

バイオメカニクスからみた スプリント走の基本

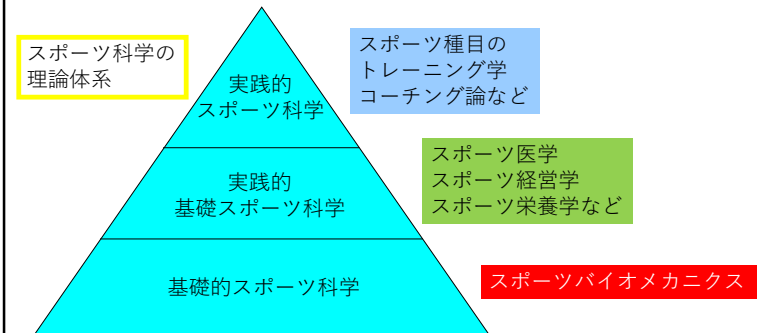


御殿場高校 鈴木 俊輔

1

スポーツバイオメカニクスとは

スポーツにおける運動、人、用具・施設について
力学的観点から研究するスポーツ科学の基礎的領域



2

バイオメカニクスサポート

バイオメカニクスサポートとは、競技力向上に役立つ
データを現場に効果的にフィードバックすること

日本陸連のバイオメカニクスサポート

1. バイオメカニクスデータの収集と蓄積
2. 一流選手の技術の分析と考察
3. 得られた情報の普及 ～書籍、SNS、講習会等～
4. 一流選手へのフィードバック、合宿でのセミナー
5. 一流選手への即時的フィードバック
～研修合宿、トレーニングにおいて～

3

日本陸連科学委員会のサポート

1991年世界陸上東京大会より始動
⇒男子100mでルイスが9秒86の世界新

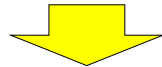


4

バイオメカニクスデータの利用

疾走動作に関して一流選手の特徴が明らかになってきた

この科学的知見により

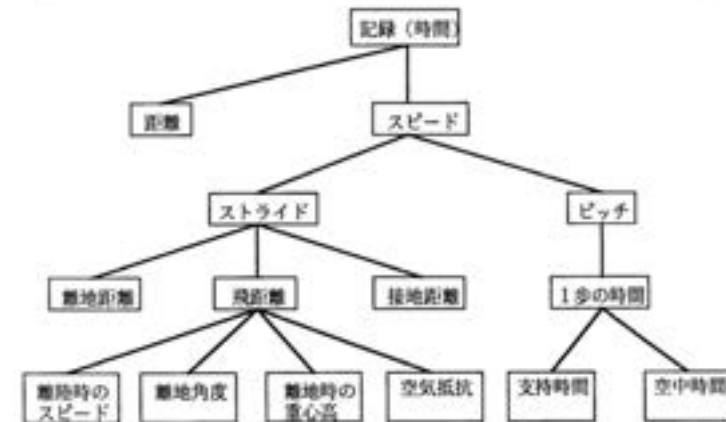


- 自己の動作を客観視でき、一流選手と比較できるようになった
- ➡ これからどうしたらよいかトレーニングの方向性がつかる
- 科学的な理論に支えられたトレーニングが行えるようになった
- ➡ 効率よく短期間で高度なパフォーマンスを得る手助けになる
- データの蓄積ができる
- ➡ 動作の変化の確認ができる

5

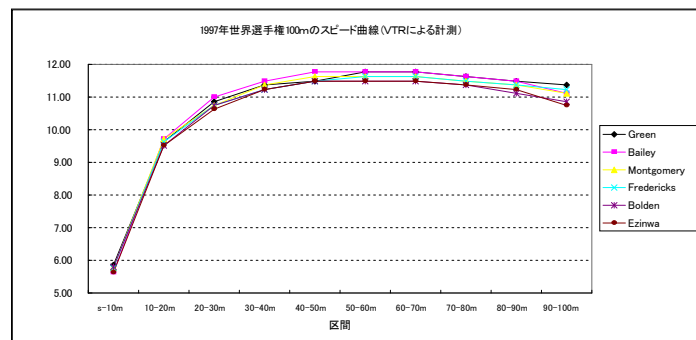
走の基礎的要因

by G.Hay



6

スピード曲線 (縦軸：速度 横軸：距離)



誰でも（世界のトップ選手でも）8秒過ぎれば失速する
スピード曲線は記録に関係なく全ての選手が同じ

➡ **100m走は最高疾走速度を高めることが重要**

7

M.Greeneらが用いている100mの区分 (HSImethod)

