多様な計測対象と計測機器に対応したデータ管理サーバに関する研究

Study of a Data Management Server for Various Measurement Domains and Measuring Tools

村山　諄 [1*]　寺内　大晴 [2]　舘　伸幸 [2]　永井　孝 [3]
山下　泰樹 [4]　召田　優子 [5]　池田　京子 [6]　小畑　朱実 [7]
山口　道子 [7]　谷　友博 [7]　香山　瑞恵 [2]
Jun MURAYAMA[1] Taisei TERAUCHI[2] Nobuyuki TACHI[2] Takashi NAGAI[3]
Yasuki YAMASHITA[4] Yuko MESUDA[5] Kyoko IKEDA[6] Akemi OBATA[7]
Michiko YAMAGUCHI[7] Tomohiro TANI[7] Mizue KAYAMA[2]

[1] 信州大学大学院総合理工学研究科
[1] Graduate School of Science & Technology, Shinshu University
[2] 信州大学工学部
[2] Faculty of Engineering, Shinshu University
[3] ものつくり大学技能工芸学部
[3] Faculty of Technologists Institute of Technologists
[4] 長野県工科短期大学校
[4] Nagano Prefectural Institute of Technology
[5] 国立高専機構長野高専
[5] National Institute of Technology Nagano College
[6] 椙山女学園大学
[6] Sugiyama Jogakuen University
[7] 武蔵野音楽大学
[7] Musashino Academia Musicae

Abstract: The purpose of this study is the proposal of a data management server which is compatible with different measurement domains and tools. We discussed metadata related to measurement, designed a server to reflect the proposed metadata, and implemented it using a contents management system. The proposed data management server demonstrated its ability to comprehensively manage the data handled by the previous data management servers. Furthermore, by applying it to the field of singing research, we tested the feasibility of extending it to new research areas and the effectiveness of the no-code data visualization feature. Future work will include the application of the system to other research areas and the extension of its functionality.

1　はじめに

これまで, 様々な研究対象のセンサデータを管理するためのデータベースや, データ管理サーバに関する研究が行われてきた [1, 2, 3, 4, 5, 6]．例えば, 井上ら [1] によるスラックラインのデータ管理サーバ, Luo ら [2] や伊藤ら [3] による歩行のデータに関連するデータ管理サーバ, 山下ら [5] による歌唱のデータベース, 小山ら [4] や Jeong ら [6] による橋梁のモニタリングを目的としたデータベースなどの構築が報告されている．

これらの先行研究では, センサデータと対象のメタデータを管理するデータベースや, それらのデータの登録や検索, 可視化等の機能を持つデータ管理サーバを構築している．本稿では, データベースとデータ管理サー

*連絡先：信州大学大学院総合理工学研究科
〒 380-0928 長野県長野市若里 4-17-1
E-mail: 22w2106a@shinshu-u.ac.jp

バをデータ管理サーバ等と称す.

データの管理方法やサーバの機能は類似しているが,それぞれで特定の計測対象とそれに対応した計測機器で計測したデータを対象としている. 加えて, 先行研究の計測対象と計測機器はデータ管理サーバ等の設計時に定めたもののみを対象としている. そのため, データ管理サーバ等の構築以降の計測対象や計測機器の追加には対応していない研究が多い. それに対して, 前述の伊藤らの研究では, 対応する計測機器の拡張を目指し,データ管理サーバ等構築後の計測機器の追加に関する機能を実装している.

しかし, 伊藤らのデータ管理サーバ等で新たな計測機器を追加するためには, データ管理サーバ等のフレームワークに関するプログラミングが求められる. データ管理サーバ等に関するフレームワークやプログラミングについて, サーバを維持管理する研究者（サーバの開発者以外）が理解しているとは限らない. そのため, サーバを維持管理する研究者によるサーバの拡張が実質的に困難であるという課題が存在する.

特定の計測対象とそれに対応した計測機器に依らない汎用的なデータ管理サーバ等に関する研究は少ない.ゆえに, 汎用的なデータ管理サーバの設計や実装を活用し, 新規分野への適用を検討した研究も少ない.

2　研究目的

本研究の目的は, 多様な計測対象と計測機器に対応した汎用的なデータ管理サーバの実現である.

具体的には, 次の 3 点, 1) 多様な計測対象に適用する提案サーバの設計, 2) 特定の計測対象に対応する計測機器を追加可能な提案サーバの設計, 3) 計測対象と計測機器をノーコードで登録でき, 計測データを検索可能なインタフェースの実装, を実現する.

本研究におけるリサーチクエスチョン (RQ) を以下に示す. 実現する 3 点については,RQ①,RQ②,RQ③とし, 提案データ管理サーバ（以下, 提案サーバ）の適用可能性については RQ④とする.

RQ① 多様な計測対象に適用可能なデータ管理サーバはどのように設計されるか

RQ② 多様な計測機器に追加が可能なデータ管理サーバはどのように設計されるか

RQ③ 多様な計測対象と計測機器に対応した, ノーコードでデータ登録･検索するためのインタフェースはどのように設計・実装されるか

RQ④ 提案サーバの新規分野への適用可能性はあるか

3　提案サーバの設計

本章では, 提案サーバの設計について述べる. 3.1 節でメタデータを整理し, 3.2 節で内部設計の成果を示し, 3.3 節で外部設計の成果を示す.

3.1　メタデータの整理

提案サーバでは, 計測の対象と, 計測に利用する機器, 計測されたデータと, 目的に応じて計測結果を処理した解析データを管理する. 本節では計測対象と計測機器, 計測・解析データのメタデータを整理する.

3.1.1　計測対象データ群

計測対象とは, 計測の対象となるドメインを指す. 計測対象データは, ドメインに関連するメタデータのことである. 例えば, 被験者や構造物などのメタデータが計測対象データに相当する. 被験者のメタデータは, 被験者名や年齢, 性別等である. 構造物のメタデータは, 建物名や築年数, 住所等である.

3.1.2　計測機器データ群

計測機器とは, 計測に使用されるデバイスやセンサのことである. 計測機器データ群には, 計測機器データとセンサデータが含まれる. 計測機器データは. 計測機器に関連するメタデータである. 計測機器のメタデータは, 名称や型番等である. センサデータは, センサに関連するメタデータである. センサのメタデータは, 型番や測定可能なパラメータ等である. 測定可能なパラメータとは, 例えば, 速度や温度が相当する.

3.1.3　計測・解析データ群

計測・解析データ群には, 計測データと解析データと評価が含まれる. 計測データとは, 計測機器から出力されるデータであり, 数値や画像, 音声, 動画等が相当する. 計測データのメタデータは, 計測日時, 計測場所等である. 解析データとは, 計測データを計測対象に応じた処理を施したデータである. 解析データのメタデータは, 解析者, 計測データを加工した結果やそれらを集約した結果である. 評価のメタデータは, 評価者や解析データを評価した結果等である.

3.2　内部設計

3.1 節のメタデータをもとに, 提案サーバの内部設計の成果を示す.

3.2.1 設計方針

RQ①,RQ②に対し, 多様な計測対象と計測機器に対応し, 先行研究と同程度の機能を提供できるように内部設計した．提案サーバのクラス図を図 1 に示す．図 1 の緑線枠が計測対象データ群, 青線枠が計測機器データ群, 赤線枠が計測・解析データ群を示す．

ここでは, 個々の計測対象や計測機器に共通する属性のみを有するクラスを設計した．利用者がこのクラスを用いてオブジェクトを生成する際に, 共通する属性以外の属性は, 利用者が追加できるようにした．また, 計測データに共通したメタデータを抽出し, 新しいクラスを設計した．

3.2.2 計測対象データ群に関連するクラス

計測対象データ群は, 計測対象クラスで構成される．計測対象クラスは, 多様な計測対象に対応することを目的に設計した．この計測対象クラスは, 名称のみを属性とし, それ以外の属性は利用者が追加できる．これにより, 多様な計測対象に適用する設計を実現する．

3.2.3 計測機器データ群に関連するクラス

計測機器データ群は, 計測機器クラスとセンサクラスで構成される．計測機器クラスは, 多様な計測機器に対応することを目的に設計した．計測機器クラスは, 名称と型番を共通の属性とし, それ以外の属性は利用者が追加できる．センサクラスは, 名称と型番を属性とし, それ以外の属性は利用者が追加できる．計測機器クラスとセンサクラスの関連により, 計測機器に搭載されているセンサが不明な場合や存在しない場合, 複数の場合にも対応できる．また, センサは 1 つ以上の計測機器に搭載される．これにより, 特定の計測対象に対応する計測機器を追加可能な設計を実現する．

3.2.4 計測・解析データ群に関連するクラス

計測・解析データ群は, 計測イベントクラスと計測データクラス, 解析データクラス, 評価クラスで構成される．計測イベントクラスは, 複数の計測データとメタデータをまとめたクラスで, ここでの計測イベントとは, データを取得するための計測行為を指す．このクラスは, 複数の計測データを集約しており, イベント名や計測日時, 計測場所を属性とした．計測データクラスは, データ名と計測機器, 計測データを属性とした．解析データクラスは, 解析者, 解析データ, 解析日時を属性とした．評価クラスは, 評価者, 評価実施日を属性とした．

計測データは,1 つの計測イベントに含まれる．計測イベントは,1 つ以上の計測データで構成される．計測イベントは 0 以上の解析データを有することができ, 解析データは解析先として 1 つの計測イベントを有する．解析データは 0 以上の評価を有することができ, 評価は評価先として 1 つの解析データを有する．

計測イベントクラスと計測対象クラスの関連により, 複数の計測対象が存在する計測イベントと, 対応する計測イベントのない計測対象のみの登録に対応できる．計測データクラスと計測機器クラスの関連により, 複数の計測機器が存在する計測データと, 対応する計測データのない計測機器のみの登録に対応できる．

3.3 外部設計

3.3.1 設計方針

3.2 節での内部設計に対応し,RQ③を満たすように外部設計した．設計対象は, 提案サーバの利用者による計測対象と計測機器の追加と, それに関連する計測データの検索のためのインタフェースである．データ登録のインタフェースでは, 共通の属性とそれ以外の任意の属性をノーコードで登録可能である．また, データ検索のインタフェースでは, クラスの属性やクラス間の関連に基づく検索をノーコードで可能である．

3.3.2 データ登録のインタフェース

データ登録のインタフェースでは, 各種データを登録する．このインタフェースによって, 利用者はノーコードでデータを登録できる．登録するデータは内部設計で提示したクラスのデータであり, それぞれの固有の属性と任意の属性を登録する．計測対象や計測機器, データによって固有の属性は異なるが, 固有の属性と任意の属性という組合せは共通しており, 提供するインタフェースの構造としては登録するデータに依らず同一である．そのため, 固有の属性と任意の属性という組合せをテンプレートとし, 計測対象, 計測機器, センサ等の種類に応じて適宜インタフェースを拡張する．固有の属性はデータの種類によって変化し, 任意の属性を追加する機能をテンプレートが持つ．

テンプレートは入力フォームを有する．入力フォームでは, 名称などの文字列の属性であれば文字の入力, 日時に関する属性であればカレンダーから日時を選択する．関連するオブジェクトを選択する場合は, 関連クラスから生成されたオブジェクトの一覧から対象のオブジェクトを選択する．例えば, 計測機器データの登録時には, センサクラスから生成されたセンサオブジェクトの一覧から, その計測機器に搭載されているセンサを選択する．任意の属性を追加する場合は, 属性の追加をするフォームから属性名とその値を入力する．

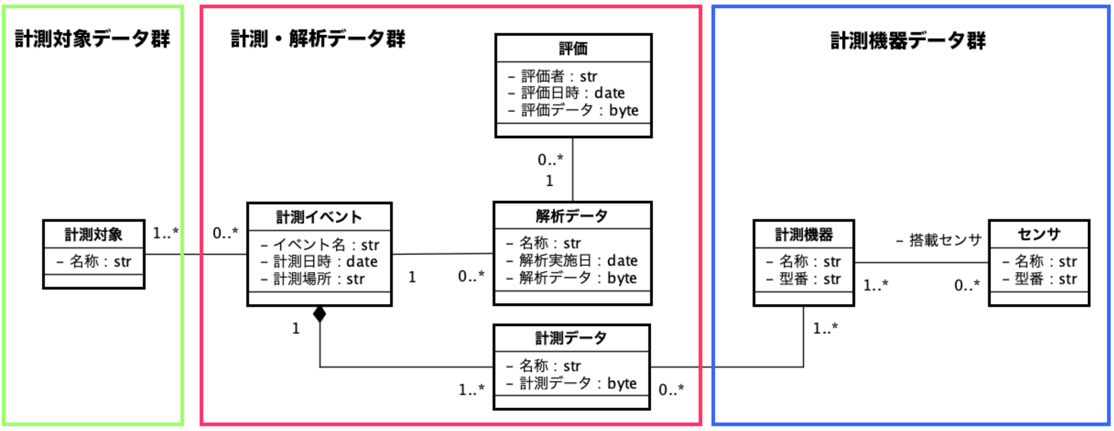


図 1: 提案サーバのクラス図

このインタフェースを使用することで, 固有の属性と任意の属性をもつ計測対象, 計測機器, センサなどのデータをノーコードで登録できる.

3.3.3 データ検索のインタフェース

データ検索のインタフェースでは, 計測データを検索する. このインタフェースによって, 利用者はノーコードでデータを検索できる.

3.2.4 項にて, 計測イベントクラスは計測日時, 計測場所, 計測データ等の計測に関するデータを有し, 計測対象との関連を持つ設計とした. 検索インタフェースでは, 計測日時, 計測対象, 計測機器のパラメータから計測データを検索できる. 計測日時, 計測対象, 計測機器は全て計測イベントクラスの属性もしくは関連で参照することのできるデータである. この計測イベントクラスの設計を利用してデータを検索する.

データ検索インタフェースは検索フォームを有する. 検索フォームでは, 計測日時をカレンダーから選択する. また, 計測対象と計測機器は名称等の固有の属性に加え, 追加した任意の属性と値を入力する. 任意の属性で検索する場合, 任意の属性を持つか否か, または任意の属性と一致する値で検索することができる.

これにより, 計測日時, 計測対象, 計測機器とそれらの属性から計測データをノーコードで検索できる.

4 提案サーバの実装

3 章の成果をもとに, 各クラスとインタフェースをコンテンツマネジメントシステム（以下,CMS）である Plone[8] を使用して実装する.

図 2: 計測機器の登録ページ

4.1 データ登録機能

計測対象, 計測機器, センサの登録時に任意の属性を追加できる機能を実装した. データ登録ページにはこの機能が適用される. 計測機器の追加に適用した登録ページを図 2 に示す.

Plone には, デフォルト機能としてデータ登録機能が備わっている. しかし, デフォルト機能ではデータの登録の際に任意の属性を追加することができない. また, クラスに該当するコンテンツタイプに属性を追加する機能は存在するが, データ登録時にコンテンツタイプを変更できず, 任意の属性も追加はできない.

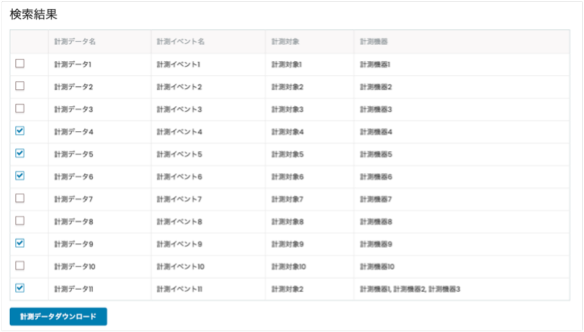
これに対して, 計測対象クラス, 計測機器クラス, センサクラスからオブジェクトを生成する際に, 固有の属性に加えて任意の属性を追加できるようにした. また,4.2 節のデータ検索機能のために, 属性をインデックスに追加するようにした.

4.2 データ検索機能

計測データを, 計測日時や計測場所, 計測対象の属性, 計測機器の属性の組合せで検索できる機能を実装した. データ検索機能を適用した検索ページを図 3 に示す.

データ検索機能は,Plone のデフォルトの検索機能を, 計測データの検索用に拡張した機能である. Plone の

図 3: 計測データの検索ページ


検索結果

	計測データ名	計測イベント名	計測対象	計測機器
☐	計測データ1	計測イベント1	計測対象1	計測機器1
☐	計測データ2	計測イベント2	計測対象2	計測機器2
☐	計測データ3	計測イベント3	計測対象3	計測機器3
☑	計測データ4	計測イベント4	計測対象4	計測機器4
☑	計測データ5	計測イベント5	計測対象5	計測機器5
☑	計測データ6	計測イベント6	計測対象6	計測機器6
☐	計測データ7	計測イベント7	計測対象7	計測機器7
☐	計測データ8	計測イベント8	計測対象8	計測機器8
☑	計測データ9	計測イベント9	計測対象9	計測機器9
☐	計測データ10	計測イベント10	計測対象10	計測機器10
☑	計測データ11	計測イベント11	計測対象2	計測機器1, 計測機器2, 計測機器3

計測データダウンロード

図 4: 検索ページの検索結果

デフォルトの検索機能では, オブジェクトの持つ属性での検索ができない．オブジェクトを属性から検索するためには, その属性をインデックスに追加する必要がある．この検索機能では,4.1 節で実装した, インデックスに属性を追加する機能を利用し, 属性で検索する．計測データは計測日時, 計測場所, 計測対象の各属性, 計測機器の各属性の 4 つの検索条件から検索できる．

これらの検索条件による検索結果はテーブル形式で図 4 のように表示される．テーブルには計測データの名称のほか, 計測データが含まれている計測イベントの情報や使用されている計測機器等の情報が表示される．

4.3 新規分野への適用

提案サーバの設計と実装を使用し, 新規分野へ適用し,RQ④について調査する．本研究では, 新規分野として歌唱研究を対象とした．本稿では歌唱研究向けのデータ管理サーバを歌唱サーバと呼称する．歌唱サーバの利用者は, 歌唱研究の研究者及び, 歌唱の指導者である．

4.3.1 歌唱サーバの内部設計

提案サーバの内部設計を歌唱研究に適用する．歌唱研究では, 歌唱者による歌唱時の音声データを主に使用する．歌唱研究の音声データは, 複数の被験者が, 各人 6 つの楽曲を各 2 回ずつ歌唱したものであり, 録音日時・場所が異なる．

録音日時，録音場所が計測イベントクラスの属性値となる．また, 計測データクラスは各人の 1 回ずつの録音データが該当し, それを計測イベントが集約する．解析データクラスは, 音声データの解析データとして解析対象区間と歌声の評価指標の音響特徴量を有する．計測対象クラスは, 歌唱者の名前や声種, 学生である場合は学年を有する．計測機器クラスは,IC レコーダやウェアラブルデバイスが該当する．

4.3.2 歌唱サーバの外部設計

歌唱研究向けのインタフェース等を設計する．具体的には,3.3.2 項で示した登録ページの拡張と, データの可視化と比較を目的とした比較ページを設計する．

4.3.3 登録ページの拡張

3.3.2 項で示した登録ページでは任意の属性を追加できるようなインタフェースとした．歌唱研究向けの拡張として, データの複数登録を効率化するためのインタフェースに拡張する．拡張した登録ページ（以下, 歌唱登録ページ）を図 5 に示す．

デフォルト機能で音声データの登録するためには 1 回分の登録に 8 回の操作が必要である．1 人分のデータ登録にはこの操作を 12 回繰り返す必要がある．すなわち, 96 回の操作となる．

指導者が定めた収音方針により, 登録の際には, 録音日と被験者を選択し, 指定された楽曲向けのテンプレートに音声ファイルをアップロードする．これにより, 以下の操作で 1 人分の歌唱データが登録可能となる．すなわち, 16 回の操作となる．

1. 複数データ登録をクリック
2. 録音日を入力
3. 歌唱者を選択
4. 6 曲分以下の操作をする
    (a) 1 回目の 1 つの音声ファイルをアップロード
    (b) 2 回目の 1 つの音声ファイルをアップロード
5. 登録をクリック

4.3.4 比較ページの設計

比較ページでは,2 つの歌唱を比較可能にする．歌唱サーバでの計測データは 1 歌唱分の音声データである．解析データは, 音声データを特定の解析アルゴリズムで処理した結果であり, その音声データの音響特徴量等となる．比較ページでは, この特徴量と評価のための閾値を共に可視化する．

比較ページの例を図 6 に示す．図上部には音声データの音圧の時系列グラフとして可視化され, 図下部には

図 5: 歌唱登録ページ

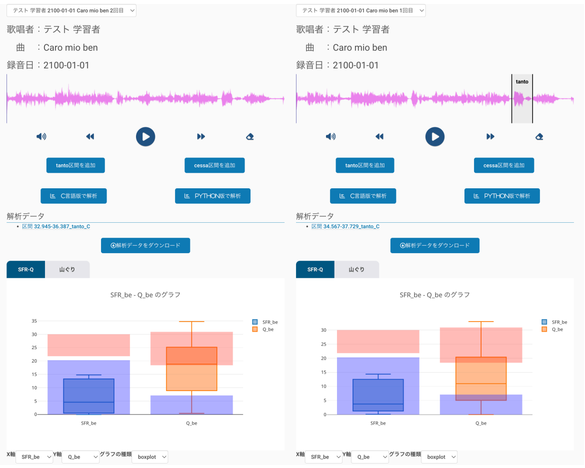


図 6: 比較ページ

解析データの音響特徴量が箱ひげ図として可視化されている．

5 評価結果と考察

本章では RQ①, ②, ③, ④ についてそれぞれ評価方法およびその結果と考察について述べる．

5.1 RQ①と RQ②

3.2.2 項にて, 計測対象データ群に関連するクラス設計をした．クラス設計では, 計測対象のメタデータを有する計測対象クラスを設計した．この計測対象クラスは, 計測対象に共通する属性として名称のみを有し，それ以外の計測対象に依る属性は利用者が登録する設計とした．これにより多様な計測対象に対応した．

3.2.3 項にて, 計測機器データ群に関連するクラス設計をした．クラス設計では, 計測機器のメタデータを有する計測機器クラスと, センサのメタデータを有するセンサクラスを設計した．計測機器クラスとセンサクラスは共に, 共通する属性として名称と型番を有し，それ以外の計測機器やセンサの属性は利用者が登録する設計とした．これにより多様な計測対象に対応した．

よって, 内部設計を RQ①と RQ②への回答とする．

5.2 RQ③

3.3.2 項で, データの登録のインタフェースを設計をした．データ登録のインタフェースは, 固有の属性と任意の属性を組合せたテンプレートによって表現した．このテンプレートは入力フォームを有し, フォームを使用することによりノーコードでデータを登録できる．

3.3.3 項でデータの検索のインタフェースを設計した．データ検索のインタフェースは, 各クラスの属性へのアクセスが可能であり, 検索フォームを有する．このフォームの使用により, 計測日時, 計測対象, 計測機器等の条件からノーコードでデータを検索できる．

よって, 外部設計を RQ③への回答とする．

5.3 RQ④

提案サーバの新規分野への適用として, オープンデータと歌唱分野を対象とした．オープンデータでは, 内部設計と外部設計の適用について述べる．歌唱分野では, 内部設計と拡張した外部設計の適用について述べる．

5.3.1 オープンデータへの適用

本項では, オープンデータに対する提案サーバの内部設計と, 外部設計の機能の適用可能性を評価する．提案サーバで管理対象とするデータとして, オープンデータを使用した．多様な計測対象と計測機器への適用を検証するため, 気象庁 [9] の気象等のデータと PhysioNet[10] の生体信号のデータを選択した．気象庁のデータは, 計測対象, 計測機器, センサが多様である上に, 計測データも時系列データや格子点データなどのデータが存在する．PhysioNet のデータは,1 つの測定可能なパラーメータを異なる計測機器で計測したデータが存在する．計測データと計測対象, 計測機器, データ数を表 1 に示す．

これらの計測機器の中で, 搭載されているセンサを確認できたのは地上気象観測装置のみである．地上気象観測装置は, 観測装置とそれに搭載されているセンサに関する情報を評価対象とした．また, 電気伝導度水温水深

表 1: 使用する計測データの計測対象, 計測機器とそのデータ

計測対象	計測機器	計測データ	データ数
気象	地上気象観測装置	日別平年値	10
海洋	電気伝導度水温水深計	海域平均海面水温データ	10
海洋	二酸化炭素観測装置	海面の二酸化炭素・pH の分布	10
地震	地震観測装置	観測点の加速度	10
人間	心電計	直接心電	10

表 2: 使用する計測データの計測対象と計測機器

計測対象	計測機器	計測データ
人間	IC レコーダー	音声データ
人間	ウェアラブル呼吸センサ	呼吸データ
人間	ビデオカメラ	映像データ

計と心電計では使用された計測機器を確認することができなかった．電気伝導度水温水深計は, 計測機器の製造元は明記されていたため, 製造元で取り扱っている同様の計測機器の情報を利用した．心電計は,PhysioNet 内で Recording information として提示された計測機器の情報を利用した．

これらのデータを提案サーバに登録し, 登録した計測データを検索する．データの登録には,4 種の計測対象,5 種の計測機器, 各計測機器につき 10 の計測データがある．それぞれ提示されているメタデータと共に登録可能かを評価した．データの検索では, 登録した 50 の計測データについて, 計測対象, もしくは計測機器で検索し, 正しい結果が得られるかを評価した．

評価の結果, データの登録では 4 つの検索対象,5 つの計測機器,50 の計測データがすべて登録できることを確認した．また, データの検索では登録した 50 のデータに対して, それぞれの計測対象と計測機器で検索し, すべて検索できることを確認した．これらの結果からデータの登録と検索では, 計測対象や計測機器に関わらず全てのデータを管理できることを確認した．

5.3.2 歌唱研究への適用

本項では, 歌唱研究に対する提案サーバの内部設計および, 拡張した外部設計の機能の適用可能性を評価する．

提案サーバの内部設計が, 歌唱研究で使用されるデータやメタデータに対応できるかを検証する．歌唱研究における計測対象, 計測機器, 使用するデータを表 2 に示す．計測対象と計測機器の属性例を表 3 に示す．

また, 拡張した登録ページとデフォルトの登録機能とを比較・検証する．拡張した登録ページの比較・検証にあたり, 歌唱サーバを利用しており Plone のデフォルトの登録機能でのデータ登録の経験がある指導者 1 名を対象として実験した．登録に使用したのは 4 名分の歌唱データである．歌唱者 1 人あたり 6 曲を各 2 回歌唱している．歌唱者 4 名はそれぞれ A,B,C,D と呼称する．音声データは各回ごとにファイルが分割されており,1 名分で 12 データ,4 名分で 48 データである．この 4 名分のデータから,A と B の 2 名分をデフォルト機能で, 残りの C と D の 2 名分を拡張した登録ページによって登録する．検索ページから各々の登録ページにアクセスし, 必要なデータを登録できるか, また登録までにかかる時間を計測する．

歌唱サーバでは, 比較ページにて, 音声データの音響特徴量を可視化する機能を実装した．歌唱研究では, 音響特徴量の可視化にはプログラミングもしくは専用のツールが必要であった．そのため, 指導者自ら音響特徴量を可視化することができず, 解析者が可視化した音響特徴量を指導者が確認するという手順を取っていた．可視化の機能によって, 指導者自身によるノーコードでの音響特徴量の可視化を可能にした．

指導者 1 名に対して, 比較ページ内でデータの可視化ができるか実験した．可視化には各歌唱者の Caro mio ben を歌唱した, 指導前の音声データ 1 つと指導後の音声データ 1 つを使用した．また, 比較ページにアクセスしてから, 指導前後の音声データを可視化するまでにかかった時間を計測する．

歌唱研究でのデータとメタデータを整理した結果, 歌唱音声データ群, 歌唱者群, 解析群に分類された．歌唱音声データ群は計測イベントクラスと, 計測データクラスが対応し, 歌唱者群は計測対象クラス, 解析群は解析データクラスが対応した．この内部設計を使用して構築した歌唱サーバでは, 現在 15 名の歌唱者と 1223 の音声データとそのメタデータが蓄積されている．

歌唱登録ページによるデータ登録の実験結果を表 4 に示す．正常登録とは, 最終的に登録したデータにミスがない状態を指す．一度ミスがあった場合でもミスを修正した場合は正常登録として扱う．デフォルトの機能を使用した A,B のデータでは, 曲名の選択間違いや歌唱回数の選択漏れなどの登録時のミスがあった．被験者自身はこのミスに気づくことができず, 最終的にミスのあるデータが登録された．

一方で, 拡張した登録ページを使用した C,D のデータでは 2 つの音声ファイルの登録を忘れるミスがあった．しかし，被験者自身がこのミスに気づき，不足分のデータを追加で登録した．結果として, 最終的なデータに不足や間違いは無かった．

データの可視化の可否と可視化に要した時間を表 5

表 3: 計測対象, 計測機器のもつ属性例

計測対象：人間	計測機器：IC レコーダー	計測機器：ウェアラブル呼吸センサ
名前	名称	名称
声種	型番	サンプリングレート
所属	量子化ビット数	計測箇所
入学年月	サンプリングレート	計測方法
指導者		

表 4: 正しく登録できたデータの数とその所要時間

使用した機能	歌唱者	正常登録	所要時間
デフォルト機能	A	4/6	26:28
デフォルト機能	B	5/6	19:31
登録ページ	C	6/6	04:17
登録ページ	D	6/6	03:23

表 5: データの可視化と所要時間

歌唱者	可視化	所要時間
A	2/2	04:03
B	2/2	02:26
C	2/2	02:29
D	2/2	03:04

に示す. 実験結果から, 今回使用した全データにおいて可視化が可能であることを確認することができた.

RQ④に関して考察する．オープンデータへの提案サーバの適用では, 使用したデータ全てを登録, 検索できた．歌唱研究への適用では, 全てのデータを登録できた．また, 外部設計では登録ページの拡張と比較ページでの解析データの可視化を実現した．拡張した登録ページでは, デフォルト機能と比較してデータ登録時間が短縮されることが示唆された．比較ページでは, ノーコードで登録された計測データの可視化が可能であることが示唆された．以上から, 提案サーバの新規分野での適用可能性は高いと言える．これを本研究の RQ④への回答とする.

6 おわりに

本研究の目的は, 多様な計測対象と計測機器に対応したデータ管理サーバの実現である．本稿では, データ計測時に関連するメタデータを整理し, それを反映した提案サーバを設計した．設計した成果をもとに,CMS を使用してサーバの実装をした．多様な計測対象と計測機器に対応するため, それぞれで共通した属性のみを整理し, 固定の属性と任意の属性の組合せにより提案サーバを設計した．また, ノーコードでの登録と検索を可能にするため, インタフェースを設計した．2 つの新規分野 (オープンデータと歌唱研究) の場合，提案サーバの適用可能性は高いことが示唆された.

今回の提案サーバの検証では, 計測対象ごとにサーバインスタンスを作成していた．しかし, 設計上は 1 つのインスタンス内で複数の計測対象を扱うことができる．複数の計測対象を扱うことで, データの一元管理ができ, サーバ構築の負担軽減につながる可能性がある.

今後は, その他の研究分野への適用と汎用的な可視化機能の実現を進める.

