

機関番号：44701  
 研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2008～2010  
 課題番号：20500861  
 研究課題名（和文） ノイズ重畳学習を用いた知識の活用力育成のための自学自習用 Web 教材開発とその評価  
 研究課題名（英文） Development of Web Based Teaching Materials for Generalization Ability Improvement by Noise Injection Learning  
 研究代表者  
 大山 輝光（OHYAMA TERUMITSU）  
 和歌山信愛女子短期大学・生活文化学科・教授  
 研究者番号：40271481

研究成果の概要（和文）：外部ノイズを付加しながら学習を行うノイズ重畳学習法のメカニズムを明らかにするため、解析的考察と学習シミュレーション、タッチタイプ技能の学習に関する調査分析を行った。その結果、ノイズ重畳学習法によって、通常の学習法よりも練習時間が129%増加し、学習後に獲得される技能が著しく向上することを確認した。また、独自に開発した学習管理システム「授業 Web」を活用し、Web 教材を運用できるシステムを設けた。

研究成果の概要（英文）：To elucidate the mechanism of noise injection learning method, we discuss the structurization of the neural network and learning simulations, and touch-typing skill learning. As a result, the practice time of touch-typing has increased 129%, and the touch-typing skill has improved remarkably by using noise injection learning. In addition, we developed web-based education system and learning management system named "Class Web".

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2,000,000	600,000	2,600,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学

キーワード：eラーニング、ノイズ重畳学習、ニューラルネットワーク、教材開発

## 1. 研究開始当初の背景

2008年4月に文部科学省が実施した全国学力調査の結果、初等教育における基礎的知識の活用力不足が明らかになった。また、大学においても、専門教育で求められる基礎知識の活用力不足が深刻化していた。

この「基礎的知識の活用力」の育成は、コンピュータ教育に限らずあらゆる分野において、初等教育から大学・大学院の専門教育に至るまで広く・強く求められている。情報

教育においても、利用方法次第で無限の可能性を持つ道具であるコンピュータを、思考やコミュニケーションの道具として応用的に使用するためには、コンピュータに関する基礎的知識の活用力が必要である。しかし、活用力育成に向けた教材や授業環境の開発は未だ試行錯誤の段階にあり、研究成果や教育実践例の蓄積が乏しいため、その研究と、実践を通じた教材開発および授業開発が急務な課題となっている。

近年、基礎的知識の活用力育成に向け、実体験を取り入れた授業や、ネットワーク接続されたコンピュータやインターネットを利用して行う授業、そしてプレゼンテーションなどを取り入れることによる活用力育成が試みられている。また、学生の理解促進や学習進度の柔軟化、教師の指導の効率化を目指して行われるeラーニングを、対面型集合教育に併せてブレンディングする学習方法は、授業とeラーニング両方の利点を持つことから、活用力育成への有効性が期待されている。

しかし、現在実用化されているeラーニングシステムの機能は、教師が作成した映像コンテンツや授業の記録映像の閲覧、練習問題、小テストなどを中心としている。そして、これらの機能をWeb教材として提供する場合、ラジオボタンやチェックボックス、テキストボックス、メディア再生など、Webブラウザの貧弱なインタフェースを利用して実現しなければならない。このようなWebブラウザの機能的限界のため、eラーニングシステムが提供する学習コンテンツは、選択式や一問一答式の練習問題、授業を撮影したビデオ再生支援機能といったものが中心となる。もちろん、これらのWeb教材と授業をブレンディングすることによって、基礎的知識の習得に対して効果的な教育が期待できる。しかし、活用力育成に対しては解決すべき課題が多く、効果的な教育を実現することが困難なのが現状である。

このような中、スポーツ科学や医学の研究分野では、音楽を聴きながら反復練習やリハビリテーションを行うことで、高い練習効果が得られるなど、トレーニングの効果をより高めるための研究成果が多く報告されている。また、神経科学や知能情報学の研究分野では、人間の持つ柔軟なパターン認識処理を人工ニューラルネットワークによって実現し、雑音や位置ずれなどのノイズを重畳しながら学習を行うことで、学習していない未知の問題についても、既に獲得した基礎的な能力によって解決できるような「汎化能力」の向上方法に関する研究が行われ、画像認識等への応用が進められている。

