

心理学教育のための教材研究Ⅲ

—マグニチュード推定法を題材とした心理統計演習—

堤 幸一 (教育心理学科)

A Study of Teaching Materials for Psychology Education III: Psychostatistics Exercise using the Method of Magnitude Estimation

Koichi TSUTSUMI (Department of Educational Psychology)

抄録

心理学研究でも心理学教育でも心理統計法は重要な地位を占めるが、学修者には広く苦手意識がある。また統計ツールとしてのPCおよび統計システムソフトの普及と高性能化は便利さをもたらすとともに、統計基礎理論の力とそれに基づく活用力に空洞化をもたらした。本報告では心理学教育のための教材研究の一環として、心理統計法の重要概念である「相関と回帰」について体験的な理解と練習とを目指したアクティブラーニング(以下AL)式の演習に利用できる教材の開発、実施上の問題点などの検討を試みた。

キーワード 心理統計法教育、教材研究、マグニチュード推定法

I 背景と目的

心理学研究におけるのと同様、心理学教育においても、心理統計法は重要な地位を占める。それは心理学を科学として成立させるための不可欠な要素である。しかしながら文系のイメージの強い心理学科へ進学してきた新生には数学に苦手意識を持つものも多く、その流れのまま、数式を大量に扱わないといけないと思われる統計法を敬遠しがちである。2013年の本学の心理統計法受講生への調査でも、数学が不得意であると40%以上のものが回答しており、星名(2011)もeラーニング教材導入の効果についての研究の中で、統計学に対する苦手意識を調査し、89.9%の学生が「苦手意識がある」、「やや苦手意識がある」と報告している(類似の指摘は、村井ら, 2009; 大橋, 2009; 塗師, 2009にもある)。

また、従来、それらの手法について基礎的な理論と実施方法の学習を行った上、かつ手計算や電卓・大型電子計算機などを道具に多大な時間と労力を費やさなければ適用できなかった高度な統計の手法も、PCの普及と高性能化に伴い、誰でも比較的容易に実施できる環境が整備されてきた。このこと自体は喜ぶべきであるし、これらの適切な活用法の教育も重要であろう(塗師, 2009)。しかしながら、基礎的理論の学習と経験的理解を経な

いまま、途中経過を省略し分析結果のみを得るだけでは、その情報を適切に活用していくことは困難であろう。これと同様の危惧を示す心理統計教育の関係者は多いと思われる。

そこで本研究では、できる限り苦手意識に対応して学ぼうという意欲・動機づけを高め、かつ統計法を完全なブラックボックスとしてではなく、道具として使う上で必要最小限の理論的な背景の解説を加えることが可能な、心理統計の教材を開発、実装することを試みた。本報告は、心理学教育において、教材を非常に重要な要素であると位置づけて著者が行ってきた教材研究の一環である。ここでは、古典的な感覚尺度構成法のひとつであるマグニチュード推定 (magnitude estimation、以下ME) 法^{*1}による測定を教材の核として、興味・動機づけを高めるためにAL的な実習、演習を主要な枠組みとして盛り込んだ。その中で、心理統計法における重要な領域である「相関と回帰」の基礎概念および分析手法としての「回帰分析」について、体験的に理解させ、さらに具体例に基づいた理論的な背景についての導入的解説も加えられる教材の開発を目的とした。またこれらに対して、実用的な教材としての適否、実施上の問題点なども検討した。

II 方法

II-1 理解度の事前確認

1. 関連分野の理解度確認テスト (プレテスト) の実施

明度ME法による測定実施前に、該当参加者 (19人、平均年齢21歳) に対して、回帰分析の基礎となる数学的・統計学的な知識・技能への理解度確認テストを実施した。全10問で5択の客観式問題であった。実施時間は15分間。授業開始直後に、関連分野の基礎知識のチェックを行うと教示して実施した。

