

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

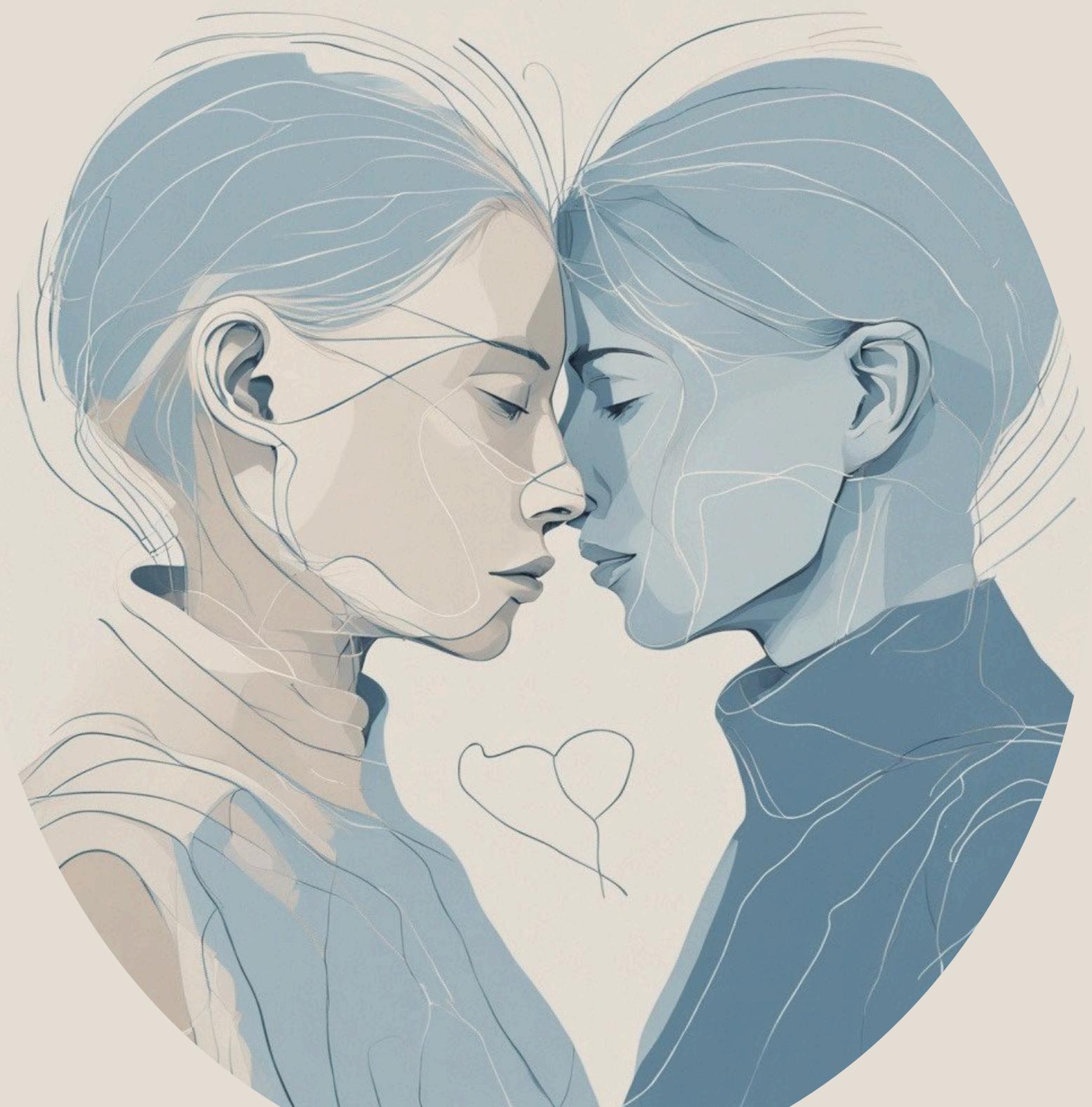
Soichiro Matsuda

