

平成 28 年度

順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科 修士論文

大学生男子カヌー選手の ACTN3 遺伝子多型に関する研究

学籍番号 4115060

氏名 吉田 怜司

論文指導教員 内藤 久士 教授

合格年月日 平成 29 年 2 月 20 日

論文審査員 主査 町田 修一

副査 福 典之

副査 内 藤 久 士

目次

	頁
第1章 緒言.....	1
第2章 関連文献の考証.....	2
第1節 カヌースプリント競技とその特色.....	2
第2節 カヌースプリント競技者の体力特性.....	2
(1) 海外トップ選手と日本人選手の形態.....	2
(2) カヌースプリント競技者の有酸素的能力.....	2
(3) カヌースプリント競技者の無酸素的能力.....	3
第3節 ACTN3 遺伝子多型.....	4
(1) スポーツパフォーマンスと ACTN3 遺伝子多型.....	4
(2) カヌースプリント競技における ACTN3 遺伝子多型の研究.....	4
第3章 方法.....	5
第1節 測定期間および被験者.....	5
第2節 測定方法.....	5
第3節 統計解析.....	6
第4章 結果.....	7
第1節 体力指標の結果.....	7
第2節 遺伝子多型とパフォーマンス.....	7
第5章 考察.....	8
第1節 カヤックパフォーマンスと ACTN3 遺伝子多型の関係.....	8
(1) 被験者の形態・筋力・競技レベルの特性.....	8
(2) 体力指標の分析.....	8
第2節 本研究のリミテーション.....	10
第6章 結論.....	11
第7章 要約.....	12
謝辞.....	14
引用文献.....	15
表 1-6	
図 1-7	

第1章 緒言

オリンピックにおけるカヌー競技には、カヌースラロームとカヌースプリントの2種目が存在する。カヌースラローム競技がゲートを順番に通過してそのタイムを競うのに対して、カヌースプリント競技は静水上に設置された直線コースを漕いで着順を競う。男子の場合競技距離は200m、1000mの2種類で、競技時間は、オリンピックレベルで各35秒、3分30秒程度であり、競技時間、競技特性ゆえに非常に高いレベルで無酸素、有酸素の代謝能力を両立させることが求められる。

近年のスポーツ科学の分野において、スポーツパフォーマンスと遺伝子に着目した研究が盛んである。運動能力と関係しているとされる120種類以上の遺伝子多型の中で、スプリント・パワー系競技者の競技能力との関連性が報告されている遺伝子多型の一つにACTN3遺伝子のR577X多型がある(以下ACTN3遺伝子多型と呼ぶ)。

ACTN3タンパク質は筋節を区切るZ膜の主要な構成成分であり、筋力発揮やパワー発揮に影響する遺伝子であると考えられている。ACTN3遺伝子多型にはRR、RX、XXの3つの多型があり、Rアレルを持たないXX型ではACTN3タンパク質を発現できず、代償的にACTN2タンパク質を発現している。ACTN2タンパク質はすべての骨格筋線維(Type I、Type II A、II B、II X)に発現するが、ACTN3タンパク質はType II線維つまり速筋線維にのみ発現しているという特徴がある。

これまでに多くの研究でパワー系・スプリント系のエリート競技者はコントロール群と比べて有意レベルでXX型の比率が少ないことが明らかになっている。^{5) 17) 27) 28)}これに対してカヌースプリントと同様に複数の競技距離が存在する水泳、スケート、陸上トラック競技といった持久系競技者を対象とした研究は数多いが、カヌースプリント競技に絞ると、ヨーロッパの白人男子選手を対象としたOrysiakらの研究があるだけである。ACTN3遺伝子多型とカヌースプリント競技のパフォーマンスとの関連を調べることは、各種競技レベルにおけるパフォーマンスの制限因子を明らかにする上で非常に重要だが、Orysiakらの研究は競技会の順位という定性的な指標によって被験者群を分けており、これまでのところ定量的な水上パフォーマンス(水上タイム)を用いた研究は、筆者の知る限り報告されていない。

そこで本研究では大学生男子カヌースプリント選手を対象とし、実際の水上でのパフォーマンス(水上タイム)を用いてACTN3遺伝子多型との関連性を明らかにすることを目的とした。

第2章 関連文献の考証

第1節 カヌースプリント競技とその特色

オリンピックにおけるカヌー競技はカヌースプリント競技とカヌースラローム競技の二つである。その中でカヌースプリント競技は湖や川の下流域など比較的流れのない水面に設置した直線コースで着順を競うカヌー競技である。

オリンピックでは男子が 200m、1000m、女子が 200m、500m、両側を漕ぐカヤックと片側のみを漕ぐカナディアンが存在する。

第2節 カヌースプリント競技者の体格・体力特性

(1) 海外トップ選手と日本人選手の形態

海外のエリート選手と日本人選手の形態は大きく異なる。Ackland ら¹⁷⁾は2000年のシドニーオリンピックのスプリント種目に出場したカナディアンとカヤックの選手を対象に身長、体重、およびBMIが男性ではそれぞれ184 cm、85.2 kg、25.2 kg/m²であり、女性では170 cm、67.7 kg、23.4 kg/m²であったと報告している。また、これらと近い値が各国のナショナルチームに所属するカヤック選手を対象とする研究で報告されている。

これに対し国内トップ選手の形態に関して熊本ら¹⁸⁾は身長、体重およびBMIがそれぞれ173.7 cm、71.3 kg、23.6 kg/m²、女性では160.0 cm、56.8 kg、22.2 kg/m²であったと報告している。

(2) カヌースプリント競技者の有酸素的能力

有酸素性代謝能力の指標として最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_2\max$) がある。カヌー選手を対象として $\dot{V}O_2\max$ を測定した研究はこれまでに数多いが、これらは腕のクランキング運動、自転車エルゴメータでのペダリング、トレッドミルでの走運動、を含むものであり、カヤックにおける有酸素性代謝能力を測定するのに適した運動であるとはいえない。水上での漕運動、カヤックエルゴメータでの模擬パドリングによって測定した値を用いて考察するのがより適切であると言える。

