

画像測定と表計算を用いた運動解析ツールの開発
Using image analysis and excel to create tool for sports analysis

スコットアトム

Atom SCOTT

Abstract

This research aims to create a tool to analyze and give information to help improve various body movements in sport using excel and image analysis. Aside the main purpose of creating a tool for sports analysis, a sub topic was chosen to test the tool; the differences of a placed kick and an in game kick. Visual physics*¹ and excel programming was used to create a wire frame with bubble charts. Bubble charts represented the angular velocity, angular acceleration and angular acceleration×segment mass. Segment mass could be calculated from studies of (De Leva,1996,1223) *². An observation with the wire frame and bubble chart was then done.

Keywords: Image analysis, excel, football kick, tool development

I. 研究の目的

1. 目的

サッカーキックにおける体の動かし方を画像測定と表計算を用いて解析し、よりよいキックができるように実用的なトレーニングメソッドを作成できるようにするため、専門的な知識がない人でも、スポーツの種類にかかわらず、ある動作における体の動かし方を確認できるツールを開発する。

2. 動機

始めは、静止しているボールと動いているボールを蹴るときに見られるキックの違いを研究したかった。なぜなら、多くの研究は静止しているボールのキックを分析している (Ismail, 2010, 538) *³, (Dorge, 1999, 195) *⁴ のにもかかわらず、試合中では静止しているボールのキックはほとんど蹴らないからだ。しかし、キックの解析に使用するソフトは値段が高いか、研究目的には不適切なものしかなく、研究に用いることができるものを見つけることができなかつた。そこで、画像解析と表計算を用いて誰でも使える運動解析ツールの開発をめざした。

II. 撮影

1. ハイスピードカメラでの撮影

撮影方法について (12月に撮影)

撮影は東京学芸大学附属国際封中等教育学校の体育館で行い、図のように機器を設置した。(Ismail, 2010, 538)を参考にした配置である。

図1のようにボールとカメラを配置し撮影を行った。動いているボールのキックでは、ボールを左奥から右斜め前方向に転がし、静止している

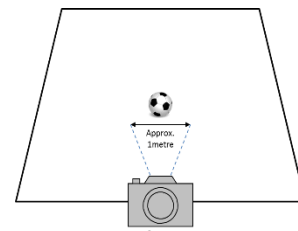


図1. ハイスピードカメラを用いた撮影の配置図

ボールが置かれていた地点でボールを蹴るようにした。

b 撮影時点での考察

	キックの瞬間	蹴り足が地面につく瞬間
静止しているボールのキック		
動いているボールのキック		

表1. キックの比較(1)

動いているボールのキックは静止しているボールのキックと比べて蹴り終わりに大きな違いが見られた。図では、キックのインパクトの瞬間と、蹴り足が地面につく瞬間をとらえている。動いているボールのキックでは、体が全体的に内回りに捻られている。これは、斜め横からのボールを真っ直ぐ前に蹴っているためだと考えられる。

2. iPhone での撮影

a 撮影方法について

iPhone 6 のスローモーションカメラ機能を使い撮影をした。よりセットアップが簡単な iPhone 6 を使うことにしたのである。

このスマートフォンのカメラ機能では、240 フレーム毎秒で撮影することができる。また、レンズがより広角なので、それを利用したセットアップにした。

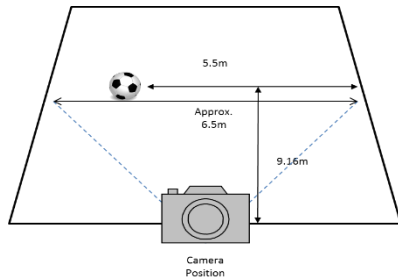


図 2. iPhone を用いた撮影の配置図

キッカーとの距離を長くした分、ボールの軌道がより長い間カメラに収まる。これは、ボールを解析対象の中に入れたためである。撮影では、左ききと右ききのキッカー（計 2 人：6 年以上の経験を持つ）の動いているボールのキック



表 2. キックの比較(2)

