

# 福島第一原発からの放射性物質の拡散状況

日沼洋陽, Ph.D. [yoyo.hinuma@gmail.com](mailto:yoyo.hinuma@gmail.com)

**要旨：**原子力安全・保安院による線量率のデータと、茨城・栃木・山形県による線量率のデータの分析を行った。福島第一原発の線量率データには、正弦波成分が含まれる、線量率の急激な平行移動が見られるなど、物理的に考えにくい現象が存在した。茨城県高萩市の小山ダムでは、上流域の降雨によると思われる近隣より急激な線量率の上昇、および放水によると思われる急速な線量率の下降が見られた。鬼怒川水系の松田新田浄水場で取水した宇都宮市の蛇口水からは、上流の降雨から 1~3 日遅れて環境放射能の増加が観測された。山形市では融雪に伴う線量率の減少が見られたため、融雪後の河川における環境放射能が高いことが予想される。放射性粒子の拡散パターンには、高速・直線状・低高度に拡散するものと低速・曲線状・高高度に拡散するものの 2 通りあると推測される。

## 0) はじめに

本レポートでは、原子力安全・保安院による線量率のデータと、茨城・栃木・山形県による線量率のデータの分析を行った。今回のレポートで使用される計測ポイントの位置を、図 1 に示す。天候のデータについては、気象庁のものを用いた。

本レポートにおける日付については、2011 年 2 月 28 日 (3 月「0 日」) の深夜 0 時 0 分を 0 とおき、ここからの合計日数である「通算日付」を用いる。たとえば、2011 年 3 月 1 日の深夜 0 時 0 分は 1、たとえば 3 月 2 日の午前 6 時を 2.25、3 月 31 日の正午を 31.5、4 月 1 日の深夜 0 時 0 分を 32、4 月 5 日の正午を 36.5 とする。

線量計算の近似式における微積分などの計算を容易にするため、基数として 2 の代わりに e (自然対数の底)、半減期  $T_X$  の代わりに寿命  $\tau_X$  を使用することがある。これらの数値の換算法は、時刻  $t$  に対し、関係式

$$2^{-\frac{t}{T_X}} = e^{-\frac{t}{\tau_X}}$$

により結びつけられるため、

$$\tau_X = \frac{T_X}{\ln(2)} \cong 1.44T_X$$

である。ヨウ素 131 の半減期は 8.02 日であるため、寿命は  $\tau_{131}=11.57$  日である。



図 1 本レポートで参照された計測ポイントの位置。

### 1) 福島第一原子力発電所のモニタリングデータ

経済産業省のウェブページ「福島原子力発電所の状況」

<http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/kinkyu.html#unclear>

にリンクが張られている、「地震被害情報及び現地モニタリング情報」の「現地モニタリング情報」(原子力安全・保安院 原子力安全広報課 担当)をもとに、福島第一原子力発電所のモニタリングデータの経時変化をグラフ化した。図 2 は「可搬/本館南」ポイントの線量率データである。ここで、赤点の実測値に対する黒線の近似式は、

$$D(t) = \{440 + 21\sin(2\pi t + 1)\}\exp\left(-\frac{t - 35}{11.57}\right) + 360$$

であり、(1) (定数+周期 1 日の正弦波) に比例し、ヨウ素 131 の半減期で減衰する放射線の成分と、(2)定数成分の和で表現される。正弦波成分が含まれる理由については、考えがつかない。

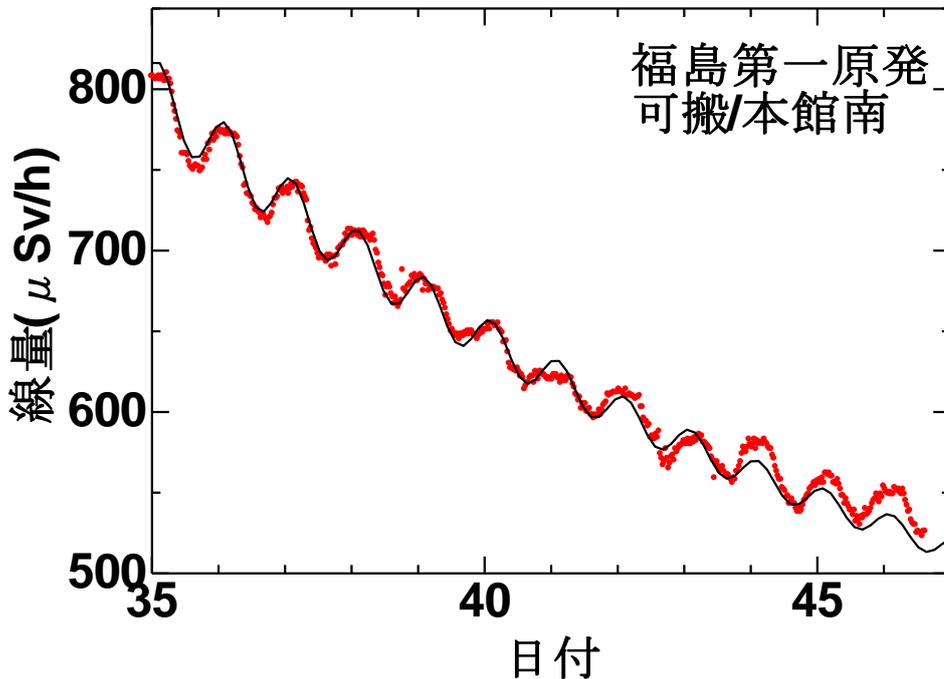


図2 福島第一原発の可搬/本館南ポイントの線量率データ

図3は福島第一原発の3ポイントの線量データである。黒点(MC/西門付近)の実測値に対する桃色の線の近似式は、

$$D(t) = 62\exp\left(-\frac{t-35}{11.57}\right) + 34 \quad (\text{上})$$

$$D(t) = 62\exp\left(-\frac{t-35}{11.57}\right) + 14 \quad (\text{下})$$

である。日付35および37で計4回、実測値のトレンドに $20\mu\text{Sv/h}$ の平行移動が見られた。日付40および42で以降、実測値がトレンドラインを下回っていく現象がみられたが、この2日は近くの福島県広野にて降雨が観測されたことから、地面に堆積していた放射性粒子が流されたからと解釈できる。

