

産業イノベーションの創出と脳での創造性創発の類似性

枝 川 義 邦

要 旨

産業界におけるイノベーションは、既存のフレームワークを刷新するかの影響力を持つ。しかし、過去のいずれのものとも繋がりをもたない真に新奇なものではなく、既存の価値の中から新しい結合を見出すことで創出されるものであり、その効率性を高めるために産業クラスターの形成が有効であることが議論されている。人間の創造性は、産業界におけるイノベーションと同様に、新しい価値を創造するものであり、類似した現象と捉えることができる。そして、それが創発される際の脳機能は、産業界でイノベーションが創出されるメカニズムと高い類似性をもつものと考えられる。本論文では、産業界でのイノベーション創出過程と創造性創出の脳機能との類似性を考察した。

Similarity between Industrial Innovation and the Induction of Creativity in the Brain

Yoshikuni EDAGAWA

Abstract

Industrial innovation plays a crucial role in the renovation of the existing framework. However, this renovation rarely takes a novel approach in which the new is independent of the existing but is generally novel bindings of what already exists. Moreover, it is argued that the formation of industrial clusters will effectively enhance the efficacy of the creation of industrial innovation. The purpose of human creativity as well as of industrial innovation is to create new value, and the new value developed by human creativity should be considered as important as that developed by industrial innovation. Moreover, the brain function involved in creativity is considered to have high affinity with the function involved in industrial innovation. In this paper, the similarities between industrial innovation and the induction of creativity in the human brain are discussed.

1. はじめに

本論文では、イノベーション創出の条件に資する要因について社会科学的な観点からまとめ、自然科学系研究からのアプローチとして、人間の創造性について脳神経科学研究による知見を取り上げながら、イノベーション創出と脳での創造性創発との類似性について考察することが目的である。

特に、マーシャルやポーターの集積化理論におけるクラスター形成の意義に関する考察を通して、イノベーション創出に集積化の必要性をまとめる。そして、外界への適応を繰り返しながら進化した結果として獲得した脳の構造集積化の戦略性を考察することにより、その合理性を言及する。また、シュンペーターの掲げるイノベーションについての新結合理論を取り上げ、脳でのひらめき創発過程との比較を行うことで、イノベーション創出についての考察を社会科学、自然科学の両面からのアプローチを試みるものである。

2. イノベーション創出に及ぼす産業クラスターの効果

イノベーションを創出するメカニズムは、多くの研究対象となり知見を積み重ねてきた。その源泉のひとつとして、産業クラスターの形成が挙げられている。これは同一産業の企業が同一地域に集積していることの利点が、イノベーションを引き起こすために有利な条件として作用しているという観察のもとで理論化されている。

特定産業が特定地域に集積する現象に初めて注目したのは、英国の経済学者マーシャル (Marshall, 1920) である。英国の産業革命の18世紀末から19世紀にかけて繊維産業の発展を研究し、リバプールには綿花市場が発達しランカシャーには織物工業が集積しているように、同一の繊維産業のなかでも、綿花・織物というように細分化した形で特定地域に特定の産業の集積が見られることに注目した。

そして、特定産業が特定地域に集積する理由として、マーシャルは以下のものを挙げた。

- ①その産業固有の労働者や技術者がいる
- ②その産業固有の補助産業がある
- ③その産業固有の知識が伝播している

このような「特定産業が特定地域に集積する」と

いう現象は、原材料・技術・知識・資本等の財の移転がしづらかった18世紀～19世紀ばかりでなく、輸送手段や通信が十分に発達した現代においても、そのような集積性がみられていることは現況を通して理解できるものである。

しかし一方で、コンピュータの製造プロセスをはじめとして、通信技術や物流システムの発達により、最近では「世界最適調達」という言葉に代表されるように、ものづくりにおける部品調達などが世界的規模で行われるようになった。これでは地域集積のベネフィットが少なくなり、地域分散化現象がみられ地域集積とは逆行していることがみられる。このような時代変化を経るに従って、先のマーシャルの理論や、米国の経営学者ポーター (Porter, ME.) の唱える産業集積論 (Porter, 1990, 1998) では、ものづくりに関する産業分散化と知的創造活動や新製品開発における集積化を充分には説明できなくなってきたことも否めない。これは、先の理論が「ものづくりに関する地域集積」と「新製品開発に関する地域集積」とを明確に分離して分析してこなかったことが原因であり、この点に注意すれば産業集積論は現在でも適用が可能であるとの主張もある。

吉川 (2001) は、マーシャルとポーターの分析からの理論化に限界があるとして、米国や日本で製品・技術開発と量産で地域の分業化現象が見られるという観察から、ものづくりに限らず製品開発や新技術開発の場としても集積化の必要性を主張した。

これは、地域集積が、知的創造活動、インプリシットな知、暗黙知、あるいは、経験知を特定地域で共有することに意義があるという議論 (清成, 1999) に矛盾しない。すなわち、ものづくりの地域集積の要因と新製品・新技術開発の地域集積の要因は、清成の地域集積の定義をいくつかの要因にわけて議論したと考えることができるものである。

この議論の中では、まずマーシャルとポーターの産業集積論の要約として以下のものを挙げている。

- ①労働、人材
- ②労働、人材以外の投入要素
- ③関連産業と支援産業の投入要素
- ④その産業固有な技術や知識の投入要素
- ⑤需要 (口うるさい顧客が近くにいること)
- ⑥同一産業の企業間の競争

そして、これまでのものづくりのための地域集積の要因として、上の①～⑤のすべての投入要素が近くにあることが地域集積するための要因であるとした。また、これらの要素は、近年の通信技術や物流の発達により集積の要因ではなくなりつつあることも指摘している。

しかし、先端的なIT産業の場であるシリコンバレーにおいては、今なお集積化がみられる。この地域集積に関して、情報通信手段が発達すればするほど、逆に集積が必要になってくる問題があることを受け、清成（1999）はいわゆる「ものづくり」のための集積から「製品開発」のための集積への拡大化であるとした。

このことは、多くの研究開発ベンチャー企業がファブレスであり、実際にはものづくりをしていないことから、研究開発型ベンチャー企業のコア・コンピタンスは、ものづくりではなくプロダクト・イノベーションや新製品開発・新技術開発にあるという視点と、シリコンバレーにおけるケースをもとにして、先の吉川の議論では、新製品開発がプロセスごと企業間に分業していること、プロセスごと製品開発者間で製品開発が相互作用的事であること、スピードのある製品開発が必要なこと、製品の量産と製品開発が地理的に分離していることを考察している。

