

加速・減速を伴う一致タイミング状況における予測的運動制御に関する研究 —ベアリングアングルとの関連—

The relationship of motor control using bearing angle with respect to acceleration and deceleration velocity change in a coincident timing prediction task

水落 洋志¹⁾，森 司朗²⁾，中本 浩揮²⁾，西薊 秀嗣³⁾

¹⁾鹿屋体育大学大学院，²⁾鹿屋体育大学

³⁾鹿屋体育大学スポーツトレーニング教育研究センター

Hiroshi Mizuochi¹⁾，Shiro Mori²⁾，Hiroki Nakamoto²⁾，Hidetsugu Nishizono³⁾

¹⁾ National Institute of Fitness and Sports in Kanoya, Graduate school of physical education

²⁾ National Institute of Fitness and Sports in Kanoya

³⁾ National Institute of Fitness and Sports in Kanoya, Center for Sports Training Research and Education

Abstract

The purpose of this study was to investigate the relationship of Bearing angle (BA) in a coincident anticipation timing which includes the increased or decreased target velocity change. Especially, we focused rate preservation Bearing angle of the head (BAH) to the increased and decreased velocity change of the moving target in attainment point (2.8-3m). Participants were university students (n=10). The apparatus consisted to the tennis ball (60mm) was set up on the conveyer belt (3m×90m) having been controlled by the changeable type motor. Participants were required to leaves the point where the conveyer belt reaches by 4 m, walks from the position of 90° and 45° agrees with the moving target and coincident anticipation timing in the interception area. The moving target departed from one end of the trackway at a constant velocity (0.45m/s・0.65m/s・0.85m/s) and for a part of the trials its velocity was gradually increased or decreased at the moving target velocity change from start point it experimented by using five conditions. These results indicate that participants was leaves the point where the conveyer belt reaches by 4 m, walks from the position of 90° and 45° agrees with the moving target and coincident anticipation timing in the interception area walking performance in the preservation BAH time passes 50% of the whole the result similar to the previous work was shown. Furthermore, though two angles and the increased target velocity were similarity to the constant velocity but deviating of BAH has been shown up to 75% in the decreased target velocity since it begins to walk movement correction to the locomotion activity from showing the constant velocity to other speed conditions after that.

Key words : Bearing Angle , coincident anticipation timing, prospective motor control

キーワード : ベアリングアングル, 一致タイミング予測, 予測的運動制御

I. はじめに

我々は、日常生活の中で多くの感覚情報を基に環境に見合った動作を遂行している。このような環境に見合った動作の遂行には、変化する環境の時空間的な予測が必要となり、そのための環境情報の抽出が行為の成否に影響する。例えば、時空間的な予測を必要とする一致タイミングに関する研究では、対象物と自己の動作を時空間的に一致させるために Bearing Angle (以下; BA) が重要な情報源になることが明らかにされている (Chohan, 2006)。BA とは、本来、海上で船員らが使用している衝突回避用レーダー警報装置の衝突防止時に示される角度であるが (Le Brun, 2002)、一致タイミングのような捕捉行為の研究では、標的と行為者の位置関係から導かれる角度として用いられ (Figure 1)、適切な捕捉動作に不可欠な情報源の一つであるとされている (行為者の頭部位置と標的の角度を表す場合は、Bearing angle of the head (以下; BAH: Chardonon et al., 2004) と呼ばれる)。

Chohan (2008) は、行為者が歩行によって自身の到達と移動標的の到達を捕捉エリアで一致させる課題を行う際のBAHを検証した結果、行為者と移動標的とのBAHが移動標的へ到達するまでの間、一定に保持されていることを明らかにしている。

このように、BAHは視覚的な知覚情報源として、移動標的を捕捉するために自己の位置と移動標的が捕捉エリアに達するときの時間的タイミングを知覚するために利用されるものである。このようなBAHの研究では人が移動する対象物を捕捉するメカニズムを明らかにするために重要な知見を与えるが、これまでの研究では移動標的の速度が等速条件で行われており、比較的安定した環境下でのBAHの保持についてのみしか行われていない。しかしながら、実際の運動場面では、常に環境が変化しているため、行為者は、環境の複雑性に影響されることで、BAHの保持が困難になることが考えられる。

