運動疫学研究　2015; 17(2): 81-9.
Copyright ⓒ 2015 by the Japanese Association of Exercise Epidemiology

【総　説】

労働衛生と体力科学

松尾　知明 [1,2)]

1）独立行政法人 労働安全衛生総合研究所健康研究領域有害性評価研究グループ
2）国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構宇宙医学生物学研究室

【要約】本邦の体力科学研究は労働衛生との繋がりの中で発展してきた一面があるが，最近は“労働者の体力”を主要テーマに掲げる研究は少ない。しかし，現在の我が国が抱える重要課題の 1 つ“少子高齢化・人口減少”の問題を考えるにあたり，労働衛生と体力科学の繋がりを再認識することは重要である。習慣的な運動実践が身体に好影響を及ぼすことを分かっていても，現代に生きる忙しい労働者にとって，その実践は難しい。その一方で，職務時間の大部分を座位で過ごすような働き方をする人は増えている。どのようなアプローチが可能だろうか。労働衛生としては特殊な例であるが，宇宙飛行士の健康リスク軽減策は，生活習慣病対策を考えるうえで参考になる。多忙な宇宙飛行士が他の時間を削ってまで運動時間を確保するのはなぜか。体力低下が彼らの生命を脅かすためである。体力低下が健康や生命を脅かすリスクとなるのは，宇宙飛行士に限った話ではない。宇宙飛行士に職務として認められている“職場での運動”を，我が国の企業などに拡げることはできないだろうか。多くの労働者が長い時間を過ごす職場を“健康増進の拠点”にできれば，各企業だけでなく，国力の観点からも，意義ある取り組みとなる可能性がある。「長く，元気に働くこと」を目指す社会に，体力科学が果たすべき役割は大きい。

Key words：全身持久性体力，微小重力環境，身体不活動，職場での健康増進策

1．はじめに

体力科学分野の多くの文献で引用される著名な論文の 1 つに，1953 年に Lancet に掲載された Morris らの論文 [1,2)] が挙げられる。この論文は虚血性心疾患による死亡率を，ロンドンバスの運転士と車掌で比較し，身体活動量が疾患発症に影響を及ぼすことを明らかにした報告である。今でこそ同様の見解を示す研究報告は枚挙にいとまがないが，その先駆けとなる論文は労働衛生を舞台とした研究から生まれている。我が国の体力科学研究の歴史を辿ってみても，労働衛生と体力科学との関係を示した文書が多いことに気づかされる。例えば，1950 年に発刊された日本体力医学会の学会誌「体力科学」の“發刊のことば（東俊郎）” [3)] には，産業衛生や労働科学の課題が同誌発刊に少なからぬ影響を与えたことが説明されており，その第 1 巻には，白井伊三郎による「勞動と體力」[4)] と題された論文が掲載されている。また，1985 年の民族衛生誌には,「労働生理学からスポーツ生理学へ」と題された石河利寛による巻頭言 [5)] が掲載されており，そこには，資本主義の発展に伴う労働力の増大が必要とされた時代に，労働者の疲労を防止し，作業能率を上げるために労働生理学が重要な役割を果たしたことや，その過程で身体活動が研究対象となり,“スポーツ生理学”の研究進展に繋がったことが説明されている。

このように，我が国における体力科学研究は労働衛生との密接な繋がりの中で発展してきた一面があるのだが，最近の国内の研究に目を向けると，“労働者の体力”をテーマとした研究が充実しているとは必ずしもいえない状況が窺える。「体力科学」誌に掲載されている論文を概観しても，発刊から十数年（1950～1960 年始め）は労働衛生の課題をテーマとした研究報告が数多くみられるが，1960 年代以降，それらは散見される程度となる。戦後復興期から経済成長期には“労働者の体力”は国家的重要課題の 1 つであり，この課題の解決

連絡先：松尾知明，独立行政法人労働安全衛生総合研究所健康研究領域有害性評価研究グループ，〒214-8585　神奈川県川崎市多摩区長尾 6-21-1，matsuo@h.jniosh.go.jp

投稿日：2015 年 8 月 14 日，受理日：2015 年 9 月 8 日

に向けた研究が必要とされたのかもしれないが，1985年に石河が指摘[5]したように，“作業の電化，機械化，オートメーション化によって，(中略) 労働生理学はその重要な課題が解決されてしまった”面があったのであろう。このような視点に立つと，1964年の東京オリンピック・パラリンピックは，我が国の経済復興の象徴であったと同時に，体力科学研究としては，研究テーマが移り変わる1つの契機となったようである。

