

三次元走査型力顕微鏡で取得した3次元データに対する Correlation Averaging 法を用いた画像平均化処理の検証

Investigation of an image averaging processing using the Correlation Averaging method for 3D data obtained by three-dimensional scanning force microscopy

金大院¹, WPI-NanoLSI² °宮澤 佳甫^{1,2}, 福間 剛士^{1,2}

Kanazawa Univ.¹, WPI-NanoLSI², °Keisuke Miyazawa^{1,2}, Takeshi Fukuma^{1,2}

E-mail: k.miyazawa@staff.kanazawa-u.ac.jp

周波数変調原子間力顕微鏡 (FM-AFM) をベースに開発された三次元走査型力顕微鏡 (3D-SFM) は、固液界面で AFM 探針を三次元的に走査することで、探針が受ける相互作用力をサブナノスケールで取得することができる。これまでに、3D-SFM で固液界面の水和構造や揺動分子構造の原子・分子スケール観察が達成されており、本手法が幅広い固液界面研究分野のナノ計測に直接応用されることが期待されている。一方で、本計測は、液中環境下の AFM 計測で生じる熱ドリフトの影響を極力抑止するために、探針を Z 方向に 200 Hz 程度の比較的速い速度で走査するだけでなく、XY 方向のピクセル数を減らし、4 nm×4 nm×1.5 nm (64 ピクセル×64 ピクセル×256 ピクセル) のサイズの 3D データを約 53 秒程度で高速に取得している。これにより、熱ドリフトの影響を抑えてサブナノスケールの局所構造をとらえることができるが、特に XY 方向には、低い解像度によって局所コントラストがノイズに埋もれてしまう場合がある。一般的にノイズを低減させるためには、平均フィルタやガウシアンフィルタが用いられるが、これらのフィルタリングはノイズだけではなく意味のある局所コントラストも平滑化してしまう。そこで、本研究では、3D データのノイズを低減する一方で、意味のある局所コントラストを強調するために、Correlation Averaging 法を用いた画像平均化処理を検証した。Correlation Averaging 法は、走査型プローブ顕微鏡の分野で一般的に用いられる画像処理であり、画像の中に含まれる周期構造を抽出し、それを平均化することで、ノイズを低減しつつ周期構造の局所コントラストを強調する手法である。本研究では、この画像処理手法を2次元から3次元に応用し、図 1a-b に示す通り 3D-SFM で取得した 3D データの XY 断面を基に Correlation Averaging 法で周期構造単一ユニット分の平均 3D データを作成し、これを XY 方向に拡張した (図 1c)。図 1d-e は、カルサイト/水界面で取得した 3D データから抽出した XZ 断面と XY 断面である。それぞれ、(i)は未処理のローデータ、(ii)は Correlation Averaging 法を用いて平均化した後のデータである。(i-ii)を比較すると、ローデータではノイズと局所コントラストが曖昧だった領域が、平均化後はランダムなノイズ信号のみが低減されて明瞭な局所コントラストが得られていることが分かる。本手法は、3D-SFM で取得した 3D データを解析し、原子・分子レベルの局所コントラストを議論する上で非常に有益な 3 次元画像処理手法であり、3D-SFM 計測手法の確立と発展に寄与する。

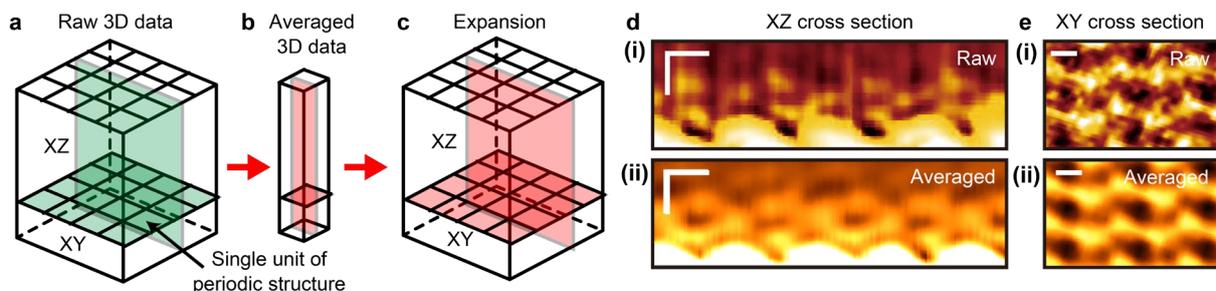


Figure 1: (a-c) Procedure of an image averaging processing using the Correlation Averaging method. (d) XZ and (e) XY cross sections taken from (i) the raw 3D data and (ii) the averaged 3D data at a calcite-water interface obtained by 3D-SFM (scale bar: 3 nm).