

平成 30 年 5 月 25 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K01092

研究課題名(和文) 繰り返し学習に対応したLMSの開発と学習時間の分析

研究課題名(英文) Development of LMS corresponding to iterative learning type and its analysis of learning time

研究代表者

渡邊 博之 (WATANABE, Hiroyuki)

日本大学・工学部・教授

研究者番号：40147658

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、(1)C言語演習問題コースウェアを対象に、繰り返し回答型の学習時間内の合格時間と平均点を用いて単位空間を作成し、学習データからコースウェアの妥当性や学習者の能力を評価した。また、学習データのマハラノビス距離D2から学習者を4グループに分類し、SN比によってD2を大きくする問題項目の要因と各グループの学習者の特徴を明らかにした。さらに、(2)繰り返し学習時の脳をモデルとして表すため、クレペリン作業を対象に、回答数とC / C との関係を評価した。また、回答数とC / C との関係を、利き手による影響、及び男女差による影響から明らかにした。

研究成果の概要(英文)：In this research, (1) in the MTS (Mahalanobis-Taguchi System), create the unit space from the passing time or average point for the C-programming exercise courseware, and evaluated the learning data for the types of iterative answer and one chance. The learning data are classified into 4 groups by the Mahalanobis distance D2, revealed the characteristics of each group from the factor to increase the D2 by calculating the SN ratio. Furthermore, (2) a model of the EEG for iterative learning during the Kraepelin test is proposed by FFT. The  $\hat{C} / C$  was calculated, and compared to the number of answers for the handedness, men and women.

研究分野：教育情報工学

キーワード：コースウェア 学習者 MTS クレペリン検査 作業量 脳波 利き手

## 1. 研究開始当初の背景

政府の ICT 戦略によって、学習支援システムを用いた学習環境は、システムとコンテンツ (教材や問題) が一体化している環境から、両者を分離することによって、システムの独立性とコンテンツの共有を図った SCORM 対応型 LMS (学習支援システム) の開発や、コースウェアが進化している。現在のバージョンは SCORM1.3 であり、シーケンシングルールに基づき、学習者の理解度に応じてコンテンツを提示できる特徴がある。Moodle など SCORM 対応型 LMS も開発されている。しかし、次に示すように、繰り返し学習では学習の継続性と分析法が問題となり、LMS システムの開発は遅れている。

- (1) PC 用に作成したコンテンツは、携帯電話やスマートフォンなどのモバイル端末では共有できない。このため、コンテンツを複数作成しなければならない。
- (2) PC とモバイル端末では、異なるプロセスが実行される。このため、端末が異なると学習データ (得点と学習時間) が共有できず、継続した学習ができない。
- (3) インターネットに接続できない環境では、LMS サーバを利用した学習ができない。このため、オフラインでの学習データがサーバへ保存できない。
- (4) 繰り返し学習では、無限の範囲を有する学習時間が分析の対象となる。また、同一学習者に同一コースウェアを再提示しても、学習履歴によって、同一結果を得ることはできない。
- (5) 分析結果や推定値を LMS に反映し、個々の学習者の理解度に適応したコースウェアを提示するアルゴリズムが確立されていない。

これまでの研究では、PC を対象に SCORM 対応型 LMS (システム名称は WebCAI) を開発してきた。また、モバイル端末として携帯電話やスマートフォンを対象としたシステムも開発してきた。更に、繰り返し学習型コースウェアを作成し、SP 表を用いて学習時間を分析し、推定式を示してきた。FFT を用いた分析法も提案してきた。これらを統合させる技術で LMS を統合することは、学習の継続性を増すことに貢献できる。また、学習時間の新しい分析法を確立することは、多方面から学習者の理解度やコンテンツの質を評価することに貢献できる。更に、分析結果を LMS に反映することは、短時間に効率良い学習の提供に貢献できる。

## 2. 研究の目的

本研究では、コースウェアを作成し、SCORM 対応の LMS で運用し、学習データ (得点と学習時間) を収集して繰り返し学習のメカニズムを解明する。このため、次の研究目的を対象とする。

