

Jr.アルペンスキー選手の有酸素性能力 および無酸素性作業閾値 (AT) —新潟県強化ヨーロッパ遠征チーム選手と非強化選手の比較—

塩 野 谷 明*・橋 本 哲 雄*

THE AEROBIC CAPACITY AND THE ANAEROBIC THRESHOLD OF Jr. ALPEN SKI RACERS

—The comparison between who is designate to train and not to train—

Akira SHIONOYA, and Tetuo HASHIMOTO

An alpen ski racer needs an ultimate aerobic and anaerobic work capacity, especially capacity in a mechanism associated with ATP-CP (adenosine triphosphate and creatine phosphate compounds) and in mechanism of anaerobic glycolysis. The purpose of this study is to estimate the aerobic work capacity and AT (anaerobic threshold) of Jr. alpen ski racers who were designated by the NSA (Niigata ski association).

To find out the AT-point as a measurement of aerobic capacity of each subject, $\dot{V}O_2$ (Ventilation oxygen uptake), $\dot{V}E$ (Ventilation expirer), $\dot{V}CO_2$ (Ventilation CO_2), O_2 rate ($\dot{V}O_2/\dot{V}E$), FE_{O_2} , FE_{CO_2} and Heart rate were measured during an exhaust test using an exercise load system AY500-T. AT is determined at the point when there is a rapid increase in $\dot{V}E$ and when FE_{CO_2} starts to decrease.

The results of the experiment led us to decide:

- 1) In case of Jr. alpen ski racer, a capacity based on functions of metabolism system were higher than that of heart and circulatory system.
- 2) In case of male, AT-point of trained were higher than that of untrained.
- 3) In case of male, it is possible that a ski racer can be managed by a capacity based on AT.
- 4) In case of female, a capacity based on AT between trained and untrained was equal.

Key Word $\dot{V}O_2$ / $\dot{V}E$ / O_2 rate / AT (Anaerobic threshold)

1. 緒 言

著者らはこれまで、新潟県のアルペンスキー強化選手の体力測定の実施に伴い、その体力因子についての報告を行ってきた。そこで報告された主な点は、1) これまで多くの研究で報告されるように、アルペンスキー選手に特有の体力因子は見られない。2) 有酸素性能力に優れたタイプの選手もいれば、無酸素性能力に優れたタイプの選手もいる。また両種の能力に優れた選手もいる。3) アルペンスキーの競技成績を示すSAJポイントに優れた選手は、その因子を決定することはむずかしいがいずれかの優れた体力因子¹⁾²⁾³⁾を持っている。

アルペンスキーは現在、4種目5競技でワールドカップ、オリンピック、世界選手権等が行われている。表1に示す1988年カルガリー冬季オリンピック、1989年バイル世界選手権の優勝者の所用タイムから考えてみるとアルペンスキー競技では、無酸素性の解糖によるエネルギー供給機構が主となり、それに有酸素性の過程が併せて関与していることが考えられる。一般的な指標から見ると例えばクロスカントリースキーやマラソンのように、有酸素性能力が絶対視される競技種目に比べ、アルペンスキー選手の有酸素性能力はあまり高い評価にはなっていない。

しかしアルペンスキーでは高い有酸素性能力が必要であるという報告も多い、また新潟県で併せて実施しているクロスカントリースキー選手の体力測定結果と比べてみても、有酸素性能力の指標となる最大酸素摂

原稿受付 平成2年3月24日

*長岡技術科学大学体育保健センター

取量に大きな差はみられていない。さらにこれを一地域に限定した場合のクロスカンTRIESスキー選手（新潟県N市）との比較では（この場合1名が県の強化選手として含まれる）、アルペンスキー選手の場合が高い能力をみとめる結果であった。⁴⁾

そこで本研究ではアルペンスキー選手の体力因子の中でも、特に有酸素性能力について取り上げ、その指標として心拍出量をはじめとした心臓、血管系機能に依存している酸素摂取能力とともに、筋の酸素活性等代謝系の動態に関連すると考えられるAT（Anaerobic threshold 無酸素性作業閾値）に基づいて、多方向に渡って考察するものである。

TABLE 1 Exhaust time of each items at gold medakist in olympic games 1988 and world championships 1989. “*” is total time.

	F	M	F	M
DH	1 : 46.50	2 : 10.39	1 : 25.86	1 : 59.63
SG	1 : 19.46	1 : 38.81	1 : 19.03	1 : 39.66
GS	2 : 29.37*	2 : 37.66*	2 : 06.49*	2 : 06.37*
SL	1 : 30.88*	2 : 02.85*	1 : 36.69*	1 : 39.47*
	Olympic games		world championships	

2. 方 法

実験は長岡技術科学大学・体育保健センター運動機能実験室において、一定気温（摂氏25度）一定湿度（50%）の環境下において実施した。被験者は新潟スキー連盟に所属する強化選手男子3名、女子3名（プロフィールは表2、3参照）、対象群として新潟県K高校スキー部に所属する男子3名、女子3名であった。

方法はモナーク社製自転車エルゴメーター7 kp型を用い、自転車駆動運動によって行った。運動強度は、0 kpを3分間駆動させた後、毎分0.25 kp毎のステップ式負荷漸増法で疲労困憊（all out）に至るまで行った。運動速度は、メトロノームに合わせて1分間50回転（50 rpm, revolution per minute）のペダリング頻度で行った。

測定はチェスト社製負荷システムAY500-Tを用い、被験者が疲労困憊に至るまでの換気量（ $\dot{V}E$ ）、酸素摂取量（ $\dot{V}O_2$ ）、酸素消費濃度（ FE_{O_2} ）、二酸化炭素排出濃度（ $FECO_2$ ）、呼吸商（RQ）、心拍数（HR）を記録電算処理した。また心拍数については、日本光電社製マルチテレメータシステムを用い、心電図をレコーダーに出力させ、R-R間隔より数値の校正を行った。また今回用いた運動負荷システムのプログラムは、15

秒毎の呼吸応答を積算し算出するため、各項目の最大値の決定は前後4区間の平均値（4点移動平均法）をもって行った。また被験者の疲労困憊（all out）の時点は、被験者の判断に任せるとともに、酸素摂取量のレベルオフ、心拍数、呼吸商等をもって決定した。

