

研究種目：基盤研究（C）
研究期間：2007～2009
課題番号：19500257
研究課題名（和文） 連想記憶モデルを用いた海馬新生ニューロンの情報論的研究
研究課題名（英文） On the role of new-born neurons in the hippocampus: A computational study with associative memory models

研究代表者
伊達 章（DATE AKIRA）
宮崎大学・工学部・准教授
研究者番号：60322707

研究成果の概要（和文）：

記憶の情報処理に深く関わっている海馬において、神経細胞が新たに生まれている。この情報論的意味を求めめるため、「連想記憶」の数理モデルを用いた研究を実施した。具体的には、一つの出来事を記憶するごとに、ある一定個数の素子に関わる結合係数をゼロにリセットする（素子の置き換え）機能を取り入れた連想記憶回路の性質を調べた。その結果、回路を構成するニューロンの総数とは無関係に、最適な置き換え個数が存在することが判明した。

研究成果の概要（英文）：

The area of hippocampus in the brain is involved in associative memory recall in which new neurons are born every day. To study the meaning of new-born neurons, we analyzed a property of associative memory networks in which a number of units are replaced. In our network, every time the network learns a new item or pattern, a number of units are erased and the same number of units are added. Our main findings are that the optimal number of replaced units which is relatively small and independent of the network size.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：生体生命情報学

キーワード：計算論的神経科学，数理モデル，記憶，ニューロインフォマティクス

1. 研究開始当初の背景

10 年ほど前までは歳をとるにしたがって脳神経細胞の数は減る一方であると信じられていた。ところが、記憶の情報処理に深く関わっている海馬において、神経細胞が新たに生まれていることが最近、神経生物学的研究により明らかにされた。新しく生まれた細胞は、どのように記憶の情報処理に貢献しているのか、神経細胞が失われることの意味も含め、このような問題を動物を使った実験的研究により解決することは難しい。これに対し、数理モデルを構築し、その意味を、計算論的手法により研究することが有効であると考えた。

2. 研究の目的

新しく生まれる細胞が、具体的にどのように記憶の情報処理に貢献している可能性があるか、神経回路の数理モデル、特に、「連想記憶」の数理モデルを用い、神経細胞を失うことと生まれることの情報論的意味を明らかにすることが本研究の目的である。

3. 研究の方法

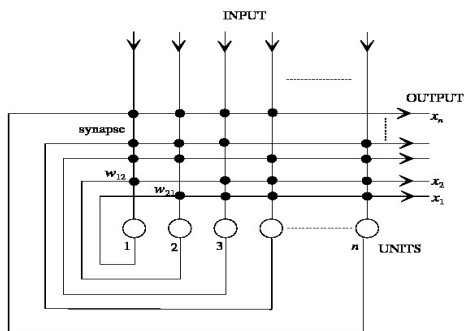


図 1

古典的な Hebb 学習を用いた相関型連想記憶モデルでは、回路の素子数に依存した記憶容量が存在する。具体的には、記憶事項（以後、パターンと呼ぶ）を順に学習していく場合、学習したパターンの数がある限界を越えると、それまでに学習したパターンすべてが想起できなくなるという現象（カタストロフィック忘却）が知られている。たとえばすべての素子が互いに結合している素子数 $n = 2000$ の回路を考えよ

う（図 1）。この回路に 1 単位時間あたり 1 つのパターンを学習させた場合、おおよそ 260-270 個までは、それぞれの記憶を正確に思い出すことができることが知られている。素子数 $n = 2000$ の場合、記憶容量は約 $0.14n = 280$ 個であり、計算機実験をおこなうと $t = 280$ 付近から記憶できるパターン数が減少し、 $t = 400$ では 0 になる。

「記憶を正確に思い出すことができる」という意味は以下の通りである。各時間 t において、それまで学習させた各パターンを回路の初期状態として与え、各素子の状態を時間発展させる。その結果得られた安定平衡状態と、初期状態として与えた記憶パターンの類似性がある基準値より大きければ回路が各パターンを正確に想起できたと判定する。