緑点(可搬/西門)の紫色の線の近似式は、

$$D(t) = \{48 + 2\sin(2\pi t + 1)\}\exp\left(-\frac{t-35}{13.3}\right) + 8$$

であり、可搬/本館南ポイント同様に正弦波成分が含まれている。

「MC/西門付近」と「可搬/西門」という近接するポイントで、指数的に減衰する成分の寿命が異なり、かつ片方だけに正弦波成分が含まれる理由も、考えられない。

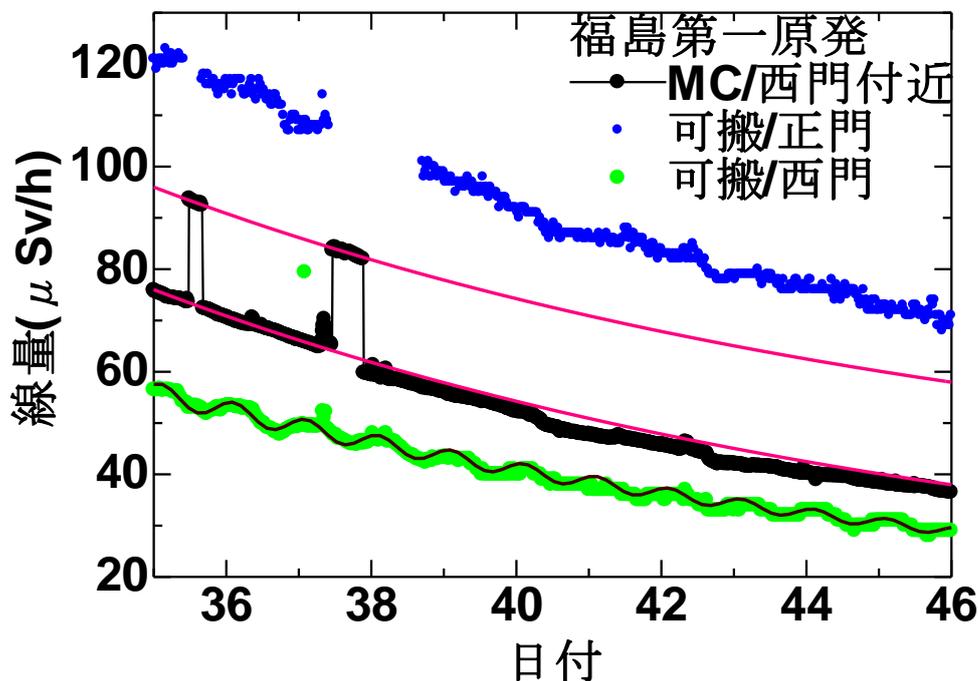


図3 福島第一原発の線量率データ

以上、福島第一原発の線量データには不可解な点が多く、福島第一原発周辺で作業しておられる方々の安全のためにも、より深い解析が至急必要となると思われる。

## 2) 女川原子力発電所・東海第二発電所のモニタリングデータ

図4に女川原子力発電所・東海第二発電所のモニタリングデータ(出所は1)節と同じ資料)を示す。これら2つの発電所は、福島第一原発を挟んで真逆の方向に位置する(図1)。このため、図4のピーク位置が2つのポイントで異なるため、風向きにより放射性粒子の降下量が変わることが示唆される。図5に日付16から20までの拡大図を示す。近似曲線は

$$D(t) = 4.1 \exp\left(-\frac{t-16}{4.8}\right) + 0.13 \quad (\text{緑: 女川})$$

$$D(t) = 0.8 \exp\left(-\frac{t-16}{4.8}\right) + 0.20 \quad (\text{赤: 東海})$$

である。両ポイントとも同じ寿命であるが、女川の線量率が高い一方、東海の定数部分が大きい特徴がある。図6に日付16から20までの拡大図を示す。近似曲線は

$$D(t) = 0.3 \exp\left(-\frac{t-35}{11.57}\right) + 0.22 \quad (\text{緑: 女川})$$

$$D(t) = 0.24 \exp\left(-\frac{t-35}{11.57}\right) + 0.28 \quad (\text{赤: 東海})$$

である。日付 18 前後同様、両ポイントとも同じ寿命であるが、女川の線量率が高い一方、東海の定数部分が大きい特徴がある。寿命の同等性より、両ポイントともに同様の放射性原子核比が観測されていると思われる。

