

2. 現在までの研究状況 (図表を含めてもよいので、わかりやすく記述すること。様式の改変・追加は不可(以下同様))

- ①これまでの研究の背景、問題点、解決策、研究目的、研究方法、特色と独創的な点について当該分野の重要文献を挙げつつ記述すること。
- ②申請者のこれまでの研究経過及び得られた結果について、問題点を含め①で記載したことと関連づけて説明すること。
なお、これまでの研究結果を論文あるいは学会等で発表している場合には、申請者が担当した部分を明らかにしつつ、それらの内容を記述すること。

①これまでの研究の背景、問題点、解決策、研究目的、研究方法、特色と独創的な点

(1) これまでの背景、問題点、解決策、研究目的と研究方法

カエルは餌を追いかけ餌取り行動を行うとき段階的に体の向きを変えることが知られており、視蓋の表面上に表象される2次元の地図を用いてこの定位行動を行っている。これは、ほ乳類の saccade 制御を含む、動物に広く見られる定位行動と多くの共通点を持ち、故に、古くからその研究のよいモデルとして考えられ用いられてきた。(Grobstein, 1988; Grobstein et al., 1983, Ingle, 1982)。

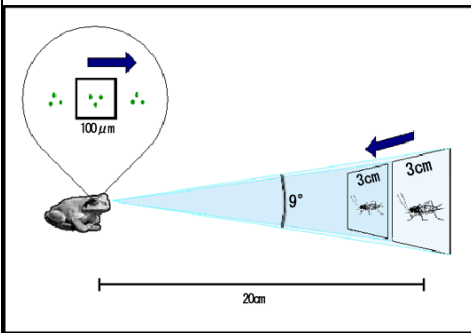
カエルは、餌刺激に対して頭と体を回転することにより小さな動いている対象へすばやく、正確に応答しており、回転の角度が、ターゲット指向性である行動に予想されるように、刺激の位置と厳密に一致するということが示された (King and Comer, 1996)。また、網膜視蓋投射が部分的に変えられた研究から、視覚世界の視蓋表象が餌取り行動と逃避行動の空間的な定位を最終的に確定することがわかっている (Ingle, 1973)。

一つの視蓋葉の完全な除去は反対側の単眼視野の餌刺激に対してのターンを完全に破壊する。つまり、各視蓋葉が餌に対してターンするための下降性の経路を生じていることを示す。また、被蓋の片側のみの損傷は同側の視覚半野の餌に対してのターンを完全に破壊できることがわかっている (King and Comer, 1996; Kostyk and Grobstein, 1987a, b, c)。

さらに、HRP による逆行性の標識実験により腹内側中脳被蓋 (AV, PV, nMLF) と定位行動の欠損に高い相関が示された。nMLF での単一の逆行性標識された細胞の再構成はそれらが、視蓋からの入力を受容し得る位置の樹状突起と、中脳後方と延髄両方の定位行動欠損を生ずる決定的な損傷サイトを通る軸索を持つと言う事を示した。つまり、定位行動に関連した視蓋からの出力シグナルが nMLF を中継として、脊髄へ連続して下降するという事が示唆された (Masino and Grobstein, 1989a, b; Kostyk and Grobstein, 1987a, b, c)。

以上の研究から、視蓋がカエルの餌定位行動における中枢である事は明らかである。従って、視蓋の構成原理を解明する事は動物に広く見られる定位行動のメカニズムを知るために必要不可欠である。

本研究室でのニッスル染色により非選択的に染色された細胞体分布の統計学的解析を行った組織実験の研究結果 (鮫島, 2002) より、カエル定位行動に関係する出力を担う細胞が多く分布している視蓋第8層付近の細胞体はクラスターを形成していることがわかった。さらに、その集団はある周期性を持って一定間隔で分布していることが示された。この発見された単位構造の中に、大きさ 100 μm のものがあった。私は、この間隔が視角に換算すると、餌と考えられるコオロギなどの昆虫の大きさに対応することから、この単位構造が餌取り行動に関係しているのではないかと、つまり、図のようにコオロギが移動すると、情報処理は次の単位構造に移るという仮説をたて、研究を行った (本城, 2003)。