AT（無酸素性作業閾値）の決定は、今回はSkinner and McLellanの理論に基づくものとして、急上昇する $\dot{V}E$ および $FECO_2$ （または $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ ）のピークからAnTが発現する作業負荷および酸素摂取量、心拍数等をもって決定した。加えて $\dot{V}E$ と $\dot{V}CO_2$ の非直線の上昇点と $\dot{V}O_2/\dot{V}E$ のピークによりAerTが発現する作業負荷その他を決定した。

尚自転車駆動運動を負荷漸増法とした点は、Wasermanらが4分毎に15 watt ずつ漸増する負荷試験と1分毎15 watt ずつ増加する負荷試験との比較から、負荷の上昇に対するLA（乳酸値）あるいは肺換気動態の変動には多少の差異がみられるが、ATの測定値自体には差がなかったことを報告していることから、負荷試験時間の短縮化を図るため1分毎15 watt ずつの漸増に決定した。^{(#1)(5)(6)}

またこれらの実験に付随して、表2および3に示す内容で各被験者の形態および運動駆動能力^(#2)を測定した。

3. 結 果

1) 形態および体力（運動駆動能力）

表2は、男子被験者の形態および体力のプロフィール等を示している。上段は強化選手群、下段は対象群（非強化選手）である。強化選手群は平均身長166.0 cm (SD=7.5)、体重59.6 kg (SD=6.8)、体脂肪率9.9% (SD=1.0)、体脂肪量5.6 kg (SD=1.1)、除脂肪体重53.7 kg (SD=5.9)であった。これに対して対象群は平均身長168.7 cm (SD=4.6)、体重63.3 kg (SD=3.7)、体脂肪率13.1% (SD=2.1)、体脂肪量8.3 kg (SD=1.5)、除脂肪体重55.0 kg (SD=3.0)であった。これらの形態面はいずれも、対象群である非強化選手が強化選手を上回っているが、統計的に有意な差は見られなかった。

運動駆動能力の指標として最大酸素摂取量（有酸素性能力の指標）は、強化選手群では絶対値平均3759.0 ml/min (SD=680.9)、単位あたり62.39 ml/kg*min (SD=5.72)、また15秒間の積算前の生データのピーク値では64.92 ml/kg*min (SD=6.63)であった。これに対して対象群は、最大酸素摂取量の絶対値平均3575.0 ml/min (SD=140.4)、単位あたり56.49 ml/

TABLE 2 Physical fitness of each subjects(MALE).

HAME	SEX	HEIGHT	WEIGHT	%FAT	TOTAL	LBM	V _{O₂} MAX	V̇O ₂ • V̇O ₂ •	POWER	MAX	/KG	PEAK	POWER	MAX	/KG	40SEC	POWER	MIDDLE	HIGH	POWER	MAX	/KG	40SEC	SAJ POINTS	SL	GS	SG	CIRCLE	JUMP
TO	M	156	50	9.2	4.6	45.4	2857	57.15	59.38	782	15.64	7.6	4.5	382.5	7.65	—	143.24	117.43	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11.3
YK	M	168	64	11.4	7.3	56.7	3918	59.66	61.13	1081	16.89	10.0	6.0	513.0	8.02	—	149.03	98.64	169.31	10.6	—	—	—	—	—	—	—	—	10.6
TM	M	174	65	9.2	6.0	59.0	4502	70.35	74.25	946	14.55	8.5	5.2	420.0	6.50	—	97.65	60.86	151.64	10.4	—	—	—	—	—	—	—	—	10.8
AVE.		166.0	59.6	9.9	5.6	53.7	3759	62.39	64.92	936.3	15.69	8.7	.98	438.5	7.39	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	.39
SD		7.5	6.8	1.0	1.1	5.9	680.9	5.72	6.63	122.3	.95	.96	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
YS	M	175	68	12.9	8.8	59.2	3747	55.11	55.23	939	13.8	8.3	4.7	440.0	6.48	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11.5
TS	M	167	59	10.6	6.3	52.7	3403	57.67	58.18	839	14.4	8.1	4.9	354.0	6.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10.8
AT	M	164	63	15.7	9.9	53.1	3574	56.70	57.01	909	14.1	8.5	5.3	394.0	6.25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	12.0
AVE.		168.7	63.3	13.1	8.3	55.0	3575	56.49	56.80	895.7	.24	8.3	5.0	396.0	6.24	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11.43
SD		4.6	3.7	2.1	1.5	3.0	140.4	1.05	1.21	41.9	.12	.24	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	.49

TABLE 3 Physical fitness of each subjects(FEMALE).

HAME	SEX	HEIGHT	WEIGHT	%FAT	TOTAL	LBM	V _{O₂} MAX	V̇O ₂ • V̇O ₂ •	POWER	MAX	/KG	PEAK	POWER	MAX	/KG	40SEC	POWER	MIDDLE	HIGH	POWER	MAX	/KG	40SEC	SAJ POINTS	SL	GS	SG	CIRCLE	JUMP
AM	F	156	53	18.1	9.5	43.5	2681	55.77	61.51	692	13.06	7.0	4.2	294.0	5.50	—	128.23	51.64	55.17	63.24	11.4	—	—	—	—	—	—	—	11.4
TO	F	156	57	24.7	13.7	43.3	2767	48.56	49.58	839	14.72	8.3	5.0	336.0	5.90	—	244.39	121.73	127.65	135.51	11.7	—	—	—	—	—	—	—	11.7
KI	F	153	55	20.1	12.2	42.8	2343	36.85	37.35	680	12.34	6.3	3.8	306.0	5.50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10.6
AVE.		155.0	55.0	21.0	11.8	43.2	2597	47.06	49.48	733	13.37	7.2	4.3	312.0	5.63	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11.3
SD		1.4	1.6	2.8	1.7	.9	183.0	7.79	9.86	72.3	.99	.83	.50	17.6	.18	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	.46
KH	F	156	53	23.8	12.6	40.4	1945	36.70	37.50	609	11.4	5.7	2.8	238.0	4.50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11.8
HH	F	153	48	21.8	10.5	37.5	1738	36.21	36.22	503	10.5	4.8	2.3	202.0	4.20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11.2
SH	F	160	55	21.0	11.6	43.4	2748	49.97	50.35	717	13.0	6.7	3.5	346.0	5.50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11.8
AVE.		156.3	52.0	22.2	11.6	40.43	2144	40.96	41.35	609.7	11.63	5.7	2.9	262.0	4.73	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11.6
SD		2.8	2.9	1.2	.8	2.4	435.6	6.37	6.38	87.4	1.03	.77	.49	61.18	.55	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	.28