と静止しているボールのキックを撮影した。

b 撮影時点での考察

インパクトの瞬間まで、キックフォームに変化は見られなかった。しかし、そのあとハイスピードカメラで撮影した動画と同じように体は内側にねじれた。また、蹴り足が最も高く上がった時に違いが見られた。

III. ツールの製作

1. 概要

体を座標平面におき、関節などのパーツをフレームごとにプロットしてからエクセルを使い解析することにした。プロットするには、画像測定ソフトウェア (Visual Physics) を用いた。

2. データの整理

キー	X 座標	Y 座標
1Head	179	147
2Head	189	144
3Head	199	144
4Head	207	143
5Head	216	145

Vlookup 関数を使用したチャート

VisualPhysics を使い、プロットिंगをしたあと、データはエクセルに保存することができる。取得した座標のデータは表す関節とフレーム毎に整理され、一つの大きな表にまとめる。このスプレッドシートを Database と呼ぶ。

(Database 以外にも、Vlookup と Wireframe と

Frame No.	7		
	Thing	X	Y
	Hip	175	224
	Left Knee	230	283
	Left heel	245	355
	Left toe	277	328
	Right Knee	0	0
	Right heel	0	0
	Right toe	0	0
	Head	231	151
	Neck	201	163
	Left wrist	0	0
	Left elbow	0	0
	Shoulder	194.303	178.7121
	Right elbow	175	207
	Right wrist	0	0

表 4. Vlookup チャート

いうスプレッドシートがあり、Vlookup には Vlookup チャートがあり、Wireframe にはワイヤフレームモデルが表示される仕組みになっている。))

Vlookup 関数を使えば、検索条件に一致するデータを別に用意した表から、取り出すことができる。プロットしたすべての部位の座標を 1 フレーム毎にと

ることができれば、表 4 のような Vlookup チャートができる。

表 4 では、7 番目のフレームの各パーツの座標を表している。Frame No. の隣のセルの番号を変えることでそれに応じて、各パーツの座標も変化するこの座標を散布図 (直線のみ) に挿入すれば、図 3 のようにワイヤフレームモデル



図 3. ワイヤフレームモデル

をつくることができる。

表計算ソフトのマクロ機能を用いることで、表 2 のフレーム番号を 1~30 まで自動的に切り替えるようにした (マクロ 1 参照)。これによってワイヤフレームモデルがアニメーションのように動かすことができるようになった。

3. バブルチャート

関節における角速度や加速度は、バブルチャートを用いて可視化した。可視化することによって、ワイヤフレームチャートと合わせてみることができるので、キック最中の角速度や加速度の変化が直感的に観察しやすくなる。

可視化の方法として、可視化するデータをバブルチャートのバブルの大きさで表すようにした。完成したバブルチャートの一つのフレームが図 4 で

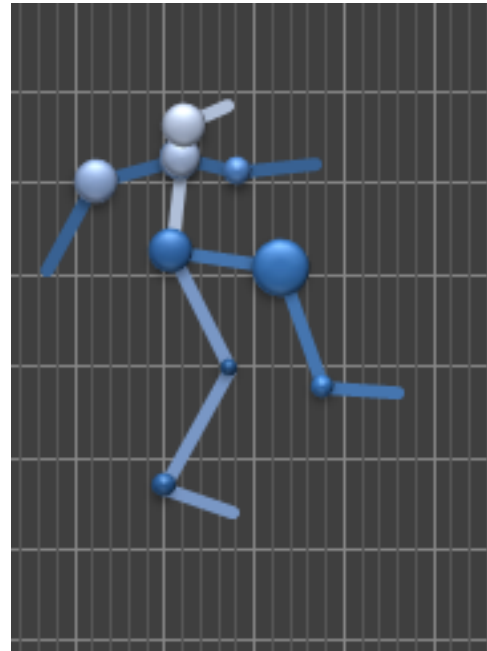


図 4. バブルチャート付きのワイヤフレームモデル

ある。

a Chart type バブルチャートで表示されるデータを「角速度表示」、「角加速度表示」、「角速度×質量表示」の三つにした。

それぞれの求め方について：

■ 角速度表示

ある一つの関節 A とその関節 B を挟む関節 C を結んだとき、角度 BAC ができる。角速度表示は、あるフレームにおける角度 BAC とその前のフレームにおける角度 BAC の差のことである。これは、マクロと Vlookup 関数を使って求めることができた (マクロ 2, マクロ 3 参照)。