その中で、カエルの定位行動には餌に対して定位しやすい角度と定位しにくい角度が存在していた。さらに、定位行動の振幅とその角速度の関係について調べた結果、カエルの定位角度の増大につれて角速度が約 20° 毎に段階的上昇していることがわかった。そこで、この段階的な速度上昇発生の機能的な意味を調べるため、定位誤差を求めた。そこでまず、カエルの餌に対する定位誤差を計算した結果、カエルの定位行動は常に正確なものではなく定位角度がコオロギの位置に対して不足するという誤差を含んでいることが分かった。さらに、その定位誤差は定位行動の振幅に対して約 20° 毎に誤差が最大を迎え、その後誤差が小さくなっている、つまり、正確に定位しているということが分かった。また、定位開始から終了までにかかった時間、定位時間を測定した結果、段階的な速度上昇が引き起こされるまで、振幅と共に定位時間が増大していき、そのあたいをこえと、カエルは角度を増大させ定位時間が減少していた。このことは、カエルは平均値

650ms 以内に定位が終了するように行動を制御していることを示している。

以上の結果から、カエル定位角速度の離散的上昇、定位誤差のピーク、定位時間が増大から減少へと転換するときが一致することから、定位角度の大きさがある値を超え、十分な角度で定位できなくなり、誤差が大きくなったとき、速度を上昇させ、一定時間での定位を可能にしているのではないかと考えられる。

そこで、現在の研究では、この定位誤差、定位時間と角速度の離散的上昇との関係をさらに詳しく解析し、組織実験により推定される出力解像度と、実際の餌取り行動の関係、さらに定位行動自体の機能的構築を明らかにすることを目的としている。

さらに、先に本研究室において研究された組織実験の結果は、視蓋に存在する出力細胞と考えられる比較的大きな細胞の分布様式について調べられており、必ずしも定位行動への出力を担っている細胞体を選択的に染色しただけではなかった。そこで、さらなる発展として、カエルの定位行動に関する出力経路より (Masino and Grobstein, 1989b)、神経トレーサである neurobiotin の電動マイクロインジェクターによる局所微量注入 (Hung et al., 1991) を用いて、定位行動に関係する視蓋神経細胞のみを狙った逆行性標識を行うことを試みている。

(2) 特色と独創的な点

カエルにおける段階的な速度調節は、これまでの研究では示されておらず、速度を餌に対する誤差の程度によって切り替える車の変速ギアのようなメカニズムを持っていることが示唆される。これを説明する一つの例は、いくつかの筋肉を制御するニューロンの集団を段階的に付加していき、駆動する筋肉を増やすことによって速度を調節しているのではないかとということである。つまり、速度調節機構を解明することは、視蓋からの行動決定のメカニズムを明らかにするのに非常に重要となる。また、カエルの定位開始までのコオロギの移動パターンによって、発現する行動を決定している。つまり、カエルは餌取り行動において短期記憶に基づく情報処理を行っているという事を示す新たな知見を得た。

②問題点を含めた、これまでの研究経過及び得られた結果

(1) 行動実験

本研究室の以前の組織実験による研究結果から、カエルの視蓋には細胞体がある一定間隔で集団を形成して分布しており、それが餌であるコオロギなどの大きさに対応することが分かっていた。そこで、この細胞体の分布と実際の餌取り行動との関係、さら

(現在までの研究状況の続き)

にそのメカニズムを解明することを試みた。

そこで、実際に餌であるコオロギを用いて餌取り実験を行った。実験方法としては、無人条件下にて、カエルが夜行性であることを考慮し、夜間に行った。ケース内のカエルとコオロギを仕切で分け、発現する定位行動を上方に設置した CCD カメラよりビデオカセットレコーダを経由し、画像取り込み用 PC へ連続画として取り込んだ。1 試行はおよそ 2 時間である。その取り込まれたフレーム画像から、カエルの定位角度、定位開始時のカエルとコオロギとの角度を求めた。これらをもとに、カエルの定位速度、定位時間、定位誤差を求めた。

その結果、カエルの定位の角度と、カエルとコオロギとの位置は、それぞれ定位しやすい角度としにくい角度を、餌に対して反応しやすい角度としにくい角度を持っていることが分かった。カエルの定位角度は、餌に対して常に正確なものではなく足りないという誤差を持っていることが分かった。さらに、カエルの定位速度を測定した結果、カエルの定位角度の増加に伴って角速度が、リニアに増加するのではなく、およそ 20° 毎に段階的に増加していることが分かった。ここまでの研究結果については、全て主体となり 2003 年の日本動物学会第 74 回大会、2004 年の 7th International Congress of Neuroethology にて発表を行った。

