

実践報告

カヌーにおける Differential GPS を用いた艇の移動様相に関する
包括的な評価システムの構築Development of the performance evaluation system using the differential global
positioning system (DGPS) in canoe sprint藤原 昌¹⁾・中村 夏実²⁾・山本 正嘉²⁾Akira FUJIWARA¹⁾, Natsumi NAKAMURA²⁾ and Masayoshi YAMAMOTO²⁾

Abstract

The purpose of this study was to develop the comprehensive evaluation system of performance in canoe sprint using the Differential Global Positioning System (DGPS). As the first step, we compared the stroke variables during 500 meters time-trial using the DGPS to the video tape recorder (VTR). The participants were ten collegiate athletes, completing 500 meters sprint at their maximum effort. The DGPS was placed on the boat, and the moving speed was calculated by the recorded location information (i.e., latitude and longitudinal). Then, we calculated the stroke variables by analyzing the pattern of the acceleration and deceleration in every stroke.

As a result, the number of strokes using DGPS and VTR were consistent. In addition, DGPS consists of other functions that VTR does not have, such as measuring the consistency of each paddling speed, the pattern of the acceleration and deceleration in every stroke, and the course stability that might be additional evaluation indicators of one's paddling skills and/or techniques. In turn, athletes and coaches may receive more specific information related to performance by using GPS. Thus, the result suggested that GPS could be a useful and practical tool for evaluating performance in canoe sprint.

Key words : Global Positioning System, Canoe, stroke variables

[Received June 17, 2010 ; Accepted December 22, 2010]

1. 緒言

スポーツ活動中における選手の位置情報の変化を把握する場合、従来はビデオカメラが広く用いられていた。しかし、オリエンテーリングやスキー、ウインドサーフィンなどの野外スポーツでは、水上や山林など移動範囲が広く長時間にわたり行われることが多いため、他者との位置情報を比較したい場合や、鳥瞰的な位置から移動パターンを見たい場合などの選手の移動様相を把握することが困難であった。特に、水上スポーツでは、測定機器を持ち込むことが難しく、カヌースプリント競技を例に挙げると、陸上からの複数台の固定カメラによる撮影、船や陸上から並走しての側方からの撮影などにより一定区間の平均ストロークレイトや、1ストロークの平均移動距離といった大まかな移動様相の測定を行っていた。

一方、1970年代から米国でGPS (Global Positioning

System) が開発され、野外においても広範囲にわたって選手の移動様相を捉えることができるようになった (Larsson, 2003)。また、2000年より意図的に衛星時計のタイミングをずらす操作 (Selective Availability) が解除されたため、その精度も高まってきている (佐田・重松, 2005)。

GPSによる測位方式には、GPS受信機を1台用いる単独測位GPSとGPS受信機を2台以上用いて誤差を取り除く相対測位の2種類がある。前者は、誤差10m程度の水平精度で位置情報を捉えることができる (Schutz & Chambaz, 1997; 佐田・重松, 2005)。そのため、オリエンテーリングやスキー、ウインドサーフィンなど (Castagna et. al., 2008; Edgecomb & Norton, 2006; 藤原ら, 2009; Krzysztow, 2006; Pino et. al., 2007; Piotr, 2006; 高松, 2004; 山本ら, 2003; Zhang, 2004)、選手の大まかな移動様相の把握に活用されてい

1) 鹿屋体育大学大学院 Graduate School of Education National Institute of Fitness and Sports in Kanoya

2) 鹿屋体育大学 National Institute of Fitness and Sports in Kanoya

る。一方、後者では、ディファレンシャル測位によるGPS (DGPS) が前者の精度より高く、誤差が数 m 程度の水平精度で選手の動きを捉えることができる (Schutz & Herren, 2000; 佐田・重松, 2005)。すなわち、前者に比べてより詳細な位置変化の情報が得られるため、歩行中やランニング中の1歩ごとの位置変化といったような、非常に細かな動きも把握することが可能である (Terrier et. al., 2000)。また、ビデオカメラでは困難であった水上スポーツでの測定も、DGPSを用いることで、詳細な航跡や1ストローク毎に絶えず変化する加速度も捉えられる可能性が示唆されている (Zhang, 2004)。現在では、水上スポーツの他に、オリエンテーリングやクロスカントリーなどでも活用されている (Larsson & Lasen, 2001, 2005)。

さらに、近年ではより測位精度の安定性を向上させるために、SBAS (Satellite-Based Augmentation System) が開発された。このシステムは、静止衛星を用いてGPSの誤差を広範囲に補正する技術の総称で、航空機での精度向上を一次目的としており、従来の基地局から送信される範囲よりも広範囲で誤差情報を得られる (Witte & Wilson, 2005)。

