氏　　名　山川義徳（やまかわよしのり）
学位(専攻分野)　博　士（人間・環境学）
学位記番号　人博第396号
学位授与の日付　平成20年3月24日
学位授与の要件　学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻　人間・環境学研究科共生人間学専攻
学位論文題目　FROM BRAIN TO BUSINESS
脳の環境適応戦略から企業の環境適応戦略を紐解く

論文調査委員　（主査）教授 松村道一　教授 森谷敏夫　教授 船橋新太郎
教授 原　良憲

論文内容の要旨

本論文は，生物が進化の中で獲得した環境適応戦略というものが，企業の環境適応戦略へ適用可能かを探ったものである。近年の市場環境の複雑化に伴いこれまでのような市場調査や他社分析に基づく事業戦略の策定方法が限界に来ている中で，生物のシステムから新しい方向性を学べる可能性がある。中でも生物がその機能を存分に発揮する為に発達させてきた脳神経系の機構にフォーカスを当て，実際に実験を行った上で企業への適用の可能性を検討した。

すでにこれまでに，脳神経系は，分子レベル・細胞レベル・領野レベルと階層的な構造を持っていることが知られている。それらのレベルを構成する多様な要素が相互作用することによって，一つ上位のレベルでの機能を実現している。そこで，分子レベル・細胞レベル・領野レベルそれぞれのレベルにおいて実験を行った。

分子レベルでの実験においては，生物の7割を占めると言われている昆虫の中でも日本で実験上よく使われているカイコを用いた。カイコはこれまでに，親が長日環境で幼虫の時期を過ごすと非休眠卵を産み，短日低温環境で過ごすと休眠卵を産むという環境適応的な光周反応を示すことが知られている。その光周反応を実現しているメカニズム，中でも光受容の機構を遺伝子クローニング技術によって検討した。その結果，脳内に視物質様の光受容体の遺伝子のクローニングに成功した。この事は，目に発現している視物質遺伝子が，脳に発現し，その形質を維持することによって環境適応戦略を実現しているといえ，この戦略はその他の種や遺伝子における実験結果とも一致していた。

細胞レベルでの実験においては，哺乳類の実験動物として良く用いられているマウスを使い運動能力に関する実験を行った。マウスにおいては，これまでにも運動能力に関する研究が多くなされており，中でも小脳プルキンエ細胞における長期抑圧という現象が運動学習の基盤となっていることが知られている。小脳プルキンエ細胞には，代謝型グルタミン酸受容体が多く発現しており長期抑圧に深く関与していると言われてきたが，この受容体の抗体が運動学習より短い時間単位である運動協調の阻害につながることが近年報告された。そこで，運動協調におけるプルキンエ細胞の役割を調べるために，パッチクランプ技術を用いて細胞の挙動を測定した。その結果，小脳プルキンエ細胞での恒常的な活動の存在を発見した。さらなる実験からこの活動は運動制御をコードしていると考えられる神経細胞の発火頻度にも影響を及ぼしていることが明らかになったことから，恒常的活性化が運動協調の基盤となっていることが考えられた。その後の多くの研究によって，細胞の恒常的な活動がシナプス入力に対する感受性を上げたり，単一細胞だけでなく細胞集団として構築されたネットワークに関しても，恒常的な活動が多様な内部状態の保持を可能にし，外部環境への迅速な対応を可能にしたりしていることも示された。これらのことからも，細胞の恒常的な活性化と適切なネットワークの構築が基本的な環境適応戦略であると考えられた。

領野レベルでの適応戦略においては，環境適応の結果として獲得したヒトの認知特性を調べる実験を行った。中でもヒトがヒトたる所以である社会性というものにフォーカスをあてた。すでにこれまで，他者の顔や表情の認知に関しては紡錘状回や上側頭溝などの腹側経路の関与が多く報告されてきた。今回，これらの腹側経路に加えて，他者との関係性を判断する

上では，背側経路も関与することを見つけた。さらなる分析の結果，背側経路の中でも頭頂間溝のみが自己と他者との関係性判断に関する課題の負荷量に相関した脳活動を示していたことから，この頭頂間溝が他者との関係性判断に深く関与していることが明らかになった。これまでも視覚の情報処理として，色や形を処理する腹側経路と場所や奥行きを処理する背側経路という二つの経路が報告されている。この事からも，ヒトは進化的に対象の特徴などの概念的な処理と対象との関係などの構造的な処理を分散的に処理しており，このような認知特性がモノに関してもヒトに関しても言えることが示された。

最後に，これらの研究および考察から明らかになった適応戦略や認知特性を企業戦略に結びつけることができるかどうかの検討を行った。分子レベルでの適応戦略である遺伝子の継承と発現部位の変化による機能創出のメカニズムに関しては，全産業の中で８割を占めるサービス産業における新たな経営戦略のフレームワークとしてまとめた。細胞レベルでの適応戦略である恒常的な活性化とネットワーク化に関しては，近年成長のいちじるしいICT（ICおよびIT）産業におけるオープン・イノベーションの日本型モデルとしての提言を行った。領野レベルでの認知特性の理解からは，サービス業からはホテルをICT産業からはゲームを取り上げ，新たな視点による解釈から今後の戦略の方向性を提案した。

