

# モニタリングポスト等での線量率と 原子炉の事象との関係 (2011年3月12日)

2024年2月16日

原子力規制庁

平山 英夫

# はじめに

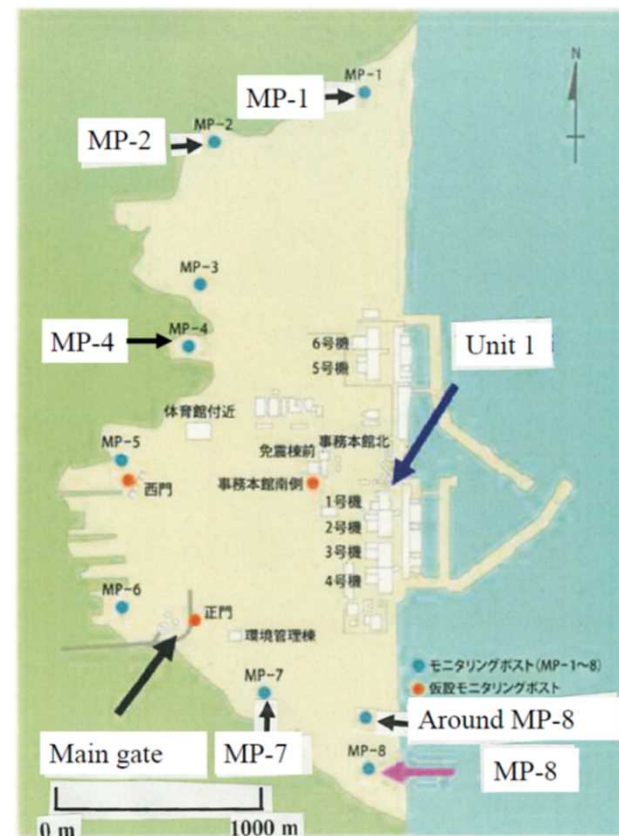
- 2011年3月12日のモニタリングポスト等(モニタリングポスト、排ガスモニター、モニタリングカー)での線量率と原子炉の事象の関係について検討する
- 3月12日は、放射性核種を含むプルームを放出する可能性があるのは1号機だけと考えられるので、「モニタリングポスト等での線量率」と「1号機の原子炉事象」との関係を検討することになる
- 12日午後には、「ベント操作に伴う 1/2 号機共用排気筒からの気体放出」と「1号機の水素爆発」という大きな出来事があったことから、主としてこの2つの事象とモニタリングポスト等での線量率の関連について検討する

# 検討対象の測定箇所



1号機からの距離

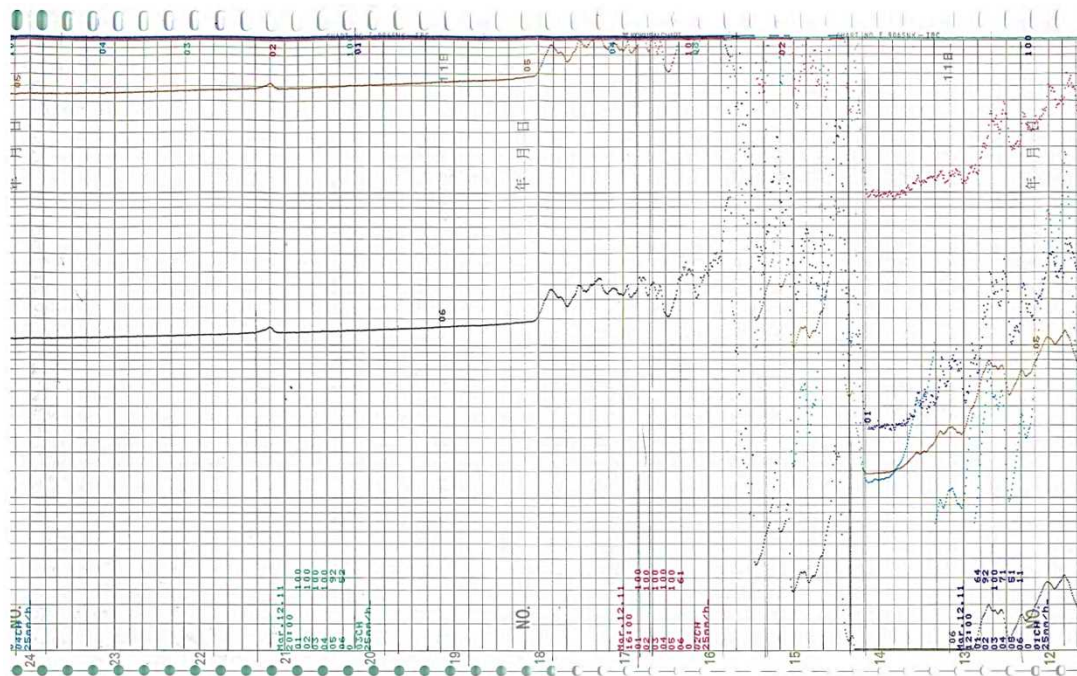
- MP-4: 1.1 km
- 大熊町夫沢MP : 1.8 km
- 大熊町大野MP : 5.2 km
- 双葉町郡山MP : 3.0 km
- 双葉町新山MP : 4.1 km
- 双葉町上羽鳥MP : 6.0 km
- 浪江町浪江MP : 8.7 km
- 浪江町幾世橋MP : 8.5 km
- 双葉町山田MP : 4.5 km
- 正門付近 : 0.96 km
- MP-8近辺 : 1.0 km
- 6号機SGTSモニター : 0.7 km
- MP-4付近 : 1.1 km



# 使用するモニタリングポストデータ

- 1時間平均のデータでは、原子炉の事象との対応が難しい(プルームが通過する際の10数分間の線量率変化が見えない)ので、詳細なデータが望ましい福島県のモニタリングポストデータで、20秒間隔のデータが残っているモニタリングポストについては、20秒間データの線量率を使用した
- 20秒間隔のデータが残っていない場合には、「チャート紙」に記録されたデータをグラフ数値読取システム (GSYS2.4) \*を用いて読み取った線量率を使用した(KEK Internal 2023-8)

\*<https://www.jcprg.org/gsys/2.4/index-j.html>



双葉町新山MPのチャート記録紙データの例

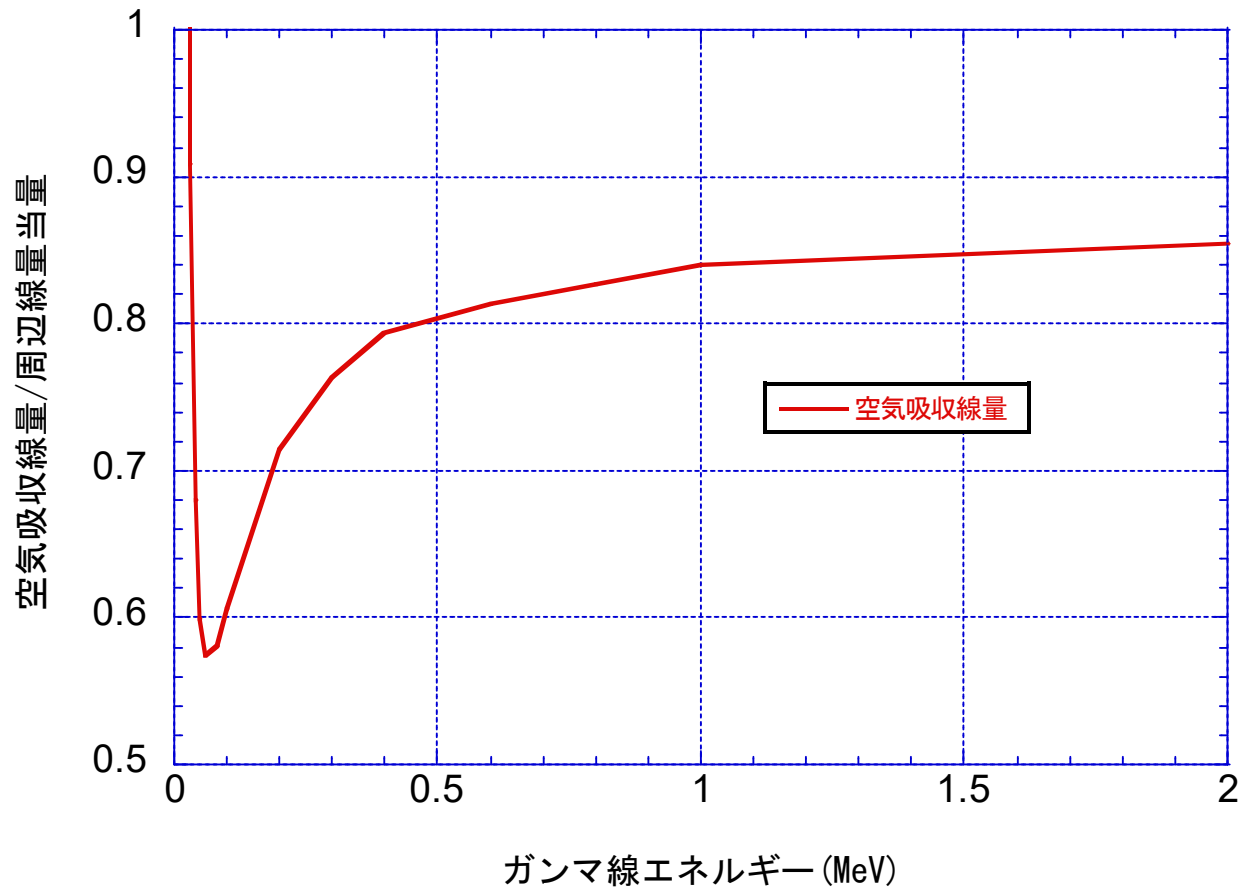
# 核種から放出される $\gamma$ 線エネルギー

Energy range	0.07-0.09	0.2-0.25	0.25-0.3	0.32-0.41	0.50-0.55	0.6-0.65	0.65-0.7
Peak No.					(1)	(2)	(3)
Nuclide	Energy (MeV) and emission rate						
Xe-133	0.081(38.0%)						
Xe-135m					0.526 (79.9%)		
Xe-135		0.249(90%)		0.408(0.359%)		0.608(2.90%)	
Te-132		0.228(88.0%)					
I-131	0.0802(2.6%)		0.284(6.1%)	0.365(80.7%)		0.637(7.2%)	
I-132					0.506(4.9%) 0.523(16.0%)		0.668(98.7%) 0.670(4.6%)
I-133					0.512(1.8%) 0.530(87.0%)		
Cs-134					0.565(8.4%) 0.569(15.4%)	0.605(97.6%)	
Cs-137							0.662(85.1%)
Energy range	0.7-0.8	0.8-0.9	0.9-1.0	1.1-1.2	1.2-1.3	1.3-1.4	
Peak No.	(4)	(5)				(6)	
Nuclide	Energy (MeV) and emission rate						
Xe-133							
Xe-135m							
Xe-135							
Te-132							
I-131	0.723(1.8%)						
I-132	0.727(5.4%) 0.773(75.6%)	0.812(5.5%)	0.955(17.6%)	1.136(3.0%)		1.399(7.0%)	
I-133	0.707(1.56%)	0.856(1.2%) 0.875(4.5%)			1.236(1.5%) 1.296(2.3%)		
Cs-134	0.796(85.5%)	0.802(8.75%)				1.365(3.0%)	
Cs-137							

- NaI(Tl)検出器はエネルギー分解能が良くないので、波高分布の全エネルギー吸収ピークのエネルギー同定には限界がある
- 3つ以上の核種の可能性がある場合にはピーク番号で示す

# 空気吸収線量と周辺線量当量(1cm線量当量)との関係

空気吸収線量と周辺線量当量の関係



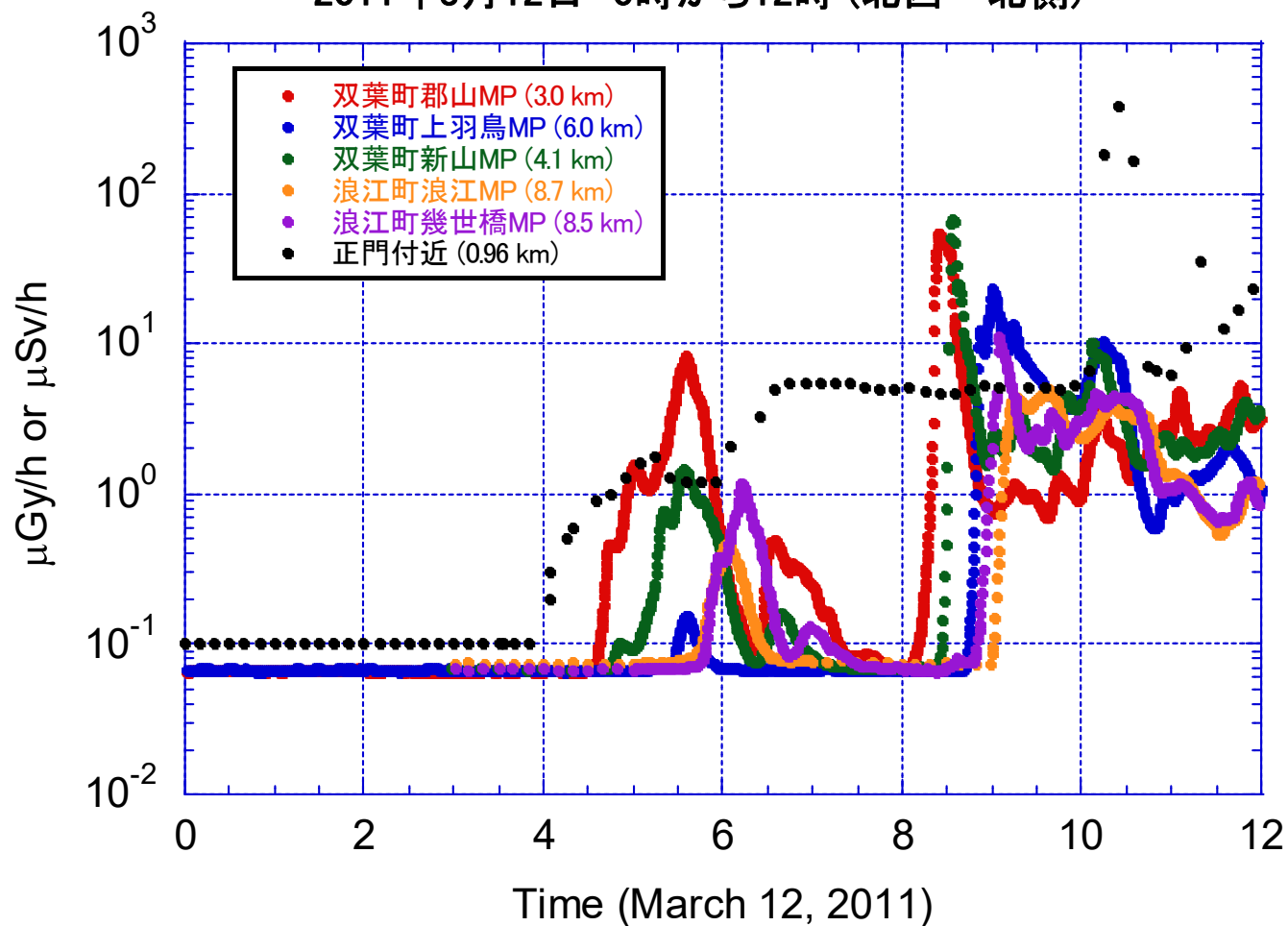
- 福島第一原子力発電所(以下「1F」という。)敷地外のモニタリングポストは、空気吸収線量率 ( $\mu\text{Gy/h}$ )を測定
- 1F敷地内のモニタリングポスト等は、周辺線量当量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )を測定
- ガンマ線エネルギーの大きさによって、空気吸収線量／周辺線量当量の比率が異なることに留意する必要がある。

