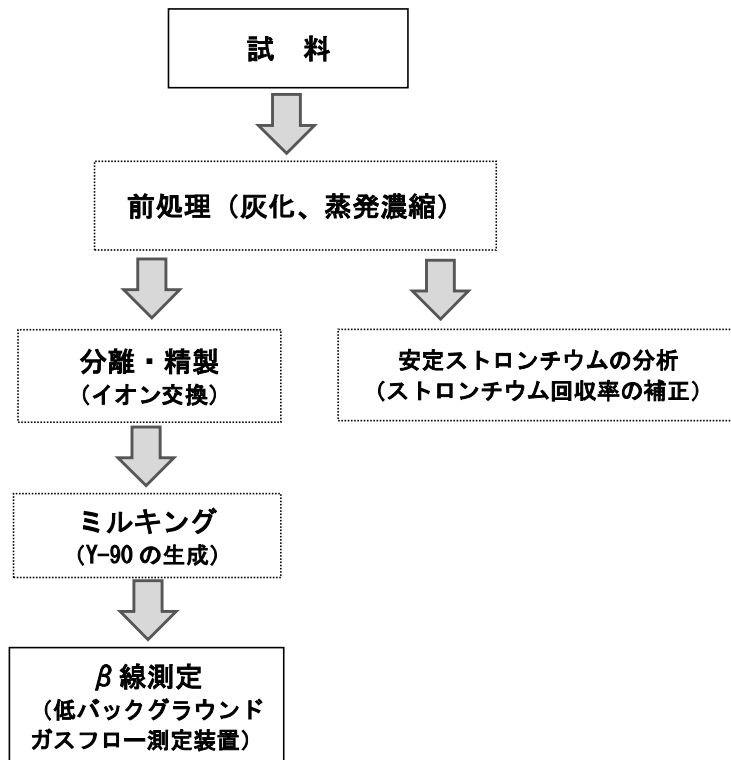


## 5 ストロンチウム 90 の測定

### 【測定法】

- ストロンチウム 90 ( $^{90}\text{Sr}$  0.546MeV 半減期約 29 年) は  $\beta$  線しか放出しないため、ゲルマニウム半導体検出器を用いた測定ができない。また、 $\beta$  線は連続エネルギーを持ち、 $\gamma$  線のようなピークを形成しないため、ピーク解析による同定ができない。
- このため、ストロンチウム 90 を化学的に単離し、 $\beta$  線の放射能を測定する。実際には、ストロンチウム 90 から生成される娘核種のイットリウム 90 ( $^{90}\text{Y}$  2.282MeV 半減期約 64 時間) が放出する  $\beta$  線の方がエネルギーが強く、測定がしやすいため、この放射線を測定する。
- 分析手順としては、ストロンチウム 90 を分離し、すでに共存しているイットリウム 90 を除去してストロンチウム 90 だけの状態にしてから放置する。ストロンチウム 90 の半減期がイットリウム 90 よりも非常に長いため、十分な時間 (通常 2 週間) 放置すると**放射平衡**が成立し、ストロンチウム 90 と生成したイットリウム 90 の放射能が同じになる。
- このようにして、イットリウム 90 を分離し、その放射能を求めることによって、ストロンチウム 90 の放射能が分かることになる。このように放射平衡にある娘核種を親核種から分離する化学操作を「**ミルクィング**」という。測定器は、**低バックグラウンドガスフロー測定装置**を用いる。

