

創造的人材の条件

—中小企業における人材確保*—

原 田 勉
(神戸大学大学院
経営学研究科教授)



<要 旨>

本稿の目的は、個人の創造性を規定する要因を認知レベルで特定し、中小企業における創造的人材確保のための条件について明らかにすることにある。本稿では、創造力と分析能力という2つの知性について、ワーキングメモリ容量やP300（注意力を測定する指標）という認知特性がどのような影響を及ぼすのかについて検討を行った。そこで明らかになったのは、創造力には言語性ワーキングメモリが重要な役割を果たしており、分析能力では視空間性ワーキングメモリが正の影響を及ぼしているということであった。さらに、それらの下位カテゴリーにおいては、創造力は分析能力に負に依存していることが明らかになった。このことが中小企業にとって意味するのは、創造的人材の確保には、必ずしも高学歴の人材が必要ではないということであり、学歴に関わらず、創造的人材を独自に評価し採用することが重要であるということである。

企業経営において、創造的人材の確保はその競争優位を獲得し持続するためには決定的に重要である。本稿の結果が示すのは、そのためには高学歴人材は必ずしも必要はないということであり、そのことは中小企業にとってポジティブなものであると考えられる。人材採用においては、学歴ではなく、その能力を正確に測定し、能力本位で採用を実施することが、創造的人材の確保にとっては大切なのである。

* 本稿で報告する実験およびその結果は、Harada & Hioki (2019) にもとづく。

- | | |
|------------------|--------------------|
| 1. はじめに | 6. 結果 |
| 2. 強化学習における活用と探索 | 7. 考察 |
| 3. 創造力のメカニズム | 8. 中小企業による創造的人材の確保 |
| 4. 先行研究のレビュー | 9. おわりに |
| 5. 方法 | |

1. はじめに

企業でイノベーションを促進することは、その成長および存続にとって決定的に重要である。イノベーションとは何らかの新たな付加価値を製品・サービスまたはプロセスにおいて実現することであり、そのためには創造的な人材の確保が必要不可欠になる。

近年、AI（人工知能）のビジネスへの応用が盛んになっている。業務によっては人間を代替し、AIによって人間が行う以上の成果を上げるということも可能になりつつある。例えば、製造現場では不良品の検知や機械故障の予測、ネット販売では購買情報にもとづいた商品の推奨機能などがある。AIは機械学習というパターン認識アルゴリズム（パターン認識の計算方法）にもとづいており、そのパターンは膨大なビッグデータの中から精度の高い識別ルールが発見される。このようなパターン認識は、もはや人間の能力を超えており、複雑なデータの中からのパターン抽出作業は、人間ではなくAIによって代替されていくことが容易に予想される。

では、イノベーションの推進という観点から、AIが人間にとって代わるということがあり得るのだろうか。これは機械学習によって創造性が

どこまで実現できるのかという問題に関するものであり、残念ながら現時点では確固としたことはまだわかっていない。というのも、創造力はまだそのメカニズムが十分に解明されているわけではないからだ。機械学習という観点からすると、創造的な作業をAIに行わせるには、創造性ということの定義上、正解は存在しない。つまり、「教師あり学習」をそこに適用することはできず、「教師なし学習」または「強化学習」によってアプローチするしかないということになる。おそらく強化学習が創造的問題解決にとって主要なアプローチになるだろう。しかし、現時点では、まだ十分なことはわかっていない。

本稿の目的は、AIにおける強化学習の成果を踏まえつつ創造力のメカニズムについて考察し、中小企業における創造的人材確保のための条件について明らかにすることにある。本稿では、強化学習のアルゴリズムとして採用されている活用（exploitation）と探索（exploration）という観点から創造力メカニズムを定式化し、そのうえで、そのメカニズムについて脳波データを活用した実験結果を分析することにより明らかにしていきたい。

2. 強化学習における活用と探索

統計的意思決定の領域で有名なものに、「多

腕バンディッド問題」がある。強化学習で採用されているアルゴリズムでもこの問題への対応が1つの基礎になっている。バンディッドとは山賊、詐欺師のことであり、それが転じてギャンブルという意味になっている。腕とはギャンブル・マシン（パチンコ台など）のスロットルやレバーを想像してもらえばよい。ここではわかりやすい例として、箱に入ったおみくじを想定することにしよう。おみくじを引き、大吉に当たれば報酬が得られ、それ以外なら報酬はもらえないものとしよう。おみくじ箱は9個あり、そのうち4個はいままで何度かくじを引いたことがある。しかし、その他の5個は今回初めてだとしよう。その場合、どの箱からおみくじを引けばよいのか。これが多腕バンディッド問題である。

合理的に考えるのなら、過去におみくじを引いて大吉を当てた割合を計算し、その数値が一番高い箱から引けばよいことになる。例えば、4個の大吉の当たり率が、3%、1%、5%、10%だとすれば、最後の10%の箱からおみくじを引けばよい。これが合理的な意思決定になる。

しかし、ここで1つの問題が生じる。それは、いまだにおみくじを引いたことのない5個の箱のどれかは、実は10%よりも高い確率で大吉を含んでいるかもしれないということだ。もちろん、そうでないのかもしれない。しかし、そのように事前に断定することはできない。つまり、与えられた情報のなかから合理的に決定するのであれば、決して手付かずの5個の箱からおみくじを引くことはなく、結果として大きなチャンスを逃すリスクもあり得る。したがって、合理的な意思決定は、長期的には非合理的なもの

