

2015年度 修士論文

# 小学生の走能力の発達に関する縦断的解析

早稲田大学 大学院スポーツ科学研究科

スポーツ科学専攻 身体運動科学研究領域

5014A003-6

安達 雄太

研究指導教員： 彼末 一之 教授

## 目次

<b>1. 諸言</b> .....	1
1-1. 走動作の発達の様子 .....	1
1-2. 走動作のパターン.....	2
1-3. 接地タイプについての研究.....	3
1-4. 目的.....	4
<b>2. 方法</b> .....	5
2-1. 分析対象者 .....	5
2-2. 測定方法.....	5
2-3. 測定項目とデータ処理.....	6
2-4. 統計処理.....	7
<b>3. 結果</b> .....	8
3-1. 全国及び埼玉県平均タイムとの比較.....	8
3-2. 学年間における各指標の変化 .....	8
3-3. 最大速度及びその他の測定項目の結果.....	15
3-4. 接地時間とケイデンスの関係 .....	24
3-5. 接地タイプ割合の結果.....	27
3-6. 最大速度と接地タイプの関係 .....	30
3-7. 3年間における接地タイプの縦断変化.....	33
<b>4. 考察</b> .....	36
4-1. 学年間、年度別の測定項目の変化 .....	36
4-2. 接地時間とケイデンスの関係 .....	37
4-3. 接地タイプの割合及び最大速度と接地タイプの関係.....	38
4-4. 接地タイプの経時的変化 .....	40

5. 結論.....	41
6. 参考文献.....	42
7. 謝辞.....	46

# 1. 諸言

## 1-1. 走動作の発達の様子

ヒトの運動における基本的な動作の一つに走運動があげられる。走運動は歩行運動と異なり、両足が空中にある浮遊期が存在し、浮遊期を持つ移動運動であるとされている (Adelaar,1986)。ヒトにおける走運動は 2 歳前後で発言するとされているが、宮丸は、走運動の発達について 4 つの段階があると定義している (宮丸,2001)。中でも、6～12 歳の頃は幼児期のように走動作の変容はみられないが、体格や体力の向上につれて歩幅を増大させ、年齢とともに疾走能力が著しく発達する時期であり、この年代に該当する小学生の疾走能力の発達様式について多くの研究がなされている。

宮丸は、1 歳から 21 歳までの疾走速度、ケイデンス、ストライド長の年齢変化について先行研究を元に報告している (宮丸,2001)。このデータによれば、疾走速度及びストライド長は 1～12 歳頃まで男女とも加齢と共にほぼ直線的に増大し、ケイデンスは 14 歳頃まで明確な変化は見られないことが分かる。また天野らの 4 歳から 11 歳までの期間を追跡した研究では、タイムが速い児童は他の児童よりストライドが長く、下肢筋の筋パワーも大きいことが示され、また 4 歳の時点でこれらの数値が高い児童は、その後もずっと他の児童よりも数値が高いことが報告されている。(Amano et al.,1983)、(Amano et al.,1987)。このことから、早く走ることのできるポテンシャルは、発達の初期段階ですでに確認することができることも天野らは示唆している。つまり、この頃の児童の疾走動作について解析をすることでより潜在能力のある子どもの発見や、児童期の走パフォーマンス改善を目的としたトレーニングの開発に繋がるかもしれない。

## 1-2. 走動作のパターン

疾走速度はステップ頻度（以下、**ケイデンス**）と歩幅（以下、**ストライド**）の積で表される。ケイデンスはある一定時間内における歩数を示し、接地回数÷時間で求められる。疾走速度を高めるためには、ケイデンスとストライドを高めることが理想であるが、実際には両者はトレードオフの関係にあり、どちらかを高めればどちらかは減少してしまうことが知られている（Hunter, 2004）。そのため、一方の値の減少をなるべく小さくし、もう一方を増加させるためには、ケイデンス・ストライド以外の値にも注目する必要がある（信岡ら, 2015）。

走運動に関連するその他の指標として、足が接地してから離れるまでの時間である**接地時間**、地面から足が離れてから次に接地するまでの時間である**滞空時間**が重要となる。接地時間と走能力の関係について信岡らは、年齢を統制した偏相関分析を用いることによって各要因間の関係を明らかにしており、各学年内及び月齢を統制した場合の接地時間と最大速度およびピッチの間には有意な負の相関関係があることを報告しており、接地時間が成長や発達に依存せずに児童の走パフォーマンスの個人差に関係することを示唆している（信岡ら, 2015）。また、国際大会レベルのスプリンターを対象に 100m のパフォーマンスの機械的要素について検討した研究においても、接地時間とピッチの間には有意な正の相関があるという報告がある（Morin et al., 2012）。一方滞空時間については、被験者自身の快適なピッチから 10%ずつピッチを減少させていく実験により、ピッチの減少により滞空時間が増加することが明らかとなっている（Morin, 2007）。また滞空時間とストライド長は正の相関関係があることが知られている（Hunter, 2004）。

### 1-3. 接地タイプについての研究

接地時のパターンは3種類に大別される。最初に踵が地面につく接地は**踵接地**(Rearfoot strike)、踵と中足骨骨頭部から同時に接地するものは**フラット接地**(Midfoot strike)、中足骨骨頭部または拇指球が最初に接地するものは**つま先接地**(Forefoot strike)と定義される(Altman, Davis, 2012、Forrester, Townend, 2014)。

Hasegawa らによると、つま先接地、フラット接地よりも踵接地の方で有意に接地時間が長くなる(Hasegawa et al., 2007)。接地時間の差は走パフォーマンスに関係しているため(信岡ら, 2015)、接地タイプを踵接地から前足部の着地に変えることで接地時間が短くなり、疾走速度の向上に繋がる可能性がある。

一般的に接地タイプの研究は、中・長距離のランナーを対象に行われることが多い(Forrester, Townend, 2014)。週に20km以上走るランナーが被験者となる研究では、踵接地よりもフラット接地・つま先接地で地面反力が小さく、怪我の発生率が低いという報告がされている(Lieberman et al., 2011)。一方、短距離走時の接地タイプについての研究は前田による1999年の報告のみである。短距離走よりも中・長距離走の方で報告が多い理由として、競技特性による身体の使い方の違いがあげられる。通常長い距離を走るためには全力疾走は行わず、より長く走れるような経済性を重視した走りを行う。しかし、短距離走においては経済性を高めるよりも少しでも速度を上げ、速くゴールへ辿り着くことが目的となる。長い距離を走るランニングの動きでは、股関節の関節パワーよりも足関節と膝関節の発揮するパワーが大きいが、速度を出すスプリントの動きでは、それが逆転することが知られている(Novacheck, 1998)。つまり、スプリントを行う際には股関節の動作を利用し、脚全体のスイング速度を上げることによって速度を上昇させている(伊藤ら, 1998)。また、大きな速度を得るために、下腿三頭筋とアキレス腱による伸長-短縮サ

イクル (Stretch-shortening cycle) によって弾性エネルギーの利用が行われる (岩竹ら,2002)。

子どもの短距離走においては必ずしもアスリートのような走動作を獲得できておらず、2歳から12歳までの子どもを対象にした研究では、全体に占める踵接地の割合は2歳から9歳にかけて加齢とともに減少するが、60%付近で下げ止まりとなることが示されている (辻野・後藤,1975)。しかし、辻野・後藤の研究では接地タイプと速度の関係や接地時間との関係など、接地タイプと走運動のパラメータとの関係については触れられていない。また、成人男性を対象とした速度と接地タイプの関係についての報告はあるが (Hatala et al., 2012)、子どもを対象とした接地についての研究は辻野・後藤の研究以外に見受けられず、走能力の発達に関して接地方法がどのように関係するのかは明らかになっていない。

#### 1-4. 目的

このように、走動作の指標である疾走速度やピッチ、ストライド等が加齢によりどのように発達していくかに関する報告は数多くされているが、ある集団を縦断的に調査したものは少ない。また、児童の接地タイプについての報告は見当たらない。そこで、本研究では「**成長過程にある児童がどのように走能力を発達させるかについて、疾走速度・ケイデンス・ストライドからだけではなく、接地時間・滞空時間、さらに接地タイプとの関係から縦断的に検討する**」ことを目的とする。本研究により、現代の小学生の走能力に関する貴重な知見が得られ、スポーツタレントの発掘や小学校の体育の授業における指導法への提言を行うことができると期待される。

## 2. 方法

### 2-1. 分析対象者

平成 25～27 年度に埼玉県内の小学校 2 校にて実施された新体力テストの 50m 走に参加した児童のうち、3 年間継続して映像を記録することができた児童 418 名（男子：215 名、女子 203 名）を分析対象とした。平成 25 年度時点で 1 年生の男子を 1-3M、女子を 1-3F とし、2 年生の男子を 2-4M、女子を 2-4F、3 年生の男子を 3-5M、女子を 3-5F、4 年生の男子を 4-6M、女子を 4-6F とグループ分けした。

本研究の実施に際し、児童の保護者及び担当教員に本研究の目的、方法、個人情報の取り扱いについて書面によって説明を行い、分析の許可を得た上で実施をした。また、本研究は早稲田大学「人を対象とする研究に関する倫理委員会の承認を得た後に行った。

### 2-2. 測定方法

文部科学省実施の新体力テスト実施要項に則した走路、スタート合図、計測方法にて、50m 走を実施し、その様子をデジタルビデオカメラ（JVC 製、GC-PX1）にて撮影を行った。カメラは各レーンの 25m 地点側方に 2 台ずつ設置し、パンニング撮影（60fps）及び高速度撮影（300fps）を行った。シャッタースピードは 1/1600 に設定し、ホワイトバランスおよび絞りはオートバランスに設定し撮影を行った。パンニング撮影用カメラの映像についての目印とするために、各レーンの 10m 地点とカメラを結ぶ線上に目印となるカラーコーンを設置した。各レーンの 20～30m 区間を最大速度区間と推定し（信岡ら、2015）、この区間について高速度撮影を行った。風速の影響を考慮するために、スタート脇に風速計を置いた。

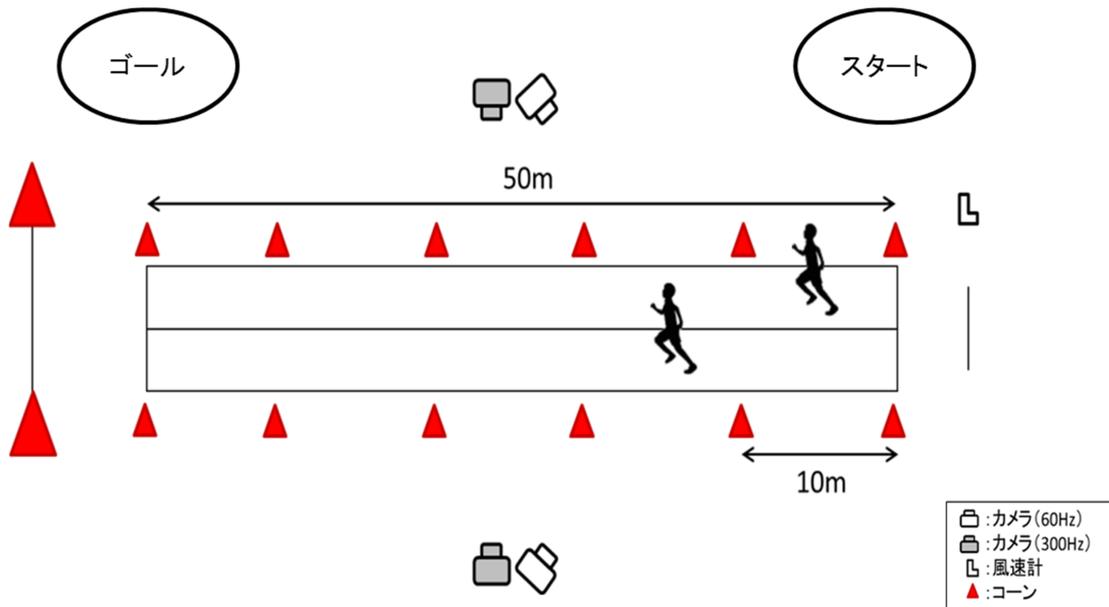


図 1. 測定の概要

### 2-3. 測定項目とデータ処理

パニング撮影によって得られた動画データをもとに、スタート地点からゴール地点までに要したタイム、最大速度、最大速度時ケイデンス、最大速度時ストライドを、高速度撮影によって得られた動画データをもとに、接地時間、滞空時間を算出した。走行中の接地時・離地時のフレームを抽出し、あらかじめ作成した計算式に代入することで、各項目を推定した。その際使用した数式は以下のとおりである。

**タイム** :  $(\text{スタート時のフレーム} - 50\text{m 通過時のフレーム}) \div 60(\text{fps})$

**最大速度** :  $10(\text{m}) \div \text{区間タイム}$

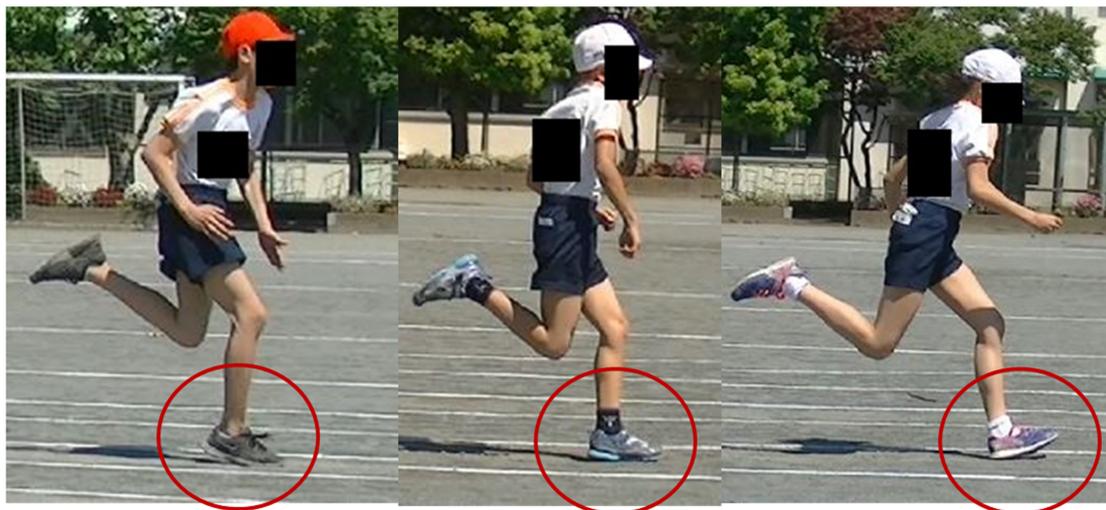
**ケイデンス** :  $1 / (1 \text{ 歩目のフレーム} - 5 \text{ 歩目のフレーム}) \div 60(\text{fps})$

