

研究報告

## 自己－他者間におけるフィードバック情報の伝達

—固有値と固有ベクトルによる秩序生成の定量化—

若月 翼<sup>1)</sup>・山田 憲政<sup>2)</sup>

Transmission of Feedback Information Between one's own and Others:  
Quantification of Order Generation by Eigenvalues and Eigenvectors

Tsubasa WAKATSUKI, Norimasa YAMADA

### 1. はじめに

ヒトは運動を調整する際、「これくらいだろうか」といった主観的な努力感とそれによって出力された客観的な結果（フィードバック、Knowledge of Results: KR）を照合しながら、両者を一致させていく（Schmidt, 1975）。運動調整における両者の関係性に関する研究はこれまでもいくつかなされているが、その中でも村木と稲岡（1996）は、垂直跳びの跳躍高調整を題材として、全力試技で記録した跳躍高の50%の高さに合わせようとすると、はじめは70%高程度で跳躍すること、またそこにKR情報を与えると徐々に両者が一致してゆき、およそ4回目で50%高に収束することを報告している。しかしながら、これらの研究はいずれも、実際に自己の身体を動かすことによる自己完結型の試行錯誤学習を基本としている（大島と山田, 2010）。

それに対して、我々はしばしば自己以外の他者による調整動作を観察し、その動作に対するKR情報を自己のそれとして扱わなければならない場面に遭遇する。例えば、陸上競技の走り幅跳びにおいて、風の向きと走速度を考慮した指導者が試技者に対し、「助走速度を全力時のX%になるように」と指示したが、実際には全力

のY%になってしまい、踏み切りに失敗したとする。このような場合、続く試技者は踏み切りを成功させるために、前の試技者の主観Xと客観Yの関係性を自己の身体運動の制御に適応させるだろう。特に一回で成功させなければならない、すなわち失敗できない状況であればなおさら、他者の調整動作とそれに対するKR情報は自身の運動調整に対して重要な情報となる。このような状況を、Wakatsuki & Yamada（2019）は実験室環境で垂直跳びの跳躍高調整課題を用いて再現し、観察行為によって得られた他者の運動情報とそれに対するKR情報が自己の運動調整にも役立つことを示している。

そこで本研究の目的は、複数名で構成されたグループにおいて、主観と客観がどのように一致していくのかという過程を両者の秩序生成という観点から検討し、一つのダイナミカルモデルを提案すること、さらにそのモデルを個人学習モデルと比較し、両モデルの違いを示すこととする。

### 2. 方法

本研究における実験は、主観と客観にズレが生じやすい課題が適しているといえる。よっ

<sup>1)</sup>中京大学大学院体育学研究科

<sup>2)</sup>中京大学スポーツ科学部

て、第1章でも述べた垂直跳びの跳躍高調整課題を採用し、これを4名1組のグループに対して課した。実験対象者は、一人ずつ順に全力試技の50%の高さ（全力試技で50cmであれば、25cm）になるよう跳躍していく。その際、運動実施者以外の3名は実施者の試技を全力試技も含めて全て観察し、さらに記録された跳躍高も4名全員に対してフィードバックする。つまり、跳躍動作に関する運動情報およびそれによって出力された結果（KR情報）を4名全員が共有する環境を実験室内に構築した（図1）。

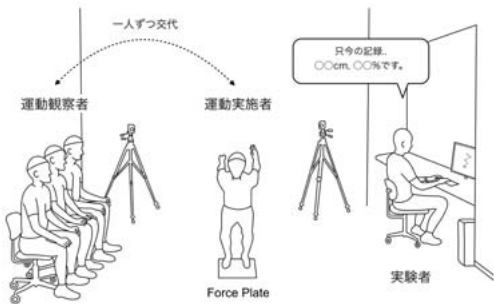


図1：実験構成図

## 2.1. 実験参加者

無作為に集められた実験対象者（以下、対象者）3名に全グループ共通の実験協力者（以下、モデル）1名を加えた計4名のグループを12組作成した。モデルは、対象者に与える運動情報およびKR情報を概ね統一するために設けられ、全グループの1人目の試技者になるよう実験者により操作された。また、モデルの選考基準は、事前に行われた予備実験において村木と稲岡(1996)の示した結果の通り、70%高程度で跳躍した者とし、その予備実験と同様の跳躍をするよう教示された。そして3名の対象者は、実験終了までモデルの存在を知らされなかった。

