

[研究の背景]

自転車ロードレース競技の本場である欧州の競技環境において欧米の選手と互角に戦える日本人選手はまだごく限られている。将来、日本人選手が欧州の競技環境で互角に競えるようになるためには、日本の競技環境と選手の能力について現状を把握するとともに、それを踏まえた目標の設定は不可欠である。

しかし日本の競技レベルがどのレベルにあるのか、日本人選手がヨーロッパの競技レベルにステップアップしてゆくには何が必要なのかは現時点ではほとんど把握できていない。これはロードレースが、コースタイプが変化に富む事(登り、平坦、アップダウンなど)、レースごとにコースが異なる事、またチーム内で役割を分担し、チーム間の駆け引きによりスピードが大きく変化するため、競技の難易度が個々のレースに大きく依存し、単純にタイムなどでの比較が難しい事が理由として挙げられる。

このため、チーム間および選手間の駆け引きも含めた、自転車ロードレース競技の一般的な特性を定量的に把握するとともに、ヨーロッパの競技環境と日本の競技環境の差を比較可能な数値で定量的に把握する事が必要である。これまで、ヨーロッパのロードレースについて、その仕事率(パワー)を測定した報告^{1),2)}はあるが、日本ではまだ研究は行われていない。

[目的]

自転車ロードレース競技の特性を把握するために日本の自転車ロードレース競技のレベルを把握し、本場ヨーロッパで通用する日本人選手を育成するための指標となる定量データを得る事を目的とする。今回はその最初の報告として、自転車競技用のパワーメーターを用い、実際の競技において仕事率を測定し、自転車ロードレース競技に求められるパフォーマンスの把握、また競技特性の定量的な把握と共に、日本とヨーロッパのロードレースとの比較を試みた!

[方法]

日本のプロチームに所属する選手および大学生選手の競技用自転車に、自転車用パワーメーターを取り付け、日常のトレーニングデータを記録した。同じ自転車で日本の代表的なロードレースである日本実業団シリーズおよび全日本選手権U-23に参加し、各レースにおける選手の仕事率を測定した。

測定はSRM社のSRM Training SystemおよびSaris社のPowerTapを用い、使用前には毎回、使用ガイドに沿って校正を行ってから測定を始めた。

被験者

プロ選手(国内の実業団選手および海外を拠点にレース活動を行っている日本人選手) 学生、アマチュアの選手 計26人

測定装置

パワーメーター

SRM(Schoberer Rad Messtechnik)社: SRM Training System Professional

Saris社: PowerTap, PowerTapPRO, PowerTapSL,PowerTapSL2.4

乳酸測定

ARKLEY社製 Lactate PRO

各機器とも使用前には使用ガイドに沿って校正を行ってから測定を始めた。
またパワーメーターのサンプリングレートは全てのレースで1[Hz]とした。

[方法]

選手のLT測定

各選手の専用自転車にパワーメーターを取り付け (SRM社製およびSaris社製)、パワー値、ケイデンス値、心拍を測定しながら漸増負荷テストにより、血中乳酸濃度を測定し、LT時のパワー値 (P_{LT}) および最高パワー値 (P_{peak}) を決定した。

漸増負荷テストのプロトコルは、100Wで15分ウォーミングアップを行い、 90 ± 3 rpmの範囲のケイデンスを維持しながら、各負荷を3分間維持する。3分間維持後、脚を止め、1分間で採血を行う。以後40Wずつ負荷を上げ、10秒以上ケイデンスを維持できなくなった時点でテスト終了とした。ピークパワー値 (P_{peak}) は最後に行った負荷の維持時間 t から、 $P_{peak} = W_f + [(t/180) \times 40]$ (W_f : 最後に行った負荷値 [W]) で算出した。

LT時のパワー値 P_{LT} は、lactateカーブのベースラインから1mmol/l濃度が上昇したポイントとした。

レースおよびトレーニングデータ収集

パワーメーターは選手の専用自転車に取り付けたままとし、トレーニングデータおよびレースデータの収集を行った。使用開始に当たっては、毎回、使用ガイドに沿って校正を行ってから測定を開始した。

測定したレース

2006～2008年の間に開催された、日本自転車競技連盟および全日本実業団自転車競技連盟が主催するロードレース、世界自転車競技連盟 (UCI) の主催するアジアツアーレース (2.HC, 2.2, CC)、欧州で開催されたヨーロッパツアーレース (1.1, 1.2, 2.2) の計60レース。

[結果]

実験室で測定した選手のLT測定結果のうち、代表的な結果をTable1に示す。

	身長 [cm]	体重[kg]	P_{LT} [W]	LT時血中乳酸濃度 [mmol/l]	P_{peak} [W]
A選手(国内 実業団レース)	-	58	260	3.2	367
B選手(国内 実業団レース)	-	57	263	3.9	418
C選手(国内 学生)	-	64	275	2.1	420
D選手 (実業団およびヨーロッパツアー)	-	75	369	3.1	477
E選手 (アジアおよびヨーロッパツアー)	-	60	330*	-	-
F選手 (アジアおよびヨーロッパツアー)	-	64	350*	-	-

*トレーニングデータより推測

Table1 実験室における漸増負荷テスト結果

[結果 レース分析]

得られた仕事率(パワー)データから、レース展開の解析を行った。

- 1) レース展開の解析(例:チャレンジロード 伊豆サイクルスポーツセンター)
毎年4月上旬 伊豆サイクルスポーツセンターで開催
1周5キロのコースを12周回(60km)