以上のように、GPSやDGPSの開発や精度の向上に伴い、ビデオカメラと同等の測定、さらにこれまで測定が困難であった新たな移動様相等が把握できるようになってきている。そこで本研究では、カナディアン・カヌーを対象として、1) DGPSから得られたストローク変数 (移動速度、パドリング数、ストロークレイト) について、ビデオカメラを用いて得られた情報と比較検討を行うこと、2) これまで測られていなかった軌跡や針路変動が測定評価の指標となり得るか検討すること、以上の2点からカヌースプリント競技におけるDGPSを用いた包括的な評価システムを構築することを目的とした。

2. 方法

2.1. 対象者

10名の大学カヌー選手を対象とした。彼らの競技年数は 6.2 ± 2.0 年であった。身体特性は、年齢 20.8 ± 1.8 歳、身長 170.5 ± 3.5 cm、体重 70.3 ± 5.2 kgであった。各被験者には、実験の目的と方法、それに伴う身体的な負担や危険性を説明したのち、本人の意志でいつでも辞退できることを理解させた上で、実験への参加について同意を得た。なお、本研究は鹿屋体育大学の倫理審査小委員会

の承諾を得て実施した。

2.2. 500m タイムトライアル

潮流や波のない平水面 (風速 $2.0\text{m}\cdot\text{sec}^{-1}$ 以下) において、500mのタイムトライアルを行った。被験者は、測定前に陸上にてウォーミングアップを行った。そして、水上においても30分間の低強度の漕運動によるウォーミングアップを行い、その後タイムトライアルを行った。

2.3. 測定項目と方法

2.3.1. DGPSを用いた測定 (GPS法)

図1は本研究で用いたDGPS受信機の艇への搭載の様子を示したものである。それぞれの船尾には、アンテナ一体型のDGPS受信機 (A100:20Hz, Hemisphere社製、寸法:12.95cmL × 12.95cm W × 5.47cmH, 400g, 水平精度: $<0.5\text{m}$ 95%) とデータロガー (Data Bridge SDR, Acumen Instruments Corporation, 寸法:12.4 cmL × 8.57 cmW × 3.12 cmH, 241g) を搭載した。

今回使用したGPS受信機は、SBASを利用できるものを使用した。表1は、予備実験において、モーターボートに搭載した測程器 (NX2 Log transducer, SILVA社製) と、本研究の実験機器との移動速度誤差の割合を示したもので、直線1kmのコースを移動速度 $0.5 \sim 5.0\text{m}\cdot\text{sec}^{-1}$ の範囲で行った結果である ($n = 366$)。測程器と比較した移動速度の平均誤差は $0.08 \pm 0.16\text{m}\cdot\text{sec}^{-1}$ (測程器の移動速度との誤差が $0.1\text{m}\cdot\text{sec}^{-1}$ 範囲以内であった値が85.8%, $0.5\text{m}\cdot\text{sec}^{-1}$ 範囲以内であった値が99.5%) であった。

GPS受信機の位置情報は、20Hzで連続記録した。タイムトライアル後、データロガーに記録された各艇の位



図1. 水上での艇へのDGPS搭載の様子

表 1. 予備実験において、直線コースをモーターボートで走行した際の測程器と DGPS より得られた移動速度と比較した誤差の分布、誤差の平均値の概要

n	%within $0.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	%within $0.5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	移動速度の平均誤差 ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
366	85.8	99.5	0.08 ± 0.16

置情報（緯度・経度）と時間情報は、トライアル後にコンピュータへダウンロードした。得られた位置情報（緯度・経度）の移動変位量を微分し、算出した移動速度を示した（図 2-a, b）。周期的な波形の最高速度から次の周期の最高速度までを 1 ストロークとし、ストローク数はその周期を数えることで算出した。区間ごとのストローク数については、ビデオカメラの映像から得られた通過タイムにより区間を設定し、ストローク数をカウントした。加えて、周期的な波形の最高速度から次の周期の最高速度までに要した時間からストロークレイト ($\text{strokes}\cdot\text{min}^{-1}$) を算出し、SR-GPS とした。

また、針路変動の様子を観察するため、GPS データの計測地点における累積距離（総移動距離）と、スタート地点とスタート地点からコースに並行して直進したと仮定した場合のゴール地点の 2 点間距離をそれぞれ算出した。

2.3.2. ビデオカメラを用いた測定 (VTR 法)

スタート後、モーターボートにて被験者が乗る艇と並走し、艇の側方よりビデオカメラ (Handycam DCR - TRV950, Sony 社製) を用いてパドリング動作を撮影した。そして 500m を 100m ごとに 5 区間に分け、その区間ごとの艇の通過タイムを計測した。タイムトライアル後、ビデオカメラの映像から、100m 区間ごとのストローク数を数えた。なお、ビデオカメラ映像による 1 ストロークは、パドルが入水した時から次のパドルが入水するまでの間を 1 ストロークとし、それに要した時間からストロークレイト ($\text{strokes}\cdot\text{min}^{-1}$) を算出し、SR-VTR とした。

2.4. 統計処理

VTR 法を基準とした GPS 法の測定精度について、平均値の有意差の検定には Student's paired t-test を、相関関係の検定には、Pearson の積率相関係数 (r) を用いた。