- (1) 先ず、SCORM 対応の学習用コースウェアは数多くありながら、コンテンツは PC 用とモバイル端末用とを別々に作成しなければ

ならない問題点がある。また、LMS クライアントは PC を対象としたシステムが多く、スマートフォンなどのモバイル端末では学習が継続できない問題点がある。更に、インターネットに接続できない環境では学習ができない問題点がある。本研究では、これまでの研究において開発してきた SCORM 対応型 LMS の成果を基に、PC のコンテンツやコースウェアをモバイル端末でも共有できる LMS を開発する。また、データベースの共有化を図ることによって、PC とモバイル端末との混在による学習の継続性を可能とする。更に、インターネットに接続できない環境では、同一 LMS をスタンドアローンでも利用可能とする。

- (2) 次に、コースウェアを学習することによって得られるデータには、得点と学習時間がある。繰り返し学習を対象としたコースウェアでは、学習者は合格点に到達するまで学習するため、学習時間が分析の対象となる。また、有限の範囲を対象とする得点に対して、学習時間は無限の範囲におよぶ問題点がある。インターネットを利用する場合、得点を対象とした演習問題型コースウェアが多く、繰り返し学習型コースウェアが少ないのは、学習時間を評価の対象とした分析法が少ないためでもある。本研究では、学習者の理解度やコンテンツの質が学習時間で評価できる分析法を確立する。このため、品質管理工学の分野で用いられている MTS (マハラノビス・タグチ・システム) を教育工学の分野へ適用することによって学習時間を分析し、コースウェアを評価すると共に、任意のコンテンツで構成されるコースウェアの学習時間を推定する。

- (3) 繰り返し学習のモデルとして、クレペリン作業、IQ テスト、SPI などがある。一定時間内の作業量の多さなどを解明することは、工学教育の分野における能力の違いを解明する上でも有用である。また、繰り返し学習時間の短い学習者や得点の高い学習者は、脳をどのように使用しているかを明らかにすることが、作業量を増すためのメカニズムの解明においても重要である。クレペリン作業の加算はほぼ 1 秒間隔で繰り返され、緊張では  $\beta$  波が多く、回答後は「解けた」ことによるリラックスのため、 $\alpha$  波が多く発生する。本研究では、これらのバランスを指標として、FFT によって求められる  $\alpha$  波と  $\beta$  波の各周波数帯域のパワースペクトルの比 ( $C_\alpha/C_\beta$ ) を求め、 $C_\alpha/C_\beta$  と回答数との関係を利き手による影響、及び男女差による影響について検討する。

## 3. 研究の方法

研究目的(1)~(3)に対応して、それぞれ、次の研究方法でデータを収集した。

- (1) コンテンツとして C 言語演習問題のコースウェアを作成した。表 1 はその問題項目、繰り返し回答型の合格時間 (単位は sec) と

平均点 (単位は%) を示している。1つの問題項目は1~2画面で、1つの画面はいくつかの設問で構成されている。例えば、No.Aの問題項目は「16進数」と「ビット演算」の2画面で構成され、2画面で100%満点である。(2)表1のコースウェアを開発したLMSで提示し、学習データを収集した。先ず、学習者はC言語の講義を60分以上聞く。講義は教科書とプリントを用いながらの板書形式である。残りの時間でLMSを用いて講義に関する演習問題コースウェア(表1)に回答する。コースウェアには解説文がなく、問題画面と判定結果のみである。全ての問題形式はいくつかの選択肢の中から正答を一つ選ぶ選択式であるため、繰り返し回数が多ければいずれは正答できる。繰り返し学習は正答率80%未満で同一問題項目が提示され、全ての問題項目が正答率80%以上となるまでの学習データが収集される。1回回答型は正答率に無関係に1つの問題項目が提示される。1回回答型と繰り返し回答型の問題画面は同一である。学習者も同一である。(3)繰り返し学習時の脳をモデルで表すため、大学3・4年生の右利き男性、両利き男性、右利き女性の各25人を対象にクレペリン作業中の脳波を国際10-20電極配置法に基づき測定した。図1は繰り返し学習のモデルを左脳と右脳に対応して示しており、両脳で並列に処理されることを示している。

