

2025/10/29 (wed)
筑波大学 大学会館ホール

TRiSTAR シンポジウム 2025 「宇宙（ソラ）リウム」

Behavioral Design Beyond Earth

宇宙と行動デザイン

Soichiro Matsuda

松田 壮一郎



From lab to field

ラボからフィールドへ



実験室だけでなく，日常的な環境下での，
“人と人とのやり取り（相互作用）”を，
測定・モデル化・改善する仕組みを，
最新のテクノロジーを活用して，
デザインする。

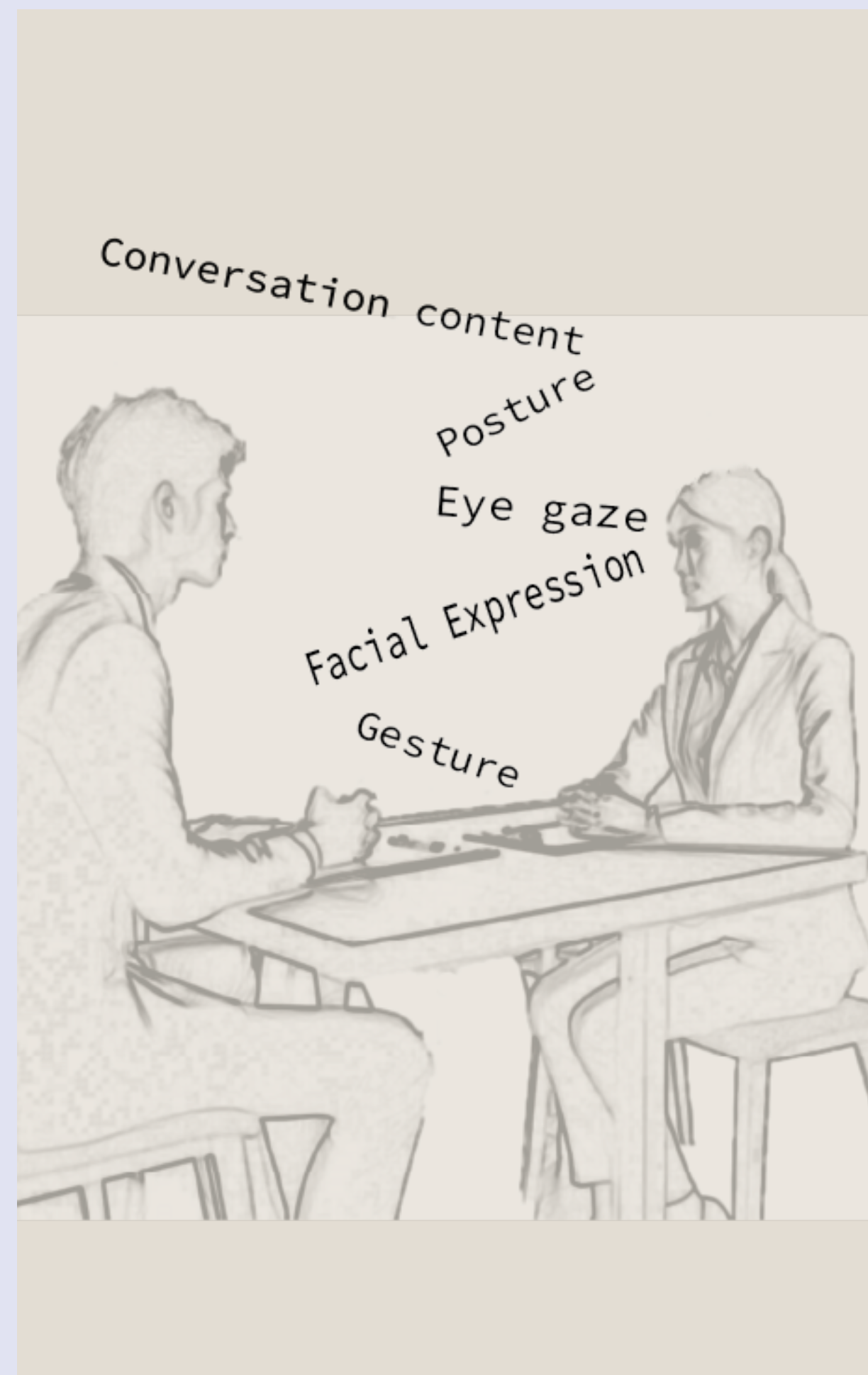
01

Designing Behavior
in Autism Support
(Info Tech × PsychTech)



