



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	ラングラウフスキー初心者の滑走特性と作業強度について
Author(s)	須田, 力; 佐々木, 敏
Citation	北海道大學教育學部紀要, 55, 157-186
Issue Date	1991-03
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/29360
Type	departmental bulletin paper
File Information	55_P157-186.pdf



ラングラウフスキー初心者の滑走特性と作業強度について

須 田 力 佐々木 敏^{a)}

Stride Characteristics and Work Intensities of "Skilanglauf" in Beginners

Tsutomu SUDA Tsutomu SASAKI

目 次

第1章 ラングラウフスキー初心者のダイアゴナル平地滑走における滑走特性と作業強度	159
1. 目 的	159
2. 方 法	160
3. 結 果	162
4. 考 察	167
5. 要 約	170
第2章 ラングラウフスキーの筋電図	
——初心者のダイアゴナル平地滑走について——	171
1. 目 的	171
2. 方 法	172
3. 結果および考察	173
4. 結 論	177
第3章 ラングラウフスキーの滑走動作	
——初心者のダイアゴナル平地滑走について——	177
1. 目 的	177
2. 方 法	178
3. 結 果	178
4. 考 察	181
5. 結 論	182
お わ り に	182
参 考 文 献	183

a) 北星女子短期大学

Abstract

The purpose of this study was to obtain fundamental informations about exercise prescription of cross-country skiing which is effective in improving health and fitness for the people living in snowy region. Totally 20 healthy beginners and middle-class skiers were selected as subjects and participated in the experiments to examine, (1) the relationships between the stride characteristics and the physiological responses, (2) the changes in these parameters by training, and (3) biomechanical characteristics of the stride techniques in beginners. The results obtained were summarized as follows:

1) From the point of oxygen uptake, this study confirmed the hypothesis that a stride technique with

longer stride length and lower stride rate is advantageous than a stride technique with shorter stride length and higher stride rate at the same rate of speed can apply the beginners or middle-class cross-country skiers as well as racers.

2) Although oxygen uptake increases proportionally with speed, there exist somewhat larger variance which seemed to be affected by the stride techniques and the snow conditions.

3) The characterized EMG findings of the diagonal stride techniques in the beginners were : a) phasic discharge of m. gastrocnemius in kick phase ; b) tonic discharge of m. tibialis anterior in gliding phase ; and c) phasic discharge of m. triceps brachii in poling motion.

4) From the results of motion analysis by VTR pictures, a shorter stride length in beginners was characterized by the following points : a) smaller leg angle at the end of kick ; b) insufficient knee flexion of the supporting leg during the glide ; and c) smaller poling motion in upper limbs.

は じ め に

積雪地域はわが国土のおおよそ1/2におよぶが、この地域においては冬季の身体活動量が不足する結果体力が低下する現象¹⁹⁾³⁵⁾⁴⁰⁾が共通に指摘されている。この問題は、積雪地で生活する児童の発達、スポーツの振興、住民の健康増進などさまざまな面で後進性をもたらす要因となっていると思われる。北欧などでは、クロスカントリースキーやラングラウフ・スキーなどが、閉鎖的になりがちな冬を活動的に生きていくための手段¹⁷⁾として生活の中に位置づけられてきた。近年、わが国でも積雪地における健康増進・体力づくりのための運動として「歩くスキー」の効果¹²⁾¹³⁾が注目されている。

「歩くスキー」の用語は、わが国特有のものであり、今村¹²⁾¹³⁾によるとこれに対応する訳語は、“cross-country skiing”, “Skilanglauf”, “Ski-Wandern” と言われる。「歩くスキー」の意味合いは、勝敗をめざすよりも長い距離をゆっくり時間をかけて楽しむ志向を想起させるが、今村はスキーによる長距離走の競技会もこれに加わると言っている。本研究のテーマを「ラングラウフスキー」としたのは、「歩くスキー」では適当な訳語が見当たらないことと、今回の実験の諸条件から言って「クロスカントリースキー」よりも意味合いが適っていると思ったからである。

これまでの研究は、外国においてもスキー選手を対象とした競技志向のものが圧倒的に多く、わが国においてはクロスカントリースキーの研究自体が極めて少ない上、一般愛好者の運動処方づくりを志向する研究は、数編の学会発表抄録⁷⁾⁸⁾²⁶⁾²⁷⁾以外には公表されていない。現段階では歩くスキーが健康増進や体力づくりに効果的であろうというのは、それが自然の中で行なわれるからとか、全身運動だから低速度でも比較的高い作業強度の運動となるといった理由からであるが、運動処方として位置づけられるための研究は、まだほとんど着手されていない。運動処方の対象とするためには、まず健康増進に必要な強度、頻度、持続時間などのパラメーターが提示されなければならないが、このためには以下のいくつかの条件を前提とした研究が進められる必要がある。

第一に、「歩くスキー」に体力向上、健康増進の効果を期待するためには、強度、持続時間、頻度が一定以上であることが必要である。たとえば Polluck ら³⁰⁾によると、一般の人が心肺機能の持久性を発達または維持させるためには、①最大酸素摂取量の50～80%、最高心拍数の60～90%の強度、②一回当たり15～60分間の持続時間、③週3～5日の頻度が必要と言われる。このような条件で歩くスキーが運動処方として利用されるためには、休日のツアーだけでなく勤務中の屋

休みや学校の体育の時間など短時間に都市の小公園や学校のグラウンドなどで気軽にトレーニングできるような、「誰でも」、「いつでも」、「どこでも」実施できる日常性を意識した条件が、対象者、用具、コース、滑走法、運動時間と強度などを設定する場合に考慮されなければならない。第二に、「歩くスキー」は歩行やランニングと違って、スキーという道具を媒介として千変万化の自然環境の中で行なわれるものであるから、これらの影響の程度も把握しなければならない。第三に、作業強度と速度との関係は、初心者の時速 6 km 程度から始まってエキスパートの時速 27 km までランニングより遥かに大きい変動を含むから、技術の上達程度によってこの関係は大きく変わっていく可能性があり、それをなんらかの方法で明らかにする必要がある。

本稿は、以上の諸条件を前提として代謝、動作解析およびトレーニングという複数の領域からこの課題にアプローチした一連の実験結果の報告書⁴¹⁾を論文としてまとめたものである。第 1 章では代謝およびトレーニングについて、第 2 章では表面筋電図による動作解析の結果について、第 3 章では画像解析による動作解析の結果について論述する。実験を実施した 1989 年冬は異例の暖冬異変に見舞われたため、雪質の悪化と積雪期間の短縮のため当初の計画通りの実験は遂行できなかったが、この研究のねらいであった「歩くスキー」を多雪寒冷地域における運動処方として確立するための端緒となる基礎的知見を得たので報告する。

第 1 章 ラングラウフスキー初心者の ダイアゴナル滑走における滑走特性と作業強度

1. 目 的

前述の通り、「歩くスキー」が健康増進としての効果を持つためには、性、年齢、体力レベルに応じた適度な作業強度と速度、運動量との関係が明らかにされる必要がある。歩行やランニングのような運動であれば、誰しも幼い時から積み重ねている動作の繰り返しであるだけに、速度や運動量は作業強度や酸素摂取量と高い相関を持ち処方⁴²⁾が立てやすい。しかし、「歩くスキー」は滑走技術、滑走法、気象条件などの因子によって、この関係は大きく変化する運動である。

たとえば、速度と作業強度との関係は滑走法によって異なり、Saibene ら³¹⁾によれば競技選手が整備されたコースでの平地滑走を行った場合は、従来のクラシカル・スタイル(ダイアゴナル)よりもスケーティングの方が有効であるという。この観点だけに着目すると、今回の研究もスケーティングをとりあげるのが適切と思われるかも知れない。しかし、コース整備が行き届かない学校のグラウンドや都市の小公園などで、初心者がノーワックス・タイプのスキーを使って手軽に実施できる「日常性」の点から見ると、クラシカル・スタイルの方が適当である。さらに、「歩くスキー」の本来の味わいとも言えるべき「スキーを通しての自然との対話」を求めるとなると、クラシカル・スタイルの方が相応しい。

このような条件での滑走速度と作業強度との関係について、三宅らは初心者および中級者の中年男子 6 名²⁶⁾および女子学生 7 名²⁷⁾について実験を実施した結果、それぞれ $r=0.96$ および $r=0.97$ と高い相関を得ている。しかし、これらの研究はいずれも日内で実施されたこと、及び同一被検者の軽、中、重の 3 段階の滑走が合計されたデータにもとづく結果であることから、日を変えて気温の違う条件を一緒にした場合や被検者の技術レベルに差がある場合でも、このような高い相関が得られるかどうかは検討の余地がある。

本研究は、これまでの研究の抱えている以上の様な問題点を吟味しながら、クラシカル・スタイルの代表的滑走法であるダイアゴナル滑走について、初心者および中級者レベルの被検者を対

象とし、以下の課題について滑走特性と作業強度に関する一連の実験によりアプローチしようと試みた。

- 1) ダイアゴナル平地滑走の滑走特性および滑走の作業強度は、初心者と一定程度のトレーニングを積んだ者とどのように異なるか（実験1）。
- 2) 初心者が一定程度のトレーニングを積んだあと、滑走特性および作業強度がどのように変化するか。さらに、コントロール実験として同じ被検者群に、同じ滑走条件で2回のテストを実施した場合、雪質の変動により滑走特性および作業強度がどのような変動を示すか（実験2）。
- 3) 滑走の作業強度は、心拍数および酸素摂取量からどの程度の水準か（実験3）。
- 4) 実験1における滑走特性および生理学的応答の差が、実際のツーリングにおける心拍数応答にどのように反映されるか（実験4）。

2. 方 法

(1) 各実験の被検者、日時、場所、方法及び気象条件等

被検者は、全体で20名（大学生男子12名、大学生女子2名、中高年男子6名）である。身体的特性を表1に示した。各実験別の被検者の身体的特性は、それぞれの結果と考察の部分で示す。

Table 1 Physical characteristics of the subjects.

Subj.	N	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)
Male students	12	19.8±0.3	170.2±1.7	65.3±0.7
Female students	2	20.0	155.5	57.0
Middle aged and Aged men	6	51.2±4.4	165.3±3.0	61.9±4.3

Values are means ± SE.

[実験1]

初心者群（Beginners Group，以下B群と略す）10名と中級者群（Intermediate Group，以下I群と略す）6名について、習熟度別の滑走特性および生理学的応答の差を比較した。歩くスキーについて「初心者」や「中級者」などの習熟度を評価する定義はまだ確立されていないが、各種の大会などでは1km当たり10分を制限速度としているので、一応今回のB群とは、体育の授業或いは成人対象の公開講座で歩くスキーを始めて6時間位学習し、総トレーニング距離が20km未満であるが、ノーワックス・タイプのスキーを使い時速6km位の速度であれば、転倒せずにダイアゴナルによる平地滑走ができるレベルとした。一方、I群とは、歩くスキーを開始してからトータル50km以上のトレーニングを積んでおり、各種の歩くスキーの大会にも参加した経験があり、時速6～12km位¹⁶⁾の速度まで熟練した者であった。I群の中には「札幌国際スキーマラソン」で50kmを6時間以内で完走した者が3名含まれていた。

[実験2]

初心者群8名（男子大学生4名、女子大学生2名、中年男子2名）をトレーニング群（Training Group，以下Tr群と略す）、男子大学生7名をコントロール群（Control Group，以下C群と略す）としてトレーニングによる滑走特性および作業強度を探索するための縦断的測定を実施した。トレーニングは、上記スキーを用い上記8名について1989年2月から3月にかけて、一回当たり

Table 2 Physical characteristics of the subjects in longitudinal experiment.

Subj.	N	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)
CG	7	20.1±0.3	170.3±2.5	64.6±1.0
TrG				
Male students	4	19.4±0.4	173.0±3.8	66.8±0.7
Female students	2	20.0	155.5	57.0
Middle aged men	2	51.0	167.0	60.0

CG = Control group, TrG = Training group. Values are means or means ± SE.