になるかもしれない。

手元にある情報にもとづいて最適解を算出し、それを選択することを活用（exploitation）という。この多腕バンディッドの例でいえば、成功率が最も高い10%の箱からおみくじを引くことがそれに該当する。しかし、この問題点は、未知の箱の隠された可能性を開拓できないという点にある。言い換えると、学習の機会がこの活用によって奪われてしまうことになる。そこで、このような未知の箱からおみくじを敢えて引き、情報収集することが考えられる。これを探索（exploration）という。この活用と探索の組み合わせが多腕バンディッド問題の解決には求められることになる。

この活用と探索は、互いにトレード・オフの関係にある。活用は与えられた情報の下での最適解の活用であり、それは合理的な選択といえる。一方の探索は、このような裏づけは何もなく、まさに博打のようなものである。しかし、この博打がなければ未知のものに対して学習することはできない。その意味では非合理的であるが、この非合理性が長期的な合理性にとっての必要条件となる。問題は、この活用と探索をどのように組み合わせるのかという点にある。

実は、機械学習のアルゴリズムの1つである強化学習では、この活用と探索の組み合わせがポイントになっている。プログラム風にこのことを表現すると次のようになる。

- ・ 乱数 X を発生させる
- ・ もし $X > \varepsilon$ ならば、最適解を選択する
- ・ もし $X \leq \varepsilon$ ならば、最適解以外を選択する

例えば、乱数が1～100の間で選択されたとすれば、その数値が ε の値より大きい小さいかで活用、探索を選択する。このアルゴリズムを「 ε -グリーディー」という。グリーディーとは貪欲さのことであり、これは最適解を選択し報酬を最大化しようとする行動、すなわち活用を指す。そして、 ε の確率で探索を選択するため、この ε は探索を言及したものになっている。例えば、 ε が5であれば、5%の確率で探索を行い、95%の確率で最適解を選択する。トップレベルのプロ棋士を倒して有名になったアルファ碁も実はこれに類似したアルゴリズムにもとづいている。それは過去の棋譜データから最善手を算出すると同時に、 ε の確率でその最善手以外のものを選択する。そのようにしてごくわずかな確率ではあるが、探索も取り込むことで学習を進展させ、ついには人間を超えるパフォーマンスを達成するようになったのである。

完全に安定した環境下では、 ε はゼロに設定し、最適解のみを選択するのがいいだろう。しかし、不確実性の高い環境のもとでは、この ε の数値は大きくなり、ある程度以上の確率で探索を実施しなければ効率的な環境適応ができなくなる。このように ε のパラメーターをどのように設定するのが重要であり、それは環境の不確実性に大きく依存することになる。

3. 創造力のメカニズム

創造力とは、心理学研究のなかでは拡散的思考(divergent thinking)とか流動性知能(fluid intelligence)と呼ばれてきたものに相当する。強化学習のアルゴリズムからいえば、これは探索に該当する。一方、創造力とともに知能を代

表する概念が分析能力であり、関連研究では収束的思考(convergent thinking)とか結晶性知能(crystallized intelligence)と呼ばれている。強化学習のアルゴリズムでは、それは活用に対応する。この能力は、与えられた情報のもとで最適な意思決定を行う能力として定義することができる。それは創造というよりも、問題解決であり、そこに多くの洞察はない。一方、探索は既存の情報から逸脱した解を提示するものであり、その解が付加価値をもたらすものであれば、それは新たな洞察にもとづく問題解決ということになるだろう。つまり、創造力とは狭義には探索のことであり、その探索結果が検証され、付加価値を加えるものであることが判明すれば、それが創造ということになる。したがって、活用としての分析能力と、探索としての創造力が人間の知的能力の主要な部分を構成するものと考えられる。

では、この分析能力と創造力は何によって規定されるのだろうか。この両者を説明する要因として指摘することができるのが、ワーキングメモリ容量である。ワーキングメモリとは、いわゆる短期メモリのことであり、それを動的にとらえた概念になっている。Baddley(2000)のモデルでは、ワーキングメモリは、中央実行系(central executive)、音韻ループ(phonological loop)、視空間スケッチパッド(visuo-spatial sketchpad)、エピソード・バッファ(episodic buffer)から構成される。中央実行系は、注意の制御や注意資源の配分といった高次の認知活動を担当し、音韻ループは音声で表現される情報、視空間スケッチパッドは視空間情報を保持する。言語的短期記憶と

中央実行系の機能を合わせて言語性ワーキングメモリと呼び、視空間的短期記憶と中央実行系の機能を合わせて視空間性ワーキングメモリという。この言語性ワーキングメモリと視空間性ワーキングメモリの容量が各々、分析能力、創造力に影響を及ぼしているものと考えられる。短期的な認知作業で必要とされる情報は、このワーキングメモリに保持されていることになる。この容量が大きければ大きいほど、その認知作業の効率性は向上する。Friedman et al. (2006) によると、実行機能 (executive function) を構成する抑制 (inhibition)、更新 (updating)、シフト (shifting) のなかで更新の働きこそがワーキングメモリであり、この3つの下位機能のなかで更新が最も知能に関連しているのである。

脳波という観点から脳機能をとらえた場合、このワーキングメモリ容量に加えて創造力や分析能力に関連するものとして考えられるのが、ERP (事象関連電位) の構成要素である。なかでも P300 (P3) は関連研究のなかで重視されてきた。P3とは、刺激呈示後、約250～500msec (ミリ秒、1秒の1,000分の1) という潜時で出現する陽性電位のことであり、刺激に対する注意資源が十分に振り向けられている場合、このP3の振幅は大きくなる。つまり、呈示された課題に注がれる集中力、注意量を測定するものであり、この注意の量が多いほど認知作業は効率化されるものと考えられる。

創造力と分析能力との関係性については、まず分析能力は創造力とは独立しているものと考えられる。というのも創造力は分析能力によって算出された最適解とは異なったものを選択す

