

令和 2 年 6 月 11 日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K04909

研究課題名(和文) マイクロチャンバーを用いて解明する微小管の動的不安定性

研究課題名(英文) Dynamic instability of microtubules investigated by microchambers

研究代表者

政池 知子 (Masaike, Tomoko)

東京理科大学・理工学部応用生物科学科・准教授

研究者番号：60406882

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は細胞骨格の一種である微小管を研究対象として、その伸長と短縮のメカニズムを明らかにすることを目的とした。10のマイナス14乗リットル桁の極小容積をもつ円筒形容器が多数並んだ樹脂製デバイスの中に微小管の単量体を閉じ込め、光学顕微鏡を用いて重合・脱重合反応の観察を行った。その結果、伸長が進み両端が壁に接触すると、壁に沿うように湾曲して重合を続けることがわかった。このとき重合速度は微小管の湾曲度合いに従って徐々に低下した。この結果から、微小管は外力による歪みに応じて重合速度を低下させ、所々穴が空いた不完全な重合形態をとることによりやわらかい性質を獲得するようになると考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

細胞内には、球状のタンパク質が連なってできたポリマーである微小管が存在する。微小管は伸長と短縮を繰り返す動的不安定性と呼ばれる性質を有するが、その調節メカニズムは未だ不明である。そこで本研究では細胞を模倣した極小体積の溶液中における微小管のふるまいを調べた。一般に人工合成ポリマーは安定性が高く短縮が起こりにくい。微小管の短縮開始のメカニズムが解明されれば、安定性と不安定性を併せ持つ新規ポリマー材料の開発に道が拓ける可能性がある。また細胞内微小管の重合制御に関連する疾病の解明につながり、将来医療や創薬に貢献できる可能性がある。

研究成果の概要(英文)：The aim of the present study is to elucidate the mechanism of dynamic instability of microtubules through investigation of their behaviors inside femtoliter chambers. Tubulins were encapsulated in the arrays of cylindrical microchambers patterned on PDMS devices, and polymerization and depolymerization reactions were observed under the optical microscope. The rate of polymerization in this confined space was apparently higher than that in the space that is 1000 times larger in volume. After reaching to the barrier of PDMS walls, flexible microtubules grew in curved shape along the wall supposedly incorporating lattice defects in the structure. In this phase, the rate of polymerization decreased depending on the curvature of the microtubule. These results seem to be consistent with conformational plasticity model of microtubules.

研究分野：生物物理学

キーワード：微小管 動的不安定性 マイクロチャンバー 重合・脱重合 伸長・短縮 チューブリン 構造可塑性

1. 研究開始当初の背景

微小管は神経細胞の軸索輸送の足場や細胞分裂における紡錘体の骨格として重要な役割を果たすことが知られている。 α 、 β サブユニットからなるチューブリンのヘテロ二量体は GTP 結合状態のとき主に微小管のプラス端に依存的に重合することから線維状の構造が伸長するが、微小管上での GTP 加水分解により脱重合が開始され、短縮に転じる。このようにして繰り返される重合・脱重合は微小管の特徴的な性質であり、動的不安定性と呼ばれる。これらの挙動は *in vitro* で再現され、光学顕微鏡による観察が行われてきた (Mitchison 1984, Horio 1986)。

Mitchison らは、微小管の伸長中は GTP 結合型チューブリンがプラス端に存在して脱重合を防ぐキャップの役割を果たすが、溶液中の GTP 結合型チューブリンが枯渇して重合が起こらず微小管上の先端まで GTP 加水分解が追い付くと GDP 結合型チューブリンが先端に露出して GTP キャップが消失し、脱重合が開始されるというモデルを唱えた。しかし、微小管上で GTP、GDP、リン酸がどのような分布をとるのかははっきりしておらず、重合・脱重合の分子機構とヌクレオチド結合状態の関係も未解明である。

さらに近年は革新的なモデルとして構造可塑性モデルが提唱されている。このモデルによると、ヌクレオチド結合分布の変化に依存しない微小管の構造変化が脱重合開始のきっかけになるとされている。GDP 結合型チューブリンヘテロダイマーは重合前には曲がった構造が安定であり、直線状に重合する微小管ではある程度の長さになると重合による安定化を上回る不安定化が起こり、それによって脱重合が誘導されるという説もある。構造可塑性モデルの検証には、微小管の直線性や歪みなどの構造状態と重合・脱重合速度の関係を調べることが必要であると考えられる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、微小管の伸長と短縮の間の遷移は必ずしも GTP の加水分解過程に共役せず構造に依存する、という構造可塑性モデルの正否に決着をつけることである。

