

画像処理を用いた粒子飛跡の計測について

(続)

竹内博・本多照幸・野崎徹也(武蔵工大原研)・雁沢好博(北海道教育大)

1 はじめに

前回、マイカ表面のフィッシュン・トラックの自動計測を目標に、通常の透過光によるものと表面に金属蒸着を施して反射光によって計測したものとを比較した。その結果、反射光による計測では1つ1つのトラックの見かけの面積が減少し、大きさが揃うために重なり等による誤計測が減少することが分かった。しかし、試料の表面状態の不良のために十分な比較計測が出来なかった。その為今回は表面状態の改良により十分な量の比較計測を行い反射光による計測の効果を検討する。また計数誤差の影響とそれを数学的に補正可能な限界密度についても検討する。

2 実験方法

計測装置については前回と同様なのでここでは省略する。

表1に測定に使用した試料を示す。

表1 実験試料

試料NO	飛跡密度 (t/cm^2)
1	2.72×10^6
2	5.20×10^6
3	2.75×10^6
4	3.34×10^6
5	1.10×10^7

エッチング条件は、48% HF 溶液を用いて室温で30分間行った。表中の飛跡密度は試料を肉眼で計測したものである。

前回、試料の表面状態が悪かった原因としてオーバーエッチングによる表面の荒れ及び蒸着前の試料表面の油脂等による汚れが考えられる。

そこで今回は、オーバーエッチングをせず、また金属蒸着直前にエタノールとアセトンで超音波洗浄を施し、試料表面の改善をはかった。

今回は蒸着金属として反射率の高い銀及び酸化等の化学的変化の少ない金を用い、ガラス等へ様々な厚さの膜をつくる予備実験の結果、銀では膜厚が約50Å、金では約100Å以上で内部が反射光で見えなくなることが分かった。また、両者とも100Å程度の厚さであれば透過光でも未蒸着のものと同様に観察できた。そこで蒸着は、銀の100Åを中心とし、比較として金100Åのもの

も1試料 (No. 3) 用意した。

計測方法についても前回とほぼ同様であるが、顕微鏡倍率を750倍とし、50 μ m四方の視野を1試料につき20視野、1視野につき透過光と反射光それぞれでの自動計測と肉眼での計測をおこなった。

3 計数誤差の原因と数学的補正

画像処理による自動計測の際、計数誤差を起こす原因として、次の5つが挙げられる。

- ① 画面上で重なる、または交差している複数の飛跡を1つとして数えてしまう。
- ② 視野の端にかかった飛跡のうち、中心が視野外にあるものも数えてしまう。
- ③ バックグラウンドとの濃度差が小さかったり面積の小さいトラックが、画像処理の際消滅してしまう。
- ④ 二値化時に1つの飛跡が複数に分離してしまう。
- ⑤ 表面のゴミ・傷等のノイズを飛跡として数えてしまう。

これらはしきい値の調整や、領域縮小などの画像処理を施すことにより、ある程度まで減少させることができるが、完全に除去する事は不可能である。これらのうち⑤は、試料の状態が均一であれば密度がほぼ一定の値を示すと考えられる。また、②・③・④の様にその密度が実際の飛跡数 t に比例していると考えられるものについては、その数を t の一次式で近似できる。さらに①についてはGM計数管の分解能の補正と同じ形の式が適用できることを藤本ら^{*1}が示している。GM計数管の不感帯による未計数パルスにより減少した、計測パルス数 m は、不感時間を τ 、単位時間の全パルス数を n とおけば、

$$m = n e^{-\tau n} \quad \text{と表せる}^{*2}。 \text{実際には上式の右辺をテーラー展開したものの始め二項}$$
$$m = n (1 - \tau n) \quad (1)$$

で近似されることが多い。今回、①の近似に(1)式を用い、全飛跡数を t とすると①の数は τt^2 となり飛跡数 t の自乗に比例することになる。

自動計測での一定面積内の計測数(密度)を t_0 とすると、 t_0 は t から①～⑤までの各誤差要素の数を加減したものであるので、 t の2次式で近似できることになる。2次関数までの逆関数は容易に求められるので、 t_0 が t の2次関数であることが確かめられ、その関数を求められれば、 t_0 から t を求めることも可能である。