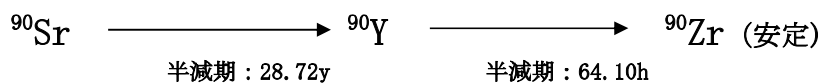
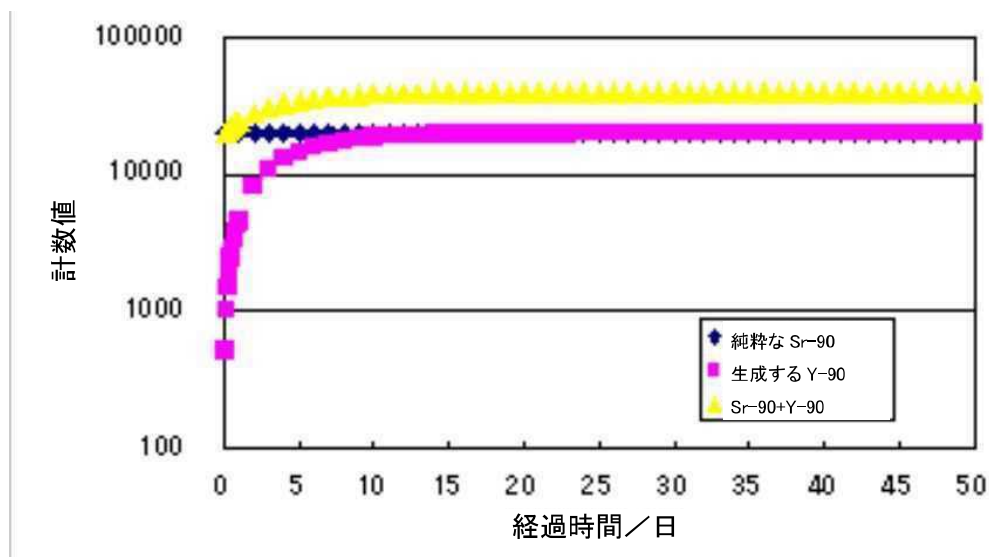
### 分析・測定の流れ (例)



## 放射平衡とミルクキング

ストロンチウム 90 とイットリウム 90 の放射平衡によるイットリウム 90 の生成曲線は図のとおりであり、2 週間で 97% が生成され、それ以降はほとんど変化しない。このため、ミルクキングまでの放置期間は 2 週間を目安にしている。(理論上ではイットリウム 90 が最大放射能を示す時期は、スカベンジから 31.9 日後である。)

### イットリウム 90 の生成曲線



## 低バックグラウンドガスフロー測定装置



測定試料



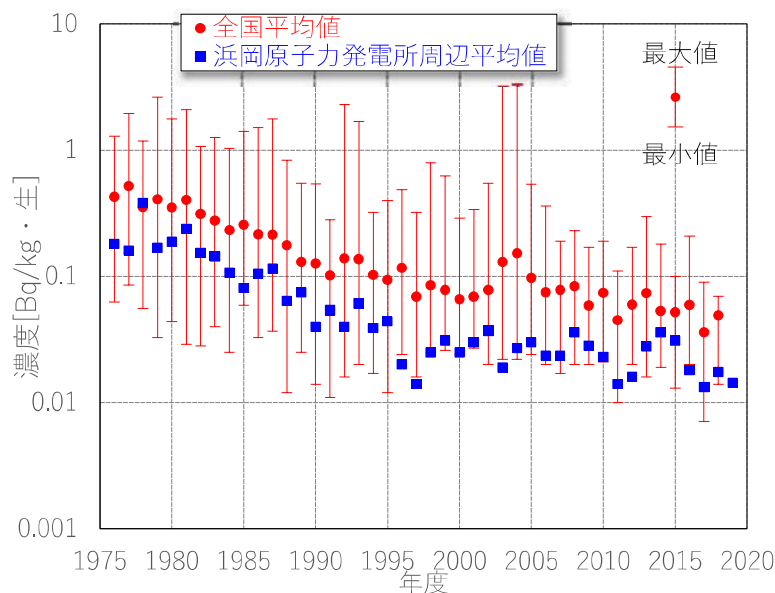
低バックグラウンドガスフロー測定装置

## 東電事故等の影響

東電事故後の測定では、環境試料から検出されるストロンチウム 90 に有意な上昇は認められていない。検出されたストロンチウム 90 については、以下の理由から、東電事故による影響は極めて小さく、主に過去に行われた核爆発実験等の影響と考えられる。

