

## B-8-1

# キネマティック GNSS を用いたクロスカントリースキー スケーティング走法のサブテクニク判別アルゴリズムに関する研究

## A Study of Sub-Technique Identification Algorithm for Cross-Country Skiing Skating Technique using Kinematic GNSS

○正 宇田 峻也<sup>\*1,3</sup>, 宮本 直人<sup>\*2,3</sup>, 中野 紘志<sup>\*1,3</sup>, 竹田 正樹<sup>\*3,4</sup>

Shunya UDA<sup>\*1</sup>, Naoto MIYAMOTO<sup>\*2</sup>, Hiroshi NAKANO<sup>\*1,3</sup>, Masaki TAKEDA<sup>\*3,4</sup>

<sup>\*1</sup> 同志社大学大学院スポーツ健康科学研究科 Graduate school, Faculty of Health and Sports Science, Doshisha University

<sup>\*2</sup> 大武ルート工業 OHTAKE-ROOT KOGYO CO., LTD

<sup>\*3</sup> 同志社大学スポーツセンシング研究センター Research Center for Sports Sensing, Doshisha University

<sup>\*4</sup> 同志社大学スポーツ健康科学部 Faculty of Health and Sports Science, Doshisha University

Cross-country skiing skating techniques combines several types of sub-techniques such as V1, V2, V2a, Turn. If we can clarify what sub-techniques are used throughout the course to enhance the performance of the athletes, we can indicate the direction of training for each individual athlete. Using a kinematic GNSS (sampling frequency 100 Hz), we aimed to improve the discrimination accuracy of the sub-techniques of and to derive an algorithm for automatic discrimination. One adult male athlete and one middle school male athlete were analyzed during a skate-style 4.2 km time trial recorded with a GNSS attached to the skier's head. A video camera was mounted on a snowmobile and followed the athlete to detect the type and number of cycles of each technique used throughout the time trial. Based on the GNSS trajectories, different patterns of head displacement (vertical head movement and direction of movement) for each skating technique were defined. The accuracy for each technique, discriminated from the waveform of the vertical motion and the pattern of the appearance of peaks and troughs obtained from the GNSS data of the head, was 96.6% for V1, 98.2% for V2, 97.5% for V2a, and 95.7% for Turn, and 16.7% for the others. The total accuracy rate was 97.1%. In this study, the Turn was discriminated with a 95.7% accuracy rate based on data collected from a high-precision GNSS instrument. It was found that the timing of the appearance of peaks and troughs of the waveform can be patterned by each sub-technique.

**Key Words** : skating technique; cross-country skiing; kinematic GNSS; GPS

### 1. 緒 言

クロスカントリースキー競技のコースは自然の地形を利用し、登り、下り、平地がそれぞれ 1/3 ずつ含まれるように設計されている。この競技はクラシカル種目とスケーティング種目があり、それぞれにサブテクニク（異なる走法）が存在する。そのサブテクニクはコースの傾斜、雪質、スピード、あるいは自身の体力に合わせて選択され、選手がその場に応じて最適なサブテクニクを駆使しながら走る戦術的なスポーツでもある。

スケーティング走法は主に V1 (G2), V2 (G4), V2a (G5) の 3 種類のサブテクニクを使用してレースを進める。V1 は主に傾斜のある登りで使用されるテクニクであり、2 回のキックに対し 1 回の非対称的な DP (ダブルポーリング) を使用する。V2 は主に平坦な地形から中程度の上り坂までの斜面で使用され、1 回のキックに対し 1 回の DP を繰り返す。V2a は平坦な地形で 2 回のキックの 1 回の対称的な DP を行う。V1 と V2a はポールの動きと脚の押し出しの回数が同じだが、キックや DP のタイミングに違いがある。

