

令和 5 年 5 月 26 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K11411

研究課題名（和文）クロスカン트리スキー選手をより高速な滑走に導くための高精度測位に基づく走法分析

研究課題名（英文）Technique detection of cross-country ski based on high precision positioning system

研究代表者

宮本 直人（Miyamoto, Naoto）

東北大学・未来科学技術共同研究センター・特任准教授

研究者番号：60400462

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、ウェアラブルキネマティックGNSS装置を用いて、クロスカン트리スキー選手の頭部の動作を計測し、走法分析を行った。キネマティックGNSSはミリメートル精度で測位できるため、走法毎に異なる頭部の運動パターンを捉えることができた。ワールドクラスの選手が実際のコースでタイムトライアルを行ったときの滑走データを分析した結果、走法判別率は約98%と高い精度を示すことが分かった。また、走法判別結果とコースの地図・斜度やスキー滑走速度との関係を可視化するシステムを構築し、選手・コーチに滑走結果のフィードバックを迅速に提供できるようにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、クロスカン트리スキー選手の競技力向上に役立つ分析・可視化システムを開発した。このシステムは、ミリメートル級の測位精度をもつ高精度ウェアラブルGNSSを用いて選手の頭の動きを計測し、選手が選択した走法を判別するとともに、コースの特徴を詳細に記録し、選手・コーチにフィードバックすることができる。ワールドクラスの選手による評価実験では、走法判別率は約98%と高い精度を示した。このシステムは、クロスカン트리スキーの滑走技術や戦略の向上に有効なツールとなると考えられる。

研究成果の概要（英文）：In this study, sub-technique was analyzed from the head movements of cross-country skiers using a wearable kinematic GNSS. In cross-country skiing competitions, athletes need to select the most appropriate sub-technique depending on the course and speed. In this study, world-class athletes were equipped with a wearable kinematic GNSS and an action camera to perform time trials, and their head movements measured by the GNSS were used to determine their sub-technique.

As a result, the GNSS could measure the motion of the head with mm accuracy, and characteristic waveforms were obtained for each sub-technique. The discrimination rate between GNSS and camera was about 98%, which indicates that the head movement alone is sufficient to discriminate sub-technique. Furthermore, a system was constructed to visualize the relationship between the sub-technique used and the map, slope, and speed of the course, enabling rapid feedback of the running results to athletes and coaches.

研究分野：スポーツ科学

キーワード：クロスカン트리スキー 動作解析 走法判別 GNSS RTK

1. 研究開始当初の背景

近年、全地球測位システム (Global Navigation Satellite System : GNSS) の目覚ましい発展により、ミリメートル精度で位置計測ができるキネマティック測位が利用できるようになってきた。図 1 は、申請者が開発したウェアラブルなキネマティック GNSS 装置の測位精度と、市販のディファレンシャル GNSS の測位精度の比較である。キネマティック GNSS の方がディファレンシャル GNSS よりも約 300 倍高精度であり、ミリメートル精度で測位できる (Miyamoto, ICSS2016, Miyamoto ECSS2017 他)。GNSS 衛星信号の電波強度は、地上では -130dBm (10 のマイナス 13 乗ミリワット) 以下と非常に微弱なため、GNSS 装置をスポーツ計測用に小型化するには GNSS 受信部のノイズ対策が必須となる。我々は、電磁界シミュレーションを用いて電磁波干渉を 1 桁低減したウェアラブルキネマティック GNSS 装置を実現した (Miyamoto, Science and Skiing VII 2016)。

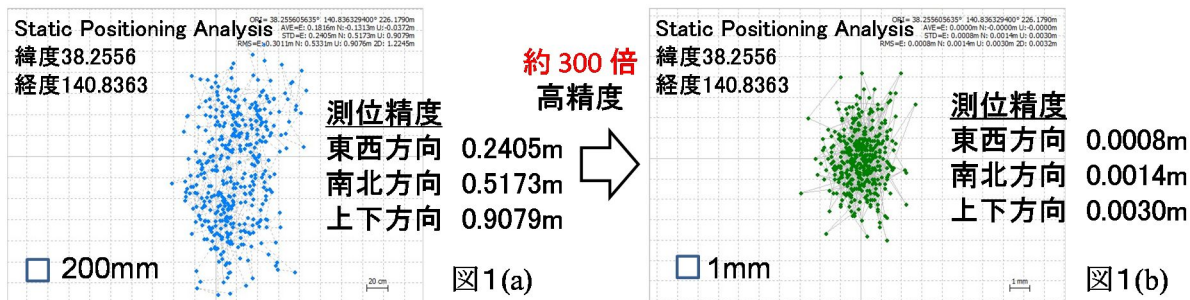


図 1 (a)ディファレンシャル GNSS および (b)キネマティック GNSS の測位精度の比較
キネマティック GNSS は約 300 倍高精度であり、ミリメートル精度で測位可能。

