

一事例実験のメタ分析 知見の統合は何をもたらすのか

山田剛史

tyamada@okayama-u.ac.jp

岡山大学大学院教育学研究科

発表の概要

- イントロダクション
- 一事例実験とは
- 一事例実験のメタ分析
- BC-SMD (Between-case standardized mean difference effect size)
- The scdhlm web applicationの紹介
- 一事例実験データの統計解析, メタ分析について

イントロダクション

一事例実験のメタ分析への注目

- 様々な学術雑誌で、一事例実験の統計分析・メタ分析に関する特集号が公刊
- *Behavior Research and Therapy*, Volume 117, 2019 On Being More Idiographic in Our Research: Special Section on Single Case Experimental Design
- *Brain Impairment*, Volume 19, special issue 1, 2018 Quantitative Data Analysis; by Robyn Tate and Michael Perdices
- *Developmental Neurorehabilitation*, Volume 21, Issue 4, 2018 Advances in single-case research design and analysis
- *Research in Developmental Disabilities*, Volume 79, 2018 Quality of single-case experimental research in developmental disabilities
- *Remedial and Special Education*, Volume 38, Issue 6, 2017 Special Series on Issues and advances in the systematic review of single-case research: An update and exemplars
- *Journal of School Psychology*, Volume 52, Issue 2, 2014 Special issue: Analysis and meta-analysis of single-case designs
- *Remedial and Special Education*, Volume 34, Issue 1, 2013 Special issue: Issues and advances of synthesizing single-case research
- *Journal of Behavior Education*, Volume 21, Issue 3, 2012 Meta-analysis of single-case design research

一事例実験とは

- 臨床心理学, 特殊教育学, 学校心理学, スポーツ心理学など様々な領域で活用される
- 特に, 応用行動分析では標準的な研究方法として用いられている
- 一事例実験の基本は,
 - 1つの事例 (1人の研究参加者, 1つの学級など) が対象
 - 介入の前に, ベースライン期でデータの反復測定が行われる
 - ベースライン期の後で介入が開始される。介入期でも同様にデータが繰り返し測定される
 - 研究参加者はすべての条件を経験 (参加者内デザイン)
 - 従属変数に関する繰り返し測定 (時系列デザイン)

教育心理学研究でも（庭山・松見,2016）

598 教育心理学研究, 2016, 64, 598—609

原著〔実践研究〕

自己記録手続きを用いた教師の言語賞賛の増加が 児童の授業参加行動に及ぼす効果

——担任教師によるクラスワイドな“褒めること”の効果——

庭山和貴* 松見淳子**

本研究の目的は、教師の授業中の言語賞賛回数が自己記録手続きによって増えるか検討し、さらにこれが児童らの授業参加行動を促進するか検証することであった。本研究は公立小学校の通常学級において行い、対象者は担任教師3名とその学級の児童計85名（1年生2学級、3年生1学級）であった。介入効果の指標として、授業中に教師が児童を言語賞賛した回数と児童らの授業参加行動を記録した。介入効果を検証するために多層ベースラインデザインを用いて、介入開始時期を対象者間でずらし、介入を開始した対象者と介入を開始していない対象者を比較した。ベースライン期では、介入は実施せず行動観察のみ行った。介入期では、教師が授業中に自身の言語賞賛回数を自己記録する手続きを1日1授業行った。また訓練者が、教師に対して週1～2回、言語賞賛回数が増えていることを賞賛した。介入の結果、3名の教師の言語賞賛回数が増え、各学級の平均授業参加率も上昇した。フォローアップにおいても、教師の言語賞賛回数と学級の平均授業参加率は維持されていた。今後は、授業参加率が低い水準に留まった数名の児童に対する小集団・個別支援を検討していく必要があると考えられる。