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。

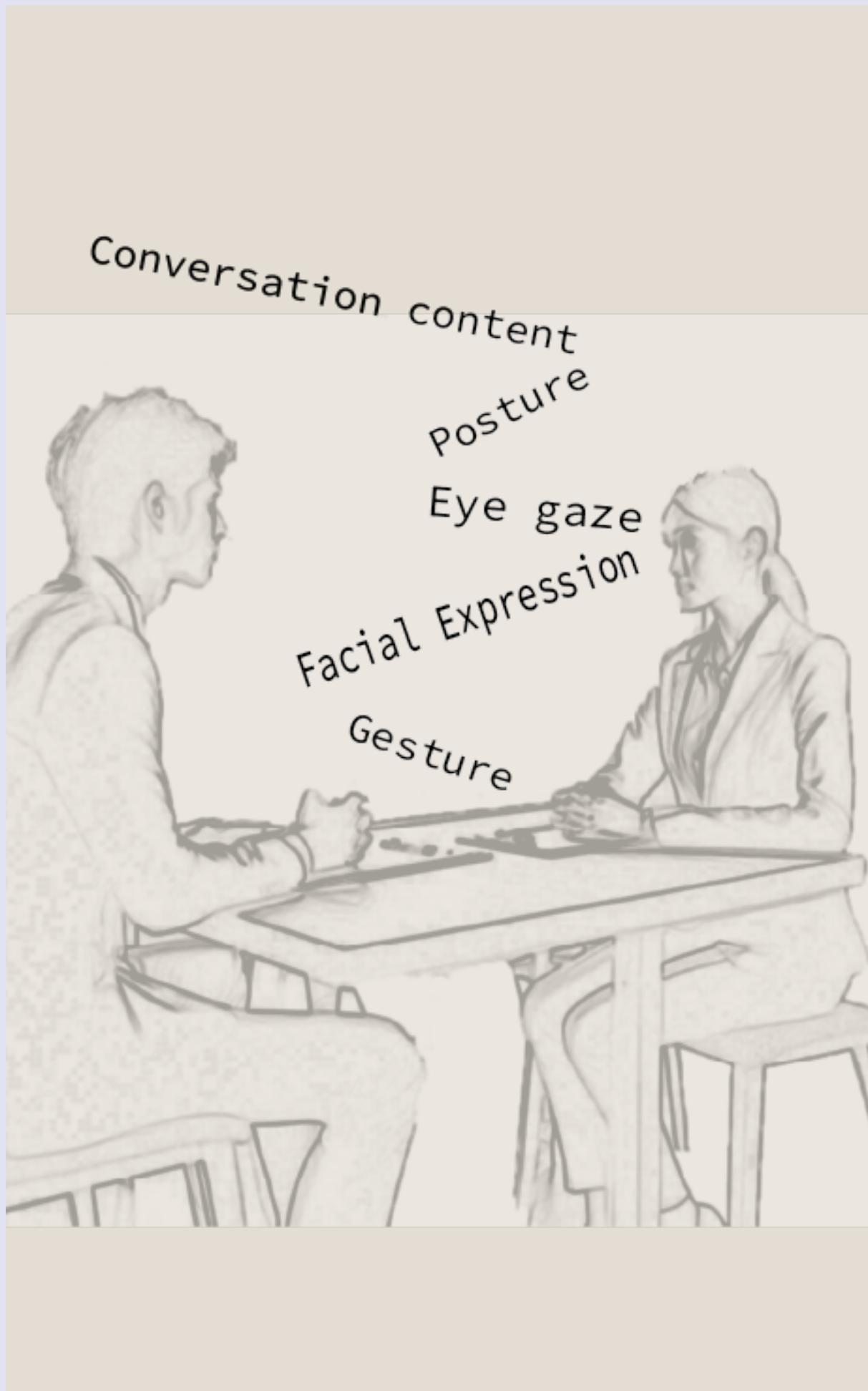
01

Designing Behavior  
in Autism Support  
(Info Tech × PsychTech)