マクロ 2 は最初に考えた、角度を求めるマクロである。2 直線の変化の割合を $\tan(m)$, $\tan(n)$, その差からアークタンジェントを使い、角度を求める方法を取った。ただし、この方法では、角度がタンジェントの性質上、 90° 以上の角度を表示させることが困難である。

そのため、2 直線のなす角を余弦定理を用いて求めることとした。

そのために、2 直線のなす角を余弦定理を用いて求めることとした。

マクロ 3 は $\cos B$ をだしてから、アークコサインから B の値をラジアンで算出し、最後にそれを度数に変換している。このマクロは関数として使えるように設定した。

次に、角速度を求めたいので、一つ前のフレームの座標を表示するVlookupチャートを作成した。ここから、マクロ3を使いそれぞれの関節が示す角度をもとめる。2つの角度の差は単純に最初のフレームの関節の角度から、一つ前のフレームの関節の角度用いて求めることとした。

■ 角加速度表示

角加速度は角速度の差である。連なる3つのフレームにおける角度から、その角度の角速度を2つ算出し、またその2つの角速度から、1つの角加速度を算出した。

■ 角加速度×質量表示

角速度の表示から、関節にどれだけ動きの変化があるかというのは分かる。しかし、質量を考慮していないので、現実的な場面での関節にかかる負担や力はほとんど分からない。そのため、ここで角加速度に体のセグメント一つ一つの重さ (Body type/Gender を参照) をかけることでより現実的に関節にかかる力を求めている。しかし、これはあくまでも一つの関節がつながっているものを持ち上げるために必要な力であり (膝なら、膝下を待ちあげるのに必要な力)、反動や重力を考慮してはいない。考察を行うときにこれらのことを踏まえることができれば、データには信頼性は増し、導き出されたトレーニングメソッドの実用性が期待できる。

b Body type/Gender

(De Leva, 1996, 1223)は体の各部分ごとにおける体重の割合を研究した。(Plagenhoef, 1983, 169) *5も同様の研究をしているが、上半身のほうが体重の割合を占めている。これは、De Leva はアスリートを調査していたことに対して、Plagenhoef はより一般の生活に近い人を調査していたからだと考えられる。

Part/%of body mass(%)	De Leva			Plagenhoef		
	M	F	AVG	M	F	AVG
L-Thigh	14.16	14.78	14.47	10.5	11.75	11.125
L-Shin	4.33	4.81	4.57	4.75	5.35	5.05
L-Foot	1.37	1.29	1.33	1.43	1.33	1.38
R-Thigh	14.16	14.78	14.47	10.5	11.75	11.125
R-Shin	4.33	4.81	4.57	4.75	5.35	5.05
R-Foot	1.37	1.29	1.33	1.43	1.33	1.38
L-Forearm	1.62	1.38	1.5	1.87	1.57	1.72
L-Upper arm	2.71	2.55	2.63	3.25	2.9	3.075
R-Forearm	1.62	1.38	1.5	1.87	1.57	1.72
R-Upper arm	2.71	2.55	2.63	3.25	2.9	3.075
Head	6.94	6.68	6.81	8.62	8.2	8.41