また、カエルの定位を発現するには、それまでのコオロギの移動パターンが関わってくるはずであると考え、コオロギの移動パターンを分類し、パターン毎にカエルの角速度を分類した結果、コオロギが最も長い距離を速い速度で移動したとき、カエルは、餌の位置情報による正確な定位ではなく、あらかじめ決められた最小の角度で定位していることが分かった。ここまでの研究結果については、全て主体となり 2005 年の Brain IT 2005、同年の The Society for Neuroscience にて発表を行った。

さらに、カエルの定位角度とその時のコオロギとの位置の分布を調べると、両者は、ほぼ直線関係にあり、カエルは餌に対してほぼ正確に定位している事が分かった。このことからカエルの餌位置特定に対する網膜視蓋投射地図の解像度は非常に高いと考えられる。一方で、カエルの定位速度を見ると、離散的に上昇しており、カエルの定位行動の速度を調節するための網膜視蓋投射地図の解像度は位置特定の場合と比べて低いと考えられる。このようにカエルの視蓋は餌情報に対しては高い解像度の地図を、定位行動の速度調節には処理時間を短縮し反応速度を上げるために低い解像度の地図を持っていると示唆される。ここまでの研究結果については、全て主体となり 2005 年の日本比較生理生化学会第 27 回大会にて発表を行った。

○問題点

これまでの結果はデータ数が少なく、定量的な統計解析を行うにはさらなる数を増やしていく必要がある。

(2) 逆行性標識実験

標識結果としては、全 48 の標本中 2 例のみではあるが、定位行動に関係している視蓋第 6、8 層の細胞体の標識が確認された。その標識された標本の中で、特徴的な視蓋の出力細胞はある一定間隔に並んで染まっていることがわかった。その間隔はおおよそ $200 \mu\text{m}$ で、これを視角に直すと 18° となる。行動実験の結果の段階的な速度上昇の引き起こされる間隔の 20° と、今回標識された視蓋神経細胞の間隔が、ほぼ一致していることが分かった。つまり、この神経細胞は餌定位行動において、定位速度の調節に関係しているのではないかと考えられる。ここまでの研究結果については、全て主体となり 2005 年の日本比較生理生化学会第 27 回大会にて行動実験の研究結果と共に発表を行った。

○問題点

標識された細胞の形態は先の研究で報告されている tectobulbospinal tract を形成する出力細胞のそれと大変よく似ている (Hughes, 1990)。そこで、標識の選択性を高め、これらが定位行動に重要な役割を果たす被蓋で中継する視蓋出力細胞であることを、さらに確かめる必要がある。

3. これからの研究計画

(1) 研究の背景

2. で述べた研究状況を踏まえつつ、これからの研究計画の背景、問題点、解決すべき点、着想に至った経緯等について参考文献を挙げつつ記入すること。

○行動実験

これまでの実験では、ビデオカセットレコーダにて一般的な 120min のビデオテープに録画した上で解析を行っていた。そのため、時間が短く得られるデータ数に限りがあった。そこで、カエルの定位開始から終了までとコオロギの移動パターンを得るため、カエルの定位行動の開始から終了までとそのカエルの定位開始から 990ms 分の動画を、PC の HDD に自動的に検出し記録する動体検出ソフトウェア UFOCapture を用いることを考えた。さらに、カエルの居るエリアに対してコオロギの移動するエリアは水平方向に 1 面のみに限定されていたため、直線的な運動のみをカエルに対して提示していた。そこで、カエルの周囲をコオロギが移動するような実験系を考えた。

○逆行性標識実験

これまでの実験では電動マイクロインジェクターを用いた圧注入を用いていたが、圧のかけすぎや注入量のコントロールが難しく、組織を破壊してしまっていた。そこで、電荷を持った物質のみを注入させる電気泳動的注入 (Hao-Gang Xue et al., 2004) の導入を検討する。この方法を用いることで組織に負荷をほとんどかけることなく局所的に微量を注入することができると考えた。

○網膜からの入力から餌取り行動への出力経路の情報処理メカニズムの解明とそのロボティクスへの応用

視蓋(脳)からの出力とその結果(定位行動)は分かっても、その間の情報処理メカニズムが分かっていないため、そのメカニズムを推測するしかない。つまり、行動実験結果と標識実験結果より情報処理のメカニズムを推定できても、あるいは両実験の関係性を示唆することはできても、それを確かめることは難しい。

そこで、motor neuron に関する文献を当たっていたとき、カエルでの払拭反射時の足の force field に関する研究の中で motor primitive (Bizzi E et al., 1995) という概念を知った。

