

環境中トリチウム及び炭素14の濃度調査結果について

榮 哲 浩 白 坂 邦三郎 大 津 陸 雄
 今 村 博 香¹⁾ 出 雲 信 明

1 はじめに

環境中のトリチウム及び炭素14(以下「¹⁴C」という。)の発生源は、宇宙線による核反応、核爆発実験によるフールアウト、原子力関連施設等であり、川内原子力発電所からも1年間に放射性液体廃棄物としてのトリチウムが $10^{12} \sim 10^{13}$ Bq放出されている(放出管理基準値： 1.1×10^{14} Bq)¹⁾。

トリチウムは、半減期12.33年、最大エネルギー18keV、¹⁴Cは、半減期5730年、最大エネルギー156keVのβ線を放出する放射性核種であり、これらの核種は、呼吸や食物の摂取により体内に取り込まれる。

本県における大気中トリチウム濃度等については、四反田ら^{1),2)}が報告しているが、川内原子力発電所から放出されるトリチウム及び¹⁴Cの摂取による内部被ばく線量を評価する際の基礎資料とするため、2000～2002年度に発電所周辺及び対照地域の大气、河川水、海水、植物及び海産生物中のトリチウム、¹⁴C濃度の調査を実施したので結果について報告する。

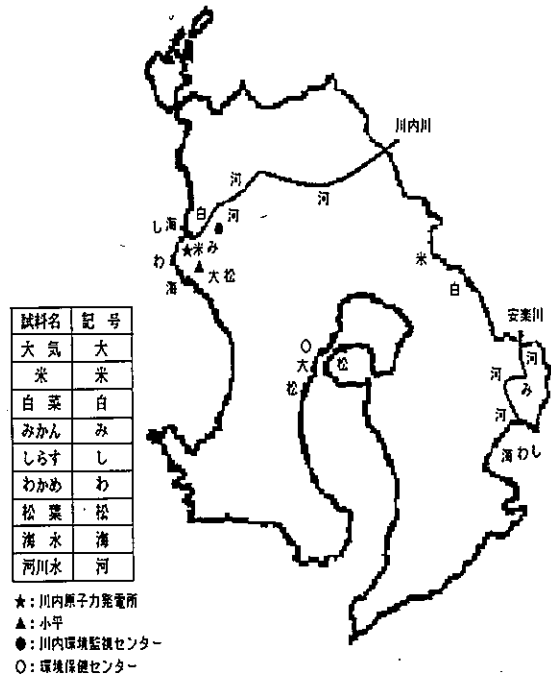


図1 試料採取地点

2 調査方法

2.1 試料採取地点

試料採取地点を図1に示す。

大気中水蒸気状トリチウム(以下「HTO」という。)は、小平(川内市久見崎町小平局)、川内市(川内環境監視センター)及び鹿児島市(環境保健センター)で採取した。

なお、対照地域は、川内原子力発電所から直線で約40km(鹿児島市)～約100km(志布志町)の距離にある。

また、河川水は、川内川及び安楽川の上流・中流・下流域で採水した。

2.2 調査期間

2000年4月～2003年3月

2.3 HTOの採取方法

HTOは、図2の採取装置により、モレキュシーブ4Aを捕集材として連続捕集(約6m³採取)を行い、捕集材は約1か月ごとに交換した。

1 鹿児島県環境生活部環境管理課 〒890-8577 鹿児島市鴨池新町10番1号

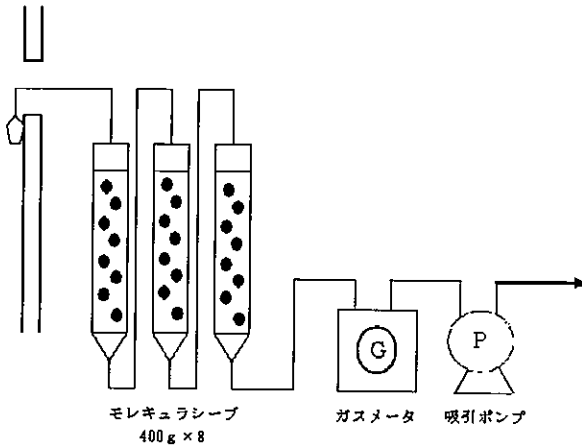


図2 HTO採取装置

2. 4 測定機器

液体シンチレーションカウンタは、アロカ(株) LSC-III (以下「LSC」という。)を使用した。

また、シンチレータは、パーキンエルマーライフサイエンスジャパン(株)製のピコフローLLTを使用した。

2. 5 分析方法

2. 5. 1 HTO

捕集材を加熱処理→脱着した水蒸気をコールドトラップで回収→測定

2. 5. 2 河川水及び海水

蒸留→電解濃縮(約10倍)→測定

2. 5. 3 植物及び海産生物

植物及び海産生物は、組織自由水トリチウム(以下「TFWT」という。), 組織結合水トリチウム(以下「TBT」という。)及び¹⁴Cの濃度を測定した。

(1) TFWT

真空凍結乾燥→TFWTをコールドトラップで回収→蒸留→電解濃縮(約10倍)→測定

(米は、電解濃縮を行わなかった。)

(2) TBT

乾燥させた試料を酸素ガス中で燃焼→TBTをコールドトラップで回収→蒸留→測定

(3) ¹⁴C

ベンゼン合成装置によりベンゼンを合成→測定

3 結果及び考察

測定結果を表1, 3, 4に示す。

測定値が計数誤差の3倍未満の場合については、「ND: 検出せず」として括弧書きで示したけれども、平均値の算出等の統計処理に当たっては、測定結果をそのまま使用した。

3. 1 大気中HTO

3. 1. 1 水分量

空気1 m³中の水蒸気量を表す絶対湿度は、一般に夏に大きく冬に小さくなるが、採取された水分量(g/m³)は、図3に示すように絶対湿度と同様な季節変動を示した。

なお、絶対湿度は、代表地点として川内市寄田局の採取期間中の平均温度を用い以下の式⁴⁾で算出した。

$$\text{絶対湿度} = 217 \times E(t) / (t + 273.15)$$

$$E(t) = 6.11 \times 10^7 \cdot 51 / (t + 237.3)$$

E(t): t°Cにおける飽和水蒸気圧(hPa)

