



Title	Protein Structure Modeling using Chemical Shifts and Residual Dipolar Coupling Homology, in the Context of an Integrated Software System for Spectral Processing and Analysis
Author(s)	Frank, Delaglio
Citation	大阪大学, 2001, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/43250">https://hdl.handle.net/11094/43250</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、<a href=" <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed</a> ">大阪大学の博士論文について</a>をご参照ください。

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏 名	Frank デラグリオ Delaglio
博士の専攻分野の名称	博 士 (薬 学)
学 位 記 番 号	第 1 6 5 8 9 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 13 年 11 月 30 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 2 項該当
学 位 論 文 名	Protein Structure Modeling using Chemical Shifts and Residual Dipolar Coupling Homology, in the Context of an Integrated Software System for Spectral Processing and Analysis (化学シフトと残余双極子結合の相同性を利用したタンパク質構造モデルリングシステムの開発…NMR スペクトル処理・解析ソフトウェアへの統合にむけて)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 小林 祐次
	(副査) 教 授 高木 達也 教 授 中村 春木 教 授 阿久津秀雄

## 論 文 内 容 の 要 旨

本論文では全く新しい NMR を用いたタンパク質の構造計算法について述べる。これは、プロテインデータバンクに登録されている立体構造のフラグメントから、対象タンパク質において観測された残余双極子カップリング値と化学シフト値をもっともよく再現するフラグメントを検索し、それらを用いて全体の構造を構築することができるという考えに基づいている。この方法は主鎖の  $\phi$  角および  $\psi$  角の予測、配向テンソルの見積り、構造相同性検索等、様々な応用が可能である。ユビキチンへの適用結果では、NOE 等の距離情報を全く用いることなく結晶構造との主鎖の RMSD が 1.5 Å 以内である構造が得られた。また本法は隣接残基間 NOE や水素結合といった容易に得られる情報と組み合わせて用いることもできる。本法は先に著者らが開発した TALOS システムを土台としている。TALOS は標的タンパク質の化学シフトをデータベースに収められた 20 個のタンパク質の高分解能立体構造及び化学シフトと比較することによって、そのタンパク質の主鎖二面角を予測するプログラムである。

本研究は NMR を用いた構造決定の全段階について完全かつ簡便で強力なソフトウェアシステムを開発するための研究の一環である。開発したソフトウェアは現在までに 500 以上の生体高分子の構造解析に用いられている。初期の NMR によるタンパク質の構造解析は、2D-NOESY スペクトルから出来るだけ多くの近接プロトン間距離情報を収集することに頼っていた。これは J カップリング、化学シフトといった NOE 以外の構造情報を追加することによって補強してきた。ここで大切なのは、これらの方法論的な進歩は対応する計算方法、ソフトウェアの進歩無しでは実現しなかったということである。本論文では生体高分子を対象とした多次元 NMR 法の発展と、それに伴って生じた解析上の問題をとりあげ、それらの問題に対応するために著者が開発したいくつかのソフトウェアについて述べる。以下に章ごとの要約を示す。

第 1 章では NMRPipe システムについて述べる。これは本研究で開発した全てのソフトウェアの基盤となるものである。NMRPipe は UNIX 上でのデータ処理・表示・解析のためのツール群であり、ルーチン的な処理と研究を指向した多次元処理の両方に対応するよう設計した。また将来予想される拡張に備えたものとした。本システムは UNIX のパイプ機能を用いて実装されている。これは並行して実行されているプログラム間でのデータの受け渡しを可能としている。ある一連の処理において、スペクトルデータは、フーリエ変換やリニアプレディクションといった個々の処理を担当するプログラムが連結されたパイプラインを流れる。このようなパイプライン型のシステムにはいくつかの大きな利点がある。それらは高い柔軟性、処理速度、異なるデータフォーマットへの対応、プログラムの

開発と保守の容易さ、マルチプロセッサー及びネットワーク上での分散処理が可能であること、などである。また Tcl/Tk スクリプティング言語の使用によって NMRPipe システムをカスタマイズする手法や、様々な NMR データに対して対話的あるいは自動的な処理システムを構築する手段について記述した。

