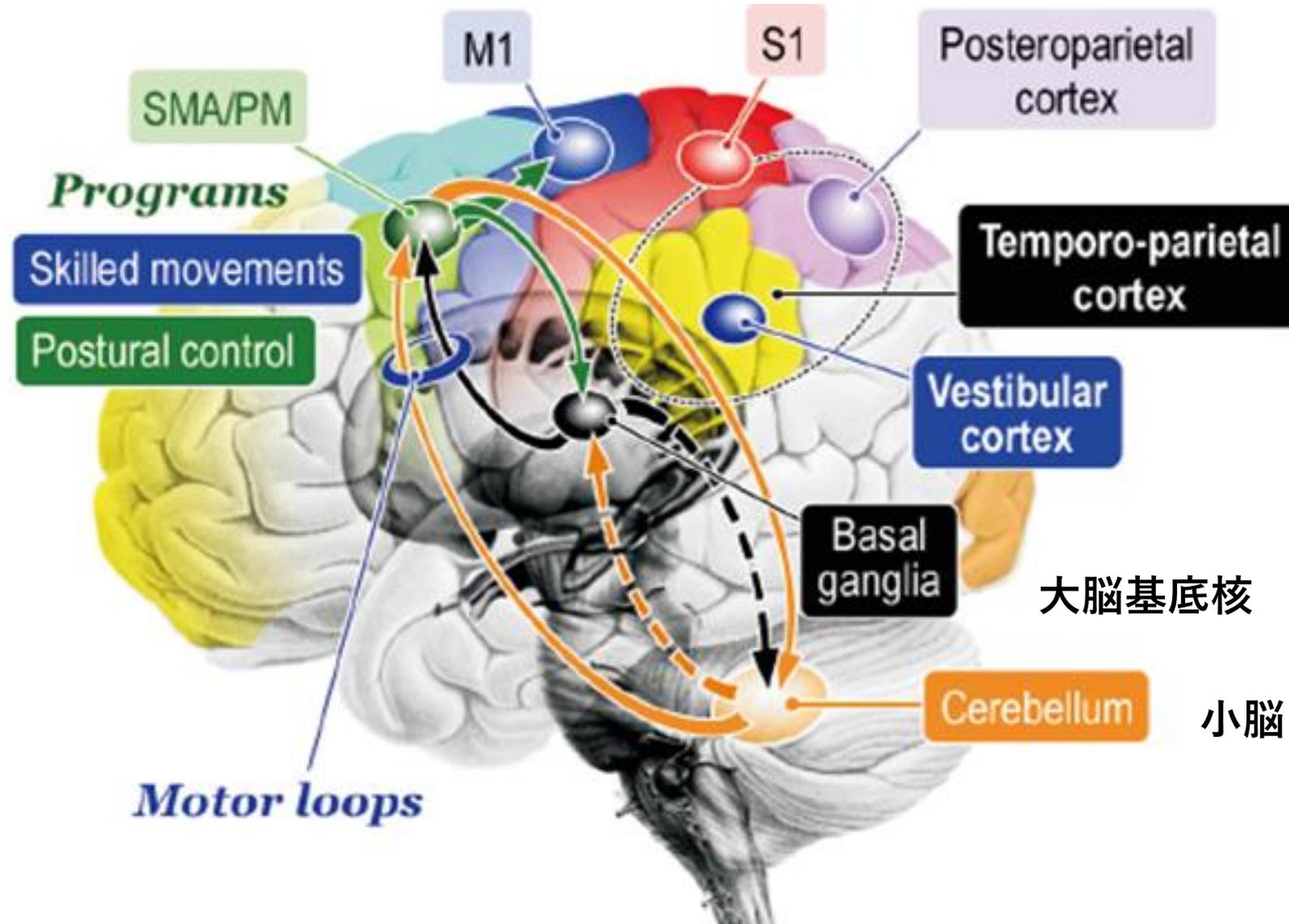
① 身体図式を利用して運動を生成

- ✓ 運動プログラムは補足運動野/運動前野にて計画されるが、これらは頭頂葉の**身体図式の情報**を基に生成される。



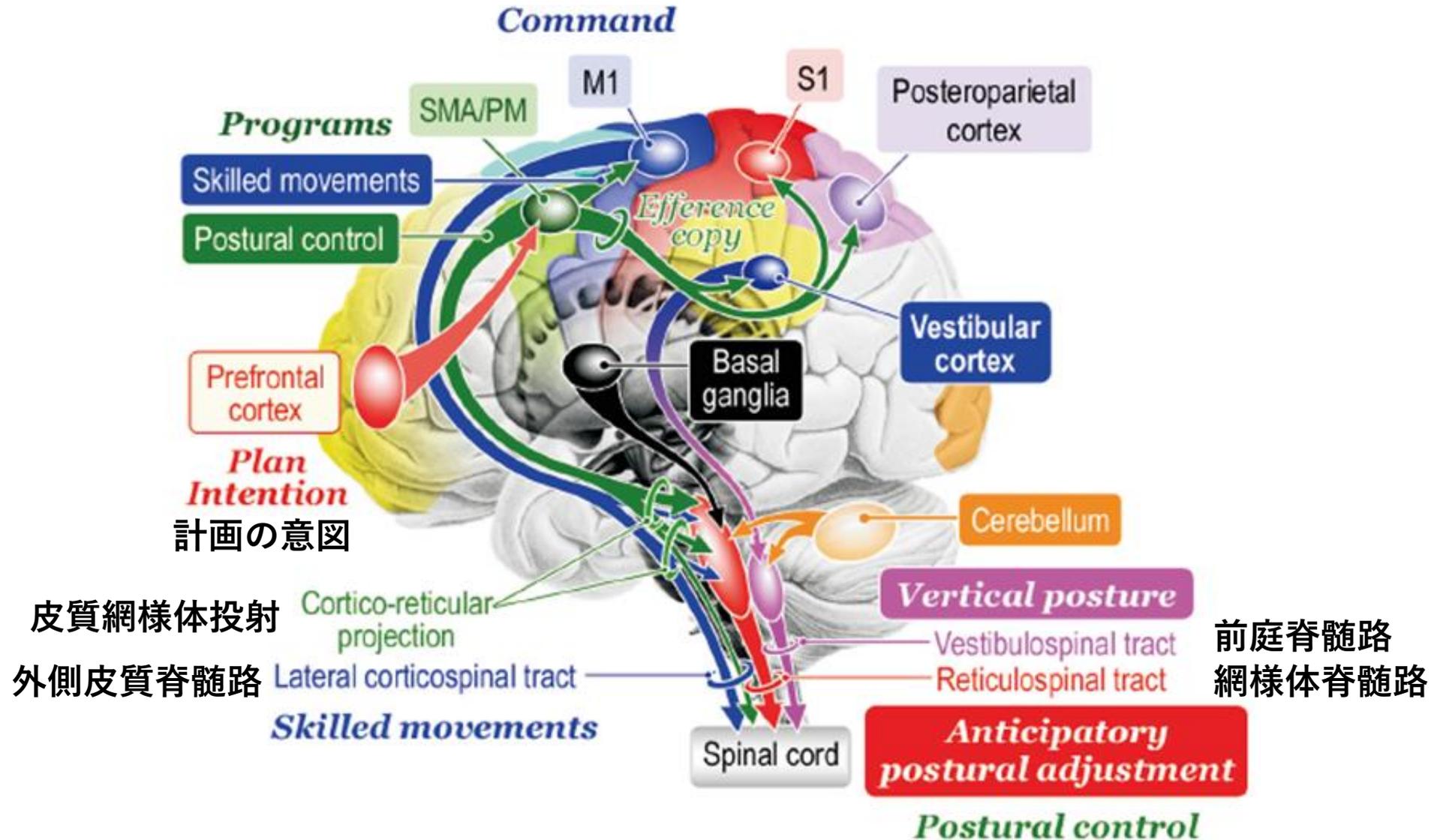
②プログラムを修正

- ✓ 小脳や大脳基底核によって、運動プログラムが修正される。



③運動の出力と遠心性コピー

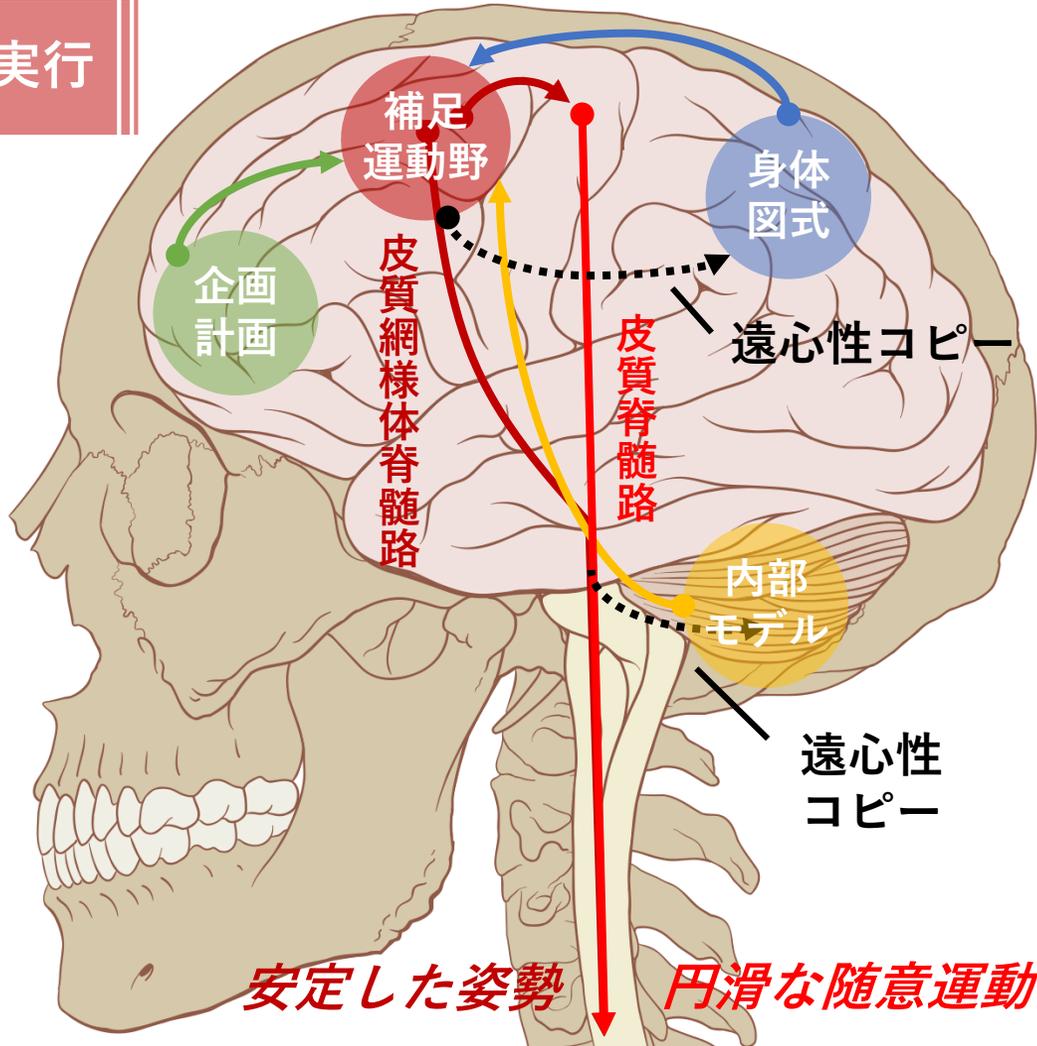
- ✓ 補足運動野/運動前野から皮質網様体路が出力され、網様体脊髄路によって姿勢が安定し、随意運動が生じる。
- ✓ 運動の情報は、遠心性コピーとして頭頂葉・小脳に伝達され身体図式/内部モデルの修正に利用される。



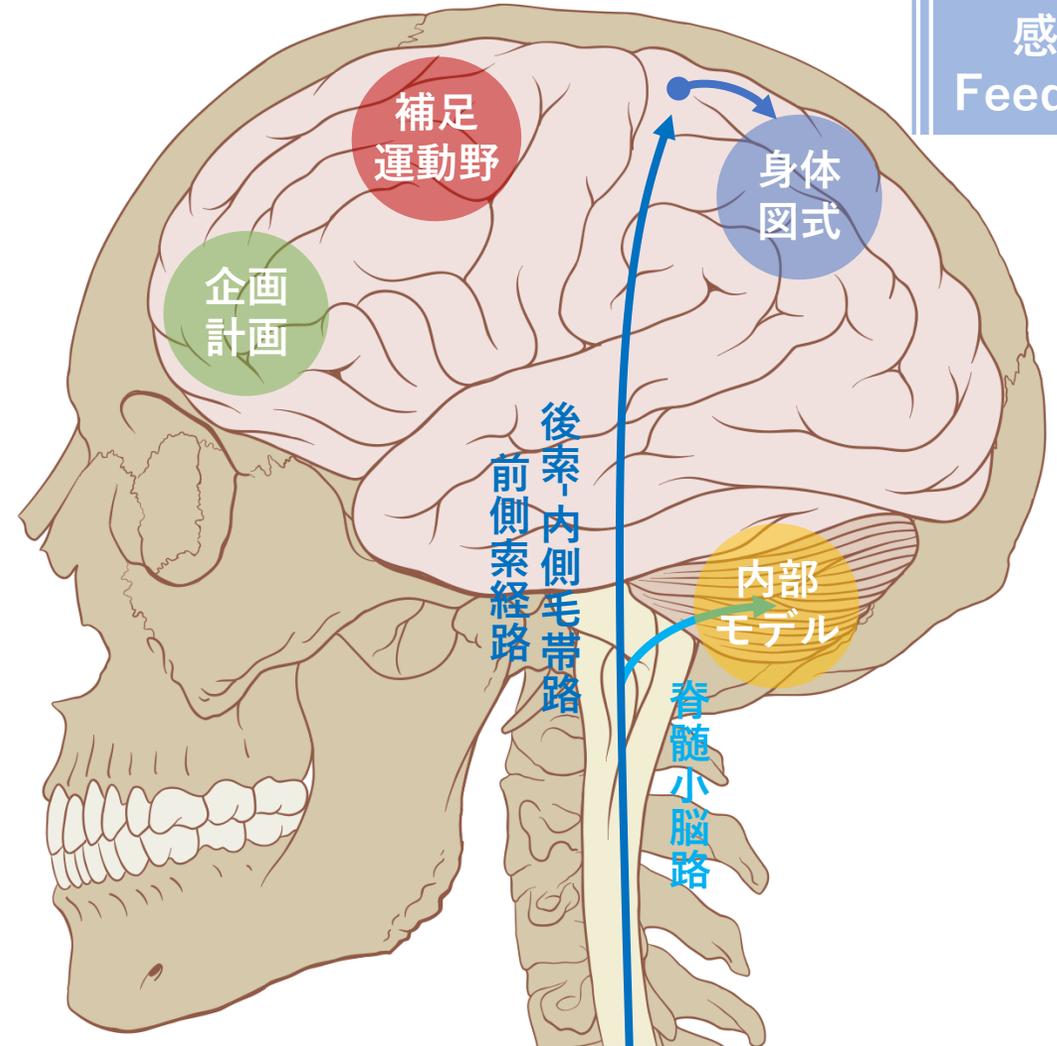
④運動を修正する

✓ フィードバックされた多感覚情報と既存の身体図式を照合しながらリアルタイムの運動に修正を加えていく。

運動実行

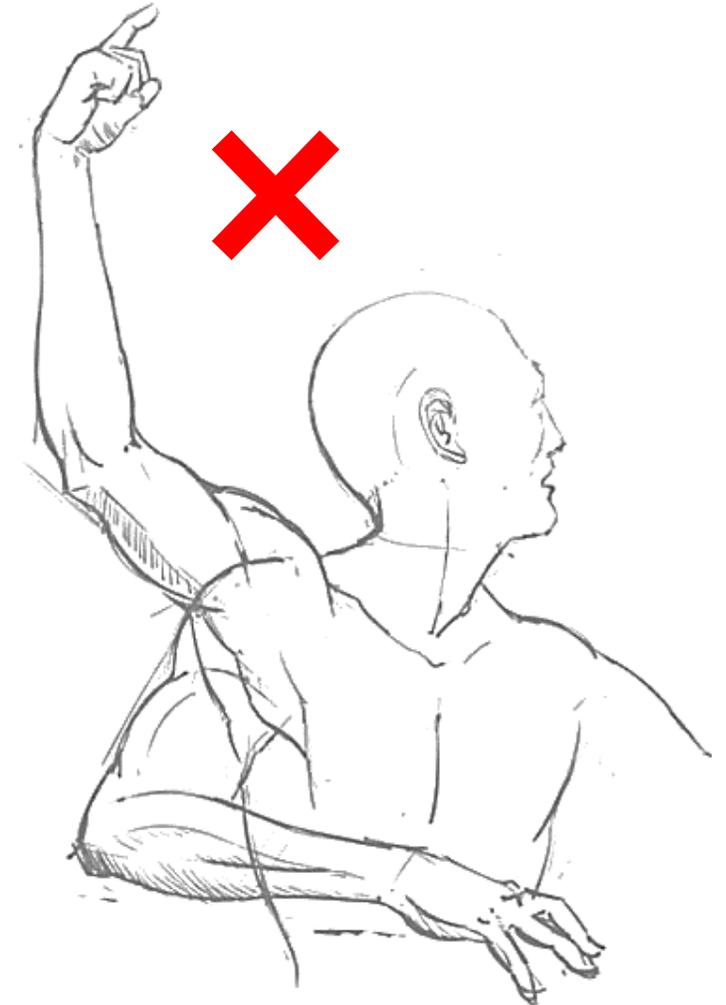
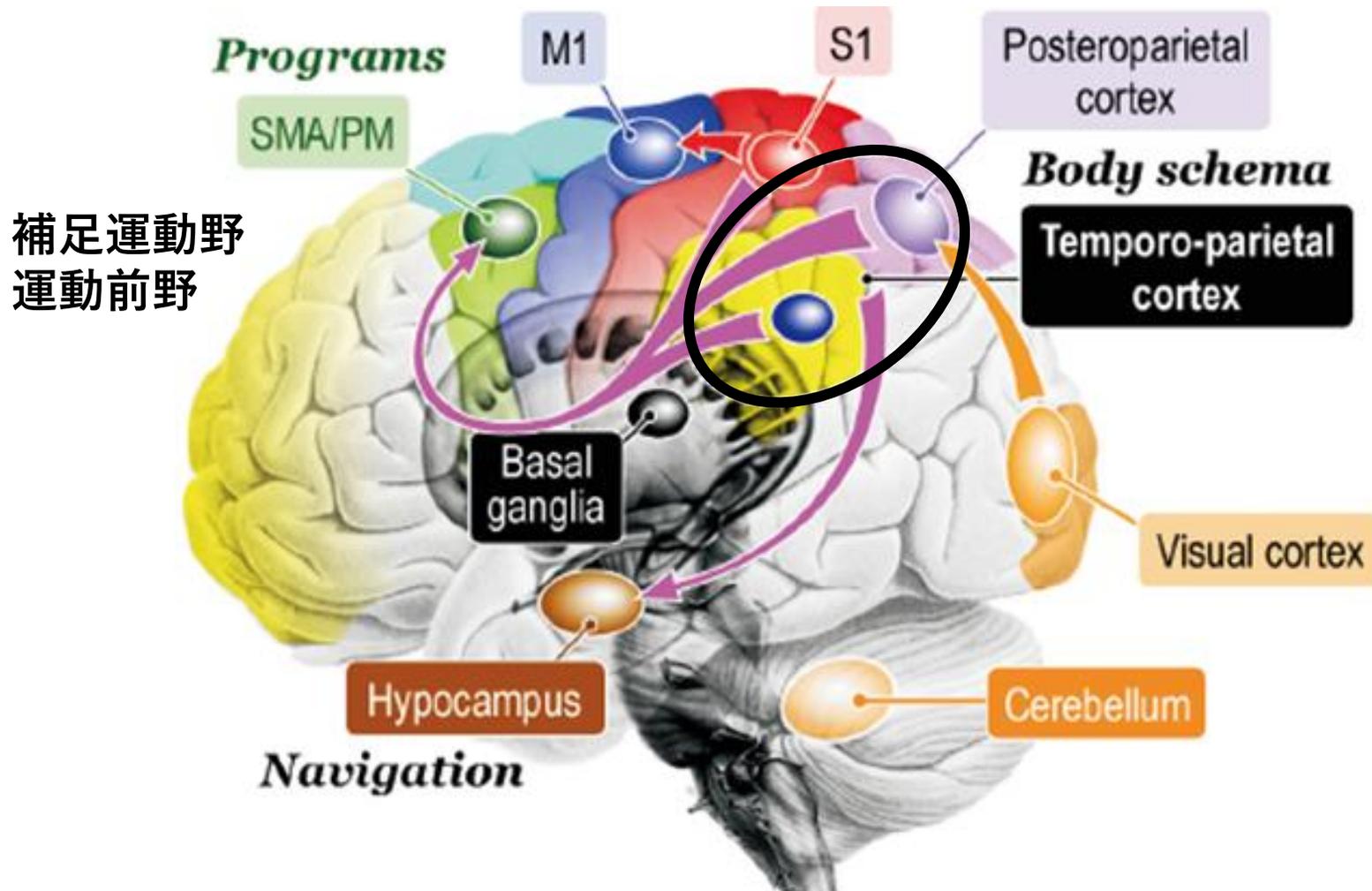


