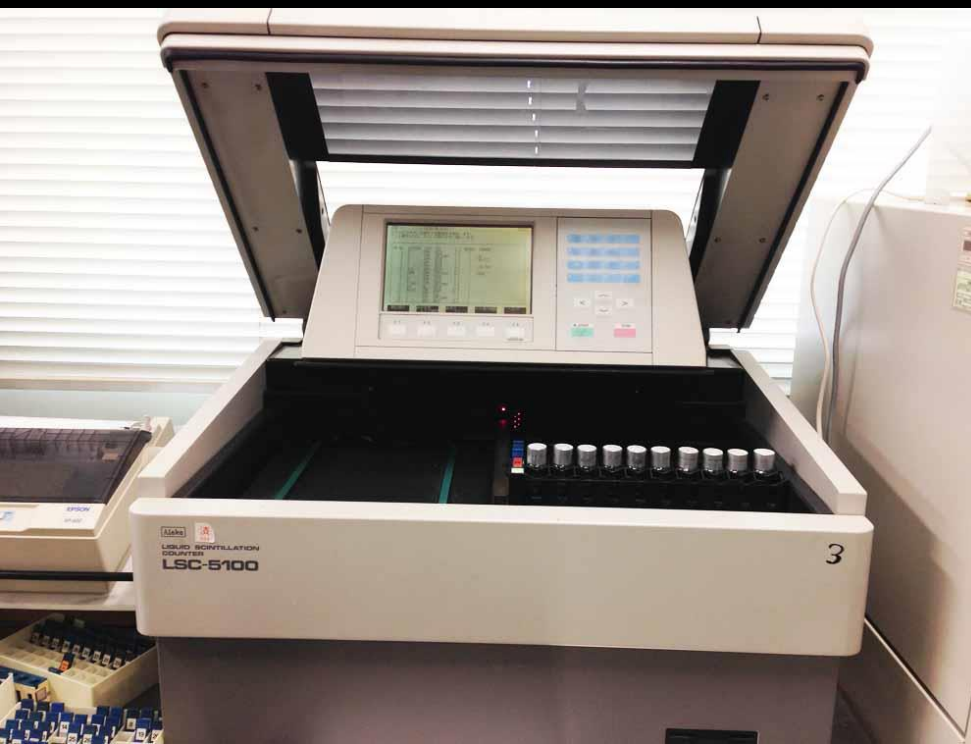


液体シンチレーションカウンタ LSC

^3H や ^{14}C などの低エネルギー β 線の測定に使用される。試料(放射性廃液や動物臓器など)を液体シンチレータ(放射線があたると蛍光を発する)を含む容器に入れて蛍光量を測定する。試料の全方向(4π ジオメトリ)計測であるため高い計数効率が得られる。



液体シンチレータで測定可能な ^{14}C と ^3H (低エネルギー β 線測定)

