

令和元年6月16日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H03950

研究課題名(和文) 神経-筋-身体動力学モデルに基づく線虫の運動生成メカニズム解析

研究課題名(英文) Analysis of Motion Generation Mechanism in Caenorhabditis elegans based on Neuro-Muscle-Body Dynamics Model

研究代表者

辻 敏夫 (Toshio, Tsuji)

広島大学・工学研究科・教授

研究者番号：90179995

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、線虫(*Caenorhabditis elegans*)の這行運動の生成メカニズムとその放射線影響の解明を目的として、神経-筋-身体動力学モデルに基づく線虫シミュレータの研究開発を進めた。まず、身体の力学特性を考慮した身体動力学モデル、および、実接続回路構造を保存した神経-筋モデルを構築した。そして、画像解析によって実生物の運動を定量化するとともに、これを教師信号としたモデルパラメータの機械学習的な調整法を提案し、化学走性と筋活動生成に関するシミュレーションを行った。さらに、神経回路の接続構造と推定した神経細胞の応答を視覚的に提示するため、線虫の3次元グラフィックスモデルを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

放射線影響を解析するにあたって、線虫の動きを抑制して中枢神経などを狙って放射線を照射する必要があったため、高い保水性能を備えた線虫保定用PDMSマイクロチップを開発した。本マイクロチップは線虫以外の生物実験にも応用可能であり、2件の特許を申請している。また、実接続構造を保存した神経回路モデルを用い、化学走性に関する介在ニューロンの情報処理に計算論的解釈を与えると同時に、運動リズムの生成には中枢神経の関与は限定的で運動ニューロンが重要な役割を果たすことを示唆した。これらはボトムアップの手法とトップダウンの手法の相互補完によって初めて達せられた成果であり、この点に本研究の学術的意義がある。

研究成果の概要(英文)：Aiming to elucidate the motion generation mechanism and the radiation effects on the motion of *Caenorhabditis elegans* (*C. elegans*), we developed a neuro-muscle-body dynamics model as a *C. elegans* simulator. First, we constructed a body dynamics model based on the mechanical characteristics of the actual animal, and a neuro-muscle model that preserves the actual connectome. We then quantified the motion of *C. elegans* by video-analysis and proposed a machine learning algorithm to adjust the model parameters representing the strengths of synapse and gap connections using the quantified motions as the teacher signals. The simulations on chemotaxis and muscle activity generation are performed using the developed *C. elegans* simulator. In addition, we developed a three-dimensional graphics model of *C. elegans* to visualize the estimated neural responses and the connection structure of the neural circuits.

研究分野：サイバネティクス, 医用電子工学, 計算論的神経科学, 生体感性モデリング

キーワード：バイオメカニクス *C. elegans* 放射線影響 這行運動 数理モデル化

## 1. 研究開始当初の背景

ヒトをはじめとする動物は、複雑で優れた環境適応・運動制御メカニズムを有している。これらの動作メカニズムを理解し、知能機械の構成や制御に採り入れることで機械システムの能力を飛躍的に向上させられる可能性があり、ロボット制御をはじめとするさまざまな課題の解決のために多様な研究が進められている[例えば, Metin *et al.* 2013]。

本研究課題では、神経科学研究や発生・老化研究のモデル生物である線虫(*C. elegans*)に着目する。線虫はわずか 959 個の細胞を駆使して刺激応答や運動制御の他、学習・記憶といった高次神経機能をも実現している。また、情報処理および筋運動制御を担う神経回路と運動主体である筋細胞群については、これらを構成する個々の神経細胞や筋細胞の位置および細胞同士の接続構造が既に完全に明らかにされている。つまり、線虫は多細胞生物の中で唯一、「生体システムの設計図」が得られる生物であり、動物の神経情報処理や運動制御のメカニズムをシンプルな系で理解するための非常に魅力的な対象である。