つまり、これは近年のものづくりに関した地域集積する要因として、上の①～⑥の要因のうち、①、②、③、⑤については近接することの重要性が通信技術や物流の発達によって低下するのであるが、④、⑥については影響を受けずに、今日でもなおものづくりに関しての集積性の要因となりうることに注目したものである。

さらに、新製品開発のための地域集積要因としては、①、②、⑤については近接することの重要性が通信技術や物流の発達によりうすれ、特に通信技術の展開により地域間の距離はゼロとなったのであるが、③、④、⑥の三要素については影響を受けないことから、これらが新製品開発のための集積の要因となることが指摘されている。

新製品開発においては、顧客と開発企業との間で、数回の設計開発や試作品開発、量産設計、情報交換を行う必要がある。そして、新製品開発において地域集積する利点としては、このような顧客と開発企業との相互作用ばかりでなく新製品開発の期間

が短いことや企業間で分業化していること、さらには新製品開発のプロセスが企業間で相互作用的となりうる事が挙げられる。つまり、試作品と情報との交換が分業化された企業間においても密である必要があり、このことが物理的に距離の短い集積化地域の特質となっているのである。そして、このような集積による合理化や相互作用がしやすい環境が、イノベーションを創出しやすい条件となり得るともいえるのではないだろうか。

さらには、これらの考えの基盤をなすアイデアや経験の蓄積が、バンデューラ（Bandura, 1977, 1995, 1997）のいう一般性セルフ・エフィカシー（general self-efficacy）にある「制御体験（mastery experiences）」として働くと言い換えることで、個々人のマネジメントにまで落とし込むことが可能になると考えられる。

3. 脳構造の集積性と階層性による機能分化

ここまで論じてきた、ある特定の地域に特化した産業固有の技術や知識、さらにはその地域における同一産業の企業間の競争については、脳の機能性の分化とその脳部位での神経細胞間の振る舞いにおいても非常に類似した現象が見られる。

脳内での情報処理は、処理する情報の種類によって決まった脳領域が存在する。このことは、脳表部、特に五感情報を処理する感覚野をはじめとする大脳皮質において明らかである。外界からの情報は、五感を通じて入力され、各々の処理を担当する神経細胞が処理できる情報形態へと変換される。例えば、眼から入る情報は、光刺激として眼球奥の網膜で電気情報へ変換された後、視神経を通じて脳内へ送られる。脳では、大脳皮質に視覚情報の処理を担当する視覚野が存在し、そこで細分化された情報処理を行うのである。五感を通じた情報は、他にも音や匂い、味、何かを触った際の皮膚感覚があるが、それぞれ、聴覚野、嗅球、味覚野、体性感覚野がそれらの情報処理を分担している（図1）。

視覚野は大脳皮質の後方（後頭葉）に位置しており、処理する情報次元の高低により、一次視覚野から四次視覚野、また、情報の種類により、脳の側頭部にある下側頭葉（TE野・TEO野）やMT野（MTは“middle temporal”の略。五次視覚野とも呼ばれる）・MST野（MSTは“middle superior temporal”の略）と多様な情報に対しての処理に適応できるよ

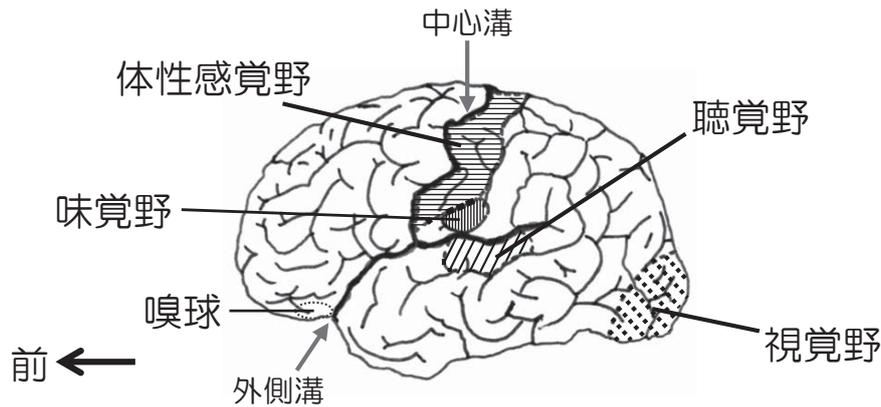


図1 大脳皮質の機能分化と処理情報の分業化

図はヒトの脳を表す。脳表の大脳皮質には五感情報を処理する領域が分化している。嗅覚情報が入力する嗅球はこの位置からは表面には見えない。それぞれの脳領域は機能的に完全に分化（処理情報の分業化）しているので、特定の情報処理のみを行い、他領域で処理する情報については一次的な関与はないとされる。

うな体制を整えている。

外界からの視覚情報は視覚野へ送られるのであるが、その処理は完全に分業化されて、素過程を進めるセグメントでは、ある一定の決まった処理のみを行うようになっていく。例えば一次視覚野では、最も低次の視覚情報である「線分」についての情報処理のみを進める。ここでは、刺激として入力した形情報を一定の傾きの線分として分解してからの処理を担当するのであるが、この処理体系は極めて厳密であり、左右のどちらの眼球から入ってきた情報なのか、また、どの角度の線分なのか、についてそれぞれ処理する領域が定まっている。このように脳の機能分化が成熟し、分業化が完成した処理領域は、特にコラム構造と呼ばれ、成体の大脳皮質に広範に見られる構造である。つまり、脳内で分業化が完成し、外界から入ってくる類似した情報のうち、ある特定の決まった情報のみ（視覚野ならば視覚情報）を抽出して取り扱うばかりでなく、さらにその中で細分化が行われ、一次視覚野では線分情報のみを取り扱うようになっていくということである。そして、その一次視覚野においてもまた、さらなる分業化が行われ、処理を扱う線分について、どちらの眼球からの情報なのか、またどの角度の線分なのか、などについての厳格な選別を行った後に処理が進められるようになっていく（図2）。

一次視覚野で処理された線分情報は、二次視覚野へと送られる。ここでは線分情報を統合して、立体的な視覚認知が行われている。さらに高次の視覚野へと順次情報が送られるに従って、色情報などが統合され、外界にある姿が脳内にイメージとして再現

