

海馬と大脳皮質感覚連合野の 相互連携のモデルの構想

2013-05-13

産業技術総合研究所

一杉裕志

背景

- 前提とする仮説：
 - 海馬はエピソードを記憶する自己連想記憶装置。
 - 大脳皮質は外界を近似してベイジアンネットで表現する教師なし学習装置。
- 記憶に関する知見：
 - 記憶はまず海馬に蓄えられ、数日～数年かけて睡眠中に大脳皮質に移動。
 - 海馬に記憶されるのはエピソード的記憶。
 - 大脳皮質に長期記憶されるのは圧縮・抽象化された情報。
- この2つの組織がどう相互連携するのか、その機能的意味・計算論的意味が何かはいままで明らかになっていない。

海馬に関する考察

- $O(n^2)$ 個のシナプスが必要な高コストの器官だが皮質よりエピソードを高精度かつ高速に記憶できる。
- エピソードとは感覚連合野の発火状態のスナックショットであると考ええる。
- 海馬は外界のモデルを学習する大脳皮質とは働きが根本的に違う。単に生物が利用する脳内一時メモリと考えた方がよさそう。
 - そう考えると、尤度最大化や報酬期待値最大化といった他の組織の目的関数と海馬の役割は切り離して考えてよいことになる。

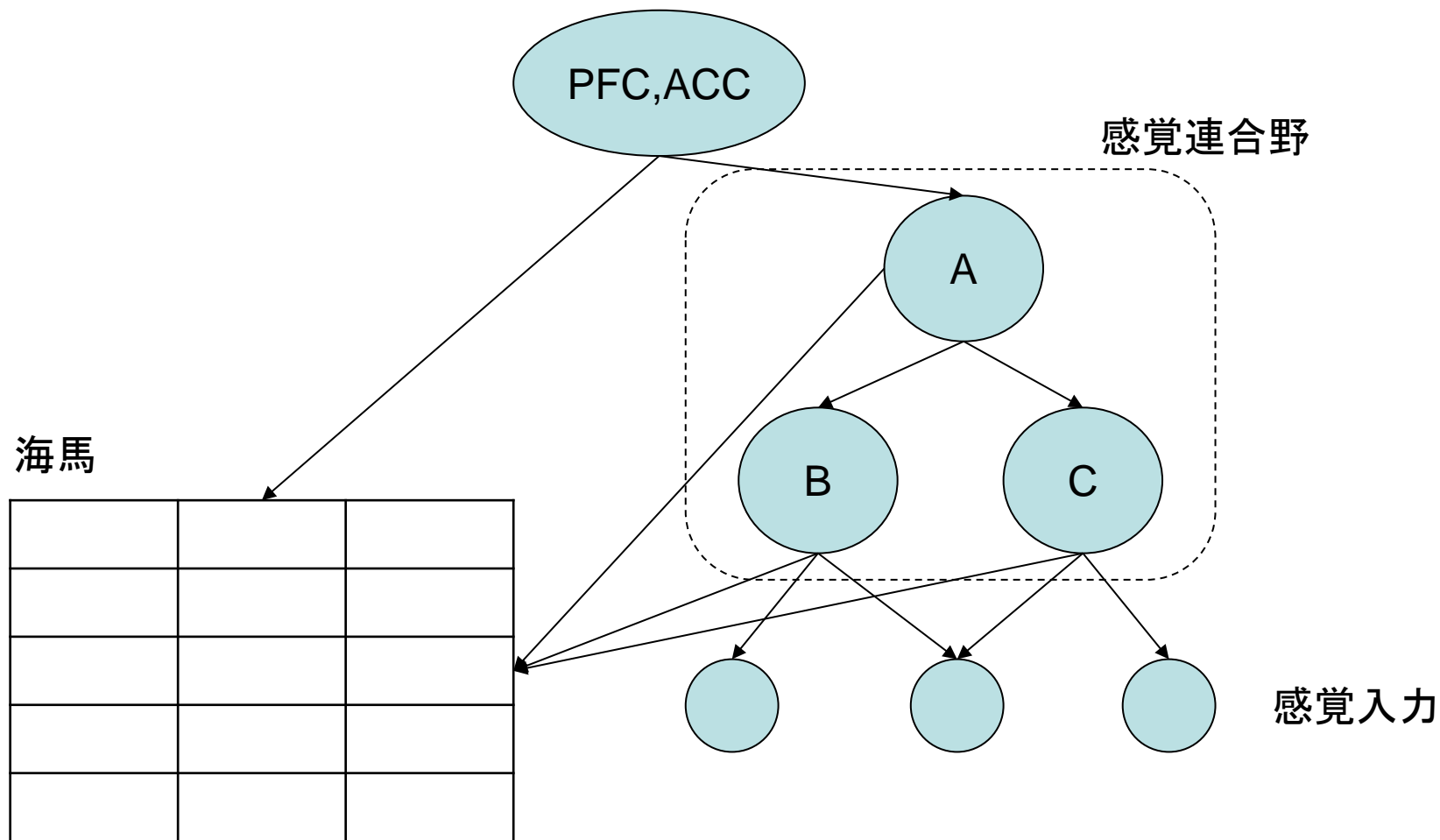
モデル設計方針

- 海馬は前頭前野にとっては外部記憶装置、感覚連合野からは感覚器の1つとして扱われる。想起されたエピソードは感覚連合野に入力され知覚される。
- まずは単純化のため、嗅内皮質、歯状回、CA1、海馬支脚などを無視し、海馬を単純なデータベースとみなす。
 - (嗅内皮質、歯状回、CA1、海馬支脚は高コストなCA3の利用効率を上げるために情報を圧縮・展開する機構だと私は思っている。)

海馬と大脳皮質に関する 解剖学的特徴

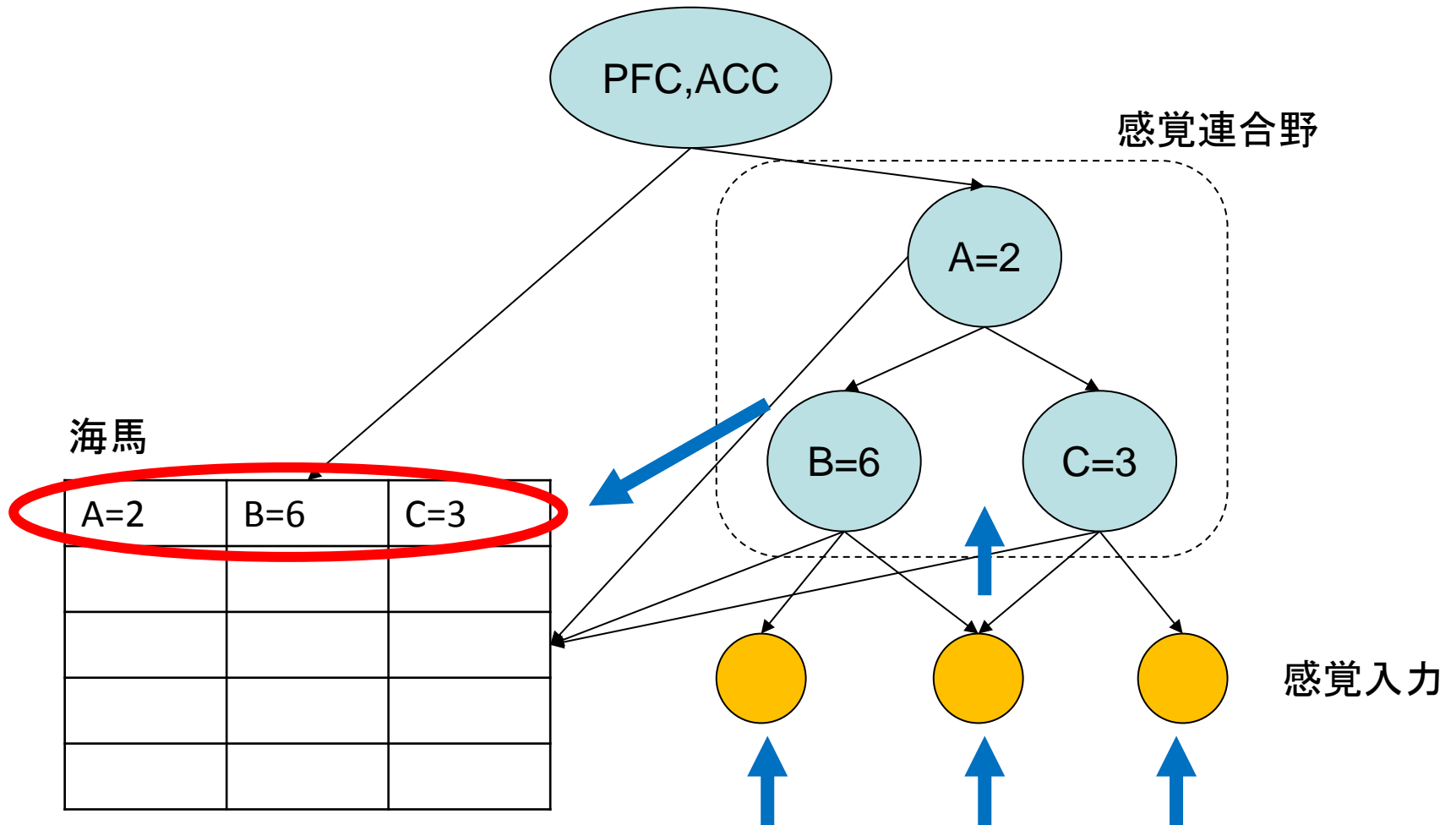
- 海馬は広範囲の大脳皮質連合野と、嗅内皮質等を通して双方向に結合。
- 前頭葉と前部帯状回は、感覚連合野とは異なる経路での海馬との結合を持っている。