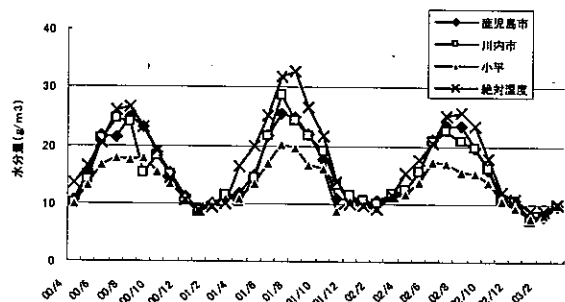


図3 大気中水分量の経月変化

3. 1. 2 HTO(水換算)濃度

試料水1 L当たりのトリチウムの濃度範囲は、小平: 0.40~5.36Bq/L, 川内市: 0.00~3.94Bq/L, 鹿児島市: 0.00~1.54Bq/Lであった。

いずれの地点でも過去の調査結果³⁾(小平: 0.84~2.18Bq/L, 川内市: 0.78~1.80Bq/L, 鹿児島市: 0.73~1.96Bq/L, 以下過去の調査結果³⁾は括弧書きで示す。)と比較して変動幅が大きかった。

また、平均値は、小平: 1.74 (1.35) Bq/L, 川内市: 0.68 (1.32) Bq/L, 鹿児島市: 0.38 (1.34) Bq/Lと小平で高く川内市, 鹿児島市で低かった。

HTO(水)濃度は、トリチウム濃度が低い海洋性の気団に覆われる夏季に低い濃度が出現すると言われているが、今回の調査では3地点ともHTO(水)濃度の季節変動を認めなかった。

表1 HTO測定結果

(小平)

採 取 期 間	補集量 (m ³)	水分量 (g/m ³)	HTO (Bq/L)	HTO (mBq/m ³)	比放射能
2000. 4. 27 ~ 5. 1	5.9	10.0	2.90 ± 0.29	29.12 ± 2.93	24.16 ± 2.43
5. 1 ~ 5. 31	5.5	13.1	1.14 ± 0.21	14.84 ± 2.72	9.46 ± 1.73
5. 31 ~ 6. 29	6.8	16.7	0.72 ± 0.18	11.97 ± 3.06	5.98 ± 1.53
6. 29 ~ 7. 31	7.0	17.7	0.43 ± 0.17	7.64 ± 2.93	3.59 ± 1.38
7. 31 ~ 8. 31	6.9	17.4	0.61 ± 0.19	10.56 ± 3.24	5.06 ± 1.55
8. 31 ~ 10. 2	5.0	17.7	1.32 ± 0.19	23.36 ± 3.43	11.00 ± 1.62
10. 2 ~ 11. 2	6.9	15.4	1.26 ± 0.22	19.51 ± 3.45	10.53 ± 1.86
11. 2 ~ 11. 28	5.9	13.3	1.32 ± 0.23	17.55 ± 3.04	10.98 ± 1.90
11. 28 ~ 12. 25	5.9	10.5	1.46 ± 0.22	15.31 ± 2.32	12.20 ± 1.85
12. 25 ~ 1. 25	6.3	8.4	2.28 ± 0.27	19.22 ± 2.29	19.20 ± 2.27
2001. 1. 25 ~ 2. 27	7.4	9.6	2.64 ± 0.24	25.21 ± 2.26	21.99 ± 1.97
2. 27 ~ 3. 15	6.4	10.7	2.24 ± 0.24	23.94 ± 2.54	18.67 ± 1.98
4. 25 ~ 4. 26	6.4	10.7	2.50 ± 0.19	26.79 ± 1.99	20.87 ± 1.55
4. 26 ~ 5. 31	7.7	13.4	1.84 ± 0.19	24.59 ± 2.51	15.32 ± 1.57
5. 31 ~ 6. 27	5.9	17.0	1.06 ± 0.19	18.06 ± 3.26	8.87 ± 1.60
6. 27 ~ 7. 30	6.6	20.2	0.40 ± 0.18	8.14 ± 3.60	3.36 ± 1.49
7. 30 ~ 8. 28	6.4	19.5	0.89 ± 0.18	17.43 ± 3.46	7.45 ± 1.48
8. 28 ~ 10. 1	9.0	16.7	1.06 ± 0.23	17.65 ± 3.81	8.82 ± 1.90
10. 1 ~ 10. 29	6.2	16.0	1.08 ± 0.18	17.21 ± 2.83	8.96 ± 1.47
10. 29 ~ 11. 28	6.7	11.8	1.61 ± 0.23	18.91 ± 2.68	13.44 ± 1.91
11. 28 ~ 12. 27	6.7	10.4	1.89 ± 0.20	19.67 ± 2.13	15.78 ± 1.71
12. 27 ~ 1. 29	7.0	9.9	5.36 ± 0.21	52.90 ± 2.09	44.71 ± 1.76
2002. 1. 29 ~ 2. 27	6.2	9.2	4.54 ± 0.21	41.89 ± 1.89	37.83 ± 1.71
2. 27 ~ 3. 15	6.4	10.7	3.50 ± 0.20	39.29 ± 2.21	29.20 ± 1.64
4. 17 ~ 4. 25	6.0	11.8	1.59 ± 0.18	18.85 ± 2.17	13.26 ± 1.53
4. 25 ~ 5. 28	7.3	13.7	1.74 ± 0.19	23.92 ± 2.63	14.53 ± 1.60
5. 28 ~ 6. 27	6.4	17.2	1.83 ± 0.21	31.45 ± 3.53	15.28 ± 1.71
6. 27 ~ 7. 29	7.1	17.0	0.49 ± 0.23	8.33 ± 3.94	4.07 ± 1.93
7. 29 ~ 8. 26	6.1	15.5	0.88 ± 0.20	13.68 ± 3.03	7.37 ± 1.63
8. 26 ~ 10. 1	7.9	15.3	1.96 ± 0.21	30.01 ± 3.28	16.30 ± 1.78
10. 1 ~ 10. 24	5.0	13.8	0.83 ± 0.20	11.48 ± 2.73	6.94 ± 1.65
10. 24 ~ 11. 25	7.0	10.5	2.28 ± 0.27	24.00 ± 2.81	18.96 ± 2.22
11. 25 ~ 12. 19	5.3	9.4	1.73 ± 0.18	16.15 ± 1.72	14.39 ± 1.53
12. 19 ~ 1. 22	7.3	7.7	1.00 ± 0.18	7.68 ± 1.35	8.35 ± 1.47
2003. 1. 22 ~ 2. 18	5.8	8.3	2.20 ± 0.18	18.18 ± 1.46	18.33 ± 1.47
2. 18 ~ 3. 18	6.0	9.8	2.22 ± 0.19	21.69 ± 1.84	18.50 ± 1.57