また、COE スチューデントとしてニューロンのモデル、デバイスとロボティクスに関する研究を行っている研究室をまわり、様々なスキルと、考え方を身につけた。そこで、一つのアイデアが浮かんだ。動物実験における限界、つまり、行動実験、組織実験ではメカニズムを推定できても、あるいは両実験の関係性を示唆することはできても、それを確かめることは難しいので、その点をモデル、デバイス、ロボティクスの統合的研究によって、克服できるのではないかとこのアイデアである。

申請者氏名 本城 繁幸

(2) 研究目的・内容 (図表を含めてもよいので、わかりやすく記述すること)

- ①研究目的、研究方法、研究内容について記述すること。
- ②どのような計画で、何を、どこまで明らかにしようとするのか、具体的に記入すること。
- ③なお共同研究の場合には、申請者が担当する部分を明らかにすること。
- ④研究計画の期間中に異なった研究機関(外国の研究機関等を含む)において研究に従事することを予定している場合はその旨を記載すること。

さらなる発展として、EMG や motor primitive (Bizzi *Et al.*, 1995)を調べ、段階的な速度調節の実行方法を明らかにしたい。また、餌取り行動に関係している脳の細胞を標識し、その分布を詳細に調べ、速度調節の構造的神経基盤を明らかにする。餌の情報はどう処理し、どういう行動に及ぶのか等のメカニズムを解明していきたい。つまり、目からの入力を脳でどう処理し、筋肉に伝え行動に及ぶのかという一連の流れを解明していきたい。しかしながら、行動実験、組織実験それぞれの結果から相互の関係性は指摘できても、それを立証することは非常に難しい。そこで、この研究、さらにはその他の分野の研究結果をもとに、行動発現の処理系をモデル化し、それをチップ化し、最終的にはロボットに応用し、その結果、得られる行動と、実際の行動とを比較し、その相違から、再び行動実験、組織実験等に還元していきたい。さらには、この研究系をその他の動物に応用できるような新たな研究手法としていきたい。

○行動実験

定量的な統計解析を行うため、データ数を増やす必要がある。今までは、実験開始から終了までをビデオカセットレコーダにて録画し、それを基に解析を行っていたため、標準的なビデオテープ 120min でしか実験ができなかった。そこで、1 試行毎の定位数自体を増大させるため、カエルの定位開始から終了までを自動的に検出し、HDD に記録を行う動体検出ソフトウェアを用いてビデオカセットレコーダを経由せずに行うこととした。その結果、2 時間しか行えなかった試行が一晩中行えるようになる。また、今までは餌刺激が平面的な動きしかしていなかったため、カエルの入っている透明な円柱を中心にし、その周りを餌刺激が移動する実験系を作製し、360° からの刺激提示を可能にした。こうして得られた動画ファイルから、運動解析ソフトウェア DIPP-Motion XD を用いてカエルの定位時の座標、その時のココロギの座標と定位開始までのココロギの移動軌跡を取得し、種々のパラメータについて解析を行う。その結果を基に、定量的な統計解析を行う。その結果、およそ 20° 毎に定位速度を増大させ、それに伴って速度を段階的に調節していることを検証する。

さらに、カエル定位開始までのココロギの移動パターンと定位位置の関連の検証を行うため、動体検出ソフトウェアを用いて定位開始前 990ms の動画を取得し、運動解析ソフトウェアを用いてココロギの移動の軌跡を取得し、種々の解析を行う。

○組織実験

電動マイクロインジェクターによる神経トレーサ注入を行っていたが、圧力により組織が破壊される等の事から局所的に微量注入することが非常に難しかった。そこで、電気泳動的注入により溶液中にて電荷を持った物質のみを注入する方法を用いる。これにより、組織が破壊されることがほとんど無く、非常に局所的な注入が可能となる。