II-2 実習による推定データの収集

1. 面積ME法による推定実習

- 1) 参加者：心理学実験実習の受講者19人 (男3人、女16人、平均年齢21歳)
- 2) 装置、材料

*1 マグニチュード推定 (ME) 法とは、スティーヴンス (Stevens, S. S.) が1957年に提唱した、直接的な感覚尺度構成法の一つである。推定に際して、基準となる刺激 (標準刺激、モデュラス) に対する数量的評価を単位として、観察した刺激を基準単位の何倍となるかという比率で評価させ、尺度構成を行った。その結果、物理量 I と感覚量 ψ の関係は $\psi(I) = kI^a$ という関数関係になること、すなわち $\psi(I)$ が I の a 乗に比例して増加する関係にあるとした。これはスティーヴンスのベキ法則と呼ばれる。 a は感覚モダリティによって決まった値になる指数である。なお本報告では、ME法による面積感覚の推定とME法による明度感覚の推定をそれぞれ、面積ME法、明度ME法と略した

①参加者一人あたり1台のデスクトップPCセット、刺激提示装置となるPCモニターは19インチワイド、画素1366×768ドットであった。

②時間制御、刺激提示、反応記録はHSP製のプログラムを製作して使用した。

③個人記録用紙（推定値筆記記録用、キーボード入力ミスの回避のために準備）

3) 手続き

①練習セッション：標準刺激 Q_0 を5秒間表示して画面消去し、2秒後比較刺激 Q_n （ n は1～3の3種類）を提示、15秒の間に、標準刺激の面積を1.0とするとき、比較刺激の面積はその何倍に当たるかを自由な数値で判断させ回答させた。数値はキーボードから直接PCへと記録する他、手元の個人記録用紙にも記録させた（キーの打ち間違いなどがあれば、実験終了後に校正するためであった）。試行間間隔5秒で、次の試行へ移った。練習試行では、刺激を正方形の系列を用いて6試行行った。 Q_n の提示順は乱数化された。

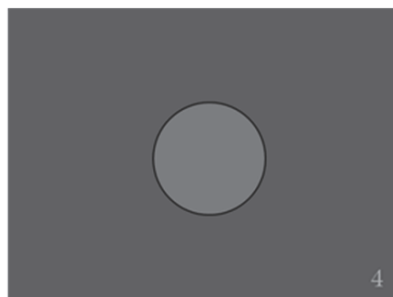
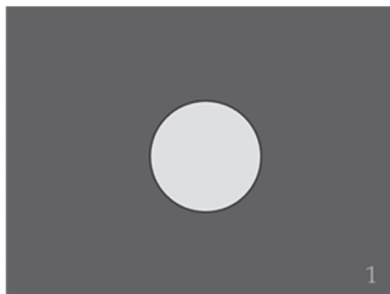


図1 明度ME刺激例（上は明度4レベル、下は明度8レベル；背景は明度10レベルであった）

②セッション間休憩2分。その間に参加者は目を休めた。実施上の疑問があれば、休憩時間中に実験者が答えた。

③本セッション：練習セッションと同様の時間スケジュールで、24試行の評定を行った。標準刺激 S_0 は、半径 r_0 の塗りつぶされた円で、 S_n （ n は1～12の12種類）の提示順は乱数化された。

2. 明度ME法による推定実習

1) 参加者：心理統計法、心理学実験実習の受講者19人（男4人、女15人、平均年齢21歳）

2) 装置、材料

①全員同時に液晶プロジェクタで刺激提示を行った。画像のオリジナルは、画素1280×768ドットで設計した。

②教示、時間制御、刺激提示はMS- PowerPoint製プレゼンを作成して使用した。

③個人記録用紙（推定値筆記記録用）

3) 手続き

①練習セッション：標準刺激 T_0 は背景の灰色（用いた刺激明度順位では13種類中10番目の明度の灰色）でこれの明度を1.0とするとき、画面中央に提示された比較刺激の明度はその何倍に当たるかを自由な数値で判断させ回答させた。各試行の最初から、標準刺激と比較刺激を同時に15秒間提示した。試行間間隔は取らずに、次の試行へ移った。練習セッションでは、本セッションで用いる刺激のうち、異なる4種類を各1回用いて4試行を練

習した。 T_n の提示順は乱数化された。

②セッション間休憩2分。その間に参加者は目を休めた。実施上の疑問があれば、休憩時間中に実験者が答えた。

③本セッション:練習セッションと同様の時間スケジュールで、13試行の評定を行った。標準刺激 G_0 は、練習セッションの T_0 そのもので、背景の灰色であり、 G_n (n は1~13の13種類)の提示順は乱数化された。