本研究では、素子の置き換えりのある自己相関型の連想記憶モデルについて、計算機実験、および数学的解析を実施した。議論を簡単にするため、1 つのパターンを学習するごとに失われる細胞の数と生まれる細胞の数が同じ場合を考察した。これを素子の置き換わりと呼ぶが、計算機実験では、該当するニューロンのすべての結合係数の値を 0 にリセットすることに対応する。また、この置き換わり個数を R とする。先の通常の場合の場合は $R = 0$ に対応する。 $R = 0$ の場合、ニューロンは失われもしないし、新しく生まれてもこない。それに対し、例えば $R = 3$ の場合は、1 つのパターンを学習する間に 3 つのニューロンが失われ、新たに 3 つのニューロンが生まれる。

4. 研究成果

値 R が、回路の性質にどう影響を及ぼすかを調べた。まず $R = 3$ の場合、十分に多くのパターンを学習した後 ($t > 500$)、正確に想起できる記憶事項数は 40 個程度で、学習したパターンすべてを保つことはできなくなることがわかった（図 2、横軸は時間 t 、縦軸は正確に想起できる事項数）。ただし $R = 0$ の場合のように、それまでに覚えた記憶事項すべてが安定に保たれなくなるわけではなく、常に

40 個は、それまでに何個のパターンを記憶したかとは関係なく、ほぼ正確に想起できた。以上のように、ニューロンがある程度の個数、死んで再生すると、カタストロフィック忘却をおこすことなく、安定に記憶を蓄えられることがわかった。また、その 40 個のパターンは最近学習したばかりのものであること、この 40 という数は、回路の素子数に比例することも分かった (図 3. 横軸はパターンを記憶をした時間、縦軸はそのパターンが $t=550$ 時点で、どのくらい正確に想起できたかを示す)。

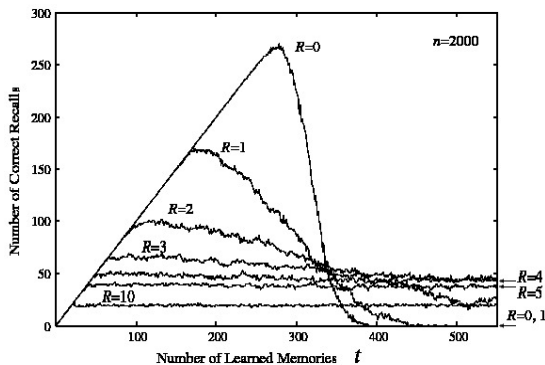


図 2

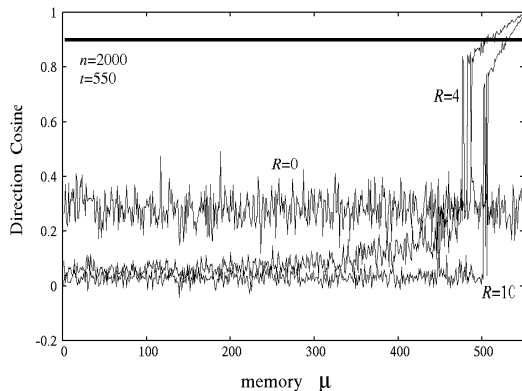


図 3

様々な置き換わり個数について実験を繰り返し実施し、その結果をまとめたものを図 2, 図 4 に示す。 $R=0$ や $R=1$ では、最終的には、ただ一つのパターンも安定に記憶できないが R が 2 以上では、十分な量のパターンを学習した後でも、最近学習したパターンのいくつかは安定に保持できることがわかった。図 4 には、横軸に置き換わり個数 R をとり、縦軸に、十分な量のパターンを学習した後、回路が正しく想起できるパターンの数を示した (素子数 $n=5000$)。さらに、より詳細な

実験をおこない、図 4 の内部に埋め込んだ図に示す結果を得ることができた。この実験から、記憶容量は素子数 n に比例するが、最適な置き換わり個数は、素子数 n に依存せず R が、約 3.2 の場合に最適であることがわかった。この「最適な置き換わり個数が素子の総数とは無関係に決まる」ことは驚きである。

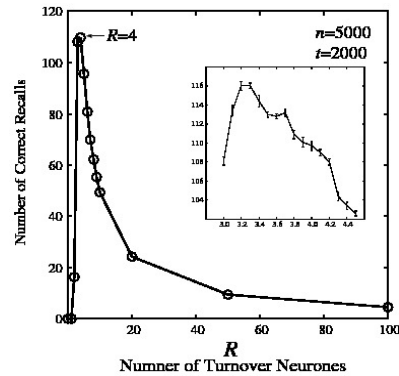


図 4

計算機実験だけでなく、詳細な数学的な解析もおこなった (小松ら 2009)。このほか、興奮するニューロンが少ない興奮パターン (スパース符合化された興奮パターン) を記憶させた場合についても実験をおこなった (伊達 2008)。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 10 件)

伊達 章, ベイズ推論における事後確率分布の構造について, 電子情報通信学会技術研究報告, vol.109, pp.285-290, 2009.