そのため、まず微小管の構造状態に制約を加えることができると予想される狭小な空間を有するフェムトリットル体積のマイクロチャンバーアレイデバイスを用意し、その中で微小管を重合させて強制された構造状態を光学顕微鏡下で観察し、重合・脱重合速度の測定を行うことにした。

この実験系は、チャンバーの体積が数十フェムトリットルと極小であるため、細胞内にみられるタンパク質が混みあった環境や局所的な濃度の急激な変化も再現できることから、これらの要因が微小管の動的不安定性に与える影響を調べることも可能になると考えた。

さらに、蛍光性 GTP、GDP を重合に使用する実験を行うことにより、ゆくゆくはチャンバー内のガラス基板上で微小管のヌクレオチド分布をマッピングしながら重合観察を行うことや、微小管上のリン酸の有無を可視化する実験を光学顕微鏡下で行う実験系に道を拓く技術の開発を目指した。

3. 研究の方法

MEMS 技術により製作されたマイクロチャンバーアレイ形状の突起を多数有する鋳型に PDMS 樹脂を流し込んで熱して固め、極小体積の円柱(64 fL)または三角柱(67 fL)の空間が多数配列したマイクロチャンバーアレイデバイスを作製した。この樹脂とガラス基板の間に、ブタ脳から抽出し精製後に蛍光標識されたチューブリンと GTP 再生系の酵素類、基質 GTP を含む水溶液を封入して、ガラス基板近傍にある微小管を全反射蛍光顕微鏡により観察した。この新規の実験と並行して、従来から行われている対照実験として 2 枚の薄いガラス基板の間にスパーサーを入れたフローセルにチューブリンを封入してマイクロリットル体積の制約のない空間における微小管重合を観察する実験も行った。

これら微小管の重合、脱重合は顕微鏡に接続した高感度カメラを用いて連続的に撮影し、その映像をもとに画像解析ソフトウェア Image J を用いて重合速度と脱重合速度、それぞれの事象の持続時間や発生頻度の解析を行った。さらに、チャンバー内で微小管が壁面に到達する前の段階と壁に接触してゆがみながら重合する段階に場合分けをしつつ重合速度の解析を行い、湾曲した微小管については曲率の測定も行った。重合途中で末端以外の位置から開裂する微小管や極端に柔軟性のある微小管など、観察頻度は低いものの特徴的な性質を示す微小管についても着目して解析を行った。

蛍光性 GTP を用いた微小管の重合観察については、従来から用いられてきた蛍光性の分子種は用いず、GTP が微小管上で GDP とリン酸に加水分解され、リン酸が解離するときその挙動が蛍光強度から追跡できると考えられる分子種を用いて重合観察を試みた。この実験と並行して、微小管によるこの蛍光性 GTP の GTP 加水分解が起こるのかどうかについて、生化学的な実験を行った。GTP と微小管を混合し、薄層クロマトグラフィーで分離することにより、加水分解の有無を定性的に調査した。

これらの実験により、微小管の動的不安定性に狭小空間や障壁が与える影響を調べ、また蛍光性 GTP によるヌクレオチド分布の可視化への準備を進めた。

4. 研究成果

フローセル中のガラス基板上での重合観察と比較して、マイクロチャンバー内での微小管の重合にはいくつかの相違点があった。マイクロチャンバー内では微小管シードを確実にチャンパー内に封入するため、ピペティングによりシードを短くすることが重要であった。また、とくに細長い直方体のチャンパーに封入するのは同様の理由により困難であることがわかったため、シードがどの方向を向いていても以後の重合に影響が少ない円筒形のチャンパーを用いて封入実験を行うことで重合の観察率が上がった。また、微小管が壁に到達した後の壁の角度による効果の違いを調べるため、三角柱チャンパーでの観察も追加して行うことにした。

チャンパー内では微小管はガラス基板に固定されず溶液中に浮遊した状態で重合したが、チャンパーの低い天井でブラウン運動の高さ方向の範囲を抑えることができ、水中の微小管でも全反射の照明範囲で重合観察が可能であることが判明した。また、PDMS 樹脂は水分を透過するため、樹脂の上に緩衝液を含ませたペーパータオルを載せ、乾燥を防いだうえで、37 条件下において重合を行うことが肝要であることがわかった。

