

C-21

ボールルームダンスにおける左回転と右回転の比較解析

Mechanical Comparison of Left Turn and Right Turn in Ballroom Dancing

塩谷 義^{*1}, 〇正
Tadashi SHIOYA^{*},

^{*} 東京大学 The University of Tokyo

The turning in the ballroom dancing is analyzed in the mechanical point of view, comparing the left turn and the right turn. Reverse Turn and Natural Turn in Waltz are taken as examples. In the syllabus of ballroom dancing, the both turns are described as just exchanging the terms “right” and “left” each other. However, in fact some different feelings exist in the left and the right turns. This causes mainly come from the couple holding form which is a characteristic of modern ballroom dancing. The movements of dancers during the turns are mechanically analyzed focusing the moving paths of the dancers and the inertia forces in the direction of the partner during the turn. The results show different patterns of movements and forces in the left and the right turns. The parameters affecting the left and right difference are also shown, suggesting improvement ways of the dancers’ movements. The left and right difference caused by the Line of Dance is also explained.

Key Words : Ballroom, Right and Left, Waltz, Reverse Turn, Natural Turn, Inertia Force, Hold

1. 緒 言

一般にダンスにおいて回転は最も重要な要素のひとつである。自然の動作を基本とするボールルームダンスにおける回転は水平面内（鉛直軸回り）の回転がほとんどである。ボールルームダンスは Couple Dance であることから、回転は、それぞれの Dancer の単独の回転（Solo Turn）と、Couple としての回転がある。Couple としての回転は男女の相対的位置・向きをほとんど変えずに（男女が一体となって）行われるのがボールルームダンス、特にいわゆる Standard 種目においては普通である。本研究ではボールルームダンスにおける最も一般的な形態である男女が面対（Facing）して Contact し、一体となって運動する Contact Hold（Close Position）を対象として解析する。International Style のボールルームダンスにおいては男女の Contact Hold は互いに少し左側にずれて組むのが基本であり、本研究の注目する要点である。

物体の回転を力学的に解析するには、重心回りの回転と移動方向の変化（進行経路の曲がり）とに分けて扱う必要がある。前報（塩谷, 2017, Shioya, 2018b）で解説したように移動方向の速度の変化は身体の傾斜に対応していることは、他のスポーツなどにおいてもみられることである。一方、重心回りの回転は身体の部分には加速度を生じるが、全体として身体の傾斜には寄与しない。

ボールルームダンスにおける右回転と左回転は、多くの場合、左右を入れ替えればそのまま通用する。最も権威ある ISTD の教科書（ISTD, 1944）においても、例えば、Waltz における代表的な右回転である Natural Turn と左回転の Reverse Turn の文章上の記述は、字句をすべて左右入れ替えたものとなっている。しかし、実際の Dance においては、左右入れ替え以上に大きな違いを感じるのも事実であり、これが何に起因するかを明らかにするのが本研究の目的であり、この知識が回転動作、Hold の調節など Dance の改善に繋がるものと考えられる。

2. ボールルームダンスにおける回転および関連用語の明確化

回転の表記：ボールルームダンスにおける Couple の回転は、右回転を自然の回転と考え、一般に Natural の用語を用い、左回転をその逆、Reverse と表現し、回転量は 1 回転、1/2 回転、1/4 回転などと記している。ただし、本報においては、一般の科学用語に従い、左回転（反時計回り）を正、右回転を負とし、回転量は、1 回転を 2π とする radian 表記を用いることとする。

2・1 回転の内側と外側

ボールルームダンスにおける回転の説明において、内側回転（内回転、内回り、Inside Turn）と外側回転（外回転、外回り、Outside Turn）の用語がしばしば用いられる。例えば Waltz の Natural Turn 前半において、女子は男子より移動量が小さく、いわゆる回転中心に近いと考えられると、Inside Turn となる。同様に、後半は男子が Inside Turn、女子が Outside Turn である。Reverse Turn においても同様に説明されている。しかし、前報（塩谷、2017、Shioya, 2018b）にも述べたように、Natural Turn 等においても重心回りの回転はあるが、重心自体の軌跡はほとんど直線に近いので、回転中心の定義はあいまいである。ここでは、これら便宜的に用いられる用語、回転中心、および、Inside Turn、Outside Turn の正確な定義を行なう。

並進速度 V 、角速度（左回転を正） ω 、角度 θ ($-\pi/2 \leq \theta \leq \pi/2$) の基準は進行方向に面する位置からとするとき、便宜的に用いられるいわゆる回転中心は、男女を結ぶ線上、進行方向の左方で回転半径は、

$$R = (V / \omega) \cos \theta \quad (1)$$

となる。Inside Turn、Outside Turn の区別は、回転時に Couple 中心が移動する場合のみに生じ、上述の回転中心に近い方が Inside Turn、遠い方が Outside Turn である。別の表現をすれば、左回転（Left Turn）のときは、Couple 中心の並進移動方向線に対し、左側の Dancer が Inside Turn、右側の Dancer が Outside Turn となる。右回転のときは、その逆である。回転中 Couple 中心の移動線を横切れば Inside Turn と Outside Turn は入れ替わる。後述するように、Reverse Turn においては回転途中で Inside Turn と Outside Turn が入れ替わり、その時点も明確になる。なお、Couple の中心がほとんど移動しない回転の場合、例えば、Viennese Waltz の Fleckerl や Rumba の Natural Top などにおいては、回転中心が Couple の間となり、Inside Turn と Outside Turn の区別は行わない。

