

身体が醸し出す発話欲求から 多人数インタラクションをみる

Observing Multi-party Interaction from Utterance Desire Signified through Nonverbal Communication Channels

坂井田 瑠衣¹ 福士 知加² 諏訪 正樹²

Rui Sakaida¹, Tomoka Fukushi², and Masaki Suwa²

¹慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科

¹Graduate School of Media and Governance, Keio University

²慶應義塾大学環境情報学部

²Faculty of Environment and Information Studies, Keio University

Abstract: In taking part in multi-party interaction, desires or speculations such as "I want to speak instead of you now." or "Who wants to speak now?" can occur to each participant's mind. When all the participants' utterance desires are satisfied, the whole interaction becomes more productive and meaningful. Utterance desire is signified through non-verbal communication channels peculiar to each participant. We analyzed how utterance desires were signified in order to make the relationships among the participants clear.

1. はじめに

多人数インタラクションにおける身体が存在は、生起するコミュニケーションの質に影響をもたらす。視線や姿勢などの身体を介して表出される非言語行為は、コミュニケーション・チャンネルとして機能し、言語行為の機能を補足する。本稿では、多人数インタラクションにおける各参加者の「発話欲求」が、各参加者に固有の身体部位を介した非言語行為により表出されるという仮説から、その発話欲求の駆け引きを観察することで、各参加者のコミュニケーション特性や、参加者同士の関係性を解明する。

筆者らは、多人数インタラクションにおける各参加者は、「発話したい／したくない」という心的状態を往復しながら、実際に発話するか否かという駆け引きを流動的に繰り返しているのではないか、という仮説を立てた。本稿では、この心的状態を示す尺度を「発話欲求」と称する。コミュニケーションの秩序は、観察可能な言語／非言語行為のみから即物的に評定できない。近年、参加者の心的状態をも分析対象としたコミュニケーション研究が増えてきた。例えば徳永らは、参加者の心的状態を測るための「発話志向度」を提唱し、話者交替における参加者らの心的状態を解釈している[1]。本稿では、会話参加者の身体により継続的に醸し出される発話欲求という

観点から、各参加者の心的状態を分析する。

発話欲求の高低は、実際の発話の有無とは独立の関係にある。ある時点で発話欲求の高い参加者が、必ずしも実際に発話しているとは限らないため、発話の有無や発話量、発話内容のみから当該参加者の発話欲求状態を断定することはできない。むしろ、発話(言語行為)ではなく身体を介した非言語行為から推定することが適当であると考えられる。

発話欲求が表出される非言語チャンネル(以下、発話欲求チャンネルと称する)は、参加者の特性に依存する。話し手に視線を向けることが次話者になりたいという欲求の発露であると考えられる[2]など、参加者の特性を問わず普遍的に適用できる非言語チャンネルも存在する。しかし多くの場合、それらの普遍的チャンネルと、当該参加者「らしい」個人的なチャンネルの複合によって欲求が表出されると捉えるのが自然である。発話欲求が高まると身体が前のめりになる者もいれば、口を尖らせる者もいるであろう。

本稿では3名の異なる発話欲求特性の参加者を対象とし、各参加者のコミュニケーション特性および参加者間で行われた発話欲求の駆け引きを分析する。

2. 実験方法

互いに親しい間柄の、被験者4名の参加者による会話を映像と音声にて収録した。4名全員が日常的

3.4. S の発話欲求チャネルの決定

S の注目すべき非言語行為は「手の位置」である。全ての分析対象範囲時間に対して、「A. 左手-頬杖⁴」、「B. 両手-前」、「C. 両手-膝上」、「D. その他」のいずれかの値が 1 秒毎に付与される。映像を観察したところ、「B. 両手-前」、「C. 両手-膝上」の場合に発話欲求が低いのではないかという仮説が生じた。B の場合、腕の力が抜けて床に手が触れ、ジェスチャなども見られない。C も B よりは他参与者に身体が開かれているが、腕は下へ降ろされている。

S の発話欲求チャネルの各値の出現時間を表 4 に示す。A もしくは D の状態と B もしくは C の状態における発話量を一元配置分散分析したところ、B もしくは C の状態における発話量は有意に少なかった ($F(1, 1322) = 11.14, p < .005$)。B もしくは C の状態では、S の発話欲求が低い可能性が高いという仮説が支持された。

表 4: S の発話欲求チャネル出現時間(実験 1)

	A. 左手-頬杖	B. 両手-前	C. 両手-膝上	D. その他
発話時(秒)	210	197	4	155
非発話時(秒)	271	335	3	149
合計時間(秒)	481	532	7	304

3.5. U の発話欲求チャネルの決定

U の注目すべき非言語行為は「1. 口」、「2. 姿勢」および「3. ジェスチャ」の 3 種類である。U の場合、1~3 の複数モダリティが観察された。モダリティ 1 の値は「A. 尖った口／一文字の口⁵」、2 は「B. 前のめり」、3 は「C. 手遊び」、いずれにも該当しない場合は「D. その他」である。全ての分析対象範囲時間に対して、いずれかの値が 1 秒毎に付与される。複数モダリティは同期することがあるため、モダリティ間に優先順位を設けて評定する。評定の優先度は A~D の順である。例えば「A. 尖った口／一文字の口」と「C. 手遊び」が同期した場合、「1. 口」のモダリティが優先され、評定は A である。映像を観察したところ、「C. 手遊び」の場合に発話欲求が低いのではないかという仮説が生じた。手遊びの最中は手元を動かし続けており、意識は自分の手元へ向いており、発話に対して積極的ではないと考えられる。

U の発話欲求チャネルの各値の出現時間を表 5 に示す。A、B もしくは D の状態と C の状態における発話量を一元配置分散分析したところ、C の状態に

おける発話量は有意に少なかった ($F(1, 1322) = 29.31, p < .005$)。C の状態では、U の発話欲求が低い可能性が高いという仮説が支持された。

表 5: U の発話欲求チャネル出現時間(実験 1)

	A. 尖った口 ／一文字	B. 前のめり	C. 手遊び	D. その他
発話時(秒)	19	30	128	244
非発話時(秒)	171	113	415	204
合計時間(秒)	190	143	543	448

4. 発話欲求を促す視線

発話欲求は、いかなる環境要因に促されて上下するのだろうか。ここでは、発話欲求を促す環境要因としての視線に着目する。他者から視線を受けた場合、気分が昂揚して発話欲求が高まる者もいれば、居心地の悪さを感じて発話欲求が低くなる者もいると考えられる。

視線配布時間を算出するために、当該参与者から他参与者へ視線が向けられた時間を映像から数え上げた。他参与者の顔以外に視線を向けている時間は除外した。発話欲求チャネル出現時間の算出時と同様、1 フレーム(1/30sec)でも視線が当該参与者に向けられていれば、視線が向いていると判定した。

4.1. 各参与者の視線配布特性

まずは、各参与者が他参与者へどのように視線を配布するかについての特性を明らかにする。当該参与者自身が誰へ視線を向けるかによって、その参与者が他参与者の視線から受ける影響は変化する。

4.1.1. F の視線配布特性

表 6: F から他参与者への視線配布時間

	F>S(秒)	F>U(秒)	F>H(秒)	合計時間(秒)
実験 1	419	452	181	1052
実験 2	305	86	245	636

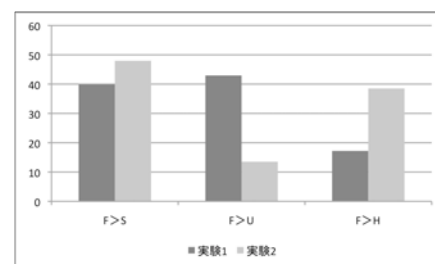


図 2: F から他参与者への視線配布時間の割合(%)

表 6 は F から他参与者への視線配布時間、図 2 はその割合を示したものである。「F>S」は、F から S

⁴ 右手の状態は考慮していない

⁵ 「尖った口」と「一文字の口」を同一の値として扱う

への視線配布を意味する。Fは、実験1と実験2で視線配布の傾向が変化している。実験1では「F>U」の割合が最も高く、次いで「F>S」、「F>H」である。実験2では「F>S」の割合が最も高く、次いで、「F>H」、「F>U」である。実験1でFの正面に着座したのはU、実験2ではSである。Fは正面に位置する他参加者に視線を配布しやすい。Fの視線配布は座席配置に影響を受けていると考えられる。

4.1.2. Sの視線配布特性

表7: Sから他参加者への視線配布時間

	S>F(秒)	S>U(秒)	S>H(秒)	合計時間(秒)
実験1	614	108	180	902
実験2	589	135	188	912

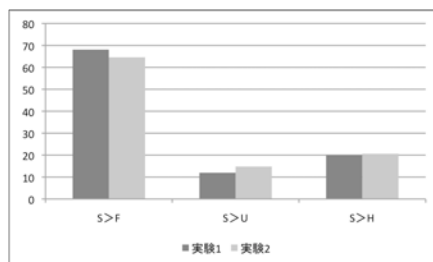


図3: Sから他参加者への視線配布時間の割合(%)

表7はSから他参加者への視線配布時間、図3はその割合を示したものである。実験1と実験2の両方において、「S>F」の割合が最も高く、次いで「S>H」、「S>U」である。Sは座席配置にかかわらず、Fに視線を向けやすいことが分かる。実験間で視線配布傾向が変化しないことから、Sの視線方向は座席配置配置ではなく、他参加者との関係性に影響を受けていると考えられる。

4.1.3. Uの視線配布特性

表8: Uから他参加者への視線配布時間

	U>F(秒)	U>S(秒)	U>H(秒)	合計時間(秒)
実験1	572	267	80	919
実験2	296	318	309	923

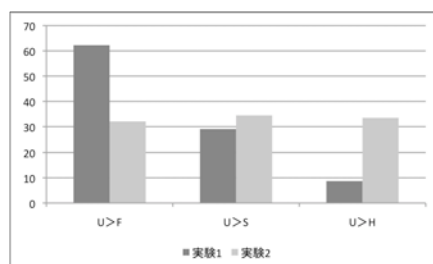


図4: Uから他参加者への視線配布時間の割合(%)

表8はUから他参加者への視線配布時間、図4は

その割合を示したものである。実験1では「U>F」の割合が最も高く、次いで「U>S」である。実験2ではすべての視線配布がほぼ同じ割合である。実験1で正面に着座したFへの視線配布が多く、実験2でも正面に着座したHへの視線配布が増加したとも考えられる。ただし他参加者全員に対してほぼ均一に視線を配布していることから、他の環境要因が寄与したことも考えられる。Uは正面に着座した参加者に対して視線を向けやすい可能性があるが、この分析結果だけではUの視線配布特性は定まらない。

4.2. 他者の視線に影響を受ける発話欲求

前節では、当該参加者から他参加者への視線配布の個人特性を明らかにした。次に、他参加者からFおよびSへの視線配布を分析し、各参加者の発話欲求との関係性について検討する。なおUについては、他参加者からの視線配布と発話欲求の関係性が示唆されなかった。

4.2.1. 他者からの視線とFの発話欲求

Fの発話欲求の高まりと、他参加者からFへの視線配布の関係性を分析する。Fの発話欲求チャンネル出現時間(表2を参照)を基にして、10秒以上発話欲求が低い状態が続いた後にFの発話欲求が高まるタイミングを抽出し、発話欲求が高まる直前の10秒間の各参加者からFへの視線配布時間を数え上げた(表9, 10)。発話欲求の低い状態がある程度続いた後に発話欲求の高い状態へと移行する事例は、一定時間続いた発話欲求が低い状態を脱却したことを示すため、短時間で発話欲求が高くなったり低くなったりする事例よりも、発話欲求の本質的な高まりを示している箇所であると考えられる。

表9: 他参加者からFへの視線配布時間
(実験1: UはFの正面)

	S>F	U>F	H>F
全範囲におけるFへの視線配布時間(秒)	614	572	363
Fの発話欲求が高まる直前10秒間の合計視線配布時間(秒)	25	27	20

表10: 他参加者からFへの視線配布時間
(実験2: SはFの正面)

	S>F	U>F	H>F
全範囲におけるFへの視線配布時間(秒)	589	296	336
Fの発話欲求が高まる直前10秒間の視線秒数の合計(秒)	61	37	30

4章1節で示したとおり、Fは正面の参加者に視線を向けやすいため、Fは正面の参加者から視線を向けられると発話欲求が高まるのではないかと仮説を立てた。各実験にてFの正面に着座した参加者(実験1ではU, 実験2ではS)からFへの視線に着目する。Fの発話欲求が高まる直前におけるUおよびSからFへの視線配布時間と、全範囲におけるUおよびSからFへの視線配布時間とを比較するために、 χ^2 検定を行う。

実験1のFの発話欲求が高まる直前について、正面に着座した「U>F」と「S>F」を比較したところ、有意差は認められなかった($\chi^2(1) = 0.28, p > .5$)。同様に「U>F」と「H>F」を比較したところ、有意差は認められなかった($\chi^2(1) = 0.28, p > .5$)。

実験2のFの発話欲求が高まる直前について、正面に着座した「S>F」と「U>F」を比較したところ、有意差は認められなかった($\chi^2(1) = 0.82, p > .25$)。同様に「S>F」と「H>F」を比較したところ、有意差は認められなかった($\chi^2(1) = 0.44, p > .5$)。

Fは正面に着座した参加者の視線によって発話欲求が促されているという仮説が棄却された。視線以外にFの発話欲求を促している要因が考えられる。5章では、Fと他参加者とのコミュニケーション特性に関わる相性が発話欲求の高まる要因となっている可能性があることについて述べる。

4.2.2. 他者からの視線とSの発話欲求

表 11: 他参加者からSへの視線配布時間(実験1)

	F>S	U>S	H>S
全範囲におけるSへの視線配布時間(秒)	419	267	341
Sの発話欲求が高まる直前10秒間の合計視線配布時間(秒)	49	13	26

表 12: 他参加者からSへの視線配布時間(実験2)

	F>S	U>S	H>S
全範囲におけるSへの視線配布時間(秒)	305	318	270
Sの発話欲求が高まる直前10秒間の合計視線配布時間(秒)	21	16	16

4章1節で示したとおり、SはFに視線を向けやすいため、SはFから視線を向けられると発話欲求が高まるのではないかと仮説を立てた。各実験におけるFからSへの視線に着目する。Sの発話欲求が高まる直前におけるFからSへの視線配布時間と、全範囲におけるFからSへの視線配布時間とを比較するために、 χ^2 検定を行う。10秒以上Sの発話欲求

が低い状態が続いた後、発話欲求が高まるタイミングを抽出し、発話欲求が高まる直前10秒間の各参加者からSへの視線配布時間を数え上げた(表11, 12)。

実験1のSの発話欲求が高まる直前について、「F>S」と「U>S」を比較したところ「F>S」が有意に多かった($\chi^2(1) = 8.41, p < .005$)。同様に「F>S」と「H>S」を比較したところ、統計的有意とは言えないまでも「F>S」への視線が多かった($\chi^2(1) = 3.16, p > .05$)。また「H>S」と「U>S」を合算した値と、「F>S」を比較したところ「F>S」が有意に多かった($\chi^2(1) = 8.07, p < 0.05$)。

実験2のSの発話欲求が高まる直前について、「F>S」と「U>S」を比較したところ、有意差は認められなかった($\chi^2(1) = 0.90, p > .25$)。同様に「F>S」と「H>S」を比較したところ、有意差は認められなかった($\chi^2(1) = 0.20, p > .5$)。

以上より、実験1においてSはFからの視線に促されて発話欲求が高まっていたと考えられたが、実験2においてはSの発話欲求とFからSへの視線配布に相関関係は見られなかった。この結果には、両実験における座席配置が影響したと考えられる。

4章1節で示したとおり、SにとってFは視線を向けたくなる重要な相手である。さらに3章4節で示したとおり、Sの発話欲求が高い可能性があるのは「A. 左手-頬杖」であり、発話欲求が低いと考えられるのは「B. 両手-前」もしくは「C. 両手-膝上」である。実験1でSはFからの視線を感じ取り、それに呼応して発話欲求を高めようとしている。右隣にFがいると、Sは発話欲求が高いと考えられる「A. 頬杖」の状態になりやすい。これは、Fの方向へ視線を向け、互いに視線を向け合いながら会話を進行させることが容易になる姿勢であるためと考えられる。しかし、実験2のように正面にFがいる場合、Sは「A. 頬杖」状態を作りづらい。発話欲求が高いと考えられる「A. 頬杖」状態では、どうしても右方向に顔と身体が向いてしまい、正面に位置するFと視線を交換しながら会話することが難しい。そのため、Fが正面に着座した実験2では、Sは自らの発話欲求を高めやすい発話欲求チャンネルとFとの会話を両立させることが困難であったと考えられる。

5. 発話欲求4象限マトリクス

発話欲求4象限マトリクスとは、発話欲求の高低と発話量からなる2軸の状態空間である(図5)。

- ・第1象限「満足的発話」…発話欲求が高く、発話量も多い状態である。発話したいと思っていて、十分に発話できている。

- ・第2象限「義務的発話」…発話欲求は低い、発話量も多い状態である。積極的に発話する気持ちの

高まりはないが、何らかの理由で発話している。
 ・第3象限「欲求は無く発話少ない」…積極的に発話する気持ちの高まりが無く、発話を控えている。
 ・第4象限「欲求はあるが発話少ない」…発話したいと思っているが、なかなか発話できないでいる。

