

【学術変革領域研究(B)】

サイトロジカル進化生物学



研究代表者	理化学研究所・生命機能科学研究センター（BDR）・チームディレクター 渋谷 大輝（しぶや ひろき）	研究者番号：30737929
研究課題 情報	課題番号：26B301	研究期間：2026年度～2028年度 キーワード：染色体、性染色体、ゲノム進化、サイトロジー、減数分裂

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

研究の背景：地球の長い歴史の中で、生き物は「生殖細胞（精子や卵）」を通じて遺伝情報を次の世代へと受け渡しながら、生き延びてきた。同時に、その過程で少しずつ変化を積み重ね、「進化」してきた。

進化のもとになるのは、DNAの変化である。DNAは生き物の設計図のようなものであり、この設計図に変化が起これば、新しい性質が生まれる。たとえば、進化の過程において、DNAの一部が書き換わったり、同じ部分がコピーされたり、あるいは大きく削られたりすることがある。

これまでの進化研究では、このようなDNA配列の違いをコンピューターで解析することで、生き物がどのように進化してきたかが調べられてきた。しかし、「実際にどのようなきっかけで進化が起これるか」という瞬間に目を向けると、そこにはこれまで見逃されてきた、細胞の中で起こるさまざまな現象が関わっていることが分かってきている。

たとえば、生殖細胞の中で働く、たった一つのタンパク質（細胞の中で働く小さな“部品”）に変化が起これば、本来は別々であるはずの染色体（DNAの束）がつかまってしまふことがある。また、精子や卵が作られるときに起こる「染色体の分配ミス」によって、性別を決める染色体が失われ、オスとメスの違いがあいまいになる現象も知られている。こうした出来事は、進化の大きな転換点につながる可能性がある。

研究の目的：本研究では、このような「進化を引き起こす細胞内の出来事」を、最新の顕微鏡技術を用いた観察や遺伝子操作を実験によって直接調べることが目的とする。これまで、進化は「過去の結果を推測する学問」として扱われてきた。しかし本研究では、進化を引き起こす一つひとつの現象を実験で確かめることで、「進化がどのように起これるか」をその場で観察し、仕組みとして理解し、実証することを目指す。

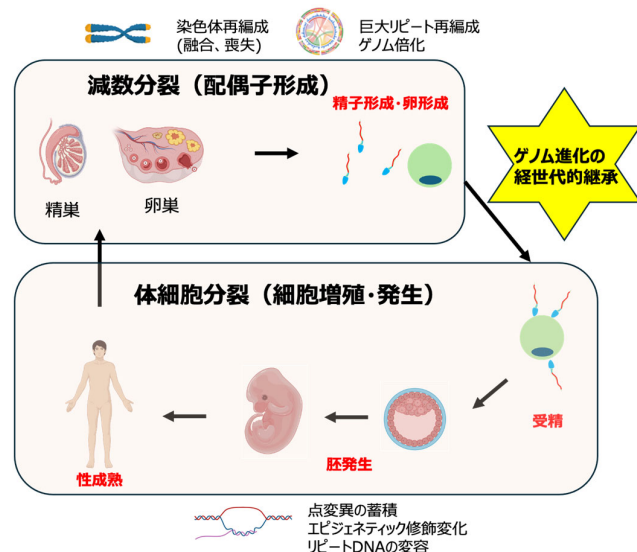


図 サイトロジカル進化生物学：生き物のライフサイクル全体にわたるDNAやエピジェネティクスの変容が生殖細胞を通じて次世代へと伝達され、生物進化を促進する。進化を駆動する現象を、細胞生物学的に捉えることが本領域の目指すところである。

