

リスク下におけるゴルフパッティング距離調整

Golf Putting Distance Control under Risk

太田 啓示 (東京大学 大学院総合文化研究科 広域科学専攻 生命環境科学系 身体運動科学研究室, 日本学術振興会特別研究員)
森岡 祐平 (東京大学 大学院総合文化研究科 広域科学専攻 生命環境科学系 身体運動科学研究室)
進矢 正宏 (東京大学 大学院総合文化研究科 広域科学専攻 生命環境科学系 身体運動科学研究室)
工藤 和俊 (東京大学 大学院総合文化研究科 広域科学専攻 生命環境科学系 身体運動科学研究室)

抄録

より良いパフォーマンスのためには、リスクのある状況や、自身のパフォーマンス変動の大きさに応じて、選択すべきプレーを変える必要がある。本研究では、ゴルフパッティング課題を用いて、リスクの有無やパフォーマンス変動の増減により、どこにボールを停止させるかというパットの狙い所が変化するかを検討した。課題のリスク設定として、ボール停止位置が2mもしくは3mのラインに近づくほど得点が増加したが、ラインを超えると得点は0点(失敗)となるリスクのある条件、ラインを超えても得点を得られるリスクのない条件を設けた。参加者は、30試行の総得点を最大化するように教示された。実験の結果、リスクのない条件に比べリスクのある条件で、平均ボール停止位置はラインよりも手前となった。また、リスクのある条件において、ボール停止位置の変動は2m条件よりも3m条件で大きくなったが、その平均停止位置に有意な差は認められなかった。これらの結果は、ゴルフ未経験者においては、リスクの有無に応じたパッティング距離調整が可能であるものの、パフォーマンス変動に応じたパッティング距離調整が困難である可能性を示している。

諸言

スポーツパフォーマンスに関わる心理的要因として、マートンはイメージのスキル、心理的エネルギーの管理、ストレス管理、注意のスキル、目標設定のスキルの5つを挙げている(マートン, 1987/1991)。しかしながら、パフォーマンス向上のためには、これらの要因に加えて、プレーや戦術の選択といった意思決定も重要であると考えられる。例えば、ゴルフでは、どのようにボールを打つか

という運動遂行の要因だけでなく、どのクラブを選択して、どこを狙ってボールを打つかという意思決定の要因がパフォーマンスの良し悪しに関わる。また、スポーツの場面では、より良いパフォーマンスと失敗のリスクがしばしば隣り合わせになる。たとえばゴルフでは、グリーン奥に深いバンカーがあり、ピン位置がそのバンカーに隣接してグリーン奥に設定されているような状況でのショットがこれに当たる。すなわち、ピンのすぐ近くにボールが寄せれば、次のパットでカップインする可能性が増大する。しかしながら、ピンのそばに寄せようとする、バンカーに入る確率も同時に増大してしまう。仮にバンカーに入ってしまうと、ボールがグリーン上にある場合に比べて次の1打でカップインする可能性は減少する。このような状況においては、具体的な狙い場所の選択がパフォーマンスを左右する鍵となる。

このように、リスク下では、狙い所に関する選択が求められるものの、運動を実行する際のノイズにより出力結果には変動が生じるため(Harris and Wolpert, 1998; Schmidt et al., 1979; van Beers et al., 2004)、計画した運動を必ず実行できるとは限らない。したがって、運動遂行の際はこのような変動への対処が必要となる(Kudo et al., 2000; Kudo and Ohtsuki, 2008)。この動作変動は、力や移動距離が増大するに従い大きくなるという、信号強度依存的な性質を有し(Harris and Wolpert, 1998; Schmidt et al., 1979; van Beers et al., 2004)。また、ポインティングやリーチングといった上肢の到達運動では、その到達終点分布が正規分布に従うことが知られている(Hudson et al., 2012; O'Brien and Ahmed, 2013; Trommershäuser et al., 2003a; Trommershäuser et al., 2003b; Trommershäuser et al., 2005)。

すなわち、より良いパフォーマンスのためには、動作変

動の信号強度に応じて、狙い所を決める必要がある。上述のように、ピン位置がグリーン奥の深いバンカーと隣接して設定されている状況を想定すると、ピンまでの距離が短い場合には、動作変動が小さく、比較的計画した通りの位置にボールを打つことができる（パフォーマンス変動が小さい）ので、ピンの近くを狙ったショット選択をしても良い。しかしながら、ピンまでの距離が長い場合には、動作変動が大きく、計画した通りの位置にボールを打つことが難しくなる（パフォーマンス変動が大きい）ため、ピンまでの距離が短い場合と同じ位置を狙っているとバンカーに入る確率が増大する。そのため、このショット選択は距離が短い場合に比べてリスクの高い選択であると言える。すなわち、距離が長い場合には、ピンよりも手前を狙ったショットがリスクを考慮した選択となる。