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP22K00237 の助成を受けた.

参考文献

[1] 井上雄大, 香山瑞恵, 永井孝: スラックラインを対象としたスキルサーバの設計・構築, 教育システム情報学会研究報告, Vol. 34, No. 6, pp. 185–193 (2020)

[2] Yue Luo, Sarah M. Coppola, Philippe C. Dixon et al.: A database of human gait performance on irregular and uneven surfaces collected by wearable sensors, *Scientific Data*, Vol. 7, pp. 219 (2020)

[3] 伊藤嘉浩, 香山瑞恵, 永井孝: 多様な計測機器とポリメトリクスに対応した 歩行データ管理サーバの設計・構築, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 121, No. 341, pp. 43–50 (2022)

[4] 小山誠稀, 矢吹信喜, 福田知弘: 橋梁とセンサの連携データモデルに基づくデータベースの構築と検証, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), Vol. 77, No. 2, pp. 97–113 (2021)

[5] 山下泰樹, 村山諄, 香山瑞恵: 歌唱指導支援の検討に向けたデータベース環境の構築と解析提示方法, 情報処理学会音楽情報科学研究報告, Vol, 136, No, 22 (2023)

[6] Seongwoon Jeong, Yilan Zhang, Sean M. O'Connor et al.: A NoSQL data management infrastructure for bridge monitoring, *Smart Structures and Systems* Vol. 17. pp. 669–690 (2016)

[7] Open Geospatial Consortium, Sensor Model Language (SensorML), `https://www.ogc.org/standard/sensorml/` (参照 2024-03-15)

[8] Plone Foundation, What is Plone?, `https://plone.org/why-plone/what-is-plone` (参照 2024-03-15)

[9] 気象庁, 各種データ・資料, `https://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html` (参照 2024-03-15)

[10] PhysioNet, Databases, `https://physionet.org/about/database/` (参照 2024-03-15)

歌声の習熟度に関連する音響特徴量に関する基礎的検討 - 高周波域の特徴について -

A Fundamental Study of the Acoustic Features Related to the Classical Vocal Singing Proficiency: Features in the High Frequency Range.

寺内 大晴 [1]* 村山 諄 [2] 山下 泰樹 [3] 舘 伸幸 [1] 永井 孝 [4] 香山 瑞恵 [1]
Taisei Terauchi[1] Jun Murayama[2] Yasuki Yamashita[3]
Nobuyuki Tachi[1] Takashi Nagai[4] Mizue Kayama[1]

[1] 信州大学 工学部
[1] Faculty of Engineering, Shinshu University
[2] 信州大学大学院 総合理工学研究科
[2] Graduate School of Science & Technology, Shinshu University
[3] 長野工科短期大学校 情報エレクトロニクス学科
[3] Department of Information and Electronics, Nagano Prefectural Institute of Technology
[4] ものつくり大学 技能工芸学部
[4] Department of Manufacturing Technologists, Institute of Technologists

Abstract: The purpose of this study is to develop quantitative metrics based on acoustic features related to classical vocal singing proficiency. We have been exploring metrics that represent the quantitative proportion and sharpness of "singer's formants", frequency features specific to the singing voice. In this paper, we propose new metrics in the high frequency band of classical singing voice, and discuss the potential of the proposed metrics for singing voice evaluation.

1 はじめに

歌声の研究分野では, 歌唱力と音響特徴量の関係について長年に渡って検討が重ねられてきた. 本研究では, 声楽歌唱技術の習熟度（以下, 習熟度）と音響特徴量との関係性について焦点をあてているが, これについても多くの研究が存在している [1][2]. しかしながら, これらの先行研究の多くがオペラ歌手等のプロフェッショナルな歌い手（以下, プロ歌手）を対象としており, 声楽を学習する初学者の歌唱指導と音響特徴量の関係性については, 未だ議論が不十分であると言える. また, 初学者を対象とした歌唱指導においては, 歌声の評価を指導者の主観にゆだねており, 言語化が困難な指導となっている. 我々は, 歌声の周波数特性において特定の帯域に現れる Singer's formant と呼ばれる特徴 [1] に着目し, 音響特徴量に基づく評価指標を提案, 検証してきた [3]~[11].

本論文では, 2 章で既存の歌声評価指標の詳細と関連する先行研究を示し, 3 章では提案評価指標とそれについて 2 つのリサーチクエスチョン（以下, RQ）を示す. 4 章では RQ に対して行った 2 つの分析における分析条件を述べ, 5 章では 1 つ目の RQ に対して習熟度の異なる群間における提案評価指標の比較分析について考察し, 6 章では 2 つ目の RQ に対して歌唱指導前後における提案評価指標の比較分析について考察する.

*20t2106g@shinshu-u.ac.jp

2 歌声評価指標に関する先行研究

本章では, 本研究で用いる既存の歌声評価指標に関連する先行研究について述べる. 本研究で用いる歌声評価指標としての音響特徴量は, Singer's formant とそれを含むとされる 2.4~4.0 kHz の帯域（以下, Singer's formant 帯域）について, その帯域の周波数成分（以下, Singer's formant 帯域成分）の割合と鋭さを定量化したものである. これらは, 山辺ら及び佐久間らによって提案され [3]~[5], 歌唱の習熟度の評価に用いられてきた [3]~[11]. 以下, これらの音響特徴量の算出法について述べる.

2.1 周波数成分の割合

歌声データに対する高速フーリエ変換（Fast Fourier Transform: FFT）の結果に基づき，Singer's formant 帯域成分の割合を算出する．歌声データの FFT から，基本周波数と倍音がピークとして現れる．FFT の分析条件は，標本化周波数:44.1 kHz, FFT ポイント数:2048 ポイント，窓関数: ハニング窓とした．

音声波形の FFT の結果 $X(f)$ のパワースペクトル $P(f)$ を (1) 式で算出し，$P(f)$ から RMS 値を (2) 式で算出する．なお，RMS 値は，量子化ビット数が 16 bit である音声波形の振幅スペクトルに対して，振幅の最大値が 1 未満になるように変換した値である．

$$P(f) = 20\log_{10}\frac{|X(f)|}{2^{16}} \tag{1}$$

$$RMS(f) = 10^{\frac{P(f)}{20}} \tag{2}$$

0 kHz~4.0 kHz までの帯域の周波数成分のうち，Singer's formant 帯域成分の割合を SFR（Singer's Formant Ratio）とし，(3) 式で算出する．図 1 は SFR の考え方を図示したものである．縦軸は RMS 値，横軸は周波数をであり，グラフはプロ歌手による歌唱の例である．ここで，青矢印が 0 kHz~4.0 kHz までの帯域，赤矢印が Singer's formant 帯域を表す．SFR が大きいほど，Singer's formant 帯域に周波数成分が集中していることを表す．

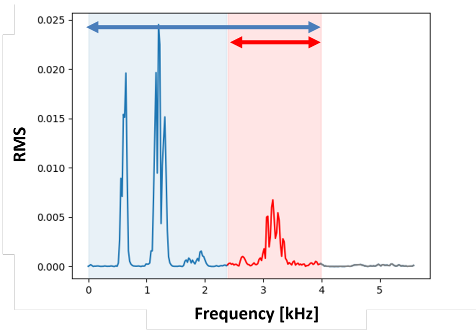


図 1: SFR の算出法

$$SFR = \frac{\sum_{f=2.4kHz}^{4.0kHz} RMS(f)}{\sum_{f=0kHz}^{4.0kHz} RMS(f)} \times 100 \tag{3}$$

2.2 周波数成分の鋭さ

本研究における周波数成分の強さとは，Singer's Formant 帯域成分が，特定の周波数にどれだけ集中しているかを表す．これを評価するための指標として，本節では，声道の共振特性を表す LPC スペクトル包絡線 (以下，LPC 包絡線) と，LPC 包絡線から算出される Q 値，2 凸について説明する．

2.2.1 LPC 包絡線

LPC 包絡線は以下の手順で求められる．

1. 音声波形にハニング窓をかける (以下，波形 x)
2. LPC 次数 12, FFT のサンプル数 N, 自己相関関数のサイズ τ として，波形 x の自己相関 r を (4) 式で求める

$$r(\tau) = \frac{1}{N-\tau}\sum_{k=0}^{N-1-\tau} x_k x_{x+\tau} \quad (\tau = 0, 1, \cdots, \tau_{max}) \tag{4}$$

3. 自己相関 r を用いて，Levinson-Durbin アルゴリズムから LPC 係数を算出する

2.2.2 Q 値

図 2 は，2.2.1 項に示した手順で求められた LPC 包絡線の例であり，習熟度の高い歌唱者の場合，Singer's formant 帯域にピークが形成される．このピークの鋭さを Q 値とし，(5) 式で算出する．f_a は Singer's formant 帯域においてピークに相当する周波数を，f_b, f_c（$f_b > f_c$）はピークの両側に-3 dB となる周波数を指す．Q 値が大きいほど周波数成分が狭い範囲に集中していることを表す．

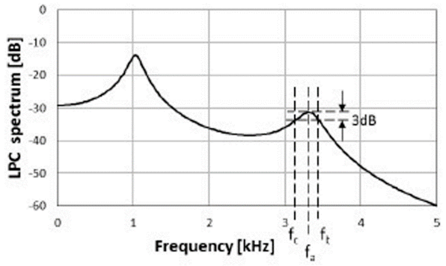


図 2: Q 値の算出法

$$Q = \frac{f_a}{f_b - f_c} \tag{5}$$

2.2.3 2 凸

声楽初学者の場合，Singer's formant 帯域成分が十分でなく，図 2 のような Singer's formant 帯域のピークが形成されにくい．そのため Q 値の算出が困難であることがわかっている [5]．そこで，Singer's formant 帯域のピーク（LPC 包絡線における 2 個目のピーク）とそのピークの直前にある谷との差を 2 凸とし（図 3），これを Q 値に代わる指標とする．

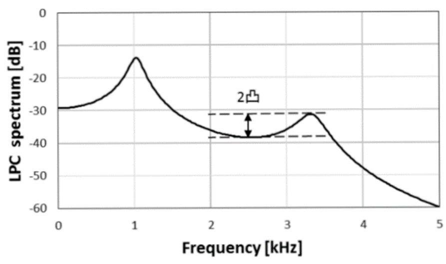


図 3: 2 凸の算出法

2.3 歌声評価指標と習熟度

2.1, 2.2 節に示した歌声評価指標は山下らの解析ツールで算出することができる [6]. この手法を使用した研究として, 野田らは, 学習者とプロ歌手の歌声分析から, これらの評価指標値の上昇が習熟度の向上に必要であることを示した [7]. また, 吉田らは, 学習者とプロ歌手が歌声評価指標によって区別可能であることを確認し, 解析ツールによる結果とプロ歌手へのヒアリングに基づき, 声楽における女声の「良い声」と「良くない声」を示す SFR, Q 値の閾値及び領域を仮定した [8][9]. さらに平井は, 男声においてこれらの閾値及び領域を検討し, 「良くない声」の領域を「非良領域」, 「良い声」の領域を「良領域」, 非良領域と良領域の間にある領域を「グレーゾーン」, 良領域より値が大きな領域を「上側領域」と定義した（表 1）[10]. これらの先行研究によって, SFR, Q 値, 2 凸を用いて歌声の習熟度を定量的に評価できるようになった. これら以外の評価指標は, LPC 包絡線の形状 [11] や呼吸時における体表面の伸縮波形 [12] の観点が検討が継続されている.

3 研究目的

本章では, 本研究で提案する歌声評価指標, 本研究における RQ を述べる.

2.2.3 項において, 初学者は Singer's formant 帯域成分が不十分なことから, Q 値の代わりに 2 凸が評価指標として用いられることを述べた. しかしながら, Singer's formant 帯域に LPC 包絡線の極大点が存在しない場合は, Q 値, 2 凸共に導出することができない. そのため, 2 凸を用いても評価できない学習者に対して, 習熟度が向上する過程を 0 でない値でフィードバックできる評価指標が必要である.

3.1 提案評価指標

前述の課題を解決するために, Singer's formant 帯域よりも高い周波数帯を対象とした新たな評価指標を提案する. ここでは, 2.4~5.6 kHz の帯域成分のうち, Singer's formant 帯域成分の割合を SFRH（SFR-High: 高周波数帯域における SFR）とし, (6) 式で算出する. 図 1 は SFRH の考え方を図示したものであり, 青矢印が 2.4 kHz~5.6 kHz までの帯域, 赤矢印が Singer's formant 帯域を表す. SFRH が大きいほど, 高周波数帯域の中で Singer's formant 帯域に周波数成分が集中していることを表す. なお, Singer's formant 帯域の帯域幅と 4.0~5.6 kHz の帯域幅はユークリッド的に等しくなるように帯域幅を設定した. これにより, Singer's formant 帯域成分の合計と 4.0~5.6 kHz の帯域成分の合計が等しいとき SFRH は 50 になる. SFR と同様に Singer's formant 帯域成分が多いことが望ましいため, SFRH は 50 以上であることが望ましい.

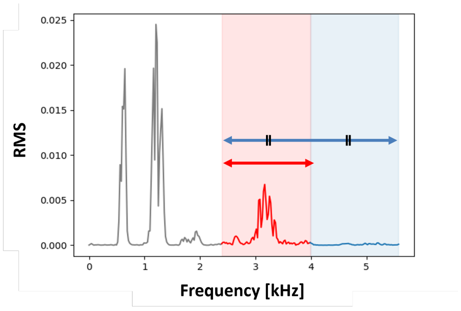


図 4: SFRH の算出法

$$SFRH = \frac{\sum_{f=2.4kHz}^{4.0kHz} RMS(f)}{\sum_{f=2.4kHz}^{5.6kHz} RMS(f)} \times 100 \qquad (6)$$

3.2 RQ

本研究の目的は, Q 値や 2 凸を用いて歌声を評価できない学習者に対して, SFRH による歌声評価が可能かを検討することである. この目的を達成するために, 以下の 2 つの RQ を設定した.

RQ.1 声楽学習者とプロ歌手とで, SFRH の分布に有意な差があるか

RQ.2 SFRH の上昇は学習者の習熟度の向上を表せるか

4 分析条件

本章では, 本論文の 5 章と 6 章で行う分析に共通する分析対象楽曲, 収音条件, 被験者について述べる.

4.1 分析対象楽曲と歌声収音条件

分析に使用する楽曲は, “Caro mio ben”（作詞：不明, 作曲：Tommaso Giordani）とした. 各被験者は図 5 の

表 1: 歌声評価指標の閾値と領域

＼声の印象（領域） 歌声評価指標＼		良くない声 （非良領域）	（グレーゾーン）	良い声 （良領域）	（上側領域）
男声	SFR	0 ～ 20.3		21.8 ～ 30.0	
	Q 値	0 ～ 7.1		18.4 ～ 30.9	
女声	SFR	0 ～ 9.9		14.4 ～ 24.0	
	Q 値	0 ～ 5.6		18.0 ～ 34.7	

赤括弧で囲まれた区間を独唱する．収音は音の反響しない静かな部屋で行い, レコーダはLS-P2（OLYMPUS）を使用した．被験者にはレコーダから 2 m 離れた正面立位で歌唱させた．音声はサンプリング周波数 44.1 kHz, 量子化ビット数 16 bit で収音した．分析対象とするデータは, 声楽指導者が録音した．

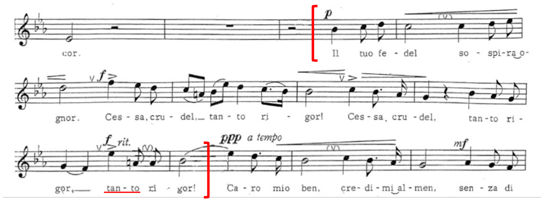


図 5: Caro mio ben の譜面と歌唱区間

4.2 被験者のプロフィール

分析対象とした歌声は, オペラ歌手等のプロフェッショナルな歌い手（以下, プロ歌手/pro）の歌唱, 音楽大学声楽科在籍の学習者（以下, mu）, 教育学部在籍で音楽教育を専修する学習者（以下, ed-A）, ed-A とは異なる大学の教育学部在籍で音楽教育を専修する学習者（以下, ed-B）の歌唱とした（表 2）. mu 及び ed-A, B の各被験者については, 各大学において歌唱指導を開始した直後の期間に収音した歌声データ（以下, 指導前データ）と, 歌唱指導を定期的に受けた後に収音した歌声データ（以下, 指導後データ）を分析対象とした．指導期間は, mu と ed-B が 8 か月, ed-A が 22 か月だった．本研究では, 時間の経過と習熟度の向上は一致していると仮定する．なお, 習熟度は pro, mu, ed-A, B（A, B は同程度）の順に高く, 以下, pro は「習熟度が高い群」, mu は「習熟度が中程度の群」, ed-A, B は「習熟度が低い群」とも表現する．

5 声楽の学習者とプロ歌手の比較

本章では, RQ.1 を検討する．歌唱区間から図 5 の赤下線部“tanto”の/a/区間を抽出し, SFRH を算出した．その結果から, 学習者とプロ歌手の SFRH 分布を比較することで, SFRH によって学習者とプロ歌手が区別可能かを考察する．

表 2: 被験者の声種と人数

被験者群＼声種	男声	女声
pro	6	8
mu	2	8
ed-A	2	2
ed-B	0	5

5.1 分析手法

各被験者の歌声データの/a/区間において算出した SFRH 分布の中央値を, 群毎に集約し比較した．なお, mu, ed-A, B については, 指導前データを使用した．

5.2 分析結果

図 6 に, 各群の SFRH の分布を箱ひげ図で表したものを示す．図中の橙実線は分布の中央値, 赤実線は SFRH が 50 の位置を表す．

Dunn-Bonferroni 法による多重比較（有意水準 1%）の結果,（pro, ed-A）,（pro, ed-B）において有意な差があった平均値±標準偏差は, pro: 93.2 ± 4.91, mu: 92.3 ± 2.90, ed-A: 71.3 ± 15.3, ed-B: 72.4 ± 15.1）. 検定の結果, 有意な差があった群について, ブラケットを図 6 に付す．

5.3 考察

5.2 節の結果に基づき, RQ.1 に対して考察する．

pro と有意な差があった ed-A, B は, 4.2 節で述べたように, 分析対象の中で習熟度が低い群である．また, 習熟度が中程度である mu と, 習熟度が高い pro の間で有意な差が無かったことと, mu と ed-A, B は有意差がなかったことから, SFRH は習熟度が低い学習者か否かを区別可能な評価指標であることが示唆された．

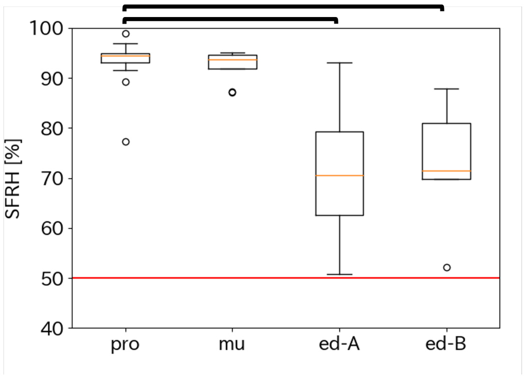


図 6: 各群の SFRH の分布と比較結果

6 学習者の指導前後の比較

本章では, RQ.2 を検討する. 歌唱区間から図 5 の赤下線部 "tanto" の/a/区間を抽出し, SFRH を算出した. その結果から, 学習者の指導前と指導後の SFRH 分布を比較することで, SFRH が習熟度の向上を表す評価指標として使用可能かを考察する.

6.1 分析手法

5 章の結果から, ed-A, B を分析対象とした. 各被験者の指導前後の歌声データの/a/区間において算出した/a/区間の SFRH 分布を比較した. また, 既存評価指標（SFR, Q 値, 2 凸）による歌声評価と矛盾が無いか検討するため, LPC 包絡線の時間変化の遷移を用いて Singer's formant 帯域成分と高周波成分の増減を, 2 次元箱ひげ図 [13] で既存評価指標と SFRH の分布の変化を確認した.

6.2 分析結果

6.2.1 SFRH 分布の比較結果

図 7, 図 8 に, 各被験者の指導前後の SFRH 分布を箱ひげ図で表した. 点線枠で個人を区別し, 各点線枠内左が指導前, 右が指導後, 赤色実線は SFRH が 50 の位置を表す. また, 各被験者の指導後の SFRH 分布に対して, Mann–Whitney U 検定（有意水準 1%）を行った結果を表 3 に示す. 検定の結果, 有意な差があった群について, 指導前から指導後にかけて SFRH が上昇したものを赤色, SFRH が下降したものを青色のブラケットで図 7, 図 8 に付す.

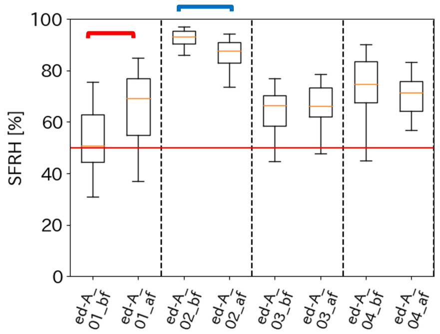


図 7: ed-A の SFRH 分布と比較結果

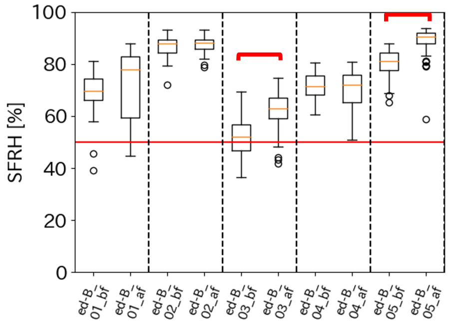


図 8: ed-B の SFRH 分布と比較結果

6.2.2 既存評価指標との対応の検証結果

まず, SFRH 分布が有意に上昇した 3 名の被験者（ed-A_01, ed-B_03, ed-B_05）について検証する. 図 9 に ed-A_01 の検証結果を示す. 図の上段は LPC 包絡線の時間変化の遷移を表し, 左が指導前, 右が指導後, 実線枠内が Singer's formant 帯域, 破線枠内が高周波域を表す. 下段は 2 次元箱ひげ図を表し, 横軸は左のグラフから SFR, Q 値, 2 凸, 縦軸はすべて SFRH である. 指導前が橙の点と赤の箱, 指導後が青の点と箱で描画されており, 箱は各データの第一四分位数と第三四分位数で表される頂点と, 中央値を表す箱の範囲を超過する線分で構成される. SFR, Q 値において, 良領域が桃色, 非良領域が灰色で描画されている. ed-A_01 について, LPC 包絡線の時間変化の遷移から Singer's formant 帯域成分の増加が確認でき, 2 次元箱ひげ図から SFR, 2 凸の中央値の上昇, Q 値の四分位範囲の上昇方向への拡大が確認できる. ed-B_03 について, LPC 包絡線の時間変化の遷移から高周波成分の減少が確認でき, 2 次元箱ひげ図から Q 値, 2 凸の四分位範囲の上昇方向への拡大が確認できる（図 10）. ed-B_05 について, LPC 包絡線の時間変化の遷移から Singer's formant 帯域成分の増加が確認でき, 2 次元箱ひげ図から Q 値, 2 凸の四分位範囲の上昇方向への拡大が確認できる（図 11）.

次に, SFRH 分布が有意に下降した 1 名の被験者（ed-A_02）について検証する. ed-A_02 について, LPC 包

表 3: SFRH 分布の比較結果
（Mann–Whitney U 検定（有意水準 1%））

		平均値 ± 標準偏差	
被験者	p 値	指導前	指導後
ed-A_01	***	53.0±11.8	66.1±12.6
ed-A_02	***	92.7± 2.7	86.4± 5.1
ed-A_03	.257	64.1± 2.7	66.4± 8.3
ed-A_04	.026	74.4±10.6	70.2± 6.8
ed-B_01	.087	69.0± 8.1	71.3±13.3
ed-B_02	.806	86.6± 4.1	87.3± 3.2
ed-B_03	***	52.2± 7.9	61.6± 7.8
ed-B_04	.196	71.6± 5.3	70.0± 7.8
ed-B_05	***	80.1± 5.1	88.3± 6.3

***: p<.001

絡線の時間変化の遷移から高周波成分の増加が確認でき, 2 次元箱ひげ図から SFR の中央値の上昇と Q 値, 2 凸の中央値の下降が確認できる（図 12）．

有意差が無かった 5 名の被験者については, 大きく次の 2 種類に分類された．

1. SFR, Q 値, 2 凸に変化なし（2 名）
2. 指導前後共に, Q 値の中央値がグレーゾーン以上に存在する（2 名）

これらに該当しない ed-B_01 については, SFR の上昇と Q 値, 2 凸の四分位範囲の上昇方向への拡大が確認された．この学習者は, 中央値の上昇が見られたものの, 検定では有意差がなかった学習者である．

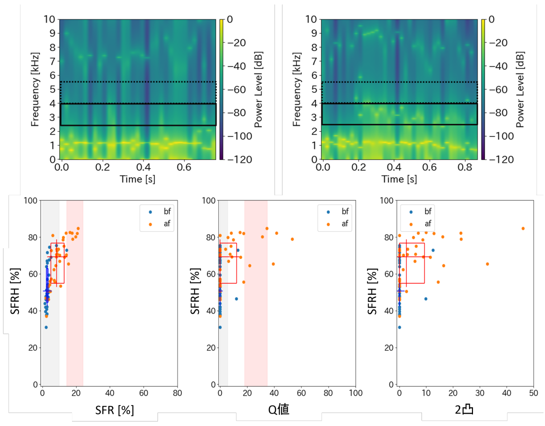


図 9: ed-A_01

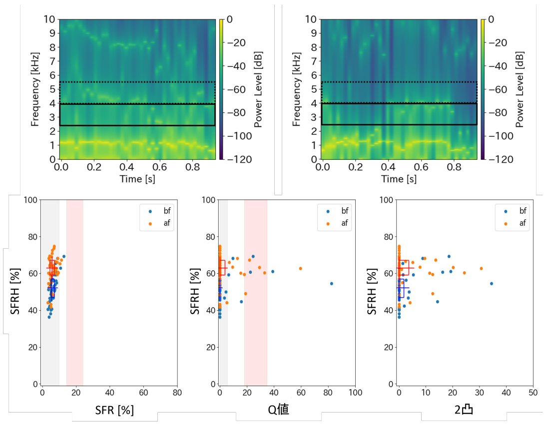


図 10: ed-B_03

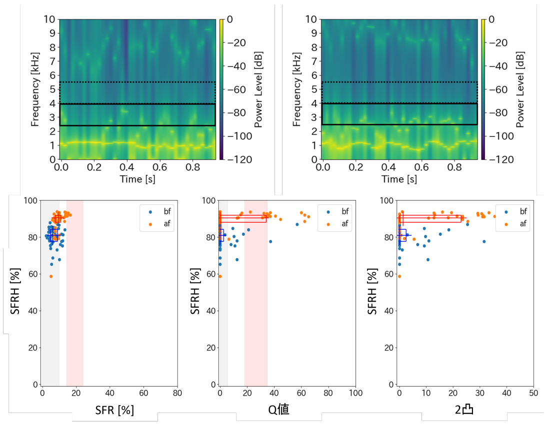


図 11: ed-B_05

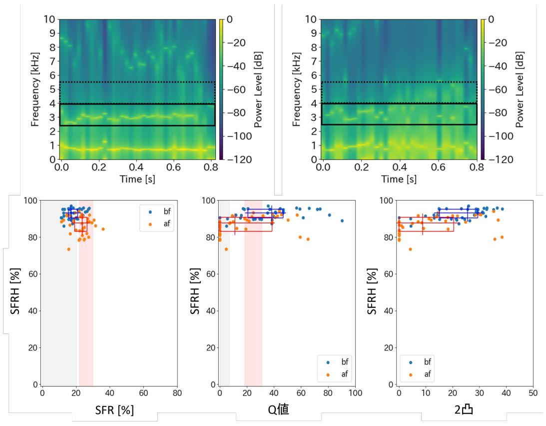


図 12: ed-A_02

6.3 考察

6.2 節の結果に基づき, RQ.2 に対して考察する．SFRH が有意に上昇した 3 名について Q 値, 2 凸の

四分位範囲の拡大または中央値の上昇が確認されたこと, SFRH が有意に下降した 1 名について Q 値, 2 凸の下降方向への四分位範囲の拡大が確認されたことから, SFRH の変化は Q 値, 2 凸の変化と関連があることが示唆された. さらに, 中央値による評価という観点から, Q 値, 2 凸で評価できない習熟度の向上が SFRH によって評価できることが示唆された.

以上のことから, SFRH の上昇は, Q 値, 2 凸に関連する歌声の習熟度の向上を表すことができ, Q 値, 2 凸によって評価できない学習者に対しても, SFRH は有効であることが示唆された.

7 おわりに

本稿では, 学習者に対して Q 値, 2 凸では評価できない場合があることを示し, その解決策として SFRH を提案した. RQ.1 では, SFRH の分布が学習者とプロ歌手との間で有意な差があるか検証し, SFRH が習熟度の低い学習者か否かが区別可能であることを示した. RQ.2 では, SFRH の上昇が学習者の習熟度の向上を表せるか検証し, SFRH の上昇は, Q 値, 2 凸に関連する歌声の習熟度の向上を表せることを示した. 以上のことから, SFRH は, Q 値, 2 凸に関連する歌声の習熟度を評価できる指標であり, 特に Q 値, 2 凸では評価できない学習者に対しても 0 でない値で習熟度が向上する過程をフィードバック可能な指標であることが示唆された.

今後, SFRH による習熟度評価と歌声の聴感的印象の対応付け [14][15], SFRH における「良い声」と「良くない声」の閾値の設定, 既存評価指標と本提案指標の関連性の詳細な検証を行う.

謝辞

本研究は JSPS 科研費 22K00237 の助成を受けた.

