

## ワーキングメモリトレーニングがS大学スケルトン選手の

### パフォーマンスに及ぼす影響

小室希 鈴木省三

キーワード：認知機能，ワーキングメモリー量，トレーニングプログラム，スケルトン

The effect of working memory training on performance of skeleton athletes

Nozomi Komuro and Shozo Suzuki

#### Abstract

Working memory is the limited capacity storage system involved in the maintenance and manipulation of information over short periods of time. We investigated the effect of working memory training on performance of skeleton athletes. Eighteen male well-trained skeleton athletes were chosen as college-age subjects. The data taken were skeleton performance, amount of working memory and cognitive function tests.

The level of space memory correlated with increased skeleton performance such as finish time after working memory training. Therefore, Working memory training may be helpful for improvement of other cognitive functions and skeleton performance.

Key words: cognitive functions, amount of working memory, Training program, Skeleton.

#### I. はじめに

スケルトン種目は、頭を進行方向に向けた伏臥姿勢により、標高差が約100～140m、全長約1200～1500mの氷壁のコースでタイムを競う競技であり、スケルトンの競技成績は初速（スタート時に橇を押し出す速さ）、高速走行中に橇をコントロールする正確な操作技術、橇・ランナーなどの用具の性能から決定される（鈴木ら，2001）。

スケルトン選手の競技力向上には、選手の身体的能力のみならず、15カーブにおける理想の滑走ラインの予測や理想の滑走ラインを誤ったときにおける瞬時の判断（リカバリー）、反応抑制、視野に頼らない状況

把握能力等の滑走技術に必要な要因となる認知機能が重要となる。しかし、スケルトン競技に有効な認知機能やその能力を向上させるようなトレーニングについて、未だ検討されていないのが現状である。

ワーキングメモリ（Working Memory：以下WM）は、Baddeley（1986）によって提唱され、Baddeleyの構築したWMのモデル（図1）においては、中央実行系の管理下のもと働く情報の一時的な貯蔵として働くサブシステムでもある音韻ループ\*と視覚・空間的スケッチパッド、さらに3つ目のサブシステムとしてエピソードバッファが想定されている。中央実行系は3つの

サブシステムの働きを調整し、最適化し、戦略の選択の実施、プランニングなども行い、音韻ループと視空間的スケッチパッドはそれぞれ言語的な情報処理と視覚イメージなど言語化できない情報の処理・保持に関わる。エピソードバッファは異なった入力モダリティからの情報や長期記憶から情報を統合して、一貫したエピソードとして貯蔵すると示されている (Baddeley and Hitch, 1974; Baddeley 2003)。このシステムにより言語理解、学習、推論といった複雑な認知課題の解決のために必要な情報を必要な時間だけ一時的にアクティブに保持し、それに基づいて情報の操作をする機構とされている。従来、ワーキングメモリの容量は一定であると考えられてきたが、Klingberg らは、被験者ができるぎりぎりの作業課題の難易度を調節し、長時間集中して訓練を行う強化適応的訓練 (以下:WMトレーニング)を行うことで、WM成績や推論課題の成績が上昇することを報告した。さらに、Olesen ら (2004) は WMトレーニングによって被験者のWM課題中の脳活動が増大することを報告している。また、WMには反応抑制・予測・判断といったスポーツと関連した認知機能も含まれる広範な高次の認知機能と関連している。

本研究は、反応抑制・予測・判断といったスポーツと関連した認知機能も含まれる広範な高次の認知機能と関連するWMのトレーニングをすることによって、WMトレーニングがスケルトン選手のパフォーマンスに及ぼす影響について検討することを目的とした。

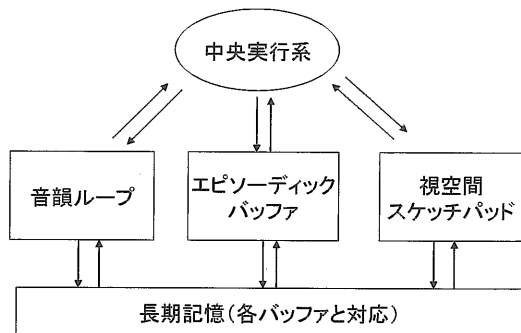


図 1. Baddeley のWMの図 (甘利・田中, 2008)