- ストロンチウム 90 は揮発性が低いため、セシウム 137 と比べると福島第一原子力発電所敷地外への飛散量は大きくない。
  - ※1 2011 年（平成 23 年）6 月に原子力安全・保安院が試算した放射性物質の放出量によれば、東電事故によるストロンチウム 90 の放出量はセシウム 137 の 1/100 程度とされている。
  - ※2 日本原子力研究開発機構の調査では、福島第一原子力発電所周辺 80km 圏内の多くの箇所において、ストロンチウム 90 の沈着量はセシウム 137 の 1/1000 程度であった。
  - ※3 福島第一原子力発電所から 80km 圏外においても、明らかに事故由来と判断される放射性ストロンチウムは確認されなかったとしている。（2013/3/1 日本原子力研究開発機構「福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の第二次分布状況等に関する調査研究」の報告書の概略版について）
- 国が各自治体に委託している環境放射能水準調査の月間降下物の調査（測定は（公財）日本分析センター）では、東電事故前 11 年間の値（ND～0.30MBq/km<sup>2</sup>）より高い値が検出された自治体は、東北～関東地方の 10 都県であった。（2011 年 12 月までの測定結果 0.30～6.0MBq/km<sup>2</sup>）
- 他自治体等が実施した福島県周辺地域における土壌及び農産物の調査結果からは、東電事故由来と明確に判断できる放射性ストロンチウムは確認できていない。
- 静岡市で採取している降下物の過去の測定結果（環境放射能水準調査）から、事故後<sup>1)</sup>のストロンチウム 90 の降下量は事故前<sup>2)</sup>の核爆発実験等による降下量の約 1/7100 と非常に小さい。
  - 1) 事故後（の降下量）：2011 年 3 月～2014 年 3 月（の放射能の累積）
  - 2) 事故前（の降下量）：1963 年 5 月～2011 年 2 月（の放射能の累積）

## 大根中の Sr-90 濃度の推移

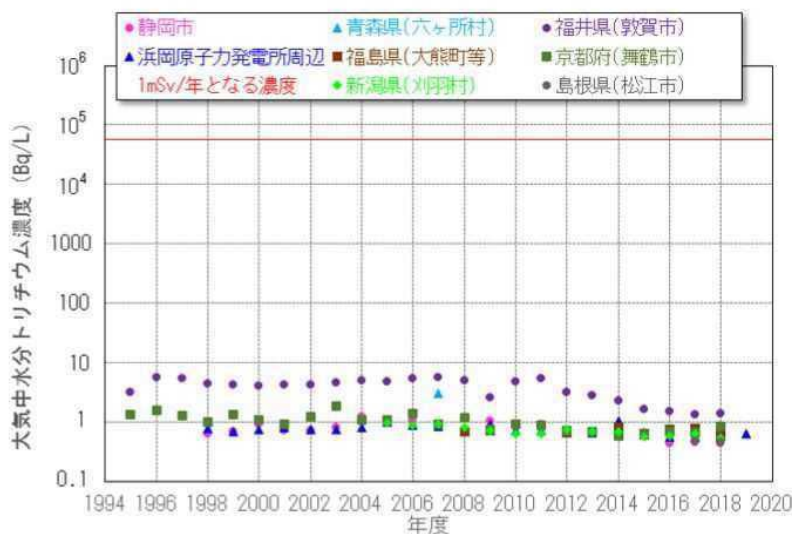


## 【調査のポイント】

- トリチウムは体内に蓄積されにくく、エネルギーも低いため、環境レベルのトリチウムを摂取しても人体への影響は極めて小さい。しかし、発電所からは平常時でもトリチウムの放出があるため、大気中水分、陸水及び海水を対象に継続的な測定を行っているものである。
- 大気中水分は、14か所のモニタリングステーションのうち、4か所に捕集装置を設置し、1か月分を捕集後、測定している。
- 東電事故後、一部の試料でトリチウムが検出されているが、事故前と同程度（飲料水で1Bq/L以下）であり、この地域においては**事故によるトリチウムの影響は極めて小さかった**と考えられる。

