

# 運動スキル学習における，転移，運動イメージ，意図

橋本 圭子\*

(平成21年10月30日受理)

## Transfer, Motor Imagery and Intention in Motor Skill Learning

Keiko HASHIMOTO\*

This article discusses motor skills learning in terms of its transfer and the effects of motor imagery on it. According to previous studies, transfer of motor skills is quite small, and motor learning is specific to a particular task. It hence follows that the acquisition of a certain motor skill naturally requires real and repeated executions of the target action. Here, the generalized motor program (GMP) provides quite a useful theoretical model to account for these matters. However, this model alone is not sufficient enough to explain the mechanisms of motor learning and needs to be complemented by the multi-component and hierarchical models. Furthermore, much research has indicated that mental practice without any overt motor output can enhance motor learning. Based on these research findings, this study proposes that in order for mental practice to be effective the internal motor imagery be accompanied by the subject's intention to execute the action, and also that the factor of intention be taken into consideration to understand motor skill transfer.

Key words : motor learning, transfer, motor imagery, mental practice, intention

### 1. はじめに

野球の選手はゴルフの上達が早い，軟式テニスの経験者は硬式テニスのスイングの習得に手間取る．これらは事実だろうか．過去の学習経験が，後に行われる別の課題の学習に影響を及ぼす現象は，一般に学習の転移といわれる．2つの課題が「異なる」程度は様々で，先行課題と同じ課題を後に異なる条件で実行する場合もあるし，別の種類の課題を実行するような場合もある<sup>[1]</sup>．また，先行経験が後続課題の学習を促進する場合もあるし，妨害的にはたらく場合もある．学習や記憶の研究においては，こうした転移の問題は長く論じられてきたテーマである．さらに教育をはじめとして我々の現実の生活においては，学習したことを後の新しい場面や課題で適切に生かせることは重要であり，適切な転移が起こることは，学習の本来の目的だといってもよい．では，運動学習においては転移の問

---

\* 心理学（機械制御システム工学科） 准教授

題はどのように論じられているだろうか。

Schmidt と Lee<sup>[2]</sup>は運動学習に関する詳細なそのテキストにおいて、運動スキルの転移は課題が事実上同一のものでない限り基本的にはあまり起こらないと述べている。課題間転移は起こったとしても量的にはわずかで、またその大半は正の転移、すなわち、先の学習経験が後の課題のパフォーマンスを促進するタイプのもの、である。従って、運動の転移の現象を説明する際にしばしば持ち出される例、「夏にテニスをすると、冬にバドミントンの試合に負ける」<sup>[2]</sup>は、一般にはそう起こることではないのだという。運動学習の転移が認められるデータを報告した研究もあるが、それは課題の認知的な成分が転移したと解釈すべきであるというのである。De Beni らも学習の転移は認知処理レベルで起こるといふ同様の指摘をしている<sup>[3]</sup>。これらのことは運動スキルの学習に何か特有な特徴と関係するのだろうか。本論では、この転移の問題をひとつの足がかりとして、運動学習の特性について考察していきたい。が、その前に、まず転移という現象が現在どのように語られているか、簡単に見ておこう。

## 2. 学習の転移

Frensch と Haider<sup>[1]</sup>の最近の論評によると、学習の転移についての議論は、歴史を遡ればロックの形式的陶冶に始まり、そしてそれに対するソーンダイクの同一要素説による反論と、この説に基づくその後の諸説の展開へとつながっている。同一要素説は、転移は2つの課題が同一要素を含むときにのみ起こる、とする説だが、結局は、類似性とは何か、何が同一かという問題に帰結するという。この類似性を説明するものとしてこれまでに、S-R 連合理論や情報処理理論に基づいて種々のモデルが提出されてきた。Frensch と Haider は、連合主義的なモデルとしては多成分モデルが転移の諸現象をある程度説明できると述べつつも、行動主義に変わって情報処理理論に基づくモデル、特にプロダクション・システム論が近年の有効なモデルであるとして注目している。プロダクション・システム論では、転移の同一要素となるのは“条件(IF) - 行動(THEN)”のルールであり、課題間でルールの共有が多いほど正の転移効果が大きくなると説明される。そして、課題を構成するルールは階層構造を成し、上位の階層のルールが転移すればより一般的な課題間転移が起こる可能性も十分ある。従って、形式的陶冶の是非の議論もこの理論においては解消することになるという。

上記の Frensch と Haider の議論は、言語学習課題における転移モデルから始まり、プロダクション・システム論も主として認知スキルの転移が念頭におかれている。“IF - THEN”のルールはまさに認知といってもよいだろう。また、転移に影響を及ぼす諸要因について、転移とエキスパートの視点から論じた Kimball と Holyoak<sup>[4]</sup>による論評もあるが、やはりスキルの認知的な側面に注目しており、運動スキルの転移に関する説明を意図したものではない。冒頭に述べた Schmidt と Lee の主張、運動スキルでは一見似ているような2種の課題間でも基本的に転移は起こりにくい、の意味するところを理解しようと