Tesch²⁶⁾は、エリートカヤック選手を対象とした研究で、カヤックパドリング時における $\dot{V}O_2\max$ がそれぞれ4670ml/min、58ml/kg/minであったと報告した。カヤックと競技様式が類似するスポーツとしてボート競技があるが、Lakomy and Lakomy¹⁹⁾はエリートボート選手を対象としてローイングエルゴを使用した研究で、 $\dot{V}O_2\max$ がそれぞれ4800ml/min、60ml/kg/minであったと報告している。

陸上中距離選手を対象とした研究では Draper and Wood⁴⁾が5000ml/min、68.9ml/kg/minであったと報告している。

このように、エリートレベルでみた場合に、カヤック選手はボート選手とほぼ同等、陸上選手と比べるとやや低い $\dot{V}O_2\max$ を有する。カヤックパドリングは上肢と体幹を主に用いる上半身主体の運動であり、陸上中距離のような下肢主体の運動と比べて筋の緊張が高まりやすく、その結果として血流の制限および酸素摂取量の制限が起こること、活動筋量が少ないこと等が特徴として挙げられる。これが競技時間の近い陸上中距離選手に比べて $\dot{V}O_2\max$ が低い主な要因であると考えられる。

(3) カヌースプリント競技者の無酸素的能力

a) 最大筋力

Szanto の CANOE SPRINT COACHING MANUAL²⁵⁾ によれば、オリンピックレベルのエリートカヤック選手の最大筋力は、男子選手でベンチプレス、ベンチプルがそれぞれ 140 kg、125 kg であるという。相対筋力で考えても体重 85 kg とした場合に、それぞれ体重×1.65 倍、1.47 倍の重量を挙げていることになり、高いレベルの筋力を有していることがわかる。

これに対して日本の大学生カヤック選手では、濱野ら¹⁴⁾ はベンチプレスで 83.8 ± 18.6 kg であったと報告している。また、橋本ら¹⁵⁾ はベンチプレスで 93 ± 12 kg、ベンチプルで 86 ± 11 kg であったと報告している。これは体重を 70 kg とした場合にそれぞれ 1.20 倍、1.33 倍、1.23 倍の重量であり、オリンピックレベルの選手と比べると絶対的な筋力だけでなく相対筋力においてもはるかに劣ることがわかる。

b). 酸素借

無酸素性エネルギー代謝量の定量法として酸素借(Oxygen Deficit: OD)の概念がある。これは現在では無酸素性エネルギー代謝量を定量化する方法として最も一般的な方法として普及している。中垣²⁰⁾ は、エルゴメータを用いてカヤック選手に 200m、500m、1000m に相当する 40 秒、120 秒、240 秒のオールアウトテストを実施し、その総酸素借(AOD)がそれぞれ 62.7-75.9%、37.6 - 47.8%、15.9-33.3% だったと報告している。^{6~8) 24)} この規定の時間は陸上選手の場合 400m、800m、1500m の競技時間と近く、これらの競技選手を対象とした研究でそれぞれ 400m では 57-58%AOD、800m では 34-40%AOD、1500m においては 16-23%AOD という報告がされている。^{13~16)} 競泳選手を対象にした研究では、30 秒、60 秒、120 秒の泳運動におけるオールアウトテストでそれぞれ%AOD が 69%、52%、36%であると報告されている。¹⁶⁾ このように、同じ競技時間という点で比較をした場合に、カヤックパドリングは無酸素代謝の貢献比率が大きいという特徴が見られる。

第3節 ACTN3 遺伝子多型

(1) スポーツパフォーマンスと ACTN3 遺伝子多型

スポーツパフォーマンスと ACTN3 遺伝子多型との関係について、Yang ら²⁸⁾は 2003 年に男女のスプリンター・パワー系競技者(陸上短距離、水泳、柔道、自転車、スケートの各競技)を対象とした研究で、コントロール群と比べて有意レベルで XX 多型を持つ選手が少なかったことを報告している。これが、ACTN3 遺伝子多型とスポーツパフォーマンスとの関係に言及した最初の論文である。

これ以降、スプリンターやパワー系競技者を対象とした研究で同様の報告が数多く見られる。^{5) 13) 17) 27)}

パワー系競技者と持久系競技者を比較した研究で Eynon ら⁹⁾はパワー系競技者での XX 型と RR 型の比率は有意レベルでコントロール群と異なり、パワー系競技者と持久系競技者の間でもその比率は有意な差があったと報告している。さらにパワー系競技者では競技者のレベル間での差は見られなかったが、持久系競技者では競技者のレベル間での有意な差異があったと述べている。

カヌー以外の持久系競技で見てみると、Grenda ら¹²⁾は、ポーランド人の水泳選手を対象とした研究で、エリートスイマーと ACTN3 との関連は見つからなかったと報告している。これに対し、Ahmetov ら²⁾はロシアのナショナルレベルのスピードスケート選手を対象にした研究でスプリンターにおいては XX 型の比率がコントロール群に対し有意レベルで低かったと報告している。

(2) カヌースプリント競技における ACTN3 遺伝子多型の研究

カヌースプリント選手を対象として ACTN3 遺伝子多型を調べた研究は数少ない。Orysiak ら²¹⁾は、カナディアンとカヤック合わせて 86 名の白人競技者を対象として競技レベルと ACTN3 遺伝子多型の関係を調べた研究を報告している。この中にはインターナショナルレベルとナショナルレベルが含まれる。その結果としてカナディアンとカヤックで ACTN3 遺伝子多型の比率に有意差がないこと、1000m のインターナショナルレベルの競技者ではコントロール群よりも XX 型の比率が有意に低いこと、200m のナショナルレベルの競技者で XX 型の比率が有意に高いことを報告している。ただし、この研究デザインでは 200m と 1000m で被験者間の大部分において重複しているという問題を抱えている。

第3章 方法

第1節 被験者

被験者は男子大学生カヌースプリント選手(カヤック)24名と、元学生トップ選手のOB2名である。被験者の年齢、身長、体重の平均値±標準偏差はそれぞれ、 19.7 ± 0.9 歳、 171.4 ± 5.5 cm、 69.8 ± 5.8 kgであった(表 1)。カヤックのパフォーマンスには、測定日に最も近い(測定日前1ヶ月以内)における1000mのタイムトライアルの結果を使用した。ACTN3遺伝子多型決定のための唾液採取は、2016年10月29日(土)に慶應義塾体育会端艇部戸田艇庫において行った。