そのような経緯が窺える体力科学研究ではあるが，現在の我が国が抱える最重要課題の 1 つ，“少子高齢化・人口減少”の問題を考えるにあたり，労働衛生と体力科学の繋がりを再認識することには意義があるのではないだろうか。就業者総数が減少傾向にある中，就業者全体に占める高齢者の割合は増加するなど，労働統計 (2013年9月総務省統計局) でも少子高齢化・人口減少の傾向は顕著である。国民としては，“年齢にかかわらず，できるだけ長く，元気に働きたい”と考える人は少なくないだろうし，国家としても，“国力や年金システムを維持するために高齢者の就業を促す”必要性が高まるだろう。国策として高齢者の就業を促すことや国民の体力を国力と結び付けて論ずることには違和感を覚える人もいるかもしれない。しかし，少子高齢化・人口減少社会では，“長く，元気に働く”ことへの社会的ニーズは今後ますます高まりそうである。そのような中，“労働者の体力”に改めて着目した研究を行うことは，我が国の将来を考えるうえで重要であろう。言うなれば，労働衛生をベースに発展を遂げた体力科学の知見・技術を，労働衛生に還元する取り組みである。少子高齢化・人口減少問題を世界に先駆けて経験する我が国から，独自の打開策を世界に示すという観点からも，必要な学究ではないだろうか。

折しも，2020年には再度，東京オリンピック・パラリンピックが開催される。主会場建設にかかわる当初予算額が世論に受け入れられなかったことに象徴されるように，今回のオリンピック・パラリンピックは，国の経済力を世界に示すためのものではなく，熟した資本主義国の今後の在り方を世界に提案する意味合いも含まれそうである。体力科学研究の今後の方向性を考えるうえでも，前回とは異なる観点からとらえる必要があるだろう。本稿では，労働安全衛生総合研究所 (JNIOSH) が取り組む労働者の体力をテーマとした研究を紹介しつつ，労働衛生分野における今後の体力科学について考えてみたい。

2．体力とは

ひと言で“体力”といっても，その定義は単純ではない。「体力科学」第 1 巻に掲載されている「體力科學序説 (浦本政三郎)」[6]では，“形態，機能，精神の3つが體力の要素になる”と説明されている。また，「日本人の体力 (猪飼道夫)」[7]で示されている著名な体力分類図では，体力は，まず，“身体的要素”と“精神的要素”に分類され，続いてそれぞれが“行動体力”と“防衛体力”に分類される。更に，身体的要素の行動体力と防衛体力は，それぞれ“形態”と“機能”に分類される。いわゆる体力測定で数値化されるような“敏捷性，筋力，パワー，持久性，平衡性，協応性，柔軟性”[7]などの体力は，“身体的要素としての行動体力の機能”に位置づけられる。これらは我々が日々行う研究の対象となるだけでなく，一般的にも体力の概念として定着しており，“労働者の体力”を表現する場合においても中心的な役割を担うはずである。一方，現代社会ではメンタルヘルスにかかわる課題が取り上げられることが多く，特に労働衛生においては，近年の最重要課題の1つとして労働者の精神疾患が挙げられている。浦本[6]や猪飼[7]が説明したように，そもそも“精神”が体力の重要な構成要素の1つとしてとらえられるのであれば，体力科学にかかわる研究者がメンタルヘルス分野の課題解決に向けて，それを体力にかかわる課題ととらえ，積極的に取り組むことは合理的といえる。

このように体力について少し整理して考えてみると，“労働者の体力”はさまざまな角度から論ずる必要があることが分かる。とはいえ，本稿では論の複雑化を避けるため，行動体力の機能面，中でも体力の代表的な指標としてしばしば研究で用いられ，疾病発症に少なからぬ影響を及ぼすことが明らかとなっている“全身持久性体力”[8]を切り口として取り上げたい。全身持久性体力とは“活発な身体活動を維持できる能力”であり，その代表的なパラメータとしては最大酸素摂取量 (maximal oxygen consumption; $\dot{V}O_{2max}$) や $\dot{V}O_{2max}$ より決定基準が緩やかな最高酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2peak}$) が挙げられる。

３．全身持久性体力の改善に向けて

3-1．労働衛生と宇宙医学

労働衛生としては特殊な例となるが，ここで宇宙飛行士の健康対策にかかわる研究について少し紹介したい。労働衛生とは，ある労働者集団に生じやすい健康リスク（疾病等）をテーマとして掲げ，そのリスクと労働条件や作業環境等との関係を分析し，リスク軽減策を講ずる取り組みである。この意味においては，宇宙飛行士の健康リスク軽減を目的とした取り組みもまた，労働衛生の一環である。しかし，労働衛生を主テーマとした学会や研究誌で宇宙飛行士にかかわる研究報告を目にする機会は少ない。対象者（宇宙飛行士）が極めて少ないこと（日本では 10 名ほど）や限られた機関（日本では宇宙航空研究開発機構等）が専門的に研究を進めていることなどがその理由である。他方，微小重力環境に滞在する宇宙飛行士の身体変化が，加齢に伴う身体変化や，科学技術の恩恵で身体に負荷をかける機会が減った現代人の身体状況と似た側面があるため，宇宙医学で得られた研究成果が老化や生活習慣病にかかわる研究の進展に役立つともいわれている。生活習慣病をテーマとした研究に従事していた筆者らが宇宙医学に関心をもったのも，この考えに触れたことがきっかけであった。