Units of TABLE-2 AND 3

POWER MAX = watt

HEIGHT = cm

POWER/kg = watt/kg

WEIGHT = kg

HIGH POWER = kp

MIDDLE POWER = kp

40sec POWER = watt

40sec/kg = watt/kg

CIRCLE JUMP = sec

V_{O₂} max = ml/kg*minV_{O₂} peak = ml/kg*min

※)は5%水準で有意な差のみれた項目

kg*min (SD=1.05), ピーク値 56.80 ml/kg*min (SD=1.21)で, これらはいずれも強化選手群が高い値を示していた. また単位あたりおよびピーク値では,

5%水準で有意な差が見られた.

最大無酸素性パワーおよび40秒パワー(いずれも無酸素性能力の指標)では, 強化選手群は最大無酸素性

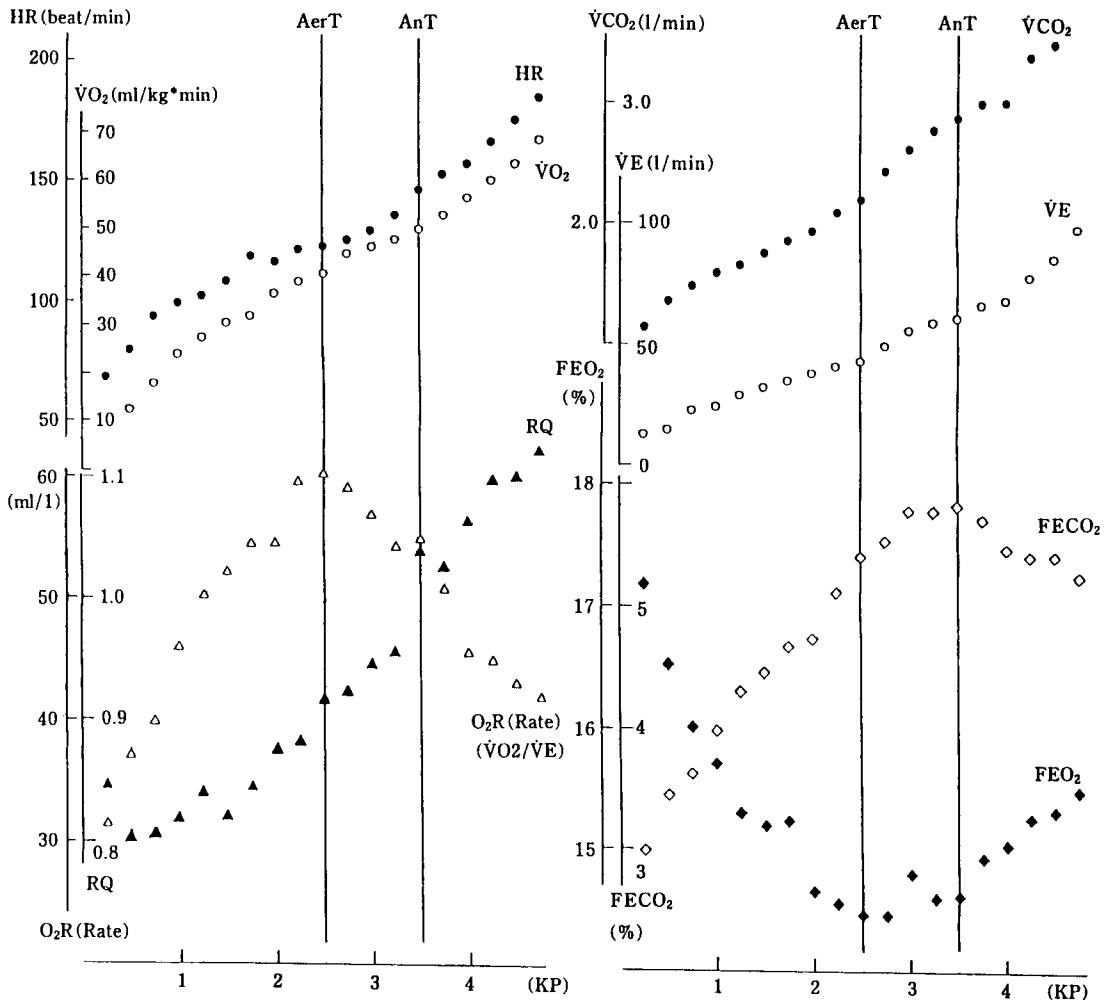


FIG- Example of aerobic threshold (AerT) and anaerobic threshold (AnT) determination. AerT was determined by nonlinear in $\dot{V}E$ and $\dot{V}CO_2$, and peak $\dot{V}O_2 \cdot \dot{V}E^{-1}$ while AnT was estimated from break-away $\dot{V}E$ and the onset of decrease in $FECO_2$ ($\dot{V}O_2/\dot{V}E$)

パワー絶対値平均 936.3 watt (SD=122.3), 単位あたり 15.69 watt/kg (SD=0.95), 40 秒パワー絶対値平均 438.5 watt (SD=54.8), 単位あたり 7.39 watt/kg (SD=0.65) であった。これに対して対象群では, 最大無酸素性パワー絶対値平均 895.7 watt (SD=41.9), 単位あたり 14.1 watt/kg (SD=0.24), 40 秒パワー絶対値 396.0 watt (SD=35.1), 単位あたり 6.24 watt/kg (SD=0.19) で, 最大酸素摂取量同様にいずれも強化選手群が高い値を示している。また最大無酸素パワーおよび 40 秒パワーの単位あたりの値に, 5 % 水準で有意な差が認められた。

競技成績の参考となる SAJ POINTS は表に示す (表 2 および表 3) とおりであるが, 対象群はいずれ

も POINTS 対象の競技会に出場していないために POINTS は未取得である。

スキー競技での技術系種目 (回転, 大回転) において重要とされるコーディネーション (調整力) の指標として実施されるサークルジャンプは, 強化選手群が平均 10.8 sec (SD=0.39), 対象群が 11.43 sec (SD=0.49) であったが, 両者間に有意な差は見られなかった。

表 3 は, 女子の形態および体力プロフィールを示している。上段は強化選手群, 下段は対象群である。

強化選手群は平均身長 155.0 cm (SD=1.4), 体重 55.0 (SD 1.6), 体脂肪率 21.0% (SD=2.8), 体脂肪量 11.8 kg (SD=1.7), 除脂肪体重 43.2 kg (SD=0.