4 マイカの画像処理による自動計測結果

計測結果を表2に示す。金を蒸着したNo.3をみると反射光での計測時に銀を蒸着したものよりもやや表面の反射率が悪いこと以外には違いが見られず、自動計測時の蒸着金属による顕著な差見られなかった。No.5は飛跡密度が高すぎ誤差別の計測ができずに飛跡数のみ計測できた。透過光での計測の場合、重なりや端の過計測による誤差の割合が多く特に重なりは飛跡密度が高いNo.3,4でその影響が著しい。また、No.5についても自動計測値が肉眼計測値より非常に小さく、重なりの影響が非常に著しいことが分かる。

一方、反射光による計測では、予想通り、重なりや端の過計測による誤差が透過光に比べて半分以下になっていることが分かる。ゴミの誤計測や数え落としは増加しているが、前二者の減少

に比べると大きな影響はない。

次に、各視野の自動計測値 T_o と肉眼計測値 T_n の相関、及び2次の近似曲線を透過光、反射光それぞれについて求めたものを図1に示し、補正式の近似の精度についてまとめたものを表3に示す。

表2 マイカ各試料計測結果 (単位は全て個)

マイカNO	自動計測 カウント数		重なり		端の過計測		分離		ゴミ		数え落とし		肉眼 カウント数	
	透過光	反射光	透過光	反射光	透過光	反射光	透過光	反射光	透過光	反射光	透過光	反射光		
1	合計	139.0	131.0	10.0	5.0	8.0	1.0	2.0	0.0	8.0	5.0	1.0	4.0	134.0
	平均	7.0	6.6	0.5	0.3	0.4	0.1	0.1	0.0	0.3	0.3	0.1	0.2	6.7
	標準偏差	2.3	2.1	0.7	0.6	0.8	0.2	0.4	0.0	0.9	0.8	0.2	0.4	2.2
2	合計	244.0	246.0	14.0	4.0	21.0	8.0	0.0	4.0	3.0	6.0	0.0	6.0	234.0
	平均	12.2	12.3	0.7	0.2	1.1	0.4	0.0	0.2	0.2	0.3	0.0	0.3	11.7
	標準偏差	2.9	3.1	0.8	0.5	0.8	0.5	0.0	0.5	0.4	0.6	0.0	0.5	2.4
3	合計	1024.0	1206.0	359.0	109.0	76.0	15.0	8.0	3.0	1.0	8.0	6.0	29.0	1304.0
	平均	51.2	60.3	18.0	5.5	3.8	0.8	0.4	0.2	0.1	0.4	0.3	1.5	65.2
	標準偏差	6.7	9.0	6.0	3.5	1.8	0.7	0.9	0.4	0.2	0.8	1.1	1.5	9.9
4	合計	1093.0	1450.0	581.0	167.0	89.0	35.0	8.0	2.0	4.0	18.0	2.0	21.0	1575.0
	平均	54.7	72.5	29.1	8.4	4.5	1.8	0.4	0.1	0.2	0.9	0.1	1.1	78.8
	標準偏差	7.2	9.5	8.0	2.8	1.7	1.3	1.1	0.3	0.4	0.9	0.4	1.2	8.4
5	合計	1036.0	4045.0											5288.0
	平均	51.8	202.3											264.4
	標準偏差	15.9	13.2											13.7