対象者には口頭及び文書にて実験の主旨及び内容を説明し、同意書への本人の署名にて同意を確認し、正式に研究協力者として研究に参加した。なお、被験者が未成年の場合は、本人と保護者双方による同意書への署名によって同意を確認した。なお、本研究は順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科倫理委員会の承認を得た(順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科倫理委員会 承認番号 院28-79)。

第2節 測定方法

a) ACTN3遺伝子のR577X多型の決定

対象者から唾液を採取し、DNA採取キットOragene・DNA(DNA Genotek社製)を用いて総DNAを抽出した。ACTN3遺伝子のR577X多型(rs1815739)は、LightCycler®480リアルタイムPCRシステム(Roche Applied Science, Mannheim, Germany)を用いたエンドポイントジェノタイピングモードにおいてTaqMan Genotyping Assay法により解析した。ACTN3遺伝子のR577X多型(rs1815739)解析のためのTaqMan® Genotyping Assay Primer/Probe setsは、それぞれ、C__590093_1およびC_29403047_10を用いた。遺伝子多型解析のためのPCR反応液は、1 µlの総DNA(10 ng/µl)、2.5 µlのTaqMan® GTXpress™ Master Mix、0.0625 µlのTaqMan® Genotyping Assay Primer/Probe setsを含む計5 µlであった。PCRの反応条件は、95°Cにおける熱変性を20秒間行った後、熱変性(95°C、3秒)、アニーリングおよび伸長反応(60°C、20秒)の2ステップを40サイクル行った。その後、LightCycler 480 SW software version 1.5.1.62 (Roche Applied Science)を用いて野生型、変異型、およびヘテロ接合体を識別し、遺伝子型を決定した。

b) 最大拳上量(1RM)テスト

中垣らの方法に基づき、ベンチプレスおよびベンチプルの1RM測定を行った。つまり、選手が普段のウェイトトレーニングから1RMを予測し、その40~60%で5~10回のウォームアップ、数分の休息後予測した1RMの60~80%で3~5レップの拳上をさせた。その後、予測1RMでの拳上を試みて、成功した場合は加重(2.5 kg~5.0 kg)、失

敗した場合には減重(2.5 kg~5.0 kg)し、5 分程度の休息後に再び拳上することを繰り返して 1RM を決定した。

c)1500m 走

全天候型の 400mトラックにおいて、1500m走のタイム測定を行なった。なお、スタートは一斉スタートとした。

d)大会でのタイム

2016 年 8 月に行われた関東インカレでのカヤックシングル 1000m、同じく 8 月末に行われた日本インカレでのジュニアカヤックシングル 500m、同 200m でのタイムも、タイムトライアルの結果と合わせて分析に用いた。なお、ジュニアとは、大学から競技を始めた競技歴 1 年未満の選手のみで競い合う部門のことである。

第 3 節 統計解析

1000m タイムトライアルのタイムと各測定パラメータとの関連性(2変数間の関連性)を、Pearson の相関係数を持ちいて検定した。各多型での平均値の差を検定するために、一元配置分散分析を行った。R アレルの有無で 2 群に分けたスチューデントの t 検定も同様に行った。1000m トライアルのタイム(従属変数)を推定する生理的指標(独立変数)とその説明力を明らかにするために、変数減少法による重回帰分析を行った。重回帰分析に投入する変数はベンチプレス 1RM(kg)、ベンチプル 1 RM(kg)、1500m 走タイム(秒)とした。有意水準は 5%未満に定めた。なお、これらの統計解析は、IBM SPSS statistics (IBM Corp, Chicago, IL) を用いて行った。

第4章 結果

第1節 体力指標の結果

a) 記述統計量

表1に、形態・体力指標の測定値から求めた記述統計量を示した。身長 $171.4 \text{ cm} \pm 5.5 \text{ cm}$ 、体重 $69.8 \pm 5.8 \text{ kg}$ であった。

筋力レベルは、被験者全体ではベンチプレスは $82.0 \pm 19.0 \text{ kg}$ 、ベンチプルは $86.3 \pm 15.3 \text{ kg}$ であった。

b) カヤックパフォーマンスとの相関係数

表2に1000mトライアルと、体力指標を含む各変数との相関係数をまとめた。身長以外の各変数において1000mトライアルと有意な相関があることがわかった。もっとも強い相関が見られたのは筋力要素であり、ベンチプレスにおいては -0.782 という強い負の相関が見られた。

c) 相関係数のグラフ

ベンチプレス、ベンチプルと1000mトライアルの関係をプロットした散布図を図1、2とした。回帰直線から大きく外れた値はいずれも1年生のデータであり、多くの上級生のデータは回帰直線近辺に位置することが分かった。

第2節 遺伝子多型とパフォーマンス

a) 元学生トップ選手2名の分析

被験者の所属大学OBで元学生トップレベルの選手の分析も合わせて行った。2名は現役時代にペア(2人乗り)で活躍しており、1000mで日本選手権4位、インカレで10000m2位の実績を持っている。つまり中距離、長距離ともに高いパフォーマンスレベルにあった。ACTN3遺伝子多型の解析の結果A氏がRX型、B氏がRR型であり、どちらもRアレルを保有していることがわかった。

b) 一元配置分散分析

ACTN3遺伝子多型ごとの一元配置分散分析を行い、各変数において遺伝子多型間における平均値の差が有意かどうかの検定を行った。その結果を表3に示した。1500m走、関カレ1000mではともにRRに比べてXXの方がはるかにタイムが良いという共通する結果が得られた。インカレ200mでは、これとは逆に、XXよりもRRの方がタイムが良い。

一元配置分散分析の結果、遺伝子多型間での平均値の差が有意な項目は見つからなかった。

c) スチューデントのt検定

被験者群をRアレルの有無で2タイプに分けて平均値の差が有意であるかどうかをスチューデントのt-testを使って検定したが、有意差は見つからなかった。

d) 遺伝子多型別の各測定値

カヤック1000mタイムトライアル、ベンチプレス、ベンチプル、1500m走の値を遺伝子多

型別にプロットし、図 3~6 とした。

e) 重回帰分析

ベンチプレス 1RM(kg)、ベンチプル 1 RM(kg)、1500m 走タイム(秒)の 3 変数を投入して変数減少法による重回帰分析を行い、その結果を表 6 に示した。ベンチプレス 1RM(kg)、1500m 走タイム(秒)の 2 変数によって、0.684 という非常に高い決定係数(調整済み)が得られた。また、標準回帰係数は、ベンチプレスが-0.67、1500m 走が 0.34 であった。つまり、ベンチプレスは 1500m 走の 2 倍程度の影響力を持っている。以下にパフォーマンス推定式を示す。