参考文献

[1] W.T.Bartholomew, “A Physical Definition of “Good Voice- Quality” in the Male Voice,” *J.Acoust. Soc. Am., Vol.6*, No.1, pp.25-33 (1934)

[2] J.Sundberg, “The KTH synthesis singing. Advances in Cognitive Psychology,” *Special issue on Music Performance*, Vol.2, No.2-3, pp.131-143 (2006)

[3] 山辺大貴他, “歌声の心理的印象と音響特徴量との対応付けによる歌唱の習熟度評価に関する基礎的検討”, 信学技報, Vol.112, No.266, pp.61-66 (2012)

[4] 佐久間雄輝他, “歌声の習熟度と周波数特性との関係に関する考察”, 信学技報, Vol.113, No.349, pp.85-90 (2013)

[5] 佐久間雄輝他, “歌声の習熟度に関連する周波数特性からみた音響特徴量”, 信学技報, Vol.114, No.441, pp.45-50 (2015)

[6] 山下泰樹他, “歌唱指導支援の検討に向けたデータベース環境の構築と解析提示方法”, 情処研報, Vol.2023-MUS-136, No.22, pp.1-7 (2023)

[7] 野田美春他, “歌唱の習熟度に関連する周波数特性に基づく音居特徴量を用いた学習者とプロ歌手の歌声評価”, 信学技報, Vol.115, No.444, pp.35-40 (2016)

[8] 吉田祥他, “声楽の習熟度に関連する音響特徴量に基づく歌声の評価方法に関する研究”, SIG-SKL-27-04, pp.13-20 (2019)

[9] 吉田祥他, “声楽発声の数熟度に関連する音響特徴量に基づく歌声の評価指標の提案”, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J103-D, No.4, pp.247-260 (2020)

[10] 平井雅人, “歌声の習熟度に関連する音響特徴量とその時系列変化に関する研究”, 信州大学大学院総合理工学研究科修士論文（未公刊）, pp.46-56 (2022)

[11] 矢川実紗他, “歌声の習熟度に関連するスペクトル包絡に基づく評価指標に関する基礎的検討”, 教育システム情報学会 2022 年度学生研究発表会（北信越）, pp.39-40 (2023)

[12] 近藤由英他, “歌唱時における呼吸データの傾向と特徴”, 教育システム情報学会 2022 年度学生研究発表会（北信越）, pp.41-42 (2023)

[13] 吉田祥他, “声楽の習熟度に関連する周波数特性に基づく音響特徴量の特定個人の長期的変化”, 情報処理学会研究報告, Vol.2017-MUS-114, No.12 (2017)

[14] 池田京子他, “歌声の「印象評価語」と「指導語」の抽出と分類 〜最適な指導語を求めて〜”, 日本人工知能学会身体知研究会, Vol.33, pp.1-4 (2020)

[15] 上村亮他, “成長を表す評価語の抽出と音響特徴量からみる歌声の成長”, 教育システム情報学会 2020 年度学生研究発表会（北信越）, pp.39-40 (2021)

hiphop に向き合う

—即興の踊りを生み出す 56 の身体言語の獲得—

Dig into Actualities of hiphop: 56 Embodied Language of Dancing that Generates Situated Improvisation

竹田真 [1] 諏訪正樹 [2]

Makoto Takeda[1], Masaki Suwa[2]

[1] 慶應義塾大学総合政策学部
[1]Faculty of Policy Management
[2] 慶應義塾大学環境情報学部
[2] Faculty of Environment and Information Studies

Abstract: This paper may be the first study to dig into embodied and situated knowledge on improvisation in hiphop dancing. Through a study with/on first-person's view, we have devised the use of "*sketches on somatic sensation*" and derived 56 "*embodied language of dancing*" as inner driving forces of determining body movements in response to music on the fly. This paper presents a research method of verbalizing and thereby examining inner somatic sensation as the basis of generation of embodied knowledge.

はじめに

本研究は、音楽に合わせて即興にダンスを繰り出す身体知のありようを探究する一人称研究[諏訪 2022]である。楽器の音や歌い手の声のトーン、ビート、リズムなど、音楽を構成するさまざまな音楽的要素に接し、即興的に身体各部位を連動させて次々に踊りを創作する心身のメカニズムは、まさに暗黙知と言ってよい。さらにいうならば、ある瞬間に耳が捉えた音楽的要素や直前までの身体各部位の動かし方に応じて動きを生み出すわけであるので、即興ダンスの身体知は状況依存的な知の極みでもある。

心身は何らかの創作メカニズムを有しているはずだが、即興的であるがゆえに記録が難しく、さらに記憶も難しい。記憶が難しいのは、一般に、状況依存的な知の宿命である。状況依存性とは以下に示す性質のことを言う。環境の状況に遭遇するまでは自身の心身がなにに着眼し、どう反応し、どう振る舞いを創出するのかわからない。しかし一旦渦中のひとになれば何かしらの着眼・反応を経て振る舞いを創出してしまうという認知の性質である。状況に心身が埋め込まれた状態で振る舞いを創出しているので、後からそれを思い出そうとしても、既に状況は剥奪されているため思い出すことが難しい。

このように極端に探究が難しい身体知の糸口をどうにかして掴みたい。本研究は、踊りを創出している際に心身に沸き起こる体性感覚[1]（以後「体感」と称する）に着目し、即興ダンス創出の身体知に迫ろうとするものである。

後述の節で詳しく述べることになるが、音楽に合わせて踊る実践[2]をビデオに撮り、その直後にビデオを見ながら、あるいはビデオを見ずに、一連の踊りのなかで記憶に残った体感をことばで表現したり、スケッチで表現したりした。

本研究で力点を置くのは、体感を思い出して描くスケッチである。我々は「体感スケッチ」と称する。知の状況依存性を探究する難しさは状況を剥奪された状態で後から思い出すことの困難さにあると先に論じた。一方で、身体の動きを創出している際の体感の一部は（印象的なものだけは）、身体の記憶とし

[1] 体性感覚とは、中村雄二郎（2000）によれば「触覚を含む皮膚感覚と、筋肉感覚を含む運動感覚とから」成り立つ（p.114）ものであり、「体性脊髄神経によって伝達されるもの」（p.115）である。その記述からすれば、純粋に身体に沸き起こるものと考えられる。しかし、身体由来のその感覚が、同時にある種の感情・情動を巻き起こすという経験的所感は誰しも有しているという観点から、敢えてここでは「心身に沸き起こる」と表現した。

[2] 一連の踊り（踊り始めから踊り終わりまで）は、多くは 2〜3 分続くが、なかには 5〜6 分続くものもある。

て残っているという経験的直観もある。

そこで、我々は身体に残る体感を、踊った直後にスケッチとして自由に描いてみるという試みをはじめた。模索的な試みではあるが、体感スケッチを描くことはそれほど難しくはなく、むしろスケッチを描くことが体感をことばで表現することへの促しになっているという所感も得た。

本研究では、踊りの体感をスケッチとして表出することを通じて、体感をことばで表現し、即興を生み出すメカニズムの一端をあきらかにした。

得られた成果は、第一著者が即興を生み出す源となった、あるいは、即興を生み出している際に心身を包み込んでいた「体感」を生々しいことばで表現したものである。それを我々は「身体言語」と称することにした。一般の言語と異なり、コミュニケーションのための普遍性は持たないが、少なくとも第一著者のなかでは即興で身体を御する「内なる言語」として寄与したものである。

実践

実践の概要

第一著者は自身の踊りがどのような知によって成り立っているのかに探りを入れるため、体感スケッチを使って自身の踊りを一人称視点で記録した。

2023 年 11 月 27 日から、計 29 本の動画を撮り、43 枚の体感スケッチを描いた。記述は計 39,264 文字に及んだ。記述には体感スケッチそのものに直接言及するものや動画を振り返った際に気づいたものなど、筆者の踊りに関するもの全般について書いた。

手順

実践の手順は

- 音楽をシャッフル再生して振り付けを決めずに即興で踊る
- その直後に踊っている最中に得た体感を言語化する前にスケッチとして描く
- 撮影した動画やスケッチを振り返りながらどういったことを感じ、踊ったかを記述する

である。

12 月 16 日に行われたダンスバトルイベントで踊ったときのデータを紹介する。図 1 は筆者の踊りを撮影した動画のワンシーンを連続写真として切り取ったもの、図 2 は抱いた体感を描いた体感スケッチ、図 3 は動画と体感を振り返り、記した記述である。

実践の際はできるだけ撮られているということを意識せず、普段通りに自然体で踊るように心がけた。

図 1：ダンスイベントで踊ったときの一部連続写真

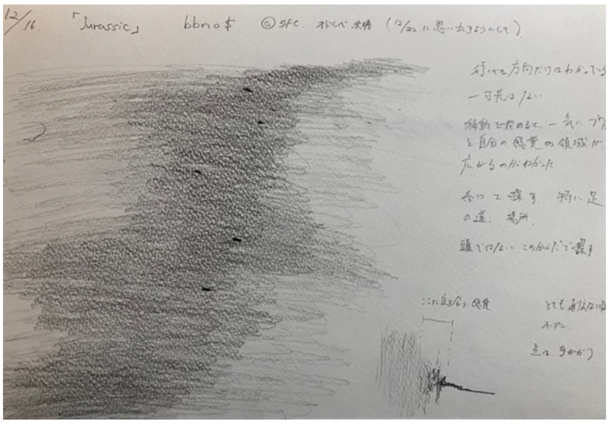


図 2：体感を描いたスケッチ

> このスケッチが表しているように、逆に意識の矛先を削ってない鉛筆の先みたいに鈍らせて、フア〜っと発散させる感覚。
> （中略）
> 動画で見るとわかるけど、今回は 0:53–0:58 までの 6 カウントで相手側に進んでいくというムーブの最中に得た体感だった。このときは自分の中で相手の方まで進んでいくということだけを決めていて、それ以外は何も決めていなかった。スケッチ中の左下から右上に進んでいくような比較的濃い部分はその動線だな。でもやっぱり動線の外側にも横のシャーシャー線は続いているから自分の感覚が広がっていたのだなあと思う。
> **（生タグ）：手や足などの特定のものへの意識が薄まり、半径 2m くらいにフア〜っと霧がかかるみたいに自分の感覚が広がる。**（注：「生タグ」については次節で詳説する）

図 3：動画やスケッチを基に書いた記述の抜粋

スケッチを描く際は、踊った直後に深く考えずにラフに描くことを心がけた。そうすることで得た感覚を忘れないうちに生々しく残すことができたり、言語化によってラベリングされる前の未知の体感に着目できたりする。また、スケッチでは表しきれないと判断したときは擬音語や短文のメモなど（図 2 右側）を付記し、後の言語化の手助けとした。

言語化においては、スケッチだけを基にしたもの

やスケッチと動画の両方を基にしたものなど、参考にするものは必ずしも単一のものに限らない。なるべく数多くの体感の発見を促すためである。一見関係のなさそうなことがらや些細な出来事まで、思いついたものはとにかく言語化することを心がけた。

実践の一連の流れは下の図４のようになる。

図 4：実践の流れ

分析

分析に先立ち、収集したデータ数についてまとめる。踊った数は 31 回、動画の数は 29 本、体感スケッチは 43 枚、記述の数は 45 個である。データの数が各々異なるのは、以下の様々な理由に依る。

- 日頃撮影せず何気なく練習しているときに偶然体感を得ることもある
- 動画を撮影できなかった踊りの実践もある
- 体感スケッチを描いているときや動画を振り返って記述しているときに全く別の新たな体感に気づくことがある
- 一つの体感だと思っていたものが、分析を進めていくうちに二つの体感によって成り立っていることに気付いたりする

記述から踊りの源を抽出する

動画や体感スケッチを基にした記述はそのままデータとして使用することはできない。実践によって得られた記述には、その時々に思い出したものや体感をなんとか言語化しようととにかく頭にあるものを直接書き殴ったような表現のものが少なくないからである。これらの記述をデータとして利用可能なものにするために「生タグ抽出法」と呼ばれる手法を使った。

生タグ抽出法は、「視点、着眼した側面、価値観を表す箇所に、要約的な短文を付記する」手法[諏訪, 2022]である。この方法によって抽出された要約的短文を生タグと称する。筆者も自身の踊りの体感に関する記述から踊りの源となるものを要約的に表す生タグを抽出した。生タグの文章は過度に抽象的にせず、生々しい表現を各々の体感の個別具体性を残すことが最重要ポイントである。

図３に示した 12 月 16 日の実践を例にとる。黒字の文章は動画とスケッチから自身の踊りの体感を思い出しながら書いたもので、太い赤字の文章はそれらから抽出した生タグである。筆者の体感を生々しく想起させるような具体性と体感そのもののエッセンスを残す形で生タグを作成した。

身体言語

得られた生タグは、筆者が即興で踊りを生み出すための源となっている体感そのものを言語化したものである。我々はそれを身体言語と称している。

言語とは、人が思考や感情を伝え合う際に使用する音声や記号の体系のことである。言葉や音声などの普遍的なものに一度変換することで、形のない思考や感情を自分以外の他者に共有することができるようになる。普段家族や友人とコミュニケーションを取ることができるのは、自分の中の思考や感情を言語によって表現することができているからである。

筆者の踊りも同様に、体感やそれに主導される身体が存在することによって初めて即興の踊りが表現行為として成り立つ。日常的に使っている言語ほど体系的なまとまりはないが、まだ具現化されていない私の「感情」や「踊りを起こす内なる衝動」を物理的な身体の動きで表現するために機能している。そういった意味で、私の即興の踊りを生み出す源となっている体感がある種の言語的役割を担っていると解釈し、「身体言語」と呼ぶことにした。

56 の身体言語

筆者の即興の踊りを生み出す身体言語は、表 1 に示す通り、今回の実践からは 56 個見つかった。

表 1：今回見出した 56 の身体言語の一覧

（注：動画欄のフォーマットは、「曲名」・アーティスト名・場所・（日付）である）

	動画	自覚レベル	身体言語
1	「Flex With Ya (feat.Kinkai)」・The Mouse Outfit・湘南台Ｓ・(11/27)：注参照のこと	0.5	1-1：**身体言語 1**：ウォークアウト特有の足から胸までのツッパリ感は、テントを支える骨のようである
		1	1-2：**身体言語 2**：テントを支えている骨のようなツッパリ感が解除される時に感じるグインっという振り子のような感覚を楽しむ

2	「Theta State」・ジョーダン・ラカイ・　近所の駐車場・(12/7)	新	2-1：**身体言語 3**：漫然とどこにも意識を向けず、長風呂の後にのぼせてふわふわと浮くような状態を維持することで、身体の感覚に耳を傾ける
		新	2-2：**身体言語 4**：「今進んでいる方向とは逆に行きたい」「今進んでいる方向のさらに先に行きたい」など、とにかく今いる場所とは別のところへ行こうとする瞬発的な思いつきに囚われる
		1	2-3：**身体言語 5**：突然側溝に車輪がハマってしまって抜け出そうとしても簡単には抜け出せないように、同じ動きやノリを繰り返してしまう
3	「Organic Rust」・アルファミスト・　近所の駐車場・(12/7)	新	3-1：**身体言語 6**：身体中をボコボコと気泡を含んだ液体や粘性を帯びた液体がズズズーっと駆け巡り、内部の流体の運動がそのまま自分の身体を波打たせたりする
4	「Hold My Hand」・Zo！・近所の駐車場・(12/8)	新	4-1：**身体言語 7**：自分の身体全体がトムボーイ（バネのおもちゃ）みたいにギュゥッと詰まったりその詰まった部分が体内で絶え間なく移動することで、身体がもっちり・たわんたわんとなる感覚を楽しむ
		0.5	4-2：**身体言語 8**：体内でギュゥッとなって高まった密度が耐えきれず一瞬にしてパァンッと弾け、その瞬間に自分の身体も弾けるように動いてしまう
		1	4-3：**身体言語 9**：ふわふわと縦横無尽に漂う上半身の行きたい方向へ行けるように左右上下斜め全ての方向に素早く動き回る私の両足は縁の下の力持ちである
5	「不明」・不明・近所の駐車場・(12/9)	0.5	5-1.**身体言語 10**：木が根っこを張るように下半身と地面が一体となり、身体全体でどっしりとした安定感を得る
6	「Cowboy」・Magna Carda・近所の駐車場・(12/10)	新	6-1：**身体言語 11**：体内の音の積み木が暴れまわって内壁を突き破ろうとするから身体が「星の王子さま」の表紙に描かれている歪な星のようにぼこぼこになる
7	「chura」・Grooveman Spot・慶應義塾大学湘南藤沢・(12/13)	0.5	7-1：**身体言語 12**：まるで自分の居場所がわかっているかのように自分の身体部位がそれぞれの持ち場に当然のように向かっていく
8	「Quik’s Groove」・DJ Quik・名古屋スポーツセンター玄関前・(12/14)	新	8-1：**身体言語 13**：蜘蛛の巣みたいに自分の周りを取り囲む音楽がバァンッと当たってきて身体を突き動かしたりヒュルヒュルヒュル〜と身体をすり抜けたりする
		1	8-2：**身体言語 14**：サックスの音を聴いて妖艶さを想起し、女性モデルのような仕草や出立ちになってしまう
9	「Quik’s Groove」・DJ Quik・バスケコートのある公園・(12/14)	1	9-1：**身体言語 15**：連続して聞こえてくるボコンッというバスドラムでパンチを想起し、自分に向かってくる音にパンチされるように身体を動かされる
		0.5	9-2：**身体言語 16**：みぞおちやお腹や腰あたりを自分の中心として、右手が右上なら逆に左足が左下というふうに手足が対になってバランスを保つように動く
		新	9-3：**身体言語 17**：首と鎖骨が前後に引き合って前屈みになって、映画ロードオブザリングのスメアゴルみたいな姿勢の体感に支配され、その姿勢にしばらく取り憑かれてやめられなくなる
		0.5	9-4：**身体言語 18**：上半身と下半身が y 軸方向でそれぞれ別の向きに回転し、お腹周りの皮と筋肉が雑巾を絞ったみたいに捩れた感覚になるのを楽しむ
		0.5	9-5：**身体言語 19**：上半身と下半身が y 軸方向でそれぞれ別の向きに回転しながら身体がくの字に折れることで、お腹周りの皮と筋肉が、ペットボトルを捻りながら縦方向に潰れるのと同じような感覚になるのを楽しむ
		1	9-6：**身体言語 20**：重心移動と脱力によって、ジェットコースターやブランコで得られるような内臓のフワッと感を楽しむ
		新	9-7：**身体言語 21**：感覚は次第に身体を満遍なく纏い、膨張する。ふわ〜っとぼ〜っと。身体の感覚が肌から 10cm,20cm,,,,,とどんどん遠ざかっていく
10	「Jurassic 」・bbno $・慶應義塾大学湘南藤沢オドルベ決勝・(12/16)	新	10-1：**身体言語 22**：手や足などの特定のものへの意識が薄まり、半径 2m くらいにフアー〜っと霧がかかるみたいに自分の感覚が広がる
		新	10-2：**身体言語 23**：自分の身体が自律的に動きを生成し、身体の持ち主である自分自身はその営みを事後的に観察する
		1	10-3：**身体言語 24**：ハチドリのホバリングのように胴体や顔を完全に空間に固定し、他の腕や足は自由奔放に舞わせる
		0.5	10-4：**身体言語 25**：身体パーツは各々不規則に動いているが、身体全体では下敷きをくの字に曲げたり逆に曲げたりを繰り返して得られるバインバインする感覚を覚える
11	「Ushyushy」・Spellspellspell・一夜城・(12/20)	1	11-1：**身体言語 26**：腕の振りがエネルギー源となり、刺したり引っ張られたりと腕の動きに合わせて自分のダンスが作られていく
12	「Reality Check」・Noname・埼玉の公園・(12/20)	新	12-1：**身体言語 27**：感じ取った歌い声のエネルギーに身を任せて乗っかったり、歌い声そのものになったかのように身体が歌い出す
13	「不明」・不明・埼玉の公園・(12/20)	0.5	13-1：**身体言語 28**：肘や膝などあらゆる関節を身体の内側に向かってンキュッと集めてンハーッとそれらを緩めるのをビートに合わせて繰り返すとき、自分はブルーハーツの甲本ヒロト（live ver）のような動きになる

14	「RIDE W/CREATXR」・Ma2t・埼玉高架下・(12/21)	0.5	14-1：**身体言語 29**：植物が茎を伸ばしてはその先で花を咲かせ、また伸ばしてはまた別の花を咲かせるように、自分も植物のようにズーと等速に動いた先でファーと違う動きを生成する
15	「KI」・Ma2t・埼玉高架下・(12/21)	新	15-1：**身体言語 30**：まるで機械がバグを起こしたかのようにギギギッと全身が機能不全になり、(一時的に生き物ではなくなり、) その後何事もなかったかのように（時が飛んだかのように）それ以前の動きに戻る
16	「Nothin' to talk about」・Rayana Jay・自宅・(12/28)	0.5	16-1：**身体言語 31**：近い体感の動きが途切れずに繋がっていく様子は、まるで現在地を基準に次の行き先がいつの間にか決まっていく気ままな一人旅のよう
17	「No man is safe from」・Elaquent・ 藤沢マリソル・(12/29)	1	17-1：**身体言語 32**：自分自身の予想を裏切る形で、ある一瞬を境に真夏のコンクリートに落ちたアイスクリームみたいに全ての身体パーツがドロッと流れるように動きだす
		1	17-2：**身体言語 33**：４回連続するダウンを急遽止めることによって私自身の予想を裏切る
		0.5	17-3：**身体言語 34**：あるポーズから別のポーズに移るときにレールの上をニューンとした浮遊感を感じながら移動する私は、電磁石の力で浮かびながら走るリニアモーターカーのようである
		1	17-4：**身体言語 35**：あるポーズから別のポーズに映るときに全身の動きが連動してカチッとハマる感覚はまるで綺麗な立方体になろうとする磁石内蔵型のルービックキューブみたい
		1	17-5：**身体言語 36**：身体全体で上にあがろうとすると、直立直前でドンッと上のどっしり岩にぶつかって弾き返されて上がりきれずにいるが、その感覚が楽しい
18	「Nothin'to talk about」・Rayana Jay・ 藤沢マリソル・(12/29)	1	18-1：**身体言語 37**：自分の身体の周りにどこからともなく物体を出現させ、空間に配置したあと、その物体を避けたりすり抜けたりして物体とのやりとりを楽しむ
		0.5	18-2：**身体言語 38**：自分の肩や腰などの身体パーツを自分の手で寄せたり回したり放したりと、自分自身の身体で物語性のない支離滅裂な操作が連続するのを楽しむ
		新	18-3：**身体言語 39**：自分の肩や腰などの身体パーツを自分自身の手で寄せたり回したり放したりと、操作する感覚と操作される感覚が両方自分の中に存在するのが不思議である
		新	18-4：**身体言語 40**：流れている原曲の通りに踊るのではなく、どの音をどの音と組み合わせて使おうかということを無意識に判断しながら音楽を再編集して新しい自分好みのリズムを作り出す
		1	18-5：**身体言語 41**：気性の荒い腕と他の穏やかな身体パーツとで人格が分裂し、腕以外の身体は暴れる腕に振り回される他ない
		1	18-6：**身体言語 42**：急に全身が粘度の高い液体に放り出され、動きが鈍くゆっくりになる
19	「EETY w/ Diame Heartmaker」・Randy Thick・藤沢マリソル・(12/29)	0.5	19-1：**身体言語 43**：バスドラムの音にぶつかって軌道が変わったりしながら、音もなく"ーーーーーー"と宇宙空間を漂っているようだ
		1	19-2：**身体言語 44**：全身の関節という関節を曲げてお腹や胸にあるエネルギーのようなものを外側へ外側へと送り出し続ける
		0.5	19-3：**身体言語 45**：自分の意志ではどうにもできないような力で身体の自由を制限され、自分の身体をコントロール下に置けずにパニックになってただただ抗う
		1	19-4：**身体言語 46**：身体中の関節という関節が錆びたように動かなくなってしまい、まるでコンパスが歩くように重心移動だけで身体全体を動かそうとする
		1	19-5：**身体言語 47**：バスドラムのドンッというインパクトのある音を境に、スイッチを押されたように自分の身体中の関節がパッと一気に錆びる
		0.5	19-6：**身体言語 48**：地面に漂っていた得体の知れないエネルギーが自分のいる場所に集まってきて炎の柱となり、その炎と同調するように自分も上へと動いてしまう
20	「Beach House Summer」・E.Jones・梅田 BUZZ・(1/1)	1	20-1：**身体言語 49**：１カウントに一回アクセントを入れるといった最低限のルールを守りながら腕の出し方や方向を変えたり動き自体を誇張したりして、動きが派生していくのを楽しむ
		0.5	20-2：**身体言語 50**：13 回連続でダウンをしたとき、身体が「もうそろそろやりすぎかもよ」と、動きの賞味期限を知らせてくれるのを感知する
21	「The Love Song」・Bush Babbees・Mos Def 梅田 BUZZ・(1/1)	1	21-1：**身体言語 51**：曲が本来持っているシャカシャカハッピーな性格を無視できず、自分の動きも勝手にその性格に寄ってしまう
		1	21-2：**身体言語 52**：曲のサビや音の切り替わりの瞬間を身体が勝手に予測してくれていて、切り替わりの直前に私にふっと教えてくれるのが不思議だ
		新	21-3：**身体言語 53**：やりたいシルエットや行きたい場所に腕や足を先に向かわせて空間固定し、残りの身体を後から遅れてそこに向かわせる様子はまるでシャクトリムシの歩行である
22	「The Fresh(fear.Ekundayo,	1	22-1：**身体言語 54**：足を出すタイミングと重心を上にあげるタイミングを合わせて歩くこと

	Backwud Marc&Stanza)」・Spittzwell&Boog Brown・ 埼玉高架下・(12/21)		で、ぐわんぐわんぐわんぐわんとリズミカルに優しく鼓動するような浮遊感を得る
23	「gospel?」・Noname・梅田 BUZZ・(1/1)	1	23-1：**身体言語 55**：まるで本当に目の前に相手がいるかのように、身振り手振りに熱を込めて本気で伝えようとする
24	「No Te Puedo Ver」・Samaon Kawamura・ 梅田 BUZZ・(1/1)	新	24-1：**身体言語 56**：一見音に合わないような自由奔放な動きをしたとしても、常に音楽は自分の内側と外側両方にまとわりついているので一人ではないという安心感がある

「身体言語」欄の 2 つの数字（たとえば 21-1）の前者は実践 ID、後者はその実践から抽出できた身体言語の ID を示す。各身体言語には全体の通し番号（太字）を付記した。一回の実践で複数の身体言語が抽出できたケースも多々あったことがわかる。

各々の身体言語がどの程度発見的だったのかを示す「自覚レベル」という項目を設けた。今回の実践で初めて自覚したものは「新」(16 個)、もともと明確に自覚していたものは 1 (23 個)、ある程度の自覚は 0.5 (17 個) で表している。初自覚が全体の約 3 割を占めているのは実践の意義を物語るものである。

本稿ではこれらの中から例として**身体言語 6**「身体中をポコポコと気泡を含んだ液体や粘性を帯びた液体がズズズーっと駆け巡り、内部の流体の運動がそのまま自分の身体を波打たせたりする」を取り上げて紹介する。図 5 が該当する実践の直後に描いたスケッチである。

細長く伸びた顔と手足、瓢箪のような胴体があり、かろうじて人と判別できる。これは筆者自身を表しており、身体の内外に姿形を変えた音楽が存在しているということを描きたかったのである。体感スケッチを見ながら当時の体感を振り返ったときの記述を以下に掲載する。

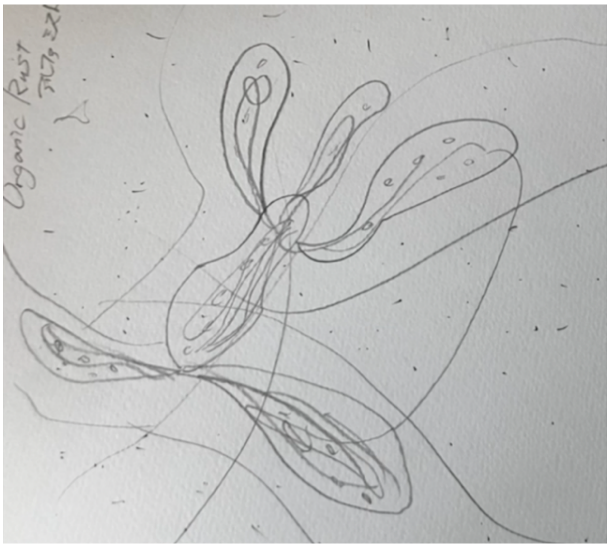


図 5：身体言語 6 の実践で描いたスケッチ

> 驚きと同時に面白かったのは、何かが通っているように想像するのではなく本当に何かが通っていって、その何かによって身体が動かされていたように感じたことだ。本当になんかいたよなあ。ポコココ、スー、ズズズーと流れていた。スケッチによると「何か」には密度があって、ポコポコの気泡?的なものも含んでいた。カスタマイズされた車のシフトレバーに似ている。あと身体の内部を移動する「何か」を身体で感じながらそれを外側からも見ていたな。
>
> （中略）
>
> 無数の点々は星?気泡?生き物?わからないけどキラキラしてたのだけは覚えてる。海の中から太陽をみるような感覚に近かった。これはずっとあった体感ではないけど、ほんの数秒、キラキラの海の中を脱力しながら漂っている時間があった。

図 6：身体言語 6 の実践に関する記述の抜粋

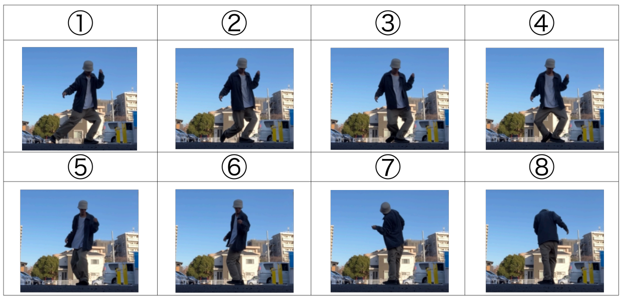


図 7：身体言語 6 の体感スケッチに該当するシーン

筆者は踊りながら自身の体内にポコココ、スー、ズズズー と流れる「何か」を感じとっていた。足元にあったドロッと粘性のある何かが、膝や腰などを通って徐々に頭の方に上がってくるのを感じたのである。それだけではなく、体内で動く感覚によって実際に身体が呼応するように動いたのである。

これは撮影した動画の中の約 2 秒間のシーンを 8 分割にして切り取ったものである。1〜6 コマ目にかけて、私の体内を足元から徐々に上がってくる「何か」を感じている。それを感じると同時に、その「何か」が通った部分だけが動く。

例えば 1〜4 にかけては、その「何か」が足元から腰付近まで移動していたので、何も通っていない上半身はほとんど動かずに腰から下の足だけが形を変

えているのがわかる。

そして 5〜8 にかけては、「何か」が腰から頭に移動していったので、今度は何も通っていない足がほとんど動かずに上半身だけが後ろ側に捲れるように移動している。このように、私の体内を「何か」が通るのを感じ、その通った 場所のみが動くという体験をしたのである。

この身体言語以外にも、ある一つの姿勢にとりつかれてやめられなくなる体感や自身の感覚を拡張させる体感などがあり、そのどれもが個別具体的な身体言語である。

身体言語群を KJ 法でまとめてみる

56 の身体言語相互の関係を探り、全体を俯瞰するために KJ 法[川喜田 1966]を行った。KJ 法とは定性的なデータの分析手法である。

56 の身体言語を基に、直観的にグルーピングしたのち簡潔な「表札」をつける。これを第一階層 KJ とする。どのグループにも属さなかった身体言語は「一匹狼」と名づけ、次の階層まで残す。第二階層では、第一階層表札と一匹狼を基にグルーピングを行い、「表札」をつける。

第一階層のグループ編成では表札が 15 個、一匹狼が 17 個生まれた。第二階層では表札が 12 個、一匹狼が 14 個であった。第一階層の一匹狼 17 個のうち 3 個は第二階層表札に吸収されたが、14 個は第二階層を終えても一匹狼のままであった。

