一流スポーツ選手の最大酸素摂取量

山 地 啓 司 (富山大学教育学部)

(昭和60年2月22日 受付)

Maximal aerobic capacity of top athletes

Keiji Yamaji¹

Abstract

The intent of this bibliographical review was to examine the highest $\dot{V}O_2$ max values of top athletes. The highest mean $\dot{V}O_2$ max values were reported in the case of 8 male Germany Olympic oarsmen and 5 male Swedish top cross-country skiers, and 5 female Finnish cross-country skiers and 6 female American long distance runners: 6.16l/min, 82.6ml/kg·min, 4.03l/min and 68.8ml/kg·min, respectively. The highest individual $\dot{V}O_2$ max values for male were 7.77l/min reported in one of the oarsmen winning the Olympic Gold Medals in 1968, and 94ml/kg·min observed in a cross-country ski champion in Norway. Furthermore, the highest individual $\dot{V}O_2$ max values for female were 4.44l/min in a Russian cross-country skier, and 77ml/kg·min in an American long distance runner and a Russian cross-country skier.

(Keiji Yamaji, "Maximal aerobic capacity of top athletes", *Jap. J. Phys. Educ.*, 30-3: 183-93, December, 1985)

緒 論

最大酸素摂取量を定期的に測定することによって、個人の全身持久性能力の推移やトレーニングによる持久性能力の発達の状態を知ることが可能である。また、スポーツ選手の種目別の最大酸素摂取量を比較検討することは、各スポーツ種目の持久性の必要度を知ること、そしてその必要度に応じたトレーニング法を開発するために有効である。さらに、ヒトの最大酸素摂取量の最高値を知ることが、人類の有酸素的パワーのトレーニングの上限を知り、同時にスポーツにおける記録の限

界を占うために有効と考えられる。

そこで本稿は、まずスポーツ選手の種目別の最大酸素摂取量を比較する上で見逃してはならない問題点を指摘し、これらの問題点を考慮したスポーツ種目間の最大酸素摂取量を比較することによって、スポーツ種目における全身持久性の重要度を明らかにするものである。さらに、これまで報告されてきた資料を基にして、男女の個人の最大酸素摂取量 (l/分, ml/kg・分) の最高値を見出すことによって、人類の有酸素的パワーの上限を探ってみた。なお、本研究で集められた資料は1984年までに報告された内外の体育・スポーツ関

¹ Faculty of Education, Toyama University, Toyama (930)

係の主な学会機関誌、著書等十数冊をほぼ網羅することによって集められたものである。

最大酸素摂取量測定上の問題点

1. 対象者の競技水準と人数

各スポーツ種目の全身持久性の重要度を比較するためには、各スポーツ選手の競技水準を規定しなければならない。今日、各スポーツ種目間の最大酸素摂取量の比較を行った代表的な報告として、スウェーデンのナショナルチームを対象とした Saltin と Åstrand (1967)⁴⁶⁾がある。また、わが国では一流選手を対象にした黒田ら (1977)²⁹⁾の体協報告が特に有名である。これらはそれぞれの国における優れた選手を対象にしたもので、それなりに有意義である。しかし、同じナショナルチームであってもその国のスポーツの伝統や気候・風土によって、国際的にみて高い水準の種目と低い水準の種目が当然でてくる。たとえば、スウェーデンでは国際的にみると、比較的夏季種目よりも冬季種目に優れている。一方、我国では冬季種目よりも夏季種目に、中でもマラソンなどに国際的な選手が多いなどの特性がある。したがって、もし種目間の最大酸素摂取量を比較しようとするならば、たとえば、全種目ともオリンピック大会に優勝したチームの最大酸素摂取量を測定することが望ましい。しかし、実際にはそのような測定は困難である。そこで一つの簡便法として、これまで内外で報告されている各スポーツ種目の最大酸素摂取量の最高値を集めて比較する方法がある。

各スポーツ種目の最大酸素摂取量は、対象者の数が増えるにつれてその平均値は低下する傾向がある。たとえば、オーストラリアの水球オリンピック代表選手8名の最大酸素摂取量の平均値は63.9 ml/kg・分であるが、上位5名の平均値では71.6 ml/kg・分となる⁴⁰⁾。したがって、各スポーツ種目間の最大酸素摂取量を比較するためには、競技水準をできるだけ高い水準で統一し、人数を平均化しなければならない。

2. 最大酸素摂取量の再現性

同一人物の最大酸素摂取量を定期的に測定すると若干の変動が認められる。これは、日内変動と

呼ばれる対象者の体調だけによるのではなく、測定者や測定機器の測定誤差もその中に含まれている。最大酸素摂取量の再現性に関する報告では標準偏差値が $\pm 2 \sim 4\%$ の範囲に集中している^{41), 35), 53)}。したがって、報告されている最大酸素摂取量には $\pm 2 \sim 4\%$ の日内変動や測定誤差が含まれていることが考慮されなければならない。本稿では、測定の日時、測定回数等の統一は困難であった。その最大の理由は、これまで報告された論文の中に測定日時の記述がきわめて少なかったことと、多くの報告が一回の測定によって求めた値であったためである。

3. 運動様式

最大酸素摂取量の測定に用いられる運動様式には、実験室ではトレッドミル走、回流水槽内での水泳、自転車駆動、クランキングなどが、実験室外ではランニング、ローイング、スケートティング、スイミングなどがある。また、運動に参加する筋肉の種類や量は運動様式によって異なるため、その時得られる最大酸素摂取量にも若干相違がみられる。特にスポーツ選手では日頃鍛えたからだの部位が多く使われる運動様式での最大酸素摂取量が最も高い値となる。

たとえば、非鍛練者では、トレッドミル走での最大酸素摂取量を100%とすると、自転車駆動+クランキングが95%、自転車駆動が82%、クランキングが55%の順となる⁴⁷⁾。しかし、ボートや水泳選手のように上体も十分鍛えられているスポーツ種目の選手では、自転車駆動+クランキングが最も高くなり、続いてトレッドミル走、自転車駆動、クランキングの順になる⁴⁷⁾。また、自転車選手ではトレッドミル走よりも自転車駆動が4-5%高く、ランナーではトレッドミル走が自転車駆動よりも約10%高くなる⁶¹⁾。