るものであり、逆に、分析能力は、創造力とは関係なく、所与の情報のなかから最適解を導出するものだからだ。ただし、創造力については、その精度は最終的には分析能力によって検証されなければならない。活用という認知活動なくして、ただ単にランダムに探索するだけでは創造的な解を得ることはできない。おそらくある水準までは両者は共に必要であり、ある程度の閾値を超えたところで両者の関係がどのようになるのかは関連研究では必ずしも明らかにされてこなかった。しかし、少なくともここで確認することができるのは、創造力が何らかの形で分析能力に依存しているということであり、逆に、分析能力は創造力とは相対的に独立しているということである。これらの関係性を図示したのが図となる。本稿では、この概念枠組みを実験によって実証していくことにする。

4. 先行研究のレビュー

創造力を対象にした関連研究では、主に認知心理学の領域では、洞察問題解決という形で定式化され、その条件が検討されてきた。洞察問題解決は通常の分析的問題解決と何ら異なることがないという研究がある一方 (Ball & Stevens, 2009; Chein, Weisberg, Streeter, & Kwok, 2010; Chein & Weisberg, 2014; Perkins, 1981; Weisberg, 2006, 2013)、洞察には分析的問題解決とは異なる認知作業、例えば、意識的な注意コントロールの領域外での意味記憶の活性化や、それによる関連性の薄い概念の焦点化などが必要であるという指摘もある (Bowden, Jung-Beeman, Fleck, & Kounios, 2005; Chein & Weisberg, 2014; Ohlsson, 2011; Siegler,

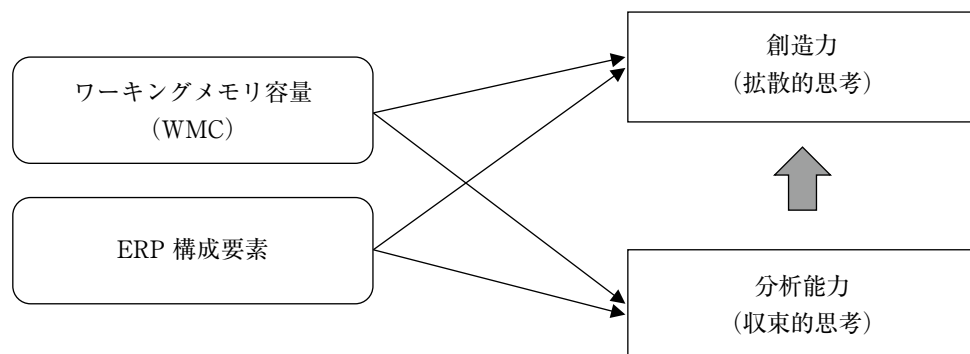
2000)。このことが示唆するのは、洞察問題解決では、通常の問題解決が必要とするほどのワーキングメモリ容量は必要ないということだ。実際、ワーキングメモリの高い容量は分析的問題解決には正で強く相関している一方で、洞察問題解決にはあまり影響を与えていないことが明らかにされている (Fleck, 2008)。あるいは、ワーキングメモリ容量の高さは分析的問題解決に負の影響を及ぼしているものの、洞察問題解決には何ら影響を及ぼしていないという実験結果も報告されている (Lavric, Forstmeier, & Rippon, 2000)。おそらく図が示すように分析能力も創造力も同じ認知作業を共有していることを考えれば、これらの発見事実が示唆するところは、ワーキングメモリは特に分析能力に影響を及ぼす一方で、洞察を得るためにはその役割は限定的であるということになる (DeCaro, Van Stockum, & Wieth, 2016)。ただし、これらの実験結果は、主に観察された行動データにもとづいたものであり、より詳細な脳神経データのレベルで検討されているわけではないという点に注意する必要がある。

脳神経データを用いた研究では、情報処理、ワーキングメモリ、知性に関するさまざまな知

見が積み重ねられている。しかしながら、それらの研究と比較して、創造力との関連で試みられた実験はあまり多くはない。その例外的な研究として、Amin et al. (2015) は、レーヴン漸進的マトリックス検査を用いて流動性知能を測定し、P3との関連性について検討を試みた。その結果、P3振幅度の大きさと流動性知能とは正の相関関係、P3の潜時とは負の相関関係があることがわかった。

Luo et al. (2013) は、これとはやや異なる結果を得ている。かれらは、P3振幅度は洞察問題解決よりも分析的問題解決では大きな値を示すことを明らかにしている。かれらの解釈によると、分析的問題解決では既知の解の検索にもとづいた自動的なマッチングプロセスがより多く要求されるため注意資源が必要となり、P3の振幅度が大きくなるという。一方、洞察問題解決ではよりヒューリスティックな解の探索が必要であり、結果としてN4（刺激提示から約400ミリ秒後に発生する陰性の電圧変位のこと）の振幅度が大きくなるという見解を示している。ただし、これらの研究は、分析的問題解決と洞察問題解決を独立に扱っており、両者に必要とされる知性、すなわち分析能力と創造力との相

図 創造力と分析能力



互依存性については検証されていない。また、図に示されたワーキングメモリとの関連性についても測定されていない。

本稿では、図の概念枠組みにもとづき、ワーキングメモリ容量、P3、創造力、分析能力を各々測定し、それらの関連性について統計的に明らかにしていく点で、先行研究とは差別化される。

5. 方法

測度

本研究は図に示されたモデル構造にもとづいて実証分析を行う。従属変数に該当するのは創造力と分析能力のスコアになる。創造力スコアは、SA創造性検査により測定した。この検査は、拡散的思考の深さと独自性によって創造力のスコアが評価される。分析能力については、京大NX検査のスコアを用いた。この知能検査は、知能は数的能力、空間的能力、言語的能力という下位カテゴリーから評価され、それにもとづいて総合スコアが算出される。