得られた SR-GPS, SR-VTR に関して、Bland-Altman 分析により、2 つの測定方法間の妥当性を検討した。妥当性については、Bland-Altman 分析による系統誤差の

検出を行った。系統誤差の判断は、2 つの測定値の差の平均の 95% 信頼区間を求め、同区間が 0 を含まない場合、加算誤差が存在すると判定した。さらに、作成した Bland-Altman plot について、回帰が有意と判断された場合、比例誤差が存在すると判断した。また、VTR 法、GPS 法それぞれの測定値間の誤差の許容範囲である、limit of agreement (以下、LOA) を求めた。

そしていずれも統計的判定の有意水準は、5% 未満とした。

3. 結果

3.1. GPS 法と VTR 法で得られたストローク変数の比較検討

3.1.1. パドリング数の比較

図 2-a は、ある被験者におけるタイムトライアル中の移動速度の推移である。全被験者に共通して、スタートからゴールまでの間に周期的な移動速度の変化がみられた。図 2-b は、ある選手における GPS から得られた走行中の移動速度の推移の一部（スタートから 10 パドル終了まで）である。図中に示した矢印は、ビデオカメラより得られたパドルのキャッチ（パドル入水時）のタイミングを示している。ほぼ全てのパドリングにおいてキャッチ後、移動速度が一度低下し、その後最高速度に到達する一連の周期を示していた。

表 2 は、500m のタイムトライアルにおいて、GPS 法と VTR 法で測定されたストローク数を被験者ごとに示したものである。総ストローク数は被験者間で 116 ~ 137 回と異なるが、GPS 法と VTR 法で求めた数値は全員一致していた。100m 毎に区分した 5 つの区間でのストローク数についても、ほぼ同じ値で推移しており、いずれも最初の区間では最も大きな値を示し、100m 以降の区間において横ばいになる傾向を示した。

3.1.2. ストロークレイトの比較

SR-VTR は、平均 $58.0 \pm 7.1\text{strokes}\cdot\text{min}^{-1}$ (最大値 $90.0\text{strokes}\cdot\text{min}^{-1}$, 最小値 $25.7\text{strokes}\cdot\text{min}^{-1}$) であった。SR-GPS は、平均 $58.1 \pm 7.0\text{strokes}\cdot\text{min}^{-1}$ (最大値

