

【学術変革領域研究（B）】

生命現象を支配する細胞内ナノスケール熱環境の計測・理解・応用

	研究代表者	東京大学・生産技術研究所・助教 松浦 弘明（まつうら ひろあき） 研究者番号：50847994
	研究課題 情報	課題番号：25B201 研究期間：2025年度～2027年度 キーワード：細胞内ナノ熱科学、輸送現象論、光・量子技術、光計測、生命科学、生殖生物学

なぜこの研究を行おうと思ったのか（研究の背景・目的）

●研究の全体像

本研究領域では、細胞内のナノスケール空間における温度シグナリングの駆動力となる細胞内「局所高温」の熱力学・伝熱学的実体を、最先端の分光計測と熱測定法を融合・開発することで解明し、新たな学問領域である「細胞内ナノ熱科学」の骨格を構築する。さらに、その一つ的应用展開として「局所高温」を非侵襲的に検出する方法を、今日の生殖医療における最大の難関である受精卵の健全性評価手法への実装へとつなげる。今後多様な熱計測技術や熱力学の理論研究に斬新な研究開発対象を提供するだけでなく、幾万もの生理現象の解明を目指す分子生物学における新潮流へ発展し、高度に学際的な新たな研究分野の誕生を目指す。

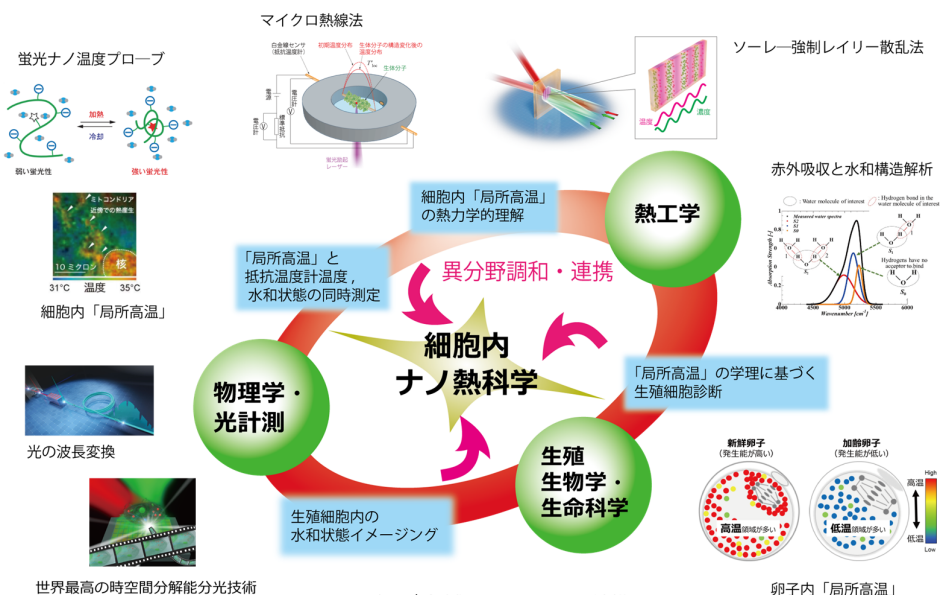


図1 本研究領域の要となる異分野連携

●背景

細胞内で数100nmから数μmの大きさの特定の部位が数℃程度の高温を示すことが多くの研究者により観察されているが、この「局所高温」は熱伝導のみでは説明できない部分もあり、その実体は明らかではない。この「局所高温」が細胞機能を駆動する「温度シグナリング」は、生命活動に重要な影響を及ぼすものと考えられるが、その実体の解明と応用のためには既存の学問に捉われない包括的アプローチが必要となる。本研究領域では、図1に示す異分野連携により細胞内のナノ・マイクロスケール熱環境の伝熱・熱力学的記述と細胞生物学的理解、およびこれらに基づく生殖生物学への応用を推進する。

●「細胞内ナノ熱科学」創生の意義

本研究領域では、生命活動を担う生化学反応の場である細胞内部のナノメートル空間における発熱がもたらす「局所高温」の熱力学・伝熱現象の解明と、生物学的な意義の追求を行う。この「細胞内ナノ熱科学」は、輸送現象の計測と伝熱学的・熱力学的理解、非線形光学による場の測定、細胞生物学による細胞機能との関連性の3つの専門が、三位一体で調和・融合することで初めて創生する新学問分野である。

細胞内「局所高温」の実体解明は、細胞内のナノスケール空間における生体分子の反応を司る原理と、細胞内産熱が生理機能の発現に与える影響という熱力学・伝熱学および生物学における本質的疑問に答えるものである。これまで、生体内のナノ空間における温度・発熱場とそれによって駆動される生命現象については全く手つかずの領域であったが、本研究領域ではこれらの未開拓の疑問に答え、熱工学や生物学における根本的かつ普遍性に富んだ学理の確立を目指す。

この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

●領域全体の目標

最先端計測技術を開発・異分野融合し、細胞内「局所高温」の熱力学的実体を解明することで「細胞内ナノ熱科学」の骨格を構築する。ひとつの応用展開として、「局所高温」の非侵襲検出に基づく全く新たな生殖細胞の健全性評価手法の実装につなげる。

●計画研究の目標

A01計画研究（代表：松浦弘明）

“細胞内「局所高温」の熱力学的実体の計測と理解”

蛍光性温度プローブによって観察される「局所高温」とマイクロ抵抗温度計温度の同時測定から「局所高温」の熱力学的実体を解明するとともに、これに深く関わる生体分子の物質輸送性質や水和状態を独自の測定技術を用いて明らかにし、熱・エネルギー輸送理論に基づいて細胞内の熱環境を記述する。

A02計画研究（代表：井手口拓郎）

“細胞内エネルギー緩和現象を可視化するラベルフリー顕微鏡の開発”

波長1800～2200ナノメートルの水分子振動結合音由来の吸収を計測可能な、世界最高の高時空間分解能「赤外フォトサーマル顕微鏡」を開発し、生細胞内の熱現象および生体分子の水和構造変化を捉える。

A03計画研究（代表：星野由美）

“細胞内熱環境の生物学的意義の解明と卵子および初期胚の細胞診断技術の基盤形成”

生殖細胞内の熱環境が受精・発生にどのように寄与するのかを解明し、細胞内の局所温度に基づく卵子・受精卵の細胞診断技術の基盤を形成する。

●期待される波及効果

温度はすべての分子の状態と活性に影響を与える根本的物理量であるため、その普遍性から本研究領域における細胞内「局所高温」の理解は多様な分野へ斬新な切り口をもたらさう。将来的には、下記に挙げるような多様な分野の研究者との融合による本学術領域の発展が期待される。

- 理論・計算（非平衡熱力学、水素結合・水和構造、分子動力学シミュレーション）
- 計測技術（ナノスケール温度計測法、局所加熱法、光熱変換材料、光計測）
- 細胞診断や細胞医療への応用
 - 神経機能（神経分化、神経再生、記憶形成、神経変性）
 - 再生医療（オルガノイド作製、細胞治療、iPS細胞）
 - がん（がん進展制、転移、がん温熱療法）
 - 免疫（感染症治療、アレルギー治療）

ホームページ

<https://www.icnts.iis.u-tokyo.ac.jp/>