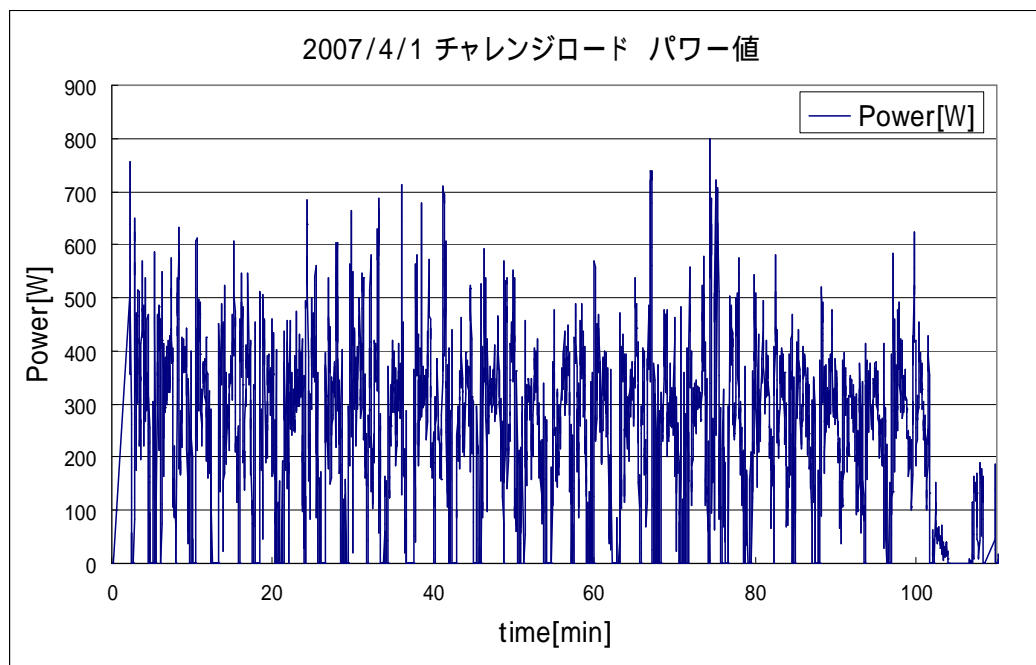


Fig.1 チャレンジロードにおけるパワーデータ



Fig.2 コース高低図

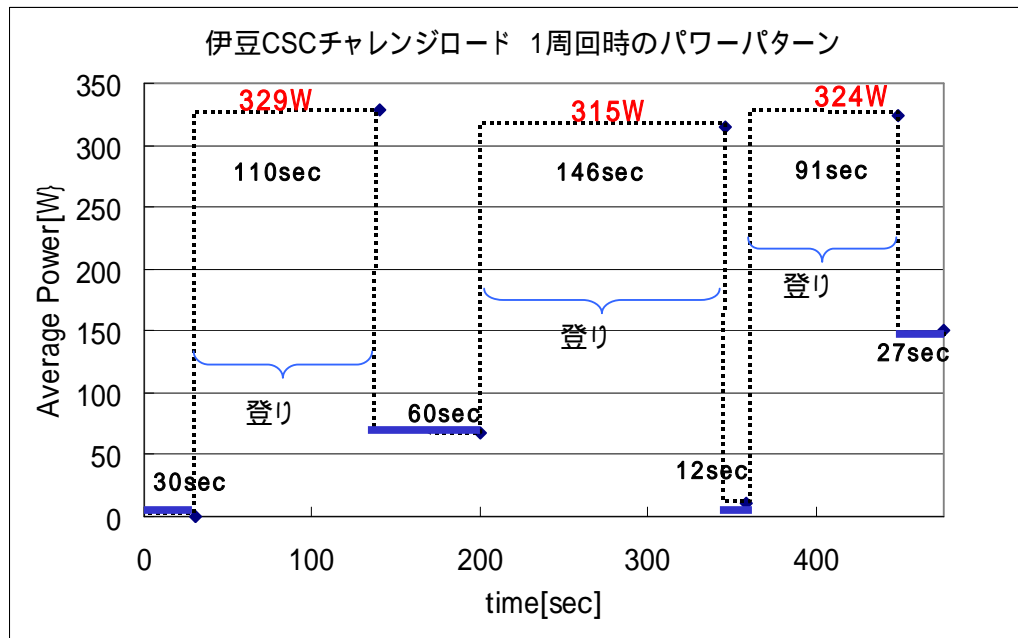


Fig.3 チャレンジロードにおけるパワーパターン

12秒～60秒のほぼ脚を止める区間(-)を挟んで、約1.5分～2.5分の登り区間を繰り返す。レースでは12周回する。

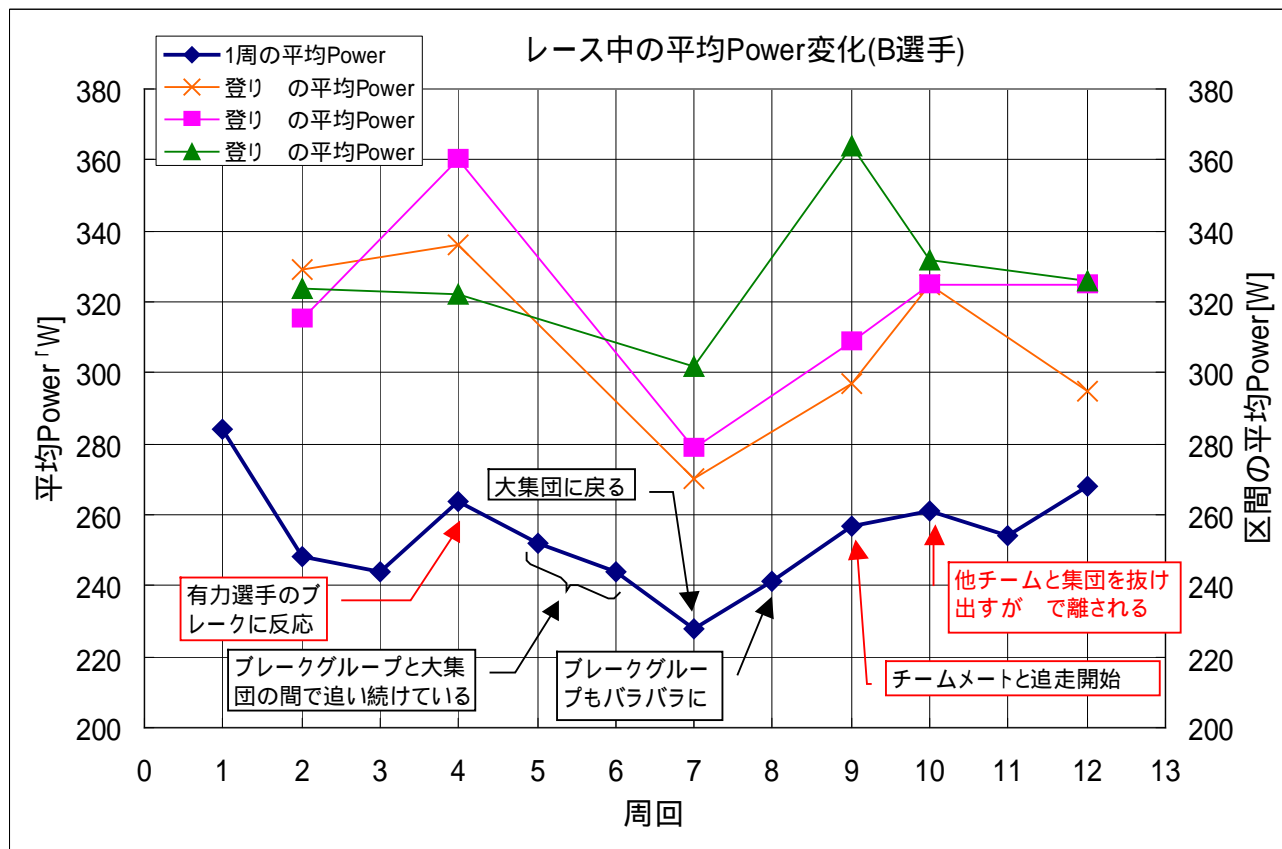


Fig.4 チャレンジロードにおける各周回および各登り区間における平均パワー値の変化(B選手)

各周回における平均Power値および、3つの登り区間 ~ におけるPowerの平均値をFig.4に示す。

レース展開

1周回: スタートと同時に集団のペースが上がるが、2~3周回は落ち着く

4周回: 集団から単独でブレーク(集団からの抜け出し)した選手を追走するため、B選手も集団からブレーク

7周回: B選手は先頭の選手をつかまえる事ができず、徐々にペースは落ち、大集団へ戻る

9周回: B選手はチームメイトと共に集団から再度ブレークを試み、先行している選手を追い始める

10周回: 他チームの選手達もB選手に合流、しかし合流してきた他チームの選手に登りで離された

12周回: 結果的に順位は落ちたが、集団からのブレークには成功し、入賞した

- ・ブレークを追った4周回では、それまでの周回と比較して平均パワー値は大きく上がり、また最も長い登り区間 でのパワー値がレースを通じて最も高くなっている。
- ・ブレークした選手の追走をあきらめ、大集団に戻る際には(5,6周回)徐々にパワー値は落ちる
- ・再度大集団からブレークした周回(9周回)でパワー値は1回目のブレークとほぼ同じパワー値まで上がり、それからほぼ同じパワー値を維持し続け、最終周回は集団からの追走を振り切るために更にパワー値は上がり、ブレークを維持してゴールできた。
- ・10周回の登り では共同で追走していた他チーム2人の選手に引き離された。
10周目の登り では325Wで追走しており、4周回における360Wよりも大幅に下がっている。
レース前半に比べて、後半の勝負のかかるポイントでパワー値を維持できなくなっている事がわかる。レース前半における追走による疲労が原因と考えられる。

各周回の平均パワー値はレース展開に対応した変化を示し、パワーデータがレース展開の解析に有効である事が示された。

このような結果は選手の教育資料としての利用が考えられ、レースの動き、自分の能力、他チームの動向を考えながらレースで有利に動くよう考えるための資料として活用している。

ロードレースは距離が長い上、同じコースのレースでも状況に応じてレース強度は変わるため、このような解析に併せて、レース前半の動きがレースの後半でどのように影響するか?、といった仕事履歴の評価も必要である。

レースデータの比較

日本実業団レース、UCIアジアツアー、ヨーロッパツアー、日本学生選手権の各レースに参加した選手が収集した各レースの主な記録を以下に示す。

レース名	選手	体重	UCI ランク	距離	時間	平均パワー値 [W]	平均HR	平均 Cadence[rp]
梶池#1			-	16.7	53.5	292	186	80
全日本選手権U-23			-	138	227	212	168	86
石川町			-	101	162	246	172	84
丸岡			-	134	198	213	169	89
実業団小川村			-	75	167	231	177	77
全日本実業団			-	140	250	202	171	82
いわきクリテリウム			-	22.9	33	271	188	87
実業団飯田			-	67.7	131	233	167	80
富士ヒルクライム			-	11	46	305	189	67
加東ロード			-	92.9	131	236	174	87
南紀白浜ロード			-	86	128	232	173	85
Japan Cup open			-	79	136	241	172	83
チャレンジロード			-	60	99.5	253	181	88
TD熊野#1			-	129	190	211	166	98
チャレンジロードU-23			-	38	66	277	192	93
全日本選手権U-23			-	158	266	199	170	88
TD北海道 #1			Asia2.2	210	326	184	-	88
学生選手権			-	177	282	218	166	92
昭和記念クリテリウム			-	48	69	255	177	96
レース名			UCI ランク	距離	時間	平均パワー値 [W]	平均HR	平均 Cadence[rp]
Tour de Langkwi#4			Asia2.HC	174	231	200	144	90
Tour de Langkwi#6			Asia2.HC	183	273	170	126	84
Tour de Langkwi#9			Asia2.HC	71	91	182	136	94
Tour de 台湾#1			Asia2.2	81	121	231	160	94
Tour de 台湾#3			Asia2.2	35	59	130	-	85
Tour de 台湾#8			Asia2.2	64	83	213	-	93
アジア選手権			AsiaCC	148	231	216	156	89
Tour De Bretagne #1			Eur2.2	152	205	225	165	91
Tour De Bretagne #2			Eur2.2	160	233	177	140	87
Circuito Montanes #1			Eur2.2	160	240	175	155	95
Les Boucles de Mayenne#1			Eur2.2	166	227	238	146	93
Les Boucles de Mayenne#3			Eur2.2	168	240	209	136	90
GP TORRES VEDRAS#1			Eur2.2	161	257	252	162	93
GP TORRES VEDRAS#3			Eur2.2	164	248	230	142	91
GP TORRES VEDRAS#4			Eur2.2	153	233	207	137	90
GP TORRES VEDRAS#5			Eur2.2	100	162	285	159	92

