

## IoT皮膚コンダクタンス測定器を用いた授業評価

長野 祐一郎 (文京学院大学人間学部)

永田 悠人 (文京学院大学大学院人間学研究科)

宮西 祐香子 (早稲田大学大学院人間科学研究科)

長濱 澄 (東京工業大学教育革新センター)

森田 裕介 (早稲田大学人間科学学術院)

## Class Evaluation Using IoT Skin Conductance Measuring Instruments

Yuichiro NAGANO (*Department of Human Studies, Bunkyo Gakuin University*)

Yuto NAGATA (*Graduate School of Human Studies, Bunkyo Gakuin University*)

Yukako MIYANISHI (*Graduate School of Human Sciences, Waseda University*)

Toru NAGAHAMA (*Center for Innovative Teaching and Learning, Tokyo Institute of Technology*)

Yusuke MORITA (*Faculty of Human Sciences, Waseda University*)

We measured the skin conductance and subjective scales of 48 college students during classes involving conventional lectures, in-class experiments, and discussions. During a lecture, we provided an overview of skin conductance. The in-class experiment consisted of a toy-gun shooting game. The in-class discussion consisted of the social application of psychophysiological measurements. Results indicated that the skin conductance of participants gradually decreased as the lecture progressed, but became remarkably high during the discussion. The subjective assessment of the class by students was generally positive, except for the lecture. The psychophysiological and subjective scale responses of the students were correlated only during in-class experiment, but the correlation was lost during the lecture and the discussion, possibly because of difficulties in the awareness of the level of physiological arousal and the anxiety caused by the interpersonal situation, respectively. The possibilities and problems of applying multi-person measurements of psychophysiological activities in educational settings are discussed.

**Key words:** electrodermal activity, class evaluation, Internet of Things

---

2018.12.30受稿, 2019.11.20受理, 2020.3.14 J-STAGE早期公開, doi:10.5674/jjppp.1903si

連絡者および連絡先: 〒356-8533 埼玉県富士見市ふじみ野市亀久保1196 文京学院大学人間学部 長野 祐一郎

E-mail: nagano@bgu.ac.jp

**【要約】** 48人の大学生の皮膚コンダクタンスと主観評価を、従来型の講義、授業内実験、およびディスカッションを含む授業中に測定した。講義中は、皮膚コンダクタンスの概要を解説し、授業内実験では射的ゲームを行い、ディスカッションは、精神生理学的測定の社会的応用について行った。参加者の皮膚コンダクタンスは、講義が進むにつれて徐々に低下したが、ディスカッション中に著しく高くなった。授業に関する学生の主観的評価は、講義を除き概ね肯定的であった。学生の生理的反応と主観評価は、授業内実験でのみ相関し、講義とディスカッションでは失われた。自己の覚醒水準の認識が難しいため、相関が講義中に減少したと考えられた。また、対人状況によって生じる不安により、ディスカッション中の相関が弱められた可能性があった。教育環境において、精神生理学的活動の多人数測定を適用することの可能性と問題について議論を行った。

## はじめに

Bloom et al. (1971 梶田ら訳 1973) によると、教育目標は、認知的領域、情意的領域、精神運動的領域に分類され、各々の領域ごとに評価を行うことが求められる。学習評価で広く用いられるテストは、知識やスキルといった学習者の認知的側面を主に評価するものであり、情意的側面を評価することは難しい(寺尾, 2012)。精神生理学は、学習に対する意欲や関心、態度といった情意領域における評価において、その貢献が期待されてきた(中山・清水, 2000; 梅沢, 1998)。皮膚電気活動を用いた例では、講義形式の授業では生徒の覚醒水準の低下にともない皮膚電位が経時的に低下することや、授業内における生徒間の相互作用が促進されると、皮膚抵抗反応が参加者間で同期することが見出されている(本間, 1984; 堀, 1986)。また、皮膚温を用いた事例では、課題難易度が皮膚温変化量と対応する可能性が報告されている(中山ら, 1998)。視覚系を用いた事例では、TV番組や教育メディアに対する興味と、瞳孔径や瞬目率の関係性が調べられてきた(浅野ら, 1995; 西川・畑内, 1998; 清水ら, 1987)。比較的近年では、eラーニング受講者を対象に、ストレスコーピングの観点から、心臓血管反応を用いた教育コンテンツ評価が行われている(Irfan et al., 2011; 野村ら, 2011; 矢島ら, 2012)。このように、多様な生理指標を用い、教育場面の評価が行われてきた。

評価対象となる授業に目を向けると、2016年の中央教育審議会答申の骨子となるなど、いわゆるアクティブラーニングの導入が話題を集めつつある。アクティブラーニングとは「学生の自らの思考を促す能動的な学習」(溝上, 2007)、もしくは「一方的な知識伝

達型講義を聴くという(受動的)学習を乗り越える意味での、あらゆる能動的な学習(溝上, 2014)」と定義される。具体的には、問題解決型学習、プロジェクト型学習、反転授業、ワークショップ型、ディベート型などの形式が含まれ、多くの大学や高等学校で導入されつつある。一方、アクティブラーニング型授業にはいくつかの課題が存在する。一つは授業を用意する教員側の負担が大きくなる事であり、特にプロジェクト型やワークショップ型などの学習方法は、授業担当者だけでなく、授業進行を様々な面からサポートするファシリテーターの重要性が指摘されている(安斎・青木, 2019)。また、グループワークを多く含む反転授業では、授業形式に馴染めない学生が一定数存在することも報告されている(向後ら, 2012)。これらの授業方式の多くは、他者とのコミュニケーションを基盤とするため、学習者の特性によっては期待通りの成果を得られない可能性が想定される。生体情報による学習評価は、対人場面において過剰な緊張を生じてしまう等の、受講者の個人的特性を理解し、より適切な型の授業を提供する助けになる可能性がある。