5 kmの滑走を週2～3回で4週間、総トレーニング量が50kmとなる条件を課し、前後の滑走能力および作業強度をC群の2回の変化と比較した。

[実験3]

上記実験1および実験2の平地滑走の作業強度を評価するため、被検者のうち男子6名、女子2名、計8名についてトレッド・ミル走での漸増負荷法により最大酸素摂取量および最高心拍数を測定した。測定は1989年3月4日北海道大学体育指導センター測定室において実施した。測定時の室温は22℃であった。

[実験4]

実験1における滑走能力および作業強度の差が、実際のフィールドでの歩くスキーの作業強度にどのように反映しているかを探索するため、被検者のうち中高年男子3名について心拍メロリー（TKK社製）を装着し、札幌近郊の野幌森林公園内の比較的平坦コースでの歩くスキーによる自然観察ツアーにおける行動中の心拍数を記録した。測定は、1989年2月21日午前9時から午後2時まで実施した。気温は-2℃前後、晴天で微風であった。

(2) 滑走の条件

実験1および実験2においては、ワックス・テクニクによる影響を除くためと、初心者者の滑走の安定性、学校体育指導への適用性を考慮して、北海道大学構内の野球場の中のクラシカル走法に適するようにシュプールをつけた一周265 mのゲレンデにおいて、ノーワックス・タイプのスキー（YAMAHA製、CC-STD）を使ってダイアゴナルにより周回する5 km平地滑走とした。測定時の気象条件は、異例の暖冬のため、実験期間中を通して、気温および雪温は例年の札幌にくらべ高かった。13回の測定のうち前半は、第1回目の測定開始の1月22日が気温-5℃であったほかはいずれも-1℃以上であったが、ほぼ良好な粉雪であった。しかしながら、測定の後半の時期の3月上旬になると外気温は+4～+9℃にまで上昇し、雪質もザラメ雪となって滑走性が悪化したためトレーニングの効果を評価するうえで不利となった。表3のように実験2のトレーニング実験における気温は、C群の実験時は2月上旬および中旬であったため2回の平均

Table 3 Changes in the ambient temperature between pre- and post-training experiments.

Exp.	Temperature (°C)		diff	p
	pre	post		
Control exp.	0.0±0.6	+1.0±0.5	±1.0	NS
Training exp.	-0.1±1.4	+5.1±0.7	+5.2	P<0.05

Values are means ± SE.

値に差はなかったが、Tr 群の実験時は、トレーニング前の2月上旬にたいしてトレーニング後の3月上旬では約5℃ ($P < 0.05$) も上昇した。雪温は第1回目が-3℃であったほかはいずれも0℃であった。天候は測定期間を通して降雪が少なく大部分薄曇りないし晴天であった。

(3) 測定項目

滑走特性として、速度、テンポ、ストライド、滑走タイム、を計測記録した。作業強度として、心拍数 (TKK 社製心拍メモリーを使用)、酸素摂取量 (ダグラス・バッグ法) を測定した。

① 平均速度 (speed)

滑走距離5000 m を滑走タイムで除し、 $\text{m} \cdot \text{sec}^{-1}$ で示した。

② テンポ (stride rate)

ダイアゴナル滑走法でキックし、ストックで雪面を突いて推進する一連の動作を1サイクルとして、コース中100 m の区間をサンプリングにとり、回数を周回毎に目測により計数し所用タイムで除し平均値を求め、 strides sec^{-1} として示した。

③ ストライド (stride length)

上記区間での距離を回数で除し、全周回の平均値を算出し m で示した。

④ 心拍数 (heart rate)

被検者に TKK 社製心拍メモリーを装着させ、記録した。

⑤ 酸素摂取量 (oxygen uptake)

被検者にダグラス・バッグを背負ってもらい、滑走開始から6~10分経過してから200 m の滑走区間で1.5~3分間採気した。採気終了後は呼気マスクおよびダグラス・バッグは外して滑走させた。採集された呼気は、乾式ガスメーターで換気量を求め、サンプルガスを日本電気三栄社製瞬時ガス分析器にかけ、 O_2 および CO_2 の濃度を求め、 $\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ として示した。

⑥ 最大酸素摂取量 ($\dot{V}\text{O}_2 \text{ max}$)

8.7% の傾斜をかけたトレッド・ミルでの漸増負荷によるランニング時の最大負荷時の心拍数 (Cardio-Super, 日本電気三栄社製使用) および呼気採集により酸素摂取量を測定した。

3. 結 果

(1) B群とI群との滑走特性および滑走時の生理学的応答の差

B群とI群との滑走特性の差は、Table 4 に示すように速度およびストライドにおいて顕著に見られ、速度で $0.6 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$ 、ストライドで50cmもの差があった。一方、テンポにおいてはI

Table 4 Comparisons of the stride characteristics and the physiological responses during 5 km level diagonal stride between beginners group (BG) and intermediate group (IG).

	BG (N=10)	IG (N=6)	Diff
Speed ($\text{m} \cdot \text{sec}^{-1}$)	2.16 ± 0.11	$2.78 \pm 0.13^{**}$	+0.62
Stride length (m)	1.46 ± 0.10	$1.97 \pm 0.15^{*}$	+0.51
Stride rate ($\text{strides} \cdot \text{s}^{-1}$)	1.59 ± 0.07	1.45 ± 0.12	-0.14
$\dot{V}\text{O}_2$ ($\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$)	36.9 ± 1.9	43.0 ± 2.6	+6.1
Heart rate ($\text{beats} \cdot \text{min}^{-1}$)	172.9 ± 5.3	177.8 ± 6.3	+4.9

Values are means $\pm$ SE, *, ** Significant difference between BG and IG, $P < 0.05$ and $P < 0.01$, respectively.

群がやや少なかったが、有意な差ではない。酸素摂取量および心拍数は、I 群の方がやや高いがその差は有意ではなかった。図表で示さなかったが、滑走中の呼吸ガス交換比は両群共0.97であった。滑走速度とストライド、テンポ、酸素摂取量との関係を被検者全体でみると、ストライドと酸素摂取量はそれぞれ $r=0.58$ ($P<0.05$), $r=0.67$ ($P<0.01$) といずれも有意な相関が見られたのにたいし、テンポにおいては $r=0.02$ と有意でなかった。群別に見た場合、B 群においては速度のストライド、テンポ、酸素摂取量との相関はそれぞれ0.50 (NS), 0.03 (NS), 0.65 ($P<0.05$) であり、ストライドおよび酸素摂取量の比重がテンポよりも高いのにたいし、I 群の場合は、テンポ ($r=0.55$, NS) および酸素摂取量 ($r=0.41$, NS) にたいして、ストライド ($r=0.06$, NS) との相関は低かった。

速度と酸素摂取量との回帰式を各群ごとに求めて検討すると、 $2.0 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$ の速度に相当する酸素摂取量は、B 群において $34.9 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、I 群においては $29.4 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ と差があるが、 $2.5 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$ の速度になると B 群の $38.6 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ に対し I 群においても $38.2 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ と差がなくなる。滑走速度が $2.9 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$ を越えるようになると、I 群においても酸素摂取量は相対値で $45.0 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ と一般成人男子の最大酸素摂取量の水準にまで達していた。

(2) トレーニングによる滑走能力および生理学的応答の変化

トレーニング前後の5 kmダイアゴナル平地滑走における Tr 群および C 群の滑走特性の比較を Table 5 に、生理学的応答の比較を Table 6 に示す。C 群7名は、2回の測定の前後で速度、ストライド、テンポいずれの平均値も有意な差を示さなかった。しかし、雪質の変化にともなう個々の値の変動は大きく、心拍数および酸素摂取量が同程度であったにもかかわらず、1回目のタイムよりも2回目のタイムのほうが8分以上も短縮した者がいた一方、逆に2回目のタイムが7分近くも遅延した者もいた。このようなことから2回のテストにおける速度の相関は0.43、ストライドは0.27といずれも再現性が低かった。

Table 5 Changes in stride characteristics of control group (CG) and training group (TrG) between pre- and post-training.

Group	Speed ($\text{m} \cdot \text{sec}^{-1}$)		Stride Length (m)		Stride Rate (strides $\cdot \text{s}^{-1}$)	
	pre	post	pre	post	pre	post
CG (N=7)	2.4 $\pm$ 0.5	2.5 $\pm$ 0.3	1.6 $\pm$ 0.2	1.7 $\pm$ 0.1	1.6 $\pm$ 0.1	1.5 $\pm$ 0.1
TrG						
Male students(N=4)	2.2 $\pm$ 0.2	2.7 $\pm$ 0.1 *	1.8 $\pm$ 0.2	1.8 $\pm$ 0.2	1.4 $\pm$ 0.1	1.6 $\pm$ 0.3
Female students(N=2)	1.7	2.0	1.0	1.2	1.7	1.8
Middle aged men (N=2)	2.1	2.2	1.2	1.3	1.7	1.8
Total TrG (N=8)	2.0 $\pm$ 0.1	2.4 $\pm$ 0.1 **	1.4 $\pm$ 0.1	1.5 $\pm$ 0.1	1.6 $\pm$ 0.1	1.7 $\pm$ 0.1

Values are means or means $\pm$ SE. *, ** Significant difference between CG and TrG, $P<0.05$ and $P<0.01$, respectively.

Table 6 Changes in the physiological responses of control group (CG) and training group (TrG) during 5 km level diagonal stride between pre— and post—training.

Group	Heart Rate (beats·min ⁻¹)		$\dot{V}O_2$ (ml·min ⁻¹ ·kg ⁻¹)	
	pre	post	pre	post
CG (N=7)	185.4±10.9	185.9±5.2	42.6±2.5	44.1±2.6
TrG				
Male students (N=4)	163.8±10.9	180.6±5.2	35.9±2.6	43.7±2.8
Female students (N=2)	166.6	174.5	27.7	30.9
Middle aged men (N=2)	153.5	154.5	36.3	38.1
Total TrG (N=8)	161.9± 6.6	172.5±5.2	33.5±1.8	39.1±2.3*

Values are means or means ± SE. * Significant difference between CG and TrG with $P < 0.05$.

Tr 群は、一回目よりも 2 回目の測定時の方が平均気温が 5℃も高く、雪質が悪いためスキーの滑走性が低下しており、男子学生 4 名および女子学生 2 名では速度は有意に増加したものの、ストライドの増加はあまり見られなかった。成人男子 2 名の場合は、速度、ストライド、テンポいずれもわずかな増加にとどまった。

Tr 群の男子大学生 4 名のトレーニング開始前の心拍数および酸素摂取量は、C 群にくらべやや低かったが、トレーニング後はほぼ同じレベルとなっている。女子 2 名もトレーニング後のほうがやや高くなっており、8 名全体でも心拍数で約 10 拍、酸素摂取量は体重 1 kg 当たりで約 5 ml 増加を示した。

(3) 測定値の再現性

前述の通り測定期間中の気温および雪質の変化により、滑走条件と滑走中の生理学的応答は大きな変動を示した。C 群の男子 7 名において 2 回の測定における平均値は、滑走速度、ストライド、テンポ、酸素摂取量および心拍数いずれにおいても有意な差はなかったものの、個々の値の変動は大きかった。5 km の滑走タイムにおいては 2 回のタイム差が 2 分以内であった者は 1 名のみで、他の 6 名においては 4 分 30 秒から 8 分 40 秒ものプラスマイナスの変動があった。滑走のテンポおよび酸素摂取量における 2 回のテストの相関係数はそれぞれ $r = 0.74$ ($P < 0.05$) および $r = 0.73$ ($P < 0.05$) といずれも有意であり相対的に高かった。一方、速度およびストライドにおける 2 回のテストの値の間の相関係数はそれぞれ $r = 0.43$ および $r = 0.27$ でいずれも有意ではなかった。心拍数においてはいずれの値も 175 拍/分を越える水準であったこともあり $r = 0.50$ と有意ではなかった。

(4) ダイアゴナルによる 5 km 平地滑走時の作業強度

被検者のうち男子 6 名、女子 2 名についてトレッドミル走により最大酸素摂取量を測定し、滑走中の酸素摂取量の最大酸素摂取量にたいする割合および心拍数の最高心拍数にたいする割合を求めた結果を、Table 7 および Table 8 に示す。尚、今回の実験全体で滑走中の呼気ガス採集は

滑走開始から6～10分経過後の1.5～3分間であったが、採気中の心拍数は172.5拍/分と滑走開始4分以後の定常状態の心拍数の平均値175.0拍/分とあまりと差がなく、両者の相関も高かった ($r=0.95$, $N=35$, $P<0.001$) こと、採気中の速度も、143.4m/分と滑走全体の平均速度141.4m/分に近く、両者の相関も高かった ($r=0.95$, $N=35$, $P<0.001$) ことから滑走

Table 7 Oxygen uptake and percentage of maximum oxygen uptake during 5 km level diagonal stride.