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

●研究計画①【減数分裂における染色体末端の制御】

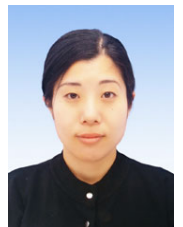
不妊症は世界で約15%のカップルが抱える問題である。その一因として、精子や卵子を作るときに起こる特別な細胞分裂（減数分裂）の異常が知られている。これまでに、染色体の端にある「テロメア」に存在するタンパク質「TERB1」が、この過程で重要な働きを担うことが明らかになっている。TERB1はテロメアを核膜に結びつけ、膜に沿った運動を引き起こすことで、父方・母方に由来する同じ染色体を引き合わせ、正しく分配するという中心的な役割を果たす。ヒトにおけるTERB1の変異は無精子症や早発卵巣不全の原因となることが知られている。しかし、DNAと膜という性質の異なる構造がどのように結びつくのか、その詳細な仕組みは明らかになっていない。また、この異常が世代を超えてどのような影響を及ぼすのかも未解明である。本研究では、最新の顕微鏡技術および遺伝子操作により、この仕組みを明らかにする。これにより、不妊症の原因理解に貢献するとともに、生殖細胞を通じた進化の仕組みの解明を目指す。



①研究代表者 渋谷大輝
理化学研究所・生命機能科学研究センター

●研究計画②【性染色体進化のサイトロジカル検証】

有性生殖は遺伝的多様性を担保する普遍的な繁殖システムである。しかしその基盤となる性決定の様式とその分子メカニズムは生物によって多様であり、それらが如何に進化してきたかはほとんどわかっていない。本研究では、単相世代で性を決定するコケ植物タイ類の有性生殖システム転換時に起きたゲノム上のイベントに着目する。タイ類の祖先は雌雄異株であったと推定され、性染色体の起源は4億3千万年前に遡る。これまでに、タイ類の雌雄異株から雌雄同株への転換時において、雄の性染色体は常染色体として保持される一方で、雌の性染色体は消失するという進化が複数回独立に起きたことがわかっている。本研究では、「減数分裂における性染色体分配異常」が進化を駆動してきたという仮説のもと、特殊な分配様式をもつと考えられるタイ類の性染色体分配の仕組みを解明し、さらに雌雄異株から雌雄同株への進化の過程を実験的に再現する。



②研究代表者 安居佑季子
東北大学・生命科学研究所

●研究計画③【染色体末端の配列変化に伴う生物進化のしくみの探求】

染色体の最末端のテロメアに隣接してサブテロメアと呼ばれる領域がある。サブテロメアには多数の遺伝子が存在していて、中にはヒトの様々な病気に関連するものもある。興味深いことに、これまでの研究より、サブテロメアのDNAは非常に変化しやすいことがわかってきた。しかし、進化の過程でサブテロメアのDNAがどのようにして変化してきたのか、その詳細なしくみはまだわかっていない。また、サブテロメアのDNAは裸の状態では存在するのではなく、複雑な高次構造を形成することが知られているが、どのようにしてサブテロメアの高次構造が形成されるのか、その実体についてはまだ不明な点が多く残されている。そこで本研究では、「生物進化を実験室で再現する」というユニークな解析を通して、サブテロメアDNAがどのようにして変化し、それに伴って染色体高次構造がどのように変化し、それがさらにサブテロメアの遺伝子発現や生物の形質にどのような変化をもたらしたのかを明らかにすることを目指す。本研究の成果は、サブテロメアの変化に起因する様々な疾患の解明にも貢献することが期待される。



③研究代表者 加納純子
東京大学・大学院総合文化研究科

●研究計画④【細胞核の内部に形成される構造体の電子顕微鏡による可視化】

我々ヒトをはじめとする真核細胞生物では、遺伝情報の本体であるDNAは細胞が持つ「核」の内部に保存される。直線に引き延ばすと2メートルもの長さとなるDNA鎖は、核の内部では複雑に折りたたまれており、また進化を引き起こす鍵となる現象である「減数分裂」では、DNA鎖の一部が特徴的な構造をとることで、正確な染色体分配を実現する。本研究計画ではクライオ電子顕微鏡の手法を利用し、これらの「核内でDNAが形成する構造体」を、細胞の内部にて直接、ナノメートル(=1ミリの100万分の1)レベルの解像度で可視化することを目指す。構造体の詳細な形状に基づき、どのような分子がどのような仕組みに基づき核内構造体の形成を実現しているのかを理解し、その破綻がどのように進化を駆動するのか、を明らかにする。また、目的実現のために必要なツールの開発やワークフローの確立を通して、広くクライオ電子顕微鏡技術の高度化に貢献する。



④研究代表者 谷口怜哉
理化学研究所・生命医科学研究センター

ウェブサイト等

<https://evocytology.jp/>