1. Block Clearance

2. Drive Phase

3. Transition

4. Sprint Phase

5. Top Speed (pin point)

6. Maintain

7. Deceleration

20-30m
徐々に頭を
上げる

8

ATPの再合成

システム名	無酸素系		有酸素系
	ATP-PC r 系	乳酸系	酸素系
かわる物質	PC r (クレアチンリン酸)	グルコース	炭水化物 脂質 タンパク質
運動の特徴	爆発的な運動	強度の高い運動	長く続く運動
持続時間	7.7秒	33秒	—
酸素の必要性	なし	なし	あり

近年の研究で筋収縮時に、
クレアチンリン酸の利用率が従来の40倍必要と判明
→筋含有量では全く足りない
つまり・・・ATPの再合成は運動開始瞬時より筋グリ
コーゲンの分解により成立

9

＜疾走速度を高めるために＞

$$\text{疾走速度} = \text{ストライド} \times \text{ピッチ}$$

一方を変えないで、一方を増加させることができれば、
スピードが増す

ストライドを大きくするために極端に大股で前方に着く
→大きなブレーキによりスピードの低下を招く

○自然に大きくするには地面に加える力を大きくする

ピッチを高めるために単に脚の回転を速める

→キック力が低下しストライドが低下し、スピードが
落ちる

○接地時に膝や足首がつぶれない、遊脚を素早く引き
付けるなど効率の良い動きをすること

10

ストライドとピッチ

ある年のインターハイ上位選手のデータ

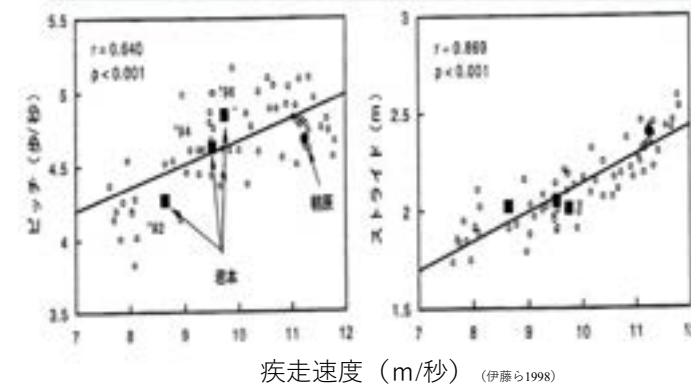
	ストライド (m)	ピッチ (歩/秒)	支持時間 (s)	非支持時間 (s)
高校男子A	2.28	4.7	0.099	0.122
高校男子B	2.31	4.6	0.098	0.120
高校女子A	1.95	4.8	0.099	0.115

11秒前半選手のモデル

	ストライド (m)	ピッチ (歩/秒)	支持時間 (s)	非支持時間 (s)
11秒前半男子	2.00	4.7	0.104	0.096

11

ストライドとピッチのまとめ



ピッチは速い選手ほど高いが、5 (歩/秒) で頭打ちに
なっている。ストライドは速い選手ほど大きい。

12

目標記録に対する最高速度・ピッチ・ストライドの目安値（男子）

100mタイム (s)	最高速度 (m/s)	ピッチから見たストライドの長さ (m)		
		4.66 (Hz)	4.84 (Hz)	5.03 (Hz)
10.00	11.64	2.50	2.40	2.32
10.10	11.51	2.47	2.38	2.29
10.20	11.37	2.44	2.35	2.26
10.30	11.24	2.41	2.32	2.24
10.40	11.10	2.38	2.29	2.21
10.50	10.97	2.35	2.26	2.18
10.60	10.83	2.33	2.24	2.15
10.70	10.69	2.30	2.21	2.13
10.80	10.56	2.27	2.18	2.10
10.90	10.42	2.24	2.15	2.07
11.00	10.29	2.21	2.12	2.05

松尾ら（2016）

13

目標記録に対する最高速度・ピッチ・ストライドの目安値（女子）

100mタイム (s)	最高速度 (m/s)	ピッチから見たストライドの長さ (m)		
		4.44 (Hz)	4.65 (Hz)	4.86 (Hz)
11.50	9.94	2.24	2.14	2.05
11.60	9.85	2.22	2.12	2.03
11.70	9.75	2.19	2.10	2.01
11.80	9.66	2.17	2.08	1.99
11.90	9.56	2.15	2.05	1.97
12.00	9.47	2.13	2.03	1.95
12.10	9.37	2.11	2.01	1.93
12.20	9.27	2.09	1.99	1.91
12.30	9.18	2.07	1.97	1.89
12.40	9.08	2.04	1.95	1.87
12.50	8.99	2.02	1.93	1.85