## 2. 研究の目的

本研究では、スポーツ科学および医学的研究成果である外部から付加される音楽の有効性と、神経科学や知能情報学の研究成果であるノイズ重畳による未学習問題に対する汎化能力の向上効果に注目し、基礎的知識の活用力育成を目指した、全く新しい「ノイズ重畳学習法」を提案する。そして、そのメカニズムを解析的・実験的に解明すると共に、ノイズ重畳学習法を応用したWeb教材・学習環境を開発することが目的である。

一見、学習の妨げになると思われる様々なノイズを、効果的に付加する方法について慎重に検討する。そして、リラックスする反面、集中を乱すかもしれない音楽などの外部ノイズを学習に取り入れる方法について、解析的・実験的に検討することにより、学習者が基礎的知識を最大限に利用して問題に取り組む教材や環境を構築すると共に、知識の活用力育成に有効なシステム開発を試みる。

## 3. 研究の方法

ノイズ重畳学習法のメカニズムについて明らかにすると共に、基礎的知識の活用力育成に向けた自学自習教材を開発するため、次に示すように、解析的・実験的考察、研究授業による調査分析、Web教材および学習環境の検討を行った。

- (1) 階層型ニューラルネットワーク・モデルを用いて、ノイズ重畳学習法のメカニズムに対する解析的考察を行う。
- (2) 学習シミュレーションを通して、ノイズの大きさと学習情報の大きさ、そして未学習情報に対する汎化能力の関係を定量的に調べる。
- (3) 学習後の神経回路網を分析することによって、ノイズ重畳学習法によって生じる神経回路網の構造化を調査する。
- (4) ノイズがタイプ技能の練習プロセスに及ぼす影響について、研究授業を通して明らかにする。
- (5) ノイズ重畳学習法を用いて、活用能力育成のためのWeb教材および学習環境を開発する。

## 4. 研究成果

### (1) ノイズ重畳学習法のメカニズム解析

当初は、ノイズ重畳学習法を人間の学習・記憶全般に対して応用するように調査研究を始めた。しかし、その後、宣言的記憶と手続き記憶を制御する脳の領域は異なっており、場合によっては互いに競合することが明らかになってきた。また、集中して学習した事柄は宣言的記憶の脳機構が関与し、ノイズ重畳学習の一種と考えられる「ながら学習」によって学習した事柄は手続き記憶の脳機構が関与することが明らかになった。さらには、宣言的記憶あるいは手続き記憶に一度記憶されてしまうと、その設定変更は困難であることが明らかになった。

そこで、ノイズ重畳学習の有効性が期待できる手続き記憶のみに注目し、その学習メカニズムについて解析的に考察した。

解析には、図1のような入力素子  $I$  個、中間素子  $J$  個、出力素子  $K$  個から構成される3層ニューラルネットワークを用い、ノイズ重畳学習と通常の学習法との違い調べた。

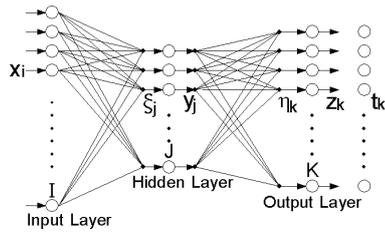


図1 解析に用いたニューラルネットワーク

解析の結果、ノイズ重畳学習の平均的な影響は次のように表せることが明らかになった。

$$\begin{aligned} \epsilon^2 - \epsilon^2 &\cong \frac{1}{2} \sum_{p=1}^J T_{pp} \sigma_p^2 \\ &= \frac{1}{2} \sum_{j=1}^J \left( \sum_{k=1}^K [f'(\xi_j)^2 \{g'(\eta_k)^2 \right. \\ &\quad \left. - (t_k - z_k)g''(\eta_k)\} b_{kj}^2 \right. \\ &\quad \left. - (t_k - z_k)g'(\eta_k)f''(\xi_j)b_{kj}] \right) \sigma_j^2 \end{aligned}$$