キーワード：授業参加行動、言語賞賛、学級介入、通常学級、自己記録

教育心理学研究でも（丹治・横田,2017）

教育心理学研究, 2017, 65, 526—541

原著〔実践研究〕

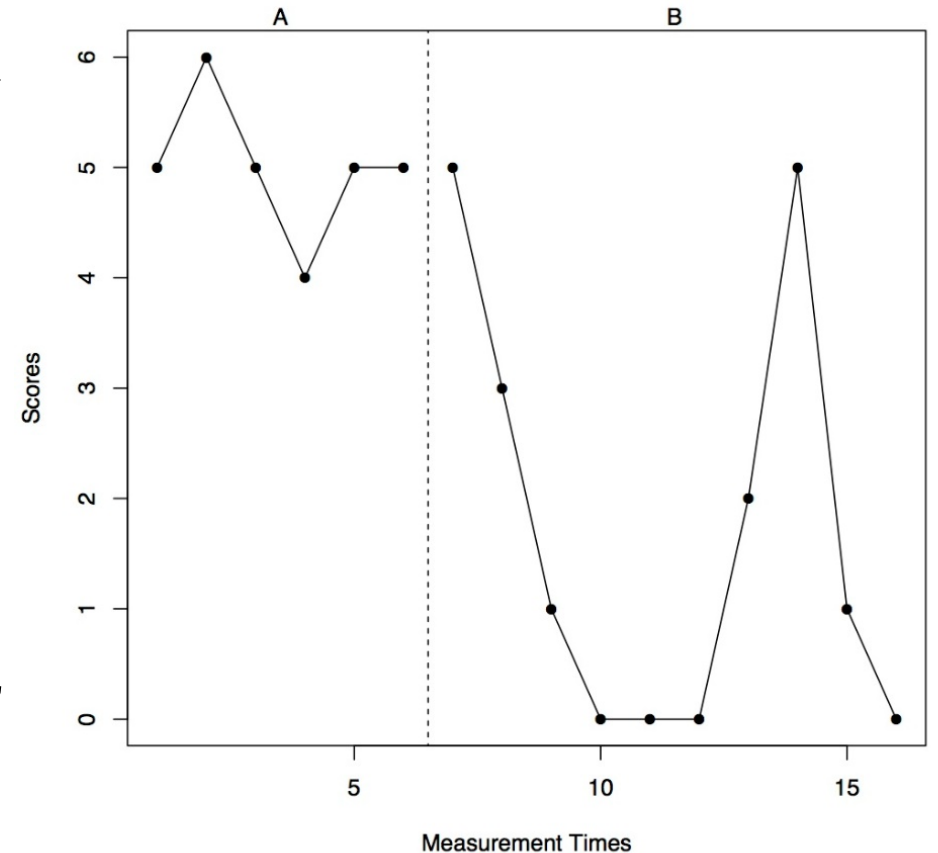
自閉症スペクトラム障害児に対する作文の 自己調整方略学習（SRSD）モデルを用いた小集団介入

丹 治 敬 之* 横 田 朋 子**

作文を書くことに困難を示す発達障害の子どもは少なからず存在する。近年、作文の自己調整方略学習（SRSD）モデルを用いた教授法が注目されている。本研究は、特別支援学級に在籍する小学3、4年生の自閉症スペクトラム障害（ASD）児童6名を対象に、SRSDモデルを用いた小集団介入の効果を検証した。1群事前事後テストデザインを用いて、物語作文の要素数、物語作文内容の質的評価の変化を介入前後で比較した。その結果、物語作文の要素数では5名、物語作文内容の質的評価では4名において、高い介入効果量が確認された。介入効果の背景には、作文のプランニング方略やセルフモニタリング方略の学習があり、方略使用の有効性の認知も影響することが示唆された。また、従来のSRSDモデルにはない接続詞の学習、対象児の好みを反映させた教材、方略模倣のためのビデオ教材、シールによる自己評価、仲間同士の学び合いも、介入効果を支えていたと考えられた。一方で、わずかな介入効果に留まった児童もあり、個に応じた教材や学習環境の工夫は更なる改善が必要であった。本研究の結果から、対象児の作文方略知識の学習状況や、障害特性に合わせた作文のSRSDモデルの展開について考察した。

ABデザイン

- ABデザインは最もシンプルなフェイズチェンジデザイン
- 中断時系列デザインとしても知られる
- A:最初のフェイズ。ベースラインにおける従属変数の反復測定
- B:2つ目のフェイズ。介入期における従属変数の反復測定
- フェイズBの変数の値は、フェイズAのそれと比較される。介入効果の評価はグラフ化されたデータを目で見て確認 (視覚的判断)