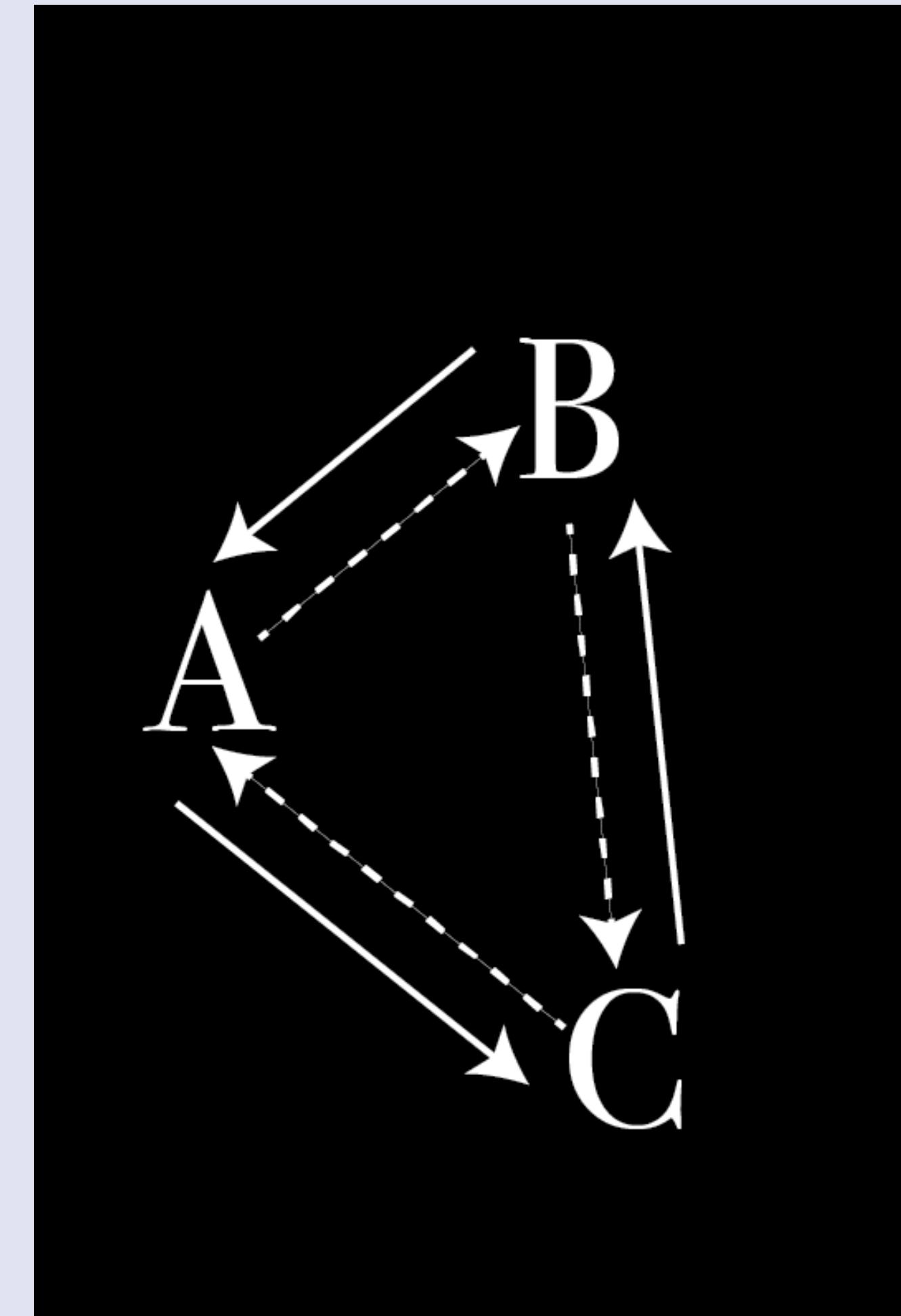
02

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

技術とノット デザインがプロトコロルを用いて実験を行なう。

- 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、免疫レバトア、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CO<sub>2</sub>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、免疫レバトア、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 (FMR 1) : 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) : 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
- 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