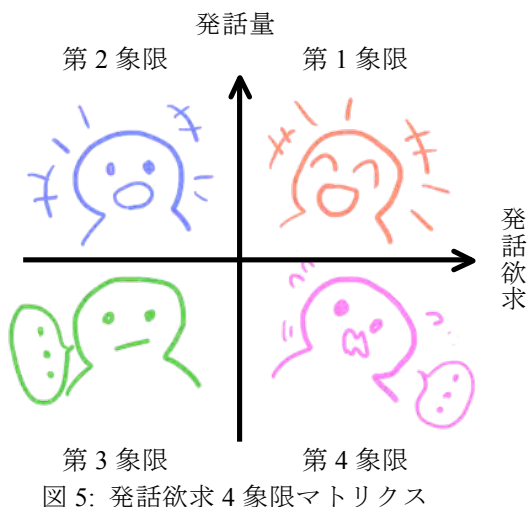


図 5: 発話欲求 4 象限マトリクス

各参与者のある時点における発話欲求の高低と発話量の多寡から、当該時点での象限を決定することができる。発話欲求の高低は、各参与者の発話欲求チャンネルの値により判定する。発話量の多寡は、表 1 で示した発話量のデータから各参与者の平均発話量を算出し、5 秒毎の単純移動平均が平均発話量より多いか少ないかで判定する。発話欲求 4 象限マトリクスを用いることで、象限の遷移傾向から各参与者の特性を推定したり、他参与者の象限との共起関係を観察することで、参与者同士の関係性を考察したりできる。

5.1. 象限の遷移傾向からみる参与者特性

5.1.1. 象限の遷移傾向からみる F の特性

図 6, 7 は各実験における F の 4 象限マトリクスの状態遷移図である。両実験において、第 1 象限と第 4 象限の往來の遷移確率が最も高く、第 2 象限と第 3 象限の往來の遷移確率が次に高いことから、F の発話欲求は頻繁に切り替わらないことが分かる。実験 2 においては、第 3 象限と第 4 象限の遷移確率が高いことから、発話欲求が低い状態から高い状態に遷移する際には、第 2 象限ではなく第 3 象限を介していることが多いことが分かる。つまり F は、義務的にでも発話して自らの欲求を高めるのではなく、まず発話欲求が高まってから、タイミングを見計らって発話する傾向にあると考えられる。

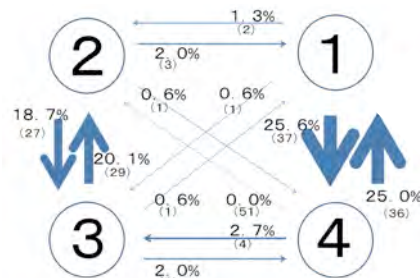


図 6: 4 象限マトリクスの状態遷移図(実験 1・F)

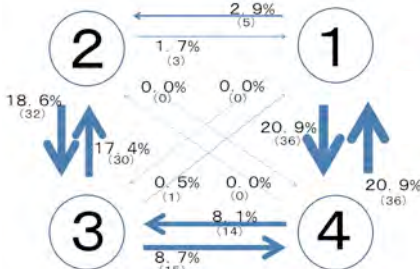


図 7: 4 象限マトリクスの状態遷移図(実験 2・F)

5.1.2. 象限の遷移傾向からみる S の特性

図 8, 9 は各実験における S の 4 象限マトリクスの状態遷移図である。第 2 象限と第 3 象限の往來の遷移確率が最も高いことから、発話欲求が低い状態は続きやすいことが分かる。実験 1 と比べて実験 2 では、第 1 象限と第 4 象限の往來の遷移確率が増加している。両実験において、S は第 2 象限を介して第 1 象限へ遷移する回数が F よりも多い。特に実験 2 ではその傾向が顕著である。S は、まず義務的な発話を多く行うことで、自らの発話欲求を高めるのではないかと考えられる。気の進まないことでも、まずはやってみる、という性格が表出した可能性がある。

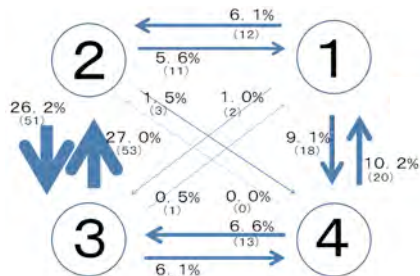


図 8: 4 象限マトリクスの状態遷移図(実験 1・S)

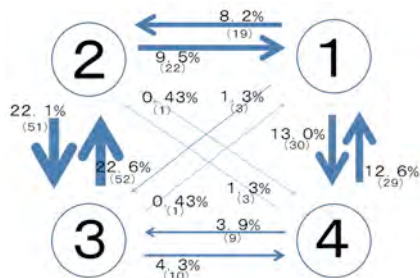


図 9: 4 象限マトリクスの状態遷移図(実験 2・S)

5.1.3. 象限の遷移傾向からみる U の特性

図 10, 11 は各実験における U の 4 象限マトリクスの状態遷移図である。第 1 象限と第 4 象限の往來の遷移確率が高いことから、U は発話欲求が高い時、そのまま欲求が高い状態を維持しやすいことが分かる。また実験 1 にて、発話欲求が高まる時には第 2 象限を介している一方、実験 2 では、第 3 象限を介して発話欲求を高めている。発話欲求が高まる際の遷移について、実験 1 では S と同様の傾向、実験 2 では F と同様の傾向を示している。

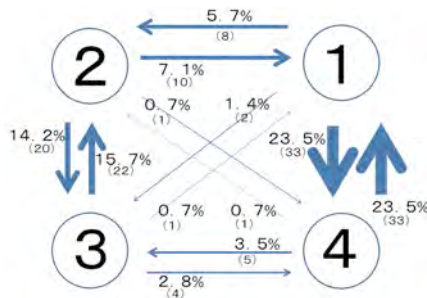


図 10: 4 象限マトリクスの状態遷移図(実験 1・U)

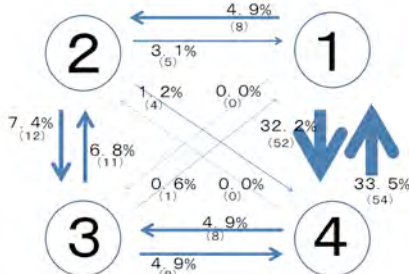


図 11: 4 象限マトリクスの状態遷移図(実験 2・U)

5.2. 参与者間の象限の相互作用

時間軸上において、参与者 3 名の象限がどのように相互作用していたかを分析する。まずは、会話データを経過時間に沿って機械的に 10 等分し、各区間にて高確率で出現した象限(上位 2 種を高確率順に表記)を、参与者毎に一覧する(表 13, 14)。実験 1 の分析対象時間(22 分 06 秒間)を基準として、2 分 12 秒毎に 10 等分した⁶。例えば表 13 において、第 1 区間の F は、第 1 象限の割合が最も高く、次いで第 4 象限の割合が高かったことを意味する。全てのセルについて、上位 2 個の象限の組み合わせ毎に色付けした。赤色のセルは第 1 象限と第 4 象限、つまり発話欲求は総じて高いまま、発話量は上下する組み合わせである。緑色のセルは第 1 象限と第 2 象限、つまり発話量は総じて多いが、発話欲求は上下する組み

合わせである。橙色のセルは第 2 象限と第 3 象限、つまり発話欲求は総じて低いまま、発話量は上下する組み合わせである。水色のセルは第 3 象限と第 4 象限、つまり発話量は総じて少ないが、発話欲求は上下する組み合わせである。桃色のセルは第 1 象限と第 3 象限、つまり発話欲求が高い時には十分に発話し、発話欲求が低い時には発話しないという、自らの欲求に忠実な組み合わせである。黄色のセルは第 2 象限と第 4 象限、つまり発話欲求が高い時には発話できず、発話欲求が低い時には発話するという、自らの欲求に矛盾した組み合わせである。

表 13: 各区間における象限遷移(実験 1)

区間	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F	1, 4	4, 1	4, 1&2	2, 3	3, 2	4, 3	1, 2	1, 4	3, 4	1, 2
S	2, 3	3, 2	2, 3	3, 2	2, 3	1, 2	2, 3	4, 1	3, 1	2, 3
U	1, 3	1, 4	1, 4	4, 1	1, 4	4, 3	4, 1	3, 2	2, 3	2, 3

表 14: 各区間における象限遷移(実験 2)

区間	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F	4, 1	1, 3&4	3, 4	4, 1	4, 1	3, 4	4, 1	4, 1	3, 2	2, 3
S	3, 2	1, 4	1, 4	2, 1	1, 4	4, 2	3, 2	3, 2	2, 3	3, 2
U	4, 1	3, 4	1, 2	1, 4	1, 4	1, 4	1, 4	1, 4	4, 1	4, 1

実験 1 における象限遷移(表 13)について、発話欲求の高まり(赤色のセル)に着目すると、区間 1, 2 では F の発話欲求が高かったが、区間 2 にて U の発話欲求が高くなり、区間 3~5 では U のみ発話欲求が高い状態が続く。区間 6 で局面の変化が起こり、区間 7 では U の発話欲求が高かったが、区間 8 にて F と S へ発話欲求の高まりが移行する。区間 9 では F と S の発話欲求が上下し、U は発話欲求が低いままである。区間 10 では、S や U と比べて F の発話欲求がやや高い。発話欲求が総じて高い状態を指す赤色のセルが参与者間で移譲されているのは、区間 2 から 3 と、区間 7 から 8 の 2 箇所である。

5.2.1. F から U へ移譲される発話欲求

実験 1(表 13)で F から U へ発話欲求が移譲される区間 2, 3 を考察する。周辺の区間 1~3 に着目する。

区間 1 で F は第 1 象限の割合が最も高く、高い発話欲求が満たされている状態である。U は第 1 象限と第 3 象限の割合が高く、自らの発話欲求に忠実な組み合わせである。区間 2 においても F の発話欲求は総じて高いものの、第 4 象限の割合が最も高く、十分に発話欲求が満たされなくなる。U は第 1 象限の割合が最も高くなり、十分に発話欲求が満たされる。区間 3 で F は第 2 象限の割合が高くなる。これは発話欲求が低くなったことを示す。U は引き続き発話欲求が高まったままである。ここで、F から U

⁶ 実験 1 の終わり 6 秒間、実験 2 の終わり 113 秒間は分析対象範囲から除外した

へ発話欲求が移譲されたことが示唆された。

5.2.2. U から F へ移譲される発話欲求

実験 1(表 13)で U から F へ発話欲求が移譲される区間 7, 8 を考察する。周辺の区間 5~8 に着目する。

区間 5 では、U のみの発話欲求が総じて高く、F と S の発話欲求は総じて低い。区間 6 では、F と U の発話欲求が共に総じて低くなる。一方で S は第 1 象限と第 2 象限の割合が高くなり、実験 1 において初めて発話欲求の高まりを見せる。区間 7 では、F は第 1 象限と第 2 象限の割合が高くなり、区間 6 と比べて発話欲求も発話量も増加する。U は総じて発話欲求が高い。S の発話欲求は再び総じて低くなる。区間 8 では、F と S の発話欲求が共に総じて高くなる一方、U の発話欲求は総じて低くなる。

区間 2~5 では U の発話欲求が高く、F と S の発話欲求が低い状態が続いていた。ところが区間 6 で F と U の発話欲求が下がった時、S の発話欲求が高まった。F と U の発話欲求が低くなったのを感じ取った S が、場を繋ぐために発話しなければならないと感じて発話欲求を高めたのではないかと考えられる。

F と U は気ままな性格である一方、S は些細なことに気づいて気配りする性格である。S は F と U の内情を察知し、場を調整したと考えられる。区間 6 にて S が場を調整すると、直後の区間 7 にて F と U の発話欲求が高まった。S の調整が奏功し、他参加者の発話欲求が再び引き上げられた可能性がある。

区間 7 で発話欲求が高まった F と U だが、U は第 4 象限の割合が最も高く、F は第 1 象限の割合が最も高い。さらに区間 8 では F の発話欲求は総じて高いが、U の発話欲求は総じて低い。U の発話欲求は満たされないまま、区間 8 にて低下したと考えられる。

5.2.3. 同期する F と S の発話欲求

F と S の発話欲求の組み合わせが同期する箇所がある。実験 1(表 13)では、F と U は区間 2、S と U は区間 10 で一度ずつ同期しているのに対し、F と S は区間 4, 5, 8 の 3 箇所同期する。3 箇所とも、互いの第 1 位の象限と第 2 位の象限が同じであり、2 者間での象限の衝突がないことが分かる。実験 2(表 14)では、区間 5, 9, 10 にて発話欲求の組み合わせが同期する。実験 1 と同様に実験 2 でも、3 箇所とも互いの第 1 位の象限と第 2 位の象限が同じである。

この傾向は、両者のコミュニケーション特性が類似していることを示唆する。4 章で示したとおり、S は F の存在に影響を受けている。第 1 位の象限と第 2 位の象限が衝突しないのは、S が F の発話欲求や発話量を察知し、自らの発話欲求を F に寄り添わせているためであると考えられる。5 章 2 節 2 項にて、

実験 1 の区間 7 で発話欲求が高かった F と U のうち、F の発話欲求が実現したのは、S が U でなく F の発話欲求に乗じたためかもしれない。

5.2.4. 場を調整する S

5 章 2 節 2 項で言及した場を調整する S について、実験 2(表 14)でも類似例が観察されたので考察する。

実験 1 と同様、実験 2 でも F と U の発話欲求が共に低くなる場面が見られる(区間 2)。そこで S は第 1 象限と第 4 象限の割合が高くなり、発話欲求を高める。区間 3 でも F は第 3 象限、U は第 2 象限の割合が高く、F と U の発話欲求が上昇しきらない。そのため S の発話欲求が高く保たれていると考えられる。

S の発話欲求が総じて高い区間は、実験 1 では 1 区間、実験 2 では 3 区間のみである。発話欲求が上がりづらい S は、F と U の発話欲求が低くなった時に発話欲求を高めている。他参加者の発話欲求が低下し、参加者間の発話欲求の均衡が保たれなくなるのを避けようとした可能性がある。参加者全員の発話欲求が低迷してしまうと、次話者選択が難航することがある。S はこの局面を打開するために、自らの発話欲求を高め、再び他参加者の発話欲求を引き上げようとしたことが考えられる。

6. おわりに

本稿では、発話欲求という心的状態に着目し、多人数インタラクションにおける各参加者のコミュニケーション特性、参加者同士の関係性を分析した。発話欲求の同定には、各参加者の特性を反映した発話欲求チャンネルを用いることで、各参加者の性癖に即した分析を実現した。

参加者の不確実な心的状態をも含めて多人数インタラクションを読み解こうとした事例は未だ少なく、各参加者の個人固有性を認めた上で分析に使用する変数を設定した例はほとんど見られない。このような生活者の実態に即した変数を分析に導入することで、より精緻に生活者のコミュニケーションを紐解くことができるのではないだろうか。

参考文献

- [1] 徳永弘子, 武川直樹, 寺井仁, 湯浅将英: 発話志向態度の表出・理解と発話調整に基づく話者交替分析: 3 人会話における「話したい/聞きたい」態度表出の効用, 電子情報通信学会技術研究報告, ヒューマンコミュニケーション基礎, Vol. 110, No. 185, pp. 49-54, (2010)
- [2] 榎本美香, 伝康晴: 3 人会話における参与役割の交替に関わる非言語的行動の分析, 人工知能学会研究会資料, SIG-SLUD-A301, pp. 25-30, (2003)

力学的不変量仮説：

運動制御の最適化理論の上位原理として

Dynamical Invariance Hypothesis: As a Superordinate Principle Upon Motor Control Optimality Theory

日高 昇平¹

Shohei Hidaka¹

¹ 北陸先端科学技術大学院大学

¹ Japan Advanced Institute of Science and Technology

Abstract: 本研究では、ある種の最適化としての身体運動の計算理論を再考する。その上で、既存の理論の限界を指摘し、その問題を解消する新たな計算理論を提案する。本研究で提案する力学的不変量仮説では、身体運動を本質的にある種の力学系とみなし、その座標不変な性質の推定が主たる運動の計算処理であるとする。この仮説を検討するため、5種類の身体運動の力学的性質の分析を行った。その結果、力学的不変量仮説の予測するとおり、身体の一部だけを使う局所的な動きであっても、その他の身体部位において類似の力学的性質が見られた。この結果は局所的な運動の最適化では説明できず、身体運動を全身の協調によって構成されるある種の力学系とみなせる事を示唆する。

身体運動の計算理論

Marr(1982)の初期視覚系に関する計算理論の提案以来、視覚のみならず様々な分野において、認知処理過程をある種の最適化による不良設定問題の解消とみなすパラダイムが確立してきた。身体運動もその例外ではなく、ある種の拘束条件を満たす最適化問題により運動制御および目標軌道生成が議論されてきた。本稿では、身体運動の計算理論について再考し、これまでの理論的パラダイムを超える新たな計算理論について考察していきたい。以降ではまず Marr の計算処理過程の水準を簡潔に振り返り、その運動制御の分野での応用について述べる。次に、Marr 以来およそ 30 年にわたって支配的なパラダイムである「計算理論=最適化」に代わる仮説として、非線形力学の理論を基礎とする力学的不変量仮説について述べる。本研究では、実際の運動データの分析を行い、力学的不変量仮説の経験的に検討した。最後に、仮説の予測・可能性を交えて、今後の研究について考察する。