つまり、移動標的が等速の状況では、安定した環境下における予測的運動制御であることから先行研究同様にBAHは一定の局面まで定常的に保持されると考えられるが、加速、減速という環境変化を伴

う状況では、安定した等速条件とは違い、BAHの逸脱が生じ、その逸脱を歩行中に調整するような運動制御が行われると考えられる。そこで本研究は、加速、減速がBAHの保持に与える影響を検証することを目的とした。

II. 研究方法

2. 1. 実験参加者

男子大学生5名, 女子大学生5名を対象に行った。

2. 2. 実験装置

可変型モーターによって制御されるベルトコンベア (長さ=4.0m, 高さ=90cm, 捕獲エリア=0.2m) 上に直径60mmのテニスボールを設置したものをを用いた。さらに、ベルトコンベア上の移動標的のスタート位置と1.5m位置に赤外線センサーを設置した。加速条件の速度変化は、スタート位置の赤外線センサーを移動標的が通過した時点で0.45m/sの速度になり、スタートの位置から1.5mの位置まで徐々に速度0.65m/sに速度変化し、1.5mの位置で移動標的が赤外線センサーを通過した時点で捕捉エリアまで徐々に速度0.85m/sに速度変化するようにPCでプログラム制御を行った。また、減速条件は、スタート位置の赤外線センサーを移動標的が通過した時点で0.85m/sの速度になり、スタートの位置から1.5mの位置まで徐々に速度0.65m/sに速度変化し、1.5mの位置で移動標的が赤外線センサーを通過した時点で捕捉エリアまで徐々に速度0.45m/sに速度変化を行うようにした。

2. 3. 実験課題

実験参加者は移動標的と自己の歩行を特定の地点で一致させる一致タイミング課題を行った。移動標的の速度条件として定速 (0.45m/s, 0.65m/s, 0.85m/s) 3条件と、加速 (移動標的開始時0.45m/sから徐々に加速し到達地点において0.85m/sに速度変化する加速条件)、減速 (移動標的開始時0.85m/sから徐々に減速し到達地点において0.45m/sに速度変化する減速条件) の5条件を用いた。実験参加者の移動開始地点は、スタートラインからベルトコンベアの捕捉エリアに対して90°と45°の位置からとした (Figure 1)。

2. 4. 手続き

対象者は、耳、肩、肘、手首に蛍光マーカーを装着した。さらに、ベルトコンベアのモーター音によって速度変化を分別できないようにアイポットプレーヤーからのホワイトノイズを聞きながら試技を行った。教示としてスタートライン（4m）から測定者の合図をもとに歩き始め、移動標的を捕捉エリア内で捕捉することが求められた。その際、走って移動標的を捕ること、速く歩き捕捉エリアで待つ移動標的を捕ることをしないように指示をした。

5条件の速度変化をランダムにスタートラインからベルトコンベアの捕捉エリアに対して90°と45°の位置からそれぞれ25試行、計50試行を行った。その際、対象者が観察学習しないようにデモンストレーションはベルトコンベアを動かさずに行った。これらの試技は、4台のデジタルビデオカメラによって撮影された（対象者歩行側方、対象者後方、到達地点、ボール側方）。

2. 5. データ解析

測定終了後、撮影された映像は、動作解析ソフトDARTFISH（DARTFISH社製）によって、映像

の1コマ（33ms）の区間ごとに歩行速度、歩行距離、移動標的の速度、移動標的の距離、時間ごとのBAHを以下の式によって算出した。

1) BAHの算出方法

$$BAH = \tan^{-1} \left(\frac{\text{heady} - \text{bally}}{\text{headx} - \text{ballx}} \right)$$

Chohanら（2008）の先行研究と同様に、ベルトコンベア上の対象物の移動方向をx軸、到達地点に向かって移動する歩行方向をy軸とし、頭部の速度と移動標的の速度から、保持されるBAHとして最適な角度（start point；90°，BAH；55°，start point；45°，BAH；88°）を算出した（Figure 1. α ・ β 参照）。

2. 6. 統計処理

各速度条件間にBAHの保持に差異があるかを検証するため、各速度条件間の移動標的の到達時間の違いを考慮して、条件間の時間軸を規格化し0%、25%、50%、75%、100%のBAHを算出した。