2・2 室内進行方向による右回転と左回転の相違

人間の身体は大体、左右対称であるので、各種のスポーツにおいても原則的に左右を入れ替えても成立する場合が多い。ただし、左右対称でないルールのあるスポーツも多いので、その場合には、身体の動作も左右で異なるものとなる。ボールルームダンスにおける左右のルールの違いの一つに、まず、進行性のある Dance（いわゆる Standard 種目および、Samba, Paso Doble）においては、進行方向（LOD）が室内において反時計回り（左回り）であることが挙げられる。これはトラック競技における走行方向や野球の塁進行方向と同じである。このため、ダンスにおいても室内を LOD 方向に向いて一周すれば、身体は左回転を 1 回したことになる。たとえば Viennese Waltz (ISTD, 2001) において syllabus 上は Natural Turn は右 1 回転 (-2π の回転角)、Reverse Turn は左 1 回転 ($+2\pi$) であるが、Natural Turn のみで LOD に沿って室内を一周するとき Natural Turn の回数を n とすれば、実際の回転回数は $n-1$ 、総回転角は $-2\pi(n-1)$ となり、Reverse Turn のみ n 回で一周すれば、実際の回転回数は $n+1$ 、総回転角は $+2\pi(n+1)$ となる（図 1）。これは、地球が 365 日で 366 回転するのと同じ原理である。Natural Turn の方が平均の回転角が少ないので、初心者にとって容易とを感じる一つの要因となる。

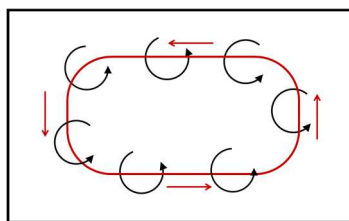


Fig. 1 Reverse Turns of Viennese Waltz

2・3 ホールド (Hold, 男女の組み方) の特徴

ボールルームダンスにおける男女の組み方 (Hold) は、回転に大きな影響を与える。本報の主な対象である Close Hold において腕や手の形態も左右全く異なるが、力学的に回転を解析する際に最も重要なのは、身体の重心が男女互いに左方にずれていることである。ずれの量は時代や流行、個人差などにより差があるが、身体の横幅の半分前後であり、静止時にそろえた足の位置で表現すれば、互いに右足が向き合うか、少し内側寄り程度である。このずれのため、右足を Partner 方向に前進するときに Partner の右外側 (Outside Partner) に前進することは比較的容易で多くのフィギュア (例: Foxtrot における Feather 系の動作など) にみられる。回転動作においても右回転である Natural Turn の場合、男子 1 歩目を右足 Outside Partner に前進する場合も多くみられる。これに対し、左足の、Partner の左外側への前進 (Outside Partner on Left Side) には、かなりの技術を要し、少数のフィギュア (Wing の後続フィギュアなど) に限られる。

Hold における男女のずれは、足の位置だけでなく、男女それぞれの重心と、Couple としての重心の動きにも大きな影響を与える。男女が左側にずれているため、Natural Turn 前半の場合、男子の重心は回転中 Couple の重心移動線の左側にあるが、Reverse Turn の前半の場合は、男子の重心は回転中 Couple の重心移動線の左側から右側に移動することになる。すなわち、Outside Turn に先立ち、Inside Turn の部分があることになる。このため、男女の位置、速度、加速度は左右の回転は対称ではない。これらを注目した回転の力学的解析を以下の章で述べる。

3. 回転の解析方法

3・1 解析モデル

本報対象の左回転 (Reverse Turn, 正回転) および右回転 (Natural Turn, 負回転) において、Couple の重心の運動は前半、後半それぞれ直線運動とする。男女それぞれの Dancer の重心の運動はこの Couple 重心の直線運動に Couple 重心回りの回転運動で記述する。回転のスタートの Couple 重心位置を原点とし、LOD 方向に x 軸、Centre 方向に y 軸をとる。Syllabus 記述上は Waltz の Natural Turn, Reverse Turn はカウント 1 からであるが、実際にはその前のカウント 3 の後半から回転動作 (CBM) が始まるので、時間 t の原点は前のカウント 3 の中間とする。

質量, 運動:

女子の質量を m_L , 男子の質量を m_M とし、Couple としての質量は $m = m_L + m_M$ 。回転の運動は Couple としての並進運動と、Couple の重心回りの回転運動の和として解析する。Couple としての重心移動は重心の進行方向に沿って長さ $l_c(t)$, および、距離座標 $x = x_c(t)$, $y = y_c(t)$ で表わす。

重心回りの回転角を女子重心 θ , 男子重心 $\theta + \pi$ で表す。 θ は身体の向きではなく、Couple 重心と女子重心を結ぶ線の LOD からの傾斜で定義する。もし、男子が LOD に向き、女子が左右のずれなく (正対), LOD に背面するとすれば、 $\theta = 0$ となる。(実際は後述のように左右のずれがある。) Couple 重心からの距離 (回転半径) を男女重心それぞれ $r = \rho_L$, $r = \rho_M$ とし、変化しないものとする。重心の定義より、 $m_L \rho_L = m_M \rho_M$

並進の運動エネルギー K_T と回転の運動エネルギー K_R の合計の運動エネルギー K_{Total} は

$$K_{Total} = K_T + K_R = \frac{1}{2} m \left(\frac{dl_c}{dt} \right)^2 + \frac{1}{2} (m_L \rho_L^2 + m_M \rho_M^2) \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 \quad (2)$$

である。女子、男子の重心位置はそれぞれ、

$$\text{Lady} \quad x_L = x_c + \rho_L \cos \theta \quad y_L = y_c + \rho_L \sin \theta \quad (3)$$

$$\text{Man} \quad x_M = x_c - \rho_M \cos \theta \quad y_M = y_c - \rho_M \sin \theta \quad (4)$$

速度は,

$$\text{Lady} \quad \frac{dx_L}{dt} = \frac{dx_C}{dt} - \rho_L (\sin \theta) \frac{d\theta}{dt} \quad \frac{dy_L}{dt} = \frac{dy_C}{dt} + \rho_L (\cos \theta) \frac{d\theta}{dt} \quad (5)$$

$$\text{Man} \quad \frac{dx_M}{dt} = \frac{dx_C}{dt} + \rho_M (\sin \theta) \frac{d\theta}{dt} \quad \frac{dy_M}{dt} = \frac{dy_C}{dt} - \rho_M (\cos \theta) \frac{d\theta}{dt} \quad (6)$$