この結果は、即興の踊りを支えている体感はかなり状況依存的、そして複雑であることを示唆する。

身体言語同士を関係づける

KJ 法によって表札の傘下にまとまった身体言語や最後まで一匹狼として残った身体言語の、相互の関係性を探って図示してみた。身体言語の関係性の全体構造を明示することは難しかったが、局所的な関係性を 6 つ見出すことができた。本稿ではそのうちの 2 つを紹介する。

図 8 を見てほしい。緑の付箋が身体言語、灰色の線で囲われたものが一つのグループである。囲われた付箋が一枚のケースは、それが一匹狼であることを示す。「A 番号」と付されたものが第一階層表札、「X 番号」が第二表札である。たとえば、「X24（一匹）-A30（一匹）」は、該当する「身体言語 40」が第一から第二階層まで一匹狼として残ったことを示す。

一つ目の関係性は「同時に複数の体感が存在する」である。第一著者は実践において、使用楽曲に含まれる音に身体を殴られて身体が動いてしまうような踊りを発見した。動画を振り返ってみると、楽曲に存在する全ての音から殴られたのではなく、特定の音だけに反応し殴られるように動いていた。つまり、その動きは「音から殴られるような体感」(図中の A9) と「聞こえてくる音楽を自身で選択・編集するように新しいリズムを作る体感」（X24）を同時に得ることによって成立していたということである。

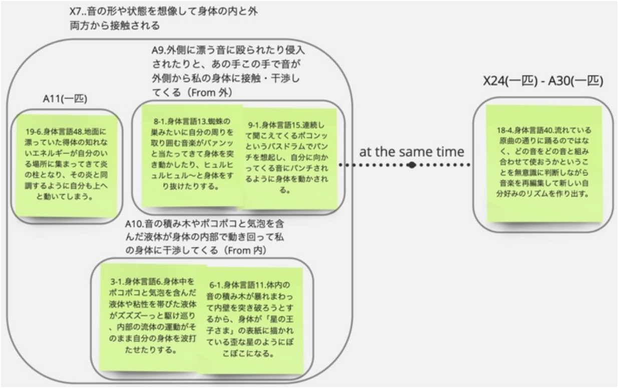


図 8：関係性「同時に複数の体感が存在する」の該当部分

ひとつの支配的な体感が連続するのではなく、複数の体感が入り混じる状態を継続させることが第一著者の即興に重要であることを示唆している。

二つ目の関係性「スキルと体感は別物である」を図 9 に示す。右上部にひとつの表札、左側に一匹狼の身体言語があり、左右がノットイコールの記号で結ばれている。右の表札と左の身体言語それぞれで使われているスキルは一緒であるが、体感は全く異なることを示している。3 つとも、アイソレーション (体の一部または他の部分だけを動かすスキル)を利用し身体の一部を空間に固定する動きである。しかし、身体動作や使うスキルが同じだからといって必ずしも同じ体感が源であるわけではないのだ。

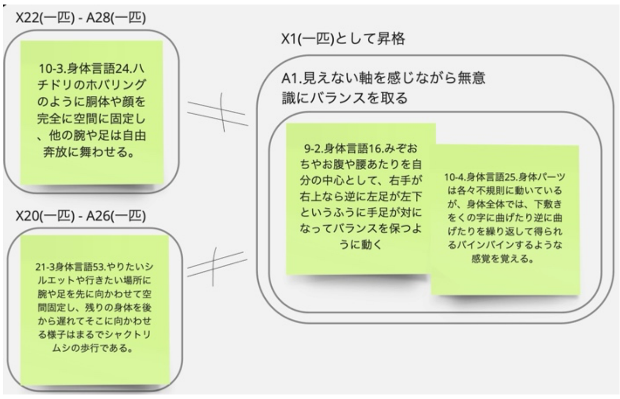


図 9：関係性「スキルと体感は別物である」の該当部分

体感スケッチの効用

状況依存的な即興ダンスを成り立たせる知に迫る

にあたって、筆者は体感スケッチが大きな効力を持っていることを実感した。

第一に、踊った直後に体感を言語化する前にまずスケッチしてみるということが、これまで自覚できていなかった（言語化できていなかった）体感への気づきを促すという点である。仮に新しい体感を得ていたとしても、踊った直後に言語化しようとすると、前から自覚していた体感にカテゴライズしてしまいかねない。一方、言語化の前にまず体感スケッチを描くと固定観念から解放され、新しい体感に気づくことができるのではないかと考えている。

第二に、体感スケッチが新たな着眼を生むという点である。事例として身体言語 29 に関わる体感スケッチを取り上げる。

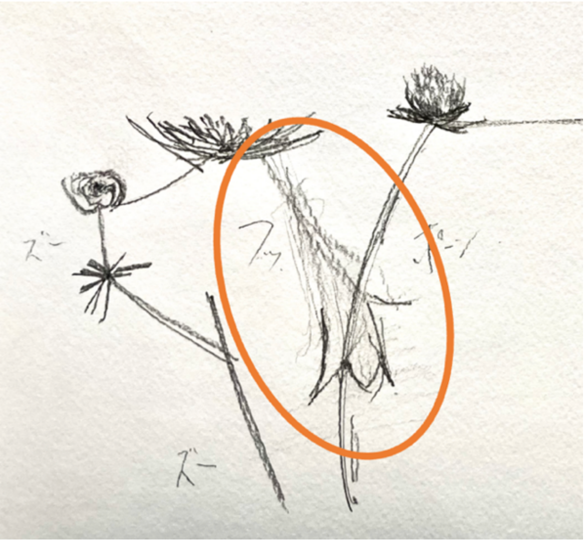


図 10：身体言語 29 の実践（表 1 では実践 14）で描いたスケッチ

図 10 を見てほしい。茎がズーっと直線的に伸びて花がフワッと曲線的に咲くように、筆者自身も重心を直線的に動かし、その後に曲線的に手足を動かすという踊り方をしていた。この体感スケッチは、そうした直線と曲線を繰り返すような動きの体感を植物になぞらえて表現したものである。

第一著者は、この体感スケッチを描いた後になって初めて、自身がしだれた花（オレンジ色の線で囲った部分）を描いていることに注目した。他の花はすべて上向きに花を咲かせているのに対して、この花だけ下向きに花を咲かせているのである。

直線や曲線などの身体の動線を意識してこの体感スケッチを描いた（したがって、直線的な茎や曲線的な花を描いている）わけだが、自身が描いたスケッチを描いてそれを振り返って初めて、「方向」という変数への気づきが促されたわけである。その変数は描いているときには一切意識していなかった。

これは、デザインスケッチに関する一連の研究（例えば[Suwa & Tversky, 1997],[Suwa et al., 2000]）でも度々観察された現象で、Suwa らは「自身のスケッチのなかにデザイナーが見出す予期せぬ発見」（unintended discovery）と称している。

外的表象としてのスケッチのこの効用により、第一著者は、踊っている最中に曲線的に動く場面において自身の身体が向く方向を意識すれば新たな踊りにつながるかもしれないという新たな発想を得るに至った。

体感スケッチは、少なくとも 2 つの観点から、新たな体感への気づき、および変数（着眼点）への気づきを通して、踊りの進化を促す可能性があることが示唆された。もちろん、実際にこれらの気づきが第一書者の踊りとして表出するまでにはさらなる時間と練習が必要になるが、この気づきを得たこと自体が第一著者にとっては大きい。今後の踊りの熟達に大きく寄与するであろうことを予感している。

結論

即興の踊りを生み出す源である身体言語という状況依存的な知の姿を一人称研究により探り出した。56 の身体言語の全体構造（関係性）を見出すことは難しかったが、局所的な関係性は見出せたことは意義深い。この種の状況依存的な知は体系だったものであるというよりは、むしろ、「状況依存性」の名の通り、その場その場で繰り出されるものである。

本研究は体感という暗黙性の高い知に迫るひとつの研究手法を提示するものであり、同様の方法で身体言語なる知を抽出・蓄積する試みを通じて、状況依存的な即興の知の全体像に探りを入れることが今後重要である。

参考文献

[1] 川喜田二郎: 発想法. 中公新書, 1966.

[2] 諏訪正樹: 一人称研究の実践と理論 「ひとが生きるリアリティ」に迫るために. 近代科学社, 2022.

[3] Suwa, M. and Tversky, B.: What do architects and students perceive in their design sketches?: A protocol analysis, *Design Studies,* Vol.18, No.4, pp.385-403, 1997.

[4] Suwa, M., Gero, J. & Purcell, T.: Unexpected discoveries and S-invention of design requirements: important vehicles for a design process. *Design Studies, Vol. 21*, pp.539-567, 2000.

自ずから動きが生まれるとき
−シアターワークの自己変容プロセスにおける場とプレゼンスの影響−

When Movement Emerges: The Influence of Place and Presence in the Self-Transformation Process of Theatrework

松原正樹 [1]

Masaki Matsubara[1]

[1] 筑波大学 図書館情報メディア系

[1]Institute of Library, Information and Media Science, University of Tsukuba

Abstract: The experience of Theatrework, where artistic expression naturally emerges led by the inner voice of the body, facilitates self-transformation, and becomes a learning journey for embodied knowledge. Drawing from personal engagement as both a player and a facilitator in Theatrework, the author presents insights gained through first-person narratives.

はじめに

幼い子どもを見ていると，ことばを覚える以前に身体が導くまま自由に踊り・歌い・描き・表現そのものと一体となり楽しむのを目の当たりにする[1].と同時に大人になるにつれてそのような自然な表現から遠ざかっていることに気づく．いつの頃から私たちはそのような身体の動かし方をしているのだろうか.

本稿で扱うシアターワーク（Theatrework）は俳優兼アーティストの小木戸利光氏によって 2018 年頃に確立された表現芸術やボディワークを用いた身体知の学びのアプローチである[2][3]．私は 2021 年に初めてシアターワークに出会い，大人になるにつれ忘れかけていた身体の動きを取り戻すような感覚を得て,「わたし」や「いきる」の意味が大きく揺らぐ経験をした. 下記は一人称記述である（括弧は補完).

「自分の肉体に，表現となる動きは確かに（おのずから）生まれているが，決して何ものかから力づくで動かさせられたわけでもなく，また自分の意志によって（みずから）動いたのではない」

「(物理的には存在しない目に見えないイメージを共有し) 他者との身体的な対話を行う中で，他者をありのままに感じることによって，本来の自己の一部を見ることができた．自身がどう在りたいかに気づけた」(2021.4.16 記述抜粋)

シアターワークの詳細については次々節で述べるが，もたらされるものは，身体知教育だけでなく，アートセラピー，リーダーシップ研修，平和紛争解決など，さまざまな活用がこれまでなされてきた.

私の場合は，シアターワークの体験を通じて以下のような自己変容がもたらされた.

- 今まで無自覚だった, 地球に支えられていること・空気に包まれていること・太陽光のあたたかさを感じられるようになる
- さらに自らの身体が生きていることに気づく．すなわち抗重力を使って立っていること・呼吸をしていること・心臓が鼓動していることなどに自覚できるようになる
- 生命活動は私以外の人間も含めほとんどの生命体に共通するものであると身体感覚レベルでわかり，生きとし生けるもののお互いの関わりあいに気づき，思いやりの心が芽生える
- そうすると日々の生活の身の回りの些細な変化に気づけ認め味わえるようになる
- そして自身のからだの声が聞こえるようになり，今この瞬間どう在りたいかに気づける

これらの自己変容はどのようなプロセスで起こるのか．自己理解は自分とは異なるアイデンティティを試すことによって深められることから，シアターワークの演劇的要素が役立っているに違いない．しかし，形だけ真似てもうまくいかないことも経験的

にわかっている．では自己変容が起こるときと起こらないときにはどのような違いがあるのだろうか．

そこで本研究は，シアターワークで自然に現れる動きが何によってもたらされるのか，どのようなプロセスで本来の自己を取り戻すのか，そしてこれらの体験をどう概念化できるのか，それらの問いに応える仮説を探索的に見出すことを目的とする．

表現が自ずから現れる体験や経験後の自己変容は意識や身体感覚の変化が基礎となるため，研究者本人が実践することが研究する上で必要不可欠である．そこで一人称研究[4]や ABR(Arts-Based Research) [5] の手法を採用し，著者自身が研究者兼実践者となり，2021 年 4 月から 2023 年 11 月までのシアターワーク実践における一人称の記述から洞察を得た．特に 2022 年度は認定プラクティショナーコースを受講し，他の受講生 6 名とともに参加者（Player）としてだけでなくファシリテータ（Instructor）としてトレーニングを受け，お互いにファシリテーション実践をおこなった．本稿では両方の立場から得られた，プレゼンスと場による影響について検討する．

研究者＝実践者のアプローチ

本節では研究者＝実践者アプローチについて幾つかの手法を比較しながら掘り下げていく．研究者＝実践者のアプローチとしては，人工知能・認知科学の一人称研究や美術教育学の ABR 以外には, 文化人類学のオートエスノグラフィー[6]，障害科学の当事者研究[7]，社会科学のアクションリサーチ[8]，教育学のセルフスタディ[9]などが挙げられる．いずれの研究も生きることのリアリティを対象とし，従来の客観主義による自然科学・社会科学的手法で掬いきれなかった部分を読み解こうと，状況依存性，個人性，意識，情動反応，身体感覚などの一人称視点でしか得ることのできない体験と変容を研究対象にするところが共通しているといえるだろう．

一方, リフレキシヴィティ (reflexivity), 構成論的, 実践内容といった観点で異なる点がある．

リフレキシヴィティとは自身の信念や感情がどう研究に影響しているか内省し認識することである．例えば，オートエスノグラフィーでは*「何をすべきか，どう生きるべきか葛藤し，その意味を見出す過程にある人々を示す」*のを目的に，自身のバイアスを内省し抑制的な態度で体験や認識の過程をエスノグラフィーとしてまとめる．しかし，一人称研究を含め他の手法では自身のバイアスを内省するが，それに駆動され積極的な態度で対象に介入する構成論的なアプローチをとる. 例えば，当事者研究では*「困難を生きている当事者の主観的な現実の生々しさを共に体験することで，自分のかかえる生きづらさの意味とメカニズムを解明し，周囲の人々の認識を変容していく活動」*とあり，アクションリサーチやセルフスタディとも近く，自身やコミュニティへ影響を及ぼすとともに理解を深めるプロセスをとる．

一人称研究や ABR が上記の研究と異なる点は構成論的アプローチが観想的 (Contemplative) に，すなわち自身の内界に向けて行われるという点である．例えば，一人称研究では，言語化しづらい無意識の領域を何とか言葉にする「からだメタ認知」実践を継続し，言葉と身体の相互作用によって身体感覚を豊かにして研究対象に迫る. *「言葉にならない部分をあえて言葉にしようとして変容していく営み」*という点では美学研究[10]とも共通するが，一人称研究ではより身体性に焦点をあてている．

対して，ABR ではことばに代わり芸術表現を実践とするが，同時に研究対象でもある点が特徴で，*「実践を生きているときの，実際の感覚や思考，いわば実践の手触りのようなものを何とか捉えようとする研究」*[11]である. 表現実践を通してボトムアップに内省的理解を深めるという点ではパフォーマティブオートエスノグラフィー[12, 13, 14]も類似している．

シアターワークで起こる表現は自身の外界よりも内界に意識を向けた観想的な営みである．本研究は自己変容のプロセスが芸術表現を通してどのように起こったのか，その時に現れた表現や実践中に生じた感覚を対象に言葉や動きによる内省を通じて読み解いていくという点で, 一人称研究や ABR によるアプローチが適していると考える．

シアターワークとは

シアターワークは小木戸氏が英国大学院で演劇学を修めた経緯もあり，演劇実践を取り入れたボディワーク（例えば Kelly Hunter の自閉症児のためのシェークスピア演劇[15]）と氏のアーティストとしての芸術表現が基礎となっている．そのほか禅やマインドフルネス，神楽，能など日本で培ってきたさまざまな叡智に支えられて形を成している．

内容は感覚ワーク，ムーブメントワーク，ボディワーク，演劇的なインプロ，パフォーマンスの創作ワークなど（ラバンメソッド[16]や竹内メソッド[17], 有科メソッド[18]とも共通点があり）多岐に渡るが，シアターワークの本質は言語化しやすいワークの部分よりも，小木戸氏が体現しているプレゼンスをはじめ，場づくりやファシリテーションといった言語化しにくい部分にある．そもそもシアターワークは小木戸氏本人が最も辛い時に生きぬくために自分に必要なこととして自身のからだやこころと向き合っ

表１．シアターワークの主な流れ

１．ゆるむ	安心・安全な場づくり，呼吸法，グラウンディング，リソーシング
２．きづく	感性をひらくワーク，エネルギーワーク，マインドフルネス
３．ゆだねる	間合いをはかるワーク，ミラーワーク，声のワーク
４．うまれる	見立てのワーク，インプロ，パフォーマンスの共創

て生み出してきた．それ故，氏が参加者の最もヴァルネラブルな部分を優しく包み込むことができるのも納得がいく．以下は対談からの抜粋である[19].

「演劇というのは何かをつくりにいくという『外側』にあるものではないんですね．自分の内側にあるもの，つまりは自分の一部」

（村のお祭りでみんなが踊ったり，太鼓を叩いたり，火をたいて祈ったり，大いなるものに対して畏怖の念や感謝を表すように）「人は原始的な文明の中では，自ずと生じてくるような表現をしていた」

「一番弱く繊細なところに才能や個性がある．そこに焦点をあてて愛でるように進めていく」「『自分が存在していい』という事が理屈じゃなくからだでわかる．他者との関係の中でわかる」

シアターワークの構成について，プラクティショナーコースを受けてみて私の言葉で整理したものを表１に示す．体系的に教わったものではなく経験的にまとめている途中のもので今後も変更の可能性があることに注意されたい．シアターワークを導入するには 3 時間，半日，１日，２日，１週間など期間の幅があり，時間に応じて実践内容が変化する．原則ワークは個人からペアそして全体へ，１から４という流れはあるものの，その場の参加者の反応に合わせて臨機応変に順番や構成を変える．大事なのはワークをこなすことではなく，皆の身体感覚に注意を向けてその場で起きていることを見守り育んでいく姿勢である．各項目について詳細を述べる．

（１）ゆるむ：準備期間も含めて「安心・安全」の場づくりがとても大事である．当日に至るまで慈しみの心や意識を向け自分を含めた参加者全員へ参加意図を読み解き各々のライフヒストリーを描くことが鍵となる．また当日準備も光，音，香り，空気の流れ，オブジェなどあらゆることに気をつかって場を整えていく．参加者が揃ってからはみんなで歩き回ってからだで場を感じることも行う．円形になってお互いの存在をフラットに感じるなどの工夫も行う．そうして呼吸法などのワークから入っていき，身体を緩ませていく．

図 1. シアターワークの一場面：間合いをはかるペアワークが場全体に連鎖し相互依存性を感じる

（２）きづく：自身や他者の「今ここ」の身体に注意を向け，肉体に在る心臓の鼓動や全身に広がる脈，呼吸といった無意識的な動きやその動きによって生じている感覚に気づく．また普段意識をしていない身体感覚やアクティブイマジネーションによって生じるような五感・知覚にも注意を向けて感覚を啓いていく．そうすることで，その場に現れるあらゆる身体感覚をありのまま受け取り尊ぶようになる．

（３）ゆだねる：自身や他者との関わり合いの中でおのずと生じる感覚を味わう．例えば図１のような間合いをはかるペアワークにおいて，リーダー＝フォロワ関係が動的に入替わることでみずから動く感覚とおのずから動かされる感覚の同居，さらにそこで間が合っているという間身体的な感覚を味わう．そして場全体に関係が連鎖していき，インゴルドのラインズ[20]のような生きとし生けるものの間に脈々と続いている相互依存性を感じる．ひいては感謝や慈悲の気持ちが芽生える．

（４）うまれる：イメージや見立ての力に支えられて間主観性が成り立つ場の中で，その瞬間に生まれる動きに寄り添う．外から観察すると，インプロなどの即興的なやりとりや，キーワードをもとにしたパフォーマンス表現のように見えるが，何かを作りにいくという意図的な表現ではなく，自身の内側から現れる一番弱く繊細な表現をありのままの形で出てくるよう留意する．個人の場合は箱庭療法など内省を促すようなものも選ばれる．意識と無意識，自身と他者の相互作用により，普段意識されづらかった自分を内省的に見出す体験によって，自分，他者，大いなる生命の叡智との繋がりを取り戻し，全体性を回復していく．自己や他者のいのちの営みに気づき生きていることの意味が身体感覚を通じてわかる．

洞察１：いのちの源流

本節以降は，著者自身のシアターワークの実践の中で得られた身体感覚やイメージをできる限り概念化していくことを目指す．

まず「*表現となる動きは確かに（おのずから）生まれているが，決して何ものかから力づくで動かさせられたわけでもなく，また自分の意志によって(みずから）動いたのではない*」がどのようなプロセスだったのかを考えていきたい．

初めてのシアターワークでイメージを用いた誘導によるムーブメントワークを行なったとき，普段の自分では起こり得ない身体の動きが現れ，それを自分のからだを通して，懐かしい感覚と共に原風景のイメージが降りてくる経験をした．木村の言う生命の源[21]に触れるような感覚にも近く，そのあともシアターワーク実践を継続していく中で，人生を川の流れに見立てるという洞察が得られた．その時の洞察を Let Life be the Flow of a River（人生を川の流れとすると）という詩にまとめ，2023 年 2 月に観想研究の国際会議でシアターワークのワークショップを共同主催し，パフォーマティブオートエスノグラフィとして発表した[22]．図 2 はその時の詩の内容をイラストにしたものである．

(1) 人生を川の流れにたとえると，いのちの始まりは源流である．もし源流から滞りなく流れが現在地まで来ていれば，源流からの勢いを感じて流れの中で生きていくことができる．(2) 一方，川にある石や岩は人生の一期一会で生じた営み，大小さまざまな石たちが川の流れを形作る．(3)(4) 時には，せきとめたり分けたりして川の流れを弱める．勢いを失った川は途中で留まり行く先の方向を見失う．

シアターワークはどう在りたいかの感覚を失った人々が源流に再接続し，本来の自己を取り戻す道である．

(5) そのプロセスはとても優しい方法で行われる．直に大きな石に触れて取り除くということは行わない．どちらかといえば流れが少しはっきりとしている箇所（幼少期・青年期など）の前後を，安心で安全な方法で流れをなぞらせていくうちに小石が流れていく．(6) 流れが整うと川は勢いを増し自然と前後にある他の石を動かし始める．

この川の流れの回復によって得られる源流との繋がりが「おのずから」の原動力であろう．と同時にこの流れの勢いを「みずから」感じており，その瞬間にこのまま流れに身を任せるのか，それとも流れに抗うのか「みずから」が向かう先を決めるのだろう．私たちは自分の意志で動くのではなく，おのずからとみずからによって動かされる．

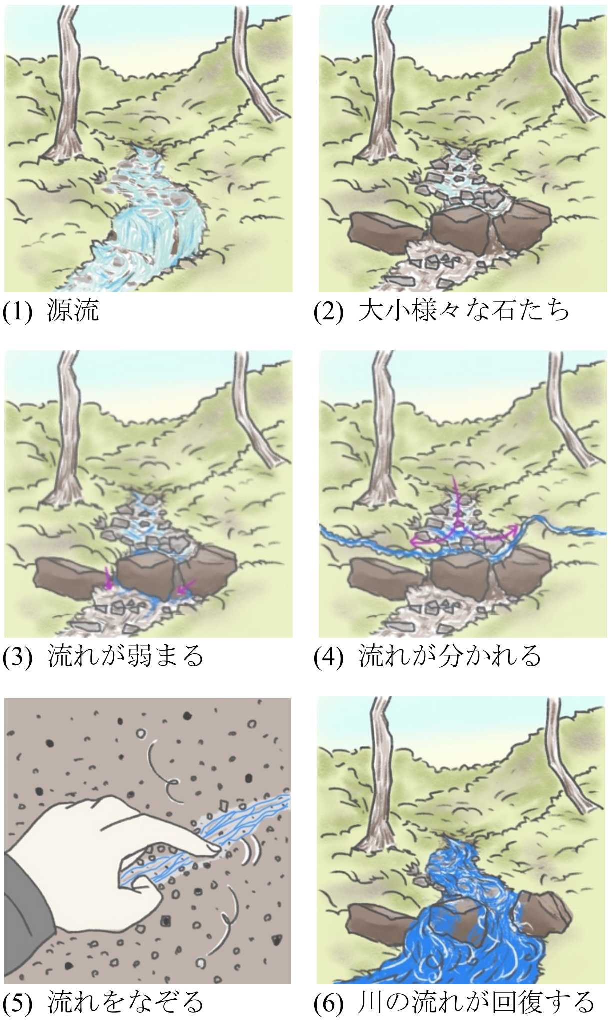


図 2 人生を川の流れとすると，シアターワークでは流れを回復して源流のありかや流れの向かう先が感じられるようになる．

おのずからとみずからのあわい

以上の洞察を「おのずからとみずからのあわい」[23][24]という観点をもとに紐解く．

竹内，山本によれば，みずからとはやまと言葉の「み」（＝身，すなわち肉体だけでなく精神体も含めた本人のからだ）が含まれ，からだで場に表現する，すなわち「うむ」「つくる」働きとされる．一方で，おのずからとは「おの」（＝おのれ，己，すなわち周囲の自然や霊性との相互作用もとらえた自身）が関係しており，場の中で自然発生的に現れる，すなわち「なる」働きである．もう一つの概念として両者の間に存在する「あわい」があると説く．あわいはおのずからとみずからの状態が重なっている非二元論的な世界をもたらす．これは日本文化の基本である和合，すなわち異なるものを異なると認識しつつ元々は一つであったと捉える調和的な態度から成る．

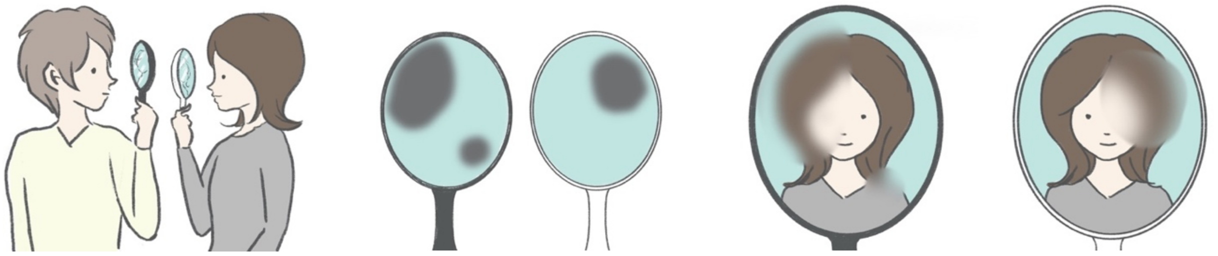


図 3 (1) 各々が鏡を持っている　(2) 欠けは人により異なる　(3) 相手の鏡を通して自分の影の部分に気づく

前節で得られたいのちの源流の洞察もおのずからとみずからのあわいと親和性が高い．実際のシアターワークでもペアの二人がお互いの右手の人差し指同士を合わせながら動き続けるというワークがある．この時もリーダ＝フォロワの関係性は目まぐるしく入れ替わるため，みずから動いているのかおのずから動いているのか区別はできず，どちらも共存している「あわい」の感覚を得ている．

洞察２：場と二人称的プレゼンス

次に*「他者との身体的な対話を行う中で，他者をありのままに感じることによって，本来の自己の一部を見ることができた．自身がどう在りたいかに気づけた」*プロセスについて考える．

2021 年の初体験後，一人でシアターワーク実践を続けていく中で，内なる声に導かれて動きを生み出す際に二人称的プレゼンスの有無による質の違いを不思議に感じていた．そして 2022 年 3 月 22 日での実践において，ファシリテータを交代しつつ類似したワークを行なった際に，ファシリテータによって場に異なる質感が立ち現れ，参加者にもたらされる感覚や変容が異なった．シアターワークを受けて出てくる反応はてっきり自分に関するものだと思っていたので，最初は他の方のファシリテーションで得られた感覚が小木戸氏によるものと違ったことに戸惑いを感じたが，何度か繰り返すうちに，ファシリテータの問題意識が現れたのだろうと思うようになった（問題意識は例えば，男性性と女性性の統合，対人関係，孤独感など）．実践しているのは参加者なのにそれはなぜか．その鍵は二人称的プレゼンスであるという感覚があった．

コンデンサのように働く共鳴磁場

なぜ二人称的プレゼンスが重要か．それはファシリテータと参加者が意図的に直接やりとりをしなくとも，二人が鑑賞者と演者の関係として同じ空間にいるだけで，まるでコンデンサのように二人の存在が影響し合う共鳴磁場のようなものが出来上がるからだというイメージによる．これは，能におけるシテとワキの関係や茶会における主人と客人の関係のように，相手のために何もせずにただそこにじっと存在する．ただし適度な緊張感を持って精神的・空間的に「せぬ隙」の間合いをはかっている関係[25]と類似点を感じたことが洞察のきっかけとなった．

図 4　一部が反射しない鏡

欠けのある鏡

ではどのように二者の共鳴が生じるか．これはワークの動きの中で相手の中に女性性を見出しながら，それが自分の内界にも存在することに気づいた経験がベースになっている．初回時も含め，その後の実践においても，他者を通して普段気づくことのなかった自分の一部を見たりする中で，全ての要素はもともと自身の内側にあって相手によって照らされる場所が異なるのではと感じた．そして，図 3 のような「欠けのある鏡」の洞察が得られたのは，ちょうど同時期に私の子供が一部反射しない鏡（図 4）を作ったのがきっかけであった．

図３は (1) 各々が鏡を持っているが，(2) その欠け方は人により異なっており，(3) 自分の鏡で自分の姿を見ると一部が反射せずに認識しづらい部分（ユングでいうところの影[26]に相当する部分）がある．例えば，私は男性の肉体を有するため男性性の要素は意識しやすいが，女性性の要素は意識しづらくなる．そして他人の鏡で自分を見ると反射の仕方が異なり，影の部分が照らされることによって気づかなった自分の一部を意識できるようになる．それを続けることで自己の全体性を回復していき自分

がどう在りたいかに気づいていけるのではないだろうか．そしてファシリテータとしてはできるだけクリアにしておくことが他の参加者の自己変容を促すのではないかという仮説がたった．

おわりに

本研究は身体知教育や表現芸術療法としてのシアターワークにおける自己変容がどのようなプロセスで起こるのか，また場やプレゼンスはどのように関わるのか一人称研究や ABR(Arts-Based Research)によって紐解いた．一人称記述から得られた洞察から，「源流から流れる川の勢い」というイメージが得られ，自然と現れた動きは「おのずから」と「みずから」の「あわい」によって生じたという仮説がたった．また，他者を通じて自己を見出すことに関しては，「せぬ隙」と共に間合いを保つ二人称的プレゼンスが重要で，「コンデンサのような共鳴磁場」，「欠けのある鏡」というイメージが得られた．そして，プレゼンスは鏡のように働くと考えると，できるだけ鏡がクリアであるようプレゼンスを磨くことがファシリテータとして重要であるという仮説がたった．

研究倫理審査

本研究は筑波大学図書館情報メディア系研究倫理審査委員会の承認を得ている（承認番号 23-18）

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 JP21H03552 の助成による

参考文献

[１] 鬼丸吉弘: 原初の造形思考, 勁草書房, (1985)

[２] 小木戸利光：シアターワークとは，https://toshimitsukokido.com/tpcr-theatre-for-peace-and-conflict-resolution, Theatre for peace and conflict resolution 事務局, (2018)

[３] 小木戸利光：シアターワークへの扉，https://haruaki.shunjusha.co.jp/posts/2684, 春秋社 Web, (2019)

[４] 諏訪正樹: 一人称研究の実践と理論―「ひとが生きるリアリティ」に迫るために−, 近代科学社, (2022)

[５] Leavy, P.: Handbook of Arts-Based Research, The Guilford Press, (2018)

[６] Adams, T. E., Jones, S. H., Ellis, C.: Autoethnography: Understanding Qualitative Research, Oxford University Press, (2015)

[７] 石原孝二編著: 当事者研究の研究, 医学書院, (2013)

[８] McNiff, J.: Action research: Principles and practice, Routledge, (2013)

[９] ジョン・ロックロラン, 武田信子監修: J.ロックロランに学ぶ教師教育とセルフスタディ―教師を教育する人のために, 学文社, (2019)

[１０] 佐々木健一: 美学への招待, 中央公論新社, (2004)

[１１] 小松佳代子: アートベース・リサーチの可能性−制作・研究・教育をつなぐ−, 勁草書房, (2023)

[１２] Spry, T.: Who are “we” in performative autoethnography?, International Review of Qualitative Research, 10(1), 46-53, (2017)

[１３] Honda, T.: Ginei as a Contemplative Practice: Visiting the Myriad of Souls of Lost Small Lives from the Ito-Campus "Development" of Kyushu University, https://devoraneumark.com/works/ginei/, (2020)

[１４] Imoto, Y.: A Performance AutoEthnography: Who Am I, What Brings me Here?, Workshop on Exploring "Theatrework" as Contemplative Practice and Research Method: Cross-cultural Dialogues at International Society for Contemplative Research Inaugural Conference, (2023)

[１５] Hunter, K..: Shakespeare’s heartbeat: Drama games for children with autism. Routledge, (2014)

[１６] ルドルフ・ラバン, 神沢和夫訳: 身体運動の習得, 白水社, (1985)

[１７] 竹内敏晴: 教師のためのからだとことば考, 筑摩書房, (1999)

[１８] 有科珠々: パリ発・踊れる身体―有科メソードによるダンスの実践と指導, 新水社, (2010)

[１９] まぁまぁマガジン編集部: 小木戸利光さんインタビュー, まぁまぁマガジン Vol. 25 あたらしいセラピー, エムエムブックス, (2023)

[２０] ティム・インゴルド, 筧菜奈子他訳: ライフ・オブ・ラインズ―線の生態人類学, フィルムアート社, (2018)

[２１] 木村敏: あいだ, 筑摩書房, (2005)

[２２] Matsubara, M.: Let Life be the Flow of a River, Workshop on Exploring "Theatrework" as Contemplative Practice and Research Method: Cross-cultural Dialogues at International Society for Contemplative Research Inaugural Conference, (2023)

[２３] 竹内整一:「おのずから」と「みずから」日本思想の基層, 春秋社, (2004)

[２４] 山本伸裕: 日本人のものの見方―<やまと言葉>から考える, 青灯社, (2015)

[２５] 河野哲也: 間合い: 生態学的現象学の探究, 東京大学出版会, (2022)

[２６] 河合隼雄: 影の現象学, 講談社, (1987)

運動とままならなさに見る熟達と環世界の変容
–アニメーターの一人称研究–

Transformation of Self-centered World during Mastery Process
as seen through Gesture and Uncontrollability
—First-person's View Research of an Animator—

舘野奏平 [1]　松原正樹 [1,2]

Sohei Tateno[1], Masaki Matsubara[1,2]

[1] 筑波大学 情報学群 知識情報・図書館学類
[1]College of Knowledge and Library Sciences, School of Informatics, University of Tsukuba
[2] 筑波大学 図書館情報メディア系
[2] Institute of Library, Information and Media Science, University of Tsukuba

Abstract: This paper describes the transformation of the author's “Umwelt" during the journey in aspiring to become an animator, utilizing first-person view research method. Specifically, it delves into the changes in an individual's epistemology through the concepts acquired from long-term practice, such as "gesture," "uncontrollability," and "redundancy and vulnerability".

