

# 創造活動における複数名間の相互作用過程の定量化手法の提案： 交差再帰定量化解析を用いた動的過程の可視化 Synchronized Arousal between Dancer and Audience in Breakdance Battle Scenes

清水 大地<sup>†</sup>, 岡田 猛<sup>‡</sup>, 亀山 淳史郎<sup>†</sup>, 鷲尾 和彦<sup>†</sup>, 佐藤 悠<sup>†</sup>

Daichi Shimizu, Shuhei Tsuchida, Ayumi Ohnishi, Tsutomu Terada, Masahiko Tsukamoto

<sup>†</sup>神戸大学, <sup>‡</sup>東京大学,

Kobe University, The University of Tokyo, SIGNING

d-shimizu@people.kobe-u.ac.jp

## 概要

本研究では、複数名で営まれる創造活動において生じる相互作用過程を可視化・定量化する解析を提案し、その有用性を実際のデータを対象に検討した。提案した手法は、交差再帰定量化解析と呼ばれる、力学系の非線形時系列解析の一種である。洞察問題やアイデア生成課題、絵画制作場面を対象に検討を行った結果、提案した手法により、1) 創作者間の潜在的な相互作用過程を抽出出来る可能性、2) フェイズ間の動的な変化を直接的に比較出来る可能性、3) 多様な場面を対象に適用出来る可能性、が示唆された。

キーワード: 創造性, 相互作用過程, CRP/CRQA, 可視化・定量化

## 1. はじめに

本研究は、複数名の人々により営まれる創造活動において生じる相互作用過程を可視化・定量化する解析手法を提案し、その有用性を実際の創造活動のデータを対象に検討する。複数名で営む創造活動の重要性やその際に生じる相互作用の重要性は、経験的にも認識されており (e.g., Bailey, 1980)、心理学・認知科学において様々な研究で検証されてきた (e.g., Okada & Simon, 1997; 清河ら, 2007)。また、5A's framework (Glaveanu, 2013) や Psychological model of inspiration for art-making through art appreciation (Ishiguro & Okada, 2021) など、近年提案されている様々な創造性の枠組み・モデルにおいても、活動を営む個人の認知・性格特性、活動が行われる周囲の物理的環境等に加え、他の活動者・観客・他者作品などとの社会的関わり合いの特徴や過程に着目する必要性が指摘されてきた。

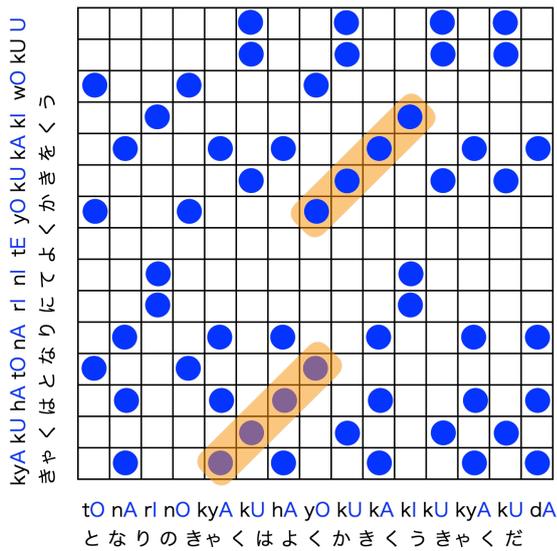
以上の研究が主張するように、創造活動における人々の相互作用やその過程の検証の必要性が強く認識される一方、上記の相互作用過程を一貫した形で可視化・定量化して扱うことには、常に困難さが付き纏ってきた。実際、これまでの創造性研究において、相互作用の過程自体を定量的に検証した研究は限られており、

ケースによるプロセスの仔細な分析が主流である (e.g., Sawyer, 2006)。加えて、その仔細な検討を妨げるより大きな障壁と考えられるのが、各分析の題材依存性である。例えば、相互作用過程に関する定量的検討を行った研究においても、そのほとんどにおいて各研究で対象とする創造活動・題材に特化した手法で検討が行われてきた (例えば、清河ら, 2007 における T パズルの問題解決場面における制約からの逸脱回数、Okada & Simon, 1997 における科学的発見における探索空間の分類、清水・岡田, 2013 におけるブレイクダンスにおける具体的なダンスステップの分類)。ここには、創造活動という複雑で抽象的な認知・身体行為の営みを定量的に抽出すること、さらにその複数名間の各時系列における対応関係とその変遷を図・数値として可視化・定量化する技術的困難さが存在することが推測される。