サブテクニクの中でも速度が異なり、できるだけ速度の速いサブテクニクを使える方が戦略的には優れ、パフォーマンスも高くなる。しかし、速度の速いサブテクニクほど、上半身能力への依存度が高いものとなっており、必要な能力（上半身の筋力、筋パワー、筋持久力）が備わっていないのに速度の出せるサブテクニクを無理に使用しても却って速度が低下してしまう。競技者のパフォーマンスを高めるために、コース全般にわた

ってどのようなサブテクニックを用いているのかを明らかにできれば、選手個々のトレーニングの方向性を示すことができる。

筆者ら(宇田他, 2022)は、スケーティング走法の雪上でのタイムレース中において、頭部に装着したGNSS計の位置情報データから、V1, V2, V2aの3種類それぞれの頭部の上下、左右運動の特徴的な軌跡のパターンを導き出し、ビデオカメラでとらえた実際のテクニックの使用頻度との的中率を算出した結果、98.9%という高精度であったことを報告した[1]。しかし、その報告ではV1, V2, V2aと同様にDP技術であるターンテクニック(Turn)を正確に判別するには至っていないことが課題として挙げられていた。Turnは、V1と同じように2回のキックに対し1回の非対象的なDPを使用するサブテクニックであるが、主に平地のカーブで使用されるためV1より高速なサブテクニックとなる。Turnは1.4kmのスプリントレースにおいてV1と同程度の使用割合であるという報告(Anderson et al, 2010)があり、パフォーマンスに影響を与えるものと考えられ、V1とTurnとを正確に判別する必要がある。そのためには、測定周波数を高め、頭部の奇跡の移動のわずかな違いを明確にする必要がある。また、筆者らの先行研究では、テクニック判別は波形を見ながら目視によるものであったために解析に時間がかかることも課題であった。選手に即座にフィードバックするためには、位置情報データから自動的に判別するシステムの構築が必須である。

これらの課題を解決するために、サンプリング周波数100Hz(先行研究で使用した機器は10Hz)のより高精度のGNSS計を試作した。このGNSS計を用いれば、頭部の上下左右運動の動きをより詳細に分析することができ、今まで判別が困難であったTurnの判別や自動判別に繋がるような新たな規則性を導き出すことが可能になるのではないかと考えた。

そこで本研究では、より高精度のキネマティックGNSS計を使用し、スケーティング走法のサブテクニックの判別精度を高めること、および自動判別化に向けてのアルゴリズムを導き出すことを目的とした。

## 2. 方 法

### 2・1 実験概要

成人男子選手1名と中学男子選手1名の計2名を対象とし、全日本スキー連盟(SAJ)公認のコースで4.2km(1周0.84kmの周回コースを5周)のスケーティング走法によるタイムレースを行った。使用する板やポール、ブーツなどの道具は被験者の私物とした。被験者の後頭部に高精度携帯型キネマティックGNSS計(以下、GNSS計)を取り付けた。GNSS計のサンプリングレートは100Hzである。また、タイムレースの際に選手の後方からスノーモービルで追いかけて、被験者をタイムレース全体に渡ってビデオカメラ(Hero9, Gopro)を用いて全サブテクニックを録画した。

GNSSアンテナ(ArduSimple社製3周波GNSSアクティブヘリカルアンテナ、型式:AS-ANT3B-HEL-L1256-SMA-00, 35mmφ×823mmH, 32g)で衛星信号を受信し、信号をGNSSモジュール(Septentrio社製:Mosaic-X5)を搭載するGNSSレシーバー(ArduSimple社製simpleRTK3B Pro 型式:AS-RTK3B-MX5-L125-NH-00, 59mmW×87mmD×32.4mmH, 50.4g)で高精度測位処理した。処理されたデータは、Wi-Fi(LTEモバイルルーター)を用いてタブレットPC(YOGA TABLET 2-851F:Lenovo社製, 210mmW×149mmD×7mmH, 426g)にインストールされたアプリケーション「rtklib」を用いてNMEAフォーマットで取り込んだ。データはタブレットPCからパソコンに取り込み、解析を行なった。我々の実験では、\$GPRMCと\$GPGGAと\$GPVTGの3種類のデータタイプを使用しており、この3種類からNMEA時刻や緯度、経度、高度、速度の情報を得た。

