

野球投手の投球動作におけるヒールパッドが身体回旋および  
投球速度に及ぼす影響

Effect of Heel Pad on Body Rotation and Pitching Velocity  
in Pitching Motion of Baseball Pitcher

渡 部 峻 山 本 敬 三  
WATANABE Shun YAMAMOTO Keizo

北翔大学生涯スポーツ学部研究紀要  
第12号 2021

# 野球投手の投球動作におけるヒールパッドが身体回旋および 投球速度に及ぼす影響

Effect of Heel Pad on Body Rotation and Pitching Velocity  
in Pitching Motion of Baseball Pitcher

渡 部 峻<sup>1)</sup> 山 本 敬 三<sup>1)</sup>  
WATANABE Shun YAMAMOTO Keizo

## I. 背景と目的

野球投手において評価の基準の際の指標となるものとして、球速、球種、コントロールそれぞれの球種の変化量、牽制等の技術、フィールディングなどが挙げられる。なかでも野球の投手のピッチング動作において球速や球種、コントロールは重要視される。そのうちのひとつである球速（投球速度）は投手の投手能力を評価するおおきな要因であると考えられる。

野球の投球動作において下肢のはたらきは球速を高めるうえで重要な役割をもつため、下肢の動きは指導上の着眼点として重要性が指摘されてきた<sup>1-4)</sup>。例えば、元プロ野球投手と熟練指導者の投球動作の指導に関する知識を整理および分類した研究<sup>2)</sup>によると、投球速度の向上には、「踏み込み脚膝の最大高から踏み込み脚接地までの軸脚への加重」と「踏み込み脚接地からボールリリースまでにかけての踏み込み脚への加重」と

いった下肢動作が重要であることが指摘されている。また投球動作は、下肢によって生み出された力、エネルギー、速度などがタイミングよく順次に加算・伝達され末端へ伝わり、末端のエネルギーや速度を大きくできるという運動の連鎖の原則が成り立つ<sup>5)</sup>。球速（投球速度）に影響する投球動作を研究した先行研究をまとめると、両脚に作用する投球方向の大きな地面反力、リリース直前における踏み込み脚膝関節の伸展動作、ボール加速局面で体幹の回旋動作捻転動作の重要性が指摘されている<sup>6-14)</sup>。

このようなことから投手が大きな球速を獲得するためには、下肢に作用する地面反力や体幹の回旋および捻転動作が大きく影響すると考えられる。そこで、投球動作の回転運動とゴルフの回転運動が類似していることに着目した。ゴルフでは地面に対して水平に身体を回転させ、その回転の勢いでクラブをしならせ、ボールを遠くに飛ばす。その際に、水平面の回転を増やすために踵のみに入れるイン

1) 北翔大学生涯スポーツ学部スポーツ教育学科

キーワード：投球動作、身体回旋、ヒールパッド、三次元動作分析

ソール（以下：ヒールパッド）が存在する。我々は投球動作では水平面の回転作用が重要なため、ヒールパッドを入れることで水平面の回転の勢いが増加し、それに伴い球速（投球速度）が高まるという仮説を立てた。そこで、本研究の目的はヒールパッドの有・無が球速（投球速度）、身体の水平面の回転運動に及ぼす影響を明らかにすることとした。

## Ⅱ. 方法

### 1. 対象

本研究の対象者は大学硬式野球部に所属する現役のオーバースロー投手11名とした。その内訳として右投げ投手9名、左投げ投手2名（年齢：20.0±1歳，身長：176.0±4.59cm，体重：72.5±7.82kg，平均±標準偏差）であった。被験者には口頭にて本研究の内容について十分に説明を行った。そのうえで、研究協力の同意を得た。

### 2. 計測方法

動作課題はすべてオーバースローでの投球を最大努力で実施させた（ボールが投手の手を離れた際にボールを持つ手が水平面を上回る角度である場合と定義）。計測にあたりヒールパッドを使用した（図1）。各被験者に対してヒールパッドを入れないで行う試技（以下：ヒールパッド無）とヒールパッドを軸脚に入れて行う試技（以下：ヒールパッド有）の2パターンを各3球ずつ計6球行った。ヒールパッドを入れた位置は軸足の踵部分の中敷きの裏に挿入した。投球開始姿勢はセットポジションで行わせた。設置された床反力計1枚に対して片足ずつ置くように被験者に指示した。前方には捕球ネットを設置し、その中心に向かって試技を行わせた（図2）。なお、動作の前には十分なウォーミングアップを行わせたうえで動作の計測を行った。