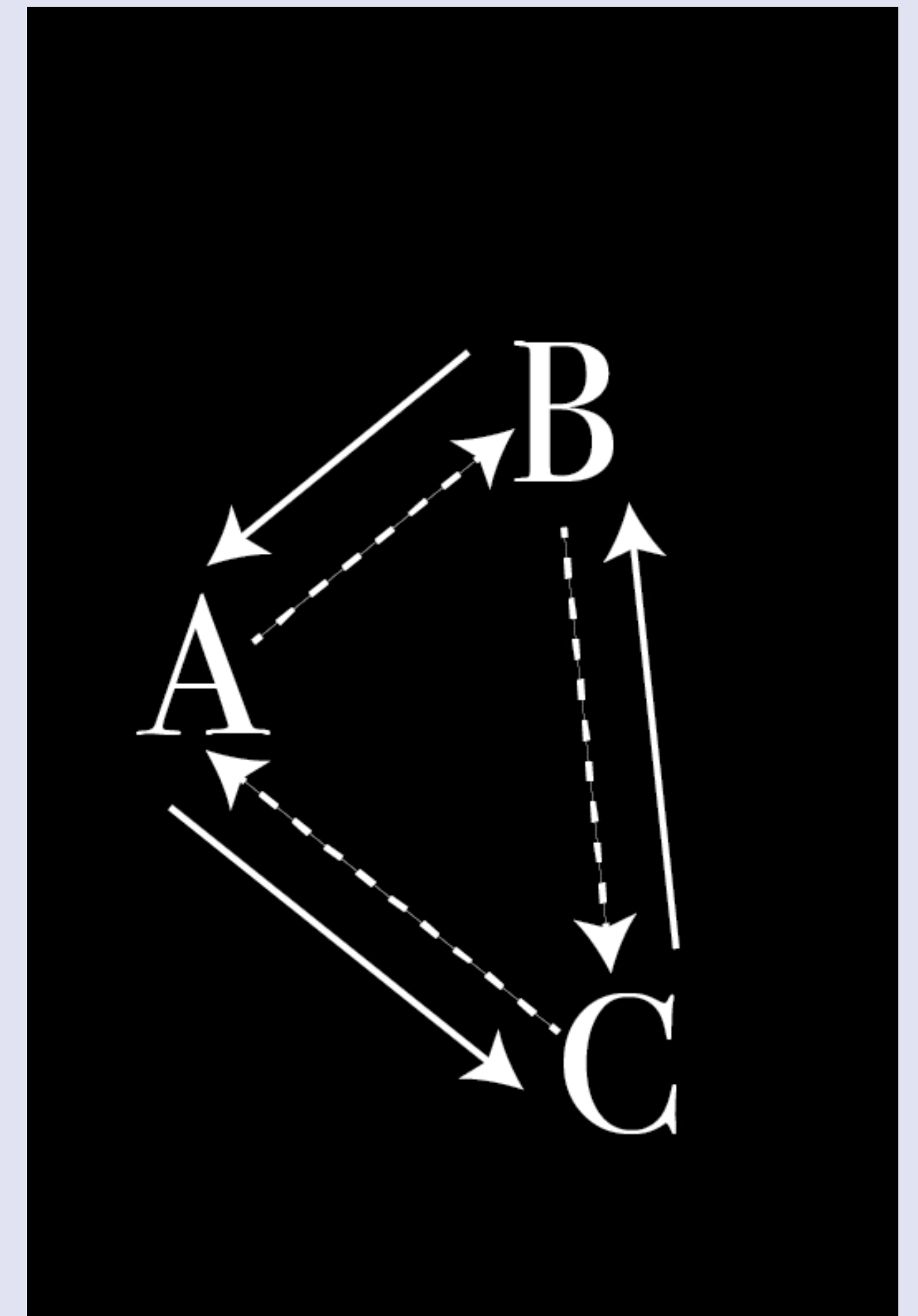
02

Designing Behavior
in Dyadic Spoken Interaction
(multimodal interaction)



03

Designing Verbal Behavior :
Theory, Learning, and
Everyday Use



Behavioral Design Beyond Earth

行動デザインで，宇宙の現場を解像する

| Small- N × 高頻度測定で，計測から介入までを支える

5 Elements in Human Research Program | NASA

- HFBP (Human Factors & Behavioral Performance)
- HHC (Human Health Countermeasures)
- SR (Space Radiation)
- ExMC (Exploration Medical Capability)
- ROI (Research Operations & Integration)

5 Elements in Human Research Program | NASA

- HFBP (Human Factors & Behavioral Performance)
- HHC (Human Health Countermeasures)
- SR (Space Radiation)
- ExMC (Exploration Medical Capability)
- ROI (Research Operations & Integration)

Human Factors and Behavioral Performance

- 主に、「長期間の宇宙飛行/ 探査ミッション（火星，月，深宇宙など）において，クルーの行動・心理・チーム機能・睡眠・認知機能がどのように影響を受けるか」を研究し、リスク評価・対策開発を行う
- 現在，HFBP-EM (Human Factors and Behavioral Performance – Exploration Measures) という，標準化測定スイートを実施。
- 睡眠・覚醒サイクル、認知機能（注意・記憶・判断）、感情・気分、チームの意思疎通・統合・心理的安全、居住環境・使いやすさ（habitability/acceptability）などを測定。

Human Factors and Behavioral Performance

- 主に、「長期間の宇宙飛行/ 探査ミッション（火星，月，深宇宙など）において，クルーの行動・心理・チーム機能・睡眠・認知機能がどのように影響を受けるか」を研究し、リスク評価・対策開発を行う
- 現在，HFBP-EM (Human Factors and Behavioral Performance – Exploration Measures) という，標準化測定スイートを実施。
- 睡眠・覚醒サイクル、認知機能（注意・記憶・判断）、感情・気分、チームの意思疎通・統合・心理的安全、居住環境・使いやすさ（habitability/acceptability）などを測定。
- **反復的データ測定**：各ミッション日（Mission Day）における定期的測定が特徴の一つ

先駆的研究：Crewmember performance before, during, and after spaceflight

Kelly et al. (2005). *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*

- 対象・設計
 - ・ NASAクルー N=4, 10日間のスペースシャトル。
 - ・ 飛行前・飛行中・飛行後に、他の任務を妨げない時刻で定期的に反復測定。
- タスク（行動指標）
 - ・ Digit-Symbol Substitution (DSST)
 - ・ Number Recognition（桁数で難度操作）
 - ・ DRL 12-s（反応ペースの制御）
 - ・ Repeated Acquisition（連鎖学習）
 - ・ 主観指標：疲労・覚醒（POMS/VAS）。
- 主要結果（全体傾向）
 - ・ わずかな変化：DSSTの試行完了率、Number Recognitionの複雑条件での反応時間が飛行中に軽度変動。
 - ・ その他のパフォーマンス次元は概ね安定。
 - ・ 疲労は飛行中わずかに上昇、覚醒も上昇し、飛行後は低下。

先駆的研究：Crewmember performance before, during, and after spaceflight

Kelly et al. (2005). *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*

- 対象・設計
 - ・ NASAクルー N=4, 10日間のスペースシャトル。
 - ・ 飛行前・飛行中・飛行後に、他の任務を妨げない時刻で定期的に反復測定。
- タスク（行動指標）
 - ・ Digit-Symbol Substitution (DSST)

宇宙 × 少人数 × 反復測定
の研究設計は有効

乗組員での反応時間が飛行中に軽度変動。

- ・ その他のパフォーマンス次元は概ね安定。
- ・ 疲労は飛行中わずかに上昇、覚醒も上昇し、飛行後は低下。

Molecular and physiological changes in the SpaceX Inspiration4 civilian crew

Jones et al. (2024). *Nature*

- 対象・設計
 - ・ N=4（全員民間人）。
 - ・ 前/機上/帰還後で反復測定。
 - ・ 被験者内（各人がコントロール）の時系列比較
- 測定バッテリー
 - ・ **マルチオミクス**：WGS、(単一核)RNA/ATAC、direct RNA、免疫レパトア、プロテオーム、メタボローム、cfDNA/RNA、皮膚・環境微生物など。
 - ・ **行動・認知**：NASA **Cognition**（10課題；PVT/DSST等）。
 - ・ **生理・デバイス**：Apple Watchによる**心拍・HRV**、**携帯型超音波**（頸静脈・眼球）ほか。
- 主要結果（全体傾向）
 - ・ **分子層で広範な変化**（DNA/RNA/タンパク/代謝物/微生物）。一部で**テロメア延長**など、ツイン研究と整合する所見も
 - ・ **心拍・HRVはミッション期で有意差**。船内CO₂と**HRVの関連**も観察。活動量・消費エネルギーは機上で低下。
 - ・ **認知成績**：10課題中8課題（80%）は有意な低下なし。一部の低下は個人差に由来。**睡眠6.7±0.7時間**、**ストレス/負荷は中等度で概ね安定**

