

## 7人制ラグビーにおける最適キックパスプレー算出法

## Computational Method of Optimal Kick-pass Plays in Seven-a-side Rugby

龍崎 伸太郎<sup>†</sup> 八代 航太郎<sup>†</sup> 中田 洋平<sup>†</sup>  
Shintaro Ryuzaki Kotaro Yashiro Yohei Nakada

## 1. はじめに

近年、日本でのラグビーへの注目度が高まってきている。ただし、そのルール複雑さから、新たなファンの獲得やファンの固定化のため、試合の流れなどを理解しやすくする付加情報の提示が重要になってきている。このような背景の下、著者らのグループは、7人制ラグビーを対象として最適トライルート算出法[1]、および、それにハンドパスプレーを考慮した最適攻撃プレー算出法[2]-[4]の研究を進めてきた。しかし、その中では、ランプレーとハンドパスプレーは考慮されているものの、近年、頻繁に用いられるようになってきているキックプレーが考慮されていなかった。そこで、著者らは、これまでにキックパスプレーシミュレーション法を提案してきた[5][6]。また、その中では、平均捕球位置を用いた暫定的なキックパスプレー最適化問題を考え、暫定的な最適キックパスプレーを算出する方法を提案してきた[6]。本稿では、これをより現実的なものへと発展させるため、捕球後のランプレーまで考慮した最適キックパスプレー算出法を提案する。また、仮想的フォーメーション例を用いて、その初期的検証を行う。

## 2. キックパスプレーシミュレーション法

本節では、これまで著者らが提案してきたキックパスプレーシミュレーション法[5][6]について概説する。本シミュレーション法では、キックパス時におけるラグビーボールの振る舞いを記述するためのキックパスシミュレーションモデルと、その捕球を記述するための捕球シミュレーションモデルを用いる。

## 2.1. キックパスシミュレーションモデル

本シミュレーション法では、ラグビーボールの不確定なバウンドの動きをランダムな系で再現するシミュレーションモデル[5][6]を用いる。具体的には、まず、時刻 $t$ におけるボールの3次元中心位置ベクトル $b(t) = (b_x(t), b_y(t), b_z(t))$ とする。なお、 $b_x(t), b_y(t)$ は、それぞれ、時刻 $t$ でのコート長の長軸方向の位置、短軸方向の位置を表す。 $b_z(t)$ は垂直方向の位置を表す。原点はコートの中心としている。また、ラグビーボールは長球状ではあるが、本モデルでは、単純化のため、半径 $r$ の真球として扱っている。なお、実際の設定値は、ボールの短径に基づいて約0.0954mとしている。ここで、今、ボールの $i$ 回目のバウンド時の時刻を $t_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots$ )とし、バウンドは $b_z(t) = r$ となるときの起こるものとする。そして、このボールは、バウンド時以外は理想的な動きをするものとする。すなわち、 $t_i \leq t < t_{i+1}$  ( $i = 1, 2, 3, \dots$ )の範囲において、ボールの3次元中心位置ベクトル $b(t)$ は、以下のように書くことができる。

$$b_x(t) = b_{x,i} + \lambda_{x,i}(t - t_i) \quad (1)$$

$$b_y(t) = b_{y,i} + \lambda_{y,i}(t - t_i) \quad (2)$$

$$b_z(t) = r + \lambda_{z,i}(t - t_i) - \frac{1}{2}g(t - t_i)^2 \quad (3)$$

なお、ベクトル $b_i = (b_{x,i}, b_{y,i}, b_{z,i})$ と $\lambda_i = (\lambda_{x,i}, \lambda_{y,i}, \lambda_{z,i})$ は、各々、 $i$ 回目のバウンド直後における位置ベクトルと速度ベクトルを表すものとする。また、定数 $g$ は重力加速度である。すると、ボールの $i$ 回目のバウンド時の時刻 $t_i$ は、次式のような漸化式により求めることができる。ただし、 $t_0 = 0$ とする。

$$t_i = \frac{\lambda_{z,i-1} + \sqrt{\lambda_{z,i-1}^2 + 2g b_{z,i-1}}}{g} + t_{i-1} \quad (4)$$

このような式から、次のバウンドが起こる際の位置ベクトル $b_{i+1}$ は、以下の3式のように求めることが可能となる。

$$b_{x,i+1} = b_x(t_{i+1}) = b_{x,i} + \lambda_{x,i}(t_{i+1} - t_i) \quad (5)$$

$$b_{y,i+1} = b_y(t_{i+1}) = b_{y,i} + \lambda_{y,i}(t_{i+1} - t_i) \quad (6)$$

$$b_{z,i+1} = b_z(t_{i+1}) = r \quad (7)$$

更に、本モデル[5][6]では、ラグビーボールのバウンド時の不確実な挙動を再現するため、バウンド時における速度ベクトル $\lambda_i$ のランダムな挙動を考慮している。具体的には、バウンド時の速度ベクトル $\lambda_i$ は、次式で更新される。

$$\lambda_{i+1} = \beta \alpha \lambda_i + (1 - \beta) \alpha \|\lambda_i\| \mu \quad (8)$$

