

〔報 文〕

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3報)

— 降雨と空間放射線量率の増加についての事例解析 —

石川県保健環境センター 環境科学部 吉本 高志
石川県危機管理監室 危機対策課 内田 賢吾

〔和文要旨〕

2020年6月14日7:00から22:00に観測された、空間放射線量率の変動状況と雨雲の移動状況との関係及び空間放射線量率の増加量と降水量の関係について解析した。空間放射線量率が増加した地点と雨雲の移動には概ね対応が見られた。空間放射線量率の増加量と降水量の関係については、概ね比例関係が見られたが、回帰直線の傾きは時間帯によって異なっていた。このことは、降水中のラドン子孫核種濃度が各時間帯によって異なっていたことを示唆していると考えられた。

キーワード：空間放射線量率，時間的変動，地域的変動，降水量，ラドン子孫核種

1 はじめに

本県では、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。）及び71地点に簡易局を設置し、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）。なお、各観測局では降水量等の気象要素も併せて測定している。

線量率は、降雨によって上昇することが知られているが、これは主に、地中に存在するウラン系列（ウラン-238）やトリウム系列（トリウム-232）から大気中に放出されたラドンの壊変により生成されたラドン子孫核種が降雨によって地表面に降下してくるためである¹⁾。

「平常時モニタリングについて（原子力災害対策指針補足参考資料）」²⁾では、発電所からの予期しない人工放射性物質や放射線の放出があった場合、周辺環境への影響の評価に資する観点から、平常時における線量率の変動状況を整理し把握しておくことが必要とされている。そこで本研究では、本県における平常時モニタリング結

果の評価に資することを目的に、降雨等の気象状況と線量率の変動について時間的・地域的な観点から解析を行っている。

第1報³⁾では、線量率の年最大値（4月から翌年3月まで）は、11月から2月に多く観測され、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。第2報⁴⁾では、降雨による線量率の増加量が異なる要因について、後方流跡線解析と気象状況を比較し、増加要因のメカニズムについて考察した。

これまでの線量率のモニタリングにおいて、降雨時における線量率の変動に地点間で時間差があることや変動の大きさに差があることを確認している。これは降雨をもたらした雨雲の移動や降水量と関係があると考えられる。そこで本報では、2020年度に観測した事例における線量率の変動状況と降雨状況を地点間で比較し、線量率の増加量と降水量、雨雲の移動状況との関係について解析したので、その結果について報告する。

A Study on Temporal and Regional Variations of Dose Rate in Ishikawa Prefecture (3rd Report) –Case Study on Relation between Precipitation Amount and Increase of Dose Rate–. by YOSHIMOTO Takashi (Environmental Science Department, Ishikawa Prefectural Institute of Public Health and Environmental Science) and UCHIDA Kengo (Emergency Policy Division, Office of the Superintendent for Crisis Management, Ishikawa Prefecture)

Key words : Dose Rate, Temporal Variation, Regional Variation, Precipitation, Radon Progeny

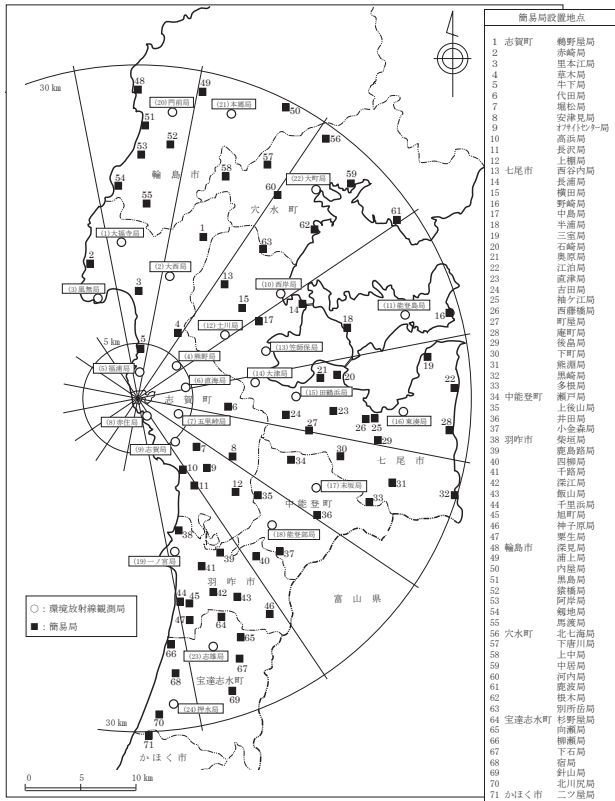


図1 環境放射線観測局及び簡易局設置地点

2 方法

2.1 測定

測定に使用した線量率計、雨量計及び感雨計の仕様を表1に示す。測定間隔は1分間毎であり、連続する1分値10個の平均から正10分値（以下「10分値」という。）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 線量率計、雨量計及び感雨計の仕様と測定項目

(a) 観測局		
線量率計	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	発信器型式	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	発信器型式	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
(b) 簡易局		
線量率計	型式	日立アロカメディカル株式会社製 MAR-1561C 又は 株式会社日立製作所製 MAR-5700
	検出器	2"φ×2" NaI(Tl)シンチレーション検出器
	検出器の位置	地上1.0m
	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

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天気図については、日本気象協会 Web サイト⁵⁾より入手した。本報では、降水強度分布の空間的变化を雨雲の動きとした。

2.3 解析の方法

2020年6月14日7:00から22:00の観測事例について解析した。

計95地点の観測局及び簡易局のうち、西岸局、能登島局、上中局、中居局、河内局、鹿波局及び根木局の計7地点で2020年度における線量率の年最大値がこの期間に観測されており、年最大値がほとんど観測されない6月であったことから解析の対象とした。年最大値を観測した地点の位置と観測した時刻を図2に示す。年最大値を観測した地点は、七尾湾北湾周辺の地点であり、観測した時刻は11:10から11:40であった。