9)であった。これに対して対象群は平均身長 156.3 cm (SD=2.8), 体重 52.0 kg (SD=2.9), 体脂肪率 22.2% (SD=1.2), 体脂肪量 11.6 kg (SD=0.8), 除脂肪体重 40.4 kg (SD=2.4) で、これらの数値に両者間で有意な差はみられなかった。

最大酸素摂取量は強化選手群で絶対値平均 2597 ml/min (SD=183.0), 単位あたり 47.06 ml/kg*min (SD=7.79), ピーク値 49.48 ml/kg*min (SD=9.86), 対象群は絶対値平均 2144.0 min (SD=435.6), 単位あたり 40.96 ml/kg*min (SD=6.37), ピーク値 41.35 ml/kg*min (SD=6.38) でいずれの数値の強化選手群が高い値を示しているが、統計的に有意な値ではなかった。

最大無酸素性パワーおよび 40 秒パワーは、強化選手群で最大無酸素性パワー絶対値平均 733.0 watt (SD=72.3), 単位あたり 13.37 watt/kg (SD=0.99), 40 秒パワー絶対値 312.0 watt (SD=17.6), 単位あたり 5.63 watt/kg (SD=0.18), 対象群では最大無酸素性パワー絶対値平均 609.7 watt (SD=87.4), 単位あたり 11.63 watt/kg (SD=1.03), 40 秒パワー絶対値 262.0 watt (SD=61.18), 単位あたり 4.73 watt/kg (SD=0.55) でここでの数値も強化選手群が高いものであった。また 40 秒パワーの単位あたりの値は、5%水準で有意な差がみられた。

SAJ POINTS については、男子のところで触れたとおりである。

またサークルジャンプについては、強化選手群が 11.3 sec (SD=0.46), 対象群が 11.6 sec (SD=0.28) で有意な差はみられなかった。

2) 有酸素性能力および AT (無酸素性作業閾値)

表 4 は、今回の実験結果で男子各被験者の各測定項目の最大値を示している。上段は強化選手群、下段は対象群を示している。

TABLE 4 $\dot{V}O_2\text{max}$, $\dot{V}E\text{max}$, HRmax and LOADmax of each subjects.(MALE)

(Upper datas is trained, below datas is untrained)

	MAX $\dot{V}O_2$	$\dot{V}E$	HR	Kp
	(ml/kg*min)	(l/min)	(beats/min)	
TO	57.15	90.40	189	5.0
YK	59.66	91.80	178	5.25
TH	70.35	124.01	189	5.75
AVE	62.39(5.72)	102.07(15.52)	185.33(5.18)	5.33(.311)
YS	55.11	114.67	180	5.0
TS	57.67	92.60	184	4.5
AT	56.70	103.85	175	4.5
AVE	56.49(1.05)	103.70(9.01)	179.67(9.68)	4.67(.235)

強化選手群において、最大酸素摂取量($\dot{V}O_2\text{max}$)は被験者 TM の 70.35 ml/kg*min を最高に平均 62.39 ml/kg*min (SD=5.72) 最大換気量 ($\dot{V}E\text{max}$) はやはり TM の 124.01 l/min を最高に平均 102.07 l/min (SD=15.52), 最大心拍数 (HRmax) は平均 185.33 beats/min (SD=5.18), 最大負荷値 (Loadmax) は TM の 5.75 kp を最高に平均 5.33 kp (SD=0.311) であった。これに対して対象群では、最大酸素摂取量は平均 56.49 ml/kg*min (SD=1.05), 最大換気量は 103.70 l/min (SD=9.01), 最大心拍数は 179.67 beats/min (SD=9.68), 最大負荷値は 4.67 kp (SD=0.235) であった。このうち最大酸素摂取量および最大負荷値は、強化選手群 5%水準で有意に高い値であった。

表 5 (AerT: 有酸素性作業閾値) および 6 (AnT: 無酸素性作業閾値) は、男子各被験者の AT の発現時における各測定項目の数値を示している。AT については、先に述べたように Skinner と McLellan の理論に基づいて、急上昇する $\dot{V}E$ および $\dot{V}ECO_2$ (または $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$) のピークから AnT, $\dot{V}E$ と $\dot{V}CO_2$ の非直線の上昇点と $\dot{V}O_2/\dot{V}E$ のピークより AerT と 2 つの Threshold (閾値) に分けた。

強化選手群の AerT の発現点は、酸素摂取量 34.52 ml/kg*min (SD=2.82) で 55.36% $\dot{V}O_2\text{max}$ であった。また換気量は 39.16 l/min (SD=7.19), 38.20% $\dot{V}E\text{max}$, 心拍数は 138.0 beats/min (SD=6.98), 74.40% HRmax, 負荷値は 2.75 kp (SD=0.35), 51.40%

TABLE 5 On set of AerT (MALE)

(Upper datas is trained, below datas is untrained)

AerT	$\dot{V}O_2$	$\dot{V}E$	HR	Kp
	(ml/kg*min)	(l/min)	(beats/min)	
TU	32.01	32.01	139	2.5
%	56.0	35.4	73.5	50.0
TK	33.07	36.46	129	2.5
%	55.4	39.7	72.5	47.7
TH	38.47	49.00	146	3.25
%	54.7	39.5	77.2	56.5
AVE	34.52(2.82)	39.16(7.19)	138.0 (6.98)	2.75(.35)
%AVE	55.36(.53)	38.20(1.98)	74.40(2.02)	51.40(3.72)
YS	25.18	31.90	112	2.0
%	45.7	27.8	62.2	40.0
TS	25.45	36.32	128	2.25
%	47.6	39.2	69.6	50.0
AT	27.85	36.43	114	2.0
%	49.1	35.1	65.1	44.4
AVE	26.83(1.18)	34.88(2.11)	118.0 (7.11)	2.08(.11)
%AVE	47.47(1.39)	34.03(4.71)	65.73(3.18)	44.8(4.09)

