マウンドの距離と野球のプレーとの関係

東桜学館中学校　3年　伊藤　潤

○*研究の動機*

MLB の独立リーグでマウンドを 30 ㎝ほど伸ばすということが最近ニュースになっていた。そこで、マウンドの距離が延びることでプレーにどのような影響が出るのか、また現在の距離になっている理由を数学的に考えたいと思ったから。

○*研究の方法*

次の３つの基準をもとに、具体的なプレーへの影響を考えていく。

1，球場の右翼左翼の長さ・広さ　2，塁間を走った時にかかる時間　3，投球の体感速度

（条件）球場の右翼・左翼の距離や塁間距離はマウンドの距離に比例しているとする。

基準となる情報は現在のプロ野球、高校野球、中学硬式・軟式野球で使われている

・塁間距離…27.4m

・マウンドの距離…18.4m

・球場の右翼・左翼…97.5m　　（小数第二位で四捨五入）　　を用いる。

○*研究の結果*

1，球場の広さ

仮定より球場の右翼・左翼の距離はマウンドの距離に比例している。

マウンドの距離を x（m）、球場の右翼・左翼の距離を y（m）としたとき、次の等式が成り立つ。

$$y = ax$$
$$97.5 = 18.4a$$
$$a \fallingdotseq 5.3$$
$$y = 5.3x$$

また球場を中心角が 90°の扇形であるとすると、球場の面積を z (㎡)としたとき

$$z = y \times y \times \pi \times \frac{90}{360}$$
$$= \frac{1}{4}\pi y^2$$
$$\fallingdotseq 7.0\pi x^2$$

より$z = 7.0\pi x^2$（㎡）―①となる。

2，塁間を走った時にかかる時間

仮定より塁間距離はマウンドの距離に比例している。

マウンドの距離を x（m）、塁間距離をk(m)としたとき、次の等式が成り立つ。

$$k = ax$$
$$27.4 = 18.4a$$
$$a \fallingdotseq \frac{3}{2}$$

$$k = \frac{3}{2}x$$

次にその塁間距離を走るのにかかる時間について考える。ここでは最も身近な中学生の 50m 走の平均タイムを用いて考える。中学生 1 ～3 年生男子の平均タイムは 7 秒 89 となっている。この時の速さは

$$\frac{50}{7.89} = 6.337\ldots$$

$$= 6.3$$

より 6.3m/秒となる。塁間を走るのにかかる時間をl(秒)としたとき、この等式が成り立つ。

$$l = \frac{k}{6.3}$$

$$l = \frac{1.5x}{6.3}$$

$$l = \frac{5}{21}x \text{—②}$$

3、投球の体感速度

マウンドまでの距離が 18.4mの時の体感速度を基準とする。つまり 18.4mのときに投手が 110km/時のボールを投げた時、打者の体感速度は 110km/時であるとする。体感速度には個人差があると考えられるが、今回はこのように定義する。

$$体感速度(km/時) = \frac{基準のマウンドまでの距離(m)}{マウンドまでの距離(m)} \times 球速(km/時)$$

マウンドまでの距離を x(m)とおき、球速については比べやすいように 110km/時とする。

よって体感速度Vは

$$V = \frac{18.4}{x} \times 110$$

$$V = \frac{2024}{x} \text{—③}$$

の式で求めることができる。

この三つの要素を使ってプレーへの影響を比べていく。今回は 1m 単位でマウンドまでの距離を変化させ、範囲は$8 \leqq x \leqq 28$ (xは自然数)とする。

x	8	9	10	11	12	13	14
① z	448π	567π	700π	847π	1008π	1183π	1372π
② l	1.9	2.1	2.4	2.6	2.9	3.1	3.3
③ V	253	225	202	184	169	156	145
x	15	16	17	18	19	20	21
① z	1575π	1792π	2023π	2268π	2527π	2800π	3087π
② l	3.6	3.8	4.0	4.3	4.5	4.8	5.0
③ V	135	127	119	112	107	101	96

x	22	23	24	25	26	27	28
① z	3388π	3703π	4032π	4372π	4732π	5103π	5488π
② l	5.2	5.5	5.7	6.0	6.2	6.4	6.7
③ V	92	88	84	81	78	75	72

上の表からも違いは見えてくるが、より具体的なプレーへの影響について分析する。
これから以下の 4 つのプレーについて考えていく。

・ホームラン

…スタンドに打球が入ること。本塁までの安全進塁権を得る。

yの値を用いて考える。1，球場の広さにて、$y = 5.3x$という式を出した。これを利用し、

$$42.4 \leqq y \leqq 148.4$$

という右翼・左翼の距離の範囲を出すことができる。つまり、最小の球場では 42.4mの打球を打てばホームランになり、最大の球場では 148.4mの打球を打たなければホームランにはならないということである。

