

平成 15 年度

環境試料中のトリチウム調査報告書

平成 16 年 3 月

福島県原子力センター

はじめに

福島県内に原子力発電所が設置されて以来、33年が経過いたしました。これまで、当センターで行ってきた原子力発電所周辺の環境放射能の監視測定では、核実験等による影響と考えられるものを除き、環境中の放射線レベルは十分に低いことが確認されており、地域住民の健康と安全を確保する上で問題となる濃度は検出されていません。

しかし、放射能、放射線あるいは原子力発電に関する不安が必ずしも解消されていない現状にあることから、環境放射能の監視測定に万全を期す必要があります。これらのことから福島県では、平成7年度に衛生公害研究所（現：衛生研究所）の中に環境放射能分析棟を整備し、この環境放射能分析棟を平成13年4月の組織改編により、原子力センター福島支所として再編し、より一層の監視業務の充実を図ってまいりました。

当センター福島支所では、従来の監視測定対象に加え、肉、卵、果物などの日常食品や地域特産品の放射能分析、 α 線や β 線を放出する放射性物質の分析を行うとともに、環境放射能及びその評価に係わる調査研究も行っております。平成8年度からは食品摂取量調査、同11年度からは環境試料中のプルトニウム調査を行い、同14年度からは3カ年計画で環境試料中のトリチウム調査を開始いたしました。1年目の昨年度は、水及び大気を対象に、その季節変動や地域的な分布状況を調査し、県内におけるトリチウムのバックグラウンドレベルの把握を行いました。今年度は、降水及び大気に加え、指標植物と農産物について調査し、環境中のトリチウムの存在形態や食品摂取による被ばく線量について検討を行い、その結果を本書に取りまとめました。本書が県内におけるトリチウムの濃度や存在について知る上で参考となれば幸いです。

調査に当たり、トリチウム分析の実施機関である財団法人日本分析センター及び試料採取に協力していただいた皆様に深く感謝申し上げます。次第であります。

平成16年3月

福島県原子力センター

所長 佐藤 文雄

目 次

	(頁)
1 調査目的	1
2 調査方法	1
(1) 調査対象	
(2) 調査地点	
(3) 試料採取期間	
(4) 試料採取方法	
3 分析項目	8
4 分析方法	8
5 結果及び考察	11
(1) 降水及び大気中水蒸気	11
ア 月別変化	
イ 地点間比較	
ウ 試料間の比較	
エ 大気中水蒸気のコントロール間の比較	
(2) よもぎ	21
ア 濃度範囲	
イ 地点間比較	
ウ 試料間の比較	
エ 季節変化	
(3) 農産物	24
ア 濃度範囲	
イ 試料間の比較	
ウ 地点間の比較	
エ TFWTとOBT濃度の比較	
オ 降水及び大気中水蒸気トリチウム濃度との比較	
(4) 被ばく線量評価	27
6 まとめ	28
参考文献	29

1 調査目的

トリチウムは、水素の同位体で半減期約 12 年の β 線放出核種であり、その発生源には、宇宙線による核反応、核爆発実験によるフォールアウト、原子炉運転・核燃料再処理に伴う放出などがあげられる。過去の核実験によるトリチウム濃度は 1963 年以降減少しており、環境中トリチウムレベルは、自然放射能レベルの濃度へと近づいているとされている¹⁾。一方、原子力発電施設及び核燃料再処理施設においてトリチウムは、核燃料の三体核分裂及び炉内ホウ素、リチウム等の放射化により生成し、液体又は気体として環境中に放出されている。その量は、平成 15 年 1 月から 12 月の 1 年間に、福島第一原子力発電所で 1.14×10^{12} Bq、同第二原子力発電所で 3.21×10^{11} Bq のトリチウムが放射性液体廃棄物として放出された。また、平成 15 年 7 月から 12 月の半年間に、福島第一原子力発電所で 4.4×10^{11} Bq、同第二原子力発電所で 5.3×10^{11} Bq のトリチウムが排気筒から気体として放出されている²⁾。

トリチウムは、これらの施設周辺における環境放射能の監視対象として重要な核種の一つであることから、本県では福島県環境放射能測定計画に基づき、上水及び海水中トリチウム濃度の監視測定を行っている。

本調査は、さまざまな環境試料中のトリチウム濃度調査を行うことにより、原子力発電所周辺地域をはじめ、県内における平常時のトリチウムレベルを多角的に分析することを目的として、昨年度より 3 カ年計画で調査を開始した。昨年度は、水及び大気を対象にその季節変動や地域的な分布状況の調査を行い、県内におけるトリチウムのバックグラウンドレベルやその挙動について知見を得た³⁾。今年度は、昨年度に引き続き降水及び大気について、また新たに生物試料について調査を行い、発電施設からの寄与ならびに食物摂取によるヒトの被ばく線量について検討を行うこととした。

2 調査方法

(1) 調査対象

平成 15 年度の調査対象を次に示す。

区分	試料名	種類又は部位	地点数	試料数
降水	降水	雨水	3	36
大気	大気中水蒸気	除湿水	6	96
指標植物	よもぎ	葉・茎	9	18
農産物	キャベツ	葉茎	3	3
	だいこん	根部	3	3
	ばれいしょ	塊茎	3	3
	こめ	精白米	3	3

(2) 調査地点

調査地点は以下のとおりである。

ア 降水

試料名	地点の名称	採取地	地域区分
降水	①大野	原子力センター	周辺地域
	②富岡	旧富岡町役場	〃
	③福島市	原子力センター福島支所	比較対照

イ 大気

試料名	地点の名称	採取地	地域区分
大気中水蒸気	①繁岡	榊葉町大字上繁岡字山神97-36 (繁岡地区集会場)	周辺地域
	②富岡	富岡町本町1-1 (旧富岡町役場)	〃
	③大野	大熊町大字下野上字大野199 (原子力センター)	〃
	④夫沢	大熊町大字夫沢字大282-1	〃
	⑤郡山	双葉町大字郡山字塚腰113 (郡山公民館)	〃
	⑥福島市	福島市方木田字水戸内16-6 (原子力センター福島支所)	比較対照

ウ 指標植物 (よもぎ)

試料名	地点の名称(モニタリング地点 No)	採取地	地域区分
よもぎ	①(2-NNW-1)	富岡町大字下郡山字原下	周辺地域
	②(2-NNW-2)	富岡町大字本岡字王塚	〃
	③(2-NNW-4)	富岡町小浜	〃
	④(2-NNW-5)	富岡町大字本岡字新夜の森	〃
	⑤(1-SSW-1)	大熊町大字夫沢字大	〃
	⑥(1-SSW-2)	大熊町大字夫沢字東台	〃
	⑦(1-SSW-4)	大熊町大字熊川字久麻川	〃
	⑧(1-SSW-6)	富岡町大字小良ヶ浜字市の沢	〃
	⑨福島市	福島市方木田字水戸内	比較対照

エ 農産物

試料名	地点の名称	採取地	地域区分
キャベツ	①大熊町	大熊町大字夫沢字大	周辺地域
	②富岡町	富岡町大字小良ヶ浜字赤坂	〃
	③福島市	福島市鎌田字阿良久	比較対照
だいこん	①大熊町	大熊町大字夫沢字大	周辺地域
	②富岡町	富岡町大字本岡字関の前	〃
	③福島市	福島市東浜町	比較対照
ばれいしょ	①大熊町	大熊町大字夫沢字大	周辺地域
	②富岡町	富岡町大字小良ヶ浜字赤坂	〃
	③福島市	伊達郡保原町大字富沢字畑	比較対照
こめ	①大熊町	大熊町大字夫沢字大	周辺地域
	②富岡町	富岡町大字本岡字関の前	〃
	③福島市	福島市大森字下谷地	比較対照

降水、大気中水蒸気の調査は平成14年度と同地点で行った。(図-1)

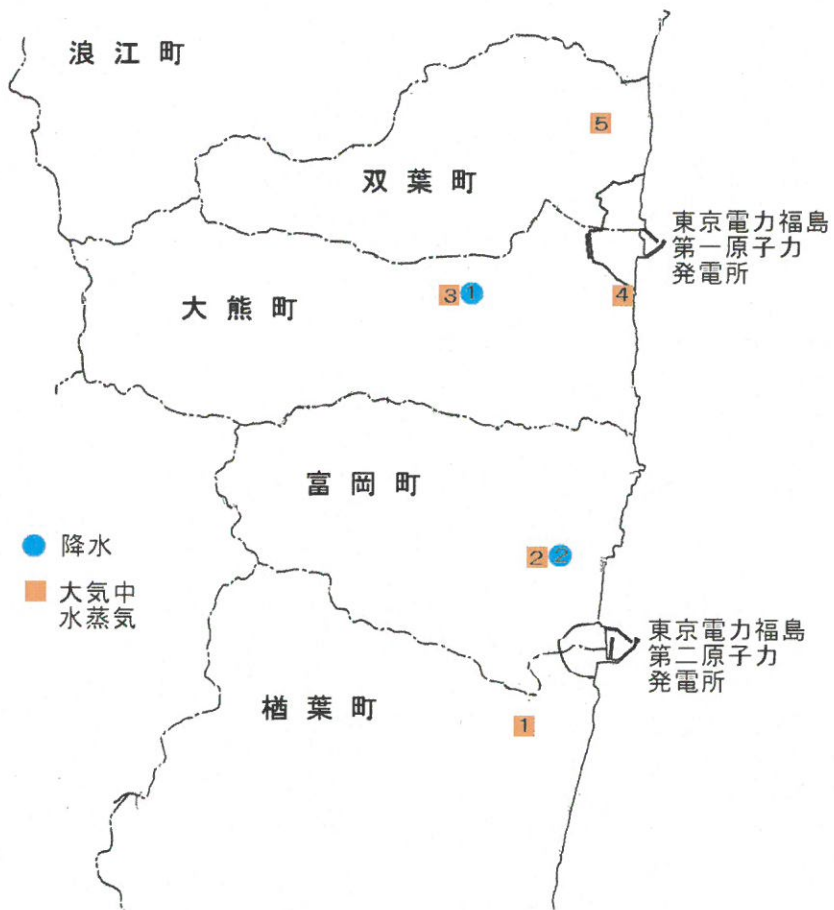


図-1 降水、大気中水蒸気の採取地点 (周辺地域)

よもぎの採取地点は、過去3年間の最多風向を考慮し、「緊急時モニタリング実施要領⁴⁾」に定める緊急時環境モニタリング地点を参考に、その近傍より選定した。(図-2)

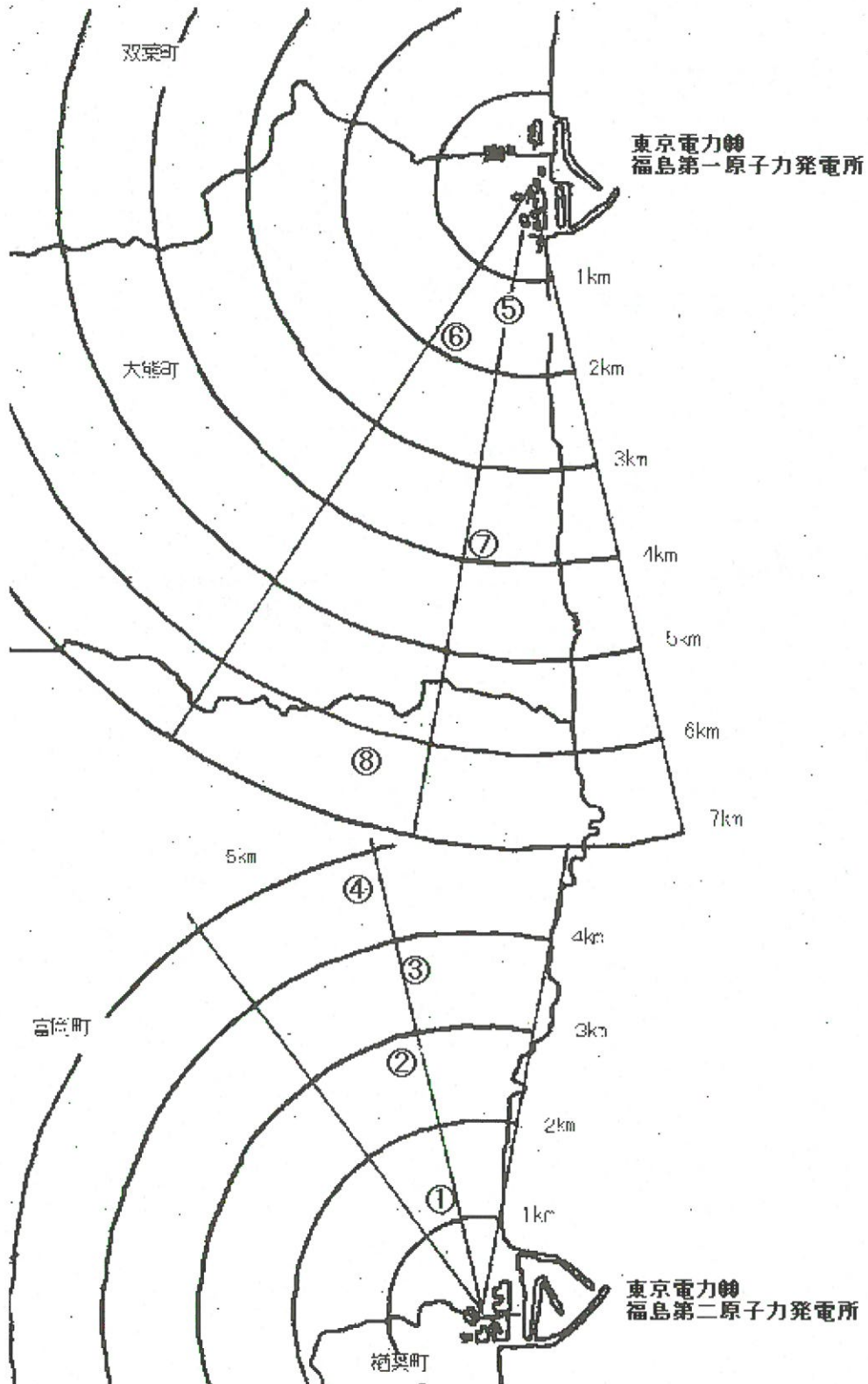
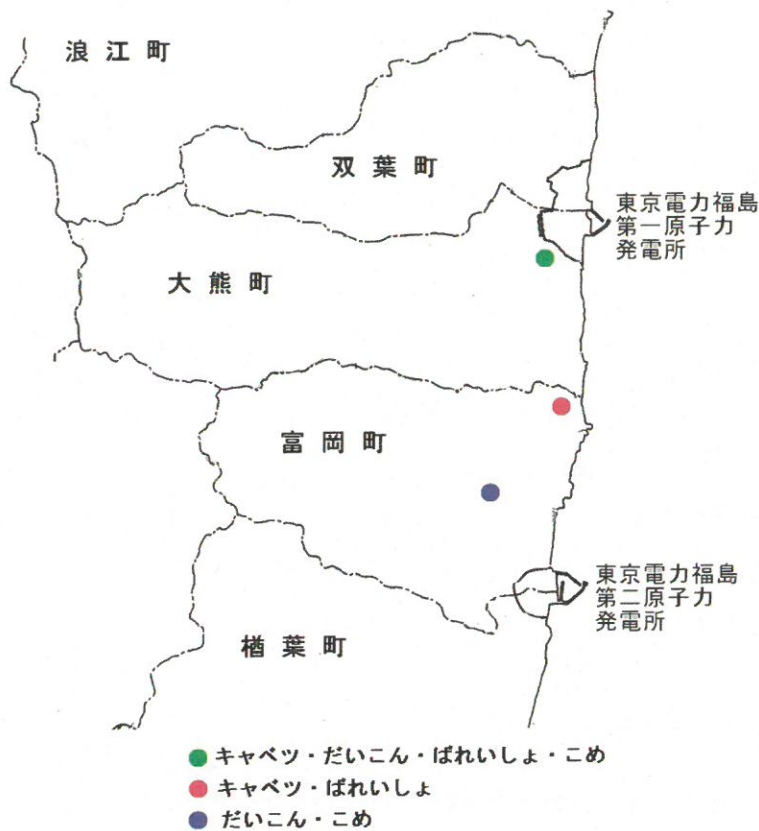