Table2
レースデータ(国内)

Table3
レースデータ
(ヨーロッパおよびアジア)

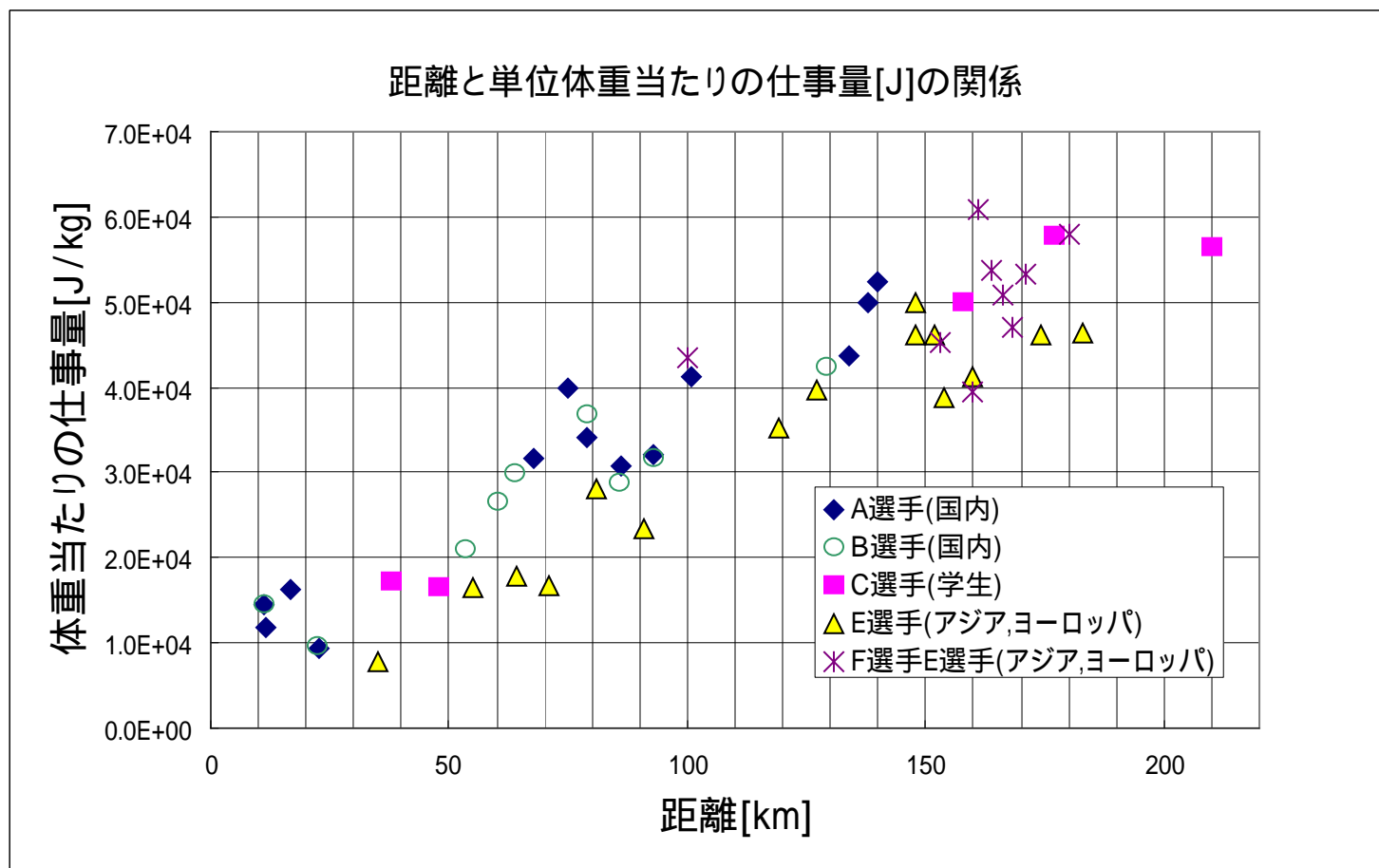


Fig.5 各レースの距離と単位体重あたりの仕事量[J/Kg]の比較

国内のレース(実業団)に比べてヨーロッパツアーのレースは距離が長く、仕事量も大きくなる。E選手は140km、C選手は160kmを超えたところからプラトーになっている。

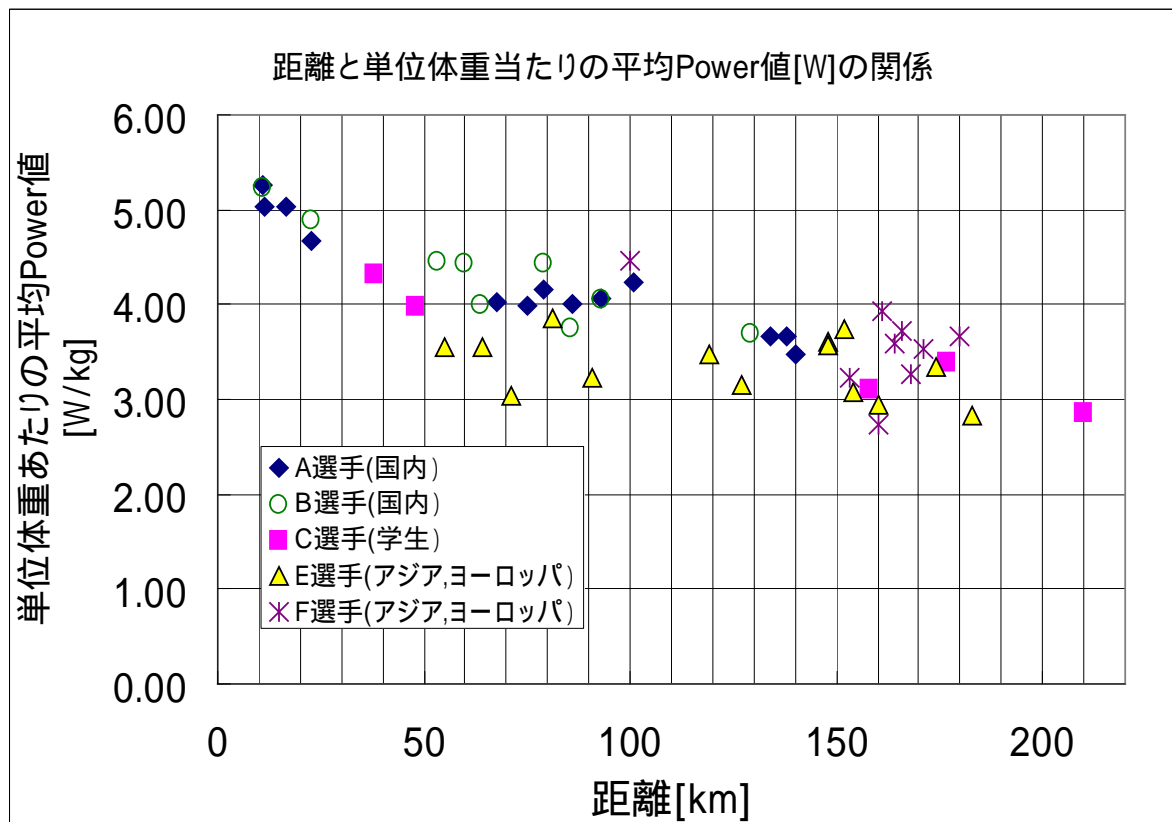


Fig.6 レース距離と単位体重あたりの平均パワー値の関係

距離が長くなるにつれ平均Power値は下がる傾向がある。
 F選手は競技時間の長いレースでも比較的高いパワー値を発揮している。
 これに対してE選手は距離の増加に関係なく、3～4W/kgの範囲に分布している。

