



JAEA-Research

2024-015

DOI:10.11484/jaea-research-2024-015

各事故シナリオにおける
原子力サイトごとの被ばく線量と
屋内退避時の被ばく低減係数の評価
(受託研究)

Evaluation of Exposure Doses and Reduction Factor for Sheltering for
Each Nuclear Site under Each Accident Scenario
(Contract Research)

廣内 淳 渡邊 正敏 林 奈穂 長久保 梓
高原 省五

Jun HIROUCHI, Masatoshi WATANABE, Naho HAYASHI, Azusa NAGAKUBO
and Shogo TAKAHARA

原子力安全・防災研究所
安全研究センター

Nuclear Safety Research Center
Nuclear Safety and Emergency Preparedness Institute

March 2025

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。本レポートはクリエイティブ・コモンズ表示 4.0 国際 ライセンスの下に提供されています。本レポートの成果（データを含む）に著作権が発生しない場合でも、同ライセンスと同様の条件で利用してください。（<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ja>）
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ウェブサイト（<https://www.jaea.go.jp>）より発信されています。本レポートに関しては下記までお問合せください。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 研究開発推進部 科学技術情報課
〒319-1112 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49
E-mail: ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en>).
Even if the results of this report (including data) are not copyrighted, they must be used under the same terms and conditions as CC-BY.
For inquiries regarding this report, please contact Library, Institutional Repository and INIS Section, Research and Development Promotion Department, Japan Atomic Energy Agency.
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1112, Japan
E-mail: ird-support@jaea.go.jp

各事故シナリオにおける原子力サイトごとの被ばく線量と
屋内退避時の被ばく低減係数の評価
(受託研究)

日本原子力研究開発機構 原子力安全・防災研究所
安全研究センター

廣内 淳、渡邊 正敏*、林 奈穂、長久保 梓、高原 省五

(2024年11月6日受理)

原子力事故によって汚染された地域では、事故後の初期及び長期にわたって、居住環境での滞在を通じて放射線を被ばくする。同じ事故シナリオであっても、原子力サイトごとに気象条件や周辺環境が異なるため被ばく線量が異なり、防護措置の一つである屋内退避をした場合の被ばく低減効果も異なる。事故初期において屋内退避をした場合に想定される被ばく線量、または想定される被ばく低減効果などの情報は、住民や原子力防災計画を策定する国・自治体にとって重要な情報となる。

そこで本報告書では、日本における原子力施設を有するサイトで、過去のシビアアクシデント研究で示された3つのシナリオ、原子力規制委員会で定められている放出シナリオ、東京電力福島第一原子力発電所事故を想定したシナリオの5つの事故シナリオに対して、確率論的事故影響評価コードの一つである OSCAAR を用いて被ばく線量及び屋内退避による被ばく低減効果の評価した。被ばく低減効果はサイト間で約20%の違いが見られ、これは風速のサイト間の違いによることを示した。

本報告書は、環境省委託事業「放射線健康管理・健康不安対策事業（放射線の健康影響に係る研究調査事業）」において実施したものである。

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

**Evaluation of Exposure Doses and Reduction Factor for Sheltering for Each Nuclear Site under Each Accident Scenario
(Contract Research)**

Jun HIROUCHI, Masatoshi WATANABE*, Naho HAYASHI, Azusa NAGAKUBO and
Shogo TAKAHARA

Nuclear Safety Research Center
Nuclear Safety and Emergency Preparedness Institute
Japan Atomic Energy Agency
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received November 6, 2024)

The public living in areas contaminated by nuclear accidents is exposed to radiation in the early phase and over the long term. Even under the same accident scenario, the exposure doses and the effectiveness of sheltering, which is one of the protective measures, vary depending on the meteorological condition and the surrounding environment. The exposure doses and sheltering effectiveness in the early phase are important information for the public and the national and local governments planning a nuclear emergency preparedness.

In this report, we evaluate the exposure doses and sheltering effectiveness at sites with nuclear facilities in Japan using OSCAAR, one of the probabilistic risk assessment codes, for five accident scenarios: three scenarios from past severe accident studies; a scenario defined by the Nuclear Regulatory Authority; and a scenario assuming the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station accident. The sheltering effectiveness differed by approximately 20% among the sites. This was due to the differences in wind speed among the sites.

Keywords: Reduction Factor, Level 3 PRA, OSCAAR, Sheltering

A part of this work was performed by Japan Atomic Energy Agency under contract with Ministry of the Environment.

* Visible Information Center, Inc.

目 次

1. 序論	1
2. OSCAAR の概要	2
3. 屋内退避モデルの概要	4
4. 計算条件	7
4.1. 炉内インベントリ	7
4.2. 事故シナリオ	9
4.3. 外部被ばくの低減係数	13
4.4. 気象条件	14
4.5. 人口データ	14
4.6. 建蔽率データ	15
4.7. 出力値	15
5. 計算結果	32
5.1. 各サイトの距離別線量	32
5.2. 全体の線量に対する各被ばく経路の割合	32
5.3. 線量のサイト間比較	33
5.4. 各サイトでの全経路に対する被ばく低減係数	33
5.5. 全経路に対する被ばく低減係数のサイト間比較	34
6. 結論	141
謝 辞	142
参考文献	142

Contents

1. Introduction 1

2. Outline of OSCAAR 2

3. Outline of sheltering model..... 4

4. Calculation conditions 7

 4.1. Inventory 7

 4.2. Accident scenario 9

 4.3. Reduction factor for external exposure 13

 4.4. Meteorological scenario 14

 4.5. Population data 14

 4.6. Gross building coverage data 15

 4.7. Output data 15

5. Results 32

 5.1. Dose by distance at each site 32

 5.2. Ratio of each exposure pathway to the overall dose..... 32

 5.3. Comparison of doses among sites..... 33

 5.4. Reduction factor at each site 33

 5.5. Comparison of reduction factor among sites..... 34

6. Summary 141

Acknowledgements 142

References..... 142

表リスト

表 4.1 炉内インベントリ 8
 表 4.2 環境への放出割合 11

図リスト

図 2.1 OSCAAR の構成 3
 図 3.1 屋内退避モデルの概要 6
 図 3.2 屋内外の空気交換を模擬したコンパートメントモデル 6
 図 4.1 各事故シナリオでの放出割合の時間変化 12
 図 4.2 1F 事故時の各時間の放出割合（左）と累積放出割合（右） 13
 図 4.3 各事故シナリオのシャットダウン後の平均 γ 線エネルギーの推移 14
 図 4.4 木造家屋におけるクラウドシャインによる被ばく低減係数と γ 線エネルギーの関係 14
 図 4.5 泊サイトの人口分布（左）と建蔽率（右） 16
 図 4.6 東通サイトの人口分布（左）と建蔽率（右） 17
 図 4.7 女川サイトの人口分布（左）と建蔽率（右） 18
 図 4.8 福島第一サイトの人口分布（左）と建蔽率（右） 19
 図 4.9 東海サイトの人口分布（左）と建蔽率（右） 20
 図 4.10 志賀サイトの人口分布（左）と建蔽率（右） 21
 図 4.11 柏崎刈羽サイトの人口分布（左）と建蔽率（右） 22
 図 4.12 浜岡サイトの人口分布（左）と建蔽率（右） 23
 図 4.13 高浜サイトの人口分布（左）と建蔽率（右） 24
 図 4.14 敦賀サイトの人口分布（左）と建蔽率（右） 25
 図 4.15 美浜サイトの人口分布（左）と建蔽率（右） 26
 図 4.16 大飯サイトの人口分布（左）と建蔽率（右） 27
 図 4.17 島根サイトの人口分布（左）と建蔽率（右） 28
 図 4.18 伊方サイトの人口分布（左）と建蔽率（右） 29
 図 4.19 玄海サイトの人口分布（左）と建蔽率（右） 30
 図 4.20 川内サイトの人口分布（左）と建蔽率（右） 31
 図 5.1 泊サイトにおける距離別 7 日間累積実効線量 36
 図 5.2 東通サイトにおける距離別 7 日間累積実効線量 37
 図 5.3 女川サイトにおける距離別 7 日間累積実効線量 38
 図 5.4 福島第一サイトにおける距離別 7 日間累積実効線量 39
 図 5.5 東海サイトにおける距離別 7 日間累積実効線量 40
 図 5.6 志賀サイトにおける距離別 7 日間累積実効線量 41
 図 5.7 柏崎刈羽サイトにおける距離別 7 日間累積実効線量 42

図 5.8	浜岡サイトにおける距離別 7 日間累積実効線量	43
図 5.9	高浜サイトにおける距離別 7 日間累積実効線量	44
図 5.10	敦賀サイトにおける距離別 7 日間累積実効線量	45
図 5.11	美浜サイトにおける距離別 7 日間累積実効線量	46
図 5.12	大飯サイトにおける距離別 7 日間累積実効線量	47
図 5.13	島根サイトにおける距離別 7 日間累積実効線量	48
図 5.14	伊方サイトにおける距離別 7 日間累積実効線量	49
図 5.15	玄海サイトにおける距離別 7 日間累積実効線量	50
図 5.16	川内サイトにおける距離別 7 日間累積実効線量	51
図 5.17	泊サイトにおける距離別 7 日間累積甲状腺等価線量	52
図 5.18	東通サイトにおける距離別 7 日間累積甲状腺等価線量	53
図 5.19	女川サイトにおける距離別 7 日間累積甲状腺等価線量	54
図 5.20	福島第一サイトにおける距離別 7 日間累積甲状腺等価線量	55
図 5.21	東海サイトにおける距離別 7 日間累積甲状腺等価線量	56
図 5.22	志賀サイトにおける距離別 7 日間累積甲状腺等価線量	57
図 5.23	柏崎刈羽サイトにおける距離別 7 日間累積甲状腺等価線量	58
図 5.24	浜岡サイトにおける距離別 7 日間累積甲状腺等価線量	59
図 5.25	高浜サイトにおける距離別 7 日間累積甲状腺等価線量	60
図 5.26	敦賀サイトにおける距離別 7 日間累積甲状腺等価線量	61
図 5.27	美浜サイトにおける距離別 7 日間累積甲状腺等価線量	62
図 5.28	大飯サイトにおける距離別 7 日間累積甲状腺等価線量	63
図 5.29	島根サイトにおける距離別 7 日間累積甲状腺等価線量	64
図 5.30	伊方サイトにおける距離別 7 日間累積甲状腺等価線量	65
図 5.31	玄海サイトにおける距離別 7 日間累積甲状腺等価線量	66
図 5.32	川内サイトにおける距離別 7 日間累積甲状腺等価線量	67
図 5.33	屋外での距離別 7 日間累積実効線量の 50% 値のサイト間比較	68
図 5.34	屋外での距離別 7 日間累積甲状腺等価線量の 50% 値のサイト間比較	69
図 5.35	泊サイトにおける全体の 7 日間累積実効線量に対する各被ばく経路の割合	70
図 5.36	東通サイトにおける全体の 7 日間累積実効線量に対する各被ばく経路の割合	71
図 5.37	女川サイトにおける全体の 7 日間累積実効線量に対する各被ばく経路の割合	72
図 5.38	福島第一サイトにおける全体の 7 日間累積実効線量に対する各被ばく経路の割合	73
図 5.39	東海サイトにおける全体の 7 日間累積実効線量に対する各被ばく経路の割合	74
図 5.40	志賀サイトにおける全体の 7 日間累積実効線量に対する各被ばく経路の割合	75
図 5.41	柏崎刈羽サイトにおける全体の 7 日間累積実効線量に対する各被ばく経路の割合	76
図 5.42	浜岡サイトにおける全体の 7 日間累積実効線量に対する各被ばく経路の割合	77
図 5.43	高浜サイトにおける全体の 7 日間累積実効線量に対する各被ばく経路の割合	78
図 5.44	敦賀サイトにおける全体の 7 日間累積実効線量に対する各被ばく経路の割合	79
図 5.45	美浜サイトにおける全体の 7 日間累積実効線量に対する各被ばく経路の割合	80

図 5.46	大飯サイトにおける全体の 7 日間累積実効線量に対する各被ばく経路の割合	81
図 5.47	島根サイトにおける全体の 7 日間累積実効線量に対する各被ばく経路の割合	82
図 5.48	伊方サイトにおける全体の 7 日間累積実効線量に対する各被ばく経路の割合	83
図 5.49	玄海サイトにおける全体の 7 日間累積実効線量に対する各被ばく経路の割合	84
図 5.50	川内サイトにおける全体の 7 日間累積実効線量に対する各被ばく経路の割合	85
図 5.51	泊サイトにおける全体の 7 日間累積甲状腺等価線量に対する各被ばく経路の割合	86
図 5.52	東通サイトにおける全体の 7 日間累積甲状腺等価線量に対する各被ばく経路の割合	87
図 5.53	女川サイトにおける全体の 7 日間累積甲状腺等価線量に対する各被ばく経路の割合	88
図 5.54	福島第一サイトにおける全体の 7 日間累積甲状腺等価線量に対する各被ばく経路の割合	89
図 5.55	東海サイトにおける全体の 7 日間累積甲状腺等価線量に対する各被ばく経路の割合	90
図 5.56	志賀サイトにおける全体の 7 日間累積甲状腺等価線量に対する各被ばく経路の割合	91
図 5.57	柏崎刈羽サイトにおける全体の 7 日間累積甲状腺等価線量に対する各被ばく経路の割合	92
図 5.58	浜岡サイトにおける全体の 7 日間累積甲状腺等価線量に対する各被ばく経路の割合	93
図 5.59	高浜サイトにおける全体の 7 日間累積甲状腺等価線量に対する各被ばく経路の割合	94
図 5.60	敦賀サイトにおける全体の 7 日間累積甲状腺等価線量に対する各被ばく経路の割合	95
図 5.61	美浜サイトにおける全体の 7 日間累積甲状腺等価線量に対する各被ばく経路の割合	96
図 5.62	大飯サイトにおける全体の 7 日間累積甲状腺等価線量に対する各被ばく経路の割合	97
図 5.63	島根サイトにおける全体の 7 日間累積甲状腺等価線量に対する各被ばく経路の割合	98
図 5.64	伊方サイトにおける全体の 7 日間累積甲状腺等価線量に対する各被ばく経路の割合	99
図 5.65	玄海サイトにおける全体の 7 日間累積甲状腺等価線量に対する各被ばく経路の割合	100
図 5.66	川内サイトにおける全体の 7 日間累積甲状腺等価線量に対する各被ばく経路の割合	101
図 5.67	放出点から 5.5 km 地点での 7 日間累積実効線量のサイト間比較	102
図 5.68	放出点から 5.5 km 地点での 7 日間累積甲状腺等価線量のサイト間比較	103

図 5.69	泊サイトにおける 7 日間累積実効線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布	104
図 5.70	東通サイトにおける 7 日間累積実効線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布	105
図 5.71	女川サイトにおける 7 日間累積実効線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布	106
図 5.72	福島第一サイトにおける 7 日間累積実効線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布	107
図 5.73	東海サイトにおける 7 日間累積実効線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布	108
図 5.74	志賀サイトにおける 7 日間累積実効線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布	109
図 5.75	柏崎刈羽サイトにおける 7 日間累積実効線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布	110
図 5.76	浜岡サイトにおける 7 日間累積実効線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布	111
図 5.77	高浜サイトにおける 7 日間累積実効線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布	112
図 5.78	敦賀サイトにおける 7 日間累積実効線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布	113
図 5.79	美浜サイトにおける 7 日間累積実効線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布	114
図 5.80	大飯サイトにおける 7 日間累積実効線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布	115
図 5.81	島根サイトにおける 7 日間累積実効線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布	116
図 5.82	伊方サイトにおける 7 日間累積実効線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布	117
図 5.83	玄海サイトにおける 7 日間累積実効線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布	118
図 5.84	川内サイトにおける 7 日間累積実効線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布	119
図 5.85	泊サイトにおける 7 日間累積甲状腺等価線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布	120
図 5.86	東通サイトにおける 7 日間累積甲状腺等価線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布	121
図 5.87	女川サイトにおける 7 日間累積甲状腺等価線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布	122

図 5.88	福島第一サイトにおける 7 日間累積甲状腺等価線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布	123
図 5.89	東海サイトにおける 7 日間累積甲状腺等価線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布	124
図 5.90	志賀サイトにおける 7 日間累積甲状腺等価線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布	125
図 5.91	柏崎刈羽サイトにおける 7 日間累積甲状腺等価線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布	126
図 5.92	浜岡サイトにおける 7 日間累積甲状腺等価線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布	127
図 5.93	高浜サイトにおける 7 日間累積甲状腺等価線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布	128
図 5.94	敦賀サイトにおける 7 日間累積甲状腺等価線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布	129
図 5.95	美浜サイトにおける 7 日間累積甲状腺等価線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布	130
図 5.96	大飯サイトにおける 7 日間累積甲状腺等価線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布	131
図 5.97	島根サイトにおける 7 日間累積甲状腺等価線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布	132
図 5.98	伊方サイトにおける 7 日間累積甲状腺等価線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布	133
図 5.99	玄海サイトにおける 7 日間累積甲状腺等価線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布	134
図 5.100	川内サイトにおける 7 日間累積甲状腺等価線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布	135
図 5.101	7 日間累積実効線量での全経路に対する被ばく低減係数と風速のサイト間比較	136
図 5.102	7 日間累積甲状腺等価線量での全経路に対する被ばく低減係数と風速のサイト間比較	137
図 5.103	7 日間累積実効線量での全経路に対する被ばく低減係数と風速の関係	138
図 5.104	7 日間累積甲状腺等価線量での全経路に対する被ばく低減係数と風速の関係	139
図 5.105	吸入被ばくの被ばく低減係数のサイト間比較	140

This is a blank page.

1. 序論

原子力事故によって汚染された地域では、事故後の初期及び長期にわたって、居住環境での滞在を通じて放射線を被ばくする。被ばくは外部被ばくと内部被ばくの両方から生じ、その程度は居住環境に存在する放射性物質の量に依存する。

居住環境に存在する放射性物質の量は、主に環境中に放出される放射性物質の量、風雨等の気象条件、評価対象の建物の種類及びその建物周辺における建物の密集度に依存する。環境中に放出される放射性物質の量は事故シナリオに依存する。広範な原子力事故の影響を調査するために利用される確率論的リスク評価（PRA: Probabilistic Risk Assessment）では、レベル 2PRA において各事故シナリオでのソースタームの評価が行われ、その結果をレベル 3PRA に適用することで、公衆や環境への影響を評価している（本間他（2000）¹⁾）。

屋外に存在する放射性物質の屋内への侵入量は、気密性能が高い建物（日本では、新しい建物ほど気密性能が高い傾向）や周囲に建物が多く存在する場所で、少なくなる傾向がある（Hirouchi et al. (2022)²⁾）。この他に、放射性物質の形態によって屋内への侵入量が異なる。例えば、ヨウ素は環境中で粒子状物質、反応性の高いガス状物質（例： I_2 ）、反応性の低いガス状物質（例： CH_3I ）の 3 つに大別される（IAEA (2012)³⁾; Level et al. (2016)⁴⁾）。同じヨウ素であっても CH_3I の形態が多く存在する場合には、屋内への侵入量は多くなり、粒子状物質や I_2 が多く存在する場合には、これらが窓等の隙間に付着することで屋内への侵入量は少なくなる。

原子力事故時の防護措置の一つである屋内退避の被ばく低減効果は、屋外での線量と屋内での線量の比で表される。原理的に、屋内への侵入量が少ないほど屋内で吸入摂取する量が減少するため、屋内退避による被ばく低減効果は高くなる。上記に示したように、気密性能が高い家屋や周囲に建物が多く存在する場所ほど、屋内への侵入量が少なくなるため、屋内退避の被ばく低減効果がより高くなる（Hirouchi et al. (2022)²⁾）。

このように、同じ事故シナリオであっても、原子力サイトごとに気象条件や周辺環境が違うため被ばく線量が異なり、また屋内退避をした場合の被ばく低減効果も異なる。事故初期において屋内退避をした場合にどのくらいの被ばくが想定されるか、またはどのくらいの被ばく低減効果が見込まれるか、といった情報は、住民や原子力防災計画を策定する国・自治体にとって重要な情報となる。

そこで、本報告書では、日本の原子力発電所を有する 16 サイトに対して、レベル 3PRA コード OSCAAR（Off-Site Consequence Analysis code for Atmospheric Release in reactor accident）（本間他（2000）¹⁾; 放射線安全・防災研究グループ（2020）⁵⁾）を利用して、事故初期における線量を評価した。この時、屋内退避を実施しない場合と屋内退避を実施した場合の線量を評価し、さらにそれらを比較することによって屋内退避による被ばく低減効果を評価した。サイトごとに線量を比較することにより、サイトのどのような特徴が線量や被ばく低減効果に影響を与えたかを把握することができる。

2. OSCAAR の概要

旧日本原子力研究所（現日本原子力研究開発機構）は PRA に関する研究の一環として、原子炉事故時の公衆の放射線影響を確率論的に評価する環境影響評価（レベル 3PRA）手法の確立を目指し、1990 年にレベル 3PRA コード OSCAAR を開発した（本間他（2000）¹⁾；放射線安全・防災研究グループ（2020）⁵⁾）。そして、確率論的環境影響評価コードの国際比較計算への参加（OECD（1994）⁶⁾；CEC（1994）⁷⁾）、チョルノービリ事故等で得られた環境中の実測データを基にした、被ばく評価上重要な I-131 や Cs-137 の食物連鎖を含む生態圏における移行モデルに関する検証（Homma et al.（2000）⁸⁾；Homma and Matsunaga（2001）⁹⁾）、特定シナリオに対してモンテカルロ法に基づく入力パラメータの不確かさ伝播解析・感度解析手法を導入したレベル 3PRA に係わる不確かさ評価（Homma（1998）¹⁰⁾）等を通じて、OSCAAR の適用性能の確認や機能の検証作業を行ってきた。

OSCAAR の構成を図 2.1 に示す。OSCAAR は事故時に放出された放射性物質の大気拡散・地表面沈着（ADD）、それに伴う公衆への被ばく（EARLY 及び CHRONIC）、防護対策による被ばく低減効果（PM）、被ばく集団の健康影響（HE）及び経済影響（ECONO）を推定するための一連の計算モジュールとデータファイルで構成される。また、計算に用いる気象条件、線量換算係数、人口分布及び農畜産物生産分布、被ばく集団の生涯リスク等、OSCAAR に必要な入力データについては、計算モジュールとは独立した支援コードを用いて事前に用意する必要がある。

本研究では、外部被ばくとして放射性プルーム中の放射性物質からの放射線による被ばく（クラウドシャイン）と地表面に沈着した放射性物質からの放射線による被ばく（グラウンドシャイン）及び内部被ばくとして吸入摂取による被ばくを対象とした¹⁾。外部被ばく線量に関して、OSCAAR の EARLY モジュールで出力される値をそのまま利用した。一方、内部被ばく線量に関して、ADD モジュールの入出力値である風速と空气中放射能濃度の時間変化を 3 章で示す屋内退避モデルに入力して計算した。OSCAAR に入力する計算条件は 4 章に示す。なお OSCAAR では、屋内退避時の内部被ばく線量は PM モジュールにて、EARLY モジュールで出力される屋外での内部被ばく線量に屋内退避による被ばく低減係数（固定値）を掛けることによって計算される。この被ばく低減係数は、風速や周辺の建物の密集度の違いを考慮できていないため、これらを考慮できる屋内退避モデルを利用して、屋内退避時の内部被ばく線量を計算することとした。

¹⁾ 内部被ばくには、吸入摂取による被ばく以外に経口摂取による被ばくと経皮吸収による被ばくが挙げられる。事故初期においては、吸入摂取による被ばくが主な内部被ばく経路であるため、本報告書では吸入摂取による被ばくのみを対象とした。

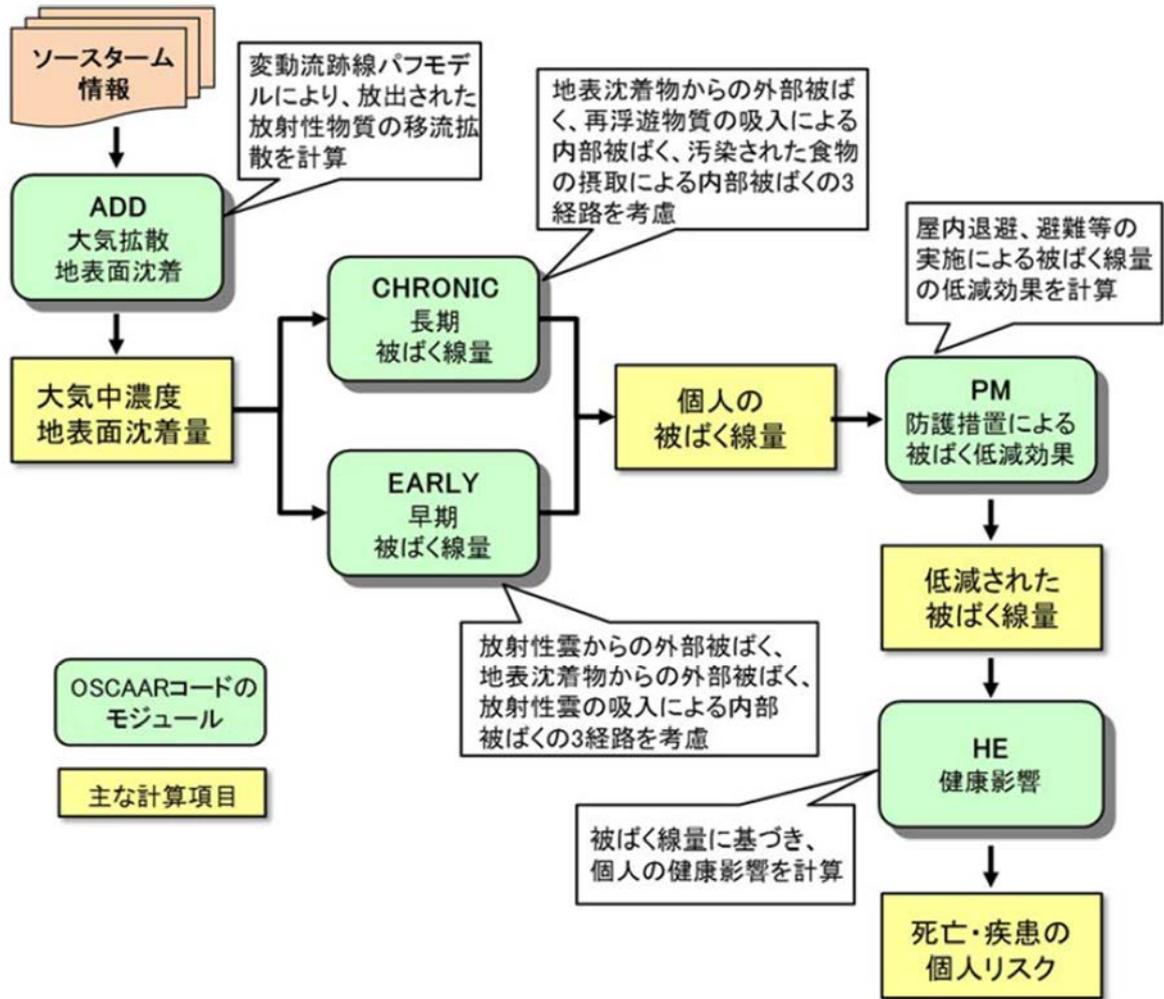


図 2.1 OSCAAR の構成

(出典：放射線安全・防災研究グループ (2020)⁵⁾)

3. 屋内退避モデルの概要

屋内退避モデルは、Hirouchi et al. (2022)²⁾に示されたモデルを利用した。屋内退避モデルの計算の流れを図 3.1 に示す。屋内退避モデルは、屋内での空气中放射能濃度または吸入摂取による被ばく線量を算出するプロセスと自然換気率を算出するプロセスの二つで構成される³⁾。

屋内での空气中放射能濃度を算出するプロセスでは、屋内外の空気交換を模擬したコンパートメントモデル (図 3.2) に基づいて作成された以下の式を用いて、屋内の空气中放射能濃度の時間変化が算出される。

$$\frac{dC_1(t)}{dt} = P(t)\lambda_e(t)C_0(t) - (\lambda_e(t) + \lambda_d(t) + \lambda) \cdot C_1(t), \quad (3.1)$$

- $C_1(t)$: 時刻 t における屋内の空气中放射能濃度 (Bq m⁻³)
 $C_0(t)$: 時刻 t における屋外の空气中放射能濃度 (Bq m⁻³)
 $\lambda_e(t)$: 時刻 t における自然換気率 (h⁻¹)
 $\lambda_d(t)$: 時刻 t における屋内での沈着率 (h⁻¹)
 λ : 壊変定数 (h⁻¹)
 $P(t)$: 時刻 t における浸透率 (-)

この式を解くためには、自然換気率³⁾、屋内での沈着率及び浸透率⁴⁾が必要となる。自然換気率を算出するプロセスでは、風速、建蔽率⁵⁾及び相当隙間面積⁶⁾を入力値として、先行研究 (赤林他 (1994)¹¹⁾; 吉野他, (1987)¹²⁾) に基づいて作成された以下の式を用いて自然換気率を算出した。

$$\lambda_e(t) = \exp(1.083b(t) - 3.2623), \quad (3.2)$$

$$b(t) = \ln Y(t) + 0.94 \ln S,$$

- $Y(t)$: 時刻 t における定数
 S : 相当隙間面積 (cm² m⁻²)

ここで、定数 $Y(t)$ は以下の式で算出される。

$$Y(t) = (0.00005K^2 - 0.0037K + 0.079)U(t)^2 + (0.0003K^2 - 0.0218K + 0.6111)U(t), \quad (3.3)$$

²⁾ 本報告書の結果は、屋内退避モデルを OSCAAR に組み込まずに計算したものである。

³⁾ 屋内退避中は 24 時間換気システム等の強制換気を使用しないことを想定しているため、本報告書でも強制換気を稼働しない条件で自然換気率を評価した。

⁴⁾ 屋内に侵入しようとした放射性物質の量に対する、実際に屋内に侵入した放射性物質の量の比で表される。

⁵⁾ ここでの建蔽率は、ある区域内の面積 (道路等を含む) に対するその区域内に存在する建物の占める割合であり、通常使われている建蔽率 (土地面積に対する建築された建物面積の割合) とは異なる。

⁶⁾ 建物が持っている隙間を全て面積として集め、建物の床面積で規格化したもの。建物の気密性能を表す指標として利用されている。

K : 建蔽率 (%)

$U(t)$: 時刻 t における地上高さ 10 m の風速 (m s^{-1})

相当隙間面積は建物が建築された年に依存しており、1980年以前の戸建住宅では $15 \text{ cm}^2 \text{ m}^{-2}$ 、1981年から1992年の戸建住宅では $5 \text{ cm}^2 \text{ m}^{-2}$ 、1993年以降の戸建住宅では $2 \text{ cm}^2 \text{ m}^{-2}$ 程度であることが報告されており (Hirouchi et al. (2022)²⁾)、本研究でもそれらの値を利用した。

浸透率と沈着率は自然換気率に依存しており、粒子状物質と元素状ヨウ素 (I_2) のそれぞれで関係式が異なることが報告されている (Hirouchi et al. (2021)¹³⁾, (2022)²⁾)。本研究でも、以下に示す関係式を利用して、自然換気率から浸透率及び沈着率を求めることにした。

粒子状物質の浸透率 P_p

$$\begin{aligned} P_p(t) &= -0.2277\lambda_e(t)^2 + 0.719\lambda_e(t) + 0.442 \quad (\lambda_e(t) < 1.4 \text{ の場合}), \\ P_p(t) &= 1 \quad (\lambda_e(t) \geq 1.4 \text{ の場合}). \end{aligned} \quad (3.4)$$

元素状ヨウ素の浸透率 P_{I_2}

$$P_{\text{I}_2}(t) = 0.0983\lambda_e(t)^2 + 0.1566\lambda_e(t) . \quad (3.5)$$

元素状ヨウ素の沈着率 λ_{d,I_2}

$$\lambda_{d,\text{I}_2}(t) = 0.089\lambda_e(t)^2 + 0.2828\lambda_e(t) + 0.01 . \quad (3.6)$$

なお、粒子状物質では自然換気率と沈着率の間には関係はないと報告されている (Hirouchi et al. (2021)¹³⁾, (2022)²⁾)。一方、建物内の材質による違いと家具の有無による違いは観察されており、範囲としては $0.01 \sim 0.2 \text{ h}^{-1}$ が報告されている。材質として、カーペット、畳及びフローリングを採用した場合の幾何平均値として 0.1 h^{-1} が報告されている (Hirouchi et al. (2021)¹³⁾, (2022)²⁾)。本報告書でも粒子状物質の沈着率は 0.1 h^{-1} の固定値とした。なお、ヨウ素には粒子状物質と元素状ヨウ素以外に、反応性の低い有機ヨウ素 (CH_3I など) の形態も存在する。この形態の反応性は低いことから、環境中では希ガスと同様に振舞うと仮定し、沈着率 $\lambda_{d,\text{CH}_3\text{I}}$ は 0 h^{-1} 、浸透率 $P_{\text{CH}_3\text{I}}$ は 1 とした。

2章で述べたとおり、OSCAAR の ADD モジュールの入出力である空气中放射能濃度と風速の時間変化を屋内退避モデルに入力し、屋内の空气中放射能濃度と吸入摂取による被ばく線量を計算した。被ばく線量を計算するときに使用する線量換算係数は OSCAAR データベースに組み込まれている値と同じ値を利用し、成人の線量換算係数を利用した。建蔽率データは 4.6 節に示したものを利用した。さらに外部被ばくと内部被ばくを合わせた被ばく線量の屋内外の比 (屋内/屋外) を求め、全被ばく経路に対する被ばく低減係数⁷⁾を計算した。

⁷⁾ 屋内退避の低減効果を表す指標であり、被ばく低減係数は屋内外の線量比 (屋内/屋外) で表される。被ばく低減係数が 1 に近づくほど低減効果が低く、0 に近づくほど低減効果が高くなる。

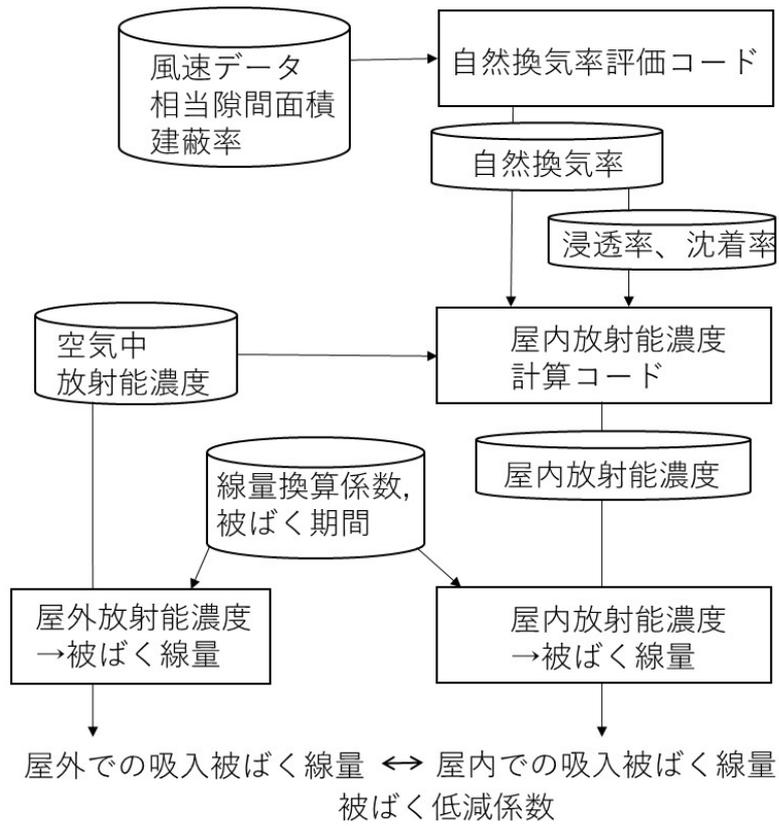


図 3.1 屋内退避モデルの概要

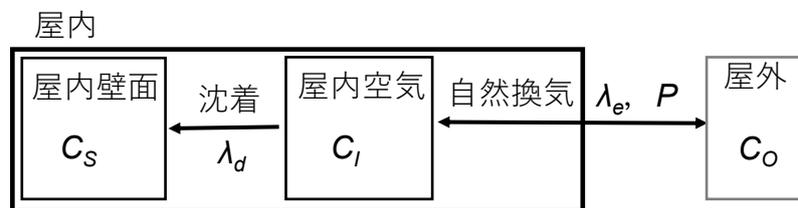


図 3.2 屋内外の空気交換を模擬したコンパートメントモデル

4. 計算条件

OSCAAR 及び屋内退避モデルを用いて被ばく線量を計算するには、炉内インベントリ、事故シナリオ、外部被ばくの低減係数、気象条件、人口データ、建蔽率データが必要となる。また、本報告書では、被ばく線量として、事故発生から 7 日間の累積実効線量と累積甲状腺等価線量を算出した。屋外にいるケースでは、7 日間連続して屋外にいること（屋内に滞在することはない）を想定している。屋内にいるケースでは、最初の 2 日間は全く屋外に出なく屋内でのみ滞在していることを想定し、残りの 5 日間は常に屋外にいることを想定している。本報告書では、1993 年以降に建築された戸建住宅（相当隙間面積=2 cm² m⁻²）に屋内退避することを想定した。対象としたサイトは、原子力発電所を有する日本のサイト（建設中と廃炉作業中を除く）であり、次の 16 サイトである：泊サイト、東通サイト、女川サイト、福島第一サイト⁸、東海サイト、志賀サイト、柏崎刈羽サイト、浜岡サイト、高浜サイト、敦賀サイト、美浜サイト、大飯サイト、島根サイト、伊方サイト、玄海サイト、川内サイト。

4.1. 炉内インベントリ

本来であれば、炉内インベントリは各サイトのインベントリデータを使うことが望ましい。しかしながら、全てのサイトでインベントリデータを入手できなかった。そこで本解析では、事故シナリオとサイト周辺の環境の違いによる影響を調査することを目的とし、炉内インベントリはサイトと事故シナリオによらず同一とした。

ここでは、表 4.1 に示す JAERI 報告書の Table 3.2 のデータを使用した（本間他（2000）¹¹）。3 章で示したように、屋内での沈着率と浸透率は核種の化学形態によって異なる。そのため、表 4.1 に示した核種グループによって、使用する屋内での沈着率と浸透率を変えた。希ガス類と有機 I 類は反応性が低いため、沈着率は 0 h⁻¹、浸透率は 1 とした。無機 I 類⁹も含めて他の核種グループは全て粒子状物質¹⁰と仮定し、粒子状物質の沈着率と浸透率を使用した。

⁸ 福島第一サイトは廃炉作業中であるものの、東京電力福島第一原子力発電所（1F）事故時の影響と本解析結果を比較できる可能性があるため、本報告書では比較解析を行わないが今後の利用価値を考慮して解析対象とした。

⁹ 現状の OSCAAR では、元素状ヨウ素と粒子状ヨウ素を区別せずに、無機 I 類として分類している。本報告書では、元素状ヨウ素も粒子状ヨウ素として扱い、浸透率、沈着率、線量換算係数は粒子状ヨウ素の値を利用した。

¹⁰ 粒子状物質の粒径は、事故時に環境中でよく観測されるもの（概ね 1 μm）を想定している。

表 4.1 炉内インベントリ

核種	インベントリ (Bq)	核種 グループ*	核種	インベントリ (Bq)	核種 グループ*
Co-58	2.80E+13	7	Te-131m	2.54E+17	5
Co-60	2.16E+14	7	Te-132	2.47E+18	5
Kr-85	1.87E+16	1	I-131	1.74E+18	2,3
Kr-85m	4.56E+17	1	I-132	2.51E+18	2,3
Kr-87	8.73E+17	1	I-133	3.55E+18	2,3
Kr-88	1.23E+18	1	I-134	3.89E+18	2,3
Rb-86	2.68E+15	4	I-135	3.32E+18	2,3
Sr-89	1.69E+18	6	Xe-133	3.56E+18	1
Sr-90	1.47E+17	6	Xe-135	1.01E+18	1
Sr-91	2.08E+18	6	Cs-134	2.36E+17	4
Y-90	1.52E+17	8	Cs-136	8.13E+16	4
Y-91	2.18E+18	8	Cs-137	2.01E+17	4
Zr-95	2.97E+18	8	Ba-140	3.05E+18	6
Zr-97	2.91E+18	8	La-140	3.13E+18	8
Nb-95	3.02E+18	8	Ce-141	2.94E+18	8
Mo-99	3.22E+18	7	Ce-143	2.68E+18	8
Tc-99m	2.82E+18	7	Ce-144	2.27E+18	8
Ru-103	2.71E+18	7	Pr-143	2.67E+18	8
Ru-105	1.83E+18	7	Nd-147	1.15E+18	8
Ru-106	9.31E+17	7	Np-239	3.63E+19	8
Rh-105	1.72E+18	7	Pu-238	3.28E+15	8
Sb-127	1.85E+17	5	Pu-239	7.48E+14	8
Sb-129	5.60E+17	5	Pu-240	1.05E+15	8
Te-127	1.84E+17	5	Pu-241	2.40E+17	8
Te-127m	2.47E+16	5	Am-241	2.43E+14	8
Te-129	5.52E+17	5	Cm-242	6.58E+16	8
Te-129m	8.30E+16	5	Cm-244	2.42E+15	8

*核種グループ

1:希ガス類、2:有機I類、3:無機I類、4:Cs-Rb類、5:Te-Sb類、6:Sr-Ba類、7:Ru類、8:La類

4.2. 事故シナリオ

本解析では、過去のシビアアクシデント研究、原子力規制委員会で定められている放出シナリオ及び過去の事例として東京電力福島第一原子力発電所（1F）事故を基に、以下の5つの事故シナリオに対して解析を行った。

- ① 早期大規模放出
- ② 後期大規模放出
- ③ 管理放出
- ④ 原子力規制委員会で定められている放出シナリオ（以下、Cs-100TBq）
- ⑤ 1F 事故相当（以下、福島事故）

早期大規模放出、後期大規模放出、管理放出に関する環境への放出割合は本間他（2000）¹³⁾の値を基にした。Cs-100TBqに関する放出割合は原子力規制委員会の試算に用いられた条件（原子力規制委員会（2014）¹⁴⁾）を基にした。福島事故のデータとして、放出量が最も多かった1F2号機を対象とし、IAEA 閣僚会議に対する日本国政府の報告書（原子力災害対策本部（2011）¹⁵⁾）と UNSCEAR（2013）¹⁶⁾を参照した。各事故シナリオの環境への放出割合と放出割合の時間変化を表 4.2 と図 4.1 に示す。

以下、これらの事故シナリオの概要を示す。福島事故シナリオに関しては、放出割合を算出した考えを示す。

① 早期大規模放出

木村他（2010）¹⁷⁾によると、エナジェティック現象¹¹⁾の事故シナリオがこの分類に属し、初期炉内インベントリの10%程度のヨウ素が環境へ放出されるものである。エナジェティック現象による格納容器破損については、水蒸気爆発、高圧溶融物噴出等が該当し、これらは早期大規模放出シナリオと呼ばれている。

② 後期大規模放出

木村他（2010）¹⁷⁾によると、過圧破損の事故シナリオがこの分類に属し、初期炉内インベントリの5%程度のヨウ素が環境へ放出されるものである。非凝縮性ガス及び水蒸気による格納容器の過圧破損については、環境への放出開始時刻には10時間以上の猶予があることから、後期大規模放出シナリオと呼ばれている。

③ 管理放出

木村他（2010）¹⁷⁾によると、格納容器ベントのように、制御可能な状況下において意図的な放出が行われる場合を、管理放出と呼んでいる。

¹¹ 炉心損傷事故時に発生する物理化学現象の中で、原子炉圧力容器内または格納容器内で圧力及び/または温度が急激に上昇する事象。

④ Cs-100TBq

本シナリオは、1F 事故を踏まえて強化された新規制基準への適合性を審査するうえで、想定する格納容器破損モードに対して、Cs-137 の放出量が 100 TBq を下回っていることを確認すること踏まえて設定されたものである。放出割合は米国原子力規制委員会の NUREG-1465 (Soffer et al. (1995)¹⁸⁾ から引用され、環境への放出割合は Cs-137 の環境への放出量が 100 TBq となるように求めた係数を、NUREG-1465 から得られた各核種グループの格納容器への放出割合に乗算して算出されたものである¹²⁾。

⑤ 福島事故

本シナリオは、1F 事故時の 1F2 号機の放出量を基に設定したものである。1F 事故時の各核種の放出割合の時間変化は IAEA 閣僚会議に対する日本国政府の報告書（原子力災害対策本部 (2011)¹⁵⁾）と UNSCEAR (2013)¹⁶⁾ のレポートを基に設定した。

原子力災害対策本部 (2011)¹⁵⁾ の報告書には、全インベントリに対する環境中への全放出割合は示されているものの、放出割合の時間変化までは示されていない。一方、UNCEAR (2013)¹⁶⁾ のレポートには、放出量の時間変化は示されているものの、各放出時間における全インベントリに対する放出割合は示されていない。そこで、全インベントリに対する環境中への全放出割合は原子力災害対策本部 (2011)¹⁵⁾ の報告書と一致するようにし、各放出時間における放出割合は UNSCEAR (2013)¹⁶⁾ のレポートに示されている放出量の時間変化と一致するように設定した。例えば、Cs-Rb 類の全インベントリに対する全放出割合が 10%、1 回目の放出が 1 TBq、2 回目の放出が 2 TBq、3 回目の放出が 7 TBq の場合、各放出における全インベントリに対する放出割合は以下の通りとなる。

$$\text{全インベントリに対する 1 回目の放出割合} = 10\% \times \frac{1}{1 + 2 + 7} = 1\%$$

$$\text{全インベントリに対する 2 回目の放出割合} = 10\% \times \frac{2}{1 + 2 + 7} = 2\%$$

$$\text{全インベントリに対する 3 回目の放出割合} = 10\% \times \frac{7}{1 + 2 + 7} = 7\%$$

図 4.2 に UNSCEAR (2013)¹⁶⁾ のレポートに示されている核種の放出割合の時間変化と累積放出割合の時間変化を示す。2011 年 3 月 16 日 0 時までには、Cs と I-131 以外は全体の 90% 以上、Cs と I-131 は全体の約 85% が放出されたことが分かる。OSCAAR では、他のモジュールとの連動性から、7 日間の最大放出継続時間が推奨されており、放出継続時間が 7 日間以上の場合には、不具合が生じる可能性がある。そこで、ここでは 3 月 11 日 15 時を事故発生時刻とし、3 月 16 日 0 時までには全量が放出すると仮定した。

¹²⁾ 本報告書で使用したインベントリと原子力規制委員会で使用されたインベントリは異なり、本報告書で使用したインベントリでは Cs-137 の放出量は 100 TBq とはならない。ただし、原子力規制委員会で使用されたインベントリを用いた場合であっても、被ばく低減係数は本報告書で示した値と小数第二位まで一致することを確認している。

OSCAAR では、核種は下記の 8 つに分類されており、UNSCEAR (2013)¹⁶⁾のレポートには全ての核種に対する放出情報はない。そこで、各核種の放出割合の時間変化を求める際には、次に示した値を利用することとした。

1. 希ガス類 : Xe-133 の時間変化を利用。
2. 有機 I 類 : I-131、I-132、I-133 の平均値の時間変化を利用。
3. 無機 I 類 : I-131、I-132、I-133 の平均値の時間変化を利用。
4. Cs-Rb 類 : Cs-134、Cs-136、Cs-137 の平均値の時間変化を利用。
5. Te-Sb 類 : Te-132 の時間変化を利用。
6. Sr-Ba 類 : Cs-134、Cs-136、Cs-137 の平均値の時間変化を利用。
7. Ru 類 : Cs-134、Cs-136、Cs-137 の平均値の時間変化を利用。
8. La 類 : Cs-134、Cs-136、Cs-137 の平均値の時間変化を利用。

原子力災害対策本部(2011)¹⁵⁾及び UNSCEAR (2013)¹⁶⁾のレポートでは、有機 I 類と無機 I 類の区別をしていない。ここでは本間他 (2000)¹⁾の早期大規模放出と後期大規模放出のヨウ素組成と同じであると仮定し、有機 I 類はヨウ素全体の 5%、無機 I 類はヨウ素全体の 95%と仮定した。

表 4.2 環境への放出割合

シナリオ	放出開始 時間 (h)*	放出継続 時間 (h)	放出割合†						
			希ガス類	I 類‡	Cs-Rb 類	Te-Sb 類	Sr-Ba 類	Ru 類	La 類
早期大規模放出	3	1	1.0E-00	7.9E-02	1.1E-02	2.6E-02	1.1E-02	1.0E-02	1.0E-02
後期大規模放出	27	7	9.5E-01	3.2E-02	2.8E-02	2.8E-04	1.2E-08	2.4E-11	5.2E-12
管理放出	12	22	8.7E-01	9.0E-04	7.5E-04	3.2E-04	2.0E-08	3.4E-11	6.5E-12
Cs-100TBq	24	5	1.0E-00	3.0E-04	3.0E-04	1.2E-04	4.8E-05	2.0E-06	2.2E-06
福島事故	14	80	9.6E-01	6.7E-02	5.8E-02	3.0E-02	2.6E-04	5.4E-10	4.8E-06

* 原子炉停止後から放出開始までの時間

† 初期炉内インベントリのうち、放射壊変を考慮せずに環境へ放出される総量の割合。なお、OSCAAR では、初期インベントリにこの放出割合を掛けた後に、放出開始時間までの放射壊変による減衰を考慮するかしないかを選択できる。本報告書では、減衰を考慮した計算結果となっている。

‡ 有機 I 類はヨウ素全体の 5%、無機 I 類はヨウ素全体の 95%と仮定。

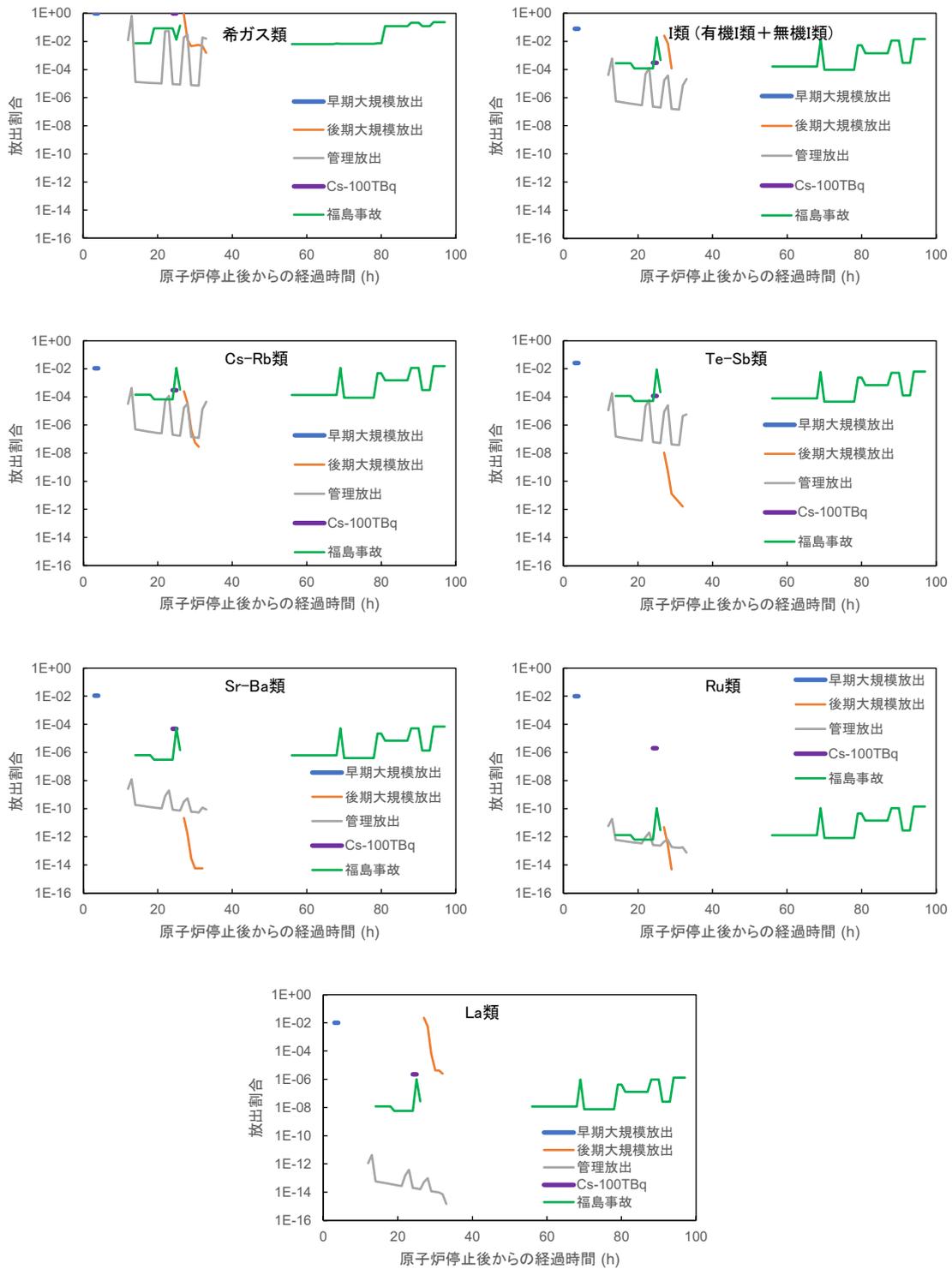


図 4.1 各事故シナリオでの放出割合の時間変化

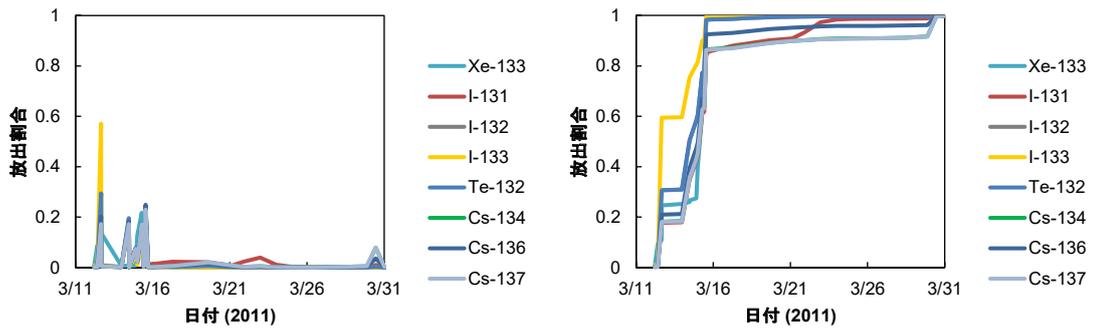


図 4.2 1F 事故時の各時間の放出割合（左）と累積放出割合（右）

4.3. 外部被ばくの低減係数

OSCAAR では、屋内退避による外部被ばくの低減係数を任意に設定できる。建物による遮蔽効果は γ 線エネルギーによって異なるため、外部被ばくの低減係数は γ 線エネルギーに依存する。表 4.2 に示されるように事故シナリオによって放出された核種の組成は異なり、それに応じて平均 γ 線エネルギーが異なるため、外部被ばくの低減係数は事故シナリオによって異なる。

各事故シナリオのシャットダウン後の平均 γ 線エネルギーの推移を図 4.3 に示す。放出開始時間の平均 γ 線エネルギーは、クラウドシャインの場合、早期大規模放出で約 1,500 keV、後期大規模放出と福島事故で約 400 keV、管理放出で約 1,000 keV、Cs-100TBq で約 200 keV であった。グラウンドシャインの場合、どのシナリオにおいても平均 γ 線エネルギーは約 600～800 keV であった。

図 4.4 に放射線輸送計算コード PHITS (Particle and Heavy Ion Transport code System, 3.240, Sato et al. (2023)¹⁹⁾) を用いて計算した被ばく低減係数と γ 線エネルギーの関係を示す。ここでは、平均的な日本家屋を模擬した家屋 (Furuta and Takahashi (2015)²⁰⁾) での、クラウドシャインによる被ばく低減係数を示す。図示していないが、グラウンドシャインの場合、 γ 線エネルギーが 600～800 keV の被ばく低減係数は概ね一定値 (0.48) であった。クラウドシャインによる被ばく低減係数と γ 線エネルギーは概ね二次関数で表記でき、二次関数を利用して事故シナリオごとの被ばく低減係数を求めた。なお、三次関数を利用した場合でも小数点第二位まで同じであり、差が生じないことを確認した。

以上より、クラウドシャインによる外部被ばくの低減係数は、早期大規模放出で 0.79、後期大規模放出と福島事故で 0.70、管理放出で 0.77、Cs-100TBq で 0.67 とした。グラウンドシャインによる外部被ばくの低減係数は事故シナリオによらず全て 0.48 とした。

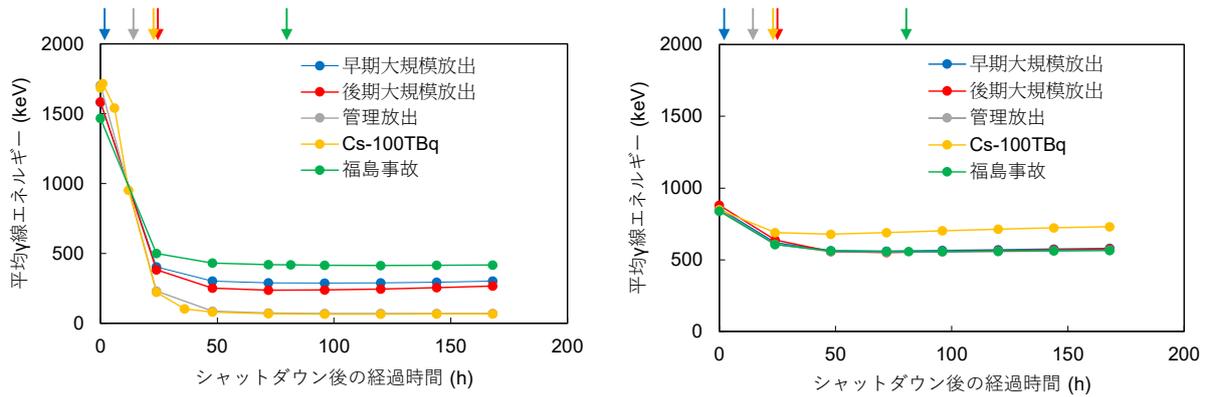


図 4.3 各事故シナリオのシャットダウン後の平均 γ 線エネルギーの推移
矢印は各事故シナリオの放出開始時間を示す。

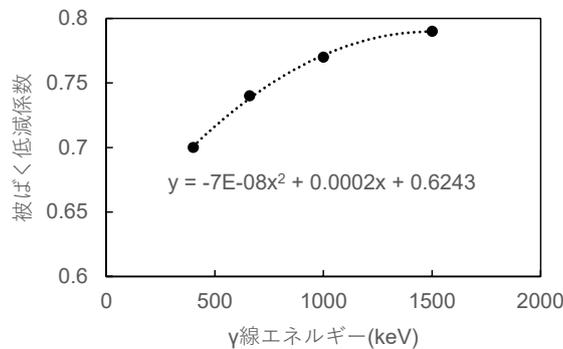


図 4.4 木造家屋におけるクラウドシャインによる被ばく低減係数と γ 線エネルギーの関係

4.4. 気象条件

OSCAAR では、気象庁が提供している数値予報結果のうち、200～2,000 km のメソスケールを対象とした数値予報モデルによる予報結果を用いている。気象庁の数値予報データは、GPV (Grid Point Value) として等間隔メッシュの格子点における数値予報情報を格納している。この観測データを基に、補助コードを用いて OSCAAR 用気象データに変更されている。本報告書では、2020 年の気象データを基に解析し、気象シーケンス数¹³は 500 とした。なお、各気象シーケンスの開始時刻はサイトによらず同じとした¹⁴。