- トリチウムの起源は、① 自然生成、② 過去に行われた核爆発実験等の影響、③ 原子力施設からの放出の3つが主なものである。
- 自然生成は、宇宙線が、大気中の窒素原子や酸素原子に衝突することで起こるものである。国連科学委員会の報告書（2008年）によれば、自然生成により地球全体で毎年72PBq生成され、1,275PBqが存在するとしている。また、報告書では、核爆発実験等により地球環境に放出された量は186,000PBqだったとしている。  
(P：ペタ： $10^{15}$ )
- 発電所由来のトリチウムとしては、原子炉水中に重水素が放射化されたものと燃料被覆管から浸出したものが存在する。また、燃料プールからの蒸発により原子炉建屋内にも存在する。
- トリチウムの半減期は約12年で、現在は大気圏内核爆発実験等によって放出された人工のトリチウムは減少し、発電所由来のトリチウムも割合としては小さい（年間約 $10^{11}$ Bq）ため、平常時の観測値は、**宇宙線により生成された自然起源のトリチウムが大部分を占めるもの**と考えられる。
- 中部電力によれば、令和元年度に浜岡原子力発電所から放出した放射性気体廃棄物及び液体廃棄物中のトリチウムから実効線量を推定したところ、 $1 \times 10^{-4}$ mSv以下（1mSvの1万分の1以下）であったとしている。

## 大気中水分トリチウム濃度の推移



(注) 全国の自治体で大気中水分に含まれるトリチウムを監視しデータを公開しているのは、青森県、福島県、新潟県、福井県、静岡県、京都府、島根県である。

## 【調査のポイント】

- 地域を代表する生産物を中心に試料を採取しており、令和元年度の実績で9種類の試料を合計14地点で測定している。
  - 飲食物以外に、**緊急事態への備え**としてバックグラウンドを把握することを目的に、土壌の測定も行っている。(5年に1回程度の頻度で実施する。)
  - 東電事故後、一部の試料でストロンチウム90が検出されているが、事故前と同程度(農畜産物で0.2Bq/kg生以下)であり、この地域においては**事故によるストロンチウム90の影響は極めて小さかった**と考えられる。
- 
- ストロンチウム90は核分裂反応によって生成される。測定値は、**事故直後も、事故前とほとんど変わらないレベル**であるため、**東電事故の影響は極めて小さく、主には過去に行われた核爆発実験等の影響**と考えられる。
  - ストロンチウム90は放射性セシウムと同じく、原子炉内の存在量が多い。しかし、セシウムよりも揮発性が低く、事故による放出はあったものの、静岡県への影響は小さかったと考えられる。ストロンチウムは、化学的性質がカルシウムと似ており、体内に入ると、骨に蓄積する。
  - 農産物中に検出されるストロンチウム90は、セシウム137と比べると、経年的な減少傾向は大きくは見られない。これは、セシウムが土壌粒子に強く吸着されるのに対し、**ストロンチウムは土壌との親和性は高くなく、根からの吸収が大きいため**であると考えられる。
    - ※ 土壌中では、ストロンチウムは水和水を伴った水和イオンとして存在するためサイズが大きく、粘土鉱物の構造体に入り込みにくいとされる。一方、セシウムは水和しにくい性質のイオンとして存在し、イオンの正電荷中心と粘土の負電荷との距離が近くなり、相互作用が強く働くことで土壌に強く吸着されやすいとされる。
  - 緊急事態への備えとして行う測定は、緊急時モニタリングの結果から、環境への影響を適切に評価するため、平時の水準を把握しておくことが目的である。

