



JAEA-Research

2018-012

DOI:10.11484/jaea-research-2018-012

東京電力福島第一原子力発電所事故時における
オフサイトの防災業務関係者の
外部被ばく線量評価
(受託研究)

External Dose Evaluation of Emergency Responder in Off-site
at the Time of Fukushima-Dai-ichi Nuclear Power Station Accident
(Contract Research)

嶋田 和真 佐々木 利久 飯島 正史 宗像 雅広

Kazumasa SHIMADA, Toshihisa SASAKI, Masashi IJIMA and Masahiro MUNAKATA

安全研究・防災支援部門

安全研究センター

リスク評価研究ディビジョン

Risk Analysis and Applications Research Division

Nuclear Safety Research Center

Sector of Nuclear Safety Research and Emergency Preparedness

February 2019

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

JAEA-Research

本レポートは国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<https://www.jaea.go.jp>)
より発信されています。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 研究連携成果展開部 研究成果管理課
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村大字白方2番地4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency.
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to
Institutional Repository Section,
Intellectual Resources Management and R&D Collaboration Department,
Japan Atomic Energy Agency.
2-4 Shirakata, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2019

東京電力福島第一原子力発電所事故時におけるオフサイトの
防災業務関係者の外部被ばく線量評価
(受託研究)
日本原子力研究開発機構 安全研究・防災支援部門
安全研究センター
リスク評価研究ディビジョン

嶋田 和真、佐々木 利久*、飯島 正史*、宗像 雅広

(2018年12月13日受理)

防災業務関係者の放射線防護を検討するために、東京電力福島第一原子力発電所事故時のオフサイトの防災業務関係者の外部被ばく線量を評価した。2011年3月12日から31日までに活動内容が詳細に記録された防災業務関係者の1日毎の個人線量の最大値は12日に双葉町で避難支援に従事していた防災業務関係者の650 μSv であった。次に、大気拡散沈着計算コードを用いて先行研究により推定されたソースタームから放射性核種の大気中濃度と地上面沈着量を計算し、オフサイトの空間線量率を推定した。そして、防災業務関係者の記録の中で日々の活動内容と個人線量が連続的に記録されていた6名に対して外部被ばく線量を計算し、活動領域における計算結果の最大値及び平均値と個人線量計の測定値とを比較した。その結果、活動領域の線量率の最大値から算出した外部被ばく線量の計算値が実測値を概ね包含することを示した。さらに、外部被ばく線量におけるクラウドシャインの寄与割合を算出したところ、3月12日の外部被ばく線量の70~80%がクラウドシャインからの被ばくであった。これより、防災業務関係者の外部被ばく経路として、事故直後は放射性プルームからの被ばくが重要であることが示唆された。

本報告書は内閣府の「平成27年度地域の原子力防災体制の充実・強化に係る技術的情報の整備事業 第三分冊オフサイトの防災業務関係者の安全確保の在り方に関する検討及び平成28年度地域防災計画・避難計画の充実化の支援に資する技術的知見の整備第二分冊：オフサイトの防災業務関係者の線量評価モデル構築に関する検討」の成果を取りまとめたものである。

原子力科学研究所：〒319-1195 茨城県那珂郡東海村大字白方2-4

* 株式会社ヴィジブルインフォメーションセンター

External Dose Evaluation of Emergency Responder in Off-site
at the Time of Fukushima-Dai-ichi Nuclear Power Station Accident
(Contract Research)

Kazumasa SHIMADA, Toshihisa SASAKI*, Masashi IIJIMA*
and Masahiro MUNAKATA

Risk Analysis and Applications Research Division,
Nuclear Safety Research Center,
Sector of Nuclear Safety Research and Emergency Preparedness,
Japan Atomic Energy Agency
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken
(Received December 13, 2018)

The external exposure dose of off-site emergency responders at Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Station accident were evaluated in order to consider a radiation protection of emergency responders. The maximum value of individual daily dose of emergency responders whose activities details were recorded from 12th to 31st March 2011 was 650 μ Sv engaged in evacuation support in Futaba Town on 12th. Next, atmospheric concentrations and deposition of radionuclides were calculated from the source terms estimated by previous studies using atmospheric diffusion and deposit calculation codes, and air dose rates at off-site were estimated. Then, the external exposure dose was calculated for 6 emergency responders whose daily activities and personal doses were continuously recorded. Furthermore, the maximum value and the average value of the calculation external dose of emergency responders in the activity area were compared with the measurement value of the personal dosimeter of them. These results showed that the calculated value of the external exposure dose of emergency responders calculated from the maximum value of the dose rate in the active area roughly includes the measured value. Furthermore, the contribution ratio of cloudshine in external exposure dose was calculated. This calculation shows that the contribution of cloudshine on March 12 was 70-80%. From this calculation result, it is suggested that external radiation exposure from the radioactive plume is important immediately after the accident.

Keywords: Emergency Responder, Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Station Accident

This report summarized results that Cabinet Office, “Government of Japan carried out as the commissioned business by Improvement of technical information on enhancement and strengthening of regional nuclear disaster prevention system in the fiscal year 2015 and 2016”.

* Visible Information Center, Inc.

目次

1.はじめに	1
2.オフサイトの防災業務関係者の活動記録	2
3.オフサイトの防災業務関係者の線量評価の手法	5
3.1.東電福島事故時のオフサイトの線量率推定	5
3.2.防災業務関係者の活動領域内の線量率の取得	16
3.3.防災業務関係者の行動パターンの設定	20
3.4.遮蔽効果の設定	22
4.結果と考察	23
4.1.防災業務関係者の一日当たりの個人線量の推移	23
4.2.モニタリングポストの空間線量率の実測値と計算値の比較	27
4.3.記録が詳細な6名の防災業務関係者の外部被ばく線量の実測値と計算値の比較	39
5.まとめ	51
謝辞	52
参考文献	53
付録	55

Contents

1.Introduction.....	1
2.Activity record of off-site emergency responders.....	2
3.Dose assessment method of off-site emergency responders.....	5
3.1. Estimation of dose rates in off-site at Fukushima Dai-ich Nuclear Power Station Accident.....	5
3.2. Evaluation Methods of dose rates within the activity area of emergency responders.....	16
3.3. Setting action patterns of emergency responders.....	20
3.4. Setting radiation shielding effect.....	22
4.Results and Discussion.....	23
4.1. Trends in individual daily dose of emergency responders.....	23
4.2. Comparison of measured value and calculated value of air dose rate of monitoring post.....	27
4.3. Comparison of measured values and calculated values of external exposure doses of six emergency responders with detailed records.....	39
5.Conclusion.....	51
Acknowledgments.....	52
References.....	53
Appendix.....	55

Table list

Table 1 Name and content of main work of emergency responders.....	2
Table 2 Activity record of six emergency responders at Fukushima Dai-ichi nuclear power station accident.....	3
Table 3 Time series of main events related to evacuation at Fukushima Dai-ichi nuclear power station accident.....	4
Table 4 Calculation conditions of RAMS.....	13
Table 5 Calculation conditions of HYPACT	13
Table 6 Conversion coefficient of each nuclide to air kerma and effective dose	14
Table 7 Land use type code	18
Table 8 Administrative data file	18
Table 9 Each action pattern: activity place, movement, activity content.....	21
Table 10 Type and value of radiation shielding effect ^{19,20}	22
Table 11 Statistics of daily individual dose of emergency responders and number of persons to be recorded	25
Table 12 Activity record of emergency responders who exposed maximum dose on each day	26
Table 13 Location information (latitude and longitude) of monitoring posts on off-site within 30 km from Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Station during accident	28
Table 14 Calculated value of external dose and percentage of cloudshine.....	50
Table A Activity record of emergency responders at Fukushima Dai-ichi nuclear power station accident.....	55

Figure list

Fig. 1 Time change of release rate of each nuclide at Fukushima Dai-ichi nuclear power station accident	15
Fig. 2 Activity area of emergency responders during Fukushima Dai-ichi Nuclear Station Accident.....	19
Fig. 3 Trends in individual daily dose of emergency responders	24
Fig. 4 Installation site map of off-site monitoring post at Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Station accident.....	29
Fig. 5 Comparison of observation value and calculation value of monitoring post.....	30
Fig. 6 Cumulative external individual dose of six emergency responders with detailed records.....	39
Fig. 7 Comparison of measured value and calculated value of cumulative dose of emergency responder (No. 1).....	40
Fig. 8 Comparison of measured value and calculated value of the daily individual dose of emergency responder (No. 1)	40
Fig. 9 Comparison of measured value and calculated value of cumulative dose of emergency responder (No. 2)	41
Fig. 10 Comparison of measured value and calculated value of the daily individual dose of emergency responder (No. 2)	41
Fig. 11 Comparison of measured value and calculated value of cumulative dose of emergency responder (No. 3)	43
Fig. 12 Comparison of measured value and calculated value of the daily individual dose of emergency responder (No. 3)	43
Fig. 13 Comparison of measured value and calculated value of cumulative dose of emergency responder (No. 4)	44
Fig. 14 Comparison of measured value and calculated value of the daily individual dose of emergency responder (No. 4)	44
Fig. 15 Dose rate distribution in active area of Okuma Town (March 24, 2011)	45
Fig. 16 Comparison of measured value and calculated value of cumulative dose of emergency responder (No. 5).....	46
Fig. 17 Comparison of measured value and calculated value of the daily individual dose of emergency responder (No. 5)	47
Fig. 18 Comparison of measured value and calculated value of cumulative dose of emergency responder (No. 6).....	48
Fig. 19 Comparison of measured value and calculated value of the daily individual dose of emergency responder (No. 6)	49

1.はじめに

東京電力福島第一原子力発電所事故（以下、東電福島事故）の経験より、原子力施設の発災初期の緊急時は事故進展が不明であり、放射性物質の放出の予測を行うことは難しいため、緊急時対応は、事故が起こる前にあらかじめ枠組みを準備することが必要不可欠である。

緊急時対応において、オフサイト（原子力施設の周辺地域）で活動する防災業務関係者には、国、自治体の職員に加えて、避難や一時移転の際に住民を輸送するバス等の運転手や、道路等の公共インフラの復旧・維持にあたる事業者、保健医療関係者など、多くの民間人が含まれる。このうち、ほとんどの民間人は、平時において特に原子力や放射線に関する業務を実施する放射線業務従事者に登録されていないが、緊急時対応として住民避難の実施など、防災上重要な役割を担うことになる¹。こうした防災業務関係者の安全確保については、原子力規制委員会が定める原子力災害対策指針において、個人線量計、防護マスク、保護衣その他の防護措置について定められているのと同時に、防災業務関係者の放射線防護に係る指標は、放射線業務従事者に対する線量限度を参考とするが、防災活動に係る被ばく線量をできる限り少なくする努力が必要である旨が規定されている²。

そこで、東電福島事故時のオフサイトにおける防災業務関係者の被ばく線量の情報を収集して整理する事は、原子力災害時の緊急時対応における防災業務関係者の放射線防護の枠組みを検討する上で重要である。しかし、東電福島事故直後は個人線量計の数が不足したため、一部の防災業務関係者の個人線量しか測定されていなかった。さらに、地震と津波による電源喪失によりモニタリングポスト（以下、MP）による測定が停止したため、得られた空間線量率の測定値も限られている。

本研究では、防災業務関係者の放射線防護を検討するために、限られた個人線量の測定値を分析し、東電福島事故時のオフサイトの防災業務関係者の被ばく線量の傾向を分析した。次に、大気拡散・沈着シミュレーションと先行研究で推定された放射性物質の放出量の時間変化（ソースターム）を用いて、東電福島事故後のオフサイトの空間線量率の時間・空間分布を推定した。そして、東電福島事故時の記録を基にオフサイトの防災業務関係者の外部被ばく線量を推定した。さらに、推定した外部被ばく線量と個人線量計の実測値とを比較した。

2. オフサイトの防災業務関係者の活動記録

東電福島事故時の防災業務関係者の外部被ばく個人線量と活動記録は、内閣府の報告書から入手した^{3,4}。外部被ばく個人線量の測定値が1日毎に記録された防災業務関係者は合計74名の地方公務員（警察、消防）であった。74名の記録には、外部被ばく個人線量に加えて、活動日、1日の活動時間、活動した市町村名、活動内容、屋内・屋外の区別、防護措置（マスク）の有無が記載されていた。また、一部の防災業務関係者の記録には活動中の空間線量率の測定値が記録されていた。記録された活動日は2011年3月12日から31日である。ただし、これらの記録は全ての日で実施されているわけではなかった。つまり、記録された作業者の人数が日毎に異なっている。提供された資料の中で記載されている主な活動名称とその活動内容をTable 1に示す。Table 2には比較的多くの記録が残っていた6名の防災業務関係者の活動記録を示す。残りの68名の活動記録は付録に記載する。Table 3には東電福島事故時の住民の避難に関する事象の時系列を示す⁵。

Table 1 Name and content of main work of emergency responders

活動名称	活動内容
モニタリング	屋外で放射線モニタリングを行う
避難支援・誘導	住民への避難指示の伝達、交通整理
輸送	避難・医療施設間の人、物資の輸送
警戒活動	避難状況等の確認
屋内活動	事案対応・待機等
救助・搜索	地震・津波の被害者の救助、搜索

Table 2 Activity record of six emergency responders at Fukushima Dai-ichi nuclear power station accident

Day	No.1			No.2			No.3			No.4			No.5			No.6		
	市町村	活動内容	活動時間	市町村	活動内容	活動時間	市町村	活動内容	活動時間	市町村	活動内容	活動時間	市町村	活動内容	活動時間	市町村	活動内容	活動時間
3月12日	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	浪江町	避難誘導	24	双葉町	避難誘導	24
3月13日	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	浪江町	避難誘導	24	浪江町	避難誘導	24
3月14日	双葉町	避難支援	24	浪江町	避難支援	16	浪江町	輸送	5	浪江町	避難支援	22	浪江町	避難誘導	24	浪江町	避難誘導	24
3月15日	—	—	—	浪江町	避難支援	15	—	—	—	—	—	—	浪江町	避難誘導	24	浪江町	避難誘導	22
3月16日	楢葉町	救助、捜索	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	浪江町	避難誘導	3	川俣町	屋内活動	13
3月17日	南相馬市	救助、捜索	7	南相馬市	救助、捜索	6	南相馬市	輸送	18	南相馬市	救助、捜索	19	川俣町	屋内活動	8	川俣町	屋内活動	10
3月18日	南相馬市	救助、捜索	9	南相馬市	救助、捜索	6	—	—	—	—	—	—	浪江町	輸送	6	浪江町	輸送	4
3月19日	南相馬市	救助、捜索	6	南相馬市	救助、捜索	6	楢葉町	輸送	14	—	—	—	浪江町	輸送	6	浪江町	輸送	4
3月20日	南相馬市	救助、捜索	6	南相馬市	救助、捜索	6	—	—	—	楢葉町	避難支援	17	—	—	—	川俣町	屋内活動	8
3月21日	—	—	—	南相馬市	救助、捜索	6	—	—	—	—	—	—	川俣町	警戒活動	8	浪江町	屋内活動	10
3月22日	南相馬市	救助、捜索	6	南相馬市	救助、捜索	6	—	—	—	—	—	—	川俣町	警戒活動	8	浪江町	屋内活動	8
3月23日	南相馬市	救助、捜索	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	川俣町	警戒活動	2	浪江町	屋内活動	8
3月24日	南相馬市	救助、捜索	6	南相馬市	救助、捜索	6	—	—	—	—	—	—	川俣町	屋内活動	8	川俣町	救助、捜索	10
3月25日	南相馬市	救助、捜索	6	南相馬市	救助、捜索	6	—	—	—	大熊町	救助、捜索	10	川俣町	屋内活動	8	双葉町	屋内活動	8
3月26日	南相馬市	救助、捜索	6	南相馬市	救助、捜索	6	—	—	—	—	—	—	川俣町	屋内活動	8	川俣町	屋内活動	6
3月27日	南相馬市	救助、捜索	6	南相馬市	救助、捜索	6	南相馬市	救助、捜索	10	—	—	—	川俣町	屋内活動	8	川俣町	屋内活動	8
3月28日	南相馬市	救助、捜索	6	南相馬市	救助、捜索	6	—	—	—	—	—	—	川俣町	屋内活動	8	大熊町	屋内活動	8
3月29日	南相馬市	救助、捜索	6	川内村	警戒活動	14	南相馬市	救助、捜索	10	—	—	—	川俣町	屋内活動	8	川俣町	屋内活動	11
3月30日	南相馬市	救助、捜索	6	広野町	警戒活動	10	南相馬市	救助、捜索	10	浪江町	救助、捜索	7	川俣町	警戒活動	6	川俣町	屋内活動	8
3月31日	南相馬市	救助、捜索	6	川内村	警戒活動	10	—	—	—	浪江町	救助、捜索	7	広野町	警戒活動	4	川俣町	屋内活動	4

Table 3 Time series of main events related to evacuation at Fukushima Dai-ichi nuclear power station accident

日時	出来事
2011年3月11日	東日本大震災発生
14:46	
20:50	福島第一原子力発電所から 2km 圏内に避難指示 (福島県)
21:23	福島第一原子力発電所から 3km 圏内に避難指示 (政府)
3月12日	5:44 福島第一原子力発電所から 10km 圏内に避難指示
15:36	福島第一原子力発電所 1号機水素爆発
17:39	福島第二原子力発電所から 10km 圏内に避難指示
18:25	福島第一原子力発電所から 20km 圏内に避難指示
3月14日	11:01 福島第一原子力発電所 3号機水素爆発
3月15日	6:14 福島第一原子力発電所 2号機の格納容器の圧力低下
11:00	福島第一原子力発電所 20~30km 圏内住民への屋内退避指示

3. オフサイトの防災業務関係者の線量評価の手法

3.1. 東電福島事故時のオフサイトの線量率推定

東電福島事故時の防災業務関係者の外部被ばく線量を推定するために、大気拡散シミュレーションと先行研究で推定された放射性物質の放出量の時間変化（ソースターム）を用いて、東電福島事故後のオフサイトにおける1時間当たりの空間線量・実効線量（以下、線量率）を推定した。

本解析で用いた大気拡散・沈着シミュレーションソフト、RAMS/HYPACT（The Regional Atmospheric Modeling System/ The HYbrid PArticle and Concentration Transport model）^{6,7}は、気流場を計算するためのRAMSと、物質の移流・拡散を計算するためのHYPACTの組み合わせであり、種々の放射性核種の移流・拡散を解析するための改良を加えてある。

RAMSは米国コロラド州立大学により開発された気象予報コードである。天気予報から基礎研究支援を目的として、メソスケール（1～1000（km）オーダー）の大気現象のシミュレーションに用いられている。RAMSは、非静力学あるいは静力学平衡の運動方程式を用いて、オイラー型モデルにより気象及び物質の移流・拡散を計算することができる。RAMSの基本方程式は、ナビエ・ストークスの運動方程式、熱力学方程式（熱力学の第一法則）、水混合比保存式、質量保存式からなる支配方程式により記述される。RAMSで用いられる支配方程式を以下に記す^{8,9}。

非静力学平衡の基本方程式

運動方程式

$$\begin{aligned}\frac{\partial u}{\partial t} &= -u \frac{\partial u}{\partial x} - v \frac{\partial u}{\partial y} - w \frac{\partial u}{\partial z} - \theta \frac{\partial \pi'}{\partial x} + f v + \frac{\partial}{\partial x} \left(K_m \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_m \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_m \frac{\partial u}{\partial z} \right) \\ \frac{\partial v}{\partial t} &= -u \frac{\partial v}{\partial x} - v \frac{\partial v}{\partial y} - w \frac{\partial v}{\partial z} - \theta \frac{\partial \pi'}{\partial x} - f u + \frac{\partial}{\partial x} \left(K_m \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_m \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_m \frac{\partial v}{\partial z} \right) \\ \frac{\partial w}{\partial t} &= -u \frac{\partial w}{\partial x} - v \frac{\partial w}{\partial y} - w \frac{\partial w}{\partial z} + \theta \frac{\partial \pi'}{\partial x} - \frac{g \theta'_v}{\theta_0} + \frac{\partial}{\partial x} \left(K_m \frac{\partial w}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_m \frac{\partial w}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_m \frac{\partial w}{\partial z} \right)\end{aligned}$$

ここで、

u, v, w : 風速 x 方向 (東西方向)、 y 方向 (南北方向)、 z 方向 (鉛直方向) 成分 (m/s)

f : コリオリパラメーター ($=2.0 \times \Omega \sin \varphi$)

g : 重力定数 ($=9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$)

θ'_v, θ_0 : 仮想温位 (K)

K_m : 運動量に関する粘性係数 (m^2/s)

π' : エクスナー関数 (無次元の圧力)

$$\pi = C_p \left(\frac{p}{p_{00}} \right)^{R/C_p}$$

ここで、

C_p : 定圧比熱 ($J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$)

p : 圧力 (hPa)

p_{00} : 基準となる圧力 (hPa)

R : 理想気体の気体定数 ($=8.314472 \text{ (m}^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}\text{)}$)

熱力学的方程式

$$\begin{aligned}\frac{\partial \theta_{il}}{\partial t} &= -u \frac{\partial \theta_{il}}{\partial x} - v \frac{\partial \theta_{il}}{\partial y} - w \frac{\partial \theta_{il}}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left(K_h \frac{\partial \theta_{il}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_h \frac{\partial \theta_{il}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_h \frac{\partial \theta_{il}}{\partial z} \right) + \left(\frac{\partial \theta_{il}}{\partial t} \right)_{rad} \\ &\quad + \left(\frac{\partial \theta_{il}}{\partial t} \right)_{con}\end{aligned}$$

ここで、

θ_{il} : 氷水温位 (K)

K_h : 熱及び湿気に関する粘性係数 (m^2/s)

rad : 放射パラメタリゼーションを示す添え字

con : 対流パラメタリゼーションを示す添え字

水混合比の連続方程式

$$\frac{\partial r_n}{\partial t} = -u \frac{\partial r_n}{\partial x} - v \frac{\partial r_n}{\partial y} - w \frac{\partial r_n}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left(K_h \frac{\partial r_n}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_h \frac{\partial r_n}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_h \frac{\partial r_n}{\partial z} \right) + \left(\frac{\partial r_n}{\partial t} \right)_{con}$$