表1 C言語のコースウェア

分類	No.	問題項目	画面数 (設問数)	合格時間 [sec]	平均点 [%]
C言語 基礎	A	16進数とビット演算	2(6)	38	83
	B	if文とfor文	2(4)	21	77
	C	while文	1(3)	31	67
	D	1・2次元配列	1(5)	47	78
C言語 応用	E	関数1(値渡し)	2(4)	19	79
	F	関数2(参照渡し)	1(3)	35	84
	G	関数3(配列渡し)	1(2)	26	75
	H	ポインタ	3(8)	26	75
	I	ファイル	2(6)	27	90

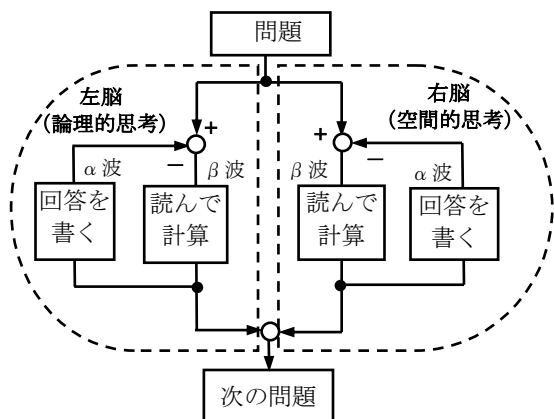


図1 クレペリン作業中の脳のモデル

左脳は論理的思考で、「問題」を読んで脳を使って「加算」し、「回答」を書き、再び問題に回答する繰り返し作業が行われる。右脳は空間的思考で、同様な作業が行われる。クレペリン作業量である回答数とα波とβ波の周波数帯域におけるパワースペクトルの比  $C_{\alpha}/C_{\beta}$  をバランスの指標として、左脳と右脳との関係を測定し、回答数との関係を調べた。また、チャップマン質問紙を用いて利き手を分類し、利き手や性別と回答数との関係を明らかにすると共に、電位マップで脳の活動部位を測定した。

#### 4. 研究成果

研究の方法(1)でコースウェアを作成し、LMSで学習データを収集した。研究の方法(2)と(3)に対して、それぞれ次の(1)と(2)の研究結果が得られた。

(1) C言語演習問題コースウェアを対象に、繰り返し回答型の学習時間内の合格時間と平均点を用いて単位空間を作成し、学習データを評価した。この結果、次の①と②の研究結果を得た。

①図2は繰り返し学習型における学習時間の  $D^2$  と得点の  $D^2$  を示している。その結果、繰り返し回答型の学習時間の短いグループは80%である。その50%は高得点であり、C言語基礎(16進数, if文, 配列)が高得点の要因である。残り50%は最低の得点で合格点に到達しており、C言語応用(関数1~3, ポインタ, ファイル)が低得点の要因である。学習時間が長い問題項目はwhile文であり、今回のコースウェアからwhile文を除いた学習

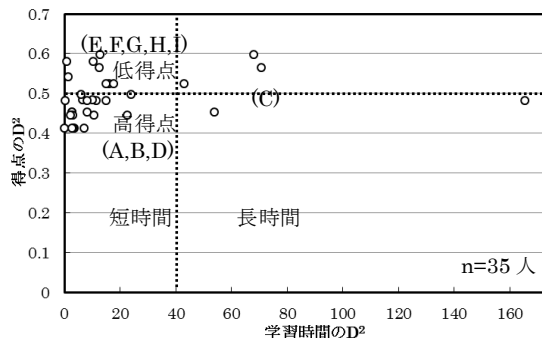


図2 学習時間の  $D^2$  と得点の  $D^2$  との関係 (繰り返し回答型)

