

〔短 報〕

降下物, 大気浮遊じん中のベリリウム-7及び鉛-210の変動と挙動 (第1報)

内田 賢吾・宮竹 智代・河野 隆史
石川県保健環境センター 環境科学部 小林 浩美・鶴谷 亮太・山口 麻美
吉本 高志

〔和文要旨〕

降下物, 大気浮遊じん中に観測される宇宙線生成核種のベリリウム-7と地殻起源の鉛-210の季節変動について検討を行った。

降下物中のベリリウム-7, 鉛-210については12月～2月に多く, 5月～9月に少ない一山型であった。

大気浮遊じん中のベリリウム-7, 鉛-210濃度については, 2～3月, 10～11月に高く, 7～8月, 12月に低い二山型であった。

ベリリウム-7, 鉛-210の降下量や大気中濃度の季節変動は, 日本列島に影響を与えている気団や季節風の影響によるものと考えられた。

[降下物中鉛-210/ベリリウム-7比] / [大気浮遊じん中鉛-210/ベリリウム-7比] は1未満であった。これはベリリウム-7, 鉛-210の起源が異なるためと考えられた。

キーワード: 大気浮遊じん, 降下物, ベリリウム-7, 鉛-210, 気団

1 はじめに

本県では, 「志賀原子力発電所周辺の安全確保及び環境保全に関する協定書」に基づき, 平成2年7月から志賀原子力発電所周辺の環境放射線モニタリング(以下「原電監視」という。)を実施している。この中で, 環境試料中の放射能調査の一環として, 降水等により地表面にもたらされる雨水・塵等を「降下物」として, 大気中に含まれる塵を「大気浮遊じん」として採取し放射能を測定している¹⁾²⁾。

これまで降下物, 大気浮遊じんからは過去の核実験やチェルノブイリ原発事故, 福島第一原発事故の影響により, 人工放射性核種のセシウム-137(半減期30.08年)

等が検出されたことがあるほか, 成層圏・対流圏での宇宙線による窒素・酸素原子の核破砕反応により生成された宇宙線生成核種であるベリリウム-7(半減期53.29日)や, 地殻起源のラドン-222(半減期3.824日)の子孫核種の鉛-210(半減期22.3年)が検出されている¹⁾。

降下物中, 大気浮遊じん中のベリリウム-7や鉛-210については, ほかに検出される放射性核種(鉛-214(半減期26.8分)やビスマス-214(半減期19.9分)などよりも半減期が長いことから, 環境中のトレーサーとしても活用できるとし, 多くの研究者により研究が行われてきた³⁾⁻⁷⁾。

既報⁸⁾⁻¹⁰⁾において, ベリリウム-7の降下量は11～3月で多く, 太平洋側とは異なる傾向を示すことや, ベリ

Variations and Behaviors of Beryllium-7 and Lead-210 in Fallout and Airborne Dust (1st. Report).
by UCHIDA Kengo, MIYATAKE Tomoyo, KAWANO Takafumi, KOBAYASHI Hiromi, TSURUYA Ryota, YAMAGUCHI Asami and YOSHIMOTO Takashi (Environmental Science Department, Ishikawa Prefectural Institute of Public Health and Environmental Science)

Key words : Airborne Dust, Fallout, Beryllium-7, Lead-210, Air Mass

リウム-7が太陽活動（黒点）と逆相関があること、黄砂の飛来時にセシウム-137が検出されることなどを明らかにした。

今回、平成25年度から令和元年度までの過去7年間の降水物、大気浮遊じん中のベリリウム-7や鉛-210の調査結果をとりまとめ、そこから観測されるデータをもとに、大気中及び降水物中の放射性物質の季節変動について検討を行った。

2 調査方法

2.1 調査対象

(1) 降水物

試料採取地点を図1に示す。

志賀原子力発電所周辺の志賀町安部屋（以下「志賀局」という。）、志賀町福浦港（以下「福浦局」という。）及び約60km離れた金沢市太陽が丘（以下、「金沢」という。）で大型水盤（面積0.5024m²、高水位時蒸発濃縮機能及び低水位時給水機能付き）を用い、1か月毎に降水物を採取した。（使用するデータ：平成25年4月から令和2年3月）

より広範囲に調査を行うため追加調査地点として、発電所から南東方向に約18km離れた中能登町末坂（以下「末坂局」という。）と北方向に約25km離れた輪島市門

前（以下「門前局」という。）でデポジットゲージ（面積0.07m²）を用い1か月毎に降水物を採取した。（使用するデータ：末坂局 平成25年4月から令和2年3月、門前局 平成30年4月から令和2年3月）

(2) 大気浮遊じん

試料採取地点を図1に示す。

志賀局、福浦局、末坂局、門前局、金沢においてハイボリウムエアサンプラー（紀本電子工業㈱製120SL又は柴田科学㈱製HV-RW）を用い、流速800L/minで、ろ紙（Advantec製GB-100）に大気浮遊じんを約2週間毎（月2回）に採取した。

2.2 測定方法

(1) 試料の調製

降水物を採取後、試料1Lにつき濃塩酸1mLを添加し、磁性皿へ移し入れ電気コンロで加熱濃縮した。その後、測定容器（U8容器）に入れ、寒天で固化し、測定試料とした。

大気浮遊じんを採取したろ紙は6.5cm×5.5cmに折り畳み、アクリル製測定容器に詰め、測定試料とした。

(2) 放射能分析（ガンマ線核種分析）

測定は、ゲルマニウム半導体検出器（CANBERRA社製GX4520、SEIKO EG&G製GEM-C7080-LB-C-HJ-S、相対効率45%程度、分解能2keV未満、鉛-210などの低エネルギーガンマ線測定可能）によるガンマ線核種分析とし、測定時間は80,000秒とした。

測定結果については、降水物、大気浮遊じんとも採取開始から採取終了までの中間の日時に半減期補正した。また、大気浮遊じんは1か月分を2回に分けて採取しているため、2回分の測定結果を採取期間の重み付きの平均を求めて1か月分の濃度とした。

3 結果と考察

3.1 降水物

(1) 降水量

ベリリウム-7及び鉛-210の測定結果について過去7年間の月別平均値を表1に、変動状況を図2-1、2-2に示す。

ベリリウム-7の年間降水量（地点別平均）は、2,487～5,446Bq/m²・年（全地点平均3,610Bq/m²・年）であった。金沢の降水量（5,446Bq/m²・年）は能登地域4地点（志賀局、福浦局、末坂局、門前局）（2,487～3,597Bq/m²・年（平均3,151Bq/m²・年））の約1.7倍であった。

鉛-210の年間降水量（地点別平均）は、422～919Bq/m²・年（全地点平均599Bq/m²・年）であった。金沢の降水量（919Bq/m²・年）は能登地域4地点（422～608Bq/m²・年（平均519Bq/m²・年））の約1.8倍であった。