Subj.	Sex	Age (yrs)	$\dot{V}O_{2\max}$ (ml·min ⁻¹ ·kg ⁻¹)	$\dot{V}O_2$ in skiing (ml·min ⁻¹ ·kg ⁻¹)	% of $\dot{V}O_{2\max}$
M. F.	male	22	68.8	48.8	70.0
K. K.	male	19	56.0	41.0	73.2
K. F.	male	19	61.1	43.7	71.2
H. K.	male	19	54.3	37.8	69.6
T. S.	male	46	50.9	44.8	87.9
T. T.	male	44	42.5	36.0	85.3
Male	Mean ± SE		55.6±3.23	42.0±1.8	76.2±3.1
N. H.	female	21	43.6	30.4	67.7
N. K.	female	19	42.6	31.4	74.3
Female	Mean		43.1	30.9	71.0
Total	Mean ± SE		52.5±3.4	39.2±2.3	74.9±7.5

Table 8 Heart rate and percentage of maximum heart rate during 5 km level diagonal stride.

Subj.	Sex	Age (yrs)	HRmax (bts·min ⁻¹)	HR in skiing (bts·min ⁻¹)	% of HRmax
M. W.	male	22	198	174	87.9
K. K.	male	19	189	165	87.3
K. F.	male	19	200	179	89.5
H. K.	male	19	192	168	87.5
T. S.	male	46	166	161	97.0
T. T.	male	44	196	177	90.3
Male	Mean ± SE		190.2±5.1	170.7±2.9	89.9±1.5
N. H.	female	21	195	182	93.3
N. K.	female	19	192	160	83.3
Female	Mean		193.5	171	88.4
Total	Mean ± SE		191.0±3.8	170.8±3.0	89.5±4.1

全体の生理学的応答を推し量るうえで妥当であったと判断される。Table 7, Table 8 に示すように滑走中の酸素摂取量は最大酸素摂取量の68~88%, 男子6名の平均値は76%, 女子2名の平均値は71%に相当する水準であった。心拍数は83~97%, 男子6名の平均値は90%, 女子2名の平均値は88%と, 高い水準の呼吸循環機能の応答が長時間持続する作業負荷であることが認められた。また, 男女いずれも最大酸素摂取量の優れた者が, 滑走中の酸素摂取量も高い傾向が見られた。

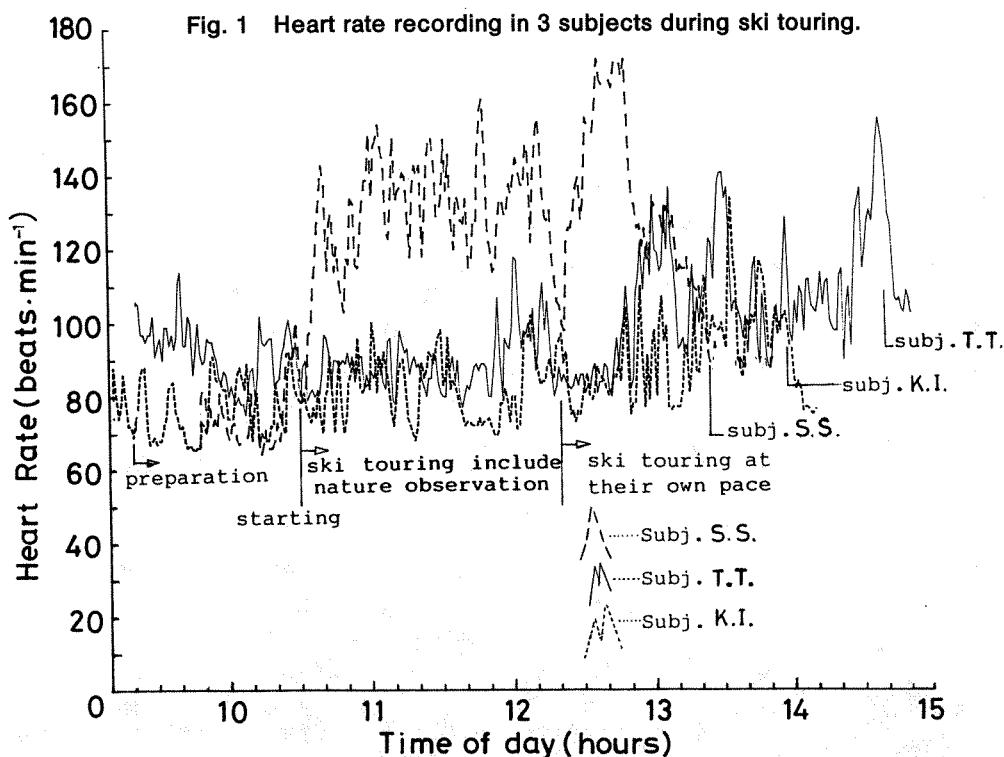
(5) スキーツーリングにおける心拍応答の違い

被検者の内3名について, 実際の歩くスキーでのツアーにおける作業強度を把握するため, 心拍メモリーを装着し記録した結果を Fig. 1 に示す。場所は札幌郊外の平坦な野幌森林公園, 日時は1989年2月21日9時から14時頃までで気温-2℃前後, 晴天で風も弱かった。被検者は, K. I., 40歳, T. T., 44歳, S. S., 67歳の男性でいずれも初心者であった。Table 9 に実験1における手法で測定された各被検者の滑走特性及び生理学的応答を示す。

Table 9 Stride characteristics and physiological responses of 3 subjects during 5 km (1 km) level diagonal stride tests.

Subj.	Age (yrs)	Speed (m·sec ⁻¹)	Strade Length (m)	Stride Rate (strides·s ⁻¹)	H. R. (bts·min ⁻¹)	$\dot{V}O_2$ (ml·min ⁻¹ ·kg ⁻¹)
S. S.	67	1.19	0.72	1.66	170.6	36.6
T. T.	44	1.96	1.34	1.46	180.4	36.0
K. I.	40	2.29	1.45	1.57	161.8	35.6

a) Data of subject S.S. was obtained during 1 km level diagonal stride.



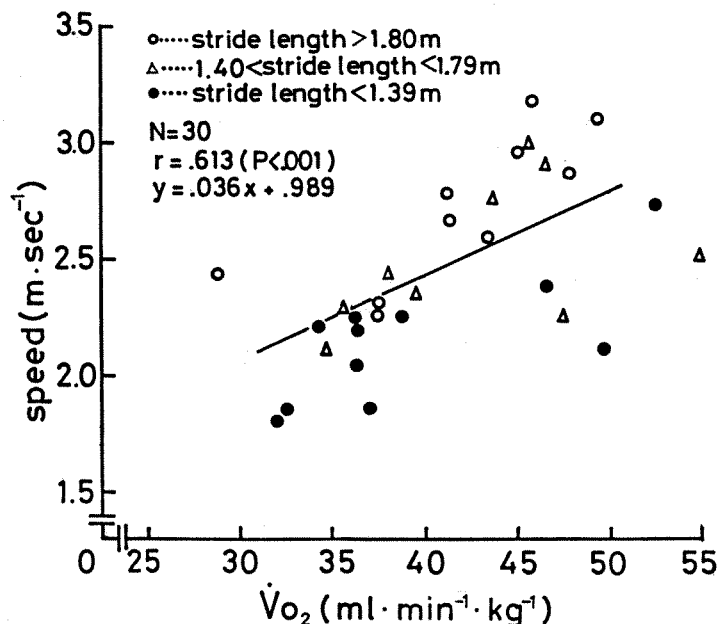
参加者の中には、高齢者や小学生も含まれスタートから2 kmまでは、要所要所で自然観察のガイドが含まれた行程で、その後小休止後参加者の体力に応じて往路の2 kmの自然観察も含まれた4 km, 6 km, 8 kmの班に分かれツアーを行ったものである。

出発後約80分間の自然観察では時折説明のための小休止があったため、40歳台の中年男子2名の心拍数は毎分100拍を越えることがほとんどなかったにもかかわらず、67歳の男子高齢者の場合、86分間の平均値は134拍/分、しばしば140拍/分を越えるまで亢進した。休憩後同伴者つきでマイペースの帰路についたが、この間46分間の平均値は141拍/分、最高心拍数はこの年齢の最高心拍数に相当する171拍/分まで上昇していた。この被検者は、グラウンドでの平地滑走の測定では $1.19 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$ の低速でも、心拍数の平均値は170拍/分に達し、酸素摂取量も $36.6 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ と高かった。テンポは $1.66 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$ と他の被検者よりやや多く、ストライドは0.72 mと著しく劣っていた。

4. 考 察

あらゆるスポーツの中でクロスカントリースキーヤーは、最も優れた有酸素性作業能力を備えているとされ、高い滑走能力を発揮するためには高い酸素摂取能力¹⁾³⁾⁴⁾³⁴⁾³⁹⁾が必須の条件である。今回の実験3において滑走中の心拍数および酸素摂取量の平均値は、最高心拍数の約90%、最大酸素摂取量の75%程度水準で Jette ら¹⁵⁾の報告する競技選手の5 km競技時の90%に比べると低い、被検者の体力レベルと持続時間（競技選手の2倍以上）からみてほぼ最大努力を発揮されたと判断される。Fig. 2のように酸素摂取量と滑走速度は有意な相関が得られたことから、初心者や中級者の場合でも優れた有酸素性能力が高い速度の重要な要因であることは明らかである。

Fig. 2. The relationship between speed ($\text{m} \cdot \text{sec}^{-1}$) and volume of oxygen uptake ($\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$) in relation to stride length.



一方、滑走速度と習熟度との関係は、クロスカントリースキーの場合毎時6 km位の初心者に対して一流選手になると時速20km以上に達し、ランニングとは比べものにならない個人差がある。石河ら¹⁴⁾は、習熟度の異なる男女各2名に秒速1 mのスキー歩行を課しエネルギー代謝を測定した結果、RMRは3.3から6.5、酸素摂取量は 15.7 から $25.7 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ と被検者間の差が大きく、初心者は熟練者の2倍のエネルギー消費にも及んでいるのに対し、スキー靴での雪上歩行ではこのような個人差が少ないという特徴を明らかにしている。

MacDougallら²⁴⁾は、クロスカントリースキーの国内代表選手15名と一般愛好者5名について3種の異なる速度でのダイアゴナル滑走を実施し酸素摂取量を測定した結果、速度と酸素摂取量との間に $r=0.87$ ($P<0.001$)と比較的高い相関を認めたものの、優秀選手の間でも相当な変動があったとしている。また、速度と酸素摂取量からみた効率、性差も選手と愛好者との差も見られなかったとしている。この原因についてMacDougall²⁴⁾は、愛好者の場合、速度および酸素摂取量とも選手と異なるレベルの範囲内でのデータであることと、5名中3名は3段階の速度のうち、第2段階目の速度で最大酸素摂取量のレベルに達し、第3段階においては、定常状態を越えた速度で遂行したためであろうと推察している。このような現象は、本研究における初心者や中級者レベルの被検者群間にも考えられるが、本研究における被検者数が十分でないので論議出来ない。算出された回帰式から見てノーワックス・タイプのスキーでさらに高い滑走速度にこの関係を適用することは無理と思われる。

初心者および愛好者レベルを対象とした平地滑走における速度と酸素摂取量についての研究では、三宅らが、成人男子6名²⁶⁾および女子学生7名²⁷⁾を被検者としていずれも3段階の速度を課し、速度と酸素摂取量との間にそれぞれ $r=0.96$ および $r=0.97$ と高い有意な相関を得ている。本研究において女子学生2名と高齢者男子1名を除く男子の被検者について30回のテストにおける酸素摂取量と速度との関係をプロットしたところ、Fig. 2のように $r=0.61$ ($P<0.001$)と有意な相関となっているが、各被検者が日を変えて1ないし2回、いずれもほぼ最大努力で滑走した条件でもあり、三宅らの研究例と比較して相関度は低かった。この図で、ストライドの長い群(○印, $N=10$)、ストライドの長さが中間の群(△印, $N=9$)およびストライドの短い群(●印, $N=11$)のストライドの平均値は、それぞれ2.07, 1.56および1.20 mと各群間でいずれも有意($P<0.001$)な差が見られた。酸素摂取量の平均値はそれぞれ41.6, 42.8および $39.3 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ と3群間に有意な差はなく、速度はそれぞれ2.72, 2.51および $2.15 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$ とストライドの短い群が他の2群に対して有意(ストライドの長い群と $P<0.01$, ストライドの中間の群と $P<0.05$)に劣っていた。さらにテンポについては、それぞれストライドの長い順にそれぞれ1.32, 1.63および $1.81 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$ とストライドと逆の関係が見られた。これらの関係とFig. 2における各群のプロットの位置から見て、ストライドが短かくテンポの速い滑走は、ストライドが長くゆっくりしたテンポの滑走に比べ同じ酸素摂取量に対して速度が劣っていることが明かである。滑走速度はランニングと同様にストライドとテンポ(ピッチ)によって規定されるが、本研究の結果はこれまでの研究⁵⁾⁸⁾³⁶⁾⁴⁶⁾でストライドが長いほど高い滑走速度が得られ、テンポは滑走速度にほとんど影響しないという結果を、酸素摂取量の効率の点から裏づけた。