Molecular and physiological changes in the SpaceX Inspiration4 civilian crew

Jones et al. (2024). *Nature*

- 対象・設計
 - ・ N=4（全員民間人）。
 - ・ 前/機上/帰還後で反復測定。
 - ・ 被験者内（各人がコントロール）の時系列比較
- 測定バッテリー
 - ・ **マルチオミクス**：WGS、(単一核)RNA/ATAC、direct RNA、免疫レパトア、プロテオーム、メタボローム、cfDNA/RNA、皮膚・環境微生物など。

Small-Nの高解像度統合が潮流。

「n=4でも“深い”は作れる」

- ・ **認知成績**：10課題中8課題（80%）は有意な低下なし。
一部の低下は個人差に由来。睡眠 6.7 ± 0.7 時間、
ストレス/負荷は中等度で概ね安定

Single-Case Experimental Design (SCED) Interventions for Rare Genetic Disorders

稀な遺伝疾患に対するシングルケースデザインを用いた行動的介入

- CHARGE症候群（CHD7）：Lieberman et al., 2021
- Rett症候群（MECP2）：Lim et al., 2020; Lotan et al., 2015
- Angelman症候群（15q11-q13関連）：Sommese & Corrado, 2021
- プラダー・ウィリー症候群（15q11-q13関連）：Gordon et al., 2024
- 脆弱性X症候群（FMR1）：Hall et al., 2009; Moskowitz & Jones, 2015
- 結節性硬化症（TSC1/TSC2）：McDonald et al., 2020
- ADNP症候群：Holec & Gozes, 2020

Single-Case Experimental Design (SCED) Interventions for Rare Genetic Disorders

稀な遺伝疾患に対するシングルケースデザインを用いた行動的介入

- CHARGE症候群 (CHD7) : Lieberman et al., 2021
- Rett症候群 (MECP2) : Lim et al., 2020; Lotan et al., 2015
- Angelman症候群 (15q11-q13関連) : Sommesse & Corrado, 2021
- プラダー・ウィリー症候群 (15q11-q13関連) : Gordon et al., 2024
- 脆弱性X症候群 (FMR1) : Hall et al., 2009; Moskowitz & Jones, 2015
- 結節性硬化症 (TSC1/TSC2) : McDonald et al., 2020
- ADNP症候群 : Holec & Gozes, 2020
- 鏡・緒方症候群 : Kagami-Ogata syndrome (14q32.2 (DLK1-DIO3)) : Matsuda et al., (in prep)

Single Case Experimental Design

シングルケース実験デザイン

Is Small-N ungeneralizable?

Small-Nだと一般化できない？

Single Case Experimental Design

シングルケース実験デザイン

Is Small-N ungeneralizable?

Small-Nだと一般化できない？

**Generality lives in
replicated functional relations.**

一般化の単位はNではなく

「機能関係の再現」

Key Points in Single Case Experimental Design

シングルケース実験デザインの要点

- **Grow replication axes**, not just N (participants, behaviors, settings, time).
増やすべきはNだけでなく「複製の軸」（参加者・行動・場面・時間）
- **Multiple-baseline, systematic replications, and randomized start-points** build external validity.
多層ベースライン／系列複製／時点ランダム化で外的妥当性を積み上げる。
- **Quantify effects** (Tau-U / BC-SMD) and synthesize across series.
効果量と統合（Tau-U / BC-SMD 等）で“統計化”し、シリーズ横断でメタ化。

Key Points in Single Case Experimental Design

シングルケース実験デザインの要点

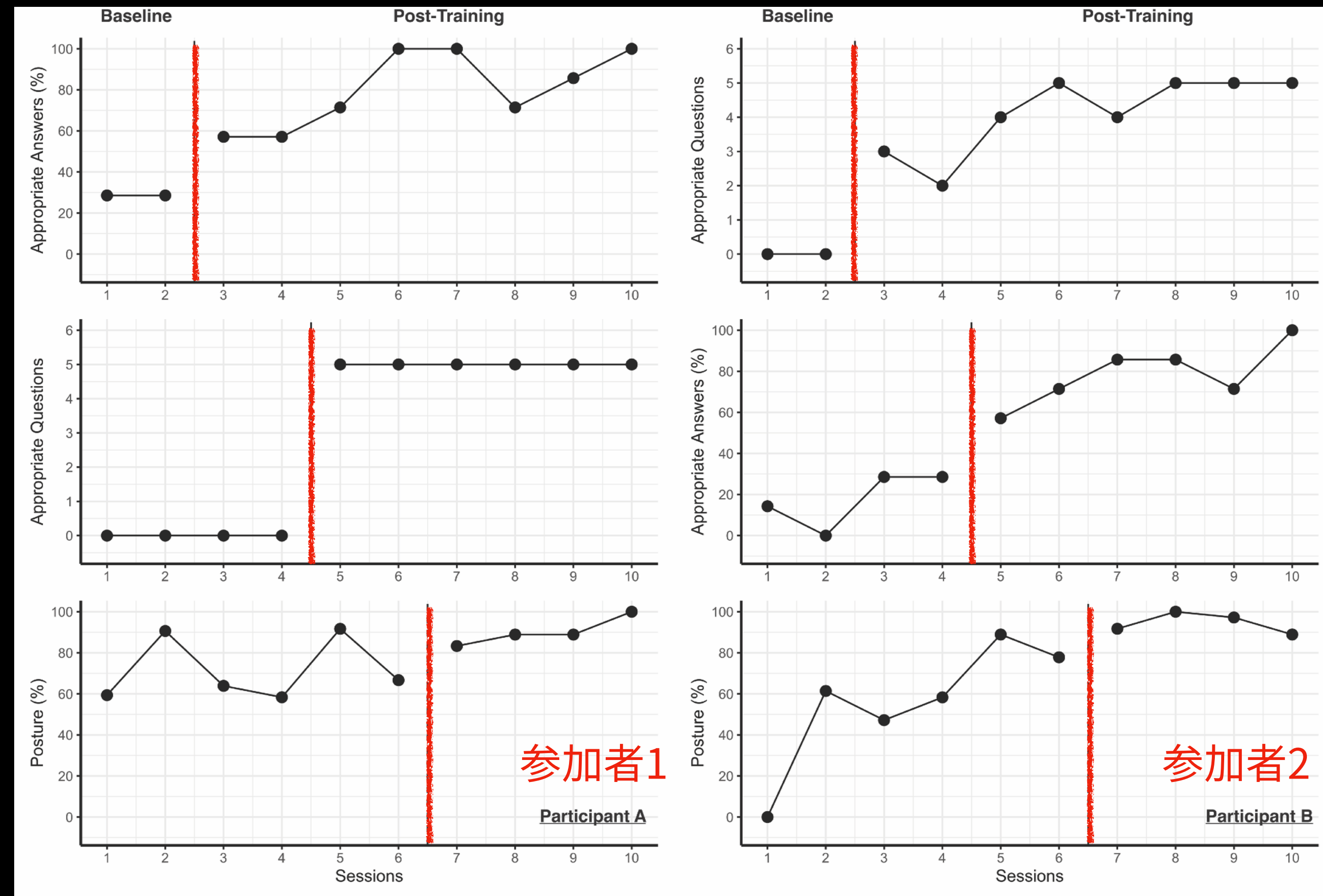
- **Grow replication axes**, not just N (participants, behaviors, settings, time).
増やすべきはNだけでなく「複製の軸」（参加者・行動・場面・時間）
- **Multiple-baseline, systematic replications, and randomized start-points** build external validity.
多層ベースライン／系列複製／時点ランダム化で外的妥当性を積み上げる。
- **Quantify effects** (Tau-U / BC-SMD) and synthesize across series.
効果量と統合（Tau-U / BC-SMD 等）で“統計化”し、シリーズ横断でメタ化。

