

脚振り運動を用いた個人間協調運動における引き込み現象

松澤 正子・佐伯 素子

Entrainment in Interpersonal Motor Coordination of Oscillating Lower Legs

Masako MATSUZAWA and Motoko SAEKI

Lower legs of two people, oscillating in anti-phase mode were found to be less stable. They could be entrained into in-phase mode by watching each other's oscillating legs. To examine the mechanisms of the interpersonal entrainment phenomenon, in condition A, one of two people watched the other's leg while oscillating own leg in anti-phase mode in tune to the rhythm of a metronome. Half of eight participants entrained into the oscillating leg of the other member of the pair. When two people watched each other's legs in condition B, the entrainment was observed only when either one, or both, the pair had entrained in condition A. The duration of entrainment was longer when the pair had known each other, than when they had never met until the experiment. These results suggest that the phenomenon of entrainment of the lower legs occurs according to the 'entrained trait' of each individual, rather than through coordinating with each another person. Results also suggest that entrainment is affected by the degree of intimacy between the pair

Key words: *entrainment* (引き込み), *motor coordination* (運動協調), *interpersonal* (個人間), *oscillation* (振動)

問題

人と人とのコミュニケーションにおいては、相互に音声と姿勢・動作・表情がリズムカルに協調する。この協調現象は「引き込み(entrainment)」と呼ばれ、コミュニケーションを円滑に働かせる上で重要な役割を果たしている。引き込みは出生後間もない新生児と母親の間にも見られ、人と人とのやりとりの基盤となっていることが推測される。一方、コミュニケーションの障害を主とする自閉症児では、表情、体の姿勢、身振りなど対人的相互作用を調整する行動の障害がみられる。また、その母親の回顧的語りからはしばしば、乳児のころはミルクを飲むにしても、リズムが合わない、抱かれる姿勢にならないなどというエピソードが聞かれ、自閉症児に早期からの引き込みの問題がある可能性が考えられる。コミュニケーションの基盤である引き込みについて、詳細な検討を行う必要があるだろう。

引き込みは、協調運動における同期現象として

捉えることができる。協調運動の基礎的なメカニズムを研究する枠組みとして、ダイナミカル・システム・アプローチが近年注目されている(Kelso, 1995; 三嶋, 2000)。このアプローチでよく用いられる手続きは、Figure 1のように両手の人差し指を逆位相(anti-phase)で振り、少しずつ振動の周波数を高くしていくというものである。この手続きで周波数が高まると、次第に逆位相を維持できなくなり、最終的には同位相(in-phase)に収束する。ダイナミカル・システム・アプローチでは、この現象は多数の要素の相互作用を通じた自己組織化現象として位置づけられ、非線形力学の方程式によって説明される。

個人間の協調運動における引き込みも、上述の個人内の協調運動と同じ方程式によって予測可能なことが明らかになってきた。Schmidt Carello, & Turvey. (1990)では、ペアが互いに相手の脚を見ながら、メトロノーム音に合わせて逆位相で下腿を振った(Figure 2)。すると、この個人間の脚振り運動は、個人内の指振り運動と同様に、

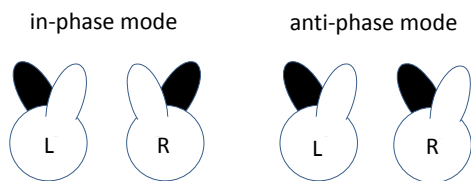


Figure 1. Kelso (1984) が個人内の協調運動の研究で用いた左右の指振り運動のパターン

左図は同位相 (in-phase) で、右図が逆位相 (anti-phase) で、左手 (L) と右手 (R) の人差し指を振っている様子を示している (山西ら, 2000の図を改変)。

