

〔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

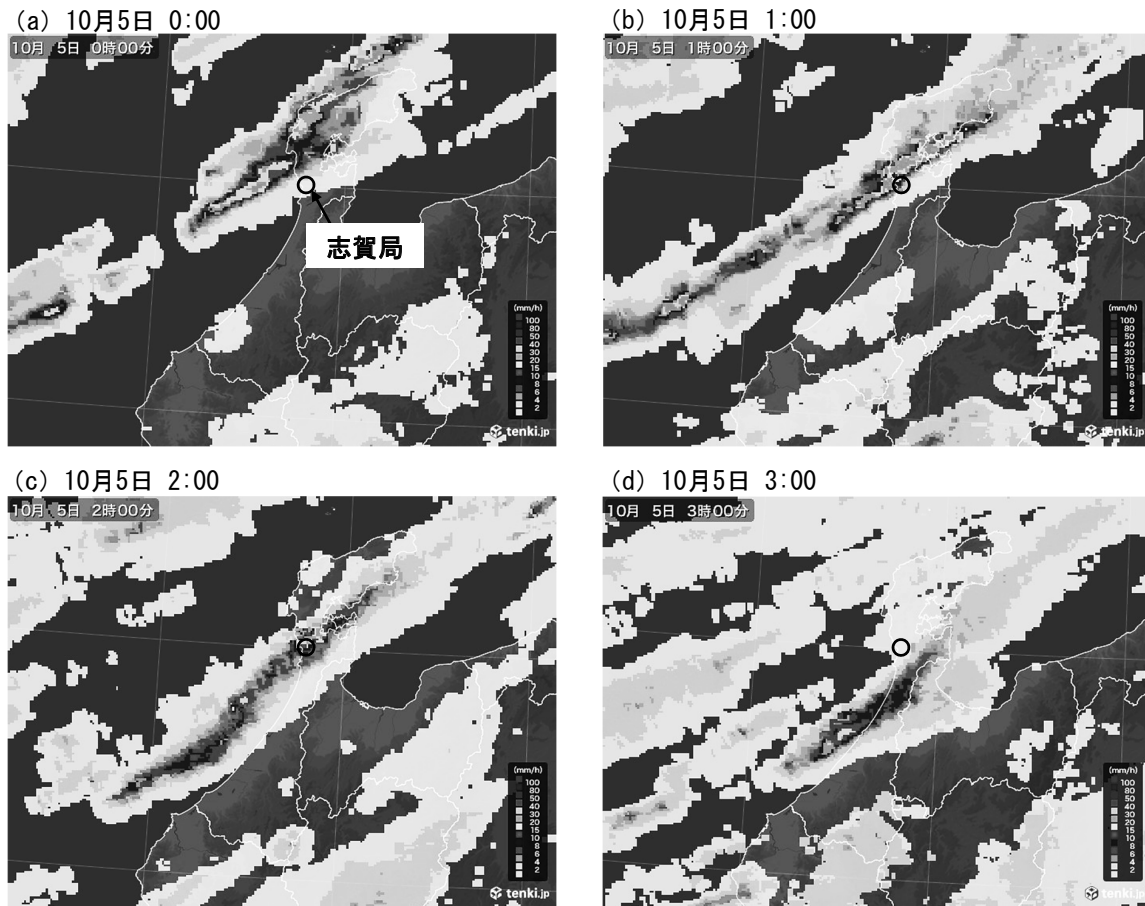


図2 2020年10月5日0:00から3:00までの雨雲レーダーによる1時間毎の降水強度分布図

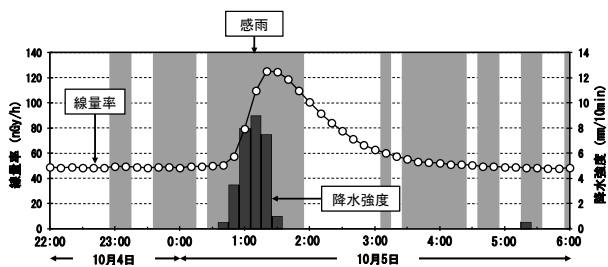


図3 2020年10月4日22:00から10月5日6:00までの志賀局における線量率と降水強度の変動状況

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4500 m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5000 mの風向の変化と到達高度4500 m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。