投球動作の計測では、光学式モーションキャプチャシステムおよび赤外線カメラ12台



図1 使用したヒールパッド



図2 試技の様子

(MAC 3 D,MotionAnalysis社製) を用いた (図3)。床反力計は (BP6001200,AMTI社製) を使用した。サンプリング周波数はモーションキャプチャにおいては500Hzとした。動作中の床反力の計測には床反力計を2台用いてサンプリング周波数は1 kHzで計測した。計測のための赤外線反射マークは、直径12.5mmのものをを用い、マークセットはヘレンヘイズ (Helen Hayes) マークセットに上後腸骨棘 (PSIS) を追加した。被験者の身体各部に31ヶ所に赤外線マークを貼付した。貼付位置は次の通りである。左右前頭部, 左右側頭部,

左右肩峰, 左右上右腕骨の外側上顆, 左右前腕の橈骨と尺骨の茎状突起の中間, 左右腸前骨棘 (ASIS), 左右上後腸骨棘 (PSIS), 仙骨, 左右膝関節の内外側 (膝関節裂隙より2 cm上方の高さで前後径の1/2と1/3の中間), 左右足関節外果突起, 左右第二中足指節関節, 左右踵部, 左右大腿部の外側, 左右下腿部の外側とした (図4 (a))。使用球は大学野球硬式球試合球を使用し, のボールにもマーク2ヶ所貼付けて球速を算出した (図4 (b))。

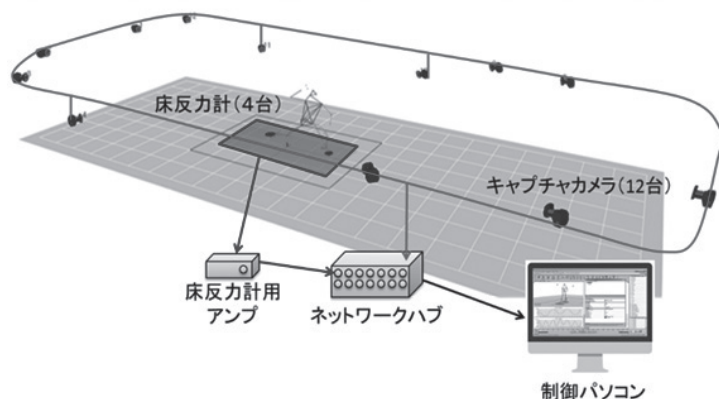


図3 実験系

カメラと床反力の計測データを同期計測する動作計測システム

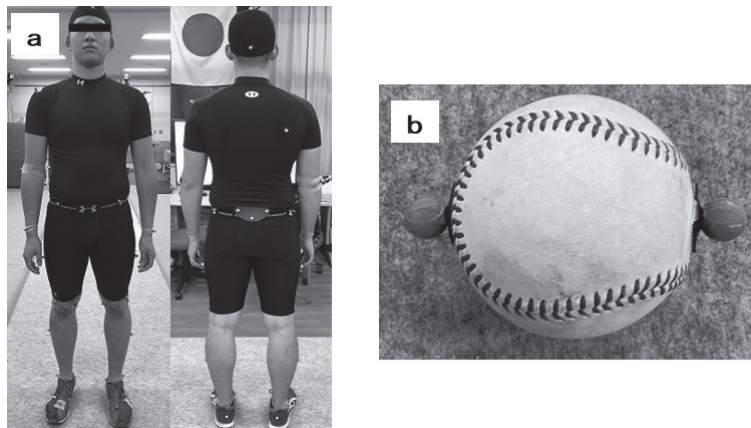


図4 マーカーの貼付位置

被験者には全身31ヶ所に貼付, 使用したボールには2ヶ所に貼付した

### 3. 信号処理

モーションキャプチャシステムによって得られた関節座標データは、ローパスフィルタ（Butterworth 型フィルタ，cut-off周波数 6Hz，時間位相補正あり）によって平滑化された。また，床反力データについてはローパスフィルタ（Butterworth 型フィルタ cut-off周波数 18Hz，時間位相補正あり）によって平滑化された。投球動作の開始を踏み込み脚の挙上（重心が最も上昇したタイミング）を動作の開始と定義し，その時点から踏み込み脚の接地（以下：FFC）を経て，リリースまで投球動作と定義し，リリースまでの時間を正規化し，標準偏差を平均・標準偏差を求めた。