本研究の説明変数は、ワーキングメモリ容量とERP構成要素から構成される。ワーキングメモリについては、リーディングスパン、オペレーションスパン、マトリックススパンという3種類の検査で測定した。このなかでリーディングスパンとオペレーションスパンテストは、言語性ワーキングメモリの容量を測定するものであり、最後のマトリックススパンは視空間性ワーキングメモリ容量を測定する。以下では、リーディングスパンテストのスコアを言語的WMC（ワーキングメモリ容量）、オペレーションスパンテスト・スコアを論理的WMC、マトリックススパンテスト・スコアを空間的WMC

と呼ぶことにする。

ERP構成要素としては、P3の振幅度（amplitude）と潜時（latency）を測定した。というのも、すでに指摘したように、先行研究では前者の有意性が示されているからだ（例えば、Amin et al., 2015, Luo et al., 2013）。Luo et al. (2013) によると、P3 振幅度は、認知作業における古い情報の処理を反映するものと解釈される。一方、P3潜時は、情報変化に対する注意の感度を測定する（Kerkhof & Uhlenbroek, 1981）。

実験参加者

28名の健康な神戸大学の学部学生（男性16名、女性12名、年齢幅18～20歳）が実験に参加した。かれらは全員、実験前に実験の趣旨や内容、注意点等を説明した同意書に目を通し、署名を行った。実験参加者には報酬として一人当たり5千円を支払った。

実験の概要

実験参加者は、SA検査、NX検査、リーディングスパン、オペレーションスパン、マトリックススパンテストを受け、その後、脳波計測を行った。これらの検査・実験は3つの独立したセッションのなかで行った。まず、SA/NXセッションでは、SA検査、NX検査を行い、順序効果を相殺するため、これらの検査を受ける順序はランダムに割り当てた。ワーキングメモリセッションでは、3種類のテストを受け、その順序についても受講者に応じてランダムに割り当てた。約半分の実験参加者は、SA/NXセッションを最初に受け、少なくとも5日の間隔

をあけた後、ワーキングメモリセッションを受けた。残りの約半分の実験参加者は、ワーキングメモリセッションを最初に受け、同様に少なくとも5日の間隔をあけた後、SA/NXセッションを受けた。これらの2つのセッションを完了した後、少なくとも5日以上の間隔をあけてERPセッションで脳波計測を行った。

SA/NXスコア

SA/NXセッションでは、実験参加者はSA検査、NX検査を受けた。検査時間は約90分であった。このセッションでは、インストラクターマニュアルにしたがって検査を実施した。1つの検査が終わると少なくとも5分の休憩時間を取り、次の検査を行った。両検査は、マニュアルにしたがってスコアを評価した。

ワーキングメモリ容量

ワーキングメモリセッションでは、実験参加者はリーディングスパン、オペレーションスパン、マトリックススパンテストを受けた(Conway, et al., 2005)。これらのテストは合計で約30分程度を要した。これらのテストは、17型PCモニター上でInquisit Web 4 (2015) を使用して実施した。各テストの間には少なくとも1分間の休憩をはさんだ。

脳波計測

ERPセッションでは、脳波計測を行った。このセッションはクリーンルームの中で行い、各実験参加者は準備時間を含めてトータルで約1時間の間、17型パソコンモニターの前で座っていた。脳波計測を開始する前、各実験参加者

の瞬きや咀嚼、体の動きなどに起因するノイズをチェックし、可能な限りこのような動きを抑制するように指示を与えた。この実験では、Inquisit 4.0 (2015) を活用して120回のオドボールテストを行い、Acknowledge 4.0 (Biopac Systems Inc., Goleta, CA) によって脳波を計測した。各テストでは、黒色の正方形をノイズ、赤色の正方形をターゲットとしてランダムな順序で呈示した。各刺激は1,000msecの間表示し、刺激間の間隔は500msecに設定した。各テストにおける刺激数は4～6回の間でランダムに設定した。すべての刺激は10×10ピクセルの大きさであり、モニター中央に表示されるようにした。各テストは2つのフェーズから構成される。第1フェーズでは、実験参加者は一連の刺激を観察する。第2フェーズでは、実験参加者はいつターゲット刺激が現れたのかを質問された。このテストでは、呈示されたタスクの4分の1はターゲット刺激を含んでいないように設計した。

6. 結果

相関

従属変数、説明変数の記述統計および相関係数については表1、表2に示されている通りである。これらの詳細についてここで解釈することは紙幅の制約上、差し控えるが、表2のいくつかの相関係数についてはここで言及しておきたい。第1に、言語的WMCと論理的WMCの間に正で有意な相関がみられる。後に見るように、この高い相関関係は多重共線性の問題を引き起こす可能性があるため、この点についてはここで留意しておく必要がある。しかしながら、

他の説明変数間では有意な相関関係は確認できない。第2に、創造力は言語的WMCと正で相関している一方、P3振幅度とは負の相関関係にあることがわかる。第3に、分析能力は空間的WMCと正の相関関係にあることがわかる。

回帰分析

これらの結果は、有意な説明変数の候補を示唆するものである。しかしながら、これらの結果は他の説明変数の影響をコントロールしていないため、それらを考慮に入れた場合、結果が変わる可能性がある。したがって、重回帰分析によってこれらの影響を確認する必要がある。

表3は、回帰分析結果を示している。従属変数は、非負のスコアしかとらないため、ここでの推計手法はTobitを用いている。この結果によると、言語的WMC、空間的WMCが各々創

造力、分析能力に正の影響を及ぼしている。それに加え、P3振幅度が創造力に対して負で有意な結果になっている。創造力、分析能力の相互依存度については、この表の(1)、(3)によると有意な影響は存在しないことがわかる。

