

オペレータの熟練操作のスキル学習とルール抽出手法

○寺西 正弥, 庄瀬 貴大, 前田 陽一郎, 高橋 泰岳
福井大学 大学院工学研究科 知能システム工学専攻

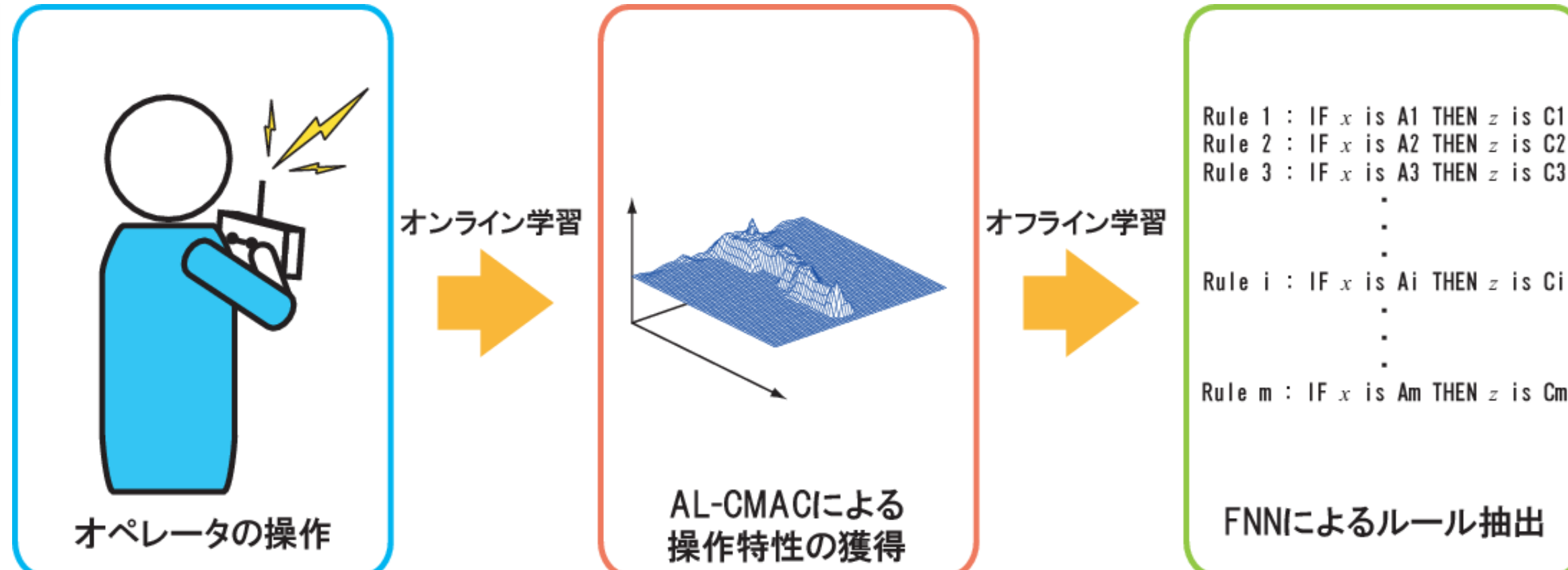
研究概要

研究背景

- 近年、ロボットの知能化研究が盛んに行われているが、知能ロボットの制御において複雑な作業になると目標タスクを**実現できない場合**がある。
- しかしながら、熟練者の操作により、ロボットが目標タスクを**実現できる場合**もある。
⇒熟練者の操作特性獲得やルールによる知識表現は**非常に有効**。
- 操作特性獲得などの過去の研究では、主に学習結果が**数値データ**である。
⇒人間が**理解することが難しい**ことや、ファジィルールを記述することが**容易**ではない。

研究目的

- 数値データよりも人間が**理解しやすいルール形式**により学習結果を得てスキルを解析することを目的とする。



本研究では、適応学習CMAC(AL-CMAC)による**オペレータの操作特性獲得**とファジィニューラルネットワーク(FNN)による**ルール抽出手法**を提案する。