一見有望に思われる、生体情報による授業評価だが、現状実施には大きな壁がある。生体計測機器は一般に高価であり、操作が難しいため専門的知識を必要とし、かつ多数を同時に計測するように作られていない。結果として、生体情報を用いた授業評価は、少人数かつ短時間での検討にとどまるケースが多い。数十人規模の授業を評価するためには、計測に伴う物的・人的コストを大幅に改善する事が求められる。幸い、デジタルファブリケーション技術やフィジカルコンピューティングの一般化、いわゆるメーカームーブメントの台頭により(Anderson, 2012 関沢 2012)、計測環境デザインのハードルは大きく引き下げられた。

オープンソース・ハードウェアである Arduino や、近距離通信のセンサーネットワーク、IoT (Internet of Things) 技術を利用した、低コスト生体計測の試みが行われている (長野, 2012; 宮西ら, 2017; 櫻井, 2017)。低コストかつ用途に応じてカスタマイズされた計測器の導入により、健康、教育、エンタテインメント等、様々な領域を対象に、精神生理学的知見の応用が期待される。

本研究では、物的・人的コストの問題をオープンソース・ハードウェアやIoT技術の導入により克服することで、従来手薄であった情意面での授業評価を、多人数対象に実現する事を目的とした。具体的には、本研究ではIoT対応型計測器50台を作成し、授業評価を通し、計測環境の運用可能性を検討することとした。その際、測定指標として、皮膚コンダクタンス (Skin conductance: 以下SCとする) を選択した。前述の皮膚抵抗反応が、皮膚表面の電氣的抵抗を示すものであるのに対し、SCは流れやすさを示す。SCは、エクリン汗腺の働きと関係し、交感神経活動の鋭敏な指標となるため、学習過程に大きく影響しうる覚醒水準の指標として、長く用いられてきた経緯がある (本多, 2017)。加えて覚醒度に応じて上昇を示すため、皮膚抵抗に比べ覚醒度との関係が理解しやすい。また、測定回路が公開されているため、独自の機器を作成しやすいなどの利点がある。さらに、精神生理学ならではのアクティブラーニングとして、実際に装置を用いながら測定を行う授業内実験を実施し、従来型の講義やアクティブラーニングの典型であるディスカッションと比較することとした。

## 方 法

### 実験参加者

大学生48名 (平均年齢19.75歳,  $SD=0.63$ ) とした。性別の構成は、男性18名、女性30名であった。いずれも著者の講義を受講する学生であり、実験系授業において、心電図計測を経験済みであった。参加者には、期末試験採点時に加点が行われることが告げられた。

### 実験課題

著者が行う精神生理学の講義を実験課題として用いた。時間中に、講義、授業内実験、ディスカッション

の3期間を設け、それらに参加する学生を対象に、約60分間にわたり心身の反応を測定した。講義は、皮膚電気活動に関するものであり、汗腺の種類とその機能に関する解説、測定原理と測定事例、精神生理学での位置づけに関する内容を含むものであり約24分の長さであった。授業内実験は、射的課題中にSCを測定するものであった。ホワイトボードに描かれた的に向けて、銃型玩具で吸盤つきダーツを発射し、得点を競いあう内容であった。最初に女子学生のペア、次に男子学生のペアが行い、最後に各ペアの勝者が勝負を行うという内容であり約23分間の長さであった。ディスカッションは、SCの測定が身近 (低コスト・コンパクトでどこでも測れる) になると、日常生活のどのようなことに利用可能か、どのようなビジネスが展開可能かを、近隣に座っている学生と話し合い、浮かんだアイデアをリアクションペーパーに記載するというものであり、長さは約11分間であった。

### 実験装置

計測装置は、金銭的成本、運用上の人的コストをできる限り削減するようデザインした。さらに、身体への装着を想定し、極力サイズを小さく保つよう配慮した。また、再生産可能性をも考慮し、ソフトウェア、ハードウェアともに、できる限りオープンソースであるものを用いて構成した。

計測装置は上下段に分割し、下段には計測用電子回路およびAD変換装置の他、電池、電源関連部品を配置し、上段にはマイクロコンピュータとユーザーインターフェイスを配置した。以下に、下段、上段、その他の順でハードウェアの構成を述べる。

下段部分でSC測定に、美濃 (1986) に示される回路を用いたが、現在の電子部品流通事情にあわせ、定電圧出力にLM385Z-1.2 (Texas Instruments) を用いた (図1)。増幅は、ブリッジ回路側への影響を抑止するため、1段目は入力インピーダンスが高い計装アンプ (Linear Technology, LT1167) を用い、2段目にはAD変換の分解能を高く保つためレールtoレールのオペアンプ (National Semiconductor, LMC6482) を用いた。これらの回路は、長野・吉田 (2018) で用いたものと同様であった。増幅回路の電源は、1セルのリチウムイオン電池 (Keenstone, Model752035) の3.7Vを、DCDCコンバーター (秋月電子, AE-XCL102D503CR-G) で