感覚 Feedback



身体図式を更新するには？

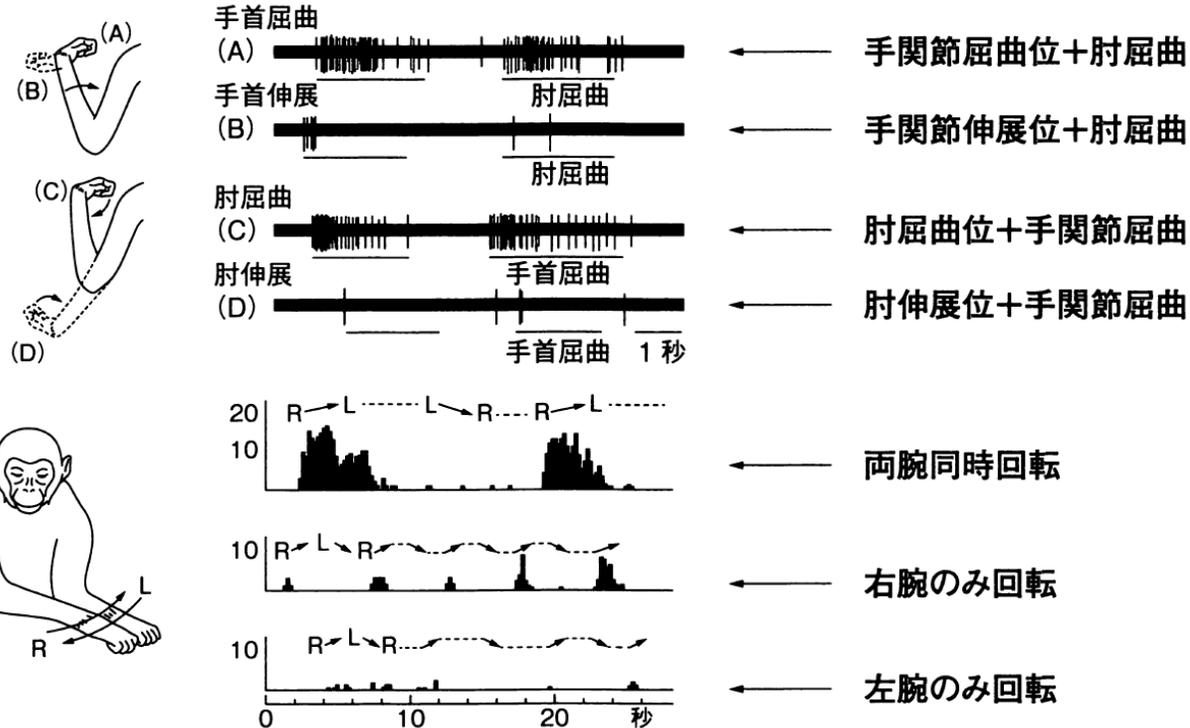
- ✓ 本人の得意なパターンでの運動はすでに定着した身体図式を利用しているが、その運動パターンを変えるには普段使われていない組み合わせニューロンを働かせる（≡苦手な位置での運動をする）必要がある。



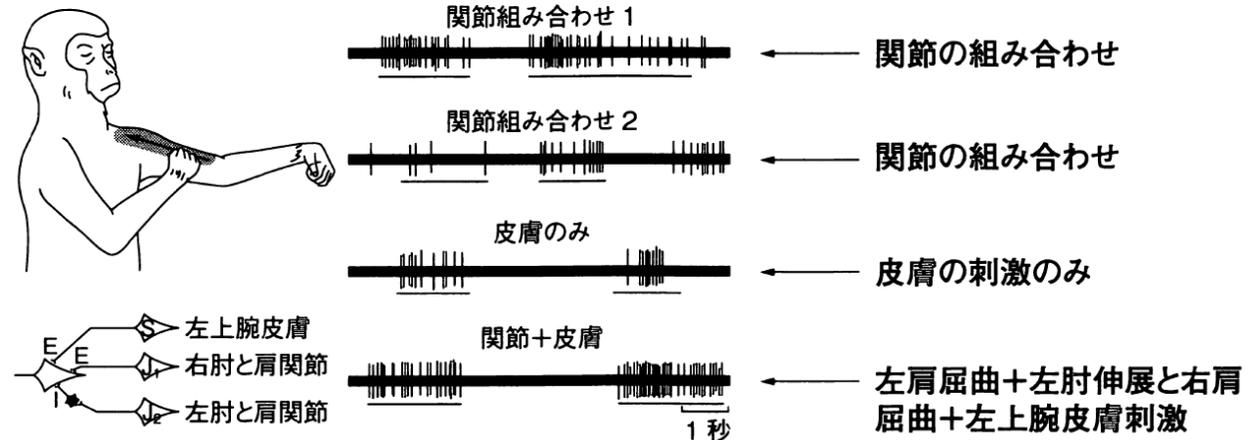
必要な感覚モダリティ

✓ 上頭頂小葉(5野)には、**各関節の位置で特異的に反応するニューロン**が集まっているが、これには深部感覚と表在感覚が必要である。

関節組み合わせニューロン



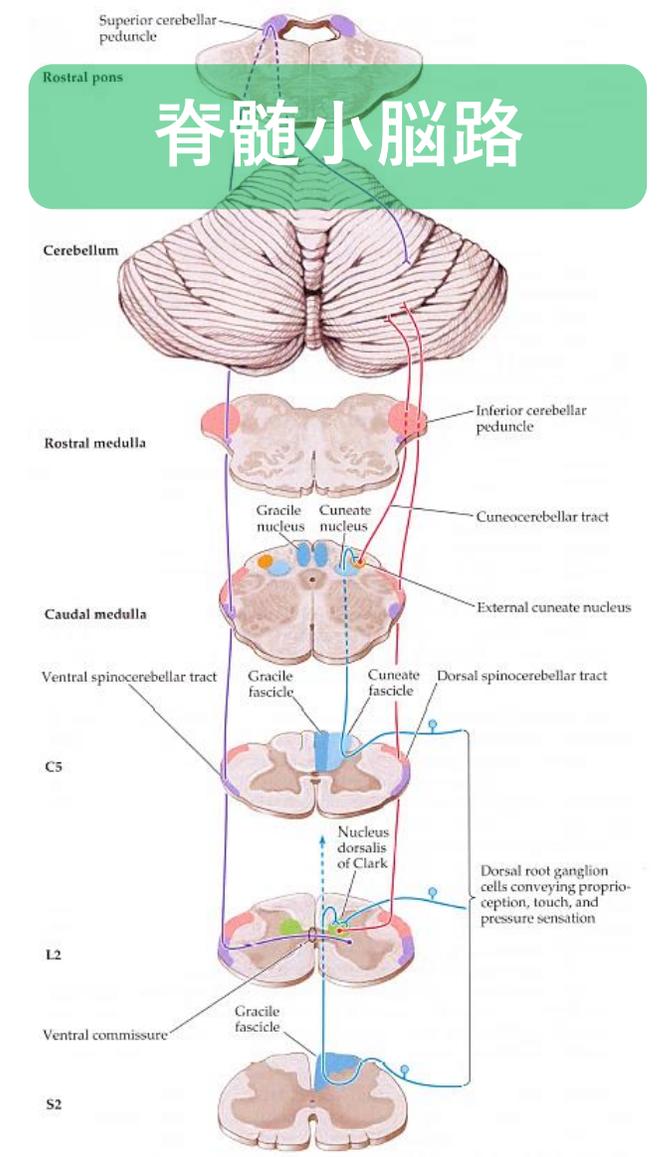
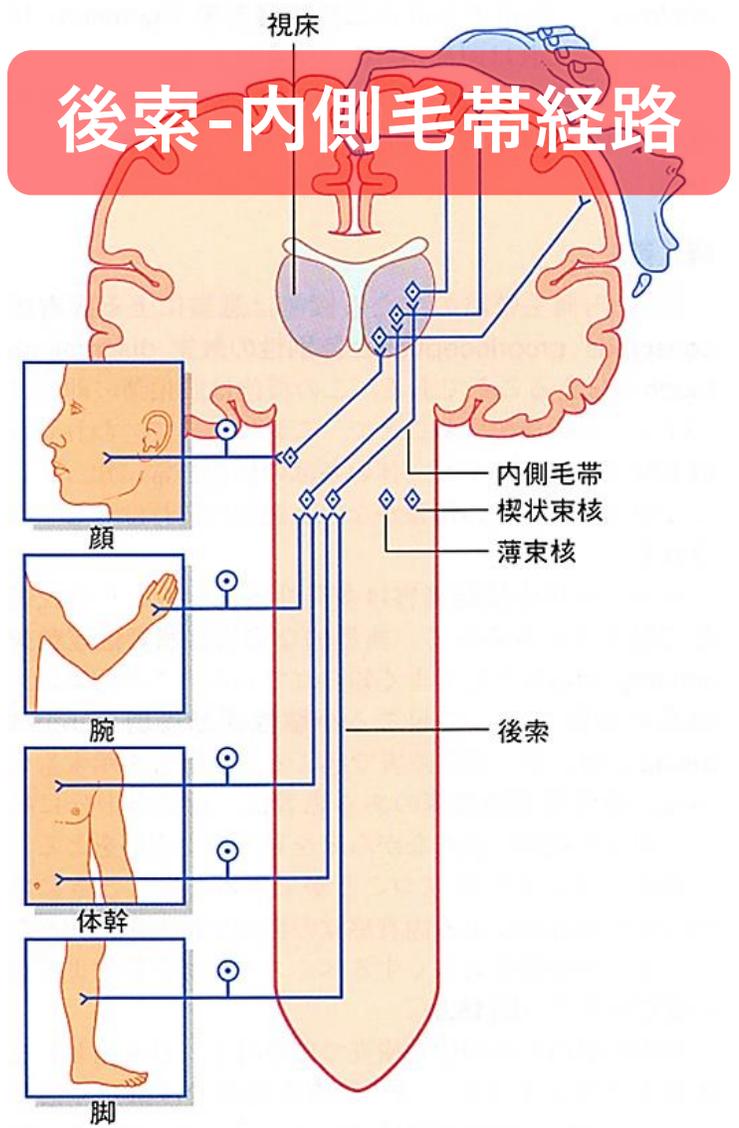
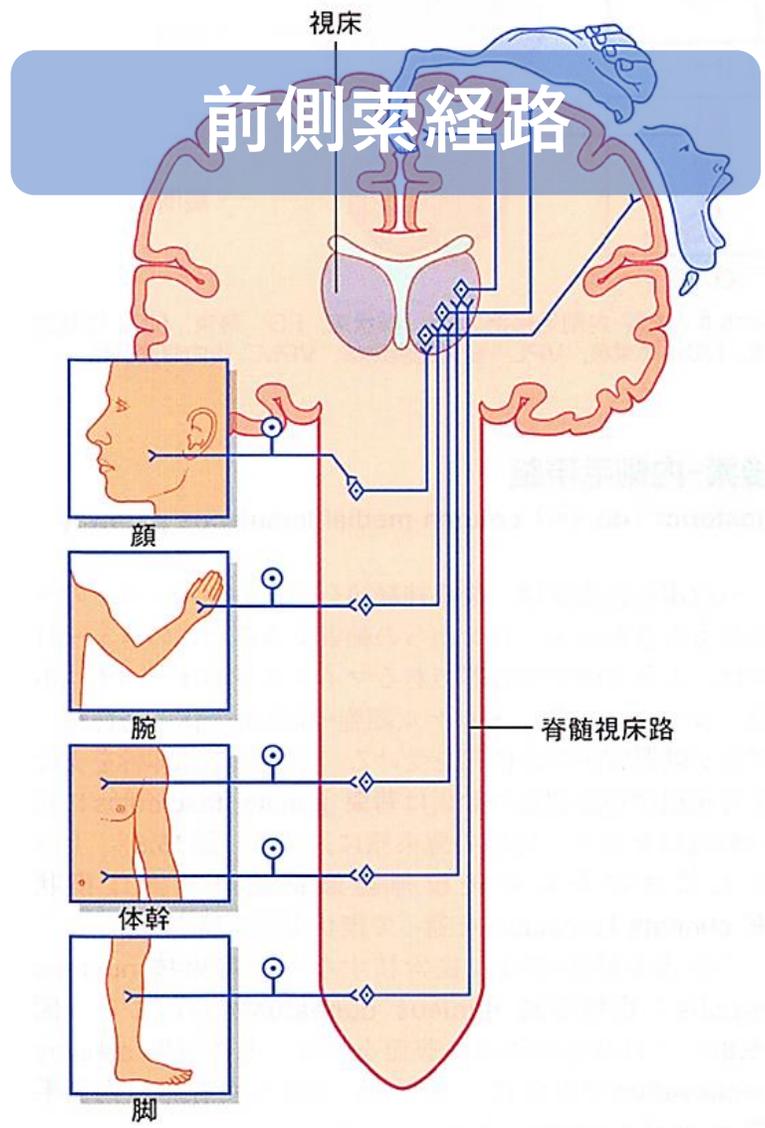
皮膚・関節組み合わせニューロン



