

出國報告（類別：實習）

放射性化學分析技術「飲用水中鐳-226 與食物中鈾-210 分析」研習

服務機關：行政院原子能委員會輻射偵測中心

姓名職稱：謝瑩貞 技士

陳裕君 技佐

派赴國家/地區：日本

出國期間：108 年 10 月 6 日至 10 月 16 日

報告日期：108 年 1 月 15 日

摘要

為了加強把關全國輻射安全，提升我國核種分析技術，本次赴日本研習，透過見習與經驗交流，擷取較快速、有效率的分析流程，以利建立我國在放射性核種如鐳-226 與鈾-210 之分析能力。此外，本次研習也針對台日間放射性化學分析比較實驗之淡水總貝他分析結果進行進一步探討，並藉由參觀公益財團法人日本化學分析中心（以下簡稱 JCAC）實驗室，作為未來實驗室整修及設備更新規劃之參考。

目次

壹、目的.....	3
貳、行程.....	5
參、研習紀要	6
肆、心得與建議	38
伍、參考資料	41

壹、目的

JCAC 為國際間研究環境放射性化學分析技術之專業機構，具有多項國際標準 ISO 認證，長期以來與輻射偵測中心（以下稱本中心）建立良好合作關係，除定期進行實驗室間比對試驗外，亦提供本中心許多有關放射性分析技術之資訊。

國際原子能總署（IAEA）於 2014 年發表「以液體閃爍法快速偵測飲用水中鐳-226 及鐳-228 的程序」，JCAC 放射性化學實驗室在該文獻中協助確認其分析方法之正確性具有良好貢獻。此外，JCAC 成員太田智子在 2009 年發表一篇文獻「通過日本成年人的攝入量評估飲食所致之有效劑量」中針對 8 種放射性核種在食物中之活度濃度進行分析，其中核種包含鈾-210（圖 1）。

本次赴日研習目的係提升我國對於飲用水中鐳-226 與食物中鈾-210 的放射性化學分析能力，希望藉由 JCAC 在放射性化學分析領域的專業及經驗，強化我國之專業分析能力。

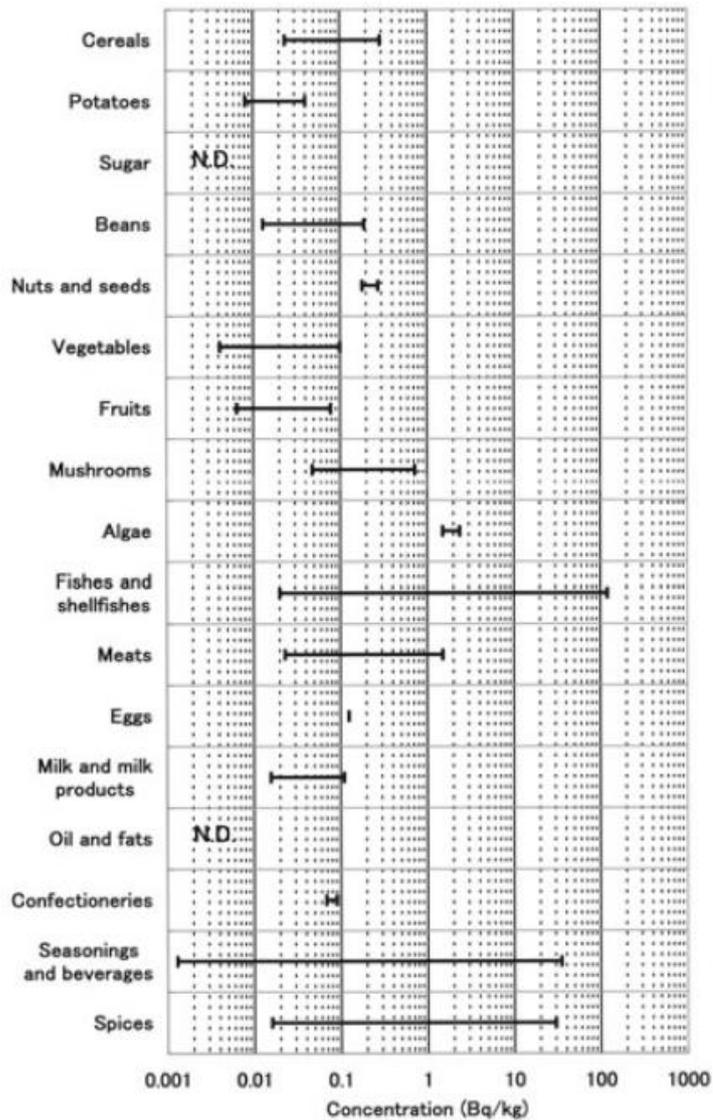


圖 1. 食品中鈷-210 的活度濃度範圍

(資料來源: Japanese Journal of Health Physics, 2009, 44(1), 80-88)

貳、行程

本次研習原訂自 108 年 10 月 7 日至 11 日，因遇日本強烈颱風哈吉貝導致班機取消，研習日程延長至 10 月 15 日，參訪行程增加參觀氦-3、碳-14 放射性化學分析實驗室及 SAUNA 核爆檢驗儀器室，概要如下表：

表 1. 簡要行程 (*因哈吉貝颱風影響行程，研習時間延長)

日期	地點
2019/10/6	高雄機場→成田機場→千葉市
2019/10/7~10/11	千葉市日本化學分析中心
2019/10/14~10/15*	千葉市日本化學分析中心
2019/10/16	千葉市→成田機場→高雄機場

表 2. 原訂研習日程表 (10 月 7 日至 11 日)

The schedule of the technical support program on Oct. 6 to 12 in 2019

	Oct.6 Sunday	Oct.7 Monday	Oct.8 Tuesday	Oct.9 Wednesday	Oct.10 Thursday	Oct.11 Friday	Oct.12 Saturday			
9:30-10:00	Arrival Narita	Hotel pick up Movement to JCAC	Departure							
10:00-12:00		Opening		Exercise (Radium analysis)	Gross beta	Exercise (Radium analysis)		Gross beta	Exercise (Po-210 analysis)	Exercise (Po-210 analysis)
12:00-13:30		Welcome Lunch		Lunch Time		Lunch Time			Lunch Time	Lunch Time
13:30-17:00		Exercise (Radium analysis)	Gross beta	Exercise (Radium analysis)	Gross beta	Exercise (Radium analysis)		Gross beta	Exercise (Po-210 analysis)	Discussion
17:00-		Movement to Hotel		Movement to Hotel		Movement to Hotel		Movement to Hotel	Movement to Hotel	

【Radium analysis】

- ① Analysis of Ra-226 in Drinking Water
- ② LSC counting for Ra-226
- ③ Provide information on Radium
- ④ Evaluation of uncertainty in JCAC (if interested)

【Po-210 analysis】

- ① Analysis of Po-210 in Food Samples
- ② Alpha-ray-spectrometry
- ③ Provide information on Po-210
- ④ Evaluation of uncertainty in JCAC (if interested)

參、研習紀要

本次研習地點位於千葉市日本分心中心內，研習課程分為四部分：飲用水中鐳-226 分析技術、食物中鈾-210 之分析技術、淡水總貝他分析技術及參觀日本化學分析中心實驗室，研習重點摘錄如下：

一、飲用水中鐳-226 分析技術

鐳是一種天然存在的放射性元素，除了存在地表岩石及土壤中，地下水也可能偵測出微量的鐳，從輻射防護的角度來看，鐳的放射性同位素中以鐳-226 和鐳-228 最為重要，因為半衰期較長，其主要來自鈾（U）及釷（Th）的衰變序列（圖 2）。JCAC 放射化學實驗室除了取飲用水試樣，亦針對土壤及農產品之試樣進行鐳-226 之放射性分析，其研究是為了調查 60 年前於日本岡山縣（Ningoyo-pass, Okayama）發現的鈾礦與鈾濃縮設施周圍環境的放射性物質含量。鈾的同位素中，以鈾-238 的豐度最高（99.27%），鈾-238 衰變後會產生放射性子核鐳-226，JCAC 藉由液態閃爍計數器（Liquid Scintillation Counter, LSC）計測鐳-226 與其子核達放射性平衡後產生之 α 及 β 活度，分析環境樣品中鐳-226。據 JCAC 統計結果，107 年共針對 82 件環境樣品進行鐳-226 分析，這些樣品除了來自日本岡山縣富含鈾礦之設施附近環境，另一部分為地方政府所提供之環境樣品。

鐳-226 之半衰期為 1600 年，在衰變過程中放出 α 射線和 β 射線並產生子核氦-222。鐳和鈣有相似的化學性質，一旦鐳進入人體，將被身體視為鈣作為合成骨細胞之元素而沉積在骨質（俗稱趨骨性），存在身體中的鐳經由緩慢衰變產生 α 粒子，將導致細胞受損；氦-222 為惰性氣體，且具有放射性，其衰變產物會吸附於空浮微粒，若經由人體吸入可能沉積於呼吸道中而危害健康。攝取含鐳的水可能導致這些放射性核種在體內累積而造成個人輻射劑量增加，因此對這類高劑量轉換因子放射性核種需更加注意。