3-2．宇宙飛行士と運動

これまでの宇宙実験やベッドレスト実験（微小重力環境の模擬実験）では，数週間～数か月間の微小重力環境ばく露により，ヒトの $\dot{V}O_{2max}$ は 20% 前後減少するとされる [9]。その要因として，体液減少による 1 回拍出量の減少（その結果として生じる心拍出量の減少）や筋など末梢の酸素利用能低下が挙げられている [10]。このような体力低下を予防するため，国際宇宙ステーションで働く宇宙飛行士には，週 6 日，1 日 2 時間ほど（準備時間含む）の運動時間が，“職務として”割り当てられている。しかし，宇宙での限られた時間を有効活用するためにも，“勤務中”の運動時間はできる限り短縮させたい。そのために現在，宇宙環境での“効率的な運動トレーニング法”を開発する研究が，世界各国の宇宙機関で進められている。また，微小重力環境が宇宙飛行士の健康に及ぼす別の課題として，体重減少が挙げられる [11]（宇宙で生じる体重減少の詳細については，現在，国際宇宙ステーションで研究が進められている）。 肥満やメタボリックシンドローム（metabolic syndrome; MS）対策に向けた運動療法では，1 セッションあたりの運動によるエネルギー消費量は多いほうが良いとされるが，宇宙では，運動によるエネルギー消費量増大は体重減少を促進させるだけでなく，食糧輸送コストをも増大させることが懸念されている。そのため，宇宙飛行士の運動プログラムとしては，短時間で，かつ，運動量が少ない方法が適しているとされる。

3-3．時間効率の良い運動トレーニング法

従来，健康増進や疾病の予防・治療を目的とする心肺持久系の運動トレーニングとしては，中強度持続的有酸素性運動（moderate-intensity continuous training; MICT）が主流とされ，アスリートが行うような高強度運動はリスク回避の観点から敬遠されてきた。しかし近年，運動非習慣者や有所見者などの体力低位者が対象の場合でも，高（め）強度インターバル運動が有効であることが多くの研究で示されている。高め強度インターバル運動は 2 つのタイプに大別される。有酸素系 [12] とスプリント系 [13] である。有酸素系は，高（め）負荷（$\dot{V}O_{2peak}$ 時負荷量の 80%など）での数分間の自転車漕ぎ運動やランニング運動を，低～中負荷での運動を挿んで数回繰り返すものであり，スプリント系は，負荷をかなり高く設定（all-out 時負荷量など）したうえで，高回転での 15～30 秒間の自転車漕ぎ運動を，休息期を挿んで数回繰り返すものである。これらをテーマとした研究報告数の増加に伴い，運動プロトコルの表記法が多様化したため，一部の研究者から表記法の統一が提案された [14,15]。彼らは有酸素系を HIIT（high-intensity interval training），スプリント系を SIT（sprint interval training）とすることを推奨している。いずれの方法でも，その代表的な効果は全身持久性体力の向上である。SIT の一種としては“Tabata プロトコル”[16] が国際的に著名である。アスリート向けに開発されたこのプロトコルも，現在ではアスリートに限らず世界中の運動愛好家により実践されている。HIIT や SIT の主な利点は，一定の効果を確保しつつ，運動の所要時間を短縮できる点にあるため，宇宙飛行士の運動プログラムにも適している。HIIT のプロトコルとしてはノルウェーの研究グループが推奨する 4 × 4-min プロトコル [17-19] が著名であり，研究報告数も多い。しかし，4 × 4-min

HIIT は，強度が高いだけでなく所要時間も比較的長い（高負荷期が 16 分，休息期も含めると 25 分）ため，体力レベルが低い人にとってはかなりきついプロトコルである。ノルウェーの研究では，4 × 4-min HIIT の運動量（エネルギー消費量）は比較群である 47-min MICT（週 3 日で一般的に推奨されている週 150 分ほど）と同等とされている[17,19]。この処置は運動強度の影響を検討する実験としては極めて妥当な手法であるが，4 × 4-min プロトコルが HIIT でありながら比較的長い所要時間を必要とする原因にもなっている。それに対し，その他の研究で用いられている HIIT プロトコル（10 × 1-min[20]，5 × 2-min[21]，3 × 3-min[22] 等）は，運動量と運動時間を少なくすることに重点が置かれ，実践者への負担を多少なりとも軽減している。

