

パフォーマンス向上のための一考察 ～クロスカントリースキー競技 事例報告～

石濱慎司 後藤篤志 韓一栄 嶋谷誠司

要旨

これまで陸上長距離選手のランニング、クロスカントリースキー選手のローラースキーによるLTテストをおこない、持久的競技者のパフォーマンス評価を実施してきた。

本プロジェクトでは、クロスカントリースキー大学競技選手の持久的パフォーマンス向上を目的とし、フリー走法とクラシカル走法におけるLT滑走テスト、画像分析を用いた簡易的フィードバックの有効性、ウェアラブルデバイスを用いたトレーニング管理について検討をおこなった。

LT滑走テストは、走行タイムを短縮する漸増負荷法を用いておこない、三線法より血中乳酸濃度が急激に上昇するLT1とLT2を求めた。その結果、初めて実施したクラシカル走法でもパフォーマンス評価ができた。また経時の変化からトレーニング効果の評価も可能であった。

画像分析には、ローラースキー滑走時の映像を用いておこなった。ボールの接地から次のボールの接地までを1サイクルした画像を11分割して、スティックピクチャーを作成し、ナショナルチーム選手と比較した。簡易的な画像分析でキネマティックの特徴を明確に確認できることがわかった。

トレーニング時に腕時計型心拍計のウェアラブルデバイスを使用し、そのデータとクラウド型のアプリケーションで使うことによりトレーニング記録を管理した。それによりトレーニングのボリューム（時間）、クオリティー（質）を把握することができ、年間のトレーニングを管理することにより処方を見直すことができた。

Key Words クロスカントリースキー選手 LT滑走テスト キネマティック
ウェアラブルデバイス

目次

I. はじめに

II. クロスカントリースキー競技の特性

1. クロスカントリー競技とは
2. 心拍数からみたレース強度

III. パフォーマンステスト

1. 対象者
2. 最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2\max}$)
 - 1) 測定方法
 - 2) 測定結果
3. LTテスト
 - 1) 測定方法
 - 2) LT滑走テストの妥当性 (クラシカル走法)
 - 3) 血中乳酸濃度と心拍数の経時的変化
4. 動作分析
 - 1) 測定および分析方法
 - 2) キネマティクスの特徴

IV. ウェアラブルデバイスを活用したトレーニング管理

V. まとめ

VI. 参考文献

I. はじめに

2021年に東京でオリンピックが開催され、各国のスポーツ競技者がこの祭典に出場し、我々は様々なパフォーマンスを目にすることができるであろう。この国際競技へ参加するために選手は、多くのトレーニングを積んできているはずである。

日本においても、国際競技力向上のためにスポーツ庁の鈴木プラン¹⁾では、今後の支援方針が示された。そのなかには、1.中長期の強化戦略プランの実効化を支援するシステムの確立、2.ハイパフォーマンスセンターの機能強化、3.アスリート発掘への支援強化、4.女性トップアスリートへの支援強化、5.ハイパフォーマンス統括人材育成への支援強化、6.東京大会に向けた戦略的支援などがある。これらは国際大会に出場するようなトップ選手のためだけに必要なのではない。この国際競技レベルに到達するためには、高校・大学生選手においても、パフォーマンス向上のためのトレーニング強化の取り組みとスポーツ医・科学サポートおよび、情報戦略の高度化などが必要とされるものである。

競技選手のパフォーマンス向上のためには、現状の体力レベルを確認するために測定をおこない、トレーニングの指標を作成する必要がある。そこで今回は、持久性能力に優れているクロスカントリースキー選手を取り上げる。持久性運動の優れた能力に関する要因には、運動時に換気量、心拍数、心拍出量の上昇が起き、活動筋に多くの酸素が運搬され、エネルギーの急速な産生が可能となることである²⁾。ここで消費される酸素の最大量を最大酸素摂取量（以下、 $\dot{V}O_2\text{max}$ ）という。

クロスカントリー競技者は、マラソン競技者と並んで非常に高い持久性能力を持っている。疲労困憊まで運動をおこなわたのち、血中乳酸の蓄積動態を確認すると、長距離走やクロスカントリースキーの持久的種目の競技者では、乳酸の蓄積が低く、これに反して、アルペンスキー、800m走、カヌー競技者では、乳酸の蓄積がかなり高いことが分かっている³⁾。

我々は、これまでクロスカントリースキー競技選手のパフォーマンス向上のために、持久的能力をはかるための測定をおこなってきた。そのひとつにこれまで駅伝選手のランニングでおこなってきたLTテストがあげられる⁴⁾。

これを応用しシーズンオフのトレーニングに用いられているローラースキーでLT滑走テストを実施してきた。このテストでは、血中乳酸値を求め、持久的能力の指標のひとつである耐乳酸性能力をみる。これらのパフォーマンステストは選手の主観的感觉と生理学的指標である客観を一致させることが重要である⁵⁾。