方法としては、(1) ウシガエルを麻酔下にて、切開し脳を摘出する。その後、リンガー液にて洗浄の後、シリコン製の土台上で実体顕微鏡下にて、ガラス微小電極を用い、神経トレーサである 2% neurobiotin または 2% biocytin を 20 μ A、10min の通電により、電気泳動的に腹側被蓋内側部へ注入する。(2)その後、エアレーション中のリンガー液 (pH 7.2) に浸し、冷蔵庫中で一晩静置する。(3) 25%グルタルアルデヒド、1%パラホルムアルデヒド中にて 2 時間程度固定の後、脳をトリミングする。(4) 組織を 10%、25%ゼラチン溶液に、37 度でそれぞれ 1 晩ずつインキュベーションを行う。(5) 25%ゼラチン溶液中の組織を冷蔵庫にて固め、適当な大きさに整形し、10%ホルマリン溶液に移し、2 時間程度冷蔵庫にて静置する。(6) 組織を 30%スクロース溶液に入れ、冷蔵庫にて一晩静置する。(7) クライオスタットを用い、厚さ 40 μ m の切片を作成し 0.1M PBS で満たされた遊離切片専用のケースへ移す。(8) AB-HRP Complex を用いて、プレートミキサー上にて 2~6 時間酵素抗体標識を行う。(9) 0.05%DAB 溶液中に、1%cobalt chloride、1% nickel ammonium sulfate を滴下した溶液中に遊離標本を移し 15min、3%過酸化水素水を加えさらに 10min 程度おき現像する。(10) 切片をマウントした後、乾燥させ、ニッスル染色による対比染色を行う。(11) さらに乾燥の後、アルコール脱水、透徹を行った後、封入し、顕微鏡下にて観察撮影を行う。(12) 標識された細胞体の分布間隔を調べ、位置特定の空間解像度と速度調節の空間解像度に対応する分布を示す細胞体が存在するという仮説を検証する。(13) 非常に良好で多くの細胞体が標識された切片に関しては、空間的自己相関を計算し、その分布様式を定量化する。

○motor primitive 測定実験

脊髄の前モーターニューロン回路への微小電気刺激は、筋肉の集団で正確な安定した収縮を生じ、これらの共同的な収縮はある作業空間の安定点へ向けて手足を向ける力を生ずる。この原理を応用し餌取り行動中の活性化された筋肉の機械的な応答を測定するため、Bizziらの実験 (Giszter *et al.*, 1993) に基づき 6 つの軸のフォース変換器をカエルに装着する。この変換器の出力は 3 つのフォースと 3 つのトルクのセットである。透明なカップの中に餌であるココロギ等を入れた餌刺激をカエルを中心に 5~10° 毎に、カエルと餌との距離も変えて提示し、刺激に対する応答で得られた各足関節の位置 (真の力のベクトル) を 2 つのコンポーネント (「静的な」力と「動的な」力のベクトル) の総和として表す。静的な力のベクトルは刺激の開始前に測定されたフォースに相当し、動的な力のベクトルは刺激により誘発された付加的なフォースに相当する。

脚の筋肉によって発生されたフォースの空間的な変数を記録するために、以下の 3 パートの手順にしたがって実験を行う。

(1) 脚の作業空間の中の位置にカエルの脚を置く。(2) 刺激を提示し、足関節で誘発された等張性筋収縮力の方向と振幅を記録する。(3) 餌の位置を変え、以上の手順を繰り返す。この時のフォースベクトルを記録し、段階的な速度変化と motor primitive の関係を調べ、motor output のメカニズムを解明する。

○ロボティクスへの応用

まず、単純に行動実験による段階的な速度調節により餌物体を追従するシステムをモデル化し、行動発現チップを設計・製作するか、FPGA に導入するためにモデルをデジタル回路化する。その後、視覚システムとして、餌位置情報と、餌の速度情報を簡単な処理によって得ることができる昆虫を模擬した Vision チップを取り入れる。1 自由度の回転のみのアクチュエータに FPGA もしくは行動発現チップを搭載し、カエルの定位行動との比較実験を行う。

その後、視覚システムとして並列人工視覚デバイス内蔵カメラ等を導入し、カエルにおける網膜からの入力から行動発現までの出力をモデル化し、行動発現チップを設計・製作または FPGA に導入し、移動ロボットへ搭載し、カエルとの行動比較実験を行う。

申請者氏名 本城 繁幸

(3) 研究の特色・独創的な点

次の項目について記載すること。

- ①これまでの先行研究等があれば、それらと比較して、本研究の特色、着眼点、独創的な点
- ②国内外の関連する研究の中での当該研究の位置づけ、意義
- ③本研究が完成したとき予想されるインパクト及び将来の見通し