表 5. 各セグメントの質量の割合

現実近づけるのであれば、体幹を内としてとき、関節に連結する外側のすべてのセグメントの質量をかけるべきである。

4. グラフの大きさの整理

視認性をよくするためにサイズなどの調整をおこなう。

a 大きさの統一化

バブルチャートとワイヤーフレームモデルに使用した散布図 (直線のみ) は重ね合わせ使っていたので、ともにサイズがぴったり同じである必要があった。マウスを使い手動的にサイズを合わせても少なからず誤差が起きるので、将来の発展に向けても解決しておきたい問題点である。このマクロを使うことで、それぞれのチャートのサイズを指定し、統一することができた。

b 四角のグリッドラインの設定法

エクセルのチャートを使用するうえで考慮しなければいけない点は、グリッドラインが正四角形に設定されていないことである。デフォルトとしてグリッドラインが自動的に変化にする設定になっていた。グリッドラインは完全に正四角形でなければ、ワイヤーフレームは現実とかけ離れた、縦または横に極端に長いモデルになってしまう。ここでも、インターネットにあったマクロを使用した (参考文献、マクロ②)。

c 場所の指定

ここでは、チャートを左上の隅におくマクロを作成した。

このマクロでは、2つのチャートを指定して、セル(A, 1)の左側と上部をチャートの左側と上部を重ねるようにしている。

5. その他のマクロ機能

グラフのサイズや位置、種類をスプレッドシートから直接操作できるようにした。



図 5. 設定画面

a Frame
フレームを変えられるスクロールバーを作成した。

b Speed
スピードを変えられるスクロールバーを作成した。Sleep API の時間を変えられるようにしたため、再生時間は1ミリ秒単位で変えられる。しかし、計算時間を含めてないので、高速で再生することはできない。

c Size
バブルのサイズを変えられるスクロールバーを作成した。ここでは一つのバブルを1として、相対的に他のバブルの大きさが変化する仕組みになっている。関節の加速度などを表すバブル以外にこの基準となるバブルを作成した。スクロールバーはこの基準となるバブルの大きさを変える。

d Chart type
バブルが表示するものを選択できるコンボボックスを作った。「角速度表示」, 「角加速度表示」, 「角加速度×質量表示」から選択できる。

e Body type
ボディタイプを選択できるコンボボックスを作った。Plagenhoef, De Leva, 分からないから選択できる。Plagenhoef は一般向け, De Leva はアスリート向け, 分からないは二つの種類の平均の質量を出している。

f Gender
性別を選択できるコンボボックスを作った。「男」, 「女」, 「分からない」から選択できる。

g Length/width size
チャートの縦と横の長さをセルの値に合わせて変えられるようにした。単位はインチ。

IV. 期待できる応用

1. Visual Physics のアジャスト

プロットिंगをするためのソフトウェアとして採用した Visual Physics はプロットング専用のソフトウェアではなかったため、使うときに少し不便なところがあった。ワンフレームで必要な座標をすべてとれるようにし、

データの取り込みもあらかじめ Vlookup チャートがつくれるように整理されているようにすれば、スムーズにワイヤーフレームモデルが作れるでしょう。

a Kinovea の応用

Kinovea は自動である点を追跡するという画像処理ができるソフトウェアだが、追跡した点のデータをエクセルに変換するのが困難であった。プロットिंगを Kinovea で済ませ、X-Y 座標をエクセルに提示する方法を見つける必要がある。Kinovea はオープンソースであるため、その追跡技術を模倣してワイヤーフレームモデルを簡単につくるソフトウェアの開発も今後期待できる。