また、あらゆるコーチングの場において競技選手の技能向上のためにビデオなどを使用し、視覚から得られた情報から指導することはよくある。これらの得られた画像から身体動作を解析し、選手へフィードバックすることが大切である⁶⁾。

現在、世界中で新型コロナウイルス感染症が流行し、感染拡大防止のため外出自粛や人との接触を控えるように呼びかけられている。さらに、スポーツ活動においても同様に集団でのトレーニングが制限され、競技者にとっても十分に実施できない状況となっている。そこでこの状況下でオンラインシステムなどを活用し、トレーニングをおこなう様式が取り入れられるようになった。また、近年急速にウェアラブルデバイスの活用も期待が高まっている。スポーツ界において、これらの技術を活用して遠隔からトレーニングの管理などをおこない、選手の生活様式も状況に合わせて変化してきている。

本プロジェクトでは、クロスカントリースキー大学競技選手の持久的パフォーマンス向上を目的とし、フリー走法とクラシカル走法におけるLT滑走テスト、画像分析を用いた簡易的フィードバックの有効性、ウェアラブルデバイスを用いたトレーニング管理について検討をおこなった。これらパフォーマンス向上のためのトレーニング強化の取り組みや情報戦略の実践を確認する。

Ⅱ. クロスカントリースキー競技の特性

1. クロスカントリー競技とは

クロスカントリースキーは、雪原や森、山を滑歩や滑走するウィンタースポーツである。このスキー滑走競技には、二本のスキーを平行にして交互にキックして進むクラシカル走法と、アイススケートのように交互に足を開いて進むスケーティング走法（以下、フリー走法）の2つのテクニクがある⁷⁾。

このクラシカル走法よりフリー走法のほうが高いスピードを得ることができる。

このクロスカントリー競技の運動特性は、有酸素運動である。この競技の選手は、持久的競技の指標である $\dot{V}O_2\text{max}$ が他の持久系のスポーツ選手と比較しても非常に高い^{3), 8)}。男子の一流選手の $\dot{V}O_2\text{max}$ は、80ml/kg/minを超え、陸上のマラソン選手以上である。これは脚だけではなく、両手にストックを持ち上半身を使う運動形式であることも考えられる。そのため、全身運動としても有効的であり、生涯スポーツとしても有効であるとされている。

そして、クロスカントリースキー競技のパフォーマンス向上のためには、この酸素摂取能力と耐乳酸性能力の向上のトレーニングが重要となる。



図1 クロスカントリースキー競技（フリー走法）

2. 心拍数からみたレース強度

図2は、クロスカントリースキー競技中の移動軌跡、心拍数、速度と高度を示した。

これは、2019年2月に長野県野沢温泉でおこなわれた第92回全日本学生スキー選手権大会（以下、インカレ）のレース時のデータである。対象者は、神奈川大学スキー部のA選手（4年生）であり、男子2部15kmフリー種目、同10kmクラシカル種目にて両種目で優勝した。

測定には、GPS対応の腕時計型心拍計（POLAR社製M430）を用いて計測した。

15kmフリー種目のレースのタイムは、39分37秒8であり、平均心拍数183拍/分（最大191拍/分）、平均速度20.7km/h（最大51.8km/h）、平均高度614m（最大639m、最小573m）であった。推定される最大心拍数（220-年齢）から求められる%HRは、92%にも達した。

ランニング時の心拍数から運動強度を比較すると、箱根駅伝の5区山登り走を想定したタイムトライアルにおける心拍数は、180拍/分を超える強度であると報告されている⁹⁾。今回のクロスカントリー競技会場は、標高差66mの5kmのコースを3周する設定であった。クロスカントリースキー競技は、20kmの駅伝競技と比較しても心拍数からみた運動強度が非常に高いことがわかる。

