

〔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4報）

- 降水量と降下量 -

石川県保健環境センター 環境科学部 内田 賢吾・鳥屋子やまと・岡田 真規子
石川県危機管理監室 消防保安課 井上 和幸

〔和文要旨〕

当センターの屋上で採取した降下物中のベリリウム-7及び鉛-210と降水量との関係を検討した。その結果，降水量が増加すると降下量が増加する10月～2月，降水量が増加しても降下量が増加しない6月～9月，降水量及び降下量の相関が低い3月～5月の3グループに分けられた。特に6月～9月は降水量と降水中濃度の関係から降水量が増加しても降下量は増加しないことが分かった。

3～4日間の短期間の調査結果から，降水量が少ない場合に降水中濃度が高くなり，降水量が多い場合に降水中濃度が低くなる傾向が見られた。この原因は雨滴が少ない時は雨滴が多い時よりも1滴当たりの大気浮遊じんの取り込み割合が多くなるためと考えられた。

キーワード：降下物，降水量，ベリリウム-7，鉛-210，乾性沈着，湿性沈着

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，1990年7月から志賀原子力発電所周辺の環境放射線監視において，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，また，大気中に含まれる塵を「大気浮遊じん」として放射能を測定している¹⁾²⁾。

加えて，2018年度から原子力発電所事故時の人工放射性核種の大気沈着プロセスを検討するため，大気浮遊じん及び降下物に含まれるベリリウム-7及び鉛-210に着目し，その変動と挙動について解析・調査を行っている。

第1報³⁾では，降下物及び大気浮遊じんの測定結果より，「降下物中のベリリウム-7及び鉛-210の降下量は12月～2月に多い。」「大気浮遊じん中のベリリウム-7

及び鉛-210の濃度は2月～3月，10月～11月に高い。」「この原因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と考えられる。」ことを報告した。

第2報⁴⁾では，数時間の降下物及び大気浮遊じんの調査結果から，降水，前線の通過，空気塊の動き等の気象状況の変化が降下物中及び大気浮遊じん中のベリリウム-7及び鉛-210の濃度に与える影響について考察した。

第3報⁵⁾では，3～4日間毎に採取した降下物及び大気浮遊じんの調査結果のうち，降水が観測されなかった期間の沈着量をもとに，降下物中の乾性沈着量及び湿性沈着量の割合を検討した。

本報では，第1報³⁾において降水量が増加すると降下量が増加する時期と増加が見られない（又は少ない）時期があると報告しているが，この原因を調査するため，3～4日間毎の降水量とベリリウム-7及び鉛-210の降下量の調査結果を用いて検討を行ったので報告する。

Variation and Behavior of Beryllium-7 and Lead-210 in Fallout and Airborne Dust(4th.Report) - Precipitation Amount and Fallout -. by UCHIDA Kengo, TOYANAGO Yamato and OKADA Makiko (Environmental Science Department, Ishikawa Prefectural Institute of Public Health and Environmental Science) and INOUE Kazuyuki (Fire Fighting and Public Safety Division, Office of the Superintendent for Crisis Management, Ishikawa Prefecture)

Key words : Fallout, Precipitation Amount, Beryllium-7, Lead-210, Dry Deposition, Wet Deposition

表1 月毎の降水量と降下量 (2020年度～2021年度)