4.5. 人口データ

OSCAAR では、国勢調査の人口データを用いて、対象サイトの人口データを整備している。国勢調査の人口データは地域メッシュで整理されており、このデータを基に、補助コードを用いて OSCAAR 用人口データに変更されている。本報告書では、2010 年の国勢調査のデータ

¹³ 一つの気象シーケンスの長さは最大 10 日間である。

¹⁴ OSCAAR では、各気象シーケンスの終了時刻はプルームが計算範囲外に達した時または開始から 10 日間経過した時であるため、同じ時刻から始めたとしても終了時刻はサイトによって異なる。

(総務省統計局 (2010)²¹⁾) を基に解析した。各サイトの人口分布を図 4.5～図 4.20 の左側に示す。同心円メッシュでは、方位を 32 方位に分割し、距離は 0～30 km を 13 個に分割している。

4.6. 建蔽率データ

OSCAAR には、各サイトの建蔽率データは格納されていないため、総務省統計局の「市区町村別メッシュ・コード一覧」(総務省統計局 (2023)²²⁾) と国土地理院ベクトルタイル¹⁵ (国土交通省国土地理院 (2023)²³⁾) を基に、OSCAAR 用建蔽率データを作成した。ここで、建蔽率の定義を“ある区域内の面積に対するその区域内に存在する建物の占める割合”とする。OSCAAR の評価点は距離別・方位別の同心円メッシュで構成されているため、建蔽率データも同心円メッシュで整備した。なお、使用した基準メッシュ・コードは 2020 年 10 月 1 日時点のもの、ベクトルタイルは 2022 年 4 月 1 日時点のものである。各サイトの建蔽率分布を図 4.5～図 4.20 の右側に示す。

4.7. 出力値

本報告書では、OSCAAR で出力される 7 日間の累積実効線量と 7 日間の累積甲状腺等価線量を出力値として利用した。この時、屋内退避実施時と未実施時それぞれの線量である。さらに、実効線量と甲状腺等価線量それぞれの全被ばく経路に対する被ばく低減係数を評価した。

¹⁵ ベクトルタイルには様々な建物のポリゴンデータが含まれている。今回、建蔽率を算出するために使用した建物は、ベクトルタイルの地物コードで普通建物、堅ろう建物、高層建物、普通無壁舎及び堅ろう無壁舎と示されたものである。

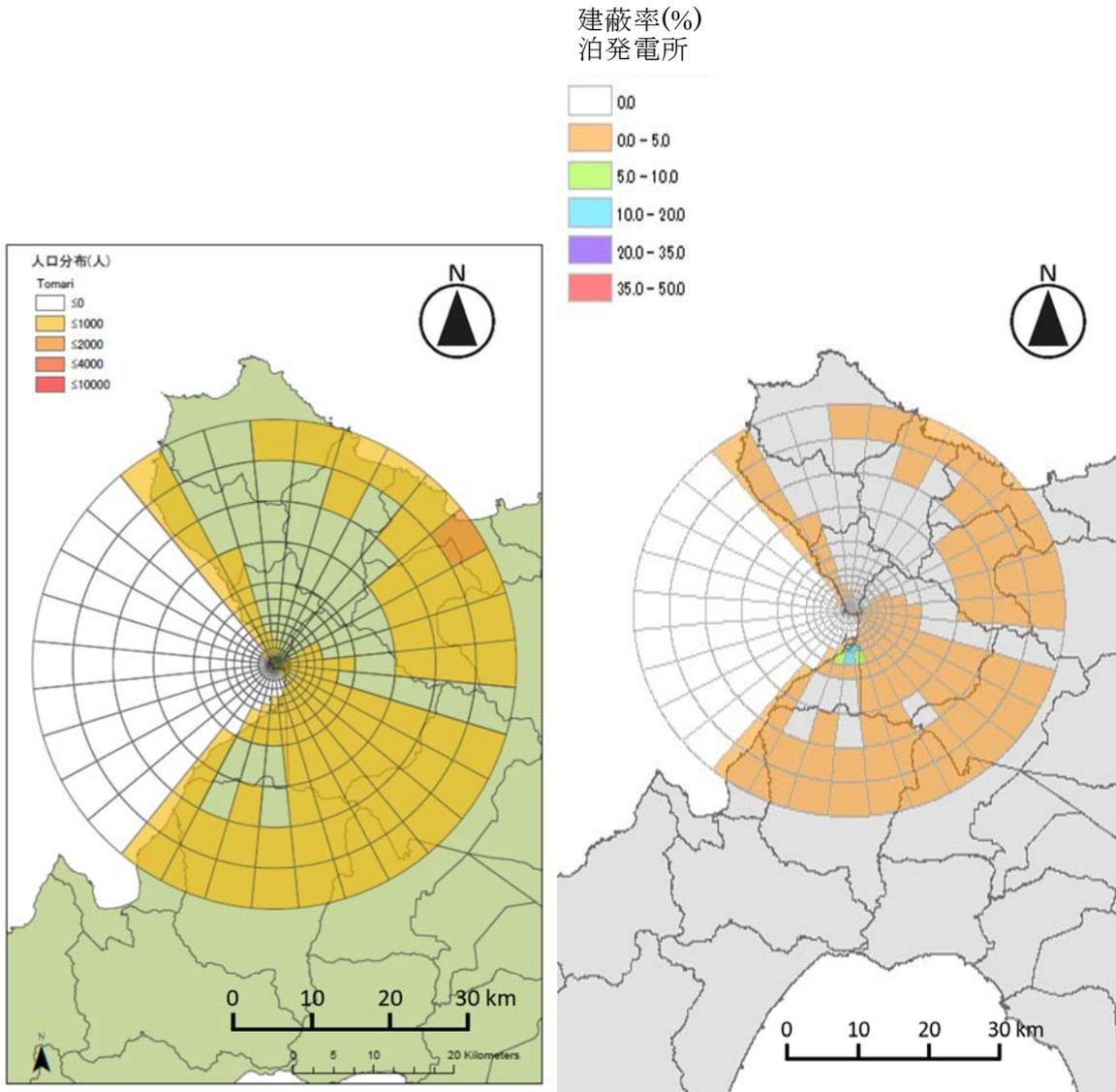


図 4.5 泊サイトの人口分布 (左) と建蔽率 (右)

(国土交通省国土数値情報 (行政区域データ) を加工して作成

(URL: https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-N03-v3_0.html)

(令和 5 年 2 月 8 日取得)

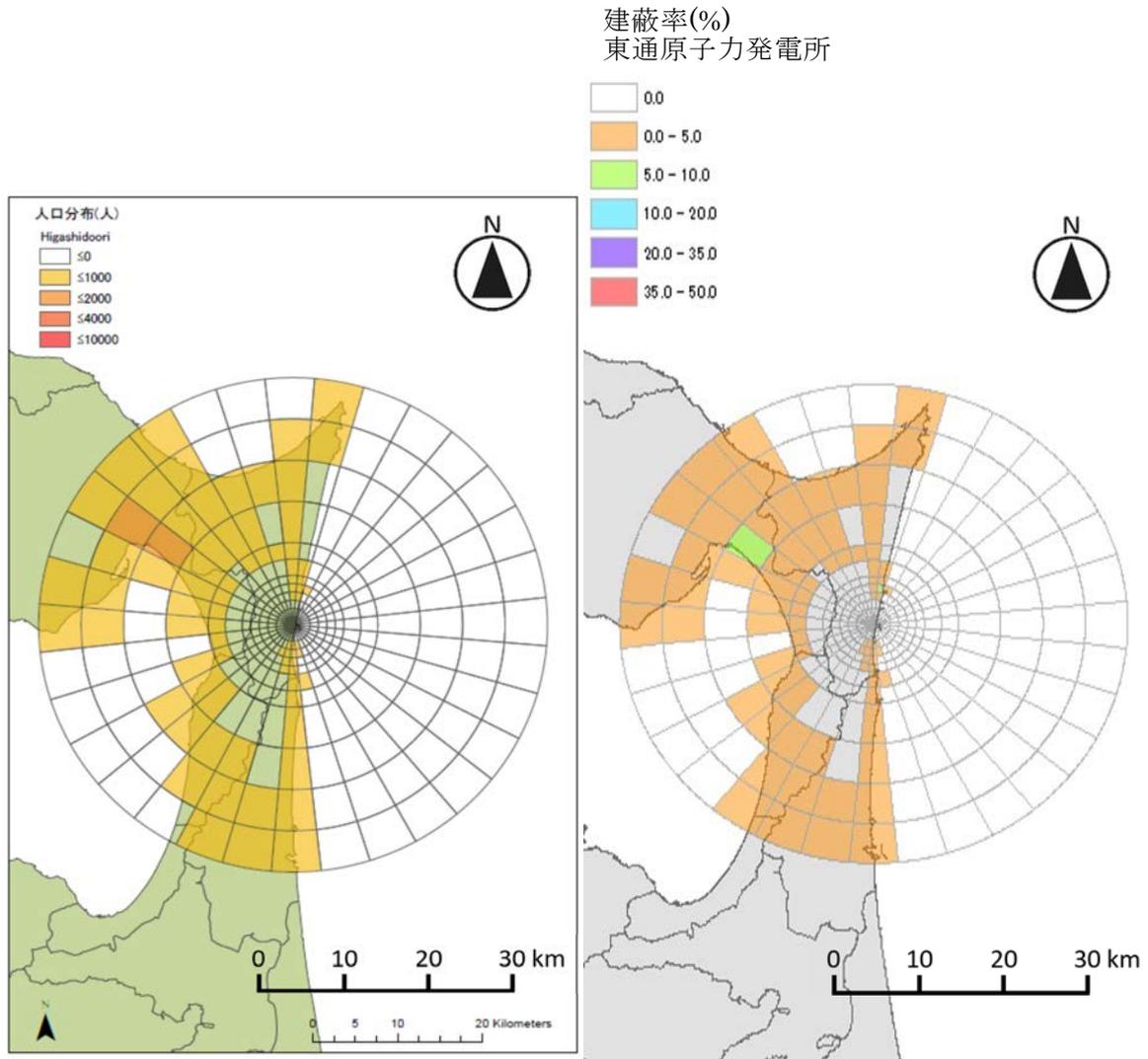


図 4.6 東通サイトの人口分布（左）と建蔽率（右）

（国土交通省国土数値情報（行政区域データ）を加工して作成

（URL: https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-N03-v3_0.html）

（令和 5 年 2 月 8 日取得）

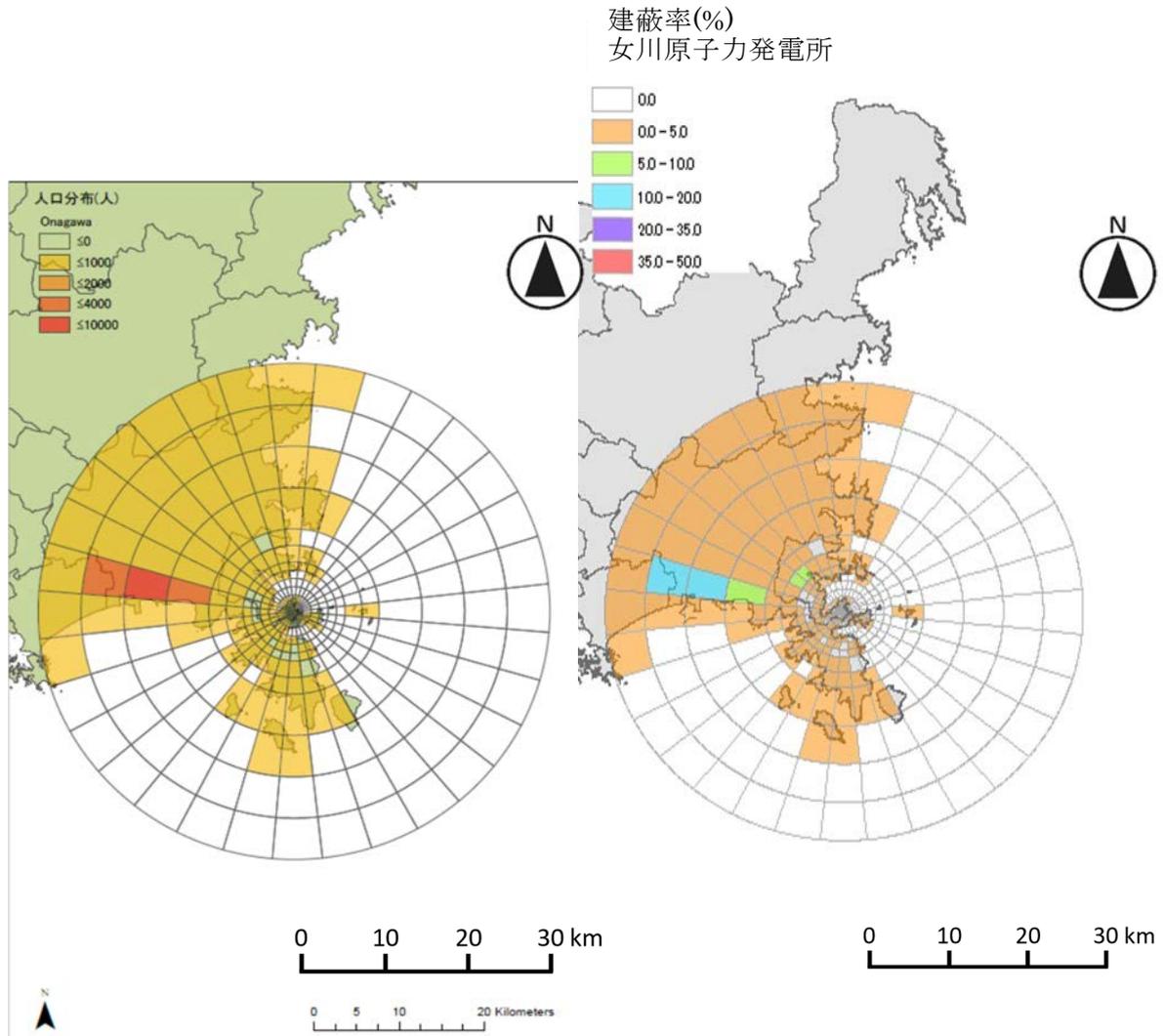


図 4.7 女川サイトの人口分布 (左) と建蔽率 (右)

(国土交通省国土数値情報 (行政区域データ) を加工して作成

(URL: https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-N03-v3_0.html)

(令和 5 年 2 月 8 日取得)

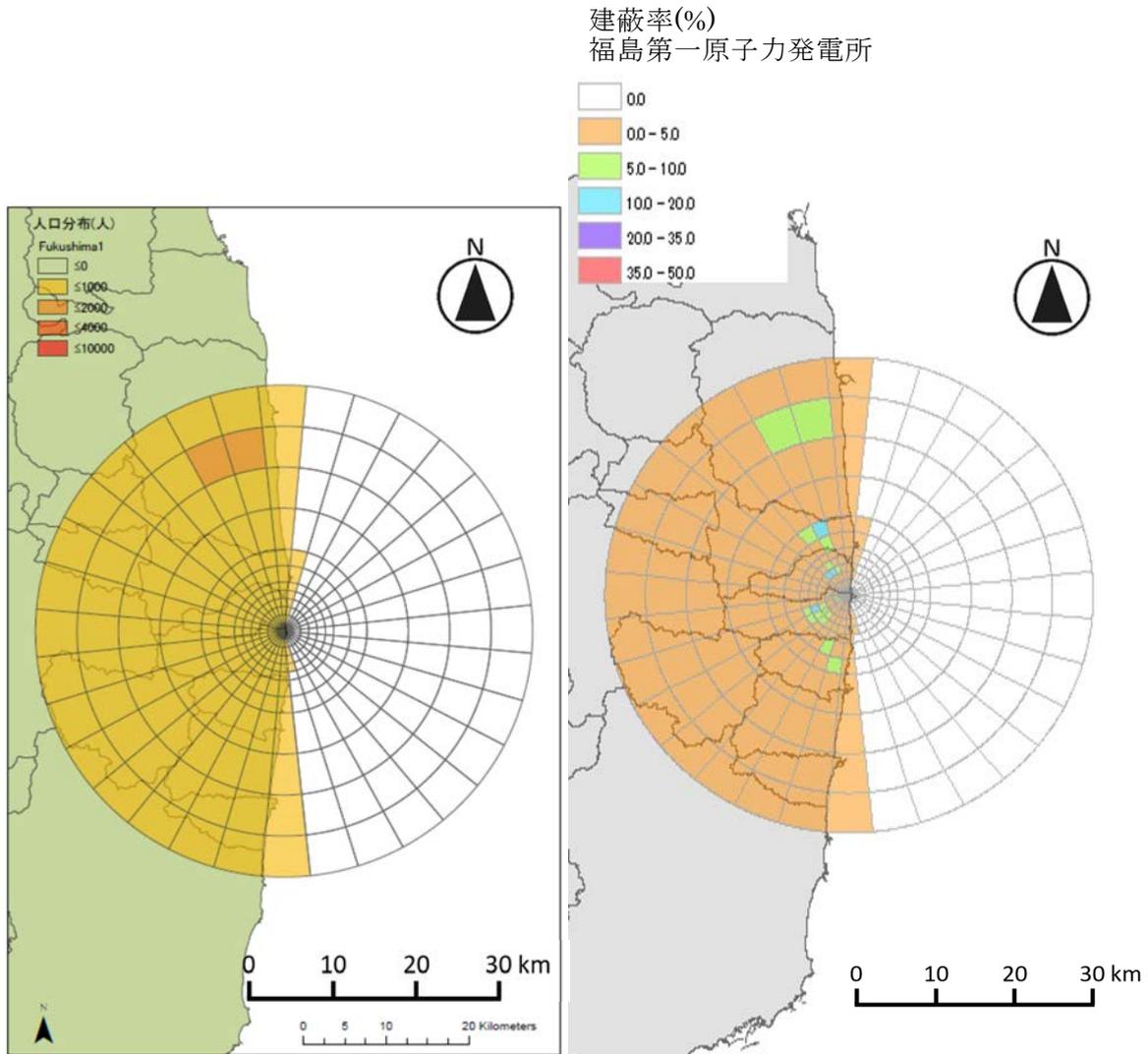


図 4.8 福島第一サイトの人口分布（左）と建蔽率（右）

（国土交通省国土数値情報（行政区域データ）を加工して作成

（URL: https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-N03-v3_0.html）

（令和 5 年 2 月 8 日取得）

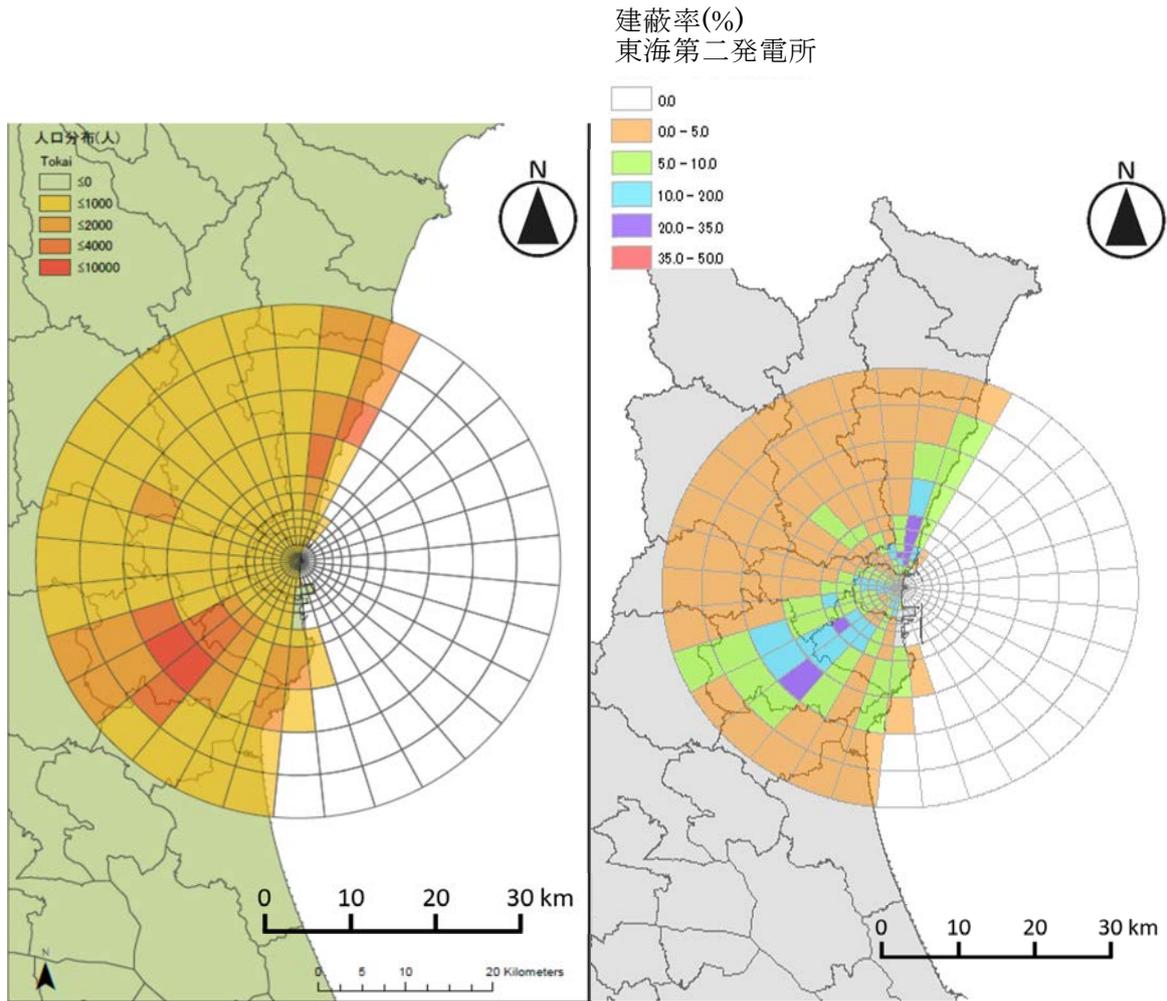


図 4.9 東海サイトの人口分布 (左) と建蔽率 (右)

(国土交通省国土数値情報 (行政区域データ) を加工して作成

(URL: https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-N03-v3_0.html)

(令和 5 年 2 月 8 日取得)

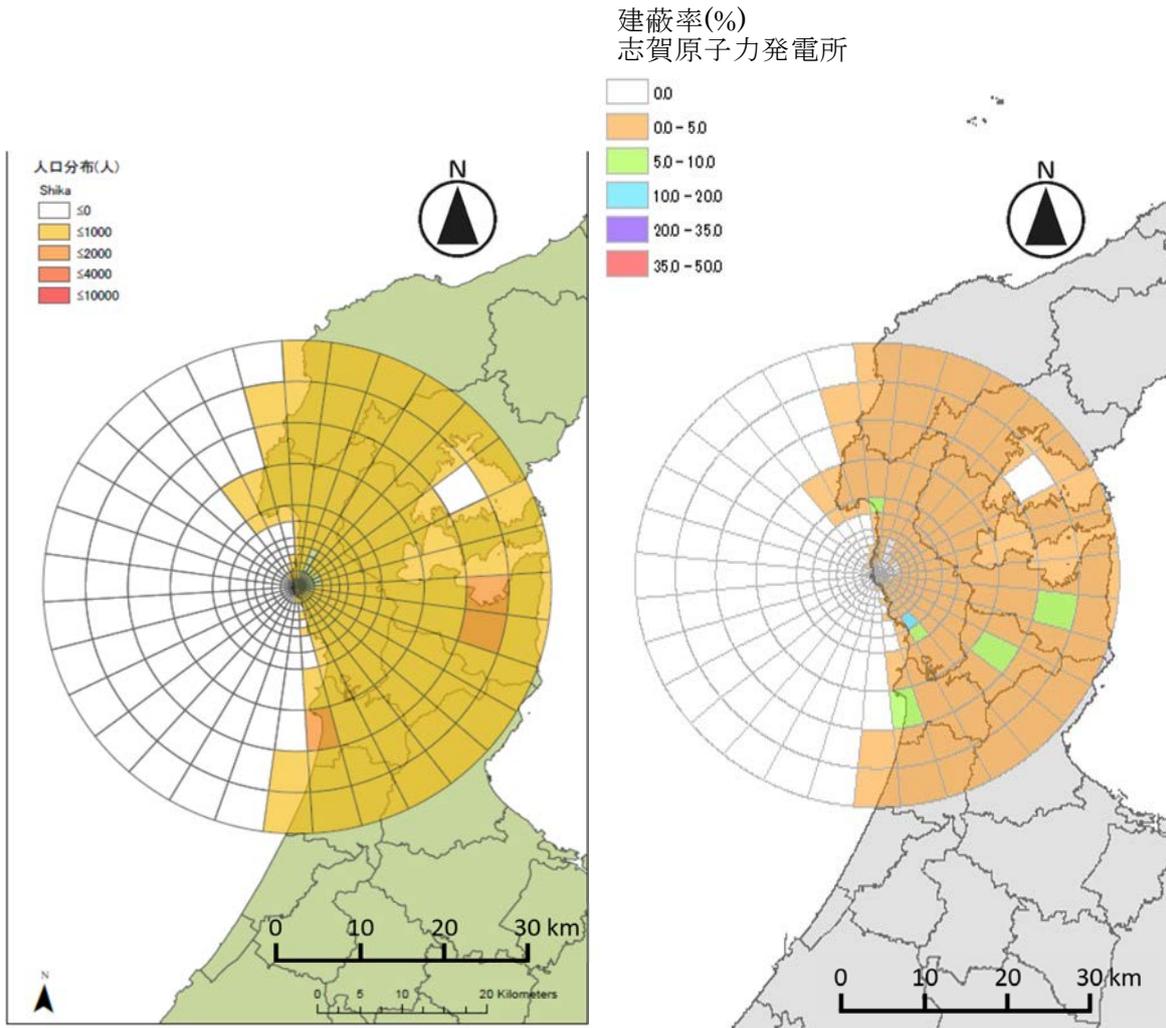


図 4.10 志賀サイトの人口分布（左）と建蔽率（右）

（国土交通省国土数値情報（行政区域データ）を加工して作成

（URL: https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-N03-v3_0.html）

（令和 5 年 2 月 8 日取得）

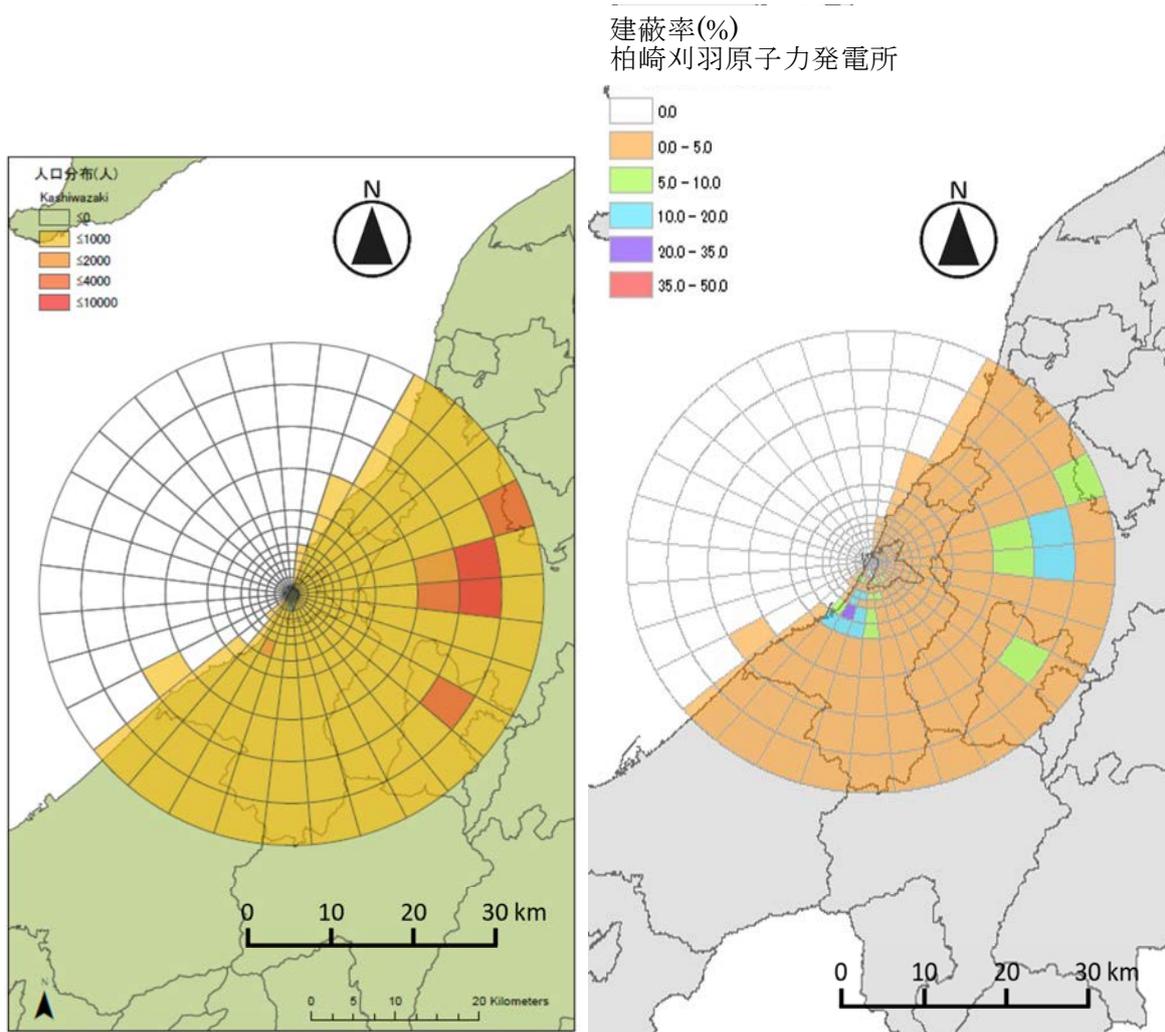


図 4.11 柏崎刈羽サイトの人口分布（左）と建蔽率（右）

（国土交通省国土数値情報（行政区域データ）を加工して作成

（URL: https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-N03-v3_0.html）

（令和 5 年 2 月 8 日取得）

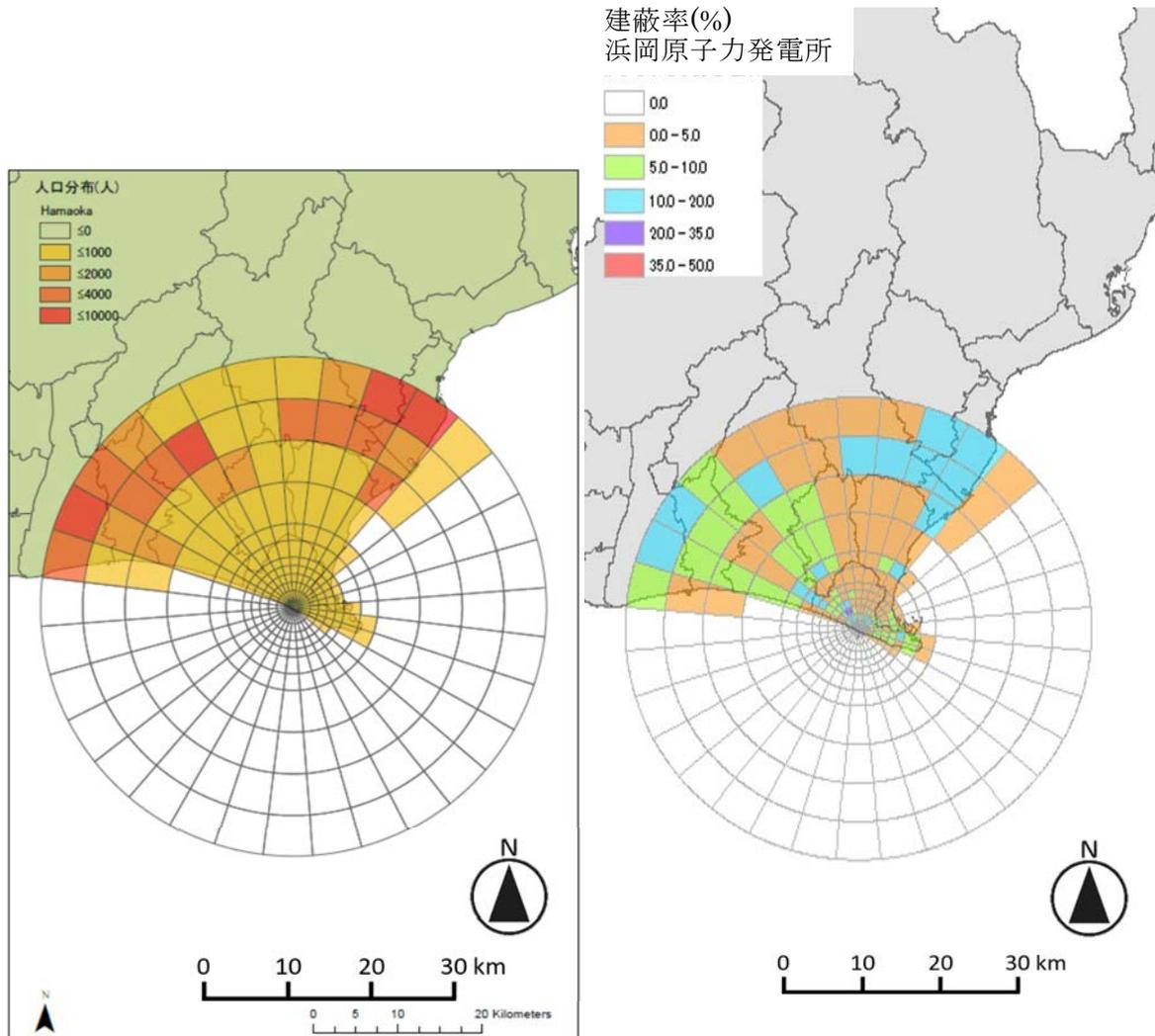


図 4.12 浜岡サイトの人口分布（左）と建蔽率（右）

（国土交通省国土数値情報（行政区域データ）を加工して作成

（URL: https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-N03-v3_0.html）

（令和 5 年 2 月 8 日取得）

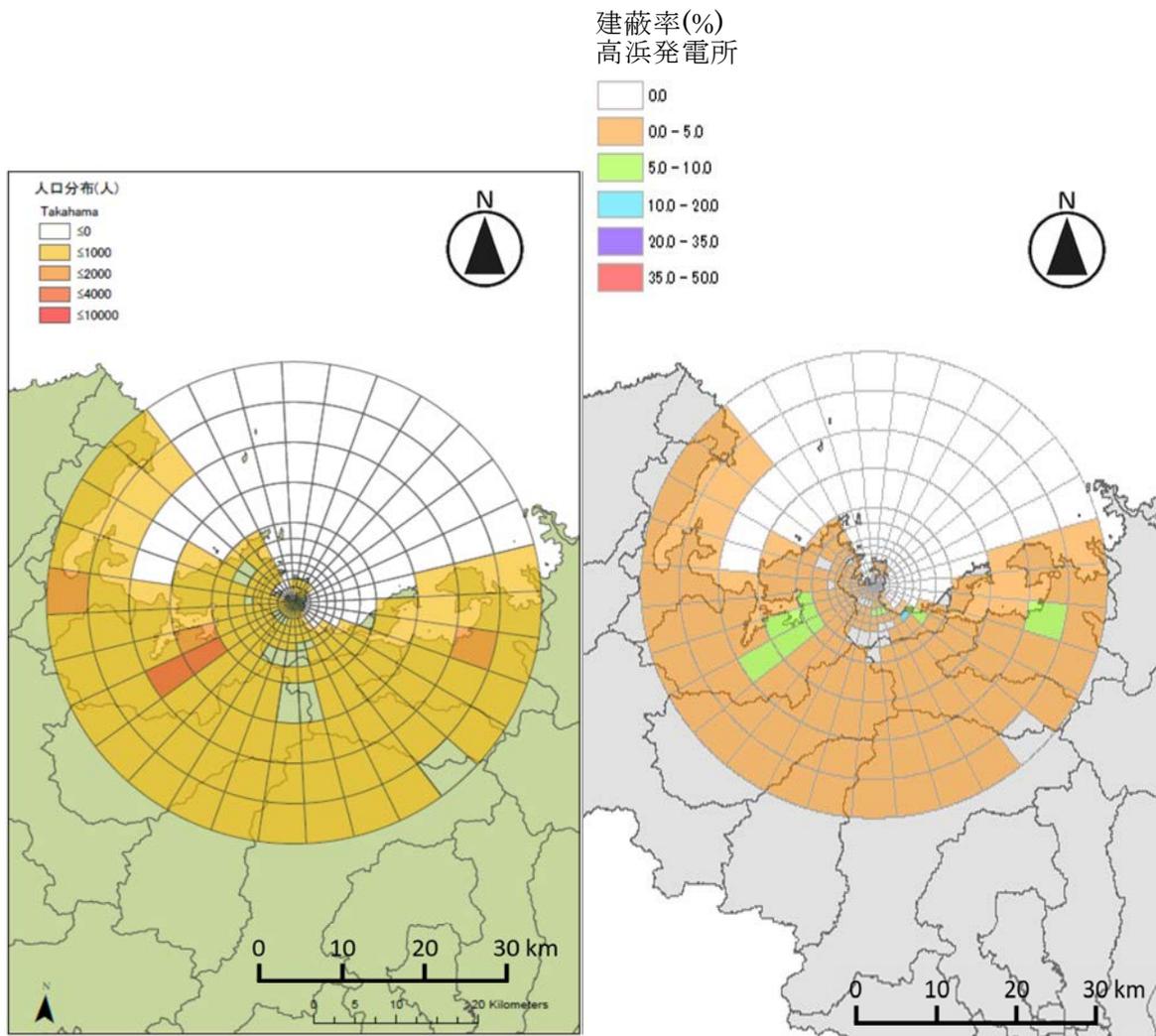


図 4.13 高浜サイトの人口分布（左）と建蔽率（右）

（国土交通省国土数値情報（行政区域データ）を加工して作成

（URL: https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-N03-v3_0.html）

（令和 5 年 2 月 8 日取得）

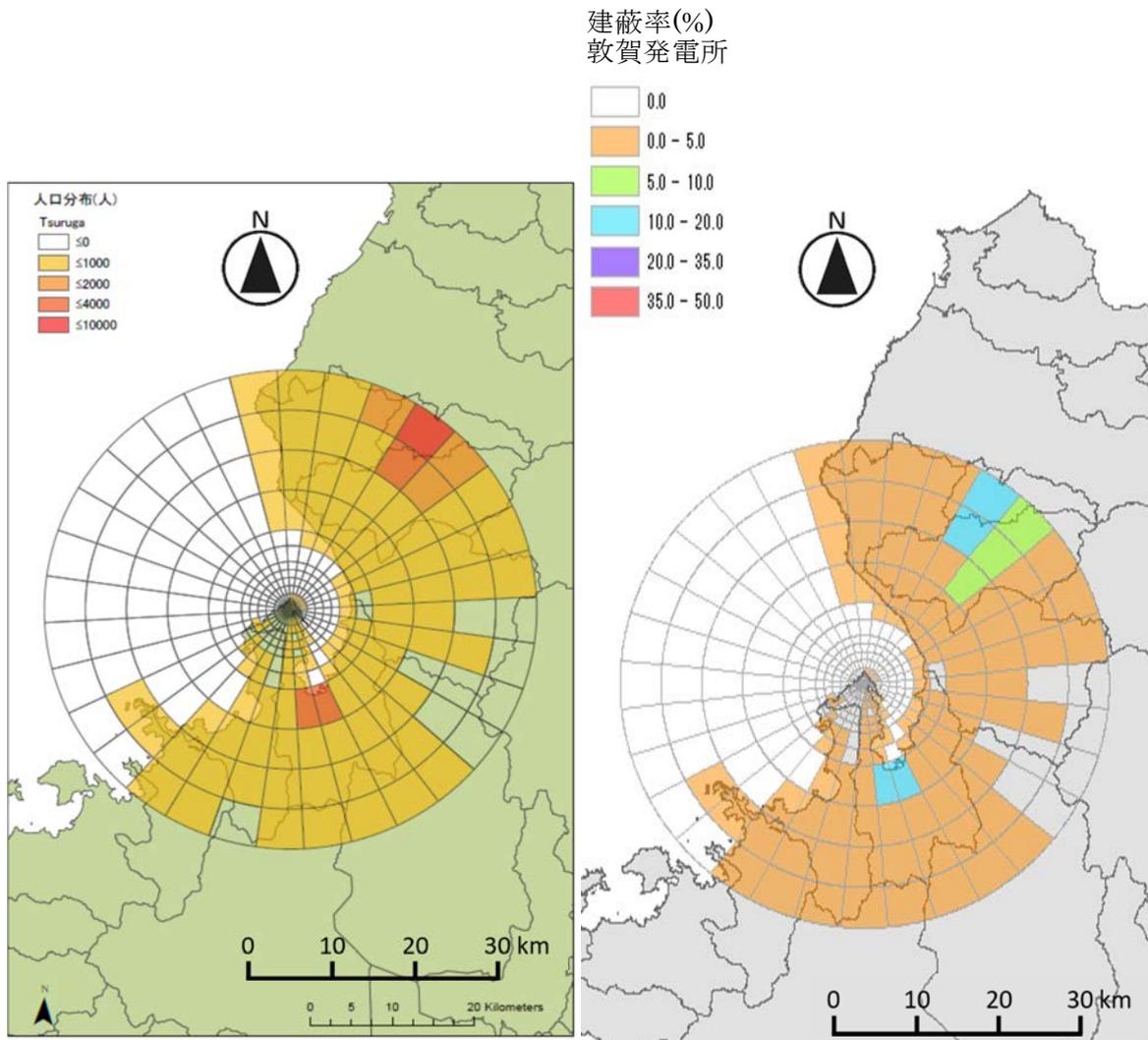


図 4.14 敦賀サイトの人口分布（左）と建蔽率（右）

（国土交通省国土数値情報（行政区域データ）を加工して作成

（URL: https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-N03-v3_0.html）

（令和 5 年 2 月 8 日取得）

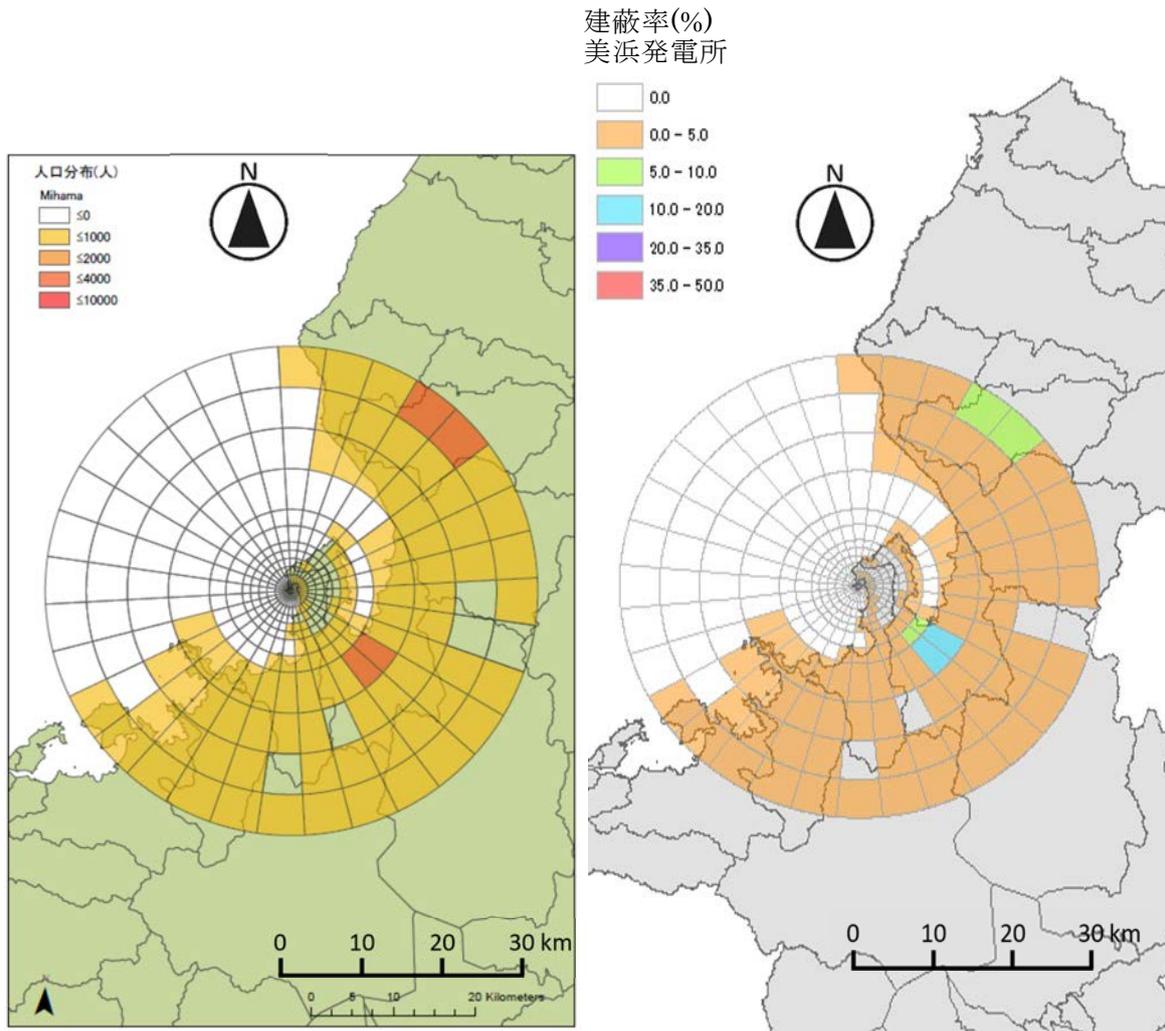


図 4.15 美浜サイトの人口分布（左）と建蔽率（右）

（国土交通省国土数値情報（行政区域データ）を加工して作成

（URL: https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-N03-v3_0.html）

（令和 5 年 2 月 8 日取得）

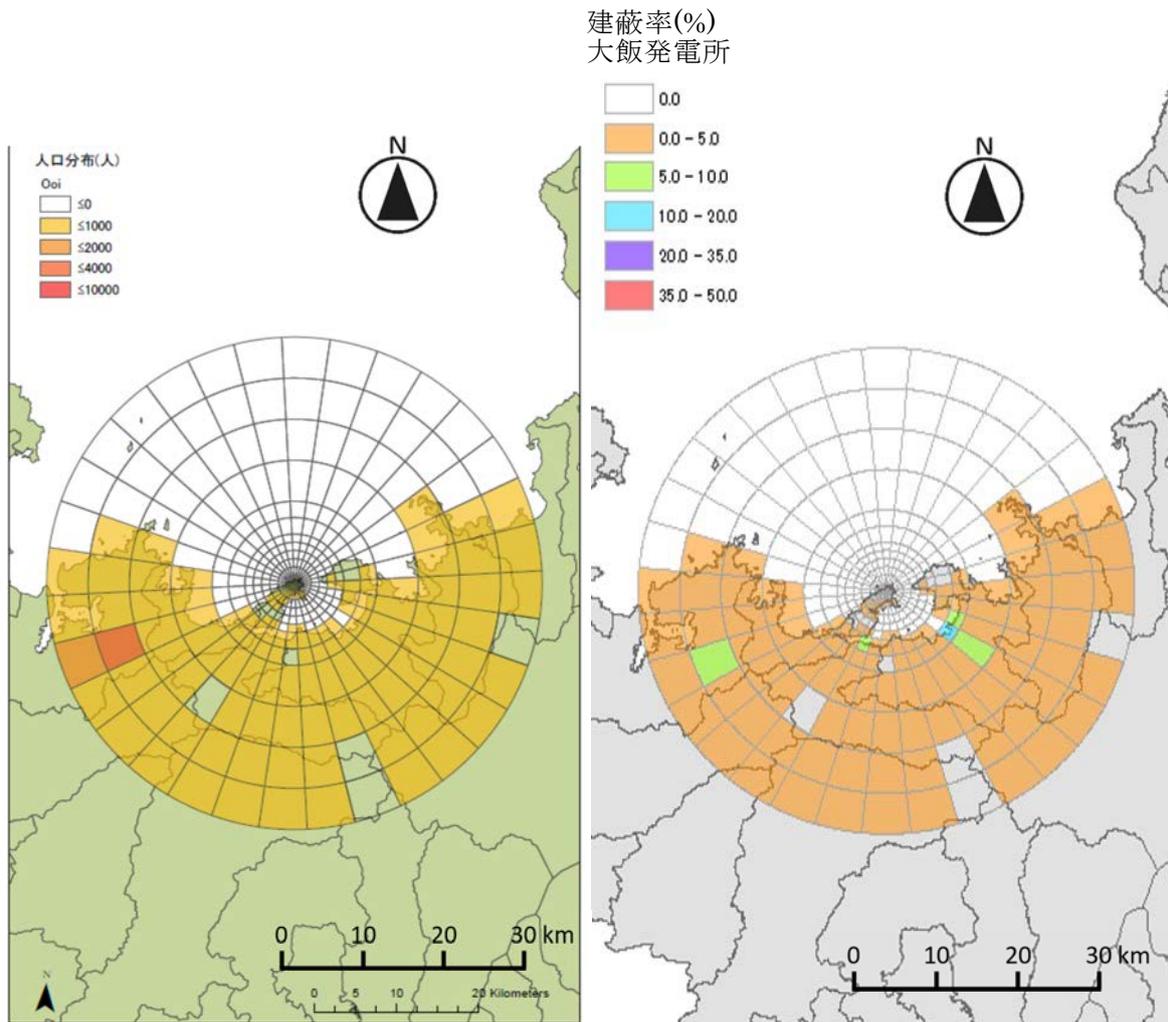


図 4.16 大飯サイトの人口分布（左）と建蔽率（右）

（国土交通省国土数値情報（行政区域データ）を加工して作成

（URL: https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-N03-v3_0.html）

（令和 5 年 2 月 8 日取得）

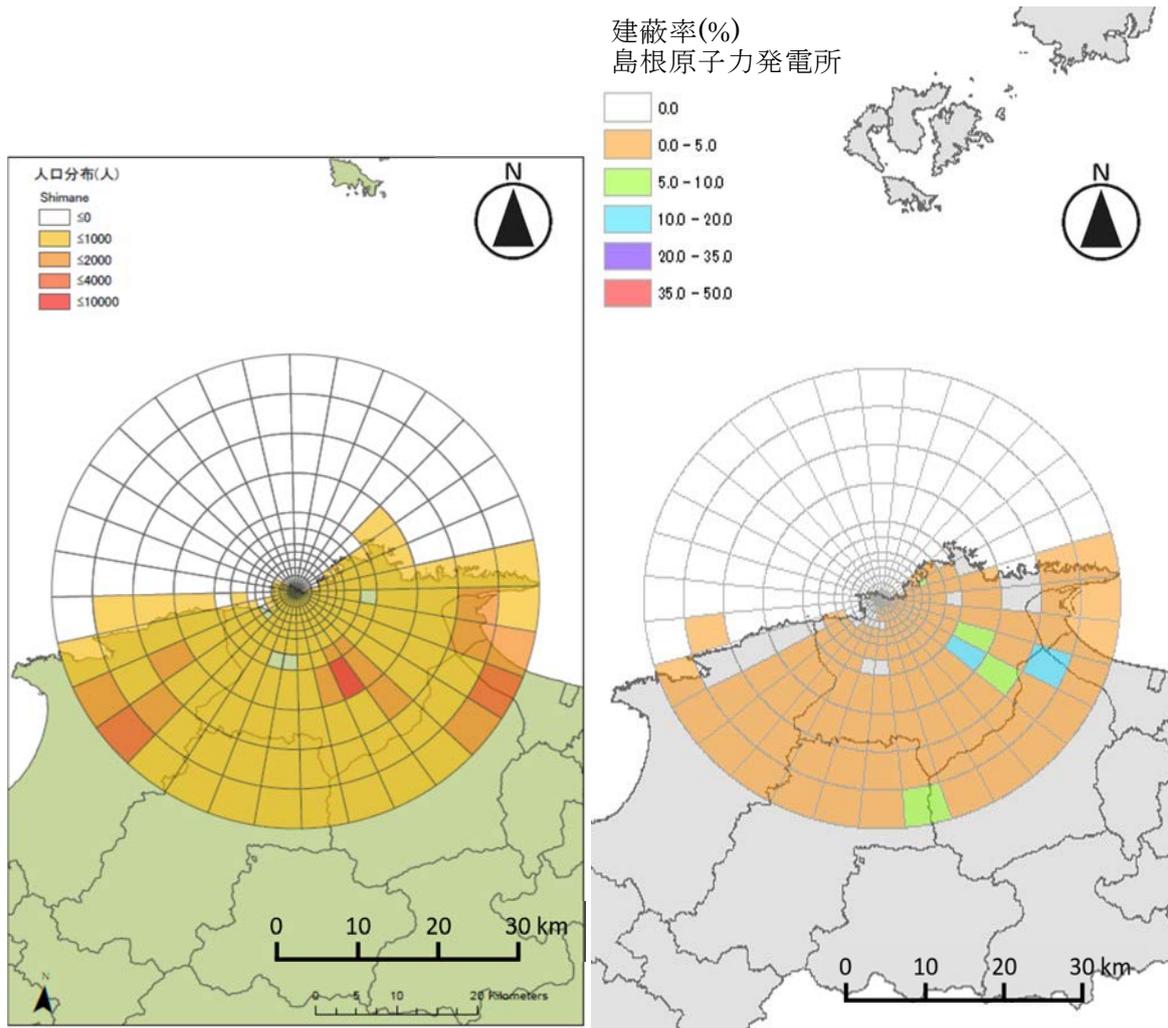


図 4.17 島根サイトの人口分布(左)と建蔽率(右)

(国土交通省国土数値情報(行政区域データ)を加工して作成)

(URL: https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-N03-v3_0.html)

(令和5年2月8日取得)