ヨーロッパツアーのレースは走行距離が長く、実業団レースを中心に走っている選手がヨーロッパツアーを走る場合、この長距離への対応が求められる

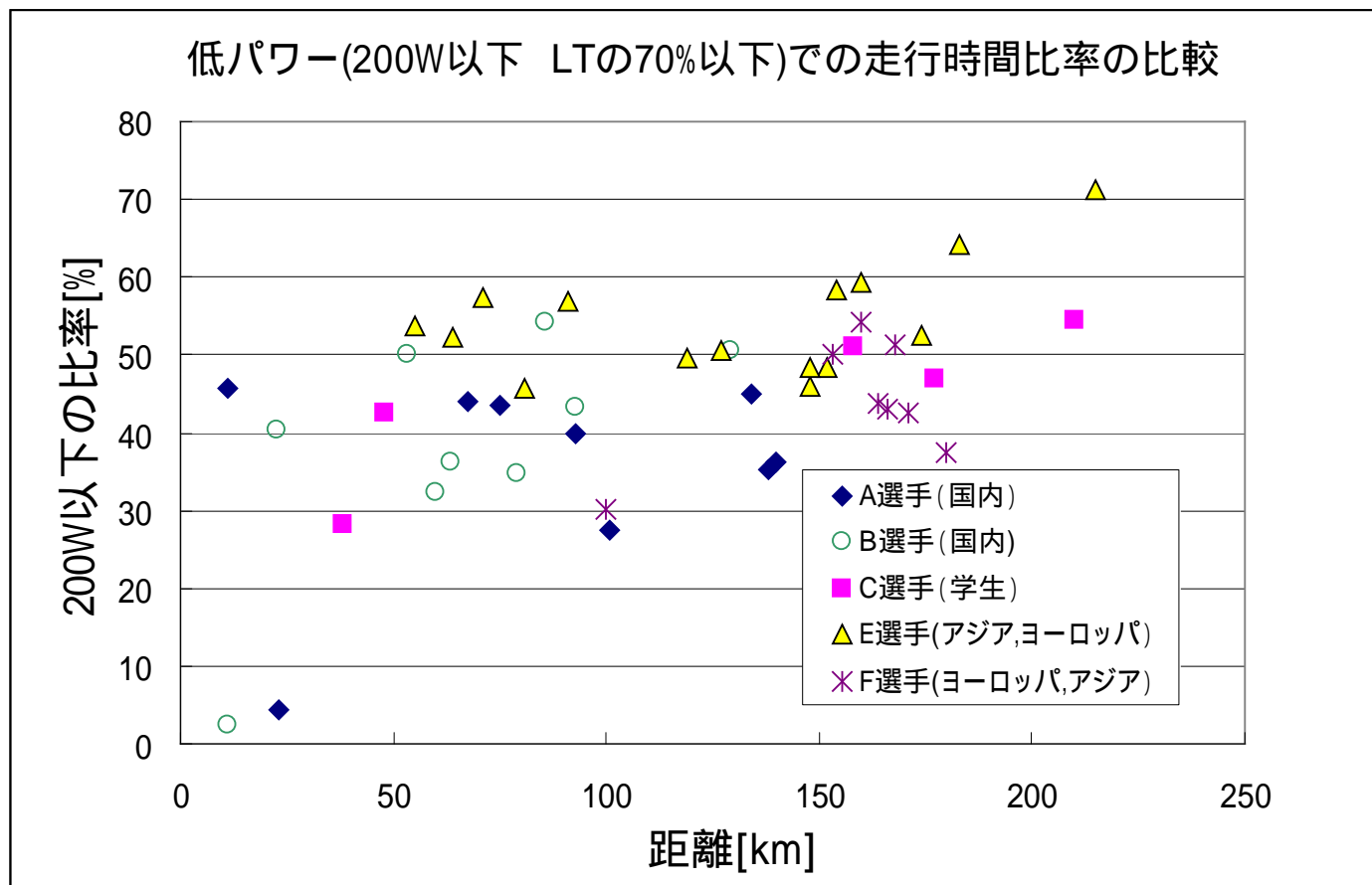


Fig.7 低パワー値(200W以下)での走行時間比率の比較

低いパワー値(200W以下 LTの70%以下)での走行時間の比率:高いほど脚を休める時間が長い

E選手は小グループでのブレークとゴール前でのスプリントを得意とし、勝負に関われる位置取りが優れていると言われる選手で、他の選手に比べても低パワーで走っている比率が高い傾向にあることがわかった。風圧を避けるために集団の中でどのような位置にいるか、あるいはできる限り減速しない位置にいる、またスピード変化に対して短時間で対応する、など、レース中にどのような動きをしたかにもよってパワー値は変動し、E選手はこのようなレース技術が優れていると考えられる。

- ・ヨーロッパツアーを走っている選手の、レース中のパワー変化への対応力、耐久力、レース後半においても高いパワーを維持する事ができるという「強さ」は経験的によく知られている。
- ・しかし今回のデータからレース全体の平均パワー値で日本とヨーロッパを比較すると、距離は異なるものの、ヨーロッパツアーを走っている選手が特別に高い平均パワー値を示すわけではない。

[結果 各レースの仕事量の経時変化 実業団レース]

より詳細にレースの特徴を把握するために仕事量の国内のレースとヨーロッパツアーレースとで、仕事量の経時変化を調べた。パワー値のサンプリングレートは1[Hz]で、パワー値をレースの経時時間に渡って積分した値が積算仕事量となる。積算仕事量の変化から各レースについての評価を行った。

1) 実業団レース

国内では全日本実業団連盟が主催するロードレースシリーズが開催されており、国内のプロおよび実業団選手にとって最も重要なレースであり、国内では最もレベルの高いレースである。実業団レースで収集したパワーデータを基にレースにおける積算仕事量変動をFig.7に示す(A選手)。小川村(長野県)、飯田(長野県)、Japanカップ(宇都宮市)、石川町(福島県)、全日本U-23(大分県)、加東(兵庫県)、南紀白浜(和歌山県)のいずれのレースも周回レースである。

A選手 国内実業団レース 時間-仕事量[J]