## 3月12日午前の検討結果

- 1Fの「北西～北側」と「南～西側」に分けて示す。

# 3月12日午前の「北西～北側」の線量率

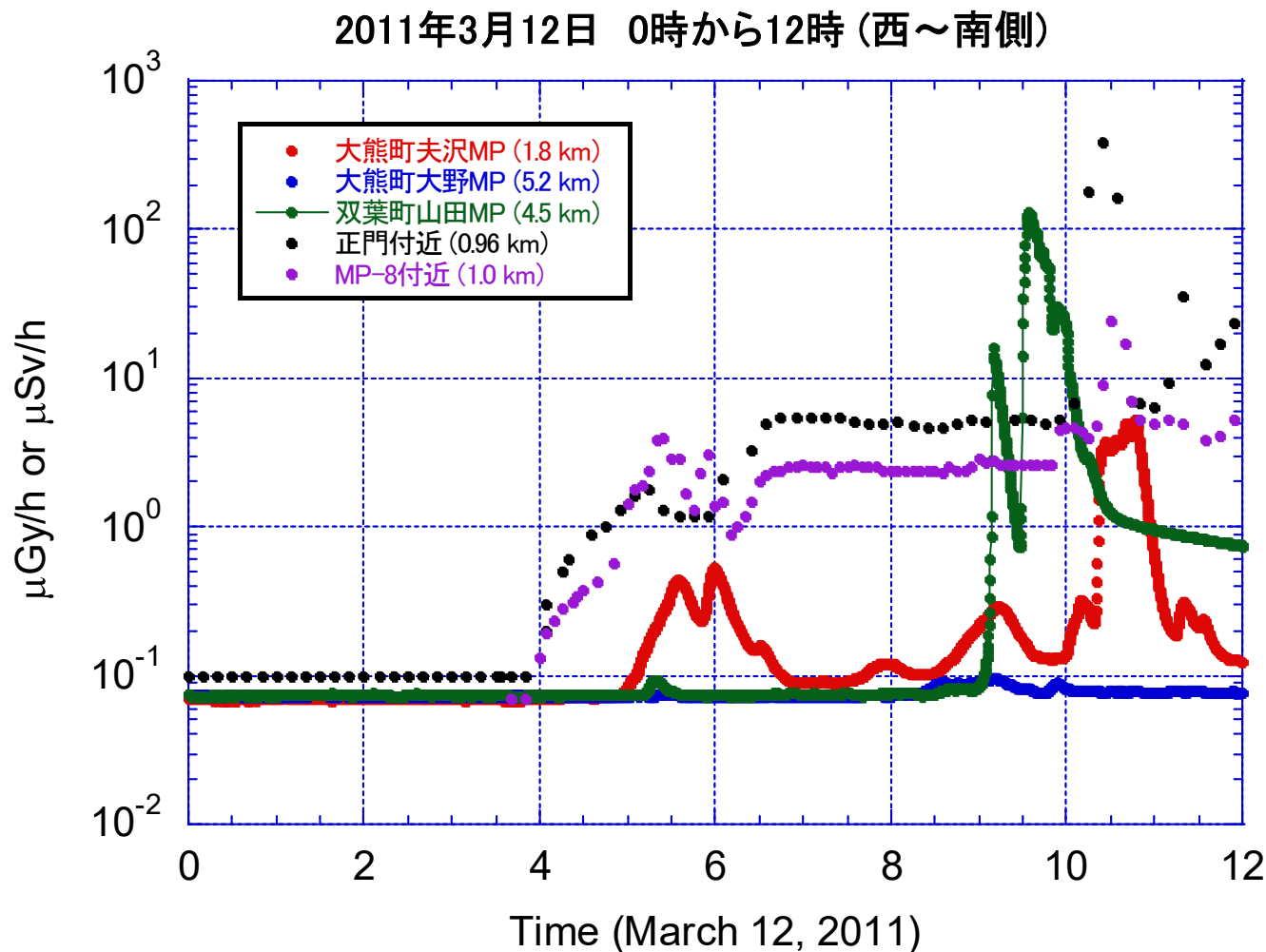
2011年3月12日 0時から12時 (北西～北側)



- 双葉町郡山MPでは、4時33分から線量率の上昇が始まった
- 双葉町郡山MPは、1Fから3 km 離れていることから、1号機からの放出に伴う正門付近での4時頃からの線量率上昇と同様の要因により線量率が上昇したと思われる
- 双葉町郡山MPから少し遅れて双葉町新山MPで、その1時間後に、浪江町浪江MPと浪江町幾世橋MPで線量率が上昇している
- 8時過ぎから9時過ぎには、4時過ぎより1桁ほど高い上昇が起きていることから、この間は風向が同じで、放出量が増加した可能性がある

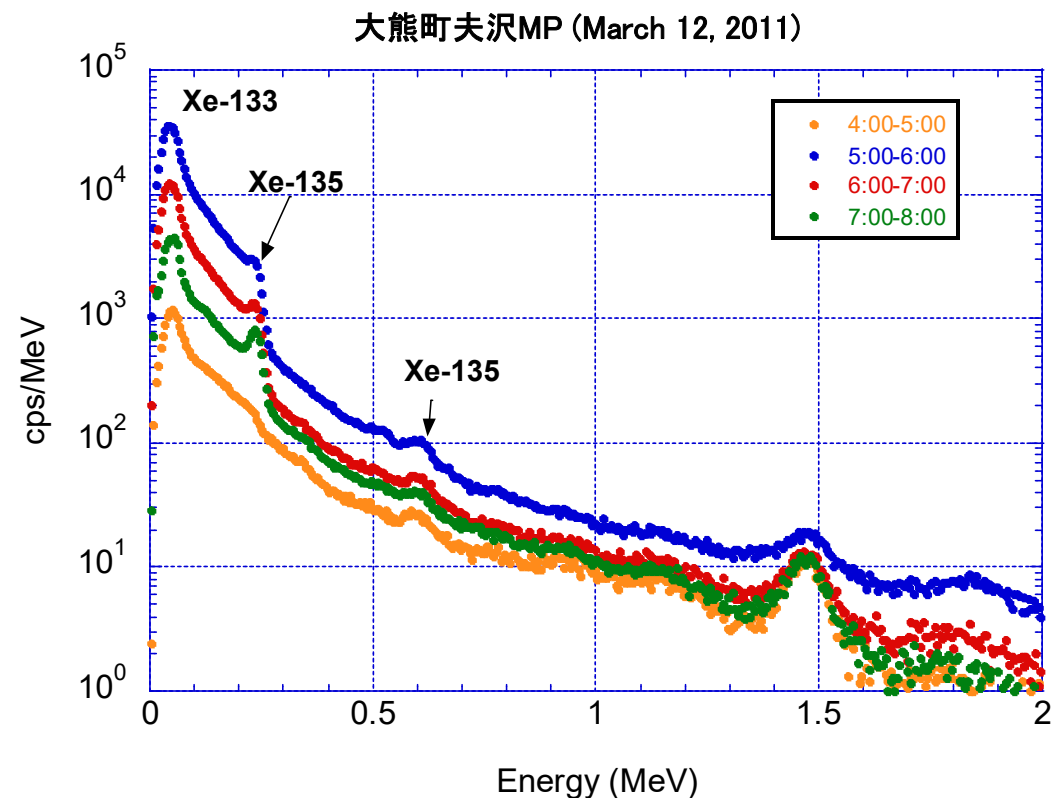
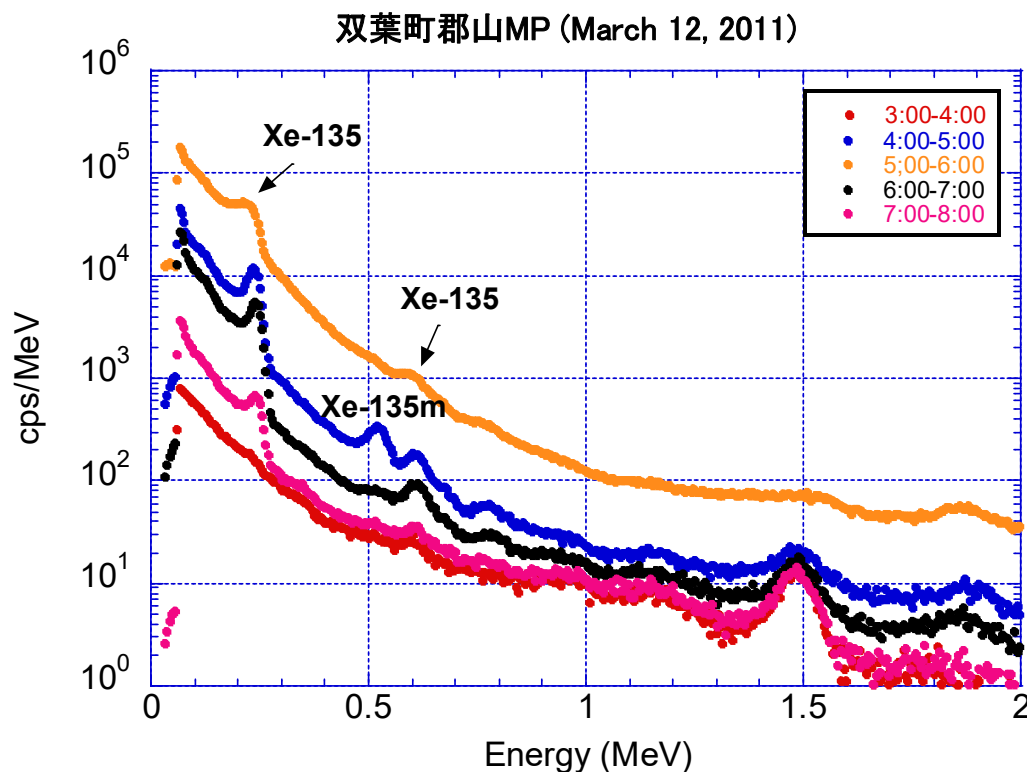


# 3月12日午前の「西～南側」の線量率



- 正門付近及びMP-8付近で4時頃から線量率上昇が生じ、その後、線量率が元のレベルに戻らないことから、オペフロに沈着性の放射性物質が溜まり始めたと思われる
- 大熊町夫沢MPでは、5時過ぎからプルームの飛来に伴う線量率上昇があり、10時過ぎには、更に濃度の高いプルームの飛来による線量率上昇が観測されている
- 双葉町山田MPでは、9時頃からプルームの飛来による線量率上昇が始まり、9時半頃には福島県内のMPのうち12日午前中では最も高い線量率(約100  $\mu\text{Gy/h}$ )が観測されている
- 正門付近(WSW)と山田(W)はわずかの風軸差であるが、山田:9時半、正門付近:10時半の各上昇を、他方は感応していない

# 北西～北側(双葉町郡山MP)と 西～南側(大熊町夫沢MP)の波高分布(8時以前)



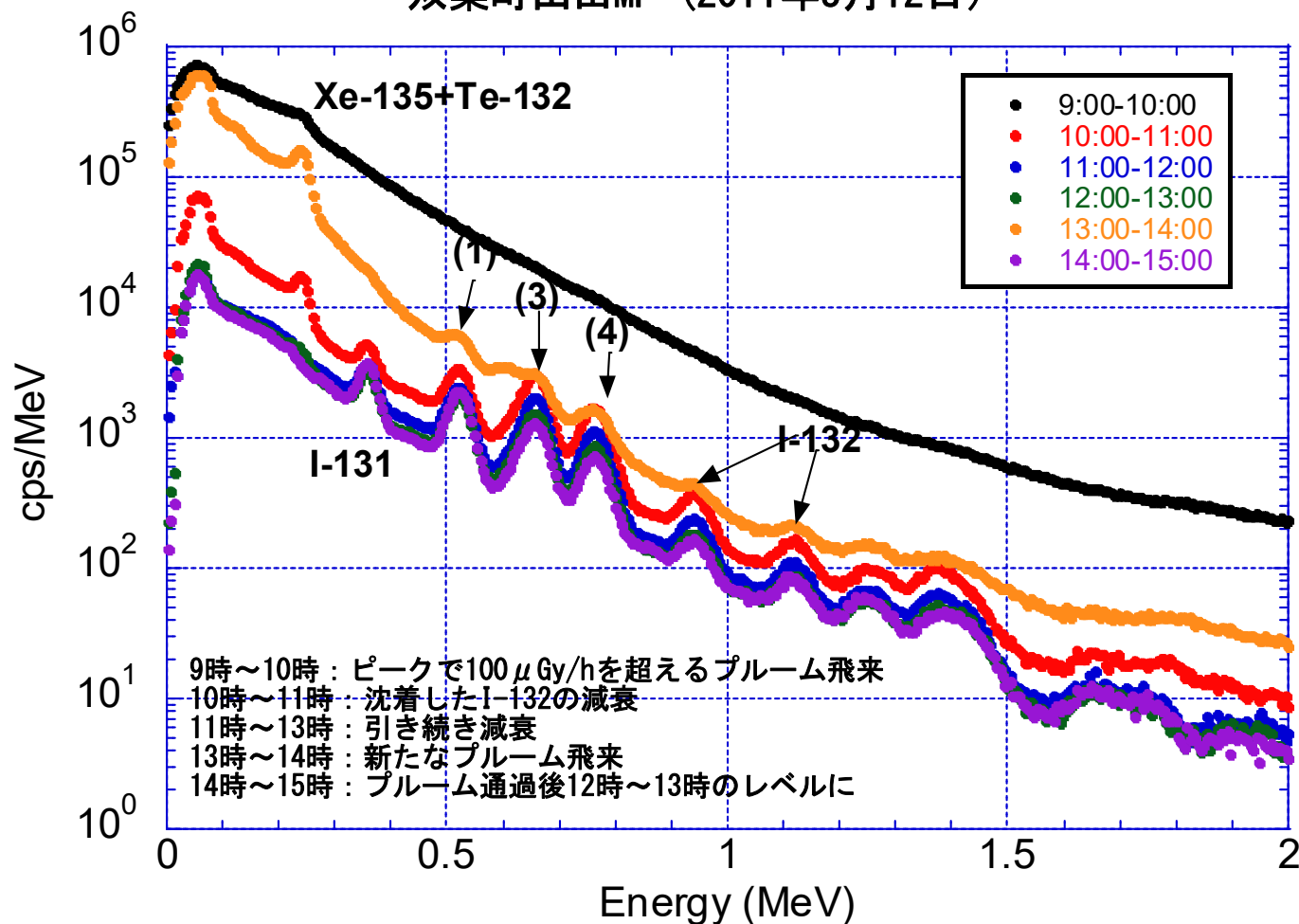
- 8時以前のプルームによる波高分布の上昇では希ガスが寄与している
- 双葉町郡山MPの5時～6時の波高分布では、エネルギーの高い領域でも増加しているように見えるが、Xe-133等からの低エネルギー $\gamma$ 線が非常に多いことによるパイルアップによるものである

## 8時以前のモニタリングポストデータ

- 波高分布では、希ガスのピークしか見られない
  - ✓ 双葉町郡山MPではディスクリレベルが高いことから、エネルギーが低いXe-133の $\gamma$ 線は明確には見えない
- プルームが飛来すると、低エネルギー領域の計数率が上昇する
  - ✓ 計数率が非常に高い場合には、パイルアップにより高エネルギー領域の計数率も見かけ上増える
- プルーム通過後は、プルーム飛来前の波高分布に戻る
  - ✓ 希ガスであるため、プルームの飛来による沈着は生じない
- 4時ごろからの1F敷地内(正門付近、MP-8付近)の線量率上昇は、1号機のオペレーションフロアに充満した放射性核種が線源となった「散乱線・スカイシャイン線」であると思われる(東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係る検討会(以下「事故分析検討会」という。)第40回会合で説明済み)

