

実験技術

巨大カメラとイメージングプレートを用いた
粉末X線回折

倉橋 正保, 本田 一匡, 後藤みどり

化学技術研究所

X-ray powder diffraction employing large radius camera and Imaging Plate

Masayasu Kurahashi, Kazumasa Honda and Midori Goto

National Chemical Laboratory for Industry

Large-radius camera and Imaging Plate are employed to collect high angle resolution powder diffraction data so as to solve unknown organic structures by X-ray powder diffraction. The data collection and reduction processes are reviewed in detail. Some comments and explanations for the improvement of this technique are included.

1. はじめに

現在では適当な大きさの単結晶さえ得られれば分子量が少々大きくてもX線回折法で構造は決定できる。しかしながら低分子量であっても、単結晶化が困難なために構造解析がなされないまま放置されている化合物も少なくない(カット1)。このような場合に微小単結晶を用いて高強度X線源、高感度X線検出器等を駆使して力まかせに単結晶法として構造解析を行うアプローチもあるが、粉末回折法を用いて構造解析を行うアプローチもある。

粉末回折データを用いて未知構造を決定するためには高角度分解の回折データを収集する必要がある。従来の実験室用回折装置では隣接するピー

クが重なり、単位格子が大きい場合や結晶の対称性が低い場合には、格子定数を決めることすら困難である。近年放射光を光源とする回折実験が可能になり、従来では得られなかったような高分解能の回折データが得られるようになった。その主



流は平行ビーム法光学系を用いた回折計で、ステップスキャンによりデータ収集が行なわれる。PFにおいてもBL4にPFPDという高分解能粉末X線回折装置が設置されており、多くの人に利用されている。著者もPFPDを何度か利用し、高質のデータが得られることを確認した。しかしながら 2θ 値を少しずつ変えながら1点1点測定するステップスキャン法は、与えられたビームタイム中に測定できる試料数が限られてしまう(細いスリットを用いステップ間隔を細かくして測定すると1試料に対して24時間かけても十分とは言えない)。また著者が解析の対象に選んでいる有機化合物の場合にはこの光学系は必ずしも適切ではないことがわかった。

これに対して、カメラ法でIP(イメージングプレート)のような高感度フィルムを用いると、短い時間に広い角度範囲の回折データを一挙に収集できる。我々は数年前に蛋白質等の構造解析用に開発された巨大ワイセンベルグカメラ(通称坂部カメラ)を用いて粉末回折データを集め、それを解析することにより結晶化が困難な物質の構造解析に成功した。この成果はすでに学会誌等において発表した¹⁻⁵⁾、本稿ではできるだけそれらとの重複を避けながら、これまでに書ききれなかったことを中心に述べる。

2. 粉末回折法による構造解析の概要

未知構造を解く場合のフローを図1に示す。粉末回折データ(I vs 2θ)の中から低角度領域のピーク(約20個)を用いて指数付け・格子定数の決定を行い、得られた格子定数を用いて中・高角度領域のピークに指数を付ける。指数の付いた反射(ピーク)の消滅則を調べて空間群を決定する。さらに必要に応じてピーク分離を行うなどして各指数に対する結晶構造因子 $F(hkl)$ を求める。近似構造はトライアル法、パターンソン法、直接法などを用いて決定する。構造の精密化にはリートベルト法を用いる。構造が複雑になればなるほど

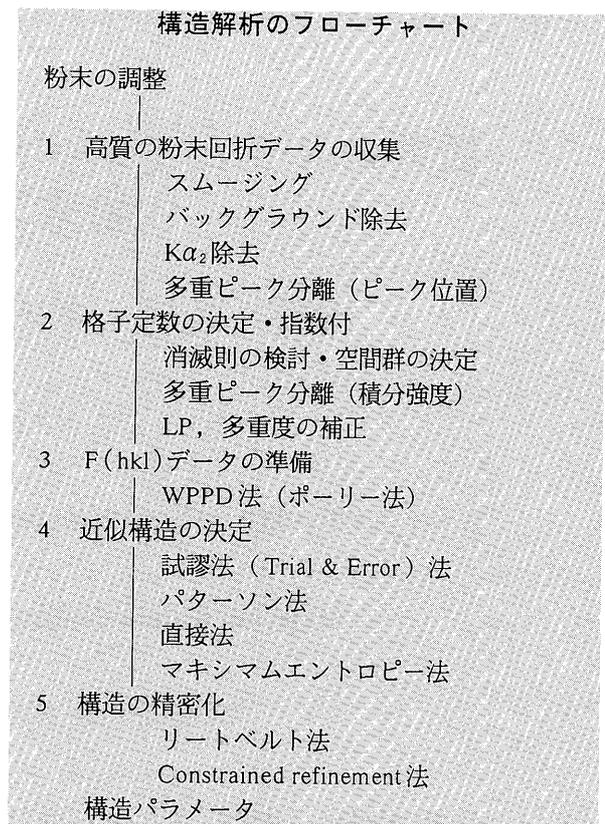


Fig.1 A flow chart for the structure determination by X-ray powder diffraction.