ある関節の組み合わせによって発火するニューロン

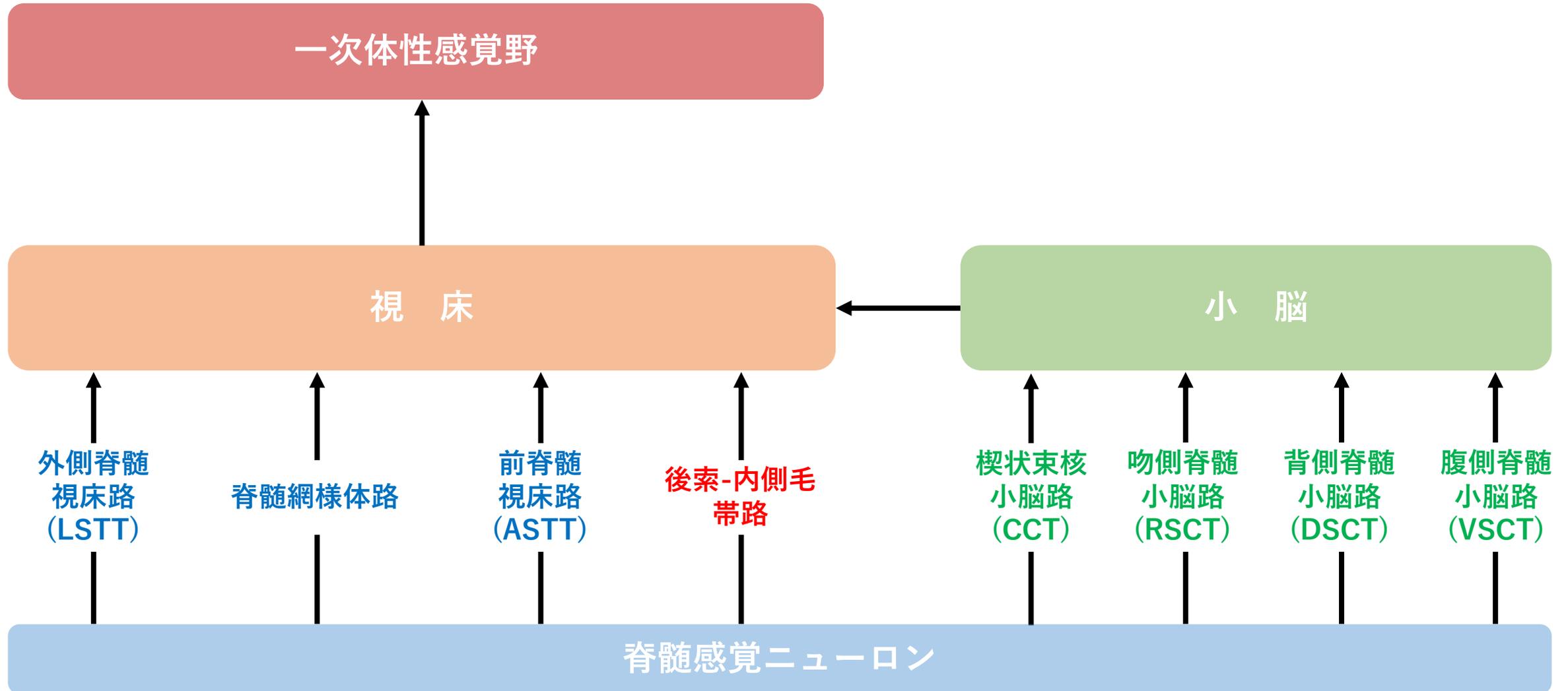
皮膚刺激と関節運動刺激の組み合わせによって発火するニューロン

体性感覚経路の分類



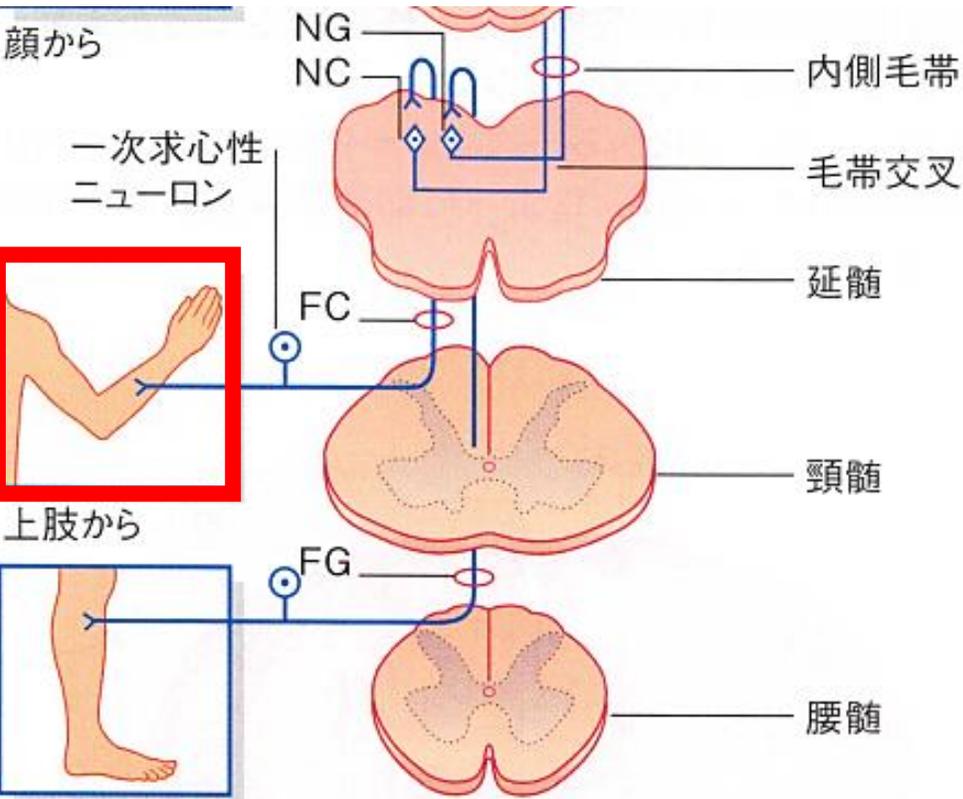
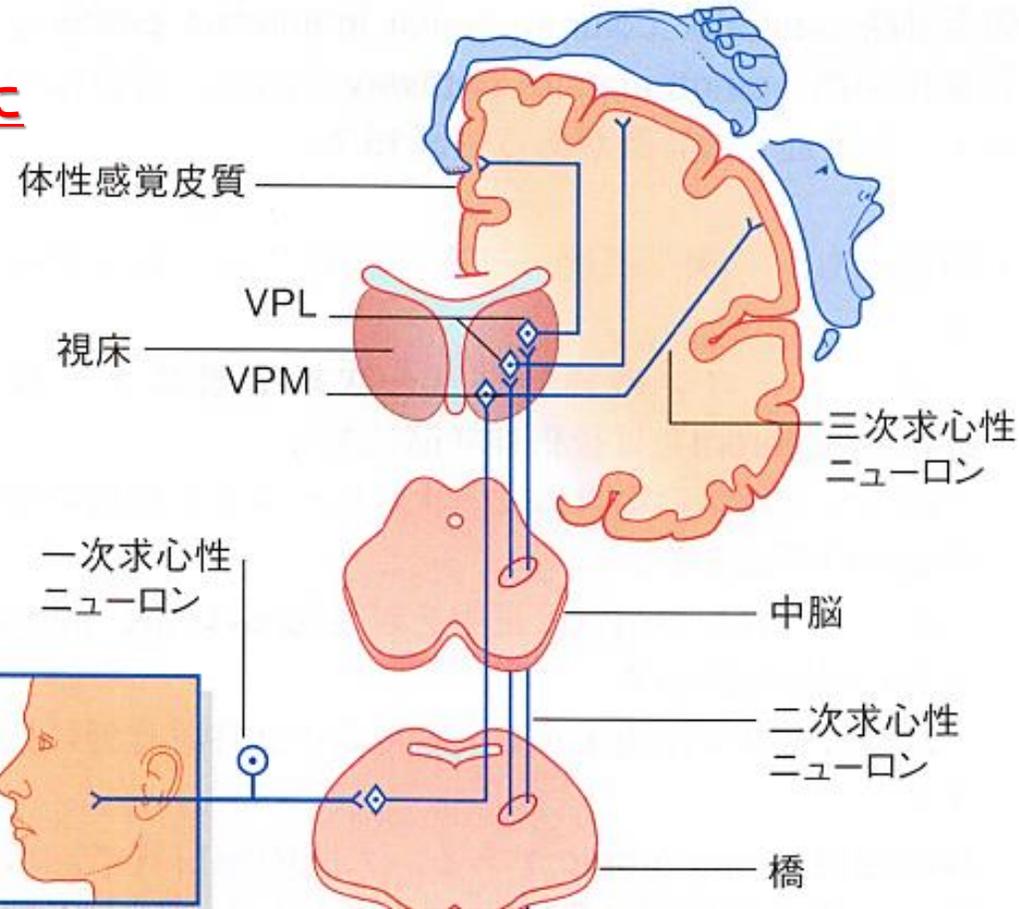
体性感覚経路の種類

- ✓ **前側索経路**：外側脊髄視床路 前脊髄視床路 脊髄網様体路
- ✓ **後索-内側毛帯経路**：後索-内側毛帯路
- ✓ **脊髄小脳路**：楔状束核小脳路(上肢) 吻側脊髄小脳路(上肢) 背側脊髄小脳路(下肢) 腹側脊髄小脳路(下肢)



後索内側毛帯(上肢⇒楔状束)

✓ 主に 上肢の識別性触圧覚・振動覚、意識にのぼる 深部感覚 に関与

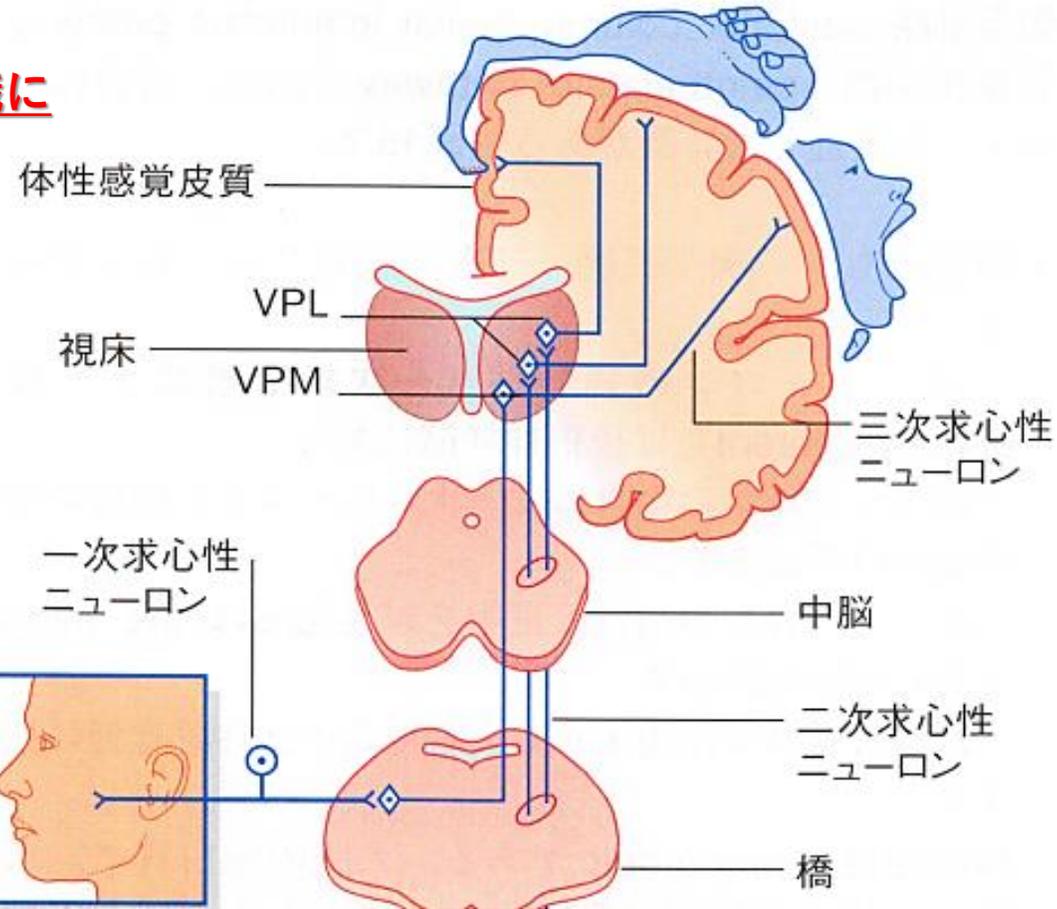


FC = 楔状束
 FG = 薄束
 NC = 楔状束核
 NG = 薄束核

下肢から

後索内側毛帯(下肢⇒薄束)

✓ 主に下肢の識別性触圧覚・振動覚，意識にのぼる深部感覚に関与



腰髄神経節

薄束

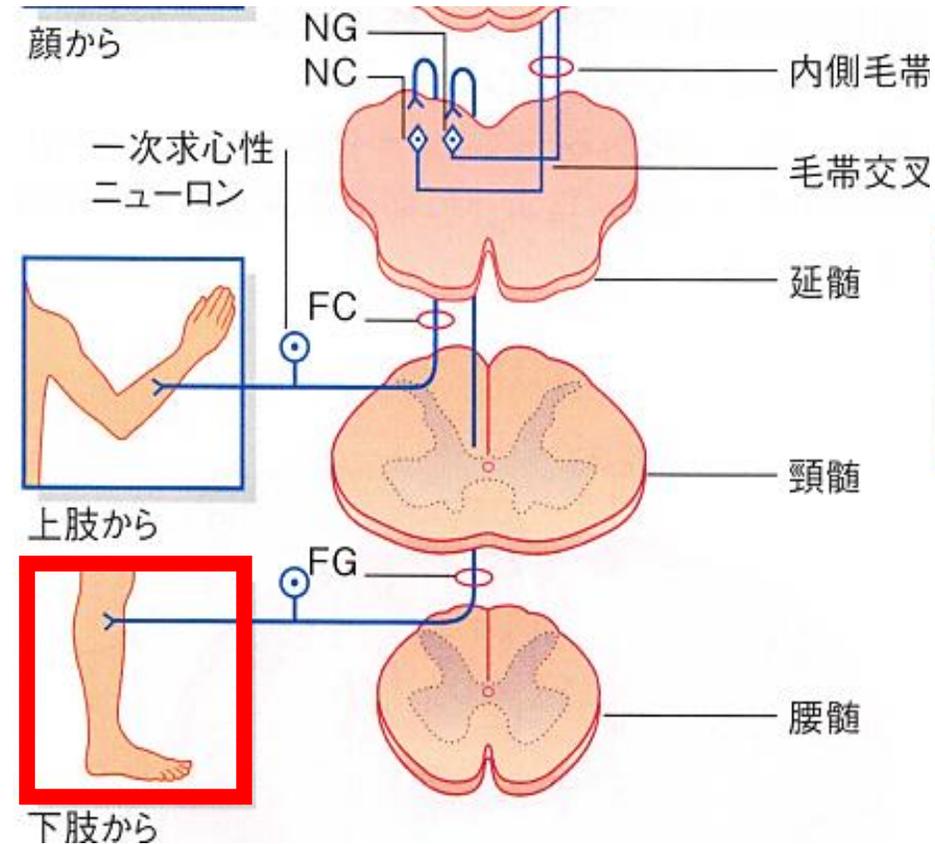
延髄薄束核

毛帯交叉

内側毛帯

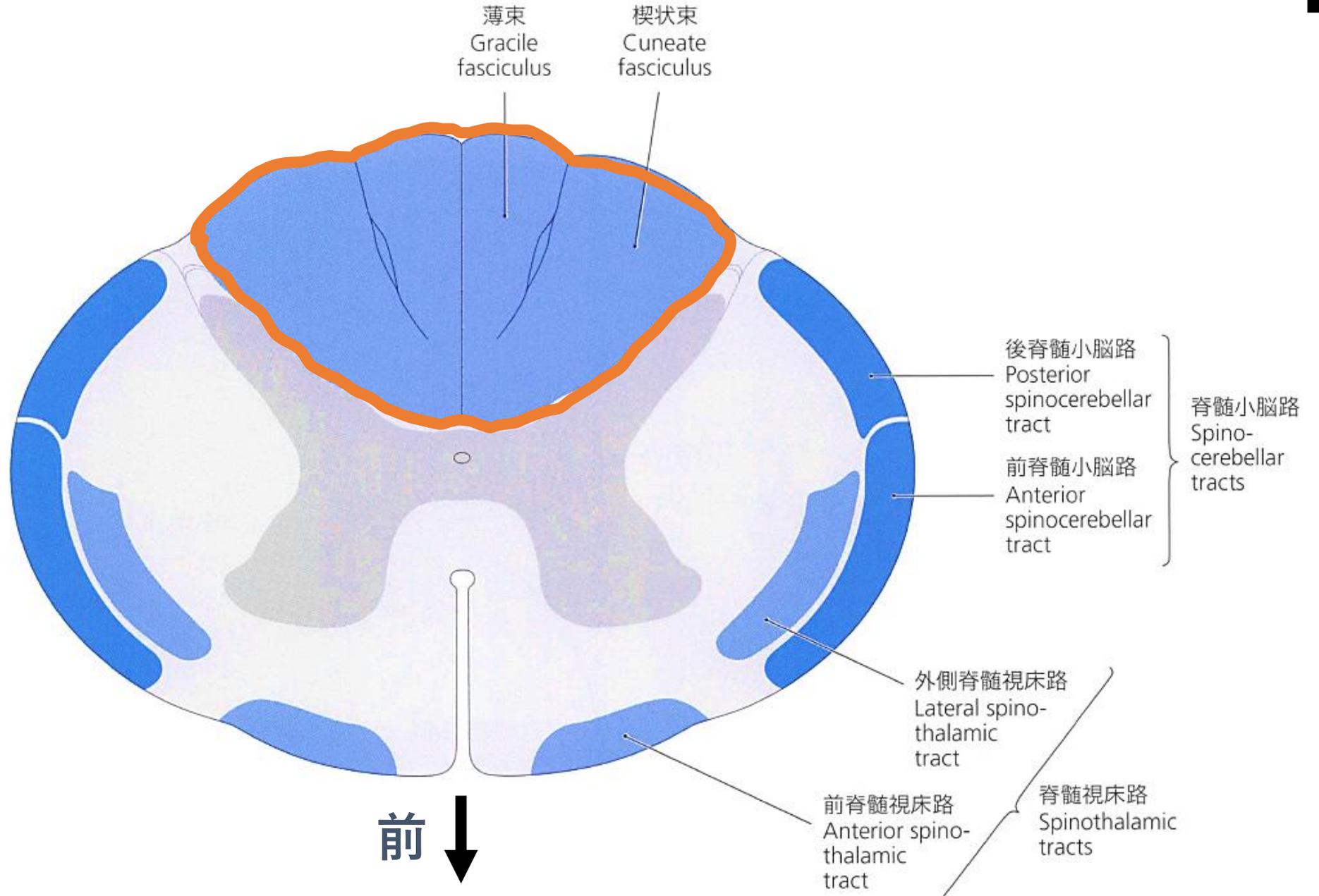
視床：VPL

一次感覚野



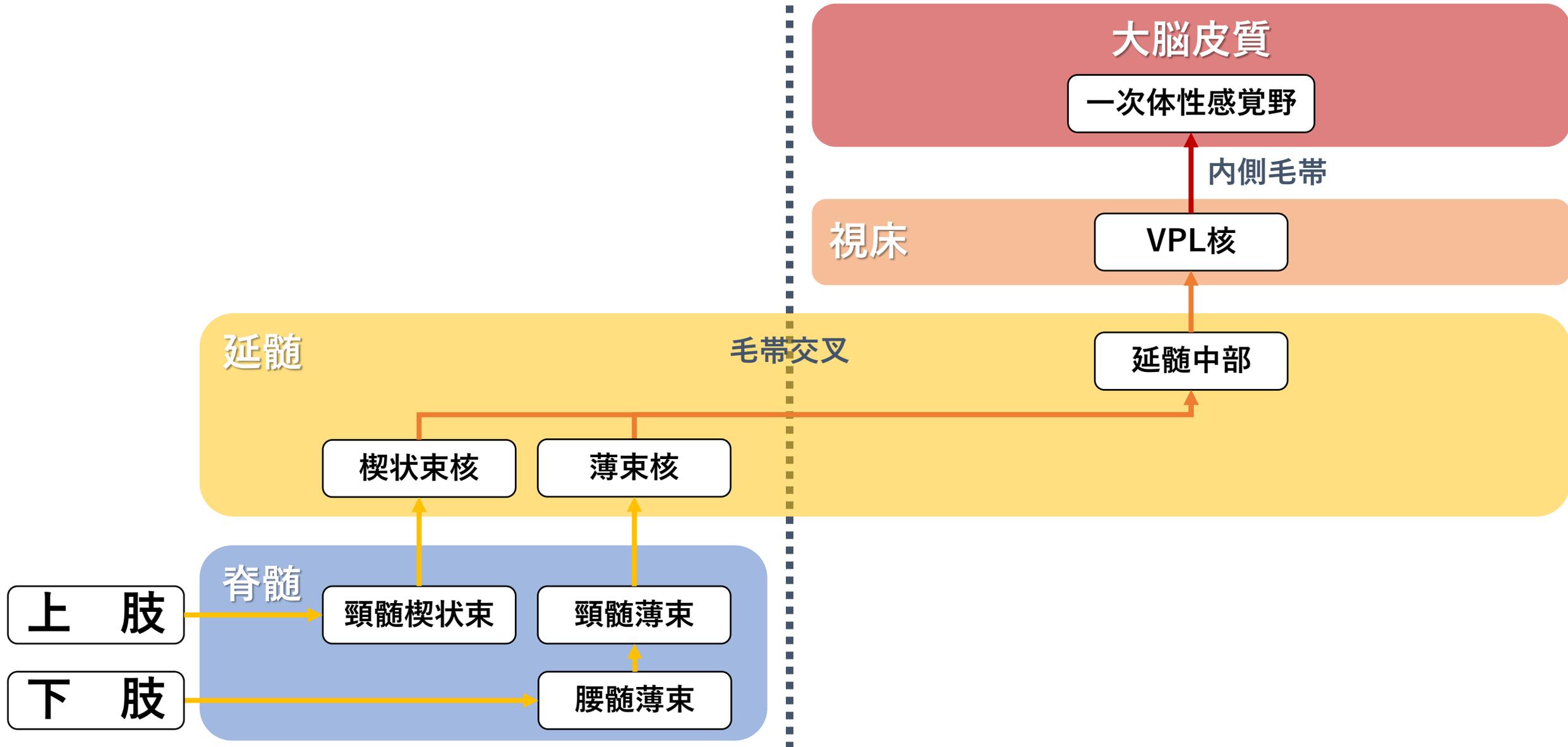
FC = 楔状束
FG = 薄束
NC = 楔状束核
NG = 薄束核

体性感覚経路の配置



後索内側毛帯まとめ

正中線



筋紡錘からの情報

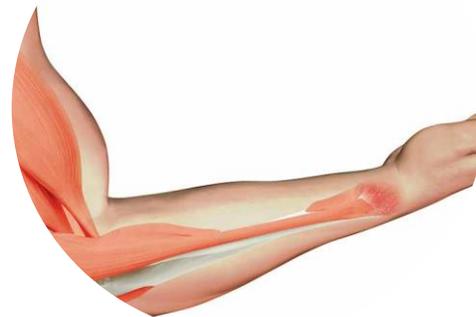
- ✓ 表在・深部共に運動に重要な要素ではあるが、皮膚・腱・関節包は受動的な組織であり、実際に運動を引き起こしている 骨格筋の情報は筋紡錘が担っている.