1000m トライアル(秒)

$$=-0.80 \times \text{ベンチプレス 1RM(kg)} + 0.33 \times \text{1500m 走タイム(秒)} + 241.17$$

第5章 考察

第1節 カヤックパフォーマンスと ACTN3 遺伝子多型の関係

(1) 被験者の形態・筋力・競技レベルの特徴

形態に関しては、身長 $171.4\text{ cm}\pm 5.5\text{ cm}$ 、体重 $69.8\pm 5.8\text{ kg}$ であり、日本の大学カヤック選手としては平均的な形態を有していると考えられる。^{14) 15)}

筋力レベルは、被験者全体ではベンチプレスは $82.0\pm 19.0\text{ kg}$ 、ベンチプルは $86.3\pm 15.3\text{ kg}$ であった。大学カヤック選手を対象とした研究で濱野ら¹⁴⁾の報告ではベンチプレスが $83.8\text{ kg}\pm 18.6\text{ kg}$ 、同じく大学カヤック選手を対象とした橋本ら¹⁵⁾の研究でベンチプレスが $93\pm 12\text{ kg}$ 、ベンチプルが 86 kg であったと報告されていることから、本研究の被験者は全体でみると、ベンチプレスではやや劣る可能性がある。これは競技歴半年程度である1年生の筋力水準が低いことが大きく関係していると考えられ、表1に示したとおり、上級生に限って言えばベンチプレスが $93.5\pm 13.1\text{ kg}$ 、ベンチプルが $94.8\pm 9.4\text{ kg}$ であり、上述の2つの研究と比較しても遜色なく、むしろベンチプルにおいては優れている可能性がある。

本研究の被験者は半数が競技経験1年未満の選手であり、上級生でみても2人乗りで関東インカレ6位という選手が1名いるだけで、日本インカレでは1人乗り、2人乗り合わせても決勝進出者はおらず、競技レベルとしては大学選手の平均的レベルといえる。

(2) 体力指標の分析

a) 現役選手の分析

各測定項目について遺伝子多型別の平均、標準偏差を表3に示した。インカレ200mでは1年生のデータしかないためデータポイント数が8と非常に少ないが、今後200mのタイムトライアルを全学年で実施してみることで興味深い結果が得られる可能性がある。200mのパフォーマンスに関しては、Orysiakら²¹⁾の研究でインターナショナルレベルに比べてナショナルレベルではXX型の比率が有意に高いことを指摘しているが、そこから考えればXX型がRX型やRR型に比べてタイムが劣り、一元配置分散分析の結果が遺伝子多型間で有意になる可能性が考えられる。

1000mトライアルのタイムで昇順に並べると、トップ12人が全員2年生以上になった。これは被験者全員が大学からカヌー競技を始めた選手であり、最初の1年は非常に体力・技術が伸び、パフォーマンスの向上につながるということを示しているものと考えられる。

b) 重回帰分析を利用した1000mトライアルタイムの予測

結果に示したように重回帰分析による1000mトライアルの予測式は以下の通り

で、標準回帰係数は、ベンチプレスが -0.67 、1500m 走が 0.34 であった。つまり、ベンチプレスは1500m 走の2倍の影響力を持っているということである。

1000m トライアル(秒)

$$=-0.80 \times \text{ベンチプレス 1RM(kg)} + 0.33 \times \text{1500m 走タイム(秒)} + 241.17$$

ベンチプレスの方がはるかに影響を及ぼすのは、おそらく1500m 走では体重の増加がタイムに悪影響を与えるためであると考えられる。つまり、1500m 走のタイムというのは循環器系の能力を正確に反映しているわけではないということである。体重あたりの最大酸素摂取量のような指標を用いれば、さらに影響力が向上する可能性があると考えられる。

本研究では被験者に対して体脂肪率の計測は実施していないが、大学カヤック選手を対象とした研究¹⁴⁾において $12.1 \pm 3.6\%$ という報告があり、除脂肪体重の増加がパフォーマンスにプラスに働く可能性がある。今後何らかの方法で体脂肪率の測定を行い、その体脂肪率から求めた除脂肪体重(LBM)もしくは除脂肪組織量指数(LBMI)がパフォーマンスに与える影響を調べることも視野に入れている。体重あたりの最大酸素摂取量、除脂肪体重などを用いることでより精度の高いパフォーマンス予測が可能になる可能性がある。

第2節 本研究のリミテーション

インカレ200mには1年生のみの出場であるため、全部員からデータを集めるためにトライアルを実施し1000m トライアルとの比較を行うことでさらなる知見が得られる可能性がある。

1000m トライアルタイムを昇順に並べると上位12名を上級生のみが占めるが、前節においてこれが競技年数を重ねて体力および技術レベルが向上していることによると述べた。ということから考えると1年生と上級生を同じように扱って統計解析を行うことにはやや問題がある可能性がある。被験者のサンプルサイズから考えて1年生と上級生を分けるのも難しく、技術要素をある程度排除するためにカヤックエルゴメータを用いるという方法がある。カヤックエルゴメータを用いて200m、1000m とほぼ同時間のオールアウトテストを実施するという発展性が考えられる。

このように、本研究においては被験者の競技歴が短く、競技力が安定するまでに至っていない選手が大多数を占めているという研究上のリミテーションがある。

今回は大学入学後に競技を始めた競技選手を対象としたが、異なる競技レベルの集団において同様の結果になるかは定かではない。トップレベルの大学カヤック選手、日本代表レベルといった選手等異なるレベルの被験者での研究が必要である。

第6章 結論

競技経験が3年以下の大学生男子カヌー選手においては、ACTN3 遺伝子多型と競技パフォーマンスとの間に関連がなく、トレーニングなどの環境要因によってパフォーマンスが決定づけられていることが明らかになった。

第7章 要約

【背景】カヌースプリント競技は、静水上に設置された直線コースを漕いで着順を競うカヌー競技の一つで、男子では200m、1000mの2つのタイプの距離が存在する。競技時間、競技特性ゆえに非常に高いレベルで無酸素、有酸素の代謝能力を両立させることが求められる。