月	試料採取期間数	ベリリウム-7						鉛-210					
		降水量 (mm/月)	試料採取期間の1時間当たりの降下量 平均値 (最小～最大) (Bq/m ² /h)				試料採取期間の1時間当たりの降下量 平均値 (最小～最大) (Bq/m ² /h)						
			降下量 (Bq/m ² /月)	試料採取期間降水量=0mm [乾性沈着]	試料採取期間降水量≥0.5mm [乾性沈着+湿性沈着]	降下量 (Bq/m ² /月)	試料採取期間降水量=0mm [乾性沈着]	試料採取期間降水量≥0.5mm [乾性沈着+湿性沈着]					
4	17	163.0	472	0.008	(0.003～0.014)	0.94	(0.06～2.77)	43.2	0.003	(0.001～0.007)	0.084	(0.009～0.222)	
5	17	78.0	195	0.024	(0.010～0.064)	0.35	(0.07～0.91)	26.2	0.005	(0.004～0.007)	0.046	(0.006～0.114)	
6	17	213.0	237	0.010	(0.005～0.015)	0.42	(0.09～1.10)	26.8	0.004	(0.004～0.004)	0.047	(0.004～0.117)	
7	18	197.8	239	0.009	(0.000～0.027)	0.41	(0.00～0.80)	27.1	0.002	(0.000～0.004)	0.046	(0.000～0.105)	
8	18	222.0	159	0.004	(0.000～0.011)	0.26	(0.03～0.81)	21.2	0.003	(0.000～0.007)	0.033	(0.006～0.094)	
9	16	146.5	183	0.007	※8月と10月の平均値を使用	0.30	(0.03～0.69)	20.8	0.002	(0.002～0.002)	0.033	(0.005～0.068)	
10	18	107.5	278	0.010	(0.000～0.024)	0.47	(0.04～2.54)	35.8	0.003	(0.000～0.005)	0.060	(0.005～0.343)	
11	18	252.3	950	0.013	(0.013～0.013)	1.26	(0.05～6.65)	128.4	0.003	(0.003～0.003)	0.174	(0.007～0.760)	
12	17	254.3	1,093	0.013	※11月の平均値を使用	1.56	(0.55～3.25)	168.6	0.003	※11月の平均値を使用	0.243	(0.055～0.539)	
1	18	243.5	953	0.013	※2月の平均値を使用	1.26	(0.21～2.53)	156.8	0.005	※2月の平均値を使用	0.203	(0.032～0.553)	
2	16	179.3	760	0.013	(0.009～0.018)	1.23	(0.10～4.09)	162.0	0.005	(0.004～0.005)	0.266	(0.006～0.718)	
3	17	91.0	277	0.012	(0.006～0.023)	0.50	(0.11～1.25)	42.3	0.006	(0.003～0.011)	0.076	(0.006～0.207)	

2 調査方法

2・1 調査対象

(1) 降下物

降下物(雨水、塵等)は、当センター屋上1mの高さに「角型たらい」(新輝合成(株)120型、面積0.48m²)を設置し採取した。

(2) 降水量

降水量は、当センター屋上に設置されている気象観測装置(光進電気工業製)の観測データを用いた。

2・2 調査期間

2020年4月3日から2022年4月1日までの期間に週2回(主に、月曜から金曜と、金曜から月曜まで(以下、「試料採取期間」という。))採取を行った。

2・3 測定方法

(1) 試料の調製

採取した降下物はビーカーに移した後、採取に用いた角型たらいを塩酸(1+100)及びイオン交換水で洗浄し、洗液と降下物を合わせて蒸発濃縮後、U-8容器に入れて、乾固し、測定試料とした。

(2) 放射能分析(ガンマ線核種分析)

ガンマ線核種分析の方法は、放射能測定法シリーズ⁶⁾に準じた方法とし、ゲルマニウム半導体検出器(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)を用い、測定時間は80,000秒とした。(検出状況によっては最大400,000秒の長時間測定を実施した。)

測定結果については、採取開始から採取終了までの中間日時で半減期の補正を行った。

3 結果と考察

3・1 降水量及び降下物

降水量とベリリウム-7及び鉛-210の降下量の調査結果を月毎にとりまとめ、表1に示す。

降水量は6月～8月、11月～1月に多かった。ベリリウム-7及び鉛-210の降下量は11月～2月に多かった。この傾向は、第1報³⁾と同じであった。

降水量と試料採取期間の1時間当たりの降下量の推移を図1に示す。図から11月～3月は降水量の増加に伴って降下量が増加し、一方、4月～10月は降水量が増加しても降下量が増加しない傾向が見られた。この傾向は