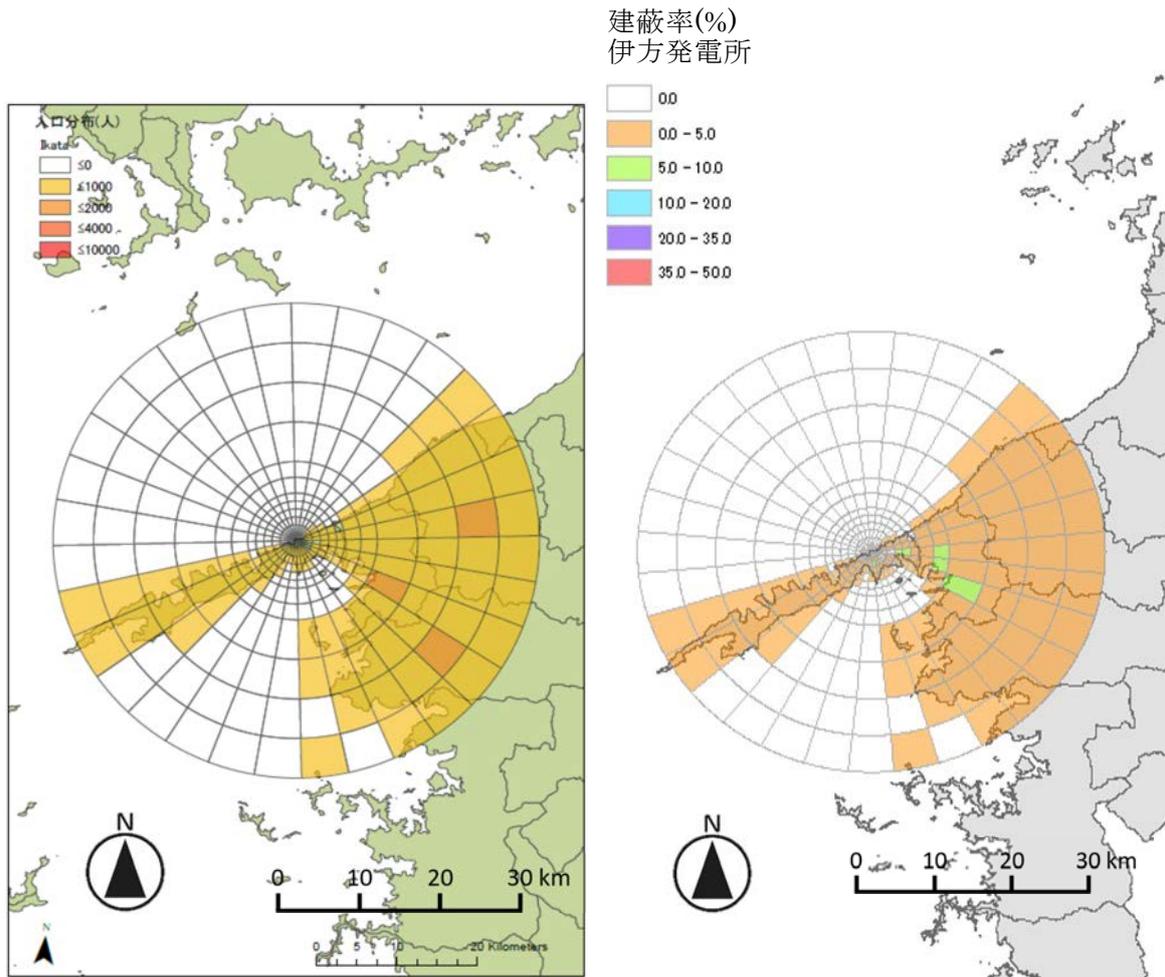


図 4.18 伊方サイトの人口分布（左）と建蔽率（右）

（国土交通省国土数値情報（行政区域データ）を加工して作成

（URL: https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-N03-v3_0.html）

（令和 5 年 2 月 8 日取得）

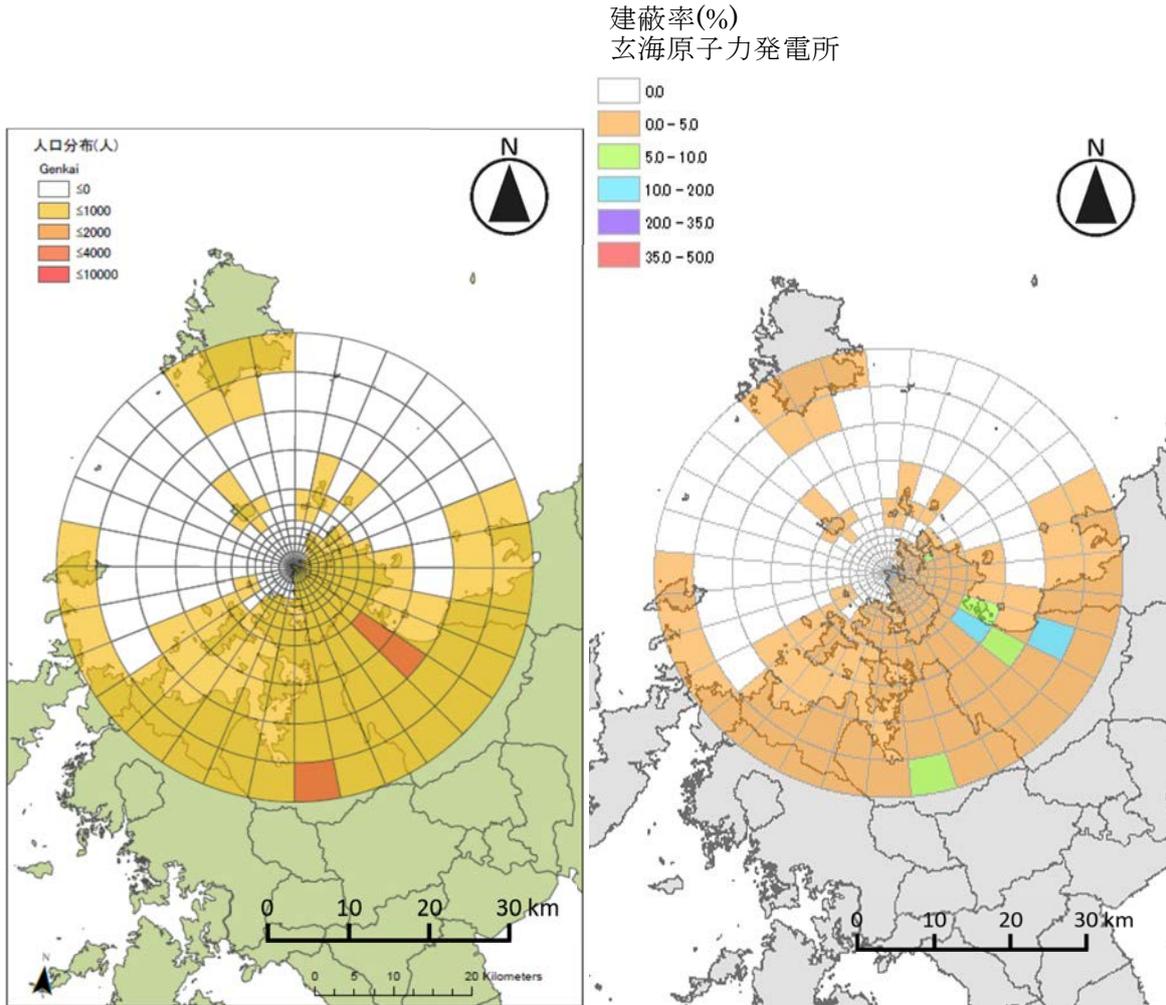


図 4.19 玄海サイトの人口分布（左）と建蔽率（右）

（国土交通省国土数値情報（行政区域データ）を加工して作成

（URL: https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-N03-v3_0.html）

（令和 5 年 2 月 8 日取得）

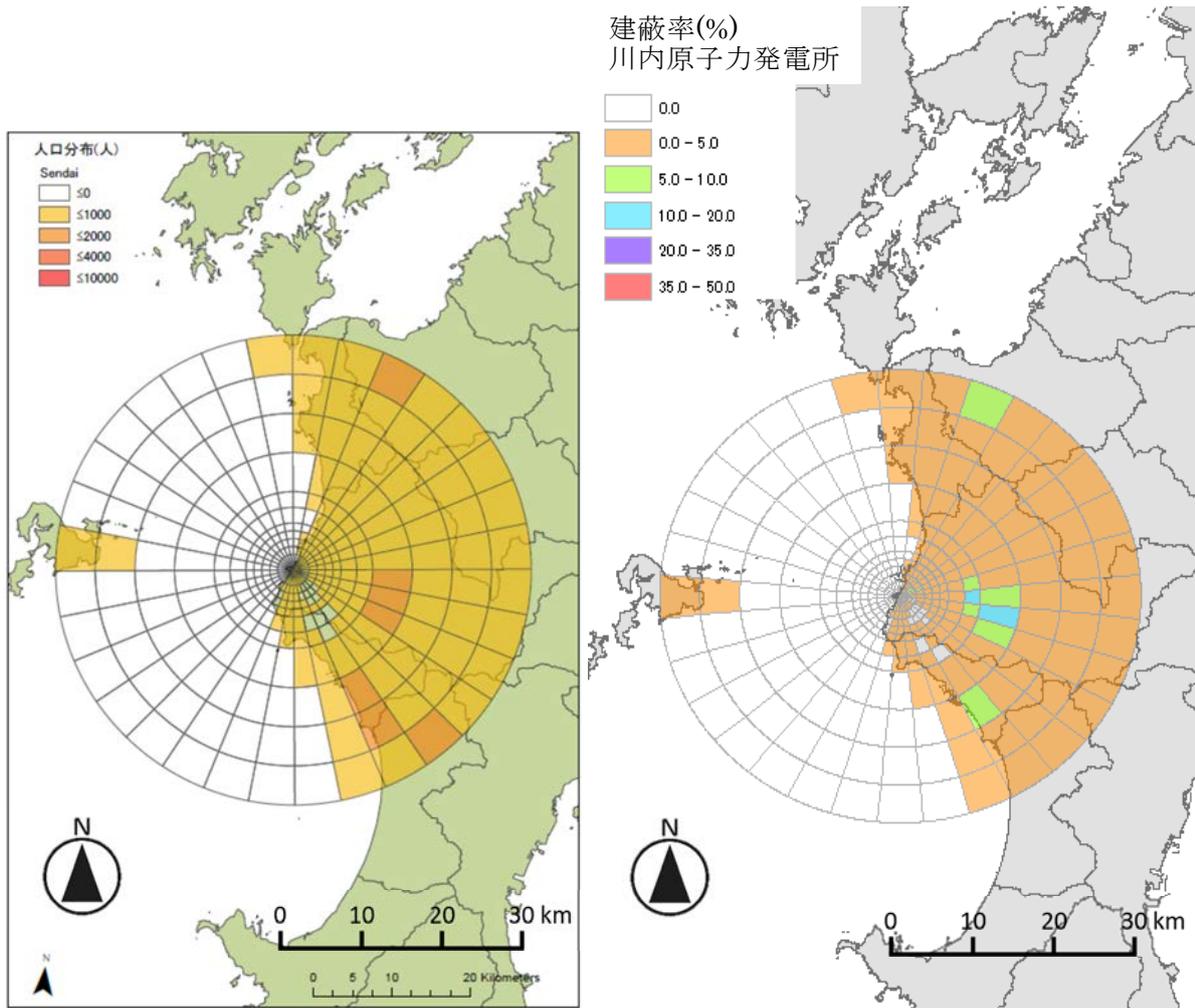


図 4.20 川内サイトの人口分布（左）と建蔽率（右）

（国土交通省国土数値情報（行政区域データ）を加工して作成

（URL: https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-N03-v3_0.html）

（令和 5 年 2 月 8 日取得）

5. 計算結果

全被ばく経路に対する線量や被ばく低減係数は距離ごと、方位別に出力される。ここでは、OSCAAR での確率論的評価と同様に、各距離で人がいる場所の最大線量となる方位の値を抜き出し、それを気象シーケンスごとに低い順に並べ、50%値と 95%値となる値を用いて議論することとした。

5.1. 各サイトの距離別線量

各サイトの距離別実効線量の 50%値と 95%値を図 5.1～図 5.16 に、甲状腺等価線量の 50%値と 95%値を図 5.17～図 5.32 に示す。サイト間の屋外での距離別実効線量及び甲状腺等価線量の 50%値の比較をそれぞれ図 5.33 と図 5.34 に示す。放出点からの距離 1.5 km～30 km の屋外における実効線量の 50%値は早期大規模放出で約 0.01～10,000 mSv、後期大規模放出で 0.001～700 mSv、管理放出で 0.001～7 mSv、Cs-100TBq で 0.001～30 mSv、福島事故で 0.7～1,000 mSv であった。放出点からの距離 1.5 km～30 km の屋外における甲状腺等価線量の 50%値は早期大規模放出で 0.03～20,000 mSv、後期大規模放出で 0.01～9,000 mSv、管理放出で 0.01～50 mSv、Cs-100TBq で 0.001～100 mSv、福島事故で 8～20,000 mSv であった。

ほとんどのサイトで、放出点からの距離が遠くなるにつれて、線量が減少している。ただし、東通、敦賀、美浜、大飯、伊方では、放出点近傍で極端に線量が低くなっている。先述のように、OSCAAR では、各距離で人がいる場所の最大線量となる方位の値を抜き出す。この時、人がいないところでしか線量を観測しなかった場合には、その距離の値を使用しないこととなっている（例えば、東通サイトの近傍では、北西側の人口は 0 となっている。北西側以外の線量が 0 の場合、50%値や 95%値を算出する際には、近傍での値はなかったものとして扱われる）。

東通サイトのように特定の方角にしか人がいないサイトと東海サイトのように万遍なく人がいるサイトでは、50%値の意味合いが異なる可能性がある。特定の方角にしか人がいない場合、濃度の濃いプルームが人のいる方角に直接向かう確率が他のサイトに比べて低くなる。さらに、プルームの吹き返しのよう濃度の低いものを捕らえる確率が相対的に大きくなる。これらにより、特定の方角にしか人がいない距離域の 50%値は万遍なく人がいる距離域の 50%値と比較して小さくなったと考えられる。

5.2. 全体の線量に対する各被ばく経路の割合

線量が 95%となった気象シーケンスに対して、各サイトの 7 日間累積実効線量に対する各被ばく経路の割合を図 5.35～図 5.50 に、7 日間累積甲状腺等価線量に対する各被ばく経路の割合を図 5.51～図 5.66 に示す。管理放出と Cs-100TBq では、クラウドシャインが最も大きな被ばく経路であり、早期大規模放出、後期大規模放出、福島事故では、吸入摂取またはグラウンドシャインが最も大きな被ばく経路であった。同じ事故シナリオであれば、放出点からの距離の違いによって、一部グラウンドシャインからの寄与が徐々に大きくなる傾向は見られたものの、各被ばく経路の割合が大きく変わることはなかった。また、屋内外の寄与割合をみる

と、どの事故シナリオにおいても屋内での吸入摂取の寄与が屋外よりも小さくなり、その分屋内でのクラウドシャインまたはグラウンドシャインの寄与が大きくなる傾向であった。

事故シナリオによって被ばく経路の割合が異なる理由は、環境中に放出される核種組成が異なることに起因する。表 4.2 に示されるように、管理放出と Cs-100TBq では、他の事故シナリオと比べて I 類と Cs-Rb 類が二桁程度小さい。このことより、管理放出と Cs-100TBq では、希ガス類が被ばく線量に大きく寄与することとなる。希ガス類は吸入摂取とグラウンドシャインに寄与しない。これらのことより、管理放出と Cs-100TBq では、クラウドシャインが主な被ばく経路となった。一方、他の事故シナリオでは、I 類や Cs-Rb 類の被ばく線量への寄与が大きくなり、これらの核種はクラウドシャイン以外にも吸入摂取とグラウンドシャインにも寄与するため、クラウドシャインからの寄与が相対的に小さくなった。

各被ばく経路の屋内退避による被ばく低減係数は、クラウドシャインで約 0.7~0.8、グラウンドシャインで約 0.5 である。吸入被ばくの被ばく低減係数は 5.5 節で詳細に述べるが、気象条件によって大きく異なり、各サイトでの被ばく低減係数の 50% 値は約 0.3~0.5 であった (図 5.105)。このように、屋内では、グラウンドシャインと吸入被ばくの寄与がクラウドシャインと比べて大きく減少するため、クラウドシャインの寄与が相対的に増加した。

以上の傾向は、甲状腺等価線量でもほとんど同じであった。ただし、甲状腺等価線量に最も寄与するのは I 類の吸入摂取であるため、希ガス類の多い管理放出と Cs-100TBq では、クラウドシャインの寄与が小さくなり、その分吸入摂取の寄与が増加した。

5.3. 線量のサイト間比較

放出点から 5.5 km 地点での実効線量と甲状腺等価線量のサイト間の比較をそれぞれ図 5.67 と図 5.68 に示す。95% 値はサイトによらずオーダーで一致しているものの、50% 値は 1 桁以上小さくなっているサイトもあった。これは 5.1 節で述べたように人口分布の違いによるものである。95% 値はどのサイトであっても、プルームが直接通過した時の値を出力していると考えられるため、サイト間の違いは小さかった。一方、50% 値は人口が周囲に万遍なくいるサイトではプルームが直接通過した時の値を出力しているのに対し、人口がまばらなサイトでは吹き返し等による濃度の低いプルームが通過した時の値を出力していると考えられるため、東通、敦賀、美浜、大飯、伊方では他のサイトに比べて 50% 値が 1 桁以上小さくなったと考えられる。

5.4. 各サイトでの全経路に対する被ばく低減係数

各サイトでの実効線量の全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布を図 5.69~図 5.84 に、甲状腺等価線量の全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布を図 5.85~図 5.100 に示す。これらの頻度分布を作成するにあたり、全気象シーケンス及び全距離（最大となる方位）で求めた全経路に対する被ばく低減係数を利用した。実効線量と甲状腺等価線量とともに、管理放出と Cs-100TBq の場合に全経路に対する被ばく低減係数が他の事故シナリオよりも大きかった。また、実効線量の全経路に対する被ばく低減係数は甲状腺等価線量の全経路に対する被ばく低減係数よりも大きかった。

事故シナリオの違いによる全経路に対する被ばく低減係数の違いは核種組成の違いによるものである。先に述べたように、管理放出と Cs-100TBq では他のシナリオと比べて、希ガスの寄与が大きい。そのため、5.2 節で述べたようにクラウドシャインからの寄与が大きくなり、全経路に対する被ばく低減係数はクラウドシャインの被ばく低減係数（約 0.7～0.8）の値に近くなる。一方、他のシナリオでは、クラウドシャインの寄与が小さくなり、全経路に対する被ばく低減係数はグラウンドシャインや吸入被ばくの被ばく低減係数（約 0.3～0.5）の値に近くなる。

実効線量の全経路に対する被ばく低減係数が甲状腺等価線量の全経路に対する被ばく低減係数よりも大きくなるのは、甲状腺等価線量の希ガスからの寄与が小さくなり、ヨウ素からの寄与が大きくなるためである。そのため、5.2 節で述べたように甲状腺等価線量の場合、クラウドシャインからの寄与が小さくなり、その代わりに吸入被ばくからの寄与が相対的に大きくなっている。この結果、甲状腺等価線量の場合には、全経路に対する被ばく低減係数は吸入被ばくの被ばく低減係数に近づき、実効線量の全経路に対する被ばく低減係数よりも甲状腺等価線量の全経路に対する被ばく低減係数の方が小さくなった。

なお、全経路に対する被ばく低減係数に幅が生じているのは、吸入被ばくの被ばく低減係数が風速によって異なることから生じている。5.5 節でも述べるが、一般的には風速が大きいほど吸入被ばくの被ばく低減係数は大きくなる傾向である。ピーク値や変動範囲がサイトによって異なるのは、サイトごとに風速の最頻値や変動幅が異なることに起因する。

5.5. 全経路に対する被ばく低減係数のサイト間比較

全経路に対する被ばく低減係数の 50% 値と 95% 値のサイト間比較を図 5.101（実効線量）と図 5.102（甲状腺等価線量）に示す。また、全経路に対する被ばく低減係数の 50% 値と風速の 50% 値の関係を図 5.103（実効線量）と図 5.104（甲状腺等価線量）に示す。図 5.101 と図 5.102 には、風速の 50% 値と 95% 値のサイト間比較を合わせて示している。全経路に対する被ばく低減係数の 50% 値は実効線量の場合、早期大規模放出、後期大規模放出、福島事故で 0.4～0.6、管理放出と Cs-100TBq で 0.6～0.7、甲状腺等価線量の場合、全ての事故シナリオで 0.4～0.6 であった。このように全経路に対する被ばく低減係数の 50% 値はサイト間で 20% 程度異なっており、風速が大きいサイトで全経路に対する被ばく低減係数が大きくなる傾向が見られた。また、全経路に対する被ばく低減係数と風速の関係（図 5.103 と図 5.104）を見ると、線形関係が見られた。傾きは事故シナリオや線量（実効線量または甲状腺等価線量）によって異なるものの、同じ条件であれば放出点からの距離（PAZ と UPZ¹⁶）による違いはほとんど見られなかった。

本解析では、外部被ばくの被ばく低減係数はサイト間によらず一定であり、吸入被ばくの被ばく低減係数のみがサイト間で異なる。吸入被ばくの被ばく低減係数のサイト間の比較を図 5.105 に示す。吸入被ばくの被ばく低減係数に影響を与える因子のうち、サイト間で異なるの

¹⁶ PAZ（Precautionary Action Zone：予防的防護措置を準備する区域）は、原子力施設から概ね半径 5 km 圏内（発電用原子炉の場合）である。UPZ（Urgent Protective action planning Zone：緊急防護措置を準備する区域）は、PAZ の外側の概ね半径 30 km 圏内（発電用原子炉の場合）である。

は風速と建蔽率である。

図 5.105 に示した吸入被ばくの被ばく低減係数の大小は図 5.101 と図 5.102 に示した全経路に対する被ばく低減係数の大小関係と同じであった。サイトごとに吸入被ばくの被ばく低減係数を見ると、浜岡、島根、伊方、玄海、川内では、他のサイトよりも吸入被ばくの被ばく低減係数が 0.1 程度大きいことが分かる。図 5.101 と図 5.102 に示されるように、これらのサイトでは風速も他のサイトよりも 2 m s^{-1} 程度大きいことが分かり、吸入被ばくの被ばく低減係数がサイト間の違いに影響を与えていることが分かる。

他の影響因子として建蔽率に着目すると、図 4.5～図 4.20 の右側より東海と浜岡は 30 km 圏内全体で他のサイトよりも建蔽率が高いことが分かる。平均風速がほぼ同じであるサイト間で被ばく低減係数を比較した場合、東海は他のサイト（例えば、女川や福島第一）よりも 0.05 程度小さくなっており、浜岡は他のサイト（例えば、玄海や川内）よりも 0.05 程度小さくなって

いる。このように、サイト間の吸入被ばくの被ばく低減係数の違いは風速や建蔽率であることが示された。さらに、風速の方が建蔽率よりも吸入被ばくの被ばく低減係数のサイト間の違いに大きく影響することが示されており、この結果は感度解析結果（Hirouchi et al. (2022)²⁾）と同じであった。

今までの OSCAAR を利用した解析では、屋内退避による全経路に対する被ばく低減係数はサイトや気象条件によらず一定としてきた。本研究で示した結果は、サイトによらず全経路に対する被ばく低減係数を一定とした場合には、風速が強いサイトでは全経路に対する被ばく低減係数を過小評価する可能性があることを示している。

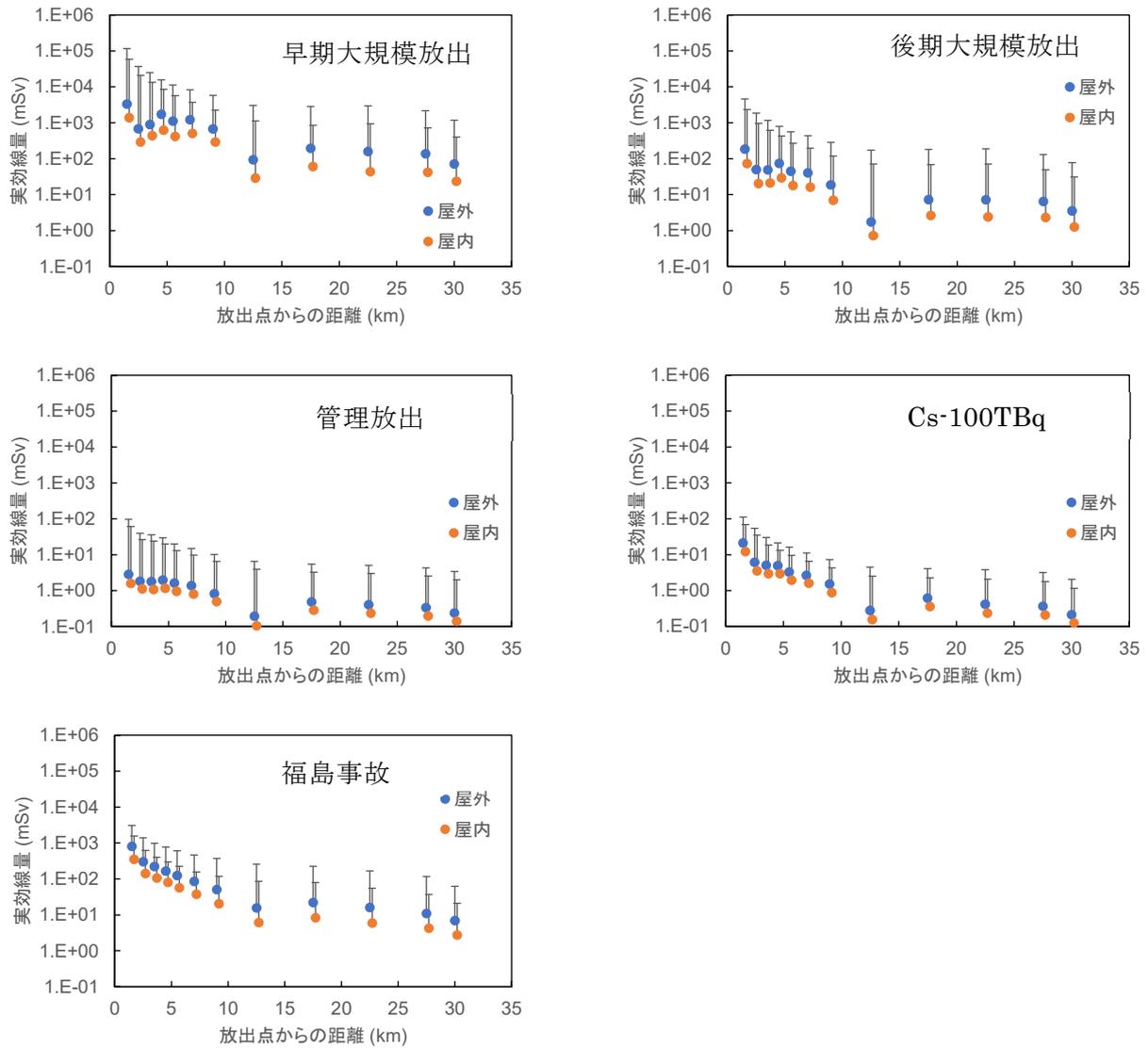


図 5.1 泊サイトにおける距離別 7 日間累積実効線量
 プロットが 50% 値、エラーバーの上端が 95% 値である。
 屋内のプロットは x 軸を 0.2 km 分プラスして示している。

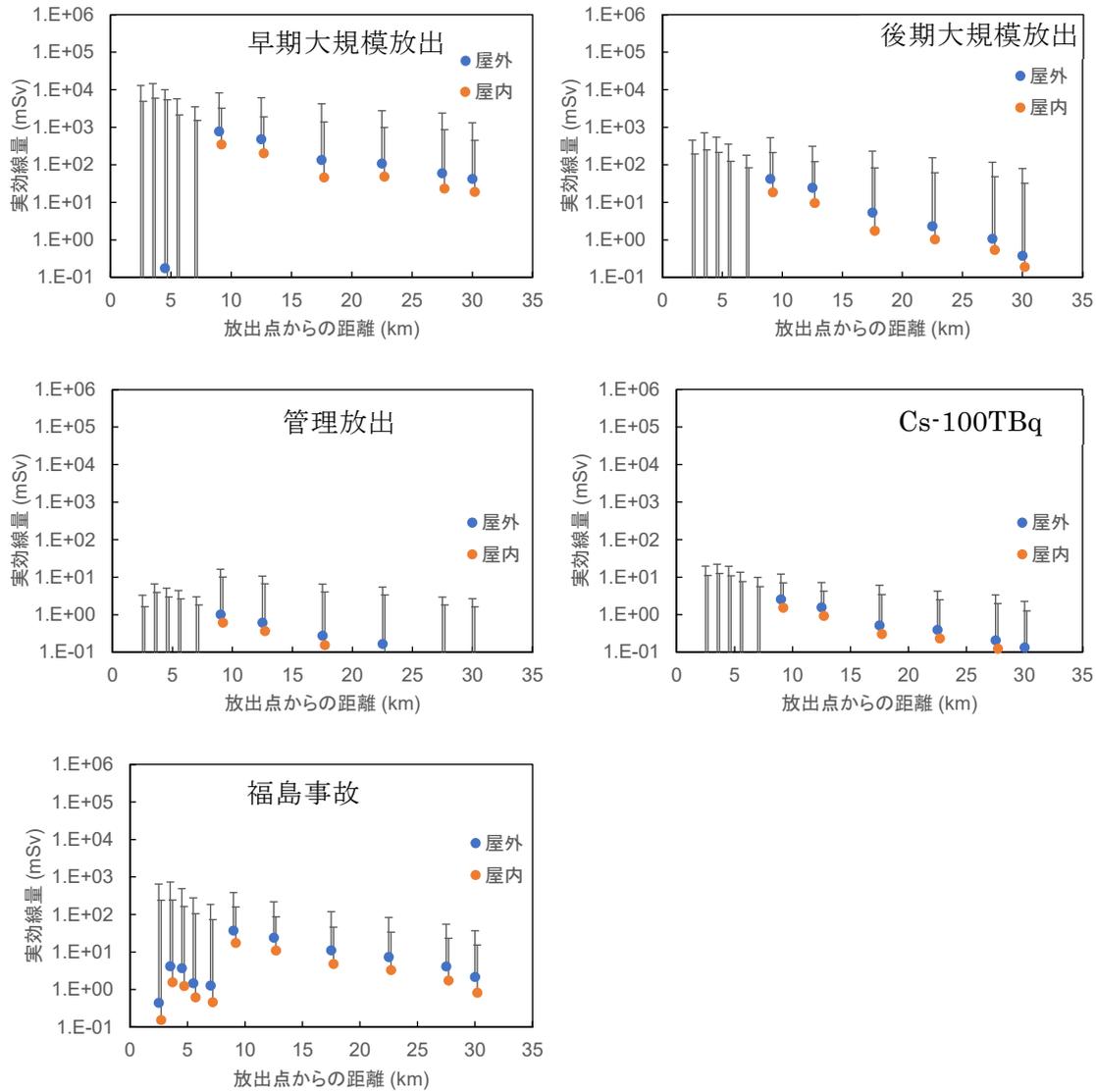


図 5.2 東通サイトにおける距離別 7 日間累積実効線量
 プロットが 50% 値、エラーバーの上端が 95% 値である。
 屋内のプロットは x 軸を 0.2 km 分プラスして示している。

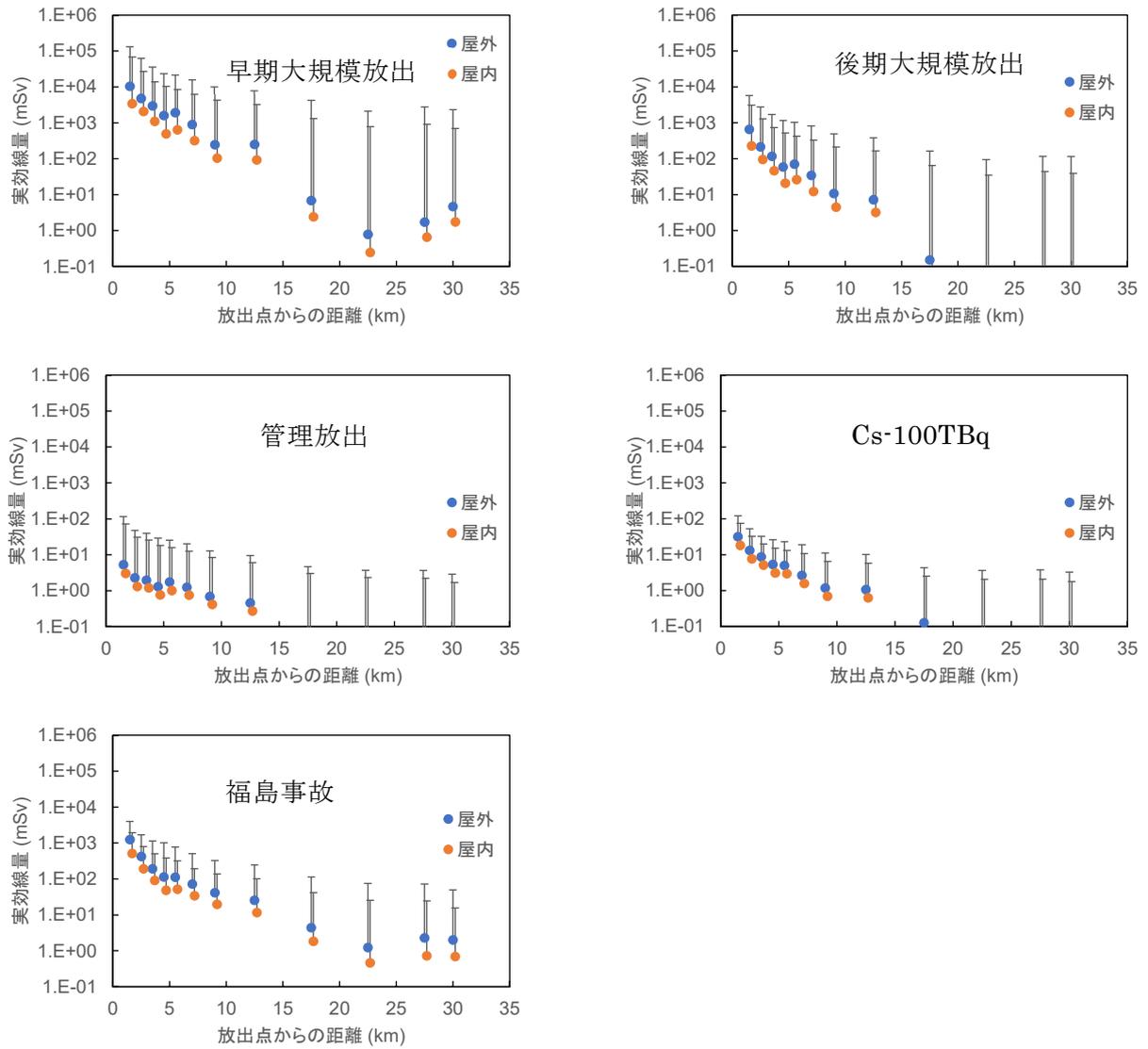


図 5.3 女川サイトにおける距離別 7 日間累積実効線量
 プロットが 50% 値、エラーバーの上端が 95% 値である。
 屋内のプロットは x 軸を 0.2 km 分プラスして示している。

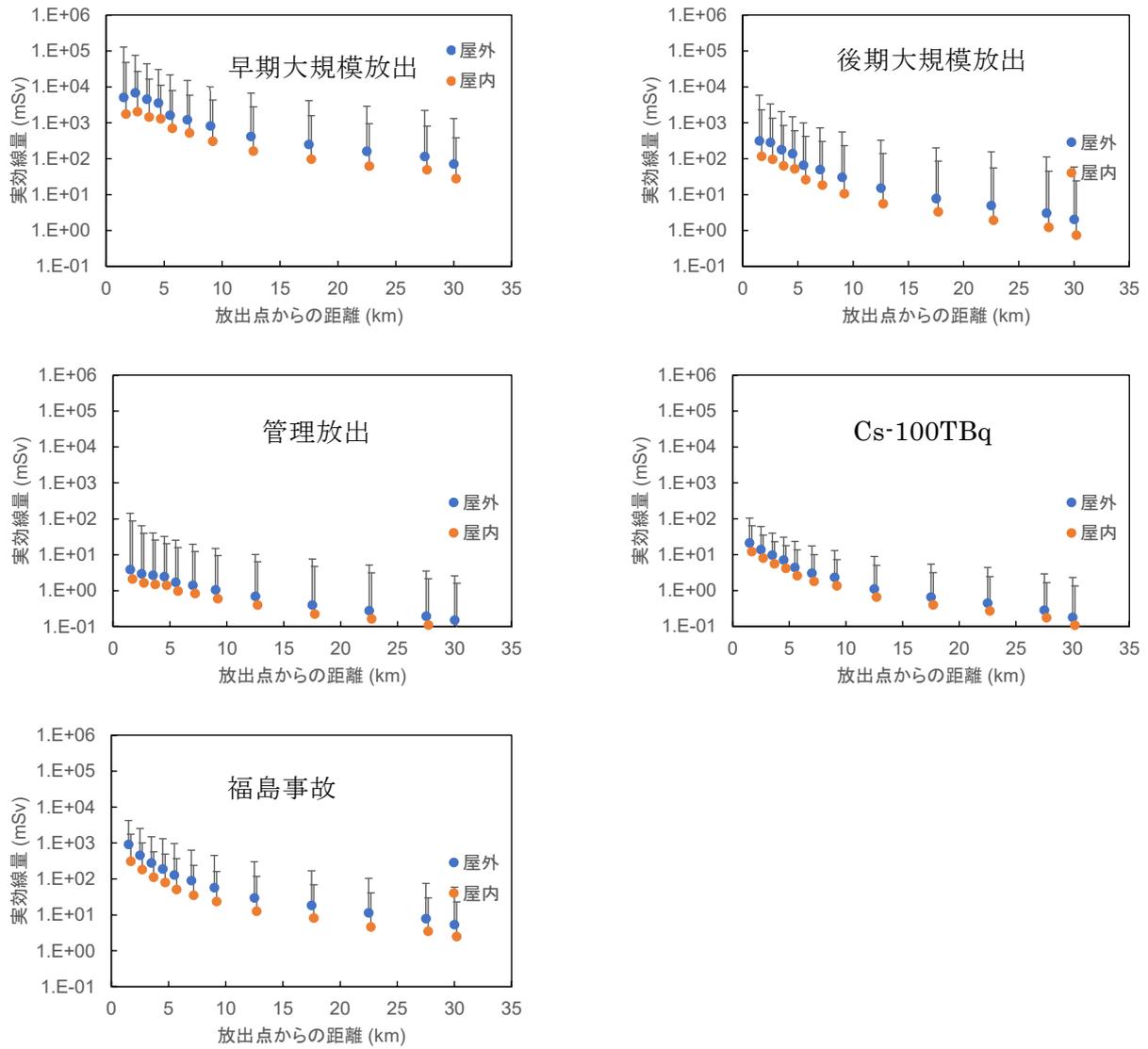


図 5.4 福島第一サイトにおける距離別 7 日間累積実効線量

プロットが 50% 値、エラーバーの上端が 95% 値である。
 屋内のプロットは x 軸を 0.2 km 分プラスして示している。

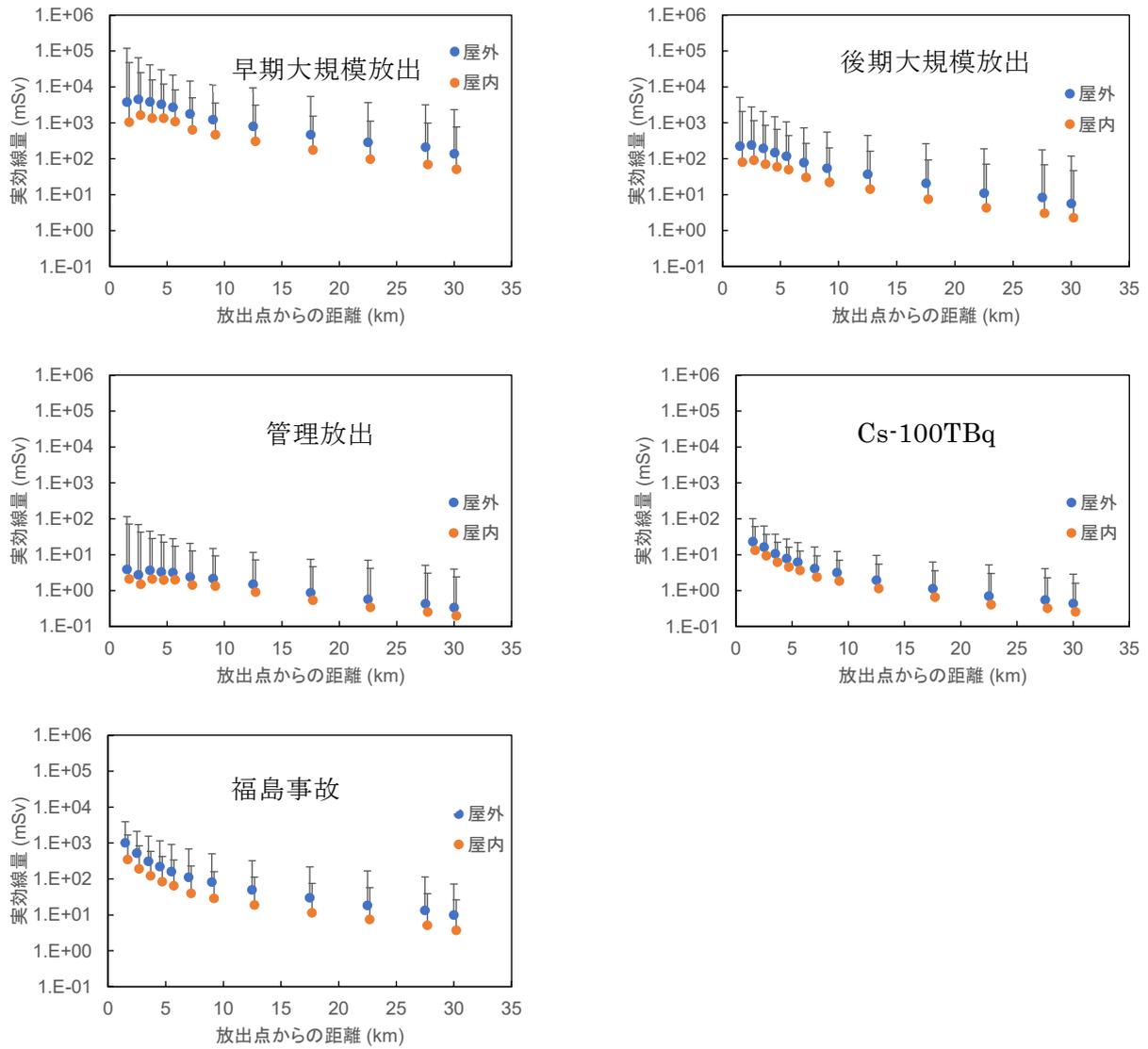


図 5.5 東海サイトにおける距離別 7 日間累積実効線量
 プロットが 50% 値、エラーバーの上端が 95% 値である。
 屋内のプロットは x 軸を 0.2 km 分プラスして示している。

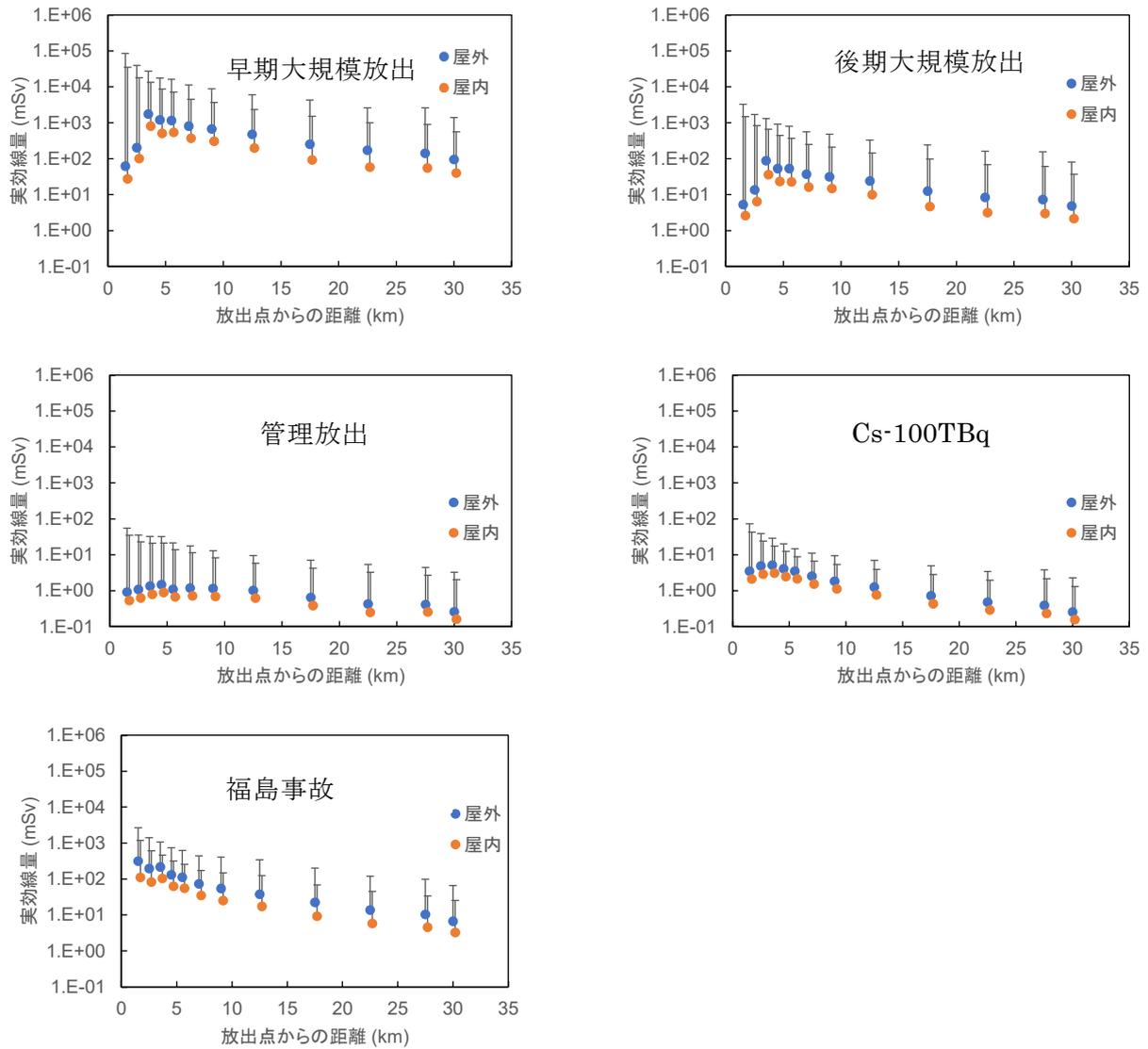


図 5.6 志賀サイトにおける距離別 7 日間累積実効線量
 プロットが 50% 値、エラーバーの上端が 95% 値である。
 屋内のプロットは x 軸を 0.2 km 分プラスして示している。

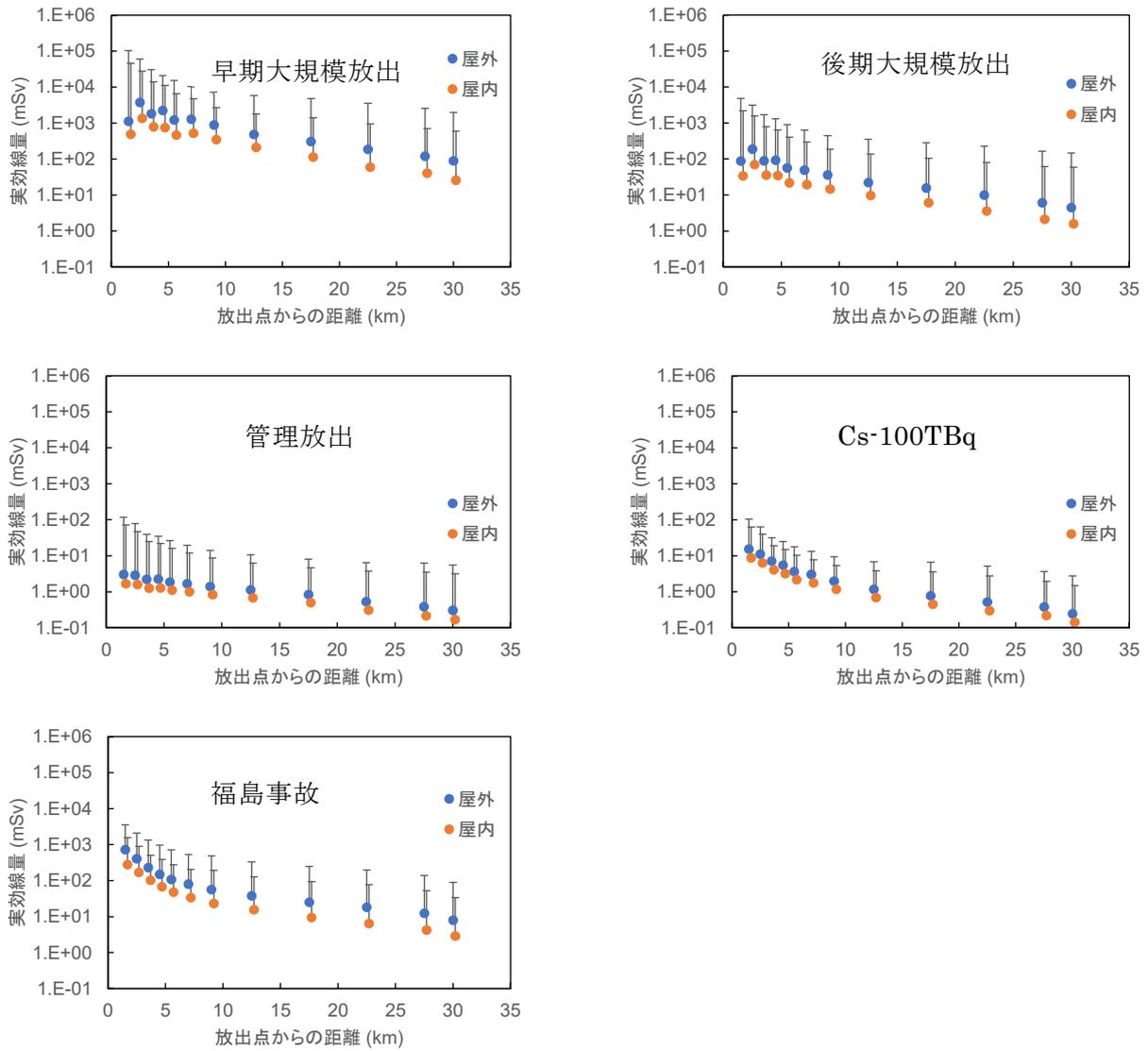


図 5.7 柏崎刈羽サイトにおける距離別 7 日間累積実効線量

プロットが 50% 値、エラーバーの上端が 95% 値である。
 屋内のプロットは x 軸を 0.2 km 分プラスして示している。

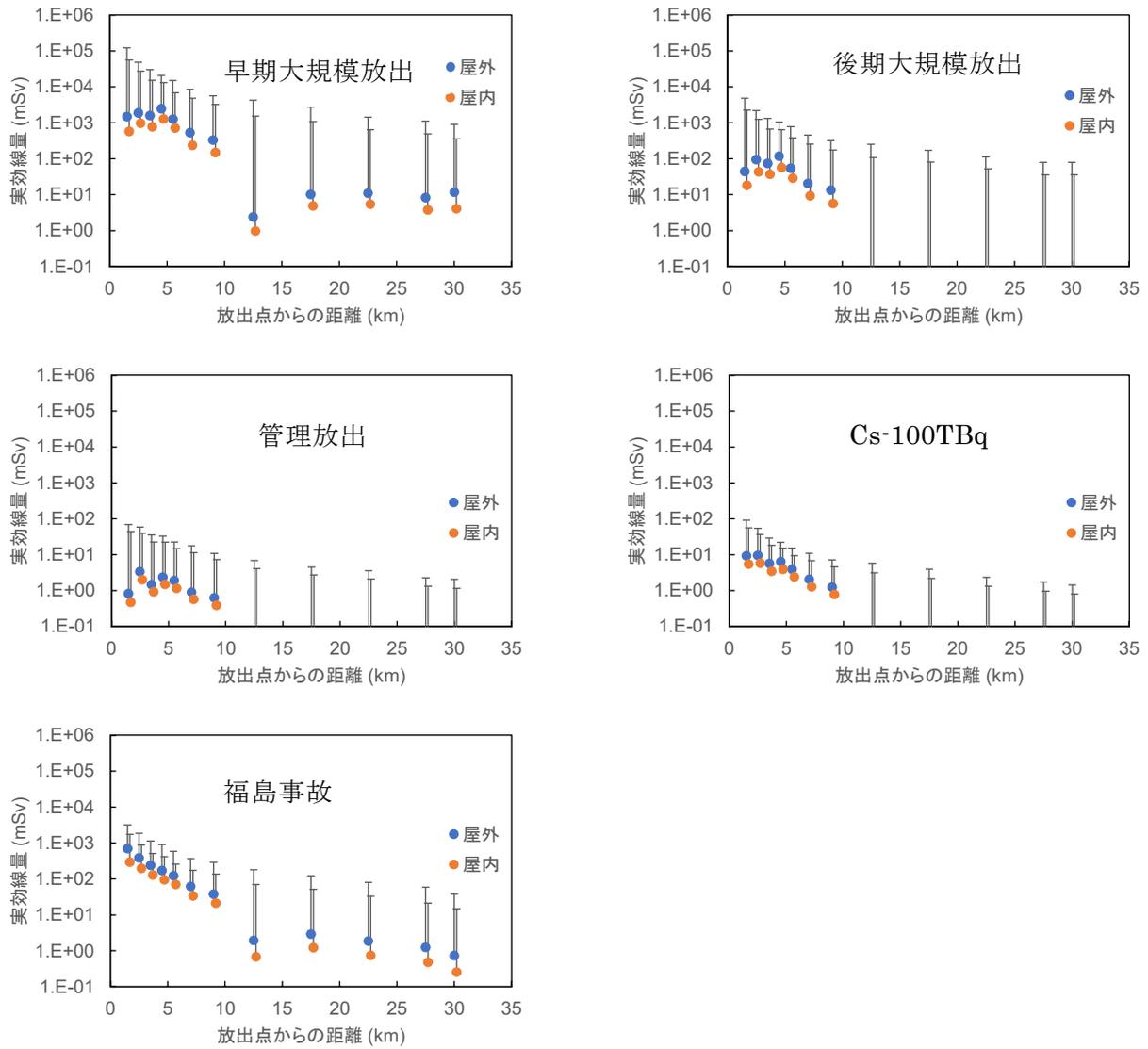


図 5.8 浜岡サイトにおける距離別 7 日間累積実効線量
 プロットが 50% 値、エラーバーの上端が 95% 値である。
 屋内のプロットは x 軸を 0.2 km 分プラスして示している。

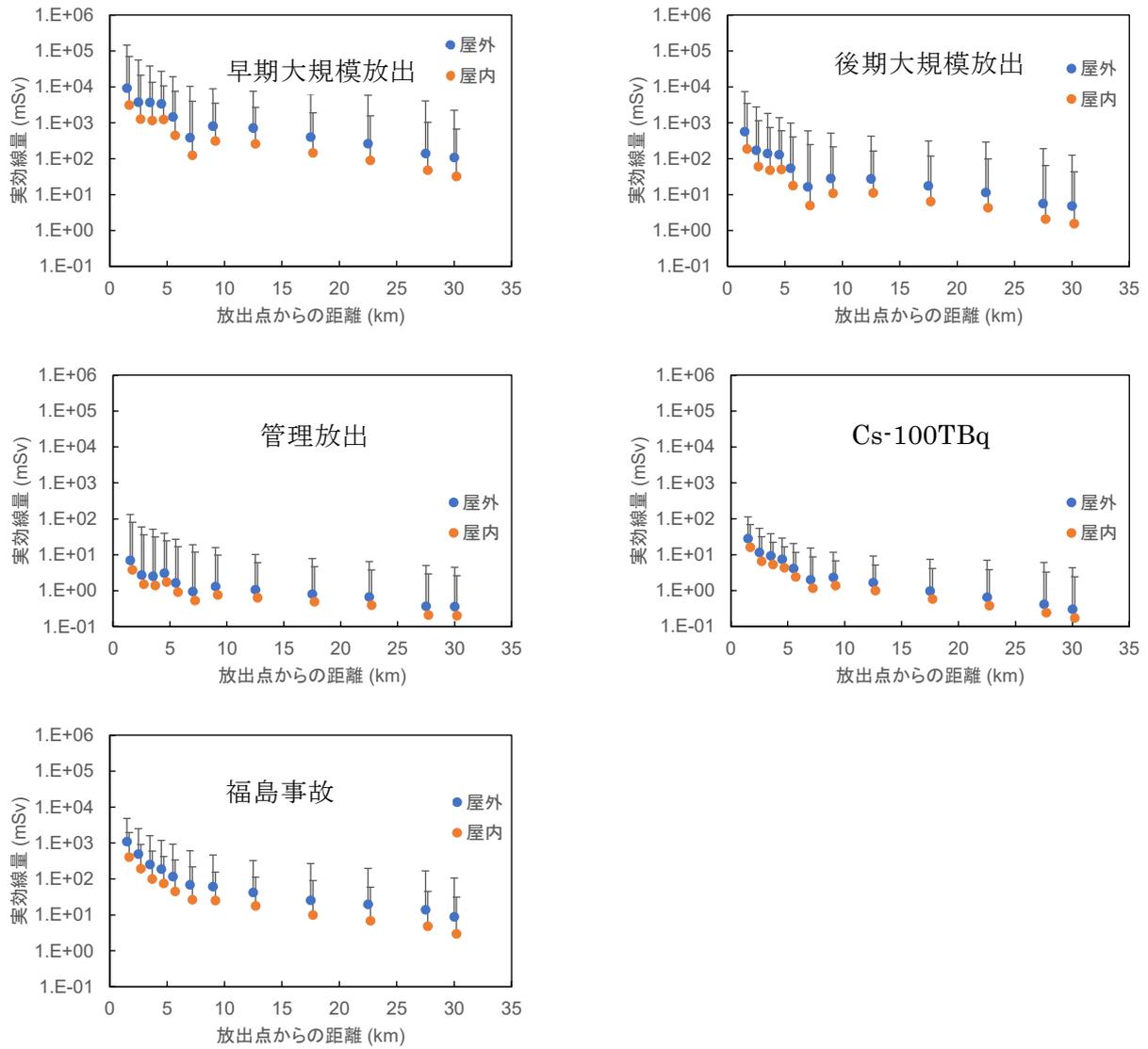


図 5.9 高浜サイトにおける距離別 7 日間累積実効線量
 プロットが 50% 値、エラーバーの上端が 95% 値である。
 屋内のプロットは x 軸を 0.2 km 分プラスして示している。

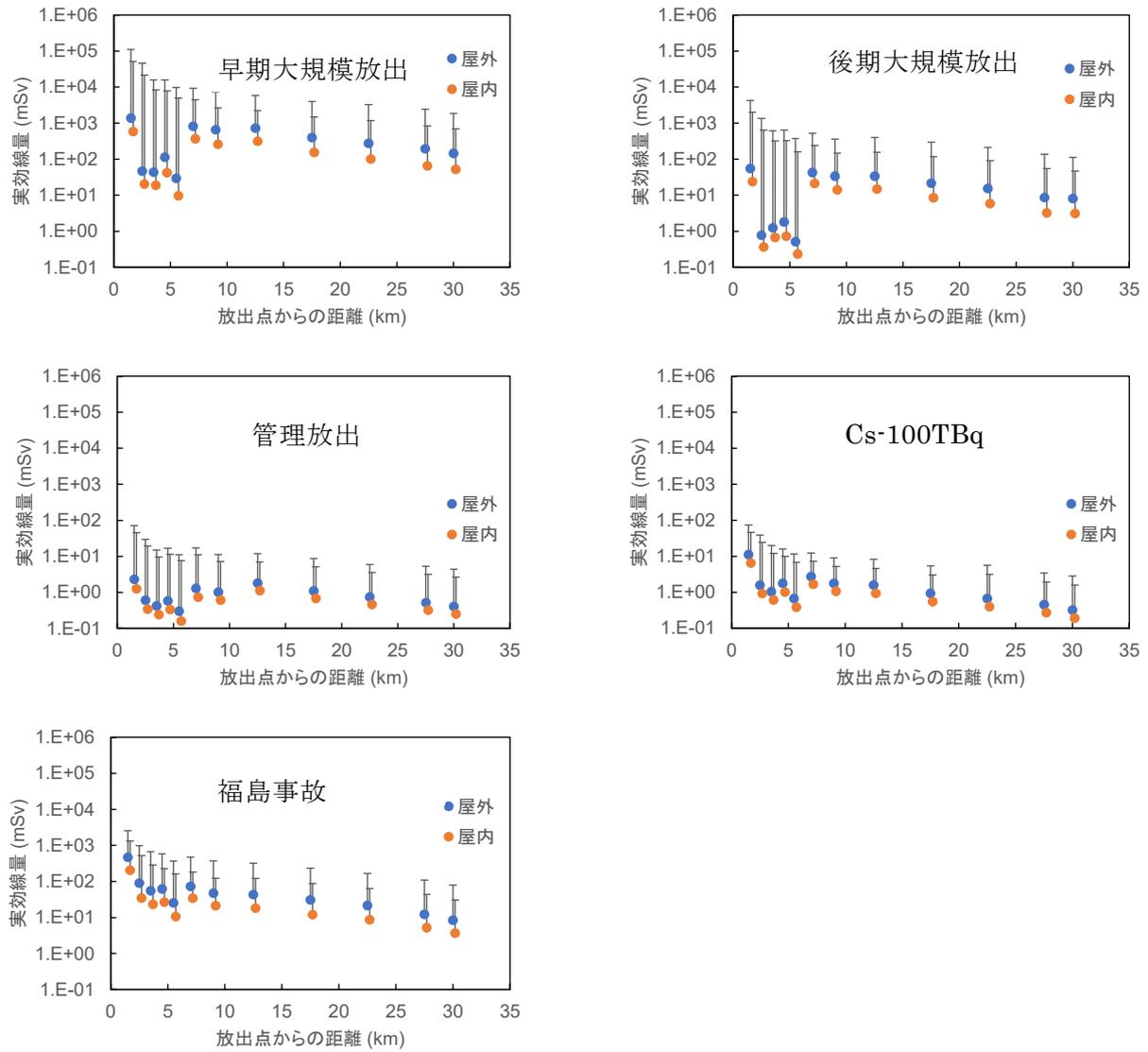


図 5.10 敦賀サイトにおける距離別 7 日間累積実効線量
 プロットが 50% 値、エラーバーの上端が 95% 値である。
 屋内のプロットは x 軸を 0.2 km 分プラスして示している。

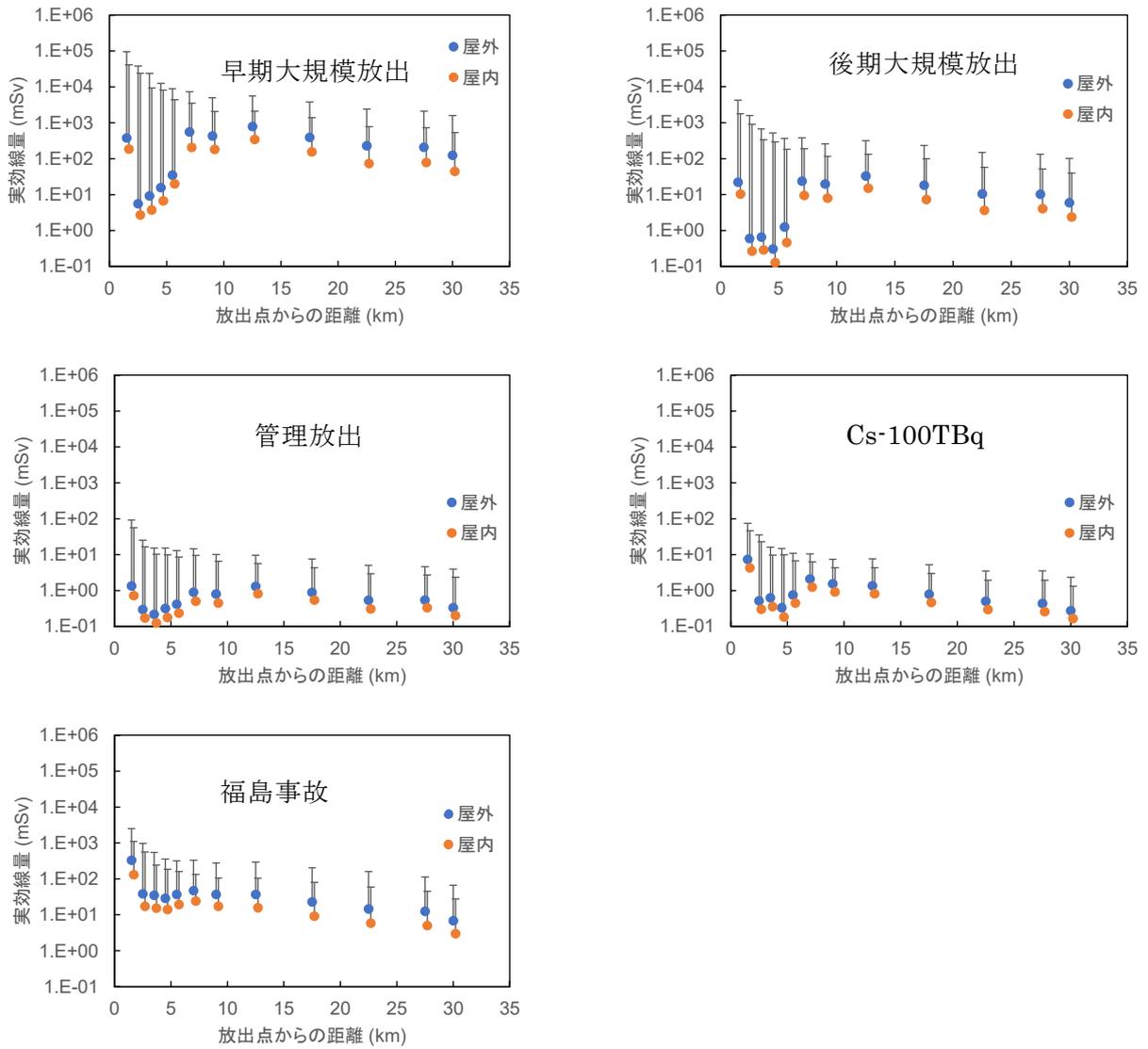


図 5.11 美浜サイトにおける距離別 7 日間累積実効線量
 プロットが 50% 値、エラーバーの上端が 95% 値である。
 屋内のプロットは x 軸を 0.2 km 分プラスして示している。