このウェアラブルキネマティック GNSS の測位精度は水平方向で 2mm・垂直方向で 3mm、サンプリング周波数は研究開始当初 10Hz で計測した。そこで、競技者の負担にならないほど小型軽量で、かつ、ミリメートル精度の位置計測が 25Hz ができるならば、屋外スポーツの身体動作計測、特にクロスカントリースキーの走法分析に利用できると考えた。位置・速度を加速度の積分により間接的に求める慣性センサ (Marstrand 2012, Stöggl 2014 他) に対して、GNSS は位置・速度が直接得られるため、クロスカントリースキーの走法分析をより高精度かつ簡便に行えると考えた。

2. 研究の目的

研究の目的は、ウェアラブルキネマティック GNSS 装置で計測した“クロスカントリースキー選手の頭部の動作”から走法分析を高精度かつ短時間に行うことである。

クロスカントリースキー競技では、選手はコースの斜度やスキーの速度に合わせて走法を切り替えて滑走する。常に最適な走法を選択することが競技力向上に必須である。クラシカル種目では主に図 2 に示すダブルポール、ワンキックダブルポール、ダイアゴナル、ヘリングボーンの 4 種類の走法があり、スケート種目では主に V1、V2、V2a の 3 種類の走法がある。いずれの走法も上半身と下半身の動きが異なるため、頭部の動作を mm 精度で計測することにより走法判別が可能であると考えられる。

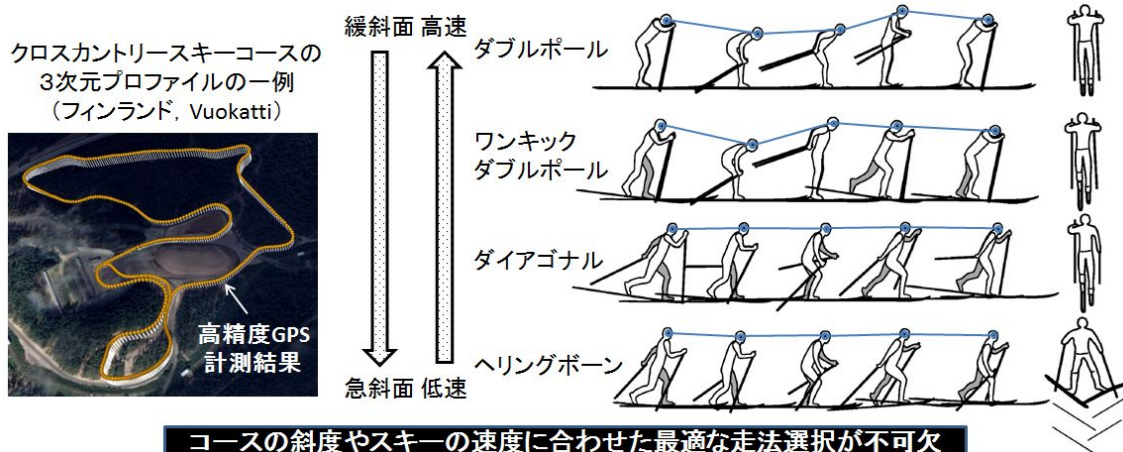


図 2 クロスカントリースキー競技クラシカル種目における走法の種類と特徴



図 3．実験方法 被験者（ワールドカップ出場経験者）の頭部に高精度ウェアラブル GNSS，腰部にビデオカメラを装着．全長 3km のクロスカンリースキーコースでタイムトライアルを実施．