すれば、やはり運動スキルの学習の特性を考慮しなければならない。2つの運動課題が「似ている」とはどういうことか、運動スキルの同一要素とは何だろうか。

### 3. 運動スキル学習と一般運動プログラム (GMP)

Schmidt と Lee<sup>[2]</sup>は、運動学習の転移が比較的小さいことは、運動能力の個人差に関するデータとも一致すると述べる。運動学習研究の初期には、人には全般的な運動能力の個人差があって、これに優れる人はあらゆるスポーツで成功するという考えが受け入れられていた。或いは今日でも、一般にはこうした考えに同意する人は少なくないかもしれない。しかし、彼らによれば、諸研究を総合すると、運動課題全般を共通して支える一般的な運動能力というものが存在するとは考えにくいという。多種のスポーツで成功している人がいるように思われる現象も、実は過去の運動学習の多様さなど、経験の要素によって説明できることが少なくないという。従って、運動能力は多様であって、課題にかなり特異的であり、同様に運動スキルの課題間転移も起こりにくいのだ、と彼らはいう。

一方、運動スキルに関する研究でしばしば引用されるものに Lashley (1942) の報告した書字課題の筆跡例がある。これは右手や左手で文字を書いたり、また鏡映筆記を行ったり、さらにペンを歯で挟んで書いたり、と運動実行器を変えて筆記しても、同一の人物による場合は筆跡の特徴は一貫していることを示したものである。これは運動の等値性と呼ばれ、書字スキルが運動器官に依存しないことを示すものとして知られてきた (Lashley の運動等値性については Schmidt と Lee<sup>[2]</sup>、他に Keel ら<sup>[5]</sup>、Bruce<sup>[6]</sup>も参照されたい)。

つまり、運動スキルは課題に関しては特異的であるが、実行器に関してはそれほど特異性をもたないということになる。こうした特性を理解するために重要になるのが Schmidt の“一般運動プログラム”(general motor program : GMP) という概念である。ある運動スキルを実行する場合、その時々々の環境条件や運動目標に応じて運動自体はしばしば異なるものになる。例えば、筆記用具の違いや、書こうとする文字の大きさの違いによって、使用する筋肉、運動の大きさなどは全く異なり、実行される運動としては別のものになる。GMP は、そうした違いを超えたレベルで同一の運動目標 (例えば、“G” という文字を書く) を達成するためのプログラム、運動記憶のスキーマである。そのプログラムには、各運動要素の実行の順序や実行の相対的なタイミング、相対的な力関係が抽象化されて記憶されている。そしてこれに、全体の運動時間や運動全体の大きさ(力)、使用する筋肉などのパラメータが入力され、実際の運動が実現される。運動スキルの学習過程は、この一般プログラムの形成過程とパラメータ学習の過程とからなる、というのが運動学習のスキーマ説 (GMP 説) である。

従って、運動の等値性が得られるのは、同種の課題では同じ GMP に支配されるためである。すなわち、環境条件や目標が異なっても入力されるパラメータを変更するだけで適切に運動が実行されるのだ。GMP は構成概念であり、その存在は様々な運動課題や条件下での実験結果から合理的に想定されるしかないが、書字の例<sup>[7],[8]</sup>の他にも、最近では左

右の手を使ったタッピング課題で、障害物の回避行動に一般的な運動プログラムが存在することが示唆されている<sup>[9]</sup>。また Lee と Schmidt<sup>[10]</sup>は運動学習に関する論評の中で、練習スケジュールのランダム/ブロック効果や反復練習の際の KR の効果に関わる多くの現象が、GMP の概念によって上手く説明できることについて述べている。同様に、運動の転移の問題も GMP によって理解することが可能で、Schmidt と Lee<sup>[2]</sup>は学習の正の転移を示した過去の報告も、例えば追跡回転課題（色々な速度で回転する円盤上にあるターゲットをレコード針状の道具を持って追跡する課題）における回転速度の変化など、パラメータの違いに過ぎない場合が多いと述べている。これに対して、運動の転移の少なさや運動能力が課題に特異的であることなどは、課題を支配する GMP が異なることによるものと考えるのが妥当であるという。GMP というかなり抽象レベルのプログラムを「要素」と呼ぶべきかどうかの問題もあるが、Schmidt と Lee の説に従えば、運動スキルの転移に関わる同一要素は GMP である、ということになるだろう。

しかし、彼らも認めるように、現状では運動学習やその転移について全て GMP 論によって説明できるわけではない。例えば、最初のプログラムがどのようにして形成されるのかはまだ解決されていない問題であるという。また、転移に関しては、GMP 以外の課題の要素が関与している可能性も否定できないし、さらに、運動学習過程に関しては階層コントロール的な視点など、考慮すべき他の要因もあるという。もっとも、彼らがこの問題についてこれ以上何らかの解答を提出しているわけではない。