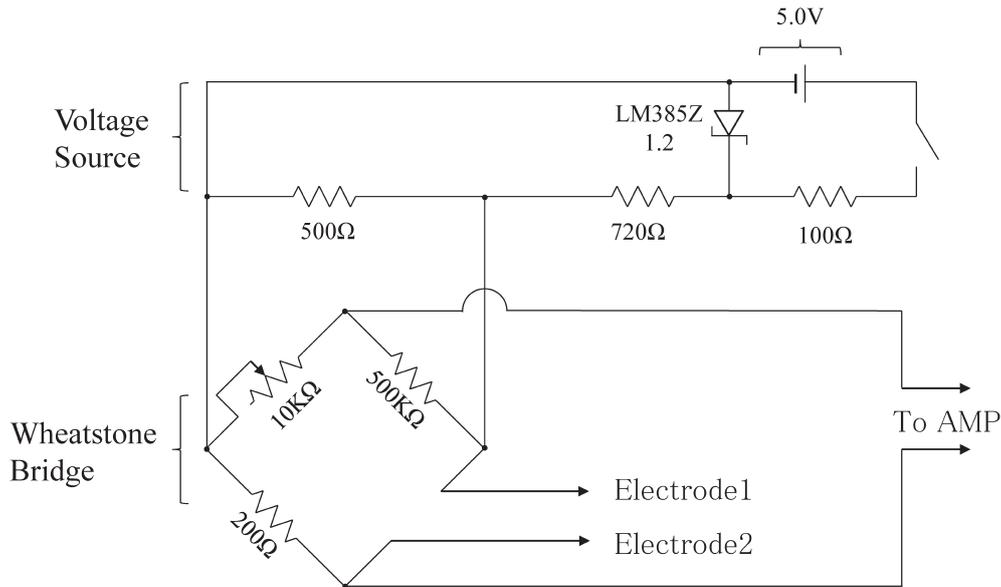


図1. 皮膚コンダクタンスの測定に用いられた回路

5 Vに昇圧し用いた。さらにレールスプリッタ (Texas Instruments, TLE2426CLP) で分割し、 $\pm 2.5$  Vの正負両電源とした。AD変換には、電圧リファレンス内蔵で小型化しやすいため、I2C接続のAD変換装置 (Adafruit, ADS1015) を用いた。

上段には、IoT対応マイクロコンピュータ、マイコン内蔵LED (秋月電子, AE-WS2812B) 3個、タクトスイッチ3個が配置された。マイクロコンピュータは、ESP-WROOM02 (秋月電子, AE-ESP-WROOM-02) を用いた。

上段と下段は2.54 mm間隔のピンヘッダー4本を用いて接続し、下段のAD変換装置で得られた測定値はI2C接続によって上段のマイクロコンピュータに送信した。電子部品類は自作の回路基板を用いて組み立て、 $5 \times 7 \times 1.5$  cmの3Dプリントされたケースに収めた。電子回路はEAGLE Ver. 7.5.0 Light Edition (CadSoft) で作成し、回路基板はCNCルーター (ORIGINALMIND, KitMill CIP100) で作成した。部品の総額は1台あたりおよそ3,000円であった。

ソフトウェアは、ArduinoIDE1.8.1, ESP8266 Arduino Core Ver2.2.0, Adafruit ADS1X15ライブラリを用いて作成した。AD変換は12 bitの精度、1 Hzのサンプリング周波数で行った。Wi-Fi使用に起因するノイズ混入を抑止するため、AD変換装置を作動入力方式で用いた。計測値はNTPサーバー経由で得られたタイムスタンプとともに、10秒毎にWi-Fi経由でサーバー

にHTTPプロトコルで送信し、サーバー側でディスクに記録した。また、計測装置上面には装置ごとに固有のURLを表すQRコードが貼り付けられており、ユーザーは自分のスマートフォンで当該URLを表示することにより、直近10分間のSC変化を確認することができた。この機能は、実験課題の内容が心身関連に関する授業であること、日常生活における生体情報の利用可能性をディスカッションの議題に設定していることを考慮し追加された。測定者は、サーバー上に蓄積された計測結果を、PC上のブラウザから随時確認する事ができた。確認用ソフトウェアは二種類あり、一方は参加者の波形を8人同時に確認可能なものであり、他方は各計測器の電源電圧、最終アクセスからの経過時間、SCの瞬時値を50台分同時に確認できるものであった。これらサーバーサイドのソフトウェアは、PHP Ver. 5.2.17で作成し、大学外の商用サーバー上で運用した。グラフの描画には、Google Chartを利用した。

本研究では、多人数同時測定時のトータルコストの低さから、通信方式にWi-Fiを選定した。ネットワーク接続環境として、各計測機との接続に無線LANルーターArcher5400 (TP-link) を用いた。当ルーターは64クライアントを同時に接続可能なものであった。様々な環境での計測を想定し、上流にLTE接続型無線LANルーターAterm PA-HT100LN (NEC) を接続し、格安LTE回線を経由してWANに接続し