線虫の場合、神経回路と筋の接続構造は完全に明らかにされているが、これを構成する細胞個々の機能や応答特性については不明な点が多いため、蛍光イメージング技術を用いた神経細胞や筋活動の計測[Ohkura *et al.* 2012]、遺伝子改変[Mello *et al.* 1991]、細胞特異的破壊法[Bargmann and Avery, 1995]などを駆使して解析が進められている。しかしながら、機能が明らかになっているのは感覚神経細胞などごく一部に限られており、運動生成に関しても這行運動(前進・後退)のリズム生成を担う神経振動子の存在が予言されている[Liu and Thomas, 1994]ものの、これを実証した報告は皆無である。生体システムを構成する膨大な数の細胞の機能を定量 PCR 法による遺伝子発現量解析により一つひとつ調べ、その結果を地道に積み上げていくこのようなボトムアップ的な実験的手法だけでは、放射線のように生体システム全体に影響が波及するような現象を理解することは困難である。

一方で、実験的手法を補完するために数理モデルを用いた解析も進められている。近年では化学走性の実現可能な必要最小限の神経回路構成[Izquierdo and Lockery, 2010]が提案されるなど、神経回路の機能解明の手がかりとなる成果が続々と報告されている。このように数理モデルは神経回路の総体としての機能を解析する上で非常に有用であるが、従来の神経回路モデルの多くは数学的解析を容易にするために回路の接続構造の簡略化が行われていた。線虫の神経回路、特に運動ニューロン同士は疎な結合構造であるため、各神経細胞の役割の冗長性は低く、接続構造そのものに神経回路の動作メカニズムに関する情報が存在していると考えられる。

そこで、本研究では、実接続構造を保存した神経回路モデルを構築し、機械学習と制御工学の知見を導入することにより、神経回路の機能解析が可能な線虫シミュレータを構築する。そして、この線虫シミュレータを用いて突然変異体や放射線照射個体の運動を再現し、モデルのパラメータを解析・比較することにより、線虫の運動生成メカニズムとその放射線影響を明らかにすることを目的とする。

## 2. 研究の目的

本研究では、線虫の這行運動の生成メカニズムとその放射線影響の解明を目的として、神経-筋-身体動力学モデルに基づく線虫シミュレータの研究開発を進める。具体的には、以下の 4 項目を期間内の達成目標とする。

(1) **刺激受容から運動生成までの数理モデル化**: 運動生成メカニズムを解明するため、身体の力学構造・力学特性を考慮した身体動力学モデル、および、実接続回路構造を保存した神経-筋モデルを構築する。

(2) **数理モデルの最適化**: 数理モデルを用いて実生物の運動を再現するためには、適切な神経回路の接続パラメータを設定する必要がある。そこで、線虫の運動撮影と画像解析による運動データを定量化し、線虫の運動データに基づくモデルパラメータの機械学習的な調整法を提案する。

(3) **運動生成メカニズムの解析**: 運動生成メカニズムとその放射線影響を明らかにするためには、モデルのパラメータから運動生成を担当する神経細胞集団を特定し、放射線影響による動作異常を解析する必要がある。そこで、線虫シミュレータを用いた神経細胞集団の機能推定を試みると共に、運動異常がある突然変異体や放射線照射線虫の運動を計測・解析する。

(4) **推定結果の見える化**: 神経回路の接続構造と推定した神経細胞の応答を視覚的に提示できれば、これまでに蓄積されているネットワーク構造と機能の関係に関する知見に基づいて、パラメータ解析だけでは困難な神経回路の動作メカニズムの直観的理解につながる。そこで、本研究では推定結果の見える化技術を開発する。

## 3. 研究の方法

研究の目的で述べた 4 項目の目標を達成するため、以下の方法に基づき研究を進めた。

### (1) 刺激受容から運動生成までの数理モデル化

#### (a) 身体動力学モデルの構築

線虫の身体を剛体リンクモデルで近似し、ニュートン・オイラー方程式を用いて線虫の動力学問題を記述した。また、各物理パラメータは実生物の形状と質量に基づいて設定し、摩擦係数は線虫の運動軌跡が再現できるように最適化した。