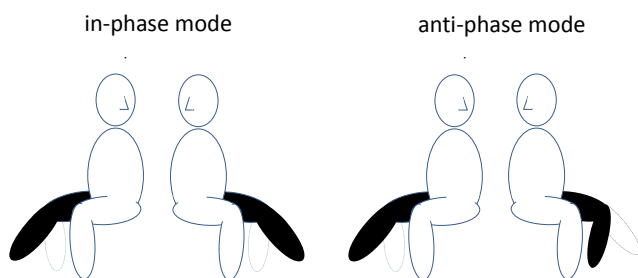


Figure 2. Schmidt et al.(1990)が個人間の協調運動の研究で用いた2名の脚振り運動のパターン

左図は同位相 (in-phase) で、右図が逆位相 (anti-phase) で、それぞれの外側の下腿を振っている様子を示している (山西ら, 2000の図を改変)。

周波数が高くなるにつれて位相の変化が起こり、互いの下腿が同位相で同期したのである。このことは、個人間の協調運動が、相手の脚の動きの視覚情報を介して自己組織的に形成されることを示唆している。同様のことは、日本でも、スライダーを動かす運動 (山西・武田・大場・坂手, 2000) や振り子運動と呼吸 (高瀬・古山・三嶋・春木, 2003) を用いた実験で確認されている。

さらに、Schmidt, Christianson, Carello, & Baron (1994) は、2名が相手を見ながら振り子を振る実験において、社会的スキルの高い者同士や低い者同士のペアでは引き込みが起きやすいのに対し、高い者と低い者のペアでは引き込みが起きにくいことを報告している。この結果の解釈は難しいが、引き込みの程度が、相手との関係性によって変化することを示唆している。また、このように引き込みが相手との関係性によって変化するのであれば、個人の特性によって常に引き込まれやすい人や、引き込まれにくい人がいてもおかしくないだろう。そもそも、コミュニケーションの基盤である引き込みにどの程度の個人差が存在

するのだろうか。

本研究は、健常成人を対象に個人間の協調運動における引き込みの機序を明らかにするために、引き込みの個人差と、差のある個人間での引き込みの生起について検討することを目的とする。このため、Schmidt et al. (1990) と同様の手続き (Figure 2) を用い、ペアが互いに相手の脚振りを見る通常に加え、ペアの一方のみが相手の脚振りを見る条件を設け、各条件における引き込みのダイナミクスを観察する。また、友人同士のペアと初対面のペアを設け、ペアの関係性の1つの次元である親密さと、引き込みの生起との関連についても考察を加える。

方法

実験協力者

成人女性8名が参加した。このうち6名は異なるペアで2回の実験に参加したため、7組のペアで実験が行われた。なお、7組のペアのうち5組は友人同士のペアであり、残る2組は初対面のペアであった。

実験装置

座ることができる2つの台を30cmの距離を開け、40°の角度で向き合うよう配置した。2つの台の正面にメトロノーム音刺激を呈示するためのスピーカーを置いた。また、それぞれの台の外側面と直角になるよう2台のビデオカメラを設置し、それらのビデオカメラの合成映像を記録した (Figure 3)。なお、ビデオ画像の自動分析のため、画像の背景は白一色になるよう布で床や壁を覆い、協力者は白く長い靴下を履き、外側の足首のくるぶしに黒いシールをマーカーとして貼り付けた。

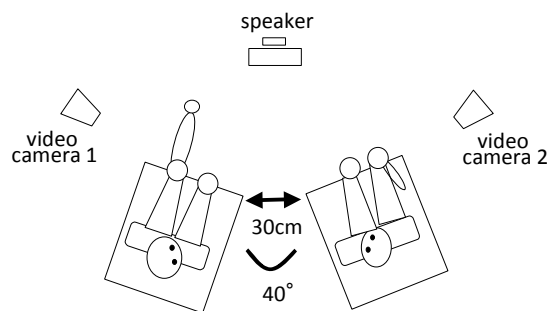


Figure 3. 実験装置の配置と実験の様子

実験材料

0.6~2.0Hz まで0.2Hz 間隔の8種類の周波数のメトロノーム音を10秒ずつつなぎ合わせた刺激を用意した。この刺激では、はじめはゆっくりとしたペースでメトロノームが打たれるが、10秒ごとにペースが速くなり、80秒で終了する。

手続き

2名の協力者ペアは、それぞれの台の上に深く座り、内側の脚の足首を台の脚に掛け、両手で台の両側をつかんだ。外側の脚の足首をほぼ直角になるよう固定し、大きく振るよう教示して練習を行った後、メトロノーム音に合わせて互いの外側の脚を逆位相 (anti-phase: 2名の脚が前後に互い違いになる様相, Figure 2) で前後に振るよう教示した。