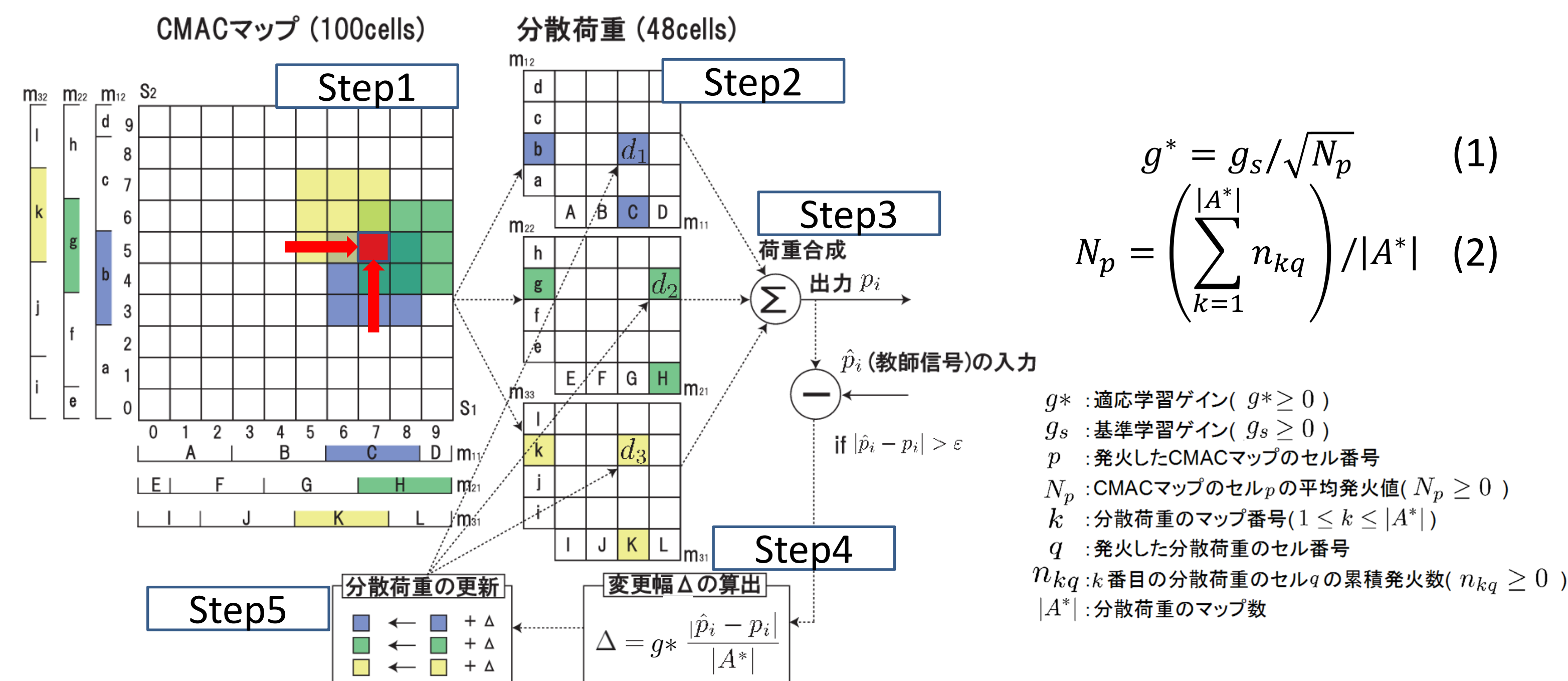
AL-CMAC

・CMAC(Cerebellar Model Arithmetic Controller):小脳の理論的モデル

- 人間の学習メカニズムをモデルとし、学習の効率化を図ったCMACである。
- 学習ゲインを可変させることにより学習初期には積極的な、収束期では慎重な学習を行う。