V. ツールを用いた解析

1. ワイヤーフレーム

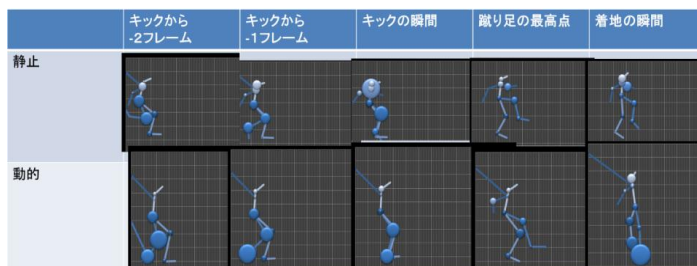


表 6. ハイスピードカメラで撮影したキックのワイヤー



表 7. iPhone で撮影したキックのワイヤーフレーム

2. 考察

- a ハイスピードカメラで撮ったキック
ハイスピードカメラで撮ったほうのキックでは、キックの瞬間までバブルが大きく、インパクト後はバブルが小さくなっている。また、インパクトの瞬間で一番バブルが大きくなっているのは、膝であるため、膝の角加速度が最も大きいことが分かった。これは、静止しているボールのキックと動いているボールのキックでは一緒であった。このワイヤフレームでは、座標がとれなく、腕や足の末端が表示されないようになってしまったため、これだけではよい考察ができない。アイホンのキックでは、これが考慮されている。
- b iPhone で撮ったキック
インパクトの瞬間で、膝でのバブルの大きさが大きく、次に足首や腰が大きかった。

VI. Kinovea を使ったボールスピードの解析

1. 解析方法

物体を追跡できる画像処理技術を持ったフリーソフトの Kinovea を使い、キック後のボールの速度を計算した。ハイスピードカメラとアイホンで撮影した動画は fps も、配置も異なるので、そこを考慮する必要があった。Kinovea はハイスピードカメラ設定があったのでそれを使用し、ボールスピードはキック直後から 0.5m 後の平均の速度を求めた。

しかし、kinovea で 0.5m までの距離をとることができず、またアイホンで撮った動画はパソコンで編集した時に自動的に 240fps から 30fps に変換されるということがあり、計測は困難であった。ハイスピードカメラで撮った動画のみ、速度を計算することができた。

2. 結果

	速度
静止しているボール	$507 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$
動いているボール	$560 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$

表 8. キック速度の比較

明らかに動いているボールのキックのほうが速いことが分かった。

VII. トレーニングメソッドへの導入

解析の結果より、膝において角加速度×質量の値が最も大きくなり、股関節、足首においてもこの値が順に大きくなることが分かった。また、足を振り上げるときに、股関節での値が大きくなり、振り下ろしてボールを蹴るときには膝での値が大きくなるのが解析の結果から得られた。関節の運動の際には、主作動筋が関節の屈曲・伸展・外転・内転などが主となって動くため、ワイヤフレームモデルで見た関節の運動を主動作筋が主となって動いていると考えられる（ただし、重力やアイソメトリックな筋運動を無視しなければいけないので、この解析からできるトレーニングメソッドにはあとからこれらのことを考慮して、修正する必要が出来るだろう）。股関節を後ろに曲げる筋肉（股関節屈筋群）と膝を伸ばす筋肉（膝関節心筋群）を中心にトレーニングすることでより良いキックができるだろう。

VIII. 今後の方針

1. 重力の考慮

重力を考慮すれば、より現実に近い考察が行える。

2. 3D モデルの作成

2D のモデルでは、体が内側に捻じられる仕組みを解明することができない。

3. Visual Physics や Kinovea の応用

自動で追跡する技術を用いれば、より多くの解析を行うことができる。

マクロのリスト

SleepAPI

```
Option Explicit
Declare Sub Sleep Lib "kernel32" (ByVal dwMilliseconds As Long)
Sub Button4_Click()
    Dim i As Integer
    Dim iMyValue As Integer
    iMyValue = Range("K3").Value
    For i = 0 To 27: ' Replace 27 with your range
        Range("K2").Value = i ' Replace K2 with your offset cell
        Application.Calculate
        Sleep (iMyValue)
    Next
End Sub
```

Tangent を用いた角度計算

```
Function Degrees_of_2_intersecting_lines(xA As Double, yA As Double, xB As Double, yB As Double, xC As Double, yC As Double)
    m = (yC - yA) / (xC - xA)
    n = (yB - yA) / (xB - xA)
    Value1 = (m - n) / (1 + m * n)
    Degrees_of_2_intersecting_lines = Atn(Value1)
End Function
```

Cosine を用いた角度計算

```
Function DCB(l, m, n, o, p, q)
    ab = (n - l) ^ 2 + (o - m) ^ 2
    bc = (p - n) ^ 2 + (q - o) ^ 2
    ca = (p - l) ^ 2 + (q - m) ^ 2
    Value1 = (ab + ca - bc) / (2 * Sqr(ab) * Sqr(ca)) 'cosA を出している'
    Value2 = (ab + bc - ca) / (2 * Sqr(ab) * Sqr(bc)) 'cosB を出している'
    Value3 = (bc + ca - ab) / (2 * Sqr(ca) * Sqr(bc)) 'cosC を出している'
    DCB = Application.Degrees(Application.Acos(Value2))
End Function
```