## II. 研究方法

### 1. 被験者

被験者は 2008 年度 S 大学ボブスレー・スケルトン部に所属している男子学生 7 名 (年齢 19.9 歳±1.5) の未経験者 (n=5)、経験者 (n=2) を対象とした。本実験の再現性を確かめるため、2009 年度 S 大学ボブスレー・スケルトン部に所属している男子学生 11 名 (年齢 19.8 歳±1.2) の未経験者 (n=4)、経験者 (n=7) を対象に追試実験を行った。被験者の身体的特徴を表 1 に示した。

すべての被験者には事前に実験の趣旨を説明し、実験参加の同意を得た。

表 1. 被験者の身体的特徴

2008年度				
被験者	競技歴(年)	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)
A	4	22	174.5	75.3
B	3	21	174.0	64.4
C	1	21	180.0	95.7
D	1	18	184.0	78.3
E	1	19	172.2	61.3
F	1	19	169.0	59.0
G	1	19	163.0	52.0
平均	1.7	19.9	173.8	69.4
標準偏差	1.3	1.5	6.9	14.8

2009年度				
被験者	競技歴(年)	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)
B	4	22	174.0	68.4
C	2	22	180.0	97.0
D	2	19	184.0	81.4
E	2	20	172.2	63.2
F	2	20	169.0	60.2
G	2	20	163.0	53.8
H	1	19	174.0	78.3
I	1	19	166.0	65.5
G	1	19	169.0	60.5
K	1	19	168.0	68.8
L	1	19	173.1	79.3
平均	1.7	19.8	172.0	70.6
標準偏差	0.9	1.2	6.1	12.4

### 2. 測定項目

#### 1) 認知機能検査・アンケート調査

WM課題を用いたトレーニングがスケルトン競技の認知機能 (反応抑制、予測、判断) を含めた様々な認知機能に及ぼす影響を認知機能検査・アンケート調査を実施し、変化をみた。認知機能検査・アンケート調査はWMトレーニングの介入前後の 2 回実施した。

認知機能検査の 8 種類とアンケート検査 4 種類を実施した。

2) VAS (Visual Analogue Scale、視覚連続尺度)

100 ミリの長さの直線の左端を「鮮明に滑走ラインを表現できる最良の感覚」(0mm) とし、右端を「何も滑走ラインをイメージできない最悪の感覚」(100mm) として、現在の滑走ラインを表現できる感覚がどのあたりに相当するかを示し、主観的な感覚の強度を 0~100 の値で評価した。本実験では、スケルトンのコースごとにどの程度コースを理解できているかを客観的に評価する認知の尺度として用いた。

VAS を用いて 1 カーブから 15 カーブのカーブごとに 0 から 100mm の値で変動を比較した。さらに、15 カーブ全てのカーブの合計を算出し、最小値 0 mm、最大値 1500 mm の間で 1 日ごとに滑走の認知変動を比較した。

VAS はWMトレーニング介入期間中、1 日の滑走終了後の 1 時間以内に被験者に記入させた。

3) 滑走タイムの計測

被験者がスケルトンを滑走した全ての滑走タイム(スタートタイム、ゴールタイム)を記録し、スケルトン競技におけるパフォーマンスの指標とした。また、2003 年度から 2006 年度までに S 大学ボブスレー・リュージュ・スケルトン部に所属していた学生の過去の出場大会である宮城県選手権大会、全日本選手権大会、全日本学生選手権大会の中から各被験者のベストタイムを比較、タイムとしてもちいた。

4) コントロールテスト

S 大学ボブスレー・リュージュ・スケルトン部が毎年行っているコントロールテストを実施し、被験者の身体能力を測定した。測定項目は 20m 走、60m 走、立ち 5 段跳びの 3 項目である。測定した結果は、被験者の身体能力によるスタートタイム(初速)との関係を比較検討するために用いた。被験者の身体能力を表 2 に示した。

