

ヒトの思考プロセスの解明を目的とする ワーキングメモリの研究

電気通信大学

総合コミュニケーション科学推進室

田中 繁

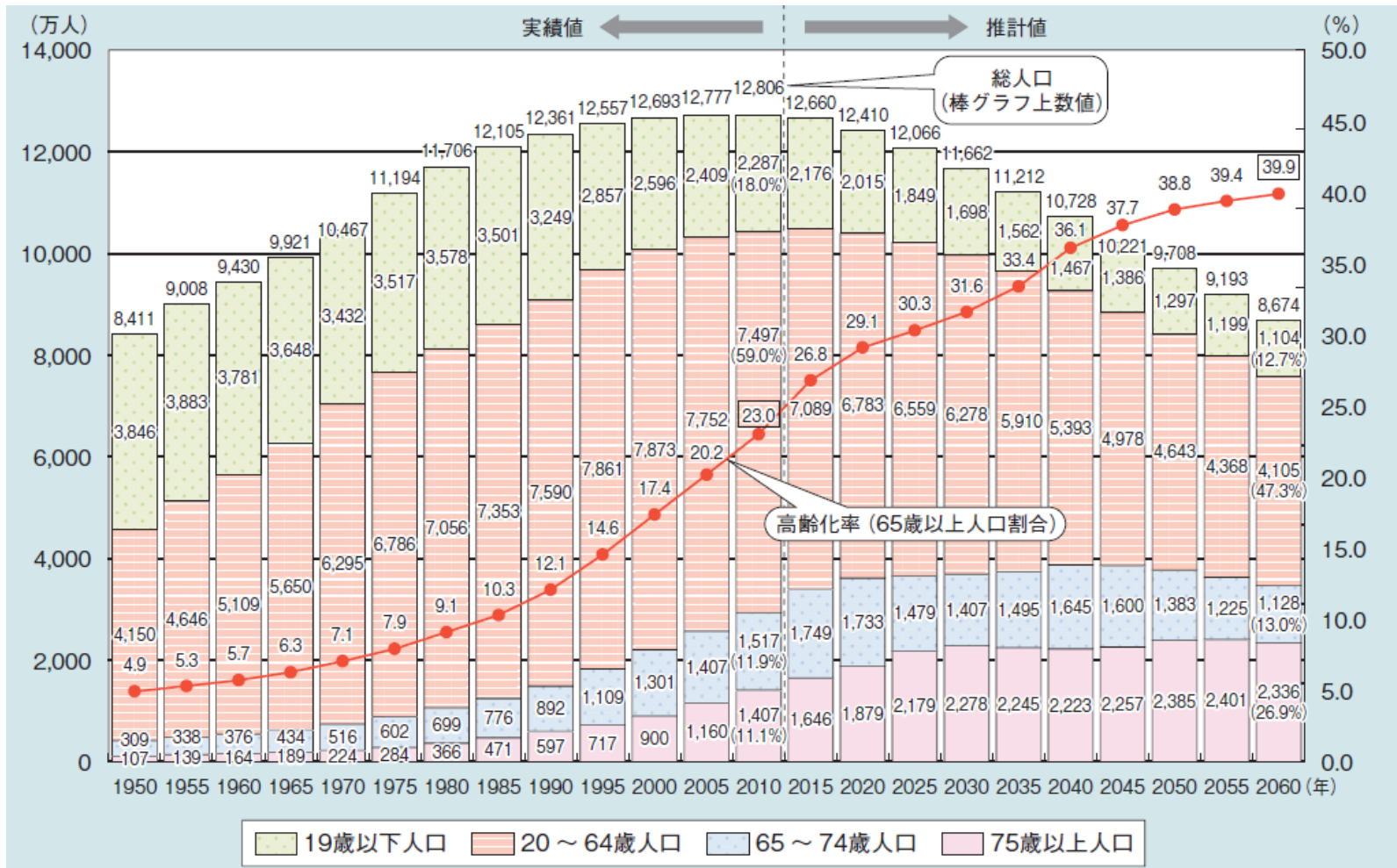
本日のお話

1. 発達障害とワーキングメモリ(WM)研究
2. 記憶、思考、WMの関係
3. ワーキングメモリ課題
4. 既存のモデル
5. WMに関わる脳部位
6. WMの提案モデル
7. ルール学習とは何か
8. WM研究の展望

1. 発達障害とワーキングメモリ (WM)研究

超高齢社会の到来

- 高齢化率 = (65歳以上人口) / (総人口)
- 我が国の高齢化率 = 23% (2010年)、26.5% (2015年推計)
- 高齢化社会 (7%~14%), 高齢社会 (14%~21%), **超高齢社会 (21%~)**



発達障害

- 発達障害：自閉症、高機能自閉症、アスペルガー症候群、学習障害、注意欠陥/多動性障害

コミュニケーション能力に問題

ワーキングメモリの障害が一要因と考えられる

- 普通学級で、6.5%の児童
- 大学生で、10%の学生
- 発達障害は、器質的な障害（薬では治らない）

ワーキングメモリ研究→発達障害の理解と指導法改善

2. 記憶, 思考, WMの関係

記憶にも色々ある

- 長期記憶 ~ 本棚、ファイルキャビネット
- 短期記憶 ~ ノート、メモ帳
- 作業記憶 ~ 机、テーブル + 私

||

Working Memory

目的を遂行するために、必要な情報を一時的に保持し、その情報を操作する働き ~ 思考の根幹

論理的思考

- 概念をルールに従って順番に生成すること
- 概念の一時的保持と破棄が必要

例) $2 \times 3 + 3 \times 4$ の計算

$2 \times 3 = 6$ と計算し、6 という情報を保持

次に、 $3 \times 4 = 12$ と計算

$12 + 6 = 18$ と計算し、6 という情報を破棄

答え 18

言語における係り受け

- 英語における人称・数の一致

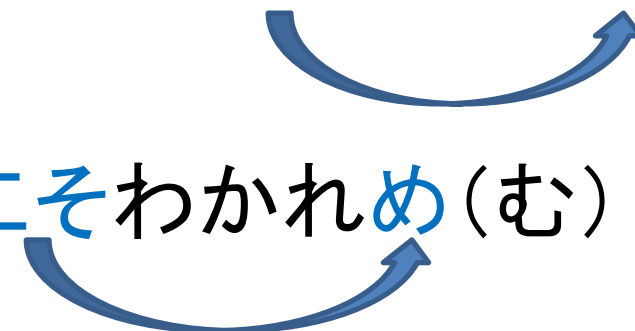
I am a UEC student. They are UEC students.



- 古語における係り結び

声聞くときぞ秋は悲しき(悲し)

今こそわかれめ(む)



コミュニケーションにおけるWM

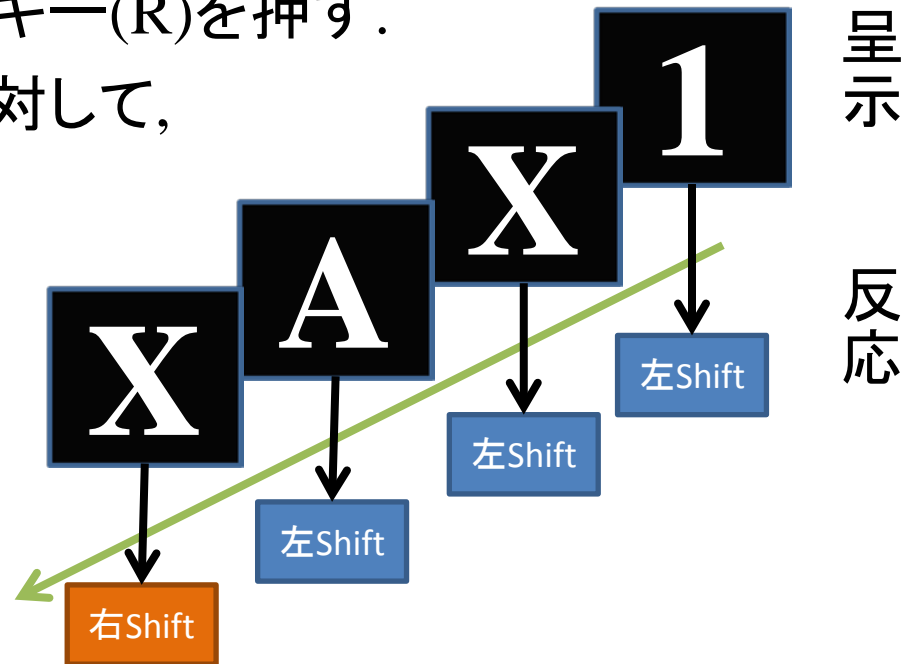
- 現在の話題、文脈を一時的に**保持**
- 終わった話題は**破棄**

3. ワーキングメモリ課題

- N-back task
- Stroop task
- Wisconsin card sorting task
- 1-2-AX task

1-2-AX課題

- 1, 2, A, B, X, Yの6種類のシンボルが呈示される
 - 1-AX の場合,
そのXに対して右シフトキー(R)を押す.
 - 2-BY の場合,
そのYに対して右シフトキー(R)を押す.
 - それ以外のシンボルに対して,
左シフトキー(L)を押す.