II-3 データ整理と分析演習

1. データ整理

1) データ入力:面積MEデータ、明度MEデータともに、個人記録用紙のデータを配布したEXCELシートへ転記する形式で入力させた。配布したシートには、既に刺激の物理量の比率が入力済みであった。

2) 散布図の描画、対数目盛の利用:入力データの校正をさせた後、個人のデータを分析対象として実習を行った。まず教員がモデルとなってEXCELの機能を使って、対数目盛、軸交点の変更、既定グラフの問題点修正を行い、参加者各自にモデリングさせた。

2. データ分析

1) 近似曲線と回帰の説明をした後、先のグラフに、いくつかの近似法による近似曲線を描かせ、この測定データに対しては「累乗近似」による近似曲線が適していることを伝えて、各自散布図に付加させ、同時に近似曲線の方程式および決定係数を表示させた。

2) 累乗近似の方程式が「ベキ法則」の式と一致することを確認させて、回帰モデルの適切性を示すためにはどうすればよいのかを考えさせてから、回帰分析の概念とやり方を説明した。

3) EXCELの分析ツールの機能を利用して、回帰分析を実施させた。そして、結果の表の読み方とその意味、特に決定係数の意味と回帰係数の検定の必要性について解説した。

表1 基礎理解度テストの結果

設問番号	平均 (%)	設問内容
1	53	相似図形の辺の比
2	68	相似図形の面積比
3	42	一次関数のy切片
4	74	二次関数の最小値
5	74	一次関数の傾き
6	74	散布度(SD)
7	0	分散の計算
8	16	正の相関
9	5	対数尺度
10	16	標準化
総平均	42	
S D	11.2	

III 結果

1. 理解度の事前確認の結果(プレテスト)

相関や回帰の基礎分野への理解度の確認をプレテストによって実施し、その結果を表1へ示した。表をみると、相似比や一次関数、二次関数などの数学的基礎の分野は62%の得点率で

あったが、分散計算や相関、標準化などの統計的基礎の分野は22%の得点率と低く、そのため全体平均でも42%の得点率であった。

対応のある t 検定で個人内の分野別の基礎力の差を確認すると、数学的基礎と比較して、統計的基礎が1%水準で有意に不足していることがわかった ($t(18)=5.231, p < .01$)。

2. 収集されたデータの分析

2-1. 面積ME法のデータ分析

各参加者、各刺激の評定値平均を求め、それらの中央値を分析対象のデータとした。

感覚評定値を縦軸、物理量比率を横軸に、さらに両軸を対数目盛で表記したものが図2である。図の右上がりの直線は累乗近似による近似直線であり、右下がその式である。定数 $k = 1.136$ 、また指数 $a = 0.656$ であった。また右下2行目の R^2 は決定係数である。 $R^2 = 0.985$ ということは、物理面積比からの感覚評定値への予測は極めて当てはまりがよいことを示しており、本測定においても、スティーヴンスのベキ法則が再現されたといえる。

さらに両データを対数化して回帰分析を行ったところ、この回帰モデルによる推定は1%水準で有意に意味があったことが確認された ($F(1,10)=636.847, p < .01$)。この際、回帰係数0.656も1%水準で有意に0ではないといえた ($t = 25.236, p < .01$)。

2-2. 明度ME法のデータ分析

各参加者、各刺激の評定値平均を求め、それらの中央値を分析対象のデータとした。感覚評定値を縦軸、物理量比率を横軸に、さらに両軸を対数目盛で表記したものが図3である。図中の右上がりの直線は累乗近似による近似直線であり、右下がその直線の式である。定数 $k = 0.920$ 、また指数 $a = 1.863$ であった。また右下2行目の R^2 は決定係数である。 $R^2 = 0.970$ ということは、物理明度比からの感覚評定値への予測は面積MEと同様に極めて当てはまりがよいことを