隣接するピークが重なるので、角度分解能の高いデータが要求される。粉末回折データは3次元の回折データが1次元に投影されたものであるので、実験的にピークを分離するには限界がある。試料の結晶性が悪ければいくら高分解能の装置を用いても無駄になる。したがって、プロフィールフィッティングやデコンボリューション等の数学的処理によるピーク分離も重要である。粉末回折データは単結晶回折データに比べて質・量の点で劣っているので、構造解析には単結晶法以上に高度なソフトウェア群が必要とされる(カット2)。

3. 巨大カメラの利用

巨大カメラにIPを装着して粉末回折写真をとると図2(a), (b), (c), (d)に示したような図形が得られる。この時試料はキャピラリーに詰め



て、試料は回転または振動させる。平板状のカメラを用いると回折像は同心円になるが、円筒状のカメラを用いているために像は歪んだ円になる。円筒状のカメラを用いると回折角の大きい範囲のデータが得られるという利点がある。円筒座標を平面座標に変換し(図3)、同じ 2θ 値に対応する位置の強度を積算・平均化することによりS/Nの向上を図った。図2(d)の回折図形をデータ処理し、 I vs 2θ 曲線に変換したものを図2(e)に示す。

3.1 試料調製における工夫

始めて実験を行なったときには、試料はキャピラリーに詰めて測定した。ビームの当たる部分は0.5mmにも満たないので試料は微量で済む。問題は試料の密度を上げることにある。我々は、長いガラス管をガイドとして試料の入ったキャピラリーを高いところから落下させることにより試料の密度を高くした(カット3)。その過程でキャピ

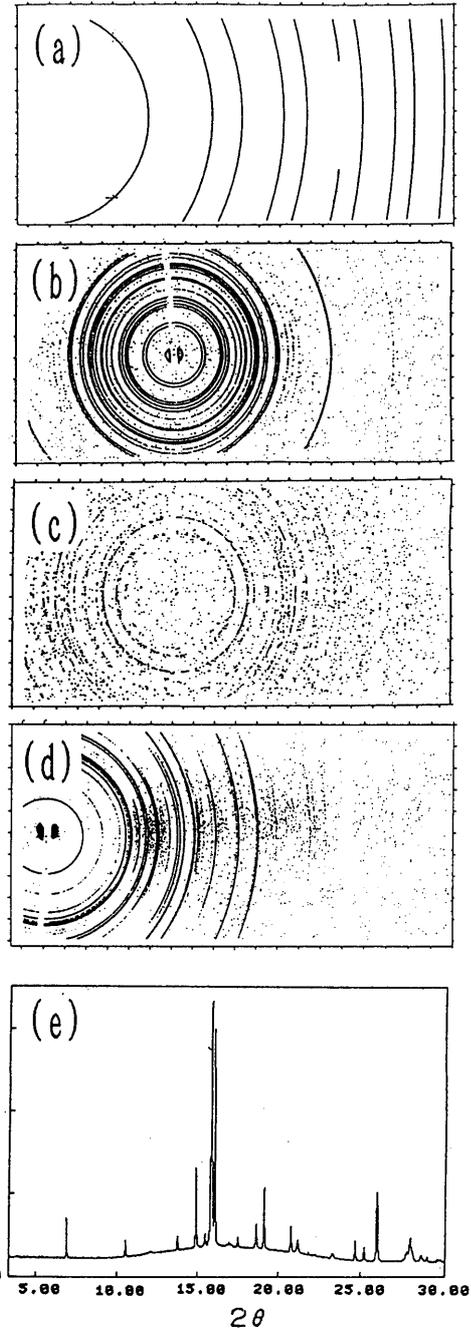
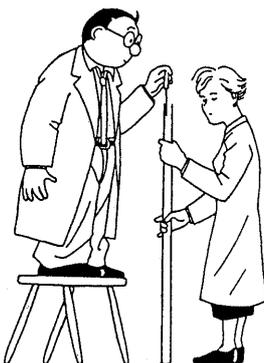


Fig.2 X-ray powder diffraction patterns recorded on IP.

- (a) NIST silicon (b) ZSM-5(zeolite)
(c) L-alanine (d) 5-aminovaleric acid
(e) I vs 2θ of (d)

ラリーが割れることもあった。また、図2(e)からわかるようにキャピラリーを用いると非晶質のブロードな回折ピークが観察される。このバックグラウンドはリートベルト解析を行う上で邪魔な存在である。そこで我々は密度の高い粉末試料を得

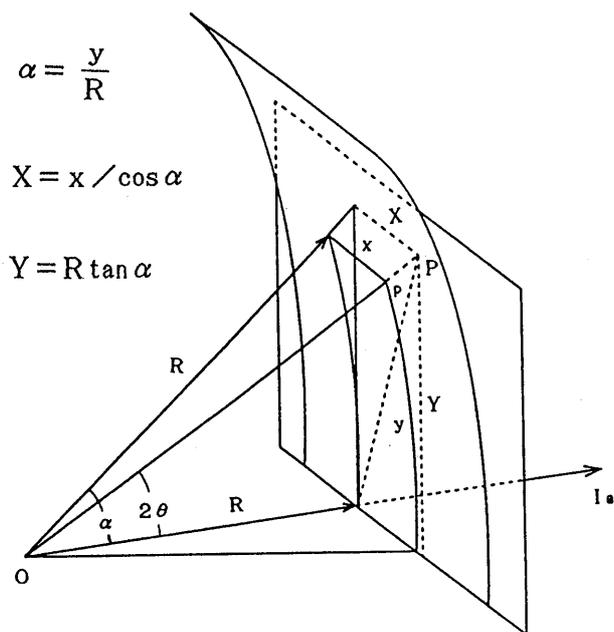


Fig.3 Transformation of the coordinate system.