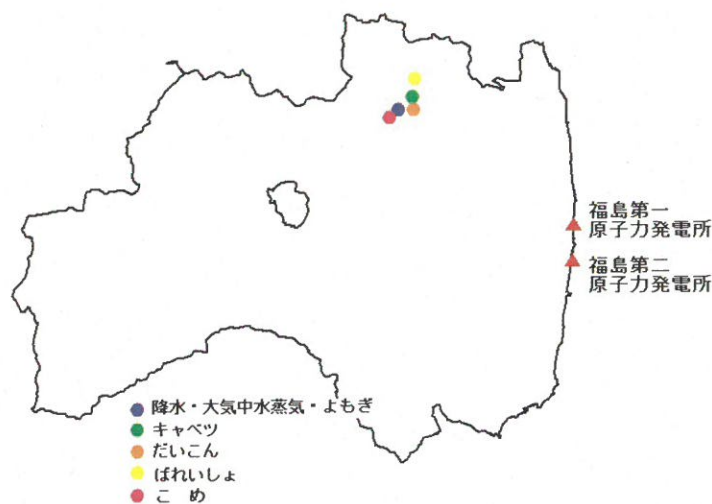
図-2 よもぎ採取地点(周辺地域)

農産物は、福島県原子力発電所周辺環境放射能測定基本計画（以下「基本計画」という。）に基づく原子力発電所周辺地域の地点から採取した。（図－3）



図－3 農産物の採取地点（周辺地域）

また、原子力発電所からの寄与を評価するため、今回調査したすべての試料について、比較対照地点での採取を行った。（図－4）ただし、郡山市については、平成14年度の調査の結果、比較対照地点として福島市に代表させることができると判断されたため、今回の調査からは除外した。



図－4 比較対照地点

また、平成 14 年度に福島市に設置した大気のコントロール地点 1 のトリチウム濃度が他の地点に比べて有意に高かったことから、その原因を究明するため、新たにコントロール 3 を設定した。

区分	目的	設置場所	実施年度
コントロール 1	建築物内と屋外の比較	原子力センター福島支所一階	平成 14, 15 年度
コントロール 2	屋上と地盤面の比較	原子力センター福島支所車庫	平成 14 年度
コントロール 3	建築物内の比較	原子力センター福島支所ファンルーム	平成 15 年度

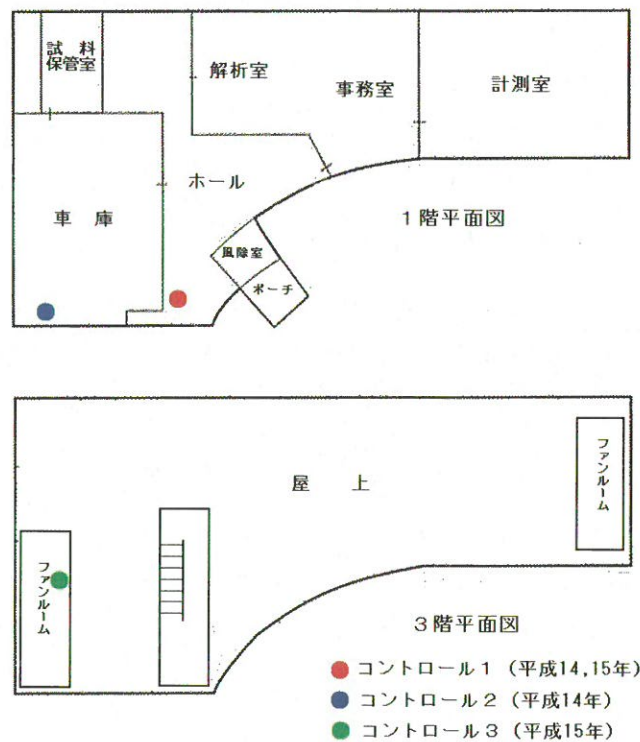


図-5 コントロール地点配置図

(3) 試料採取期間

降水及び大気中水蒸気は平成 15 年 1 月から同年 12 月まで毎月 1 回、よもぎは平成 15 年 5 月と 10 月の 2 回、農産物は各 1 回採取した。

(4) 試料採取方法

文部科学省放射能測定法シリーズ「トリチウム分析法」⁵⁾による。

ア 降水

① 20 L ポリエチレン容器付きのデポジットゲージ (図-6) を用いて、1 ヶ月間の全降水量を捕集する。

② 試料は、よくかき混ぜた後、250ml ポリエチレン製容器 (それより回収量が少ない場合は、それに見合う容器) にあふれるように入れ、密栓する。残試料は 5 L メスシリンダーで測り、最初の採水容器の容量も含め採取量とする。残試料は捨てる。

③ 回収が終わった容器は、中身をよく出し切って、デポジットゲージにセットする。

イ 大気試料（大気中水蒸気）

① 屋外に設置した小屋の上段に除湿器（日立家庭用除湿器 RD-5623A）を入れ、除湿器の排水口にホースを接続し、1ヶ月間連続運転して除湿水を下段のポリ容器に捕集する。（図-7）

② 容器内の水を攪拌して、250ml ポリエチレン製容器（それより回収量が少ない場合は、それに見合う容器）にあふれるように入れ、密栓する。残試料は5 Lメスシリンダーで測り、最初の採水容器の容量も含め採取量とする。残試料は捨てる。

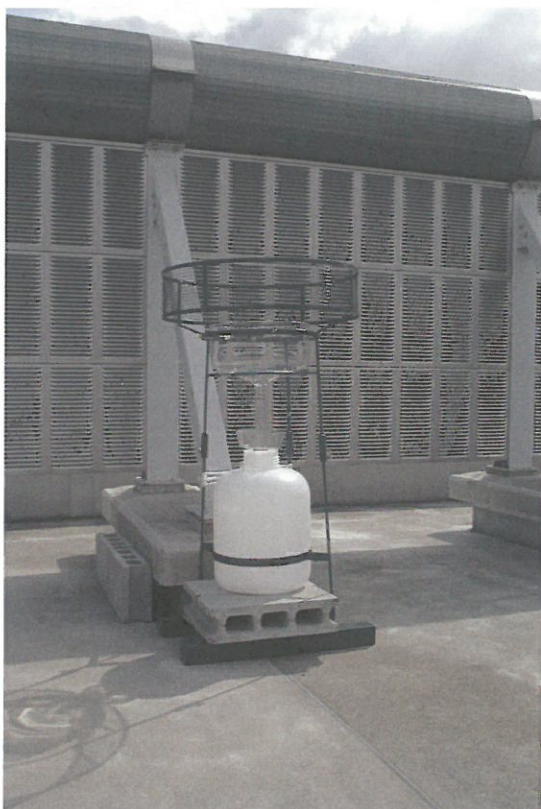


図-6 降水採取装置



図-7 大気中水蒸気採取装置

ウ 指標植物（よもぎ）

① 試料は、降雨中や降雨後間もない時期を避け天候のよい日を選んで採取する。（図-8）

② 茎の根本を包丁等で切断し、地上部をポリエチレン製袋に入れ、蒸散を抑えるため保冷して輸送する。（水洗いはしない）

エ 農産物（キャベツ、だいこん、ばれいしょ）

① 試料は、降雨中や降雨後間もない時期を避け、天候のよい日を選んで採取する。（図-9）

② 試料の生育が平均的とみられる場所を選び、平均的な大きさの個体を選んで採取する。

③ 外側の葉や付着した土を取り除き（水洗いはしない）、ポリエチレン製袋に2重に入れて密封し、蒸散を抑えるため保冷して輸送する。

オ 農産物（こめ）

① 脱穀、乾燥、精米処理された精白米を生産者より直接購入する。

② 試料は、ポリエチレン製袋に2重に入れて密封して輸送する。



図-8 よもぎの採取風景



図-9 キャベツの採取風景

3 分析項目

降水、大気中水蒸気については、試料中の全トリチウム濃度を測定した。指標植物（よもぎ）については、組織自由水トリチウム（TFWT：Tissue Free Water Tritium）濃度を測定した。農産物（キャベツ、だいこん、ばれいしょ、こめ）については、組織自由水トリチウム及び有機結合型トリチウム（OBT：Organically Bound Tritium）濃度を測定した。なお、農産物のトリチウム分析は、財団法人日本分析センターに委託して行った。

4 分析方法

(1) 試料水の調製

分析フローチャートを図-10に示す。

① 降水、大気中水蒸気

文部科学省放射能測定法シリーズ「トリチウム分析法」⁵⁾の減圧蒸留法により試料を調整した。概略を以下に示す。

採取した水を必要に応じてろ過（ $0.45\mu\text{m}$ メンブランフィルター）し、浮遊物を除去する。約100mlをナス型フラスコに取り、過酸化ナトリウム約0.1g、過マンガン酸カリウム約0.1gを加え、ロータリーエバポレーターにより蒸留する。

② よもぎ（組織自由水トリチウム）

文部科学省放射能測定法シリーズ「トリチウム分析法」⁵⁾の凍結乾燥法及び湿式分解法により試料を調整した。概略を以下に示す。

採取したよもぎを細断し、ポリエチレン袋に入れて密封、秤量し生重量を求め、袋ごと冷凍庫で凍結させる。凍結試料を袋からステンレス皿に移し、凍結真空乾燥機（図-11）で試料重量がほぼ恒量になるまで凍結真空乾燥を行う。コールドトラップに付着した氷試料（図-12）を融解し採取する。そのうち約70mlをナス型フラスコに取り、過マンガン酸カリウム約0.5g、沸石少量を加える。上部にシリカゲルカラムを装着したジムロート冷却器を取り付け、マントルヒータを用いてフラスコを加熱し、約6時間還流を行い有機物を分解する。一晚放置し、過酸化ナトリウムをアルカリ性になるまで加え、乾固するまで常圧蒸留を行う。留出液に着色が見られた場合は留出液が無色になるまで蒸留を繰り返す。（本調査では2回蒸留を行った）分光光度計により留出液のUV吸収を測定し、200nm付近にピークが認められない（有機物が分解されている）

ことを確認する。

③ 農産物（組織自由水、有機結合トリチウム）

文部科学省放射能測定法シリーズ「トリチウム分析法」⁵⁾の凍結乾燥法、湿式分解法及び燃焼法により試料を調整する。

(2) 測定試料の調整

100ml テフロンバイアルに試料水 50ml をはかり取り、50ml の乳化シンチレータ（Ultima Gold LLT, Packard 社）とよく振り混ぜ、測定器内で2週間以上放置したものを測定試料とした。

なお、バックグラウンド水として、財団法人日本分析センターより提供された核燃料サイクル開発機構東濃地科学センターの地下水を使用した。

(3) 測定方法

文部科学省放射能測定法シリーズ「トリチウム分析法」⁵⁾による。概略を以下に示す。

液体シンチレーションカウンタ（Aloka LSC-LBIII）を用い、各試料につき、50分測定を17回繰り返した。化学ルミネッセンスの影響を排除するため、最初の5回は無条件に棄却し、6回目以降のデータについて、カイ二乗検定及びKシグマ検定により異常値の棄却を行った。

なお、測定ウィンドウの設定及び効率曲線の作成は、性能指数（FOM）及び外部標準チャンネル比法により行った。

また、大気中水蒸気トリチウム濃度（大気換算）は全地点のうち富岡、大野、福島市の各地点について、毎月の平均気温及び平均相対湿度より Tetens の式を用いて算出した。算出方法は以下のとおりである。