したがって、スポーツ選手を対象に最大酸素摂取量を測定する場合には、それぞれのスポーツ種目の特性を考慮して運動様式が決定されなければならない。

4. 絶対値 (l/分) か相対値 (ml/kg・分) か

最大酸素摂取量は対象者の筋量にはほぼ比例する^{44), 47), 61)}。したがって、最大酸素摂取量は筋肉量

1kg 当りの相対値で表わす方が好ましい。ところが、ヒトの筋量を測定するためには放射線などを使用しなければならず、どこでも簡単に測定できるものではない。時には、不活性物質である脂肪を除いた体重（除脂肪体重）当りの最大酸素摂取量が指標となることもあるが、それとて除脂肪体重を求めるには体脂肪量を測定しなければならない煩しさがある。そこで一般には、筋肉量に関係の深い体重を代用して、体重当りの最大酸素摂取量 (ml/kg・分) が全身持久性の指標として用いられている。

しかし、スポーツ種目によっては、体重当りの

最大酸素摂取量 (ml/kg・分) よりも絶対値の最大酸素摂取量の方が作業成績と深い関係がある。たとえば、陸上のマラソンの記録では体重当りの最大酸素摂取量 (ml/kg・分) が絶対値の最大酸素摂取量 (l/分) よりも相関が高いが、中距離種目の成績はむしろ後者とより関係が深い（山地未発表資料）。これは、中距離種目のような短時間の激しい運動ではマラソンのような長時間の運動よりも、より酸素負債能力を必要とするためであろう。したがって、5—10分以内の激しい運動では絶対値の最大酸素摂取量が、そして、マラソンや距離スキーのような長時間の運動や比較的体重が軽い方

表 1. 男子スポーツ選手(種目別)の最大酸素摂取量

スポーツ種目	人数	国 名	最大酸素摂取量		測定方法	著 者 名
			l/分	ml/kg・分		
距離スキー	(5)	スウェーデン	5.56	82.6	T	Saltin と Åstrand(1967)
マラソン	(6)	ベルギー	4.85	78.6	B	Crielaard と Pirnay(1981)
陸上・中距離	(8)	フィンランド	5.19	78.1	T	Rusko ら(1978)
陸上・長距離	(6)	ベルギー	5.07	77.1	B	Crielaard と Pirnay(1981)
オリエンテーリング	(5)	スウェーデン	5.87	76.5	T	Saltin と Åstrand(1967)
自転車競技	(5)	東ドイツ	5.74	75.5	B	Israel と Weber(1972)
スピード・スケート	(6)	フィンランド	5.58	72.9	T	Rusko ら(1978)
スキー複合	(5)	フィンランド	5.12	72.8	T	Rusko ら(1978)
カヌー	(4)	スウェーデン	5.40	69.2	T	Saltin と Åstrand(1967)
競 泳	(12)	スウェーデン	5.38	69.0	T	Holmer(1974)
アルペン・スキー	(12)	アメリカ	5.03	66.6	T	Haymes と Dickinson(1980)
ボート	(8)	ドイツ	6.16	66.6	B	Nowacki ら(1967)
競歩	(4)	フランス	4.63	64.2	T	Menier と Pugh(1968)
サッカー	(5)	オーストラリア	4.94	63.6	T	Withers ら(1977)
アイス・ホッケー	(9)	オーストラリア	4.67	62.0	T	Withers ら(1977)
水 球	(10)	(オーストラリア) (スペイン)	4.97	61.4	T	Novak ら(1978)
スキー・ジャンプ	(9)	フィンランド	4.25	61.3	T	Rusko ら(1978)
陸上・短距離	(6)	ベルギー	4.35	60.1	B	Crielaard と Pirnay(1981)
ハンドボール	(—)	ノールウェー	4.88	60.0	T	Hermansen(1973)
フットボール	(16)	アメリカ	5.65	59.7	T	Novak ら(1968)
バスケット・ボール	(11)	オーストラリア	4.82	58.5	T	Withers ら(1977)
フィギュア・スケート	(9)	カナダ	3.4	58.5	T	Niinimaa(1982)
陸上・十種競技	(9)	アメリカ	4.88	57.6	T	Faris ら(1980)
バレー	(—)	アメリカ	4.77	56.4	—	Conlee ら(1982)
野球	(10)	アメリカ	4.47	52.3	T	Novak ら(1968)
フィールド・ホッケー	(12)	インド	3.23	50.7	T	Kansal ら(1980)
ラグビー	(11)	イギリス	3.90	50.3	B	Withams ら(1973)
体操・ダンス	(4)	カナダ	3.20	49.2	T	Lavoie と Léve-Néron(1982)
柔道 重量級	(10)	日 本	3.96	40.1	B	山地ら(1978)
中重量級	(4)	日 本	3.52	44.3	B	
軽量級	(3)	日 本	3.03	47.2	B	

ただし、T：トレッドミル走、B：自転車駆動 —：不明

表2. 女子スポーツ選手(種目別)の最大酸素摂取量

スポーツ種目	人数	国名	最大酸素摂取量		測定方法	著者名
			l/分	ml/kg・分		
陸上・長距離	(6)	アメリカ	3.47	68.8	T	Brawn と Wilmore(1971)
距離スキー	(5)	フィンランド	4.03	68.2	T	Rusko ら(1978)
体操	(3)	アメリカ	2.85	61.8	T	Noble(1975)
陸上・中距離	(9)	アメリカ	3.17	61.0	T	Gregor ら(1979)
オリエンテーリング	(3)	スウェーデン	3.47	59.8	T	Saltin と Åstrand(1967)
バレー	(一)	アメリカ	3.59	56.0	—	Kovaleski ら(1980)
競泳	(11)	スウェーデン	3.64	55.2	T	Holmer(1974)
スピード・スケート	(6)	日本	2.82	54.5	B	真島(1972)
アルペン・スキー	(13)	アメリカ	3.10	52.7	T	Haymes と Dickinson(1980)
フィールド・ホッケー	(10)	アメリカ	3.0	51.7	T	Zeldis ら(1978)
自転車競技	(7)	アメリカ	2.76	50.2	B	Burke ら(1977)
テニス	(11)	オーストラリア	3.13	50.2	T	Withers と Roberts(1981)
バスケットボール	(一)	アメリカ	3.39	49.6	—	Vaccaro ら(1980)
カヌー	(一)	カナダ	2.82	49.2	—	Sidney と Shephard(1973)
陸上・五種競技	(6)	アメリカ	3.23	49	T	Gregor ら(1979)
フィギュア・スケート	(8)	カナダ	2.7	48.9	T	Niinimaa(1982)
ソフトボール	(13)	オーストラリア	2.89	45.4	T	Withers と Roberts(1981)
陸上・短距離	(3)	アメリカ	2.45	43.0	T	Gregor ら(1979)