実験は、相手の脚を見るか否かを操作した3条件と、互いの脚を同位相 (in-phase: 2名の脚が同時に前後に振られる様相, Figure 2) で振るよう教示した同位相条件で行った。

条件1: ともに相手の脚を見ない逆位相条件 (1セッション)

条件2: 互いに相手の脚を見る逆位相条件 (2セッション)

条件3: 一方のみが相手の脚を見る逆位相 (ペアのそれぞれの協力者が見るものを1セッションずつ)

同位相条件: ともに相手の脚を見る同位相条件 (1セッション)

条件1ではペアのそれぞれが顔を外側に向けた。条件2と同位相条件ではペアのそれぞれが相手の脚のほうに顔を向けた。条件3ではペアの一方が

相手の脚のほうに顔を向け、一方は顔を外側に向けた。実験は、条件1→条件2 (1回目) →同位相条件→条件3 (協力者A) →条件3 (協力者B) →条件2 (2回目) の順で行った。なお、試行中に位相変化が生じて、脚を止めずにメトロノーム音に合わせて振り続けるよう指示した。

分析

セッション開始の10秒後にメトロノーム音刺激が0.8Hz になってから、70秒後に1.8Hz の刺激が終了するまでの60秒間を分析の対象とした。動作解析ソフト (ディテクト製 DIPP-Motion 2D) を用いて、ペアの脚の動きを撮影した合成画像 (Figure 4) から実験中の画面上の足首の位置座標を計測し、スムージング処理を行った。そのデータをもとにペアのそれぞれの下腿の振り出し角度 (下腿と垂直軸との角度で、前方に振り出



Figure 4. ペアの脚の動きを記録した合成画像の例

左下がペアの一方の協力者の脚振り、右上枠内の最も手前の脚が他方の協力者の脚振り。

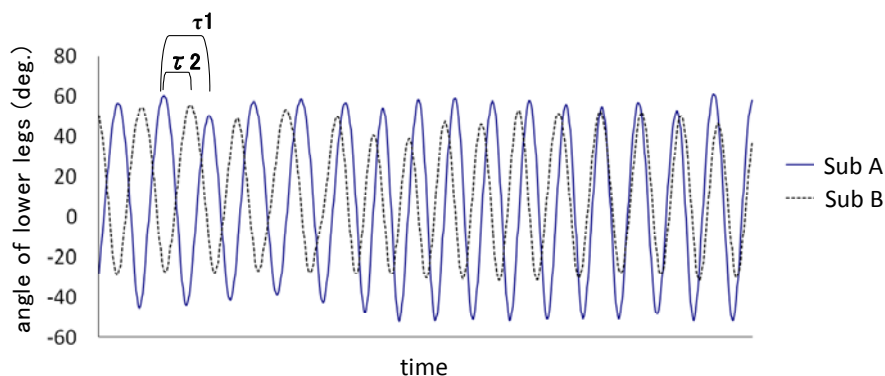


Figure 5. ペアの脚の振り出し角度の時間的推移の例

この図では、はじめはペアの脚が交互に振り出される「逆位相」で運動しているが、時間の経過とともに、ペアの脚が同時に振り出される「同位相」へと変化する様子を示している。

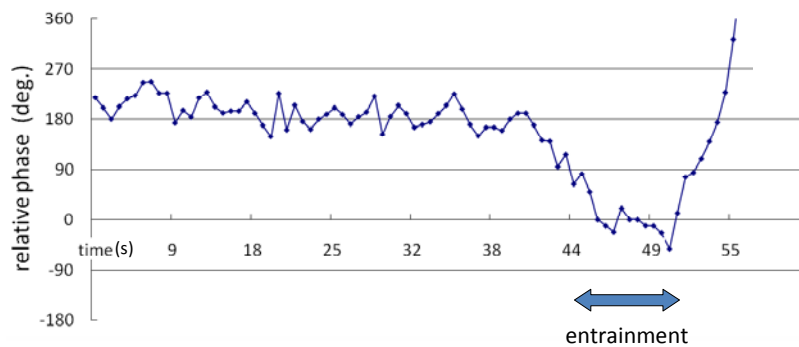


Figure 6. ペアの足の相対位相の時間的推移の例.