## 2.2. 実験の手順

実験の概念図を図2に示す。図中の試技者Aがモデルであり、KRは跳躍高、MIは運動情報を示している。また、実験は以下のように進められた。

①全員がそれぞれ全力試技を行い、地面反力

データから目標跳躍高を決定する。

- ②跳躍直前に、VAS（Visual Analog Scale）を用いて主観的努力感を実験者のみに申告する。
- ③自身の目標跳躍高（全力試技の50%高）に合うよう跳躍し、地面反力データから即時算出、アナウンスされたKR情報を全員が共有する。
- ④以上の流れを試技者Dまで繰り返す。

このように、他者の運動を観察してKR情報も共有するため、BよりもC、CよりもD、と試技者の順が進むにつれて運動調整に用いる情報が増えていく実験構成となっている。

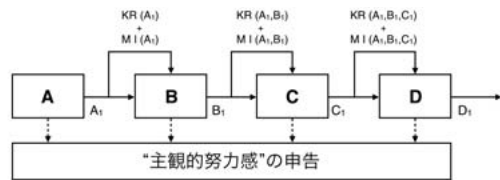


図2：実験概念図

## 2.3. 分析方法

### 2.3.1. 分散共分散行列から求める固有値と固有ベクトル

本研究では、跳躍する直前に申告された主観的努力感（以下、主観）とそれによって出力された跳躍高（以下、客観）の関係性を検討するために、主成分分析と同様の操作を用いる。その方法として、まず両者の関係を線形変換するために、両変数のデータの分散共分散行列を求め、固有値および固有ベクトルを算出する。このとき、データが2次元であることから固有ベクトルは2つ求まる。そして、固有値が大きいものがベクトルの大きさも大きくなり、それが第一主成分ベクトル、固有値が小さいものがベクトルの大きさも小さくなり、それが第二主成分ベクトルである。さらに、この二つのベクトルは直交している。よって本研究における両者の意味合いとして、第一主成分ベクトルは、主観が増加すれば客観も増加する関係（逆も同様）を表すものであり、第二主成分は主観が増加すると客観は減少する関係（逆も同様）を示す。

### 2.3.2. 固有値の比の解釈

固有ベクトルが主成分軸の方向を意味するのに対して、固有値はベクトルの大きさに関与している。そこで、主観と客観の秩序生成を定量化するために、第二主成分の固有値を第一主成分のそれで除すことにより求められる、固有値の比を用いた。前述したように、二つの固有ベクトルは直交しているため、この比が1に近いほど第二主成分の影響を受け、主観が増加するにつれて客観が増加するのと同様に減少する関係が共存することを意味する。つまり、主観と客観の関係がランダムなデータであるといえる。一方、この比が0に近いほど、その第二主成分の影響が消滅し、客観と主観に直線関係（秩序）が生じていることを意味する。

## 3. 結果

### 3.1. 出力された跳躍高

本研究の核となる結果として、まず、客観的な出力（跳躍高）がどのように変化したのかを示す。図3aは、全力試技に対する跳躍高の

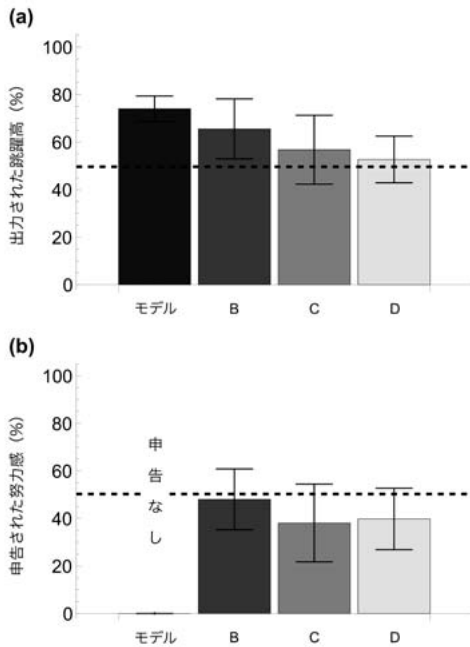


図3：(a) 出力された跳躍高、(b) 申告された努力感

割合である。左から、モデル、B、C、Dと並んでいる。第一試技者のモデルが教示通り 74.05 ± 5.36cm と 70% 高付近で跳躍し、B が 65.57 ± 12.61cm、C が 56.81 ± 14.48cm と、試技順が進むにつれて平均が徐々に目標跳躍高（50% 高、図中の破線）へと近づいた。そして、最終試技者 D で 52.71 ± 9.80cm と最接近した。

