原 著

ニューラルネットワークの学習による重心動揺の識別

時田 喬¹⁾・大川 剛¹⁾・柴田 康成¹⁾

大野 通敏²⁾・森 充広³⁾

Discrimination of Stabilograms by a Neural Network in Patients
with Equilibrium Disturbances

Takashi Tokita¹⁾, Tsuyoshi Okawa¹⁾, Yasunari Shibata¹⁾,
Michitoshi Ohno²⁾, Mitsuhiko Mori³⁾

¹⁾ *Department of Otolaryngology, Gifu Municipal Hospital*

²⁾ *Department of Otolaryngology, Hashima Municipal Hospital*

³⁾ *Department of Otolaryngology, Gifu University School of Medicine*

This study attempted to discriminate stabilograms using a neural network that can learn with experience in patients with vertigo and equilibrium disturbances.

Stabilograms obtained from 60 patients with disorders of the labyrinth, the cerebellum and the basal ganglia were used in this study. Area, length per second, length per unit area, displacements in X- and Y-axes and Romberg ratio of the stabilograms were used as input signals. The learning of the network was carried out with a specially designed program.

1 Stabilograms of patients with disorders of the labyrinth and the central nervous system were discriminated with an square error margin of 3.36E-02.

2 Stabilograms of patients with bleeding in the cerebellar vermis, bleeding or infarction of the cerebellar hemisphere and spinocerebellar degeneration were discriminated with an square error margin of 4.98E-03.

3 Stabilograms of patients with positive phenomena, negative phenomena a and b in Parkinson disease were discriminated with an square error margin of 4.98E-03.

Neural networks obtained from learning using stabilograms were useful for discrimination of lesion sites and pathophysiology of various diseases.

Key words: stabilometry, neural network, labyrinthine disorder, cerebellar disorder, Parkinson disease

目 的

めまい・平衡障害例において、障害部位、病態により特徴的な重心動揺を示す例がある¹⁾²⁾。ま

た、迷路障害、小脳障害など中枢障害例の重心動揺の性質が報告されている^{3)~9)}。しかし、現段階においては、これらの知識を総合しても、重心動

¹⁾ 岐阜市民病院耳鼻咽喉科 ²⁾ 羽島市民病院耳鼻咽喉科 ³⁾ 岐阜大学医学部耳鼻咽喉科学教室

揺検査所見から障害の部位・病態を推測することは困難である。重心動揺をみて障害の部位・病態を識別するには、各々の重心動揺がもつ普遍的な性質を適切な方法で把握することが必要である。

我々は、ニューラルネットワークの学習による迷路障害例、小脳血管障害例、脊髄小脳変性症例、パーキンソン例の重心動揺の識別を試みたので報告する。

検 査

1. 重心動揺検査

アニマ社製重心動揺検査装置を使用して行なった。閉足直立、開・閉眼、60秒の記録を行ない、面積軌跡長検査、パワー・ベクトル検査¹⁰⁾を行なった。

2. ニューラルネットの学習

ニューラルネットの学習にはニューラルネットプログラム (NNP) (アニマ社製、村瀬仁、福島美穂作成) を使用した。本プログラムはウインドウズ95の上で動作する。処理手順は以下の如くである。

(1) 学習に用いるデータファイルを作成する。ファイルには、1症例のデータを1行に記入する。まず、入力ユニットとして重心動揺検査測定値を並べる。その後出力ユニットとして対象とする疾患の数だけ教師信号を並べる。教師信号としては該当する疾患には1、該当しない疾患には0の数値を入れる。

(2) NNP を立ち上げ、学習の対象とするデータファイルを指定する。

(3) 入力ユニット数、出力ユニット数、中間層ユニット数、症例数を入力する。入力・出力ユニット数は学習の対象とするデータファイルに応じた数とする。中間層数として入力数と出力数の間の数を入力する。