(川内市)

採 取 期 間	補集量 (m ³)	水分量 (g/m ³)	HTO (Bq/L)	HTO (mBq/m ³)	比放射能
2000. 4. 27 ~ 5. 1	5.1	10.0	0.98 ± 0.27	9.74 ± 2.70	8.14 ± 2.25
5. 1 ~ 5. 31	6.0	14.1	0.49 ± 0.22	6.84 ± 3.10	4.05 ± 1.83
5. 31 ~ 6. 29	6.3	21.1	0.83 ± 0.20	17.54 ± 4.23	6.93 ± 1.67
6. 29 ~ 7. 31	7.3	24.6	0.67 ± 0.17	16.42 ± 4.23	5.57 ± 1.43
7. 31 ~ 9. 1	7.2	23.9	(0.08 ± 0.18)	(1.84 ± 4.30)	(0.64 ± 1.50)
9. 1 ~ 10. 2	6.9	15.0	0.51 ± 0.19	7.62 ± 2.84	4.22 ± 1.58
10. 2 ~ 11. 1	6.3	18.2	(0.00 ± 0.00)	(0.00 ± 0.00)	(0.00 ± 0.00)
11. 1 ~ 11. 28	5.7	14.9	(0.02 ± 0.24)	(0.29 ± 3.62)	(0.16 ± 2.02)
11. 28 ~ 12. 25	5.4	10.4	(0.21 ± 0.23)	(2.22 ± 2.33)	(1.78 ± 1.87)
12. 25 ~ 1. 25	6.2	8.8	(0.35 ± 0.20)	(3.13 ± 1.74)	(2.95 ± 1.64)
2001. 1. 25 ~ 2. 27	6.4	9.5	0.60 ± 0.19	5.64 ± 1.76	4.97 ± 1.55
2. 27 ~ 3. 15	5.7	11.3	0.84 ± 0.22	9.50 ± 2.52	6.99 ± 1.86
4. 25 ~ 4. 26	6.2	10.3	0.78 ± 0.17	8.00 ± 1.72	6.50 ± 1.40
4. 26 ~ 5. 31	7.6	14.3	(0.21 ± 0.18)	(3.00 ± 2.52)	(1.75 ± 1.47)
5. 31 ~ 6. 27	6.0	21.5	0.48 ± 0.19	10.28 ± 4.04	3.99 ± 1.57
6. 27 ~ 7. 30	6.7	28.7	(0.01 ± 0.19)	(0.15 ± 5.37)	(0.04 ± 1.56)

11.	28	~	12.	27	5.7	11.4	0.87 ± 0.20	9.97 ± 2.25	7.72 ± 1.64
12.	27	~	1.	29	6.5	10.5	0.48 ± 0.18	4.99 ± 1.87	3.96 ± 1.48
2002.	1.	29	~	2.	27	5.7	9.8	3.94 ± 0.19	38.74 ± 1.89
	2.	27	~	3.	15	5.7	11.3	1.91 ± 0.19	22.41 ± 2.19
	4.	17	~	4.	25	5.9	12.2	0.82 ± 0.18	9.97 ± 2.16
	4.	25	~	5.	28	7.3	15.4	0.91 ± 0.19	13.97 ± 2.86
	5.	28	~	6.	27	6.6	20.6	0.98 ± 0.20	20.31 ± 4.06
	6.	27	~	7.	29	7.3	22.5	0.80 ± 0.25	17.93 ± 5.62
	7.	29	~	8.	26	6.4	20.7	0.78 ± 0.19	16.14 ± 3.85
	8.	26	~	10.	1	7.8	19.5	1.00 ± 0.20	19.46 ± 3.98
	10.	1	~	10.	24	5.0	16.0	0.48 ± 0.20	7.63 ± 3.16
	10.	24	~	11.	25	6.3	10.7	0.95 ± 0.20	10.16 ± 2.30
	11.	25	~	12.	19	4.6	10.4	(0.28 ± 0.17)	(2.85 ± 1.81)
	12.	19	~	1.	22	6.5	7.1	(0.14 ± 0.18)	(1.02 ± 1.26)
2003.	1.	22	~	2.	18	5.1	8.0	0.68 ± 0.16	5.41 ± 1.31
	2.	18	~	3.	18	5.4	9.6	1.25 ± 0.18	11.99 ± 1.76

(鹿児島市)