松尾ら（2016）

14

身長別に見たピッチとストライドの目安

100m タイム	30m-60m タイム	身長1.6m		身長1.7m		身長1.8m	
		SF	SL	SF	SL	SF	SL
10.00	2.63	5.40	2.11	5.11	2.23	4.81	2.37
10.20	2.69	5.35	2.09	5.06	2.21	4.78	2.34
10.50	2.77	5.28	2.05	5.00	2.17	4.73	2.29
10.70	2.82	5.24	2.03	4.97	2.14	4.69	2.26
11.00	2.91	5.18	1.99	4.91	2.10	4.65	2.22
11.20	2.96	5.14	1.97	4.88	2.08	4.62	2.19
11.50	3.05	5.08	1.94	4.83	2.04	4.58	2.15
11.70	3.10	5.05	1.92	4.80	2.02	4.55	2.13
12.00	3.18	4.99	1.89	4.75	1.98	4.51	2.09

宮代ら（2013）

15

加速局面



一流選手の加速局面の特徴

- 20m地点まで急激なピッチ増加とストライド増加
- 20m～40m地点のストライド増加
- 20m地点でキック動作がプレス型からスイング型へ
- 支持期での膝関節伸展筋群の働きが重要
- 膝関節伸展筋群の最大筋力発揮能力が重要

16

加速局面

高校生男子：11秒1 平均速度 3,06m/s 最大速度 5,80m/s



高校生男子：11秒5 平均速度 2,84m/s 最大速度 5,50m/s



高校生男子：12秒0 平均速度 2,82m/s 最大速度 5,08m/s



17

加速局面

- 地面に力を伝える（加速する）のは接地時のみ
 $F=ma$ （ニュートン力学の第二法則）
 大きな力を加えれば加速度を大きくできる

	男		女	
100m記録	高	低	高	低
1歩目の接地時間	0.21	0.18	0.23	0.17

Ciacci et al.
(2017)

スタート局面では力積を大きくしたい
 ➡力積（大きな力を長い時間加えると大きくなる）
 が大きいほど、スタートダッシュは速い

18

筋力とスピード

$F=ma$ （ニュートン力学の第二法則）

一定の質量に大きな加速度を与えるには、大きな力が必要ということ

➡スピードを出すための第一要素は力である

力と速度の関係

➡速い速度では力を発揮しにくい

筋の力学的パワー

➡最大筋力の30%程度で最大

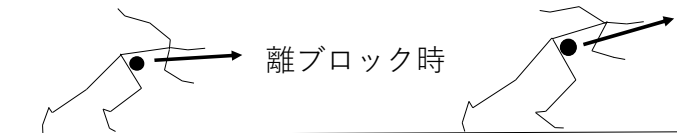
19

加速局面

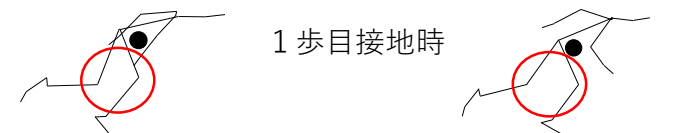
- 速い選手は重心のとび出し角度が小さい
 ➡より水平方向に加速している

11秒台前半選手

12秒台前半選手



- 速い選手は接地時の後脚の引き込みが速い
 ➡脚が流れず素早く引きつけられている



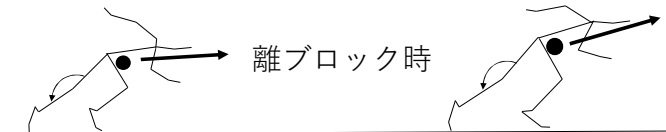
20

加速局面

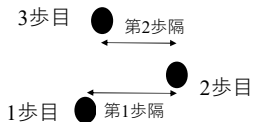
速い選手は離ブロック時の前脚膝関節角度が大きい
 →大きな力でブロックを押している

11秒台前半選手

12秒台前半選手



速い選手は歩隔が大きい
 →ゼロからの加速、ローギアからの加速特性



21

走練習へ

●スタート練習：加速能力の向上

・クラウチングスタートの姿勢
 あらかじめブロック（もしくは地面）に力を加えておく
 反応を早めたり、瞬間的に強い力で蹴ったりするために、脚に力を入れてブロックを押しておく（予備緊張）