運動制御に関する先行研究では、様々な利得やリスクの伴う環境下で、自身の動作変動に対応して到達終点の狙い所を適切に決定できるか検討されてきた (Hudson et al., 2012; O'Brien and Ahmed, 2013; Trommershäuser et al., 2003a; Trommershäuser et al., 2003b; Trommershäuser et al., 2005; Trommershäuser et al., 2008; Wu et al., 2006)。これらの先行研究においては、ポインティングやリーチング動作、全身動作 (COP [Center of Pressure] の移動) を一定試行数行い、その到達終点を計測している。到達終点は各試行でばらつくが、一定試行数後の終点分布は、正規分布に従うことが確認されているため、その平均的な到達終点は参加者が目標としていた位置 (狙い所) を反映していると考えられる (Hudson et al., 2012; O'Brien and Ahmed, 2013; Trommershäuser et al., 2003a; Trommershäuser et al., 2003b; Trommershäuser et al., 2005; Trommershäuser et al., 2008; Wu et al., 2006)。

本研究では、ゴルフパッティング課題を用いて、設定されるリスクの有無とパッティング動作の平均的なボール停止位置 (狙い所) との関係性を明らかにすることを目的とした。次に、リスクのある状況 (より良いパフォーマンスと失敗が隣接した状況) 下において、パフォーマンス変動の増減と平均ボール停止位置との関係性を明らかにすることを目的とした。ゴルフパッティングでは、目標とするパッティング距離が増大するとダウンスイングの振幅と速度の双方を向上させる方略を取ることが報告されている (Delay et al., 1997)。すなわち、パッティング距離が増大すると、スイング速度向上のために発揮する力が大きくなり、パフォーマンス変動としてのボール停止位置の分散は増大すると予想される。本研究では、ボール停止位置の分散を操作するために、2m と 3m のパッティング条件を設けた。また、良いパフォーマンスと失敗のリスクが隣接した状況を構築するために、2m もしくは 3m ラインとボール停止位置の差に応じて 0 点から 100 点までの得点

を与え、課題のリスク設定を行った。

方法

参加者

本研究は、東京大学大学院総合文化研究科・教養学部、ヒトを対象とした実験研究に関する倫理審査委員会の承認を受けた。参加者には実験前にインフォームドコンセントを取得した。16人の右利き参加者 (男性13人、女性3人) が実験に参加した。参加者の平均年齢は、 22.4 ± 1.7 歳であり、ゴルフは未経験であった。参加者は本実験への参加は初めてで、実験の意図は知らなかった。

実験課題

本実験では、ゴルフのパッティング課題を用いた。実験設定を図1に示す。実験室内の平坦な床に100cm × 600cmの人工芝パターマット (RG-350, ユニチカ) を敷き、左端から50cm地点に打球開始点を印した。また、打球開始点から2mと3mの位置に、白色テープを用いて参照ラインを引いた。参加者は、打球開始点にゴルフボールを置き、これらのラインを参照にして、全参加者で同一のパター (USA PRO, Tommy Aaron) を用いてパッティングを行った。

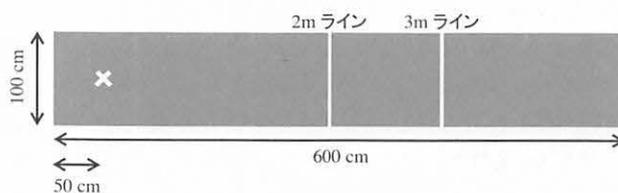


図1. 実験設定

実験条件

実験条件は、参照ラインが2mと3mの2つの距離と、No Risk条件とRisk条件の2つの得点関数を組み合わせ、1) 2m No Risk条件、2) 2m Risk条件、3) 3m No Risk条件、4) 3m Risk条件の計4通りで実施した。

No Risk条件では、得点関数が参照ラインに対して対称な形状をしており (図2A)、得点 S は、2mもしくは3mの参照ラインからのボール停止位置 p (打球開始点からのボール到達距離 - 参照ライン) を関数とした以下の式で与えられた。

$$S(p) = \begin{cases} \frac{1}{2}p + 100, & \text{if } p \leq 0 \\ -\frac{1}{2}p + 100, & \text{if } p > 0 \end{cases} \quad (1)$$

ここで、ボール停止位置 p は、cm単位で示しており、ボールが参照ラインから1cm離れるごとに0.5点分の得点が減算される。No Risk条件では、ボールが参照ラインよ

りも手前に停止し、 p が負値になったとき、得点は位置に対して線形に増加した。 p が0となり、参照ラインに一致したときには100点となった。また、ボールが参照ラインよりも奥に停止し、 p が正値になったとき、得点は位置に対して線形に低下した。すなわち、打球開始点からのボール到達距離として考えると、2m No Risk条件では、1cmから399cmが、3m No Risk条件では101cmから499cmが得点できる範囲となった。