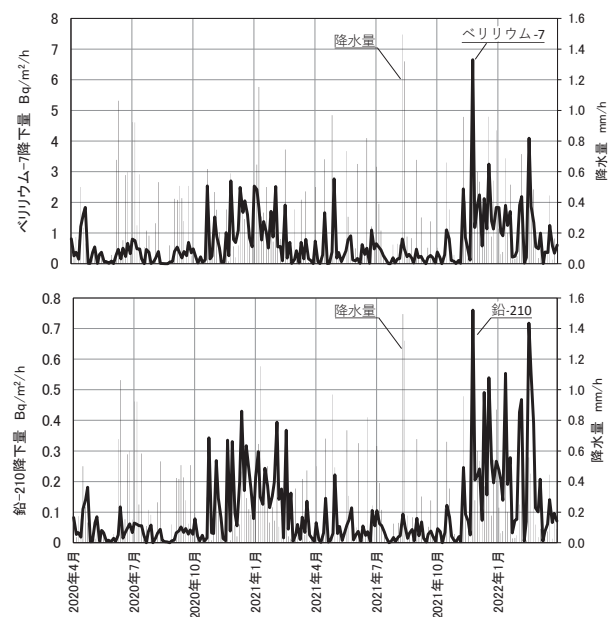


図1 降水量と降下量の推移 (2020年4月～2022年3月)

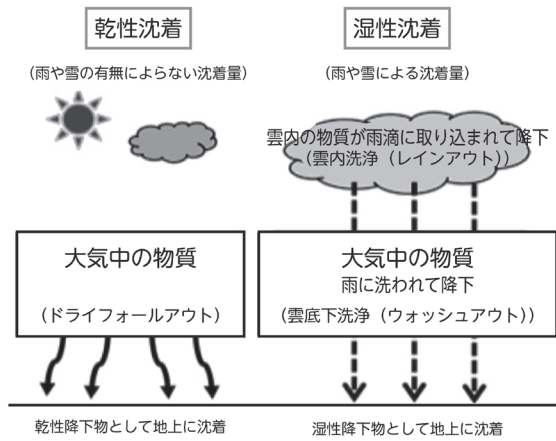


図 2 乾性沈着と湿性沈着

2021 年度の方がより顕著であった。

表 1 及び図 1 から、調査期間中の降水量と降下量は概ね例年と同様の変動状況となっており、特異な気象状況ではなかったと考えられた。

3・2 降水量と湿性沈着量

大気中の粒子が地表面に沈着するモデルを図 2 に示す。沈着には、物質が降水を介さずにガス状又は粒子状の状態のまま地表面に降下する「乾性沈着」と、物質が雲や降水に取り込まれて地表面に降下する「湿性沈着」があり⁷⁾、それぞれの量を「乾性沈着量」、「湿性沈着量」という。また、湿性沈着は、雲粒に取り込まれた後、降水により降下する「レインアウト」と、降水によって雲底下で洗浄される「ウオッシュアウト」に分類される⁸⁾⁻¹⁰⁾。

本報では、降水量と降下量の関係について検討を行うため、湿性沈着量のデータが必要であることから、全降下量から乾性沈着量を差し引いて、湿性沈着量を求め、検討を行った。

(1) 乾性沈着量の算出

乾性沈着量は第 3 報⁵⁾と同様に降水量が無かった期間(期間降水量 0mm)を対象に、試料採取期間の 1 時間当たりの降下量を求め、月毎の平均値を求めた。求めた結果を表 1 に示す。乾性沈着量は沈着量が少ないため、長時間測定を行っても不検出となる場合があった。また、平均値を求める際には不検出となった試料は降下量をゼロとして計算した。なお、期間中降水量 0mm が観測されなかった月は 12 月と 1 月であるが、12 月は 11 月の平均値を、1 月は 2 月の平均値を用いた。9 月は期間降水量 0mm が 1 回あったものの、ベリリウム-7 及び鉛-210 は不検出であったため、乾性沈着量は 8 月と 10 月の平均値を用いることとした。