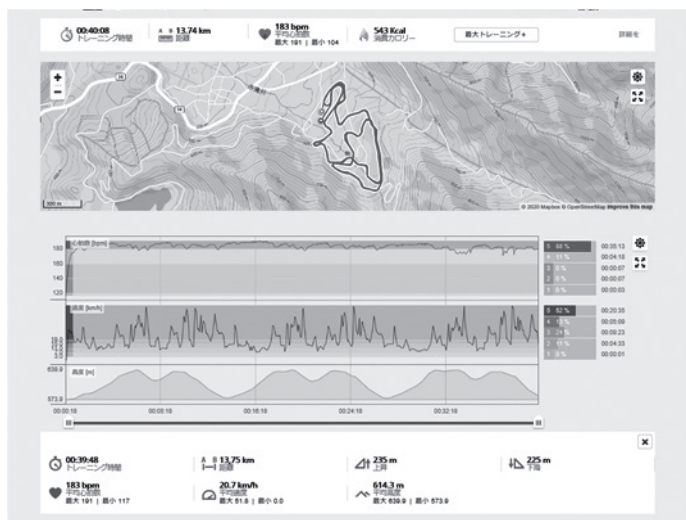


図2 クロスカントリースキー競技中の移動軌跡，心拍数，速度，高度
15kmフリー種目 A選手（4年生） インカレ2部優勝

Ⅲ. パフォーマンステスト

1. 対象者

対象者は、K大学スキー部に所属するクロスカントリースキー競技選手3名とした。身体的特徴は、表1に示した。 $\dot{V}O_2\max$, LTテスト, 動作解析は2018～2019年の2年間実施し、トレーニング管理は、2018～2020年の3年間実施した。

なお本研究は、神奈川大学の人を対象とする研究に関する倫理審委員会の承認を得て実施された（申請番号2017-7-2）。

表 1 対象者の身体的特徴

対象者	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)
A	22	170.0	54.4
B	19	171.5	62.9
C	19	173.0	68.8
M (NT)	27	172.0	74.0

SAJHP 参照：<http://www.ski-japan.or.jp/teamsnowjapan/CC/2019/>

2. 最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_2\max$)

1) 測定方法

持久的スポーツでは、有酸素性運動能力を示す指標のひとつでもある。 $\dot{V}O_2\max$ のレベルを高めるためのトレーニングを実施している。今回、 $\dot{V}O_2\max$ の測定は、トレッドミルを用いて、ランニングによる漸増負荷法によって最大下作業時の呼気ガスを採取し求めた(図3)。トレッドミル走運動は、速度180m/minから開始し各セット3分間とし、その後セット毎に30m/minずつ増加させ、最大下作業時まで5～6セットおこなった。呼気ガスの測定には、呼吸代謝モニタシステム（ミナト医科学株式会社製エアロモニタ AE-310S）を用いておこなった。

$\dot{V}O_2\max$ は、運動時の酸素摂取量と心拍数の関係から、対象者の最大心拍

数（220）-年齢に相当する値として推定値を求めた.



図 3 最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) の測定風景

2) 測定結果

表2には、対象者の $\dot{V}O_{2max}$ を示した. 2018年9月の測定では、A選手が 65.2ml/kg/min, B選手が69ml/kg/min, 2019年5月では、B選手が60.3ml/kg/min, C選手が64.5ml/kg/minを示した.

表 2 対象者の最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$)

対象者	2018年9月	2019年5月
A	66.3	—
B	—	64.5
C	68.4	60.3

(ml/kg/min)

一般男子の20歳代の $\dot{V}O_{2max}$ は、およそ 40 ～ 45ml/kg/min 程度である. 一流の陸上競技の長距離選手では、75ml/kg/minを超え、クロスカントリー競技選手では、80ml/kg/minを超え、非常に持久的能力が高いことが報告さ

れている⁸⁾。また、この $\dot{V}O_2\text{max}$ に達するまでにエリートランナーは、非エリートランナーより高速で走ることができるとも報告されている²⁾。

柴原ら¹⁰⁾によると、エリート運動選手における $\dot{V}O_2\text{max}$ レベルは明らかに非鍛錬者よりは高いが、エリート長距離選手における値は必ずしもベストの記録と正の相関はなく、ランニングエコノミーやvelocity at $\dot{V}O_2\text{max}$ も重要な持久性運動能力の指標であると述べている。

今回、対象とした大学生選手の $\dot{V}O_2\text{max}$ は高いレベルではあるが、一流スポーツ選手と比較すると持続的能力が若干低いことがわかる。この能力を改善するトレーニング処方が必要であることが課題としてあげられる。

2年間でこの測定をおこなったのは2回であった。今後の課題としてシーズンの直前と直後におこなう必要がある。また理想としては、シーズン中にも定期的に測定ができ、コンディションの把握ができることが望ましい。

3. LTテスト

1) 測定方法

今回対象とした運動様式は、オフシーズンに主に用いられているローラースキーを用いておこなった。フィールドにおけるLT滑走テストは、400mの陸上競技トラックを使用し、走行タイムを短縮する漸増負荷法を用いた¹¹⁾。

テストは1セット目のスピードを14km/hから開始し、その後のセットは1km/hずつスピードを増加させ、10～15セットおこなった。テスト中止の基準は、対象者が設定スピードで滑走できなくなった時点とした。ペースメーカーは、スピードメーター付きの自転車でおこない、この先頭に続き選手が滑走した。

血中乳酸値濃度の測定は、800m滑走後指先より採血し、その後直ちに乳酸分析器Lactate Pro（京都第一科学社製）でおこなった。その評価には、京都第一科学社の乳酸値分析ソフトMEQNET LT Manager（京都第一科学社製）を用いて、三線法によっておこなった。この三線法から、運動開始から乳酸の増加が一定でなくなるポイントをLT1とし、運動後半から運動終了に向けて急激に乳酸が上昇し始めるポイントをLT2として求めた¹²⁾。心拍数の測定は、ハートレートモニター（ポラール社製M430）を用いて記録した。なお、測定