○行動実験

カエルの定位角度と、定位行動を誘発するカエルとコオロギとの角度の出現頻度はそれぞれがある周期性をもち、さらには、そこには誤差を含んでいることが分かった。しかしながら、これまでの研究では、定位は非常に正確であり、我々の研究に見られたようなカエルの定位行動の周期性や定位角度と餌刺激の位置の不一致は報告されていない (*Kostyk and Grobstein, 1987a; King and Comer, 1996*)。この違いは実験方法の違いに由来すると考えられる。我々の行った実験では、円形のアリーナの中央にカエルを配置し、その周りに餌刺激を配置し、そこでは餌刺激は自由に動き回ることができる。一方、King らが行った実験では、円形のアリーナの中央にカエルを配置し、その周りに 12 個の透明なプラスチックカップが 30° 間隔で配置され、そのカップの中にそれぞれ試行毎にランダムにゴミムシダマシの幼虫が入れられ行われた。つまり、餌刺激はその場をほとんど動くことができないということがわかる。そのために、正確な定位が行われているのではないかと考えられる。さらに、カップの配置数自体も 12 個と少なく、解析の空間解像度が 30° と低いこともその正確さの一員となっていると考えられる。

○組織実験

これまでの研究では視蓋は、表層に視覚地図を、深層に聴覚等の異種感覚地図と運動地図が表象され、それらが統合され、位置特定の機能を果たしていると考えられてきた (*Knudsen EI, 1995*)。延髄又は脊髄へ投射する視蓋出力細胞の分布様式が *in vivo* 標本で逆行性標識によって調べられ、それらがある一定間隔でクラスターを形成していることが報告されている (*Murray and Coulter, 1982*)。しかし、この情報処理単位の機能的意味に関しては分かっていない。我々の研究で、定位行動にとって重要な餌位置特定と速度調節が異なる空間解像度で制御されていると言う可能性を示した。つまり、異なる解像度を持つ地図が視蓋に重複して存在しているという新しい仮説を検証するという独創的なものである。このことが証明されれば、視蓋の新たな構成原理を提案することとなる。

○motor primitive 測定実験

カエルにおけるこれまでの研究では、払拭反射等の反射に関する研究で、脊髄を化学的または電気的な刺激を与えることで誘発させ測定を行ってきた (*Bizzi E et al., 1995*)。しかし、自発的な行動の一種である餌取り行動について行われたことはなく、さらに、視覚刺激による誘発を試みることはこれまで行われていなかった。この研究が成功すれば、定位行動の motor output に関する新たな研究手法として貢献することが期待できる。

○ロボティクスへの応用

行動実験、組織実験を行ってきたが、メカニズムを推定できても、あるいは両実験の関係性を示唆することはできても、それを確かめることは困難である。

そこで、行動実験により明らかとなった行動の規則性、機能を基に、モデルを作製し、デバイス化 (行動発現チップ) し、さらにはロボティクスへと応用し、それによって発現する行動が実際の動物と同じなのか、異なるのかを見ることで、その推定された行動規則が正しいかどうかを確認し、その結果を再び行動実験に生かしていく。さらにそこには、行動実験の結果からだけでは解決できない問題が必ず起こってくるはずである。そこで、この問題を組織実験による神経形態学的知見であったり、生理実験の結果であったり、あるいはニューロンモデルによるシミュレーションの結果であったり様々な分野の研究結果を取り入れることで解決していき、それぞれの研究分野の手法を行動発現機構の解明という形に集約することができるのではないかと考える。

このようなロボティクスのための研究ではなく、ロボティクスを取り入れた動物実験のための新たな研究手法を提案できるのではないかと考える。

(4) 年次計画

(1 年目)

神経情報処理のメカニズムを解明することを目的とする。実験動物はウシガエルを用い、餌刺激としてはフタホシコオロギを用いることとする。

○前期

行動実験においては、定量的な統計解析を行うため、データ数を増やす事を目的に、カエルを中心に配置し、その周りを餌刺激であるコオロギが移動する実験系を作製し、動体検出ソフトウェアを用い、カエルの定位行動を自動的に検出し、一晩中 HDD に記録を行い、得られた動画ファイルを、運動解析ソフトウェアを用いて、種々のパラメータについて解析を行う。その結果を基に、定量的な統計解析を行う。試行数としては 60 個体より 1000 試行のデータを収集するものとする。

逆行性標識実験においては、電気泳動的に神経トレーサを注入する。実験方法としては、カエルの脳を摘出し、神経トレーサである neurobiotin または biocytin をガラス微小電極に充填し電気泳動的に腹側被蓋内側部へ注入する。その後一晩のエアレーションの後、固定し切片を作成する。その切片を酵素抗体標識の後、DAB を用いて現像し、マウント、対比染色、アルコール脱水の後、封入を行い顕微鏡下にて観察・撮影を行う。標識された細胞体の分布間隔を調べ、位置特定の空間解像度と速度調節の空間解像度に対する分布を示す細胞体が存在するという仮説を検証する。標本数としては 100 個体について作製するものとする。