A: ベースライン期

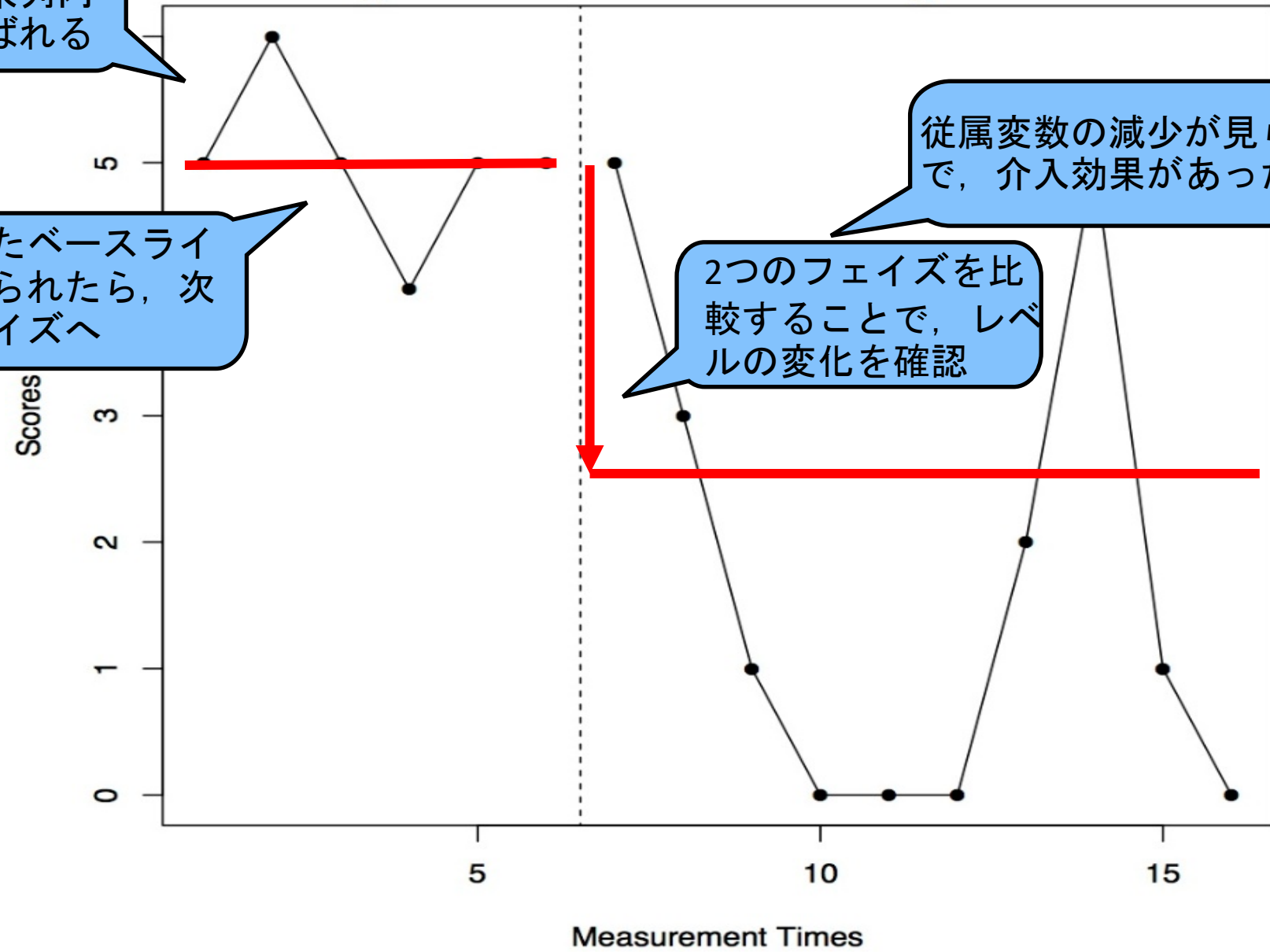
B: 介入期

フェイズAとBを比較するので、系列内デザインと呼ばれる

安定したベースラインが得られたら、次のフェイズへ

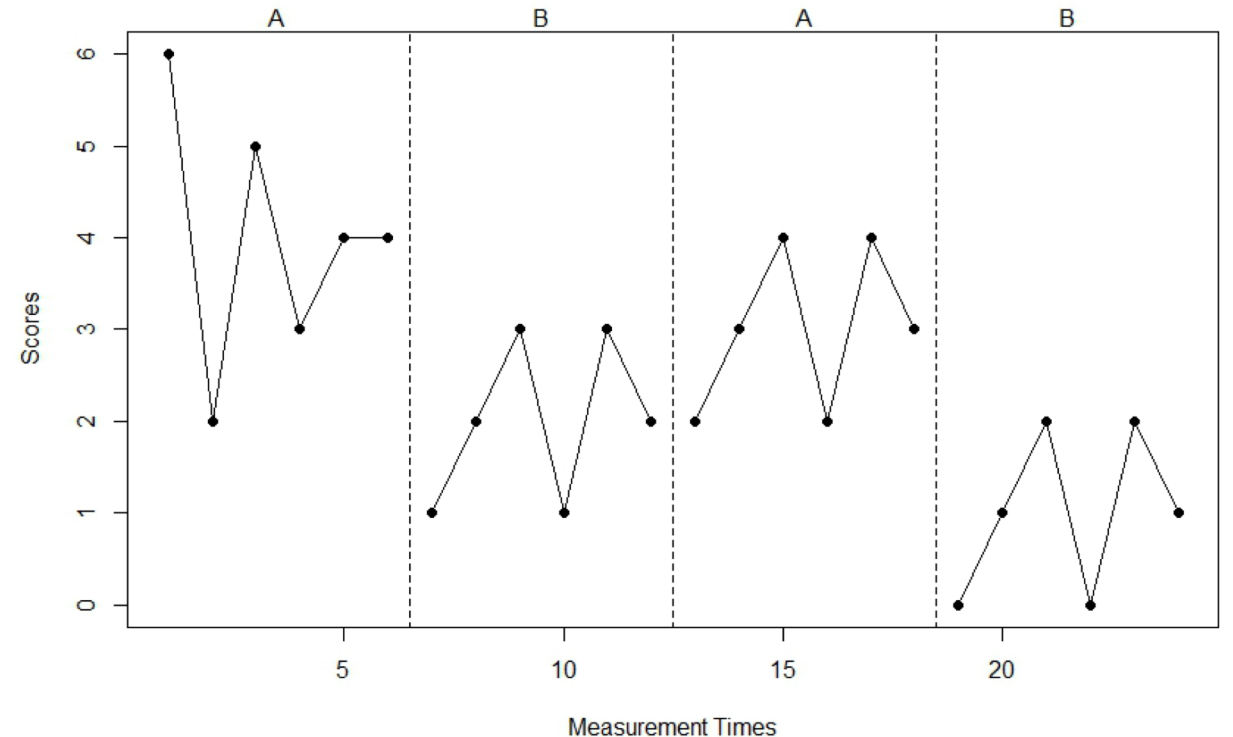
従属変数の減少が見られたので、介入効果があったと判断