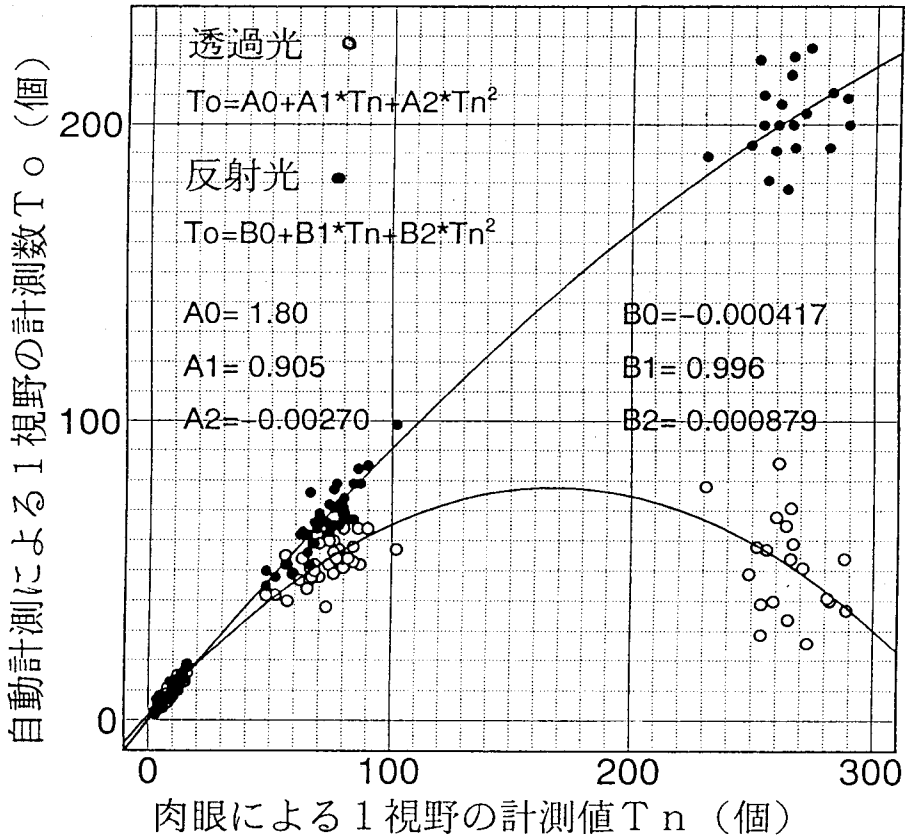


図1 肉眼と自動計測との計測飛跡数の比較

表3 マイカ各試料の補正式による誤差減少の効果

(単位は全て個)

マイカNO		肉眼 カウント数	$\Delta T0$		$\Delta T2$		雁沢の計測
			透過光	反射光	透過光	反射光	
1	合計	134.0	10.0	12.0	5.1	15.9	6.8
	平均	6.7	0.5	0.6	0.3	0.8	
	標準偏差	2.2	1.4	1.6	1.7	1.6	
	最大誤差		1.9	2.2	2.0	2.4	
2	合計	234.0	5.0	-3.0	-17.8	-1.6	13.0
	平均	11.7	0.3	-0.2	-0.9	-0.1	
	標準偏差	2.4	1.5	1.1	1.7	1.1	
	最大誤差		1.8	1.3	2.5	1.2	
3	合計	1304.0	-280.0	-98.0	85.9	-18.4	68.8
	平均	65.2	-14.0	-4.9	4.3	-0.9	
	標準偏差	9.9	6.4	6.3	8.5	6.7	
	最大誤差		20.4	11.2	12.8	7.6	
4	合計	1575.0	-482.0	-125.0	-43.9	-8.7	83.5
	平均	78.8	-24.1	-6.3	-2.2	-0.4	
	標準偏差	8.4	8.3	4.2	13.8	5.1	
	最大誤差		32.4	10.4	16.0	5.6	
5	合計	5288.0	-4252.0	-1243.0	38.1	34.5	275.0
	平均	264.4	-212.6	-62.2	2.1	1.7	
	標準偏差	13.7	21.5	16.6	25.5	25.8	
	最大誤差		237.1	78.8	27.7	27.5	

