

ニューラルネットワーク*

小 泉 耕**

1. はじめに

数年前、家電製品のコマーシャルはやたらと「ニューロ」だの「ファジィ」だのを謳い文句にしていました。今ではすっかり下火になってしまったようですが、それは「ニューロ」や「ファジィ」が『当り前の技術』になったからなのでしょうか？（まさか『時代遅れの技術』として捨て去られてしまったとか…）。

はやりすたりは世の常ですからそれはいいとしても、あれほど宣伝文句に使われた割には、「ニューロ」の実体となるとどうもよくわからないという人が多いような気がします。私が気象学会でニューロを応用した降水確率分布予想のシステムについて発表した時にも「ニューロってのは一言でいえば何なんだ」というオソロシイ質問をしてこられた方がいらっしました。

この質問に何とか答えてみようというのがこの文章の目標です。もちろん、ニューラルネットワークが何か、ということ「一言で」説明するのはとても力の及ぶところではありませんが、「私はニューラルネットワークというものをどういうものと思って使っているか」ということを中心に話を進めようと思います。

2. そのもその始まりー脳神経回路網のモデル化ー

ニューラルネットワークについて、それこそ一言で解説しようとする記事などの場合、「ニューラルネットワークというのは人間の脳の働きを取り入れた新しいコンピュータで云々」といった書き方をされることがあって、これがまた人を悩ませることになっているようです。「もともとコンピュータってのは人間の脳の

働き（演算能力）を高速化したものじゃないのか？どこが新しいんだ？」というわけですね。

上の記事のような文章が現れるのには歴史的な背景があります。そもそもニューラルネットワークのアイディアというのは、その名前（ニューラルネットワークとは脳神経回路網のことです）が表しているように、脳神経細胞の働きをモデル化するところから始まっているのです。つまり、従来のコンピュータは一度に1つの作業を行い、それを順番に積み重ねていくことで問題を解決していくのに対し、人間の脳の中ではそれと同時に「並列処理」ともいべき信号処理（この後もう少し詳しく説明します）が行われているのですが、ニューラルネットワークはこの人間の脳の「並列」処理に似た方法を人工的に実現しようとしているわけです。

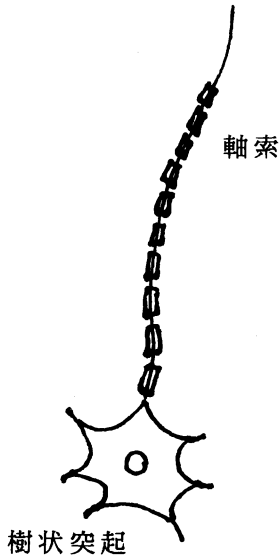
では、人間の脳の中での信号処理とはどのような仕組みになっているのでしょうか。まず脳神経細胞（ニューロンと呼ばれています）の働きについて見てみることにしましょう。第1図はニューロンを図式的に描いたものです。この中で樹状突起と呼ばれる部分は他の神経細胞からの信号を受け取る役割を持ち、また、軸索と呼ばれる部分は他の神経細胞の樹状突起と接続していて、他の細胞の樹状突起に信号を送る役割を持ちます。非常に単純化した言い方をすると、1つ1つのニューロンは、樹状突起から入ってくる信号の総和がしきい値と呼ばれる或る一定の値を超えると、軸索から信号を発するという働きをします。

脳はこれらのニューロンが複雑につながりあったネットワークからなっているといわれています。このため、例えばある1つの神経細胞が興奮すると、その信号は複雑につながりあったネットワークを通じて他の多くの神経細胞の状態を変化させ、さらにそれらの

* Neural Networks.

** Ko Koizumi, 気象研究所予報研究部.

© 1997 日本気象学会



第1図 脳神経細胞（ニューロン）の模式図。

細胞から信号が出て…といったネットワーク全体の変化が同時進行し、全体として前とは異なるある状態へと落ち着いていきます。この過程は、一度に1つの作業を行い、それを順番に積み重ねていくという従来の計算機の信号処理の方法とはずいぶん異なります（どちらが優れているか、ということはまた別問題です）。

ニューラルネットワーク研究の始まりは上のような脳神経回路網をシミュレートし、脳の中で行われている信号処理の仕組みを解明しようというものでした。こうした背景のために、今日でもニューラルネットワークは「人間の脳の働きを取り入れ云々」と説明されるのです。のみならず、今日でも「脳内信号処理機構の解明」はニューラルネットワーク研究の重要なテーマであることに変わりはありません。

3. 道具としてのニューラルネットワーク

しかしながらニューラルネットワークが、脳の働きをシミュレートするモデルというだけであつたら、エアコンや洗濯機にどうして結びつくのか不可解に思われることでしょう。実はニューロがここまで「はやった」のは、脳内信号処理のモデルとして考案されたニューラルネットワークのうちのある種のもの（多層フィードフォワード型ネットワーク）が、実用上非常に役に立つ能力を持っていることが明らかになってきたからなのです（以下の文章でのニューラルネット