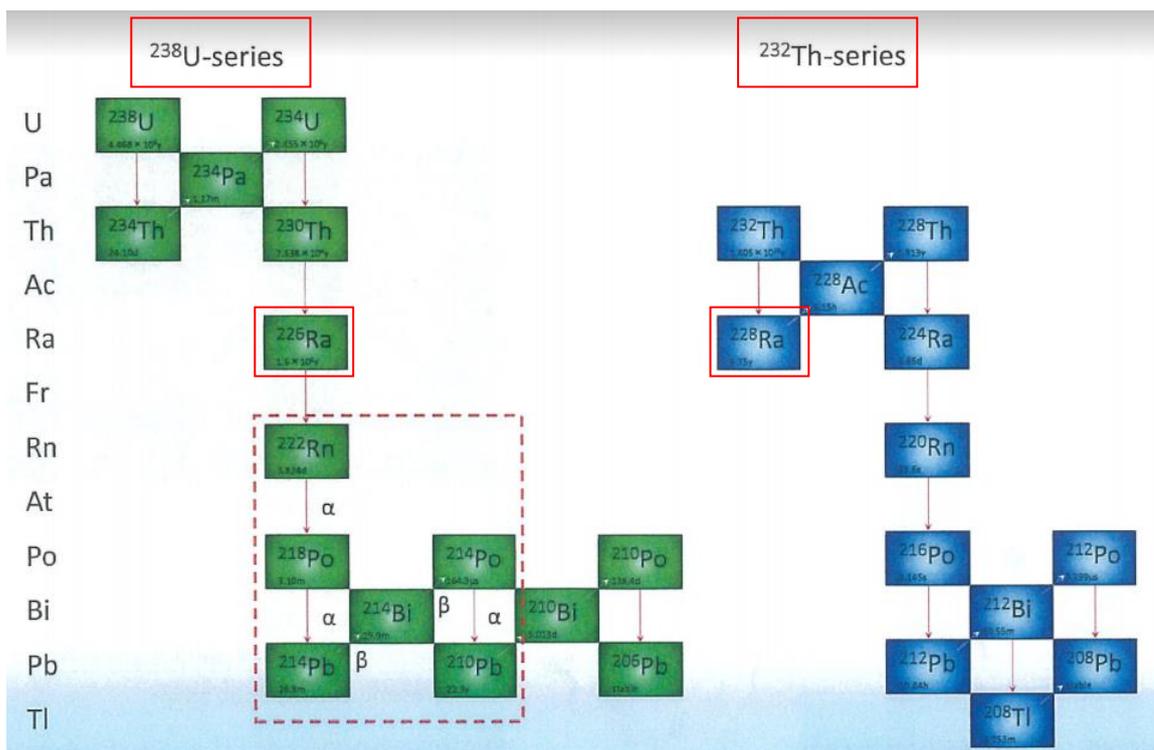
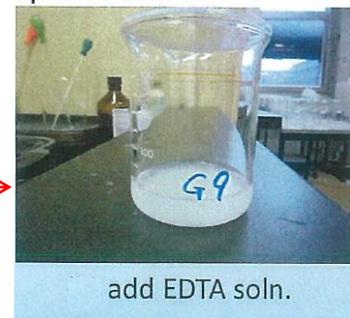
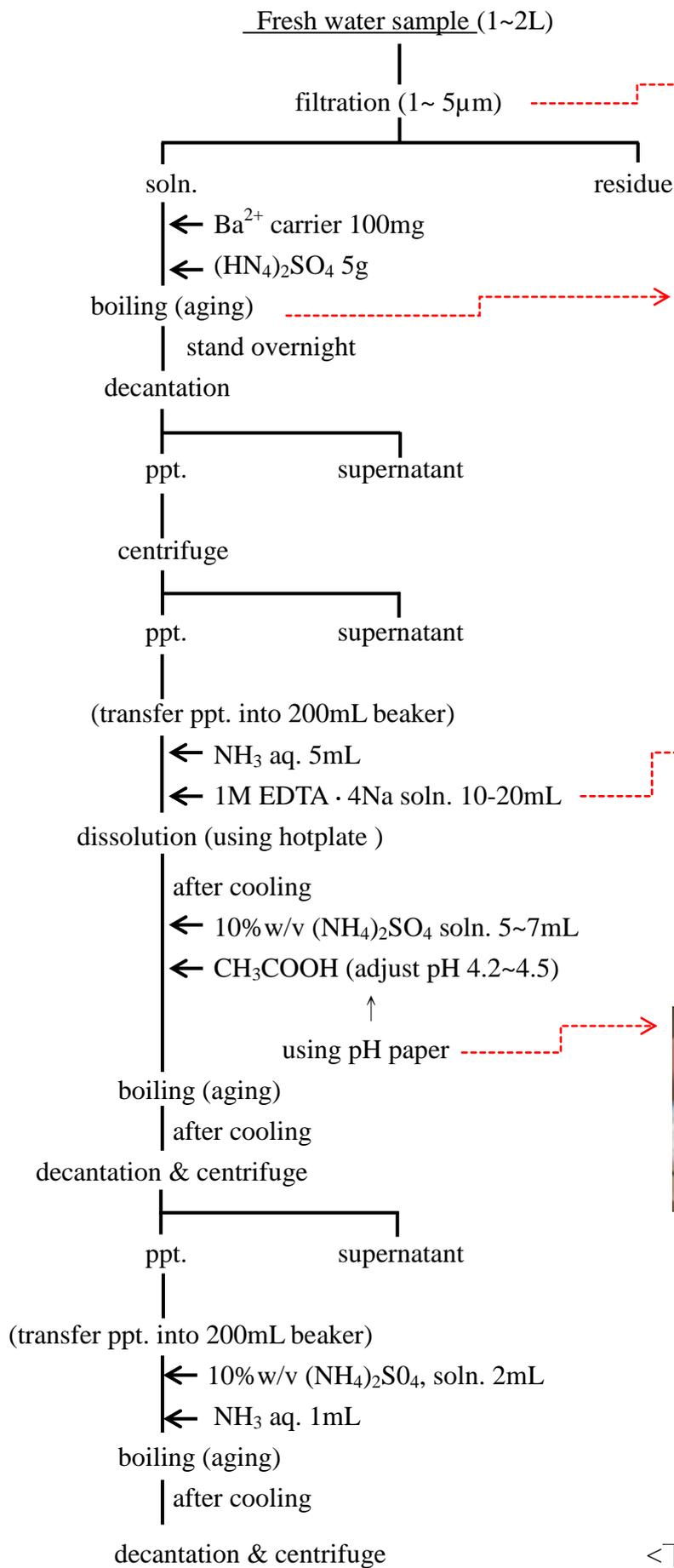


圖 2. 鈾-238 及鈾-232 的衰變序列關係圖(鐳-226 和鐳-228 主要來自鈾及鈾的衰變序列)

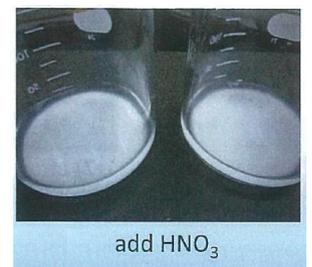
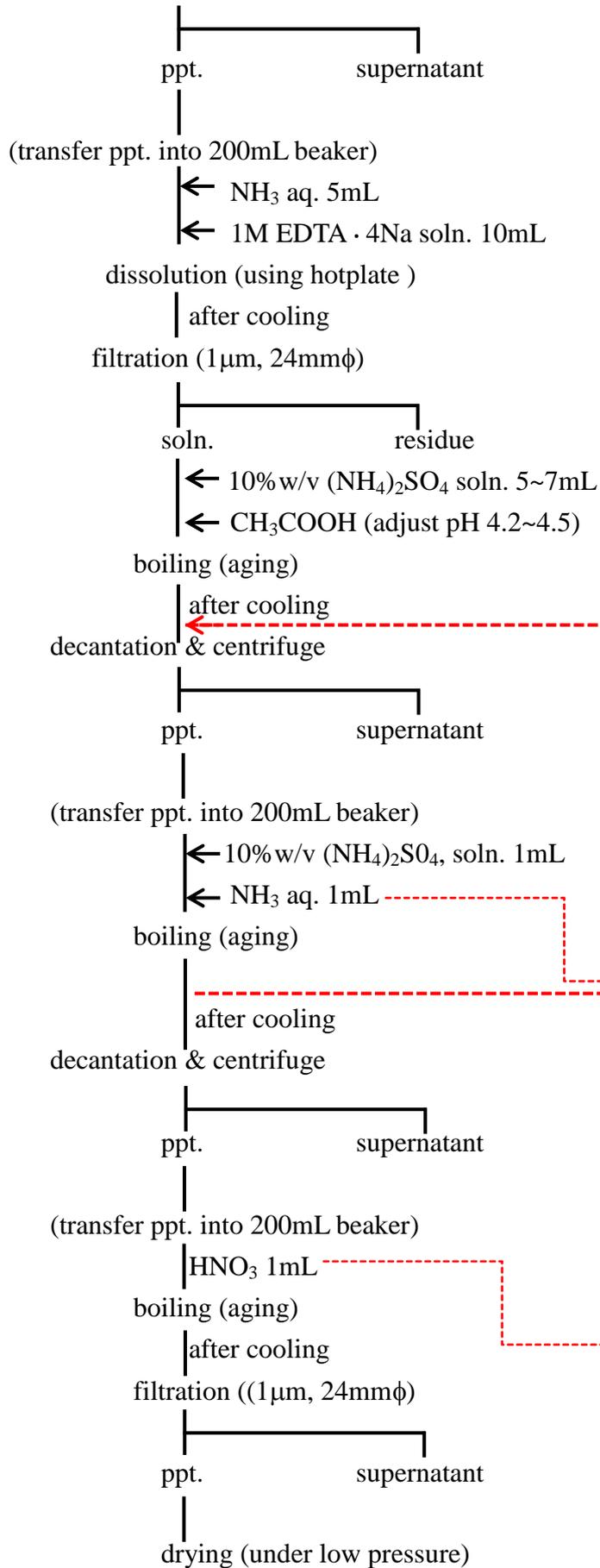
鐳-226 化學分析流程說明如下 (圖 3) :

1. 取 2 公升水樣品經 1~ 5 μm 孔徑濾紙過濾後置換於 3 公升燒杯中，加入 100mg Ba^{2+} 載體及硫酸銨與鐳進行共沉澱，將樣品加熱同時以玻棒攪拌 20 至 30 分鐘（煮沸至少 5 分鐘），放置隔夜冷卻使之沉澱完全。
2. 以傾析法（decantation）小心倒除上清液後進行離心（3000rpm，10 分鐘），棄置上清液，以去離子水將沉澱洗入 200 毫升燒杯中，加入 5 毫升氨水溶液及 10 毫升 1M 之 EDTA·4Na 溶液，置於加熱板上加熱至沉澱物完全溶解（此時若 10 毫升 1M 之 EDTA·4Na 溶液不足使之完全溶解，則可依情況少量增加），樣品放置冷卻。
3. 加入 7 毫升 10% w/v $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 溶液，並以醋酸調整 pH 值至 4.2 至 4.5（pH 試紙變綠色），置於加熱板加熱，待冷卻後以傾倒法除去上清液並進行離心。
4. 將沉澱物以去離子水洗至 200 毫升燒杯中，並加入 1 毫升氨水溶液及 2 毫升 10% w/v $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 溶液，樣品置於加熱板加熱，待冷卻後以傾倒法除去上清液並進行離心。

5. 將沉澱物以去離子水洗至 200 毫升燒杯中，加入 5 毫升氨水溶液及 10 毫升 1M 之 EDTA · 4Na 溶液，置於加熱板上加熱至沉澱物完全溶解後，冷卻備用。
6. 以濾紙(1 μ m, 24mm ϕ)進行過濾去除氧化矽(SiO₂)，將濾液加入 7 毫升 10% w/v (NH₄)₂SO₄ 溶液，並以醋酸調整 pH 至 4.2 至 4.5，置於加熱板加熱後置放冷卻。
7. 以傾倒法除去上清液並進行離心，將沉澱物以去離子水洗至 200 毫升燒杯中，並加入 1 毫升氨水溶液及 1 毫升 10% w/v (NH₄)₂SO₄ 溶液，樣品置於加熱板加熱，重複此步驟 1 次。
8. 樣品冷卻後以傾倒法除去上清液並進行離心，並將沉澱物以去離子水洗至 200 毫升燒杯中，加入 1 毫升硝酸，並置於加熱板加熱，冷卻後以濾紙(1 μ m, 24mm ϕ)進行過濾，輔以真空抽氣使之乾燥。
9. 將濾紙秤重(需扣除濾紙原始重量)，並將含有沉澱之濾紙置換至鉑坩堝，以本生燈(burner)進行樣品灰化。
10. 加入 10 毫升磷酸溶液，以本生燈(burner)使沉澱物融化後，置於加熱板 5 分鐘，緩緩加入 10 毫升去離子水，並用玻棒緩緩攪拌直至完全溶解。
11. 將樣品置換到 100 毫升鐵氟龍容器中，加入去離子水使刻度到達 50 毫升處。
12. 加入 50 毫升甲苯為基底之閃爍劑，樣品密封約 2 週，以達到鐳和子核之間的長期平衡，再以液態閃爍計數器計測。