#### (b) 実接続構造を保存した神経-筋モデルの構築

・**化学走性ニューラルネットワーク**: 線虫の刺激受容から運動生成までの一連のメカニズムを記述するため、化学走性に関する情報処理が再現可能な神経回路モデルを提案した。本モデルは、NaCl の濃度変化に応答する感覚ニューロン ASEL/R, 12 種類の介在ニューロン(Iino & Yoshida, 2009)、お

よび、6種類の運動ニューロンで構成した、NaClの濃度変化に対する感覚ニューロンASEL/Rの応答は従来文献で報告されたデータに基づいて近似し、介在ニューロンは積分発火モデルを用いて表現した。また、線虫の行動・解剖学データベースWormAtlas (<http://www.wormatlas.org/>)のコネクトームデータに基づいて、各種ニューロンと筋の間をシナプス結合とギャップ結合で接続した。

・**筋活動生成ニューラルネットワーク**：コマンドニューロンの出力に応じて前進運動と後退運動に対応する筋活動が生成可能な神経・筋モデルを提案した。本モデルは、運動方向を決定する5種類のコマンドニューロン、6種類の運動ニューロン、および96個の筋細胞で構成され、化学走性ニューラルネットワークと同様にコネクトームデータに基づいて、各種ニューロンと筋の間をシナプス結合とギャップ結合で接続した。

## (2) 数理モデルの最適化

### (a) 線虫の運動撮影と画像解析による運動データの定量化

・**化学走性**：線虫は誘引行動を行うとき、誘引物質の高濃度側に移動方向を徐々に偏向させる風見鶏機構[Iino & Yoshida, 2009]と移動方向を急激に転回させるピルエット機構[Pierce-Shimomura, 1999]を用いる。本課題では、線虫の身体動力学モデルの各リンク間の角度 $q$ を正弦波で与え、風見鶏機構とピルエット機構が実現可能な正弦波のパラメータを求めた。

・**筋活動と運動の相関解析**：線虫の筋活動と運動の関係を明らかにするため、蛍光タンパク質を体壁筋細胞内に発現させた遺伝子組換え線虫の運動と筋活動を計測し、相関解析を行った。

### (b) 線虫の運動データに基づくモデルパラメータの調整法の提案

化学走性ニューラルネットワークモデルと筋活動生成モデルのパラメータ（シナプス結合強度、ギャップ結合強度、応答時定数）を最適化するため、Backpropagation Through Time (BPTT)法に基づいて新たな学習則を導出した。ただし、神経回路の接続構造に基づいて、興奮性ニューロンのシナプス結合強度は正の値、抑制性ニューロンのシナプス結合強度は負の値に拘束して最適化を行った。

## (3) 運動生成メカニズムの解析

### (a) 線虫シミュレータを用いた運動生成関与細胞集団の推定

・**化学走性に関与する介在ニューロンの機能推定**：従来文献[Iino & Yoshida, 2009]に基づいてNaCl濃度の空間分布と拡散を記述した環境モデルを構築した。身体動力学モデルの頭部先端の位置座標を環境モデルに代入することで感覚ニューロン(ASEL/R)に入力されるNaCl濃度を求め、化学走性ニューラルネットワークにより身体移動方向とその直行方向のNaClの濃度勾配の内部表現を計算し、ピルエット機構と風見鶏機構を生成することで化学走性シミュレーションを行った。

・**運動ニューロン集団の機能推定**：運動ニューロン集団の機能を推定するため、パラメータ最適化済みの筋活動生成ニューラルネットワークモデルを用いて、運動ニューロンの内部状態、シナプス結合強度、および、筋細胞から運動ニューロンへのフィードバックの影響について解析した。

### (b) 運動異常変異体と放射線照射線虫の運動解析に基づく神経細胞集団の機能推定

線虫シミュレータによる機能推定を補う実データを得るために、運動に異常のある線虫突然変異体についても(2)(a)で確立した手法で解析し定量化した。さらに、野生型線虫や蛍光タンパク質を体壁筋細胞内に発現させた遺伝子組換え線虫の全身あるいは身体の一部(中枢神経など)を狙って放射線照射し、直後の運動を解析して定量化した。