まず最大の球場について、2020 年のホームランの最大飛距離について調べたところ、推定 145m であった。そのためこの球場で野球をした場合、ホームランは出ることがないということになる。

次に最小の球場について、基準となる野球場の 42m 地点は 2 塁ベースを約 4m 越えた場所である。つまりいわゆる外野フライを打った時、すべてがホームランになるということだ。ある試合の外野までノーバウンドで打球が飛んだものの数を数えたとき、23 本あった。この試合の合計打席は 66 打席のため、約 34.8%の打席でホームランが生まれるということになる。

現在の大きさになったのは、ホームランが程よい確率で生まれるようにするためだということが分かる。

・内野ゴロ

…内野にボールが転がり、内野手がボールを取ってアウトにする

ここでは三塁手が三塁ベース上で打球を捕った後、一塁にボールを投げてアウトにするときのことを考える。

l, kの値を利用する。lの値の範囲は $1.9 \leqq l \leqq 6.7$ であり$k = \frac{3}{2}x$のため、kの値の範囲は $12 \leqq k \leqq 42$ となる。打者をアウトにするには、この不等式が成り立たなければならない。

打球が飛んでから内野手がとるまでの時間 + ボールを投げてから一塁手が捕るまでの時間 $\leqq l$

まず打球が飛んでから内野手が捕るまでの時間について、今回は打球速度を 110 km/時とする。これは中学生軟式野球部選手のおおよそ平均の値である。仮定より打球は塁間距離と同じ距離を動くため、それにかかる時間は

$$110km/時 = \frac{110000}{60 \times 60}m$$

$$= \frac{275}{9}m/秒$$

$$k \div \frac{275}{9} = \frac{9}{275}k$$

となる。つぎにボールを投げてから一塁手が捕るまでの時間について、三塁上から一塁手まで投げるので4つのベースを結んだ正方形の対角線と同じ距離を投げなければならない。その距離をmとし、kを使って表す。

$$1:\sqrt{2} = k:m$$

$$m = \sqrt{2}k$$

送球の速度は110km/時で統一する。このとき、ボールを投げてから一塁手が捕るまでの時間は

$$\sqrt{2}k \div \frac{275}{9} = \frac{9\sqrt{2}k}{275}$$

となる。これらの値を上の不等式に代入し

$$\frac{9}{275}k + \frac{9\sqrt{2}}{275}k \leqq l$$

$$\frac{9(1+\sqrt{2})}{275}k \leqq l$$

これが成り立つとき、打者をアウトにすることができる。$\sqrt{2} = 1.414$とおいたとき、成り立つのは

$$8 \leqq x \leqq 28$$

つまり全ての場合これは成り立つ。それはkがlに比例しているからである。
ただ、これは正しい情報とは言えない。なぜならボールへの空気抵抗を考えていない、つまり投げている人の使っている力に大きな違いがあるからだ。この範囲についてはまだ未修のため証明は省くことにするが、距離が長くなるほど空気抵抗の影響は大きくなると考えられるため、マウンドまでの距離がある一定のところよりも長くなると、内野ゴロでの一塁フォースアウトは不可能になると考えられる。

・盗塁

…安打、刺殺、失策、封殺、野手選択、捕逸、暴投、ボークによらないで、1個の塁をすすむこと
今回は一塁にいるランナーが投手の投球動作開始と同時に二塁へ走り、盗塁を狙った場合を考える。この不等式が成り立つときに、盗塁は成功する。

投球動作が開始してからボールが二塁に到達する時間

≧ *ランナーがスタートしてから二塁に到達する時間*

まず投球動作が開始してからボールが二塁に到達するまでの時間について、投球動作が開始してから捕手が投げ始めるまでの時間と投げ始めてから二塁にボールが到達するまでの時間を区切って考える。
投球動作が開始してから捕手が投げ始めるまでの時間について、プロ野球の試合で盗塁が行われ、それが阻止された時の投球動作が開始してから捕手が投げ始めるまでの時間をストップウォッチを用いて5回測りその平均から投手がボールを投げてから捕手がボールを取るまでの時間を引き、代わりに110km/時の球速でマウンドの距離がx(m)の時にかかる時間を足して使うことにする。

$$(1.80 + 1.83 + 1.85 + 1.94 + 2.00) \div 5 = 1.884$$

より1.884秒となる。この時の球速は144 km/時であり、マウンドとの距離は18.4mであるため

$$1.884 - 18.4 \div \frac{144000}{60 \times 60} = 1.884 - \frac{23}{50}$$

$$= 1.424$$

$$1.424 + x \div \frac{275}{9} = 1.424 + \frac{9}{275}x$$

次に投げ始めてから二塁にボールが到達するまでの時間について、捕手の送球の球速は 110m/時で統一する。4 つのベースを結んだ正方形の対角線と同じ距離を投げることになるので、