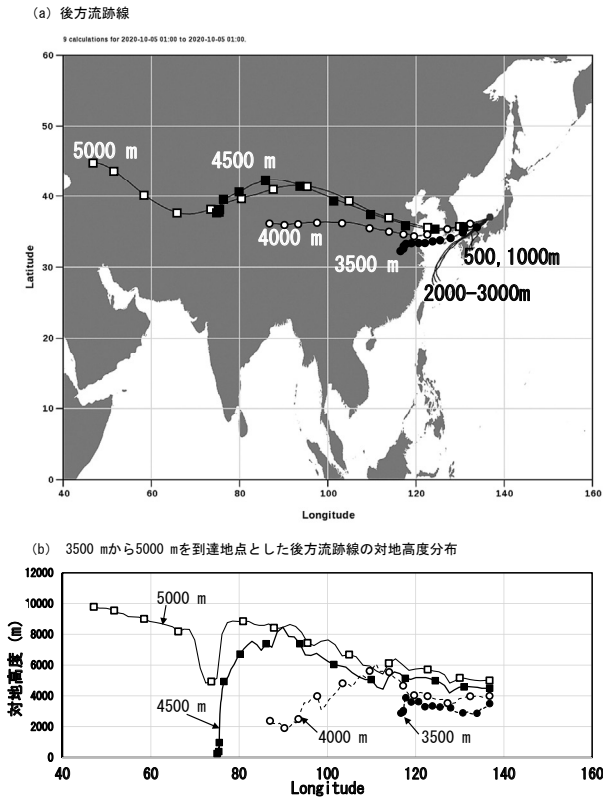


図4 2020年10月5日1:00における志賀局上空500 mから5000 mを到達地点とした後方流跡線

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攪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」¹⁰⁾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