- ① Tetens の式 $E(t) = 6.11 \times 10^{7.5t / (t + 237.3)}$ に t : 温度 (°C) を代入して
 $E(t)$: t°Cにおける飽和水蒸気圧 (hPa) を求める。
- ② 水蒸気の状態方程式より導いた式 $a = 217 \times E(t) / (t + 273.15)$ に $E(t)$ を代入して
 a : t°Cにおける飽和水蒸気量 (g/m³) を求める。
- ③ $H \times a / 1000 \times \text{平均相対湿度}(\%) / 100$ の式に
 H : 大気中水蒸気トリチウム濃度 (Bq/l)、 a 、平均相対湿度を代入して
大気中水蒸気トリチウム濃度（大気換算：Bq/m³） を求める。
※なお、水 1000g = 1L として計算した。

また、各地点の平均気温及び平均相対湿度のデータの入手先は次のとおりである。

地点	平均気温等データの入手先
富岡	福島県原子力センター
大野	同上
福島市	福島地方気象台ホームページ

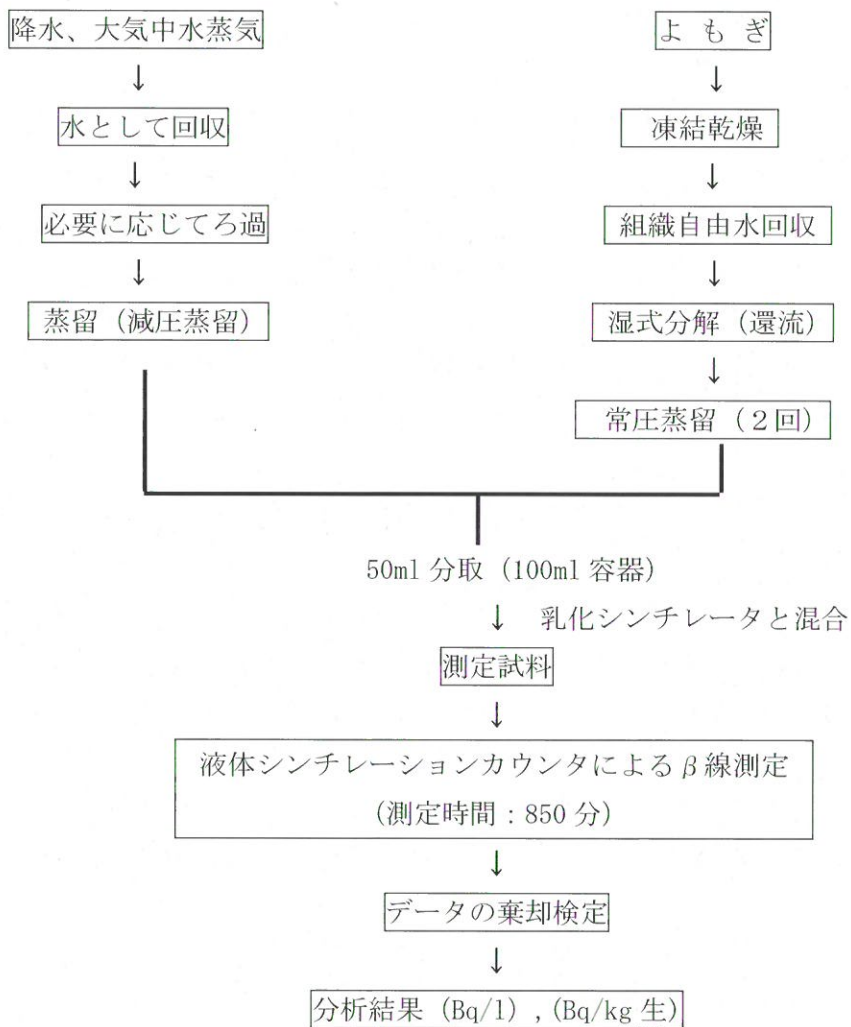


図-10 分析フローチャート

(4) LTDの扱いについて

測定値が、標準偏差の3倍 (3σ) 以下の場合には、検出限界以下 (LTD) とした。
 ただし、平均値算出等の統計処理及びグラフ上のプロットに当たっては、測定値をそのまま使用した。

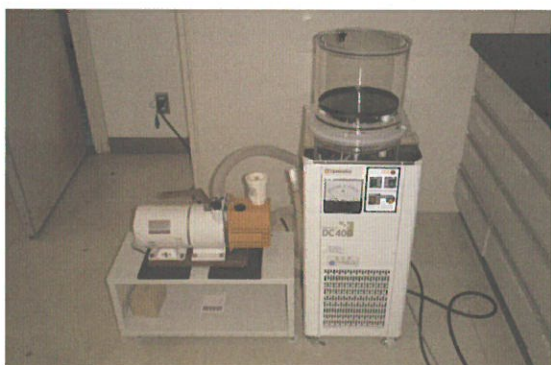


図-11 凍結真空乾燥機



図-12 コールドトラップに付着した氷

5 結果及び考察

(1) 降水及び大気中水蒸気

ア 月別変化

平成 15 年 4 月～12 月のトリチウム濃度測定結果を表-1、2 に示す。

降水のトリチウム濃度は、調査した 3 地点ともに同様の変化を示し、年間を通じて 1 Bq/l 以下の低い濃度で推移した。(図-13) 月別変化は、3 月と 11 月に低かった他は、ほぼ一定の値で推移した。また、トリチウム濃度と降水採取量 (図-14)、降水量 (図-15) との明確な関係は認められなかった。昨年は、降水量の多い 7 月にトリチウム濃度が最低となったが、今年はその傾向はみられず、降水量の多かった 7、8 月でもトリチウム濃度は低下しなかった。また、昨年は 4、5 月にトリチウム濃度がやや高かったことから、スプリングピークの可能性が示唆されたが、今年は春季の濃度上昇は認められなかった。

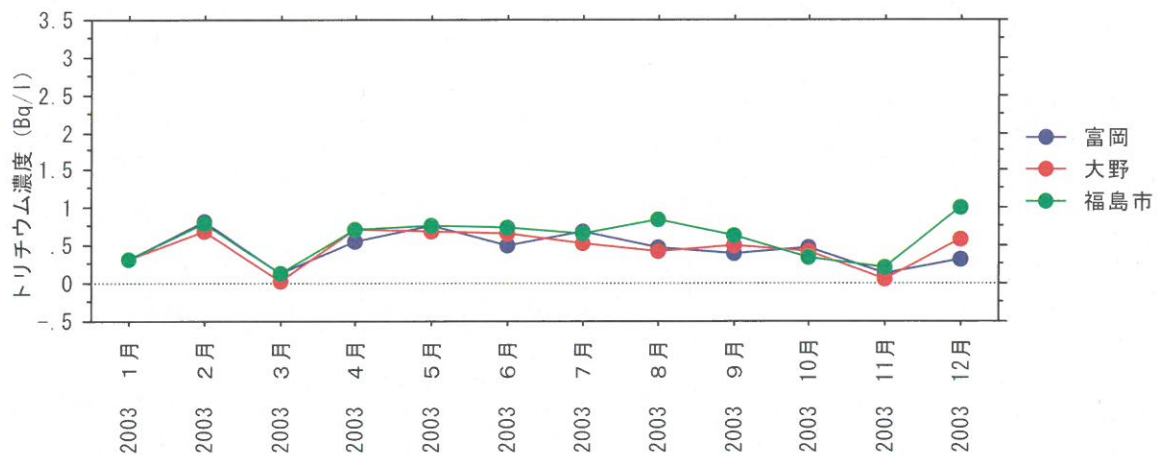


図-13 降水トリチウム濃度月別変化

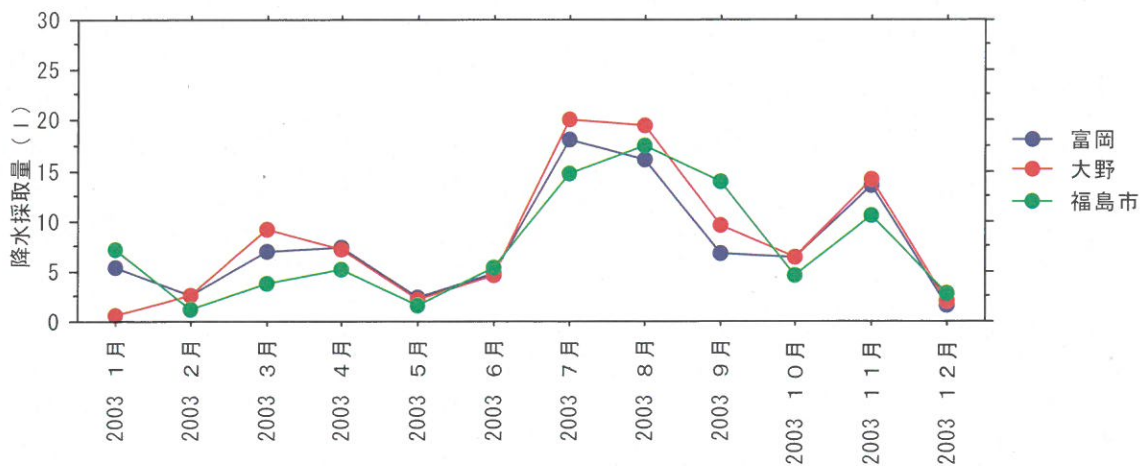


図-14 降水採取量月別変化

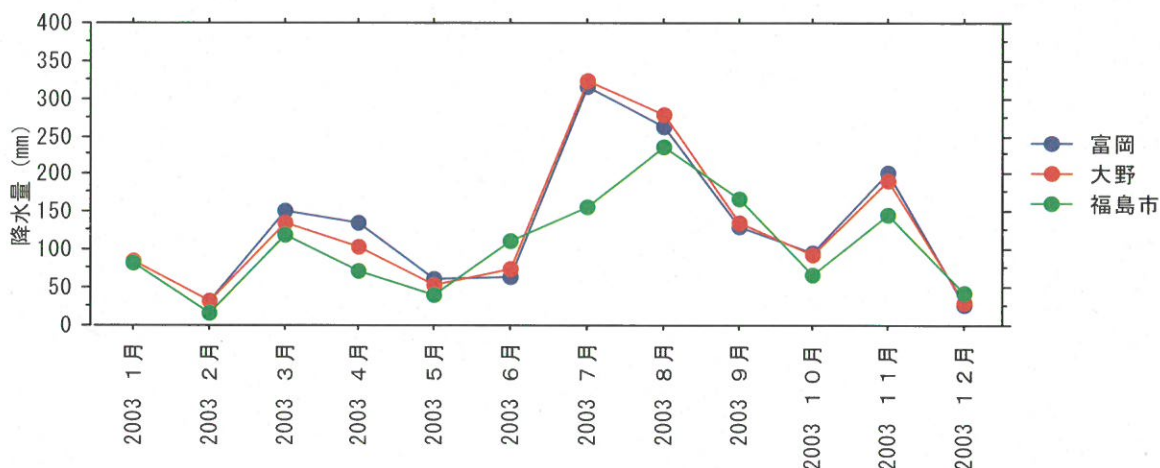


図-15 降水量月別変化

大気中水蒸気トリチウム濃度（除湿水濃度）は、すべての地点で、昨年と同様に大きな季節変化は見られず、除湿水の採取量に関係なくほぼ一定の範囲で推移した。（図-16）

また、月間の平均相対湿度と平均気温のデータがある3地点（富岡、大野、福島市）について、Tetensの式を用いて、除湿水濃度を大気1m³中の濃度に換算した。その濃度は、平均相対湿度から換算した絶対湿度の月別変化と同様の変化を示した。（図18, 19）このことから、3地点における大気1m³中のトリチウム濃度は、大気の絶対湿度によって変化していることが分かる。

さらに、上記3地点以外の地点についても検討を行った。3地点の絶対湿度と除湿水の採取量の関係をプロットすると、正の相関関係がみられた（図-20）ことから、除湿水採取量は絶対湿度の目安として扱うことができると考えられる。除湿水の採取量は、上記3地点を含むすべての地点で、ほぼ同じ変化を示しており（図-17）、絶対湿度もすべての地点で同様に変化していると推測される。前述したように、すべての地点の除湿水トリチウム濃度はほぼ一定であることから、3地点を除く地点でも大気1m³中のトリチウム濃度は、大気の湿度によって変化していると考えられる。

以上のことから、今回調査した地点では、水蒸気の起源となる水のトリチウム濃度（除湿水濃度）は年間を通じてほぼ一定であり、大気1m³中のトリチウム濃度は絶対湿度によって決定されていると思われる。