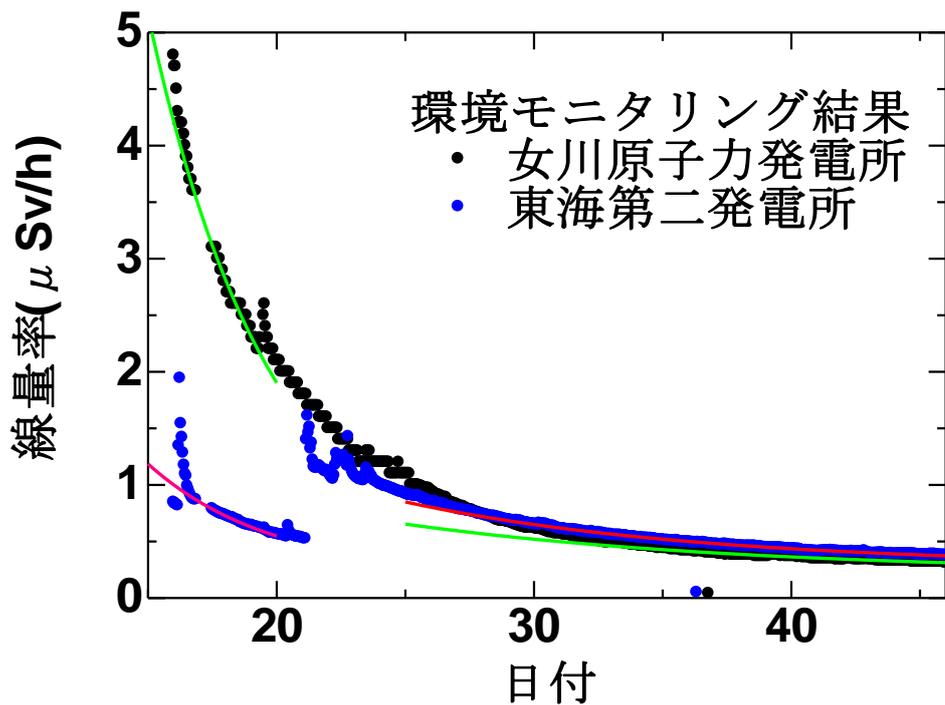


図 4 女川原子力発電所・東海第二発電所の線量率データ

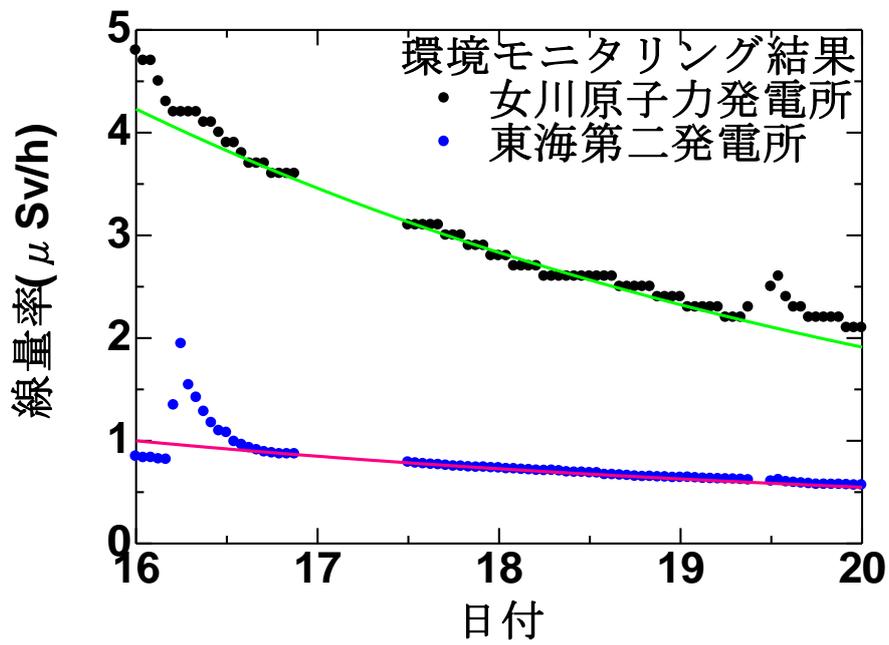


図5 女川原子力発電所・東海第二発電所の線量率データ

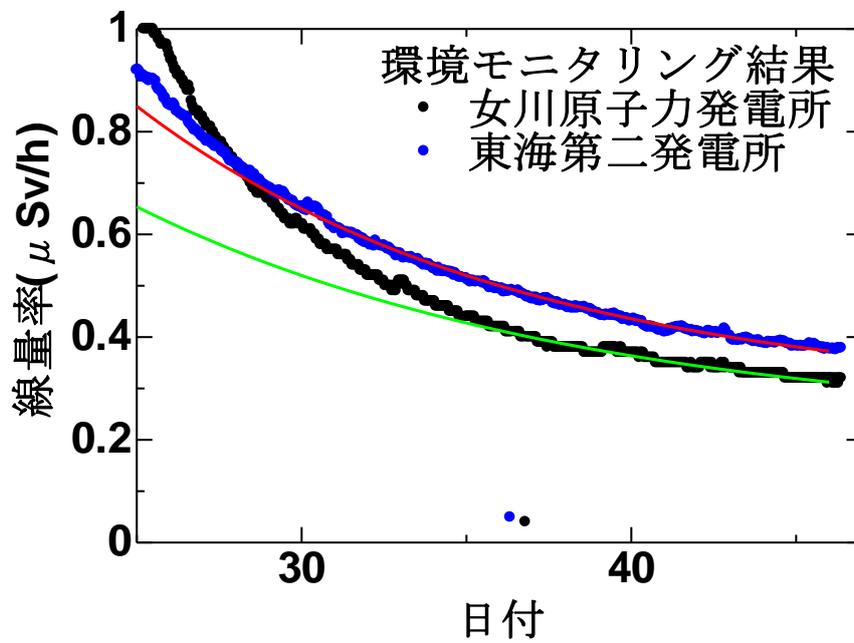


図6 女川原子力発電所・東海第二発電所の線量率データ

### 3) 福島第二原発のモニタリングデータ

図7に福島第二原発のモニタリングデータ（MP1からMP6、出所は1）節と同じ資料）を示す。入力ミスと思われるいくつかの異常値を除けば、全てのモニタリングポスト(MP)で同じような推移を示している。矢印で示したのは、近くの福島県広野で降雨が確認されたタイミングである。日付40.4の降雨で線量率が減少、日付40.6の降雨で線量率が増加、日付40.9の降雨で線量率のピーク、日付42.7の降雨で線量率が減少、と降雨の際に線量率のトレンドがまちまちに変化する。類似の変化が、同じ期間において東海第二発電所で観測されているが（図6）、間の北茨城市・高萩市では観測されていない（図11）。また、福島県広野の風速計では陸風・海風が観測されるが、福島第二原発では観測されていない。

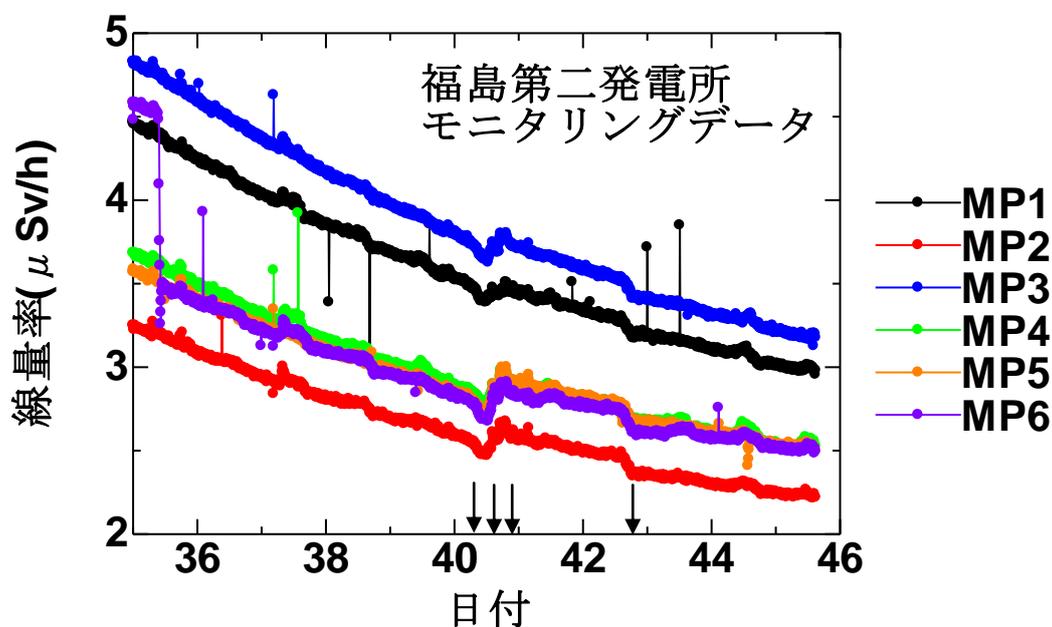


図7 福島第二原発の線量率データ

### 4) 茨城県北部のモニタリングデータ

茨城県が公開している「茨城県の放射線量の状況【災害対策本部】」

<http://www.pref.ibaraki.jp/important/20110311eq/index.html> をもとに、北茨城市（北茨城市役所）、高萩市（小山ダム）、大子町（大子工務所）の三地点（図8）の線量データをまとめた。これら三地点は近接しているものの地勢が異なるため、貴重なデータとなる。特に、北茨城と高萩（小山ダム）の間の距離は10km程度であるにもかかわらず、間に山脈がある。