# 9時以降の波高分布(双葉町山田MP)

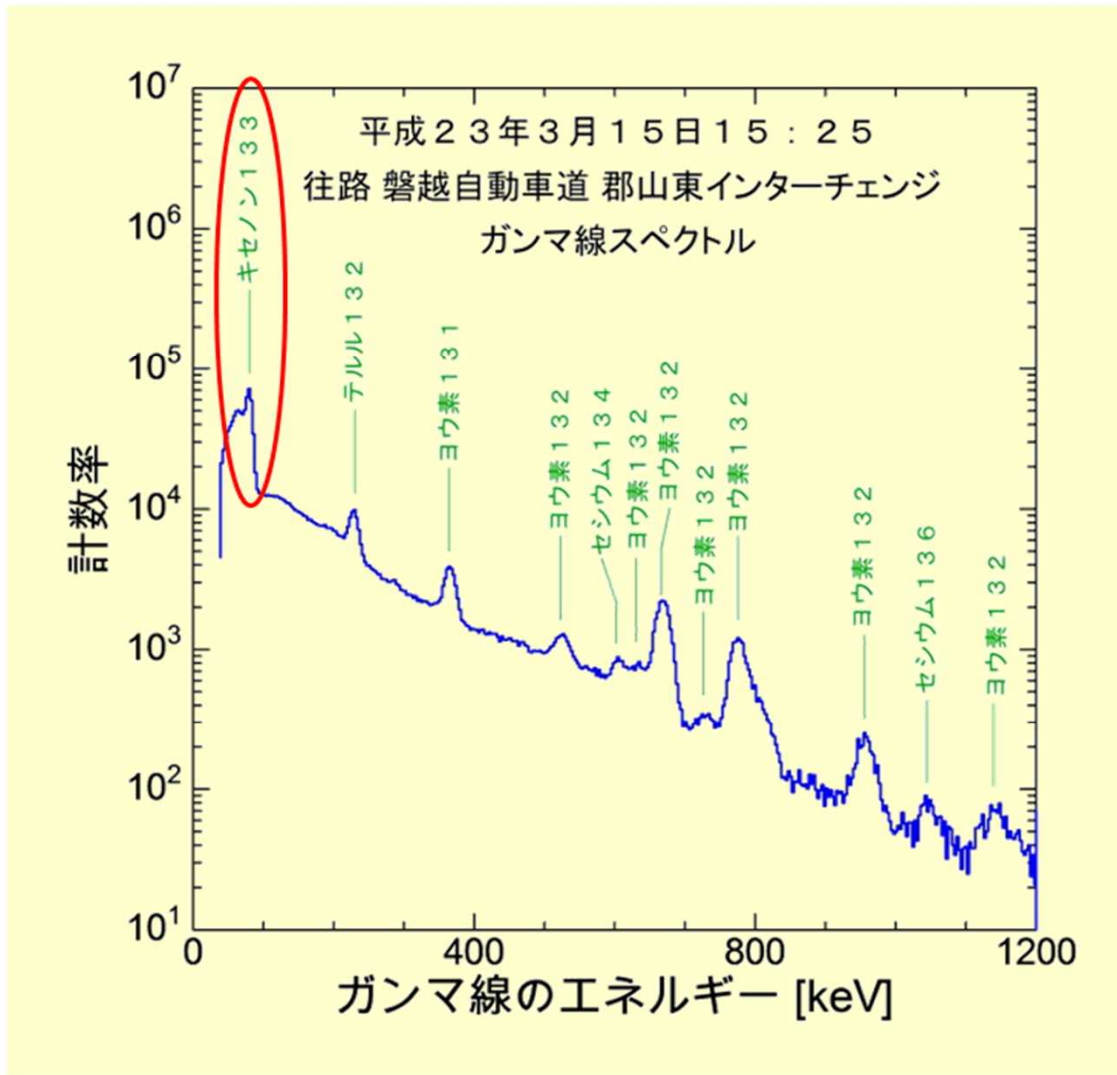
双葉町山田MP (2011年3月12日)



- 双葉町山田MPではプルーム飛来による上昇と周辺への沈着の状況がよく分かる
- 9時～10時の波高分布は、西～南側の線量率に見られた9時及び9時半のプルーム飛来による上昇に対応している
- プルーム通過後は、I-132の減衰に伴い線量率が減少している
- 9時以降のプルームによる波高分布の上昇では、放射性ヨウ素等も寄与している
- 他のモニタリングポストでは、繰り返しプルームが飛来したため、沈着した放射性核種の状況が見えない

# (参考)LaBr<sub>3</sub>検出器による波高分布

テルル、ヨウ素、セシウムも



放射性プルームを観測

気体放射性核種キセノン133の存在が証拠

3月15日のデータであるため、半減期の短いXe-135はないが、各核種のγ線が明瞭に分離して測定されていることが分かる

出典：松村宏他、“高速道路上のガンマ線測定により得られた福島第一原子力発電所から飛散した放射性物質の拡散状況”、日本原子力学会和文論文誌, Vol.10(2011)152-162

# 9時以降のモニタリングポストデータ

- 双葉町山田MPの波高分布で明らかのように、8時以前と異なり、放射性ヨウ素等の希ガス以外の核種が含まれている
  - ✓ 波高分布データは、双葉町郡山MP以外は1時間平均データなので、当該1時間内にプルームが飛来すると、希ガス(エネルギーは低く、検出感度が高い)以外の核種からの $\gamma$ 線の識別が困難になる
- 双葉町山田MPは、他のモニタリングポストと異なる時間変化をしている
- プルームの飛来は、午前中では9時過ぎ及び9時半頃の2回のみ

## 3月12日午前中で検討が必要な事項

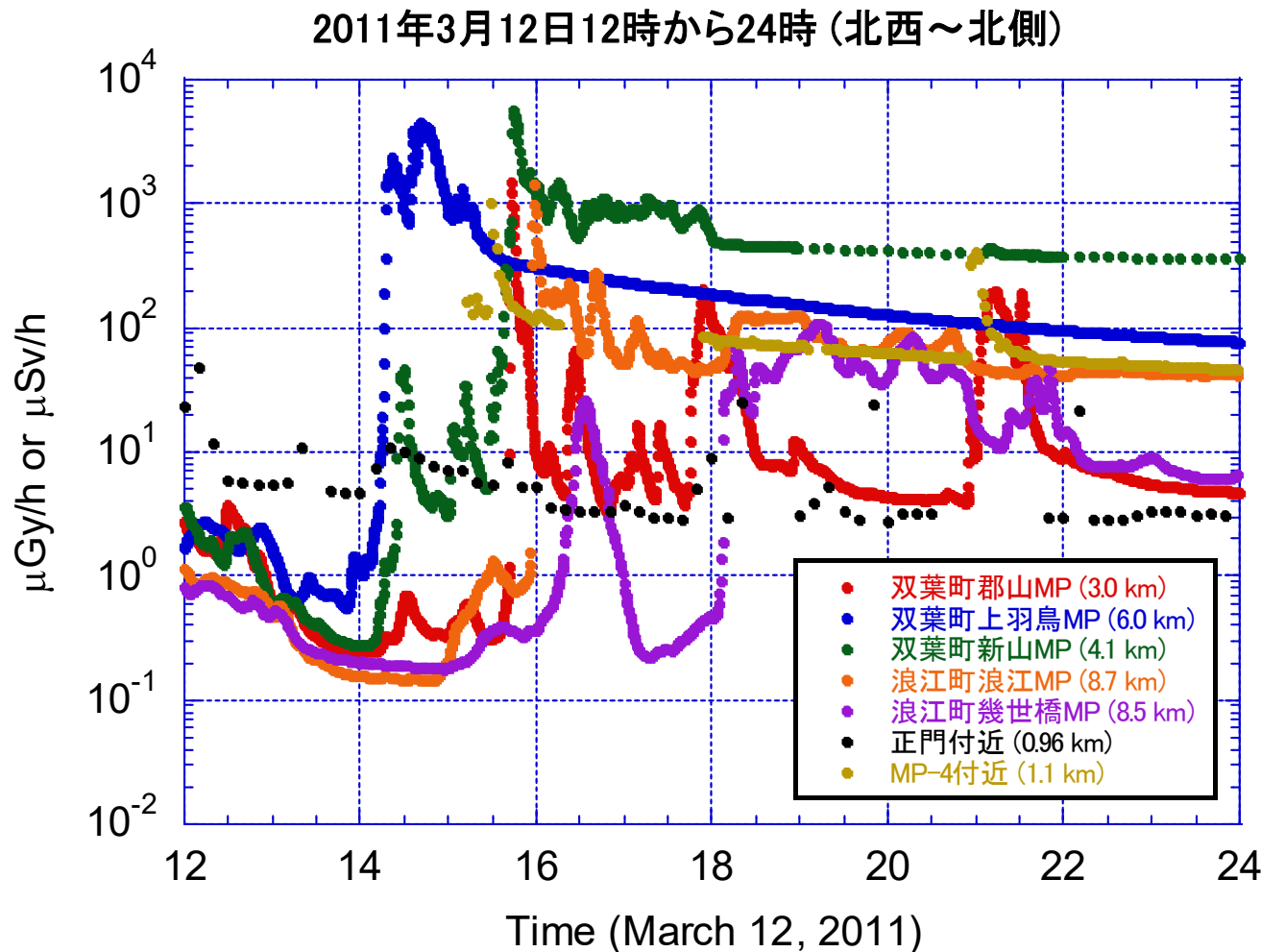
- 1Fの敷地内外(主に北西～北方向)でプルームの飛来による線量率の上昇が観測され、時刻と共に状況が変化しているが、1号機のどのような状況と対応しているのかの検討が必要
  - ✓ 4時半過ぎから希ガスを含むプルームの飛来による上昇が観測されるようになった原因
  - ✓ 9時過ぎから、希ガス以外の核種を含めたプルームが飛来するようになった原因
  - ✓ 西側の双葉町山田MPで、他のモニタリングポストと異なる時間変化が生じた原因
- 各モニタリングポストへのプルームの飛来は、風向・風速が影響していると思われるが、大気拡散計算で概略再現することが出来るかの検討が必要である
  - ✓ 原子炉建屋(OP 10 m ~OP 54.75 m) の途中で各プルームに対応した風向の高さがあれば、建屋から外部にもれた箇所 の推定に役立つ

## 3月12日午後の検討結果

- 3月12日午前と同様に、1Fの「北西～北側」と「南～西側」に分けて示す。



# 3月12日午後の「北西～北側」の線量率

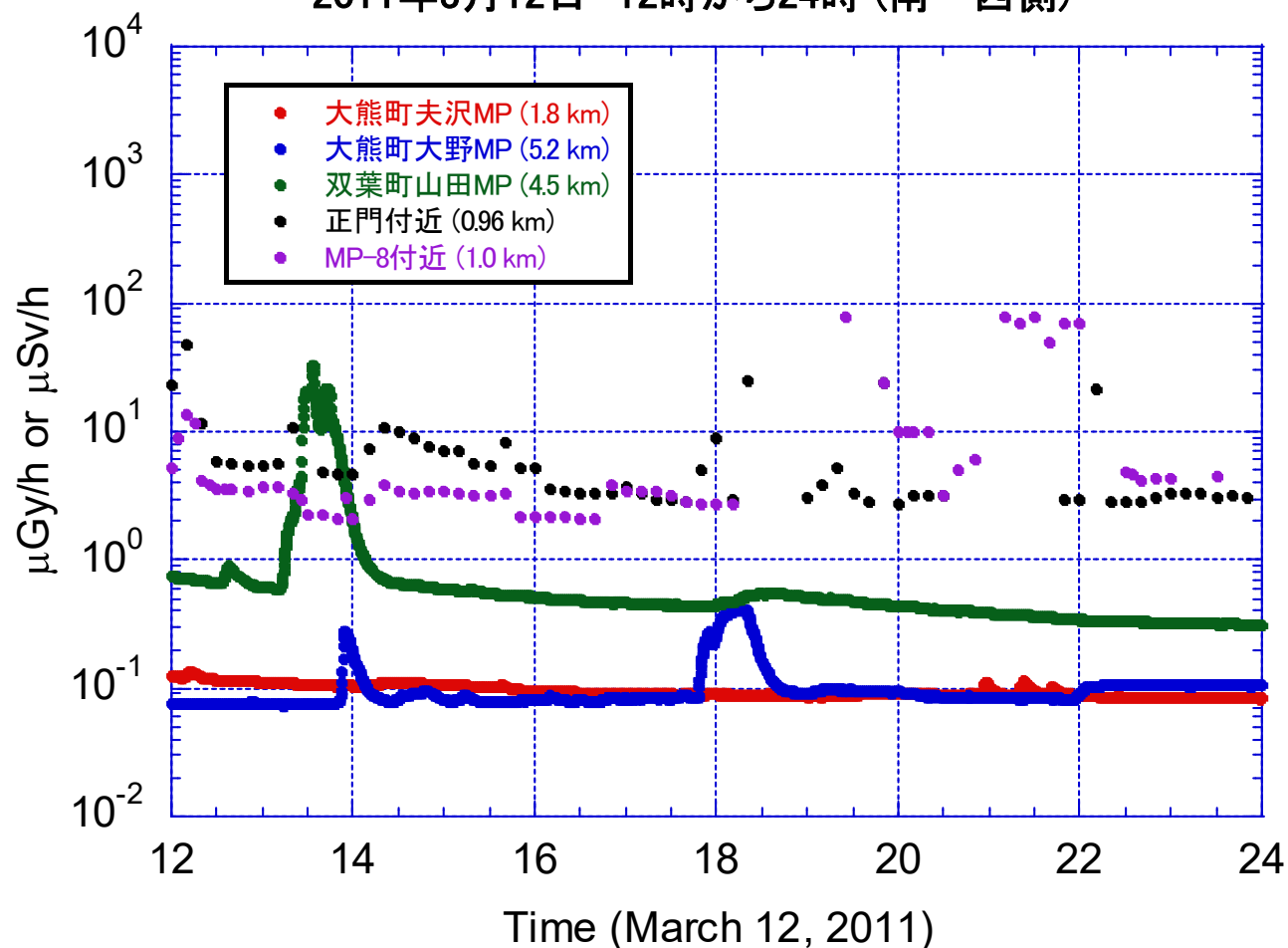


14時30分頃にD/Wの圧力減少確認  
15時36分に1号機水素爆発

- 午前中より線量率が高いプルームの飛来による線量率上昇が多く観測されている
- 特に、双葉町郡山MP、双葉町新山MP、双葉町上羽鳥MP、浪江町浪江MPでは、1F敷地内(「正門付近」、「MP-4付近」や「MP-8付近」)より高い線量率が観測されている
- これらのモニタリングポストでは、プルーム通過後にプルーム飛来に伴い周辺に沈着した放射性核種による線量率の減衰が見られるが、双葉町上羽鳥MPの減衰は他より少し早い
- MP-4付近では、水素爆発に伴うプルーム飛来による上昇前に周辺への沈着によると思われる状況があり、プルーム通過後の減衰傾向は双葉町上羽鳥MPに近い
- 浪江町幾世橋MPでは、16時頃から幅の広いピークがあり、プルーム通過後はほぼ飛来前のレベルに戻っている。また18時すぎから別のプルームの飛来がある

# 3月12日午後の「西～南側」の線量率

2011年3月12日 12時から24時 (南～西側)