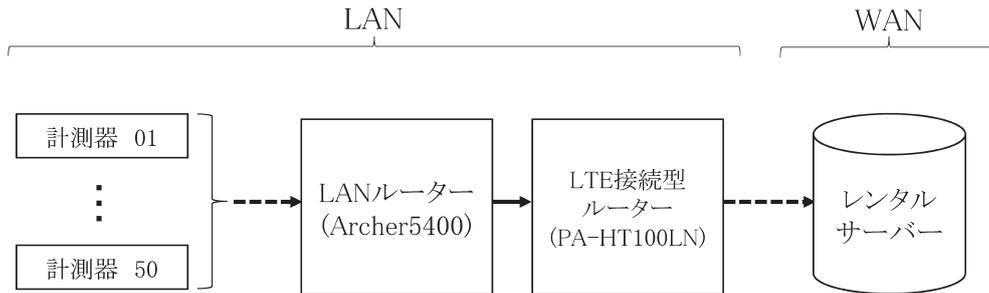


図2. 測定に用いたネットワーク環境の構成

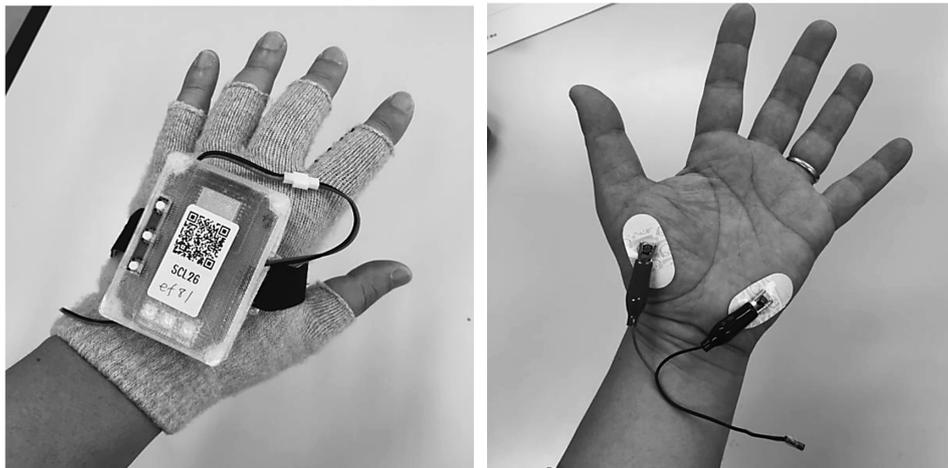


図3. 本研究に用いられた測定装置と電極の配置

た。計測器とこれらのネットワーク機器の関係を図2に示した。図中破線の矢印は無線接続，実践の矢印は有線接続を表す。

### 主観報告

授業内容に対する主観評定として，三保・清水(2011)の「大学での学習観」尺度を参考にしつつ，回答時間が極力短くなるよう，“主体的な”，“受け身な”，“興味深いものである”，“無意味なものである”の4項目を授業態度の能動，受動性評価に用いた。さらに，“楽しい”，“活気のある”，“集中した”を授業に対するポジティブ評価項目として，“眠い”，“だるい”，“授業が長く感じた”をネガティブ評価項目として加え，合計10項目により授業内容を評定させた。回答はあてはまらない(1点)から，あてはまる(5点)の5件法で求めた。これらの評定は，各期間終了時に，参加者のスマートフォンを用いブラウザ上で行われた。

### 生理指標

SCを測定した。電極は入手性と価格を考慮し，日

本光電製のVitrode F-150Sを用いた。電極はDawson, Schell, & Filion (2007)に示される電極装着部位の内，参加者が両手の指を自由に使える状態を維持することを重視し，非利き手の母子球および小指球を選定し装着した。その際，電極およびみの虫クリップを，指なし手袋を装着することによって固定し，さらにベルクロを用いることで計測器本体を手袋の甲部分に固定して測定した(図3)。

### 手続き

実験参加者は，講義室入り口付近に設置された箱の中から，測定に必要な物品が収められたファスナー付きビニール袋を取り出し，自由に教室内に着席した。袋には，計測器，ディスプレイ電極，電極と本体を接続するケーブル，手袋，インフォームドコンセント兼操作マニュアルが封入されていた。授業開始時に，教員は実験の趣旨を述べ，参加者は手元のマニュアルおよび前方スクリーンで行われる教員の解説に従い，各自で装置を非利き手に装着し，電源スイッチを入れ，ネットワークへの接続を確認した後計測開始ポ

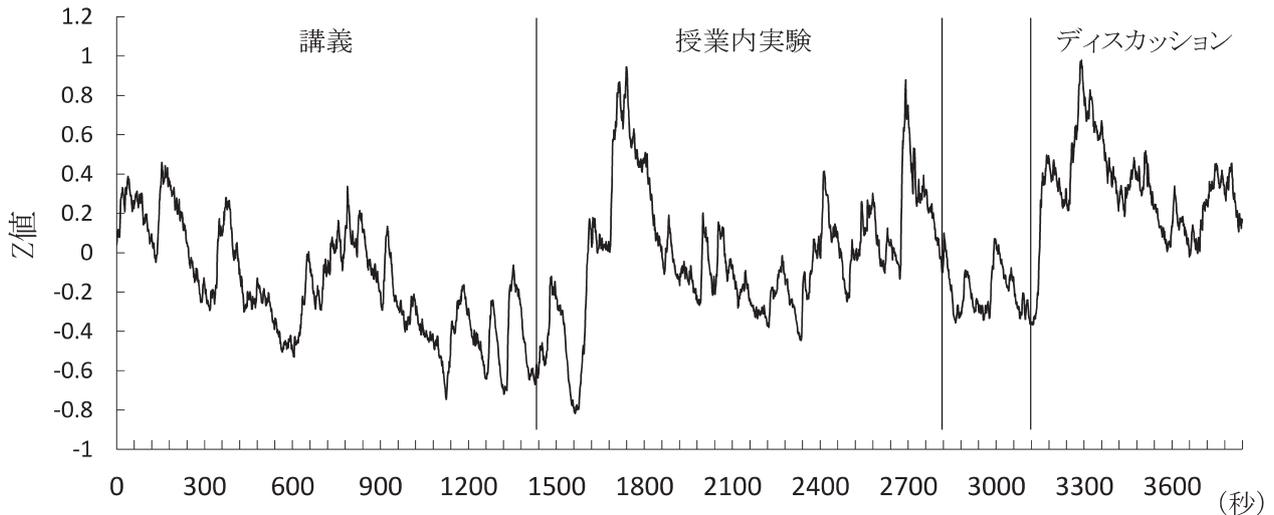


図4. 授業中の各期間における皮膚コンダクタンス変化

タンを押した。さらに教員は、計測装置に貼り付けられているQRコードのアドレスにアクセスすることで、参加者はいつでもスマートフォンを用い、自分のSCを確認できることを説明した。装着後、姿勢や体の動作について、特に制限を行うような教示は行わなかった。すべての期間を終えた後、参加者はマニュアルに従って自ら計測器の電源を切り、とり外し、もと通りに袋に封入し返却を行った。