統計処理として、ベルトコンベアに対し90°、45°

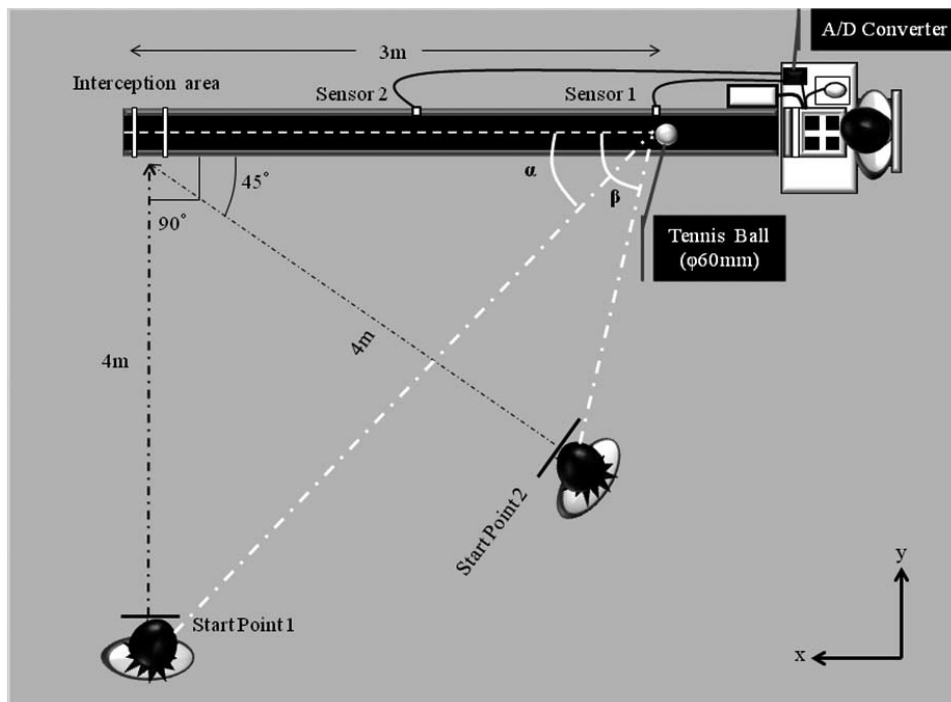


Figure 1. Experimental design. Schematic representation of the experimental setup shows the two walking directions, the direction of the ball with respect to the participant, and the constant bearing angle calculated from each walking direction, α and β , respectively.

の位置からの試技中における各速度条件間の25%ごとのBAHに差異があるか検討するため、速度（等速0.45m/s, 0.65m/s, 0.85m/s, 加速, 減速）× 相対位置（25%, 50%, 75%, 100%）の2要因分散分析を行った。主効果の検定にはBonferroniを用い、交互作用が有意であった場合は単純主効果の分析を行った。

Ⅲ. 結 果

スタート位置90°の条件に関して、各速度条件における課題遂行中のBAHと各速度条件の時間軸を規格化した場合のBAHをFigure 2に示した。さらに、スタート位置45°の条件についても同様に示した（Figure 3）。ベルトコンベアの捕捉エリアに対し90°、45°の位置からスタートした試技中における各速度条件間の25%ごとのBAHに差異があるかを検討するため、2要因の分散分析を行った。スタート位置が90°の条件に関して、各速度条件間の主効果（ $F(4, 36)=588.16$ $p<.01$ ）及び相対位置の主効果（ $F(3, 27)=29.41$ $p<.01$ ）が有意であった。さらに、

各速度条件間と相対位置との交互作用（ $F(12, 108)=28.49$ $p<.01$ ）がみられ、単純主効果検定の結果、スタートから25%の位置では、等速0.45m/s条件のBAHは加速条件を除いた他の条件のBAHよりも小さく（ $p<.01$ ）、減速条件のBAHは他の条件のBAHよりも大きかった（ $p<.01$ ）。また、スタートから50%の位置でも同様の結果を示した。スタートから75%の位置では、等速0.45m/s条件のBAHは他の等速条件のBAHよりも小さく（ $p<.01$ ）、等速0.65m/s条件のBAHは等速0.85m/s条件のBAHよりも小さかった（ $p<.01$ ）。また、加速条件のBAHは等速0.65m/s, 0.85m/s条件のBAHよりも小さく（ $p<.01$ ）、減速条件のBAHは等速0.85m/s条件のBAHよりも小さかった（ $p<.01$ ）。スタートから100%の位置では、等速0.85m/s条件のBAHは加速条件のBAHよりも小さかった（ $p<.01$ ）。