一方で、Risk条件では、得点関数は参照ラインに対して非対称な形状をしており(図2B)、得点は以下の式で与えられた。

$$S(p) = \begin{cases} \frac{1}{2}p + 100, & \text{if } p \leq 0 \\ 0, & \text{if } p > 0 \end{cases} \quad (2)$$

この条件では、ボールが参照ライン上か参照ラインよりも手前に停止したときには、得点はNo Risk条件と同じく位置に対して線形に増加したが、参照ラインを超えると得点は0点となった。すなわち、より高い得点(パフォーマンス)と失敗のリスクが隣接している非対称な形状であった。打球開始点からのボール到達距離として考えると、2m Risk条件では、1cmから200cmが、3m Risk条件では101cmから300cmが得点できる範囲となった。

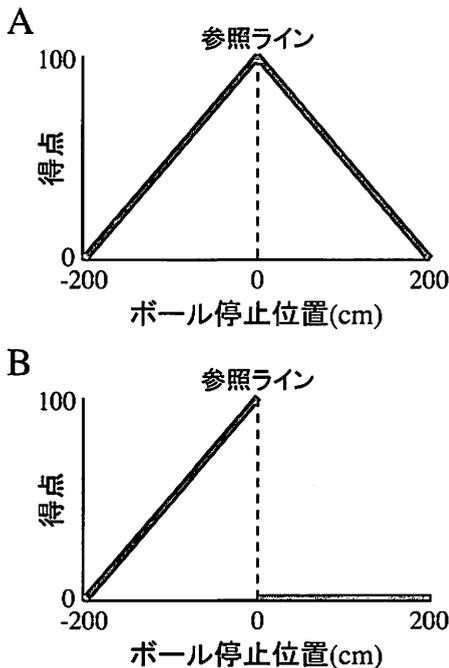


図2. 実験条件 (A) No Risk条件 (B) Risk条件

実験手続き

参加者には実験開始前に4つの得点関数の形状を教示した。そのため参加者は得点関数の形状に関する知識を与えられた上で実験を始めることができた。各試行において、参照ラインよりも手前を負値、奥を正値とし、そのボール停止位置と得点をフィードバックした。停止位置は1cm単位で計測した。参加者は、練習として、2mのパッティングを10試行実施した後、3mのパッティングを10試行実施した。練習では、ボール停止位置のみをフィードバックした。その後、参加者間でカウンターバランスされた試行順序に従い、2m No Risk条件、2m Risk条件、3m No Risk条件、3m Risk条件をそれぞれ、30試行ずつ実施した。参加者は各条件で30試行の総得点(1試行の期待得点)をできるだけ高くするよう教示された。各条件は1つの実験ブロックとして区切られ、ブロック内での平均ボール停止位置を参加者のパットの狙い所として推定した^{注1}。なお、実験プロトコルとして、1) 2m No Risk → 2m Risk → 3m No Risk → 3m Risk, 2) 2m Risk → 2m No Risk → 3m Risk → 3m No Risk, 3) 3m No Risk → 3m Risk → 2m No Risk → 2m Risk, 4) 3m Risk → 3m No Risk → 2m Risk → 2m No Riskの4通りの系列を用意し、無作為に参加者に割り当てた。

統計処理

統計解析には、SPSS Statistics Ver. 22 (IBM社製)を用い、危険率5%未満を有意水準とした。ボール停止位置の標準偏差、期待得点、ボール停止位置の平均を従属変数として、距離(2: 2m and 3m) × 得点関数(2: No Risk and Risk)を要因として、繰り返しのある2要因分散分析を実施した。正規性検定の結果、これらの従属変数は正規分布に従うことを確認した。なお、各条件で平均値から±2.5SD以上離れている試行を外れ値と判定し、分析から除外した。標準正規分布表に基づく、2.5SD以上に含まれる正規分布の両側確率は1.24%となり、外れ値として扱うのに適切な割合であると考えられる。参加者間の外れ値数の平均は、2m No Risk条件で0.2 ± 0.4試行、2m Risk条件で0.4 ± 0.6試行、3m No Risk条件で0.2 ± 0.4試行、3m Risk条件で0.1 ± 0.3試行であった。すなわち、30試行における平均的な外れ値の割合は、0.33 ~ 1.33%となり、標準正規分布表における推定値と一致すると考えられる。

注1: パットの狙い所を推定するためには、数十試行のボール停止位置を測定する必要がある。数試行では、参加者が目標とした位置にボールが到達していたのか、目標とした位置は別にあったがボールがばらついた結果その位置に到達していたのか判別することができない。そのために、30試行を1つのブロックとして区切り実験を実施し、その平均ボール停止位置をパットの狙い所として推定した。