Marr(1982)は初期視覚をある種の計算処理とみなし、その計算機構を計算理論、アルゴリズムと表現、ハードウェア実装の3水準に分ける事を提唱している。計算理論の水準は、計算の目的を記述する最上位の水準であり、計算処理の入力と出力を数的に表現する。アルゴリズムと表現の水準では、計算理論で記述される入力から出力を与える具体的な計算手続き(アルゴリズム)を同定する。ハードウェア実装の水準では、脳(神経生理的機構)や電子計算機などの物理的な機構において、どのようにアルゴリズムが実現されるか議論する。この3つの水準において、一般に、1つの計算理論に対して複数のア

ルゴリズムと表現が、また1つのアルゴリズムと表現に対して複数のハードウェアでの実行が可能である。また、一方で、人の認知を対象とする研究では、脳によるハードウェア実装により、可能なアルゴリズムと表現は制限され、また実時間での実行可能性などの点から、アルゴリズムは計算理論水準の仮説を制限する。このような3水準間の双方向の包含関係、実効的な要請により、計算処理としての認知過程の理解を深めていく必要がある(川人, 1996)。

Marr (1982)によれば、初期視覚の計算理論は、2次元的な情報(網膜像)から3次元の形態を推定する事である。3次元の構造はある 2次元像に一意に投影できる(順問題)。しかし、2次元上のパタンから元の 3次元像へ(逆問題)は一意に定まらない。これは、逆問題の解が複数(あるいは無数)に存在する不良設定問題の一種である。このような不良設定問題を解く一つの方法として、ある種の制約を仮定した上で、その制約を満たす解を求める事が提案されている(Poggio, Torre, & Koch, 1985; Marr, 1982; 川人, 1996)。これは、標準正則化理論と言われる制約付き最適化とみなせる(Tikhonov & Arsenin, 1977)。このような最適化としての視覚の計算理論の具体例として、両眼視の統合による奥行き再構成や、陰影による 3次元構造の推定などがある(Marr, 1982)。このような計算理論は、神経生理的な知見とも合致する事から、大脳皮質の初期視覚野がある種の最適化を行っていると考えられている(Olshausen & Field, 1996)。

初期視覚の計算処理に関する最適化理論の成功は、当然ながら、他の認知処理の説明についても大きな影響を与えてきた。身体運動の計算処理過程もこの例外ではなく、川人

(1996)は、身体運動の計算理論として、筋骨格系の動力学的な滑らかさを制約とする最適制御理論を提案している。川人によれば、身体運動の主要な計算理論は、筋骨格系の動力学的空間(関節角、筋肉の出力・収縮など)と、運動の目標が与えられる作業空間(実3次元空間)上の対応づけの問題である。作業空間上の端点の軌跡が3次元上の点列であるのに対し、それを実現する身体自由度がそれよりも大きいために、視覚系と本質的に同種の不良設定問題になる。例えば、到達運動時の手の先端のある軌道は各時点で3次元であるが、肩・肘・手首など少なくとも身体には7自由度があり、冗長であるため動力学的な変数は一意に定まらない。従って、川人らは目標軌道の生成および、その実現のための運動制御のある種の最適化による不良設定性の解消が必要であるとした。具体的には、間接まわりのトルクを最小化を制約とするトルク最小原理、筋緊張最小原理や運動指令最小原理などを提案し、動力学的に滑らかな軌道の生成を身体運動の計算理論として提案している(Uno, Kawato, Suzuki, 1989)。

力学的不変量仮説

すでに紹介したように、Marr(1982)以来、初期視覚系のみならず様々な分野において、認知処理過程のある種の最適化による不良設定問題の解消とみなすパラダイムが確立してきた。しかし、この運動制御の最適化理論の一つの問題点は、フィードバックのある大自由度の身体に適用する際に、運動の逆モデルの計算コストが膨大になりえる点である。特に複数の身体部位を協調して行う複雑な動作の場合、その数に応じて無数の組み合わせの変換が必要になる。さらに、運動の観察学習を行うには、自己と他者の身体間で変換を行う必要があるが、制御理論に基づく従来のロボット工学的手法では、模倣的な行動の学習は困難であると考えられている(Breazeal & Scassellati, 2001)。

これに対し、本研究では、身体運動の生成と理解を統一的に説明する枠組みの提案を行い、その実証的な検討を行う。提案する理論的枠組みは、非線形力学系を基礎とし、神経・筋・骨格からなる大自由度系の適切な制御により構成された、低次元のアトラクタを身体運動とみなす(Hidaka, 2012; Hidaka & Fujinami, under review)。この枠組みにおいて、身体運動の学習は、特定のアトラクタを安定的に制御するために、軌道が通るべき特定の相空間の領域(「コツ」)を探索・発見し、それを実現することに当たる。また、身体技能の理解は身体運動の知覚から、そのアトラクタを再構成し、その不変的性質(アトラクタの位相構造)を認識する事に当たる。

従来の研究と比較して、本研究の理論的な新規性は、運動の表現として、再構成された相空間そのものではなく、それと同相な位相的構造(座標変換に不変な性質)を扱う点にある(図1)。相空間を直接計算しないため、無数に存在しうる座標の取り方によらず、複数の身体部位や、運動の実行系と知覚系などの違いを超えた表現が可能になる。具体的には、記号力学系(Lind & Marcus, 1995)と呼ばれる理論体系を用いて、身体運動を力学的な位相構造を分析・記述する。近年、力学方程式が陽に与えられていない経験的な時系列に対して、記号力学系を推定する方法が提案されている(Buhl & Kennel,

2005; Hidaka & Yu, 2010)。この技術を用いる事で、力学系間の位相的類似性を計算する事が可能である

提案する仮説の要点は以下のとおりである。(1)身体運動は神経系・筋骨格系・環境の相互作用の時間発展として記述できる。つまり、身体運動のある種の力学系とみなす。(2)ある運動に固有な力学系の性質は、座標によらない不変量によって記述でき、またそれが運動制御に本質的であるとする。(3)不変量の計算は本質的に座標系のとり方によらないため、異なる座標系間の対応付けの問題が本質的に無くなる。(4)不変量の計算には、いくつかの条件が必要であり、その一つは身体運動が滑らかである事によって十分に満たされる。従って、不変量の計算は、従来の滑らかさ制約による最適化理論を一つの条件に含むより上位の計算理論とみなせる。上記の要点(1)は、仮説の中心的な前提、(2)は(1)の前提から可能となり、(3)により身体不良設定問題を最適化をせずに解消できる。要点(4)は、本仮説が既存の計算理論のパラダイムに直接対立せず、むしろそれを取り入れた上位の計算理論である事を含意する。以下、この4点についてより詳しく説明する。

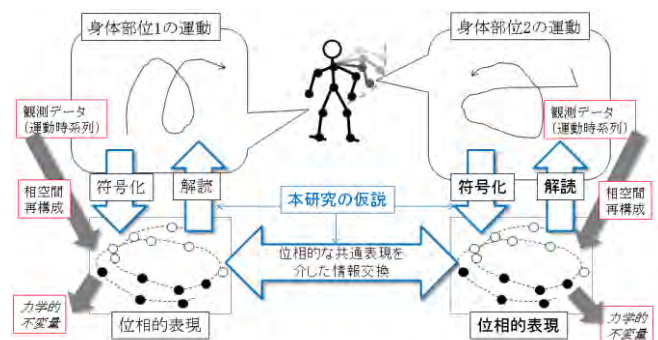


図1：身体運動の座標不変な記述と、複数身体部位間の動的相互作用

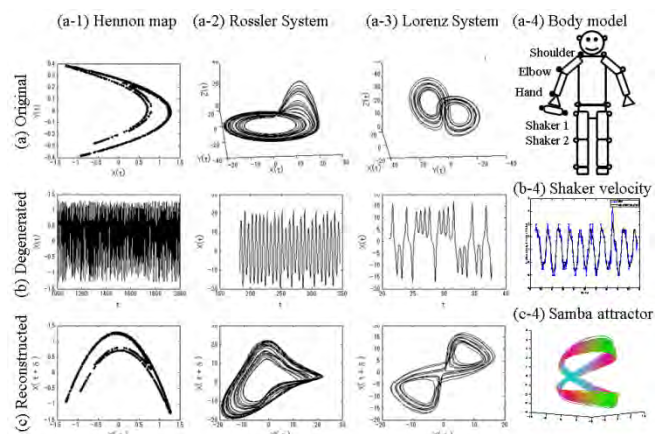


図2：アトラクタの再構成(a)Henon 写像, (b)Rossler 系, (c)Lorenz 系, (d)人の楽器演奏運動(Hidaka & Fujinami, under review)

(1) 身体運動～力学系

本仮説では、身体運動の時間発展を記述する体系として、非線形力学系の理論を採用する。これは、つまり、身体運動を、末梢・中枢神経系、筋骨格系、そして身体の置かれた環境と

の間の相互作用を、それらの系の状態とその状態遷移の系列として捉える事である。この考えでは、少なく見積もっても数百、あるいは個々の神経細胞の活動まで記述すれば、ある時点の身体は無数の次元で表現された状態空間(相空間)のある一状態(一点)として、また一連の身体運動は点を結んだ軌跡として捉えられる。ある相空間上の軌跡として描かれた身体運動は、生理的・心理的機構のため取り得ない状態も含むので、その相空間の全てを隈なく通過するわけではない。むしろ、ほとんどの軌道は、相空間上のある特定の部分空間のみを通過し、その部分空間の集合はその力学系のアトラクタに対応する。ある力学系におけるアトラクタは、十分に長い時間が経った後で、かつ軌道がその近傍に無限に回帰するような部分空間の集合として定義される。力学系では、相空間そのものよりも、その中に埋め込まれたアトラクタ(身体運動の状態集合)の性質を分析する。従って、潜在的な状態空間が数百あるいは無数にあったとしても、実効的にアトラクタの次元が低い場合は、相空間の次元によらず、その性質を分析する事は可能である。

(2) 不変量の計算

ここまでの議論では、運動を記述するのに十分な神経、身体、環境の状態が得られる事を前提に話を進めたが、実際には、この仮定はほとんどの場合成り立たない。つまり、我々の観測できる状態は限られており、また本来は観測対象でないものの影響(ノイズ)が含まれる。特に、身体運動の記述に本来必要な要因の観測が失われている場合、これを観測データから再構成を行うのが実践的な時系列分析における常套手段となっている。相空間再構成の一つの方法は、時間遅れ座標への埋め込みである(Takens, 1981)。埋め込みとは縮退した軌道(i.e., 軌道の交差などの特異点の存在する相空間)のある高次元空間へ写像する事で、特異点の無い滑らかな軌道に変換する操作である。元のある高次元空間上の軌道が、不完全な観測により低次元空間への射影された場合、多くの場合、その軌道を調べるには不都合な特異点(軌道の交差点。この点では軌道の方向が不定となる)が発生する。従って、この軌道の“もつれ”をほどくのが埋め込みである。

アトラクタ再構成の具体例を図2に示す。図2の上段にはアトラクタの例として、左からエノン写像、レスラー系、ローレンツ系を、中段にはその1次元写像を、下段には、その1次元時系列の時間遅れによる2次元埋め込み空間を示している。上段のアトラクタの例はどれも2または3次元の相空間に描かれ、アトラクタ次元はどれも1より大きい。従って、これらの1次元射影(図2中段)は一般に縮退している。この縮退した1次元時系列 $X(t)$ に対し、適当な時間遅れ δ を用いて $\{X(t), X(t+\delta)\}$ を2次元空間とみなして埋め込んだのが図2下段である。一般に、十分に高い次元を持つ空間への埋め込みにより、特異点がなくなる。Takens (1981)は、任意の k 次元アトラクタは $(2k+1)$ 次元の時間遅れ座標により十分に埋め込まれることを示した。

この埋め込み操作によって再構成されたアトラクタは、距離的な構造など他の幾何学的性質の保存は保証されていない。従って、アトラクタの位相的な構造のみが得られる。一方、アトラクタの位相構造の分析から、そのアトラクタ次元やリヤプノフ指数といった重要な性質を特定することが可能である(Kantz & Schreiber, 1997)。このような性質は、理論上は任意の滑らかな非線形変換によらず計算できるため、(任意の滑らかな非線

形変換に対する)不変量と呼ばれる。この不変量の構造をうまく利用することで、異なる2つの空間の対応付け(変換)を陽にする事なく、その2つの空間の緩い対応付けを行う事が出来る。ここで、緩い対応付けとは、数学的には同相写像(あるいはその近似)を意味している。つまり、異なる2つの空間上の距離を対応付けすることにはあまり意味がないので(e.g., 作業空間上での cm と肘角度 rad のスケールを含んだ対応付け)、距離的な構造を特定せず、位相的な構造のみに着目した対応付け問題を考える事になる。

(3) 不良設定性の解消

こうしてアトラクタ間の同相写像が得られる場合、それによって Marr や川人の主張する意味での不良設定性は解消される。なぜなら、第一に同相写像の計算結果が任意の滑らかな非線形変換に不変であり、また相空間の対応付けではなく、アトラクタの対応付けに問題が帰着しているためである。相空間はアトラクタが埋め込まれている限り、任意の次元でよく、そのため埋め込み空間自体の対応付けにもあまり意味が無い。この観点では、不良設定問題は2つの相空間の対応付け問題であり、それはアトラクタの性質を知る上で必要がないため、そもそもそういった問題が生じない。従って不良設定問題は、対応付け問題を「解かない」事によって解消され、むしろ焦点は座標不変なアトラクタの性質の分析に移る。

(4) 運動制御の最適化理論との関係

一方、本仮説は運動制御の最適化理論と対立しているわけではない。むしろ、既存の最適化理論の必要性をうまく取り込んだ形で、より上位の説明を与える事になる。つまり、前述の不変量の計算には、運動制御(変換)におけるある種の滑らかさが保証されている必要があるためである。既に述べたように、任意の「滑らかな」非線形変換に不変な量を計算する事が本仮説の要点である。逆に言えば、もし運動制御がある滑らかではない変換を含む場合、変換後の情報から不変量を計算できる保証はない。従って、本仮説に従えば、最適化理論で保証されるある種の滑らかさ制約は、それ自体が最上位の計算理論ではなく、不変量の計算にそれが必要であるためであると言える。

(5) 仮説の予測

複数の身体部位の協調により成立する多関節運動において、異なる部位が異なる動力学的な自由度を持っている(図1)。そのため、最適化理論では、異なる部位間の変換も一つの不良設定問題となる。一方、本研究で提案する力学的不変量に基づく計算理論では、異なる身体部位であっても、それらが同一力学系に含まれている場合(i.e., 複数身体部位の協調的運動)、それらの表面上の自由度とはほとんど無関係に、同一の位相的性質を持ったアトラクタによって記述できる。つまり、最適化理論によれば、同じ自由度でない空間の間の直接の対応付けが困難であると考えのに対し、本仮説ではそれが問題にならないどころか、むしろ同じ性質を持つ可能性も示唆する。この点で、両仮説は決定的に異なる。従って、二つの仮説は、ある局所的な身体部位のみに着目した運動では、ほとんど違いがないが、特に、複数の身体部位をうまく協調する事が求められる複雑な運動の際にその違いが顕著となると予測される。例えば、主に右手を使ってノックをする場合、下半身は

それを支えているだけであり、最適化理論の立場からは、右手の運動をあえてコストのかかる計算をしてまで、下半身をノック運動に協調的に参加させる事は予測できない。また、川人(1996)は力学系による運動の説明は、歩行、水泳などの周期的、自動的な運動に対しては有効である事を認めつつ、しかし到達運動など随意的な運動に対しては有効な説明ではないとの見解を示している。これに対し、本研究で提示する仮説は、周期的でない運動に対しても、力学的性質は運動の表現に本質的であると考えられる。従って、力学的不変量仮説を経験的に検証するために、複数の部位を用いて行う周期的・非周期的な身体運動の分析をおこなった。

力学的不変量仮説の検討

二つの仮説の予測を検討するために、本研究では日常の5種類の動作について全身15箇所の運動を計測したMaらのデータベースの分析を行った。Maら(2006)は31人の参加者を対象として、歩行、ノック、持ち上げ、投げ、またそれらの複合動作の5種類の動作の運動を計測し、それをオープンアクセスのデータとして公開している。分析の対象とした5種の運動のうち、歩行、ノックは周期的であり、持ち上げ、投げ、複合動作は非周期的な運動である。ただし、歩行または複合動作以外では、各試行中、個別の動作が静止状態をはさんで複数回繰り返されているので、複数の繰り返し動作全体としては周期的である。図3(a)はMaのデータベースで計測された15点の身体部位で、図3(b)は運動時系列の一例としてノック、持ち上げ、投げの動作をそれぞれ5回繰り返しているときの右腕・肘・肩関節の角度の時間変化を示している。データ計測の際には、運動の前に4つの文章を読み、その文章に従った感情状態で運動をすることが求められた。4つの文はそれぞれ、幸せ(happy)、怒り(angry)、悲しみ(sad)、中立(neutral)な感情を喚起する文脈を提示し、それらの文脈による動作の変化がデータ取得時の一つの目的でもあった(教示文の詳細はMa et al. (2006)を参照)。各実験参加者は、5種類の動作、4種類の感情的文脈をそれぞれ2試行繰り返し、計40試行の運動計測を行った。