海馬・大脳皮質アーキテクチャ案



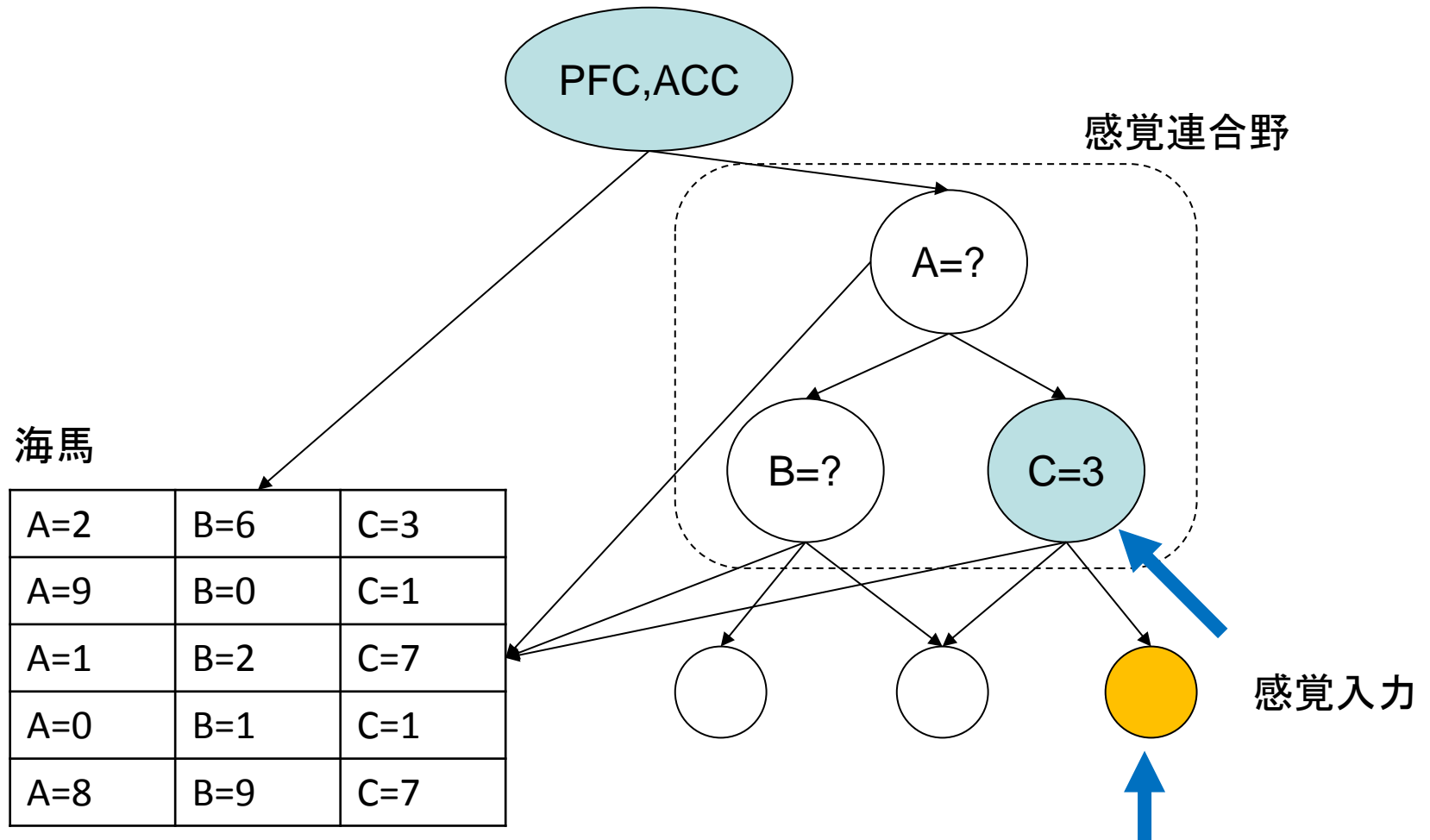
認識・エピソードの記憶

1. 感覚刺激が入力されると
2. 感覚連合野がそれを認識し