加速度は,

$$\text{Lady} \quad \frac{d^2x_L}{dt^2} = \frac{d^2x_C}{dt^2} - \rho_L (\cos \theta) \left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2 - \rho_L (\sin \theta) \frac{d^2\theta}{dt^2} \quad \frac{d^2y_L}{dt^2} = \frac{d^2y_C}{dt^2} - \rho_L (\sin \theta) \left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2 + \rho_L (\cos \theta) \frac{d^2\theta}{dt^2} \quad (7)$$

$$\text{Man} \quad \frac{d^2x_M}{dt^2} = \frac{d^2x_C}{dt^2} + \rho_M (\cos \theta) \left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2 + \rho_M (\sin \theta) \frac{d^2\theta}{dt^2} \quad \frac{d^2y_M}{dt^2} = \frac{d^2y_C}{dt^2} + \rho_M (\sin \theta) \left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2 - \rho_M (\cos \theta) \frac{d^2\theta}{dt^2} \quad (8)$$

となる.

慣性力:

Dancer の慣性力は加速度により示される. 慣性力の身体の横方向成分は, 前報に示した Sway の制御, および, 両足と Floor の間の左右の接触力により Balance される. 身体前後方向の慣性力も主として, 前後の重心傾斜, および, Floor と両足の接触力と Balance されると考えるべきであるが, 実際には Partner との間の Hold の力も存在する. このため, Dancer は, Partner 方向の慣性力を意識し, 回転動作に関係するときは, それを, 遠心力と解釈する人も多い. (前報に示したようにその理解は正しくないが). いずれにせよ, 慣性力の Partner 方向成分の解析は, 回転動作の改善に寄与すると考える. Partner 方向の慣性力 (内向きの力を正) は (Couple 重心の) 並進の加速度の項と Couple 重心回りの遠心力の項

$$a_{CC} = \frac{d^2x_C}{dt^2} \cos \theta + \frac{d^2y_C}{dt^2} \sin \theta \quad (9)$$

$$F_{\text{Centrifugal}} = m_L \rho_L \left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2 = m_M \rho_M \left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2 \quad (10)$$

から成る. すなわち, 女子, 男子それぞれが Partner 方向に感じる慣性力は

$$\text{Lady: } F_{\text{IL}} = m_L a_{CC} - F_{\text{Centrifugal}} \quad (11)$$

$$\text{Man: } F_{\text{IM}} = -m_M a_{CC} - F_{\text{Centrifugal}} \quad (12)$$

となる. 右辺 1 項目, 並進の項は男女が互いに向き合っているため, 符号が逆になるのに対し, 2 項目の遠心力の項は同符号となるのに注目を要する. すなわち, Dancer の感じる慣性力のうち, 末尾項のみが真の遠心力によるものである.

進行方向, 回転量:

Reverse Turn は中央斜め (DC) 開始であるので, 前半の Couple 重心の軌跡は $y_C(t) = x_C(t)$ である. Natural Turn

は壁斜め (DW) 方向に始めるから, 前半の Couple 重心の軌跡は $y_C(t) = -x_C(t)$ である. Natural Turn, Reverse

Turn とともに後半は LOD に沿っているため, $y_C = \text{Const.}$ である. Couple 重心の前半または後半の移動距離 L を,

Reverse Turn 前半 L_{VF} , 後半 L_{VE} , Natural Turn 前半 L_{NF} , 後半 L_{NE} とする. Reverse Turn の回転量は前半, 後半とも

に $\theta_s = (3/4)\pi$, Natural Turn の回転量は, $\theta_s = -(3/4)\pi$ である.

Hold のずれの表示: 男女間の Hold のずれは, ずれのない正対しているときからの角度 β で表す. (図 2).

Reverse Turn の前半は $(\pi/4)$ 方向の進行であるので、 $t=0$ における角度 θ の初期値は、女子 $\theta_{0,Rev} = (\pi/4) - \beta$ 、男子 $\theta_{0,Rev} + \pi$ 、Natural Turn においては $-(\pi/4)$ 方向進行なので、女子 $\theta_{0,Nat} = -(\pi/4) - \beta$ 男子 $\theta_{0,Nat} + \pi$ となる。

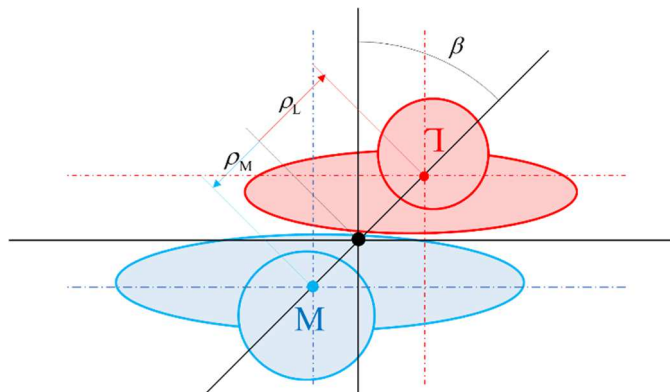


Fig. 2 Relative positions of dancers. M:Man, L:Lady, ρ : Distance of the centre of gravity of each dancer from the centre of gravity of the couple. β : Deviation Angle of centre of gravity direction from the facing direction.