ただし、T：トレッドミル、B：自転車駆動、—：不明

が有利となるような運動では相対値の最大酸素摂取量が記録とより密接な関係を有するといえよう。

さらに、水の中を泳ぐ水泳、氷の上を滑るスピード・スケート、自転車を用いる自転車競技、水上をボートに乗って漕ぐボート競技のように直接体重を運ばないだけでなく、体重の大きさ(筋量)が直接推進力を生み出すパワー源になるような種目では、絶対値の最大酸素摂取量の方が作業成績とより密接な関係がある。このことはマラソンや距離スキーの選手の最大酸素摂取量では絶対値に比して相対値が著しく高く、一方自転車やボートの選手では相対値に比較して絶対値が高くなっていることから推察される(表1, 2)。

5. ポジション

ボールゲームではポジションの相違によって最大酸素摂取量が異なる。たとえば、カナダのサッカーのナショナルチームでは後衛になるほど絶対値の最大酸素摂取量が大きくなっている⁴⁹⁾。しかし、体重当りではその差はほんのわずかである。Wilmore と Haskell (1972)⁵⁸⁾によるプロフットボール選手の測定では絶対値の最大酸素摂取量が

最も大きいオフENS・ラインマン(6.2l/分)が相対値では最も小さく(43.5ml/kg・分)、逆に絶対値では最も小さいディフェンス・バック(4.5l/分)が相対値で最も大きい値を記録している。また、インドのフィールドホッケー選手では、フォワード(54.2ml/kg・分)が最も大きく、ハーフ(52.9ml/kg・分)、バック(48.5ml/kg・分)、キーパー(46.3ml/kg・分)の順となっている²⁶⁾。このように、ボールゲームではポジションによっても最大酸素摂取量が若干異なる場合があるので、スポーツの種目間の最大酸素摂取量を比較する場合には選手のポジションも考慮するのが理想かも知れない。

6. シーズン中とシーズン・オフ

スポーツの多くは年間を通して規則的にしかも計画的にトレーニングが行われているが、多くの競技種目にはシーズン中とシーズン・オフとがある。そのためにトレーニング内容が季節によって変化する。たとえば、ボールゲームなどではシーズン中は即戦力的な体力や技術のトレーニングに終始するが、シーズン・オフともなれば基礎体力である筋力、パワー、持久力などの養成を主体に

したトレーニングが行われる。したがって、選手の最大酸素摂取量はトレーニング内容によって微妙に変化する。そのため、シーズン中あるいはシーズン・オフのいずれに最大酸素摂取量の最高値が記録されるのかはスポーツ種目によって異なり、一様ではない。たとえば、アメリカの距離スキーチームではシーズン前よりもシーズン後（4カ月のシーズン中の走行距離は二万 km）の最大酸素摂取量が男子で8.7%、女子で4.5%高いことが報告されている²⁰⁾。一般に、持久性能力が競われる距離スキーや自転車競技ではシーズン中あるいはその直後に最大酸素摂取量のピークが出現する^{20), 42), 52)}。個人的にみると、フィンランドの距離スキー選手の場合には、シーズン・オフの最大酸素摂取量が6.3 l/分（88.5 ml/kg・分）であったものが、シーズン中には6.5 l/分（92 ml/kg・分）と増加している⁴⁵⁾。一方、バスケットボールのようにシーズン中のトレーニングが技術に主眼が置かれる種目では、シーズン中よりもむしろシーズン・オフに最大酸素摂取量のピークが現われる⁵¹⁾。

また、体重当りの最大酸素摂取量（ml/kg・分）で比較する場合には、選手のシーズン中とシーズン・オフ中の体重の変動が微妙に影響していることも見逃してはならない。

種目別の最大酸素摂取量

前記のような問題点を可能な限り考慮して、これまで報告されているスポーツ選手の種目別最大酸素摂取量（ml/kg・分）を挙げると表1、2のようになる。すなわち、対象者の人数は3名以上20名以下とし、競技水準はナショナルあるいはインター・ナショナルのエリート選手に限定した。最大酸素摂取量の測定は直接法によることで統一し、負荷のかけ方（定常法か漸増法）、環境温度、測定日時、判定基準等については論議しなかった。運動様式については結果的にトレッドミル走あるいは自転車駆動となった。また、一回以上測定されたものについては最も高い値を、ボールゲームでは各ポジションの平均値を採用した。このような条件の下で各スポーツ種目とも体重当りの最大酸素摂取量が最も大きいチームを選出した。

その結果、男子ではスウェーデンの距離スキー・チームの82.6 ml/kg・分が最も大きく、続いてベルギーのマラソン・ランナーの78.6 ml/kg・分、フィンランドの中距離選手の78.1 ml/kg・分の順となり、最も低いのが日本の柔道選手（重量級）の40.1 ml/kg・分となった。一方、絶対値の最大酸素摂取量ではドイツのオリンピック銀メダリスのボート・チームの6.16 l/分が最も高く、続いてスウェーデンのオリエンテーリング選手の5.87 l/分、アメリカのフットボール選手の5.65 l/分、フィンランドのスピード・スケート選手の5.58 l/分の順となった。また、女子ではアメリカ陸上・長距離ランナーの68.8 ml/kg・分が最も高く、続いてフィンランドの距離スキー選手の68.2 ml/kg・分、アメリカの体操選手3名の平均値の61.8 ml/kg・分となり、最も少ないのがアメリカ陸上・短距離の43 ml/kg・分であった。一方、絶対値ではフィンランドの距離スキー選手の4.03 l/分、スコットランドの競泳選手の3.61 l/分、アメリカ・バレーボール選手の3.59 l/分であった。また、最も少ないのは陸上・短距離選手の2.45 l/分であった。