ここで、

r_n : 水種 n の水混合比

質量の連続方程式

$$\frac{\partial \pi'}{\partial t} = -\frac{R\pi_0}{C_v \rho_0 \theta_0} \left(\frac{\partial \rho_0 \theta_0 \mu}{\partial x} + \frac{\partial \rho_0 \theta_0 v}{\partial y} + \frac{\partial \rho_0 \theta_0 w}{\partial z} \right)$$

ここで、

π_0 : エクスナー関数

ρ_0 : 密度 (kg/m³)

θ_0 : 温位 (K)

C_v : 定積比熱 ($J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$)

静力学平衡の基本方程式

静力学平衡の基本方程式は、非静力学平衡の基本方程式のうち、鉛直方向の運動方程式及び質量保存式をそれぞれ以下の式に置き換えることで得られる。

$$\frac{\partial \pi}{\partial z} = -\frac{g}{\theta_v} + g(r_t - r_v)$$

$$\frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} = 0$$

ここで、

r_v : 水蒸気混合比

HYPACTは、米国コロラド州立大学で開発された物質輸送計算コードである。HYPACTはRAMSで計算された気象情報を用いて、物質の詳細な拡散計算が可能である。HYPACTは、オイラー型モデルの他にラグランジュ型の粒子モデルを用いて拡散計算が可能である。そして、オイラー型とラグランジュ型の二つを組み合わせたハイブリッド計算が可能である。ハイブリッド計算では、放出源からラグランジュ型モデルの粒子を放出し、拡散が十分に大きくなった時点でオイラー型モデルにおける座標系の濃度に還元することで、計算コストを下げる事が可能である。

オイラー型の拡散方程式を下記に示す。物質の濃度Cの時間変化を移流による輸送及び乱流拡散による輸送で定義している。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -u \frac{\partial C}{\partial x} - v \frac{\partial C}{\partial y} - w \frac{\partial C}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left(K \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K \frac{\partial C}{\partial z} \right)$$

ここで、

C : 濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

u, v, w : x, y, z 方向の風速成分 (m/s)

K : 拡散係数 (m^2/s)

ラグランジュ型モデルの各粒子の移動は、平均風と乱流から計算される。時間ステップを $\Delta t(\text{sec})$ として、ある時刻tから1ステップ後の粒子の位置座標 $X(t + \Delta t)$, $Y(t + \Delta t)$, $Z(t + \Delta t)$ を以下の式により計算する。本研究では、全ての範囲でラグランジュ型モデルを用いて粒子の大気中濃度を計算した。

$$\begin{aligned} X(t + \Delta t) &= X(t) + (u + u')\Delta t \\ Y(t + \Delta t) &= Y(t) + (v + v')\Delta t \\ Z(t + \Delta t) &= Z(t) + (w + w' + w_p)\Delta t \end{aligned}$$

ここで、

u, v, w : x, y, z 方向の風速成分 (m/s)

u', v', w' : x, y, z 方向の乱流成分 (m/s)

w_p : 粒子の平均速度 (drift velocity)

HYPACT は基本的に不活性ガスの拡散モデルであり、上記の基本方程式が示すように、どちらのモデルも大気の大攪乱以外の物理過程は考慮されていない。従って、粒子状物質や化学変化を伴う物質の輸送を計算する場合には、それらの持つ物理・化学的特性（重力沈降、化学変化、沈着等）をモデル化し、輸送式に付加する必要がある。本解析では、評価対象となる放射性物質の物理減衰や大気中からの除去プロセスを輸送式に組み込み、輸送モデルを作成した改良版の HYPACT を用いた。

ここで、あるタイムステップ n における放射エネルギー Q_n 式のように定義した。

$$Q_n = Q_{n-1} - Q_{decay} - (Q_{dry} + Q_{wet}) \cdot \Delta t$$

Q_n : タイムステップ n の時、粒子が持つ放射エネルギー (Bq)

Q_{n-1} : タイムステップ $n-1$ の時、粒子が持つ放射エネルギー (Bq)

Δt : タイムステップの時間幅 (s)

Q_{decay} : タイムステップあたりの放射性崩壊による減衰 (Bq)

Q_{dry} : 粒子の乾性沈着率 (Bq s⁻¹)

Q_{wet} : 粒子の湿性沈着率 (Bq s⁻¹)

大気拡散の際の放射性崩壊による物理減衰は、次式で計算した。

$$Q_{decay} = Q_n \cdot (1 - \exp(-\lambda \cdot \Delta t))$$

λ : 崩壊定数 (=ln2/HL)

HL : 物理的半減期 (s)

乾性沈着は接地層（最下層）のみで起こるものとした。その寄与率は高度に依存し、沈着速度 v_g に比例する。計算式を次式に示す。

$$Q_{dry} = k \cdot v_g \cdot Q_n$$

$$k = \max\left(\frac{2}{\Delta z_s} \left(1 - \frac{z_p}{\Delta z_s}\right), 0\right)$$

v_g : 粒子の沈着速度 (m s^{-1})

z_p : 粒子の高度 (m)

Δz_s : 接地境界層の高さ (m)

大気中の放射性物質は降水によって一様に除去されるものとし、湿性沈着率及び洗浄率は次式で計算した。

$$Q_{wet} = \Lambda \cdot Q_n$$

$$\Lambda = a \cdot I^b$$

Λ : 洗浄率 (s^{-1})

I : 降水強度 (mm h^{-1})

a : 洗浄係数パラメータ ($\text{h mm}^{-1} \text{s}^{-1}$)

b : 洗浄係数パラメータ (-)

ソースタームは、大気中の放射性核種濃度（または空間線量率）の測定値とモデルシミュレーションから逆推定された UNSCEAR のソースタームを用いた¹⁰。UNSCEAR のソースタームを基に RAMS/HYPACT を用いて放射性核種の大気中濃度と沈着量の計算を行った。今回の RAMS の計算条件を Table 4 に、HYPACT の計算条件を Table 5 に、ソースタームを Fig.1 に示す。

次に、RAMS/HYPACT の計算結果である大気中濃度及び沈着量から線量換算係数を使用して線量率を求める。線量率の計算は HYPACT の空間分解能に応じて設定したメッシュ（以下、HYPACT メッシュ）に対して行う。また、各時刻の沈着量は降下量の時間変化量を用いて累積し、更に核種の物理的減衰を考慮して下式で求めた。なお、初期の沈着量は 0 とした。

$$D(t_i, l) = F(t_i, l) + \int_{t_0}^{t_i-1} F(t, l) e^{-\lambda t} dt$$

$D(t_i, l)$: 位置 l の時刻 t_i における累積沈着量 (Bq m⁻²)

$F(t_i, l)$: 位置 l の時刻 t_i における降下量 (Bq m⁻²)

t_0 : 沈着開始時刻

λ : 崩壊定数 (hour⁻¹)

また、各時刻の大気中濃度及び累積沈着量から以下に示す式で外部被ばく線量率を計算した。

$$E_{air}(t_i, l) = C(t_i, l) \times DF_1$$

$$E_{dep}(t_i, l) = D(t_i, l) \times DF_2$$

$$E_{ext}(t_i, l) = E_{air}(t_i, l) + E_{dep}(t_i, l)$$

$E_{air}(t_i, l)$: 位置 l の時刻 t_i における 1 時間あたりのクラウドシャインによる外部被ばく実効線量または空間線量 (μSv h⁻¹)

$E_{dep}(t_i, l)$: 位置 l の時刻 t_i における 1 時間あたりのグランドシャインによる外部被ばく実効線量または空間線量 (μSv h⁻¹)

$E_{ext}(t_i, l)$: 位置 l の時刻 t_i における 1 時間あたりの外部被ばく実効線量または空間線量 (μSv h⁻¹)

$C(t_i, l)$: 位置 l の時刻 t_i における大気中濃度 (Bq m⁻³)

DF_1 : 大気中濃度から実効線量または空間線量への換算係数 (μSv h⁻¹ Bq⁻¹ m³)

DF_2 : 沈着量から実効線量または空間線量への換算係数 (μSv h⁻¹ Bq⁻¹ m²)

大気中濃度及び沈着量からクラウドシャイン及びグランドシャインへの実効線量換算係数は EPA(1993)¹¹ の Table III.1 及び III.3 を用いた。防災業務関係者の線量評価モデルを検討するにあたり、防災業務関係者の活動期間は放射性物質が地表面に沈着した直後であることから、放射性物質が地中に浸透していない状況での換算係数を採用した。

MP では、空間線量率として空気吸収線量率が観測されている。このデータと計算値を比較可能にするために、大気中濃度及び地表面沈着量から空気吸収線量率への換算係数を整備した。引用したのは FGR No.12¹² の Table II.4 及び Table II.6 における k_{AIR} であり、モンテカルロ法により計算された、大気及び地表面から放出された単一エネルギー光子によ

る空気カーマ率（単位：Gy s⁻¹ Bq⁻¹ m³ 及び Gy s⁻¹ Bq⁻¹ m²）である。次に、対象核種が放出する光子のエネルギーに対する空気カーマ率を、このエネルギー依存のテーブルから内挿し、各光子の放出割合を乗じた後合算することにより、各核種の空気カーマ率への換算係数を求めた。

$$k_{AIR,i} = \sum_k^{n_i} k_{AIR}(E_{i,k}) \cdot Y_{i,k} \times 60 \times 60 \times 10^6$$

$k_{AIR,i}$ ：核種 i の空気カーマ率への換算係数 (μGy h⁻¹ Bq⁻¹ m³) or (μGy h⁻¹ Bq⁻¹ m²)

$k_{AIR}(E_{i,k})$ ：エネルギー E の光子に対する空気カーマ率 (Gy s⁻¹ Bq⁻¹ m³) or (Gy s⁻¹ Bq⁻¹ m²)

$E_{i,k}$ ：核種 i が放出する光子 k のエネルギー (MeV)

$Y_{i,k}$ ：核種 i が放出する光子 k の放出割合 (-)

n_i ：核種 i が放出する光子の数

対象核種の光子のエネルギー及び放出割合は、ICRP Publ. 107¹³ のデータを使用した。なお、内挿元のエネルギーの範囲の下限値は 0.01 MeV であるため、0.01 MeV 未満の光子は対象外とした。個々の光子のエネルギーに対する空気カーマ率は、エネルギー及び空気カーマ率の対数値に対して、求める値の周辺の 3 点の値から下式に示す 2 次のラグランジュ多項式補間法を適用して求めた。

$$L(x) = \sum_{k=0}^N L_k(x)y_k, \quad L_k(x) = \prod_{j=0}^{N(j \neq k)} \frac{x - x_j}{x_k - x_j}$$

なお、Cs-137 及び Te-132 については、短半減期の子孫核種である Ba-137m 及び I-132 が環境中においても放射平衡状態で存在するとして、その寄与を換算係数に含めた。この値を、大気中濃度及び沈着量から空間線量率への換算係数として使用した。大気中濃度及び沈着量からこの換算係数により換算した値は、MP における測定量である空気吸収線量率と同じものとみなすことができる。

Table 6 にクラウドシャイン及びグラウンドシャインへの実効線量・空間線量の換算係数を示す。

Table 4 Calculation conditions of RAMS

項目	内容
水平方向格子	福島県全域：188×140 km、1 km メッシュ
鉛直方向格子	σ -z 座標系、上空 20 km まで 接地レイヤー高度を 50 m として 34 分割
気象データ	MSM 等気圧面データ ¹⁴
地形データ	50 m メッシュ数値地図 ¹⁵
土地利用データ	RAMS 標準データ
海面温度データ	MGDSST ¹⁶

Table 5 Calculation conditions of HYPACT

項目	内容
解析モデル	Lagrange 型の粒子モデル
解析期間	2011/3/12 5:00～4/1 00:00 (JST)
水平方向格子	RAMS と同一の格子系
鉛直方向格子	RAMS と同一の格子系
放出点	福島第一原子力発電所 北緯：37.421389 [deg] 東経：141.033611 [deg]
線源核種	¹³² Te, ¹³¹ I, ¹³² I, ¹³³ I, ¹³³ Xe, ¹³⁴ Cs, ¹³⁶ Cs 及び ¹³⁷ Cs
放出率	UNSCEAR ¹⁰
放出高さ	Terada ¹⁷ にしたがって時間変化
降水量データ	解析雨量 ¹⁸
乾性沈着速度(m s ⁻¹)	¹³¹ I, ¹³² I, ¹³³ I 3.0×10 ⁻³ (m s ⁻¹) ¹⁷ ¹³² Te, ¹³⁴ Cs, ¹³⁶ Cs, ¹³⁷ Cs 1.0×10 ⁻³ (m s ⁻¹) ¹⁷ ¹³³ Xe 0.0
ウォッシュアウト係数 A(s ⁻¹)	$A = A \times I^b$:降水量 I (mm h ⁻¹) ¹³¹ I, ¹³² I, ¹³³ I, ¹³² Te, ¹³⁴ Cs, ¹³⁶ Cs, : a = 5.0×10 ⁻⁵ , b = 0.8 ¹⁷ ¹³⁷ Cs ¹³³ Xe : a = 0.0, b = 0.0

Table 6 Conversion coefficient of each nuclide to air kerma and effective dose

No.	核種	半減期	空気カーマ率($\mu\text{Gy h}^{-1}$)又は実効線量率($\mu\text{Sv h}^{-1}$)への換算係数				線量係数に含めた子孫核種 (分岐比)
			DF1 (Air submersion) ($\mu\text{Gy h}^{-1} \text{Bq}^{-1} \text{m}^3$)	($\mu\text{Sv h}^{-1} \text{Bq}^{-1} \text{m}^3$)	DF2 (Ground surface) ($\mu\text{Gy h}^{-1} \text{Bq}^{-1} \text{m}^2$)	($\mu\text{Sv h}^{-1} \text{Bq}^{-1} \text{m}^2$)	
1	Te-132	78.2 h	1.1E-03	4.4E-04	1.1E-05	8.8E-06	I-132 (1.0)
2	I-131	8.04 d	1.6E-04	6.6E-05	1.8E-06	1.4E-06	
3	I-132	2.3 h	1.0E-03	4.0E-04	1.0E-05	8.0E-06	
4	I-133	20.8 h	2.7E-04	1.1E-04	2.8E-06	2.1E-06	
5	Xe-133	5.25 d	1.0E-05	5.6E-06	3.4E-07	1.7E-07	
6	Cs-134	2.06 y	6.9E-04	2.7E-04	7.0E-06	5.5E-06	
7	Cs-136	13.1 d	9.3E-04	3.8E-04	9.4E-06	7.5E-06	
8	Cs-137	30 y	2.5E-04	9.8E-05	2.6E-06	2.0E-06	Ba-137m (0.946)

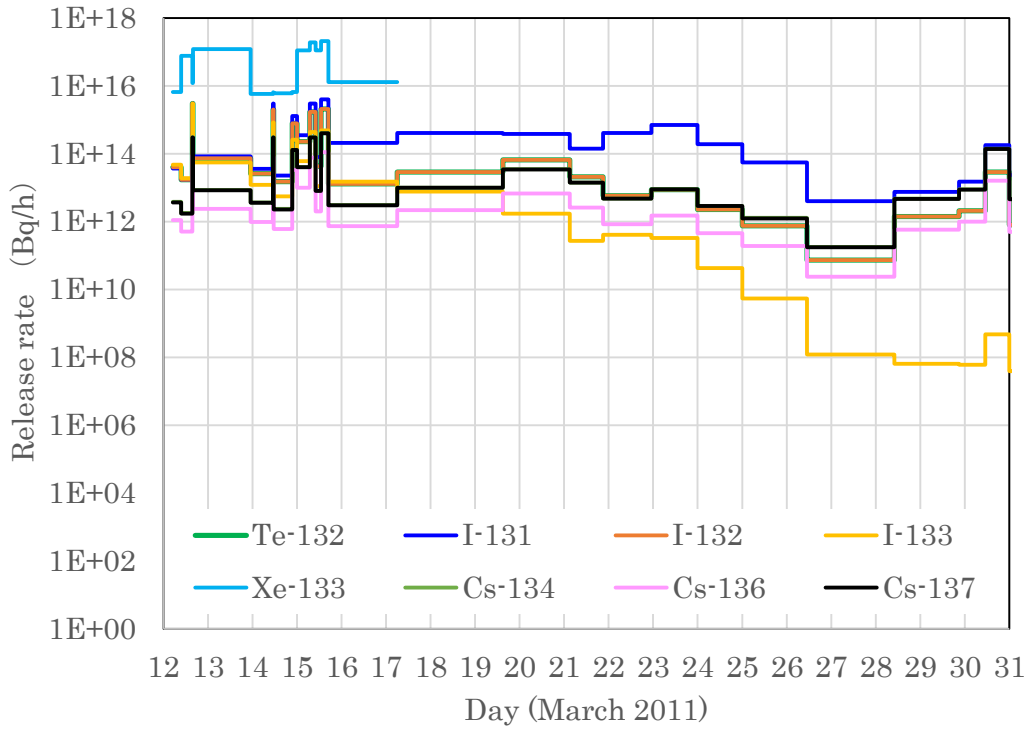


Fig. 1 Time change of release rate of each nuclide at Fukushima Dai-ichi nuclear power station accident ¹⁰

3.2.防災業務関係者の活動領域内の線量率の取得

防災業務関係者の線量評価を行うにあたり、防災業務関係者の活動情報から、防災業務関係者が活動すると想定される領域（以下、活動領域メッシュ）を以下のパラメータより作成する。

- 1) 放出地点の緯度・経度
- 2) 放出地点からの距離
- 3) 市町村名
- 4) 土地利用種コード

防災業務関係者の活動領域メッシュを以下の手順で求めた。

まず、放出地点の緯度・経度及び放出地点からの距離のパラメータより、放出地点から任意の距離内のメッシュを判定する。次に、任意の距離内のメッシュから、市町村名及び土地利用種コードのパラメータより、防災業務関係者が活動した市町村及び土地利用種を含むメッシュを抽出して、活動領域メッシュを作成する。ここで、3) 市町村名は行政区域データファイルから、4) 土地利用種コードは土地利用細分メッシュファイルから抽出する。

土地利用細分メッシュファイル及び行政区域データファイルは、GIS 地図上で表示することができる **Shapefile** 形式のファイルであり、どちらのファイルも国土数値情報ダウンロードサービスから取得できる¹⁵。土地利用細分メッシュファイルは、全国の土地利用の状況について、3次メッシュの1/10細分区画（100 mメッシュ）のメッシュコード及び各メッシュの土地利用種（田、その他の農用地、森林、荒地、建物用地、幹線交通用地、湖沼、河川等）が属性データとして整備されている。行政区域データファイルは、都道府県名、支庁・振興局名、郡・政令都市名、市区町村名及び行政区域コードの5種類が属性データとして整備されている。また、図形データとして、行政区域境界データ（緯度、経度）が整備されている。

指定した土地利用種コードを含むメッシュの判定は、土地利用細分メッシュファイルの属性データ（土地利用種コード）を使用する。土地利用細分メッシュファイルの属性情報である土地利用種のコード仕様を **Table 7** に示す。ただし、防災業務関係者の活動領域メッシュの抽出方針として、海水域で防災業務を行う場合は対象外とし、土地利用細分メッシュファイルの土地利用種コードで「1500（海水域）」となるメッシュは抽出しないこととした。また、土地利用種コードで「0000（解析範囲外）」となるメッシュは、土地利用の判別が分からないことから抽出対象外とした。

防災業務関係者が活動した市町村を含むメッシュの判定には、行政区域データファイルを使用する。行政区域データファイルの概要を **Table 8** に示す。

次に、メッシュサイズの設定について説明する。土地利用細分メッシュファイルのメッシュ間隔は 100m であり、一般的に HYPACT メッシュより細かいメッシュ間隔となっている。

る。RAMS/HYPACT のメッシュ間隔は任意に設定することが可能であるが、気象データの分解能（1 km）を考えると 100 m より細かいメッシュ間隔を設定することはないと考えられる。これより、土地利用細分メッシュファイルから作成した活動領域メッシュ間隔は、HYPACT メッシュ間隔より常に細かいという関係となる。そこで、活動領域メッシュの線量率の取得方法として、活動領域メッシュと HYPACT メッシュを重ね合わせて、活動領域メッシュの中心点が含まれる HYPACT メッシュから線量率を取得することとした。なお、HYPACT メッシュ内の濃度分布は一様としているため、活動領域メッシュの各メッシュの中心点が同一の HYPACT メッシュ内にある場合は同じ線量率となる。また、活動領域メッシュの中心点が HYPACT メッシュの範囲外の場合は、線量率を $0 \mu\text{Sv h}^{-1}$ とした。

次に、活動領域内の線量率分布の統計値（最大値、平均値、最小値）を、防災業務関係者の活動領域内の全メッシュに対する 1 時間ごとの線量率を用いて求めた。防災業務関係者の活動領域は、人が居住する領域を移動するとして、各市町村の建物用地と道路を設定した。防災業務関係者の線量評価を実施するために設定した各市町村の防災業務関係者の活動領域を Fig. 2 に示す。Fig. 2 には市町村境界と福島第一原子力発電所から半径 30 km の円に加えて、防災業務関係者の活動領域のメッシュを青点で示している。

ここで、今回の計算では、放出源から半径 3 km 内を除外して計算した。その理由は、福島第一原子力発電所から半径 3 km 圏内は 11 日中に避難指示が発令されたので、その領域に 12 日以降に活動した防災業務関係者は少ないと考えられるからである。また、今回入手した防災業務関係者の活動記録には福島第一原子力発電所内での活動した記録は除かれている。そのため、仮に福島第一原子力発電所から半径 3 km 立ち入った防災業務関係者の記録が含まれていたとしても、その防災業務関係者の福島第一原子力発電所の半径 3 km 内における滞在時間は長くないと考えられる。

ここでは、活動記録には 1 日の活動時間のみ記録されていたため、防災業務関係者の一日の作業開始時刻と終了時刻は、記録された作業時間を、正午をまたいで午前午後と均等に設定した。また、屋内活動の場合は、建屋の遮蔽係数、輸送活動の場合は車の遮蔽係数を設定して外部被ばく線量を算出した。

Table 7 Land use type code

コード	対応する内容
100	田
200	その他の農用地
500	森林
600	荒地
700	建物用地
901	道路
902	鉄道
1000	その他の用地
1100	河川地及び湖沼
1400	海浜
1500	海水域
1600	ゴルフ場
0	解析範囲外