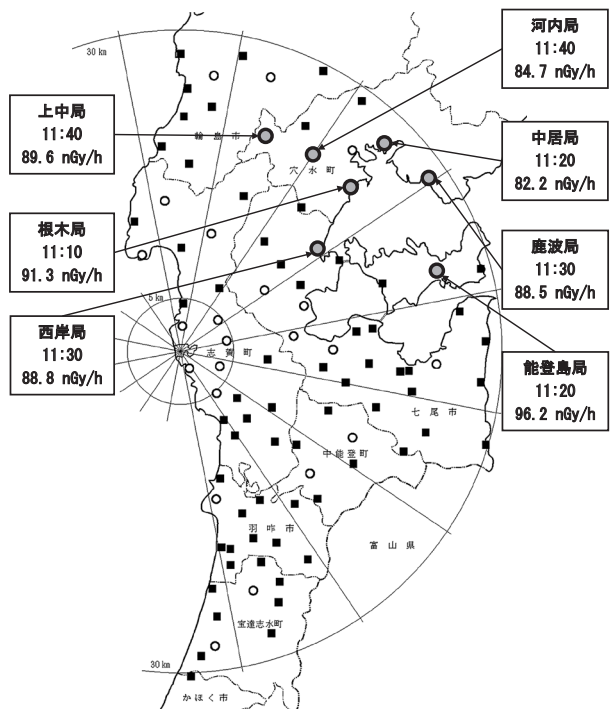


図2 2020年度における線量率の年最大値を観測した地点と時刻

観測事例における線量率と2020年度の各観測局及び各簡易局における線量率の年平均値との差を線量率増加量とし、降水強度分布図による雨雲の移動との関係を解析するとともに、各観測局における降水量との関係について解析した。

3 結果と考察

3.1 雨雲の移動と線量率増加量の変動状況

各地点における線量率増加量の最大値と最大値を観測した時刻を表2に示す。95地点のうち80地点で、10:00から12:00の間に最大値を観測した。

各観測局の線量率増加量の変動状況を図3に示す。線

表2 2020年6月14日7:00から22:00における線量率増加量の最大値を観測した時刻と最大値

地点	最大値を 観測した時刻	最大値 (nGy/h)	地点	最大値を 観測した時刻	最大値 (nGy/h)	地点	最大値を 観測した時刻	最大値 (nGy/h)
堀松局	10:20	36.0	熊野局	11:20	54.7	深見局	11:30	34.3
神子原局	10:20	30.8	風無局	11:20	33.8	黒島局	11:30	47.5
志賀局	10:30	41.2	大西局	11:20	44.9	猿橋局	11:30	34.7
高浜局	10:30	25.4	笠師保局	11:20	49.1	北七海局	11:30	47.9
オフサイトセンター局	10:30	35.6	能登島局	11:20	49.0	別所岳局	11:30	60.0
四柳局	10:30	17.8	里本江局	11:20	51.9	門前局	11:40	45.2
安津見局	10:30	31.2	代田局	11:20	33.5	本郷局	11:40	40.5
千里浜局	10:30	22.0	吉田局	11:20	41.3	袖ヶ江局	11:40	27.4
押水局	10:40	32.2	劔地局	11:20	37.7	井田局	11:40	25.7
石崎局	10:40	31.1	草木局	11:20	50.8	浦上局	11:40	30.5
二ツ屋局	10:40	22.3	牛下局	11:20	41.5	内屋局	11:40	36.4
旭町局	10:40	19.5	長沢局	11:20	30.8	黒崎局	11:40	18.1
赤住局	10:50	33.9	上棚局	11:20	31.1	阿岸局	11:40	32.9
大福寺局	10:50	38.4	長浦局	11:20	51.7	上中局	11:40	51.4
一ノ宮局	10:50	36.3	江泊局	11:20	30.1	河内局	11:40	45.6
深江局	10:50	26.7	瀬戸局	11:20	29.7	下唐川局	12:00	41.4
庵町局	10:50	22.2	馬渡局	11:20	46.7	熊淵局	12:30	14.7
柴垣局	10:50	27.2	中居局	11:20	49.2	飯山局	15:50	27.6
鹿島路局	10:50	28.5	五里峠局	11:30	49.2	粟生局	16:00	26.3
千路局	10:50	26.0	土川局	11:30	55.6	小金森局	16:20	19.8
末坂局	11:00	32.8	大津局	11:30	40.5	後島局	16:30	27.1
奥原局	11:00	29.0	西岸局	11:30	48.7	志雄局	18:50	31.6
上後山局	11:00	25.4	田鶴浜局	11:30	35.2	柳瀬局	18:50	34.0
東湊局	11:10	23.1	中島局	11:30	50.2	杉野屋局	18:50	20.8
大町局	11:10	45.7	直津局	11:30	36.7	向瀬局	18:50	26.7
西谷内局	11:10	45.1	下町局	11:30	31.9	宿局	18:50	30.4
赤崎局	11:10	42.5	鹿波局	11:30	42.0	北川尻局	18:50	14.6
半浦局	11:10	35.1	鶴野屋局	11:30	49.2	能登部局	19:00	25.6
三室局	11:10	24.9	横田局	11:30	50.5	下石局	19:00	28.7
根木局	11:10	56.8	野崎局	11:30	41.7	針山局	19:00	40.9
直海局	11:20	42.9	西藤橋局	11:30	25.9	多根局	19:10	30.9
福浦局	11:20	53.9	町屋局	11:30	30.6			

量率増加量の変動は、概ね9:00から12:00、14:00から17:00及び18:00から20:00の間にそれぞれピークを持つ変動であった。

雨雲の動きと線量率増加量の変動状況の関係を見るため、1時間毎に各地点の線量率増加量の10分値の最大値を5段階に分けて地点図にプロットし、雨雲レーダーによる降水強度分布図と比較した(図4から図7)。図中の赤丸は、その時間に線量率増加量の最大値が観測された地点である。

8:00から12:00にかけて、雨雲が西から能登半島に接近、通過していくにつれて線量率増加量は大きくなり、10:00から11:00の間に23地点で、11:00から12:00の間に57地点でそれぞれ最大値を観測した。また、この時間帯では、南部の地点よりも中部及び北部の地点の方が、線量率増加量が大きかった。その後、12:00から14:00まで時間の経過とともに、線量率増加量は小さくなっていった。