### 4. 分析方法

計測データの分析においては三次元動作解析ソフトウェア Visual3D（C-Motion 社製を用いた。反射マーカから得た座標データをもとに剛体リンクモデルとして作成した。モデルは上から順に頭部セグメント，体幹部セグメント，上腕部セグメント，前腕部セグメント，手部セグメント，骨盤部セグメント，大腿部セグメント，下腿部セグメント，足部セグメントとした。リリース時の球速はスピードガン（HP- 2;SSK社製：取扱説明書にスピードガンと計測対象物に角度があると表示スピードは遅くなると記載されているため，計測時は投球方向の正面から投手に向かってスピードガンを構えた）で計測した。三次元動作解析ソフトウェア Visual 3D で得られた身体の角運動量（水平面），軸足のフリーモーメントおよび軸足の股関節内旋・外旋モーメントを算出した。なお，分析の際の座標

系については空間座標系を用いて投球方向を y 軸として垂直方を z 軸，y 軸と z 軸の両者に直交する横方向の軸を x 軸と設定した。

### 5. 統計処理

全被験者のヒールパッド無，有の両者の球速（投球速度）およびそれぞれの力学的パラメータに有意な差があるかどうかを検討するため，対応のある t 検定を実施した。対応のある t 検定を実施した項目は球速（投球速度），身体の角運動量（水平面），軸足のフリーモーメント，軸足股関節の内旋・外旋モーメントとした。統計学的解析には Microsoft Excel を用い，有意確率 5% 未満を統計学的に有意とみなした。

## Ⅲ. 結果

11名の被験者の各 3 試技のデータ，計 66 試技分のデータのうち計測エラーのあったものを除外した。そのため，全 62 試技分のデータを分析した結果を以下に示す。

はじめに全被験者のヒールパッド無・有の球速の結果を図 5 (a) に示す。ヒールパッド無では  $118.5 \pm 7.1 \text{ km/h}$  でヒールパッドでは  $117.9 \pm 7.0 \text{ km/h}$  で有意な差は認められなかった ( $p = 0.39$ )。

身体の角運動量（水平面）の結果を図 5 (b) に示す。ヒールパッド無・有との間に有意な差は認められなかった ( $p = 0.43$ )。

フリーモーメントの結果を図 5 (c) に示す。ヒールパッド無・有との間に有意な差は認められなかった ( $p = 0.38$ )。

軸足の股関節内旋・外旋モーメントの結果を図 5 (d) に示す。ヒールパッド無・有と

の間に有意な差は認められなかった ( $p=0.29$ )。

次に全被験者のヒールパッド無・有それぞれの身体の角運動量（水平面）、軸足のフリーモーメント、軸足の股関節内旋・外旋モーメントを示す（図6（a）～（c））。各グラフの横軸のTime（%）は動作開始時からボールリリースまでの時間を正規化している。図中にある縦線が踏み足（前足）の接地のタイミングを示している（FFC; Front Foot Contact）。次に身体の角運動量（水平面）のグラフを図6（a）に示す。身体の角運動量（水平面）はヒールパッド無・有両者のグラフの波形はほぼ一致している。動作開始時は右投手の際は時計回りの角運動量を発揮し、体重移動を投球方向に開始し始めた時点から反時計回りの角運動量を発揮し、FFC後に急激に増加し、リリース前にピークを迎え、リリ

ースに向け減少を示した。

次に軸足のフリーモーメントのグラフを図6（b）に示す。フリーモーメントに関して、ヒールパッド無は動作開始時から軸足のフリーモーメントが減少する。FFCに近づくと反時計回りのフリーモーメントが増加する。さらに、FFC以前の60% Time前後でピークを迎える。その後FFCに向け、フリーモーメントは減少する。リリース時には軸足のフリーモーメントは0を示す。ヒールパッド有に関しては動作開始時から軸足のフリーモーメントが減少する。FFCに近づくと反時計回りのフリーモーメントが増加する。さらに、FFC以前の70% Time前後でピークを迎える。その後FFCに向け、フリーモーメントは減少する。リリース時には軸足のフリーモーメントはほぼ0を示す。