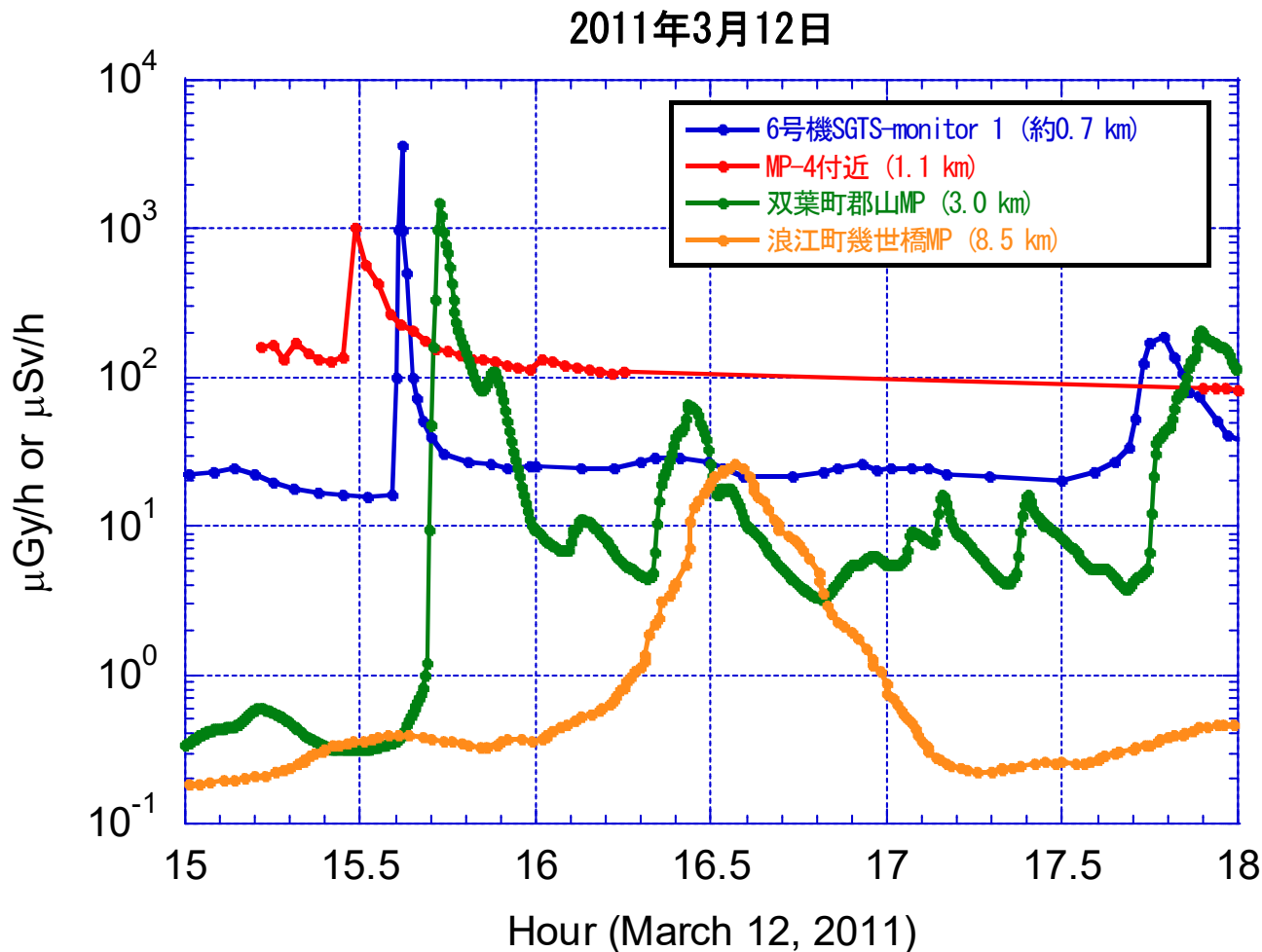


- 双葉町山田MPで、13時からプルームの飛来による上昇が見られるが、北西～北側に比べると線量率は低い
- 1号機のベント作業(14:30頃)及び水素爆発(15:36)によるプルームは西～南側では観測されていない

# 水素爆発に伴うプルームの特徴

- 水素爆発に伴うプルームは、次のような特徴を持っている。
  - ✓ 原子炉建屋からの放出時間が明確である(15時36分)
  - ✓ オペレーションフロアに充満していたエアロゾルを含むガスの放出なので放出場所が明確(オペレーションフロア)である
  - ✓ 水素爆発の力がオペレーションフロアに充満していたガスにどのような伝わり、ガスがどのような挙動をしたかの情報は不明である
    - 水素爆発によりオペレーションフロア内に存在していたガスは広がったと考えられる
    - 大気拡散計算を用いて放出率の検討を行ってきたJAEAのグループは、ビデオ等から爆発時の煙の広がりから推定し、100 m × 100 m × 100 mの体積線源として放出されたと設定している
    - オペレーションフロアからの広がりなので、オペレーションフロアより高い位置までガスが広がったとしても、排気筒からの放出の様な高い場所(1/2号機共用排気筒の場合は120 m)からの放出と異なり、オペレーションフロアから到達した高さまで広がったプルームの移動になる
- 広がりを持ったプルームは、その後、風によって速やかに移動したと考えられる
  - ✓ 同じ状況が継続するとは考えにくいので継続時間は短い

# 水素爆発に伴うプルーム飛来の特徴を示している測定箇所



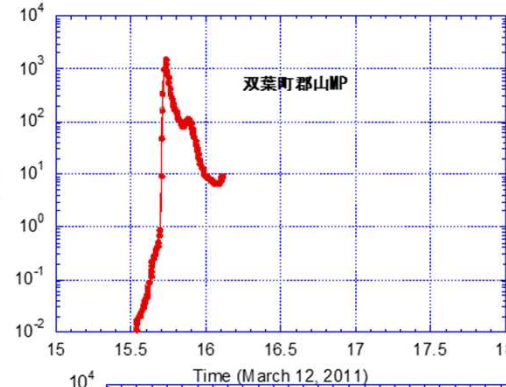
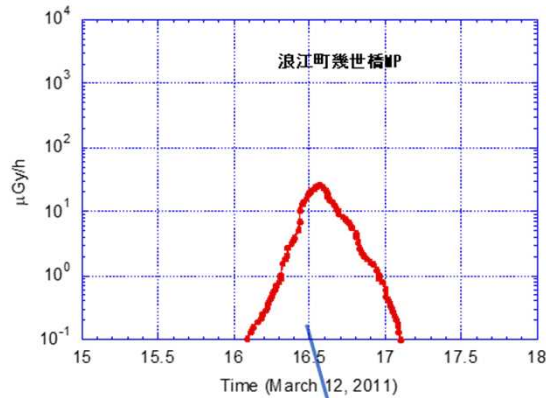
- 6号機SGTSモニターは、SGTS配管中の放射性ガスの測定監視が目的で、線量率校正が行われ、測定値が記録されている。検出器は建物外壁に沿った配管直付けであり、MPのような広い空間の線量率測定系とは異なるが、1号機水素爆発直後(15時37分12秒)に線量率が急上昇した後、短時間で急激に減少しており、水素爆発に伴うプルームの特徴を示している
- 双葉町郡山MPの15時42分頃のピークも水素爆発に伴うプルームの特徴を示している
- ・MP-4付近のピークは、水素爆発の時刻より前になっているが、東京電力の報告書では測定者の腕時計が遅れていたためであると説明されている
- ・浪江町幾世橋MPの16時半過ぎのブロードなピークも、1号機からの距離が8.5 kmと長いために広がったと考えると水素爆発に伴うプルームの特徴を持っていると言える

## 6号機SGTSモニターの設置状況

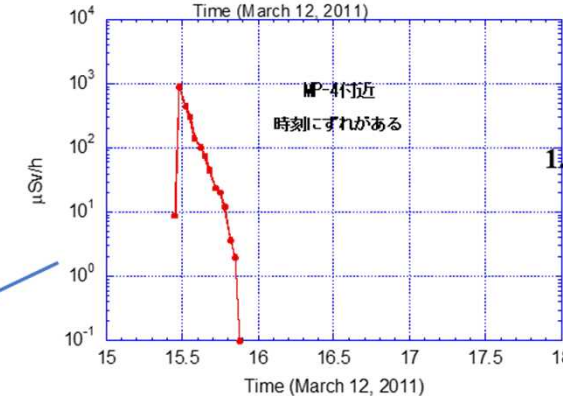
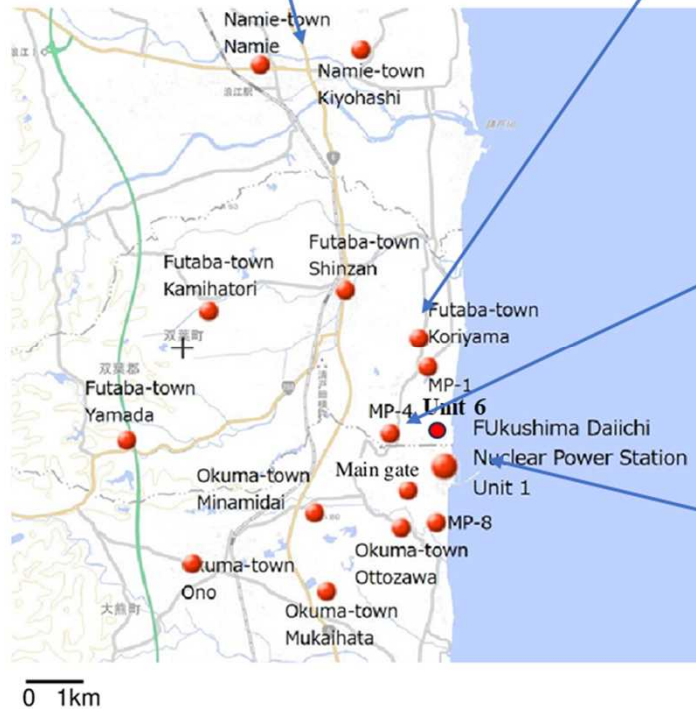


6号機SGTSモニター

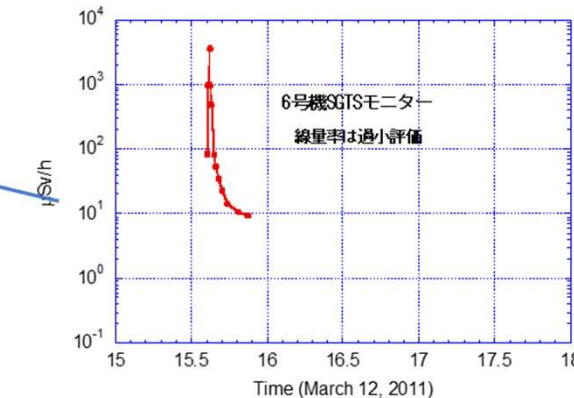
# プルーム飛来前のモニタリングポスト周辺に沈着していた核種の影響を除いた水素爆発に伴うプルームによる線量率の距離依存



- MP-4付近の測定時刻は、時計が遅れていたとされているが、正確は時刻が不明なので補正は行っていない

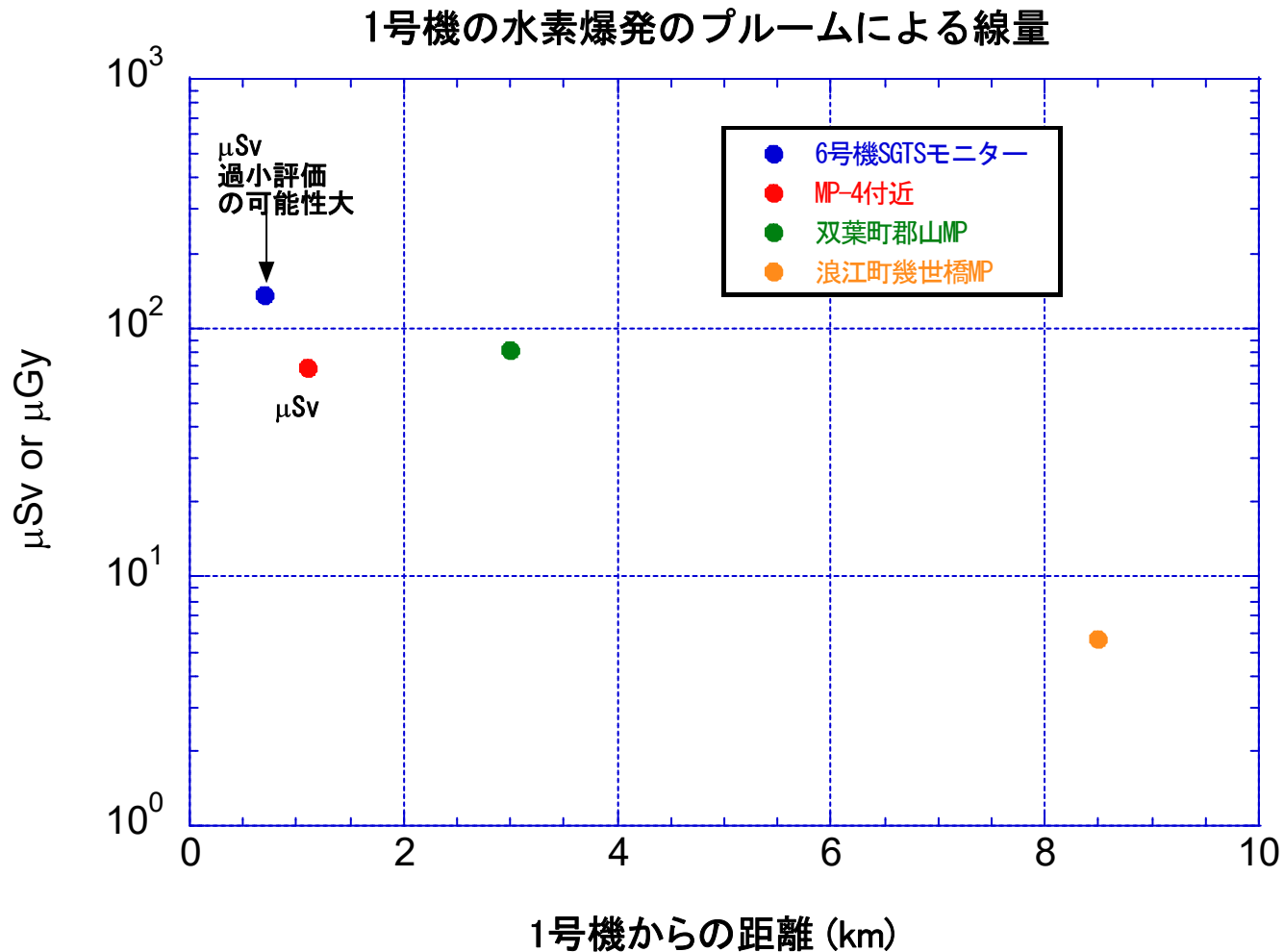


- 1号機からの距離が長くなるに伴い、プルームが広がる様子が見られる



- プルーム通過後には、ピーク時の線量率の1/100~1/1000のレベルになっている

# 水素爆発に伴うプルームによる積算線量の距離依存



- 積算線量は、線量率上昇分（前ページ参照）を積算評価した
- 1号機からの距離が離れるにつれて、プルームが拡散希釈されて各地点の線量率が低下し、積算線量が減少していること
- 6号機SGTSモニターは、建物の中に設置されているため線量率を過小評価している可能性が高い
- このことを考慮すると、水素爆発に伴うプルームは主に1号機から北の方向に進んだ可能性がある