(2) 湿性沈着量の算出

湿性沈着量は全降下量から(1)で求めた乾性沈着量を差し引いて求めた。求めた湿性沈着量を月毎に表 2 に示す。

表 2 月別の湿性沈着量

月	試料採取期間数	降水量		ベリリウム-7 湿性沈着量		鉛-210 湿性沈着量	
		平均値 (最小~最大)	(mm/h)	平均値 (最小~最大)	(Bq/m ² /h)	平均値 (最小~最大)	(Bq/m ² /h)
4	13	0.31	(0.01~0.97)	0.93	(0.06~2.76)	0.081	(0.006~0.219)
5	13	0.14	(0.01~0.73)	0.33	(0.04~0.89)	0.041	(0.001~0.109)
6	14	0.38	(0.06~1.06)	0.41	(0.08~1.09)	0.043	(0.011~0.113)
7	14	0.34	(0.02~0.92)	0.43	(0.14~0.80)	0.048	(0.015~0.103)
8	14	0.37	(0.01~1.50)	0.25	(0.02~0.80)	0.030	(0.002~0.090)
9	15	0.24	(0.01~0.51)	0.29	(0.02~0.69)	0.031	(0.003~0.066)
10	15	0.18	(0.01~0.66)	0.46	(0.03~2.53)	0.057	(0.002~0.340)
11	17	0.34	(0.01~1.31)	1.25	(0.04~6.64)	0.171	(0.003~0.757)
12	17	0.36	(0.04~0.96)	1.55	(0.54~3.24)	0.239	(0.052~0.536)
1	18	0.32	(0.03~1.15)	1.24	(0.20~2.52)	0.199	(0.028~0.549)
2	14	0.30	(0.01~0.75)	1.22	(0.08~4.08)	0.261	(0.011~0.713)
3	14	0.17	(0.01~0.47)	0.49	(0.10~1.24)	0.069	(0.010~0.201)

各月の試料採取期間数は 13~18 あり、1 時間当たりの降水量は 0.01~1.50mm/h、ベリリウム-7 の 1 時間当たりの降下量は 0.02~6.64Bq/m²/h、鉛-210 の 1 時間当たりの降下量は 0.001~0.757Bq/m²/h であった。

(3) 降水量と湿性沈着量の関係

表 1 の降水量と降下量については月毎に傾向が見られることから、月毎の降水量と湿性沈着量の散布図を作成し、近似式の傾き及び相関係数を求めた。得られた近似式の傾き及び相関係数の状況から①降水量が多く、傾きが大きく、相関が高い 10 月~2 月のグループ、②降水量が少なく、傾きが中程度、相関が低い 3 月~5 月のグループ、③降水量が多く、傾きが小さく、相関が高い 6 月~9 月のグループに分類することができた。3 グループに分類

表 3 降水量と湿性沈着量の散布図から求めた近似式の傾き及び相関係数

月	降水量 mm/h	ベリリウム-7		鉛-210		
		傾き	相関係数	傾き	相関係数	
4	0.31	2.02	0.694	0.170	0.679	②3月~5月のグループ 降水量:少 傾き:中 相関:低
5	0.14	1.19	0.667	0.145	0.654	
6	0.38	0.64	0.663	0.083	0.790	
7	0.34	0.97	0.944	0.100	0.871	③6月~9月のグループ 降水量:多 傾き:小 相関:高
8	0.37	0.52	0.933	0.061	0.902	
9	0.24	1.02	0.905	0.104	0.900	
10	0.18	2.51	0.889	0.309	0.848	①10月~2月のグループ 降水量:多 傾き:大 相関:高
11	0.34	3.90	0.957	0.478	0.942	
12	0.36	3.58	0.918	0.556	0.885	
1	0.32	2.86	0.859	0.429	0.783	
2	0.30	3.82	0.908	0.788	0.924	
3	0.17	1.98	0.791	0.270	0.735	