これら技術的な問題の克服によりチャンパー内での重合の観察系が確立したところで、マイクロリットル体積のフローセル内との重合速度の比較を行った。反応初期の短い直線状の微小管は、円柱、三角柱にかかわらずチャンパー内ではフローセルよりも有意に重合速度が高いことがわかった。ガラス面からの解放によるチューブリンのアクセスの向上が原因である可能性は否定できないものの、チャンパーの極小空間内では数字上同濃度でもチューブリンの実効的な濃度が増加し、重合速度が増加したという可能性も考えられる。

次に、両端が円柱と三角柱のチャンパーの内壁に到達すると微小管は曲線状に重合を始めることがわかった。障壁に触れず直線状の重合が起こる段階と比較して全般的に重合速度の低下がみられたことから、壁面との接触や微小管構造の湾曲が重合に影響をもたらすと考えられる。さらに、三角柱においては微小管の両端が頂点に到達後、三角形の 2 辺にほぼ完全に沿う形まで微小管が伸長した段階では 13 本の完全なプロトフィラメントをもつ微小管の持続長に照らして不可能なほどの曲率を実現していたため、このときには微小管には格子欠陥が生じて持続長は変化していると推察される。

これらの結果から、極小空間における微小管の重合速度は、チューブリンの実効的な濃度、チューブリンの微小管末端へのアクセシビリティ、さらに微小管の曲率に影響を受けると考えられる。微小管がチャンパー内で瞬間的に折れた現象については、微小管が負荷によって不安定になることを示唆すると考える。負荷が持続的にかかるチャンパー内では、欠陥を導入する重合様式をとることで微小管が柔軟になって安定性が増し、曲率の高い場合において速度低下はあるものの重合を持続することができるようになると考えられる。本研究において構造状態と重合速度、微小管の安定性に関係があることを明確に示したことで、構造可塑性モデルの検証に貢献することができたと考えられる。

次に新規蛍光性 GTP について、無標識の GTP と混合して重合観察に使用することにより、微小管と推察される像が観察された。一方、薄層クロマトグラフィー法を用いた微小管による蛍光性 GTP の加水分解測定については、分解を示す積極的な結果は得られなかった。このことから、本研究で用いた蛍光性 GTP は重合には寄与するが加水分解による脱重合は引き起こさない可能性が考えられる。