## (4) 推定結果の見える化：線虫3次元グラフィックス(3DCG)モデルの開発

線虫身体の3次元形状に基づいて細長い円筒状の3DCGモデルを構築し、その表面を線虫身体の画像で覆った。そして、線虫の全身運動を表現するため、円筒を長軸方向に $N$ 個のモジュールに等分割し、各モジュール間の相対角度と頭部の位置座標を任意に変更可能なプログラムを作成した。さらに、各モジュールを駆動するための筋細胞画像を体壁に沿って配置し、筋活動に基づいて画像の輝度を変化させた。

## 4. 研究成果

### (1) 身体動力学モデル(達成目標(1))

動画解析で抽出した野生型線虫(非照射)の姿勢に基づいて本研究課題で提案した身体動力学モデルの各リンク間の相対角度を与え、移動軌跡を求めるという逆動力学問題を解いた。図1に実生物(青線)と身体動力学モデル(赤線)の頭部先端の移動軌跡を比較した結果を示す。図より、身体動力学モデルを用いて実生物の移動軌跡がほぼ再現できることを確認した。

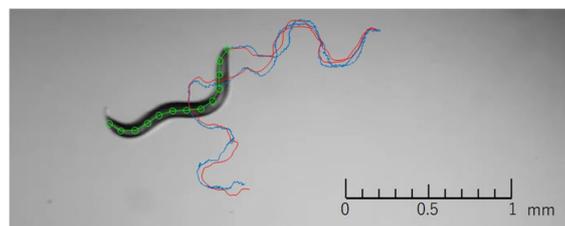


図1 実生物と身体動力学モデルの移動軌跡の比較

### (2) 化学走性シミュレーション(達成目標(1),(2),(3))

化学走性シミュレーションから得られた移動軌跡の一例を図2に示す。赤丸はNaCl濃度ピーク、実線は身体動力学モデル重心の移動軌跡である。図より、身体動力学モデルがNaCl濃度ピ

ークの周辺に移動していることが分かる。また、シミュレートした移動軌跡から求めた化学走性を評価する指標である Chemotaxis Index は、実生物実験の値 [Iino & Yoshida, 2009] とおおよそ一致した。さらに、身体動力学モデルの移動方向とこれに直行する方向の濃度勾配について、真値と化学走性ニューラルネットモデルの出力を比較した結果  $r=0.93$  ( $p<0.01$ ) という相関を得た (図 2)。以上より、化学走性ニューラルネットモデルが感覚ニューロンの応答を濃度勾配に変換し、誘因行動を再現する能力を有していることが分かった。

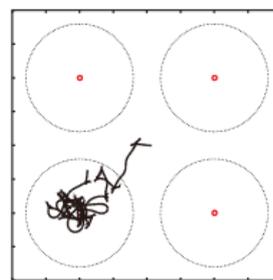


図 2 化学走性シミュレーション

パラメータ調整済みの化学走性ニューラルネットモデルについて、感覚ニューロン (ASER/L) の機能を仮想的に停止させ、その出力を濃度勾配の真値と比較した。その結果、ASER ニューロンの機能を停止したときにのみ、モデルの出力と濃度勾配の真値の相関が有意に低下した。これは、濃度勾配の生成に ASER が重要な役割を担っていることを示しており、従来文献 [Iino & Yoshida, 2009] で報告された実生物実験の結果と符合した。

さらに、感覚ニューロンに入力される頭部先端の濃度変化から身体移動方向とその直行方向の濃度勾配を求めるための微分方程式を提案し、化学走性に関する介在ニューロンの情報処理機能に計算論的な解釈を与えた。

### (3) 筋活動生成シミュレーション (達成目標(1), (2), (3))

筋活動生成シミュレーションの結果例を図 3 に示す。図 3 左はコマンドニューロンの出力を表しており、縦軸は時間である。コマンドニューロンの出力において、前進と後退が切り替わる時間は点線で示されている。また、図右において横軸は頭部から順に割り振った筋の番号、縦軸は時間、色は [0,1] 区間で正規化された筋活動レベルを表す。図より、コマンドニューロンの出力が切り替わる時間において、筋活動レベルの伝搬方向が反転していることが分かる。以上より、頭部から順に身体を屈曲させる前進運動と、尾部から順に屈曲する後退運動を行うための筋活動が生成できることを確認した。また、運動ニューロン VA と VB の平均活動レベルを比較した結果、前進時と後退時ではその大小関係が逆転していた。これは、実生物実験の結果 [Kawano

