

## なぜウィンブルドン 2013 においてテニス選手の怪我による棄権が続出したのか — テニスにおける身体操法の改善提案 —

川副嘉彦（川副研究室）

### 1. はじめに

テニスのウィンブルドン選手権 2013 では、パワーあふれる好ゲームが展開されたが、滑って転倒したり、怪我で棄権する選手が続出した。第3日は、怪我で棄権する選手の数が7人にのぼり、「史上まれにみる異常な事態」（英BBCテレビ）となった。ロイター通信は同日、「ウィンブルドンの暗黒の日」と伝えた。国際テニス連盟（ITF）によると、1968年のオープン化以降の四大大会で1日の棄権者数としては過去最多という。芝コートの表面が滑りやすくなっているとクレームを伝えた選手もいたが、大会主催者側は「例年と何も変わっていない」と述べ、クレームを一蹴した。しかし、一歩間違ったら惨事になるような転び方はきわめて危険であり、障害防止対策の問題が残る。ウィンブルドン・テニス 2013 において、悲願の地元優勝を果たしたアンディ・マレー（英国）は、その後、腰の手術を受け、予定されていた3大会の全てをキャンセルし、今後のスケジュールも白紙の状態であると報道された。各種のテニス障害は異なるコート面でのプレーに関係し、テニス障害の発生率、プレーヤーの動き、スリップのバイオメカニクスなどの新しい研究が始まっており、将来のテニスコートの規則の見直しも想定して、テニスプレーヤーとコート面の相互作用の評価に向けての新しい方向が検討されている（川副 2013）。

一方、テニスコートのサーフェスの検討や改良の方向とは別に、滑ったり転倒したりしにくい俊敏な身体操法の研究も重要である。うねって力を伝える鞭の原理の有効性はよく知られており、鞭の先端は音速を超えるほどの威力を発するが、鞭がしななって順々に力を伝えるまでに距離と時間がかかる。さらに、鞭の原理の場合は強い踏ん張りが必要なために身体を痛めることが多いが、身体全体をうまく組み合わせると使えるようになると身体の各部位にかかる負担が少なくてすむという指摘がある。

本研究では、テニスの傷害事例やフットワークの問題点を探り、直立二足歩行ロボットを用いた実験も併用して、エネルギー消費が少なく、摩擦や凹凸の大小など地面の状態に影響されにくく、滑ったり転倒したりしにくい俊敏な身体操法について考察し、フットワークの改善策を探った。

### 2. 過剰駆動力の制御と状態遷移による地面を蹴らない多様な動きとエネルギー消費量

二足歩行ロボットのすべての関節を同時並列に動かして、動きを阻害する過剰駆動力を制御して状態（姿勢）を形成することにより巧みな動きが発現する。たとえば、左脚を前に出して左脚に重心を乗せた前傾姿勢（状態1）から右脚を前に出した姿勢（状態2）に不安定な転倒力を利用して遷移することにより、その場で瞬間的に右回りに180度方向転換することができる（川副 2006、2013）。

常時バランスをとりながら動く平衡点安定の（一般的）動きとバランスを崩して動く平衡点不安定の動き（ナンバ的と称する）の俊敏性と消費エネルギーの比較を繰り返しサイドステップの例で試みた。ロボットは、脚部10自由度、腕部6自由度、頭部1自由度、全高約350mm、総質量1.3kgである。サイドステップの移動距離を10cmに調整し、バッテリーが消耗して転倒するまで繰り返しサイドステップ動作を行わせ、繰り返しの連続回数と連続時間を10回の試行について測定した。図1は、摩擦の少ない滑らかなテーブル上での平衡点不安定なナンバ的動きのコマ写真の例である。図2(a)は、滑らかなテーブル上での平衡点安定の動きと平衡点不安定のナンバ的動きの比較であり、バッテリー消費までの時間はそれぞれ約10分と12分であり、ナンバ的ステップの場合の繰り返し数は、平衡点安定のステップの場合の約2倍である。図2(a)は摩擦の大きなカーペット上での比較であり、バッテリー消費までの時間はそれぞれ約10分と11分であり、ナンバ的ステップの場合の繰り返し数は、平衡点安定のステップの場合の2倍以上である。すなわち、平衡点不安定を利用するナンバ的ステップ動作は、