表在感覚



皮膚

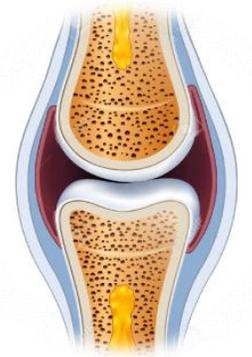
深部感覚



骨格筋/筋膜



腱

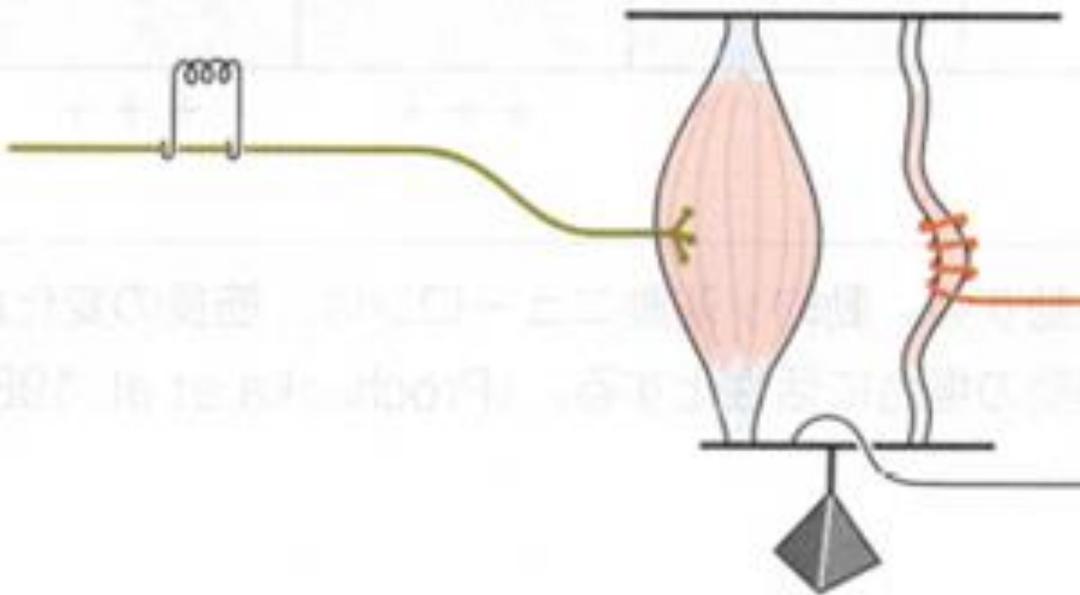


関節包

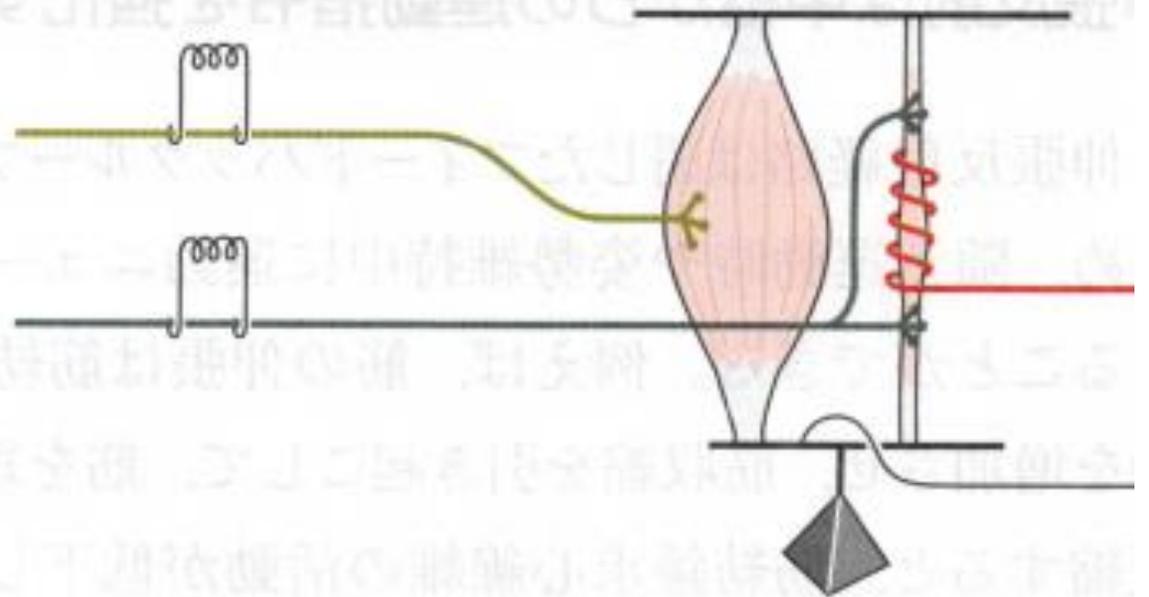
α - γ 連関

- ✓ 随意運動時に α 運動ニューロンとともに γ 運動ニューロンが共活動することによって、筋紡錘からの感覚情報を適切に受け取れるようにする。

B α 運動ニューロンの選択的刺激

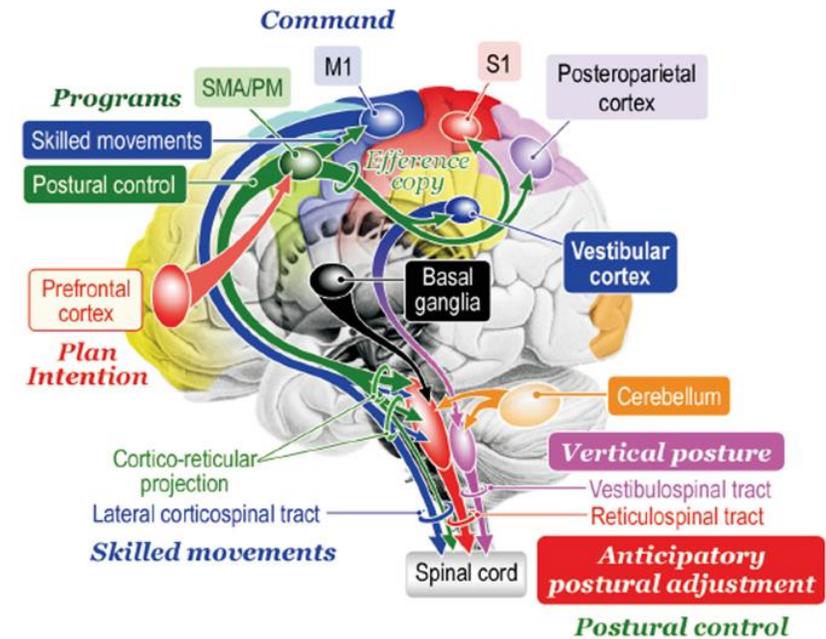
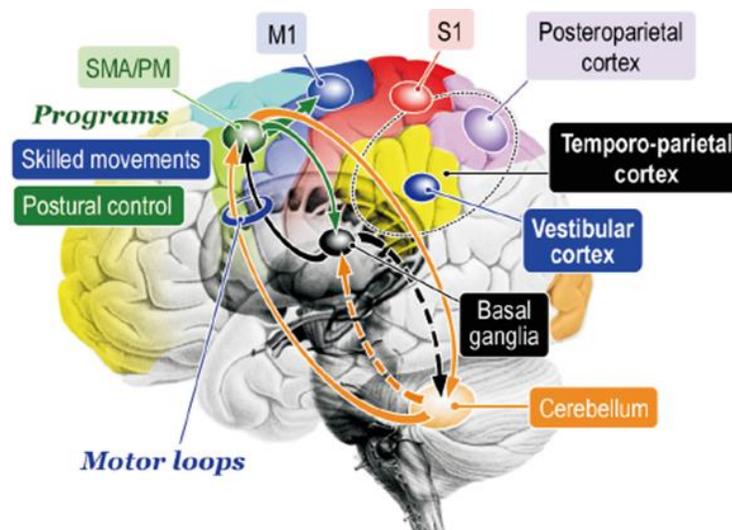
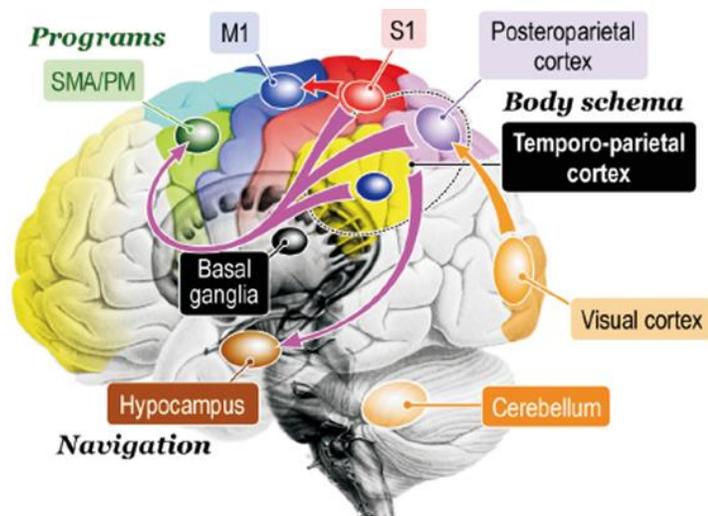


C α 運動ニューロンと γ 運動ニューロンの刺激



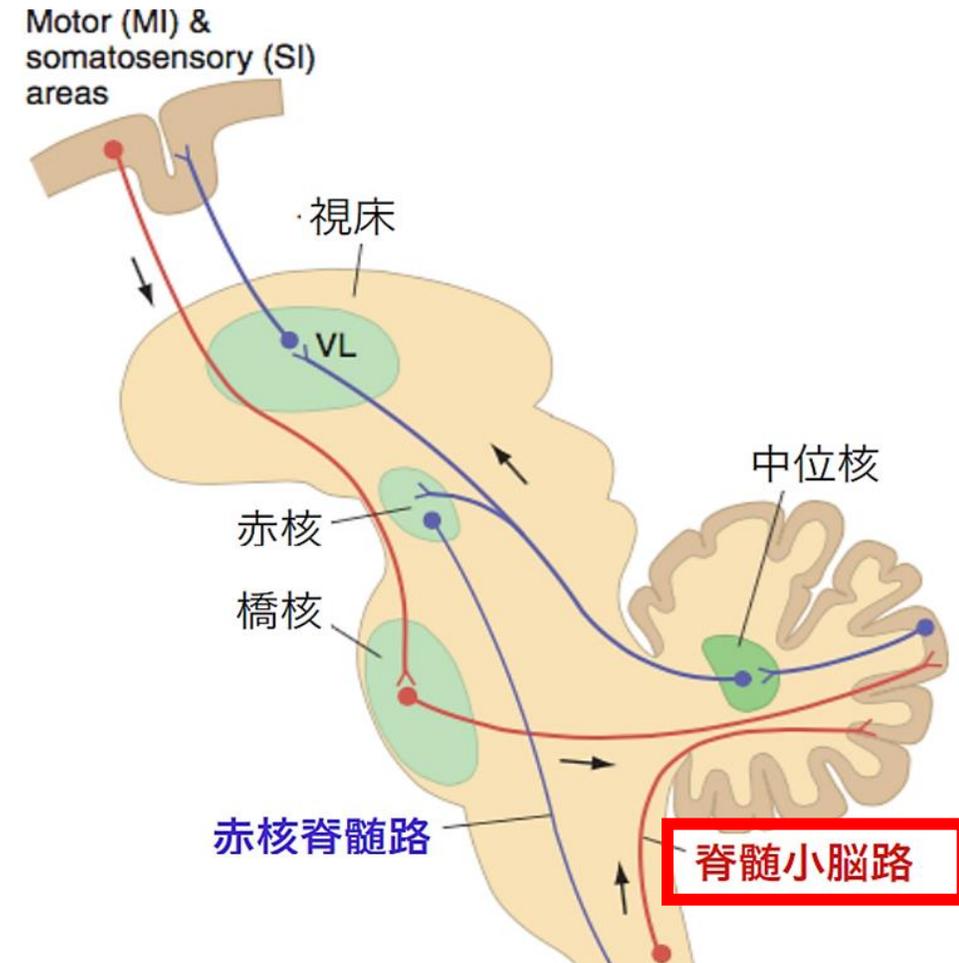
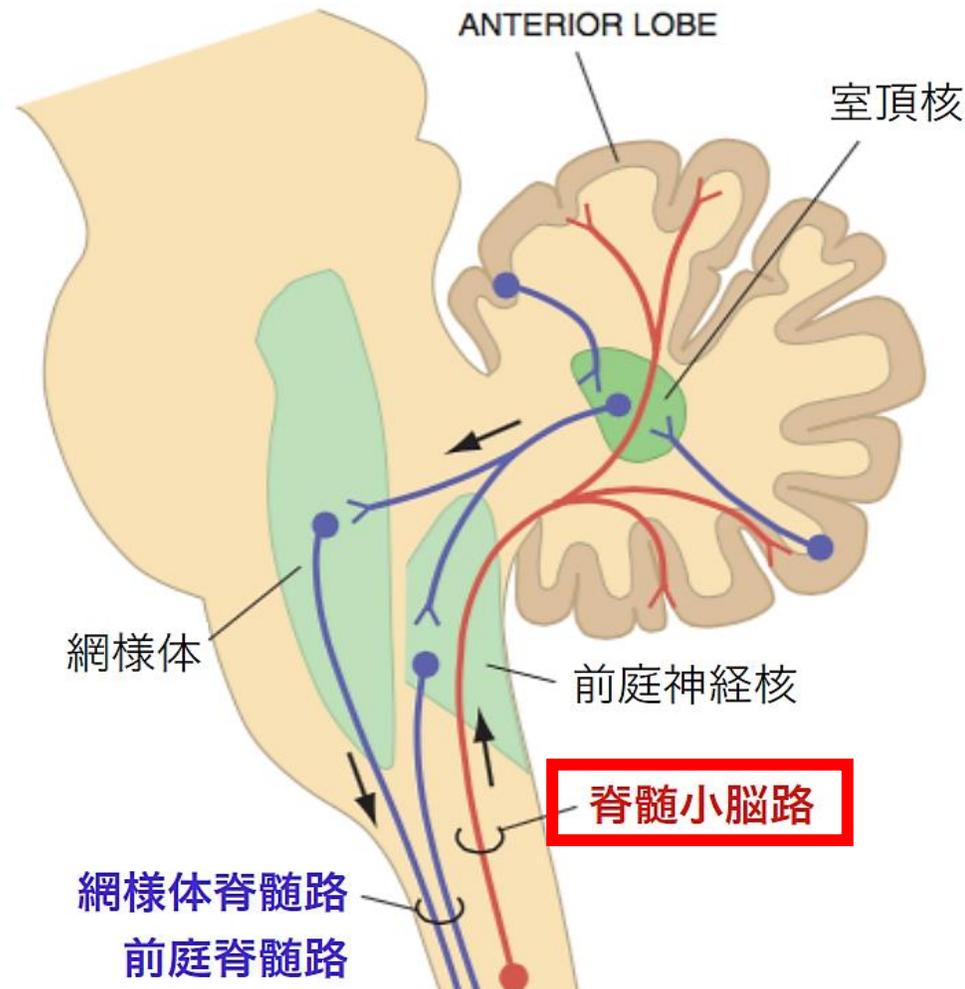
弱化筋の促通と短縮筋の伸張

- ✓ セラピーによって筋骨格系のアライメントを正常に近づけ（短縮筋の伸張や筋膜の癒着の解消など），その状態（本人にとっては未知≒普段使わない組み合わせニューロンが働く位置）での弱化筋の運動が重要。その繰り返しによってマッスルインバランスを変えていく。
- ✓ この中で得られる感覚情報は後索-内側毛帯経路だけではなく，脊髄小脳路を介して小脳にも投射する。