この分析では、力学的不変量仮説が予測するように、異なる複数の身体部位間において同様なアトラクタが見られるか調べた。身体は物理的に結合しているため、物理的に近接した部位間は、直接的に互いの振動などの影響を受ける。こういった単純に物理的接近性によって運動の性質が類似する可能性を棄却するため、物理的に離れており、かつ機構の対照性(e.g., 左手・右手)を持たない部位間の力学的同相性を調べる。実際の計測では、ノック、持ち上げ、投げの動作では右手を主に動かす運動を実験参加者が行った。従って、対称性を持つ左手や物理的に近接する頭部を含む上半身を除き、下半身の運動と、運動の中心である右手部の位相的類似性を分析した。

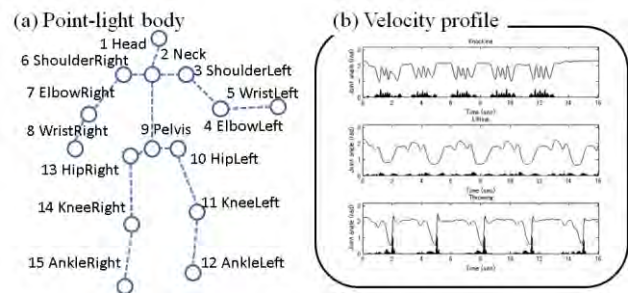


図 3: (a)身体上のマーカの配置, (b) 運動時系列の一例としてノック、持ち上げ、投げの動作をそれぞれ5回繰り返しているときの右腕・肘・肩関節の角度の時間変化

分析手続き

15箇所それぞれの身体部位に取り付けられたマーカの運動ごとに、その運動速度ベクトル(3次元)を10点の時間遅れ座標系(30次元)に埋め込み、相空間の再構成を行った。再構成されたアトラクタに対し、記号的最近傍法(Buhl & Kennel, 2005)を用いて、身体部位ごとに記号力学系を推定した。この結果、再構成されたアトラクタの各点には、その状態が記号列(e.g., “0110110…”など)として与えられており、もし2つの位相的に同一なアトラクタがあれば、理論上同一の記号列が出現すると考えられる。従って、この記号列の出現確率分布の相関係数を、アトラクタの位相的類似性と定義する。分析を行った15の身体部位をそれぞれ Head, Neck, ShoulderLeft, ElbowLeft, WristLeft, ShoulderRight, ElbowRight, WristRight, Pelvis, HipLeft, KneeLeft, AnkleLeft, HipRight, KneeRight, AnkleRightと表記する(図3)。

結果・考察

まず遅延座標系への埋め込みにより再構成されたアトラクタの一例として、図4に投げ動作時の各部の動きからアトラクタを示す。図4の各パネルには右上部3箇所(ShoulderRight, ElbowRight, WristRight)、左足部2箇所(KneeLeft, AnkleLeft)、右足部2箇所(KneeRight, AnkleRight)のそれぞれの動きから再構成されたアトラクタを示している。投げ動作時は右腕を主に使っており、そのため、右腕3箇所に複数の投げ動作に一貫した特徴的なパターンが表れている。一方、投げ動作時に主な動作部位ではない右膝にも、右肘と類似のパターンが一貫して見られた。次に、図5に周期的な運動の例として歩行時の動きから再構成されたアトラクタを示す。歩行動作では主に両足部の動作が中心であると考えられ、実際に、両足部には一貫した周期的なアトラクタが見られた。さらに、両足部と類似の構造を持ったアトラクタは右手首にも見られた。これらの例は、非周期的・周期的な運動の物理的に離れた身体部位間で類似の位相構造を持つアトラクタの存在を示唆している。

次に、以上の観察に見られたアトラクタの位相的類似性を定量的に評価するために、記号力学系の推定を行い、記号列の出現確率分布の相関係数を求めた。仮に同一の位相構造を持つアトラクタの場合、この相関係数は1になる。従って、こ

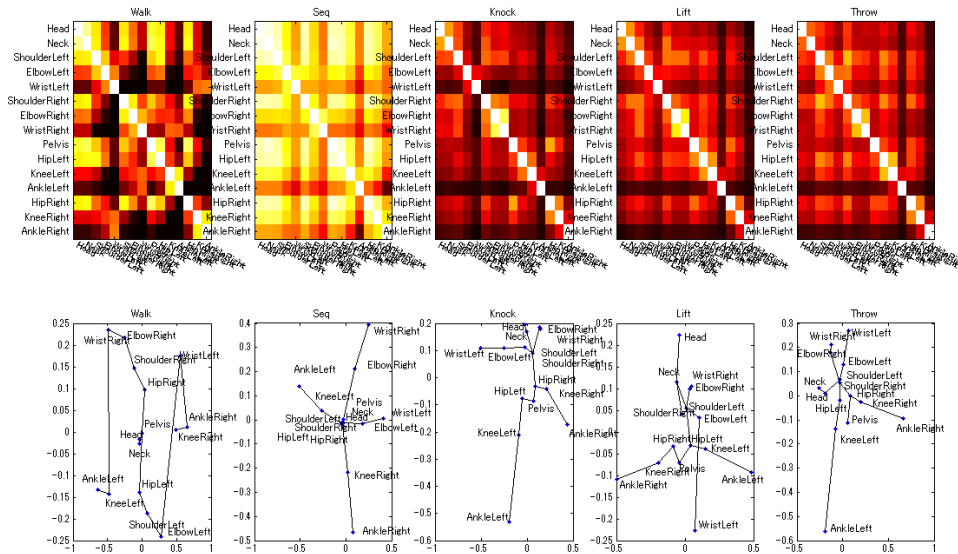


図 6: 5つの運動(歩行, ノック, 持ち上げ, 投げ, 複合動作(Seq)における位相的類似性(上段)およびその多次元尺度構成法による可視化(下段)。

の相関係数の高さをアトラクタの位相的類似性として定義する。歩行、ノック、持ち上げ、投げ、複合動作の5種類のそれぞれについて、31名のデータの平均的な相関係数行列を図 6 に示す。図 6 上段は、ヒートマップにより相関係数行列を表しており、相関係数 0 から 1 が、黒、赤、黄色、白に対応している。図 6 下段は身体部位 i, j 間の相関係数 C_{ij} に対し、擬似距離を $D_{ij}=(1-C_{ij})^{1/2}$ を定義したときに得られる多次元尺度法による身体部位間の類似性の 2 次元的可視化を表している。これらの 2 次元表現では、各点が身体部位を、また点間の距離が相関行列により定義された点間の距離を近似している。また、視覚的に類似性を見るために、与えられた擬似距離 D_{ij} に対する 15 身体部位間の最小全域木を線分で表している。

図 6 上段の相関行列から見て取れるように、歩行、手の動作(ノック、持ち上げ、投げ)、と複合動作の身体の類似性のパターンは大きく異なっている。歩行動作では、右手部と左足部、左手部と右足部がそれぞれ類似しているが、それらのは大きく異なっており、胴体部(頭部、腰、肩)を中間につながっている(図 6 下段)。複合動作では、胴体部を中心に、四肢がそれぞれ胴体部への物理的な近さに従って(e.g., 右肘、右手首、左膝、左かかと)放射状に最小全域木を構成している。一方、ノック、持ち上げ、投げ動作では、ほぼ人体の物理的な結合に一致したような最小全域木が見られ、一部の身体部位を除いて、全体的に類似性が高い。これらの位相的類似性のパターンは、頭部(Head, Neck), 右腕部 (ShoulderRight, ElbowRight, WristRight), 左腕部 (ShoulderLeft, ElbowLeft, WristLeft), 腰部(Pelvis, HipLeft, HipRight), 左足部(KneeLeft, AnkleLeft), 右足部(KneeRight, AnkleRight)の6つに身体部位をグループ化した上で、各部と右腕部との平均相関係数としてまとめた(図 7)。ただし右腕部と右腕部との相関では同じ身体部位間の相関係数(=1)は除いて平均を計算した。図 7 は、手の3動作(ノック、持ち上げ、投げ)がいずれも右腕を中心とし

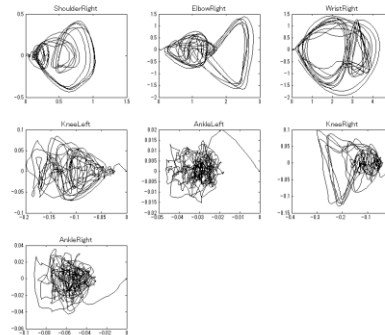


図 4: 投げ動作における各身体部位の速度から再構成された相空間

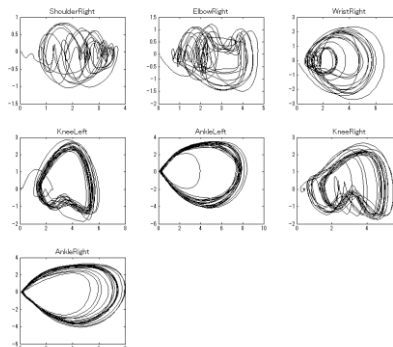


図 5: 歩行動作における各身体部位の速度から再構成された相空間

て類似の位相構造が見られる一方で、他の身体部位でも有意に0より大きい相関係数が見られる事を示している($p < 0.05$)。さらに、複合動作では、ほとんど全ての身体部位で高い相関係数が見られ、ほとんど全身の動きが類似のアトラクタとして記述的出来る事が示唆された($p < 0.01$)。一方、歩行では、右腕部に対し、左腕部と右足部は0より有意に異なる相関係数を示さず、右腕とこれらの身体部位は異なる位相的構造である事を示唆している。

以上の結果をまとめると、位相的構造が、運動の種類に固有のパタンで、しかしいづれも位相的類似性の連続的な分布を持っている事を示している。個別の動作ごとに見ると、(1)歩行では、2つの位相構造(右手-左足、左手-右足)が見れる事、(2)手による動作ではほぼ身体の結合に従った連続的な位相構造の変化が見られる事、また(3)複合動作では全体的にどの身体部位から再構成されたアトラクタも位相的類似性が高く、胴から四肢の端点に向かった放射状の位相的变化が見られる事を示している。以上の結果は、少なくとも以下の二つの点で重要である。第一に、非周期的・随意的な運動(投げ、持ち上げ、複合動作)においても、物理的に離れた身体部位間(右腕と右足など)で、一定の類似性をもったアトラクタの位相的構造が見られた。この結果は、力学的不変量仮説の予測を支持している。第二に、周期的な運動(e.g., 歩行)であっても、一つの力学的な性質で記述できない可能性が示唆された。これは、歩行において、右腕-左足、左腕-右足が類似する一方で、これらの間の位相的類似性が低かった事で、位相的に異なる複数の振動子の結合的系である可能性があるためである。

この力学的類似性は、単純に身体が物理的に結合しているために起こる随伴的な振動などによるものとは、以下の2点で考えにくい。1点目は、歩行動作において、複数の実験参加者の間で一貫して、左手部-右足部と右手部-左足部で位相的に異なるアトラクタが見られた点である。もし身体部位間の物理的な結合による随伴性のみによれば、歩行に限らず全ての動作で共通の位相的構造の身体上の分布が予想される。しかし、歩行、手の動作、複合動作それぞれで大きく異なった分布が見られた。2点目として、特に歩行において、右手首と左かかとなど、物理的には最も遠い身体部位間でより位相的に類似なアトラクタが見られた点が挙げられる(図4)。以上の事から本分析結果は、力学的不変量仮説を支持すると考えられる。

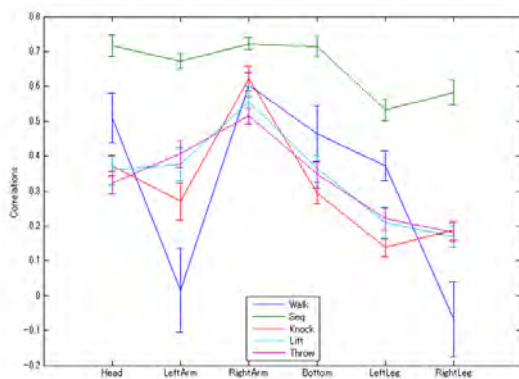


図7: 各運動時における頭部、左腕部、右腕部、腰部、左足部、右足部と右腕部との平均相関係数

総合討議

本研究では、身体運動の制御・生成における計算理論を再考し、その不良設定性についての疑問を出発点として、新たな計算理論の提案を行った。本研究で提案する力学的不変量仮説では、身体運動の主たる計算過程は、その力学的性質の推定であるとする。滑らかさなどのある種の最適化を中心に据える最適化理論に対し、力学的不変量仮説の計算論的な利点の一つは、不良設定性が本質的に存在しない点である。そのため、力学的不変量仮説は、自然な身体動作における複数の身体部位間の協調を通じて、複数の異なる身体部位間で類似の性質を持った力学系の存在を予測する。一方、最適化理論では、物理的に、あるいは身体機構的に異なる身体部位間において、その間の運動表象の変換には多大な計算論的コストがある事を予測する。そのため、例えば、右腕の持ち上げ動作などの局所的な運動では、あえて使う必要のない下半身の運動は抑えるべきであると考えられる。従って、これらの計算論的な予測は、特に協調的な運動の必要性が最小化される局所的な運動において異なる身体部位間で同質の力学的性質が見られるかを分析する事によって検討された。仮説の予測を踏まえ、周期的・非周期的な5種類の運動を収録したモーションデータベース(Ma et al., 2006)を分析した。その結果、位相的類似なアトラクタの身体上の分布は運動の種類によりそれぞれ固有であるものの、いづれの場合も、異なる身体部位間において、一定の力学的な類似性が見られた。

本研究で提案した力学的不変量仮説は、Marr(1982)以来、認知科学、認知神経科学の分野で支配的な考えであった最適化による計算理論を、その必要条件として含むより上位の理論と位置づけられる。特に、力学的不変量仮説の一つの計算論的な利点は、座標不変性であり、これは運動を行為者とその観察者の両方を統一的に議論できる可能性を与える。運動の行為者・観察者間で共通する枠組みで身体運動を捉えることにより、模倣を始めとする社会的認知・学習への理論的応用も期待できる。身体模倣、あるいは広義の共感について、古くはデカルトが他者理解における“common sense”の必要性を論じ、また従来の認知科学的研究においても、“多感覚器共通表現”を仮定する概念モデルの提案など (Metzoff & Moore, 1997)が行われ、またその神経基盤の同定など (Iacoboni et al, 2001)が認知神経科学の中心的な話題となっている。しかし、具体的に計算可能な数理的な水準でこれを説明するモデルは確立されていない (Breazeal & Scassellati, 2001; Wolpert, Doya, & Kawato, 2003)。本研究の発展は、こうした一連の社会的認知の研究に関して、これらの知見を統合する理論的枠組みに関する示唆を与える事が期待できる。

謝辞

本論文の執筆に多くのご助言をいただいた藤波努先生に感謝申し上げます。本研究の一部は人工知能財団、科学研究費補助金(2330009)、NPO 法人ニューロクリアティブ研究会の助成による。

参考文献

- [1] Breazeal, C. & Scassellati, B. (2002). Robots that imitate humans., *Trends in Cognitive Sciences*, 6 (11), 481-487.
- [2] Buhl, M. and Kennel, M. B. (2005). Statistically relaxing to generating partitions for observed time-series data., *Phys. Rev. E* 71, 046213.
- [3] Hidaka, S. (2012) Identifying Kinematic Cues for Action Style Recognition. In *Proceedings of The Thirty Fourth Annual Meeting of Cognitive Science Society*, 1679-1684.
- [4] Hidaka, S., & Yu, C. (2010). Spatio-temporal symbolization of multidimensional time series. In *ICDM workshops* (p. 249-256).
- [5] Hidaka, S. & Fujinami, T. (under review). Topological Similarity of Motor Coordination in Rhythmic Movements., In *Proceedings of The Thirty Fifth Annual Meeting of Cognitive Science Society*.
- [6] Kantz, H., & Schreiber, T. (1997). *Nonlinear time series analysis*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- [7] Lind, D. & Marcus, B. (1995). *An introduction to symbolic dynamics and coding*. Cambridge University Press.
- [8] Ma, Y., Paterson, H. M., Pollick, F. E. (2006). A motion capture library for the study of identity, gender, and emotion perception from biological motion, *Behavior Research Methods*, 38, 1, 134-141.
- [9] Marr, D. (1982). *Vision*. W.H.Freeman & Co Ltd.
- [1 0] Metlzoff, A. N. & Moore, M. K. (1977). Imitation of Facial and Manual Gestures by Human Neonates, *Science*, 198, 75-78.
- [1 1] Olshausen, B. A. & Field, D. J. (1996). Emergence of simple-cell receptive field properties by learning a sparse code for natural images.
- [1 2] Poggio, T., Torre, V. & Koch, C. (1985). Computational vision and regularization theory. *Nature*, 317, 314-319.
- [1 3] Takens, F. (1981). Detecting strange attractors in turbulence., In D. A. Rand and L.-S. Young. *Dynamical Systems and Turbulence, Lecture Notes in Mathematics*, vol. 898. Springer-Verlag. pp. 366-381.
- [1 4] Tikhonov, A. N.; V. Y. Arsenin (1977). *Solution of Ill-posed Problems*. Washington: Winston & Sons.
- [1 5] Uno, Y., Kawato, M., & Suzuki, R. (1989). Formation and control of optimal trajectory in human multijoint arm movement – minimum torque-change model. *Biological Cybernetics*, 61, 89-101.
- [1 6] Wolpert, D. M., Doya, K., & Kawato, M. (2003). A unifying computational framework for motor control and social interaction. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B*, 358, 593-602.
- [1 7] 川人光男(1996). 脳の計算理論. 産業図書.