以上を踏まえ、本研究では創造活動における複数名の人々の相互作用過程を可視化・定量化して捉える汎用的な解析手法の提案を目指す。提案する手法は、非線形時系列解析の一種である交差再帰定量化解析 (Cross Recurrence Plot, Cross Recurrence Quantification Analysis、以降 CRP、CRQA と記載) を応用したものである。

## 2. 交差再帰定量化解析

CRP/CRQA は、連続値・離散値・二値等の多様な値を取る 2 つの時系列間の対応関係 (同期・協調) の可視化・定量化を目指し、提案された解析である (Marwan, 2008; Webber et al., 2009)。そこでは、一方の時系列を横軸 (参加者 A の発言のカテゴリ分類など)、他方の時系列を縦軸 (参加者 B の発言のカテゴリ分類など) に並べた正方形プロットを作成し、2 つの時系列が類似/同一の値を示した点のみを塗り潰す (図 1)。以上の手続きにより生成された図が CRP であり、この図を観察することで 2 者間の発話や身体行為の時間変遷も含めた対応関係の全体像を捉えることが可能となる。そし



<b>%REC (%Recurrence)</b> : 実際の再帰点の数/可能な再帰点の数 55/225 (15×15) = 0.24→24 %
<b>%DET (%Determinism)</b> : 対角線と平行な再帰点の数/実際の再帰点の数 33/50 = 0.66→66 %
<b>MaxL (Max Line)</b> : 斜め線の最大の長さ 4
<b>L (Mean Line)</b> : 斜め線の平均の長さ 2.54

図 1. Cross Recurrence Plot (上) と Cross Recurrence Quantification Analysis (下) の概要. 児玉ら (2021) を参考に作成

て、主に塗り潰した点の全体比率 (%REC)、塗り潰した点が連続して続く斜め線の頻度 (%DET)、斜め線の最大の長さ (Max Line)、斜め線の平均の長さ (Line) などの指標を図より抽出・検討し、2 者間の発話や身体行動の対応関係 (同期・協調の生起頻度・継続程度) を定量化する (図 1、e.g., Zbilut & Webber, 1998)。

本解析の特徴は、連続値に加えて、特定事象の生起の有無 (例: 発話の有無、特定行為の有無) を表す 2 値データや生起した事象の種類 (例: 発話の内容、行為の内容) を表すカテゴリカルデータなど、題材に限定されない多様な認知・身体・生理のデータに対して直接適用出来る点にある。つまり、複雑に営まれる創造活動において、潜在・顕在双方の過程を経て生成される発話や身体行為、生理反応の生起・内容に関する、複数名間の対応関係とその変化を時間に沿って可視化・定量化出来る。よって創造活動において生じる複数名間の相互作用過程の様相とその時間変化を、多様なデータについて広く可視化・定量化可能と考えられた。また、創造活動が休憩・日にちを跨ぎ複数フェーズに渡って営まれる際には、フェーズごとに生成した CRP を直接比較することでその間の変化も可視化・検討可能となる。なお、細

かな数式等の詳細な情報については、以下の文献を参照いただきたい (Marwan, 2008; 清水ら, 2024; Webber et al., 2009)。

### 3. 多様な創造活動への適用

以降では、上記の解析 (CRP/CRQA) を創造性研究でしばしば取り上げられてきた活動に適用し、その有効性を検討する。

#### 3. 1. 洞察問題への適用

まず、ペアで洞察問題に取り組む場面を対象とした。洞察問題は、その解決に至る際に問題解決を妨げる制約の緩和を必要とし、本人の主観において解決方法の突発的な生成体験が生じる問題解決の一種である (開・鈴木, 1998; 清河ら, 2007)。本研究では、この洞察問題の一種として T パズル (開・鈴木, 1998) を利用し、2 名の参加者が協働して問題を解決する過程を検討した。なお T パズルでは、①五角形のパーツ A の窪みを埋めようとする傾向 (制約)、②パーツ A またはパーツ B を縦・横に並べようとする傾向 (制約) が生じて問題解決が阻害されること、失敗を繰り返す中でそれら制約が徐々に緩和し、回答に近いパーツ A を斜めに置く頻度が増加することが示唆されてきた (開・鈴木, 1998)。