るために図4に示すような治具を製作した。まずアクリル板に穴を開け下敷の上に乗せる。穴の中に試料を入れて細いピアノ線でプレスする。取り出す時もピアノ線を用いて押し出す。この方法ではバインダーは一際用いないので余分の散乱線が出ることもない。キャピラリーを落下させる方法もピアノ線でプレスする方法も選択配向の生ずる心配はある。図4に示したプレス治具を用いて作製した試料を、プレスした方向に対して平行に取り付けた場合と垂直に取り付けた場合について回折データを収集したところ、ピーク強度の分布が異なっていることもあった。すなわち配向の効果が認められた。ただし、粒径の小さい粉末（例えば325メッシュのふるいを通り抜けた粉末）を少々プレスしても目立った配向は生じないことも経験している。測定時に試料を回転させることは配向除去に役立ってはいるが、理想的にはより複雑な回転（例えばみそすり運動）を与える方がよい。

3.2 データ処理法における工夫

図2(c)に示したような spotty な回折像を与える

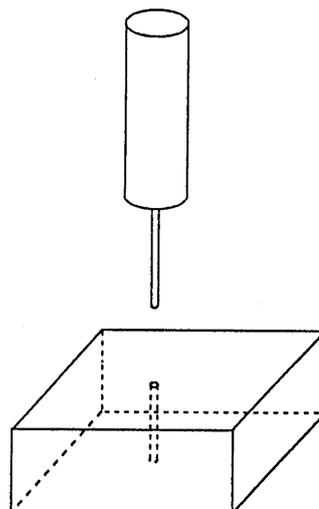


Fig.4 A pressing zig to make densely packed powder samples.

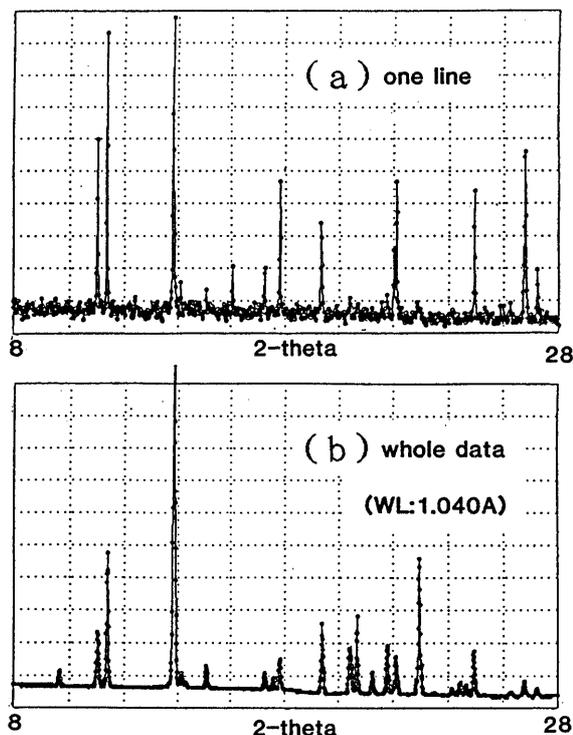


Fig.5 A comparison of the single line and the complete diffraction annulus data (sample: L-alanine).

The S/N was improved when the data of a wide steric angular range was averaged.

場合に、中央の一行分のデータのみを用いて I vs 2θ を求めると図5(a)に示すような S/N の悪いものになる。IP に記録された全測定点を用いて、同じ 2θ に対応する点の強度を積算・平均化すると

図5(b)が得られる。粒径の大きい試料を用いると配向が生ずる傾向があるので、このような spotty な回折像の撮影を推奨するわけではないが、広い立体角のデータを平均化することによってS/Nが向上することが良くわかる。

半径が286.5mmのカメラの円周は1800mmである。従ってIPを $100 \times 100 \mu\text{m}^2$ ピクセルで読みとると中心線を通る円上のデータは 0.02° 間隔で強度測定を行なったことに対応する。中心線上にないデータ点の中にはより細かい 2θ 値に対応するデータも含まれている。そこでデータ処理の際に 2θ 値が 0.01° 刻みの配列を用意し、各ピクセルの強度情報を最も近い 2θ 値を持つ配列に入れる。図6にその様子を示す。中央部の狭いベルト状のデータではなく広い立体角のデータを利用することにより角度分解能が向上することがわかる。

3.3 角度分解能のカメラ半径依存性

我々はかつて286.5mmの半径を持つカメラを用いて未知構造の解析に成功した。その後PFには従

来の1.5倍及び2倍カメラが設置された。3通りの半径で6-アミノカプロン酸の粉末回折を測定した結果を図7に示す。カメラ半径が長くなるにしたがって、角度分解能は向上することがわかる。しかし市販のイメージングプレートは最も大きいものでも $400\text{mm} \times 200\text{mm}$ である。カメラ半径が286.5mmの場合には 1 \AA 程度の波長を用いることにより、1枚のIPだけでかなり高角までのデータを記録することができた。より半径の大きいカメラを用いて高角のデータを得ようとするときIPを複数枚つなぐ必要が生じる。高角領域の記録に用いたIPには 2θ の0点が記録されていないので、正しい 2θ 値を求めるには標準物質の粉末と重ねどりするなどといった工夫が必要である。カメラ半径が大きい程高分解能のデータが得られるが、高角度領域のデータを処理する方法が厄介なので、新たに作られた大半径カメラを十分利用しきれないでいるのが現状である。