3・2 並進運動および回転運動の関数形

Reverse Turn, Natural Turn の運動パターンを上述のモデルに入れば、回転中の力学的関係の力などが求められる。運動パターンの関数形としては、最も自然と考えられる調和運動を適用する。

並進運動の関数形 : Couple 重心移動 l_c の時間に対する経過は、前報 (塩谷, 2017, Shioya, 2018b) で示した始点、終点とも速度、加速度が零となる調和関数を用いる。すなわち、

$$l_c = L \left\{ \left(\frac{t}{T} \right) - \frac{1}{2\pi} \sin \left(\frac{2\pi t}{T} \right) \right\} \quad (13)$$

ここで T は回転の始点-終点間の時間、Waltzの1小節の時間である。Reverse Turn, Natural Turnともに、前半、後半同一の関数形とする。Couple 重心位置 (前半) は

$$\text{Reverse Turn } y_c = x_c = \frac{L_{VF}}{\sqrt{2}} \left\{ \left(\frac{t}{T} \right) - \frac{1}{2\pi} \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} \right) \right\} \quad (14)$$

$$\text{Natural Turn } -y_c = x_c = \frac{L_{NF}}{\sqrt{2}} \left\{ \left(\frac{t}{T} \right) - \frac{1}{2\pi} \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} \right) \right\} \quad (15)$$

Couple 重心速度は上式を微分して得られ、例えば Reverse Turn 前半の最大速度は $t/T=1/2$ のとき、

$$(dl_c / dt) = 2(L_{VF} / T) \quad (16)$$

同様に Couple 重心加速度は速度をさらに微分して得られる。Reverse Turn 前半は

$$\text{最大加速度は } \frac{t}{T} = \frac{1}{4} \text{ のときで } \frac{d^2 l_c}{dt^2} = \frac{(2\pi) L_{VF}}{T^2} \quad (17)$$

$$\text{最大減速度は } \frac{t}{T} = \frac{3}{4} \text{ のときで } \frac{d^2 l_c}{dt^2} = -\frac{(2\pi) L_{VF}}{T^2} \quad (18)$$

となる。Reverse Turn 後半, Natural Turn 前半, 後半とも同様にして求められる。

回転運動の関数形 : 回転の時間経過に関しても並進運動と同様の関数を用いる。すなわち、

$$\theta(t) = \theta_0 + \theta_s \left\{ \left(\frac{t}{T} \right) - \frac{1}{2\pi} \sin \left(\frac{2\pi t}{T} \right) \right\} \quad (19)$$

角度の初期条件 $\theta = \theta_0$ は Hold のずれに依る値であることに注意を要する. 回転量 θ_s は

$$\text{Reverse Turn } \theta_{s,\text{Rev}} = (3/4)\pi, \quad \text{Natural Turn } \theta_{s,\text{Nat}} = -(3/4)\pi \quad (20)$$

である. 重心回りの角速度, 角加速度については順に微分することにより得られる.

3・3 回転時の Partner 方向に感じる慣性力の評価方法

さきに述べたように, Couple Dance における慣性力は, それぞれの Dancer が Partner 方向 (Couple 重心方向) に感じる成分で評価するのが適していると考えられる. 本報では, これを右回転と左回転の比較の中心項目とする.

具体的には, Reverse Turn 前半の女子, 男子が感じる Partner 方向慣性力 F_{ILVF} , F_{IMVF} は, 式 (11) (12) より,

$$F_{\text{ILVF}} = m_L \left\{ \frac{d^2 x_C}{dt^2} \cos \theta + \frac{d^2 y_C}{dt^2} \sin \theta - \rho_L \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 \right\} = m_L \left[\left\{ \frac{(2\pi)}{T^2} \frac{L_{\text{VF}}}{\sqrt{2}} \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} \right) \right\} (\sin \theta + \cos \theta) - \rho_L \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 \right] \quad (21)$$

$$F_{\text{IMVF}} = -m_M \left\{ \frac{d^2 x_C}{dt^2} \cos \theta + \frac{d^2 y_C}{dt^2} \sin \theta + \rho_M \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 \right\} = -m_M \left[\left\{ \frac{(2\pi)}{T^2} \frac{L_{\text{VF}}}{\sqrt{2}} \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} \right) \right\} (\sin \theta + \cos \theta) + \rho_M \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 \right] \quad (22)$$

Natural Turn 前半においては女子, 男子それぞれ

$$F_{\text{ILNF}} = m_L \left\{ \frac{d^2 x_C}{dt^2} \cos \theta + \frac{d^2 y_C}{dt^2} \sin \theta - \rho_L \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 \right\} = m_L \left[\left\{ \frac{(2\pi)}{T^2} \frac{L_{\text{NF}}}{\sqrt{2}} \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} \right) \right\} (\cos \theta - \sin \theta) - \rho_L \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 \right] \quad (23)$$

$$F_{\text{IMNF}} = -m_M \left\{ \frac{d^2 x_C}{dt^2} \cos \theta + \frac{d^2 y_C}{dt^2} \sin \theta + \rho_M \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 \right\} = -m_M \left[\left\{ \frac{(2\pi)}{T^2} \frac{L_{\text{NF}}}{\sqrt{2}} \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} \right) \right\} (\cos \theta - \sin \theta) + \rho_M \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 \right] \quad (24)$$

となる.

4. 左右回転の解析結果の比較と考察

前章の解析方法に基づき, 具体的に Dancer の運動を図に示し左右回転の比較を行ない, さらに, Parameters の影響を調べる.

4・1 回転運動の軌跡, 速度, エネルギー, 慣性力の比較

まず, Waltz の標準 Tempo, 回転角度, 具体的な Dancer の Swing 距離, 体重, Hold のずれ位置 β , Couple 内の男女の重心距離に代表的具体的数値を与えて求めた結果を, 図 3-10 に示す. 図 3 は Reverse Turn (左回転) における, 女子 (赤), 男子 (青) の重心軌跡, 図 4 は, Natural Turn (右回転) における軌跡である. 一点鎖線は Couple 重心軌跡である. Reverse Turn においては, 回転の途中でそれぞれの Dancer が Couple 重心線を横切って, 内側回転, 外側回転を入れ替わるのに対し, Natural Turn においては, 1 回の Swing (前半または後半) において, 内側回転, 外側回転の入れ替わりがないことがわかる.