14:00から15:00の間に中部から北部で、15:00から16:00の間に北部と南部で、16:00から17:00の間に南

部でそれぞれ強い降雨が観測され、対応する地点で線量率の増加が観測されたが、10:00から12:00に観測された線量率の増加量よりも小さかった。

17:00から南部の地点で降水量の増加とともに線量率増加量の増加が観測され、18:00から20:00の間に南部の10地点で最大値を観測した。

今回の事例においては、線量率が増加した地点と雨雲の移動には概ね対応が見られた。しかし、図4から図7を見ると、線量率増加量と降水量は必ずしも対応していなかった。

3・2 降水量と線量率増加量の関係

降雨による線量率の増加は、その時点の降雨による線量率増加に、その時点以前の線量率増加の減衰後に残った分を足し合わせたものとなっている。そのため、線量率増加量と降水量を比較する際は、その時点以前の線量率増加の減衰後に残った分を除外しなければならない。そこで、降水量と線量率増加量の関係を解析するため、既報で報告した方法⁶⁾を用いて、その時点の降雨による

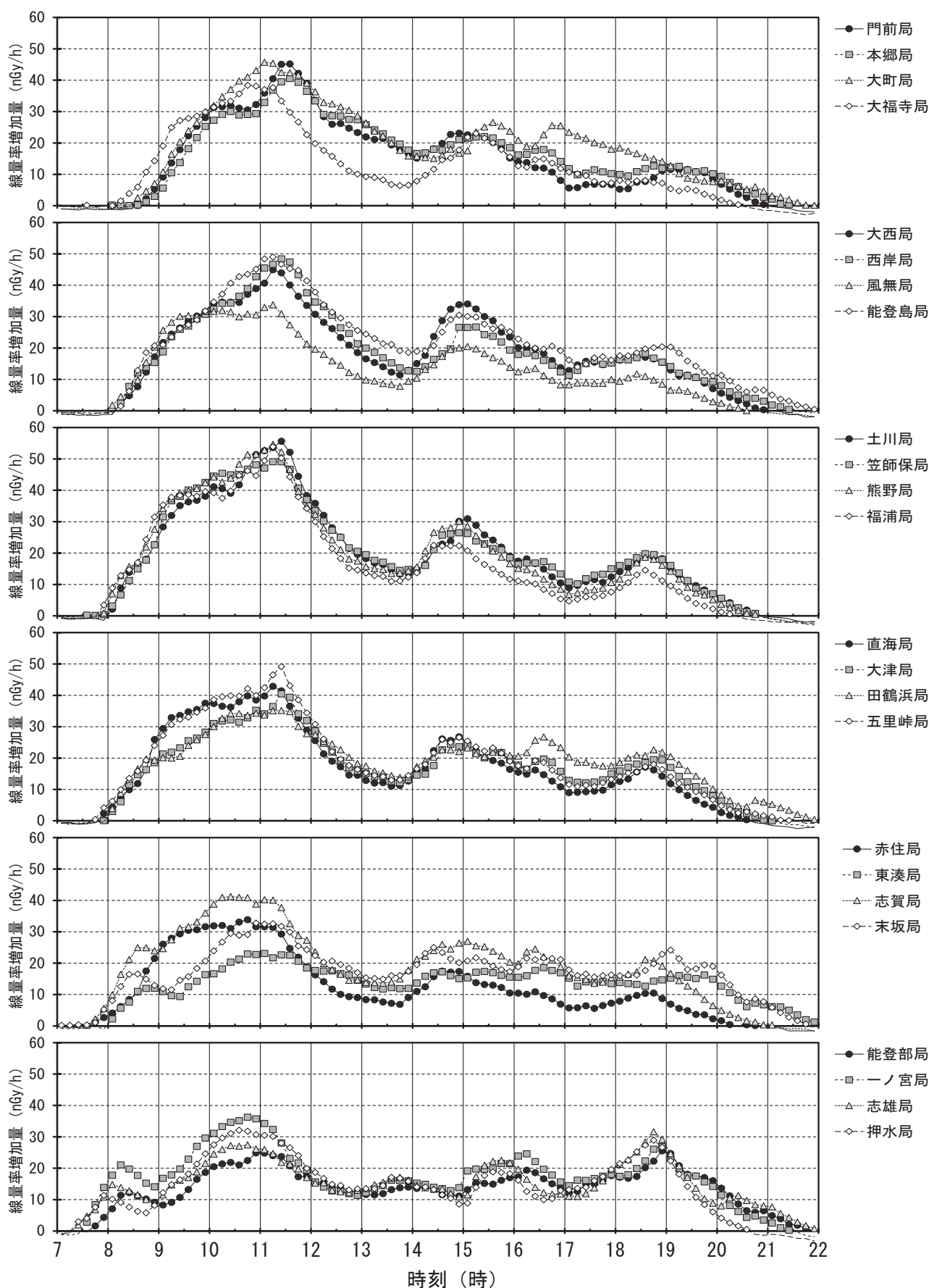


図3 2020年6月14日における観測局の線量率増加量の変動状況

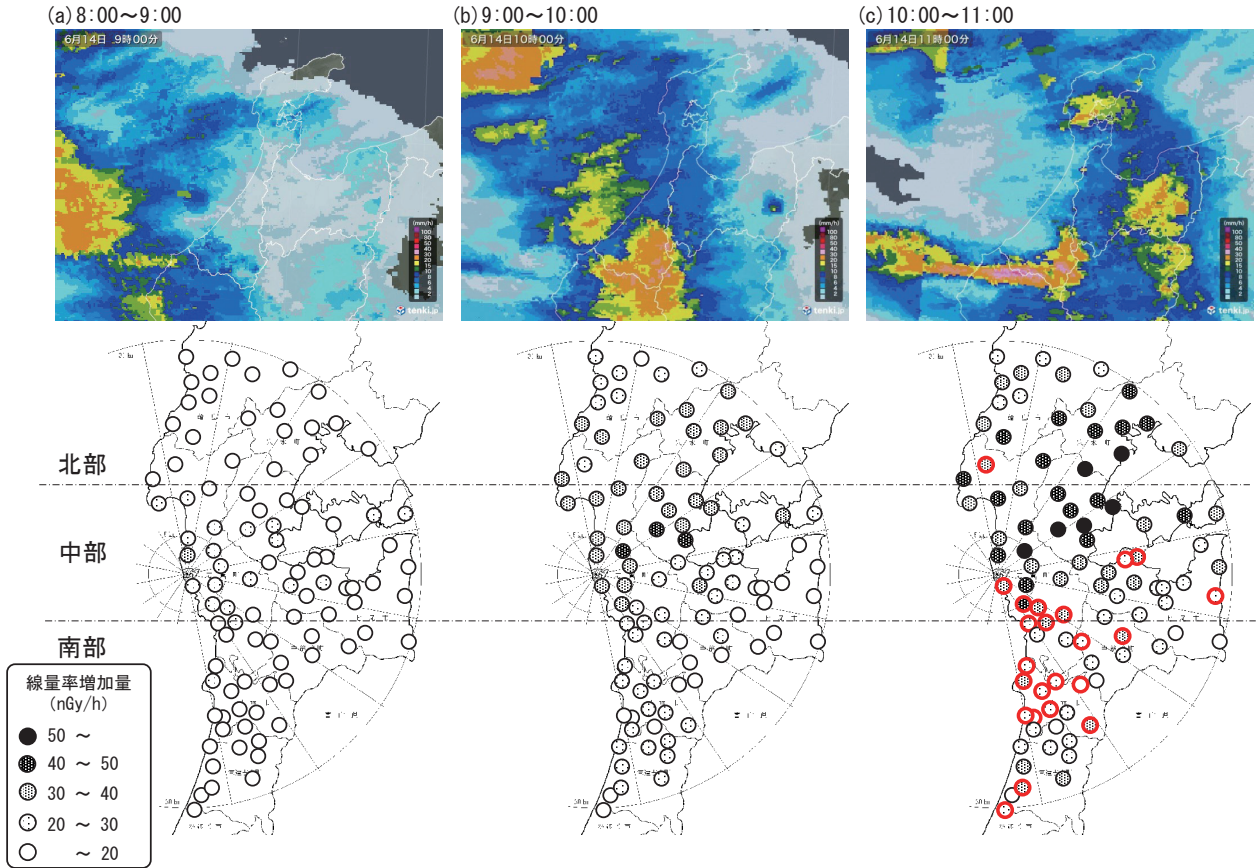


図4 2020年6月14日8:00から11:00の線量率増加量の10分値の1時間毎の最大値と降水強度分布

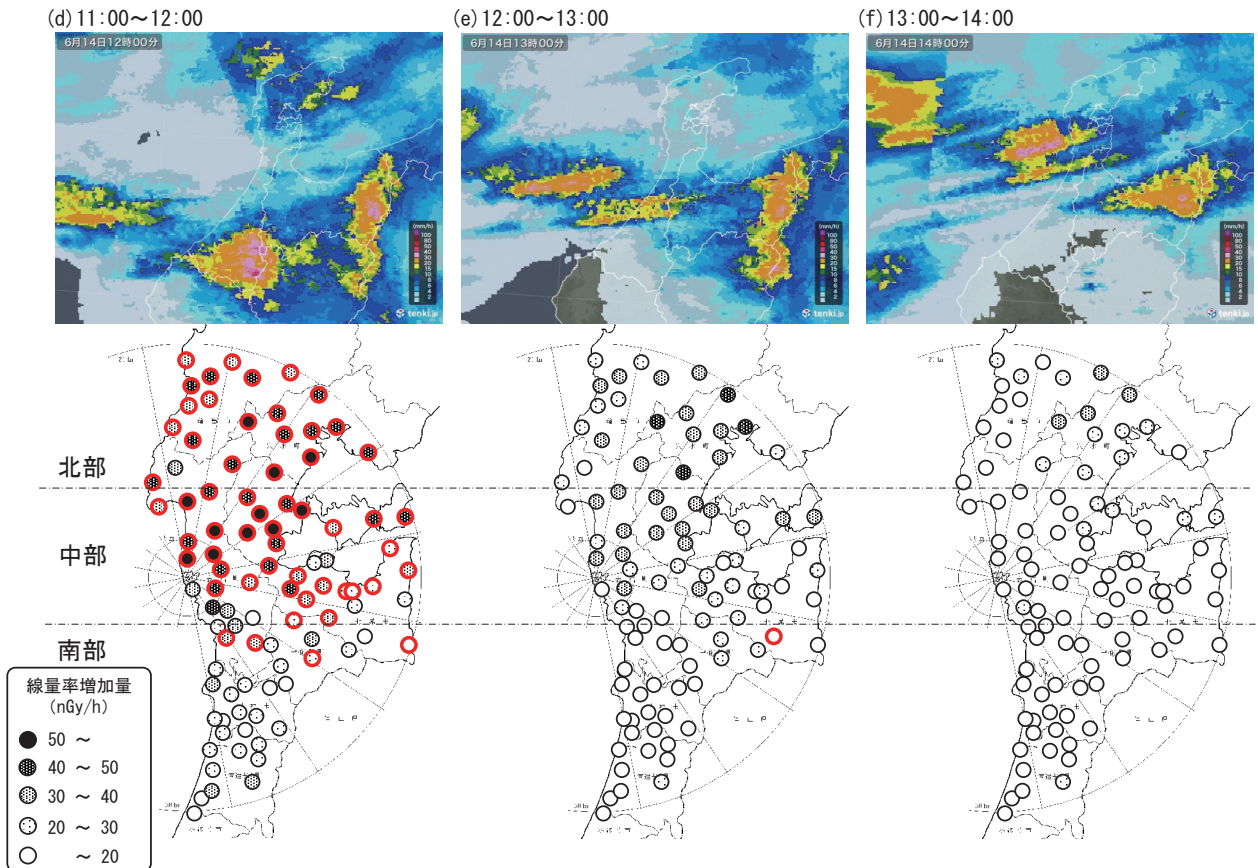


図5 2020年6月14日11:00から14:00の線量率増加量の10分値の1時間毎の最大値と降水強度分布

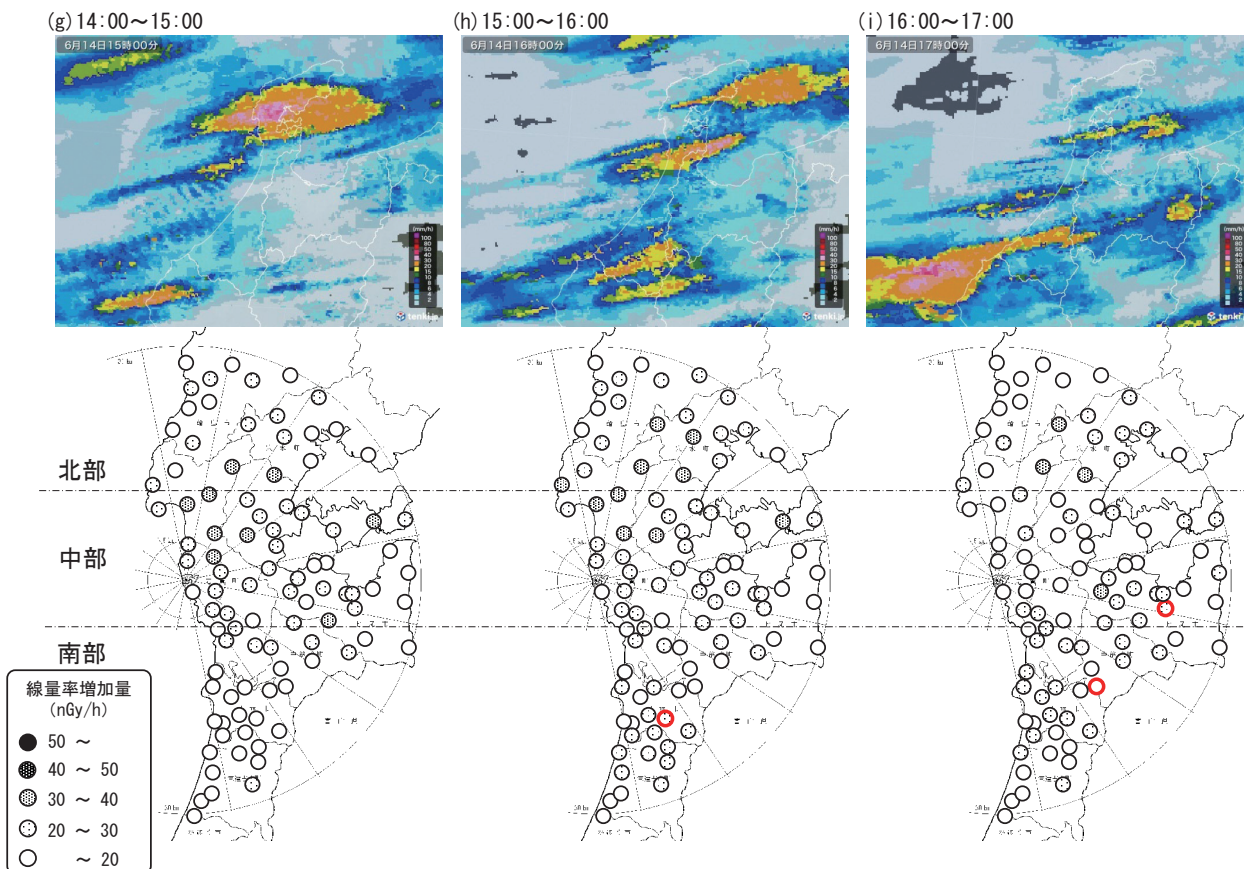