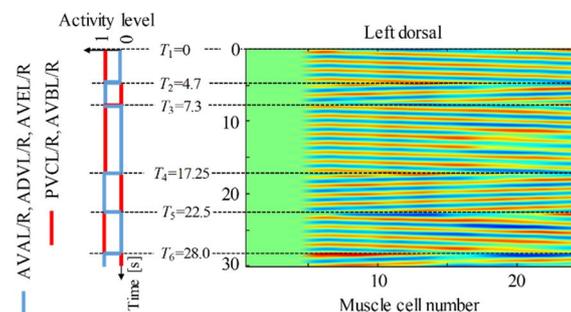


図 3 筋活動生成シミュレーション結果

*et al.* 2011] と符合する。さらに、筋細胞から運動ニューロンへのフィードバックが存在しない場合は、所望の筋活動が生成できなかった。このフィードバックの存在は解剖学的には立証されていないが、筋の周期的な活動の生成に必要である可能性が示された。

### (4) 筋活動と運動の関係解析 (達成目標(2), (3))

蛍光タンパク質を筋細胞内で発現させた遺伝子組換え線虫を用いて這行運動時の筋活動を間接的に計測し、線虫の運動と比較した。また、局所的な屈曲と筋活動との関係を解析するため次に基づく重回帰分析を行った。

$$M_i = a_1 \theta_i + a_2 \dot{\theta}_i + a_3 \ddot{\theta}_i + b_i \dots \dots (1)$$

ここで、 $\theta_i$  は線虫身体を体軸方向に  $N$  個のモジュールに分割したときの隣接するモジュール  $i$  と  $i+1$  間の屈曲角度、 $M_i$  は画像処理から得られた筋の正規化蛍光強度、 $a_1, a_2, a_3, b_i$  は回帰係数である。得られた偏相関係数と偏回帰係数より、筋活動は主に屈曲角度と相関していることが分かった。ここで、(1) 式は運動方程式に対応しており、 $a_1 \theta$  は剛性項、 $a_2 \dot{\theta}$  は粘性項、 $a_3 \ddot{\theta}$  は慣性項と解釈できる。線虫が運動している環境の粘性と線虫の質量からレイノルズ数は  $Re = 0.01$  と推定されている [Shen *et al.* 2012] ため、線虫は粘性場で運動していると考えられている。しかしながら、重回帰分析の結果は剛性が支配的であることを示唆している。身体の剛性を高く維持して環境の粘性の影響を小さくすることは、環境の粘性が変化しても身体の剛性だけに依存した一定の運動制御則を適応できるという利点があると考えられる。

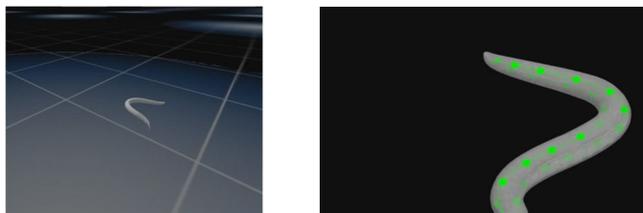
### (5) 運動変異体および放射線照射線虫の運動解析による細胞機能推定 (達成目標(3))

線虫シミュレータによる機能推定を補う実データを得るために、運動に異常のある線虫突然変異体 (主にニューロン同士の接続に異常がある 4 種) についても (2) (a) で確立した手法で運動を解析し定量化した。さらに、野生型線虫や蛍光タンパク質を体壁筋細胞内に発現させた遺伝子組換え線虫の全身あるいは身体の一部 (中枢神経など) を狙って放射線照射し、直後の運動を解析して定量化した。なお、この実験では、線虫の動きを抑制して生きたまま中枢神経などを狙って照射したり一定時間イメージング観察する必要があったため、高い保水性能を備えた線虫保定用 PDMS マイクロチップを開発した。各種運動変異体や放射線照射線虫の運動データから、正常な運動リズムの生成には、感覚ニューロンや介在ニューロンを主とする中枢神経の関与は限定的で、運動ニューロンのネットワークが重要