個人の最大酸素摂取量（l/分, ml/kg・分）

1. 男子スポーツ選手の最大酸素摂取量

最大酸素摂取量の絶対値の最高値はドイツのメキシコ・オリンピック・ゴールド・メダリストであるボート選手の7.77 l/分である（表3）。続いて、フィンランドの距離スキー選手の7.4 l/分、アメリカのプロ・フットボール選手の6.75 l/分、アメリカのオリンピック代表のボート選手の6.60 l/分、スウェーデンのエリート永泳選手の6.42 l/分、1976年と1980年のオリンピック・ゴールド・メダリストであるフィンランドのボート選手の6.3 l/分の順となっている。これらの選手の共通点はいずれも体重が80 kgを越える巨漢ぞろいであることである。特に、アメリカのプロ・フットボール選手やフィンランドのボート選手は100 kgを越えている。そのため、体重当りの最大酸素摂取量が80 ml/kg・分を越えるのは体重が80 kgまでに達していない表3の五番目のフィンランドの世界選手権に出場した距離スキー選手の92 ml/kg・分（6.15 l/

表3. 男子スポーツ選手(個人)の最大酸素摂取量(l /分)

スポーツ種目	(選手名; 国名)	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	脂肪貯蔵率 (%)	最大酸素摂取量		備 考	著 者(年号)
						l /分	ml/kg・分		
ボート	(R.H.; ドイツ)					7.77		メキシコ・オリンピック・ゴールド・メダリスト	Nowacki ら(1969)
距離スキー	(—; フィンランド)					7.4	77		Bergh(1974)
フットボール	(—; アメリカ)					6.75		プロ・フットボール(オフフェンス・ラインマン)	Wilmore と Haskell(1972)
ボート	(—; アメリカ)			89.8		6.60	73.5	オリンピック・チーム	Clark ら(1983)
距離スキー	(—; フィンランド)					6.5	92		Rusko ら(1978)
水 泳	(—; スウェーデン)					6.42			Holmér(1974)
ボート	(P. Karppinen; フィンランド)			101		6.3		1976年と1980年オリンピック・ゴールド・メダリスト	Rusko ら(1978)
ボート	(—; ノールウェー)					6.26			Secheb ら(1983)
オリエンテーリング	(L.R.; スウェーデン)	22	195	83.9		6.24	74.4	1965年 スウェーデン・チャンピオン	Ekblom と Hermansen(1968)
ボート	(—; デンマーク)		193	92		6.23	67.7		Jackson と Secher(1976)
距離スキー	(—; アメリカ)	23	172.7	70	9.4	6.22	88.3	アメリカ・ナショナル・チーム	Hanson(1973)
オリエンテーリング	(H.E.; スウェーデン)	23	195	85		6.17	70.9	1963年 スウェーデン・チャンピオン	Saltin と Åstrand(1967)
距離スキー	(S.G.; スウェーデン)	32	179	75		6.08	81.0	ワールド・チャンピオン(リレー)	Saltin と Åstrand(1967)
ボート	(—; アメリカ)		192	88		6.06	68.9		Hagerman ら(1979)
自転車競技	(G.P.; スウェーデン)	24	189	75		6.00	80.0	1964年オリンピック銅メダル	Saltin と Åstrand(1967)
ボート	(Britting; ドイツ)	23	187	92		6.00	65.2	1964年オリンピック銀メダル	Mellerowicz と Hamsen(1965)
自転車競技	(G.D.; スウェーデン)	24	188	74		6.00	81.1	1967年ワールド・チャンピオン	Ekblom と Hermansen(1968)

分)であり、続いて11番目のアメリカ・ノルディック・ナショナルチームの選手の88.3ml/kg・分(6.22l/分)、そして13番目と15番目ということになる。陸上の中・長距離・マラソン選手の中には6.0l/分を越える選手はいない。これは、からだが大いことが競技成績に不利になるためと思われる。

体重当りの最大酸素摂取量の最高値はノルウェー距離スキー・チャンピオンの94ml/kg・分である。続いて、1972年の札幌オリンピック・スウェーデン代表選手の93ml/kg・分、フィンランドの距離スキー選手の92ml/kg・分、アメリカ・ノルディック・ナショナルチームの選手の88ml/kg・分、スウェーデンの距離スキー選手で1962年ワールドチャンピオンである A.R. の85.1ml/kg・分、そしてア

メリカの天才ランナーの異名をとった Prefontaine の84.4ml/kg・分の順である(表4)。すなわち体重当りの最大酸素摂取量では、上位を距離スキー選手が占め、それに続いて陸上長距離やマラソン選手なども加わり、それらの種目の選手で80ml/kg・分以上の大部分を占めることになる。中にはオリエンテーリング、自転車、スピード・スケートなどの選手が80ml/kg・分を越えることもあるがその数はわずかである。絶対値では上位を占めたボート選手が相対値では姿を消すのも特徴の一つである。

Rusko ら(1978)⁴⁵⁾は、最大酸素摂取量の上位の者にみられる最大酸素摂取量の相違は主にシーズンの影響によるとみなしている。たとえば、フィンランドの距離スキー選手の最大酸素摂取量は最

表4. 男子スポーツ選手(個人)の最大酸素摂取量(ml/kg・分)