ワークは特に断らない限り多層フィードフォワード型ネットワークのことを指します）。

その能力というのは、端的に言えば「パターン判別の能力」ということとなります。典型的な例として「手書き文字の判別」を挙げてみましょう。第2図aのような手書き文字は、第2図bのように微少な領域に分割してそれぞれの領域に線がかかっているかどうかを調べることで、第2図cのような0と1との数字の集まりとして表現できます。手書き文字というのは書き手によって様々な形をしていますから、すべてが同じ「あ」という文字であることを判断するにはどうしたらよいかということが問題となるわけですが、ニューラルネットワークの場合は、多数の実例（「教師データ」と呼ぶことがある）を与えて学習させるだけで判別ができるようになるという性質を持っているのです。

こうなると、ニューラルネットワークはもはや「脳内信号処理のモデル」という当初の意味とは無関係に、「パターン判別の道具」としての意味を持ってきます。教師データを用意して与えてやるだけでよいという使い易さのために、この道具は様々な分野で大いに普及したというのが現状だと思います。

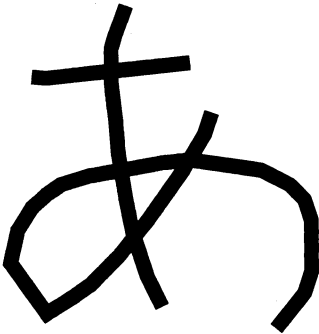
4. ニューラルネットワークの中で行われていること

ここで、ニューラルネットワークのパターン学習において具体的にどのような計算が行われるのかを簡単に説明しておきます。

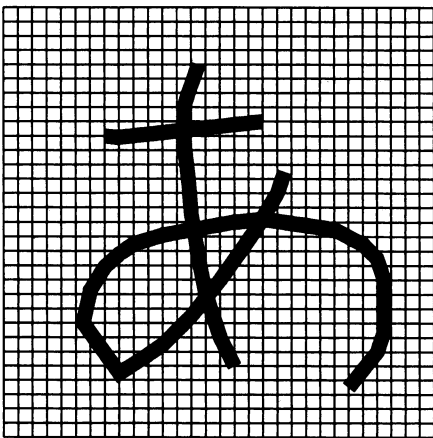
第3図のような構造のネットワークを使い、左から右へ信号が流れるものとします。図中の丸印はニューロンを表し、ニューロンとニューロンを結んでいる線が、軸索と樹状突起の結合に相当します。左端に並んでいるニューロンが入力層で、ここに例えば第2図cのような数値データを一つのニューロンに一つずつ入れます（第2図cでは入力すべき値は900個ありますが、第3図には描ききれないので一部だけを示しています）。入力層のニューロンは入力された値をそのまま軸索-樹状突起の結合を通じて中央の列のすべてのニューロンに渡します。各々の軸索-樹状突起の結合は固有の重みを持ち、前の層のニューロンからの出力値にこの重みを掛けたものが次の層のニューロンへの入力値となります。

中央の列（「中間層」とか「隠れ層」と呼びます）の各々のニューロンは、受け取った値の和に対するロジスティック関数（第4図）の値を出力値として次の列

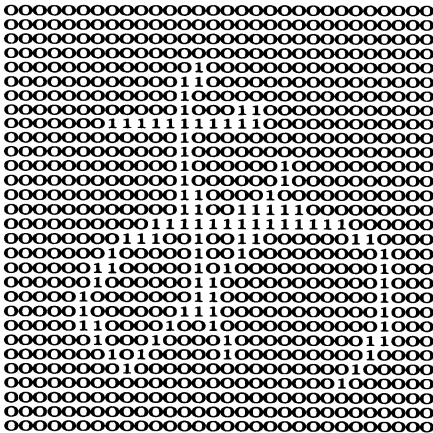
(a)



(b)



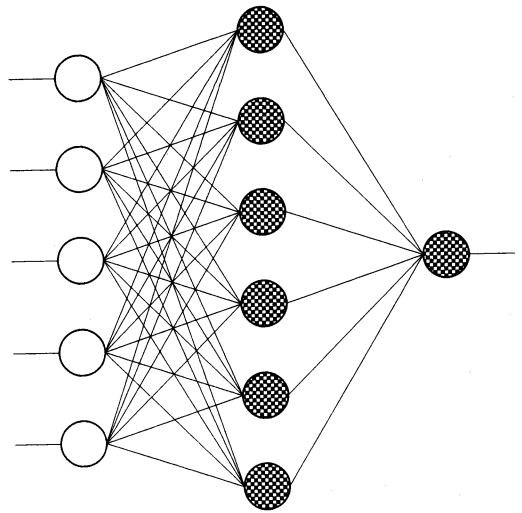
(c)