近年スプリント・パワー系競技者のパフォーマンスとの関連が報告されている遺伝子多型の1つにACTN3遺伝子多型があり、ACTN3遺伝子多型とカヌースプリント競技のパフォーマンスとの関連についてはこれまでのところ十分な研究報告がなされていないのが現状である。特に、定量的な水上パフォーマンス(水上タイム)を用いた研究は、筆者の知る限り報告されていない。

【目的】大学生男子カヌースプリント選手を対象とし、水上でのパフォーマンス(水上タイム)とACTN3遺伝子多型との関連性を明らかにすることを目的とした。

【方法】大学生男子カヌースプリント選手(専門はカヤック種目)1~3年生計24名を対象とし、唾液の採取によってACTN3遺伝子多型の解析を行った。学生トップレベルの選手であった2名のOBについても同様の解析をした。また、形態に加えて最大筋力(ベンチプレス、ベンチプル)、1500m走、カヤックでの1000mタイムトライアルを実施し、それらを合わせて統計的に分析した。

【結果および考察】OB2名についてはそれぞれRR型、RX型であり、どちらもRアレルを保有していた。現役選手に関してはRRが6名、RXが12名、XXが6名であり、日本人の平均と近い多型頻度であった。

一元配置分散分析、Rアレルの有無で二群に分けたスチューデントのt検定、どちらにおいても多型間での有意差は出なかった。

学年、年齢以外の各変数を入れて、変数減少法による重回帰分析を行ったところ、ベンチプレス、1500m走の2項目によって以下の式により高い精度でパフォーマンス予測ができることが分かった。

$$1000\text{m トライアル(秒)} = -0.80 \times \text{ベンチプレス 1RM(kg)} + 0.33 \times 1500\text{m 走タイム (秒)} + 241.17$$

本研究においてACTN3遺伝子多型と競技パフォーマンスとの間に関連が見つからなかった要因として、被験者が全員大学入学後に競技を始めており、競技パフォーマンスが停滞する段階まで達していないということが挙げられる。

【結論】競技経験が3年以下の大学生男子カヌー選手においては、ACTN3遺伝子多型と競技パフォーマンスとの間に関連がなく、トレーニングなどの環境要因によってパフォーマンスが決定づけられていることが明らかになった。

Summary

A Study of College Male Kayak Competitors ACTN3 Gene Polymorphism

Reiji Yoshida

Background: Kayak race competitors have to meet the very high levels of aerobic as well as anaerobic metabolism requirements at the same time. Recently, ACTN3 gene polymorphism has been reported to be related to the performance on power-type sports competitions. Thus, it is quite meaningful to investigate the relationship of ACTN3 gene polymorphism and competitors' performance on kayak sprint races, to which not much attentions have been paid so far.

Purpose: The purpose of this study is to investigate the relationship between ACTN3 gene polymorphism and performance of kayak sprint time by college male athletes.

Method: The main subjects of this study are twenty-four college male students who belong to a same college canoe club and specialize in kayak sprint races. ACTN3 gene polymorphism was analyzed using subjects' saliva. Maximum muscle power (bench press and bench pull), 1500m run time, and kayak 1000m time trials were also recorded and statistically analyzed.

Results of Analysis and Insights: Distributions of ACTN3 gene polymorphism among subjects were similar to the distribution on a national level. No statistically significant difference was found between ACTN3 gene polymorphism with regard to 1000m trial time either by one dimensional analysis of variance or by student's t-test of two groups. Stepwise multiple-regression analysis showed that 1000m trial time was predicted by two variables, bench press (kg) and 1500m run time (sec.), with reasonably high accuracy by the following equation:

$$1000\text{m trial (sec.)} = -0.80 \times \text{Bench Press 1RM(kg)} + 0.33 \times 1500\text{m Run (sec.)} + 241.17$$

The main reason for the absence of association between ACTN3 gene polymorphism and race performance seems to be that the subjects of this research started kayak competition after entering college and most of them were still on the stage of developing their skills.

Conclusion: Since there was no relationship between ACTN3 gene polymorphism and race performances among male college kayak competitors, it becomes clear that their performances are largely determined by environmental factors including their daily training practice.

謝辞

修士論文の作成にあたり、実験の被験者としてご協力して頂いた慶應義塾大学体育会
端艇部カヌー部門の皆様には厚く御礼申し上げます。また、論文指導をして頂いた運動生
理学研究室の皆様には心から感謝の意を表します。

引用文献

- 1) Ackland, T. R., Ong, K. B., Kerr, D. A. & Ridge, B. Morphological characteristics of Olympic sprint canoe and kayak paddlers, *J Sci Med Sport.*, 6(3), 285-294.
- 2) Ahmetov, I. I., Druzhevskaya, A. M., Lyubaeva, E., Popov, D., Vinogradova, O. L. & Williams, A. G. (2011). The dependence of preferred competitive racing distance on muscle fibre type composition and ACTN3 genotype in speed skaters, *Exp Physiol.*, 96, 12, 1302-1310.
- 3) Bishop, D. (2000). Physiological predictors of flat-water kayak performance in women, *Eur J Appl Physiol.*, 82, 91-97.
- 4) Draper, S. B. & Wood, D. M. (2005). The VO₂ response for an exhaustive treadmill run at 800m pace: a breath-by-breath analysis. *Eur J Appl Physiol.*, 93, 381-389.
- 5) Druzhevskaya, A. M., Ahmetov, I. I., Astratenkova, I. V. & Rogozkin, V. A. (2008). Association of the ACTN3 R577X polymorphism with power athlete status in Russians, *Eur J Physiol. journal of Pysiology*, 103, 631-634.
- 6) Duffield, R., Dawson, B. & Goodman, C. (2004). Energy system contribution to 100-m and 200-m track running events. *J Sci Med Sport.*, 7, 302-313.
- 7) Duffield, R., Dawson, B & Goodman, C. (2005a). Energy system contribution to 400-m and 800-m track running events. *J Sci Med Sport.*, 23, 299-307.
- 8) Duffield, R., Dawson, B. & Goodman, C. (2005b). Energy system contribution to 1500-m and 3000-m track running events. *J Sci Med Sport.*, 23, 993-1002.
- 9) Eynon, N., Ruiz J. R., Femia, P., Pushkarev, V. P., Cieszczyk, p., Maciejewska-Karłowska, A., Sawczuk, M., Dyatlov, D. A., Lekontsev, E. V., Kulikov, L. M., Birk, R., Bishop, D. J. & Lucia, A. (2012). The ACTN3 R577X polymorphism across three groups of elite male European athletes, *PloS one*, 7(8), 1-7.