液体シンチレーションカウンタ



液体シンチレーションカウンタ



サンプルチェンジャー



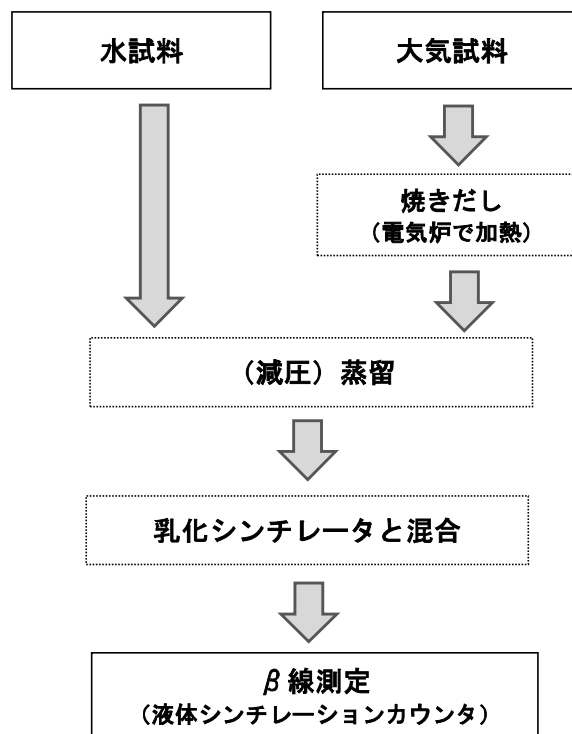
測定試料

## ⑥ トリチウムの測定

### 【測定法】

- トリチウム ( $^3\text{H}$ ) は、水素の一種（同位体）で、化学的には水素と同じ性質を持つため、環境中では主に水や水蒸気中に存在する。水素の同位体には、重水素、三重水素があり、三重水素のことを別名トリチウムと呼んでいる。
- トリチウムは、ストロンチウム 90 と同じように  $\beta$  線しか放出しない核種で、エネルギーが 18.6keV と非常に小さく、通常の  $\beta$  線測定器では放射線が届かず測定できない。このため、環境試料からトリチウムを含む水分を回収し、蒸留後、乳化シンチレータ（ジイソプロピルナフタレンを主成分とした有機溶媒）と混合させ、**液体シンチレーションカウンタ** で測定する方法がほぼ唯一である。
- 測定の原理は、液体シンチレータ混合溶液中で発生した  $\beta$  線が溶媒を励起し、そのエネルギーが溶質に移行して発光する。この光を光電子増倍管で増幅し、電気信号として取り出して測定する。液体シンチレータ混合溶液は専用の測定容器（100mL テフロンバイアル）に入れるが、この容器自体が言わば検出器とも言える。

### 分析・測定の流れ（例）



## 【調査のポイント】

- プルトニウムは、過去の核爆発実験等の影響により、わずかだが環境中に存在する。また、原子炉内にも存在するため、土壌中のプルトニウムを事前に把握しておくことで、緊急事態への備えとする。
  - 土壌採取地点は、緊急事態における採取候補地として「静岡県緊急時モニタリング実施要領」で定めている場所である。発電所 10km 圏内では 5 か所が選定されている。
  - 令和 2 年度から調査を開始しているため、平常の変動幅は定めていない。
- 
- プルトニウムは、原子番号 94 の原子で、94 個の陽子と 140～150 個程度の中性子から構成される原子核を持っており、全ての同位体が不安定（放射性）である。
  - 消化管では吸収されにくいので、食べ物を介して体内へ取り込まれるよりも、呼吸と共に肺から取り込まれた場合に問題となり、肺から血管に入り血流によって移動し、骨や肝臓に沈着する。プルトニウムはこうした器官内で  $\alpha$  線を出すため、肺がん、白血病、骨腫瘍、肝がんを引き起こす可能性がある。
  - 原子炉内では、ウラン 235 の核分裂により生成した中性子がウラン 238 に吸収されてプルトニウム 239 が生成する。更に、プルトニウム 239 の一部は、中性子を吸収してプルトニウム 240 になる。プルトニウム 239 や 240 と比べて少ないが、プルトニウム 238 も原子炉内に存在する。
  - 現在環境中に存在するプルトニウムは、主に過去の大気圏内核爆発実験によって放出されたものである。中でもプルトニウム 239 は、半減期が長く、長期間環境中に残留することになる。プルトニウム 238 も核爆発実験で環境に放出されたが、放射性同位体熱電気転換器 (RTG: Radioisotope thermoelectric generator) を搭載した人工衛星の大気圏内再突入によってもたらされたものもある。
  - プルトニウム 239+240 (半減期 プルトニウム 239 : 2411 万年、プルトニウム 240 : 6563 年) に対するプルトニウム 238 (半減期 約 88 年) の土壌沈着量の比率を事前に調査しておくことで、万が一のときに、発電所からの影響があったかどうかを確認することが可能となる。
  - 事故後、日本原子力研究開発機構が福島第一原子力発電所から 100km 圏内で行った調査では、同位体比 (Pu-238/Pu-239+240) が 0.030～2.5 程度であったとされ、事故前に全国で行われた調査の平均 0.031 を上回る箇所が見られた。  
(2013/3/1 「福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の第二次分布状況等に関する調査研究」の報告書の概略版について)
  - 緊急事態における土壌採取候補地は、UPZ 圏内の空間放射線量率及び大気モニタの測定地点で、88 地点ある。5 年で全数を測定することを目標としている。