<下頁續>



<下頁續>

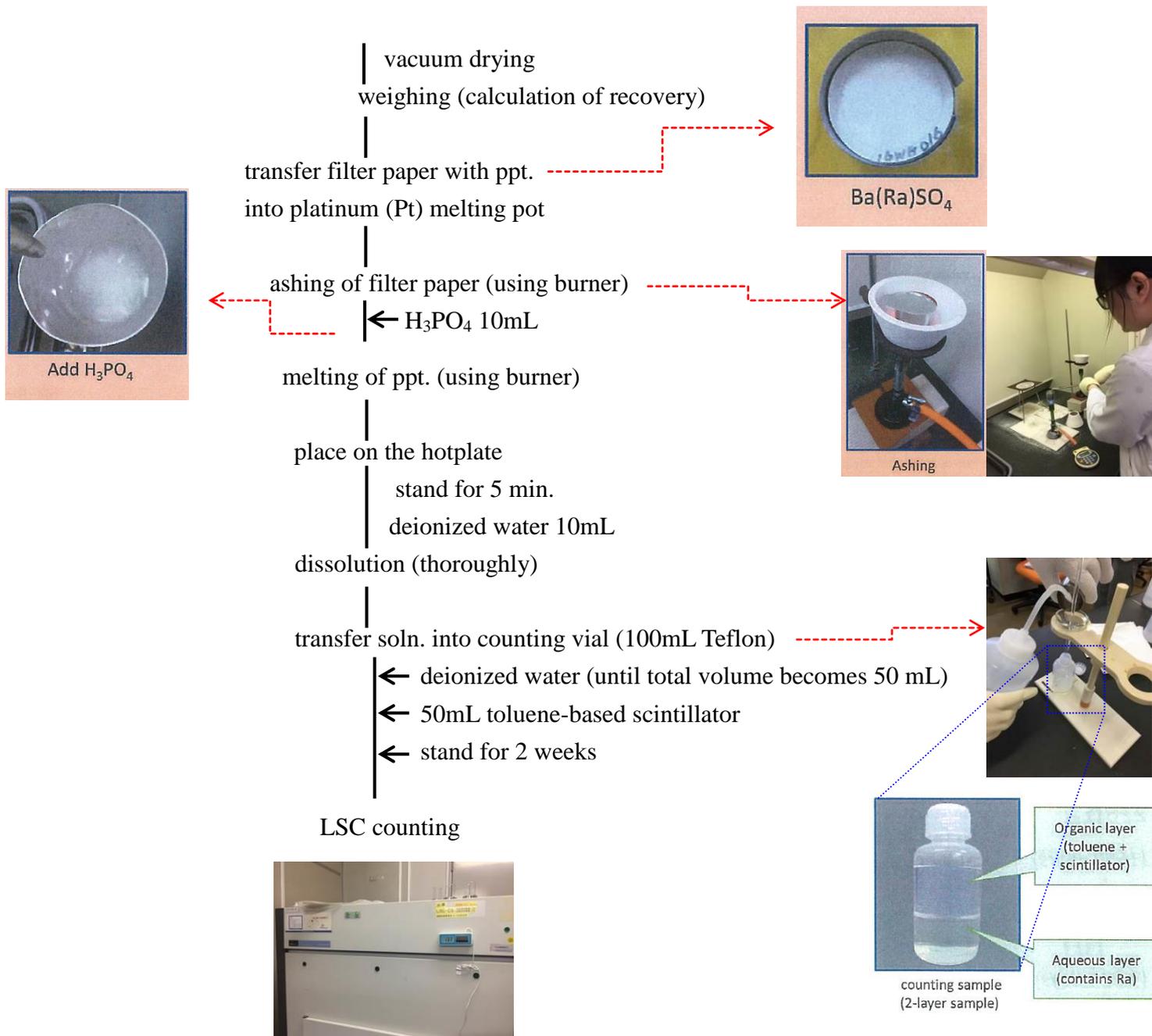


圖 3. 鐳-226 放射性化學分析前處理流程（以水樣為例）

利用已知活性之鐳-226 標準品（校正射源）與其放射性子核氦-222 達永久放射性平衡（secular radioactive equilibrium）後所測得之能譜（圖 4-5），推算出轉換係數=（氦及其後代子核的計數（cpm）/ 鐳的活性（dpm））以及活度計算公式，並使用鋇載體進行濃度校正，以確定回收率。氦-222 易溶於甲苯，標準品與經前處理後之樣品，分別混以等比例之閃爍劑（甲苯為基底）計測。其中，鐳-226 與其子核達放射性平衡時間約為 2 週，故本實驗添加閃爍劑後，需記錄閃爍劑添加時間並置放約 2 週後再進行

計測（表 3）。鐳-226 與其放射性子核達永久放射性平衡衰變過程中會釋出 3 個 α 及 2 個 β 粒子（圖 2），達平衡時之效率（efficiency=cpm/dpm）大於 300%（圖 5）； β 射線為連續能譜，圖譜中來自 β 射線之貢獻可能存在於圖譜中背景值（base line），如圖 6。該實驗結果需待鐳-226 與其子核放射性平衡後計測，且此水樣品為示範操作無法檢出鐳-226 活度，因此後續計測結果省略，僅列出日方提供之計測數據範例（表 4-5）。

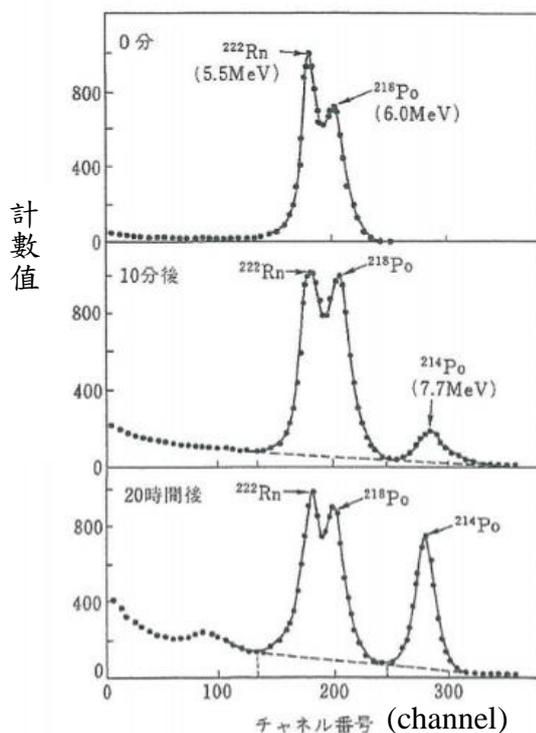


圖 4. 氡-222 與其衰變產物之 α 能譜隨時間變化之情形

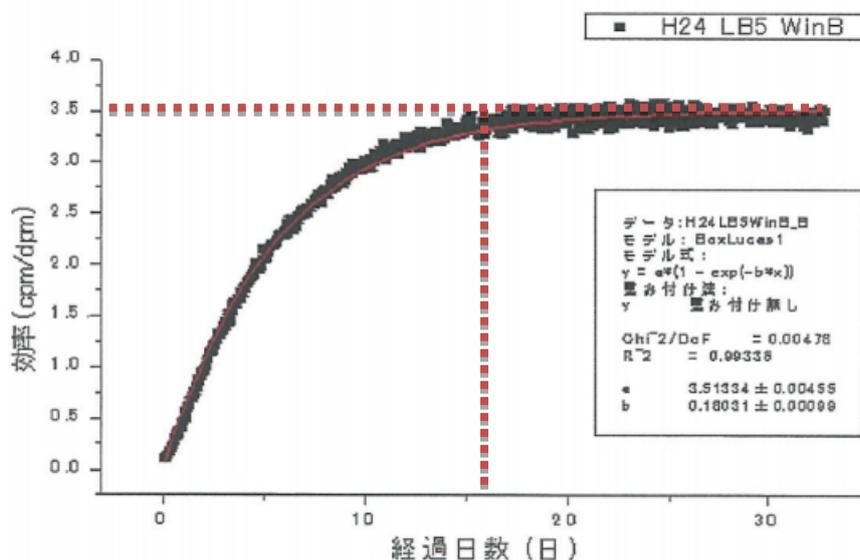


圖 5. 時間與效率曲線之關係圖（鐳-226 與其子核氡-222 達平衡時間約為 2 週）

表 3. 鐳-226 放射性化學分析紀錄表，其中 A、B、C 為相同實驗 3 次重複之數據，分別由 JCAC 及本中心成員個別操作

ラジウム分析シート

scintillator

契約番号	契約先	(試料名)		【新容器】		carrier	factor of carrier sh.	添加 Ba (mg)	Ba 回収率 (%)	シンチレーター添加日時
分析番号	供試量(L)	皿+ppt wt(g)	皿 wt(g)	回収BaSO ₄ (mg)	回収 Ba (mg)	キャリア(ml)	キャリア F	添加 Ba (mg)	Ba 回収率 (%)	
BL	-					10.0	1.02863	102.8630		10/9 11:47
1	A	2.0	1.57169	144.80	85.20	10.0	1.02863	102.8630	82.83	添加閃爍劑時間 (子核開始生長之時間)
2	B	2.0	1.57568	147.03	86.51	10.0	1.02863	102.8630	84.10	
3	C	2.0	1.49160	158.42	93.21	10.0	1.02863	102.8630	90.62	
4						10.0	1.02863	102.8630		
5						10.0	1.02863	102.8630		
6						10.0	1.02863	102.8630		

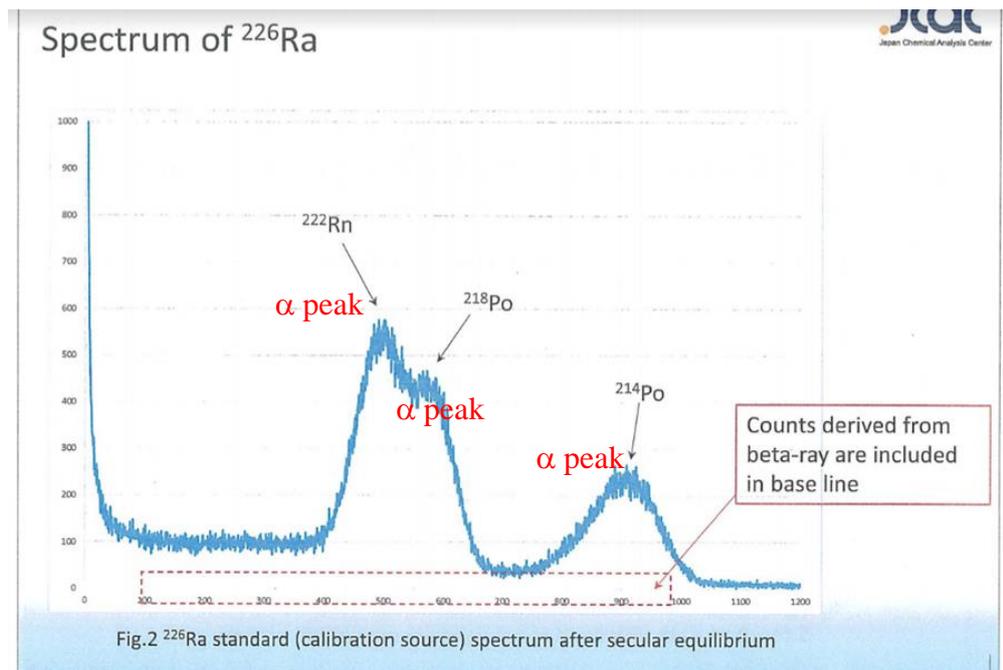


圖 6. 鐳-226 標準品達永久性放射性平衡 (secular radioactive equilibrium) 後之能譜圖，顯示 α 能譜及 β 能譜 (與背景值重疊)

表 4. 鐳-226 放射性化學分析計數資料 (非本次實驗結果),

其中加入閃爍劑時間與計測時間相差 21 天

Table 7 Example of counting data

シンチレータ添加時刻	測定日時	サンプルカウント					合計	B.G.カウント					合計	測定時間 (分)	測定回数 (回)	灰分 (%)	回収率 (%)
		1	2	3	4	5		1	2	3	4	5					
2018/9/19 17:27	2018/10/10 14:09	180	175	183	161	171	870	177	148	169	177	153	822	50	5	100	94.27
2018/9/19 17:27	2018/10/10 15:01	681	546	606	669	600	3102	177	148	169	177	153	822	50	5	100	92.70
2018/9/19 17:27	2018/10/10 15:53	379	415	373	450	397	2014	177	148	169	177	153	822	50	5	100	89.77
2018/9/19 17:27	2018/10/10 16:46	429	445	409	424	418	2125	177	148	169	177	153	822	50	5	100	89.58
2018/9/19 17:27	2018/10/10 17:38	488	531	452	470	540	2481	177	148	169	177	153	822	50	5	100	91.77
2018/9/19 17:27	2018/10/10 18:30	475	519	514	484	464	2466	177	148	169	177	153	822	50	5	100	90.76

Labels for Table 7:

- Time of scintillator addition (points to the first column)
- Start of counting (points to the second column)
- Sample count (points to columns 3-7)
- BG count (points to columns 8-12)
- Counting time (min/run) (points to the 13th column)
- Repetition (or cycle) (points to the 14th column)
- Ash percent (ash/raw sample) (points to the 16th column)
- Chemical yield (points to the 17th column)