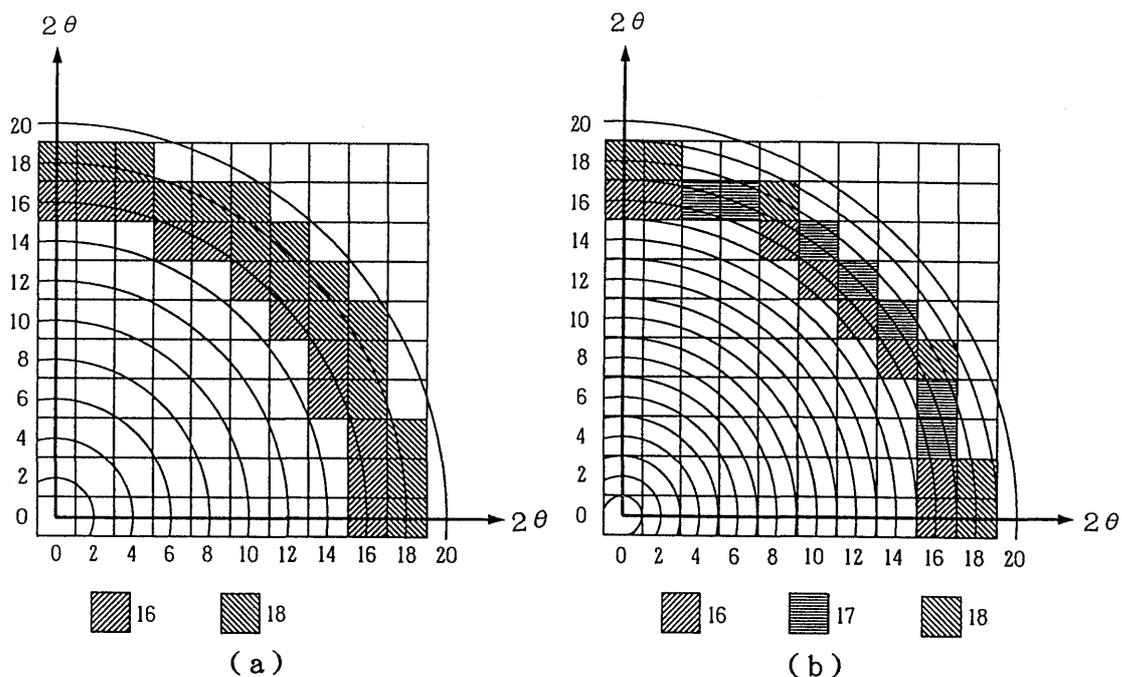


Fig.6 A schematic explanation for averaging the intensities. As the circular radius interval decreases, the angular resolution increases. For example, 2θ intervals are (a) 0.02° (b) 0.01° .

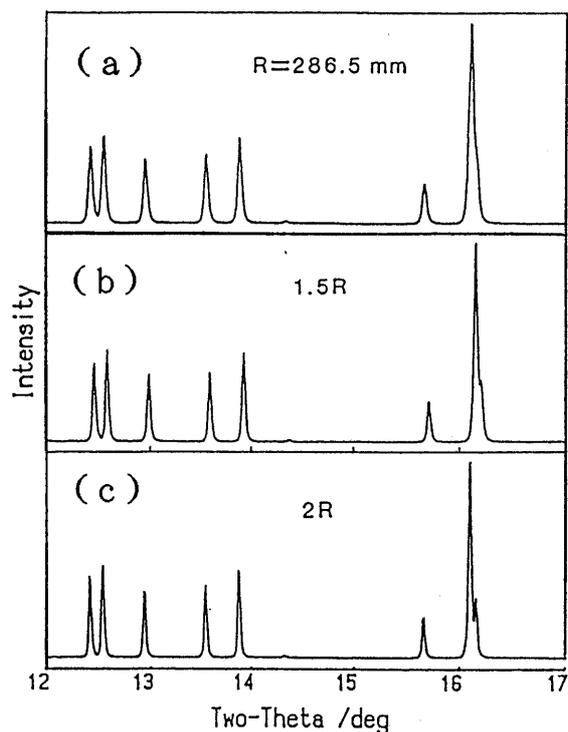


Fig.7 Dependence of the angular resolution on the camera radius. As the camera radius increases, the angular resolution also increases.

(a) $R=286.5\text{mm}$ (b) $R'=429.8\text{mm}(1.5R)$
(c) $R''=573.0\text{mm}(2R)$

4. 構造解析の実例

4.1 アミノカルボン酸の格子定数

直鎖状アミノカルボン酸のシリーズで炭素数の少ないものはかなり以前から構造解析されている。一連のアミノカルボン酸の格子定数を表1に示す。炭素数の小さいものは生化学的に重要なアミノ酸である。炭素数が6の物質はナイロン6の原料で固相重合の点で注目されている。炭素数が5と7, 8の物質の構造解析はつい最近まで(結晶化が困難なために)行なわれていなかった。一般に直鎖化合物の構造は CH_2 鎖の数がある程度長くなると奇数のものの構造と偶数のものの構造に大きく分けられるが, CH_2 鎖の数が小さい場合にはこれといった規則性はない。アミノカルボン酸のシリーズでは2, 4, 6に関連性はないし, 3, 5, についても類似性はない。我々は粉末回折パターンのピーク位置(2θ 値)から炭素数が5, 7, 8のアミノカルボン酸の格子定数を決定した。その結果, 炭素数が5と7のアミノカルボン酸は2軸がほぼ等しくて, 1軸の長さが CH_2 鎖2個分に対応し

Table 1 A comparison between the camera and the diffractometer technique.