筆者らは，効果の程度と実践者の負担とのバランスを調節する予備実験を行ったうえで，3 × 3-min HIIT を推奨している[22-24]。このプロトコルの特徴は，体力低位者でも，長期間，日常的に取り組める点である。運動強度はやや高めに設定されるが，対象者それぞれの実際の運動負荷量は個々の体力レベルに合わせて決められるため，体力低位者では負荷量の絶対値はそれほど高くならない。また，3 × 3-min HIIT では，3 回目の高負荷ステージの運動強度が 1，2 回目のステージより 5%ほど低く設定される。これにより，実践者の脚部や心理面への負担が大きく軽減されるが，心拍数は 2 回目の高負荷ステージから低下しない[24]（心肺への負荷は低減しない）。運動非習慣者を対象に，3 × 3-min HIIT と 45-min MICT（所要時間と運動量が 3 × 3-min HIIT の 2 倍ほど）とを比較する無作為割付比較試験[22,24]を行った結果，HIIT 群の全身持久性体力の増加が MICT 群を上回り，心臓に及ぼす影響も HIIT 群が大きい傾向がみられた。興味深いのは週あたりの運動頻度を 5 回から 3 回に減少させても，HIIT による $\dot{V}O_{2max}$ 増加率がともに 22%ほどであったことである。全身持久性体力の改善に向けては，運動量の少ない HIIT であっても，その頻度は週 3 回ほどで十分である可能性が考えられた。

3-4. 微小重力環境と身体“不”活動

上述したように，微小重力環境に滞在する宇宙飛行士の身体変化は，科学技術の恩恵で身体に負荷をかける機会が減った現代人の身体状況と似た側面があるといわれる。つまり，極端な見方をすれば，微小重力環境は身体“不”活動状況の時間短縮版というわけである。関連研究としては，3 週間のベッドレスト実験から 30 年経過時に追跡調査を行った研究[25]が著名である。この研究では，3 週間のベッドレストによる全身持久性体力の低下（26%）が 30 年分の加齢に伴う低下と同程度であったことが示された（この論文の著者らはベッドレスト後 40 年経過時にも同様の追跡調査[26]を行っている）。

宇宙飛行士は多忙である。それにもかかわらず，他の時間を削ってまでしっかりとした運動時間が彼らに確保されているのは，宇宙飛行士に運動好きが多いからではない。体力を低下させないことが，飛行士の健康を，ひいては彼らの生命を守るうえで重要であることが，宇宙開発に携わる多くの国の関係者に強く認識されているためである。体力低下が健康や生命を脅かすリスクとなるのは，宇宙飛行士に限った話ではない。全身持久性体力が低いと，高血圧[27]，糖尿病[28]，がん[29]などの疾病発症リスクが高まることや死亡リスク[30]が高まることを示す研究報告は少なくない。また，この体力を改善させれば死亡リスクが軽減することを示す報告[31,32]もある。宇宙飛行士と身体不活動者との違いは，急激に微小重力環境にばく露されるか，長年かけてじっくり身体不活動な状況に身を置くか，という点である。筆者らは最近，80 名ほどの男性労働者（平均年齢 48.2 歳，運動非習慣者，腹囲 85 cm 以上）の $\dot{V}O_{2peak}$ を測定した。その平均値は 28.7 ml/kg/min であり，年齢別基準値に照合[33]すると 60～64 歳の水準であった。身体活動レベルが低く生活習慣病のリスクを有する国民の全身持久性体力がこれほど低水準な可能性があることについて，つまり，“地上版微小重力環境”への対策が必要であることについて，我々は認識を強め，対策を講ずる必要があるのではないだろうか。

４．職場を健康増進の拠点に

4-1. 「余暇時間に適度な運動」は難しい？

習慣的な運動実践が身体に好影響を及ぼすことを分かっていても，現代に生きる多くの人々，特に忙しい労働者にとって，その実践は難しい。いくら“余暇時間に適度な運動を”と唱えられても，早朝や夜遅く帰宅してからの運動，休日に時間を割いての運動は，運動が大好きな人であれば

ともかく，多くの労働者にとって容易ではない。その一方で，職務時間の大部分を座位で過ごすような働き方をする人は増えている。この状況を変えるにはどうすればいいのだろうか。

宇宙飛行士に“職務として”認められている「職場での運動（エクササイズ）」を我が国の企業などで実践することには，経営者でなくても抵抗を感じる人は多いであろう。“健康管理は主に余暇時間にするもの”という考えが根強く，“職場での運動など不謹慎”とする感覚を私たちは少なからず持っている。しかし，最近は「健康経営」に取り組む企業も増えてきた。社員食堂のメニュー改善などもその一例であろう。健康経営とは，企業等が従業員の健康問題への支出を単なるコストではなく人的資本への投資ととらえ，健康と生産性の両方を同時にマネジメントする取り組みのことである[34]。少子高齢化・人口減少問題に向け，企業が対策を取り始めたことが背景にある。上述した筆者らの研究によると，1 回 10～15 分程度の HIIT を週 2～3 回（1 週間に 30～60 分程度）実践できれば，全身持久性体力は改善する。数台の自転車とそれを置くスペース，そこに経営者の理解と安全管理体制を加えられれば，多くの労働者が長い時間を過ごす職場を“健康増進の拠点”に変えられる。“職場での運動”が労働者個人の健康を守るだけでなく，企業の医療費負担抑制や“従業員が長く，元気に働く”ことに繋がるのであれば，各企業だけでなく，国力の観点からも，意義ある取り組みとなる可能性がある。