# 1号機の水素爆発に伴うプルームのまとめ

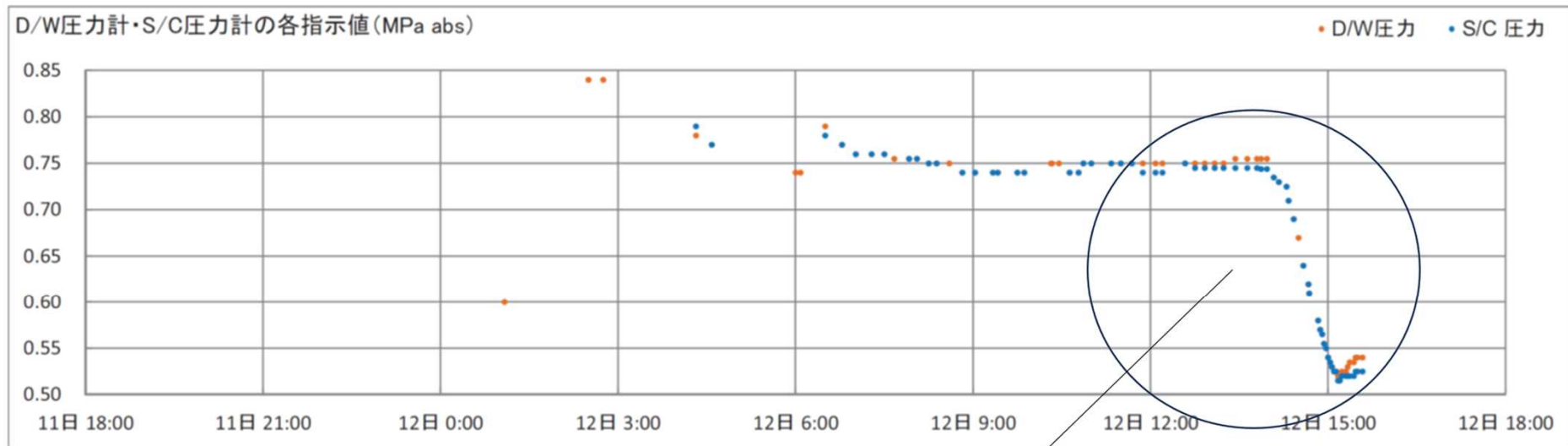
- プルーム飛来前に周辺に沈着していた核種による寄与を除いた「プルーム中の核種による線量率及び積算線量」
  - ✓ 1号機からの移動に伴い時間幅が広がっている
    - 距離の移動に伴いプルームが広がったことを示している
- プルーム中の核種による積算線量も1号機からの距離に伴い減少しており、このことから距離の移動に伴いプルームが広がったことを示している
  - ✓ 6号機のSGTSモニターは建物の間に設置されており、測定対象の空間が限られている事から得られた線量率は過小評価になっている可能性が高い
- 周辺に沈着していた核種の寄与を除くと、プルーム飛来中のピーク線量率とプルーム通過後の線量率は2～3桁程度の違いがある



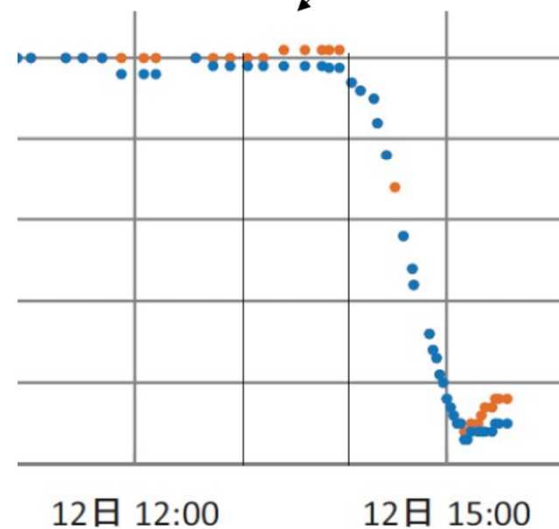
# 1号機のベントに関するデータ

- 1号機のベントは、これまでの事故分析検討会で以下のように報告されている
  - ✓ 格納容器ベントを実施するためには、電動弁と空気動作弁を開ける必要がある。
    - 電動弁は弁本体に付属しているハンドルで、9時15分に手順通り 25 % 開状態にされた
    - 空気作動弁は、現場の線量率が高いため現場操作が出来なかったため、空気作動弁の小弁の空気の残圧に期待して、10時17分、23分及び24分の3回、中央制御室で開操作(電磁弁の励磁)を実施したが、弁の状態は確認されていない
    - その後、エアコンプレッサ(エンジン付)とアダプタ、バッテリー等を収集・準備して、空気操作大弁の操作を行い、14時過ぎからS/Cの圧力が低下始めたことで弁開を確認した
- S/C気相部圧力は、ベント開始時期と終了時のしばらくの期間を除くとほぼ直線的に減少しており、この間は一定量の水蒸気・ガスが1/2号機排気筒から放出されたことを示している

# 1号機原子炉格納容器圧力の推移



東京電力福島第一原子力発電所の事故分析  
検討会第8回会合資料5 より



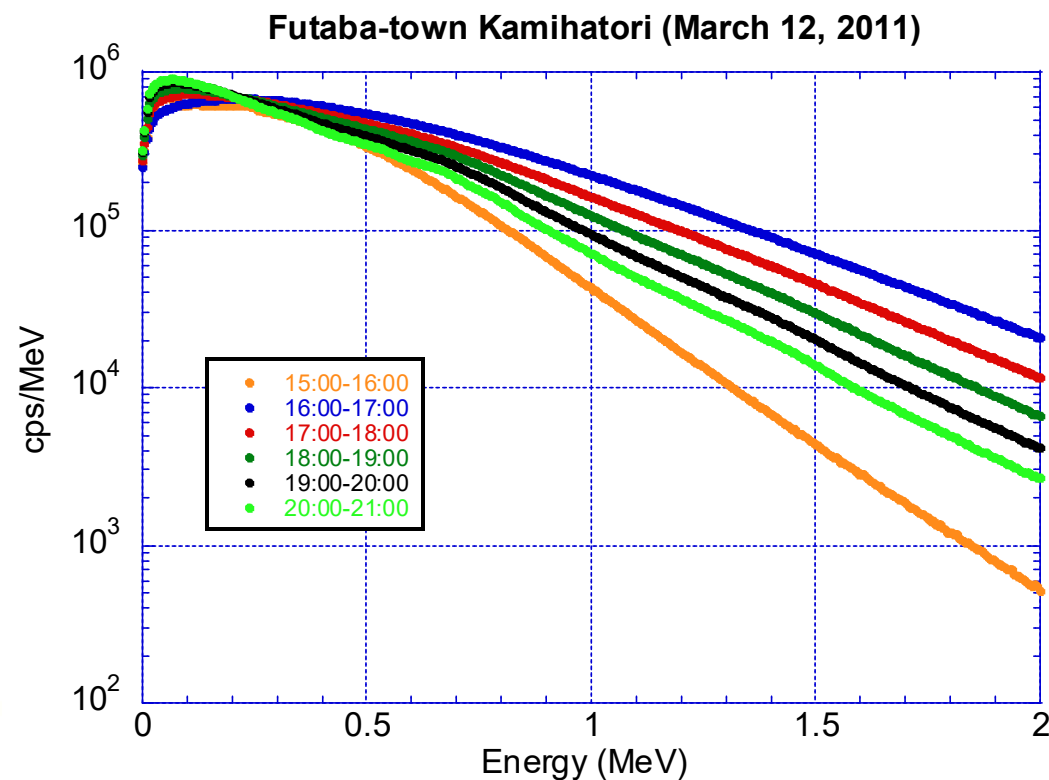
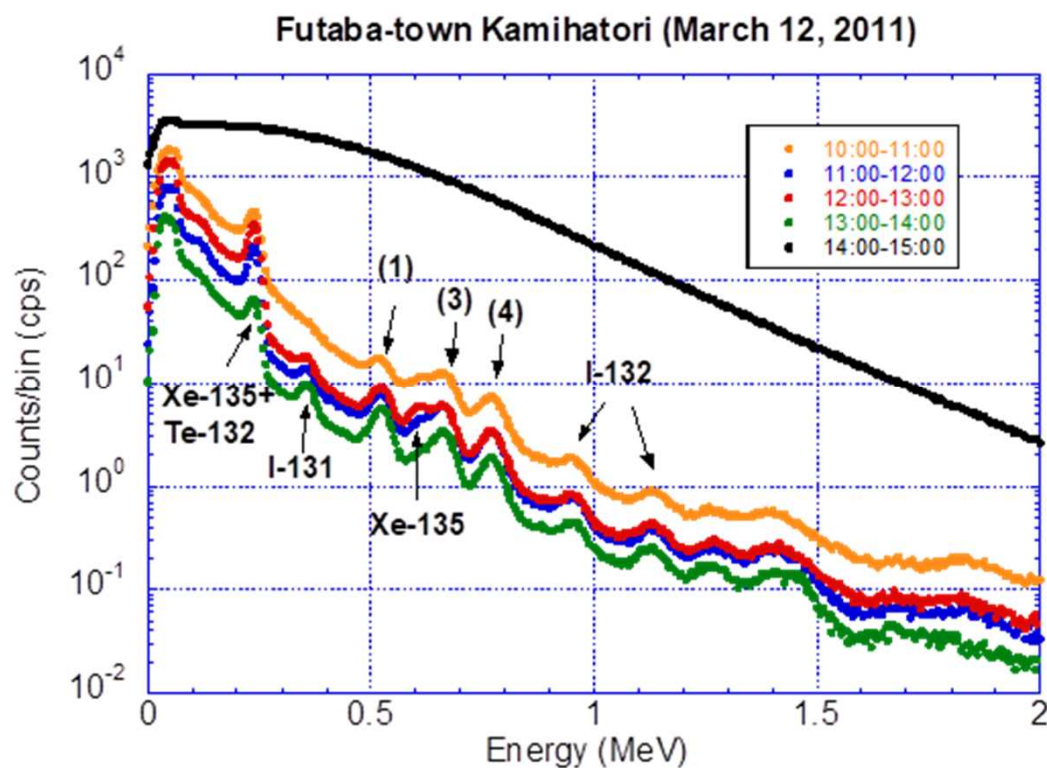
# 1号機のベントに伴うプルームの特徴

- 1号機のベントに伴うプルームは、次のような特徴を持っている。
  - ✓ 放出位置(1/2号機共用排気筒の頂部)が明確である
  - ✓ 排気筒頂部からの放出期間は、S/C気相部の圧力の変化から、3月12日14時頃から15時12分頃であり、15時25分の弁閉後の放出は無い
    - S/C気相部の圧力と排気筒頂部の放出が対応していると考えられるので、放出は14時頃から15時25分頃の間と思われる
  - ✓ ベント操作に伴い排気筒から放出されたプルーム中の核種組成、化学形態を推定することは難しい
    - 希ガスは燃料棒破損時にRPV内に充満し、更にPCVへ充満し、様々な経路でオペレーションフロアを含む原子炉建屋内に広がり、一部は建屋外に出て行ったと思われるので、ベント操作時にPCVにどれだけの希ガスが存在していたかは不明である。(プルーム中の希ガスの割合が不明)
    - RPV内で無機ヨウ素( $I_2$ )は一部金属配管と反応するものの、有機ヨウ素( $CH_3I$ )とともにPCV内に出て行く。
    - PCVからガスをS/C経由で放出するベント操作は、水中にガスを通気し、主にセシウム等の放射性物質を除去して建屋外への放射性物質の放出を低減することが目的である。その際、水溶性(フイオンや $I^{3-}$ イオン)のヨウ素はバブリングによりエアロゾルとして浮遊、拡散する可能性があるものの、詳細は不明である。
  - ✓ 排気筒頂部(原子炉建屋のグラウンドレベルから120 m)からの放出であるので、地上放散の場合と距離による拡散状態が異なる

## 双葉町上羽鳥MP

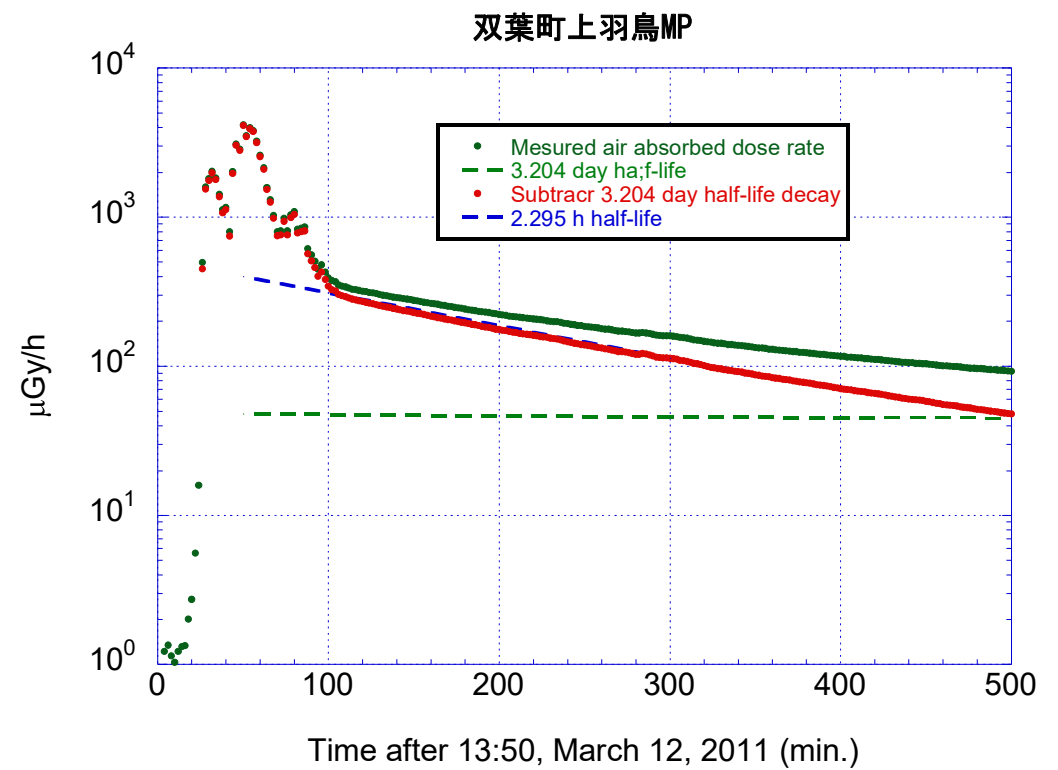
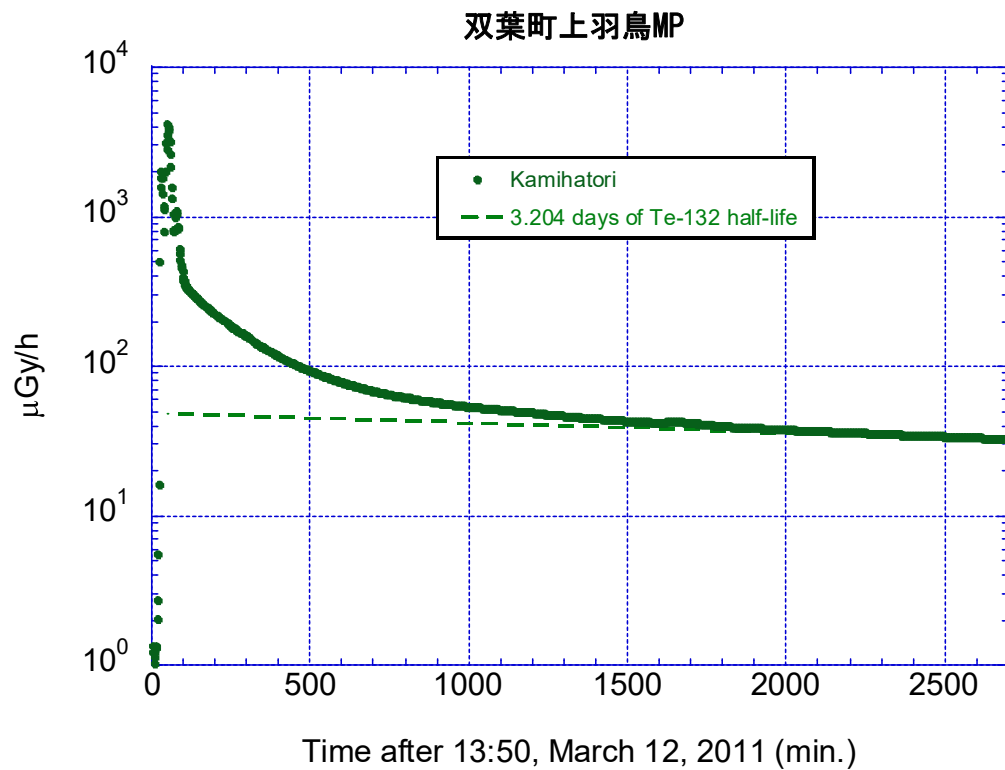
- 双葉町上羽鳥MPでの線量率の上昇は14時ごろに始まり、14時40分頃に最大となっている
  - ✓ 1号機水素爆発(15時36分)以前の線量率上昇であるため、水素爆発によるプルームではない
- 双葉町上羽鳥MPの線量率上昇は、14時頃に始まったベント操作による放出の初期に排気筒から放出されたプルームによる可能性がある
  - ✓ 1Fに近い領域の詳細な大気拡散計算での検証が必要である