### 2・2 GNSS計およびデータ処理方法について

まず、GNSS計から得られたNMEAデータから、タイムトライアル中の頭部の緯度、経度、高度の3次元的位置情報データを得た。頭部の垂直方向の変位には、コースの傾斜が含まれている。次に、コース全体の傾斜を得るために、GNSSのNMEAデータから得られた高度データに0.9秒ごとの移動平均を算出し、コースの傾斜の変化を表した。0.9秒という数値には物理的、数学的な意味はなく、コースによっては0.8または1.0秒の方が適切である可能性もあるが、様々な試行の結果、今回使用するコースでは0.9秒が最も傾斜をきれいに反映していると判断した。この手順により、コース全体(コースプロファイル)の傾斜(高度)変化を次に示すように求めること

ができた (Fig.1). 最後に, GNSS の生データから得られた高度データから傾斜データを差し引くことにより, 頭部の純粋な上下の動きの軌道を得た. 同様に, 頭部の左右運動においても左右方向のデータに対して, 移動平均を算出し, コースの曲路の影響を取り除いた純粋な頭部の左右運動の動きの軌跡を得た.

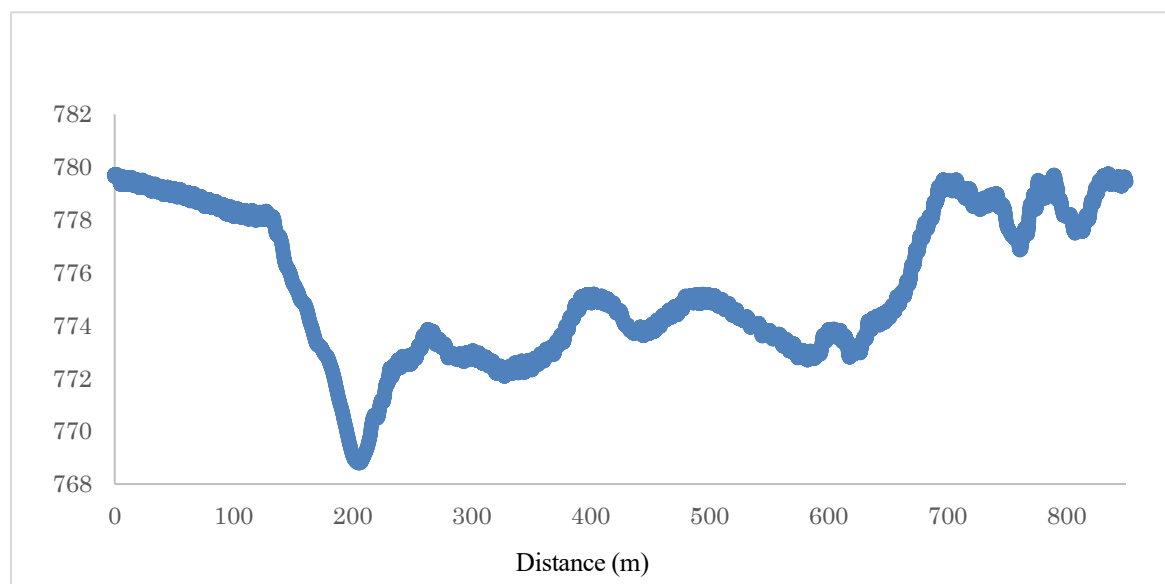


Fig. 1 Course profile in this experiment measured by used kinematic GNSS position data.

### 2・3 走法の判別方法

スケーティング走法における各サブテクニックの判別は頭部の上下運動および左右運動の軌道変化のパターンの違いに着目した. 各サブテクニックにおける上下, 左右両方の波形, またそれぞれの波の山と谷が生じるタイミングとその振幅の大きさから典型的な波形パターンを見つけ定義づけを行い, その定義に従って目視による分析を行った (Fig. 2).

