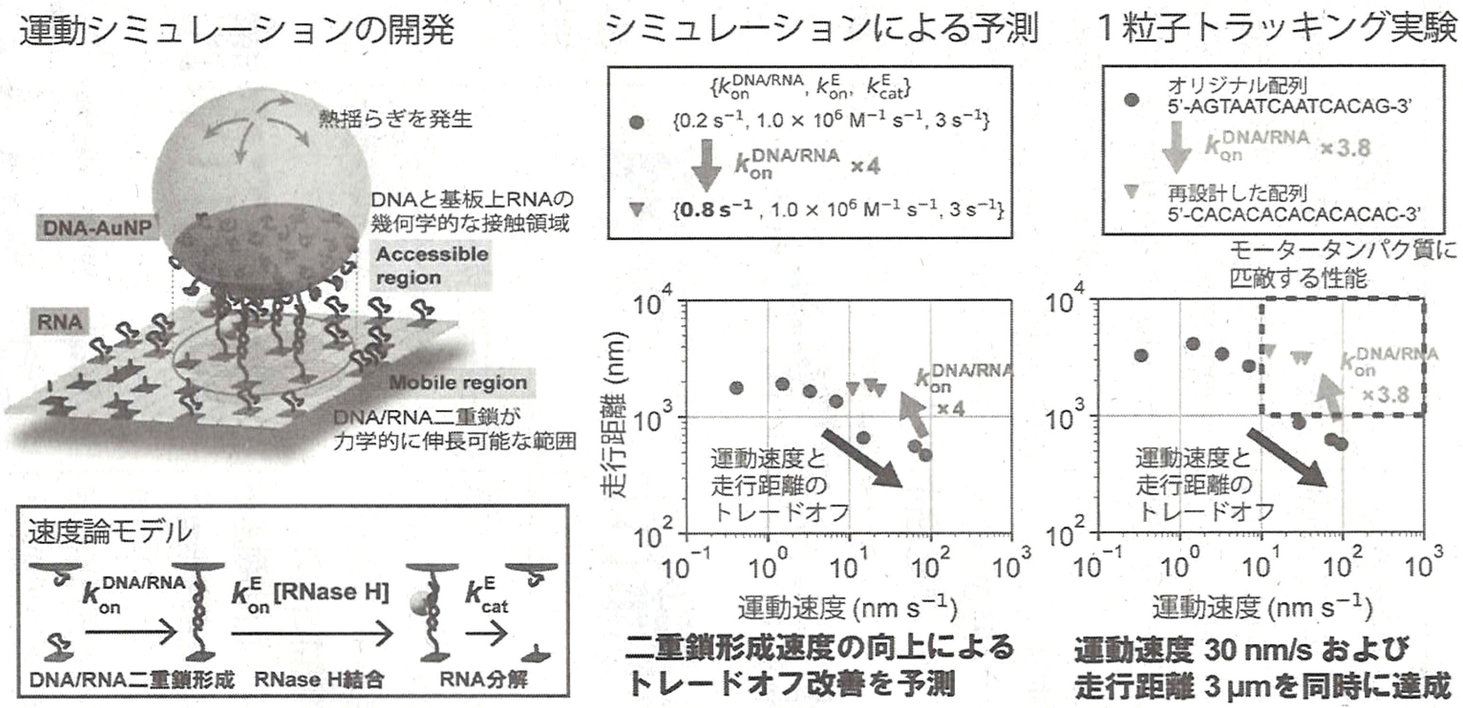
天然のモータータンパク質に匹敵

運動速度と走行距離　人工分子モーターで実現

分子研が成果

分子科学研究所（総合研究大学院大学兼任）の原島崇徳助教、大友章裕助教、飯野亮太教授らの研究グループは、人工分子モーターの一種であるDNAナノ粒子モーターの運動素過程と化学反応素過程の解析に基づき、運動性能を向上させることに成功したと発表した。30nm／秒の運動速度と3μmの走行距離を同時に達成し、天然に存在するモータータンパク質の運動性能に匹敵する人工分子モーターを実現した。人工分子モーターの動きで演算を行う分子コンピューターや感染・疾患分子を人工分子モーターの動きで高感度に検出する検査システムの実現が期待される。成果は国際学術誌「Nature Communications」1月16日付にオンライン掲載された。



研究成果の概要（分子科学研究所の原島助教提供）

天然のモータータンパク質としてキネシンやミオシンが知られ、ATP（アデノシン三リン酸）分子をエネルギー源に10―1000nm／秒の速度で高速に運動することで細胞内での物質輸送や筋肉の収縮など生命活動において重要な役割を担っている。

これらをもとに人工的に分子モーターを設計し、ナノスケールの輸送デバイス等に応用するための研究が行われている。特にDNA分子を利用したDNAナノ粒子人工モーターは、塩基配列や構造の設計自由度の高さから実現が期待されている。一方でこれまでのDNA人工分子モーターは運動速度が0・1nm／秒と遅いことが課題だった。DNAを金ナノ粒子で装飾した同モーターの運動速度は1nm／秒程度と最速であるものの、さらなる速度の向上が求められていた。

そこで今回、研究グループはDNAナノ粒子（等方的な球状の金ナノ粒子を構成部品とする）モーターの運動のボトルネック過程の特定・改善を目指した。

高速・高精度1粒子トラッキングの結果、DNAナノ粒子モーターは一定速度で連続的に運動するのではなく、モータータンパク質と同様に停止（ポーズ）と瞬間的な移動（ステップ）を繰り返しながら運動するポーズ・ステップ運動を行うことが明らかとなった。

また運動速度が遅いのは停止時間が70秒とモータータンパク質に比べて長いためであることもわかった。

運動停止中は化学反応素過程が進行し、その中でもRNaseHの結合がボトルネック過程であると特定された。

この結合過程を迅速化した結果、停止時間が約0・2秒まで短縮したが走行距離が短くなるトレードオフが生じることがわかった。

この原因を明らかにするため、運動を再現するシミュレーションを開発。DNA／RNAの二重鎖形成の速度を4倍に増加させるとトレードオフが発生せずに運動速度と走行距離が両立可能という予測のもと設計した。

その結果、二重鎖形成速度が3・8倍向上した。

この配列を用いて設計したモーターで実験したところ天然のモータータンパク質に匹敵し、ナノサイズの人工分子モーターとしては過去最高の30nm／sの運動速度と3μmの走行距離を同時に実現できた。

高速演算や疾患検査に応用期待

原島助教の話「DNAは遺伝情報をつかさどる生体分子であるだけでなく、人工分子モーターをはじめとするナノ材料の構成部品として有望視されています。本研究を発展させることで、目に見えないナノの世界でも精密に物を運ぶ輸送システムや、運動を用いて計算を行う分子コンピューティングなどにも応用できると考えています」