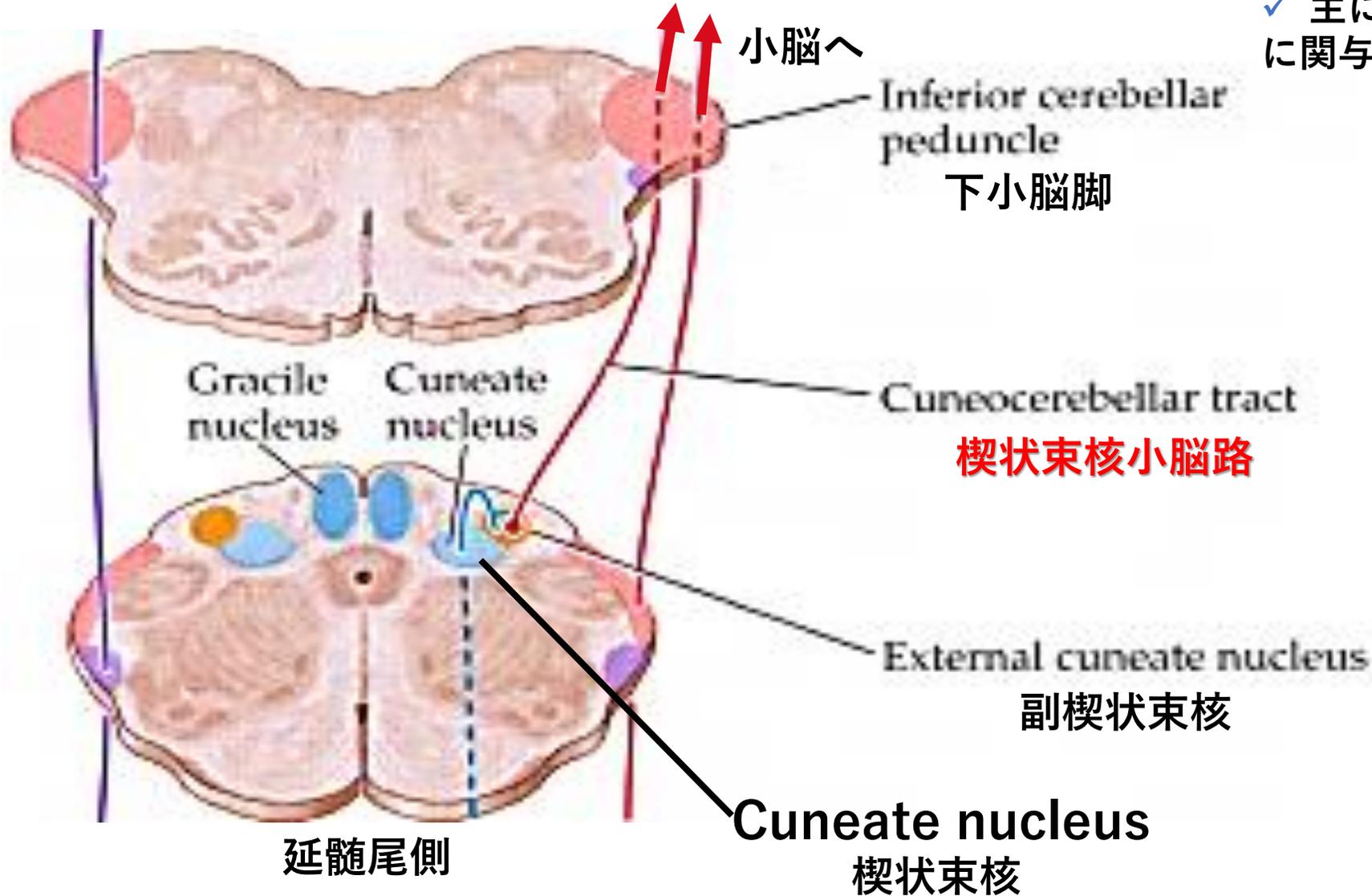
脊髓小脳路（意識にのぼらない深部感覚）

- ✓ 脊髓小脳路は4つに分かれる。
- ✓ **背側脊髓小脳路**(dorsal spinocerebellar tract :DSCT) : 受容器からの**感覚フィードバック情報**を送る。
- ✓ **腹側脊髓小脳路**(ventral spinocerebellar tract :VSCT) : **脊髓の遠心性コピー情報**を送る。
- ✓ 上記は下肢に関する経路。上肢では、**楔状束核小脳路**と**吻側脊髓小脳路**がそれぞれに対応する。

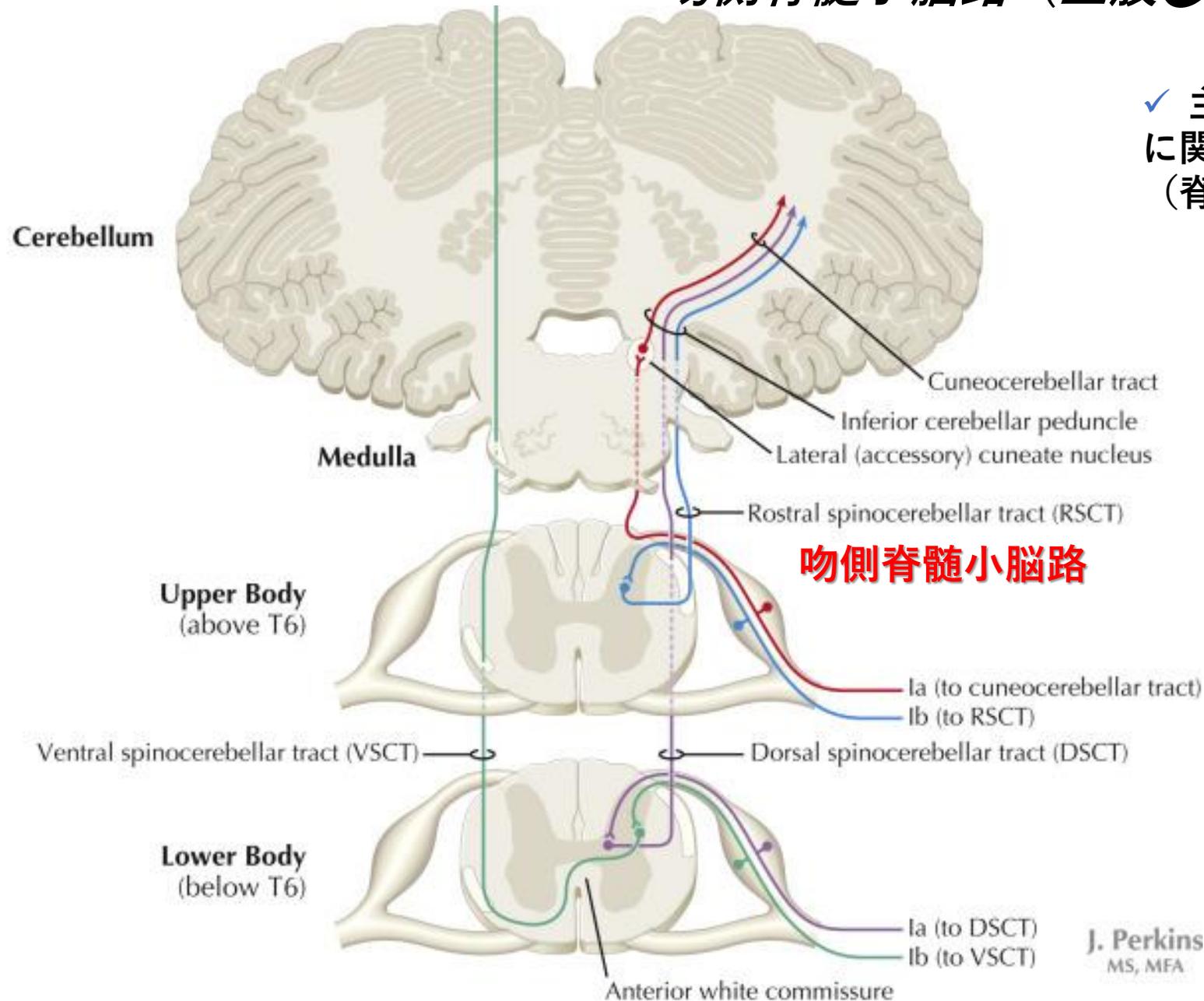


楔状束核小脳路 (上肢①)

✓ 主に 上肢の意識にのぼらない深部感覚 に関与し, 同側小脳へ入力される



吻側脊髓小脳路（上肢②）



- ✓ 主に 上肢の意識にのぼらない深部感覚 に関与し、同側小脳へ入力される
(脊髓の遠心性コピー情報)

脊髓神経節



交叉せず上行



下小脳脚

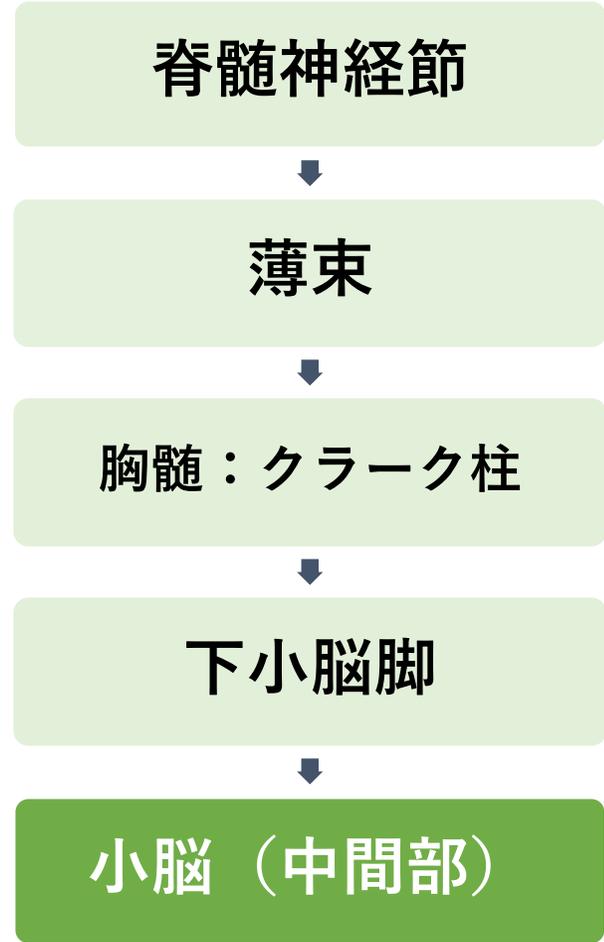
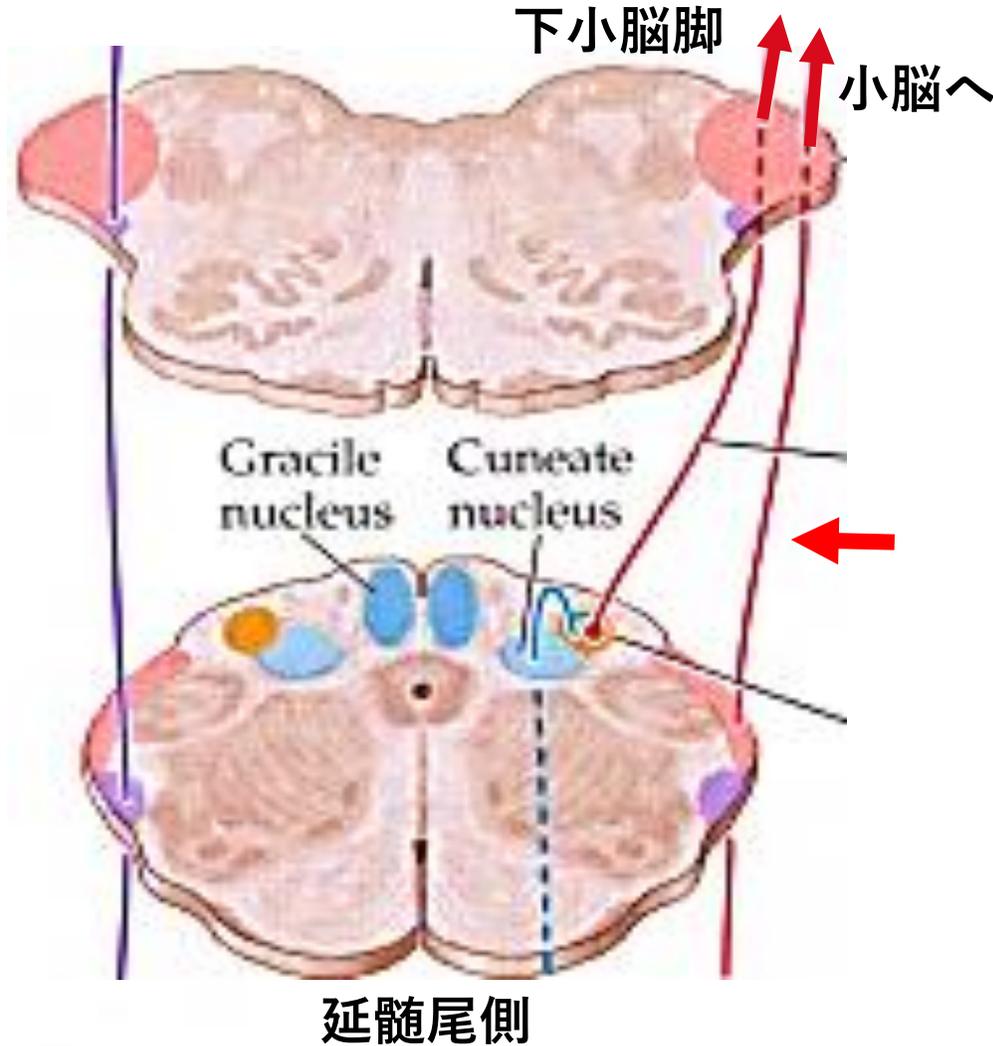
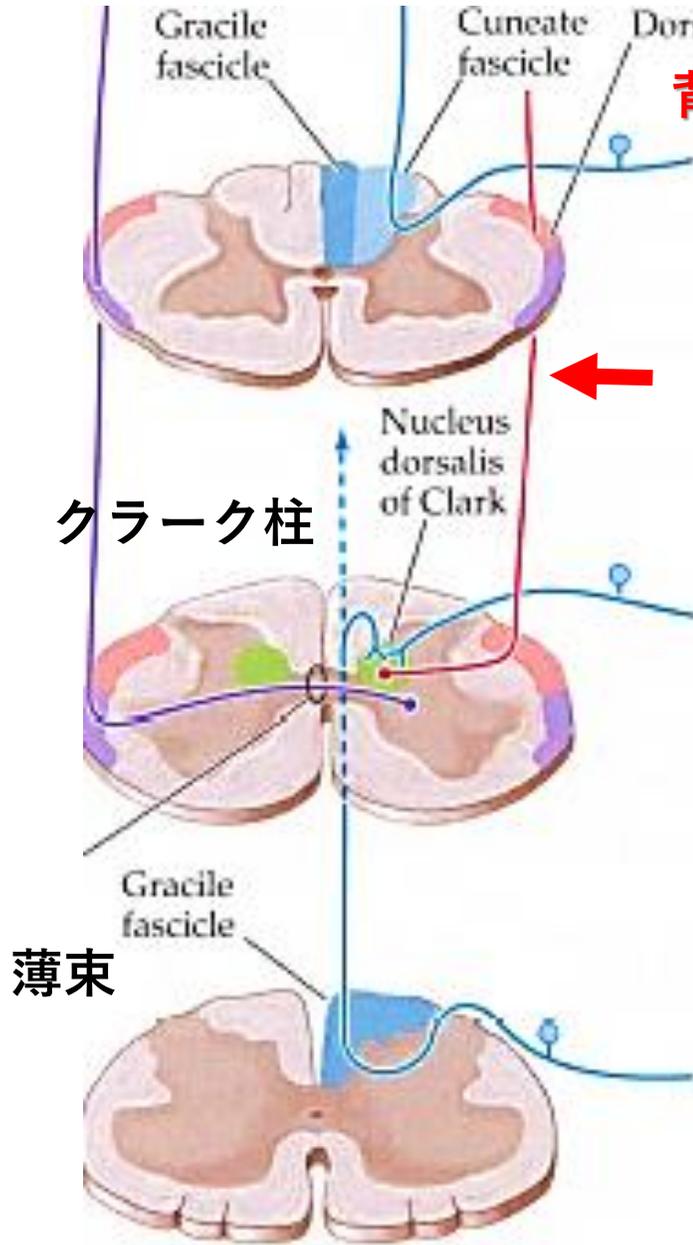


小脳

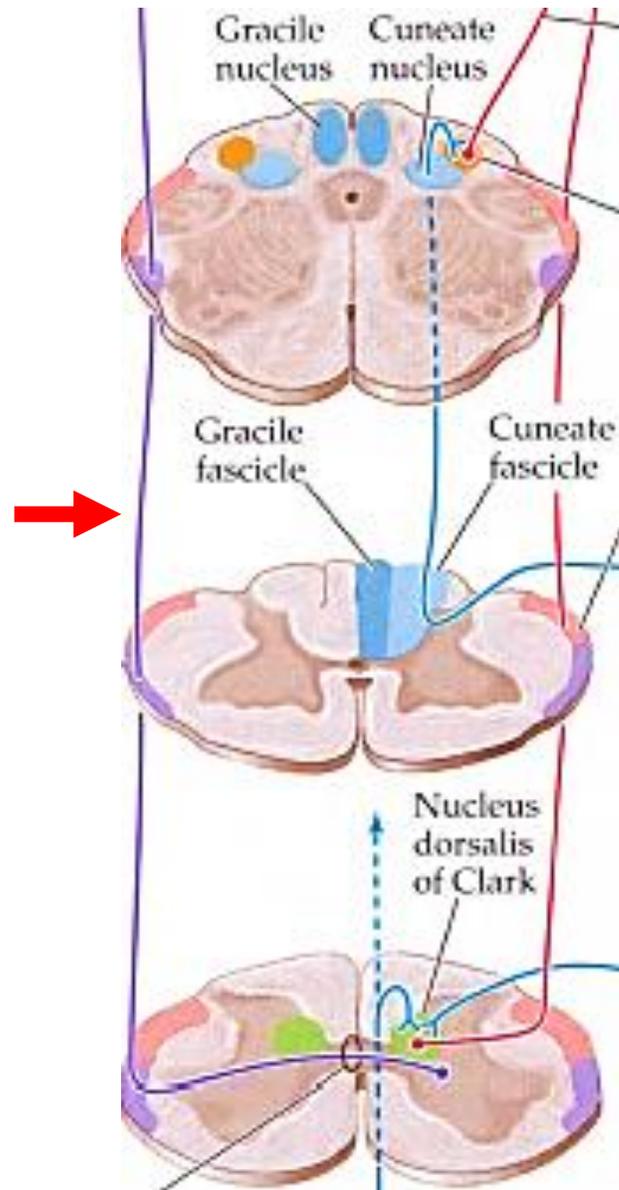
背側脊髄小脳路 (下肢①)