されていくのである。すなわち、外界からの情報が五感情報となって生体に入力する際にはそれぞれの情報の性質による分類がなされていること、そして、眼からの視覚情報を処理する視覚野を例にとり特徴を精視すると、それぞれのステージにおいて、それぞれが処理すべき情報について完全に分業化しており、それ以外の処理を行うことはないことが分かる（図3）。合理的な分業化が完成し、それを統合する機能的なシステムが存在することにより、各素子にあたる“小さな領域”では、単純な要素の処理を行うだけで全体最適が図られるということである。

このように脳内では分業化することで合理性を生み、円滑な情報処理を実現している。脳、とくに最も表面部分に位置する大脳皮質は霊長類で大きく変化した部分でもあり、長い年月をかけての環境適応を経て現在の状態を形作っていることから、自身が身を置く環境に適応する組織の成功事例と捉えることもできようか。

4. 発達による脳領域の形成

脳の機能分業化については、それが合理的であることで全体最適化された機能性を獲得できることを議論してきた。脳の機能性や構造を考える場合、それが遺伝子により規定されるものなのか、生後の発達過程において獲得されたものなのかという問題がある。いわゆる「氏か育ちか（Nature or Nurture）」についての議論であるが、脳の構造形成においては、特に大脳皮質領域について比較的詳細な検討がなされている。

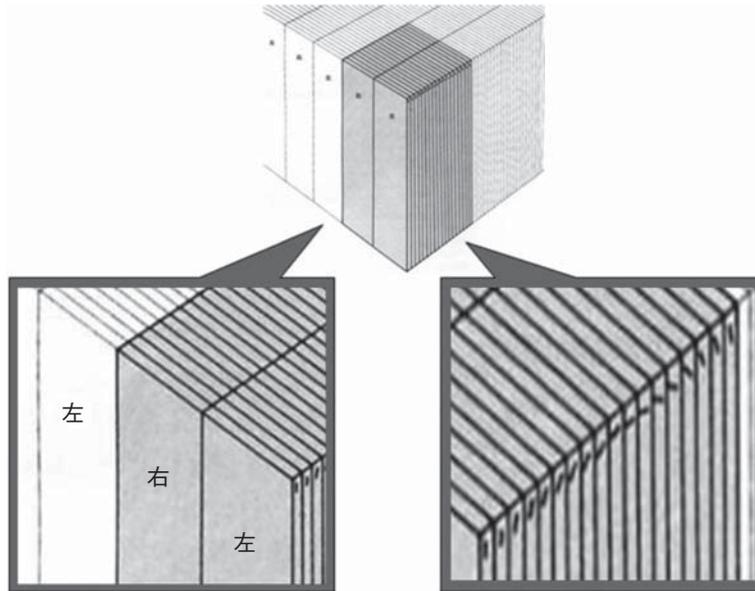


図2 大脳皮質一次視覚野のコラム構造と処理情報の分業化

視覚情報のうち、右目から入力したものと左目から入力したものは、それぞれ異なるコラムで処理される (図左)。また、同一眼球から入力した情報であっても、線分の傾きにより処理されるコラムが異なり、それぞれの角度の線分について、それぞれのコラムが特異的に処理を担当する (図右)。

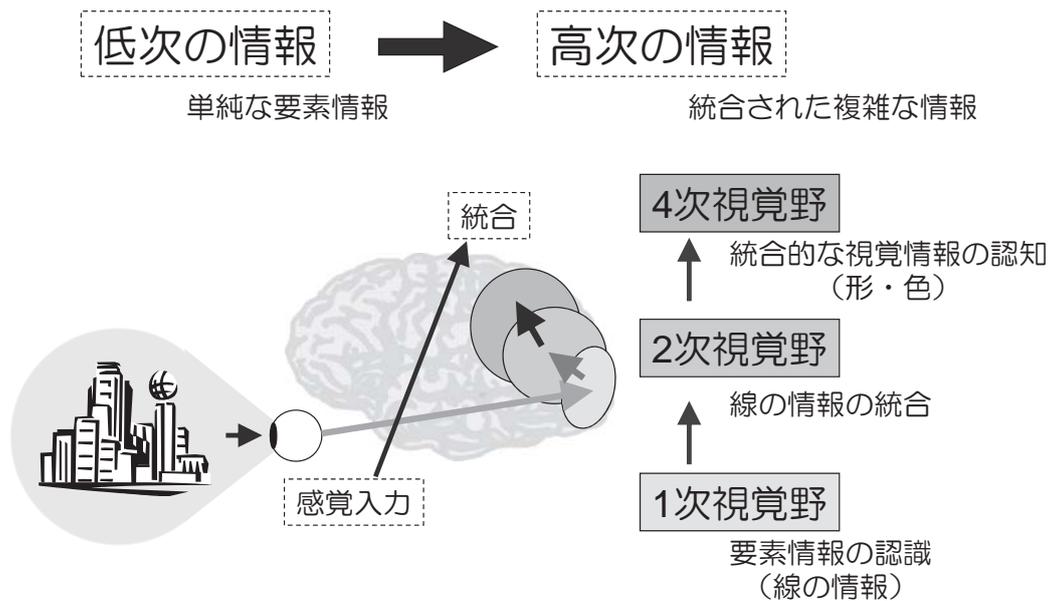


図3 大脳皮質視覚野の階層構造と処理情報の分業化

低次の視覚野での処理が済んだ情報は、より高次の視覚野へ送られ統合化処理がなされる。それぞれの視覚野では処理情報が分業化されているので、それぞれ担当する処理情報が決まっており、それらが相互作用し合いながら処理を進めることで合理化されている。

大脳皮質の主な構造の特徴は、神経細胞同士の作る神経連絡に注目することにより抽出されやすい。この脳部位では、脳の表面の稜線に対して平行な層構造と垂直な階層構造が観察される。単純化すると、横並びの発散型組織と縦型の収束型組織とが共存するともいえる。

縦型の階層構造は、遺伝子により規定されることが知られている。これは、自然発症性の奇形種であ

るリーラー奇形マウス (*reeler mouse*) と呼ばれる実験動物を用いた研究により明らかにされた (Falconer, 1951; Miao et al., 1994)。このマウスは、常染色体劣性遺伝性に生まれ、層構造を特徴とする脳領域 (大脳皮質、小脳、海馬) に大きな異常が観察される。特に、運動学習を司る小脳に生じる障害が顕著であり、これにより運動障害を呈する。ちなみに、リーラー (*reeler*) とは「千鳥足」のことであり、