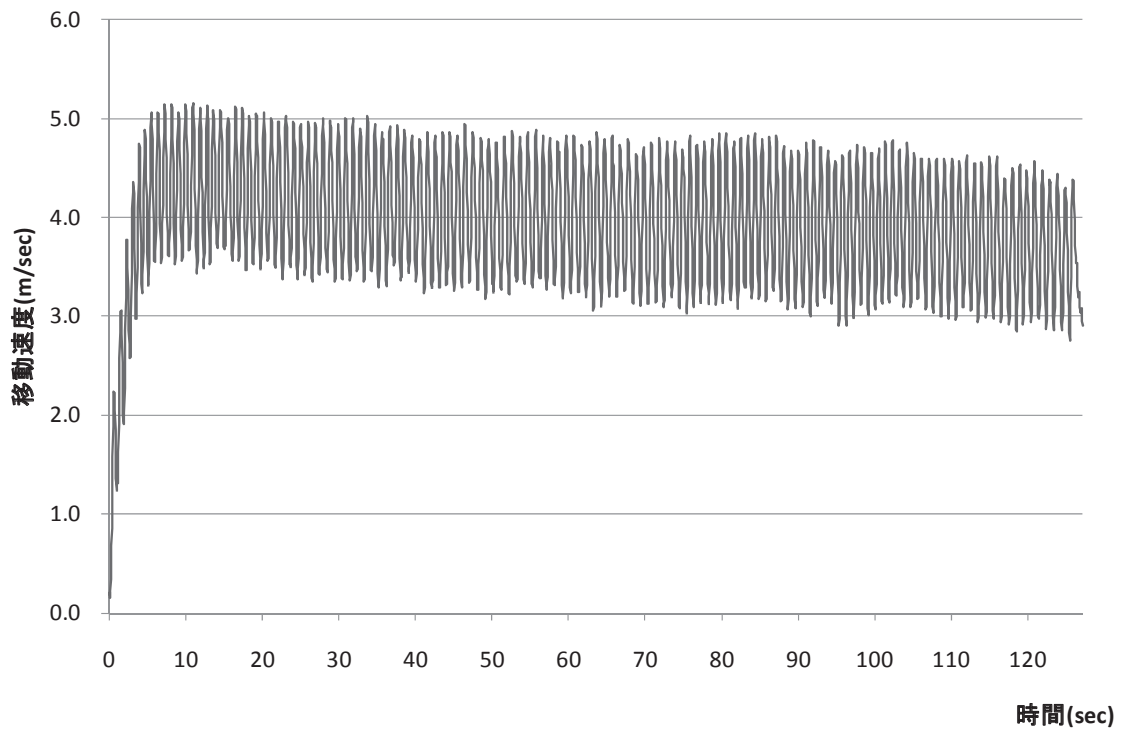


図 2-a. DGPS 受信機の緯度経度情報 (20Hz) から得られた移動変位量を微分することによって得た移動速度の推移

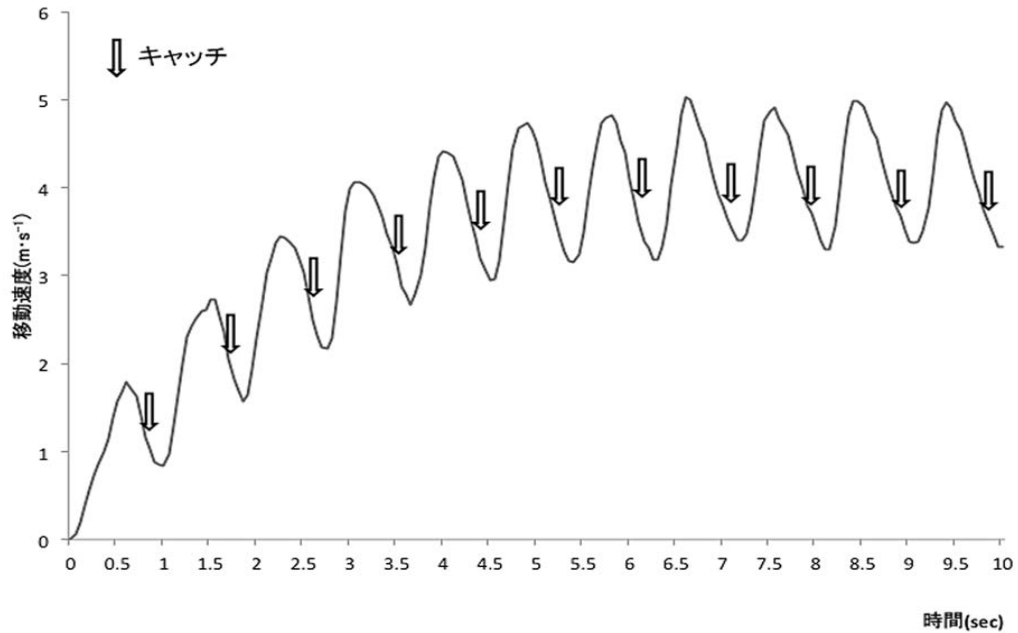


図 2-b. スタートから 10 パドル終了までの区間における移動速度の拡大図

85.7strokes \cdot min $^{-1}$, 最小値 25.5strokes \cdot min $^{-1}$)であった。GPS 法と VTR 法のデータの間では高い正の相関がみられた ($r = 0.93$, $p < 0.001$)。

また, Bland-Altman 分析により, 2つの測定値の差の平均の 95%信頼区間は $-0.008 \sim 0.005$ となり, また回帰が有意と判断されなかった ($r = 0.02$, $p = 0.36$)。よって, SR-VTR と SR-GPS の間に加算・比例誤差のい

ずれも認められなかった。また, LOA は, $-5.4 \sim 5.3$ strokes \cdot min $^{-1}$ となった (図 3)。

3.2. DGPS を用いて捉えたカナディアン・カヌーの 500m 漕時の移動状況

図 4 は, 全被験者 ($n = 10$) における 500m タイムト

表 2. 各区分における VTR 法と GPS 法とのストローク数の比較

storke回数	0-100m		100-200m		200-300m		300-400m		400-500m		0-500m(総数)	
	VTR	GPS	VTR	GPS	VTR	GPS	VTR	GPS	VTR	GPS	VTR	GPS
a	29	29	21	21	25	24	22	22	24	25	121	121
b	32	31	21	22	27	26	24	24	27	28	131	131
c	29	28	20	21	24	24	22	21	23	24	118	118
d	35	34	23	22	27	27	24	25	28	29	137	137
e	32	32	23	22	24	25	22	22	27	27	128	128
f	33	33	24	23	29	29	24	24	27	28	137	137
g	29	28	20	21	25	24	22	22	22	23	118	118
h	30	30	20	20	23	23	21	20	22	23	116	116
i	28	27	19	20	24	24	22	21	23	24	116	116
j	28	27	24	25	29	29	24	24	31	31	136	136