時期はシーズン終了と直前の時期とし、定期的 to 実施した。

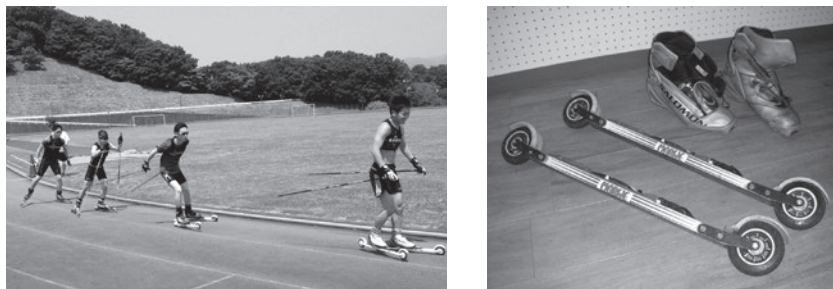


図 4 ローラースキー

左) ローラースキーのLT測定の様子

右) ローラースキーの実物

2) LT滑走テストの妥当性（クラシカル走法）

このLT滑走テストは、陸上競技の長距離選手を対象に耐乳酸性能力を評価するための測定であったが、我々はこれまでにクロスカントリー競技選手のローラースキー用の測定に合わせて、フリー走法によるLT滑走テストを実施してきた¹¹⁾。ここでは、クラシカル走法による評価の妥当性についても述べる。

図5にはLT測定による血中乳酸濃度の変化と、図6にはLT測定による心拍数の変化を示した。大学競技者A選手におけるLT1は、16.1km/h滑走時に血中乳酸濃度2.0mmol/L、心拍数135拍/分を示し、LT2は19.8km/h滑走時に3.5mmol/L、163拍/分を示した。表2には各選手のLT1、LT2時の血中乳酸濃度と心拍数を示した。

今回の対象者の競技歴は10年以上あり、これまでにフリー走法のLT測定は何度も実施してきた。測定に関する不慣れは、問題ないと考えられる。また、はじめてのクラシカル走法を用いての測定であったが、フリー走法と同様にペースメーカーの後について滑走できることが確認できた。さらに血中乳酸値の分析から三線法による評価についても、これまで報告してきたLT1、LT2の算出ができることから、結果に妥当性があると考えられる。よってローラースキーにおけるクラシカル走法のLT滑走テストにおいても、パフォーマンス

ンスを評価する上で有効であることが示唆された。

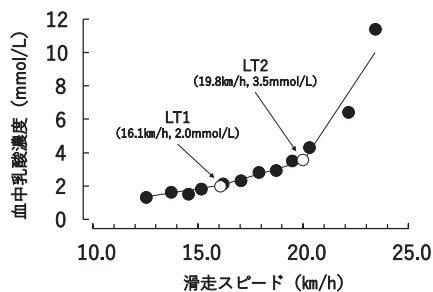


図 5 LT 測定による血中乳酸濃度の変化

2018年11月測定 A選手 クラシカル走法

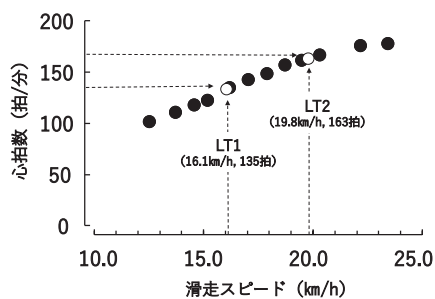


図 6 LT 測定による心拍数の変化

2018年11月測定 A選手 クラシカル走法

表 3 LT1, LT2 のスピードと心拍数

対象者	LT1 LT2 (mmol/L)	スピード (km/h)	心拍数 (拍/分)
A	2.0	16.1	135
	3.5	19.8	163
B	1.7	14.9	140
	5.3	23.6	185
C	1.7	14.5	124
	3.6	19.3	152

* クラシカル走法による測定

3) 血中乳酸濃度と心拍数の経時的变化

ここでは、フリー走法とクラシカル走法のLT滑走テストと2年間のトレーニング効果について述べる。LT滑走テストから得られた乳酸カーブは、最適なトレーニングをすることによって、グラフの右下へとシフトしていくことがわかっている^{5), 11)}。

図7には、インカレ2部で優勝したA選手の2018年5月と11月の血中乳酸濃度と心拍数の変化を示した。A選手の乳酸カーブが5月よりも11月が右下にシフトしていることがわかる。これは同スピードに対してからだへの負荷が減っていることが示されている。