相対位相 (relative phase, RP) は当初は逆位相である RP180° 付近で安定しているが、40秒経過あたりから位相が変化し始め、45秒から50秒過ぎまでの間、同位相である RP0° 付近への引き込み (entrainment) が見られる。

した場合にプラス、後ろに振り込んだ場合にマイナスとなる) を算出し、ここからペアの足の相対位相 (RP) を求めた (Figure 5, 6)。

相対位相は、一方の実験協力者 A の n サイクルからの n + 1 サイクルに要した時間を τ1とし、協力者Aの n サイクルから協力者Bの n サイクルの時間的なずれを τ2とし、次の式によって求められる。逆位相における RP は180° であり、RP が0° になると同位相ということになる。

$$\text{相対位相 (RP)} = 2\pi \times (\tau_1 - \tau_2)$$

ペアの足が同位相に留まっている状態が「引き込み (entrainment)」である。本研究では引き込みは、RP が0° ±75° にある状態が3秒以上続く場合と定義し、また、引き込みの状態にあった時間の総和を「引き込まれ時間」と呼び、引き込みの程度の指標とすることにした (Figure 6)。

結果

ともに相手の脚を見ない逆位相条件 (条件1) と、互いに相手の脚を見る逆位相条件 (条件2) の引き込まれ時間の平均値を比較すると、条件2において引き込まれ時間が長かったが、統計学的に有意な差ではなかった (Figure 7)。条件2での引き込まれ時間にはペアによる違いが大きく、長時間引き込まれたペアと、ほとんど引き込まれ

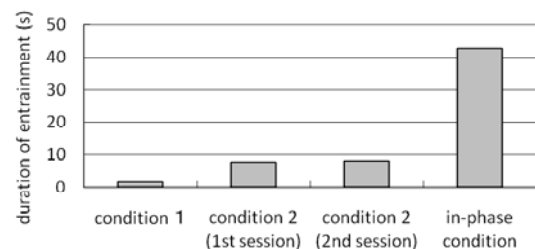


Figure 7. 各条件における引き込まれ時間の平均値.

Table 1. 各ペアの引き込まれ時間 (秒)

pair	name (sub.1 & 2)	pair's relations ¹⁾	condition 1 ²⁾	condition2 (session 1)	condition 2 (session 2)	condition 3 (sub. 1)	condition 3 (sub. 2)
No. 1	MZ & SK	known	0.0	0.0	5.5	0.0	12.7
2	NT & NH	known	0.0	37.8	26.4	6.0	38.0
3	NT & SD	unknown	0.0	4.5	0.0	0.0	0.0
4	FO & NH	unknown	6.7	7.1	0.0	6.5	4.9
5	MG & KB	known	0.0	4.4	6.9	5.0	3.1
6	MG & SD	known	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	FO & KB	known	4.4	0.0	17.7	21.0	17.5
		Mean	1.6	7.7	8.1	5.5	10.9
		(SD)	(2.8)	(13.6)	(10.3)	(7.4)	(13.6)

1) ペアが友人同士であった(known)か、あるいは初対面(unknown)かを示す。

2) 数値の単位は秒。

なかったペアがあった (Table 1)。また、条件2で長時間引き込まれたペアでは、ペアの一方のみが相手の脚を見る逆位相条件 (条件3) で、ペアのどちらが相手の脚を見るかによって引き込まれ時間に違いがあった。例えば、条件2で引き込

まれ時間の長かった NT & NH ペアについて、それぞれの条件3での引き込みをみると、NH が NT の脚を見る場合には引き込まれ時間が長かったが、NT が NH の脚を見る場合にはほとんど引き込まれなかった (Figure 8, Table 1 pair No. 2)。

