

# 六ヶ所再処理工場からの放射能放出に関する研究

六ヶ所再処理工場放出放射能測定プロジェクト ●古川 路明

## 1. 再処理工場から放出される放射能とその測定

再処理工場の運転によって大量の放射能が施設外に放出されるといわれている。確かに放射能放出量は大きく、その実態について知ることは非常に重要である。

このような環境放射能の測定はその施設をもつ機関などで測定されているが、多くの場合に情報の開示は不十分である。市民の側に立って環境放射能の測定をおこなうことは有意義であろう。環境汚染は必ず起こるが、わかっていることとわかっていないことを区別し、公表したいと考えている。

このプロジェクトでは、六ヶ所村周辺で採取された環境試料中に含まれる揮発性元素の放射能に注目し、

トリチウム（水素-3）と炭素-14を測定した結果について報告する。

## 2. 再処理工場から放出される放射能

現在の再処理では、核燃料を硝酸に溶解して溶液にする。この際に、揮発性元素の放射能が溶液から蒸発し、原発の場合より放射能が放出されやすい。再処理工場の日常運転でも、そのような放射能が放出されている。

揮発性元素として、水素、炭素、クリプトンとヨウ素が特に問題となる。表1に、六ヶ所村での管理目標値とフランスのラ・アーク再処理工場からの放射能放出量を示す。前者はあくまでも目標値であり、本当の



【日本原燃ホームページから作成】

### ■六ヶ所再処理工場放出放射能測定プロジェクト

本研究は、六ヶ所再処理工場から放出される放射能について測定・評価し、六ヶ所再処理工場周辺の環境放射能研究の基礎資料とすることが大きな目的である。測定は対象核種と採取場所を決めて、定点での継続的な測定を数年間継続する。そのため青森や岩手の市民、漁協関係者と測定・評価を担当する科学者でチームを作っている。また青森、岩手以外に対照資料として千葉県三里塚、新潟県巻町の農業者、市民の協力も得て測定活動を実施している。

#### ●助成研究テーマ

六ヶ所再処理工場からの放射能放出に関する研究

#### ●助成金額

2005年度 120万円

表1 再処理工場運転の際の主な放射能の年間放出量 (兆ベクレル)

放射能 (半減期)	六ヶ所村		ラ・アーグ*	
	(気体)	(液体)	(気体)	(液体)
トリチウム (123年)	1,900	18,000	67	12,000
炭素-14 (5,730年)	52	—	17	8.7
クリプトン-85 (10.8年)	330,000	—	250,000	—
ヨウ素-129 (1,570万年)	0.011	0.043	0.0074	1.8

\* ヨウ素の放出量は1999年度、ヨウ素以外の放出量は2003年度の値を示す。

表2 青森県と岩手県で採取した海水・湖水のトリチウム濃度 (ミリベクレル/ℓ)

番号	採取地点	採取月日	放射能濃度
1	青森、尾駱沼	2006. 4. 1	370 ± 150
2	青森、六ヶ所	2006. 3. 18	190 ± 140
3	青森、三沢	2006. 3. 18	240 ± 140
4	岩手、宮古	2006. 3. 31	50 ± 140
5	青森、東通	2006. 3. 19	250 ± 140
6	青森、大間	2006. 3. 19	160 ± 140

ところは工場を運転してみなければわからない。一方、後者はほぼ同規模の工場からの放出の実績であり、六ヶ所再処理工場について考える場合にも参考になる。トリチウム、炭素-14、クリプトン-85とヨウ素-129の再処理工場からの年間放出量について表1に示し、これらの放射能の存在と生成および再処理工場からの放出について【付録】に記す。

### 3. トリチウムの放射能測定

#### 3.1 放射能の測定法

水試料では、10mlの試料を同量の乳化シンチレーター溶液と混ぜ、液体シンチレーション計数装置で測ればよい。低濃度試料では電解法による同位体濃縮をおこなう必要がある。

#### 3.2 測定試料の採取と測定

試料として、青森県および岩手県の6箇所では海水または湖水を採取した。

測定は、信頼できる測定機関である「日本分析センター」に依頼した。その操作の概略は以下の通りである。採取した試料200mlを過マンガン酸カリウムと過酸化ナトリウムで酸化した後に蒸留した。有機物の分解が液体シンチレーション計数法による測定の際の妨害を減らすのに好都合である。

測定装置、アロカ社LSC-LB5ℓは、微量トリチウム測定用の特別仕様の装置で、ふつうの装置が20mlのバイアルしかセットできないのに対し、LSC-LB5では

100mlのバイアルが使用できてバックグラウンドも低く、検出効率が高い。ガンマ線源（おそらくセシウム-137）を用いる「外部標準チャンネル比法」による計数効率の決定も信頼できるものである。