運動スキル学習の特性を理解するためには、GMP 論が 1 つの手がかりを与えてはくれるだろう。運動スキルの転移が起こりにくいのかどうか、運動スキルは課題特異的であるのかどうか、に関わる種々のデータは GMP の概念によって混乱を整理できる可能性がある。しかし、筆者も、上記の GMP 論だけでは不十分であろうと考える。恐らくそれは、彼らが述べるように、GMP 論がその形成過程を明確にはしていないこと、とも関連するように思われる。多くの人が日常の経験から、頭では分かっているにもかかわらずその通りに運動を実行できない、上手な人のパフォーマンスを見ただけではできるようにならない、有能なインストラクターが言葉で上手く説明してくれてもその通りには実行できない、などと素朴に感じているかもしれないが、それらが真実か否かも含めてこうした問題を解明するには、運動の学習過程を明らかにすることが必要だろう。また、後述するように、GMP 論だけに基づいて転移現象を説明しようとすると、膨大な数の GMP が必要になってしまう。そこで次に、こういった問題に示唆を与えてくれる最近の研究を紹介しながら、検討を進めたい。

#### 4. 運動学習における転移

Hazeltine ら（2007）<sup>[11]</sup>は、運動スキルの獲得と転移の特性について明らかにするために、形態反応学習課題を用いて 4 つの実験を行った。この形態反応学習とは、正しい身体フォームで適切に反応するための学習で、ちょうど、ピアノやバイオリンの奏者がコード

に対する手指の的確なフォームを素早くつくったり、ゴルファーが適切なフォームで構えたりできるようになることと似ている。Hazeltine らは、ピアノのコード演奏に模したキー押し課題における反応時間（刺激が提示されてから反応が生起するまでの時間）を分析し、トレーニングの効果について検討した。課題は、ピアノの鍵盤様に並んだ 10 個のキーのうち指定された 3 つまたは 2 つを、キーに対応する指を使って同時に押すというものである。キーを指定する刺激は被験者の前のモニターに提示される。第 1 の実験では、被験者には 3 個のキーの同時押しが課され、トレーニングは 42 種のコード・パターンの反復練習であった。トレーニング全体として各パターンを 4 回ずつ練習するスケジュールがつけられた。テストはこの 42 種に加えて新奇のコード・パターンに対しても行われた。トレーニング用のコード・パターンには、左右の第 2 指、第 4 指を 1 つでも含む組み合わせは除かれており、この第 2, 4 指を含むパターンは、後のテストで転移効果を調べるための新奇コードとして使用された。またテスト時には、トレーニングで使った指を使うが、組み合わせパターンを新たにしたものも、再構成コードとして使用された。これは、個々の指の要素レベルのトレーニング体験が新しい形態反応に効果があるかどうかを調べるためのものである。実験の結果、テスト時の反応時間には、旧コード条件 < 再構成条件 < 新奇条件、の有意な関係が得られた。従って、手指の特定の反応形態を体験していることが、コード課題での学習の本質的な部分であり、ただし要素レベルのトレーニングの効果も幾らかはある、ということが示された。第 2 の実験では、2 個のキーの同時押し課題が、片手みのコード、或いは、左右両手を使うコードの 2 条件について実施された。これは、両手コードには左右の手の協調運動の要素を含むのに対して、片手コードはそれに比べるとより形態反応の要素が強い、という仮定に基づいている。もし学習の第 1 の要素が特定の姿勢を覚えることであるなら、片手コード条件の方が両手コード条件より学習の成果があるはずだということである。実験の結果、反応時間は片手コード条件の方が有意に短くなった。彼らはこの結果について、学習が形態反応レベルで起こったことを示すものである、と述べている。ただ、彼らのデータを見るとトレーニングの全てのブロックで、及びテスト時もコードの種類によらず、一貫して片手条件の反応時間が短くなっており、この条件で学習の成果がより上がったと言えるかどうかははっきりしない。この片手・両手の条件差から上記のように結論づけることに関しては無理があるように筆者には思われる。一方で、この第 2 実験においても、テスト時の反応時間を、トレーニング時と完全に同一のコードと部分的に重複するコードとで比較すると、前者が有意に短かった。従って、やはり、実際に特定の手指の形態運動を体験していることが学習を成立させる重要な要件であることが示された。第 3 と第 4 の実験は共に、左右の手を組み合わせた 2 個のキー押し課題を使い、コード課題の学習に知覚レベルの学習が寄与し得るかどうかを調べる目的で行われた。第 3 の実験では指示刺激に文字と数字の 2 種類を使うことにより、テスト時の条件として、トレーニングと完全に同一のコード、全く新奇のコードの 2 つの条件に加えて、コードの指示刺激は視覚的には異なるものの運動反応としては同一になるように工夫された第 3 の条件が導入された。第 4 の実験では、キー押しの運動自体は要求されずにキーの位置関係を判断する知覚課題を行う条件が設けられた。その結果、課題に関連する知覚体験