採	取	期	間	補集量 (m ³)	水分量 (g/m ³)	HTO (Bq/L)	HTO (mBq/m ³)	比放射能		
2000.	4.	28	~	5.	2	5.2	10.6	1.54 ± 0.27	16.32 ± 2.88	12.84 ± 2.27
	5.	2	~	5.	31	5.5	15.3	0.47 ± 0.20	7.14 ± 3.05	3.88 ± 1.66
	5.	31	~	6.	30	6.3	21.7	0.56 ± 0.20	12.23 ± 4.42	4.69 ± 1.70
	6.	30	~	8.	1	7.4	24.4	0.43 ± 0.17	10.51 ± 4.05	3.59 ± 1.38
	8.	1	~	8.	31	6.9	24.7	(0.02 ± 0.18)	(0.60 ± 4.46)	(0.20 ± 1.21)
	8.	31	~	10.	3	5.7	23.2	(0.02 ± 0.18)	(0.46 ± 4.21)	(0.17 ± 1.51)
	10.	3	~	11.	2	6.7	18.8	(0.34 ± 0.20)	(6.44 ± 3.73)	(2.86 ± 1.66)
	11.	2	~	11.	27	5.3	15.3	0.81 ± 0.27	12.41 ± 4.12	6.76 ± 2.25
	11.	27	~	12.	26	5.8	11.0	(0.00 ± 0.00)	(0.00 ± 0.00)	(0.00 ± 0.00)
	12.	26	~	1.	25	6.3	9.1	0.43 ± 0.23	3.88 ± 2.04	3.57 ± 1.88
2001.	1.	25	~	2.	27	7.0	9.9	0.40 ± 0.19	3.93 ± 1.84	3.31 ± 1.55
	2.	27	~	3.	15	6.1	11.0	0.68 ± 0.22	7.46 ± 2.42	5.68 ± 1.84
	4.	25	~	4.	27	3.0	11.7	0.41 ± 0.21	4.84 ± 2.44	3.46 ± 1.74
	4.	27	~	6.	1	7.3	14.8	(0.01 ± 0.17)	(0.19 ± 2.53)	(0.11 ± 1.43)
	6.	1	~	6.	27	5.9	21.6	0.39 ± 0.19	8.51 ± 4.20	3.28 ± 1.62
	6.	27	~	7.	31	7.8	25.5	(0.04 ± 0.19)	(0.99 ± 4.77)	(0.32 ± 1.56)
	7.	31	~	8.	31	7.1	24.7	0.35 ± 0.18	8.58 ± 4.35	2.89 ± 1.47
	8.	31	~	10.	2	7.2	21.9	(0.00 ± 0.00)	(0.00 ± 0.00)	(0.00 ± 0.00)
	10.	2	~	10.	30	6.2	17.6	0.50 ± 0.17	8.81 ± 3.03	4.17 ± 1.43
	10.	30	~	11.	29	6.3	12.5	(0.25 ± 0.17)	(3.08 ± 2.14)	(2.05 ± 1.42)
	11.	29	~	12.	28	6.1	10.9	0.40 ± 0.19	4.35 ± 2.10	3.32 ± 1.60
	12.	28	~	1.	30	6.9	10.3	(0.15 ± 0.17)	(1.51 ± 1.78)	(1.22 ± 1.44)
2002.	1.	30	~	2.	27	6.9	10.5	0.52 ± 0.17	5.45 ± 1.83	4.33 ± 1.45
	2.	27	~	3.	15	6.1	11.0	0.46 ± 0.18	5.29 ± 2.05	3.79 ± 1.47
	4.	17	~	4.	24	5.6	12.3	0.73 ± 0.23	8.98 ± 2.86	6.09 ± 1.94
	4.	24	~	5.	29	7.8	15.4	0.41 ± 0.18	6.32 ± 2.85	3.41 ± 1.54
	5.	29	~	6.	26	6.4	21.0	0.91 ± 0.20	19.2 ± 4.14	7.62 ± 1.64
	6.	26	~	7.	29	7.7	23.3	(0.00 ± 0.00)	(0.00 ± 0.00)	(0.00 ± 0.00)
	7.	29	~	8.	29	7.2	23.4	0.52 ± 0.19	12.09 ± 4.43	4.30 ± 1.58
	8.	29	~	10.	2	7.6	19.5	(0.00 ± 0.00)	(0.00 ± 0.00)	(0.00 ± 0.00)
	10.	2	~	10.	23	5.0	15.8	(0.24 ± 0.20)	(3.84 ± 3.09)	(2.03 ± 1.63)
	10.	23	~	11.	26	6.6	10.4	(0.00 ± 0.00)	(0.00 ± 0.00)	(0.00 ± 0.00)
	11.	26	~	12.	19	4.9	10.6	(0.00 ± 0.00)	(0.00 ± 0.00)	(0.00 ± 0.00)
	12.	19	~	1.	22	7.3	7.6	(0.00 ± 0.00)	(0.00 ± 0.00)	(0.00 ± 0.00)
2003.	1.	22	~	2.	17	5.4	7.8	0.36 ± 0.17	2.79 ± 1.31	2.97 ± 1.40
	2.	17	~	3.	17	5.3	9.5	1.35 ± 0.18	12.82 ± 1.76	11.21 ± 1.54