#### 3.3 測定結果

報告された結果を表2に示す。結果はミリベクレル/ℓの単位で表され、標準偏差(σ)の形で誤差が付記されている。

放射能測定では、試料の計測値からバックグラウンド計測値を差し引いて「正味の値」を得る。試料の計測値とバックグラウンド計測値の差が小さい環境試料の測定では、各々の値に対する誤差を減らすことが特に重要である。

放射能測定における誤差について概要を述べる。正味の値に付けられた1標準偏差(±1σ)で示された誤差の範囲に「真の値」の68%、±2σの範囲には95%、±3σの範囲には99%以上が入る。環境試料の測定では、正味の値が3σを超えなければ「検出限界以下」とすることがあるが、ここでは真の値とともに誤差の値が示されている。

尾駱沼で採取された試料を除いて試料の計測値とバックグラウンドと有意な差がある測定値はない。いい直すと、放射能が検出されているとはいい難い。しかし、工場運転開始前の海水中トリチウム濃度が1ベクレル/ℓ以下と低いことが確認できた。これを基礎にして先のことを考えればよいと思う。

表3 青森県と千葉県で採取した米・松葉の炭素-14の放射能

番号	採取地点	試料 (採取時)	pMC 値 (%) *
1	青森、六ヶ所	米 (2005.10)	105.91 ± 0.22
2	千葉、三里塚	米 (2005.10)	104.52 ± 0.22
3	青森、六ヶ所	松葉 (2006. 3)	105.87 ± 0.22
4	千葉、三里塚	米 (2006.10)	104.40 ± 0.225
5	新潟・稲島	米 (2005)	106.10 ± 0.221
6	新潟・稲島	米 (2006)	105.93 ± 0.225

\* 1950年の大気中の炭素-14の比率を100%として試料の炭素-14の比率との割合を%単位で表す。計算に用いた標準試料の炭素-14の比率は、炭素-14の崩壊による減少分を補正した値を用いている。誤差 (1σ) は、測定の統計誤差、標準偏差などに基づいて算出されている。

## 4. 炭素-14の放射能測定

### 4.1 放射能の測定法

1946年に「炭素年代決定法」が提案され、歴史的資料を含む炭素を含む多くの試料中の炭素-14が測定された。初期には、試料を処理して0.1g以上の炭素を含む測定試料をつくり、ベータ線を測っていた。現在は、小型加速器を用いる加速器質量分析法の利用が主流であり、0.01g以下の炭素で測定できる。

### 4.2 測定試料の採取と測定

青森県および千葉県で米または松葉の試料を採取した。

測定は、加速器質量分析法を実施している民間の測定機関、「パレオ・ラボ」に依頼した。各々の試料について、必要な前処理の後に、加速器質量分析法による炭素年代測定をおこなっている。

パレオ・ラボによる炭素-14の測定結果を表3に示す。

20世紀以降は、地球上の炭素-14の存在量に人間活動による影響が表れている。影響が大きかったのは大気圏内核兵器実験で、1960年代前半には本来の値の2倍になった。現在でもその影響が5%程度残っている(表3の測定値が高いのはその表れである)。

また、炭素-14を含まない化石燃料の燃焼によって炭素-14の割合が減少することが知られている。その影響のない場所(市街地から離れた山林など)で試料を採取し、測定結果の変化を議論する必要がある。表3を見ると、三里塚の米と他の試料では差があるようにみえる。これは、化石燃料の影響と考えられる。

pMC値で測定結果を表すのはわかりにくいかも知れないので、基準となる1950年の「比放射能」を240ベクレル/kg(炭素1キログラムあたり240ベクレル)とすると、表3の試料1では(256 ± 0.54)ベクレル/kgとなる。

## 5. 今後の計画

トリチウムについては、多くの試料について測定するように考えている。特別仕様の測定装置ではなく、ふつうの測定装置を用いる予定である。再処理工場からの放出による汚染が明らかになるはずである。

炭素-14については、同じような測定を続けていきたいと考えている。正確な測定値が得られるので、わずかな汚染であっても明らかになると予測している。海水中のセシウム-137などの測定も試みたいが、その内容について考慮中である。

### 【付録】

## 代表的な放射能の存在と生成および再処理工場からの放出

1) トリチウム——大気中で宇宙線によってつくられる。現在の雨水中濃度は1ℓあたり1~2ベクレルであるが、1960年代前半には大気圏内核兵器実験によって濃度は増大し、1ℓあたり100ベクレル以上になっていた。

原子炉運転中に、主としてウラン-235に中性子が当たったときに起こる三体核分裂(2個の大きな放射性

原子と1個の小さな原子が生じる現象)によって生じる。使用済核燃料を再処理すると、主に水素分子と水の形で存在する。水素分子は排気筒から放出されて大気中で速く拡散するので、影響は大きくはないと予想できる。水の形であれば、主として排水中に入り、最後は生体中の物質に含まれる水素と交換するおそれがあるので、放射線影響を考えるときにはより重要であ