スタート位置45°の条件に関して、各速度条件間の主効果（ $F(4, 36)=50.66$ $p<.01$ ）及び相対位置の主効果（ $F(3, 27)=28.75$ $p<.01$ ）が有意であった。さらに、各速度条件間と相対位置との交互作用（ F

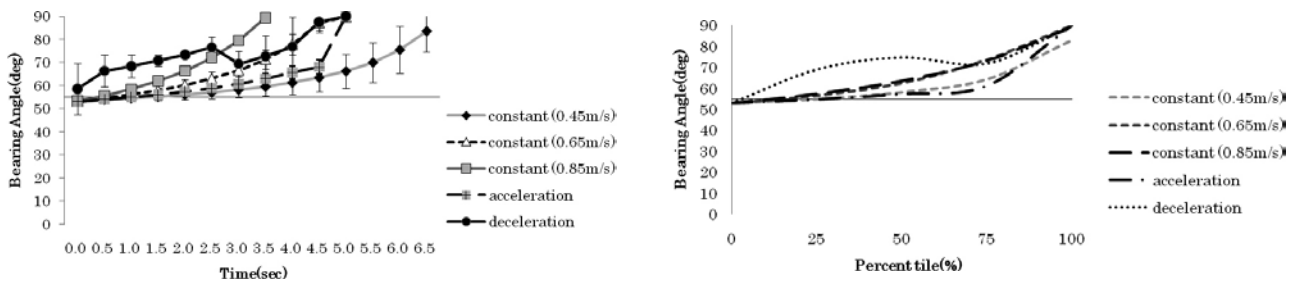


Figure 2. Bearing angle analysis. Bearing angle of the head from start of locomotion to grasp. Average results for varying ball velocities when walking from 90°. Deviation of the head from the Bearing angle (δ BAH). Percentage course of δ BAH at 0, 25, 50, 75 and 100% of the trajectory for participant. Average results for varying ball velocities when walking from 90°.

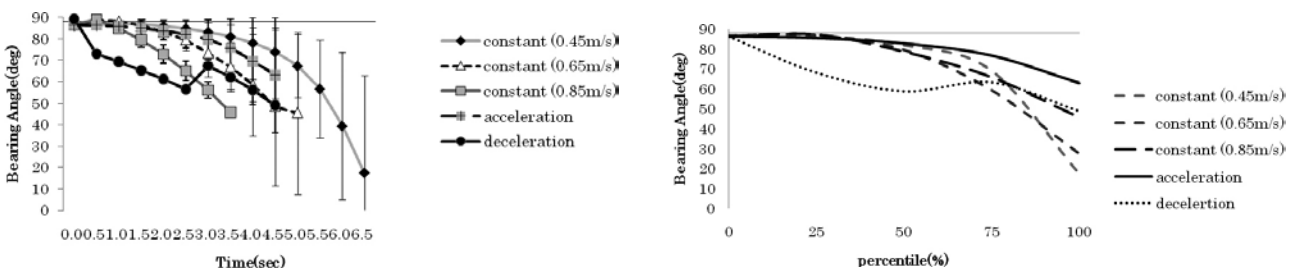


Figure 3. Bearing angle analysis. Bearing angle of the head from start of locomotion to grasp. Average results for varying ball velocities when walking from 45°. Deviation of the head from the Bearing angle (δ BAH). Percentage course of δ BAH at 0, 25, 50, 75 and 100% of the trajectory for participant. Average results for varying ball velocities when walking from 45°.

(12, 108)=7.69 $p<.01$) がみられ、単純主効果検定の結果、スタートから25%の位置では、減速条件のBAHは他の条件のBAHよりも小さかった ($p<.01$)。スタートから50%の位置では、等速0.65m/s条件のBAHは等速0.45m/s条件のBAHよりも小さく ($p<.01$)、減速条件のBAHは他の条件のBAHよりも小さかった ($p<.01$)。スタートから75%の位置では、等速0.45m/s条件のBAHは他の等速条件のBAHよりも小さかった ($p<.01$)。スタートから100%の位置では、加速条件のBAHは等速0.45m/sのBAHよりも小さく ($p<.01$)、減速条件のBAHは等速0.85m/s条件のBAHよりも小さかった ($p<.01$)。