- 10) Fry, R. W. & Morton, A. R. (1991). Physiological and kinanthropometric attributes of elite flatwater kayakists, *Med sci sport exer*, 23, 1297-1301
- 11) 福典之(2016). 競技力に関連する核ゲノム多型—候補遺伝子アプローチと前ゲノム関連解析から—, *体力科学*, 65(1), 91.
- 12) Grenda A., Leonska-Duniec A., Kaczmarczyk, M., Ficek, K., Krol, P., Cieszczyk, P. & Zmijewski, P. (2014). Interaction between ACE I/D and ACTN3 R557X polymorphisms in Polish competitive swimmers, *J hum Kinetics*, 42, 127-136.
- 13) Guth, L. M. & Roth, S. M. (2013). Genetic influence on athletic performance, *Current opinion in pediatrics*, 25(6), 653-658.
- 14) Hamano saki, Ochi Eisuke, Tsuchiya Yosuke, Muramatsu Erina, Suzukawa Kazuhiro & Igawa Shoji(2015). Relationship between performance test and body composition/physical strength characteristic in sprint canoe and kayak paddlers, *Open Access Journal of Sports Medicine*, 6, 191-199.
- 15) 橋本亜季, 中村夏実, 高井洋平, 山本正嘉(2011). 大学カヌースプリント競技・カヤック選手の形態的特徴および力発揮能力と競漕タイムとの関係, *スポーツトレーニング科学*, 12, 1-8.
- 16) 平井雄介, 小笠原悦子, 田畑泉 (1993). 超最大強度の水泳運動における無酸素性及び有酸素性エネルギー供給機構の貢献度, *Jpn J Sports Sci.*, 12, 124-129.
- 17) Kim H, Song KH, Kim CH. (2014). The ACTN3 R577X variant in sprint and strength performance, *J Exer Nutri Biochem.*, 18(4), 347-353.
- 18) 熊本水頼, 細谷悦哉, 岡本勉, 亀山修, 古山修一, 風井恭, 丸山宜武, 橋本不二雄, 徳原康彦, 岡秀郎, 足立高光, 桜間久幸, 本田宗洋(1984). カヌー競技選手の体格・体力に関する研究, 昭和 48 年度日本体育協会スポーツ科学研究報告第 2 報, 181-193.
- 19) Lakomy, H. K. A. & Lakomy, J. (1993) Estimation of maximum oxygen uptake from submaximal exercise on a Concept II rowing ergometer. *J Sport Sci.*, 11, 227-232.
- 20) 中垣浩平, 吉岡利貢, 鍋倉賢治(2008). カヤックパドリング中の無酸素性及び有酸素性エネルギー代謝の貢献比, *体力科学*, 57, 261-270.
- 21) Orysiak, J., Sitkowski, D., Zmijewski, P., Malczewska-Lenczowska, J., Cieszczyk, P., Zembron-Lacny, A. & Pokrywka, A. (2015). Overrepresentation of the ACTN3 XX genotype in elite canoe and kayak paddlers, *Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(4), 1107-1112.
- 22) Sitkowski, D. (2002). Some indices distinguishing Olympic or world

- championship medalists in sprint kayaking. *Biol. Sport.*, 19, 113-147.
- 23) Sklad, M., Krawczyk, B. & Majle, B. (1994). Body build profiles of male and female rowers and kayakers. *Biol. Sport.*, 11, 249-256.
- 24) Spencer, M. R. & Gustin, P. B. (2001). Energy system contribution during 200- to 500-m running in highly trained athletes. *Med Sci Sports Exerc.*, 33, 157-162.
- 25) Szanto, Csaba, *Canoe Sprint Coaching Manual Level 2 and 3*.
- 26) Tesch, P. A. (1983). Physiological characteristics of elite kayak paddlers. *Canadian J Appl Sport Sci.*, 8, 87-91.
- 27) Yang, N., Garton, F. & North, K. (2009). α -Actinin-3 and Performance, *Genetics and Sports*, 54, 88-101.
- 28) Yang, N., MacArthur, D. G., Gulbin, J. P., Hahn, A. G., Beggs, A. H., Eastal, S. & North, K. (2003). ACTN3 genotype is associated with human elite athletic performance. *The American Journal of Hum. Genet.*, 73, 627-631.

表1 各種測定項目の基本統計量

	度数	平均	標準偏差
年齢	24	19.7	0.9
身長	24	171.4	5.5
体重(kg)	24	69.8	5.8
BMI	24	23.8	1.9
ベンチプレス(kg)	24	82.0	18.9
同(2,3年生)	12	93.5	13.1
ベンチプル(kg)	24	86.3	15.3
同(2,3年生)	12	94.8	9.4
1500m走(秒)	23	326.3	22.3
1000mトライアル(秒)	20	280.7	22.0
関カレ1000m(秒)	12	272.6	14.0
インカレ500m(秒)	8	140.3	5.5
インカレ200m(秒)	8	51.4	3.2

表2 1000mトライアル(秒)と各測定項目間の相関係数(男子選手)

	1000m トライアル (秒)	n	p値
BMI	-0.582	20	**
身長(cm)	0.130	20	n.s.
体重(kg)	-0.479	20	*
ベンチプレス(kg)	-0.782	20	***
ベンチプル(kg)	-0.661	20	**
1500m走(秒)	0.576	19	**