次に軸足の股関節内旋・外旋モーメントの

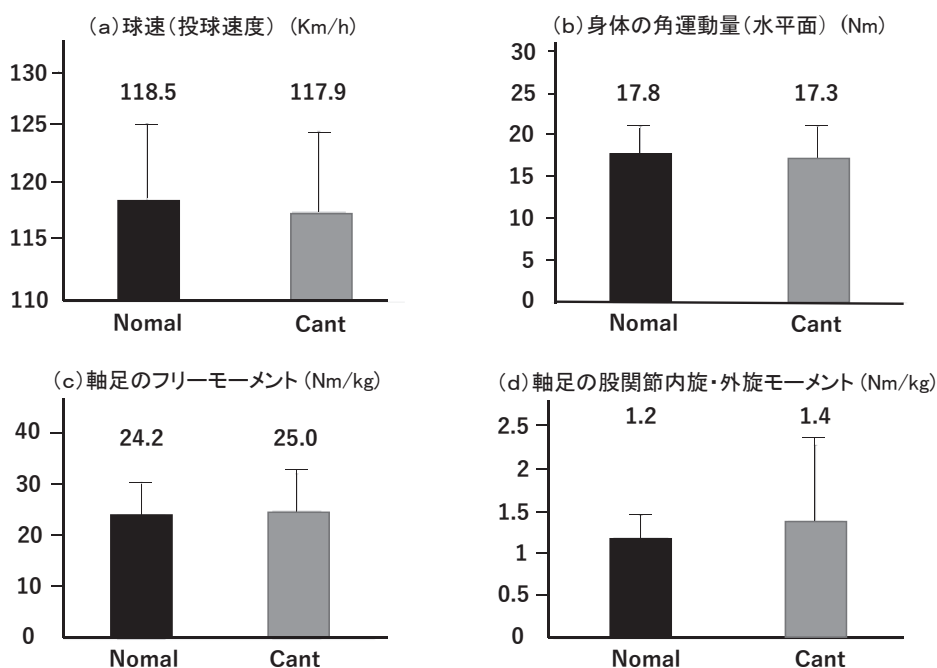


図5 ヒールパッドの無・有の各パラメータの有意差

Nomal：ヒールパッド無 Cant：ヒールパッド有



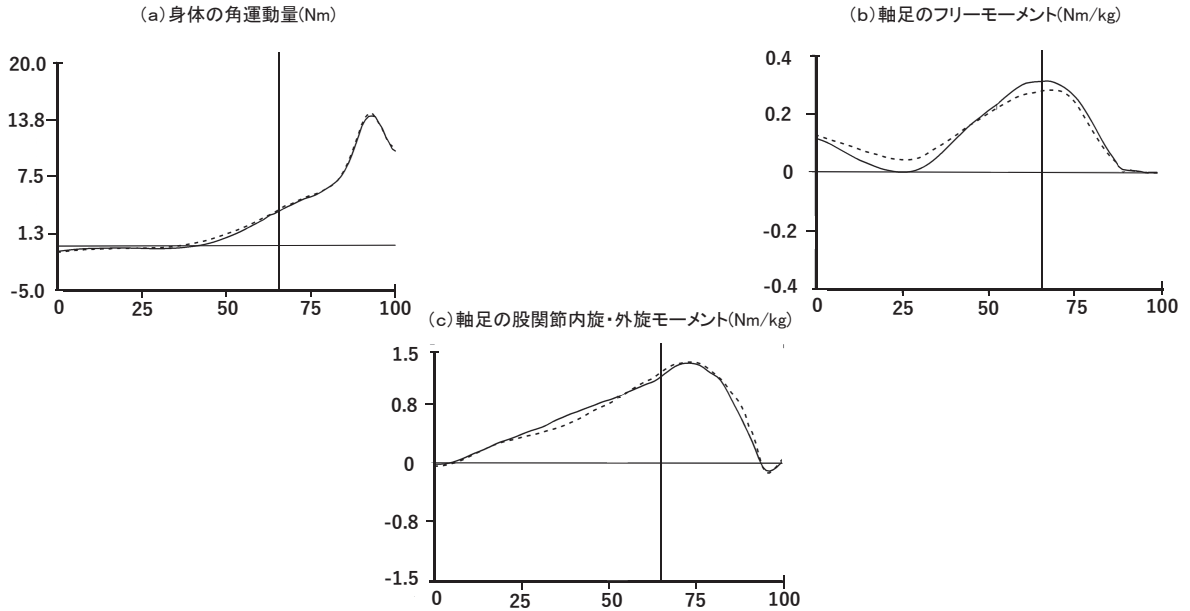


図6 身体の水平回旋に関連する力学的パラメータ  
点線：ヒールパッド無 実線：ヒールパッド有

グラフを図6 (c) に示す。ヒールパッド無は動作開始時から徐々に軸足の股関節外旋モーメントが増加する。その後、FFCに達する前の70% Time前後にピークをむかえ、減少していく。リリース前には一時、内旋モーメントの発揮があり、その後、わずかであるが外旋モーメントが発揮された。

ヒールパッド有はヒールパッド無とほぼ同様に動作開始時から徐々に軸足の股関節外旋モーメントが増加する。その後、FFCに達する前の70% Time前後に最大値となる。リリース前には一時、内旋モーメントの発揮があり、その後、わずかであるが外旋モーメントが発揮された。

#### IV. 考 察

##### 1. 球速（投球速度）とヒールパッドの有・無について

全被験者の平均投球速度は、ヒールパッド

無が $118.4\text{km/h} \pm 7.1\text{km/h}$ でヒールパッド有が $117.9\text{km/h} \pm 7.0\text{km/h}$ とその差は $0.5\text{km/h}$ であった（図5 (a)）。対応のあるt検定の結果、ヒールパッド無とヒールパッド有では有意な差が認められなかった ( $p=0.39$ )（図5 (a)）。よって、投球速度においては、ヒールパッドの有・無との間に有意な差がないことを示唆している。