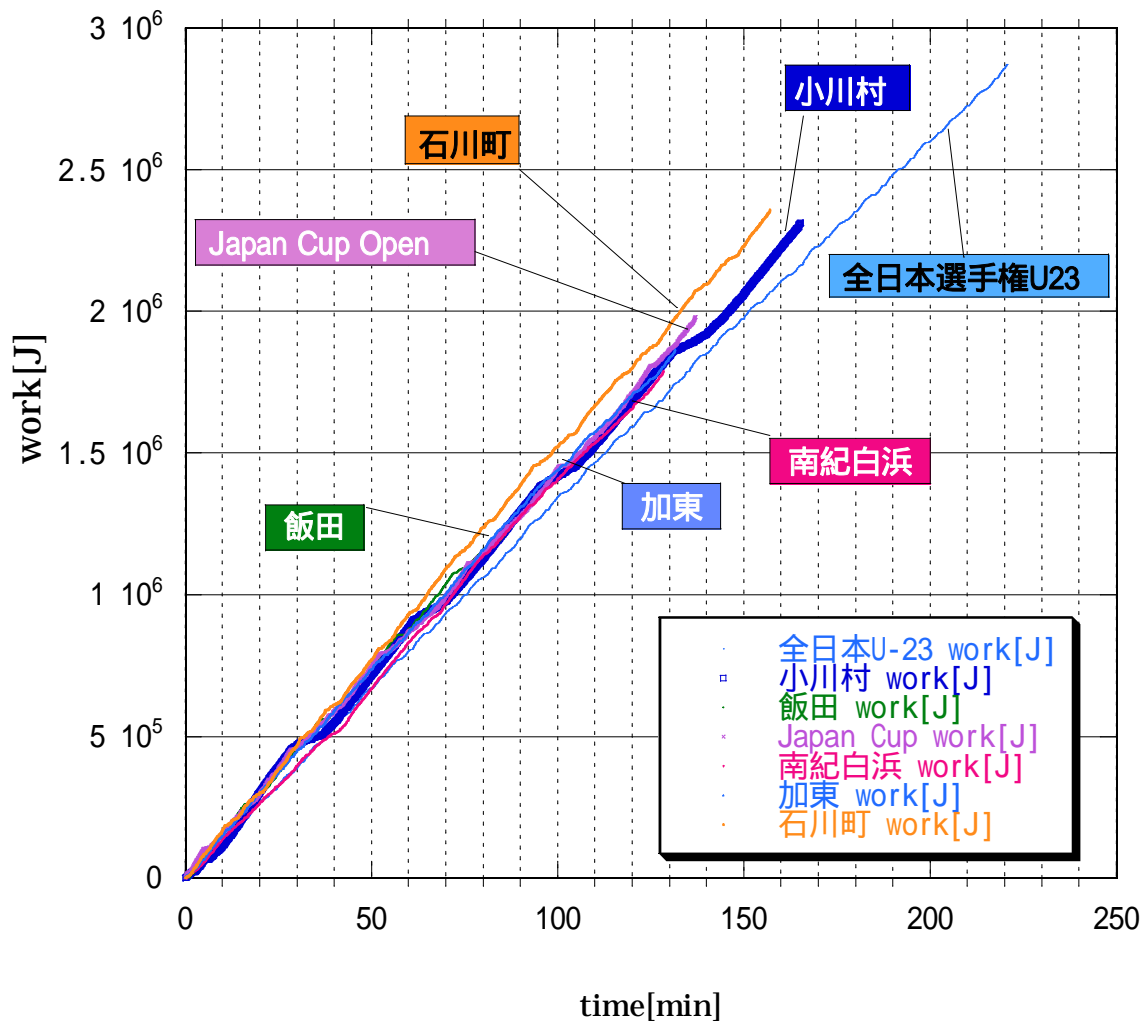
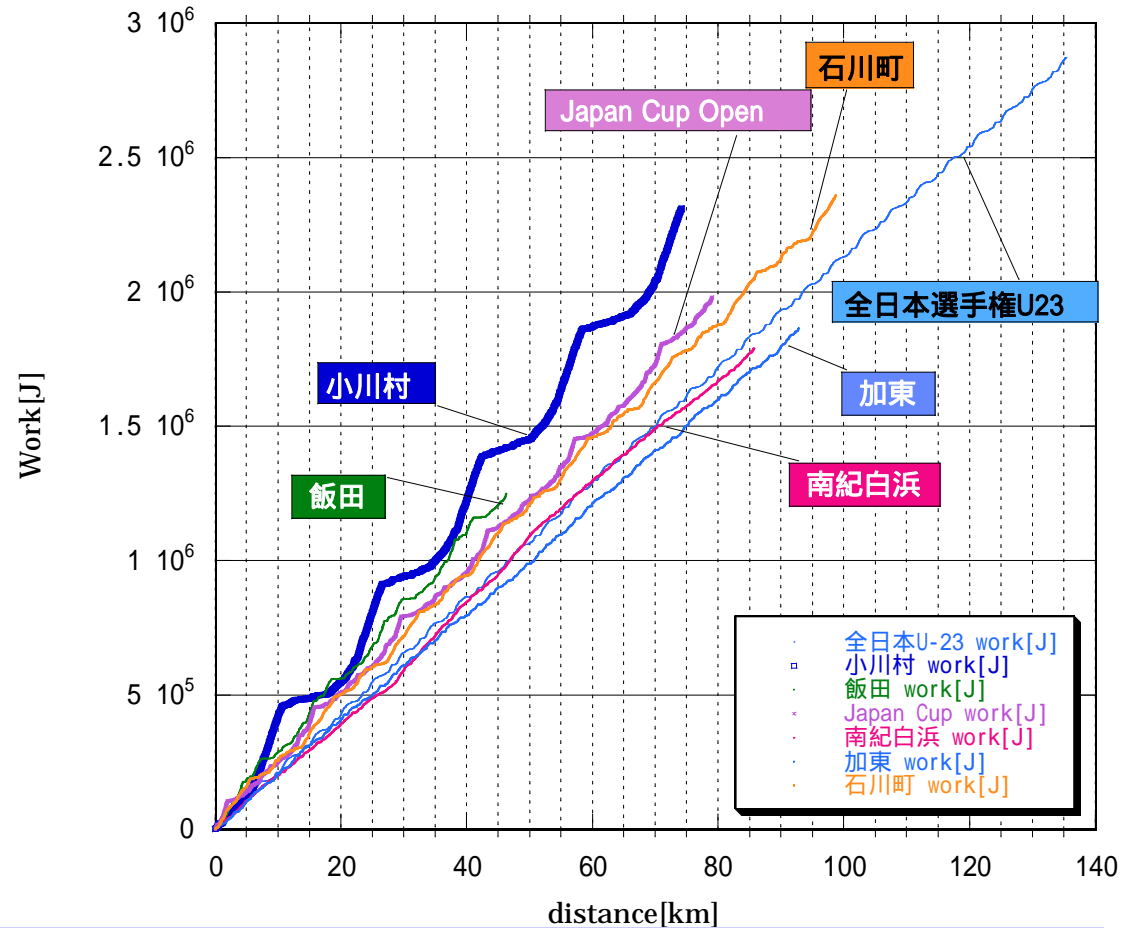


Fig.8a 実業団レース
時間に対する積算仕事量曲線
(経時変化)

Fig.8aは積算仕事量の経時変化を表し、積算仕事量曲線はレースにより形状が変化し、レース固有の曲線となる。この積算仕事量曲線の始点と終点を結んだ傾きが各レースの平均パワー値を表し、この傾きが大きいほどレースの平均パワー値が高くなるが、積算仕事量曲線形状がレースによって変わるため、平均値ではレースの特徴を把握できない。



**Fig.8b 実業団レース
距離に対する積算仕事量曲線**

距離に対して傾きが大きいほど、スピードが遅く、より高いパワー値を要求するコース、すなわち登り区間のきついレースであることを示す。小川村(長野県)のレースは長い上り坂と下り坂で構成されたコースで、仕事量曲線が急激に立ち上がる区間と緩やかになる区間の差が顕著に表れる。これに対してJapan Cup(宇都宮市) 石川町(福島県) 全日本U-23(大分県)の順で積算仕事量曲線の傾きは小さくなり、曲線は小さな振動が多くなる。これらはいずれも比較的小さな丘を繰り返すレースで、パワー変動の周期が短く、レース全体で高い平均パワー値を維持する、より高速のレースである事がわかる。

A選手 飯田と小川村の比較

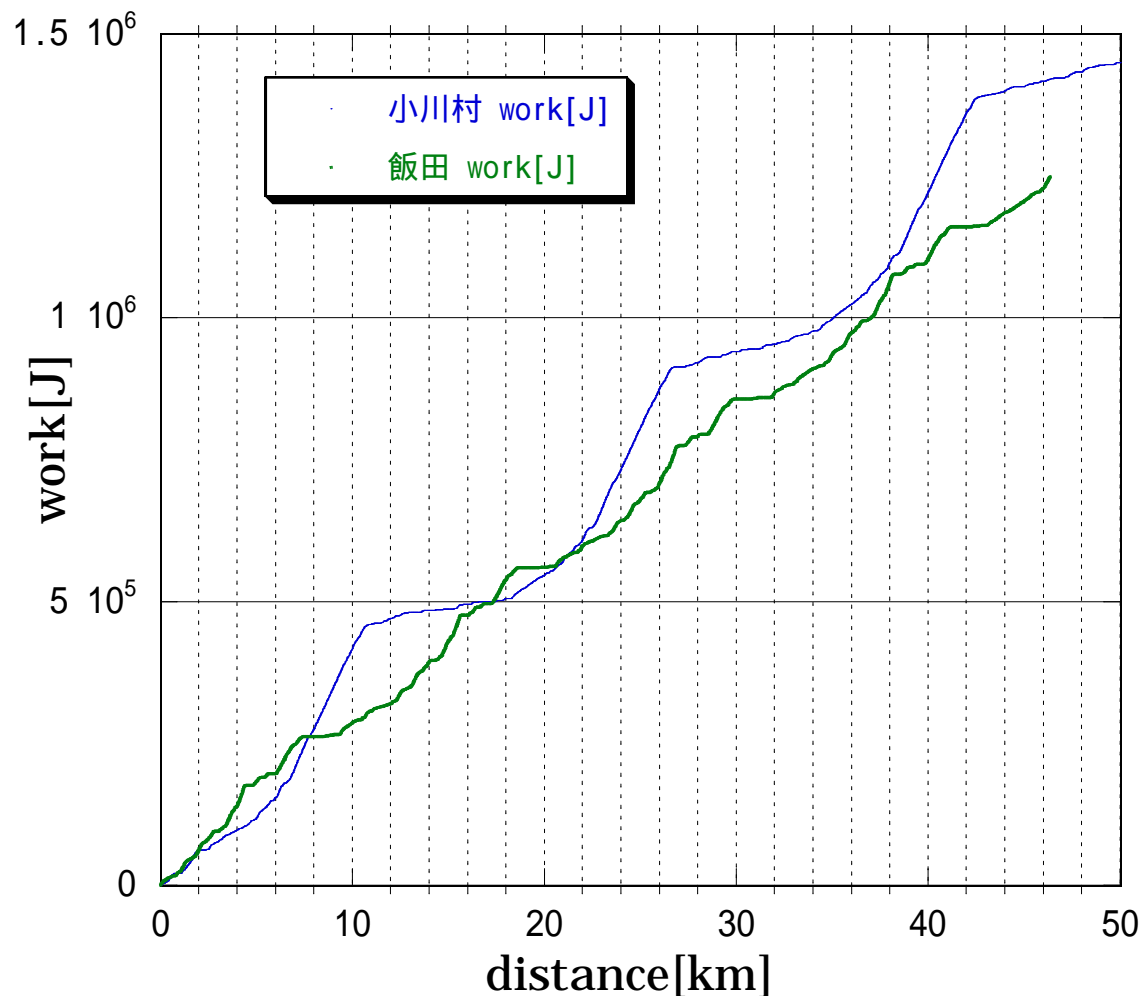


Fig.9 小川村と飯田の積算
仕事量曲線の比較
(Fig.8bの一部拡大)