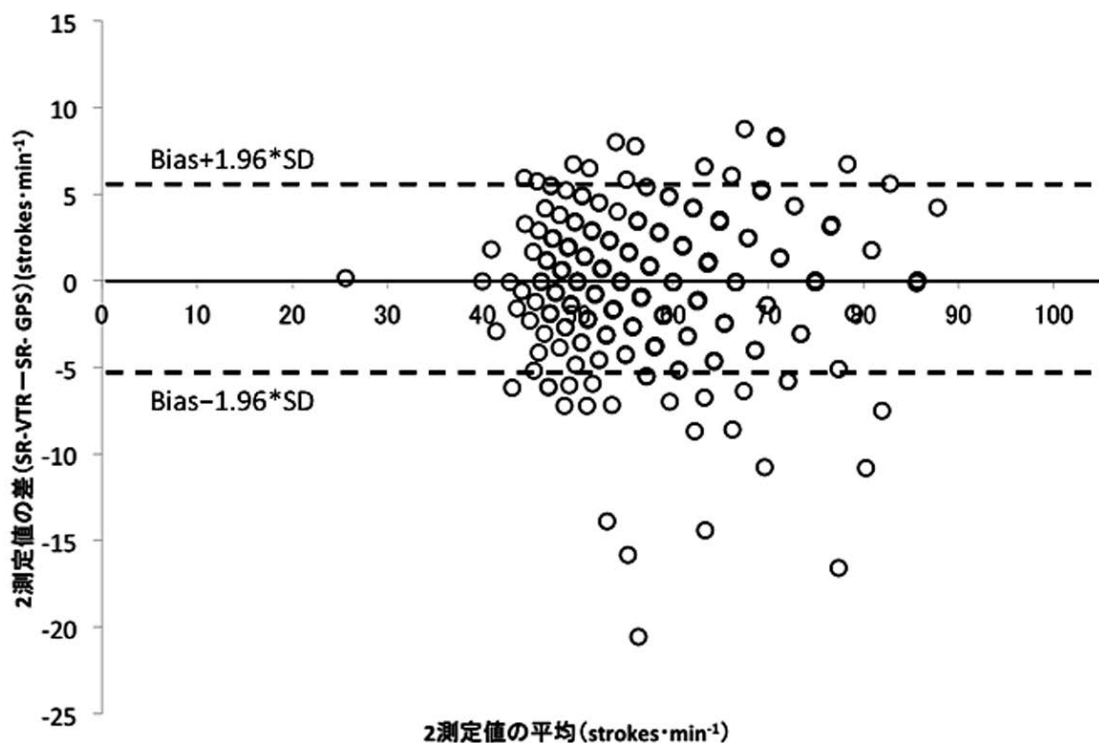


図 3. VTR 法ならびに GPS 法により測定したストロークレイトの差 (difference) を縦軸に、両法の平均 (mean) を横軸にプロットした Bland-Altman diagram. 実線は Bias を、点線は limits of agreement (Bias±1.96*SD) を示す.

ライアル時の時間経過に伴う移動距離の推移を示したものである。全被験者の総移動距離の平均値は 501.6±2.3m (最大値 507.7m, 最小値 498.2m) であった。スタート地点とスタート地点からコースに並行して直進したと仮定した場合のゴール地点の 2 点間距離は、平均 499.6±2.7m (最大値 505.8m, 最小値 496.1m) となり、総移動距離と比べると有意に短かった (p < 0.05)。

図 5 は、全被験者におけるスタート地点から 50m 区間までの航跡である。被験者によって曲がる方向や度合いに違いがみられた。

4. 考察

4.1. DGPS を用いたカヌーパフォーマンス評価の可能性

4.1.1. ストローク数の検討

図 2-a, b を見ると、タイムトライアル中の移動速度の推移において周期的な変化がみられた。さらに VTR 法から得られるストローク数と比較したところ、GPS 法を用いての測定値は、総ストローク数は一致していた