図6 2020年6月14日14:00から17:00の線量率増加量の10分値の1時間毎の最大値と降水強度分布

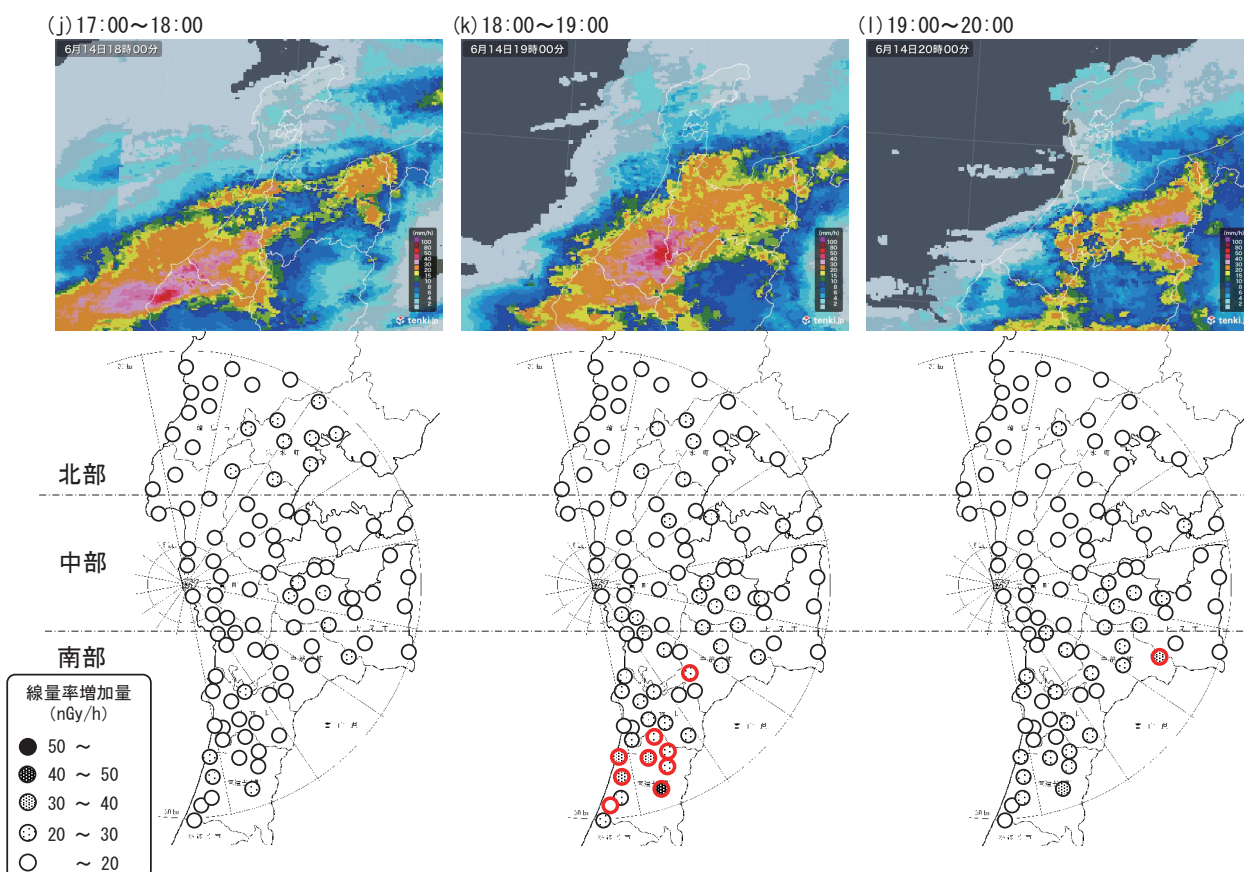


図7 2020年6月14日17:00から20:00の線量率増加量の10分値の1時間毎の最大値と降水強度分布

線量率増加量（以下「単位線量率増加量」という。）を算出した。本報では、単位線量率増加量の算出にあたっては、大気中でラドン-222、ポロニウム-218、鉛-214及びビスマス-214が放射平衡となっている状態でラドン-222以外の核種が雲粒に捕獲され雨滴となって地表に落下し沈着すると仮定した。その上で、雲粒に捕獲された直後の場合（ポロニウム-218/鉛-214 = 1.00、ビスマス-214/鉛-214 = 1.00）と捕獲後に鉛-214及びビスマス-214が新たな放射平衡となった場合（ポロニウム-218/鉛-214 = 0.00、ビスマス-214/鉛-214 = 3.88）のそれぞれについて単位線量率増加量を計算し、それらの平均値を解析に用いた。単位線量率増加量を正1時間毎に積算し（以下、「1時間単位線量率増加量」という。）、1時間降水量と比較した。1時間単位線量率増加量（nGy/h）と1時間降水量（mm）の変動を図8に示す。図8において、折れ線グラフは1時間単位線量率増加量（左軸）、棒グラフは1時間降水量（右軸）である。1時間単位線量率増加量の変動は、概ね10:00から12:00、14:00から16:00及び18:00から20:00にピークとなる傾向であり、10:00から12:00のピークが最も大きくなった。