結果

図3に、参照ラインからのボール停止位置の分布の典型例(参加者1名分)を示す。図3から、No Risk条件では平均停止位置が参照ライン付近にあるが、Risk条件では参照ラインよりも少し手前であることが分かる。No Risk条件内とRisk条件内では、平均停止位置に2mと3m間で大きな差は見られない。また、ボール停止位置の分布は、2m条件よりも3m条件で広がっており、平均を中心としておおよそ手前と奥に偏りなく分布している。以下の分析でこれらを定量的に評価する。

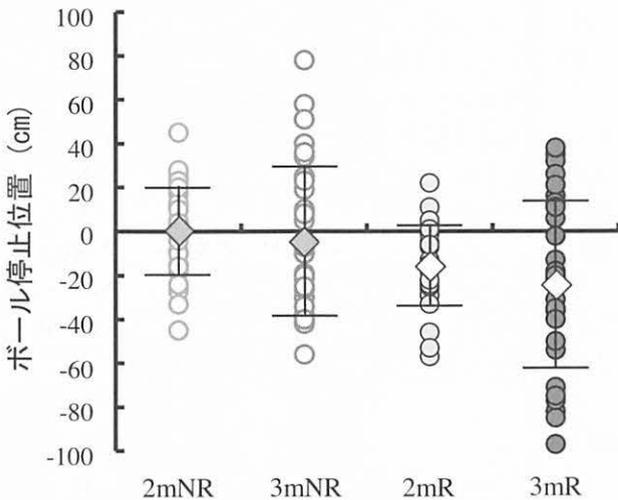


図3. 参加者1名分のボール停止位置の分布

各条件において、丸は全試行分のボール停止位置、菱形はその平均点、誤差範囲は1標準偏差を表す。

まず、ゴルフパッティング課題において、ボールの停止位置が正規分布に従い分布するかを検討した。各参加者の各条件において、全試行のボール停止位置のサンプルに対して、Shapiro-Wilkの正規性検定を実施した。Shapiro-Wilkの正規性検定では、サンプルが正規分布に従うという帰無仮説を立て、これが棄却された場合に正規分布に従わないという対立仮説を採用する。検定の結果、ボール停止位置サンプルが正規分布に従うという帰無仮説が有意に棄却されなかったのは、2m No Risk条件で93.8% (15/16)、2m Risk条件で100% (16/16)、3m No Risk条件で93.8% (15/16)、3m Risk条件で81.3% (13/16)であった。表1では、帰無仮説が有意に棄却されたデータの検定統計量と有意確率を示している。これらの結果から、ゴルフパッティングにおけるボールの停止位置は正規分布に従い、この結果はパッティングの距離や得点関数の形状に関わらず見られることが明らかになった。

表1. Shapiro-Wilkの正規性検定の結果

サンプルが正規分布に従うという帰無仮説が棄却されたデータを示す。

参加者	実験条件	W値	自由度	P値
P4	3mR	0.930	30	0.049
P7	2mR	0.922	30	0.030
P8	2mNR	0.923	29	0.035
P13	3mR	0.927	30	0.041
P14	3mR	0.928	30	0.042

次に、このボール停止位置の分布の広がりやの程度に条件間の差があるかを検討するために、各条件のボール停止位置の標準偏差を従属変数とし、繰り返しのある2要因分散分析を行った。その結果、得点関数の主効果 ($F[1, 15] = 0.99, p = 0.34, \eta^2 = 0.00$) は認められなかったが、距離の主効果 ($F[1, 15] = 105.57, p < 0.001, \eta^2 = 0.80$) と交互作用 ($F[1, 15] = 6.97, p < 0.05, \eta^2 = 0.01$) が認められた。単純主効果検定の結果、距離の単純主効果がNo Risk条件 ($F[1, 15] = 77.35, p < 0.001, \eta^2 = 0.84$) とRisk条件 ($F[1, 15] = 107.77, p < 0.001, \eta^2 = 0.88$) において有意であり、ボール停止位置の標準偏差は2m No Risk条件よりも3m No Risk条件で大きく ($p < 0.001$)、2m Risk条件よりも3m Risk条件で大きい ($p < 0.001$) ことが明らかになった(図4)。また、得点関数形状の単純主効果は、2m条件 ($F[1, 15] = 5.12, p < 0.05, \eta^2 = 0.26$) において有意であり、ボール停止位置の標準偏差は2m Risk条件よりも2m No Risk条件で大きかった ($p < 0.05$)。一方で、3m条件では得点関数形状の単純主効果は有意でなかった ($F[1, 15] = 0.12, p = 0.74, \eta^2 = 0.01$)。これらの結果から、パフォーマンス変動としてのボール停止位置の分散は、ボールを打つ力の大きさ(距離)に依存して大きくなり信号強度依存的であることが確認された。