(4) 学習回数、誤差 (二乗誤差) を設定する。誤差は教師信号とニューラルネット出力の差の二乗の総和である。本研究では学習回数10000回、二乗誤差0.005を指定した。

(5) 学習を実行する。学習はファイル中の症例をランダムに選択して行なわれる。学習中、10回の学習が進む毎に学習回数と二乗誤差が表示される。

(6) ネット出力が設定誤差以下となると学習は自動的に終了する。学習を繰り返しても誤差が下

がらない場合は途中で学習を中止して、その段階での結果を評価する。

(7) 学習結果は、症例ごとのニューラルネット出力値 (数値表と棒グラフ)、ネットワーク構造として表示される。

3. 検討条件

入力には次の2条件とした。

1. 面積・軌跡長検査における面積 (A)、単位軌跡長 (LT)、単位面積軌跡長 (LA)、X 軸変位 (XD)、Y 軸変位 (YD)、ロンベルグ率 (ROM) の6項目。

2. 面積軌跡長検査6項目に、パワー・スペクトル検査6項目 (X 軸・Y 軸の低・中・高周波数帯域面積比、各々 PWXL, PWXM, PWXH, PWYL, PWYM, PWYH と略記)、振幅確立密度分布検査6項目 (X 軸・Y 軸の標準偏差、歪度、尖度、各々 HXSD, HXSK, HXKR, HYSD, HYSK, HYKR と略記) を加えた18項目。

出力は次の3条件とした。

a. めまい・平衡障害例60名全例を対象とし、迷路障害と中枢障害の2系列。

b. 小脳障害例14名を対象とし、小脳虫部出血、小脳半球出血・梗塞、脊髄小脳変性症の3系列。

c. パーキンソン例16名を対象とし、陽性症状群、陰性症状 a 群、陰性症状 b 群の3系列。

被 験 者

被験者は、1992年より1996年の間に岐阜市民病院、羽島市民病院、岐阜市河村病院において、病歴、問診、平衡機能検査、神経学的検査、画像診断などにより下記の診断が行なわれた例で重心動揺検査を行ないえた60名である。診断に重心動揺検査成績は考慮されていない。症例は無作為に選んだ。

(1) 迷路障害例30名。内訳はメニエール病9名、遅発性内リンパ水腫2名、めまいを伴う突発性難聴1名、良性発作性頭位性めまい1名、内耳性めまい7名、前庭神経炎4名、聴神経腫瘍5名、神経血管圧迫症候1名である。温度刺激検査において CP% が20%以上の例は10名であった。

(2) 中枢障害例30名。下記の小脳障害例14名、パーキンソン例16名である。

(3) 小脳疾患例14名。血管障害例8名 CT・MRI にて小脳虫部出血2名、小脳半球部出血・

図1 ニューラルネット学習を用いた迷路障害例と中枢神経障害例の重心動揺の識別

学習用データは、迷路障害例30名、中枢障害例30名の面積軌跡長検査結果（6項目）である。系列1は出力を迷路障害とするネット、系列2は出力を中枢障害とするネットである。迷路障害例（1～30）、中枢障害例（31～60）において、迷路障害でありながら、中枢障害と識別された例（症例10、22）があるが、両者は良く識別されている。

梗塞6名、脊髄小脳変性症6名である。

(4) パーキンソン例16名。症状分類¹¹⁾は、陽性症状例2名、陰性症状a群例6名、陰性症状b群例8名である。

結果

A 出力を迷路と中枢障害の2系列に分けた場合。

(1) 入力6項目

図1は、学習10000回、二乗誤差0.034における症例ごとのニューラルネット出力値である。学習を続けても二乗誤差が目標の0.005まで下らないので、学習を中止している。症例1から30までが迷路障害例である。少数の例外（症例10、22）はあるが、迷路障害では系列1（出力を迷路としたネット）を介した出力値が高く、系列2（出力を中枢としたネット）を介した出力値が低い。症例10は内耳性めまい、症例22は前庭神経炎であった。症例31から60までが中枢障害例である。中枢障害例では系列1の値が低く、系列2の値が高い。迷路性、中枢性が良く識別されている。