1 はじめに

「自分の世界を表現したいと思って絵を始めてみたけど上手くいかなかった」「ギターを買ってはみたけど続かなかった」誰しも、何かできるようになりたい変わりたいと思って挫折する、そういった経験があるのではないだろうか。ではどうして諦めたのか。向いていないから、才能がないから、はっきり説明できる人は少ない。反対に、続けられた人はどうして続けられたのだろうか。楽しかったから、才能があったから。どちらにしても、はっきり説明できる人はいないのではないだろうか。いったい、「続けられない人/続ける人」、「できる/できない」を分けているその差は何なのだろう。それが分かったとして、どうやったらその差をつなぐことができるだろうか。

私自身にも、「アニメーションは向いていない、才能がないんじゃないか」と、道半ばで挫折しそうな時があった。そんな時、「身体知」[1]という授業と出会った。「身体が知っている知識」、その授業を受けてから、いかに私が「私という身体に対して向き合っていなかったか」を思い知ることになる。そして、同時に身体に向き合うこと、私自身に向き合うことが、現状を打破する「突破口」になるのではないかと予感した。「自分の身体に向き合う」とはどういうことか。「熟達」とは何だろうか。そして、熟達を通して、どのように見える世界や考え方が変わるのだろうか。私は、アニメーターが観ている世界を自分も観てみたいと思ってこの道を選んだ。「当たり前みたいに複雑で美しい瞬間」を、人が手で「描いているんだ」と知った時から、「世界の秘密」を見つめる彼らが心底輝いて見えた。

私は、卒業後はアニメーターとして新生活をスタートする。自分の観えている世界を変えることは、とても怖いことであったし、今でも怖い。しかし、内側から変えていく力を育み、変えていったという経験は、その後の大きな推進力になったと感じる。何気ない日常にグッと熱がこもり、生活が味わい深いものになっていったとも感じる。

近年、アニメーション産業の需要は増加の一途を辿っている一方で、現場では人材不足、技術継承などの課題を抱えている。さらには生成系 AI の登場により人が描くことの意義や、暗黙知をどう継承していくかといった方法論が問われている。

本稿では、実践を通じ、私自身という「主体」から観測される世界、「環世界」[ユクスキュル, 2005] の変容を記録し、先人の仮説と突き合わせながら独自の解釈を交えて考察していく。長期的かつ漸進的なプロセスを扱うことができる [諏訪, 2016] 一人称研究手法を用い、自身がアニメーション作画のスキルを獲得していく過程や日々の思考の変遷、いちアニメーターの個別具体的な暗黙知を紐解いていく。

[1] 2022 年に新規開講の第二著者（松原）が担当する筑波大学情報学群知識情報・図書館学類の専門科目

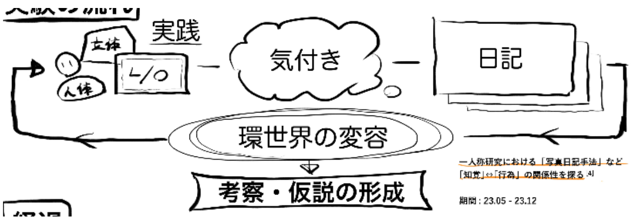


図 1:研究の流れ

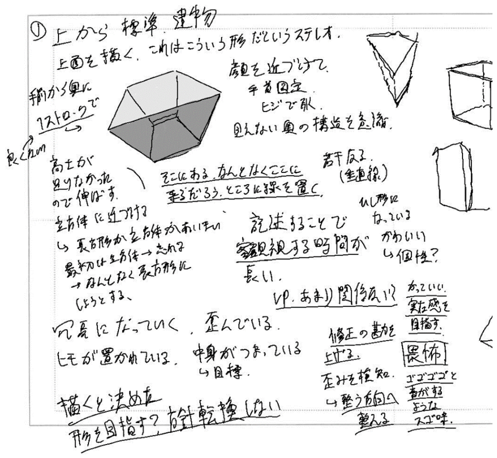


図 2: 実践におけるメタ認知記述

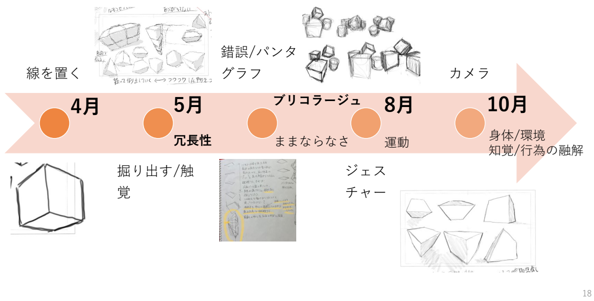


図 3: 実践と認識の変遷

2 研究方法

実践は 2023 年 5 月から 12 月にかけて行った。実践ではアニメーション制作の練習として立方体、人体、構図といった作画課題に関して毎日スケッチを描いた。1 日の生産量は平均 10 枚前後、計 20 冊 2000 枚程度となった。研究の流れを図 1 に示したように、制作内外での日々の生活で感じた印象・思考・気づき・体験を一人称研究における写真日記手法を参考にメタ認知記述 [諏訪, 2022] （図２） を行った。実践と記述を繰り返し、最終的に環世界の変容の描出を試みた。

図 4: 意識 S：細部を追ったスケッチ

3 実践で得られたこと

実践を通し、わざ言語「掘り出す」や「カメラ感」の獲得、「ジェスチャー」など認識の変化が起こった。他にも「できる」には「できた」が先にあること[伊藤, 2022] [デリダ, 2015]、切断は同時に統合であること、貧しい個体 [千葉, 2017]、意識レベルの数学的信念の解体 [エドワーズ, 2013]、生成物は再現物ではないこと [インゴルド, 2017] など先人の知見と共通する様々な気づきが得られた。本稿では特に、「ジェスチャー」「錯誤と遊び」といった制作での転換点、「冗長性」と「ヴァルネラビリティ」といった認識論の変化について後述する。

3.1 ジェスチャー

制作中の意識を３つに分けて考える。線を引く際、ペンの先や輪郭線の一部を追う、いわば「細部」を見る意識「意識 S」と、対象や紙「全体」をぼんやりと捉える意識「意識 L」、そして細部と全体を「手探り」に、迷いながら、結びつけようとする意識「意識 M」がある[佐々木, 2020]。この３つの意識の存在が、観察という知覚/行為においても制作という知覚/行為においても、日常的な視覚の営みにおいても存在する。制作において、この意識 S, M, L の反復、リズムが洗練されていくことが熟達の一側面であると考える。図 4 はなるべく意識 S、つまり「細部」に意識の焦点を当て描き続けた習作である。このように「意識 S」重視の軌跡は、細かなモデルの肌の起伏や服のシワの歪みまで気づき捉えようとしていることがわかる。しかし、鉛筆を紙から離し俯瞰してみると、左右の腕の長さや目の位置がバラバラで、全体的なプロポーションが歪んでいることが分かる。

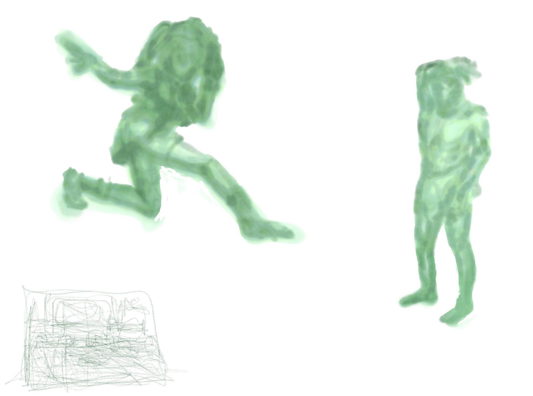


図 5: 意識 L：全体を意識したスケッチ

図 6: 意識 M：ジェスチャーによるスケッチ

これは「全体」が意識されないことで、線の行先が現在のペン先から非常に近いところに目標設定されてしまうことによる。たとえわずかな角度のズレでも、その積み重ねは大きなズレを生み、プロポーションの歪みを生んでしまう。

反対に、意識Ｌの「全体」だけに焦点を当てると、ぼんやりとしたシルエットしか掴めず、図５のようなぼんやりとした輪郭の絵が出来上がる。

意識Ｍ（図６）は、この意識ＳとＬの間を繋ぐような「手探り」の意識である。Ｍを仲介し、ＳとＬの意識を反復しながら対象を観察することで「ズレ」を軽減することができる。この意識 S・M・L の身振りは、何も実践中に限らず、習慣的な営みとして生活の中で繰り返されている。

実践の中で、「私は今細部を見ているな」という意識 S への自覚、「私は今全体を見ているな」という意識Ｌへの自覚は意識しやすい。見逃されやすいのは、このＳとＬを渡しグラデーションを作っていく（実際はコラージュのように「断絶」があるようにも思える）意識 M の存在だ。佐々木氏は意識 M を「習慣の意識」と呼んだ。「レイアウト変え」という例えは分かりやすい。これは、「意識」というよりも無意識の働きに近い。後述する「ジェスチャー」という概念が、この意識 M の存在を物語っていると考えている。

キーン・ニコライデスは、彼の著書の中で「ジェスチャー」という言葉を使った [ニコライデス, 1987]。氏によれば、ジェスチャーとは「動きの機能や生命、あるいは表情といったもの」である。「描くものがどう見えるかではなく、また、何であるかでもなく、いま何をしているかを描かなくてはならない(中略）描くときは全体が同時に進行するようにしなくてはならない。全体が一つのかたまりとして——エネルギーのかたまり、動きのかたまりとして感じ取るように試みることである」と述べる。

また、「人間や動物以外のものにジェスチャーの衝動を求めていくと、われわれは自然の摂理へと回帰していく。（中略）草には、太陽に向かおうとする衝動に基づく運動があり、風が吹けば前に後ろに揺れ動く。（中略）道路は、山では上り、谷では下って、森を突き抜ける。こうしたものも運動によって生み出され、運動の目的のために存在しているといってよい。このようにものをとらえる能力が備わってくることによって、プロポーションや遠近法といったその他のことも理解できるようになっていく。なぜなら、じつをいうと、そうしたものは運動によってもたらされたものであり、運動の一部だからである」と述べている。

つまり、私が熟達によって得ようとしている、掴もうとしている「プロポーション」や「立体」あるいは「空間」、それらを更に解体した様々な「パーツ」や「ニュアンス」と呼ぶべき「要素」は、「運動」によってもたらされたものであり、運動の一部であると述べることができる。イメージが、静的であるように「思い込んで」実は動的で絶えず揺れ動いているものであるように、静的にとらえられる「要素」としての諸概念も、「運動」という１つのスペクトルの上で捉えることができる。物事の構成単位は「運動」であり、流れの中の「淀み」のようなものであるとここでは考えている。

> *「目の中心で覚えようとしてはいけない　目の端で覚える　全体でぼんやりと　マイクロスリップで　そこに噛める影がある　描く時は目の中心で　（中略）　写真を撮る時も同様　マイクロスリップで　噛める影が滲み出てくるように　少しズラして　部分と部分が協調し波が合わさるように全体が立ち上がってくるように」*
> (日記:2023/11/14)

ジェスチャーは、鉛筆を紙から離さないことにより、制作者の描いている時の思考や感覚、迷いが軌

跡として残り、線がそれを揺れ動いて伝える。この「揺れ動き」には、感覚や思考といった「心」と、筋肉の運動やそれによる運動感覚といった「身体」、そして協奏する紙とペンといった「環境」を、「結びつけようとする」中で発生する「し間違い」や「マイクロスリップ」 [佐々木, 2020] の存在、つまり意識 M と呼ばれる「習慣の意識」の存在が見てとれる。

3.2 錯誤と遊び

前節では「具体的な一歩が思いつかない」ことによる試行の「回数」がそもそもこなされていないという点に熟達の躓きの原因があった。しかし反対に、「試行回数を多くし過ぎてしまう」ことによる躓きもある。図 7 はその時期(2023/6/1)のスケッチと記述である。

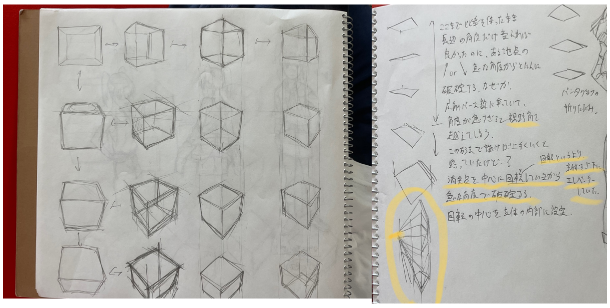


図 7: 錯誤のスケッチと記述

様々な練習法を、あっちこっちに重心を移しながら試行錯誤していた。試行回数は格段に多いが、「描けるようになったか」と問われるとそうは言えないような成果物ばかりが並ぶ。

ここでの行き詰まりは、為末と今井が挙げる「中途半端なパターン化」[為末・今井, 2023] が起こっていたのではないかと推測する。

例えば、立方体の上面は「パンタグラフ」のように折り畳む、引き伸ばすことで、上下の回転を表現することができると考えた。しかし、この「中途半端なパターン」にだけ頼った結果、立方体の中心、回転軸を見落としてしまうことになった。

為末は型について、「これは型を覚える段階においては、いいとこ取りできないことを意味している。A という流派のやり方を行いながら、B という流派を取り入れてもうまくいかないのだ。型の手順一つ一つには意味がある。なぜそれをやるのかを理解しないまま、切り出して別の方法論と混ぜるとバランスが崩れる」と述べる [為末, 2023]。

様々な流派をつまみ食いすることは、むしろ見たい（見えている）ものを見る傾向に収束してしまうことであった。広範に見たいものを探すより、「型」のような集中した範囲を冗長に丁寧に探索することがこの時は必要だったのではないか。

また、為末は遊びについて、「主体的であり、面白さを伴い、不規則なものである」とし、「人が主体的に行動するようになるには、やれば変わったという原体験が必要となる。「やれば変わる」と信じられる成功体験を得ることで、主体性をもつきっかけになる」と述べている。

前節で述べた「パンタグラフ」という、結果的に間違ったパターン化の実践を取り上げたが、実はこの「試行錯誤」の実践が、その後の実践において大きなポジティブな影響を与えることになる。「自分で考えて実験するって楽しいじゃないか！」と、自身のリソース＝「総体」を使って組み合わせ、「作ることの楽しさそれ自体」を体験するきっかけとなった。これがまさに為末が示す「遊」のプロセスであり、「これとこれとを合わせてみたらどうなるだろう…」と、予定情報を超えた「余剰」にアクセスする営みそれ自体の運動を、営みそれ自体の楽しさを発見した瞬間だった。ブリコラージュが、「余剰」へ手を伸ばす触手、道具となる。それは新たな運動を生み出すことにつながる。この時の「余韻」を求めて、成功体験（勘違いでも自己完結でもよい）が「快情動」を生み出し、学習のポジティブフィードバックループを始動させていた。

遊び自体が目的であり、遊びが不確定のエネルギーを生む。子供の遊びのように、砂山を作っていたかと思ったらままごとをはじめ、ままごとをしていたかと思ったら鬼ごっこをし始める。いつのまにかゲームがすり替わる。この冗長な営みが、絶えず変化する局面に振り落とされない、対象を眼差し続ける粘り強さをくれた。この「遊び」のプロセスは、後述する「冗長性」と「ブリコラージュ」の性質を含み、ジェスチャーに色濃く表れる、心身と環境を行き来し結びつけるマイクロスリップのような試行錯誤、意識 M とも呼べる「習慣の意識」が「そのもの」として生きられているような状態だ。

3.3 ままならなさ

「アニメ」と「アニミズム」の定義は由来を同じくする。ここではそもそもどうして「アニメーション」に惹かれるのか？自身の「制作」における根源的な欲求とは何なのかについて考える。下記は私が中学 3 年生の時に書いた読書感想文から引用したものである。

ところが、そこで僕ははっとひらめいた。もしかしたら生物は「愛嬌」なのではないかと。生物の生きる仕草一つ一つが、機械とは違った動きを

する。(中略) トカゲがキョロキョロと周りを見回し、首をかしげる。(中略) 生物は用事が無くたって動き回る……。これが愛嬌であり、生物特有のものなのだ」

「動的平衡」という概念は、課題図書であった福岡氏の「生物と無生物のあいだ」にて当時知ることになった [福岡, 2007]。中学生当時の私は、「生命とは何か」という問いに対して「愛嬌」なのではないかと答えている。

中学生の私が「愛嬌」と呼んでいた情動は、本研究中の実践においても度々その輪郭が浮かび上がっていた。私が感じる愛嬌とは、例えば次のようなものである。2023/11/20 の記述から引用する（括弧書きで補足を加える)。

「愛嬌とは　人の後頭部　寝ること (人が寝なければならないということ自体について　呼吸により腹部が上下する　無防備)　食べなければ生きていけない　不完全性を愛でる　過程を愛でること　「時間」と「動き」が関わる　愛嬌　蟻の触角　柴犬が立ち止まり虚空を見る　財布がエスカレーターの袖を勢いよく滑って落ちる　指で作る恐竜(中指を長い首と頭部、他の指を四肢に見立てる　ブラキオザウルスのよう)　胸がキューとなる感覚　ところがドロドロしたものもある　それを俯瞰しているという優越感　保身するための防衛反応　「かわいい」と思えれば安全だというだから「怖い」と隣り合わせ？　でも「かわいい」を届けたい　それは暖かく幸せで胸がキューとする「痛み」もある」(日記:2023/11/20)

制作中、作品や意識には、自身の意図や意思を離れて「しょうがないもの」「ままならないもの」が絶えず発生し侵入してくる。

東浩紀氏は「訂正可能性の哲学」にて、ヴィトゲンシュタインの「家族的類似性」と呼ばれる特性に対して、ここでいう「家族」とは「閉じることができないさま」を意味するものであると解釈し、「強制性」「偶然性」「持続性」をその特性として、国家や社会といったコミュニティを「訂正可能性」「家族的」という視点で捉えられることを示した [東, 2023]。

この訂正可能性で挙げられる「強制性」「偶然性」「持続性」は、国家や社会といった共同体に限らず、「制作」という営みの中にも絶えず発生する。つまり、「家族的類似性」の特徴は、制作する個人の身体レベルにも見出すことができる。例えば、平面上に表される「立方体」のシルエットや形態はアングルや被写界深度によって無限種類のバリエーションを持つが、あれもこれも実は「立方体である」という「遡行的訂正」を行えてしまう、「家族的類似性」の性質を見出せる。むしろこれが、熟達に共通する基本的な性質であるとも考えられる。

また、伊藤亜紗は、ヴァレリーが定型にのっとって詩をつくることにこだわった点に着目し、次のように述べる。

「価値は固定したものではなく、変動し、相対的なものとして扱われる。(中略) 諸要素の価値を決めるのは、過去のプロセスのみとは限らない。それは未来のプロセスにも同様に左右される。(中略)ゲームは、各要素の価値を過去のプロセスとの関係に委ねるだけでなく、それを未来に対しても開いた状態にするのである。この意味でゲームは、各要素の価値、ないし各要素の配置がもたらす価値の、漸次的な変形の過程である [伊藤, 2021]。

ヴァレリーは、自らの詩を「詩として表現された生理学的生命」と呼んだ。

強制性、偶然性に晒されるコミュニティは家族的な「ままならないもの」であると見なすことができるが、これは自分個人の身体も同じように「ままならないもの」であり、そして同じく制作も、「家族的なもの」が絶えず発生する。これとどう向き合うか、紙とペンと身体と意思と無意識が協奏する流れに、身を委ねる必要性に迫られることがある。「遡行的訂正」を行っていく営みが、熟達には眠っている。

伊藤氏貴は、四方田の定義する「かわいい」からは「不完全性」「消極性の積極的受容」「主客未分」という３つの日本的美の特性が読み取れると主張した。(ちなみに東は、家族的なものが「人間の根本的な価値原理の可能性」であることを指摘した [伊藤, 2018]。)

生命とは「動的平衡」であるとして、「訂正可能性」がそれと同じ「身振り」を表しているのだとしたら、私が生命に抱く「愛嬌」という情動は、「家族的」と呼ばれる性質に関連して発現している可能性がある。私が「愛嬌」という情動を引き出す発動条件が、制作や熟達という営みそれ自体に眠っている可能性がある。

生命は、「余剰」に対して常にさらされ、アクセスを行うことを「強制」されている。そして「遡行的訂正」は「習慣の意識」として「マイクロスリップ」が現れるのではないか。マイクロスリップは、絶えず「余剰」に対して開こうとする時に、どうしても侵入する「ままならなさ」が、目に見える「動き」として表出される。私はそこに対して「愛嬌」を感じているのではないか。つまり「家族的」「不完全性」「ままならなさ」が、マイクロスリップといった「動き」として立ち現れてくる。「習慣の意識」によって絶えず発生する「ままならなさ」によって、「ジェスチャー」や「し間違い」「マイクロスリップ」「冗長性」が漏れ出ていて、その営みを「愛嬌」と呼んでいるのではないか。

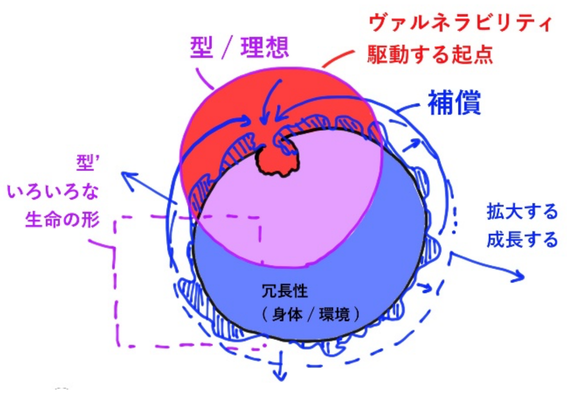


図 8: 熟達の過程

「絶えずままならないものが侵入してくる」という生命の「不完全性」に対して、対象の中に見出すばかりでなく「自身もそうである」という「主客未分」、そしてそれを肯定しようとする「消極性の積極的受容」がここでは生じているのではないか。「萌える」という動詞的な側面の強調は、この「積極的受容」のニュアンスが含まれているのかもしれない。

しかし一方で、四方田が指摘するように、「かわいい」という未成熟に対する「美学」は、必ずしも肯定的な営みとはみなされない。このことは自身のメタ認知記述からも、そこに決してポジティブな情動のみが含まれないことが読み取れる [四方田, 2006]。

「かわいい論」では「かわいい」の構成要素として「小ささ」「未成熟」「グロテスク」があるという四方田の見解が展開される。これは本研究全体を包括する「潜在的な」動機である可能性があるが、自身がまだメタ認知できない領域、あるいは現時点では「直視」できない領域が含まれている可能性がある。

熟達を目指す中で自身に潜在する「未熟の美学」とどう向き合うのか、今後の課題としたい。

4 冗長性とヴァルネラビリティ

考察として、これまで見出した概念の関係や位置付けを整理し、図 8 に示す現在のわたしの熟達観を紐解いていく。表面に渡る微小な自我、型/理想との差異によって顕在化されるヴァルネラビリティ/欠陥を起点として、それを補償するように身体/環境に秘めた冗長性が駆動しだす。一種の過剰補償が起こることによって、冗長性は拡大/成長し、型や理想を内包することを目指す。

熟達という言葉を聞くと、つまり「うまい絵を描く」ということだろうと考える人がいるだろう。私自身も、研究の当初は「うまい絵を描く」ことがイコール熟達でありゴールであると方向性を位置付けていた。しかし、ではこの「うまい絵」とはつまるところどういうものなのだろうか。「正しい」ことだとしたら、絵において「正しい」とは何なのか。写実的であることを指すのだろうか。写真のように正確な絵を目指すのであれば、どのようなアプローチが考えられるか。「視覚的再現」を効率的に目指そうとすると、その都度その都度、そっくりそのまま、対象をフレーム比に合わせて、画像を転写するようにインクを置いていけばいいということになる。視覚情報をそのまま記憶し、転写することが最も「正確」であり、可能であればこれが迂回のない効率的な上達への最短経路のように思われる。しかし、それだけでは自身のイメージを表現すること、例えば「いろんな物体をいろんなアングルから描く」ようなアニメーションにおいて必要とされるスキルを獲得することは難しいように思える。人間の身体は奔放で、必ずしも効率的で直接的なアプローチが最良の手段とは限らない。

型の形成においては、教師のねらいを超えて結果的に学んでしまった内容（「過剰情報」）が学習の下支えにあることが指摘され [生田, 1987]、また身体レベルにおいてもその下部構造の冗長性が技能の習得に貢献することが指摘されている [野澤, 2021]。

ラタッシュは、こうした redundancy（冗長性）の性質をよりポジティブな意味合いに捉えられるよう、abundancy という語を提案した [笠井, 2002]。

ニコライデスは、自著の中で何度も視覚以外で「観る」こと、つまり「触覚」を使ってモノを触れるように「観る」こと、発展的に、自分の全身をモデルや静物にも「身重ね」し、共感すること、肉体的な反応を感じ取ることが重要だと述べていた [ニコライデス, 1987]。

「観る」とは視覚だけで見ることではない。「立方体」から「空間」へ、ジェスチャーや「触れて観る」といった「描く」ことを通して、自らの制作におけるコトの環境世界に、触覚や音、重さ、流れといった視覚だけでない「冗長性」が育まれた。人間はひとつの行為から「冗長」と言えるほど多くの情報を想起させている。コトの環境世界で生じる数々の余韻という冗長性が、「描く」上で粘り強く対象と向き合うことを助けてくれた。この冗長性が、「オートポイエーシス」あるいは「訂正可能性」を成立させていると考える。オートポイエーシスが、イメージをホールドする「柔」の筋肉となる。「遊び」や「型」は、主にこの「冗長性」を発掘し、開拓し、伸ばしていくプロセスであったと言えるのかもしれない。

身体は良き「無駄」とも言える様々な可能性を内包しており、冗長性によって成立している。為末が述べる身体の「柔らかさ」とは、身体の冗長性によ

ってもたらされる性質ではないか。「効率化」つまり、コントロールしようとすると上手くいかなくなることがあるのは、この「良き無駄」である「冗長性」が失われるためであると考えることができる。

「絵を描く」ことは生存において一般に必要に迫られない。絵を描けるようになるとは、今から冗長性を身につけることであるといえるのかもしれない。それは、「視る」と同時に、「触っている」「重たい」「悲しい」と、日常生活を営む上で効率化される認識以上の「コト」を想起させることにつながる。

筆致や色彩という「運動感覚」によって鑑賞者を「運動」させる。流れの中に身を置かせることで、脳の使っていない「筋肉」を働かせる。古びたニューロンを活性化させる。こうして生じる様々な「複合感覚」が、生を実感させる。