TABLE 6 On set of AnT(MALE)
(Upper datas is trained,below datas is untrained)

AMT	$\dot{V}O_2$ (ml/kg*min)	$\dot{V}E$ (l/min)	HR (beats/min)	Kp
TU	50.40	60.40	170	4.0
%	88.2	66.8	89.9	80.0
YK	50.44	58.69	164	3.75
%	84.5	63.9	92.1	71.4
TM	54.32	76.48	172	4.5
%	77.2	61.7	91.0	78.3
AVE	51.72(1.84)	65.19(8.01)	168.6(3.39)	4.08(.31)
%AVE	83.30(4.57)	64.13(2.09)	91.0(.89)	76.57(3.72)
YS	46.10	70.90	146	3.5
%	83.6	61.8	81.1	70.0
TS	46.71	51.75	157	3.25
%	80.9	55.9	85.3	72.2
AT	42.68	58.46	139	3.25
%	75.3	56.3	79.4	72.2
AVE	45.16(1.77)	60.43(7.91)	147.3(7.40)	3.33(.12)
%AVE	79.93(3.45)	58.0(2.69)	81.93(2.47)	71.46(1.03)

TABLE 8 On set of AerT (FEMALE)
(Upper datas is trained, below datas is untrained)

AMT	$\dot{V}O_2$ (ml/kg*min)	$\dot{V}E$ (l/min)	HR (beats/min)	Kp
AM	28.67	32.82	116	1.75
%	51.4	41.2	62.4	43.8
TO	21.9	25.82	128	1.75
%	45.1	35.1	68.8	43.8
KI	17.14	22.65	108	1.25
%	46.5	27.3	56.8	33.3
AVE	22.57(4.73)	27.09(4.23)	117.3(8.22)	1.58(.23)
%AVE	44.66(2.70)	34.50(5.73)	62.67(4.90)	40.26(4.93)
KH	12.10	19.52	118	0.75
%	32.9	24.8	61.5	23.1
HH	11.47	18.55	120	0.75
%	31.7	21.2	63.8	21.4
SH	28.85	37.53	118	1.25
%	57.7	43.5	65.2	33.3
AVE	17.47(8.05)	25.20(8.72)	118.7(.94)	0.92(.23)
%AVE	40.79(11.98)	29.83(9.75)	63.50(1.53)	25.95(5.26)

Loadmax, 以上であった。対して対象群は 26.83 ml/kg*min(SD=1.18), 47.47% $\dot{V}O_2$ max, 以下 34.88 l/min (SD=2.11), 34.03% $\dot{V}E$ max, 118.0 beats/min (SD=7.11), 65.73%HRmax, 2.08 kp(SD=0.11), 44.8%Loadmax であった。これらの数値はいずれも強化選手軍が高い値を示しているが、酸素摂取量と負荷値および酸素摂取量の比率において有意な差がみられた。

また強化選手群の AnT の発現点は 51.72 ml/kg*

TABLE 7 $\dot{V}O_2$ max, $\dot{V}E$ max, HRmax and LOADmax of each subjects.

(FEMALE, upper datas is trained,below datas is untrained)	MAX $\dot{V}O_2$ (ml/kg*min)	$\dot{V}E$ (l/min)	HR (beats/min)	Kp
AM	55.77	79.67	186	4.0
TO	48.56	73.57	186	4.0
KI	36.85	83.17	190	3.75
AVE	47.06(7.79)	78.70(4.09)	187.33(1.88)	3.92(.117)
KH	36.70	78.68	188	3.5
HH	36.21	87.39	192	3.25
SH	49.97	86.35	181	4.0
AVE	40.96(6.37)	84.14(3.88)	187.0(4.55)	3.58(.311)

TABLE 9 On set of AnT (FEMALE)
(Upper datas is trained,below datas is untrained)

AerT	$\dot{V}O_2$ (ml/kg*min)	$\dot{V}E$ (l/min)	HR (beats/min)	Kp
AM	46.06	57.28	153	3.0
%	82.6	71.9	82.3	75.0
TO	37.72	50.24	158	3.00
%	77.7	68.3	84.9	75.0
KI	28.56	49.52	162	2.75
%	77.5	59.4	85.2	73.3
AVE	37.45(7.15)	52.31(3.52)	157.6(3.68)	2.91(.11)
%AVE	79.26(2.37)	66.53(5.25)	85.67(3.17)	74.43(.81)
KH	25.40	46.72	148	2.0
%	69.2	59.4	77.1	61.5
HH	25.75	49.89	143	2.25
%	71.1	57.1	76.1	64.3
SH	38.92	58.23	153	3.0
%	77.9	67.4	84.5	80.0
AVE	30.02(6.30)	51.61(4.85)	148.0(4.08)	2.33(.311)
%AVE	72.73(3.72)	61.30(4.43)	79.22(3.78)	68.81(8.13)

min (SD=1.84), 83.30% $\dot{V}O_2$ max, 65.19 l/min (SD=8.01), 64.13% $\dot{V}E$ max, 168.6 beats/min (SD=3.39), 91.1%HRmax, 4.08 kp(SD=0.31), 76.57%Loadmax であった。対象群では 45.16 ml/kg*min (SD=1.77), 79.93% $\dot{V}O_2$ max, 60.43 l/min (SD=7.91), 58.0% $\dot{V}E$ max, 147.3 beats/min(SD=7.40), 81.93%HRmax, 3.33 kp(SD=0.12), 71.46% Loadmax であった。また負荷値の実測値に、5%水準で有意な差がみられた。

表 7 は、女子被験者の各測定項目の最大値を示している。

強化選手群の場合、最大酸素摂取量は被験者の AM の 55.77 ml/kg*min を最高に平均 47.06 ml/kg*min (SD=7.79), 最大換気量は平均 78.70 l/min(SD=4.