図2は、図1の結果をえたネットワーク構造である。プラス効果は実線で、マイナス効果は点線で表わされている。線の太さが太いほど影響度が強いことを意味する。単位軌跡長（LT）、単位面積軌跡長（LA）から迷路（LAB）、中枢（CN）

に結びつきが多い。ロンベルグ（ROM）から中枢に点線一点線、点線—実線のルートがあるが、ロンベルグ率の中枢障害への影響が非線形であることを示す。

(2) 入力18項目

図3は、学習1010回、二乗誤差0.084における結果である。迷路障害例（症例1～30）のうち症例19（遅発性内リンパ水腫）を除いて系列1（出力を迷路としたネット）を介した出力値が高い。入力6項目の場合に較べ中枢障害と識別される例は少なくなっている。しかし中枢障害例（症例31～60）のうち症例33、34、36、42は系列1（出力を迷路としたネット）を介した出力値が高くなっている。中枢障害でありながら迷路障害と識別される例が増加している。過学習と解釈している。

図4は、図3の結果をえたネット構造である。入力と出力の関係は複雑で、両者の関係の表現は難しい。

B. 出力を小脳虫部出血例、小脳半球出血・梗塞例、脊髄小脳変性症の3系列に分けた場合。

(1) 入力6項目

図5は、学習359回、二乗誤差0.005における結果である。目標の誤差以下になっている。症例1、2は小脳虫部出血例、症例3～7は半球出血・梗塞例、症例8～14は脊髄小脳変性症である。虫

図2 図1の結果を出力するネット構造

左列は入力層。中間列は中間層，4ノードとしてある。右列は出力層。LABは迷路障害，CNは中枢障害を示す。点線はプラス効果，実線はマイナス効果を示す。線の太さは結び付きの強さを示す。

図3 ニューラルネット学習を用いた迷路障害例と中枢神経障害例の重心動揺の識別

学習用データは迷路障害例30名、中枢障害例30名の面積軌跡長・パワーベクトル検査結果（18項目）である。系列1は出力を迷路障害としたネット，系列2は出力を中枢障害としたネットである。迷路障害（1～30），中枢障害例（31～60）において，迷路障害で中枢障害（症例19）中枢障害で迷路障害と識別される例（症例33，34，36，42）があるが，他の例は識別されている。

図4 図3の結果を出力したネット構造
入力層ノード数が18項目と多い。中間層は16ノードとしてある。出力層は2ノード。LABは迷路障害、CNは中枢障害を示す。線の結び付きから規則性を見出すことは難しい。

図5 ニューラルネット学習を用いた小脳障害例の重心動揺の識別
学習用データは小脳虫部出血2名、小脳半球出血・梗塞6名、脊髄小脳変性症6名の面積軌跡長検査結果(6項目)である。系列1, 2, 3はそれぞれ虫部出血, 半球出血・梗塞, 脊髄小脳変性症を出力とするネットである。虫部出血例(1, 2), 半球出血・梗塞例(3~8), 脊髄小脳変性症例(9~14)が良く識別されている。

図6 ニューラルネット学習を用いたパーキンソン病例の重心動揺の識別

学習用データは陽性症状群2名、陰性症状a群6名、陰性症状b群8名の面積軌跡長検査結果(6項目)である。系列1, 2, 3はそれぞれ陽性症状群、陰性症状a群、陰性症状b群例を出力とするネットである。陽性症状例(1~2)、陰性症状a群例(3~8)、陰性症状b群例(9~16)が良く識別されている。

部症例では系列1(出力を虫部出血としたネット)を介した出力が多く、半球出血・梗塞例では系列2(出力を半球出血・梗塞としたネット)、脊髄小脳変性症例では系列3(出力を脊髄小脳変性症としたネット)よりの出力が多い。3者は良く識別されている。