中学 3 年生の私は、生命とは「愛嬌」だと考えた。蟻は触角を絶え間なく揺れ動かし、巣から這い出し左右を確認する。柴犬は走り出したと思ったら急に立ち止まり、何もない虚空を見つめる。こうした一連の動作に、私は代え難い情動と生命を見た。この「愛嬌」には冗長性が、「小さなうごき」が眠っている。精密で効率的な「予定情報」以上の行動をしない機械は最小限で無駄がなく、失敗しない（ままならなく揺れ動く愛らしい機械もいるが)。だが、生物は絶え間なく揺れ動き、「ままならなさ」にさらされる。そこに「共感」や「同情」が生まれる。生命に対して「萌える」とは、「ままならなさ」を眼差し「共感」することと言えるかもしれない。

たまたま運動がフィットしていた、動きが生存にたまたま有利に働いた。それは実態とかけ離れた幻を観ているとしても、最終的な外部への出力＝運動が、環境にフィットしていればいい。今わたしが観ている世界は、ほとんど実態とかけ離れた「幻」であり、その度合いは想定以上かもしれない。運動によって幻が作り出され、幻によって運動が作り出されている。私たちの身体、私たち人間という「型」、生物は「型」とも言える。これはたまたま持っていた、身につけた、不可抗力的に、運動がこれまで「良く機能」してくれて、生存し「淀んだ」、良い「型」、良い癖のようなものであり、しかし、障壁に出会い、「悪い型」、悪い癖に転じてしまう可能性がある。ゲームが変われば、一瞬で悪い癖に変わる可能性がある。生存に不利になる。癖を転じなければならない、型を転じなければならない、それはやがておよそ人間だと思っていた癖を転じなければならないときがくるかもしれない。限られた世界の中での反復を、偶然に「奔放に」飛び出し、偶然に新しく「良い」運動に乗り換えていく。「身体」も世界という大きな流れにとってひとつの「癖」のようなもので、癖とは淀みであり、癖は、「繰り返されてしまうもの」だ。そこに「同一性」が生まれる。生物とは、「繰り返される運動」である。

「かわいい」はヴァルネラビリティに満ちた存在であり、「ままならない」ものである。この「ままならなさ」、「傷つきやすさ」や「欠陥」といったものは、身体が「柔らかい」ことによるものだととらえることができる。「冗長性」は、身体が「柔らかい」ことのひとつの証左だと言える。メルロポンティは「触覚」に注目したが、「触覚」とはすなわち「傷つきやすさ」である [長滝, 2022]。「傷つきやすさ」が「冗長性」となり、身体的営み、生物的営みを支えている。また「欠陥」が「冗長性」を駆動させること、「冗長性」「ヴァルネラビリティ」と呼ばれている変数は、過去からのプロセスだけでなく未来からの遡行的訂正によっても決定されるという多元的振る舞いを見せる。

なぜ私は絵を描くのか。絵を描くという活動は一般的に生活に必要とされない冗長な営みであると思われる。しかし、それでも描くのは、ある種の「必然性」に駆られている。それは「強迫性」ある種の「ヴァルネラビリティ/欠陥」によって駆動している。勉強には「強迫性」によって達成される向きがある。「不足」を補おうとする「過剰」の働きが「熟達」には存在する。制作というミクロなレベルでも、熟達というマクロなレベルでも、例えば「触るように見る」や、「わざ言語」の働きかけが、視覚の「映像記憶能力」を補う。「なぜ絵を描くのか」という大きな背景レベルにも、自身の「欠陥」が眠っている可能性がある。「型」に頼ることも、読書量を誇ることも、「かわいい」に傾倒することも、その冗長な営みには「ヴァルネラビリティ」が横たわっている。「快楽」とは「傷つくこと」であるとも言えるのかもしれない。

冗長性とは、豊富な傷つきやすさを持っていることと言える。むき出しの「傷」という裂開が、接続可能性を生む。世界を身体とした時の、自分という「指」、習慣の意識である。

5 結び

著者はアニメーターとして駆け出しであり、技能も未熟である。本研究は熟達者を対象とした研究ではない。あくまでも習熟者の視点から、その道半ばから見える景色の移り変わりを記録に残すことに努めた。習熟途中だからこそ、熟達者には気づきづらい環世界の構造を示すことを期待した。例えば、本稿で挙げた「運動」に着目するきっかけとなったジェスチャーや、遊びを通して錯誤する経験、冗長性 / ヴァルネラビリティに注目する認識論の変化が実践を通じていく中で起こった。遊ぶように動くことによって発見する未知の感覚、無駄や既に過去のも

のだと思われていた感覚を再発見すること、遊びが何よりも活力を生み出し、「豊富性」が対象を観察/描写することを粘り強く助けてくれた。これらの経験は、熟達の初期段階において特に有意義ではないだろうか。

成長はＳ字カーブを描き、初期中期においてはそれぞれ「近くをゆっくり」と「遠くを速く」の運動の違いが見られるという。「近くをゆっくり」行くことに対する認識の変化は、過度な焦りを軽減し、自分や環境を見つめ直す勇気をくれた。

参考文献

[1] 東浩紀. (2023) 訂正可能性の哲学. ゲンロン.
[2] 生田久美子. (1987)「わざ」から知る. 東京大学出版会.
[3] 伊藤亜紗. (2021) ヴァレリー 芸術と身体の哲学. 講談社.
[4] 伊藤亜紗. (2022) 体はゆく できるを科学する〈テクノロジー×身体〉. 文藝春秋.
[5] 伊藤氏貴. (2018) 美の日本: 「もののあはれ」から「かわいい」まで. 明治大学出版会.
[6] ティム・インゴルド. 金子遊, 水野友美子, 小林耕二訳. (2017) メイキング: 人類学・考古学・芸術・建築. 訳. 左右社.
[7] ベティ・エドワーズ. 野中邦子 訳. (2013). 決定版脳の右側で描け第 4 版. 河出書房新社.
[8] 笠井達哉, 道免和久. (2002) 運動神経生理学講義: 細胞レベルからリハビリまで. 大修館書店.
[9] 佐々木正人. (2020) あらゆるところに同時にいる: アフォーダンスの幾何学. 学芸みらい社.
[10] 諏訪正樹. (2016) 「こつ」と「スランプ」の研究. 講談社.
[11] 諏訪正樹. (2022) 一人称研究の実践と理論. 近代科学社.
[12] 為末大. (2023) 熟達論: 人はいつまでも学び、成長できる . 新潮社.
[13] 為末大, 今井むつみ. (2023) ことば、身体、学び: 「できるようになる」とはどういうことか. 扶桑社.
[14] 千葉雅也. (2017) 動きすぎてはいけない: ジル・ドゥルーズと生成変化の哲学. 河出書房新社.
[15] ジャック・デリダ. 高橋哲哉 訳. (2015) 脱構築と正義. 講談社.
[16] 長滝祥司. (2022) メディアとしての身体: 世界/他者と交流するためのインタフェース. 東京大学出版会.
[17] キーモン・ニコライデス. 北村孝一訳. (1987) 素描の基礎技法. エルテ出版.
[18] 野澤光. (2021) 書道熟達者の臨書制作プロセス. 東京大学大学院情報学環紀要. No. 93, pp. 35-52.
[19] 福岡伸一. (2007) 生物と無生物のあいだ. 講談社.
[20] 四方田犬彦. (2006) 「かわいい」論. 筑摩書房.
[21] ヤコブ・フォン・ユクスキュル, ゲオルグ・クリサート. 日高敏隆 , 羽田節子訳. (2005) 生物から見た世界. 岩波書店.

すべてモノには周波数がある

All Things Are Characterized by Frequency

福田収一

Shuichi Fukuda

慶応大学システムデザインマネジメント研究所

Keio University, System Design and Management Research Institute

Abstract: Research is divided into two: One is acadmeic research. The other is daily life based. We come across many events which triggers our motivation to study "Why?" or "How does it occur?". This talk is my experience of daily "Why?". These experiences I talked about made me realize the importance of Fourier Transform.

はじめに

「すべてモノには周波数がる」という講演題目を見て「どのような講演なのか？」と思う人は多いであろう。英語の題目が本講演の内容をより正確に表現している。

なぜこのような題目をつけたかというと、この研究会の講演の多くはまさに研究についての講演であり、非常に理論的な研究が多い。すなわち、包括的にまとめようとする講演が多い。

しかし、私の場合は、日常生活から「なぜ？」と感じた経験をもとに個別的に考えているうち「すべてのモノには周波数がある」と感じたので、それを纏めた次第である。

知識は自分の蓄積された警官を構造化して、判断の基本としている。これまでの時代は変化が緩やかで、滑らかであったので微分でき将来を予測できた。　しかし、最近 VUCA (Volatility, Uncertainty, Complexity, Ambiguity) [1]という言葉が注目を集めている事実が示すように情報は急速に複雑化してきた。こうした時代に対応する上で身体知の重要性が急速に増してきている。ただし、最近のこうした変化に対応するためには従来の方法の高度化ではなくまったく別の対応が必要となる。

本講演では、こうした視点からどのような対応が必要となってきたかを議論し、そこで周波数が重要な役割を果たしている

こと、そこで周波数を基盤とする身体知の研究をこれから開発する必要があることを述べる。

動きの重要性

　英語では生物(Living Things)はCreatures と呼ばれる。それは、生物は動いて生命を維持ているからであす。すなわち、Create Movement to Survive から来ている。

　少し話題を変えると、Create と関連する言葉に Cultivate という言葉がある。文化（Culture）はこの Cultivate と語源が同じである。また文化に対して文明という言葉がある。文明は Civilization である。Civilization という言葉が示すように、Civilian、すなわち市民と関係している。

　日本語の文化も「化ける」から文明「明らかにうする」と対応できる。すなわち、文化とはいろいろな経験を集積して、それを変化させ、それらを構造化して私達皆が利用できるように構造化して明確化することを意味している。

　実際、歴史を調べると各世紀の最初の「２０年ぐらいは新しい活動を創造する動きが活発であり、、それらの挑戦の中で将来性のあるモノが各世紀の菜頃に普及し、その世紀の残りの年に文明として発展、拡大してきている。

大きく変化した現実世界

　VUCA という言葉の急激な普及が示すように現実世界が大きく変化した（図１）。

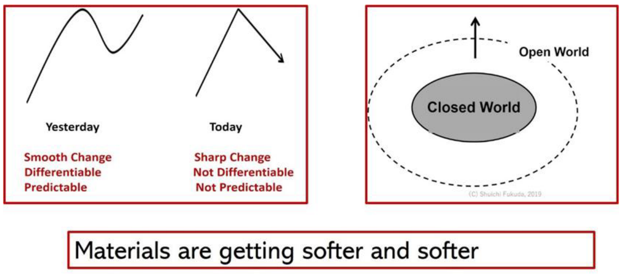


図１現実世界の変化

　昔も現実世界は変化していた。しかし、その変化は緩やかであった。したがって、微分することができ将来を予測することができた。しかし、最近の変化はシャープであり、微分できない。将来が予測不能となった。

　また、以前は生活空間が小さく閉空間で

あり、境界が明確であった。しかし、最近急激に生活空間がグローバル化し境界が消滅し会空間となった。そのため従来は数式的処理が容易であったが、それが急激に困難となった。

さらに、もっと大きな変化はこれまではモノ（Product）は Hardware と呼ばれるように形状が変化しなかった。そのため視覚うだけでそれがどのようなモノであり、どのように使えばよいか判断できた。

しかし、最近は材料工学の発達によりモノのソフト化が急激に進んでいる。掴もうとして掴めなければ掬う。すなわち、状況に応じて動作しなければならない。

数式が使える時代は制御（Control）ができた。しかし、数式の適用が困難となるといろいろな要素を判断して調整（Coordinate）する必要がある。

Control の時代は制御する要素は明確であり、産業革命以来の Product を基盤とする産業社会で対応できた。すなわち、間隔尺度（One, Two, - -)の時代であった。

しかし、Coordination の時代となると、どのように動けばよいかという意思決定をしなければならない。すなわち、順序尺度(First, Second, - -)の時代となった。

これまでの計算機処理は計算機が０－１基盤であったので Digital 処理であり、そこで DX（Digital Transformation）が重要であった。

しかし、こうした離散の世界ではなくなり、すべての要素を考慮しなければならない連続の世界となってきた。そしてその連続性も VUCA が指摘するように非常に複雑となった。

「なぜ？」の重要性

研究と言うと、包括的に理論の構築を目指す研究が大部分であり、いわゆる学会での講演はこうした研究のみであると言っても過言ではないであろう。

しかし、研究には個別の事象を対称にした研究もある。日常生活で「なぜ？」と感じてそれについて調べることを私達はよく行っているが、こうした研究は一般的にあ「研究」と呼ばれていないが、これは実は非常に重要である。「動（Motivation)」という言葉がそれを表している。すなわち、

「動いて調べてみよう」いう機会を与える意味が「動機」であり、英語の Motivation も語源はラテン語の点 Movere から来ている。すなわち、To move という意味である。

筆者が日常生活で感じた「なぜ？」の例は例えば

●なぜ画像もないのに発言者が女性、男性と分かるのか？

●音楽は音符で記述できる。なぜ人はわざわざ音楽会へ行くのか？

●なぜ演奏者、声楽家に好き、嫌いがあるのか？

などである。

テレビもない昔はラジオだけしかなく、音を聞くだけで楽しむことができた。それは男性、女性、そしてその状況が音だけで判断できたからである。

また音楽は音符があるので、曲は正確に再現できる。しかし、私達が音楽会に行くか、また好きな演奏家や声楽家がいるかと言えば、それは曲の正確さを求めているのではなく、「気持ち」を共有できるからである。

こうした「なぜ？」から出発して「周波数」が実は私達の Communication において非常に重要な役割を果たしていること、また Communication も Community も語源が同じであり、そうして楽しい仲間を作り上げることが理解できた。

Fourier Transform

これを端的に言えば Fourier Transform がいかに私達の生活において重要な役割を果たしているかを実感したことになる。

なぜ Fourier が Fourier Transform を開発したのか筆者はよく知らないが、Fourier Tranform が身体感覚と非常に深く結びついていることを実感した。

このような「実感工楽 (Why Engineering)」の一経験を述べさせていただいた。

参考文献

[1]Bennis, W. and Nanus, B.: Leaders: Strategies ofr taking charge, Harper & Row, New York (1985)

囲碁における長期暗黙知探求プロセスと支援システムの展望

Long-Term Tacit Knowledge Exploration Process in Go and Prospects for Support Systems

佐々木柊真 [1] 山田雅之 [1]
Syuma Sasaki[1] Masayuki Yamada[1]

[1] 九州工業大学
[1] Kyushu Institute of Technology

Abstract: This study explores the role of tacit knowledge in the process of acquiring Go skills, using a first-person approach by the author, an amateur Go player. It identifies a cognitive transformation in the author ’ s approach to balance in play, emphasizing the importance of “ eyes ” (territory) and defense and recognizing that aiming for balance alone is insufficient. Additionally, the author develops a system deemed necessary for further exploration and skill acquisition, suggesting that practitioners developing such systems can effectively advance their skills. This approach highlights the potential for self-guided improvement and explores the evolution of strategic thinking in Go.

1 背景

1.1 熟達化研究

生活に根ざした実践者の長期にわたる熟達プロセスを共有し，その支援についての検討が求められている．

熟達に関わる研究は熟達者がいかに優れているかに焦点を当て，初学者との違いに着目した研究が多くなされてきた [1]．本研究で対象とした完全情報ゲームでは多くの検討がされ，チェスを題材とした研究 [2] では，熟達者が複数のコマをチャンクという塊で記憶していることが明らかにされた．しかしながら，こうした従来の「実験」の枠組みでは実践者が長い時間をかけて熟達していくプロセスの検討が困難であった．

一方で長期の熟達過程は 3 段階（認知・調整・自動化）のモデル [3] で示されている．しかしながら自動化されたスキルをより熟達させていくには再度そのスキルに焦点を当て，さらに良い構造（認知の構造や動きの構造）へと再構造化させることが重要となる．こうした過程は人によって多様であるため，詳細なデータを示し共有していくことが求められている．

長期の生活に根ざした実践では，多様な要因が入り乱れ因果関係を明らかにすることが難しい点が問題として挙げられている．古くから人工知能の開発においても指摘されているフレーム問題 [4] が背景にあるように，長期の熟達過程についての検討は従来の科学的な枠組みではアプローチが困難であるとされてきた．

1.2 一人称研究とメタ認知記述

近年，そのリアルな熟達こそが重要であるという考えのもとに，一人称研究 [5] に基づいた研究が進みつつある．一人称研究とは，客観的な観察・分析から 普遍的な知見を発見するという従来の科学的研究で立ち入ることのできない，知の状況依存性，身体性，個人依存性に向き合い人間の知に関するさらなる探求を進めるための研究方法論である [5]．

長期の熟達過程は暗黙的であり，背景に暗黙知 [6] の存在がある．暗黙知が無意識的で詳細には表出することが不可能であるという特性を持つことから，暗黙知を探求することは困難である．しかしながら，メタ認知記述の変容がパフォーマンスの変化を表し，メタ認知を記述することが暗黙知探求を促進するという知見が集積されつつある．例えば，ボウリングを題材とした研究では，メタ認知記述の分析から身体部位への意識の詳細度がスコアの変化を反映することが示された [7]．陸上競技を題材に行われた研究では，新たな問題を見出そうとする模索と問題解決のサイクルがメタ認知的言語化によって促進されることが示された [8].

メタ認知的言語化を定義する諏訪によれば，言語化する対象は・思考・身体部位の動き・五感的知覚 (五感的に何を感じているか)・自己受容感覚 (筋肉や関節を動かした結果としてどんな体感を得ているか) であるが，それらを全て言語化することは不可能であり，無意識に身体が実行していることをあえて意識し言語化できる範囲で言語化するというのがメタ認知的言語化

である [9]．メタ認知的言語化は，自動化状態を破壊し新たなスキルを開拓することを促進する，新たな着眼点への気づきを促すなどの点でスキル獲得に有効であると考えられている [10].

1.3 長期探究過程を支援するシステム

こうした多様な長期の熟達過程を支援するシステムの開発を検討するには，100 点のモデルを構築し，そこからどれだけ逸脱しているかを示すのみでは不十分である．こうしたモデルのシステムが多く開発されているが，例えば動きであれば，膝を下げるために何を意識すべきかは多様である（例えば膝を曲げる，足首を曲げる，腰を下げるなど）．こうした背景を受け，熟達の過程においては実践者自身が変化を自ら気付けるようなシステムが開発されてきた [11][12].

加えて，近年の ICT 発展によって従来はシステム開発が一部の専門家による極めて高度なスキルによって実現されていた時代から，多くの人々が試験的に挑戦可能な領域へと変わりつつある点も重要である．我が国では小学生からプログラミング教育が開始されるようになっている点や，将棋のプロ棋士である藤井聡太選手が高度な計算機を用いて自ら探究を進めていることが話題 [1]となった点からも実践者自身が開発を進める時代が近づいていると考えられる．

1.4 囲碁と AI

囲碁は中国発祥で 6 世紀ごろ日本に伝わったとされており，二人零和有限確定完全情報ゲームである．二人の対戦者が黒と白の石を碁盤の上へ交互に置いていき，陣地を多く作ったほうが勝ちとなる. 囲碁の平均終了手数は 250 手と仮定されている [2]. 囲碁においてプレイヤが実施している着手決定，形勢判断などは暗黙的である．なぜその着手が浮かぶのか，どのように有利不利を判断しているかといった理由はプレイヤ自身にも説明困難な場合がある．アマチュア高段者のレベルであっても対局後，両プレイヤともなぜ自分が勝ったか，なぜ自分が負けたかを把握できない場合もある．

囲碁 AI は人間のトップレベルを大きく超える強さを誇る．2016 年 5 月には Google 傘下 DeepMind 社が開発した囲碁 AI である AlphaGo Lee が 18 度の世界大会優勝を誇るイ・セドル 9 段に 4 勝 1 敗で勝利した．さらにその後開発 された AlphaGo Zero は AlphaGo Lee に対し 100 戦 100 勝の成績を収めた [13] . 本研究では囲碁 AI エンジンに KataGo[3]を利用した.KataGo は AlphaGo のアルゴリズムを参考に作られており，オープンソースで公開されている中では最も強いとされる囲碁 AI のひとつである.

本論文内に登場し，議論する上で必要な囲碁用語を挙げる.「眼」のない石 (生きていない石) は，放置しておくと相手に取られてしまう可能性がある. 石を取られるとその箇所はすべて相手の地となるので，一般に石を取られることは囲碁において損である. 眼のない石を相手から攻撃され，その石を取られないように打とうとすると，地の増えない手を打たされがちとなり，不利になりやすい. 以上のような理由から，眼のない石をなるべく作らないようにすることや眼のない石を早急に守る (眼を作るなど) ことは重要である. 眼の有無は勝敗を分ける要素のひとつである.

1.5 目的

本研究は囲碁アマチュア高段者であった第一著者（以下「著者」は第一著者の佐々木を指す）による 8ヶ月にわたる暗黙知探求のプロセスに対して，認知的な側面について時系列でその変容を検討した．従来の科学的な研究では実験・分析・結果・考察の順で記述される論文が多く見られるが，本研究は生活に根ざした実践研究であるため，時系列でのストーリーを中心に論文を展開した．本研究の実践で実装したシステム開発を通して長期の暗黙知探求を支援するシステムを実践者自身が検討することについて今後の展望を述べた.

2 実践

2.1 著者の背景

著者は囲碁アマチュア高段者であった．7 歳の時に囲碁を始め，競技歴は約 15 年で 3 度の全国大会入賞歴があった．大学 1 年から 3 年の間，出場した大会の 9 割以上で地区予選を勝ち抜き全国大会に出場した．大学 1 年から 3 年の間に出場した約 10 回の全国大会では 1 度のみ 4 位入賞した．著者のようなアマチュア高段者は対局後に初手から最終手までを再現することができ，同時に対局中の思考についても振り返ることが可能なレベルであった．研究開始以前の日常的な活動は，週に 3 日ほど実施していたインターネット囲碁対局であり，1 日の対局数は 1 から 3 局程度であった．著者は卒業研究の研究室選択において，自身の実践フィールドである囲碁の熟達過程に関わる研究を実施したいと考え，学部 4 年生となった 4 月に本研究（実践）を開

[1]https://fujiisota.amd-heroes.jp（2024 年 3 月 9 日確認）

[2]著者によるインターネット囲碁対局の棋譜 100 局をデータとして集計した結果，終了手数の平均値は 202 手，中央値は 204 手であった.

[3]https://github.com/lightvector/KataGo（2024 年 3 月 9 日確認）

始した．当時，囲碁に触れるのは 1 日 1 時間程度でさらに囲碁講師[4]としての活動のほうが多いという状態であったが，研究室配属をきっかけにプレイヤとして更なる熟達を目指し囲碁に取り組むこととした．

2.2　実践概要

実践期間は 2023 年 4 月から 2023 年 11 月までの約 8 か月であった．著者はこの間アマチュア大会に出場し，対面での練習会にも参加した．日常的に行う主な練習として，インターネット囲碁対局サイト「野狐囲碁[5]」を用いて 653 局の対局を実施した．日常の活動の中でメタ認知記述（囲碁熟達に対するメモ）を記録し，毎週の卒論ゼミにおいて発表と議論を実施した．

さらに，以上のような実践を行う過程で考えたことを文章にして記述した．野狐囲碁での練習対局やメタ認知記述は，基本的にいつどれだけの数行うといったルールは設けず行った．ただし 10 月 24 日から 11 月 16 日までの期間については，実践をより効率的にすることを目標に記述に対するルールを考案しそれに沿って実施した．考案したルールは次の通りであった．・練習対局に負けた場合，その都度必ず記述を行う．・記述は 1 局に対して AI による検討を行う前と行った後の 2 度行う．・全対局に対して評価値グラフを作成し，パターン分類を行う．・1 週間を一区切りとして勝敗やグラフパターンを集計し考察する．

本研究は著者が生活の中で囲碁の熟達を目指し探求する活動を中心に据えている．本研究は 4 月から始まり，学生最後の大会であった 11 月の試合まで継続され，その後卒業研究として実施した上記メタ認知やゼミの資料の分析を進める中での気づきのストーリーである．実践の期間を 4 月から 6 月初旬の練習会まで，6 月から 9 月初旬の大会まで，9 月から 11 月下旬の大会まで，それ以降という 4 つの期に分割した（図 1）．これらの分割は著者が実践者として大きな影響を受けた出来事や，大会までの期間によって分割されている．

3　実践のストーリー

著者の辿った暗黙知探求過程を，ゼミ発表資料やメタ認知記述から述べる．本研究では，メタ認知の記述と同等にゼミでの議論が認知的な側面に大きな影響を及ぼしたと考えられたため，両者を研究データとして採用した．なおこれ以降本論文でメタ認知記述を引用する際は二重かぎかっこ『』を，ゼミ発表資料内の記述を引用する際は大かっこ［］で示した．

[4] 著者は動画共有サイトにおいて囲碁解説の動画を配信し，オンラインでの囲碁指導を実践していた

[5] 野狐囲碁は世界最大の囲碁対局サービスである．https://webigojp.com/

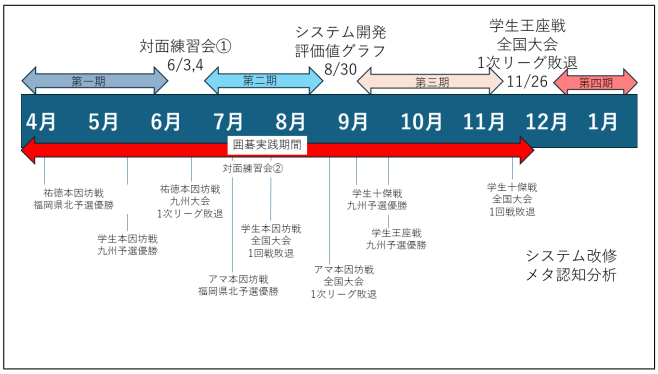


図 1: 実践概要

3.1　第一期：悪くしないために「眼」に気をつける

著者は，囲碁というゲームで最も大切なことは自分が大きなミスをせず五分を維持することであり，その精度をいかにして高めるかが重要であると考えていた．さらに，悪くしないためには「眼」に気を付けることが重要であると考えていた．これは研究序盤（主に 4 月）のメタ認知記述から読み取ることができた．

- 『冷静、悪くならないことが最も大切』
- 『弱い石を作らずとにかく負けない、「悪くならない」』
- 『眼の意識』
- 『眼のない石の逆から打たない』

6 月，著者はプロやアマチュア全国大会優勝経験者などと練習対局する機会を得た．計 7 局の対局を実施し 1 勝 6 敗という成績であった．その練習直後に行われたゼミで発表した内容が以下である．

- ［プロとの力の差は思ったより微差］
- ［中盤〜終盤入口まで評価値五分に打ち進めることも充分できる］
- ［プロやプロ修行経験者は何か一段違う、何かはっきり強いが…］
- ［なんだろう最後は勝っている］

結果としてはほとんど勝てていないのだが，中盤まで五分で打ち進めることができていることに満足し手応えを感じていた．上記の記述を今見ると「微差」と「何かはっきり強い」と矛盾した内容であるが，当時はそれに気づいていない．このとき，対局していただいたプロ棋士の先生から「実戦不足を感じるので，とにかくたくさんの対局を積むのが良い」との助言をされた．

3.2 第二期：自分の判断と囲碁 AI による評価値のズレへの着目

五分で進める方略に対する手応えと，たくさんの対局を積むのが良いという助言を得た著者はインターネット囲碁対局での練習を実施しながら「どうすれば悪くならないか」「ミスを減らすにはどうすれば良いか」を考えていた．8 月，著者は自分の判断と囲碁 AI による評価値のズレに着目した．そこで，直近 2 日間（8/21,22）に実施した練習対局 19 局に対して 30 手ごとに自分の思う評価と AI による評価値を記録し差を算出した．評価を実施した総回数は 131 回であった．加えて，勝った碁と負けた碁に分類し分析した．勝った碁が 10 局，負けた碁が 9 局であった．結果を以下図 2 および図 3 に示す．

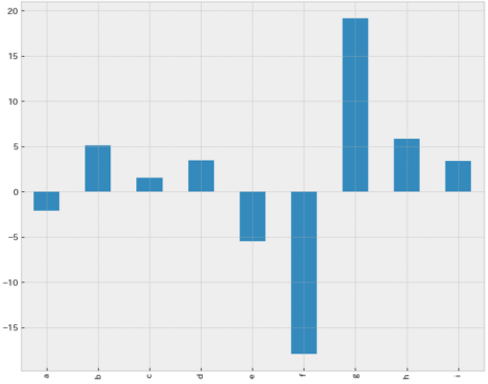


図 2: 勝ち碁

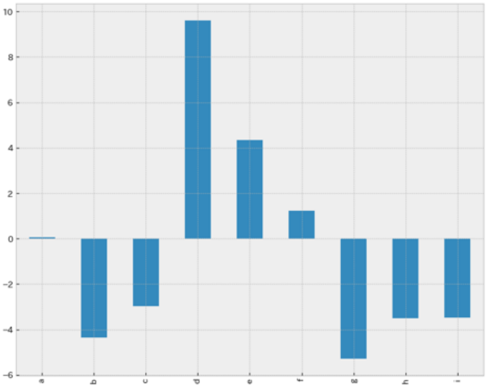


図 3: 負け碁

図 2 および図 3 は横軸が手数，縦軸がズレを表す．グラフの左側がゲームの序盤，右側が終盤である．ズレは自己評価から実際の評価値を引いた値としたため，マイナスならば悲観（実際より自分を悪く判断している）を，プラスならば楽観（実際より自分を良く判断している）を意味する．図 2 と図 3 を比較すると，勝った碁では中盤を悲観し，負けた碁では中盤を楽観している傾向が読み取れた．このことからの記述が以下である．

- ［悪いと感じているくらいの方がなんとか打開しようといろんな手を必死にヨムし、少々リスクを負ってでも最も得する可能性の高い手を選びやすくなりそれが結果功を奏している？］

しかしこの結果は機械的に 30 手ごとの評価を調べただけであった．このことに対する問題意識を以下に示す．

- ［互いの連続する着手で+15 →-15 のような場面が見られる、これは互いにあること（AI の言う最善）を見落としてスルーされ、何事も起こらなかった点だと考えられる］
- ［ここは上達やパフォーマンスを上げることに大きな意味があると思うが、これを拾おうとすると 1 手ごとしかない］
- ［1 手ずつ解析しようとすると 1 局 1 時間半〜2 時間は見なければならない］

上記の記述からわかるように，1 手ごとの評価値グラフがあればベストだが，1 手ごとの評価値グラフを得るのに時間と労力がかかりすぎるという状態であった．そこで，著者は自動解析のソフトを用い，評価値の保存とグラフ化に必要なコードを自ら実装することとした．このシステムについては 5 節で詳しく述べる．

3.3 第三期：システムの実装と負けパターンの分類

9 月，システムの実装がひと段落し 1 手ごとの評価値グラフを現実的な労力で得られるようになった．しかし，何十局分もある評価値グラフを漠然と眺めるだけでは有効な気づきが得られない．次の施策として，著者は負け方に着目した．