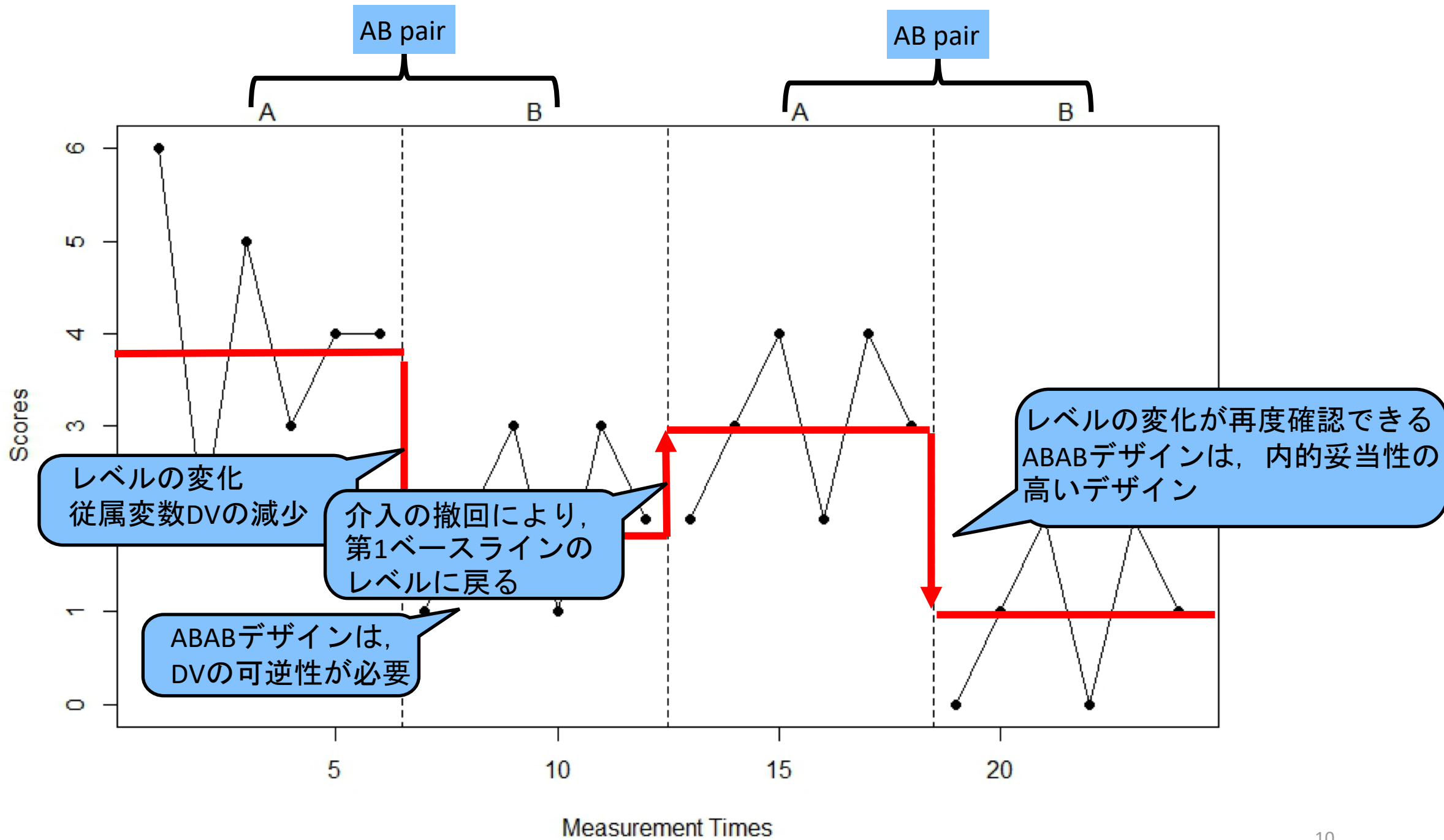
2つのフェイズを比較することで、レベルの変化を確認



ABABデザイン

- ABABデザインは，ABデザインの拡張
- 撤回デザイン，反転デザインとも呼ばれる
- 2つのABのペアを持つ
- もしABのペア間で，従属変数に関する同じ変化が見られたら，介入の効果に自信を持つことができる