A選手はより平均パワー値の高い(仕事量曲線の傾きが大きい)小川村では成績を残すことができたが、小川村より平均パワー値の低い飯田では46kmの時点でレースについていけなくなった(Fig.8b)。積算仕事量曲線をより細かい時間で比較すると(Fig.9)、飯田は小川村に比べて周期の短いパワー変動が多く、曲線が小刻みに振動している。

飯田、小川村、石川町のパワーデータを30secの範囲で平滑化を行った結果

(1)飯田

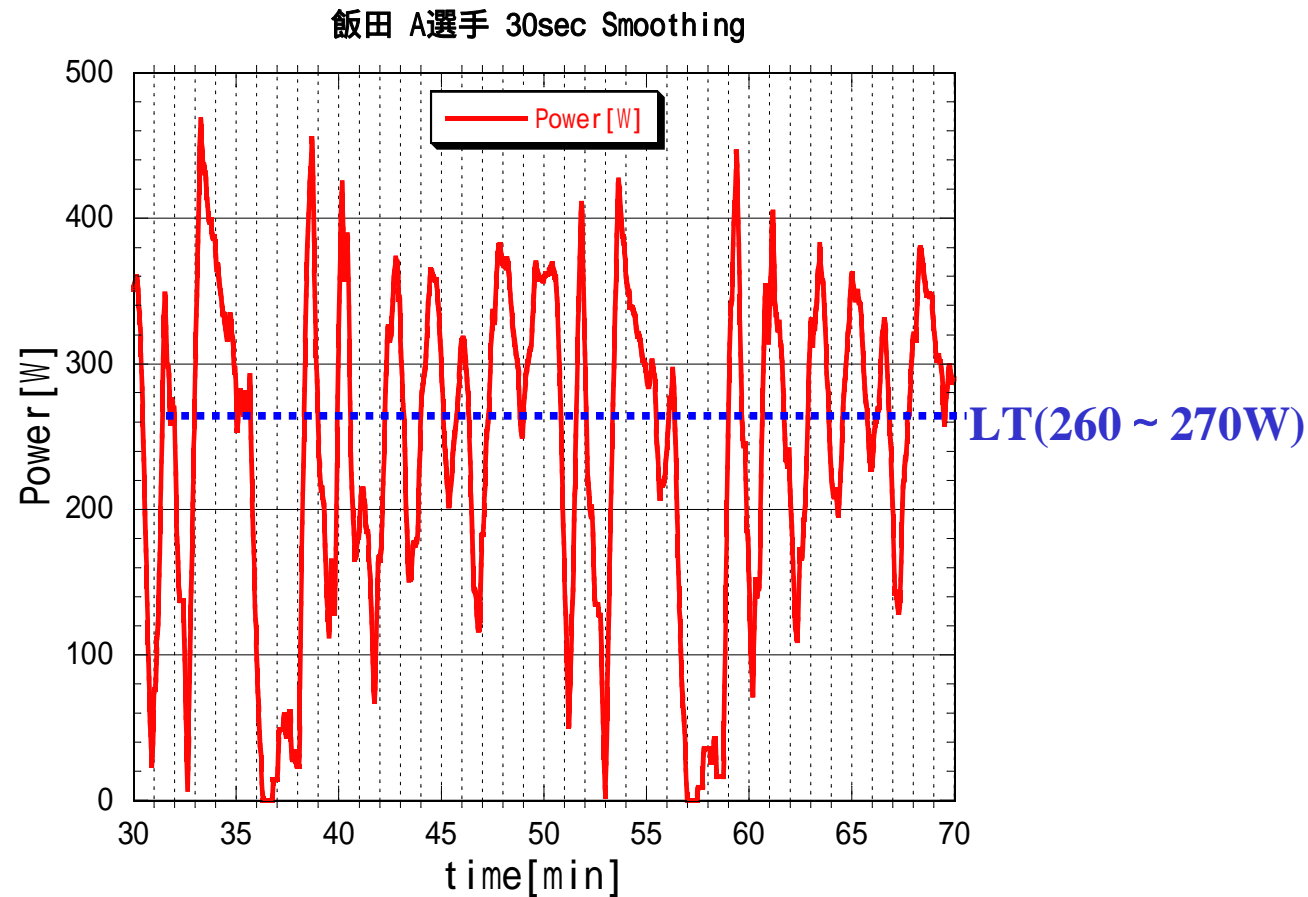


Fig.10a 飯田 平滑化したパワー値

飯田では(Fig.10a)、LTの130 ~ 160%のパワー値を1 ~ 2分周期で繰り返し、脚を止める事ができる区間も1 ~ 2分程度と短い。

(2)小川村

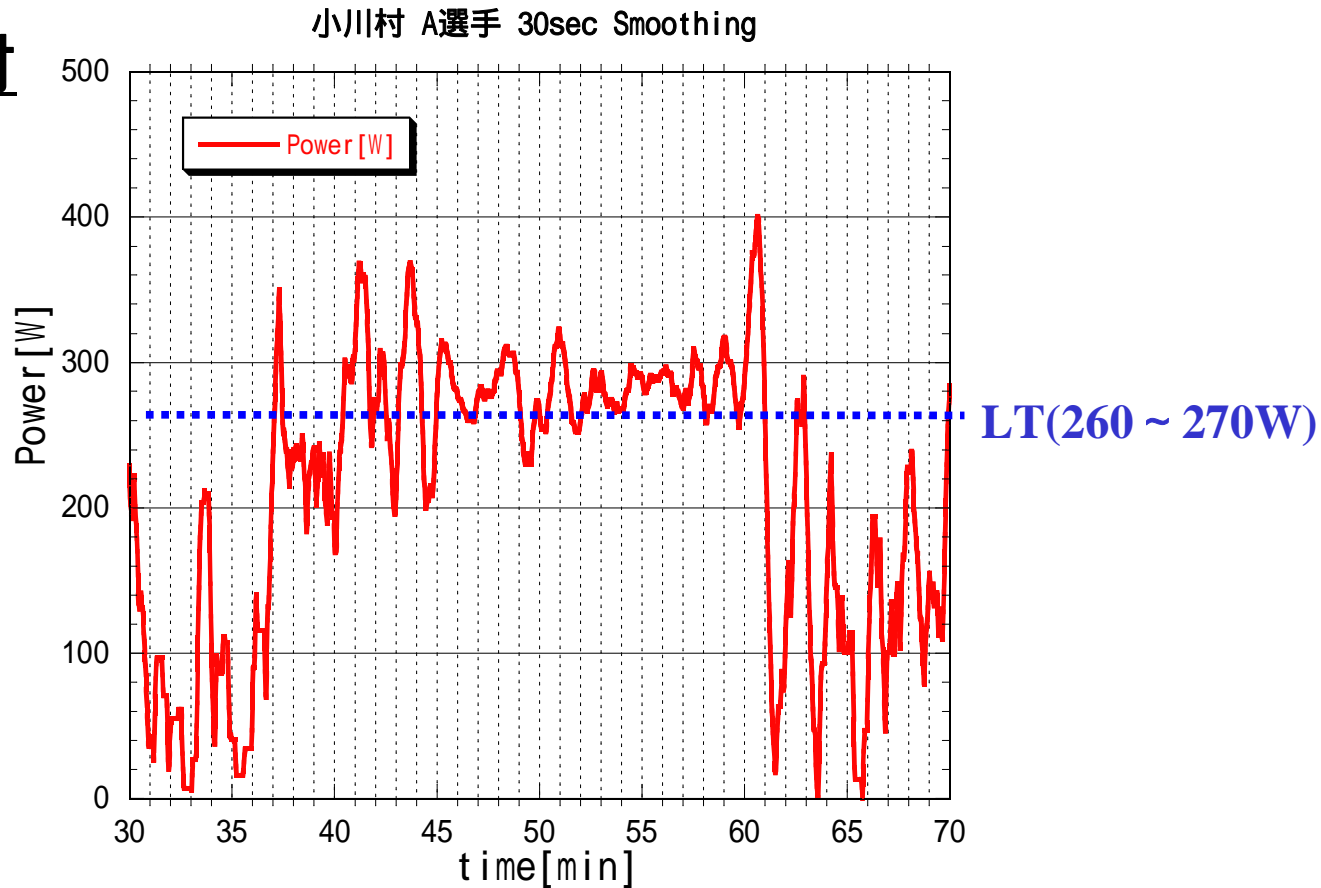


Fig.10b 小川村 パワー値と平滑化したパワー値

小川村のレース(Fig.10b)では時折110% ~ 130%のパワー値に達するが、殆どの時間をLT値近傍のパワー値を維持しており、また脚を休められる(200W以下の)区間が6 ~ 8分ほどと長く、LT近傍のパワー値を維持 下りで脚を休める、の繰り返しである。