- ［どうもグラフを見てもピンとこない］
- ［自分が思う減らしたい負け方を考え、それに該当する碁を抽出するためにグラフを参照する］

この視点でグラフを見ることにより著者はグラフパターンが 4 つに分類できることに気付き，改善を目指すべき優先度もつけることができた．加えて，負けパターンごとで特に注目が必要な評価値を下げた個所についても言語化することができるようになり，グラフ上に印をつけることも始めた．以下図 4 に分類の方法を示し，最も着目すべき箇所について述べる．

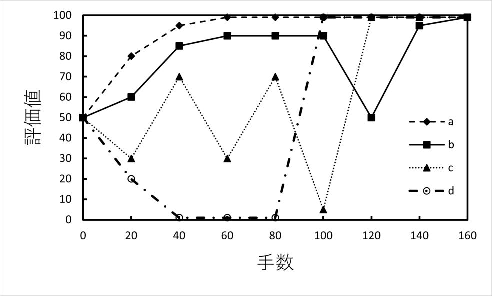


図 4: グラフ例

・図中 a, 完敗型：盛り返す場面が一度もなく一方的な碁，注目箇所：五分から垂直に近い形で変化している箇所，・ 図中 b, 五分に戻る型：一時的に五分まで盛り返す場面があるが，1 局を通して相手有利で推移した碁， 注目箇所：五分にできる可能性があった箇所，最初に悪くした箇所，・図中 c, 二転三転型：評価値が 50 をまたぐ変化を複数回繰り返す碁，注目箇所：最後に悪くした箇所，・図中 d, 大逆転型：自分の評価値がほぼ勝ち（黒なら 100，白なら 0 近く）になるが，1 か所のミスで逆転する碁， 注目箇所：逆転した箇所．

続いて負け碁グラフ 16 局に対して上記の分類と印付けを行い，印の付いた箇所を詳しく調べ集計した．その結果以下のような傾向と方略を得た．以下はゼミ発表資料からの抜粋である．

- ［守りと攻めとの比較がわからず、迷って攻めを選び損をした→迷ったら守りを選ぶ］
- ［相手を攻めながら守ろうとして、迷いながら打った手が失敗→ヨミ切れていないなら 100 ％守る手を選ぶ］
- ［守りと攻めの比較で攻めが良いと判断したが守らなければならなかった→意識的に攻める手の評価を控えめにし守る手の評価を上げる］
- ［まとめ：守備を優先する］

著者はこの後，研究期間終了まで攻撃と守備の選択の際守備を優先するとの意識を最重要事項として持つように心がけて練習および大会の対局に臨んだ．

3.4 第四期：シーズン終了後のメタ認知記述分析とシステムの改修

大学 4 年シーズン最後の大会まで結局望んだような結果は出なかった．特に最後の大会（11 月）での負けた碁は守備優先を実行できた実感があったし，評価値を下げた近辺をどれだけ調べても何が悪かったのか理解することが困難であった．この直後のゼミにおいての議論の中で著者は評価値ではない目数差という別視点を追加するため，目数差もグラフ化できるようシステムを拡張した．すると新たな発見があった．目数差を追加したグラフを図 5 に示す．

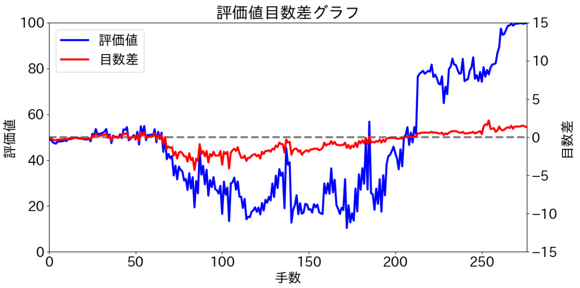


図 5: 気づきをもたらしたグラフ

この碁では，評価値に比べ目数差が明らかに変動しておらず，目数差を基準に見れば初手から終局までほぼ五分であった．つまり，五分で推移させるということを 1 局を通して完遂できたにも関わらず負けた碁であった．このグラフに出会ったことで「悪くしなければ良い」という大前提が崩れ，自分より強いプレイヤとの差を悟った．6 月までの記述を再掲した上で，最終的な気づきの記述を示す．以下の記述はメタ認知記述およびゼミ発表資料からの抜粋である．

- 『悪くならないことが最も大切』
- ［プロとの力の差は思ったより微差］
- ［中盤～終盤入口まで評価値五分に打ち進めることも充分できる］
- ［プロやプロ修行経験者は何か一段違う、何かはっきり強いが…］
- ［なんだろう 最後は勝っている］

上記（6 月）に対する最終的な記述が以下であった．

- ［大きく悪くしないことを互いにできるのは大前提で、その上でどう相手より少しだけ前に出るかという戦いをしているのかなと思った］
- （プロと）［差はある］
- ［自分は大きく悪くしないことにエネルギーを使い、そのためにどうするかを勉強し方略を立てていた］
- ［より上のレベルでは互いにそれができたほぼ五分の状態からどう勝つかを勉強し取り組んでいるのでは？それができないと五分→勝ちに自分の力でできない］

- ［そこを勉強している人とそうでない自分が打つと、たしかに自分が上手くやれば 五分近辺で推移させることができるが、そこから自分が勝つ確率は低い］
- ［半年前微差の負けが多い、何か一味違う…と言っていたのはこの部分に取り組んでいるか否かの差だったのではないか］

最終的な記述では 6 月に記述した疑問に対する著者のなりの答え（課題）が確認されたと考えられる．

4 実践への考察

4.1 囲碁の成績

実践期間において囲碁の成績が変化したかについて集計した．具体的には，アマチュア大会の成績および練習対局の成績を集計した．

結果，アマチュア大会の成績と練習対局の成績ともに大きな変化は見られなかった．野狐囲碁 8 段戦における成績の集計結果を表 1 に示す．被験者の野狐囲碁 8 段戦における勝率は概ね 5 割後半であり，最も低かった時期も 5 割前半であった．期間中大きな勝率の変化はなかったと言える．

表 1: 野狐囲碁 8 段勝率推移

時期	勝率	対局数
4・5 月	.577	71
6・7 月	.575	66
8・9 月	.527	129
10・11 月	.558	229
全体	.556	495

4.2 メタ認知記述に対する定量分析

メタ認知記述を対象に，KH Coder を用いた定量分析を実施した．まず自由記述の整理として，形態素解析を行った．この際多く出現するがそれだけでは意味をなさない記述を除外し，囲碁用語として出力すべき語を強制抽出した．さらに，意味が同じで表記の異なる語をいずれかの表記に統一してまとめた．これらの前処理を実施したうえで，頻出語の集計と共起ネットワークを用いた分析を実施した．得られた結果のひとつである共起ネットワーク図を以下図 6 に示す．

図 6 では，色が青に近いほど前半によく登場する傾向であり，赤に近いほど後半によく登場する傾向であることを示す．ノードの色から前半は「眼」が，後半は「守り」が特徴的であった．3 節と矛盾しない結果が定量分析からも得られた．加えて，枝の色から共起関係の変化が読み取れる．図 6 内の赤枠部分を見ると「自分の石」から青に近い色の枝が「眼」とつながり，赤に近い色の枝が「形」とつながっていた．青枠部分を見ると,「判断」から青に近い色の枝が「眼」とつながり，赤に近い色の枝が「ミス」や「形勢」とつながっていた.「自分の石」と共起する語が「眼」から「形」へ,「判断」と共起する語が「眼」から「ミス」や「形勢」へ変化したことが読み取れた.「眼」の優先度が下がったのではないかということは自覚していたが，具体的に何へ変わったのかは自覚できていなかった．この点は定量分析から得た気づきである．

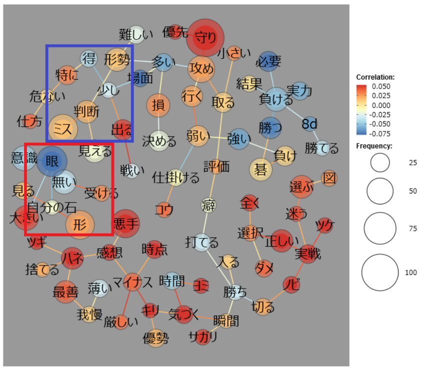


図 6: 全体ネットワーク図（共起パターンの変化）

加えて，囲碁を実践した 4 月から 11 月を 2 か月ごとに区切って解析した結果を示す．ここでは先述の四期とは異なり，より詳細なメタ認知記述の変化について検討するため，2 か月ごとに区切っている．2ヶ月ごとの共起ネットワーク図を以下図 7 から図 10 にて示す．図中の赤枠および青枠を用いた印は著者による．

4・5 月および 6・7 月の最頻出語は「眼」であった．図で「眼」という語を含むサブグラフに注目すると，赤枠に示す通り同サブグラフ内に 4・5 月では「意識」, 6・7 月では「無い」「自分の石」「守り」が登場していた．これらのことから，4・5 月に見られた「眼」の「意識」という記述が 6・7 月では「眼」の「無い」「自分の石」を「守る」へ変化したことが読み取れた．

8・9 月の共起ネットワーク図では，図 9 の赤枠内などからわかる通り図 7，図 8 には登場しなかった「パフォーマンス」「大会」「強い」などの語が登場していた．8・9 月は，碁の内容についての記述が少なく，大会でのパフォーマンス，勝敗といった表面的な事実に関する記述が多い時期であった．

10・11 月における最頻出語は「守り」であった．図 10 内につけられた青枠の印を見ると分かる通り,「守り」の他「眼」「ノビ」「キリ」「ハネ」などの囲碁用語が登場していた．このことから 8・9 月とは異なり再び碁の内容について記述していることがわかった.「守り」に

注目してみると，図 10 赤枠内に示す通り「攻め」という語と直接共起したことが特徴的であった．被験者が「守り」をただ自分を守るということだけでなく，攻めとのバランスを取る，攻めすぎないなど「攻め」とつなげて考えるようになったことが読み取れた．

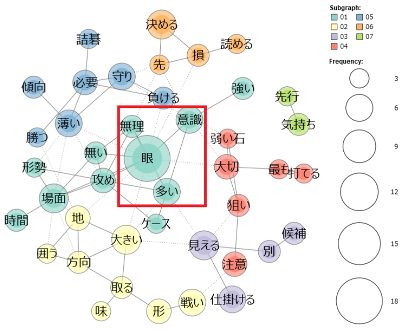


図 7: 4・5 月の共起ネットワーク図

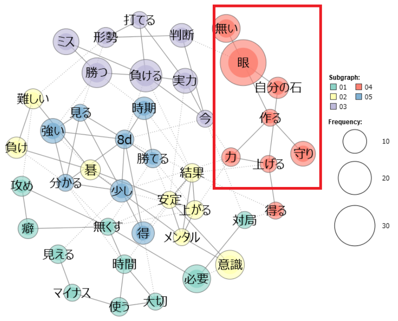


図 8: 6・7 月の共起ネットワーク図

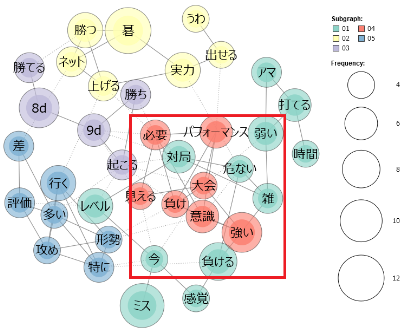


図 9: 8・9 月の共起ネットワーク図

5　システム開発

本研究で実装したシステムは，sgf（smart game format）ファイルを読み込み，評価値および目数差情報を

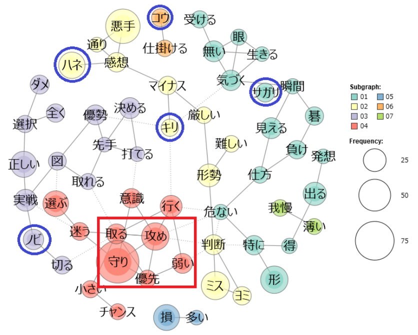


図 10: 10・11 月の共起ネットワーク図

抽出し，白番から見た値を黒番から見た値へ変換しそれらのグラフを描画する．加えて，抽出した評価値と目数差を csv ファイル形式で保存する．システムの構成は 1．棋譜ファイルを読み込む，2．評価値と目数差を抽出する，3．必要であれば自己評価ファイル（csv）の値を読み込む，4．グラフを描画する，5．評価値と目数差を csv ファイル形式で保存する，であった．グラフ描画の例を図 11 に示す．

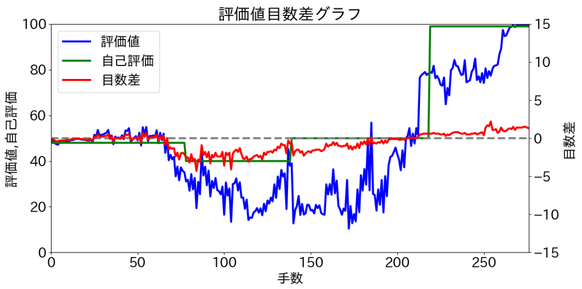


図 11: グラフ描画の例（自己評価あり）

5.1　システム開発の展望

本研究で開発したシステムについての展望を以下に示す．第一に，本研究で実装したシステムは一度に 1 局の棋譜データしか扱うことができないものであった．複数局の評価値グラフを比較することに意味があると考えられるため，同時に複数局のデータを扱いグラフ化できるようにすることで，自己評価を除いた過去の棋譜データの比較検討が容易になると考えられた．

第二に，本研究においてグラフによる負けパターンの分類やポイントへの印付けは被験者の手動によるものであった．この点に関して，負けパターン分類や AI 評価値の変化量が大きい箇所（対局者が大きなミスをしたと考えられる点）への印付けの自動化することで，実践者の負担軽減につながるとともに，実践者自身が

そのモデルを作ることで，パターンを表現することになるため理解の深化が期待できる．

続いて，さらなる探求を支援可能なシステムとするための考察を述べる．実践の過程で記述しその分析結果から変容を把握することは実践者の探求を支援すると考えられる．評価値などの情報に加えメタ認知記述もシステムによって集計や可視化ができればより実践者の探求を効率的に支援することができると考えられた．本研究で実装したシステムを評価値や目数差に加え記述部分を抽出し保存するよう拡張すれば，システム利用者が sgf ファイルと別で記述ファイルを作成する必要を無くすことが可能である．保存した記述ファイルの分析（共起ネットワークの作成など）機能をシステムに追加することができればより理想的である．

6 総括：実践者がシステム開発を実施する意味

本研究の著者は初心者でなくすでに 15 年の競技歴を持つプレイヤであった．8ヶ月間という実践期間は勝敗として目に見えるような熟達を観察するには短かったと考えられる．しかしながら，本研究では，熟達を目指したプレイヤが自らシステムを開発した．実践で得た気づきをシステムに反映させ，システムから得た気づきを実践に反映させた．特に 3.4 節で顕著に表れているように，この探求によってもたらされた認知面の変化が存在した．実践者自身が単にシステムを用いるのでなくシステムを開発する過程に価値があると考えられた．全ての人が使えるシステムだけでなく，自らの興味関心に従って，己のために意義のあるシステムを開発し続けることは実践者が更なる熟達を目指し探究を支援する手段として有効であると考えられた．

著者は 11 月の大会までにシステムを開発しつつ，探究を続けてきた．自らの中で「眼を意識してミスをしなければ良い」という 100 点の認知モデルから，分析を進める中でより熟達するための「課題発見」へと繋がったことが示唆されたと考えている．

今後も本研究のような生活に根ざしたシステム開発も伴う実践研究が推進されることを期待したい．

謝辞

本研究は九州工業大学情報工学部情報・通信工学科の卒業論文「囲碁における暗黙知探求過程の一人称研究: メタ認知記述の変容および AI 評価値可視化による支援システムの検討」(2024) 佐々木柊真，に対して加筆修正した内容である．本研究の一部は JSPS 科研費 22K12315 の助成を受けたものです．

参考文献

[1] Ericsson, K. A., Hoffman, R. R., Kozbelt, A.: *The Cambridge handbook of expertise and expert performance*, Cambridge University Press (2018)

[2] Chase, W. G., Simon, H. A.: Perception in chess, *Cognitive psychology*, Vol.4, No.1, pp.51–81 (1973)

[3] Anderson, J. R.: *Cognitive Psychology and Its Implications*, Freeman (1990)

[4] 松原仁, 橋田浩一: 情報の部分性とフレーム問題の解決不能性, 人工知能学会誌, Vol.4, No.6, pp.695–703 (1989)

[5] 諏訪正樹, 堀浩一（監修）: 一人称研究のすすめ-知能研究の新しい潮流, 近代科学社 (2015)

[6] マイケル・ポランニー: 暗黙知の次元-言語から非言語へ, 紀伊國屋書店 (1980)

[7] 諏訪正樹, 伊東大輔: 身体スキル獲得プロセスにおける身体部位への意識の変遷, *2006* 年度人工知能学会全国大会（第 *20* 回）論文集, 2D1-6 (2006)

[8] 堀内隆仁, 諏訪正樹: 走りを追求するアスリートの物語身体で実践し, 気づき, 考え, 解り, 実践する, 第 *30* 回人工知能学会全国大会, 1M4-OS-14a-5 (2016)

[9] 諏訪正樹: スポーツの技の習得のためのメタ認知的言語化: 学習方法論 (how) を探究する実践, *FIT2007,* イベント企画 「近未来技術と情報科学-スポーツと情報技術-」 抄録, (2007)

[10] 諏訪正樹: 身体知獲得のツールとしてのメタ認知的言語化 (＜特集＞ スキルサイエンス), 人工知能学会誌, Vol.20, No.5, pp.525–532 (2005)

[11] 矢島佳澄, 筧康明, 諏訪正樹: 発声のメタ認知促進システム “ いい声マイク ” の提案, インタラクション *2011*, (2011)

[12] Nishiyama, T., Suwa, M.: Visualization of Posture Changes for Encouraging Metacognitive Exploration of Sports Skill, *International Journal of Computer Science in Sport*, Vol.9, No.3, (2010)

[13] David, S., Julian, S., Karen, S., et al.: Mastering the game of go without human knowledge, *nature*, Vol.550, pp.354–359 (2017)

上肢関節の角度変化の緩急パラメータ化による舞踊動作の印象の可視化

Visualization of Impressions of Dance Movements by Slow and Fast Movements Parameterization of Angle Changes of Upper Limb Joints

門屋遥　松田浩一

Haruka KADOYA, Koichi MATSUDA

岩手県立大学大学院

Iwate Prefectural University

Abstract: In this study, we propose a method for visualizing the relationship between dance movements and impressions by expressing upper limb joint motion in terms of two parameters: slow and fast movements. Using the proposed method, we obtained the feature values of time series angle data, and confirmed the correspondence between the impressions of "light/heavy" and " curvilinear/linear".

１．はじめに

地域で伝承が続いている固有の伝統舞踊は，主に指導者からの口伝により継承されている．指導者は「印象の言葉」（印象語）を使って指導をすることが多く，指導者と学習者の間でイメージの共有をするのに苦心するという現状がある．例えば，指導者にとっては，イメージの共有ができたか分からず，また，学習者はどのように動きを変えれば理想とする踊りになるのかが分からない．これは，動きを評価する客観的な指標がない事が原因になっている．そこで，指導者が使う印象語の本質や，ある印象を与える動きの要因を明らかにする為に，情報技術を用いた踊りの分析が試みられるようになった．石川ら[1]は，沖縄の民族舞踊「カチャーシー」を対象に，下肢の動きの変化で印象の違いを生み出すことが可能であると明らかにした．また，丸茂ら[2]は，日本舞踊を対象に,『しっとりとした女らしい印象』を与える足の運び方を定量的に示した．

岩手県盛岡市に伝わる伝統舞踊に「盛岡さんさ踊り」がある．菊地ら[3]は，盛岡さんさ踊りの，熟練者同士の踊りの質の違いを対象に，腰部の加速度に注目して研究を行った．熟練者同士の質の違いを，加速度の時系列波形の比較に加え，ヒストグラムを用いて可視化した．その結果，時系列波形が類似していても，加速度の出現率に大きな差があり，踊りの詳細な違いが明らかになった．

また尾関ら[4]は，盛岡さんさ踊りの「ハラハラ動作」（図１）と呼ばれる，ジャンプしながら片腕を上下させる動きを対象に,腕の動きの『柔らかい印象』に注目した．踊り手の，手の甲の動きの角加速度をヒストグラムで比較し，踊り手による『柔らかさ』の印象の違いが，ヒストグラムの形状で表せる可能性が示唆された．尾関らの手法では，ヒストグラムの形状の違いから，踊り手の動きの質が違うことは分かるものの，違いの判断は主観であり，多数の踊り手の質の違いを比較することは難しい．

そこで本研究では，盛岡さんさ踊りのハラハラ動作を対象に「柔らかい腕の動きの緩急の，印象の違いの可視化」を目的とする．具体的には，印象の違いを与える数値的な要素を指標として，踊りを分析する事を目指す．緩急について，数値的分析手法を確立することで，舞踊指導の現場や，踊り手の練度向上の場面において役立てることを目指す．

図 1　ハラハラ動作を踊る踊り手．各画像の左下の番号は時系列を示す．左手をお腹の前で構え，小さくジャンプしながら，右手を 3 回叩く

2. 本研究における緩急の定義

2.1.緩急の定義

本稿における「緩急」と，緩急を構成する要素を以下のように定義する．

- 緩急：1動作（一方向に向かう動作）の間で，角度変化の速度が「遅い→速い→遅い」と変化すること
- 緩（かん）：動き出し(始端)と動き終わり(終端)の２箇所に存在する時間当たりの変化量が小さい部分．前半（始端）側か後半（終端）側かで時間配分が偏る
- 急（きゅう）：緩と緩の間にある，緩より時間当たりの変化量が大きい部分

以下の図２は，緩急のイメージ図である．これは緩が後半に偏っている例である．緩と急には明確な境目は無い．

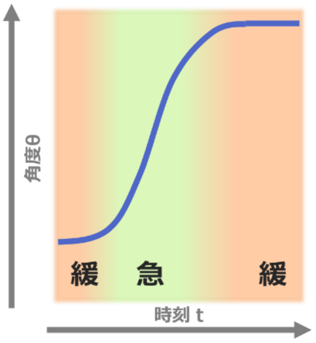


図 2　1動作の「緩」と「急」のイメージ

2.2.「緩」と動きの関係

先行研究[5]において，腕が上にある時間が長いと『軽い印象』に，下にある時間が長いと『重い印象』になる事がシミュレーションによって示されている．これを「緩」の偏りで説明すると，上げ動作で「緩」が後半に偏り，下げ動作で「緩」が前半に偏るとき，上にある時間が長い動きになり，即ち『軽い印象』の動きになる．逆に，上げ動作で「緩」が前半に偏り，下げ動作で「緩」が後半に偏るとき，腕が下にある時間が長い動きになり，即ち『重い印象』の動きになる．

2.3.「急」と動きの関係

先行研究において，急激な角度の変化があると『跳ね上がる』印象になることがシミュレーションによって示されている．これを「急」のきつさで説明すると，急がきつい動きだと『跳ね上がる印象』，『動きの印象が直線的』になる．逆に，「急」がきつくない動きは『丸みを帯びた印象』，『動きの印象が曲線的』になる．

3. 提案手法

柔らかい動きの緩急の印象の違いは，角度変化の曲線形状に現れる．本研究では，角度変化の曲線の特徴を二つのパラメータのみで表すことで，緩急の特徴を容易に分類する手法を提案する．提案手法により，角度と時刻の情報を，緩と急を軸とするグラフに変換できる．

3.1.データを 1 動作に分割

角度変化を 1 動作（一方向に向かう動作）ごとに扱うために，極大値，極小値でデータを分割する．対象動作の右上腕，右前腕の角度変化には共通して，極小値が三つ，極大値が二つ存在する．このうち，一つ目の極小値から，三つ目の極小値までの区間を対象とする．この区間には，上げ動作と下げ動作がそれぞれ２回含まれている．

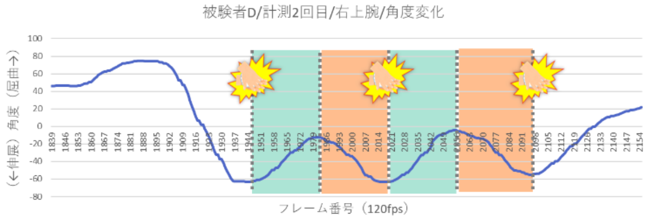


図 3　ハラハラ動作の角度変化を１動作ごとに分割した範囲（着色部分）．極小値では手を叩く．

3.2.３次 Bezier 曲線で近似

角度変化を 3 次 Bezier 曲線で近似する．本研究では，点群との誤差が最小となるようなフィッティングを行う．

3 次 Bezier 曲線は四つの制御点（0 番目〜3 番目）を持つ．ここで，上げ動作（単調増加）も下げ動作（単調減少）も同じ処理で扱う為に，制御点 0 番の座標を（0,0）に，制御点 3 番の座標を（1,1）に正規化する．これにより，曲線の形状は，2，3 番目の二つの制御点により表されることになる．

また，誤差を最小化する際，対象動作の性質となる単調増加に合わせ，y 座標に以下の制約を設けた．

・　（制御点 0 番）≦（制御点 1 番）
・　（制御点 2 番）≦（制御点 3 番）

以上より，1 動作のデータについて，始端を(0,0)，終端を(1,1)とした，3 次 Bezier 曲線を得る事ができる．また，実験に用いたすべてのデータについて，制御点 1 番の x 座標の値は 1/3 に，制御点 2 番の x 座標の値は 2/3 収束したため，以下，制御点 1 番と制御点 2 番の二つの y 座標の値のみ分析に用いる．

以上により，二つのパラメータのみで曲線形状の特徴を十分に表す変換を可能とした（二つのパラメータのみで，元の角度変化を再現することが可能）．

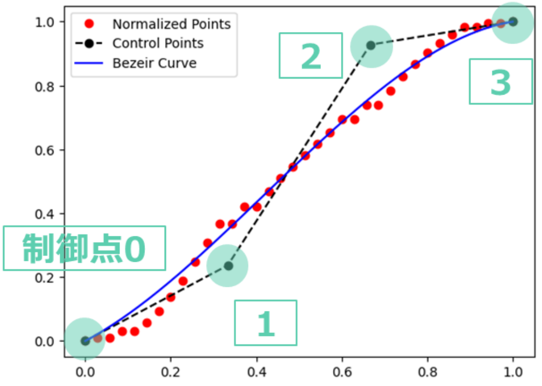


図 4　正規化した 1 動作の角度変化のデータ（赤点）を 3 次ベジエ曲線で近似した線（青線）と制御点（黒丸）

3.3. 制御点 y 座標のマッピング

制御点 1 番の y 座標の値と，制御点 2 番の y 座標の値の二つの値について，横軸を制御点 1 番の y 座標，縦軸を制御点 2 番の y 座標とする，2 次元の座標「制御点座標グラフ」にマッピングする．制御点座標グラフにおける座標は波括弧で表記する．

制御点座標グラフにおける座標とそのデータの緩急の特徴について，極端な特徴を有する四つの例（ⅰ，ⅱ，ⅲ，ⅳ）を用いて整理する．

データⅰは，「緩」に前後の偏りがほとんど無く，「急」がきつい角度変化をする（図 5-i）．制御点 1 番の y 座標は取り得る範囲内で最小である 0，制御点 2 番の y 座標は取り得る範囲内で最大である 1 となり，制御点座標グラフ（図 6）の{0, 1}にマッピングされる．

データⅱは，「緩」が後半に偏り，データⅰと比べて「急」はきつくない（図 5-ii）．制御点 1 番の y 座標は 0.205，制御点 2 番の y 座標は取り得る範囲内で最大である 1 となり，制御点座標グラフの{0.205, 1}にマッピングされる．

データⅲは，「緩」が前半に偏り，データⅰと比べて「急」はゆるく，データⅱと比べると「急」はややきつい（図 5-iii）．制御点 1 番の y 座標は取り得る範囲内で最小である 0，制御点 2 番の y 座標は 0.862 となり，制御点座標グラフの{0, 0.862}にマッピングされる．

データ(ⅳ)は，「緩」がデータⅱ程ではないがやや後半に偏り，「急」は 4 つのうち最もゆるい（図 5-iv）．制御点 1 番の y 座標は 0.195，制御点 2 番の y 座標は 0.857 となり，制御点座標グラフの{0.195, 0.857}にマッピングされる．

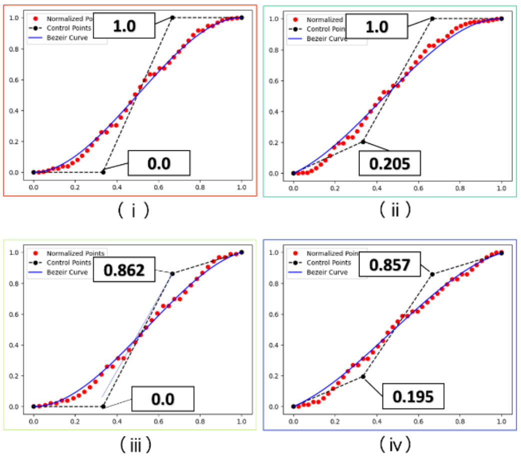


図 5　データⅰ～ⅳの角度変化（赤点）と近似曲線（青線）と制御点（黒点）

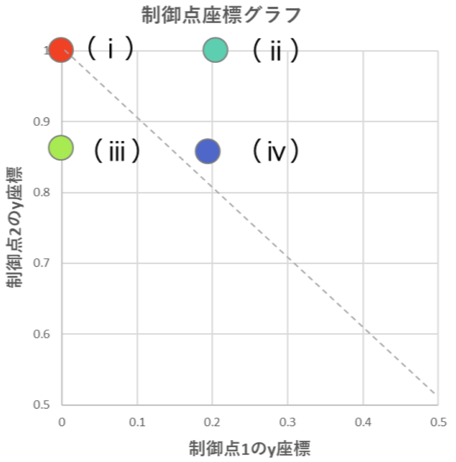


図 6　データⅰ～ⅳの制御点座標グラフ

制御点座標グラフに直線 y=－x+1 を引くと，式 1 と点の位置関係は「緩」の偏り方を示していることが分かった．ここで，f(x)＝y＋x－1（式 1）とおくと

- f(x)＜0：「緩」が後半に偏っている．
- f(x)＝0：「緩」に偏りが無い．
- f(x)＞0：「緩」が前半に偏っている．

データⅱとデータⅳはどちらも「緩」が後半に偏っているが，より大きく偏るデータⅳの方が式1と離れており，式1との距離が，「緩」の偏り度合いを示している．

また，制御点座標グラフにおいて，左上の点{0, 1}との位置関係が「急」のきつさを示している．点{0, 1}に近いほど「急」がきつくなり，離れるほど「急」がゆるくなる．