また、中間素子と出力素子の入出力を通常のニューラルネットワークで用いられる一般的なロジスティック関数

$$y_j = f(u) = \frac{1}{1 + \exp(-u)}$$

で規定すると、

$$\begin{aligned} f'(\xi_j) &= f(\xi_j)(1 - f(\xi_j)) \\ g'(\eta_k) &= g(\eta_k)(1 - g(\eta_k)) \end{aligned}$$

となるから、学習初期と学習後期における、ノイズ重畳学習の平均的な影響は、図2および図3のようになる。

学習初期において、ニューラルネットワークの出力が不確定な場合、図2に示すように、ノイズの平均的な影響は大きくなる。また、図のように、学習初期の変位の影響には、正の領域と負の領域がある。これは、変位の付加によって素子の出力が不確定な状態に戻されるような反学習や、その後の再学習が行われる可能を示している。

一方、学習後期において、中間素子と出力素子の出力が0か1の確定的な値に近づくと、図3のように、ノイズの平均的な影響は小さくなり、徐々に0に近づく。また、学習の最終局面では反学習を生じさせると考えられる負の領域が消失する。

これらの解析的な考察により、ノイズ重畳学習法の学習初期では、ノイズの影響を大きく受けて学習がゆっくりと探索的に進み、学習後期にはノイズの影響が無視できるほど小さくなることが明らかになった。

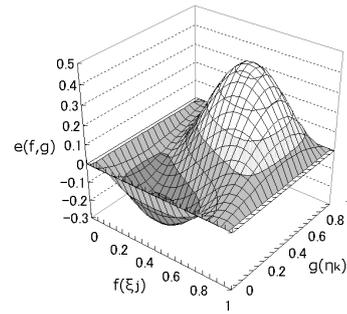


図2 学習初期のノイズの影響

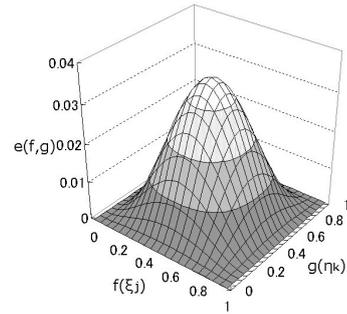


図3 学習後期のノイズの影響

### (2) ノイズ重畳学習シミュレーション

ノイズ重畳学習法について、ノイズの大きさと学習情報の大きさとの関係を定量的に調べるため、これらを変化させながら学習シミュレーションを行った。学習課題は手書き文字学習・認識問題とし、入力素子数 1024、中間素子数 36、出力素子数 100 のニューラルネットワークを用いた。また、入力データには ETL9B 手書き文字データを使用し、文字種ごとに異なる 8 種類の筆跡データを各 100 個ずつ、合計 800 個作成した。そしてこのデータを 400 個ずつ、学習用データと、活用力を評価するための未学習データとした。

これらを使って、ノイズ重畳学習法と通常の学習法とを比較する学習シミュレーションを行った。その結果、ノイズを適切に付加しながらノイズ重畳学習法を行うことにより、未学習データに対する認識性能が、通常の学習法と比較して大きく向上することが示された。一方、過剰なノイズを付加して学習を行った場合、通常の学習法よりも認識誤差が大きくなり、未学習情報の認識性能が低下することが明らかになった。

### (3) ノイズ重畳による神経回路の構造化調査

学習初期および学習後期について、入力層から中間層素子への神経回路網、すなわち中間素子の受容野結合を調べたところ、学習初期にはランダムな結合であったものが、学習後期には、未学習情報の認識に寄与するように興奮性結合と抑制性結合が局所的に分布するよう、神経回路網の構造化が進んでいる

様子が確認された。

特に、学習後に自己組織化された受容野結合を比較したところ、未学習情報の特徴抽出に有利に働くと考えられる受容野がノイズ重畳学習法によって 114.3%増加することが明らかになった。