があっても、実際の運動体験が伴わなければ運動パフォーマンスの向上には結びつかないことが明らかになったという。

Whohldmann ら (2007) <sup>[12]</sup> は、系列タッピング課題を用いて転移に関する実験を行った。課題は、次々と視覚提示される 4 桁の数字をテンキーでタッピングするというものである。被験者は、64 種類の 4 桁数字が 1 つずつ提示される度に、できるだけ早くタッピングをしなければならなかった。このようなトレーニングが同じ 64 種類の数字について 5 ブロック行われ、その後、この 64 種類と新奇の 64 種類の数字に対しタッピングのテストが実施された。トレーニングの条件には、実際にタッピング運動を実行するもの、提示された数字を視覚的に体験するものの 2 種があり、いずれの条件もこのトレーニングに先立つ慣れのセッションで、被験者は別の数字でタッピングを体験した。またタッピング・テストの終了後に数字の再認テストが行われ、トレーニング後の顕在記憶も測定された。その結果、運動実行を伴わない視覚体験は、後の再認テストのパフォーマンスを向上させても、タッピング・スキルの向上には結びつかないことが明らかとなった。さらに彼らは別の実験で、トレーニングとテストでキーの配置が変更（一列配置からテンキー配置へ）された場合について調べ、この時にはパフォーマンスが大きく損なわれることを示した。これらの結果から、運動スキルの獲得には運動実行の体験が必要であり、それは身体ポジションの面で一貫性のあるものでなければならないと述べている。

上記に紹介した 2 つの研究結果から分かるように、ピアノのコード演奏、または系列タッピングという各々同種の運動反応課題内であっても、反応時間の短縮には実際にその特定のフォームでトレーニングを体験していることが必要である。ましてや運動成分を除いた知覚・認知的体験は、運動課題に関連する内容のものであっても、運動スキルの向上にはほとんどつながらない。つまり、過去のトレーニング体験が、新しい課題状況に転移する可能性は明らかに小さい。このことは、テニスとバドミントン間での転移どころか、同じテニスのスキルであっても転移が起こりにくいことを意味することになるだろう。確かに、テニスという一つのスポーツのスキルであっても、フォアハンド・ストロークとバックハンド・ストロークの技術は相互に異なり、一方のトレーニングを積んだ結果、他方も上達するなどとは考えられないかもしれない。それぞれが異なる GMP によって支配されている可能性はある。しかし、ピアノのコード演奏においても全てのコード・パターンに対して異なる GMP があるのだろうか。これは筆者には非現実的なことのように思われる。

ここで再び、Hazeltine らと Whohldmann らの結果をふりかえりたい。新奇のコード・パターンやタッピング・パターンでは、トレーニングしたスキルに比べて、明らかに反応時間や運動時間が長く、トレーニングの効果の転移は見られなかった。しかし、トレーニング時と指使いの組み合わせパターンを変えた再構成コードの反応時間は、全くの新奇コードに比べると有意に短くなるという結果が得られた<sup>[11]</sup>。また、Whohldmann らの実験で、系列タッピングのトレーニングを 1 ヶ月ごとに行って 3 ヶ月後にテストした場合は、新奇のタッピング・パターンも、トレーニングを受けたパターンほどではないものの、運動時間が短かった。Whohldmann らは、これは 3 ヶ月という期間でトレーニング量が増え

たことによるものではないかと考察している。Hazeltine ら、Whohldmann らともに、程度は小さいが、運動の要素レベルでも転移が起こり得ると論じている。

これについて、コード課題やタッピング課題における転移は、実は GMP の違いによるものだったのではなく、同一の GMP におけるパラメータ・レベルの学習の問題であったのだ、と説明する方法もあるかもしれない。しかし、パラメータ・レベルの違いとして説明するには実験結果に示された転移は少なすぎるようにも思われる。仮にそうだとすると、そうすると例えば、フォアハンド・ストロークを十分に練習した人が、練習をしたことのない人より、バックハンド・ストロークを幾らか早く習得できるとしたら、この場合も実は両者の GMP は同一であったということになってしまう。もちろん、今のところフォアハンド・ストロークの練習によってバックハンド・ストロークの学習が促進されるという証拠はないのだが、どのような課題であれ、多少でも課題間転移を示すデータが得られれば、そのときになって実は GMP は同一であったということになってしまう。異なる GMP 間の転移を説明することができないからである。ここに、GMP 論の難点があるように思われる。こうした転移の現象を理解するには、恐らく、例えば多成分モデル的な考え方<sup>[1]</sup>や、スキルの構成要素が階層構造をなすという見方<sup>[1]</sup>、スキルの習得過程で一連の運動のユニット化が起こるという見方<sup>[13]</sup>、も取り入れる必要があるだろう。多成分モデルは、言語の対連合学習における転移現象を説明するための、行動主義的な学習理論に基づいたモデルである。対連合学習には、順向性連合や逆行性連合の成分、S-R 連合における刺激の知覚学習成分、反応学習の成分など、複数の成分が関与しており、転移はこれらの成分の効果の和として理解すべきだ、というのがその主張である<sup>[1]</sup>。Schmidt と Lee も、現状の GMP 論の問題点について触れただけで、転移は正の転移をもたらす要素と負の転移をもたらす要素との一種の“バランスシート”の上に成立するものかもしれない、と述べているが<sup>[2]</sup>、これは多成分モデル的な見方と一致するものであろう。また、同一要素を階層構造としてとらえる見方は、Frensch と Haider のプロダクション・システム論に関する議論<sup>[1]</sup>が参考になるが、筆者は認知スキーマに関するこの視点は GMP 論にとっても有用ではないかと思っている。また、Zimmer ら<sup>[13]</sup>は、運動スキーマが形成されるプロセスは、運動の諸成分がひとまとまりにつながって、一連の運動が 1 つのユニットとして処理され、機能するようになるプロセスだと主張した。このように考えることによって、GMP を力動的に捉えることができるであろうし、関連する複数の GMP が階層構造をなすという見方も可能になると思われる。これらの問題をさらに解明することは今後の研究課題であるが、その際に、後に述べる意図の要素がひとつの鍵となるのではないかと、筆者は考えている。