09), 最大心拍数は187.33 beats/min(SD=1.88), 負荷値は3.92 kp(SD=0.117)であった。対象群の場合はそれぞれ40.96 ml/kg*min(SD=6.37), 84.14 l/min(SD=3.88), 187.0 beats/min(SD=4.55), 3.58 kp(SD=0.311)であった。最大酸素摂取量は両者間にかなりの開きがみられるが, 統計的に有意な差ではなかった。

表8および9は, 女子被験者ATの発現点を示している。

AerTは強化選手群の場合, 酸素摂取量22.57 ml/kg*min(SD=4.73), 44.66% $\dot{V}O_2$ max, 換気量27.09 l/min(SD=4.32), 34.50% $\dot{V}E$ max, 心拍数117.3 beats/min(SD=8.22), 62.67%HRmax, 負荷値1.58 kp(SD=0.23), 40.26%Loadmaxで発現していた。これに対して対象群では17.47 ml/kg*min(SD=8.05), 40.79% $\dot{V}O_2$ max, 25.20 l/min(SD=8.72), 29.83% $\dot{V}E$ max, 118.7 beats/min(SD=0.94), 63.50 HRmax, 0.92 kp(SD=0.23), 23.95%Loadmaxで発現していた。酸素摂取量および負荷値は両者間に開きがみられるが, 統計的に有意な差ではなかった。

AnTは強化選手群の場合, 37.45 ml/kg*min(SD=7.15) 79.26% $\dot{V}O_2$ max, 52.31 l/min(SD=3.52), 66.53% $\dot{V}E$ max, 157.6 beats/min(SD=3.68), 79.22%HRmax, 2.91 kp(SD=0.11), 74.43%Loadmaxにおいて発現している。これに対して対象群では30.02 ml/kg*min(SD=6.30), 72.73% $\dot{V}O_2$ max, 51.61 l/min(SD=4.85), 61.30% $\dot{V}E$ max, 148.0 beats/min(SD=4.08), 79.22%HRmax, 2.33 kp(SD=0.311), 68.81%Loadmaxで発現している。ここでも酸素摂取量, 心拍数, 負荷値において強化選手群が高い数値を示しているが, 統計的に有意な差はみられなかった。

以上の結果が得られた。

4. 考 察

人間の運動能力・体力はエネルギー供給の過程から有酸素性能力-酸素の供給を介在して, TCA(クレブス)回路を通して半永久的に身体運動のエネルギー源であるATP(アデノシン三リン酸)を生成する-と酸素を介在としない、無酸素性能力に分かれ, さらに無酸素性能力はエネルギー供給の過程から非乳酸性の機構であるATP-CP系-筋中に貯蔵されたATPの分解とCP(クレアチンリン酸)の分解によるATPの再合成-と乳酸性の機構-体内, 主に肝臓に貯蔵されたグリコーゲンの無酸素的解糖-に分かれる。有酸素性過程は一般的に持久力として捉えられ, 力学的に出力の低

いローパワーが対応し, 動員される筋線維はSO(Slow twitch oxidative fiber)線維である。これに対して乳酸性機構はミドルパワーが対応し, FOG(First twitch oxidative glycolytic fiber)が動員される。さらにATP-CP系は瞬発力として捉えられ, ハイパワーが対応し, FG(First twitch glycolytic fiber)線維が動員される。しかしこれらのエネルギー供給機構は, 運動の時間, 出力等で明確に区分されることはなく, 複雑に関連し合ってエネルギーを身体に供給していることが考えられる⁷⁾。

前述のようにアルペンスキー競技では無酸素性の解糖による機構が主となり, それに有酸素性の過程が併せて関与していることが⁸⁾考えられる。この点がアルペンスキー競技では, そのエネルギー供給機構に基づいた運動駆動能力を明確には見いだせない, あるいはそういった明確に必要とされる能力は存在しないとされる点であるとも考えられる。今回対象としたJr.のアルペンスキー選手の場合も同様である。しかし強化選手群とその対象群である非強化選手に分けて考えていくと, そこにいくつかの論点が見いだせる。

形態面をみた場合, 近年アルペンスキー選手の大型化が進むことに反比例し, 強化選手, 非強化選手とも, さらに男子, 女子ともに両群間で大きな差は見られなかった。これは依然として成長期にある点等が考えられるが, 骨格的なインシチーブを強化選手は持っていないことがわかる。これに対して男子の場合, 心肺機能等に関する運動駆動能力は非強化選手に比較して強化選手が高いものであることが伺える。心拍出量等, 心臓血管系の機能に大きく依存している最大酸素摂取量は非強化選手に比較して強化選手が高い数値であったのみならず, これまで山田やAntrand⁸⁾⁹⁾らが報告する一流選手の数値と比較してみても高いことが伺える。

また40秒パワーや最大無酸素性パワーについても, 強化選手が有意に非強化選手を上回っていた。これは有酸素性の機構だけでなく無酸素性の機構でも, 強化選手が優れていることを示唆し, 体力因子としてアルペンスキーに絶対有意に関与している能力はなく, むしろ競技レベルによってすべての運動(駆動)の能力に差がみられてくることが考えられる。またアルペンスキーの場合, クロスカントリースキー競技にみられるように有酸素性能力といった運動駆動能力がパフォーマンスに依存することが少ないとされるが, 今回の対象選手男子の場合は, 能力の優劣が競技パフォーマンスに反映されている結果であった。これに

対して女子の場合は、強化選手、非強化選手間に運動駆動能力の差はみられず、これまで言われるようにアルペンスキー競技は技術の差によって競技のパフォーマンスが決定されることが伺えるものであった。

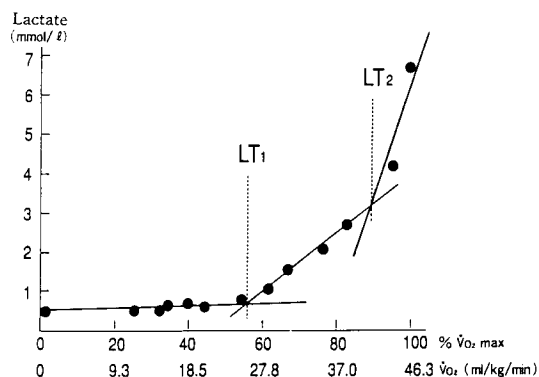
このように一般的には用いられる指標でみる限り、男子は競技レベルによって運動駆動能力に違いが見られるが、女子の場合にはそれが見られないことが伺える。しかしこれまでも述べてきたように、アルペンスキーを含む全ての身体運動は単一の能力（機構）だけが関与するのではなく、前述の3つの機構が違いに関与し合っていることが考えられる。その点から、生体の有酸素性の動態から無酸素性の動態への移行水準の指標（注1）としてATに基づいた強化選手、非強化選手の検討を試みた。