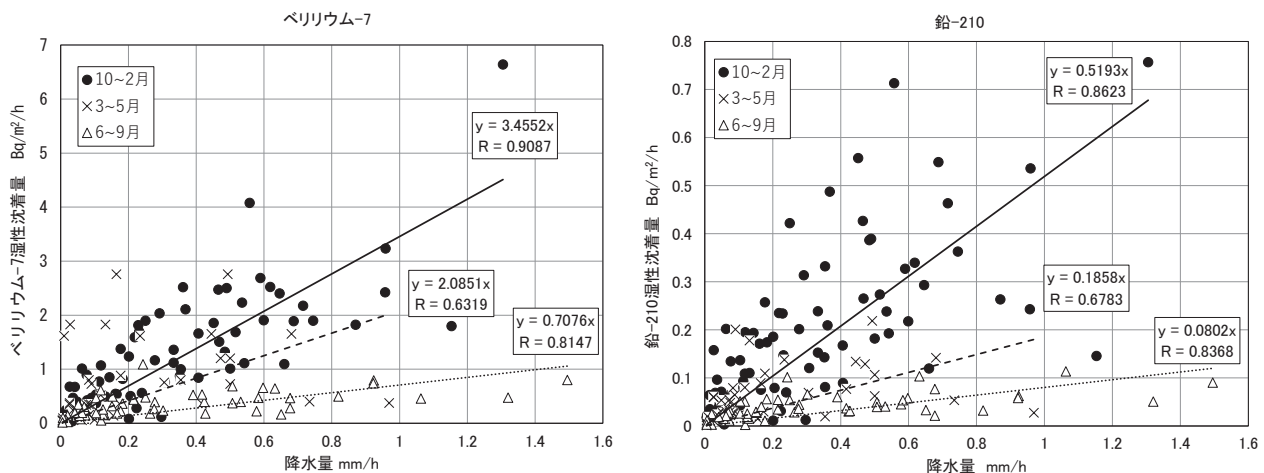


図3 降水量と湿性沈着量の散布図

した降水量と湿性沈着量の散布図を図3に示す。

図から、①10月～2月は降水量が増加すると湿性沈着量が増加するグループ、②3月～5月は降水量及び湿性沈着量とも少なく、分布のばらつきが大きい（相関が低い）グループ、③6月～9月は降水量が増加しても湿性沈着量が増加しないグループに分けられた。

西尾ら¹¹⁾は降水量とベリリウム-7及び鉛-210の降下量について熊本県で観測を行い、10月～4月、5月～9月の2グループに分け比較を行っている。また、中村ら⁹⁾は降水量と硫酸イオン、硝酸イオンの湿性沈着量について寒候期として11月～2月、暖候期として5月～8月の2グループに分け比較を行っている。調査対象物質や調査地点の違いによって、グループ分けは異なるものと考えられた。

(4) 降水量が増加しても降下量の増加が見られない原因

降水量と湿性沈着量について、月毎の傾向が把握できたことから、これをもとに、6月～9月の降水量が増加しても降下量の増加が見られない原因について検討した。ここでは降水と関係する降下量として湿性沈着量を用いた。

表3では降水量(mm/h)に対する湿性沈着量(Bq/m²/h)から近似式を求め、得られた傾きを示したが、この傾きは降水中濃度(Bq/L)を表している。

表3から6月～9月は他の月に比べ傾きが小さく、すなわち降水中濃度が低いため、降水量が増加しても降下量があまり増加しない。加えて、6月、8月は7月、9月に比べ降水中濃度が2～5割程度低くなっている。一方、降水量は6月、8月が7月、9月に比べ1～5割程度高くなっている。降下量は降水量と降水中濃度の積により算出されるが、

6月、8月 降水量 多 × 降水中濃度 低

7月、9月 降水量 少 × 降水中濃度 高

であるため、6月～9月は結果的に同程度の降下量となっ

たと考えられた。

一方、10月～2月は降水中濃度がほぼ一定であることから、降水量の増加に伴い降下量が増加したものと考えられた。

(5) 降水量に対する降水中濃度

(3)で月毎に降水量と湿性沈着量の散布図を作成した際に、同一月内で相関性が高く傾き(降水中濃度)がほぼ一定な月と、同一月内でも降水量の多少により傾き(降水中濃度)が異なる月があった。両者の代表的な散布図の例を図4に示す。

降水量と降水中濃度の関係を調べるため、降水量に対する試料採取期間(3～4日間)毎の降水中濃度(降下量/降水量)を図5に示す。図5は(3)で検討した3グループに分類し示している。

図5からいずれのグループにおいても試料採取期間の降水量が少ないほど降水中濃度が高くなる傾向となり、逆に降水量が多いほど降水中濃度が低くなる傾向となった。

この原因は、降水量が少ない、すなわち雨滴が少ない時は雨滴が多い時よりも雨滴1滴当たりの大気浮遊じんの取り込み割合が多くなるためであると考えられた。

グループ別に比較すると、10月～2月は他の2グループに比べ降水量が少ないとき特に顕著に濃度が高くなった。また、3月～5月はベリリウム-7と鉛-210と比較すると、ベリリウム-7の濃度が高め、鉛-210が低めとなり、異なる傾向を示した。6月～9月は他の2グループに比べ、濃度が低い傾向であった。これらの原因は第1報³⁾で報告した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。