スポーツ種目	(選手名; 国名)	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	脂肪貯蔵率 (%)	最大酸素摂取量		備考	著者(年号)
						l/分	ml/kg・分		
距離スキー	(—; ノールウェー)	—	—	—	—	—	94	ノールウェー・距離スキー・チャンピオン	Åstrand と Rodahl(1977)
距離スキー	(—; スウェーデン)	—	—	—	—	—	93	1972年札幌オリンピック・スウェーデン代表	Bergh(1974)
距離スキー	(—; フィンランド)	—	—	—	—	6.5	92	1974年ワールド選手権出場	Rusko ら(1978)
距離スキー	(—; アメリカ)	—	—	—	—	6.2	88	アメリカスキーチーム	Hanson(1973)
距離スキー	(A.R.; スウェーデン)	29	177	66.5	—	5.66	85.1	1962年ワールド・チャンピオン	Saltin と Åstrand(1967)
陸上・長距離	(S. Prefontaine; アメリカ)	23	170	66.3	3.8	5.60	84.4	1500m3'38"7	Pollock(1977)
マラソン	(君原; 日本)	28	—	57.2	—	4.82	84.2	1968オリンピック銀メダル	黒田ら(1977)
オリエンテーリング	(G.O.; スウェーデン)	23	182	63.5	—	5.3	83.6	ワールド・チャンピオン	Saltin と Åstrand(1967)
陸上・マラソン	(宇佐美; 日本)	24	167.7	59.5	—	4.95	83.0	マラソン2'10"27"	黒田ら(1968)
陸上・長距離	(G. Tuttle; アメリカ)	27	170	60.9	0.9	5.04	82.7	マラソン2'17"00	Pollock(1977)
自転車競技	(—; アメリカ)	—	—	—	—	—	82.7	1976オリンピック・ロード・チーム	Burke ら(1977)
距離スキー	(L.L.; スウェーデン)	33	175	68	—	5.60	82.4	1965スウェーデン・チャンピオン(リレー)	Saltin と Åstrand(1967)
距離スキー	(N.W.; スウェーデン)	25	175	63	—	5.19	82.4	1962スウェーデン・チャンピオン	Saltin と Åstrand(1967)
陸上・長距離	(宮下; 日本)	19	—	—	—	4.37	82.1	5000m13'48"2	帖佐ら(1969)
陸上・長距離	(K.K.; エチオピア)	25	178	60.0	—	4.92	82.0	1500m3'34"9	Saltin と Åstrand(1967)
スピード・スケート	(Ö.S.; スウェーデン)	23	180	73	—	5.98	81.9	5000m: 7'47"7, 10000m: 16'17"8	Saltin と Åstrand(1967)
距離スキー	(R.R.; スウェーデン)	28	164	64.5	—	5.28	81.9	1960年オリンピック銀メダリスト	同上
距離スキー	(S. Jernberg, スウェーデン)	—	177	72	—	5.88	81.7	1955年スウェーデン・チャンピオン	Åstrand(1955)
陸上・長距離	(D.B.L.; アメリカ)	25	171	55.8	—	4.55	81.6	10マイル48.9分	Costill ら(1973)
陸上・長距離	(S.T.; 日本)	25	—	52.3	—	4.27	81.6	10000m28'42"8	黒田ら(1977)
陸上・長距離	(D. Lash; アメリカ)	24	—	65.8	—	5.35	81.4	5000m世界新(14'30"9)1936年2マイル世界新(8'58")	Dill ら(1967)
距離スキー	(L. Larsson; スウェーデン)	—	174	67.5	—	5.49	81.3	1955年スウェーデン15km距離スキー第2位	Åstrand(1955)
距離スキー	(S.G.; スウェーデン)	32	179	75	—	6.08	81.1	1962年ワールド・チャンピオン(リレー)	Saltin と Åstrand(1967)
自転車競技	(G.P.; スウェーデン)	24	188	74	—	6.00	81.1	1967年ワールド・チャンピオン	Ekblom と Hermansen(1968)
陸上・長距離	(—; タラヒュマラス・インディアン)	—	—	—	—	—	81.0	高度2300mで測定、平地に換算すると約93.2ml/kg・分	Aghemo ら(1971)
陸上・長距離	(J. Ryan; アメリカ)	20	190	73.0	—	5.91	81.0	1500m3'33"0	Danieis(1974)
マラソン	(青木; 日本)	23	158.0	51.5	—	4.16	81.0	2'17"06"	黒田ら(1968)
陸上・長距離	(P. Ndoo; アメリカ)	28	169	53.6	—	4.33	80.8	マラソン2'22'15"	Pollock(1977)
マラソン	(Stewart; イギリス)	—	—	—	—	—	80.4†	—	Davies と Thompson(1979)
マラソン	(Wright; イギリス)	—	—	—	—	—	80.4†	—	同上
マラソン	(Plain; イギリス)	—	—	—	—	—	80.4†	—	同上
距離スキー	(P.E. Larsson; スウェーデン)	—	176	67	—	5.38	80.3	1955年スウェーデン15km距離スキー第3位	Åstrand(1955)
自転車競技	(G.P.; スウェーデン)	24	189	75	—	6.00	80.0	1964年オリンピック銅メダル	Saltin と Åstrand(1967)

†推定値

初の測定時には6.3l/分(88.5ml/kg・分)であったが、1974年の世界選手権に出場後一カ月経た後の測定時には6.5l/分(92ml/kg・分)と増加が認められた。また、ソ連の女子距離スキーのA・Gusakava選手の最大酸素摂取量は4.44l/分(74ml/kg・分)であったが、1964年のオリンピック・チーム中の彼女の最大酸素摂取量はわずか66.5ml/kg・分しかなかったという⁴⁶⁾。同じことがわが国の一流マラソン、陸上長距離、距離スキー選手などを対象にした縦断的な研究でも認められる²⁹⁾。ただ、黒田ら(1977)²⁹⁾の報告では比較的同シーズンに測定が行われていたにもかかわらず、個人に5—6ml/kg・分の変動巾がある。これは多分に選手のその日の体調や測定誤差に原因するものと思われる。したがって、Ruskoら(1978)⁴⁵⁾が指摘するようなシーズンの影響だけでなく、種々の要因が複雑にからみ合って生じた差異と考えられる。

メキシコの高地(約2000m)に住むタラヒュマラス・インディアンのあるランナーの最大酸素摂取量は81ml/kg・分を記録した¹⁾。これは2300mの高地で測定されたものであるので、筆者⁶²⁾の高地における最大酸素摂取量の低減率($Y = -0.007 \times + 100.909$)から平地の値に換算すると約93ml/kg・分となる。これは、これまでの体重当りの最大酸素摂取量の1—2位の大きさに相当するものである。このランナーは3日3晩寝ることなく走り続けることが可能であり、平均18.5km/時間のス