また、図3bには、対象者が自身の跳躍直前に申告した主観的な努力感を示す。尚、モデルは申告していないため、B、C、Dのみのデータである。その結果、B-D全ての平均が目標とする50%を下回ったが、標準偏差は大きく、跳躍高のように徐々に低下していく傾向は示されなかった。詳しい解釈については、考察（4.1）にて記述する。

### 3.2. 試技順における努力感と跳躍高の関係

図4は、跳躍する直前に申告された主観的な努力感とそれによって出力された跳躍高の関係についての散布図、その上に2変数を線形変換して求めた2つの固有ベクトルを重ねたものである。

モデルのみの情報を得た試技者Bでは、50%を基準として±30%程度で申告し、その結果のほとんどが50%高を上回った。続いて、モデルとBの情報を得た試技者Cでは、50%以上を申告する者が急激に減少し、その結果50%高付近を記録する者が増加した。そして、他3名の運動を全て観察し、情報を最も多く得た試技者Dでは、Cの関係を保ちつつ、50%を大きく上回る申告をする者がいなくなった。

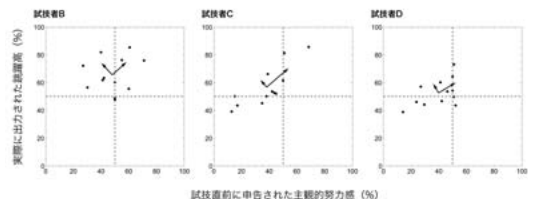


図4：主観的な努力感 (x) と客観的な出力 (y) の関係

### 3.3. 固有値の比の変化

試技者B、C、Dの固有値とその比の変化を図5に示す。括弧内のxが第一主成分、yが第二主

成分の固有値である。

まず、Bの比は0.8を超えて1に近い値を示したのに対して、Cの比は0.32となり、急激に低下して0に接近した。そして、Dの比はCよりも0.2程度上昇するが、これは第一主成分の固有値が約1/2に減少していることの影響を受けている。

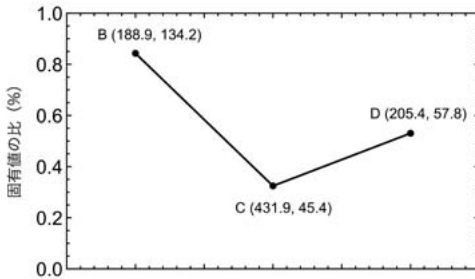


図5：固有値の比の変化

## 4. 考察

### 4.1. 跳躍高の収束

図3aに示した通り、平均跳躍高は試技順が進むにつれて徐々に目標へと近づき、最終試技者Dで最接近した。この結果は、与えられる情報が他者のものであっても、それが増えていくにつれて、出力の正確性も向上することを示している。一見、当たり前のようにも思われる結果であるが、全ての試技者が自身にとっては一回目の跳躍であったことを考えると、大変興味深い。

しかしながらここで、跳躍高の収束は、目標よりも少し跳びすぎてしまう、という単なる知識のみが伝達されたことによって可能になったとも考えられる。そこで跳躍直前に申告された主観的な努力感（図3b）を確認する。平均はB-D全てにおいて50%を下回っているが、そのばらつきは非常に大きい。もし対象者が他者のフィードバックを受けて、目標よりも少し跳び過ぎてしまう、という主観と客観のズレに関する知識のみを学習したとすれば、平均74%、すなわち目標よりも+24%程度で跳躍したモデルを観察した2人目は少なくとも-24%、すなわち

26%程度で跳躍すると申告するはずである。それにも関わらず実際は平均48%であり、その中には71%と申告する者さえ認められた。この結果は、単なる知識だけでなく、観察行為によって得られた何らかの運動情報が伝達されたことを示唆している。

### 4.2. グループ運動学習の3段階構造

前節で確認した跳躍高の収束現象を受け、本節では、主観と客観がどのように一致していくのか、という過程を固有値の比の変化から検討する。

図6に示した通り、まずBの比は0.84であり、1に近い値を示した。このことは、第二主成分の影響を大きく受けており、主観と客観がランダムな関係であることを示している。続いて、Cの比は0.32と0に近い値を示し、Bと比べて大幅に低下した。このことは、申告された努力感と出力された跳躍高の関係により明確な直線関係が生じたこと、つまり、主観と客観の関係に秩序が生じ、主観が増加すれば客観も増加するといった第一主成分が際立つデータに変化したことを示唆している。そして、第一主成分の固有値が減少したことによるCからDへの比の上昇は、50%を大きく上回る申告がなくなったことに由来しており、このことは、この区間で秩序範囲の減少が生じたことを示唆している。