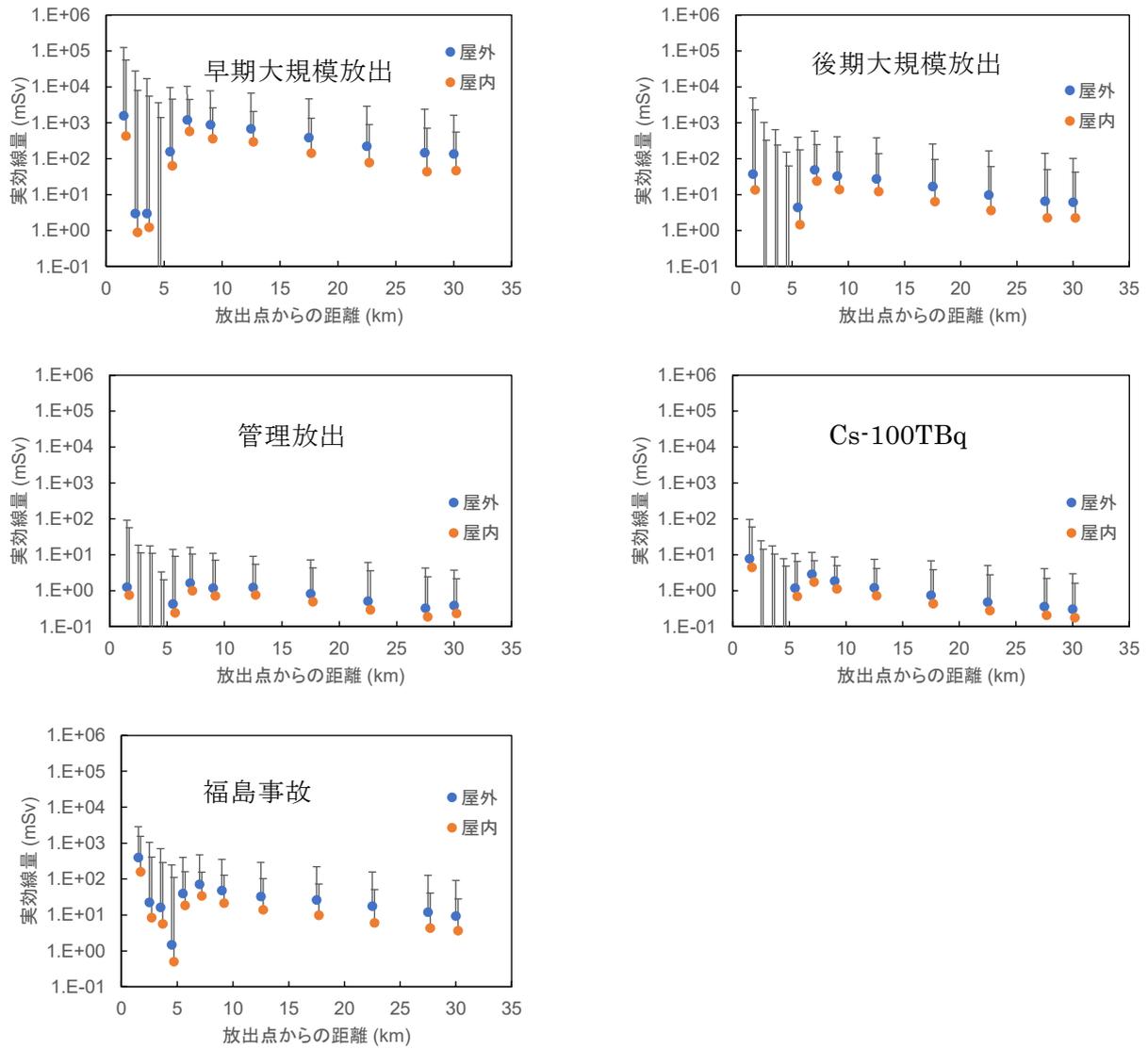


図 5.12 大飯サイトにおける距離別 7 日間累積実効線量
 プロットが 50% 値、エラーバーの上端が 95% 値である。
 屋内のプロットは x 軸を 0.2 km 分プラスして示している。

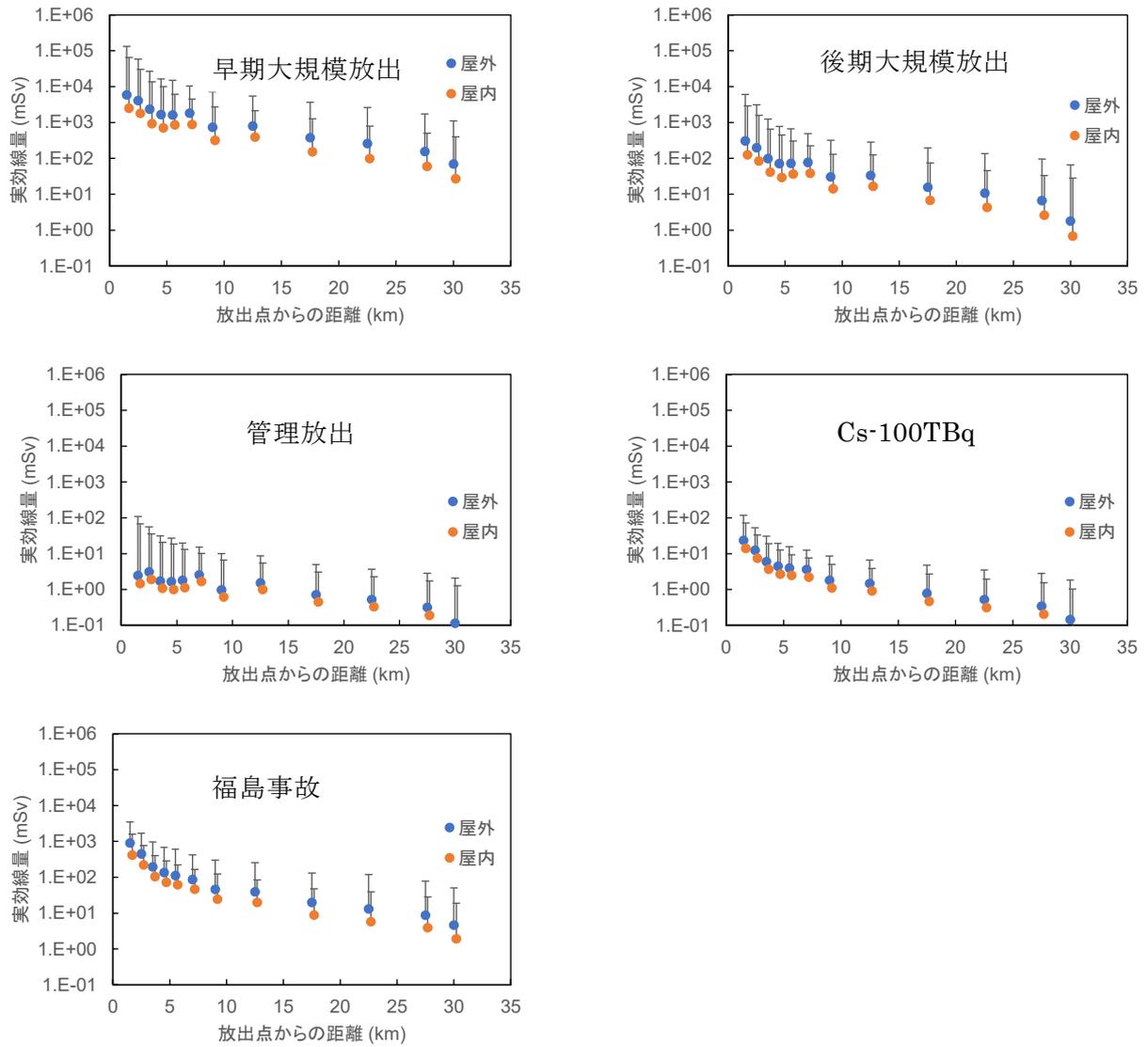


図 5.13 島根サイトにおける距離別 7 日間累積実効線量
 プロットが 50% 値、エラーバーの上端が 95% 値である。
 屋内のプロットは x 軸を 0.2 km 分プラスして示している。

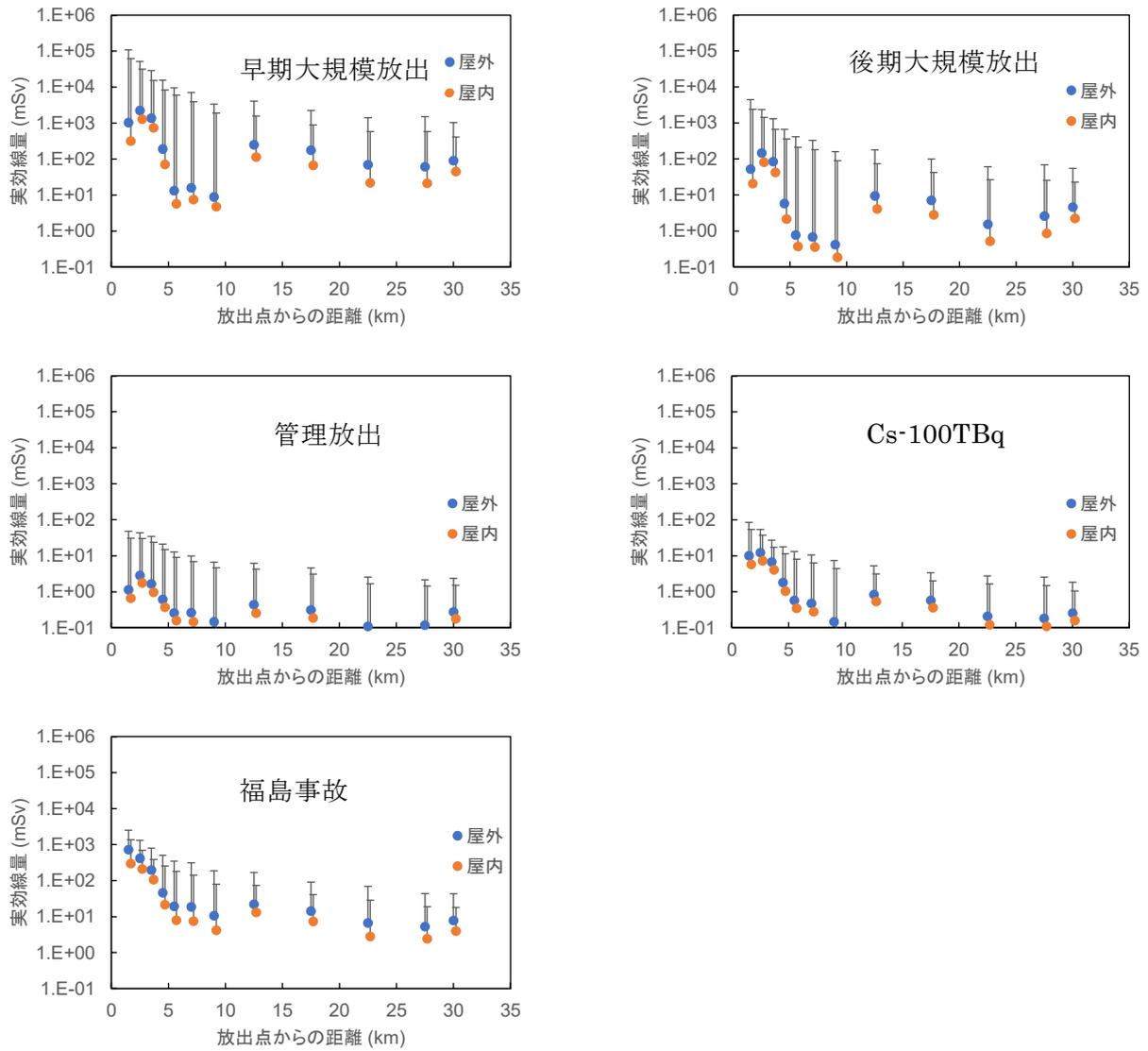


図 5.14 伊方サイトにおける距離別 7 日間累積実効線量
 プロットが 50% 値、エラーバーの上端が 95% 値である。
 屋内のプロットは x 軸を 0.2 km 分プラスして示している。

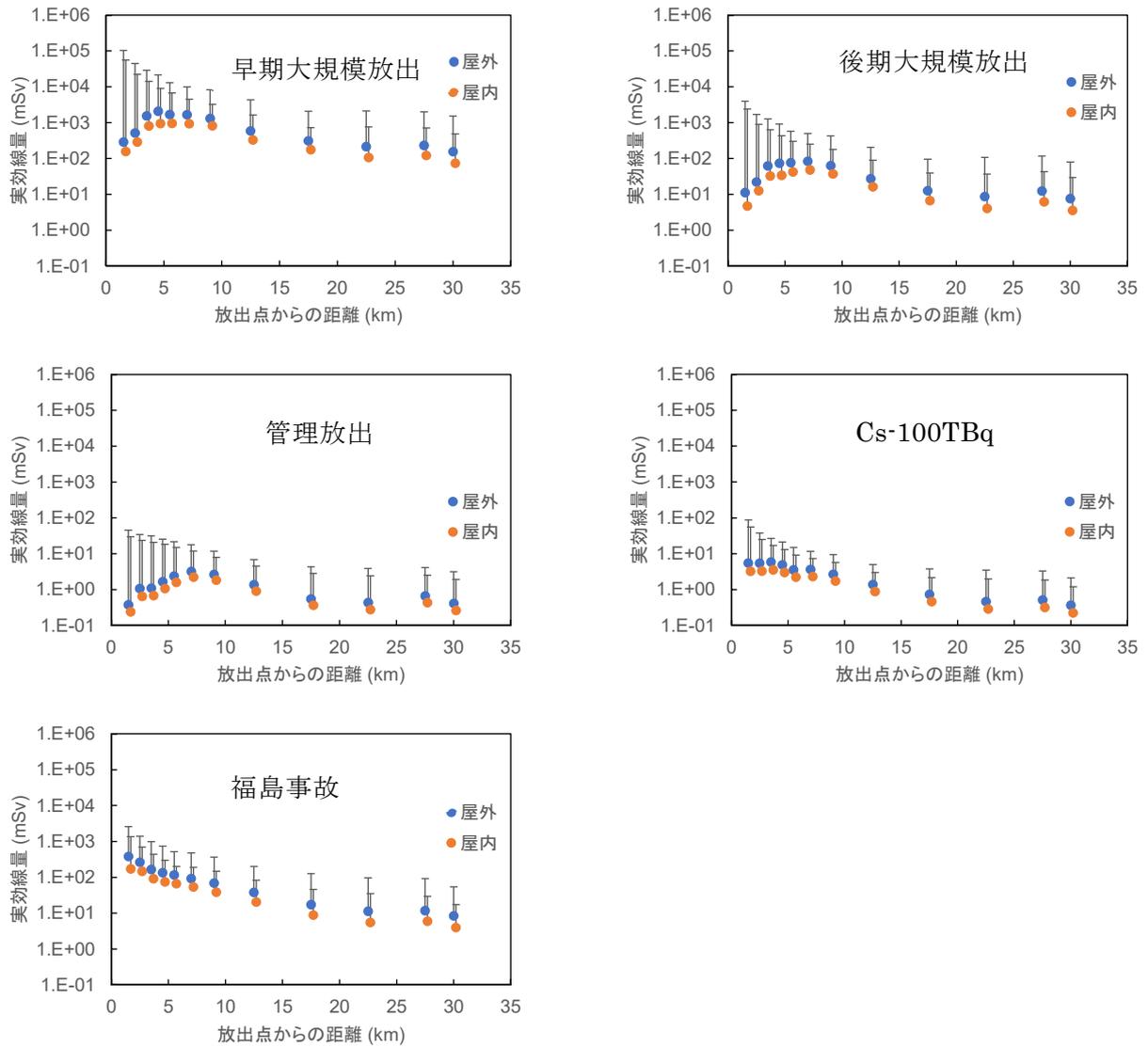


図 5.15 玄海サイトにおける距離別 7 日間累積実効線量
 プロットが 50% 値、エラーバーの上端が 95% 値である。
 屋内のプロットは x 軸を 0.2 km 分プラスして示している。

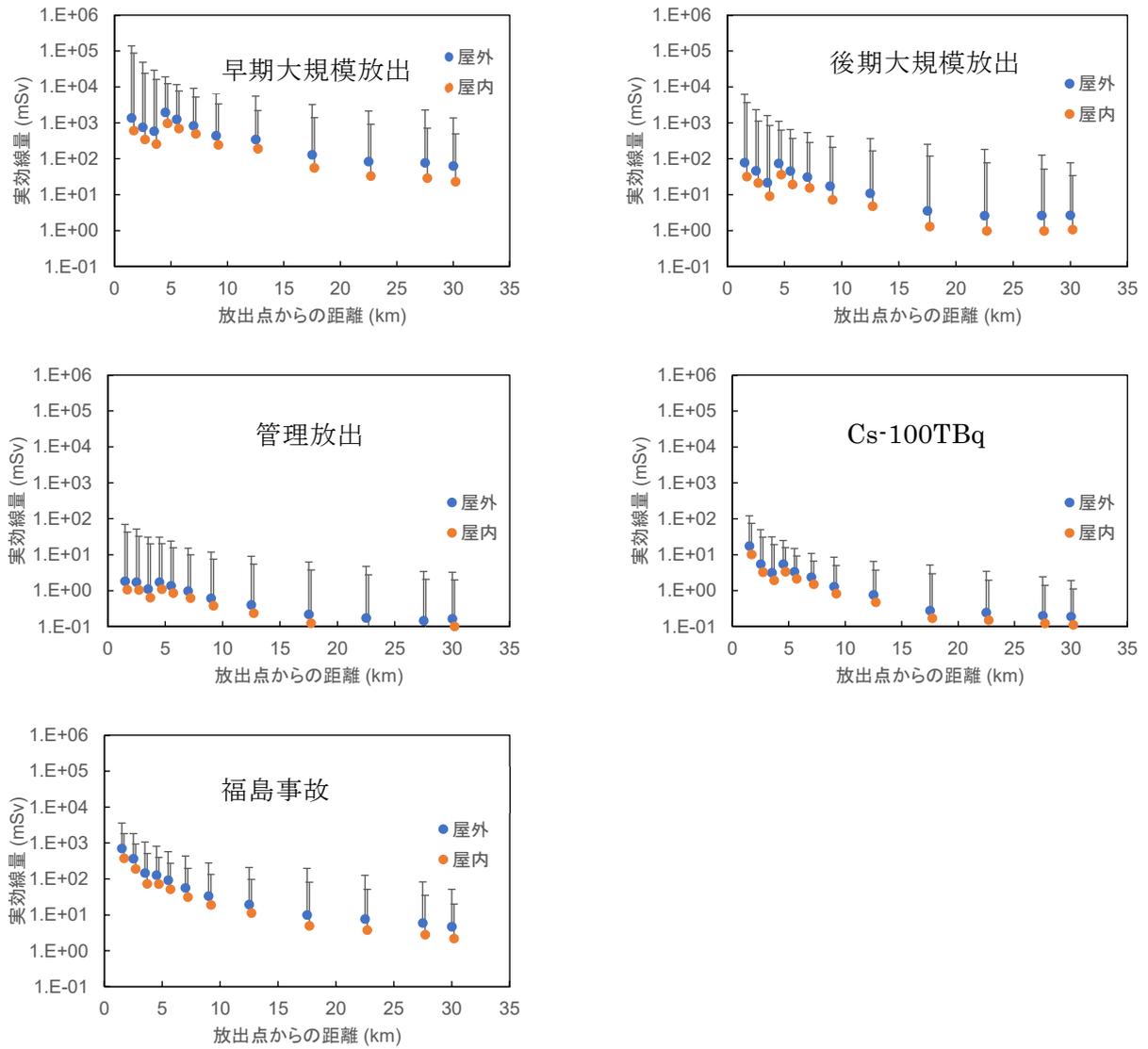


図 5.16 川内サイトにおける距離別 7 日間累積実効線量
 プロットが 50% 値、エラーバーの上端が 95% 値である。
 屋内のプロットは x 軸を 0.2 km 分プラスして示している。

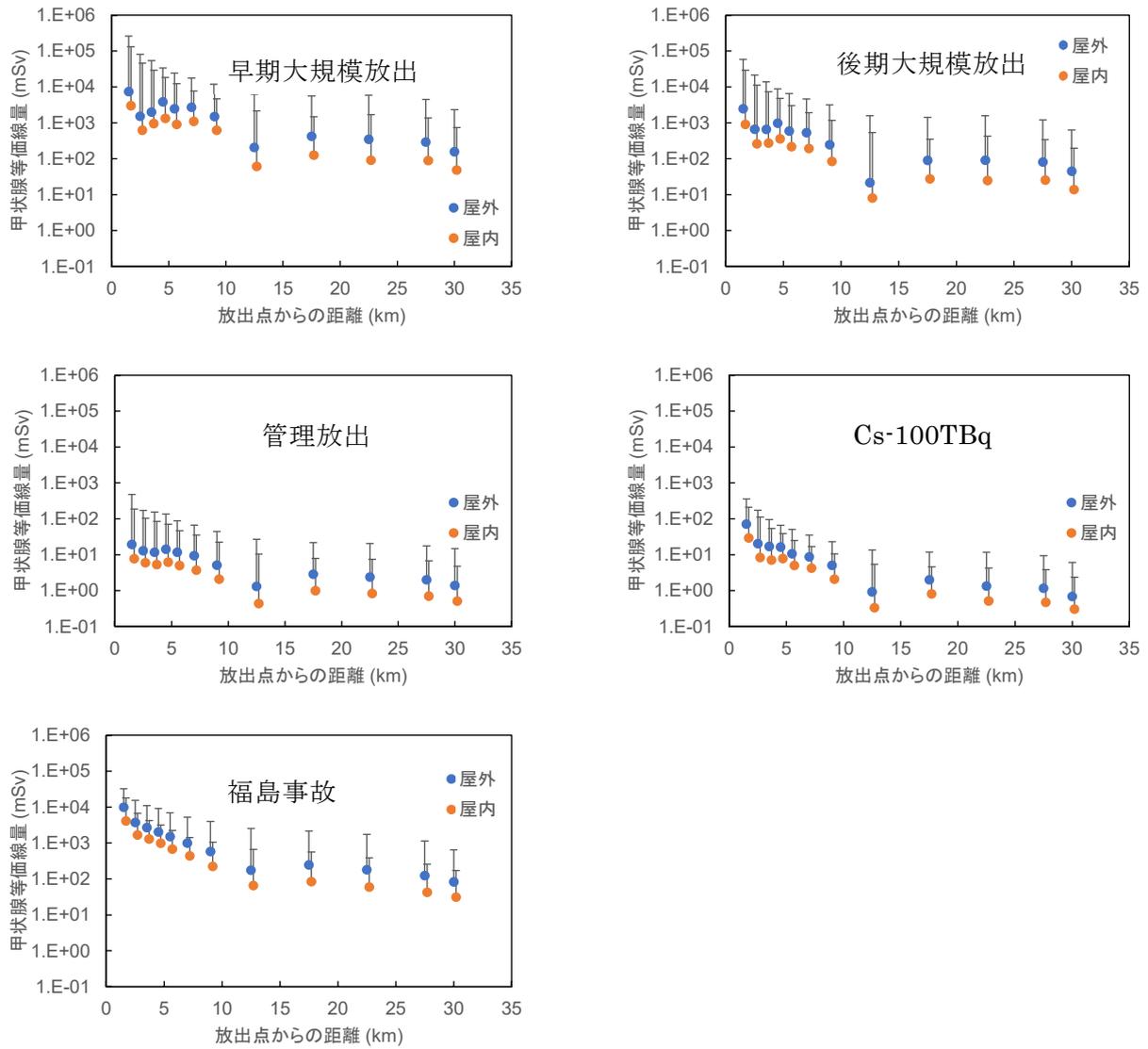


図 5.17 泊サイトにおける距離別 7 日間累積甲状腺等価線量

プロットが 50% 値、エラーバーの上端が 95% 値である。

屋内のプロットは x 軸を 0.2 km 分プラスして示している。

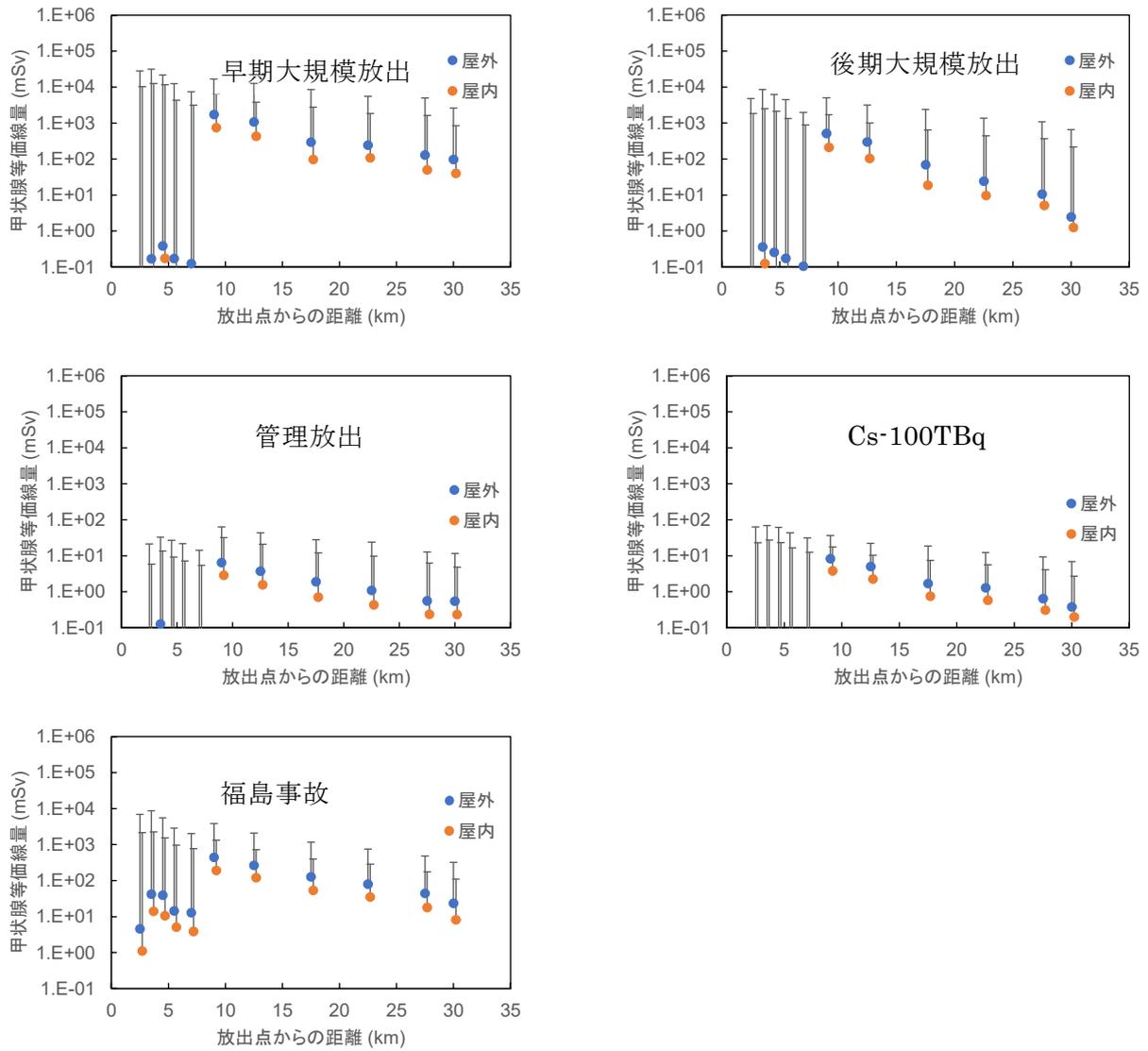


図 5.18 東通サイトにおける距離別 7 日間累積甲状腺等価線量

プロットが 50% 値、エラーバーの上端が 95% 値である。

屋内のプロットは x 軸を 0.2 km 分プラスして示している。

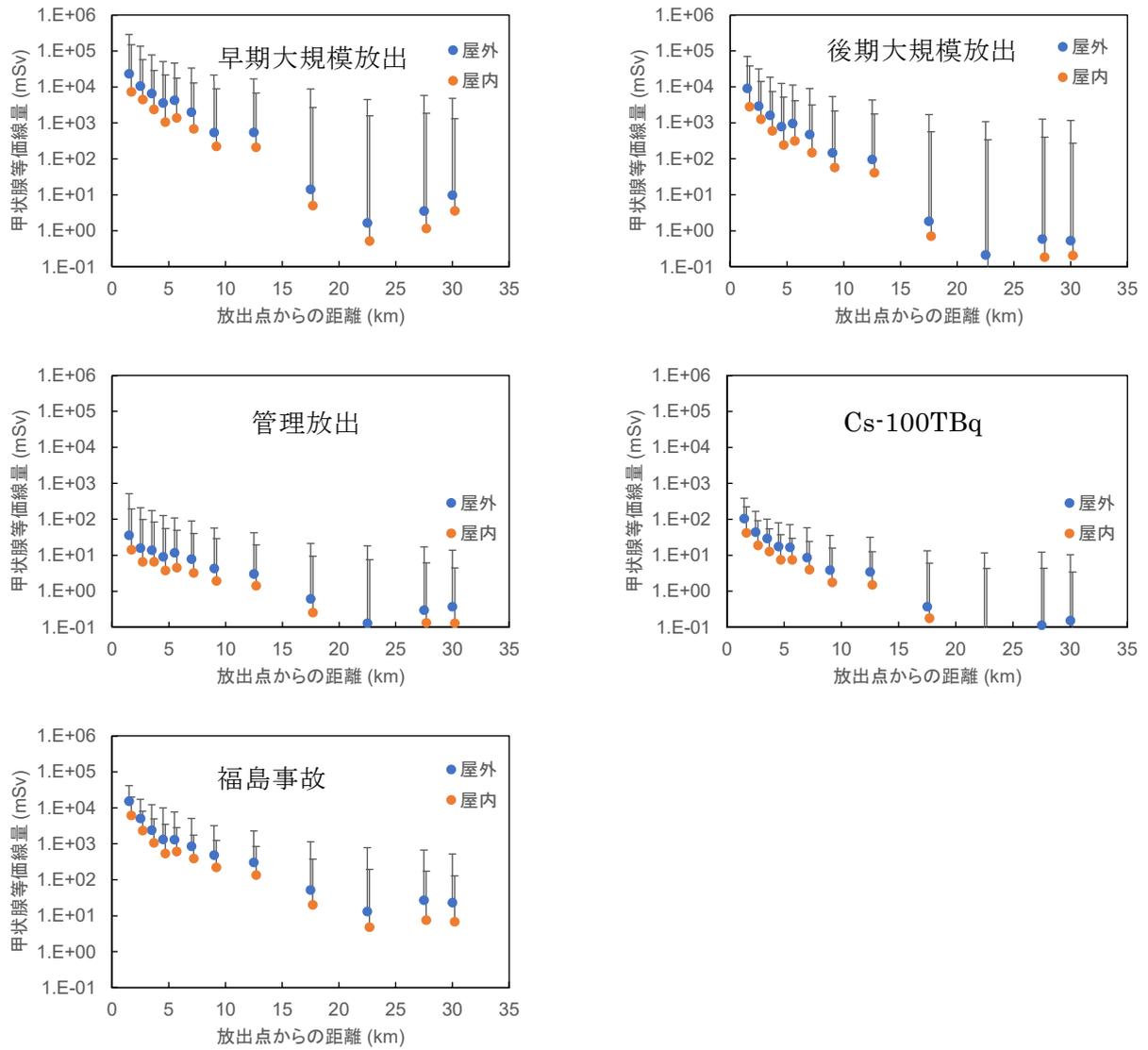


図 5.19 女川サイトにおける距離別 7 日間累積甲状腺等価線量

プロットが 50% 値、エラーバーの上端が 95% 値である。

屋内のプロットは x 軸を 0.2 km 分プラスして示している。

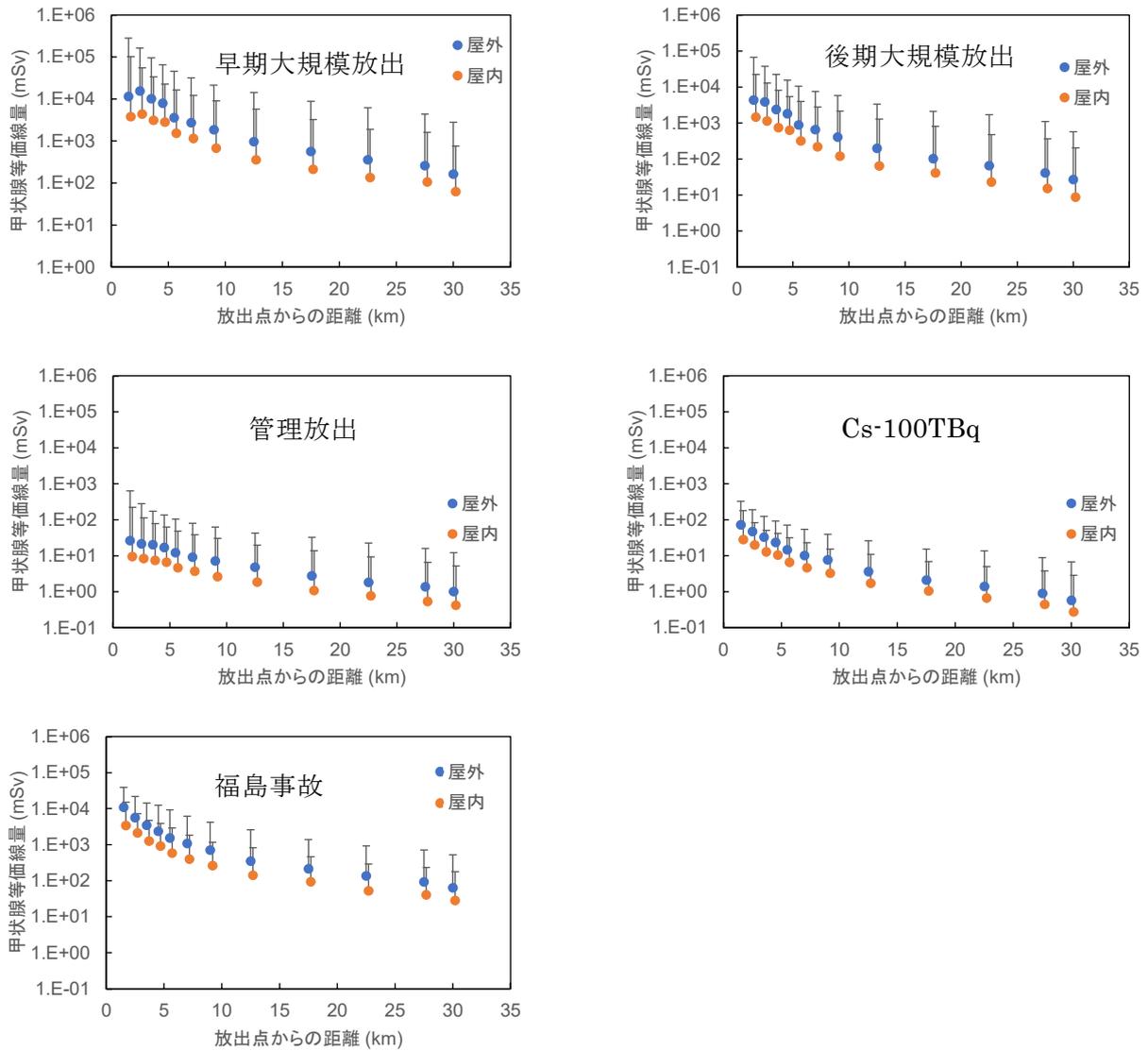


図 5.20 福島第一サイトにおける距離別 7 日間累積甲状腺等価線量

プロットが 50% 値、エラーバーの上端が 95% 値である。

屋内のプロットは x 軸を 0.2 km 分プラスして示している。

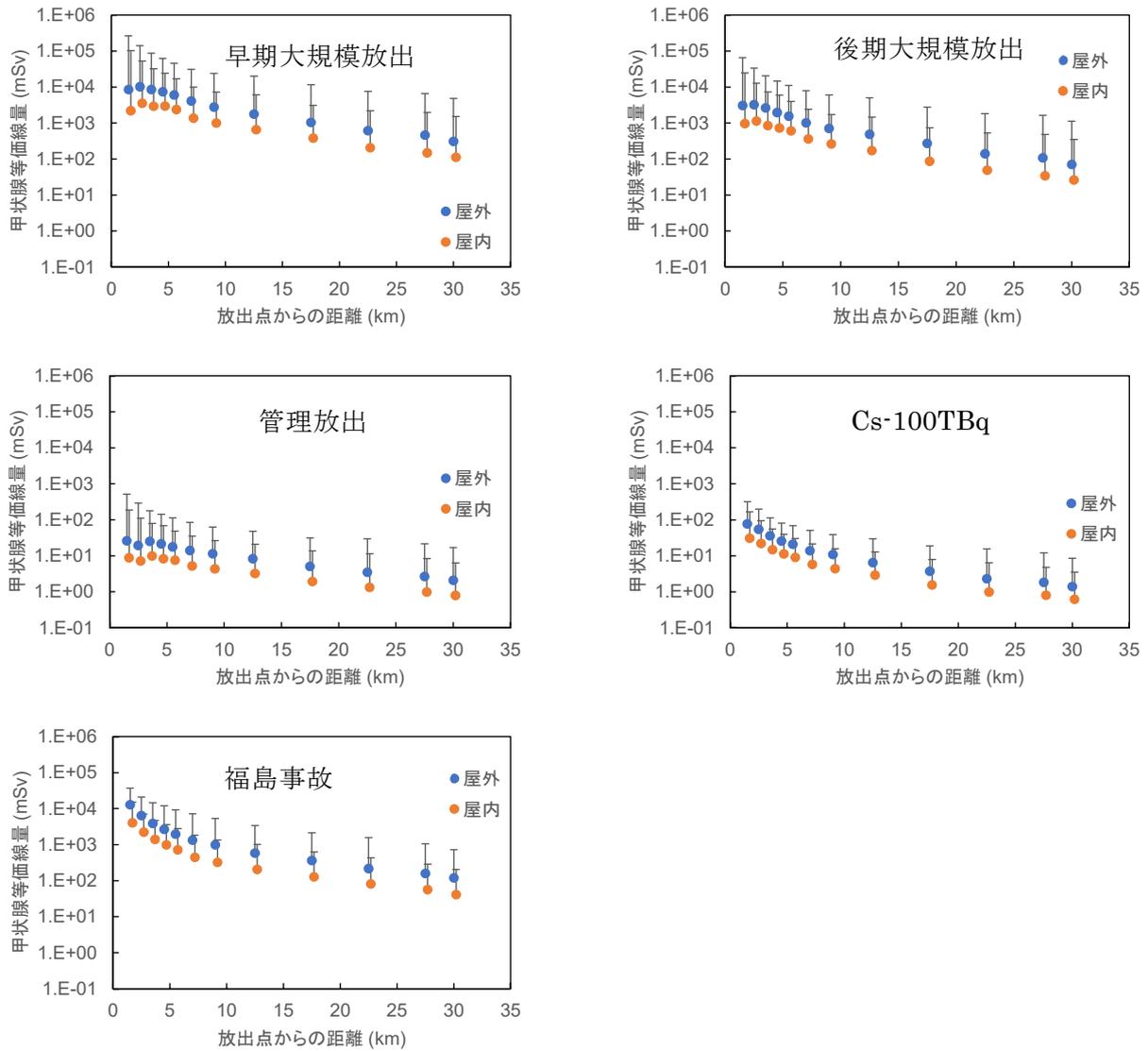


図 5.21 東海サイトにおける距離別 7 日間累積甲状腺等価線量
 プロットが 50% 値、エラーバーの上端が 95% 値である。
 屋内のプロットは x 軸を 0.2 km 分プラスして示している。

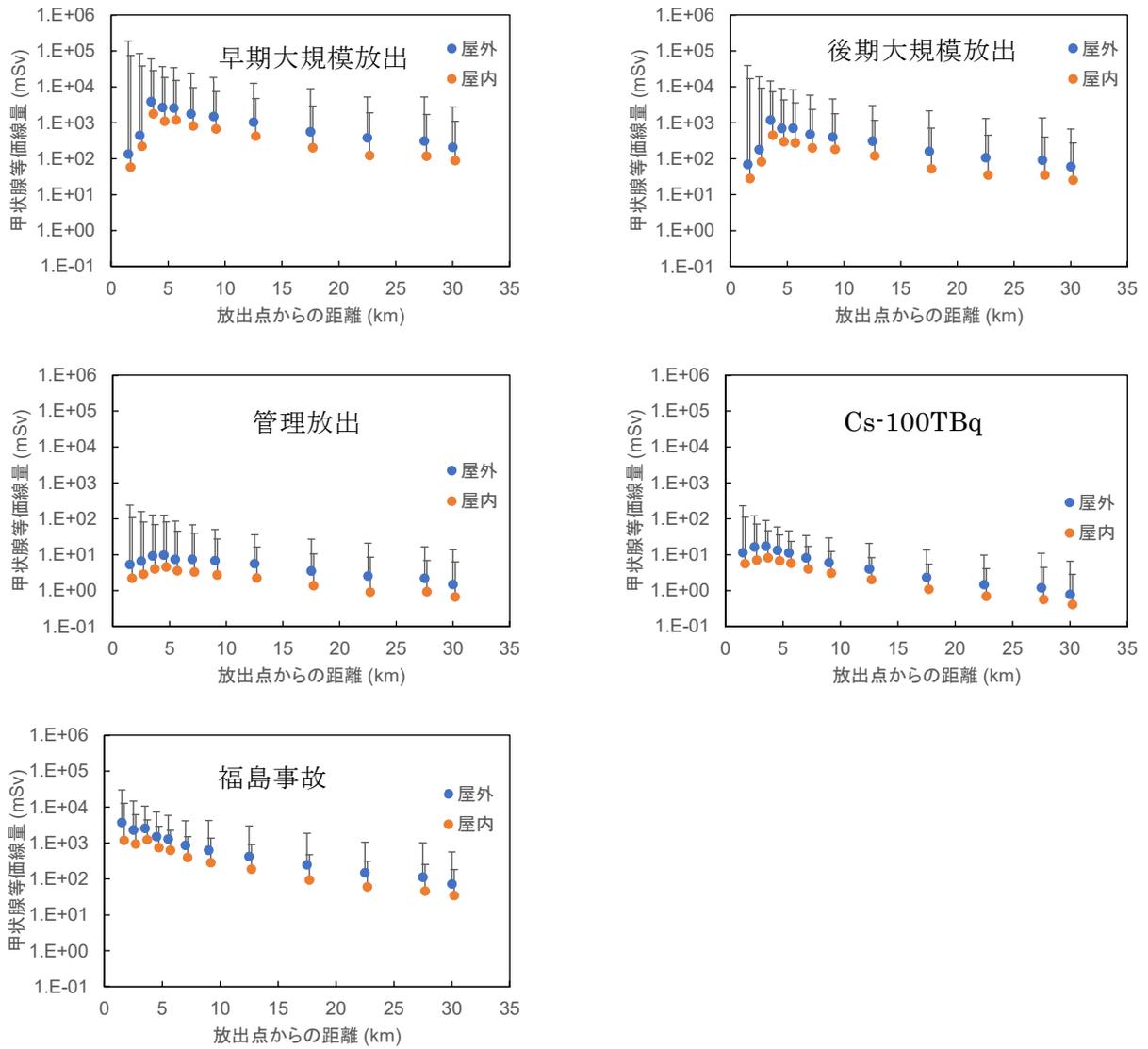


図 5.22 志賀サイトにおける距離別 7 日間累積甲状腺等価線量

プロットが 50% 値、エラーバーの上端が 95% 値である。

屋内のプロットは x 軸を 0.2 km 分プラスして示している。

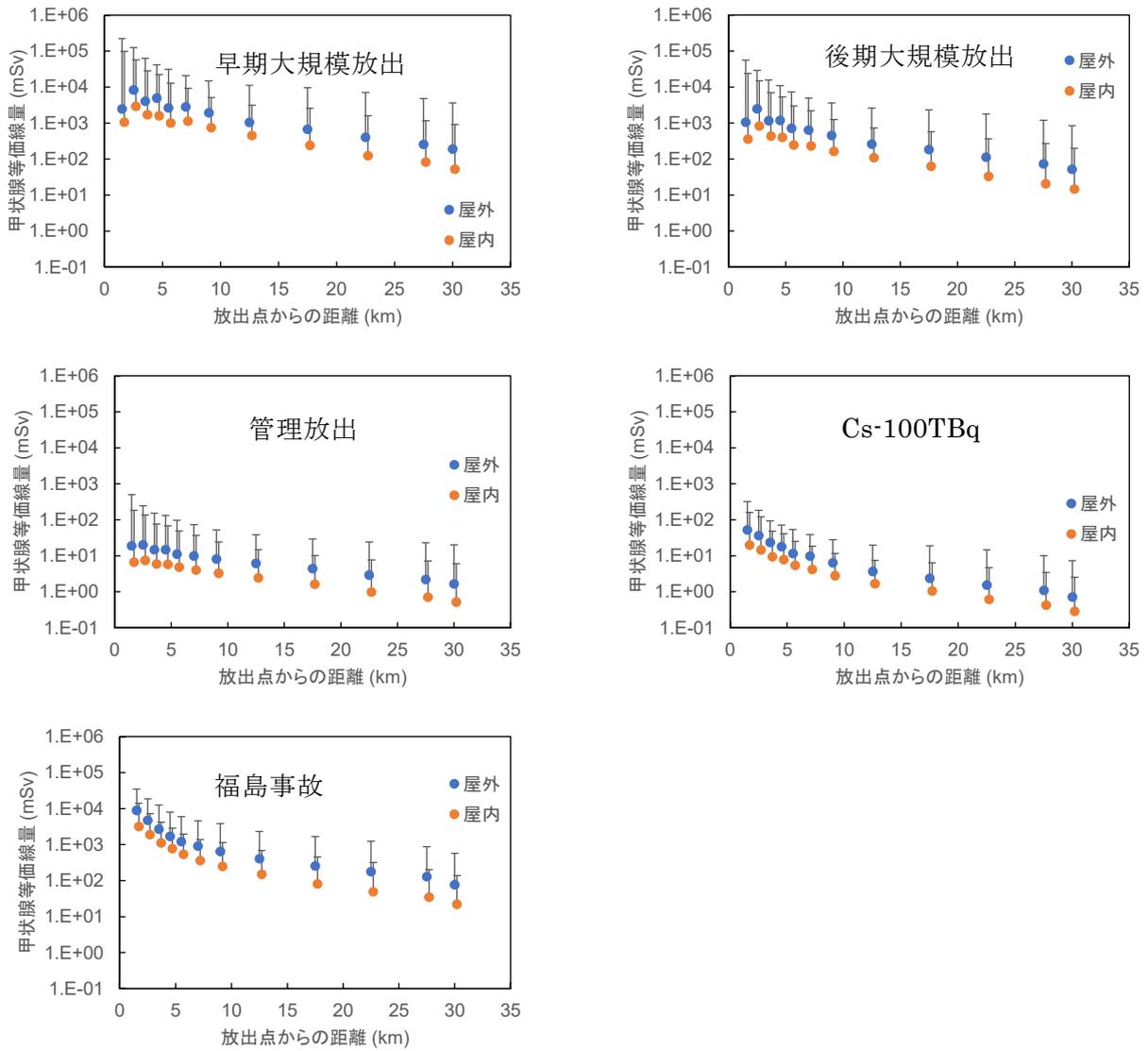


図 5.23 柏崎刈羽サイトにおける距離別 7 日間累積甲状腺等価線量

プロットが 50% 値、エラーバーの上端が 95% 値である。

屋内のプロットは x 軸を 0.2 km 分プラスして示している。

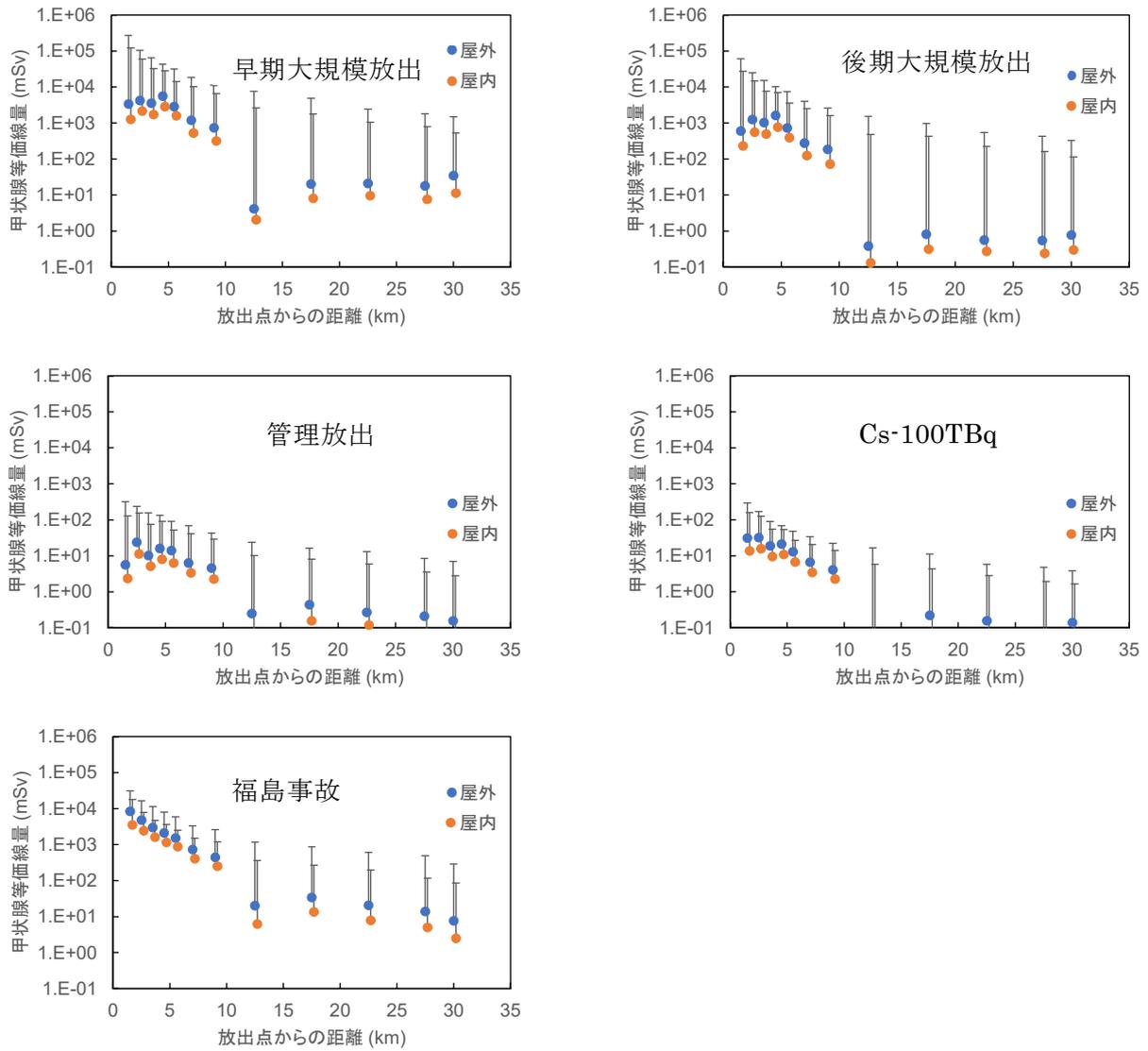


図 5.24 浜岡サイトにおける距離別 7 日間累積甲状腺等価線量

プロットが 50% 値、エラーバーの上端が 95% 値である。

屋内のプロットは x 軸を 0.2 km 分プラスして示している。

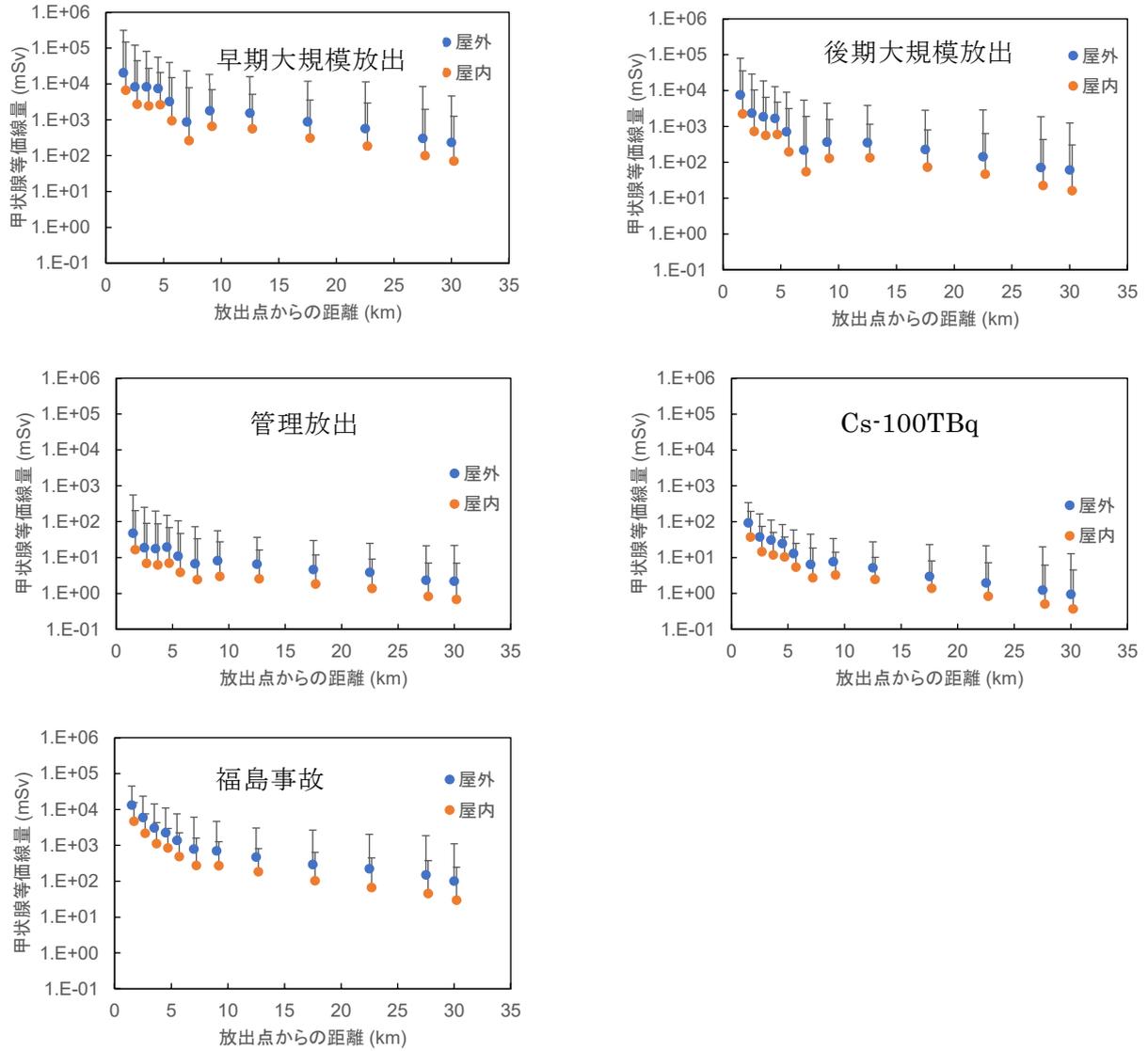


図 5.25 高浜サイトにおける距離別 7 日間累積甲状腺等価線量

プロットが 50% 値、エラーバーの上端が 95% 値である。

屋内のプロットは x 軸を 0.2 km 分プラスして示している。

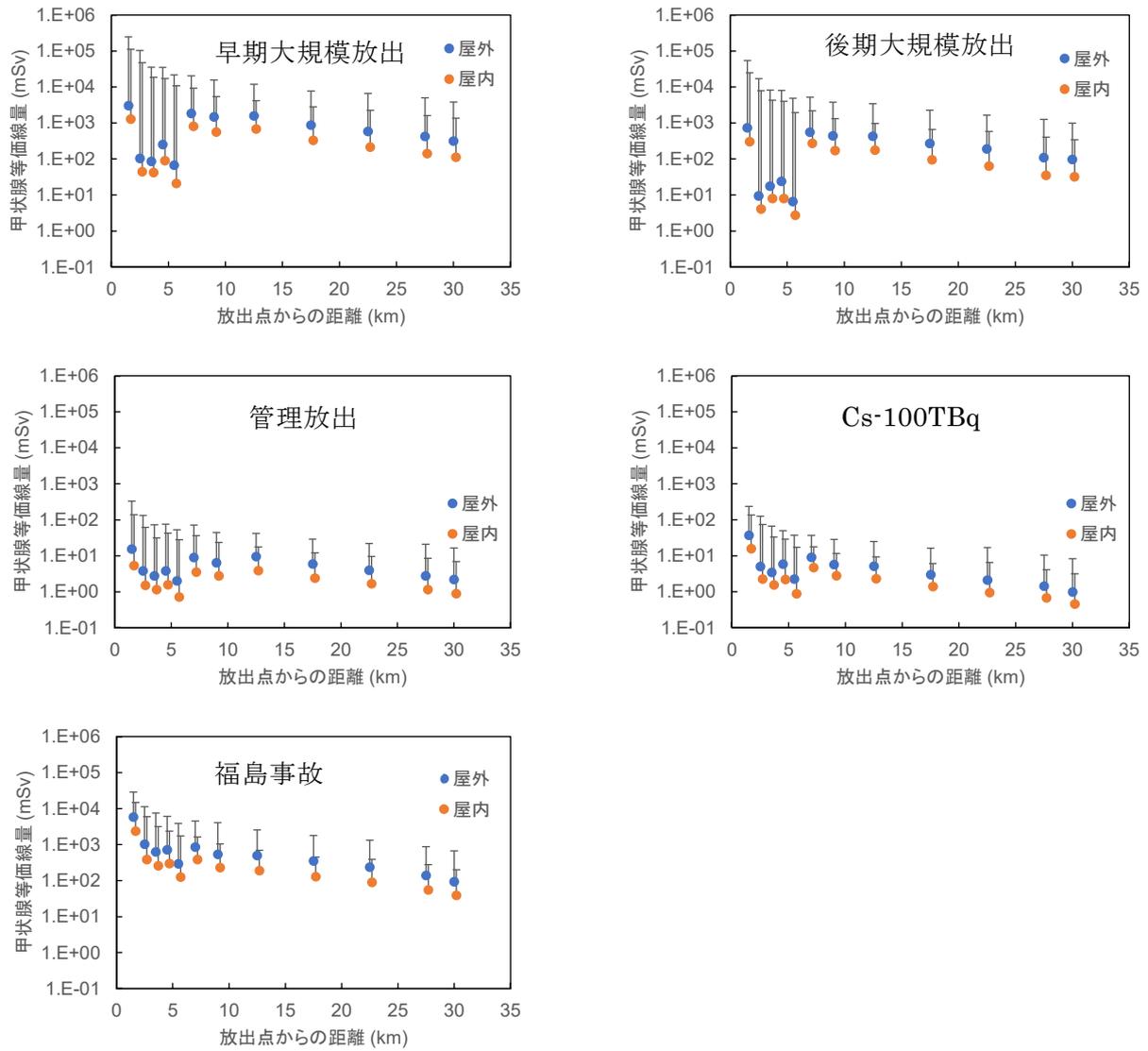


図 5.26 敦賀サイトにおける距離別 7 日間累積甲状腺等価線量

プロットが 50% 値、エラーバーの上端が 95% 値である。

屋内のプロットは x 軸を 0.2 km 分プラスして示している。

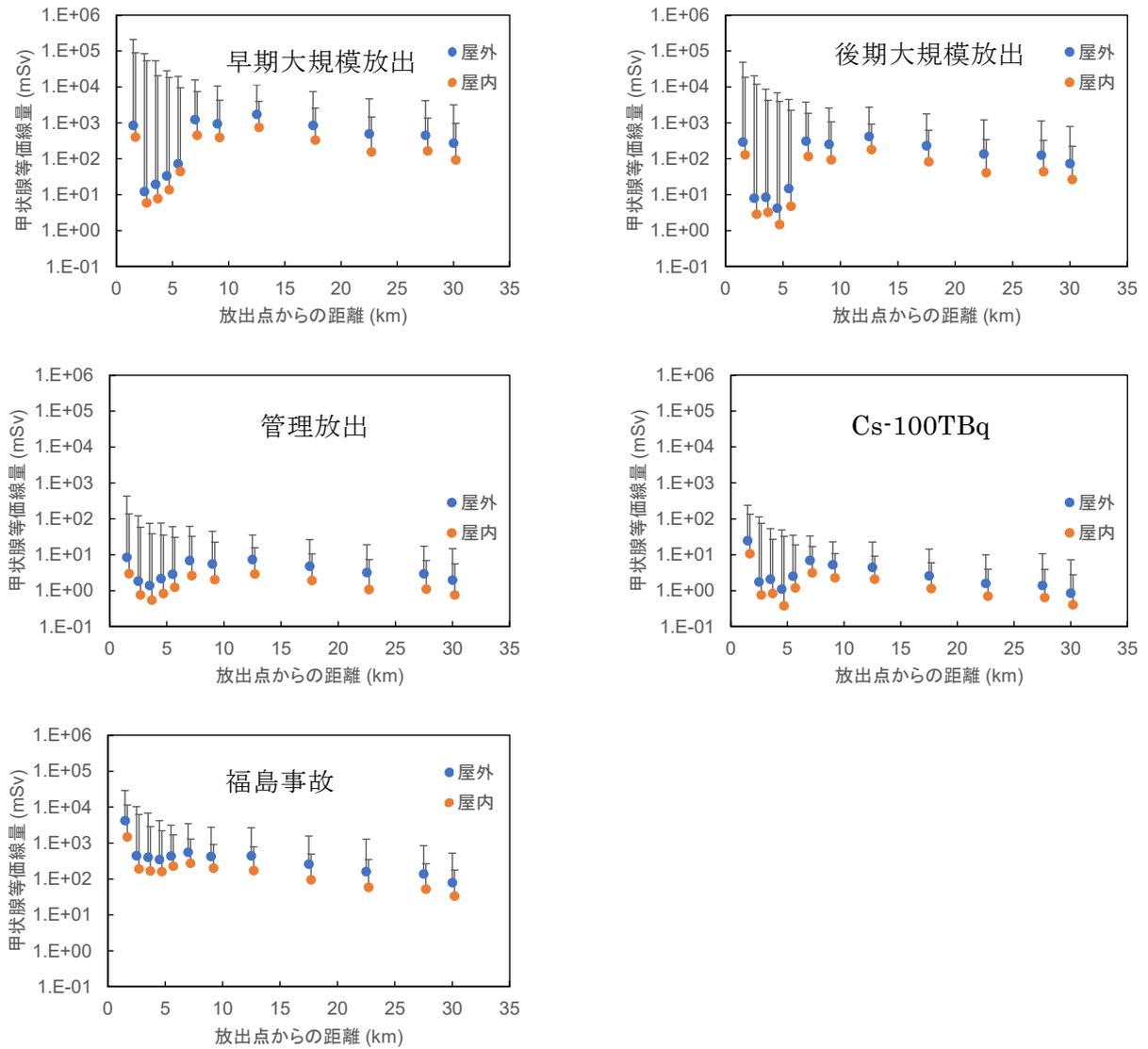


図 5.27 美浜サイトにおける距離別 7 日間累積甲状腺等価線量
 プロットが 50% 値、エラーバーの上端が 95% 値である。
 屋内のプロットは x 軸を 0.2 km 分プラスして示している。