表 5. 鐳-226 活度計算資料範例 (非本次實驗結果)

Table 8 Example of ²²⁶Ra activity calculation

sample ID	time of scintillator addition	start of counting	elapsed time (d)	sample count	BG count	counting time (sec)	Net cps	counting error	sample weight	ash percent	chemical yield	
line #	s#	シンチレータ添加時刻	測定日時	測定まで (日)	サンプルカウント	B. G. カウント	測定時間 (秒)	Net-cps	Net-cps 誤差	供試量 (g)	灰分 (%)	回収率 (%)
BL 18WSBL1	2018/9/19 17:27	2018/10/10 14:09	20.8625	870	822	15000	0.0032	0.00274	1.0000	100	94.27	
1 18WS001RA	2018/9/19 17:27	2018/10/10 15:01	20.89861	3102	822	15000	0.152	0.00418	1.0523	100	92.70	
2 18WS002RA	2018/9/19 17:27	2018/10/10 15:53	20.93472	2014	822	15000	0.0795	0.00355	1.0248	100	89.77	

Conversion factor (efficiency)	sample dps	error dps	activity (Bq/sample)	error (Ba/sample)	activity after BL subtract	error	activity (mBq/g)	error	BL activity	error
効率	Gross	Decay	放射能 (Bq/試料)	放射能誤差 (Bq/試料)	ブランク差引放射能 (Bq/試料)	ブランク差引誤差 (Bq/試料)	放射能 (mBq/g)	放射能誤差 (mBq/g)	Blank(Bq)	BI-誤差
3.21729	0.00099	0.0008524	0.0010551	0.0009041	0	0.0012786	0	1.2786495	0.0010551	0.0009041
3.21778	0.04724	0.0012978	0.0509601	0.0014001	0.049905	0.0016667	47.424282	1.5838123		
3.21828	0.02469	0.0011032	0.0275058	0.0012289	0.0264507	0.0015256	25.810611	1.4887135		

二、食物中鈷-210 分析技術

鈷 (Polonium) 化學符號 Po，原子序 84，是一種稀有且具有高度放射性的銀白色金屬元素，為天然放射性核種中最具毒性之一，鈷-210 廣泛分布，具有被人類吸入及攝食的風險，故為環境監測中評估輻射暴露的重要核種。鈷-210 有 25 種已知的放射性同位素，只有鈷-208、鈷-209 及鈷-210 半衰期大於一天，如下表 6 所示；鈷-210 為鈷-238 衰變鏈中的鉛-210 衰變而來，如圖 7，鈷-208 及鈷-209 則難存在於環境中。根據 JCAC 調查，日本成年人攝入食品所評估的年劑量為 0.8mSv，其中 80% 是由海產物所貢獻，而鈷-210 年劑量為 0.7 mSv 更是主要貢獻約定有效劑量 (committed effective dose) 的來源。

表 6. 鈷 (Polonium) 同位素及其半衰期

核種	半衰期($T_{1/2}$)	衰退模式
^{208}Po	2.898y	α : 99.99777%
^{209}Po	102y	α : 99.52%
^{210}Po	138.376d	α : 100%

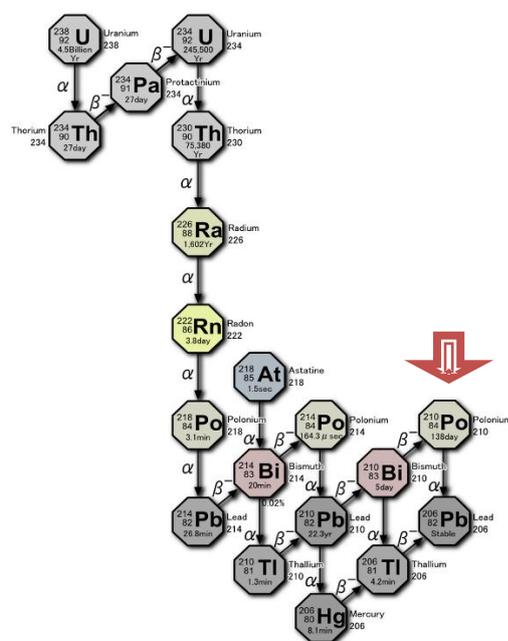


圖 7. 鈷-238 的衰變鏈 (Decay chain)

(一) 鈷-210 的分析方法

食物及海水中鈷-210 的分析方法如流程圖 8 及 9，本次實作研習為烏賊肝臟及魚鬆：

1. 秤取樣品於 1 升燒杯中，利用微量吸管取精確 0.5 毫升 tracer 鈷-209 加入燒杯中，再加入 200 毫升濃硝酸硝化樣品，如圖 10 所示。
2. 硝化分解後剩餘少量液體轉移至 200 毫升燒杯中，並以 3:2 硝酸潤洗，持續加熱蒸乾液體，並加入 20 毫升的 1:2 HCl 加熱溶解之（約沸騰 2 分鐘），冷卻後以 0.45 μ 過濾單元過濾，並以少量 1:2 HCl 潤洗燒杯，如圖 11。
3. 過濾後之濾液準備過樹脂 eichrom Sr Resin（圖 12），樹脂需先經過 HCl（1:2）20 毫升預處理，接著將濾液裝填入樹脂。
4. 第一階段先以 HCl（1:2）20 毫升沖洗樹脂，此時樹脂流出之沖洗液捨棄，第二階段以 HCl（2:1）20 毫升沖洗樹脂，會將鉛沖洗出來並捨棄此段沖洗液，第三階段以定量吸管量取精確 HNO₃（3:4）4 毫升沖洗樹脂，將鐵沖洗出來並捨棄此段沖洗液，最後以 HNO₃（3:4）16 毫升沖洗樹脂，鈷則會沖洗出來，以 50 毫升燒杯收集，燒杯表面以表玻璃覆蓋如圖 13。
5. 將前述含鈷-210 之沖洗溶液加熱至蒸乾後，以 HCl（1:23）5 毫升加熱溶解，加入 1 毫升飽和抗壞血酸準備進行電鍍。電鍍材料及安裝方式如圖 14 所示，由玻璃及不銹鋼組成電鍍套組，不銹鋼電鍍片置於最下方，玻璃中盛裝待電鍍沉積之液體，設定電解裝置之參數（電流 0.1A、溫度 85°C、2.5 小時）後開始進行電鍍，如圖 15 右方；電鍍完畢之電鍍片如圖 16 即以 α 射線能譜儀測量其活度。

食物

《Fresh or food sample 1~50g》

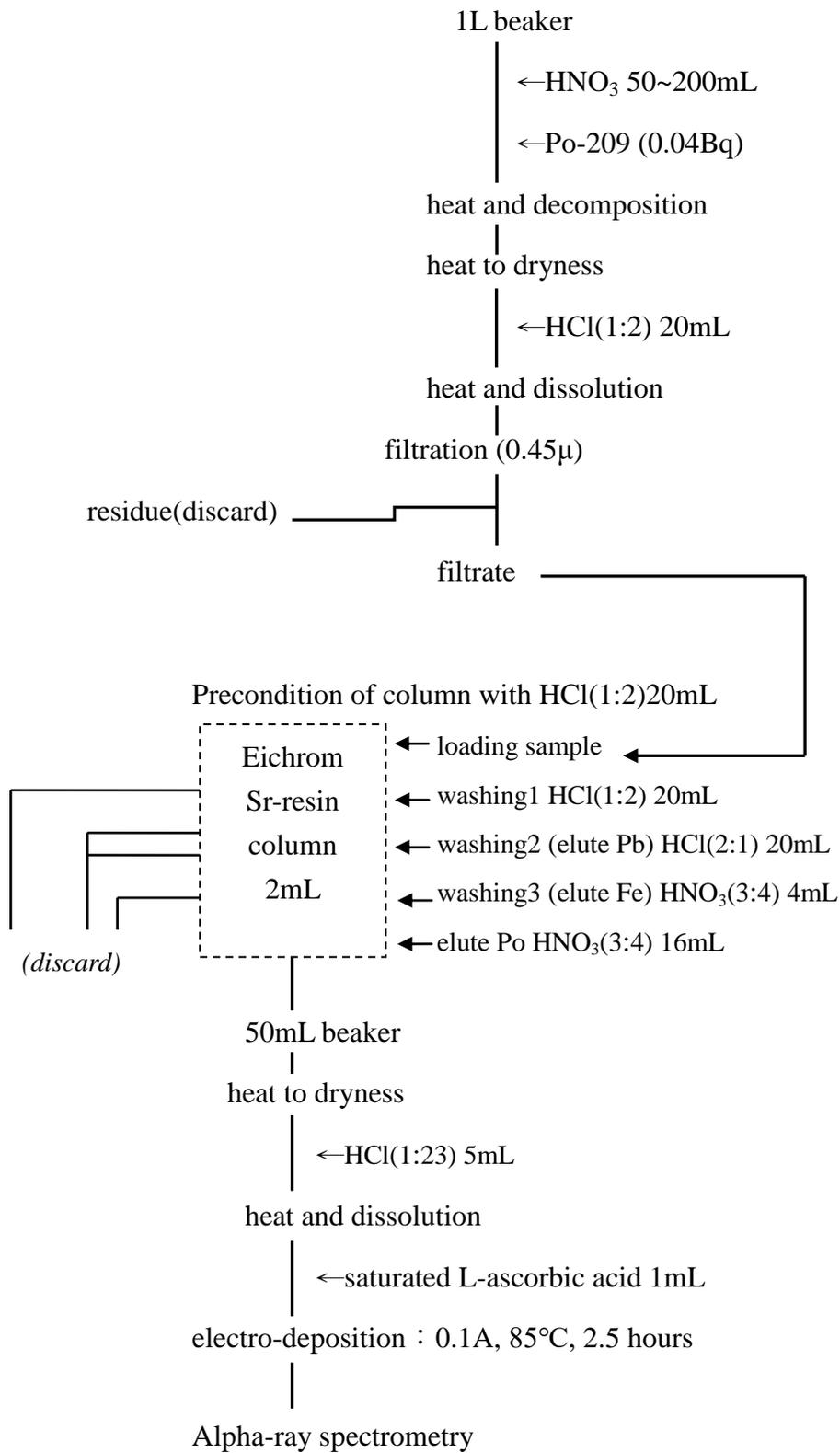
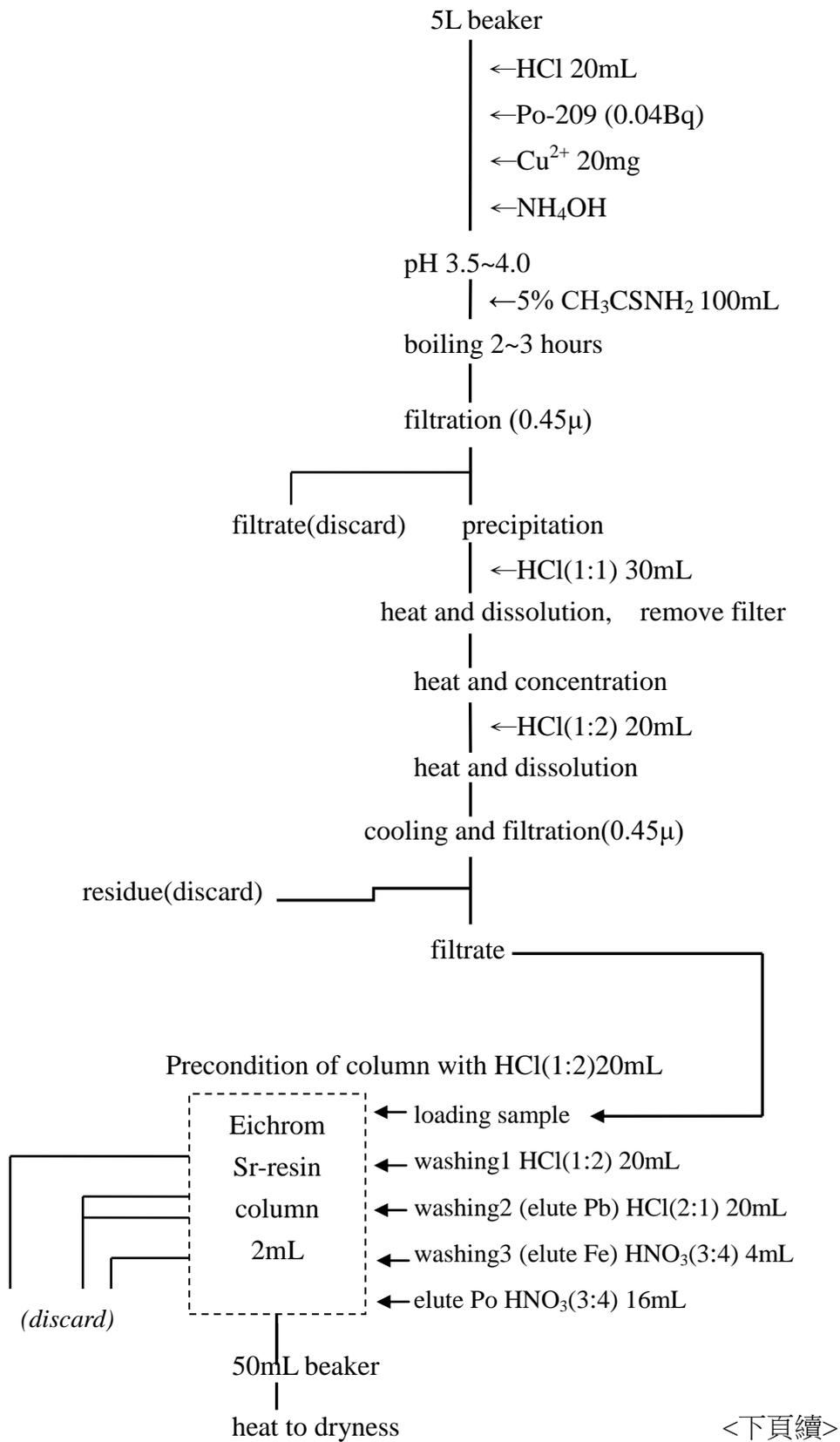


