

|                     |                                                                                 |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Title</b>        | 耐故障性を有する階層型ニューラルネットワークの汎化能力                                                     |
| <b>Author(s)</b>    | 武井, 良太                                                                          |
| <b>Citation</b>     |                                                                                 |
| <b>Issue Date</b>   | 1997-03                                                                         |
| <b>Type</b>         | Thesis or Dissertation                                                          |
| <b>Text version</b> | author                                                                          |
| <b>URL</b>          | <a href="http://hdl.handle.net/10119/1067">http://hdl.handle.net/10119/1067</a> |
| <b>Rights</b>       |                                                                                 |
| <b>Description</b>  | Supervisor:日比野 靖, 情報科学研究科, 修士                                                   |

# 耐故障性を有する 階層型ニューラルネットワークの汎化能力

武井 良太

北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

1997年2月14日

**キーワード：** 耐故障性, 汎化能力, 階層型ニューラルネットワーク, 関数比較, 中間層の微係数.

## 1 はじめに

ニューラルネットワーク（以下NN）は、生物の神経回路網を規範としており、学習能力や並列分散などを持つ。NNにおける最も興味深い特徴として、耐故障性や汎化能力があげられる。汎化能力とは、与えられたサンプルから問題の規則性、法則性を導き出す能力のことであり、階層型NNにおいて、中間層ノード数が少ない方が過剰なパラメタが悪影響を及ぼさないために汎化能力が優れたNNになると言われている。一方、耐故障性においては、冗長な資源を必要とすることから中間層ノード数が多い方が良いことになり、汎化能力と耐故障性はトレードオフの関係にあると考えられる。しかしながら、丹らの研究により「耐故障性に優れるNNは汎化能力においても優れる」ということがわかってきた。

本論文では、学習により得られた階層型NNにおいて、汎化能力と耐故障性について各々の検討を行なった。そして汎化能力と耐故障性の両者の評価をおこない、報告どおり耐故障性が優れているNNほど汎化能力においても優れたNNであるかどうかを調べる。さらに、ネットワークに影響を及ぼすと考えられる特徴量を提案し、この特徴量を調べることで、耐故障性と汎化能力の両者に対する関連性を考察する。

## 2 階層型NNの学習方法

NNはノードとそれらを結合するリンクから構成されている。ノードを層状に配置し、隣あった層のノードを完全結合することによって実現されたネットワークが階層型NNである。それぞれの結合は重みを持っており、この結合荷重とノードの出力を掛けた値が次のノードへの入力となる。

学習とは、NNに与えられる入力に対して望ましい出力が得られるように結合荷重の値を変化させていくことを指す。本研究ではBP法とFTBP法を使用する。BP法は、ネットワーク出力と教師パターンとの間の誤差を表す誤差評価関数を、最急降下法を用いて最適化することにより導かれる学習方法である。この誤差評価関数に耐故障性の評価を含めたものがFTBP法である。

学習に使用する問題として論理関数のXORと、正規分布の帯状パターンを用意した。帯状パターンには、離散値と連続値の問題があり、帯状パターン離散とは、定義域、値域とも0～1の範囲において、 $y=0.5$ を中心として正規分布により確率的に0または1を発生したパターンに対して0と1を分離する問題であり、帯状パターン連続では、同様に $y=0.5$ を中心とする正規分布の値そのもの、すなわち正規分布の関数の形そのものを学習により獲得する問題である。

## 3 ネットワークの特徴量

汎化能力は大まかにいって、耐ノイズ性と補間能力(内挿、外挿)に分類できると考えられる。これら各々のケースに応じた汎化能力に関する検討が必要である。汎化能力の評価は、未学習パターンに対する性能、つまり誤差や正答率を測定することにより行なわれる。