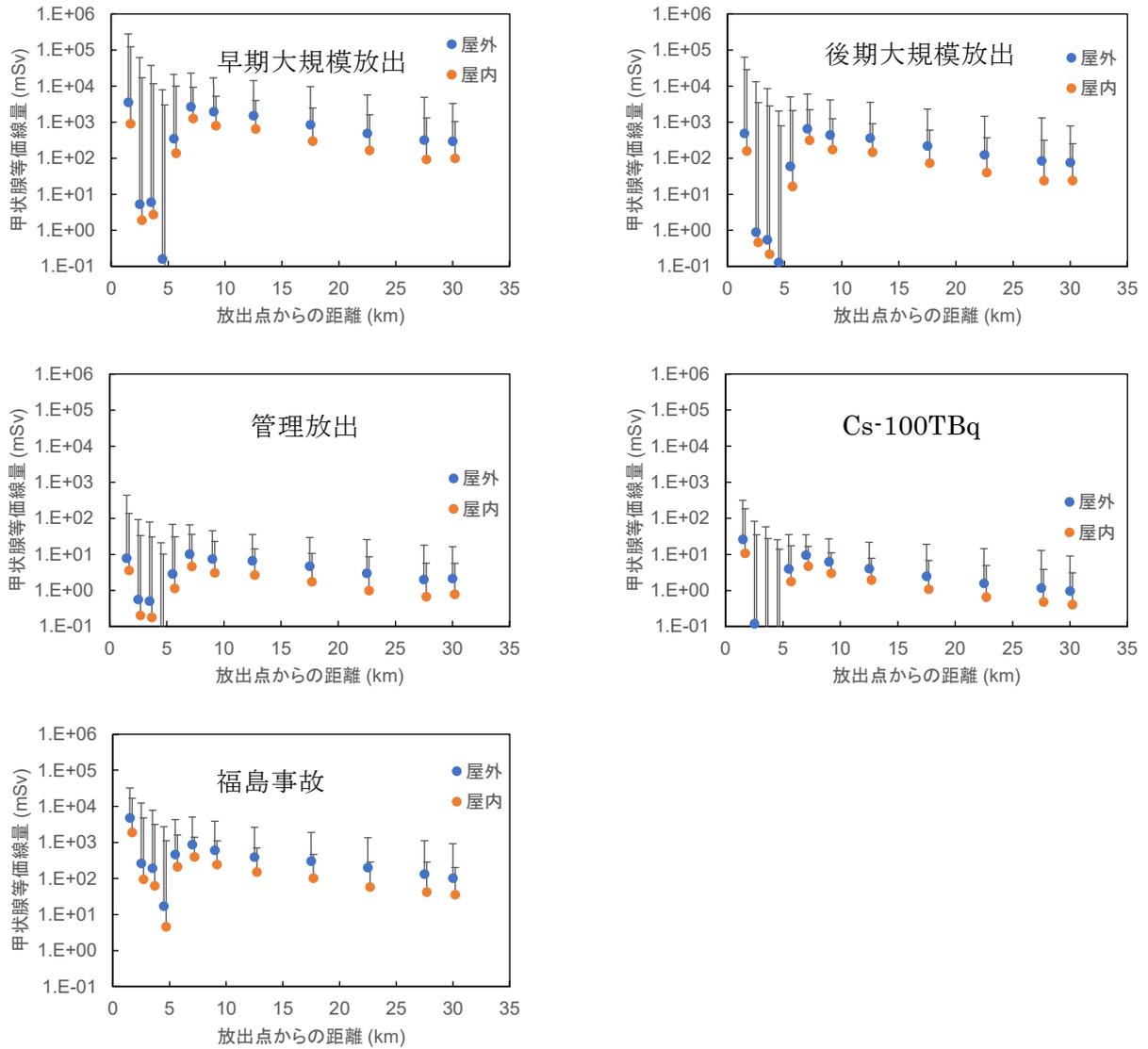


図 5.28 大飯サイトにおける距離別 7 日間累積甲状腺等価線量

プロットが 50% 値、エラーバーの上端が 95% 値である。

屋内のプロットは x 軸を 0.2 km 分プラスして示している。

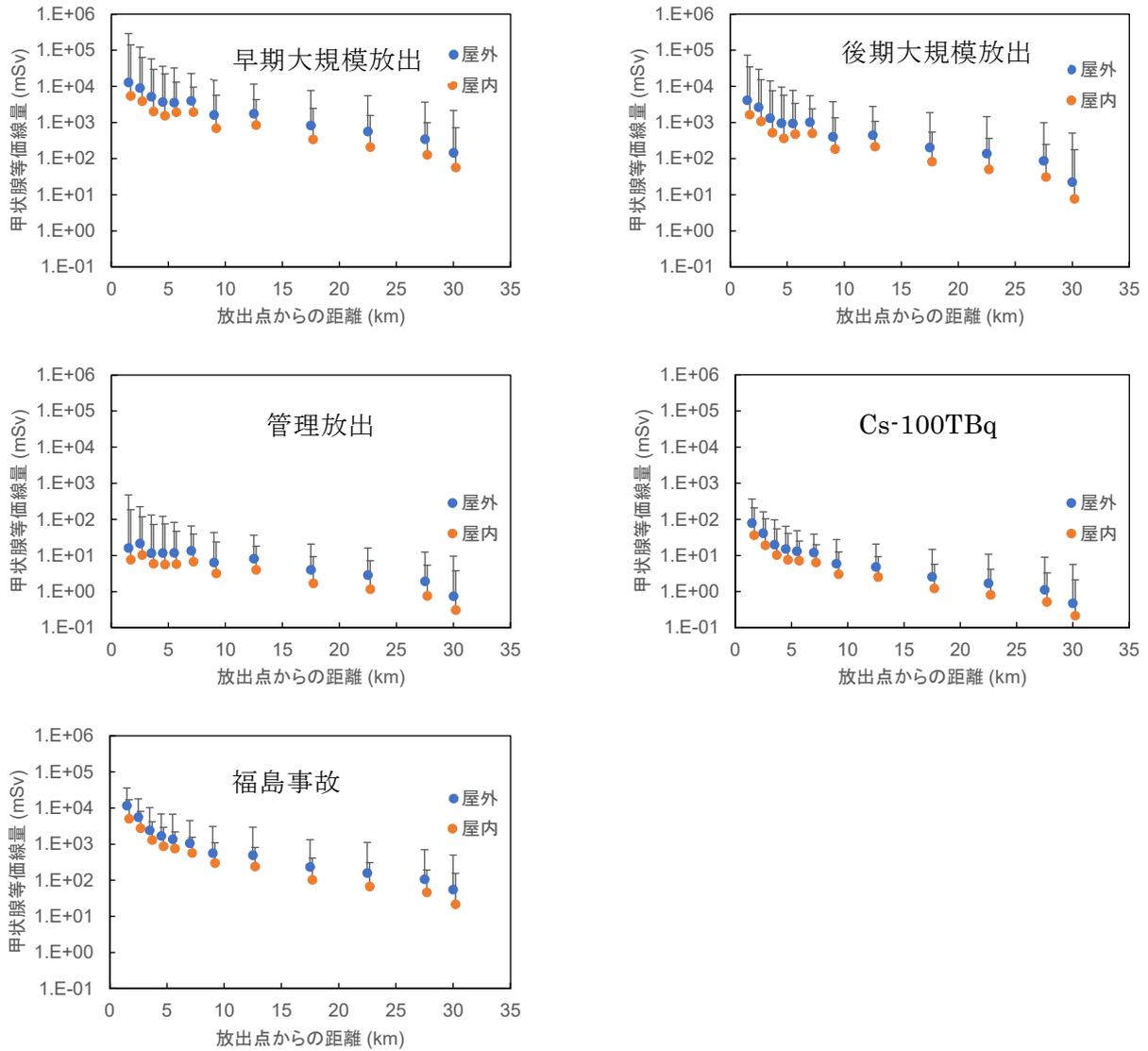


図 5.29 島根サイトにおける距離別 7 日間累積甲状腺等価線量
 プロットが 50% 値、エラーバーの上端が 95% 値である。
 屋内のプロットは x 軸を 0.2 km 分プラスして示している。

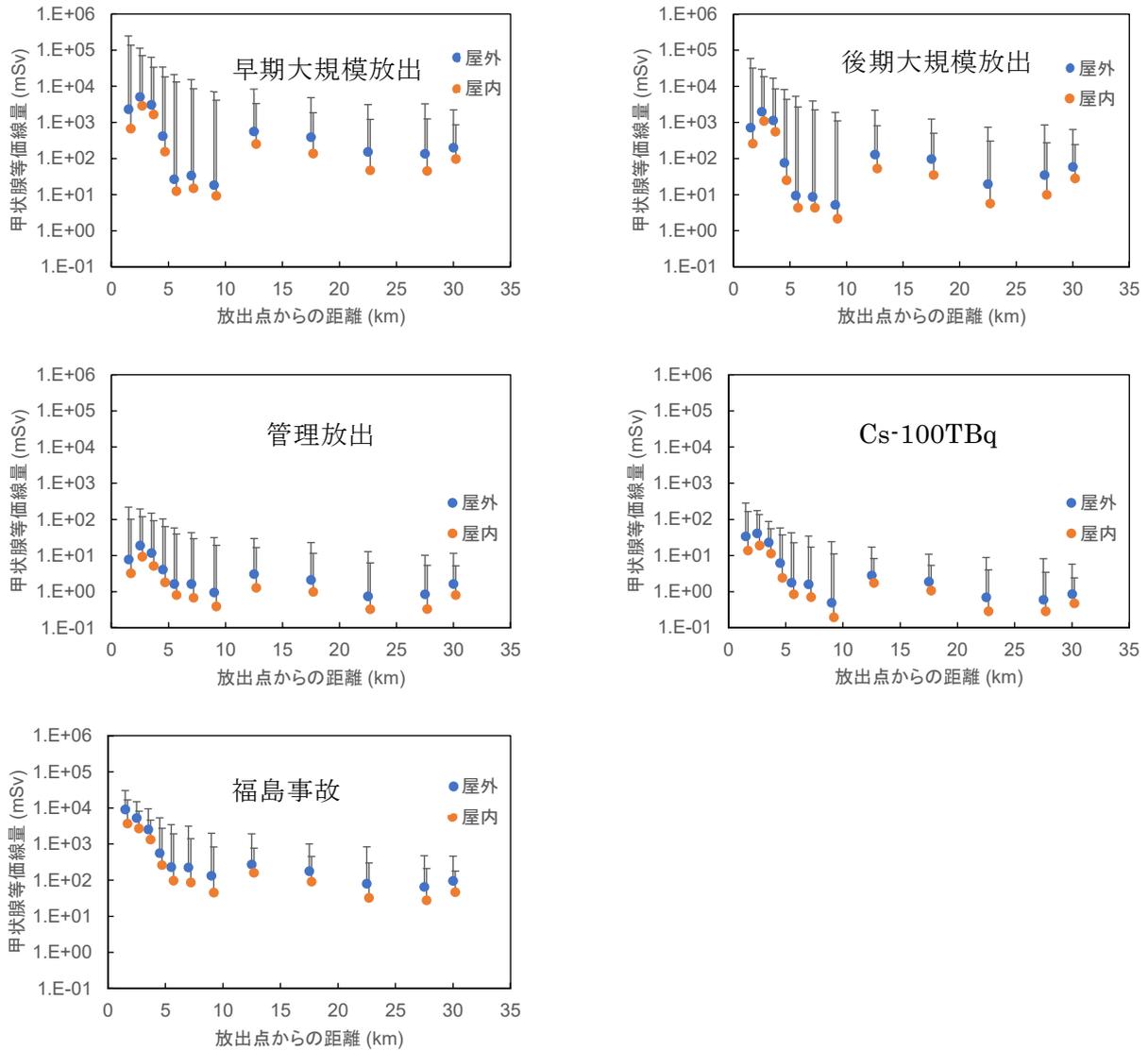


図 5.30 伊方サイトにおける距離別 7 日間累積甲状腺等価線量
 プロットが 50% 値、エラーバーの上端が 95% 値である。
 屋内のプロットは x 軸を 0.2 km 分プラスして示している。

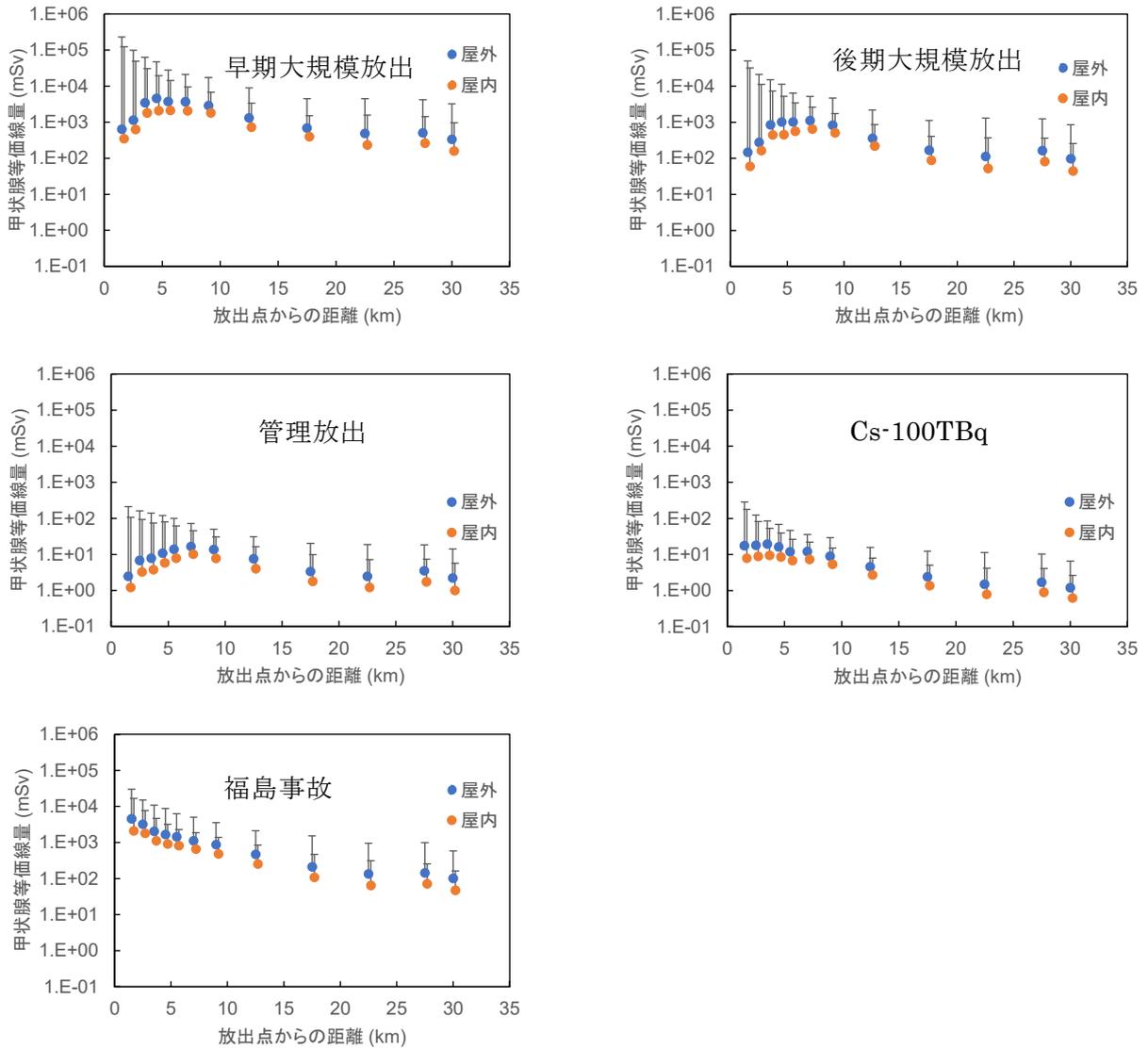


図 5.31 玄海サイトにおける距離別 7 日間累積甲状腺等価線量
 プロットが 50% 値、エラーバーの上端が 95% 値である。
 屋内のプロットは x 軸を 0.2 km 分プラスして示している。

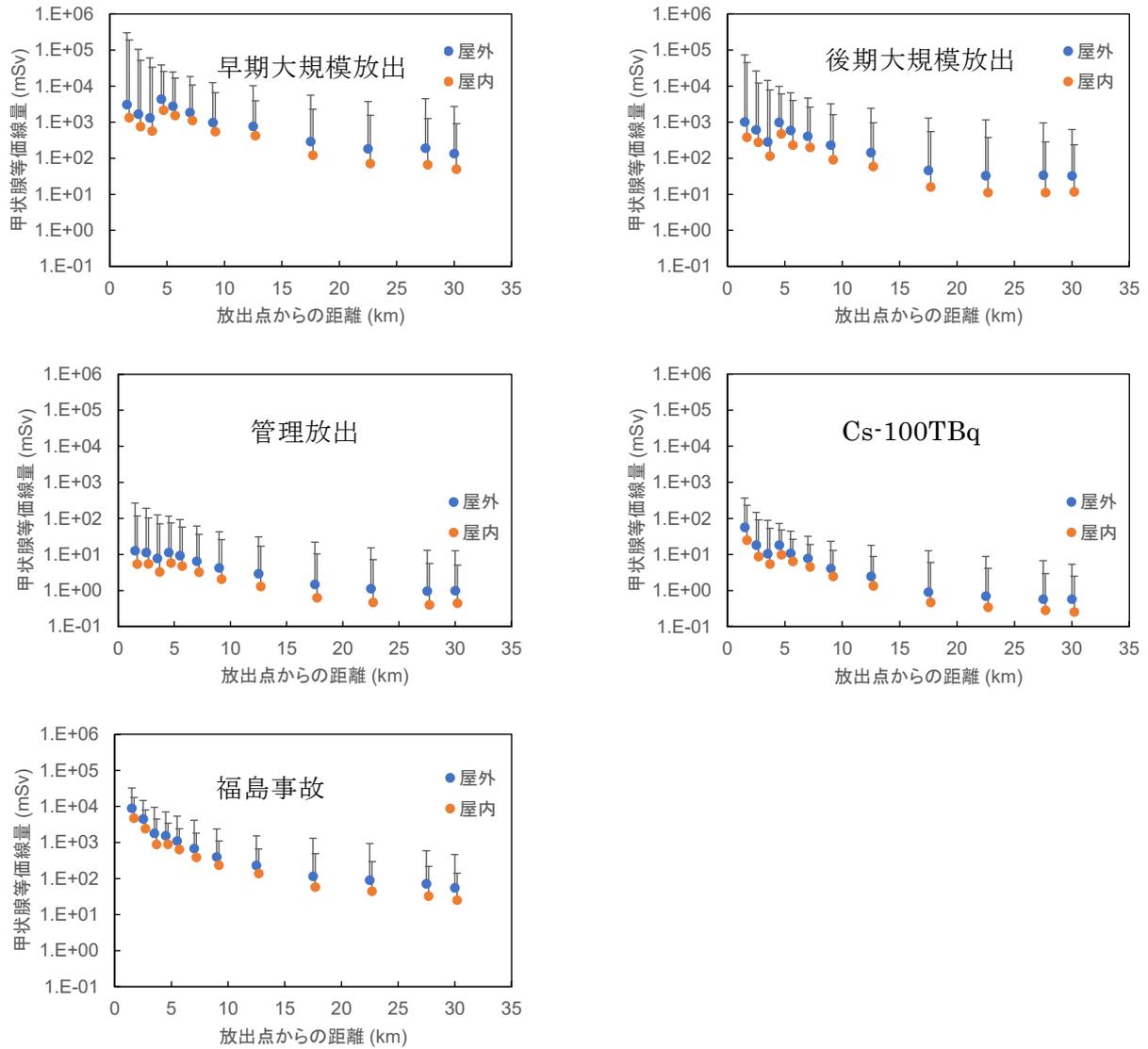


図 5.32 川内サイトにおける距離別 7 日間累積甲状腺等価線量

プロットが 50% 値、エラーバーの上端が 95% 値である。

屋内のプロットは x 軸を 0.2 km 分プラスして示している。

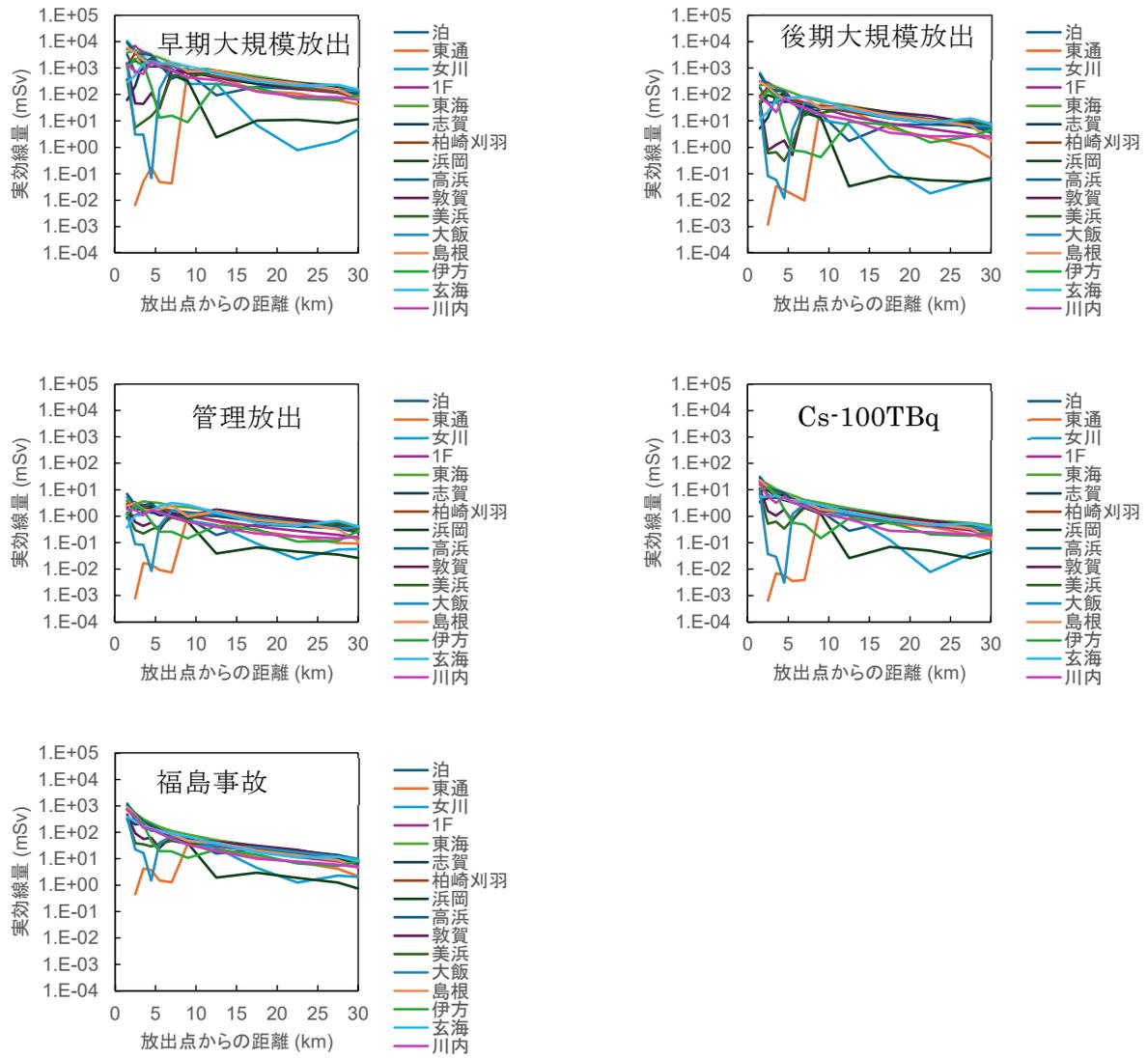


図 5.33 屋外での距離別 7 日間累積実効線量の 50% 値のサイト間比較

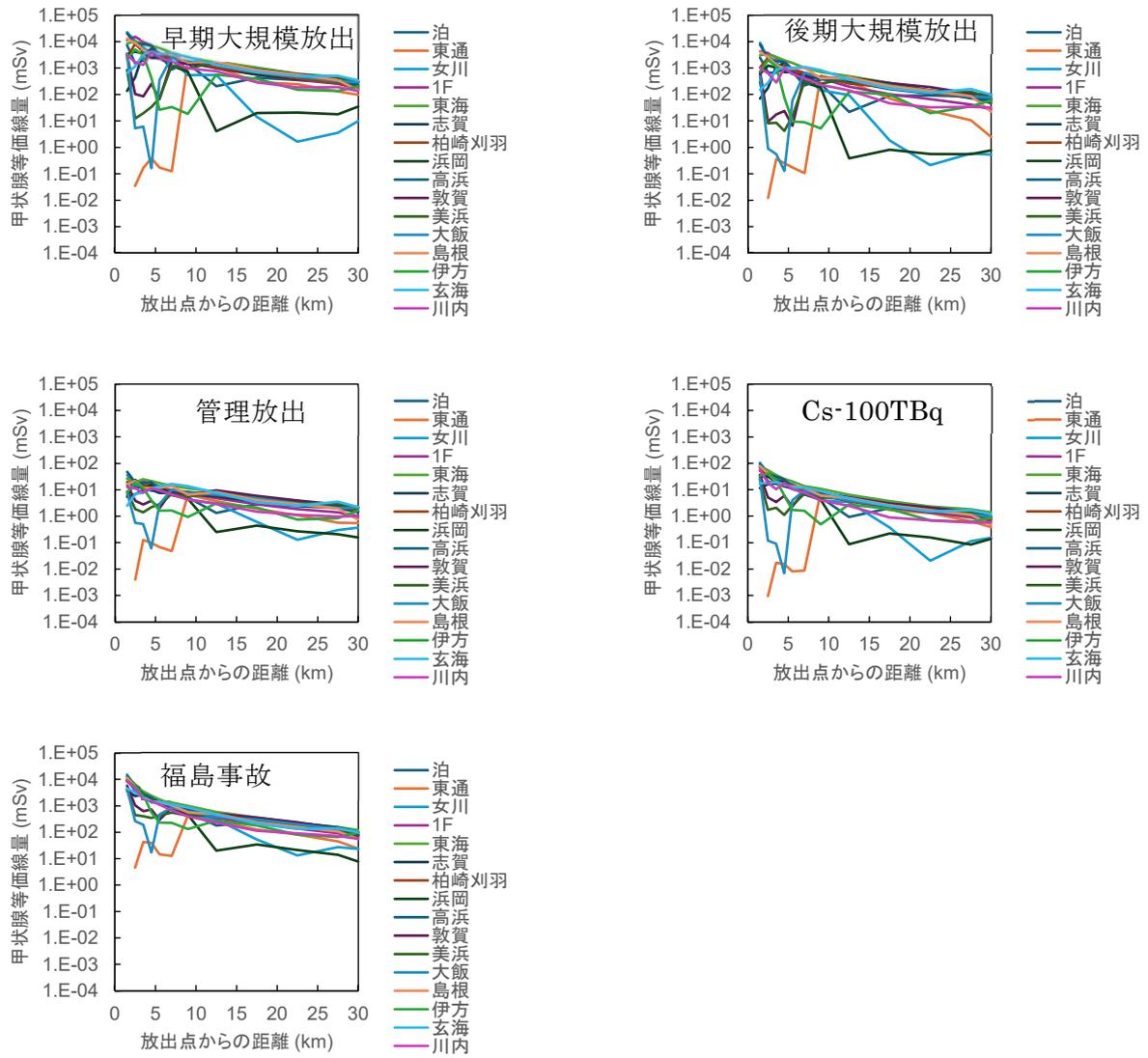


図 5.34 屋外での距離別 7 日間累積甲状腺等価線量の 50% 値のサイト間比較

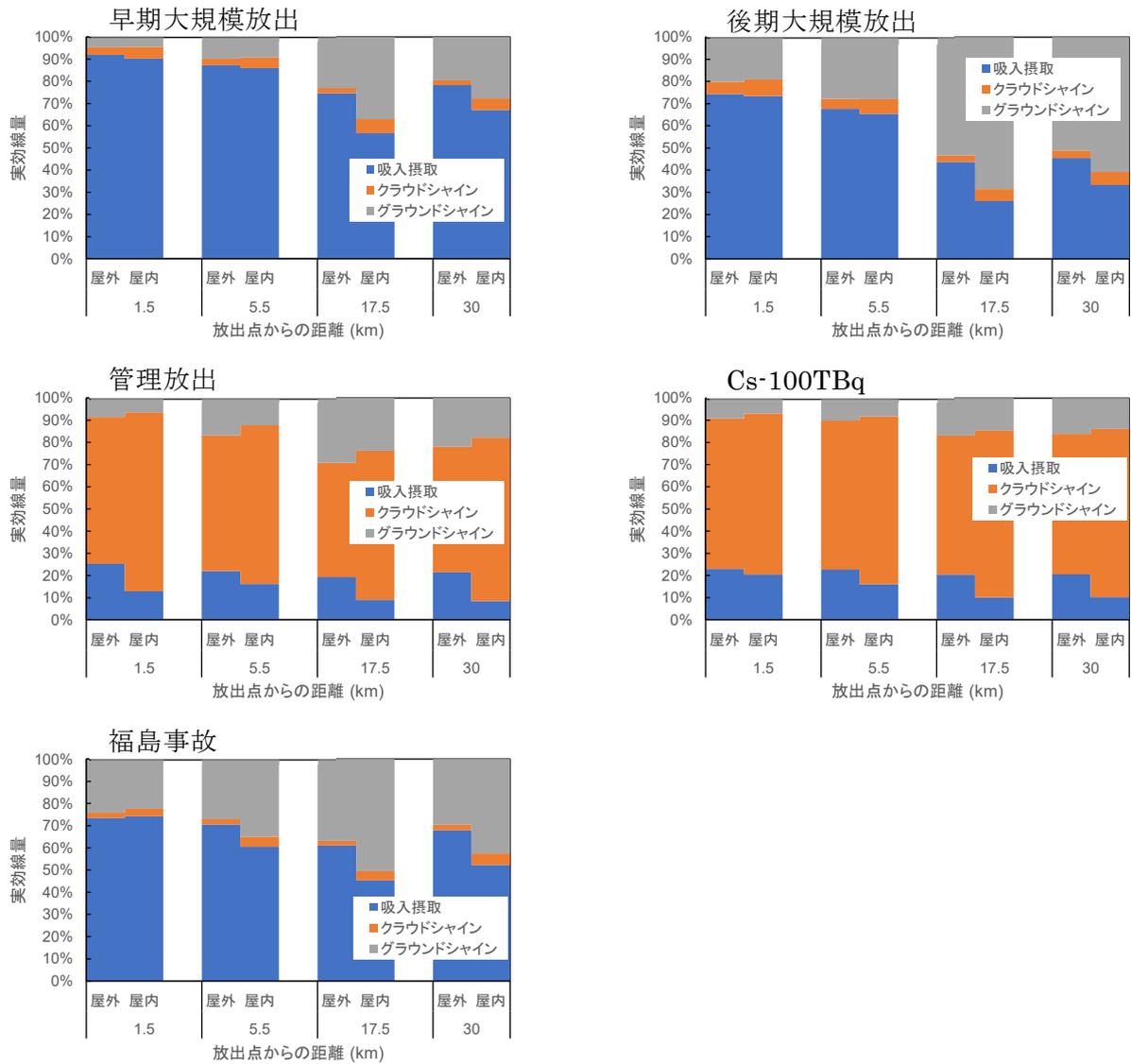


図 5.35 泊サイトにおける全体の 7 日間累積実効線量に対する各被ばく経路の割合 (95%値となった気象シーケンスを利用)

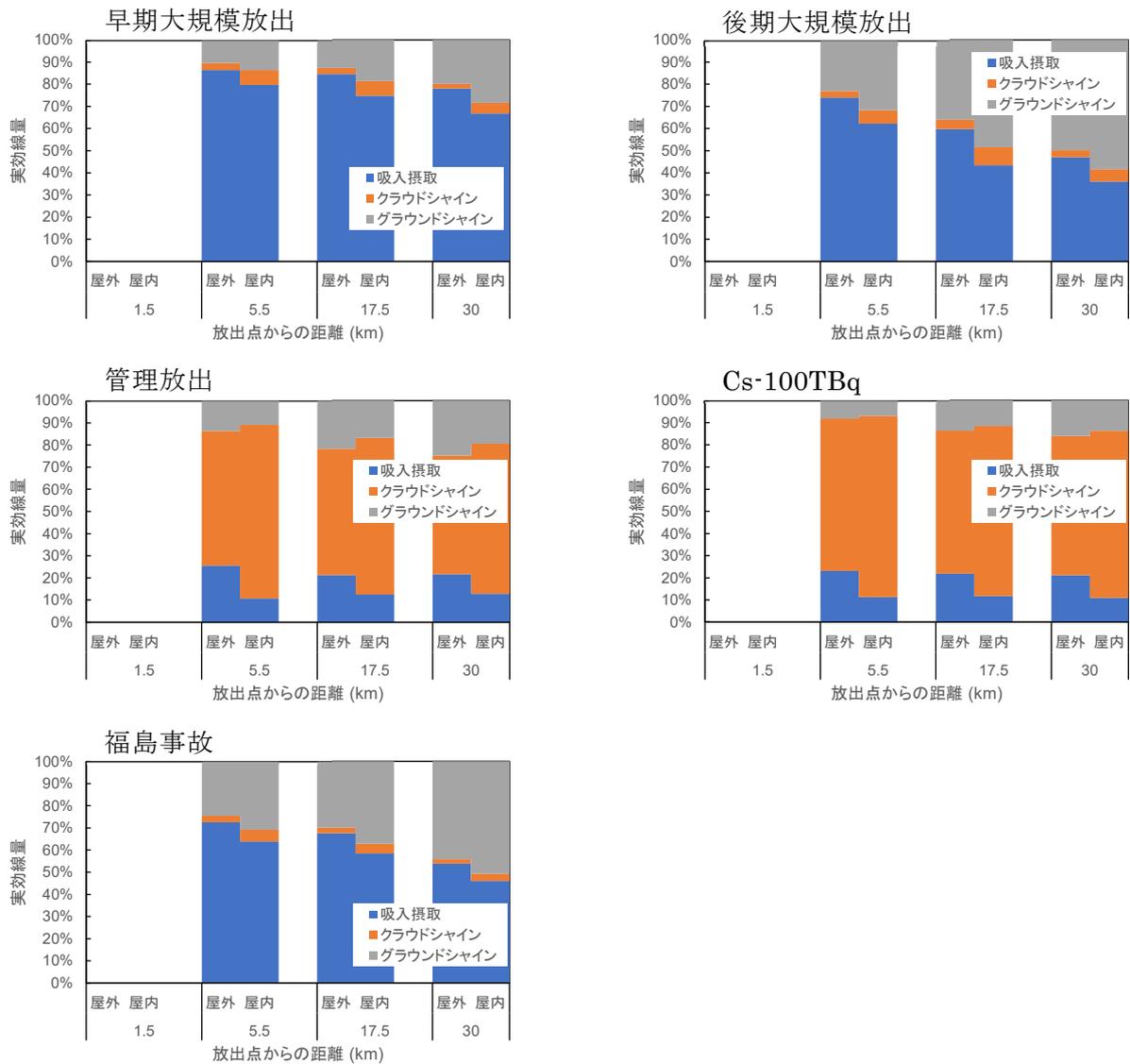


図 5.36 東通サイトにおける全体の 7 日間累積実効線量に対する各被ばく経路の割合 (95%値となった気象シーケンスを利用)

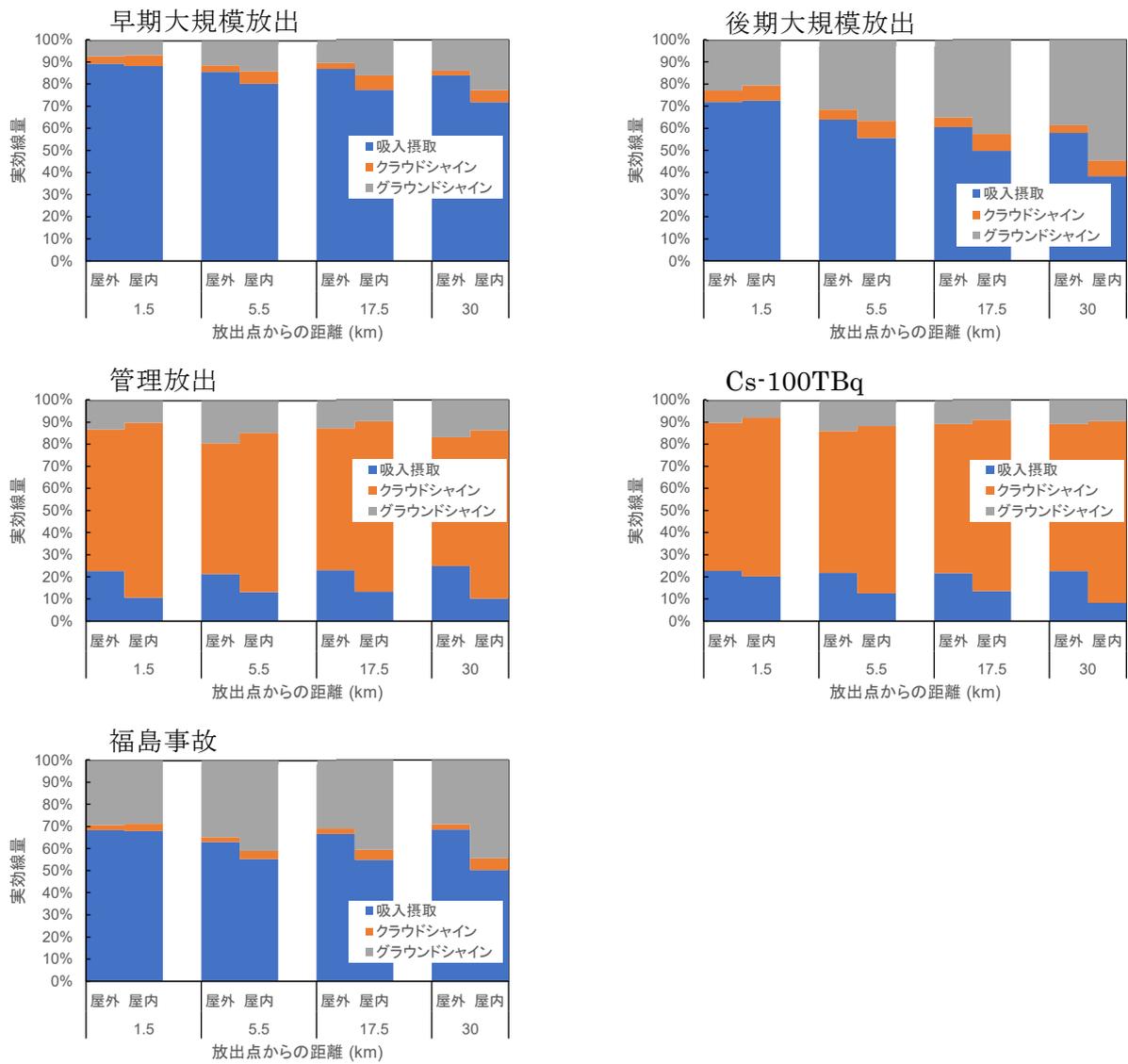


図 5.37 女川サイトにおける全体の 7 日間累積実効線量に対する各被ばく経路の割合 (95%値となった気象シーケンスを利用)

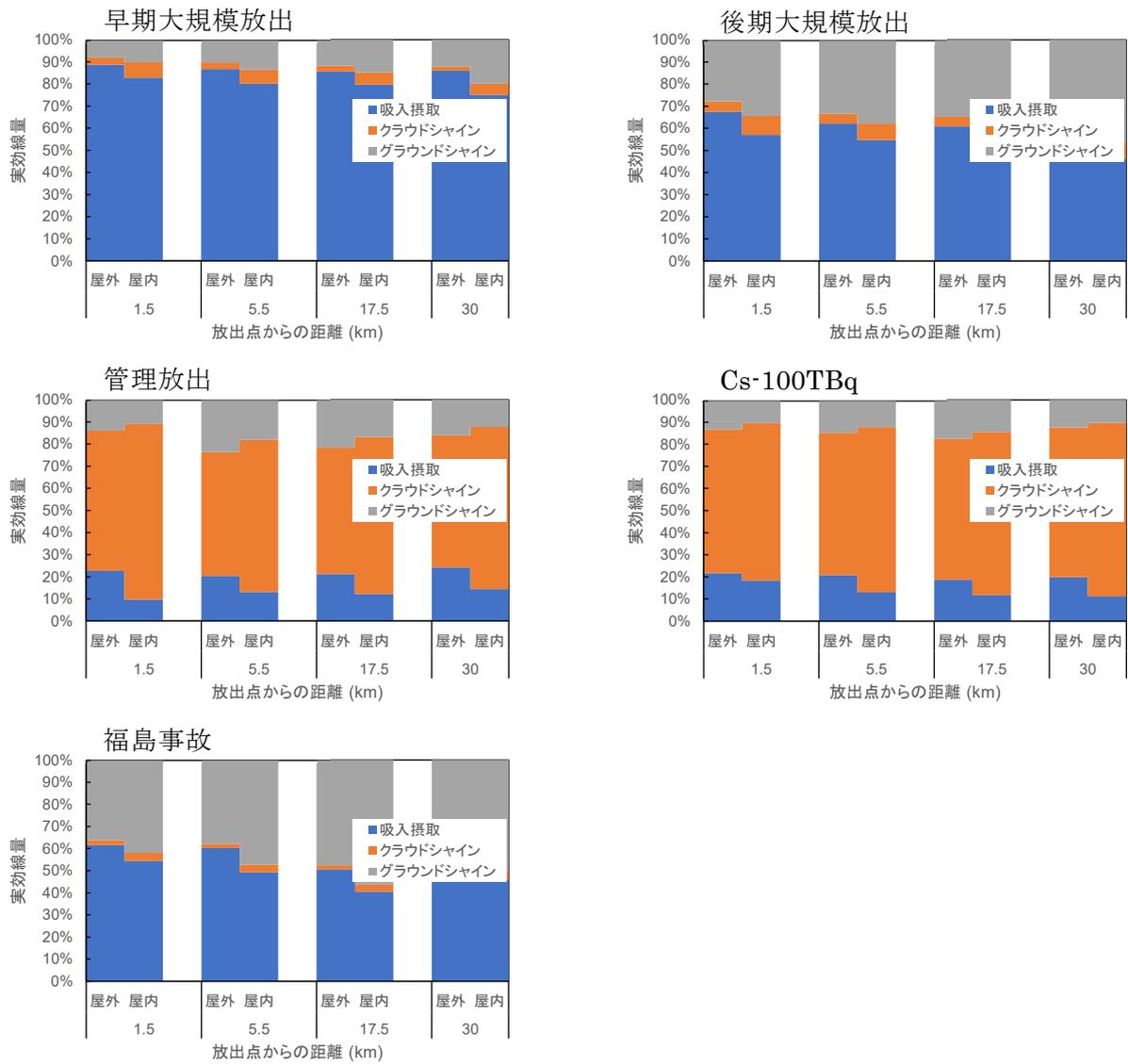


図 5.38 福島第一サイトにおける全体の 7 日間累積実効線量に対する各被ばく経路の割合 (95%値となった気象シーケンスを利用)

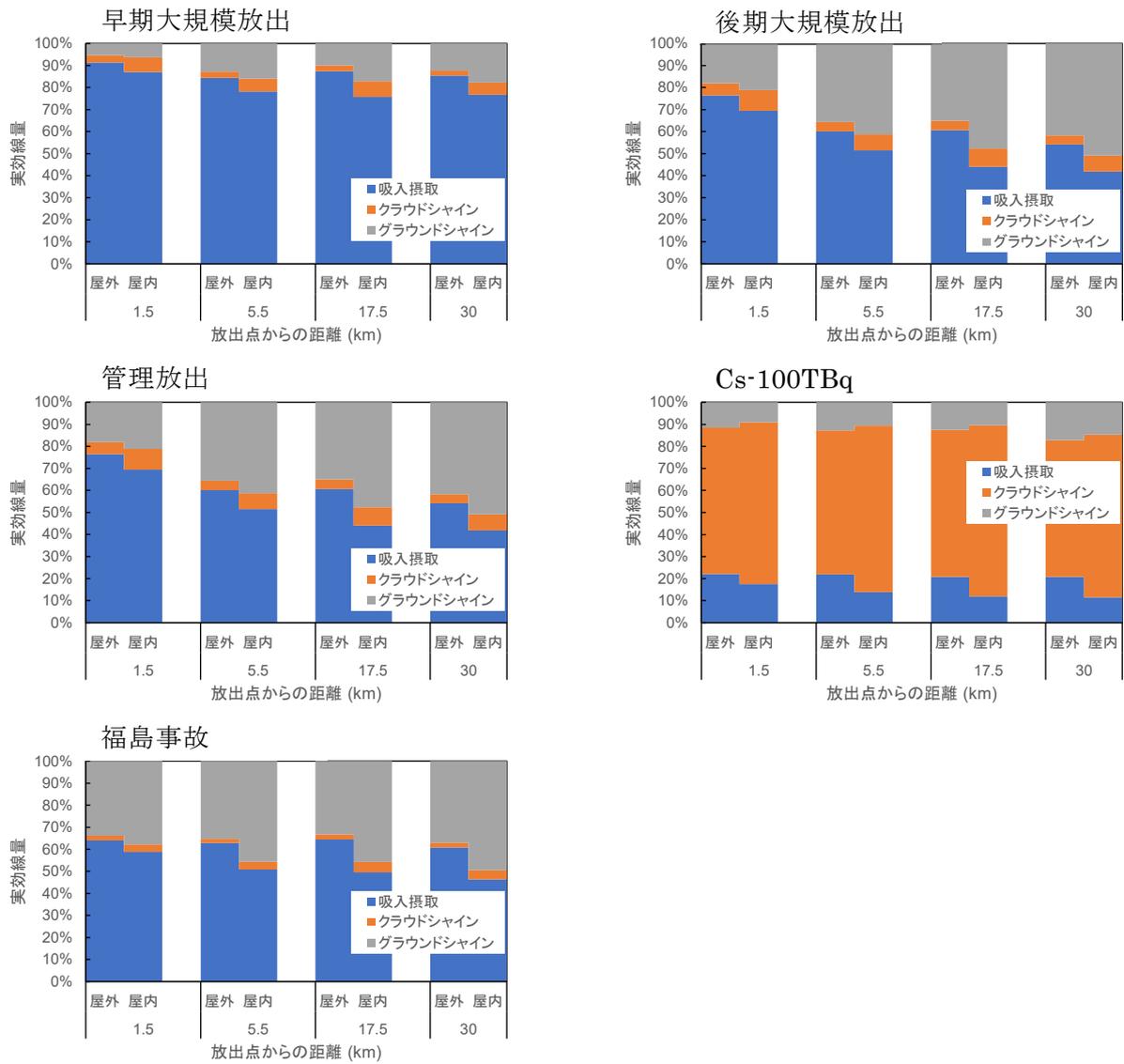


図 5.39 東海サイトにおける全体の 7 日間累積実効線量に対する各被ばく経路の割合 (95%値となった気象シーケンスを利用)

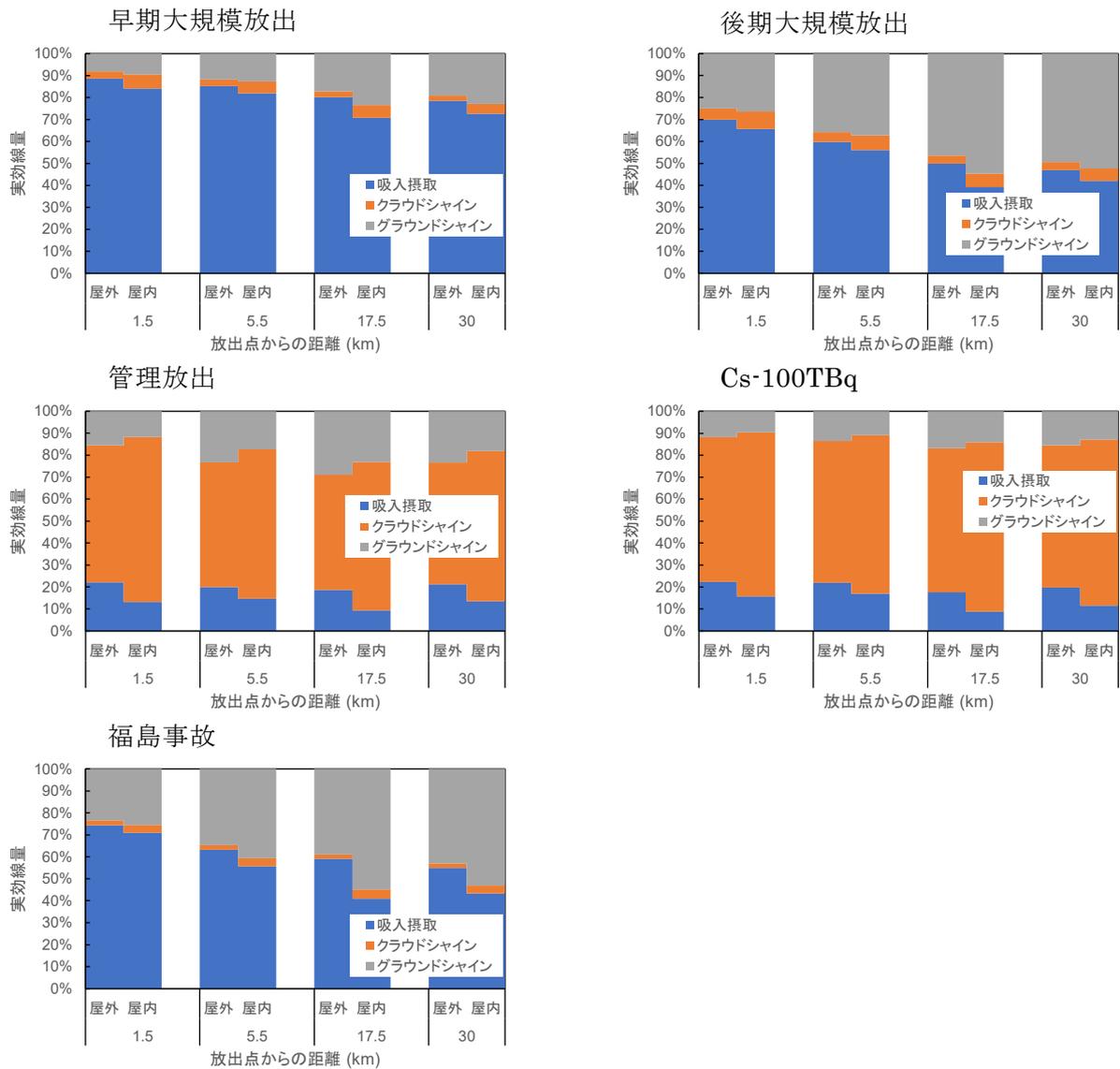


図 5.40 志賀サイトにおける全体の 7 日間累積実効線量に対する各被ばく経路の割合 (95%値となった気象シーケンスを利用)

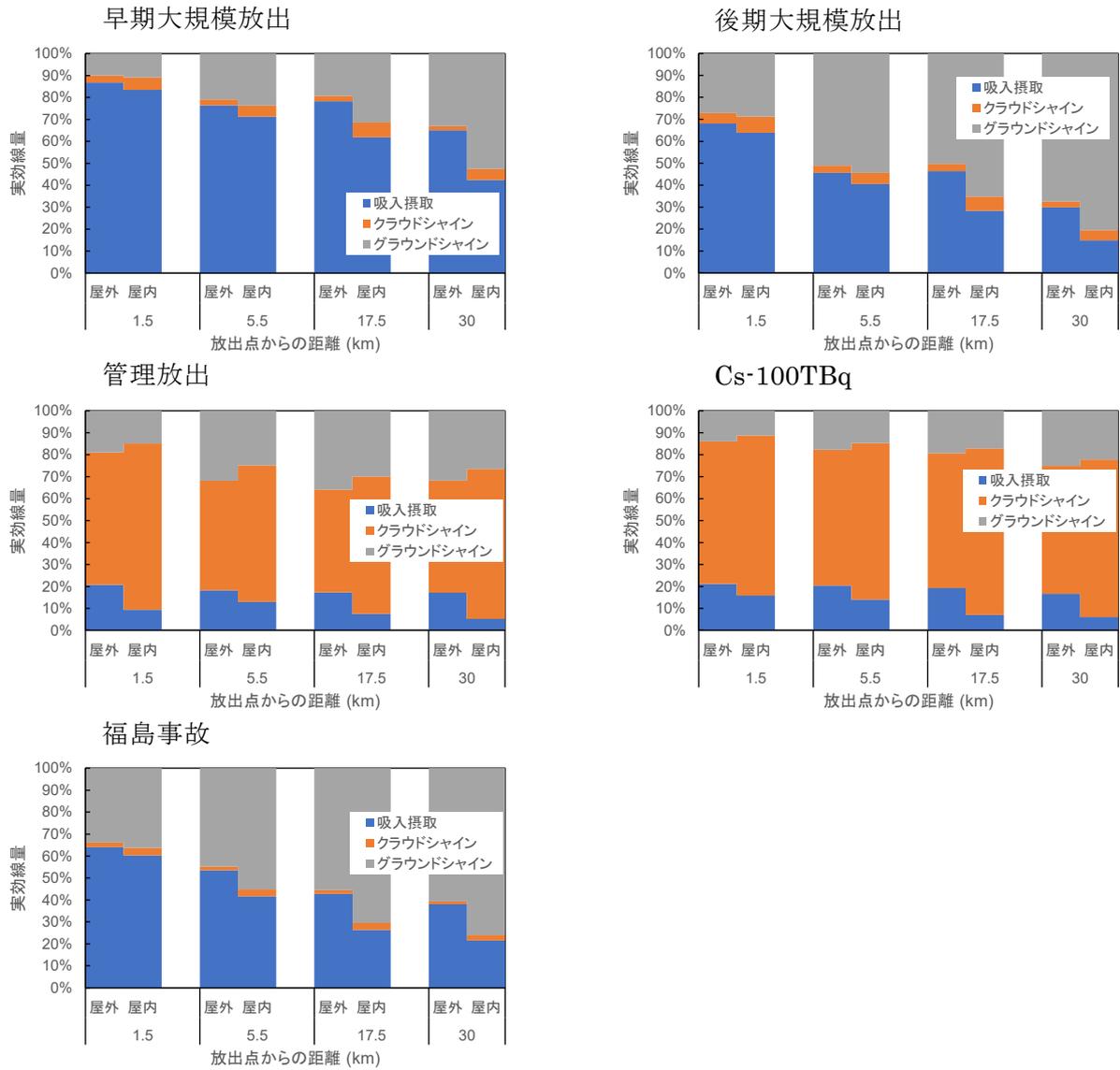


図 5.41 柏崎刈羽サイトにおける全体の 7 日間累積実効線量に対する各被ばく経路の割合 (95%値となった気象シーケンスを利用)