歩行やランニングの場合、身長がストライドに影響を及ぼし、ディメンジョンの理論²⁾³⁾から身長はストライドに1次比例し、テンポとは逆比例することから、スキー滑走においてもこの影響を考慮する必要があるように思われる。しかし、本研究においてはB群とI群の身長の平均値

は、それぞれ169.1および171.2cmとI群がやや高かったが、有意な差ではなかった。また、この両群を一緒にしたデータにおいてストライドと身長との相関は、 $r=0.18$ と有意ではなかったことから、身長の差はあまり大きな影響を及ぼしているとは思われなかった。一流のクロスカントリースキー選手の体格・体力についてのこれまでの各種の報告¹⁾¹¹⁾³²⁾³⁷⁾⁴⁵⁾においても、国内、国外とも一般成人に比べ身長、体重とも特に優れているという知見は得られていない。

このことから、ストライドを伸ばす技術、キックやストックの押し出しの筋力の優劣、雪質などによって、速度と酸素摂取量の2つの変数の間の相関の高さや回帰式は変化するであろうということが推察される。さらに、今回用いた用具がノーワックス・タイプのスキーであり、実験1での速度と酸素摂取量との回帰式から、 $2.0\text{ m}\cdot\text{sec}^{-1}$ の速度に相当する酸素摂取量がB群において $34.9\text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、I群においては $29.4\text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ と差はあったものの、 $2.5\text{ m}\cdot\text{sec}^{-1}$ の速度になるといずれも $38\text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ 程度と差が見られなくなったことから、より高速の滑走においてもこの関係が適用されるとは限らないと思われる。

本研究で速度と酸素摂取量との相関が低かった原因として、上記のストライド技術とともに雪質などの環境条件の影響が考えられる。三宅ら²⁶⁾²⁷⁾の2件の実験結果はいずれも日内の実験で得られたもので、同一被検者に対して測定のための断続的な休止をはさみながら軽、中、強の負荷を段階的に課した条件のものであった。このような場合は、同一被検者においてはほぼ同一の気象、雪質条件のもとで3段階の速度に対応した漸増的な値として心拍数、乳酸、酸素摂取量などの生理学的応答が得られるであろうから2件ともこのような高い相関となったのであろう。しかしながら実験期日、実験場所、気象条件、被検者の技術が異なる2件の回帰式は、勾配も直線の高さもやや異なっており、同じ速度に対して同程度の酸素摂取量の水準とはならない。MacDougallら²⁴⁾における実験条件も三宅らと同様に、各被検者3段階のデータが一緒になっているが、測定は3日間にわたって実施され、その間気温は $-20\sim-12^{\circ}\text{C}$ の間に変動していたこともあり、優れた選手の間でもかなりの変動を余儀無くさせられたのであろう。

本研究の場合、実験2のC群において同一被検者に対して日を変えて同一滑走条件を課し、測定期間中はほぼ好天に恵まれ風の影響も少なく、個々の被検者は2回共各自の滑走テンポの変動が少なく、酸素摂取量および心拍数からみてほぼ最大努力で滑走したにもかかわらず、速度およびストライドが大きな変動を示した原因は、雪質の違いによる影響と判断された。Tr群は、延べ50kmのトレーニングにより速度の平均値は有意に増加したが、前述のようにトレーニング後の測定時に気温が有意に上昇し、雪質が悪化したためストライドは有意に増加せず、テンポ、心拍数、酸素摂取量の増加により補われていた。この場合男子大学生および女子大学生の6名は、トレーニングにより滑走感覚が養われ、テンポを高めてより高い作業強度で滑走することが可能となったのに対し、成人男子2名の場合は、年齢的にもこれ以上テンポを上げて作業強度を高めることもできなかったため、速度の増加も少なかったであろうと推察する。このような結果からみてトレーニングを実施する場合、運動負荷として強度、時間、頻度を課すだけでなく、ストライドを伸ばすための技術的な練習も組み入れられる必要があったと反省している。

これらの知見および本実験の結果から、歩くスキーの速度と酸素摂取量との関係は、ノーワックスタイプのスキーを使用しても、ストライドの長短に反映される技術の差が大きいほど一定した関係は得られにくく、同一被検者でも気温の変化により雪質が変われば同一の回帰式が適用されにくくなるという問題点が明らかとなった。このことは見方を変え、歩くスキーは技術の向上、体力の増強、用具の改良などによる上達の可能性が大きく、酸素摂取量と速度との関係は

ランニングの場合よりもはるかに急勾配かつ分散が大きいという生涯体育として発展性のある特質とともに、本研究の実験4における例のようにスキーツーリングなどにおける参加者の体力および技術の事前の把握、マイペースを守らせるなどの重要性が指摘される。実験4における被検者 S. S. のようにストライドの劣る者は、低速の滑走でも周りの者が想像する以上の生理的負担度となるという問題点が、実験1での滑走特性と酸素摂取量との関係からも裏づけられた。

ストライドの伸びない初心者が、相対的に高い酸素摂取量、生理的負担度を示す原因として、(1) バランスを維持するための筋の緊張、(2) 上肢でのポールの操作、下肢にかかるスキースの重量がピッチが上がるごとに加わる影響、(3) 筋の緊張と弛緩がうまく行われなかったためのエネルギーのロス、(4) これと関連して、1 サイクルの中でもエネルギー発揮が少ない滑走期の時間が短く、キックやストックによる押しだしなどのエネルギー発揮を要する動作の時間が長いこと⁷⁾³⁶⁾⁴⁴⁾、などの原因が考えられる。さらに、スキー滑走には、ランニングよりも多くの筋群が動員されるため³⁾⁴⁾、ストックの突きだしなどに動員される筋群におけるコハク酸脱水素酵素の活性値などの有酸素性の代謝の優劣も問題となるが、Bergh⁴⁾があげるようにこのような能力もトレーニングとかわかってくる。

以上の結果から、初心者や中級者レベルを対象として速度と酸素摂取量との関係から歩くスキースの運動プログラムを指導する場合、滑走法、用具、技術レベル、コース、雪質などの条件が異なれば単一の回帰式は適用出来ないと判断された。しかし、各コース毎にその日ごとに、使用するスキー、雪質などに対応するスキースの摩擦抵抗が簡易に測定され提示されれば、Saibene ら³¹⁾の提起するような、それぞれの条件を考慮した滑走能力の評価、速度と酸素摂取量についての運動プログラムの指導もある程度可能となるかも知れない。いずれにせよ、歩くスキースを運動処方として位置づけ、滑走能力を評価していくためにはこれまで述べた様なさまざまな条件について一層きめ細かな研究が進められていかなければならない。

5. 要 約

本研究の目的は、積雪地域における体力づくりや健康増進の効果が注目されている「歩くスキース」について、運動処方を確立するための条件となる「日常性」を意識した滑走能力と代謝との関係について明らかにすることである。

被検者は、大学生男子12名、大学生女子2名、成人男子6名の計20名である。ノーワックス・タイプのスキースを使ったダイアゴナルによる5 km平地滑走について、速度、ストライド、ピッチなどの滑走特性、心拍数、酸素摂取量などの生理学的応答を指標として以下の実験を実施した。

(1) 初心者群 (B 群) 10名と中級者群 (I 群) 6名を比較する実験(2) トレーニング群 (Tr 群) として初心者8名に一回当たり5 km、週2～3回で総トレーニング距離が50 kmとなるトレーニングを課し、前後の変化をコントロール群 (C 群) 7名と比較する実験、(3) 8名の被検者について滑走の作業強度の最大酸素摂取量および最高心拍数に対する割合を求める実験、(4) 3名の被検者について滑走特性と生理学的応答との関係が実際のツアーにおける心拍数応答にどのように反映するか、を測定する実験。結果を要約すると以下の通りである。

1) B 群とI 群は、滑走速度の平均値がそれぞれ2.16および2.78 m・sec⁻¹ (P<0.01) ストライドの平均値がそれぞれ1.46および1.97 m (P<0.05) と有意な差が見られ、身長の平均値はそれぞれ169.1および171.2 cm と有意な差がなく、テンポの平均値もそれぞれ1.59および1.45 m・sec⁻¹ と差がなかった。

- 2) 滑走中の心拍数の平均値は、B群、I群が 172.9 および $177.8 \text{ beats min}^{-1}$ 、酸素摂取量はそれぞれ 36.9 および $43.0 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ とI群がやや高めであった。
 - 3) 酸素摂取量と速度は、 $r=0.61$ ($N=30$, $P<0.001$)と有意な相関を示し、同じ酸素摂取量の水準に対しストライドの大きい者は、小さい者に比べてより高い速度で滑走する傾向が見られた。
 - 4) Tr群のトレーニングの結果、速度の平均値は 2.04 から $2.39 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$ と有意な増加であったが、ストライドは 1.38 から 1.46 m 、テンポは 1.58 から $1.68 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$ と有意な変化は見られなかった。生理学的応答は、心拍数が 161.9 から $172.5 \text{ beats min}^{-1}$ (NS)、酸素摂取量が 33.5 から $39.1 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ ($P<0.05$)とやや増加の傾向を示した。C群は前後2回の測定において、速度、ストライド、テンポ、心拍数および酸素摂取量はいずれも有意な差が見られなかった。
 - 5) Tr群の速度の増加が、ストライドの増加よりも生理的負担度の増加に拠ったのは、トレーニング実験の前後で平均気温は 0°C から約 5°C 上昇し、雪質が悪化したためと思われた。C群の前後2回のテスト値の相関から再現性を検討すると、テンポおよび酸素摂取量が有意であったのに対し、速度およびストライドについては有意ではなかったのは、滑走のペース、努力は各自同程度であったのに気温、雪質によってストライドの変動が大きかったためである。
 - 6) 5km ダイアゴナル平地滑走中の心拍数および酸素摂取量は、平均値がそれぞれ最大値の 88 および 75% 、範囲はそれぞれ $83\sim 97\%$ および $68\sim 88\%$ と、高い水準の有酸素性運動であることが確認された。
 - 7) スキーツーリング中、ストライドが短かくテンポの多いある被検者の心拍数は、他の2名の被検者に比較して著しく亢進を示した。
- これらの結果から、初心者にとってノーワックス・タイプのスキーを用いたダイアゴナル走法でのクロスカンリースキーにおける滑走特性と作業強度は、ストライドに関する技術や雪質などに大きく影響されると思われる。

第二章 ラングラウフスキーの筋電図 —— 初心者のダイアゴナル平地滑走について ——

1. 目 的

クロスカンリースキーの動作解析に表面筋電図を応用する手法は、動員される筋群の技術レベル別の違い、筋力トレーニングの処方参考資料となる情報など画像解析だけでは得られない有効性があると思われる。クロスカンリースキーの筋電図は、1962年に松井ら²⁵⁾が男女のオリンピック候補選手について有線により12カ所の記録を実施している。この種の運動では、(1) 動員される筋の種類が多い、(2) 被検者の移動距離が大きい、(3) フィールドで行われるため、商用AC電源による機器の利用が制約される、などの事情から有線による記録法や、テレメーターによる方法では実際の動作を再現する上で困難を伴うためか研究成果はきわめて少ない。

最近川初ら²⁰⁾、はローラースキーの実走について、晴山ら¹⁰⁾はクラシカルスタイルの7走法について、多チャンネルで軽量の表面筋電図前置増幅器と携帯用データレコーダを用いて、比較的動きを拘束せずに長時間にわたる移動距離の大きい滑走時の筋電図の記録に成功し、その有効性を明らかにしている。しかしこれまでのところ、初心者についての筋電図による滑走特性にア

プローチした研究はまだなされていない。

前章では、ダイアゴナル滑走におけるストライドの長短が、速度と作業強度との関係に大きな影響を及ぼすことを指摘した。したがって、この技術的特徴を抽出することは、初心者から中級者レベルの愛好者に対して、一見単純な動作の繰り返しとされているダイアゴナル滑走をより効率的に行なうための契機を提供することになると考える。本研究は、前章の測定に参加した初心者を被検者としてノーワックス・タイプのスキーによるダイアゴナル滑走について、川初らの手法を用いた表面筋電図記録にもとずき滑走時の筋の動員の特徴を探索しようと試みた。

2. 方 法

被検者は、初心者 of 成人男子 2 名である。いずれも北海道大学の公開講座「歩くスキー」の受講者で、被検者 A は山スキーの経験が少し、被検者 B は基礎スキーの経験が少しあるが「歩くスキー」は始めたばかりで、一回当たり 2 時間の講習を 1 回受講し転倒せずにシュプールのついた平地でのダイアゴナル滑走ができるレベルである。被検者の身体的特性および滑走能力を表10に示した。