圖 8. 食物中鈷-210 的分析方法

海水

《sea water sample 5L》



<下頁續>

←HCl(1:23) 5mL
heat and dissolution
←saturated L-ascorbic acid 1mL
electro-deposition : 0.1A, 85°C, 2.5 hours
Alpha-ray spectrometry

圖 9. 海水中鈷-210 的分析方法



圖 10. 海產物樣品硝化

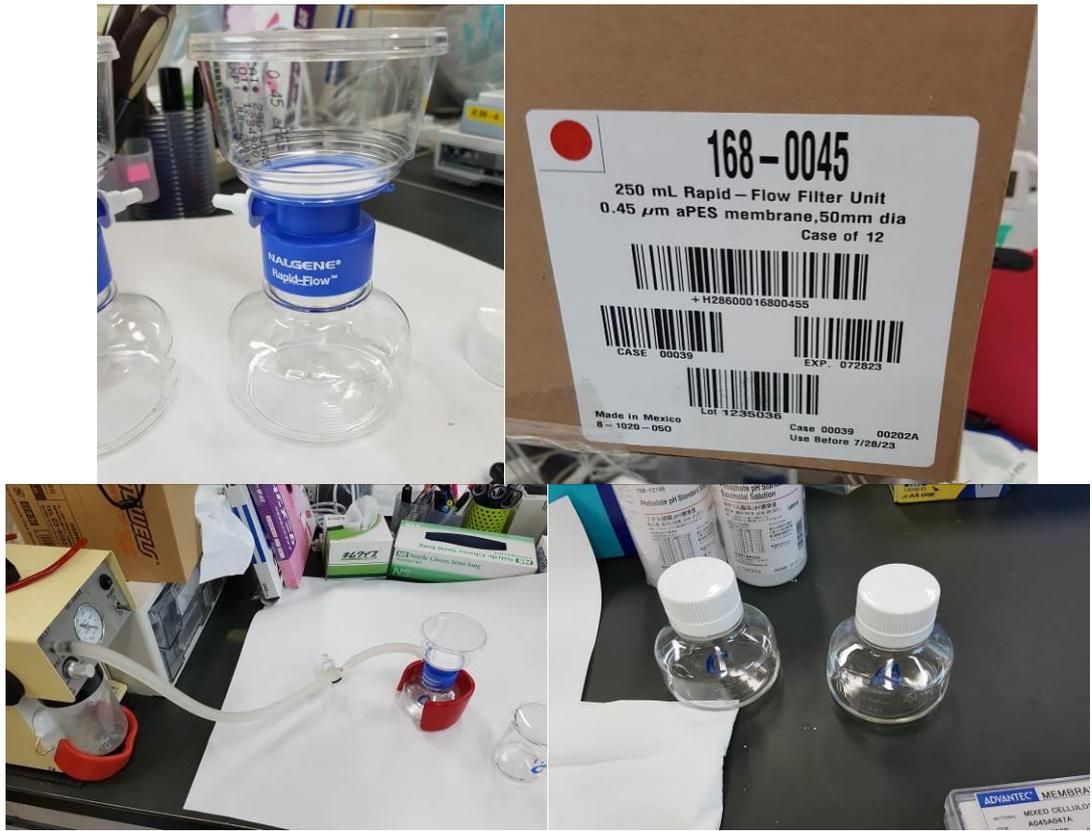


圖 11. 拋棄式 0.45 μ 過濾單元

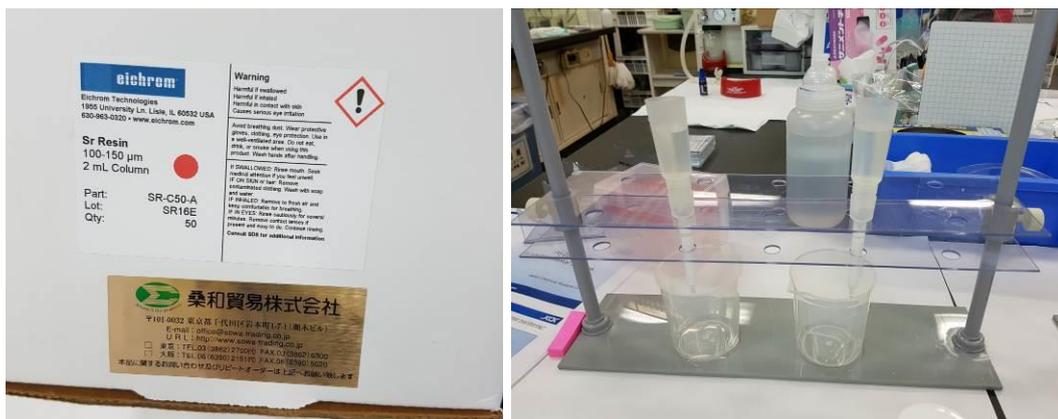


圖 12. eichrom Sr Resin



圖 13. 濾液通過 eichrom Sr Resin 收集鉛溶液

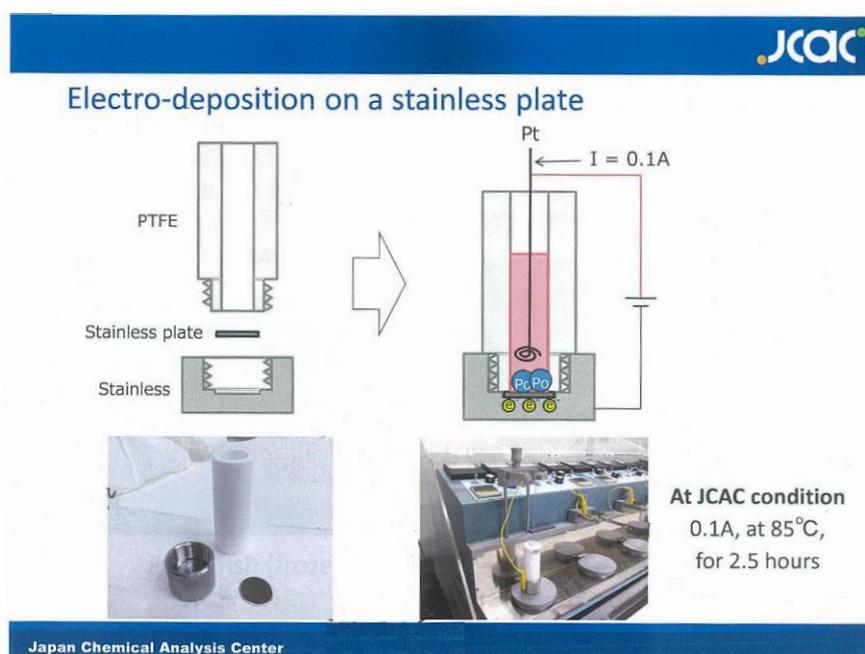


圖 14. 電鍍材料及安裝方式



圖 15. 電鍍材料拆解（左）及電鍍中樣品（右）



圖 16. 電鍍片及以 α 射線能譜儀測量活度

α 射線能譜法 JCAC 所使用的 α 射線能譜儀偵檢器為矽半導體偵檢器，如圖 17 所示，其厚度約為 1mm，有感領域 (Reaction layer) 約為 0.1mm， α 射線全部被偵檢器擋下， β 射線及 γ 射線則會穿過偵檢器，雜訊極少，計數 α 射線可以計算其放射性 (定量)， α 射線能量則可以辨識核種 (定性)。當 α 射線進入偵檢器時發生游離，產生不同頻道之脈衝電壓，經由放大器脈波放大並整形，再經過多頻道分析儀將類比訊號轉成等值對應數字如圖 18。本次研習實作之烏賊肝臟及魚鬆圖譜及數據如圖 19，鈾-210 活度於肝臟為 114.7 Bq/kg、魚鬆為 8.2 Bq/kg，其因肝臟有生物累積效應，故鈾-210 活度較魚鬆高。