ATは、1964年 Wasserman らによって“代謝酸性およびそれに伴うガス交換変化が起こる運動強度（あるいは酸素摂取量）”として定義付けされた。ここで言われるガス交換変化とは、乳酸を緩衝するために生じたものと考えられていた。その後多くの問題点が生まれ、ATの捉え方にも変化が見られてきているが、本研究では以下のような捉え方に基づき、有酸素性能力の一指標および無酸素性機構への移行期の運動強度の指標として取り上げる。

すなわちATは、運動中の有酸素性エネルギー生成が乳酸の著増を招くような無酸素性代謝機構によって補足される直前の酸素摂取量（または作業率）であり、その背景に1）運動負荷強度の増大に伴い、代謝活動の高進した筋による O_2 供給の不足2） O_2 需要-供給の不均衡に伴う、ビルビン酸の乳酸への移行を伴った細胞内での無酸素性解糖の増大3）その結果としての乳酸の蓄積と、乳酸から遊離した H^+ の、 HCO_3^- による細胞内での緩衝4）重炭素系による緩衝作用により発生する CO_2 に起因する $\dot{V}CO_2$ の増加5）このような酸塩基平衡がもたらす、ガス交換（ $\dot{V}E$, $\dot{V}CO_2$, R , FE_{O_2} , $FECO_2$ 等）の変化と仮定できる。また血液中で観察される乳酸濃度は、筋肉中での乳酸の産生率および血液中への乳酸の拡散率、さらに体内組織での乳酸の消却率等の影響を受けるもので、血中乳酸値のみから筋中での乳酸の産生率を知ることは無理があるが、運動中に血中乳酸濃度が著増し始めると、これに付随して血液pHの低下が起こり、筋末梢組織のエネルギー代謝に様々の影響を及ぼす。さらに HCO_3^- による乳酸への緩衝作用に伴う呼吸性補償作用により、換気効率の低下や換気量の増大が生じて、呼吸器系への負担が高まってくる¹¹⁾。ATはこういったエネルギー代謝系な

らびに呼吸系の変化を一過性に捉えたものと考えられるが、乳酸の増加および呼吸性補償は閾値として変化するのではなく、指数関数的に増加していくといった報告もあることから、本研究ではATを1つとして捉えず、AerTとAnTに分けて捉えるものとした¹²⁾（注1）。

男子について見てみると、まず測定項目である酸素摂取量（以下 $\dot{V}O_2$ ）、換気量（以下 $\dot{V}E$ ）、心拍数（以下HR）、負荷値（以下Load）等の最大値（以下各語の後にmaxを付けて対応する）は $\dot{V}O_{2max}$, Loadmaxで強化選手群が有意に高い値を示していた。前述のように $\dot{V}O_{2max}$ は、心拍出量等の心臓血管系に依存した機能の指標であり、最大努力下での肺の酸素摂取能力である。すなわち強化選手が、最大運動下での能力に優れていることが伺えるものであった。



TABLE*2 Relationship between LT (Lactate threshold) and AT. It is thought that point on set of LT is equal AerT. (From story of "AT" by Yoshiharu Yamamoto and Yosio Nakamura)

次にAerTについてであるが、AerTは乳酸値（図2参照LT1が対応）から考えていくと漸増運動中、血中乳酸濃度が安静時水準を超えて急激に上昇しはじめる、その呼吸性補償の時点の運動強度¹³⁾と考えられる。血中乳酸濃度は運動強度の低い時点では、安静時と差はみられない。これがある水準から急激に上昇し始める点を仮定すると、この上昇に対応してガス交換変化が起こってくる時点がAerTと考えられる。この水準は、強化選手が非強化選手に比較して有意に高い数値であった（運動強度＝負荷値、および酸素摂取量、心拍数）。

またさらに負荷漸増運動を続けた場合の、次のガス交換変化の閾値と仮定されるAnT（図2 LT2参照）についても同様に、閾値発現時の運動強度は強化

選手群が有意に高い数値であった。AT の場合は $\dot{V}O_2$ と異なり、筋の酵素活性等代謝系の動態に深く関与しているものと考えられる。

また伊藤らが報告するようにATは、トレーニングをよく積んだ選手が高いものを有するとされる点¹⁴⁾から、強化選手が非強化選手よりもトレーニングの質、量等の点で勝っていることが考えられる。この点は先にも触れたように男子の場合、アルペンスキー競技のパフォーマンスは単に技術だけでなく、体力、運動駆動能力といった面にも関与していることが考えられてくる。

また強化選手に見られるATの水準は、 $\dot{V}O_2$ で83.30%(最高はTOの88.2%, 最低はTMの77.2%)と非常に高い。宮村は、よくトレーニングされた選手は70-80%HAXのレベルでATが発現するとしている。また伊藤ら¹⁵⁾が報告する第10回ソウルアジア大会の日本代表選手のうち、男子マラソン選手は $\dot{V}O_{2max}$ が77.6 ml/kg*minでAT・ $\dot{V}O_{2max}$ は77.6%であったことを報告している。この点から考えると、今回のJrアルペンスキー強化選手は日本の一流の持久的競技のアスリートに比較して筋の酵素活性等の代謝系の動態に関与した機能からみた場合は優劣がないが、心臓血管系の機能に差が見られることが考えられる。

またATは理論的には、筋組織内で起こる O_2 需要-供給の不均衡に伴う無酸素性解糖の高進がより遅く到来する程ATの発現が遅れることになり、結果的にある一定時間(または一定距離、一定負荷)の運動を遂行する際に強度のより高い運動が可能となることが考えられることから、強化選手群非強化選手群よりもより有酸素系で高い強度の運動あるいは出力が可能となることが考えられる。すなわち技術系の種目であるスラローム競技から、スピード系の種目(リーゼンスラローム、スーパーG、ダウンヒル)といった競技になるにつれて運動能力差が生じてくることが考えられる。この点から塩野谷は新潟県強化選手の体力測定の報告書の中で、ATの高い選手はスラロームよりもリーゼンスラロームの成績が高いことを報告している。