この奇形種マウスの歩行状態より名づけられたものである。小脳の障害は、その微細構造である小葉形成が乏しいことに由来するとされる。解剖学的には、大脳皮質での異常が著しく、層構造が正常に形成されず、一見すると層構造が逆転しているかのごとく発達する。これらの異常は原因となる遺伝子が明らかにされており、リーラーの原因遺伝子リーリン (*reelin*) が同定されている。このマウスのケースにより明らかにされることは、ある特定の遺伝子の異常により、対応する脳部位における機能領域全体に破綻が生じる。この場合は、縦型組織の階層構造が正常であることが正常な脳機能を導くのにに対し、この対象部位の変質により階層性の破綻が生じ、その結果として、全体機能の崩壊が引き起こされているということになる。

一方で、生後発達による形質獲得の例としては、大脳皮質視覚野におけるカラム構造の構築が分かりやすい。カラム構造とは、機能毎に神経細胞が配置されている単位構造を指し、視覚野の場合は、右目と左目からの情報をそれぞれ担当する眼優位性カラムと、周囲の物体の形状を抽出し、それを構成する線分の角度に特異的に情報処理を行う方位選択性カラムが特徴的である。これらのカラム構造は、生後にどのような環境に身を置いたかにより形成されるものであるため、生後発達の過程で獲得する特徴となる。このことは前額面に眼球をもつ動物であるネコを用いた研究により明らかとされた (Blakemore et al., 1970)。具体的には、視覚野において機能性を可塑的に獲得することができる感受性期にあるネコを縦縞のみが描かれている小部屋で育てる実験を行ったところ、そのネコの視覚野は縦方向の線分のみ反応性を示し、横方向のものには応答しなかった。このことは、飼育された環境からの刺激が脳内の情報処理様式を形作っていることを示しており、視覚野の情報処理がカラム構造に依存していることから、自分の育った環境における経験依存的な解剖学的・機能的性質の獲得を示していることになる。

このような、情報処理における経験依存的な合理性獲得には、脳活動を支える神経細胞の活動性の高低により規定されている。

すなわち、発達の初期段階では外部環境への暴露が不十分であるため、過大な神経投射が観察される。この時期は神経細胞の突起伸長が標的領域に対して最適化されぬまま生じることで、その後の情報

入力に堪えうる以上の構造を構えているともいえる。その後、外界からの情報入力が増え続けることにより、その処理に最適化された神経回路網を形成する方向への適応が行われるのであるが、この過程では、その時までに入力した情報の処理には余分な神経結合が消失し、そこへ投射していた神経突起が退縮する「刈り込み (pruning)」が生じることで神経回路の最適化が図られる (Chechik et al., 1998)。

一度効率化された神経回路は、機能的に働くものであるが、外部環境に適応するためには、さらに効率性を上げる必要が出てくる。大脳皮質では機能分化が進み、入力した五感情報をいちど素子レベルに分解してから、その特徴を抽出し、再構成すべく処理を進めることが行われる。その時により低次の処理を行う場 (例えば、先に挙げた一次視覚野などの「一次感覚野」) においては、機能分化された処理を行う神経集団がモジュールとして組み立てられている。このようなモジュール化された構造を構築するには、外部環境からの情報入力が増え続ける必要があり、継続的な入力による、さらなる神経回路の最適化を進めることで進むとされる。そしてこの際は、神経細胞同士の結合部分であるシナプスにおける情報伝達の効率化が寄与する。持続的な情報伝達の効率化は、シナプスレベルでの微視的な変化を基点として、その影響が波及する場合、神経回路の構造変化を含む効率化が行われる。そして、このような効率化には、シナプス結合部で観察される可塑的な変化が寄与するとされる。

5. 脳機能の集積化にみる合理性の獲得

機能的に類似した情報処理を行う神経回路は、構造上、近隣領域にあることが効率的である。このことは、類似した情報処理の過程では、神経細胞同士が相互に情報のやり取りをすることでお互いの処理様式を修飾することが一因になる。すなわち、ある細胞が情報を処理する際に隣接する細胞との連絡があることで、処理ゲインを増減させたりタイミングを同期させたりして、その細胞単独で処理する場合よりも多様性を獲得することができるということである。そしてこのことが、外界から入力する情報の多様性や予測困難性を吸収しつつ処理を進める上で大きな利得となるのである。

近隣細胞との結合様式には、神経突起によるもの

とお互いの細胞体を接合させるものがある。細胞体の接合には隣接していることが条件となるが、神経突起による場合はその限りではなく、比較的離れた位置にある細胞同士の結合もみられる。しかし、上に挙げたような状況を生じせしめるための細胞活動の経済的合理性を考慮すると、細胞間の距離は短い方が効率的であることになる。これは、たとえ細胞レベルの結合であったとしても、生体のもつ限られたリソースを費やすことで実現するものであることから、結合の構造がトポロジカルに明快かつ近接していることが、細胞膜を形成するリン脂質や細胞骨格タンパク質、さらには、細胞内で情報を伝えるための輸送系や能動的な過程を支える高エネルギー化合物（ATP など）といった細胞構造や機能に関連する因子の加重性におけるリソースコストを下げることに繋がるものだからである。

6. イノベーション理論における「新結合」

産業界におけるイノベーション理論では、経済モデルとして捉えることにより、主軸となる考えをまとめ合理化されるものがある。例えば、シュンペーター（Schumpeter, JA.）は、イノベーションの源泉を既存の価値の「新結合」と捉え、自身の著書『経済発展の理論』（Schumpeter, 1912, 1929）の中で論じたことを挙げるができる。これは、真の経済発展は、戦争・天候などの経済外の与件の変化ではなく、内在的・自発的な発展過程であり、内在的な発展こそがイノベーションであるという説である。そしてその源泉となるものを「新結合」として、既存の要素同士の組合せでよいが、結合の仕方が新しいことを本質とした。

シュンペーターによるイノベーションの分類は、以下の5類型である。

- ①新しい財貨の生産
- ②新しい生産方法の導入
- ③新しい販売先の開拓
- ④新しい仕入先の獲得
- ⑤新しい組織の実現

これらはすべて「新しい」価値ではあるが、それまでに全く存在しなかったモノや事柄をゼロから創造するのではなく、既存のリソースから生まれうるものばかりであることに注意したい。

このようなシュンペーターのいう内在的な発展が

イノベーションの本質であるという点は、イノベーションの語源を辿ってもよく分かる。イノベーション（innovation）の語源はラテン語の *innovare*（新たに作る）であるといわれる。これは、*in*（内部へ）と *novare*（変化させる）との結合により形作られているので、シュンペーターのいうところの「内在的・自発的な発展過程」であることを本質とするものである。これは、日本での“innovation”に対する訳を経済白書（1958年）が「技術革新」としたことの影響が現在でもなお色濃く残ってはいるものの、イノベーションの本質に立ち返り、もはや技術革新のみに限定された概念ではないことに改めて注意を向けることが必要とする吉川（2001）の議論に通ずるものである。