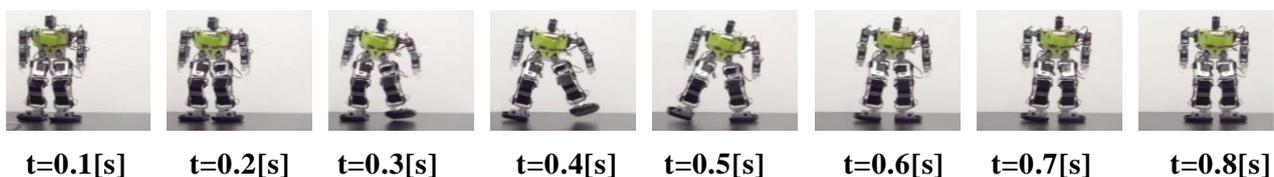
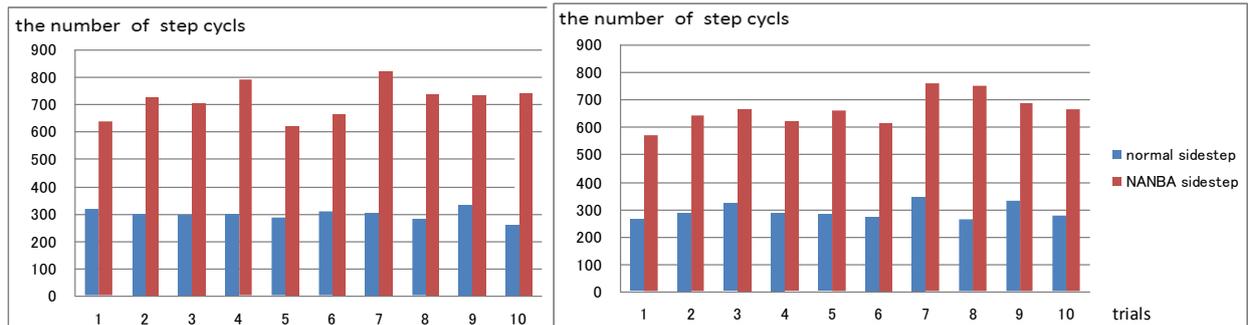


図1 平衡点不安定なナンバ的サイドステップ動作（摩擦の少ない滑らかなテーブル上での場合）



(a) 滑らかなテーブル上 (b) 摩擦の大きなカーペット上  
 図2 バッテリーが消耗するまでのサイドステップ繰り返し数 (10回の試行)

速度が速く、バッテリー消耗までの連続動作回数が多く、長い時間動作できる。バッテリーが消耗しかかってくると、平衡点安定を保ちながらの動きは動作が不完全で転倒しやすくなるが、平衡点不安定を利用する動きはバッテリーが消耗しかかっても動作が確実で転倒しにくい。図3は、転倒力を利用する走りの原理であり、すべての関節（角度）を同一所要時間で動かして、胴体、上肢、脚部を瞬間的に一体にして姿勢（状態）を形成する。左右の脚の切り替えタイミングを変えることにより、歩幅と前進速度が可変になる。図4は、不安定を利用する状態遷移による非線形制御の基本原理である。図4(a)のように、糸で吊り下げられた質量Mの支点AをBの位置へABだけステップ状に移すと、質量Mは振り子となってBの真下を通過し他端で一瞬停止する。その瞬間に支点をBからDへBDだけ移せば、質量Mは再び振り子となって、振動を繰り返しながら前進する。エネルギー源は支点の移動である。操作量の切換は、図4(b)のように、質量Mの速度  $dx/dt$  がゼロの瞬間に行う。急停止の場合は、支点をBからCへBCだけステップ状に移せばよい（川副 2013）。

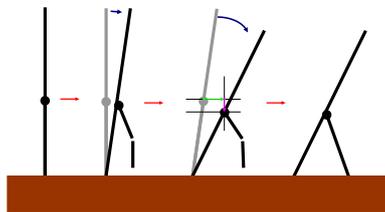


図3 ナンバ的走りの原理

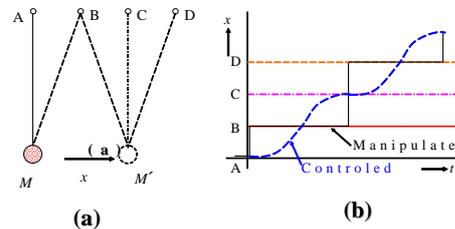


図4 不安定を利用する状態遷移の原理

### 3. おわりに

米国消費者製品安全委員会（2010）では、従来のラケットに比べてストリング面のサイズが大きい軽量ラケットの振動が大きいこと（Kawazoeほか2010, 2013）を指摘して、たとえば、ラケットの振動が0.2秒以上残留しないようにラケットの安全特性基準をメーカーに要望し、基準を満たさない場合はリコールの対象とするなど、テニス肘の障害防止の試みも始まっている。

### 文 献

- 1) 川副嘉彦, “パワーテニスにおける滑りにくい転倒しにくい身体負荷の少ない省エネ・フットワーク”, 日本機械学会シンポジウム: スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス 2013 CD-ROM 論文集, No.13-34 (2013), 141, pp.1-10.
- 2) “Federal Consumer Safety Product Commission Brief on Tennis Arm Injuries Epidemic”, *U.S. Consumer Product Safety Commission*, (2010), pp. 1- 12.  
<http://www.tennisclassaction.com/downloads/CSPCWritOfMandamus.pdf>
- 3) Kawazoe, Y., Takeda, Y., Nakagawa, M., Casolo, F., Tomosue, R. and Yoshinari, K., “Prediction of Impact Shock Vibrations at Tennis Player’s Wrist Joint: Comparison between Conventional Weight Racket and Light Weight Racket with Super Large Head Size, *Journal of System Design and Dynamics*, Vol.4, No.2 (2010), pp. 331 - 347  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsdd/4/2/4\\_2\\_331/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsdd/4/2/4_2_331/_pdf) (以下省略)