この結果は乳酸性作業閾値（LT）向上の典型であり、5月から11月にかけてのトレーニング効果があらわれていると考える。

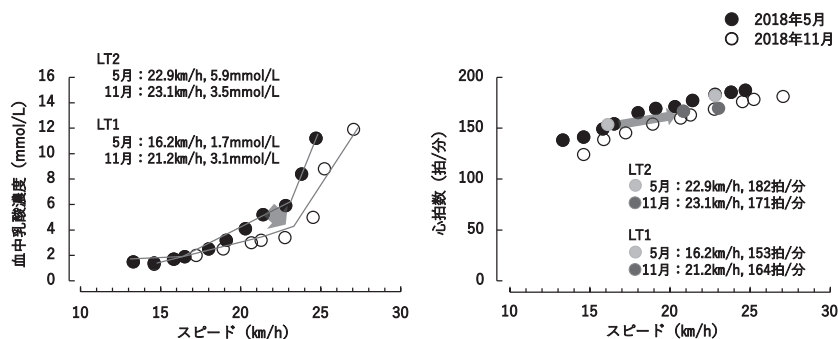


図7 血中乳酸濃度と心拍数の変化

2018年5月と11月比較 A選手 スケーティング走法

B・C選手の2018年と2019年クラシカル走法における血中乳酸濃度の変化(図8)と、心拍数の変化(図9)の比較を示した。B選手の乳酸カーブは、グラフの右下へシフトせず、2018年と比較すると左上に位置していた。またC選手においても同様のことがみられ、加えてLT1とLT2の算出もできなかった。

運動開始から乳酸の増加が一定でなくなるポイントのLT1は、長時間のトレーニングを実施するための運動強度の指標となる。また、運動後半から運動終了に向けて急激に乳酸が上昇し始めるポイントのLT2は、スピードトレ

ニングを実施するための運動強度の指標となる⁴⁾。

これらのことから、B・C選手については、シーズンオフのトレーニングが十分におこなえていない可能性が推測される。また血中乳酸濃度は体調などにも影響され、特にC選手はクラシカル走法が得意ではないという要因も現れたと考える。

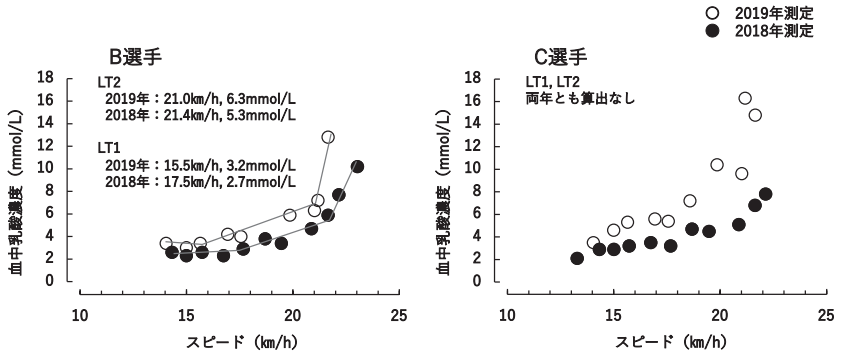


図8 LT測定による血中乳酸濃度の経時的変化

2018年と2019年の比較 B・C選手 クラシカル走法

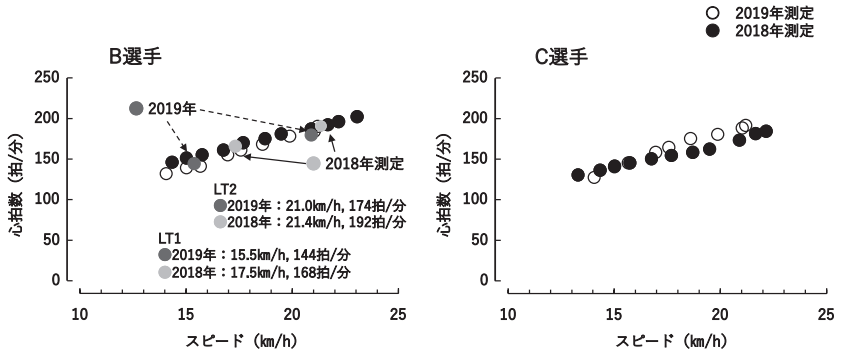


図9 LT測定による心拍数の経時的変化

2018年と2019年の比較 B・C選手 クラシカル走法

また、図10には、B選手のレース中の心拍数を示しており、平均186拍/分であった。この運動強度を図8、9のLT滑走テストから導きだされる血中乳酸濃度は、4mmol/Lを超えることとなる。これは非常に高い運動強度となり、長時間強度を持続しながら運動をすることは難しい。

これらを改善するトレーニング方法のひとつとして、持久能力の基本となる長時間長い距離を走る（滑る）LSDトレーニングおよび高強度のインターバルトレーニングが推奨できる。これらのトレーニングにより、クロスカントリー競技者でもLTテストにおける乳酸カーブが右下へシフトしていくことが考えられる。