N Compound	a	b	c	β	V	SG	Z
2 α -GLY	5.084(1)	11.820(1)	5.458(1)	111.95(2)	304.2	$P2_1/n$	4
3 β -ALA	9.865	13.81	6.07	—	826.9	Pbca	8
4 4-ABA	7.193	10.120	8.260	111.05°	561.1	$P2_1/c$	4
5 5-AVA	17.398	4.552	7.455	—	587	$Pna2_1$	4
6 6-ACA	8.555(2)	5.872(2)	15.274(4)	103.1(1)°	735.9	$P2_1/c$	4
7 7-AHA	22.564	4.578	7.499	—	775	$Pna2_1$	4
8 8-ACA	11.570	13.400	5.918	93.22°	916.1	?	4
	4.617	7.520	24.963	90.67°	866.6	$P2_1/n$	4

α -GLY	: α -glycine	$\text{NH}_2-\text{CH}_2-\text{COOH}$
β -ALA	: β -alanine	$\text{NH}_2-(\text{CH}_2)_2-\text{COOH}$
4-ABA	: 4-aminobutylic acid	$\text{NH}_2-(\text{CH}_2)_3-\text{COOH}$
5-AVA	: 5-aminovaleric acid	$\text{NH}_2-(\text{CH}_2)_4-\text{COOH}$
6-ACA	: 6-aminocaproic acid	$\text{NH}_2-(\text{CH}_2)_5-\text{COOH}$
7-AHA	: 7-aminoheptanoic acid	$\text{NH}_2-(\text{CH}_2)_6-\text{COOH}$
8-ACA	: 8-aminocaprylic acid	$\text{NH}_2-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$

て長くなっていること、炭素数が6と8のアミノカルボン酸には関連性がないことがわかった。炭素数が5と7の物質のように格子定数に類似性があること、体積差も合理的である場合には、安心して次のステップである強度解析に進めることになる。回折ピークの指数付や格子定数が誤っているとその先の全ての努力が無駄になるからである。

4.2 5-アミノバレリル酸の構造解析¹⁾

2で概説した方法で格子定数を決定し、消滅則から空間群はPnamまたはPna2₁であることがわかった。低角の指数から決定した格子定数は精度が低いので、高角のピークをも含めてより精度の高い格子定数を求めた。それにもかかわらず一挙にすべてのピークに指数を付けることは困難であった。そこで信頼性の高い指数に対応するピークのみを用いてパターン合成を行ったところ、C-C鎖の方位を決定することができた。次にトライアル法でジグザグ鎖を並進させ実測された強度分布に近いピークを与える座標のセットを求めた。得られた座標を用いてフーリエ合成を行い酸素原子や窒素原子の位置を求めた。実測されたパターンと計算により得られるパターンを比較することにより高角のデータを追加し、よりよい近似座標を得た。パラメータの精密化にはリートベルト法を用いた。泉のRIETANを一部改造して使用した⁶⁾。2通りの空間群について精密化を行った結果、より低いR値に収束したPna2₁を採用した。図8に5-アミノバレリル酸の結晶構造を示す。カルボキシル基の酸素原子とアミノ基の窒素原子の間は水素結合により結ばれていることがわかる。水素結合の様子から分子の末端は-COO⁻と-NH₃⁺で zwitter ion となっていることもわかる。

4.3 7-アミノヘプタン酸及び8-アミノカプリル酸の構造解析

7-アミノヘプタン酸の構造は格子定数から明らかのように5-アミノバレリル酸と同型である。著

者らは5-アミノバレリル酸の構造を参考にして7-アミノヘプタン酸の構造パラメータをリートベルト法により求めた。8-アミノカプリル酸については2つの変態が存在する。その中の1つについては最近、ギニエ法で測定したデータを用いて解析に成功した⁷⁾。

5. 放射光+巨大カメラ+IPを用いた回折法の利点

放射光の利用によるメリットは、入射X線の強度が強いので実験室光源を用いた場合よりも測定時間を短縮できる、白色光を用いた実験が可能である、波長巾の狭い単色光を用いた実験が可能でかつ容易にそのX線波長を変えることができる、平行ビームを得ることができる、などである。これらのことはカメラ法の場合にもカウンター法の場合にも通用する。実験室用X線源(金属ターゲットからの特性X線)を用いるとK α 線の分裂により回折線はタブレットになる。K α_2 線の混入はピーク値やピーク強度を求める際に邪魔になりデータ処理が複雑になる、質の高い単色光が放射光から得られることは非常に有難い。