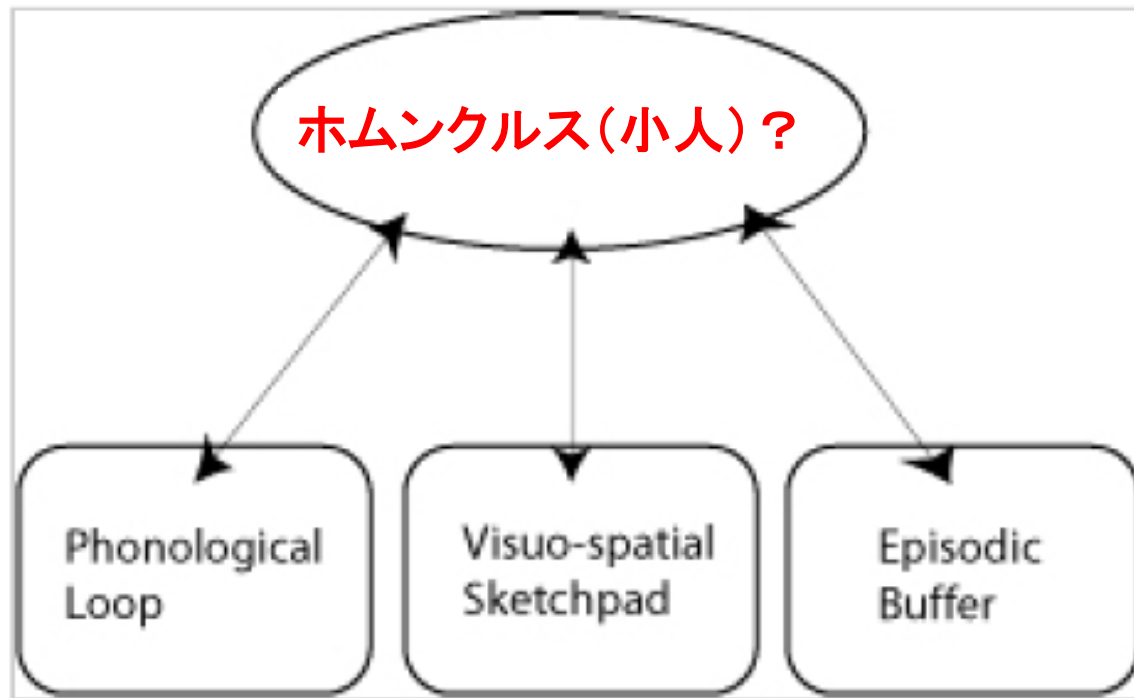
1-2-AX課題にチャレンジしてみよう！



4. 既存のモデル

Baddeley-Hitchの概念モデル

記憶系 + 中央実行系

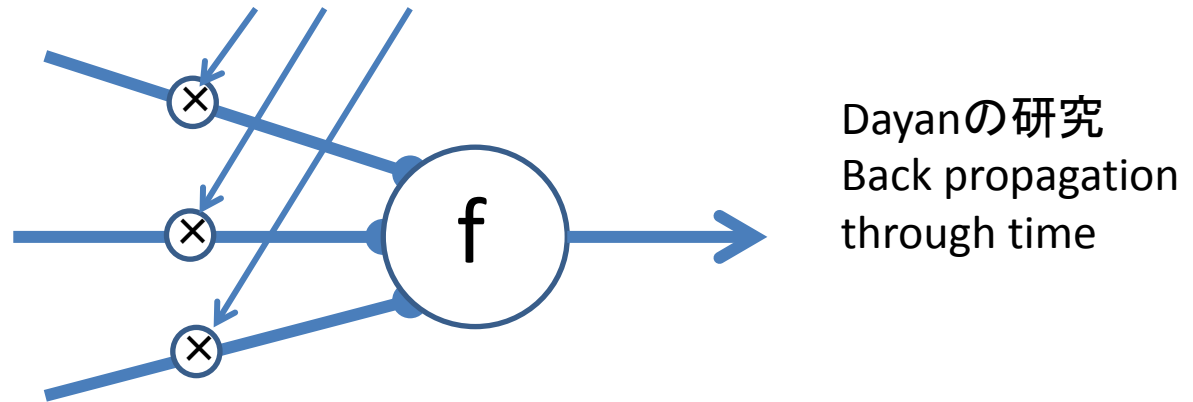


Multicomponent Model

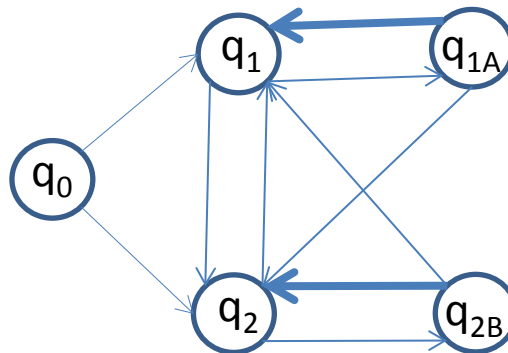
Baddeley & Hitch, 1974

数理モデル

Nonlinear recurrent neural network



有限オートマトンと等価 故に、チューリングマシンと等価



5. WMに関わる脳部位

- **短期記憶:**

下側頭葉、頭頂連合野、前頭前野、海馬
待機期間中に持続放電をするニューロン