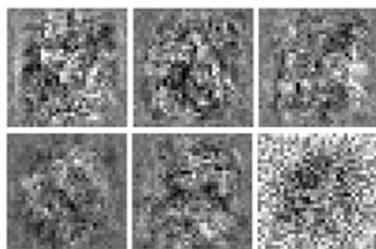


図4 学習後期の神経回路網

#### (4) ノイズ重畳学習法の検証

我々はこれまでに、研究の主旨を理解して協力の同意を得た18歳から63歳の男女を対象に、研究授業や公開講座を実施し、タッチタイプ技能の習得プロセスに及ぼすノイズの影響を調査してきた。その中で、今回、ノイズ重畳学習法に基づいて練習を行った71名、通常の学習法で練習を行った90名、ノイズを過剰に付加して練習を行った38名、合計199名の大学生についての調査結果を分析した。

その結果、図5に示すように、タッチタイプの練習時間は、通常の学習法を100とした場合、ノイズ重畳学習法を用いることで129.2%と大きく増加することを確認した。一方、ノイズを過剰に付加して練習を行ったグループでは97.9%と、練習時間が減少した。

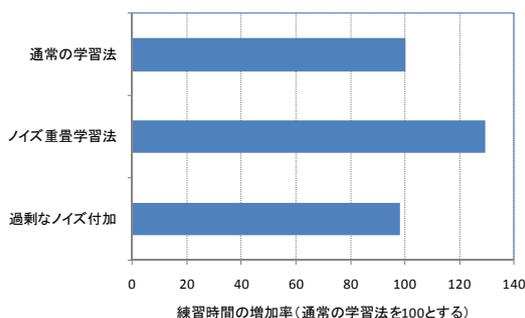


図5 ノイズ重畳学習法による練習時間の変化

次に、初心者について分析を行った。

ノイズ重畳学習法に基づいて練習を行った58名、通常の学習法で練習を行った53名、ノイズを過剰に付加して練習を行った25名、合計136名の初心者について分析した結果、図6に示すように、ノイズ重畳学習法を用いることで、練習時間は約112%増加した。また、ノイズを過剰に付加して

練習したグループは、104.9%であった。

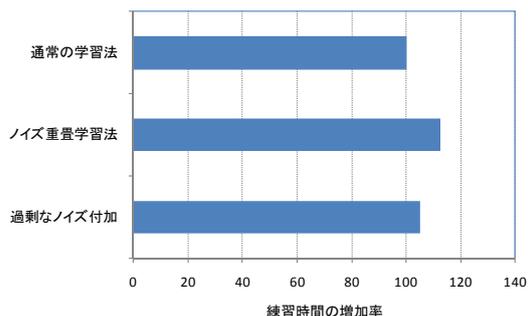


図6 ノイズ重畳学習法による初心者の練習時間の変化

学習初期（調査開始2週間後）から学習後期（調査開始5ヶ月後）について、3分間入力文字数を調べるタイプ技能の比較調査を行った。その結果、図7に示すとおり、学習後期に獲得されたタイプ技能は、ノイズ重畳学習法によって学習したグループが最も高いことを確かめた。また、学習初期から後期までの3分間入力文字数の増加量についても、ノイズ重畳学習法のグループが64.3文字と最も高いことが示された。

一方、過剰なノイズを付加したグループの場合、学習後期に獲得された技能は通常の学習法よりも低いという結果であった。また、この傾向は初心者についても同様に確認された。

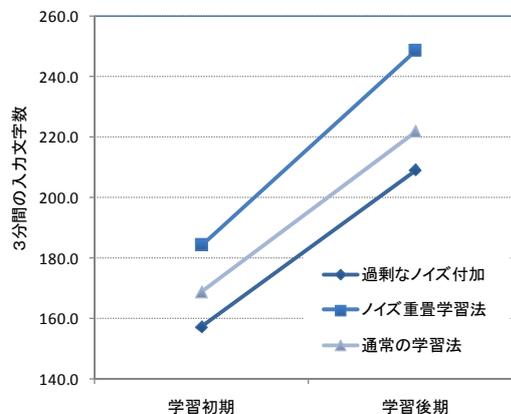


図7 ノイズ重畳学習法によるタイプ技能の向上

#### (4) Web教材開発

Web教材および学習状況を分析するためのデジタルポートフォリオ作成支援環境を、我々が独自に開発した授業管理・支援システム「授業Web」を活用して構築した。授業Webを利用することで、映像や音声などのマルチメディア記録が可能となり、学習履歴の並べ替えや複写、共有などが可能になるなど、デジタル化の利点を生かした新しい授業が実現できる。