AL-CMAC アルゴリズム

- Step1:状態入力に応じたCMACマップのセルが発火する。
Step2:各々の分散荷重のセルが発火する。
Step3:発火した分散荷重のセル値の合計が出力となる。
Step4: (1)式より、適応学習ゲイン g^* を基準学習ゲイン g_s から平均発火回数 N_p で割り求める。
平均発火回数 N_p は、(2)式を用いてセルごとに求める。
Step5:出力と教師信号の差から適応学習ゲイン g^* をかけ分散荷重を修正する。



$$g^* = g_s / \sqrt{N_p} \quad (1)$$

$$N_p = \left(\sum_{k=1}^{|A^*|} n_{kq} \right) / |A^*| \quad (2)$$

g^* : 適応学習ゲイン ($g^* \geq 0$)
 g_s : 基準学習ゲイン ($g_s \geq 0$)
 p : 発火したCMACマップのセル番号
 N_p : CMACマップのセル p の平均発火値 ($N_p \geq 0$)
 k : 分散荷重のマップ番号 ($1 \leq k \leq |A^*|$)
 q : 発火した分散荷重のセル番号
 n_{kq} : k 番目の分散荷重のセル q の累積発火数 ($n_{kq} \geq 0$)
 $|A^*|$: 分散荷重のマップ数