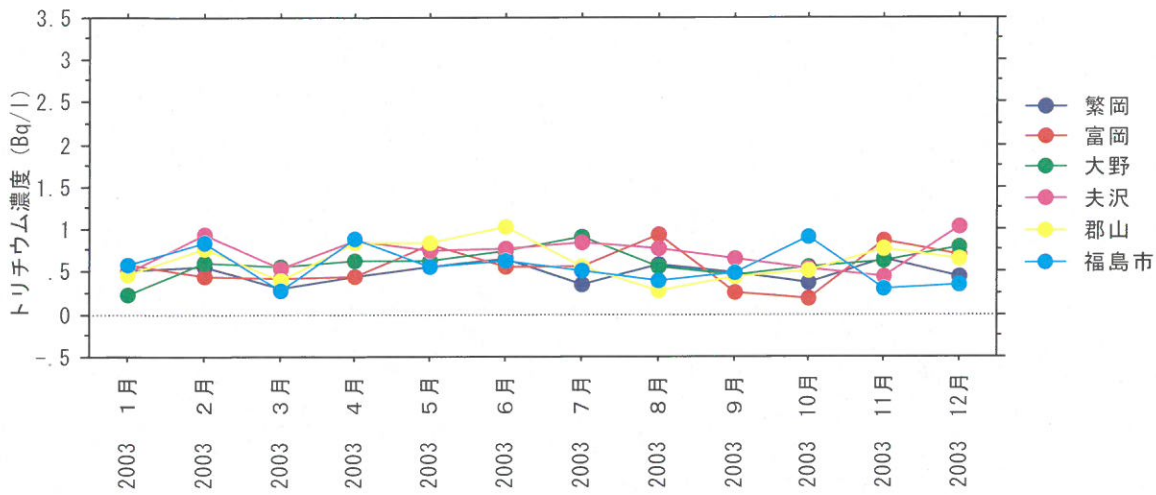


図-16 大気中水蒸気トリチウム濃度（水換算）月別変化

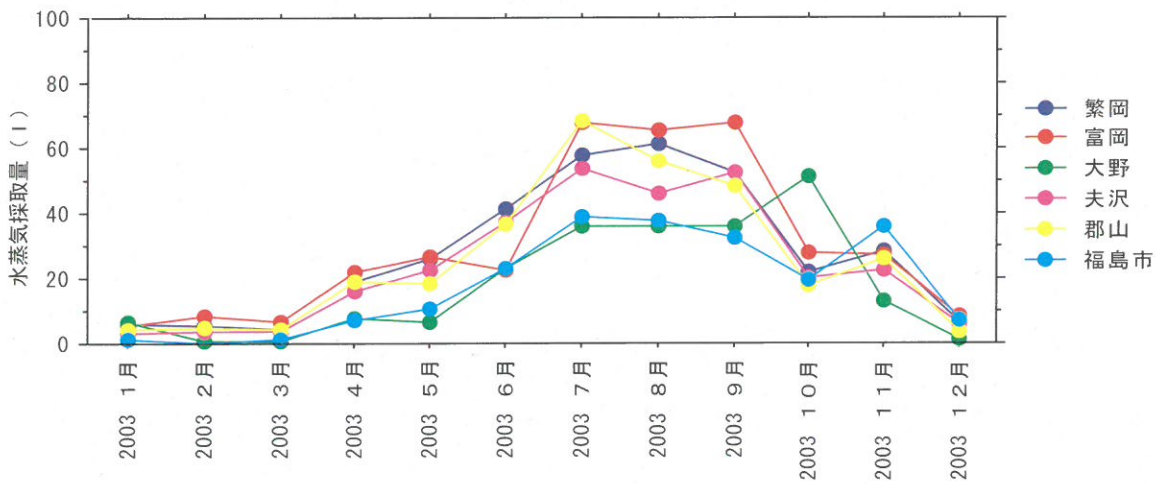


図-17 大気中水蒸気採取量月別変化

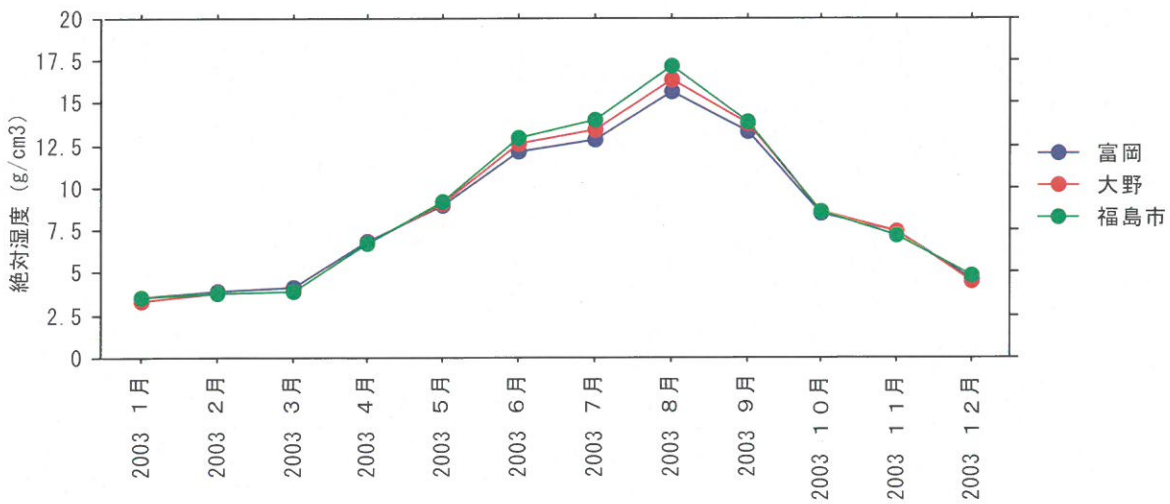


図-18 絶対湿度月別変化

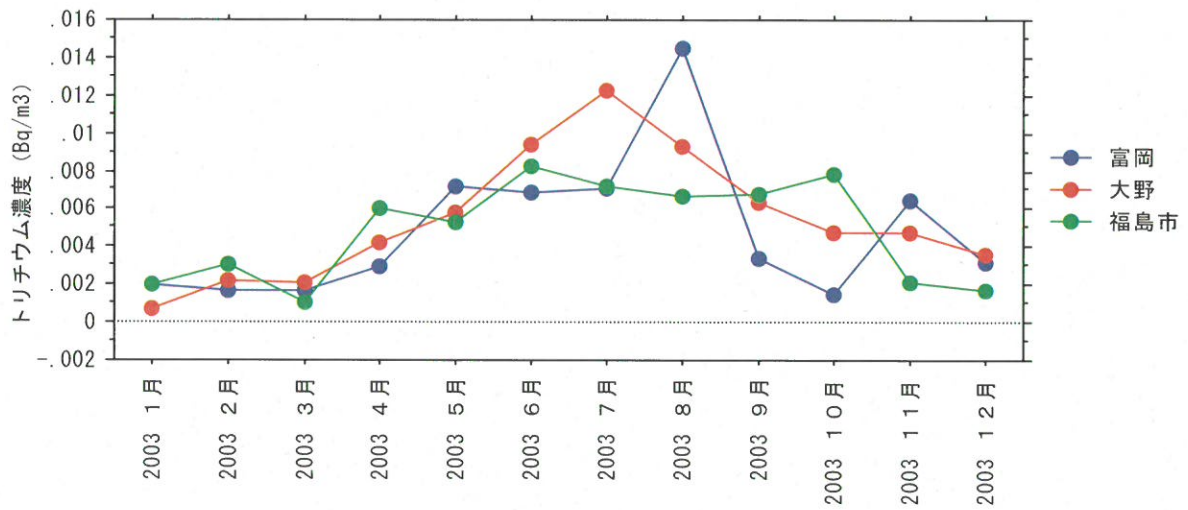


図-19 大気中水蒸気トリチウム濃度（大気換算）月別変化

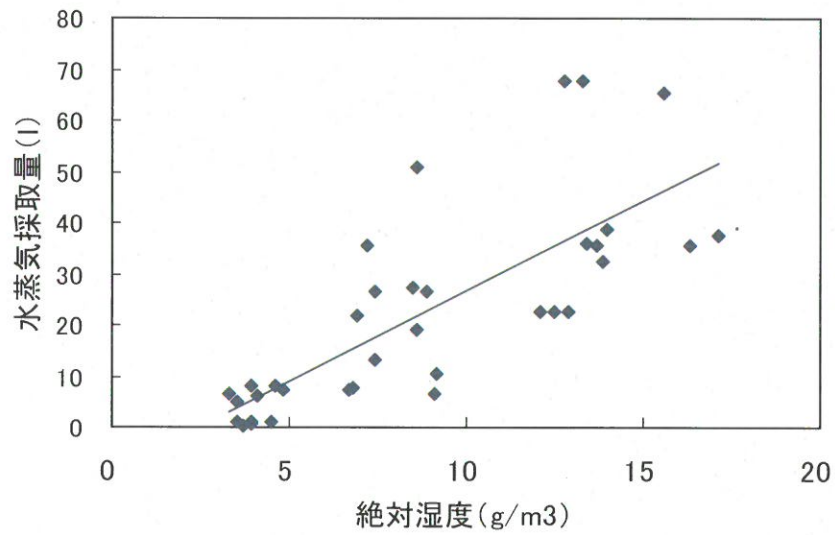


図-20 水蒸気採取量と絶対湿度の関係

イ 地点間比較

降水中のトリチウム濃度の地点間比較を図-21 に示す。測定値の t 分布検定（危険率 5%）を行った結果、地点間、地域区分（周辺地域と比較対照地点）間ともに有意な差は認められなかった。今回の調査では、降水中のトリチウムは、すべての地点でほぼ同じ濃度であった。

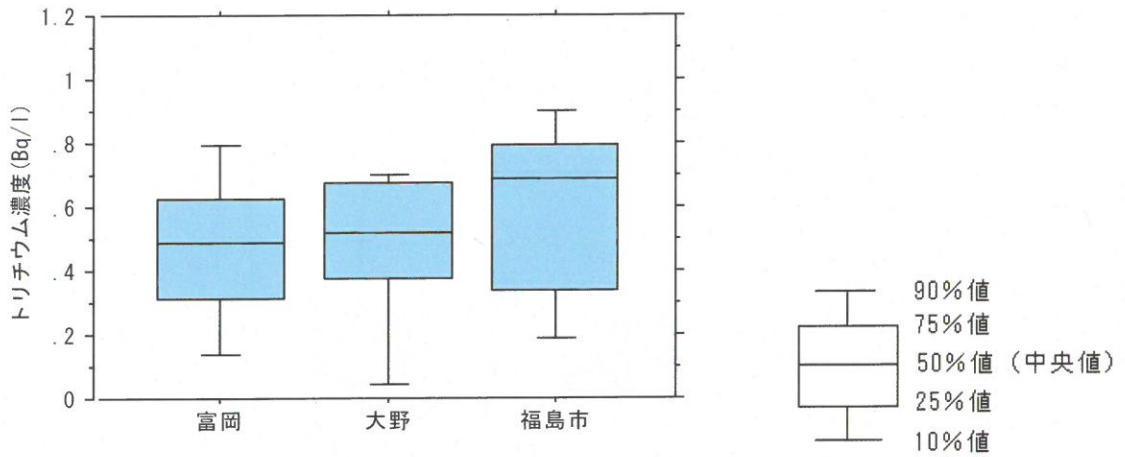


図-21 降水のトリチウム濃度

大気中水蒸気のトリチウム濃度の地点間比較を図-22 に示す。t 分布検定の結果、繁岡と夫沢間でやや有意であった他は大きな差は認められず、大気中水蒸気トリチウム濃度は同程度であった。このことから、周辺地域と比較対照地点（コントロールを除く）の間にも差がないと思われた。

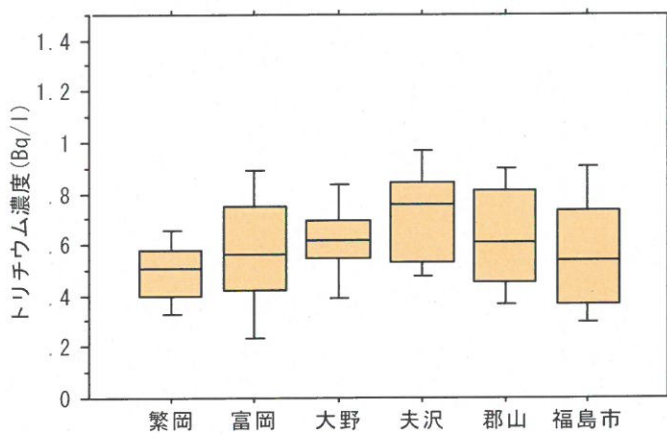


図-22 大気中水蒸気のトリチウム濃度

ウ 試料間の比較

降水及び大気中水蒸気のトリチウム濃度を地域区分別に比較した。(図-23) t分布検定の結果、周辺地域では降水と大気中水蒸気のトリチウム濃度に有意な差が見られた。一般に、大気中の水蒸気は、トリチウム濃度が高い地表面からの水蒸気の影響を受けるため、降水中のトリチウム濃度よりも高いとされている⁶⁾。今回の調査では周辺地域においてその傾向がみられた。

一方、比較対照地点では、周辺地域では降水と大気中水蒸気のトリチウム濃度の間に有意な差は見られなかった。周辺地域の大气中水蒸気採取装置は地表面近くに設置しているのに対し、比較対照地点では建物屋上に設置しており、地表面からの水蒸気による影響が小さかったためと考えられる。

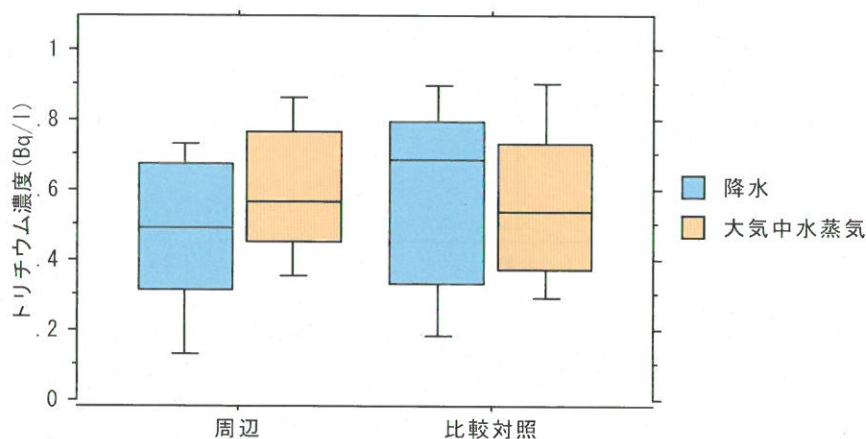


図-23 試料間のトリチウム濃度の比較

エ 大気中水蒸気のコントロール間の比較

平成14年度の調査で、建物内に設置したコントロール1において、他の地点より明らかに高いトリチウム濃度が検出された。その放出源が建物建材によるものであるかを検証するため、今回の調査では同じ建物内の別階にコントロール3を設置した。その結果、コントロール1はほぼ1年を通してコントロール3より高かった(図-24)。2個所の建材の種類が同一であると仮定すると、コントロール1で検出された水蒸気中のトリチウムは建物建材から放出されたものではない可能性が高い。