7. 脳での「ひらめき」とイノベーションとの類似性

イノベーションは、市場に対する破壊性や創出の過程から、私たちの脳内で起こる「ひらめき」に類似している。イノベーションも「ひらめき」も、いちど起こると既存のフレームを破壊するほどの威力を持っている点や、あたかも突如天から降ってきたように思われている点、また、創出までのメカニズムについても類似点が多い。

脳における「ひらめき」の創出過程を考えるにあたって、いちど覚えた物事を忘れてしまい表現が出来ない「ど忘れ」の状態について考えることがよいとされる。「ど忘れ」の研究は、「知っているという感覚（“feeling of knowledge” から FOK と略す）」や「喉元まで出かかっているという感覚（“tip-of-the-tongue” から TOT と略す）」をキーワードにして進められることが多い。まさに「いちど記憶した情報が喉元まで出かかっている」感覚であり、「ど忘れ」の状態を言い得ているのではあるが、本稿では表記を「ど忘れ」に統一して進めることにする。

「ひらめき」はなにか新しい価値を創造する過程であるので、一見すると「記憶」という現象との相関性はあまりないように思える。私たちの実体験から、記憶力に長ける者が必ずしも物事を創造的に進める訳ではないことから、そのように思えてしまう。しかし、脳機能と照らし合わせることで、記憶システムと創造性の間に深い関連性があることが示されてきている。つまり、「思い出すこと」と「ひらめくこと」は全く異なる脳の働きではなく、深く

関連しているのである。これは、英国の物理学者ペンローズ (Penrose, R.) が『創造することと思ひ出すことは似ている』と論じた (Penrose, 1989) ことと通じるものであり、新しい価値を生みだそうとする創造性と、既に脳内にあるものを取りだそうとする記憶の喚起メカニズムの間に類似性がみられるというものである。

この説を基に論を進めるにあたり、新しい物事を覚えるための記憶の過程をなぞることで、「ど忘れ」した状態の脳機構についてまとめる。

私たちが物事を記憶する際には、自分の経験したことや得た知識を記憶のステージに従って処理している。記憶のステージは、「情報の獲得または記録 (acquisition)」・「保持 (retention)」・「想起 (retrieval)」の3つに大きく分類される。記憶の獲得過程は、私たちの五感を用いて得られた情報を脳内に刻み込むまでの過程であり、記憶に値するか否かの選別過程も含む。記憶の保持過程は、文字通り脳内に記憶を保持している過程であり、獲得された情報を脳内に安定して保つ過程である。また、記憶の想起過程は、記憶の貯蔵庫にある情報の中から必要なものを引き出してきて利用する過程である。通常、私たちが記憶している物事を「覚えている」のだと外部にアピールするには、獲得し保持している記憶情報を想起し表現する過程を経なければならない。すなわち、想起した記憶を外部へ伝達するための表現過程までを含むので、純粋に記憶力のみを扱うだけではないことには行動を観察する際に注意を要する。ここで「ど忘れ」とは、いちど記憶して保存していた情報を思い起こすことが出来ない状態であるので、「記憶の想起」のメカニズムがうまく働かないことをいう。

つまり、人の名前といった固有名詞などを「ど忘れ」して、「本当は記憶していて喉元まで出かかっているのに、どうしても出てこない」状態となるのは、言い逃れをしているのではなく、本当に記憶情報の保存はできている場合が多いのである。このような「ど忘れ」の状態は、脳内ではどのような仕組みで引き起こされるのか。

ある種の記憶は、「獲得」の過程を経ると、大脳皮質の下側頭葉へ送られ保存される。ここに保存されている情報は、前頭葉からの指示に従い、必要なものが引き出され参照される (Modirrousta et al., 2008)。しかし「ど忘れ」の状態では、前頭葉から

の指示は送られてくるのであるが、側頭葉での情報の抽出過程が進まず情報を返すことができないという。つまり、前頭葉でのモニタリング機能は働いており情報の抽出指示シグナルが送られてきているので、過去に経験した情報は保存しているはずなのであるが、それを正確に想起できないという状態になる。情報が返されないうちは前頭葉からのシグナル伝達は連続的に繰り返され、これに関わる神経回路の活動性は高まったままとなり、周辺の脳血流量が上昇することになる。これが、私たちが感じるいわゆる「悶々とした」感覚なのだろう。そしてこの感覚は、「ど忘れ」した情報が思い浮かぶまで続くのだという。

8. 「ひらめき」と脳活動

なにかの折りに、ふと「ど忘れ」した情報を思い出すことがある。そして、この「ど忘れ」から抜けた状態は、「ひらめき」が生まれた瞬間に酷似しているのだという。確かにどちらも瞬時に目の前が開けたような共通の感覚を得る。このような感覚は、どのようなメカニズムにより生じるのであろうか。

現在の脳科学分野では、身体を傷つけない非侵襲的な実験手法により、頭皮の外側から脳表面の活動を観察する研究が行われている。このような研究結果からは、人間に例えばパズルのようなタスクを課して、その課題に取り組んでいる最中の脳活動を記録することによるものがある。論理思考など過去の自身の経験を基にして課題を解決しようとする場合には前頭葉の活動性が非常に高まっているのであるが、解決策を「ひらめいた」瞬間には活動性が大きく変化することが知られている。具体的には、前頭葉の活動性が高い状態の場合には、この脳部位での脳波に 30-80 Hz という高周波数の γ 波が出現している (Singer et al., 1995; Varela, 1995) のであるが、「ひらめいた」後では、この脳波が急速に減衰し、脳の活動性が急激に低下するのだという (Rodriguez et al., 1999)。このことは、「ひらめいた」ときに快い感覚が生じることと、脳の活動性が一気に低下することとの関連を想像させるものであり、先の「ど忘れ」状態からの脱却時における脳の活動性の変化と同様の現象が起きていることを期待させるものである。