表 2. 被験者の身体能力

2008年度				
被験者	競技歴(年)	20m(秒)	60m(秒)	立ち5跳び(m)
A	4	2.97	7.8	12.55
B	3	2.78	7.47	13.29
C	1	3.08	7.99	11.06
D	1	2.77	7.46	14.45
E	1	2.9	7.72	11.92
F	1	2.96	7.68	11.86
G	1	2.89	7.75	12.06
平均	1.7	2.9	7.7	12.5
標準偏差	1.3	0.1	0.2	1.1

2009年度				
被験者	競技歴(年)	20m(秒)	60m(秒)	立ち5跳び(m)
B	4	2.88	7.52	
C	2	3.06	8.01	11.16
D	2	2.86	7.32	14.95
E	2	2.86	7.53	13.1
F	2	2.96	7.8	12.48
G	2	2.92	7.5	12.06
H	1	3.01	7.63	11.96
I	1	3.08	7.91	11.85
J	1	3.04	7.68	12.93
K	1	2.97	7.67	11.79
L	1	2.94	7.24	12.8
平均	1.7	3.0	7.6	12.5
標準偏差	0.9	0.1	0.2	1.0

3. トレーニング方法

WMの課題訓練(ワーキングメモリトレーニング)とは被験者のレベルに合わせた難易度のWM課題を、一定期間行い続けて訓練することである。一般的にWM課題の訓練では、一種類だけでなく多種多様なWM課題が訓練課題として用いられる(Klingberg et al., 2002; Klingberg et al., 2005)。本実験では、コンピューターを用いて、WMトレーニングを行った。WM課題は、竹内ら(2010)が作成したものと同様のものを使用した。課題の難易度は、被験者ができるぎりぎりの難易度に調節し、作業課題は空間記憶課題、計算 N-back 課題、2 重 N-back 課題と典型的なWM課題を 1 日約 30 分実施した。課題の説明を以下に示した。

1) 空間記憶課題(図 2)

被験者は次々に提示される刺激の位置を覚える課題。

2) 計算 N-back 課題(図 3)

被験者は足し算を行いその答えを覚えて入力する課題。

3) 2 重 N-back 課題(図 4)

被験者は刺激の場所と種類を覚えてそれを入力する課題。

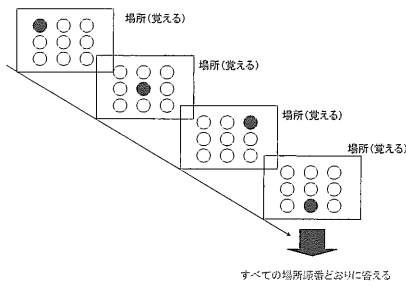


図 2. WMトレーニングの空間記憶課題の例 (レベル4)

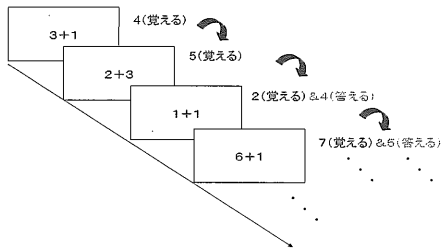


図 3. トレーニング計算 N-back の例 (計算 2 バック課題)

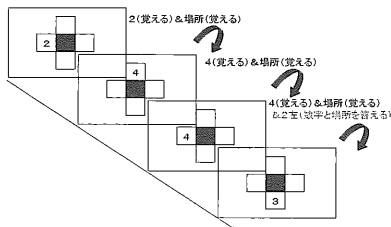


図 4. WMトレーニングの 2 重 N-back の例 (2 バック課題)

#### 4. 脳機能検査

同実験で共同研究者の竹内ら (2010) が WMワーキングメモリトレーニングの介入前後で被験者の脳形態の変化について明らかにした論文を参考に、脳形態の変化とスケルトン選手に与えた影響について検討した。Takeuchi らの論文 Training of Working Memory Impact Structural Connective から脳機能検査の実験手法、解析法を引用し、下記に示した。