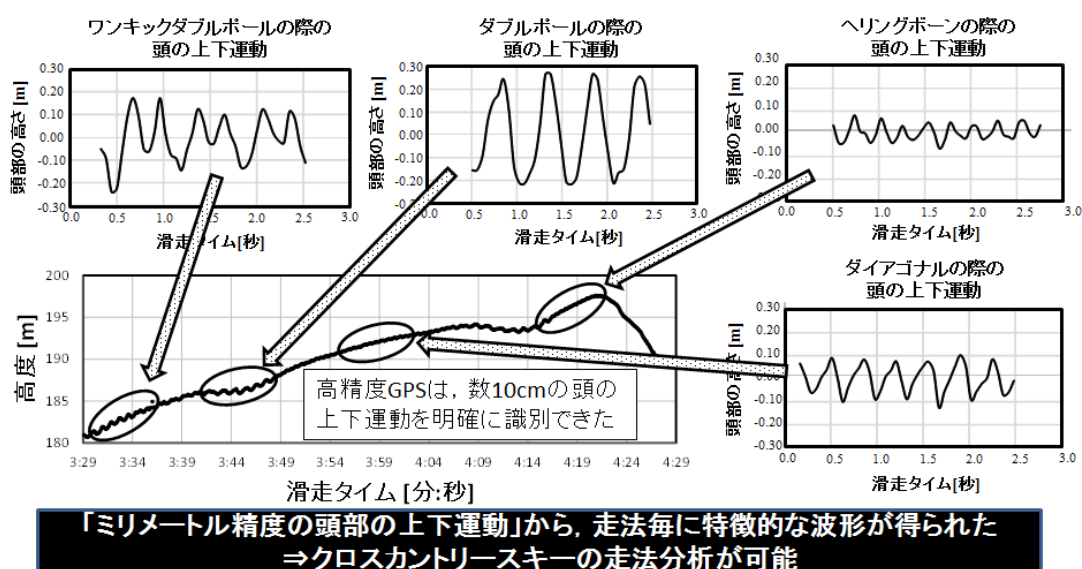


図 4．頭部の運動に基づくクロスカンリースキークラシカル種目の走法分析

3．研究の方法

図 3 のとおり，ワールドクラスのクロスカンリースキー選手の頭部に高精度ウェアラブル GNSS，腰部にアクションカメラを装着して，実際のクロスカンリースキーコースでタイムトライアルを行った．GNSS で計測した「頭の運動」に基づく走法分析の結果を図 4 に示す．この図から，GNSS は振幅数 cm から数 10cm の頭部の上下運動を正確に計測できることが分かった．さらに，走法毎にそれぞれ異なる特徴的なパターンを持つ波形が得られた．このことから，mm 精度のウェアラブルキネマティック GNSS を用いれば，クロスカンリースキーの走法分析が十分可能であると言える．

4．研究成果

表 1 と表 2 にクロスカンリースキーのクラシカル種目とスケート種目の走法判別結果を GNSS とカメラとで比較した結果を示す．どちらも約 98% の判別率が得られた．これらの結果から，高精度 GNSS によるクロスカンリースキーの走法判別は有効であることが示された．また，モーションキャプチャによる姿勢推定がなくても，頭部の高精度な動作計測だけで走法判別可能であることが示された（宇田，宮本 SHD2022）．

高精度 GNSS から得られた走法判別結果と，コースの地図・コースの斜度・スキーの速度との関係を定量的かつ視覚的に理解できるシステムを構築した（竹田，宮本 ICSS2023 招待講演）．図 5 と図 6 に可視化の一例を示す．この分析・可視化システムにより，選手・コーチに滑走結果のフィードバックを迅速に行い，貴重な計測データを有効活用し，クロスカンリースキー選手をより高速な滑走に導くことができるようになる．

表 1 . クラシカル種目の走法判別結果

クラシカル種目 走法	GNSSによる 走法判別		カメラによる 走法判別		平均 速度 (km/h)	一致 率 (%)
	(count)	割合 (%)	(count)	割合 (%)		
ダブルポール	377	49.9	379	49.2	21.1	99.5
1キック・ダブルポール	292	38.6	290	37.7	15.2	99.3
ダイアゴナル	49	6.5	57	7.4	14.5	86.0
ヘリングボーン	38	5.0	44	5.7	9.2	86.3
ダウンヒル滑走					35.3	
Total	756	100.0	770	100.0	23.2	97.7