講義室には、計測器および関連ソフトウェアの使い方を熟知した補助学生が3名同席しており、計測器から送られてくる値を各自のPCでチェックしていた。値が適切な範囲に入っていない、途中で停止したなどの際には、該当する計測器を装着している学生のところへ移動し、電極装着位置やケーブル接続状態のチェック、必要に応じて計測器の再起動を行った。教室最後部には、通信用機材一式およびビデオカメラが設置されており、授業進行の様子が撮影された。

なお、本研究の手続きは、は文京学院大学人間学部倫理委員会の承認を受けて実施された。

## 結果

### 生理指標

ケーブルの接続不全、ネットワーク接続の不調により3名のデータが失われ、有効サンプル数は45となった。1分未満の短期間のデータ損失に関しては、直前の測定値を用いて補完し、有効データとして用いた。電極の不備等によって明らかな異常値がみとめら

れる部分に関しても、直前の測定値を用いて適宜修正を行った。SC変化量は個人差が大きく、また本研究ではどの期間における変動が大きいのかを参加者ごとに検出する事が重要であるため、計測期間中のSCを参加者内でZ変換した。全サンプルの平均値を求めた結果を図4に示した。

講義期間中、一過性に上昇する場面も見受けられたが、全体として徐々に下降し、授業内実験の直前で最低値となった。授業内実験期間では、前半で大きな盛り上がりを見せた後、0付近で推移し、後半で再び上昇傾向となった。ディスカッション期間では、開始直後に大きな上昇を見せ、終了時まで0以上の値を保持した。各期間におけるZ値に関し、反復測定デザイン分散分析を行った。自由度の修正にはHuynh-Feldtの $\epsilon$ を用いた。期間の効果が有意であった( $F(2, 88) = 10.15, MSe = .279, \epsilon = .97, p < .01, \eta_p^2 = .187$ )。さらにBonferroni法による多重比較を行ったところ、講義とディスカッションの間、授業内実験とディスカッションの間に有意な差が認められた(いずれも $p < .05$ )。

### 主観報告

主観評定の平均値とSD、分散分析および多重比較を行った結果を表1に示した。

“主体的な”、“楽しい”、“活気のある”、“集中した”に関しては、講義に比べ授業内実験およびディスカッション期間で有意に高い値となった。“眠い”、“だるい”、“授業が長く感じた”に関しては、授業内実験およびディスカッションに比べ、講義期間で有意に高い

表1. 主観報告の平均値及び標準偏差と統計処理結果

	講義	授業内 実験	ディス カッション	<i>N</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>MSe</i>	$\eta_p^2$	多重比較結果
主体的な	2.51 (0.69)	2.70 (1.09)	3.21 (0.88)	43	8.02	**	0.81	0.16	講義, 授業内実験 ＜ディスカッション
興味深いものである	3.17 (0.90)	3.64 (0.90)	3.55 (0.91)	42	4.90	*	0.60	0.11	講義＜授業内実験
受身な	3.21 (1.06)	2.86 (1.04)	2.86 (0.99)	42	2.10	ns	0.95	0.05	
無意味なものである	2.21 (1.09)	2.02 (0.82)	1.93 (0.97)	43	1.41	ns	0.65	0.03	
楽しい	3.07 (0.87)	3.58 (1.02)	3.70 (0.79)	43	8.94	**	0.54	0.18	講義＜授業内実験, ディスカッション
活気のある	2.47 (0.84)	3.07 (1.11)	3.35 (0.89)	43	10.77	**	0.82	0.20	講義＜授業内実験, ディスカッション
集中した	2.42 (0.95)	3.07 (1.13)	3.44 (0.95)	43	16.08	**	0.89	0.28	講義＜授業内実験, ディスカッション
眠い	3.37 (1.41)	2.47 (1.30)	2.30 (1.15)	43	12.15	**	1.22	0.22	講義＞授業内実験, ディスカッション
だるい	3.07 (1.15)	2.58 (1.19)	2.42 (1.17)	43	6.98	**	0.79	0.14	講義＞授業内実験, ディスカッション
授業が長く感じた	2.77 (1.12)	2.09 (1.05)	2.05 (1.08)	43	12.08	**	0.58	0.22	講義＞授業内実験, ディスカッション

( )内は標準偏差, \*  $p < .05$ , \*\*  $p < .01$

値となった。“主体的な”に関しては、ディスカッション期間が他期間に比べ有意に高く、“興味深いものである”に関しては、授業内実験と講義の間のみに差が見られ、授業内実験が有意に高かった。“受け身な”、“無意味なものである”、に関しては、各期間の間に有意な差は認められなかった。

### 相関分析

Z変換されたSC値の各期間の平均値と対応する期間の各主観評定値の相関を求めた結果を表2に示した。相関係数算出の際、生理、心理双方のデータに不備がない参加者を選出した結果、有効サンプル数は37となった。

講義期間では、SCと主観評定項目の相関は総じて低く、“受け身な”において有意な弱い相関が見られるのみであった。授業内実験期間では、“楽しい”、“集中した”において有意な弱い相関が認められ、“眠い”、“だるい”、においては負の、“活気のある”において

正の相関の可能性が認められた。ディスカッション期間では、SCと主観評定の間、有意な相関は認められなかった。

ディスカッション結果の抜粋を下記に述べる。テレビCM、映画の予告、試写会等、ゲームのデモプレイで用い、興味・関心の度合いからコンテンツ評価や開発の継続、中止判断に用いる、あるいは音楽のコンクール、お笑いの勝ち抜き戦、スポーツの試合で用い、MVPや優勝者を決めるなど、エンタテインメントコンテンツ評価に関するアイデアが多く得られた。また、婚活パーティーで用い、盛り上がりや恋愛感情の評価に用いることで、告白しなくても好きな相手わかり、結婚可能性が上がるなど、恋愛・結婚場面への応用アイデアも多く得られた。他には、教育場面への応用として、どの時間帯、授業形式が眠くなりやすいのかを調べ授業内容の改善に役立てる、年少時より用いて、早い段階で適性を見極める、SNS等のソーシャルアプリと連動させ、集団での意思決定や、犯罪