図 8 茨城県・栃木県の計測ポイント

図 9 に日付 15 から 44 までの 3 地点の線量率データを示す。日付 15 に三地点で線量率の増加がみられるものの、日付 16 では北茨城のみに線量率の大きなピークが見られる。日付 21 までは北茨城の線量率が高萩を上回るも、日付 33 前後までは高萩が上回る。また、日付 21 以降は特に、線量率の日内変動がみられる。

図 10 に日付 21 前後の北茨城および高萩（小山ダム）の線量率データを示す。日付 21 以前は小山ダムの線量率増加が北茨城の線量率増加を上回ったことがないものの、降雨があった日付 21.6 前後では小山ダムの線量率の増加分が大きい。これは、小山ダムの上流域にて、降雨とともに降下した放射性粒子が、雨水とともに小山ダムに流れ込んできているからと推測される。これを裏付けるように、日付 22.3 前後で北茨城において線量率がピークを示しているが、小山ダムの線量率は日付 22.8 前後まで高いレベルを維持している。図 11 において、日付 25 以降の線量率の減衰のベースラインに対する近似式を求めたが、小山ダムにおける線量率の寿命が短く、また定数部分も北茨城に比べて少なくなっていることから、小山ダムの線量率の推移は、ダムの影響を強く受けているものと考えられる。なお、線量率の減衰のベースラインは、以下の式で近似された。