Design for replication beats just adding N.

「Nを増やす」よりも、「再現を設計する」

An Example of Multiple Baseline Design across Behaviors

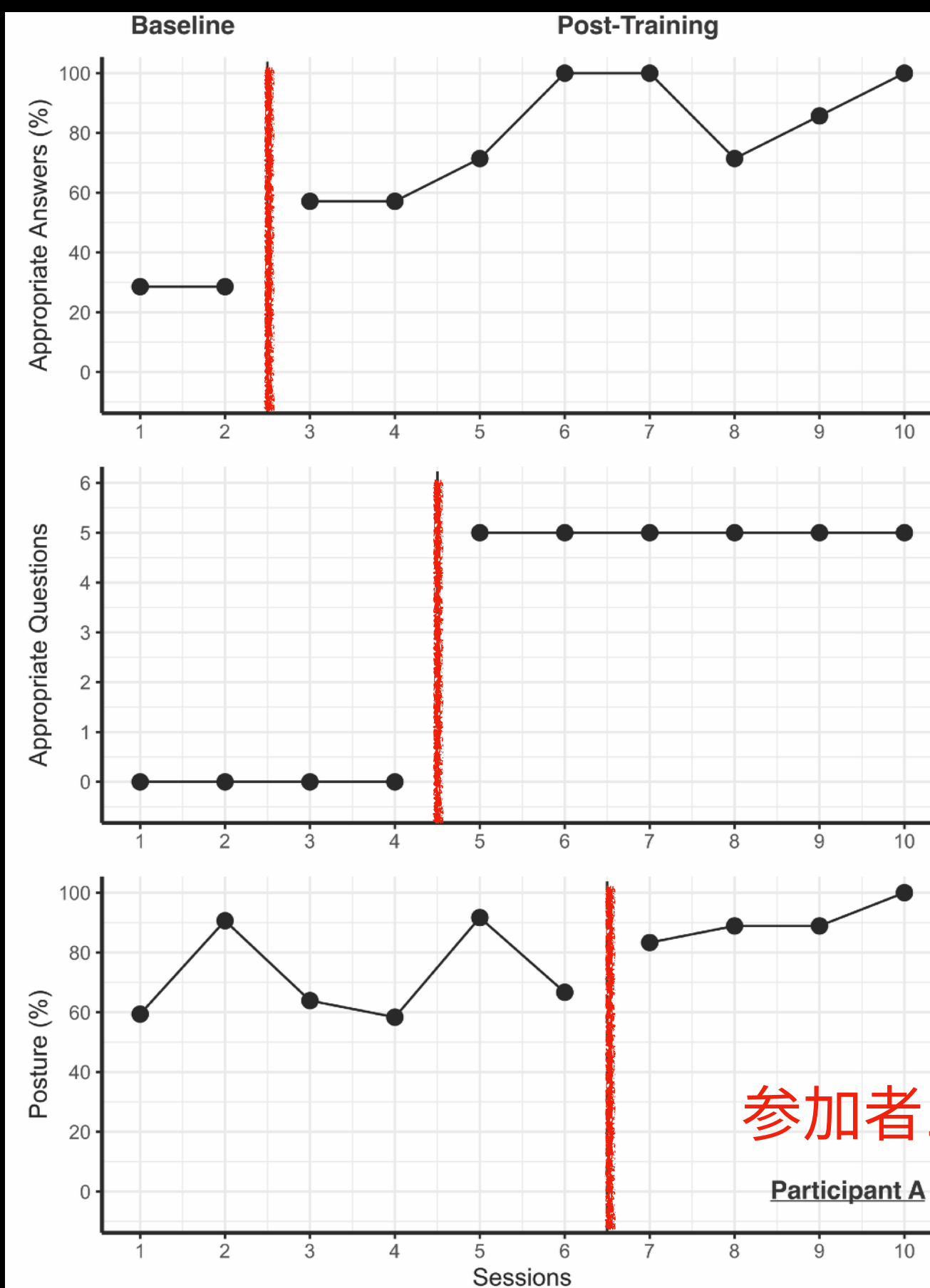
行動間多層ベースライン法の例



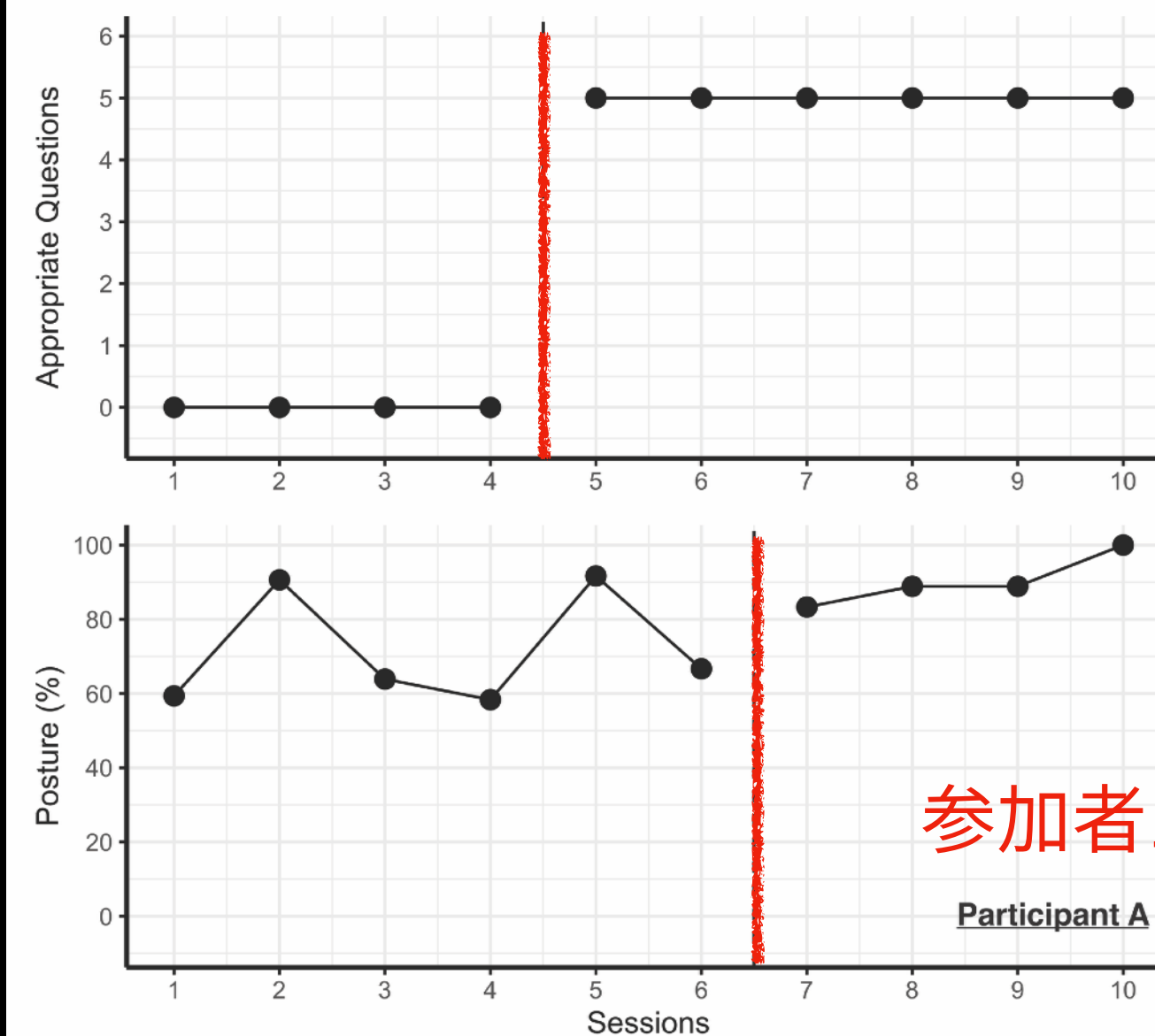
An Example of Multiple Baseline Design across Behaviors