参加者は、大学生 2 名 (女性 2 名、年齢は共に 22 歳) である。時間制限を 25 分とし、課題に取り組んだ。2 名とも過去 T パズルに取り組んだ経験を有さない。

結果の概要を記す。対象としたペアは 16 分 30 秒 (990 秒) で解決に至っていた。また、問題解決中の 2 名の発話を確認したところ、ペア 1、2 共に解決に至る直前までパーツ A を斜めに置く重要性には顕在的には気づいていない様子が伺われた。実際、14 分 40 秒 (880 秒) にその重要性に関する発言が初めて見られた。

そして、各参加者のパーツの操作行為に着目し、その対応関係を CRP/CRQA により可視化・定量化した。結果を図 2、3 に示す。まず各参加者のパーツ操作を、①: その他、②: パーツ A、B を縦または横に置く、③: パーツ A の窪みを埋める、④: パーツ A を斜めに置く、の 4 種類に分類し、カテゴリカルな時系列データを作成した (図 2)。前述した通り、②③の操作が制約に囚われた操作、④の操作が制約から外れた操作である。分類は ELAN (Max Plank Institute) を用いて、1 秒ごとに映像から同定した。そして、参加者 1 のデータを横軸、参加者 2 のデータを縦軸に並べ、共通のカテゴリが生起したマス目を異なる色で塗り潰し、CRP を作成した (黄

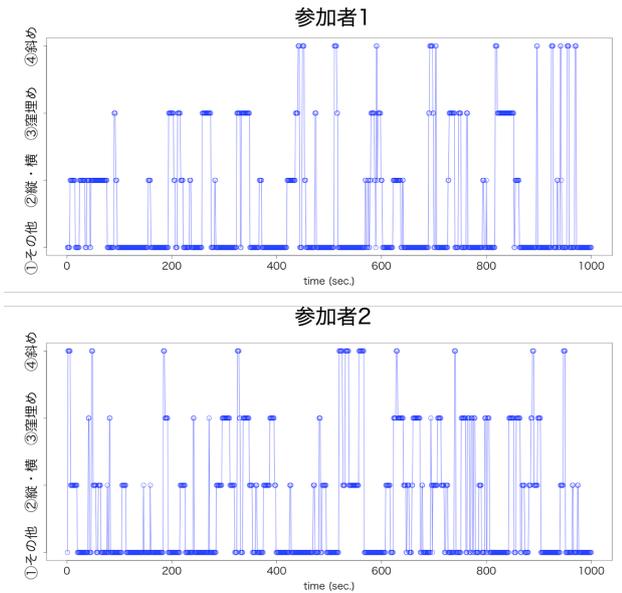
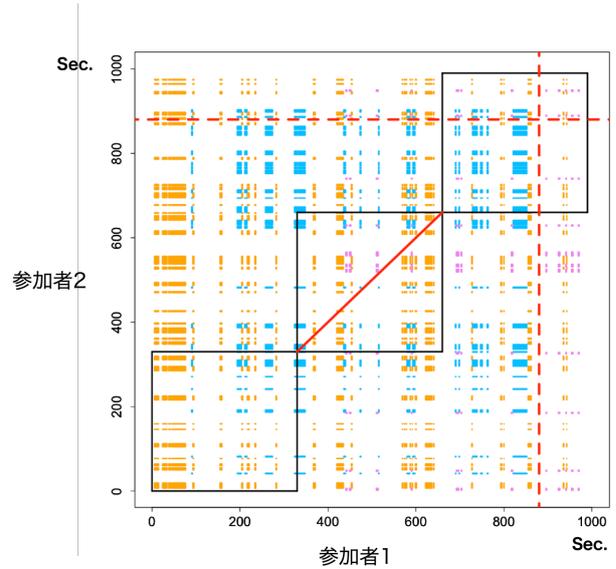


図2. 洞察問題における各参加者のパーツ操作のカテゴリカル時系列データ

色：パーツ A・B の縦横操作、青色：パーツ A の窪み埋め操作、紫色：パーツ A の斜め置き操作)。なお、塗りつぶしの色をカテゴリごとに調整する手法は、著者らの知る限り本研究が初めて行った試みである。また、取り組み全体を3 フェイズ (330 秒ごと) に分割し、各フェイズを比較した。また、パーツ A を斜めに置く重要性に参加者が明確に気づいた時点を、赤の点線の交点で表した (880 秒)。