##### 2. 身体の角運動量とヒールパッドの有・無について

身体の角運動量（水平面）は図5 (b) に示した対応のあるt検定の結果、ヒールパッド無・有との間に有意な差は認められなかった ( $p=0.43$ )。身体の角運動量（水平面）の変化を示した図6 (a) のグラフによるとヒールパッド無・有、両者のグラフの波形はほぼ一致している。この結果は、ヒールパッドを挿入しても身体の角運動量（水平面）の発揮の仕方は大きく変化しないことが示唆され

た。動作開始時は右投手の際は時計回りの角運動量を発揮し、これは踏込み足を拳上しながらわずかに身体全体を時計まわり、投球方向とは反対に回転させようとしていると考えられる。その後、体重移動を投球方向に開始し始めた時点から反時計回りの角運動量を発揮する。これは投球方向への体重移動とともに身体全体を投球方向に向かって回転の勢いを生成していると考察される。FFCを機に急激に増加する要因としては両足の床反力により身体全体の反時計回りの回転の勢いを高めていると考えられる。その後、リリースに向け減少するのは、これまで生成した回転の勢いにブレーキをかけているためと考えられる。

### 3. 軸足のフリーモーメントとヒールパッドの無・有について

フリーモーメントは、ヒールパッド無・有との間に有意な差は認められなかった ( $p=0.38$ )。この結果はヒールパッド無・有が軸足のフリーモーメントの最大値に差がないことを示している。軸足のフリーモーメントのグラフを示した図6 (b) によると軸足のフリーモーメントについてはヒールパッド無・有ともに動作開始時から軸足のフリーモーメントが減少する。その後、FFCに近づくと反時計回りのフリーモーメントが増加する。しかし、ピークのタイミングはわずかに異なる。ヒールパッド無ではFFC以前の60% Time前後でピークを迎えるのに対し、ヒールパッド有はFFC以前の70% Time前後でピークを迎える。この結果はヒールパッド無の試技ではヒールパッド有に比べて、早期に軸足での回転の生成を弱めて、FFC後の身体回転の生成に備えているのではないかと