^{14}C の核崩壊は、 β 崩壊を起こし、 ^{14}N へ変化する。



5730年を半減期として、崩壊時には最大エネルギー
155 keVの β 線を放出する。

^3H の核崩壊も、 β 崩壊を起こし、 ^3He へ変化する。



12.32年を半減期として、崩壊時には最大エネルギー
18.6 keVの β 線を放出する。

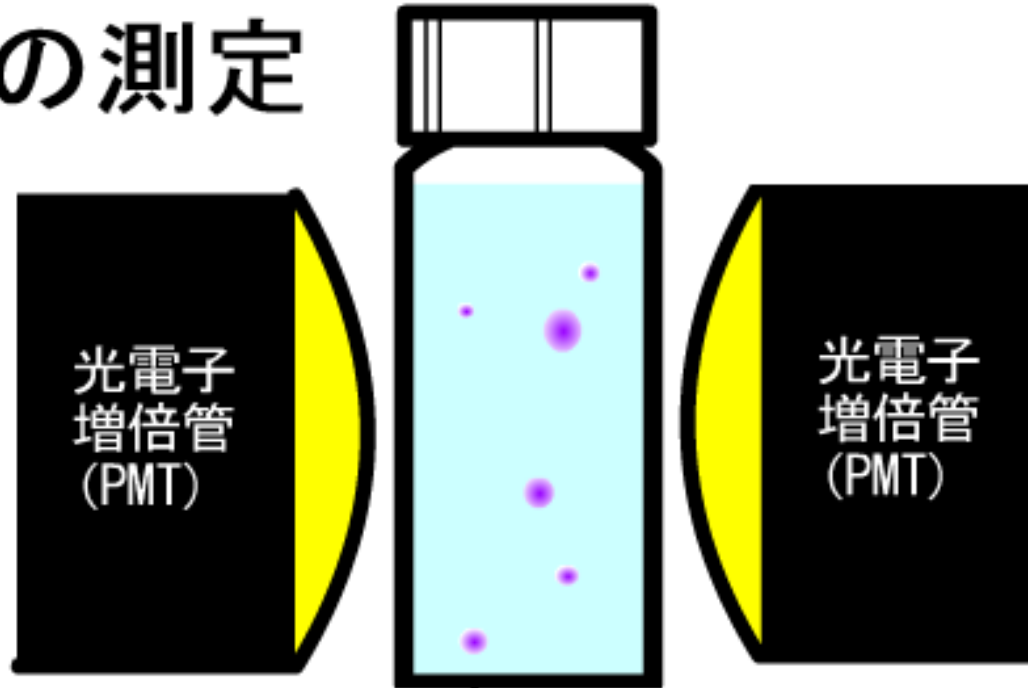
液体シンチレータ LSC

(Liquid Scintillation Counter) の測定原理

放射線で励起されて蛍光(Scintillation)を放出する物質を有機溶媒に溶かし、主に低エネルギー β 線を放出する放射性核種を含む試料と混合溶解することによって効率よく β 線のエネルギーを光電子増倍管PMTで測定する。

サンプルバイアルを2本のPMTで測定し、PMTから発生するノイズと目的とするサンプルからの蛍光を区別でき、バックグラウンド値を低減できる。
(同時計数)

LSCの測定



2本のPMT
による
同時計数

サンプルバイアル

LSCは以下に示すような長短所を持ち、 α 線や低エネルギー β 線放出核種の測定に利用されるが、試料の化学組成によってクエンチングを生じることがある。

液体シンチレーション溶液

溶液は**溶媒**に**溶質**を溶かし込んで作成している。

溶媒：トルエン、キシレン、ジオキサンなど

第1溶質：PPOやbutyl-PBD

第2溶質：POPOPやDMPOPOP

(Pはphenol、Oはoxazole、Dは1,3,4-oxadiazole、Mはmethylを意味している)

溶媒は有機溶媒がもとであるが、水溶性の試料を溶かすために**可溶化剤** (solubilizing agent) を添加し、安定な溶液としている。

長 所

- 1) 放射線の自己吸収がない。
- 2) 放射性原子の周囲はシンチレーターで囲まれており、放出された放射線のエネルギーが効率よく検出部分に吸収され、 4π 検出が可能である。
- 3) 試料中の β 粒子の放出率を計測することによって放射能強度が測定できる。また、蛍光強度の分布から最大エネルギーを求め、試料中の放射性核種を決定できる。

短 所

- 1) 試料の化学的性質，共存物などによってクエンチング（消光）現象が生じ，検出効率が低下する。
- 2) 試料によってはルミネッセンスが生じることがある。

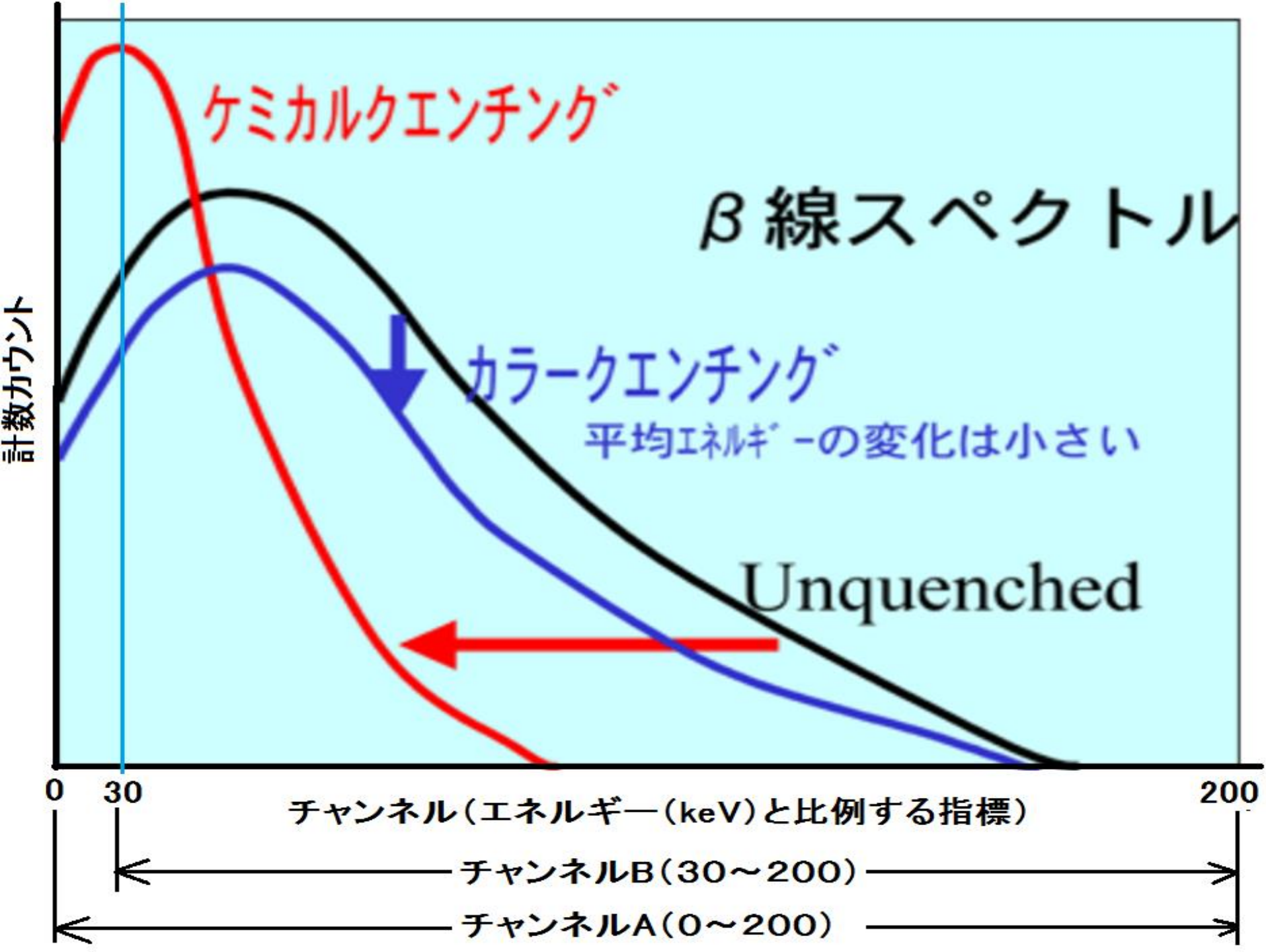
ケミカルルミネッセンス： 化学反応によって引き起こされる擬似発光で，アルカリや過酸化物の添加などによって生じる。