る。他に、核燃料中で有機物と結合した形で存在する可能性も考えられる。

ラ・アークでの放出量は六ヶ所村の管理目標値とほぼ一致しているが、液体としての放出が多いことに注目したい。液体状の放出が多ければ、海水が汚染され、海産生物の汚染が心配される。

**2) 炭素-14**——大気中で宇宙線によってつくられ、そのような放射能としての生成量はもっとも大きい。大気中二酸化炭素に含まれる炭素の比放射能は240ベクレル/kgであるが、1960年代前半には大気圏内核兵器実験によって400ベクレル/kgを超えた。現在でも260ベクレル/kg程度である。

原子炉運転中に、窒素または酸素に中性子があたったときに起こる核反応によってつくられる。使用済核燃料中の存在形態として、無機態のものと有機態のものがある。いずれにしても揮発性のものが多く、再処理をおこなえば気体または液体として放出される。

ラ・アークの放出量と六ヶ所村での管理目標値は、不確かさを考えれば一致しているとみてよい。トリチウムより量は少ないが、その影響はより大きいと考えている。くわしいことはわかっていないが、ラ・アーク再処理工場の近くで採取された牧草、海藻や巻貝の中に含まれる炭素中の炭素-14濃度は平常値の3~4倍に達している。このような炭素を含む食品を摂取すれば、わずかではあっても内部被曝を増加させることは確かである。ただ、排水が放出される海の状況が大きく異なることは考慮する必要がある。

**3) クリプトン-85**——大気中で宇宙線によってつくられるが、その濃度は低く1m<sup>3</sup>あたり0.0001ベクレル(0.0001Bq/m<sup>3</sup>)以下と推定されている。1940年代前半に始まった核兵器用プルトニウムを得るための再処理によって濃度は増大し、発電用原子炉が建設されていない1950年においても元の値の100倍以上に達していた。その後の再処理の規模の拡大により現在では1Bq/m<sup>3</sup>まで増加している。

核分裂生成物の一つで、ウラン-235に中性子があたったときの核分裂の際の核分裂収率は0.29%である。再処理をおこなうと、全量が排気筒を通して大気中に放出される。従って、再処理される使用済燃料の履歴と量がわかれば、放出量はかなり正確に知ることができる。

六ヶ所村での管理目標値は330,000兆ベクレルで、妥

当な値である。年間の操業日数を200日とすると1分あたり約1兆ベクレルとなる。表3に示した他の放射能の放出量と比べると、これは非常に大きな値である。クリプトンの生体濃縮が起こらないことから人体影響は重要と考えられていないが、皮膚はベータ線によって被曝され、気道などでも皮膚の場合より低い被曝が起こる。

クリプトンの沸点は-153℃であるから、液体窒素(沸点、-196℃)で冷却すれば放出ガスから除去できる。しかし、水分の多い状態では回収できず、回収には吸着財の利用も必要であろうし、建設がほぼ終わった工場に設備を追加することは容易ではない。

ラ・アークの工場周辺では、10,000Bq/m<sup>3</sup>を超える値も報告されている。クリプトン-85の大気中濃度の測定を続けている気象研究所(つくば市)の研究者によると、時々平常値を大きく超える値が記録されることがあり、これが東海村再処理工場の稼動と関連していることが明らかになった。つくば市と東海村の距離が約50kmであるから、六ヶ所村の場合でも青森市、弘前市や八戸市にも汚染された大気が到達するはずである。放出されたクリプトン-85は数年の内に北半球の大気中に拡散し、10年以内に全地球大気に広がると考えられる。非常に被曝線量は低いとはいえ全人類に被曝を強いる放出には問題がないとはいえない。このような汚染を考えてか、アメリカ環境保護庁(EPA)が再処理工場からのクリプトン-85排出量の90%削減を考えていたこともあった。

**4) ヨウ素-129**——核分裂生成物の一つで、天然には存在しないと考えてよい。ウラン-235に中性子があたったときの核分裂収率は0.9%である。

六ヶ所村の管理目標値とラ・アークの放出量は一致していない。六ヶ所村ではヨウ素の除去装置を設置しているためであるが、有効に働くかは運転開始するまでわからないであろう。

ヨウ素の揮発性が高いために放出されやすいが、ラ・アークでは液体としての放出が多い。ヨウ素は甲状腺に集まる性質をもつために、原子力施設からの放出は特に注目されている。北海に広がっている汚染は、イギリスとフランスの再処理工場から放出されたものによると考えられている。日本でも、東海村の再処理工場周辺で採取された環境試料から検出されたことがあった。