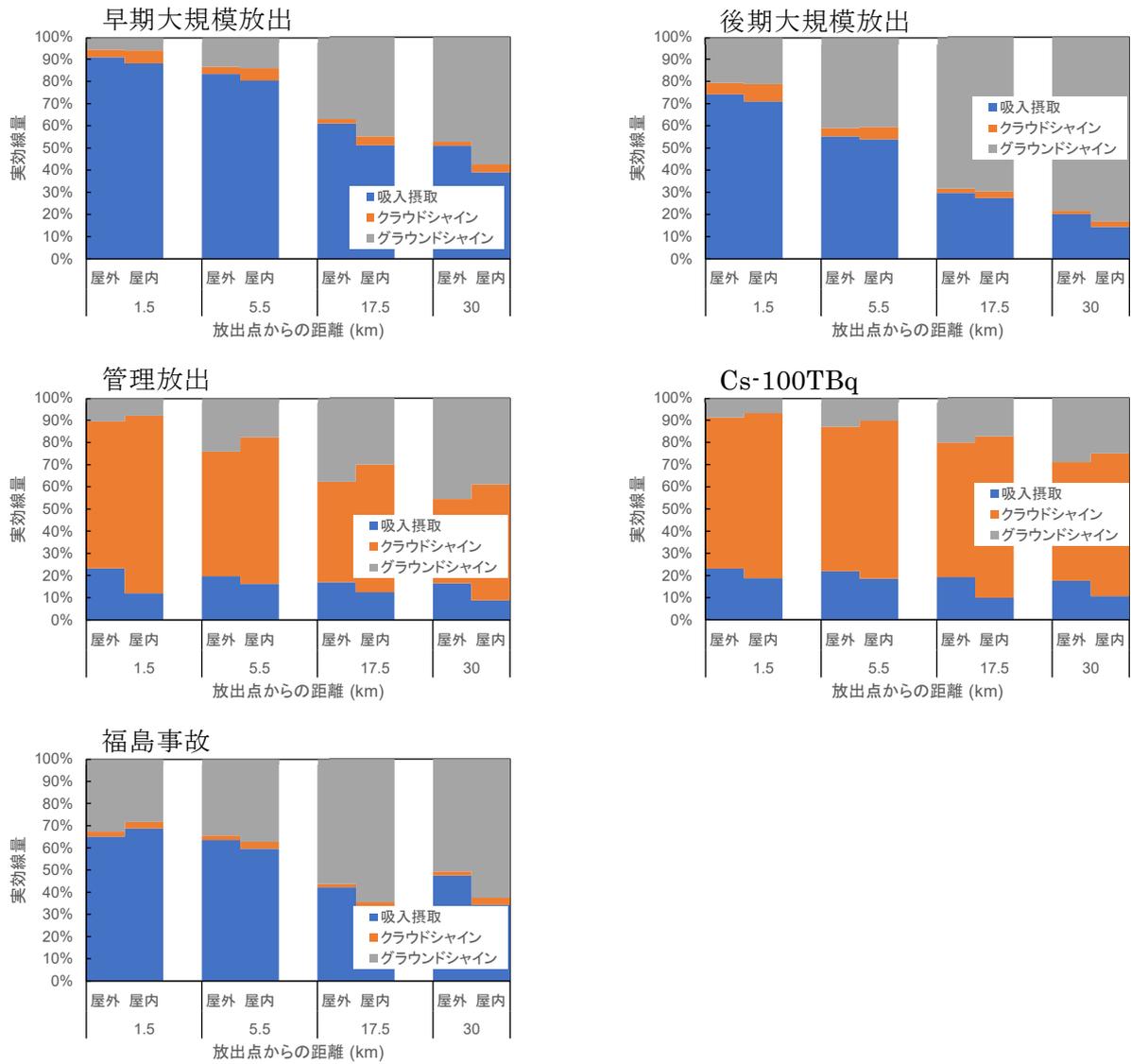


図 5.42 浜岡サイトにおける全体の 7 日間累積実効線量に対する各被ばく経路の割合 (95%値となった気象シーケンスを利用)

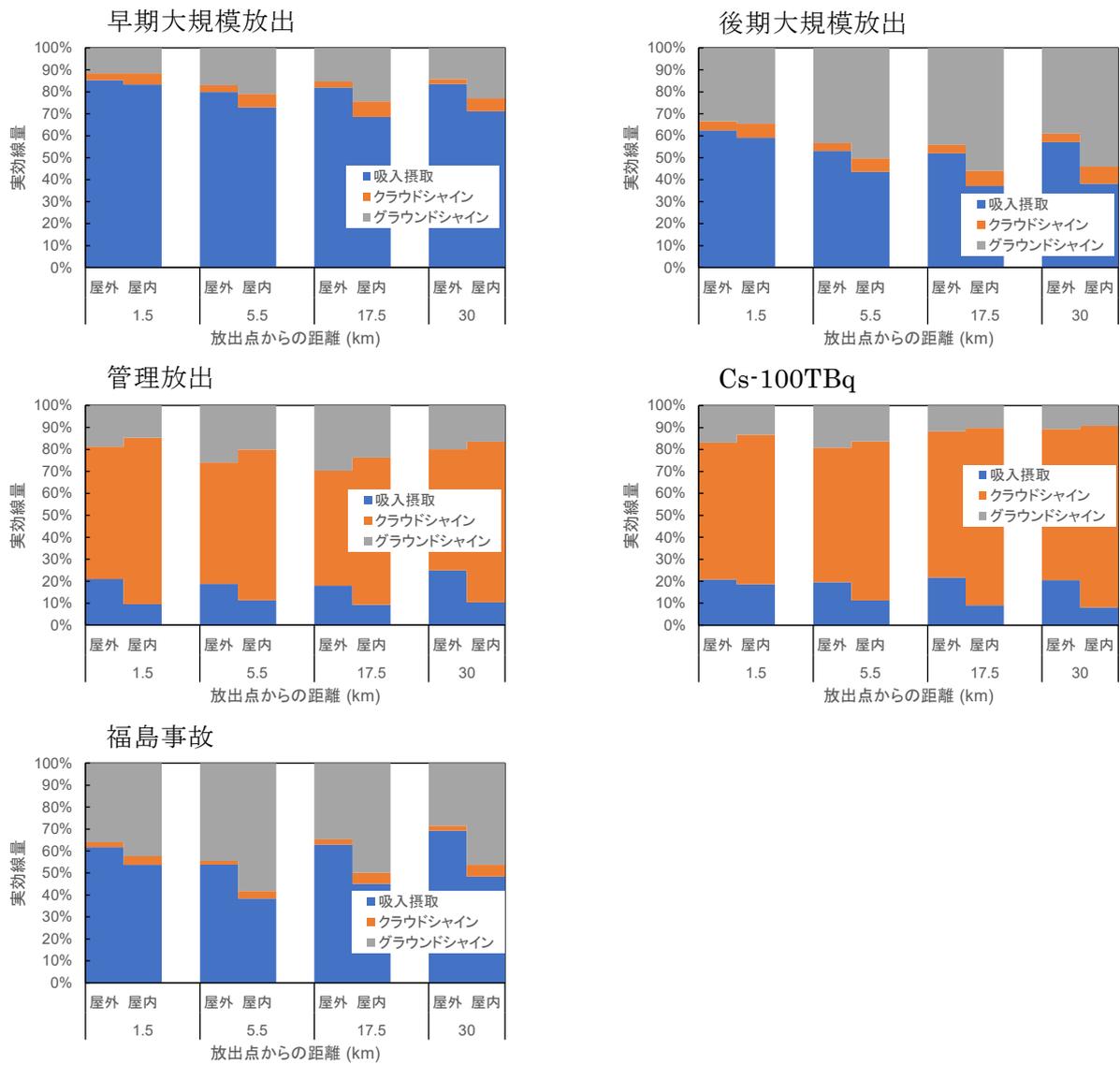


図 5.43 高浜サイトにおける全体の 7 日間累積実効線量に対する各被ばく経路の割合 (95%値となった気象シーケンスを利用)

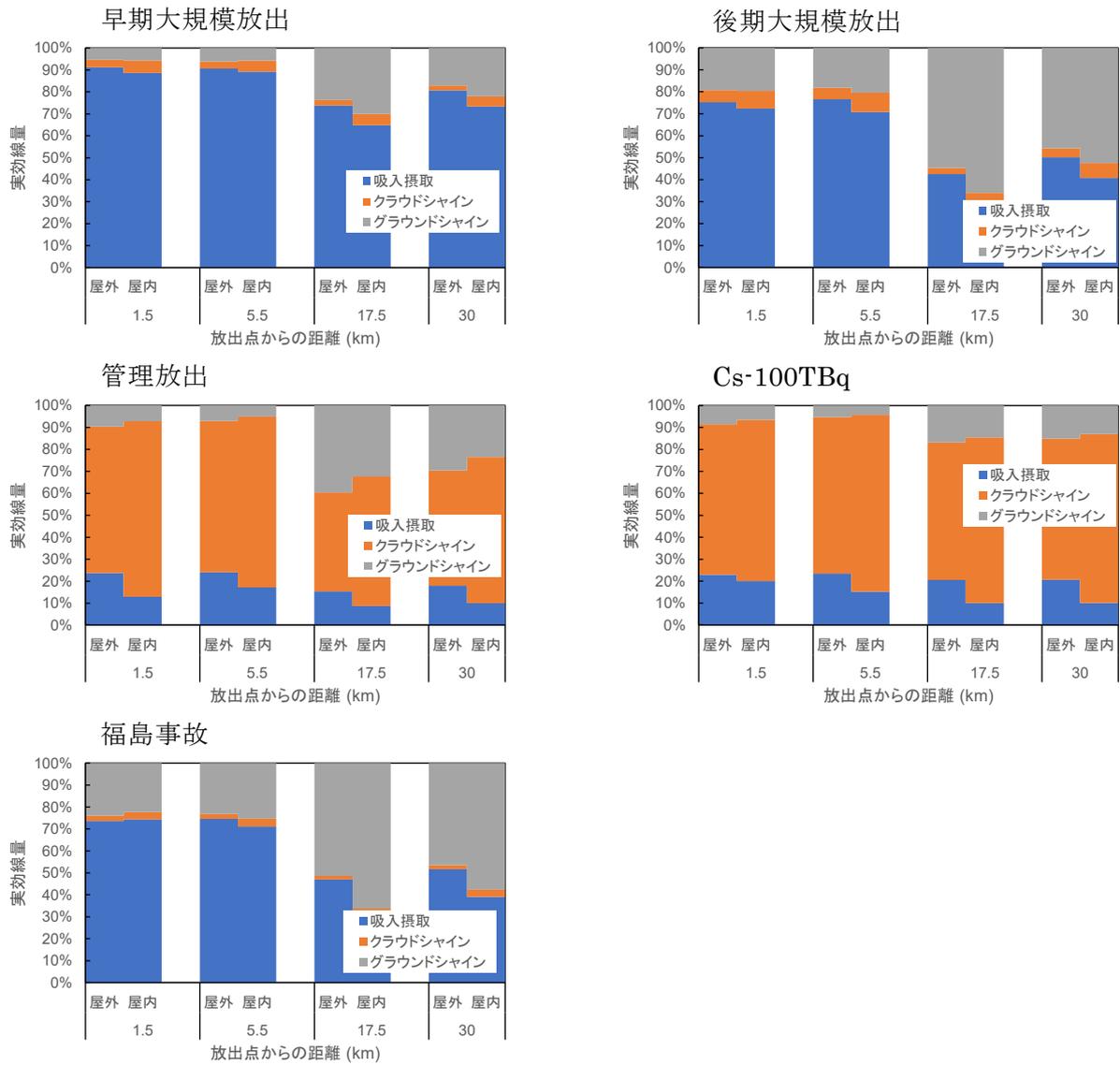


図 5.44 敦賀サイトにおける全体の 7 日間累積実効線量に対する各被ばく経路の割合 (95%値となった気象シーケンスを利用)

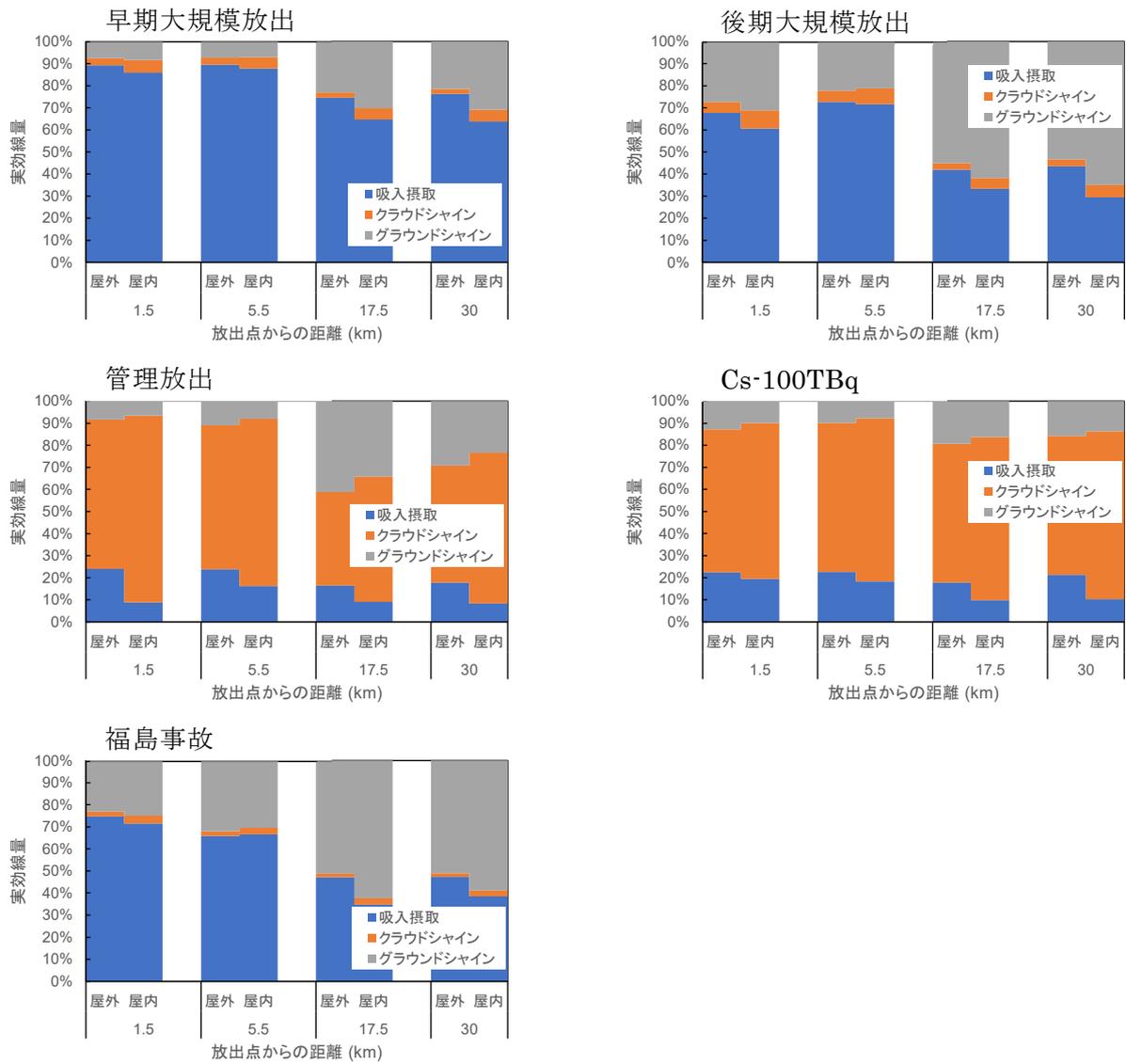


図 5.45 美浜サイトにおける全体の 7 日間累積実効線量に対する各被ばく経路の割合 (95%値となった気象シーケンスを利用)

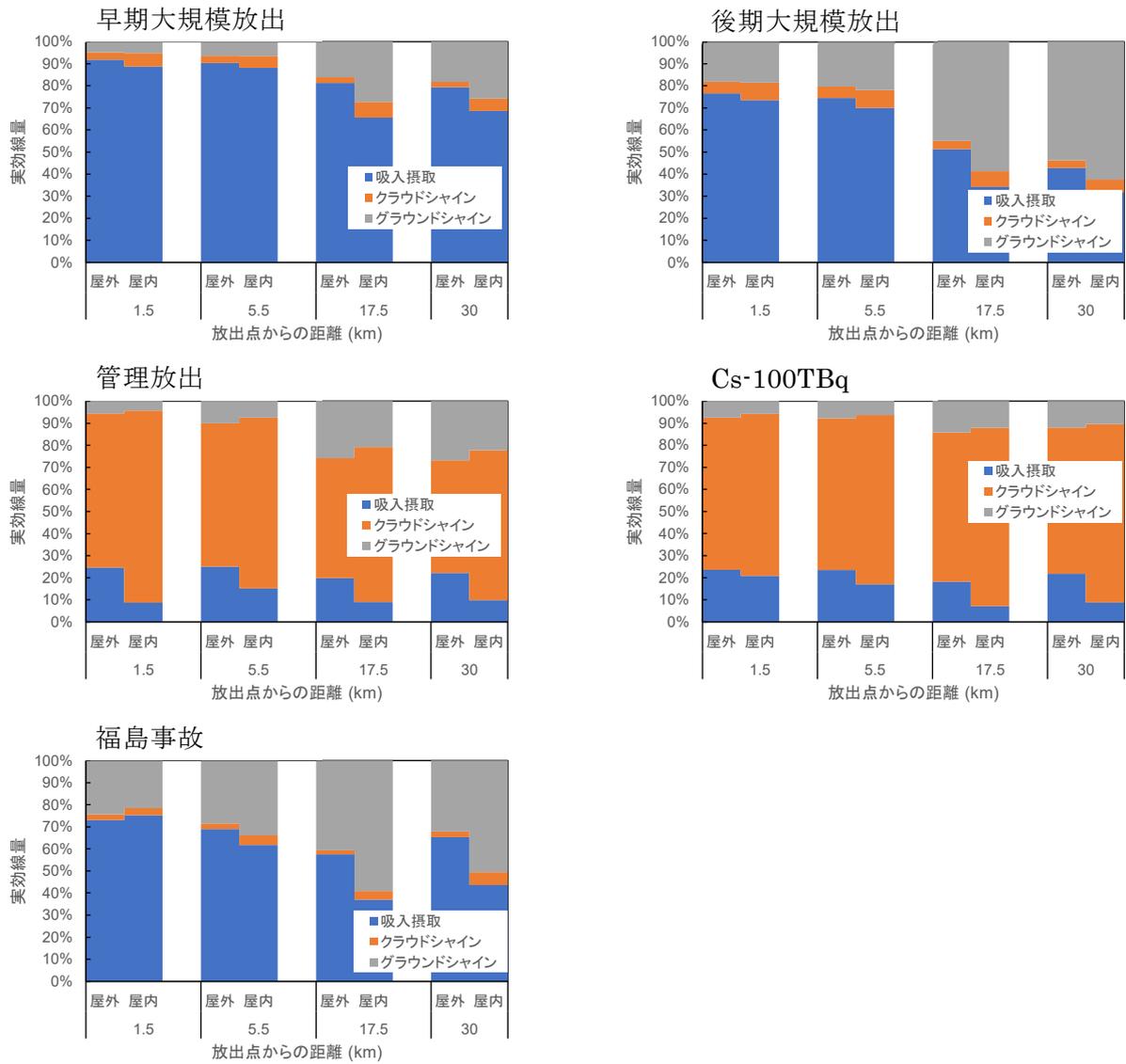


図 5.46 大飯サイトにおける全体の 7 日間累積実効線量に対する各被ばく経路の割合 (95%値となった気象シーケンスを利用)

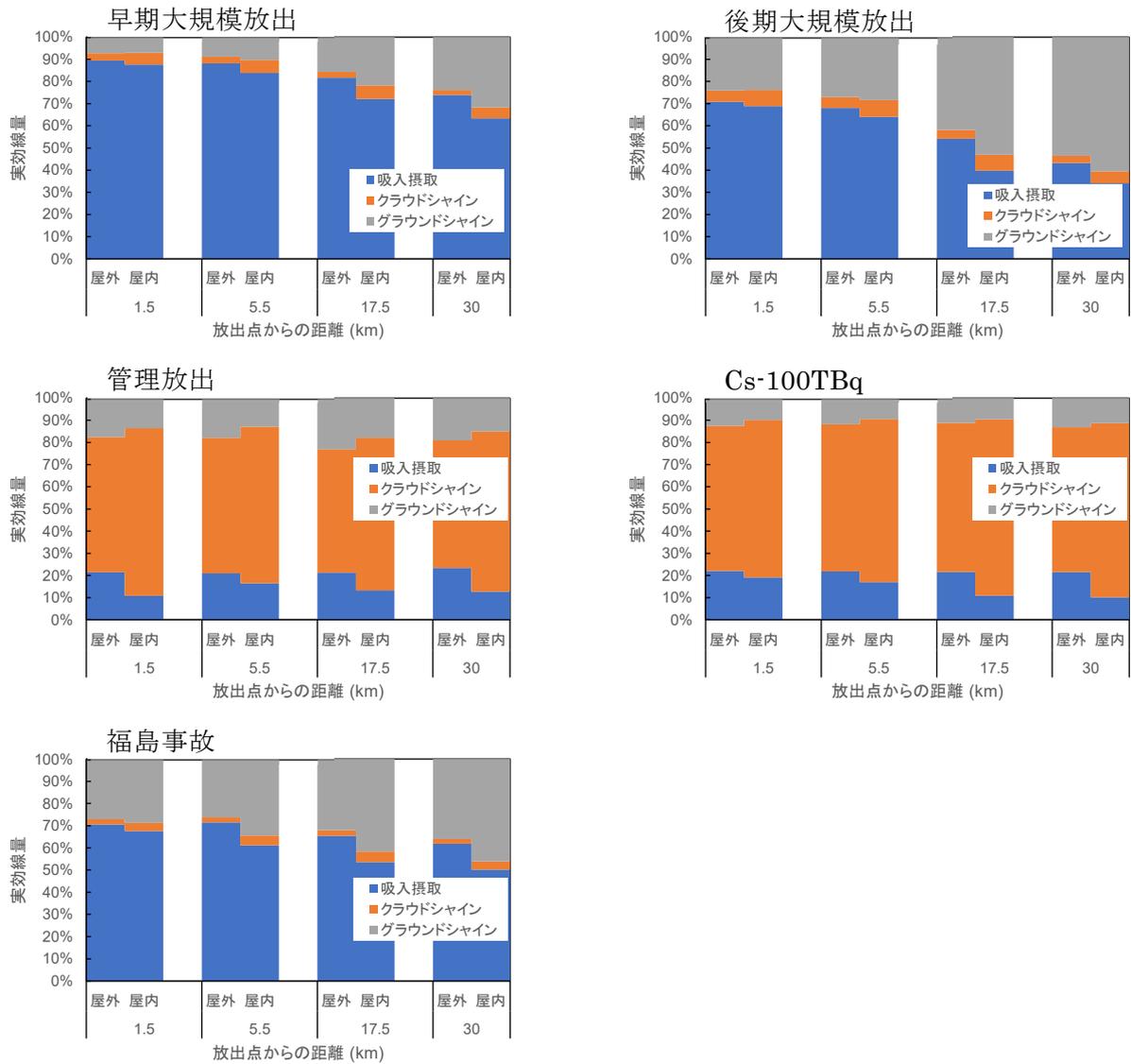


図 5.47 島根サイトにおける全体の 7 日間累積実効線量に対する各被ばく経路の割合 (95%値となった気象シーケンスを利用)

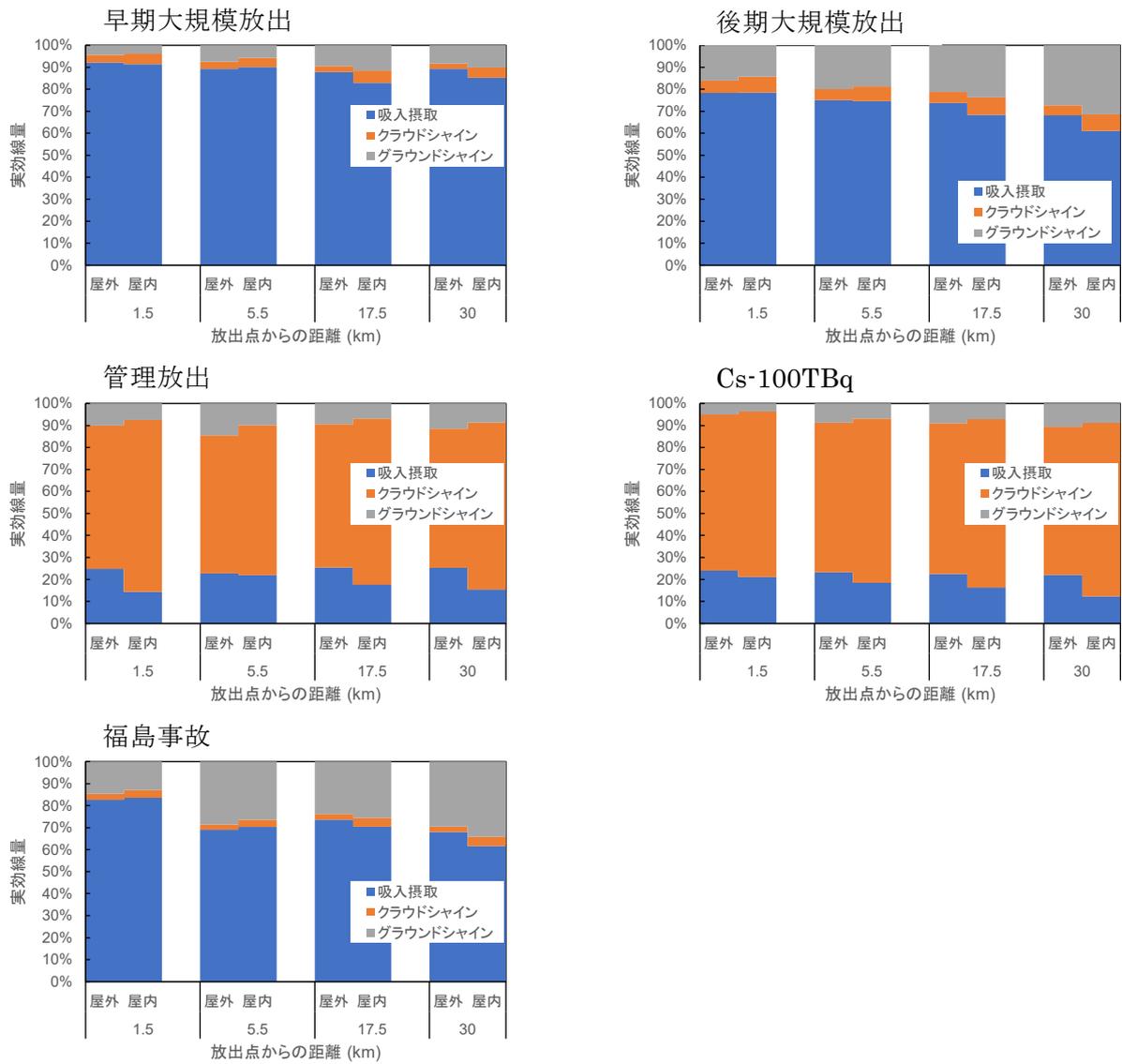


図 5.48 伊方サイトにおける全体の 7 日間累積実効線量に対する各被ばく経路の割合 (95%値となった気象シーケンスを利用)

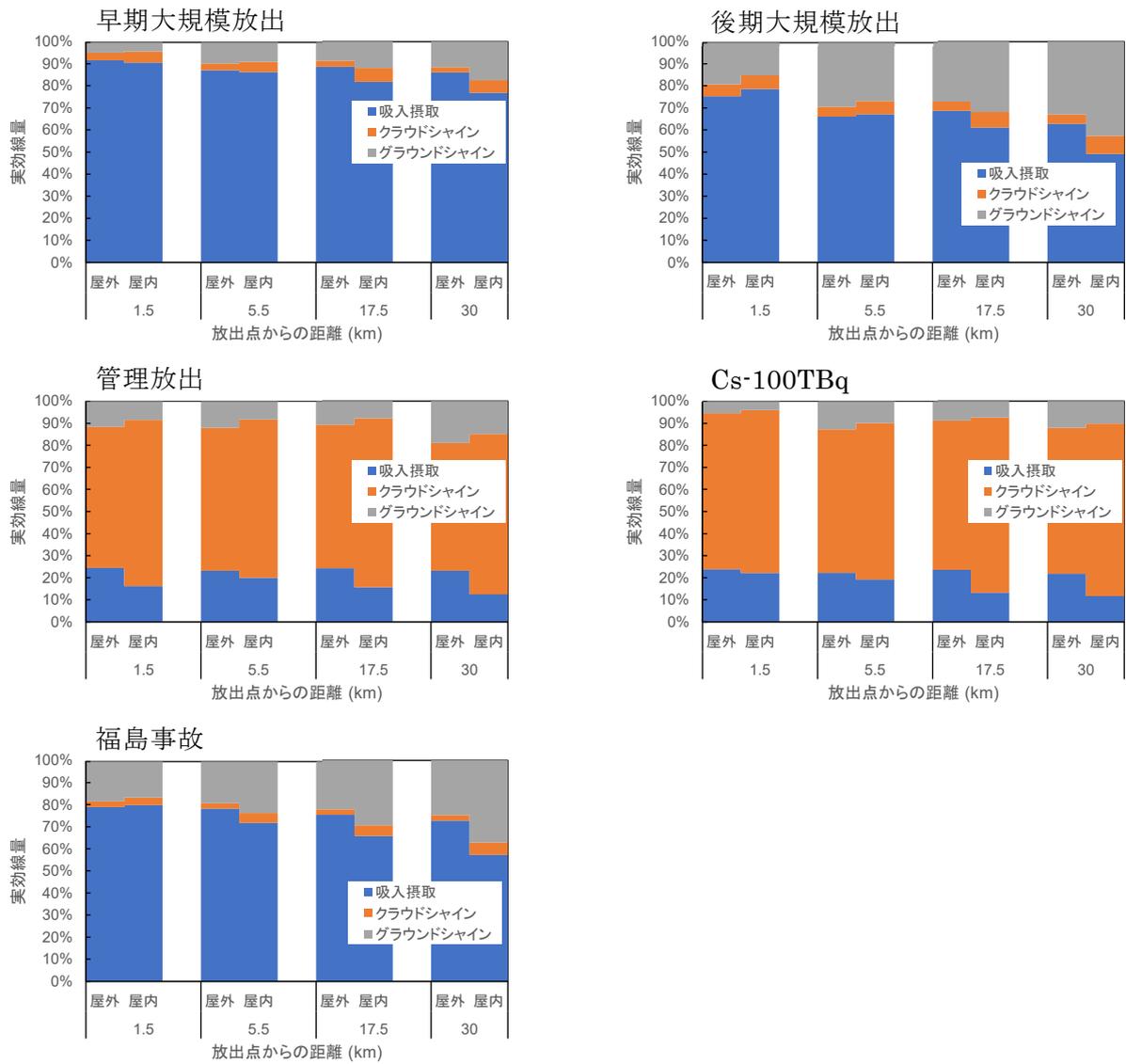


図 5.49 玄海サイトにおける全体の 7 日間累積実効線量に対する各被ばく経路の割合 (95%値となった気象シーケンスを利用)

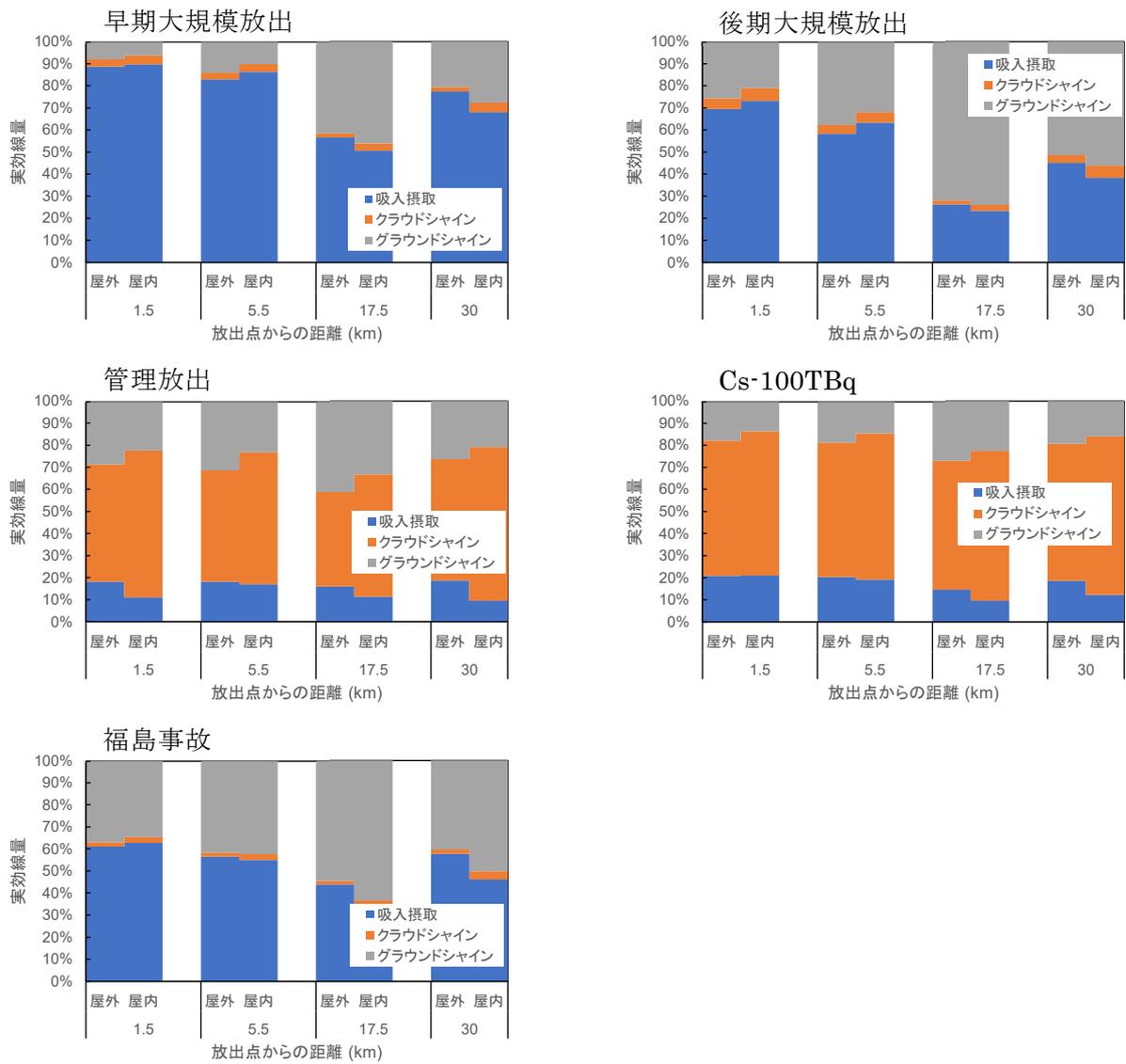


図 5.50 川内サイトにおける全体の 7 日間累積実効線量に対する各被ばく経路の割合 (95%値となった気象シーケンスを利用)

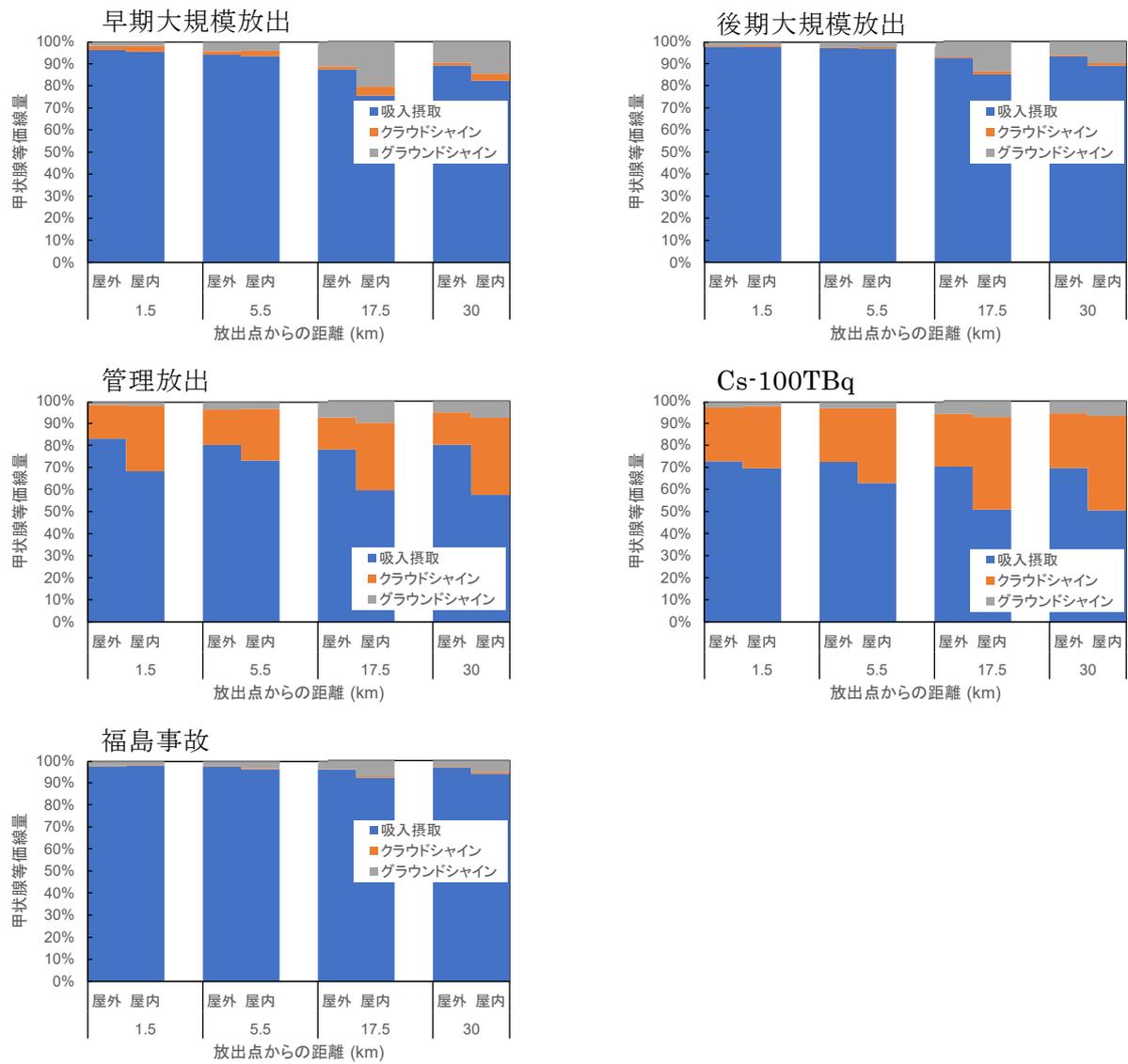


図 5.51 泊サイトにおける全体の 7 日間累積甲状腺等価線量に対する各被ばく経路の割合 (95%値となった気象シーケンスを利用)

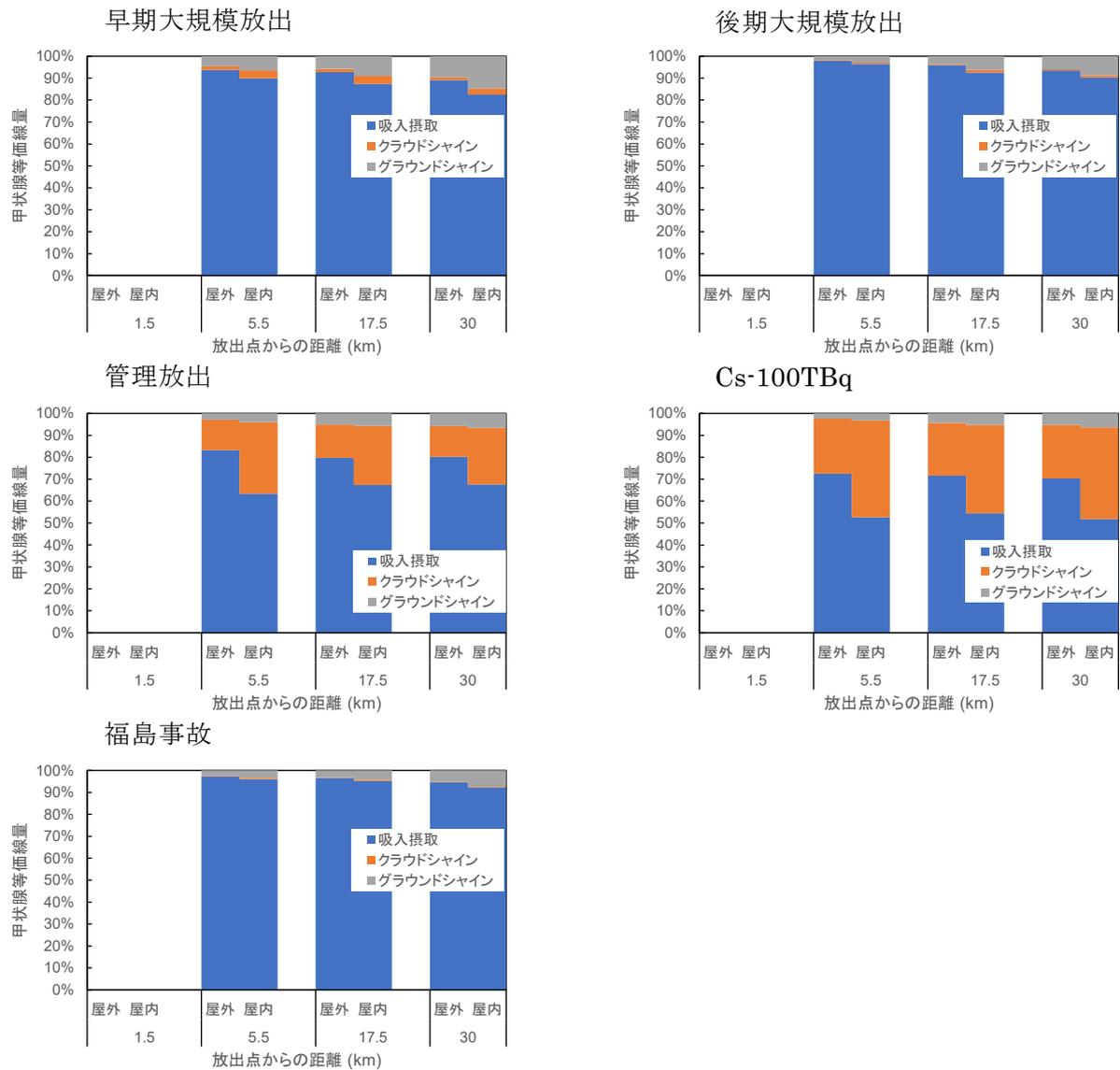


図 5.52 東通サイトにおける全体の 7 日間累積甲状腺等価線量に対する各被ばく経路の割合 (95%値となった気象シーケンスを利用)

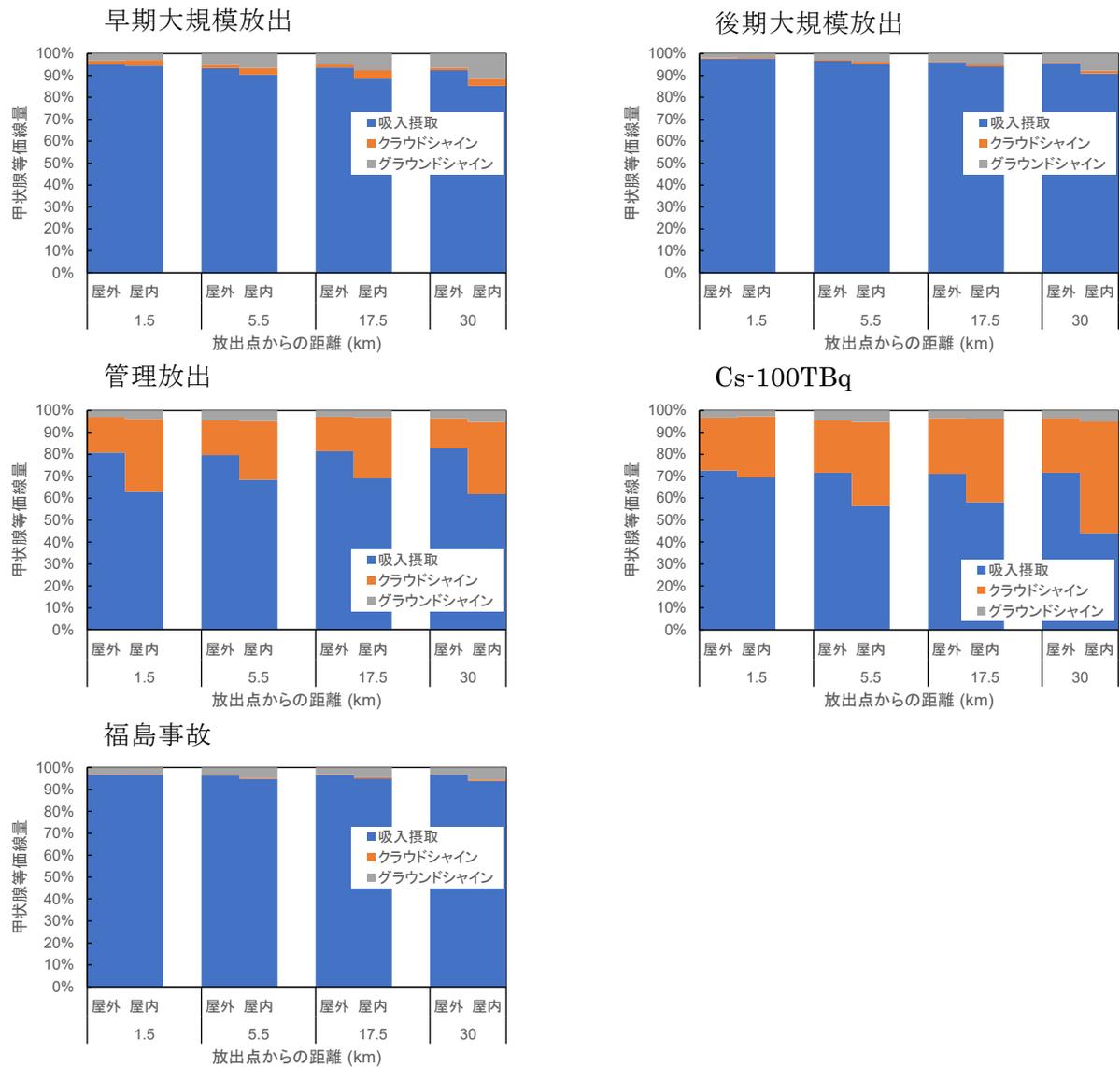


図 5.53 女川サイトにおける全体の 7 日間累積甲状腺等価線量に対する各被ばく経路の割合 (95%値となった気象シーケンスを利用)

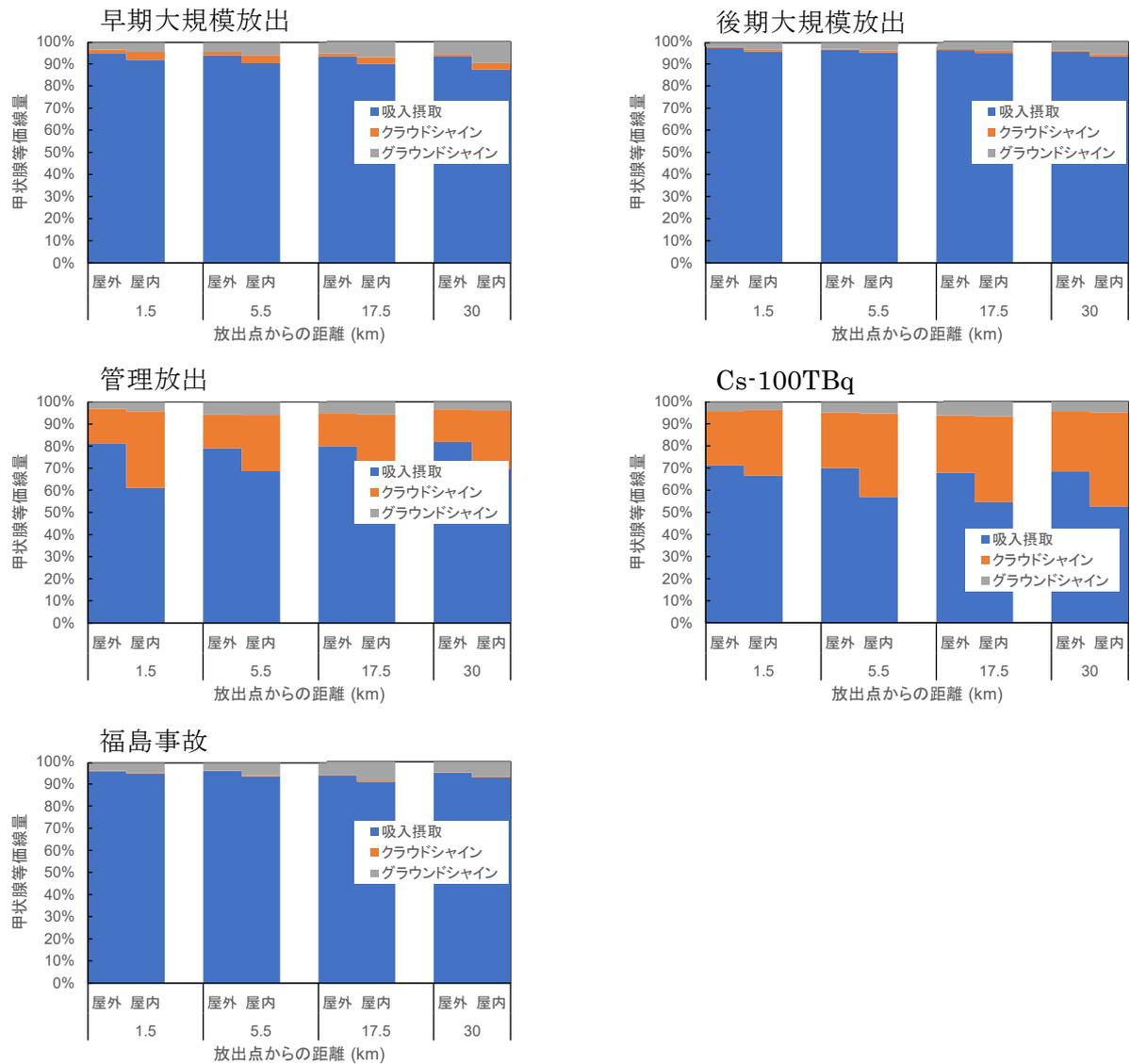


図 5.54 福島第一サイトにおける全体の 7 日間累積甲状腺等価線量に対する各被ばく経路の割合
(95%値となった気象シーケンスを利用)

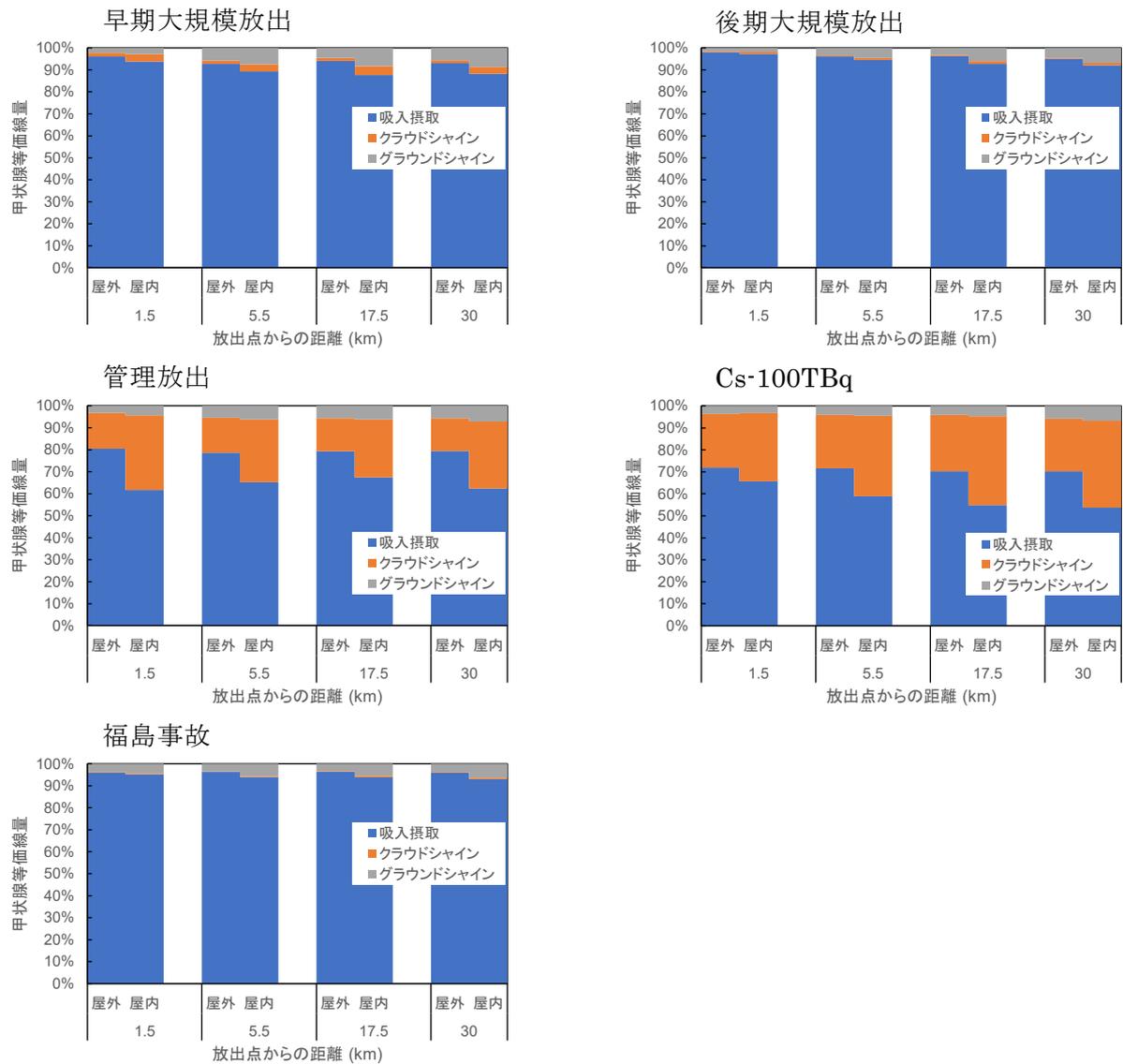


図 5.55 東海サイトにおける全体の 7 日間累積甲状腺等価線量に対する各被ばく経路の割合 (95%値となった気象シーケンスを利用)

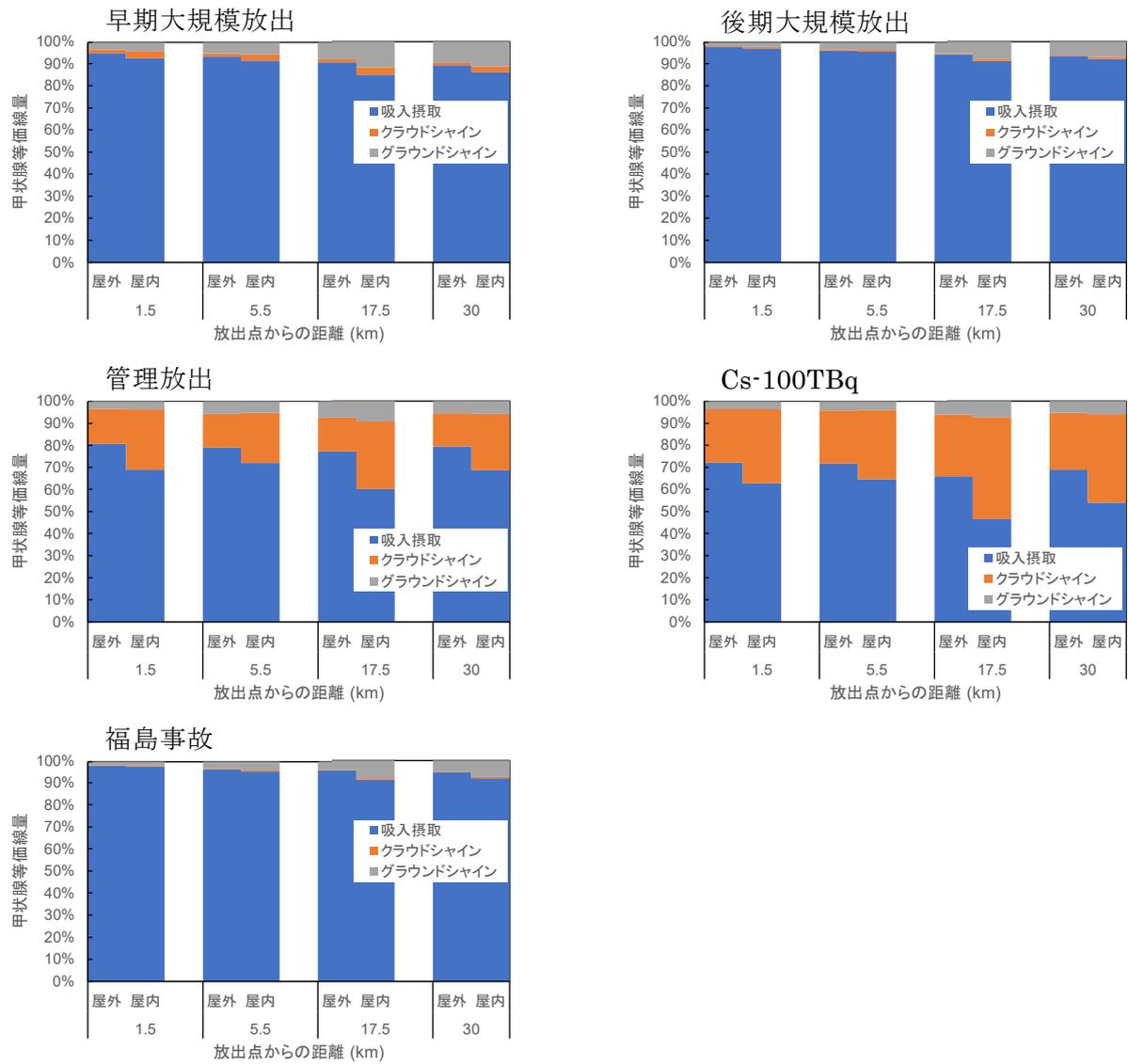


図 5.56 志賀サイトにおける全体の 7 日間累積甲状腺等価線量に対する各被ばく経路の割合 (95%値となった気象シーケンスを利用)