フォトルミネッセンス： サンプルやバイアルに紫外線が当たることで起こる擬似発光。

クエンチング

液体シンチレータLSCにおいて最も注意する事項は、クエンチング（消光：Quenching）の防止、およびケミルミネッセンス（擬似発光）の抑制。この消光や疑似発光現象を誘発する物質をクエンチャーという。

クエンチングには、ケミカルクエンチング、カラークエンチング、酸素クエンチング、濃度クエンチングなどがあるが、ケミカルクエンチングとカラークエンチングが発生しやすい。ケミカルクエンチングは放射線エネルギーの溶媒への転移および溶媒から溶質への転移を妨害し、カラークエンチングは溶質から蛍光への変換を妨害する。クエンチングによって図のような **β 線スペクトルの変位を生じ、計数効率を低下させる。**



クエンチング

放射線エネルギー



溶媒



溶質



光電子増倍管 (PMT)

化学クエンチング

酸素クエンチング

色クエンチング

濃度クエンチング

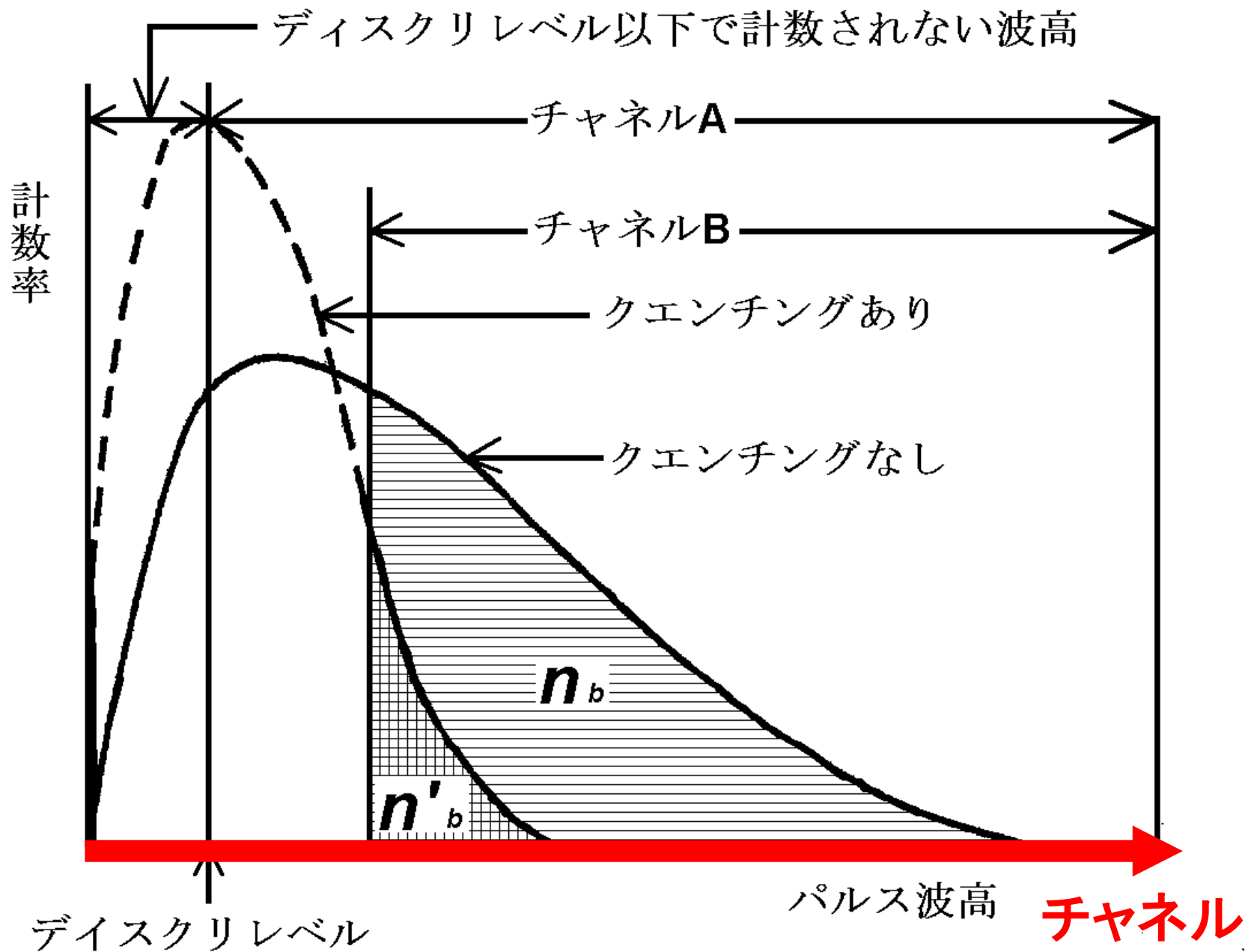


図2 クエンチングによる β 線スペクトルの変位

クエンチング補正法 試料チャンネル比法

β 線スペクトルの2つのチャンネルにおける計数の比（試料チャンネル比）もクエンチングの影響を受ける。この際、試料チャンネル比と計数率との間に相関性がある。