3. 海馬が感覚連合野の認識結果を記憶



エピソードの想起

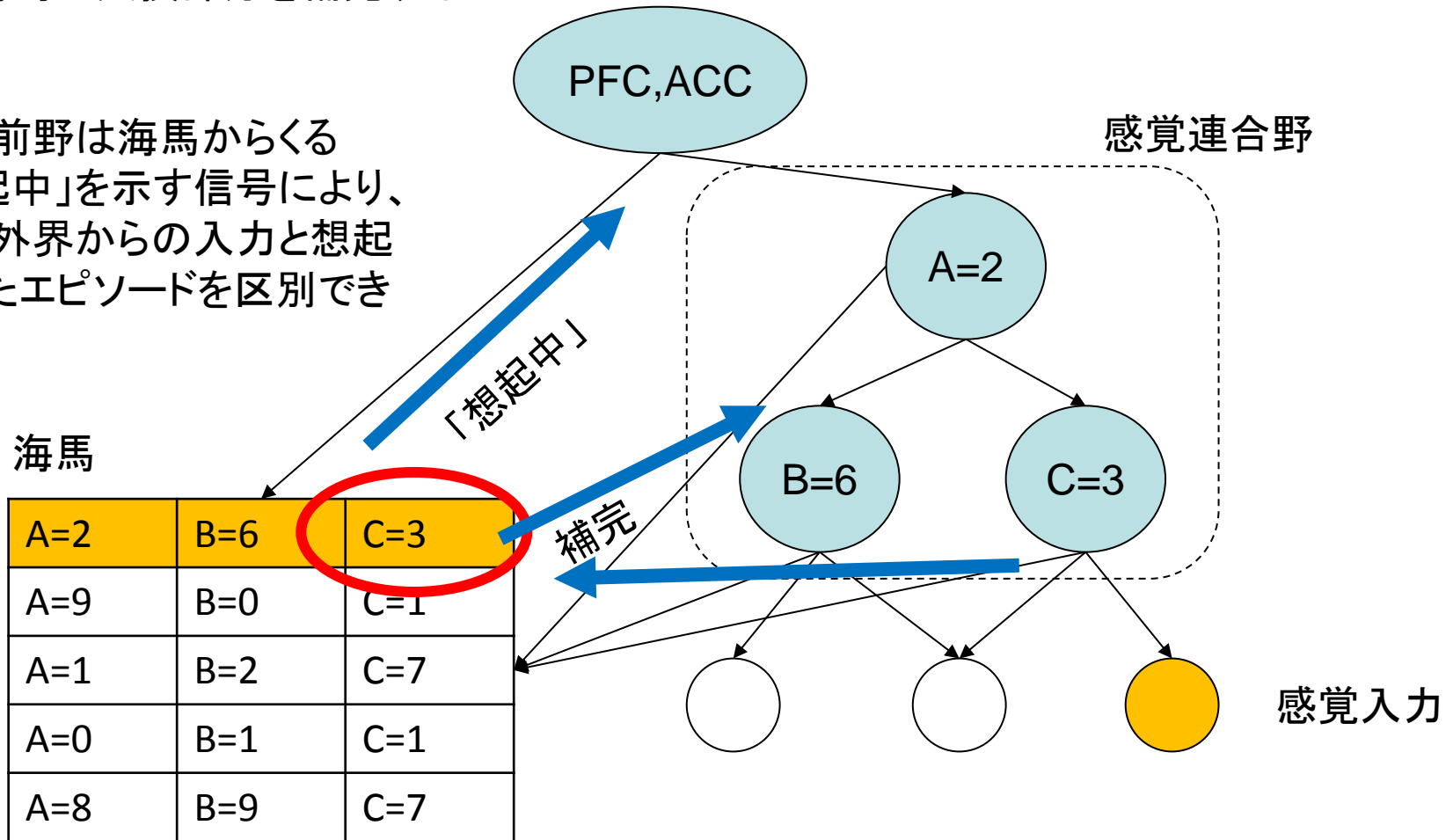
1. 部分的な感覚刺激が入力されると
2. 感覚連合野がそれを認識し
3. ...