これらの結果より、スタート位置90°、45°の両条件とも歩行開始から相対位置50%までの減速条件においては、他の速度条件のBAHとは異なる値を示した。しかしながら、歩行開始から相対位置75%での減速条件のBAHは、他の速度条件のBAHと類似していることから、相対位置50-70%の区間で歩行動作を修正したことが考えられる。

IV. 考 察

本研究の目的は、安定した環境下である等速条件 (0.45m/s, 0.65m/s, 0.85m/s) と、複雑な環境下である加速 (0.45m/sから0.85m/sへ徐々に加速)、減速 (0.85m/sから0.45m/sへ徐々に減速) 条件を用い、対象者のスタート位置 (90°, 45°) からのBAHに与える影響を検討することであった。

その結果、両角度とも減速条件を除いて、等速、加速条件ともに歩行開始時間全体の25-50%程度で速度条件に差が認められていることから、Chardenonら (2004) の知見と同様の結果であった。しかしながら減速条件においては両角度とも歩行開始時から75%にかけて等速、加速条件とは異なったBAHの角度変化が認められたが、歩行開始時間全体の75%から最終局面では、等速、加速条件と同様の結果を示していた。この点に関して、中本・森 (2008) は、速度変化状況での一致タイミング課題における野球の熟達と運動修正の研究で、減速に対してタイミングを調整するのに抑制が関わっていることを報告している。本研究においては、減速条件

は歩行開始時では等速、加速条件よりもBAHは違う結果を示したが歩行開始時全体の75%以降では類似した結果を示していた。このことから歩行開始後の75%付近になると、運動の修正が行われたことが示唆された。このように、減速条件は、加速、等速条件とは異なった反応であった。つまり、減速条件での反応パターンは、前半と後半で異なる制御パターンプログラムを用いていた可能性が考えられる。Moriceら (2009) は、視覚情報による環境からの情報量によって予測性が高い場合にはBAHを用い、視覚情報からオンラインに修正している場合には異なった制御を用いているということを報告している。一方、複雑な環境下として用いた加速条件に関しては両角度からのBAHは等速条件と類似した結果を示した。このことは、仮説上は加速条件も減速条件と同様に、複雑な環境での適応を検討したにもかかわらず、等速条件と類似した制御プログラムで行われていると考えられる。

以上から、等速、加速条件において類似したBAHを示したことから移動標的を捕まえる予測の段階で角度を検出することで運動を調整できていることが示唆された。一方、減速条件においてはスタート位置90°、45°の両角度とも歩行動作全体の75%付近で等速、加速条件と同様の結果を示していた。この結果より、減速条件では歩行開始時に他の速度条件とは違う速度で歩行を開始したもののBAHを移動標的を捕まえるために角度検出を行い、運動修正が行われることが示唆された。

本研究の知見は、BAHの保持のみに焦点をあて成人で研究を行ったが、今後は発達段階においていつごろから予測でき、BAHの保持が出来るようになるか、さらに歩行速度変化や、立位置による視覚の影響の違いなどを検討する必要性があるといえる。

V. 参考文献

Antoine H. P. Morice, Matthieu Francois, David M. Jacobs, Gilles Montagne (2009). Environmental constraints modify the way an interceptive action is controlled. *Exp Brain*, 8, 1-15.

- Chardenon, A., Montagne, G., Buekers, M.J., & Laurent, M.(2002). The visual control of ball interception during human locomotion. *Neuroscience Letters*, 334, 13-16.
- Chardenon, A., Montagne, G., Laurent, M., & Bootsma. R. J.(2004). The perceptual control of goal directed locomotion: A common control architecture for interception and navigation. *Experimental Brain Research*, 158, 100-108.
- Chohan, A., Savelsbergh, G. J. P., Van Kampen, P., Wind, M., & Verheul, M. H. G.(2006). Postural adjustments and bearing angle use in interceptive actions. *Experimental Brain Research*, 171, 47-55.
- Chohan, A., Van Kampen, P., Savelsbergh, G. J. P.(2008). Children's use of the Bearing Angle in interceptive Actions. *Motor Behavior*, 1, 18-28.
- 中本浩揮・森司朗（2008）速度変化状況での一致タイミング課題における野球の熟達と運動修正との関係. *体育学研究*, 53, 39-50.