表10 被検者の身体的特性等

被検者	性	年齢 (才)	身長 (cm)	体重 (kg)	5 km滑走平均 速度 ($\text{m} \cdot \text{sec}^{-1}$)	ストライド (m)	テンポ ($\text{strides} \cdot \text{sec}^{-1}$)
A	男	61	163	53	1.86	0.99	1.87
B	男	44	172	67	1.96	1.36	1.46

表面筋電図の導出箇所は、被検者 A は、上肢から右総指伸筋 (M. ext. digit. comm. r.), 右橈側手根屈筋 (M. flex. carpi radial. r.), 右上腕三頭筋 (M. tric. brac. r.), 右上腕二頭筋 (M. bicep. brac. r.), 下肢から右大腿直筋 (M. rec. f. r.), 右大腿二頭筋 (M. bicep. f. r.), 右前脛骨筋 (M. tibia. ant. r.), 右腓腹筋 (M. gastroc. r.), 左大腿直筋 (M. rec. f. r.), 左大腿二頭筋 (M. bicep. f. l.), 左前脛骨筋 (M. tibia. ant. l.), および左腓腹筋 (M. gastroc. l.) の12筋, また被検者 B は、右大腿直筋 (M. rec. f. r.), 右大腿外側広筋 (M. v. lat. f. r.), 右大腿二頭筋 (M. bicep. f. l.), 右前脛骨筋 (M. tibia. ant. r.), 右腓腹筋 (M. gastroc. r.), および右長指伸筋 (M. ext. digit. long. r.) の 6 筋を対象として10mm径の銀塩化銀処理皿型電極による皮膚表面筋電図を双極導出した。

電極は、筋腹中央部と判断された位置に中心間距離20mmで粘着テープによって固定し、導出信号は重量130 g のマルチ方式前置増幅器で増幅した後、多系統の携帯型データレコーダー (Teac 社製, HR 30 G) に磁気収録し、後にデータレコーダ (Teac 社製, MR 30) によって再生し、日本光電社製13系統脳波計組込みのペン書きオシログラフによって保存記録を得た。

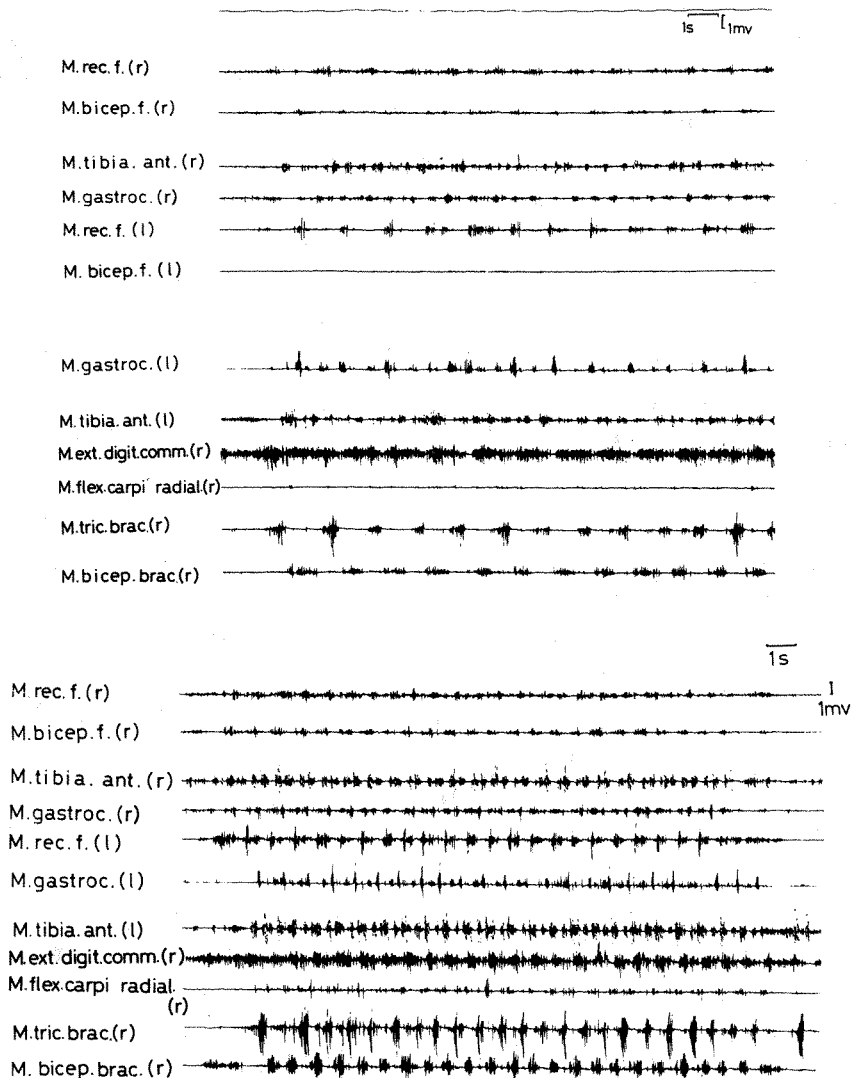
動作の記録およびダイアゴナル滑走の経過状況などは、上記データレコーダの1系統に voice-record した。12筋から筋電図誘導した測定では、上記データレコーダ 2 台を同時装着し、双方のレコーダに右大腿直筋からの筋電図を入力して 2 台の信号を同期させた。実験は、1989年1月21日11時から16時まで、北海道大学構内の野球場の中の一週265 m のコースで行った。滑走は、よく踏み固められシュプールのついたコースでノーワックス・タイプのスキー (YAMAHA 製 STD-CC) を使用したダイアゴナルによる軽快走および全速の滑走をそれぞれ一周ずつ課した。

被検者Aはこのほかに推進滑走（両杖滑走）も実施し、ダイアゴナルと比較した。天候は曇り時々雪、気温は -3°C 、雪温 -5°C であった。

3. 結果および考察

被検者Aのダイアゴナル軽快走（上）および全力走（下）について、開始してから約18秒間の筋電図を図3に示した。この筋電図の記録時間になされた一側の動作は、軽快走時が13サイクル、全力走時が24サイクルと判断される。まず、左右の大腿二頭筋、右橈側手根屈筋の2筋では、軽快走時には筋活動電位がほとんど観察されないのが、全力滑走時には筋放電が明瞭に確認できる。大腿二頭筋は、キックおよびキック後の脚を前方に引き寄せる動作、橈側手根屈筋はストックの把握動作で動員されると思われるが、軽快走の場合それぞれの動作での負荷があまり大きく

図3 被検者Aの平地推進滑走時（上：軽快走，下：全力走）の筋電図



ないためと思われる。他の筋からは軽快走時から概ね反復的かつ周期的と判断される筋放電が明らかに記録されており、左右の大腿直筋と腓腹筋で主たる筋放電相および筋放電が見られないか低くなっている相が、時間経過的に交互に観察されている。このキック動作の後に振幅の低い放電が持続的に観察されるが、反対脚のキック後の滑走期における体重の支持に伴うものと解釈する。

また、これら大腿直筋および腓腹筋では軽快走、全力走いずれの場合も、優位側の左脚において筋活動電位が高く、筋放電が観察されている時間的位相と筋放電が全く見られないかあるいは少ない位相の分離が明瞭になっている。これらの点は、動作学的にこの被検者が左脚優位型の走行の傾向を示唆するものと判断される。晴山ら¹⁰⁾の競技選手の場合も図6に示すように、特に優位脚の左大腿二頭筋では1サイクルについて2回の放電が規則正しく観察されている。これは、キック時およびキック終了後スキーを全面に引き寄せる動作におけるものと推定される。本実験においては被検者A、Bいずれも速度の増加とともに放電は顕著になるが、このようなはっきりしたパターンとしては観察されない。

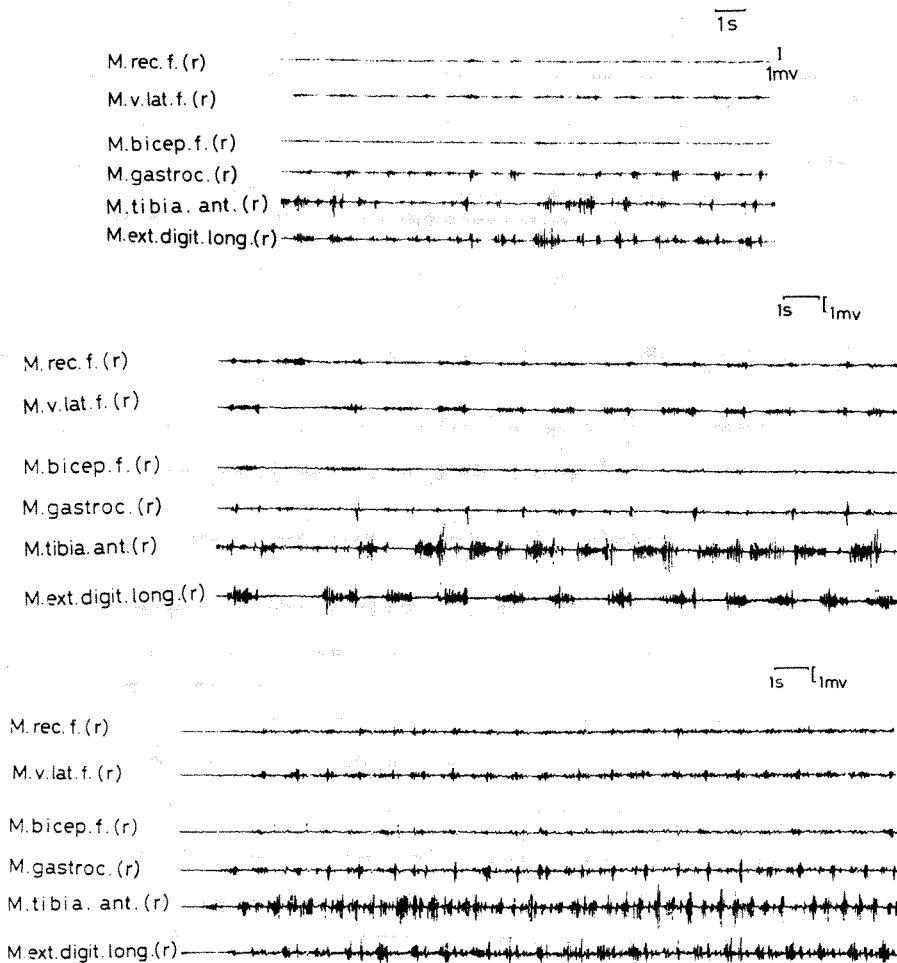
腓腹筋では大腿伸筋に見られるキック動作の終了に相当する時間的位相で主放電が得られており、この筋が爪先を使ったキック動作の完了に関与していると伺わせる。前脛骨筋に観察される筋放電には、単純な反復動作的要素が少なく一見して複雑になっている。

筋電図とゴニオグラムを使った小林らの報告²¹⁾によると、足底屈筋である腓腹筋の放電は足背屈開始直前より足底屈開始直後にかけて見られ、足底屈期にはほとんど見られないという。ダイアゴナル走行における脚動作は、運動学的にはキックと反対脚への乗り込みの繰り返しになるが、この筋では左右ともそれらの両動作において相対的に持続的に参画しており、その作用機序の解明は、この技術を説明する鍵にもなる課題として指摘できよう。

ストックの突きだし動作での右上腕三頭筋およびその後の体全面への引き寄せ動作での右上腕二頭筋は、この被検者の場合筋活動電位も明瞭で、相反的に作用している。全力走ではこの2筋の振幅の増加は、脚筋群よりも一層顕著である。但し、右上腕三頭筋と右大腿直筋の主たる放電相はむしろ同期しており、この点はクロスカントリースキー技術として位置づけられるダイアゴナル走行と根本的に異なっていることを表し、いわゆる「市民普及型」技術の現実的特徴として考えられ、その運動形態はむしろパスカング走行の型をとっていることになる。前述の晴山らの記録した競技選手の場合は、このほかに三角筋、大円筋などもストックの突き出し動作時に明瞭な放電パターンが観察されている。前腕では、総指伸筋に持続的かつ高振幅な筋活動電位が観察され、逆に橈側手根屈筋では筋放電が軽快走においてはほとんど観察されなかった。松井ら²⁵⁾は距離スキーの滑走時の筋電図で、前腕の橈側および尺側ともに連続的な筋放電を認め、これを滑走中ストックを保持するための努力が継続して行われていることと、ストックを雪面に固定させるための働きと解釈している。ストックの保持に動員されたとされる総指伸筋の放電が持続的になっているのは、ストックでの押しだし後のリラクゼーションが行われていない現象と解釈する。