図1の2つの曲線を見ると、どちらも T_0 が T_n の2次式に従うことが分かる。透過光の近似曲線は $T_n=170$ 付近(約 $T_n=167$)を頂点としているため、それ以上の飛跡数のものでは T_n の増加に従って T_0 は減少している。一方反射光の近似曲線では、曲線の頂点が計測範囲より大きく離れているので(約 $T_n=566$)、曲線は右上がりの直線に近いものになっている。2次の近似式の逆関数は、 T_n が頂点以上か以下かを判別しなければならない上に、頂点付近では傾きが非常に大きくなり、精度が低下することが考えられる。よって近似曲線の頂点の T_n 座標は最大計測値より十分に大きいことが望ましい。

ここで、計測可能範囲を傾きが0.5以上とする。傾きがこれ以下になると、実際の飛跡の増加数の内、計測値の増加でみられる数が半分以下になってしまうため、このあたりが一応の目安であると考えられる。そこで $dT_0/dT_n > 0.5$ を計算した結果、透過光では約 $T_n < 74$ 個、反射光では約 $T_n < 284$ 個と求められた。この結果は、透過光ではNo.3の一部とNo.4、5が範囲外となっており、反射光ではNo.5が一部の視野で範囲外である。

この結果と表3を比較する。表3中の $\Delta T0$ は各計測視野の肉眼と自動計測値との差を、 $\Delta T2$ は自動計測値を二次の逆関数で近似したものととの差を示す。また、最大誤差とは1視野当たりの平均誤差とその標準偏差それぞれの絶対値の和であり、飛跡そのものの標準偏差と比較して小さいことが望ましい。表3から明らかなように飛跡密度の最も低いNo.1以外では透過光と比較して反射光による計測の方が、誤差の平均・最大誤差共に小さな値となっている。特に比較的高密度のNo.3,4については、透過光では最大誤差が T_n の標準偏差以上になっており、No.3~5の計

測は補正しても実用にならないことになる。これは先の測定可能範囲の計算の結果に近い。一方反射光ではNo. 5だけが実用範囲外となり、これも先の結果にほぼ当てはまる。従って今回の実験装置での実用精度が得られる計測限界の飛跡密度は、透過光では1視野あたり約74個、 $\rho d = 3 \times 10^8 (t/cm)$ 、反射光では1視野あたり約280個、 $\rho d = 1 \times 10^7 (t/cm)$ がおおよその目安となり、それ以下が望ましいといえる。ただし、1試料あたりに十分な数の計測視野が得られる場合には、誤差の標準偏差が問題にならなくなり、誤差の平均値だけが問題になるので、より高密度まで実用になる可能性がある。

5 結論

- ① 表面状態の良い試料に十分な厚さの金属蒸着を施せば、反射光での自動計測が可能なレベルのノイズになる。
- ② 自動計測での計測飛跡数 T_o は肉眼での計測飛跡数 T_n の二次関数に従う。そこで、二次の近似曲線の逆関数により T_o を補正することが可能である。
- ③ 反射光での計測は、透過光によるものと比較して誤差の発生が少なく、特に高飛跡密度のものでその効果が著しい。
- ④ 今回の実験装置で補正式を用いての実用可能な計測飛跡密度は、近似曲線の傾きと実際の誤差の計測から、透過光の場合で $\rho d = 3 \times 10^8 (t/cm)$ 、反射光の場合で $\rho d = 1 \times 10^7 (t/cm)$ がおおよその目安となる。

今後更に多くの試料を計測することによって、近似式の精度を上げると共に、ADCではより高密度のものを計測することで、補正式の必要性と計測限界を、マイカについてはより様々な飛跡密度のものを計測し、それぞれの光源の計測限界についてより詳しく調べる必要がある。

参考文献

1. "固体検出器のトラック計測における重なるの補正方法" 藤本憲三, 松村一博, 土居雅広, 小林定喜 保険物理, 25, 129~133 (1990)
2. "放射線計測ハンドブック" グレン・F・ノル 日刊工業新聞社, (1990)
3. "固体飛跡検出器を用いた個人中性子線量計の開発に関する研究" 菊池正太郎 武蔵工業大学修士論文, (1992)