以下、CRP の定性的解釈を記す。図3 上より、フェイズ 1 では、②③の制約に囚われたパーツ操作が量産化者に共通して多く見られ、④の制約から逸脱したパーツ操作については共通した形では全く営まれていない。一方で、各参加者の時系列データ (図2) では、参加者 2 が④の操作をフェイズ 1 の最初に数回行っていった。これは、参加者 2 単独では制約から逸脱したパーツ操作をしばしば (潜在的に) 行っていた一方、その操作を他方の参加者 1 が引き継いだり発展させたりはしていないことを示す。次に、フェイズ 2 を確認する。フェイズ 2 では、斜め置きの重要性に顕在的に気づくかなり前の段階 (331 秒-660 秒) であるにも関わらず、④の制約から逸脱したパーツ操作が両参加者で共通して営まれた様子が見られた (図3 上の紫プロット)。一方で、フェイズ 2 の正方形を対角線で区切った場合 (赤の斜線)、左上側にこの紫プロットが集中している。これは、参加者 1 のリード関係を示す結果であり、まず参加者 1 が④の操作を行い、それに少し遅れる形で参加者 2 が④の操作を行っていたことを示す。一方で、



②パーツ A・B の縦・横操作 (黄色)

	RR	DET	maxL	L	ENTR
フェイズ1	4.72	92.66	13	4.94	2.13
フェイズ2	3.99	92.13	16	3.62	1.67
フェイズ3	0.84	77.78	8	2.83	1.24

③パーツ A の窪み埋め操作 (青色)

	RR	DET	maxL	L	ENTR
フェイズ1	1.18	92.02	15	3.79	1.63
フェイズ2	1.47	93.81	12	4.35	1.97
フェイズ3	3.74	95.11	13	4.39	1.98

④パーツ A の斜め置き操作 (紫色)

	RR	DET	maxL	L	ENTR
フェイズ1	0	NA	0	0	NA
フェイズ2	0.35	91.53	5	2.98	1.27
フェイズ3	0.25	82.22	4	2.49	0.87

図3. 上: 洞察問題における参加者 2 名のパーツ操作の対応関係 (CRP). 両参加者間で共通して見られた部分を色のプロットで示す (黄色: ②パーツ A・B の縦横操作、青色: ③パーツ A の窪み埋め操作、紫色: ④パーツ A)。赤の点線の交点は、④の操作の重要性に両参加者が顕在的に気づいたタイミング (880 秒) を示す。赤の斜線はフェイズ 2 の動作のリード・フォロワー関係を区分するための対角線を示す。下: 2 名のパーツ操作の対応関係の定量化指標の各フェイズの値 (CRQA)。

右下にこのプロットが見られないことから、参加者 2 が④の操作を行い、参加者 1 がそれを引き継ぐという逆方向の関係は確認されなかった。フェイズ 2 の④の操作は、参加者間で双方向に影響を与え合いつつ行われることはほとんど無く、ある参加者から他の参加者に一方向に引き継がれる形で行われていた。最後に、フェイズ 3 では、制約の一種である②の操作 (黄色) を共通して営む頻度が他フェイズと比べて大きく減少し

た様子、④のパーツ操作の重要性に参加者らが顕在的に気づくタイミング (880 秒) の前から④の操作 (紫のプロット) が時折確認される様子、が見られた。さらに④の重要性に気づいた後では、ほぼ④の共通操作 (紫プロット) のみが確認され、また対角線の左上・右下双方にプロットが確認された。以上は、④の操作の顕在的な発見後では、主に④の操作のみが両者の間で共通して行われること、参加者 1 が行った操作を参加者 2 が引き継ぐ形と参加者 2 が行った操作を参加者 1 が引き継ぐ形との、双方向に影響を受けつつ操作が営まれたことを示す結果である。