Table 8 Administrative data file

属性情報	備考
都道府県名	当該区域を含む都道府県名称
支庁・振興局名	当該都道府県が「北海道」の場合、該当する支庁・振興局名の名称
郡・政令都市名	当該行政区の郡又は政令市の名称
市区町村名	当該行政区の市区町村の名称
行政区域コード	都道府県コードと市区町村コードからなる、 行政区を特定するためのコード

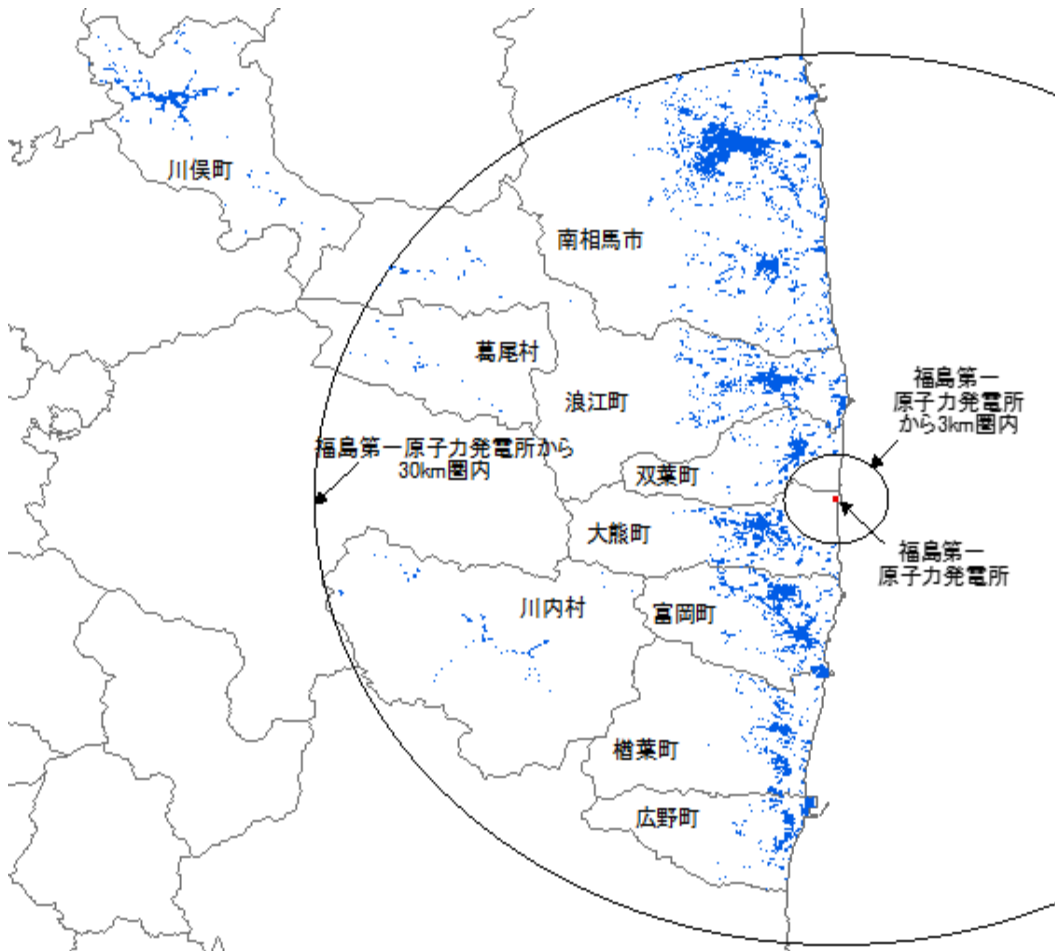


Fig. 2 Activity area of emergency responders during Fukushima Dai-ichi Nuclear Station Accident

(背景地図は、ArcGIS データコレクションスタンダードパック(ESRI,Co,Ltd)を使用)

3.3.防災業務関係者の行動パターンの設定

防災業務関係者の活動範囲内において、場所によって線量率が異なる事から、作業中に移動し続ける場合と移動しない場合とで同じ作業時間でも積算線量が異なる。そこで、防災業務関係者の活動中の行動パターンを分類した。

- 屋外で移動し続ける活動：緊急時モニタリング、住民への広報・指示の伝達、避難状況の確認、人・物資の輸送
- 屋外で移動が無い活動：避難誘導、交通整理、インフラ復旧
- 屋内での活動：病院やオフサイトセンター等の施設内で活動

次に、行動パターン毎の計算式を示す。

○行動パターン1（屋外、移動有）の計算方法

活動範囲のメッシュを移動し続けると仮定し、各時刻の活動範囲内の線量率の統計値ごとに活動時間で積算して出力する。

$$E_{max} = \sum_{i=j}^k \max_l E_{(t_i,l)}$$

$$E_{ave} = \sum_{i=j}^k \frac{\sum_{l=1}^m E_{(t_i,l)}}{m}$$

$$E_{min} = \sum_{i=j}^k \min E_{(t_i,l)}$$

E_{max} ：指定した領域における日時 t_i から t_k までの滞在期間における累積線量の最大値 (μSv)

$E_{(t_i,l)}$ ：メッシュ l の日時 t_i における線量率 ($\mu\text{Sv h}^{-1}$)

E_{ave} ：指定した領域における日時 t_i から t_k までの滞在期間における累積線量の平均値 (μSv)

E_{min} ：指定した領域における日時 t_i から t_k までの滞在期間における累積線量の最小値 (μSv)

m :指定した領域のメッシュ数

ここで、線量率 $E_{(t_i,l)}$ は外部被ばくに対して防護効果を考慮して合計した1時間当たりの実効線量である。輸送の場合は車の防護効果を考慮する。

○行動パターン 2（屋外、移動無）の計算方法

活動範囲のいずれかのメッシュに活動時間中は滞在し続けると仮定し、各メッシュに滞在した場合の積算線量の統計値を出力する。

$$E_{max} = \max_l \left\{ \sum_{i=j}^k E_{(t_i,l)} \right\}$$

$$E_{ave} = \frac{\sum_{i=j}^k E_{(t_i,l)}}{m}$$

$$E_{min} = \min_l \left\{ \sum_{i=j}^k E_{(t_i,l)} \right\}$$

ただし、放射性物質の沈着後は、メッシュ間の線量率の大小関係は変化しないので、行動パターン 1 と 2 は同じ線量を取ることになる。

○行動パターン 3（屋内）の計算方法

屋内作業は、任意の施設内に滞在し続けると仮定し、滞在場所の座標を含むメッシュの線量率を積分して線量を計算する。

$$E_{(l)} = \sum_{t=i}^n E_{(t_i,l)}$$

$E_{(l)}$: 位置 l に滞在した場合の累積線量 (μSv)

ただし、滞在する建物の位置が不明な場合は、行動パターン 2 に対して活動範囲を建物用地に設定し、建物の遮蔽効果を考慮して線量評価をする。

Table 9 に行動パターンに対する活動場所、移動の有無を整理した。

Table 9 Each action pattern: activity place, movement, activity content

行動パターン	活動場所	移動の有無	対応する業務
屋外（移動有）	道路上、居住区域	有	モニタリング、避難支援
屋外（移動無）	道路上、居住区域	無	避難誘導等
屋内	施設等	無	屋内作業

3.4.遮蔽効果の設定

外部被ばくに対する防護効果として、屋内作業においては、建屋の遮蔽効果を考慮した。また、屋外作業において車を利用する場合は車の遮蔽効果を設定した。遮蔽効果は、クラウドシャイン及びグラウンドシャインに対して別々に設定した。コンクリート建屋の遮蔽効果は原子力安全委員会「原子力施設等の防災対策について」¹⁹、車のグラウンドシャインに対する遮蔽効果は Tsuda(2013)²⁰ の値を用いた

遮蔽効果を考慮した線量率の計算は以下の式より求めた。

$$E_{air}(t_i) = E_{air}(t_i) \times rpe1$$

$$E_{dep}(t_i) = E_{dep}(t_i) \times rpe2$$

rpe1 : クラウドシャインからの遮蔽係数 [ー]

rpe2 : グラウンドシャインからの遮蔽係数 [ー]

Table 10 に遮蔽効果の種類と値を整理した ^{19,20}。

Table 10 Type and value of radiation shielding effect^{19,20}

種類	クラウドシャイン	グラウンドシャイン
車	1	0.8
コンクリート建屋	0.6	0.2

4.結果と考察

4.1.防災業務関係者の一日当たりの個人線量の推移

Fig.3 及び Table 11 に一日当たりの個人線量データが存在する防災業務関係者の一日毎の個人線量を示す。これより、一日当たりの個人線量の最大値に着目すると、事故直後の3月12日の値が最も高く $650 \mu\text{Sv}$ であった。その後、2つの段階を経て減少傾向である事が分かる。1つ目の段階は13日から16日の間であり、その間の個人線量の最大値は $300 \mu\text{Sv}$ 程度であった。2つ目の段階は17日以降であり、17日の個人線量の最大値は $126 \mu\text{Sv}$ であったが、18日以降は一日当たりの個人線量データは、全て $100 \mu\text{Sv}$ を下回った。

3月12日には、福島第一原子力発電所から10 km 圏内の住民に避難勧告がされており、12日18時25分には避難範囲が20 km に拡大している。Table 12 より、12日に $650 \mu\text{Sv}$ を記録した防災業務関係者は双葉町にて避難誘導を24時間実施していたことから、事故直後の防災業務関係者は長時間の屋外作業が必要になり時間制限による被ばく管理が難しいことが考えられる。

3月15日には、福島第一原子力発電所2号機の格納容器の圧力低下が起こったことから、放射性物質の更なる放出が推定されている。Fig.1 より希ガスの放出率が16日まで推定されていることから、福島第一原子力発電所からの放射性物質の主な放出は3月16日までと言える。放射性物質の主放出が続いている期間は、放射性プルームからのクラウドシャインによる外部被ばくが考えられる。一方、放射性物質の主放出が終われば、地表面に沈着した放射性物質からのグラウンドシャインによる外部被ばくが主な被ばく経路となる。

これより、防災業務関係者の被ばく線量の傾向は、事故直後の住民が避難する期間、主な放射性物質の放出期間、放射性物質の放出以降の期間の3つの期間に分類できると言える。

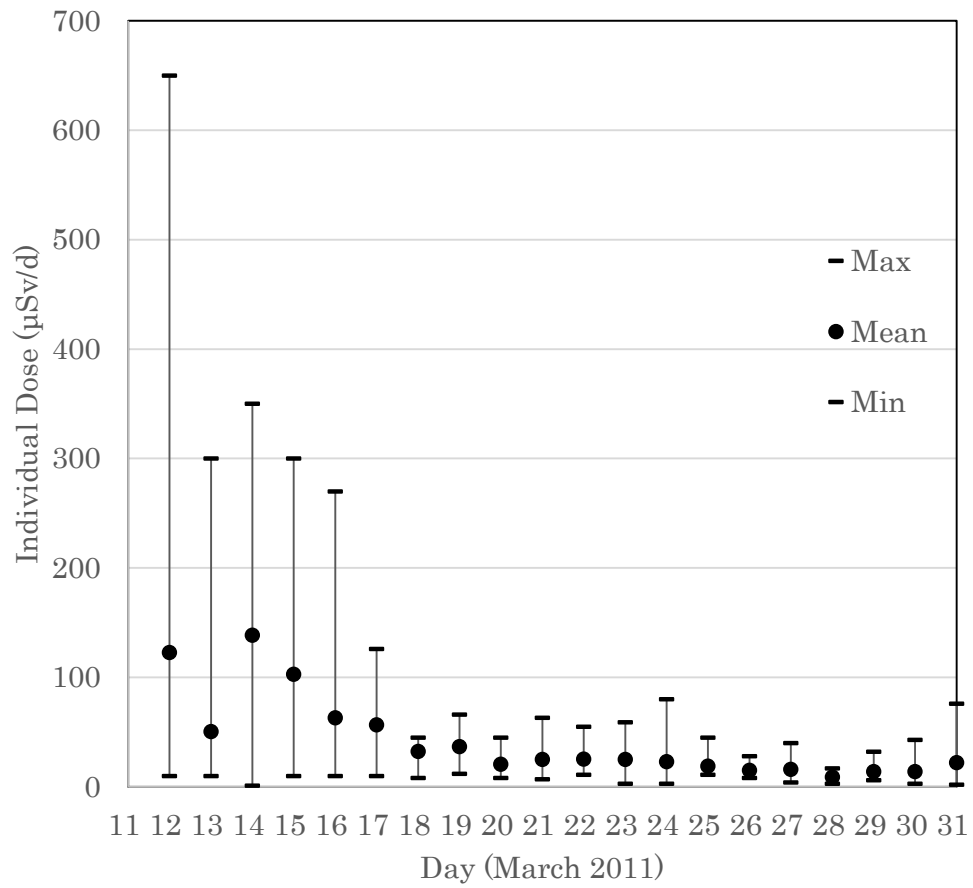


Fig. 3 Trends in individual daily dose of emergency responders

Table 11 Statistics of daily individual dose of emergency responders and number of persons to be recorded

Day March 2011	実測値 (μSv/d)			記録人数
	Max	Mean	Min	
12	650	123	10	8
13	300	51	10	31
14	350	139	1	22
15	300	103	10	7
16	270	63	10	9
17	126	57	10	10
18	45	33	8	4
19	66	37	12	4
20	45	21	8	6
21	63	25	7	6
22	55	25	11	20
23	59	25	3	18
24	80	23	3	32
25	45	19	11	25
26	28	15	8	25
27	40	16	4	30
28	17	9	3	24
29	32	14	6	29
30	43	14	3	32
31	76	22	2	34

Table 12 Activity record of emergency responders who exposed maximum dose on each day

Day March 2011	実測値 ($\mu\text{Sv/d}$)	市町村	活動内容	活動時間
12	650	双葉町	避難誘導	24
13	300	浪江町	救助、搜索	6
14	350	双葉町	避難支援	24
15	300	浪江町	避難誘導	24
16	270	楡葉町	輸送	15
17	126	双葉町	救助、搜索	2
18	45	南相馬市	救助、搜索	9
19	66	南相馬市	救助、搜索	6
20	45	浪江町	救助、搜索	3
21	63	浪江町	屋内活動	10
22	55	双葉町	救助、搜索	12
23	59	大熊町	警戒活動	11
24	80	大熊町	救助、搜索	10
25	45	浪江町	救助、搜索	4
26	28	川俣町	屋内活動	8
27	40	大熊町	屋内活動	8
28	17	川俣町	屋内活動	8
29	32	川内村	警戒活動	14
30	43	浪江町	救助、搜索	7
31	76	大熊町	救助、搜索	3

4.2. モニタリングポストの空間線量率の実測値と計算値の比較

RAMS/HYPACT と UNSCEAR のソースタームを基に計算されたオフサイトの線量率場が実際の線量率場をどの程度再現しているかを確認するために、MP により観測された空間線量率（空気吸収線量率）と比較した。

対象とした MP は、2011 年 3 月 11 日以降に福島第一原子力発電所の 30km 圏内で測定値が存在した 18 地点である^{21,22}。空間線量率の測定地点の名称及び緯度・経度を Table 13 に、地図上の位置を Fig.4 に示す。計算期間は UNSCEAR においてソースタームが示されている日本時間 2011 年 3 月 12 日 5 時から 2011 年 4 月 1 日 0 時とした。

Fig.5 に各地点における空間線量率の計算結果と実測値との比較を示す。計算結果は、ブルームの通過に伴う 12 日と 15 日の空間線量率の急激な上昇と、16 日以降の沈着量が時間とともに減衰することにより空間線量率がゆるやかに低下する傾向を示し、観測値の傾向を概ね再現している。一方、観測値と計算値の違いの一つには、計算に用いた放射性核種の放出率の時間変化の不確かさが考えられる。平尾他らの研究より各放出時間において I-131 と Cs-137 は幾何標準偏差で一桁程度の不確かさがあると推定されている²³。それ以外の核種についての不確かさ評価はされていないが、I-131、Cs-137 と同程度かそれ以上の不確かさがあると考えられる。ソースタームの不確かさに由来するオフサイトの線量率の計算結果の不確かさが存在するため、防災業務関係者の被ばく線量を計算から推定するには慎重な検討が必要である。しかし、東電福島事故直後の環境中の放射線測定データは限られている。ここでは、防災業務関係者の被ばく線量の計算値を用いて、防災業務関係者の外部被ばく線量の日変化を大まかに把握することに留める。

Table 13 Location information (latitude and longitude) of monitoring posts on off-site within 30 km from Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Station during accident

No.	市町村	地点名	緯度	経度
1	広野町	二ツ沼	37.23364	141.00132
2	檜葉町	山田岡	37.25808	140.99743
3	檜葉町	繁岡	37.30057	140.99826
4	檜葉町	松館	37.30724	140.96882
5	檜葉町	波倉	37.30696	141.02270
6	富岡町	下郡山	37.32613	141.01409
7	富岡町	夜の森	37.36501	140.99520
8	大熊町	向畑	37.39556	141.00465
9	大熊町	南台	37.40667	141.01715
10	大熊町	大野	37.40667	140.98048
11	大熊町	夫沢	37.40945	141.02798
12	双葉町	山田	37.43139	140.98798
13	双葉町	郡山	37.44806	141.02437
14	双葉町	新山	37.45361	141.00909
15	双葉町	上羽鳥	37.45417	140.98104
16	浪江町	浪江	37.49389	140.99104
17	浪江町	幾世橋	37.49722	141.01603
18	南相馬市	合同庁舎	37.63994	140.97306

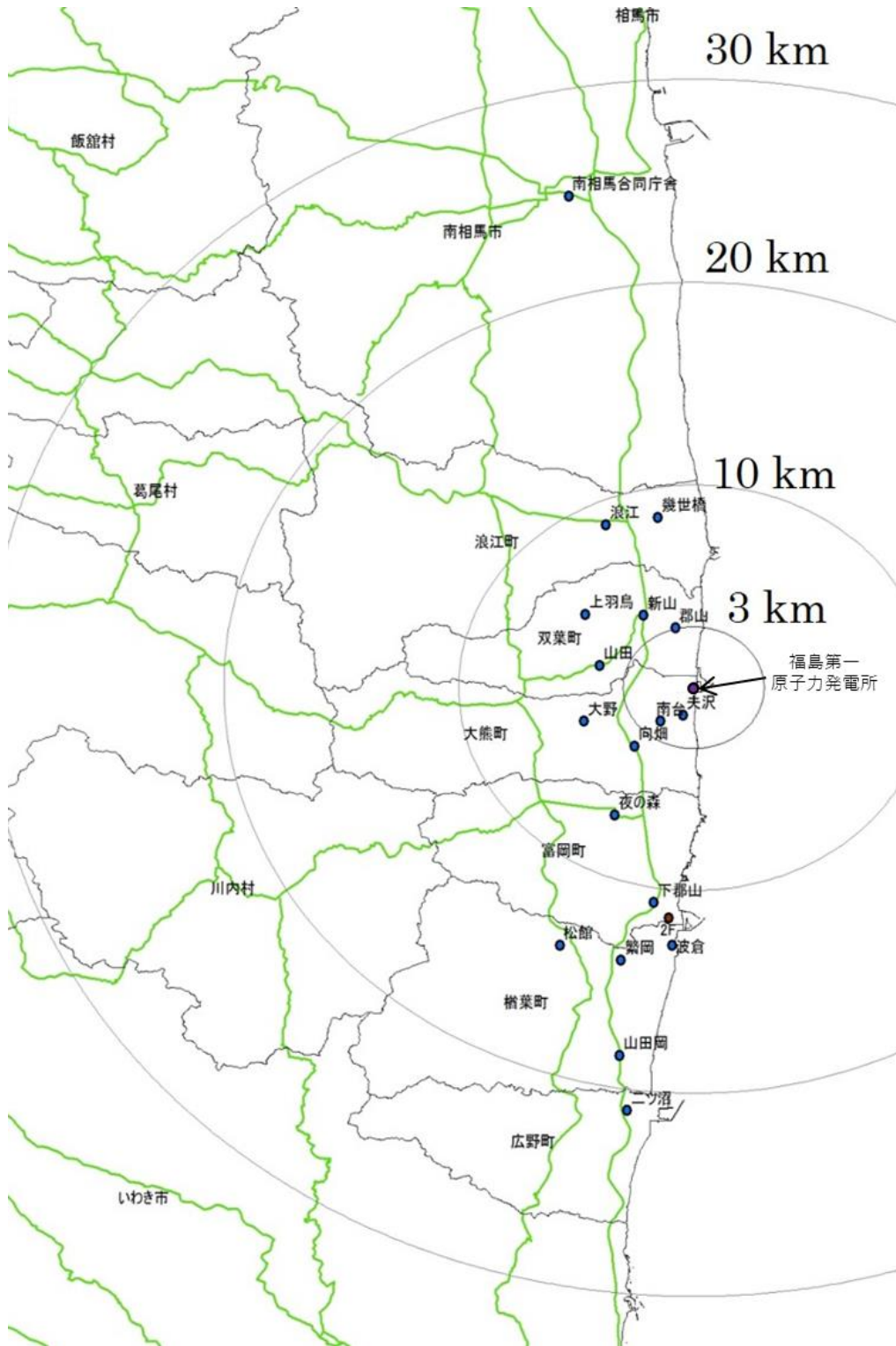


Fig. 4 Installation site map of off-site monitoring post at Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Station accident

(Black Line: Municipal boundary, Green Line: Main road)

(背景地図は、ArcGIS データコレクションスタンダードパック(ESRI,Co,Ltd)を使用)