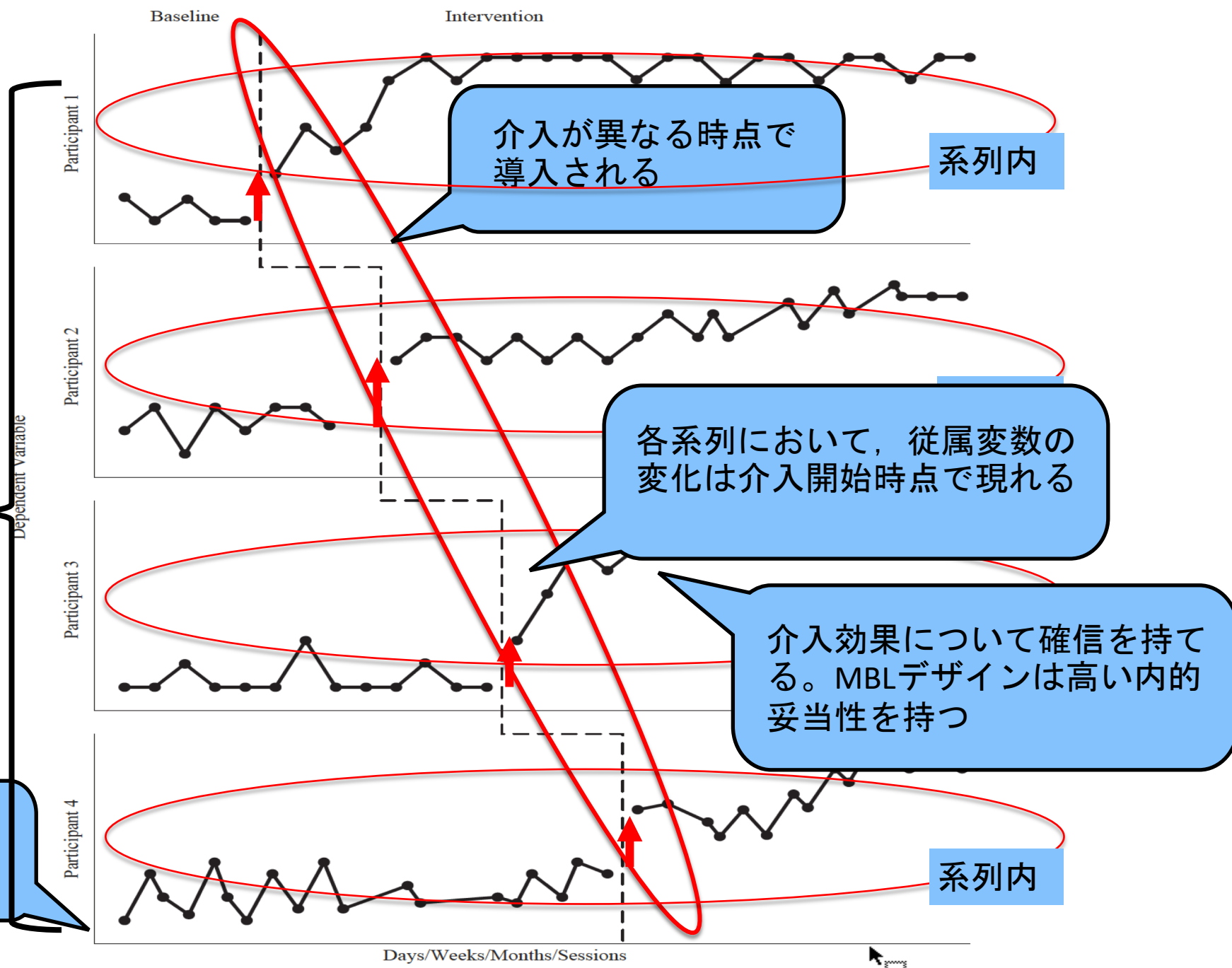
マルチベースラインデザイン

- マルチベースラインデザインは最もよく用いられるデザイン
 - 54.85% (Shadish & Sullivan, 2011), 69% (Smith, 2012)
- 介入の撤回も， 頻繁な条件の交代もいらない
- 行動の可逆性も必要としない
 - 倫理的に望ましい方法と言える？
- 特定の参加者に長期間のベースラインを要求する
- 問題のある状況に長期間さらされることが必要に→倫理的問題

系列内と系列間の両方を扱うので、混合系列デザインと呼ばれる

系列間

4人目の人は、ベースライン期が長くなる



一事例実験データにおける系列依存性

- Heyvaert & Onghena (2014) によると:
 - 一事例実験データの問題は、データが系列依存性を持つこと
 - 一事例実験データの系列において、ある測定値は他の測定値を予測できる
 - 系列依存性は、自己相関係数を計算することで査定できる
 - 一事例実験データを分析する際は、分析手法が系列依存性を考慮したものであることが必要

一事例実験のメタ分析の方法

- 様々な方法が提案されていて、標準的な手続きは確立されていない
- Manolov et al. (2016) は以下の4つのオプションがあるとしている:
 1. マルチレベルモデルの適用 (e.g., Moeyaert, Ferron, Beretvas, & Van Den Noortgate, 2014)
 2. データの重なりに基づく効果量を算出。記述統計レベルで比較
 3. ランダムイゼーション検定などのノンパラメトリック検定を利用する
 4. BC-SMDを各研究から算出。通常の群比較実験と同様のメタ分析を適用 (Pustejovsky, Hedges, & Shadish, 2014)

一事例実験データのための効果量

- 効果量も様々なものが提案されている
 - データの重なりに基づく効果量
 - 平均値に基づく効果量
 - 回帰に基づく効果量
 - ケース間標準化平均値差BC-SMD

データの重なりに基づく効果量

- PND (Percentage of Non-overlapping Data): Scruggs, Mastropieri, & Casto (1987)
- ECL (Extended Celeration Line, split middle line): White & Haring (1980)
- PEM (Percentage of data Exceeding the Median): Ma (2006)

- PAND (Percentage of All Non-overlapping Data): Parker, Hagan-Burke, & Vannest (2007)
- IRD (Improvement Rate Difference): Parker, Vannest, & Brown (2009)
- NAP (Non-overlap of All Pairs): Parker & Vannest (2009)

データの重なりに基づく効果量

- PEM-T (Percentage of data Exceeding the Median Trend): Wolery, Busick, Reichow, & Barton (2010)
- Tau-U: Parker, Vannest, Davis, & Sauber (2011)
- Theil Sen: Vannest, Parker, Davis, Soares, & Smith (2012)
- PZD (Percentage of Zero Data) : Scotti, Evans, Meyer, & Walker (1991)

- ES calculator: <http://www.singlecaseresearch.org>
- Some R packages: SSDforR, SCDA plug-in for Rcmdr
- Manolov provides web-based ES calculators.
- See: Parker, Vannest, & Davis (2014), Vannest, Davis, & Parker (2013).

