

ディビジョン番号	8
ディビジョン名	生体機能関連化学・バイオテクノロジー

大項目	1. 生体機能関連化学
中項目	1-5. バイオインフォマティクス
小項目	1-5-1. DNA コンピュータ

概要（200字以内）	
<p>DNA コンピュータとは、生体分子が潜在的に持つ計算能力を発見し、それを利用して目的の計算や機能を実現することを目指す研究領域である。その研究の状況は、計算理論の確立、DNA コンピュータを実用的なものにするための実験技術の進歩、より新しい発想による DNA 計算や進化的計算の提案、応用領域も純粋な計算問題から遺伝子解析 (DNAtoDNA) や化学 (コンビナトリアル・ケミストリ) さらにはナノマシンへと広がっている。</p>	
現状と最前線	
<p>DNA コンピュータは、DNA, RNA, タンパク質等の生体分子の形態変化・自己会合・拡散・変異等の化学反応を活用して、並行並列・分散・自己組織化・進化等の計算機構を実現することを目指している。例えば、DNA や RNA は、4 種類の塩基を配列として組み合わせることにより、いくらでも複雑な情報を自由に表現することができ、そして自分自身の化学反応を制御することにより、個々の生体分子は計算能力を持った情報処理装置となる。DNA コンピュータを用いる最大の利点は、DNA 分子の「微小性」と「超並列性」にあると言われる。例えば、1本の標準的なスケールの DNA オリゴマーによって 1文字を表現したとすると、1ml の溶液中に 6 千万ギガバイトの記憶容量をもつメモリを実現することができる。また、この莫大な数の DNA 分子を超並列的に動作させ、一度に操作して命令を実行すれば、1つの分子反応操作に 1000 秒かかったとしても、1秒あたり 6×10^{13} の命令を実行したことに相当する。これは、現在の標準的なスーパーコンピュータをはるかに凌ぐ速さである。この DNA コンピュータの特徴を生かす方法の 1つとして、超並列的な探索がある。このような DNA コンピュータを基本として、主な研究課題としては、次のものなどがあげられる。</p>	

(1) DNA コンピュータの基礎理論：形式言語理論的アプローチ（スプライシングシステム、ワトソン・クリックオートマトンなど）、チューリング計算可能性、超並列性計算、(2) 組み合わせ的計算問題の DNA コンピュータを用いた効率的解法：NP 完全問題（ハミルトン経路問題、SAT 問題など）、暗号の解読、(3) DNA 反応のモデル化とシミュレーション：よい符号の設計、DNA 計算のシミュレータ、(4) ナノテクノロジー：DNA タイル、DNA オートマトン、実験技術の革新。研究分野地図としては、日本では日本学術振興会の未来開拓事業における「分子コンピュータの理論と構築」、それに続く科学研究費補助金の特定領域「分子プログラミング」が、分子計算に関する研究を活発に行っている。日本の DNA コンピュータに関する研究の特徴は、「プログラミング可能」という性質を最も重要な特徴として分子コンピュータを開発することと、バイオテクノロジーへの応用を強く意識している点にある。米国では、DARPA と NSF によって「生体分子計算」のコンソーシアムが構成され、生体分子の計算能力の様々な応用が試みられている。このコンソーシアムは、Prototyping Biomolecular Computations と呼ばれ、分子の反応を利用することにより、分子の超並列性を利用した高速計算だけでなく、分子の微小性や計算のエネルギー効率の良さを活用したナノテクノロジーへの応用が模索されている。ヨーロッパでは、Leiden 大学を中心として、分子計算のコンソーシアムが形成されている。Leiden 大学に設けられた Leiden Center for Natural Computing がその中心となっている。ヨーロッパにおける研究の特徴は、分子計算のための基礎理論が活発に研究されていることである。

最新の研究の展開としては、初期の DNA コンピュータの研究では、DNA 分子の自律的会合や自己組織化と、それを制御したり検出する分子生物学の実験操作を用いて、試験管内で計算を実行するのが主な手法であった。一方、実際の細胞内ではその他にもさまざま分子（とくにタンパク質分子）がより複雑でより高機能な働きを行っている。そこで、その細胞内分子反応メカニズムを利用して、全く新しいそしてより精度の高い分子コンピュータを細胞内で実現する研究も始まっている。例えば、大腸菌などの生きたバクテリアを用いて自律的でプログラム可能なバクテリアコンピュータの開発も試みられている。

参考文献：萩谷，横森編：「DNA コンピュータ」，培風館，2001。

将来予測と方向性

・ 5 年後までの課題：DNA コンピュータの展開としては、バイオテクノロジーとナノテクノロジーへの応用が有望である。DNA 分子を使ってナノメートルスケールの構造やナノマシンを作製する DNA ナノテクノロジーへの応用は当初から Seeman を先頭に行われてきたため、飛躍的な発展が期待される。

・ 10 年後までの課題：DNA コンピュータを用いて遺伝子解析の個々の要素技術を制御することにより、プログラミング可能なアルゴリズム的遺伝子解析技術が可能となる。

キーワード

DNA コンピュータ，分子計算，並列計算，バイオテクノロジー，ナノテクノロジー

（執筆者：榊原康文（慶應義塾大学））