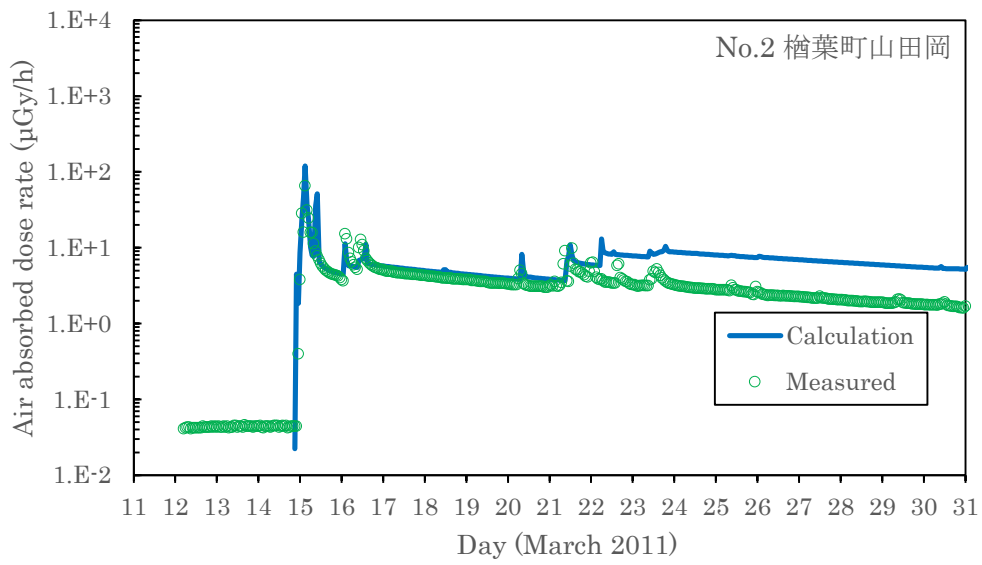
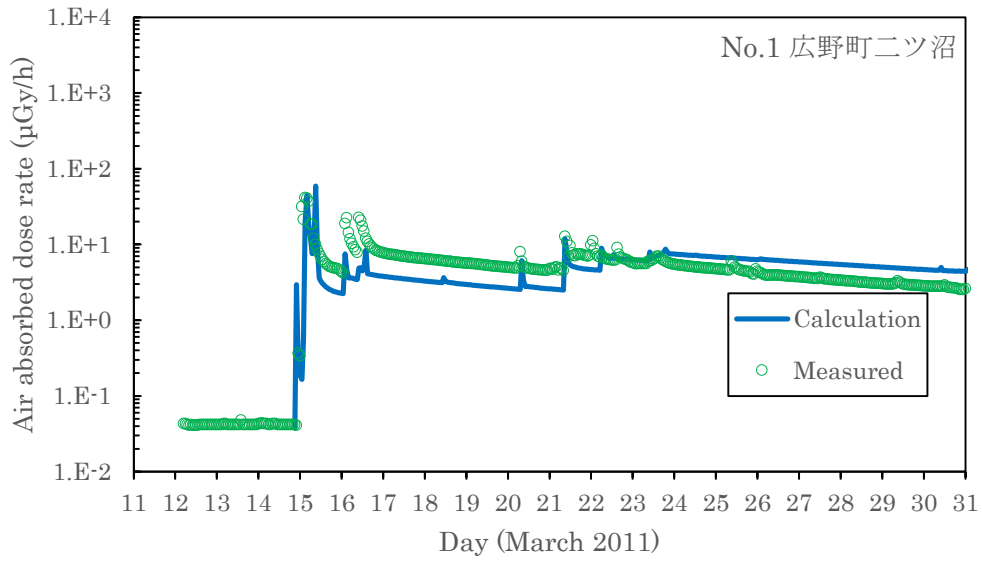


Fig. 5 Comparison of observation value and calculation value of monitoring post (1/9)

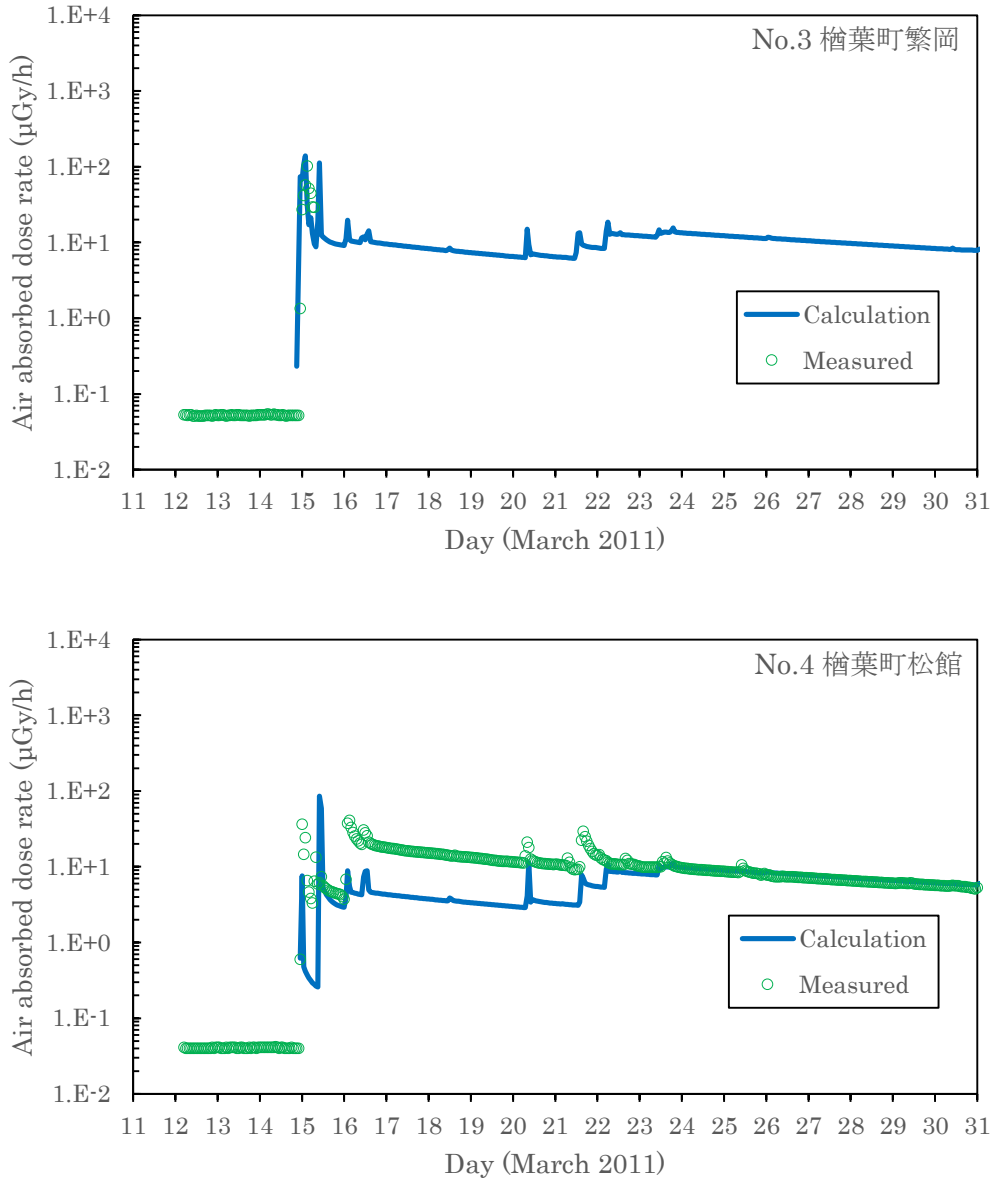


Fig. 5 Comparison of observation value and calculation value of monitoring post (2/9)

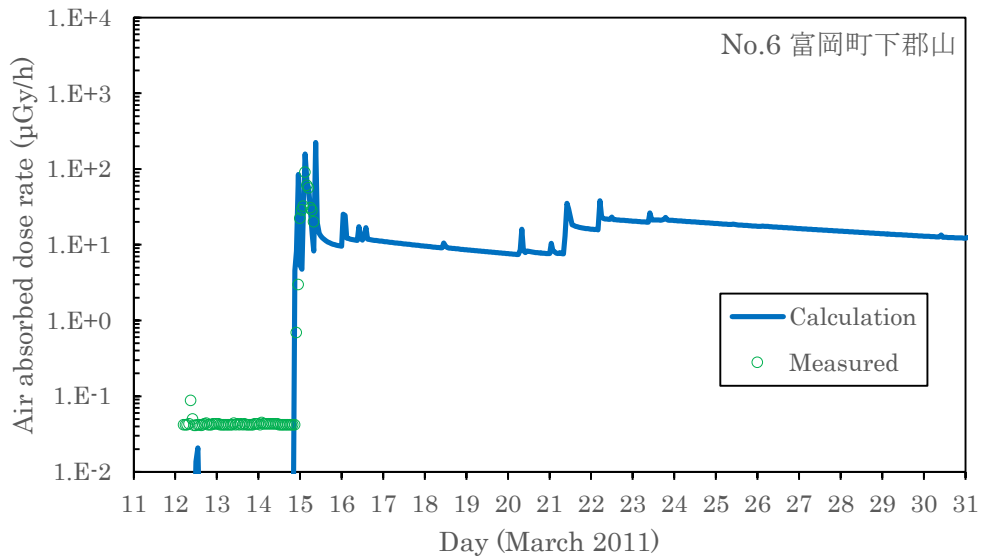
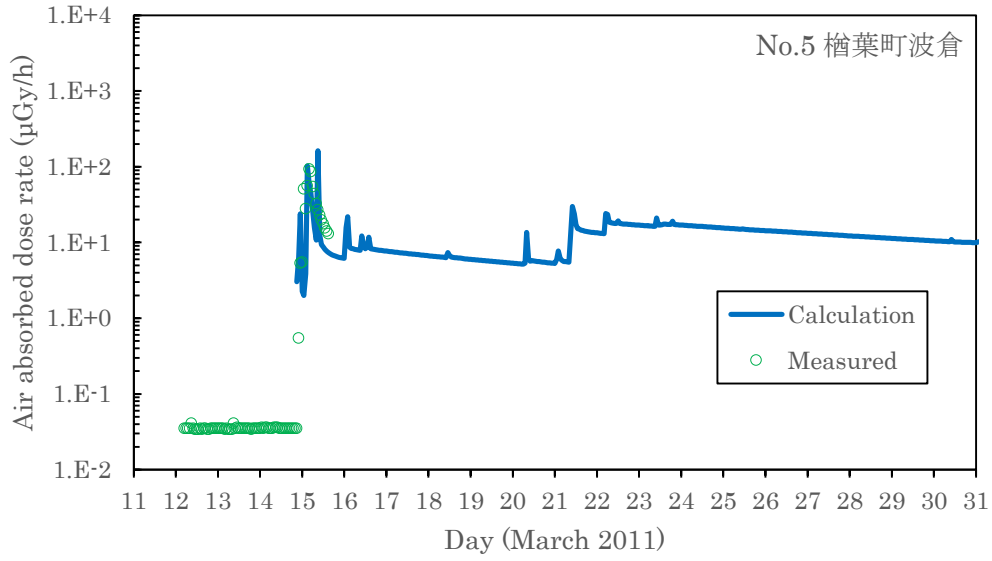


Fig. 5 Comparison of observation value and calculation value of monitoring post (3/9)

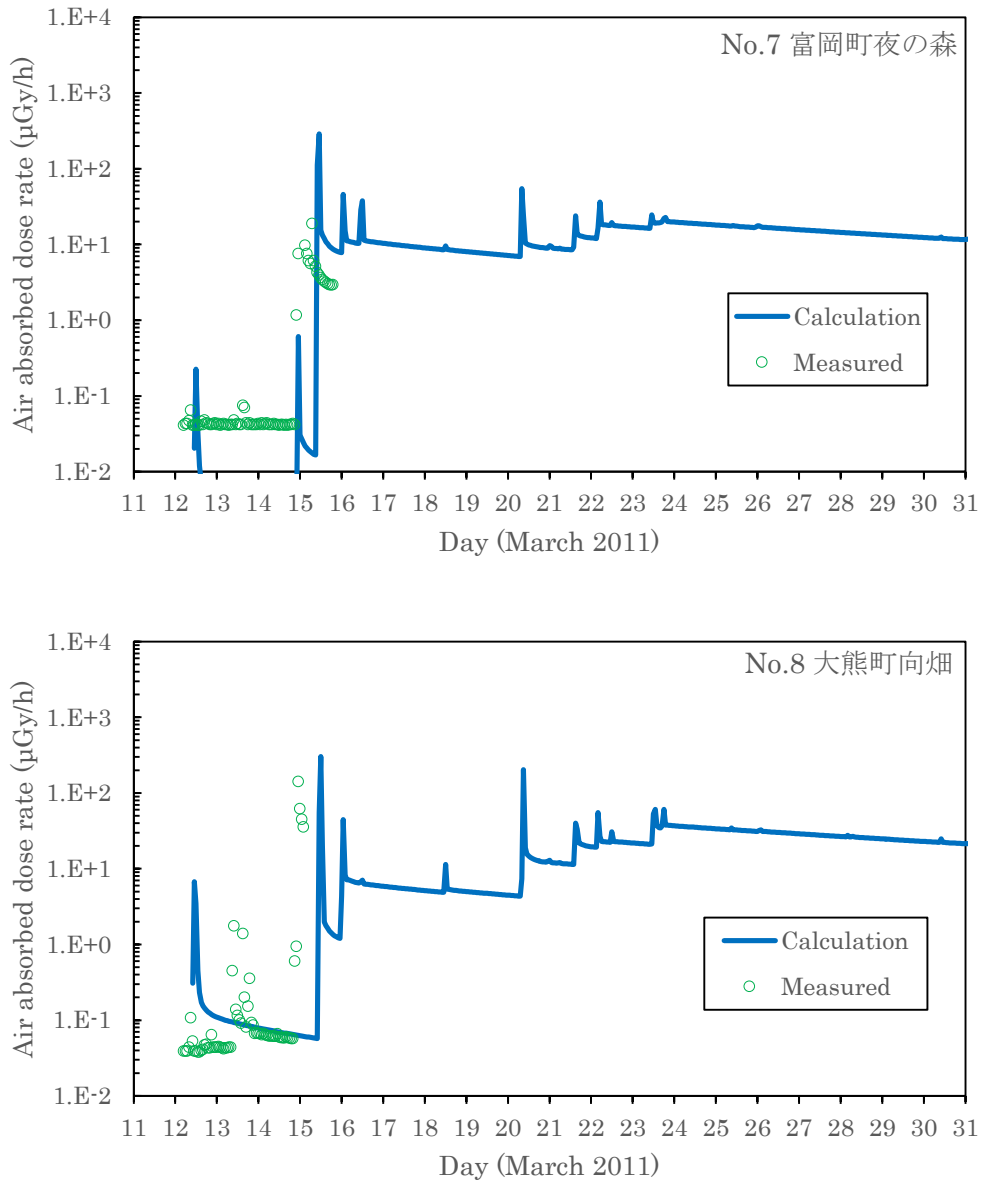


Fig. 5 Comparison of observation value and calculation value of monitoring post (4/9)

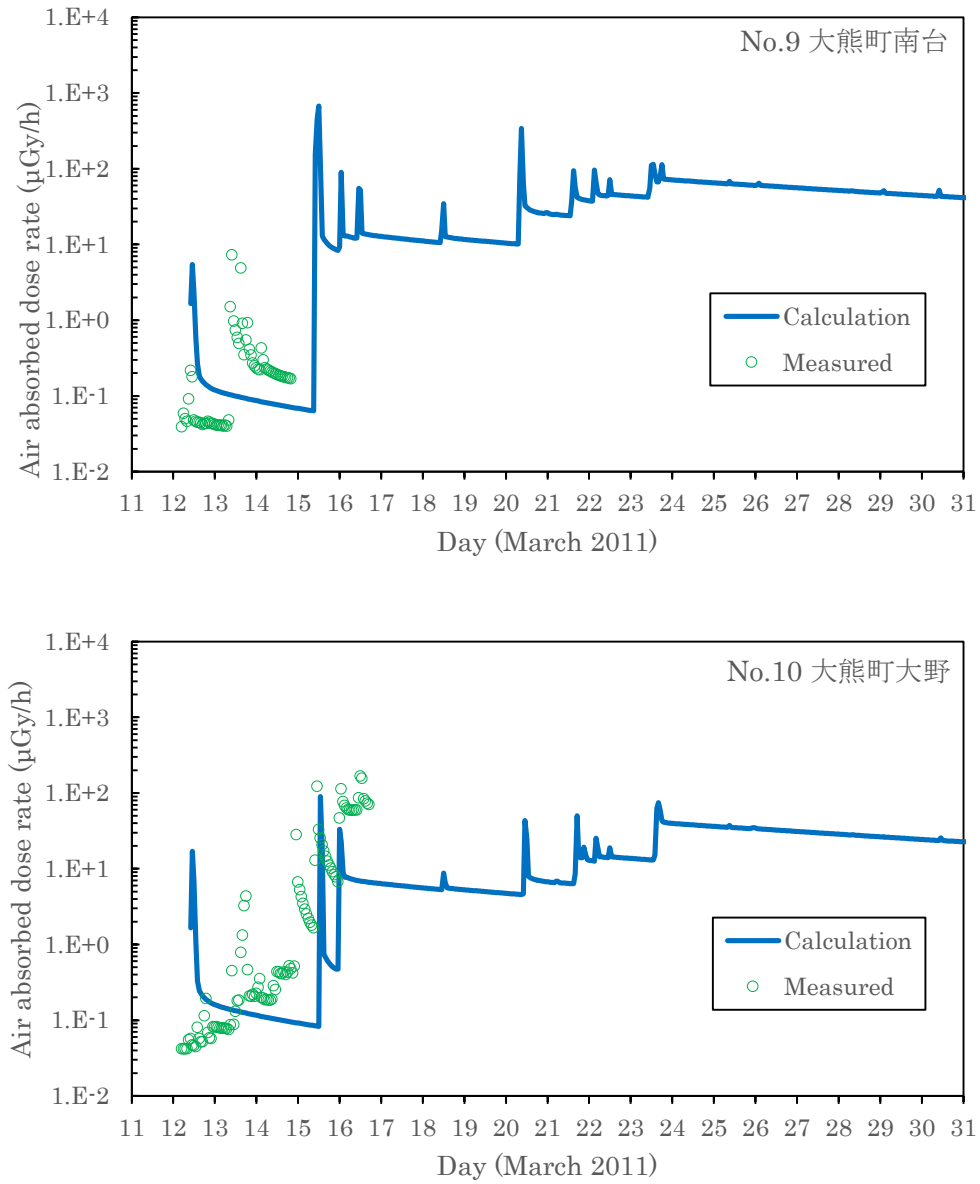


Fig. 5 Comparison of observation value and calculation value of monitoring post (5/9)

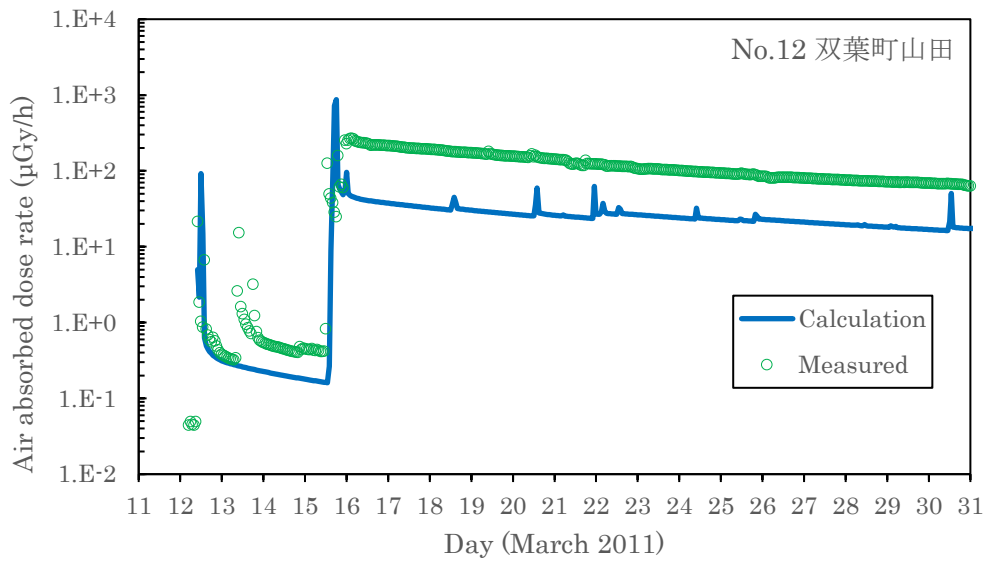
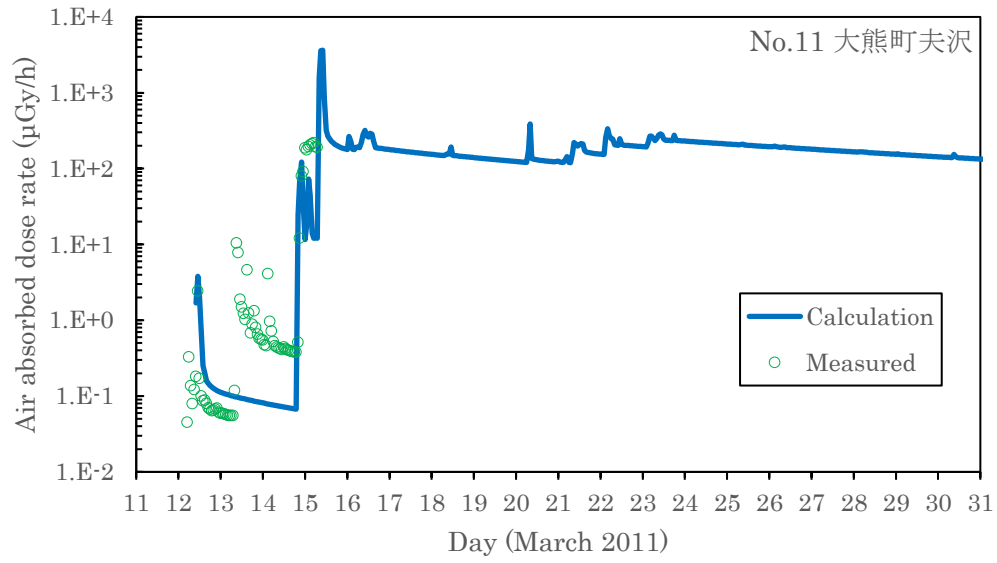


Fig. 5 Comparison of observation value and calculation value of monitoring post (6/9)