行動間多層ベースライン法の例

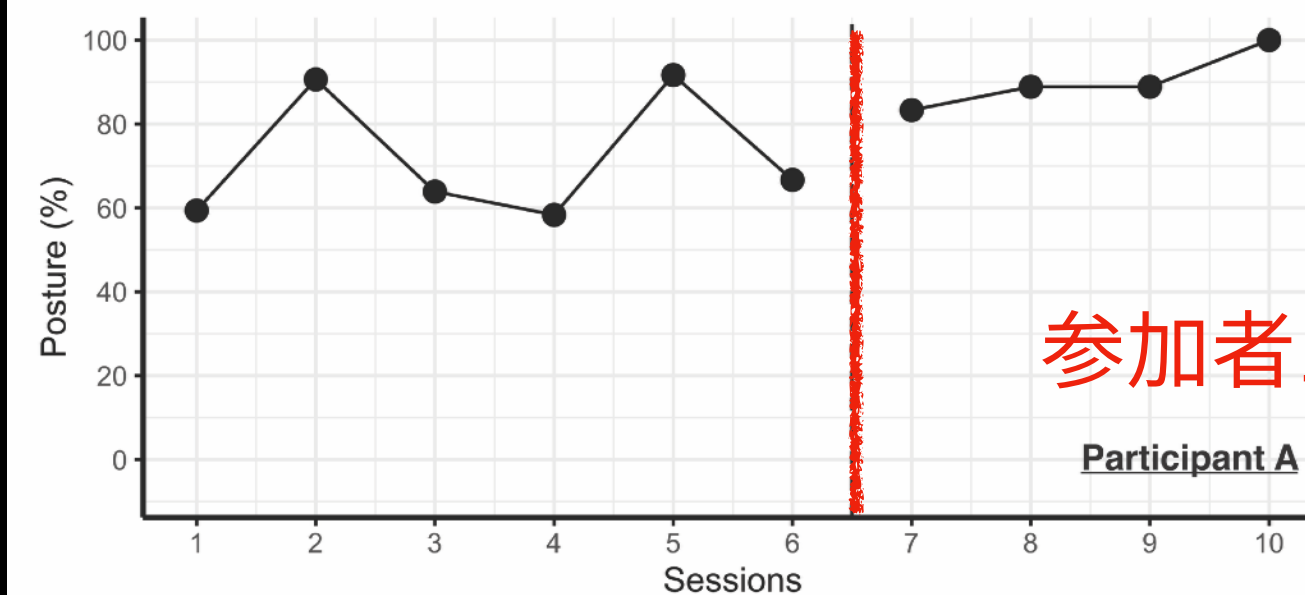
ターゲット行動 1



ターゲット行動 2

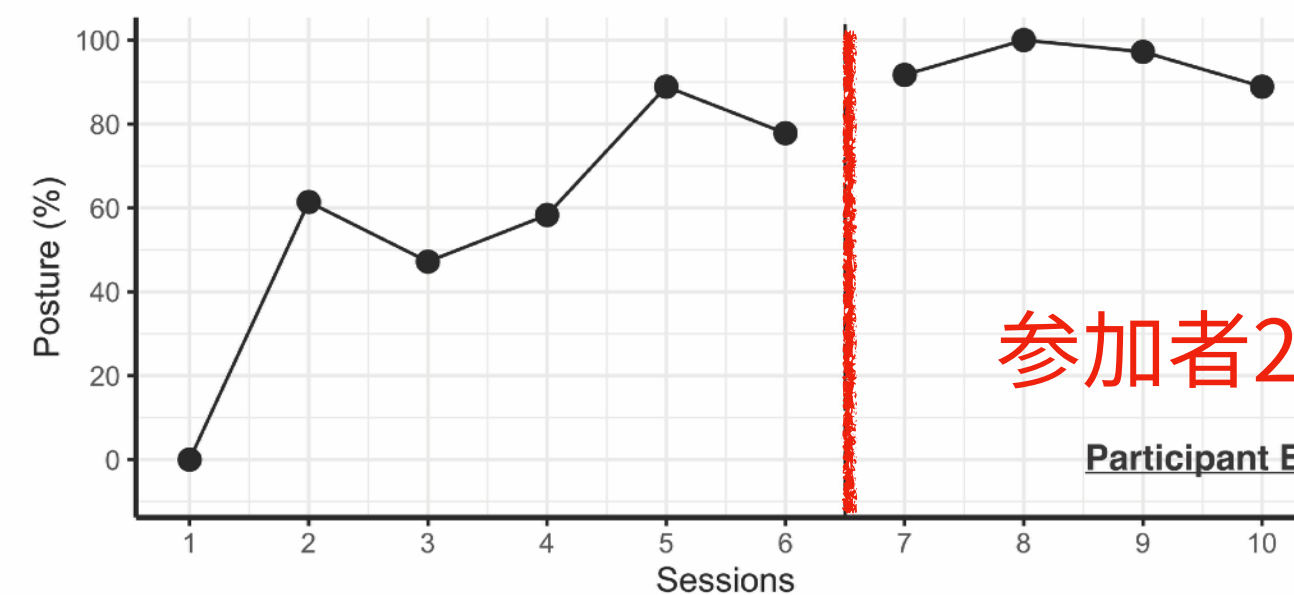