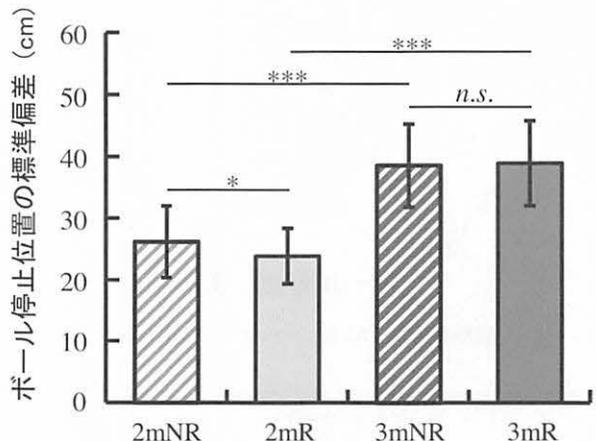


図4. ボール停止位置の標準偏差の参加者間平均

***: $p < .001$, *: $p < .05$. 誤差範囲は1標準偏差を表す。

次に、各条件で参加者が獲得した期待得点に条件間の違いがあるかを検証した。各条件の期待得点を従属変数とし、繰り返しのある2要因分散分析を実施した結果、距離の主効果 ($F[1, 15] = 33.25, p < 0.001, \eta^2 = 0.10$)、得点関数の主効果 ($F[1, 15] = 296.70, p < 0.001, \eta^2 = 0.79$)、交互作用 ($F[1, 15] = 4.66, p < 0.05, \eta^2 = 0.00$)の全てが有意であった。単純主効果検定の結果、距離の単純主効果検定はNo Risk条件 ($F[1, 15] = 58.71, p < 0.001, \eta^2 = 0.80$)とRisk条件 ($F[1, 15] = 19.85, p < 0.001, \eta^2 = 0.57$)において有意であり、獲得した期待得点は3m No Risk条件よりも2m No Risk条件で大きく ($p < 0.001$)、3m Risk条件よりも2m Risk条件で大きい ($p < 0.001$) ことが明らかとなった(図5)。得点関数形状の単純主効果検定も、2m条件 ($F[1, 15] = 210.19, p < 0.001, \eta^2 = 0.93$)と3m条件 ($F[1, 15] = 182.58, p < 0.001, \eta^2 = 0.92$)において有意であり、期待得点は2m Risk条件よりも2m No Risk条件で大きく ($p < 0.001$)、3m Risk条件よりも3m No Risk条件で大きかった ($p < 0.001$)。

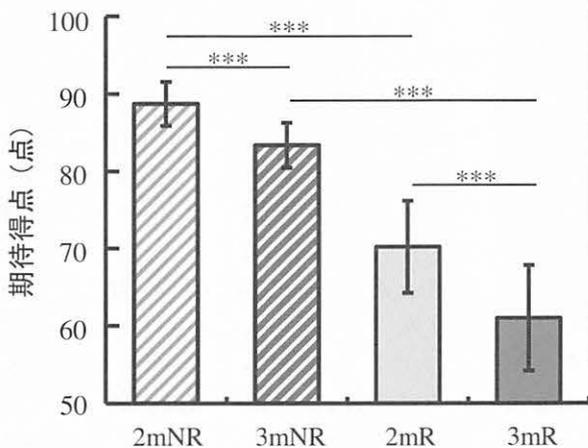


図5. 獲得された期待得点の参加者間平均
*** : $p < .001$. 誤差範囲は1標準偏差を表す。

く ($p < 0.001$)、3m No Risk条件よりも3m Risk条件で低いことが明らかになった ($p < 0.001$)。しかし、距離の単純主効果はNo Risk条件 ($F[1, 15] = 2.06, p = 0.17, \eta^2 = 0.12$)とRisk条件 ($F[1, 15] = 1.74, p = 0.21, \eta^2 = 0.10$)のそれぞれにおいて有意ではなく、ボール停止位置の平均は、2m No Risk条件と3m No Risk条件間で有意な差が見られず、2m Risk条件と3m Risk条件間においても有意な差が見られなかった。すなわち、これらの結果は、No Risk条件からRisk条件への得点関数の変更に対しては、打球停止位置を参照ラインのより手前へと調整していたが、Risk条件において、2m条件から3m条件へのパッティング距離の変更に対しては、参照ラインを基準とした到達距離の調整が行われていなかった可能性を示している。3m Risk条件において、パフォーマンス変動が小さい2m Risk条件と同じ位置を目指して打球していると、失敗数が増大してしまう。実際に失敗数は2m Risk条件に比べ3m Risk条件で有意に増加する傾向が見られた(2m Risk条件: 4.2 ± 2.7 回, 3m Risk条件: 5.6 ± 3.0 回, $t[15] = 1.82, p = 0.090$)。