エピソードの想起

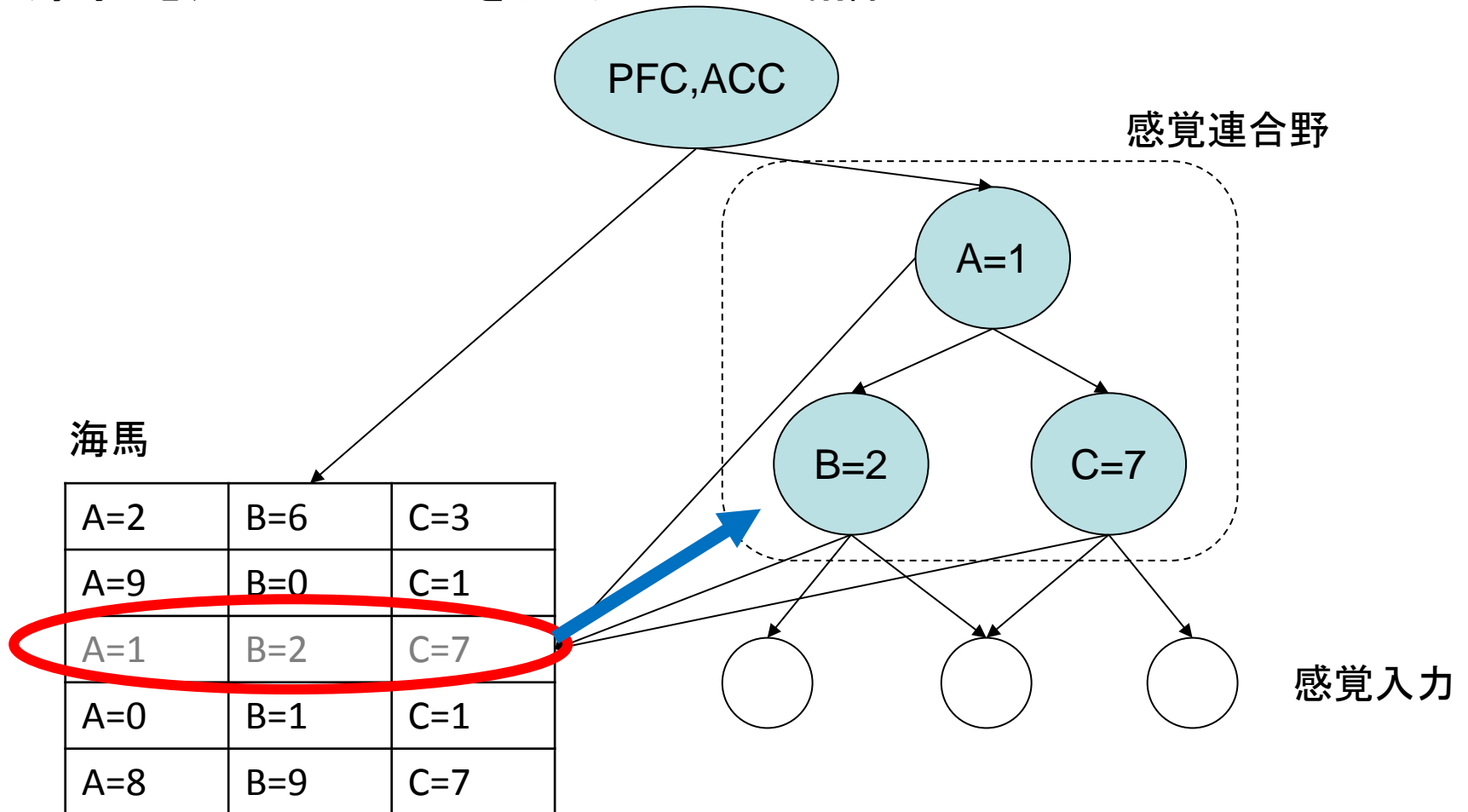
1. 部分的な感覚刺激が入力されると
2. 感覚連合野がそれを認識し
3. 海馬が欠損部分を補完する