(注)*は0.05レベル、**は0.01レベル、***は0.001レベルを示す。

表3 ACTN3遺伝子多型別の各種測定項目の基本統計量

		度数	平均	標準偏差
体重(kg)	XX	6	68.8	6.6
	RX	12	68.6	4.9
	RR	6	73.3	6.5
	合計	24	69.8	5.8
ベンチプレス(kg)	XX	6	75.4	15.8
	RX	12	84.2	20.5
	RR	6	84.2	20.1
	合計	24	82.0	18.9
ベンチプル(kg)	XX	6	84.2	17.2
	RX	12	88.3	12.2
	RR	6	84.2	21.0
	合計	24	86.3	15.3
1500m走(秒)	XX	6	315.5	22.9
	RX	11	331.7	20.9
	RR	6	327.0	24.1
	合計	23	326.3	22.3
1000mトライアル(秒)	XX	5	281.7	15.8
	RX	10	281.0	27.6
	RR	5	279.3	18.2
	合計	20	280.7	22.0
関カレ1000m(秒)	XX	2	258.5	9.9
	RX	7	270.9	11.2
	RR	3	285.9	13.3
	合計	12	272.6	14.0
インカレ500m(秒)	XX	3	137.6	1.2
	RX	3	144.6	2.8
	RR	2	138.1	10.2
	合計	8	140.3	5.5
インカレ200m(秒)	XX	3	50.5	2.0
	RX	3	54.4	2.3
	RR	2	48.3	2.2
	合計	8	51.428	3.2

表4 ACTN3遺伝子多型による一元配置分散分析の結果

		平方和	df	平均平方	F	有意確率
体重(kg)	グループ間	98.25	2	49.13	1.51	0.244
	グループ内	683.08	21	32.53		
	合計	781.33	23			
ベンチプレス(kg)	グループ間	344.53	2	172.27	0.458	0.639
	グループ内	7905.21	21	376.44		
	合計	8249.74	23			
ベンチプル(kg)	グループ間	104.17	2	52.08	0.207	0.815
	グループ内	5295.83	21	252.18		
	合計	5400.00	23			
1500m走(秒)	グループ間	1026.75	2	513.38	1.038	0.373
	グループ内	9895.68	20	494.78		
	合計	10922.44	22			
1000mトライアル(秒)	グループ間	15.10	2	7.55	0.014	0.986
	グループ内	9187.89	17	540.46		
	合計	9202.99	19			
関カレ1000m(秒)	グループ間	946.48	2	473.24	3.546	0.073
	グループ内	1201.10	9	133.46		
	合計	2147.59	11			
インカレ500m(秒)	グループ間	86.90	2	43.45	1.777	0.261
	グループ内	122.29	5	24.46		
	合計	209.19	7			
インカレ200m(秒)	グループ間	48.69	2	24.34	5.343	0.057
	グループ内	22.78	5	4.56		
	合計	71.47	7			

表5 ACTN3遺伝子多型による2グループ間の各種測定項目での平均値の差の検定結果

測定項目	N		平均		標準偏差		t	DF	p
	RR, RX	XX	RR, RX	XX	RR, RX	XX			
体重(kg)	18	6	70.2	68.8	5.7	6.6	0.669	22	n..s.
BMI	18	6	24.1	23.1	1.9	2.1	0.331	22	n..s.
ベンチプレス(kg)	18	6	84.2	75.4	19.8	15.8	0.297	22	n..s.
ベンチプル(kg)	18	6	86.9	84.2	15.1	17.2	0.733	22	n..s.
1500m走(秒)	17	6	330.1	315.5	21.5	22.9	0.209	21	n..s.
カヤック1000m(秒)	15	5	280.4	281.7	24.2	15.8	0.897	18	n..s.

表6 重回帰分析による1000mトライアル(秒)の予測結果

変数	回帰係数	標準回帰 係数	標準誤差	t値	p値	検定
定数項	241.17	0.00	49.50	4.8719	0.0001	**
ベンチプレス	-0.80	-0.67	0.16	-4.8529	0.0001	**
1500m走(秒)	0.33	0.34	0.13	2.5139	0.0223	*
重相関係数	重相関係数 (調整済)	決定係数	決定係数 (調整済)	F値	p値	検定
	0.847	0.827	0.717	0.684	21.55663	0 **