・1～3歩まで
 やや大きめのストライドと適度な歩隔で前方に強く蹴り出す
 接地で足首がつぶれないことと、かかとをつかないこと
 多少時間がかかっても大きな力をたくさん地面に加える
 （押し出すようにして力を出していく）

22

走練習へ

●スタート練習：加速能力の向上

・30m以下のダッシュ

スタートの押し出すキック動作（円形で脚を動かすピストン系の動き、体の前傾とともに骨盤を後ろに動かす動き）から、中間疾走のキック動作（楕円形で脚を動かすスイング系の動き、体が起きて骨盤を前に動かす動き）に切り替えていく



23

最高速度局面



一流選手の最高速度局面の特徴

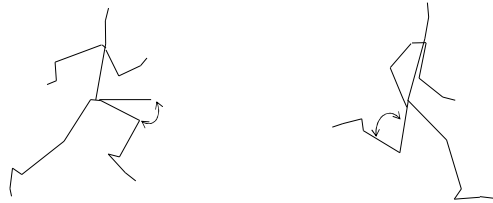
- 接地中の脚全体の後方スイング速度が高い
- 接地時に膝関節、足関節の屈曲・伸展が小さい
- 回復期前半の股関節屈曲筋のパワーが重要
- 回復期後半の股関節伸展筋のパワーが重要

24

疾走動作と疾走速度との関係

もも上げ、引き付け角度、速度と疾走速度に関係がない

→ももが高く上がったから速く走れるわけではない



ただし全く脚を引き付けずに、足を引きずるように前に出すことは、脚の慣性モーメントを大きくし、脚の回転を速めることを阻害するため、注意が必要である

25

疾走動作と疾走速度との関係

接地距離と疾走速度には関係がない

→極端にブレーキが増えない程度に体の前方に接地し、そこに乗り込む意識



速い選手は支持時間が短く（0.1秒を下回る時間）、キック力が大きい（ボルトの支持時間：0.08）

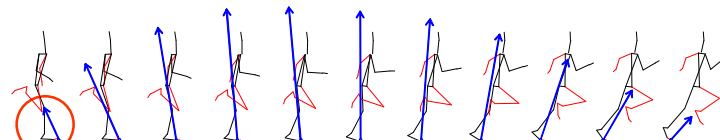
→短い時間に大きな力を発揮する能力を向上させる
（筋肉は速い動きの中では小さな力しか発揮できない）
筋の力と速度の関係