考察される。

軸足の股関節内旋・外旋モーメントはヒールパッド無・有との間に有意な差は認められなかった ( $p=0.29$ ) (図5 (b))。この結果はこの結果はヒールパッドの無・有が軸足のフリーモーメントの最大値に差がないことを示している。次に軸足の股関節内旋・外旋モーメントを示したのグラフによるとヒールパッド無・有ともに動作開始時から徐々に軸足の股関節外旋モーメントの増加が確認できる (図6 (b))。この結果は動作開始から軸足の股関節外旋モーメントを発揮し、身体全体の反時計回りの回転、投球方向への回転の力を生成していると考えられる。その後、FFCに達する前の70% Time前後にピークをむかえ減少していく。この結果はリリースが近づくにつれ、身体回転の制動にむかうためと考えられる。

我々は、本研究の着手にあたり、投球動作の回転運動とゴルフの回転運動が類似していることに着目した。ゴルフで水平面の回転を増やすために踵のみに入れるインソール (以下; ヒールパッド) が存在する。そこで、投球動作では水平面の回転作用が重要なため、ヒールパッドを入れることで水平面の回転の勢いが増加し、それに伴い球速 (投球速度) が高まるという仮説を立てた。しかし、本研究によって野球投手の投球動作においてヒールパッド無・有は投球速度および身体水平面の回転運動に及ぼす影響がないことが示唆された。

## V. まとめ

- 1) ヒールパッドの無・有で投球速度に有意な差が認められなかった。



- 2) ヒールパッドの有・無で身体の角運動量(水平面)有意な差が認められなかった。
- 3) ヒールパッドの有・無で軸足のフリーモーメント有意な差が認められなかった。
- 4) ヒールパッドの有・無で軸足の股関節内旋・外旋モーメントに有意な差が認められなかった。

### 引用文献

- 1) 荒木大輔：トッププロに学ぶ野球上達テクニクピッチング,成美堂出版, 2003.
- 2) 松尾知之・平野裕一・川村卓：投球動作指導における着眼点の分類と指導者間の意見の共通性：プロ野球投手経験者および熟練指導者による投球解説の内容分析から.体育学研究, 55 : 343-362, 2010.
- 3) Myers,D.and.Gola.M : The louisvllle slugger complete book of pitching. McGraw-Hill, 2000
- 4) 高橋圭三：投動作を助ける脚のはたらき. 体育の科学56, 174-180, 2006.
- 5) 阿江通良・藤井範久：スポーツバイオメカニクス20講.朝倉書店, 13-14, 2002.
- 6) MacWilliams,B.A,Choi,T.,Perezous,M. K.,Chao,E.Y.and.MCFARLANDE,G : Characteristicground-reaction force in baseball pitching.Am.J.Sports Med.,26:66-70, 1998.
- 7) Matsuo,T,Escamilla.R.F.,Fleisig,G. S.,BarrentineS.W.,and.Andrews,J.R : Comparison of kinematic and temporal parameters between different pitch velocity groups.J.Appl.Biomech.,17:1-13, 2011.
- 8) Escamilla,R.F.,Fleisig,G.S.,Barrentins,S. W.,Zheng,N.,and.Andrews,J.R. : Kinematic co mapri-sons of throwing different types of baseball pitches JAppl.Biomech.,1998.
- 9) Fleisig,G.S.,Barrentine,S.W.,Zheng,N., Escamilla,R.,J.R. : Kinematic and kinetic Comparison of baseball pitching among various levels of development.J.B iomech,32 (12) : 1371-1375, 1999.
- 10) 島田一志・阿江通良・藤井範久・川村卓・高橋圭三：野球のピッチング動作における体幹および下肢の役割に関するバイオメカニクス的研究.バイオメカニクス研究 4, 47-60, 2000.
- 11) stodden,D.,Fleising,G.,McLean,S.,and Andrews,J. : Relationship of pelvis an D upper torso Kinematics to pitched baseball velocity.J.Appl.Biomech.,17, 164-1, 2001.
- 12) 高橋圭三・阿江通良・藤井範久・川村卓・小池関也・島田一志：球速の異なる野球投手の動作のキネマティック的比較.バイオメカニクス研究,9 : 36-53, 2005.
- 13) Kageyama,M.,sugiyama,T.,Takai,Y.,K anehisa,H.,and Maeda,A. : Kinematic and Kinetic p Rofiles of the lower limbs during baseball pitching in college-ate baseball pitchers.J.sportsSci.Med.,13, 742-750, 2014.
- 14) 宮西智久・櫻井直樹：野球の投・打動作の体幹捻転研究—SSC 理論に着目して—.バイオメカニクス研究13, 149-169, 2009.