$$m \div \frac{275}{9} = \frac{9\sqrt{2}k}{275}$$

よって投球動作が開始してからボールが二塁に到達する時間は、

$$1.424 + \frac{9}{275}x + \frac{9\sqrt{2}x}{275} = 1.424 + \frac{9x + 9\sqrt{2}x}{275}$$

$$= 1.424 + \frac{9(1+\sqrt{2})x}{275}$$

次にランナーがスタートしてから二塁に到達する時間について、これはlの値と同値である。よって

$$1.424 + \frac{9(1+\sqrt{2})x}{275} \geqq 1$$

が成り立った時、盗塁は成功する。これが成り立つのは $8 \leqq x \leqq 9$ のときである。ただ、実際はこれよりも広い範囲で成功すると考えられる。内野ゴロの時にもあったように、ボールへの空気抵抗の影響を考えられていないからだ。まったく同じ力で捕手が送球をしたとすると、距離が上がるにつれ平均の速さは落ちていくと考えられる。

・バッティング

ここでは、そもそも投手の投げたボールをバットに当てることができるのかどうかについて、考えていく。この不等式が成り立つとき、打者は投手の投げたボールを打つことができる。

バットがトップからインパクトポイントに移動するのにかかる時間

＜投手がボールを投げてから捕手が捕球するまでの時間

まずバットがトップからインパクトポイントに移動するのにかかる時間について、下の図のようにバットが移動するとする。高校生の平均スイングスピードである 110 km/時を使って計算していく。スイングスピードとはバットがトップの位置からインパクトポイントまで移動するときのバットのヘッドの平均の速さを示す。

（図）

バットのヘッドが動いた距離について、（図）から軌道 AB は点Dを中心とし、円周上に点Aと点Bを持つ円の中心角が 90° の時の弧の長さと等しい。また軌道 BC は、点Oを中心とし、円周上に点Bと点Cを持つ円の中心角が 90° の時の弧の長さと等しい。これを利用してバットの軌道の長さを求める。

軌道 AB：$0.8 \times 2 \times \pi \times \frac{1}{4} = 0.4\pi$

OD の長さについて、実際に自分の体に置き換えて OD の長さを測ったところ、0.65m であった。今回はこの値を使って計算する。

軌道 BC：$(0.8 + 0.65) \times 2 \times \pi \times \frac{1}{4} = 0.725\pi$

よって軌道 AC の長さは

$$0.4\pi + 0.725\pi = 1.125\pi$$

仮定よりスイングスピードは 110 ㎞/時のため、バッドがトップからインパクトポイントまで移動するときの平均の速さは 55 ㎞/時となる。よって移動するのにかかる時間は

$$1.125\pi \div \frac{275}{9} = \frac{81}{2200}\pi$$

より$\frac{81}{2200}\pi$(秒)となる。

次に投手がボールを投げてから捕手が捕球するまでの時間について、V の値を用いて考える。③より

$$V = \frac{2024}{x}$$

よって速さが V の時にかかる時間は

$$\frac{18.4}{V} = 18.4 \times \frac{x}{2024}$$

$$= \frac{1}{110}x$$

より$\frac{1}{110}x$(秒)となる。よって投手の投げたボールを打つことができるのはこの不等式が成り立つときである。

$$\frac{81}{2200}\pi < \frac{1}{110}x$$

これが成り立つのは $13 \leqq x \leqq 28$ のときである。

○考察

マウンドの距離を増やすと、ホームランが出にくくなる、内野ゴロでのアウトが減る、盗塁が減る、バットにボールを当てやすくなる、といった変化がある。逆にマウンドの距離を減らすとバットにボールを当てにくくなる、盗塁が増える、内野ゴロでのアウトが増える、ホームランが出やすくなるなどの変化があることがわかった。

MLB の独立リーグでマウンドの距離を 30 ㎝増やした理由には、ホームランが出にくくなるがバットにボールを当てやすくなるため、現在のホームランか三振というビッグベースボールの改善を試みていて、ランナーが増えるようにしているのだと考えられる。

○*今後の課題*

今回は空気抵抗を無視して研究をしていったため、誤差が所々に生じてしまった。より正確な研究にするためには、この空気抵抗やバウンドなどによるボールの減速などについても考えなければならないと思った。また条件としたものの真偽を証明することができなかったため、実際に自分の体で行う実験による情報を使った方がよいと考えた。

○*参考文献*

・https://runnal.com/17763

・https://pitcher-room.com/batter/average-batswing/

・https://zakkii.com/baseballspeedaverage/