3.4.極座標系への変換

前節で，制御点座標グラフにおいて，式1や点{0, 1}との関係が，「緩」「急」の性質を示している事を述べた．図7に関係図を示す．原点を{0,1}とおくと，原点からの距離が「急」のゆるさに対応している．また，式1が負であれば，「緩」が前半に偏り，式1が正であれば，「緩」が後半に偏る．以上のことから，制御点座標グラフの各点について，原点からの距離と，制御点グラフにおける角度により，極座標変換を行うことができ，縦軸が「緩」の性質，横軸が「急」の性質を表すグラフに変換することが可能となる．

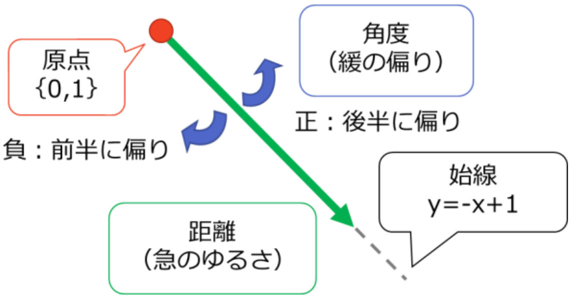


図 7 制御点座標グラフにおける緩急の対応

本稿では，y=－x+1 を始線とする極座標に変換した．極座標に変換した後のグラフを「緩急分布グラフ」とよび，座標は角括弧で表記する．データⅰ～ⅳについて，緩急分布グラフを図8に示す．

データⅰは，制御点座標グラフから緩急分布グラフに変換する際の，原点（極）であり，「緩」に偏りが無く，「急」が取り得る範囲で最もきついので，緩急分布グラフの[0, 0]にマッピングされた．

データⅱは，「緩」が後半に偏るデータで，θ軸の値は正の値になり，また「急」はデータⅰよりゆるいので，r軸がデータⅰより大きい値となり，[0.205, 45]にマッピングされた．

データⅲは，「緩」が前半に偏るデータで，θ軸の値が負の値になり，また「急」はデータⅰよりゆるく，データⅱよりきつい為，r軸の値はデータⅰより大きくデータⅱより小さい値になり，[0.1376, -45]にマッピングされた．

データⅳは，「緩」がやや後半に偏り，θ軸の値は正の値になるが，データⅱよりは偏り具合が小さいので，データⅱより絶対値が小さい値に，また「急」は4つのデータのうち最もゆるいため，r軸が最も大きい値となり，[0.241, 8.809]に位置する．

緩急分布グラフは，縦軸が「緩」の偏りを，横軸が「急」のきつさをそれぞれ表す．これにより，緩急の持つ二つの性質を可視化することが出来た．

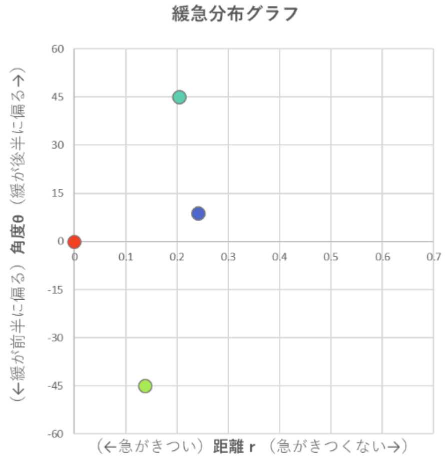


図 8 データⅰ～ⅳの緩急分布グラフ

4. 検証

4. 1. 検証の概要

検証の目的は，踊りのデータを緩急分布グラフに当てはめ，緩急分布グラフの分布傾向と踊りの印象が対応するか確かめることである．被験者のデータ取得には，Noitom社の慣性センサ式モーションキャプチャ「Perception Neuron」を用いた．センサを，後頭部・背部・腰部と，左右の手背部・前腕部・上腕部・肩部（肩甲骨の上部）・大腿部・下腿部・足背部に装着し，センサごとの変位・加速度・角速度・傾き姿勢の四元数などを120Hzで取得した．

センサで踊りを計測するのと同時に，被験者の正面に設置した30fpsのWebカメラで映像を記録した．

踊る演目は盛岡さんさ踊りの「七夕くずし」で，音源のテンポはbpm93である．計測は3回（または4回）行う．

実験には，岩手県立大学さんさ踊り実行委員の踊

りパートの方々に，2020 年度，2022 年度，2023 年度の 3 回にわたって協力していただいた．以下は構成人数である．被験者 A，E，L は 2022 年度から 2023 年度にかけて継続的にデータを取得した．なお， 1 年生はまだ習熟していない状態の被験者である．

- 2020 年 12 月：3 年生 2 名（被験者 B，C），2 年生 4 名（被験者 F，H，I，N）
- 2022 年 7～8 月：3 年生 2 名（被験者 D，M），2 年生 3 名（被験者 A，E，G），1 年生 3 名（被験者 J，K，L）
- 2024 年 1～2 月：3 年生 4 名（被験者 A，E，Q，S），2 年生 3 名（被験者 L，P，R），1 年生 1 名（被験者 O）

被験者の 3 回（または 4 回）取得したデータのうち，カメラの不具合などで記録が出来なかったものを除外し，分析に使用できるデータは 64 個であった．

被験者の 1 回の踊りから得られたデータを，上腕の上げ動作，上腕の下げ動作，前腕の上げ動作，前腕の下げ動作の 4 要素に分け，1 つの緩急分布グラフの中に表示する．

4.2. 検証結果

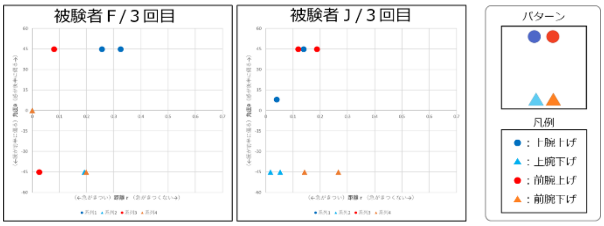


図 10 「緩」について，上げ動作が後半に，下げ動作が前半に偏る被験者の緩急分布グラフ

「緩」の偏りについて，上腕・前腕の上げ動作が後半に，上腕・前腕の下げ動作が前半に偏るパターンにあてはまった被験者は，被験者 F の計測 3 回目と被験者 J の計測 3 回目の計 2 例である．あてはまった被験者の踊りの映像を連続させて舞踊講師に見せた結果，『軽やかな印象』『ポンと跳ね上がる』『上に向かう印象が強い』という評価を得た．図 9 は被験者の緩急分布グラフである．(急がきついデータ（r 軸の値が 0.05 以下）のデータはわずかな差で「緩」の偏りが変わる為，パターンを分類する際には参考程度として扱い，r 軸の値が 0.05 以上のデータを見て分類した)．

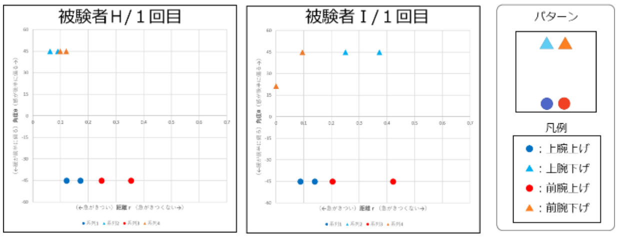


図 9 「緩」について，上げ動作が前半に，下げ動作が後半に偏る被験者の緩急分布グラフ

「緩」の偏りについて，上腕・前腕の上げ動作が前半に，上腕・前腕の下げ動作が後半に偏るパターンにあてはまった被験者は，被験者 A の 2023 年度計測 1，2 回目，被験者 G の計測 1 回目，被験者 H の計測 1，3 回目，被験者 I の計測 1，2 回目，被験者 M の計測 3 回目，被験者 N の計測 1 回目，被験者 R の計測 2～4 回目の計 12 例である．あてはまった被験者の踊りの映像を連続させて舞踊講師に見せた結果,『落ち着いた印象』という評価を得た. また,「沈むところで腰の関節を緩ませている」という傾向がある事が指摘された. 図 10 は該当した被験者らの緩急分布グラフである.

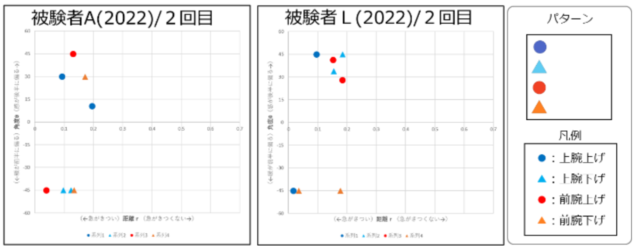


図 11 「急」がきつい被験者の緩急分布グラフ

「急」のきつさについては，4 つの要素の r 軸の値の平均値が 0.2 の前後に固まっている事から， r ＝ 0.2 を閾値に設定した.

「急」がきついパターンにあてはまった被験者は，被験者 A の 2022 年度計測 2，3 回目，2023 年度計測 1 回目，被験者 B の計測 1 回目，被験者 E の 2023 年度計測 1～3 回目，被験者 L の 2022 年度計測 1，2 回目，被験者 P の計測 2 回目，被験者 Q の計測 2，3 回目の計 12 例である. あてはまった被験者の踊りの映像を連続させて舞踊講師に見せた結果,『動きの印象が直線的』という評価を得た．図 11 は該当した被験者の緩急分布グラフである.

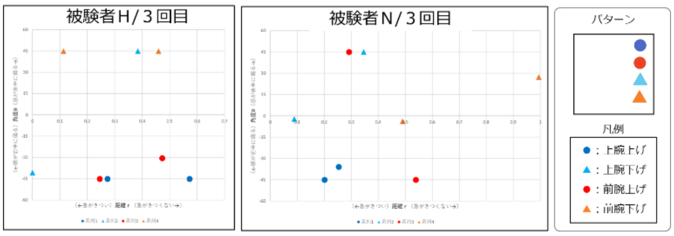


図 12 「急」がきつくない被験者の緩急分布グラフ

「急」がきつくないパターンにあてはまった被験者は，被験者 H の計測 3 回目と被験者 N の計測 2 回目の２例である．あてはまった被験者の映像を連続させて舞踊講師に見せた結果，『動きが曲線的』『丸みを帯びている』『連動している（止まっていない）』という評価を得た．図 12 は該当した被験者の緩急分布グラフである．（２回目下げ動作は例外として扱い，分類した）

5. 印象の可視化

緩急分布グラフの結果を利用して，印象の可視化を行う．

緩急分布グラフで各要素の「緩」が前半と後半のどちらに偏っているか，閾値（θ＝0）で，16 パターンに分類し，｢緩｣のマトリクスを作成した（図 13）．『軽い』『重い』のグループと比べて動きが極端ではなく印象語でのラベリングがされないグループだが，マトリクス化した事で網羅的なパターンの中での分類が可能となった．

同様に，閾値 r ＝0.2 で分類した「急」のマトリクスも作成した（図 14）．『動きの印象が直線的』『動きの印象が曲線的』のように動きが極端ではなく，印象語でラベリングされない動きについても，分類が可能となった．

当てはまる印象語がない，同じパターンにあてはまったグループについて，舞踊の専門家は「印象・雰囲気が揃っている」と評価した．

また舞踊講師は，異なる類似度の他のグループと比較しても「『印象が違う』とわかる」と評価した．

マトリクス化をしたことで，印象語でラベリングされないデータ（言語化できない違い）も，「似たような印象」のデータとグルーピングでき，印象が可視化された．

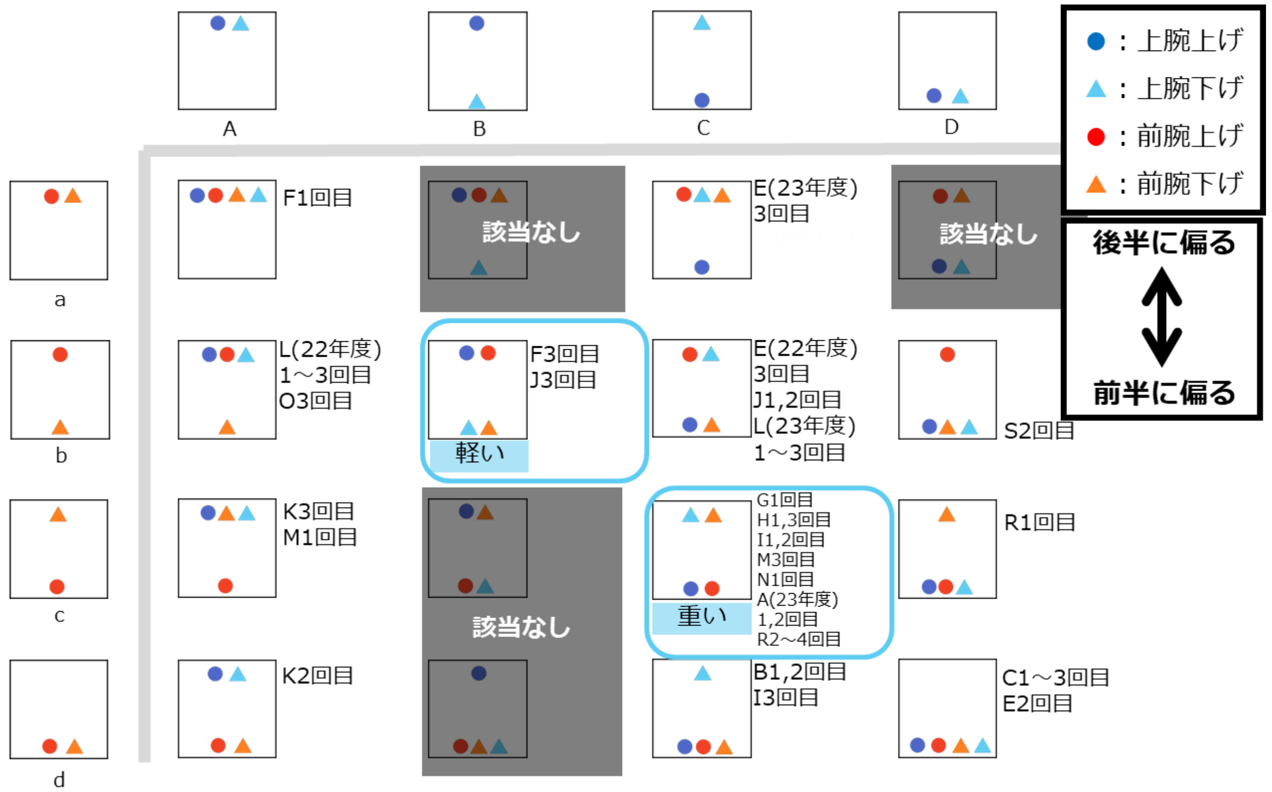


図 13 「緩」のマトリクスと該当したデータ

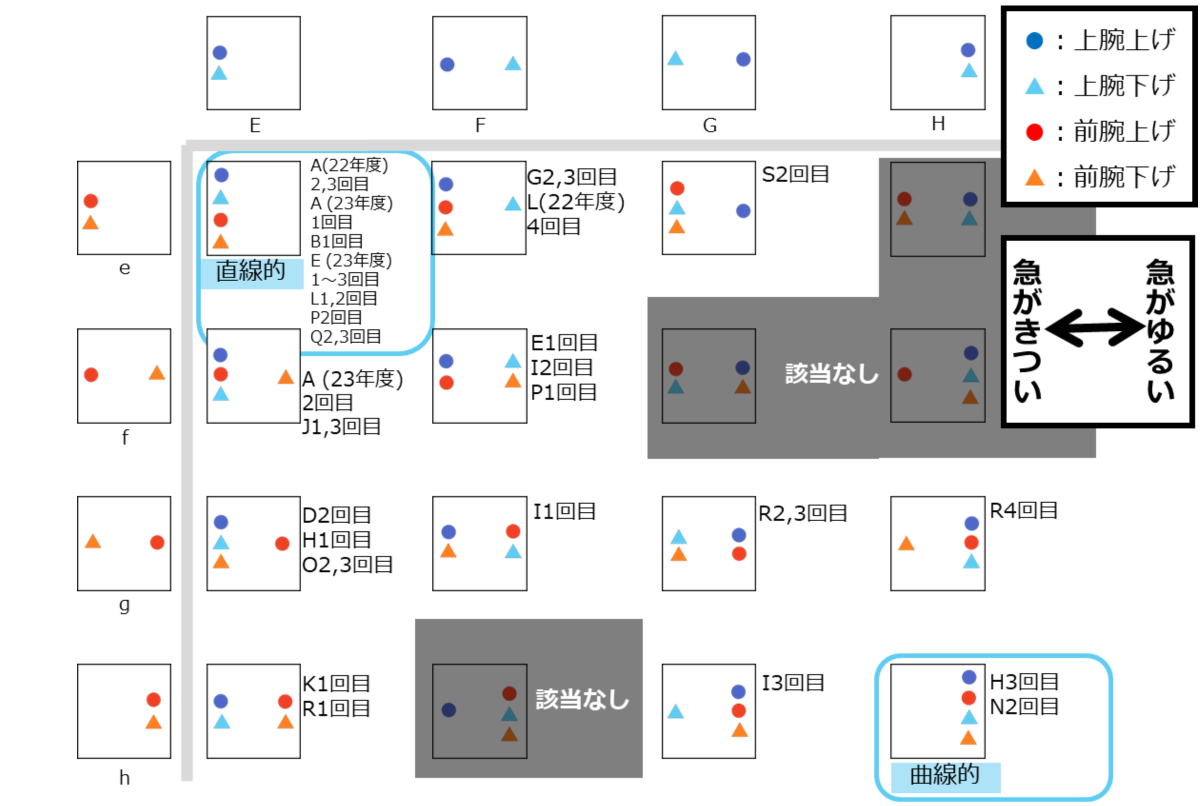


図 14　「急」のマトリクスと該当したデータ

6. おわりに

本研究では，腕の動きの緩急の，印象の違いの可視化を目的として，手法の提案と検証を行った．提案手法では，角度変化を 3 次 Bezier 曲線で近似し，制御点を分析に用い，極座標変換により緩急をグラフに表し，網羅的にパターンを分類して，マトリクスを作成した．検証の結果，縦軸が「緩」の性質，横軸が「急」の性質を表す緩急分布グラフを作成できていることが分かった．また，緩急分布グラフにおける分布傾向と印象の対応が確認できた．さらに，印象語の対応が無いデータも，マトリクス化することで分類できた．

謝辞

本研究を行うにあたり，舞踊の知識や指導者としての評価方法についての情報を提供して頂いた，一般社団法人わらび座講師清家久美子氏に深く感謝致します．また舞踊データ取得に協力していただいた岩手県立大学盛岡さんさ踊り実行委員にも感謝申し上げます．なお，本研究の一部は科研費 23K02688 の助成による．

参考文献

[1] 石川美乃，神里志穂子，星野聖: 舞踊における身体運動の特徴抽出と印象との関連性 ： 下肢運動に関する検討，映像情報メディア学会技術報告, Vol. 25, No. 29, pp. 79-84（2001）.

[2] 丸茂祐佳，吉村ミツ，小島一成，八村広三郎: 日本舞踊の基礎動作「オクリ」に現れる女らしさの特徴解析，舞踊學, Vol. 2004, No. 27, pp. 26-331（2004).

[3] 菊地直樹，松田浩一，“腰部の加速度に着目した地域伝統舞踊の動作の質の違いに関する分析法”，人工知能学会全国大会論文集，2017， JSAI201 7 巻，第 31 回 (2017)， セッション ID 1O3-OS-30c-4， pp.1O3OS30c4

[4] 尾関渓，松田浩一，“角速度に着目したさんさ踊りの手の動きの柔らかさの分析法に関する一検討”，人工知能学会 身体知研究会第 32 回研究会，2020，pp. 8-15

[5] 門屋遥，松田浩一，“上肢関節の角度変化パターンと舞踊の印象の関係についての一検討”，人工知能学会身体知研究会第 39 回研究会，2023，pp.6-10

高速撮影カメラを用いた和太鼓のインパクト動作の技能差可視化法の一検討

A Study on the Visualization of Skill Differences in the Impact Action of Japanese Drums Using High-Speed Cameras

稲垣　隼人 [1]　　久保田　早紀 [2]　　松田　浩一 [1]

Hayato Inagaki[1]　Saki Kubota[2]　Koichi Matsuda[1]

[1] 岩手県立大学大学院
[1]Iwate Prefectural University Graduate School
[2] 岩手県立大学
[2]Iwate Prefectural University

Abstract: In this paper, we attempted to visualize skill differences by observing the motion of drumsticks in Japanese taiko drumming using 800fps cameras placed in front and on the side, and analyzing the images. As a result of the experiment, it was found that there may be differences in habits and proficiency levels visible at the impact position. Furthermore, regarding the striking technique, we were able to visually confirm the presence or absence of the "relaxation" skill that distinguishes advanced and intermediate players by observing the time from relaxation to impact.

1. はじめに

地域で活動している和太鼓団体は，地域における発表会，地域振興イベント，式典等で演奏を行っている．演奏者の育成は，各団体において行っているが，指導方法は，個々の経験によるものが多く，指導者が認識している学習者の状態を学習者自身が認識することが難しいことがある．これは，感覚を頼りにした指導が中心であり，打ち終わったあとに指導しても，学習者が実感することが困難なことに起因する．以上のことから，データに基づいた指導の支援が求められている．

高橋ら[1]は, 和太鼓の一打の動作について，上腕，前腕，手の甲，と順に動かす「三段階動作」について，手の甲に加速度センサを装着することで，角速度がどのようなふるまいをしているか，また，バチさばきにどのような効果があるのかを検証した．その結果，角速度の変化から，動作区間内の挙動を分析できる可能性が示唆された．しかし，加速度センサを用いた分析では，バチそのものの挙動を確認できないことから，筆者らは被験者間における三段階動作やバチさばきの動作の違いを，800fps カメラを用いた撮影による可視化を試みた[2]．インパクト前後にみられるバチ状態を定義し，その時刻を記録することで，個人差や左右の手の差などを可視化することができた．しかし，カメラの視点が正面の一つであったため，バチの状態を正確に認識す

ることが難しく，また，被験者が上級者のみであったため，指導支援という観点で見ることが難しかった．

本稿では，カメラの視点を正面および側面の 2 か所に設置し，得られる情報を整理する．また，上級者に加えて中級者のデータを取得し，その違いについて考察する．

2. 実験方法

2.1. 被験者

被験者は，上級者 2 名と中級者 2 名の計 4 名（表 1）．ここで，中級者は，大きな音を出せる状態であるが，響きを良くする「脱力」ができていない状態を指し，上級者は「脱力」ができているレベルを指す．「脱力」とは，インパクト直前に握る力を抜き，バチの跳ね返りを自然にすることで音の響きを良くする技能である．

打ち方は，当該団体において，バチを上に構えてから下に振り下ろす「基本打ち」とし，16 打（左右交互に 8 打ずつ）の計測を行った．

表 1　被験者

番号	経験年数等
A	上級者（23 年），右利き
B	上級者（34 年），右利き
C	中級者（2 年），右利き
D	中級者（2 年），右利き

2.2. 撮影環境

高速撮影カメラ（Baumer 社 VCXG.2-13C, 640x480，800fps で利用）を 2 台用いて撮影した．本カメラでは，フレームごとに保存された画像群としてデータが得られる．1 台は被験者の正面に設置し，和太鼓の表面とインパクト前後の演奏者の手の動きが見えるように調整した．もう 1 台は被験者の側面に設置し，被験者の動き全体が映るように調整した．図 1 に設置したカメラからの画像を示す．

図 1　側面（左），正面（右）

2.3. 取得データ

本研究では，振り下ろしから，上腕，前腕の順に動いたあとの，手首の動き始め以降のバチの状態の計測を行う．動きの特徴点を定義し，その動きが開始する画像のフレーム番号を記録する．フレーム番号から，動きに要したフレーム数を求め，時間として計測した．

本稿では，特徴点を「開始」「脱力」「インパクト」「終了」の四つとする．それぞれの動きの特徴は以下のように定義した．

(1) 「開始」：手首が内転しはじめる
(2) 「脱力」：握る力が緩み，手首の内転が停止に近くなるが，バチのみが動きはじめる
(3) 「インパクト」：バチが和太鼓に接触
(4) 「終了」：跳ね返ったバチを再び握り，持ち上げ始める

また，正面の画像より，インパクトの際の打面における位置（座標）も併せて記録する．

2.4. 計測方法

2 視点の画像群を同期して確認できるシステムを C#で構築した（図 2）．本システムは，以下のような機能を有する．

- 二つの画像群を入力とし，同期したフレーム単位の画像変更

- マウスの左右ドラッグによりフレームを前後に移動可能
- クリックした位置の画像座標表示
- 二点をクリックすると二点による直線の角度を表示
- 計測対象のフレームを登録すると，ボタンを押して前後の登録フレームへジャンプ可能
- 設定により，右手のみ，左手のみのフレームにジャンプ可能

図 2　右手 1 打目（上），左手 1 打目（下）

3. 実験結果

3.1. インパクト位置

初心者の段階から，面の中央を打つように指導されていることから，全員がほぼ中央に集まっていることが分かる．

このうち，上級者 B と中級者 D が中央に左右が混在して分布しているが，視覚的に大きな差は見られない．一方，上級者 A，C は，打った手側に収束する様子が見える．2 者をさらに比べると，上級者 A の方が，中級者 C よりも，収束精度が高いことが伺える．また，上級者 A は，中心よりやや上に収束していることから，意識について聞き取りを行いたい．

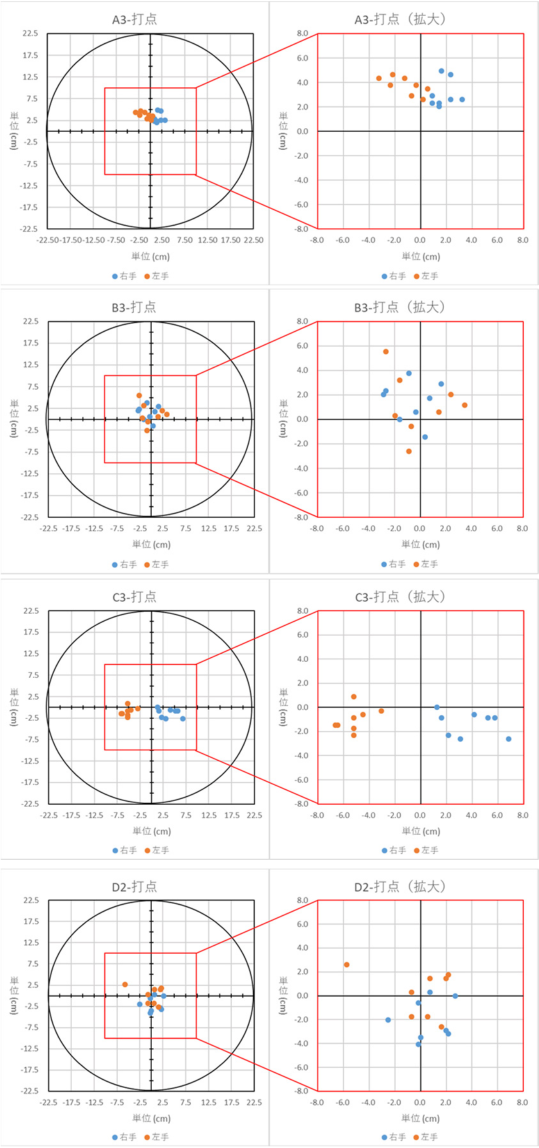


図 3　インパクト位置（上から A, B, C, D）

3.2. 動作特徴

全打数について，四つの特徴点による三区間に要したフレーム数を求め，右手・左手に分け，箱ひげ図を求め，傾向を観察した（図

4）．図 4 における縦軸の数値はフレーム数である．なお，800fps で取得したため，1 フレームは 1.25ms となる．

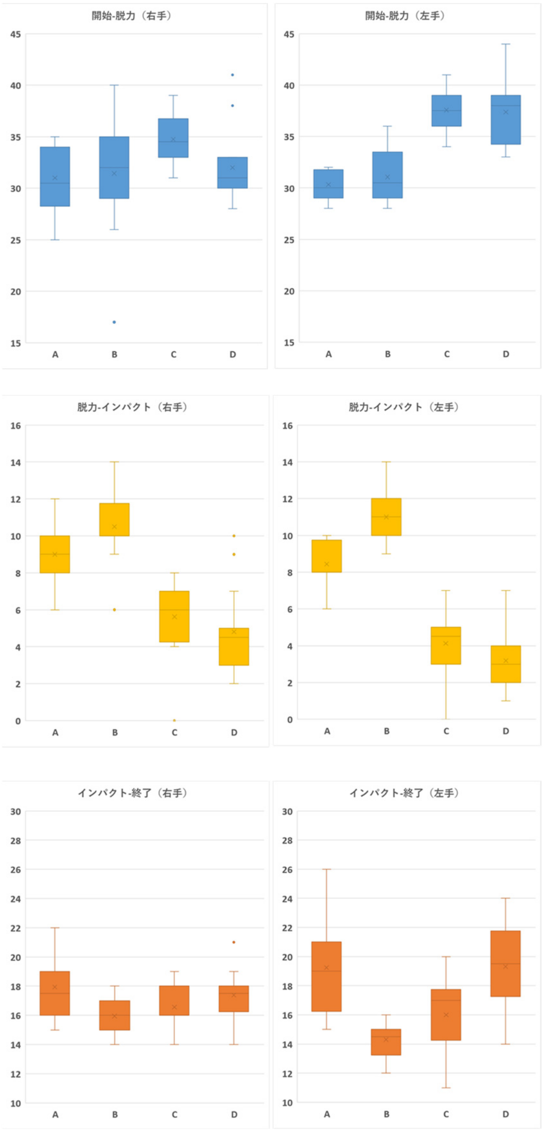


図 4　特徴点間に要したフレーム数の比較

開始から脱力までの区間（図 4 上段）において，中級者 C，D は，左右の差がある様子が確認された．

脱力からインパクトまでの区間（図 4 中段）においては，明らかに中級者 C，D よりも上級者 A，B の時間が長い．脱力を始める時間が早いことは，十分に脱力ができていることを表しており，数値的に技能差が表れていることが確認できた．

インパクトから終了までの区間（図 4 下段）においては，右手は揃っているものの，左手に差が見られた．ただし，練度差より個人差に見える．

4. おわりに

本稿では，800fps のカメラを正面と側面に置き，画像から和太鼓におけるバチの挙動を観察することによる技能差の可視化を試みた．実験の結果，インパクト位置に，癖や練度の差が見える場合があることが分かった．また，打ち方についても，上級者と中級者を分ける「脱力」技能について，脱力からインパクトまでの時間を見ることで，技能の有無を視覚的に確認することができた．

今後，実験結果を被験者にフィードバックし，本人の意識との関係について調査したい．

謝辞

本研究に協力していただいた，種市海鳴太鼓保存会会長中里利則氏，および会員各位に感謝の意を表する．なお，本研究の一部は科研費 23K02688 の助成による．

参考文献

[1] 高橋唯，松田浩一: 和太鼓における 3 段階動作の定量的分析に関する一検討，人工知能学会 第 26 回身体知研究会, SKL-26-03, pp. 7-12, 2018.

[2] 稲垣隼人，松田浩一: 和太鼓のインパクト時のバチさばきの観察による技能差の表出に関する一検討，情報処理学会第 85 回全国大会, 6ZK-07, 2023.