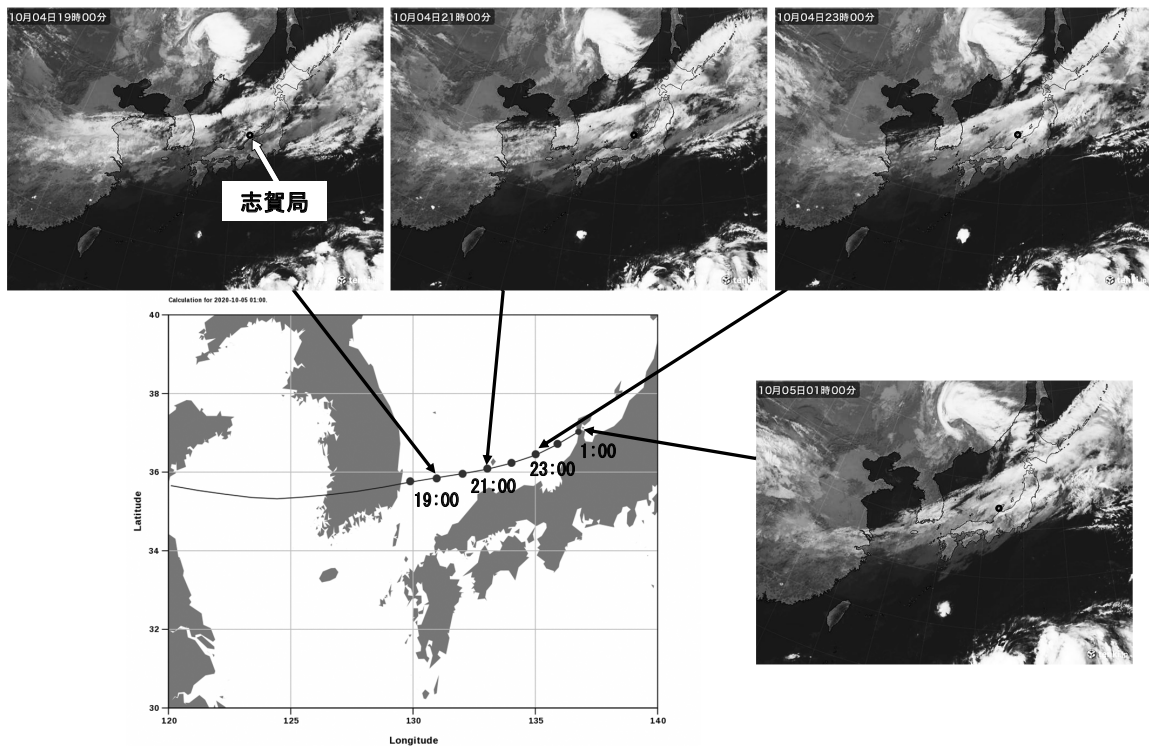


図5 2020年10月4日19:00から10月5日1:00までの衛星赤外画像による雲の動きと到達高度4500 mの後方流跡線の関係

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。

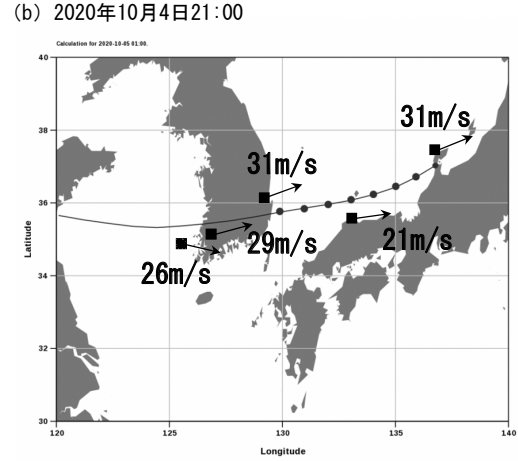
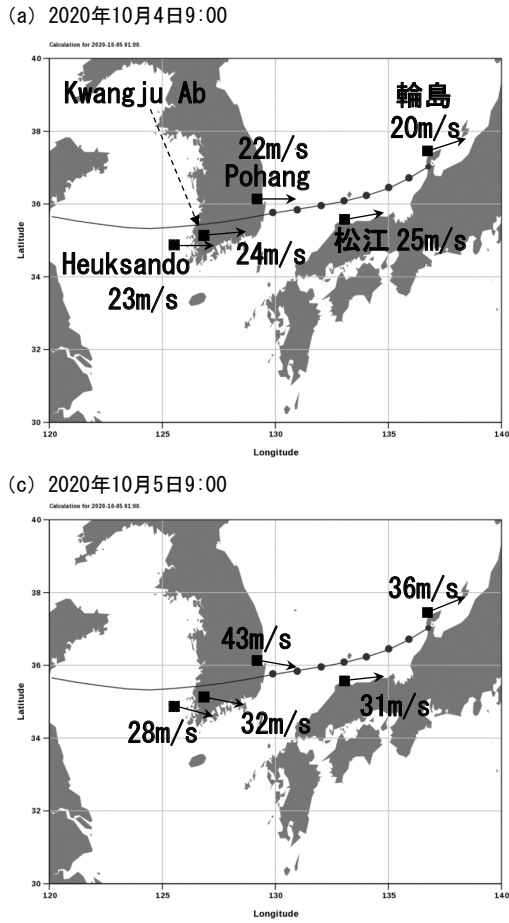


図6 2020年10月4日9:00から10月5日9:00までの高度5000m付近における風向の変化

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時間毎の衛星赤外面像を図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