多重共線性の影響

創造力と分析能力に対するワーキングメモリの異なった影響は、多重共線性によって引き起こされた可能性がある。**表2**に示されているように、言語的WMCと論理的WMCとの間に高い相関関係があるからだ。このことが少なくとも創造力との関連において後者の統計的有意性を喪失させる原因になっているものとも考えられる。この問題に対処するために、ここでは2つの救済策を試みた。第1に、言語的WMCまたは論理的WMCのいずれか一方のみを回帰

表1 記述統計

	平均	標準偏差	最小	最大	合計	分散	歪度	尖度
創造性	47.62	7.64	38.00	63.00	1,238.00	58.33	0.67	-0.65
分析的能力	120.88	6.67	110.00	134.00	3,143.00	44.43	0.02	-0.70
言語的WMC	38.04	10.63	14.00	54.00	989.00	112.92	-0.37	-0.69
論理的WMC	39.00	10.10	14.00	54.00	1,014.00	101.92	-0.40	0.08
空間的WMC	26.77	11.06	6.00	43.00	696.00	122.34	-0.16	-1.16
P3振幅度	5.57	9.21	-10.02	22.56	144.92	84.74	0.26	-0.92
P3潜時	405.19	47.21	351.00	549.00	10,535.00	2,229.12	1.23	1.99

表2 相関行列

	1	2	3	4	5	6
1. 創造性	—					
2. 分析的能力	-.19	—				
3. 言語的WMC	.36 +	.04	—			
4. 論理的WMC	.26	-.04	.62 **	—		
5. 空間的WMC	-.18	.34 +	-.2	-.13	—	
6. P3振幅度	-.36 +	.14	-.07	-.34 +	-.11	—
7. P3潜時	-.1	.06	.05	-.03	.24	-.01

+ $p < .10$, * $p < .05$, ** $p < .01$

分析の説明変数として使用することであり、第2に、この2つのワーキングメモリから主成分分析を通じて合成変数を算出し、それを回帰分析に用いることである。これらの回帰分析の結果は表4に示されている。

表から明らかなように、創造力に関しては言語的WMCおよびP3振幅度のみが有意な影響を与えており、論理的WMC単独では有意性を示していない。このことが示唆するのは、この2つのワーキングメモリ容量間で強い相関性が見られるものの、創造力に関しては言語的WMCのみが強い影響を与えているということである。分析能力に関しては、これらの総計的措置は表3の結果に何ら影響を与えていないことがわかる。すなわち、分析能力の高いパフォーマンスに影響を及ぼしているのは空間的WMCのみだということである。

これらの結果は次のように解釈することができる。第1に、この実験への参加者は、すべて神戸大学の学部学生であり、かれらのNX検査スコアは平均的な水準以上のものになっている。かれらが競争率の高い入学試験を合格したという事実は、かれらが高い言語的、論理的能力を有しているということを意味する。したがって、NX検査のスコアの決め手となるのはこれらのワーキングメモリではなく、空間的WMCであり、それが重要な役割を果たしているものと考えられる。というのも、一般に大学入試では、空間的把握能力が問われることはあまりないからだ。しかしながら、NX検査では、このスキルを問う設問がいくつか含まれている。したがって、この実験参加者のサンプルでは、分析能力のスコアは主に空間的能力によって左右されたと考えられる。このことを確認す

表3 創造力と分析能力の規定要因（括弧内は標準誤差）

変数	創造力		分析能力	
	(1)	(2)	(3)	(4)
定数項	67.62 ** (26.38)	51.24 ** (12.54)	119.78 ** (15.03)	113.17 ** (11.84)
創造力			-0.13 (0.18)	
分析能力	-0.14 (0.21)			
言語的WMC	0.30 + (0.16)	0.29 + (0.16)	0.12 (0.16)	0.09 (0.15)
論理的WMC	-0.11 (0.17)	-0.11 (0.17)	-0.02 (0.16)	-0.01 (0.16)
空間的WMC	-0.06 (0.13)	-0.10 (0.12)	0.23 * (0.12)	0.24 * (0.12)
P3 振幅度	-0.31 * (0.15)	-0.33 * (0.15)	0.09 (0.15)	0.14 (0.14)
P3 潜時	-0.02 (0.03)	-0.01 (0.03)	-0.01 (0.03)	-0.01 (0.03)
F 値	84.62	84.87	83.14	83.39

+ $p < .10$, * $p < .05$, ** $p < .01$

注) : (1)、(2) および (3)、(4) は回帰分析に使用している説明変数の違いを意味する。該当する説明変数の箇所が空欄であれば、その説明変数は除外して回帰分析をしていることになる。

表4 多重共線性の影響（括弧内は標準誤差）

変数	創造力			分析能力		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
定数項	63.87 * (28.08)	64.88 * (26.21)	70.88 ** (27.10)	117.76 ** (14.98)	119.19 ** (14.15)	121.79 ** (14.40)
創造力				-0.08 (0.17)	-0.13 (0.18)	-0.11 (0.18)
分析能力	-0.10 (0.22)	-0.14 (0.21)	-0.13 (0.21)			
言語的 WMC		0.24 + (0.12)			0.11 (0.12)	
論理的 WMC	0.10 (0.14)			0.06 (0.13)		
言語・論理的 WMC			1.98 (1.38)			1.00 (1.30)
空間的 WMC	-0.11 (0.14)	-0.06 (0.13)	-0.08 (0.14)	0.22 + (0.12)	0.23 + (0.12)	0.23 + (0.12)
P3 振幅度	-0.27 + (0.16)	-0.27 + (0.14)	-0.25 + (0.15)	0.13 (0.15)	0.10 (0.14)	0.12 (0.14)
P3 潜時	-0.01 (0.03)	-0.01 (0.03)	-0.01 (0.03)	-0.00 (0.03)	-0.01 (0.03)	-0.01 (0.03)
F 値	86.32	84.82	85.55	83.44	83.15	83.26