# 双葉町上羽鳥MPでのNaI(Tl) 波高分布



- (左図)11時以降が9時及び10時頃のプルーム飛来に伴い周辺に沈着した放射性核種によるもので、I-131とI-132からの $\gamma$ 線のピークが明確に見える
- (右図)14時からの急上昇で検出器に入ってくる光子の数が急激に増えたことから、パイルアップにより波高分布の解析が出来ない状況になった

# 双葉町上羽鳥MPでの沈着した放射性核種の減衰



## プルーム通過後の双葉町上羽鳥MPでの 線量率の時間変化

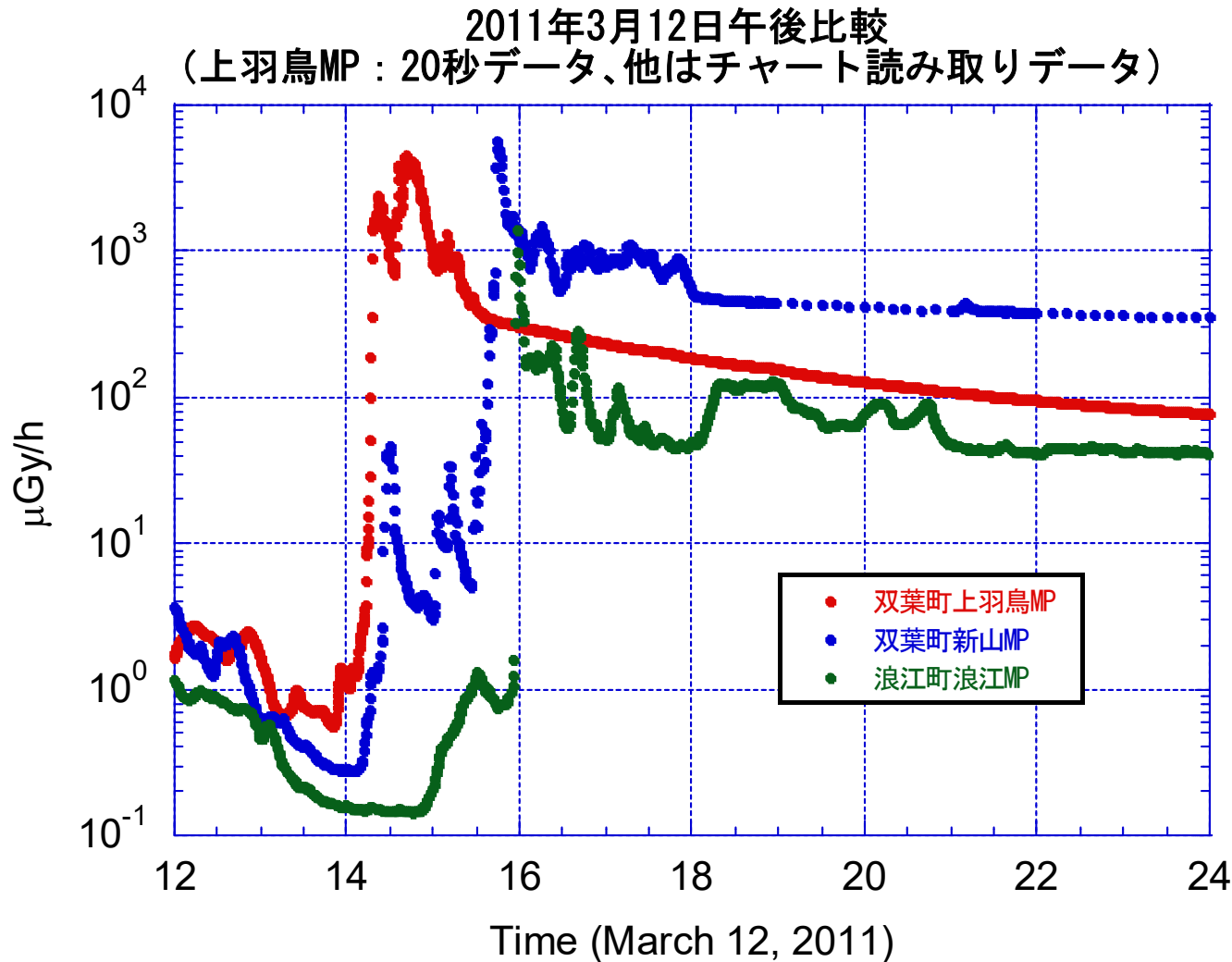
- 前ページの左図から、プルーム通過後約30時間(約1,850分)を過ぎると、線量率はTe-132の半減期(3.204日)で減衰するようになる
- その時点からプルーム飛来時まで外挿し、測定値から引いたのが右側グラフの赤印で、I-132の半減期(2.295時間)で減衰していることが分る
- I-132の半減期での減衰が始まる時刻では、周辺に沈着したI-132を中心とする放射性核種による線量率を測定していると考えられる
  - ✓ プルーム飛来に伴う空気吸収線量率の最大値と比較すると、1/10程度である
  - ✓ 周辺への沈着は、気象条件や周辺環境が影響するが、他の測定結果に比べて大きい
  - ✓ プルーム通過後の空気吸収線量率の減衰(周辺に沈着した放射性核種による空気吸収線量率の減衰)は、 $(I-132の放射能とTe-132の放射能の差)/(I-132の放射能)$ に依存

## 双葉町新山MPと浪江町浪江MP

- 15時30分以降の双葉町新山MP（1号機から4.1 km）と16時以降の浪江町浪江MP（1号機から8.7 km）はよく似た時間変化を示している
  - ✓ プルーム飛来時のピーク線量率と飛来後の線量率は1桁程度の違い
- 1号機のベントによる放出が14時頃から15時25分頃であるので、1Fに近い領域での詳細な大気拡散計算での検証が必要であるが、ベントの終了に近い時期に放出されたプルームを測定した可能性がある
- プルーム飛来時の空気吸収線量率とプルームの飛来により周辺に沈着した放射性核種による空気吸収線量率が、水素爆発に伴うプルームの場合と明らかに異なるので、水素爆発に伴うプルームとは思えない
- ベントに伴うプルームの可能性が高い双葉町上羽鳥MPと全体的な傾向が似ていることから、両MPで急上昇した空気吸収線量率は、1号機のベント操作に伴い1/2号機排気筒の先端から放出された可能性が高いと思われる

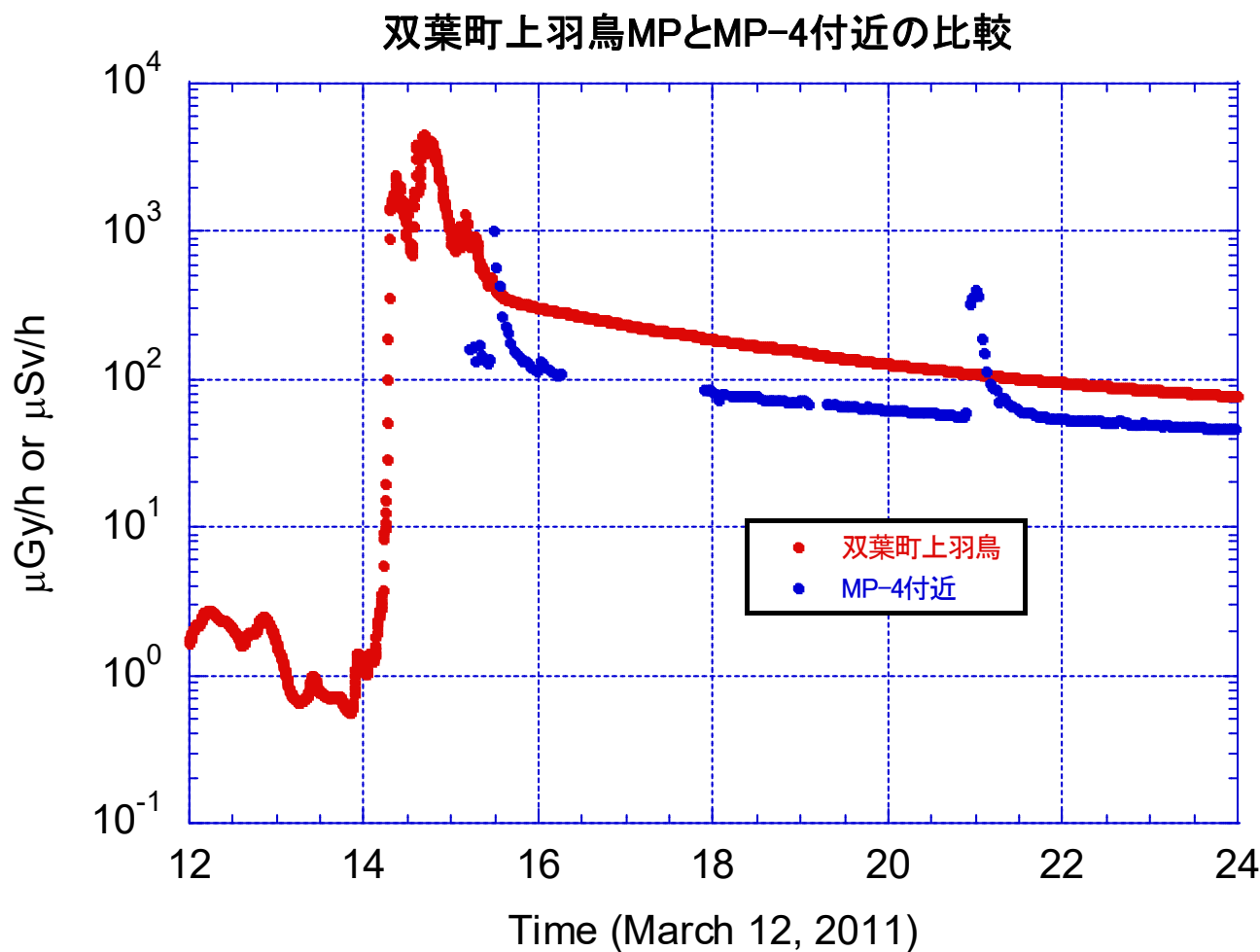


# 2011年3月12日午後の線量率変化



- 3箇所ともプルーム飛来に伴い周辺に沈着した核種による線量率は、プルーム飛来時のピーク線量率の1/10程度である
- 水素爆発に伴うプルームの場合(プルーム飛来に伴い沈着した核種による線量率は、プルーム飛来時のピーク線量率の1/100~1/1000)に比べて明らかに変化率が小さく沈着が多いことを示している
- 水素爆発に伴うプルームによる線量率は、1号機からの距離に伴い減少しているが、双葉町新山MPでは、ほぼ同じ距離に位置している双葉町郡山MPの10倍で、1号機からの距離が双葉町郡山MPの2倍以上ある浪江町浪江MPでも郡山MPより高い線量率となっている
- ベント初期(14時過ぎ)とベント終了時近く(15時過ぎ)に環境中に放出されたプルームでは、核種組成等が異なる可能性があるため、測定された線量率の減衰傾向の違いの要因等は今後検討する必要がある。

# 水素爆発に伴うプルーム以前から存在していたMP-4付近の線量率の時間変化

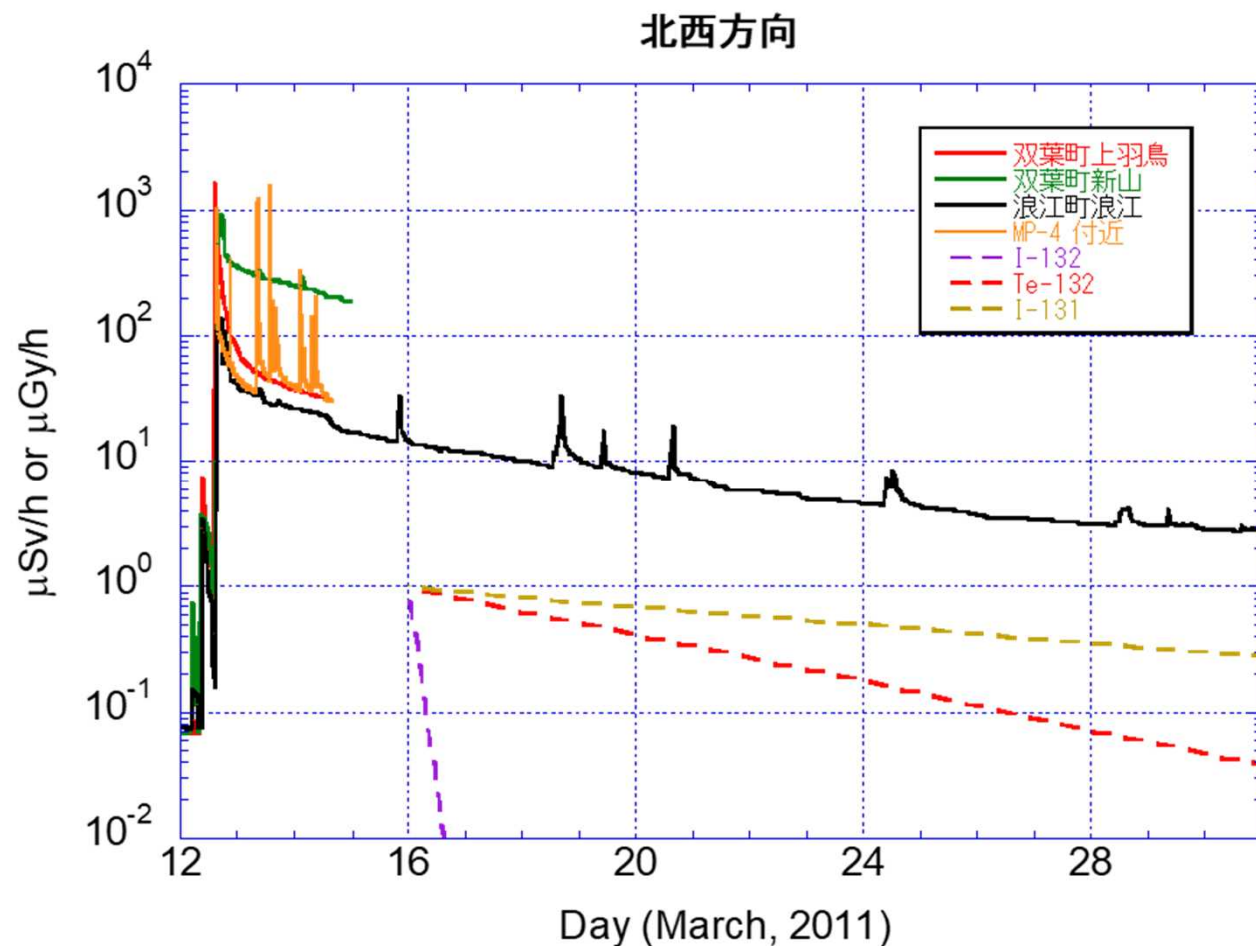


- MP-4付近で水素爆発による上昇以前から測定されていた「周辺に沈着した核種による」と思われる線量率をもたらしたプルームがいつ飛来したかを知ることはできないが、MP-4付近と双葉町上羽鳥MPが1号機からほぼ同じ方向にあること、両者の減衰傾向がよく似ていることから、双葉町上羽鳥MPに飛来したベントに伴うプルームである可能性が高い
- プルームの飛来により周辺に沈着した放射性核種による線量率が、1号機から1.1 kmのMP-4の方が6 kmの双葉町上羽鳥MPのより低いこともプルームが高い場所から放出されたことを示している