背側脊髄小脳路

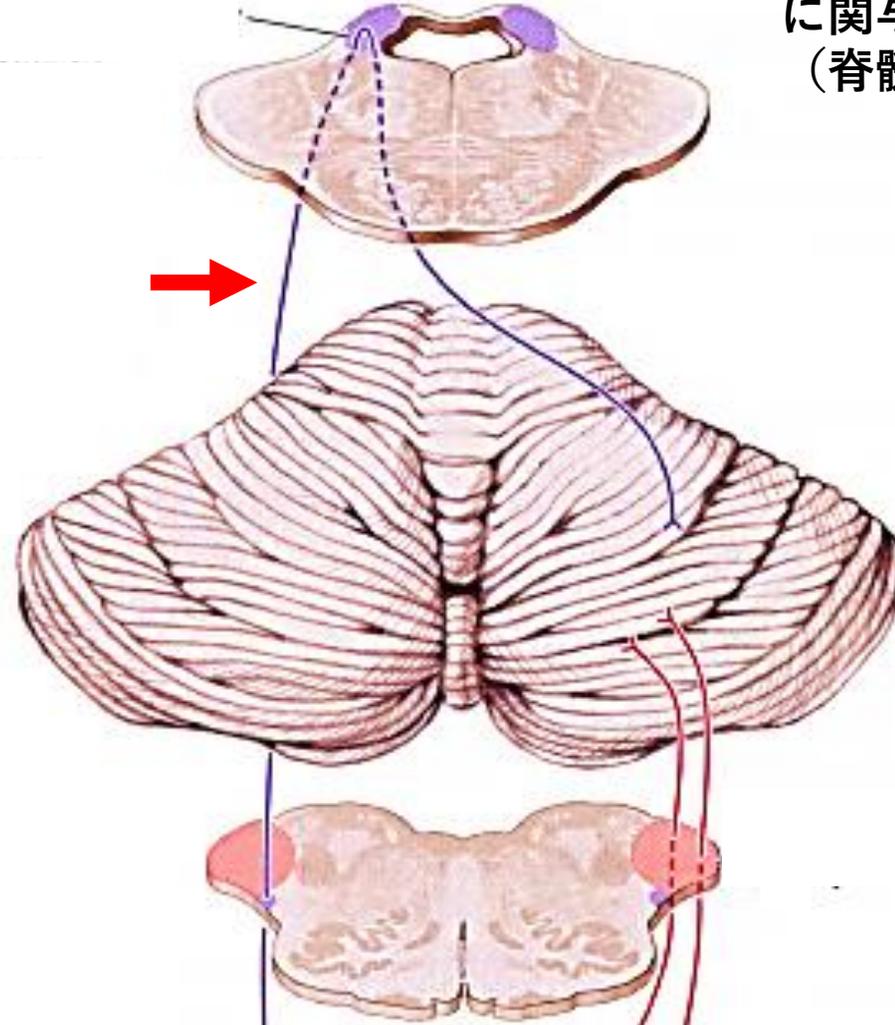
✓ 主に 下肢の意識にのぼらない深部感覚 に関与し, 同側小脳へ入力される



腹側脊髓小脳路（下肢②）



上小脳脚



✓ 主に下肢の意識にのぼらない深部感覚に関与し、同側小脳へ入力される（脊髓の遠心性コピー情報）

脊髓神経節

↓

脊髓後角

↓

反対側へ交叉

↓

上小脳脚

↓

小脳白質内で交叉

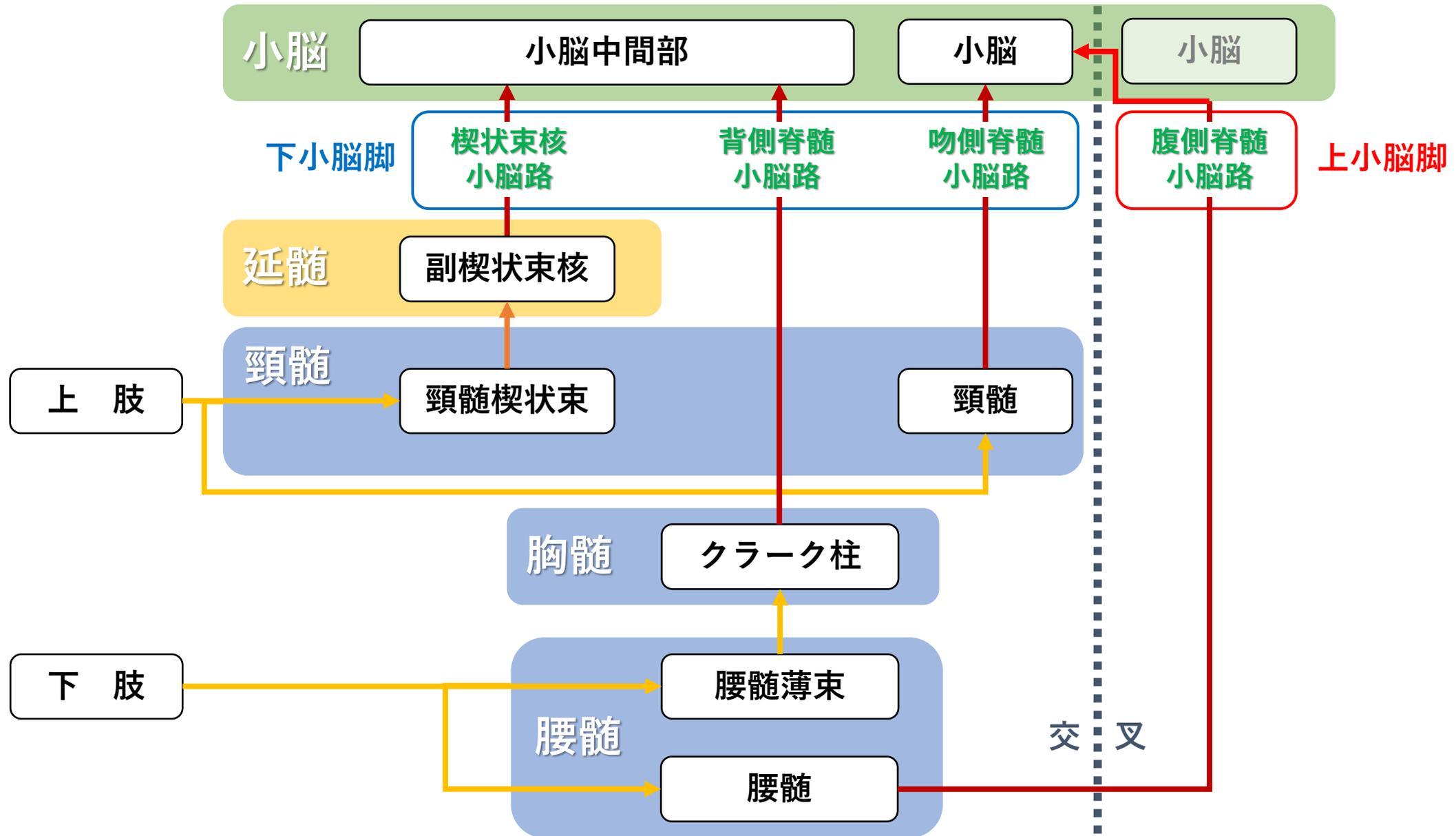
↓

小脳

脊髓小脳路まとめ

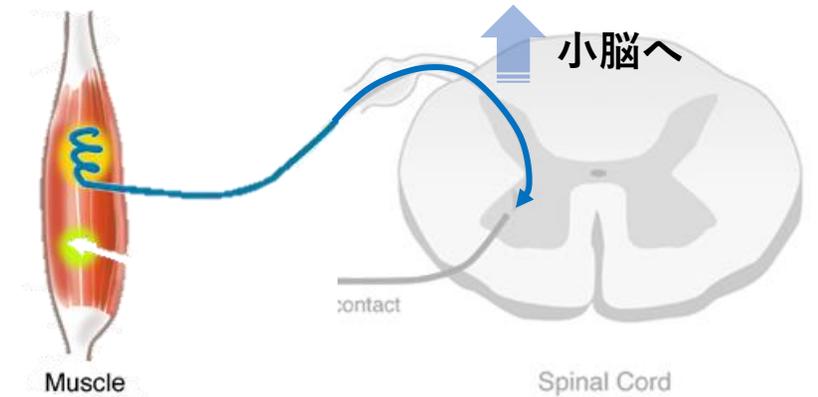
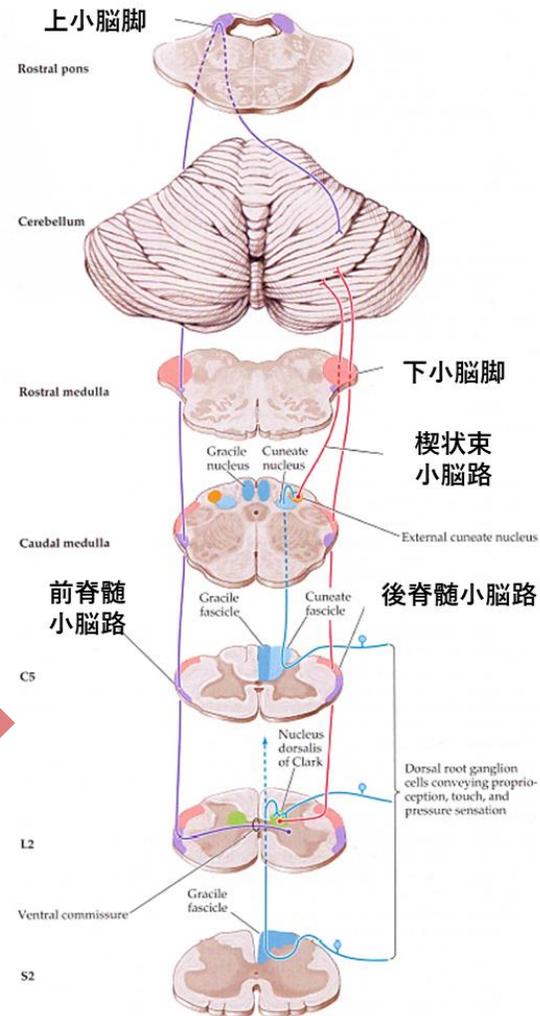
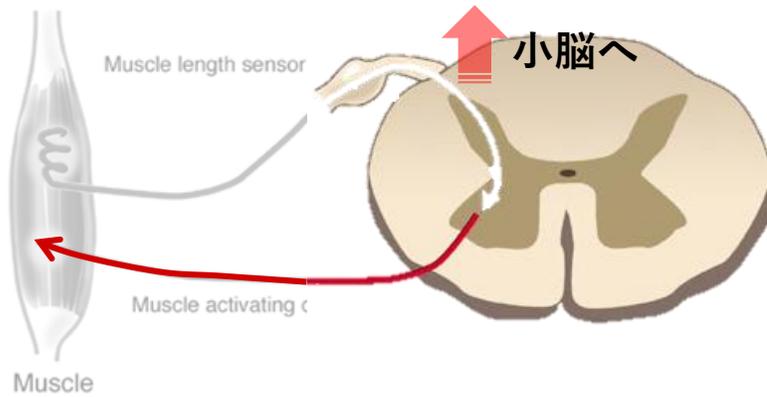
正中線

交叉



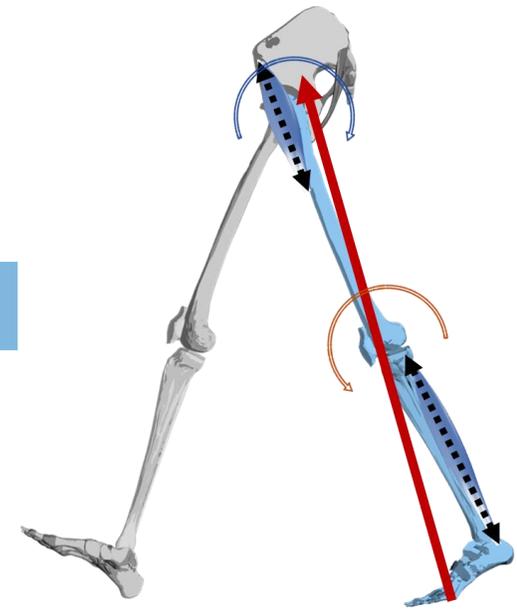
脊髓小脳路の特性

- ✓ 実際に起こった運動のフィードバックを脊髓小脳路を通じて小脳に送ることで、**“意図した運動”**と**“実際に起きた運動”**の照合・修正を補助している。



プラン
された運動

実際に
起きた運動



脊髄小脳路の特性

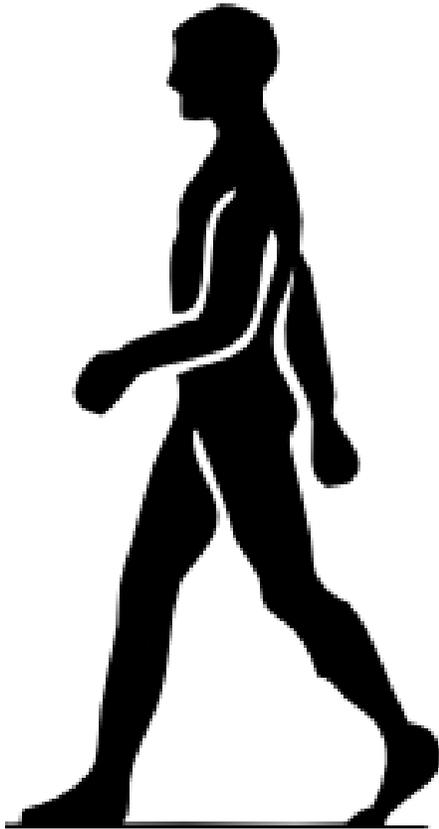
- ✓ 腹側(吻側)脊髄小脳路は随意運動時のみ活動し，他動運動時は背側脊髄(楔状束核)小脳路のみが作用する
- ✓ 腹側(吻側)脊髄小脳路は脊髄での運動情報(遠心性コピー)を小脳に送っているとされている

前脊髄小脳路(+)

後脊髄小脳路(+)

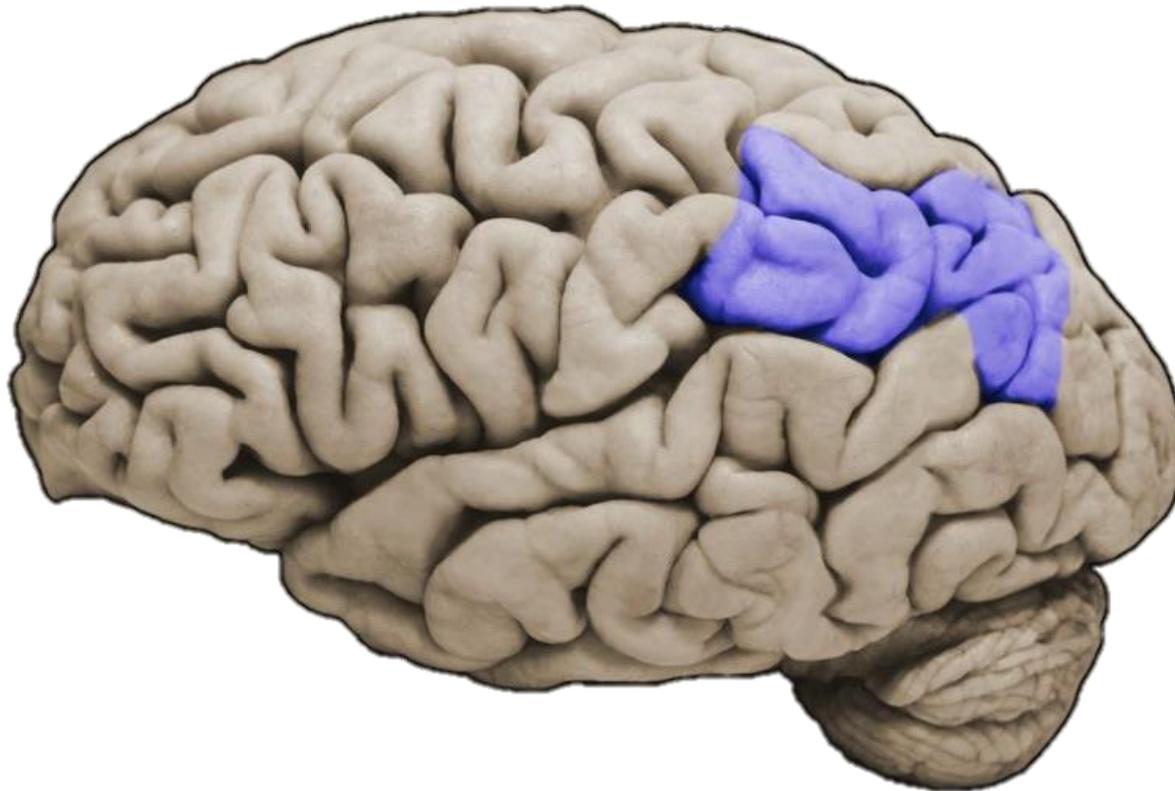
前脊髄小脳路(-)

後脊髄小脳路(+)



上頭頂小葉 → 下頭頂小葉

- ✓ 上頭頂小葉(5野)の情報は下頭頂小葉(7野)に流れる。
- ✓ 下頭頂小葉にはMulti-modal neuronが存在し、Body schemaの情報が視覚・前庭覚と統合される。

