

「情報社会を支える新しい高性能情報処理技術」

平成 13 年度採択研究代表者

萩谷 昌己

(東京大学大学院情報理工学系研究科 教授)

## 「多相的分子インタラクションに基づく大容量メモリの構築」

### 1. 研究実施の概要

本課題は、複数種類のインタラクションを組み合わせた多相的分子インタラクションによる新しい分子コンピューティングの可能性を探究するとともに、その具体的な応用として、分子メモリ素子の実現方法に関する研究を行う。

本年度はプロジェクトを開始するにあたり、分子メモリの実現方法とその応用に関して活発な検討を進め、本課題が目指すものは「真の分子メモリ」の構築であるという結論を得た。真の分子メモリとは、別々のアドレスを持ったメモリ分子を個別に参照することが可能なメモリを意味する。分子によって情報を記憶することは基本的に可能であるので、分子メモリの本質は「分子アドレッシング」にあると考えられる。

従って、本課題では、多種類の分子の複合体の中で特定のアドレスを持った分子を参照する方法について研究を行う。分子の複合体をメモリと見做したとき、その大容量化(アドレス空間の巨大化)とは、異なるアドレスを持った分子の種類を多くすることであり、その高速化とは、アドレッシングのための実験操作の手間を減らすことである。この二つの側面を進展させることが本課題の目標である。

以上の検討と考察にともなって以下の三本の柱を設定し、本年度も三本の柱のそれぞれについて研究を進めた。

#### ● 配列セットの設計と液相における分子アドレッシング

連想分子メモリのための DNA 配列セットの設計を行い、液相における連想分子メモリの構築を行う。本年度は、大内のグループが Nested PCR を用いた階層連想メモリの予備実験を行った。

#### ● 固相上の分子アドレッシング

レーザー顕微鏡を活用して、 $\mu\text{m}$  単位の微小連想メモリの位置の指定を光学的に行う方法を確立し、微小連想メモリが平面上に敷き詰められた分子メモリを実現する。最終的に、その高密度性を活用してマイクロチップ上での生体分子解析を行う。また、微小連想メモリを自己組織化された分子パターンで置き換えることも試みる。本年度は、陶山グループがレーザー顕微鏡をセットアップし予備実験を開始した。

## ● アドレッシングの高速化

分子の形態変化を利用した分子アドレッシングの方法について研究を進める。WPCR(Whiplash PCR)を含めて、分子の逐次的かつ自発的な形態変化を利用した分子アドレッシングの研究を進め、最終的に光を用いた分子アドレッシングの実現を目指す。本年度は、萩谷グループが WPCR の研究を進めるとともに、複数の安定状態を持つ分子の一般的な設計法に関する検討も行った。また、大内グループと共同で、分子の逐次的かつ自発的な形態変化、特にヘアピンが逐次的にほどける反応を利用した分子アドレッシングに関する構想を練った。さらに、光によって形態変化を起こす分子を用いて、光による高速な分子アドレッシングを実現する可能性についても検討した。

## ● 理論研究

以上の三本の柱の研究の他に、横森グループを中心に萩谷グループも含めて、多相的分子インタラクションに関する理論研究を推進する。本年度も数多くの研究成果を得た。

固相上の分子アドレッシングの研究とアドレッシングの高速化の研究は、光による分子アドレッシングとして統合することができると考えられる。最終的に、この方向を目指して研究の焦点を絞って行く予定である。これは将来的な分子メモリのイメージにもなっている。

本課題の研究は、将来的には汎用の記憶装置の開発につながるものである。本課題を通して分子アドレッシングや分子メモリの構築原理が確立すれば「真の分子メモリ」への道が開け、いままでにない大容量の情報処理が可能になるだろう。分子アドレッシングを中心とする技術の直接的な応用としては、バイオテクノロジーやナノテクノロジーなどにおける分子レベルの情報処理が最も有力である。前者においては遺伝子などの生体情報の解析、後者においては微細加工技術を通して、特に分子エレクトロニクス技術と融合されることにより、情報処理技術の進展に寄与すると考える。