4-2. 肥満・メタボリックシンドローム対策

脳血管疾患や虚血性心疾患にかかわる労災支給件数は依然として高水準である。労働者の肥満・MS を予防・改善する取り組みは，その対策としても重要である。我々は，上述した HIIT にかかわる研究で得た成果をベースに，8 週間の 3 × 3-min HIIT に 4 週間の食事療法（calorie restriction; CR）を組み合わせた介入プログラム（8-wk HIIT & 4-wk CR）を考案し，それを MS に該当する労働者に適用する実験[35] を行った。上述した実験で 3 × 3-min HIIT は運動非習慣者の全身持久性体力や心機能の改善に効果が期待できることが示されたが，その運動量は少ないため，脂肪減少には貢献しにくいことが予想される。この実験[35] では，3 × 3-min HIIT が MS 該当者の身体変化にどのような影響を及ぼすかを，また，3 × 3-min HIIT に短期間の CR を加えた場合の効果はどの程度かを明らかにすることが目的とされた。実験では，MS 該当労働者 26 名（すべて男性，平均年齢 47.4 歳）を，無作為に 3 × 3-min HIIT 群（1 回あたり 180 kcal，1 週間の運動時間 54 分）と 45-min MICT 群（1 回あたり 360 kcal，1 週間の運動時間 135 分）に分け，それぞれに対し，8 週間（週 3 回）の運動介入を行った後，4 週間の CR 介入を行った。CR 介入中，参加者には講話と実習による 1 回 60～90 分間の教室（週 1 回，計 4 回）への参加と食事日誌への記録を求めた。CR 介入の内容は両群同様であり，1 日あたりの目安 CR は－400 kcal ほどとした。主な結果は以下のとおりである。1）運動介入中は HIIT 群の $\dot{V}O_{2peak}$ 増加が著しかったのに対し，CR 介入中（脱運動トレーニング期間）は逆に HIIT 群の $\dot{V}O_{2peak}$ 低下が著しかった（HIIT の運動量の少なさが影響した可能性がある）。2）血圧・血液検査数値の改善に HIIT 群と MICT 群の間に有意差はなかったものの，CR 介入を終えた段階では，全体的に HIIT 群の効果量が大きい傾向が窺えた（循環機能，血管内皮機能，脂肪細胞等に及ぼす HIIT の好影響が CR により誘発された可能性が考えられる）。3）改善の程度に群間差は検出されなかったものの，運動介入による HbA1c の有意な改善は MICT 群のみでみられた（運動量の差が糖代謝改善に影響を及ぼした可能性がある）。4）HIIT の 1 セッションあたりのエネルギー消費量は MICT の半分程度であったが，運動介入による体重（脂肪）減少量は，HIIT 群と MICT 群で有意差はなかった（1 セッションあたりの運動量に多少の違いがあっても，週 3 回の運動を 8 週間実践する程度では，体重減少量に差は生じない可能性が考えられる）。MS 該当者を対象とした同様の研究では，4 × 4-min HIIT による効果が MICT による効果より大きいことを示した報告[17] があるが，3 × 3-min HIIT を用いた筆者らの研究[35] では，$\dot{V}O_{2peak}$ への効果を除き，HIIT が MICT を上回る結果は得られなかった。とはいえ，3 × 3-min HIIT 群に属した MS 該当者が問題なく高め強度運動を実践でき，全身持久性体力（全員が 10％以上の改善）や血液検査数値を改善させた結果は，HIIT の所要時間が MICT より顕著に短かったことを考慮すると重要である。

筆者らは，忙しい労働者への効率的なアプローチ法にかかわる研究の一環として，「社会的ネットワークを利用した MS 対策」をテーマとした研

究[36,37]にも取り組んでいる。具体的には，MSに該当する労働者(男性)本人にではなく，その妻への介入が夫のMS関連数値に及ぼす影響を検討したものである。この実験では，妻の食事制限幅が大きければ夫の食事制限幅が大きくなり，また，妻の体重変化(減量幅)が大きければ夫の体重変化が大きくなる傾向が認められ，妻を介した間接的な介入が夫のMS改善に有効である可能性が示された。一方，身体活動量に関しては夫婦間で有意な相関関係は認められなかった。夫婦で同じ内容の食事をする機会は比較的多いが，行動(身体活動)をともにする機会は少なかった，と解釈できる。海外の研究[38]により肥満が社会的ネットワーク(友人，兄弟姉妹，夫婦など)を通じて伝播する可能性が示され，話題となったが，我々の研究では，肥満だけでなく減量のための行動変容も家庭内で伝播する可能性が示された。

4-3. 実験結果は現場で通用するか

上述のように，多忙な労働者の時間的負担を軽減させることに重点を置いた筆者らの研究では，全身持久性体力やMSに関連する検査数値を改善させる意味において，一定の成果を挙げることができた。しかし，これらの成果は条件を整えた環境で得られた結果であり，いわば実験室で得られた成果である。現場で通用するのだろうか。