本研究では、正規分布の帯状パターン離散値問題を用いてテストパターンとクロスバリデーションと呼ばれる2つの方法により、耐ノイズ性を評価した。

また、正規分布の帯状パターン連続値問題を用いて補間能力を調べた。

汎化能力を劣化させる原因として、過剰学習と解の非一意性があげられる。これらの原因に影響を与える特徴量として、中間層表現、中間層素子の平均・分散、中間層の分離直線、中間層の微係数、関数の滑らかさ、結合荷重の統計的性質、出力分布を提案した。中間層の微係数とは、入力のばらつきに対する出力の安定性を表す指標であり、関数の滑らかさとは、関数そのものがどのくらい滑らかであるかを表す。この2つの特徴量は、関数そのものの性質、あるいはそれに準ずるものであるため、汎化能力や耐故障性と関わりが比較的深いものと考えられる。

## 4 耐故障性の新たな定義と評価尺度

FTC(Fault-Tolerant Computing)において耐故障性は、「いかなる故障が生じても仕様を満たし続けるシステム」と定義されている。この定義を階層型ニューラルネットワークに適用することで、必須結合数の概念や、FTBP モデルのような学習規則が可能となった。しかしながら、この必須結合による評価は一般的に期待される耐故障性の概念とは必ずしも一致しないところがある。そこで新たな評価方法と、耐故障性の定義を提案する。この定義では、ネットワークの仕様ではなく、無故障時と故障時の差に着目する。シミュレーションにより、その有効性を示す。この新たな定義と評価尺度では、単一断線故障だけでなく多重故障についての評価が可能となる。

## 5 耐故障性と汎化能力の評価

まず、本研究で使用する BP 法と FTBP 法の基本的なパラメータである学習率、慣性項係数、中間層ノード数などを決定するための実験を行なった。学習に用いる問題には、帯状分布の連続値問題と帯状分布の離散値問題を使用した。得られた最適パラメータをもとに、本研究で提案した関数比較の評価尺度を用いて BP 法と FTBP 法の耐故障性の比較を行なった。同様に BP 法と FTBP 法の汎化能力を比較し、さらに初期値をランダムに変えることにより同じパラメータの NN を 10 個構築し、それらに対して耐故障性と汎化能力の関係、つまり関数比較と汎化誤差の関連性を調べたところ正の相関があることが明らかとなった。帯状分布問題を用いて、耐故障性と汎化能力を調べたところ、離散値については、耐故障性に優れるネットワークの方が、汎化能力に優れるという従来の報告通りの結果が得られたが、連続値問題においては、逆の結果が得られた。これは、連続値問題が、パタン認識などと類似した性質を持つと思われる離散値問題とは異なった中間層素子の役割を要求するためであると考えられる。

また、ネットワークの特徴量として、ネットワークが実現する関数の滑らかさと、中間層素子の微係数を検討し、汎化能力と耐故障性に共通する要因を探ろうとしたが、これらは汎化能力との関連は見られたものの、耐故障性に対しては同様のことはいえず、これらの特徴量を仲立ちとした議論はできないことが明らかとなった。

## 6 結論

従来使用されてきた必須結合数による耐故障性の評価方法は、必ずしも有効でないことを示し、それに代わる耐故障性の評価尺度と定義法を提案し、シミュレーションにより有効性を示した。

これにより、従来の必須結合数による議論とは異なり、必ずしも全パタンについて学習が終了する必要はなく、さらに故障モデルが評価に含まれていないため、多重故障への適用がそのまま可能となることを示した。

汎化能力を評価するためのベンチマークとして正規分布の帯状パターン離散値/ 連続値問題を提案し、シミュレーションを行った。

その結果、耐故障性に優れるネットワークの方が、汎化能力に優れるという従来の報告は、問題に依存して必ずしも成立しないことがわかった。

また、ネットワークの特徴量として、ネットワークが実現する関数の滑らかさと、中間層素子の微係数を検討したが、これらによって耐故障性と汎化能力の関係を議論することは困難であることが明らかとなった。

今後の課題として、多重故障時の評価検討、問題の違いによる性質の違いの解析、新たな特徴量の検討などがあげられる。