第2図 手書き文字パターンの数値化の例。

のニューロンに渡します。ロジスティック関数の値は第4図からわかるとおり、しきい値の前後で0から1へ急激に変化しています。つまり、入力値がしきい値以下ならば出力値は0に近い値となり、しきい値以上ならば1に近い値となります。

信号の流れ

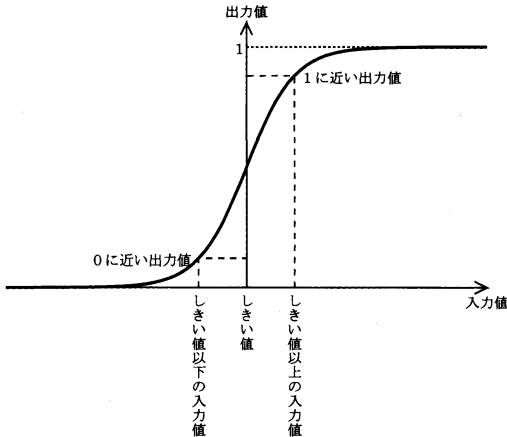


入力層 隠れ層 出力層

第3図 多層フィードフォワード型ニューラルネットワークの模式図。信号は左から右に流れる。図中の丸はニューロンに相当し、細線は軸索-樹状突起の結合に相当する。

第3図のネットワークでは中間層の次の列が出力層となっていますが、中間層をもう一つ持つような構造もよく用いられます。中間層が複数ある場合でも、上の作業の繰り返しに過ぎません。出力層では、前段から受け取った値の総和をそのまま出力値とする場合と、ロジスティック関数を通す場合があります。「あ」という手書き文字の判別の場合には、ロジスティック関数を通すことにして、入力された文字が「あ」ならば1に近い値を出力し、そうでなければ0に近い値を出力するといった設定にするのが普通です。

さて、このネットワークがある入力に対してどのような出力値を与えるかは、軸索-樹状突起の結合の重みによって変わってきます。ですから、ある入力に対して望ましい出力が出るようにするには、結合の重みをうまく調節してやればよいわけです。例えば「あ」という手書き文字の判別の場合には、様々な手書き文字を入力して、その文字が「あ」ならば出力値が1に近づくよう、他の文字ならば0に近づくよう結合の重みを調節していくのです。このための方法として一般的に使われているのがバックプロパゲーション法と呼ばれているものです。具体的な計算方法についてはここでは述べませんが（興味のある方は7節に挙げた参



第4図 ロジスティック関数。

考書などを見てください) 簡単に言うと、ニューラルネットワークの出力値と望ましい値との差を結合の重みで微分して差が小さくなる方向を求め、その方向に少しずつ重みの値を動かしていくという方法です。「教師データ」として与えたサンプル全てに対してネットワークが望ましい振る舞いをするようになるまでには、かなりの回数の繰り返し計算が必要で、このことはニューラルネットワークの欠点の一つといえるかもしれません。

5. 気象学との関係

このようにニューラルネットワークは「パターン判別」のための新しい道具として、様々な分野に応用されるようになりました。「パターン判別」というと、手書きの文字の判別のような画像データの解析をイメージされる方が多いかもしれませんが、画像解析に限らず多くの問題を「パターン判別」の問題とみなしてニューラルネットワークによって解決を図ることができます。たとえば株価の変動予測にニューラルネットワークを使う試みがあるようですが、これなどは過去から現在に至る株価の変動を「パターン」とみなして将来の株価を「判別」する問題として扱っているのです。

では、気象学の分野ではどうでしょうか。ニューラルネットワークの応用はテクニカルな側面が強く、学術的な論文以外の形で成果が報告されていることも多いようで、網羅することは難しいのですが、目に留まったものを挙げてみます。

1) リモートセンシングデータの解析 気象衛星等のリモートセンシングによる観測データの解析には、画

像解析の技術が必要になる場合も多く、ニューラルネットワークの応用も行われているようです。極軌道衛星による雲の画像データをニューラルネットワークに与えて雲の種類を判別を行う試みや、静止気象衛星の画像から個々の雲域を分離する試みなどがあります。

2) 天気予報への応用 上で例に挙げた株価予測と同じ理屈で、天気予報も観測データや数値モデルの予測値の「パターン」から未来の天気を「判別」する問題と見なすことができますから、ニューラルネットワークの応用が可能です。米国の McCann は、水蒸気収束量や安定度の分布のデータからシビアストームの発生を予測するニューラルネットワークについて報告しています。日本でも、気象庁の柳野らは数値モデルの予測結果の翻訳の道具として従来の重回帰式に代えてニューラルネットワークを利用する手法を提案していますし、筆者は、予測のために利用できるあらゆるデータ（観測データ、数値モデルのデータ）から降水の予測を行う大規模ニューラルネットワークの構築手法とネットワークに蓄えられた知識の抽出について調査しています。降水の短時間予報にニューラルネットワークを応用したシステムが開発されたというニュースが新聞で報じられたことも記憶に新しいですし、この他にも公開はされていないものの現業的な天気予報のための道具の一つとしてニューラルネットワークが利用されているケースは多いと思われます。

