〔短報〕

石川県における空間放射線量率の時間的・地域的変動に ついての解析(第2報)

- 後方流跡線解析による事例解析 -

石川県保健環境センター 環境科学部 吉本 高志・内田 賢吾

〔和文要旨〕

降雨による空間放射線量率の増加量が大きい事例(2020年10月4日22:00から10月5日6:00)と小 さい事例(2020年8月13日3:00から12:00)について,後方流跡線解析と気象状況を比較することで, 空間放射線量率の増加量の違いの要因について検討し,それぞれの事例のメカニズムについて考察し た。増加が大きい事例では、ラドン子孫核種の濃度が高い大陸由来の気塊が雲に取り込まれたためと 推定した。一方,増加量が小さい事例では、ラドン子孫核種の濃度の低い海域由来の気塊のみが雲に 取り込まれたためと推定した。

キーワード:空間放射線量率、時間的変動、地域的変動、後方流跡線解析

1 はじめに

石川県では、志賀原子力発電所(以下「発電所」と いう。)周辺30km圏内の24地点に環境放射線観測局(以 下「観測局」という。)を設置し、環境中のガンマ線に よる空間放射線量率(以下「線量率」という。)の常時 監視を行っている(図1)。併せて、降水量等の気象要 素も測定している。

観測される線量率は,降雨によって増加することが 知られている。これは大気中のラドン子孫核種が雨雲 内で雨滴に取り込まれ,降雨によって地表面に降下し てくるためである¹⁾。ラドンは,地表に存在するウラン -238(ウラン系列)やトリウム-232(トリウム系列) の子孫核種であり,主に陸域の地表から大気中へ放出 されている。

線量率の変動状況は、大気中ラドン子孫核種の濃度 や降雨の状況によって異なることが知られている。藤 波ら²⁾は、1994年度から2004年度までの全国の線量率 データから、日本海側では線量率の年最高値は11月か ら1月にかけて集中して出現していることを報告してい る。また,木立ら³は,後方流跡線解析により,大陸 を発生源とするラドン子孫核種が,晩秋から冬季にか けて大陸性気団により日本に輸送され,降雨雪時に線 量率が大きく増加することが多いと報告している。

前報⁴⁾では、2013年度から2018年度までの本県にお ける線量率の変動状況について解析し、線量率の年最 高値は、11月から2月に多く観測され12月に全体の約 半数が観測されていること、5月から10月にはほとんど 観測されていないこと等を報告した。

本報では、志賀局における測定結果を基に降雨によ る線量率の増加量が大きい事例と小さい事例を選定し、 それぞれの事例について後方流跡線解析と気象状況を 比較することで、線量率の増加量の違いの要因につい て検討し、それぞれの事例のメカニズムについて考察 したので報告する。

2 方 法

2.1 測定

A Study on Temporal and Regional Variations of Dose Rate in Ishikawa Prefecture (2nd Report) – Case Study by means of Back Trajectory Analysis –. by YOSHIMOTO Takashi and UCHIDA Kengo (Environmental Science Department, Ishikawa Prefectural Institute of Public Health and Environmental Science)

Key words : Dose Rate, Temporal Variation, Regional Variation, Back Trajectory Analysis



図1 環境放射線観測局設置地点図

測定に使用した線量率測定器,雨量計及び感雨計の 仕様を表1に示す。測定間隔は1分毎であり,連続する 1分値10個の平均から10分値を算出している。本報で は、この10分値を用いて解析を行った。

表1 線量率測定器の仕様と測定項目

線量率測定器	器 型式	アロカ株式会社製 ASM-R22-21553&B		
検出器		3"φ×3" NaI(Tl)シンチレーション検出器		
検出器の位置		地上1.8m		
	測定エネルギー範囲	50keV~3MeV		
	測定項目	線量率、ガンマ線スペクトル、計数率、通過率		
雨量計	型式	光進電気工業株式会社製 RT-1030 又は 小笠原計器株式会社製 RS-102-N1-H		
	測定方法	温水加温受水口-転倒升方式 又は パイプヒータ付転倒升方式		
	分解能	0.5mm		
感雨計	型式	光進電気工業株式会社製 TRW-011 又は 小笠原計器株式会社製 NS-100		
	測定方法	電極間抵抗変化方式		

2・2 気象データ

雨雲レーダーによる降水強度分布図及び衛星赤外画 像については、日本気象協会Webサイト⁵⁾より入手し た。高層気象データについては、気象庁Webサイト⁶⁾ 及びWyoming大学大気科学部Webサイト⁷⁾より入手 した。また、高層気象データを用いて湿数⁸⁾を算出した。