**ストライド** :  $\text{区間速度} \div \text{区間ピッチ}$

**接地時間** :  $(\text{離地時フレーム} - \text{接地時フレーム}) \div 300(\text{fps})$

**滞空時間** :  $(\text{次の足の接地時フレーム} - \text{離地時フレーム}) \div 300(\text{fps})$

また、映像より踵接地、フラット接地、つま先接地の3タイプに分類した。接地タイプの判定は Forrester・Townend の先行研究に準じ、踵部から着地したものを踵接地、中足骨骨頭部周辺と踵部が同時に着地したものをフラット接地、中足骨骨頭部で着地しているものをつま先接地と判定した。なお、接地タイプの判定は全て筆者が行った。



つま先接地

フラット接地

踵接地

図 2. 接地方法の判定

#### 2-4. 統計処理

本実験の統計解析には IBM® SPSS® Statics version 21 を用いた。タイム・最大速度・最大速度時ケイデンス・最大速度時ストライド・ストライド身長比・接地時間・滞空時間・接地滞空比は各学年における平均値、標準偏差を求め、一元配置分散分析を実施した後に Bonferroni の多重比較検定を行い、有意差を求めた。各指標間の関係には Pearson の積率相関係数を求めた。接地タイプの割合については、カイ二乗検定を実施し、有意差があったものについて残差分析を実施した。全ての検定について危険率は5%未満とした。

### 3. 結果

#### 3-1. 全国及び埼玉県平均タイムとの比較

各年度の 50m 走タイムの全国平均、埼玉県平均、被験者平均及び標準偏差は表 1 の通りであった。全国平均値及び標準偏差、埼玉県の平均値及び標準偏差は文部科学省 HP に掲載されている全国体力・運動能力、運動習慣等調査結果から抜粋した（平成 25 年度の埼玉県の標準偏差は掲載がなかったため、省略した）。

平成 27 年度女子のみ全国平均値を上回る結果となったが、男女ともに全国・埼玉県平均を下回る結果となった。

表 1. 全国・埼玉県・被験者の 50m 走の平均値及び標準偏差

		平成25年度	平成26年度	平成27年度
男子	全国	9.38±0.93	9.38±0.94	9.37±0.96
	埼玉県	9.27	9.27±0.87	9.28±0.88
	被験者	10.22±1.07	9.78±0.94	9.41±0.95
		平成25年度	平成26年度	平成27年度
女子	全国	9.64±0.81	9.63±0.82	9.62±0.81
	埼玉県	9.53	9.52±0.77	9.50±0.76
	被験者	10.54±1.01	10.00±0.86	9.61±0.75

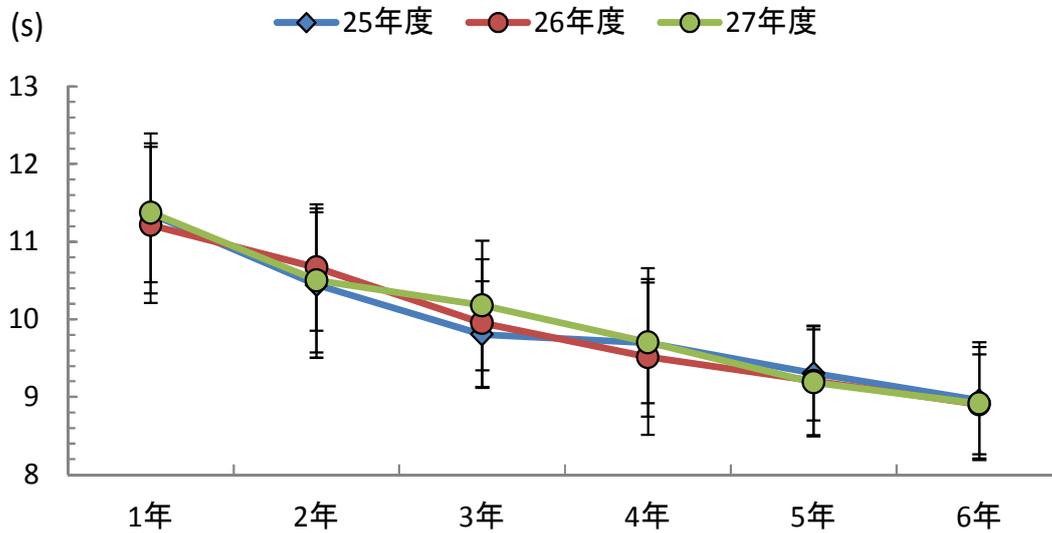
#### 3-2. 学年間における各指標の変化

学年による走能力の発達について確認するため、タイム・最大速度・最大速度時ケイデンス・最大速度時ストライド・ストライド身長比について学年ごとの平均値を年度別に記

した（図 3～図 7）。その結果、タイムについては学年が上がる毎に減少する傾向が見られ（図 3）、最大速度は学年が上がる毎に増加する傾向が確認された（図 4）。ケイデンスについては学年による差は見られず数値はほぼ横ばいに推移したが（図 5）、ストライドについては、最大速度と同様、学年が上がる毎に増加した（図 6）。しかし、下肢長の影響を考慮するために身長で標準化した値であるストライド身長比については大きな増加は見られなかった（図 7）。どの指標についても概ね先行研究と同様の結果が得られたことを確認した。

A

## タイム(男子)



B

## タイム(女子)

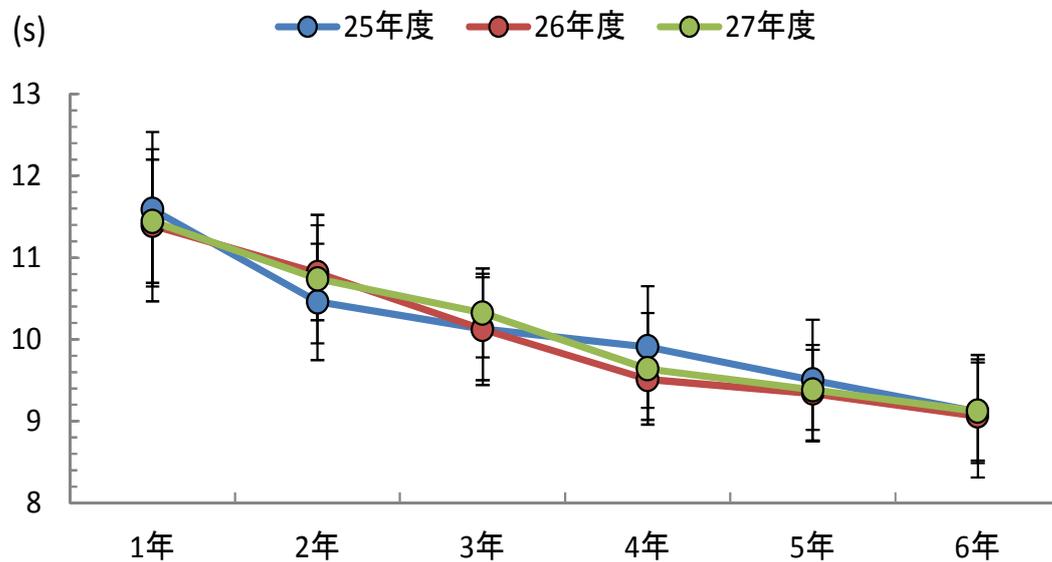
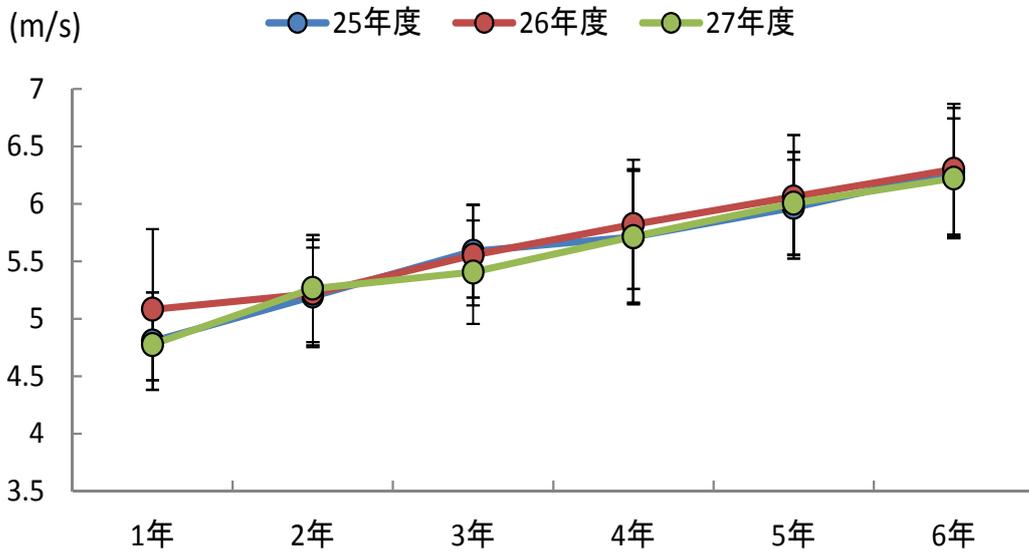


図 3. 学年別タイムの推移

# A 最大速度(男子)



# B 最大速度(女子)

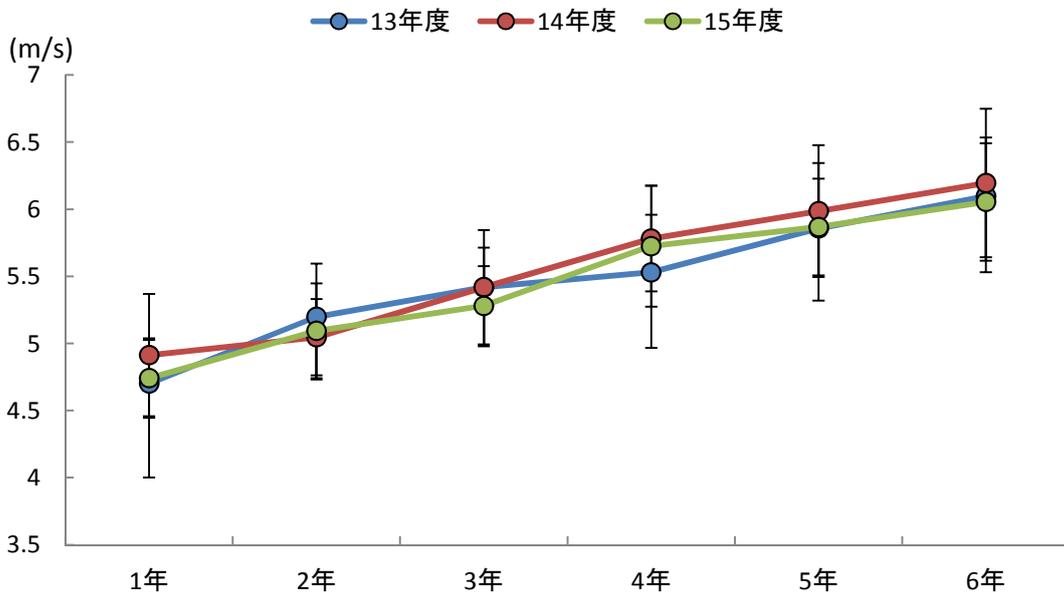
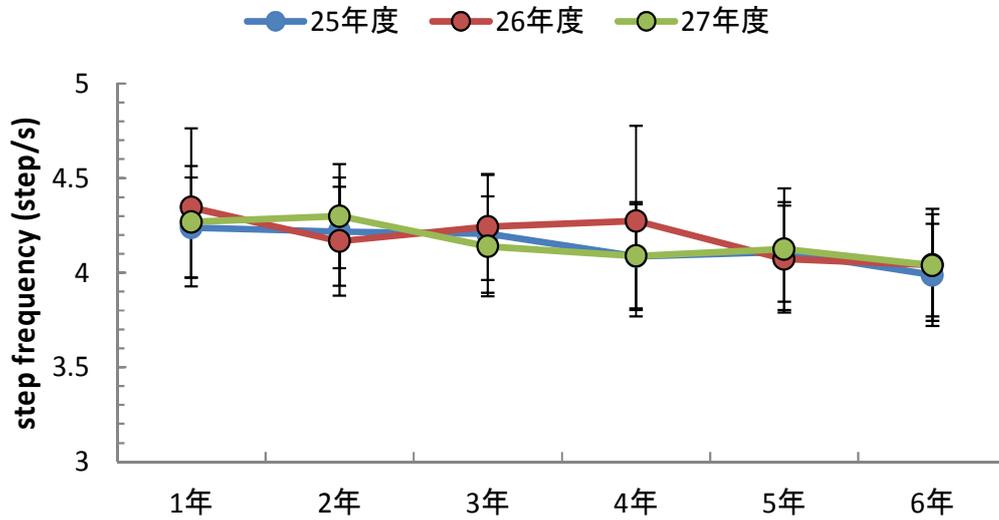


図 4. 学年別最大速度の推移

# A ケイデンス(男子)



# B ケイデンス(女子)

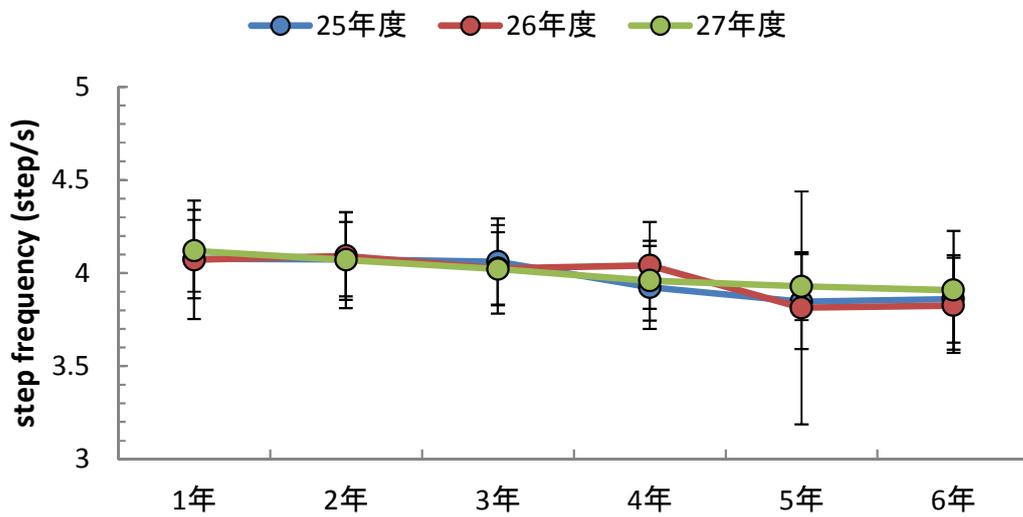
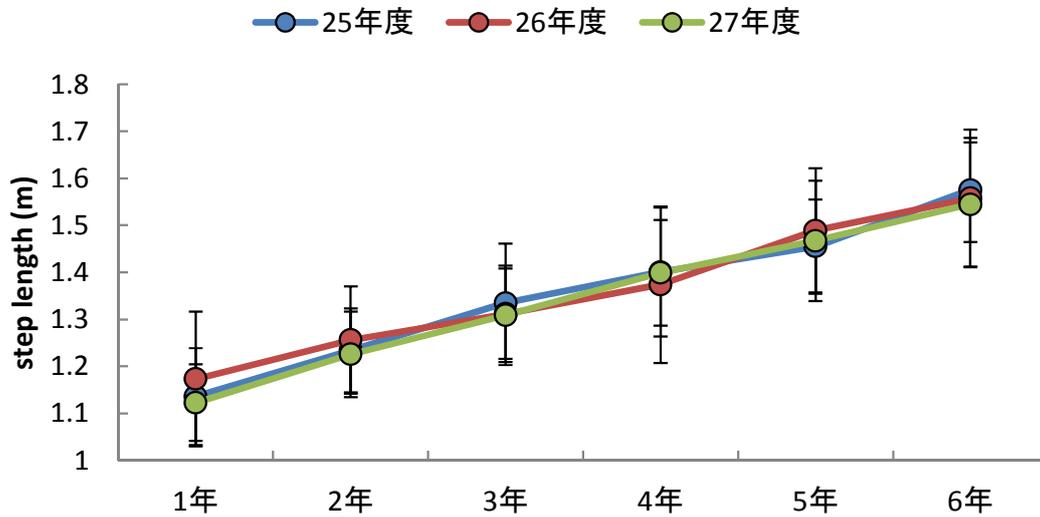