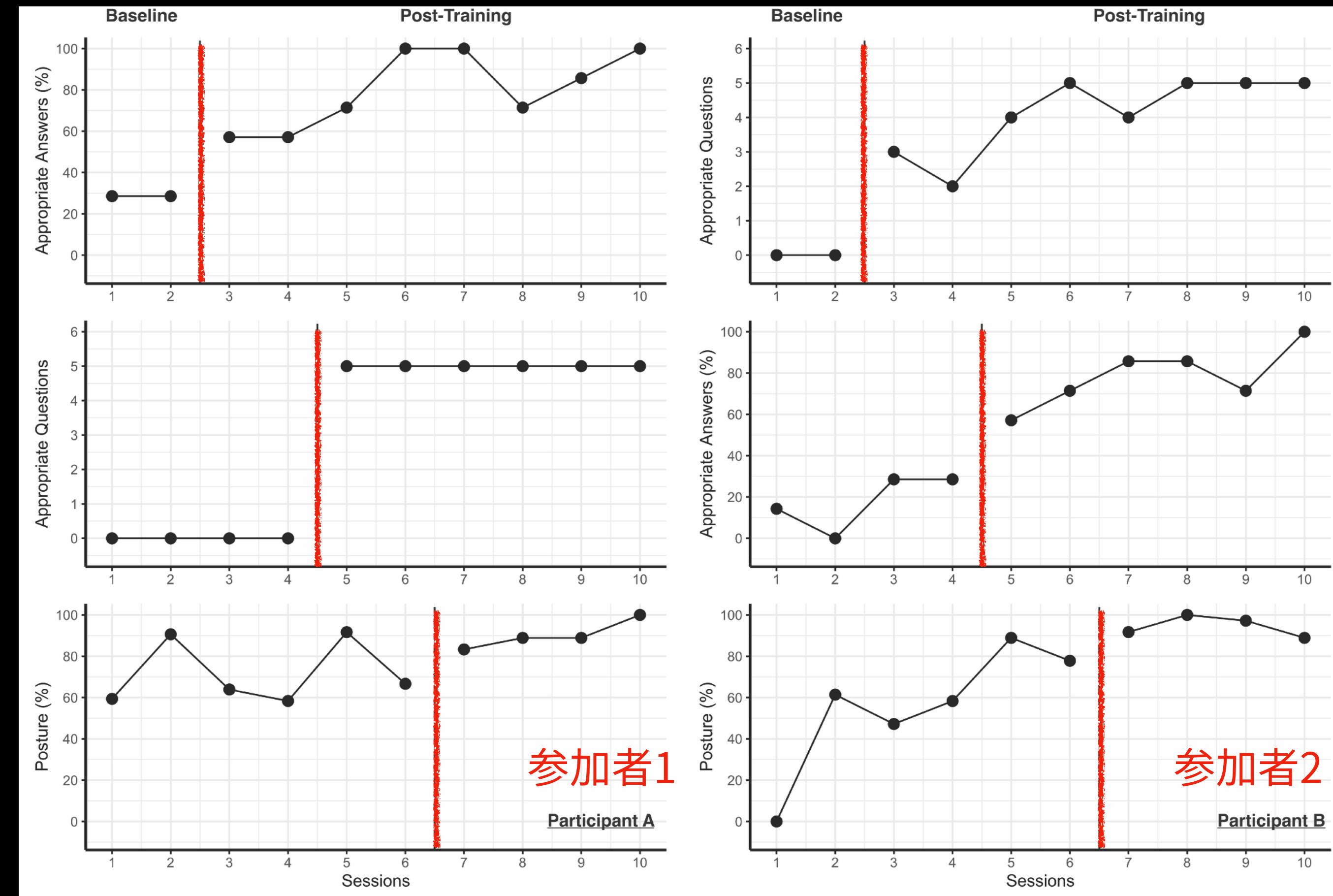
- **Grow replication axes**, not just N (participants, behaviors, settings, time).  
増やすべきはNだけでなく「複製の軸」（参加者・行動・場面・時間）
- **Multiple-baseline, systematic replications, and randomized start-points** build external validity.  
多層ベースライン／系列複製／時点ランダム化で外的妥当性を積み上げる。
- **Quantify effects** (Tau-U / BC-SMD) and 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