## 3. 研究実施体制

### (1) 萩谷グループ

#### ① グループ長

萩谷昌己(東京大学大学院情報理工学系研究科、教授)

#### ②研究項目

- ・プロジェクト全体の統括
- ・アドレッシングの高速化(形態変化を利用した分子メモリ)

複数の安定状態を持つ分子(DNA や RNA)の一般的な設計法に関する検討を行うとともに、ヘアピンが逐次的にほどける DNA 分子の設計を行った。さらに、光によって形態変化を起こす分子の実現方法に関する検討も行った。

また、分子アドレッシングの一方法として、WPCR(Whiplash PCR)の研究を進めた。

大内グループと共同で、分子の逐次的かつ自発的な形態変化、特にヘアピンが逐次的にほどける反応を利用した分子アドレッシングに関する構想を練った。さらに、光によって形態変化を起こす分子を用いて、光による高速な分子アドレッシングの可能性についても検討を行った。

- ・ 配列セットの設計

陶山グループに協力して、配列セットの設計と評価の方法に関する検討を進めた。

(2) 陶山グループ

① グループ長

陶山明（東京大学大学院総合文化研究科、助教授）

② 研究項目

- ・ 固相上の分子アドレッシング(位置情報を利用した分子メモリ)

本グループは、基板表面上に高密度に配置したアモルファス DNA 分子メモリと分子パターン化して配置した結晶化 DNA 分子メモリを作製し、光を利用してこれらの分子メモリの固相上でのアドレッシングおよびデータ転送を行う方法を開発することを目指している。本年度は、レーザー顕微鏡のセットアップを行い予備実験を開始した。

分子メモリ間のデータの転送は、赤外レーザー光照射によるデータの読み書きと、同じレーザー光を用いた光ピンセットによるポリスチレン微粒子の輸送を連動させることにより行う予定である。これに関連して大阪大学の谷田に協力を仰ぎ、VCSEL アレイ素子を用いた光ピンセットにより、複数のポリスチレン微粒子を輸送してデータ転送を行う方法に関する検討を進めた。

- ・ 配列セットの設計

萩谷グループと協力して、巨大なアドレス空間を表現する DNA 配列セットの設計と評価の方法について検討を行った。特に、有田によるテンプレート法、Rose によるタグ-アンチタグ・システムのエラー評価方法、陶山による正規直交化配列を組み合わせる可能性について検討した。

(3) 横森グループ

① グループ長

横森貴(早稲田大学教育学部、教授)

② 研究項目

- ・ 理論研究(多相的分子インタラクションの解析と設計のための基礎理論)

分子の自律的会合、形態変化、解離、選択的認識、拡散などの多様な生体反応系を解析することにより、生体分子のとり構造とその情報処理機能との関係を解明することを目指し、多相的分子インタラクションの計算モデルに関する考察を進めた。

(4) 大内グループ

① グループ長

大内東(北海道大学大学院工学研究科、教授)

② 研究項目

- ・ 液相における分子アドレッシング(アドレスの階層化に基づいた高信頼性アドレッシング)

本グループは、連想メモリのアドレス部を階層化することにより、アドレス空間が巨大な分子メモリの構築を目指している。また、高信頼性アドレッシングの実現と高速化を目指す。具体

的には、Nested PCR に基づき読み出しを行う Nested Primer 分子メモリ素子の開発を行う。本年度は、Nested Primer を用いた予備実験を行い、Nested PCR の反応条件等についての多くの知見を得た。

- アドレッシングの高速化

また、本グループは、萩谷グループと共同で逐次的かつ自発的な形態変化を利用した分子アドレッシングに関する研究も行う。本年度は、ヘアピンが逐次的にほどける反応を利用した分子アドレッシングに関する構想を練った。さらに、光によって形態変化を起こす分子を用いて、光による高速な分子アドレッシングの可能性についても検討を行った。