今後、これまでの成果をさらに発展させ、チャンパー内での微小管重合をヌクレオチド結合状態と同時に観察し、湾曲部や重合末端のヌクレオチド分布を明らかにしていく必要がある。また、今回示唆された格子欠陥についても電子顕微鏡による構造解析などにより直接的に検証する方法を検討していきたい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Naito, T. M., Masaïke, T., Nakane, D., Sugawa M., Okada K. A., Nishizaka T.	4. 巻 9
2. 論文標題 Single-molecule pull-out manipulation of the shaft of the rotary motor F1-ATPase	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 0.1038/s41598-019-43903-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Nishizaka, T., Masaïke, T., Nakane, D.	4. 巻 11
2. 論文標題 Insights into the mechanism of ATP-driven rotary motors from direct torque measurement	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Biophysical Reviews	6. 最初と最後の頁 653 ~ 657
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s12551-019-00564-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Takanobu A. Katoh, Koji Ikegami, Nariya Uchida, Toshihito Iwase, Daisuke Nakane, Tomoko Masaïke, Mitsutoshi Setou & Takayuki Nishizaka	4. 巻 8
2. 論文標題 Three-dimensional tracking of microbeads attached to the tip of single isolated tracheal cilia beating under external load	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 15562
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-018-33846-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Mitsuhiro Sugawa, Tomoko Masaïke, Nagisa Mikami, Shin Yamaguchi, Keitaro Shibata, Kei Saito, Fumihiko Fujii, Yoko Y. Toyoshima, Takayuki Nishizaka, Junichiro Yajima	4. 巻 504
2. 論文標題 Circular orientation fluorescence emitter imaging (COFEI) of rotational motion of motor proteins.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Biochemical and Biophysical Research Communications	6. 最初と最後の頁 709-714
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bbrc.2018.08.178	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 政池知子	4. 巻 34
2. 論文標題 対物型全反射顕微鏡の原理	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 科学フォーラム	6. 最初と最後の頁 30-35
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Mitsuhiro Sugawa, Kei-ichi Okazaki, Masaru Kobayashi, Takashi Matsui, Gerhard Hummer, Tomoko Masaike, Takayuki Nishizaka	4. 巻 100
2. 論文標題 F1-ATPase conformational cycle from simultaneous single-molecule FRET and rotation measurements	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE UNITED STATES OF AMERICA	6. 最初と最後の頁 14731-14736
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1524720113	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 政池知子	4. 巻 67
2. 論文標題 1分子生理学による生体機動分子FoF1-ATP合成酵素の回転駆動機構の解明	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 化学工業	6. 最初と最後の頁 27-32
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計27件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 中里真唯, 弥富有希子, 鳥知弘, 田中信清, 政池知子
2. 発表標題 物理的な制約のある極小空間における微小管の動的不安定性
3. 学会等名 2019年度 東京理科大学・イメージングフロンティアセンター・シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐野暁子, 熊山あかね, 中井萌乃, 服部絢子, 田中信清, 政池知子
2. 発表標題 無機リン酸に低親和性を示す蛍光標識リン酸結合タンパクの1分子観察
3. 学会等名 2019年度 東京理科大学・イメージングフロンティアセンター・シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomoko Masaike
2. 発表標題 Insights into rotary catalysis of F1-ATPase through detection of conformational changes
3. 学会等名 2nd Tokyo ATPase Workshop (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岩田誠史, 河野桂樹, 椎名真之, 岩瀬寿仁, 田中信清, 池上浩司, 政池知子
2. 発表標題 ADPにより調節されるマウス気管繊毛の運動活性
3. 学会等名 繊毛研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 河野桂樹, 末柄祐明, 椎名真之, 岩瀬寿仁, 田中信清, 池上浩司, 政池知子
2. 発表標題 非対称なマウス気管繊毛運動へのATPの寄与
3. 学会等名 繊毛研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryuichi Yokota, Mitsuhiro Sugawa, Junichiro Yajima, Tomoko Masaike
2. 発表標題 A novel single-molecule polarized FRET method for the detection of sequential conformational changes in β and γ subunits of F1-ATPase
3. 学会等名 the 2018 meeting on SINGLE BIOMOLECULES (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 古賀理恵, 上野博史, 政池知子, 野地博行, 古賀信康
2. 発表標題 F1-ATPaseの構造変化に β と γ のP-loop配列の違いが及ぼす影響 Impact of the sequence difference of P-loop on the conformational changes of F1-ATPase
3. 学会等名 第56回日本生物物理学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 熊山あかね, 稲毛太亮, 樋口真之, 上野博史, 田端和仁, 野地博行, 政池知子
2. 発表標題 リン酸結合蛋白を封入した水滴チャンバーアレイによるリン酸検出系の高度化