表2. 各条件における皮膚コンダクタンスと主観報告の相関

	講義	授業内実験	ディスカッション
主体的な	-0.04	0.21	-0.09
興味深いものである	-0.01	0.17	0.03
受身な	-0.34*	-0.18	-0.22
無意味なものである	-0.10	-0.14	0.09
楽しい	-0.07	0.39*	-0.01
活気のある	-0.12	0.32 <sup>†</sup>	0.07
集中した	0.09	0.36*	0.08
眠い	-0.13	-0.29 <sup>†</sup>	-0.08
だるい	-0.05	-0.28 <sup>†</sup>	0.09
授業が長く感じた	-0.15	-0.20	-0.03

<sup>†</sup>  $p < .10$ , \*  $p < .05$

抑止, 自殺予防に役立つなどのアイデアが得られた。

## 考 察

### 計測システムの動作状況

本研究では, 独自に作成された低コストの計測器を用い, 短期間に多くの測定データを取得できた。使用法をできる限り単純化し, 参加者自身が装着を行ったことで, 比較的多数の参加者であるにもかかわらず, 少数の実験者のみで授業期間内での計測を行う事ができた。一方で, 計測器が正常に動作している場合においても不通期間が散見された。原因の一つとして, 構造上の問題が考えられた。リセットおよび計測開始スイッチが外部に露出していたため, 参加者が意図せず押下し, 一定期間測定値が得られなくなってしまう現象が生じていた可能性があった。別の要因として, 使用したLTE回線が計測時間帯に混雑し低速になる傾向があったため, 結果として不通期間が生じた可能性が考えられた。今回は参加者が計測結果を参照できるようにするため, データ保存をWAN側のサーバーで行ったが, より正確な計測結果を取得したい場合は, LAN内にサーバーを設置する事でデータの損失頻度を下げる事ができるだろう。

### 生理指標

講義期間中, 一過性の上昇を示しつつも, SCのZ得点は徐々に下降し, 授業内実験開始直前に最低値と

なった。SCは, 実験刺激の新奇性や重要性を反映し上昇するとの知見 (Barry, 1982; Dindo & Fowles, 2008) から, 講義中に参加者が新奇性や重要性を感じ得た部分に, 一過性の上昇が生じた可能性が考えられた。また, SCを始めとする皮膚電気活動は, 睡眠中に低く, 精神活動の活発化に従い上昇し, 覚醒水準の指標となることから (本多, 2017), 講義中のSC低下は覚醒水準の低下を反映したものと解釈できる。堀 (1986) は, 講義中に6名の受講生の皮膚電位水準を記録した結果を報告しているが, 講義開始から10—15分で下降しはじめ, 注意喚起を行った期間のみで一過性の上昇をみせるものの, 30—40分ごろには約半数の学生が講義開始前レベルを下回ったと報告している。本研究においては, 他期間と差別化するため, 講義期間中は教員から何ら注意喚起を行わなかった。その結果として, 同様もしくはより速やかな覚醒水準の低下が生じたと考えられた。授業内実験およびディスカッションでは, いずれもSCは大きく上昇しているように見受けられたが, 講義と授業内実験の間に有意な差は認められず, ディスカッションと講義の間のみ明確な差が見られた。講義および授業内実験が, 教員から学生へ向けた一斉授業方式であるのに対し, ディスカッションは双方向形式であった。学習コンテンツの性質が血行力学的反応に与える影響を検討した野村ら (2011) では, インタラクティブなコンテンツの場合に, 心拍数の上昇を中心とした, 能動的対処が見られることを指摘している。心拍数上昇もSC上昇も交感神経活動の亢進を反映したものである。本研究

においても、学生どうしのコミュニケーションが能動的対処を生じ、SC上昇に寄与した可能性が考えられた。ディスカッションの内容は、参加者にとって身近なアイデアが多く見られた。学生達はメンバーの生体情報を共有しながら、言い換えれば集団でバイオフィードバックを受けながらディスカッションを行っている状態であり、生体情報の即時フィードバックが議論を活性化し、結果として高いSCを生じた可能性も考えられた。

### 主観報告

授業に対する主観報告は、授業内実験およびディスカッションに対する評価が概ね肯定的であり、講義への評価が全般的に否定的である傾向が見られた。学生自身がかかわる授業内実験やディスカッションを積極的に取り入れることで、覚醒状態を上げ、かつ授業に対する印象も改善する事ができる可能性がある。“興味深いものである”に関しては授業内実験が、“主体的な”に関してはディスカッションが、それぞれ特に高い評価を得た。辻・杉山(2016)によれば、アクティブラーニング型授業は、通常形式の授業に比べ、理解度に差はないものの、自学自習の意欲が高くなる特徴があり、本研究の主観報告も概ね一致した結果であると言えた。授業内実験は、SCに関しては講義期間との間に有意差は出ていないものの、課題内容に応じて生体反応が刻々と変化する様子を観察することができ、実施者の表出行動と生体反応を同時に観察することで、学生たちの興味が強く引き出されたと考えられる。若年者を対象としたストレスマネジメント教育においても、低コスト計測器を多数用いた心身相関体験実習が、参加者の興味を引き出すことが確認されている(長野・吉田, 2018)。実験に参加する学生は少数であるため、主体性に関してはディスカッションに及ばないものの、学習効果を高める有効な手段となる可能性が示唆された。

### 相関分析

授業内実験においてSCは、“集中した”、“楽しい”、“活気のある”と正の相関あるいはその傾向が認められ、“眠い”、“だるい”の項目とは負の相関傾向が認められた。SCを含む皮膚電気活動は、睡眠中に低く、精神的な活動が活発になるにつれて上昇することか