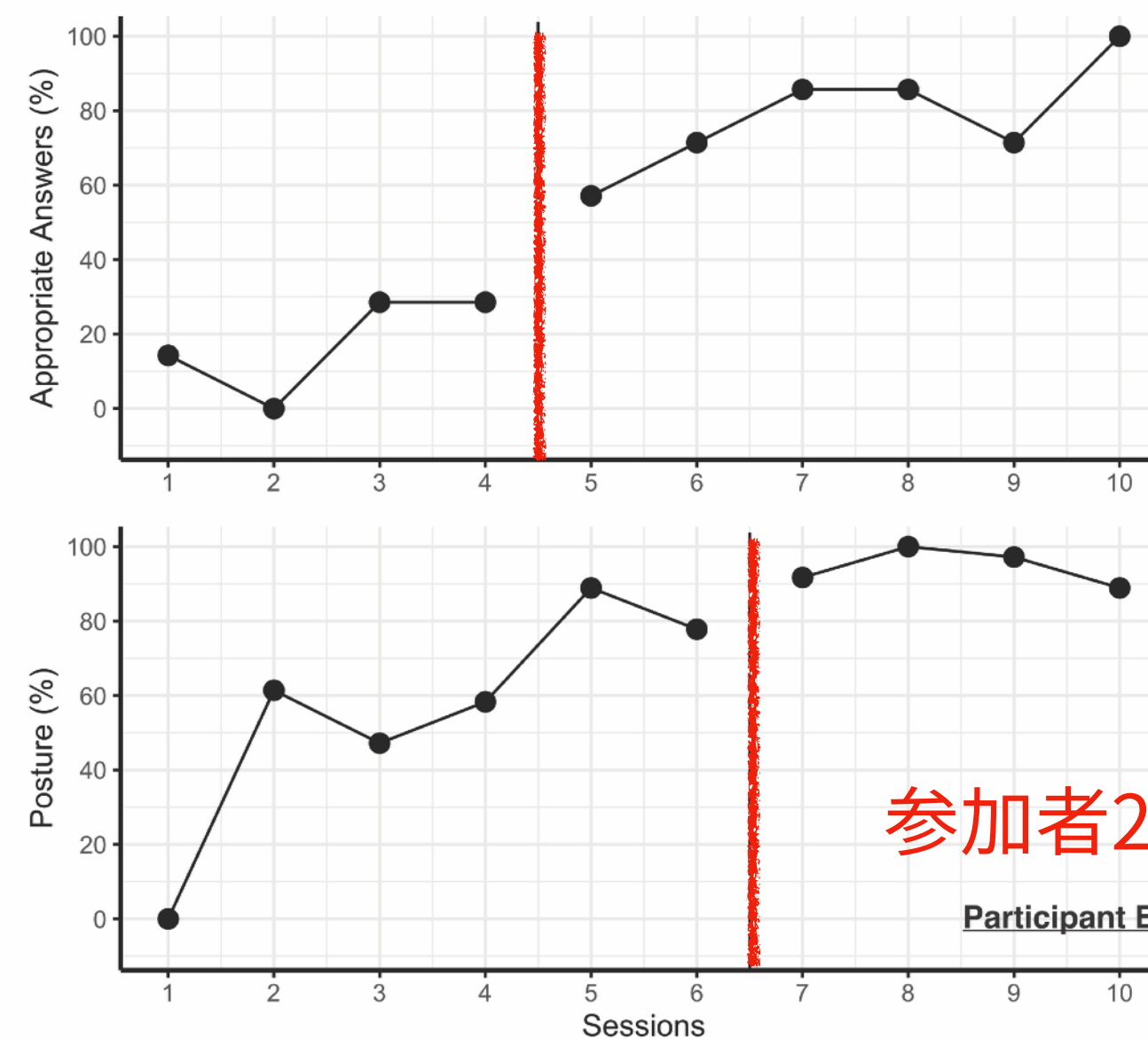
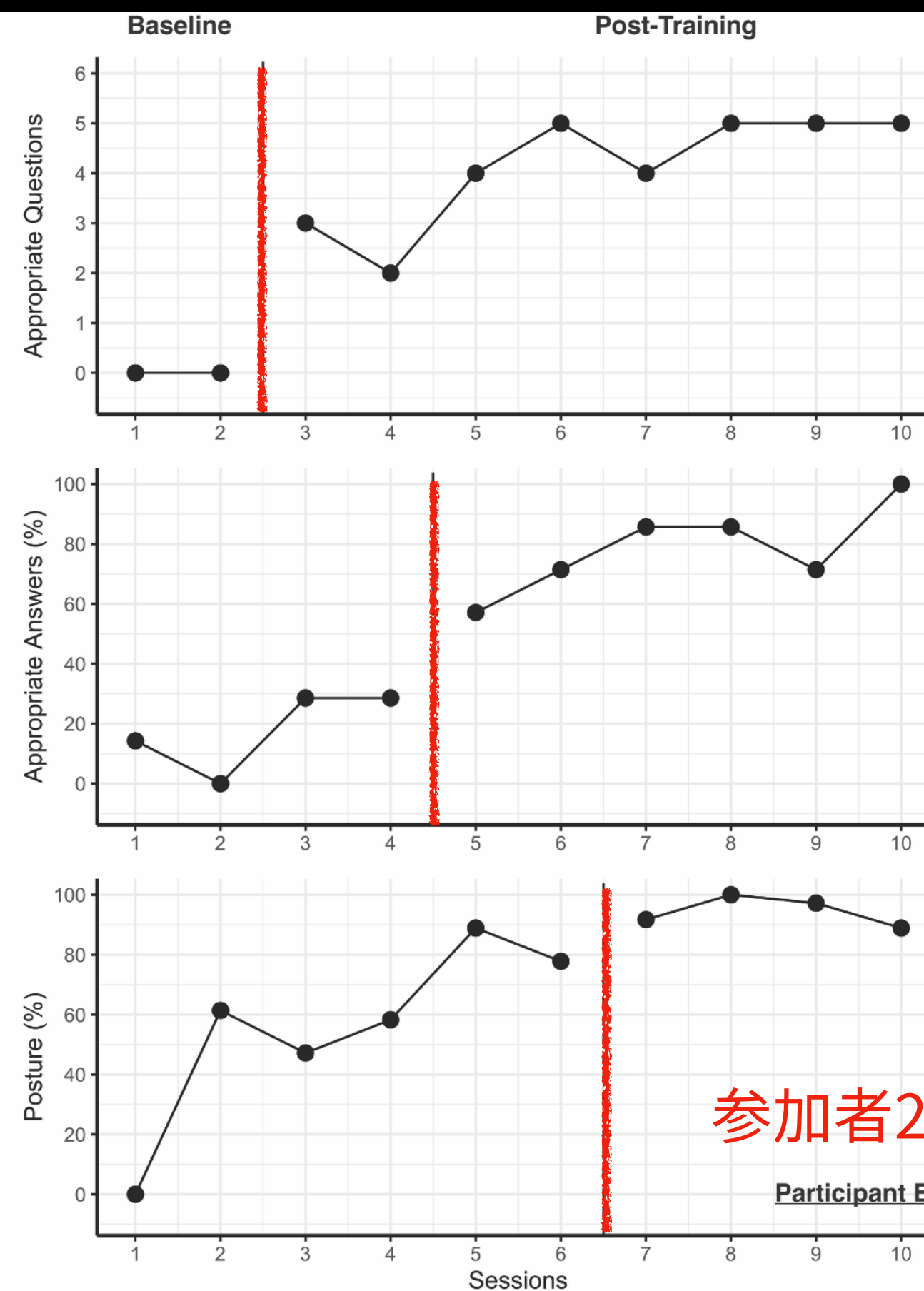