6. ニューラルネットワークは本当に役に立つのか？

これまで述べてきたように、ニューラルネットワークにはパターン判別の能力があり、しかも、実例を「教師データ」として「学習」させてやるだけでその能力を発揮するという実用上優れた特質を持っています。一方、私たちがコンピュータを用いて解決しなければならない問題のうち、「パターン判別」の問題に帰着できるものは少なくないですから、ニューラルネットワークは広い分野に適用できる便利な道具といえましょう。

しかし、「ニューラルネットワークさえあれば万事解決だから、他の技術は不要になった」と考えるとすれば、それは大きな間違いと言わざるを得ません。

確かに、ニューラルネットワークと呼ばれているものの全体をながめてみれば、ボルツマンマシン、自己組織化マップ、エントロピーネット、カウンタープロパ

ゲーションなど多層フィードフォワード型以外にも様々なネットワーク構造やアルゴリズムが提案され研究されており、また、今後も次々と新しいアイデアが生み出されて行くでしょうから、これらがいままでも解決の難しかった問題への有効な道具として広まっていくことも十分あり得ることと思います。その意味では、「ニューラルネットワーク」はまだまだ将来有望な技術といえるでしょう。

しかし、「ニューラルネットワークの研究」ではなく「ニューラルネットワークの応用の研究」に取り組んでいる私たちにとって、道具として「使える」ニューラルネットワークというのはそのうちの一部に限られてしまいますし、前節までで紹介してきた多層フィードフォワード型ネットワークにしても学習の途中でローカルミニマム（いわば、偽の解）に入り込んでしまったり、大規模なネットワークを使ったり誤りを含むデータを学習させようとするとき非常に時間がかかるなどといった弱点を持っています。また、「ある問題にこれこれのニューラルネットワークが非常に有効であった」などといった発表があると、他の分野の研究者から「その問題については従来の技術によってもっと効率的に解くことができることが既に知られている」といった反論が出るという話もよく耳にするところです。

我々にとっては「与えられた問題をどうやって解決するか」が重要なのですから、その問題に適用できる技術にはどんなものがあるかを十分検討して、賢い取舍選択を行う必要があります。ニューラルネットワークというのはそれらの選択肢の1つですが、唯一のものであることは少ないし、最善のものでない場合もしばしばあるのです。

7. おわりにー参考書などー

私自身はニューラルネットワークを1つの道具（便利そうだが、使いこなす方にまだ不明な点のある道具）と見て、天気予報の分野でこの道具をどのように使いこなしたらよいか、を考え続けています。この文章も

そうした「道具としてのニューラルネットワーク」という視点で書いてきました。読者の中にこれから実際にニューラルネットワークを（道具として）使ってみようという方がいらしゃるとすれば、それなりの足がかりにはなったのではないかと思います。

しかし、ニューラルネットワークにははじめに述べた「脳神経回路網のモデル」としての性格や、非線形パラメトリック関数として数学的研究の対象となるという側面もあり、また、前節で少し触れたようにネットワーク構造にも様々なバリエーションがあるということで、ここで説明できなかったことも沢山あります。

そこで、興味を持たれた方のために2冊の参考書を挙げておきたいと思います。

- 1) 久間和生・中山高編著「ニューロコンピュータ工学」(工業調査会)
- 2) R. ヘクト・ニールセン著「ニューロコンピューティング」(トッパン)

1の本は原理についての記述が簡潔なので、自分の抱えている問題にニューラルネットワークをすぐ適用してみたいと考えている人には使いやすいと思います。

2はニューラルネットワーク全体について網羅的かつ詳細に書かれた教科書です。ただ、翻訳書のせいかわや読みにくいように思います。

これらはいずれも90年代に入ってから出版されたもので、決して古いとは言えないと思いますが、それでもごく最近の話題である GRNN (General Regression Neural Network) や PNN (Probabilistic Neural Network) についての記述はないようです。もしこうした最新的话题に興味があり、インターネットへのアクセスが可能であれば (ハイパーテキストのブラウザが必要です)、<ftp://ftp.sas.com/pub/neural/FAQ.html> にあるニューラルネットワークの FAQ (Frequently Asked Questions: よく尋ねられる質問 [とその答え]) を御覧になることをおすすめします。少なくとも1か月に一度は書き直されているようで、最近の話題までよくフォローされており、参考文献等も多く掲げられています。