(3)石川町

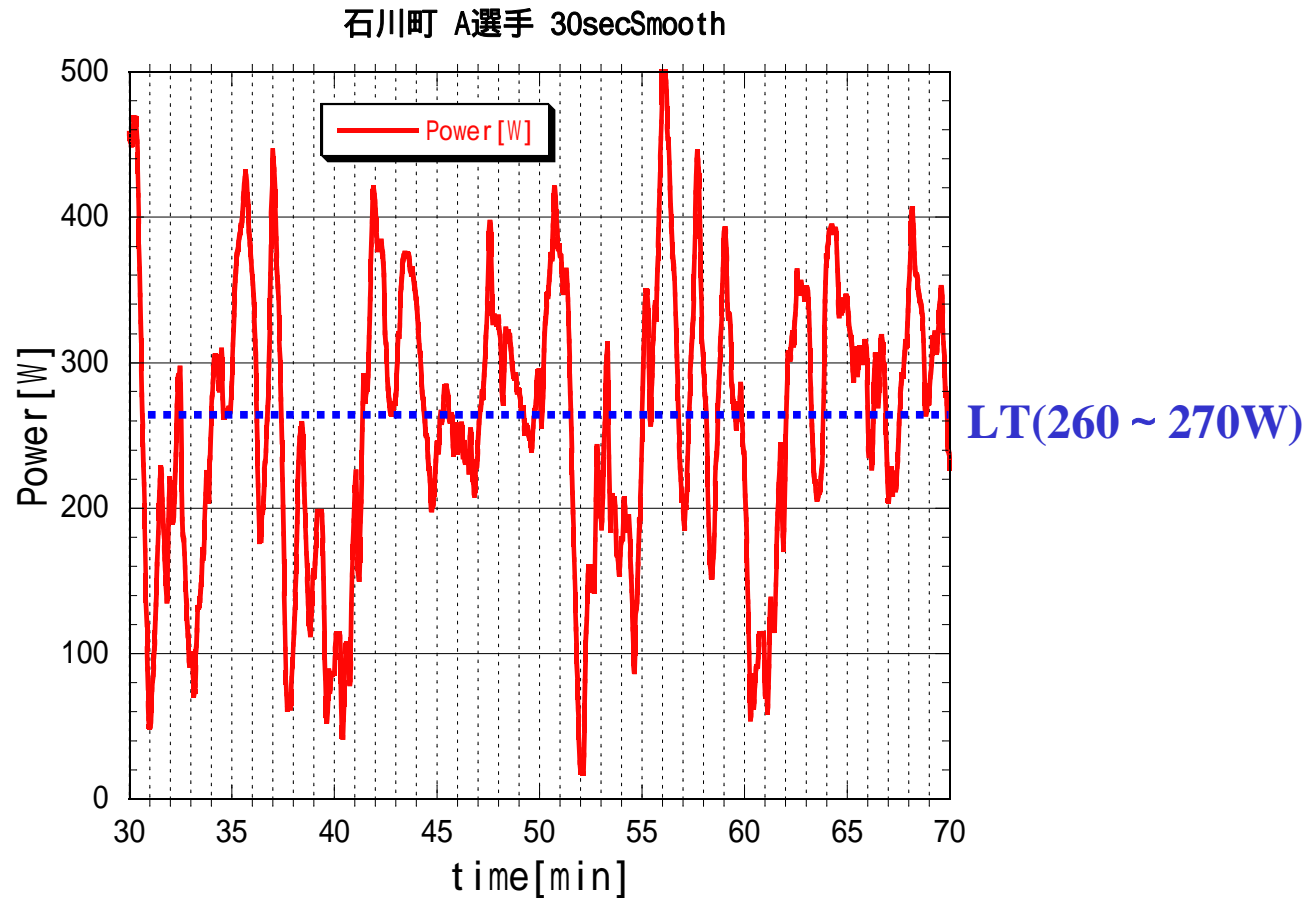


Fig.10c 石川町 パワー値と平滑化したパワー値

石川町(Fig.10c)も飯田同様に高いパワー値を短い周期で繰り返す時間帯があるが、頻度は少なく、また小川村と同様、休む区間が2～4分間あり、この区間で脚を休める事ができ、これがレースを続けることのできる要因となっていると考えられる。

(4)3レース比較

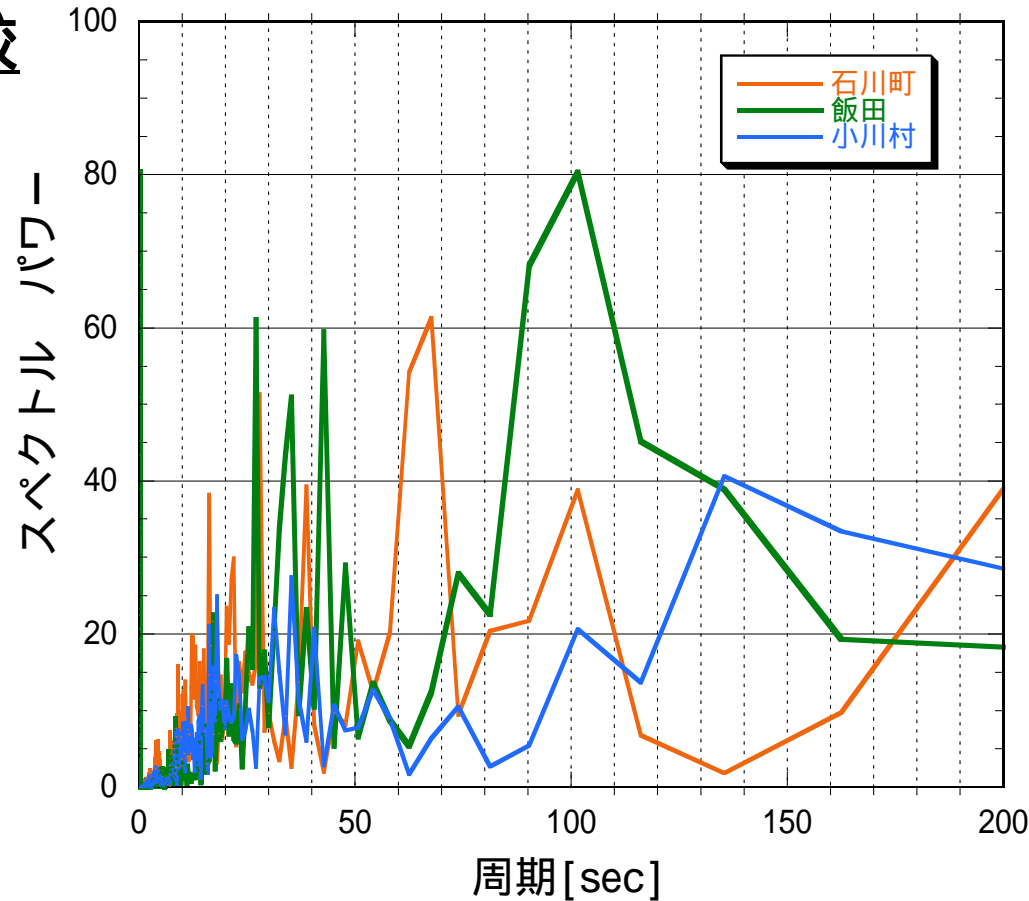


Fig.11 FFT解析による各レースのパワー変動成分(スペクトル)の比較

飯田のレースでは小川村、石川町では少ない、25～50秒の周期のスペクトル成分が多く、高強度の負荷がこの短い周期で繰り返すために選手は疲労し、トップ集団につけなくなったと考えられる。レースによってパワーパターンに特徴があり、レースの特徴に絞ったトレーニングも必要である。

[結果 各レースの仕事量の経時変化 ヨーロッパツアーレースとの比較]