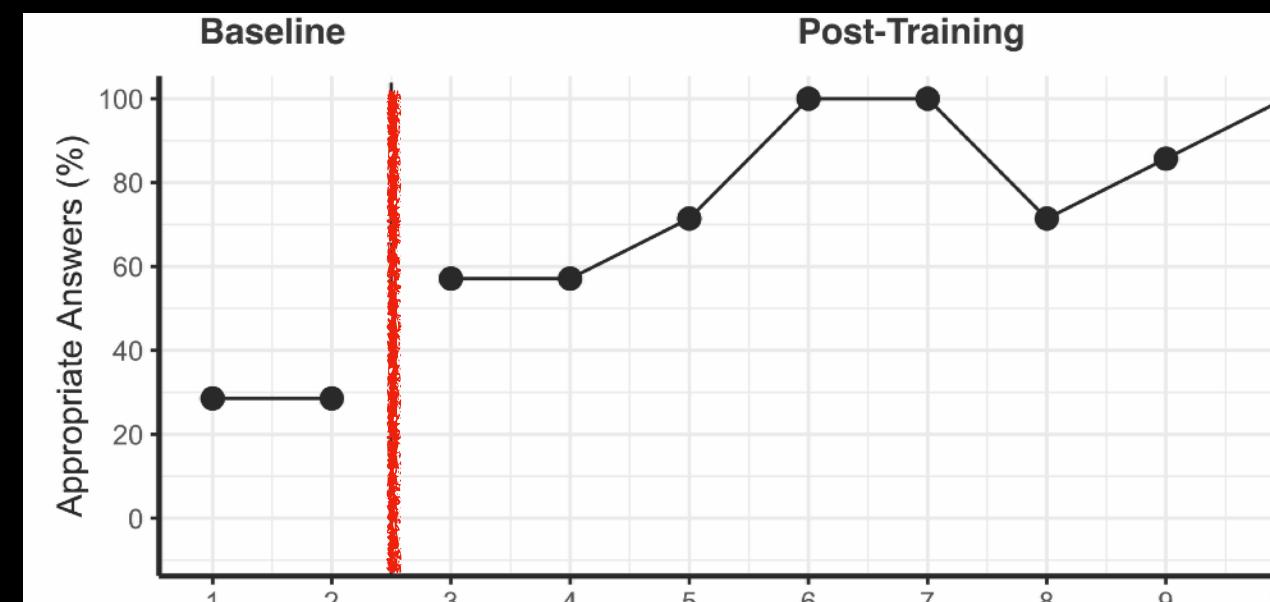
行動間多層ベースライン法の例



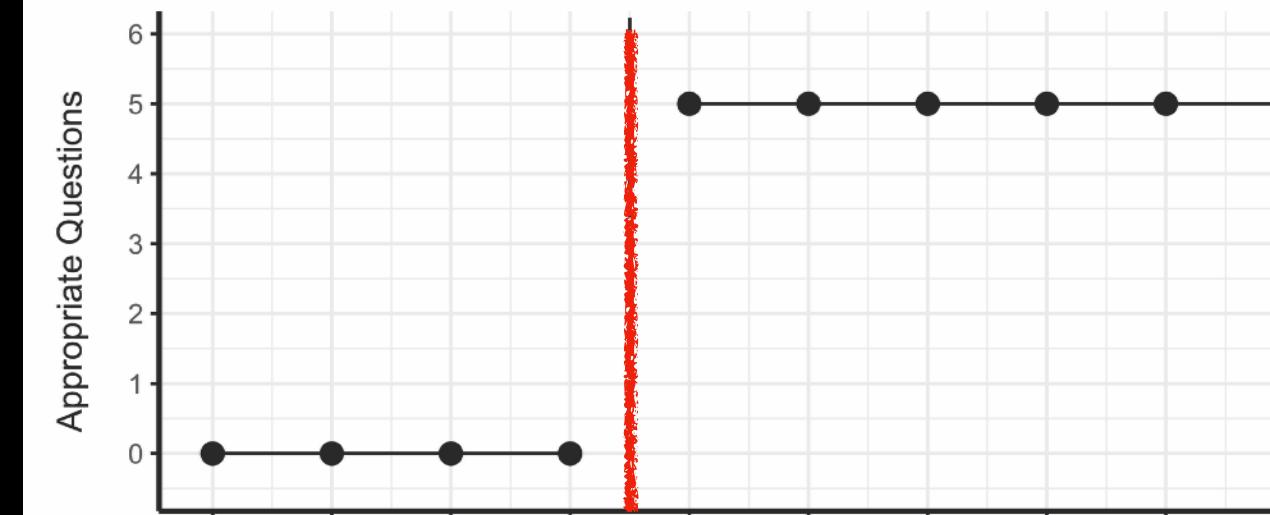
# An Example of Multiple Baseline Design across Behaviors