図 5, 6 は, それぞれの Dancer の移動速度である. 横軸に前半の時間を Swing 時間を基準として表示している. Reverse Turn と Natural Turn を比較すると, 速度 Pattern が異なることがわかる. 速度の最大位置はともに大体時間の中間付近ではあるが, 若干 Peak 位置のずれがある. また, Reverse Turn においては, 女子, 男子の速度差は大きくないが (Peak 比較で 1.18 倍), Natural Turn (前半) においては, 男子の速度は女子の速度よりかなり大き

い (Peak 比較で 1.68 倍). これは, Reverse Turn においては速度の大きい外側回転と速度の小さい内側回転が入れ替わるのに対し, Natural Turn においては, 入れ替わりがないためである. 全体として Natural Turn の速度が大きいのは, Swing 距離が大きいことによる.

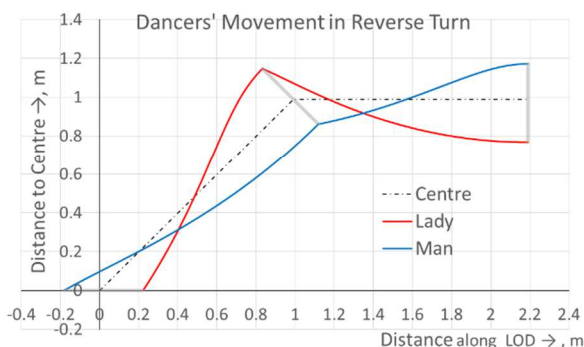


Fig. 3 Dancers' positions in Reverse turn in Waltz. Tempo 28 bpm, Swing Length $L_{VF}=1.4$ m, $L_{VE}=1.2$ m, Dancers' mass $m_L=45$ kg, $m_M=55$ kg, Amount of Turn $\theta_s=(3/4)\pi$, Deviation angle $\beta=\pi/4$, Moment of mass $m_{LP}L=m_{MP}M=10$ kgm.

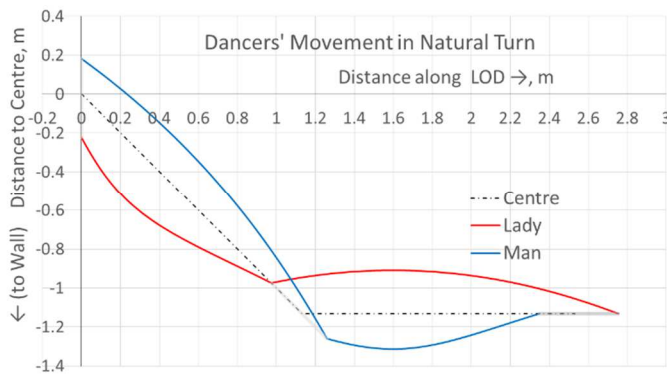


Fig. 4 Dancers' positions in Natural turn in Waltz. Tempo 28 bpm, Swing Length $L_{NF}=1.6$ m, $L_{NE}=1.4$ m, Dancers' mass $m_L=45$ kg, $m_M=55$ kg, Amount of Turn $\theta_s=-(3/4)\pi$, Deviation angle $\beta=\pi/4$, Moment of mass $m_{LP}L=m_{MP}M=10$ kgm.

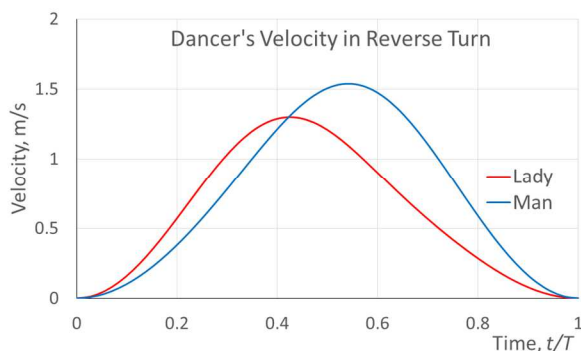


Fig. 5 Dancers' velocities in 1-3 of Reverse turn in Waltz. Tempo 28 bpm, Swing Length $L_{VF}=1.4$ m, Dancers' mass $m_L=45$ kg, $m_M=55$ kg, Amount of Turn $\theta_s=(3/4)\pi$, Deviation angle $\beta=\pi/4$, Moment of mass $m_{LP}L=m_{MP}M=10$ kgm.

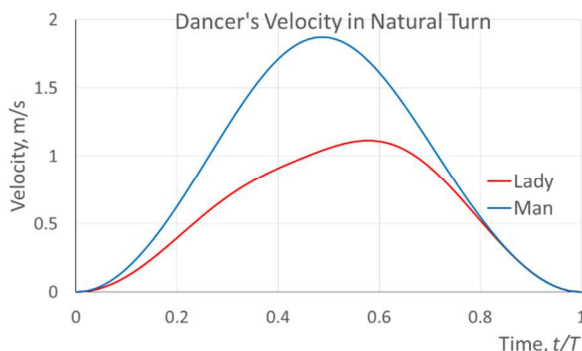


Fig. 6 Dancers' velocities in 1-3 of Natural turn in Waltz. Tempo 28 bpm, Swing Length $L_{NF}=1.6$ m, Dancers' mass $m_L=45$ kg, $m_M=55$ kg, Amount of Turn $\theta_s=-(3/4)\pi$, Deviation angle $\beta=\pi/4$, Moment of mass $m_{LP}L=m_{MP}M=10$ kgm.

図 7, 8 は, 各 Dancer の慣性力の Partner 方向 (Couple 重心方向) 成分である. 横軸は Swing 時間を基準とした時間である. 黒点線は, 回転の遠心力のみによる分, すなわち式 (9) である. 赤, 青の点線はそれぞれ女子, 男子の慣性力のうち, Couple 重心並進運動による分, すなわち式 (8) にそれぞれの質量をかけた値である. 女子, 男子の向き (Facing direction) が逆なので, Couple 重心向きの成分は逆符号となる. Swing 時間の中間付近では遠心力の寄与がかなりあるが, Swing 開始, 終了付近では, 並進運動による成分が支配的である.