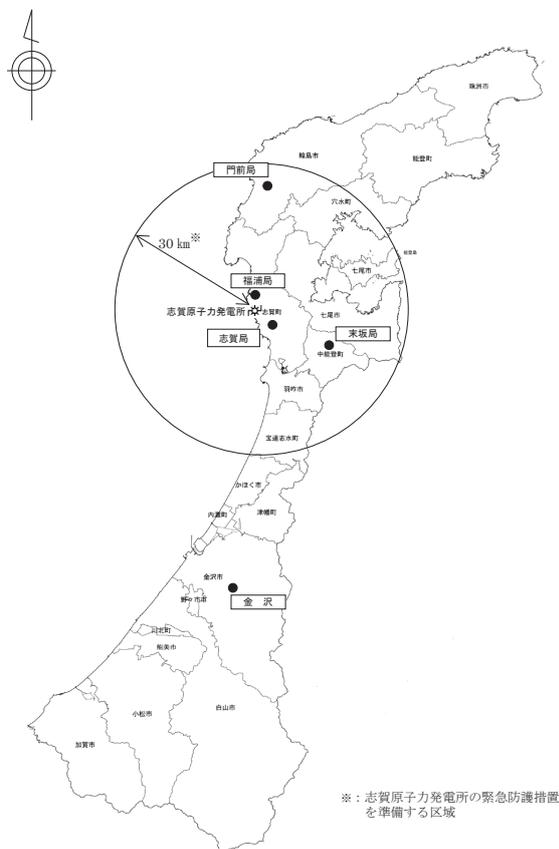


図1 採取地点図

※：志賀原子力発電所の緊急防護措置を準備する区域

表1 降下物中のベリリウム-7, 鉛-210降下量 (月別平均値) (平成25年度~令和元年度)

	志賀局 ^{※1}			福浦局 ^{※1}			末坂局 ^{※1}			門前局 ^{※2}			金沢 ^{※1}			全地点		
	ベリリウム-7	鉛-210	降水量															
	Bq/m ² ・月	Bq/m ² ・月	mm/月	Bq/m ² ・月	Bq/m ² ・月	mm/月	Bq/m ² ・月	Bq/m ² ・月	mm/月	Bq/m ² ・月	Bq/m ² ・月	mm/月	Bq/m ² ・月	Bq/m ² ・月	mm/月	Bq/m ² ・月	Bq/m ² ・月	mm/月
4月	220	36	116	168	29	111	222	34	123	242	20	133	317	55	149	234	35	126
5月	152	16	76	138	22	66	108	18	83	150	14	98	187	29	98	147	20	84
6月	146	15	128	105	21	118	175	33	130	139	18	168	172	23	150	147	22	139
7月	117	22	149	87	17	158	102	21	173	103	13	90	142	26	200	110	20	154
8月	122	17	240	83	17	223	84	21	229	150	19	288	174	22	225	123	19	241
9月	144	17	170	103	15	198	119	20	184	238	29	220	227	28	266	166	22	208
10月	160	22	153	116	19	122	183	26	162	232	36	118	332	41	220	205	29	155
11月	397	56	161	260	41	135	443	47	138	383	58	92	747	108	187	446	62	142
12月	595	97	247	469	72	200	547	72	228	492	97	137	1,091	186	275	639	105	218
1月	584	101	164	491	82	141	675	110	180	697	150	145	1,033	206	246	696	130	175
2月	378	80	111	293	54	96	393	72	101	475	109	90	612	114	155	430	86	111
3月	208	47	103	176	32	99	245	49	113	297	46	89	411	81	130	267	51	107
月平均値	269	44	151	207	35	139	280	45	154	300	51	137	454	77	192	302	50	155
標準偏差	168	31	49	137	22	46	186	27	45	172	43	59	325	62	54	195	36	46
最低値 ^{※3}	46	8	25	37	7	27	32	7	40	91	6	35	47	3	52	32	3	25
最高値 ^{※3}	1,107	160	460	786	144	432	1,037	163	524	873	192	403	1,552	275	541	1,552	275	541
年間降下量	3,224	525	1,818	2,487	422	1,668	3,296	522	1,845	3,597	608	1,667	5,446	919	2,302	3,610	599	1,860
	Bq/m ² ・年	Bq/m ² ・年	mm/年	Bq/m ² ・年	Bq/m ² ・年	mm/年	Bq/m ² ・年	Bq/m ² ・年	mm/年	Bq/m ² ・年	Bq/m ² ・年	mm/年	Bq/m ² ・年	Bq/m ² ・年	mm/年	Bq/m ² ・年	Bq/m ² ・年	mm/年

※1) 平成25年度~令和元年度 ※2) 平成30年度~令和元年度 ※3) 全データの範囲

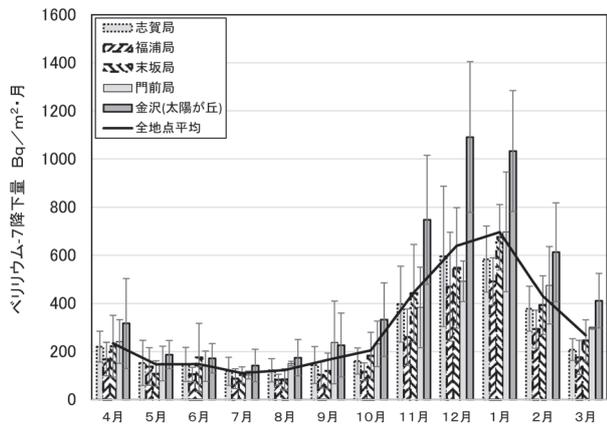


図2-1 ベリリウム-7降下量 (月別平均値)

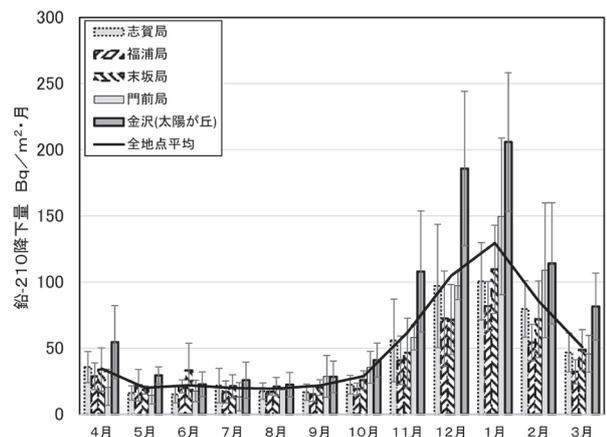


図2-2 鉛-210降下量 (月別平均値)

ベリリウム-7の月間降下量(全地点平均)は、11月～2月(430～696Bq/m²・月)が多く、5月～9月(110～166Bq/m²・月)が少なかった。月間降下量の幅は最も少ない月(7月)に比べ、最も多い月(1月)が約6.3倍であった。

鉛-210の月間降下量(全地点平均)は、12月～2月(86～130Bq/m²・月)が多く、5月～10月(19～29Bq/m²・月)が少なかった。月間降下量の幅は最も少ない月(8月)に比べ、最も多い月(1月)が約6.8倍であった。

図2-1、2-2からベリリウム-7、鉛-210とも全地点ではほぼ同様の季節変動となっており、12月～2月に多く、5月～9月に少ない一山型であった。

山本ら⁴⁾は日本海側の当県能美・輪島、秋田、札幌、稚内において冬高夏低の一山型の降下量となっているが、石垣や、福岡、大阪、東京、仙台、釧路は低い濃度であり変動がない状況であったとし、石川県は日本で降下量が最も多い地域であるとしている。

今回の調査結果は、山本らの日本海側の調査結果と同様であった。

ベリリウム-7、鉛-210の月間降下量(地点別平均)の相関関係について、図2-3に示す。相関係数は0.94～0.99と高く、ベリリウム-7と鉛-210の降下量は相関関係があることが示唆される結果となった。