9. 「ひらめき」における新結合の意義

前項までをまとめると、「ひらめき」とは、何かの対象について熟考し続け「悶々」とした結果、突然湧き出るものであり、過去に体験した物事の記憶の中から抽出されるものとなる。この時、脳内では記憶情報の再構成がなされていると考えられている。すなわち「ひらめき」とは、自己の内面に存在する記憶コンテンツ同士の新結合を作り、対象となるフレームにうまく合致するような新しい情報を創出する過程により生まれるということである。よって「ひらめき」は、何か全く新しい情報が天から降ってくるのではなく、自身が体験した記憶情報の中から創発されるものといえる。つまり、その時点でどれだけ沢山の有益情報を記憶しているかに依存するということになる。

このような「ひらめき」のメカニズムは、いかにもイノベーション創出に関する「新結合」というシュンペーターの説に酷似して映るものである。つまり、市場に対して破壊的な影響力をもつイノベーションであっても、突如湧いて出るものではなく、既存の技術や概念の組み合わせから生じるものであり、その創出には過去から存在するリソースに属する情報同士を繋ぐ「新しい結合」を見いだすことが重要であるということとなる。「ひらめき」もイノベーションも、それが生まれた場合には既存の価値観を覆すような破壊力をもつが、どちらも果報は寝て待てばよいのではなく、それまでに抱えてきたコンテンツ同士を結びつける作業を試行錯誤することによって、意識的に創出が可能となるのであろう。どちらも華やかで神がかった印象があるが、実は地道な作業に依存しているといえないか。

ところで、私たちが楽しいと感じることに集中している際には、「ひらめき」が生じやすくなっているのだという (Csikszentmihalyi, 1990)。確かに、過度のストレスを生む状況では、ストレスホルモンの血中濃度が高くなり、脳活動の低下を引き起こす神経細胞の活動性低下や神経細胞死を生ずるために「ひらめき」は生じにくくなるとされる。一方で、好きで楽しいと感じることをしている際には、脳は過剰なストレスから解放されており、「ひらめき」が生じやすくなっているとなる。ある程度のストレスは脳活動を高めるので、適した範囲にある場合にはストレスも好ましく作用するのだろう。そして、

これはイノベーション創出において外的要因からの至適なストレス（外部からの要請など）がある場合のモデルとして捉えることもできようか。

「ひらめき」を必要とする際に問題解決の候補となる選択肢が多い状態は、脳にとって実は都合の良い状態とはいえない。多くの選択肢からひとつを選ぶ過程は、脳にとってはストレスとなるのである。逆に選択肢が少なく、選ぶ余地がないような状態にある場合、脳では「ひらめき」が生じやすいといわれている。これは、経営上で追い詰められた状態に陥った場合に、驚くようなイノベーションが生まれる状況に似ているともいえる。これは、脳では選択肢が少ない場合には、その選択肢に集中し、その項目と過去に蓄積した記憶内容との参照に多くの比重をかけることができるので、「ひらめき」に必要な新結合を生じやすいからであると考えられる。

10. 「ひらめき」と直感との関連性

「ひらめき」は様々な段階を経て生まれるのであるが、関連するものに「直感」がある。私たちは日常的に多くの意志決定を強いられているが、その過程を特に意識せずとも判断を行うことができるのは、直感によるところが大きい。米国の神経科学者ダマシオ (Damasio, A.) は、直感が判断の拠り所になると考え、直感を脳においては直接意識されることはないが、身体反応として脳にフィードバックされる感覚であることを議論した (Bechara et al., 2005; Damasio, 2004, 2005)。

通常は、なんらかの刺激に対して、その情報を脳内で処理し、最終的な情報を集約して意思決定を行う。特に最終段階では、前頭前野が「理性的な」意志決定をする際に関与するといわれる。ところが、人間の欲求には様々なフェーズがあり、その中でもより低次の欲求や身体的な応答性、ホルモン分泌などに関与する視床下部を介して行われる情報処理によって、身体の反応性が規定されることがある。例えば、外界からなんらかの刺激があった際に、心拍数が上がったり、胃が痛くなったりするのは、視床下部の活動に依拠する場合が多い。

ダマシオが論じる直感が判断に寄与するケースでは、このような視床下部による身体反応が前頭葉における論理の積み重ねを介した意志決定に対して影響を与えているというものである。確かに、物事に決断を下す場面では、人間の身体には様々な反応が

みられるようになる。例えば、胸がスツとする、鼓動や脈拍が早くなる、血圧があがる、汗が出る、お腹が痛くなる、などで表現される状態がそれである。

このような身体の反応は、脳の働きに依存して表出されるものである。無意識的に処理される情報に依存した反応性は、文字通り意識することがないので、脳の働きではなく身体がそのまま反応した結果であると誤解されることが多いのであるが、実は脳活動に依存するものであり、無意識的な反応性も脳活動により表出されているのである。

11. 直感に基づく人間の意思決定モデル

ひとつの分野に精通する者は、物事の本質を見抜くことができるので、誰よりも早く状況を解釈することが可能になるといわれる。多くの場合は、ごく少ない情報をもとに、その状況を正しく認識し本質を素早く理解して、迅速に意志決定を下すことができるものである。

意志決定のプロセスには、二通りのものが考えられる。ひとつは分析結果をもとにしたプロセスであり、もうひとつは直感に頼ったプロセスである。分析的な意志決定は、その過程や結論を確実に言葉にすることができ、他人にきちんと説明することができる。分析手法も明示できるので、なにか別の機会に同様な状況になった際には再現性よく同様の意志決定を行うことが可能になる。このような分析的な意志決定は、問題に対して、情報を集め、それを分析し、選択肢を作ることでその中から最適な選択肢を選別する過程を踏むものである。しかし、現実世界での意志決定は、必ずしもこのようなプロセスを踏むとは限らない。決断を下すまでに時間がない場合もあれば、型どおりのプロセスが最適ではない場合もある。このような場合には、意志決定者は自身の直感に頼る場合が多い。

これは、数学モデルでのアルゴリズムとヒューリスティクスの関係に類似している。そして、人間の意志決定は、上のような差し迫った状況でなくとも、着実なアルゴリズムのプロセスではなくヒューリスティックなプロセスを経て行われるともいわれる (Karneman, 2002; Tversky et al., 1974)。直感に頼るプロセスやその結果の意志決定は脆弱なものであるとは限らない。なぜならば、直感の上のモデルのように、その分野に精通した者がもつものであ