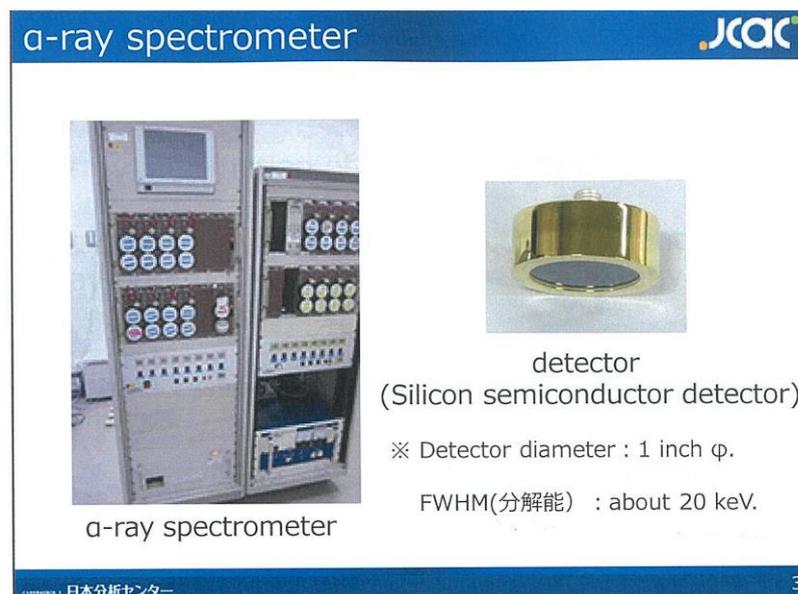


圖 17. α 射線能譜儀及其偵檢器

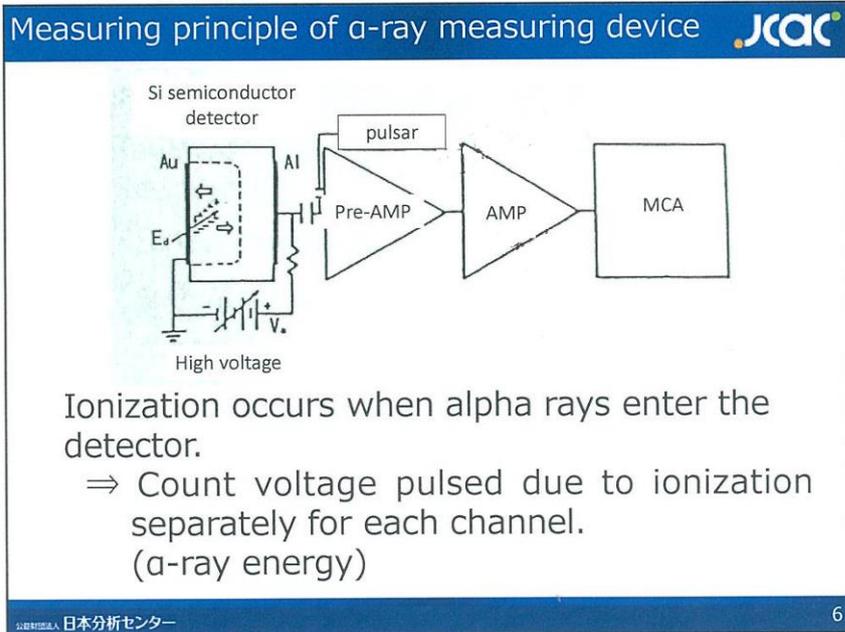


圖 18. α 射線能譜儀測量原理

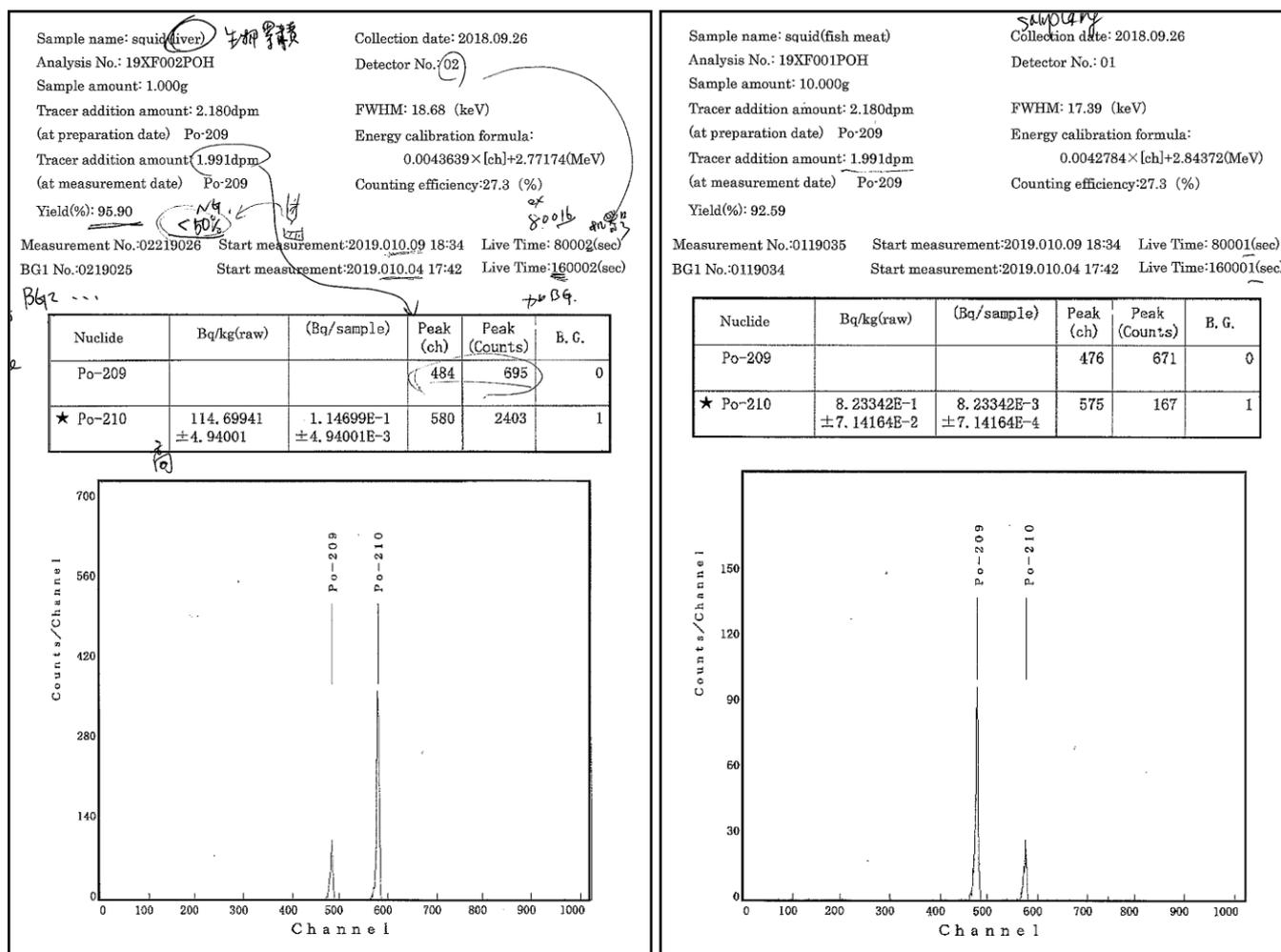


圖 19. 烏賊肝臟及魚鬆試樣之圖譜及數據

三、淡水總貝他分析技術

(一) 淡水前處理方式

日本 JCAC 淡水總貝他處理方式為將 1 升水樣蒸發濃縮至 15-20 毫升，再轉移至不銹鋼盤，利用紅外燈蒸乾液體，所得之樣品於不銹鋼盤中，使用低背景貝他計數器 (Low background beta-ray counter, LBC) 測量其活度，詳細步驟如下：

1. 取 1 升水於燒杯中，添加 1 毫升硝酸。
2. 移至加熱板上，加熱液體蒸發至 100 毫升。
3. 剩餘液體轉移至 100 毫升燒杯，過程中以塑膠手套及去離子水搓洗原燒杯瓶壁，潤洗液一併移至 100 毫升燒杯，加熱液體蒸發至 15-20 毫升。
4. 剩餘液體轉移至外徑 1 英吋之不銹鋼盤 (已秤空盤重)。
5. 利用紅外燈加熱不銹鋼盤至蒸乾，秤重。
6. 利用低背景貝他計數器測量活度。

圖 20 為日方提供流程圖，測量試樣總貝他活度則以 LBC 計測如圖 21；圖 22 為本中心淡水試樣總貝他前處理作業流程圖，該方式盛裝容器使用 1 升結晶皿，若使用一般 1 升燒杯則需多做酸迴流步驟 (於蒸發至 100 毫升時加硝酸迴流 10 分鐘後再蒸乾)，比較二者作業程序，主要差異為蒸乾步驟不同，日方使用 infrared lamp 蒸乾，本中心使用強力本生燈烤乾。

圖 23-26 為進行淡水總貝他實驗時之相關照片，本次實驗為雙方一同以各自作業程序進行前處理，取同一來源之 1 公升水樣倒入 1 升燒杯中，蒸乾至 15-20 毫升轉移至 100 毫升燒杯中，最後再轉移至不銹鋼盤中蒸乾，本中心將不銹鋼盤以火源烤乾以把硝酸鹽類轉化成氧化物，避免樣品容易吸空氣中水氣，如圖 25 左圖，右圖則為日方使用 infrared lamp 蒸乾樣品。

Fresh water

Sample is concentrated by evaporation (1L→15-20mL), is transferred into stainless dish and then is evaporated to dryness by infrared lamp.

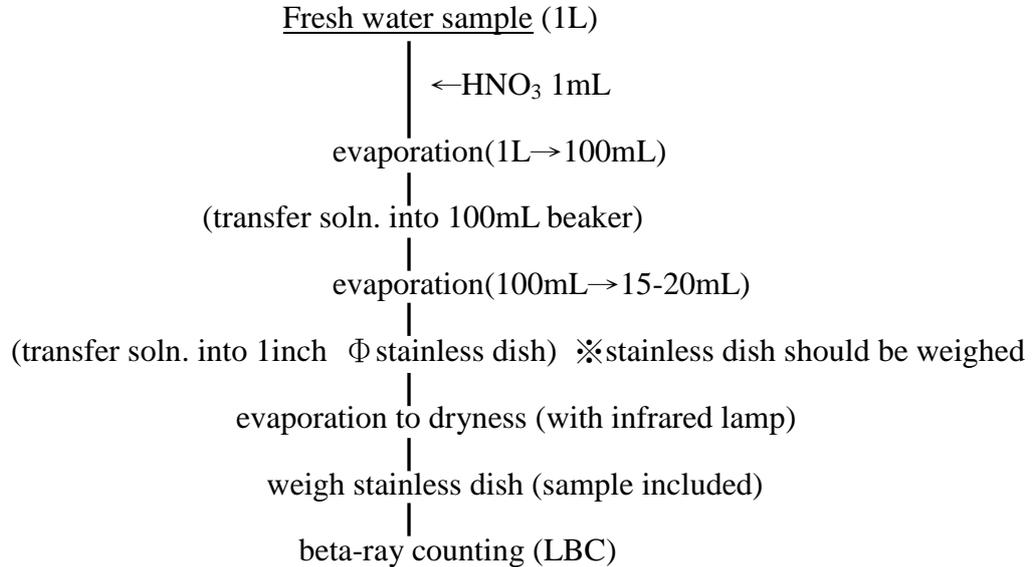


圖 20. JCAC 淡水總貝他前處理方式

Supplier : Hitachi, LTD

Model : 2π gas-flow type GM counter

(with window)

LBC-471Q, LBC-4201, LBC-4501

Measurement condition

High voltage : 960-1130V

counting gas : Q gas

(He 99%, 1% iso-butane)

Plateau : approx. 100-200V

Sample dish : 1 inch Φ and 2 inch Φ

counting time : 60 min.

repetition : 2 times (with different LBC)