行動間多層ベースライン法の例

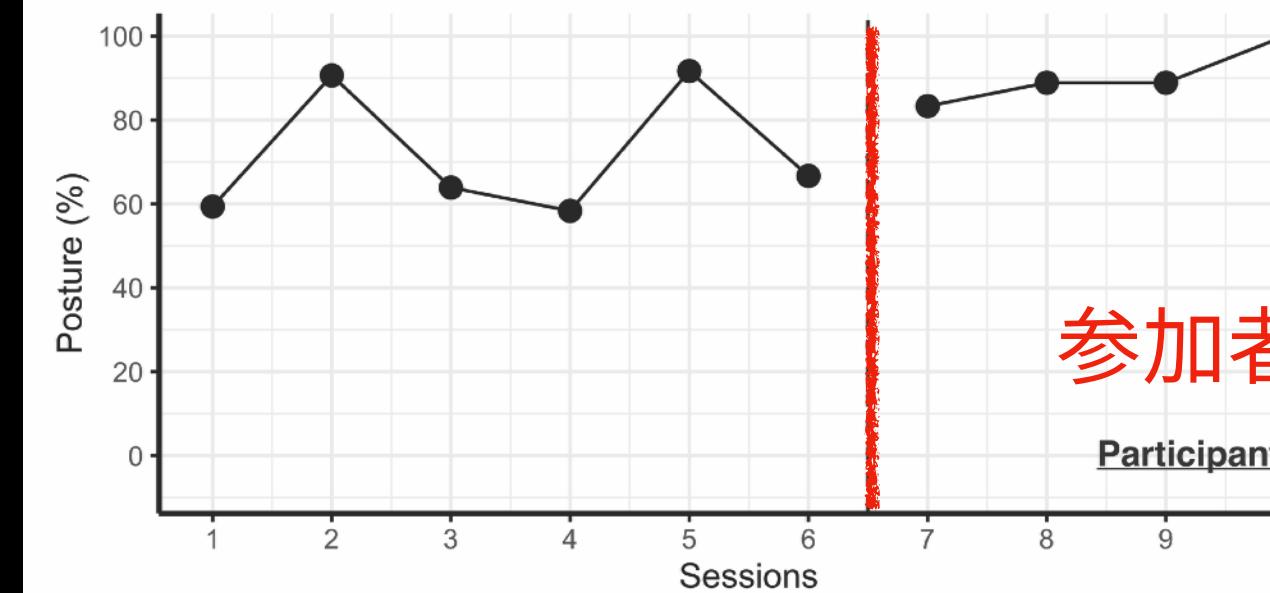
ターゲット行動 1



ターゲット行動 2



ターゲット行動 3



参加者1

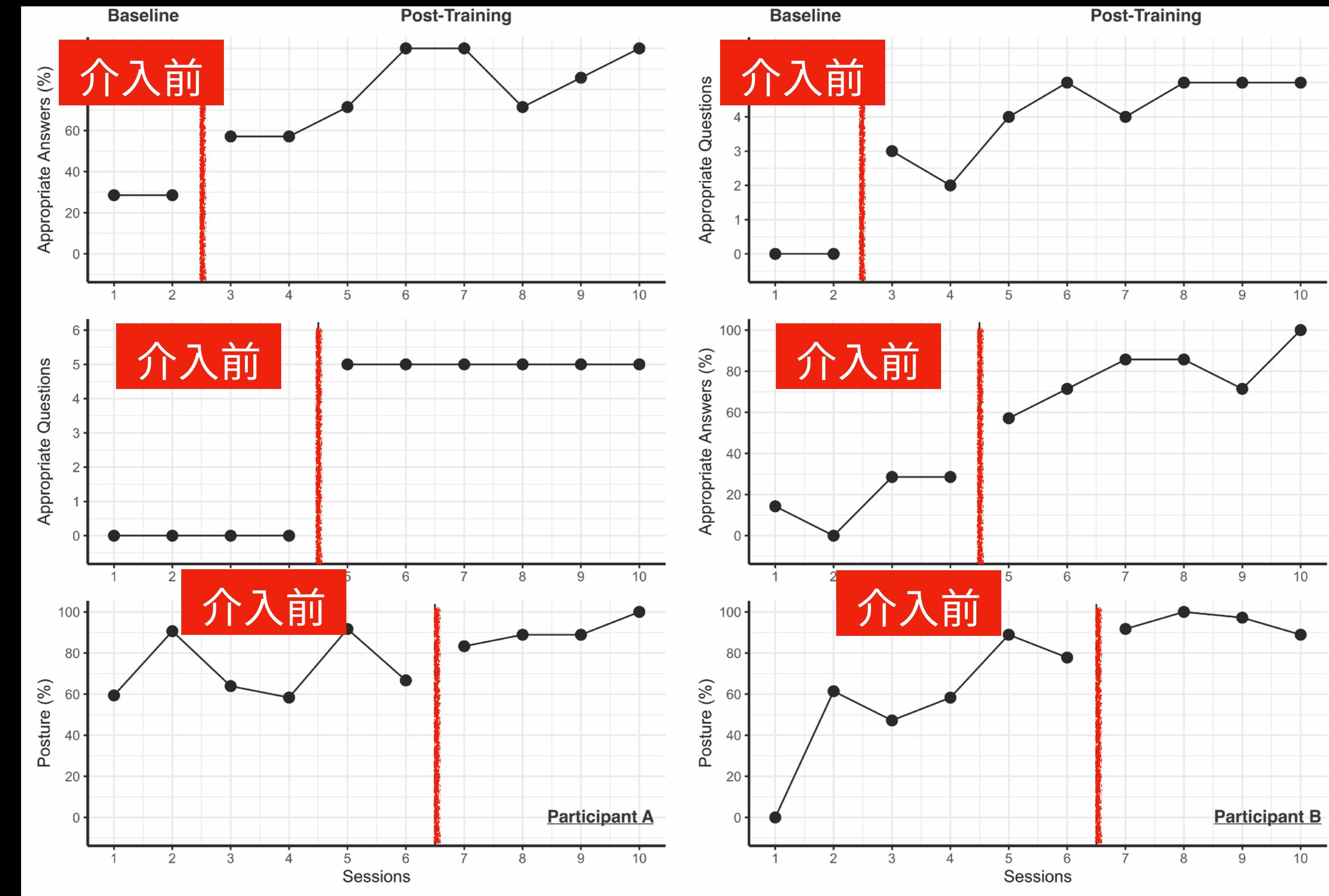