3. 学会等名 第56回日本生物物理学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上野博史, 古賀理恵, 古賀信康, 政池知子, 野地博行
2. 発表標題 Rotation of the engineered F1-ATPase with non-catalytic β -type P-loops
3. 学会等名 第56回日本生物物理学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤友保, 上野博史, 林久美子, 古賀理恵, 古賀信康, 野地博行, 政池知子
2. 発表標題 ヒンジ領域を非触媒型に置換した触媒サブユニットをもつF1-ATPaseの回転トルクと反応速度
3. 学会等名 第56回日本生物物理学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 横田龍一, 須河光弘, 矢島潤一郎, 政池知子
2. 発表標題 1 分子偏光FRET法により検出したF1-ATPase - 間の逐次的な構造変化
3. 学会等名 第56回 日本生物物理学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takanobu Katoh, Koji Ikegami, Nariya Uchida, Toshihito Iwase, Daisuke Nakane, Tomoko Masaike, Mitsutoshi Setou, Takayuki Nishiza
2. 発表標題 Three-dimensional tracking of microbeads attached to the tip of single isolated tracheal cilia beating under external load
3. 学会等名 Cilia2018(EMBO) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加藤孝信, 池上浩司, 内田就也, 岩瀬寿仁, 中根大介, 政池知子, 瀬藤光利, 西坂崇之
2. 発表標題 外力下での単離マウス気管繊毛先端の動きの3次元トラッキング
3. 学会等名 生体運動研究合同班会議2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomoko Masaike
2. 発表標題 Imaging movements and reactions of biomolecules
3. 学会等名 5th International Symposium on Bioimaging / Joint Symposium on Bioimaging between Singapore and Japan (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 古賀 理恵、上野 博史、政池 知子、野地 博行、古賀 信康
2. 発表標題 回転分子モーターF1-ATPaseの構造変化メカニズムの解明に向けて
3. 学会等名 第17回日本蛋白質科学会年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 熊山 あかね、稲毛 太亮、樋口 真之、田端 和仁、野地 博行、政池 知子
2. 発表標題 ドロップレットアレイに封入したリン酸結合タンパクによる1分子からの無機リン酸の実時間検出
3. 学会等名 International Symposium on Imaging Frontier 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 政池 知子、稲毛 太亮、熊山 あかね、樋口 真之
2. 発表標題 リン酸結合蛋白を用いた、リン酸放出活性の1分子測定
3. 学会等名 第7回分子モーター討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 上野 博史、古賀 理恵、政池 知子、古賀 信康、野地 博行
2. 発表標題 第55回日本生物物理学会年会
3. 学会等名 Rotation of the engineered F1-ATPase with alpha-type P-loop on catalytic beta subunit
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 横田 龍一、須河 光弘、野村 勇太、矢島 潤一郎、政池 知子
2. 発表標題 F1-ATPaseのシリンダー部分の1分子立体構造変化観察
3. 学会等名 第55回日本生物物理学会年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 椎名 真之、末柄 祐明、岩瀬 寿仁、菅野 悠、加藤 孝信、瀬藤 光利、西坂 崇之、池上 浩司、政池 知子
2. 発表標題 Loss of asymmetric features in ciliary beating of trachea revealed by polyglutamylation-deficient mice
3. 学会等名 Dynein 2017, the Fourth International Workshop on Dynein (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ryuichi Yokota, Ryota Yanagida, Yuta Nomura, Tomoko Masaike
2. 発表標題 Conformational mapping of the catalytic subunit of F1-ATPase
3. 学会等名 European Bioenergetics Conference 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 横田龍一、柳田亮太、野村勇太、三上渚、中山莉奈子、西坂崇之、政池知子
2. 発表標題 F1-ATPaseの中心軸回転を駆動する触媒サブユニットの1分子構造変化観察
3. 学会等名 第54回 日本生物物理学会年会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 樋口真之、田端和仁、野地博行、政池知子
2. 発表標題 リン酸結合蛋白を封入したフェムトリットル体積のドロップレットアレイによる無機リン酸検出
3. 学会等名 第54回 日本生物物理学会年会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 柳田亮太、横田龍一、野村勇太、三上渚、中山莉奈子、西坂崇之、政池知子
2. 発表標題 F1-ATPaseの回転駆動機構解明を目指した回転と構造変化の同時観察
3. 学会等名 イメージングフロンティアセンターシンポジウム
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 政池知子
2. 発表標題 モーター蛋白質1分子とオルガネラ1個のしくみのイメージング
3. 学会等名 イメージングフロンティアセンターシンポジウム
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 樋口真之、田端和仁、野地博行、政池知子
2. 発表標題 ドロップレットチャンパーアレイを用いてリン酸結合蛋白で検出する、1分子F1-ATPaseからのリン酸解離
3. 学会等名 イメージングフロンティアセンターシンポジウム
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 政池知子
2. 発表標題 『1個』を対象とするバイオイメージングがもたらすメカニズムの理解
3. 学会等名 日本医科大学・東京理科大学 第3回合同シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 蛍光検出方法及び蛍光検出装置	発明者 梅村和夫、政池知子、佐藤玄実、横田龍一	権利者 東京理科大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2017-44186	出願年 2017年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

2019年度 東京理科大学・イメージングフロンティアセンター・シンポジウムにて、中里真唯が「物理的な制約のある極小空間における微小管の動的不安定性」というタイトルで発表を行い、優秀ポスター賞を受賞。
2017年度 東京理科大学・卒業論文発表会にて、弥富希子が「極小体積円形マイクロチャンパーアレイにおける微小管の動的不安定性の評価」というタイトルで発表を行い、ポスター賞を受賞。

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	神原 昇一 (Shoichi Sakakihara)		
研究協力者	田中 信清 (Tanaka Nobukiyo)		
連携研究者	岡田 康志 (Okada Yasushi) (50272430)	東京大学・大学院理学系研究科・物理学専攻・教授 (12601)	
連携研究者	島 知弘 (Shima Tomohiro) (60631786)	東京大学・大学院理学系研究科・生物科学専攻光計測生命学講座・助教 (12601)	
連携研究者	野地 博行 (Noji Hiroyuki) (00343111)	東京大学・大学院工学系研究科・教授 (12601)	