り、過去の膨大なる経験に裏打ちされたものである場合が多いからである。

人間の意思決定のモデル化は、これまでも様々な学問分野においてなされてきた。なかでも経済学分野では、人間の意思決定が経済活動という行動を規定するとして、合理的な意思決定と場（市場や駆け引きの場）の関係についてのモデル化が行われている。しかし、伝統的な経済学の扱う“プレーヤー”は完璧に合理的な「経済人」であり、失敗や後悔をすることがない。これは、実社会における人間の性質を模倣しているわけではないとして、“人間らしさ”を前面にだした理論も派生した。例えば、プロスペクト理論を基盤とする行動経済学では、このような「失敗もするし、後悔もする」人間らしいプレーヤーがどのような意思決定のプロセスを踏むのかをモデル化している。ここで扱うプレーヤーは、先のヒューリスティックに従って意思決定を行う傾向にあることから、直感に従った判断を繰り返すモデルとしても捉えることが可能であろう。

行動経済学は、伝統的な経済学理論が取り扱うことを困難としたアノマリーについての理論化も可能であることから、それまでの経済学とは性質を異にする印象もある。しかし直感に依拠したこのような意思決定は、伝統的な経済学理論（すなわち、完璧に合理的な経済人をプレーヤーとするモデル）のみを基盤にしたモデル化が全盛だった時代から、全ての情報を分析することの困難さが訴えられていた。サイモン (Simon, 1947) のいう「限界合理性 (bounded rationality)」がその一例である。サイモンは、人間が合理的な意思決定をするために必要な情報は、その全てを獲得し分析することは不可能であるという見地から、いずれはどこかのステージで入手した情報を集約して意思決定を行うしかないと論じた。これは、情報の多寡を含めても行動経済学の扱うヒューリスティックと同根の考えであり、現実の人間をモデル化する際に必要な条件を取り入れたものであるといえよう。このような曖昧な状況においても、その時点で入手可能な情報をもとにして“とりあえず”の意思決定ができることは“人間らしい”思考と捉えることができる。逆に、アルゴリズムのみを基盤に組まれた人工知能 (ロボット) には、フレーム問題として取り上げられる状況があり、曖昧な状況をよしとはせずに情報を全て分析して価値判断を行った上でしか行動できない

という制限が現実の人間らしさとはかけ離れていることを指摘するむきもある（友野, 2006）。

直感は、直接的で深い知識に根ざしているのであるが、その知識は、論理や知覚で得られたものとは異なっている。直感が働く時には、問題はほぼ解決していることが多い。解決策が意識に上る前に、そもそも問題自体が意識される前に解決していることもあるであろう。

これを裏づけるものとして、人間の選好性がどのタイミングで生じるのかを明らかにした研究がある（Simion et al., 2006; Simojo et al., 2003）。これらは被験者に選好実験を行った結果として、人間の選好性は被験者が意思決定を行う（どちらがより好みを意識した）時点よりも前に決まっており、決定を意識するまでの時間は、そのスペックの確認であることを示唆する成果である。問題に対しては、解決策を思いつく（意識する）前に、結論が出ている可能性を思わせるものである。

直感創造的な飛躍を可能とするのであるが、その意志決定のプロセスは人それぞれであり説明ができない、いわゆる「暗黙知」に近い性質のものといえる。その意味では、周囲とのコミュニケーションを取ったり協調したりすることが難しく、さらに言語化できない分、意志決定により起こしたアクションの結果が思わしくない場合であっても、どの点を改善すべきであるのかが分かりにくいことが欠点となりうる。

このような性質を鑑みると、「直感」や「ひらめき」は、なにもしなくても天から降ってきたり、“天才”と呼ばれる一部の人間にしか宿らないものではなく、過去の蓄積と日常的な深い思索のもとに生じるものであるという点で、イノベーション創出の過程と類似しているといえるのではないだろうか。

12. おわりに — イノベーション創出と創造性創発における社会科学と自然科学の接点

ここまで、社会科学分野で議論されるイノベーション創出過程への産業クラスターの影響と自然科学分野での脳の創造性創発について、それぞれの特徴と類似性について論じてきた。以下に、ここまでの議論をまとめる。

〈産業クラスターに類似した脳構造における集積化について〉

脳、とくに高次の情報処理を行う大脳皮質では、処理する情報（例えば五感を通じた感覚入力）毎に領野が規定されており、それぞれの処理を担当する神経細胞が集積化している。これは、集積化により情報処理の合理化・効率化を望めることが大きな理由であると考えられる。

大脳皮質の神経細胞は、解剖学的（構造的）にも機能的にも、ヒエラルキーに近い構造をもち、同じレベルにある神経細胞同士がある程度の数で結合し、同期した活動を行う場合がある。このような同期現象は、神経細胞が形成する機能単位の働きを特徴づけるものとして捉えられており、それぞれの活動性を結びつける「新結合」の形成に寄与すると考えることもできる。そして、これらが同期するためには、神経細胞同士が近隣に位置していることが幾何学的にも経済学的にも有利であることが考えられるものである。

〈産業クラスターと脳構造の機能的な類似性について〉

上の構造的な類似性に加えて、脳の機能的な視点での類似性として、フレームワーク形成が考えられる。これは、脳の可塑性（可塑的な変化）と呼ばれる現象を基にした考察が可能である。例えば、眼からの情報（光情報）を処理する場合は視覚野と呼ばれるが、後天的に視覚野の機能が不必要になったケースでは、元来の光情報を処理するという視覚野の機能性は必要なくなる。視覚野の神経細胞は、光情報を処理するように特化したものであるため、これらの機能性がなくなるといことは、この部位の神経細胞の活動性がなくなるとを意味している。活動していない神経細胞は脱落（＝細胞死）し、周囲の異なる機能を担った細胞と取って代わることが知られており、視覚野の場合は隣接する体性感覚野（皮膚への刺激情報を処理する場）の機能をもった神経細胞が視覚野に存在することになる。実際、後天的に盲目となった被験者による脳活動のイメージング研究では、点字を読み取る際に、指で触って情報を得ているのにも関わらず、体性感覚野ではなく視覚野の活動性が観察されている（Sadato et al., 1999, 2002, 2004）。すなわち、一度機能的に同系の神経細胞が集積化してドメイン構造を形成した後で

新しい神経細胞に入れ替わったとしても、集積化のためのフレームが残っている場合には、直ちに全体の最適性を保つような機能性を発揮することができるということであろう。

ある脳部位（上の例では視覚野）全体の神経細胞が脱落することを産業クラスター全体がその場から撤退することに当て嵌めて考えると、撤退後の空隙に何か新しい工場や店舗が進出する際には、同系の産業に分類されるものだけを入れ替え並べることで、効率よく新しい産業を展開することができるのではないだろうか。