- **中央実行系:**

大脳皮質-大脳基底核-視床-大脳皮質ループ
前頭葉における普遍的な構造
「思考」も「言語」も概念空間の「運動」

脳の構造

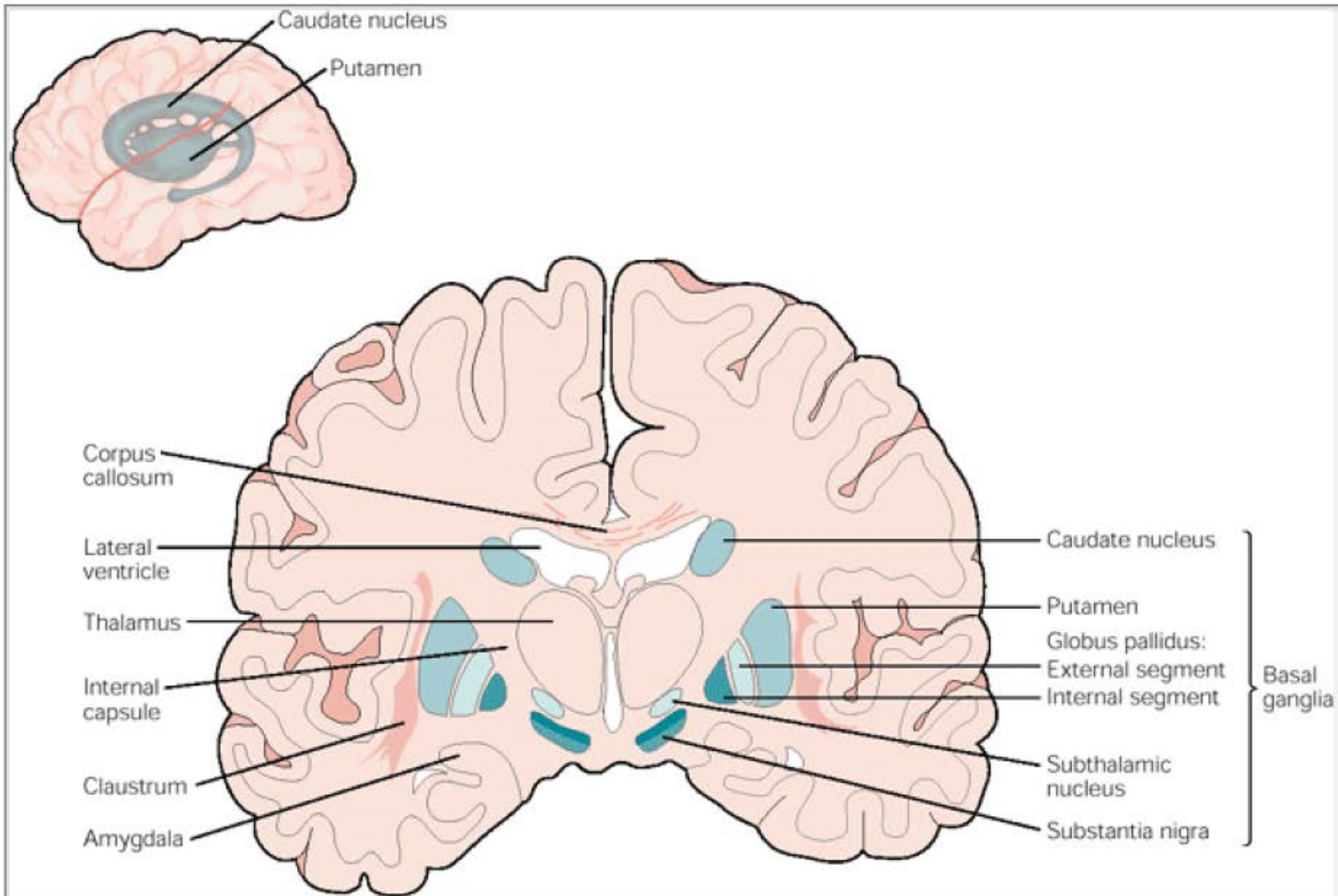
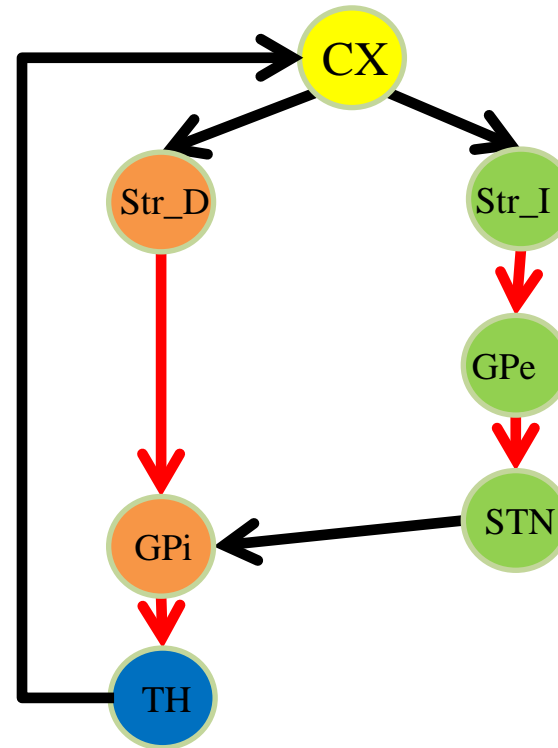
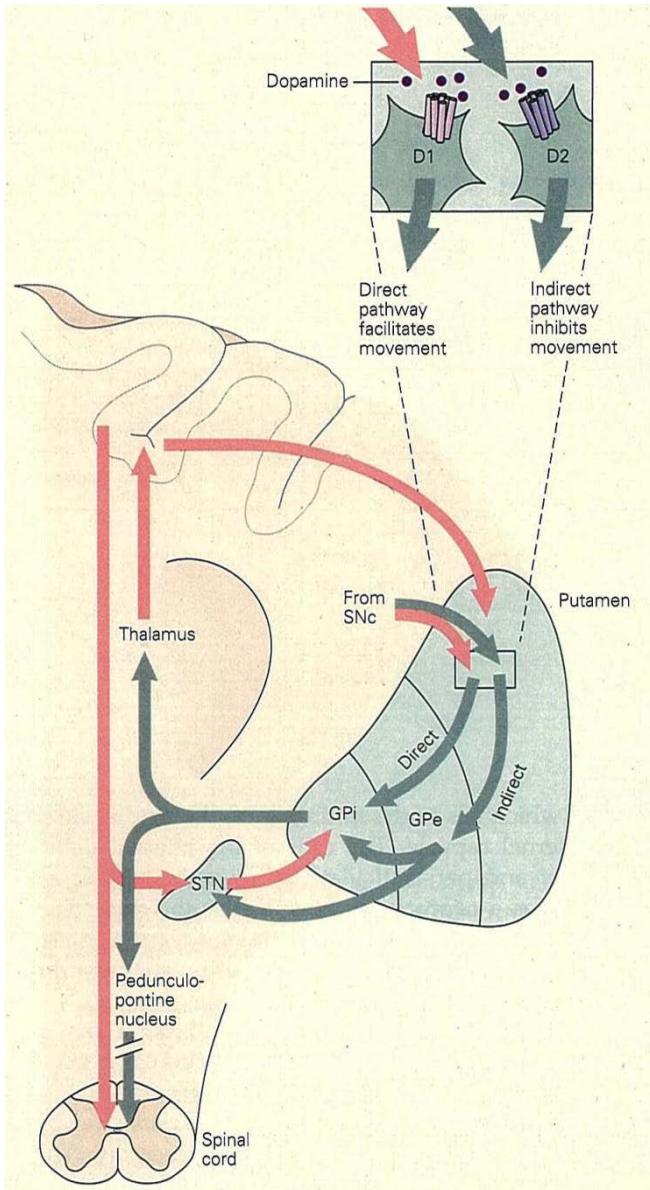


Figure 43-2 This coronal section shows the basal ganglia in relation to surrounding structures. (Adapted from [Nieuwenhuys et al. 1981.](#))

大脳皮質-基底核ループ

前頭葉に共通する脳構造



線条体中型有棘神経細胞 (MSN)