Participant A

参加者2

Participant B

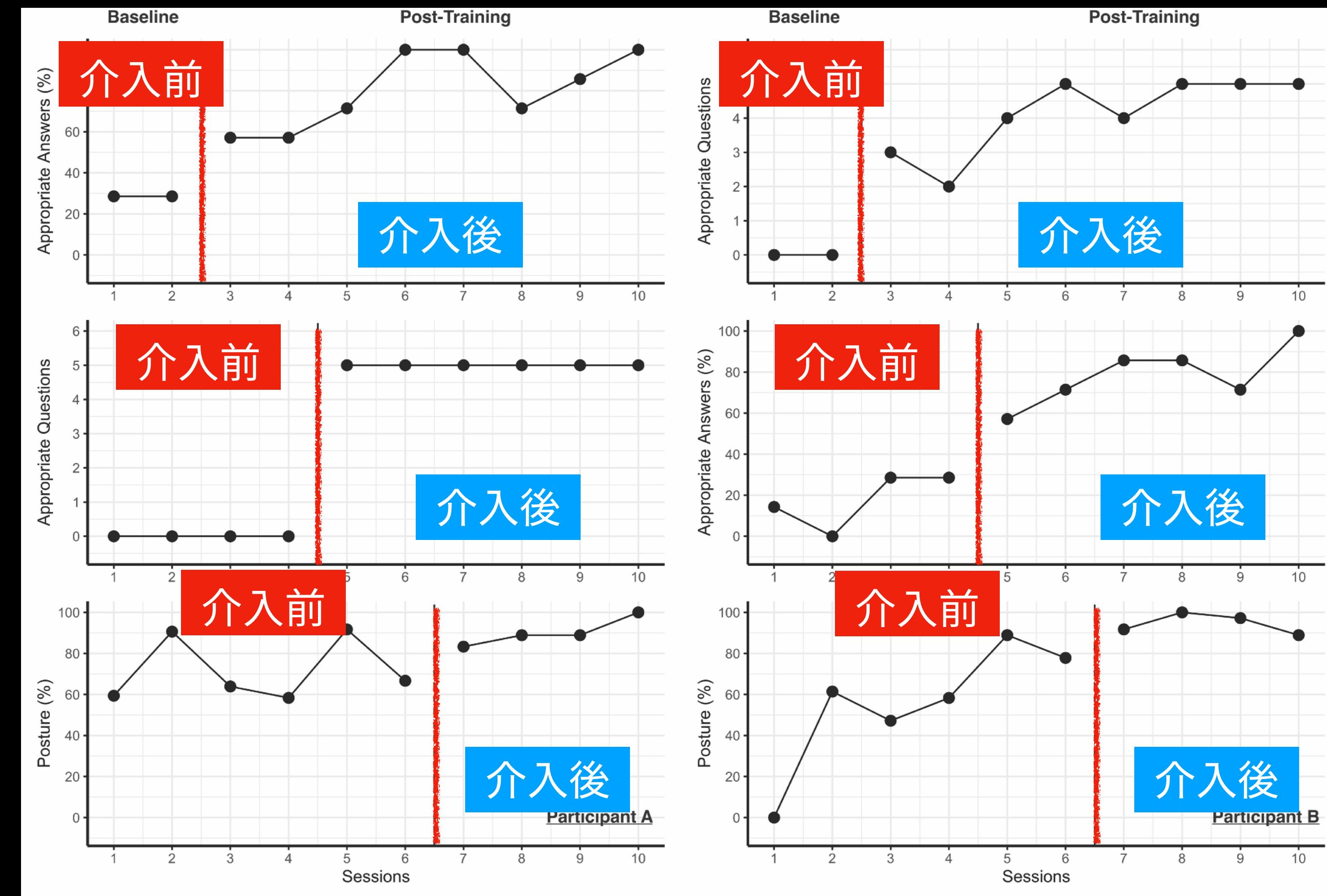
# An Example of Multiple Baseline Design across Behaviors

