

痴呆症の統計物理学的研究



宮島 佐介*

21世紀に突入すれば、日本の老人人口は全人口の1/4に達し、老人問題は重大な社会問題の一つとなろう。誰もいわゆるボケを通過せずに人生を全うしたいものと思っているが、現段階では老化は避けることが出来ず、それ故、どのような症状が現れるか大いに関心がある。老化には大別してアルツハイマー型と循環障害によるものとの二つのタイプがある。前者はその主原因は未だに不明であるが、脳全域に渡って神経細胞の萎縮やシナプス結合部の消失により徐々に記憶障害が起きる。これが過度に進行すれば痴呆症となり自分の身も持て余すこととなる。健常人でも 10^{10} から 10^{11} 個あった脳神経細胞が20才を過ぎた頃から日毎に 10^5 個もの細胞が死んで行くと言われている。後者は大体突発的に発生し、障害箇所は局所的であることが多い。日本人は後者の方が多いが、前者も増加傾向にある。

さて、以下に我々はどの程度脳の神経細胞に異常が生じれば、記憶や連想過程に障害が発生するかを、記憶、連想の最も簡単なモデルであるHopfield Modelに基づいて調べた。医学的にも脳内の記憶、連想などに関しては不明な点が多く、それ故種々のモデルが提案されているが、まだ決定的な域には達していない。Hopfield modelを用いた特別の理由はなく、今後、他のモデルでも同様の計算を行う予定である。

Hopfield modelをごく簡単に説明しよう。N個の神経細胞の内、i番目の細胞が励起しているとき $S_i = 1$ 、励起していなければ $S_i = -1$ であるとする。この際、励起状態の詳細は省略しても本質的には変わりはない。ある事柄、行動、文字や絵柄を記憶しようとする時、脳内の

神経細胞の1部分が励起し、励起した神経細胞と励起していない神経細胞とのパターンが生じる。そのパターンの持つエネルギーとして

$$E = - \sum_{i,j} J_{ij} S_i S_j$$

を想定する。ここで、和はすべての細胞について取るものとする。このエネルギーが極小となるように J_{ij} を設定する。N個の神経細胞で記憶できるパターンの数は限界があり、約 $0.14N$ と推定されている。これを越えるとパターン間のエネルギー極小の間の距離が少なくなり、記憶に混同が生ずる。

さて、老化が進行しつつある脳では脳細胞の樹枝状突起がやせ細り、神経細胞間の結合が弱くなる。そして、最後には結合が消失したり、神経細胞自体が萎縮縮小する。この状況は上式の J_{ij} がいくつかのパターンを記憶するために決められた値から減少したり0となったりすることで表現される。簡単のため選ばれる J_{ij} は半端な値は取らず直ちに0になるとする。ここで、0と置く置き方には大きく分けて2通りが考えられる。アルツハイマー型のモデルとしてはランダムに0とし、脳血栓による場合のモデルとしては局所的に0とする。この後、連想過程に対応する操作を適用する。

連想過程とは、多少記憶したものと異なるパターンであっても、多数の(励起しているか、励起していないかが)正しい細胞から影響を受け、正しい方向に変更される。磁性体の統計物理学に詳しい方は局所的な内部磁場によりスピンの向きが変更されることを想定すればよい。計算上では、i番目の細胞については

$$\sum_{m,n} J_{mn} S_m S_n$$

の符号が正ならば励起状態とし、負ならば励起

*宮島佐介(Sasuke MIYAJIMA), 中部大学工学部工業物理学科, 教授, 工学博士, 統計物理学

していない状態とする。つまり、連想過程とは記憶に照らし合わせて行う訂正の過程である。

さて、適宜0と置かれた J_{ij} をもつ脳の系に正しいパターンを見せ、連想されたものが元のパターンとどれほど異なっているかを求めたものが図1に示されている。横軸は0と置かれた