## 5. 運動学習における運動イメージ

前節において、運動スキルの獲得には、実際にその運動の実行を体験していることが必要であることを述べた。これに対して、運動課題のイメージ・トレーニング或いはメンタル・プラクティスと呼ばれるものは、その課題に関連する現実の運動を一切実行せず、その運

動を遂行している状態を心の中で描く活動，想像する心的活動である\*．運動学習において，このイメージ・トレーニングの効果はどのように解釈できるだろうか．

Schmidt と Lee<sup>[2]</sup>はそのテキストにおいて，シミュレーションの有効性については慎重な態度をとっているが，イメージ・トレーニングの効果については，ある，と断言している．実際に例えば，あるタイプのノッキング課題（弁別刺激に応じて特定の空間パターンでターゲットを叩く）<sup>[14]</sup>や追跡回転課題<sup>[15]</sup>において，イメージ・トレーニングが学習を促進することが示されている．これらの研究では，イメージ・トレーニングの効果は，実際のフィジカル・トレーニングには及ばないものとされているが，一方で，イメージ・トレーニング或いはフィジカル・トレーニングの単独のトレーニングよりも，両者の組み合わせが効果的であるという報告もある<sup>[16]</sup>．イメージ・トレーニングがフィジカル・トレーニングと同等の効果を持つかどうかには議論はあるかもしれないが，いずれにせよ，実行体験の伴わないこうしたトレーニングも運動学習の有効な方法となり得るようである．これはどういうことだろうか．そこで次に，この運動イメージに関する最近の研究を紹介し，その後で運動学習におけるその意味について考察したい．

前節で紹介した Whohldmann ら（2007）の実験<sup>[12]</sup>は，実は，運動学習にイメージ・トレーニングが果たす役割を検討する目的で行われたものでもある．課題は，視覚的に提示される4桁の数字をテンキーでタッピングするというものだったが，トレーニングには4つの条件が用意されていた．先に紹介した2種 - タッピング・トレーニングを実際に実行する条件と，刺激を視覚的に体験する条件 - の他に，テンキーは使用しないで机上で指を動かしながらタッピングをイメージする条件，マウスを握って指は動かさない状態でタッピングをイメージする条件，の2種のイメージ・トレーニング条件である．被験者はこの4つのいずれかのトレーニング条件に割り当てられた．トレーニング後のタッピング・テストの結果から，フィジカル・トレーニングと2種のイメージ・トレーニングには同等のトレーニング効果があることが明らかとなった．続けて行われた第2実験は，イメージ・トレーニングの長期の保持効果を調べるためのものであったが，テストまでの3ヵ月の間のトレーニング（1ヶ月間隔で実施）がフィジカルなものでも，全てイメージによるものでも，やはり同等の保持効果を持つことも確かめられた．彼らは，イメージ・トレーニングはフィジカル・トレーニングに匹敵する効果を持つと結論している．

一方，Mulder ら（2004）<sup>[17]</sup>は，イメージ・トレーニングにおいては学習者がその課題に関連する運動表象を既にもっていることが必要であることを示した．彼らは，足の親指の外転運動課題を用いて，被験者を，その運動をそもそも全くできない群と少しだけなら群とに分け，イメージ或いはフィジカル・トレーニングのいずれかを行って，その効果を比較した．実験の結果，トレーニングに入る前の段階で足指の外転運動が全くできない被験者では，フィジカル・トレーニングだけが効果があり，イメージ・トレーニングを行

---

\* 日本語でメンタル・トレーニングと言う場合に，集中力や自信などを高める，精神力を強化する訓練をさすことが多いが，ここで論ずるのはその種のトレーニングについてはない．