1988年の労働安全衛生法改正に基づき開始されたトータル・ヘルスプロモーション・プラン(THP)は，国家的な取り組みであり，開始当初は労働者の体力向上がその主目的の1つとされたため，運動への期待も高く，運動指導者の活躍の舞台となった。しかし，バブル経済崩壊後の景気後退に伴い，その活動も勢いを失い，今に至っては，“労働者の体力”を重視している企業が多いとはいえない状況である。現在，少子高齢化・人口減少の問題を背景に，THPに似た側面のある「健康経営」が再び掲げられようとしている。景気動向に左右されずにその活動を活性化できるかが，課題の1つである。一方，従業員の体力を重視し，「職場での運動」を実践している企業は，多くはないが現在も存在する。しかしそういった企業では，「職場での運動」や「勤務中の運動」を経営側が認めているにもかかわらず，それを実践する者は必ずしも多くない，という課題も指摘されている。“運動が身体に良いことは分かっていても行動が伴わない”という，我々体力科学に携わる研究者が抱える本質的な課題が背景に潜む。運動を好意的にとらえる我々のような研究者が，いくら「時間効率が良く，効果の高い方法」を提案したところで，現場でそれが機能しないようでは，その価値は著しく損なわれる。1950年の「體力科學序説」[6]で浦本は，“理想的な(体力)基準が實驗的に求められなければならない”と述べ，更に，“目標としてより立派な體力の形成を目指すようにしなければ，體力科學は學問としての權威をもつとはいえない”と指摘している。現代に至り，研究が進展し，例えば全身持久性体力についてはその基準値(理想値)が示されるに至った[33]。国民の体力形成に向けて，得た研究成果をどう活かすか，更なる知恵が必要である。身体活動が少なくなった現代人が何らかの運動を実践することで，身体に良いメカニズムが働くことは，それが体力であれ糖脂質代謝であれ，ある意味，自然なことのように思われる。それを進歩した測定技術をもって検出してみせ，運動の効果を謳ってみても，現状を変えられなければ“人類文化に寄與(浦本)[6]”したとはいえないのかもしれない。Morrisら[1,2]が座位行動のリスクを指摘してから既に60年以上が経過している。我々は体力科学研究で何をすべきか，学問としての存在価値が問われている。

５．おわりに

筆者は労働衛生の一環として宇宙医学にかかわり，宇宙飛行士の健康問題には独自の背景があること，また，その課題解決への取り組みが生活習慣病などの研究に活かせる可能性があることを学んだ。しかし，宇宙飛行士の健康対策を考えるにあたり，それらにも増して関心を覚えたのは，人体の微小重力環境への凄まじい適応力である。微小重力環境へのばく露初期段階では，人体にさまざまな変化が生じ，健康が脅かされる。しかし，次第に適応が進み，その場(微小重力環境)に滞在する限りにおいては，リスクは軽減していく。これを“地上版微小重力環境”で考えた場合はどうか。確かに現代は身体不活動が肥満やMSの主要因とされ，身体活動を増やすことが重要とされる。我々は今後もこの事実を国民に唱え続け，現状を変える努力をしなければならない。しかし，その一方で，「私たちは今でも進化している(Marlene Zuk)[39,40]」のであれば，身体不活動な状況に人体が適応していく可能性についても，少なくとも研究

としては，議論の一材料に加えても良いのではないか。進化のスピードは意外なほど速い可能性があることを，Zuk は指摘している。

団塊ジュニア世代の筆者は，体力科学や体力医学の歴史[41,42]については文献を通じて学ぶことが多いが，筆者が実感できるこの 20 年程の期間だけをみても，体力科学研究の着眼点が少しずつ変化している様子が窺える。“運動（exercise）”から“身体活動（physical activity）”へ，また，“身体活動”から“座位行動（sedentary behavior）”へという変遷である。しかし，この状況は，国民の体力や身体活動状況の改善をみないまま，研究テーマだけが移り変わっているといえなくもない。そして，それは，より消極的な方向へと移行している。我々は，現状を変えられないまま，次々ともっともらしいテーマを掲げているとの見方は，やや自嘲に過ぎるだろうか。筆者らも“労働者の座位行動”に着目した研究を進めている。“人類文化に寄与”する研究にするためにはどう展開すべきか，熟考を重ねたい。

過労死等防止対策推進法が 2014 年 6 月に成立した。これに伴い，JNIOSH 内に「過労死等調査研究センター」が設置され，現在，「過労死等の実態解明と防止対策に関する総合的な労働安全衛生研究」として，研究が進められている。日本人の働き方を変えようとする機運が，ようやく高まりつつある。この研究ではいくつかの課題が掲げられているが，その 1 つに「労働者の体力」をテーマとした研究が含められている。「長く，元気に働く」ことのできる社会の実現に向けて，体力科学の貢献が期待されている。少子高齢化・人口減少問題を世界に先駆けて経験する我が国は，課題先進国として世界に情報を発信することが求められている。国民の体力増強や身体活動増加に資する研究で着実な成果を挙げ，我が国の体力科学研究の存在価値を，国内に，また世界に示したいものである。