図 5. 学年別ケイデンスの推移

A

### ストライド(男子)



B

### ストライド(女子)

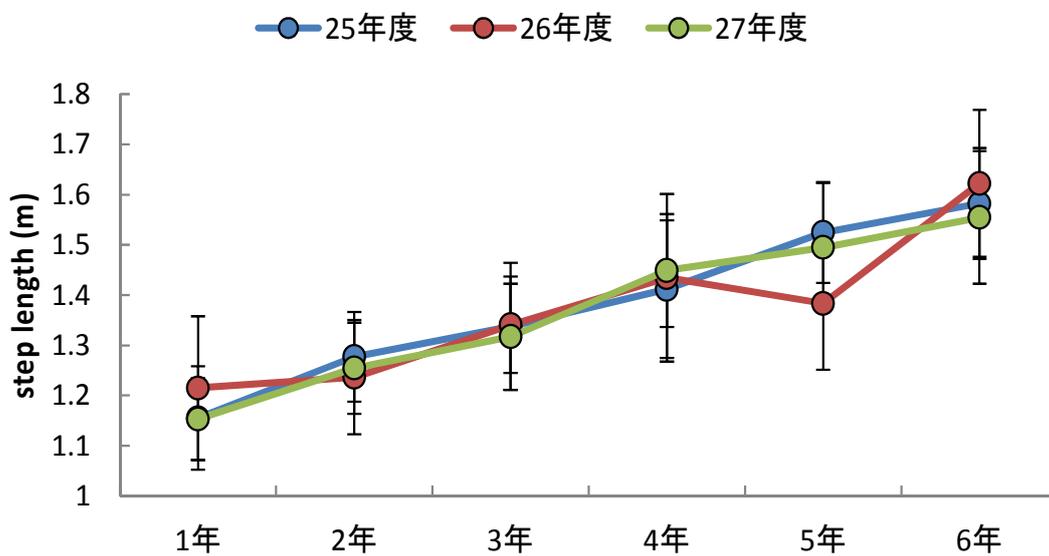
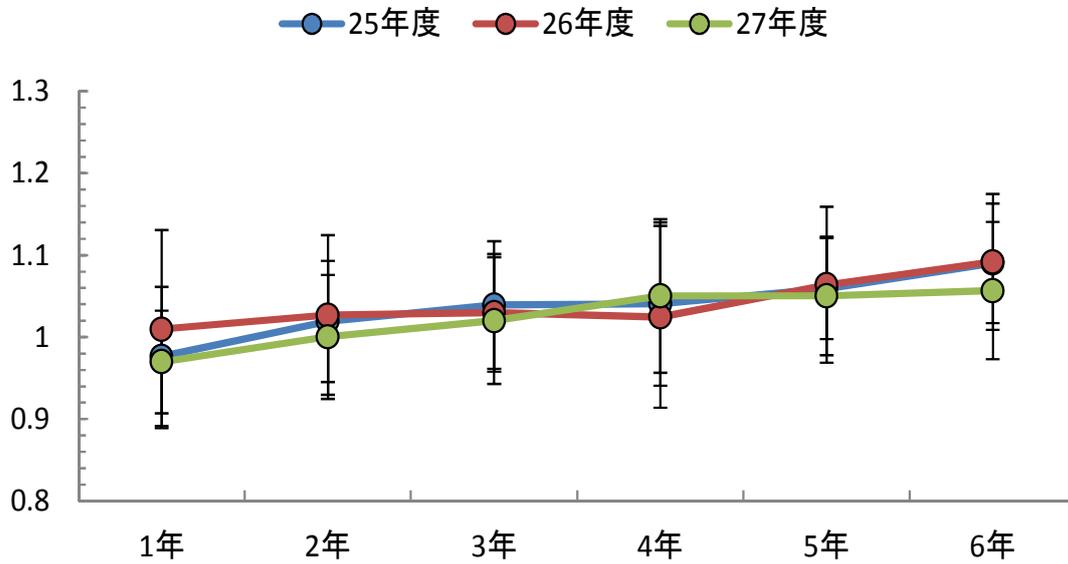


図6. 学年別ストライドの推移

# A ストライド身長比(男子)



# B ストライド身長比(女子)

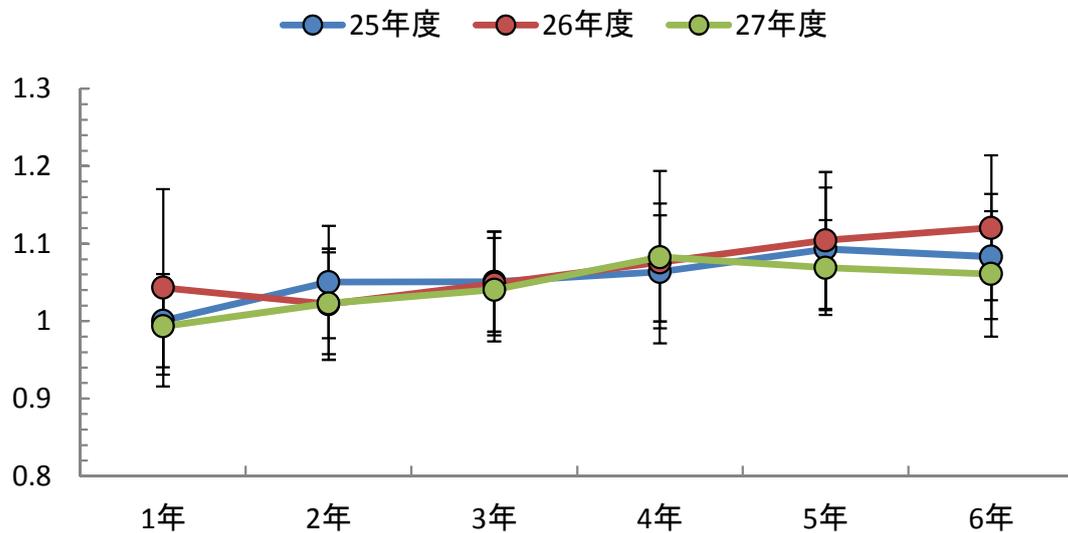


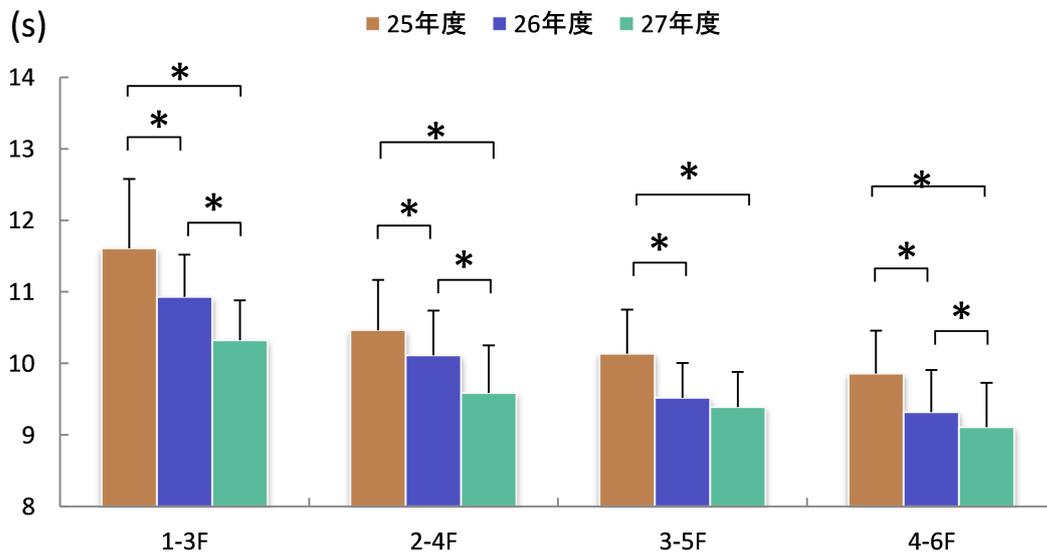
図7. 学年別ストライド身長比の推移

### 3-3. 最大速度及びその他の測定項目の結果

各学年の平均値について年度間で一元配置分散分析を実施した（図 8～図 15）。その結果、タイムについては、男女共に全ての学年で有意な低下が見られた（図 8）。最大速度については、男女ともに学年度が上がる毎に有意な速度の増加が認められた（図 9）。ケイデンスについては、男女共に 2-4 年群と、3-5 年群のみ有意に減少し、25 年度の値と 27 年度の値に有意な差が認められた（図 10）。2-4 年群の男子については 26 年度と 27 年度の間にも有意な減少があった（図 10）。ストライドについては、男女とも全ての学年で有意に増加した（図 11）。ストライドを身長で標準化した値であるストライド身長比では、男女とも 3-5 年群において有意差が見られず、その他の学年では有意に増加した（図 12）。ただし、男女とも、4-6 年群の 26 年度から 27 年度では値の減少が見られた（図 12）。接地時間については、男女とも全ての学年で有意に減少する傾向が見られた（図 13）。しかし、両者とも 26 年度から 27 年度にかけては有意な差は見られなかった（図 13）。滞空時間については、男女とも全ての学年で有意な増加が見られた（図 14）。接地時間に対する滞空時間を表す値である接地滞空比については、男女とも全ての学年で有意な増加が見られた（図 15）。

A

## タイム(女子)



B

## タイム(男子)

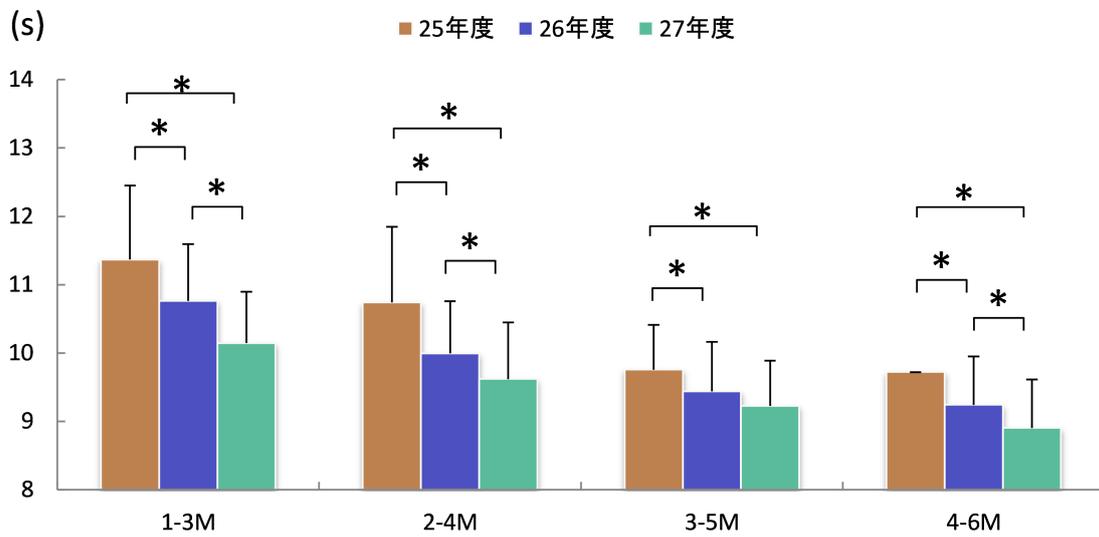


図 8. 年度別タイムの推移

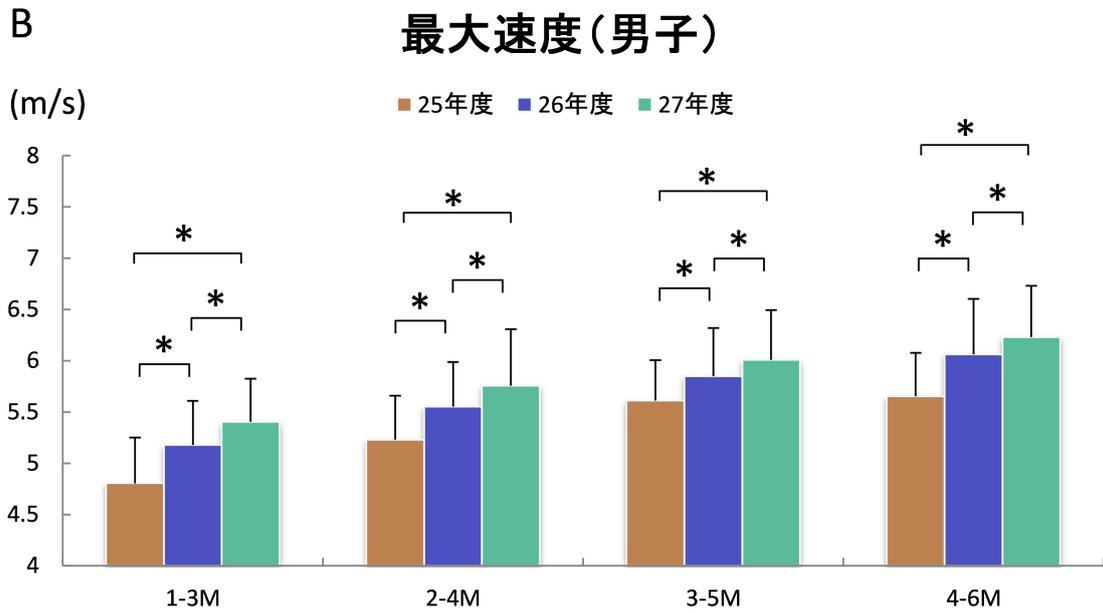
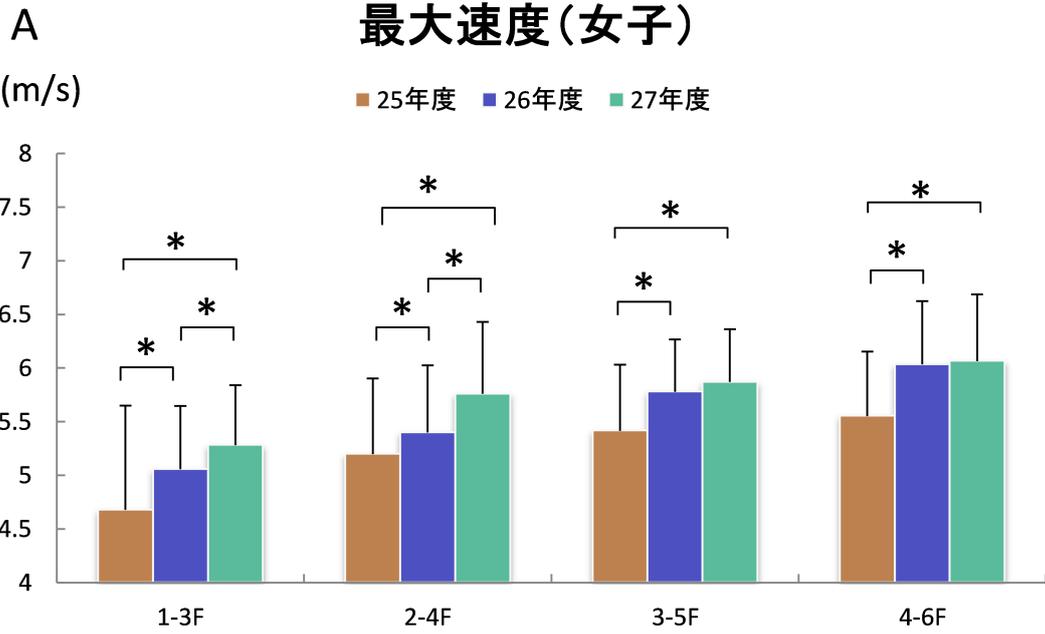