(2) 降水量

降下量と密接な関係にあると考えられる降水量について

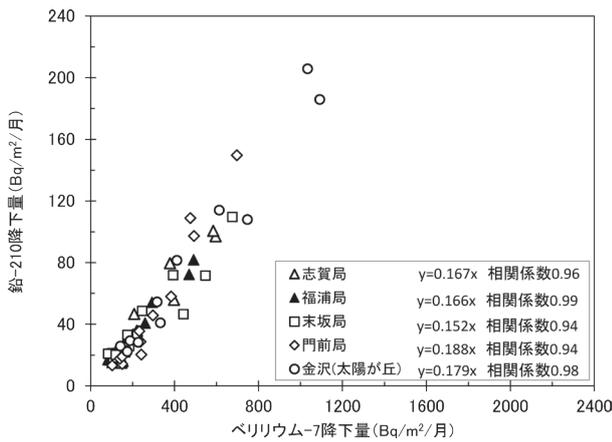


図 2-3 ベリリウム-7, 鉛-210 月間降下量の相関関係

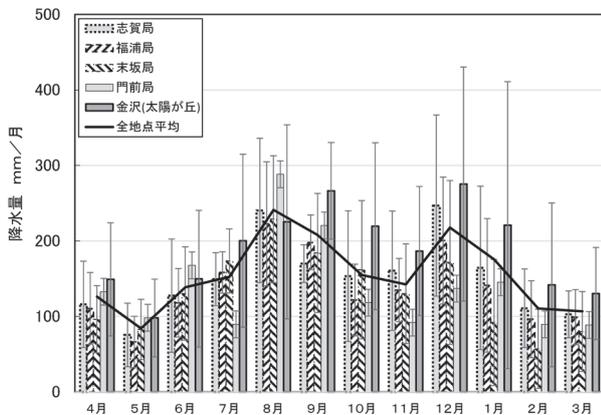


図 3 降水量の変動状況

表 2 降水中のベリリウム-7, 鉛-210 濃度 (月別平均値) (平成 25 年度～令和元年度)

	志賀局 ^{※1}		福浦局 ^{※1}		末坂局 ^{※1}		門前局 ^{※2}		金沢 ^{※1}		全地点	
	ベリリウム-7 Bq/L	鉛-210 Bq/L	ベリリウム-7 Bq/L	鉛-210 Bq/L	ベリリウム-7 Bq/L	鉛-210 Bq/L	ベリリウム-7 Bq/L	鉛-210 Bq/L	ベリリウム-7 Bq/L	鉛-210 Bq/L	ベリリウム-7 Bq/L	鉛-210 Bq/L
4 月	1.95	0.31	1.59	0.27	1.81	0.25	2.18	0.19	2.17	0.38	1.94	0.28
5 月	2.06	0.22	2.19	0.35	1.73	0.30	1.64	0.16	2.11	0.34	1.95	0.27
6 月	1.22	0.13	1.11	0.23	1.14	0.37	0.94	0.12	1.23	0.17	1.13	0.20
7 月	1.00	0.17	0.78	0.15	1.06	0.24	1.95	0.32	0.78	0.14	1.11	0.20
8 月	0.61	0.09	0.47	0.11	0.40	0.10	0.63	0.08	0.79	0.10	0.58	0.10
9 月	1.09	0.14	0.64	0.11	0.68	0.14	1.93	0.27	0.98	0.16	1.06	0.17
10 月	1.14	0.17	1.18	0.22	1.27	0.18	1.97	0.30	1.54	0.21	1.42	0.21
11 月	2.83	0.38	2.25	0.35	2.99	0.37	4.70	0.79	4.53	0.66	3.46	0.51
12 月	2.44	0.39	2.39	0.37	2.80	0.41	3.71	0.74	4.34	0.72	3.14	0.53
1 月	3.71	0.66	3.74	0.64	4.29	0.73	4.83	1.04	4.28	0.84	4.17	0.78
2 月	3.68	0.75	3.15	0.59	4.11	0.81	5.53	1.22	4.02	0.72	4.10	0.82
3 月	2.42	0.53	1.86	0.36	2.51	0.54	3.97	0.62	3.34	0.68	2.82	0.55
平均値	2.01	0.33	1.78	0.31	2.17	0.40	2.83	0.49	2.51	0.43	2.26	0.39
標準偏差	1.00	0.21	0.97	0.16	1.23	0.21	1.57	0.37	1.43	0.27	1.20	0.23
最低値 ^{※3}	0.30	0.04	0.24	0.04	0.23	0.04	0.36	0.04	0.28	0.02	0.23	0.02
最高値 ^{※3}	5.43	1.04	4.86	0.95	6.44	1.50	6.16	1.35	6.52	1.14	6.52	1.50

※1) 平成 25 年度～令和元年度 ※2) 平成 30 年度～令和元年度 ※3) 全データの範囲

て、過去 7 年間の月別平均値を表 1 に、変動状況を図 3 示す。

年間降水量 (地点別平均) は、1,667～2,302mm/年 (平均降水量 1,860mm/年) であった。金沢の降水量 (2,302mm/年) は能登地域 4 地点 (1,667～1,845mm/年 (平均 1,750mm/年)) の約 1.3 倍であった。

月間降水量 (全地点平均) は、8～9 月 (208～241mm)、12 月 (218mm) が多く、2～5 月 (84～126mm) が少なかった。月間降水量の幅は最も少ない月 (5 月) に比べ、最も多い月 (8 月) が約 2.9 倍であった。

図 3 から降水量の季節変動は、8～9 月、12 月に多く、2～5 月に少ない二山型であった。

(3) 降水中濃度

降水中のベリリウム-7, 鉛-210 濃度の月別平均値を表 2 に、変動状況を図 4-1, 4-2 に示す。

ベリリウム-7 の降水中濃度 (地点別年平均) は、1.78～2.83Bq/L (全地点平均 2.26Bq/L) であった。門前局の降水中濃度 (2.83Bq/L) が最も高く、福浦局の降水中濃度 (1.78Bq/L) の約 1.6 倍であった。

鉛-210 の降水中濃度 (地点別年平均) は、0.31～0.49Bq/L (全地点平均 0.39Bq/L) であった。門前局の降水中濃度 (0.49Bq/L) が最も高く、福浦局の降水中濃度 (0.31Bq/L) の約 1.6 倍であった。

ベリリウム-7 の降水中濃度 (全地点月別平均) は、11～2 月 (3.14～4.17Bq/L) が高く、6～10 月 (0.58

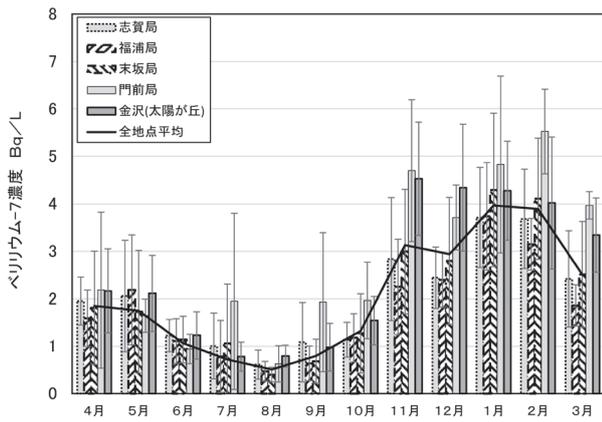


図 4-1 降水中ベリリウム-7濃度 (月別平均値)