平均値に基づく効果量

- SMD (Standardized Mean Difference, d-statistic): Busk & Serlin, 1992.
- SMD calculated by last 3 data points: Hershberger, Wallace, Green, & Marquis, 1999.
- MBLR (Mean Baseline Reduction): Lundervold & Bourland, 1988.

回帰に基づく効果量

- Allison & Gorman, 1993; Faith, Allison, & Gorman, 1996.
- Beretvas & Chung, 2008.
- Center, Skiba, & Casey, 1985-1986.
- Huitema & McKean, 2000.
- Maggin, Swaminathan, Rogers, O'Keefe, Sugai, & Horner, 2011.
- Nugent, 2010.

BC-SMDとは

- Between-Case Standardized Mean Difference (ケース間標準化平均値差), PHS-d統計量とも呼ばれる
- Hedges, Pustejovsky, & Shadish (2012,2013)により開発され,
- Pustejovsky, Hedges, & Shadish (2014)により改良された(より柔軟なモデリングが可能に)
- Shadish, Hedges, Horner, & Odom(2015)によるBC-SMDの特徴：
 - 群比較研究で計算される標準化平均値差と比較可能
 - 被験者間マルチベースラインデザインとABABデザインのデータについて算出できる
 - 効果量の算出のため、少なくとも3人の研究参加者がいることが必要

BC-SMD : 階層線形モデルでモデル化

- Level-1 (Within-Case)

$$Y_{it} = \beta_{0i} + \beta_{1i}X_{it} + e_{it}, e_{it} \sim N(0, \sigma^2)$$

- Level-2 (Between-Case)

$$\begin{cases} \beta_{0i} = \alpha_0 + v_i \\ \beta_{1i} = \alpha_1 \end{cases} \quad v_i \sim N(0, \tau^2)$$

- 上記のモデルの仮定のもとで, BC-SMDは次のように定義される

$$\delta = \frac{\alpha_1}{\sqrt{\tau^2 + \sigma^2}}$$

- BC-SMDは, ケース間変動 τ^2 とケース内変動 σ^2 を含む

BC-SMD: ABABデザイン

- 効果量の母数 : $\delta = \frac{\mu^T - \mu^C}{\sqrt{\tau^2 + \sigma^2}}$
- 効果量の推定量 : $ES = \frac{\bar{D}}{S}$
 - $\bar{D} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left(\frac{1}{n} \sum_{t=n+1}^{2n} Y_{it} - \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n Y_{it} \right)$
 - $S = \frac{1}{2n(m-1)} \sum_{t=1}^n \sum_{i=1}^m (Y_{it} - \bar{Y}_{.t})^2$
 - $\bar{Y}_{.t} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Y_{it}$
- Shadish, W. R., Hedges, L. V., Pustejovsky, J. E. et al. (2014). A d-statistic for single-case designs that is equivalent to the usual between groups d-statistic, *Neuropsychological Rehabilitation*, 24, 528-553, DOI: 10.1080/09602011.2013.819021

BC-SMD: バイアス修正効果量とその分散

- 小サンプルサイズ・バイアスの修正 :

- $J(v) = 1 - \frac{3}{4v-1}$ v は自由度

- $G = J(v)ES$

- G の分散 :

- $V\{G\} = J(v)^2 \frac{1}{m} \left[\frac{v\theta^2}{v-2} + \delta^2 \left(\frac{v}{v-2} - \frac{1}{J(v)^2} \right) \right]$

- $\theta = \sqrt{\frac{V\{\bar{D}\}}{\tau^2 + \sigma^2}}$

- 個々の研究から, バイアス修正済み効果量とその分散を求めれば, あとは通常の(群比較実験の)メタ分析と同様に研究結果を統合できる

Web based BC-SMD calculator

- <https://www.jepusto.com/software/scdhlm/>
- インタラクティブなWebアプリケーション
- Dr. James E. Pustejovskyにより開発
- scdhlmはCRANでパッケージが公開されており，Rにインストールすることも可能
- Pustejovsky, James E. (2016). scdhlm: A web-based calculator for between-case standardized mean differences (Version 0.3.1) [Web application]. Retrieved from: <https://jepusto.shinyapps.io/scdhlm>