Reverse Turn (左回転) と Natural Turn (右回転) を比較すると, 大きな特徴として, Reverse Turn においては, Swing 前半と後半において, 慣性力の山・谷が逆転するのに対し, Natural Turn においては, Swing 前半と後半で同じ方向の山・谷が出現することである. 具体的な感覚を以下に説明する. Reverse Turn において, 女子は Swing 前半で, 男子方向への慣性力を感じるが, Swing 後半では, 離れる方向への慣性力となる. 一方, Natural Turn においては, 女子は Swing 前半では Reverse Turn と同様男子方向の慣性力であるが, Swing 中間で一旦慣性力が男子から離れる方向になるが, Swing 後半において再び男子方向への慣性力となる. 男子に関しては, Reverse Turn

では, Swing 前半は女子から離れる方向の慣性力の Peak があり, 次第に減少に向かい, Swing 後半で女子方向の慣性力が出現するが, その値は小さい. 一方, 男子の Natural Turn においては, Swing の前半, 後半それぞれに女子から離れる方向の慣性力の Peak が出現するが, 逆方向の慣性力となることはない.

上記の Peak の位置や大きさなどは, Parameters の影響による. これについては次節で明らかにする.

それぞれの Dancer にかかる慣性力は, 本人の左右の Sway や前後の重心の傾斜による Moment により, 独立に Balance させ, Partner に負担をかけないのが理想であるが, 現実には, Partner 間に相互力が存在する. 特に男子の右手による Hold 力の加減は, Couple Dance における大きな課題の一つである. Dancer は自分にかかる慣性力は自然とを感じるが, Partner にかかっている慣性力は同じではないと認識すべきであり, Reverse Turn と Natural Turn においてその様相がかなり異なることを理解することが, Dance の改善につながると考える.

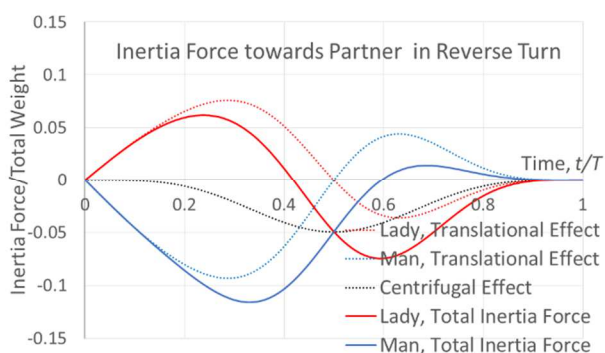


Fig. 7 Inertia Force towards Partner in 1-3 of Reverse turn in Waltz. Tempo 28 bpm, Swing Length $L_{VF}=1.4$ m, Dancers' mass $m_L=45$ kg, $m_M=55$ kg, Amount of Turn $\theta_S=(3/4)\pi$, Deviation angle $\beta=\pi/4$, Moment of mass $m_{LP}=m_{MP}=10$ kgm.

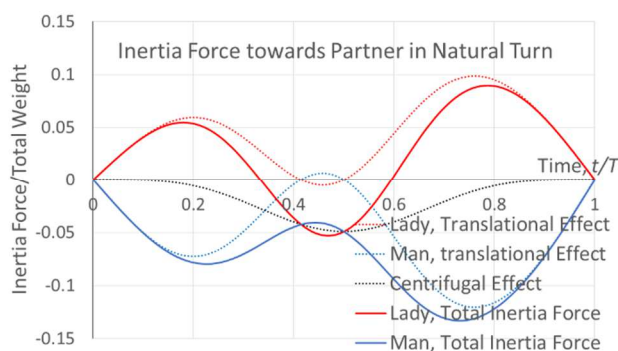


Fig. 8 Inertia Force towards Partner in 1-3 of Natural turn in Waltz. Tempo 28 bpm, Swing Length $L_{NF}=1.6$ m, Dancers' mass $m_L=45$ kg, $m_M=55$ kg, Amount of Turn $\theta_S=-(3/4)\pi$, Deviation angle $\beta=\pi/4$, Moment of mass $m_{LP}=m_{MP}=10$ kgm.

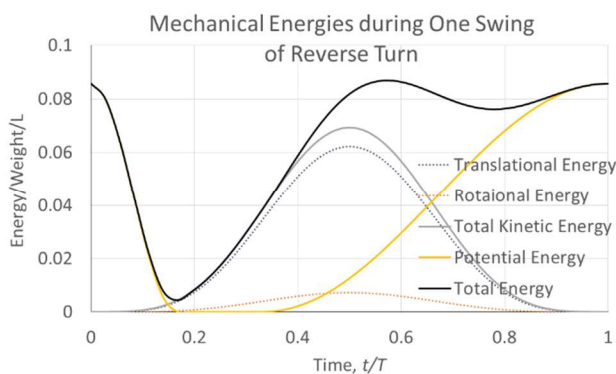


Fig. 9 Mechanical energy changes during 1-3 of Reverse turn in Waltz. Tempo 28 bpm, Swing Length $L_{VF}=1.4$ m, Dancers' mass $m_L=45$ kg, $m_M=55$ kg, Amount of Turn $\theta_S=(3/4)\pi$, Moment of mass $m_{LP}=m_{MP}=10$ kgm, $H=0.12$ m.