った被験者のパフォーマンスはトレーニングを一切行わなかったコントロール群と差がなかった。一方、上達の余地は十分あるもののトレーニング前にも幾らか外転運動ができた被験者では、フィジカル・トレーニングと同様の効果がイメージ・トレーニングにも見られることが明らかになったという。またいずれの被験者群においても、トレーニング中において、関連する足指に筋電図活動が見られたのは、フィジカル・トレーニングを実施しているときに限られた。この結果から彼らは、イメージ・トレーニングは既存の運動表象が利用される過程であり、従って運動イメージは筋活動に直接影響を与えるのではなく、運動システムの中でも運動のプランニングやプログラムなどのより高次のレベルと関わるものである、と主張した。トレーニングに先立って課題に関連する運動表象が存在することが、イメージ・トレーニングに重要な役割を果たす、という事実は、神経学的なりハビリテーションの可能性やその制約を考慮する上で重要な意味を持つとも示唆している。

Witt と Profitt (2008) <sup>[18]</sup>の研究は、運動スキルの獲得の問題を直接扱ったものではなく、運動イメージが空間知覚に影響することについて調べたものだが、運動イメージの特性に関する示唆を含むものとして大変興味深い。以下に少し詳しく紹介したいと思う。

環境に関する人の知覚判断は、その知覚内容に関連するある行為を自分が実行する能力があるかどうかによって、影響されることがこれまでに多数報告されているという。例えば、重いボールを投げる時にはそうでない時に比べて目標までの距離を長く見積もる、また重い荷物背負っている時には坂はより急勾配に感じられる、ヒットを上手く打つ人や、ダーツの的を上手く当てる人は、そうでない人に比べてソフトボールや的を大きく感ずる、離れたところにある対象までの距離は、リーチングを可能にする道具を持っていると、そうでない時に比べて近くに感じられる、等々の現象である。彼らは、このような現象が起こるのは、環境のレイアウトを特定する視覚情報と、その環境の中で行動する能力に関わる情報を結びつける何らかの過程があるからであり、そこに重要な関わりを持つのが内的な運動シミュレーションの過程であろうと考えた。ならば、上述のような知覚の歪みは、運動のイメージや実行可能性の予測だけでも起こり得るだろうと、実験によってこれを確かめようとしたのである。

被験者に課されたのは、机上の手の届かない位置に置かれたターゲットまでの距離を見積もる課題で、この判断課題の後にリーチングを実行する、というものである。Witt と Profitt はこの距離の知覚判断の際に、運動のシミュレーションが行われると想定し、リーチング・ツールの使用の可否等、シミュレーションのための条件を統制して一連の実験を行った。その結果明らかになったことは、以下の3点にまとめられる。第1に、知覚判断時にリーチング・ツールを実際に手に持っていない場合でも、また後のリーチング実行時に実際にそのツールを使用してもしなくても、ツールの使用が予期できる場合にはターゲットまでの距離が過小評価された。次に、イメージするリーチング・ツールが現実にはありえないものの場合（例えば、自由に伸びる魔法の手）には、ツールの導入されない統制条件と距離判断には差がなかった。第3に、知覚判断時にツール使用の運動イメージに干渉する別の同時課題（ツールを使用するはずの手でゴムボールを実際に握り締める）が課されると、ツールの使用が予期できる状況であっても、距離の知覚は統制条件と変わらなくな

った。これらの結果は、運動イメージは実際の運動の実行可能性の制約を受ける、極めて現実的な特性を持っていること、この実行可能性は、個人の全般的な運動能力にではなく、実行を意図している特定の行為の予測に基づいていること、を示しているという。本来実行の能力があっても実行を意図していない時や、また意図があっても関連する実行器官の使用に干渉する同時課題が課されると、知覚判断は影響されない、つまり運動イメージはその機能を十分果たし得ないのである。Witt と Profitt は、これらの実験とあわせて、重いボールを遠くのターゲットに向けて投げるといった別の運動課題を使って、運動実行に要する努力が空間知覚に及ぼす影響についても検討した。その結果、より努力を要する運動の実行をシミュレーションする状況に置かれた被験者は、ターゲットまでの距離を過大評価した。運動の実現を補助する道具の使用と同様に、運動実現に要する努力の程度も、運動イメージの過程に影響を及ぼしているという。

以上に見てきたように、運動イメージによるトレーニングが運動学習の有効な手段となり得ることは確かである。また、そのトレーニングは既存の運動表象を強化する役割を果たすようである。Mulder らの実験では、被験者は当該の運動課題と関連するスキルを不十分ではあれ事前に持っていたし、その他の実験ではイメージ・トレーニングに先立って少なくともプレ・テストという形ではフィジカルな運動が体験されているからである。さらに、Witt と Profitt が示唆したように、運動イメージの果たす機能は、運動意図や実行可能性の予測といった要因の影響を受けると考えられる。運動イメージを単なる空想レベルの現実性の低いものとするか、或いは現実の運動実行に極めて近い機能を持つものとするかには、意図や実効性の予測が重要な要素となるのであろう。そこで次節ではこの意図の問題についてさらに検討したい。