このように本論文の中では，生物の環境適応戦略から企業の環境適応戦略への応用の可能性を検討し，実際の実験結果に加えてその他の研究成果ともあわせた考察を行うことによっていくつかの提言や提案を実現した。

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

本学位審査論文は，生物の環境適応戦略を企業の環境適応戦略に適用できるかを検討する為に，生物の脳神経系の三つのレベル（分子，細胞，領野）での研究を実施し，さらに産業への応用を試みたものである。近年のグローバル化や情報化の進展に伴って高度に複雑化した社会において，これまでのような物理的・工業的なアプローチが限界に来ている今，長い歴史をかけて築いてきた共生的な環境適応戦略を持つ生命に学ぶというのは非常に大事な観点となろう。その観点からも本論文の趣旨は意義深いものである。

そこで，申請者は，脳神経系の階層的な構造の中でも個別に研究が進められている分子レベル，細胞レベル，領野レベルと三つの階層に対して自らが様々な実験手法を用いて実験し，生物の環境適応戦略における基本的な枠組みを明らかにすることを目指した。

まず，分子レベルの研究として遺伝学的なアプローチを用い，どのような環境適応的な遺伝子進化機構があるのかを実験的に検討した。具体的な方法としては，生物の７割を占めると言われている昆虫の中でも日本で実験上よく使われているカイコを用い，光周反応実現のための光受容物質の同定を試みた。その結果，目に発現している視物質と非常に類似した遺伝子が脳に発現していることを見つけ，進化的な遺伝子による環境適応機構の一つの方法論を明らかにした。本実験において発見した遺伝子に関しては，Biochem Biophys Res Commun（2001）に掲載されており，さらにその上で本論文において環境適応機構のフレームワークとしてまとめた。

次に，細胞レベルの研究として電気生理学的なアプローチを用い，どのような環境適応的な運動制御機構があるのかを実験的に検討した。具体的な方法としては，哺乳類の実験動物としてよく使われているマウスを用い，運動能力との深い関与が知られている小脳プルキンエ細胞の発火頻度の挙動を調べた。中でも小脳プルキンエ細胞に多く発現している代謝型グルタミン酸受容体が，どのように発火頻度を調節し，運動制御に関与しているのかを検討した。その結果，プルキンエ細胞が恒常的に発火していることを明らかにし，自発発火による環境適応機構の一つの方法論を提示した。本実験において明らかにした小脳プルキンエ細胞の挙動に関しては，Neuroscience Letters（1999）に掲載されている。さらに本論文においては，自発的な神経回路網による環境適応機構のフレームワークとしてまとめた。

最後に，領野レベルの研究として脳機能イメージング技術を用い，ヒトがどのような環境適応的な認知特性を持っているかを実験的に検討した。具体的な方法としては，ヒトがヒトたる所以である社会性というものにフォーカスし，その処理が脳内でどのように行われているのかを検討した。その結果，すでにこれまで報告されている他者の顔や表情の処理の腹側経路に加えて，新たに他者と自己との関係性を処理する背側経路の役割を明らかにし，新たな認知特性モデルを提案した。本実験において明らかになった背側経路での社会的関係性の処理に関しては，Science誌への掲載が決定している。さらに本論文において，今回発見した背側経路での処理と腹側経路での処理という分散処理を認知特性モデルとしてまとめた。

このようにして得られた二つのフレームワークと一つの認知特性モデルに基づいて企業への応用の可能性について検討した。中でも，日本の全産業の中で大きな比率を占めており，その生産性についての議論が多くなされているサービス産業と世界的に成長著しいにも関わらず日本企業が必ずしも優位性を発揮していないICT（ICおよびIT）産業について検討を進めた。分子レベルからのフレームワークに関しては，サービス産業における生産性向上の方法論として，遺伝的サービスイノベーションと名付けた経営戦略フレームワークの形で提言した。細胞レベルからのフレームワークに関しては，ICT産業におけるオープンイノベーションの日本型方法論として，神経回路的オープンイノベーションと名付けた経営戦略フレームワークの形で提言した。領野レベルからの認知特性モデルに関しては，サービス業における従業員やICT産業におけるユーザの振る舞いの分析手法としての利用可能性について提案した。

本論文のように，環境適応における分子レベルから細胞レベル，そして領野レベルと階層をまたがった研究を自ら行った上で新たな発見をしたことにとどまらず，さらには認知特性モデルや経営戦略フレームワークといった領域にまで視野を広げようとする試みは，人間・環境学という学問の一つの姿ということができるであろう。したがって，本申請論文は共生人間学専攻認知・行動科学講座にふさわしい内容を備えたものといえる。

よって，本論文は博士（人間・環境学）の学位論文として価値のあるものと認める。また，平成20年１月21日，論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果，合格と認めた。