(注) *は0.05レベルで有意、**は0.01レベルで有意。

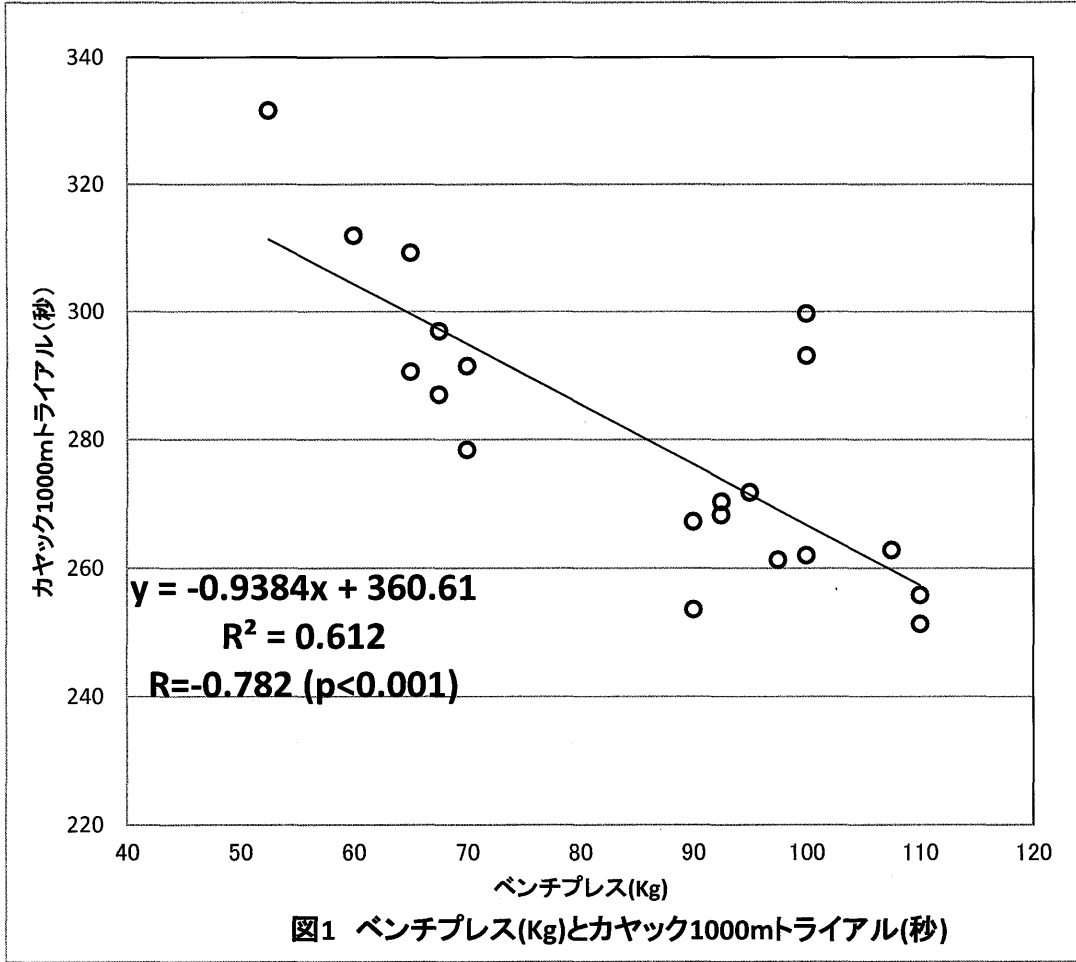


図1 ベンチプレス(Kg)とカヤック1000mトライアル(秒)

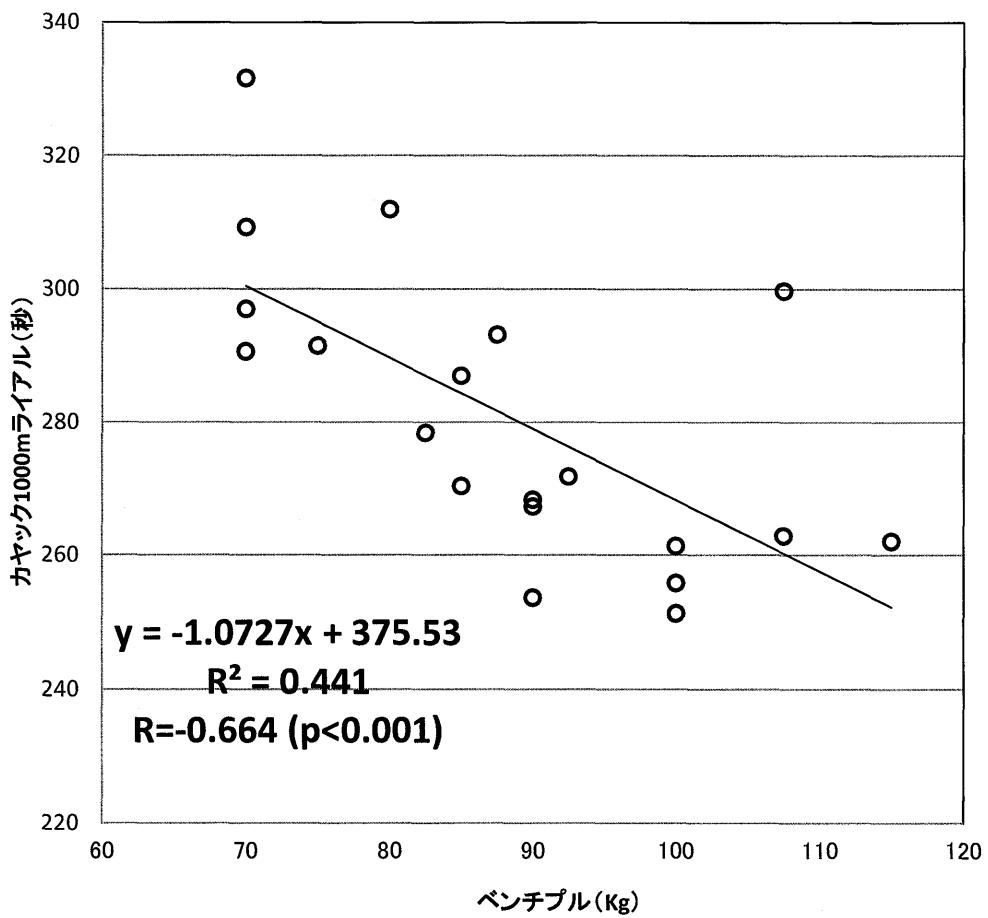


図2 ベンチプレス (Kg) とカヤック1000mトライアル (秒)

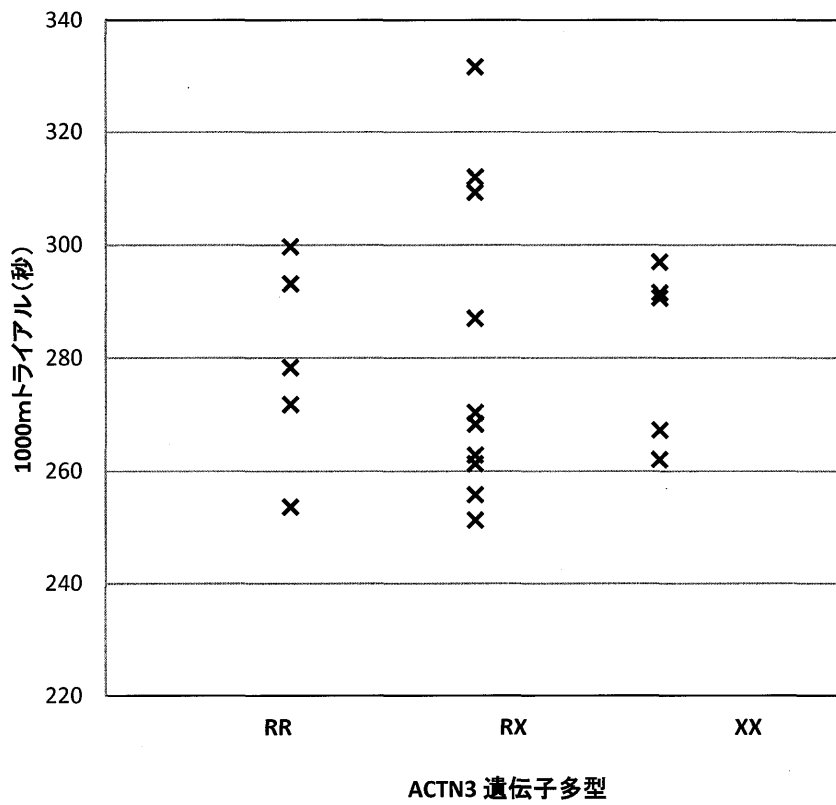


図3 ACTN3遺伝子多型と1000mトライアル(秒)