## 6. 運動学習における意図

イメージ・トレーニングの有効性を認める大きな根拠となるものとして、神経学的データが提示されることも多い。運動のイメージ中に活性化する脳領域は、実際の実行時に活性化する領域とかなり重なるといわれており<sup>[19]</sup>、これは今日広く受け入れられている見解である<sup>[2],[13],[17]</sup>。運動スキルの獲得におけるイメージ・トレーニングにフィジカル・トレーニングとほぼ同様の効果があるという主張は、こうした神経学的な研究成果にも支えられている。

ただし、ここで Witt と Profitt の結果を考慮するならば、運動に関連する脳内過程は実行の意図やその行為ができるだろうという感覚があって初めて、その機能を果たすということになる。この問題を考えるにあたって、筆者は、Jeannerod<sup>[20]</sup>の主張に注目する。彼は、人が自分の行為について持つエージェンシー感（自分自身の行為であると分かっていること）について、脳活動の画像データに基づいて論じた。それによると、実際に自分で運動を行っている時とイメージ構成時の脳活動には、既に多くの研究も示す通り共通す

る部分がかなりあるが、そうした自己の活動に関わる表象の一致感がエージェンシー感の基礎になっている、というのである。これは帰属の問題であり、運動実行と運動イメージの関係だけでなく、これによって我々は観察している他人の行動を自分の行動と区別でき、また他人の行動を予測することもできる。さらにこの帰属の誤りが自他の区別に関連する精神病理学的な症状の幾つかを説明することもできるという。つまり、意図して自分で行動を実行した場合の活動の表象（Jeannerodによれば脳の活動領域によって表されるもの）と重なりが多いほど、我々はその行為について自分のものであるという実感が持てるのである。なおこの議論は、身体的な運動に限らず、思考も含めた我々の行為全てに関わるものであるとも彼は述べている。

運動学習において意図が重要であることに関しては、学習過程で付与されるフィードバック情報の効果を検討した結果からの指摘もある。Lee と Schmidt<sup>[10]</sup>によれば、反復練習の際に、学習者の能動性に先行するように補助情報を与えてしまうと、その場のパフォーマンスを向上させても、後の学習の定着にはむしろ効果がないという。運動スキルの獲得には、単なる運動実行の体験では不十分で、実行の意図、環境や自己の運動の情報を能動的に処理することと関わる何らかの過程が伴う必要があると考えられる。我々が現実に運動を実行するときには、当然ながら実行の意図があるので、これらの要素は通常は一体となって機能しているはずである。意図は、種々の活動要素を一体のもの、実行者本人のものとして纏め上げる役割を果たすのかもしれない。イメージ・トレーニングがこの条件がある程度満たす場合にトレーニングとしての効果を持ち、身体運動のパフォーマンスも高める結果になるのではないだろうか。

このような考え方は、転移の問題を理解するポイントにもなると思われる。異なる課題間でも、先行課題のどの運動要素が同一要素で、後の課題で利用できるのか、ということに関する何らかの手がかりがあって（そこに顕在的知識が伴うとは限らない）、そうした手がかりに基づく実行の意図があるときに転移が起こるのかもしれない。認知スキル学習に関して、Frensch ら<sup>[1]</sup>は周りからの教示やフィードバックがある時に転移が起こりやすいと述べているが、これは運動スキル学習も同様だと考えてよいのではないだろうか。つまり、異なる運動課題間で、同一要素に関する手がかりが被験者にまったくない場合には、転移が起こる余地はあまりないことになる。実験研究においては、実験者自身は実験計画として課題に含まれる同一要素に当然気づいているが、被験者が同じように課題を捉えているとは限らない。被験者の注意は2つの課題の異なる面に向けられ、全く別の課題を実行するという意図でもって遂行に当たっている、ということは十分にあり得ることである。運動学習の転移について論じたこれまでの研究では、被験者の意図の要素は考慮されてはこなかった。既に Merton<sup>[21]</sup>は約40年前に、運動の生理学を困難にしているのは、そこに意図や意志が関与してくるからだとして述べているが、運動学習を理解しようとするときやはりこれらの要因を避けては通れないと思われる。しかし、今日なお解答が得られていないように、これがかなりの難問であることも確かである。

## 7. まとめ

本論文では、転移の問題を足がかりに、運動学習における実行体験の意味について考察してきた。運動スキルの獲得には、基本的には、その運動を実際に体験し、練習を反復することが必要である。しかし、現実の実行を伴わない運動イメージによるトレーニングも運動学習には少なからぬ効果を持つことが、多くの研究によって示されていることが分かった。ただし、イメージ・トレーニングが有効なものとなるには、そのときの運動イメージが、現実の実行をある程度意図したものでなければならないことが示唆された。また、運動スキル学習のモデルとして、GMP 論について考察し、多成分説や階層構造説の視点が必要であることを主張した。