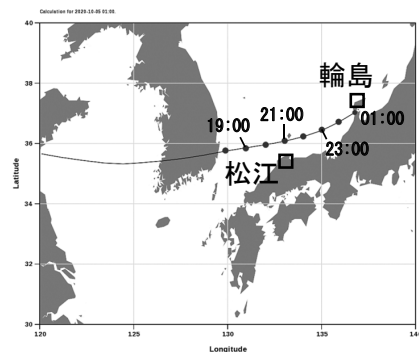
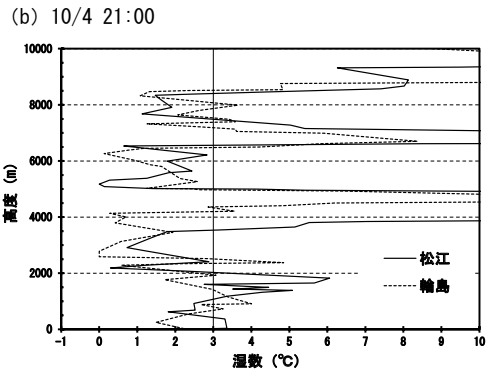
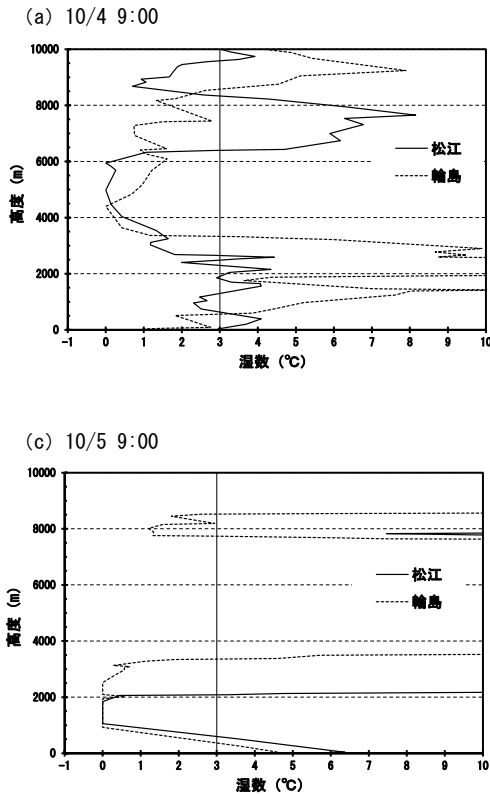


図7 2020年10月4日9:00から2020年10月5日9:00までの松江及び輪島における湿度の高度分布

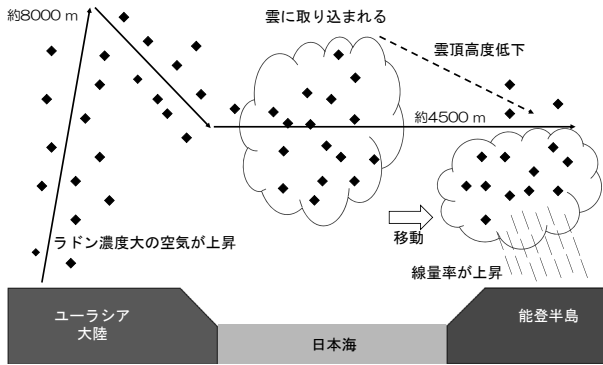


図8 2020年10月5日に観測された事例の模式図

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

5000 mの大陸から朝鮮半島南部を經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1000 m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2000 m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