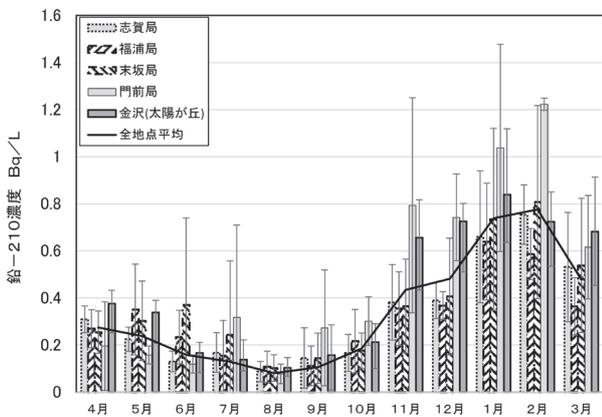


図 4-2 降水中鉛-210濃度 (月別平均値)

～1.42Bq/L) が低かった。月別降水中濃度の幅は最も低い月(8月)に比べ、最も多い月(1月)が約7.2倍であった。

鉛-210の降水中濃度(全地点月別平均)は、11～3月(0.51～0.82Bq/L)が高く、5～10月(0.10～0.27Bq/L)が低かった。月別降水中濃度の幅は最も低い月(8月)に比べ、最も多い月(2月)が約8.2倍であった。

図4-1、4-2からベリリウム-7、鉛-210とも全地点ではほぼ同様の季節変動となっており、11～2月に高く、6月～10月に低い一山型であった。

(4) ベリリウム-7、鉛-210の降下量と降水量との関係

ベリリウム-7、鉛-210の降下量と降水量との関係を地点ごとの月間平均値を用い図5-1、5-2に示す。

ベリリウム-7、鉛-210の降下量と降水量の分布から、①11月～3月、②4月～10月の2つのグループに分け、それぞれのグループから求めた近似式を図中に示す。

①はベリリウム-7、鉛-210とも傾きが正となっていることから、降水量の増加に伴い、降下量が増加する傾向であった。

②は傾きは正であるが、①に比べて小さく、降水量が

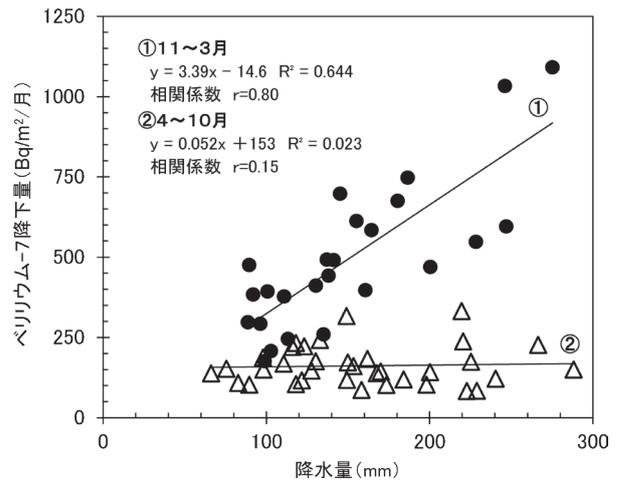


図 5-1 降水量とベリリウム-7降下量

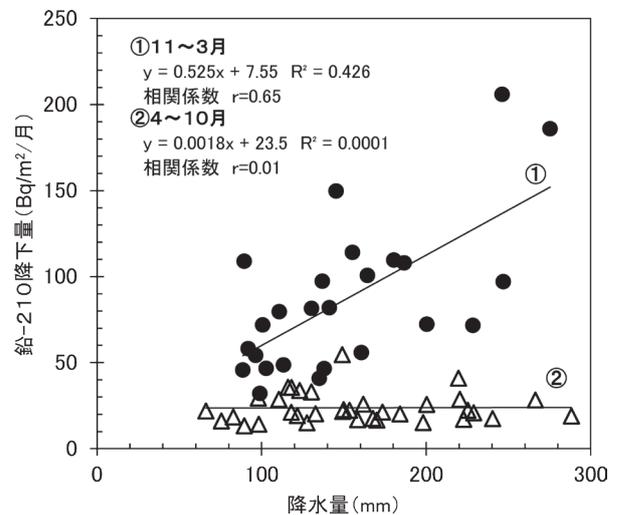


図 5-2 降水量と鉛-210降下量

増加しても降下量に変化は見られなかった。

降水量と降下量との相関関係について、相関係数は①が0.80,0.65であり、②は0.15,0.01であり、①の方が相関関係がある結果となった。

西尾ら¹¹⁾は、熊本県において、降下量と降水量の相関性について検討を行い、降水量が増えると降下量が増加すると報告している。

今回の調査では、①11月～3月は同様に降水量が増加すると降下量が増加する傾向となったが、②4月～10月は異なる傾向となった。

異なる傾向となった理由について、ベリリウム-7、鉛-210の降下量と降水中濃度との関係を検討した。その結果を図5-3、5-4に示す。図中の①②は降下量と降水量の関係で用いたグループとしている。

ベリリウム-7、鉛-210の①②とも、降下量が増加すると降水中濃度も上昇する傾向となっている。

図2の降下量の季節変動が図4の降水中濃度の季節変動と似ていることや図3の降水量の季節変動とは似てい

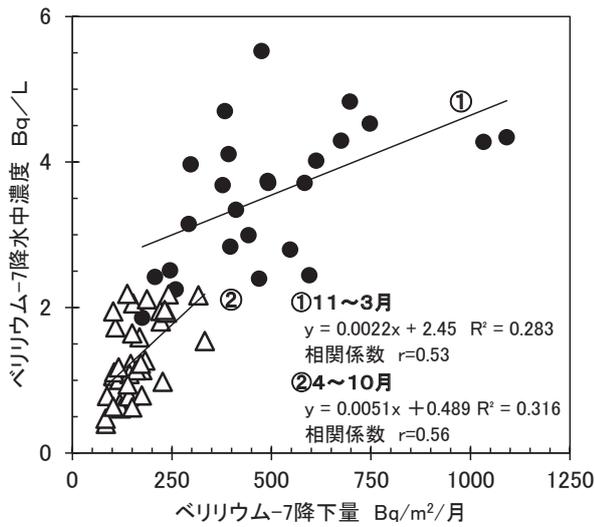


図 5-3 ベリリウム-7降下量と降水中濃度

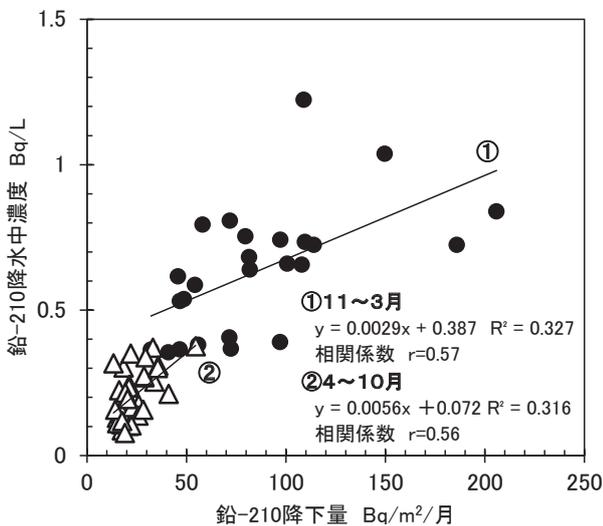


図 5-4 鉛-210降下量と降水中濃度

ないこと、図 5-3、5-4 に示すように降水量が多い時は降水中濃度も高いことから、降水量は降水量よりも降水中濃度の方がより密接な関係にあると考えられた。

3・2 大気浮遊じん

(1) 大気中濃度

ベリリウム-7及び鉛-210の測定結果について過去7年間の月別平均値を表3に、変動状況を図6-1、6-2に示す。

ベリリウム-7の大気中濃度（地点別平均）は、4.10～5.52mBq/m³（平均濃度4.72mBq/m³）であった。金沢の大気中濃度（4.69mBq/m³）は能登地域4地点（4.10～5.52mBq/m³（平均4.73mBq/m³））とほぼ同程度であった。

