



セロデキストリンホスホリラーゼ酵素により、 宇宙空間で合成されたセルロース微結晶の小角 X 線散乱解析

砂川直輝¹, 久我友大¹, 五十嵐圭日子^{1,2}

1 東京大学大学院農学生命科学研究科, 2 VTT Technical Research Centre of Finland Ltd

キーワード：セルロース, セロデキストリンホスホリラーゼ, 生合成, 宇宙実験

1. 背景と研究目的

セルロースはグルコースが直鎖状に連なった多糖で、地球上で最も豊富に存在するバイオマスである。セルロースは主に陸上植物によって年間約 $10^{10} \sim 10^{11}$ トンが生合成されており、脱炭素社会を構築に向けた高度利用が期待されている。一方、セルロースの生合成メカニズムに関しては未だ明らかになっていない部分が多く、セルロースの更なる高度利用へ向けた課題となっている。セルロースの合成過程では酵素によって合成された各セルロース分子鎖が自律的に集合、構造形成し、剛直な繊維を形成する。本実験ではこのセルロース分子の自己集合、構造形成過程の解明に着目し、過リン酸分解の逆反応によりセルロースを合成可能な酵素セロデキストリンホスホリラーゼ(CDP)を用いて無重力下でのセルロース合成反応を実施し、反応生成物の形状を小角・広角 X 線散乱により分析した。

2. 実験内容

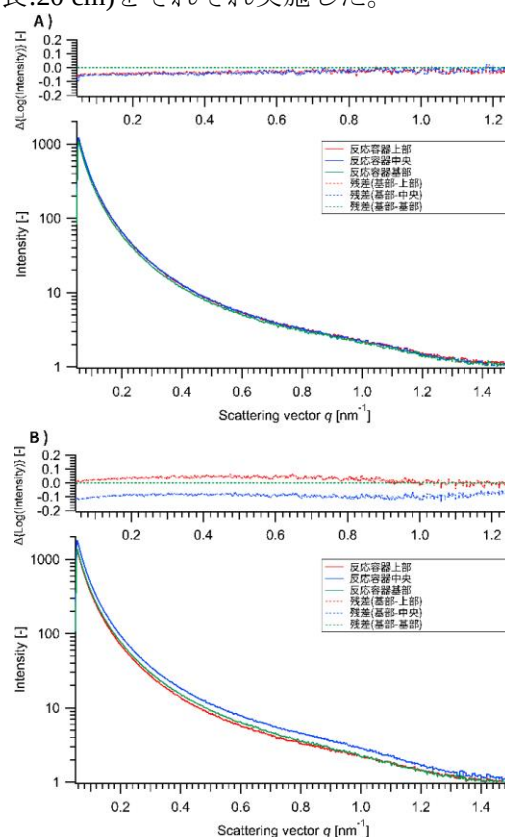
酵素 CDP によるセルロース合成反応は石英ガラス製 C-Tube-LC(コンフォーカルサイエンス社)を用いたカウンターディフュージョン法により行った。宇宙空間での実験は”高品質タンパク質結晶生成サービス「Kirara」”(有人宇宙システム株式会社)を用い、ISS 内で 1 か月間インキュベートを行った。

帰還後のサンプルは反応外液を取り除き反応停止処理を行った後、反応容器のまま撮影装置へ取付、小角 X 線散乱測定(カメラ長:4 m)、広角 X 線散乱測定(カメラ長:20 cm)をそれぞれ実施した。

3. 結果および考察

サンプルの広角 X 線散乱測定の結果、宇宙サンプル、地上対照共にいくつかの散乱強度ピークが測定され、これらは既報にて報じられているセルロース II 型の結晶格子間隔に相当する散乱スペクトルであった。この結果から、本反応系で合成されたゲル様物質は確かにセルロースである事、また重力や対流などの物理的な外乱が存在しない条件においても溶液中のセルロース分子鎖は自発的に会合し、非天然構造であるセルロース II 型の結晶構造をとる事が確認された。

サンプルの小角 X 線散乱測定の結果からは、宇宙サンプルでは反応容器内の測定位置に関わらず、測定スペクトルが良好に一致しているのに対し、地上対照では測定位置ごとに散乱強度のばらつきが観測された(図)。この結果から、宇宙空間で合成されたセルロースは地上にて合成したセルロースと比較して、反応容器全体でより均一な状態となっていることが確認された。また $q \approx 0.01 \text{ nm}^{-1}$ の領域にてギニエプロットを描いたところ、すべてのサンプルでプロットは下に凸の曲線となった。この結果から、CDP によって合成されるセルロースは複数の慣性半径 R_g 分布を有する凝集体の集合から成ることが推定された。



図：宇宙空間にて合成されたセルロースサンプルの小角 X 線散乱スペクトル