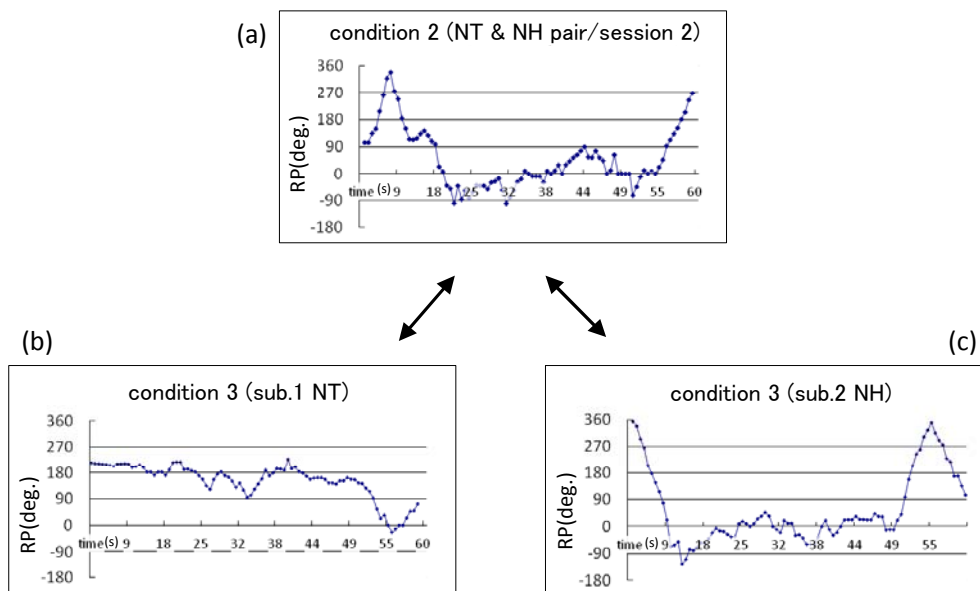


Figure 8. NT & NH ペアの相対位相の時間的推移.

(a)互いに相手の脚を見る条件2において長時間の引き込みが起こった。(b)NT のみが相手の脚を見る条件3ではほとんど引き込みが起こらなかったが、(c)NH のみが相手の脚を見る条件3では(a)の条件2と同様の引き込みが起こった。

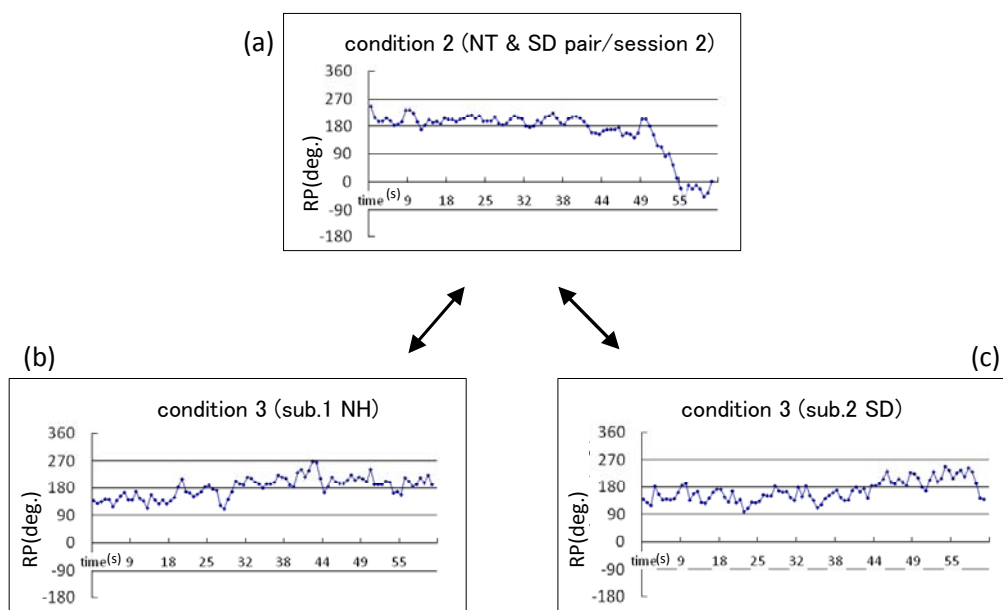


Figure 9. NT & SD ペアの相対位相の時間的推移.