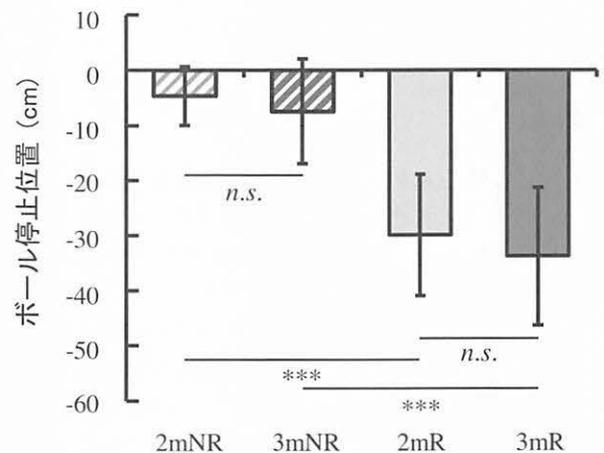


図6. ボール停止位置の参加者間平均
*** : $p < .001$. 誤差範囲は1標準偏差を表す。

最後に、参照ラインからのボール停止位置の平均に条件間の差があるかを検討した。ボール停止位置の平均を従属変数とし、繰り返しのある2要因分散分析を実施した結果、距離の主効果 ($F[1, 15] = 2.32, p = 0.15, \eta^2 = 0.01$)と交互作用 ($F[1, 15] = 0.21, p = 0.66, \eta^2 = 0.00$)は認められず、得点関数の主効果 ($F[1, 15] = 77.86, p < 0.001, \eta^2 = 0.74$)が認められた。さらに、得点関数形状の単純主効果は、2m条件 ($F[1, 15] = 77.88, p < 0.001, \eta^2 = 0.84$)と3m条件 ($F[1, 15] = 59.06, p < 0.001, \eta^2 = 0.80$)において有意であり、ボール停止位置の平均は、図6に示すように、2m No Risk条件よりも2m Risk条件で低

上述した単純主効果検定の効果量 (η^2)を表2にまとめた。ボール停止位置の標準偏差について、同一距離間では、2m No Risk-2m Risk条件間で0.26, 3m No Risk-3m Risk条件間で0.01となり、異なる距離間では、2m No Risk-3m No Risk条件間で0.84, 2m Risk-3m Risk条件間で0.88となった。すなわち、同一距離間よりも異なる距離間で検定した際に、大きな効果量が認められた。この結果は、パフォーマンス変動の信号強度依存性を支持するものである。ボール停止位置の平均については、同一得点関数間では、2m No Risk-3m No Risk条件間で0.12, 2m Risk-3m Risk条件間で0.1となり、異なる得点

表2. 単純主効果の検定による効果量の比較

η^2 値		距離の単純主効果		得点関数形状の単純主効果	
		NR (2m vs 3m)	R (2m vs 3m)	2m (NR vs R)	3m (NR vs R)
ボール 停止位置	標準偏差	0.84	0.88	0.26	0.01
	平均	0.12	0.1	0.84	0.8

関数間では、2m No Risk-2m Risk条件間で0.84, 3m No Risk-3m Risk条件間で0.8となった。すなわち、同一得点関数間よりも異なる得点関数間で検定した際に、大きな効果量を確認できた。この結果は、2m Risk条件から3m Risk条件で見られたボール停止位置の変更は、少なくともNo Risk条件からRisk条件で見られた停止位置の変更ほど大きなものではないということを示している。すなわち、参加者は、Risk条件へと得点関数に変更されリスクが付加されることに対しては、ボール停止位置を参照ラインよりも手前へと調整するように変更していたが、Risk条件内において距離が変更されパフォーマンス変動が増減することに対しては、大きなボール停止位置の変更をしていなかった可能性を示唆している。

考察

本研究では、ゴルフパッティング課題を用いて、リスクの有無やパッティング距離によるパフォーマンス変動の増減により、どこにボールを停止させるかというパットの狙い所が変化するか検討した。まず、本研究の結果から、2m条件よりも3m条件でボール停止位置の標準偏差は増加し、パッティング動作には信号強度依存的なノイズが見られることが確認できた。この結果は、先行研究の結果 (Schmidt et al., 1979; van Beers et al., 2004) を支持するものである。また、このボール停止位置の分布は得点関数の形状や、距離に関わらず正規分布することが確認できた。人の運動は計画した運動に正規分布ノイズが付加されて出力されることが、リーチングやポインティングなどの動作で確認されているが (Hudson et al., 2012; O'Brien and Ahmed, 2013; Trommershäuser et al., 2003a; Trommershäuser et al., 2003b; Trommershäuser et al., 2005)、初心者のゴルフパッティング動作においても同様の結果となることが示された。