スケーティング走法のサブテクニックは, V1, V2, V2a, Turn の 4つのカテゴリに分類し, 4つ以外の波形パターンは Others とした. V1 は, 上下運動 1 回と左右運動 1 回を繰り返すような波形あり, 上下運動と左右運動の山または谷が同じタイミングで生じる (Fig. 3). V2 は, 左右運動 1 回につき, 上下運動を 2 回繰り返す波形であり, 上下運動の山が生じた後, 上下運動の谷と左右運動の山が生じる (Fig. 4). V2a は, 上下運動 1 回と左右運動 1 回の繰り返しであるが, 上下運動の波形に特徴的な形が見られ, 上下運動の山, 上下運動の谷と左右運動の山, 上下運動の山と左右運動の谷, 上下運動の谷の順で波形の山と谷が生じる (Fig. 5). Turn は, V1 と同様の上下運動 1 回と左右移動 1 回を繰り返すような波形で, 上下運動と左右運動の山または谷が生じるが, 左右運動の谷か山が生じた後, 遅れて上下運動の山が生じる (Fig. 6). また, 傾斜データから下りはダウンヒルとして分析対象から取り除いた.

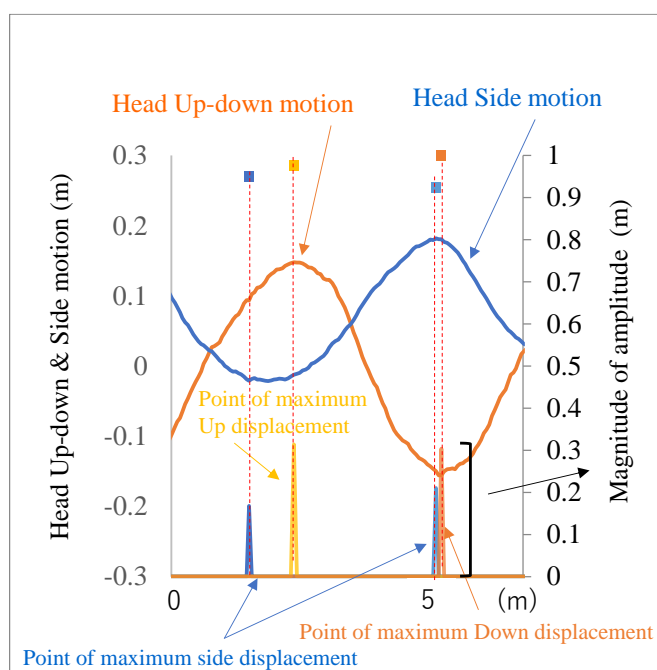


Fig. 2 How to view waveform data obtained from GNSS data.

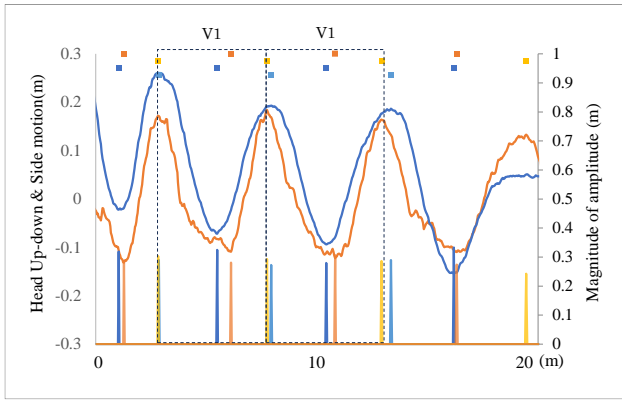


Fig. 3 An example of successive V1 obtained from GNSS data.