大きさの統一

°より引用して、編集した。スプレッドシート上のセルから直接大きさを変えられるように手を加えた。

```
Option Explicit
Sub ResizeCharts()
    'Make all charts on active sheet uniform size.
    Dim cht As ChartObject
    For Each cht In ActiveSheet.ChartObjects
        cht.Height = Application.InchesToPoints(Sheet1.Cells(8, 12))
        cht.Width = Application.InchesToPoints(Sheet1.Cells(9, 12))
    Next
End Sub
```

四角のグリッドライン設定

```
Option Explicit
Sub MakePlotGridSquareOfActiveChart()
    MakePlotGridSquare ActiveChart
End Sub
Sub MakePlotGridSquareOfAllCharts()
    Dim myChartObject As ChartObject
    'タテ目が長い場合、省略する。

    .Axes(xlCategory).MaximumScale = plotInWd * Xdel / Ypix + Xmin
    Else
        .Axes(xlValue).MaximumScale = plotInHt * Ydel / Xpix + Ymin
    End If
    Loop While Abs(Log(Xpix / Ypix)) > 0.01
End With
End Sub
```

場所の設定

```
Option Explicit
Sub All_charts_to_top_corner()
    Dim mcsheet As Worksheet
    Set mcsheet = ThisWorkbook.Sheets("Sheet1")
    mcsheet.ChartObjects("Chart 1").Activate
    mcsheet.ChartObjects("Chart 2").Activate
    With ActiveChart
        ActiveSheet.Shapes("Chart 1").Left = Sheet1.Cells(1, 1).Left
        ActiveSheet.Shapes("Chart 1").Top = Sheet1.Cells(1, 1).Top
        ActiveSheet.Shapes("Chart 2").Left = Sheet1.Cells(1, 1).Left
        ActiveSheet.Shapes("Chart 2").Top = Sheet1.Cells(1, 1).Top
    End With
End Sub
```

参考文献

- [1] Takahiro Gotoh, (2009) 「Let's capture the collision phenomenon quantitatively」 『Practicable Idea collection』 (Japan Association for Promotion of Education Technology) Vol.13, 76-77
- [2] Paolo de Leva (1996) 「Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanov's Segment Inertia Parameters」 『Journal of Biomechanics』 29 (9), 1223-1230.
- [3] A.R. Ismail, M.F.M. Ali, B.M. Deros and M.S.N.M Johar (2010), 「Biomechanics analysis and optimization of instep kicking: A case study to Malaysian footballer」, 『National Conference in Mechanical Engineering Research and Postgraduate Students』 535-542
- [4] Dörge, H. C., T. Bull Andersen, H. Sørensen, E. B. Simonsen, H. Aagaard, P. Dyhre-Poulsen, and K. Klausen. 「EMG Activity of the Iliopsoas Muscle and Leg Kinetics during the Soccer Place Kick」 『Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports』 (1999) 9.4 195-200.
- [5] Plagenhoef, S., Evans, F.G. and Abdelnour, T. (1983) 「Anatomical data for analyzing human motion」 『Research Quarterly for Exercise and Sport』 54, 169-178
- [6] Peltier Technical Services. "Make Gridlines Square." Make Gridlines Square. N.p., n.d. Web. 26 Feb. 2015. <http://peltiertech.com/Excel/Charts/SquareGrid.html>
- [7] Harkins, Susan. Quick Tip: Apply a Uniform Size to All Charts on an Excel Sheet. TechRepublic. N.p., 4 June 2012. Web. 26 Feb. 2015. <http://www.techrepublic.com/blog/microsoft-office/quick-tip-apply-a-uniform-size-to-all-charts-on-an-excel-sheet/>