CMACマップのセル数

発火回数が**少ない**

発火回数が**多い**

学習ゲイン

高く維持できる

低く抑えられる

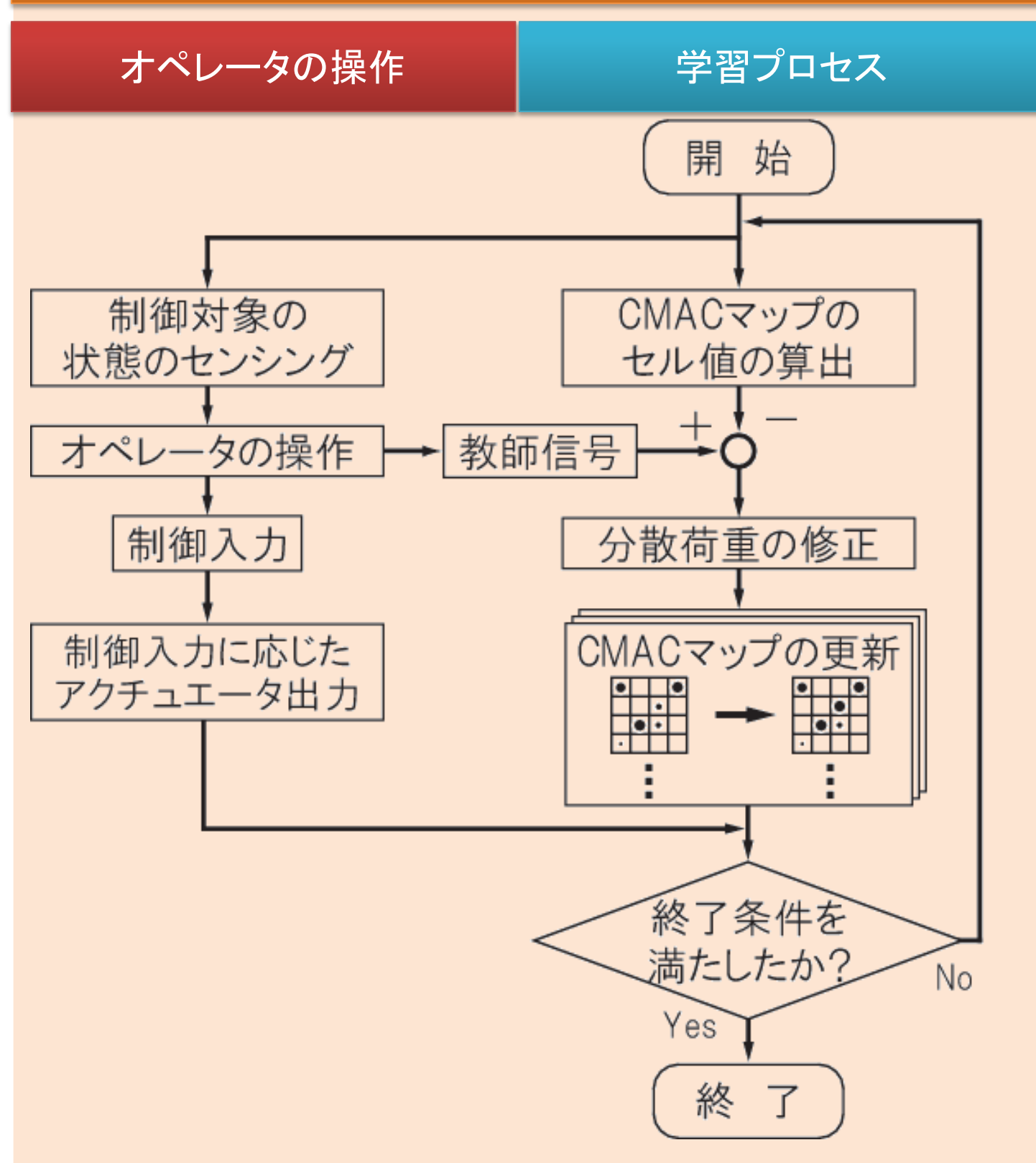
局所

大局的な学習

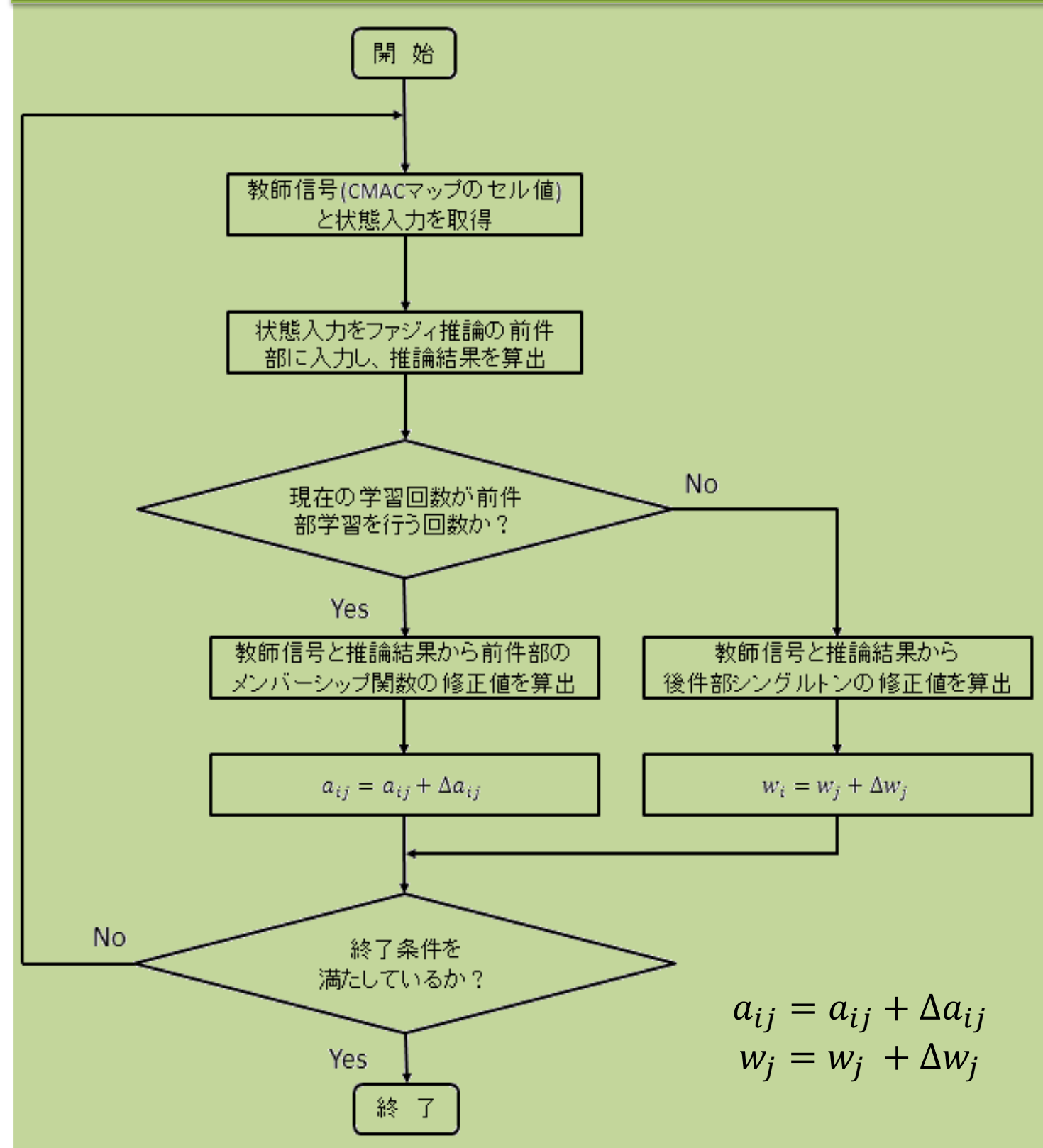
局所的な学習

効率的な
学習が可能

操作特性獲得フロー



ルール抽出フロー



AL-CMACによる操作特性獲得実験

ラジコンカーを用いて、熟練者と初心者の操作特性を獲得する実験を行った。

実験条件

- 両被験者は予め、十分な練習をしてもらった。
- 後退操作で車庫入れを行う。
- 与えた指示: **できる限り速くかつ、正確に車庫入れを行う。**

被験者	性別	年齢	身分	操作歴	CMACマップのサイズ	62×62(3844セル)	CMACの入力	範囲と分解能
A	男	22	学部生	6か月	分散荷重のサイズ	21×21×3(1323セル)	r (pixel)	0≤r≤500,8.0
B	男	24	院生	3年	基準学習ゲイン	0.5	θ (deg)	-45≤θ≤45,1.4

本実験では、ラジコンカーの前後に色マークを取り付け、天井カメラを用いて画像を取得し、色抽出を行い、**位置情報**を取得した。**車庫入れ**操作実験を行い、AL-CMACにより**操作特性獲得**を行った。



状態入力

- 青色マーカーとランドマークとの距離 r
- 青色マーカーとランドマークを結んだ線と青色、黄色マーカーを結んだ線のなす方位 θ
⇒距離 r と方位 θ の2次元の状態入力を用いる。

操作出力(教師信号)