NDは () 書きで示す。

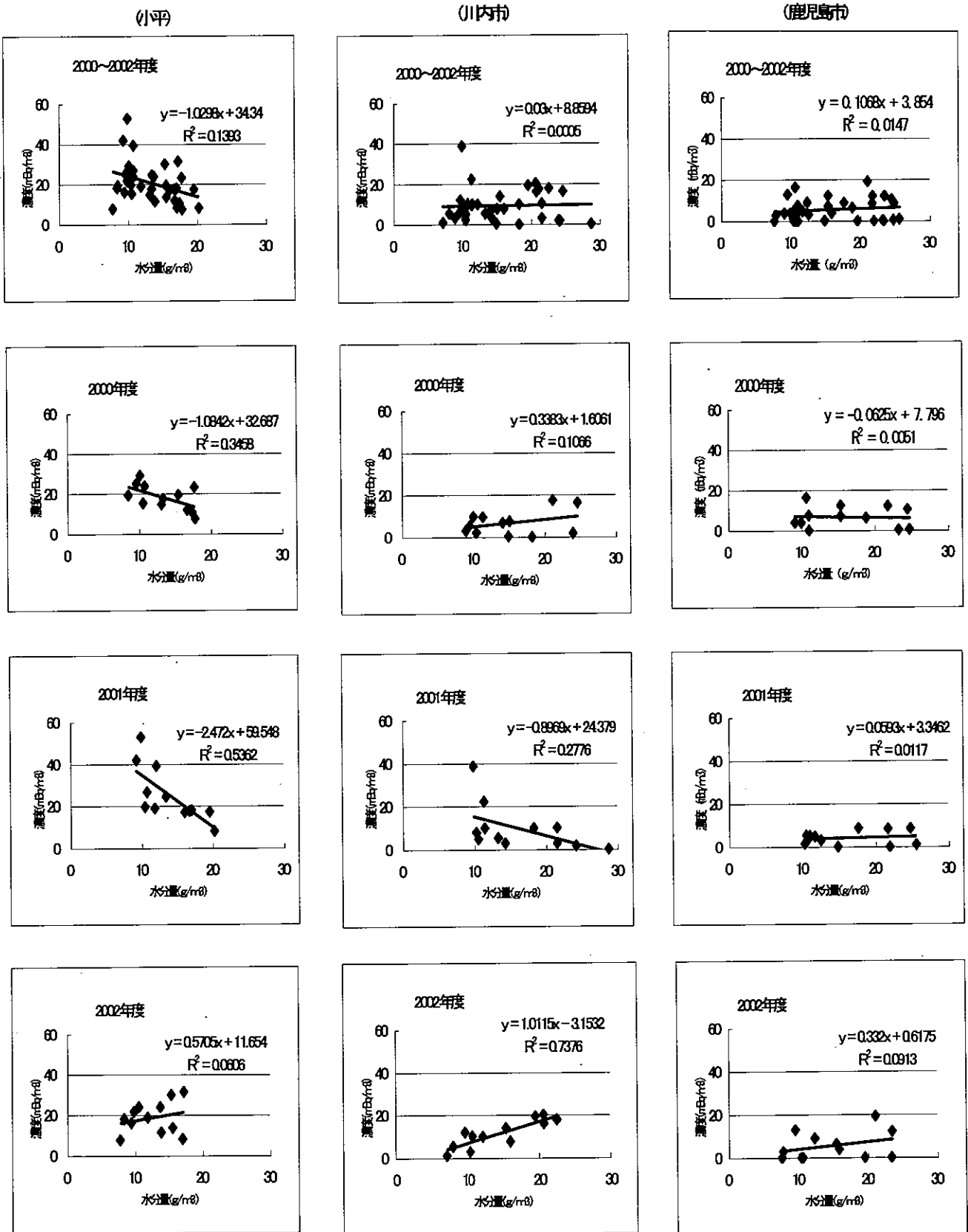


図4 水分量とHT0の関係

3. 1. 3 HTO (大気換算) 濃度

HTO (水換算) 濃度と水分量 (g/m^3) から求めた大気 1 m^3 当たりのトリチウムの濃度範囲は、小平: $7.64 \sim 52.90$ ($4.77 \sim 32.64$) mBq/m^3 , 川内市: $0.00 \sim 38.74$ ($5.35 \sim 33.28$) mBq/m^3 , 鹿児島市: $0.00 \sim 19.20$ ($4.95 \sim 33.69$) mBq/m^3 であり、小平と川内市の変動幅は大きく、鹿児島市の変動幅は小さかった。

また、平均値は、小平: 20.73 (15.42) mBq/m^3 , 川内市: 9.32 (15.57) mBq/m^3 , 鹿児島市: 5.53 (16.13) mBq/m^3 であり、HTO (水換算) 濃度と同様、小平で高く川内市と鹿児島市で低かった。

小平及び川内市の両地点では、2001年12月～2002年3月にかけて、HTO濃度の高い期間が継続し、特に2001年12月～2002年1月の小平の $52.90 \text{ mBq}/\text{m}^3$, 川内市の $38.74 \text{ mBq}/\text{m}^3$ は、同地点での平均値 $\pm 3\sigma$ の範囲 (小平: $0.00 \sim 50.01 \text{ mBq}/\text{m}^3$, $\sigma: 9.76$, 川内市: $0.00 \sim 33.38 \text{ mBq}/\text{m}^3$, $\sigma: 8.02$, σ : 標準偏差) を超えていた。

同期間の鹿児島市のHTO濃度が、 $1.51 \sim 5.45 \text{ mBq}/\text{m}^3$ と全期間の平均値より低いレベルであることから、この事象は発電所からの管理放出の影響など、局所的な原因によるものと推察される。

また、小平、川内市、鹿児島市のHTO (大気換算) 濃度の平均値の比は、 $1:0.45:0.27$ であり3地点の濃度には、有意な差を認めた。

今村ら³⁾ は、HTOを8月、10月、12月、2月の年4回1日約6時間捕集して得た結果から小平、川内市、鹿児島市のHTOの濃度差は認めなかったとしているが、今回異なった結果が得られたのは、試料の採取方法の相違のためであると考えられた。本調査結果は、約1か月間HTOを連続捕集する方法により得られた結果であることから、今回の結果が、3地点における採取期間中のHTOの平均的な濃度及び特性を、より示しているものと考えられた。

また、3地点のNDの出現率は、小平0%、川内市30.6% (11/36)、鹿児島市41.7% (15/36) と鹿児島市のNDの出現率が高かった。

鹿児島市は、HTO (大気換算) 濃度範囲、平均値、NDの出現率から他の2地点よりHTO濃度が低いと考えられるけれども、鹿児島市は、試料の採取地点が海の近傍にあるためトリチウム濃度の低い海水が蒸発し、大気中のHTOが希釈されているためと考えられる。

HTO濃度 (大気換算) は、トリチウム水濃度 (Bq/L) だけでなく水蒸気量で決まるため、夏季に高く冬季に低い季節変動を示す⁹⁾ が、今回の調査では季節変動を認めなかった。

水分量 (g/m^3) とHTO (大気換算) 濃度の相関を図4に示す。

年度ごとに比較すると、小平は2000～2001年度に、川内市は2001年度に、水分量 (g/m^3) とHTO (大気換算) との間に負の相関傾向が伺えるが、全期間では、両者の相関は低かった。

また、表2に川内市と鹿児島市のNDのデータを含む時とNDのデータを除いた時の相関係数を示す。

表2 水分量とHTO (大気換算) 濃度との相関係数

地点名	全期間	2000年度	2001年度	2002年度
川内市	0.021	0.327	-0.527	0.859
	0.249	0.848	-0.296	0.828
ND数	11	5	4	2
鹿児島市	0.121	-0.072	0.108	0.302
	0.477	0.381	0.903	0.620
ND数	15	4	5	6