前頭前野は海馬からくる「想起中」を示す信号により、真の外界からの入力と想起されたエピソードを区別できる。



記憶の転送

1. 睡眠中、エピソードが1つランダムに選ばれ想起
2. 大脳皮質は想起されたイメージを学習
3. 海馬は想起したエピソードをデータベースから削除



機能的意味

- 海馬は高コストだが正確かつ高速に記憶、大脳皮質は情報の圧縮率が高く低コストで汎化能力も高い。この2つをうまく使い分けている。
 - 重要な体験は海馬で正確に一時的に保持。
 - 繰り返し体験される普遍的な知識は大脳皮質で圧縮・抽象化して保持。

計算論的妥当性

- 実際の感覚入力の頻度と同じ「濃度」で認識結果が海馬に蓄えられ、その濃度に比例する頻度で睡眠中にエピソードが再生されるならば、それを学習する大脳皮質の記憶は外界の統計的性質を正しく反映していると言える。

BESOMモデルとの関係

- BESOMモデルの生物学的妥当性に関する下記2つの問題点をこのモデルは解決している。
 - 大脳皮質では認識ステップと学習ステップのような異なる動作の反復は観測されていないという問題
 - ミニコラムを結ぶ1つの配線で、認識時にはメッセージ、学習時には勝者信号、という少し異なる情報を送らなければならないという問題
- 本提案アーキテクチャでは大脳皮質は、覚醒時には認識、睡眠時には学習に専念するので、これらの問題が解決されている。

運動記憶と小脳について

- 運動記憶は小脳プルキンエ細胞に一時的に蓄えられ、小脳核に転送されて長期記憶として固定化される、という仮説がある。

参考:「小脳の計算機構の完全理解とその応用を目指して」山崎匡

<http://www.jnns.org/20/yamazaki.pdf>

- (おそらく運動記憶は小脳核だけでなく大脳皮質運動野にも転送されるのでは?)
- おそらく、細切れのエピソードの一時的記憶は海馬、滑らかな運動系列の一時的記憶は小脳プルキンエ細胞、という役割分担。

レム睡眠とノンレム睡眠

- ノンレム睡眠時は感覚連合野、レム睡眠時は運動野への記憶の定着というふうにフェーズを分けているのかもと思っているが、まだ詳細は未検討。

「想起中」信号について

- CA1・海馬支脚 → 乳頭体 → 帯状回の経路の信号か？
- 視床背内側核（前頭葉に投射）または両側乳頭体の障害でコルサコフ症候群。

「コルサコフ症候群 - Wikipedia」

<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%82%B3%E3%83%AB%E3%82%B5%E3%82%B3%E3%83%95%E7%97%87%E5%80%99%E7%BE%A4>

「長期記憶の前向き健忘と見当識の障害を伴う逆行性健忘が、同時に起こる。健忘に対し、作話でつじつまを合わせようとすることも特徴である。思考や会話能力などの知的能力に、目立った低下は見られない。コルサコフ症候群の患者は被暗示性が強く、過去の記憶と妄想の区別がつかなくなる。」

- 「海馬による実体験の想起」と「皮質の知識のみに基づく想起」の区別がつかないと、このような症状になるのではないか。

今後の課題

- 神経科学的妥当性のより詳細な検討。
- 前頭前野・前部帯状回と海馬との相互連携のモデル。海馬はワーキングメモリの一部としてどのように働くのか？