鉛-210の大気中濃度（地点別平均）は、0.84～1.02mBq/m³（平均濃度0.92mBq/m³）であった。金沢の大気中濃度（0.89mBq/m³）は能登地域4地点（0.84～1.02mBq/m³（平均0.93mBq/m³））とほぼ同程度であった。

ベリリウム-7の大気中濃度（全地点月別平均）は、3～5月（5.63～5.94mBq/m³）、10～11月（5.55～5.60mBq/m³）が高く、6～8月（2.33～4.10mBq/m³）が低かった。月別平均値の幅は最も低い月（7月）に比べ、最も高い月（3月）が約2.5倍であった。

鉛-210の大気中濃度（全地点別平均）は、2～3月（1.15～1.26mBq/m³）、10～11月（1.02mBq/m³）が高く、7～8月（0.60～0.70mBq/m³）、12月（0.84mBq/m³）が低かった。月別平均値の幅は最も低い月（7月）に比べ、最も多い月（3月）が約2.1倍であった。

図6-1、6-2からベリリウム-7、鉛-210とも全地点でほぼ同様の季節変動となっており、2～3月、10～

表 3 大気浮遊じん中のベリリウム-7、鉛-210濃度（月別平均値）（平成25年度～令和元年度）

	志賀局*1		福浦局*1		末坂局*1		門前局*2		金沢*1		全地点	
	ベリリウム-7 mBq/m ³	鉛-210 mBq/m ³										
4月	5.60	1.02	5.36	0.89	4.75	0.79	6.91	0.95	6.03	0.93	5.73	0.92
5月	5.61	0.83	5.16	0.88	4.59	0.76	6.91	0.94	5.86	0.88	5.63	0.86
6月	3.95	0.91	3.64	0.82	3.65	0.81	5.15	0.97	4.12	0.88	4.10	0.88
7月	2.40	0.62	2.23	0.57	2.16	0.55	2.50	0.64	2.36	0.59	2.33	0.60
8月	2.59	0.72	2.52	0.68	2.31	0.67	2.54	0.70	2.60	0.73	2.51	0.70
9月	4.60	0.84	4.25	0.77	4.16	0.85	5.57	0.97	4.23	0.79	4.56	0.85
10月	5.81	1.03	5.50	0.96	5.06	0.95	6.29	1.19	5.36	0.94	5.60	1.02
11月	5.41	1.02	5.49	1.02	4.67	0.89	6.82	1.23	5.35	0.94	5.55	1.02
12月	4.90	0.88	4.69	0.84	4.00	0.74	5.65	0.98	4.62	0.77	4.77	0.84
1月	4.72	1.06	4.75	1.02	3.94	0.90	5.29	1.06	4.66	0.93	4.67	0.99
2月	5.34	1.18	5.29	1.16	4.60	1.03	5.96	1.33	5.24	1.05	5.29	1.15
3月	6.00	1.38	5.88	1.30	5.33	1.17	6.63	1.21	5.86	1.22	5.94	1.26
平均値	4.74	0.96	4.56	0.91	4.10	0.84	5.52	1.02	4.69	0.89	4.72	0.92
標準偏差	1.15	0.20	1.14	0.19	0.95	0.16	1.47	0.20	1.16	0.15	1.16	0.17
最低値**3	1.64	0.36	1.48	0.37	1.43	0.33	2.31	0.53	1.70	0.40	1.43	0.33
最高値**3	7.94	1.63	7.88	1.56	7.81	1.52	7.61	1.47	8.17	1.45	8.17	1.63

*1) 平成25年度～令和元年度 *2) 平成30年度～令和元年度 *3) 全データの範囲

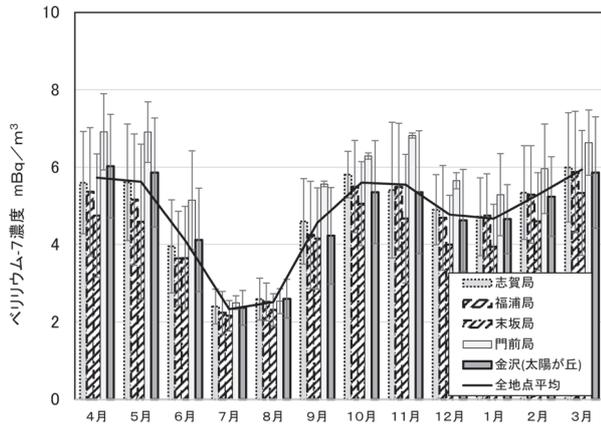


図 6-1 大気浮遊じん中のベリリウム-7濃度 (月別平均値)

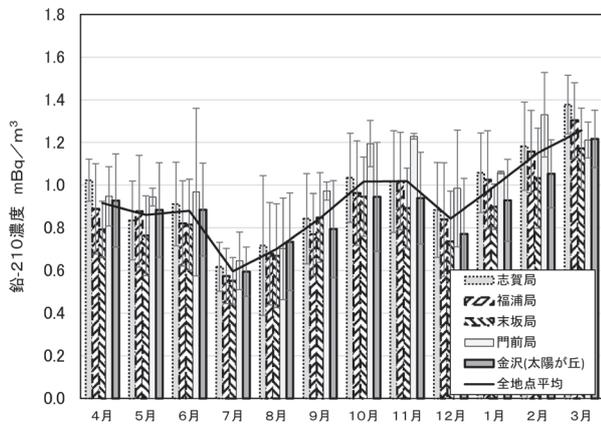


図 6-2 大気浮遊じん中の鉛-210濃度 (月別平均値)

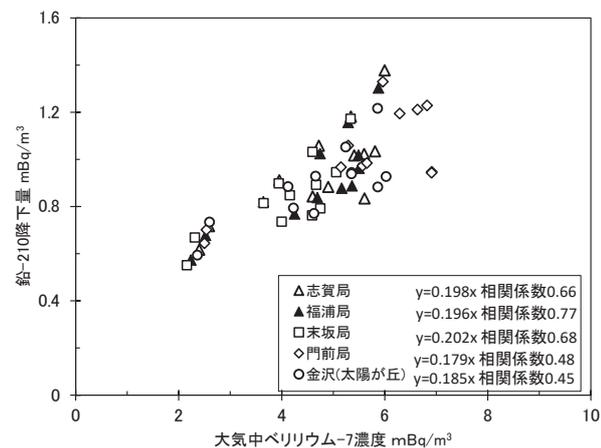


図 6-3 大気中ベリリウム-7, 鉛-210濃度の相関関係

11月に高く、7～8月、12月に低い二山型であった。
今回と同様の結果は、山口ら⁵⁾の本県能美市及び獅子吼高原(白山市)での観測や土井ら¹²⁾のつくば市での観測でも得られている。