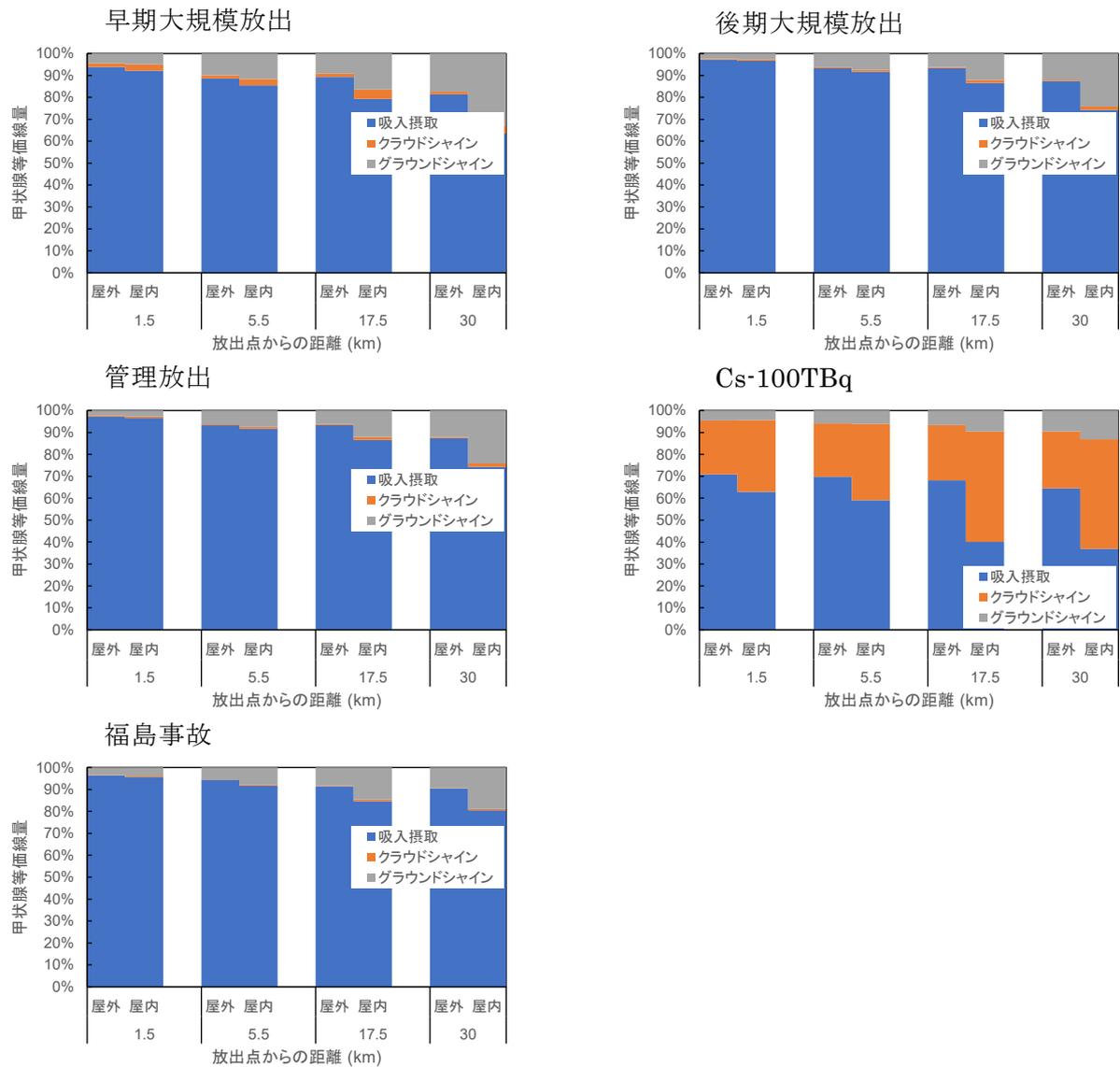


図 5.57 柏崎刈羽サイトにおける全体の 7 日間累積甲状腺等価線量に対する各被ばく経路の割合
(95%値となった気象シーケンスを利用)

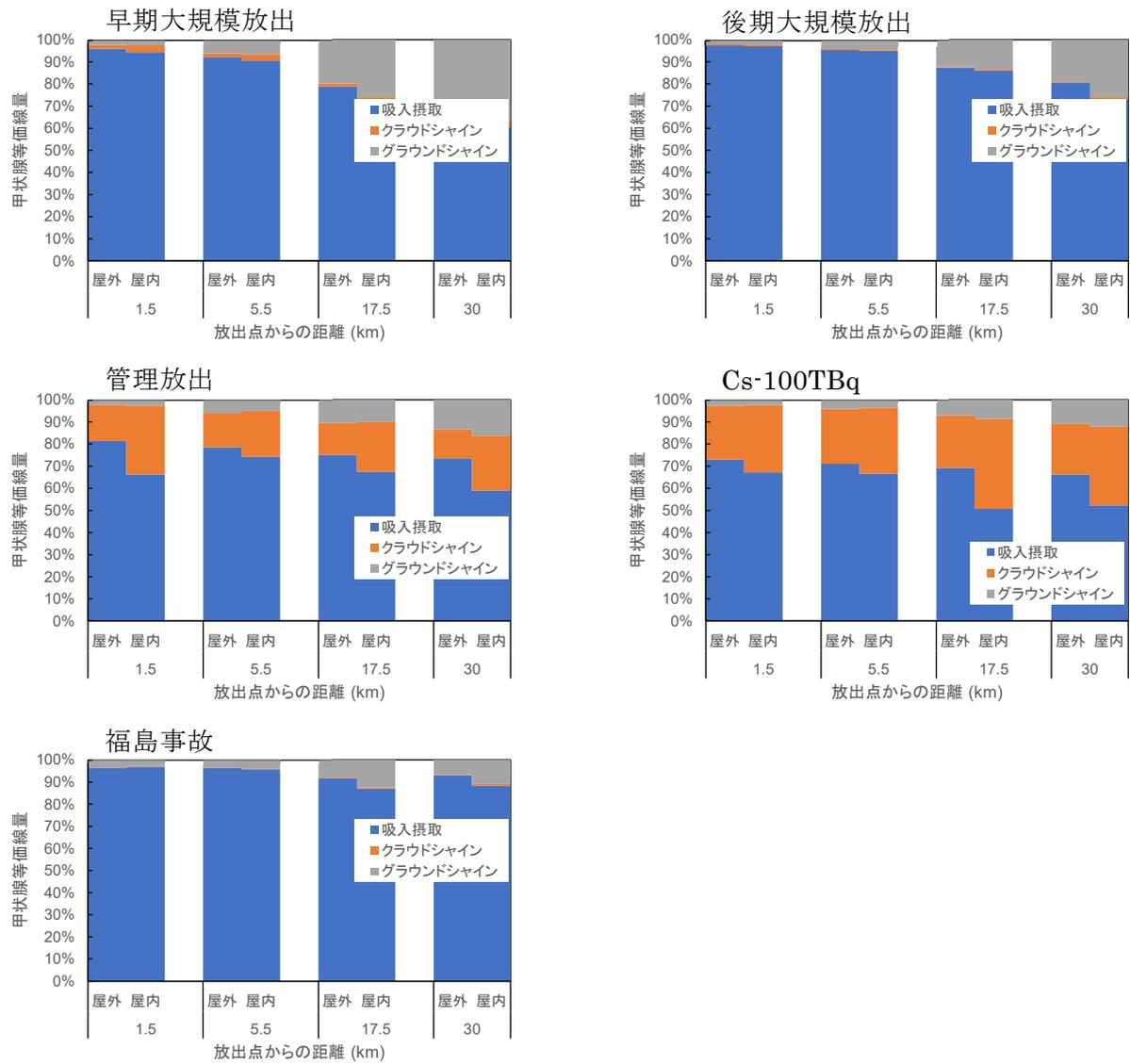


図 5.58 浜岡サイトにおける全体の 7 日間累積甲状腺等価線量に対する各被ばく経路の割合 (95%値となった気象シーケンスを利用)

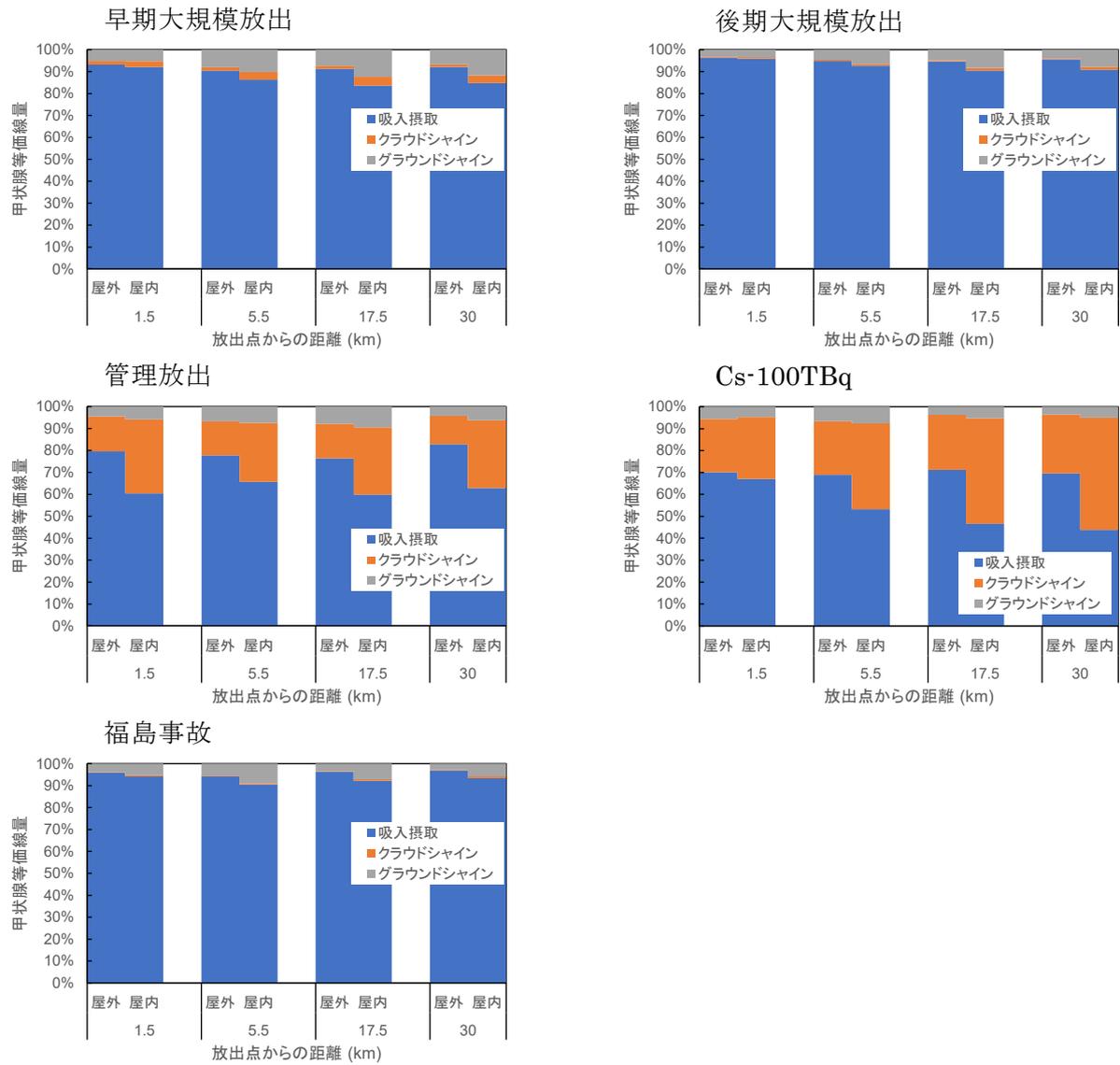


図 5.59 高浜サイトにおける全体の7日間累積甲状腺等価線量に対する各被ばく経路の割合 (95%値となった気象シーケンスを利用)

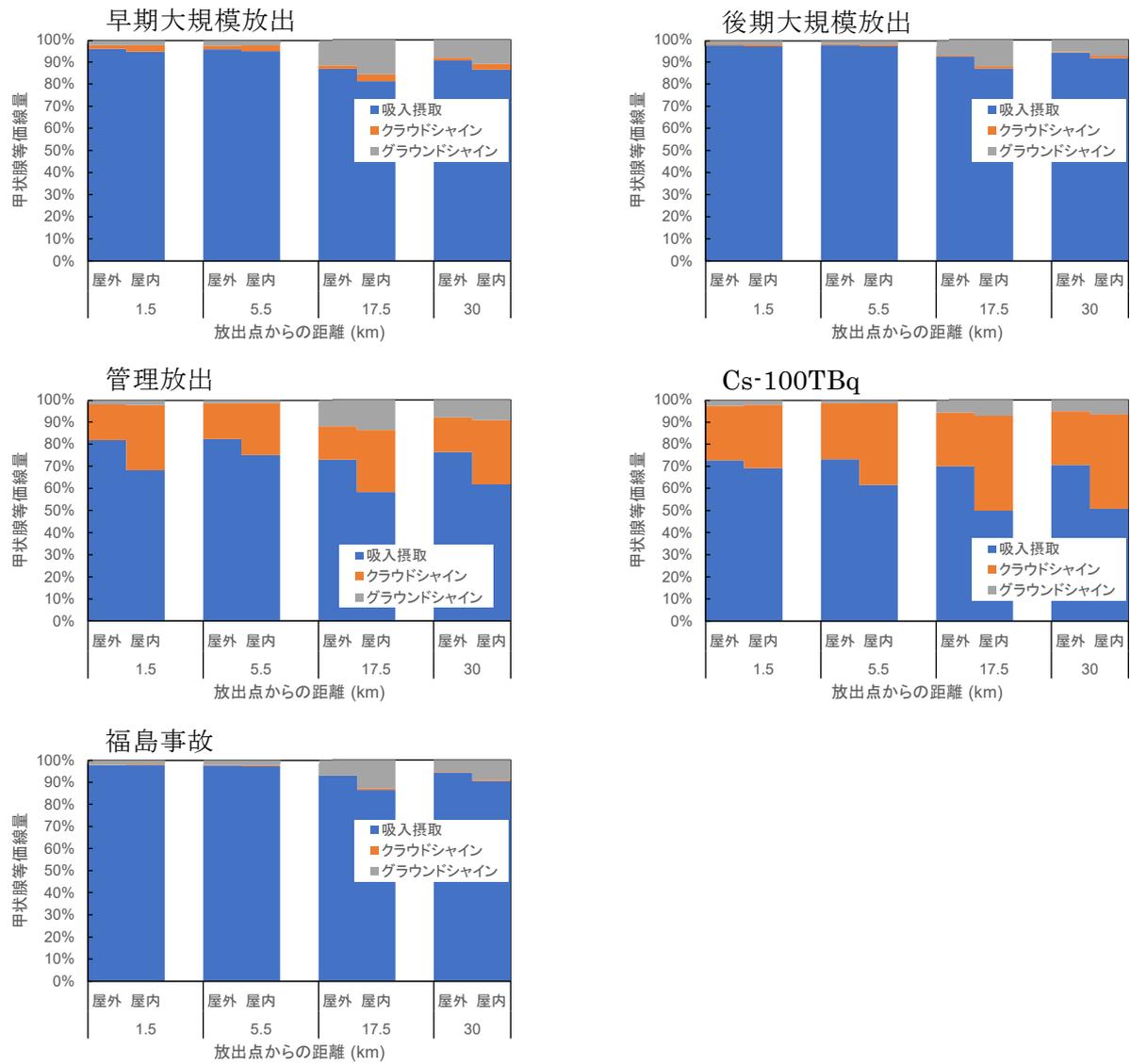


図 5.60 敦賀サイトにおける全体の 7 日間累積甲状腺等価線量に対する各被ばく経路の割合 (95%値となった気象シーケンスを利用)

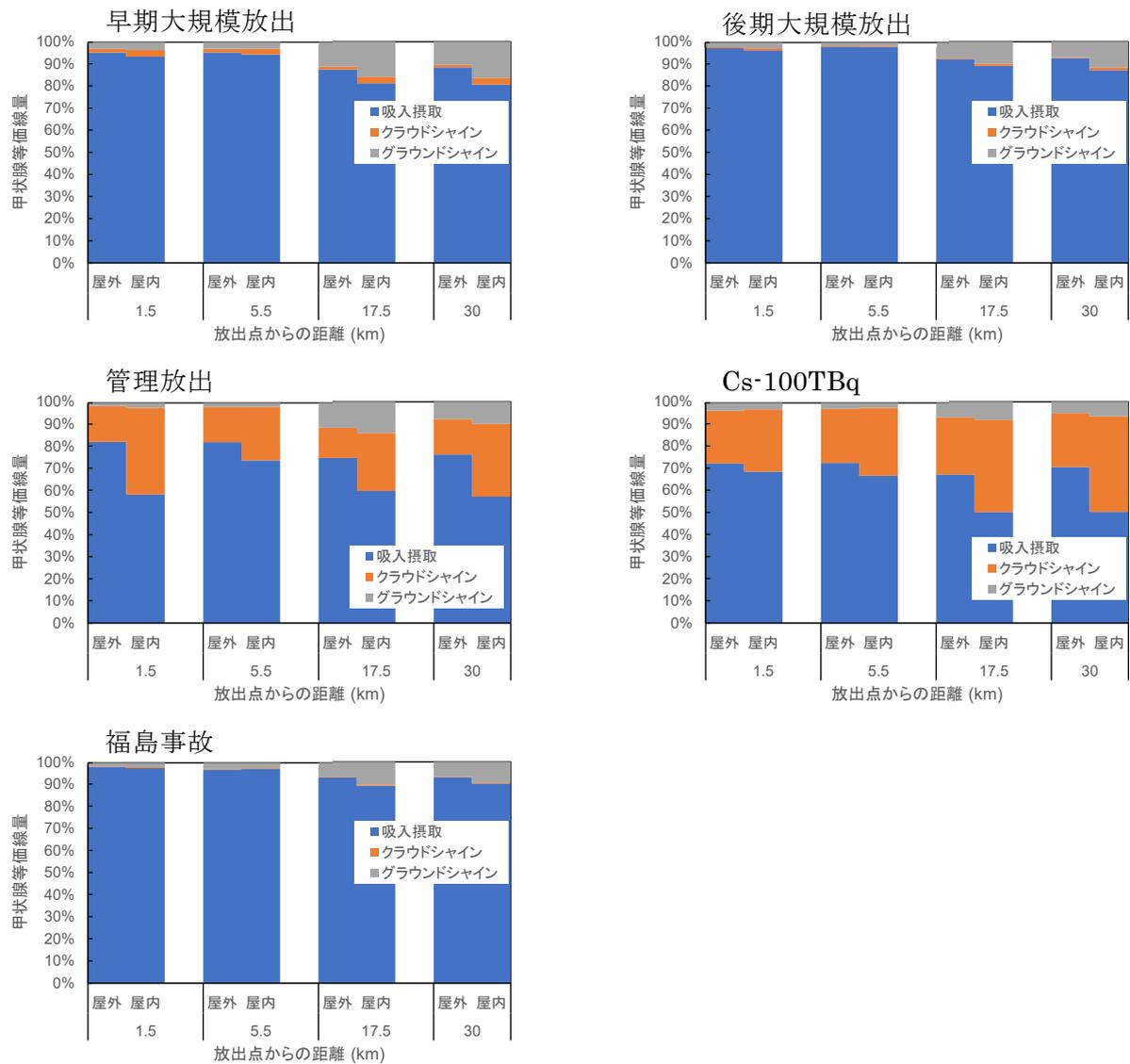


図 5.61 美浜サイトにおける全体の 7 日間累積甲状腺等価線量に対する各被ばく経路の割合 (95%値となった気象シーケンスを利用)

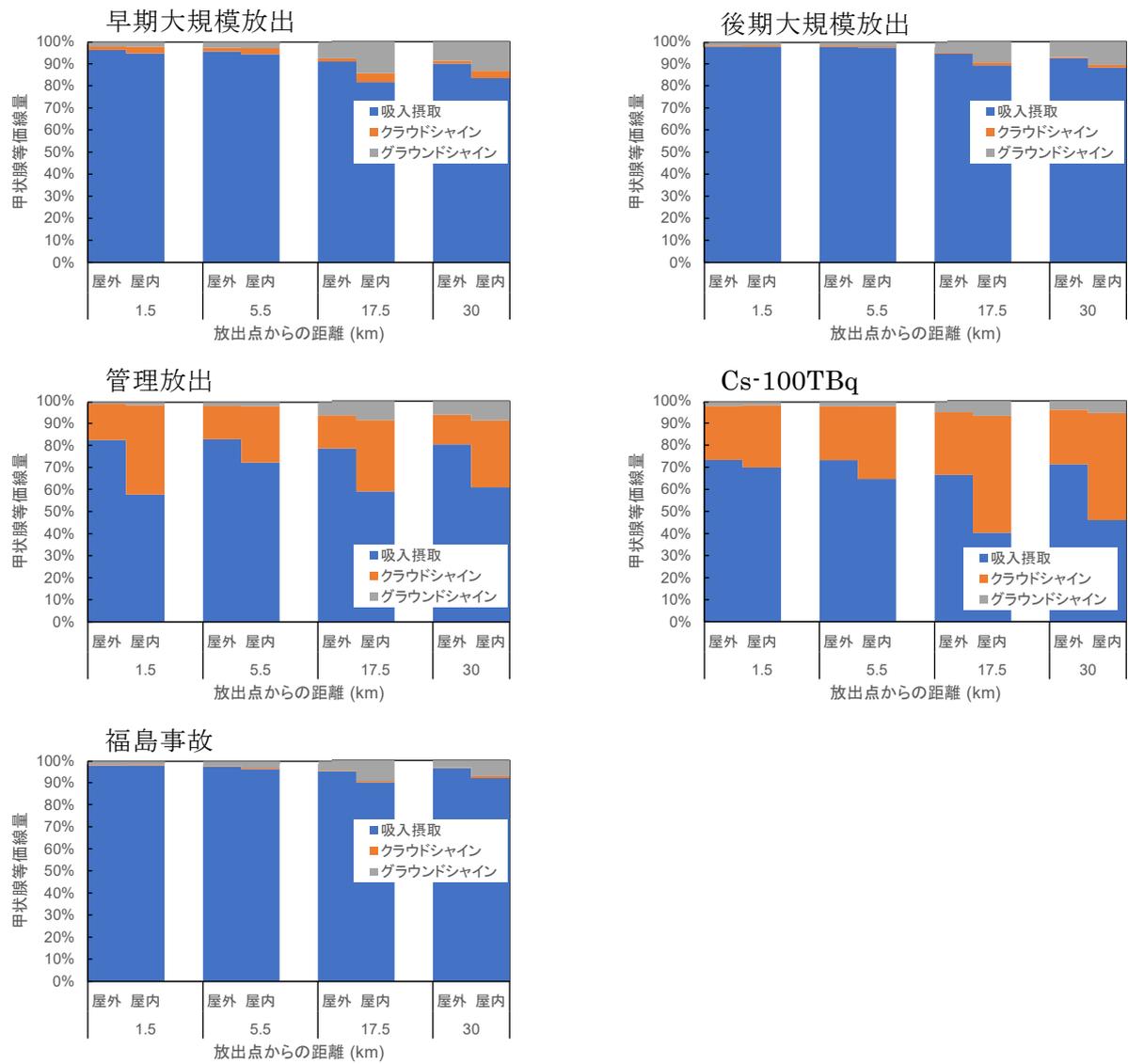


図 5.62 大飯サイトにおける全体の 7 日間累積甲状腺等価線量に対する各被ばく経路の割合 (95%値となった気象シーケンスを利用)

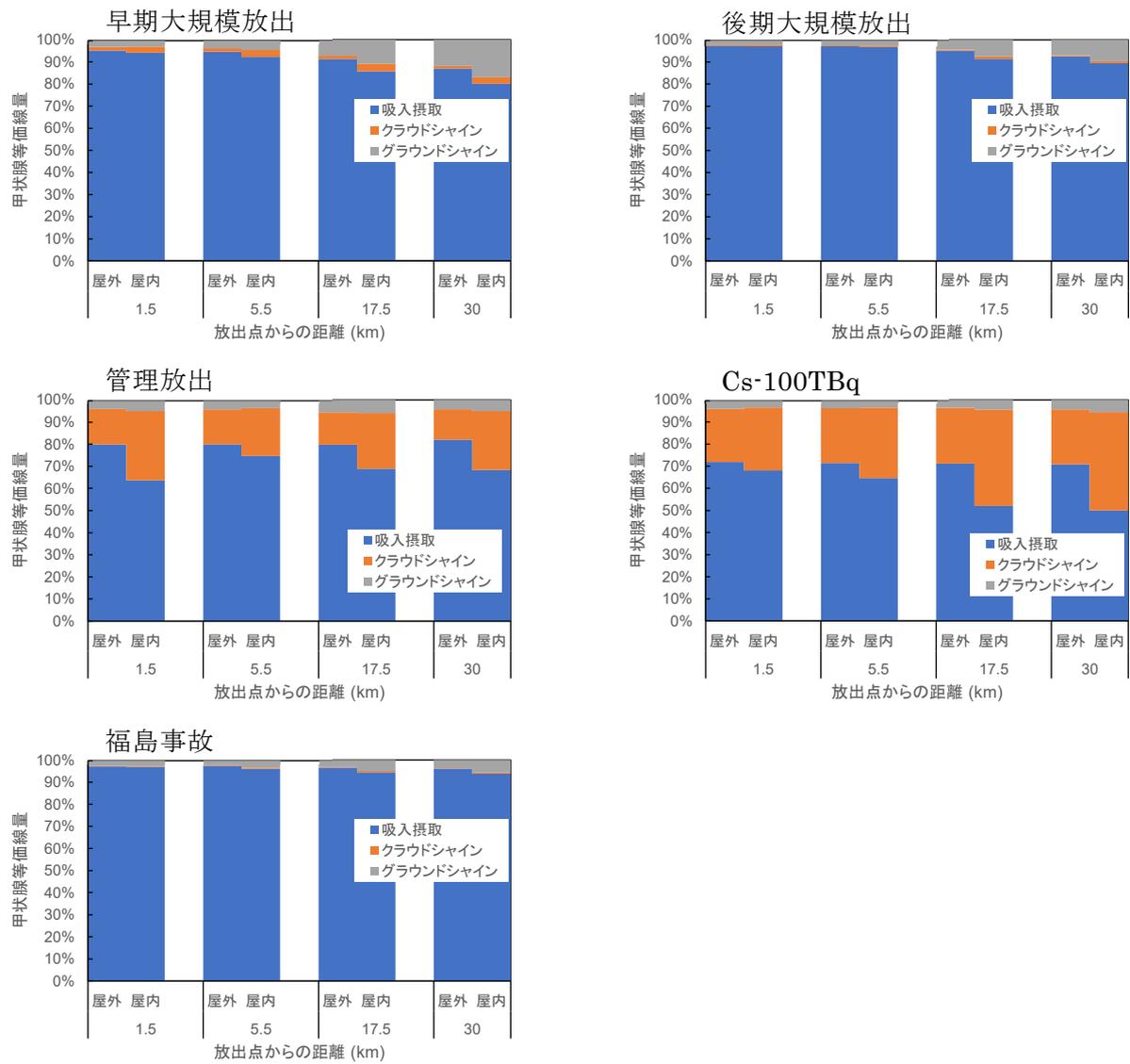


図 5.63 島根サイトにおける全体の 7 日間累積甲状腺等価線量に対する各被ばく経路の割合 (95%値となった気象シーケンスを利用)

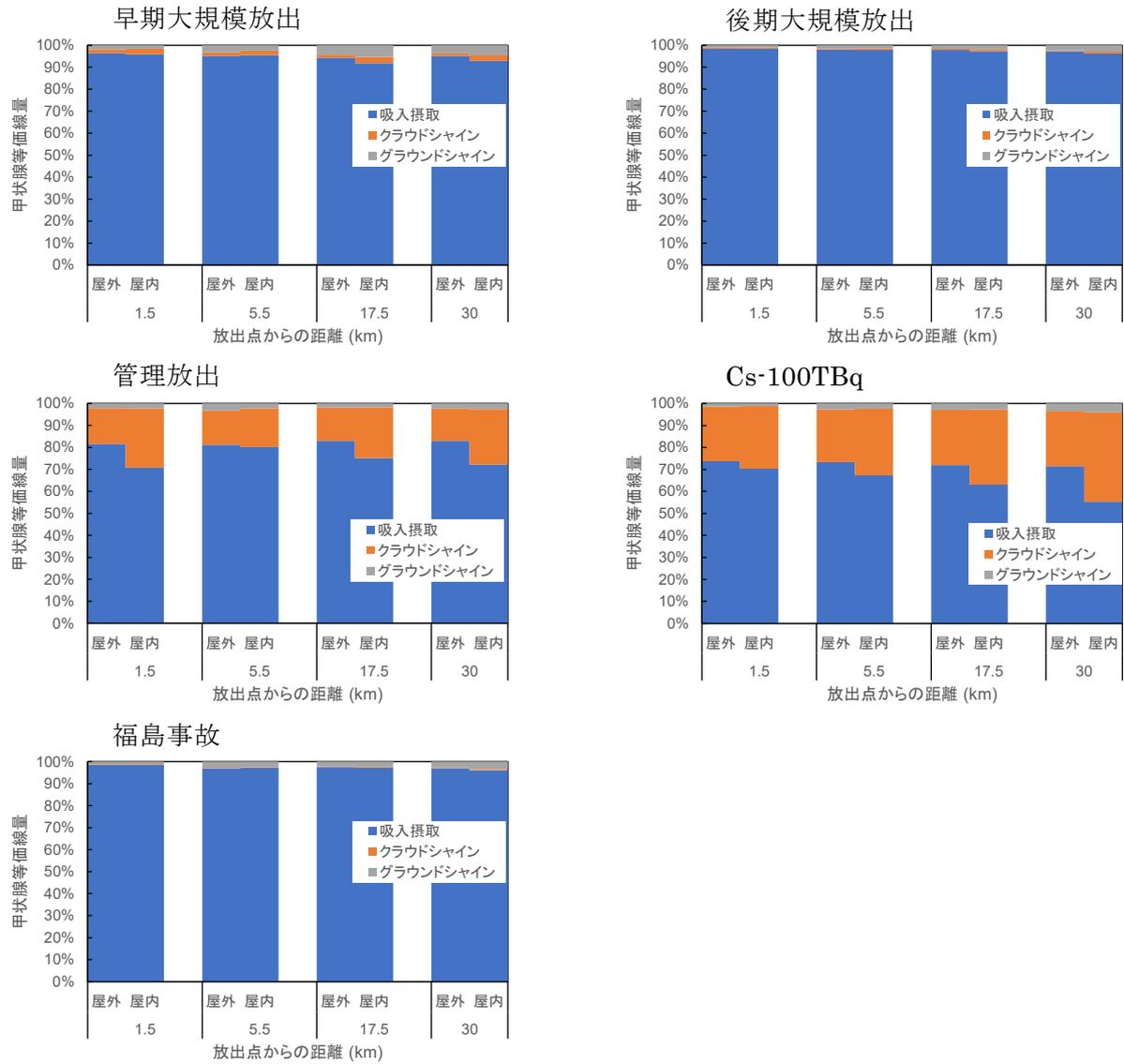


図 5.64 伊方サイトにおける全体の 7 日間累積甲状腺等価線量に対する各被ばく経路の割合 (95%値となった気象シーケンスを利用)

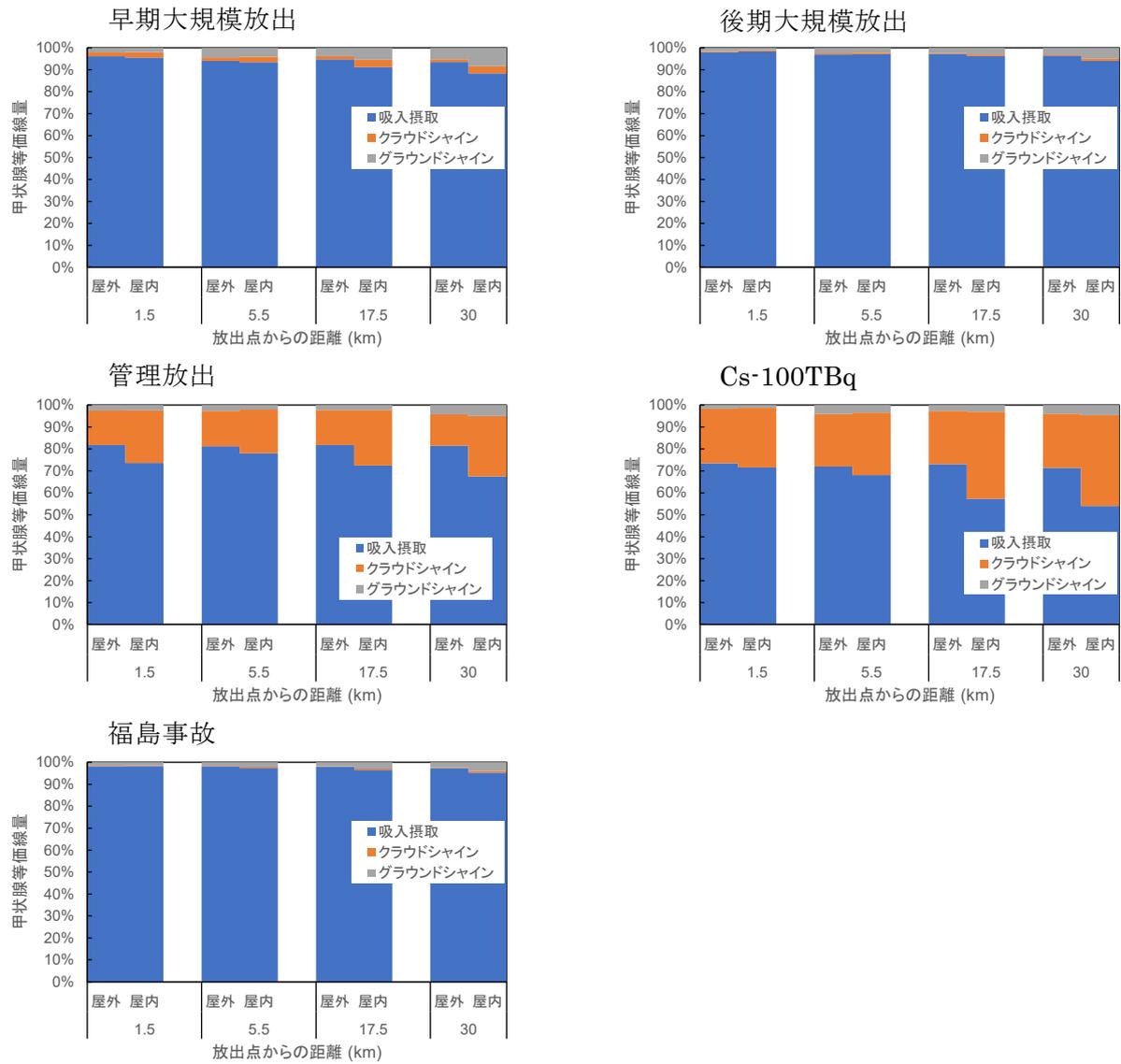


図 5.65 玄海サイトにおける全体の 7 日間累積甲状腺等価線量に対する各被ばく経路の割合 (95%値となった気象シーケンスを利用)

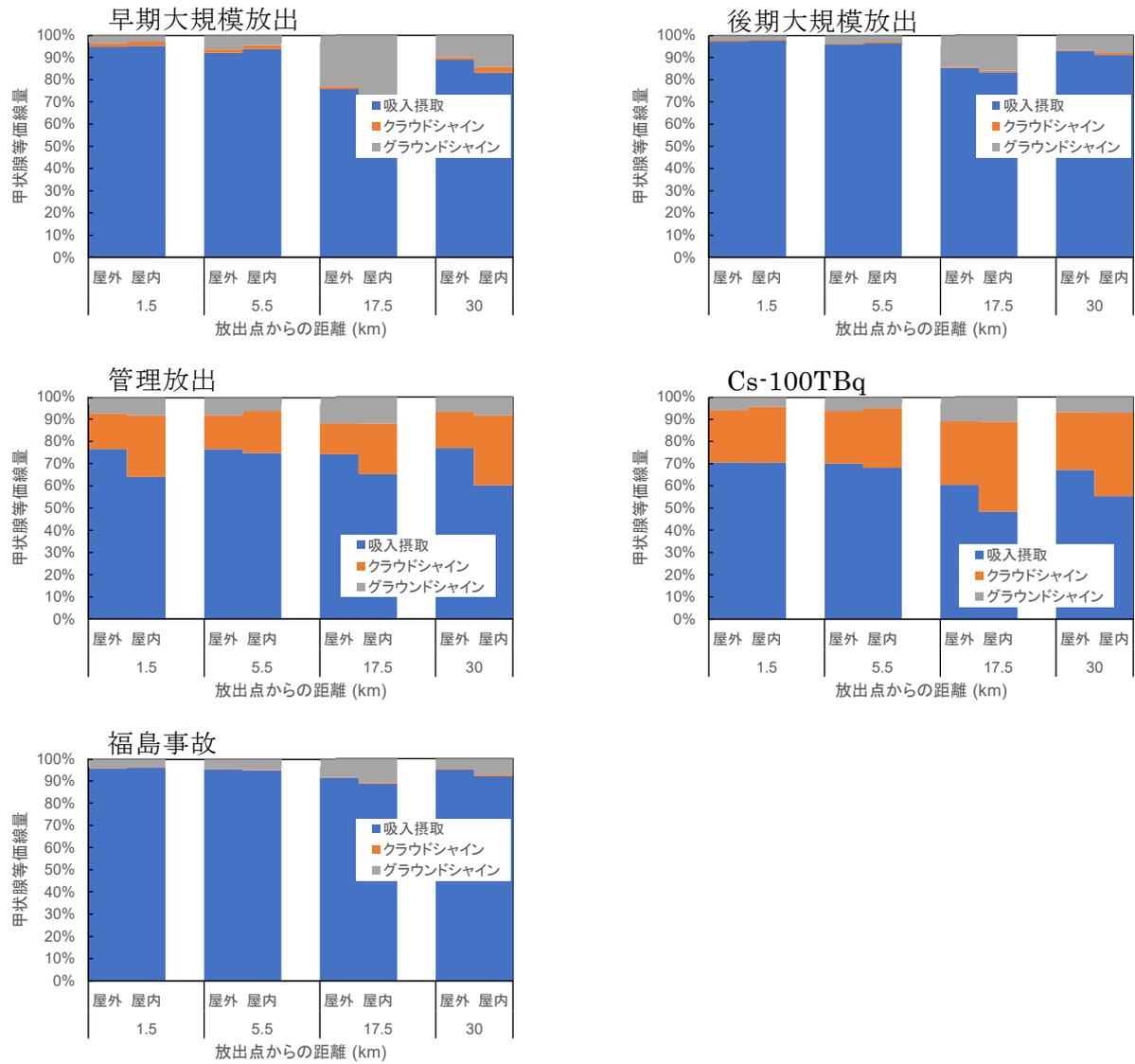


図 5.66 川内サイトにおける全体の 7 日間累積甲状腺等価線量に対する各被ばく経路の割合 (95%値となった気象シーケンスを利用)