表2に巨大カメラ法と回折計(PFPD)法の比較を示した。PFPD法で得られるデータは入射X線強度の補正を行なうだけでI vs 2 θ 曲線が得られる

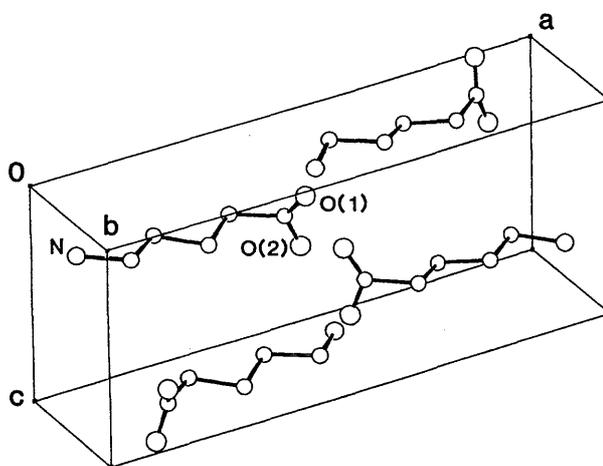


Fig.8 The crystal structure of 5-aminovaleric acid determined by the powder diffraction data.

Table 2 Cell dimensions of aminocarboxylic acids.

	巨大カメラ (坂部カメラ) 法	回折 (PFPD) 法
検出器	イメージングプレート (IP)	シンチレーションカウンタ
試料の形	円筒状, キャピラリー, 球状が理想的	平板, (キャピラリーも可)
試料の量	ごくわずか	比較的多量
角度分解能	$\sim 2/100^\circ$ (R = 286.5mm 時, カメラ半径に依存)	$1/1000^\circ$
試料・検出器の動き	試料は回転 (又は振動), 検出器は固定	θ (試料)/ 2θ (検出器) スキャン
1セットのデータを収集するのに要する時間	～数分	～1日
I vs 2θ 曲線を得るためのデータ処理	1) IPの読み取り, 2) 中心点の決定 3) 座標変換, 4) 積算・平均化	I。モニターの補正のみ
その他	強度の弱い高角のデータを積算・平均化するので, 高角データのS/Nが高い。	

が, 坂部カメラの場合には, かなりの手間がかかる。カメラ法の主なメリットは測定時間が短いことと試料の量が少なく済むことである。光源や, 装置の改造を行えば不安定試料の測定や相変態の追跡等の研究にも適用できる。

半径が286.5mmのカメラとPFPDで得られるデータを比較するとPFPDの方が優れている。特に結晶性の良い試料を用いた場合にその差が顕著に現われる。図9にZSM-5について坂部カメラとPFPDで測定したデータを比較して示す。図7に示したようにカメラ半径を大きくすると角度分解能は向上するので, 最近製作された最も半径の大きいカメラとPFPDとでは大差なさそうである。

巨大カメラ法で得られたデータのピークプロフィールは対称的で, プロフィールフィッティングの際に非対称パラメータを導入する必要がなかった。このことはデータ解析を容易にした。カウンター法でも光学系を選べば対称性の高いプロフィールが得られるはずである。

6. 問題点と将来構想

巨大カメラとIPを用いて粉末回折実験を行って感じたことを, 将来放射光を用いた粉末X線回折

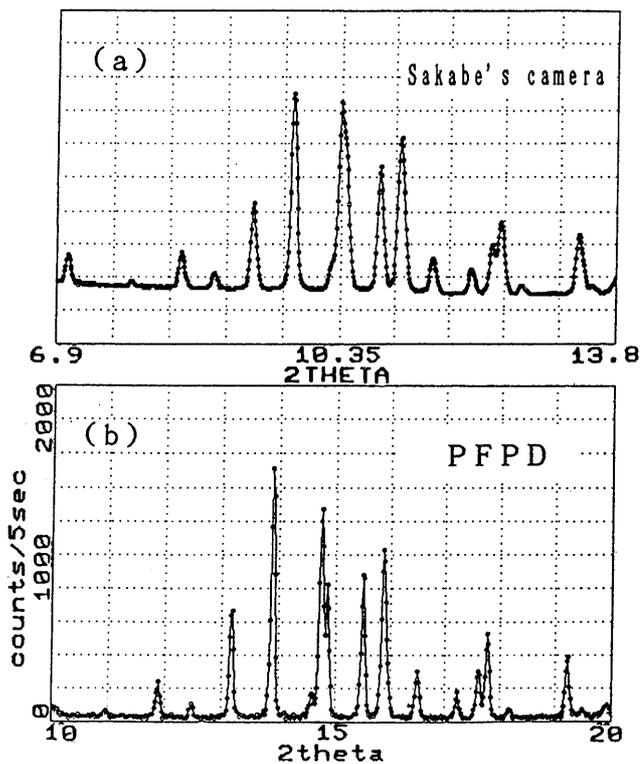


Fig.9 A comparison between the large radius camera and the PFPD data (sample: ZSM-5).