高精度GNSSによる走法判別とビデオカメラによる走法判別の結果が97.7%一致

表 2 . スケート種目の走法判別結果

スケート種目 走法	GNSSによる 走法判別		カメラによる 走法判別		平均 速度 (km/h)	一致 率 (%)
	(count)	割合 (%)	(count)	割合 (%)		
V1	571	39.5	565	38.6	10.9	98.9
V2	667	46.1	676	46.2	18.6	98.5
V2a	202	14.0	209	14.3	23.4	96.7
Others	4	0.3	6	0.4		
NPSK	2	0.1	6	0.4		
Total	1,446	100.0	1,462	100.0		98.4

高精度GNSSによる走法判別とビデオカメラによる走法判別の結果が98.4%一致

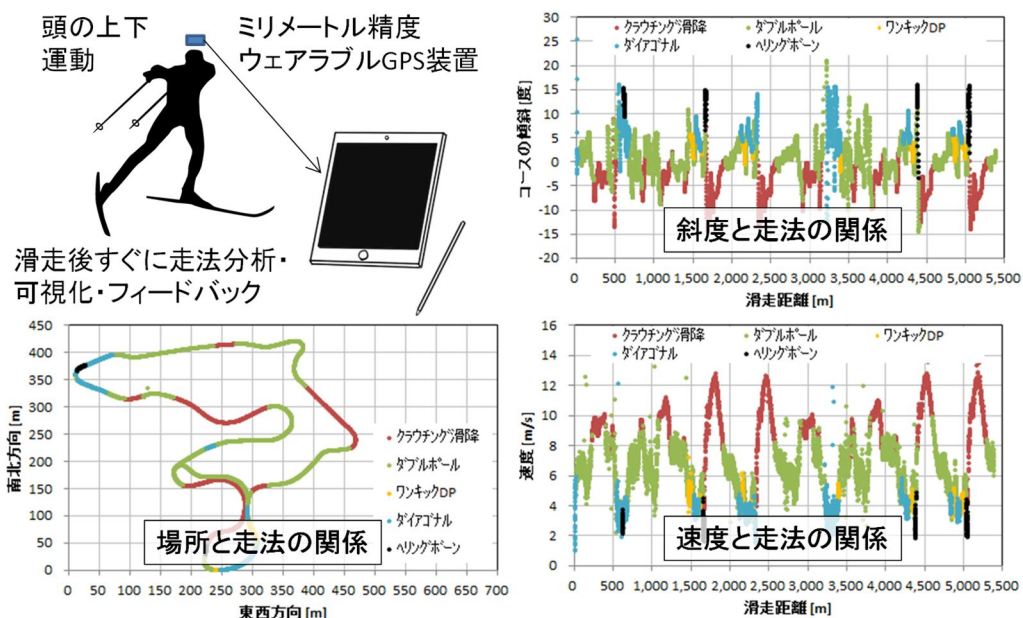


図 5 . 走法分析・可視化システム コースの斜度 / スキーの速度 / 地図上の場所を対比して、競技者が選択した走法や滑走情報を分析・可視化

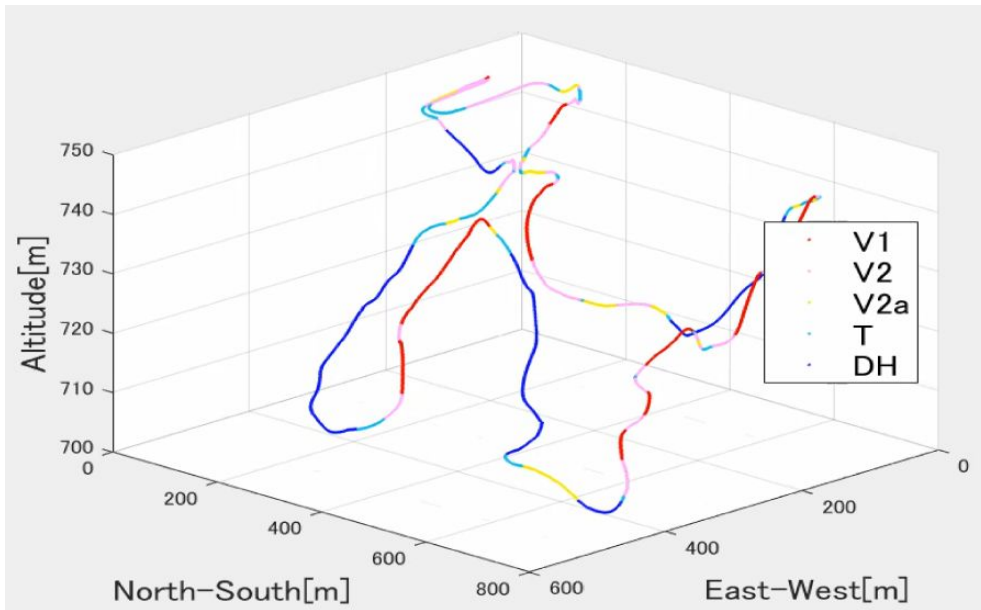


図 6 . 走法判別結果の三次元立体表示

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 OKAJIMA Junnosuke, OKABE Takahiro, MIYAMOTO Naoto, MORIMOTO Tatsuo, TSUNODA Kazuhiko, HATAKEYAMA Nozomu	4. 巻 15
2. 論文標題 Experimental and numerical evaluation of temperature variation by frictional heating at the interface between snow and ski	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Biomechanical Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 19-00507
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1299/jbse.19-00507	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 MIYAMOTO Naoto, OHTA Koshu, MIGITA Atsuya, SUZUKI Kaito, MIURA Ryuji, HATAKEYAMA Nozomu, MIYAMOTO Akira, TAKEDA Masaki	4. 巻 2021
2. 論文標題 Stroke Detection of Canoe Sprint Kayak and Canadian using RTK GNSS	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Proceedings of the Symposium on sports and human dynamics	6. 最初と最後の頁 C~9-4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1299/jsmeshd.2021.C-9-4	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 MIYAMOTO Naoto, YAMAMOTO Keizo, MORI Satoshi, MIURA Ryuji, HATAKEYAMA Nozomu, MIYAMOTO Akira	4. 巻 2022
2. 論文標題 Flight Measurement of a Ski Jumping using Portable Kinematic GNSS	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Proceedings of the Symposium on sports and human dynamics	6. 最初と最後の頁 A-2-1~
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1299/jsmeshd.2022.A-2-1	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 UDA Shunya, TAKEDA Masaki, MIYAMOTO Naoto	4. 巻 2022