$$D(t) = 0.42\exp\left(-\frac{t-30}{8.2}\right) + 0.23 \quad (\text{緑 : 北茨城})$$

$$D(t) = 0.60\exp\left(-\frac{t-30}{6.0}\right) + 0.17 \quad (\text{赤 : 高萩})$$

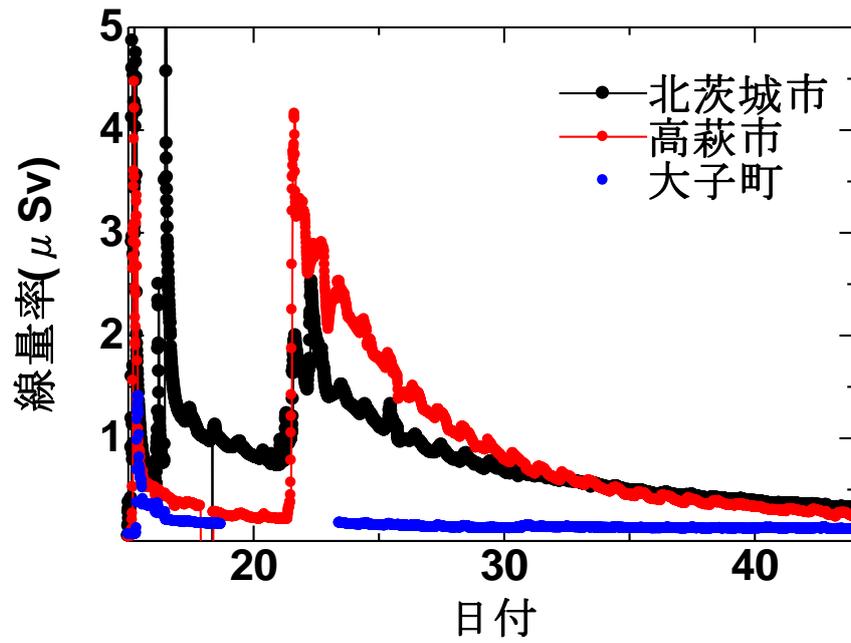


図9 茨城県の線量率データ

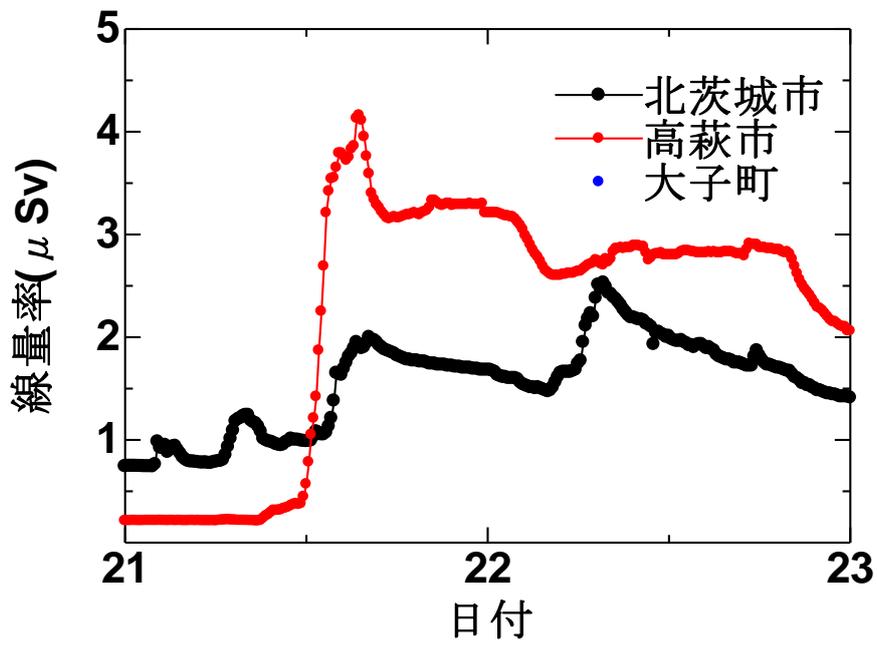


図 10 茨城県の線量率データ

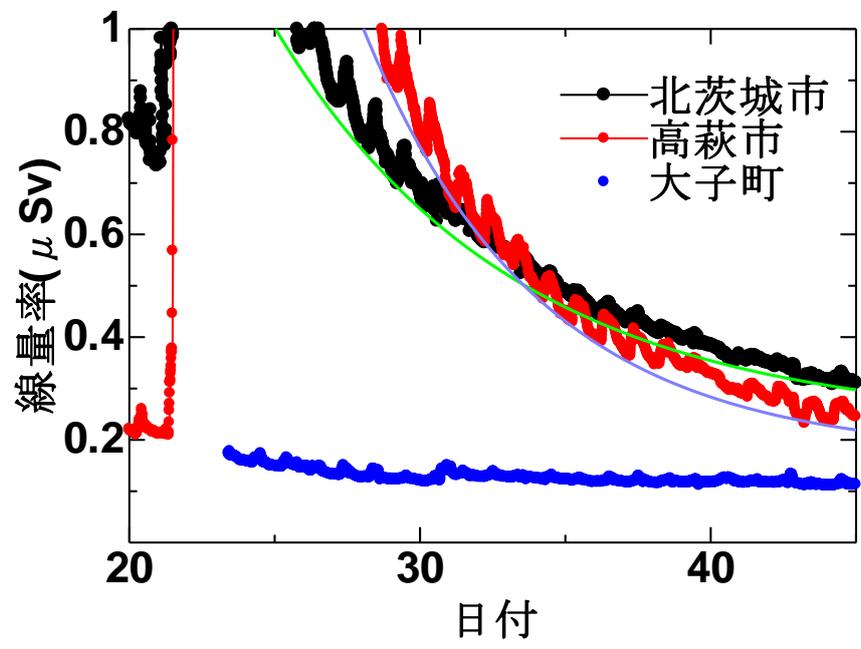


図 11 茨城県の線量率データ

図 11 における三計測地点とも、線量率の日内変動が見られた。図 12 に北茨城市および高萩市の実測値から近似式を引いたものを示す。一般的に高萩市の日内変動は北茨城市より大きい。日内変動の原因として、陸風（日中に東から西に向かう風の成分）および海風（夜中に西から東に向かう風の成分）が考えられる。事実、茨城県北茨城における気象庁の観測では、風向きは反転しないまでも、日中は東から西に向かい、夜間は西から東に向かう風の成分が一貫して見られている。日中の線量が夜間より多い傾向があるため、太平洋沖に放射性粒子濃度の高い空気が存在し、日中はその粒子が西に向かって飛来し、高萩市の小山ダム近くで滞留するのでは、と考えられる。特に、小山ダム近くの森林のキャノピー（上部）は、主要な放射性粒子の着脱サイトになっていると思われる。太平洋沖に放射性粒子濃度の高い空気が存在するという仮説は、西にある大子の線量が、東にある北茨城および高萩より著しく小さいこと（図 11）からも推測される。

日付 45 前後になっても、日付 32 前後と同じ規模の日内変動があることは、太平洋沖の放射性粒子濃度の高い空気が 4 月前半の間、ほぼ同じ規模で存在していることを示唆する。この空気はこの期間に滞留し続けていると考えるには、ヨウ素 131 の崩壊による日内変動の減少が見られない為、放射性粒子が常に福島第一原発から供給されていることを示唆する。陸風によって海に運ばれた放射性粒子は海に落ちると考えられるため、毎日のように海風により放射性粒子が陸に向かって飛来するのは、海上の空気に放射性粒子が補充されると考えられる点からも裏付けられる。

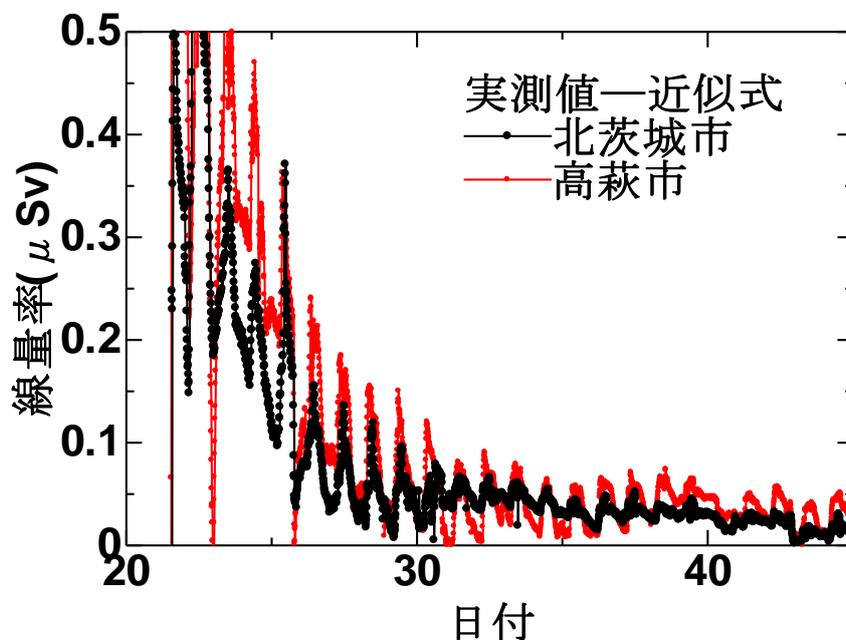


図 12 茨城県の線量率データ(実測値-近似式)

## 5) 栃木県のモニタリングデータ

宇都宮市の空間放射線量率および上水の環境放射能を、栃木県のウェブサイト

<http://www.pref.tochigi.lg.jp/kinkyu/houshasen.html>

から入手した。図 13 に栃木県宇都宮市（栃木県保健環境センター）の線量率を示す。

図 14 に日付 18 から 48 までの空間放射線量率、図 15 に同じ期間の上水（蛇口水・鬼怒川水系の宇都宮市松田新田浄水場）の環境放射能を示す。空間放射線量率のピークから、上水の環境放射能のピークまで 1 日から 3 日のタイムラグが見られるが、これは水源に降下した放射性粒子が浄水場に到達するまでに時間がかかるからと思われる。宇都宮市で線量率のピークが見られた 3 月 21~22 日、30 日、4 月 9 日および 11 日には 10mm 以上の降雨が見られた。特に、4 月 11 日夕刻（日付 42.8）には、計 23.5mm の集中豪雨が発生した。ゆえに、線量率増と降雨に関連があると考えられる。鬼怒川の上流にある今市市のこれらの日の降雨量を見ると、3 月 21~22 日には計 26.5mm、30 日は 11mm、4 月 9 日は 8.5mm、11 日は 1.5mm であった。これより、上水の環境放射能は、測定された箇所ではなく、上流の放射性粒子降下量に依存すると結論付けられる。