線量率増加量の変動にピークが見られた10:00から12:00、14:00から16:00及び18:00から20:00における、今回解析したすべての観測局の1時間単位線量率増加量と1時間降水量の散布図を図9に示す。いずれの時間帯も、1時間降水量が大きいほど1時間単位線量率増加量も大きくなり、概ね比例関係にあることが判った。このことから、同一時間帯において地点間で線量率増加量に違いが見られたのは、降水量の違いによるものであると考えられた。

回帰直線の傾きは、10:00から12:00では約1.9、14:00から16:00では約0.65、18:00から20:00では約4.1となり各時間帯によって異なっていた。これは、降水中のラドン子孫核種濃度が時間帯によって異なっていたことを示唆している。

6月14日の気象状況については、「石川県の気象概況令和2年6月」⁷⁾によると、梅雨前線が北上し、温かく湿った空気の影響で大気の状態が不安定となったため、大雨となったとされている。

6月14日9:00から21:00までの天気図を図10に示す。9:00に能登半島の南西にあった梅雨前線が北上し、12:00頃に能登半島を通過、15:00までに能登半島の北に移動し、18:00に能登半島北西にあった梅雨前線が21:00までに寒冷前線となり能登半島南東に移動した。

降水中のラドン子孫核種濃度が時間帯によって異なった原因は不明であるが、12:00頃の梅雨前線の能登半島通過前後及び18:00から21:00の間の寒冷前線の通過前後でそれぞれ回帰直線の傾きが変わったことから、前線

の通過により入れ替わった気塊中のラドン子孫核種濃度が異なっていた可能性が考えられた⁸⁾。また、時間帯によって1時間単位線量率増加量に違いが見られたのは、降水量の違いに加え、降水中のラドン子孫核種濃度の違いによるものであると考えられた。

4 まとめ

2020年6月14日7:00から22:00に観測された事象について、線量率の変動状況と雨雲の移動状況との関係性及び線量率の増加量と降水量の関係について解析した。

今回の事例においては、線量率が増加した地点と雨雲の移動は概ね対応が見られた。

線量率増加量と降水量の関係については、1時間降水量が大きいほど1時間単位線量率増加量も大きくなっていったが、その割合は時間帯によって異なっていた。このことは、降水中のラドン子孫核種濃度が時間帯によって異なっていたことを示唆している。降水中のラドン子孫核種濃度が時間帯によって異なった原因は不明であるが、前線の通過により入れ替わった気塊中のラドン子孫核種濃度が異なっていた可能性が考えられた。

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) 原子力規制庁監視情報課：平常時モニタリングについて（原子力災害対策指針補足参考資料）、平成30年4月4日（令和3年12月21日 改訂）
- 3) 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）
- 4) 吉本高志、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（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研究報告書、58、34-42（2021）
- 5) 日本気象協会、過去の天気、<https://tenki.jp/past/>、（参照2022-04-01）
- 6) 吉本高志、内田賢吾：降雨による空間線量率の変動についての考察、石川県保健環境センター研究報告書、58、28-33（2021）
- 7) 金沢地方気象台：石川県の気象概況（令和2年6月）
- 8) 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）－短時間の変動－、石川県保健環境センター研究報告書、57、65-71（2020）