ベリリウム-7, 鉛-210の大気中濃度(地点別平均値)の相関関係について、図6-3に示す。相関係数は0.45～0.77であり、降下量よりも相関関係が低い結果となった。

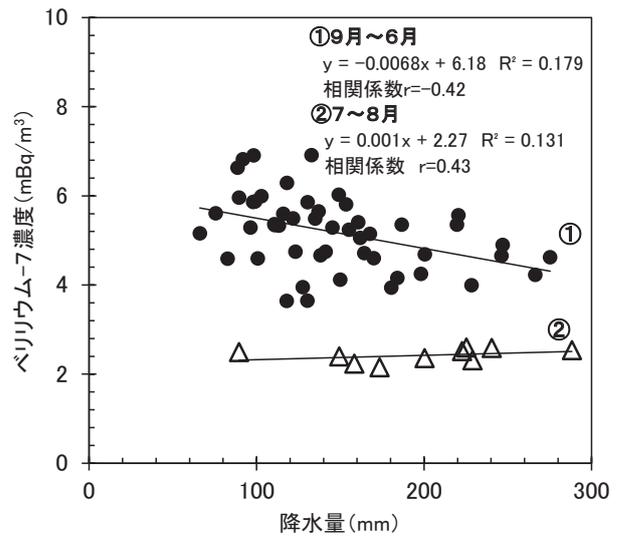


図 7-1 降水量と大気中ベリリウム-7濃度

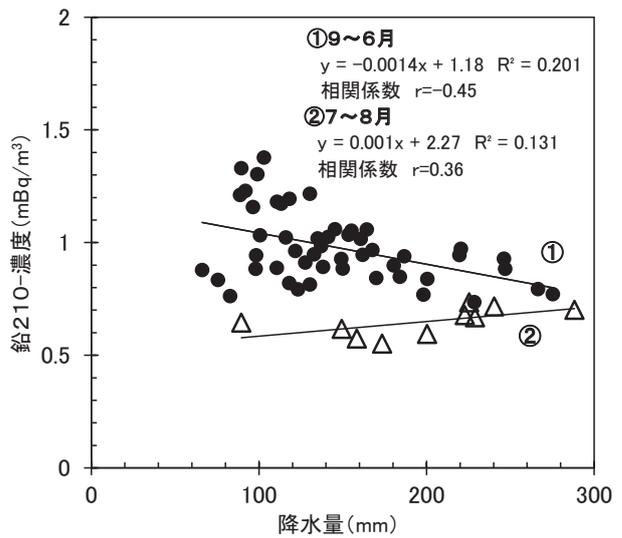


図 7-2 降水量と大気中鉛-210濃度

(2) 大気中濃度と降水量との関係

ベリリウム-7, 鉛-210の大気中濃度と降水量の関係を図7-1, 7-2に示す。

ベリリウム-7, 鉛-210の大気中濃度と降水量の分布から、①9月～6月, ②7月～8月の2つのグループに分け、それぞれのグループから求めた近似式を図中に示す。

①はベリリウム-7, 鉛-210とも傾きが負となっており、降水量の増加に伴い、大気中濃度が減少する傾向であった。

②はベリリウム-7, 鉛-210とも、降水量が増えても大気中濃度の変化は見られなかった。

降水量と大気中濃度との相関関係について、相関係数は①が-0.42, -0.45であり、②は0.43, 0.36であった。

西尾ら¹¹⁾も今回の結果同様、7月, 8月を除き降雨の

表 4 降下物中、大気浮遊じん中ベリリウム-7、鉛-210の変動状況及び変動要因

季節	石川県内の降水量	降下物		大気浮遊じん		新潟地方気象台HP ¹⁴⁾	特徴的な気団
		ベリリウム-7	鉛-210	ベリリウム-7	鉛-210	北陸の気候の特徴	
春	4月	少ない		高い		低気圧と高気圧が交互に日本付近を西から東へ通過。低気圧の通過後には北からの冷たい空気が流れ込み、気温が下降。	揚子江気団
	5月	特に少ない	少ない	少ない	高い		
	6月		少ない	少ない	低い		
夏	7月		少ない	少ない	特に低い	梅雨の時期。梅雨末期には、しめった空気が梅雨前線に流れ込み、局所的に大雨となる。	梅雨時期 オホーツク海気団 小笠原気団
	8月	特に多い	少ない	少ない	特に低い		
	9月	特に多い	少ない	少ない	特に低い		
秋	10月		少ない	高い	高い	低気圧と高気圧が交互に日本付近を西から東へ通過。雨の日と晴れの日が交互になる。	揚子江気団
	11月		多い	高い	高い		
	12月	特に多い	特に多い	特に多い	低い		
冬	1月		特に多い	特に多い		11月頃になると低気圧の通過後に一時的に冬型の気圧配置となり、寒気の影響でくもりや雨の日が増える。	シベリア気団
	2月	少ない	多い	多い	特に高い		
	3月	特に少ない			特に高い		

※全地点平均値と標準偏差の関係から
 1σ以上違いがあるものを「特に多い」「特に少ない」「特に高い」「特に低い」と記載
 0.5σ～1σ以上違いがあるものを「多い」「少ない」「高い」「低い」と記載

増加により大気中濃度が低下する傾向を確認したと報告している。

3・3 季節変動の要因

(1) ベリリウム-7、鉛-210の生成要因からの特徴

ベリリウム-7は成層圏・対流圏で生成されたもの(宇宙線生成核種)であり、成層圏下部及び対流圏上部では濃度が高く、生成率は高緯度が高く赤道付近では極小になることが知られている⁴⁾⁷⁾。従って、低緯度よりも高緯度の空気塊に多く含まれていると考えられる。

鉛-210は地面から大気中に放出された地殻起源のラドン-222の子孫核種である。降下物、大気浮遊じん中の鉛-210の起源については、遠方起源として広大な面積を持つユーラシア大陸と近傍起源として日本列島内がある。ラドン-222から鉛-210が成長するまでに時間を有することからほとんどが遠方起源であるユーラシア大陸で放出されたラドン-222の子孫核種であると考えられる。

(2) ベリリウム-7、鉛-210の季節変動の要因

3・1及び3・2から得られたベリリウム-7、鉛-210、降水量の月別平均値及び標準偏差から得られた傾向を表4に示す。あわせて、北陸の気候の特徴¹⁴⁾や季節ごとに特徴づけられる気団も併せて示す。

ア 降下物

ベリリウム-7の降下量は、表4に記載のとおり、11～2月に多く、5月～9月に少なくなった。

この要因について、その季節と関係がある気団との関係から、11月～2月はベリリウム-7が高濃度の高緯度の気団(シベリア気団)からの影響を受けるため多くな

り、6月～9月はベリリウム-7が低濃度である低緯度の気団(小笠原気団・赤道気団)の影響を受けるため少なくなったと考えられた。

鉛-210の降下量は、表4に記載のとおり、12月～2月に多く、5月～10月に少なくなった。

この要因について、その季節と関係がある気団との関係から、5月～10月は鉛-210が低濃度である海洋性の気団(オホーツク海気団・小笠原気団・赤道気団)の影響を受けるため少なく、12月～2月は鉛-210が高濃度の大陸性の気団(シベリア気団)からの影響を受けるため高くなったと考えられた。