ここで、 $\mu = (\mu_x, \mu_y, \mu_z)$ は単位球上の一様乱数とする。ただし、地面に衝突する際に地面にラグビーボールが地面にめり込むことは起こりえないので、 $\lambda_{i+1}$ の垂直方向成分が必ず非負となる範囲としている。また、 $\alpha$ は衝突時の速度の減衰の大きさを表すパラメータであり、 $\beta$ は衝突時の進行方向のブレの大きさを表すパラメータである。なお、文献[5][6]と同様に、実験的に $\alpha = 0.8$ 、 $\beta = 0.7$ としている。

## 2.2. 捕球シミュレーションモデル

本シミュレーション法では、前述のようなモデルに従って動くボールの捕球可能性を考えるため、各選手が時刻 $t$ にボールを捕球可能な範囲を考える。まず、選手の動きがある運動モデルに従っており、選手がある一定方向に最大推進力をかけ続けているとすると、選手が時刻 $t$ に到達できる位置の集合 $R(t)$ は、次式で表される円領域となる[7]。

$$R(t) = \{x \in \mathbb{R}^2 \mid \|x - c(t)\|^2 \leq d(t)^2\} \quad (9)$$

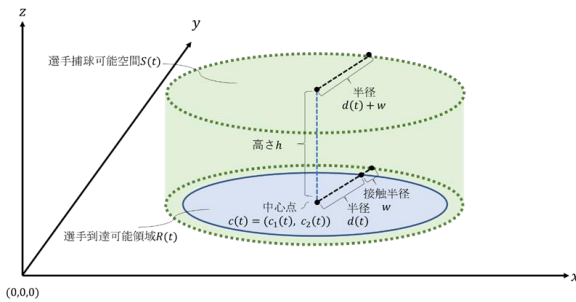
ただし、選手の時刻 $t$ における中心 $c(t) = (c_x(t), c_y(t))$ と半径 $d(t)$ は以下の2式のように表される。

$$c(t) = r_0 + \frac{1 - e^{-at}}{a} v_0 \quad (10)$$

$$d(t) = V \left( t - \frac{1 - e^{-at}}{a} \right) \quad (11)$$

ここで、 $r_0$ は選手の初期位置ベクトル、 $v_0$ は初速度ベクトルを表している。また、定数 $a$ は選手の加速能力を表し、 $V$ は最大速度を表す。更に、本シミュレーション法では、

<sup>†</sup> 明治大学大学院 先端数理科学研究科  
Graduate School of Advanced Mathematical Sciences, Meiji University

図1 選手捕球可能空間 $S(t)$ の模式図

選手がある位置にいるときに、捕球可能な高さを $h$ 、接触半径を $w$ と仮定し、高さ $h$ と半径 $w$ の円柱状の3次元領域を考え、それを用いて選手到達可能領域 $R(t)$ を拡張する[6]。なお、具体的には、実験的に各々2.5m、0.5mと設定している。そして、それを選手が捕球可能な領域を表す選手捕球可能空間 $S(t)$ と考える。なお、選手捕球可能空間 $S(t)$ は、図1に示される円柱状の領域となる。本シミュレーション法では、一番最初に選手捕球可能空間 $S(t)$ にボールが接した選手を捕球者と判定する。

### 3. キックプレー最適化問題

本稿では、文献[6]と同様、味方選手の平均捕球位置と味方選手の捕球割合を考慮した、以下のようなキックパスの蹴りだし時の方位角 $\theta$ 、仰角 $\varphi$ 、初速度 $v$ に関する制約付き最適化問題を考える。

$$\begin{aligned} \min \quad & F(\theta, \varphi, v) \\ \text{s.t.} \quad & C(\theta, \varphi, v) \leq C_{\min} \\ & \theta_{\min} \leq \theta \leq \theta_{\max} \\ & \varphi_{\min} \leq \varphi \leq \varphi_{\max} \\ & v_{\min} \leq v \leq v_{\max} \end{aligned} \quad (12)$$

ここで、関数 $F(\cdot)$ は目的関数を表しており、この値が小さいほど良いキックパスプレーとするものである。また、関数 $C(\cdot)$ は、味方が捕球出来たボールの割合であり、この値が大きいほど、味方選手にボールが渡りやすいことを表すものである。定数 $C_{\min}$ は求める捕球割合の最低水準値を表す。定数 $\theta_{\min}$ 、 $\theta_{\max}$ 、 $\varphi_{\min}$ 、 $\varphi_{\max}$ 、 $v_{\min}$ 、 $v_{\max}$ は方位角、仰角、初速度の範囲を定めるためのものであり、現実的なキックパスプレーとするためのものである。