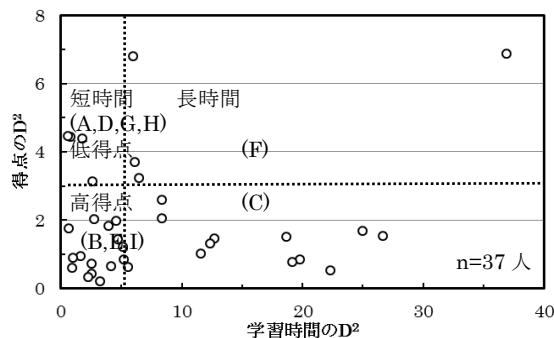


図3 学習時間の  $D^2$  と得点の  $D^2$  との関係 (1回回答型)

時間の利得は 2.8db 改善されることを推定した。また、C 言語応用を除いたコースウェアの得点の利得は 1.0db 改善されることを推定した。

②図 3 は 1 回答型における学習時間の  $D^2$  と得点の  $D^2$  を示している。単位空間は繰り返し回答型の学習データを用いて作成し、1 回答型の学習データを評価している。その結果、1 回答型の高得点グループは 78% である。その 50% は学習時間が長く、繰り返し回答型と同様に while 文と関数 2 (参照渡し) が長時間の要因である。while 文を除いたコースウェアの学習時間の利得は 1.1db 改善されることを推定した。また、低得点グループの要因は繰り返し回答型と同様に C 言語応用 (関数 2・3, ポインタ) であり、今回のコースウェアから C 言語応用を除いた得点の利得は 0.5db 改善されることを推定した。更に、繰り返し回答型と比較して、学習時間が長い関数 2, 及び低得点の 1・2 次元配列と高得点のファイルに差異があることを明らかにした。

(2)繰り返し学習型の脳のメカニズムを解明するため、クレペリン作業を対象に、回答数に対する  $\alpha$  波と  $\beta$  波との関係を測定した。その結果、休憩時間中はリラックス状態にあるため、 $C_\alpha/C_\beta$  の値は大きい。クレペリン作業中は集中や緊張状態にあるため、 $C_\alpha/C_\beta$  の値は小さいことを示し、この結果を基に次の ①~④の研究成果を得た。

①図 4(a)は右利き男性の  $C_\alpha/C_\beta$  と回答数との関係を示している。 $C_\alpha/C_\beta$  の値が 1.0 に近いほど、回答数が多いことが明らかである。適度なリラックスと集中であれば、作業量が多いと考えられる。すなわち、繰り返しによる作業慣れや、音楽などの外部刺激でリラックスできる環境をつくることで、無意識に両者のバランスの良い状態となるので、作業量の増加につながると考えられる。一方、教員は緊張を与える作業や演習実習ばかりでなく、意識的に冗談やマルチメディア教材を活用するなどの  $\alpha$  波と  $\beta$  波の出しやすい環境をつくることで、作業量の増加につながることが考えられる。(a)の右利き男性は左脳で相関がみられたが、右脳では相関がみられなかった。一対の t 検定や脳の電位マップからも、左脳と右脳とは違う活動であることが明らかである。図 5(a)は右利き男性の電位マップである。クレペリン作業の開始後 (1 分) は左前が活動的であり、前半の 1/3 (6 分) でも右前は活動的でなく、終了近く (13 分) でも左脳のみ活動的である。すなわち、右利き男性はどの時間でも左脳と右脳の電位が異なっており、全体的に左脳ほど右脳は活動的でないことが明らかである。

②図 4(b)は両利き男性の  $C_\alpha/C_\beta$  と回答数との関係を示している。両利き男性は左脳と右脳で共に相関がみられる。一対の t 検定からも有意差がみられず、脳の電位マップからも、時間経過と共に左右の脳が活動的になるこ