ベリリウム-7、鉛-210の降下量が12月から2月に多くなった原因について、山本ら⁴⁾は、高緯度のベリリウム-7濃度が高い極気団の流れ(冬期時の偏西風南下によるシベリアやモンゴルの高気圧の日本海への流れ込み)や大陸表層付近で高濃度になっている大気中鉛-210の季節風による日本海への吹き出しが日本海での上昇気流・対流雲の発生、それに伴う降雪の一連のプロセスによるものと考えられるとしている。

イ 大気浮遊じん

大気浮遊じん中ベリリウム-7濃度は、表4に記載のとおり、10月～11月、3月～5月に高く、6～8月に低くなった。

10月～11月、3月～5月に高くなった要因は、山口ら⁵⁾は同時期に成層圏から対流圏への大気の流入が活発になること¹⁵⁾や流入したベリリウム-7が偏西風により日本列島へ運ばれるため高くなるとしている。

6月～8月に濃度が低くなった要因は、ベリリウム-7

表5 降下物中・大気中の鉛-210/ベリリウム-7比 (平成25年度～令和元年度)

	志賀局 ^{*1}			福浦局 ^{*1}			末坂局 ^{*1}			門前局 ^{*2}			金沢 ^{*1}			全地点		
	大気中	降下物中	降下物/大気	大気中	降下物中	降下物/大気	大気中	降下物中	降下物/大気									
4月	0.18	0.17	0.94	0.17	0.17	1.03	0.17	0.15	0.91	0.14	0.08	0.61	0.15	0.17	1.12	0.16	0.15	0.93
5月	0.15	0.16	1.05	0.17	0.16	0.94	0.17	0.17	1.03	0.14	0.09	0.69	0.15	0.16	1.04	0.15	0.15	0.96
6月	0.23	0.13	0.57	0.23	0.20	0.89	0.22	0.19	0.85	0.19	0.13	0.68	0.21	0.13	0.62	0.22	0.16	0.72
7月	0.26	0.18	0.71	0.26	0.19	0.76	0.26	0.21	0.81	0.26	0.13	0.50	0.25	0.18	0.72	0.26	0.18	0.70
8月	0.28	0.13	0.46	0.27	0.21	0.77	0.29	0.25	0.86	0.28	0.13	0.46	0.28	0.13	0.45	0.28	0.17	0.60
9月	0.18	0.12	0.68	0.18	0.15	0.82	0.20	0.17	0.83	0.17	0.12	0.69	0.19	0.12	0.66	0.19	0.14	0.74
10月	0.18	0.12	0.69	0.18	0.17	0.95	0.19	0.14	0.76	0.19	0.15	0.81	0.18	0.12	0.70	0.18	0.14	0.78
11月	0.19	0.14	0.77	0.19	0.16	0.85	0.19	0.11	0.55	0.18	0.15	0.84	0.18	0.14	0.82	0.18	0.14	0.76
12月	0.18	0.17	0.95	0.18	0.15	0.86	0.18	0.13	0.71	0.17	0.20	1.13	0.17	0.17	1.02	0.18	0.16	0.93
1月	0.22	0.20	0.89	0.22	0.17	0.77	0.23	0.16	0.71	0.20	0.21	1.07	0.20	0.20	1.00	0.21	0.19	0.88
2月	0.22	0.19	0.84	0.22	0.19	0.85	0.22	0.18	0.81	0.22	0.23	1.03	0.20	0.19	0.93	0.22	0.19	0.89
3月	0.23	0.20	0.86	0.22	0.18	0.82	0.22	0.20	0.90	0.18	0.15	0.84	0.21	0.20	0.95	0.21	0.19	0.88
平均値	0.21	0.16	0.78	0.21	0.18	0.90	0.22	0.16	0.76	0.19	0.15	0.80	0.20	0.16	0.87	0.21	0.16	0.79
標準偏差	0.04	0.03	0.16	0.03	0.02	0.08	0.03	0.04	0.12	0.04	0.04	0.21	0.04	0.03	0.20	0.04	0.02	0.11
最低値 ^{**3}	0.12	0.06	0.33	0.12	0.05	0.32	0.12	0.05	0.25	0.13	0.06	0.27	0.09	0.07	0.27	0.09	0.05	0.25
最高値 ^{**3}	0.38	0.34	1.35	0.37	0.37	2.17	0.43	0.31	1.45	0.31	0.25	1.32	0.36	0.32	1.88	0.43	0.37	2.17

※1) 平成25年度～令和元年度 ※2) 平成30年度～令和元年度 ※3) 全データの範囲

が低濃度である低緯度の気団（小笠原気団・赤道気団）の影響を受けるため低くなったと考えられた。

大気浮遊じん中の鉛-210は、表4に記載のとおり、10月～11月、2月～3月に高くなり、7月～8月、12月に低くなった。

この要因について、その季節と関係がある気団との関係から、10月～11月、2月～3月は鉛-210が高濃度の大陸性の気団（揚子江気団、シベリア気団）からの影響を受けるため高くなったと考えられた。7月～8月は鉛-210が低濃度である海洋性の気団（オホーツク海気団・小笠原気団・赤道気団）の影響を受けるため低くなったと考えられた。

なお、3・2(2)において、9月～6月に降水量増加に伴い大気中濃度が低下する傾向が観測されている。気団や季節風の影響の他に降雨が大気中濃度の季節変動の要因になっている可能性もあるが、阿部は当県と同様に二山型となる季節変動は世界中の中緯度地帯で見られる⁷⁾としていることから、降雨が大気中濃度の季節変動に与える影響は小さいと考えられた。

3・4 鉛-210/ベリリウム-7放射能比

降下物中及び大気浮遊じん中の鉛-210/ベリリウム-7放射能比（以下「放射能比」という。）を比較した結果を表5に、変動状況を図8-1、8-2に示す。

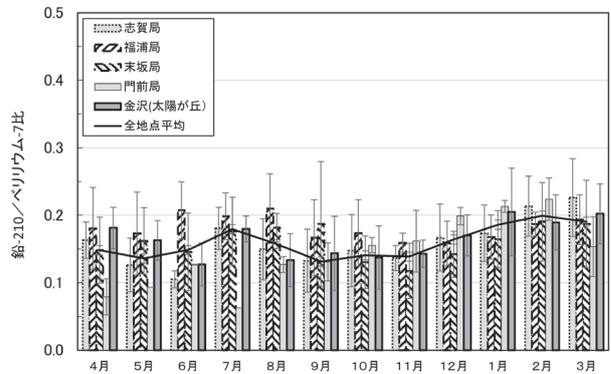


図8-1 降下物中の鉛-210/ベリリウム-7比(月別平均値)

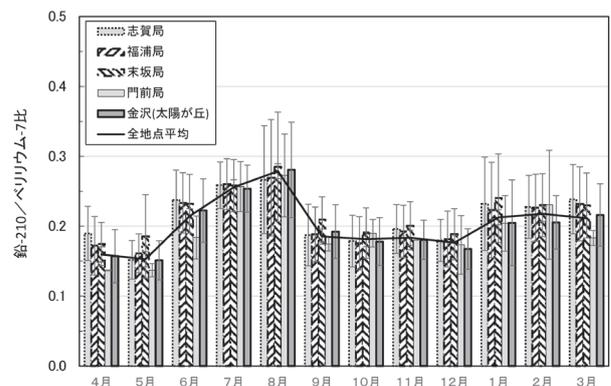


図8-2 大気浮遊じん中鉛-210/ベリリウム-7比(月別平均値)