こういった点を考え合わせると、男子の場合今後の選手強化管理において体力・運動能力の占める率が必然的に高くなっていくことが考えられる。

これに対して女子の場合を見てみると、最大値の比較では $\dot{V}O_{2max}$ で強化選手群(47.06 ml/kg*min)が非強化選手群(40.96 ml/kg*min)よりも高い数値を示しているが、統計的に有意な差は認められていない。

またAerTおよびAnTについては、その発現点は $\dot{V}O_2$, HR, Loadともに強化選手群が高い数値であったが統計的に有意な差ではなかった。

女子の場合統計的に有意な差が認められていないことから、男子のように体力・運動能力といった因子を競技のパフォーマンスの中に入れることは危険が伴う。すなわちこの時点で言えることは、女子の場合競技のパフォーマンスを決定するあるいは左右する要因は依然として技術レベルにあると考えられる。しかし今回の研究を基に、今後多くのデータから検討していくことが必要な課題であると考えられる。

5. 結 語

本研究は以下のようにまとめられる。

- 1) Jrアルペンスキー選手の場合、有酸素系の指標から心臓血管系に依存した能力よりも筋の酵素活性等の代謝系の動態に依存した能力が高い。
 - 2) 男子の場合、強化選手群が非強化選手群よりも有意にATが高いことが伺えた。
 - 3) 男子の場合は、上記のATを基にした体力・運動能力を選手の強化管理プログラムに取り入れることが可能と考えられる。
 - 4) 女子は、強化群と非強化群では上記の能力に有意な差は認められなかった。
- 以上である。

参考文献

- 1) 塩野谷明他：新潟県アルペンスキー強化選手の体力測定 長岡技術科学大学研究報告 VOL 11 pp.87-98 1989.
- 2) 塩野谷明他：昭和63年度新潟県スキー連盟アルペンスキー強化選手体力測定報告書 新潟県スキー連盟 1989.
- 3) 塩野谷明：平成元年度新潟県スキー連盟アルペンスキー強化選手第1次体力測定報告書 新潟県スキー連盟 1989.
- 4) 塩野谷明：長岡地区 Jr.ノルディックスキー選手の体力特に有酸素性能力に関する一考察—無酸素性作業閾値(AT)に基づいて—長岡工業高等専門学校研究紀要 VOL 25(3) pp. 91-97 1989.
- 5) Skinner, J. B, and T. M. McLellan: The transition from aerobic to anaerobic metabolism. research quarterly for exercise and sport, 51 pp. 243-248 1980.
- 6) Wassweman, K., B. J. Whipp, S. N. Koyal, and W. L. Beaver: Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. J. appl. physiol 35, pp. 236-243 1973.
- 7) 宮下充正：体力診断システム ソニー企業 1987.
- 8) Haymes, E. M and A. L. Dickinson: Characteristics of Elite Male and Female ski racers, Med. Sci. Sport Exercise. 12 pp. 153-158 1980.
- 9) 山田保他：一流アルペンスキー選手の体力 日本体育大学紀

- 要 VOL 13. pp. 67-71. 1984.
- 10) Astrand, P. O and K. Rodahl: Textbook of work physiology. pp. 550-553 McGrawhill New York 1970.
- 11) 田中喜代次: 持久性競技者の競技成績とAT 体育の科学 VOL 139(5) pp. 382-390 1980.
- 12) 根本勇他: 日本人成人男子の有酸素性作業閾値(Aerobic threshold)および無酸素性作業閾値(Anaerobic threshold) 東邦大学教育紀要 VOL 15. pp. 99-115 1983.
- 13) 山本義春, 中村好男: AT の話 ブックハウス HD 1988
- 14) 宮村実晴: アネロビック・スレッシュホールド体力トレーニング pp. 77-80 真興交易医書出版 1986.
- 15) 伊藤静夫: スポーツ選手のATに関する研究昭和61年度日本体育協会スポーツ科学研究報告 pp. 1-9 1985.

注1)本稿で取り上げるATは厳密に言えば, 1分間0.25kpのステップ式負荷漸増に対応したVT(換気性閾値 Ventilation threshold)あるいは換気性応答(Ventilation response)と捉えるのが生理学的には妥当であると考えられる。これはWassermanが生体の有酸素系から無酸素系への変化(AT)に伴い, 乳酸が頭緒に増加(Lactate threshold)し, その呼吸性補償として換気動態の変化(VT)が起こるとした点からの問題であり, 本研究の実験設定ではATといった考え方は成り立たないことも考えられる。しかし本稿では上記実験設定の漸増負荷に対応する換気動態の変化を有酸素性から無酸素性への移行水準(段階)の指標いわゆるATとして捉えていく。

注2)運動駆動能力は以下の方法で求めた。

(最大無酸素パワー)

モナーク社製自転車エルゴメータを用い, 負荷がLkg, ペダル

回転数がR(revolution/min)のときのパワーをP(watt)とする

$$P = L * 9.8 * 6 * R / 60$$

$$= 0.98 * L * R \dots\dots\dots(1)$$

9.8: 重量加速度 (m/秒²)

6: ペダルが一回転したときのフライホイールが動く距離 (m/回転)

60: 回転速度の(回転/分)を(回転/秒)に換算

次に自転車エルゴメータを全力で駆動させた場合の負荷(L)と回転速度(R)の関係は, はば負の直接関係であるため

$$R = -a * L + b \dots\dots\dots(2)$$

(ただしaとbは正の定数)

(2)を(1)に代入すると

$$P = 0.98 * L * R$$

$$= 0.98 * \{-a * L^2 + b * L\}$$

$$= 0.98 * \{-a (L - b/2a)^2 + b^2/4a\} \dots\dots(3)$$

この場合L = b/2aのときにPは最大, よってそれをPmaxとすると

$$P_{max} = 0.98 * b^2/4a \dots\dots\dots(4)$$

この(4)式によって求めた

(40秒パワー)

自転車エルゴメータを用い, 以下の式より求めた

$$P_{40} = L * 9.8 * 6 * N / 10 * 14/52$$

$$= 1.58 * L * N$$

9.8: 重力加速度 (m/秒²)

6: ペダルが一回転したときの車輪が動く距離 (m/回転)

14/52: クランクと車輪のギヤ比

L: 負荷 (kg), N: (回転)