まず、試料チャンネル比 R を（チャンネルBのcpm）/（チャンネルAのcpm）と定義し、 ^3H または、 ^{14}C 標準クエンチング試料を用いて、試料チャンネル比と計数効率の関係（クエンチング補正曲線）を作成し、以下、次の測定を行なう。

- 1) 3H または 14C のワークシートを選択。
- 2) 実習日を入力し、既知試料の検定日からの経過日数を算出する。半減期補正式を用いて減衰率を算出する。(10個の既知線源の検定日は同じなので減衰率は10個の既知線源で同じ値になるはず。)
- 3) 減衰率に検定日放射能をかけて10個の既知試料線源の実習日(本日の)放射能を算出。
- 4) 10個の既知試料を液体シンチレータでチャンネルAとチャンネルBで測定した計数値のチャンネル比 B/A を算出。

5) チャンネルAで測定した計数値 (CPM : counts per minute) と実習日放射能 (DPM: decay per minute) の比 (= 計数効率 E) を求める。

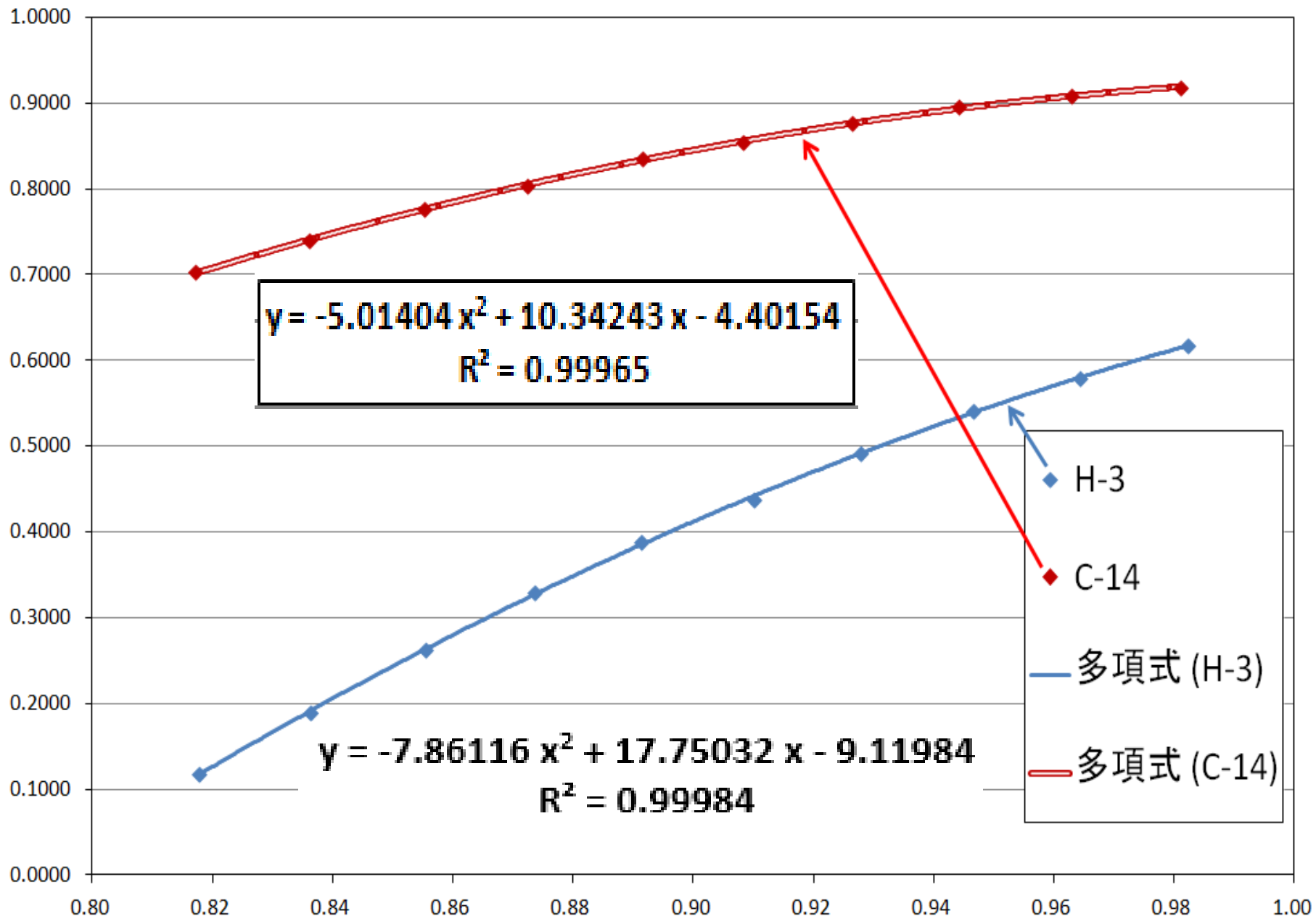
クエンチングの影響 (計数効率の低下) は、試料のエネルギーと関係があることを理解する。