2.3 後方流跡線解析

後方流跡線解析については,独立行政法人国立環境 研究所地球環境研究センターのMETEX⁹⁾を使用し,3 次元法により計算を行った。

3 結果と考察

3・1 事例の概要

本報では、志賀局における測定結果を基に降雨によ る線量率の増加量が大きい事例と小さい事例を選定し た。増加量が大きい事例として2020年10月4日22:00か ら10月5日6:00の事象を、増加量が小さい事例として 2020年8月13日3:00から12:00の事象をそれぞれ解析し た。表2に、それぞれの事例の概要を示す。増加量が大 きい事例については、2020年度における年最大値であ る125.3 nGy/hを観測しており解析対象とした。一方、 増加量が小さい事例については、最大降水強度が、増 加量が大きい事例と同程度であるのに、線量率がほと んど増加していないため解析対象とした。

表2 降雨による線量率増加の事例の概要

		志賀局における測定値の範囲			
	期間	泉量率の最大値 (nGy/h)	最大降水強度 (mm/10分)	積算降水量 (mm)	
増加量が大きい事例	2020年10月4日22: ~10月5日6:00	00 125.3	9.0	29.5	
増加量が小さい事例	2020年8月13日3:0 ~8月13日12:00	50.3	8.5	17.0	

※2017年4月から2020年3月までの線量率の平均値:48.6 nGy/h

3・2 線量率の増加量が大きい事例の解析

(1) 気象状況

「石川県の気象概況 令和2年10月」¹⁰ によると,10 月4日は、はじめ高気圧に覆われ晴れたが、湿った空 気の影響で曇りとなり、雷雨となった所があったとさ れ、10月5日から10月6日にかけては、高気圧に覆われ たが、日本海に停滞した前線や湿った空気の影響で曇 り時々晴れとなり、雨や雷雨となった所があったとさ れている。

10月5日0:00から10月5日3:00までの1時間毎の雨雲 レーダーによる降水強度分布図を図2に示す。北東から 南西に伸びた筋状の雨雲が,時間とともに西から東へ 移動していく様子が確認できた。また降水強度が大き い部分は,能登半島を北西から南東に移動していた。

(2) 線量率と降水強度の変動状況

10月4日22:00から10月5日6:00までの志賀局にお ける線量率及び降水強度の変動状況を図3に示す。志賀 局では、10月4日23:00頃から雨が降り始め、10月5 日0:40頃から雨足が強まり、1:10に降水強度が最大と なり9.0 mm/10分が観測された。その後、2:00頃に雨は 止んだ。線量率は、雨足が強まった10月5日0:40頃か



図2 2020年10月5日0:00から3:00までの雨雲レーダーによる1時間毎の降水強度分布図





ら増加し始め, 1:40に最大値125.2 nGy/hとなった後, 雨が弱まるとともに減少していった。

(3) 後方流跡線解析

到達地点を志賀局上空とし,到達高度500 m, 1000 m、2000 m, 2500 m, 3000 m, 3500 m, 4000 m, 4500 m及び5000 m について10月5日1:00から72時間前まで遡って計算した。

計算結果を図4に示す。後方流跡線は、到達高度別に、 到達高度500 mから1000 mの四国地方から中国地方を 縦断する流跡線、到達高度2000 mから3000 mの東シ ナ海から日本海を通過する流跡線、到達高度3500 m か ら5000 mの大陸から朝鮮半島南部を経由して日本海を 通過する大陸由来の流跡線の3パターンとなった(図4 (a))。このうち、ラドン子孫核種の濃度が高いと考え られる大陸由来の流跡線について、図4(b)に対地高 度分布を示す。対地高度分布図では、丸印及び四角印 を起点から6時間毎にプロットしている。到達高度4500 mの流跡線を見ると、北緯37度付近、東経75度付近に おいて地表付近の気塊が約1日半で高度約8000 mまで 上昇した後、高度を下げながら東に移動し、朝鮮半島 を通り過ぎた後、10月4日19:00頃に日本海上空付近を 通り、志賀局上空に到達していた。

2020年10月4日19:00から10月5日1:00までにおける 衛星赤外画像による雲の動きと到達高度4500mの後方 流跡線の関係を図5に示す。ここで衛星赤外画像中の黒 丸は、その時刻における後方流跡線の位置を示す。雲 は大陸から朝鮮半島上空及び日本海上空を通り能登半 島まで到達しており、後方流跡線と一致していた。 2020年10月4日9:00から10月5日9:00までの、日本海 周辺における高度約5000mの風向の変化と到達高度 4500mの後方流跡線の関係を図6に示す。期間中、後 方流跡線近傍の観測地点において西寄りの風が観測さ れており、雲は後方流跡線に沿って移動していたと推 定された。