混沌から現れる空間について

On Space Emerging from Chaos

小笠原 義仁* 大石 進一
Yoshihito Ogasawara Shin'ichi Oishi

早稲田大学理工学術院
Faculty of Science and Engineering, Waseda University

Abstract:

The purpose of this study is to find the relation between the chaos theory and space perception. The tent map is a typical chaotic map and it has an interesting property related to general problems about determinism, causality, free will, and irreversibility. Then, as its generalized property, the notion of a primitive chaos is proposed, and we can see the emergence of notion of nondegenerate Peano continuum by exploring sufficient conditions for the existence of the primitive chaos from a topological viewpoint.

1 はじめに

本研究は、数理科学におけるカオス研究の結果を報告する事により、空間把握・空間知覚に関する示唆を得る事を目的とする。具体的には、混沌の中から現れてくる空間をトポロジカルな観点から議論する。

2 Primitive Chaos

カオス理論において基本的な写像としてよく知られているテント写像

$$\varphi : [0, 1] \rightarrow [0, 1],$$

$$\varphi(x) = \begin{cases} 2x & (0 \leq x \leq 1/2) \\ 2(1-x) & (1/2 \leq x \leq 1) \end{cases}$$

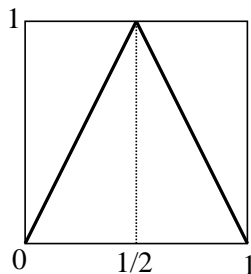


図 1: テント写像

は次の性質を持つ。

*連絡先：早稲田大学理工学術院
〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1
E-mail: ogasawara@aoni.waseda.jp

(A) 任意の無限列

$$\omega_0, \omega_1, \omega_2, \dots$$

に対して、

$$\varphi(x_0) \in \omega_1, \varphi(\varphi(x_0)) \in \omega_2, \dots$$

を満たすような初期値 $x_0 \in \omega_0$ が存在する。但し、各 ω_i は $A = [0, 1/2]$ か $B = [1/2, 1]$ である。

この性質は、決定論と非決定論の問題、因果律の問題、不可逆性の問題、自由意志の問題に関連する興味深いものであり、さらにその一般化として primitive chaos の概念を得る事が出来る [1]。

定義 1 集合 X , 部分集合族 $\{X_\lambda; \emptyset \neq X_\lambda \subset X, \lambda \in \Lambda\}$, 写像族 $\{f_{X_\lambda} : X_\lambda \rightarrow X, \lambda \in \Lambda\}$ が性質 (P) を満たす時, $(X, \{X_\lambda, \lambda \in \Lambda\}, \{f_{X_\lambda} : X_\lambda \rightarrow X, \lambda \in \Lambda\})$ を *primitive chaos* と呼ぶ。

(P) 任意の集合列

$$\{\omega_i\}_{i=0}^\infty \subset \{X_\lambda, \lambda \in \Lambda\}$$

に対して初期値 $x_0 \in \omega_0$ が存在して、

$$f_{\omega_0}(x_0) \in \omega_1, f_{\omega_1}(f_{\omega_0}(x_0)) \in \omega_2, \dots$$

が成り立つ。

primitive chaos から、従来の意味でのカオス的性質が現れてくるが知られている [2]。そして、この primitive chaos の存在を保証する条件をトポロジカルな観点か

ら探求する事により, nondegenerate Peano continuum が現れてくる様子を見ることが出来る [1]。但し, nondegenerate Peano continuum とは, 2 点以上を含む局所連結な連続体の事である [3]。

まず, 性質 (P) を保証するための条件を示す命題として次が成り立つ。但し, 可算コンパクト空間とは, 任意の可算な開被覆が有限部分被覆を持つ事であり, 従って任意のコンパクト空間は可算コンパクトである。

命題 1 X は可算コンパクト空間であり, $\{X_\lambda, \lambda \in \Lambda\}$ は閉集合族であるとして, 各 f_{X_λ} が連続全射とするならば, 性質 (P) は満たされる。

そして, 連続全射 f_{X_λ} の存在を保証するための命題として次が成り立つ。

命題 2 A と X を nondegenerate Peano continuum とすると, 任意の m 個の点 $a_1, \dots, a_m \in A$ と $x_1, \dots, x_m \in X$ に対して, 連続全射 $f: A \rightarrow X$ が存在して, 各 i について $f(a_i) = x_i$ が成り立つ。

さらに, 次の補題が成り立つ。

補題 1 X を Peano continuum とすると, 任意の $\varepsilon > 0$ に対して, Peano subcontinuum からなる X の被覆 $\{X_1, \dots, X_n\}$ が存在して, 各 X_i の直径を ε 未満にする事が出来る。

従って, まとめると次の定理が得られる。

定理 1 X を nondegenerate Peano continuum とすると, 任意の $\varepsilon > 0$ に対して, 直径が ε 未満の nondegenerate Peano subcontinuum からなる X の被覆 $\{X_1, \dots, X_n\}$ が存在する。そして各 i について, 任意の m^i 個の点 $x_1^i, \dots, x_{m^i}^i \in X_i$ と $y_1^i, \dots, y_{m^i}^i \in X$ に対して, 連続全射 $f_{X_i}: X_i \rightarrow X$ が存在して $f_{X_i}(x_1^i) = y_1^i, \dots, f_{X_i}(x_{m^i}^i) = y_{m^i}^i$ が成り立ち, 性質 (P) が満たされる。

そして, 例えばヴァイツゼッカーが指摘する次の状況に対応する様子を見る事が出来る [2, 4]。

「…ゲシュタルトは次々に継起する。しかしすべてのゲシュタルトのゲシュタルトはそれらのゲシュタルトの帰結ではなく, それらのゲシュタルトが永遠に始原へと帰還しながら自己自身と出会うことである ([5], 木村敏, 濱中淑彦訳)。」

3 むすび

カオス理論の観点から, 空間把握・空間知覚の原初的な状況に関する議論を行った。

謝辞

本研究は JST CREST の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] Y. Ogasawara: J. Phys. Soc. Jpn. **79** (2010) 15002.
- [2] Y. Ogasawara, S. Oishi: J. Phys. Soc. Jpn. **81** (2012) 103001.
- [3] S. B. Nadler Jr., *Continuum theory* (Marcel Dekker Inc., New York, 1992).
- [4] Y. Ogasawara, S. Oishi: J. Phys. Soc. Jpn. **80** (2011) 67002.
- [5] V. Weizsäcker: *Der Gestaltkreis: Theorie der Einheit von Wahrnehmen und Bewegen* (Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1940).
- [6] K. Lewin (translated by F. Heider and G. M. Heider): *Principles of topological psychology* (McGraw-Hill Book Company, New York, 1936).
- [7] J. Piaget: *Le Structuralisme* (Presses Universitaires de France, Paris, 1968).
- [8] R. Thom: *Stabilité Structurelle et Morphogénèse* (InterEditions, Paris, 1977).
- [9] 小笠原義仁「ものの見方としての位相空間論入門」培風館, 2011.

November 7, 2012

Hitting mechanics of "The Science of Hitting" from the Twisting Model

By Takeyuki Inohiza

The Science of Hitting by Ted Williams is an excellent book. Ted Williams wrote everything about hitting he obtained through his career in this book. However his explanation on hitting mechanics is vague for it is based on his perception that is personal.

Recently I surprisingly found that by applying the Twisting Model theory, his explanation on the hitting mechanics becomes a lot clear and helped for better understanding regarding movement and property of power produced.

In this article I would like to introduce the "Twisting Model" and by using physical approach I would like to show how the Twisting Model supports Williams.

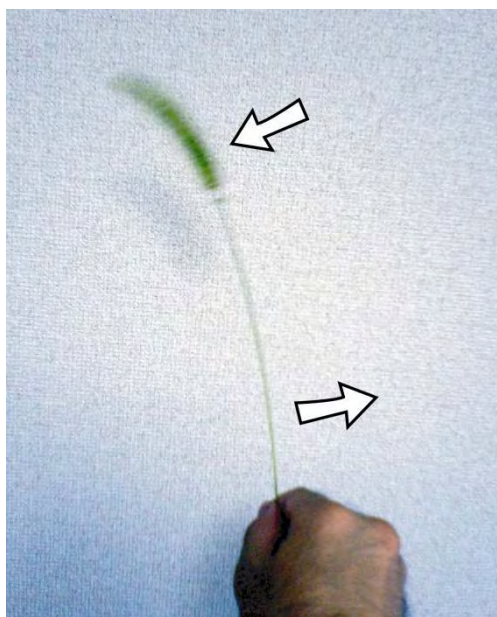
1. The Twisting Model

1) Mechanism of power on the Twisting Model

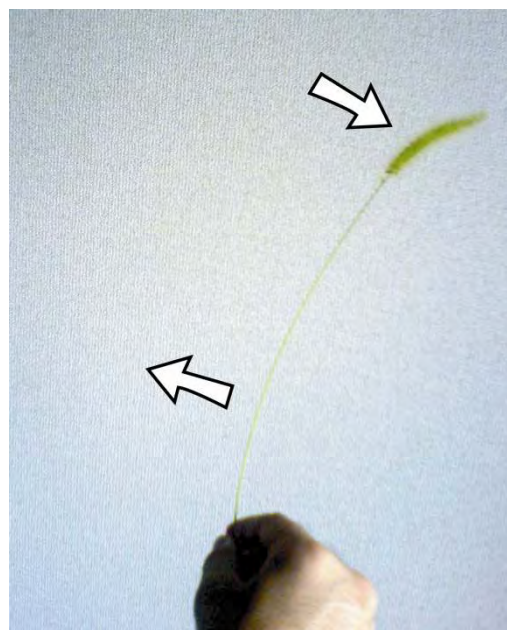
The Twisting Model assumes that critical power for baseball is based on structure of body and the power has profile of a spring. It also assumes that such power from the structure is more important than the power from muscles in baseball. Interesting thing is the model theoretically predicts what kind of power is produced by which movement generally believed right in the field. One example is bat-swing.

It predicts bat-swing is one action with two processes, one is process of developing potential power and the other is process of releasing it. And by knowing it, a player will improve his performance swinging accordingly on purpose. First let me introduce Twisting Model and how it explains mechanism of power with baseball.

a) In pictures 1 and 2 (Picture 1, Picture 2), I am bending bristle grass to observe how power is accumulated in the grass. To accumulate power by bending, 2 different vectors of opposite directions are needed. We use our body in the same way when we hit (or throw) a ball. When hitting (or throwing), we produce power by using upper-body (above hip joints) and lower-body (below hip joints) with opposite force vectors at different timing. (Picture 3)

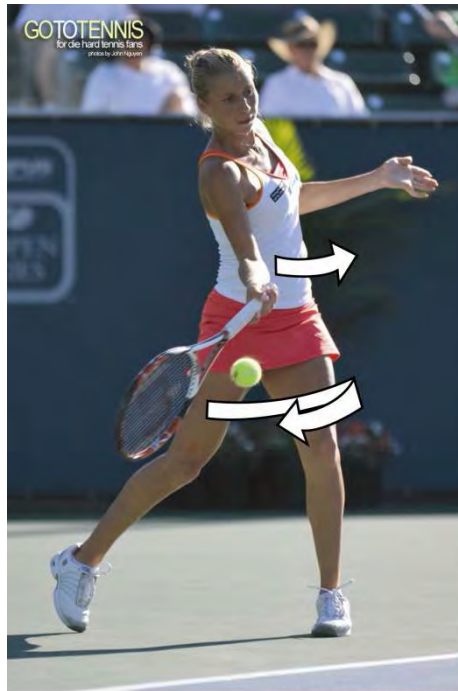


Picture 1



Picture 2

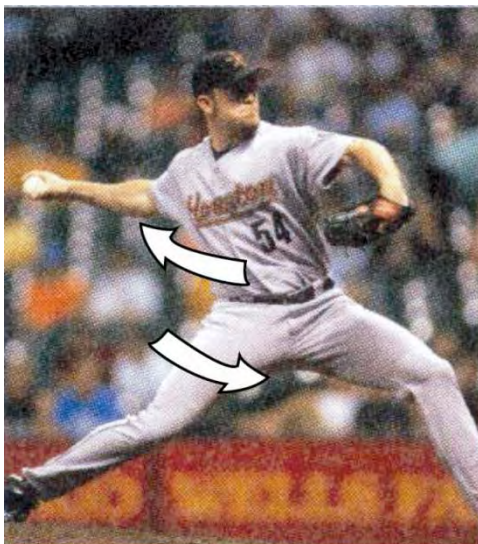
In picture 3 (Picture 3), a tennis player is hitting a ball using her upper-body and lower-body at different timing to generate opposite vectors to developing power. She twists in backward and moves forward but moves her lower body first. In the lower body, the twisted power naturally twists back by stepping the front leg, followed by another twist coming in the upper-body. You can see such twisting combination is accumulating/generating potential power in her body for hitting a ball.



GOTOTENNIS®

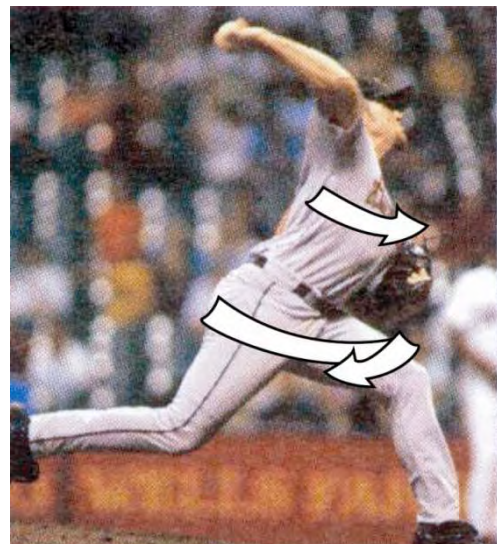
Picture 3

Pictures 4 and 5 are of pitching of MLB player Brad Lidge as he throws a fastball. (Picture 4, Picture 5) He is also using his upper-body and lower-body twists in different timing. He twists his body in backward then steps forward to generate a twist-back in his lower-body that meets the upper-body twist at the right timing to generate power (vector) for throwing. Since both twist-back (after stepping forward) and twist-forward are centered on the hip joints, the more flexible around the hip joints, the more power will be generated in the body.



Copy right: Seibido Shuppan, Tokyo, Japan

Picture 4



Copy right: Seibido Shuppan, Tokyo, Japan

Picture 5

Ken Griffey (Picture 6) is also producing power by twisting combination of his upper-body and lower-body in

different directions. He steps quite inside which causes strong twist-back in his lower-body. The only difference between Ken Griffey and the tennis player on Picture 3 is the angle of their wrists.



Copy right: Seibido Shuppan, Tokyo, Japan

Picture 6

In this “Twisting model”, since power is generated by “twisting”, its property/profile can be described as "wave" like a spring. Illustration 1 shows that two power waves, one is the wave of upper-body and other is the wave of lower-body meeting/ interfering to generate a bigger wave. By this reason potential energy for hitting in the Twisting Model is described as elastic energy such as one in a compressed spring producing in it.

On Twisting Model, this process is important for both hitting and throwing. Twisting stress produced by lower body and upper-body develops a single/ bigger potential energy that throw/hit a ball forward.

Often this process is misunderstood as “rotation”. But power for hitting by rotation and by twisting are different things. I think this difference confuses baseball players. I would like to emphasize the Twisting Model is based on “twisting” as Illustration 2 (Illustration 2) but not "rotation" like a spinning top.