6) 横軸に各試料のチャンネル比 B/A 、縦軸に計数効率 E をプロットするグラフを作成。プロットを2次曲線近似し、クエンチング補正曲線を得る。

7) 未知試料のチャンネル比 B/A を算出し、クエンチング補正曲線から計数効率 E を求め、チャンネルAでの測定値をかけて、未知試料の放射能を計算する。チャンネル比から放射能を推定できることを理解する。

クエンチング補正曲線 (2次多項式曲線近似)

計数効率



チャンネル比

H-3の核崩壊では、 β 崩壊を起こし、He-3へと変化する。

$H-3 \rightarrow He-3 + e^- + \nu^-$ 崩壊時には、12.32年を半減期として、18.6 keVのエネルギーを持つ β 線を放出する。

この β 線のエネルギーは小さく、一般的にH-3の放出するベータ線は低エネルギー β 線と呼ばれる。

H-3とC-14の液体シンチレーション検出器のクエンチング補正曲線を考察すると、まず、C-14と比較するとC-14は最大エネルギー155 keVとした高エネルギー β 線を放出する。

低エネルギーの β 線は検出効率の高い液シンであっても、蛍光発光が小さく、蛍光を収集しきれない。

その点から、低エネルギーの β 線に対する検出効率は低く、クエンチングの影響をより受ける。

その結果、C-14よりもH-3の方がクエンチング補正曲線の検出効率は、同チャネル比であっても小さくなっている。

具体的な手順：エクセルファイル下の C-14 タグ をクリック
 C-14のクエンチング補正曲線の作成。検定放射能の1～10
 に対して、①～⑤、⑦を埋め、⑤と⑦の関係をExcelでクラフ
 化する。プロットしたグラフに二次関数近似し、未知放射能
 のチャンネル比⑥から計数効率⑧を求め、未知⑨を求める。

実習日:	①	試料:	C-14						
		半減期:	5.73.E+03	年			経過日数:	②	
ナンバー	検定日	検定放射能 (DPM)	減衰率	実習日の放射能 (DPM)	チャンネルA (CPM)(LL 0~ UL 200)	チャンネルB (CPM)(LL 30~ UL 200)	ESCR(外部標準チャンネル法)	チャンネル比 B/A	計数効率 (A(CPM)/(DPM))
BG									
1	1990/1/1	117924	③	④	100450	91242		⑤	⑦
2	1990/1/1	121023	③	④	96894	84535		⑤	⑦
3	1990/1/1	123527	③	④	102818	91661		⑤	⑦
4	1990/1/1	121230	③	④	93807	80221		⑤	⑦
5	1990/1/1	108091	③	④	96544	91161		⑤	⑦
6	1990/1/1	107036	③	④	97922	96069		⑤	⑦
7	1990/1/1	115577	③	④	100982	93560		⑤	⑦
8	1990/1/1	108378	③	④	98108	94467		⑤	⑦
9	1990/1/1	140576	③	④	103625	86645		⑤	⑦
10	1990/1/1	141086	③	④	98831	80756		⑤	⑦
(未知)				⑨	95423	85280		⑥	⑧