下段はNDを除いたときの相関係数

NDのデータを除いた場合、水分量 (g/m^3) とHTO (大気換算) の相関はNDを含む場合より正の傾向を示し、特に川内市の2000年度と鹿児島市の2001年度は相関が高くなった。

3. 4 河川水及び海水中のトリチウム濃度

河川水及び海水中のトリチウム濃度を表3に示す。

河川水中の濃度範囲は、川内川が $0.29 \sim 0.36 \text{ Bq}/\text{L}$, 安楽川が $0.25 \sim 0.39 \text{ Bq}/\text{L}$ であり両河川の差はなかった。また、河川の上流・中流・下流域における濃度差、経年変化、季節変動もみられなかった。

海水中の濃度範囲は、川内原子力発電所放水口側 (以下「放水口側」という。) が $0.09 \sim 7.58 \text{ Bq}/\text{L}$, 川内市唐浜が $0.10 \sim 0.16 \text{ Bq}/\text{L}$, 志布志町臨海工業団地が $0.08 \sim 0.25 \text{ Bq}/\text{L}$ であった。

2002年2月に、放水口側で $7.58 \text{ Bq}/\text{L}$ の高い値が測定されたけれども、放水口側では1989年4月に $2.9 \text{ Bq}/\text{L}$, 1992年10月に $6.6 \text{ Bq}/\text{L}$ の測定結果が得られたことがあり、その原因は発電所からの管理放出の影響と推定されている。

今回の結果についても、同日に採取した発電所から約4km離れた川内市唐浜での濃度が $0.13 \text{ Bq}/\text{L}$ と高い値でなかったことから、発電所からの管理放出の影響と推定された。

また、放水口側の2001年8月の $0.86 \text{ Bq}/\text{L}$ については、他の2地点の海水中のトリチウム濃度範囲が $0.08 \sim 0.24 \text{ Bq}/\text{L}$ であり、また、経年変化、季節変動がみられないことから、発電所からの管理放出の影響が残っていたた

めと推定された。

発電所からの管理放出の影響を受けていたと推定される2つのデータを除いた時の海水中トリチウムの平均濃度が0.14Bq/L、河川水中の平均濃度が0.32Bq/Lであり、河川水は海水よりトリチウム濃度が高かった。

表3 河川水及び海水中のトリチウム濃度

区分	採水地点	採取年月日	トリチウム濃度(Bq/L)
川内川	川内市 白浜橋	2001. 8. 28	0.29 ± 0.02
		2002. 2. 5	0.31 ± 0.02
		8. 27	0.33 ± 0.02
	大口市 曾木大橋	2003. 2. 13	0.29 ± 0.02
		2001. 8. 28	0.34 ± 0.02
		2002. 2. 5	0.30 ± 0.02
	栗野町 栗野橋	8. 27	0.30 ± 0.02
		2003. 2. 13	0.33 ± 0.02
		2001. 8. 28	0.36 ± 0.02
安楽川	志布志町 安楽橋	2002. 2. 5	0.32 ± 0.02
		8. 27	0.31 ± 0.02
		2003. 2. 13	0.33 ± 0.02
	志布志町 博野橋	2001. 8. 30	0.39 ± 0.02
		2002. 2. 7	0.35 ± 0.02
		9. 6	0.28 ± 0.02
	志布志町 吉原大橋	2003. 2. 12	0.28 ± 0.02
		2001. 8. 30	0.34 ± 0.02
		2002. 2. 7	0.33 ± 0.02
海水	川内原子力発電所市放水口側	9. 6	0.28 ± 0.02
		2003. 2. 12	0.39 ± 0.02
		2001. 8. 30	0.33 ± 0.02
	川内市唐浜	2002. 2. 7	0.29 ± 0.02
		9. 6	0.25 ± 0.02
		2003. 2. 12	0.30 ± 0.02
	志布志町臨海工業団地	2001. 8. 28	0.86 ± 0.03
		2002. 2. 5	7.58 ± 0.06
		8. 27	0.14 ± 0.02
米	川内市 寄田	2003. 2. 13	0.09 ± 0.02
		2001. 8. 28	0.10 ± 0.02
		2002. 2. 5	0.13 ± 0.02
	川内市 隈之城	8. 27	0.12 ± 0.02
		2003. 2. 13	0.16 ± 0.02
		2001. 8. 30	0.14 ± 0.02
	鹿児島市 天保山	2002. 2. 7	0.18 ± 0.02
		9. 6	0.08 ± 0.02
		2003. 2. 12	0.24 ± 0.02
鹿児島市 持木町	2001. 8. 28	0.59 ± 0.23	
	2002. 2. 5	0.67 ± 0.04	
	8. 27	0.63 ± 0.02	
川内市 高江町	2002. 2. 4	2.70 ± 0.03	
	8. 26	0.31 ± 0.02	
	2003. 2. 18	0.67 ± 0.04	
川内市 玉代町	2000. 6. 1	0.59 ± 0.23	
	8. 31	0.90 ± 0.00	
	11. 28	1.90 ± 0.18	
志布志町 深川	2001. 2. 27	0.77 ± 0.19	
	8. 27	0.63 ± 0.02	
	2002. 2. 4	2.70 ± 0.03	
志布志町 田之浦	2000. 6. 1	0.10 ± 0.20	
	8. 31	0.00 ± 0.00	
	11. 28	0.00 ± 0.00	
志布志町	2001. 2. 27	1.24 ± 0.22	
	8. 27	0.69 ± 0.02	
	2002. 2. 4	0.51 ± 0.02	
志布志町	8. 26	0.28 ± 0.02	
	2003. 2. 17	0.60 ± 0.05	
	2000. 6. 2	0.00 ± 0.00	
志布志町	8. 30	0.00 ± 0.00	
	11. 27	0.00 ± 0.00	
	2001. 2. 26	1.55 ± 0.20	
志布志町	2001. 8. 31	0.35 ± 0.02	
	2002. 2. 7	0.74 ± 0.02	
	8. 28	0.35 ± 0.02	
志布志町	2003. 2. 17	0.61 ± 0.04	
	2001. 10. 25	1.05 ± 0.20	
	10. 19	0.33 ± 0.17	
志布志町	2002. 1. 15	0.32 ± 0.02	
	2. 6	0.30 ± 0.02	
	2001. 11. 21	0.38 ± 0.02	
志布志町	2001. 11. 21	0.29 ± 0.02	
	2002. 5. 14	0.24 ± 0.02	
	5. 8	0.22 ± 0.02	
志布志町	2003. 3. 13	0.19 ± 0.04	
	3. 19	0.22 ± 0.04	
	2. 22	2.22 ± 0.20	