26

疾走動作と疾走速度との関係

ブレーキ・加速の大きさと疾走速度には関係がない

→ブレーキを少なくしたら速く走れるわけではない



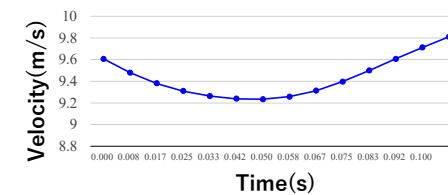
接地中の地面反力ベクトルの推移

→接地直後は後方上向きのブレーキ力が生じる
これが下腿の前方回転を生み、効率的な身体の前方移動を生じさせる
このブレーキをゼロにすると転倒する

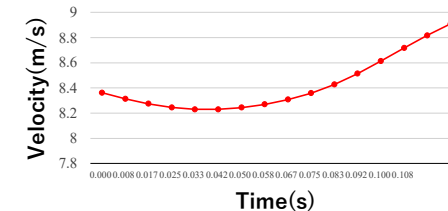
27

疾走動作と疾走速度との関係

接地中の重心の水平速度



11秒前半（上）と
12秒前半（下）の
ブレーキと加速



速い選手も遅い
選手もブレーキ
と加速の大きさは同じ
違いはキック力の
大きさ、高速
での加速力

28

疾走速度と脚後方スウィング速度との関係 1

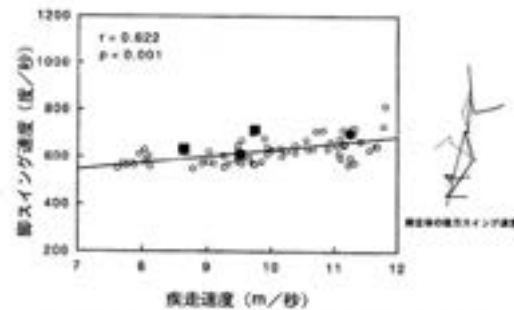
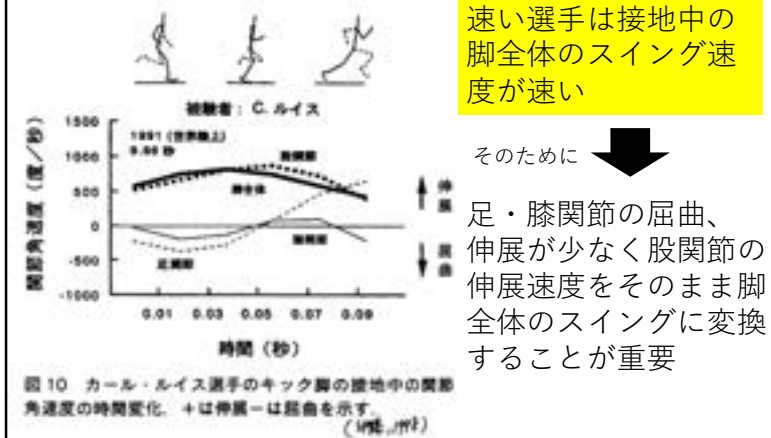


図8 キック脚全体のスイング速度の最大値と疾走速度の関係。■印は岩本選手の1992年、1994年、1996年のデータ。●印は朝原選手のデータを示す。(伊藤, 1998)

29

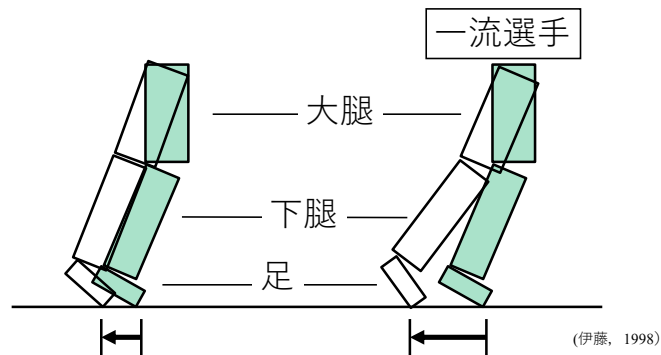
疾走速度と脚後方スウィング速度との関係 2



30

疾走動作と疾走速度との関係

- 同じ時間で同じだけももを動かした場合、膝を伸ばすと足先は少ししか動かない（前に進まない）
- キックで膝と足首を伸ばすと上下動が生まれる



31

10秒03



高校生男子：11秒1



高校生男子：11秒5

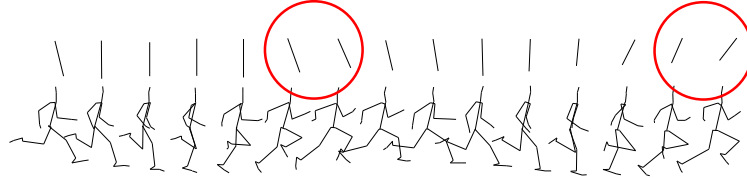


高校生男子：12秒0



32

10秒03 中間疾走と真上から見た腰の動き

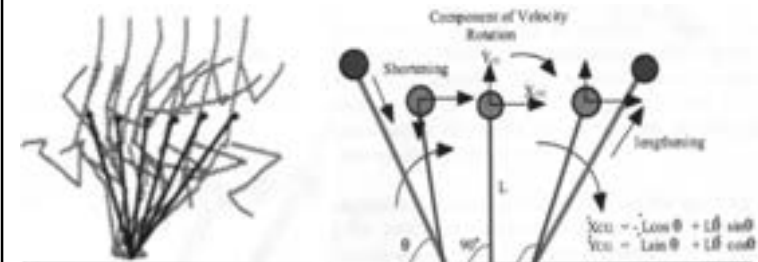


脚を前方に出す時に大きく腰も動いている

支持脚の腰は後ろにいかない
(腰をねじらない、常に前に乗り込む)

33

回転型ばねモデル (Zushi et al.2003)

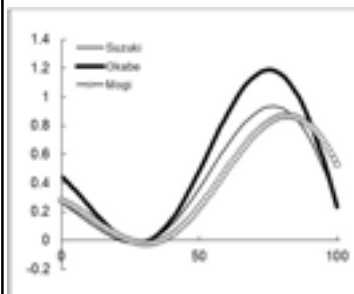


接地点を止めて、重心の移動を表現する

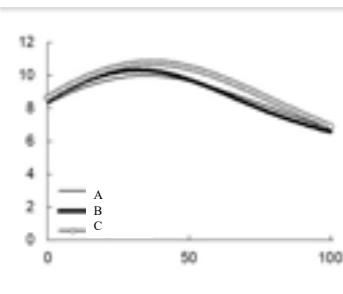
高速で動いている地面に対して、足部は急激に止まり
下肢が強制的に曲げられながら起こし回転運動が起きる
その後、急激に伸展しながら前方回転が起きる