C-14 のクエンチング補正曲線 実習日を本日の日付にする。

実習日	2018/10/9		試料: C-14				経過日数		
			半減期:	5.73.E+03	年		10508		
ナンバー	検定日	検定放射能 (DPM)	減衰率	実習日の放射能 (DPM)	チャンネルA (CPM)(LL 0~ UL 200)	チャンネルB (CPM)(LL 30 ~ UL 200)	ESCR (外部標準チャンネル法)	チャンネル比 B/A	計数効率 (A(CPM)/(DPM))
BG									
1	1990/1/1	141086	0.9965	140596	98831	80756		0.8171	0.7029
2	1990/1/1	140576	0.9965	140088	103625	86645		0.8361	0.7397
3	1990/1/1	121230	0.9965	120809	93807	80221		0.8552	0.7765
4	1990/1/1	121023	0.9965	120603	96894	84535		0.8724	0.8034
5	1990/1/1	123527	0.9965	123098	102818	91661		0.8915	0.8353
6	1990/1/1	117924	0.9965	117514	100450	91242		0.9083	0.8548
7	1990/1/1	115577	0.9965	115175	100982	93560		0.9265	0.8768
8	1990/1/1	108091	0.9965	107715	96544	91161		0.9442	0.8963
9	1990/1/1	108378	0.9965	108001	98108	94467		0.9629	0.9084
10	1990/1/1	107036	0.9965	106664	97922	96069		0.9811	0.9180
(未知)				114062	95423	85280		0.8937	0.8366
チャンネルA, BのLLの差		チャンネルA, BのLLの差		30	40	50	60	70	
未知資料の計数効率	ESCR		未知試料の放射能 (DPM)	ESCR					
	チャンネル比	0.8937		チャンネル比	0.8937				