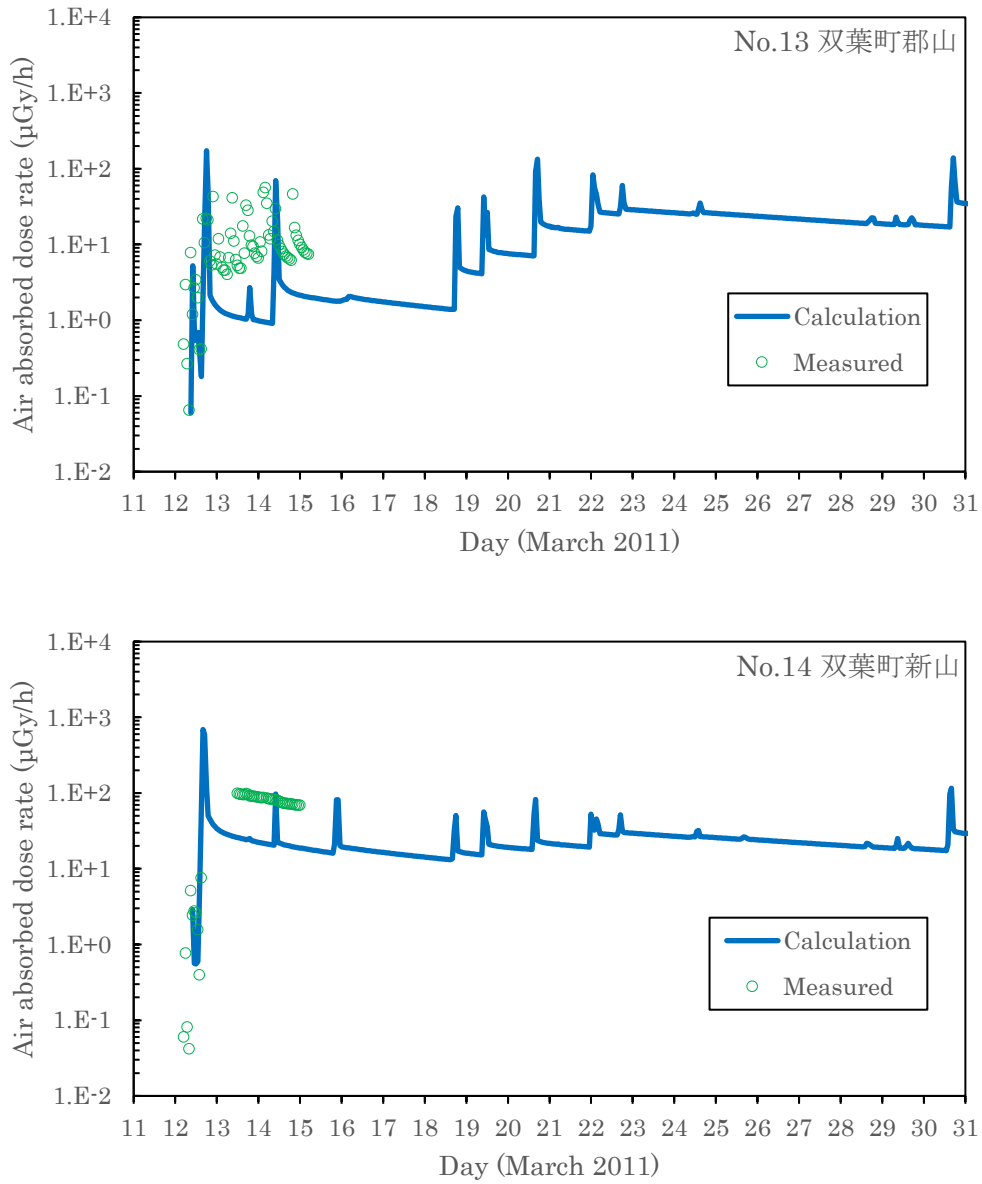


Fig. 5 Comparison of observation value and calculation value of monitoring post (7/9)

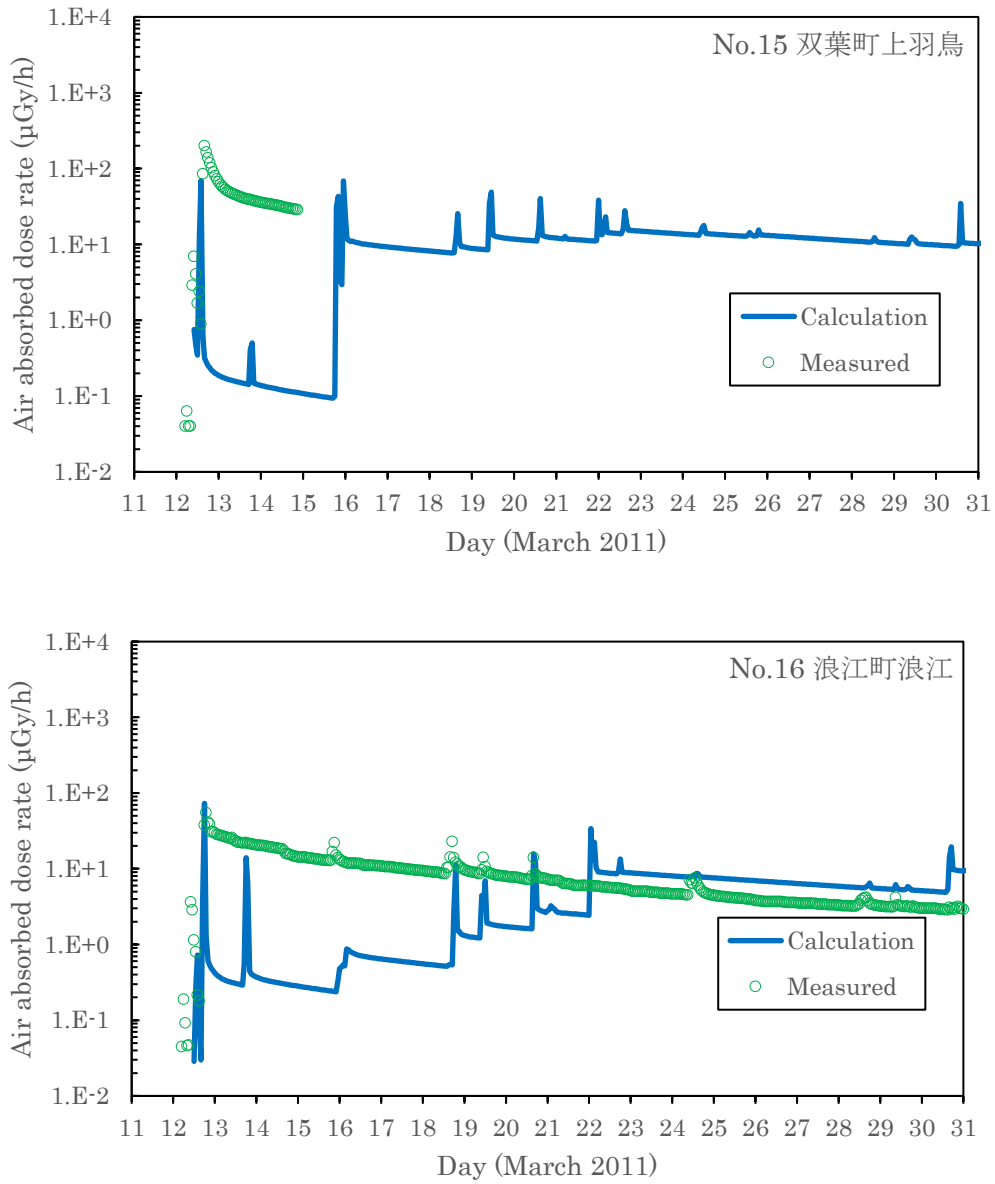


Fig. 5 Comparison of observation value and calculation value of monitoring post (8/9)

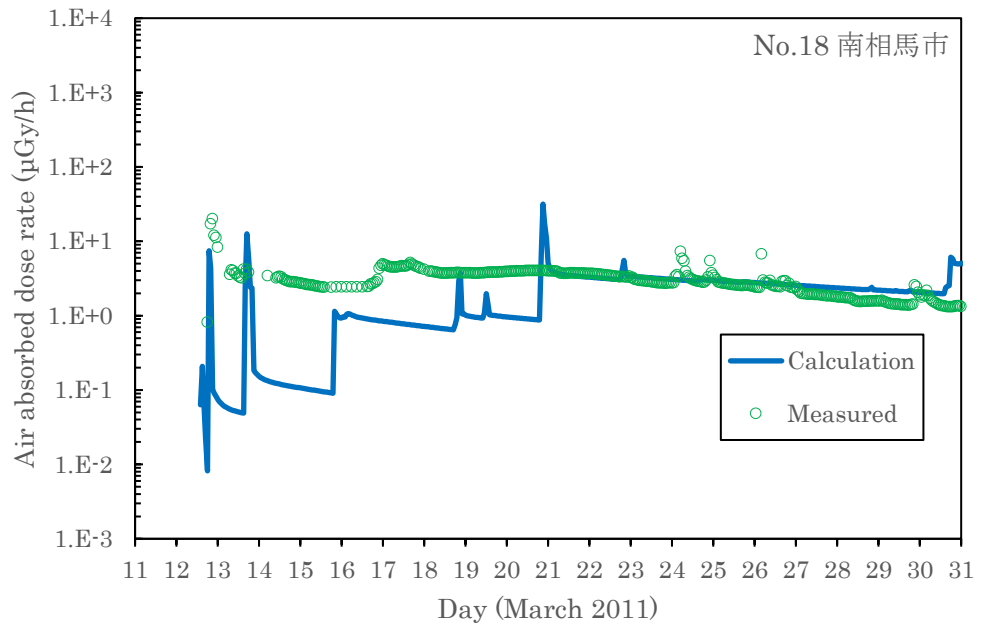
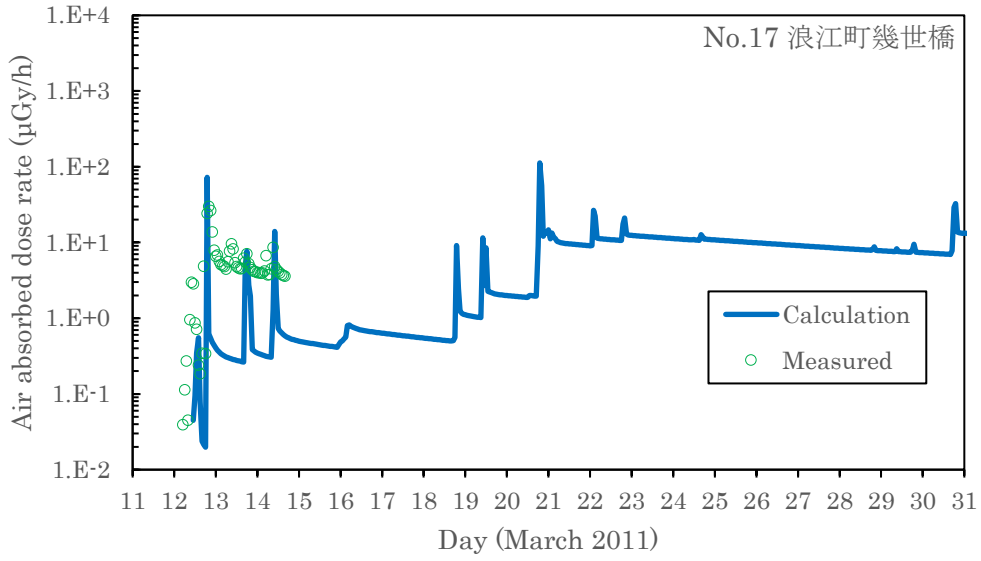


Fig. 5 Comparison of observation value and calculation value of monitoring post (9/9)

4.3.記録が詳細な 6 名の防災業務関係者の外部被ばく線量の実測値と計算値の比較

活動期間中（2011年3月）の累積線量の日変化と、各活動日の日毎の累積線量の測定値（個人線量計の測定値）に対して、線量評価モデルによる計算値をそれぞれ比較、考察した。
 Fig.6 に Table 2 に記載された 6 名の外部被ばく線量の実測値の累積線量を示す。

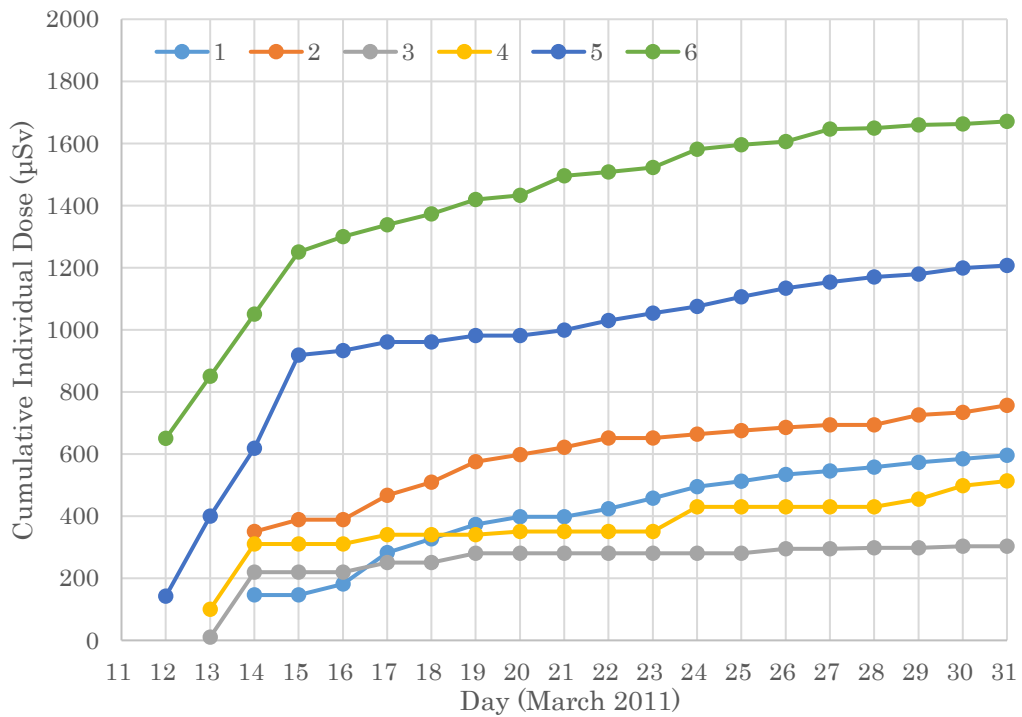


Fig. 6 Cumulative external individual dose of six emergency responders with detailed records

比較結果 (No.1) :Fig.7 より、活動期間中の測定値の累積線量は計算値の最大値と平均値との間に収まることが分かる。Fig.8 より、計算値の最大値が概ね実測値を包含することが分かる。

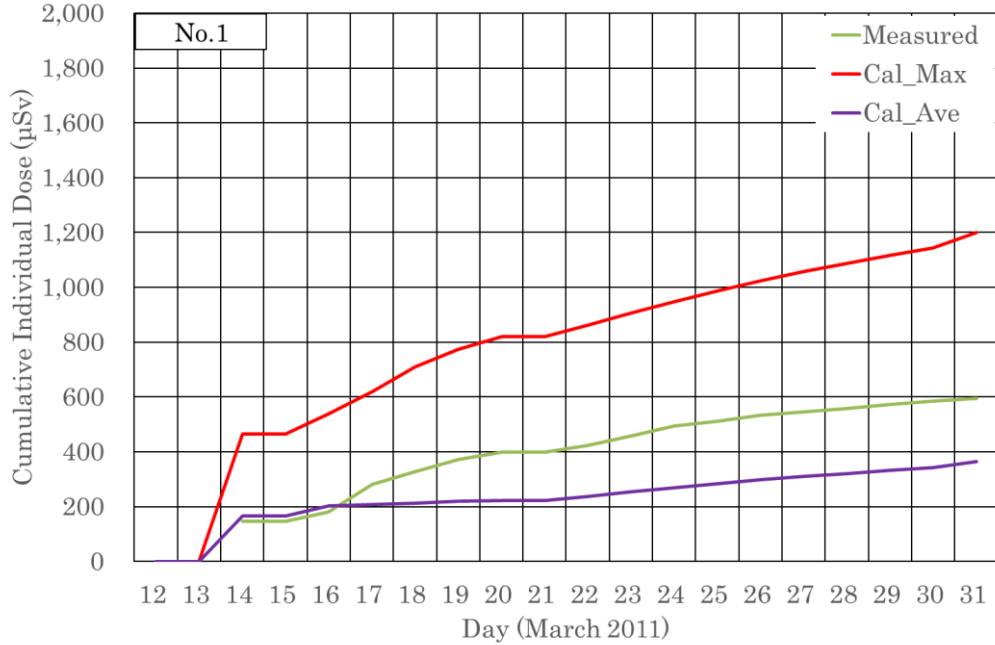


Fig. 7 Comparison of measured value and calculated value of cumulative dose of emergency responder (No. 1)

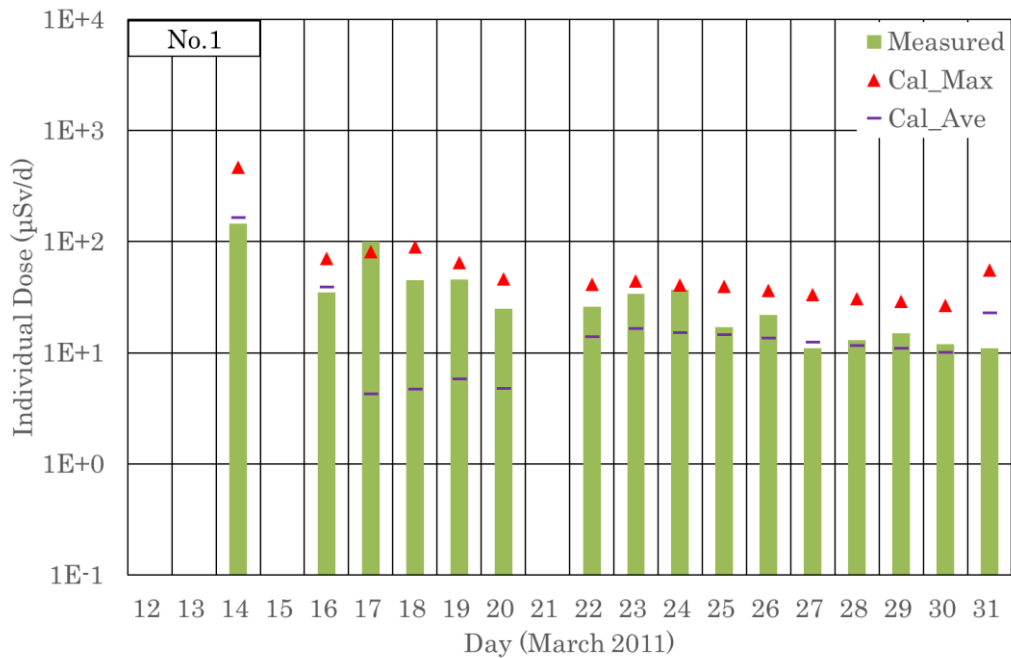


Fig. 8 Comparison of measured value and calculated value of the daily individual dose of emergency responder (No. 1)

比較結果 (No.2) :Fig.9 より、活動期間中の測定値の累積線量はモデルの最大値を上回った。これは、Fig.10 より、14日及び17日から20日の累積線量の実測値に対して計算値が過小評価していることが原因である。ここでは、14日は浪江町で避難支援の活動、17日から20日は南相馬市で救助搜索活動を実施していた。

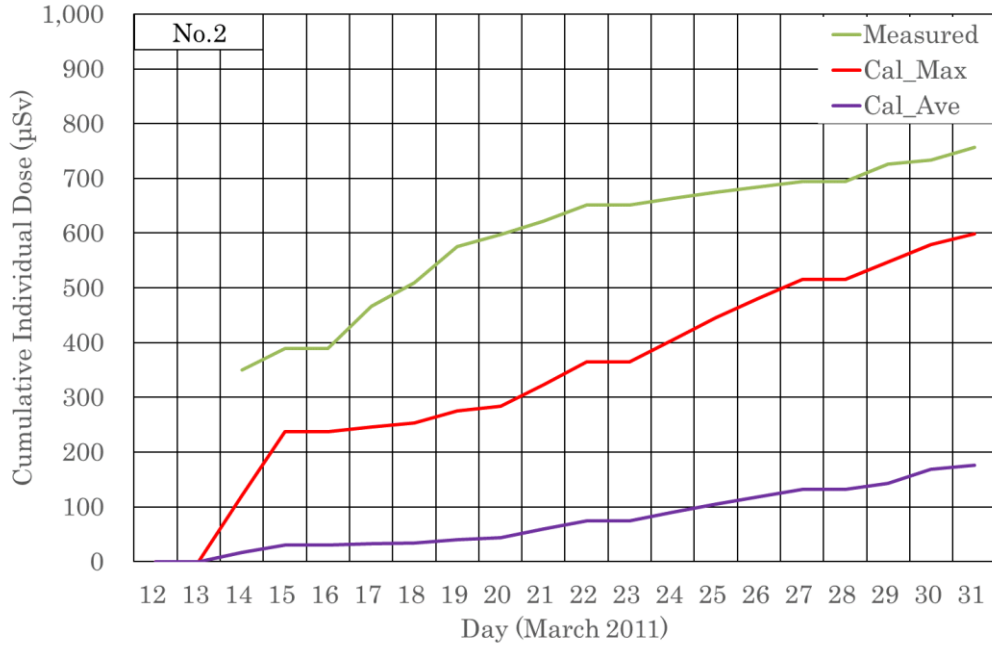


Fig. 9 Comparison of measured value and calculated value of cumulative dose of emergency responder (No. 2)

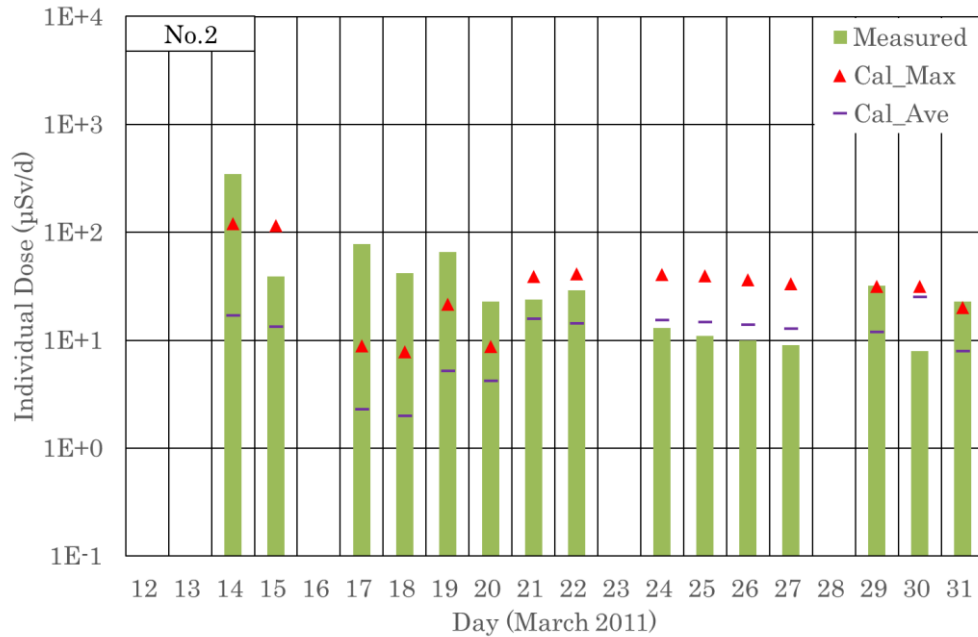


Fig. 10 Comparison of measured value and calculated value of the daily individual dose of emergency responder (No. 2)