○後期

餌取り行動中の活性化された筋肉の機械的な応答を測定するため、Bizzi らの実験に基づき 6 つの軸のフォース変換器をカエルに装着する。透明なカップの中に餌であるコオロギ等を入れた餌刺激をカエルを中心に 5~10° 毎に、カエルと餌との距離も変えて提示し、脚の筋肉によって発生されたフォースの空間的な変数を記録し、段階的な速度変化と motor primitive の関係を調べ、motor output のメカニズムを解明する。試行数としては 20~30 個体から良好な結果を得る。

(2 年目)

前年のそれぞれの実験結果を基に情報処理メカニズムを推定し、モデルを作成・検証を行う。その作成したモデルを基に行動発現チップもしくは FPGA へ導入し、最終的にロボットへ搭載し、カエルとの行動比較実験を行う。

(3 年目) (DC 2 は記入しないこと)

申請者氏名 本城 繁幸

4. 研究業績（下記の項目について申請者が中心的な役割を果たしたものである場合は項目に区分して記載すること。申請者にアンダーラインを付すこと）

(1) 学術雑誌等（紀要・論文集等も含む）に発表した論文及び著書（査読の有無を区分して記載すること。査読のある場合、印刷済及び採録決定済のものに限り、査読中・投稿中のものは除く）

①著者（申請者を含む全員の氏名を、論文と同一の順番とする）、題名、掲載誌名、巻号、pp 開始頁－最終頁、年をこの順で記入すること。
なお、著者の身分については脚注に記載すること。

②採録決定済のものについては、それを証明できるものをP.8の後に添付すること。

(2) 学術雑誌等又は商業誌における解説、総説

(3) 国際会議における発表（口頭・ポスターの別、査読の有無を区分して記載すること）

著者（申請者を含む全員の氏名を、論文等と同一の順番で記載すること）、題名、発表した学会名、論文等の番号、場所、月・年を記載すること。発表者に○印を付すこと。

(4) 国内学会・シンポジウム等における発表

(3)と同様に記載すること。

(5) 特許等（申請中、公開中、取得を明記すること。ただし、申請中のもので詳細を記述できない場合は概要のみの記述でよい。）

中心的な役割を果たしたもの

(3) 国際会議における発表

ポスター（査読有）；

OShigeyuki Honjo and Hideki Nakagawa, "Functional organization of the prey orienting behavior in *Rana catesbeiana*," Abstracts, 7th International Congress of Neuroethology, PO224, Nyborg, Denmark, August, 2004.

OShigeyuki Honjo and Hideki Nakagawa, "Control of the prey orienting behaviour depending on moving distance of the prey before initiation of turn in *Rana catesbeiana*," Brain IT, P1-17, Kitakyushu, Japan, October, 2005.

OShigeyuki Honjo, Hideki Nakagawa and Takeshi Hasegawa, "Discrete control of velocity of the prey orienting behavior in *Rana catesbeiana*," The Society for Neuroscience, Abstract, 79.5, Washington DC, USA, November, 2005.

(4) 国内学会・シンポジウム等における発表

ポスター；

OShigeyuki Honjo and Hideki Nakagawa, "Functional organization of the prey orienting behavior in *Rana catesbeiana*," Zoological Science, 20(12), 1585, Hakodate, Japan, September, 2003.

口頭；

OShigeyuki Honjo and Hideki Nakagawa, "Discontinuous velocity control of the prey orienting behavior and possible neuronal correlates in *Rana catesbeiana*," Japanese Society for Comparative Physiology and Biochemistry, WS7, Chofu, Japan, August, 2005.

その他

(3) 国際会議における発表

ポスター（査読有）；

Hideki Nakagawa, Shigeyuki Honjo and Mayu Sameshima, "Possible functional units of the frog optic tectum revealed by spatial autocorrelogram for cell bodies in layer 8," Abstracts, 7th International Congress of Neuroethology, PO192, Nyborg, Denmark, August, 2004.

(4) 国内学会・シンポジウム等における発表

ポスター；

Mayu Sameshima, Shigeyuki Honjo and Hideki Nakagawa, "The possible functional unit of the retinotectal map revealed by distribution of tectal output neurons controlling prey orienting behavior," Zoological Science, 20(12), 1584-1585, Hakodate, Japan, September, 2003.