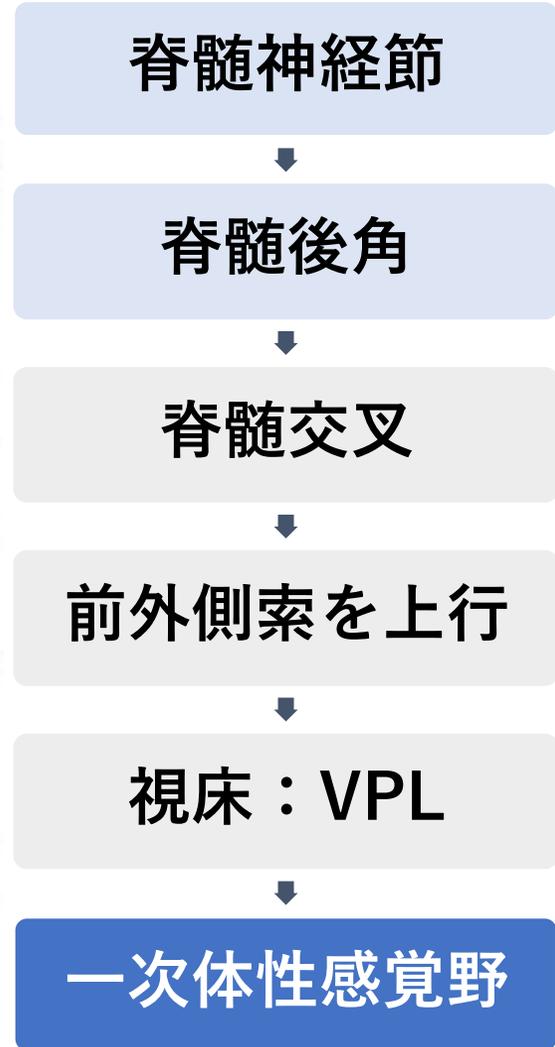
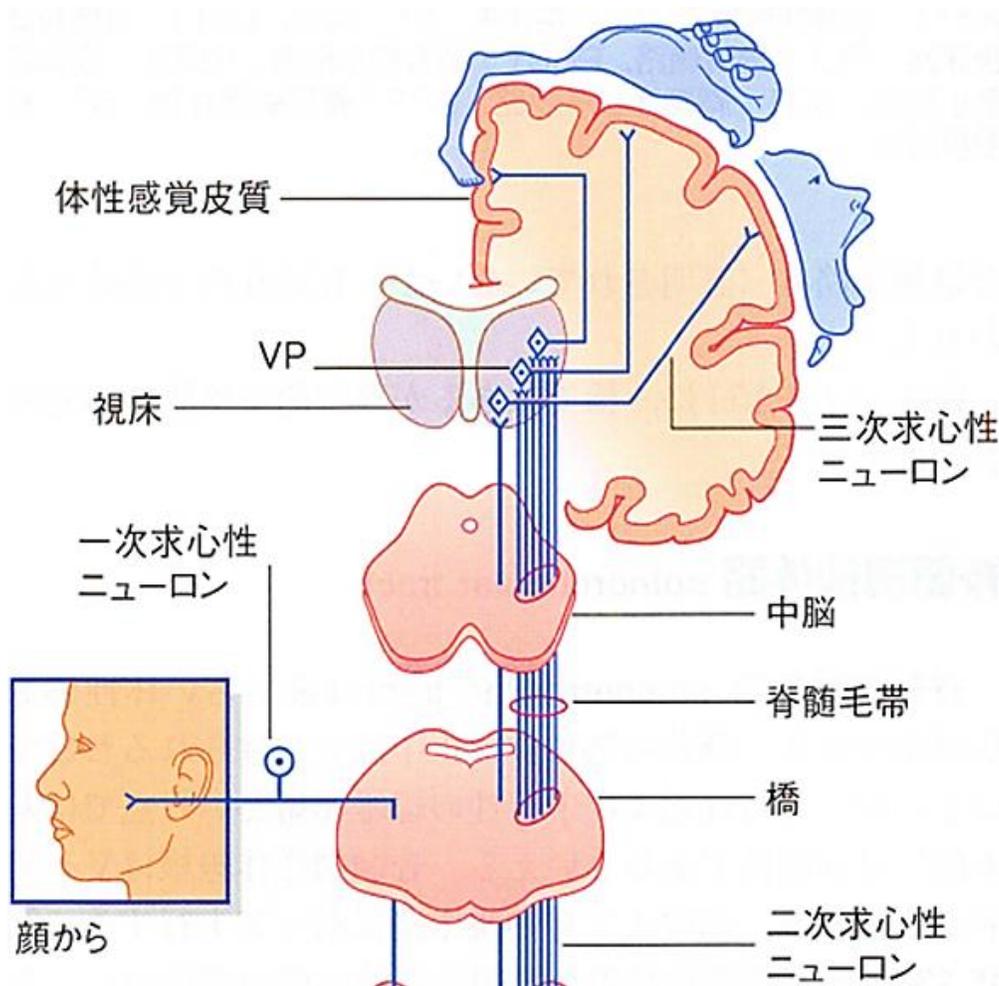
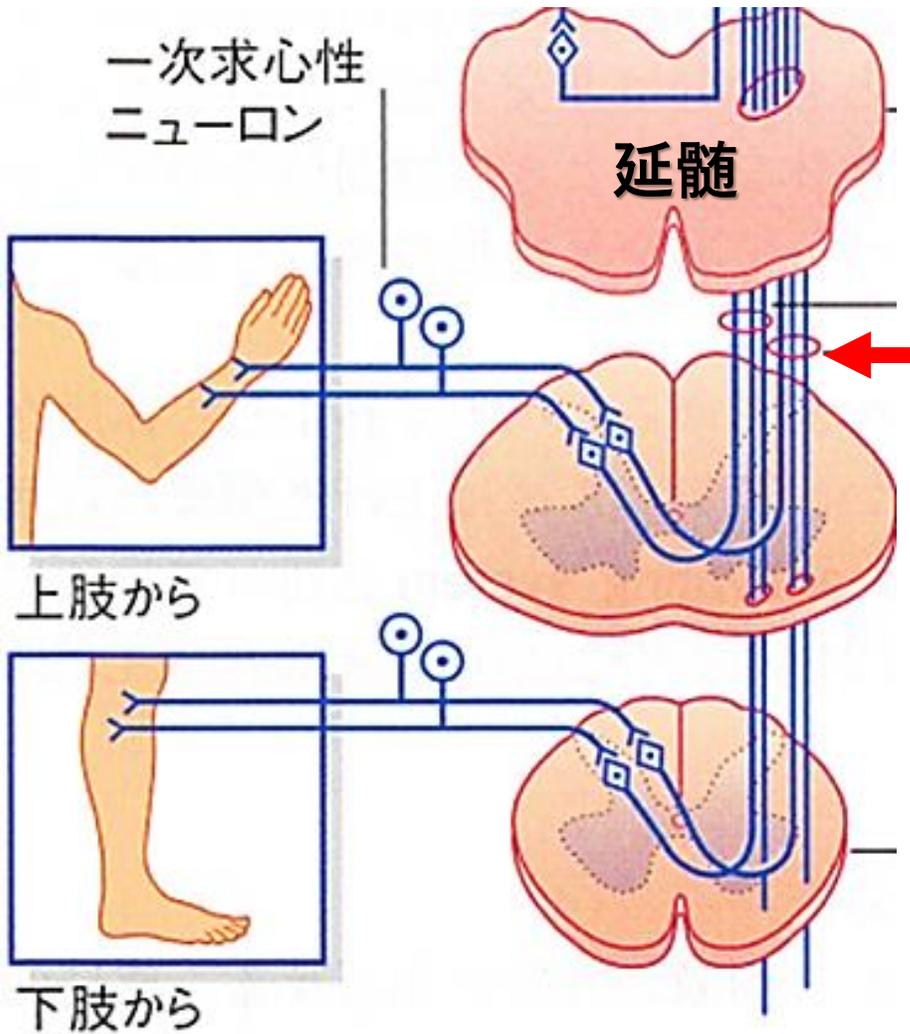


特徴・役割

- ① 身体所有感の生成
 - Bimodal neuron(視覚と体性感覚)
 - Multi-modal neuron(+ 前庭覚)

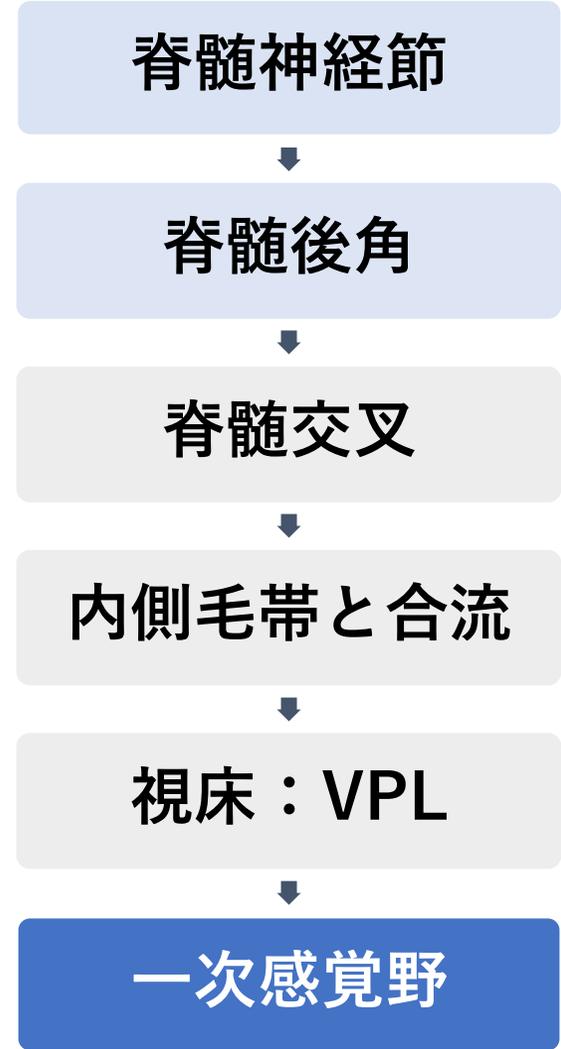
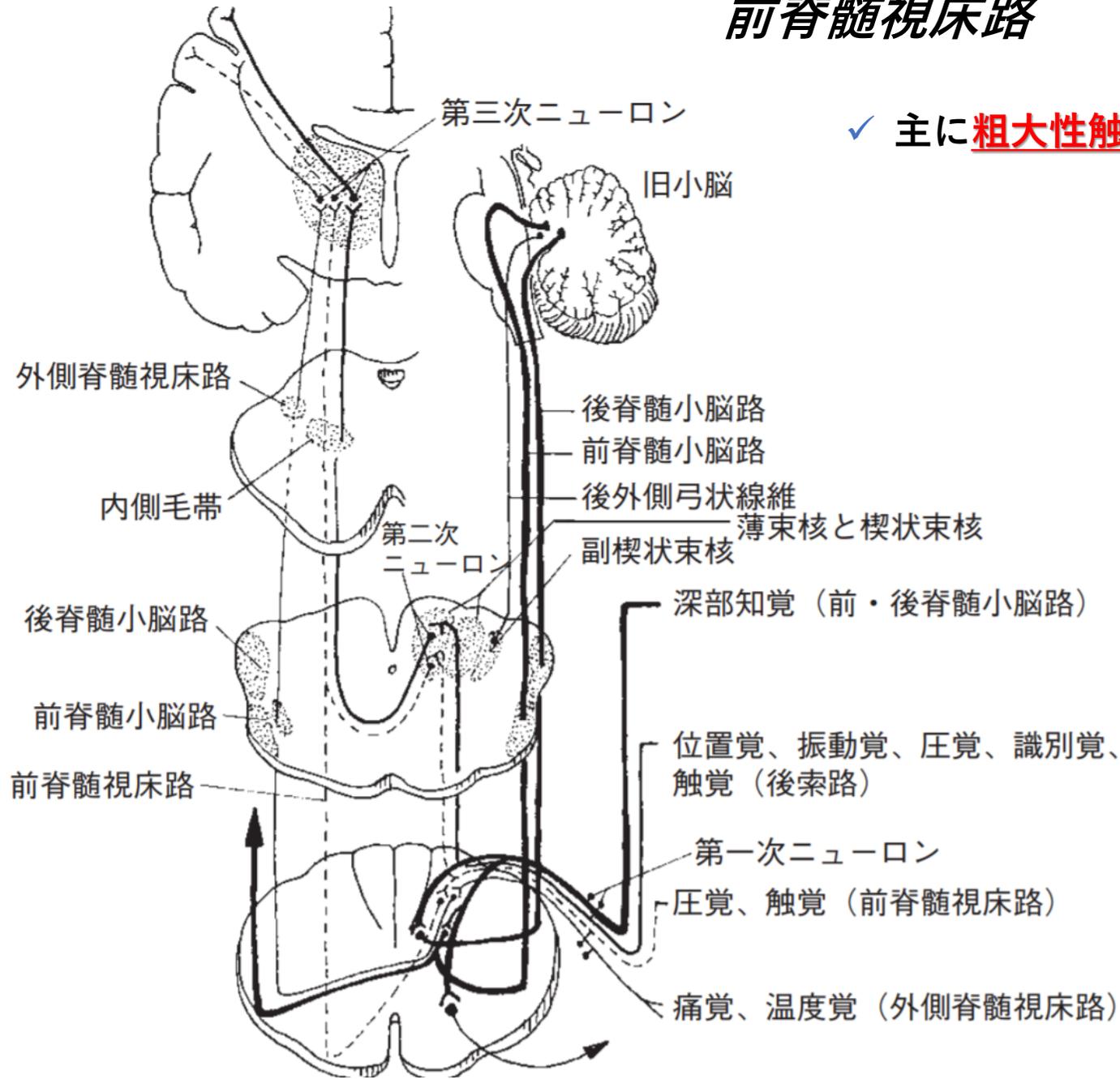
外側脊髄視床路

✓ 主に **温痛覚・触覚** に関与



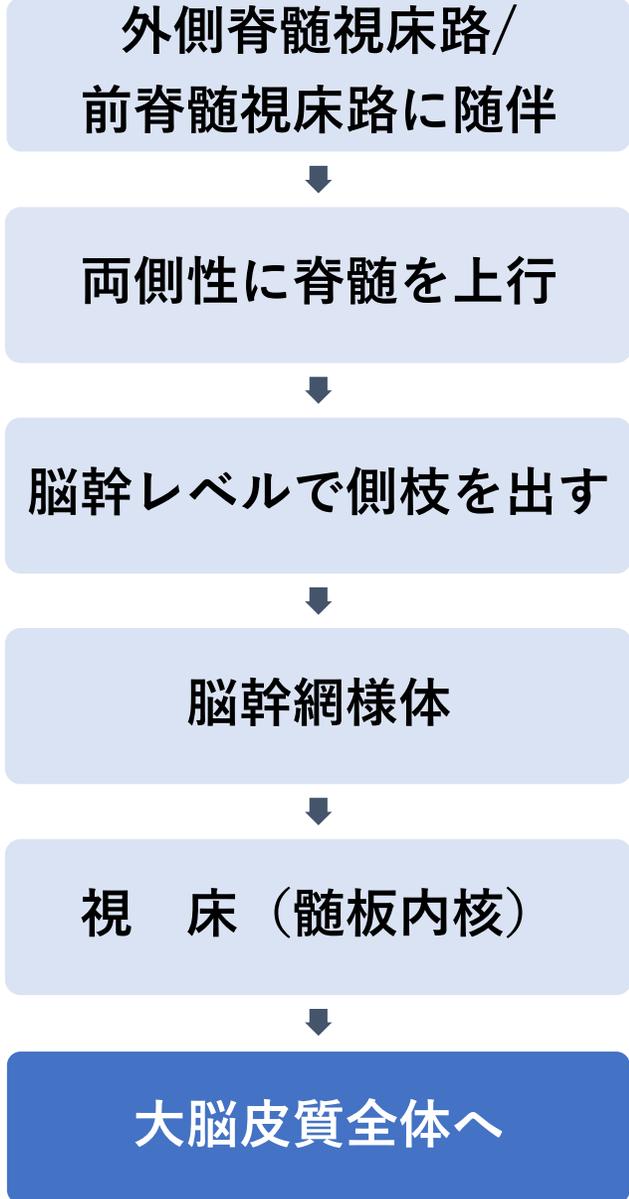
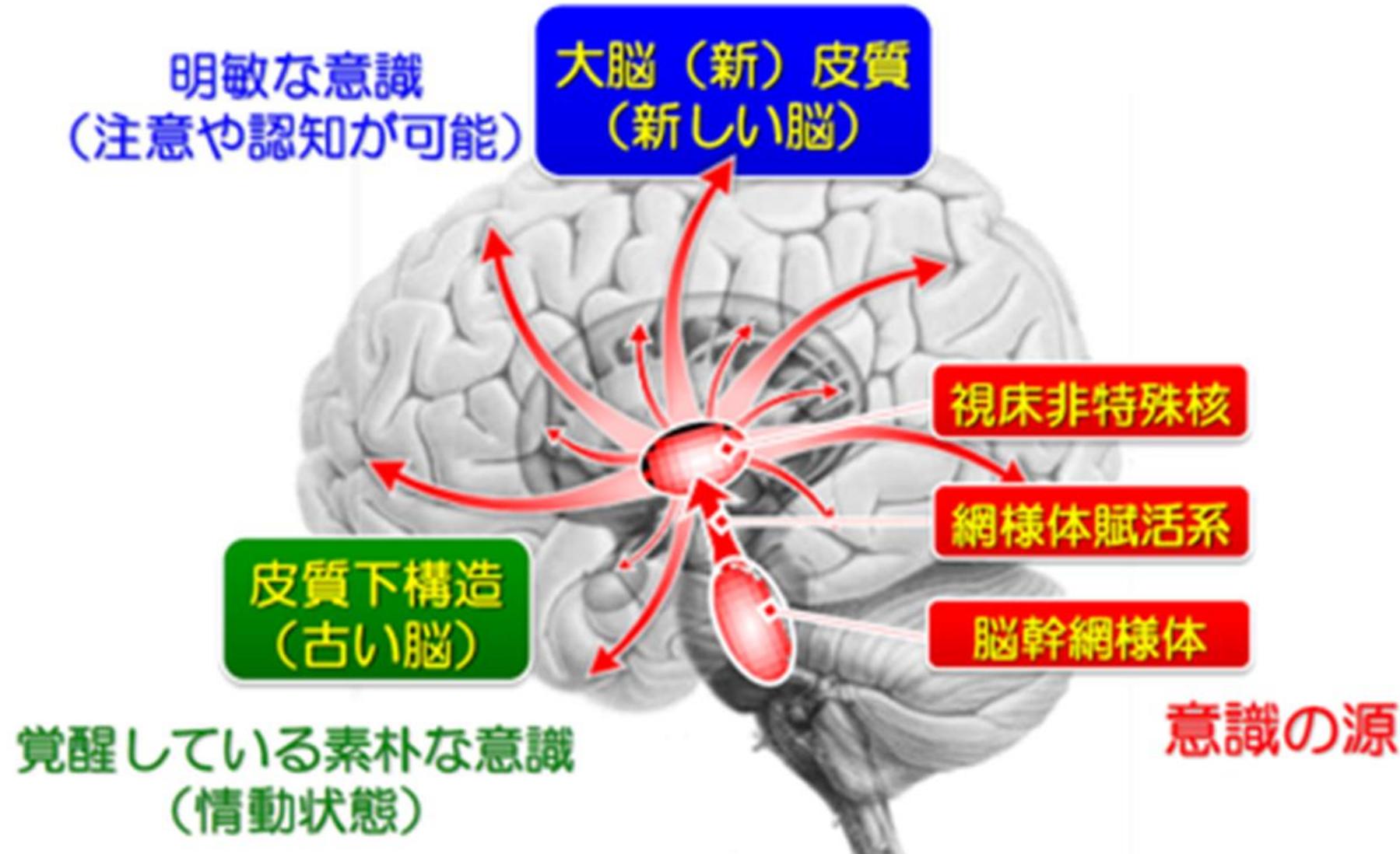
前脊髄視床路