図9. 年度別最大速度の推移

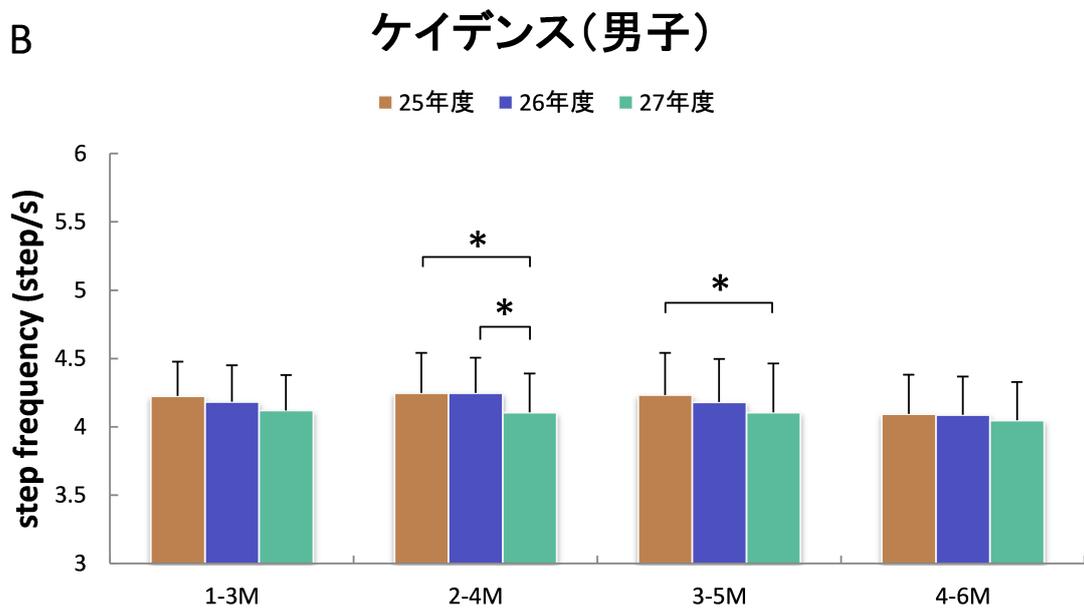
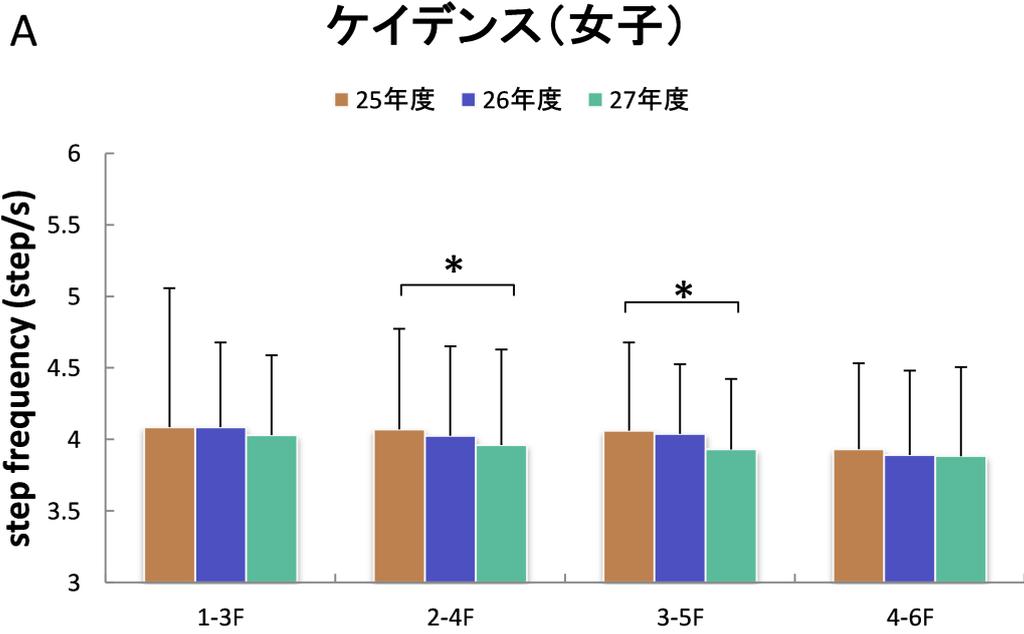


図 10. 年度別ケイデンスの推移

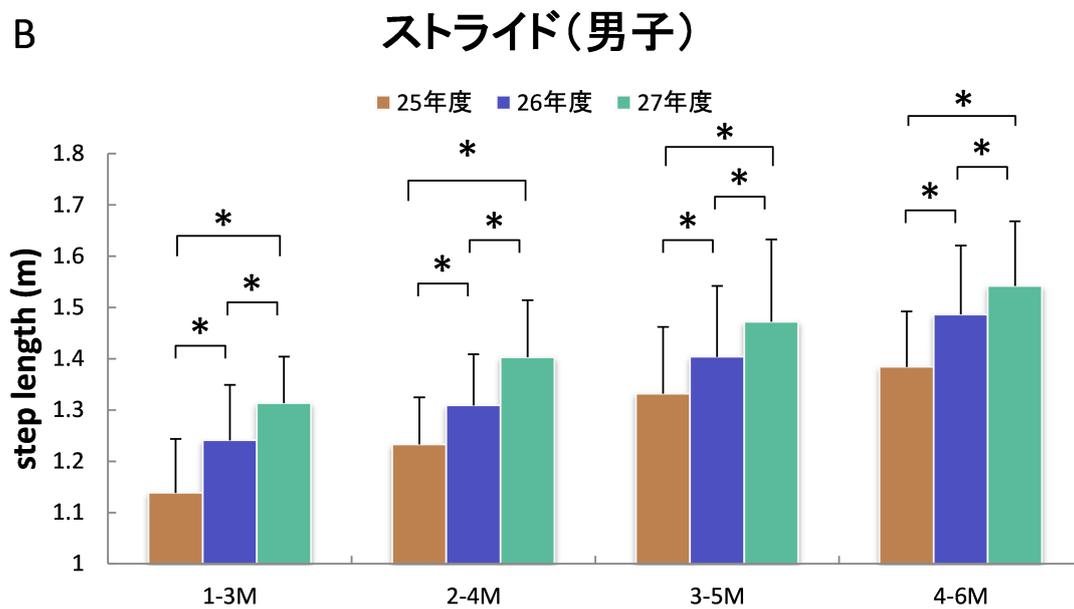
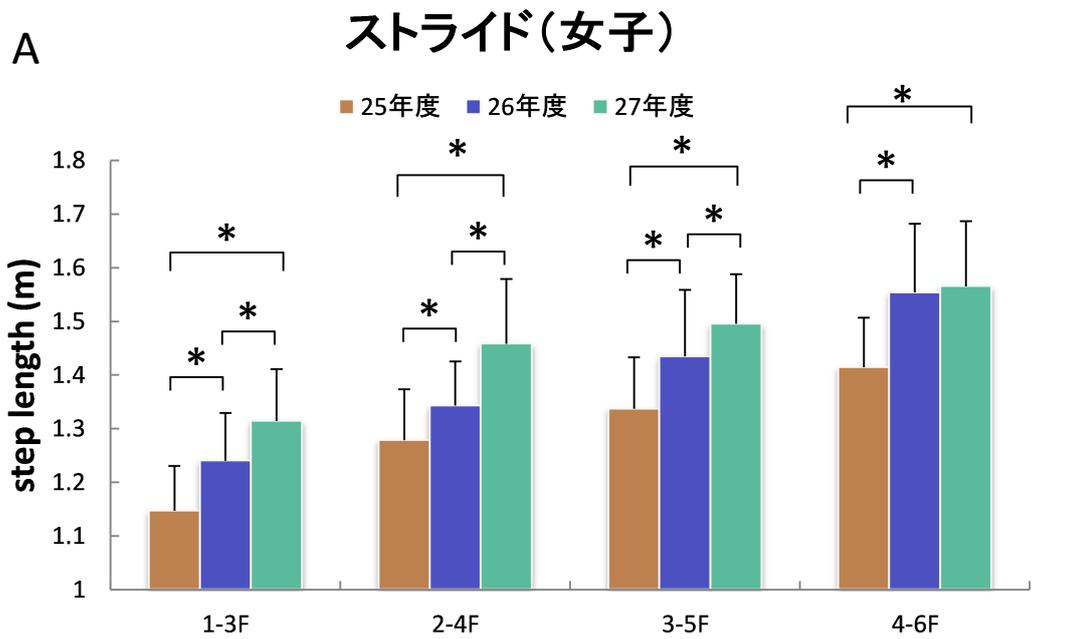
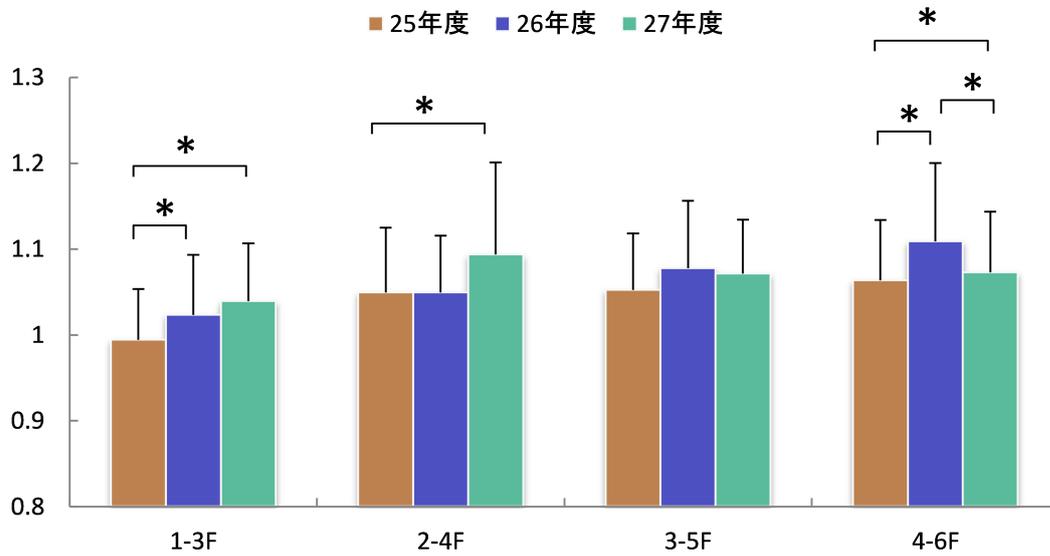