ら、覚醒水準を反映する指標となる(本多, 2017)。“集中した”は高覚醒、“眠い”、“だるい”は低覚醒に該当するため、これらの項目に相関が認められたことは妥当である。また、コンピュータ・ゲーム中の主観的感情とSC変化を検討した伏田・長野(2015)では、SCとポジティブ感情の上昇が認められた。授業内実験課題のゲーム性が“楽しい”、“活気のある”などの感情を喚起し、SCを高めた可能性がある。一方で、講義中は“受け身な”と負の相関が認められた以外は、明確な相関は得られなかった。堀(1986)は講義中の皮膚電位水準変化に基づき、行動観察で判断されるよりもかなり早くからvigilance低下が生じる可能性を指摘しており、阿部(2017)も、傾眠に伴い認知、行動、パフォーマンス、自律神経活動等に変化が生じるが、必ずしも眠気の主観的体験を伴わないとしている。覚醒水準の低下を主観的に知覚する事は難しく、結果として主観的体験とSCの相関が低くなる可能性があるかもしれない。“受け身な”に関しては、他期間においても有意ではないものの負の相関を維持しているため、授業の形式に関わらず受動的態度は低いSCと関連するものと考えられる。他期間に比べディスカッションでは、SCと主観評定の間の相関は総じて低めであり有意な相関が認められなかった。山崎(1986)は、社会的相互場面において、観衆の存在や、グループ作業が皮膚電位水準を高めるとしている。また、強い不安感情を伴うパニック障害患者は慢性的なSC上昇を生じ、特に対人場面における不安感情はSCを顕著に上昇させることが示唆されている(Doberenz, et al., 2010; Parente, et al., 2005)。ディスカッションは、他者とのコミュニケーションが不可欠であり、一部参加者において対人不安による顕著なSC上昇が生じ、結果として主観評定との関係が不明瞭になった可能性が考えられる。この事は、“だるい”とSCの相関がディスカッションにおいて正に転じていることから裏付けられる。これらの結果は、形式の異なる授業で得られたSCを一様に扱うことの難しさを示唆するものである。

### 今後の展望

生体反応変化は学習者の興味領域の識別や、学習スタイルの識別に有効である可能性が示唆されている(董・本間, 1997; 矢島ら, 2012)。学習スタイルとア

クティブラーニングの関係については, Felder & Spurlin (2005) の学習スタイル尺度を用いた, 森田ら (2016) に詳しい。反転授業では, 活動的学習者はグループによる議論を肯定的に評価したのに対し, 内省的学習者はグループワークに懐疑的であり, ストレスを感じている可能性が示唆された。一方で, Web ベースの教材では, 内省的学習者の方が学習を効率的に行うことが確かめられている (森田・Koen, 2006)。SC は対人不安を顕著に反映するため, 覚醒度だけでなく各授業形式への適性を評価できるようになる可能性がある。今後は, コストが低く利便性が高い計測環境の普及によって, 授業中の覚醒度や授業形式への適合度を半自動的に評価・蓄積することが可能となり, 対象集団の特質に適した授業形式を迅速に選択し, 学習効率を向上させられる可能性がある。

## 謝 辞

本研究は, 日本学術振興会・科学研究費補助金「挑戦的研究 (萌芽) 適応的な学習支援を目指した生体情報計測による学習活動のモニタリング手法の確立 (課題番号 18K18670)」の一部として行われた。実験実施をサポートしてくださった早稲田大学の岡野さん, 文京学院大学の加藤さんに感謝いたします。

## 引用文献

- 阿部 高志 (2017). 覚醒と眠気の評価法. 堀 忠雄・尾崎 久記 (監) 片山 順一・鈴木 直人 (編) 生理心理学と精神生理学 第II巻応用 (pp. 181-190) 北大路書房
- Anderson, C. (2012). *Makers: The new industrial revolution*. New York: Crown Business. (アンダーソン, C. 関 美和 (訳) (2012). MAKERS——21世紀の産業革命が始まる NHK出版)
- 安斎 勇樹・青木 翔子 (2019). ワークショップ実践者のファシリテーションにおける困難さの認識 日本教育工学会論文誌, 42, 231-242.
- 浅野 樹美・中山 実・清水 康敬 (1995). ニューラルネットワークを用いた瞳孔応答モデルと動画番組視聴時への適用 日本教育工学雑誌, 18, 61-70.
- Barry, R. J. (1982). Novelty and significance effects in the fractionation of phasic OR measures: A synthesis with traditional OR theory. *Psychophysiology*, 19, 28-35.
- Bloom, B. S., Hastings, J. T., & Madaus, G. F. (1971). *Handbook on formative and summative evaluation of student learning*. New York: McGraw-Hill. (ブルーム, B. S., ヘスティングス, J. T., マドゥス, G. F. 梶田 叡一・渋谷 憲一・藤田 恵璽 (訳) (1973). 教育評価法ハンドブック——教科学習の形成的評価と総括的評価—— 第一法規)
- 董 玉琦・本間 明信 (1997). 理科授業中の子ども個人の情動変化のタイプ: 授業中の学習者の情動変化に関する研究 (3) 日本科学教育学会研究会研究報告, 11, 29-34.
- Dawson, M. E., Schell, A. M., & Fillion, D. L. (2007). The electrodermal system. In J. T. Cacioppo, L. G. Tassinary, & G. G. Berntson (Eds.), *Handbook of psychophysiology* (pp. 159-181). New York: Cambridge University Press.
- Dindo, L., & Fowles, D. C. (2008). The skin conductance orienting response to semantic stimuli: Significance can be independent of arousal. *Psychophysiology*, 45, 111-118.
- Doberenz, S., Roth, W. T., Wollburg, E., Breuninger, C., & Kim, S. (2010). Twenty-four hour skin conductance in panic disorder. *Journal of Psychiatric Research*, 44, 1137-1147.
- Felder, R. M., & Spurlin, J. (2005). Applications, reliability and validity of the index of learning style. *International Journal of Engineering Education*, 21, 103-112.
- 伏田 幸平・長野 祐一郎 (2015). コンピュータ・ゲーム時の競争環境の違いが自律系生理反応にもたらす効果 生理心理学と精神生理学, 33, 181-191.
- 本多 麻子 (2017). 発汗 堀 忠雄・尾崎 久記 (監) 坂田 省吾・山田 富美男 (編) 生理心理学と精神生理学 第I巻 基礎 (pp. 207-210) 北大路書房
- 本間 明信 (1984). 授業における思考と情動とのかかわりおよびその集団的相互作用——生理指標としての授業GSR—— 日本教育工学雑誌, 8, 97-106.