ターゲット行動 3



参加者1

Participant A

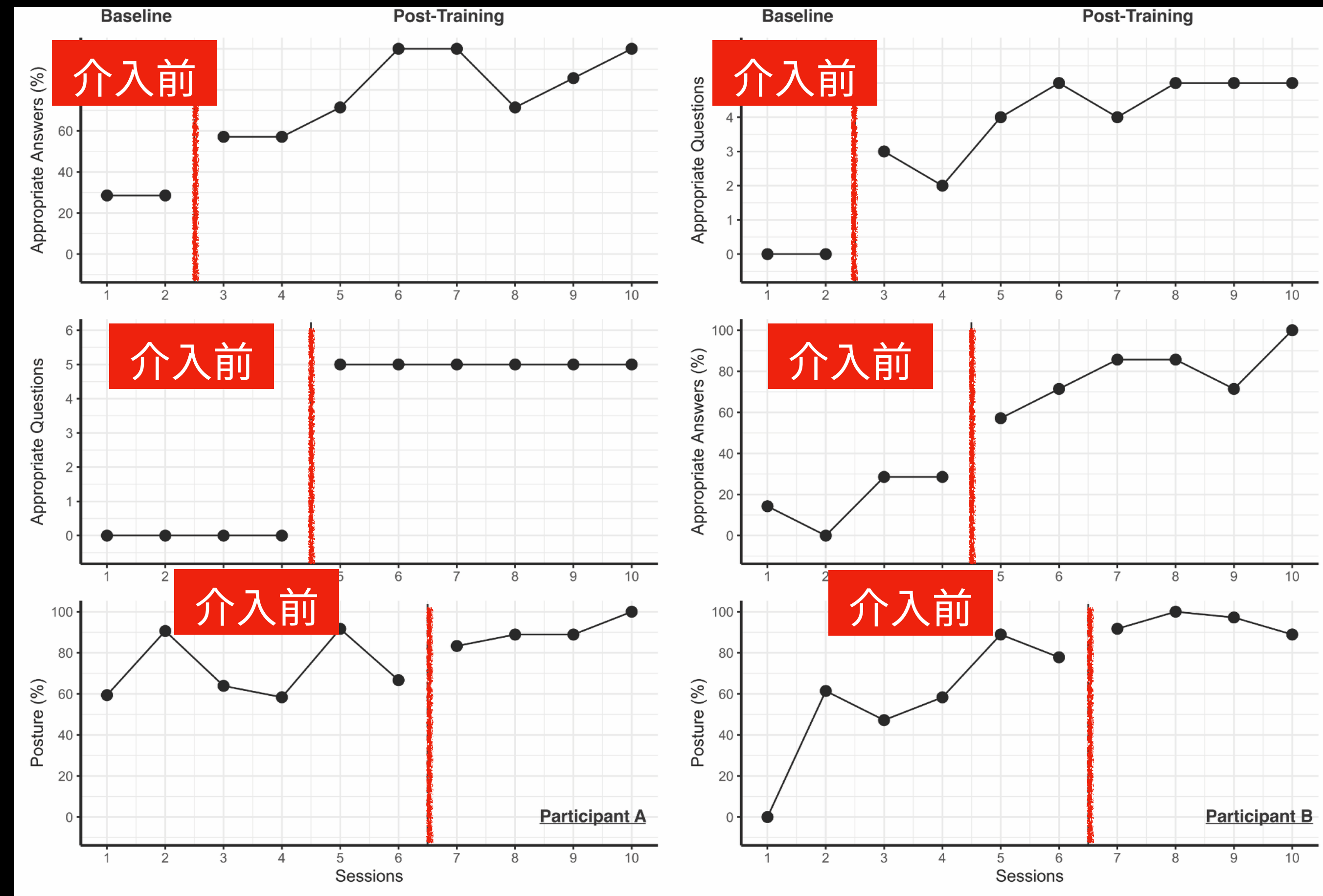


参加者2

Participant B

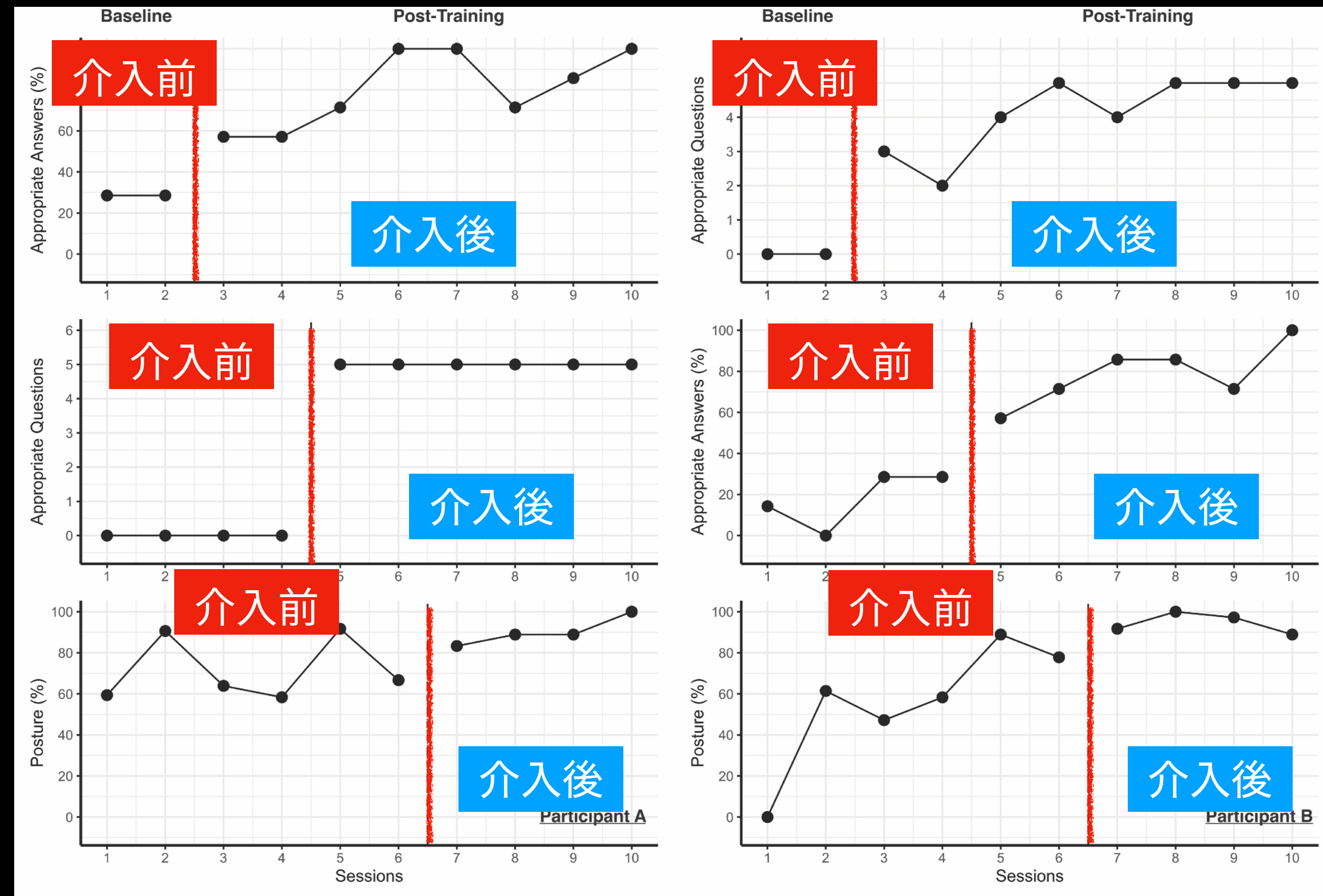
An Example of Multiple Baseline Design across Behaviors

行動間多層ベースライン法の例



An Example of Multiple Baseline Design across Behaviors

行動間多層ベースライン法の例



SCED × Physiology × Self-Report

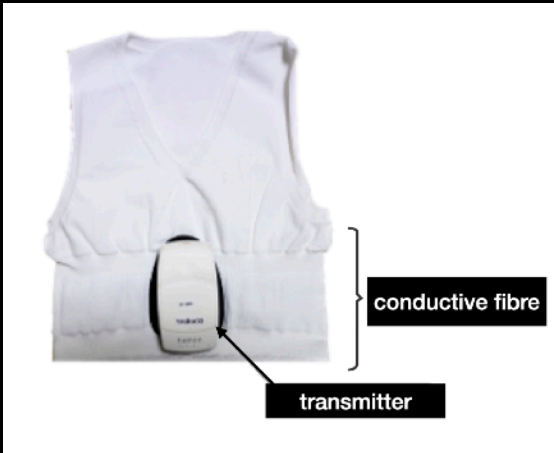
シングルケースデザイン・生理指標・主観的報告の融合

(A) Physiological Measures

One-month Home-Based HRV monitoring in ASD

Matsuda & Shinohara (under review)

Variable	Overall Mean (<i>SD</i>)	Preceding Problem Behavior Day Mean (<i>SD</i>)	Preceding Non-Problem Day Mean (<i>SD</i>)
Total Sleep Time (min)	566.61 (31.76)	585.00 (19.36)	563.07 (32.71)
AVNN (ms)	818.82 (30.91)	822.03 (42.48)	818.02 (28.70)
SDNN (ms)	103.67 (18.25)	89.71 (28.38)	107.16 (13.68)
rMSSD (ms)	89.10 (16.69)	92.06 (19.34)	88.36 (16.44)
pNN50 (%)	42.24 (7.53)	39.91 (10.34)	42.82 (6.89)
Mean HR (bpm)	74.84 (2.85)	74.46 (3.90)	74.94 (2.65)
LF (ms ²)	1732.39 (458.97)	1781.58 (546.71)	1720.09 (449.02)
HF (ms ²)	1391.20 (478.32)	1386.44 (518.89)	1392.39 (482.80)
Normalized LF (%)	56.06 (4.13)	56.82 (3.83)	55.88 (4.27)