図4 2020年10月5日1:00における志賀局上空 500 mから5000 mを到達地点とした後方流跡線

を見ると、10月4日9:00では高度約3500 m以上、10月 4日21:00では高度約2000 mから約4000 m、10月5日 9:00では高度約1000 mから約3500 mと時間の経過とと もに高度が下がっていった。このことから、雲は雲頂 高度を低下させながら能登半島上空に到達し、降雨を もたらしたと考えられた。

以上から推定した2020年10月5日に観測された事例 の模式図を図8に示す。大陸由来のラドン子孫核種の濃 度が高い気塊が高度約8000 mまで上昇し,高度を下げ ながら東進した。朝鮮半島を通り過ぎた日本海上空付 近で,雲の形成に伴い下層から高層まで撹拌されるこ とでラドン子孫核種の濃度が高い気塊が雲に取り込ま れ,雲は雲頂高度を低下させながら能登半島上空に到 達し,ラドン子孫核種を多く取り込んだ降雨により線 量率が大きく増加した。

3・3 線量率の増加量が小さい事例の解析

(1) 気象状況

「石川県の気象概況 令和2年8月」¹¹⁾ によると,8月 12日から8月13日にかけては,湿った空気の影響で, 曇り時々雨となり雷を伴った所があったとされている。

8月13日6:00から8月13日9:00までの1時間毎の雨雲 レーダーによる降水強度分布図を図9に示す。極地的に



図5 2020年10月4日19:00から10月5日1:00までの衛星赤外画像による雲の動きと到達高度4500mの後方流跡線の関係

2020年10月4日9:00から10月5日9:00までの, 松江 及び輪島における湿数の高度分布を図7に示す。雲が形 成されていると考えられる, 湿数が3℃未満の高度分布 強い降雨をもたらす県全域を覆う雨雲が西から東へ移 動していく様子が確認できた。また,8:00頃に志賀局 付近で強い降雨があったことが確認できた。 (a) 2020年10月4日9:00



(c) 2020年10月5日9:00



図6 2020年10月4日9:00から10月5日9:00 までの高度5000m付近における風向の変化







(b) 2020年10月4日21:00



8:00頃に志賀局付近で強い降雨をもたらした雲の発 生状況を確認するため、8月13日3:00から8月13日9: 00までの1時間毎の衛星赤外画像を図10に示す。8月13 日3:00から4:00の間に、若狭沖付近で雲が発生し、 その後発達しながら東進し7:00頃に加賀南部に到達、 8:00頃に能登半島に到達していた。

(2) 線量率と降水強度の変動状況

志賀局における線量率及び降水強度の変動状況を図 11に示す。志賀局では、8月13日6:20頃から雨が降り 始め、7:10頃から雨足が強まり、7:20に最大降水強度 8.5 mm/10分が観測された。その後、8:10頃に雨は止ん



図7 2020年10月4日9:00から2020年10月5日9:00までの松江及び輪島における湿数の高度分布



図8 2020年10月5日に観測された事例の模式図

だ。線量率は、雨足が強まった8月13日7:20から増加 し始め、7:40に最高値の50.3 nGy/hとなった後、雨が 弱まるとともに減少していった。

(3) 後方流跡線解析

到達地点を志賀局上空とし,到達高度500 m, 1000 m、2000 m, 3000 m, 4000 m及び5000 m について8 月13日7:00から72時間前まで遡って計算した。

計算結果を図12に示す。後方流跡線は、到達高度別に、 到達高度500 mから3000 mの東シナ海付近から日本海 を通過する海域由来の流跡線、到達高度4000 m から

(a) 8月13日 6:00



(c) 8月13日 8:00



図9 2020年8月13日6:00から9:00までの雨雲レーダーによる1時間毎の降水強度分布図

5000 mの大陸から朝鮮半島南部を経由して日本海を通 過する大陸由来の流跡線の2パターンとなった。

降雨をもたらした雲が形成された時間帯からの,海 域由来の流跡線及び大陸由来の流跡線の対地高度変化 を図13に示す。なお,海域由来の流跡線の例として到 達高度1000 mの流跡線を,大陸由来の流跡線の例とし て到達高度5000 mの流跡線を図に示した。海域由来の 流跡線の対地高度変化は,対地高度3000 m以下で推移 していたのに対し,大陸由来の流跡線の対地高度変化 は,対地高度3500 m以上で推移していた。

降雨前の8月12日21:00及び降雨後の8月13日9:00の 輪島における湿数の高度分布を図14に示す。降雨の前 後において,湿数が3℃未満となったのは高度約2000 m以下であったことから,降雨をもたらした雲の雲頂 高度は約2000 m以下であったと推定した。このことか ら,高度約2000 m以下の気塊が雲に取り込まれていた と考えられた。