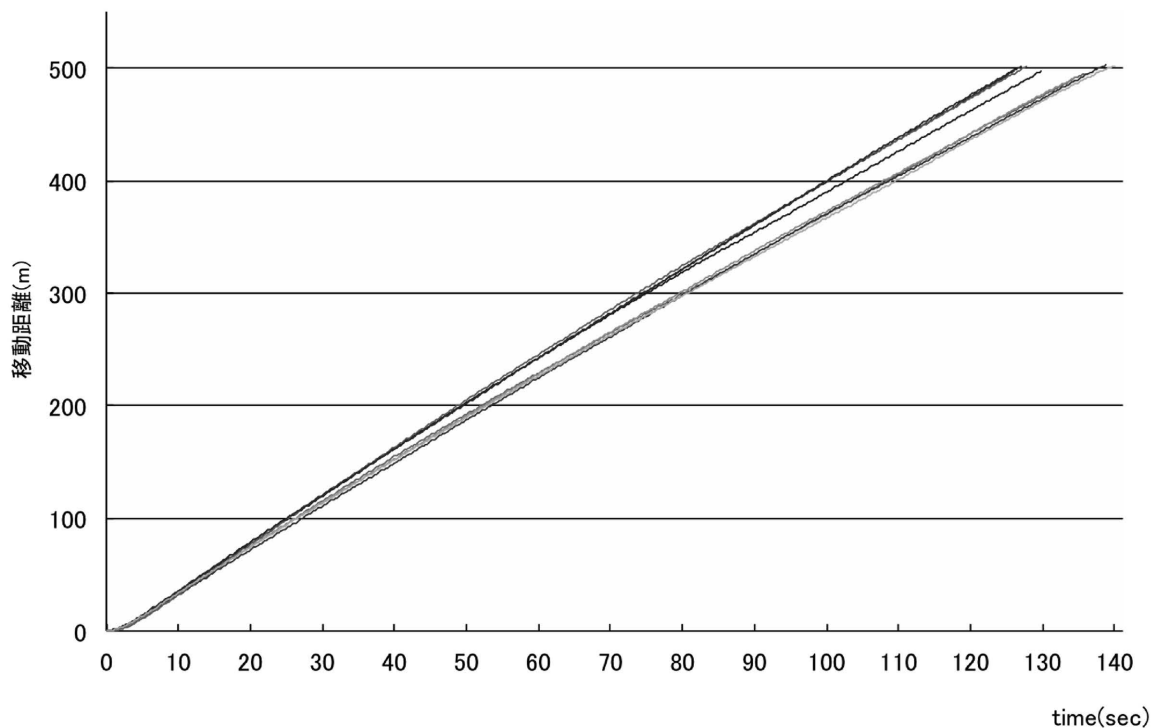


図 4. 全被験者における時間経過に伴う移動距離の推移

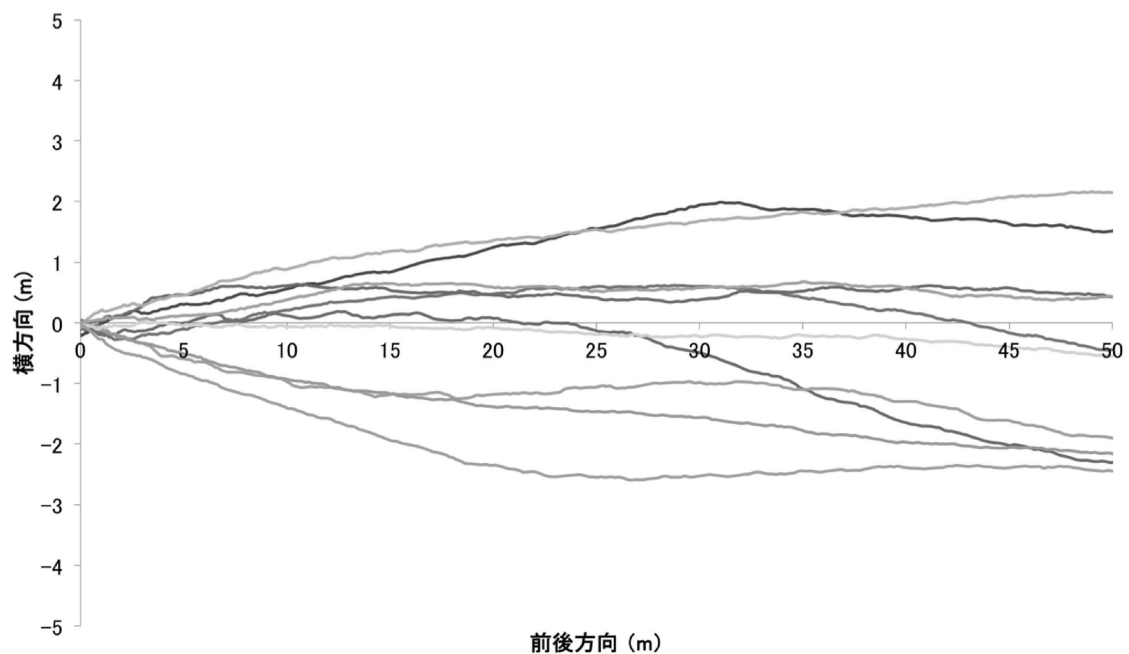


図 5. 全被験者におけるスタート地点から 50 m 区間までの上方から見た航跡

ものの、100m 区間毎でのストローク数は一致していなかった。これは、VTR 法ではキャッチ局面をカウントし、GPS 法では最高速度に達した地点をカウントしたため、1 ストロークをカウントするタイミングの違いから生じたと考えられる。また、図 2-b に示すように VTR から得られたキャッチ局面のタイミングが周期の変化とほぼ一致していたことから、この規則的な移動速度の推移は、ストローク周期であると考えられる。

4.1.2. 前後方向（艇速度変動）の検討

GPS 法と VTR 法のデータの間では高い正の相関がみられた。さらに、Bland-Altman 分析により、SR-VTR と SR-GPS の間に加算・比例誤差のいずれも認められなかったが、LOA は $-5.3 \sim 5.2 \text{ strokes} \cdot \text{min}^{-1}$ と、大きなばらつきを示す結果となった。これも上述したように、VTR 法と GPS 法との 1 ストロークをカウントするタイミングの違いから生じたと考えられる。

三田ら(1992)は、高速度カメラを用いてオリンピック候補選手のパドリング中の艇速度変化について報告しており、キャッチからミドル(パドルが水面に対して垂直の位置)までに急激に加速することが明らかとなっている。しかし、図2-bに示すようにキャッチ局面において艇速度が減速する様子も観察されたことから、1ストローク中における各局面でのパドリング技術が艇速度に影響した可能性が考えられる。