3. 5 植物中のトリチウム等濃度

植物中のTFWTの半減期は短く、環境水中のトリチウムレベルの変動に反応し、その濃度は素早く変化する。従ってTFWTは、ある場所における、ある短い時間内の環境中トリチウムレベルに対応している。一方、TBTは、組織が合成された時点での環境中トリチウムレベルを示していると考えられる⁵⁾。

また、原子力発電所から放出される¹⁴Cのうち二酸化炭素として放出されたものは、光合成を通じて植物に取り込まれる可能性がある。

植物及び海産生物中のTFWT、TBT及び¹⁴Cの濃度を表4に示す。

3. 5. 1 松葉

松葉のTFWTの濃度範囲は、川内市寄田が0.00~2.70 Bq/L、川内市隈之城が0.00~1.24Bq/L、鹿児島市天保山が0.00~1.55Bq/L、鹿児島市持木町が0.35~0.74

Bq/Lであり、川内市隈之城と鹿児島市天保山において採取時期による濃度差が大きかった。

TBTの濃度範囲は、それぞれ0.33~1.19Bq/L、0.39~0.99Bq/L、0.27~0.97Bq/L、1.00~1.08Bq/Lであり、TBTはTFWTと比較して濃度の変動幅が小さかった。

寄田のTFWTの平均値は、0.95Bq/Lで他の3地点(0.39~0.51Bq/L)の約2倍高かったが、TBTの平均値(0.71Bq/L)は、他の地点の範囲(0.52~1.04Bq/L)内であった。また、2002年2月に採取した寄田のTFWTが2.70Bq/Lと高かったのは、2001年12月~2002年3月にかけて、寄田から約1kmの距離にある小平のHTO濃度が高いレベルにあったことが要因の一つであると推測された。

¹⁴Cの濃度も、各地点で同様の結果であった。

3. 5. 2 米、白菜、みかん

川内市及び対照地域における米のTFWT濃度は1.05、0.33Bq/L、TBT濃度は0.93、0.35Bq/L、¹⁴C濃度は244、239mBq/g-C、白菜のTFWTは0.32、0.30Bq/L、TBTは0.58、0.30Bq/L、¹⁴Cは235、244mBq/g-Cであった。

表4 植物及び海産生物中のトリチウム濃度

材料名	採取地点	採取年月日	TFWT (Bq/L)	TBT (Bq/L)	¹⁴ C (mBq/g-C)
米	川内市 寄田	2000. 6. 1	0.59 ± 0.23	0.37 ± 0.17	246 ± 2
		8. 31	0.90 ± 0.00	0.33 ± 0.20	247 ± 3
		11. 28	1.90 ± 0.18	1.03 ± 0.20	249 ± 4
		2001. 2. 27	0.77 ± 0.19	1.19 ± 0.22	247 ± 2
		8. 27	0.63 ± 0.02	-	-
		2002. 2. 4	2.70 ± 0.03	-	-
	川内市 隈之城	8. 26	0.31 ± 0.02	0.84 ± 0.18	239 ± 2
		2003. 2. 18	0.67 ± 0.04	0.52 ± 0.16	237 ± 2
		2000. 6. 1	0.10 ± 0.20	0.39 ± 0.17	245 ± 2
		8. 31	0.00 ± 0.00	0.52 ± 0.18	244 ± 2
		11. 28	0.00 ± 0.00	0.59 ± 0.19	242 ± 2
		2001. 2. 27	1.24 ± 0.22	0.73 ± 0.21	243 ± 2
鹿児島市 天保山	8. 27	0.69 ± 0.02	-	-	
	2002. 2. 4	0.51 ± 0.02	-	-	
	8. 26	0.28 ± 0.02	0.99 ± 0.18	239 ± 2	
	2003. 2. 17	0.60 ± 0.05	0.46 ± 0.16	237 ± 2	
	2000. 6. 2	0.00 ± 0.00	0.27 ± 0.16	244 ± 2	
	8. 30	0.00 ± 0.00	0.42 ± 0.18	246 ± 2	
鹿児島市 持木町	11. 27	0.00 ± 0.00	0.61 ± 0.19	239 ± 2	
	2001. 2. 26	1.55 ± 0.20	0.97 ± 0.22	241 ± 2	
	2001. 8. 31	0.35 ± 0.02	-	-	
	2002. 2. 7	0.74 ± 0.02	-	-	
	8. 28	0.35 ± 0.02	1.00 ± 0.22	238 ± 2	
	2003. 2. 17	0.61 ± 0.04	1.08 ± 0.20	241 ± 2	
白菜	川内市 高江町	2001. 10. 25	1.05 ± 0.20	0.35 ± 0.17	239 ± 2
	川内市 玉代町	2002. 1. 15	0.32 ± 0.02	0.58 ± 0.17	235 ± 2
	志布志町 深川	2. 6	0.30 ± 0.02	0.30 ± 0.17	242 ± 2
みかん	川内市 青山町	2001. 11. 21	0.38 ± 0.02	0.29 ± 0.18	239 ± 2
	志布志町 田之浦	11. 22	0.29 ± 0.02	0.35 ± 0.18	240 ± 2
	川内市	2002. 5. 14	0.24 ± 0.02	1.88 ± 0.20	244 ± 2
わかめ	志布志町	5. 8	0.22 ± 0.02	0.45 ± 0.19	242 ± 2
	川内市	2003. 3. 13	0.19 ± 0.04	1.08 ± 0.18	240 ± 2
	志布志町	3. 19	0.22 ± 0.04	2.22 ± 0.20	245 ± 2