Normalized HF (%)	43.94 (4.13)	43.18 (3.83)	44.12 (4.27)
LF/HF Ratio	1.30 (0.24)	1.33 (0.23)	1.29 (0.25)



(B) Self-Report Data

Two-month Experience Sampling Method

Kumasaki & Matsuda (under review)

Table 3							
Results of Model III: Momentary Happiness and Social Interaction							
Effect	Estimate (γ)	SE	t	p	β	95% CI	
						LL	UL
Fixed effects							
(Intercept)	4.88	0.15	33.21	<.001	−0.03	−0.19	0.13
Alone	−0.73	0.11	−6.52	<.001	−0.26	−0.34	−0.18
Study	−0.56	0.11	−5.19	<.001	−0.17	−0.24	−0.11
Eat	0.37	0.11	3.37	.002	0.10	0.04	0.15
Passive Leisure	0.30	0.12	2.44	.025	0.08	0.02	0.14
Outing (close person)	0.64	0.12	5.25	<.001	0.09	0.06	0.13
Random effects							
Var (Residual)	1.09						
Var (Intercept)	0.47						
Var (Alone)	0.24						
Var (Study)	0.20						
Var (Eating)	0.19						
Var (Passive Leisure)	0.23						
Var (Outing (close person))	0.04						
Goodness-of-fit							
Deviance	7,810						
AIC	7,866						
BIC	8,030						
Note. CI = confidence interval; LL = lower limit; UL = upper limit.							



Design for replication, not for averages

— 平均ではなく，「再現」を設計する

Behavioral Design Beyond Earth

— 宇宙で機能する行動デザインへ



Behavioral Design Laboratory