ここで、3月14日から20日の浪江町、南相馬市での測定値を計算値が過小評価した原因を考察する。3月14日から20日の浪江町及び南相馬市のMPの測定値と今回の計算値は概ね一致していたが、一部の期間で測定値と計算値に差異が見られた。浪江町及び南相馬市のMP（No.16、18）より、福島第一原子力発電所から北北西方向のMPの12日から20日までは計算値は測定値を過小評価していることが分かる。ここでは、12日の測定値の上昇を計算値は再現しているので、プルームの飛来は再現していると考えられる。しかし、プルーム通過後に計算値が急激に減少することから、計算値は12日の北北西方向の放射性物質の沈着を再現できていないことが分かる。これより、この放射性物質の沈着を計算が再現できていないことが原因で、浪江町及び南相馬市における14日から20日の外部被ばく線量を過小評価したと考えられる。

比較結果 (No.3) :Fig.11 より、13日から28日の間は、実測値が線量評価モデルの最大値を上回ったことが分かる。これは、Fig.12 より、13日、14日、17日の実測値が計算値を少し上回ったことが原因である。No.3の14日の活動場所は浪江町であるので、No.2と同様の理由で計算値が実測値を過小評価したと考えられる。

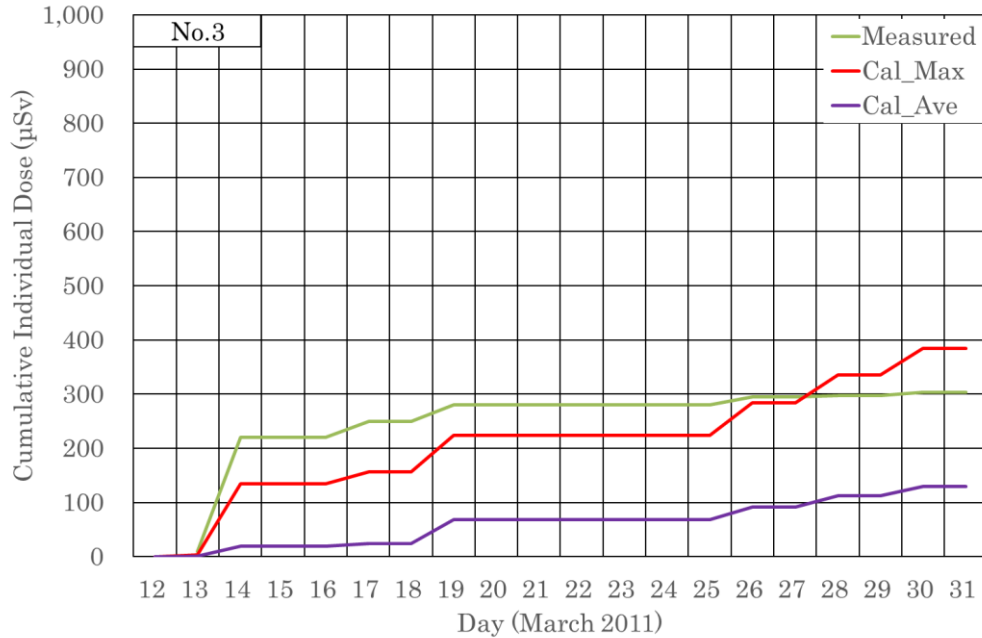


Fig. 11 Comparison of measured value and calculated value of cumulative dose of emergency responder (No. 3)

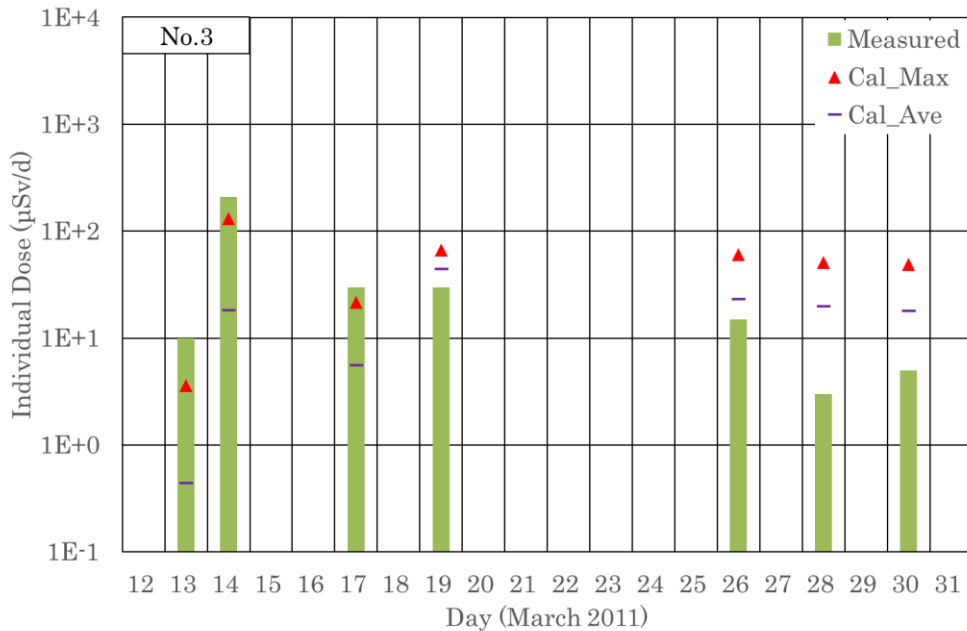


Fig. 12 Comparison of measured value and calculated value of the daily individual dose of emergency responder (No. 3)

比較結果 (No.4) :Fig.13 より、累積線量の実測値は 24 日以降は線量評価モデルの平均値と近い値となった。また、Fig.14 より、13 日の実測値を線量評価モデルが過小評価していることが分かる。さらに、24、30 日の線量評価モデルの最大値が実測値を大きく過大評価した。

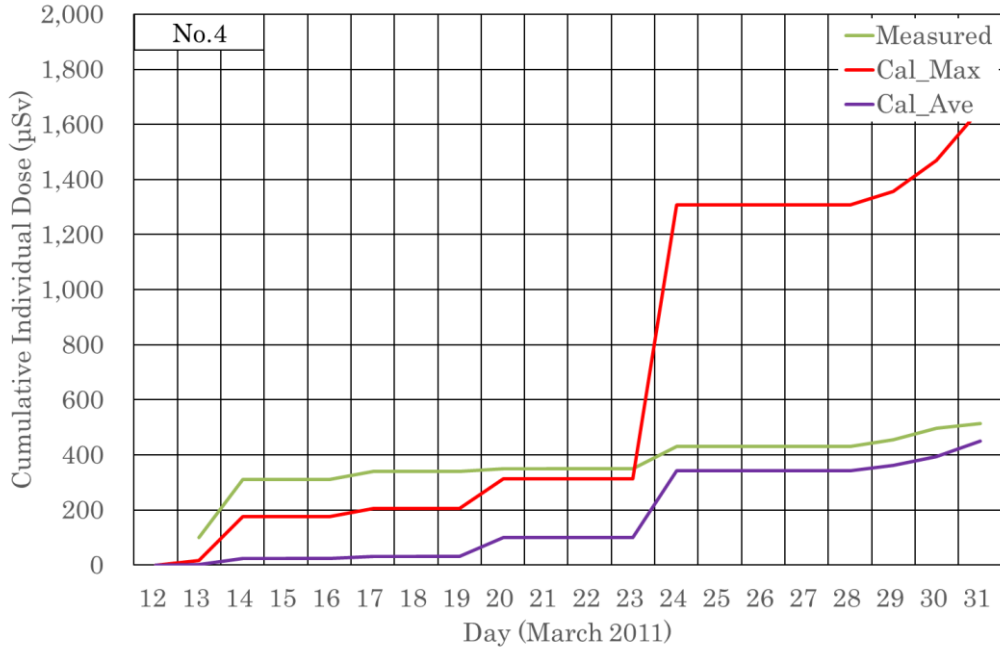


Fig. 13 Comparison of measured value and calculated value of cumulative dose of emergency responder (No. 4)

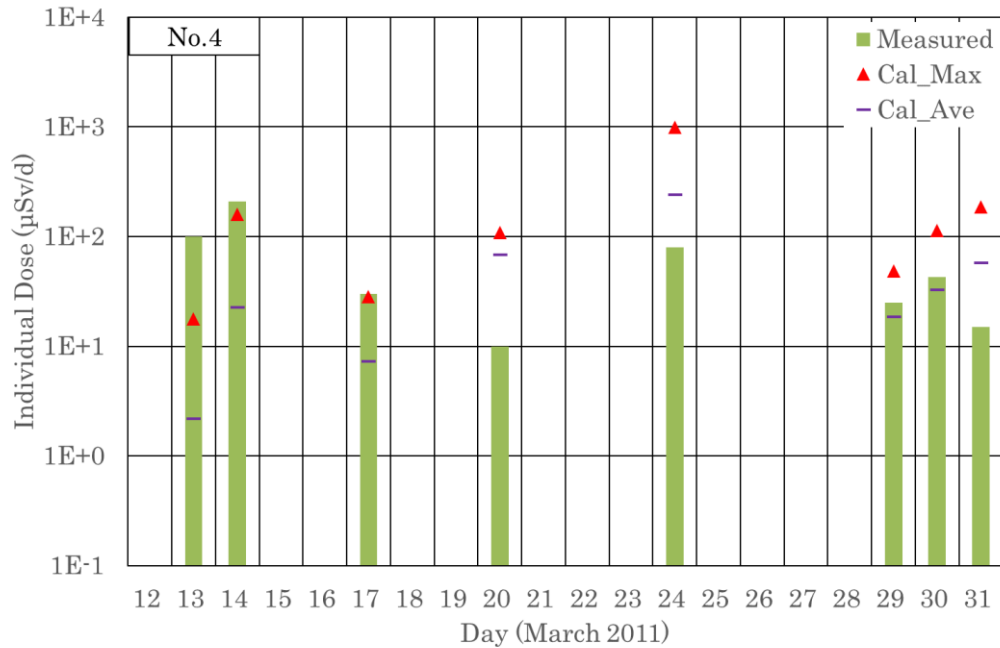


Fig. 14 Comparison of measured value and calculated value of the daily individual dose of emergency responder (No. 4)

ここで、大熊町での 13 日の線量を計算値が過小評価した原因を考察する。大熊町の MP (No.10) の実測値と計算値の比較より、大熊町における 13 日のプルーム飛来を計算値は再現できていないことが確認できる (Fig.5)。これより、ソースタームまたは大気拡散計算が原因で 13 日の大熊町での線量を過小評価したと考えられる。

次に、24 日の線量評価モデルの最大値が実測値を大きく過大評価した原因を考察する。24 日は大熊町で救助・捜索活動を 10 時間していた。大熊町の活動領域における空間線量率のマップを Fig.15 に示す。この図より、福島第一原子力発電所から半径 3 km 付近の線量率が 50~100 μSv 毎時を示している。一方、実際に活動したと考えられる市街地の線量率は 1~50 μSv 毎時である。これより、大熊町のような放出源を含む市町村内は線量率の幅が大きいことが分かる。このことから、放出源近傍の市町村での活動に伴う被ばく線量を算出する際は、活動領域の線量率の最大値を用いると実際に活動する領域の線量よりも極めて高い値を示す場合があることが分かった。この結果から、放出源近傍の市町村における活動の線量評価は活動範囲をより詳細に設定する必要があると言える。

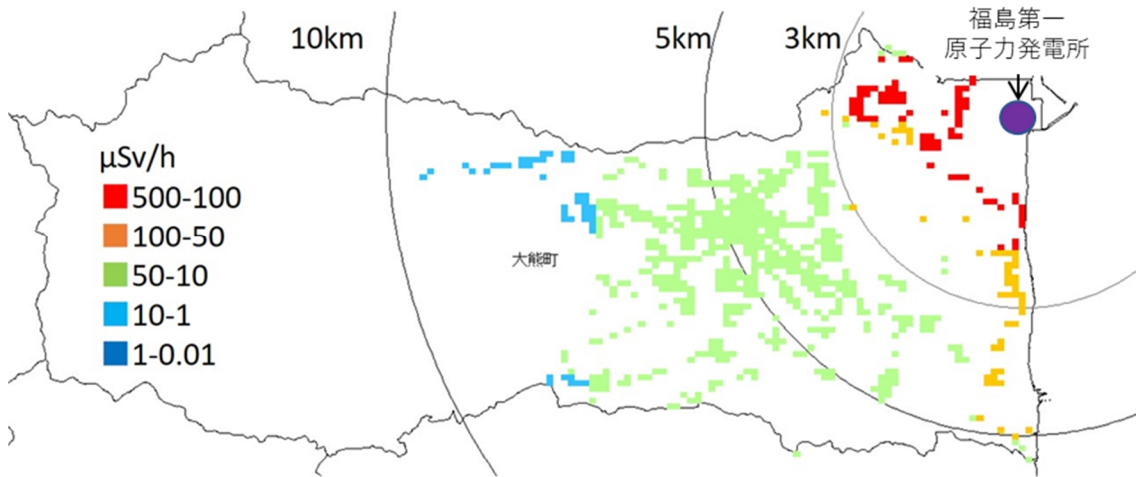


Fig. 15 Dose rate distribution in active area of Okuma Town (March 24, 2011)
 (背景地図は、ArcGIS データコレクションスタンダードパック (ESRI, Co, Ltd) を使用)

比較結果 (No.5) :Fig.16 より、累積線量の測定値は線量評価モデルの最大値と平均値の範囲内に収まることが分かる。また、Fig.17 より、13日から15日の線量評価モデルの最大値は実測値に近い値を示し、Fig.16の15日までの累積線量の上昇を再現している。一方、22日から29日の計算値は実測値を過小評価している。この期間は川俣町で主に屋内作業に従事しているため、建屋の遮蔽効果の設定に問題がある可能性がある。

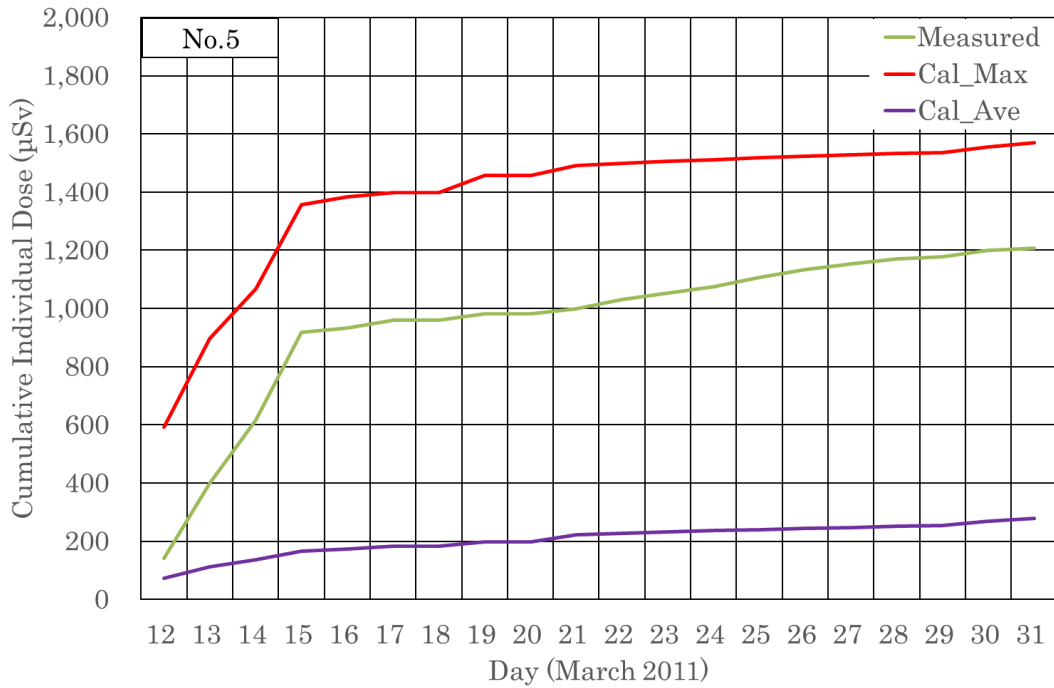


Fig. 16 Comparison of measured value and calculated value of cumulative dose of emergency responder (No. 5)

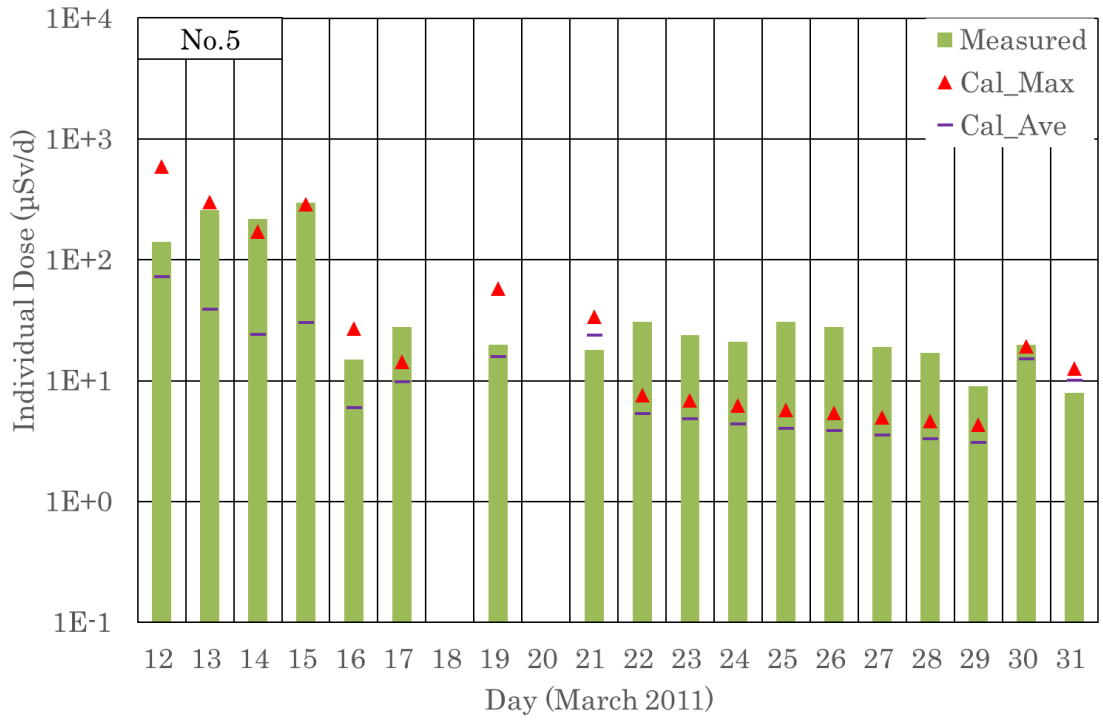


Fig. 17 Comparison of measured value and calculated value of the daily individual dose of emergency responder (No. 5)

比較結果 (No.6) :Fig.18 より、累積線量の測定値はモデルの最大値と平均値の範囲内に収まることが分かる。また、Fig.19 より、No.5 と同様に 13 日から 15 日の線量評価モデルの最大値は実測値を概ね包含することを示した。一方、27 日の計算値の最大値は実測値を大きく過大評価した。No.6 の防災業務関係者は、27 日は大熊町とでそれぞれ屋内活動を実施していた。ここでは、活動場所の詳細な情報が記録されていなかったため、建物用地のいずれかのメッシュにおいて屋内活動をしたと仮定して線量を計算した。前述した、防災業務関係者 No.4 の 24 日での大熊町の計算結果を考察したのと同様に、放出源近傍の市町村での活動に伴う線量を評価する際は、最大値が極めて大きな値を示す場合があるので、活動領域を詳細に設定する必要があると言える。

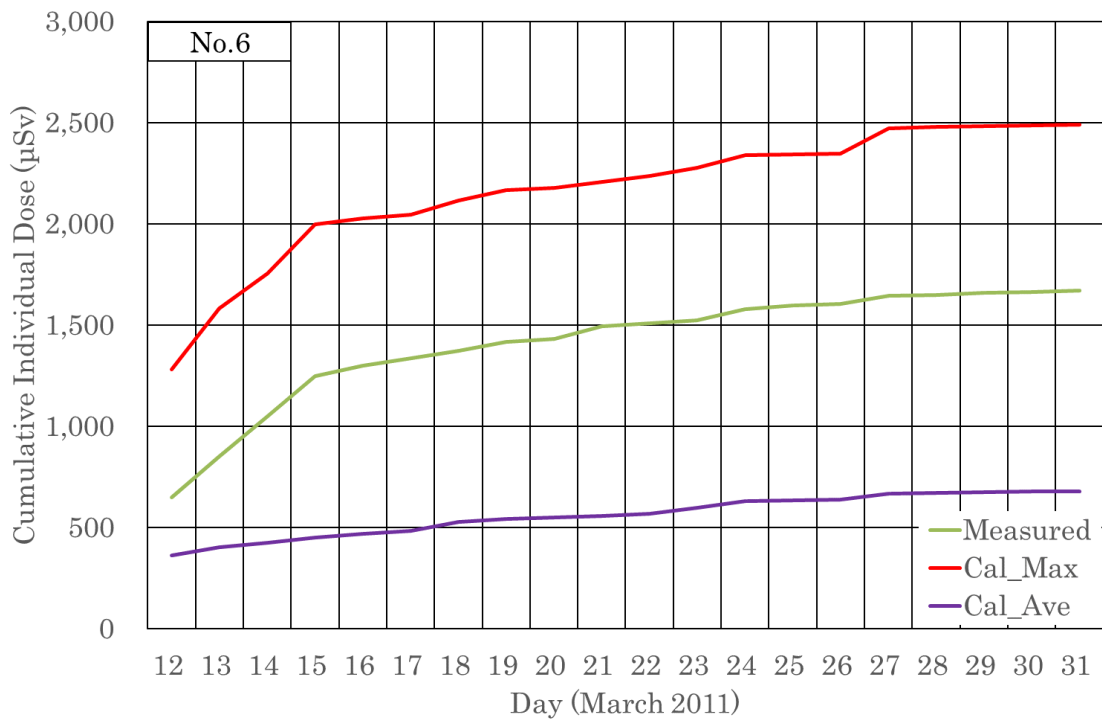


Fig. 18 Comparison of measured value and calculated value of cumulative dose of emergency responder (No. 6)