+ $p < .10$, * $p < .05$, ** $p < .01$

注)：(1)～(3) および (4)～(6) は回帰分析に使用している説明変数の違いを意味する。該当する説明変数の箇所が空欄であれば、その説明変数は除外して回帰分析をしていることになる。

るため、NXスコアの下位カテゴリー、すなわち言語的、空間的、論理的能力に関して回帰分析を試みた。これらの分析結果によると、空間的 WMC が空間的能力に正の影響を示した（回帰係数 = 0.2, $p < .1$ ）。その他の下位カテゴリーでは、これら3種類のワーキングメモリの影響は見られなかった。

創造力に関しては、SA 検査のスコアは、回答者によって提示されたアイデアの深さや独自性を測定するものである。そのアイデアとは、複雑な空間的形状に関連したものではなく、設問で示されたキーワードに対して提示されるものである。つまり、SA 検査で測定する創造力とは、言葉や文章で喚起されたものになる。このことが意味するのは、SA 検査で高いスコアを得るには、空間的 WMC、論理的 WMC では

なく、言語的 WMC が必要であるということだ。上の回帰分析結果は、このことを反映しているものと考えられる。

以上のすべての分析では、P3 振幅度は創造力に対して負の影響を及ぼしている一方、創造力と分析能力との相互依存関係は認められなかった。これらの結果については、多重共線性は何ら影響していないことがわかる。P3 振幅度がマイナスの影響を創造力に及ぼしているということは、創造力における探索では、既存の情報への注意の集中がその探索の妨げになるということの意味する。注意資源が既存情報へ振り向けられるということは、活用としての分析能力が活性化しているということであり、そのことが新たな情報の探索にマイナスの影響を及ぼしているものと考えられる。

内生変数の影響

上記の回帰分析では、創造力、分析能力の
各々の回帰式の説明変数に他方の従属変数を
入れ、その影響を見てきた。しかしながら、こ
の場合、統計的には内生変数が説明変数のな
かに入ることになり、それによる回帰分析結果
は統計的一致性が保証されない。したがって、
内生変数の影響を正確に検証するためには、操
作変数を用いたGMM (generalized method of
moment) 推計を行う必要がある。上記の回帰
分析の結果から、創造力については論理的
WMC、空間的WMC、P3潜時が有意ではなく、
分析能力については言語的WMC、論理的
WMC、P3振幅度、P3潜時が何ら影響を及ぼ
していないことが明らかになった。したがって、
これらの説明変数を削除し、その代わりに操作
変数として活用し、次の同時方程式をGMMに

より推計した。

$$\text{創造性} = a_0 + a_1 * \text{分析能力} + a_2 * \text{言語的WMC} + a_3 * \text{P3振幅度}, \quad (1)$$

$$\text{分析能力} = \beta_0 + \beta_1 * \text{創造性} + \beta_2 * \text{空間的WMC}. \quad (2)$$

ただし、GMMは従属変数が非負の値しかと
らないことを前提としないため、創造力、分析
能力の従属変数をそのまま使用すれば統計的
一致性は確保されないことになる。したがって、
GMM回帰分析では、①原データをそのまま用
いた回帰分析、②従属変数のみZ変換した回帰
分析、③すべての変数をZ変換した回帰分析、
を行った。その結果は、表5に示されている通
りである。

表5 内生変数の影響 (括弧内は標準誤差)

変数	原データ ¹	部分的Zスコア ²	全Zスコア ³
A. 創造力			
定数項	114.58 * (54.41)	8.77 (7.12)	9.60 (6.93)
分析能力	-0.59 (0.44)	-0.08 (0.06)	-0.08 (0.06)
言語的WMC	0.17 (0.11)	0.02 (0.01)	0.23 (0.15)
P3 振幅度	-0.31 * (0.15)	-0.04 * (0.02)	-0.04 * (0.02)
R2 乗	.20	.20	.20
B. 分析能力			
定数項	115.88 ** (14.71)	115.04 ** (2.84)	120.32 ** (1.05)
創造力	-0.02 (0.28)	-0.13 (2.10)	-0.13 (2.10)
空間的WMC	0.20 * (0.09)	0.20 * (0.09)	2.18 * (0.96)
R2 乗	.12	.12	.12

1. すべての変数は原データのままである (Z変換されていない)。

2. 従属変数のみZスコアとして標準化されている。

3. すべての変数がZスコアとして標準化されている。

* $p < .05$, ** $p < .01$.

ここでもいままでのほとんどの結果がそのまま成立している。創造力はP3振幅度の負の影響が見られる。分析能力については、空間的WMCが正に影響している。しかしながら、創造力、分析能力の相互依存関係についてはここでも見出すことができない。唯一の違いは、言語的WMCがここでは有意ではないということである。

創造力および分析能力の下位カテゴリー

以上の結果は、創造力および分析能力の総合スコアに関するものである。しかしながら、両者の下位カテゴリーの規定要因については検討していない。そこでこれらの下位カテゴリーについて同様の回帰分析を試みたところ、表3とほぼ同様の結果が得られたのが、創造力につ

いては、思考の深さ、分析能力については空間的能力であった。したがって、これら2つの下位カテゴリーについて上記と同様のGMM回帰分析を行った。その結果が表6に示されている。

その結果、ほぼすべての説明変数が今度は有意となった。先ほどのGMM分析では、創造力で言語的WMCが有意ではなかったが、今回は有意性を回復している。さらに驚くべきことには、創造力において、分析能力が負で有意になっているのに対し、後者においては前者は何ら影響を及ぼしていないということである。つまり、下位カテゴリーにおいては、創造力は分析能力に負に依存しているということがわかる。しかしこれは一方的依存関係であり、分析能力は創造力には依存していないのである。