よって、グループにおける運動学習の過程を主観と客観の関係からまとめると、ランダム相、秩序の生成、そして、その秩序範囲の減少、という3段階に分けられる。

### 4.3. Schmidtによる直線モデルとの比較

前節では、グループ運動学習における主観と客観の関係がランダム相、秩序の生成、秩序範囲の減少、と順に進み、運動学習が3段階で進む構造がある可能性が示された。そこで本節では、個人における学習との比較を行うために、Schmidt (1991) が自身の直線モデルで用いたスキーマおよびパラメータという語を使って、グループ運動学習における“3段階構造”の解釈を試みる。

Schmidtは、図6のように、スキーマと呼ばれる直線を用いて主観と客観の関係を説明してい

る。つまり、横軸の結果 $x$  (客観) を得るためには、縦軸のパラメータ $y$  (主観) を選択する。ここで重要なのは、ヒトはそれぞれ異なるスキーマを持っているという点である。

上記の個人学習に対して、グループにおけるランダム相は、モデルと試技者Bが自身のスキーマからパラメータを選択して跳躍した段階といえる。しかしそのパラメータ選択が間違っていたため、Bを集団として見ると、主観と客観はランダムな関係を示したのである。続く秩序の生成段階は、試技者CがモデルとBの試技から必要な情報を獲得して跳躍した段階といえる。ここで、CはモデルとBが出力した跳躍高(結果 $x$ )をKR情報として与えられている。すなわち、モデルとBの持つスキーマが分かれば、結果と照合させて二者が選択したパラメータを逆算することができる。そしてそのスキーマを探索するために重要な情報となったのが、観察により得られた運動情報と考えられる。よって、結果とスキーマから二者が選択したパラメータを推測したCは、それらの情報を自己の身体の制御に適応させて跳躍したと考えられる。そして、それらを集団として見ると、主観と客観の関係に秩序が生じているように観察されたといえる。最後に、秩序範囲の減少段階は、三者の結果とスキーマ、そして選択されたパラメータを推測した最終試技者Dが、それらの情報からCよりも正確にパラメータを選択して跳躍した段階といえる。その結果、50%を大きく上回る主観的努力感を申告した者がいな

くなり、また跳躍高も目標に収束したため、集団として主観と客観に生じた秩序の範囲が減少したように見えたと考えられる。

## 5. 結論

グループにおける運動学習は、主観と客観が無関係なランダム相、両者に直線関係が生じる秩序の生成、そして主観的努力感の設定がより正確になる秩序範囲の減少、という3つの特徴的な学習段階を示す。この3段階の運動学習を個人学習モデルと比較すると、まず観察行為によって得られた運動情報から他者のスキーマを探索し、そのスキーマと結果から他者のパラメータを逆算、そしてそれらの情報を自己の身体に適応させて出力する、といった段階がある可能性が示された。

## 謝辞

本研究は、中京大学体育研究所の共同研究費を得て行われた。

## 参考文献

- 村木征人・稲岡純史 (1996). 跳躍運動における主観的強度と客観的出力との対応関係. スポーツ方法学研究, 9 (1) : 73-79.
- 大島浩幸・山田憲政 (2010). 運動技術レベルと運動観察能力の関連. スポーツ心理学研究, 37 (2) : 65-74.
- Schmidt, R. A. (1975). A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychological Review*, 56: 188-200.
- Schmidt, R. A. (1991). *Motor learning and performance: from principles to practice*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Wakatsuki, T., Yamada, N. (2019) Utilizing other people's motor information obtained by observation: does others' adjustment motion affect self-motor adjustment? *Progress in Motor Control XII*, P-55.

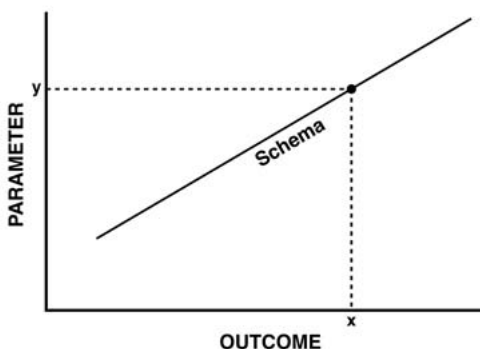


図6 : Schmidtの直線モデル