また、生理学的にみて脳全体もしくは全身の活動性と、経営学的にみたマーケットの活動性とを重ね合わせて考えると、このように、集積化した部位を確立させておくことで系全体が強健となり、ある一部分が失われた場合であっても、少ないタイムラグで系全体（脳全体もしくは全身、そして、マーケット全体）の活動性を最適化し機能するようにできることをも意味すると考えられる。

これらのことを考え合わせるにより、産業構造のモジュール性を活かした集積化が図られ、その地域でのフレームワークが堅牢であれば、競争により経営体の新陳代謝が生じたとしても、フレーム構造の汎用性を活かして、その構造を支持する経営体があるまま新規参入することが合理的であり、新たな価値を生み出す駆動力が創成されると考えるものである。

【参考文献】

- Bandura, A. (1977) Self—Efficacy : Toward a Unifying Theory of Behavioral Change, *Psychol Rev*, Vol. 84(2), pp. 191-215.
- Bandura, A. (1995) *Self-Efficacy in Changing Societies*, Cambridge university press (本明寛他訳 (1995) 「激動社会の中の自己効力」, 金子書房)
- Bandura, A. (1997) *Self-Efficacy: The Exercise of Control*, Freeman.
- Bechara, A., Damasio, AR. (2005) The somatic marker hypothesis: A neural theory of economic decision, *Games Econ Behav*, vol. 52, pp. 336-372.
- Blakemore, C., Cooper, GF. (1970) Development of the brain depends on the visual environment, *Nature*, vol. 228, pp. 447-448.
- Chechik, G., Meilijson, RE. (1998) Synaptic pruning in development: A computational account, *Neural Compt*, vol. 10, pp. 1759-1777.
- Csikszentmihalyi, M. (1990) *Flow: The psychology of optimal experience*, Harper and Row. (今村浩明訳 (1996) 「フロー体験 喜びの現象学」, 世界思想社)
- Damasio, A. (2004) *Looking for Spinoza: Joy, Sorrow and the Feeling Brain*, Vintage. (田中三彦訳 (2005) 「感じる脳—情動と感情の脳科学 よみがえるスピノザ」, ダイアモンド社)
- Damasio, A. (2005) *Descartes' Error: Emotion, Reason, and the Human Brain*, Penguin. (田中三彦訳 (2010) 「デカルトの誤り—情動、理性、人間の脳」, 筑摩書房)
- Falconer, DS. (1951) Two new mutants, 'trembler' and 'reeler', with neurological actions in the house mouse, *J Genet*, vol. 50(2), pp. 192-201.
- Karneman, D. (2002) *Maps of bounded rationality*, The Nobel Foundation. (友野典男、山内あゆ子訳 (2011) 「ダニエル・カーネマン 心理と経済を語る」, 楽工社)
- 清成忠男 (1999) 集積と地域の競争力, 研究開発型ベンチャー企業の地域集積シンポジウム, 日本ベンチャー学会
- Mandana, M., Fellows, LK. (2008) Medial prefrontal cortex plays a critical and selective role in 'feeling of knowing' meta-memory judgements, *Neuropsychologia*, vol. 46, pp. 2958-2965.
- Marshall, A. (1920) *Principle of Economics*, Macmillan and Co. Limited (馬場啓之助訳 (1965) 「経済学原理」, 東洋経済新報社)
- Miao, GG., Smeyne, RJ., D' Arcangelo, G., Copeland, NG., Jenkins, NA., Morgan, JL., Curran, T. (1994) Isolation of an allele of reeler by insertional mutagenesis, *Proc Natl Acad Sci USA*, vol. 91(23), pp. 11050-11054.
- Penrose, R. (1989) *The Emperor's New Mind: Concerning Computers, Minds, and the Laws of Physics*, Oxford University Press (林一訳 (1994) 「皇帝の新しい心—コンピュータ・心・物理法則」, みすず書房)
- Porter, ME. (1990) *The competitive advantage of nations*, The Free Press
- Porter, ME. (1998) *On competition*, Harvard Business School Publishing
- Rodriguez, E., George, N., Lachaux, JP., Martinerie, J., Renault, B., Varela, FJ. (1999) Perception's shadow: long-distance synchronization of human brain activity, *Nature*, vol. 397, pp. 430-433.
- Sadato, N., Hallett, M. (1999) fMRI occipital activation by tactile stimulation in a blind man, *Neurology*, vol. 52, p. 423.
- Sadato, N., Okada, T., Honda, M., Yonekura, Y. (2002) Critical period for cross-modal plasticity in blind humans: a functional MRI study, *Neuroimage*, vol. 16, pp. 389-400.
- Sadato, N., Okada, T., Kubota, K., Yonekura, Y. (2004) Tactile discrimination activates the visual cortex of the recently blind naive to Braille: a functional magnetic resonance imaging study in humans, *Neurosci Lett*, vol. 359, pp. 49-52.
- Schumpeter, JA. (1912) *Theorie der Wirtschaftlichen Entwicklung*, Leipzig, Verlag von Duncker & Humboldt.
- Schumpeter, JA. (1929) *Theorie der Wirtschaftlichen Entwicklung*, Zeite, ueue arbeitete Auflage, Munchen und Leipzig, Verlag von Duncker & Humboldt. (塩野谷裕一, 中山伊知郎, 東畑精一訳 (1980) 「経済発展の理論」, 岩波書店)
- Simon, HA. (1947) *Administrative behavior*, The Free Press.

- Simojó, S., Simion, C., Shimojó, E., Scheier, C (2003) Gaze bias both reflects and influences preference, *Nat Neurosci*, advanced online publication, pp. 1-6.
- Simion, C., Shomojó, S. (2006) Early interactions between orienting, visual sampling and decision making in facial preference, *Vision Res*, vol. 46, pp. 3331-3335.
- Singer, W., Gray, CM. (1995) Visual feature integration and the temporal correlation hypothesis, *Annu Rev Neurosci*, vol. 18, pp. 555-586.
- 友野典男 (2006) 「行動経済学」, 光文社
- Tversky, A., Kahneman, D. (1974) Judgment under uncertainty: Heuristics and biases, *Science*, vol. 185(4157), pp. 1124-1131.
- Verela, FJ. (1995) Resonant cell assemblies: a new approach to cognitive function and synchrony, *Biol Res*, vol. 28, pp. 81-95.
- 吉川智教 (2001) 研究開発型ベンチャー企業の産業クラスターとモノ作りと新製品開発拠点の集積の論理の違い—マーシャルとポーターの産業集積論の限界—, *ベンチャーレビュー*, vol. 2, pp. 41-56.