ネット構造図では、単位軌跡長(LT)、単位面積軌跡長(LA)、Y軸変位(YD)から各出力への結び付きが太い。結合はプラス効果—プラス効果、プラス効果—マイナス効果、マイナス効果—マイナス効果の結び付きがあった。効果が非直線的である。

(2) 入力18項目

学習238回で、二乗誤差0.005になった。虫部出血例、半球障害例、変性症例はそれぞれ系列1、系列2、系列3の出力値が高く、3者はよく識別されていた。ネット構造は、入力18項目では複雑で、両者の関係を把握し難かった。

C. 出力をパーキンソン例陽性症状群、陰性症状a群、陰性症状b群の3系列に分けた場合。

(1) 入力6項目

図6は、学習1025回、二乗誤差0.005における結果である。症例1, 2は陽性症状群、症例3~8は陰性症状a群、症例9~16は陰性症状b群

である。陽性症状群は系列1、陰性症状a群は系列2、陰性症状b群は系列3を介した出力値が大きく、3者は良く識別されている。

ネット構造では、6つの入力から、3つの出力にプラス—プラス、プラス—マイナス、マイナス—マイナスの結合が組み合わされていた。

(2) 入力18項目

学習847回にて、二乗誤差0.005となった。陽性症状群、陰性症状a群、陰性症状b群はそれぞれ系列1、系列2、系列3を介する出力が多く3者は識別されていた。ネット構造は複雑で、両者の関係を把握し難かった。

考 察

1. 各種疾患の重心動揺の識別

我々は障害部位、病態の違いにより重心動揺の型が異なることを報告してきた¹⁾²⁾。また、迷路障害例、小脳障害例、パーキンソン例の重心動揺の性質を、各種の測定を総合して検討した結果も報告されている^{3)~9)}。しかし、これらの知識を総合しても、日常の検査でえた各種疾患・病態の重心動揺を識別することは極めて難しい。

我々は、この問題の解決を目的として、ニューラルネットワークの学習による方法を試みた。診断の定まった症例の重心動揺を用いて学習を行な

い、新しい情報処理の仕組としてネットワークを作り出し、データの間に存在する性質を汎化することにより、(1)各種の疾患・病態の識別を行なうとともに、(2)未知の重心動揺の識別を行なうことを意図した。本報告は、この第一段階についての報告である。

2. ニューラルネットワークの学習

脳・神経系における情報処理方式に学び、その原理を模した新しい情報処理の仕組としてニューラルネットワークを作り出す方法である¹²⁾。本研究に使用したプログラムは、back propagation法(誤差逆伝搬法)により最適化計算を行なうものである。入力層、中間層(隠れ層)、出力層よりなるネット構造をもち、教師信号とネットワークを介して出力された値との誤差をみて隠れ層の関数の値を変化させてゆく。学習を繰り返すことにより教師信号に近い値を出力するネットワークが構成される。

3 結果に関連して

迷路と中枢障害の識別は二乗誤差0.034、小脳障害例の識別、パーキンソン病症状による識別は二乗誤差0.005以下で可能であった。

(1) 入力6項目と18項目では、迷路性と中枢性の識別においては症例の評価に差を見られたが、小脳障害、パーキンソン病の場合は差を認め難かった。迷路・中枢の識別で、18項目にすることにより迷路障害の診断を持つ例で中枢性と判定される例は減少したが、中枢障害の診断を持つ例で迷路性と判定される例は増加した。学習を繰り返すと結果が悪化する過学習¹²⁾によるものと考えられる。識別を確実にこなうためには今後入力項目、学習回数、誤差などの検討が必要である。現状では入力6項目、18項目の両者の成績より結果の判定を行なうことが望ましいと考えている。