図4には被検者Bが、ダイアゴナルによる歩行を13秒間に11サイクル(上)、軽快走を18秒間に12サイクル(中)、および全力走を19秒間に20サイクル(下)を行ったときの脚筋の筋電図を示す。まず、右大腿直筋および右大腿外側広筋にみられるいわゆる大腿伸筋群の活動は、歩行時はきわめてわずかで、軽快走に至って同期しつつ単純反復的であり、筋が電氣的に活動している位相と筋放電がおおよそ観察されていない位相は互いによく分離している。大腿前部の筋の放電

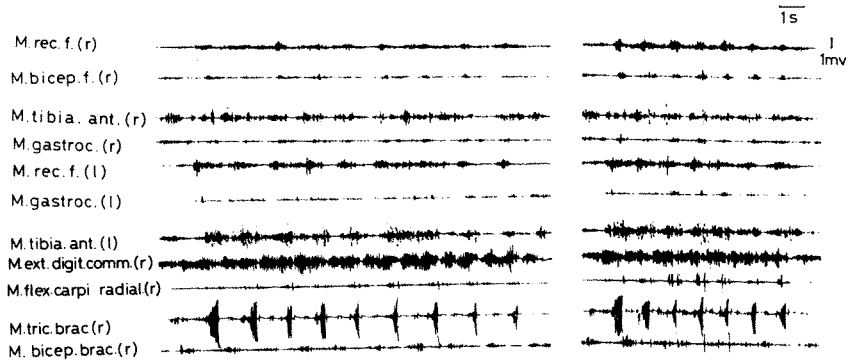
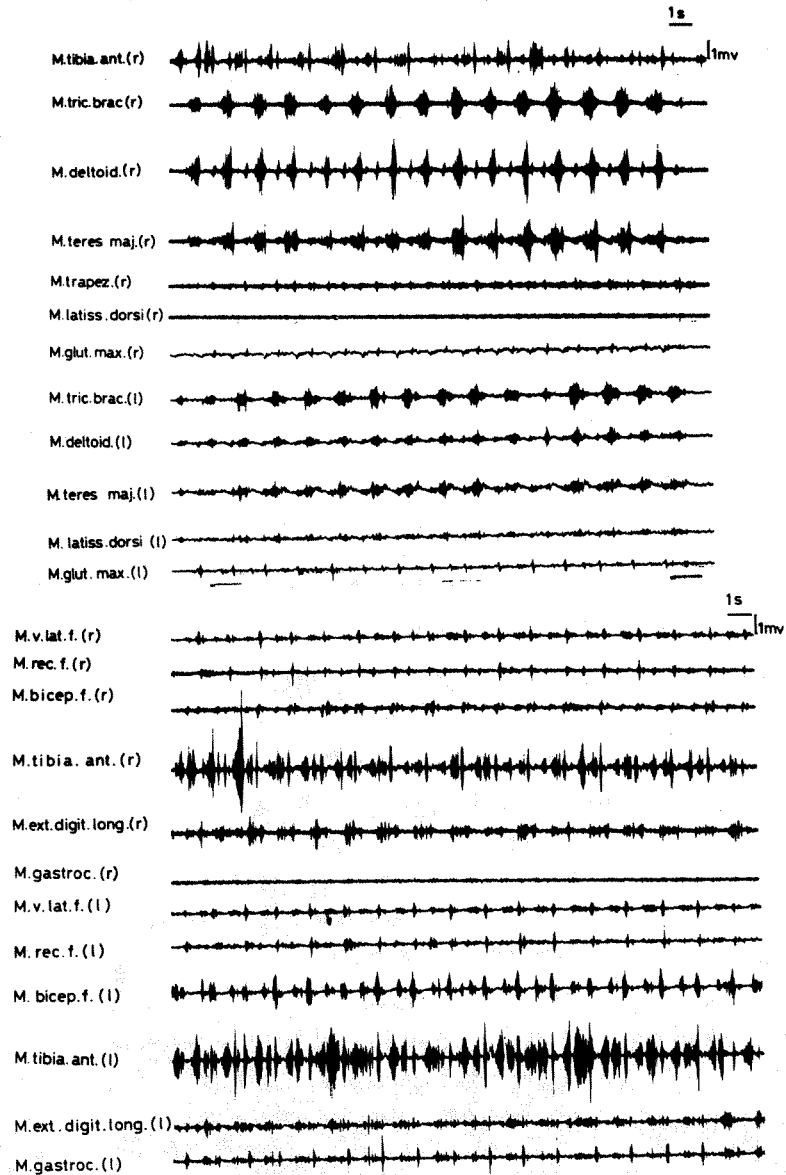
図4 競技選手(女子, 18歳)のダイアゴナル滑走時の24カ所の筋電図(晴山ら¹⁰⁾による))



について松井ら²⁵⁾は、脚が後方に伸びてキックする時に観察しているのにたいし、小林ら²¹⁾の場合は外側広筋の放電は主としてキック後の屈曲時に認めている。右大腿二頭筋は、被検者Aと同様に筋活動電位は低いものの軽快走からは上記筋群とほぼ同期した放電が見られる。右腓腹筋にも単純反復的な主放電を認め、被検者Aの場合と同様に大腿伸筋群に見られるキック動作時の筋電図に相当する時間的位相で主放電が得られている。

右前脛骨筋および右長指伸筋では、なによりもまず筋活動電位が高いことからこの歩くスキー動作で主働していることがよく見てとれる。前脛骨筋では先の被検者Aの場合と同様に、動作依存的な単純反復性がむしろ観察されず、動作の調整、キック動作および乗り込み動作にどのように関与しているかは、この資料では特定できない。松井ら²⁵⁾は、下腿の前部および後部での連続的な放電についてスキーを滑らせる際のスキーと脚の関係保持に働いていると判断している。右長指伸筋は同側大腿伸筋群の活動にほぼ同期する筋放電様相としての、キック動作の主働にかかわる筋活動とともに振幅の比較的低い持続的な放電が混在しているが、これは前脛骨筋と

図5 被検者Aの平地推進滑走時(左:軽快走, 右:全力走)の筋電図

図6 競技選手(女子, 18歳)のダイアゴナル滑走時の24カ所の筋電図(晴山ら¹⁰⁾による)

ともに滑走局面でのスキーを安定に保持するための筋活動と推察する。

ダイアゴナル全力走においては、右大腿外側広筋および右腓腹筋の主放電を基準に動作を分析すれば、一側で20サイクルの急ピッチの動作が反復されている。各筋とも軽快走にくらべて筋放電時間が短くなり、振幅が増加している。また、筋放電の振幅および頻度の面から主働筋は大腿筋群よりもむしろ下腿の筋群となっており、この種のスキー筋電図の特徴点のひとつとして指摘される。また、軽快走と比較すると筋電図的に無放電な相がほとんど観察されていない。これは前掲の晴山らの記録した競技選手の場合と比較して、特に大腿外側広筋、大腿直筋の放電においてリズムの切り替えがはっきりしているのに比べ、初心者の特徴のひとつと思われる。

図5は、ダイアゴナル滑走とともにクラシカル・スタイルで良く利用される推進滑走（両杖滑走）の筋電図を、被検者Aについて軽快走時（左）と全力走時（右）で示す。図3のダイアゴナルと比較すると著しい違いは、(1) 軽快走時の右上腕三頭筋がダイアゴナルでは振幅の低い放電が推進滑走では高振幅で見られること、と(2) ダイアゴナルでは軽快走、全力走で左右腓腹筋の高振幅の放電が見られるのが、推進滑走においては全力走においても極めて微弱であること、でありこの被検者においてはダイアゴナルが下腿の蹴りだし動作が強調されるのに対し、推進滑走では上肢による突き出し動作による推進のウエイトが高くなっている点が特徴と思われる。

4. 結 論

以上の結果から、初心者のノーワックス・タイプのスキーによるダイアゴナル平地滑走についての表面筋電図について、以下の点が明らかとなった。

- (1) 大腿直筋、大腿外側広筋、大腿二頭筋などの大腿筋群の筋放電はあまり活発でなく、前脛骨筋、腓腹筋などの下腿筋群の放電が活発に見られた。
- (2) 上肢では、ストックによる押しだし動作で上腕三頭筋、押しだし後ストックを体全面に引き付ける動作で上腕二頭筋の放電が見られた。
- (3) 晴山らの報告する競技選手の場合、キック局面、滑走局面における各筋の放電時間が短いのにたいし、本研究における初心者の場合は放電の持続時間が長くリズムの切り替えがはっきりしていない。

第三章 ラングラウフスキーの滑走動作 —— 初心者のダイアゴナル平地滑走について ——

1. 目 的

クロスカントリースキーの競技では、近年スピードの点で優れているスケーティング滑走などの新しい滑走テクニックが導入されるようになり、これに関するバイオメカニクスの研究も多く報告されている⁹⁾²⁸⁾³⁸⁾⁴³⁾。しかし、これらは競技者レベルの問題であり、学校のグラウンドや小公園などでスキーを健康づくりや散策や移動そのものを楽しむための手段としている初心者や愛好者についての研究成果はきわめて少ない。このような日常性を志向するスキーは、コースの整備状況から言ってクラシカルタイプの滑走法、対象者の技術レベルとしては、初心者から中級者程度、用いるスキーのタイプはノーワックスタイプが一般的であろう。

「歩くスキー」はタイムを競わずマイペースで楽しむ趣旨が含まれるが、より少ないエネルギーでより高い速度で滑走できる技術を習得することは、克服型スポーツであるクロスカントリースキーを楽しく持続させていく重要な契機となっていると思われる。本章では、このような背景を

考慮し学校教育や健康づくり教室などで指導されるレベルのダイアゴナル滑走におけるストライド・テクニクについて、画像解析から得られた結果から初心者レベルの指導上参考となると思われる知見を報告する。

2. 方 法

被検者は健康な男子大学生4名である。各被検者の技術レベルおよび第一章の実験で測定された5 kmダイアゴナル平地滑走における滑走特性および滑走時の生理学的応答を表11に示した。中級者 Y. H. は、札幌国際スキーマラソン50kmを5時間36分で完走している。初心者3名はいずれも歩くスキーを始めたばかりで、総トレーニング距離は20km未満である。

表11 被検者の身体的特性および5 km平地滑走時の滑走特性

被検者	性	年齢 (才)	技術	身長 (cm)	体重 (kg)	速度 (m/sec)	ストライド (m)	テンポ (strides/sec)	酸素摂取量 (ml/min/kg)	心拍数 (beats/min)
Y. H.	男	20	中 級	171	65	2.87	2.29	1.26	47.8	190.3
Y. N.	男	20	初心者	168	65	2.24	1.84	1.22	37.4	193.0
A. N.	男	20	初心者	163	63	2.39	1.21	1.98	46.5	195.7
T. Y.	男	20	初心者	168	69	2.12	1.50	1.42	34.6	179.3

分析対象となった動作は、ノーワックス・タイプのスキーを使ったダイアゴナル走法による5 km平地滑走時の直線コースのものである。実験は、1989年2月24日11時～12時に北大構内の一周265kmの周回コースで実施した。気象条件は、晴天で無風、気温は+2℃、雪温は0℃であった。

動作撮影については、直線路上の6 mの範囲について、滑走動作をビデオ撮影した。カメラを設置した位置は走路から直角に20mの地点であり、6 mの撮影範囲全体をとらえるようにズームレンズを調整した。画面の校正には2 m²のアングルで作成した枠を3つ使用した。VTRカメラは松下電気社製 NV-M 21を用いた。シャッター速度は1/1000 sec，フレーム速度は1/60 secであった。

動作解析には同社製 AG-2850デッキを使用し、1/60毎の画像をアイ・シー社製スーパーインボザー PSI-400を経由させ、NEC社製パーソナルコンピューター PC 9801のディスプレイ上に縦400、横640ドットの解像度で出力させた。これをマウスを用いて画面ディジタル化し、データを得た。これらの解析には佐々木ら³³⁾が開発し使用している VIDAS を用いた。

3. 結 果

(1) 滑 走 姿 勢

表12は、ダイアゴナル滑走における最大踏みだし時の身体姿勢を下肢とストックの角度から観察した結果を示す。観察した角度の定義については、図7に示した。角度はすべて関節中心から時計回りを正方向として定義した。