ピードで数時間走り通すという超スタミナの持ち主であることから、この値はまんざら信憑性のないものでもないであろう。

わが国の選手では、わが国のオリンピック・距離スキー代表選手の工藤選手の5.38l/分が最高で、他に3,000m障害元日本記録保持者(8分21秒6)である小山選手の5.09l/分²⁹⁾、長距離選手の5.0l/分³⁶⁾の計3名の選手が5.0l/分を越えている。しかし、体重当りの最大酸素摂取量はわが国の選手のからだが小さいことも影響して、世界の一流選手と比較しても見劣りがしない。たとえば、1968年メキシコ・シティで行われたマラソンで銀メダルを獲得した君原選手の84.2ml/kg・分は世界のランキングの7位に位置しており、宇佐美選手の83.0ml/kg・分は9位に相当する(表4参照)。

2. 女子スポーツ選手の最大酸素摂取量

女子のスポーツ種目には男子のフットボールなどに匹敵する種目がないことから、女子の最大酸素摂取量の最高値は絶対値でも相対値でも距離スキーや陸上長距離選手に限定される。特に、絶対値では距離スキー選手が1—5位までを独占している(表5)。一方、相対値である体重当りの最大酸素摂取量では、距離スキーと陸上長距離選手が上位を2分している。

女子の絶対値の最大酸素摂取量の最高値はソ連の距離スキー選手(K. Bojarskich)の4.44l/分で、続いてフィンランドの距離スキー選手の4.4l/分、ソ連の距離スキー選手の4.34l/分、フィンランド

表5. 女子スポーツ選手(個人)の最大酸素摂取量(l/分)

スポーツ種目	(選手名; 国名)	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	脂肪貯蔵 (%)	最大酸素摂取量		備 考	著 者(年号)
						l/分	ml/kg・分		
距離スキー	(K.Bojarskich ; ソ連)					4.44	74	表4参照	Micholv と Ogoltsov(1965)
距離スキー	(—; フィンランド)					4.4	75		Bergh(1974)
距離スキー	(—; ソ連)					4.34	77		Åstranh と Rodahl(1977)
距離スキー	(—; フィンランド)					4.3	75	表4参照	Rusko ら(1978)
距離スキー	(B.M.; スウェーデン)					4.07	63.6	1965, 1966, スウェーデン・チャンピオン	Saltin と Åstrand(1967)
陸上・長距離	(—; アメリカ)	23	157	54		4.05	75	3000m9'12", 10000m33'40"	Gregor ら(1981)

表6. 女子スポーツ選手(個人)の最大酸素摂取量(ml/kg・分)

スポーツ種目	(選手名; 国名)	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	脂肪貯 蔵率 (%)	最大酸素摂取量		備 考	著 者(年号)
						l/分	ml/kg・分		
陸上・長距離	(一; アメリカ)	22	165	50.0			77	マラソン2'36"23	Gregor ら(1981)
距離スキー	(一; ソ連)	—	—	—	—	4.34	77		Åstrand と Rodahl(1977)
距離スキー	(一; フィンランド)					4.4	75		Bergh(1974)
陸上・長距離	(一; アメリカ)	23	157	54		4.05	75	3000m9'12", 10000m33'40"	Gregor ら(1981)
距離スキー	(一; フィンランド)					4.3	75	フィンランド・ナ ショナル・チーム	Rusko ら(1978)
距離スキー	(K. Bojarskich ; ソ連)					4.44	74	1964年オリンピッ ク・ゴールド・メ ダリスト	Micholov と Ogoltsov(1965)
マラソン	(増田; 日本)	18	150.2	39.5		2.87	72.7	マラソン2'30'30"	野口(1983)
マラソン	(一, アメリカ)	24	172.7	52.6		3.72	71.1	マラソン2'49'40"	Wilmore と Brown(1974)
マラソン	(一, アメリカ)	31	171.5	52.0		3.62	69.6		Wilmore と Brown(1974)
体操	(C.F.; アメリカ)	16	151.1	41.7		2.86	68.4		Noble(1975)
距離スキー	(Eriksson, A.L.; スウェーデン)	—	160	58		3.97	68.4	1955年スウェーデン 選手権第2位	Åstrand(1955)
マラソン	(一; アメリカ)					—	67.5	マラソン2'53'0"	Wells ら(1981)
距離スキー	(T.G.; スウェーデン)	25	162	57		3.78	66.3	1960-1966スウェー デン・チャンピオン	Saltin と Åstrand(1967)
陸上・長距離	(一; アメリカ)	19	157	54		3.56	66.0	800m2'12"0	Gregor ら(1981)

の距離スキー選手の4.3l/分, スウェーデンの距離スキー選手(B.M.)の4.07l/分となっている。このように, 北欧から東欧にかけての国の距離スキー選手が上位を独占している。また, Michailov と Ogoltsov (1965)³⁴⁾の報告では, ソ連のゴールドメダリスト3名の最大酸素摂取量の平均値が4.53 l/分 (72ml/kg・分) を記録していることから, ソ連の選手の中には今回の1位の4.44l/分 (74ml/kg・分) を越える選手がいるものと思われる。

体重当りの最大酸素摂取量はアメリカのマラソン・ランナーとソ連の距離スキー選手の77ml/kg・分が最高値で, 続いてフィンランドの距離スキー選手2人と陸上長距離選手の75ml/kg・分, 1964年オリンピック・ゴールドメダリストの74 ml/kg・分の順となっている(表6)。これら上位選手のすべてが同様に絶対値の最大酸素摂取量(4.0l/分)も著しく高くなっている。この現象は男子選手にみられない特色である。

わが国では, マラソンの増田明美選手の72.7 ml/kg・分が群をぬき, 2位の選手はそれよりも約10ml/kg・分少なくなっている。しかし, 男子と同様に絶対値の最大酸素摂取量は小さく, 大きい選手でも3l/分をわずかに越える程度である。特に, 増田選手は2.87l/分と3l/分にも満たないが, 体重が40kg 以下であることが影響して高い体重当りの最大酸素摂取量となっている。同様なことが, アメリカの体操選手のC.F.にもいえる。すなわち, 同選手は体重が41.7kg で, 絶対値の最大酸素摂取量(2.86l/分)は小さいが, 相対値では68.4 ml/kg・分と大きな値を記録している。

引用・参考文献

- 1) Agehemo, P., Limas, F.P. and Sassi, G., "Maximal aerobic power in primitive Indians," Int. Z. angew. Physiol., 29: 337-42, 1971.
- 2) Astrand, P.-O., "New records in human power", Nature, 176: 922-23, 1955.