5. 自己評価

日本学術振興会特別研究員制度は、我が国の学術研究の将来を担う創造性に富んだ研究者の養成・確保に資することを目的としています。この目的に鑑み、申請者本人による自己評価を次の項目毎に記入すること。

①研究職を志望する動機、目指す研究者像、自己の長所等

②自己評価する上で、特に重要と思われる事項（特に優れた学業成績、受賞歴、飛び級入学、留学経験、特色ある学外活動など）

①研究職を志望する動機、目指す研究者像、自己の長所等

研究職を志望する動機

私が「研究」に興味を持ち始めたのは、中学生の時でした。当時の担任であった先生が、個人で購入され教室に置かれた「Newton」を手取るようになってからだったと記憶しています。その当時の私にとってはものすごい衝撃だったことを今でも覚えています。その当時は、脳に関する研究にも興味があったのですが、特に宇宙に関心があり、将来は天文学者ではなく、宇宙の真理に興味があり宇宙物理学者になりたいと思っていました。しかし、年齢を重ねるに連れ、物理学という学問の難しさ、そして高校の進路を高専の化学工学科へと進むことにしたときから変わり始めました。その大きな転換期となったのは、NHKの特集で脳に関する番組、さらに、瀬名秀明著の「Brain Valley」という本に出あった時です。脳の神秘にふれ、自分という存在がいかなるメカニズムをもって動いているのか、考えているのかということについて、すさまじい程の知的探求心がわき上がってきました。そこからはひたすら生物系の学部へ進学し、生物に関する知識を学んでいきました。さらにその漠然とした脳に対する思いは、学部時代の研究室に配属された時に動物の行動に関する研究でその方向性が決まったのだと思います。人以外の物言わぬ動物はその行動を見ることによってしか何をしようとしているのかを理解することができません。その行動にどういう意図が含まれ、どのような情報処理のメカニズムをもって脳は指示しているのかを知りたいと考えようになりました。学部時代は行動実験のみを行い、非常に興味深い行動規則を発見し、これをさらに詳しく知りたいと考えました。そのためには、行動実験だけでは無理であり、そこで組織実験を行うようになりました。そこで、試行錯誤ながら餌取り行動に関係のありそうな細胞体の分布を発見することができました。そういうことが分かってくると、今度はどのような出力経路で motor neuron を、そして筋肉を駆動しているのか、と言うことを知りたくなくなりました。さらに、それらが明らかになっていくとして、それぞれの関係性を指摘することはできても、それを立証することは難しく悩んでいました。そこへ、COE スチューデント制度が開始されるという情報が舞い込んできたのです。本大学の COE スチューデント制度はマルチタレント教育というもので、修士課程の間に、1つのホームグラウンド研究室を決め、ある期間毎に他分野の研究室、例えば、数理モデルに関する研究、デバイスに関する研究やロボティクスに関する研究等様々な研究室を回りそのスキルを身につけホームグラウンドでの研究に生かすという自分にとって渡りに船な制度でした。その当時は始まったばかりで、たった数ヶ月で本当にスキルを修得することなどできるのか等の理由で、受験を見送る人が多かったように思いました。しかし、私は、目の前に自分の将来を変える、もしくはさらなる発展が望めるこのチャンスにはじめから受けないなど考えられませんでした。その結果、長く厳しい各研究室での教育機関を終えた時に、あるアイデアに行き着きました。それは、行動実験、組織実験等で考えられる情報処理メカニズムをモデル化し、デバイス化し、ロボティクスへ応用するということです。その結果得られるロボットの行動を実際のカエルと比較することでやはり差異が生まれるであろうと考えています。その差異を検証するための動物実験系を考え、それぞれの研究に生かし、さらにロボティクスへ応用し、また動物実験系へと還元していくという、ロボティクスのための動物実験ではなく、動物実験のためのロボティクスを提案したいと考えています。その結果、動物実験はより新たな発見を、ロボティクスではより動物らしい、というよりも動物そのもののようなメカニズムを持つことができると期待しています。

②自己評価する上で、特に重要と思われる事項

2005年に、国内の学会である JSCPB で、毎回学生会員を中心に、優れた演題について数名がワークショップで口頭発表しているが、今回、その発表を依頼されました。

また、同年に、規模の大きな国際会議 (SfN) にて、マスコミ向けの要旨を依頼された 16,000 に及ぶ発表演題のわずか 700 の演題に、私の発表が選ばれました。また同国際会議にて自分が興味を持ち調べていた motor primitive に関する研究を行っている著名な研究者に来ていただき、さらに、共同研究を示唆するような内容の申し出を受けることができました。

申請者氏名 本城 繁幸