専用装置を製作する人の参考にしていただきたいと思い, 気の付いたことを以下に述べる。粉末回折実験を始める前には著者は $2^\circ/1000$ 程度の分解能を持つ回折装置があればよいと思っていた。既

存のIPを用いてこれを実現させるにはカメラ半径を2m程度にする必要がある。回折計を用いると、この程度の分解能は容易に得られる。しかしながら実存する試料の結晶性を考えると構造解析用には $1^\circ/100$ 程度の分解能で十分である。したがって2D検出器を利用したカメラ法で、もう少しだけ精度の高い測定が出来るように設計することで精度の問題は解決する。カメラ法で精度の問題が解決すればカウンター法よりもメリットは多い。以下にメーカーへの要望事項を含めて気の付いたことを列挙する。

① 大きいサイズのIPの使用

前述のように既存の市販IPは最も大きいものでも $400\text{mm} \times 200\text{mm}$ である。半径が 286.5mm のカメラを用い、 1 \AA の波長を用いる場合には $\sin \theta / \lambda$ 値が 0.55 ($2\theta \leq 70^\circ$)のデータが得られたが、半径がその1.5倍、2倍、3倍と大きくなるに従って、IPを複数枚継ぎ足さなければならない。坂田らは高角のデータを収集できるカメラを製作したが、高角度領域の記録に用いたIPからは依然として正確な 2θ を読みとることはできない。もっともこの問題は標準試料との重ねどりや、IPに角度メモリをつける工夫で解決できなくもない。大きいサイズのIPはメーカーに依頼すれば恐らく容易に入手することは可能であろう。しかしながらメーカーはそれを読みとる装置までは提供しないだろうから、ユーザーが読み取り装置を製作せねばならない。IPの読み取り装置はカメラに付属させ、撮影後その場で読み取るようにする方が再現性が保証されて良い。

② 膜厚の薄いIPの使用

最近では電子顕微鏡の分野で $50 \times 50 \mu\text{m}^2$ ピクセルで読むIPが用いられている。IPの位置分解能さえ上がれば必要以上にカメラ半径を大きくする必要がなくなる。IPの厚さを薄くすると感度が悪くなる。その場合は多少面倒ではあるが露出時間を変えた測定をすればよい。したがって、膜厚の薄い大きいサイズのIPを供給して頂きたい。

③ IPの読み取りには従来より細いレーザービームを使用

IP上に記録された情報を読み取る場合に、輝尽性物質の膜厚に比べて極端に細いレーザービームを用いても無駄だとされてきた。それはレーザー光が膜物質で散乱されてにじむことによる。通常IPは $100 \times 100 \mu\text{m}^2$ ピクセルで読まれる。最近雨宮はこのIPを細いレーザービーム($25 \mu\text{m}$)を用いて読みとるとともに、デコンボリューション処理を行なうことにより、IPが $100 \mu\text{m}$ 以下の微細情報を持っていることを示した⁹⁾。すなわち、細いスリットを通ってきたX線をIP上に記録し装置関数として用いる。つぎに同じスリットを用いて透過するX線をスリットを移動させて(例えば $75 \mu\text{m}$)照射する。得られたデータをKosarevのデコンボリューションプログラムで処理すると $100 \mu\text{m}$ 以下の微細構造が現われるというものである⁹⁾。これに関連して、著者はKosarevのデコンボリューションプログラムを用いて粉末回折データの角度分解能の向上に適用したので紹介する¹⁰⁻¹¹⁾。用いたデータは著者が実験室用に製作したギニエ写真である(図10(a))。検出器にはIPを用い、読み取りは通常 $100 \times 100 \mu\text{m}^2$ ピクセルで行った。これを $I-2\theta$ 曲線に変換した後バックグラウンドを差し引いた(図10(b))。装置関数には、ギニエカメラに入射するX線ビームのピークプロファイルを用いるのが理想的であるが、ここでは孤立した回折ピークのプロファイルを用いた。デコンボリューション処理を行なうことにより重なっていたピークが分離した(図10(c))。比較のため図10(d)に半径が 573.0mm の巨大カメラを用いて測定したデータを示す。これらのことから半径が 185.0mm のギニエカメラでは分離できなかったピークが、巨大カメラで測定すると2つに分離したピークとして観察されること、分解能の悪いデータに装置関数を用いてデコンボリューション処理を行なうと分解能が向上することがわかる。なお、巨大カメラを用いて得られるデータの装置

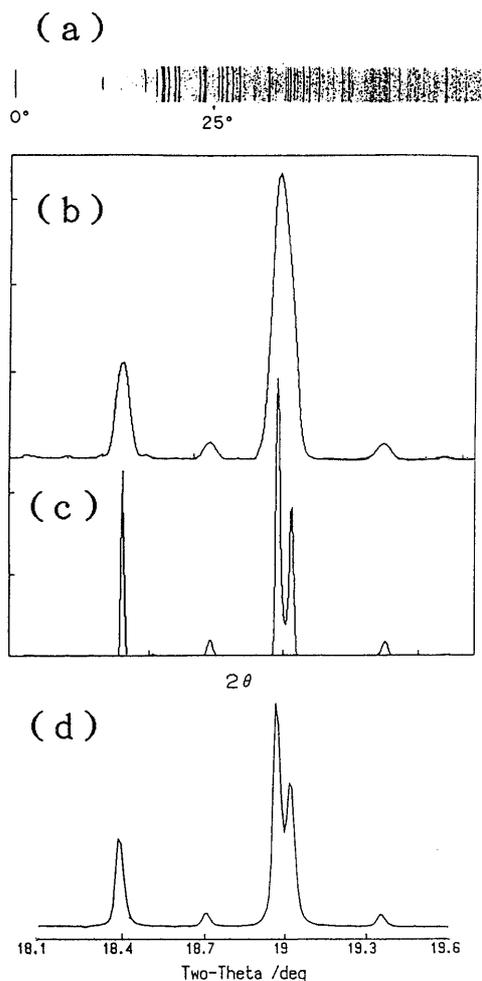


Fig. 10 (a) Guinier photograph of 6-aminocaproic acid obtained by a conventional X-ray source.
 (b) I vs 2θ a selected region of (a)
 (c) deconvolution of (b)
 (d) I vs 2θ as observed by the large radius camera with $R=573.0\text{mm}$