□ GABA作動性ニューロン

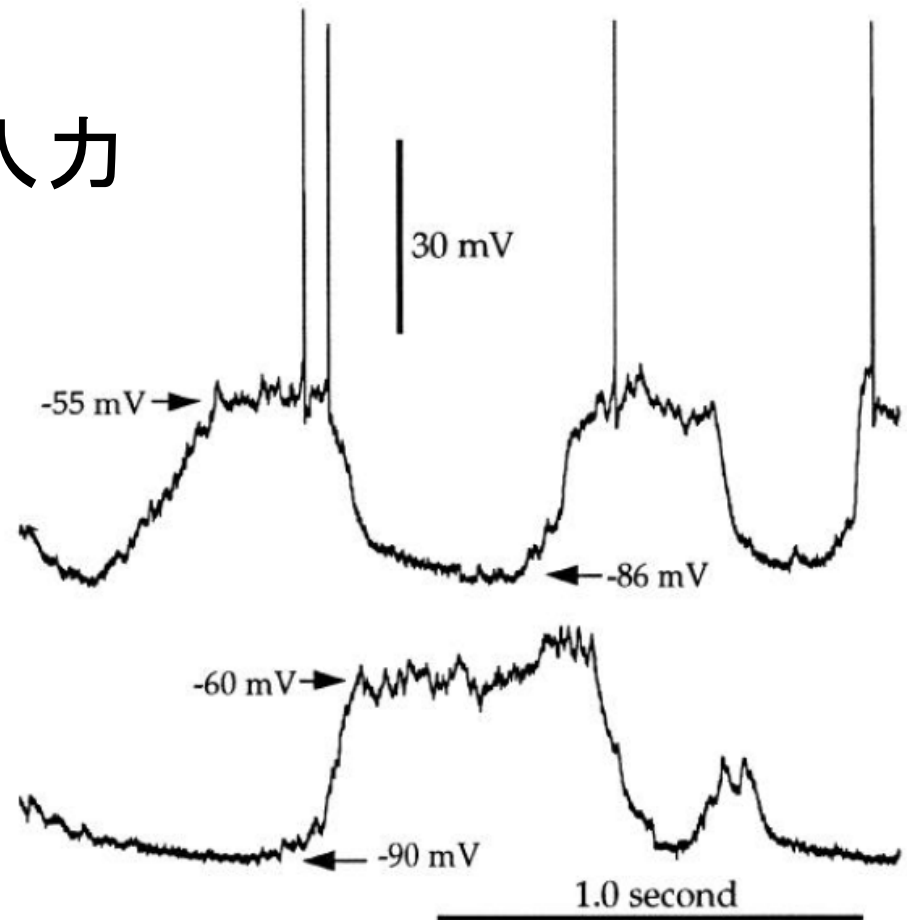
□ 大脳皮質と視床から入力

□ 淡蒼球に抑制性出力

□ 双安定静止膜電位

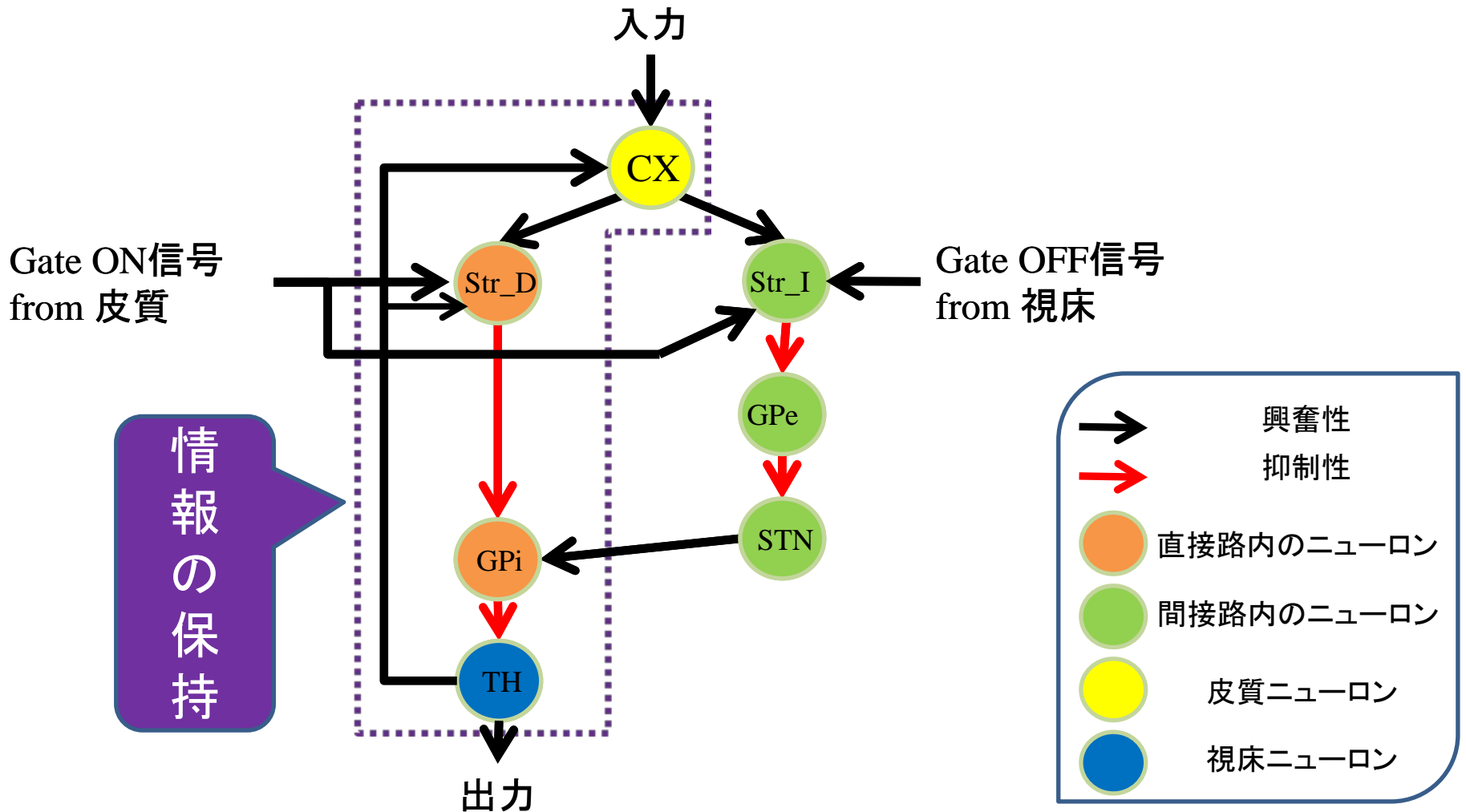
Up state

Down state

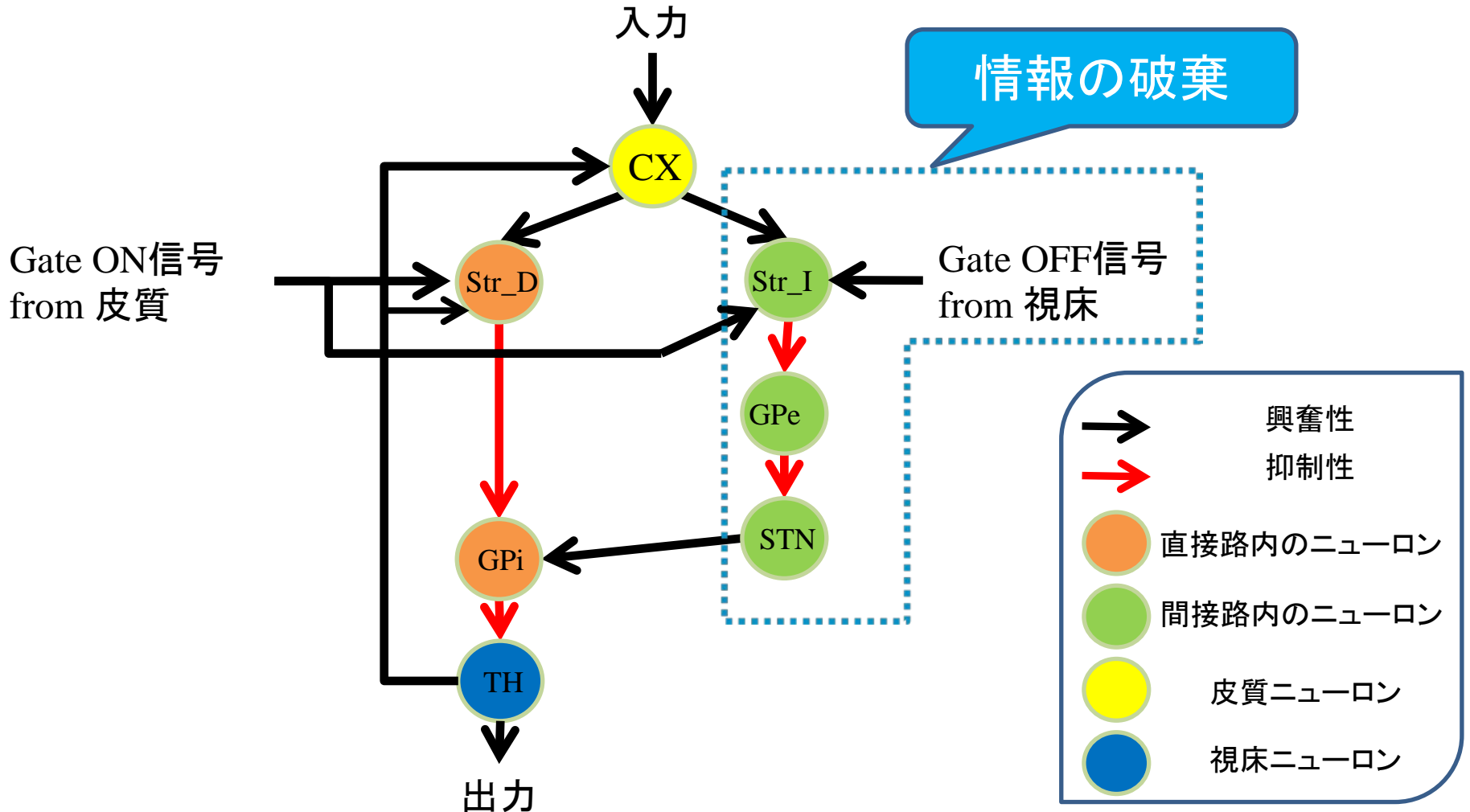


6. WMMの提案モデル

情報保持の回路



情報破棄の回路



レートコーディングニューロンモデル

j 番目のニューロンの活動 $\eta_j(t)$

$$\eta_j(t) = f(\zeta_j(t) - \theta_j)$$

しきい値
(0.0 ~ 1.4)

j 番目のニューロンの膜電位 $\zeta_j(t)$

時定数 \rightarrow $\tau_0 \frac{d\zeta_j(t)}{dt} = -\zeta_j(t) + \sum_i w_{ji} \eta_i(t) + r_j(t)$