図 11. 年度別スライドの推移

A

### ストライド身長比(女子)



B

### ストライド身長比(男子)

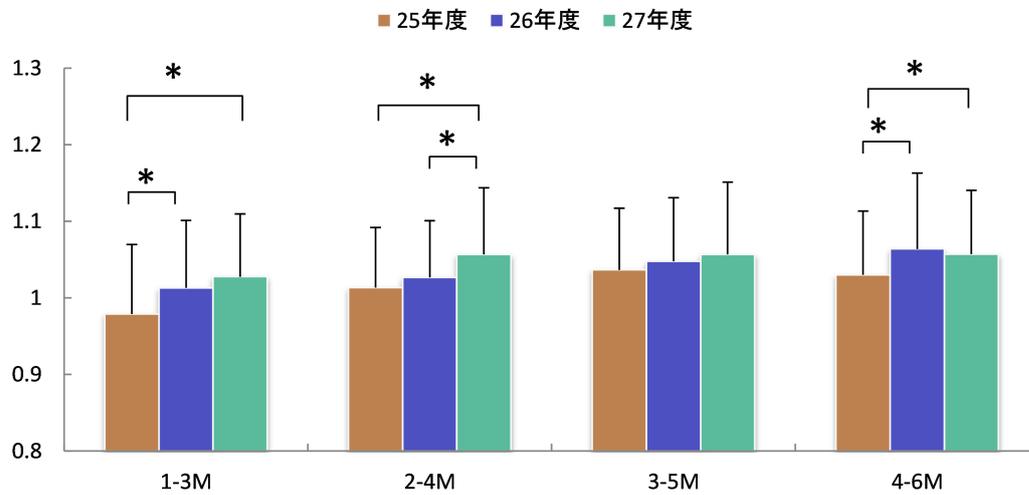


図 12. 年度別ストライド身長比の推移

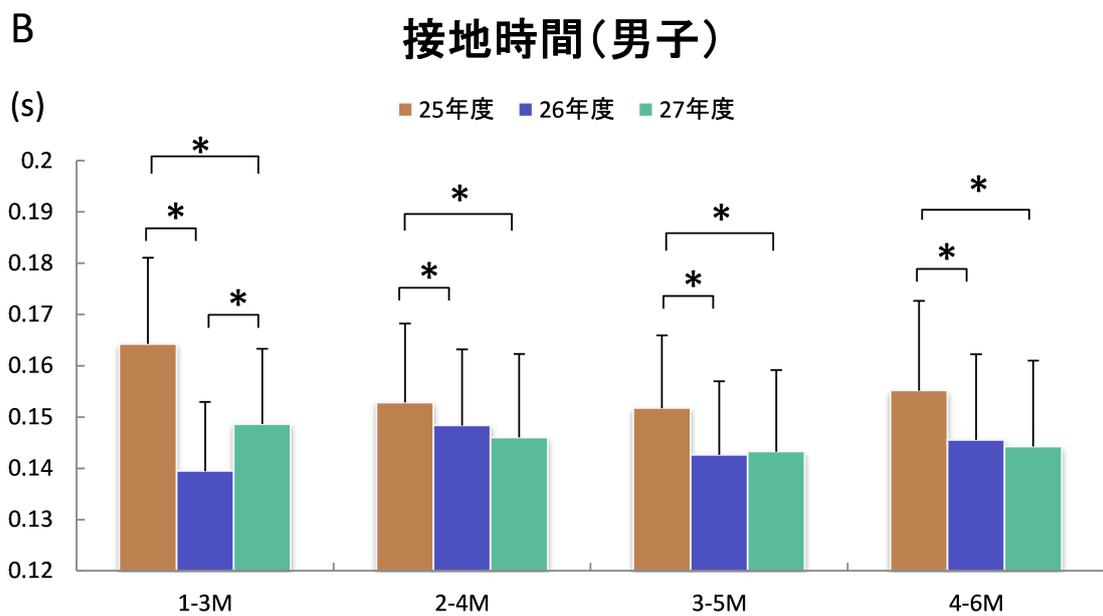
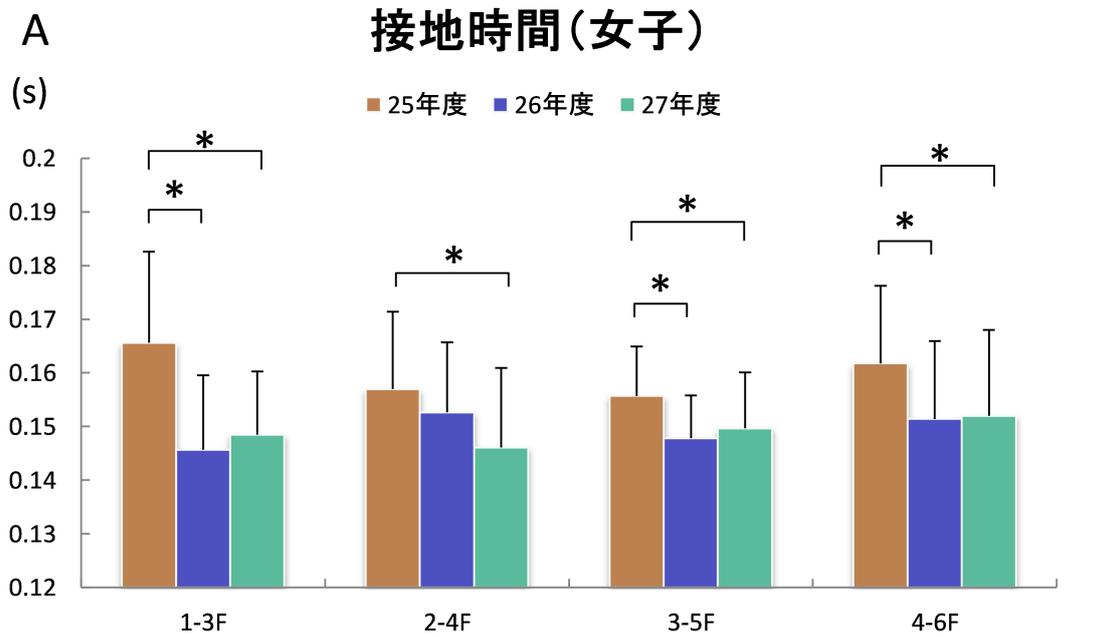


図 13. 年度別接地時間の推移

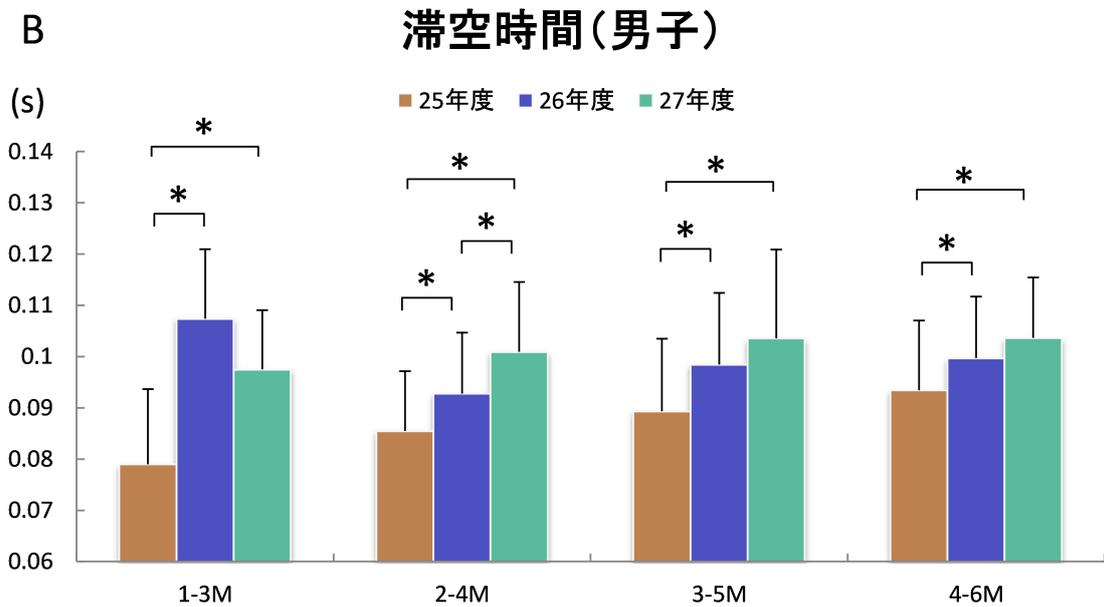
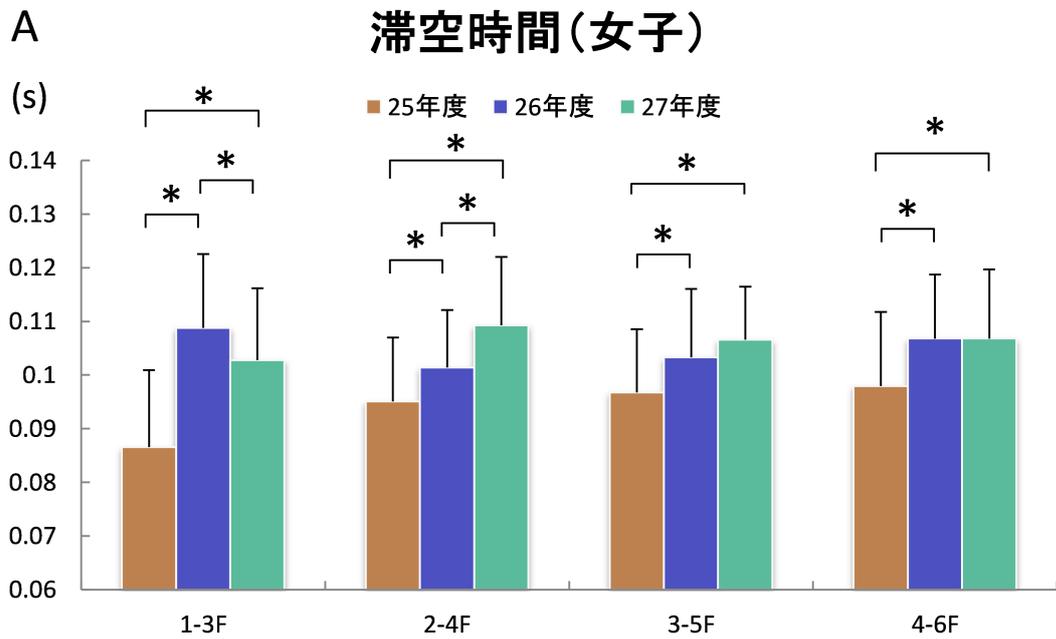


図 14. 年度別滞空時間の推移

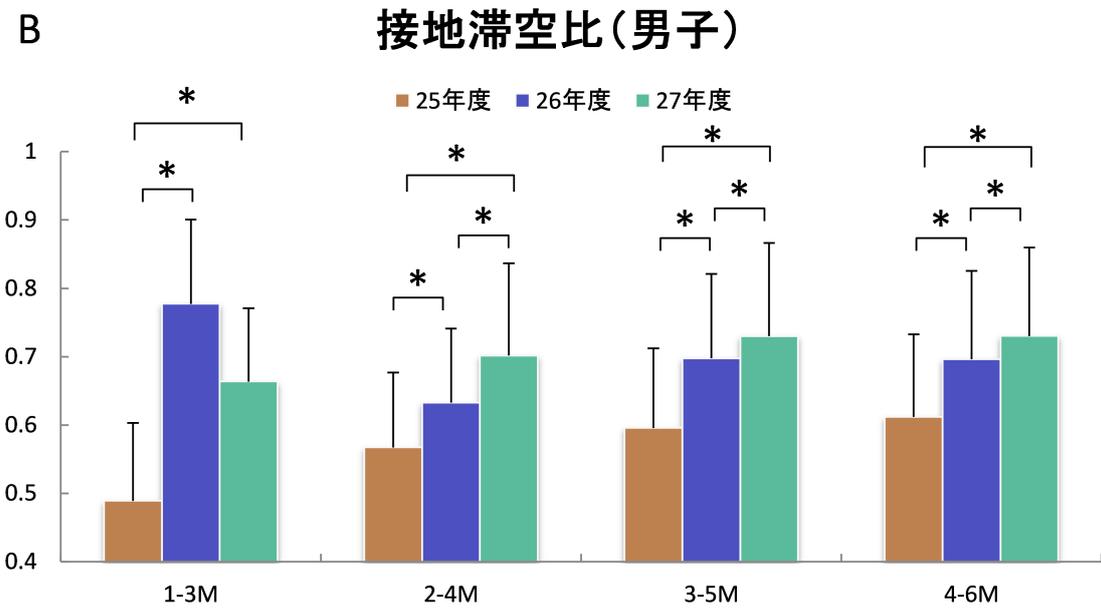
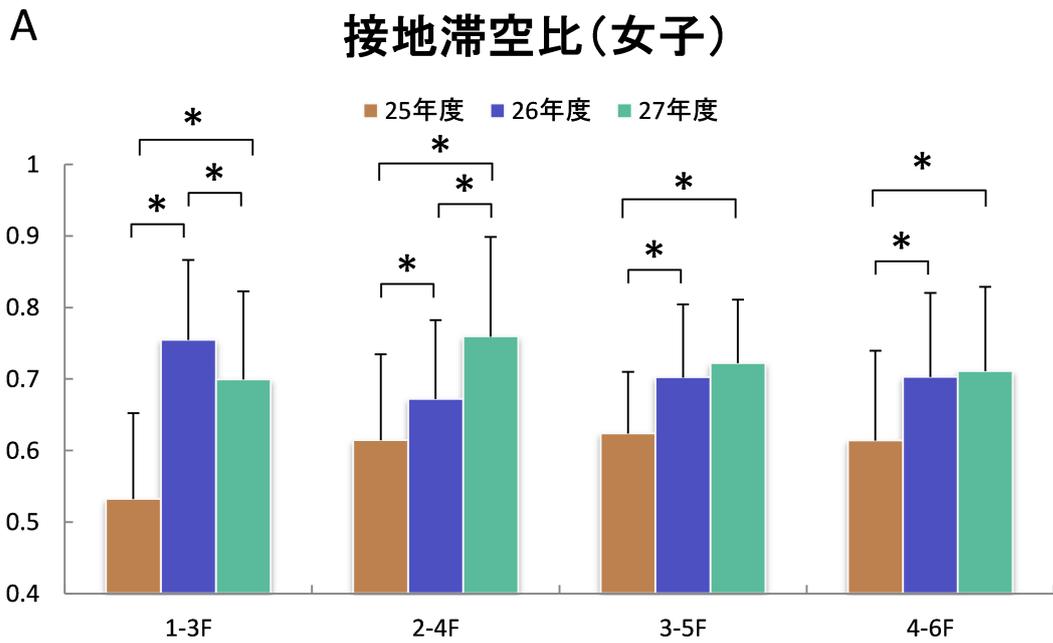


図 15. 年度別接地滞空比の推移

#### 3-4. 接地時間とケイデンスの関係

接地時間とケイデンスの関連について、Pearson の積率相関係数を用いて相関関係を求めた (図 16~図 17)。グラフの縦軸はケイデンスを表し、横軸は接地時間を表している。また、グラフのシンボルは接地タイプ別に色分けをした。その結果、接地時間とケイデンスは、男女とも全年度において有意な負の相関関係あることが分かった ( $p<0.01$ )。接地時間が長くなるほど踵接地の数が多くなり、接地時間が短くなるほどつま先接地・フラット接地の数が増える傾向が見られた。また、学年が上がるにつれてつま先接地・フラット接地の人数が増える傾向が見られた。