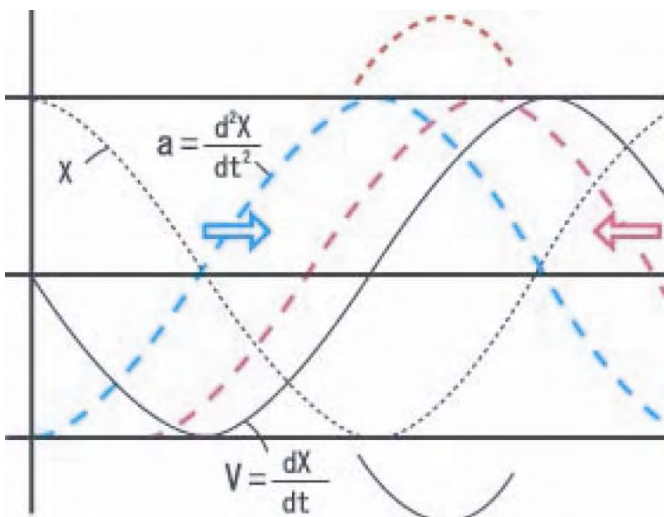


Illustration 1

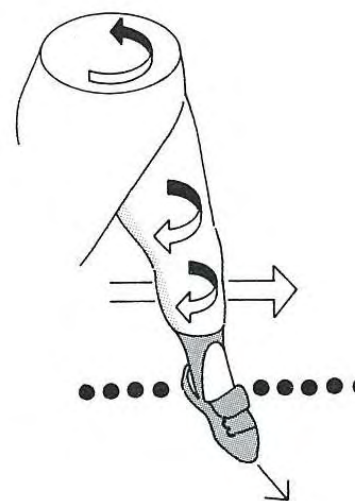


Illustration 2

How upper-body twist meets with lower body twist

November 7, 2012

2) Mechanism of power on The Science of Hitting

Williams wrote the most important he can think of is the cooking of the hips. Let me quote from The Science of Hitting.

"Now, with your weight evenly distributed, your hips starts out at level. You don't worry about hips until you actually begin the performance of the swing. The hips and hands cock as you move your lead foot to stride, the front knee turning in to help the hips rotate back. You are cooking your hips as you stride, and it's so important to get that right. It's pendulum action. A metronome-move and countermove. You might not have realized it, but you throw a ball that way. You go back, and then you come forward. You don't start back there. And you don't "start" your swing with your hips cocked."

What does Williams mean by the words "cocking of hips" or "pendulum action"? Let me think Williams' explanation introducing Twisting Model. I added some arrows and lines into Williams' pictures in his book to show how potential energy of the Twisting Model is produced and released as below.



Picture 7



Picture 8

In the picture 7 (Picture 7), I added an arrow of lower body twist. And in the Picture 8 to 10, I wrote two arrows at waist and lower body that are twisting combination, and also a line to indicate what kind of potential energy is produced by the combination. In the Picture 8 (Picture 8), original arrow at hands should be inertia force from a bat , that cocks his hands, and you can see the three arrows are producing potential energy such as like the bending bristle grass (Picture 1 to 2) which I drew with the line. This is exactly "pendulum motion" Williams explained. Twisting Model prediction and Williams' explanation both reasonably fit like putting missing parts of puzzle.

This process indicates that shifting most of weight on the front leg is needed to fix the end of the "plate spring" of

the potential energy of the line. Williams should have known that the hitting power is from combination of power, tensor because two arrows are already in the original Picture 9 (Picture 9).



Picture 9



Picture 10

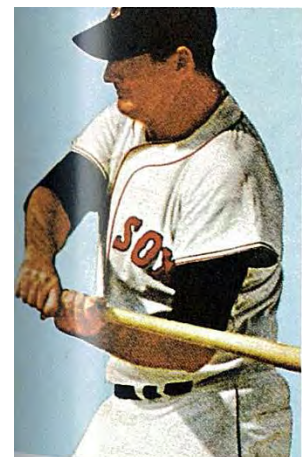
Looking into the line of potential energy, you will see that hitting is one action with two processes, accumulation of potential energy and its release. Below pictures (Picture 11-13) would be of process for accumulation of the potential energy, namely "compressing process".



Picture 11



Picture 12

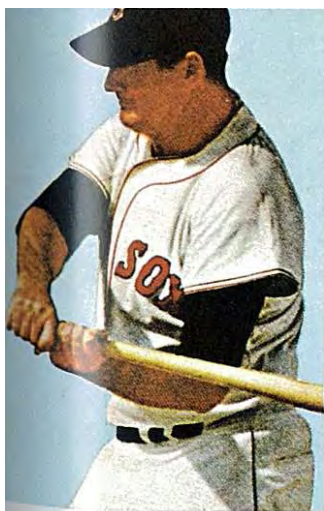


Picture 13

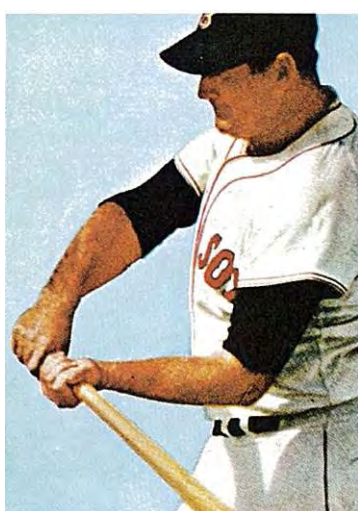
Process of potential energy development

And these pictures (Picture 14-16) would be of process for releasing the energy, let's say "releasing process". So the Twisting Model predicts that optimally on the compressing process you should relax/being soft on your body is better for compressing and at the releasing process being hard is better for produce power for hitting.

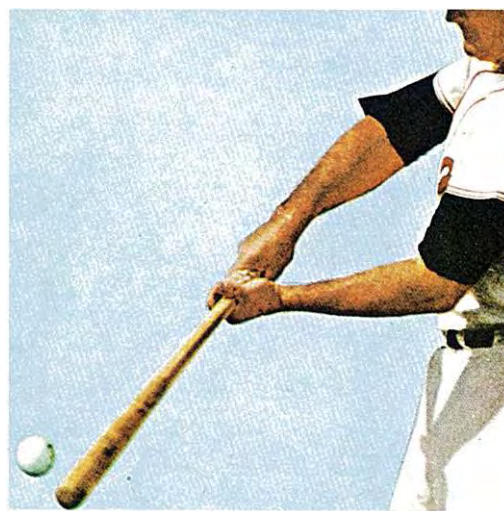
November 7, 2012



Picture 14



Picture 15



Picture 16

Process of the potential energy release

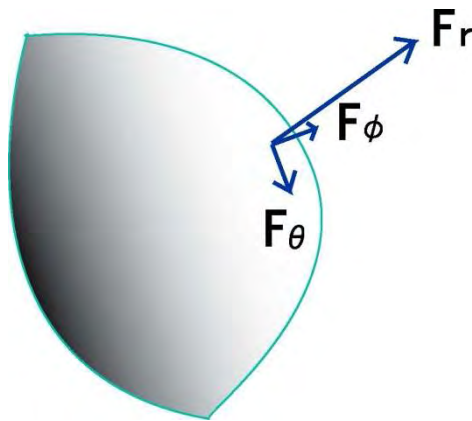
This consideration indicates the more you produce potential energy the more you can produce power. Therefore in the Twisting Model it predicts that one of the critical differences between slugger and average hitter would attribute flexibility around hip joints at hitting motion. The more structurally flexible the more they produce potential energy. Therefore by introducing proper exercises for the flexibility at hip joints to young players, it will help for raising talented players. This is interesting topic but another discussion. If you are interested in please refer to "A new batting model for the Twisting Model".

2. Property of power

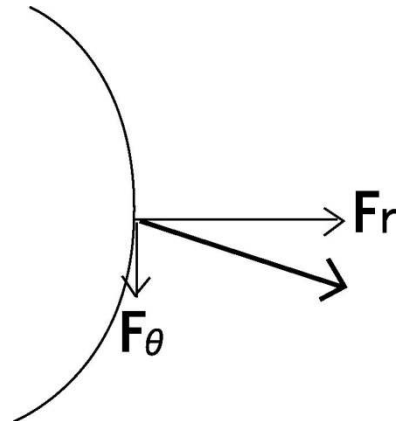
Let me consider property of power produced by "rotation" and "twisting combination" that will help for supporting "push hitting" and "pull hitting" discussion between Ty Cobb and Williams in the Science of Hitting.

1) Property of power on the Twisting Model (Impulse toward r-direction)

At the contact by hitting a ball, power is added toward three directions based on polar coordinate. According to the Illustration 3, suppose they are r , θ and ϕ . To make matters simple I will use two dimensional polar coordinate r and θ for further consideration. (Illustration 4)



Polar coordinate (Illustration 3)

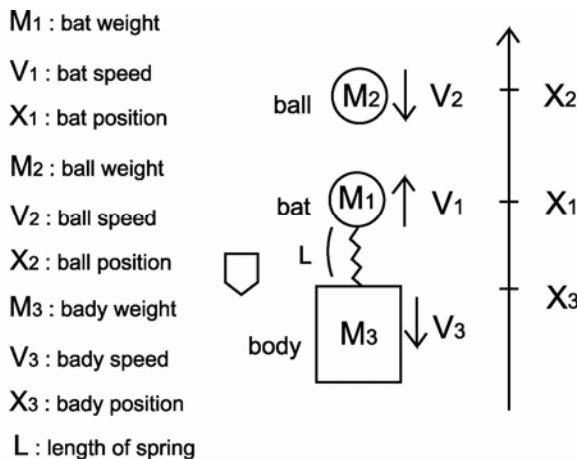


Two dimensional polar coordinate (Illustration 4)

On the Twisting Model it predicts critical power for hitting is produced toward r-direction (Illustration 3-4) because it comes from elastic energy like a spring (Picture 8) and its profile is liner. And the impulse of the r-direction will contain impulse from body itself.

Simplified Twisting Model (Illustration 5) is showing this r-direction momentum is kind of shooting a bat from a body by a spring. Point is that this model has an impulse term from body ($\int Fdt$), not only impulse from a bat, in its momentum equation. Please be noted that in this model mostly power is produced to r-direction which is liner.

This model predicts while bat speed is slow, power (acceleration) from the body is high. This happens because bat speed and acceleration (power) from body are differential-integral relation and they cannot come up at the same time. They contradict so in this model you don't need to focus on swinging a bat as fast as you can.

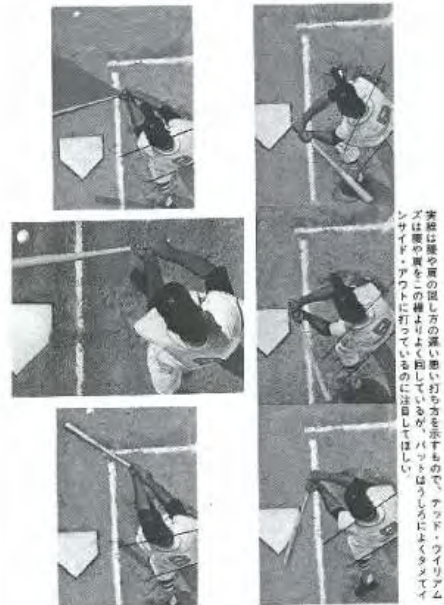


Conservation of momentum

$$M_1V_1 + M_2V_2 + k\Delta Ldt = M_1V_1 + M_2V_2 + \int Fdt = P \text{ (momentum)}$$

$$(V_3 = 0)$$

Simplified Twisting model (Illustration 5)



Picture 17

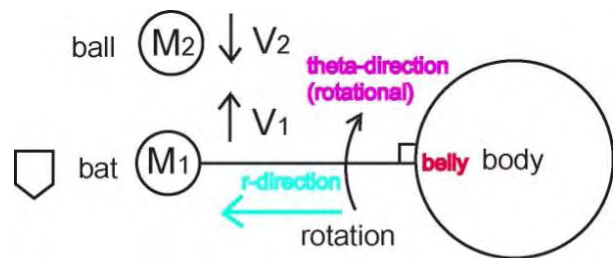
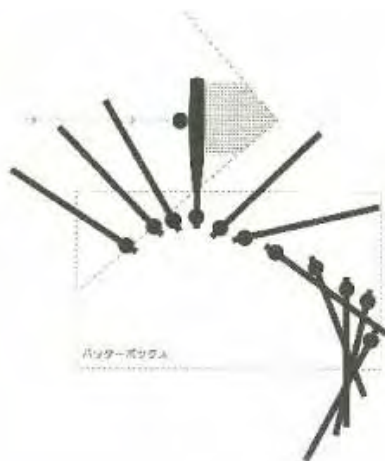
Rather you should focus on appropriate inside-out bat maneuver (Picture 7-10) for producing potential energy and contact a ball toward r-direction that will be more important than swinging a bat as fast as possible.

2) Property of Rotational Model (Impulse toward theta direction)

Then let me consider the conventional Rotational Model. (Illustration 6) This model assumes that only momentum from bat works but impulse from body is ignored. Optimally all the power needs to be consumed for speeding a bat before contact for this reason it takes only theta direction (rotational direction) impulse (Illustration 7) into consideration. And according to this model, conclusion is simple. You need to swing a bat as fast as possible for higher batted ball speed (BBS).

This model is widely accepted though in my opinion assuming only rotational impulse and momentum from bat speed does not fit to real baseball. It is not sufficient to describe activities/movement such as one in The Science of Hitting.

The reason why this mode ignores impulse from a body is that there are some objective tests results which conclude impulse from body does not contribute for the BBS. According to the tests by the time impact wave from a ball reaches on the body through a bat, the ball is leaving from the bat. However in my opinion it depends on the test condition. It depends on direction to which the impulse occurred. (Illustration 7)



Conservation of momentum

$$M_1V_1 + M_2V_2 = P \text{ (momentum)}$$

Rotational model / The Physics of baseball (Illustration 6)

Simplified Rotational model (Illustration 7)

For example if the test is conducted under the Rotational Model condition as Illustration 6, impulse from body that works toward r-direction is square to the ball coming in (Illustration 7) therefore it should not work. There will be no record of impulse from the body with the test. So the test results will be only effective under the optimal Rotational Model condition.

In my opinion even with the Rotational Model, impulse term from body should appear if it's done on r-direction to which the impulse works. An example is that hitting a ball in front gives a player powerful hitting than the side.

Apart from such discussion I think this model is helpful to understand what the impulse toward rotational (theta)

November 7, 2012

direction is. I think in reality both impulses toward r-direction and theta-direction work for deployment of potential power at impact.

3) Push hitting and pull hitting

Once Williams was having hard time learning to hit to left. And he had a lot of advice even from legendary Ty Cobb. Although he thought "Cobb was completely different animal" from him. He wrote "Cobb was more of a push hitter, a slap hitter. He choked up two inches apart. He stood close to the plate, his hands forward. ".He wrote like this but he overcame this problem by the push hitting. Let me quote.

"I did it by taking my stance a little farther from the plate, striding slightly more into the pitch-but concentrating on getting on top of the ball and pushing it. A push swing, an inside-out swing, fully extended, the hands ahead of the fat part of the bat."

If you apply the impulse of r-direction for the push hitting and impulse of theta-direction for the pull hitting, assuming for both pull hitting and push hitting the inside-out bat maneuver is necessary for producing potential energy of hitting (Picture 7-10), this hitting discussion will becomes reasonable.

Below Illustration 8 and 9 (Illustration 8-9) are for pull-hitting of Williams. I put arrows to show directions of impulse working. Suppose the impulse toward r-direction is for push-hitting and impulse by rotation is theta direction.

According to the Twisting Model, by inside-out swing initially r-directional energy is produced and it gradually split by theta rotational direction and r-direction. The reason for "pulling" a bat will be for increasing centripetal force that would produce torque for toward rotational direction to right. This is pull hitting but r-direction impulse is also important.(Illustration 9) Suppose you hit in the back while belly facing the side (Illustration 7), in such case only momentum of bat will work and in general "hitting power" is a lot reduced.

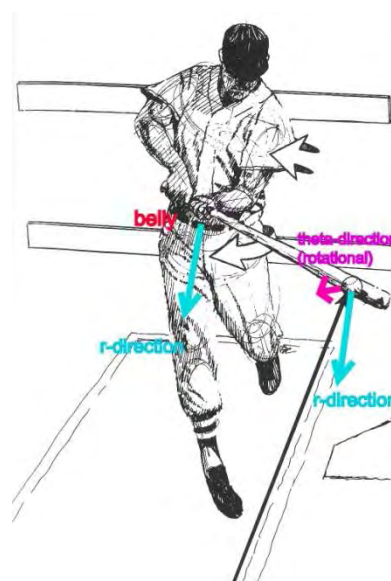
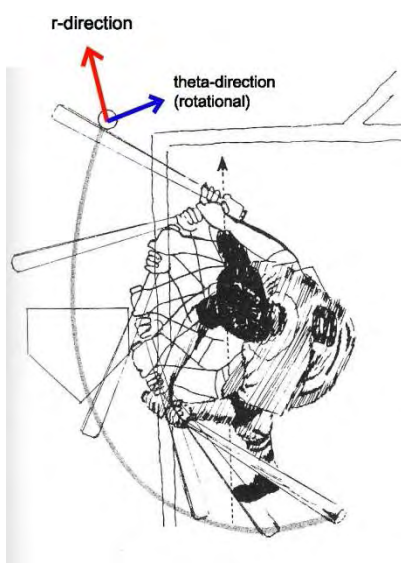


Illustration 8

Illustration 9

The Illustration 10 and 11 are for push-hitting. According to the Twisting Model, the arrow for rotational (theta) direction is pretty small. On the push-hitting r-direction impulse is dominant that is not based on bat speed but impulse from body. (Illustration 5: the term of $\int Fdt$ on the equation is this.) In this case bat speed is not as fast as pull-hitting but an impulse from body toward r-direction is much bigger. So it works toward opposite direction, r-direction. (I think this is the technique Josh Hamilton hit a big homer on opposite direction too.)