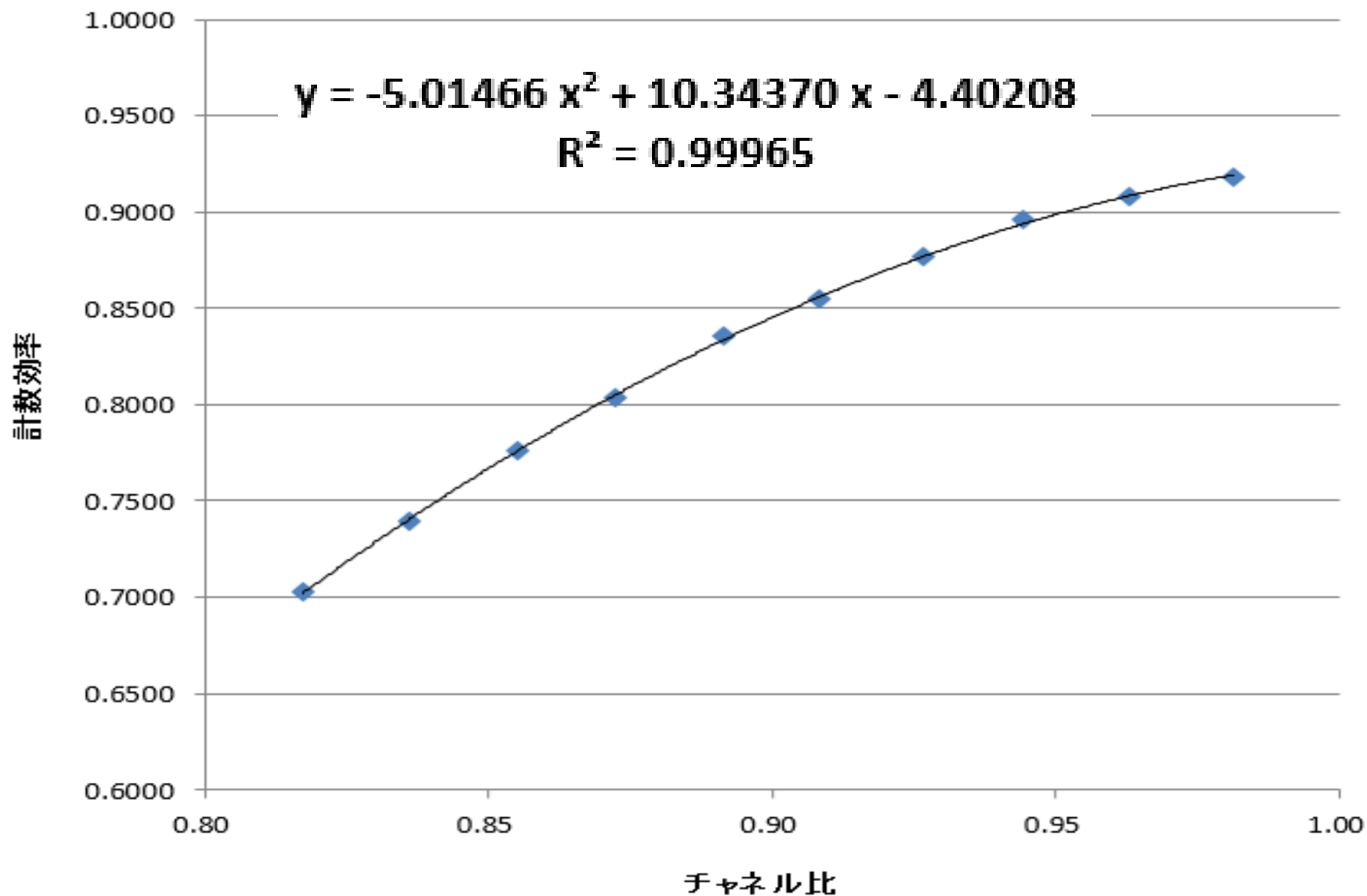
C-14の核崩壊では、β崩壊を起こし、N-14へと変化する。

$C-14 \rightarrow N-14 + e^- + \bar{\nu}$

崩壊時には、5730年を半減期として、最大エネルギー155 keVのベータ線を放出

C-14は年代測定方法に使用されている。

作成した C-14 のクエンチング補正曲線



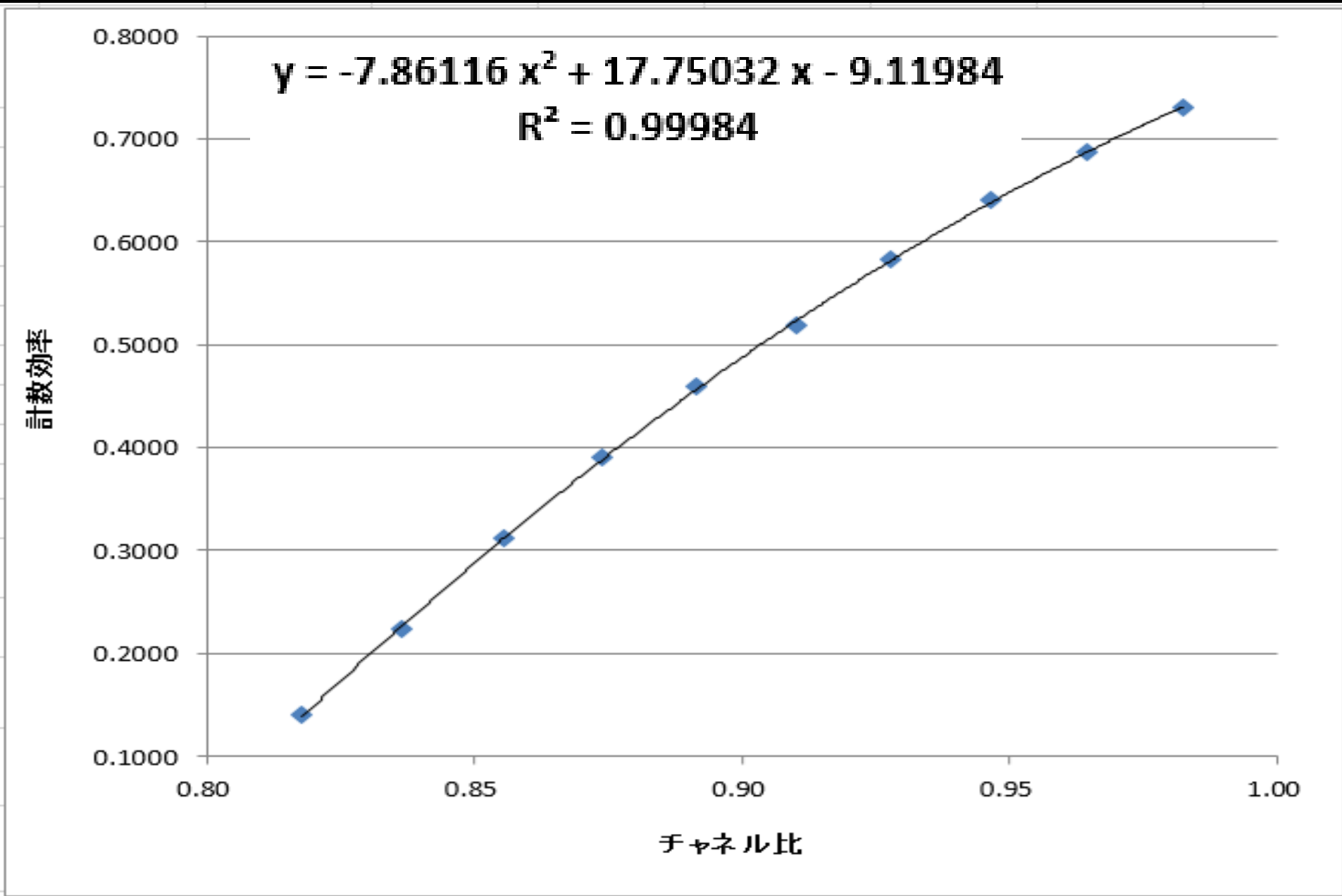
具体的な手順: エクセルファイル下の H-3 タグ をクリック
H-3のクエンチング補正曲線の作成。検定放射能の1～10
に対して、①～⑤、⑦を埋め、⑤と⑦の関係をExcelでクラフ
化する。プロットしたグラフに二次関数近似し、未知放射能
のチャンネル比⑥から計数効率⑧を求め、未知⑨を求める。