なお、以上の結果は、CRP の定量化手法である CRQA (図 3 下) を確認した場合も、同様の傾向が確認された。表の数値より、②のパーツ操作がフェイズ 1、2 で活発に営まれる一方で、フェイズ 3 で著しく減少する様子、④のパーツ操作がフェイズ 1 では全く営まれず、フェイズ 2、3 で相対的に多く営まれる様子が確認された。特に、制約の顕在的な気づきよりも前に潜在的に動作レベルでそのやり取りを行っていた様子、このやり取りを潜在的に行った際と顕在的に行った際とでは、参加者間の対応の方向性が異なる様子 (潜在時では一方向、顕在時では双方向) を抽出出来た点に、本解析の意義が存在する。

### 3. 2. 他の課題への適用

紙面の都合上仔細は省略するが、本研究では、他にペアでアイデア生成課題に取り組む場面 (創造的な美術館の提案)、4 名 1 組のグループで絵画制作を行う場面の 2 つを対象とし、CRP/CRQA を適用している。例えば、アイデア生成過程では、アイデアの検討内容 (複数の観点) の大まかな変遷とその統合の様相を CRP/CRQA により可視化・定量化することが出来ている。以上の結果についても、発表においては仔細に説明を行う予定である。

## 4. 今後の展望と課題

以上のように本研究では、複数名による創造活動の相互作用過程に CRP/CRQA を適用する有効性を具体的な事例と共に示した。一方で、今後検討を継続すべき点、発展して検討を行うべき点が複数存在するのも事実である。例えば、有意性検定を可能とする人数を対象にした検討を行う点、相互作用過程の定量化指標の値と、生成された創作物の特徴や評定 (e.g., Finke et al., 1996 の新奇性・有用性評定) との関係を回帰モデルや線形混合

モデル等により表現して相互作用過程の影響を検討する点、実験・フィールド双方を含む多様な創造活動場面に適用して有効性の検討を行う点を、今後の展望として挙げる事が出来る。

## 文献

- Bailey, D. (1980). *Improvisation*. Nottingham: Moorland Publishing.
- Finke, R. A., Ward, T. B., & Smith, S. M. (1996). *Creative cognition: Theory, research, and applications*. MIT press.
- Glăveanu, V. P. (2013). Rewriting the language of creativity: The Five A's framework. *Review of general psychology*, 17(1), 69-81.
- 開一夫・鈴木宏昭.(1998). 表象変化の動的緩和理論: 洞察メカニズムの解明に向けて. *認知科学*, 5(2), 2\_69-2\_79.
- Ishiguro, C., & Okada, T. (2021). How does art viewing inspires creativity?. *The Journal of Creative Behavior*, 55(2), 489-500.
- 清河幸子・伊澤太郎・植田一博. (2007). 洞察問題解決に試行と他者観察の交替が及ぼす影響の検討. *教育心理学研究*, 55(2), 255-265.
- 児玉謙太郎・清水大地・安田和弘 (2021). 非線形時系列解析による動作の質の評価と表現: 医療・スポーツ分野への応用. *バイオメカニズム学会誌*, 45(4), 227-238. [https://doi.org/10.3951/sobim.45.4\\_227](https://doi.org/10.3951/sobim.45.4_227)
- Marwan, N. (2008). A historical review of recurrence plots. *The European Physical Journal Special Topics*, 164(1), 3-12.
- Okada, T., & Simon, H. A. (1997). Collaborative discovery in a scientific domain. *Cognitive science*, 21(2), 109-146.
- Sawyer, R. K. (2006). Educating for innovation. *Thinking skills and creativity*, 1(1), 41-48.
- 清水大地・岡田猛. (2013). ストリートダンスにおける即興的創造過程. *認知科学*, 20(4), 421-438.
- 清水大地・児玉謙太郎・岡崎俊太郎・藤原健.(2024). シンクロする人々: 個人間の身体的同期に関する解析手法のレビュー. *認知科学*, 2023-063.
- Webber Jr, C. L., Marwan, N., Facchini, A., & Giuliani, A. (2009). Simpler methods do it better: Success of Recurrence Quantification Analysis as a general purpose data analysis tool. *Physics Letters A*, 373(41), 3753-3756.
- Zbilut, J. P., Giuliani, A., & Webber Jr, C. L. (1998). Detecting deterministic signals in exceptionally noisy environments using cross-recurrence quantification. *Physics Letters A*, 246(1-2), 122-128. [https://doi.org/10.1016/S0375-9601\(98\)00457-5](https://doi.org/10.1016/S0375-9601(98)00457-5)