5(1)アで述べたように、他の地点では、大気中水蒸気トリチウム濃度(除湿水トリチウム濃度)変化は水蒸気採取量にかかわらずほぼ一定であった。しかし、コントロール1のトリチウム濃度は、水蒸気採取量と逆の変化をしており、水蒸気採取量が少ない冬～春季にトリチウム濃度が高く、採取量の多い夏～秋季に低かった(図-25)。この傾向は平成14年にも観察されている(図-26)。前述したように、水蒸気採取量は絶対湿度と正の相関を持つ(図-20)ことから、コントロール1の水蒸気トリチウム濃度は絶対湿度によって変化することがわかる。つまり、コントロール1では、1年を通じて他の地点より高いトリチウム水蒸気が存在するが、絶対湿度が高くなる夏～秋季には建物外から入ったトリチウム濃度の低い水蒸気が多量に凝縮するため、トリチウムが希釈され、その濃度が低下するものと考えられる。今後、建物内のトリチウム分布調査を行うことにより、この現象についてさらに検討する必要があると思われる。

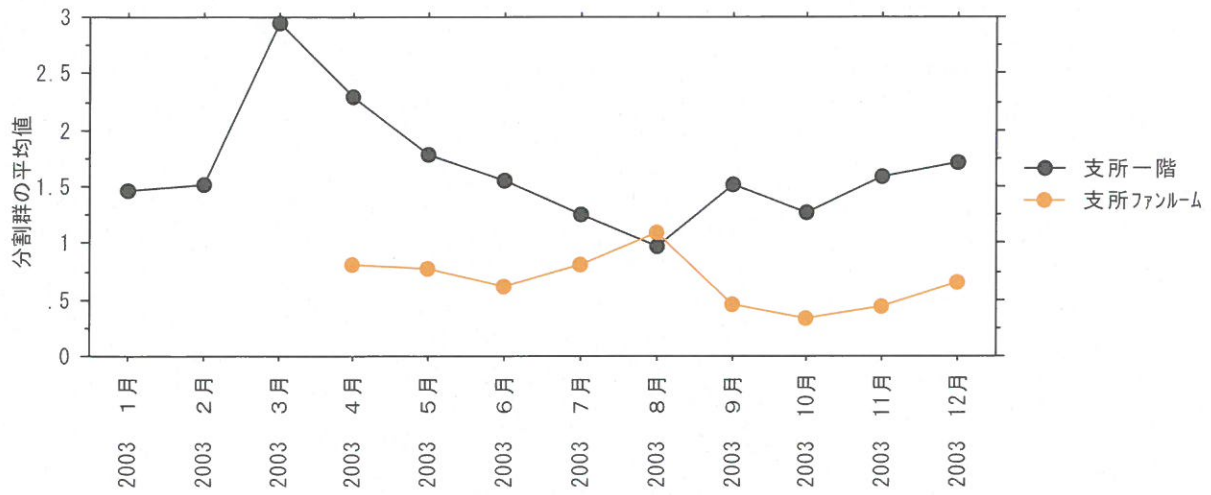


図-24 コントロール1及び3の大気中水蒸気トリチウム濃度

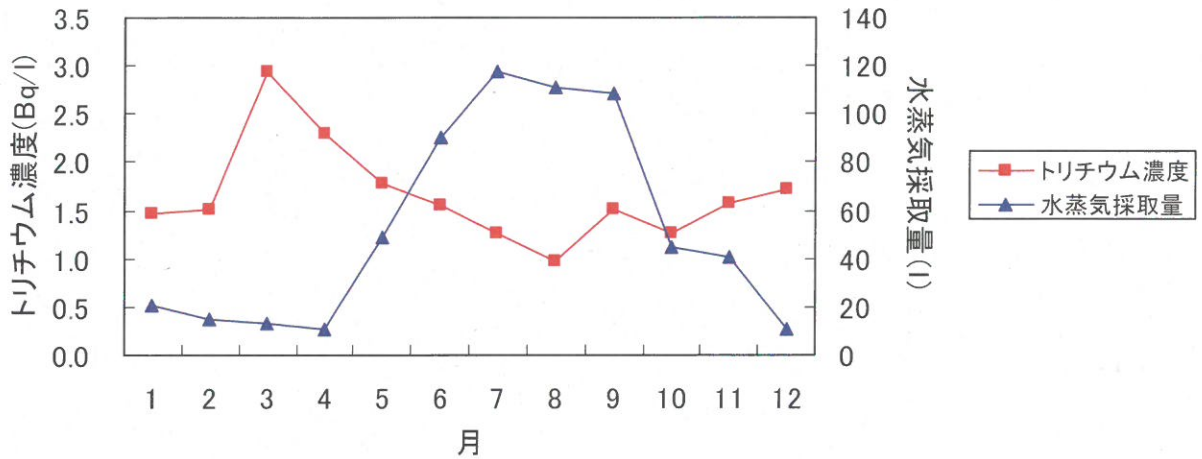


図-25 コントロール1のトリチウム濃度と水蒸気採取量 (平成15年)

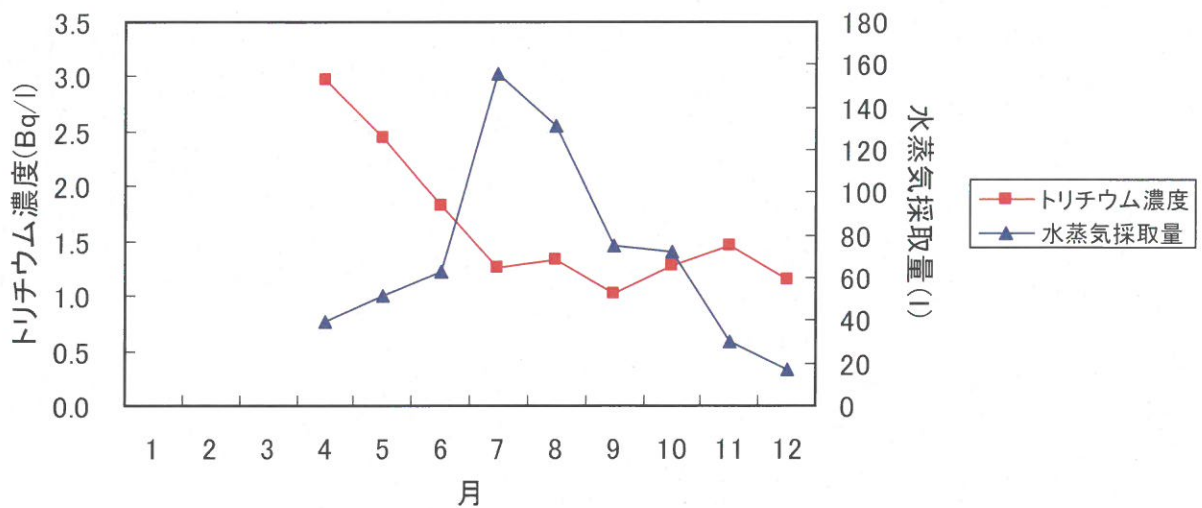


図-26 コントロール1のトリチウム濃度と水蒸気採取量 (平成14年)

表-1 降水の測定結果一覧

試料名	地点名	採取場所		採取期間		採取終了日状況		水盤の面積 (cm ²)	月間降水量 (mm)	採取量 (L)	トリチウム濃度	
		緯度	経度	採取開始	採取終了	天候	気温(°C)				(Bq/l)	判定
降水	大野	37° 24' 15"	140° 59' 1"	2002/12/24 13:50	2003/1/31 15:15	曇	2.5	706.5	83.5	0.50	0.31	LTD
				2003/1/31 15:15	2003/2/27 13:50	晴	5.1		32.0	2.60	0.69	検出
				2003/2/27 13:50	2003/3/26 13:45	晴	19.3		135.0	9.05	0.02	LTD
				2003/3/26 13:45	2003/4/30 15:00	曇	16.7		102.0	7.25	0.73	検出
				2003/4/30 15:00	2003/5/27 14:45	晴	25.3		52.5	2.25	0.69	検出
				2003/5/27 14:45	2003/6/26 13:45	曇	22.1		73.5	4.65	0.66	検出
				2003/6/26 13:45	2003/7/30 13:35	曇	25.3		322.0	20.00	0.54	検出
				2003/7/30 13:35	2003/8/28 13:10	曇	22.6		277.0	19.50	0.44	検出
				2003/8/28 13:10	2003/9/29 13:40	曇	26.4		135.5	9.45	0.50	検出
				2003/9/29 13:40	2003/10/28 13:20	雨	19.1		93.5	6.45	0.44	検出
				2003/10/28 13:20	2003/12/1 13:50	曇	11.5		191.5	14.10	0.05	LTD
				2003/12/1 13:50	2003/12/24 13:20	晴	15.0		29.5	2.05	0.59	検出
	富岡	37° 20' 16"	141° 0' 33"	2002/12/24 11:10	2003/1/31 12:26	曇	5.7		85.0	5.40	0.32	LTD
				2003/1/31 12:26	2003/2/27 11:34	晴	8.3		32.0	2.50	0.83	検出
				2003/2/27 11:34	2003/3/26 14:00	晴	22.5		151.0	7.05	0.14	LTD
				2003/3/26 14:00	2003/4/30 11:20	曇	21.4		134.0	7.45	0.56	検出
				2003/4/30 11:20	2003/5/27 11:30	晴	24.9		62.0	2.45	0.78	検出
				2003/5/27 11:30	2003/6/26 11:30	曇	21.7		64.0	4.75	0.51	検出
				2003/6/26 11:30	2003/7/30 11:35	雨	25.4		314.5	18.05	0.69	検出
				2003/7/30 11:35	2003/8/28 11:20	曇	23.6		261.5	16.00	0.49	検出
				2003/8/28 11:20	2003/9/29 11:25	晴	25.5		129.5	6.75	0.41	検出
				2003/9/29 11:25	2003/10/28 11:10	雨	20.6		94.5	6.35	0.48	検出
				2003/10/28 11:10	2003/12/1 11:45	曇	17.9		202.5	13.45	0.14	LTD
				2003/12/1 11:45	2003/12/24 11:05	曇	13.4		25.5	1.65	0.31	LTD
	福島市	37° 44' 20"	140° 26' 56"	2002/12/25 8:30	2003/1/30 10:00	晴	0.1		82.5	7.15	0.31	LTD
				2003/1/30 10:00	2003/2/28 13:00	晴	12.0		15.0	1.10	0.81	検出
				2003/2/28 13:00	2003/3/28 13:50	晴	11.6		118.5	3.75	0.13	LTD
				2003/3/28 13:50	2003/4/30 17:30	曇	12.5		72.0	5.25	0.71	検出
				2003/4/30 17:30	2003/5/28 9:05	晴	22.6		39.0	1.60	0.78	検出
				2003/5/28 9:05	2003/6/27 10:10	曇	25.6		110.0	5.35	0.75	検出
				2003/6/27 10:10	2003/7/31 9:45	晴	25.5		157.0	14.65	0.67	検出
				2003/7/31 9:45	2003/8/28 10:10	曇	22.8		237.0	17.45	0.85	検出
				2003/8/28 10:10	2003/9/30 9:30	晴	19.5		167.5	13.95	0.64	検出
				2003/9/30 9:30	2003/10/29 9:25	曇	16.5		65.5	4.55	0.36	LTD
				2003/10/29 9:25	2003/12/2 8:25	晴	16.6		145.5	10.45	0.21	LTD
				2003/12/2 8:25	2003/12/24 11:00	曇	12.3		41.5	2.78	1.01	検出