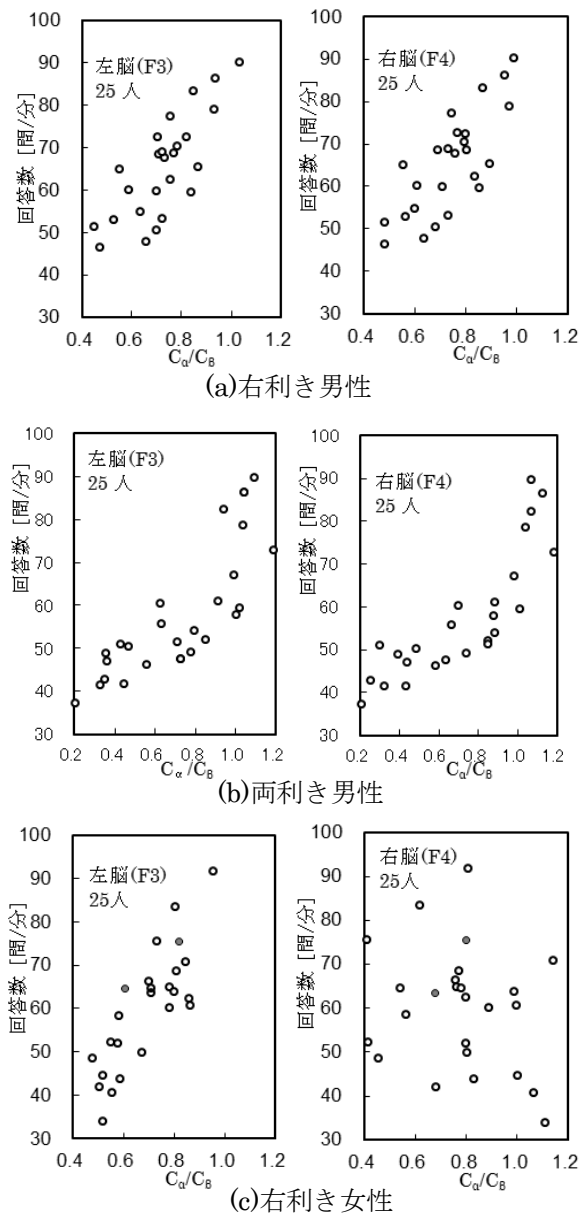


図 4 右脳左脳と回答数の関係

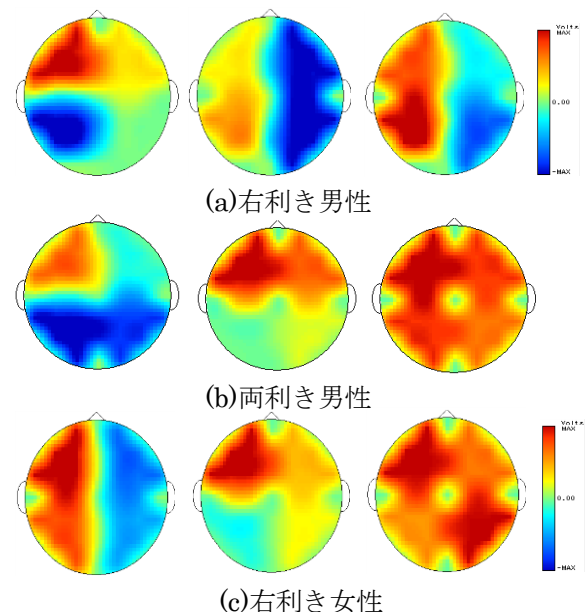


図 5 電位マップ (左から 1 分, 6 分, 13 分)

とが明らかである。図 5(b)は両利き男性の電位マップである。開始 1 分後は左前が活動的である。しかし、6 分で右前が活動的になると、13 分まで持続している。両利き男性は右利き男性より左脳と右脳を連動してバランス良く働かせているため、回答数が多く、誤答数の少ない、正確な回答が行われることが明らかである。両利き男性は日常生活で両方の手を使うため、右脳も鍛えられ、空間的思考の右脳も活動的になると考えられる。このことから、右利き男性は日常生活で左手を意識して使うことにより、左脳ばかりでなく右脳も活動的になると考えられる。