Between-case standardized mean difference estimator

scdhlm

Load

Inspect

Model

Effect size

Estimation method

Restricted Maximum Likelihood

Baseline phase

Include fixed effect

level

Include random effect

level

Treatment phase

Include fixed effect

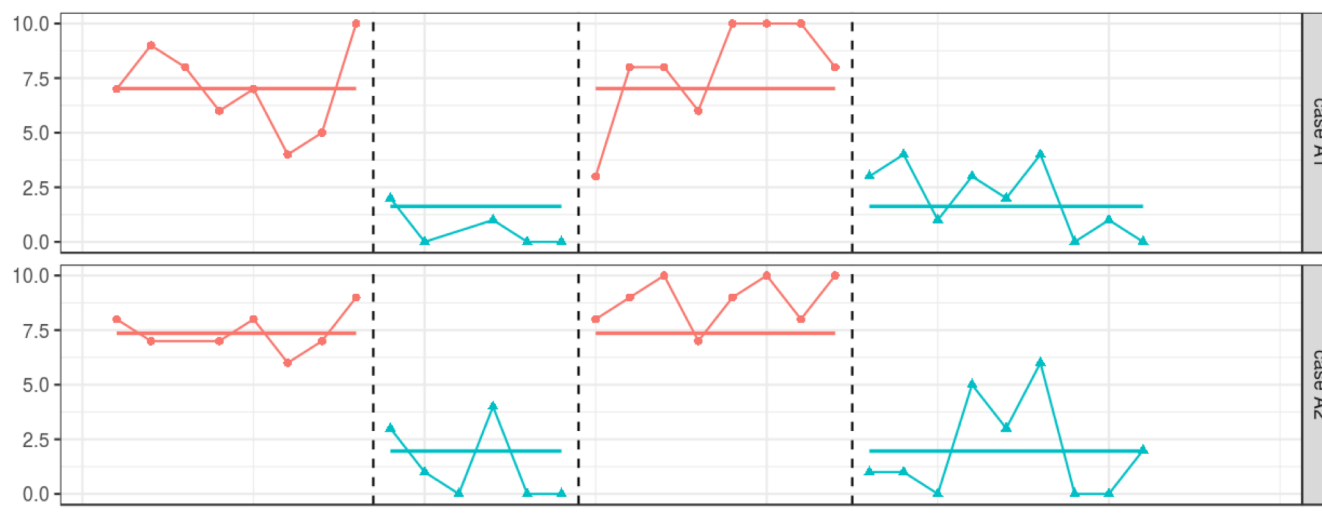
level

Include random effect

level

Graph

Model estimates



Web based BC-SMD calculator

Between-case standardized mean difference estimator

scdhlm

Load

Inspect

Model

Effect size

Effect size estimates and auxiliary information

CI coverage level (%)

95



BC-SMD estimate	Std. Error	95% CI (lower)	95% CI (upper)	Degrees of freedom	Auto-correlation	Intra-class correlation	Study design	Estimation method
-2.4024	0.1906	-2.7837	-2.0385	169.9922	0.2673	0.0945	Treatment Reversal	Restricted Maximum Likelihood

Remedial and Special Education, 38(6)

- <https://journals.sagepub.com/toc/rsed/38/6>
- Special Series on Issues and Advances in the Systematic Review of Single-Case Research: An Update and Exemplars
- BC-SMDを用いたメタ分析研究が3本とコメント論文が掲載

Barton et al.(2017)のメタ分析

- Wong et al.(2015)により行われた, TAI (Technology-Aided Instruction and Intervention)のメタ分析のアップデート
- 効果量の計算：
 - 群比較実験：標準化平均値差SMD。小サンプルバイアスの修正を行う (Hedgesの g)
 - 一事例実験：論文に示されたグラフから数値を抽出 (22の研究の43のグラフから。WebPlotDigitizerを利用)し, BC-SMDを計算 (基準を満たした10の研究から。2つの研究は同一参加者について複数の従属変数を報告。それぞれの従属変数ごとにBC-SMDを計算)
- メタ分析：
 - 効果量の依存性に対処するため, RVE (Robust Variance Estimation)法(Hedges, Tipton, & Johnson, 2010)を利用して効果量を統合。

Barton et al.(2017)のメタ分析

Table 3. Average Effect Size Estimates by Intervention

Study Category	Studies (effects)	Group-randomized Study Design			Single-case design		
		Est.	CI	Studies (effects)	Est. (SE)	CI	
Overall	12 (52)	0.66 (0.10)	[0.41, 0.91]	10 (13)	1.97 (0.48)	[0.73, 3.21]	
Intervention type							
AAC	2 (5)	0.67 (0.40)	[-4.44, 5.79]	5 (8)	1.61 (0.43)	[0.41, 2.80]	
CAI	8 (35)	0.81 (0.18)	[0.39, 1.23]	5 (5)	2.41 (0.97)	[-0.32, 5.15]	
Virtual reality	2 (12)	0.37 (0.16)	[-1.71, 2.46]	0 (0)			
Outcome domain							
Academic skills	2 (3)	1.20 (0.39)	[-3.79, 6.18]	2 (2)	1.08 (0.45)	[-4.59, 6.75]	
Adaptive skills	0 (0)			1 (1)			
Communication	4 (11)	0.66 (0.22)	[-0.10, 1.42]	5 (8)	1.58 (0.42)	[0.40, 2.76]	
Emotion recognition	7 (25)	0.67 (0.22)	[0.09, 1.26]	0 (0)			
Engagement	2 (3)	0.50 (1.07)	[-13.09, 14.08]	1 (1)			
Social skills	4 (10)	0.79 (0.17)	[0.25, 1.33]	1 (1)			

メタ分析の対象となったSCRの研究数は23だが、効果量を計算できたのは10

統合された効果量の値と標準誤差

Note. Est. = point estimate; CI = confidence interval; AAC = augmentative and alternative communication; CAI = computer-assisted instruction.