文　献

1） Morris JN, Heady JA, Raffle PA, Roberts CG, Parks JW. Coronary heart-disease and physical activity of work. Lancet. 1953; 265: 1111-20.
2） Morris JN, Heady JA, Raffle PA, Roberts CG, Parks JW. Coronary heart-disease and physical activity of work. Lancet. 1953; 265: 1053-7.
3） 東　俊郎．發刊のことば．体力科学．1950; 1: 1-1.
4） 白井伊三郎．勞働と體力．体力科学．1950; 1: 12-8.
5） 石河利寛．労働生理学からスポーツ生理学へ．民族衛生．1985; 51: 1-1.
6） 浦本政三郎．體力科學序説．体力科学．1950; 1: 2-5.
7） 猪飼道夫．日本人の体力．日本経済新聞社，東京，1967.
8） 田中喜代次．全身持久性体力の測定．体育学研究．2000; 45: 679-94.
9） Levine BD, Lane LD, Watenpaugh DE, Gaffney FA, Buckey JC, Blomqvist CG. Maximal exercise performance after adaptation to microgravity. J Appl Physiol. 1996; 81: 686-94.
10） Lee SM, Moore AD, Everett ME, Stenger MB, Platts SH. Aerobic exercise deconditioning and countermeasures during bed rest. Aviat Space Environ Med. 2010; 81: 52-63.
11） Matsumoto A, Storch KJ, Stolfi A, Mohler SR, Frey MA, Stein TP. Weight loss in humans in space. Aviat Space Environ Med. 2011; 82: 615-21.
12） Wisloff U, Ellingsen O, Kemi OJ. High-intensity interval training to maximize cardiac benefits of exercise training? Exerc Sport Sci Rev. 2009; 37: 139-46.
13） Gibala MJ, McGee SL. Metabolic adaptations to short-term high-intensity interval training: a little pain for a lot of gain? Exerc Sport Sci Rev. 2008; 36: 58-63.
14） Gibala MJ, Gillen JB, Percival ME. Physiological and health-related adaptations to low-volume interval training: influences of nutrition and sex. Sports Med. 2014; 44 (Suppl 2): S127-37.
15） Weston KS, Wisloff U, Coombes JS. High-intensity interval training in patients with lifestyle-induced cardiometabolic disease: a systematic review and meta-analysis. Br J Sports Med. 2014; 48: 1227-34.
16） Tabata I, Nishimura K, Kouzaki M, et al. Effects of moderate-intensity endurance and high-intensity intermittent training on anaerobic capacity and $\dot{V}O_{2max}$. Med Sci Sports Exerc. 1996; 28: 1327-30.
17） Tjonna AE, Lee SJ, Rognmo O, et al. Aerobic