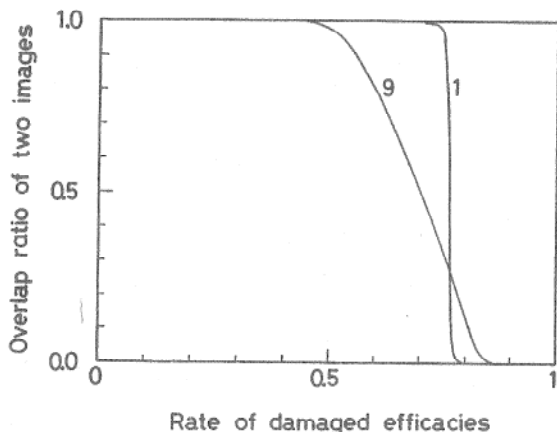


図1 横軸は damage 量, つまり0と置かれた結合の割合, 縦軸は連想されたものが元のパターンとどの程度似ているかを表わしたものである。細胞数は128, 各細胞の発火に対するしきい値は0.5である。記憶したパターンの数は1および9である。

結合の割合 (damage 量) であり, 縦軸は正解率を示している。1個のパターンを記憶させた場合, 70%を越えたあたりからわずかに誤答率が見え始め急激な変化の後, 80% damage ではほぼ完全にエラーとなる。この図は128個の神経細胞の系で1個の神経細胞が発火するためのしきい値は0.5と設定してある。急激に変化の起こる場所は細胞数, 記憶したパターンの数等に依存する。9つのパターンを記憶させた場合には, 元々パターン間にオーバーラップが生じるため正解率がやや早く落ち始める。一般に細胞数の多いほど曲線の傾きは急になり, 記憶したパターンが多いほど立ち上がり地点が降下し傾きは緩やかになる。臨床例と合わせ比較検討を要するところである。

図2は70% damageの生じた脳神経系(患者)に再学習(いわゆるリハビリ)をしたときどの程度回復が期待できるかを調べたものである。ここで, 先に0と置かれた結合は回復しないものとした(最近薬である程度神経自体の成長を促すことが出来る)。0でない結合が再学習

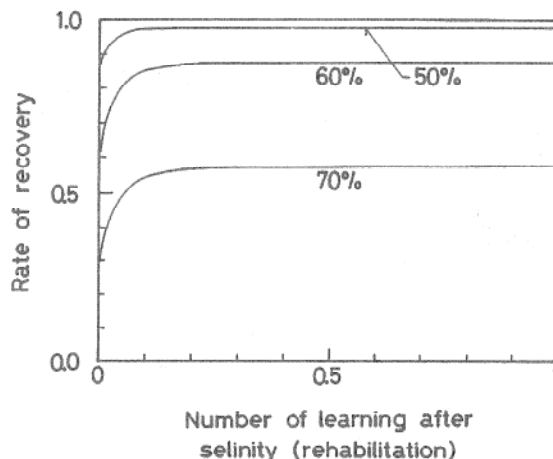


図2 横軸は再学習(リハビリ)の回数, 縦軸は回復の程度を表わす。a, b, cはそれぞれ70%, 60%, 50%の damageを受けた脳(患者)である。

によって情報の伝達量を変化させるだけで, どの程度の回復が望まれるかを求めたものである。横軸は再学習の回数である。ここで, a: 70% damageの患者の場合, b: 60% damageの患者の場合, c: 50% damageの患者の場合であり, その最終到達値の違いに注目して頂きたい。すなわち, aの場合にはすこししか回復していないが, cの場合にはほぼ完治している様子がみられる。少しでも早い時期に治療を始めれば完治することも望めることを表している。現在の数値は始めに0に設定された結合 J_{ij} は回復しないと仮定したのであるが, 少しは回復するように変えることは容易である。この数値は実際の治療(リハビリ)に当たり, どの辺までの回復が望めるかが予想でき, またそこまで治療をしなければならぬと言える。

ここまで, 一応脳の記憶のモデルとしてHopfield modelを用いたが, 脳内のことはまだほとんど分かっておらず, 記憶の機構に関してもいくつかのモデルが提唱されている。上記のモデルについてもっと深く追求することは勿論のこと, 他のモデルについても同様の議論を行いどのモデルが最も実際に近いかを比較検討することは大切であり, それは現在行われつつある。

読者の中から臨床面からの数値を御教示下さることを期待しつつ筆をおきます。