表-2 大気中水蒸気の測定結果一覧

試料名	地点名	採取場所		採取期間		採取終了日状況		平均相対湿度(%)	平均気温(°C)	絶対湿度(g/m3)	採取量(L)	トリチウム濃度		
		緯度	経度	採取開始	採取終了	天候	気温(°C)					(Bq/l)	判定	(Bq/m3)
大気中水蒸気	繁岡	37° 17' 48"	141° 0' 6"	2002/12/24 10:42	2003/1/31 11:17	曇	6.7				5.75	0.51	検出	
				2003/1/31 11:17	2003/2/27 11:00	曇	5.2			5.45	0.55	検出		
				2003/2/27 11:00	2003/3/26 13:05	晴	15.0			4.25	0.30	LTD		
				2003/3/26 13:05	2003/4/30 10:55	曇	21.3			19.05	0.43	検出		
				2003/4/30 10:55	2003/5/27 10:50	晴	24.3			26.05	0.57	検出		
				2003/5/27 10:50	2003/6/26 11:10	曇	19.8			41.25	0.66	検出		
				2003/6/26 11:10	2003/7/30 11:05	曇	26.5			57.75	0.34	LTD		
				2003/7/30 11:05	2003/8/28 10:55	曇	22.1			60.90	0.58	検出		
				2003/8/28 10:55	2003/9/29 11:05	晴	23.7			52.20	0.50	検出		
				2003/9/29 11:05	2003/10/28 10:55	雨	20.2			21.95	0.37	LTD		
				2003/10/28 10:55	2003/12/1 11:10	雨	19.6			28.05	0.66	検出		
				2003/12/1 11:10	2003/12/24 10:45	曇	13.1			6.35	0.43	検出		
富岡	37° 20' 16"	141° 01' 33"	2002/12/24 11:04	2003/1/31 12:23	曇	5.7	60.2	2.6	3.5	5.20	0.58	検出	0.0020	
			2003/1/31 12:23	2003/2/27 11:34	晴	8.3	66.6	2.7	3.9	8.25	0.45	検出	0.0017	
			2003/2/27 11:34	2003/3/26 14:00	晴	22.5	61.6	4.7	4.1	6.25	0.41	検出	0.0017	
			2003/3/26 14:00	2003/4/30 11:15	曇	21.4	66.0	11.6	6.9	22.05	0.44	検出	0.0030	
			2003/4/30 11:15	2003/5/27 11:25	晴	24.9	70.1	14.8	8.9	26.75	0.81	検出	0.0072	
			2003/5/27 11:25	2003/6/26 11:30	曇	21.7	73.5	19.2	12.1	22.60	0.57	検出	0.0069	
			2003/6/26 11:30	2003/7/30 11:25	雨	25.4	80.6	18.5	12.8	67.80	0.56	検出	0.0072	
			2003/7/30 11:25	2003/8/28 11:20	曇	23.6	79.0	22.3	15.6	65.40	0.93	検出	0.0145	
			2003/8/28 11:20	2003/9/29 11:20	晴	25.5	75.7	20.2	13.3	67.80	0.26	LTD	0.0034	
			2003/9/29 11:20	2003/10/28 11:10	雨	20.6	70.1	14.0	8.5	27.60	0.18	LTD	0.0015	
			2003/10/28 11:10	2003/12/1 11:45	曇	15.1	73.2	11.1	7.4	26.85	0.87	検出	0.0064	
			2003/12/1 11:45	2003/12/24 11:05	曇	13.4	62.0	6.2	4.6	8.05	0.69	検出	0.0032	
大野	37° 24' 15"	140° 59' 1"	2002/12/24 13:41	2003/1/31 15:20	曇	2.0	56.5	2.7	3.3	6.50	0.23	LTD	0.0008	
			2003/1/31 15:20	2003/2/27 13:50	晴	5.4	62.6	3.0	3.7	0.35	0.61	検出	0.0023	
			2003/2/27 13:50	2003/3/26 15:40	晴	13.5	57.1	5.1	3.9	0.60	0.55	検出	0.0022	
			2003/3/26 15:40	2003/4/30 14:45	曇	16.5	63.7	11.9	6.8	7.75	0.63	検出	0.0043	
			2003/4/30 14:45	2003/5/27 14:35	晴	25.3	69.3	15.3	9.1	6.75	0.64	検出	0.0058	
			2003/5/27 14:35	2003/6/26 14:10	曇	21.1	74.1	19.6	12.5	22.80	0.75	検出	0.0094	
			2003/6/26 14:10	2003/7/30 13:45	曇	25.4	84.1	18.6	13.4	36.00	0.92	検出	0.0123	
			2003/7/30 13:45	2003/8/28 13:20	曇	22.3	80.2	22.8	16.3	35.70	0.57	検出	0.0093	
			2003/8/28 13:20	2003/9/29 13:55	曇	26.4	76.6	20.6	13.7	35.70	0.46	検出	0.0063	
			2003/9/29 13:55	2003/10/28 13:30	雨	16.5	68.7	14.6	8.6	51.00	0.55	検出	0.0047	
			2003/10/28 13:30	2003/12/1 14:15	曇	11.5	71.5	11.5	7.4	13.20	0.64	検出	0.0047	
			2003/12/1 14:15	2003/12/24 13:25	晴	15.0	59.1	6.6	4.5	1.35	0.80	検出	0.0036	
夫沢	37° 24' 22"	141° 01' 54"	2002/12/24 11:40	2003/1/31 16:50	曇	4.1				3.15	0.49	検出		
			2003/1/31 16:50	2003/2/27 15:00	晴	6.7				3.65	0.94	検出		
			2003/2/27 15:00	2003/3/26 14:45	晴	15.9				3.65	0.53	検出		
			2003/3/26 14:45	2003/4/30 11:45	曇	19.9				16.15	0.86	検出		
			2003/4/30 11:45	2003/5/27 15:05	晴	27.6				22.25	0.74	検出		
			2003/5/27 15:05	2003/6/26 12:20	曇	21.5				36.90	0.78	検出		
			2003/6/26 12:20	2003/7/30 11:55	雨	23.9				53.40	0.83	検出		
			2003/7/30 11:55	2003/8/28 11:45	曇	23.6				45.60	0.77	検出		
			2003/8/28 11:45	2003/9/29 12:00	晴	23.3				52.20	0.65	検出		
			2003/9/29 12:00	2003/10/28 11:40	雨	21.3				19.85	0.54	検出		
			2003/10/28 11:40	2003/12/1 12:10	曇	17.4				22.50	0.45	検出		
			2003/12/1 12:10	2003/12/24 11:30	曇	14.3				5.75	1.03	検出		

試料名	地点名	採取場所		採取期間		採取終了日状況		平均相対湿度(%)	平均気温(°C)	絶対湿度(g/m3)	採取量(L)	トリチウム濃度		
		緯度	経度	採取開始	採取終了	天候	気温(°C)					(Bq/l)	判定	(Bq/m3)
大気中 水蒸気	郡山	37° 26' 41"	141° 1' 40"	2002/12/4 12:16	2003/1/31 17:00	曇	0.4				4.00	0.46	検出	
				2003/1/31 17:00	2003/2/27 15:21	晴	4.1			4.45	0.78	検出		
				2003/2/27 15:21	2003/3/26 15:05	晴	13.9			4.35	0.40	LTD		
				2003/3/26 15:05	2003/4/30 12:00	曇	18.1			19.05	0.84	検出		
				2003/4/30 12:00	2003/5/27 15:35	晴	20.2			17.95	0.84	検出		
				2003/5/27 15:35	2003/6/26 12:40	曇	22.5			36.60	1.03	検出		
				2003/6/26 12:40	2003/7/30 12:15	雨	21.6			68.10	0.56	検出		
				2003/7/30 12:15	2003/8/28 12:05	曇	22.8			55.80	0.28	LTD		
				2003/8/28 12:05	2003/9/29 12:20	晴	26.5			48.00	0.44	検出		
				2003/9/29 12:20	2003/10/28 11:55	雨	20.3			17.50	0.51	検出		
				2003/10/28 11:55	2003/12/1 12:35	曇	14.1			25.80	0.76	検出		
				2003/12/1 12:35	2003/12/24 11:50	晴	13.1			3.55	0.66	検出		
福島市	37° 44' 20"	140° 26' 56"	2002/12/25 8:37	2003/1/30 10:02	晴	0.1	66.0	1.2	3.5	1.00	0.58	検出	0.0020	
			2003/1/30 10:02	2003/2/28 13:00	晴	12.0	64.0	2.6	3.7	0.20	0.83	検出	0.0031	
			2003/2/28 13:00	2003/3/28 13:55	晴	11.6	58.0	4.9	3.9	1.35	0.28	LTD	0.0011	
			2003/3/28 13:55	2003/4/30 17:25	曇	12.5	61.0	12.5	6.7	7.35	0.90	検出	0.0060	
			2003/4/30 17:25	2003/5/28 9:08	晴	22.6	64.0	16.9	9.2	10.65	0.57	検出	0.0053	
			2003/5/28 9:08	2003/6/27 10:10	曇	25.6	72.0	20.6	12.9	22.80	0.64	検出	0.0083	
			2003/6/27 10:10	2003/7/31 9:45	晴	25.5	83.0	19.6	14.0	39.00	0.51	検出	0.0072	
			2003/7/31 9:45	2003/8/28 10:15	曇	22.8	80.0	23.7	17.1	37.80	0.39	LTD	0.0067	
			2003/8/28 10:15	2003/9/30 9:30	晴	19.5	76.0	20.9	13.9	32.45	0.49	検出	0.0068	
			2003/9/30 9:30	2003/10/29 9:30	曇	16.5	70.0	14.2	8.6	19.25	0.92	検出	0.0079	
			2003/10/29 9:30	2003/12/2 8:30	晴	16.6	75.0	10.3	7.2	35.85	0.30	LTD	0.0022	
			2003/12/2 8:30	2003/12/24 11:00	曇	12.3	68.0	5.5	4.8	7.28	0.35	LTD	0.0017	
支所 一階	37° 44' 20"	140° 26' 56"	2002/12/25 8:20	2003/1/30 10:27	晴	5.4				20.55	1.47	検出		
			2003/1/30 10:27	2003/2/28 12:00	晴	11.6				15.25	1.52	検出		
			2003/2/28 12:00	2003/3/28 13:30	晴	14.8				13.35	2.94	検出		
			2003/3/28 13:30	2003/4/30 17:15	曇					10.95	2.30	検出		
			2003/4/30 17:15	2003/5/27 8:10	晴	19.3				48.75	1.78	検出		
			2003/5/27 8:10	2003/6/27 10:00	曇					90.70	1.56	検出		
			2003/6/27 10:00	2003/7/31 9:20	晴	24.2				117.60	1.26	検出		
			2003/7/31 9:20	2003/8/28 9:45	曇	26.2				110.85	0.97	検出		
			2003/8/28 9:45	2003/9/30 9:15	晴					108.15	1.52	検出		
			2003/9/30 9:15	2003/10/29 9:20	曇					45.00	1.27	検出		
			2003/10/29 9:20	2003/12/2 8:30	晴	13.6				40.75	1.58	検出		
			2003/12/2 8:30	2003/12/24 10:50	曇	10.7				10.80	1.72	検出		
支所 ファンルーム	37° 44' 20"	140° 26' 56"	2003/3/28 14:00	2003/4/30 17:35	曇					19.55	0.81	検出		
			2003/4/30 17:35	2003/5/28 9:13	晴	22.6				25.20	0.78	検出		
			2003/5/28 9:13	2003/6/27 10:20	曇					44.80	0.62	検出		
			2003/6/27 10:20	2003/7/31 10:10	晴					71.50	0.81	検出		
			2003/7/31 10:10	2003/8/28 10:25	曇					53.70	1.09	検出		
			2003/8/28 10:25	2003/9/30 9:20	晴					20.75	0.46	検出		
			2003/9/30 9:20	2003/10/29 9:40	曇					38.60	0.34	LTD		
			2003/10/29 9:40	2003/12/2 8:35	晴					30.00	0.44	検出		
2003/12/2 8:35	2003/12/24 10:50	曇	12.3				12.38	0.66	検出					

空欄は、測定値あるいは換算値がないことを示す。

(2) よもぎ

ア 濃度範囲

環境中のトリチウムは生物体内に取り込まれた後、大部分は細胞や組織の内外を自由に移動する水の形で存在する。これを組織自由水トリチウム (TFWT) という。

よもぎの組織自由水トリチウム (以下TFWTという) 濃度の測定結果を表-3及び図-27に示す。

周辺地域のよもぎのTFWT濃度は、0.26(LTD)~0.91Bq/l、比較対照地点では0.37(LTD)~0.74Bq/lの範囲であった。他の機関による過去の調査では、よもぎのTFWT濃度は、発電所周辺で平均2.78 Bq/l、バックグラウンド地域で平均1.18 Bq/lであったとする報告があり⁷⁾、それと比較するとかなり低い値であった。しかし、この報告は重水減速型と加圧水型の発電所周辺の調査結果であり、これらからのトリチウム放出量は気体、液体とも沸騰水型よりも多いとされる⁸⁾。福島第一、第二原子力発電所はすべて沸騰水型原子炉であるため、トリチウム放出量が比較的少ないと思われることから、周辺の降水及び大気中水蒸気のトリチウム濃度が低く、よもぎ中のトリチウム濃度も低かった可能性がある。

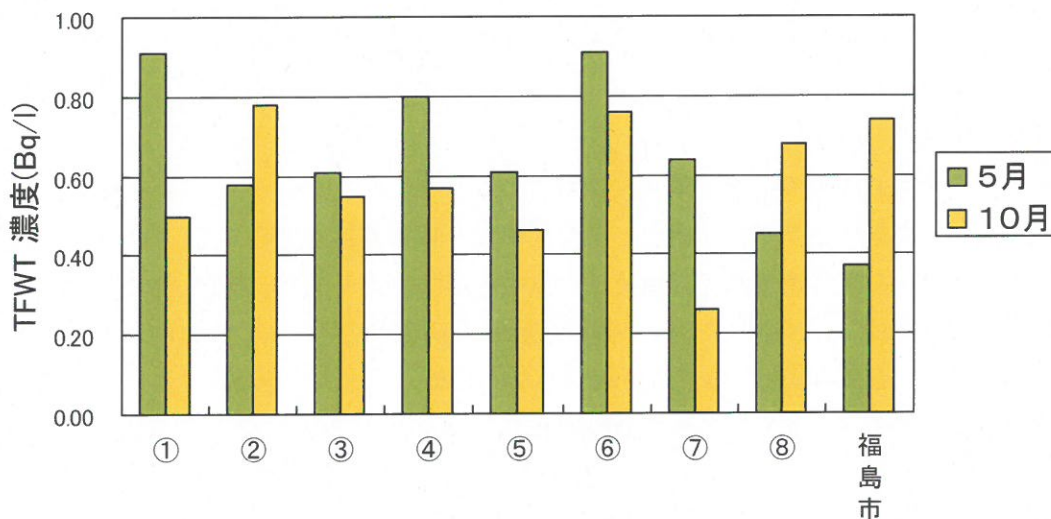


図-27 よもぎのTFWT濃度

イ 地点間比較

よもぎのTFWT濃度と各原子力発電所からの距離をプロットすると図-28のようになり、相関は見られなかった。よもぎのTFWTは、主に、根から吸収する土壌中の水分中のトリチウムと葉から吸収する大気中水蒸気中のトリチウムに由来すると考えられるが、土壌中の水分の大半は降水であると推測される。また、植物体内でのTFWTの滞留時間は短く、数日間であるとされている。これらのことから、よもぎ中のTFWT濃度は、採取地点における、採取日数日間の降水と大気中水蒸気のトリチウム濃度を反映していると考えられる。今回の調査で、よもぎのTFWT濃度と各原子力発電所からの距離に相関が見られなかった要因は、調査地点の降水と大気中水蒸気のトリチウム濃度が、発電所からの距離に依存していなかったためと思われる。

一方で、原子力施設からの距離によって松葉のTFWT濃度が変化するという他の発電所に関する報告がある⁶⁾が、今回の調査とは、原子力施設排気筒からのトリチウムの放出量や拡散の方向、速度などのパラメータが異なるためと思われる。