表12から、最大踏みだし時の姿勢のタイプが2種類に分けられることが理解される。Y. H. (中級者)、Y. N. (ストライドの長い初心者)では、前スキーでの大腿角が小さくストック角も小さい。また、後スキーでの下腿角は大きい。ストライドが短く、テンポの速い T. Y. および A. N. ではこれが逆であった。これが、図8におけるストライドの差につながる姿勢の相違として示される。すなわち、ストライドの大きい前2者は前スキーでの大腿角度が小さく、膝関節が

表12 ダイアゴナル平地滑走における最大踏みだし時の身体角度

被 検 者	前スキー時		後スキー時		ストック
	大 腿	下 腿	大 腿	下 腿	
Y. H.	58.3	95.3	126.7	166.7	107.4
Y. N.	55.2	99.0	129.0	176.5	115.9
A. N.	75.2	92.4	133.9	156.3	130.1
T. Y.	70.6	88.7	126.7	143.4	122.9
M E A N	64.8	93.9	129.1	160.7	119.1

図7 導出した身体角度の定義

Definition Of Each Angle

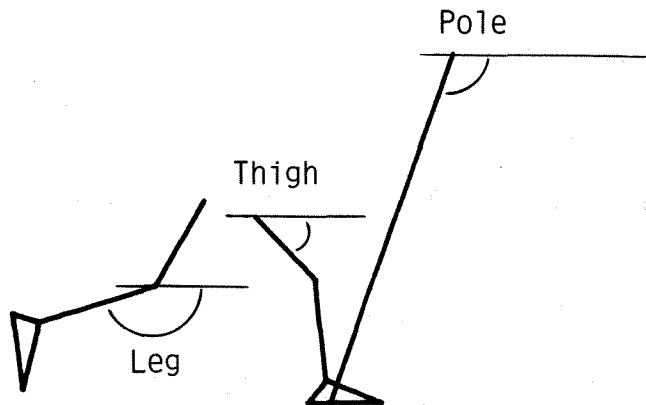
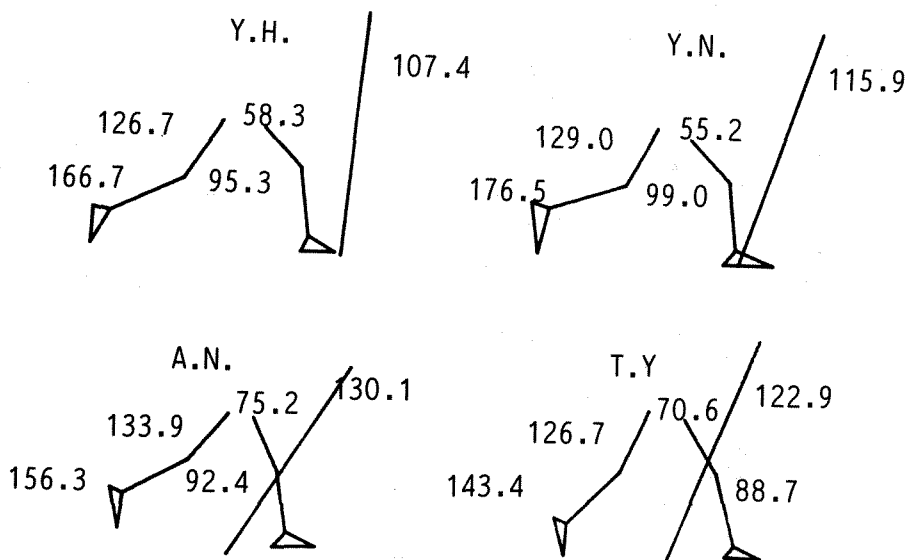


図8 ダイアゴナル平地滑走における最大踏みだし動作とその時の関節角度



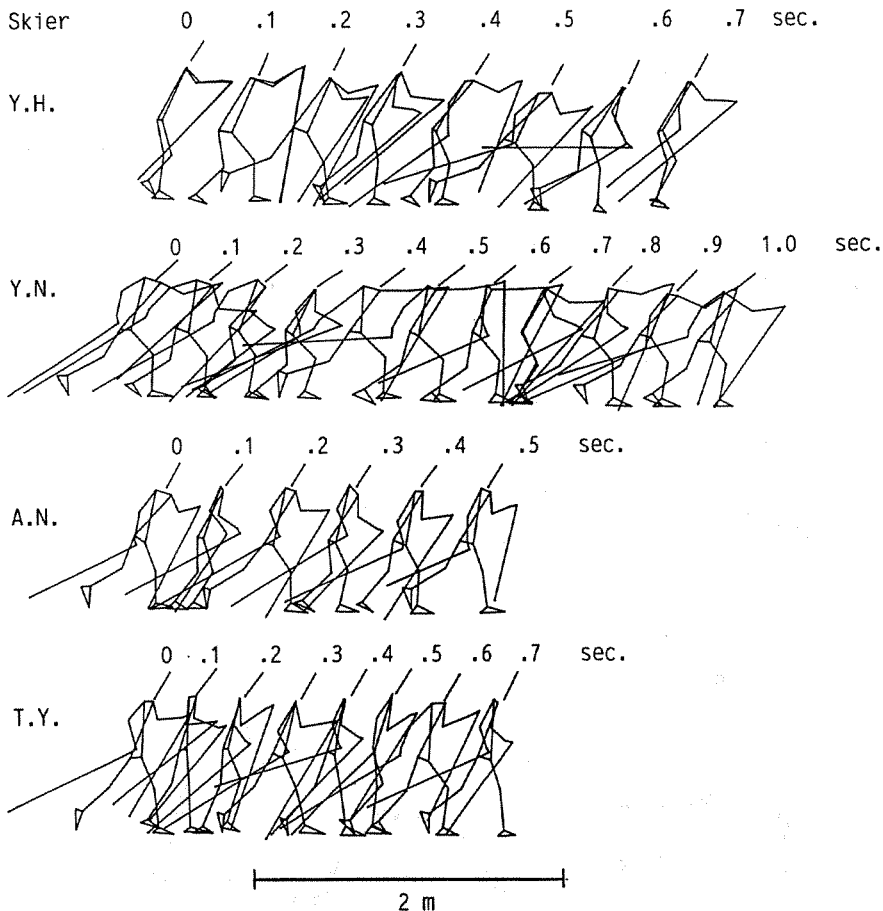
進行方向によく踏みだされている。また、蹴りだし脚の下腿の角度が大きく相対的に力強い蹴りだしが行われている状況が観察される。

しかし、ストライドを伸ばす上でもう一つ重要なポイントである前スキーへの乗り込みについては、4名とも前スキーにおける膝の前傾が不十分であることからいずれも未熟な段階に止まっていると言わなければならない。とくに、ストライドの短い後2者の前スキーでの膝は伸びてしまって(図9のA.Nは0.2および0.5, T.Y.は0.3および0.7 secのポイント)、左右いずれの脚においても乗り込みがきわめて不十分である。

(2) スtockによる押し出し動作

キックと共に推進力を生み出すポイントとなるストックによる押し出し動作について図9から比較すると、ストライドの大きいY.H.およびY.N.は、運動角度が大きく、短時間で後方への突き放しが良く行われているのに対して、A.N.およびT.Y.ではこれが不十分である様子がよく分かる。また、Y.H.とY.N.を比較すると、Y.N.の場合ストックを突く時の肘が伸びてしまって手の位置が体から前方に離れすぎているため、体重を推進力に変える上で不利であり、上肢の疲労の到来を早める原因となると思われる。

図9 全被検者の一運動サイクルにかかる時間経過と動きの変化

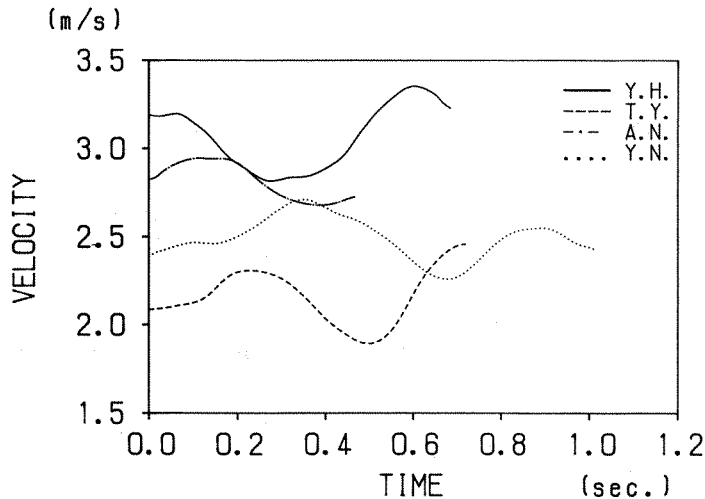


(2) 運動のサイクルと速度の変化

運動のサイクルについては1歩間にかかる時間で記述し、その間に進む距離を動作間の間隔で現した。図9は、左足が踏みだされた瞬間を0として、0.1秒毎にスティックピクチャーで現し、1つの運動が完結した時点までの1サイクルを現したものである。したがって、描写された動作のコマ数が多い者は、1サイクルにかかる時間が長く、テンポがゆっくりした滑走であることを示している。この点では、Y. N. が最も動作時間が長く、A. N. は1サイクルの時間が0.5秒と非常にピッチが速い。また、Y. H. とT. Y. では1サイクルの時間はほぼ同じ約0.7秒であるが、Y. H. のストライドの大きさに示される速度の差が明らかである。

図10は、スキーヤーの身体重心から求めた水平速度の変化である。図9との関係でこの図を観察すると、中級者のY. H. では、両足が揃い始める局面で最も速い速度となっており、3.3m/secであった。この傾向は、Y. N. やA. N. についても速度の違いはあるが共通していた。速度曲線のパターンは、運動サイクルが速度の増減によって構成されリズムが生まれるが、最も明確に現れている例は中級者のY. H. である。

図10 一運動サイクルにおける各被検者の身体重心の水平方向速度の変化



4. 考 察

健康・体力づくりのために歩くスキーを行うのであれば、A. N. やT. Y. のようにストライドが短かく、テンポの速い滑走も合目的であると言える。しかし、かりにY. H. と他の3名がツーリングした場合に、Y. H. がマイペースで先導しても、他の3名にとっては周囲の景色を楽しむ余裕がないハードなベースとなるかも知れないし、最も技術が劣る者にペースを合わせると、体力や技術が優れた者にとっては有酸素運動としての効果は余り期待できなくなる。今回の動作解析は、第一章における5km平地滑走における作業強度および滑走特性の測定中のものであるが、表11におけるトライド、テンポ、速度による滑走特性の違いが、この結果にもほぼそのまま現れている。心拍数および体重当たりの酸素摂取量がほぼ同じ水準でも、テンポが速く、ストライドの短いA. N. に対して、テンポが少なくストライドが長いY. N. は20%も高い速度で滑走してい

る。競技選手を対象としたこれまでの研究⁵⁾²⁸⁾³⁶⁾⁴⁵⁾において、高い滑走速度を得るための2つの変数としてのテンポとストライドにおいて、ストライドの長さが決定的に重要であるという点は一致しており、この原則は初心者や中級者レベルの「歩くスキー」についても妥当する。その技術的な要点については、用具や体力の差はあっても運動形態が基本的に同一であるゆえに「初心者に適用される技術的原則は、一流選手にも妥当する」という Vavrin⁴³⁾の考え方を前提に検討して差しつかえないと思われる。

これまでの報告のなかで、高い滑走速度と大きなストライドを生み出す技術的要点として、下肢の動作では力強い蹴りだしと前スキーへの乗り込み動作があげられている。このことは、「良いキックは、真上よりも前方に力のベクトルが現れる」という Komi²²⁾の分析結果や、前スキーの足部に161.8%のウエイトがかかるという Pierce²⁹⁾の知見、「蹴り局面で上体の前傾を保ちながら、脚を充分後方へ蹴る」という古川⁷⁾の報告、あるいは Shirley³⁶⁾の場合キック時の体幹と腰の前傾として、それぞれにチェックポイントや表現は異なるが、動作として共通した現象として浮き彫りにされた特徴と言える。本実験においては、これが蹴り脚の下腿角の差として、また前スキーへの乗り込み動作では、前スキーでの大腿と下腿の角度の差として把握された。

加速のもう一つの動要な要因であるストックによる押し出し動作については、ストライドの短い2名の被検者の場合、ストックの運動角度が小さく、後方への突き放し動作が不十分である状態が特徴的であった。速度の高い選手は、滑走時間が長く、推進のための動作の時間すなわちキックの時間およびストックによる押し出し時間が短い⁷⁾³⁶⁾³⁸⁾⁴⁴⁾。この場合、上半身の筋力の差も大きく影響すると判断されている。ストライドの短い2名の場合、テンポが速いためポール動作の時間も他の2名と差はないが、ストックで雪面をとらえる時肘が過度に屈曲し、雪面をとらえるポイントが後方になっているため小さなモーションとなってしまう。このような動作ではわずかな推進力しか生み出せないが、この要因が、筋力不足のためか、技術的に未熟なためかは、ここでは判断できない。