第 2 章ではスペクトルを用いた計測の一例について述べる。これはスペクトル処理、表示および解析手法の組み合わせであり、NMRPipe システムの理想的な利用例である。ここでは通常の COSY スペクトルにおいて、マルチプレットピークをフィッティングすることによってプロトン間のカップリングを決定できることを示すことができた。この手法の頑強性と簡便性は、フィッティングにおいてピーク強度が独立変数ではないことによっており、たとえマルチプレットが分離していないピークからでも正確なカップリングを求めることが可能となった。

第 3 章ではタンパク質主鎖の二面角を化学シフトから定量的に予測する手法について述べる。これは高分解能の X 線結晶構造が得られている 20 個のタンパク質の  $^{13}\text{C}\alpha$ ,  $^{13}\text{C}\beta$ ,  $^{13}\text{C}'$ ,  $^1\text{H}\alpha$  および  $^{15}\text{N}$  の化学シフトデータベースを利用する。プログラム TALOS ではデータベースを検索し、2 次構造によるケミカルシフトのずれ値とアミノ酸配列の双方ともが目的配列のそれらと近い 3 残基からなるフラグメントを 10 個抽出するように設計した。既に構造が決定されているタンパク質についてのテスト結果では、TALOS の出力値と構造から得られた主鎖の二面角との RMSD は 15 度であった。TALOS はあるタンパク質についてその約 65% の残基について主鎖の二面角を予想することができ、予想値が大きく間違っているのはその中のわずか 3 % であった。ここでは更に TALOS 法を発展させ、データベースを用いてタンパク質の主鎖二面角の値から逆に化学シフトを与える関数を作り出すことができた。これは 2 次構造に基づいて化学シフトを予測するために使うことができる。

第 4 章ではタンパク質主鎖の立体構造を決定する新手法と、それをユビキチンに適用した例について述べる。希薄な液晶相で弱く配向したタンパク質分子では、核間ベクトルの方向に関する情報を与える双極子カップリングを多く観測することができる。まず第一段階として、観測された双極子カップリング及び化学シフト値を再現できるようなフラグメントをプロテインデータバンク中から検索する。これによって目的タンパク質中の対応するフラグメントと主鎖の二面角の RMSD が 10-12 度程度であり構造相同性が良いフラグメントが得られる。続いてそれらを初期構造とした最小化法によって双極子カップリングの全ての予測値と実測値が一致するように構造を改良する。ユビキチンの場合、二つの異なる液晶相で測定した双極子カップリングのデータセットが利用でき、その結果 NOE、水素結合等の距離情報を全く用いることなく結晶構造との主鎖の RMSD が 1.5 Å 以内である構造を得ることができた。

### 論文審査の結果の要旨

蛋白質の NMR による構造決定は初期には核オーバーハウザー効果 (NOE) と呼ばれる双極子-双極子相互作用から得られる近接したプロトン間の距離情報を用いて行なわれてきた。その後、スピニースピン結合定数や化学シフトといった NOE 以外の距離情報を構造計算に取りこむようになった。本論文では UNIX 上でのデータ処理、表示、解析のためのツール群をパイプライン型のシステムに統合し、NMR データに対して対話的あるいは自動的な処理システム NMRpipe を構築した。次にそのシステムの応用例として COSY システムのマルチプレットピークからプロトン間スピニースピン結合定数を決定する方法を示した。さらに蛋白質の主鎖二面角を化学シフトから予測する手法を提唱し、プログラム TALOS を構築した。これらに加え、全く新しい蛋白質の構造計算法としてプロテインデータバンクに登録されている立体構造のフラグメントから、対象とする蛋白質において観測される残余双極子カップリング値と化学シフト値を再現するフラグメントを検索し、それらを用いて全体の構造を構築する手法を提唱した。この手法を実現するために残余双極子カップリングを多く観測できる希薄な液晶相により蛋白質を配向させることを提案した。この手法により従来の NOE などから得た近距離の制限に対し、構造決定に非常に有効な長距離の制限を加えることを可能とした。本論文でユビキチンを用いて、以上の手法の有用性を実証した。これらの Delaglio 君の研究結果は既に世界的に広く実用に供され蛋白質科学に大きく貢献していて、博士（薬学）の博士論文として価値あるものと認める。