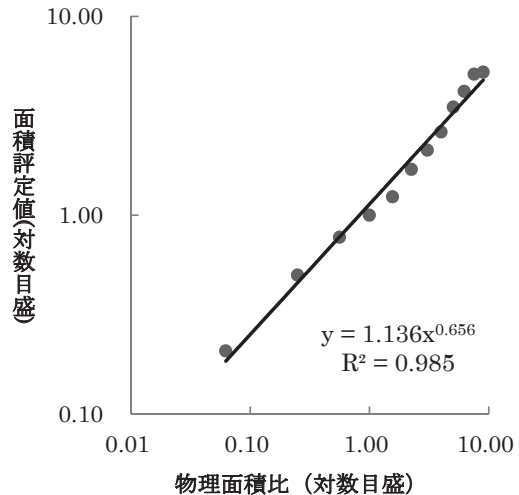


図2 感覚面積評定値と物理面積比

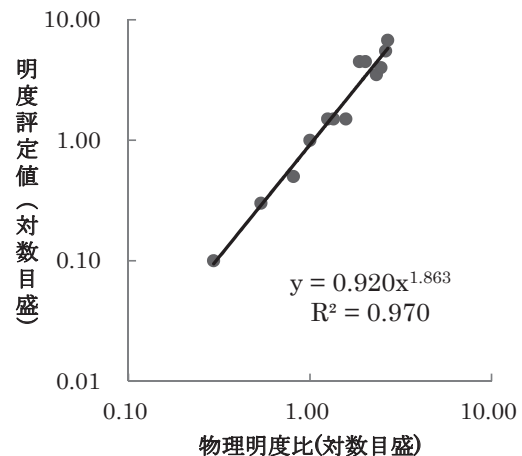


図3 感覚明度評定値と物理明度比

示しており、明度でも、スティーヴンスのベキ法則が再現されたといえる。

さらに回帰分析を行ったところ、回帰モデルによる推定は1%水準で有意に意味があったことが確認された ($F(1,11)=357.980, p < .01$)。この際、回帰係数1.863も1%水準で有意に0ではないといえた ($t = 18.920, p < .01$)。

IV 考察

1. 教材としての適否

1) 参加者の興味・動機づけ

心理統計法の授業は、数学や数式に苦手意識を持ったものにとっては参加意欲が高いものではない。本報告の教材のように簡単な実習による自分自身のデータの測定とそれを使った分析の過程を体験させることは興味・動機づけの改善に効果があったと思われる。というのは本教材が、村井ら(2009)の報告中、学生自身が考える「力をつく統計の授業」の要素として高評価であった「統計がなぜ必要か教える」、「実際の研究データで説明する」などの条件を満たすものになっているので、参加者の学んだという実感がより多く得られたものと推測できるからである。

2) 費用対効果と教育効果

予備実験によって、素材、基本データ、実験パラメーターなどが確定していれば、準備および実施にそれほどの時間と労力は不要である。また授業1コマ以内に測定と個人データの分析、最小二乗法の実習、回帰直線の描画までを済ませることも可能である。回帰分析の詳しい解説を省くとすれば、回帰分析の導入までも含めることができる。よって費用対効果は合理的で効率が良いといえる。

教育効果に関していえば、本報告の教材および教授システムは、現実の測定データを用いて、心理学的な意味づけを背景にして伝え、AL形式で計算、分析させ、前後の学修改善を評価しようとしている。これはアメリカ統計学会(ASSA)が発行する、大学統計教育に関する報告(GAISE College Report: Aliagaら, 2005)で示している統計教育において推奨される6つの柱、①統計リテラシーの強調と統計的思考の涵養、②実際のデータを使う、③単に手続きだけでなく概念の理解をさせる、④ALを育てる、⑤概念理解を促しデータ分析の技術を活用する、⑥学生の学びの改善と評価のためにアセスメントを利用する、というものを取り入れようと試みたものである。概念理解の促進や学修後の改善の評価の面については、今回は実装されていないが、今後早急にこれらを取り入れて、教育効果をより高め、かつアセスメント可能になるようにしていくことが必要であろう。

また実施ごとの参加者に許諾をもらい、データを蓄積していけば、大人数の標準的なデータを準備することもできると思われる。この場合はさらに、精神物理学の基礎教材としての教育効果も大きくなるだろう。

3) 応用可能性

今回は、面積ME法を個別（1人1台のPCシステム）実施、明度ME法を複数参加者全体へ一斉に刺激提示する方法で実施した。その後のデータ整理と分析（特に回帰分析）をPC使用で行ったために、PC数の揃った情報教室での実施が必須であった。しかしながら、特に後者の明度ME法による実施方法を用いるならば、対数目盛が刻まれた両対数グラフ用紙と電卓を準備すれば、散布図および回帰直線の描画（この場合は、最小二乗法計算が必要となる）ならば、多少時間は掛かるが実施しうる。基礎的な心理統計法の授業の教材として利用することも可能であろう。村井ら(2009)でも、「実際に計算をして答えを得る」ことは、統計的な「力がつく」要素であると学生も評価していた。