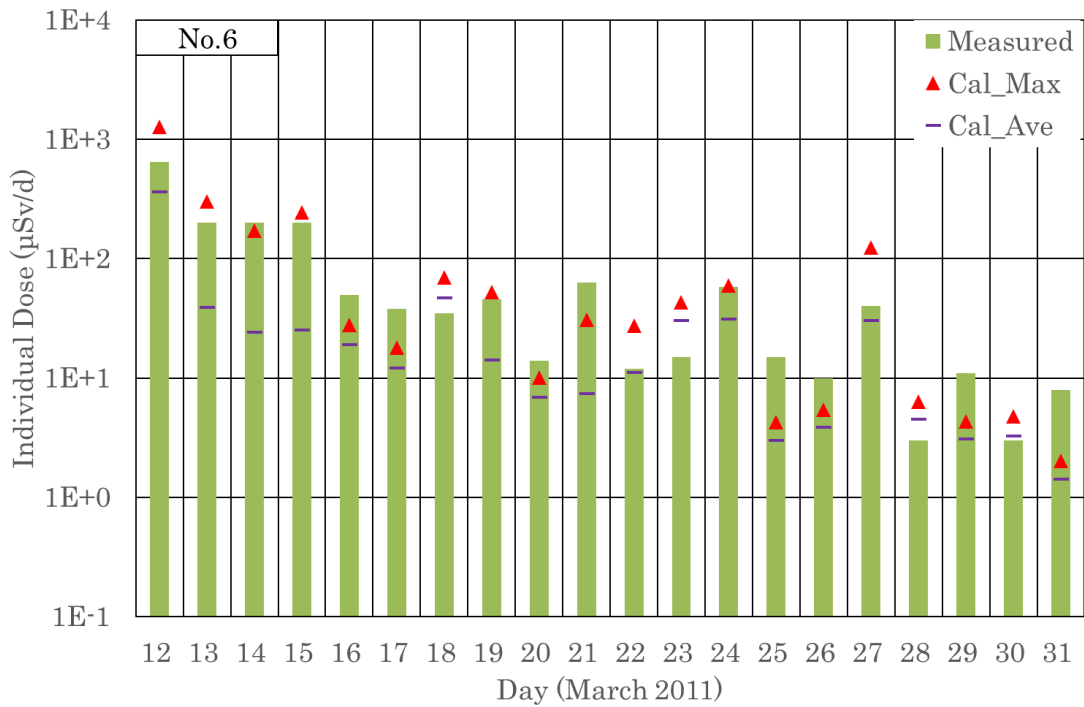


Fig. 19 Comparison of measured value and calculated value of the daily individual dose of emergency responder (No. 6)

Table.14 に No.1～6 の防災業務関係者の日毎の外部被ばく線量の計算値及び外部被ばく線量に含まれる放射性プルームからの寄与（クラウドシャイン）の割合を示す。計算結果より防災業務関係者が活動中に放射性プルームに遭遇した可能性のある日は 3 月 12 日から 15 日、19 日、22 日、24 日であった。これらの日の中で 3 月 12 日におけるクラウドシャインの割合が 70～80 %と他の日よりも大きい。特に No.6 の 3 月 12 日の個人線量計の実測値は 650 μSv と記録された個人線量計の実測値の中で最大値であることから、事故直後の防災業務関係者の被ばく経路として放射線プルームからの外部被ばくが重要であることが言える。

Table 14 Calculated value of external dose and percentage of cloudshine

Day	No.1			No.2			No.3			No.4			No.5			No.6				
	計算値 (μSv)		割合	計算値 (μSv)		割合	計算値 (μSv)		割合	計算値 (μSv)		割合	計算値 (μSv)		割合	計算値 (μSv)		割合		
	Max	Ave	Max	Ave	Max	Ave	Max	Ave	Max	Ave	Max	Ave	Max	Ave	Max	Ave	Max	Ave		
3月12日	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
3月13日	—	—	—	—	4	0	0%	0%	18	2	0%	0%	592	73	81%	80%	1281	363	71%	
3月14日	466	165	14%	12%	121	17	17%	11%	131	18	16%	10%	159	23	13%	8%	304	39	34%	30%
3月15日	—	—	—	—	116	13	34%	13%	—	—	—	—	—	—	—	—	290	31	55%	32%
3月16日	71	39	28%	15%	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	27	6	0%	0%
3月17日	82	4	0%	0%	9	2	0%	0%	21	6	0%	0%	28	7	0%	0%	14	10	0%	0%
3月18日	91	5	0%	0%	8	2	0%	0%	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3月19日	65	6	19%	17%	22	5	56%	22%	67	44	0%	0%	—	—	—	—	58	16	39%	28%
3月20日	46	5	0%	0%	9	4	0%	0%	—	—	—	—	108	68	8%	5%	—	—	—	—
3月21日	—	—	—	—	39	16	0%	0%	—	—	—	—	—	—	—	—	34	24	0%	0%
3月22日	42	14	0%	0%	42	14	0%	0%	—	—	—	—	—	—	—	—	8	5	0%	0%
3月23日	44	17	0%	0%	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7	5	0%	0%
3月24日	41	15	1%	0%	41	15	1%	0%	—	—	—	—	—	—	—	—	994	242	0%	0%
3月25日	40	14	0%	0%	40	15	0%	0%	—	—	—	—	—	—	—	—	6	4	0%	0%
3月26日	36	14	0%	0%	36	14	0%	0%	61	23	0%	0%	—	—	—	—	—	—	—	—
3月27日	33	13	0%	0%	33	13	0%	0%	—	—	—	—	—	—	—	—	5	4	0%	0%
3月28日	31	12	0%	0%	—	—	—	—	51	20	0%	0%	—	—	—	—	5	3	0%	0%
3月29日	29	11	2%	1%	32	12	0%	0%	—	—	—	—	49	19	2%	1%	4	3	0%	0%
3月30日	27	10	0%	0%	32	25	1%	1%	49	18	6%	0%	113	33	12%	4%	19	15	2%	1%
3月31日	56	23	0%	0%	20	8	1%	0%	—	—	—	—	187	57	1%	1%	13	10	0%	0%

5. まとめ

本研究では、原子力災害時の緊急時対応におけるオフサイトの防災業務関係者の放射線防護の枠組みを事前に検討するため、東電福島事故時の防災業務関係者の外部被ばく線量を分析した。東電福島事故時のオフサイトにおける線量率を推定し、オフサイトで作業した防災業務関係者の個人線量の実測値と比較した。

まず、東電福島事故時のオフサイトの防災業務関係者の活動記録を分析した。2011年3月12日から31日までに活動内容が詳細に記録された防災業務関係者の1日毎の個人線量の測定値から得られた知見として、活動記録における最大の個人線量は事故直後の住民が避難している12日に双葉町で避難支援に従事していた防災業務関係者は650 μSv であった。13日から16日までの期間の個人線量の最大値は約300 μSv であった。その期間は福島第一原子力発電所から環境中への放射性物質の主な放出期間であった。17日以降になると、個人線量の最大値は1日100 μSv 程度以下となった。これより、防災業務関係者の外部被ばく線量は、事故直後の住民が避難する期間、主な放射性物質の放出期間、放射性物質の放出以降の期間の3つの期間に分類できると言える。

次に、東電福島事故後の30 km圏内のオフサイトの空間線量率を推定した。大気拡散沈着計算コードRAMS/HYPACTを用いてUSCAEARのソースタームから放射性物質の大気中濃度と地上面沈着量を計算し、空間線量率へ換算した。MPの観測値と計算値を比較して計算値が観測値の傾向を概ね再現していることを確認した。

そして、防災業務関係者の活動記録から、防災業務関係者が活動すると想定される領域を設定し、防災業務関係者の行動パターンを設定した。さらに、外部被ばくに対する遮蔽効果をグラウンドシャイン、クラウドシャインそれぞれを活動内容に応じて設定した。

東電福島事故時の防災業務関係者のうち日々の活動と線量が連続的に記録されていた6名の活動内容に対して、外部被ばく線量を計算した。防災業務関係者の活動領域における計算結果の最大値及び平均値と個人線量計の測定値とを比較した。その結果、活動領域の線量率の最大値から算出した計算値が実測値を概ね包含することを示した。その結果、本研究において開発した線量評価モデルは、防災業務関係者の外部被ばく線量を保守的に評価できることを示した。ただし、放出源近傍で活動する場合は、線量評価モデルの最大値が極めて大きな値を示す場合があるので、活動領域を詳細に設定する必要がある。

さらに、外部被ばく線量におけるクラウドシャインの割合を算出したところ、3月12日の外部被ばく線量の70~80%がクラウドシャインからの外部被ばく線量であった。これより、防災業務関係者の外部被ばく経路として、事故直後は放射性プルームからの被ばくが重要であることが示唆された。

謝辞

オフサイトの防災業務関係者の線量評価プログラムを作成するにあたっては、株式会社
ヴィジブルインフォメーションセンターにご尽力いただいた。この場を借りて御礼を申し
上げます。

参考文献

1. 内閣府政策統括官（原子力防災担当），オフサイトの防災業務関係者の安全確保に関する検討会報告書，2016/1.
2. 原子力規制委員会，原子力災害対策指針，2018/10.
3. 日本原子力研究開発機構，平成 27 年度 地域の原子力防災体制の充実・強化に係る技術的情報の整備事業（内閣府受託報告書） 第三分冊：オフサイトの防災業務関係者の安全確保の在り方に関する検討，2016.
4. 日本原子力研究開発機構，平成 28 年度 地域の原子力防災体制の充実・強化に係る技術的情報の整備事業（内閣府受託報告書） 第二分冊：オフサイトの防災業務関係者の線量評価モデル構築に関する検討，2017.
5. 東京電力福島原子力発電所事故調査委員会（国会事故調），東京電力福島原子力発電所調査委員会報告書，2012，641p.
6. R. A. Pielke, W. R. Cotton, R. L. Walko, et al., A comprehensive meteorological modeling system—RAMS. *Meteorology and Atmospheric Physics* 1992;49(1):69-91.
7. Robert L. Walko, Craig J. Tremback, Bell MJ. Hybrid, Particle And Concentration Transport Model Version 1.2.0 User's Guide, 2001.
8. 田村淳二，城戸寛子，波戸真治，本間俊充，長期野外拡散試験データを用いた大気拡散モデルの妥当性の検討，JAEA-Research 2008-103，2008，94p.
9. 城戸寛子，地球環境における環境放射能の移流拡散に関する研究，茨城大学，2012，博士論文.
10. UNSCEAR, Report Volume 1 REPORT TO THE GENERAL ASSEMBLY SCIENTIFIC ANNEA A: Levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident after the 2011 great east-Japan earthquake and tsunami. United Nations, New York, 2013, 322p.
11. Eckerman; KF, Ryman JC. EXTERNAL EXPOSURE TO RADIONUCLIDES IN AIR, WATER, AND SOIL. FEDERAL GUIDANCE REPORT NO 12 U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1993.
12. Wang H, Dwyer-Lindgren L, Lofgren KT, et al., Age-specific and sex-specific mortality in 187 countries, 1970–2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010, *The Lancet* 2012;380(9859):2071-94.
13. ICRP, Nuclear Decay Data for Dosimetric Calculations, *Ann ICRP* 2008;38(3).
14. 気象業務支援センター，オンライン気象情報 2017，
<http://www.jmbc.or.jp/jp/online/file/f-online10200.html> (2016 年 12 月 1 日参照).
15. 国土交通省国土政策局国土情報課，国土数値情報ダウンロードサービス 2016，
<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html> (2016 年 3 月 3 日参照).
16. NEAR-GOOS, Regional Real Time Data Base 2015，
<https://ds.data.jma.go.jp/gmd/goos/data/database.html> (2015 年 12 月 1 日参照).

17. Terada H, Katata G, Chino M, et al., Atmospheric discharge and dispersion of radionuclides during the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident, Part II: verification of the source term and analysis of regional-scale atmospheric dispersion, *Journal of Environmental Radioactivity* 2012;112(0):141-54.
18. 気象業務支援センター, 解析雨量 2017, <http://www.jmbasc.or.jp/jp/offline/cd0100.html> (2017年12月1日参照).
19. 原子力安全委員会, 原子力施設等の防災対策について, 2010/8.
20. Tsuda S., 走行サーベイシステム KURAMA-II を用いた測定の基盤整備と実測への適応, *JAEA-Technology* 2013-037, 2013, 54p.
21. 福島県, 平成 23 年 3 月の空間線量率測定結果 (福島県モニタリングポストから回収されたデータ) 2011 http://www.atom-moc.pref.fukushima.jp/old/monitoring/monitoring201103/201103_mpdata.html (2017年3月1日参照).
22. 福島県, 県内 7 方部 環境放射能測定結果 (暫定値) 2011, https://www.pref.fukushima.lg.jp/sec_file/monitoring/m-1/7houbu0311-0331.pdf (2018年7月1日参照).
23. Hirao S, Yamazawa H, Nagae T., Estimation of release rate of iodine-131 and cesium-137 from the Fukushima Daiichi nuclear power plant, *Journal of Nuclear Science and Technology* 2013;50(2):139-47.

付録

防災業務関係者の活動記録

福島原発事故時に活動した防災業務関係者の内、記録が連続的ではないが、1日毎の線量と活動内容、活動した市町村、活動時間の記録がある 68 人（No.7～74）の情報を示す。

This is a blank page.

Table A Activity record of emergency responders at Fukushima Dai-ichi nuclear power station accident (1/12)

Day	No.7			No.8			No.9			No.10			No.11			No.12				
	市町村	活動 内容	活動 時間	実測値 (μ Sv)	市町村	活動 内容	活動 時間	実測値 (μ Sv)	市町村	活動 内容	活動 時間	実測値 (μ Sv)	市町村	活動 内容	活動 時間	実測値 (μ Sv)	市町村	活動 内容	活動 時間	実測値 (μ Sv)
3月12日	-	-	-	-	浪江町	避難誘導	12	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月13日	浪江町	救助、捜索	15	10	浪江町	救助、捜索	15	10	浪江町	救助、捜索	15	10	浪江町	救助、捜索	15	10	浪江町	救助、捜索	15	10
3月14日	-	-	-	-	浪江町	輸送	12	210	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月15日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月16日	-	-	-	-	-	-	-	-	浪江町	警戒活動	11	140	-	-	-	-	-	-	-	-
3月17日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月18日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月19日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月20日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月21日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月22日	双葉町	救助、捜索	12	53	双葉町	救助、捜索	12	21	双葉町	救助、捜索	12	21	双葉町	救助、捜索	12	21	双葉町	救助、捜索	12	55
3月23日	-	-	-	-	-	-	-	-	富岡町	警戒活動	11	27	-	-	-	-	-	-	-	-
3月24日	楡葉町	警戒活動	12	18	楡葉町	警戒活動	12	11	-	-	-	-	-	-	-	-	楡葉町	輸送	6	6
3月25日	-	-	-	-	-	-	-	-	富岡町	警戒活動	10	19	南相馬市	救助、捜索	11	13	-	-	-	-
3月26日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	南相馬市	警戒活動	10	15
3月27日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月28日	-	-	-	-	楡葉町	警戒活動	11	7	南相馬市	警戒活動	8	35	大熊町	警戒活動	8	35	-	-	-	-
3月29日	-	-	-	-	-	-	-	-	南相馬市	警戒活動	11	6	楡葉町	警戒活動	11	8	楡葉町	警戒活動	11	5
3月30日	-	-	-	-	浪江町	救助、捜索	8	23	南相馬市	警戒活動	11	25	富岡町	警戒活動	11	26	南相馬市	警戒活動	11	17
3月31日	広野町	警戒活動	13	12	-	-	-	-	-	-	-	-	富岡町	避難支援	8	14	-	-	-	-

Table A Activity record of emergency responders at Fukushima Dai-ichi nuclear power station accident (2/12)

Day	No.13			No.14			No.15			No.16			No.17			No.18				
	市町村	活動 内容	活動 時間	実測値 (μ Sv)	市町村	活動 内容	活動 時間	実測値 (μ Sv)	市町村	活動 内容	活動 時間	実測値 (μ Sv)	市町村	活動 内容	活動 時間	実測値 (μ Sv)	市町村	活動 内容	活動 時間	
3月12日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月13日	浪江町	救助、捜索	15	10	浪江町	救助、捜索	15	10	浪江町	救助、捜索	15	10	浪江町	救助、捜索	15	100	-	-	-	-
3月14日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月15日	浪江町	輸送	5	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月16日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月17日	-	-	-	-	富岡町	救助、捜索	11	63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月18日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月19日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月20日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月21日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月22日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	双葉町	救助、捜索	11	25	-	-	-	-
3月23日	-	-	-	-	-	-	-	-	大熊町	警戒活動	11	59	-	-	-	-	-	-	-	-
3月24日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	楢葉町	警戒活動	13	18
3月25日	-	-	-	-	-	-	-	-	大熊町	警戒活動	11	38	-	-	-	-	-	-	-	-
3月26日	-	-	-	-	大熊町	警戒活動	10	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月27日	-	-	-	-	楢葉町	警戒活動	12	21	楢葉町	警戒活動	10	11	-	-	-	-	-	-	-	-
3月28日	大熊町	警戒活動	9	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月29日	-	-	-	-	南相馬市	警戒活動	11	6	-	-	-	-	-	-	-	-	大熊町	警戒活動	10	28
3月30日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月31日	-	-	-	-	南相馬市	警戒活動	9	19	-	-	-	-	-	-	-	-	広野町	警戒活動	14	12

Table A Activity record of emergency responders at Fukushima Dai-ichi nuclear power station accident (3/12)

Day	No.19				No.20				No.21				No.22				No.23				No.24								
	市町村	活動 内容	活動 時間	実測値 (μ Sv)	市町村	活動 内容	活動 時間	実測値 (μ Sv)	市町村	活動 内容	活動 時間	実測値 (μ Sv)	市町村	活動 内容	活動 時間	実測値 (μ Sv)	市町村	活動 内容	活動 時間	実測値 (μ Sv)	市町村	活動 内容	活動 時間	実測値 (μ Sv)					
3月12日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
3月13日	浪江町	救助、捜索	15	10	浪江町	救助、捜索	15	10	浪江町	救助、捜索	15	10	浪江町	救助、捜索	15	10	浪江町	救助、捜索	15	10	浪江町	救助、捜索	15	10	浪江町	救助、捜索			
3月14日	-	-	-	-	浪江町	救助、捜索	15	10	浪江町	救助、捜索	15	10	浪江町	救助、捜索	15	10	浪江町	救助、捜索	15	10	浪江町	救助、捜索	15	10	浪江町	救助、捜索			
3月15日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
3月16日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
3月17日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
3月18日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
3月19日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
3月20日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
3月21日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	南相馬市	視察活動	7	8	南相馬市	視察活動	7	8	南相馬市	視察活動	7	8	南相馬市	視察活動	7	8
3月22日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
3月23日	-	-	-	-	富岡町	警戒活動	11	28	富岡町	警戒活動	11	28	富岡町	警戒活動	11	28	富岡町	警戒活動	11	28	富岡町	警戒活動	11	28	富岡町	警戒活動			
3月24日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	南相馬市	警戒活動	10	20	南相馬市	警戒活動	10	20	南相馬市	警戒活動	10	20	南相馬市	警戒活動	10	20	南相馬市	警戒活動		
3月25日	-	-	-	-	富岡町	警戒活動	10	12	富岡町	警戒活動	10	12	富岡町	警戒活動	10	12	富岡町	警戒活動	10	12	富岡町	警戒活動	10	12	富岡町	警戒活動			
3月26日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	南相馬市	警戒活動	10	14	南相馬市	警戒活動	10	14	南相馬市	警戒活動	10	14	南相馬市	警戒活動	10	14	南相馬市	警戒活動		
3月27日	南相馬市	警戒活動	10	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
3月28日	-	-	-	-	広野町	警戒活動	11	5	広野町	警戒活動	11	5	広野町	警戒活動	11	5	広野町	警戒活動	11	5	広野町	警戒活動	11	5	広野町	警戒活動			
3月29日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
3月30日	浪江町	警戒活動	10	7	浪江町	救助、捜索	8	24	浪江町	救助、捜索	8	24	浪江町	救助、捜索	8	24	浪江町	救助、捜索	8	24	浪江町	救助、捜索	8	24	浪江町	救助、捜索			
3月31日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			

Table A Activity record of emergency responders at Fukushima Dai-ichi nuclear power station accident (4/12)

Day	No.25				No.26				No.27				No.28				No.29				No.30			
	市町村	活動内容	活動時間	実測値 (μSv)	市町村	活動内容	活動時間	実測値 (μSv)	市町村	活動内容	活動時間	実測値 (μSv)	市町村	活動内容	活動時間	実測値 (μSv)	市町村	活動内容	活動時間	実測値 (μSv)	市町村	活動内容	活動時間	実測値 (μSv)
3月12日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月13日	浪江町	救助、捜索	15	10	浪江町	救助、捜索	15	10	浪江町	救助、捜索	15	10	浪江町	救助、捜索	15	10	浪江町	救助、捜索	15	10	浪江町	救助、捜索	15	10
3月14日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月15日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月16日	-	-	-	-	川内村	警戒活動	11	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月17日	富岡町	救助、捜索	11	63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月18日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月19日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月20日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月21日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月22日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	双葉町	救助、捜索	11	11	-	-	-	-
3月23日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月24日	-	-	-	-	-	-	-	-	楡葉町	警戒活動	13	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月25日	大熊町	警戒活動	11	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月26日	-	-	-	-	-	-	-	-	楡葉町	警戒活動	10	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月27日	楡葉町	警戒活動	10	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月28日	-	-	-	-	-	-	-	-	南相馬市	警戒活動	10	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月29日	-	-	-	-	南相馬市	警戒活動	11	6	-	-	-	-	楡葉町	警戒活動	12	14	-	-	-	-	-	-	-	-
3月30日	浪江町	救助、捜索	8	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月31日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	大熊町	警戒活動	14	36	-	-	-	-	-	-	-	-