✓ 主に粗大性触覚・圧覚に關与

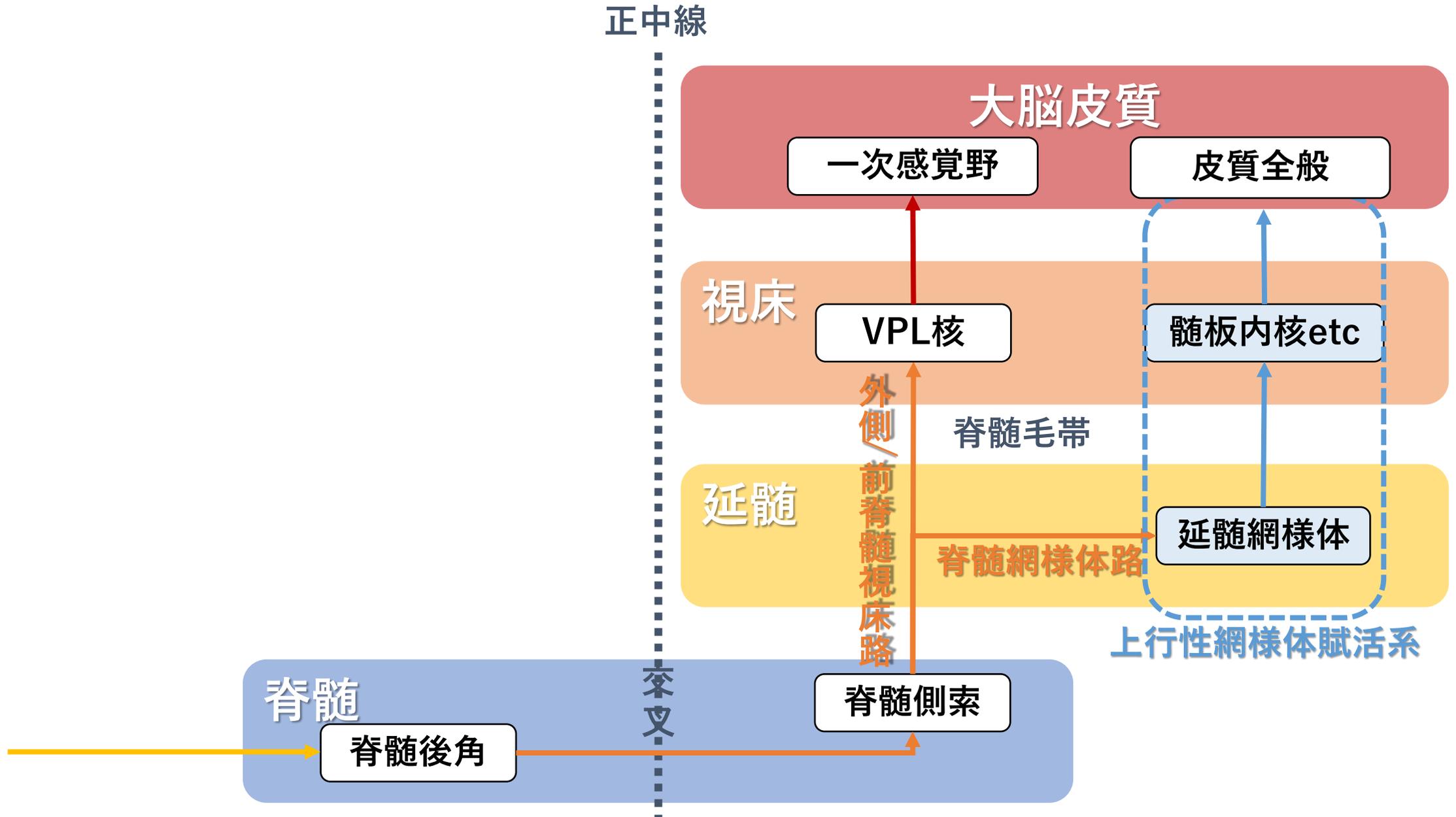


脊髓網様体視床路

- ✓ **意識**水準の維持/調節，姿勢維持や歩行などの自動運動の調節
- ✓ 怒り/恐れなど情動行動の誘発に関与，侵害受容ニューロンが網様体にも投射。

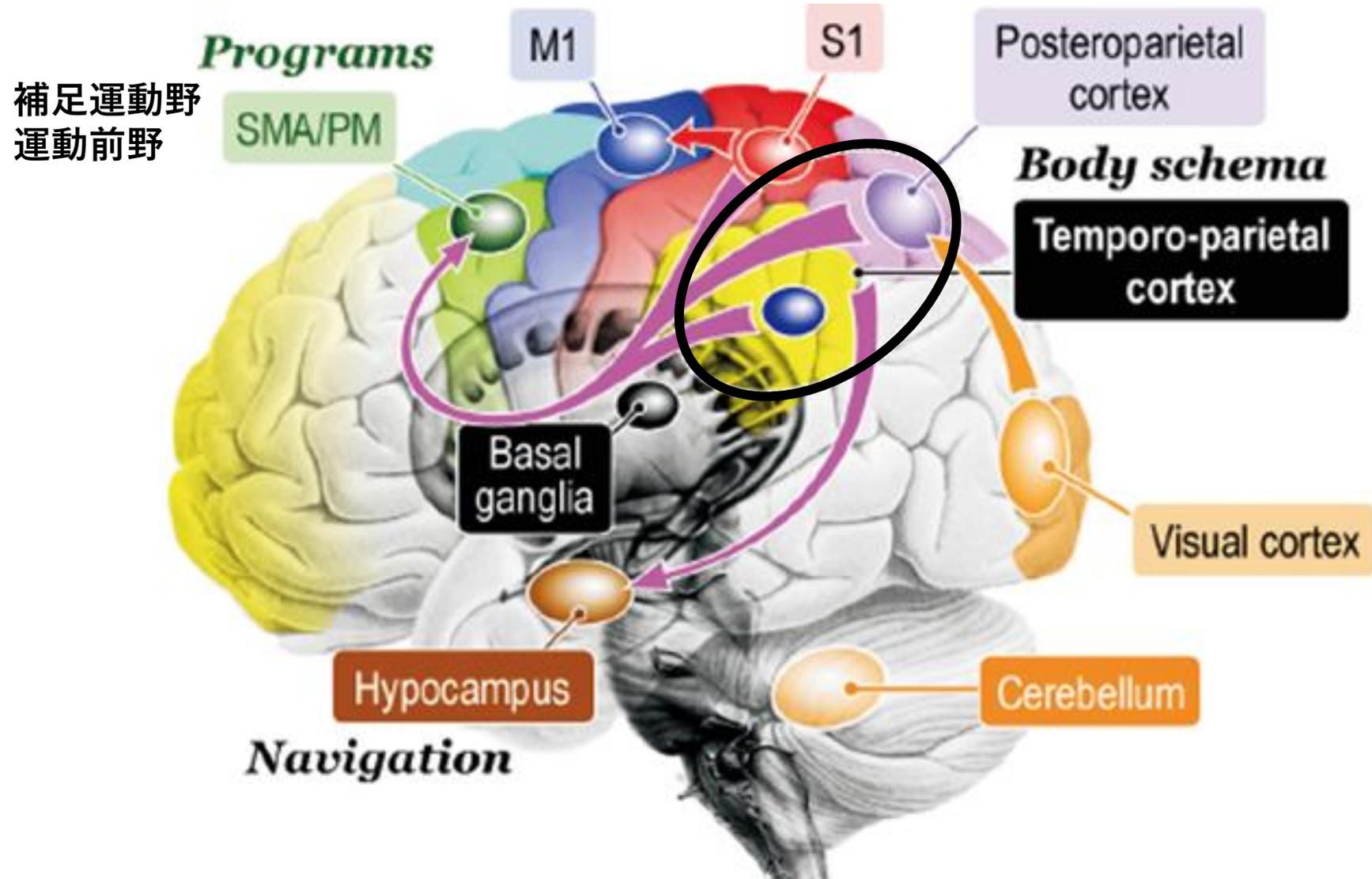


前側索経路まとめ



ここだけは押さえない①

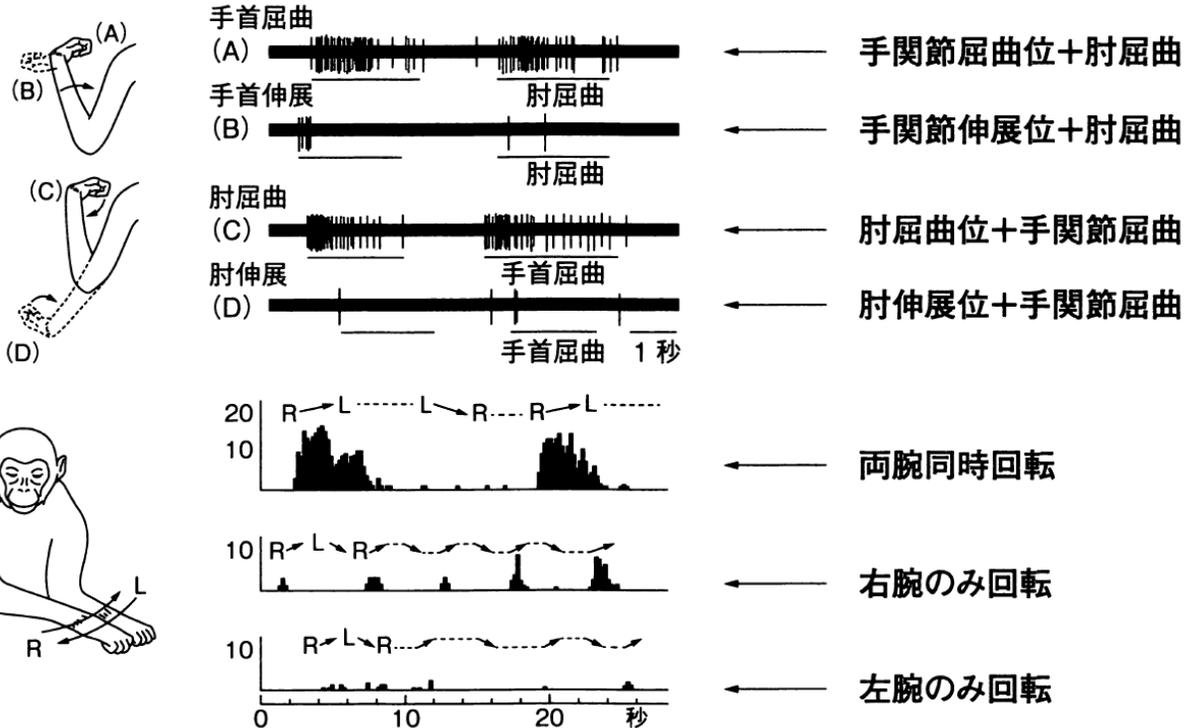
- ✓ 運動プログラムは身体図式の情報を基に生成される ⇒ 正しい身体図式を作りたい！



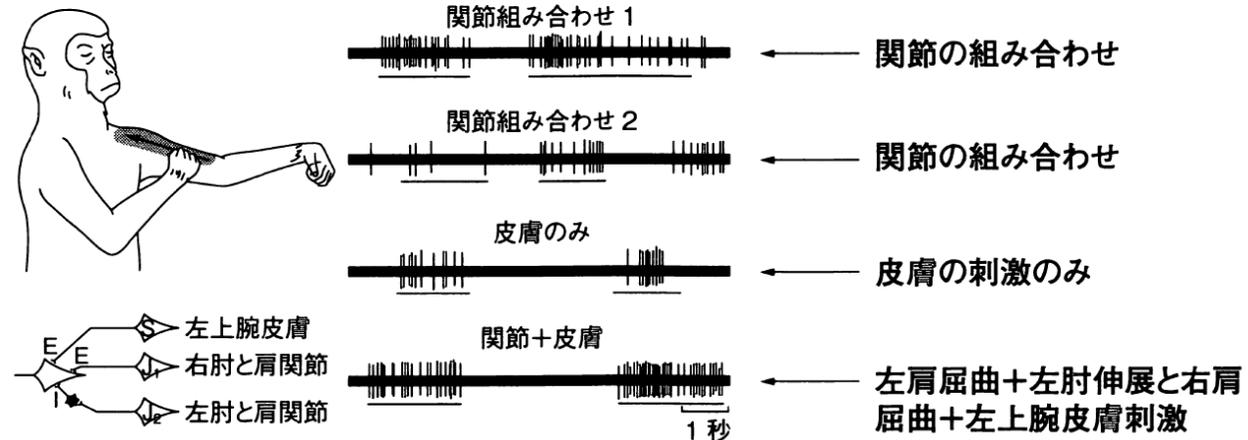
ここだけは押さえない②

✓ 各関節の位置で特異的に反応するニューロンがある ⇒ 様々な肢位・姿勢で関節運動が制御できるように！

関節組み合わせニューロン



皮膚・関節組み合わせニューロン



ある関節の組み合わせによって発火するニューロン

皮膚刺激と関節運動刺激の組み合わせによって発火するニューロン

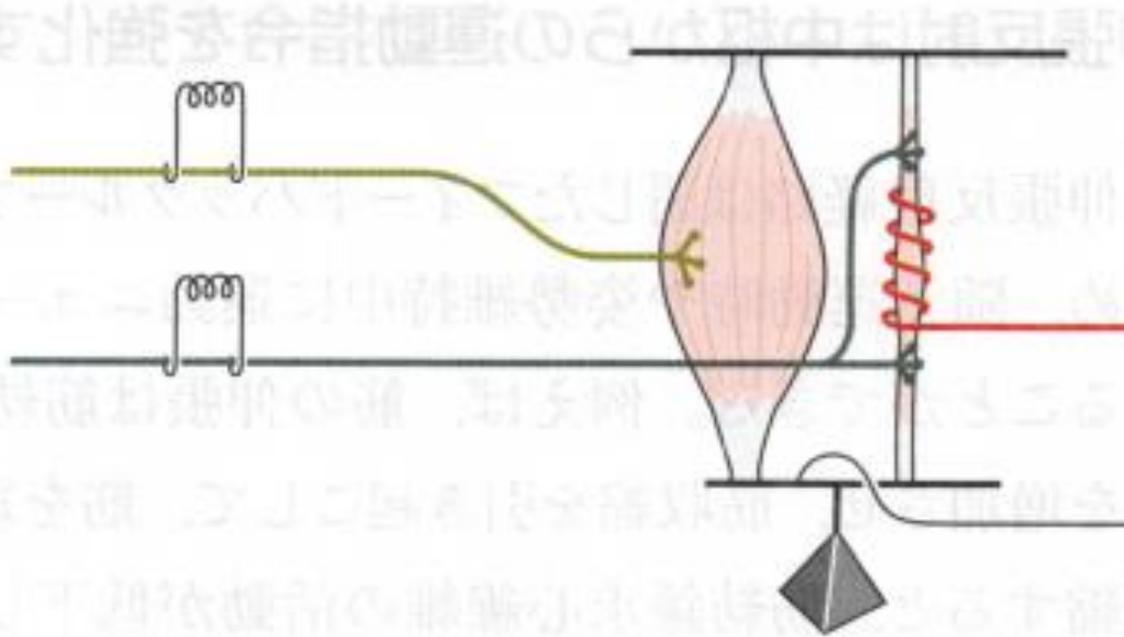
ここだけは押さえない③

- ✓ 筋紡錘を最適な張力に保つには、 α 運動ニューロンの活動 (α - γ 連関)が必要 → 運動療法！
- ✓ 自動運動によって脊髄小脳路はより活性化する (≒感覚情報が増える) → 運動療法！

前脊髄小脳路(+)

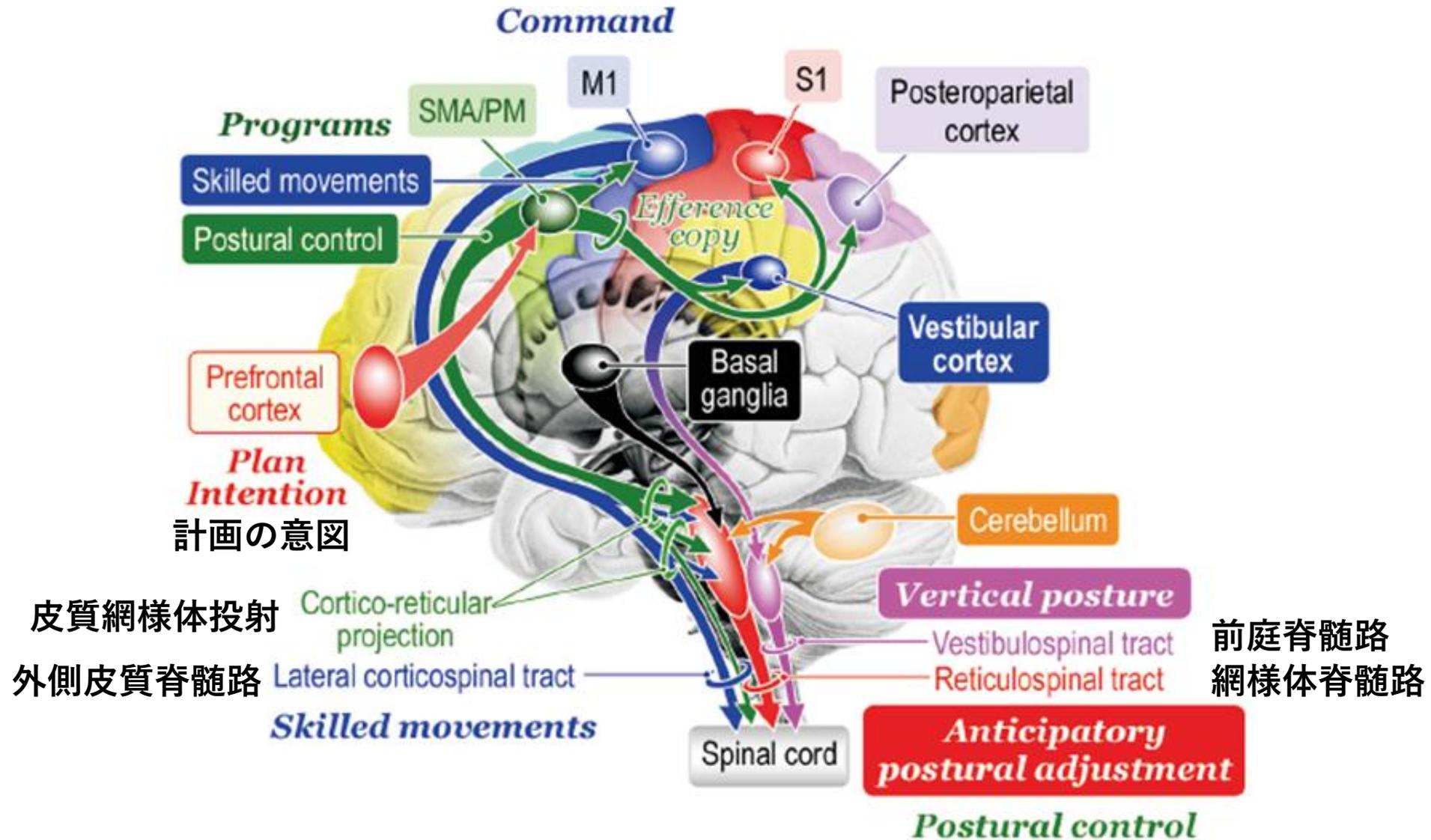
後脊髄小脳路(+)

C α 運動ニューロンと γ 運動ニューロンの刺激



ここだけは押さえない④

- ✓ 運動の出力は遠心性コピーとして頭頂葉/小脳に送られ結果と照合される → 身体図式/内部モデルの更新！



ここだけは押さえない⑤

- ①：外界からのフィードバックに依存した運動戦略をとる段階（新規or問題となる課題に直面した際）
- ②：誤差信号を取り入れながら内部モデル構築のためにトレーニングする段階
- ③：内部モデルの構築により，感覚フィードバックなくとも運動を実行可能な段階