実習日:	①		試料: H-3						
			半減期:	12.32	年		経過日数:	②	
ナンバー	検定日	検定放射能 (DPM)	減衰率	実習日の放射能 (DPM)	チャンネルA (CPM)(LL 0~ UL 200)	チャンネルB (CPM)(LL 30~ UL 200)	ESCR(外部標準チャンネル法)	チャンネル比 B/A	計数効率 (A(CPM)/(DPM)
BG									
1	2007/3/11	26084	③	④	9932	9755		⑤	⑦
2	2007/3/11	81087	③	④	9471	7921		⑤	⑦
3	2007/3/11	30174	③	④	10070	9532		⑤	⑦
4	2007/3/11	64914	③	④	10536	9013		⑤	⑦
5	2007/3/11	35936	③	④	9703	8830		⑤	⑦
6	2007/3/11	32256	③	④	9786	9080		⑤	⑦
7	2007/3/11	50849	③	④	10336	9030		⑤	⑦
8	2007/3/11	26726	③	④	9568	9227		⑤	⑦
9	2007/3/11	36812	③	④	8823	7865		⑤	⑦
10	2007/3/11	155046	③	④	11289	9231		⑤	⑦
(未知)				⑨	10200	8914		⑥	⑧

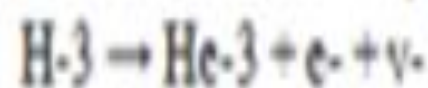
H-3 のクエンチング補正曲線 実習日を本日の日付にする。

実習日	2018/10/9		試料: H-3				経過日数		
			半減期:	12.32	年		4230		
ナンバー	検定日	検定放射能 (DPM)	減衰率	実習日の放射能(DPM)	チャンネルA (CPM)(LL 0~ UL 200)	チャンネルB (CPM)(LL 30 ~ UL 200)	ESCR (外部標準チャンネル法)	チャンネル比 B/A	計数効率 (A(CPM))/(DPM)
BG									
1	2007/3/11	26084	0.5212	13596	9932	9755		0.9822	0.7305
2	2007/3/11	81087	0.5212	42264	9471	7921		0.8363	0.2241
3	2007/3/11	30174	0.5212	15727	10070	9532		0.9466	0.6403
4	2007/3/11	64914	0.5212	33835	10536	9013		0.8554	0.3114
5	2007/3/11	35936	0.5212	18731	9703	8830		0.9100	0.5180
6	2007/3/11	32256	0.5212	16813	9786	9080		0.9279	0.5821
7	2007/3/11	50849	0.5212	26504	10336	9030		0.8736	0.3900
8	2007/3/11	26726	0.5212	13930	9568	9227		0.9644	0.6869
9	2007/3/11	36812	0.5212	19187	8823	7865		0.8914	0.4598
10	2007/3/11	155046	0.5212	80814	11289	9231		0.8177	0.1397
(未知)				31084	10200	8914		0.8739	0.3281
チャンネルA, BのLLの差			チャンネルA, BのLLの差		30	40	50	60	70
未知資料の計数効率	ESCR		未知試料の放射能 (DPM)	ESCR					
	チャンネル比	0.8739		チャンネル比	0.8739				

作成した H-3 のクエンチング補正曲線



H-3の核崩壊では、 β 崩壊を起こし、He-3へと変化する。



崩壊時には、12.32年を半減期として、18.6 keVのエネルギーを持つベータ線を放出する。

この β 線のエネルギーは小さく、一般的にH-3の放出するベータ線は低エネルギー β 線と呼ばれる。

H-3とC-14の液体シンチレーション検出器のクエンチング補正曲線を考察すると、

まず、C-14と比較するとC-14は最大エネルギー155 keVとした高エネルギー β 線を放出する。

低エネルギーの β 線は検出効率の高い液シンであっても、蛍光発光が小さく、蛍光を収集しきれない。

その点から、低エネルギーの β 線に対する検出効率は低く、クエンチングの影響をより受ける。

その結果、C-14よりもH-3の方がクエンチング補正曲線の検出効率は、

同チャンネル比であっても小さくなっている。

課題（実習書の課題ではなく、以下の課題を提出）

1週間以内に、加藤教員の下記アドレスへ提出。
hokudaikatoh@gmail.com

- (1) C-14とH-3のクエンチング補正曲線を示せ。
- (2) H-3の計数効率がC-14より低い理由について考察せよ。
- (3) クエンチングにはどのようなものがあるか調べよ。
- (4) 液シンに使用される蛍光物質にはどのようなものがあるか調べて、まとめなさい。