な役割を果たすことなどが示唆された。

#### (6) 線虫 3次元グラフィックス (3DCG) モデル (達成目標(4))

図4に線虫3次元グラフィックス (3DCG)モデルを用いて、化学走性シミュレーション (図4(a))と筋活動生成シミュレーション (図4(b))によって生成した線虫の運動を可視化した画像を示す。図4(a)において平面の色はNaClの濃度を表している。また、図4(b)ではシミュレートした筋活動が緑蛍光色の輝度で示されている。3DCGモデルにより、線虫身体を透過して神経細胞の活動を観測したり、神経接続の強さが運動に与える影響を直感的に把握することが可能となり、運動の観測だけでは知り得ない新たな発見につながる可能性がある。



(a) 化学走性シミュレーション (b) 筋活動生成シミュレーション

図4 線虫 3次元グラフィックス

以上より、本研究課題では当初の予定通り、(1) 刺激受容から運動生成までの数理モデル化、(2) 数理モデルの最適化、(3) 運動生成メカニズムの解析、(4) 推定結果の見える化：線虫3次元グラフィックス(3DCG)モデルの構築という4つの目標を達成した。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計4件)

M. Suzuki, T. Sakashita, and T. Funayama, "Immobilization of Live *Caenorhabditis elegans* Individuals Using an Ultra-thin Polydimethylsiloxane Microfluidic Chip with Water Retention," *Journal of Visualized Experiments*, 査読有, Issue 145, Article number: e59008, 2019, pp. 1-10, doi: 10.3791/59008

Z. Soh, K. Sakamoto, M. Suzuki, Y. Iino, and T. Tsuji, "A computational model of internal representations of chemical gradients in environments for chemotaxis of *Caenorhabditis elegans*," 査読有, *Scientific Reports*, Vol. 8, 2018, Article number: 17190, doi:10.1038/s41598-018-35157-1.

M. Suzuki, T. Sakashita, Y. Hattori, Y. Yokota, Y. Kobayashi, and T. Funayama, "Development of ultra-thin chips for immobilization of *Caenorhabditis elegans* in microfluidic channels during irradiation and selection of buffer solution to prevent dehydration," *Journal of Neuroscience Methods*, 査読有, Vol. 306, 2018, pp. 32-37, doi: 10.1016/j.jneumeth.2018.05.025

M. Suzuki, Y. Hattori, T. Sakashita, Y. Yokota, Y. Kobayashi, and T. Funayama, "Region-specific irradiation system with heavy-ion microbeam for active individuals of *Caenorhabditis elegans*," *Journal of Radiation Research*, 査読有, Vol. 58, No. 6, 2017, pp. 881-886, doi:10.1093/jrr/rrx043

[学会発表](計18件(下記13件,他5件))

鈴木 芳代, 坂下 哲哉, 舟山 知夫, 線虫の運動機能に対する放射線の影響 ~線質と照射領域による比較, 日本放射線影響学会第61回大会ワークショップ, 2018年(招待講演)

M. Suzuki, Y. Hattori, T. Sakashita, Y. Yokota, Y. Kobayashi, and T. Funayama, "Analyses of radiation effects on muscular movements in *Caenorhabditis elegans* using microbeam irradiation and simulation-based approach," 第55回日本生物物理学会年会, 2017(招待講演)

M. Suzuki, Y. Yokota, and T. Funayama, "Region specific irradiation of *Caenorhabditis elegans* with heavy ion microbeam," *The 21st International C. elegans Meeting*, 2017.

Z. Soh, M. Suzuki, and T. Tsuji, "An Estimation Method for Environmental Friction Based on Body Dynamic Model of *Caenorhabditis elegans*," *2017 International Conference on Artificial Life and Robotics (ICAROB2017)*, 2017.