平均ボール停止位置は、2m No Risk条件と3m No Risk条件間ともに参照ライン付近にあり、両条件間で有意差は認められなかった。この結果は、参加者が2m条件と3m条件ともに参照ライン付近を狙ってパッティングを実施していたことを示唆している。No Risk条件では、期待得点を高めるためには、パフォーマンス変動が増減し

ても参照ラインの上を狙うことが適切である。参加者が用いていたパッティング距離の調整方略はこれに従っていたと考えられる。また、No Risk条件からRisk条件にかけて、ボール停止位置の変化が見られた。平均ボール停止位置は2m No Risk条件よりも2m Risk条件で、3m No Risk条件よりも3m Risk条件で有意に低くなった。さらに、2m No Risk条件-2m Risk条件間、3m No Risk条件-3m Risk条件間における検定で得られた効果量は、2m No Risk条件-3m No Risk条件間における検定で得られた効果量よりも大きな値となった。これらの結果は、リスクの有無により、ボール停止位置を参照ライン付近もしくは参照ラインよりも手前に調整するよう、狙い所を変更していたことを示している。先行研究においても、ペナルティの増減により、人はポインティング動作の狙いをより利得の高まる方向へと適切に変更できることを示しているが (Trommershäuser et al., 2003b; Trommershäuser et al., 2005)、本研究の結果は、そのような運動方略が自由度の大きく多関節の協調をより要するパッティング動作においても見られることを示している。

一方で、2m Risk条件と3m Risk条件間においては、平均ボール停止位置に有意な差は認められなかった。これらの条件間における検定で得られた効果量も、2m No Risk条件-2m Risk条件間、3m No Risk条件-3m Risk条件間における検定で得られた効果量よりも低い値となった。これらの結果は、参加者がリスクの付加に対してはパッティング距離を参照ラインよりも手前に変更したが、リスク下において2mから3mのパッティングに伴うパフォーマンス変動の増加に対してはパッティング距離を大きく変更していなかった可能性を示している。Risk条件において期待得点を高めるためには、信号強度依存ノイズによりパフォーマンス変動が大きくなった際には、参照ラインよりもより手前を狙う必要がある。変動が小さいときと同じ位置を目標とし打球していると、失敗数が増大してしまうためである。

2m Risk条件と3m Risk条件で平均ボール停止位置に差が見られなかった理由として、ボール停止位置の分散が大きかったために、平均停止位置のわずかな違いを有意差として検出できなかった可能性がある。図6から、平均ボール停止位置は、2m Risk条件よりも3m Risk条件で

約4cm手前となっている。このことから、3m Risk条件において、参加者は2m Risk条件よりも手前にボールを停止させるよう打球していたが、新規なゴルフパッティング課題であったため、統計的に有意な差として検出できるほど、十分に正確にパッティング距離を調整できなかったのかもしれない。但し、2m Risk条件から3m Risk条件にかけて、失敗数は4.7% (30試行中1.4試行) 増大しており、このことを考慮すると、参加者の狙い所は両条件間で大きくは変更されていなかったと考えることができるだろう (パフォーマンス変動が大きくなる3m Risk条件でも、2m Risk条件より手前を目指してパッティングできていたならば、失敗数は増大しない)。すなわち、参加者は、3m Risk条件において、2m Risk条件よりも相対的にリスクの高い位置に狙い所を定めていたと考えられる。

上述の停止位置のわずかな違いを有意差として検出できなかったという可能性を検討するため、本研究の今後の展開として、ゴルフ経験者に対して実施することが挙げられる。ゴルフ経験者では、ボール停止位置の分散が小さく、正確に停止位置を調整できるコントロール能力を有している。すなわち、本実験においてゴルフ初心者で見られたリスクの有無とボール停止位置の変更に加え、ゴルフ経験者では、リスク下においてパフォーマンス変動が増減したときに、ボール停止位置の狙いを変更できる可能性がある。また、ゴルフ経験者は、日頃の経験から、自身のパッティング分散に関するより正確な知識を有していると考えられる。先行研究では、この自分自身の動作分散に関して、本来の大きさよりも主観的にはより小さく認識され、動作の正確性を過大評価されてしまうことが示されている (Nagengast et al., 2011; O'Brien and Ahmed, 2013; Wu et al., 2009)。このことから、本研究の参加者は、新規なゴルフパッティング課題において、2m に比べ3mにおいて、ボール停止位置の分散がどの程度増大するのかということを正確に認識できなかったため、2m Risk条件と3m Risk条件間において、パッティング距離の調整を明確な違いで行っていなかったのかもしれない。すなわち、このような運動経験、動作変動の認識、ボール停止位置の調整との関係性について、知覚実験等も加えて検討することにより、リスク下で動作変動の増減に対応したパッティング距離調整の方略についてより深く探求することが可能になると言えるだろう。