発火のしやすさ

他のニューロンから j 番目のニューロンへの入力

変換関数 $f(x)$

$$f(x) = F(\tanh(\beta x)), F(y) = y \text{ for } y > 0, \text{ otherwise } 0$$

線条体ニューロンのモデル

- **双安定な静止膜電位**

down state から up state への遷移には

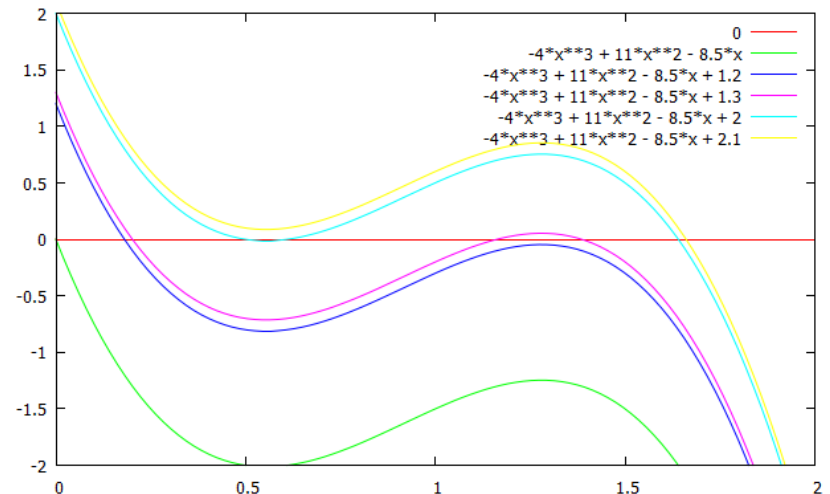
同期した多入力信号が必要

$$\frac{d\zeta_j(t)}{dt} = h(\zeta_j(t)) + I(t)$$

← 線条体への総入力

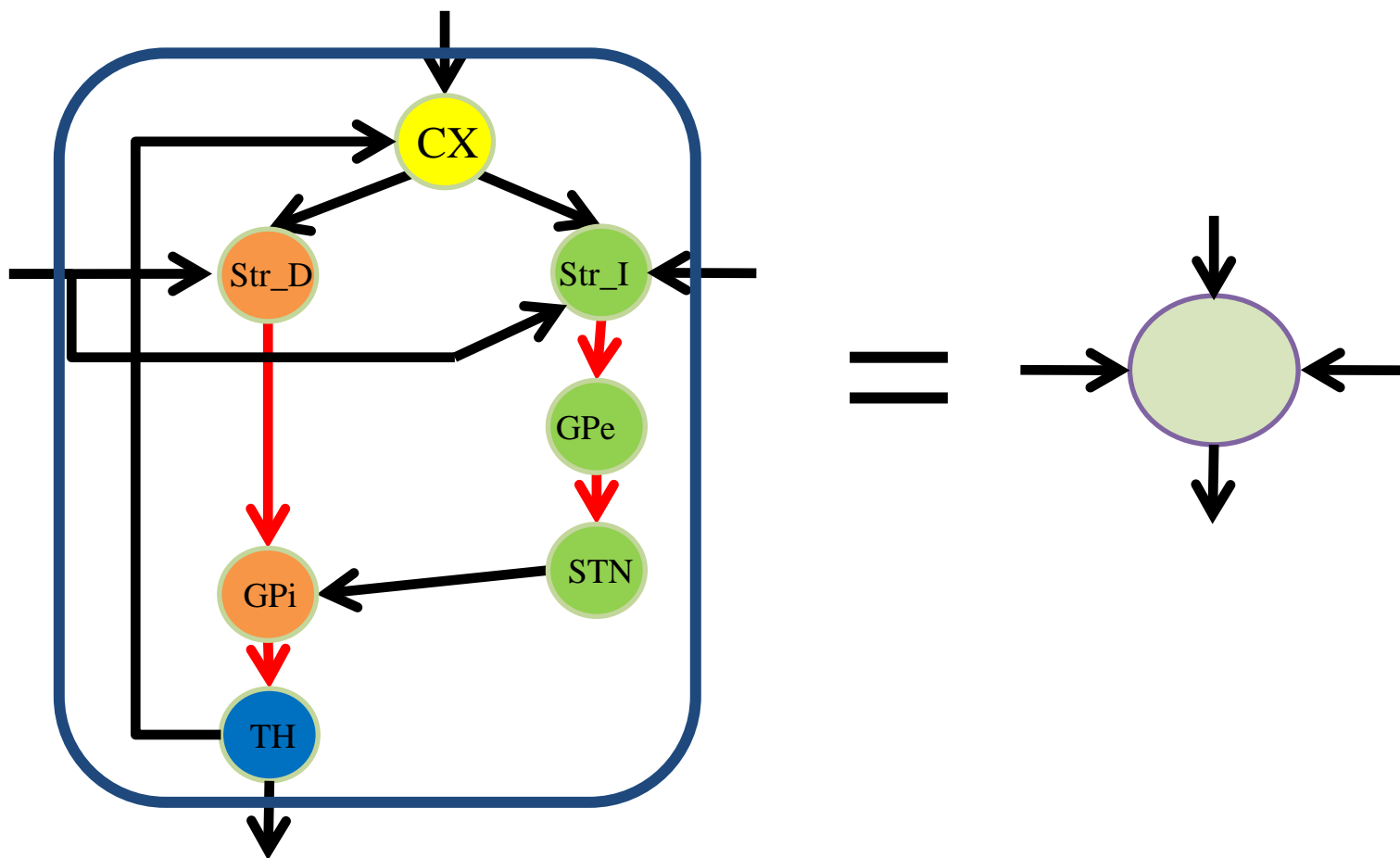