DGPSから得られた情報を利用したカヌーパフォーマンス評価方法としては、1ストローク中の艇速変動の評価や、安定したストロークを維持する能力であるストロークの安定性の評価、が考えられる。

4.1.3. 横方向(針路変動)の検討

スタート地点とゴール地点の2点間距離が、総移動距離と比べ有意に短かったことを考慮すると、2点間距離と総移動距離との差は選手の蛇行および、水面に電波が反射することで起こるマルチパス(遅延波)の影響や(佐田・重松, 2005)、受信機の搭載位置による影響(Duncan et al., 2007)が考えられる。しかし、今回、被験者がそれぞれ走行した実際の総移動距離については別法では測定していないことや、精度実験における測程器との平均速度誤差が $0.08 \pm 0.16 \text{m} \cdot \text{sec}^{-1}$ であったことを考慮すると、図5に示すように被験者によって曲がる方向や度合いに違いはみられたが、今回の測定では2点間距離と総移動距離との差を示す明確な要因まで特定することはできなかった。

カナディアン・カヌーにおいては、ダブルブレードパドルを用いるカヤックと異なり、シングルブレードパドルを用いてパドリング操作を行うため、推進力を増す技術に加え、艇の蛇行を出来る限り少なくしながら直進するといった漕ぎ技術が重要となる。このため、漕艇時の発揮パワーや移動速度をコントロールし、直進させる事を優先させる漕法や多少蛇行してでも移動速度を最優先とする漕法があり、選手ごとに手法は異なる。そのため、移動軌跡情報をもとに個々に適した指導を実施することが重要であろう。上空からビデオカメラで撮影を行うことや、艇の重心が刻々と変化する中での加速度計を用いた移動軌跡の記録は難しいため、DGPSにより針路変動の特徴を捉えることは有用であると考えられる。

さらに鳥瞰的な位置情報(図5)は、カヌースプリント競技やボート競技のように直線コースを漕行するスポーツよりも、競技範囲が広く、より位置情報が勝敗を左右するようなカヌースラローム競技やセーリング競技といった競技種目において有用な指標となる可能性もあ

る。

4.2. カヌースプリント競技における DGPS を用いた包括的な評価システム

DGPSを用いてもVTR法と同等にストローク数を捉えることは可能である。さらにDGPSを用いることで、1ストローク中の加減速や、ストロークの安定性といったパドリング技術の評価につながる事が示唆された。加えてVTR法では捉えにくかった詳細な位置情報による針路変動についても評価できる可能性が示唆された。

しかし、DGPSの精度が高まりスポーツ界での利用も増えているとはいえ、GPS法から得られたカヌーの移動速度の周期的な変化から従来のVTR法と同等のストロークレイトを得ることは困難であった。今後、測位精度が高まることにより、艇速変動と針路変動の詳細な情報を取得できるようになることが、カヌー競技における移動様相に関する多角的な情報の提供につながる事が示唆された。特に、測定機器を持ち込むことが難しい水上スポーツでは、従来のビデオカメラに代わって、1台の受信機で詳細な移動様相に関する情報を容易に得られることや、ビデオカメラを用いるよりも測定に要する人員が少ないこと、地形による使用機器の制限がないことはDGPSの利点であろう。

また、心拍計や携帯型呼気ガス分析装置とGPSを併用することで、運動強度と地理的特徴を複合的に観察することや(Castagna et al., 2008; Duncan et al., 2008; Larsson & Lasen, 2001, 2005)、オーストラリアン・フットボールやサッカーといったチームスポーツにおいて複数名の選手それぞれの位置情報と移動速度を把握することも報告されている(Edgecomb & Norton, 2006; Pino et al., 2007)。前述のような技術分析ツールとしての可能性だけではなく、心拍計等の他のデバイスと組み合わせることや同時期に複数名の位置情報を収集することは、指導者やアナリストのための複合的なモニタリング・システムとして活用の可能性も考えられる。

今回は、カナディアン・カヌーを対象としたが、GPSの利用は広く一般でも用いられるようになっており、測定の簡易さや得られる情報量とその活用の可能性を考慮するとボート競技、カヌー競技(スラローム、スプリント)、セーリング競技といった定点を設置することが困難な水上スポーツにおいても、GPS技術を活用することで客観的な情報の提供および評価が可能となり、パフォーマンスの改善にとって有用な器具となると考えら

れる。

5. まとめ

本研究では、10名の学生カヌー選手を対象として、500mタイムトライアルを行った。そして艇にDGPS受信機を搭載し、記録された位置情報から算出したストローク変数を求め、従来なされてきたビデオカメラから算出されたストローク変数と比較した。また、これまで測られていなかった軌跡や針路変動が測定評価の指標となり得るか検討した。そして以上の結果をもとに、カヌースプリント競技におけるDGPSを用いた包括的な評価システムを構築することを目的とした。