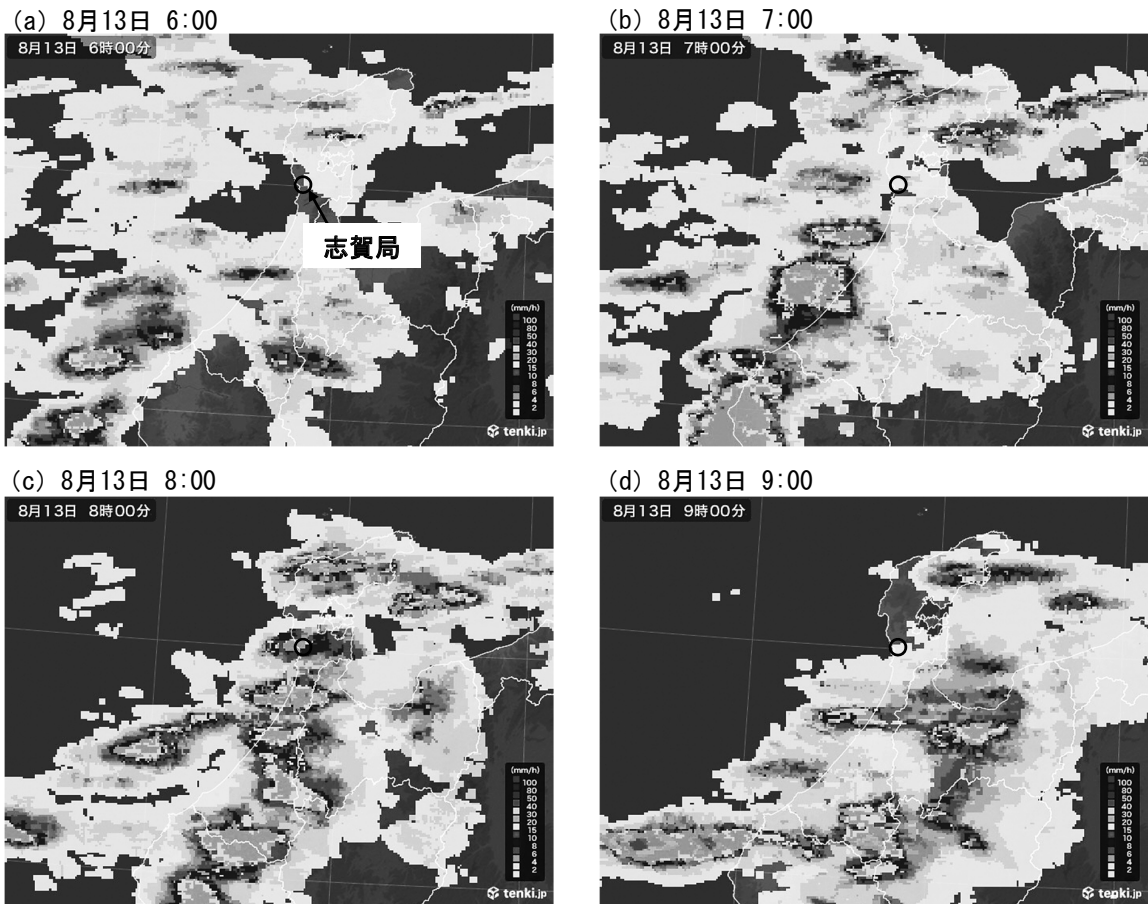
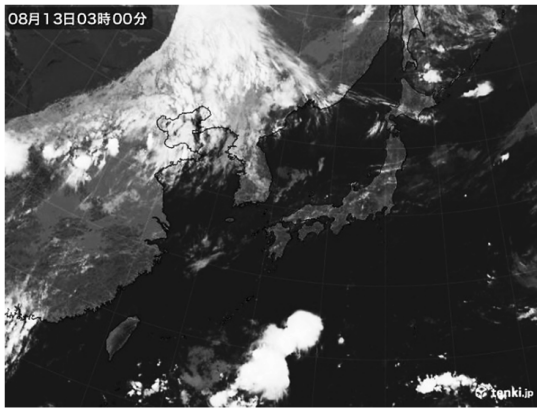
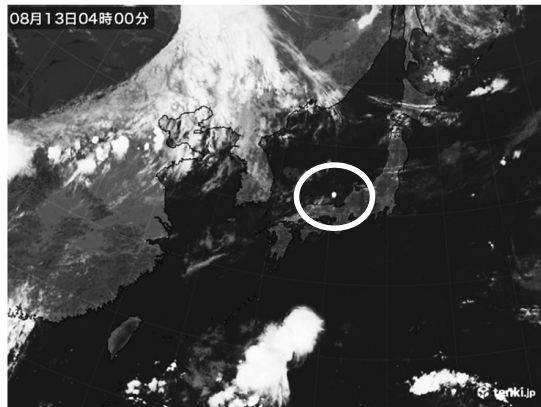