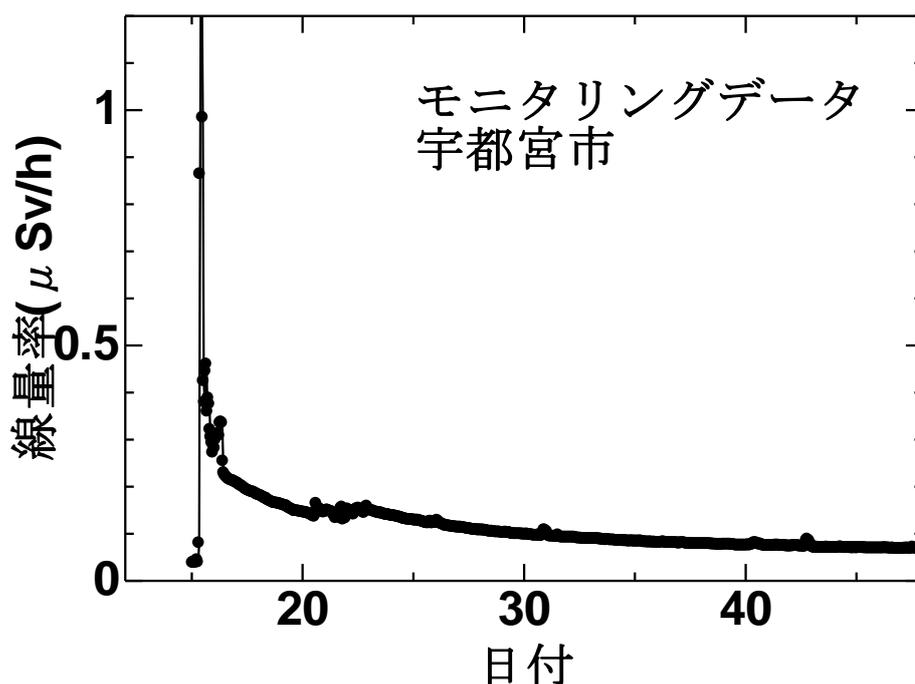


図 13 宇都宮市の線量率データ

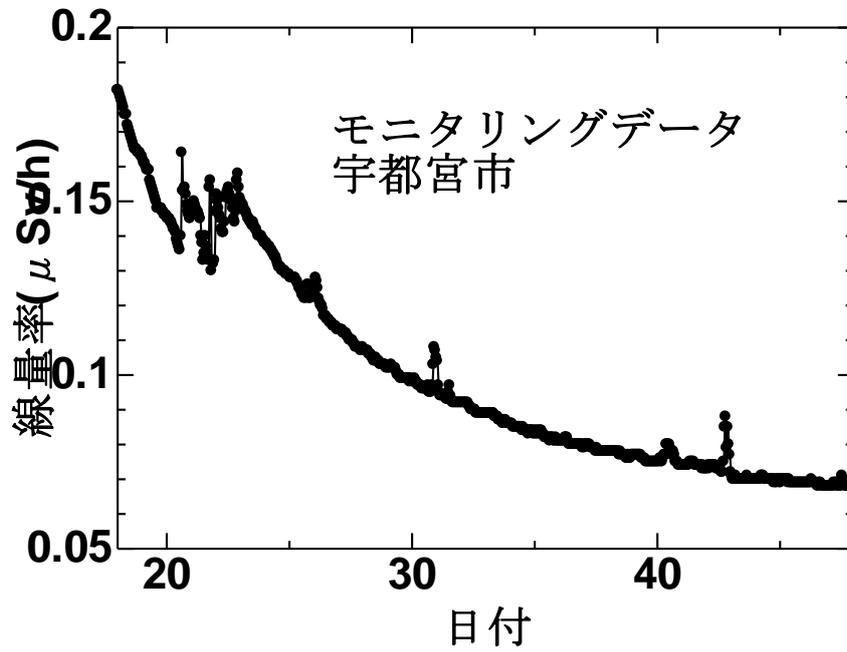


図 14 宇都宮市の線量率データ

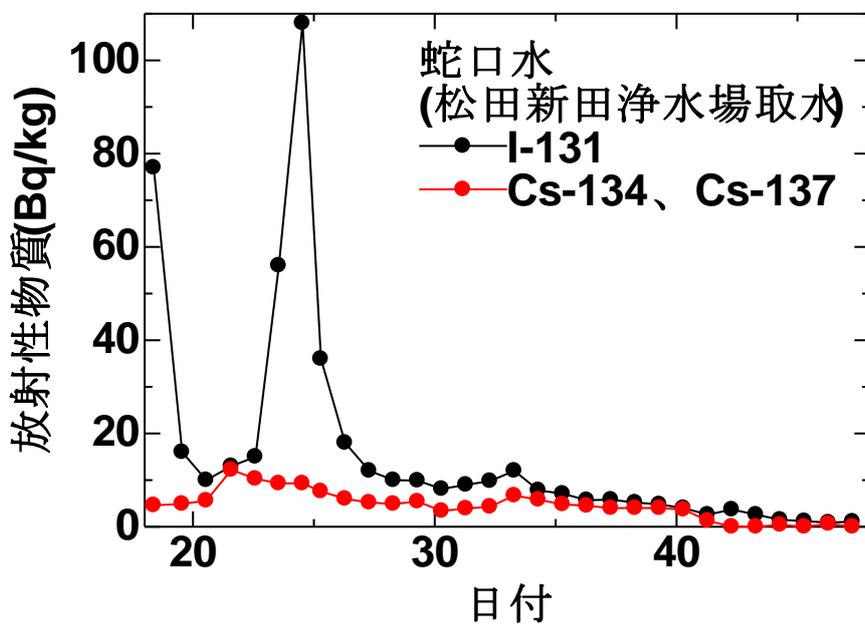


図 15 宇都宮市の蛇口水における環境放射能データ

## 6) 山形県のモニタリングデータ

図 16 に山形市の空間放射線量を示す。

<http://www.pref.yamagata.jp/ou/kenkofukushi/090001/houshasen.html>

山形市においては、日付 18、23、26 において線量率の急減が見られた。これらの日には、最深積雪値の減少が観測されている。このため、急減は放射性降下物の積もった雪が流されたことが原因と結論付けられる。日付 31、40、42 においても、前日までほぼ一定であった線量率の急減が見られるが、これらの日は降雨があったため、堆積していた放射性降下物が地表より流されたためと考えられる。逆にみると、日付 30 以降も、放射性粒子が常に降下していると推測できる。