2. 演習部分と効果についての総括

本報告においては、演習部分とその効果に関しての客観的データは収集していないために、実施の際に得た観察からの総括を行う。

1) 対数目盛と対数変換について：基礎理解度のプレテストの結果からも明らかなように、統計学的な基礎が十分とは言えず、また対数そのものにも不慣れであり、ワークシート上でモデルをまねて作業をただけでは、対数を用いることの意義や対数変換を施すことへの完全な理解には到達させられなかったと思われる。

しかしながら、少なくとも散布図描画において対数目盛を使うと、簡単な実習で収集した自分のデータが、比較的きれいに直線上に並ぶことを体験して、対数目盛を使うと粗データで関係をみるよりも良いという実感は得られただろう。

2) EXCELグラフツールのスキルについて：EXCELのグラフ作成機能は簡便であり、参加者にもプロパティ設定を変えることで目的に沿った図を描けることは浸透していた。しかしグラフのマーカーや線分に自動で付いた色や不要な付加線を指示無しで自力整理できるほどの経験は積んでいないようであり、今後も適切な演習を繰り返し、さまざまな設定を多く経験させることが必要だろう。

3) 近似曲線と回帰：曲線の当てはめについては、多くの種類の近似法があるということ、また適切な目盛をつけてから直線へ当てはめてみるということは経験させられた。本報告では、近似曲線を自動で描画したが、「最小二乗法」の実習を取り入れて、手動による計算と描画を導入していくことが、直線の当てはめおよび回帰の概念をより一般化して身につけさせていくために必要であると感じた。

4) 回帰分析：直線の当てはめがグラフ描画によって視覚的に経験できたので、前項の最小二乗法の実習を導入すれば、より回帰分析が背景としている考え方を理解しやすくなるだろう。さらにいえば、推測統計における必修事項である分散分析や t 検定の経験が増えるほど、回帰分析についても理解が深まるものと期待したい。

特に、帰無仮説の採否を「有意差をみつける」ためであるという表面的な理解ではなく、実際には、近似曲線はどんなデータに対しても描くことができるが、回帰係数が0であったら目的変数に対して説明変数には説明効果がないこと、したがって、回帰係数が0に等

しいという帰無仮説は棄却されなければならないこと、さもなければその回帰モデルによる予測は実質的な意味を持たなくなることは、確実に身につけさせる必要があるだろう。

3. 今後の課題

1) AL式演習のためのeラーニングコンテンツ（予習・復習教材）の作成・実施

結果Ⅲ-1から、既習の「記述統計」に関して、復習が必要であることが示された。対策として時間外の予習・復習を促すことが必要であろう。これには自習可能なeラーニング教材が効果的であるという（星名, 2011）。したがって、本報告の教材を実施する前に、適切な自習用コンテンツを作成して実施させたい。

2) 本報告で使用したME対象の検討

①面積評定について：面積の倍率推定以前の問題として、大きさという語感と一次的な比較（円でいえば直径が何倍に見えるかということ）を混同している可能性が高いと思われる参加者が複数見られた。円直径が2倍になると面積も「2倍になる」と誤答しているプレテストの結果からみて、約3分の1の参加者が勘違いをしていると推測しうる。これに対しては、練習セッションで正方形の面積の倍率推定について、試行数を増やして、体験的に面積の比は辺や直径の比ではなく、その比の二乗になっていることを理解させるといった対策が必要である。ただし練習セッションの試行数をあまりに増やすことは、MEにおいて計算的対処を行うという構えを作ってしまう、面積の心理的大きさ感覚を実測し、それを統計的に扱わせようとする本課題にゆがみをもたらす。これはME法の欠点ではなく、面積の大きさという感覚判断に由来したゆがみであろう。今後、誤解を生みにくい適切な練習課題と試行数の検討が必要と思われる。

②明度評定について：明度評定は面積評定に比べると、評定値自体の個人差が大きかった。日常生活においても、音の大きさや重さなどの数値的比較は多く経験するが、明るさを数値的に捉えるという場面は思いつかない。暗い、明るい、かなり明るいといった捉え方が普通であろう。その点で数値による評定はやや難しく、個人差が拡大されたものと思われる。しかしながら、これは収集したデータにおける外れ値と適正な測定データの貴重なサンプルであるともいえる。取り上げ方次第では有効な活用ができる。