8月13日4:00から7:00までの,衛星赤外画像による雲 の動きと到達高度1000mの後方流跡線の関係を図15に 示す。流跡線の動きと雲の動きはほぼ一致しており, 高度約2000m以下の海域由来の気塊が雲に取り込ま れ,一方,大陸由来の気塊は雲の上空を通過していっ





(a) 8月13日 3:00



(c) 8月13日 5:00



(e) 8月13日 7:00



(b) 8月13日 4:00





(f) 8月13日 8:00



図10 2020年8月13日3:00から8:00までの1時間毎の衛星赤外画像



311 2020年8月13日3.00から12.00までの 志賀局における線量率と降水強度の変動状況 たと考えられた。大気中ラドンの供給源は主に地表に 存在するウラン及びトリウムであることから,海域由 来の気塊のラドン子孫核種の濃度は,大陸由来の気塊 に比べて低いと考えられる¹²⁰。

以上から推定した2020年8月13日に観測された事例 の模式図を図16に示す。ラドン子孫核種の濃度が高い と考えられる大陸由来の気塊及びラドン子孫核種の濃 度が低いと考えられる海域由来の気塊が8月13日3:00 から4:00ごろに若狭沖付近に到達した。この時間帯に



2020年8月13日7:00における志賀局上空 図12 500mから5000mを到達地点とした後方流跡線 雲が発生したが、雲頂高度は約2000mであったため、 ラドン子孫核種の濃度の高い大陸由来の気塊は雲の上 空を通過し、ラドン子孫核種の濃度の低い海域由来の 気塊のみが雲に取り込まれた。雲は発達しながら能登 半島上空に到達し、降雨となったが、雲中のラドン子 孫核種の濃度が低いため線量率の増加量は小さかった。

4 まとめ

降雨による線量率の増加量が大きい事例と小さい事 例について,後方流跡線解析と気象状況を比較するこ とで、線量率の増加量の違いの要因について検討し、 それぞれの事例のメカニズムについて考察した。

増加量が大きい事例(2020年10月4日22:00から10月 5日6:00)では、大陸起源のラドン子孫核種の濃度が高 い気塊が日本海上空付近で雲に取り込まれ、降雨によ



図13 海域由来の後方流跡線と大陸由来の後方流跡線の高度変化の比較



図14 2020年8月12日21:00及び8月13日9:00の輪島における湿数の高度分布



図15 2020年8月13日4:00から7:00までの衛星赤外画像による雲の動きと到達高度1000mの後方流跡線の関係



図16 2020年8月13日に観測された事例の模式図

る線量率の増加量が大きくなったと推定した。

一方,増加量が小さい事例(2020年8月13日3:00から12:00)では、ラドン子孫核種の濃度の低い海域由来の気塊のみが雲に取り込まれたため、降雨による線量率の増加量が小さくなったと推定した。

文 献

- ラドン族調査研究委員会:大気中のラドン族と環境放射能,187-195,社団法人日本原子力学会(1985)
- 2) 藤波直人, 渡辺哲也, 前田高志, 荒木智徳, 山川和彦: 日本の気候区別空間線量率の年間最大値の月別出現 頻度, RADIOISOTOPES, **54**, 569-573 (2005)
- 3) 木立博,石川陽一,佐々木俊行:放射性物質の広 域的拡散に関する基礎的解析(第1報)-環境ガンマ

線線量率に影響を与える天然放射性核種の発生源と 移動経路のバックトラジェクトリー解析-, 宮城県 原子力センター年報, **20**, 10-17 (2002)

- 4) 吉本高志, 鶴谷亮太, 内田賢吾:石川県における 空間放射線量率の時間的・地域的変動についての解 析, 石川県保健環境センター研究報告書, 57, 23-30 (2020)
- 5)日本気象協会,過去の天気,https://tenki.jp/past/,(参 照2021-04-01)
- 6)気象庁,過去の気象データ検索,https://www.data. jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php,(参照2021-04-01)
- 7) Department of Atmospheric Science, University of Wyoming,

http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html,(参 照 2021-12-1)

- 8)岩槻秀明:図解入門最新気象学のキホンがよ~く わかる本第3版,132-136,秀和システム(2017)
- 9)国立環境研究所地球環境研究センター, CGER METEX, https://db.cger.nies.go.jp/metex/webmetex.jp.html, (参照2021-04-01)
- 10) 金沢地方気象台:石川県の気象概況(令和2年10月)
- 11) 金沢地方気象台:石川県の気象概況(令和2年8月)
- ラドン族調査研究委員会:大気中のラドン族と環境 放射能,177-186,社団法人日本原子力学会(1985)