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

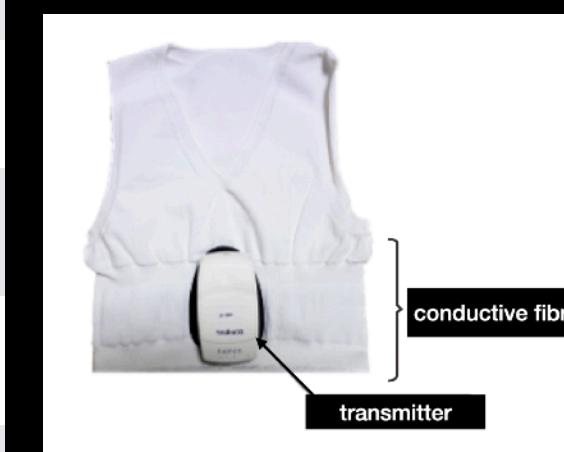
## シングルケースデザイン・生理指標・主観的報告の融合

### (A) Physiological Measures

One-month Home-Based HRV monitoring in ASD

Matsuda & Shinohara (under review)

Variable	Overall Mean (SD)	Preceding Problem Behavior Day Mean (SD)	Preceding Non-Problem Day Mean (SD)
<b>Total Sleep Time (min)</b>	566.61 (31.76)	585.00 (19.36)	563.07 (32.71)
<b>AVNN (ms)</b>	818.82 (30.91)	822.03 (42.48)	818.02 (28.70)
<b>SDNN (ms)</b>	103.67 (18.25)	89.71 (28.38)	107.16 (13.68)
<b>rMSSD (ms)</b>	89.10 (16.69)	92.06 (19.34)	88.36 (16.44)
<b>pNN50 (%)</b>	42.24 (7.53)	39.91 (10.34)	42.82 (6.89)
<b>Mean HR (bpm)</b>	74.84 (2.85)	74.46 (3.90)	74.94 (2.65)
<b>LF (ms<sup>2</sup>)</b>	1732.39 (458.97)	1781.58 (546.71)	1720.09 (449.02)
<b>HF (ms<sup>2</sup>)</b>	1391.20 (478.32)	1386.44 (518.89)	1392.39 (482.80)
<b>Normalized LF (%)</b>	56.06 (4.13)	56.82 (3.83)	55.88 (4.27)
<b>Normalized HF (%)</b>	43.94 (4.13)	43.18 (3.83)	44.12 (4.27)
<b>LF/HF Ratio</b>	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 ( $\gamma$ )	SE	t	p	$\beta$	95% CI
<b>Fixed effects</b>						
(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
<b>Random effects</b>						
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					
<b>Goodness-of-fit</b>						
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