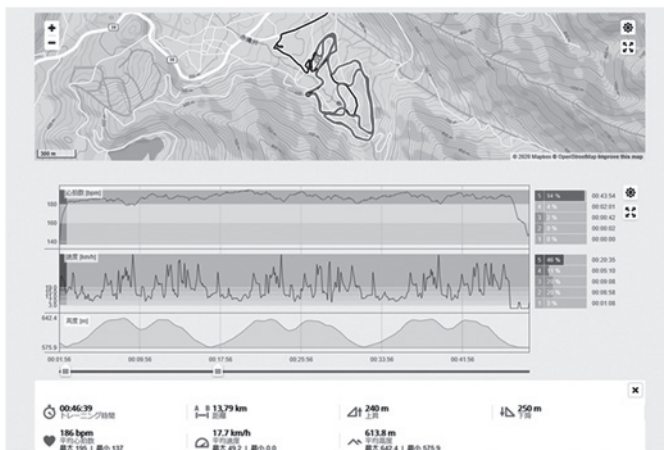


図 10 クロスカントリースキー競技中の移動軌跡，心拍数，速度，高度
15kmフリー種目 B選手（1年生） インカレ2部14位

4. 動作分析

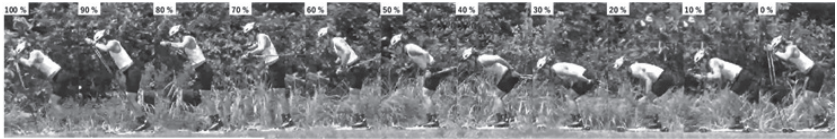
1) 測定および分析方法

クラシカル走法には、主に3種類（ダブルポーリング走法、キックダブルポーリング走法、ダイアゴナル走法）の滑走技術が用いられている。カメラによる映像は、ローラースキーによるクラシカル走法のダブルポーリング走法を

撮影した。分析は、開始をボールの接地から、終了を次のボールの接地までを1サイクルとした画像を11分割し、キネマティクス的手法を用いておこなった¹³⁾。

図11は、ナショナルチームM選手と大学競技者C選手のクラシカル走法におけるダブルポーリング技術の比較を11分割した画像である。

M選手（ナショナルチーム）



C選手（大学競技者）

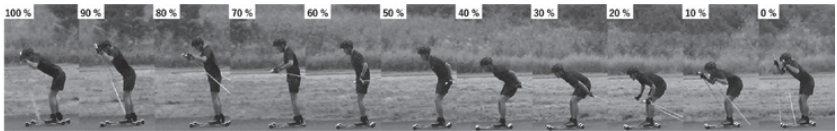


図 11 M 選手と C 選手のダブルポーリング走法の画像比較

2) キネマティクスの特徴

この分割画像をPCに取り込み、パワーポイントで①ストックの先端、②グリップ先端、③肘、④肩、⑤大転子、⑥膝、⑦足首、⑧つま先の各部位をポイントとして、スティックピクチャーを作成し（図12）、M選手と大学選手と比較をおこなった。

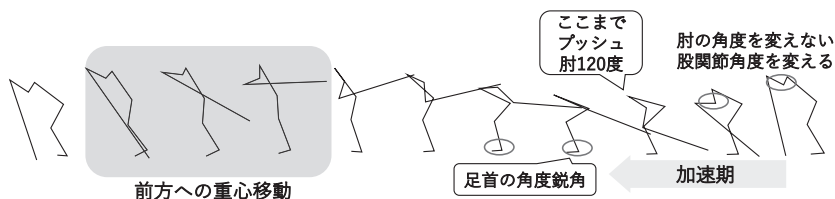
その結果、図12では、1) 加速期において肘、股関節の角度が大きい、2) スティックのプッシュしている時間が長い、3) 足首が曲げられている、4) 前方への重心移動が大きいなど違いが確認できた。

また、図13は、足首を基準として滑走時のグリップ位置の軌跡を比較した。その結果、M選手は、1) スティックを突いた時のグリップ位置が前方についている、2) スティックワークが大きい（腕の動かし方が大きい）などがグリップの移動軌跡を比較することによって違いが確認できた。藤田ら¹⁴⁾は、ダブ

ルボーリング走法のサイクル特性の分析をした結果、日本代表選手は大学選手よりストライド長（ボールの接地から、次のボールの接地までの距離）がより長いことが示されたと報告している。

これらのことより、簡易的な画像分析においても十分に技術分析をすることができ、スティックピクチャーとして処理することでより明確な分析となった。とくにスピードを上げたトレーニング時には、フォームが乱れることも多々あるため、映像分析しながら簡便な方法によってテクニカルな部分の技術習得が望ましいと考える。