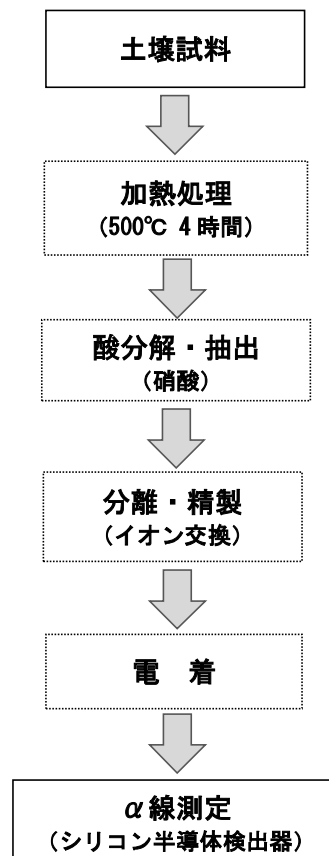


## 7 プルトニウム 238, 239+240 の測定

### 【測定法】

- プルトニウム 238 ( $^{238}\text{Pu}$ ) 及びプルトニウム 239+240 ( $^{239+240}\text{Pu}$ ) の測定は、 $\gamma$ 線を放出する核種に比べて、測定前の試料調整等に相当な時間を要する。また、核燃料物質に相当する標準溶液を使用するため、国から使用許可を受けた施設でないことと測定ができないことから、本県では民間の分析機関へ委託している。
- 分析方法は、対象試料を前処理（加熱・酸分解）・濃縮後、イオン交換樹脂でプルトニウムを分離精製し、ステンレス板上に電着して測定試料とする。測定はシリコン半導体検出器を用い、プルトニウムの $\alpha$ 線スペクトルにより定量する。
- プルトニウム 239 ( $^{239}\text{Pu}$ ) とプルトニウム 240 ( $^{240}\text{Pu}$ ) は、それぞれの核種が放出する $\alpha$ 線のエネルギーがほぼ等しく、区別して定量することができないため、両方の核種の合計として定量する。
- 緊急時の迅速分析法として、ICP-MS を用いた方法がある。試料をマイクロウェーブ分解装置を用いて加圧分解し、ミニカラムを用いて、硝酸系及び酢酸系の2種類のカラムを通すことで、プルトニウムを分離・精製し、試料溶液中のプルトニウムを ICP-MS で定量する。

### 分析・測定の流れ（例）



### 東電事故等の影響③

図は県内で採取された茶葉中の放射性セシウム（セシウム 134 とセシウム 137 の和）の推移である。

1940年代から1980年まで行われた大気圏内の核爆発実験と1986年に起きたチェルノブイリでの事故による影響を受け、その後漸減傾向を示していたところに、東電事故が発生し再び増加した。

現在、セシウム 134 は「検出されず」となり、セシウム 137 も事故直後と比べ、数百分の1以下に減少している。検出はされているが、漸減傾向にある中でのものであり、特異的なものではない。

#### 茶葉中の放射性セシウム濃度の推移