このような最適化問題において、これまで著者らは暫定的に、目的関数 $F(\cdot)$ として、味方選手の平均捕球位置がどれだけ敵ゴールラインに近いかを表す関数を用いていた[6]。しかし、この設定では、時間の考慮がないため、実際にボールを捕球してからのトライのしやすさなどを、完全には考慮できていなかった。そこで本稿では、著者らのランプレーの最適化問題[1]の考え方を導入し、最も捕球の割合が大きい味方選手（以降、最捕球味方選手）について平均捕球位置 $\bar{p}(\theta, \varphi, v)$ と平均捕球時間 $\bar{t}(\theta, \varphi, v)$ を算出し、最捕球味方選手がその位置とその時間からトライに向けたランプレーを実施した際の良さを評価する方式としている。具体的には、目的関数を以下のように定めている。

$$F(\theta, \varphi, v) = \bar{t}(\theta, \varphi, v) + \min_{l \in L(\theta, \varphi, v)} [T(l) + \gamma N(l)] \quad (13)$$

ここで、 $L(\theta, \varphi, v)$ は、平均捕球位置 $\bar{p}(\theta, \varphi, v)$ から最捕球味方選手が実行可能なトライルート $l$ の集合を返す集合値関数である。 $T(l)$ と $N(l)$ は、トライルート $l$ でトライまでに掛か

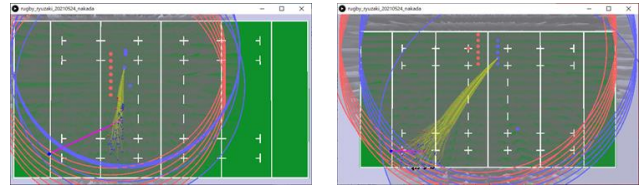


図2 実験結果例

る最短時間と期待被タックル数である[1]。また、定数 $\gamma$ はこの2つのトレードオフを定めるパラメータであり、実験的に2.0と設定している。なお、この目的関数値の計算を解析的に行うことは困難なため、シミュレーションにより近似的に算出している。その際、同一のキックパスを100本シミュレーションすることにより平均捕球位置や平均捕球時間などを算出している。また、蹴りだし時には、方位角、仰角、初速度には、一様乱数による確率的なぶれが生じるものとしている。

### 4. 仮想的なフォーメーション例での検証実験

本実験では、いくつかの仮想的なフォーメーション例で最適キックパスプレーを算出した。図2に、その内2つのフォーメーション例での結果を示す。なお、図中の青円、赤円は各々、味方選手と敵選手の選手捕球可能空間の境界を表す。青丸と赤丸は味方選手と敵選手の初期位置を、黄線が算出された最適キックパスプレーでの100本の軌跡を表す。そして紫線が捕球後のランプレーの軌跡を示している。図示されるように、妥当と思われるキックパスプレーとその後のトライまでのランプレーが算出されていることが確認できる。

### 5. 今後の課題

今後、より現実的なパラメータ設定を模索するとともに、シミュレーション法の更なる発展を目指す。

### 参考文献

- [1] 浅尾 洗斗, 氏原 三四郎, 中田 洋平, “選手到達可能領域に基づくラグビートライルート算出ツール”, 2017年映像情報メディア学会冬季大会, 25C-3 (2017).
- [2] 八代 航太郎, 中田 洋平, “7人制ラグビーにおけるパスとランを考慮した最適攻撃プレーの算出法”, 2019年映像情報メディア学会冬季大会, 11A-4 (2019).
- [3] K. Yashiro and Y. Nakada, “Computational Method for Optimal Attack Play Consisting of Run Plays and Hand-pass Plays for Seven-a-side Rugby”, Proc. 22nd IEEE International Symposium on Multimedia, pp. 145-148 (2020).
- [4] 八代 航太郎, 中田 洋平, “7人制ラグビーにおけるランとハンドパスを考慮した最適攻撃プレー算出法の高速度化”, 2021年電子情報通信学会総合大会, D-12-19 (2021).
- [5] 龍崎 伸太郎, 八代 航太郎, 中田 洋平, “7人制ラグビー最適プレー算出法の改良のためのキックパスシミュレーション法の検討”, 2020年電子情報通信学会総合大会 学生ポスターセッション, ISS-P-059 (2020).
- [6] 龍崎 伸太郎, 八代 航太郎, 中田 洋平, “7人制ラグビーにおけるキックパスシミュレーション法の発展”, 2021年電子情報通信学会総合大会 学生ポスターセッション, ISS-A-006, (2021).
- [7] 藤村 光, 杉原 厚吉, “優勢領域に基づいたスポーツチームワークの定量的評価”, 電子情報通信学会論文誌, vol. J87-D-II, no. 3, pp. 818-828 (2004).