And because the energy is stored by twisting combination of upper-body and lower-body (Picture 7 to 10), r-direction means roughly the direction the belly is facing. To this direction you can hit strongly. In any way unless the potential energy, you cannot hit strong according to the Twisting Model.

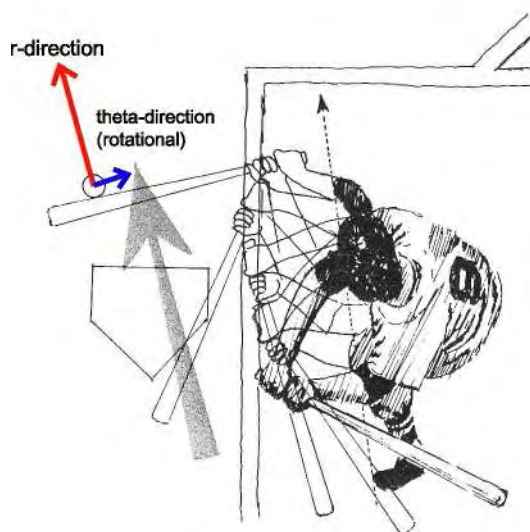


Illustration 10

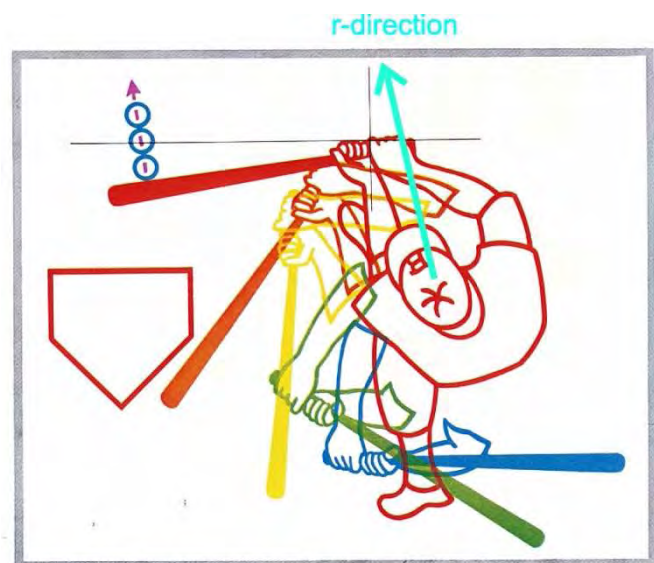


Illustration 11

Interesting thing is that the rotational force toward theta direction and the force toward r-direction contradict that means the faster you swing a bat the more the r direction force is reduced by centripetal force.

For example often time you will see a player focus on getting fast bat speed at impact but because bat speed is obtained mostly toward rotational theta-direction that movement reduces impulse of r-direction. And sometimes it causes "slump" of players. In my opinion it happens because hitting only by momentum from bat speed would be less powerful than impulse from body that is contained in the impulse toward r-direction.

Suppose your weight is 80kg. Under right condition, it will work like 80kg hard concrete block hitting a ball with acceleration (power) that would be something. (again the term $\int Fdt$ on the equation: Illustration 5) Therefore using r-directional impulse is important for hitting for the Twisting Model.

Williams wrote inside-out swing works for getting out of hitting slump in *The Science of Hitting*. My guess is that it was for producing potential energy for r-direction rather than producing bat speed that is theoretically reasonable

November 7, 2012

from the Twisting Model point of view.

3. Other topics

Discussion of hitting mechanics will continue but due to space limitation, I will just write my opinion on other topics which may draw attention.

1). Bat weight

I think optimal bat weight depends on players. For producing potential energy, a heavy bat is preferable (Picture 11-13) but if it was too heavy it takes time for bat deployment for contact. (Picture 14-16) The time will depend on the potential energy stored too. So I think the optimal bat weight depends.

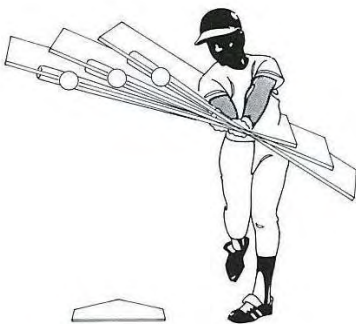
2) Power hand-which is it?

I support Williams' opinion. Forehand stroke is stronger than backhand (Picture 3) as far as hitting toward r-direction. Advantage of backhand is it naturally leads a bat toward r-direction. So that my opinion is that leading a bat by backhand and deliver power by forehand is reasonable (Illustration 9) whether it is pull-swing or push swing.

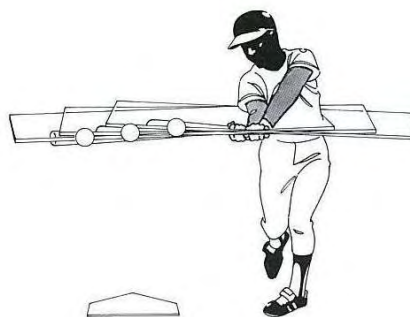
3) Swing level

Bat approach is also a discussion. Williams recommends up-swing whereas Hank Aaron supports down-swing.

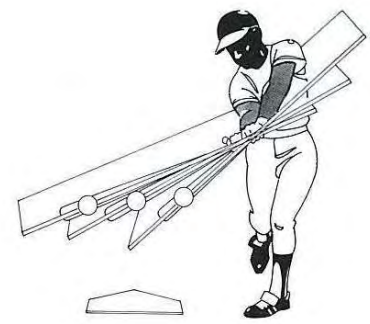
I support Mr. Murakami's opinion in his book Kagakusuru Yakyu (Baseball Science). He wrote optimal approach of a bat is toward direction a ball is coming in therefore "Level swing" would be optimal. And he defined the level swing as bat approach which is level with fictive surface toward ball height. (Illustration 12 to 14)



Level to high (Illustration 12)



Level to middle (Illustration 13)



Level to low (Illustration 14)

Most of strikes would be lower than waist so naturally most of optimal approach would be "Level to low" (Illustration 14). I think Williams' instruction is for this one. Aaron's down-swing should mean the same.

And for high ball Illustration 12 is suitable for hitting bean ball near head. This style may fit Ty Cobb's hitting a bean ball around his head. It's fun to think like that.

5) Angle of grip

November 7, 2012

I think wrist is also important for power delivery. I believe grip with a palm of bottom-hand up and palm of top-hand down to the ground at the impact point is the right one. This will convey power more directly to a ball coming in.

Conclusion

This article is not test results but an assessment of the Twisting Model by looking into explanation of The Science of Hitting by Ted Williams. However, according to my observation, Twisting Model seems well fit to a lot of professional player's movement. Whereas in my opinion the conventional Rotational Model, which considers only bat momentum based on its speed, cannot explain mechanism of hitting big homer to the opposite direction, push hitting, under lower bat speed and need to be reviewed.

Problem of the Twisting Model is it's still new and regarded as experimental model in academic society than the conventional Rotational Model. Field study has just started and it is still in the very early stage.

As for potential application, since it predicts critical point for producing potential energy is flexibility around hip joints at playing, introducing appropriate exercises for that purpose will

- 1) Raise talented athletes effectively rather than just hard work.
- 2) Prolong player's life-time.
- 3) Work for preventing injury.
- 4) Keep children/players away from using muscle enhancing drug for muscle is not critical issue for the Twisting Model.

Further study is needed for developing Twisting Model potential for baseball in the future.

Acknowledgement

My special thanks to people who have developed SABR which kindly gave me an opportunity of exchanging opinion with people from variety of background. It greatly helped for deepening my study of Twisting Model and understanding of US baseball.

References

- 1) The Science of Hitting, Ted Williams with John Underwood, 1971, Printed by Simon & Schuster New York
- 2) Batting no Kagaku (The Science of Hitting), Ted Williams with John Underwood, 1978, Printed by Baseball Magazine Sha Co. Ltd.
- 3) Kagakusuru Yakyu Jitsugi-hen (Baseball Science for application), Yutaka Murakami, 1987, Printed by Baseball Magazine Sha Co. Ltd.

November 7, 2012

- 4) Baseball no buturigaku (translation of The Physics of Baseball), Robert K. Adair, 1996, Kinokuniya shoten
- 5) A new batting model for the Twisting Model, Takeyuki Inohiza, 2011, Published at Shintaichi Kenkyukai

科学研究費

「ルールアブダクションとアナロジー によるスキル創造支援」

報告会資料

今年度から 3 年間の予定で開始しました科研費「ルールアブダクションとアナロジーによるスキル創造支援」の活動がほぼ 1 年経過しました。困難な課題ですが、あたりに日大の尾崎知伸氏に研究協力者として参加いただき、とくにアナロジーを付加したルールアブダクションの雛形を得ることができました。それを含めて、皆様に本科研費の今年度の活動を報告させていただきます。

記

日時 2013 年 3 月 2 日 16 : 00~17 : 30

場所 慶応大学三田キャンパス南地下 2B23

プログラム

- 1 全体計画とこれまでの研究活動報告 古川
- 2 個別報告
 2. 1 藤波 『わざ言語』にみる職人と名人の区別について
 2. 2 原口 説明の転写と対象理解に関する一考察
 2. 3 金城 発想推論を用いた消費者の事例ベース推論における重要属性の発見
 2. 4 小林 SOLAR によるアナロジーを組み込んだルール発想推論
 2. 5 升田 オーケストラ指導現場におけるイメージの役割
 2. 6 西山 身体スキルの指導に用いられる比喩表現

「ルールアブダクションとアナロジーによるスキル創造支援」

全体計画とこれまでの研究活動報告

嘉悦大学 大学院ビジネス創造研究科 古川康一

1. 研究目的

本研究では、楽器の演奏、スポーツ、工芸などの身体を使う高度なスキルの獲得支援を目的として、発想推論（アブダクション）とアナロジーによる、コツの創造支援システムの構築を目指す。

アブダクションによるスキル獲得支援では、これまではコツの構成要素となる身体の巧妙な使い方の候補集合をあらかじめ与えておいて、その中から妥当な仮説を選択していた。一方、本研究では、課題達成のコツの有用性を説明する過程での欠落部分をアブダクションにより特定し、アナロジーによってその部分の意味付けを行うことにより、コツに隠された、課題を達成するための真の秘訣を自動的あるいは半自動的に見つけ出す手法の開発を試みる。

2. 全体計画

本研究は、つぎの6つの研究テーマに分けて実施する。

- (1) コツの収集、分類、および、論理構造の抽出、
- (2) 対象動作からの生体力学的アナロジーパターンの抽出、
- (3) 日常動作からの動作学的アナロジーパターンの抽出、
- (4) アナロジーを組み込んだルールアブダクションエンジンの試作、
- (5) 具体例への本アブダクションエンジンの適用とその評価、
- (6) 得られたコツの有効性を示す練習方法の提案。

研究の進め方としては、はじめに、本研究の妥当性を検証するために、いくつかの既知の例（スピッカート奏法の例など）を用いて、厳密な形式化を図り、実際に既存のアブダクションエンジンにより発想推論を行い、アナロジーのモデル化を行う。その過程を通じて、研究課題全体の問題点を把握して、研究方向の修正・発展を目指す。

3. これまでの研究活動

3.1 どのような研究活動を実施したか

研究を実施するために、スキルグループ、アブダクショングループに分けてミーティングを月一度の割合で行った。

(1) スキルグループで取り上げたテーマは、以下の通りである。

1. 音楽家のためのアレクサンダー・テクニーク入門
2. 仙骨姿勢講座
3. わざ言語
4. 多関節筋

同時に、全体計画の(1)に関連して、身体知研究者とプロのチェリストとの間で、主として運弓動作における体の使い方に関して、論争・協調の研究活動を継続して実施した。その手法として、メタ認知をベースにしたインタラクティブインタビュー法を採用し、数回にわたる実験を実施した。その成果は、[1][2][3][4]にまとめた。また、同じく全体計画の(1)に関連して、わざと言語の関係を教えの場における「イメージ」の果たす役割に焦点を当てて議論し、その結果を[5]にまとめた。

(2) アブダクショングループでは、アブダクションエンジン **SOLAR** にアナロジーを取り入れる方法を検討した。**SOLAR** にアナロジーを組み込む方法として、ルールアブダクションを実現するためのメタレベルオブジェクトレベル推論を結びつける因果関係公理 (caused, connected) を拡張して実装する着想を得た。因果関係公理に、アナロジー公理を付け加え、そこでアナロジーのベース、ターゲット、その間を結びつける類比を表現し、アナロジーを組み込んだアブダクションエンジンの構築に成功した。実際の応用問題として、スピッカートを習得するために有用な強制振動系とのアナロジーをこれらの述語を用いて表現し、アナロジーを使って欠落したルールを補うルールアブダクションに成功した。同じ枠組みを用いて、類比自身の仮説を生成し、あるいは、アナロジー推論を含む推論図式の中で新たな述語を提案する **predicate invention** にも成功した。これらにより、従来のアブダクションによるルール仮説の導入に対して、その意味をアナロジーによって解釈し、強化するような推論方式を実現することができた。

4. 次年度以降の計画

- (1) 研究テーマ(1)「コツの収集、分類、および、論理構造の抽出」については、コツを分類する際の分類軸を決める。さらに、わざの習得における「イメージ」の果たす役割に焦点を当てて議論を深める。
- (2) 研究テーマ(2)「対象動作からの生体力学的アナロジーパターンの抽出」については、対象動作を「高速移弦と弓の返しの同時実行」、「装飾音符」として、その検討を進める。
- (3) 研究テーマ(3)「日常動作からの動作学的アナロジーパターンの抽出」については、多

関節筋の作用を組み込んだモーションプランニングシステムを設計・実装し、規範動作と類似した「しなやかな動作」を合成可能なことを示す。同時に、サンバリズムの奏法に関して、トポロジカルな視点での記号化によって奏法間の類似性を測る手法を開発する。

- (4) 研究テーマ(4)「アナロジーを組み込んだルールアブダクションエンジンの試作」に関しては、アナロジーの公理系を整備するとともに、仮説の選好のより肌理の細かい評価基準の導入と実験を行う。
- (5) 研究テーマ(5)「具体例への本アブダクションエンジンの適用とその評価」に関しては、研究テーマ(4)の試作の完了を待って、「高速移弦と弓の返しの同時実行」、「装飾音符」の量課題に対して予備実験を行う。
- (6) 研究テーマ(6)「得られたコツの有効性を示す練習方法の提案」に関しては、アナロジーから得られたヒントを参考に、動きを喚起する「イメージ」を構築する。
また、並行して、アブダクションによる練習計画の自動生成アルゴリズムの検討を行う。

5. 2012 年度の成果

- [1] 古川康一, 升田俊樹, 西山武繁, “弦楽器の運弓動作の省エネ奏法について,” 人工知能学会 2012 年度全国大会, 2012.
- [2] 古川康一, 升田俊樹, 西山武繁, 忽滑谷春桂, “体の縮みが可制御性に及ぼす影響について,” 人工知能学会身体知研究会, 第 13 回, 2012.
- [3] 古川康一, 升田俊樹, 西山武繁, 忽滑谷春桂, “チェロの省エネ奏法に関する論争とコラボレーション,” 嘉悦大学研究論集, 54 巻 2 号, 20113.
- [4] 古川康一, 升田俊樹, “コラボレーションによるスキル開発と説得性の追及,”
- [5] 升田俊樹, 古川康一, “音楽の練習指導とコラボレーション,” 人工知能学会身体知研究会, 第 14 回, 2012.
- [6] 金城敬太, 海老名剛, “消費の外部性を考慮した書籍市場の分析—階層ベイズモデリングと市場シミュレーション” 日本知能情報ファジィ学会誌, 2012(採録決定)
- [7].Keita Kinjo, Ebina Takeshi, “Estimation of the demand function and calculation of optimal prices taking externalities into consideration”, Advances in Knowledge-Based and Intelligent Information and Engineering Systems, IOS press, pp.2090-2098, 2012, (16th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems)
- [8] 西山武繁, 諏訪正樹, “空手の組手競技における駆け引きの身体性”, 人工知能学会 2012 年度全国大会, 2012.
- [9] 西山武繁, 諏訪正樹, “スポーツにおける身体スキル探究のための姿勢表現”, 2012 年度認知科学会第 29 回大会, 2012.

- [10] 藤波努, 横田 将樹, 辻野 正訓, "モーショキャプチャ装置を用いた和太鼓演奏技法の分析"人工知能学会 2012 年度全国大会, オーガナイズドセッション, OS-6 身体知の表現と獲得, 101-OS-6-2, 2012.
- [11] 藤波 努, ジェスチャーやダンスの意味, 人工知能学会身体知研究会, 第 13 回, SKL-13-01, pp. 1- 4, 2012.
- [12] 藤田 尚, 藤波 努, ピアノ演奏指導における諸問題, 人工知能学会身体知研究会, 第 14 回, 2012.
- [13] 藤波 努, サンバ演奏の分析, 人工知能学会身体知研究会, 第 15 回, 2013.
- [14] A. Li, M. Haraguchi and Y. Okubo, Contrasting Correlations by an Efficient Double-Clique Condition, Transactions on Machine Learning and Data Mining, Vol.5, No.2, pp.3-22, 2012.