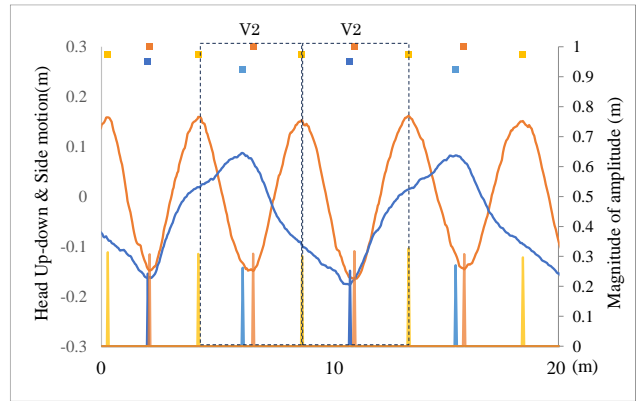


Fig. 4 An example of successive V2 obtained from GNSS data.

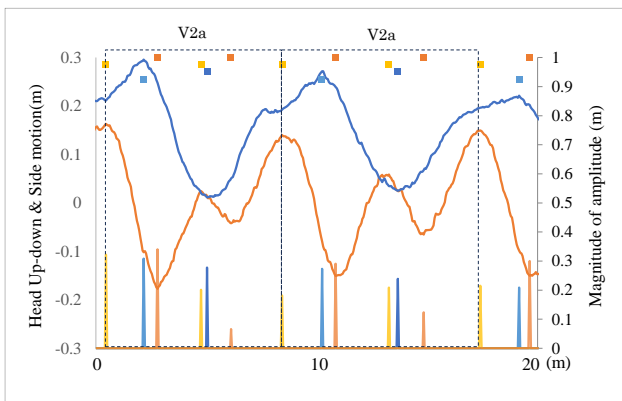


Fig. 5 An example of successive V2a obtained from GNSS data.

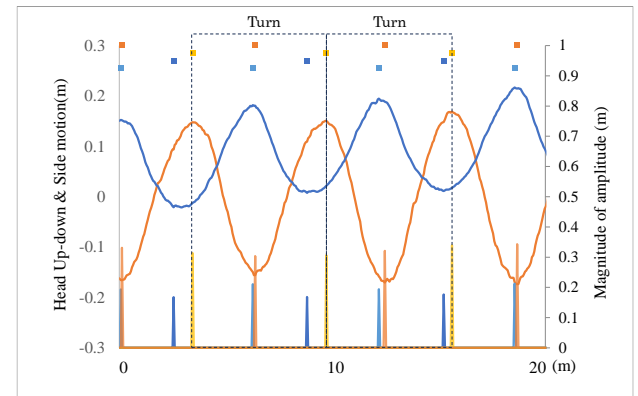


Fig. 6 An example of successive Turn obtained from GNSS data

### 2・3 妥当性の検証

スノーモービルに取り付けた小型カメラ (GoPro Hero PBlack) から得た映像データから目視により各サブテクニックを判別して妥当基準とし, GNSS 計から判別したデータと比較することにより妥当性の検証を行った. 映像データからの走法判別は, スキー歴 10 年以上の経験者 2 名が Kinovea ビデオソフトウェアを使用して行った.

## 3. 結 果

頭部の GNSS データから得られた上下運動の波形および山と谷 (棒線) の出現のパターンから判別した各走法的中率は, V1 が 96.6%, V2 が 98.2%, V2a が 97.5%, Turn が 95.7% であり, その他は 16.7% であった. また, 全走法の総計での的中率は, 97.1% であった (Table 1). また, GNSS 計データから求めた各サブテクニックの使用割合は, V1 が 32.7%, 49.1%, V2a が 7.8%, その他が 10.4% であった (Table 2).

Table 1 The number of cycles counted by video, kinematic GNSS. and %Match (GNSS/video) in 4.2 km skating ski time trial.