デジタルポートフォリオには、長期かつコンパクトな保存が可能、編集、コピー、検索が容易など、デジタル化による利点に加え、映像や音声などのマルチメディア記録が可能、成果物を相互に参照（リンク）できるといった多くの利点がある。一方、不正アクセスによるデータの改竄など、ネットワーク接続に伴って生じる欠点もある。さらに、大学や短期大学の授業で用いるデジタルポートフォリオ・システムを利用する教員や学生の多くは、情報の専門家ではない。そこで、システムを構築するにあたって、教員が行うティーチングポートフォリオの作成作業や、学生が行う調査結果や成果物の追加作業を、簡単かつ迅速に行えるよう配慮した。また、近年、充実しつつある Web サーバ構築に関する技術を活用し、各授業担当者が簡単に授業コンテンツを構築することを可能とするため、授業 Web を分散型に再構築し、作成した Web 教材コンテンツを試用しながら、情報教育の授業を中心に試験運用した。



図 8 授業管理・支援システム「授業 Web」

授業 Web を活用した授業手順は次の通りである。

- ① 授業が始まる前にシラバスやコースパッケージをデジタル化し、Web 教材と共に公開する。
- ② 授業中、教材配布や学生の提出物のサンプル提示などを行う。
- ③ 授業終了後、教科書や学生について気づいた点や、授業中に思いついた効果的な説明などを追加する。
- ④ 評価とフィードバックを行う。

また、授業 Web を活用して Web 教材を作成するためには、HTML や Java など、プログラミングの知識が必要となる。この問題を解決するため、プログラミングの知識をあまり必

要とせず、Web コンテンツの作成や編集が可能な Wiki を利用して構築したティーチングポートフォリオ「TP-Wiki」を活用し、授業 Web と併せて運用を試みた。その結果、TP-Wiki を活用して授業を行うことにより、学習履歴の管理作業は効率的に行えるが、Web 教材開発を容易化するには至らなかった。

授業 Web により、授業中に行うミニテストの実施と採点が自動化され、学生の理解度が迅速に把握できるようになる、欠席者は授業内容を確認し自学自習が可能となるなどの有効性が確認された。

今後、ソフトウェア開発の知識を必要としない Web 教材開発環境の検討と、外部ノイズとヒントの違いに対する検討、そして学生の学習履歴を記録するための空間を LAN 上に構築し分析を進める予定である。

#### 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 4 件)

- ① 大山輝光、三好邦男、ノイズ重畳学習法のメカニズムに関する検討、情報教育研究集会講演論文集、査読無、2010、pp. 425-428
- ② 大山輝光、三好邦男、「ながら学習」への計算論的アプローチ、信愛紀要、査読無、Vol. 49、2009、pp. 6-12
- ③ 大山輝光、三好邦男、ノイズ重畳学習法と神経回路網の構造化、信愛紀要、査読無、Vol. 50、2009、pp. 5-12
- ④ 大山輝光、三好邦男、タイピング練習に及ぼす音楽リズムの影響と工学モデルに基づく分析、情報教育研究集会講演論文集、査読無、2008、pp. 211-214

〔学会発表〕(計 2 件)

- ① 大山輝光、ノイズ重畳学習法のメカニズムに関する検討について、平成 22 年度情報教育研究集会、2010 年 12 月 11 日、京都府民総合交流プラザ 京都テルサ
- ② 大山輝光、タイピング練習に及ぼす音楽リズムの影響と工学モデルに基づく分析について、平成 20 年度情報教育研究集会、2008 年 12 月 13 日、西日本総合展示場

〔その他〕

ホームページ等

- ① <http://www.shinai-u.ac.jp/toshokan/shinai%20kiyou/kiyou.htm>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大山 輝光 (OHYAMA TERUMITSU)  
和歌山信愛女子短期大学・  
生活文化学科・教授  
研究者番号：40271481

(2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3) 連携研究者

三好 邦男 (MIYOSHI KUNIO)  
和歌山信愛女子短期大学・  
生活文化学科・教授  
研究者番号：10290462