一事例実験のメタ分析の利点と課題

- 利点：

- (一事例実験の一般的な評価方法である)視覚的判断を超える量的な介入効果を提供
- 一事例実験の弱点でもある結果の一般可能性(外的妥当性)について検討できる
- BC-SMDを用いることで、群比較実験と結果の比較が可能に
- 一事例実験のメタ分析の知見が近年数多く蓄積されている

- 課題：

- 標準的なメタ分析の手順が確立されていない
- 様々な効果量, 様々な統合の方法, どれを使えば良い？

BC-SMDについての参考文献

- Campbell Collaborationで公開されているDiscussion Paper
 - Valentine, J. C., Tanner-Smith, E. E., Pustejovsky, J. E., & Lau, T. S. (2016). Between-case standardized mean difference effect sizes for single-case designs: A primer and tutorial using the scdhlm web application. Oslo, Norway: The Campbell Collaboration. Retrieved from: www.campbellcollaboration.org/ DOI: 10.4073/cmdp.2016.1
- Institute of Education Sciences (IES)で公開されている資料
 - Shadish, W. R., Hedges, L. V, Horner, R. H., & Odom, S. L. (2015). The role of between-case effect size in conducting, interpreting, and summarizing singlecase research. Washington, DC. Retrieved from <http://ies.ed.gov/ncser/pubs/2015002/>
- 竹林由武先生の学会発表スライド
 - 「単一事例研究法と統計的推測：ベイズ流アプローチを架け橋として」
<https://www.slideshare.net/yoshitaket/ss-123775624>

一事例実験の統計分析・メタ分析

- 役に立つWeb Site
 - Rumen Manolov's Website <https://ub.academia.edu/RumenManolov>
 - James Pustejovsky's Website <http://jepusto.github.io>
 - KU LEUVEN multilevel synthesis of single-case experimental data <http://www.single-case.com>
- 日本特殊教育学会第57回大会@広島大学東広島キャンパス
 - 9月22日（日）午後15時30分～17時00分
 - 準備委員会企画講演4「単一事例研究のための統計的方法：効果量とメタ分析の方法についてのチュートリアル」
 - <https://www.jase.jp/taikai57/program.html>

一事例実験の統計分析

- Kratochwill, T. R., & Levin, J. R.(Eds.)(2014). *Single-case intervention research: Methodological and statistical advances*. Washington,DC: American Psychological Association.
- Manolov, R., & Moeyaert, M. (2016a). How can single-case data be analyzed? Software resources, tutorial, and reflections on analysis. *Behavior Modification*, 41, 179-228. DOI: 10.1177/0145445516664307
- Manolov, R., & Moeyaert, M. (2016b). Recommendations for choosing single-case data analytical techniques. *Behavior Therapy*, 48, 97-114. DOI: 10.1016/j.beth.2016.04.008
- Manolov, R., Moyaert, M., & Evans, J. (2016). Single-case data analysis: Software resources for applied researchers. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/289098041_Single-case_data_analysis_Software_resources_for_applied_researchers
- 山田剛史(2014). シングルケースデザインの統計分析 行動分析学研究, 29巻 Suppl号, 219-232. DOI: 10.24456/jjba.29.Suppl_219

一事例実験のメタ分析

- Declercq, L., Cools, W., Beretvas, S. N., Moeyaert, M., Ferron, J. M., Van den Noortgate, W. (2019). MultiSCED: A tool for (meta-)analyzing single-case experimental data with multilevel modeling. *Behavior Research Methods*. DOI: 10.3758/s13428-019-01216-2
- Jamshidi, L., Heyvaert, M., Declercq, L., Fernández-Castilla, B, Ferron, J. M., Moeyaert, M., Beretvas, S. N., Onghena, P., & Van den Noortgate, W. (2018). Methodological quality of meta-analyses of single-case experimental studies. *Research in Developmental Disabilities*, 79, 97-115. DOI: 10.1016/j.ridd.2017.12.016
- Moeyaert, M., Manolov, R., & Rodabaugh, E. (2018). Meta-analysis of single-case research via multilevel models: Fundamental concepts and methodological considerations. *Behavior Modification*. DOI: 10.1177/0145445518806867
- Moeyaert, M., Zimmerman, K. N., & Ledford, J. R. (2018). Synthesis and meta-analysis of single-case research. In J. R. Ledford, & D. L. Gast (Eds.), *Single-Case Research Methodology: Applications in Special Education and Behavioral Sciences* (3rd Ed.)(pp.393-416). New York, NY: Routledge
- Pustejovsky, J. E., & Ferron, J. M. (2017). Research synthesis and meta-analysis of single-case designs. In J. M. Kaufmann, D. P. Hallahan, & P. C. Pullen (Eds.), *Handbook of Special Education* (2nd Ed.)(pp.168-186). New York, NY: Routledge.
- 山田剛史・井上俊哉(編)(2012). メタ分析入門ー心理・教育研究の系統的レビューのために 東京大学出版会