4 まとめ

当センター屋上において、2020年4月3日～2022年4月1日、降下物を週2回採取し、降水量とベリリウム-7

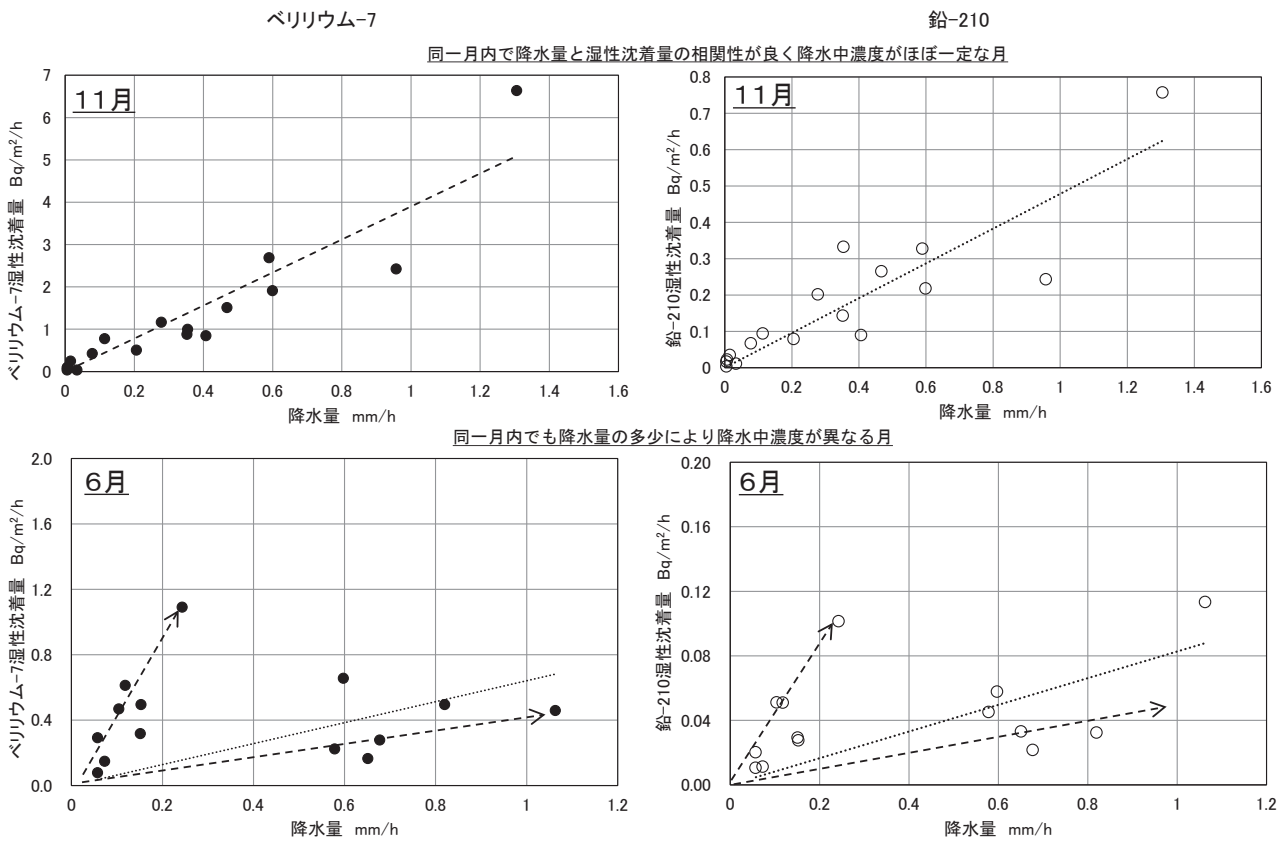


図 4 降水量と湿性沈着量の散布図

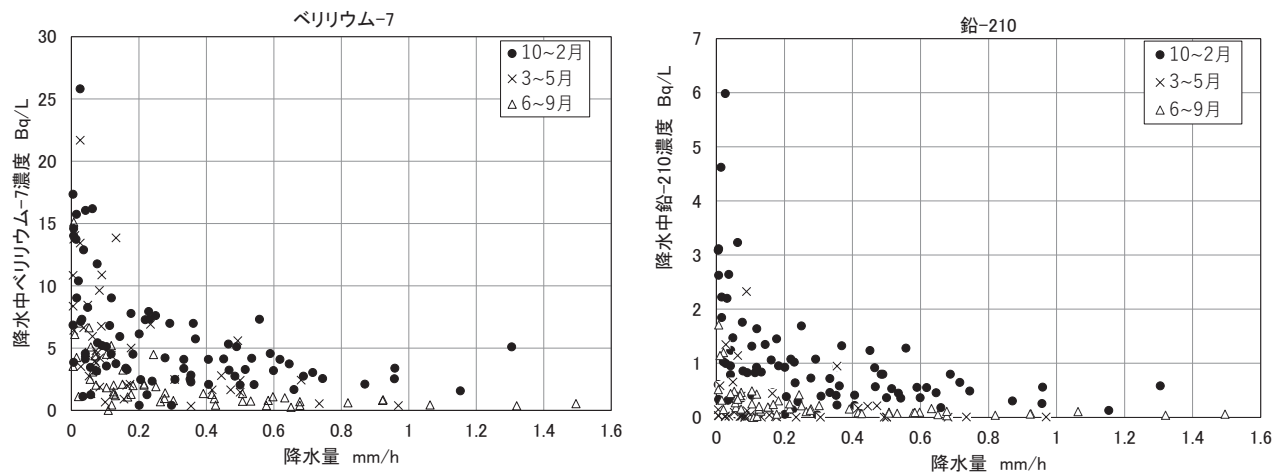


図 5 降水量に対する降水中濃度

と鉛-210の降下量（湿性沈着量）の関係を検討し、以下の結果を得た。

- (1) 降水量に対する降下量との関係から、降水量が増加すると降下量が増加する10月～2月、降水量が増加しても降下量が増加しない6月～9月、降水量と降下量の相関が低い3月～5月の3グループに分けられた。
- (2) 6月～9月の降水量が増加しても降下量が増加しない原因は降水中濃度が低いため、降水量が増加しても降下量があまり増加しないことに加え、6月、8月は

降水量は多いが降水中濃度は低く、7月、9月は降水量は少ないが降水中濃度は高いため結果的に同程度の降下量となったと考えられた。

- (3) 3～4日間の短期間の調査結果から、降水量が少ない場合に降水中濃度が高くなり、降水量が多い場合に降水中濃度が低くなる傾向が見られた。この原因は、雨滴が少ない時は雨滴が多い時よりも雨滴1滴当たりの大気浮遊じんの取り込み割合が多く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(平成2年度~令和2年度)
- 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(平成2年度~令和2年度)