進行方向:
ステアリング

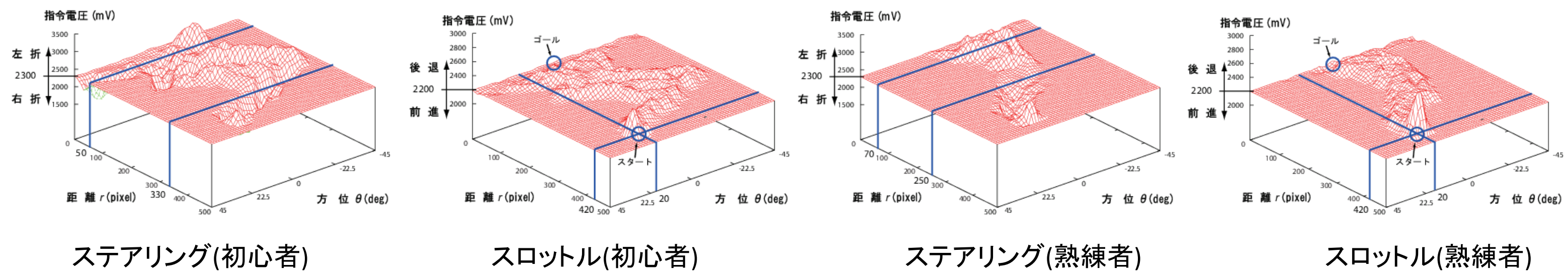
速度:
スロットル

プロボの電圧:
2300(mV)
右折
左折

プロボの電圧:
2200(mV)
後退
前進

実験結果

操作特性獲得実験で得られた熟練者と初心者のCMACマップを下图に示す。



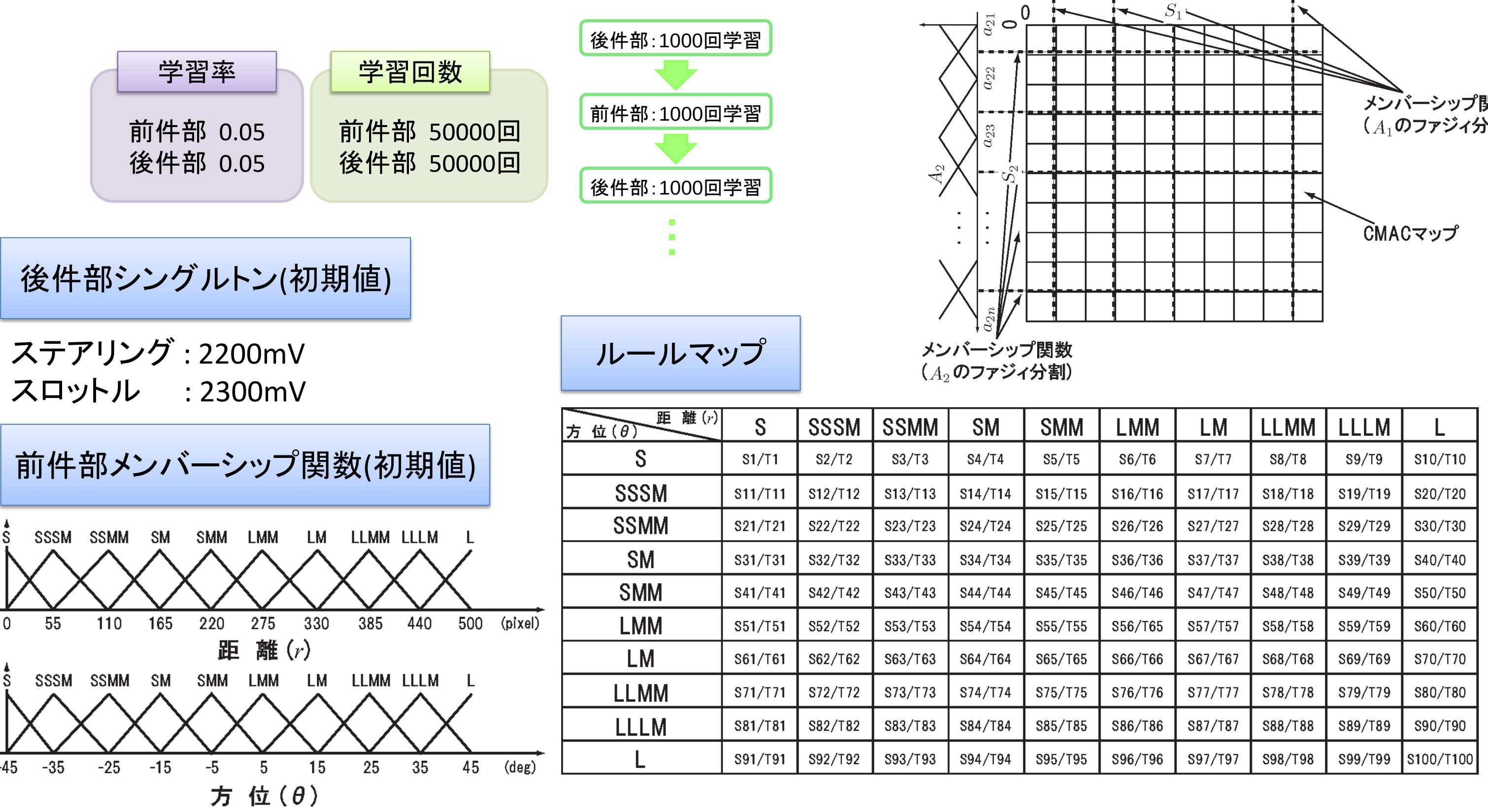
FNNによるCMACマップからのルール抽出

CMACマップを教師信号とし、FNNを用いてファジィルールの抽出を行う。

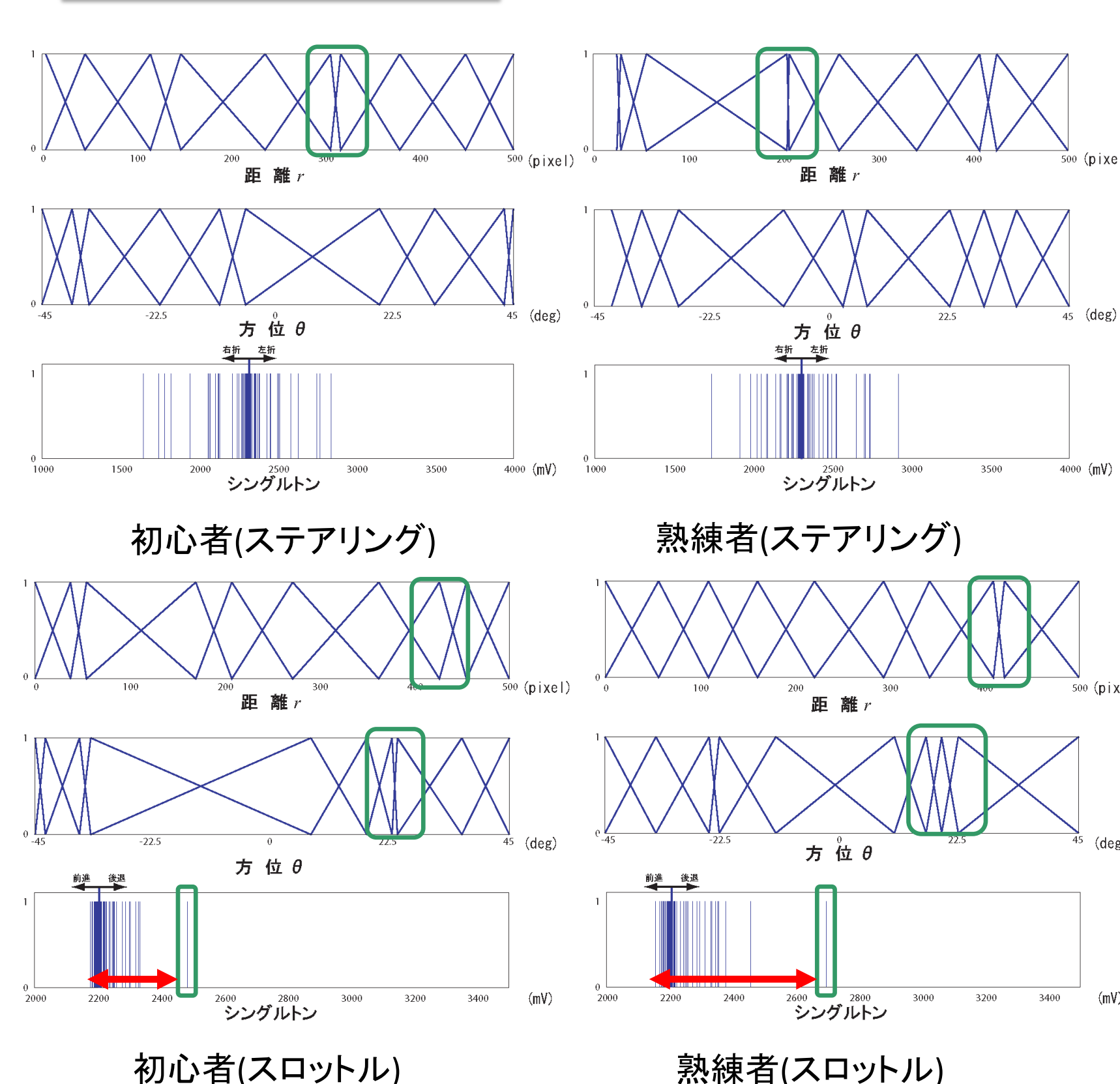
⇒二乗誤差による誤差逆伝播法を用いた。

学習は前件部と後件部ともに行った。

前件部ファジィ分割は、CMACマップの入力を均等に10分割した。



実験結果



まとめ

- AL-CMACを用いて、初心者と熟練者の**操作特性の獲得**を行った。
- 得られたCMACマップを用いてFNNによる**ルール抽出**を行った。
- 操作特性獲得実験から、熟練者が**最短経路**を目指していたのに対し、初心者は車庫入れの**最終状態に重点**をおいて操作を行っていた。

今後の課題

- 熟練者が**急激な発進**を行っていたのに対し、初心者は**慎重な発進**を行っていた。
- 獲得されたファジィルールから熟練者の**スキル抽出**を行う方法を検討する。
- 操作パラメータが多いラジコンヘリなどで、同様の実験を行い、**ルールを抽出**する。

参考文献

- J.S.Albus, "Data storage in the cerebellar model articulation controller(CMAC)," Transaction of the American Society of Mechanical Engineers Journal of Computational and Nonlinear Dynamics, 97, pp.228-233 (1975)
- 藤澤正一郎,黒住亮太,大西諒,川田和男,山本徹, "CMACを用いたオンライン学習による全方移動ロボットの経路追従制御," 電気学会論文誌, Vol.122-D, No.9, pp.910-917 (2002)
- 堀川慎一,古橋武,内川嘉樹, "ファジィニューラルネットワークの構成法と学習法," 日本知能情報ファジィ学会誌, Vol.4, No.5, pp-906-928 (1992)