双安定性をもたらす

$$h(x) = -ax^3 + bx^2 - cx$$

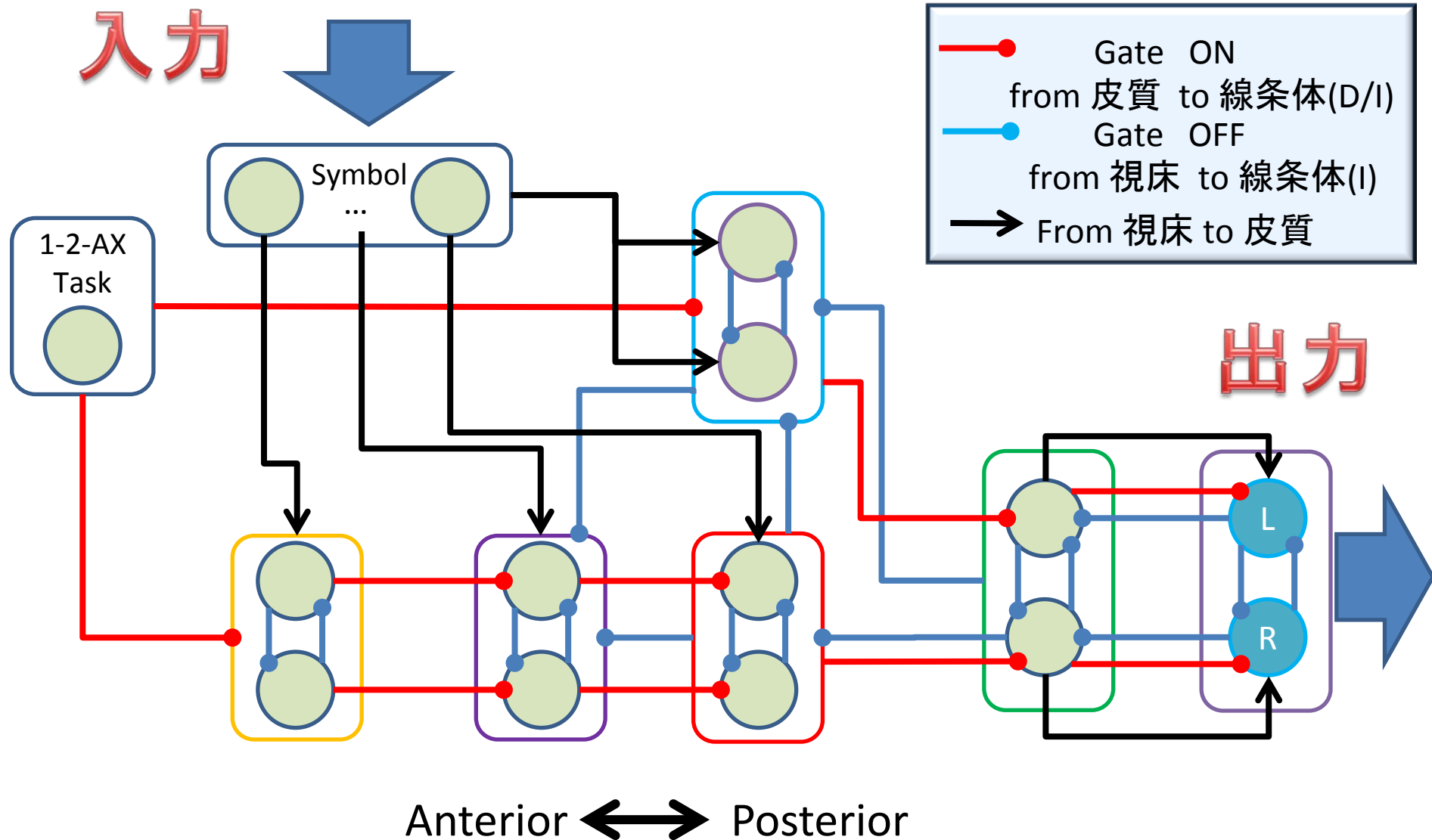


$a = 4, b = 11, c = 8.5$ のとき

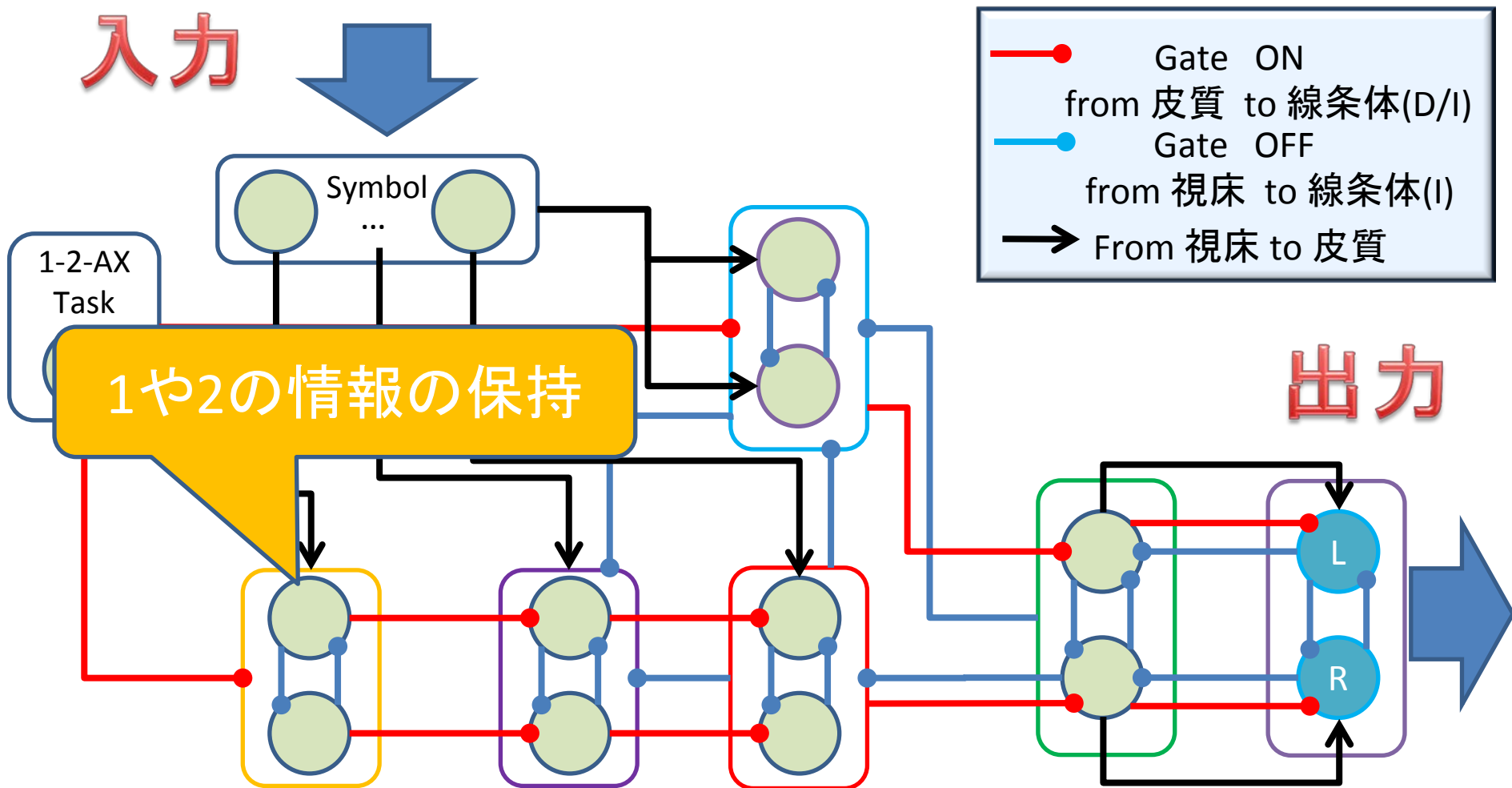
機能単位ループ



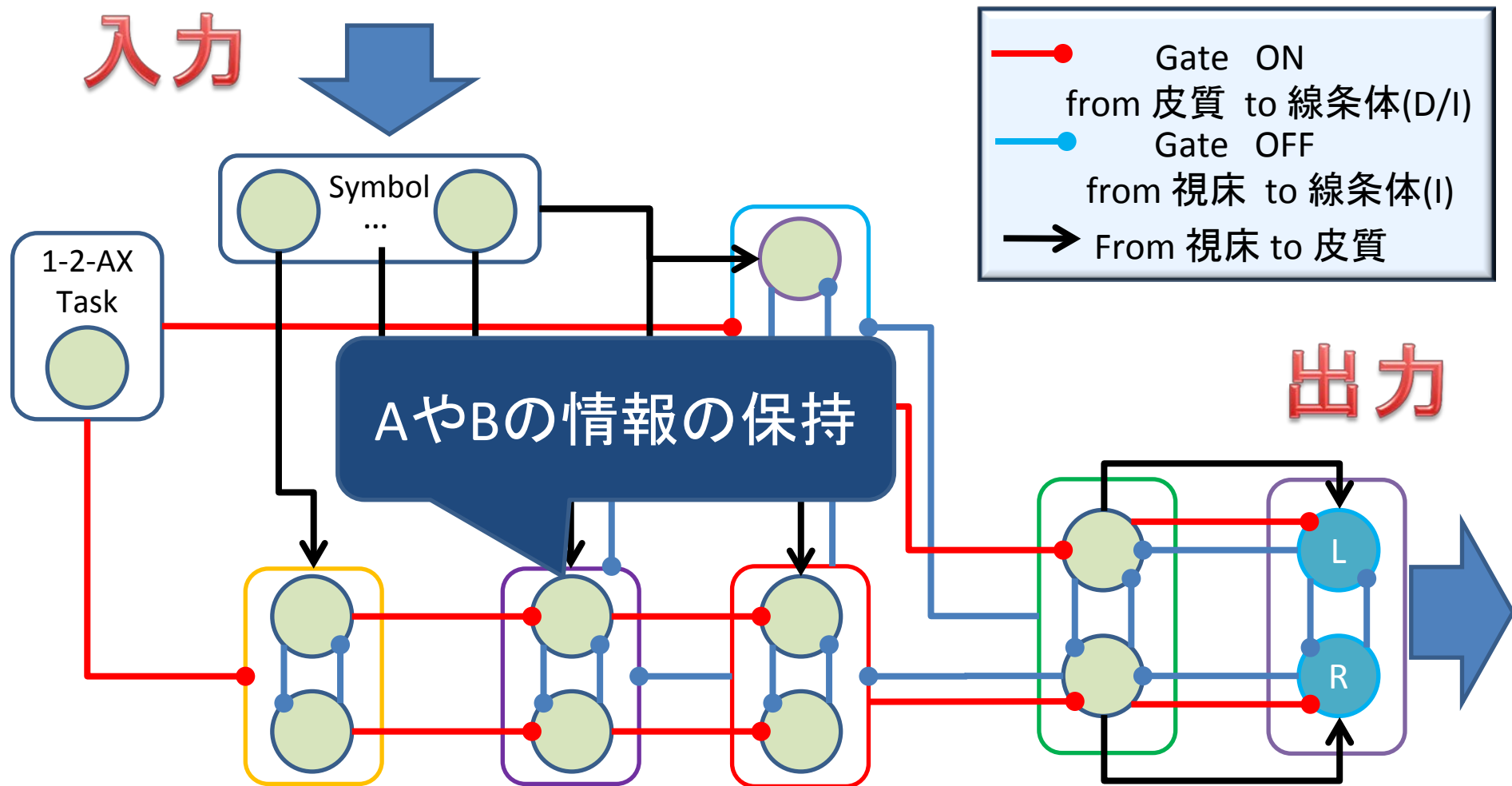
1-2-AX課題遂行のループ回路



1-2-AX課題遂行のループ回路



1-2-AX課題遂行のループ回路

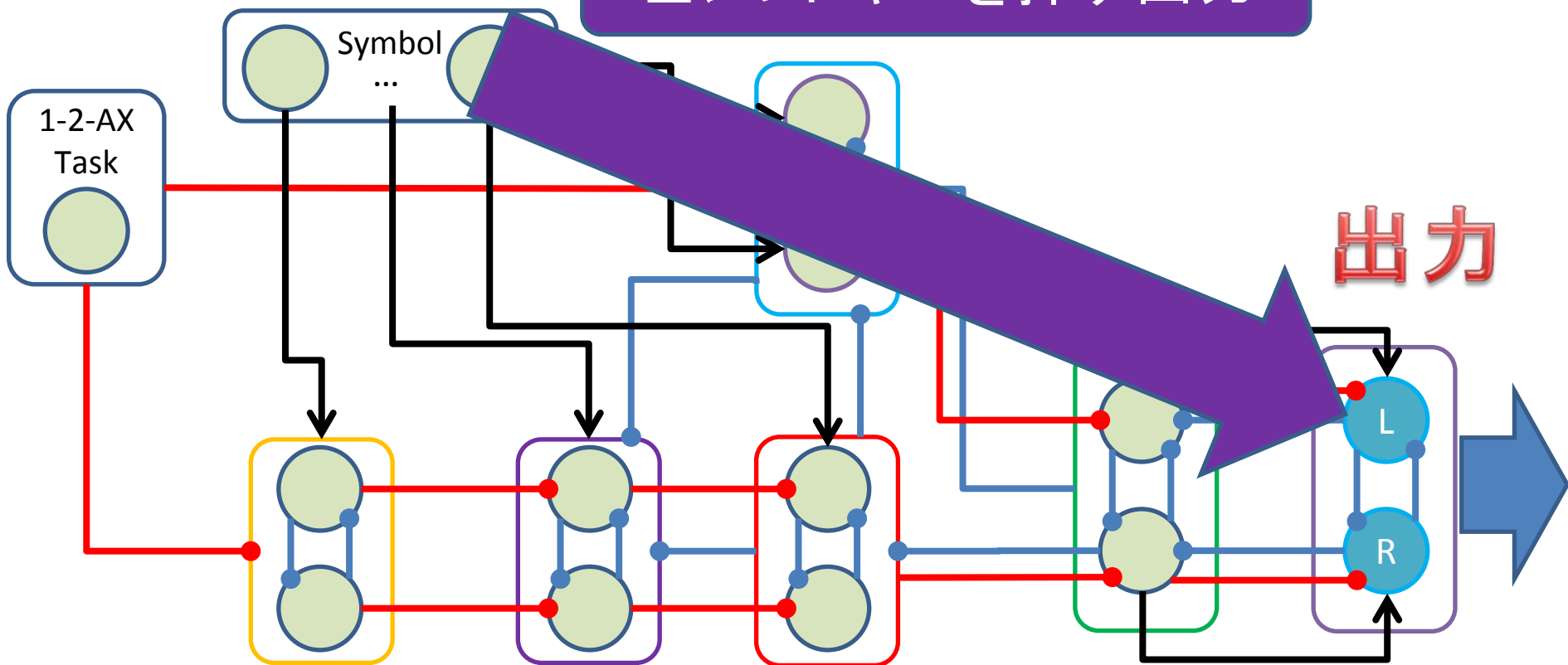


1-2-AX課題遂行のループ回路

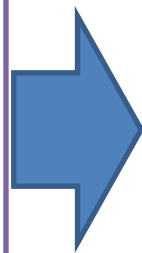