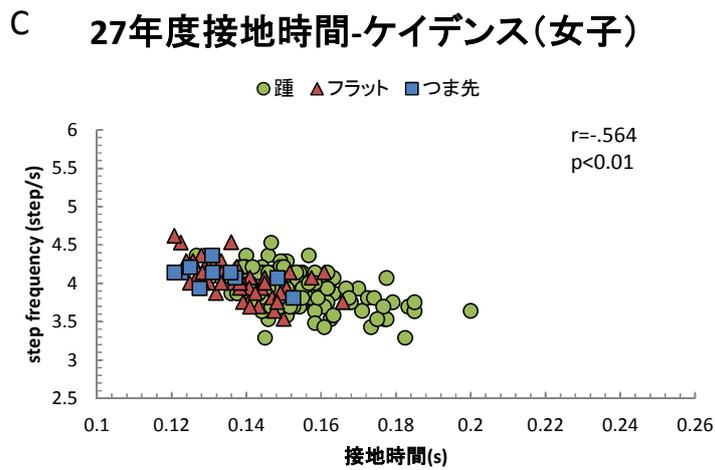
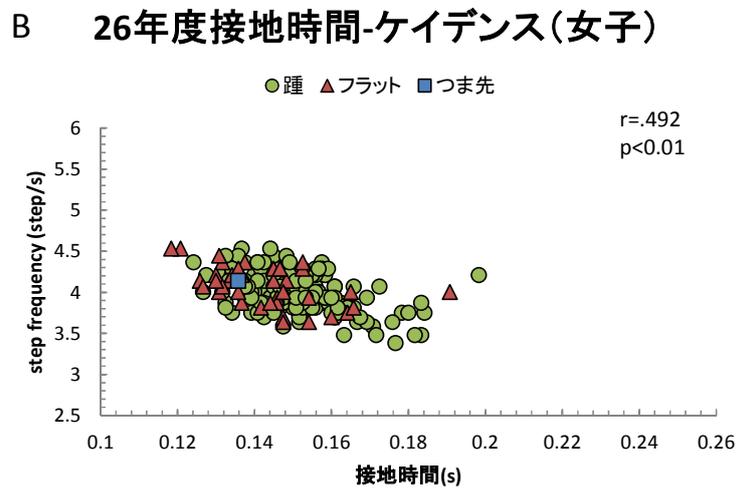
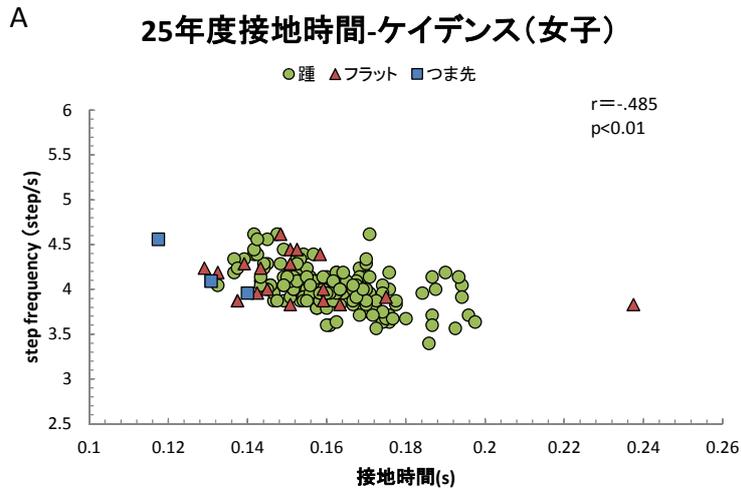
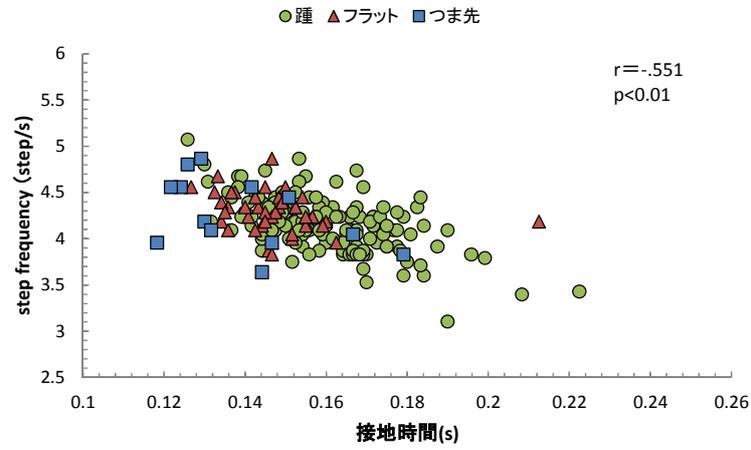
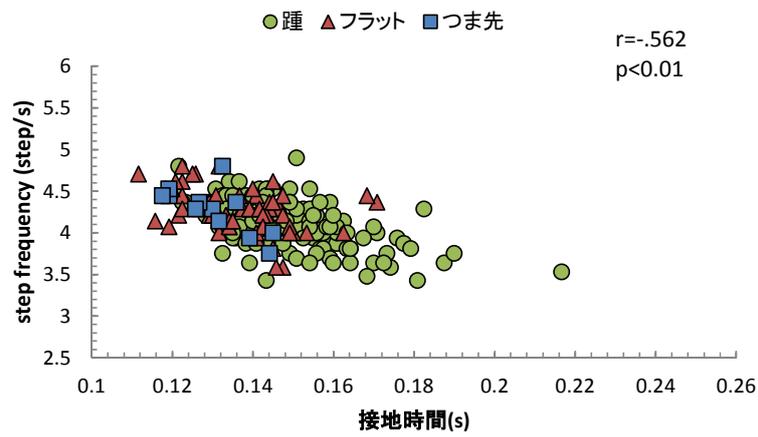


図 16. 接地時間及びケイデンスの関係 (女子)

A 25年度接地時間-ケイデンス(男子)



B 26年度接地時間-ケイデンス(男子)



C 27年度接地時間-ケイデンス(男子)

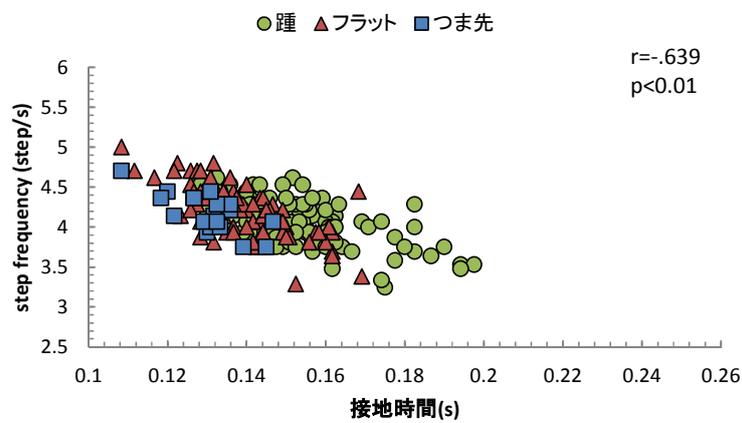
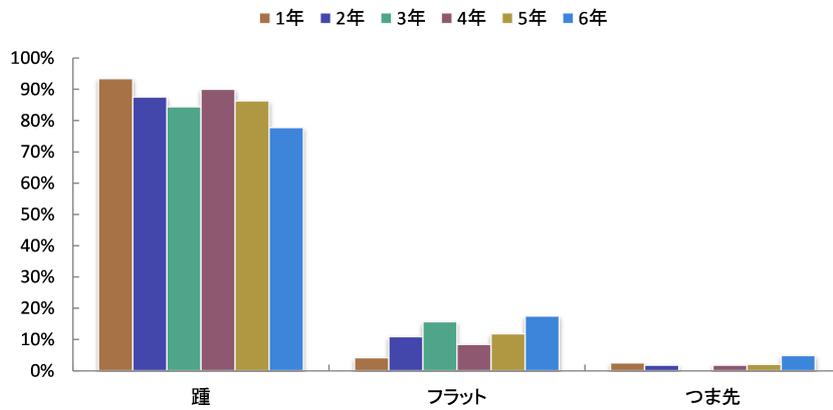


図 17. 接地時間及びケイデンスの関係 (男子)

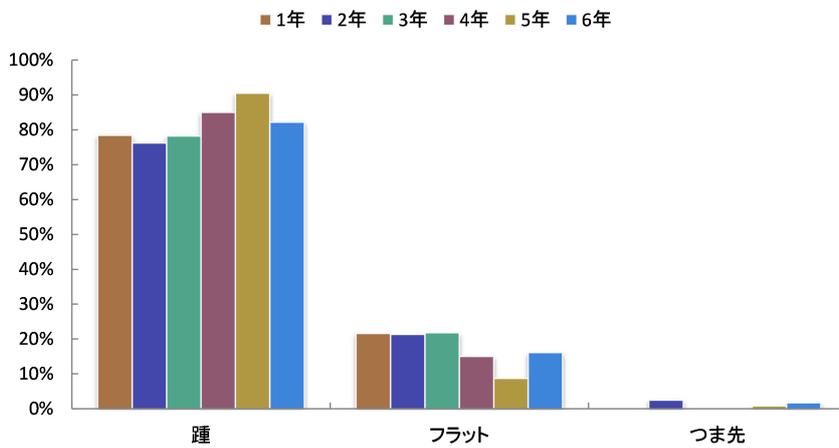
### 3-5. 接地タイプ割合の結果

学年毎にその学年に占める各接地タイプの割合を算出した。その後 $\chi$ 二乗検定を実施し、有意差があった27年度女子、25年度男子、27年度男子について残差分析を行った（図27～図28）。その結果、27年度女子では踵接地において2年生が他の学年に比べて有意に高く、4年生で有意に低かった。また、フラット接地では2年生が他の学年に比べて有意に低く、4年生で有意に高かった（図27）。25年度男子では1年生の踵接地が他の学年より有意に高く、フラット接地が他の学年より有意に低かった。つま先接地では2年生が他の学年より有意に高かった。27年度男子では、踵接地において1年生が他の学年より有意に高く、5・6年生で有意に低かった。フラット接地では1年生が他の学年より有意に低く、5年生で有意に高かった。つま先接地については、6年生が他の学年より有意に高かった（図28）。

### A 25年度学年別接地タイプ割合(女子)



### B 26年度学年別接地タイプ割合(女子)



### C 27年度学年別接地タイプ割合(女子)

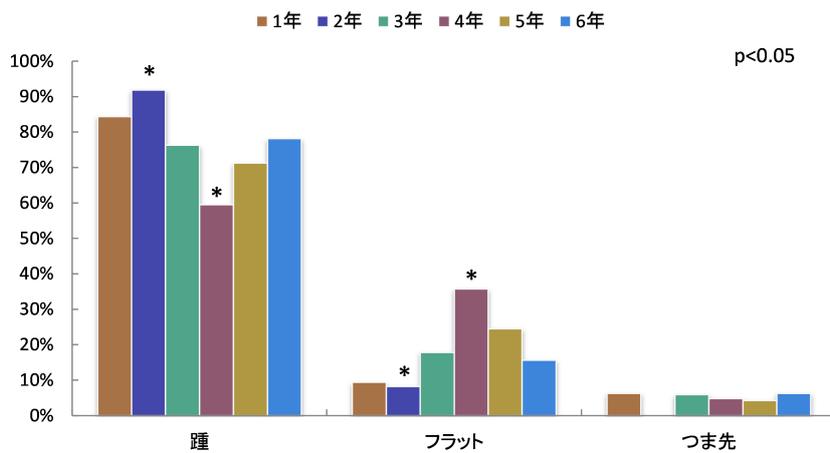
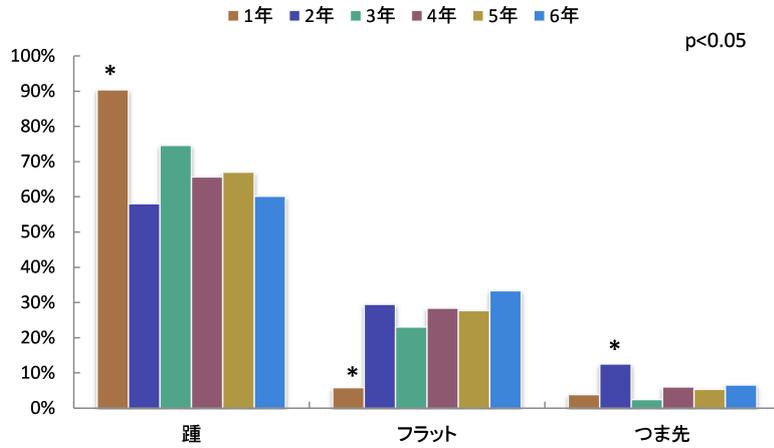
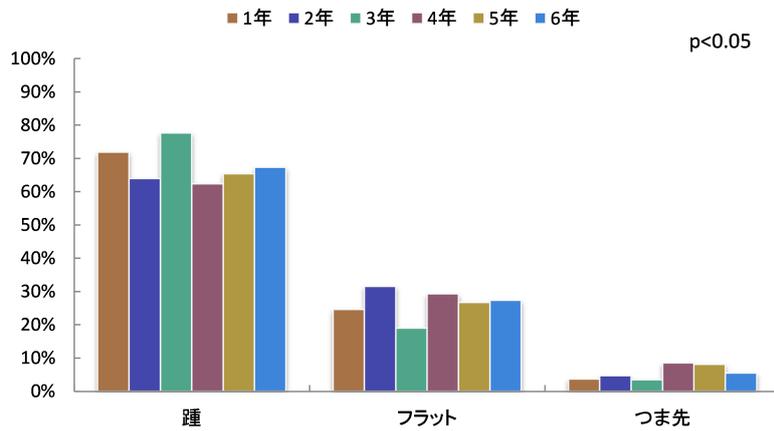


図 18. 学年別接地タイプ割合 (女子)

### A 25年度学年別接地タイプ割合(男子)



### B 26年度学年別接地タイプ割合(男子)



### C 27年度学年別接地タイプ割合(男子)

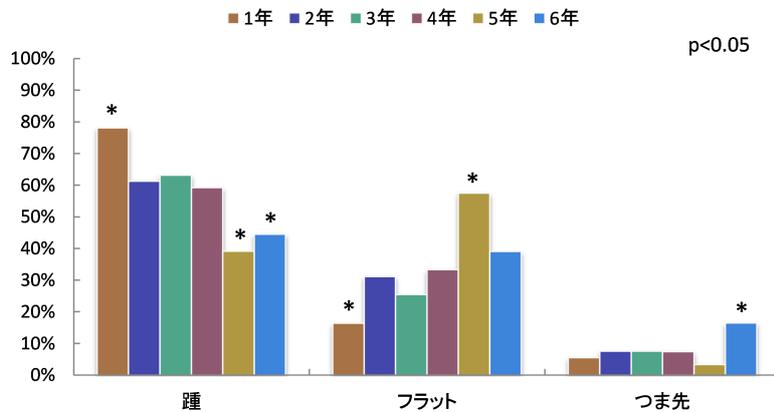
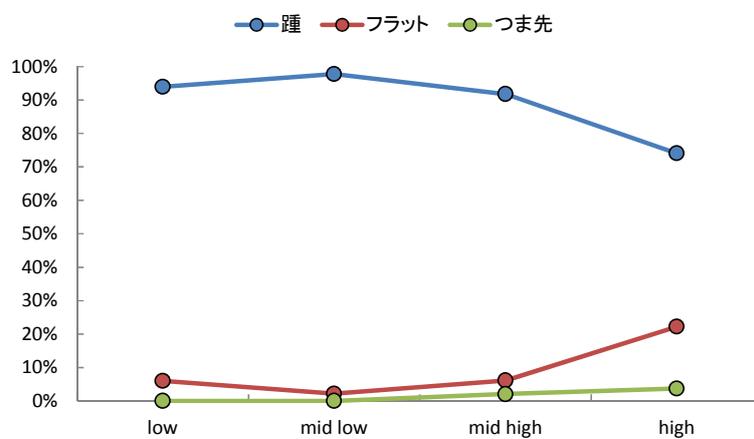


図 19. 学年別接地タイプ割合 (男子)