- 3) Åstrand, P.-O. and Rodhal, K., Textbook of work physiology, second edition, McGraw-Hill New York : 1977. p. 321.
- 4) Åstrand, P.-O. and Seltin, B., "Maximal oxygen uptake and heart rate in various types of muscular activity," J. Appl. Physiol., 16 : 977—81, 1961.
- 5) Bergh, U., "Längdlöpning," Idrottsfysiologi, Rapport nr. : 11, Trygg-Hansa Stockholm, 1974. (cited by Rusko, et al., 1978).
- 6) Brown, C.H. and Wilmore, J.H., "Physical and physiological profiles of champion women long distance runners," Med. Sci. Sports, 3(1) : h, 1971.
- 7) Burke, E.R., Cerny, F., Costill, D.L. and Fink, W., "Characteristics of skeletal muscle in competitive cyclists," Med. Sci. Sports, 9 : 109—12, 1977.
- 8) 帖佐寛章・青木純一郎, トレーニングの生理～生理学的測定値からみた中長距離トレーニングの今後の方向, 1969. (未発表資料).
- 9) Clark, J.M., Hagerman, F.C. and Gelfand, R., "Breathing patterns during submaximal and maximal exercise in elite oarsmen," J. Appl. Physiol. : Respirat. Environ. Exercise Physiol., 55 : 440—46, 1983.
- 10) Conlee, R.K., McGown, C.M., Fisher, A.G., et al., "Physiological effects of power volleyball," Physician Sportsmed., 10 : 93—97, 1982.
- 11) Costill, D.L., Thomason, H. and Roberts, E., "Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running," Med. Sci. Sports., 5 : 248—52, 1973.
- 12) Crielaard, J.M. and Pirnay, F., "Anaerobic and aerobic power of top athletes," Eur. J. Appl. Physiol., 47 : 295—300, 1981.
- 13) Daniels, J., "Running with Jim Ryun. A five year study," Physician Sportsmed., 2 : 63—67, 1974.
- 14) Davies, C.T.M. and Thompson, M.W., "Aerobic performance of female marathon and male ultramarathon athletes," Eur. J. Appl. Physiol., 41 : 233—45, 1979.
- 15) Dill, D.B., Robinson, S. and Ross, J.C., "A longitudinal study of 16 champion runners," J. Sports Med. Physical Fitness, 7 : 4—27, 1967.
- 16) Ekblom, B. and Hermansen, L., "Cardiac output in athletes," J. Appl. Physiol., 25 : 619—25, 1968.
- 17) Faris, A.W., Gilley, W.F., Dean, G.M. and Teh, K.C., "Physiological profiles of world class decathlon athletes in training," J. Sports Med Physical Fitness, 20 : 285—90, 1980.
- 18) Gregor, R.J., Edgerton, V.R., Rozenek, R. and Castleman, K.R., "Skeletal muscle properties and performance in elite female track athletes," Eur. J. Appl. Physiol., 47 : 355—64, 1981.
- 19) Hagerman, F.C., Hagerman, G.R. and Mickelson, T. C., "Physiological profiles of elite powers," Physician Sportsmed., 7 : 74—83, 1979.
- 20) Hanson, J.S., "Maximal exercise performance in members of the US Nordic ski team," J. Appl. Physiol., 35 : 592—95, 1973.
- 21) Haymes, E.M. and Dickinson, A.L., "Characteristics of elite male and female ski racers," Med. Sci. Sports, 12 : 153—58, 1980.
- 22) Hermansen, L., "Oxygen transport during exercise in human subjects," Acta Physiol. Scand. Suppl., 399, 1973.
- 23) Holmer, I., "Physiology of swimming man," Acta Physiol. Scand. Suppl., 407, 1974.
- 24) Israel, S. and Weber, J., Problems of endurance sports-distance cycling as an example, J.A. Barth : Leipzig, (in German). (cited by Hagberg et al., Eur. J. Appl. Physiol., 39 : 47—52, 1978).
- 25) Jackson, R.C. and Secher, N.H., "The aerobic demands of rowing in two Olympic rowers," Med. Sci. Sports, 8 : 168—70, 1976.
- 26) Kansal, D.K., Verma, S.K. and Sidhu, L.S., "Intrasportive differences in maximum oxygen uptake and body composition of Indian players in hockey and football," J. Sports Med. Physical Fitness, 20 : 309—16, 1980.
- 27) Kovalski, J.E., Parr, R.B., Hornak, J.E., et al., "Athletic profile of women college volleyball players," Physician Sportsmed., 8 : 112—18, 1980.
- 28) 黒田善雄・加賀谷照彦・塚越克己・雨宮輝也・太田裕造・酒井惇子, 日本人一流競技選手の最大酸素摂取量, 日本体育協会スポーツ科学研究報告, 1968.
- 29) 黒田善雄・塚越克己・雨宮輝也・伊藤静夫・金子敬二・松井美智子, 日本人一流競技選手の最大酸素摂取量並びに最大酸素負債量—第3報一, 日本体育協会スポーツ科学研究報告, 1977.
- 30) Lavoie, J.-M. and Lébe-Néron, R.-M., "Physiological effects of training in professional and recreational jazz dancers," J. Sports Med. Physical Fitness, 22 : 231—36, 1982.
- 31) 真島英信, スピードスケート, 札幌オリンピック・スポーツ科学研究報告, 1972. pp. 181—210.
- 32) Mellerowicz, V.H. und Hansen, G., "Sauerstokapazität und andere spiroergometrische Maximalwerte der Ruder-Olympiasieger im Vierer mit S. vom Berliner Ruderclub," Sportarzt und Sport Medizin, 16 : 188—91, 1965.
- 33) Menier, D.R. and Pugh, L.G.C.E., "The relation of oxygen intake and velocity of walking and running, in competition walkers," J. Physiol., 197 : 717—21, 1968.
- 34) Michalov, V.V. and Ogoltsov, I.G., The maximal oxygen uptake in Russian cross-country skiers of Olympic caliber, The Federal Central Institute for