M選手（ナショナルチーム）



C選手（大学競技者）

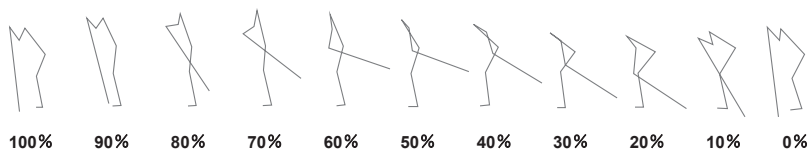


図 12 M選手とC選手のキネマティクスの特徴

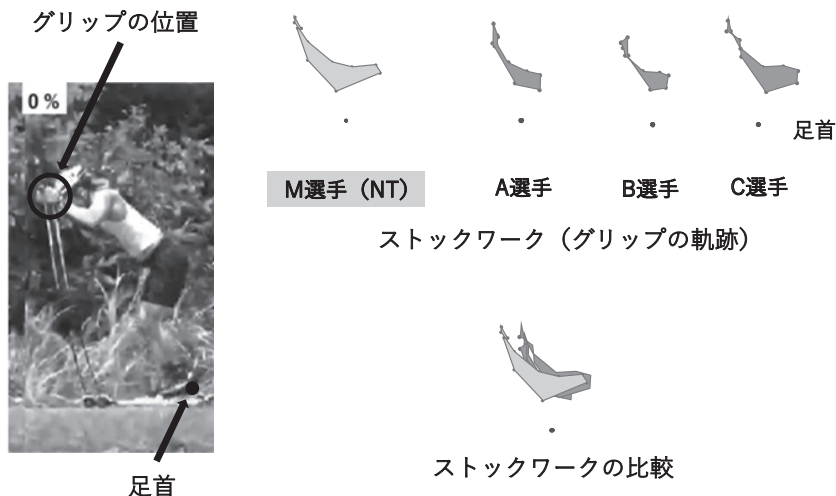


図 13 グリップ位置の移動軌跡

Ⅳ. ウェアラブルデバイスを活用したトレーニング管理

競技者の年間のトレーニング状況を把握するために、ウェアラブルデバイスを日常から年間を通して装着した。使用したウェアラブルデバイスは、HRモニター（ポラール社製 M430）を用いた。パソコンとHRモニターを同期することにより、トレーニングデータを記録し、トレーニングレポートとすることができる。期間は2018年5月～2020年12月までである。

図14には、C選手の2020年4月～12月までの月別トレーニングレポートを示した。グラフには、月別のトレーニング時間と心拍ゾーンが示されており、LEVEL1が100-119拍/分、LEVEL2が120-139拍/分、LEVEL3が140-159拍/分、LEVEL4が160-179拍/分、LEVEL5が180拍/分以上となっている。

図15には、B選手の2018年～2020年の週ごとのトレーニングレポートを示した。これにより3年間の各週のトレーニング時間と運動強度の割合がわかる。



図 14 C 選手のトレーニングレポート (2020 年)

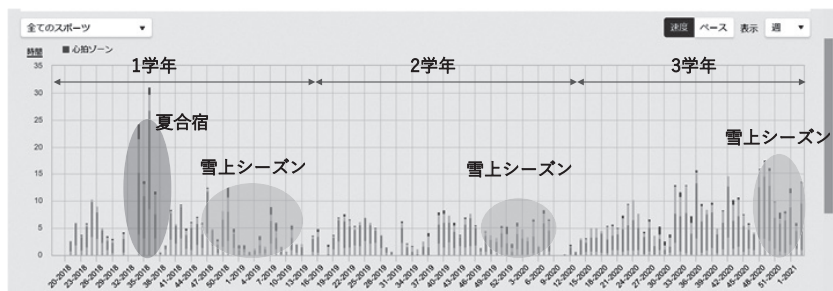


図 15 B 選手のトレーニングレポート (2018-2020 年)

年間のトレーニング計画に基づくと学生アスリートは、主にシーズン終了直後がからだの休息とリハビリとする回復期とし、夏の期間がトレーニング量を充実させる期間、シーズン直前が強度を上げる期間、雪上トレーニングでの滑走テクニックに重点を置きながら持久的能力に焦点をおく期間、試合期となる。例えば、「月別のトレーニング時間（ボリューム）が少ない」、「トレーニングの強度（ストレングス）が低い」、「休息（リカバリー）が少ない」などが明確となる。

これらのパーソナルトレーニングレポートからトレーニングのボリューム

とクオリティを管理することができる。特に2020年のトレーニングは、新型コロナウイルスの影響により集団でおこなうことができず、各地方で実施する形式となった。しかしこのウェアラブルデバイスとトレーニングレポートにより各個人のトレーニング実施状況を把握することができ、計画の内容を実施できたと考える。