表6 変数の分解 (括弧内は標準誤差)

変数	原データ ¹	部分的Zスコア ²	全Zスコア ³
A. 思考の深さ			
定数項	45.49 ** (9.96)	-0.90 (0.60)	0.23 (0.17)
空間的能力	-0.57 + (0.29)	-0.56 + (0.29)	-0.56 + (0.29)
言語的WMC	0.20 * (0.09)	0.03 * (0.01)	0.31 * (0.14)
P3 振幅度	-0.27 ** (0.10)	-0.04 ** (0.01)	-0.04 ** (0.01)
R2 乗	.38	.38	.38
B. 空間的能力			
定数項	28.54 ** (10.30)	-0.94 + (0.53)	-0.08 (0.15)
思考の深さ	-0.27 (0.22)	-0.27 (0.22)	-0.27 (0.22)
空間的WMC	0.22 * (0.11)	0.03 * (0.02)	0.36 * (0.18)
R2 乗	.25	.25	.25

1. すべての変数は原データのままである (Z変換されていない)。

2. 従属変数のみZスコアとして標準化されている。

3. すべての変数がZスコアとして標準化されている。

* $p < .05$, ** $p < .01$.

7. 考察

本研究の結果のもつインプリケーションとして次の4点を指摘することができる。第1に、ワーキングメモリの創造力、分析能力に対する影響である。上記の結果から、言語的WMCと創造力、空間的WMCと分析能力との関連性が強いことが明らかになった。すでに指摘したように、言語的WMCは言語性ワーキングメモリ、空間的WMCは視空間性ワーキングメモリに対応する測度になっている。このことからわかるのは、創造力には言語性ワーキングメモリ、分析能力には視空間性ワーキングメモリの各容量がそのパフォーマンスに正の影響を与えているということである。この結果は、創造力のみならず知能一般に対して新たな視点を提供するものと考えられる。

第2に、創造力とP3振幅度の負の関係性を指摘することができる。Luo et al. (2013) によると、P3は既存情報のプロセスに関わるものである。換言すると、それは現在の認知作業の活用に対応するものである。しかしながら、上で論じたように、創造力とは探索の帰結であり、幅広い情報探索が行われなければならない。その際、既存の情報は棄却されなければならない場合もある。既存情報に多くの短期メモリが使用されると、このような幅広い情報探索が阻害され、既存情報の学習棄却も実施されにくくなる。このようなことがこの負の関係性に反映されているものと解釈することができる。

第3に、創造力の下位カテゴリーである思考の深さが、分析能力の下位カテゴリーである空間的能力に負に依存しているという結果は興味

深いものである。これら2つの知的能力は独立したもの、あるいは補完的、代替的なものとして議論されることが多い。しかしながら、われわれの知るかぎり、両者の相互依存関係を統計的に明らかにした研究は存在しない。本研究が明らかにしたのは、創造力は分析能力に負で依存している一方、分析能力は創造力とは関連性をもたないという点である。

この結果は次のように解釈することができる。まず、分析能力はその定義から、情報探索の範囲を制限するものである。しかしながら、探索としての創造力には、幅広い情報探索、多様な情報へのアクセスが必要であり、それによって洞察が生じる。つまり、両者の認知作業は正反対の方向性が要求されるのである。このような正反対の方向性が、特に創造力においてこのような負の関係性を生み出したものと考えられる。

最後に、思考の深さは言語的WMCと正の関係性をもっている点を指摘することができる。このことから、創造力は言語性ワーキングメモリと強く関連していることがわかる。一方、空間的能力や分析能力は、空間的WMCに正に依存している結果から、分析能力は視空間性ワーキングメモリに強く関連しているものと考えられる。しかしながら、言語性ワーキングメモリが創造的問題解決に活用されている場合、視空間性ワーキングメモリは負の影響を及ぼすことになる。この結果は次のように解釈することができる。つまり、空間的思考は、認知タスクに対して多くの注意資源が注がなければならない、そのため、音韻ループへの注意資源の配分は減少することになるということである。換言

すると、言語性ワーキングメモリと視空間性ワーキングメモリは、注意資源の配分に関して競合しているということであり、この競合関係が、創造力においては特にタイトになり、負の関係性が生じるということである。このような関係性も既存研究では必ずしも明らかにされていなかった点であり、興味深い結果になっていると思われる。

8. 中小企業による創造的人材の確保

さて、以上の結果をもとに、中小企業における創造的人材の確保の問題について考察することにしたい。上記の結果では、分析能力と創造力とは相互に無関係であるが、それらの下位カテゴリにおいては、創造力（思考の深さ）が分析能力（空間的能力）に負に依存していることが明らかになった。通常、分析能力の高さは知能の高さを意味し、本研究で使用したNX検査は知能検査として普及している。知能の高さが必ずしも学力の高さを意味するわけではないが、NX検査で問われる設問的な内容を考慮すると、この検査で高いスコアを出す者は、学力的な高さとかなり相関しているものと考えられる。したがって、これらの結果が意味するのは、いわゆる学歴の高さと創造力とは無関係であるか、場合によっては学歴の高さが創造力を妨げる結果になり得るということである。

中小企業にとって、高学歴の人材採用・確保は必ずしも容易なことではない。高学歴な大学生は、一般に大企業志向が高く、中小企業に進んで就職しようと希望する者は多くはない。しかしながら、本稿の結果からすると、このことは創造的人材の確保には何ら問題はないとい