図9 2020年8月13日6:00から9:00までの雨雲レーダーによる1時間毎の降水強度分布図

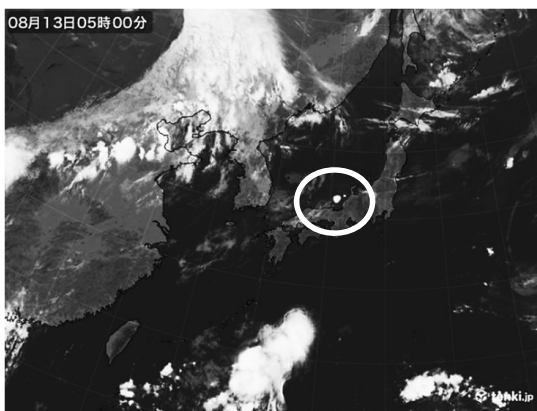
(a) 8月13日 3:00



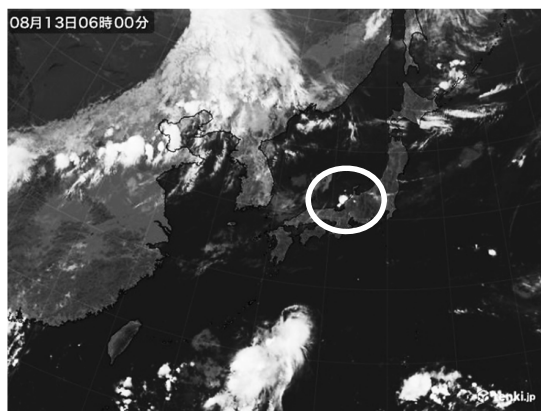
(b) 8月13日 4:00



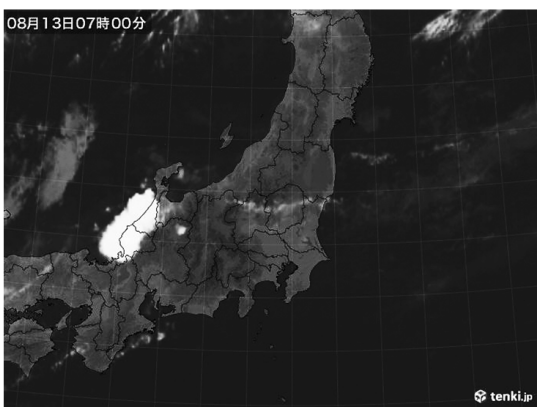
(c) 8月13日 5:00



(d) 8月13日 6:00



(e) 8月13日 7:00



(f) 8月13日 8:00

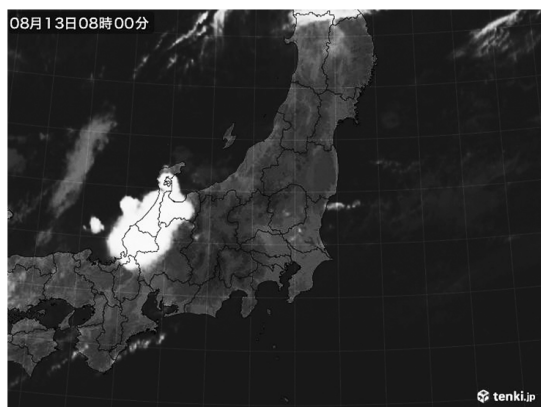


図10 2020年8月13日3:00から8:00までの1時間毎の衛星赤外画像

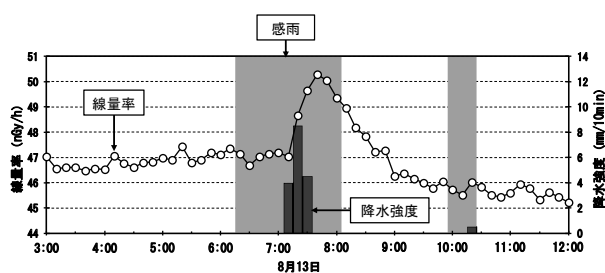


図11 2020年8月13日3:00から12:00までの志賀局における線量率と降水強度の変動状況