interval training versus continuous moderate exercise as a treatment for the metabolic syndrome: a pilot study. Circulation. 2008; 118: 346-54.
18）Tjonna AE, Stolen TO, Bye A, et al. Aerobic interval training reduces cardiovascular risk factors more than a multitreatment approach in overweight adolescents. Clin Sci. 2009; 116: 317-26.
19）Wisloff U, Stoylen A, Loennechen JP, et al. Superior cardiovascular effect of aerobic interval training versus moderate continuous training in heart failure patients: a randomized study. Circulation. 2007; 115: 3086-94.
20）Little JP, Gillen JB, Percival ME, et al. Low-volume high-intensity interval training reduces hyperglycemia and increases muscle mitochondrial capacity in patients with type 2 diabetes. J Appl Physiol. 2011; 111: 1554-60.
21）Nybo L, Sundstrup E, Jakobsen MD, et al. High-intensity training versus traditional exercise interventions for promoting health. Med Sci Sports Exerc. 2010; 42: 1951-8.
22）Matsuo T, Saotome K, Seino S, et al. Effects of a low-volume aerobic-type interval exercise on $\dot{V}O_{2max}$ and cardiac mass. Med Sci Sports Exerc. 2014; 46: 42-50.
23）Matsuo T, Ohkawara K, Seino S, et al. An exercise protocol designed to control energy expenditure for long-term space missions. Aviat Space Environ Med. 2012; 83: 783-9.
24）Matsuo T, Saotome K, Seino S, et al. Low-volume, high-intensity, aerobic interval exercise for sedentary adults: $\dot{V}O_{2max}$, cardiac mass, and heart rate recovery. Eur J Appl Physiol. 2014; 114: 1963-72.
25）McGuire DK, Levine BD, Williamson JW, et al. A 30-year follow-up of the Dallas Bedrest and Training Study: I. Effect of age on the cardiovascular response to exercise. Circulation. 2001; 104: 1350-7.
26）McGavock JM, Hastings JL, Snell PG, et al. A forty-year follow-up of the Dallas Bed Rest and Training study: the effect of age on the cardiovascular response to exercise in men. J Gerontol A Biol Sci Med Sci. 2009; 64: 293-9.
27）Blair SN, Goodyear NN, Gibbons LW, Cooper KH. Physical fitness and incidence of hypertension in healthy normotensive men and women. JAMA. 1984; 252: 487-90.
28）Sawada SS, Lee IM, Muto T, Matuszaki K, Blair SN. Cardiorespiratory fitness and the incidence of type 2 diabetes: prospective study of Japanese men. Diabetes Care. 2003; 26: 2918-22.
29）Sawada SS, Muto T, Tanaka H, et al. Cardiorespiratory fitness and cancer mortality in Japanese men: a prospective study. Med Sci Sports Exerc. 2003; 35: 1546-50.
30）Myers J, Prakash M, Froelicher V, Do D, Partington S, Atwood JE. Exercise capacity and mortality among men referred for exercise testing. N Engl J Med. 2002; 346: 793-801.
31）Barlow CE, Defina LF, Radford NB, et al. Cardiorespiratory fitness and long-term survival in “low-risk” adults. J Am Heart Assoc. 2012; 1: e001354.
32）Zhang P, Sui X, Hand GA, Hebert JR, Blair SN. Association of changes in fitness and body composition with cancer mortality in men. Med Sci Sports Exerc. 2014; 46: 1366-74.
33）鈴木政登．日本人の健康関連体力指標最大酸素摂取量基準域および望ましいレベル．体力科学．2009; 58: 5-6.
34）岡田邦夫，津野陽子，椎葉茂樹，藤田敦子，寺原　章．特集：企業力を高める健康経営．安全と健康．2015; 16: 17-33.
35）Matsuo T, So R, Shimojo N, Tanaka K. Effect of aerobic exercise training followed by a low-calorie diet on metabolic syndrome risk factors in men. Nutr Metab Cardiovasc Dis. 2015; 25: 832-8.
36）Matsuo T, Kim MK, Murotake Y, et al. Indirect lifestyle intervention through wives improves metabolic syndrome components in men. Int J Obes. 2010; 34: 136-45.
37）松尾知明，根本みゆき，大須賀洋祐，田中喜代次．配偶者を通じた間接的な生活習慣介入が体重とメタボリックシンドローム構成因子に及ぼす影響：2 年後の追跡調査．体力科学．2012; 61: 393-402.
38）Christakis NA, Fowler JH. The spread of obesity in a large social network over 32 years. N Engl J

Med. 2007; 357: 370-9.
39) Zuk M, 渡会圭子(訳). 私たちは今でも進化しているのか？文藝春秋，東京，2015.
40) Zuk M. Paleofantasy: what evolution really tells us about sex, diet, and how we live. W.W. Norton & Company, New York, 2013.
41) 栗原　敏，鈴木政登，清田　寛. 日本の体力医学の源流と変遷. 体力科学. 2014; 63: 247-57.
42) 名取禮二. 体力医学の生い立ち. 体力科学. 1990; 39: 93-8.

【**Review Article**】

Occupational Health and Physical Fitness Science

Tomoaki Matsuo[1,2)]

Abstract

History suggests that research in physical fitness and exercise physiology has developed in conjunction with research in occupational health. However, in recent years, the issues of workers' physical fitness are not treated as a crucial aspect in occupational health studies. Currently in Japan, we face a serious national issue referred to as our aging and declining population society. In this type of society where the relative number of workers is declining, workers' health should be one of the most important concerns for both employers and the government. There is an increased need in Japan to maintain workers' health and extend the years leading up to retirement from the workforce; for this reason, research in physical fitness will again play a significant role in occupational health issues.

Although people generally understand the importance of regular exercise, finding time for exercise during non-work (leisure) hours is difficult in our time-pressed society. On the other hand, many workers spend large parts of their waking hours in sedentary behavior. A new way to approach this problem may be through the study of astronauts' health issues. Although this is not a common topic in occupational health, this field may provide clues to solving life-related disease issues because aspects of the microgravity environment can be compared to a physically inactive society. Astronauts must schedule enough time for exercise despite their extremely busy schedules because a decline in physical fitness can quickly become life threatening in their environment. Although the effect may take longer to manifest in ordinary individuals in our society, many epidemiological studies show that a decline in physical fitness is strongly related to increased morbidity and mortality risks. Promoting health within the workplace, as demonstrated by astronauts, will be key to maintaining workers' optimal health during an increased number of working years.

Key words: cardiorespiratory fitness, microgravity environment, physical inactivity, workplace health promotion

1) Hazard Evaluation and Epidemiology Research Group, National Institute of Occupational Safety and Health, Kawasaki, Japan
2) Space Biomedical Research Office, Japan Aerospace Exploration Agency, Tsukuba, Japan