(a)互いに相手の脚を見る条件2でほとんど引き込みが起こらなかった。(b)(c)NT のみが相手の脚を見る条件3も、SD のみが相手の脚を見る条件3も、引き込みは起こらなかった。

また、条件2でほとんど引き込まれなかったペアでは、条件3でペアのいずれもがほとんど引き込まれなかった (Figure 9, Table 1 の pair No. 3)。

次に、条件3で自らが相手の脚を見た場合に引き込まれ時間が10秒以上のセッションがあった協力者4名 (SK, NH, FO, & KB) を引き込まれやすい群、10秒未満であった協力者4名 (MZ, NT, SD & MG) を引き込まれにくい群とし

(Table 1 参照)、両群の個人の脚振り運動の上手さを比較した。脚振り運動の上手さの指標として、ともに相手の脚を見ない逆位相条件 (条件1) における「メトロノーム音のリズムと実際の脚の運動リズムとの時間的ズレ」の総和を用いたところ、引き込まれにくい群より引き込まれやすい群においてズレが大きく、脚振り運動が上手くないという傾向が見られた ($t(12) = 2.12, p < .10$, Figure 10)。

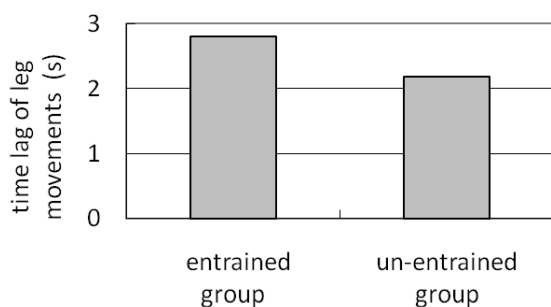


Figure10. 条件1における脚振り運動のズレ時間の総和。

相手の脚を見ない条件で、引き込まれやすい (entrained) 群4名の脚振りは、引き込まれにくい (un-entrained) 群4名に比べて、メトロノーム音とのズレが大きかった ($t(12) = 2.12, p < .10$).

考 察

本実験の、互いに相手の脚を見て逆位相に脚を振る条件2は、Schmidt et al. (1990) とほぼ同様の手続きを用いて行われたが、彼らの研究で示されたような引き込みは限られたセッションで観察されただけであり、また、そのセッションの多くはごく短時間の引き込みがみられたにすぎなかった (Figure 7, Table 1)。この短時間の引き込みがみられたセッションでは、引き込みがセッションの終わりごろにみられ、引き込まれた状態のまま終了する場合もあったが、短時間引き込まれた後に、脚振りの速度が速まるにつれて再度位相が変化していった場合もあった。また、条件2でほとんど引き込まれなかったペアには、セッ

ション中に全く位相が変化しないペアだけでなく、たとえ位相が変化し同位相になることがあっても、そこにとどまらずに位相が変化し続けるペアもみられた。また、逆位相でも同位相でもない中間の位相に移行し、安定した状態が続く場合もあった。これらのことから、脚振り運動を用いた個人間協調運動における逆位相から同位相への引き込みは、それほど強い現象であるとは言い難い。

ただし、条件2で長時間の引き込みが観察されたペアが1組あった。この NT & NH ペアでは、条件2の2回のセッションとも長時間同位相にとどまっており (Table 1 の pair No. 2)、いわゆる引き込み現象が観察されたと言ってよいだろう。このペアの、一方のみが相手の脚を見て逆位相に脚を振る条件3での結果を見ると、NH が NT の脚を見たときにのみ長時間の引き込みがみられ、NT が NH の脚を見たときにはほとんど引き込みはみられなかった (Figure 8)。また、このペアの条件2の位相変化のパターンは、NH が相手の脚を見たときの位相変化のパターンと大変よく似ていた (Figure 8)。このことから、NH の引き込まれやすさが、NT & NH ペアの条件2の長時間の引き込みの原因となっていたことが推測される。この推測は、引き込まれにくい NT が、同様に引き込まれにくい SD とペアになった条件2のセッションでは、ほとんど引き込みは起こらなかった (Figure 9) ことから、尤もらしいと考えられる。つまり、脚振り運動を用いた個人間協調運動における逆位相から同位相への引き込みは、相互の協調の結果というより、個人の引き込まれやすさに依存して生起すると考えた方がよさそうである。すなわち、ペアの少なくとも一方が引き込まれやすい個人である場合に引き込みが生起するのであろう。