#### <MRI 撮像>

脳の撮像は、3 ステラの philips 社製、Intera Achieva MRI スキャナーを使用した。拡散強調画像として spin-echo-planer imaging (EPI) 法を用い、EPI の撮像をおこなった。EPI 画像は小脳下部を除く全脳を撮像範囲とし、撮像条件はスライス数 60 枚、スライス厚 2mm、繰り返し時間 (repetition time; TR) 10293ms、エコー時間 (echo time; TE) 55ms、撮像画像範囲 (field of view; FoV) 22.4cm、ボクセルサイズ  $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$ 、SENSE 減少因子 2、撮像回数 1 回。プロトンの拡散を強調する傾斜磁場 (motion probing gradient: MPG) を 32 方向にまで非等方的に加えて撮像を行った。b 値は  $1,000 \text{ s/mm}^2$  である。それに加え 1 枚の非拡散強調画像 (b 値が  $\text{s/mm}^2$ ) (b0 画像) を撮像した。全撮像時間は 7 分 17 秒である。32 枚の b 値が 1000 の画像と 1 枚の b0 画像のほかに、位相補正と信号安定化のための撮像を行ったが、これらは再構成した画像では使用しなかった。

収集された画像からは拡散異方性を計算した。この実験では、撮像回数を 1 回に設定し、撮像回数を増やすかわりにプロトンの拡散を強調する傾斜磁場 (motion probing gradient : MPG) を 32 方向にまで非等方的に加えて撮像を行った。

#### <拡散強調画像の前処理と統計解析>

画像データの前処理および画像統計処理は statistical Parametric Mapping 5 (SPM5; Wellcome department of Cognitive Neurology, London, UK) と MATLAB (Mathworks Inc., Natick, MA, USA) 用いてを行った。

#### 5. 測定手順

##### 1) 測定期間

測定期間は、2008 年 11 月 24 日から 2009 年 1 月 30 日の約 2 ヶ月間とした。また、認知機能検査・アンケート調査、脳機能検査はスケルトンの滑走・ワーキングメモリトレーニングを行う前後で実施した。

2) 測定場所

認知機能検査、アンケート調査そして、脳機能検査は東北大学加齢医学研究所で実施し、滑走タイムは長野市ボブスレー・リュージュパークで測定した。測定の手順を図5に示した。

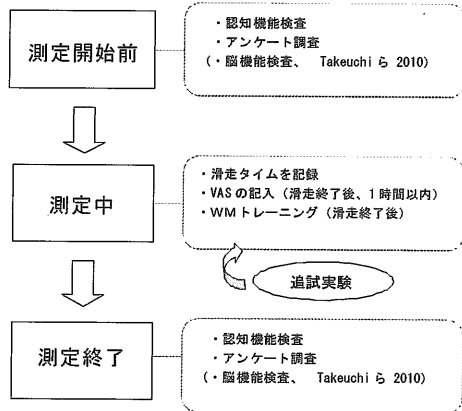


図5. 測定の手順

6. 統計処理

滑走タイムの計測によって得られた各被験者のベストタイムやスタートタイムは、平均値および標準偏差を算出した。また、年度ごとの未経験者のベストタイム、経験者のベストタイムの平均値の差の有意性に関する検定には対応のないt検定および一元配置分散分析を用いた。統計的有意水準は5%未満とした。

III. 結果

1) 未経験者の滑走タイム

2008年度の未経験者 (n=5)、2009年度の未経験者 (n=4) の競技会におけるベストタイムの平均は、それぞれ 57.26±0.11 秒、57.59±0.43 秒であった。この両群をWM介入群 (n=9) とし、WM非介入群とした過去4年間の競技会における未経験者 (n=16) のベストタイムの平均である 58.71±0.93 と比較したところ、統計的に有意に短縮した (p<0.05、図6)。