(2) 迷路性と中枢性の識別において、迷路障害と診断されながら系列2(中枢要素)が高かった3名において、症例10(内耳性めまい)は迷路障害例中面積が最大で、単位面積軌跡長も短く、中枢障害も疑って精査すべき例であった。症例19(遅発性内リンパ水腫)、症例22(前庭神経炎)が系列2の出力値が高い理由の把握は困難であった。

(3) 本報告においてニューラルネット学習用のデータには、3つの施設で迷路障害、小脳血管障

害、脊髄小脳変性症、パーキンソン病と診断された例を選択せず使用した。迷路障害例においては、温度刺激検査で反応低下のない例、診断が内耳性めまいにとどまり的確な診断名のついていない例も含まれていた。学習に用いるデータとして、各疾患に典型的な例のみを選択すれば、重心動揺の識別が明確になることが期待できる。しかし、このデータで重み付けられたネットで未知の検査例の重心動揺を評価する時、識別され難い例が多くなることが予想される。学習のためにどのような症例を選択するかは今後の一つの課題である。

まとめ

ニューラルネットの学習によるめまい・平衡障害例の重心動揺の識別を行った。教師データにおける入力として面積軌跡長検査、パワー・ベクトル検査の結果を用いた。

(1) 迷路と中枢障害の識別、(2) 小脳虫部出血、半球出血・梗塞、脊髄小脳変性症の識別、(3) パーキンソン病における陽性症状群、陰性症状a群、陰性症状b群の識別が可能であった。

謝 辞

臨床例の検査にあたってご協力戴いた、岐阜市河村病院河村保男理事長、中島弘幸院長、玉腰華子氏、安江美佳氏に感謝申し上げます。

ニューラルネットプログラムを作成して下さったアニメ株式会社今岡薫社長、村瀬仁氏、福原美穂氏、社員各位に謝意を表します。

文 献

- 1) Tokita T, Maeda M, Miyata H: The role of the labyrinth in standing posture regulation. Acta Otolaryngol 91: 521-527, 1981
- 2) 時田 喬, 大橋伸一: 直立検査. 時田 喬, 鈴木淳一, 曾田豊二編. 神経耳科学Ⅱ. 12-24頁, 金原出版, 東京, 1985
- 3) 田口拓雄: 起立時身体動揺の研究—正常例ならびに迷路障害例を中心に—. 耳鼻臨床 70: 1065-1112, 1977
- 4) 島田六郎: 中枢性めまい平衡障害例の起立時身体動揺の研究. 耳鼻臨床 70: 1113-1190, 1977
- 5) 松岡豊彦: 起立時身体動揺の定量的解析. 耳鼻臨床 70: 1191-1280, 1977

- 6) 五島桂子：重心動揺の検討一症例について一. Equilibrium Res Suppl 3: 45-58, 1988
- 7) 大橋伸一：小脳障害例の直立姿勢に現われる身体動揺の研究. 耳鼻臨床 77: 219-258, 1984
- 8) Ohashi S, Tokita T, Maeda M: Postural sway in Patient with Parkinson's disease. In eds Ushio N, Kitamura H, Matsunaga T. Postural reflex and body equilibrium. pp 205-214, Tenri Jihosha, Tenri Nara, 1981
- 9) Dichgans J, Diner HC: Different forms of postural ataxia in patients with cerebellar diseases. In eds Bles W, Brant T. Disorders of Posture and Gait, Elsevier, Amsterdam, 1986
- 10) 時田 喬：重心動揺検査その実際と解釈. 2-37頁, アニマ株式会社, 東京, 1996
- 11) Martin JP: The basal ganglia and posture. pp 7-145, Pitman Medical, London, 1967
- 12) 西川禎一, 喜多 一：ニューラルネットワークの学習. システム制御情報学会編 (西川禎一, 北村新三編), ニューラルネットと計測制御. 8-53頁, 朝倉書店, 東京, 1995

(原稿到着：平成9年4月17日)
(別刷請求先：時田 喬
〒502 岐阜市鷺山草平町1476)