ただし、引き込まれやすい NH も、FO とペアになった時には、NT とペアになった時ほどの引き込みが見られなかった (Table 1 の pair No. 4)。実は、NH と NT は友人同士であり、NH と FO はこの実験が初対面であった。Schmidt et al. (1994) は、引き込みの程度が相手との関係性によって異なることを示しているが、親しい相手であるほど引き込みが起きやすいのではないだろうか。実際、FO も引き込まれやすい協力者の一人であったが、初対面の NH とペアになった時 (Table 1 の pair No. 4) に比べ、友人である

KB とペアになった時 (Table 1 の pair No. 7)の方が、条件 2, 3 のいずれにおいても長時間の引き込みが観察された。ただし、引き込まれにくい協力者ではこのような傾向はみられず、例えば SD は、初対面の NT とペアになった時 (Table 1 の pair No. 3) も、友人の MG とペアになった時 (Table 1 の pair No. 7) も、ほとんど引き込みはみられなかった。つまり、引き込まれやすさは個人の特性としてあるが、引き込みの起きやすさの要因の一つとして相手との親密さがあり、親しい相手であるほど引き込みが起きやすいといえるのではないだろうか。

最後に、個人の特性としての引き込まれやすさが運動能力の個人差と関連している可能性を検討するために、引き込まれやすい個人と引き込まれにくい個人の脚振り運動の上手さを比較した。脚振り運動の上手さは、相手の脚を見ずにメトロノームの音のみに従って脚を振る条件 1 において、どの程度メトロノーム音と合った脚振りができていたかを指標とした。その結果、引き込まれやすい個人では、引き込まれにくい個人に比べて、メトロノーム音に合わせて脚を振ることができていなかった (Figure 10)。つまり、個人の特性としての引き込まれやすさは、粗大運動の不器用さなど運動能力の個人差と関連していることが示唆された。

我々は、コミュニケーション能力などの個人の社会的な特性が、引き込まれやすさと関連しているのではないかと考えている。本研究ではこれらの特性についての測定を行っていないため、関連について議論することはできない。しかし、引き込まれやすさと運動能力との関連が示されたことから、運動能力という個人の特性が引き込まれやすさを規定し、このことがコミュニケーション能力など個人の社会的な特性に影響を与えているという可能性も考えられ、もしそうであれば大変興味深いと思われる。

謝 辞

ビデオデータの運動解析に関して、日本大学の水落文夫先生ならびに佐藤佑介先生にご指導いただきました。心よりお礼申し上げます。

引用文献

- Kelso, J. A. S. 1984 Phase transitions and critical behavior in human bimanual coordination. *American Journal of Physiology: Regulatory, Integrative and Comparative*, **246**, R1000-R1004.
- Kelso, J. A. S. 1995 Dynamic patterns: The self-organization of brain and behavior. MIT Press.
- 三嶋博之 2000 エコロジカル・マインド 日本放送出版会
- Schmidt, R. C., Carello, C. & Turvey, M. T. 1990 Phase transitions and critical fluctuations in the visual coordination of rhythmic movements between people. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **16**, 227-247.
- Schmidt, R. C., Christianson, N., Carello, C. & Baron, R. 1994 Effects of social and physical variables on between-person visual coordination. *Ecological Psychology*, **6**, 159-183.
- 高瀬弘樹・古山宣洋・三嶋博之・春木豊 2003 二者間の呼吸と体肢運動の協調. *心理学研究*, **74**, 36-44.
- 山西正記・武田守弘・大場渉・坂手照憲 2000 対面状況の主従的な個人間協応パラダイムにおける協応特性とその学習過程. *スポーツ心理学研究*, **27**, 9-21.

(まつざわ まさこ 生活機構研究科)

(さえき もとこ 聖徳大学人文学部心理学科)