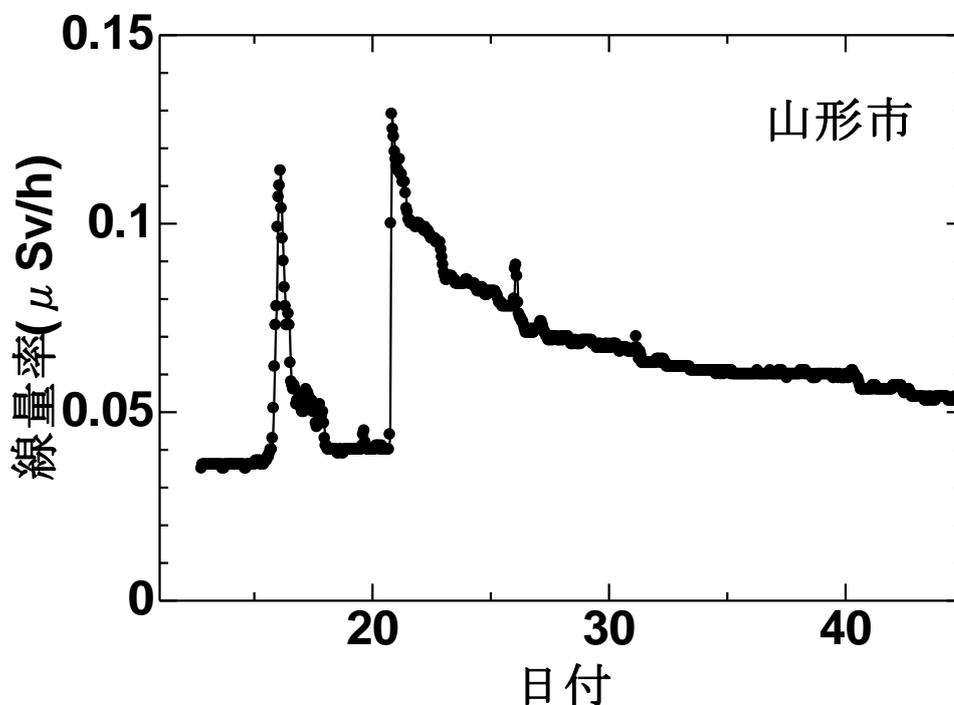


図 16 山形市の線量率データ

## 7) 放射性粒子の拡散パターン

図 17 に茨城県における、日付 15~17 の線量率を示す。日付 15.0 から 15.5 までの間、北茨城で 3 つ、高萩で 2 つ、大子ではほぼ重なった 2 つのピークが見られる。ピークの高さは北茨城 > 高萩 > 大子、ピークの発生時刻も北茨城 > 高萩 > 大子と、福島第一原発より遠い地点ほど放射線量が低くなっている。図 18 は宇都宮市、図 19 は山形市における同じ期間の線量率で、日付 15 から 17 の間の拡大図である。宇都宮市では日付 15.4 前後でピークが観測されているが、山形市では日付 16 までピークが観測されていないが、日付 16 から 17 の