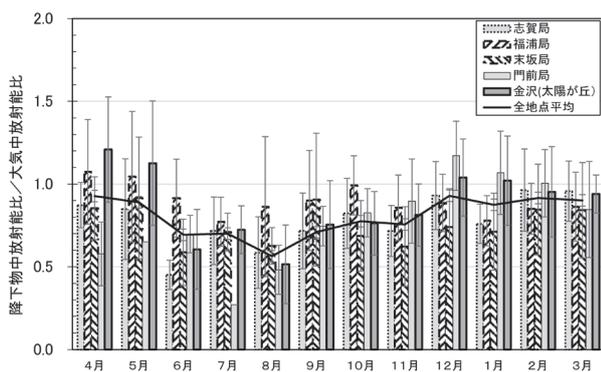


図 8-3 降下物中放射能比/大気中放射能比(月別平均値)

(1) 降下物中及び大気浮遊じん中の放射能比

降下物中の放射能比(地点別平均)は、0.15~0.18(平均0.16)であり、1月~3月(全地点平均0.19)が高く、9月~11月(全地点平均0.14)が低くなった。

大気浮遊じん中の放射能比(地点別平均)は、0.19~0.22(平均0.21)であり、6月~8月(全地点平均0.22~0.28)に高く、4月~5月(全地点平均0.15~0.16)に低くなった。

この変動は、図 2-1, 2-2, 6-1, 6-2に見られるようにベリリウム-7, 鉛-210の季節による変動の増減度合いが異なることが原因であると考えられた。

(2) 降下物中放射能比/大気浮遊じん中放射能比

[降下物中鉛-210/ベリリウム-7放射能比](以下「降下物中比」という。) / [大気浮遊じん中鉛-210/ベリリウム-7放射能比](以下「大気浮遊じん中比」という。)の比較を行った結果を表 5 に、変動状況を図 8-3 示す。

降下物中比/大気浮遊じん中比(地点別平均)は0.76~0.90(平均0.79)であり、1未満であった。

ベリリウム-7は宇宙線生成核種であり、鉛-210は地殻起源の核種であることから、ベリリウム-7, 鉛-210の鉛直分布は高度が高いほどベリリウム-7は高く、鉛-210は低くなり、比については高度が高いほど下がるのが予想される。

このことから、地上で試料を採取している大気浮遊じん中比に比べ、上空から降ってくる降下物中比は小さく、降下物中比/大気浮遊じん中比が1未満になったものと考えられた。

4 まとめ

降下物, 大気浮遊じん中に観測される宇宙線生成核種であるベリリウム-7と地殻起源核種である鉛-210の季節変動について検討を行った。

降下物中のベリリウム-7, 鉛-210については12月~2月に多く、5月~9月に少ない一山型で、金沢の降下

量が能登地域4地点に比べて多かった。降水量と降水中濃度の季節変動は似ており、降水量の季節変動とは似ていないことから、降水量は降水量よりも降水中濃度と密接な関係があると考えられた。

大気浮遊じん中のベリリウム-7, 鉛-210濃度については、2~3月, 10~11月に高く、7~8月, 12月に低い二山型であった。地点間の違いは見られなかった。9月~6月に降水量増加に伴い濃度が低下する傾向が見られたが、他の月では見られなかった。

ベリリウム-7, 鉛-210の降下量や大気中濃度の季節変動は、日本列島に影響を与えている気団や季節風の影響によるものと考えられた。なお、降水量増加に伴い大気中濃度が低下する傾向が見られたが、同様の季節変動が世界中の中緯度地帯で見られることから、降雨が大気中濃度の季節変動に与える影響は小さいと考えられた。

降下物中比/大気浮遊じん中比は1未満であった。これは、ベリリウム-7, 鉛-210の起源が異なるためと考えられた。

文 献

- 1) 石川県, 志賀町, 北陸電力:「志賀原子力発電所周辺環境放射線監視結果報告書」
- 2) 石川県, 志賀町, 北陸電力:「志賀原子力発電所周辺環境放射線監視年度計画」
- 3) 天野光, 笠井篤:東海村における地表面大気中⁷Be濃度と降下量, 保健物理, 16, 99-103 (1981)
- 4) 山本政儀, 坂口綾, 五十嵐康人, 広瀬勝巳, 青山道夫, C.K.Kim: Pb-210及びBe-7降下量の長期(1991-2002)・広域(2000-2001)観測-日本海域の特徴-, Proceedings of the Fourth Workshop on Environmental Radioactivity, 101-108 (2003)
- 5) 山口芳香, 阿部琢也, 村田祥全, 田中究, 中野佑介, 小村和久:大気中²¹⁰Po, ²¹⁰Pb及び⁷Beをトレーサーとした日本海沿岸地域における環境動態計測, Proceedings of the Ninth Workshop on Environmental Radioactivity, 102-111 (2008)
- 6) 五十嵐康人, 吉岡勝廣, 澤庸介, 小村和久, 高橋宙, 堤之智, 土器屋由紀子, 松枝秀和:⁷Beと²²²Rnを大気トレーサーとして利用した富士山頂での大気科学観測, Proceedings of the Fifth Workshop on Environmental Radioactivity, 124-136 (2004)
- 7) 阿部道子:大気中⁷Beの時間的変動と滞留時間, エアゾール研究, 10 (4), 283-288 (1995)
- 8) 橋本桂輔, 堀秀朗, 山岸喜信, 中山哲彦, 榊田武史, 泉善博:降下物中のベリリウム-7とカリウム-40について, 石川県保健環境センター研究報告書, 37, 57-68 (2000)

- 9) 中村能則, 藤井明洋, 小浦利弘, 吉本高志, 柿本均: 金沢市太陽が丘における放射性降下物の年間変動について, 石川県保健環境センター研究報告書, **47**, 84-87 (2010)
- 10) 小谷口久美子, 浜道啓太, 藤井明洋, 吉本高志, 小浦利弘, 浅田尚久, 中村能則, 横山暢, 翫幹夫, 柿本均, 堅田勉: 石川県における大気降下物中の放射性核種詳細調査(平成21~24年度), 石川県保健環境センター研究報告書, **50**, 15-21 (2013)
- 11) 西尾宗馬, 草野祐也, 百島則幸: 熊本市におけるBe-7及びPb-210の季節変化と除去過程について, Proceedings of the Fourth Workshop on Environmental Radioactivity, 95-100 (2003)
- 12) 土井妙子, 佐藤深, 佐藤純: 東アジアの大気中²¹⁰Pb濃度, Proceedings of the Fourth Workshop on Environmental Radioactivity, 78-86 (2003)
- 13) 山形武靖, 池田祐一郎, 檜崎幸範, 永井尚生, 松崎博之: 大気中Be-7, Be-10濃度と太陽活動, Proceedings of the Tenth Workshop on Environmental Radioactivity, 89-92 (2009)
- 14) 新潟地方気象台: “北陸地方の天候” <https://www.jma-net.go.jp/niigata/menu/kisetsu/tenkou/>, (参照2020-04-01)
- 15) ABE Takuya, YAMAGUCHI Yoshiko, TANAKA Kiwamu, NAKANO Yusuke, and KOMURA Kazuhisa: Highly Time-Resolved Measurements of Airborne Radionuclides by Extremely Low Background α -ray Spectrometry, Journal of Nuclear and Radiochemical Sciences, **8**, 5-9 (2007)