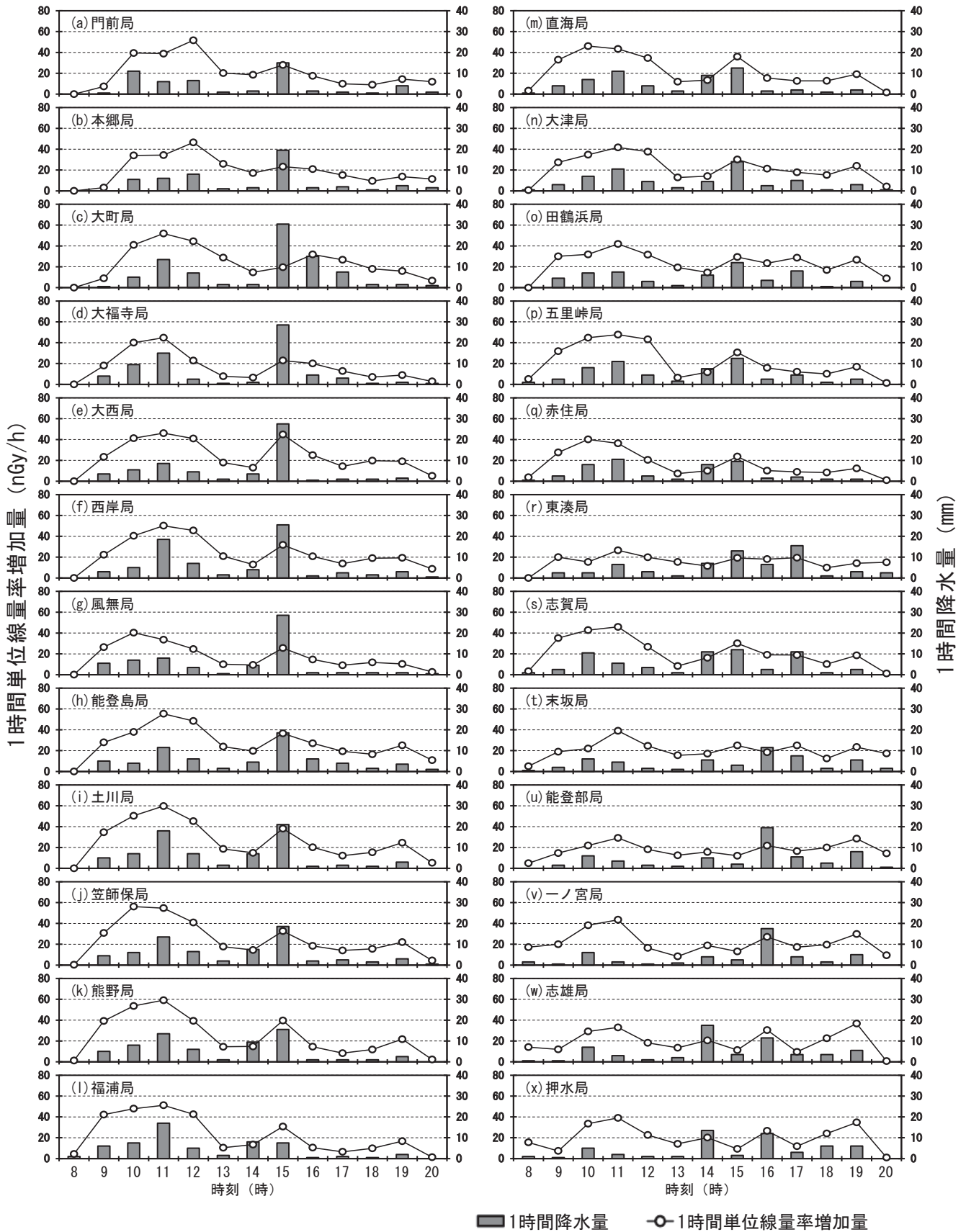


図8 2020年6月14日における各観測局の1時間単位線量率増加量と1時間降水量の変動

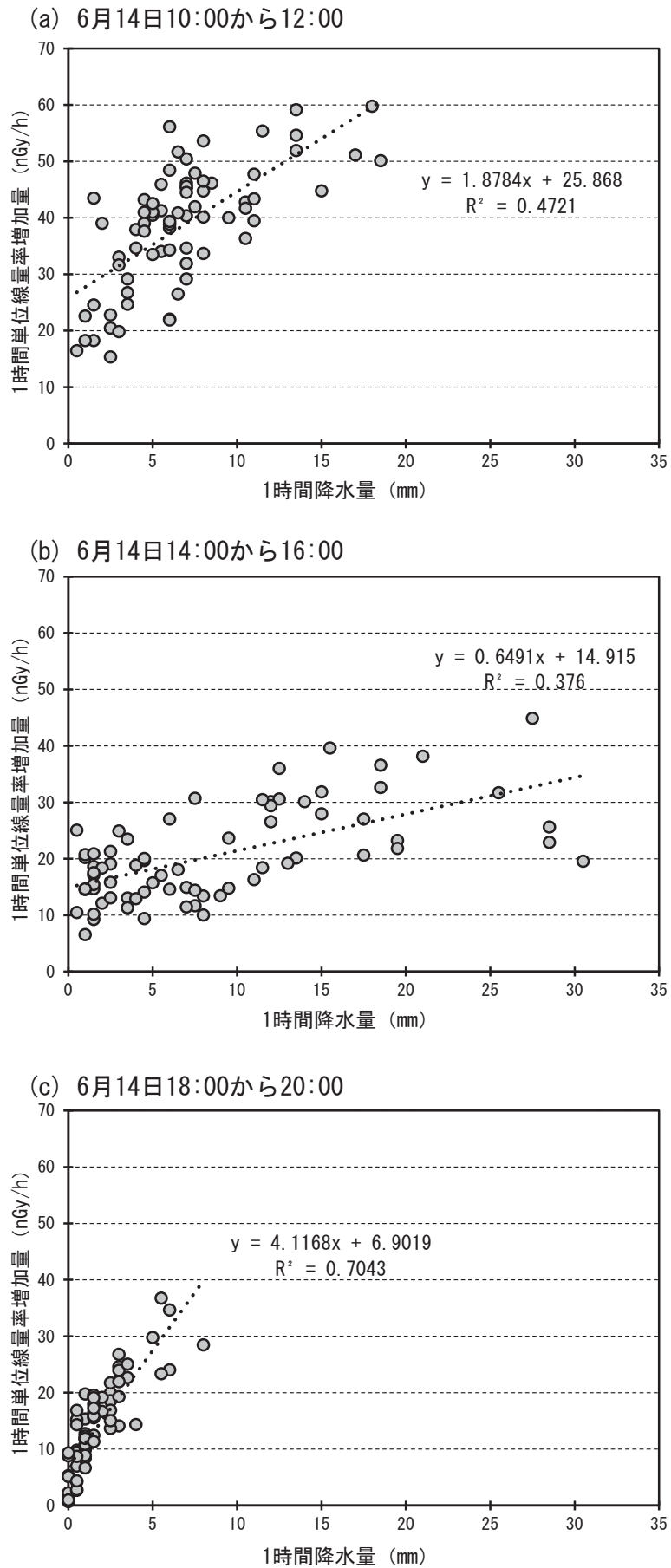
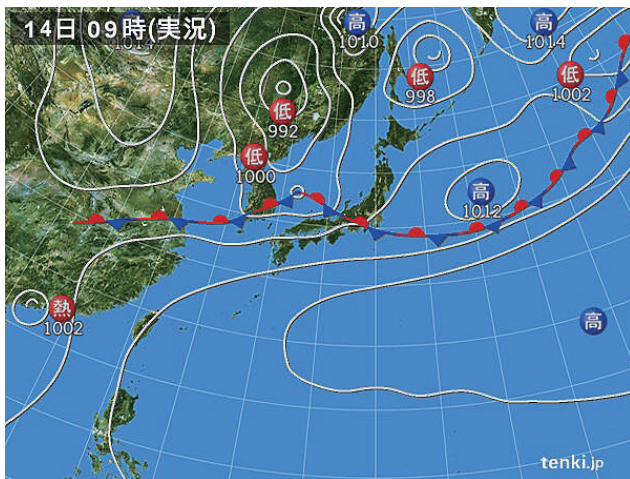
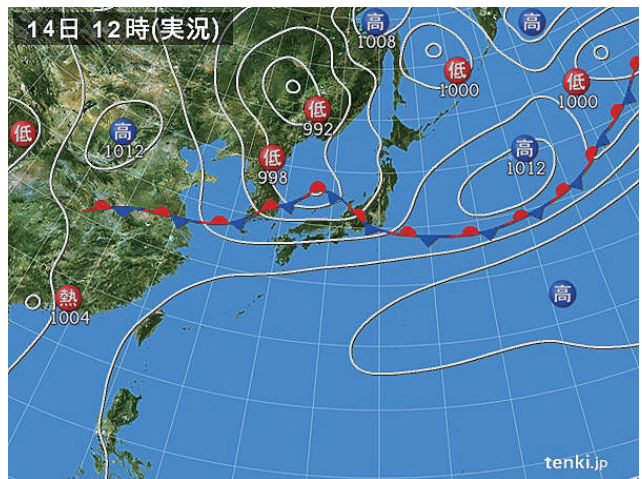


図9 1時間単位線量率増加量と1時間降水量の関係