関数には入射X線のプロフィールが望ましい。その際、基準点 (fiducial point) の測定には露出時間を極端に短くするか、より厚いフィルターを用いるなどして、IPのダイナミックレンジの範囲内におさまるように測定せねばならない。

④ IPフィルムの装着法の改善

精度の高い角度情報が必要であるため、カメラの加工精度に見合う程度にIPを円周上に精密に密着させることが望ましい。フィルムのしなりによる補正は事実上困難なのでブラインドリジョンの増加を覚悟してでもIP自身がたわまないようにす

るか、もう少し巾の狭い(例えば $400\text{mm} \times 200\text{mm}$ を $400\text{mm} \times 100\text{mm}$ にする)IPを使用するなどしてシリンダー上にフィルム面が正確に乗るようにする必要がある。

⑤ 実験による偏光因子の補正

偏光の補正は東の方法に従って行っているが¹²⁾、同じ 2θ に対応するピクセルの強度を広い立体角にわたって平均化する本法においては、慎重に行わなければならない。毎回標準試料を用いて、パラメータ (入射するX線の直線偏光度) を決め直すことも必要となろう。

⑥ 結晶の多軸回転

本実験では結晶を回転または振動させて測定した。このことは配向除去に多少の効果があったと考えられるが、粉末専用の回折装置の場合には、回転軸を増やして本格的に配向効果を除去することが望ましい。

⑦ 静水圧を用いたプレス治具の開発

配向の効果を軽減することは、未知構造を解く上で重要な課題の1つである。試料の回転などによる方法に頼らず、配向のない試料作りが望まれる。等方的に圧力をかけて粉末を固めるための治具を製作することが望まれる。

⑧ 究極の粉末回折装置

球状のカメラの内壁にIPに用いられている輝放射性物質を塗り、適当な方法を用いて読みとる。球の外側から読み取れるようにするのも一案である。加工技術の点で易しくないかも知れないが、同じ 2θ に対応する情報を平均化すれば配向の効果から逃げられる。さらに試料の回転をも加えれば二重に配向効果から逃げられる。広い立体角のデータを利用することになるので、S/Nの高いデータが得られる。

謝辞

巨大カメラを用いた実験を行うに当たり、ご協力ならびに有意義なコメントを頂きましたPFの坂部知平教授、中川敦史博士に感謝の意を表します。

文献

- 1) K. Honda, M. Goto, M. Kurahashi: Chem. Lett. 1990, 13.
- 2) 本田一匡, 倉橋正保: PF ニュース, 7, 21 (1990).
- 3) M. Kurahashi, K. Honda, M. Goto: PF Activity Report, No.7, 170 (1989).
- 4) M. Kurahashi, M. Goto, K. Honda: PF Activity Report, No.8, 110 (1990).
- 5) 倉橋正保: 日本結晶学会誌, 34, 157 (1992).
- 6) 泉富士夫: 日本結晶学会誌, 27, 23 (1985).
- 7) E. Horn, 倉橋正保: 第28回X線分析討論会要旨集, 87 (1992).
- 8) 雨宮慶幸: 私信
- 9) E. L. Kosarev: Inverse Problem, 6, 55 (1990).
- 10) M. Kurahashi, K. Honda, M. Goto, Y. Inari, C. Katayama: J. Appl. Cryst., 24, 61 (1991).
- 11) M. Kurahashi, K. Honada, K. Goto, Y. Inari, C. Katayama: Advances in X-ray Analysis, 35, 375 (1992).
- 12) 東常行: 日本結晶学会誌, 28, 356 (1986).

バックナンバー紹介

日本放射光学会特別シンポジウム予稿集 (1991年1月)

Part 1 小型光源加速器の現状と展望—リソグラフィへの出番は？

Part 2 ソ連の放射光新技術

主催 日本放射光学会 後援 電子技術総合研究所

協賛 応用物理学会

体裁 A4判 (全英文, 2分冊) Part 1 B5判, Part 2 (OHP集)

定価 Part 1, 2, とも各1,000円

内容

Part 1 Status and Prospects of Compact Synchrotrons

May we expect their turn for lithography?

Current Techniques of Lithography

1. Survey of Advanced Microdevice Technology.....S. Namba (Osaka Univ.)
2. The state-of-the-Art ULSI Fabrication Technologies.....S. Asai (Hitachi)
3. Electron-beam Patterning Techniques.....H. Yasuda (Fujitsu)
4. Recent Progress in Optical Lithography.....M. Nakase (Toshiba)

Synchrotron Radiation Lithography

5. SR Lithography in NTT.....H. Yoshiwara (NTT)
6. X-ray Lithography for Quarter Micron Application.....J. Trube et al (IMT)
7. Low Energy Proximity X-Ray Lithography.....K. Suzuki (NEC)
8. SR Lithography at SORTEC.....N. Atoda et al (SORTEC-ETL)

Status Reports on Compact Synchrotrons

9. Development of Compact SR Rings for Industrial Use in Japan.....T. Tomimasu (ETL)
10. Present Status of Helios.....T. Ford (Oxford Instr.)