③図 4(c)は右利き女性の  $C_{\alpha}/C_{\beta}$  と回答数との関係を示している。右利き女性は男性に比べて脳梁が太いため、左脳と右脳をバランス良く使うことにより、両利き男性のように誤答数が低い。また、右利き女性は回答数と  $C_{\alpha}/C_{\beta}$  との傾きが緩やかであることから、回答数が少ないことが明らかである。図 5(c)は右利き女性の電位マップである。開始 1 分後は左前のみ活動的であるが、6 分、13 分と時間経過と共に左脳と右脳が活動的となっている。一方、脳梁が太くない右利き男性は優位半球である左脳しか使われず、論理的思考のみで計算していることが明らかである。

④表 2 の最右列は男性（右利き 25 人，両利き 25 人）と女性（右利き 25 人）の作業量の平均を示している。両利き男性と右利き女性は、時間経過 1 分に比べて 6 分と 13 分の誤答数がわずかであるが少ない。右利き男性に比べて両利きは平均回答数で 4.8 問/分の差があるが、平均正答数で比較すると 7.5 問/分多く、平均誤答数は 2.7 問/分少ない。右利きと両利きの平均正答数について等分散を仮定した 2 標本による t 検定をした結果、有意差がみられた ( $p=0.03<0.05$ )。すなわち、表 2 は偶然ではなく、利き手が理由で平均回答数が多く、平均誤答数が少ないといえる。また、右利き女性の平均回答数は 57.2 問/分と少ないが、平均誤答数は 3.1 問/分と両利き男性のように少ない。男女差を問わず左脳と右脳のバランスが良いと、平均誤答数が少ないことが明らかである。

表 2 男女差の利き手と作業量 [問/分]

		時間経過 (図 5 の各 1 人)			平均 (各 25 人)
		1 分	6 分	13 分	
右利き男性	回答数	58	58	60	60.0
	正答数	55	54	56	53.7
	誤答数	3	4	4	6.3
両利き男性	回答数	61	60	65	64.8
	正答数	58	58	63	61.2
	誤答数	3	2	2	3.6
右利き女性	回答数	55	52	55	57.2
	正答数	52	50	53	54.1
	誤答数	3	2	2	3.1

## 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 2 件)

- ① 渡邊博之，大山勝徳，クレペリン検査の作業量に与える脳波と利き手の影響，工学教育，査読有，65 巻 6 号，2017/11，44-48
- ② 渡邊博之，C 言語演習問題コースウェアにおける学習データの MTS による評価，工学教育，査読有，65 巻 2 号，2017/03/20，62-67

[学会発表] (計 6 件)

- ① 佐々木優，渡邊博之，クレペリン作業における眼球運動の停留時間に関する分析，2018 年電子情報通信学会・総合大会，2018/03/20 (東京電機大学)
- ② 佐々木優，渡邊博之，クレペリン作業における眼球運動の分析，第 60 回日本大学工学部学術研究報告会・電気電子工学部会，2017/12/09 (郡山市)
- ③ 佐々木優，渡邊博之，クレペリン作業における視線移動に関する研究，第 59 回日本大学工学部学術研究報告会・電気電子工学部会，2016/12/03 (郡山市)
- ④ 渡邊博之，大山勝徳，クレペリン作業時における男女の脳波と作業量の分析，2016 年ソサイエティ大会，2016/09/22 (北海道大学)
- ⑤ 渡邊博之，大山勝徳，クレペリン作業中における脳波と利き手の分析，日本工学教育協会第 64 回年次大会・研究講演会，2016/09/07 (大阪大学)
- ⑥ 渡邊博之，川嶋正士，英語コースウェアにおける繰り返し学習時間の MTS を用いた分析，FIT2015 (第 14 回情報科学技術フォーラム)，2015/09/16 (愛媛大学)

[その他]

ホームページ等 (大学内でのアクセス限定)  
<http://iclab.ce.nihon-u.ac.jp/~webcai>

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

渡邊 博之 (WATANABE Hiroyuki)

日本大学・工学部・教授

研究者番号：40147658