V. まとめ

本プロジェクトでは、クロスカントリースキー競技選手の持久的パフォーマンス向上を目的とし、フリー走法とクラシカル走法におけるLT滑走テストと、画像分析を用いた簡易的フィードバックの有効性、ウェアラブルデバイスを用いたトレーニング管理について検討した。

その結果、1) LT滑走テストによりパフォーマンス評価が可能である、2) 簡易的な画像分析でキネマティックの特徴を明確に確認できる、3) 詳細な年間のトレーニング管理によりトレーニング処方を見直すことができる。

今回の報告したフリー走法、クラシカル走法のLT滑走テストは、パフォーマンスの評価として用いることができることが確認できた。そして、血中乳酸濃度をもとにしたLT1、LT2を算出することにより、個人におけるトレーニング効果の確認と持久的トレーニングの強度を導き出すことが可能となった。

また、今回実施した画像分析は、簡易的であるが比較をおこなう上でも十分明確であることがわかった。例えば、キネマティックな特徴からストックワークのトレーニングは、図16のような腕エルゴメーターを使用することにより、技術的な改善ができると考えられる。

今回のシステムを使うことによりトレーニング記録の管理は、トレーニングのボリューム（時間）、クオリティー（質）を把握することが容易にできた。ウェアラブルデバイスにより、試合での強度が把握できることにより、トレーニング強度（心拍数）の設定が明確になった。

以上のことより、今回おこなったプロジェクトからデータをもとに現状分析とトレーニングの指標を作成し、効果的な競技パフォーマンスを向上させるための一助になると考えられる。



図 16 腕エルゴメーターを使用したトレーニング方法

謝辞

本研究を進めるにあたり、多大な協力を賜りました日本体育大学船渡研究室の皆様へ心より厚く御礼を申し上げます。

VI. 参考文献

- 1) スポーツ庁 競技力強化のための今後の支援方針（鈴木プラン）
http://www.mext.go.jp/sports/b_menu/sports/mcatetop07/list/detail/1377938.htm（2019年9月28日）
- 2) ジョン・ブルーワー（2017）ランニング・サイエンス「走る」を科学する，河出書房新社.
- 3) Edward L. Fox（1997）スポーツ生理学，第9版 大修館書店.
- 4) 大後栄治，石井哲次，石濱慎司，植田三夫，弘卓三（2000）神奈川県箱根駅伝優勝チームの有酸素性作業能力とLSDトレーニング，

- 神奈川体育学会紀要体育研究34, 19-23.
- 5) 八田秀雄 (2016) 乳酸をどう活かすかⅡ, 杏林書院.
 - 6) 玉木徹, 牛山幸彦, 八坂剛史 (2005) スポーツ選手の技能向上のための動画像処理とその実用化, 電子情報通信学会誌, 13-18 電子情報通信学会技術研究報告. PRMU, パターン認識・メディア理解 105 (415), 13-18.
 - 7) 公益財団法人全日本スキー連盟教育本部 (2020) SAJ 教育本部オフィシャルブック 2021 年度版, 山と溪谷社.
 - 8) 山地啓司 (1985) 一流スポーツ選手の最大酸素摂取量, 体育学研究 30(3) : 183-193.
 - 9) 石井友保, 谷代一哉, 森貴, 木村直人, 伊藤孝 (2002) 箱根駅伝における5区山登り走について—ラップタイムおよび心拍数からの検討—, 日本体育大学紀要 32(1), 9-15.
 - 10) 柴原拓也, 大場友裕, 石原達朗, 田中剛貴, 大平充宣 (2015) 最大酸素消費量レベルは持久性運動パフォーマンスにどれだけ貢献するか?, 同志社スポーツ健康科学7, 52-66.
 - 11) 石濱慎司, 石井哲次, 田中幸雄 (2010) 縦断的LTテストの結果とクロスカントリースキー選手のパフォーマンスの関連性について, 日本体育学会第61回大会抄録集138.
 - 12) 石井哲次, 弘卓三, 大後栄治, 石濱慎司, 本間生夫 (2000) 競技記録とトレーニング強度の指標である Lactate Threshold (LT), Onset of Blood Lactate Accumulation (OBLA), Lactate Training Point (LTP) の関係について : 三線法 (Three Line Method) による LTP の妥当性, 運動とスポーツの科学6(1) 19-26.
 - 13) 藤田善也, 石毛勇介, 吉岡伸輔, 衣笠竜太, 土屋純 (2011) クロスカントリースキーのスタート局面におけるクラシカル走法の技術の特徴, スポーツ科学研究8, 3-11.
 - 14) 藤田善也, 石毛勇介, 吉岡伸輔 (2019) クロスカントリースキー競技における用具の長さ情報を利用したクラシカル走法のサイクル特性分析アプリケーションの開発 スポーツ科学研究 16, 26-32.