Akira Date, "On the distribution of posterior probability in Bayesian inference with a large number of observations," *Artificial Life and Robotics*, vol.13, pp.517-521, 2009.

宮田 龍太, 伊達 章, 倉田 耕治, 神経振動子場における局在振動の位相同調に関する研究, 第 19 回インテリジェント・システム・シンポジウム (FAN 2009), pp.25-30, Sep. 2009.

宮田 龍太, 伊達 章, 倉田 耕治, 自己組織モデルのための神経場における局在振動の研

究, 電子情報通信学会技術研究報告, vol.109, pp.13-18, 2009.

Akira Date, and Koji Kurata, "A property of neural networks of associative memory models with replacing units," *Artificial Life and Robotics*, vol.12, pp.291-294, 2008.

小松 靖直, 青西 亨, 倉田 耕治, 細胞新生する連想記憶モデルの統計力学的解析, 日本物理学会講演概要集, vol.64, p. 299, 2009.

伊達 章, 山本浩史, 想起の成否が容易に判別できるホップフィールド 2008 連想記憶モデルの簡略化, 電子情報通信学会技術研究報告, vol.108, pp.399-404, 2009.

小松 靖直, 青西 亨, 倉田 耕治, 細胞新生する連想記憶モデルの統計力学的解析, 電子情報通信学会技術研究報告, vol.108, pp.49-54, 2009.

Akira Date, "On the distribution of posterior probability in Bayesian inference with a large number of observations," Proceedings of the 13th International Symposium on Artificial Life and Robotics, 2008.

Akira Date, and Koji Kurata, "A model of complex cell development by information separation," *Systems and Computers in Japan*, vol. 38, pp.76-83, 2007.

[学会発表] (計 9 件)

伊達 章, ベイズ推論における事後確率分布の構造について, 電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会, 平成 22 年 3 月 10 日, 玉川大学工学部 (東京都町田市).

宮田 龍太, 伊達 章, 倉田 耕治, 神経振動子場における局在振動の位相同調に関する研究, 第 19 回インテリジェント・システム・シンポジウム (FAN 2009), 平成 21 年 9 月 17 日, 会津大学 (福島県会津若松市).

宮田 龍太, 伊達 章, 倉田 耕治, 自己組織モデルのための神経場における局在振動の研究, 電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会, 平成 21 年 5 月 25 日, 沖縄科学技術研究基盤整備機構 (沖縄県国頭郡).

小松 靖直, 青西 亨, 倉田 耕治, 細胞新生する連想記憶モデルの統計力学的解析, 日本物

理学会, 平成 21 年 3 月 28 日, 立教大学 (東京都豊島区).

伊達 章, 山本浩史, 想起の成否が容易に判別できるホップフィールド 2008 連想記憶モデルの簡略化, 電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会, 平成 21 年 3 月 13 日, 玉川大学工学部 (東京都町田市).

伊達 章, 倉田 耕治, 神経振動子場における複数の局在振動, 'リズム現象の研究会 IV', 平成 21 年 1 月 24 日, お茶の水女子大学.

小松 靖直, 青西 亨, 倉田 耕治, 細胞新生する連想記憶モデルの統計力学的解析, 電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会, 平成 21 年 1 月 19 日, 北海道大学 (札幌市).

伊達 章, 脳とコンピュータ: 記憶の書き込み, 読み出し, 整理の仕方, JST サイエンスカフェみやざき, 平成 20 年 9 月 14 日, 宮日会館 (宮崎市).

Akira Date, "On the distribution of posterior probability in Bayesian inference with a large number of observations," International Symposium on Artificial Life and Robotics, 平成 20 年 2 月 2 日, ビーコンプラザ (大分市).

[その他]
ホームページ等
<http://www.cs.miyazaki-u.ac.jp/~date/index-j.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

伊達 章 (DATE AKIRA)
宮崎大学・工学部・准教授
研究者番号: 60322707

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

倉田 耕治 (KURATA KOJI)
琉球大学・工学部・教授
研究者番号: 40170071