入力



左シフトキーを押す出力



出力

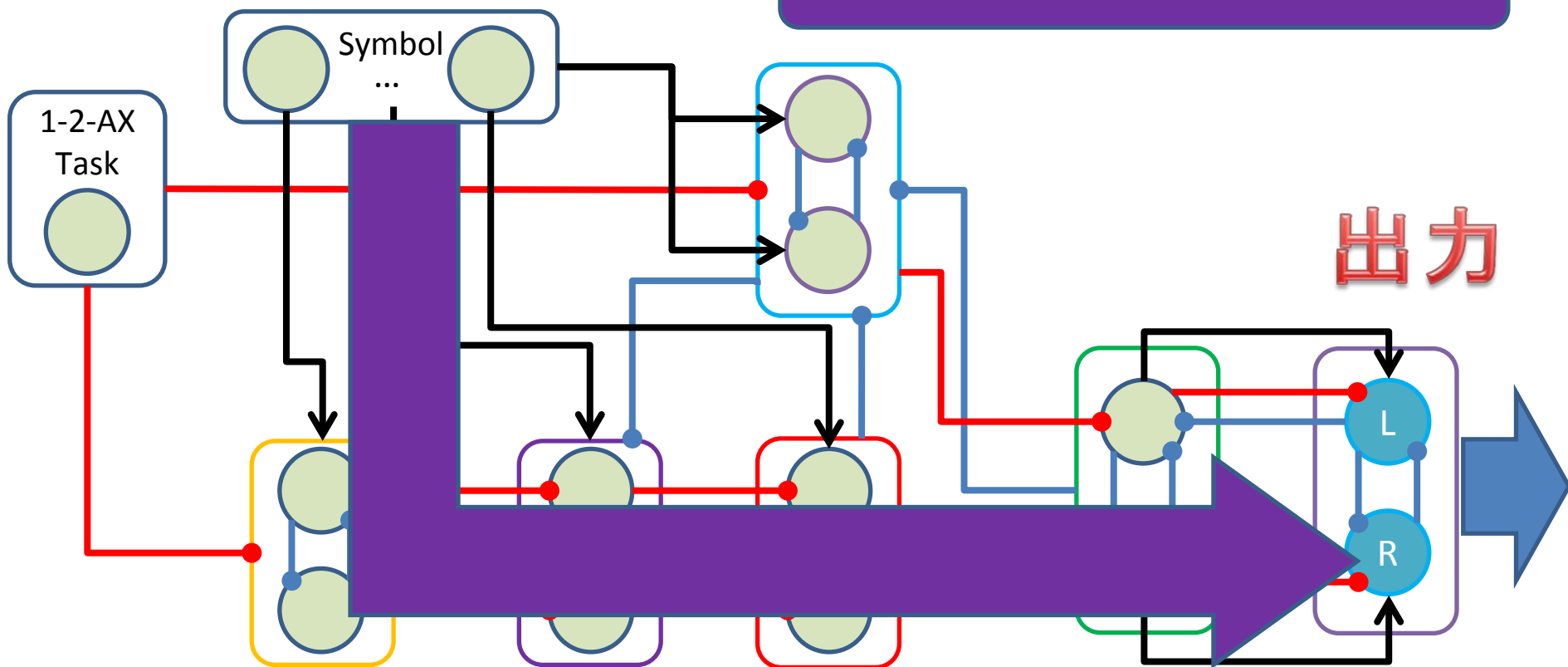


1-2-AX課題遂行のループ回路

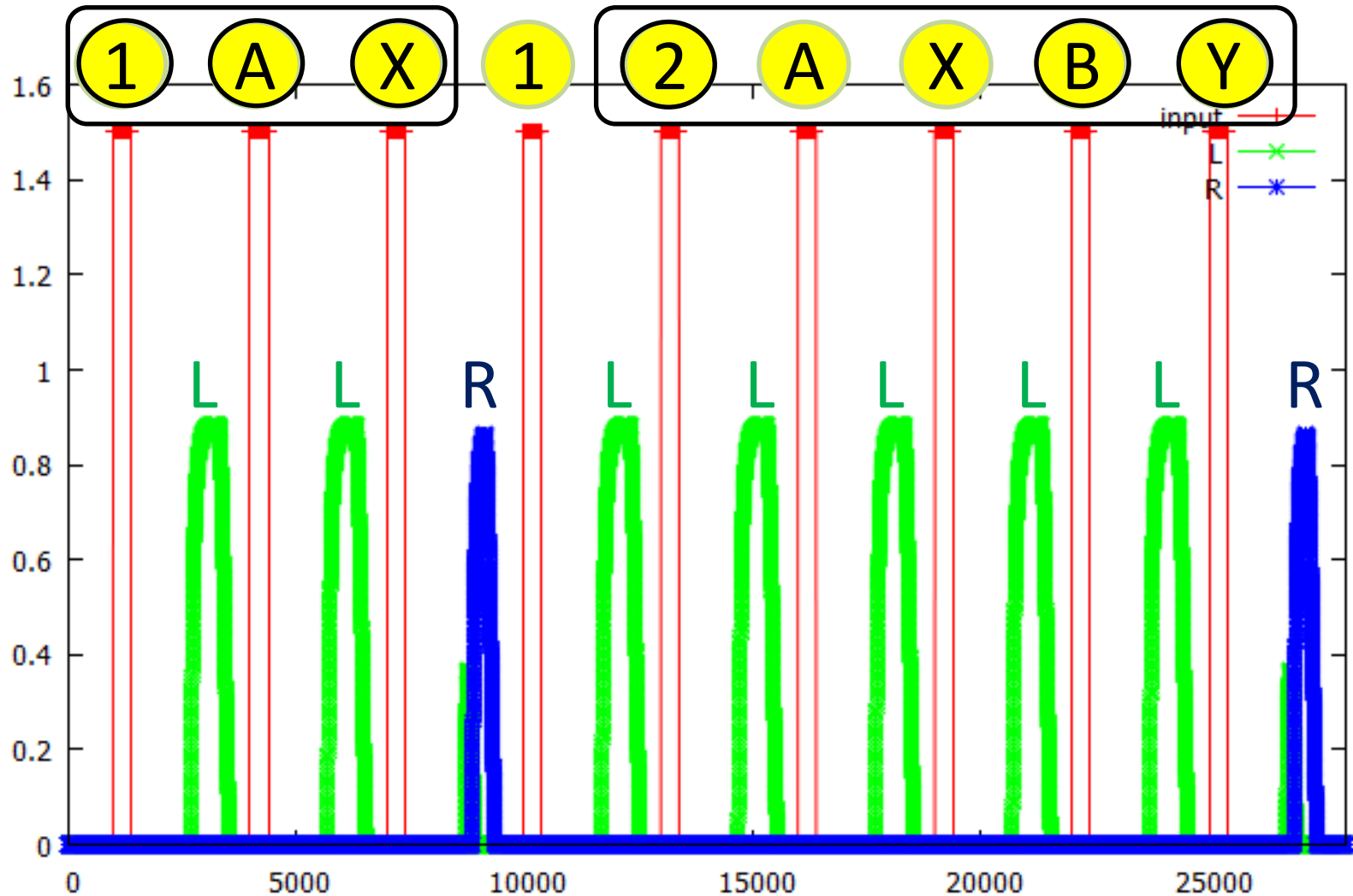
入力



右シフトキーを押す出力



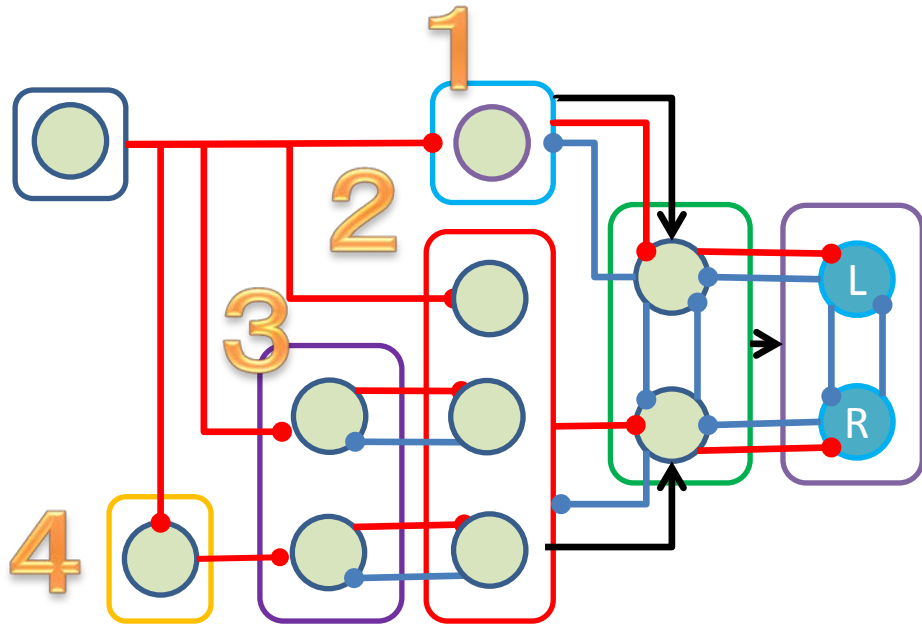
1-2-AX課題遂行時の出力



7. ルール学習とは何か

ルールの学習とは何か？

1. 全てのシンボルに対して
Lを押す回路
2. 特定のシンボルに対しのみ
Rを押す回路
3. 特定のシンボル2つが連続して
呈示された場合に、
2つめのシンボルに対して
Rを押す回路
4. あるシンボルが呈示された後に、