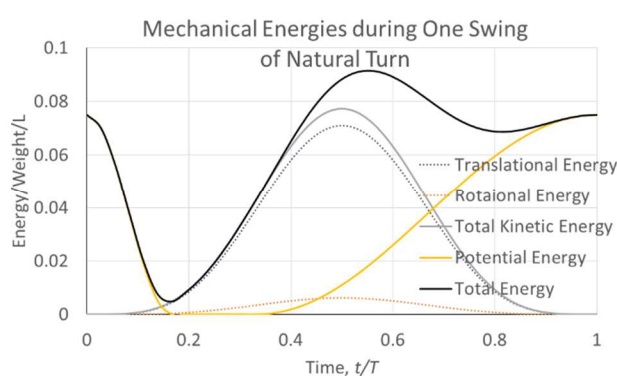


Fig. 10 Mechanical energy changes during 1-3 of Natural turn in Waltz. Tempo 28 bpm, Swing Length $L_{NF}=1.6$ m, Dancers' mass $m_L=45$ kg, $m_M=55$ kg, Amount of Turn $\theta_S=-(3/4)\pi$, Moment of mass $m_{LP}=m_{MP}=10$ kgm, $H=0.12$ m.

図 9, 10 は, 回転時の力学的エネルギーの変化を示したものである. H は Couple 重心高さである. 前前報 (塩谷, 2016, Shioya, 2018a) においてボールルームダンスにおける上下運動を解析し, 重心の高さによる Potential Energy と Dancer の Swing による運動 Energy について論じた. 本報においては回転の運動 Energy の効果 (赤点線) を加えて表示している. Swing の中間付近では, 多少影響があるが, 全体の Energy にはほとんど寄与しないことがわ

かる。Reverse Turn と Natural Turn の相違は、単に Swing の長さによるもので、本質的な差はない。

4・2 左右回転に影響する因子の考察

左回転と右回転の相違は上記で示されたが、それらが、パラメータによりどのように影響を受けるかを慣性力に焦点を当て以下に考察する。左右の回転の相違は、Hold のずれ量に起因しているので、まず、ずれ量を示す角度 β を Parameter とする左右の回転時の Partner 方向慣性力を図 11, 12 に示す。 $\beta = 0$ は男女がずれなしで正対している場合であり、理論上 Reverse Turn と Natural Turn の差はなく、図 11 の $\beta = 0$ と、図 12 の $\beta = 0$ は同じ形状であり、わずかな差は Swing 長さによるものである。 β が大きくなるにつれ (男女の横方向ずれが増大), Inertia Force の形状は Reverse Turn, Natural Turn それぞれ特有のものになっていくことがわかる。

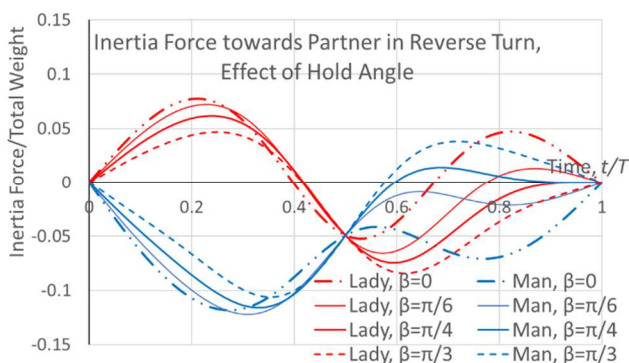


Fig. 11 Inertia Force towards Partner in 1-3 of Reverse turn in Waltz. Effect of Deviation angle β . Tempo 28 bpm, Swing Length $L_{VF}=1.4$ m, Dancers' mass $m_L=45$ kg, $m_M=55$ kg, Amount of Turn $\theta_s=(3/4)\pi$, Moment of mass $m_{LP}=m_{MP}=10$ kgm.

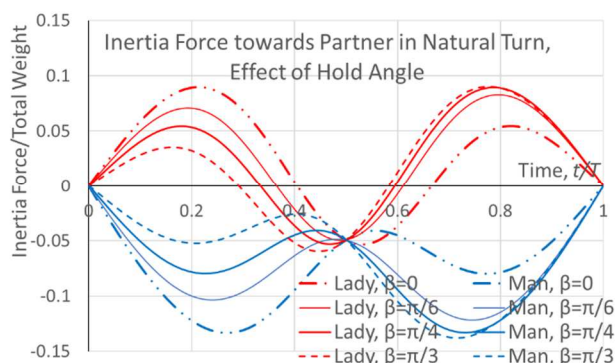


Fig. 12 Inertia Force towards Partner in 1-3 of Natural turn in Waltz. Effect of Deviation angle β . Tempo 28 bpm, Swing Length $L_{NF}=1.6$ m, Dancers' mass $m_L=45$ kg, $m_M=55$ kg, Amount of Turn $\theta_s=-(3/4)\pi$, Moment of mass $m_{LP}=m_{MP}=10$ kgm.

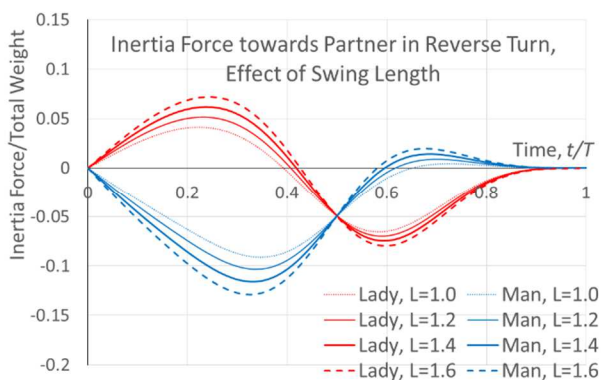


Fig. 13 Inertia Force towards Partner in 1-3 of Reverse turn in Waltz. Effect of Swing Length, L . Tempo 28 bpm, Dancers' mass $m_L=45$ kg, $m_M=55$ kg, Amount of Turn $\theta_s=(3/4)\pi$, Deviation angle $\beta=\pi/4$, Moment of mass $m_{LP}=m_{MP}=10$ kgm.