- 堀 忠雄 (1986). 教育場面への適用 新美 良純・鈴木 二郎 (編) 皮膚電気活動 (pp. 183-191) 星和書店
- Irfan, A. C. M., Nomura, S., Yamagishi, T., Kurosawa, Y., Yajima, K., Nakahira, T., ..., Fukumura, Y. (2011). Utilization of bio-signals to understand the physiological states of e-learners and improve the learning contents date of evaluation. *IEICE Transactions on Information and Systems, E94-D(6)*, 1235-1242.
- 向後 千春・富永 敦子・石川 奈保子 (2012). 大学におけるeラーニングとグループワークを組み合わせたブレンド型授業の設計と実践 日本教育工学会論文誌, 36, 281-290.
- 美濃 哲郎 (1986). 皮膚コンダクタンス水準と皮膚コンダクタンス反応 新美 良純・鈴木 二郎 (編) 皮膚電気活動 (pp. 39-43) 星和書店
- 三保 紀裕・清水 和秋 (2011). 大学進学理由と大学での学習観の測定——尺度の構成を中心として——キャリア教育研究, 29, 43-55.
- 宮西 祐香子・長濱 澄・森田 裕介 (2017). 指尖容積脈波計測装置による学習活動時のストレス測定と主観評価の関連分析 日本教育工学会論文誌, 41, 149-152.
- 溝上 慎一 (2007). アクティブ・ラーニング導入の実践的課題 名古屋高等教育研究, 7, 269-287.
- 溝上 慎一 (2014). アクティブラーニングと教授学習パラダイムの転換 東信堂
- 森田 裕介・Koen, B. V. (2006). WebベースPSIコースにおける学習過程と学習スタイルとの関連性に関する一分析 日本教育工学会研究報告集, 6, 77-80.
- 森田 裕介・長濱 澄・宮西 祐香子 (2016). 反転授業における学習者の活動と学習者特性の関連についての一考察 日本教育工学会研究会報告集, 3, 135-138.
- 長野 祐一郎 (2012). フィジカルコンピューティング機器を用いたストレス反応の測定 ストレス科学研究, 27, 80-87.
- 長野 祐一郎・吉田 椋 (2018). 低コスト生体計測器を利用した心身相関体験プログラムの実施 生理心理学と精神生理学, 36, 53-61.
- 中山 実・椎野 貴博・清水 康敬 (1998). 課題解決時の鼻部温度変化と課題正答率との関連 電子情報通信学会論文誌, J81-D-II, 1452-1454.
- 中山 実・清水 康敬 (2000). 生体情報による学習活動の評価 日本教育工学会論文誌, 24, 15-23.
- 西川 純・畑内 誠二 (1998). 相対瞳孔直径差を用いた科学番組への興味・関心の測定の試み 科学教育研究, 22, 42-46.
- 野村 収作・Irfan, C. M.・山岸 隆雄・黒澤 儀将・矢島 邦昭・中平 勝子, …福村 好美 (2011). 血行力学的パラメーターによるeラーニング受講者の生理評価研究 電気学会論文誌, 131, 146-151.
- Parente, A. C. B. V., Garcia-Leal, C., Del-Ben, C. M., Guimaraes, F. S., & Graeff, F. G. (2005). Subjective and neurovegetative changes in healthy volunteers and panic patients performing simulated public speaking. *European Neuropsychopharmacology, 15*, 663-671.
- 櫻井 優太 (2017). 皮膚コンダクタンスを測定する安価な回路の設計と虚偽検出実験への応用 愛知淑徳大学論集心理学部篇, 7, 27-38.
- 清水 康敬・近藤 俊一・前迫 孝憲・熊谷 龍 (1987). 瞳孔面積測定装置の開発と心理的变化に関する一検討 日本教育工学雑誌, 11, 25-33.
- 寺尾 敦 (2012). 生理データを用いた学習評価 永岡 慶三・植野 真臣・山内 祐平 (編) 教育工学選書第8巻 教育工学における学習評価 (pp. 128-142) ミネルヴァ書房
- 辻 義人・杉山 成 (2016). 同一科目を対象としたアクティブラーニング授業の効果検証 日本教育工学会論文誌, 40, 45-48.
- 梅沢 章男 (1998). 教育工学と生理心理学 山崎 勝男・藤沢 清・柿木 昇治 (編) 新生理心理学3巻 新しい生理心理学の展望 (pp. 250-263) 北大路書房
- 矢島 邦昭・小川 信之・高附 祐輔・野村 収作・福村 好美 (2012). e-learning受講中の生体情報を用いたコンテンツの質の評価に関する実験 情報処理学会研究報告：教育学習支援情報システム (CLE), 2012-CLE-7(6), 1-6.
- 山崎 勝男 (1986). 社会行動 新美 良純・鈴木 二郎 (編) 皮膚電気活動 (pp. 171-182) 星和書店