その結果、GPS法とVTR法のストローク数は同等であったが、ストロークレイトについては、十分な妥当性を得られなかった。しかしながら、DGPSを用いることで、VTR法では捉えにくかったストロークの安定性や1ストローク中の加減速などの艇速変動といったパドリング技術や、針路変動などの詳細な位置情報をパフォーマンス評価へ応用する可能性を示すことができた。したがってDGPSは、VTRでは捉えにくい情報を選手および指導者へフィードバックすることができ、競技力向上へとつながる包括的な評価システムとなる可能性が示唆された。

文献

- Bland, M., D. G. Altman (1986) Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 8 : 307-310.
- Castagna, O., J. Brisswalter, L. Jean-Rene, I. Vogiatzis (2008) Physiological demands of different sailing techniques of the new Olympic windsurfing class. *Eur J Appl Physiol* 104 : 1061-1067.
- Duncan, J. S., H. M. Badland, G. Schofield (2008) Combining GPS with heart rate monitoring to measure physical activity in children : A feasibility study. *J Sci Med Sport* 12(5) : 583-585.
- Duncan, M. J., K. W. Mummery, B. J. Dascombe (2007) Utility of Global Positioning System to measure active transport in urban areas. *Med Sci Sports Exerc* 39(10) : 1851-1857.
- Edgecomb S., K. Norton (2006) Comparison of global positioning and computer-based tracking systems for measuring player movement distance during Australian Football. *J Sci Med Sport* 9 : 25-32.
- 藤原昌, 千足耕一, 山本正嘉 (2009) ウィンドサーフィン競技におけるレース戦略の改善を目的としたGPSの活用. *トレーニング科学* 21 : 57-64.
- Krzysztof, L. (2006) The influence of the infrastructure of selected ski resorts on the course of curricular training of students. *Research Yearbook* 12 : 243-247.
- Larsson, P. (2003) Global positioning system and sport-specific testing. *Sports Med* 33 : 1093-1101.
- Larsson, P. and K. Henriksson-Lasen (2001) The use of dGPS and simultaneous metabolic measurements during orienteering. *Med Sci Sports Exerc* 33 : 1919-1924.
- Larsson, P and K. Henriksson-Lasen (2005) Combined metabolic gas analyser and dGPS analysis of performance in cross-country skiing. *J Sports Sci* 23 (8) : 861 - 870.
- Le Faucheur, A., P. Abraham, V. Jaquinandi, P. Bouyé, J. L. Saumet, B. Noury-Desvaux (2007) Study of human outdoor walking with a low-cost GPS and simple spreadsheet analysis. *Med Sci Sports Exerc* 39(9) : 1570-1578.
- 三田勝彦, 宮島武彦, 阿部茂明, 本田宗洋 (1992) レーシング・カヌーの艇速度に関する研究. *日本体育学会大会号* 43(B) : 773.
- Pino, J., R. Martinez-Santos, M. I. Moreno, C. Padilla (2007) Automatic analysis of football games using GPS on real time. *J Sports Sci Med Suppl* 10 : 6-11.
- Piotr, C. (2006) Possibilities of and constraints on the application of GPS devices in controlling orienteering training. *Studies in Physical Culture and Tourism* 13 : 109-115.
- Ralph, M. and N. M. Cliona (2009) Global positioning system : a new opportunity in physical activity measurement. *Int J Behav Nutr Phys Act* 6 : 73.
- Schutz, Y. and A. Chambaz (1997) Could a satellite-based navigation system (GPS) be used to assess the physical activity of individuals on earth? *Eur J Appl Physiol* 51 : 338-339.
- Schutz, Y. and R. Herren (2000) Assessment of speed of human locomotion using a differential satellite global positioning system. *Med Sci Sports Exerc* 32 (3) : 642-646.

- 佐田達典, 重松文治 (2005) GPSと情報化施工. 土と基礎 573 : 48-53.
- Terrier, P., Q. Ladetto, B. Merminod and Y. Schutz (2000) High-precision satellite positioning system as a new tool to study the biomechanics of human locomotion. J Biomech 33 : 1717-1722.
- 高松潤二 (2004) GPSのスポーツへの応用. バイオメカニクス研究 8 : 201-208.
- Troped, P. J., M. S. Oliveria, C. E. Mathews, E. K. Cromley, S. J. Melly, B. A. Craig (2008) Prediction of activity mode with global positioning system and accelerometer data. Med Sci Sports Exerc 40 (5) : 972-978.
- Witte, T. H. and A. M. Wilson (2005) Accuracy of WAAS-enabled GPS for the determination of position and speed over ground. J Biomech 38 : 1717-1722.
- 山本博男, 近岡守, 黒木宏康, 藪野秀一郎, 石井崇之 (2003) 携帯型GPSを利用したサッカー及びラグビーのレフェリー移動距離. 金沢大学教育学部紀要 (自然科学編) 52 : 7-11.
- Zhang, K. (2004) GNSS for sports : sailing and rowing perspectives. J Global Positioning Systems 3 : 280-289.