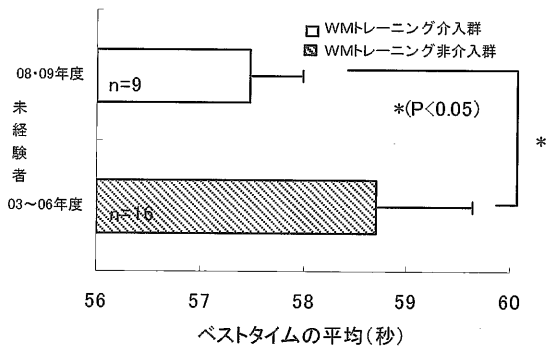


図6. WM介入群と非介入群の平均タイム比較

2) WM トレーニング達成レベルとパフォーマンス

各選手のベストタイムを記録した時点での空間記憶課題達成レベルとベストタイムには、強い相関関係が示された (r=-0.90, p<0.01、図7)。

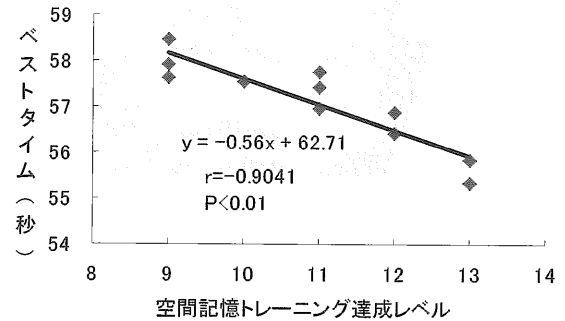


図7. 空間記憶課題達成レベルとベストタイムの比較

3) WM トレーニング達成レベルとパフォーマンス

各選手のベストタイムを記録した時点での空間記憶課題達成レベルとベストタイムには、強い相関関係が示された (r=-0.90, p<0.01、図7)。しかし、計算N-back課題、2重N-back課題の量課題の各選手のベストタイムを記憶した時点での計算N-back達成レベルとベストタイムには、相関関係が示されなかった。

4) WM トレーニング量とパフォーマンス

空間記憶課題、計算N-back課題、2重N-back課題

WMトレーニング量とベストタイムにはいずれも関係性がみられなかった。

#### 5) 脳機能検査 (MRI を用いた拡散強調画像の撮像)

WM トレーニングの介入前後では、ワーキングメモリに深く関わる脳の左頭頂間溝周辺の白質と脳梁体部に接近する白質領域の白質形態の統合性を増加させた (図 8)。また、その増加量は被験者の介入実験期間中の WM 課題の訓練量と正に相関していた (Takeuchi ら 2010)。

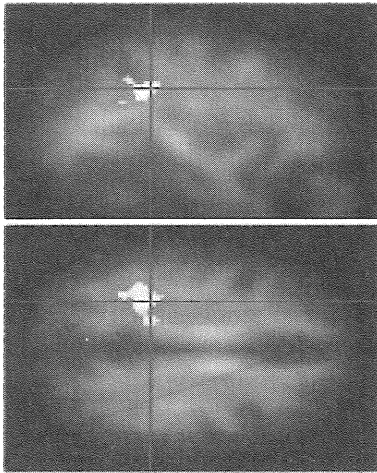


図 8. 頭頂間溝周辺領域における訓練前後での白質形態の統合性の増加した領域

#### 6) VAS

被験者のシーズンの初滑走後とシーズン最終滑走後の VAS 値をカーブ毎に比較した結果では部分的に初滑走時と最終滑走後で入れ替わりがあるものの、ほぼ全てのカーブにおいて認知の程度が向上していた。さらに、滑走本数が増加すればするほど、被験者の VAS 値が減少するような傾向を示した。