## 水素爆発に伴うプルーム飛来前の MP-4付近の線量率について

- MP-4付近では、水素爆発に伴うプルームが飛来する前に、  
100  $\mu$ Sv/hを超える高い線量率となっていた
  - ✓ 水素爆発に伴うプルーム以前に、高い濃度の放射性核種を含むプルームの飛来があり、それに伴い周辺に沈着した放射性核種によるものと思われる
  - ✓ MP-4付近での測定開始が遅かったため、プルームの飛来時刻は測定されていないが、MP-4付近と双葉町上羽鳥MPが1号機から同じ方向にあることから、双葉町上羽鳥MPで観測されたベントに伴うプルームの可能性が高い
    - 線量率の減衰傾向がよく似ていること
    - プルームの放出位置が高い場合には、1F敷地内より敷地外の方が線量率が高くなる傾向がある
      - 周辺に沈着した放射性核種による周辺線量当量率がMP-4付近の方が低いことは、プルーム放出位置が高いことを示している

# 2011年3月中の線量率変化



- 浪江町浪江MP以外は途中までしか測定値が残されていないが、3月12日以降のプルーム飛来に伴い周辺に沈着した放射性核種の寄与は小さく、それぞれの測定点での線量率は3月12日に沈着した放射性核種によることが分かる
- 逆に言うと、3月12日のプルーム飛来による沈着の影響が大きいことが分かる
- ここに示している地点以外の3月15日以降の線量率データ等も含めて、汚染の形成プロセス等について、今後、検討する必要がある。

# 1号機のベントに伴うプルームの影響範囲



- 双葉町山田MPと浪江町幾世橋MPで1号機のベント等に対応した空気吸収線量率の上昇が観測されていないことから、ベント等に伴うプルームの影響があった領域は、1号機から見て双葉町山田MPと浪江町幾世橋MPの間の領域に限定されると思われる。

## 3月12日午後の事象

- モニタリングポストの測定結果から判断すると1号機のベント等に伴う放射性核種の放出量が多かった可能性が高い
  - ✓ 1号機のベントに伴う放出が14時ころから15時12分頃までほぼ同じ量継続しており、双葉町上羽鳥MPは放出の初期、双葉町新山MPと浪江町浪江MPは放出の終わりに近い時期に放出されたプルームだとすると、上記の範囲に1時間強の間、非常に高濃度の放射性核種を含むプルームが放出された可能性がある
  - ✓ プルーム中の放射性核種の寄与は、最も影響する距離が長いT-132でも500 m 以下の領域なので、プルームの移動方向(風向)が少し変われば検出できなくなる
- 水素爆発に伴うプルームの飛来によると思われる線量率 (MP-4付近、双葉町郡山MP、浪江町幾世橋MP) は、ベント等に伴うプルームによる上昇に比べて遙かに低いと思われる
- 12日午後の「放出量推定総量」は変わらないとしても、「水素爆発に伴う放出量」と「ベント等に伴う放出量」との割合は再検討が必要
- 15時36分の水素爆発以降も1Fの北側ではプルームの飛来が繰り返し測定されている (双葉町郡山MP、浪江町幾世橋MP)
- 1号機の事象とどのような関連があるかの検討が必要

## 3月12日午後で検討が必要な事項

- 1Fに近い領域での詳細な大気拡散計算の検証
  - ✓ 水素爆発に伴うプルーム
  - ✓ 1/2号機排気筒からの14時頃のベントによる放出開始から15時25分の放出終了までのプルーム
- 1号機のベントに伴う「ガス（エアロゾル成分を含む）」の挙動
  - ✓ S/Cでの液相から気相への移行割合、必要な時間
  - ✓ 耐圧強化ベントライン、SGTS配管、1/2号機排気筒での挙動
  - ✓ 希ガス、ヨウ素、セシウムの炉内での拡散挙動の類似点、相違点

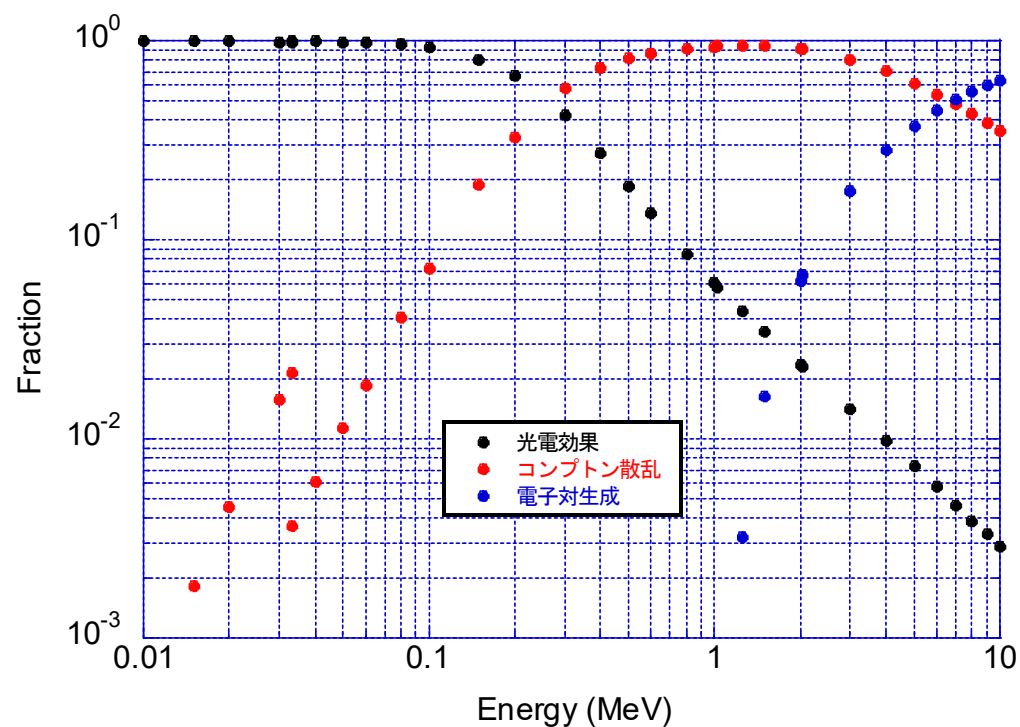
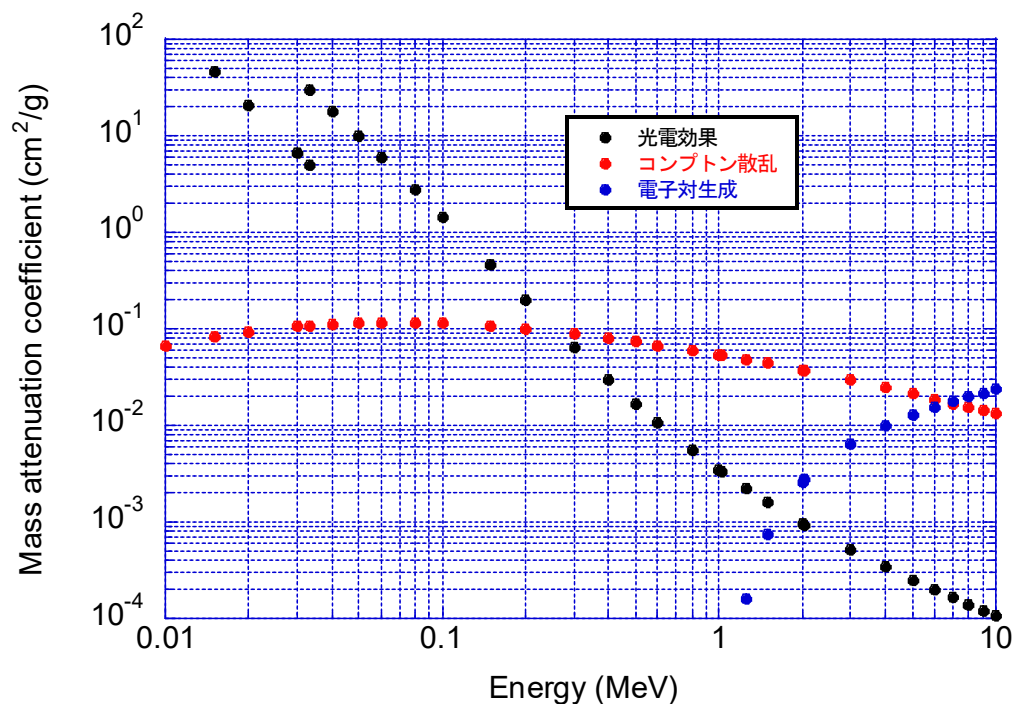
# **(参考)波高分布の測定結果による 放射性核種の推定**



# 波高分布による核種推定

- 波高分布を得ることが出来る放射線検出器を用いて、プルーム中や周辺に沈着した放射性核種を推定することは、現実的で合理的な手法であるが、そのためには以下のことを理解する必要がある
  - ✓ 検出器に入射した $\gamma$ 線と波高分布の関係
  - ✓ 散乱線の影響
  - ✓ エネルギー分解能
  - ✓ パルス計測とパイルアップ

# NaI(Tl)の光電吸収、コンプトン散乱及び 電子対生成の $\gamma$ 線エネルギー依存



出典 : <https://physics.nist.gov/PhysRefData/Xcom/html/xcom1.html>

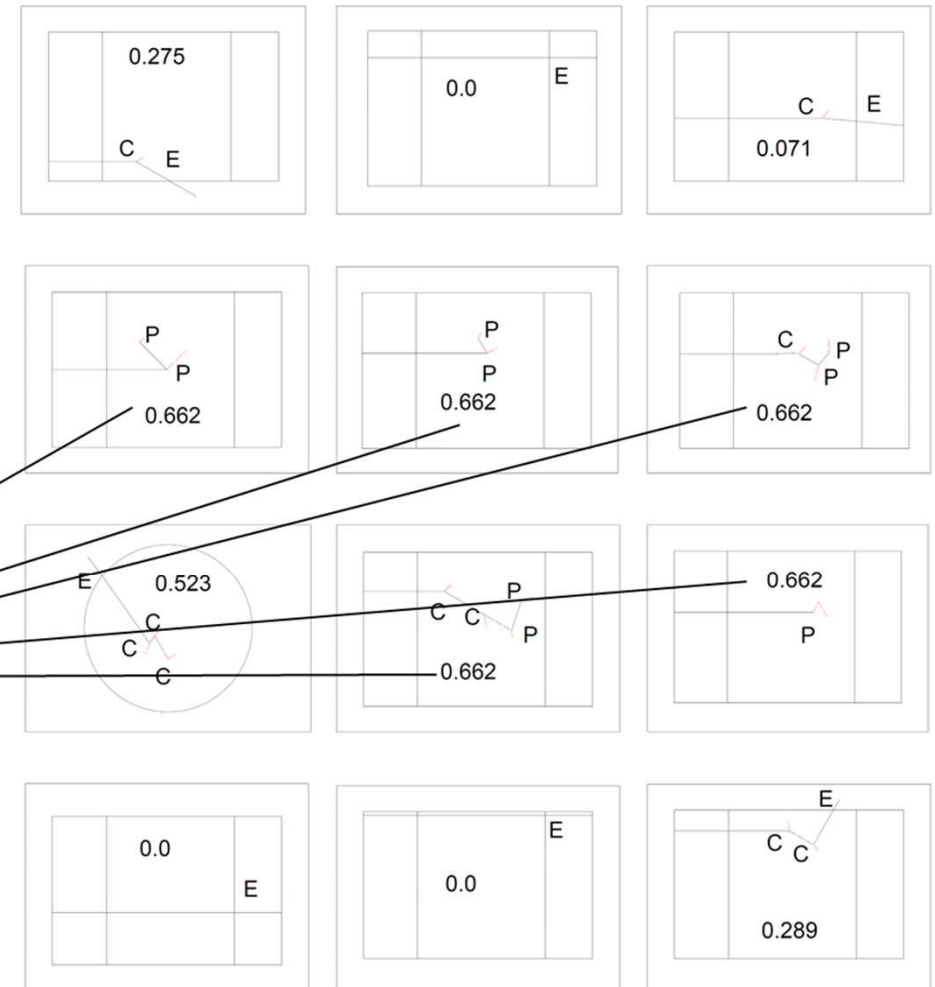
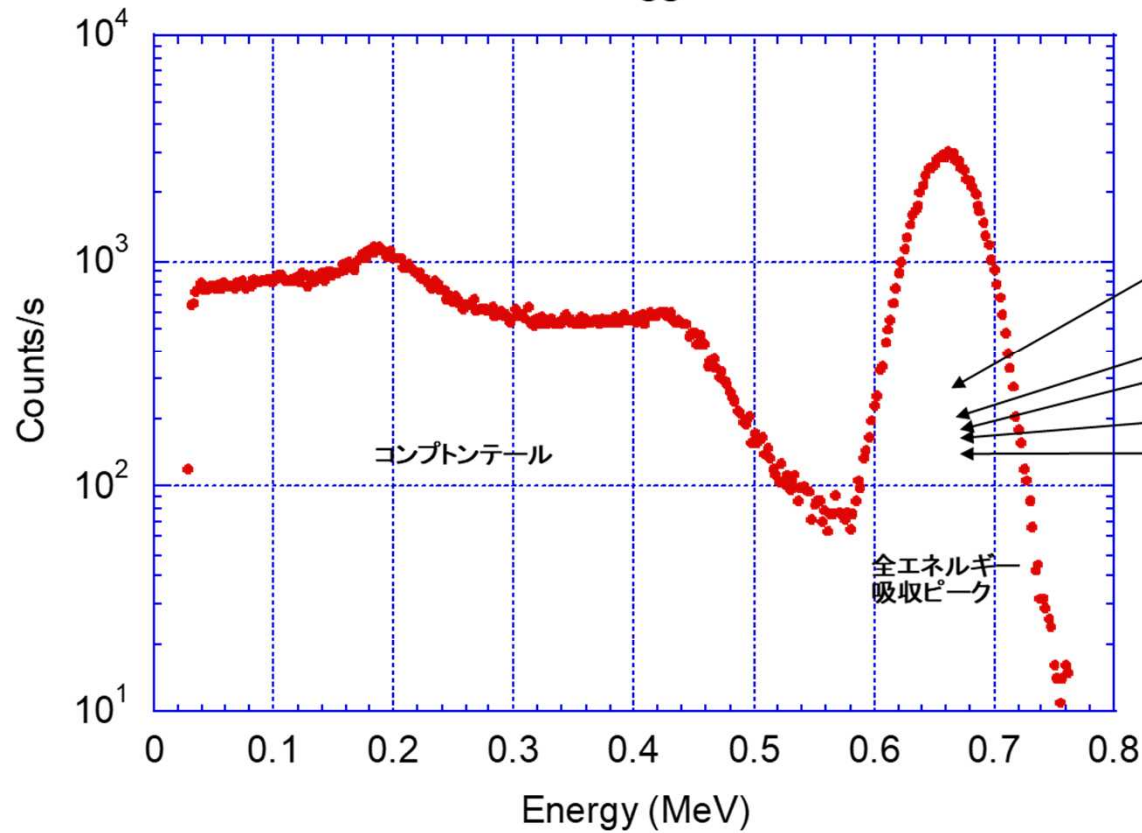
# 検出器に入射した $\gamma$ 線と波高分布の関係