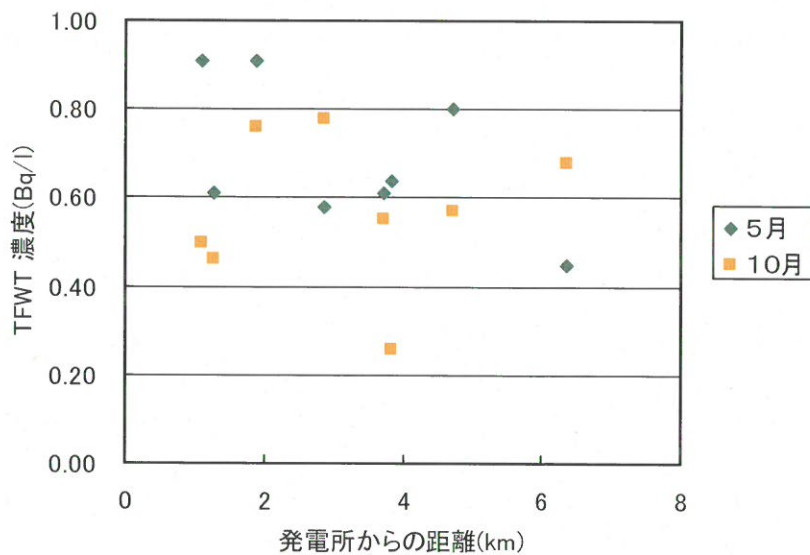


図-28 よもぎのTFWT濃度と発電所からの距離

ウ 試料間の比較

植物体内のTFWTの滞留時間は数日間であるとされることから、よもぎを採取した月の降水及び大気中水蒸気のトリチウム濃度とよもぎのTFWT濃度を比較した。(図-29) 周辺地域では、よもぎのTFWT濃度は、降水及び大気中水蒸気のトリチウム濃度とほぼ同程度であった。比較対照地点では、よもぎのTFWT濃度は降水と同程度であるが、大気中水蒸気よりやや低かった。しかし、比較対照地点のデータ数が少ないため、これが有意な差であるかは明らかではない。全般に、よもぎのTFWT濃度は降水及び大気中水蒸気のトリチウム濃度と同程度であり、トリチウムの濃縮は行われていないと考えられる。

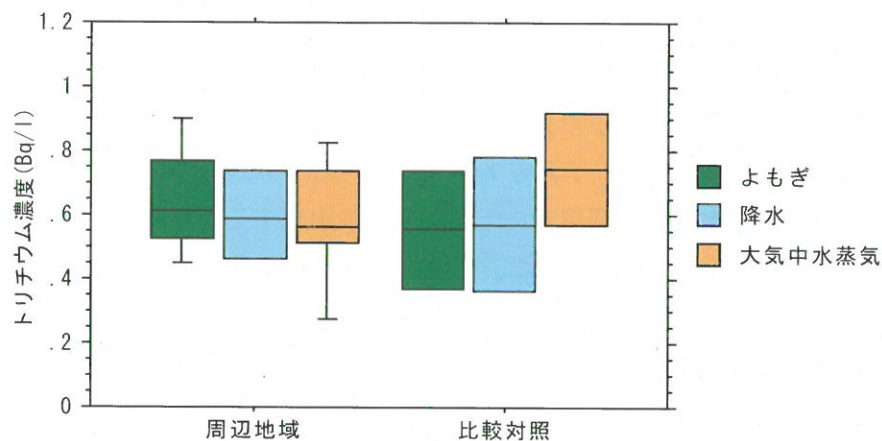


図-29 よもぎのTFWT濃度と降水及び大気中水蒸気トリチウム濃度との比較

エ 季節変化

周辺地域のよもぎのTFWT濃度と降水及び大気中水蒸気のトリチウム濃度を、よもぎの採取月別に比較した。(図-30) 10月に採取したよもぎのTFWT濃度は、5月に比べてやや低かったが、降水及び大気中水蒸気のトリチウム濃度も10月の方が5月より低かった。このことから、よもぎのTFWT濃度は、直近の降水及び大気中水蒸気のトリチウム濃度を反映しており、環境中のトリチウム濃度の指標になりうると思われた。

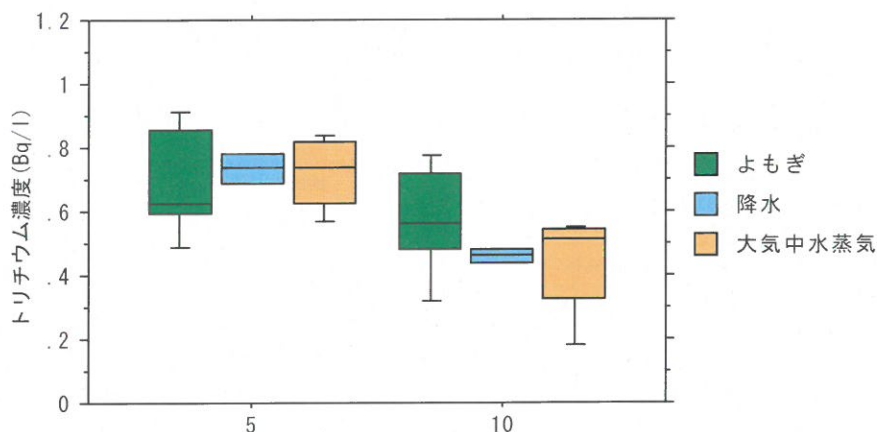


図-30 採取月別トリチウム濃度の比較

表-3 よもぎのTFWT濃度結果

試料名	地域区分	地点名	採取場所		発電所からの距離(km)	採取年月日	採取日状況		採取量(kg)	乾燥残分(%)	TFWT濃度		トリチウム濃度(Bq/kg生)
			緯度	経度			天候	気温(°C)			(Bq/l)	判定	
よもぎ	第二 原子力発 電所周辺	①	37° 19' 25"	141° 1' 20"	1.11	2003/5/27 11:10	晴	23.5	0.57	23.70	0.91	検出	0.69
						2003/10/15 11:40	晴	21.6	0.35	19.15	0.50	検出	0.40
		②	37° 20' 22"	141° 1' 8"	2.85	2003/5/27 11:45	晴	24.7	0.34	18.18	0.58	検出	0.47
						2003/10/15 11:50	晴	18.4	0.25	19.48	0.78	検出	0.63
		③	37° 20' 52"	141° 1' 13"	3.72	2003/5/27 12:00	晴	26.5	0.53	18.36	0.61	検出	0.50
						2003/10/15 12:15	曇	19.7	0.40	18.56	0.55	検出	0.45
		④	37° 21' 20"	141° 0' 44"	4.74	2003/5/27 12:15	曇	24.1	0.49	19.15	0.80	検出	0.65
						2003/10/15 12:25	晴	21.6	0.30	22.88	0.57	検出	0.44
	第一 原子力発 電所周辺	⑤	37° 24' 22"	141° 1' 54"	1.28	2003/5/27 15:20	晴	27.6	0.45	15.40	0.61	検出	0.52
						2003/10/15 13:10	晴	25.8	0.55	22.01	0.46	検出	0.36
		⑥	37° 24' 10"	141° 1' 30"	1.87	2003/5/27 12:45	曇	26.6	0.45	23.68	0.91	検出	0.69
						2003/10/15 13:05	晴	24.5	0.50	23.83	0.76	検出	0.58
⑦	37° 22' 59"	141° 1' 42"	3.84	2003/5/27 12:35	曇	23.5	0.50	21.32	0.64	検出	0.50		
				2003/10/15 12:55	曇	25.5	0.35	23.81	0.26	LTD	0.20		
⑧	37° 21' 45"	141° 0' 49"	6.38	2003/5/27 12:20	曇	24.4	0.59	22.96	0.45	検出	0.35		
				2003/10/15 12:35	晴	23.0	0.40	23.59	0.68	検出	0.52		
比較対照	福島市	37° 44' 20"	140° 26' 56"	63	2003/5/28 14:00	晴	28.7	0.33	21.18	0.37	LTD	0.29	
					2003/10/17 11:00	晴	20.9	0.30	19.26	0.74	検出	0.60	

(3) 農産物

ア 濃度範囲

生体内のトリチウムは、前述した組織自由水トリチウム（TFWT）の他に、細胞、組織に結合した有機結合型トリチウム（以下OBTという）としても存在する。OBTは、自由水を取り除いた試料を燃焼し、回収される水中の濃度として測定する。

今回調査した農産物のTFWT濃度とOBT濃度の測定結果を表-4及び図-31に示す。TFWTの濃度範囲は、0.29Bq/l(LTD)～1.2Bq/lであった。また、OBTの濃度範囲は、0.15Bq/l(LTD)～1.1Bq/lであった。他の機関による報告⁹⁾に比べるとやや低い結果となった。

表-4 農産物のTFWT濃度とOBT濃度

試料名	地点区分	地点名	採取年月日	乾燥残分 (%)	TFWT濃度		OBT濃度		SAR (OBT/TFWT)	TFWT濃度 (Bq/生)	OBT濃度 (Bq/生)
					(Bq/l)	判定	(Bq/l)	判定			
キャベツ①	周辺地域	大熊町	2003/6/4	5.55	0.74	検出	0.66	検出	0.89	0.70	0.019
キャベツ②		富岡町	2003/6/4	6.41	0.81	検出	0.69	検出	0.85	0.76	0.024
キャベツ③	比較対照	福島市	2003/6/9	6.86	0.39	LTD	0.56	検出	1.4	0.36	0.021
だいこん①	周辺地域	大熊町	2003/6/12	5.93	0.64	検出	1.0	検出	1.6	0.60	0.032
だいこん②		富岡町	2003/6/23	5.23	0.51	検出	0.36	LTD	0.71	0.48	0.010
だいこん③	比較対照	福島市	2003/6/9	5.03	0.47	検出	0.67	検出	1.4	0.45	0.018
ばれいしょ①	周辺地域	大熊町	2003/7/7	21.60	1.2	検出	1.1	検出	0.88	0.93	0.12
ばれいしょ②		富岡町	2003/7/7	18.60	1.1	検出	0.80	検出	0.70	0.93	0.077
ばれいしょ③	比較対照	福島市	2003/7/8	21.40	0.54	検出	0.94	検出	1.7	0.42	0.099
こめ①	周辺地域	大熊町	2003/11/10	85.60	0.55	検出	0.34	LTD	0.62	0.079	0.15
こめ②		富岡町	2003/11/10	87.20	0.29	LTD	0.15	LTD	0.52	0.037	0.066
こめ③	比較対照	福島市	2003/11/6	86.20	0.72	検出	0.43	検出	0.60	0.099	0.20

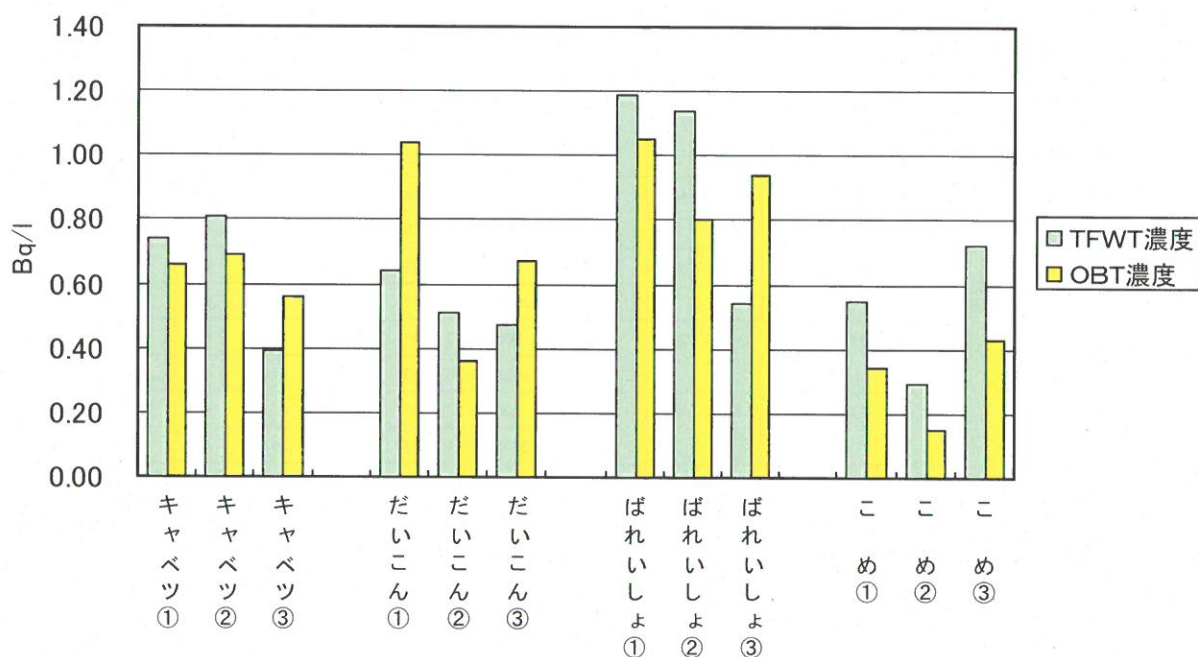


図-31 農産物のTFWT濃度とOBT濃度

イ 試料間の比較

試料別のTFWTとOBT濃度の平均値は、キャベツで0.65、0.64Bq/l、だいこんで0.54、0.69 Bq/l、ばれいしょで0.96、0.93 Bq/l、こめで0.52、0.31Bq/lであり、農産物の種類によってトリチウム濃度が異なっていた。こめがTFWT、OBTともに低く、ばれいしょが最も高かった。ほとんどの植物は、主に根から水を吸収し、その水と空気中の二酸化炭素を材料にして様々な有機物を光合成する。このことから、植物体中のTFWTとOBTの大半は、ともに土壌中の水のトリチウム（HTO）に由来すると考えられる。しかし、今回の調査では、土壌中のHTO濃度を測定していないため、作物中のトリチウム濃度の差が、土壌中トリチウム濃度によるものなのか、あるいは作物のトリチウム蓄積能の違いによるものなのかは不明である。

ウ 地点間の比較

作物ごとに、採取地点によるトリチウム濃度の比較をすると、キャベツとばれいしょではTFWTとOBTともに周辺地域より比較対照地点の方がやや低かったが、だいこんとこめでは比較対照地点の方がやや高かった。これらのことから、周辺地域と比較対照地点では、作物中のトリチウム濃度に大きな差はないと考えられる。