#### 7) 認知機能検査

認知機能検査の結果からは、被験者の認知機能が向上の有無は確認できなかった。

### IV. 考察

#### 1. WM トレーニングが未経験者の滑走タイムに与える影響

WM トレーニングを行うことによっ

て、未経験者の滑走タイムが統計的に有意に短縮した可能性が示された。スケルトン競技の成績は橈やランナーの性能、スタート時の初速や年間トレーニング計画や指導法、体重などの身体的特性や身体能力の違いなどもパフォーマンスに影響を及ぼす要因となる。これらの要因が未経験者の滑走タイムに与える影響を明らかにし、WM トレーニングの有用性について検討した結果、橈・ランナー、その他道具、年間トレーニング計画と指導法、身体能力と初速の関係、測定期間中のコンディショニング、体重の要因においては、滑走タイムに及ぼした影響は少なく、環境条件についての影響を考慮しても、滑走タイムに大きく影響した要因は未経験者の滑走技術の向上であることが推測された。WM は的確なタイミングで操作を行うために必要な認知機能の向上に大きく関わることから、WM トレーニングが未経験者の滑走タイムの改善に影響を及ぼした可能性が示唆された。

#### 2. WM トレーニング課題と滑走タイムの関係

##### 1) WM トレーニングの達成レベルと選手のベストタイム

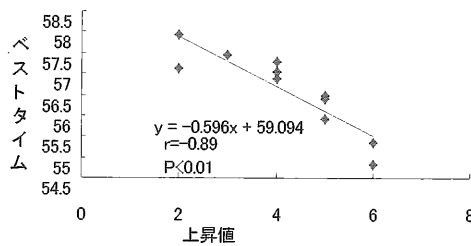
WM トレーニングの空間記憶課題達成レベルと選手のベストタイムには強い相関関係が示されたことから (図 7,  $r = -0.90$ ,  $p < 0.01$ )、WM トレーニングの達成レベルが高い選手ほどスケルトンのパフォーマンスが高いことが示された。

##### 2) 空間記憶課題の有用性

課題の達成レベルとは別に空間記憶課題の課題上昇値とベストタイムの関係に注目したところ、達成レベルと同様に有意な相関がみられた (図 9,  $r = -0.89$ ,  $p < 0.01$ )。

Baddeley ら (2000) によると、WM は中央実行系と管理下の元で働く情報の一時的な貯蔵として働く 3 つのサブ

システムが想定されている。空間記憶課題はそのサブシステムの視空間スケッチパッドという空間の認識と行動に関係するところに分類されている。WMトレーニングのひとつの課題を取り上げ、能力の増加を表すことは難しいが、空間記憶課題の成績とパフォーマンスの上昇率に相関関係があることから、スケルトン競技は空間の認識と行動に関連した認知機能が必要である可能性が示された。



#### 19. 空間記憶課題改善値とベストタイムの比較

WMトレーニング課題中の質（達成レベル）とトレーニング量が滑走タイムに与える影響

WMトレーニング課題中のトレーニング量と滑走タイムの成績には関

係性が示されなかったが、WM課題の達成している度合い（質）と滑走タイムの成績を比較したところ、空間記憶課題において相関がみられた（図 7,  $r = -0.90$ ,  $p < 0.01$ ）。これらのことから、WMトレーニング課題がスケルトン競技のパフォーマンスにより影響を与える可能性があるのは、トレーニング量よりいかに高いレベルの課題を達成するかなどの課題の達成度合い（質）がスケルトン選手のパフォーマンスに強い影響を与えることが示された。

#### 4) 認知機能検査

本実験で行った認知機能検査では、認知機能の向上について統計的有意な向上は表れなかった。その原因として、今回の実験では、認知機能の結果が検

出できるようなデザインを組めなかったことが考えられる。心理データは感情や気分、前後で測定することにより、テストへの耐性もできてしまうため正確な結果は、出力が弱いため検出することができなかった。そのため、今回の認知機能検査では認知機能が向上したかどうかの有無は確認できなかった。

#### 5) 脳機能形態の変化と認知機能検査

同被験者、同実験手法を用いて行われた Takeuchi ら (2010) の研究では、ワーキングメモリ訓練が頭頂間溝周辺における白質形態の統合性に影響を及ぼすことが確かめられた。頭頂間溝周辺領域における白質形態の統合性増加は、訓練によるワーキングメモリに関わる神経・認知機構の改変を示唆した。認知機能検査によって、認知機能の向上は確認できなかったが、脳形態の変化により認知機能に参与する部位の変化が確認され、認知機能に影響した可能性が示された。