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¹²⁾。

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

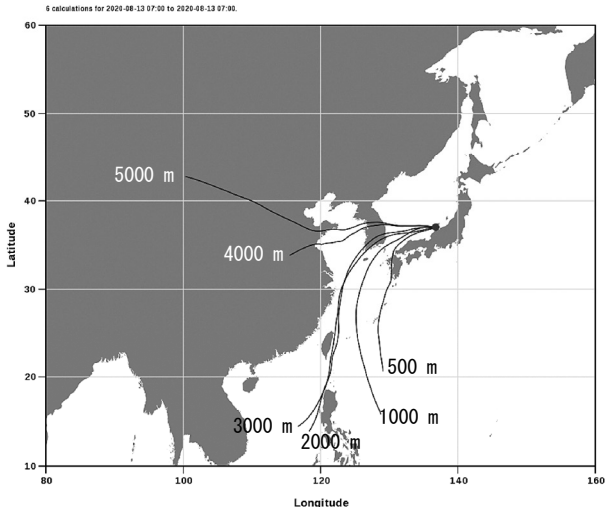


図 12 2020年8月13日7:00における志賀局上空500mから5000mを到達地点とした後方流跡線

雲が発生したが、雲頂高度は約2000 m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

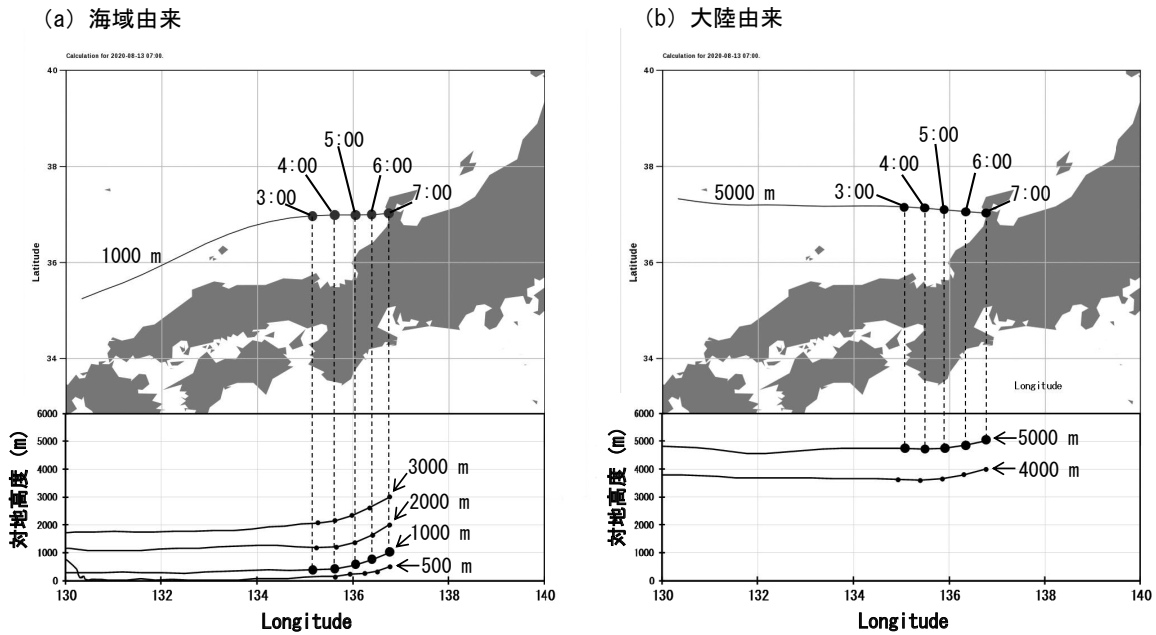


図 13 海城由来の後方流跡線と大陸由来の後方流跡線の高度変化の比較

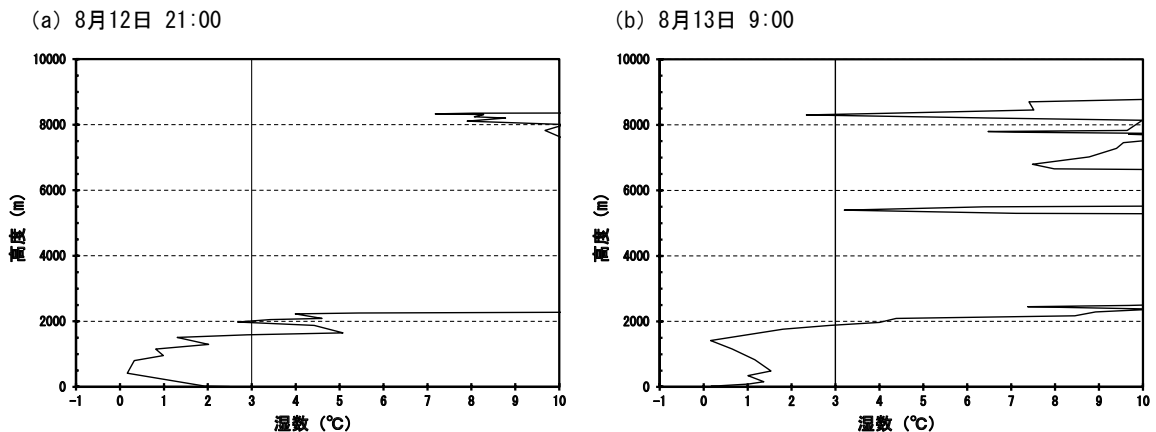


図 14 2020年8月12日21:00及び8月13日9:00の輪島における湿度の高度分布