## 文献

- [1] Frensch, P. A. and Haider, H. : Transfer and expertise – The search for identical elements – ; In Roediger III, H. L. (Ed.), *Learning and Memory : A Comprehensive Reference Vol.2 – Cognitive Psychology of Memory*, Oxford and San Diego: Academic Press, pp.579-596 (Chap.31), 2008.
- [2] Schmidt, R. A. and Lee, T. D. : *Motor control and Learning – A Behavioral Emphasis* (4th ed.) ; Champaign: Human Kinetics, 2005.
- [3] De Beni, R., Cornoldi, C., Lasson, M., Magnussen, S., and Rönnerberg, J. : Memory experts – Visual learning, wine tasting, orienteering and speech-reading – ; In Magnussen, S. and Helstrup, T. (Eds.), *Everyday Memory*, Hove and New York : Psychology Press, pp.201-227(Chap.9), 2007.
- [4] Kimball, D. R. and Holyoak, K. J. : Transfer and expertise ; In Tulving, E. and Craik, F. I. M. (Eds.), *The Oxford Handbook of Memory*, New York : Oxford University Press, pp.109-122(Chap.7), 2000.
- [5] Keel, S. W., Cohen, A., and Ivry, R. : Motor programs – Concepts and issues – ; In Jeannerod, M. (Ed.), *Attention and performance XIII – Motor representation and control*, Hillsdale: Erlbaum, pp.77-110(Chap.3), 1990.
- [6] Bruce, D. : Lashley and the problem of serial order ; *American Psychologist*, 49, pp.93-103, 1994.
- [7] Wright, C. E. : Generalized motor programs – Reexamining claims of effector independence in writing – ; In Jeannerod, M. (Ed.), *Attention and performance XIII : Motor representation and control*, Hillsdale, NJ : Erlbaum, pp.294-320(Chap.9), 1990.
- [8] Latash, M. L. : Mirror writing – Learning, transfer, and implications for

- internal inverse models – ; *Journal of Motor Behavior* , 31, pp.107-111, 1999.
- [9] van der Wel, R. P. R. D., Fleckenstein, R. M., Jax, S. A., and Rosenbaum, D. A. : Hand path priming in manual obstacle avoidance – Evidence for abstract spatiotemporal forms in human motor control – ; *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* , 33, pp.1117-1126, 2007.
- [10] Lee, T. D. and Schmidt, R. A. : Motor learning and memory; In Roediger III, H. L. (Ed.), *Learning and Memory – A Comprehensive Reference Vol.2 – Cognitive Psychology of Memory*, Oxford and San Diego: Academic Press, pp.645-662 (Chap.34), 2008.
- [11] Hazeltine, E., Aparicio, P., Weinstein, A., and Ivry, R. B. : Configural response learning – The acquisition of a nonpredictive motor skill – ; *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance* , 33, pp.1451-1467, 2007.
- [12] Wohldmann, E. L., Healy, A. F., & Bourne Jr., L. E. : Pushing the limits of imagination – Mental practice for learning sequences – ; *Journal of Experimental Psychology : Learning, Memory, and Cognition* , 33, pp.254-261, 2007.
- [13] Zimmer, H.D., Helstrup, T., and Nilsson, L.G. : Action events in everyday life and their remembering ; In Magnussen, S. and Helstrup, T. (Eds.), *Everyday Memory*, Hove and New York: Psychology Press, pp.57-91(Chap.3), 2007.
- [14] Wright, D. L. : The role of intertask and intratask processing in acquisition and retention of motor skills ; *Journal of Motor Behavior* , 23, pp.139-145, 1991.
- [15] Hird, J. S., Landers, D. M., Thomas, J. R., and Horan, J. J. : Physical practice is superior to mental practice in enhancing cognitive and motor task performance ; *Journal of Sport & Exercise Psychology* , 13, pp.281-193, 1991.
- [16] Grouios, G. : On the reduction of reaction time with mental practice; *Journal of Sport Behavior* , 15, pp.141-157, 1992.
- [17] Mulder, T., Zijlstra, S., Zijlstra, W., and Hochstenbach, J. : The role of imagery in learning a totally novel movement ; *Experimental Brain Research* , 154, pp.211-217, 2004.
- [18] Witt, J. K. and Proffitt, D. R. : Action-specific influences on distance perception – A role for motor simulation – ; *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 34, pp.1479-1492, 2008.
- [19] Jeannerod, M. : Neural simulation of action – A unifying mechanism for

motor cognition - ; *NeuroImage* , 14, pp.S103-S109, 2001.

[20] Jeannerod, M. : The mechanism of self-cognition in humans ; *Behavioral Brain Research* , 142, pp.1-15, 2003.

[21] Merton, P. A. : How we control the contraction of our muscles ; *Scientific American* , 226 , pp.30-37, 1972.