職人と達人の違いに関する再考

藤波 努(北陸先端科学技術大学院大学)

平成 24 年度最初の身体知研究会にて、「ジェスチャーやダンスの意味」と題してダンスをどう捉えるかを話した。そこでは踊るという行為が目的という観点からはとらえられないこと、一瞬一瞬の生の充実が真理を映し出す（といったようなこと）を述べた。またそれまで研究してきた職人技について触れ、職人の技は効率を追究するものであり、踊ることとは根本的に異なること、おなじスキルではあるが、研究の視点は異なるのではないかと述べた。

職人と達人を分ける、という提案をしたわけだが、会場からは一人の人間のなかで職人と名人が同居しているのではないかと、名人は職人の能力を包含するのではないかとといったコメントがあった。私はそういうケースもあるだろうが、職人ではない名人もいるから、そこは分けて考えるべきではないだろうかと思っていた。

そうこうするうちに、生田 久美子 編著、北村 勝朗 編著、「わざ言語 —— 感覚の共有を通しての「学び」へ」を読む機会があり、第 2 章「熟達化の視点から捉える『技言語』の作用」において北村氏が名人と職人を区別していることを知った。氏の解説から抜粋すると、名人とは新たな問題に対して柔軟に対応するところが特徴で、職人はスキルの幅を広げる機会と捉えるところに違いがあるとのことである。

そういった点だけに着目していると職人と名人の違いがわかりにくい、新しい問題に取り組むに当たり、職人は手際の良さを重視し、名人はさらなる探求のための出発点と捉えるという点で、職人が技術重視であって求道的ではないことを批評しているようにも読める。そして技術の点からみれば、名人の方がむしろ適応的ではないかと指摘しているのである。逆に職人の側から名人の悪いところ(?)をあげつらうなら、手際が悪いとか、仕事にばらつきがあるとか、正確さに欠けるといった点が挙げられることとなる。

ただし北村氏は職人と名人をそれぞれ特定の相とみている節もある。新しいやり方を見いだしていく過程で人は自らに欠けているものを探すのであり、その際はメタ認知なども駆使して知識・技能を向上させる。その間、名人といえども多くの試行錯誤を繰り返すのであって、傍目には素人と大差なかったりもする。そういったことも含めて名人には「探索的な初心者」の段階があるとしている。

職人と名人というのが、それぞれある特定の相を指すものであるとすれば、それはピアジェが唱えた同化や調節、均衡といった概念に非常に近いものではないかという気がする。調節を繰り返している状態が「探索的な初心者」であり、均衡に達した者が名人であり、均衡状態に達することなく同化と調節を繰り返しているものが職人であるといった位置づけである。そうとらえると氏が名人を職人の上に置く意図がみえてくる。

同時に氏の議論はスキルの価値について異なった二つの観点があることを教えてくれる。ひとつは手際よく正確に行うことであり、もうひとつは探求的であることである。この二つの価値観を併せ持つことは可能であるが、常に一方が他方を必要とするのかという点が私の気になるところである。

必ずしも手際が良くなくてもいいのではないか、もちろん手際がよいに越したことはないけれども。というのが私の立ち位置である。それよりも私が気になるのは、止まることなく続けられるかということの方だ。

音楽でいうなら、途中で止まらずに最後まで曲を弾き終わられるかどうか重要である。合奏では時にどうしても合わなくて演奏を止めざるを得ないことがあるが、時に外れていてもなんとか最後まで弾き終わられることもある。部分的に正しく弾けるよりは、最後まで止まることなく続けられることが実は重要なのではないかと考えている。

止まらずに流れに乗り続けることがスキルの本質であり、また生の本質でもあると思うのだが、そう考えるとなぜ氏が論考の中で「フロー体験」に触れているのかが理解できる。なぜ技について考えるなかでフロー体験に触れなければならないのか、氏の文章を一読するだけでは納得しがたいところがあるのだが、重要なのはフロー体験につきまとうある種の高揚感ではなく、流れに乗ること自体だとわかればフロー体験にこだわる氏の気持ちがおぼろげに理解されてくるのである。

目的論的思考からいかに自分を解き放ち、フローという考えに拠って立つかが現時点での自分の課題と考えているが、そういう点でいろいろ考えさせられる論考であった。

[参考文献]

生田 久美子 編著, 北村 勝朗 編著, わざ言語 —— 感覚の共有を通しての「学び」へ, 慶應義塾大学出版会, 2011.

藤波 努, ジェスチャーやダンスの意味, 第 13 回身体知研究会予稿集, SKL-13-01, pp. 1- 4, 2012.

説明の転写と対象理解に関する一考察

北海道大学 原口誠

アナロジー（構造類似性）とは一般に、ベースの事実や知識の一部をターゲットに転写し、ターゲットにおける問題解決に資する知識を得る行為だとされている。ベースとターゲットは、それを記述するための語彙集合が異なり、よって、良い転写を定める語彙の対応付け（写像）はその根拠として、写像を介したベースとターゲットにおける共通構造の存在を要請してきた。

筆者の研究室では、具体には、物語（イベント系列）の共通構造抽出を目標にして、いくつかの試論を重ねてきたが、構造の要素であるイベントは、基本的には動詞と名詞から成り立ち、下記の2条件を満たすイベント（動詞、名詞）の類似性・対応関係を求める問題を考察していたことになる：

(C1) 動詞の一致、もしくは類似性

(C2) 名詞の対応付けは、イベント間の結束性を保存する。

特に、名詞の対応付けで、結束性とイベントの類似性を共に満たすものを求める問題であり、容易に組合せ爆発に陥る。このボトルネック問題を解消するために、本研究では下記で示されるアプローチをとる。

(D1) ベースとは、ターゲットの一側面を理解するための、要約された説明文である。ただし、ターゲットとは異なる語彙で記述されている。

(D2) 動詞系列の類似性を、ベースとターゲットの類似性判断のための第1義的要因とみなす。逆に言えば、名詞の対応付けをいくら頑張ったところで、動詞系列が類似していなければ、全体として似ているとは誰も思わないだろう。

(D3) 動詞系列としての類似性を担保できるイベントの対応づけが得られたとしよう。名詞の対応は、その語義によってではなく、ベースおよびターゲットの各々における他者との関係性によって意味づけられるとする。すなわち、

名詞 n とは、イベント群 E に現れたもの

と定め、イベントとの関係性において理解され、出現するイベント群が類似していれば名詞は対応関係にあると考える。

(D4) ベースの要約文は、上記の対応付けによって転写され、その定義から結束性は保存される。転写結果を、ターゲットをベースによって解釈した結果だと理解する。

技術的には、イベントの対応付けを得るための「統合グラフ」を作成し、各イベントを統合グラフのスペクトル分解によって得られるベースとターゲットの共通空間内のベクトルとして現す。次に、名詞はそれが出現するイベントのベクトルの和として表現し、名詞の対応付けは、名詞ベクトルの内積総和を最大化する最適化手法で求める。後者の手法は、メディアングラフのマッチングで使われている手法だが、今回導入した手法は、グラフノードのマッチングではなく、ノードのラベルとして現れる名詞の対応付けに内積総和最大化を用いる点に特徴がある。

10分トークでは、上記の予備的実験結果と併せて、動詞を述語、名詞を定数と読み替えたときの理論の解釈問題をも議論してみたい。

参考文献

- [1] 孟海山：ターゲット文書を規範要約文に従って解釈するための試論，北海道大学情報科学研究科修士論文，2013年2月。

発想推論を用いた消費者の事例ベース推論における重要属性の発見

金城敬太 東京理科大学経営学部

尾崎知伸 日本大学文理学部

古川康一 嘉悦大学大学院ビジネス創造研究科

ある消費者が製品を購入する際に、消費者ごとに重要な属性をもとに過去の事例と類似性を確認しながら購入することがある。しかし、製品をつくる企業側が消費者がどのように類似性を判定しているかを直接知ることは難しい。

そこで、ある消費者が、過去に購入した製品および過去に購入しなかった製品の記録がある場合に、新たにある製品を購入したとき、どの属性がその消費者にとって重要なのかを調べる方法について研究を行った。具体的には、消費者が事例ベースの意思決定を行っているという仮定のもと、無矛盾となるような重要な属性を発想推論を用いて検知する方法を SOLAR を用いて実現した。

SOLAR によるアナロジーを組み込んだルール発想推論

慶應義塾大学 SFC 研究所 小林郁夫

SOLAR 上での因果ネットワークの構築、およびルールアブダクションの組み込み

表題の目的のために利用した SOLAR の特性

SOLAR[Nabeshima03]: ホーン節に限定されない一階述語論理において帰結発見を行うことが出来るシステム

- ・帰結発見の仕組みを用いることによって、ILP(帰納論理プログラミング)システムよりも不十分な背景知識から発想推論を行うことができる。すなわち、より多くの知識の欠落を補うことが可能で、補われる知識の形も緩やかに指定することが可能

ルールアブダクションによる「スキル説明」の組み込み[Inoue09]

- ・言語: 現象間関係がどのような因果関係にあるのかを指定する述語を用いた一階述語論理。各現象はこれらの述語の項として表される。因果関係がメタレベル、現象がオブジェクトレベルに配置される。

- ・公理(背景知識): 直接的因果述語と現象間到達関係述語の関係を規定
- ・記述される背景知識: 現象間の既知の因果関係ネットワーク
- ・観察: タスクが達成された場合の現象間の因果ネットワーク上での到達関係
- ・解: 背景知識に補われるべき因果関係

アナロジーの支援による「スキル説明」の組み込み

背景知識: スピッカートと強制振動のアナロジカルな対応

演奏タスク学習者の理解を因果ネットワークの形で組み込む:

	チェロ演奏世界(Target world)	物理世界(Base world)
結果(現象全体)	スピッカート	強制振動
要因 1	弓弾ませ	定常エネルギー注入
要因 2	<指定なし> (薬指による保持)	エネルギー吸収体の存在

言語 および 公理

- ・(1)直接的因果関係、(2)因果による到達関係を表す述語に加え、(3)世界間での現象の対応関係を導入。また、(1),(2)をターゲット世界(1a),(2a)とベース世界(1b),(2b)で別々のものとする事により探索の爆発を防止している。(1a)はさらに、(1aa)既知のものとして背景知識に記述するものと、(1ab)アナロジーの裏付けなしにシステムが提案するもの、(1ac)アナロジーの裏付けをともなってシステムが提案するもの、の3種を区別した。

- ・アナロジーなしのルールアブダクションの場合と同様、各世界における(1)と(2)の関係を規定。これに加え、(3)の対応が世界内で行われないよう制約。さらに、(1ac)を成立させる条件を既定。

オーケストラ指導現場における イメージの役割

升田俊樹(チェリスト)

オーケストラを指導するということ

- 初級レベルのオーケストラでは、基本を固めるのが精一杯で、テンポのゆれなどの雰囲気的な要素は伝わりにくい
- 音楽用語も伝わりにくい
- そこで、演奏時の身体の使い方や演奏表現を指導する側・指導される側で共有するためにイメージを用いる

2

イメージを使って教えるとは？

- 身近に起こることを比喻として用いる
- 比喻表現を用いて表すこと
 - 弓の動かし方・弓の速さ(目で見る事が出来るもの)
 - 楽曲の中の楽器の役割(曲によって異なった役割・演奏法がある)
 - 言語と音楽(言語により表情が変わる)
 - 演奏法(一つの音で、強弱が急激に変わる場合の例)

3

弓の動かし方・弓の速さ:川や風をイメージする(1/3)

①弓の動かし方

- 川にはいろいろな表情がある
(同じ音型を満のように繰り返す時には、弓は通常の流れより速く動く、弓が速いと、音のレスポンスが良い)



4

弓の動かし方・弓の速さ:川や風をイメージする(2/3)

- 順次進行の場合、弓はゆったり流れる川の速さで動かす。
(弓は単に左右に動いているだけのように見えるが、声楽家が息の流量を増減するように弓の速さ・圧力も絶え間なく変化する。また右手だけでなく・・・演奏全体を通して、左手にも重要な役目がある。)



5

弓の動かし方・弓の速さ:川や風をイメージする(3/3)

- ②弓の速さ:吹き付ける風をイメージする(現実には目で見られないが皮膚で感じる)弓が能動的に動く
 - 強風のように速い弓
 - 爽やかな高原の風の
(淀んだ室内の空気を入れ替える)そよ風の速さ
 - 微風のようにゆっくりした弓の速さ
- ③風で吹き付けられる側のもの=稲穂等 弓が受動的に動く



6

楽器の役割 (1つの曲の中でそれぞれの楽器に役割がある)

- 各楽器が演奏している曲のどんな役割を受け持っているのか。
(スメタナの“我が祖国より”モルダウ)
- バイオリンは朗々と流れる川の表面の流れを表現、チェロは川の中のウネリを表現している…風呂のお湯をかきまわす時にお湯の抵抗を手に感じるように、弦と弓との間に抵抗を感じながら演奏する)



7

イメージを用いることの難しさ

- オーケストラや演奏者ごとに演奏レベルが異なり、同じイメージを用いても理解されないことがある
- 指導者は、相手の演奏レベルを速やかに読み取り、どのようなイメージを用いればよいか判断する
 - 人それぞれの体型、指の長さ、身体の硬さ・柔らかさ、癖などから、相手に合った弾き方を見つけ多くの事例の中から解決法を追求する

8

おわりに

- 私達のまわりはイメージの宝庫です。
- 演奏家にとって大切なことは、俳優のようにその役になりきる事。
そして、選挙演説や弁論大会で自分の意思を聴衆に伝える為に
通常の話し言葉よりハッキリ話すように演奏する事。

9

身体スキルの指導に用いられる比喩表現

西山武繁（慶應義塾大学）

楽器の演奏やスポーツ、工芸などにおける身体スキルの獲得は困難な問題である。身体スキルを学ぶそれぞれの現場では、教え手によるスキル獲得支援の方法として比喩表現が多用される。例えば、どのよに身体を動かせばよいかを直接的に表すのではなく、学び手が身体の動かし方について思考することを促す言葉を生田らは「わざ言語」と呼んでいる[2]。このような表現は闇雲に用いられるのではなく、教え手が学び手や学び手が直面している問題に応じて表現を使い分けられる。教え手が指導に用いる比喩表現を収集し、その表現の背後にある学び手や学び手の直面する問題に対する教え手の解釈と併せて蓄積することでスキル獲得支援手法開発の一助となることが期待される。

身体スキルの指導に用いられる比喩表現およびその表現の背後にある教え手の解釈を収集・蓄積するための試みとして、諏訪のからだメタ認知[5]をベースとしたインタラクティブインタビュー[4]を実施した。インタラクティブインタビューは、インタビュアーとインタビュウイーの相互行為を通じて、インタビュウイーの持つ暗黙知を顕在化させることを目的としている。インタラクティブインタビューでは、筆者らが開発した図1に示すhex[3]という六角形のメモ用紙を用いて

- ・インタビュウイーの発した言葉を記録
- ・蓄えられた hex を机等の上に配置
- ・並べた hex を俯瞰
- ・hex を俯瞰して得た気づきを新たな hex に記録

というサイクルを繰り返しながら、それまで言語化することの無かった暗黙知の顕在化を目指す。

本年度は、身体知研究者とプロのチェリスロを対象に演奏スキルにまつわる比喩表現をテーマとしたインタラクティブインタビューを実施した。特に、楽器演奏やスポーツなど四肢を用いる身体運動の妨げとなる身体状態を表す体の「縮み」と「ゆるみ」に着目し、それらの表現を身体スキルの学び手や教え手がどのように解釈しているのかという考察に取り組んだ(インタビューによって抽出された hex 群を図2に示す。また、内容に関する詳細は[1]に示す)。

身体スキルの学びの現場において比喩表現をどのような解釈に基づいて用いられるのかを言語化することは、表現を用いる教え手自身にとって困難である。インタラクティブインタビューによって比喩表現にまつわる断片的な言葉を hex に記録、hex の配置や全体の俯瞰を通じて、学び手や学び手が直面している問題に対する教え手の解釈の顕在化を促すことができる。



図1 hex の例



図2 インタラクティブインタビューによって抽出された hex 群

参考文献

- [1] 古川康一, 升田俊樹, 西山武繁, 忽滑谷春佳, “体の縮みが可制御性に及ぶ影響について”, 身体知研究会(人工知能学会第2種研究会), SKL-13-03, 2012.
- [2] 生田 久美子 編著, 北村 勝朗 編著, わざ言語 —— 感覚の共有を通しての「学び」へ, 慶應義塾大学出版会, 2011.
- [3] 西山武繁, 諏訪正樹, 佐山由佳, 浦上咲恵, 泉二肇, “身体と意識の開拓を促す文房具のデザイン”, 身体知研究会(人工知能学会第2種研究会), SKL-09-04, 2011.
- [4] 忽滑谷春佳, 諏訪正樹, “ナラティブ生成を目的としたインタラクティブなインタビュー手法の提案-建築学科の設計課題を例にして”, 身体知研究会(人工知能学会第2種研究会), SKL-11-01, 2011.
- [5] 諏訪正樹, 赤石智哉, “身体スキル探究というデザインの術”, 認知科学, Vol.17, No.3, pp.417-429, 2010.