うことになる。というのも、分析能力の高さと創造力とは何ら関係をもたないからである。むしろ、特定の分析能力（空間的能力）に関しては創造力には負の影響を与えているということになる。したがって、中小企業が高学歴の人材を採用できなかったとしても、そのことが創造的人材を確保できないということを意味するのではない。むしろ、学歴と創造力とは独立しているわけであり、中小企業にとっては、独自のスクリーニングにより創造的人材を識別することが可能である。学歴に関係なく、このような創造的人材の確保は、中小企業にとって十分可能であり、中小企業にとっての課題は、事前に創造的人材を評価するための手法を整備することである。信頼できる手法さえ利用可能であれば、創造的人材は学歴とは独立であるため、十分にそのような人材採用は可能になるものと考えられる。

もちろん、そもそもイノベーションを望まない中小企業の場合、創造的人材は不要だろう。しかし、単なる御用聞き商法、下請に甘んじているかぎり、高収益は望めない。その場合、現状を打破するためには何らかのイノベーションが必要であり、そのためには創造的人材が必要不可欠となる。すべての従業員が創造的である必要はない。おそらく、全従業員の数パーセントで問題はないだろう。そのような人材を確保することが、経営上、重要な課題と考えられるのである。

9. おわりに

本稿では、創造力と分析能力という2つの知性について厳密な実験によりその相互依存関係

およびそれらの規定要因について検討を行った。そこで明らかになったのは、創造力には言語性ワーキングメモリが重要な役割を果たしており、分析能力では視空間性ワーキングメモリが正の影響を及ぼしているということであった。さらに、それらの下位カテゴリーにおいては、創造力は分析能力に負に依存していることが明らかになった。このことが中小企業にとって意味するのは、創造的人材の確保には、必ずしも高学歴の人材が必要ではないということであり、学歴に関わらず、創造的人材を独自に評価

し採用することが重要であるということである。

企業経営において、創造的人材の確保はその競争優位を獲得し持続するためには決定的に重要である。本稿の結果が示すのは、そのためには高学歴人材は必ずしも必要はないということであり、そのことは中小企業にとってポジティブなものであると考えられる。人材採用においては、学歴ではなく、その能力を正確に測定し、能力本位で採用を実施することが、創造的人材の確保にとっては大切なのである。

【参考文献】

- Amin, H. U., Malik, A. S., Kamel, N., Chooi, W.-T., & Hussain, M. (2015). P300 correlates with learning & memory abilities and fluid intelligence. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 12, 1-14.
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4 (11), 417-423.
- Ball, L. J., & Stevens, A. (2009). Evidence for a Verbally-Based Analytic Component to Insight Problem Solving. In N. A. Taatgen & H. v. Rijn (Eds.), *Proceedings of the Thirty-First Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp. 1060-1065). Austin, TX: Cognitive Science Society.
- Bowden, E., Jung-Beeman, M., Fleck, J., & Kounios, J. (2005). New approaches to demystifying insight. *Trends in Cognitive Sciences*, 9 (7), 321-328.
- Chein, J. M., & Weisberg, R. W. (2014). Working memory and insight in verbal problems: analysis of compound remote associates. *Memory and Cognition*, 42 (1), 67-83.
- Chein, J. M., Weisberg, R. W., Naomi L. Streeter, & Kwok, S. (2010). Working memory and insight in the nine-dot problem. *Memory and Cognition*, 38 (7), 883-892.
- Conway, A.R.A., Kane, M.J., Bunting, M.F., Hambrick, D. Z., Wilhelm, O., and Engle, R. W. (2005) "Working memory span tasks: A methodological review and user's guide", *Psychonomic Bulletin & Review*, vol.12, pp.769-786.
<https://doi.org/10.3758/BF03196772>
Tasks are obtained from <http://englelab.gatech.edu/othertasks.html>. (last accessed on Oct, 2018)
- DeCaro, M. S., Van Stockum, C. A., & Wieth, M. B. (2016). When higher working memory capacity hinders insight. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 42 (1), 39-49.
- Fleck, J. I. (2008). Working memory demands in insight versus analytic problem solving. *European Journal of Cognitive Psychology*, 20 (1), 139-176.
- Friedman, N. P., Miyake, A., Corley, R. P., Young, S. E., DeFries, J. C., & Hewitt, J. K. (2006). Not all executive functions are related to intelligence. *Psychological Science*, 17 (2), 172-179.
- Harada, T., & Hioki, K. (2019). The determinants of creativity and analytical ability: Working Memory, ERP components, and their mutual interdependence. *Working Paper, Graduate School*

of Business Administration, Kobe University.

- Inquisit 4.0 [Computer software]. (2015). Retrieved from <https://www.millisecond.com>.
- Inquisit web 4 [Computer software]. (2015). Retrieved from <https://www.millisecond.com>.
- Kerkhof, G. A., & Uhlenbroek, J. (1981). P3 latency in threshold signal detection. *Biological Psychology*, 13, 89-105.
- Lavric, A., Forstmeier, S., & Rippon, G. (2000) . Differences in working memory involvement in analytical and creative tasks: an ERP study. *Neuroreport*, 11 (8), 1613-1618.
- Luo, J., Du, X., Tang, X., Zhang, E., Li, H., & Zhang, Q. (2013). The electrophysiological correlates of scientific innovation induced by heuristic information. *Creativity Research Journal*, 25 (1), 15-20.
- Ohlsson, S. (2011). *Deep Learning: How the Mind Overrides Experience*. New York, NY: Cambridge University Press.
- Perkins, D. N. (1981). *The Mind's Best Work*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Siegler, R. S. (2000). Unconscious insights. *Current Directions in Psychological Science*, 9 (3), 79-83.
- Weisberg, R. W. (2006). *Creativity: Understanding Innovation in Problem Solving, Science, Invention, and the Arts*. Hoboken, NJ: Wiley.
- Weisberg, R. W. (2013). On the "Demystification" of insight: A critique of neuroimaging studies of insight. *Creativity Research Journal*, 25 (1), 1-14.