M. Suzuki, S. Yanase, N. Murakami, and T. Funayama, "Quantitative analysis of effects on muscular movements by oxygen exposure and ionizing radiation in *Caenorhabditis elegans*," *The 7th International Society of Radiation Neurobiology Conference*, 2017.

M. Suzuki, Y. Yokota, and T. Funayama, "Development of a method for the region-specific microbeam irradiation of *C. elegans* and analysis of the effects regarding locomotion," *Nagoya BNC Joint Meeting, CeNeuro2016*, 2016.

鈴木 芳代, 小林 泰彦, 放射線に強い動物にあえて注目する理由 ~線虫の運動機能に対する放射線の影響とその回復~, 第53回アイソトープ・放射線研究発表会, 2016年(招待講演)

鈴木 芳代, 服部 佑哉, 坂下 哲哉, 舟山 知夫, 横田 裕一郎, 小林 泰彦, 宇宙放射線による線虫の運動機能への影響に迫る, 日本放射線影響学会第59回大会ワークショップ, 2016年(招待講演)

曾 智, 坂本 一馬, 鈴木 芳代, 辻 敏夫, 放射線応答解析に向けた線虫の数理モデル構築の試み, 日本放射線影響学会第59回大会ワークショップ, 2016年(招待講演)

K. Sakamoto, Z. Soh, M. Suzuki, Y. Kurita, and T. Tsuji, "A neural network model of *Caenorhabditis elegans* and simulation of Chemotaxis-related Information Processing," *SAI Intelligent Systems Conference 2015*, 2015.

Z. Soh, M. Suzuki, Y. Kurita, and T. Tsuji, "Computer Simulation of Chemotaxis in *Caenorhabditis elegans* in Consideration of Whole-body Movements," *SAI Intelligent Systems Conference 2015*, 2015.

M. Suzuki, Y. Hattori, T. Sakashita, T. Funayama, Y. Yokota, and Y. Kobayashi, "Effects of Region-Specific Microbeam Irradiation on Locomotion and Pharyngeal Pumping Motion in *Caenorhabditis elegans*," *15th International Congress of Radiation Research (ICRR 2015)*, 2015 (Young Investigators Travel Award および ICRR2015 Excellent Poster Award 受賞)

鈴木 芳代, 服部 佑哉, 小林 泰彦, 線虫の運動機能に対する放射線の影響, 第16回極限環境生物学会年会, 2015年(優秀ポスター賞受賞)

#### [産業財産権]

##### ○出願状況(計2件)

名称: 生物試料用マイクロチップ、カバー、生物試料封入キットおよび方法

発明者: 平塚 哉, 鈴木 芳代, 坂下 哲哉, 舟山 知夫

権利者: Biocosm 株式会社, 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構

種類: 特許

番号: 特願 2019-045480

出願年: 2019

国内外の別: 国内

名称: 生物試料用マイクロチップ

発明者: 平塚 哉, 鈴木 芳代, 坂下 哲哉, 舟山 知夫

権利者: Biocosm 株式会社, 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構

種類: 特許

番号: 特願 2018-099452

出願年: 2018

国内外の別: 国内

#### [その他]

M. Suzuki, N. Murakami, S. Yanase, Y. Yokota, and T. Funayama, "Evaluation of radiation effects focusing on body posture in *Caenorhabditis elegans*," *QST Takasaki Annual Report*, 2016, p.109, URL: <https://www.qst.go.jp/uploaded/attachment/10195.pdf>

## 6. 研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名: 鈴木 芳代

ローマ字氏名: Suzuki Michiyo

所属研究機関名: 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構

部局名: 高崎量子応用研究所 放射線生物応用研究部

職名: 主幹研究員(定常)

研究者番号(8桁): 10507437

研究分担者氏名: 曾 智

ローマ字氏名: Soh Zu

所属研究機関名: 広島大学

部局名: 工学研究科,

職名: 助教

研究者番号(8桁): 80724351

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。