34

伸張一短縮による水平速度



回転による水平速度

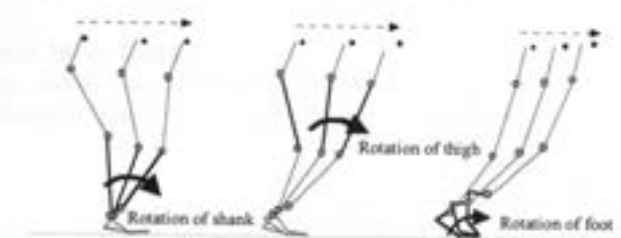


	疾走速度	ピッチ	ストライド
B	10.44	4.55	2.29
A	9.60	4.55	2.11
C	10.54	4.31	2.44

回転の成分が重要
それは鉛直方向の
力を発揮すること
により促進される
可能性がある

35

回転型ばねモデルからみた水平速度の構成要素



First, velocity of CG is obtained by the rotation of shank.
Second, velocity of CG is obtained by the rotation of thigh.
Finally, velocity of CG is obtained by the rotation of foot.

Figure 12. The sequences of movements in order of rotations at a shank, thigh and foot during contact phase in sprinting.

下腿部→大腿部→足部の順で起こし回転+倒れこみ回転

36

コンテクスチュアルトレーニング (Frans Bosch 2015)



Hip Lock

支持脚の股関節を
安定させる



遊脚の自由度が増す

一方が固定させることで、脳が制御すべき関節の数が減り、よりシンプルに関節を制御できる

37

コンテクスチュアルトレーニング (Frans Bosch 2015)

Muscle Slack

筋が短縮し力を発揮するとき



初期段階で筋腱複合体に若干の弛みがある



・力の伝達に時間的な遅れが生じる

・筋の無駄な収縮エネルギーが費やされる

Muscle Slackをなくすことで

- 力の立ち上がりを早める
- 無駄な筋収縮を減らす

38

減速局面

一流選手の減速局面の特徴

- 疾走速度低下の主な原因はピッチの低下
- 回復期前半における脚の引きつけが遅れる
- 股関節伸展筋群の筋持久力が速度維持に重要

スティフネスの遞減を少なくする

最後の競り合いでの動き

39

Standard Motion of men's sprint running

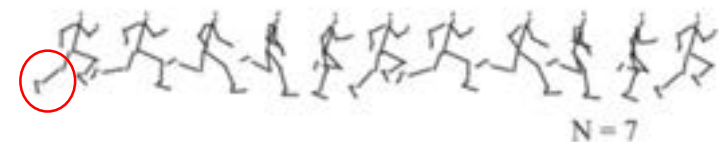


Fig. 4. Standard motions established from coordinate data of elite male sprinters.

(Ae et al, 2007)

9秒台の選手と10秒台の選手の見かけ上の違いは離地時の下腿角度のみ

40

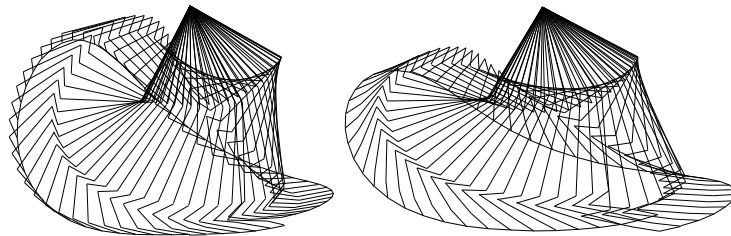
●大転子を中心としたつま先の軌跡

大転子を中心に1サイクル（例えば右脚を接地して、次に右脚を接地するまで）のつま先の軌跡を示している

速度が大きくなるにつれ、またスタートから最高速度に達するにつれて、円形の軌跡から楕円形の軌跡に変わる

脚が流れていないか、つま先が下がり過ぎていないかなどを確認することができる

速い選手は前後に大きく動かしている



41

最後に

今後もテクノロジーの進歩により、今以上に

- 測定の精度が向上
- 簡易に測定ができる
- フィードバックが即時的にできる

測定した数値がどのようにコーチングに役立つか



どうなっているのか+どうすればよいのか

データ結果を分析し、なぜかを考えることで、実践的な仮説を立てて、トレーニングを行う

42