BG counting rate : 0.1-0.4 cpm



圖 21. Low background beta-ray counter (LBC) 及其參數

緊急事故：0.5 L

例行監測：1 L

背景調查：2 L

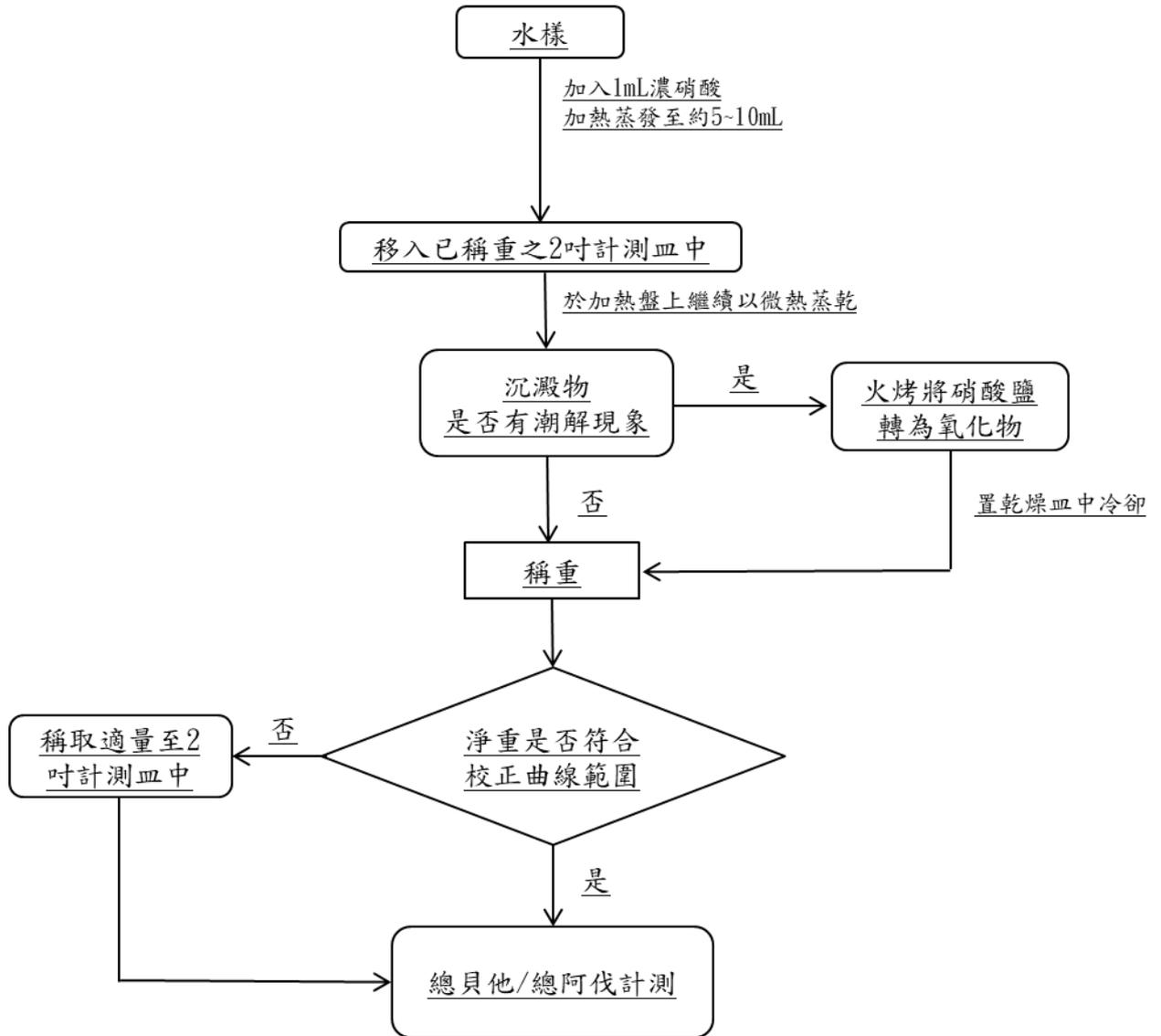


圖 22. 本中心淡水試樣總貝他前處理作業流程圖

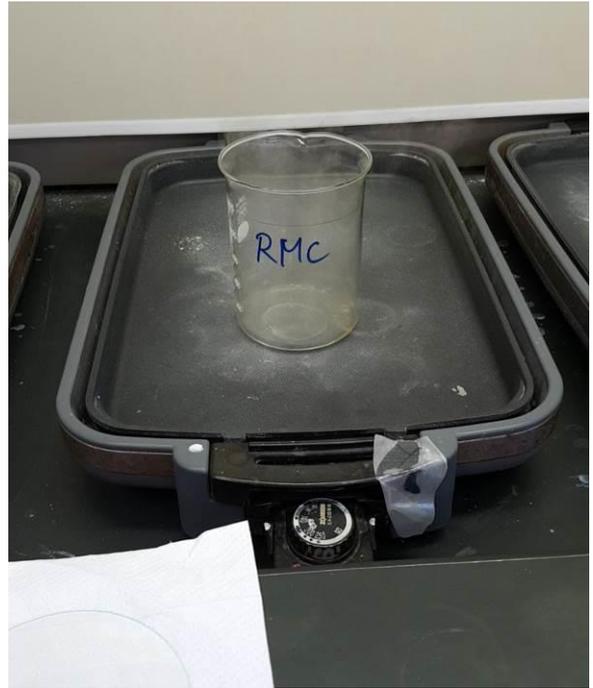
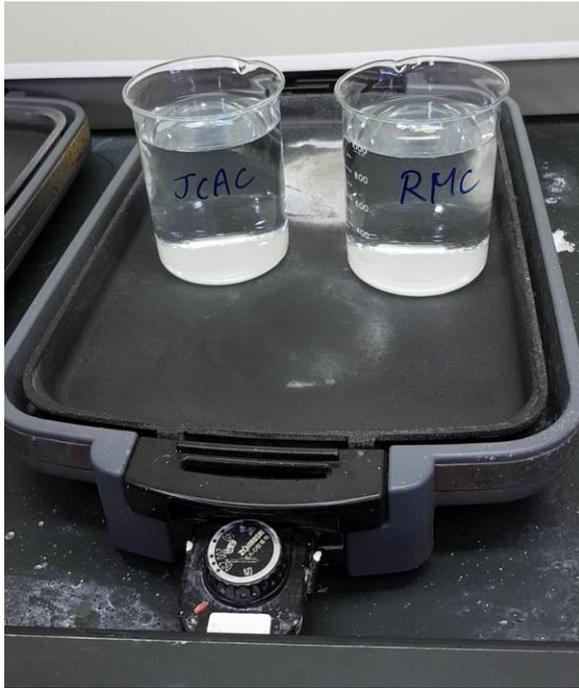


圖 23. 本中心水樣由體積 1 升至蒸乾



圖 24. 蒸乾後以 1:15 硝酸清洗燒杯瓶壁並轉移至不鏽鋼盤

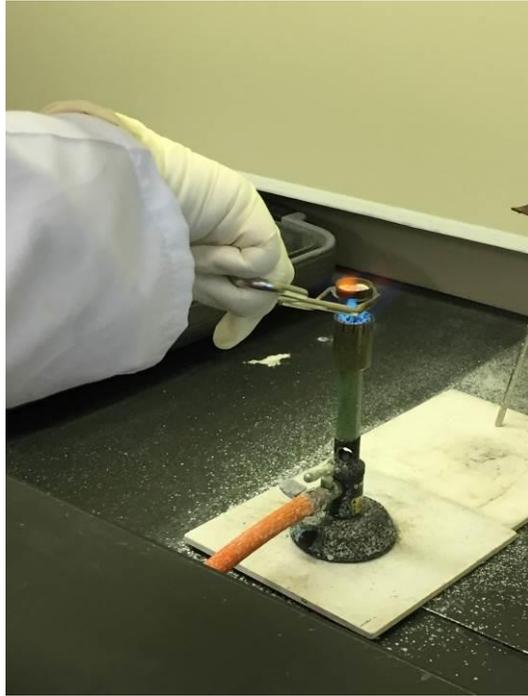


圖 25. 左圖為本中心以本生燈烤乾不鏽鋼盤方式；右圖為日方 infrared lamp 蒸乾



圖 26. 左圖蒸發皿左不銹鋼盤為中心樣品，右側為日方樣品，使用同一台 LBC 計測

(二) 校正曲線

JCAC 依據計測樣品重量多寡決定使用的校正源，若計測樣品重量小於 100 毫克，使用八氧化三鈾 (U_3O_8)，反之則使用氯化鉀 (KCl) 作為校正源，如圖 27；本次研習日方與本中心成員同步進行淡水總貝他前處理，由於使用不同方法進行前處理後所得分析試樣重量不同，故本次同時使用 U_3O_8 及 KCl 校正曲線，分別計算試樣總貝他活度。

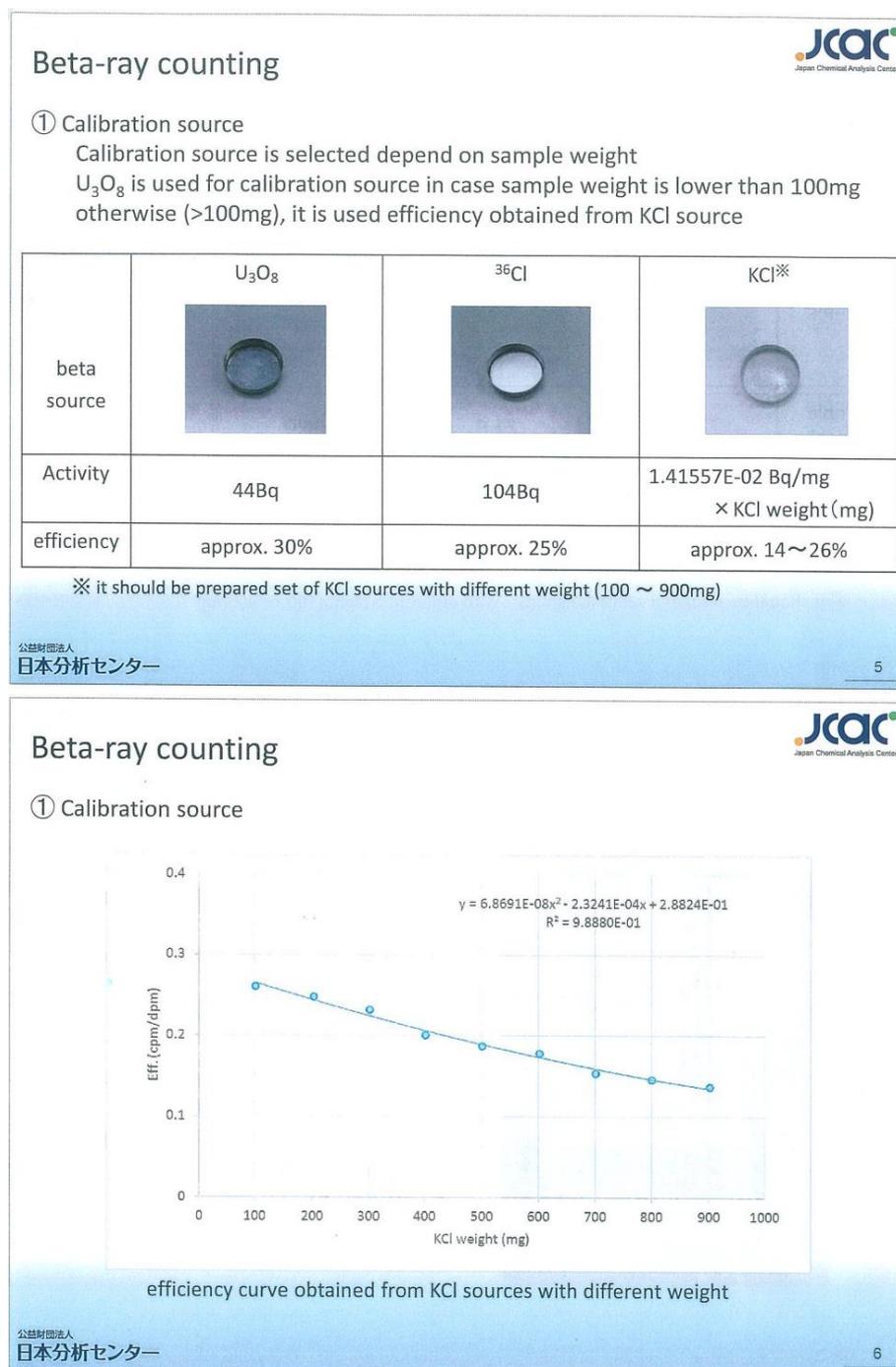


圖 27. JCAC 所使用之校正源

(三) 總貝他活度數據及結果比較

本次同步進行淡水總貝他前處理數據如下表 7 (Expand uncertainty 及 En 計算參考本中心 108 年度環境試樣放射性分析比較實驗報告)，JCAC 因樣品重量大於 100mg，故使用 KCl 校正曲線，本中心計測之樣品量小於 100mg，但仍使用相同 counting 數於 KCl 校正曲線及 U₃O₈ 校正源作比對。

結果顯示雖然日方及本中心前處理後所得到的計測重量不同，但活度數值帶入 En 值公式計算判斷兩方結果是合格的。可能說明了兩者實驗室之間不同前處理方式及校正源的不同對活度影響很小，由於本次比較結果為雙方一次實驗結果，還是需要大量數據來佐證此論點。