- Physical Education: Moscow, 1965. (cited by Saltin and Åstrand, 1967).
- 35) Mitchell, J.H., Sproule, B.J. and Chapman, C.B., "The physiological meaning of the maximal oxygen intake test," *J. Clin. Invest.*, 37: 538-47, 1958.
 - 36) Murase, Y., Kobayashi, K., Kamei, S. and Matsui, H., "Logitudinal study of aerobic power in superior junior athletes," *Med. Sci. Sports Exer.*, 13: 180-84, 1981.
 - 37) Niinimaa, V., "Figure skating: What do we know about it?," *Physician Sportmed.*, 10: 51-54, 1982.
 - 38) Noble, L., "Heart rate and prediverted $\dot{V}O_2$ max during women's competitive gymnastic routines," *J. Sports Med. Physical Fitness*, 15: 151-57, 1975.
 - 39) 野口純正「科学の目が2人の実力を分析した」陸上競技マガジン, 34-4: 60-63, 1983.
 - 40) Novak, L.P., Bestit, C., Mellerroicz, H. and Woodward, W.A., "Maximal oxygen consumption, body composition and anthropometry of selected olympic male athletes," *J. Sports Med. Fitness*, 18: 139-51, 1978.
 - 41) Nowacki, P., Krause, R. and Adam, K., "Maximal oxygen uptake by the rowing crew winning the Olympic Gold Medal 1968," *Pflug. Arch.*, 312: R66-67, 1969.
 - 42) Perez, H.R., "The effects of competitive road-racing on the body composition, pulmonary function, and cardiovascular system of sport cyclists," *J. Sports Med. Physical Fitness*, 21: 165-72, 1981.
 - 43) Pollock, M.L., "Overview," *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 301: 278-82, 1977.
 - 44) Reybrouck, T., Heigenhauser, G.F. and Faulkner, J. A., "Limitations of maximum oxygen uptake in arm, leg, and combined arm-leg ergometry," *J. Appl. Physiol.*, 38: 774-79, 1975.
 - 45) Rusko, H., Havu, M. and Karvinen, E., "Aerobic performance capacity in atheletes," *Eur. J. Appl. Physiol.*, 38: 151-59, 1978.
 - 46) Saltin, B. and Åstrand, P.-O., "Maximal oxygen uptake in athletes," *J. Appl. Physiol.*, 23: 353-58, 1967.
 - 47) Seals, D.R. and Mullin, J.P., " $\dot{V}O_2$ max in variable type exercise among well-trained upper body athletes," *Res. Quart. Exer. Sport*, 53: 58-63, 1982.
 - 48) Secher, N.H., Vaage, O., Jensen, K. and Jackson, R. C., "Maximal aerobic power in oarsmen," *Eur. J. Appl. Physiol.*, 51: 155-62, 1983.
 - 49) Shephard, R.J., "What can the applied physiologist predict from his data?," *J. Sports Med. Physical Fitness*, 20: 297-308, 1980.
 - 50) Sidney, K. and Shephard, R.J., "Physiological characteristics and performance of the white water paddler," *Eur. J. Appl. Physiol.*, 32: 55-70, 1973.
 - 51) Sinning, W.E., "Body composition, cardiorespiratory function, and rule changes in women's basketball," *Res. Quart.*, 44: 313-21, 1973.
 - 52) Šprynarová, Š., Bass, A., Macková, E., Vondra, K., Vitek, V., Teisinger, J. and Malkovská, M., "Changes in maximal aerobic power, aerobic capacity, and muscle enzyme activities at two stages of the annual training cycle in ski-runners," *Eur. J. Appl. Physiol.*, 44: 17-23, 1980.
 - 53) Taylor, H.L., Buskirk, E. and Henschell, A., "Maximal oxygen intake as an objective measure of cardiorespiratory performance," *J. Appl. Physiol.*, 8: 73-80, 1955.
 - 54) Vaccard, P., Wrenn, J.P. and Clarke, D.H., "Selected aspects of pulmonary function and maximal oxygen uptake of elite college basketball players," *J. Sports Med. Physical Fitness*, 20: 103-08, 1980.
 - 55) Wills, C.L., Hecht, L.H. and Krahenbuhl, G.S., "Physical characteristics and oxygen utilization of male and female marathon runners," *Res. Quart. Exercise Sport*, 52: 281-85, 1981.
 - 56) Williams, C., Reid, R. and Coutts, R., "Observations on the aerobic power of university rugby players and professional soccer players," *Br. J. Sports Med.*, 7: 390-91, 1973.
 - 57) Wilmore, J.H. and Brown, C.H., "Physiological profiles of women distance runners," *Med. Sci. Sports*, 6: 176-81, 1974.
 - 58) Wilmore, J.H. and Haskell, W.L., "Body composition and endurance capacity of professional football players," *J. Appl. Physiol.*, 33: 564-67, 1972.
 - 59) Withers, R.T. and Roberts, R.G.D., "Physiological profiles of representative women softball, hockey and netball players," *Ergonomics*, 24: 583-91, 1981.
 - 60) Withers, R.T., Roberts, R.G.D. and Davies, G.J., "The maximum aerobic power, anaerobic power and body composition of south Australian male representatives in athletes, basketball, field hockey and soccer," *J. Sports Med. Physical Fitness*, 17: 391-400, 1977.
 - 61) Withers, R.T., Sherman, W.M., Miller, J.M. and Costill, D.L., "Specificity of the anaerobic threshold in endurance trained cyclists and runners," *Eur. J. Appl. Physiol.*, 47: 93-104, 1981.
 - 62) 山地啓司「高所トレーニングの理論と実際」体育の科学, 28: 891-97, 1978.
 - 63) 山地啓司, 田口ら編著, 体力・健康・運動, 文理閣, 1978. p. 156.