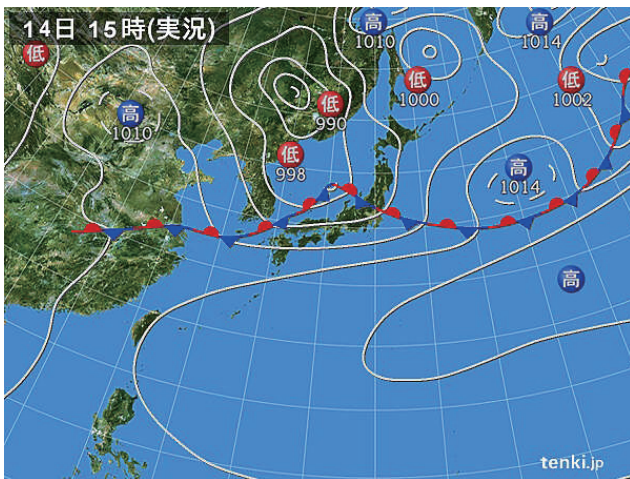
(a) 9:00



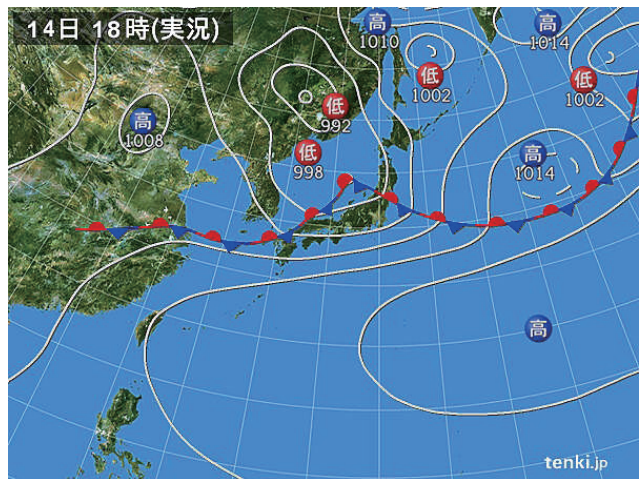
(b) 12:00



(c) 15:00



(d) 18:00



(e) 21:00

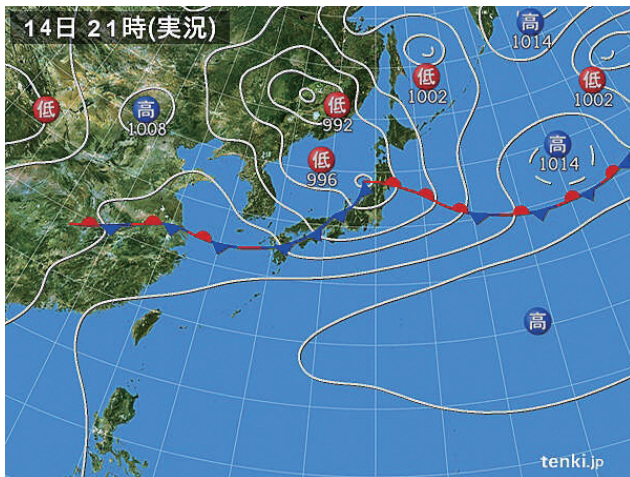


図10 2020年6月14日9:00から21:00までの天気図