		GNSS Identification						Total	%Match (GNSS/video)
		V1	V2	V2a	Turn	Other	None		
Video Check	V1	368	2	5	5	0	1	381	96.6
	V2	0	673	2	7	0	3	685	98.2
	V2a	2	1	195	1	0	1	200	97.5
	Turn	3	1	3	180	0	1	188	95.7
	Other	1	0	3	0	1	1	6	16.7
	None	2	0	1	1	0		4	
Total		376	677	209	194	1	7		97.1

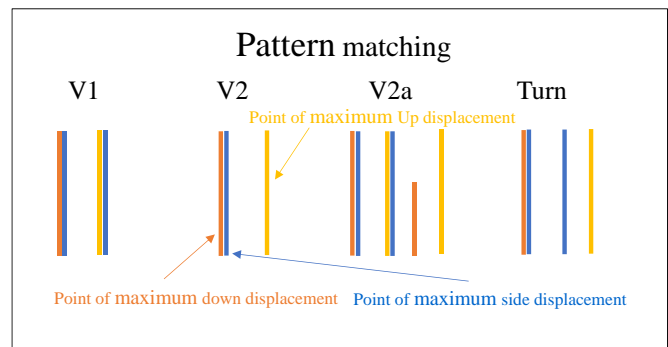
**Table 2** Percentage of each sub-technique used by kinematic GNSS in 4.2 km skating ski time trial.

Technique	Frequency of use (%)
V1	26.0
V2	46.8
V2a	13.7
Turn	12.8
Others	0.7
<b>Total</b>	<b>100</b>

#### 4. 考 察

本研究では、高精度 GNSS 計から収集したデータから、各サブテクニックにおける上下、左右両方の波形、またそれぞれの波の山と谷が生じるタイミングとその振幅の大きさから、これまで判別が困難であった Turn を 95.7%の的中率で判別することができた。波形パターンが酷似している V1 と Turn の相違点は、V1 は上下運動（ポーリング）と左右の移動のタイミングがほぼ同じであるのに対し、Turn は上下運動（ポーリング）が開始する前に、左右の移動が起こることであった。この酷似したサブテクニックを判別可能にしたのは、サンプリング周波数 100 Hz の高精度 GNSS 計を使用することにより、より詳細なデータを収集できたからである。今後は、判別したサブテクニックの走速度やサイクルタイムやサイクルレングスなどといった GNSS 計から得ることができるデータの解析を進め、各サブテクニックの走特性を明らかにしていきたい。

各走法で波形の山と谷（棒線）の出現のパターンに違いがあり（Fig.7）、大部分はそのパターンのマッチングによって判別することが可能であった。しかし、GNSS 計の受信状況などの影響で波形に乱れ（ノイズ）が発生した箇所については、波形データも見ながら判断した。今後、パターンのみで判別するには、ノイズを適切に処理できるようにしなければならない。



**Fig. 7** Up-down and Side motion patterns for each subtechnique.

#### 5. 結 語

本研究では、サンプリング周波数の高い（100 Hz）高精度のキネマティック GNSS 計を使用した結果、今まで判別が困難であった Turn を 95.7%の的中率で判別することができた。また全走法の的中率も 97.1%であった。波形の山と谷が出現するタイミングをサブテクニック毎にパターン化できることが明らかになった。しかし、このパターンのみで判別するには至っていないので、パターンマッチングのみで判別することが今後の課題である。

#### 6. 引 用 文 献

- [1] Y. Sakurai, Z. Fujita and Y. Ishige, "Automatic Identification of Subtechniques in Skating-Style Roller Skiing Using Inertial Sensors," *Sensors (Basel, Switzerland)*, vol. 16, (4), pp. 473, 2016. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27049388>.
- [2] 宇田 峻也, 竹田 正樹, 宮本 直人. 高精度キネマティックGNSS計を用いたクロスカンリースキーフリー走法の走法判別. 日本機械学会シンポジウム: スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス2022, A-2-2.
- [3] Anderson E, Suprj M, Sandbakkk B, Stöggl T, Holmberg H, Aalysis of sprint crosscountry skiing using a differential navigation satelaite system. *Graefe Arch. Exp.Ophthalmol.*2010,100,585-595.