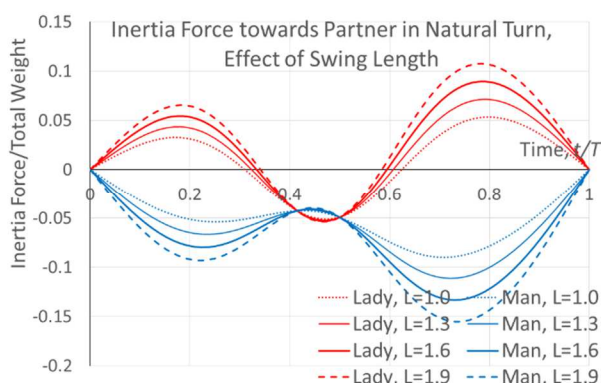


Fig. 14 Inertia Force towards Partner in 1-3 of Natural turn in Waltz. Effect of Swing Length, L . Tempo 28 bpm, Dancers' mass $m_L=45$ kg, $m_M=55$ kg, Amount of Turn $\theta_s=-(3/4)\pi$, Deviation angle $\beta=\pi/4$, Moment of mass $m_{LP}=m_{MP}=10$ kgm.

次に、Swing の長さの影響を調べる。本解析において次元を考察すれば、時間に関しては、1 スウィングの時間であるが、標準 Tempo, 指定フィギュアならば、ほぼ一定であり、長さに関しては、Couple の男女の重心距離と

1 スウィングの距離の比である。Swing 長さの影響は、具体的には、Inertia Force に対する並進運動による寄与と遠心力による寄与の割合が変化することである。図 13, 14 は、Reverse Turn, Natural Turn それぞれにおける、Swing 長さの影響を示したものである。Swing 長さが長くなるほど（歩幅が大きいほど）並進運動による寄与が大きくなることが示されている。

女子/男子の質量比の Inertia Force への影響を図 15, 16 に示す。質量比がかなり変化しても（男女の質量比が逆転しても）あまり大きな差を生じないことが示されている。

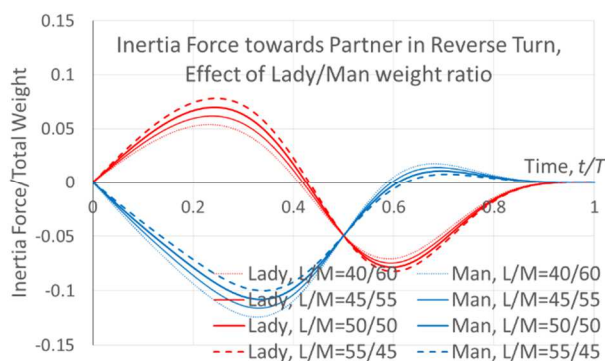


Fig. 15 Inertia Force towards Partner in 1-3 of Reverse turn in Waltz. Effect of Mass ratio, m_L/m_M . Tempo 28 bpm, Swing Length $L_{VF}=1.4$ m, Dancers' total mass $m_L+m_M=100$ kg, Amount of Turn $\theta_S=(3/4)\pi$, Moment of mass $m_{LP}L=m_{MP}M=10$ kgm.

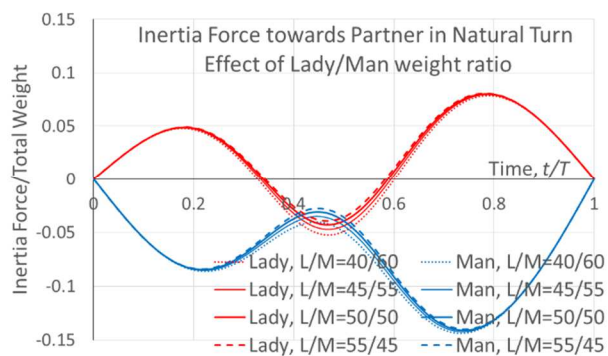


Fig. 16 Inertia Force towards Partner in 1-3 of Natural turn in Waltz. Effect of Mass ratio, m_L/m_M . Tempo 28 bpm, Swing Length $L_{NF}=1.6$ m, Dancers' total mass, $m_L+m_M=100$ kg. Amount of Turn $\theta_S=-(3/4)\pi$, Moment of mass $m_{LP}L=m_{MP}M=10$ kgm.

5. 結 語

ボールルームダンスにおける左回転と右回転の相違を力学的見地から明らかにした。左右の回転の差は、男女の Hold が互いに若干左寄りであることから生じることが主因である。

左回転においては男女の移動線が交差するのに対し、右回転では交差せず、速度のピークは、左右の回転で異なることが示された。Dancer にとって重要な Partner 方向の慣性力は左右回転で Pattern が大きく異なることが示された。また Hold 位置、Swing 長さなど Parameters による影響も示された。

ボールルームダンスのルールである室内左回りの進行方向のため生じる左右回転の差についても述べた。

文 献

- (1) ISTD (The Imperial Society of Teachers of Dancing). "The ballroom technique", 1st edition (1944), 10th edition (1982), pp. 1-134.
- (2) ISTD (The Imperial Society of Teachers of Dancing), "Viennese waltz", B. D. C. recommended version (2001). Code 105, 1-8.
- (3) 塩谷義, "ボールルームダンスにおける身体の上下運動の解析", 日本機械学会講演論文集 No. 16-40 (2016), C9.
- (4) 塩谷義, "ボールルームダンスおよびその他のスポーツにおける身体のスウェイの解析", 日本機械学会講演論文集 No. 17-43 (2017), D1.
- (5) SHIOYA, T. , "Analysis of Swing Movement in Ballroom Dancing", *The International Sports Engineering Association Conference, ISEA 2018, Brisbane, Australia, 26 to 29 March 2018, MDPI-Proceedings Volume 2, ISEA 2018a, 2 (6), 224*,
- (6) SHIOYA, T. , "Analysis of Sway in Ballroom Dancing", *The International Sports Engineering Association Conference, ISEA 2018, Brisbane. Brisbane, Australia, 26 to 29 March 2018, MDPI-Proceedings Volume 2, ISEA 2018b, 2 (6), 223*