2. 論文標題 Cross-country skiing skating technique discrimination using a high-precision kinematic GNSS	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Proceedings of the Symposium on sports and human dynamics	6. 最初と最後の頁 A-2-2~
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1299/jsmeshd.2022.A-2-2	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 SUGITA Kazuharu, MIYAMOTO Naoto, TAKEDA Masaki	4. 巻 2022
2. 論文標題 Measurement of running speed, stride length, and step frequency of 400 m track and field running using a high-precision kinematic GNSS	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Proceedings of the Symposium on sports and human dynamics	6. 最初と最後の頁 B-4-3~
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/jsmeshd.2022.B-4-3	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 Miyamoto N., Ohta, K., Migita, A., Suzuki, K., Miura, R., Hatakeyama, N., Miyamoto, A., Takeda M.
2. 発表標題 Stroke Analysis of Canoe Sprint Kayak Single using RTK GNSS
3. 学会等名 26th Annual European College of Sport Science Congress (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takeda M., Ohta, K., Migita, A., Suzuki, K., Miura, R., Hatakeyama, N., Miyamoto, A., Miyamoto, N.
2. 発表標題 Stroke Analysis during a Canoe Canadian 500 m Time Trial using Highly Precision Kinematic Global Navigation Satellite System
3. 学会等名 26th Annual European College of Sport Science Congress (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Miyamoto, N., Yamamoto, K., Mori, S., Morimoto, T., Miura, R., Hatakeyama, N., Miyamoto, A.
2. 発表標題 Analysis of aerodynamics in the flight phase of ski jumping using a global navigation satellite system
3. 学会等名 25th Annual European College of Sport Science Congress (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masaki Takeda, Naoto Miyamoto, Shunya Uda, Stefan Lindinger, Vesa Linnamo, Thomas Stoggl
2. 発表標題 Skating technique detection in cross-country skiing using a kinematic global navigation satellite system
3. 学会等名 9th International Congress on Science and Skiing (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関