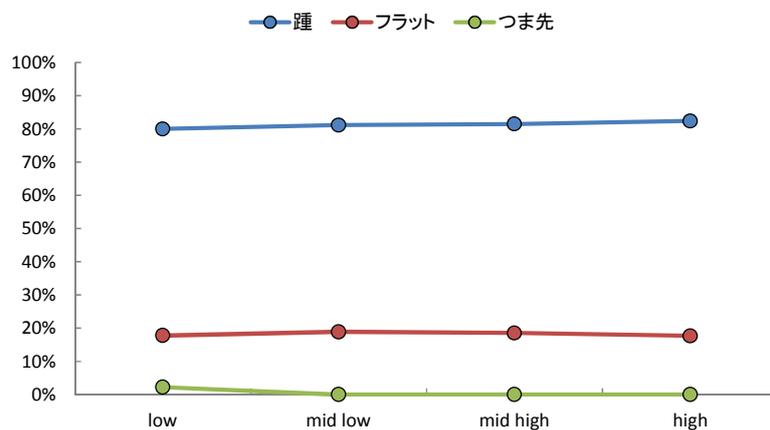
### 3-6. 最大速度と接地タイプの関係

各年度別に接地タイプの割合を求め、男女別、速度別に $\chi$ 二乗検定を実施した。最大速度を順位づけし、上位から25%ずつ4群に分け、high群・mid high群・mid low群・low群として比較した。また、有意な差が見られた年度について残差分析を実施した。その結果、25年度では、男女ともに有意な差が見られ、女子では踵接地のhigh群が有意に低く、mid low群で有意に高かった。また、フラット接地のhigh群で有意に高い結果が得られた。男子では踵接地のlow群で有意に高く、フラット接地のlow群で有意に低かった。26年度では、男女ともに有意な差は見られなかった。27年度では男子のみ有意な差が見られ、踵接地のhigh群で有意に低く、low群で有意に高かった。また、つま先接地ではhigh群で有意に高く、mid low群で有意に低かった。

A 25年度速度別接地タイプ割合(女子)



B 26年度速度別接地タイプ割合(女子)



C 27年度速度別接地タイプ割合(女子)

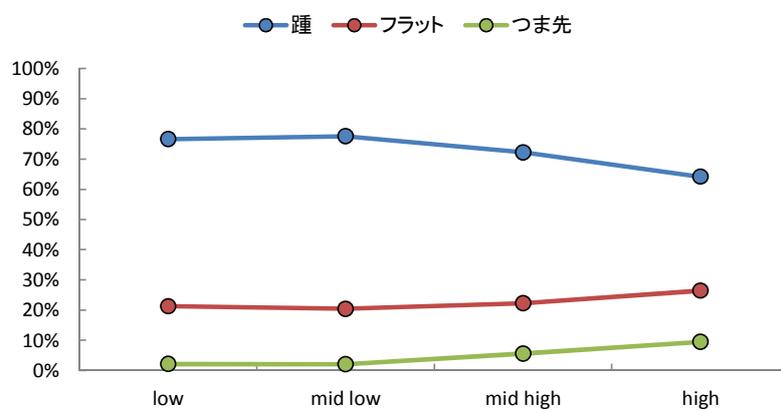
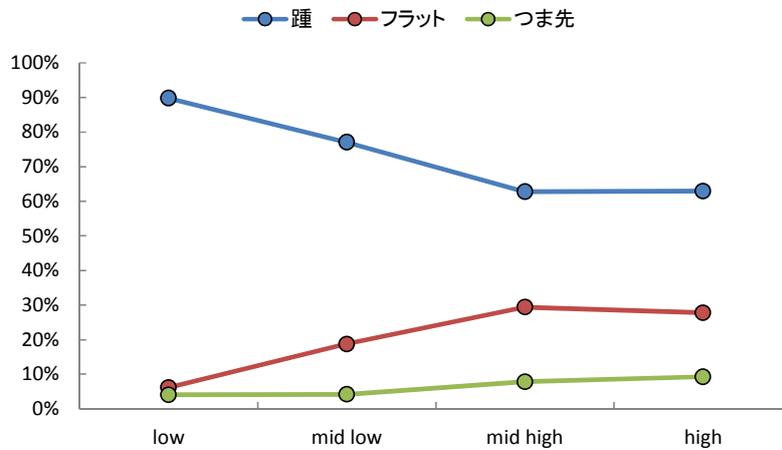
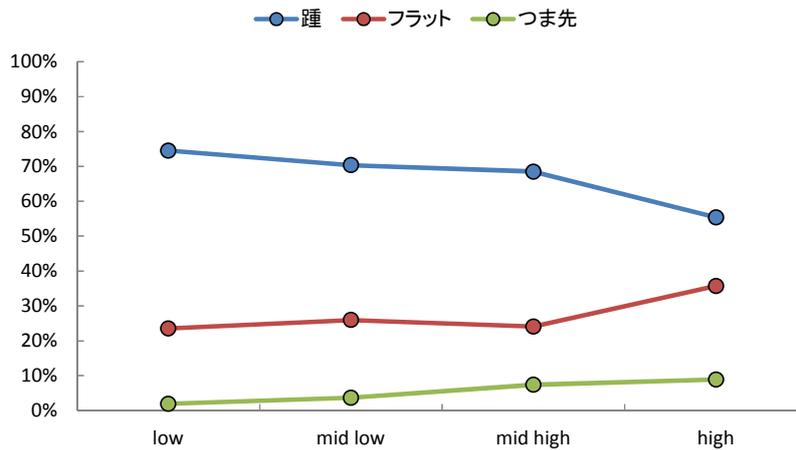


図 20. 速度別接地タイプ割合 (女子)

### A 25年度速度別接地タイプ割合(男子)



### B 26年度速度別接地タイプ割合(男子)



### C 27年度速度別接地タイプ割合(男子)

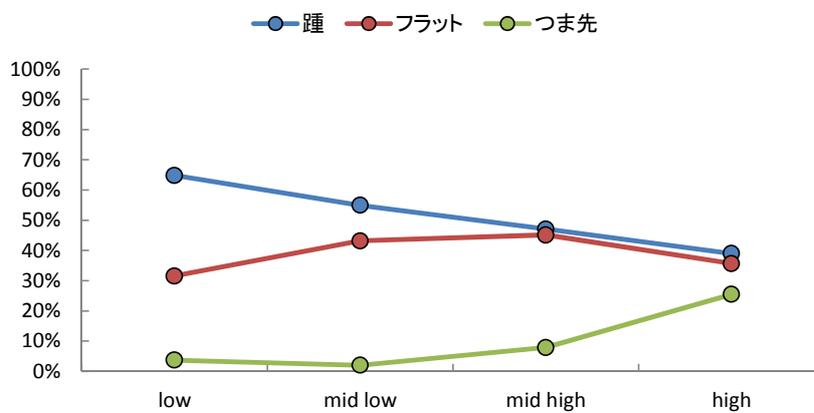


図 21. 速度別接地タイプ割合 (男子)

### 3-7. 3年間ににおける接地タイプの縦断変化

全児童を対象に、接地タイプの3年間の変化パターンを図22、図23に示した。図は縦軸に接地タイプを示し、横軸に年度を示している。グラフ付近の数字は、その変化パターンを示した児童の人数を表している。

結果、男女共に3年間踵接地の児童が一番多く、次いで男女とも踵→踵→フラットと変化する児童が多かった。

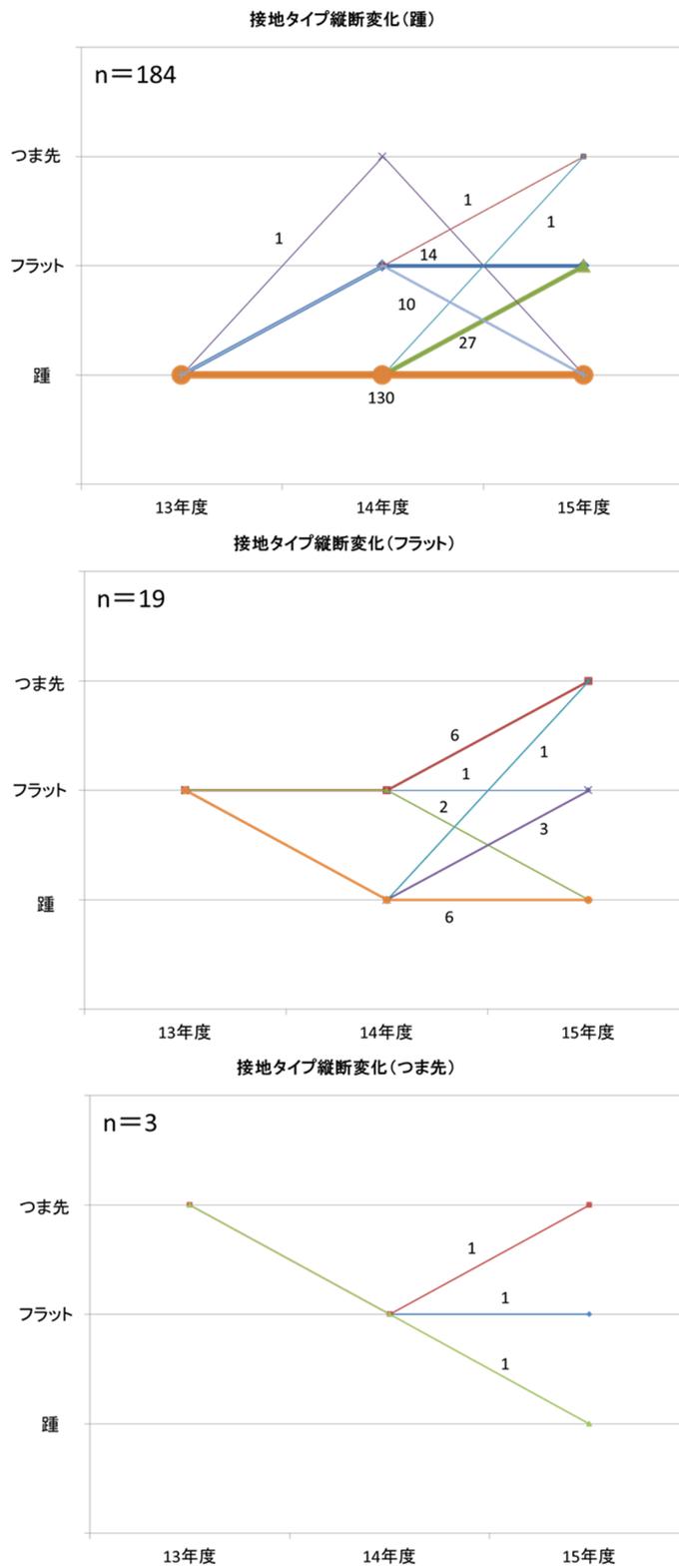


図 23. 女子児童における接地タイプの縦断変化パターン

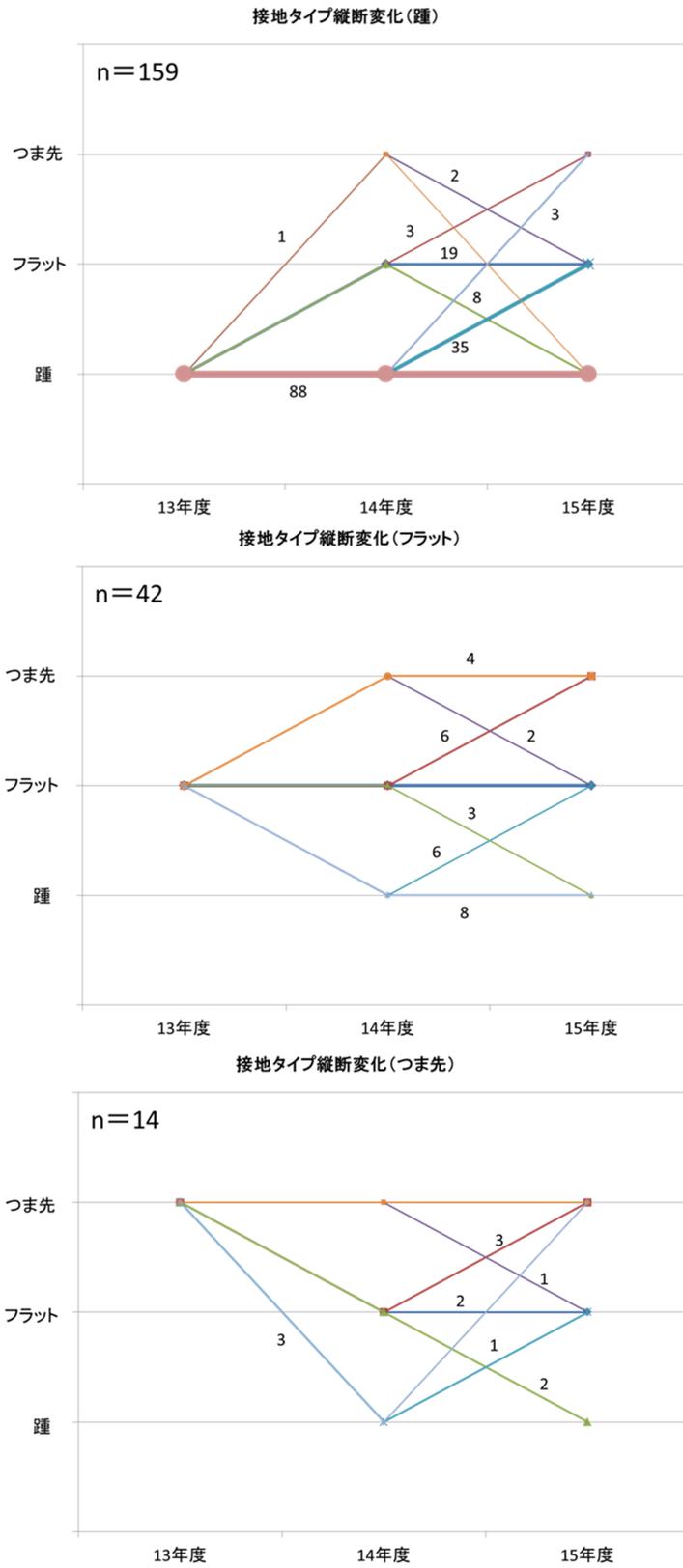


図 24. 男子児童における接地タイプの縦断変化パターン

## 4. 考察

本研究では、成長過程にある児童がどのように走能力を発達させるかについて、疾走速度・ケイデンス・ストライドからだけではなく、接地時間・滞空時間、さらに接地タイプとの関係から縦断的に検討することを目的とし、測定を行った。測定対象とした児童の50m 走の平均記録はほぼ全ての年度で全国平均、埼玉県平均を下回る値となった(表 1)。

### 4-1. 学年間、年度別の測定項目の変化

年度毎のタイム、最大速度、ケイデンス、ストライド、ストライド身長比について学年別に測定項目の比較を行った。

最大速度・ストライドは学年ごとに増加する傾向に、ケイデンスは学年による増減は特に見られず横ばいに推移する傾向にあった。これらは先行研究と同様の発達パターンを示しており、いくつかの先行研究で示されている結果を支持するものとなった(斉藤・伊藤,1995、宮丸,2001)。つまり、児童における走速度の増加は、ピッチよりもストライドの増加による形態的な発達が関与しているものであると考えられる。年度別に見ても、ほぼ同じ増減の傾向を示しているため、本研究により見られた発達パターンには再現性があるものと考えられる。