謝辞

本研究はJSPS科研費26560344の助成を受けて行われた。

文献

Delay, D., Nougier, V., Orliaguet, J. P., and Coello, Y. (1997) Movement control in golf putting. *Hum. Mov. Sci.*, 16(5):

597-619. doi: 10.1016/S0167-9457(97)00008-0

Harris, C. M., and Wolpert, D. M. (1998) Signal-dependent noise determines motor planning. *Nature*, 394(6695): 780-784. doi: 10.1038/29528

Hudson, T. E., Wolfe, U., and Maloney, L. T. (2012) Speeded reaching movements around invisible obstacles. *PLoS Comput. Biol.*, 8(9): e1002676. doi: 10.1371/journal.pcbi.1002676

Kudo, K., Tsutsui, S., Ishikura, T., Ito, T., and Yamamoto, Y. (2000) Compensatory coordination of release parameters in a throwing task. *J. Mot. Behav.*, 32(4): 337-345. doi: 10.1080/00222890009601384

Kudo, K., and Ohtsuki, T. (2008) Adaptive variability in skilled human movements. *人工知能学会論文誌*, 23(3): 151-162. <http://doi.org/10.11185/imt.3.409>

マートン：猪俣公宏 (監訳) (1991) コーチング・マニュアルメンタルトレーニング。東京：大修館, pp. 77-86. (Martens, M. (1987) *Coaches Guide to Sport Psychology*. Illinois: Human Kinetics.)

Nagengast, A. J., Braun, D. A., and Wolpert, D. M. (2011). Risk-sensitivity and the mean-variance trade-off: decision making in sensorimotor control. *Proc. R. Soc. B*. 278(1716): 2325–2332. doi: 10.1098/rspb.2010.2518

O'Brien, M. K., and Ahmed, A. A. (2013) Does risk sensitivity transfer across movements?. *J. Neurophysiol.*, 109(7): 1866-1875. doi: 10.1152/jn.00826.2012

Schmidt, R. A., Zelaznik, H., Hawkins, B., Frank, J. S., and Quinn Jr, J. T. (1979) Motor-output variability: A theory for the accuracy of rapid motor acts. *Psychol. Rev.*, 86(5): 415-451.

Trommershäuser, J., Maloney, L. T., and Landy, M. S. (2003a) Statistical decision theory and trade-offs in the control of motor response. *Spat. Vis.*, 16(3): 255-275. doi: 10.1163/156856803322467527

Trommershäuser, J., Maloney, L. T., and Landy, M. S. (2003b) Statistical decision theory and the selection of rapid, goal-directed movements. *J. Opt. Soc. Am. A.*, 20(7): 1419-1433. doi: 10.1364/JOSAA.20.001419

Trommershäuser, J., Gepshtein, S., Maloney, L. T., Landy, M. S., and Banks, M. S. (2005) Optimal compensation for changes in task-relevant movement variability. *J. Neurosci.*, 25(31): 7169-7178. doi: 10.1523/JNEUROSCI.1906-05.2005

Trommershäuser, J., Maloney, L. T., and Landy, M. S. (2008) Decision making, movement planning and statistical decision theory. *Trends. Cog. Sci.*, 12(8): 291-297. doi: 10.1016/j.tics.2008.04.010

van Beers, R. J., Haggard, P., and Wolpert, D. M. (2004) The role

of execution noise in movement variability. *J. Neurophysiol.*,
91(2): 1050-1063. doi: 10.1152/jn.00652.2003

Wu, S. W., Trommershäuser, J., Maloney, L. T., and Landy, M.
S. (2006) Limits to human movement planning in tasks
with asymmetric gain landscapes. *J. Vis.*, 6(1): 53-63.
doi: 10.1167/6.1.5

Wu, S. W., Delgado, M. R., and Maloney, L. T. (2009). Economic
decision-making compared with an equivalent motor task.
Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 106(15): 6088-6093. doi:
10.1073/pnas.0900102106

連絡責任者

住所：〒153-8902 東京都目黒区駒場3-8-1 9号館
東京大学大学院 総合文化研究科 身体運動科学研究室
氏名：太田 啓示
電話番号：03-5454-6877
E-mail：keiji.o.22@gmail.com

住所：〒153-8902 東京都目黒区駒場3-8-1 9号館
東京大学大学院 総合文化研究科 身体運動科学研究室
氏名：工藤 和俊
電話番号：03-5454-6854
E-mail：kudo@idaten.c.u-tokyo.ac.jp