エ TFWTとOBT濃度の比較

生体内におけるTFWT濃度に対するOBT濃度の比（SAR）によって、トリチウムの生体内分布を把握することが一般に行われている。過去の報告によると、植物に一定濃度のHTOを与えた実験の結果、植物のSARは1以下となり、HTOからOBTへの生体濃縮は認められていない⁹⁾。このことから、今回調査した作物のSARも1以下になると予想される。しかし、実際にSARを算出したところ、12試料中4試料でSARが1を超えていた。HTOはいったんOBTに同化されると、生体内で分解され体外に排泄される速度が遅いため、TFWTよりも体内での滞留時間が長いとされている⁹⁾。このことから、SARが1以上の値を示した原因として次のことが考えられる。作物が生育期間中に一時的に高い濃度のHTOを吸収しOBTとして蓄積した。その後周囲のHTO濃度が低下したため、TFWT濃度は速やかに低下したものの、OBT濃度はなかなか低下せず、タイムラグを生じた。また一方で、植物は土壌中の有機物を根から吸収し、代謝して組織に取り込むことが知られている⁶⁾。この有機物中に高濃度のトリチウムが含まれていれば、植物体内でOBTとして蓄積されるため、TFWT濃度よりも高くなる可能性がある。今回の調査結果がどちらのケースに該当するかは明らかではない。

オ 降水、大気中水蒸気トリチウム濃度との比較

作物の栽培期間における、降水及び大気中水蒸気のトリチウム濃度と作物のTFWTとOBT濃度とを比較した。ただし、作物の栽培期間は、作物が田畑に定植されてから収穫されるまでの期間（キャベツ、だいこん：4、5月、ばれいしょ：4～6月、こめ：4～10月）とした。また、降水及び大気中水蒸気のトリチウム濃度は2(1)、(2)の地点のうち栽培場所に最も近い地点のデータを使用した。

結果を図-32～35に示す。キャベツとこめは、TFWTとOBTともに降水、大気中水蒸気のトリチウム濃度よりも低かった。特にこめのトリチウム濃度は低かったが、測定試料は精白米であることから、乾燥、精米の過程でトリチウムが除去されたか、胚乳の部分にはトリチウ

ムは移行していない可能性がある。だいこんでは、TFWTは降水、大気中水蒸気のトリチウム濃度よりも低かったが、OBTはやや高かった。ばれいしょはTFWTとOBT濃度ともに降水、大気中水蒸気のトリチウム濃度よりも高く、見かけ上生体濃縮が起きている。しかし、土壌中の水分は、降水と大気中水蒸気だけに由来するとは限らず、地下水の影響も考えられる。一部の浅層地下水には、過去の核実験によって放出された高濃度のトリチウムが残存しているという報告もあり⁶⁾、作物が地下水を吸収した可能性もある。さらにOBTについては、前述したように土壌中の有機物の寄与も考えられる。以上のことから、ばれいしょは、降水と大気中水蒸気以外からもトリチウムを吸収している可能性がある。

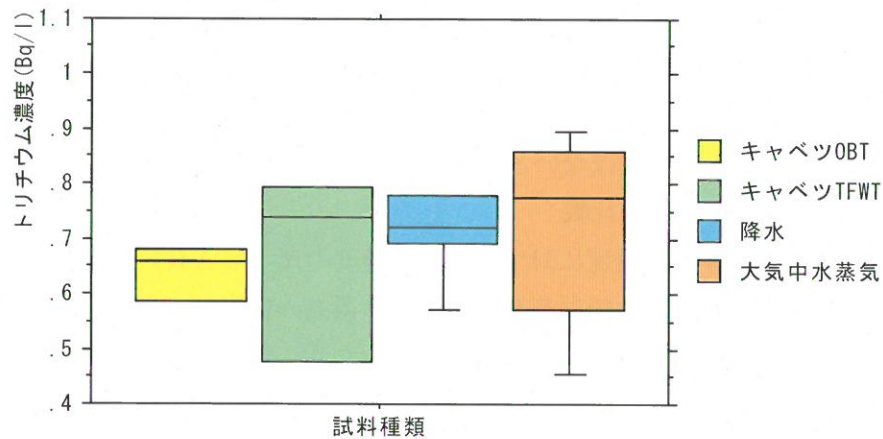


図-32 キャベツ、降水、大気中水蒸気のトリチウム濃度

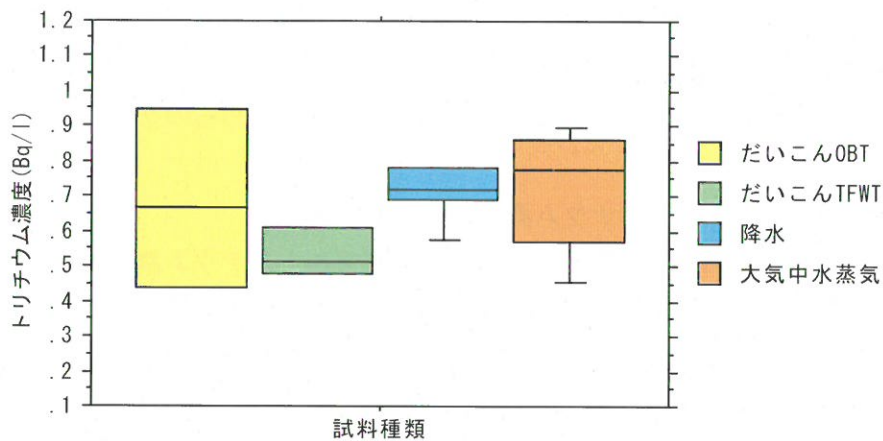


図-33 だいこん、降水、大気中水蒸気のトリチウム濃度

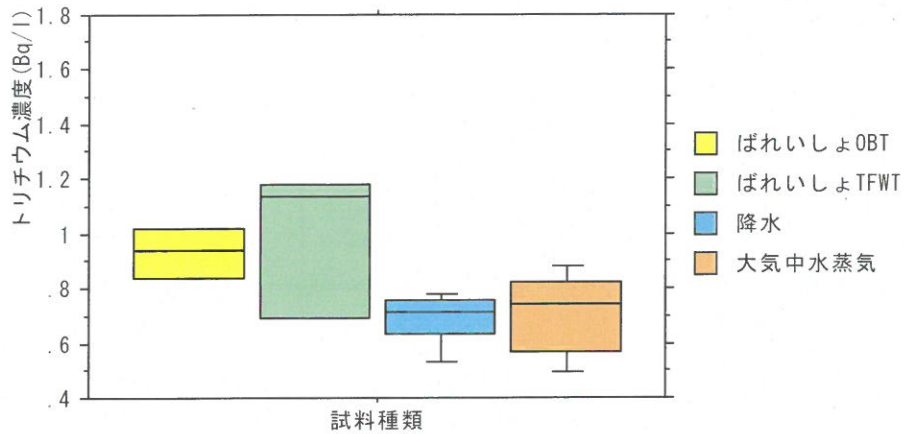


図-34 ばれいしょ、降水、大気中水蒸気のトリチウム濃度

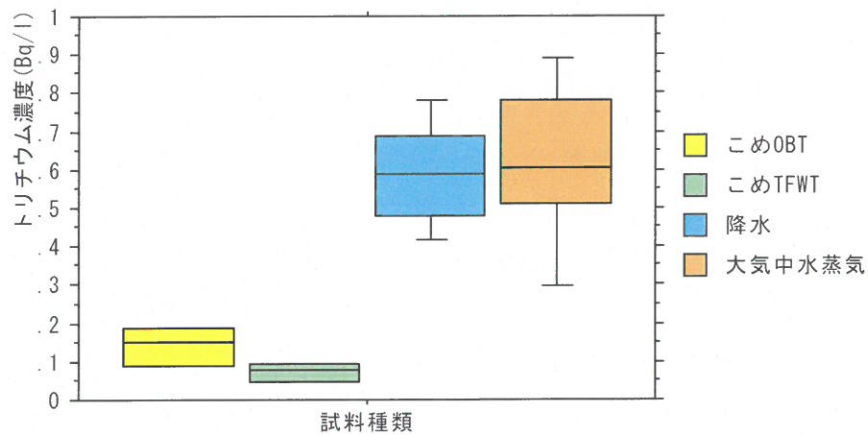


図-35 こめ、降水、大気中水蒸気のトリチウム濃度

(4) 被ばく線量評価

今回調査した試料を摂取した場合の、内部被ばくについて検討した。トリチウムの線量係数は、ICRP Publication72 に設定されている一般公衆の値を使用した。OBTはTFWTよりも組織に同化されやすく、排泄されにくい性質を持つため、TFWTに比べて線量係数が大きくなっている。また、成人の呼吸率はICRP Publication71、国民1人当たりの食品摂取量は平成13年国民栄養調査結果から引用した。

各試料について、最もトリチウム濃度の高かった値を用いて算出した実効線量は表-5のとおりである。大気の吸入摂取による預託実効線量は 2.1×10^{-6} mSV/年、農産物の経口摂取による預託実効線量は、キャベツで 3.2×10^{-10} mSV/年、だいこんで 4.8×10^{-10} mSV/年、ばれい

しよで 6.8×10^{-10} mSv/年、こめで 3.6×10^{-9} mSv/年であり、いずれも一般公衆の線量限度 1 mSv/年と比較して十分に低いものであった。

表-5 吸入及び経口摂取による預託実効線量

試料名	線量係数(mSv/Bq) ^{10), 11)}		1日あたり ¹²⁾ の摂取量	HTO(TFWT) 最高濃度	OBT最高濃度	預託実効線量 (mSv/年)
	HTO(TFWT)	OBT				
大気	1.8×10^{-8}		22.2 m ³	0.0145 Bq/m ³		2.1×10^{-6}
キャベツ	1.8×10^{-8}	4.2×10^{-8}	21.9 g	0.76 Bq/kg生	0.024 Bq/kg生	3.2×10^{-10}
だいこん	1.8×10^{-8}	4.2×10^{-8}	39.4 g	0.60 Bq/kg生	0.032 Bq/kg生	4.8×10^{-10}
ばれいしょ	1.8×10^{-8}	4.2×10^{-8}	31.5 g	0.93 Bq/kg生	0.12 Bq/kg生	6.8×10^{-10}
こめ	1.8×10^{-8}	4.2×10^{-8}	351.5 g	0.099 Bq/kg生	0.20 Bq/kg生	3.6×10^{-9}

6 まとめ

(1) 降水及び大気中水蒸気のトリチウム濃度

降水のトリチウム濃度は、調査したすべての地点で、年間を通じて 1 Bq/l 以下の低い値で推移し、地点による差は見られなかった。

大気中水蒸気トリチウム濃度（除湿水トリチウム濃度）は、すべての地点で、ほぼ一定の範囲で推移した。また、大気 1 m³中のトリチウム濃度は、大気の絶対湿度によって決定されることが分かった。採取装置の設置環境の検討を行うために、比較対照地点に設置したコントロール1ではその傾向が見られないことから、常に他の地点よりも高い濃度のトリチウム水蒸気が存在していると推測された。

(2) よもぎのトリチウム濃度

よもぎの TFWT 濃度は、原子力発電所からの距離との相関は見られなかった。しかし、よもぎの TFWT 濃度は、降水及び大気中水蒸気のトリチウム濃度の指標となりうる可能性が示唆された。

(3) 農産物のトリチウム濃度

調査した農産物の TFWT と OBT 濃度の最高値は、それぞれ 1.2 Bq/l、1.1 Bq/l であり、その濃度は作物の種類によって異なる傾向がみられた。最も高かったばれいしょは、降水と大気中水蒸気以外からトリチウムを吸収、同化している可能性が考えられた。

(4) 被ばく線量評価

調査した大気及び農産物を、摂取した場合の預託実効線量は、一般公衆の線量限度と比較して十分に低いものであった。

[参考文献]

- 1) 財団法人日本分析センター：“環境放射能分析研修 トリチウム分析法”，平成 12 年度
- 2) 福島県原子力発電所安全確保技術連絡会：会議添付資料”原子炉運転状況及び放射性廃棄物管理状況”，平成 14 年第 4 四半期～平成 15 年第 3 四半期
- 3) 福島県原子力センター：“平成 14 年度環境試料中のトリチウム調査報告書”，平成 15 年 3 月
- 4) 福島県：緊急時モニタリング実施要領
- 5) 文部科学省：放射能測定法シリーズ 9”トリチウム分析法”，平成 14 年改訂
- 6) 高島良正：“環境トリチウム—その挙動と利用”。RADIOISOTOPES, vol. 40, No. 12, 1991, p520-530
- 7) 五十嵐修一，徳山秀樹，北島耕作：“原子力発電所周辺の松葉、ヨモギ中のトリチウム濃度”，福井県衛生研究所年報, vol. 24, 1985, p123-125
- 8) 野口宏：“トリチウム利用の現状と発生源”，日本原子力学会誌, vol. 39, No. 11, 1997, p5-6
- 9) 久松俊一，滝澤行雄：“環境から人体への核実験起源トリチウムの移行”，RADIOISOTOPES, vol. 38, No. 9, 1989, p381-389
- 10) I C R P：ICRP Publication72, Pergamon Press, Oxford, 1996
- 11) I C R P：ICRP Publication71, Pergamon Press, Oxford, 1996
- 12) 健康・栄養情報研究会：国民栄養の現状（平成 13 年厚生労働省国民栄養調査結果），2003

平成16年3月発行

平成15年度環境試料中のトリチウム調査報告書

発行：福島県原子力センター福島支所

福島市方木田字水戸内16-6

TEL (024) 544-2030

FAX (024) 544-2040

福島県原子力センター

双葉郡大熊町大字下野上字大野199

TEL (0240) 32-2230

FAX (0240) 32-3440

R70R100

表紙は、古紙配合率70%再生紙を利用し、
本文は、古紙配合率100%再生紙を使用しています。