- 3) 内田賢吾, 宮竹智代, 河野隆史, 小林浩美, 鶴谷亮太, 山口麻美, 吉本高志: 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), 石川県保健環境センター研究報告書, **57**, 8-18(2020)
- 4) 内田賢吾, 河野隆史, 宮竹智代, 鶴谷亮太, 吉本高志, 内川慎互, 川畑俊之: 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2報), 石川県保健環境センター研究報告書, **57**, 65-71(2020)
- 5) 井上和幸, 鳥屋子やまと, 岡田真規子, 内田賢吾: 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3報), 石川県保健環境センター研究報告書, **58**, 43-51(2021)
- 6) 原子力規制庁: ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー, 放射能測定法シリーズ7(平成2年改訂)
- 7) 笠原三紀夫: 大気汚染物質の乾性, 湿性沈着, 環境技術, **12**(12), 35-42(1983)
- 8) 藤田慎一, 三浦和彦, 大河内博, 速水洋, 松田和秀, 櫻井達也: 越境大気汚染の物理と化学, 2訂版, 181-182, 成山堂書店(2021)
- 9) 中村圭三, 三谷雅肆: 硫酸イオンと硝酸イオンの湿性沈着量と月間降水量との関係, 天気, **56**(3), 39-43, 日本気象協会(2009)
- 10) 笠原三紀夫: 大気汚染物資の降雨洗浄作用, 環境技術, **23**(10), 26-30(1994)
- 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)