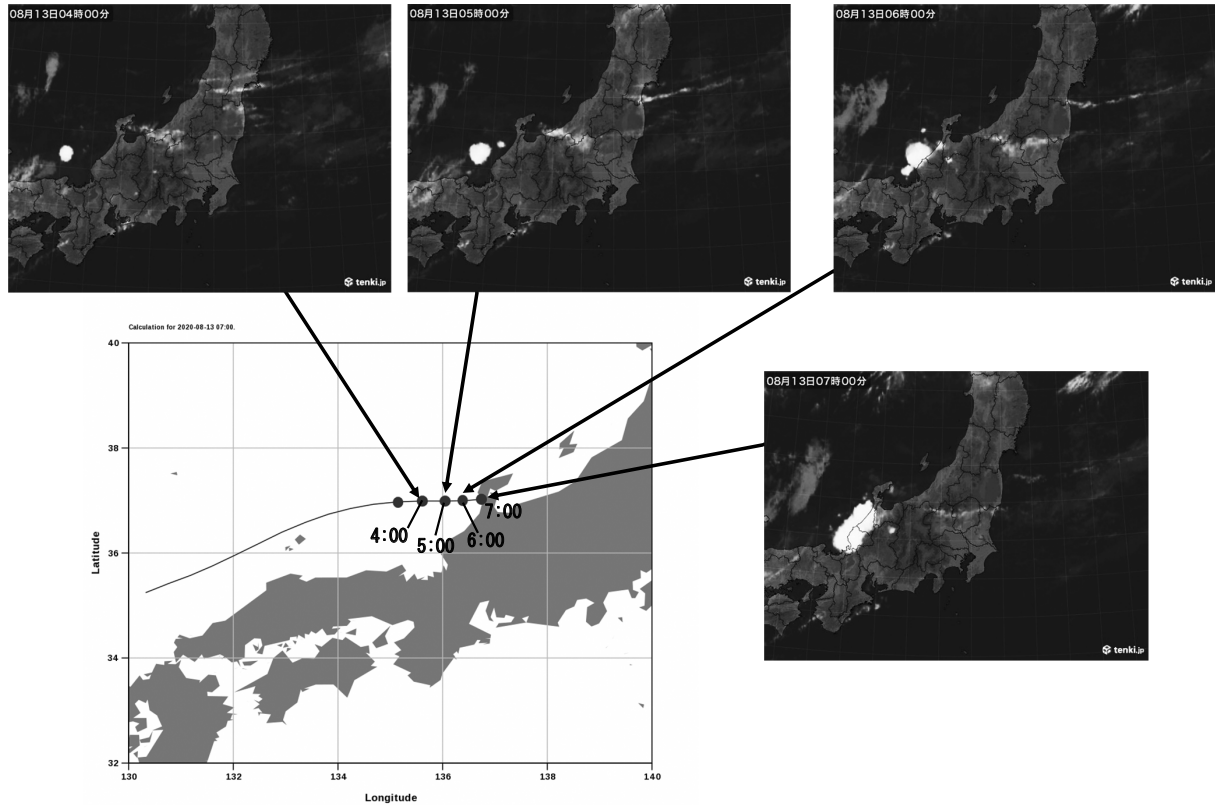


図15 2020年8月13日4:00から7:00までの衛星赤外画像による雲の動きと到達高度1000mの後方流跡線の関係

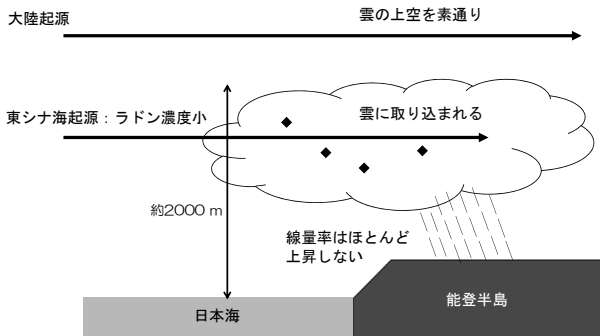


図16 2020年8月13日に観測された事例の模式図

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

- 1) 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〜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/web-metex.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)
- 12) 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)