#### 5. まとめ

スケルトン選手がWMトレーニングを行うことにより、WM課題中の一つである空間記憶課題成績とパフォーマンスに相関があることから、WMトレーニングがスケルトン競技のパフォーマンスに関連していることが示唆された (①)。また、WMトレーニング前後での脳形態に変化 (②) や未経験者のパフォーマンス向上 (③) という結果から、WMトレーニングがスケルトン選手のパフォーマンスの改善に影響を与える可能性が示された。

本実験で行った認知機能検査の結果からは、スケルトン選手の認知機能の有無は確認されず (④)、認知機能によりスケルトン選手のパフォーマンスが向上したことを明らかにすることはできなかった (⑤)。しかし、脳の白質形態の増加という結果は、先行研究で報

告されたWM課題の訓練によるWM容量の増加、認知機能の向上に影響を及ぼした可能性が示された (⑥、図 10)。

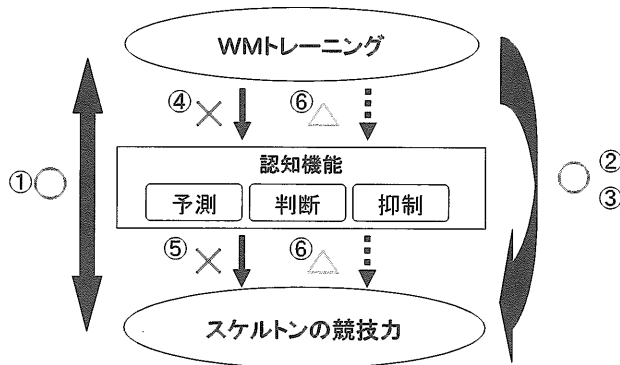


図 10. WMトレーニングとスケルトンパフォーマンスの関連

\*音韻ループは内容を言語的に保持するシステム。視空間スケッチパッド (メモ) は内容を言葉ではなく、視空間的なイメージとして保持するシステム。エピソードバッファは長期記憶から引き出したものを保持するシステム。中央実行系は従属システムの情報を取捨選択し、必要ならエピソードバッファに移行するような操作をし、問題解決に向けて保持された情報を整理、統合する働きをするシステム。

#### 文献

- 1) 甘利俊一・田中啓治 (2008) 認識と行動の脳科学. 東京大学出版会 : 東京, pp134-137, pp210-211
- 2) Baddeley AD and Hitch G(1974)Working memory:In:Psychology of learning and motivation(Bower H,ed).New York:Academic Press,pp47-89
- 3) BaddeleyAD(1986)Working memory.Oxford:Oxford University Press.
- 4) Baddeley A(2003)Working memory:looking back and looking forward.Nature Reviews Neuroscience,pp4:829-839

5) Klingberg T,Fernell E, Olesen PJ Johnson M, Gustafsson P, Dahlstr m K,Gillberg CG, Frossberg H, Westerberg H(2005)Computerized training of working memory in children with ADHD-a randomized, controlled trail.Jouranl of Amer Academy of Child &Adolescent Psych.

6) Kortte KB, Horner MD, Windham WK (2002) The trail making test, part B: cognitive flexibility or ability to maintain set? Applied Neuropsychology 9:106-109.

7) Olesen PJ, Westerberg H, Klingberg T(2004)Increased prefrontal and parietal brain activity after training of working memory Nat Neurosci7pp.75-79

8) 鈴木省三 (2001) スポーツ生理学.市村出版 : 東京, pp.202-208

9) Takeuchi H, Sekiguchi A, Taki Y, Yokoyama S, Yomogida Y, Komuro N, Yamanouchi T, Suzuki S, Kawashima R(2010)Training of Working Memory Impact Structural Connective,The Journal of Neuroscience,30(9): 3297-3303