25 年度から 27 年度までを追跡して解析できた学年を対象に年度毎に測定項目の比較を行った。その結果、学年毎の比較と同様、タイム、最大速度、ケイデンス、ストライドについて、先行研究と同じような傾向が見られた。また、ストライドを身長で標準化した値であるストライド身長比についても有意な差があったため、単に身長が伸びたことによる影響だけではなくストライドを伸ばすことができたと考えられる。接地時間については、加齢によって減少する傾向を示し、特に 25 年度と 27 年度の間に有意な差が見られた。一

方で滞空時間は加齢により増加する傾向が見られた。成人を対象に行なった研究では、速い者ほど接地時間が短く滞空時間が長いことが報告されている（Weyand et al., 2000）このことから、接地時間と滞空時間の関係は互いに変化しながら発達していくことが考えられ、接地時間が短くなると滞空時間が伸びていく可能性が示唆される。

滞空時間は接地中の鉛直方向への力積に依存することが分かっているため（土江, 2004）、接地時間を短縮する代わりに接地中の鉛直方向への力の大きさを大きくする必要がある（土江ら, 2010）。鉛直方向の力積を評価するためには、支持期中の重心移動距離である接地距離、非支持期中の重心移動距離である滞空距離を算出する必要がある。接地時間・滞空時間の関係のみだけでなく、接地距離・滞空距離も合わせた発達傾向を見ることで、児童の疾走動作について詳細な評価をすることができると考えられ、今後の研究課題である。

#### 4-2. 接地時間とケイデンスの関係

接地時間とケイデンスの間には有意な負の相関があり、また接地時間が短くなるほど、フラット接地、つま先接地の児童が増える結果となった。信岡らは、月齢を統制したピッチと接地時間には有意な負の相関があることを明らかにしており、先行研究を支持する結果となった（信岡ら, 2015）。

また、船津らの研究では、8歳の児童を対象に思春期前の筋の量的発育が疾走動作に与える影響を明らかにしているが、8歳児の男子におけるピッチの説明変数の一つとして接地滞空比が選択されることを示している（船津ら, 2013）。児童期の最大速度の増加はストライドの影響であり（斉藤・伊藤, 1995、宮丸, 2001）、成人スプリンターを対象とした研究において、ストライドの増加には足関節屈筋群が貢献していることが示されている（阿江ら, 1986）。しかし、船津らは、身体や疾走動作が発育・発達段階にある8歳時においては足底屈筋群がストライドの増大をもたらすに足りる発育を遂げていないことを指摘して

おり、足底屈筋群は接地時間の短縮のみに貢献していることを報告している（船津ら、2013）。つまり、接地時間は間接的にピッチの増減に影響を及ぼしていると考えられる。

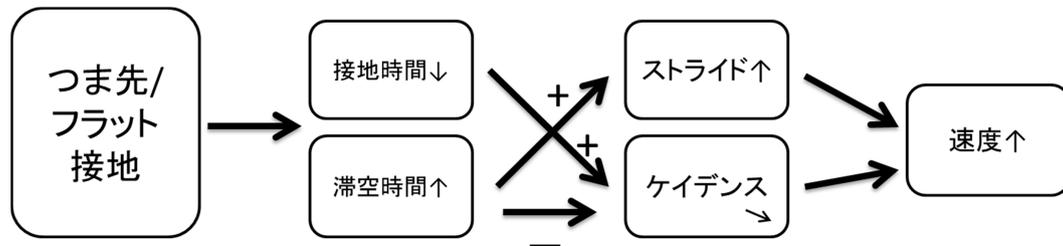


図 24. 発達に伴う疾走速度上昇の一要因

そして今回、接地時間の短い児童ほどフラット接地・つま先接地が多くなる傾向が示された。このことから、接地の仕方を踵接地からフラット・つま先接地に変えることで、接地時間を短くすることができる可能性が示唆される。ただし、それをどのように指導すべきかは今後の課題である。

#### 4-3. 接地タイプの割合及び最大速度と接地タイプの関係

学年別に接地タイプの割合では、女子よりも男子で接地タイプの差が出やすく、女子においては 27 年度のみ有意差が見られた。男子では 27 年度の 5、6 年生において踵接地の割合が減少した。速度別に接地タイプを求めた結果、速度が高い群ほどフラット接地・つま先接地の割合が高い傾向にあり、速度が低い群ほど踵接地の割合が高い傾向にあった。

学年別に見ると、男女共に踵接地の割合が一番多く、次いでフラット接地となり、つま先接地を行っている児童は非常に少ない。高学年に上がるに従って踵接地の割合が減少する傾向はあるが、多くの児童の接地タイプは踵接地である。またそれは速度別に分類しても同様の傾向が見られ、多くの群で半数以上の児童が踵接地であり、27 年度の High 群の

み踵接地とフラット接地・つま先接地の割合が同程度であった。Hatalaらは、ケニア人の成人男性を対象とした研究で5.01~6.00m/sを境に全体に占める踵接地の割合とフラット接地の割合が逆転し、フラット接地の割合の方が高くなることを報告している(Hatala et al., 2013)。つまりこの結果は、走速度の上昇に伴い接地が前足部へ移行していくことを示唆している。しかし、本研究においてはそのような逆転現象は起こらず、半数以上の子どもが踵接地で全力疾走を行っていた。つまり、児童においては走速度が上がるにつれて自然に接地タイプが切り替わるわけではない。このことは、児童の接地タイプを改善しようとするならば、身体の使い方についての専門的な指導や、何らかの要因が必要となることを示している。

この要因の一つとして、下肢の筋力の発達があげられる。土江らによれば、ストライドは接地期での鉛直方向の力積を大きくすることで拡がると考えられ、短時間で大きな力積を発揮する能力が必要であると報告している(土江ら, 2004)。踵接地とフラット・つま先接地を比べると機械的仕事量はフラット・つま先接地の方が大きく、踵接地よりも大きな力を使っていることが分かる(ARDIGO et al., 1995)。本研究における学年ごとの接地タイプの割合では、27年度の5年生男子でフラット接地の割合が有意に多く、6年生男子でつま先接地の割合が有意に多くなった。つまり、11~12歳頃の筋肉の発達が始まる年齢となり、低学年の頃より筋肉が付き始めたためにフラット接地・つま先接地の割合が増えた可能性がある。

船津らは、8歳の時点では足底屈筋群(下腿部後部筋群)はストライドの増加に貢献するほどの発達をしていないことを指摘しており(船津ら, 2013)、年齢や発育状況による身体的特徴を考慮したうえで、前足部でのジャンプ能力を身につけられるような走り方の指導を行う必要がある。

#### 4-4. 接地タイプの経時的変化

これまでの結果から、接地タイプの変化による最大速度への影響はさほど大きくないと考えられる。接地タイプの改善によって接地時間が短くなり、最大速度の上昇に繋がるかもしれない。しかし、3年間踵接地のままの児童や、年度によって接地がバラバラの児童がいることから（図 23,24）、ランニングフォームや身体の使い方についての専門的な指導、または遊びの中で走る動作に関する動きを取り入れさせることが必要だと考えられる。

また測定中、前足部の接地をしている児童でも跳ねるような走り方をしている者もあり、前方への推進力を得られずにタイムが伸びない児童がいた。この児童の場合、短時間で大きな力を得られるような接地の感覚や身体の使い方を得られていないのではと考える。これらを明らかにするには、身体の重心推移や脚伸展パワーなどのバイオメカニクスの指標が必要であり、それらの指標が発育発達によってどのように変化していくのかを探ることは、今後の課題である。

## 5. 結論

本研究では、成長過程にある児童がどのように走能力を発達させるかについて、縦断的な測定を行った。その結果、接地時間と滞空時間は互いに変化しながら走動作が発達をしていくことが示唆された。また、児童における全力疾走時の接地タイプは、一番速度の速い high 群においても踵接地の児童が約 40%いるため、自然にフラット接地・つま先接地に移行することは難しいと考えられる。最大速度を上げるための要因の一つとして接地タイプの変化が有効かもしれないが、児童の接地タイプを変えるためには何らかの指導を行うことが必要であると考えられる。

## 6. 参考文献

Adelaar, R. S. (1986). The practical biomechanics of running. *The American journal of sports medicine*, 14(6), 497-500.

Altman, A. R., & Davis, I. S. (2012). A kinematic method for footstrike pattern detection in barefoot and shod runners. *Gait & posture*, 35(2), 298-300.

Amano, Y., Hoshikawa, T., Toyoshima, S., & Matsui, H. (1987). Longitudinal study of running in children over an 8 year period. Bengt Jonsson. *International Series on Biomechanics*, 10, 819-824.

Amano, Y., Mizutani, S., & Hoshikawa, T. (1983). Longitudinal study of running of 58 children over a four year period. *Biomechanics*, VIII b, Champaign: Human kinetics publishers.

Ardigo, L. P., LaFortuna, C., Minetti, A. E., Mognoni, P., & Saibene, F. (1995). Metabolic and mechanical aspects of foot landing type, forefoot and rearfoot strike, in human running. *Acta physiologica scandinavica*, 155(1), 17-22.

Forrester, S. E., & Townend, J. (2015). The effect of running velocity on footstrike angle—a curve-clustering approach. *Gait & posture*, 41(1), 26-32.

Hasegawa, H., Yamauchi, T., & Kraemer, W. J. (2007). Foot strike patterns of runners at the 15-km point during an elite-level half marathon. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(3), 888-893.

Hatala, K. G., Dingwall, H. L., Wunderlich, R. E., & Richmond, B. G. (2013). Variation in foot strike patterns during running among habitually barefoot populations. *PloS one*, 8(1), e52548.

Hunter, J. P., Marshall, R. N., & McNair, P. J. (2004). Interaction of step length and step rate during sprint running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(2), 261-271.

Lieberman, D. E., Venkadesan, M., Werbel, W. A., Daoud, A. I., D'Andrea, S., Davis, I. S., ... & Pitsiladis, Y. (2010). Foot strike patterns and collision forces in habitually barefoot versus shod runners. *Nature*, 463(7280), 531-535.

Morin, J. B., Bourdin, M., Edouard, P., Peyrot, N., Samozino, P., & Lacour, J. R. (2012). Mechanical determinants of 100-m sprint running performance. *European journal of applied physiology*, 112(11), 3921-3930.

Morin, J. B., Samozino, P., Zameziati, K., & Belli, A. (2007). Effects of altered stride frequency and contact time on leg-spring behavior in human running. *Journal of biomechanics*, 40(15), 3341-3348.

Novacheck, T. F. (1998). The biomechanics of running. *Gait & posture*, 7(1), 77-95.

Weyand, P. G., Sternlight, D. B., Bellizzi, M. J., & Wright, S. (2000). Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements. *Journal of applied physiology*, 89(5), 1991-1999.

伊藤章, 市川博啓, 斉藤昌久, 佐川和則, 伊藤道郎, & 小林寛道. (1998). 100m 中間疾走局面における疾走動作と速度との関係. *体育學研究*, 43(5), 260-273.

岩竹淳, 鈴木朋美, 中村夏実, 小田宏行, 永澤健, & 岩壁達男. (2002). 陸上競技選手のリバウンドジャンプにおける発揮パワーとスプリントパフォーマンスとの関係. *体育學研究*, 47(3), 253-261.

宮丸凱史 (2001) 疾走能力の発達, 杏林書院

信岡沙希重, 樋口貴俊, 中田大貴, 小川哲也, 加藤孝基, 中川剣人, ... & 彼末一之. (2015). 児童の疾走速度とピッチ・ストライド・接地時間・滞空時間の関係. *体育学研究*, 60(2), 497-510.

斉藤昌久, & 伊藤章. (1995). 2 歳児から世界一流短距離選手までの疾走能力の変化. *体育學研究*, 40(2), 104-111.

船津京太郎, & 村木里志. (2013). 児童期における下肢筋厚が疾走動作に及ぼす影響. *体力科学*, 62(5), 365-373.

辻野昭, & 後藤幸弘. (1976). 幼児・児童期における走運動 pattern の加齢的変遷.

土江寛裕, 榎部静二, & 平塚潤. (2010). 最大スプリント走時の走速度, ピッチ・ストライド, 接地・滞空時間の相互関係と, 競技力向上への一考察. 城西大学研究年報, 33, 3136.

土江寛裕, 富士通, & 陸上競技部. (2004). アテネオリンピックに向けての「走りの改革」の取り組み. スポーツ科学研究, 1, 10-17.

## 7. 謝辞

本論文を執筆するにあたって、多くのご指導を頂きました主査の彼末一之教授に深く御礼申し上げます。研究の方向性から細かい解釈の仕方に至るまで、先生の数多くのアドバイスがなければ修士論文の執筆を終えるまでに至りませんでした。心より感謝しております。また、副査を快く引き受けてくださった磯繁雄教授と吉永武史准教授のお二人にも併せて御礼申し上げます。お忙しい中時間を割いてくださりありがとうございました。

そして、毎年測定にご協力頂いている所沢市立三ヶ島小学校の皆様、並びに所沢市立富岡小学校の皆様、年1回の体力テストという貴重な場にて測定のお機会を下さり誠にありがとうございます。

彼末研究室の皆様には日頃から大変お世話になりました。神奈川大学から進学し、新たな環境に戸惑っていた私を暖かく迎え入れてくださり、本当に感謝しております。特に信岡沙希重さん、立命館大学の樋口貴俊さんには測定の方法から解析の仕方、論文執筆にあたってのご指導まで、とてもお世話になりました。本当にありがとうございました。また、小川哲也さんは測定に何度もご協力くださり、右も左も分からない私に数多くのご助言をくださいました。ありがとうございました。水口暢章さんにはデータの解析や文章構成についてのアドバイスをたくさんいただきました。ご自身の研究、学生の指導でご多忙なか、お時間を割いてくださり、感謝しております。

小学校での測定に参加してくださった研究室の皆様、他の研究室から応援で参加してくださった皆様には感謝してもしきれません。皆様がいなければあのような大規模な測定は行えませんでした。自分の研究と全く関係ないのにお手伝いいただき、ありがとうございました。

論文の作成にあたり、応援してくれた友達、毎日遅くに帰っても暖かく迎えてくれた家族の声はとても力になりました。ありがとうございました。そしてこれからもよろしくお願ひします。

修士課程の2年間はあっという間でしたが、非常に濃い2年間を過ごさせていただきました。大学院への進学をして良かったのかと悩んだこともありましたが、ここまでやってきて良かったと言えるまでにはなれたのかなと思います。それもこれも周りにいてくださった皆様のおかげです。

4月からは社会人となりますが、今までに頂いてきたものを自分の力で社会に還元できるように精進して参りたいと思います。ありがとうございました。

2016年2月18日

安達 雄太