3) 教材導入の効果の検証の実質化

考察Ⅳ-2でも述べたように、本報告では演習の効果についての客観的データは収集できていない。本教材がどの程度効果があったのかを知るためには、本領域の関連概念マップに入れたキーワード（図4に示した）への理解とそれらを活用できるスキルの測定は不可欠である。したがって、ポストテストを始めとし、学修ポートフォリオを取り入れた、より一貫性のあるアセスメントシステムを構築して、本教材利用の効果を実証した上で、適切に活用できるようにしていくことが今後の課題である。

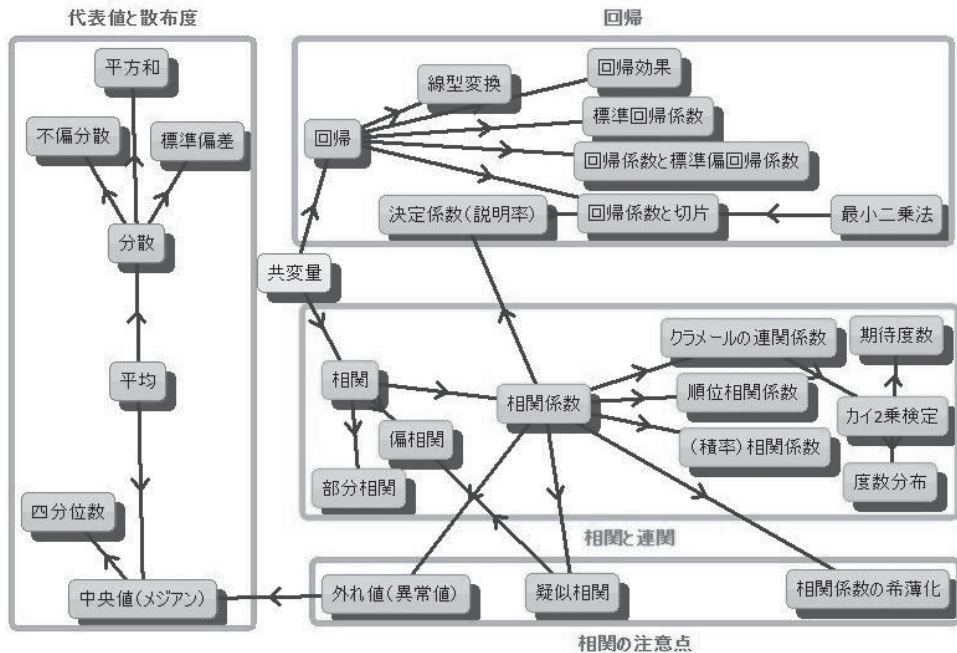


図4 「回帰」関連の概念マップ

2つの変数間（特に共変量）を取り扱う重要なキーワードの概念マップ。

キーワードは心理学検定のキーワード一覧から抽出し、筆者が概念マッピングを行った。

引用・参考文献

- 1) Aliaga, M., Cobb, G., Cuff, C., Garfield, J., Gould, R., Lock, R., … Utts, J. (2005). Gaise college report. In American Statistical Association. Retrieved from <http://it.stlawu.edu/~rlock/gaise/GAISECollege.pdf>.
- 2) 星名由美. (2011). 4 C 5 心理学科必修科目「心理統計 I」で e ラーニングを実施した効果 (一般研究 高等教育の情報教育2, 教育情報のイノベーション～デジタル世代をどう導くか～). 日本情報教育学会年会論文集, 27, 326-327.
- 3) 村井潤一郎, 山田剛史, & 杉澤武俊. (2009). 心理統計教育に関する教員・学生の意識調査. 日本教育工学会論文誌, 33, 9-12.
- 4) 大橋恵. (2009). 文科系学生の心理統計の授業理解に影響を与える要因についての予備的研究. 東京未来大学研究紀要, 2, 61-66.
- 5) 塗師斌. (2009). 心理統計法教育における Excel と R の活用の有効性. 横浜国立大学教育人間科学部紀要. I, 教育科学, 11, 123-129.