5. 結 論

- 1) ストライドの大きい者は、前スキーでの大腿角度が小さく、膝関節が前方によく踏み出され前スキーへの乗り込みがよく行われているが、ストライドの小さい者は前スキーの膝が伸び気味で、これが不十分である。蹴り出し時は、ストライドの大きい者は蹴り脚の下腿の角度が大きい。
- 2) スtockによる押し出し動作では、ストライドの短い2名の場合肘が過度に屈曲し、ストックが雪面をとらえるポイントが小さいことと、突き放し動作が不十分なためモーションが小さく、このため大きな推進力を生み出せないものと思われた。
- 3) 速度曲線のパターンは、ストライドの大きい中級者は、初心者に比べてキックおよびストックによる加速のリズムが明瞭に観察された。

お わ り に

いわゆる「愛好者」レベルの対象者にとってノーワックス・タイプのスキーでのダイアゴナル滑走の速度と作業強度との関係は、滑走技術や環境条件によって大きな影響を受けることを第1章で明らかにした。初心者の場合、低速度の滑走でも生理的負担度が大きいということは、短時間でも有酸素性運動としての効果が期待できる半面、過度にわたると危険も伴うという問題も含

んでいる。特に体力・技術に差のある者が一緒にツアーなどでは、ストライド技術の劣る初心者にとって遅れずについていくために周囲の者が想像する以上の生理的負担度となる可能性も指摘された。各種の歩くスキーの大会などでは、参加者のレベル、雪質、気象条件の変化等によって完走距離やゴールの制限タイムを適宜変更する柔軟性を持てば、事故の発生の確率を最小限に止めることができる。そのような判断の基礎資料となるような研究成果が、今後一層蓄積されていく必要がある。

滑走特性、とりわけストライドを伸ばすための体力や技術がラングラウフスキーを楽しく実施する重要な契機であることが、本研究で作業強度との関係から示唆された。雪質と滑走条件については、気温や雪温のみからの検討に止まったが、滑走性を規定する雪の性状からのより詳細な探索が、今後の課題として意識された。

表面筋電図による動作解析から滑走時に動員される筋群の放電の諸特徴が artifact の少ない記録で得られ、VTR による動作解析から推進期および滑走期の技術的特徴が浮き彫りにされ、この種の運動現象研究における携帯式の記録方法の利点を確認された。しかし、今回の方法では、異なる被検者について筋電図と画像が別個に得られたデータであったため、きわめてグローバルな分析しかできなかった。携帯式の弱点である画像と筋電図を同期させて一体化した分析方法を開発し、一層緻密な動作解析に迫っていく必要性を切実に感じている。

「歩くスキー」は、積雪地域において運動不足に陥りがちな冬のスポーツとして有効であるにもかかわらず、わが国においては児童・生徒や若い人達からは敬遠され勝ちで、主婦の肥満防止や中高年者の健康づくりの手段としてのイメージが強いが、人口構成の高齢化が一層進行する中で、これを運動処方として確立していく意義は大きい。「歩くスキー」は、一見すると単調な動作の繰り返しでも、歩行、ランニング、自転車エルゴメーターの様に、技術の影響が少なく運動負荷量が定量化し易い運動と違って、技術、用具、雪質など多くの因子が作業強度に影響し、このことは運動生理学、バイオメカニクス、雪氷学、医学など多くの領域からのアプローチが期待される広がりや発展性のある課題をかかえた運動であるということを本稿を通して御理解いただき、このテーマに関心を持つ方々から種々の御指摘、助言を寄せていただければ幸である。

稿を終えるにあたり、筋電図の実験および分析に多大な御協力をいただいた北海道大学体育指導センターの川初清典助教授に深甚な謝意を表します。本研究は、昭和63年度文部省科学研究補助金の交付によるものである。本研究の一部は第44回日本体力医学会および平成元年度北海道体育学会において発表した。

参 考 文 献

- 1) 安部 孝・福永哲夫「クロスカントリースキーの競技成績と最大有酸素性パワーおよび等速性筋出力」日本体育学会第39回大会号 A, 299, 1988.
- 2) Asmussen, E., and K. Heeboll-Nielsen, "A Dimensional Analysis of Physical Performance and Growth in Boys", J. Appl. Physiol. 7: 593-603, 1955.
- 3) Åstrand, P. O. and Rodahl, K., Textbook of Work Physiology. 3ed., McGraw-Hill, Book Company, New York, 1986, pp. 661-63.
- 4) Bergh, U., Physiology of Cross-Country Ski Racing. Human Kinetics Publishers: Champaign, 1982,

pp. 22-36.

- 5) Caldwell, J. and Brady, M., *Citizen Racing, The Mountaineers*: Seattle, 1982, pp. 65-66.
- 6) Christensen, E. H. and Högberg, P., "Physiology of Skiing", *Arbeitsphysiologie*, 14: 292, 1950.
- 7) 古川善夫・今村源吉・大塚美栄子・小林禎三・速見 修・中込四郎「『歩くスキー』—— Diagonal stride の運動学的特徴 ——」日本体育学会第30回大会号, 547, 1979.
- 8) 古川善夫・杉山喜一・本間実「歩くスキーによる1000m滑走」北海道体育学研究, 24: 69, 1989.
- 9) Gervais, P. and Wronko C. "The marathon skate in nordic skiing performed on Roller skates, Roller skies", *International Journal of Sports Biomechanics*, 4: 38-48, 1988.
- 10) 晴山紫恵子・須田 力・川初清典「ラングラウフスキー実走における多系統 Tape-Electromyography —— Classical Style の基本的技術7種類について ——」日本体育学会第40回大会号 A, 284, 1989.
- 11) Haymes E. M., and Dickinson A. L. "Characteristics of elite male and female ski racers", *Med. Sci. Sports*, Vol. 12, No. 2: 153-58, 1980.
- 12) 今村源吉, 歩くスキー——装備・ワックスから楽しみかたまで——, 北海タイムス社, 1976. pp. 55-61.
- 13) 今村源吉「歩くスキー」日本体育学会第32回大会号, 111, 1981.
- 14) 石河利寛・松井秀治・広田広一・正木健雄・渡辺俊雄・只木英子・渡辺政子・小川新吉・宮沢健・石母田稔「スキーのエネルギー代謝に関する研究(1)——歩行並びに登りのエネルギー代謝——」体育学研究, 7: 130-37, 1962.
- 15) Jette M., Thoden J. S. and Spence J. "The energy expenditure of a 5km cross-country ski run", *J. Sports Med.* 16: 134-37, 1976.
- 16) 自由国民社編「クロカンワールド選択法」クロスカントリースキー, 1: 22-23, 1986.
- 17) Karvonen, J. K., Klemola, H., Virkajarvi, J. and Kekkonen A. "Longevity of endurance skiers", *Med. Sci. Sports*. 6: 49-51, 1974.
- 18) Karvonen, J., Kubica R., Kalli S. and Wilk B., "Effects of skating and diagonal techniques on skiing load and results in cross-country skiing", *J. Sports Med*, 27: 473-77: 1987.
- 19) 糠谷英勝・吉岡利治「寒冷地における学校体育のあり方に関する研究 第3報 豪雪地帯児童の体力について」信州大学教育学部紀要, 41: 115-24, 1979.
- 20) 川初清典・中川功哉「クロスカントリースキーの動作解析——ローラースキー実走の EMG —— 体力科学, 38(6): 631, 1989.
- 21) 小林 規・宮下充正「斜面の違いからみたクロスカントリースキーの走法」日本体育学会第33回大会号, 562, 1982.
- 22) Komi P. V., "Force measurements during cross-country skiing", *Intern. J. Sports Biomech.* 4: 370-81, 1987.
- 23) ラーゲルストローム・シェマゴルド・グラーフ(川初清典・長瀬整司・晴山紫恵子共訳, 倉敷千稔監訳), *ラングラウフスキーと健康づくり*, オーム社, 1989, pp. 13-29.
- 24) MacDougall, J. D., Hughson, R., Sutton, J. R. and Moroz, J. R. "The energy cost of cross-country skiing among elite competitors", *Med. Sci. Sports*, 11: 270-73, 1979.
- 25) 松井秀次・星川 保・亀井貞次・岩見恒典「距離スキーのキネシオロジー的分析」体育学研究, 7(5): 226, 1962.

- 26) 三宅章介・須田 力・西薊秀嗣・佐々木敏・岡野五郎・加藤 満「『歩くスキー』の運動処方に関する研究——一般成人男子の走行速度と作業強度および生理的負担度について——」日本体育学会第37回大会号, 626, 1986.
- 27) 三宅章介・岡野五郎・佐々木敏・加藤 満・武田秀勝・森田 勲・東 昇「『歩くスキー』の運動処方に関する研究——女子大学生の走行速度と作業強度および生理的負担度について——」北海道体育学研究, 23:78, 1988.
- 28) Norman R., Ounpuu S., Fraser M. and Mitchell R., "Mechanical Power Output and Estimated Metabolic Rate of Nordic Skiers during Olympic Competition", *International Journal of Sports Biomechanics*, 5: 169-84, 1989.
- 29) Pierce J. C., Pope M. H., Renstrom P., Johnson R. J. and Dillman C., "Force measurement in cross-country skiing", *International Journal of Sports Biomechanics*, 3: 382-91, 1987.
- 30) ポラック, M. J., ウイルモア .S. フォックス「運動処方——健康と体力づくりのために——」ベースボールマガジン社, 1981, pp. 109-17.
- 31) Saibene, F., Cortili, G., Roi, G. and Colombini "The energy cost of level cross-country skiing and the effect of the friction of the ski", *Eur. J. Appl. Physiol*, 58: 791-95, 1989.
- 32) 坂見敏夫・田中邦雄・大内哲彦「スキーランナーの体格・体力に関する研究——第2報——」日本体育学会第34回大会号, 649, 1983.
- 33) 佐々木敏・角田和彦「Ski-jumpにおけるサツツ動作の分析的研究」北海道体育学研究, 23:13-19, 1988.
- 34) Sharkey, B. J., *Training for Cross-country Ski Racing*, Human Kinetics: Champaign, 1984, pp. 40-50.
- 35) 志手典之・新開谷央・伊藤久美子「非降雪期および降雪期における小学校児童の身体活動水準の差異について」北海道体育学研究, 23:33-42, 1988.
- 36) Shirley, J. D. "Kinematic analysis of the stride characteristics of male and female cross country ski racers", *Univ. of Minnesota*: 41-44, 1985.
- 37) Sinning W., Cunningham L., Racaniello P. and Sholes J., "Body Composition and Somatotype of Male and Female Nordic Skiers", *Research Quarterly of American Physical Education Association*, 48 (4): 741-49, 1977.
- 38) Smith G. A., McNitt-Gray J. and Nelson R. C., "Kinematic Analysis of Alternate Stride Skating in Cross-country Skiing", *International Journal of Sports Biomechanics*, 4: 49-58, 1988.
- 39) Strømme, S. B., Ingjer, F. and Meen, H. D., "Assessment of maximal aerobic power in specifically trained athletes", *J. Appl. Physiol.* 42 (6): 833-837, 1977.
- 40) 須田 力・中川功哉「積雪地における児童および青少年の身体活動と体力に関する研究」北海道体育学研究, 19:28-38, 1984.
- 41) 須田 力・川初清典・佐々木敏「ラングラウフスキーの実験的研究——動作解析, 代謝およびトレーニング——」平成元年度科学研究費補助金(一般研究C)研究成果報告書, 7-45, 1990.
- 42) 体育科学センター編「体育科学センター方式健康づくり運動カルテ」講談社, 1980, pp. 49-73.
- 43) Vavrin M., *Zur Systematik der biomechanischen Beobachtungen im Skilanglauf*. Hrsg Fetz, F. *Zur biomechanik des Schilaufts*. Inn-Verlag, Innsbruck, 1977, pp. 118-24.
- 44) Waser, J., *Filmanalyse biomechanischer Parameter beim Skilanglauf* Hrsg. Fetz, F. *Zur Biomechanik des Schilaufts*, Inn-Verlag, Innsbruck, 1977, pp. 108-17.

- 45) 山田 保・堀居 昭・安部 孝・井川純宏「クロスカントリースキー競技に要求される体力——その1——」日本体育協会スポーツ科学研究報告集, 2:311-17, 1980.
- 46) 吉田 章・外川重信「ノルディック・スキーにおける技術分析」日本体育学会第33回大会号, 669, 1982.