Table A Activity record of emergency responders at Fukushima Dai-ichi nuclear power station accident (5/12)

Day	No.31			No.32			No.33			No.34			No.35			No.36				
	市町村	活動 内容	活動 時間	実測値 (μ Sv)	市町村	活動 内容	活動 時間	実測値 (μ Sv)	市町村	活動 内容	活動 時間	実測値 (μ Sv)	市町村	活動 内容	活動 時間	実測値 (μ Sv)	市町村	活動 内容	活動 時間	実測値 (μ Sv)
3月12日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月13日	浪江町	救助、捜索	15	10	-	-	-	-	-	-	-	-	浪江町	救助、捜索	15	10	-	-	-	-
3月14日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月15日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	210	-	-	-	-	-	-	-	-
3月16日	-	-	-	-	楢葉町	輸送	15	270	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月17日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月18日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月19日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月20日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月21日	-	-	-	-	-	-	-	-	南相馬市	救助、捜索	15	30	-	-	-	-	-	-	-	-
3月22日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月23日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	南相馬市	警戒活動	11	35	南相馬市	救助、捜索	6	17
3月24日	-	-	-	-	双葉町	救助、捜索	10	19	-	-	-	-	-	-	-	-	南相馬市	救助、捜索	6	21
3月25日	大熊町	警戒活動	11	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	南相馬市	救助、捜索	6	13
3月26日	-	-	-	-	南相馬市	警戒活動	10	10	-	-	-	-	南相馬市	警戒活動	10	18	南相馬市	救助、捜索	6	12
3月27日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	南相馬市	救助、捜索	6	12
3月28日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	南相馬市	救助、捜索	6	10
3月29日	楢葉町	警戒活動	12	13	-	-	-	-	-	-	-	-	大熊町	警戒活動	10	28	南相馬市	救助、捜索	6	12
3月30日	-	-	-	-	楢葉町	警戒活動	8	22	-	-	-	-	-	-	-	-	南相馬市	救助、捜索	6	10
3月31日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	南相馬市	警戒活動	9	16	南相馬市	救助、捜索	6	12

Table A Activity record of emergency responders at Fukushima Dai-ichi nuclear power station accident (6/12)

Day	No.37			No.38			No.39			No.40			No.41			No.42		
	市町村	活動 内容	活動 時間	実測値 (μ Sv)	活動 内容	活動 時間	実測値 (μ Sv)	活動 内容	活動 時間	実測値 (μ Sv)	活動 内容	活動 時間	実測値 (μ Sv)	活動 内容	活動 時間	実測値 (μ Sv)	活動 内容	活動 時間
3月12日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月13日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月14日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月15日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月16日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月17日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月18日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月19日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月20日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月21日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月22日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月23日	南相馬市	救助、捜索	6	21	南相馬市	救助、捜索	6	17	南相馬市	救助、捜索	6	20	南相馬市	救助、捜索	6	26	南相馬市	救助、捜索
3月24日	南相馬市	救助、捜索	6	24	南相馬市	救助、捜索	6	20	南相馬市	救助、捜索	6	25	南相馬市	救助、捜索	6	34	南相馬市	救助、捜索
3月25日	南相馬市	救助、捜索	6	15	南相馬市	救助、捜索	6	13	南相馬市	救助、捜索	6	19	南相馬市	救助、捜索	6	37	南相馬市	救助、捜索
3月26日	南相馬市	救助、捜索	6	13	南相馬市	救助、捜索	6	11	南相馬市	救助、捜索	6	16	南相馬市	救助、捜索	6	17	南相馬市	救助、捜索
3月27日	南相馬市	救助、捜索	6	14	南相馬市	救助、捜索	6	11	南相馬市	救助、捜索	6	16	南相馬市	救助、捜索	6	22	南相馬市	救助、捜索
3月28日	南相馬市	救助、捜索	6	13	南相馬市	救助、捜索	6	10	南相馬市	救助、捜索	6	14	南相馬市	救助、捜索	6	11	南相馬市	救助、捜索
3月29日	南相馬市	救助、捜索	6	13	南相馬市	救助、捜索	6	9	南相馬市	救助、捜索	6	12	南相馬市	救助、捜索	6	13	南相馬市	救助、捜索
3月30日	南相馬市	救助、捜索	6	11	南相馬市	救助、捜索	6	9	南相馬市	救助、捜索	6	12	南相馬市	救助、捜索	6	15	南相馬市	救助、捜索
3月31日	南相馬市	救助、捜索	6	10	南相馬市	救助、捜索	6	10	南相馬市	救助、捜索	6	11	南相馬市	救助、捜索	6	12	南相馬市	救助、捜索

Table A Activity record of emergency responders at Fukushima Dai-ichi nuclear power station accident (7/12)

Day	No.43			No.44			No.45			No.46			No.47			No.48								
	市町村	活動 内容	活動 時間	実測値 (μ Sv)	市町村	活動 内容	活動 時間	実測値 (μ Sv)	市町村	活動 内容	活動 時間	実測値 (μ Sv)	市町村	活動 内容	活動 時間	実測値 (μ Sv)	市町村	活動 内容	活動 時間	実測値 (μ Sv)				
3月12日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
3月13日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
3月14日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
3月15日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
3月16日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
3月17日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
3月18日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
3月19日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
3月20日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
3月21日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
3月22日	南相馬市	救助、捜索	6	15	-	-	-	24	南相馬市	救助、捜索	6	24	南相馬市	救助、捜索	6	15	-	-	-	-	南相馬市	救助、捜索	6	18
3月23日	-	-	-	-	南相馬市	救助、捜索	6	16	-	南相馬市	救助、捜索	6	35	-	-	-	-	-	-	-	南相馬市	救助、捜索	6	20
3月24日	南相馬市	救助、捜索	6	22	南相馬市	救助、捜索	6	18	南相馬市	救助、捜索	6	35	南相馬市	救助、捜索	6	23	南相馬市	救助、捜索	6	25	南相馬市	救助、捜索	6	23
3月25日	南相馬市	救助、捜索	6	18	南相馬市	救助、捜索	6	15	南相馬市	救助、捜索	6	18	南相馬市	救助、捜索	6	12	南相馬市	救助、捜索	6	18	南相馬市	救助、捜索	6	13
3月26日	南相馬市	救助、捜索	6	14	南相馬市	救助、捜索	6	11	南相馬市	救助、捜索	6	23	南相馬市	救助、捜索	6	10	南相馬市	救助、捜索	6	14	南相馬市	救助、捜索	6	13
3月27日	南相馬市	救助、捜索	6	14	南相馬市	救助、捜索	6	13	南相馬市	救助、捜索	6	15	南相馬市	救助、捜索	6	21	南相馬市	救助、捜索	6	12	南相馬市	救助、捜索	6	13
3月28日	南相馬市	救助、捜索	6	10	南相馬市	救助、捜索	6	7	南相馬市	救助、捜索	6	7	南相馬市	救助、捜索	6	13	南相馬市	救助、捜索	6	13	南相馬市	救助、捜索	6	13
3月29日	南相馬市	救助、捜索	6	9	南相馬市	救助、捜索	6	13	南相馬市	救助、捜索	6	16	南相馬市	救助、捜索	6	10	南相馬市	救助、捜索	6	10	南相馬市	救助、捜索	6	12
3月30日	南相馬市	救助、捜索	6	10	南相馬市	救助、捜索	6	11	南相馬市	救助、捜索	6	17	南相馬市	救助、捜索	6	10	南相馬市	救助、捜索	6	10	南相馬市	救助、捜索	6	10
3月31日	南相馬市	救助、捜索	6	12	南相馬市	救助、捜索	6	9	南相馬市	救助、捜索	6	15	南相馬市	救助、捜索	6	11	南相馬市	救助、捜索	6	11	南相馬市	救助、捜索	6	10

Table A Activity record of emergency responders at Fukushima Dai-ichi nuclear power station accident (8/12)

Day	No.49			No.50			No.51			No.52			No.53			No.54				
	市町村	活動 内容	活動 時間	実測値 (μ Sv)	市町村	活動 内容	活動 時間	実測値 (μ Sv)	市町村	活動 内容	活動 時間	実測値 (μ Sv)	市町村	活動 内容	活動 時間	実測値 (μ Sv)	市町村	活動 内容	活動 時間	実測値 (μ Sv)
3月12日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月13日	浪江町	輸送	2	10	浪江町	輸送	4	12	高岡町	救助、捜索	2	10	-	-	-	-	-	-	-	-
3月14日	浪江町	救助、捜索	1	9	-	-	-	-	浪江町	救助、捜索	3	92	-	-	-	-	大熊町	救助、捜索	2	36
3月15日	浪江町	輸送	3	31	浪江町	輸送	4	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月16日	浪江町	輸送	4	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月17日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月18日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月19日	浪江町	救助、捜索	2	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月20日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月21日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月22日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月23日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月24日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月25日	浪江町	輸送	4	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月26日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月27日	浪江町	救助、捜索	2	10	-	-	-	-	高岡町	救助、捜索	3	15	-	-	-	-	-	-	-	-
3月28日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月29日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月30日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月31日	-	-	-	-	-	-	-	-	大熊町	救助、捜索	2	72	-	-	-	-	大熊町	救助、捜索	3	72

Table A Activity record of emergency responders at Fukushima Dai-ichi nuclear power station accident (9/12)

Day	No.55			No.56			No.57			No.58			No.59			No.60					
	市町村	活動 内容	活動 時間	実測値 (μ Sv)	市町村	活動 内容	活動 時間	実測値 (μ Sv)	市町村	活動 内容	活動 時間	実測値 (μ Sv)	市町村	活動 内容	活動 時間	実測値 (μ Sv)	市町村	活動 内容	活動 時間	実測値 (μ Sv)	
3月12日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月13日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月14日	-	-	-	-	浪江町	救助、捜索	7	110	大熊町	輸送	2	30	大熊町	輸送	7	20	富岡町	輸送	7	20	20
3月15日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月16日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月17日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月18日	-	-	-	-	浪江町	輸送	3	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月19日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月20日	-	-	-	-	浪江町	輸送	5	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月21日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月22日	-	-	-	-	-	-	-	-	楡葉町	救助、捜索	8	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月23日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月24日	-	-	-	-	浪江町	輸送	2	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月25日	-	-	-	-	-	-	-	-	浪江町	救助、捜索	4	45	富岡町	救助、捜索	4	10	楡葉町	輸送	7	3	3
3月26日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月27日	富岡町	輸送	1	19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月28日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	富岡町	救助、捜索	1	5	-	-	-	-	-
3月29日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月30日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3月31日	-	-	-	-	大熊町	救助、捜索	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Table A Activity record of emergency responders at Fukushima Dai-ichi nuclear power station accident (10/12)

Day	No.61				No.62				No.63				No.64				No.65				No.66				
	市町村	活動 内容	活動 時間	実測値 (μ Sv)	市町村	活動 内容	活動 時間	実測値 (μ Sv)	市町村	活動 内容	活動 時間	実測値 (μ Sv)	市町村	活動 内容	活動 時間	実測値 (μ Sv)	市町村	活動 内容	活動 時間	実測値 (μ Sv)	市町村	活動 内容	活動 時間	実測値 (μ Sv)	
3月12日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3月13日	浪江町	救助、捜索	6	300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3月14日	-	-	-	-	富岡町	救助、捜索	2	1	-	-	-	-	浪江町	救助、捜索	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	90
3月15日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3月16日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3月17日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3月18日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3月19日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3月20日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	浪江町	救助、捜索	3	45	-	-	-	-	-	-	-	-
3月21日	-	-	-	-	-	-	-	-	富岡町	輸送	2	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3月22日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	浪江町	輸送	3	36	-	-	-	-	-	-	-	
3月23日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3月24日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3月25日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3月26日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3月27日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3月28日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3月29日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3月30日	浪江町	救助、捜索	10	12	-	-	-	-	浪江町	救助、捜索	1	14	-	-	-	-	浪江町	救助、捜索	2	8	-	-	-	-	-
3月31日	-	-	-	-	大熊町	救助、捜索	3	76	-	-	-	-	-	-	-	-	大熊町	救助、捜索	1	70	-	-	-	-	

Table A Activity record of emergency responders at Fukushima Dai-ichi nuclear power station accident (11/12)

Day	No.67			No.68			No.69			No.70			No.71			No.72			
	市町村	活動内容	活動時間 実測値 (μSv)	市町村	活動内容	活動時間 実測値 (μSv)	市町村	活動内容	活動時間 実測値 (μSv)	市町村	活動内容	活動時間 実測値 (μSv)	市町村	活動内容	活動時間 実測値 (μSv)	市町村	活動内容	活動時間 実測値 (μSv)	
3月12日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3月13日	-	-	-	-	-	1.41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3月14日	浪江町	救助、捜索	3	39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3月15日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3月16日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3月17日	双葉町	救助、捜索	2	126	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3月18日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3月19日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3月20日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3月21日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3月22日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3月23日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	大熊町	救助、捜索	2	12
3月24日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	富岡町	輸送	1	5	5	-	
3月25日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3月26日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	大熊町	救助、捜索	4	20	20	-	
3月27日	富岡町	救助、捜索	2	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3月28日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3月29日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3月30日	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3月31日	-	-	-	-	-	-	-	大熊町	救助、捜索	2	70	70	-	-	-	大熊町	救助、捜索	3	45

Table A Activity record of emergency responders at Fukushima Dai-ichi nuclear power station accident (12/12)

Day	No.73			No.74				
	市町村	活動 内容	活動 時間	美測値 (μ Sv)	市町村	活動 内容	活動 時間	美測値 (μ Sv)
3月12日	-	-	-	-	-	-	-	-
3月13日	浪江町	救助、捜索	9	120	-	-	-	-
3月14日	-	-	-	-	-	-	-	-
3月15日	-	-	-	-	-	-	-	-
3月16日	-	-	-	-	-	-	-	-
3月17日	-	-	-	-	-	-	-	-
3月18日	-	-	-	-	-	-	-	-
3月19日	-	-	-	-	-	-	-	-
3月20日	-	-	-	-	-	-	-	-
3月21日	-	-	-	-	-	-	-	-
3月22日	-	-	-	-	-	-	-	-
3月23日	-	-	-	-	-	-	-	-
3月24日	-	-	-	-	-	-	-	-
3月25日	-	-	-	-	-	-	-	-
3月26日	-	-	-	-	-	-	-	-
3月27日	-	-	-	-	高岡町	救助、捜索	2	4
3月28日	-	-	-	-	-	-	-	-
3月29日	-	-	-	-	-	-	-	-
3月30日	-	-	-	-	-	-	-	-
3月31日	-	-	-	-	楢葉町	救助、捜索	2	4

国際単位系 (SI)

表1. SI 基本単位

基本量	SI 基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質량	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m ²
体積	立方メートル	m ³
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s ²
波数	毎メートル	m ⁻¹
密度, 質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m ²
比体積	立方メートル毎キログラム	m ³ /kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m ²
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度 ^(a) , 濃度	モル毎立方メートル	mol/m ³
質量濃度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m ²
屈折率 ^(b)	(数字の)	1
比透磁率 ^(b)	(数字の)	1

(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度 (substance concentration) ともよばれる。
 (b) これらは無次元量あるいは次元1をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の1は通常は表記しない。

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI 組立単位			
	名称	記号	他のSI単位による表し方	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン ^(b)	rad	1 ^(b)	m/m
立体角	ステラジアン ^(b)	sr ^(c)	1 ^(b)	m ² /m ²
周波数	ヘルツ ^(d)	Hz		s ⁻¹
力	ニュートン	N		m kg s ⁻²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²	m ⁻¹ kg s ⁻²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N m	m ² kg s ⁻²
仕事率, 工率, 放射束	ワット	W	J/s	m ² kg s ⁻³
電荷, 電気量	クーロン	C		s A
電位差 (電圧), 起電力	ボルト	V	W/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻¹
静電容量	ファラド	F	C/V	m ² kg ⁻¹ s ⁴ A ²
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻²
コンダクタンス	ジーメン	S	A/V	m ² kg ⁻¹ s ³ A ²
磁束	ウエーバ	Wb	Vs	m ² kg s ⁻² A ⁻¹
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²	kg s ⁻² A ⁻¹
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	m ² kg s ⁻² A ⁻²
セルシウス温度	セルシウス度 ^(e)	°C		K
光照射量	ルーメン	lm	cd sr ^(c)	cd
放射線量	グレイ	Gy	J/kg	m ² s ⁻²
放射性核種の放射能 ^(f)	ベクレル ^(d)	Bq		s ⁻¹
吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ	グレイ	Gy	J/kg	m ² s ⁻²
線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量	シーベルト ^(g)	Sv	J/kg	m ² s ⁻²
酸素活性化	カタール	kat		s ⁻¹ mol

(a) SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。
 (b) ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は明示されない。
 (c) 測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。
 (d) ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。
 (e) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。
 (f) 放射性核種の放射能 (activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。
 (g) 単位シーベルト (PV, 2002, 70, 205) についてはCIPM勧告2 (CI-2002) を参照。

表4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	SI 基本単位による表し方
粘力のモーメント	パスカル秒	Pa s	m ⁻¹ kg s ⁻¹
表面張力	ニュートンメートル	N m	m ² kg s ⁻²
角速度	ニュートン毎メートル	N/m	kg s ⁻²
角加速度	ラジアン毎秒	rad/s	m m ⁻¹ s ⁻¹ = s ⁻¹
熱流密度, 放射照度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s ²	m m ⁻¹ s ⁻² = s ⁻²
熱容量, エントロピー	ワット毎平方メートル	W/m ²	kg s ⁻³
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	m ² kg s ⁻² K ⁻¹
比エネルギー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	m ² s ⁻² K ⁻¹
熱伝導率	ジュール毎キログラム	J/kg	m ² s ⁻²
体積エネルギー	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s ⁻³ K ⁻¹
電界の強さ	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m ⁻¹ kg s ⁻²
電荷密度	ジュール毎立方メートル	V/m	m kg s ⁻³ A ⁻¹
電表面電荷	クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ⁻³ s A
電束密度, 電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
誘電率	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
透磁率	ファラド毎メートル	F/m	m ³ kg ⁻¹ s ⁴ A ²
モルエネルギー	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s ⁻² A ⁻²
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル	J/mol	m ² kg s ⁻² mol ⁻¹
照射線量 (X線及びγ線)	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹
吸収線量率	クーロン毎キログラム	C/kg	kg ⁻¹ s A
放射線強度	グレイ毎秒	Gy/s	m ² s ⁻³
放射輝度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m ⁴ m ⁻² kg s ⁻³ = m ² kg s ⁻³
酵素活性濃度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m ² sr)	m ² m ⁻² kg s ⁻³ = kg s ⁻³
	カタール毎立方メートル	kat/m ³	m ³ s ⁻¹ mol

表5. SI 接頭語

乗数	名称	記号	乗数	名称	記号
10 ²⁴	ヨタ	Y	10 ¹	デシ	d
10 ²¹	ゼタ	Z	10 ²	センチ	c
10 ¹⁸	エクサ	E	10 ³	ミリ	m
10 ¹⁵	ペタ	P	10 ⁶	マイクロ	μ
10 ¹²	テラ	T	10 ⁹	ナノ	n
10 ⁹	ギガ	G	10 ¹²	ピコ	p
10 ⁶	メガ	M	10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ³	キロ	k	10 ⁻¹⁸	アト	a
10 ²	ヘクト	h	10 ⁻²¹	ゼプト	z
10 ¹	デカ	da	10 ⁻²⁴	ヨクト	y

表6. SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI 単位による値
分	min	1 min=60 s
時	h	1 h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	'	1'=(1/60)°=(π/10 800) rad
秒	"	1"=(1/60)'=(π/648 000) rad
ヘクタール	ha	1 ha=1 hm ² =10 ⁴ m ²
リットル	L, l	1 L=1 l=1 dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1 t=10 ³ kg

表7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI 単位で表される数値
電子ボルト	eV	1 eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J
ダルトン	Da	1 Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg
統一原子質量単位	u	1 u=1 Da
天文単位	ua	1 ua=1.495 978 706 91(6)×10 ¹¹ m

表8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
バール	bar	1 bar=0.1MPa=100 kPa=10 ⁵ Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1 mmHg=133.322Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1nm=100pm=10 ⁻¹⁰ m
海里	M	1 M=1852m
バイン	b	1 b=100fm ² =(10 ¹² cm ²) ² =10 ⁻²⁸ m ²
ノット	kn	1 kn=(1852/3600)m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的関係は、 対数量の定義に依存。
ベレル	B	
デシベル	dB	

表9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
エルグ	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J
ダイン	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N
ポアズ	P	1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1Pa s
ストークス	St	1 St=1cm ² s ⁻¹ =10 ⁻⁴ m ² s ⁻¹
スチルブ	sb	1 sb=1cd cm ⁻² =10 ⁴ cd m ⁻²
フオト	ph	1 ph=1cd sr cm ⁻² =10 ⁴ lx
ガリ	Gal	1 Gal=1cm s ⁻² =10 ⁻² ms ⁻²
マクスウェル	Mx	1 Mx=1 G cm ² =10 ⁻⁸ Wb
ガウス	G	1 G=1Mx cm ⁻² =10 ⁻⁴ T
エルステッド ^(a)	Oe	1 Oe _e =(10 ³ /4π)A m ⁻¹

(a) 3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「△」は対応関係を示すものである。

表10. SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI 単位で表される数値
キュリー	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq
レントゲン	R	1 R=2.58×10 ⁻⁴ C/kg
ラド	rad	1 rad=1cGy=10 ⁻² Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 ⁻⁹ T
フェルミ	f	1 フェルミ=1 fm=10 ⁻¹⁵ m
メートル系カラット		1 メートル系カラット=0.2 g=2×10 ⁻⁴ kg
トル	Torr	1 Torr=(101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm=101 325 Pa
カロリ	cal	1 cal=4.1858J (「15°C」カロリ), 4.1868J (「IT」カロリ), 4.184J (「熱化学」カロリ)
マイクロ	μ	1 μ=1μm=10 ⁻⁶ m