- $^{137}\text{Cs}$ の様に単一エネルギーの $\gamma$ 線が検出器に入射しても、波高分布は、入射 $\gamma$ 線エネルギーに対応した「全エネルギー吸収ピーク」と、入射エネルギーより低い領域に分布する「コンプトンテール」からなる広がった分布となる
  - ✓ 入射した $\gamma$ 線と検出器構成元素との相互作用の結果
  - ✓ 両者の比は、検出器の構成元素、検出器の大きさに依存する
- 複数のエネルギーの $\gamma$ 線が入射した場合には、低エネルギー側の $\gamma$ 線は、高エネルギーの $\gamma$ 線のコンプトンテールに重なった形となる

# 検出器に入射した $\gamma$ 線と波高分布の関係

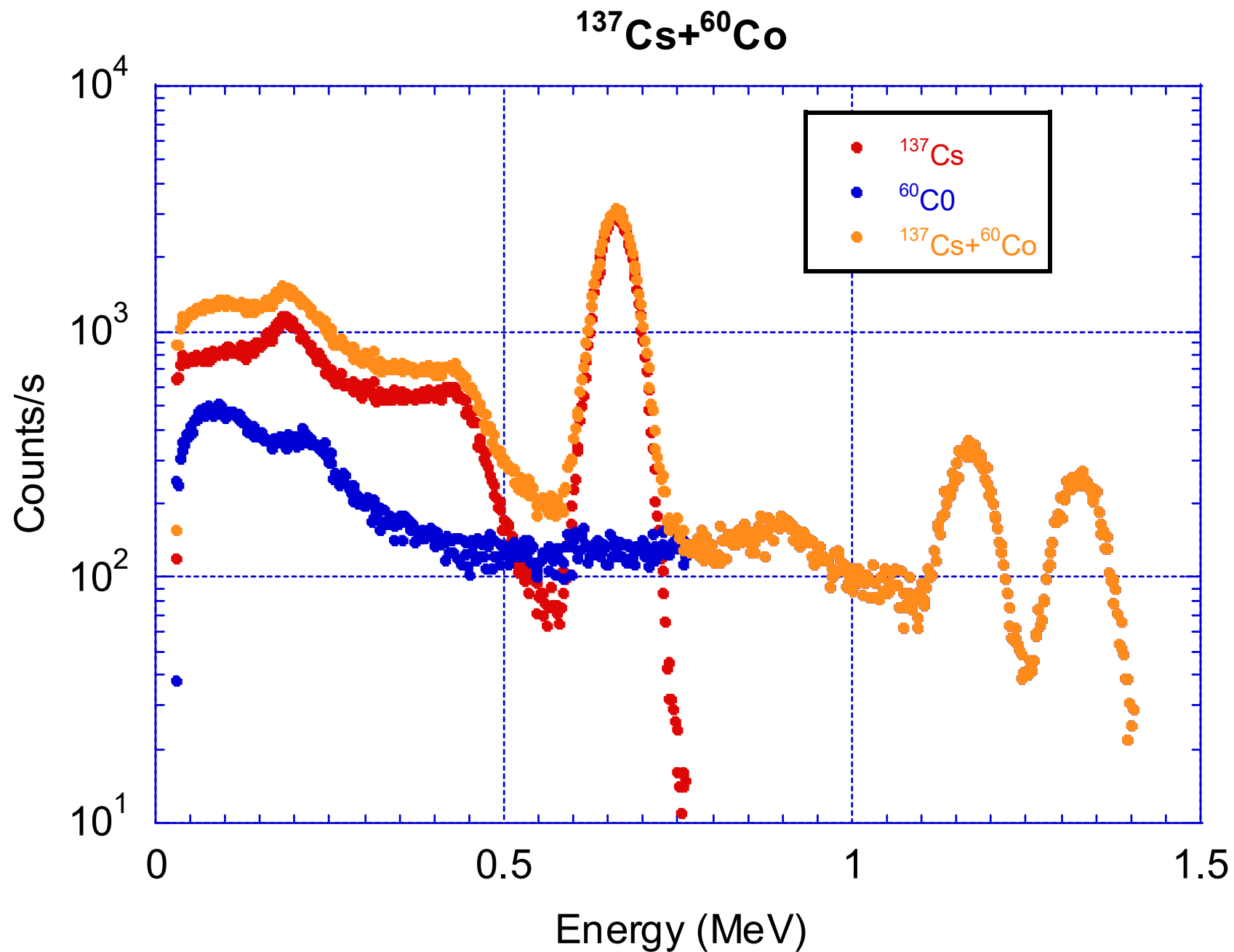
1.5”直径、1.5”長さのNaI(Tl)近くの $^{137}\text{Cs}$ による波高分布

$^{137}\text{Cs}$



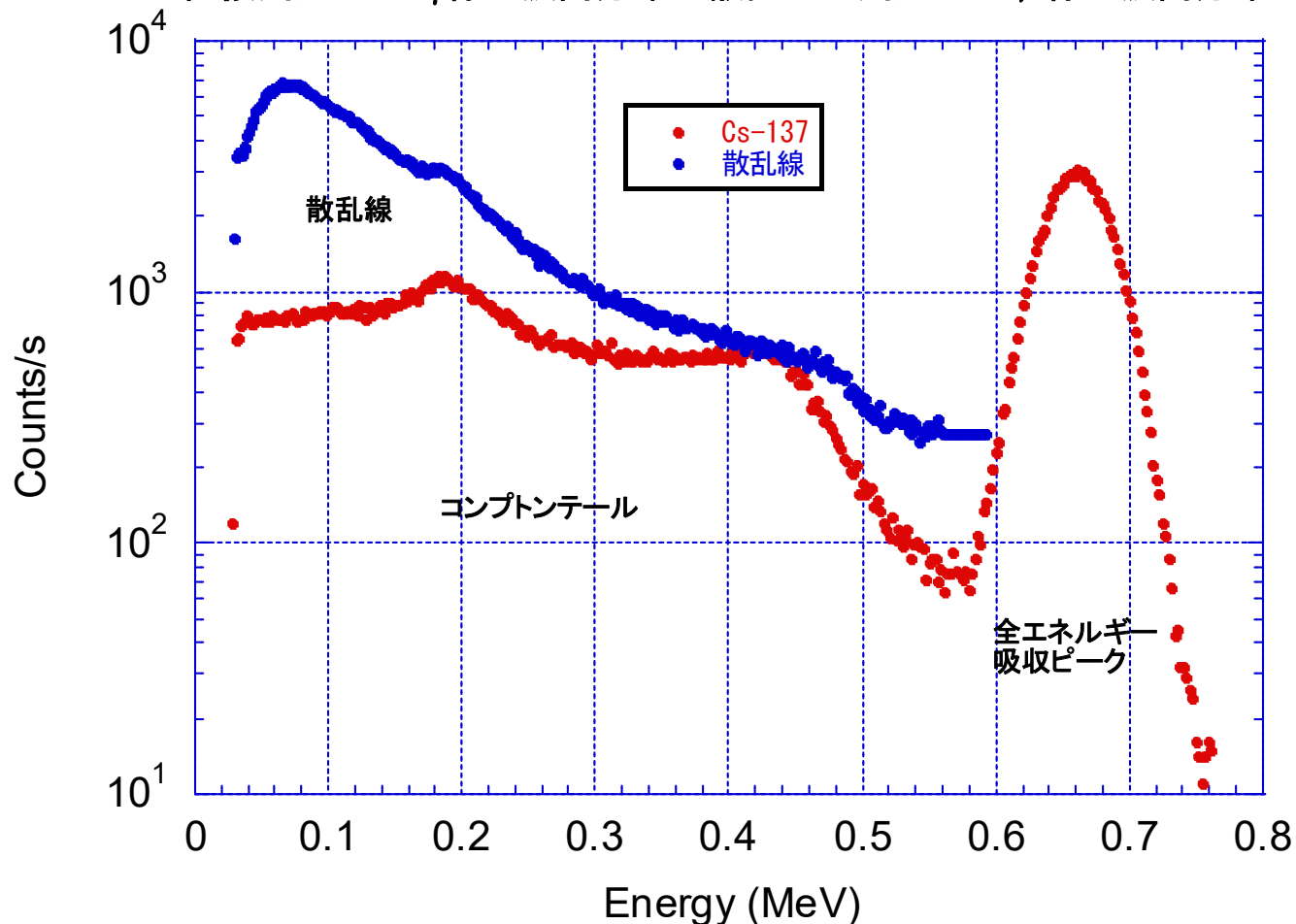
検出器中の飛跡例 C:コンプトン散乱、P:光電効果  
E:検出器外

# 検出器に入射した $\gamma$ 線と波高分布の関係



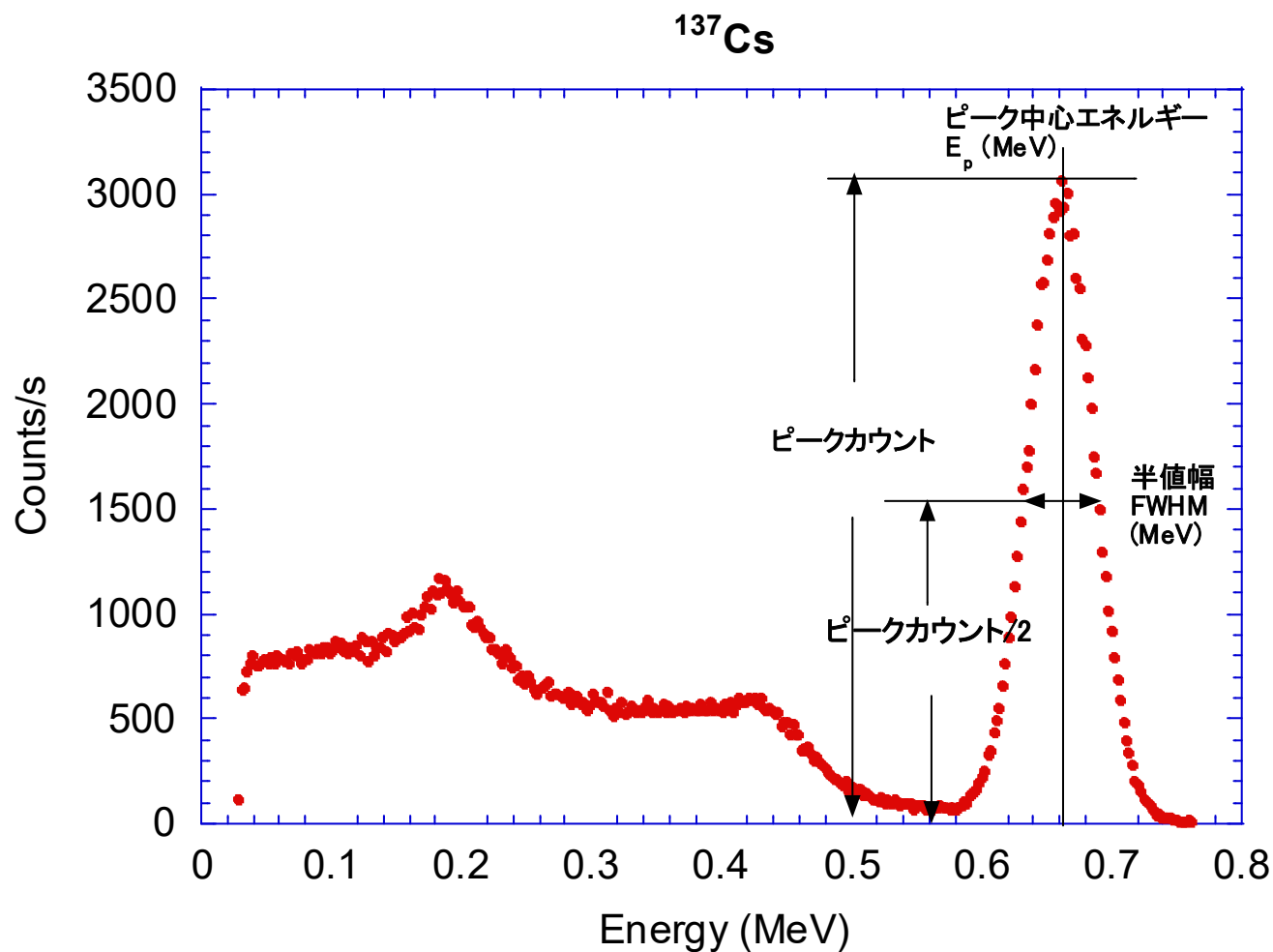
# 散乱線の影響

$^{137}\text{Cs}$ から直接到達した  $\gamma$ 線の波高分布と散乱して到達した  $\gamma$ 線の波高分布の形状



- 線源と検出器の距離が長い場合には、途中の物質により散乱線が生じる(検出器外部での反応)
- 散乱線は、入射  $\gamma$ 線のエネルギーより低く、ピークの無い広がったエネルギー分布をしている
- コンプトンテールにより形成される低エネルギー領域の波高分布を上昇させることになる

# エネルギー分解能



エネルギー分解能  $R$

$$R = \frac{FWHM}{E_p}$$

$R$ が小さい(分解能が良い)検出器(例. Ge検出器)の方が、エネルギー分解能が良く、エネルギーの近い $\gamma$ 線を分別することが出来る

# パルス計測とパイルアップ



図1 エネルギースペクトル測定システム

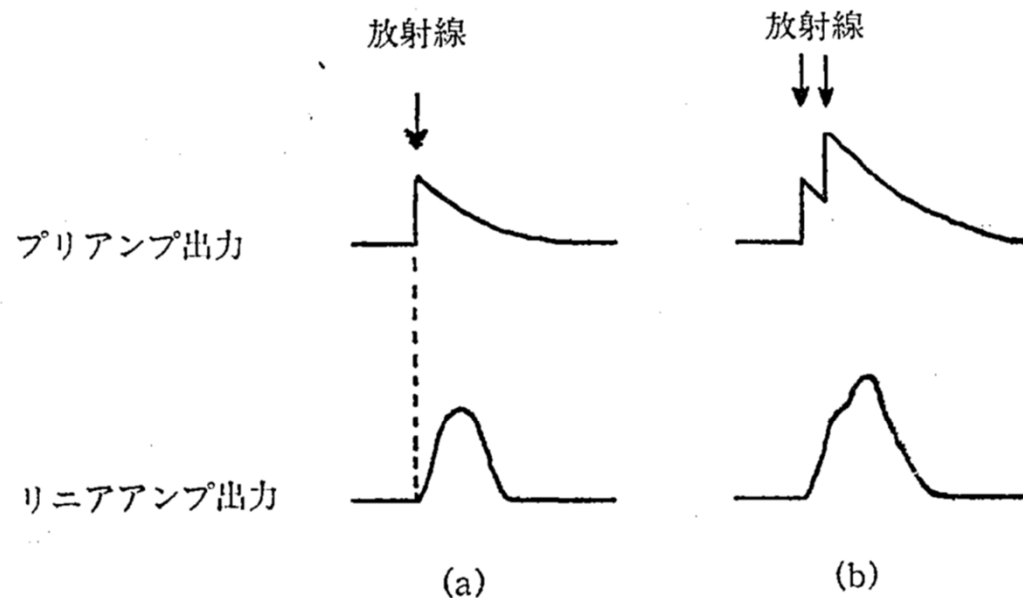


図2 パルス波形

(a) パイルアップしないとき

(b) パイルアップしたとき

- パルス計測では、 $\gamma$ 線の検出器内での反応により生じたパルスが減衰後に次の $\gamma$ 線が入射し、検出器内に付与したエネルギーに比例した高さのパルス高が得られることを前提にしている
- 計数率が高くなると、最初のパルスが減衰する前に、次の $\gamma$ 線によるエネルギー付与が生じ、実際のパルスより高いエネルギーのパルスとなる
- 計数率が非常に高くなると、多数の $\gamma$ 線によるパルスが一つのパルスとなることにより「ピーク」が見えなくなり(パイルアップ)、入射した $\gamma$ 線のエネルギー情報を得ることができなくなる