実業団とヨーロッパツアーとの比較

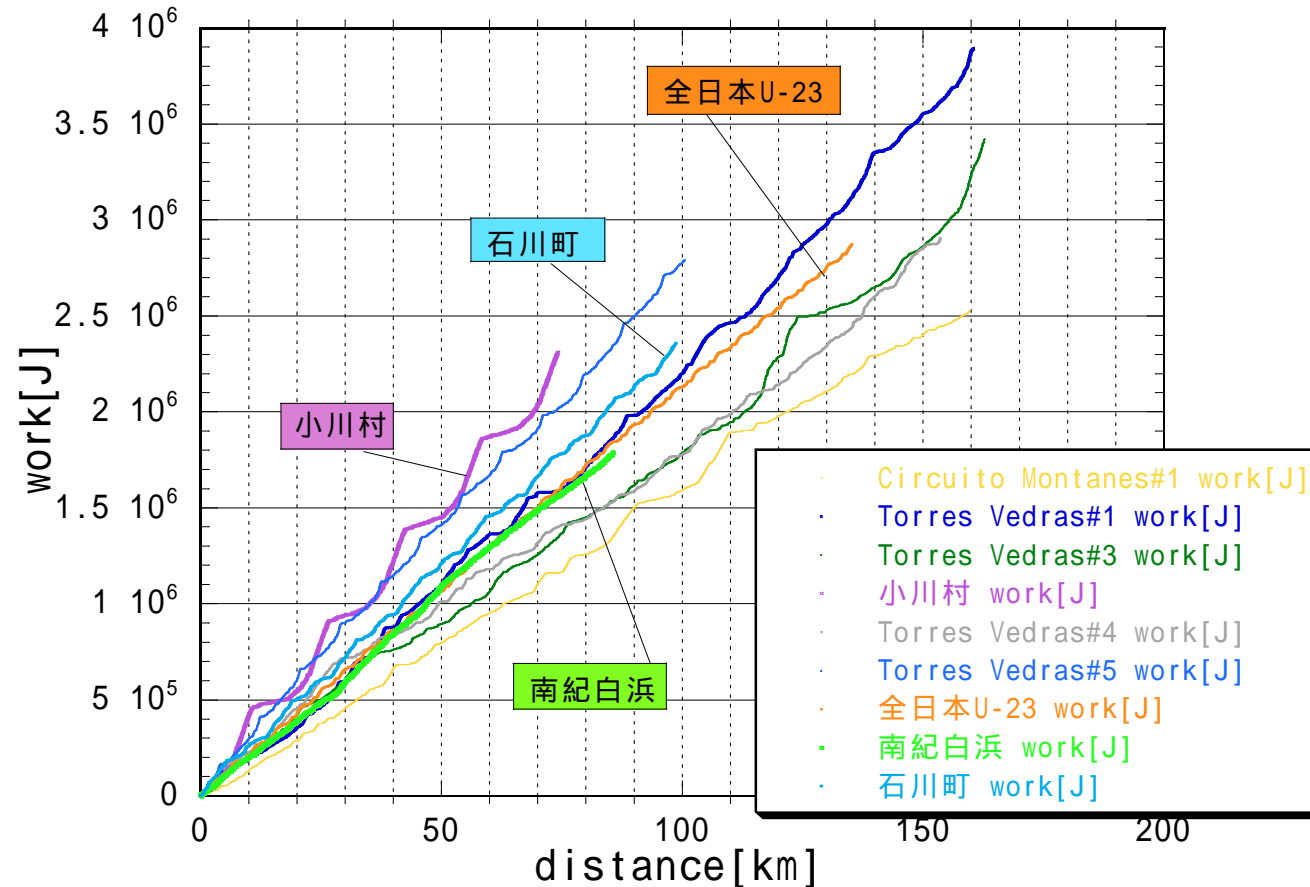


Fig.12 実業団レースとヨーロッパツアーとの比較

日本の実業団レースと比較すると競技距離が長いため、総仕事量は全体的に高く、仕事量曲線に細かい振動が多く、またそれらの振幅が大きく、パワー変動が大きいレースが多い (Fig.12)。平均パワー値が低くても、コースが長く厳しく、またレース強度変化が大きいと考えられる。

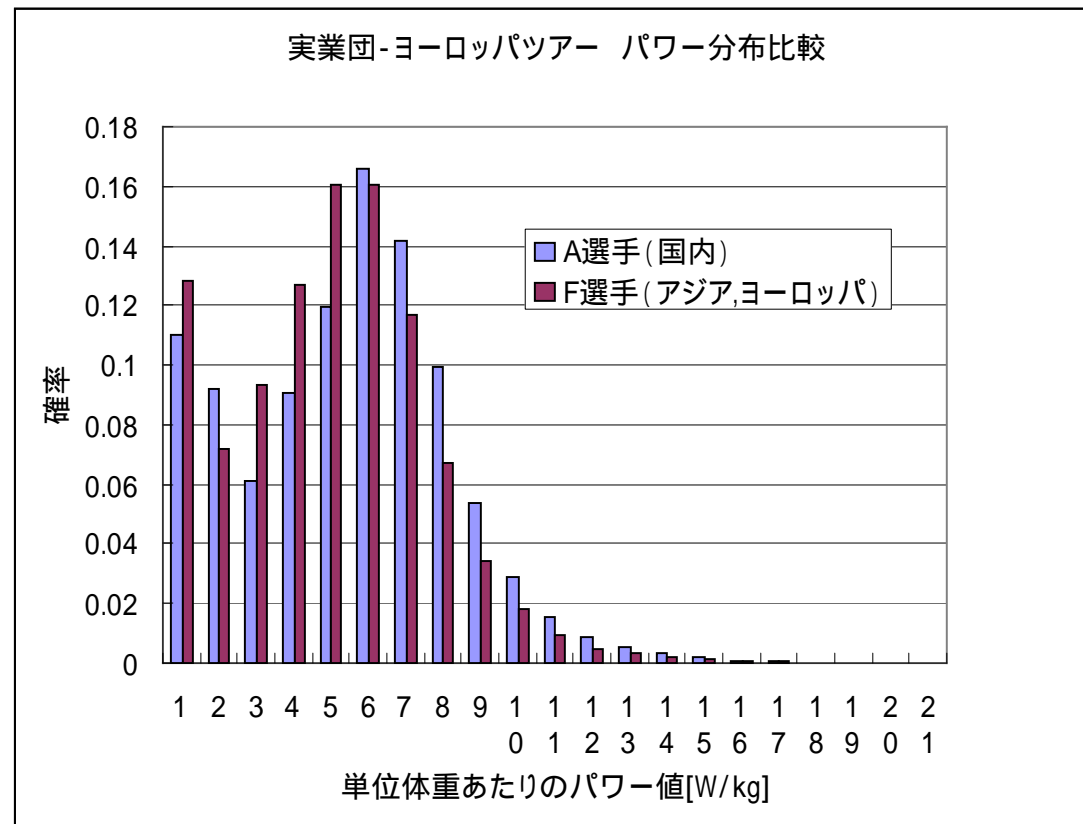


Fig.13 実業団選手とヨーロッパツアー選手との体重あたりのパワー (w/kg)分布比較

参考のためA選手(4.7W/kg)とF選手(5.5W/kg)の、レースにおけるパワー帯分布の比較を行った。国内のレース(実業団)とヨーロッパツアーのレースでパワー分布を比較すると、A選手はF選手に比べるとLT以上のパワー帯の比率がF選手よりも高い。これに対してF選手はA選手に比べてLT近傍のパワー帯(5~6W/kg)での滞在率が高い。パワー分布からは両者の特徴および差はよく把握できない。

[総括]

パワーメーターによって国内およびヨーロッパツアーレースにおいてパワー値を測定することにより、以下の事が明らかになった。

- ・パワーデータを解析する事により、選手のレース中のパフォーマンスを把握することができ、パフォーマンスを定量化できる可能性を示した。レースの分析および選手の教育に利用することができる。
- ・平均パワー値で比較すると、国内の選手とヨーロッパツアーの選手との差は明確ではない
- ・低パワー帯での走行時間が多いという、レースの「うまい選手」の特徴の一端が把握できた。
- ・平均パワー値、レース中のパワー値の分類だけではわからない、パワーの履歴と瞬間的な高いパワー値および短い周期のパワー変動によって選手は疲労する。レースおよび選手のパフォーマンスを定量的に把握するためには、パワーの履歴と強度と周期、時間、疲労の間の関係を把握する必要がある。これらの情報はトレーニング方法の提案にも役立てることができる。
- ・ヨーロッパツアーレースは日本の実業団レースに比べると、パワー変動の振幅が大きく、頻度が高く、日本のレースに比べてより厳しい条件でのレースと考えられる。更に研究への参加選手数、データ数を増やして引き続き詳細に評価する必要がある。

[参考]

- 1) Vogt,S et al. Power Output during Stage Racing in Professional Road Cycling. Med. Sci. Sports Exerc., Vol.38,No.1, 147,2006
- 2) Tammie R. Ebert et al. Power output during women's World Cup road cycle racing Eur. J. Appl. Physiol 95:529, 2005