表 7. 淡水總貝他前處理數據

實驗室	樣品重 (mg)	校正源	活度 (Bq/L)	Expand uncertainty	En 值	判定結果
JCAC	129.3	KCl	1.22±0.035	0.075	-	
RMC	64.7	U ₃ O ₈	1.13±0.033	0.08	0.8	可接受
RMC	64.7	KCl	1.13±0.033	0.08	0.8	可接受

四、參觀日本化學分析中心實驗室

本次研習除了實際操作樣品放射性化學分離（前處理）外，亦參觀了 JCAC 生物試樣前處理實驗室、海水試樣前處理實驗室、土試樣前處理室、阿伐計測室、貝他計測室、加馬計測室、氬-3、碳-14 放射性化學分析實驗室及 SAUNA 核爆檢驗儀器室等。JCAC 在實驗室動線規劃上非常嚴謹，在進入實驗室門口前有兩道門，進入第一道門與第二道門間，以塑膠門簾隔出一小區域，供實驗人員穿脫室內鞋以及做為緩衝空間（圖 28），除了避免環境污染外，也可避免昆蟲飛入而影響實驗，第二道門通往實驗室之前需要相關實驗專業人員門禁卡才可通行，此外，放射性化學實驗室與一般化學實驗略有不同，放射性化學分析需考慮核種半衰期、放射性平衡、化學干擾、樣品乾

燥後放置太久會潮解、環境及人員操作過程之汙染等因素，樣品前處理完畢後移送至計測室之動線亦需十分注意，JCAC 實驗室大部分以中央空調維持固定範圍之濕度及溫度，避免樣品從前處理室移動到計測室之過程因溫、濕度變異而造成偵測結果誤差變大，並在實驗進行前紀錄當下之濕、溫度值，作為必要時之參考依據。



圖 28. JCAC 通往實驗室前之緩衝空間供穿脫室內鞋
(進入 α 射線計測室前再換計測室專用拖鞋)

日方對災害緊急處理及應變亦很重視，本次研習恰巧遇到哈吉貝颱風侵襲日本，在颱風警報發布後，相關人員便開始準備防災工作以及調整後續實驗安排，同時檢視電力系統是否足夠供給颱風期間自動運轉系統運作，例如生物試樣前處理室中，試樣乾燥及高溫灰化爐通常全天候 24 小時運轉，以確保試樣確實乾燥灰化完成，在此次颱風來襲前，相關人員提前將樣品灰化，本次參觀高溫灰化爐時，只剩少量樣品正在處理，且預計在颱風來臨之前可完成乾燥作業。此外，研究人員的良好習慣亦是實驗過程非常重要的一環，確實執行實驗記錄以及事後探討分析結果對於實驗技術之精進有極大助益。JCAC 成員進行生物試樣乾燥脫水前，先將樣品放入之時間、樣品名稱及數量等資訊紀錄在白板上（圖 29），以免灰化後取錯樣品，並在事後檢視灰化結果的差異、時間及樣品大小對灰化結果之影響、是否需要調整實驗流程等，這些都可能是未來實驗成功與否之關鍵重點。



圖 29. 高溫爐與試樣乾燥箱，白板上紀錄放置日期與試樣名稱

JCAC 生物試樣處理室主要進行環境輻射監測之試樣前處理，包含農畜產品、海產物及土樣等，根據不同樣品特性（如產地及可能之污染源等）與可能累積之放射性核種種類，設計實驗流程配合適當之計測儀計讀，生物試樣經由前處理、乾燥及濃縮後計測，其主要計測方法為 γ 能譜分析（圖 30）；其他如海水試樣前處理室（圖 31-32）、土樣前處理/乾燥室（圖 33）、銻-90 放射性分析實驗室（圖 34）、碳-14 放射性化學分析實驗室（圖 35）、氦-85 氣相層析儀（圖 36）及 SAUNA II 核爆檢驗儀器（圖 37）之參訪照片如下。



圖 32. 海水過濾裝置，利用管柱進行流洗過濾



圖 33. 土樣前處理/乾燥室（土樣於隔離區進行前處理，避免粉塵污染實驗室）



圖 34. 進行銻-90 放射性分析以交換樹脂除去鈣，再以醋酸鈉溶液流洗出銻-90
(管柱尺寸：直徑 3 公分；高 26 公分)



圖 35. 碳-14 放射性化學分析實驗室，作為年代測定、古物鑑定分析之方法



圖 36. 氣相層析儀（Gas chromatograph），主要為放射性物質氦-85 之分析使用



圖 37. SAUNA II 核爆檢驗儀器，偵測大氣中放射性惰性氣體 Xe 之含量比

肆、心得與建議

一、心得

同一放射性核種之分析實驗，各實驗室使用的方法不盡相同，以鐳-226 之放射性化學分析方法為例，根據國外文獻顯示，可以透過 γ 能譜或 α 能譜法以及液態閃爍計數、質譜分析等方法，配合不同的化學分離過程來偵測，各分析方法所使用的偵檢器亦不同，例如： γ 能譜分析法為一種非破壞性分析方法，除了能較快速分析目標核種外，還可同時測定樣品中的其他放射性核種活度，且無需進行複雜而費時的放射化學分離，但 γ 能譜分析法使用的高效率純鍺偵檢器（HPGe）在較寬的能量範圍內偵測效果相對較差；質譜法已用於測定鐳-226 和鐳-228，其優點是靈敏度高且分析時間較短，但放射化學前處理、濃縮和分離程序繁雜，該分析方法可能受到多原子以及多個帶電離子形成的干擾；IAEA 出版的 *Analytical Quality in Nuclear Applications Series No.39* 中，係以液態閃爍法快速偵測飲用水中鐳-226 及鐳-228，此實驗方法已通過國際專家實驗室再現性測試，此法亦為 JCAC 目前使用之分析法。綜合上述且根據國外期刊顯示（表 8），以液態閃爍法分析鐳-226 具有較好之技術效率及快速分析等優點，故飲用水中鐳-226 化學前處理後再經由液態閃爍計數器計測方式為較佳之分析法，可作為本中心進行放射化學分析之參考。

在進行放射性化學分析之前，需考量到樣品量、研究成本、時間效率、可偵測極限值（MDA）、儀器可分析能量範圍、偵檢效率、自我吸收效應等問題，除了在嘗試與錯誤間找出最適當的分析方法外，藉由國際間的經驗分享與交流，能發現可能存在的問題，同時精進技術及擴展視野，助於跳脫原有思維，亦能提升創意發想與研究熱情。

表 8. 使用不同鐳-226 分析方法獲得的最低可檢測活性和效率的比較

（資料來源: *Journal of Water Resource and Protection*, 2013, 5, 53-57）

	CPM background	²²⁶ Ra counting efficiency
LSC	0.1 - 1.0	95%
Alpha spectrometry	0.003 - 0.01	20%
Gamma spectrometry	0.096	70% - 90% (This study)

二、建議

- (一)本中心於民國 96 年曾翻譯日本分析中心鈷-210 分析方法，建立「環境試樣中鈷分析方法」程序書，此次赴日本分析中心學習食物中鈷-210 分析技術，學習了相關的操作手法及實驗技巧，建議可參考日本分析中心之現行鈷-210 分析技術修正本中心程序書之鈷-210 分析方法。
- (二)鐳-226 之放射性化學分析方法可以 γ 能譜法、 α 能譜法、液態閃爍計數及質譜分析等方法，配合不同的化學分離過程來偵測。本次於日本分析中心學習之飲用水中鐳-226 化學前處理，搭配液態閃爍計數器計測分析法，具有快速分析及計數效率高等優點，建議可參考此分析技術建立本中心之鐳-226 活度分析方法。
- (三)本中心實驗大樓已使用超過 40 餘年，為強化實驗室安全管理，建議參考 JCAC 實驗室之配置原則，規劃本中心實驗室配置及進出入安全管制等，並配合未來開放民眾參觀動線規劃實驗空間，以確保實驗環境以及相關人員之作業安全，亦可提升作業時效。

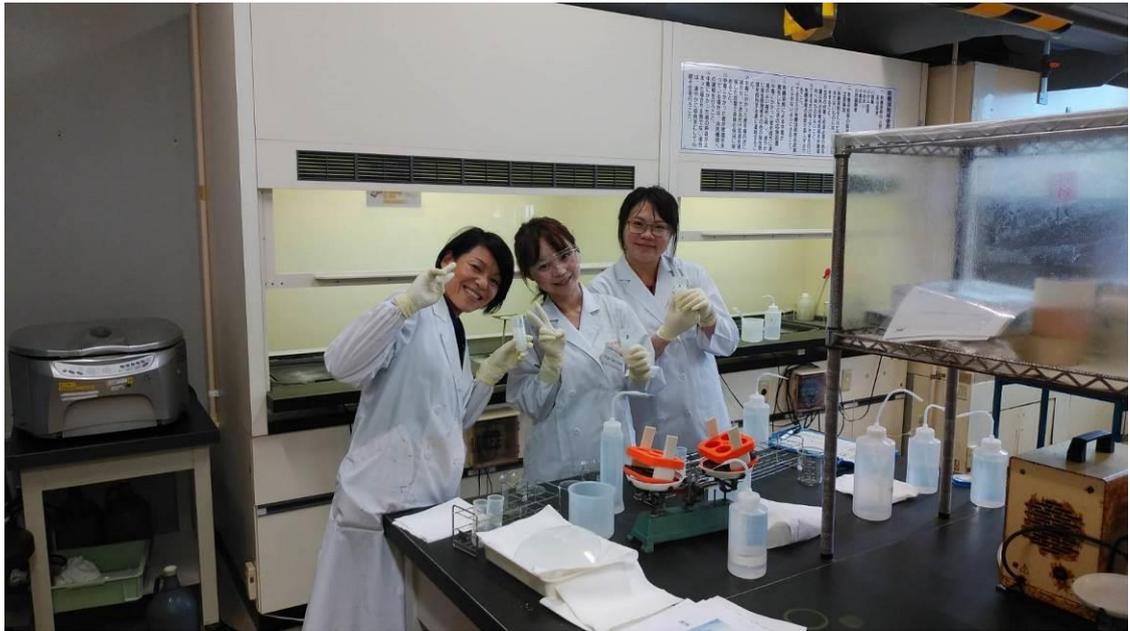


圖 38. 與 JCAC 西森千幸一同進行鐳-226 前處理實驗



圖 39. 與 JCAC 成員合照，(後排由左至右) 王曉水博士、
佐藤昭二、太田智子、磯貝理事、新田濟

伍、參考資料

1. 國家環境保護總局(2001)，輻射環境監測技術規範，中華人民共和國環境保護行業標準，HJ/T 61-2001。
2. Mitsuo S, Kenshu M, Kiyoshi M. (2007). Fundamental study on the analytical method of radiation of radium in inland water, 岡山縣環境保健中心年報 31, 91-94。
3. Cheol-Su Kim. (2014). Environmental radiation monitoring system in Korea, Retrieved from <https://gnssn.iaea.org/main/ANNuR/Activity%20Documents%20%20Public/Regional%20Workshop%20on%20Nuclear%20and%20Radiological%20Emergency%20Preparedness%20and%20Response/Lecture%20D1-7%20Environmental%20Radiation%20Monitoring%20System%20in%20Korea.pdf>。
4. Hanan M. Diab, Waleed M. Abdellah. (2013). Validation of ^{226}Ra and ^{228}Ra Measurements in Water Samples Using Gamma Spectrometric Analysis, Journal of Water Resource and Protection, 5, 53-57。
5. IAEA Analytical Quality in Nuclear Applications Series No. 12, 2009。
6. IAEA Analytical Quality in Nuclear Applications Series No. 39, 2014。
7. Ota T, Sanada T, Kashiwara Y, Morimoto T, Sato K. (2009). Evaluation for Committed Effective Dose Due to Dietary Foods by the Intake for Japanese Adults, Japanese Journal of Health Physics, 44(1), 80-88。