NDは、() 書きで示す。

また、みかんのTFWTは0.38、0.29Bq/L、TBTは0.29、0.35Bq/L、¹⁴Cは239、240mBq/g-Cであった。

みかん及び白菜のTFWTとTBTの地域差は小さかったけれども、川内市の米は対照地域と比較して、TFWTとTBTが約3倍高かった。

¹⁴Cは、地点間の差はみられなかった。

3. 6 海産生物

川内市及び対照地域のしらすのTFWT濃度は0.24, 0.22 Bq/L, TBT濃度は1.88, 0.45Bq/L, ¹⁴C濃度は244, 242 mBq/g-C, わかめのTFWTは0.19, 0.22Bq/L, TBTは1.08, 2.22Bq/L, ¹⁴Cは240, 245mBq/g-Cであった。

TFWTの地域差はなかったものの、しらすのTBTは川内市産のものが対照地域の約4倍、わかめのTBTは、対照地域産が川内市産の約2倍と地域差が大きかった。

また、植物と同様¹⁴Cの地点間の差はみられなかった。

3. 7 内部被ばく線量について

各地点で、HTO濃度が最も高い期間の、HTOを1年間吸入した場合の成人の預託実効線量を表5に示す。

表5 HTOによる預託実効線量

地点名	年度	摂取量	最大濃度(mBq/m ³)	預託実効線量(mSv)
小平	2000	22.3 (m ³ /日)	29.12	4.25E-06
	2001		52.90	7.72E-06
	2002		31.45	4.59E-06
川内市	2000	22.3 (m ³ /日)	17.54	2.56E-06
	2001		38.74	5.65E-06
	2002		20.31	2.96E-06
鹿児島市	2000	22.3 (m ³ /日)	16.32	2.38E-06
	2001		8.81	1.28E-06
	2002		19.20	2.80E-06

いずれの地点でも、HTOの吸入による預託実効線量は10⁻⁶mSvのレベルであった。

また、農水産物の摂取による預託実効線量を表6に示す。

今回対象とした農水産物の摂取に伴うトリチウムによる預託実効線量はTFWTとTBTの合計で10⁻⁶~10⁻⁹ mS, ¹⁴Cによる預託実効線量は10⁻³~10⁻⁵ mSvのレベルであった。

4 まとめ

- 1) 大気中水分量は、夏季に多く冬季に少ない季節変動を示した。
- 2) HTO濃度の平均値は、小平、川内市、鹿児島市の3地点で有意な差を認めた。また、季節変動はみられなかった。
- 3) 鹿児島市のHTO濃度が低いのは、トリチウム濃度の低い海水が蒸発し、大気中のHTOが希釈されているためと考えられる。
- 4) HTO、海水中の測定結果に、一部発電所からの管理放出の影響のためと推察されるものを認めた。
- 5) 河川水のトリチウムは、上流・中流・下流域における濃度差、経年変化、季節変動はみられなかった。
- 6) 松葉のTBTはTFWTと比較して濃度の変動幅は小さかった。また、寄田のTFWTの平均値は他の3地点の約2倍であった。

表6 植物及び海産生物による預託実効線量

試料名	地点名	区分	摂取量	濃度(mBq/kg生)	預託実効線量(mSv)	計(mSv)
米	川内市	TFWT	164.8g/日	163	1.76E-07	1.17E-06
		TBT		393	9.93E-07	
		¹⁴ C		244	3.17E-03	
	対照地域	TFWT		51	5.52E-08	
		TBT		148	3.74E-07	
		¹⁴ C		239	3.10E-03	
白菜	川内市	TFWT	21.2g/日	307	4.28E-08	4.67E-08
		TBT		12	3.90E-09	
		¹⁴ C		235	1.89E-05	
	対照地域	TFWT		288	4.01E-08	
		TBT		6	1.95E-09	
		¹⁴ C		242	1.95E-05	
みかん	川内市	TFWT	30.2g/日	333	6.61E-08	7.44E-08
		TBT		18	8.33E-09	
		¹⁴ C		239	8.60E-05	
	対照地域	TFWT		254	5.04E-08	
		TBT		22	1.02E-08	
		¹⁴ C		240	8.64E-05	
しらす	川内市	TFWT	91.0g/日	202	1.21E-05	4.29E-07
		TBT		221	3.08E-07	
		¹⁴ C		244	3.20E-03	
	対照地域	TFWT		172	1.03E-07	
		TBT		43	5.60E-08	
		¹⁴ C		242	3.18E-03	
わかめ	川内市	TFWT	5.7g/日	174	6.52E-09	9.92E-09
		TBT		39	3.41E-09	
		¹⁴ C		240	1.27E-05	
	対照地域	TFWT		200	7.49E-09	
		TBT		77	6.73E-09	
		¹⁴ C		245	1.30E-05	

- 7) 米は川内市が対照地域と比較してTFWTとTBTが約3倍高かった。しらす、わかめのTFWTの地域差はなかったものの、TBTは地域差が大きかった。
- 8) ¹⁴Cは、全試料とも地域差等はなかった。
- 9) 呼吸や農水産物の摂取による預託実効線量は、10⁻³~10⁻⁹ mSvのレベルであった。

なお、本調査は(財)九州環境管理協会に委託して行った。

参考文献

- 1) 鹿児島県；川内原子力発電所の運転状況(平成14年6月)
- 2) 四反田昭二, 今村和彦, 他；大気中水蒸気状トリチウムの特性, 鹿児島県環境センター所報, 8, 66~69(1992)
- 3) 今村博香, 田島義徳, 他；大気中トリチウム及び¹⁴CO濃度, 本誌, 1, 99~102(2000)
- 4) 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
- 5) 百島則幸；トリチウムの環境動態, 富山大学水素位体科学研究センター研究報告, 20, 1~20(2000)