特定のシンボル2つが
連続して呈示された場合に、
2つめのシンボルに対して R を押す回路

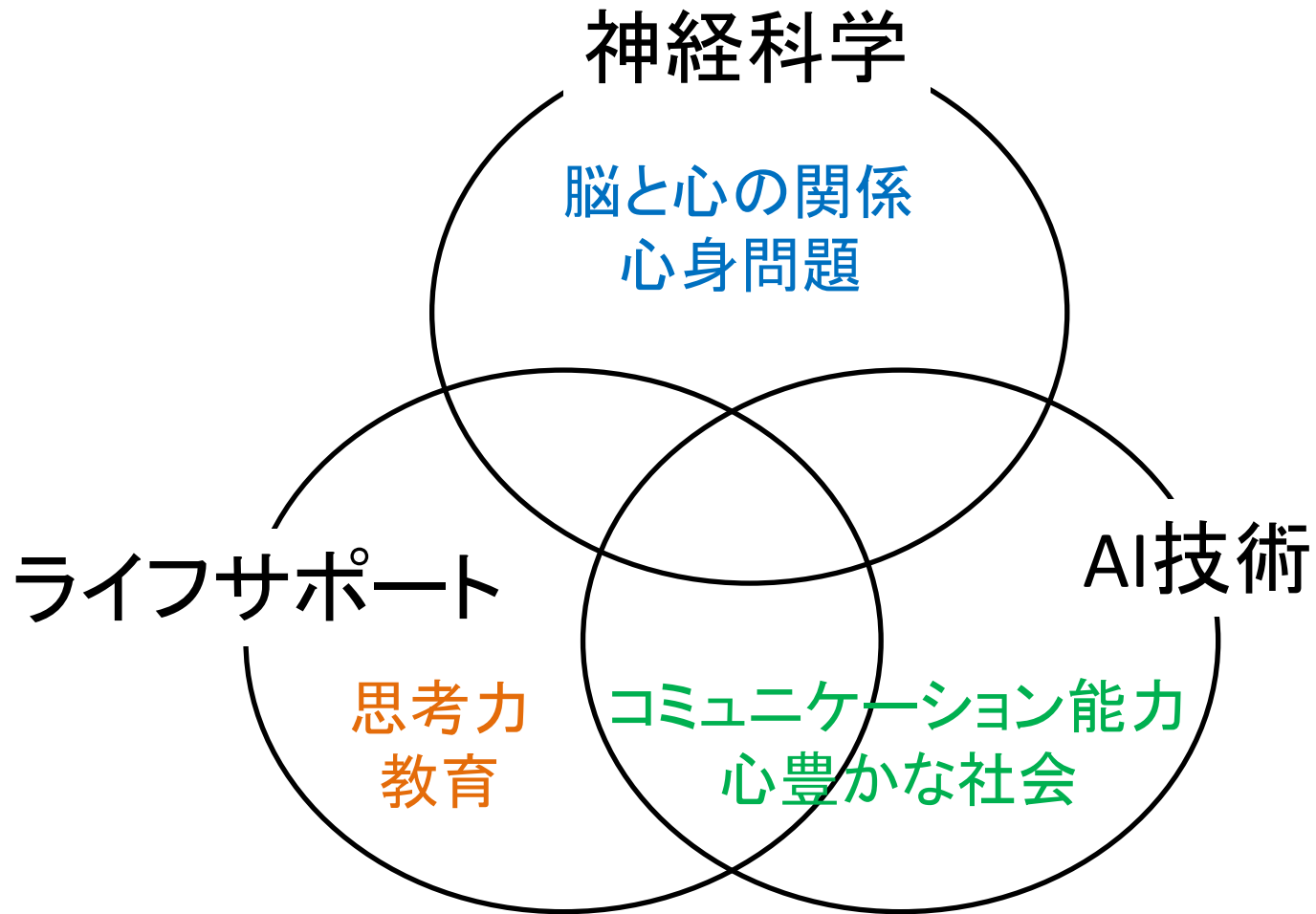


基本回路が予め脳内に存在していたのではないか？

ルール学習＝基本回路の選択

- チョムスキーの言語獲得装置に共通する考え方
「子供の脳は白いキャンバス」ではなく、下描きがある
- 「学習＝可塑性シナプスによるつなぎかえ」ではない
- どのように適切な回路が選ばれるのか
 - 前脳基底部マイネルト核コリン作動性ニューロン
→ 大脳皮質のサブネットワークを選択?
 - 腹側被蓋野ドパミン作動性ニューロン
→ 側坐核を介してゲート作用?

8. WM研究の展望



→ <http://tanaka-lab.net/>