間に、ピークを4つ見ることができる。

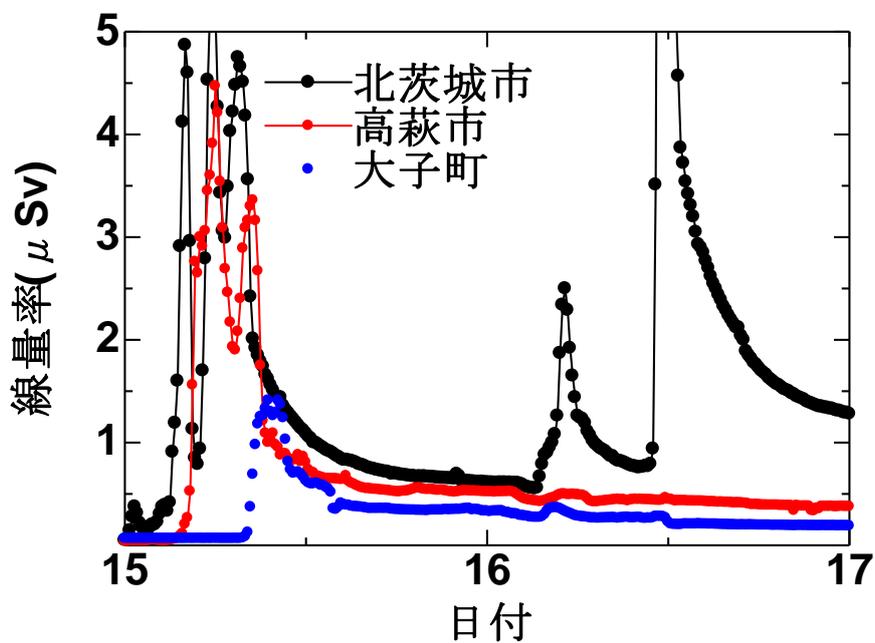


図 17 茨城県の線量率データ

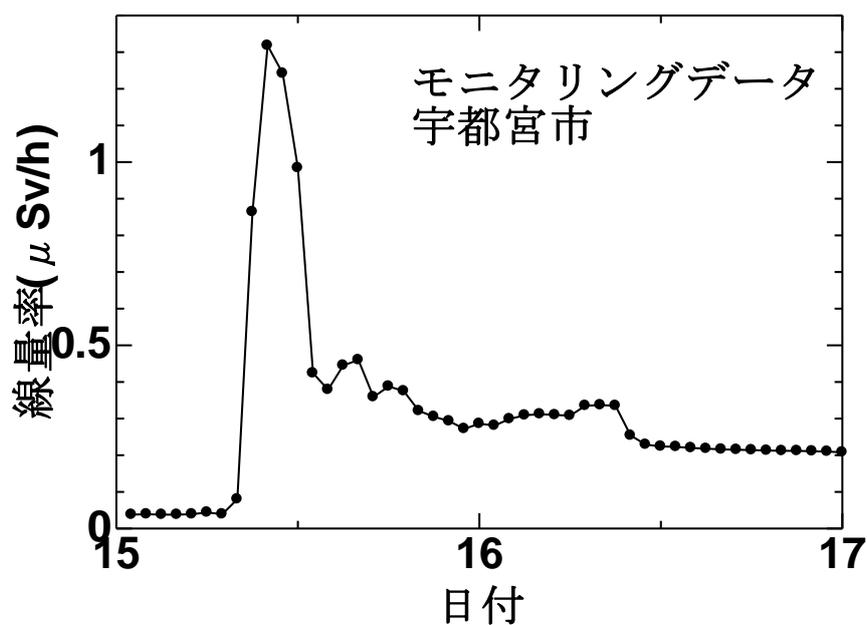


図 18 宇都宮市の線量率データ

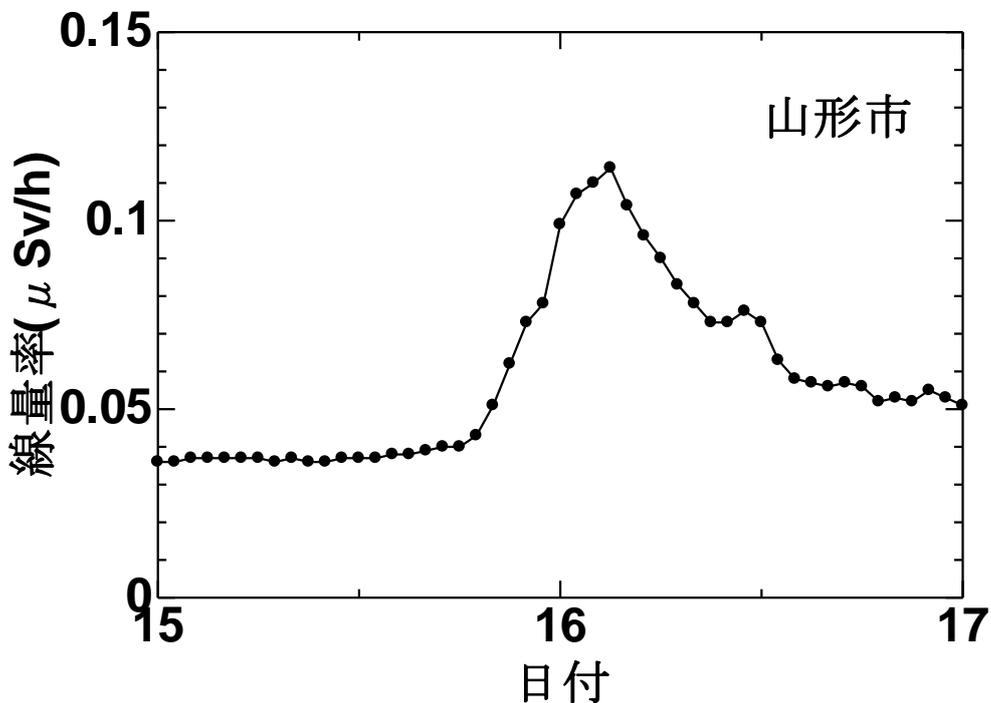


図 19 山形市の線量率データ

ここで、拡散する放射性粒子には高速・直線状・低高度に拡散するものと低速・曲線状・高高度に拡散するものの二種類ある、と仮説を考える。前者の原因として、3月15日6時10分に福島第一原発2号機で発生した異音、もしくは同14分に福島第一原発4号機で発生した音および壁の破損として観測された、水素爆発を仮定する(日付 15.26)。福島第一原発から茨城県の3地点および宇都宮市に対して直線状に進むと、標高600m以上の地点を殆ど通過しなくて済む(大子町および宇都宮市に向かう場合、標高600mを越えずに向かうと、多少の回り道が必要である)。しかし、山形市(直線距離111km、宇都宮市より近い)に向かう場合、間に標高1841mの蔵王山をはじめとする、1000m級の山が並ぶ奥羽山脈の南端が存在する。

北茨城市の7時30分のピーク(日付 15.31)、高萩市の8時30分のピーク(日付 15.35)、大子町の9時30分のピーク(日付 15.40)、宇都宮市の10時のピーク(日付 15.42)を日付 15.26の水素爆発によるものと仮定する。

放射線が到達するまでの速度(図20における、原点から各地点を結ぶ直線の傾き、傾きが急なほど速度が速い)は北茨城までが最も速く、大子までが最も遅かった。このため、3月15日6時10分の爆発による放射性粒子は、低い高度を保ちつつ直線状に拡散するものと

考えられる。一方、北茨城で日付 15.1 前後に観測された放射線の線源となる放射性粒子は、ゆっくりと北茨城→高萩→大子へと向かい、大子には爆発による放射線粒子とほぼ同じ時期に到着し、その後宇都宮→山形へ、風の流れとともに向かったと考えられる。

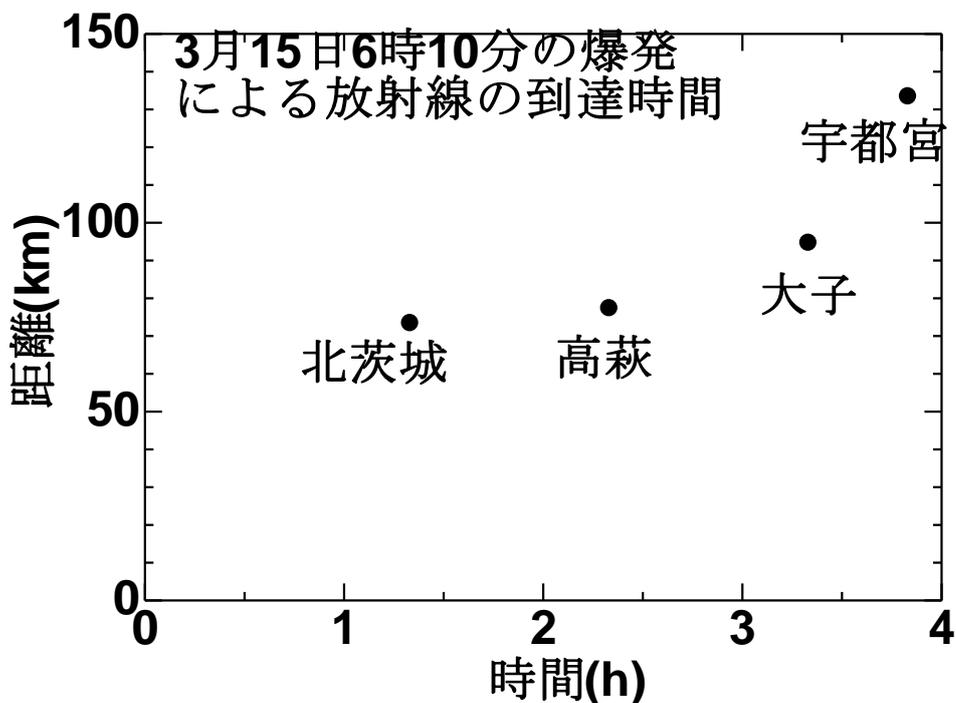


図 19 3月15日6時10分の福島第一原発の爆発による放射線が、各計測ポイントに到達するまでの時間および距離

#### 断り書き

- ・この文章は、著者（日沼洋陽）の知識および研究者としての良識に基づいて書かれたものであり、いかなる団体からの利益を受けるための情報の偏りなどは一切存在しません。
- ・この文章の作成にあたり、小川進博士との議論がとても有用でした。また、使用された資料中の表のデータ整理において、財団法人大阪青少年育友会 Patriots of Japan 事業部のご協力を頂きました。
- ・この文章は、2011年4月18日に発行されました。