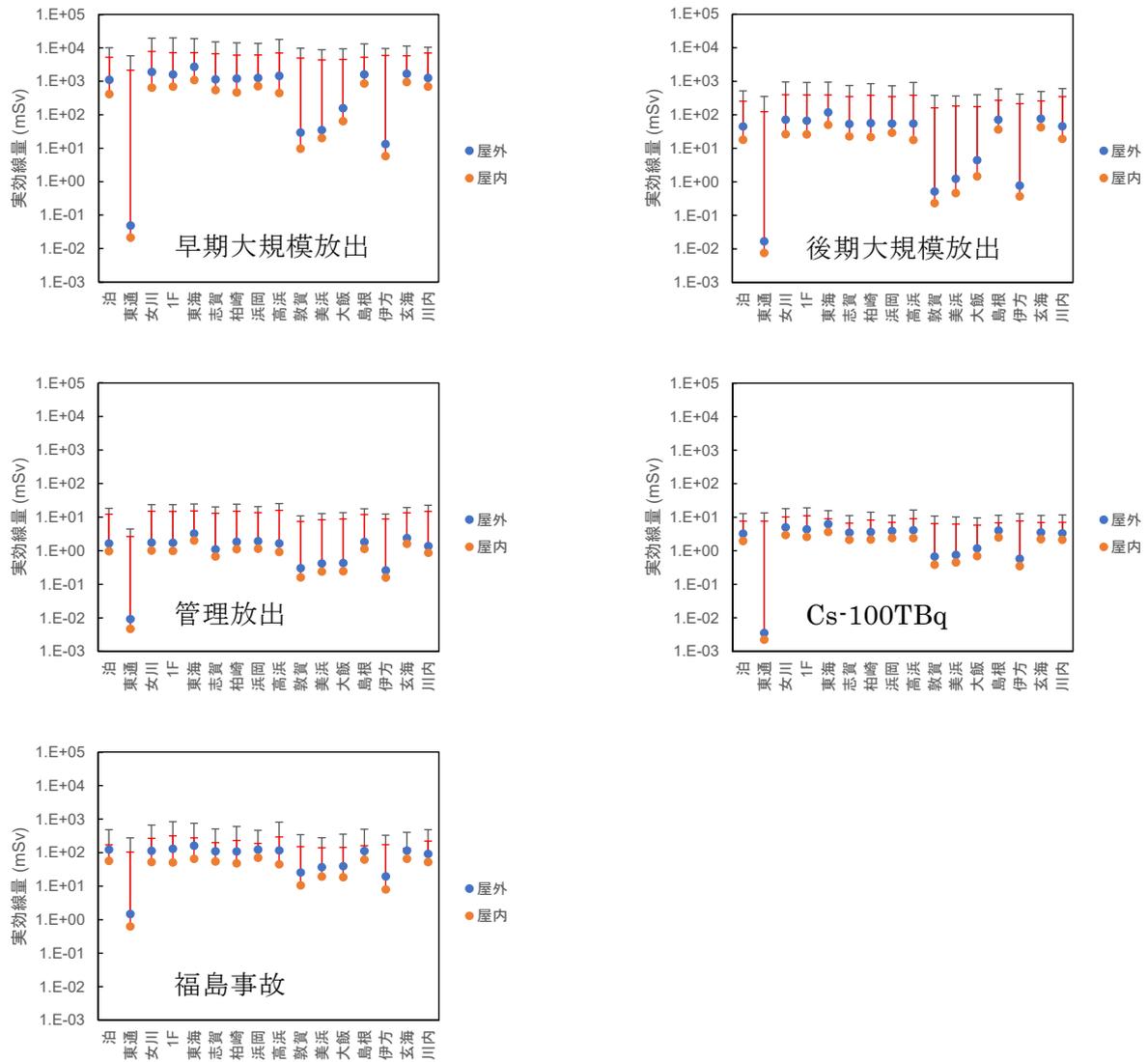


図 5.67 放出点から 5.5 km 地点での 7 日間累積実効線量のサイト間比較
 プロットが 50% 値、エラーバーの上端が 95% 値である。

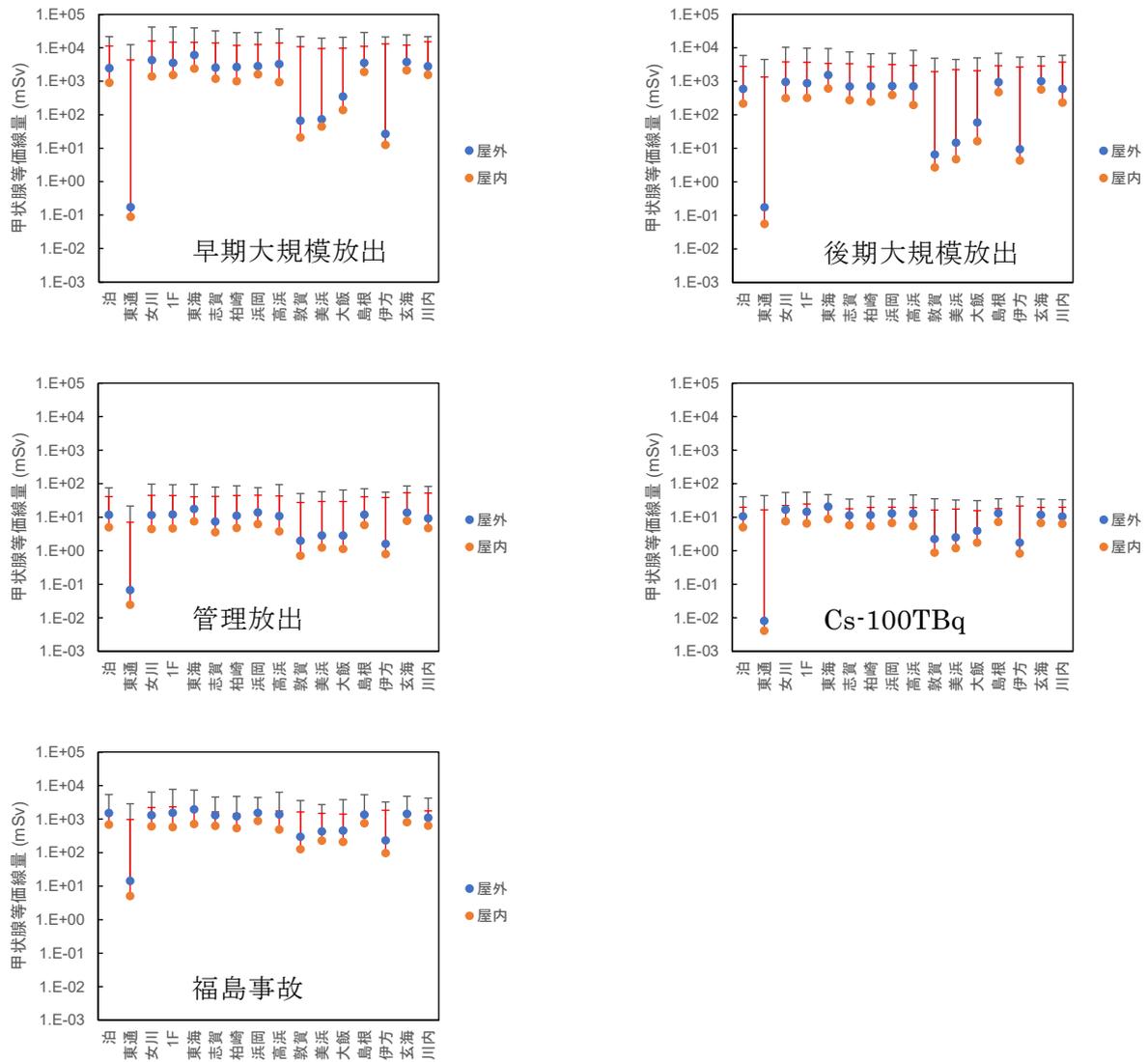


図 5.68 放出点から 5.5 km 地点での 7 日間累積甲状腺等価線量のサイト間比較
 プロットが 50% 値、エラーバーの上端が 95% 値である。

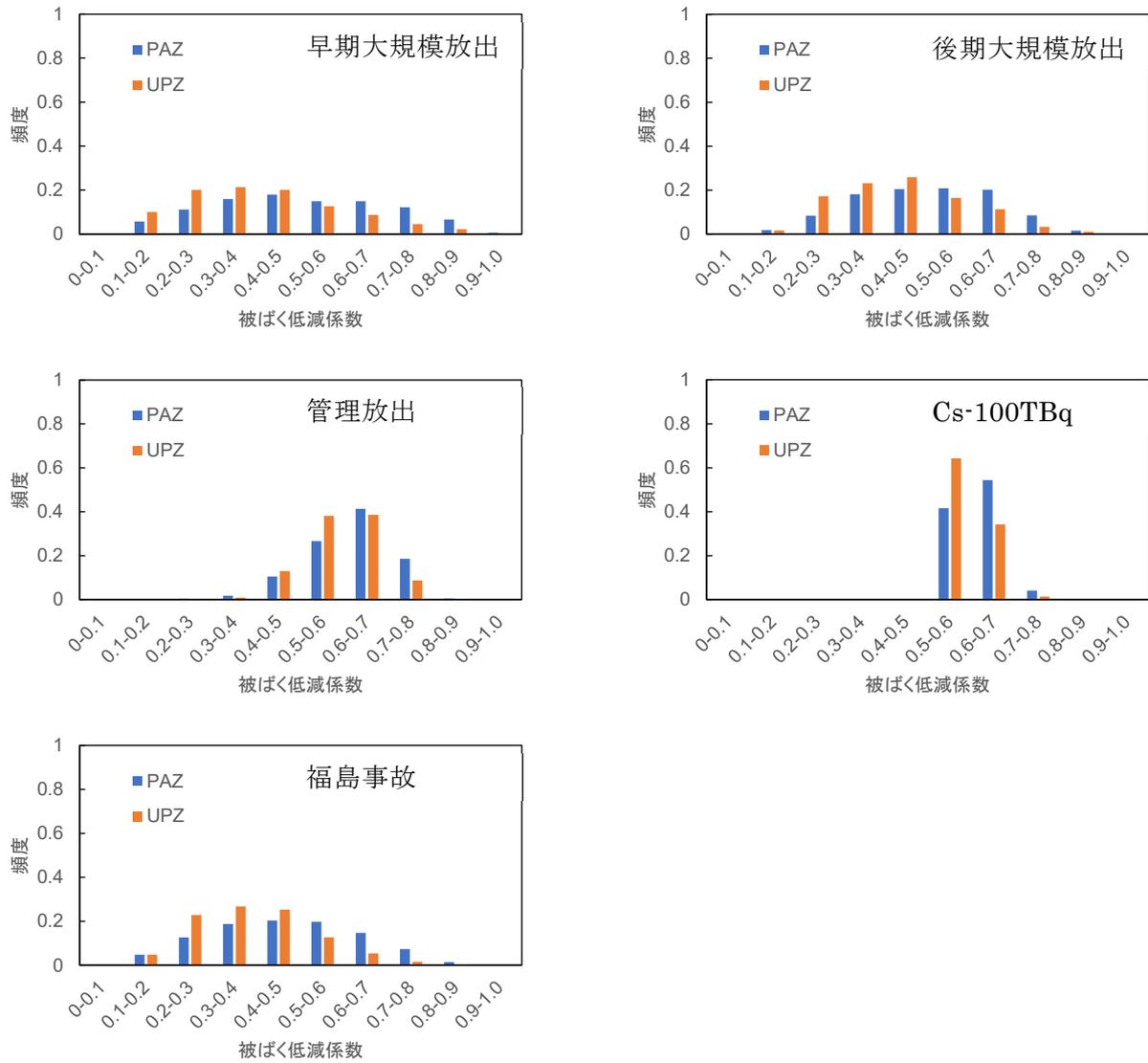


図 5.69 泊サイトにおける 7 日間累積実効線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布

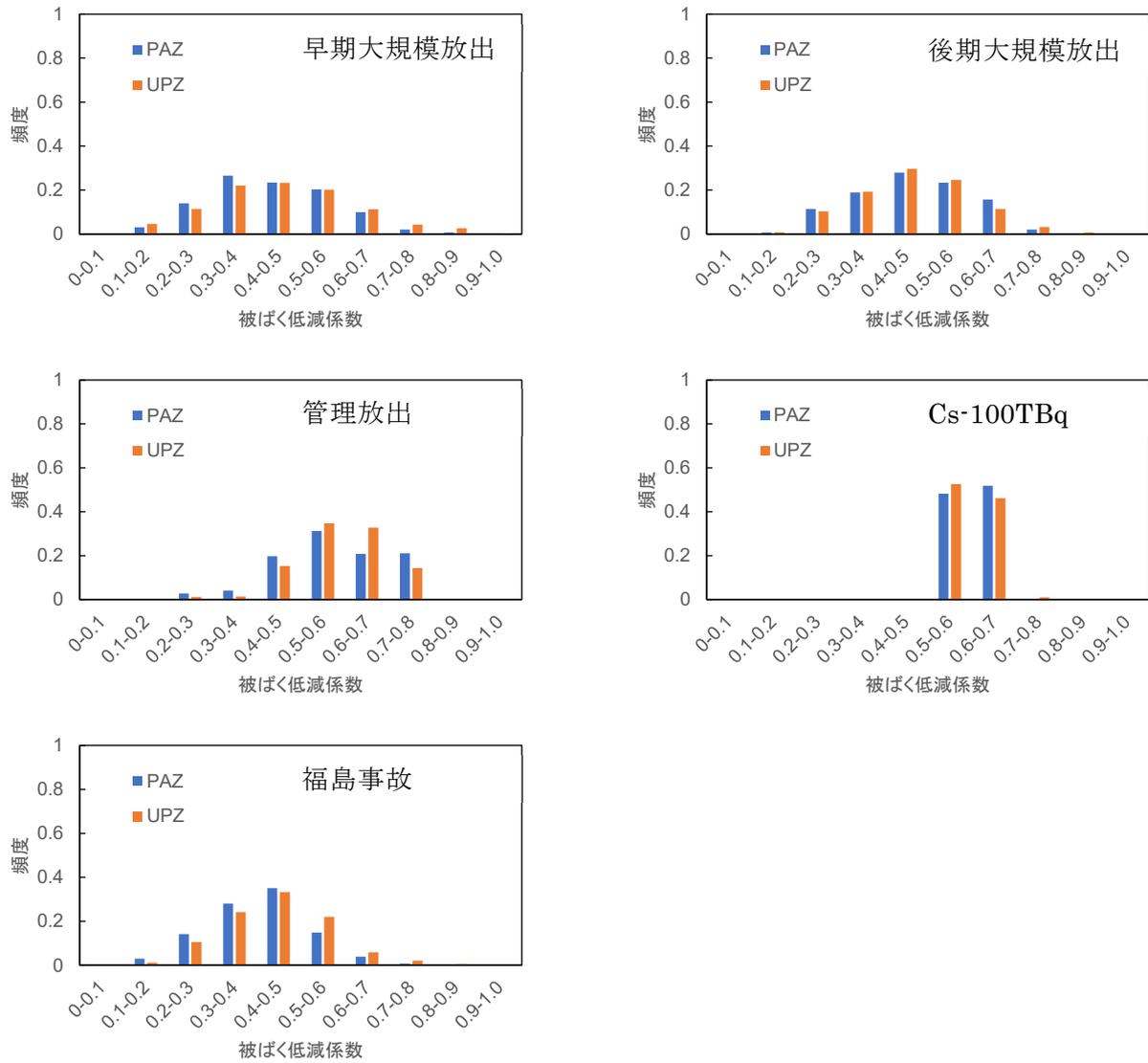


図 5.70 東通サイトにおける7日間累積実効線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布

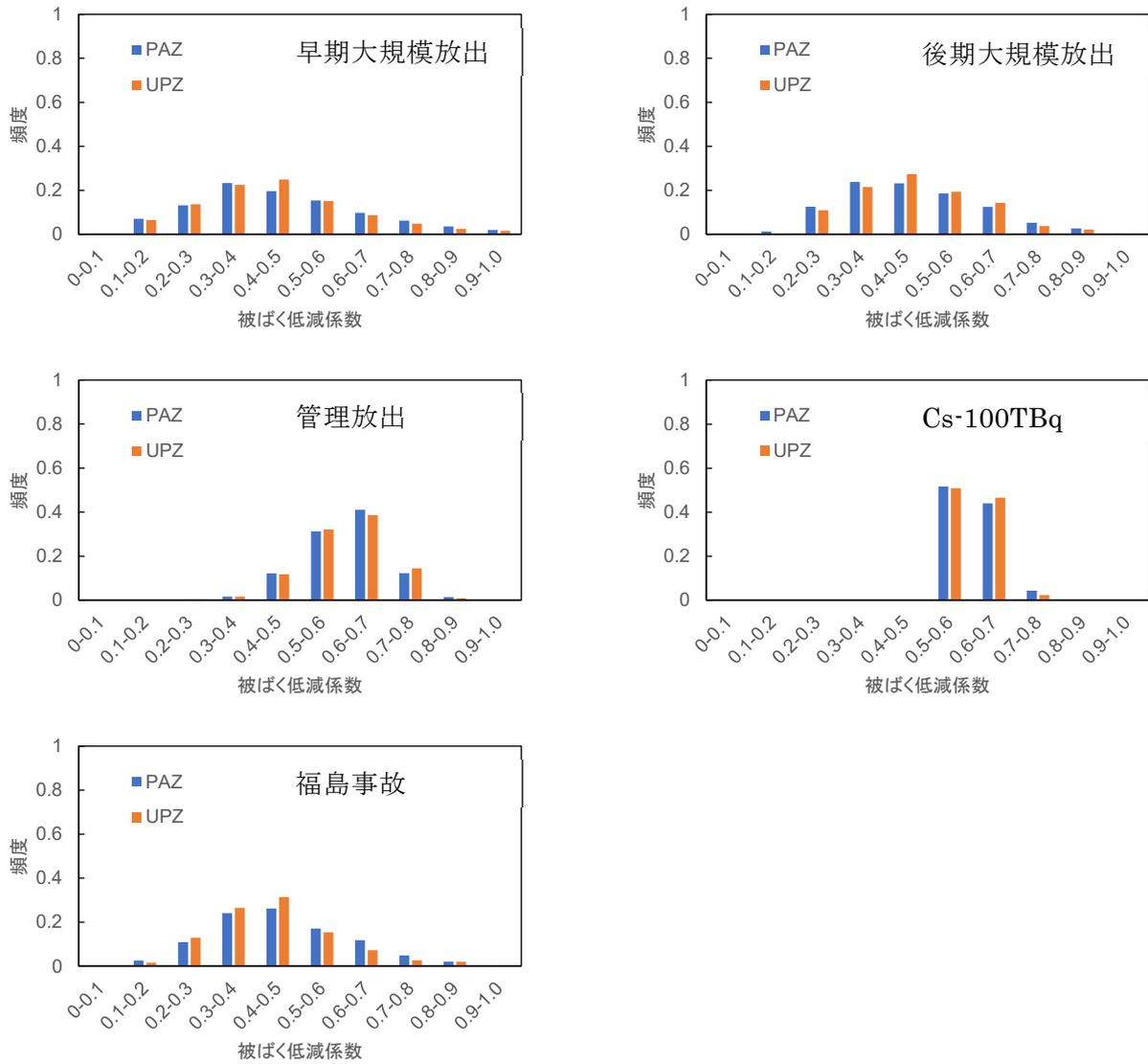


図 5.71 女川サイトにおける7日間累積実効線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布

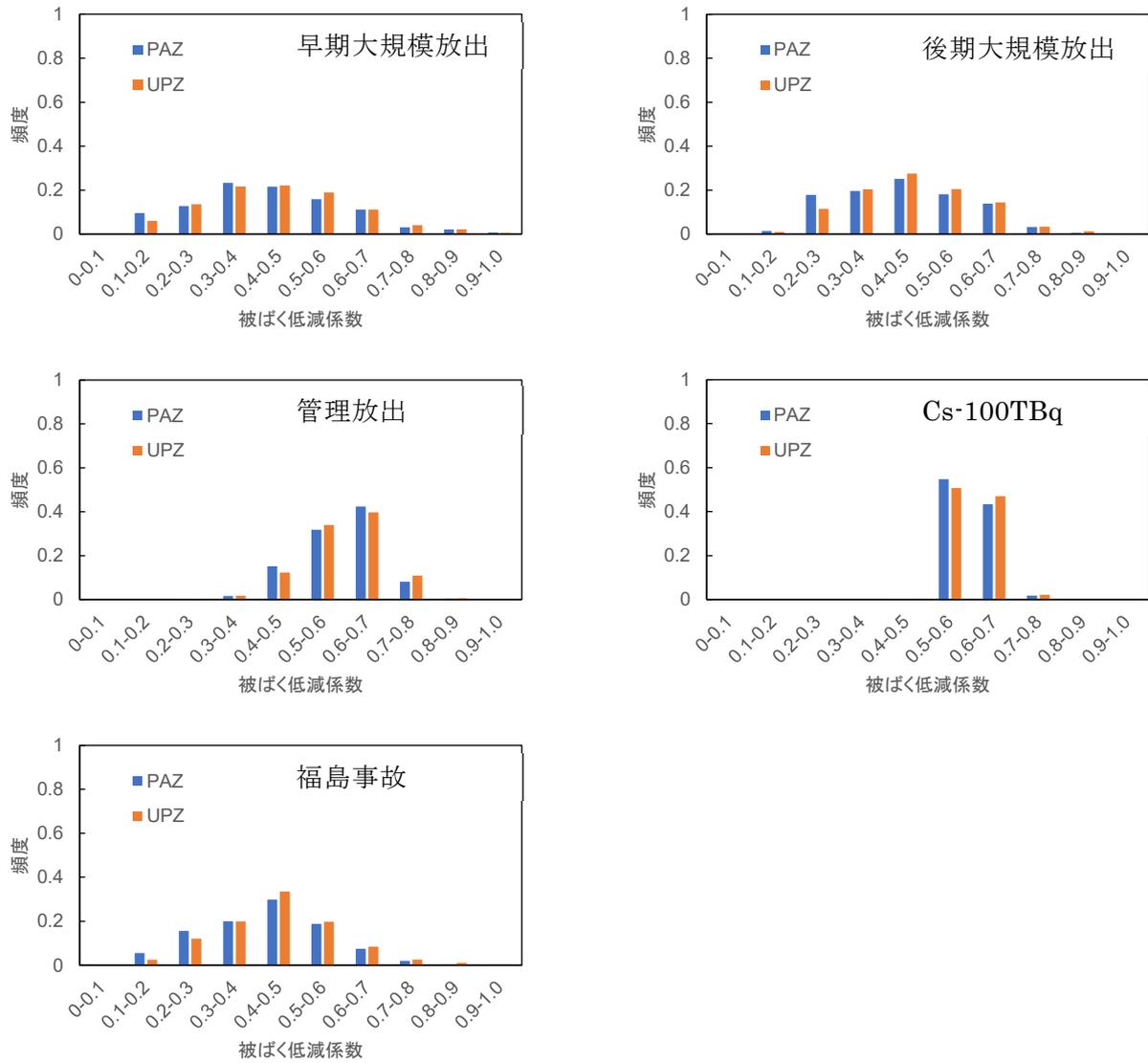


図 5.72 福島第一サイトにおける7日間累積実効線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布

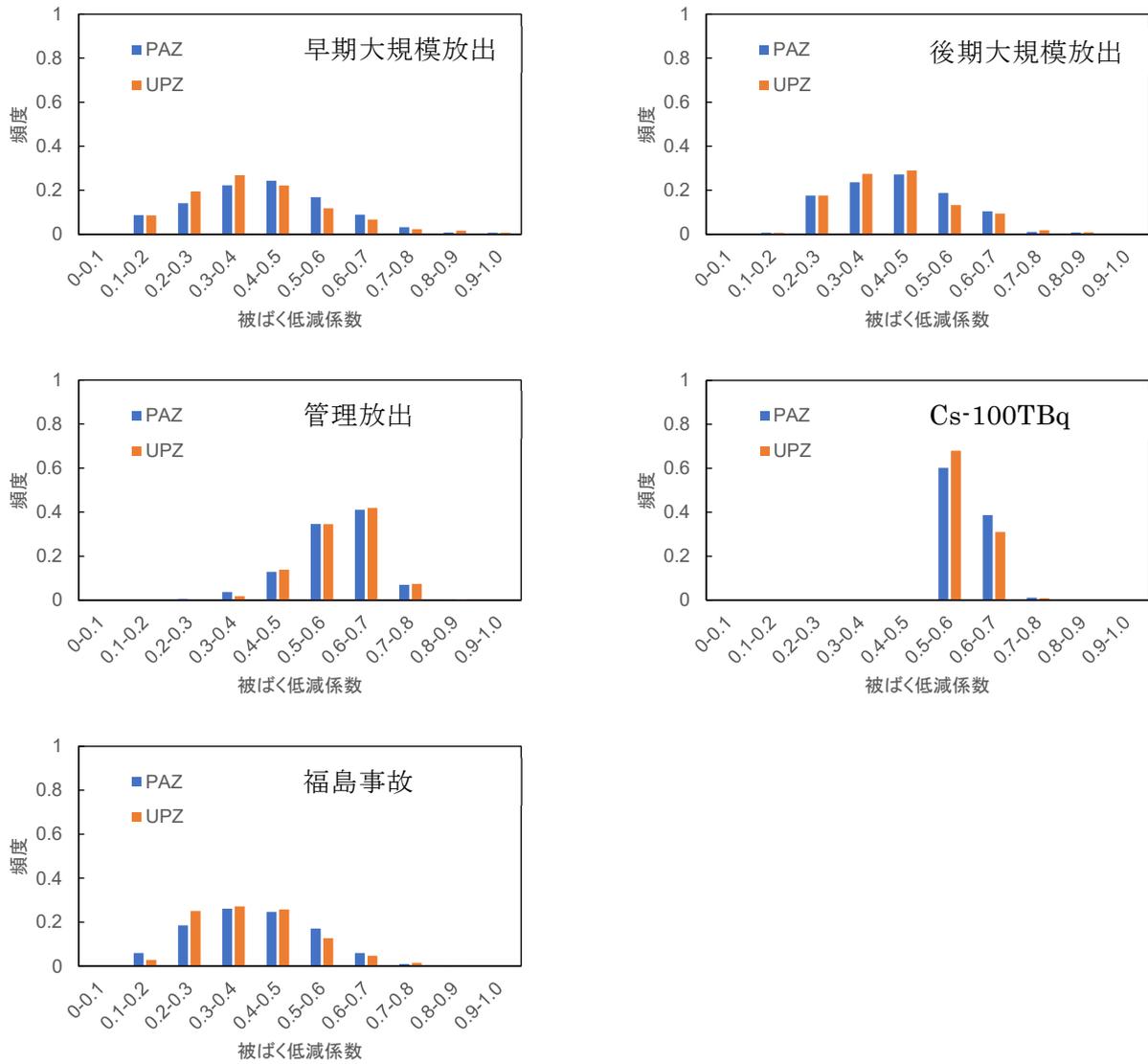


図 5.73 東海サイトにおける7日間累積実効線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布

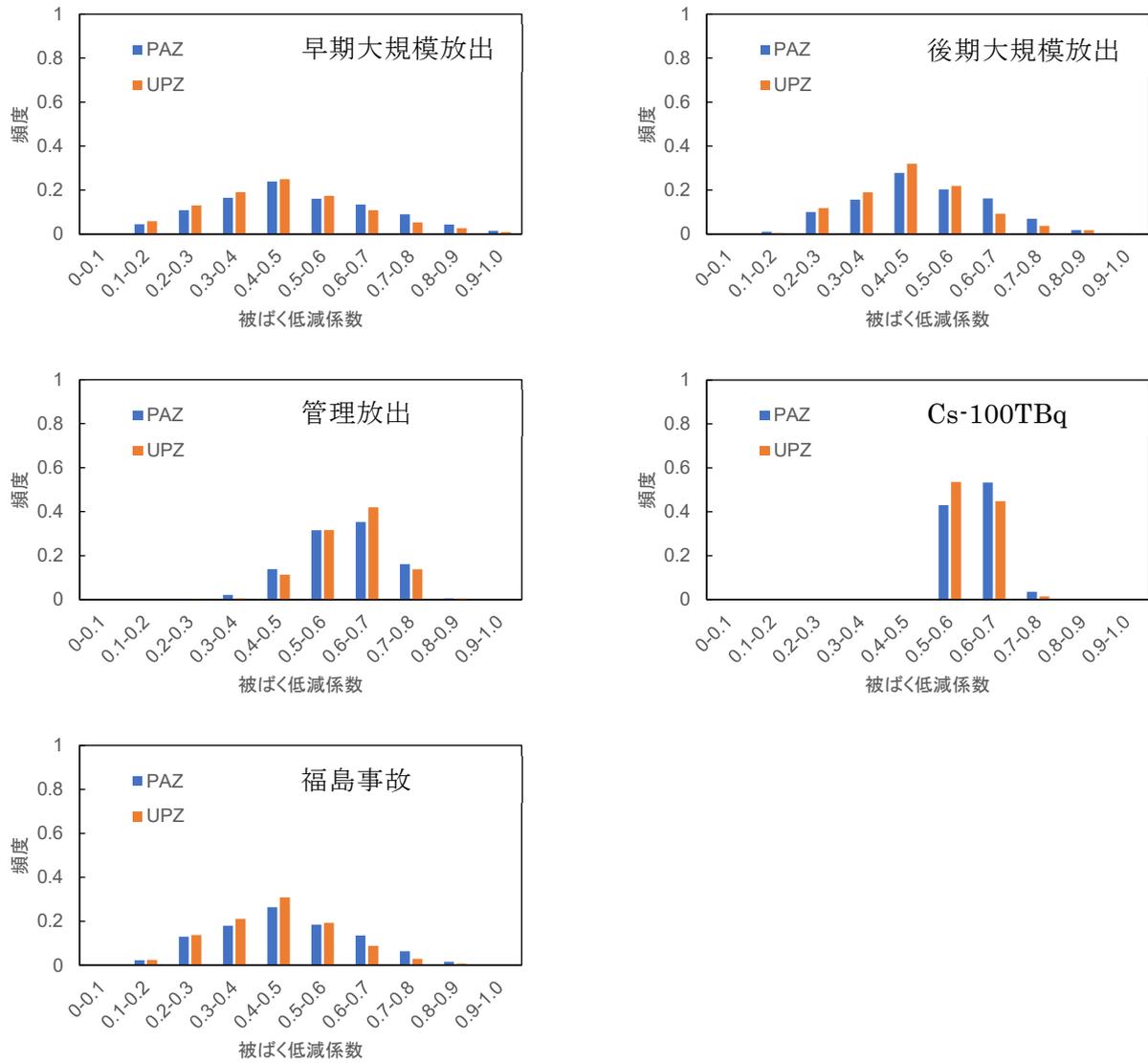


図 5.74 志賀サイトにおける7日間累積実効線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布

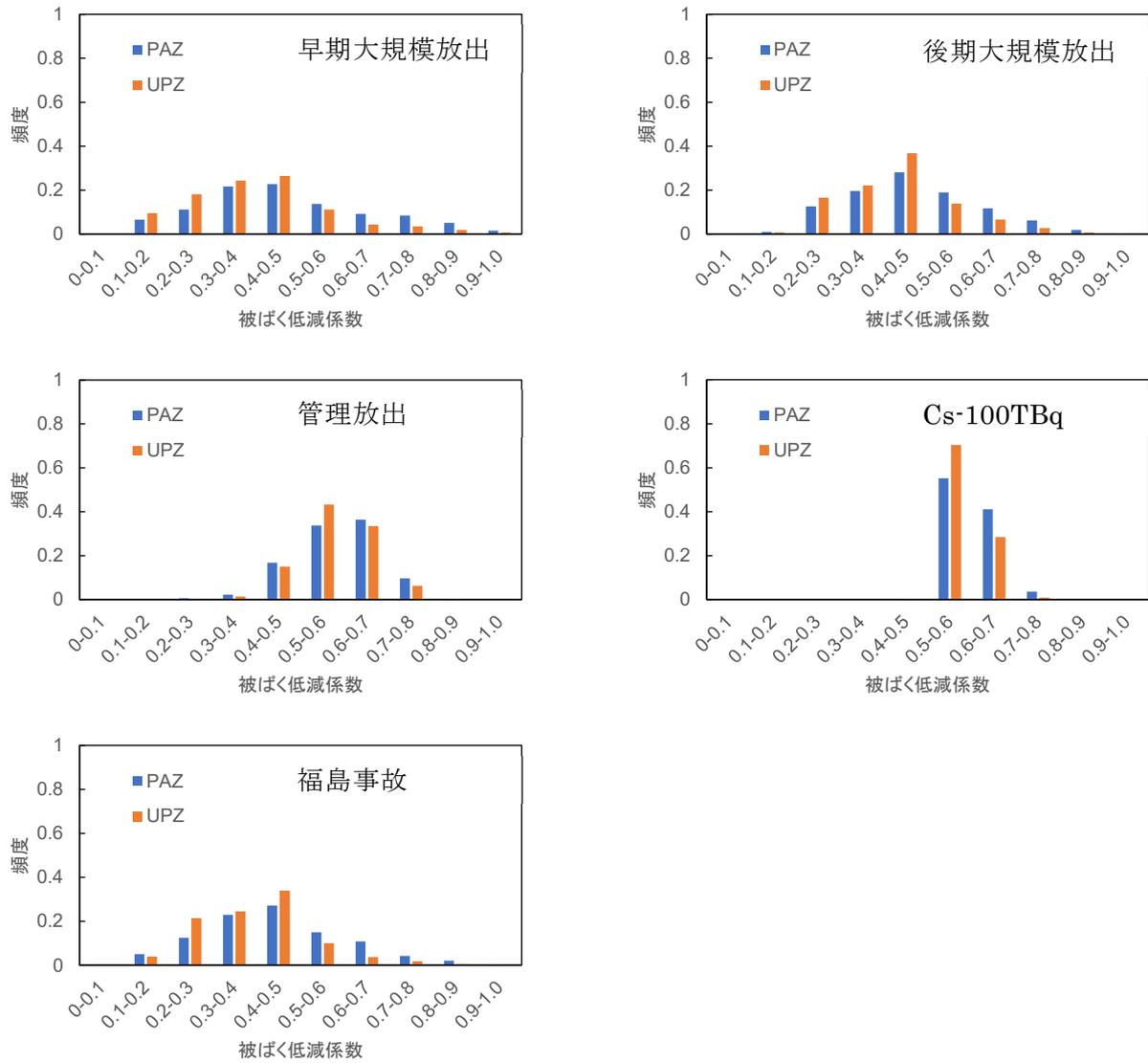


図 5.75 柏崎刈羽サイトにおける 7 日間累積実効線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布

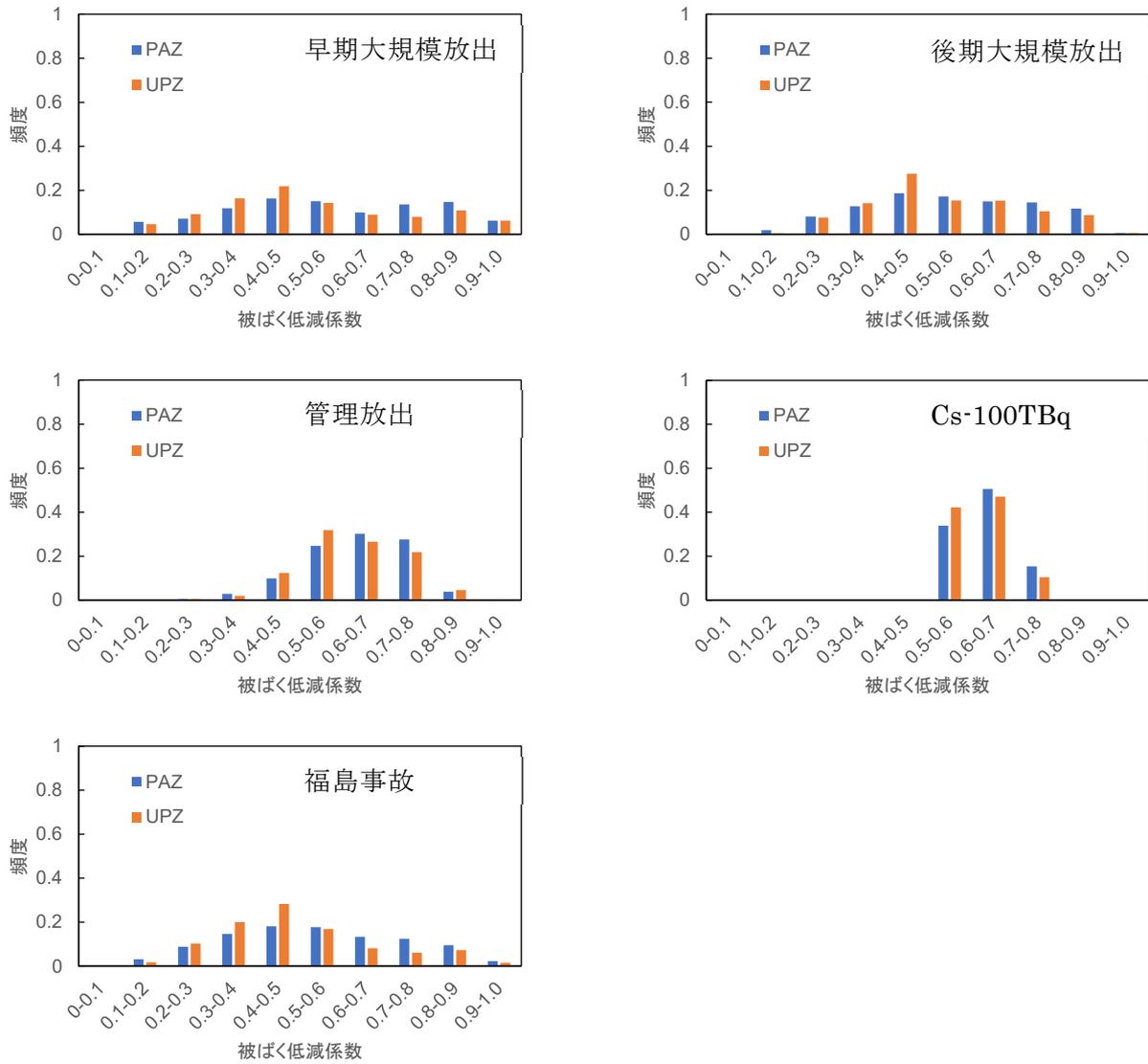


図 5.76 浜岡サイトにおける7日間累積実効線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布

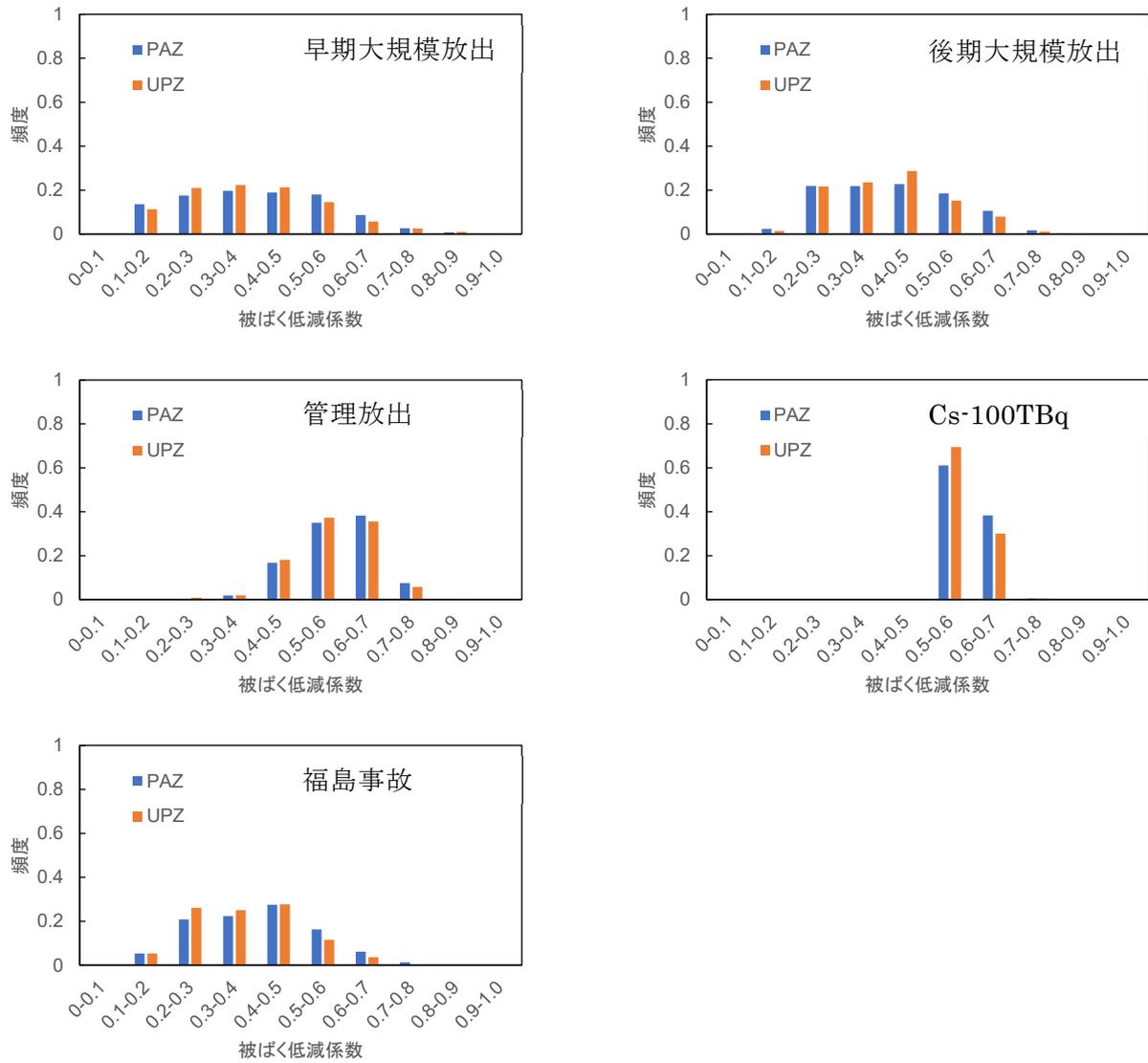


図 5.77 高浜サイトにおける7日間累積実効線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布

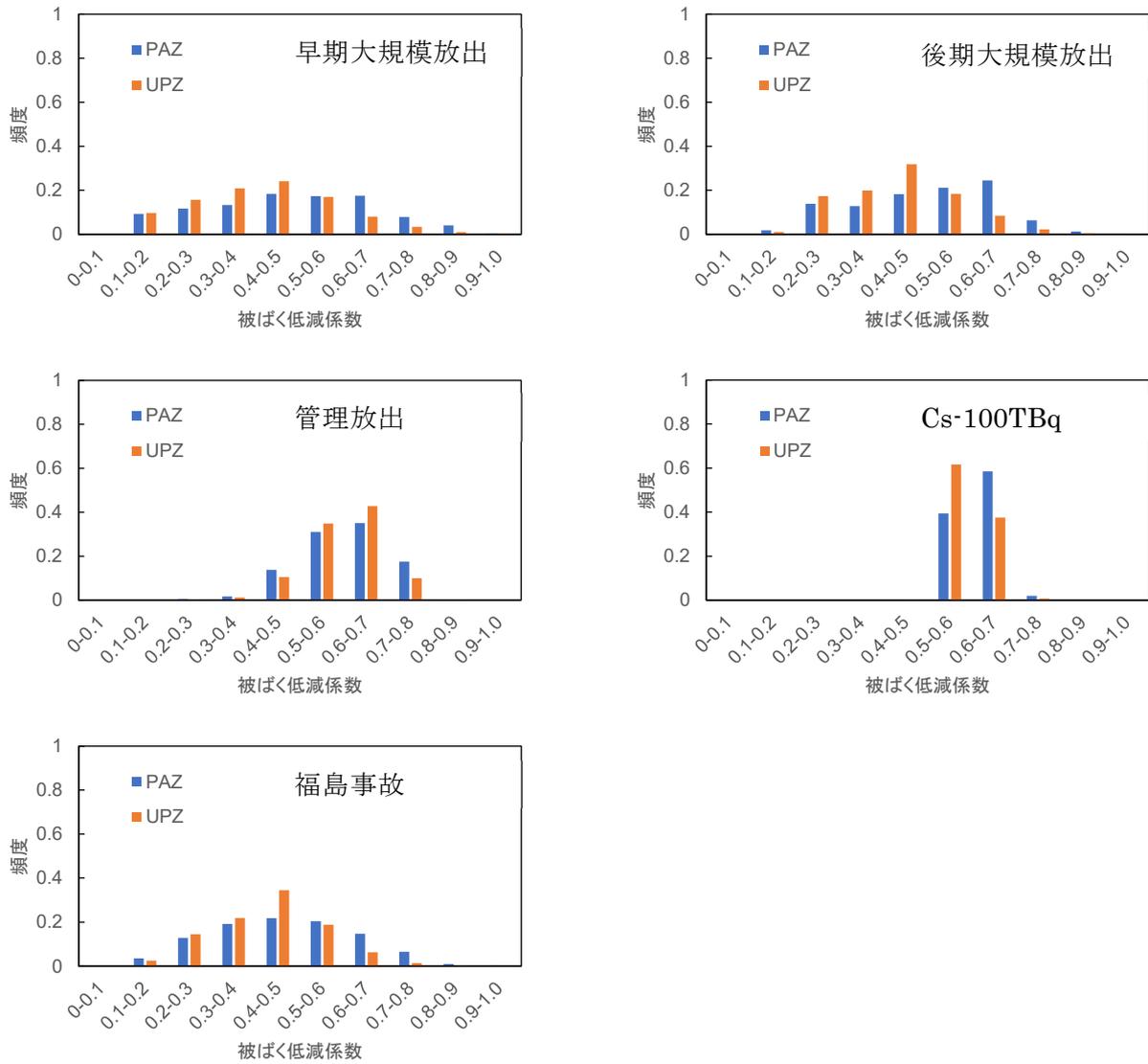


図 5.78 敦賀サイトにおける7日間累積実効線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布

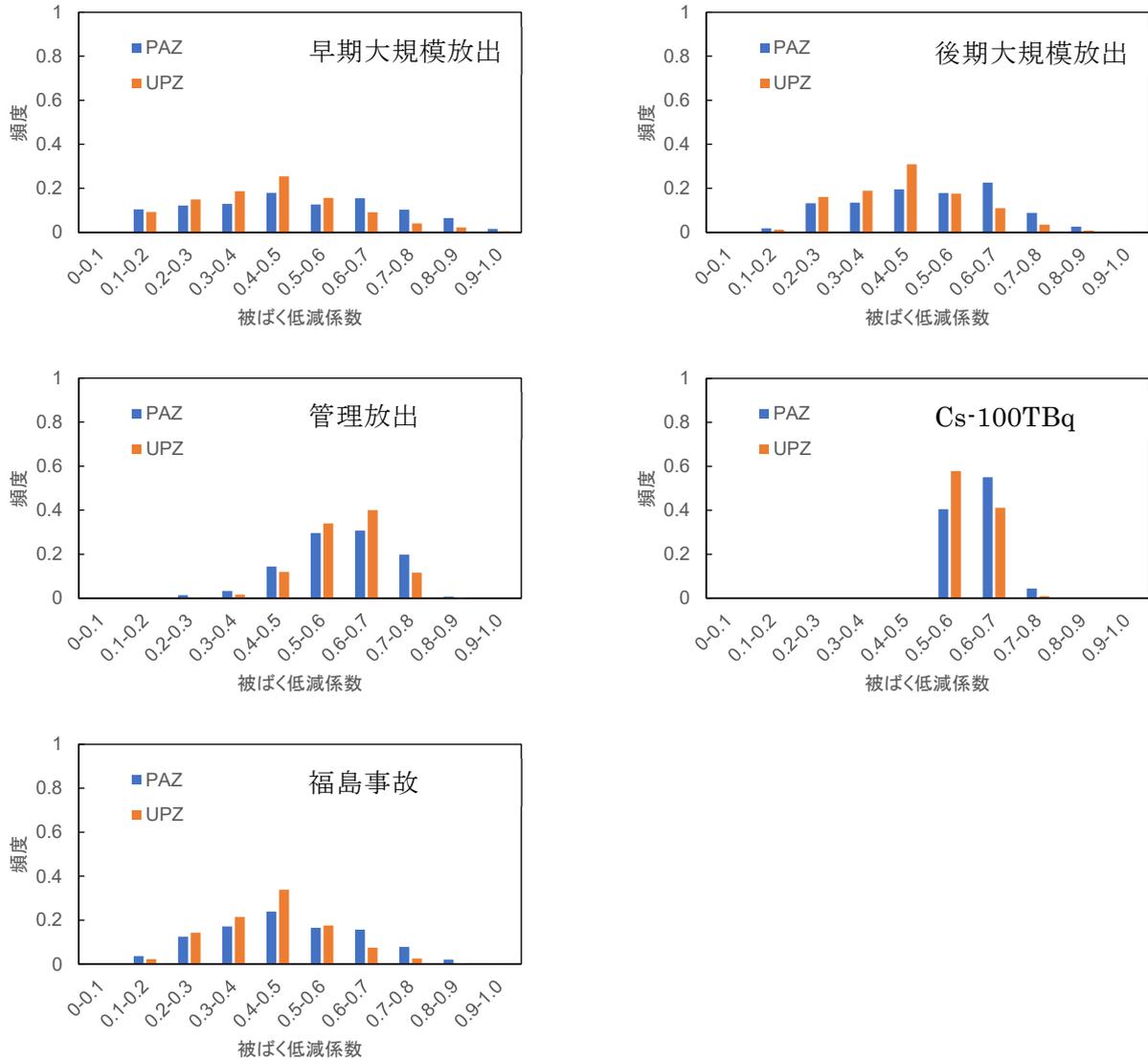


図 5.79 美浜サイトにおける7日間累積実効線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布

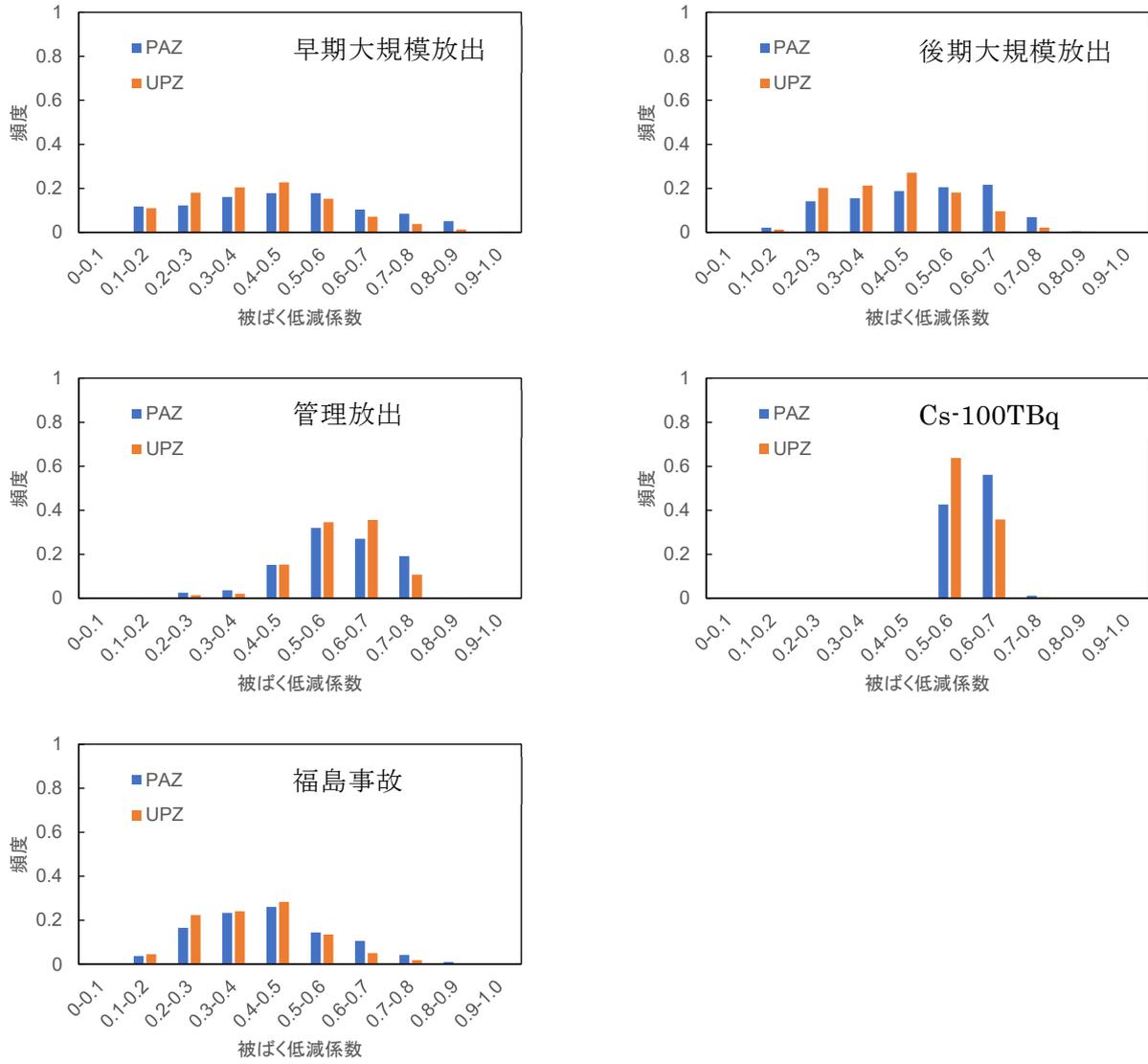


図 5.80 大飯サイトにおける7日間累積実効線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布

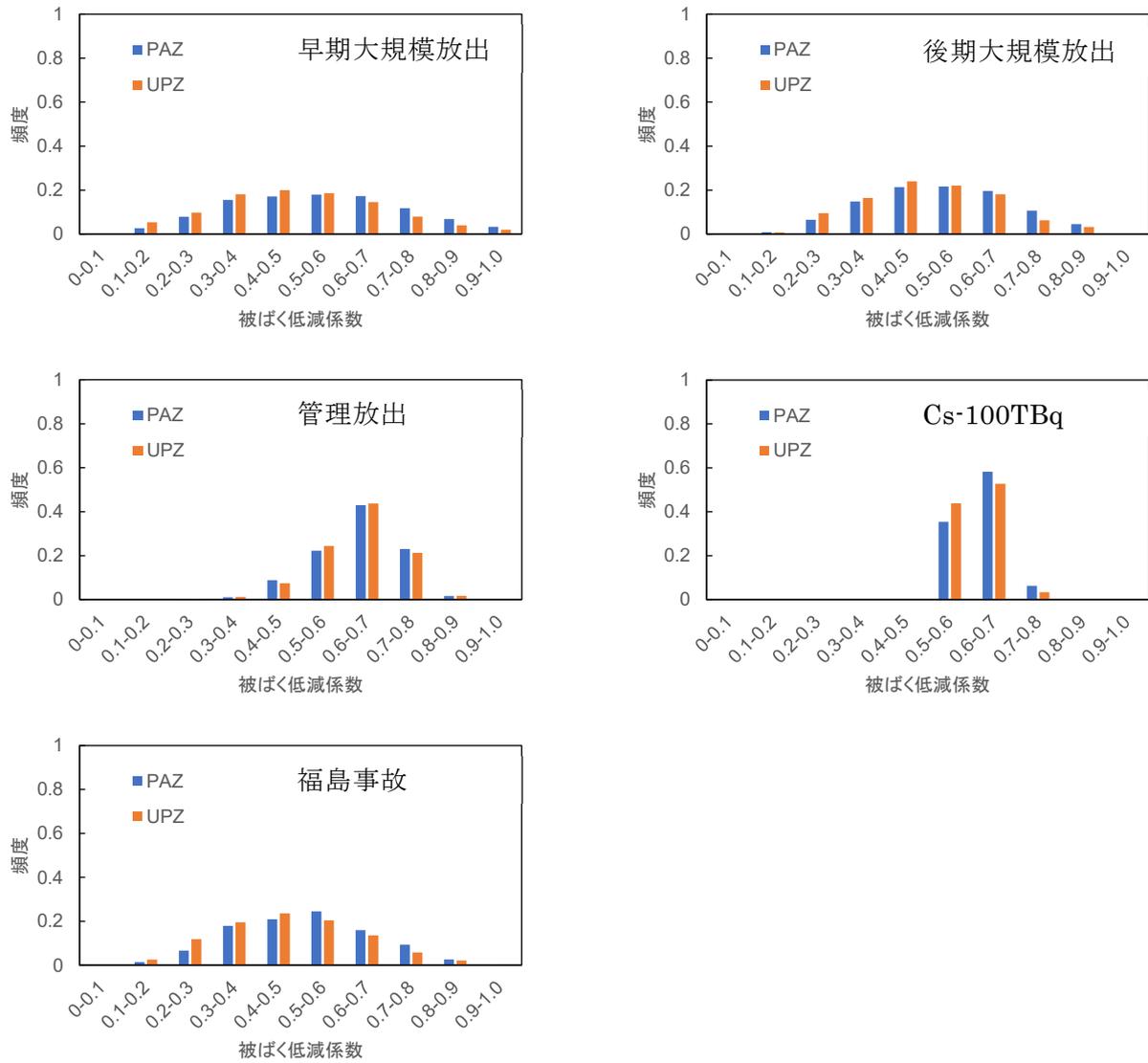


図 5.81 島根サイトにおける7日間累積実効線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布

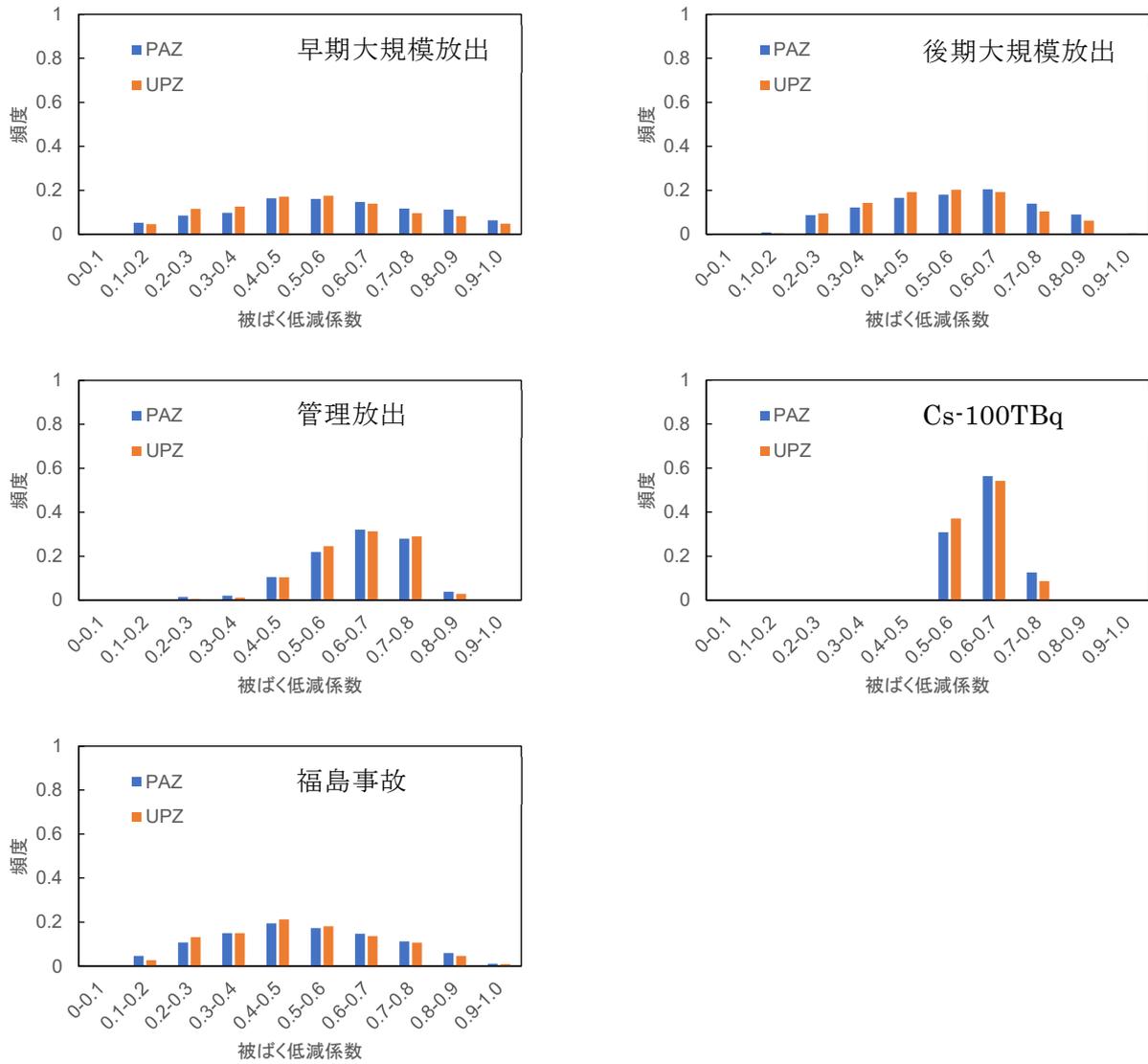


図 5.82 伊方サイトにおける7日間累積実効線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布

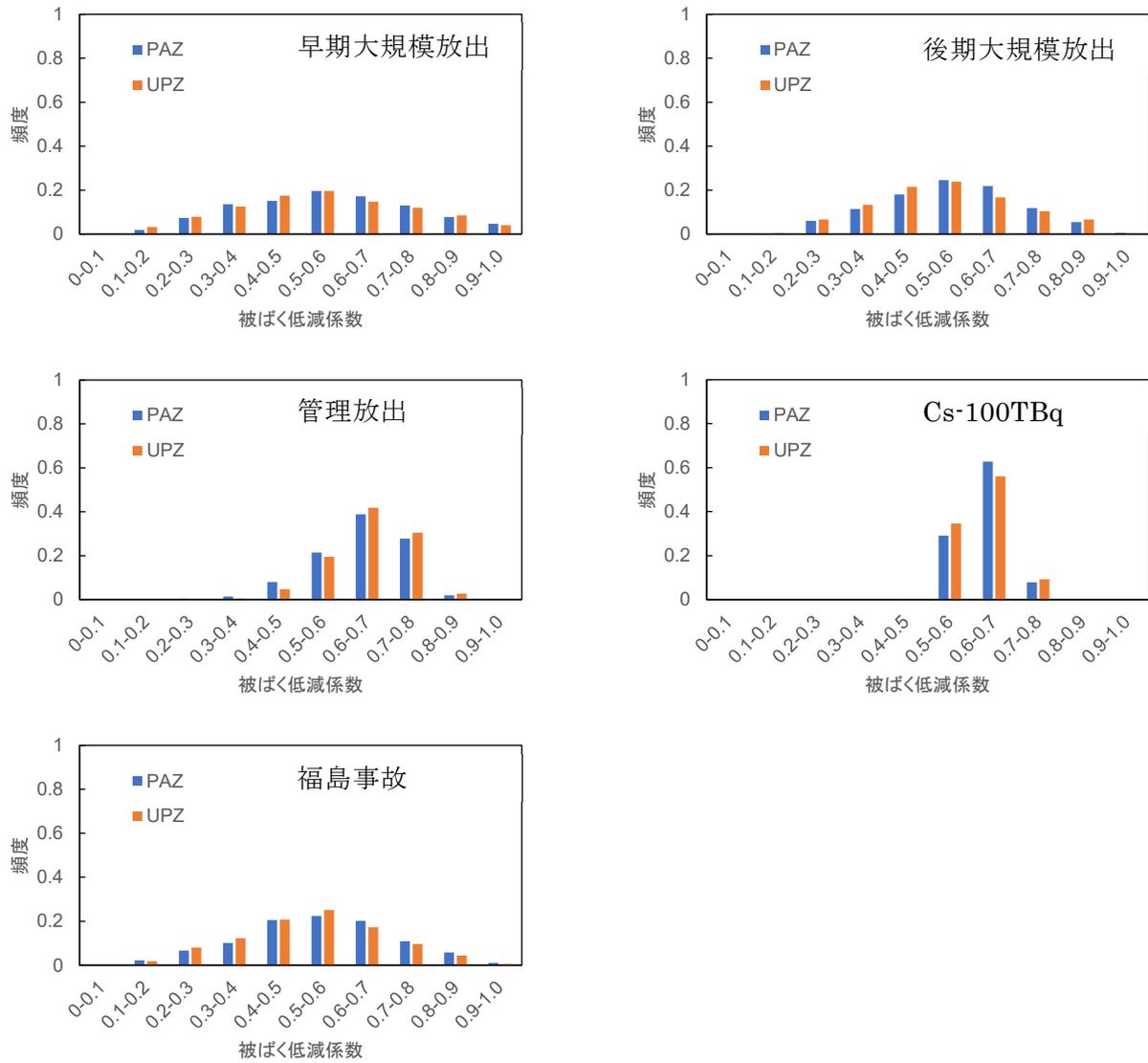


図 5.83 玄海サイトにおける7日間累積実効線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布

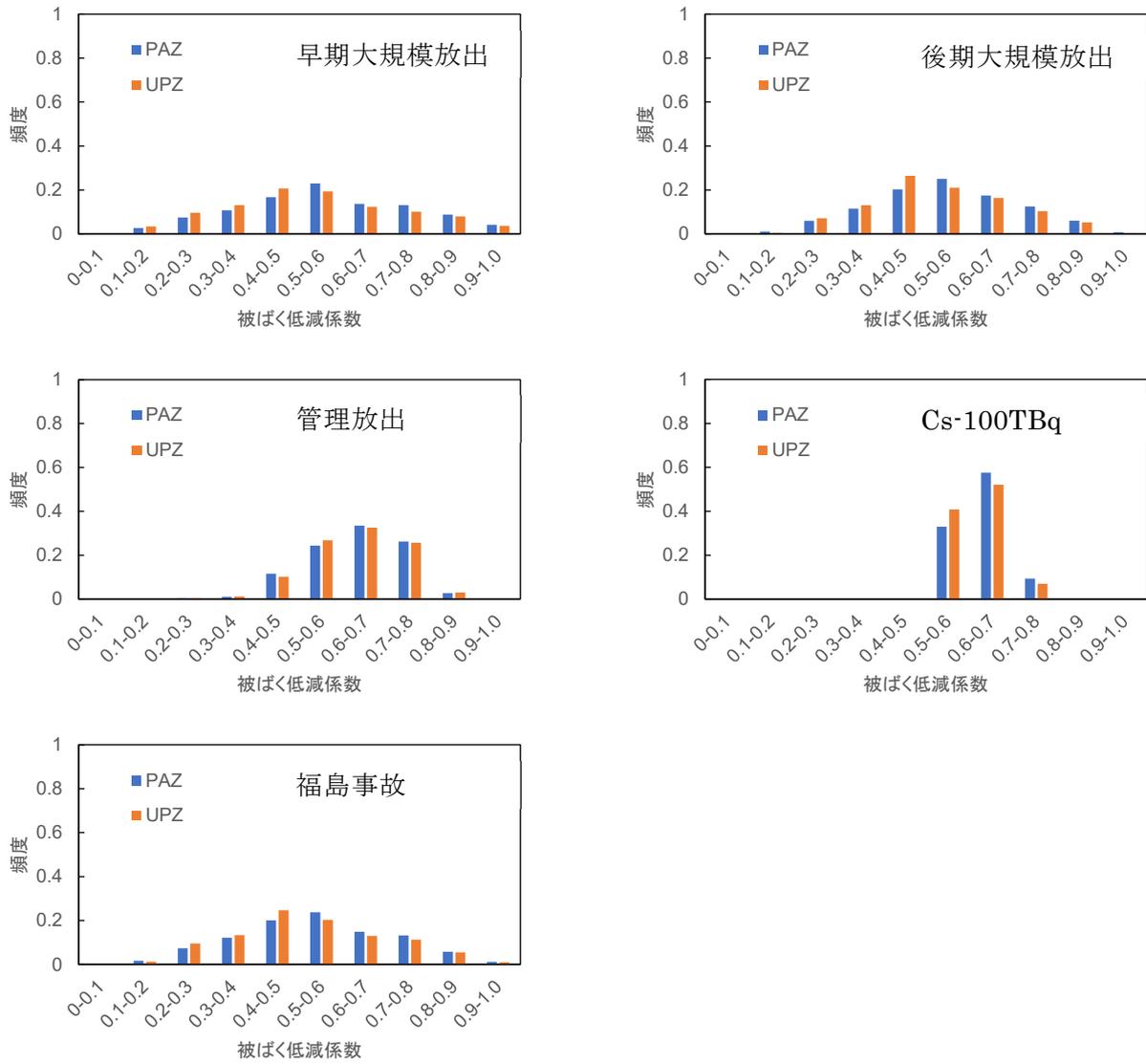


図 5.84 川内サイトにおける7日間累積実効線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布

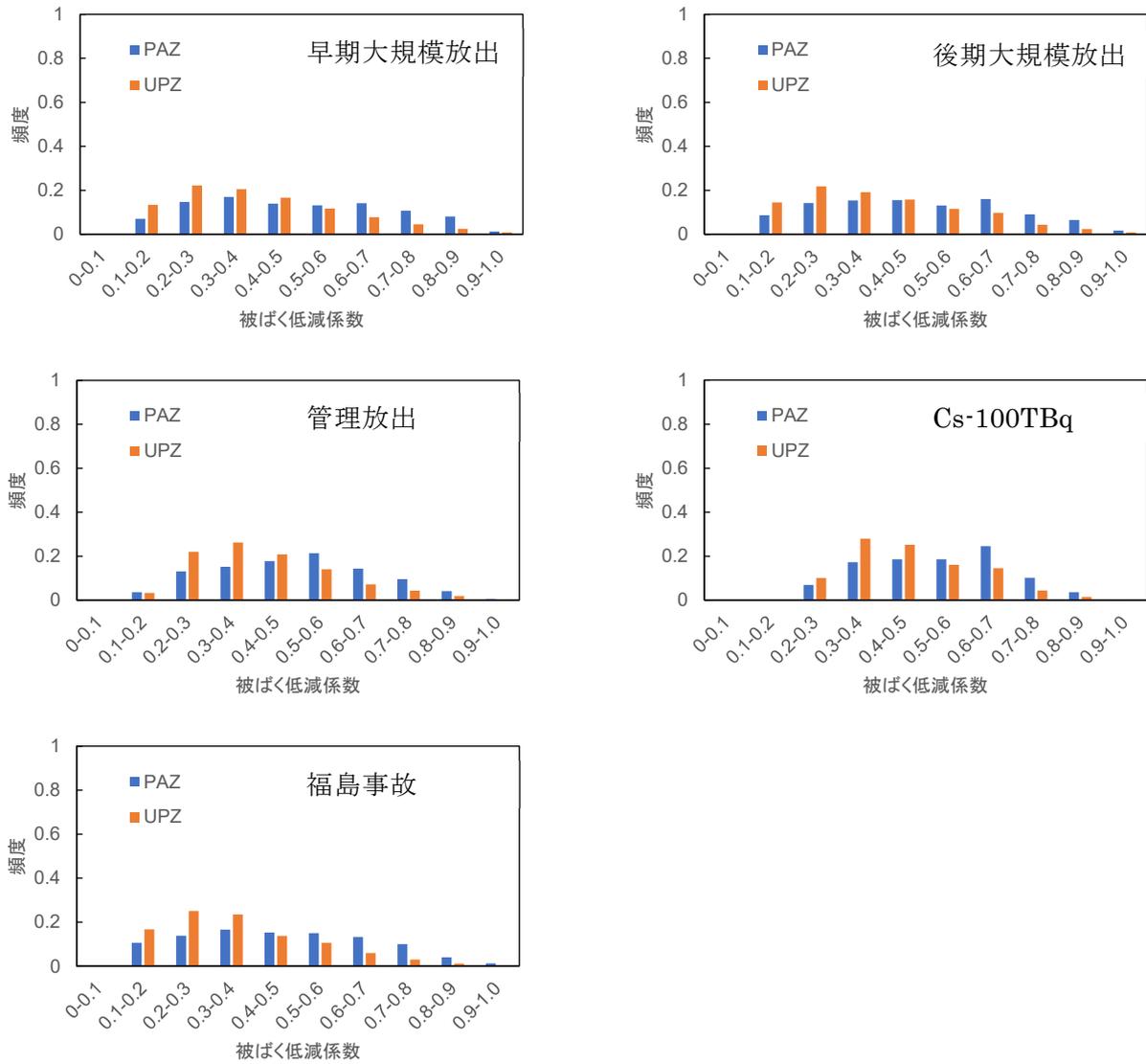


図 5.85 泊サイトにおける 7 日間累積甲状腺等価線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布

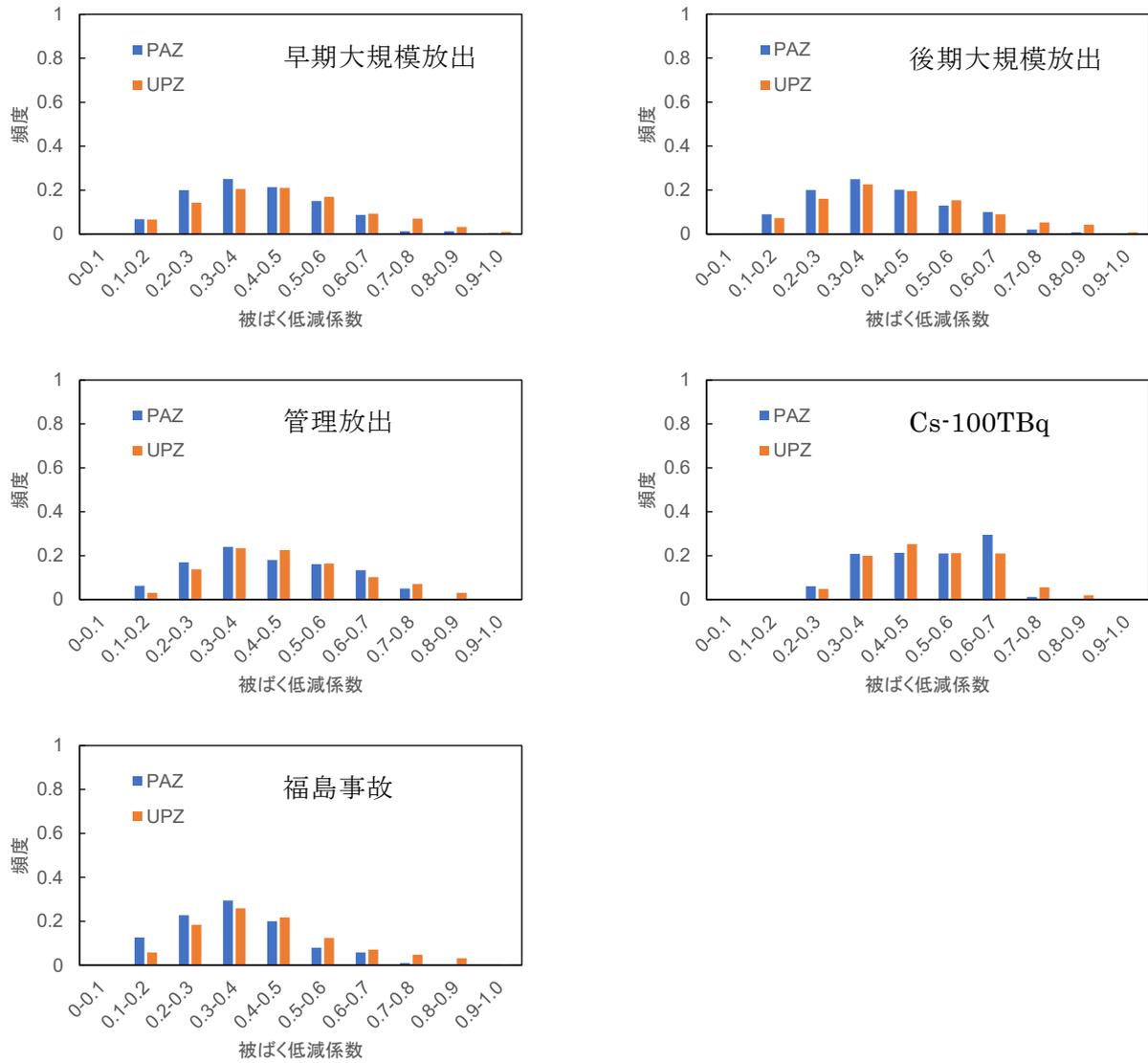


図 5.86 東通サイトにおける 7 日間累積甲状腺等価線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布

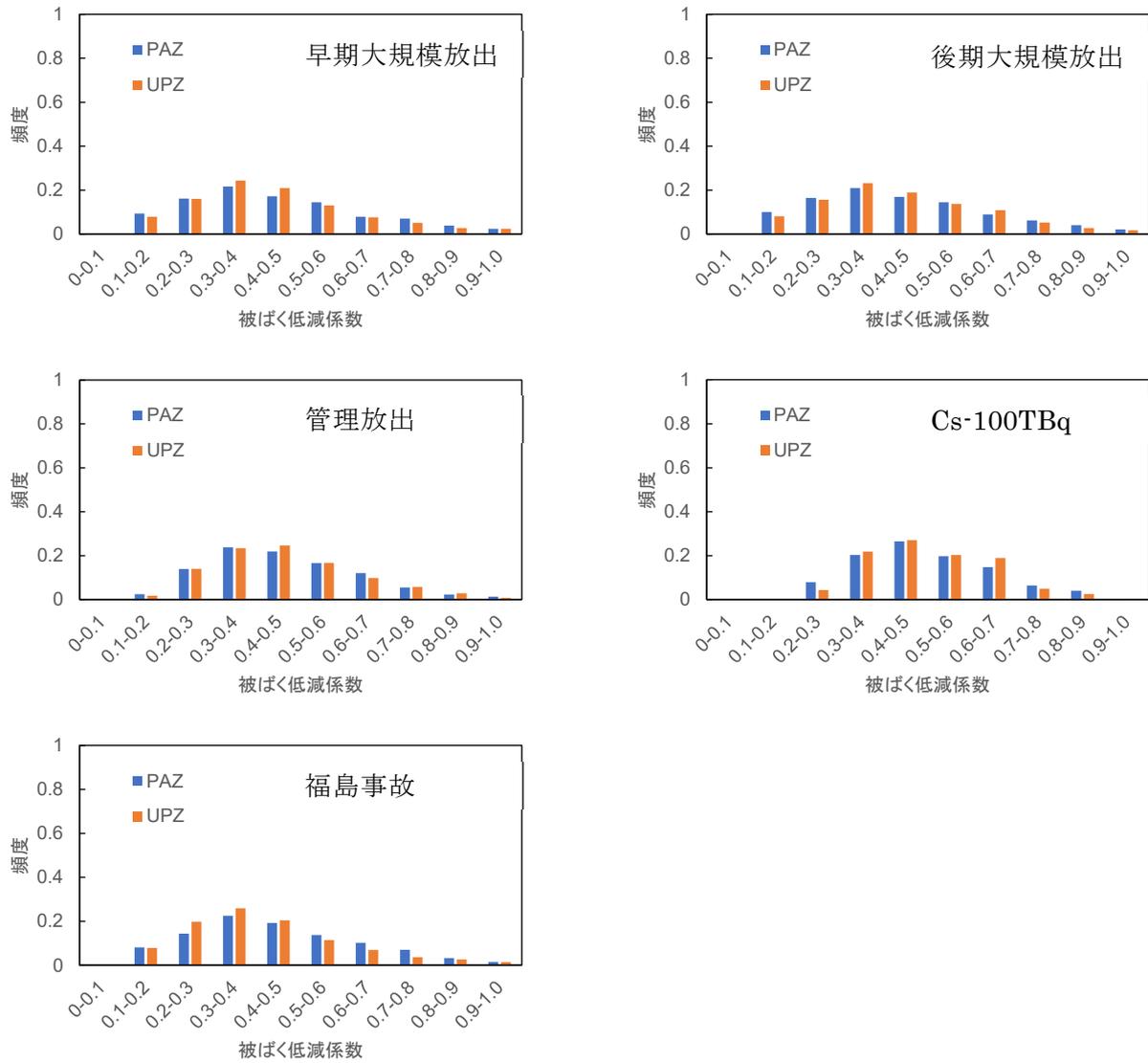


図 5.87 女川サイトにおける 7 日間累積甲状腺等価線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布

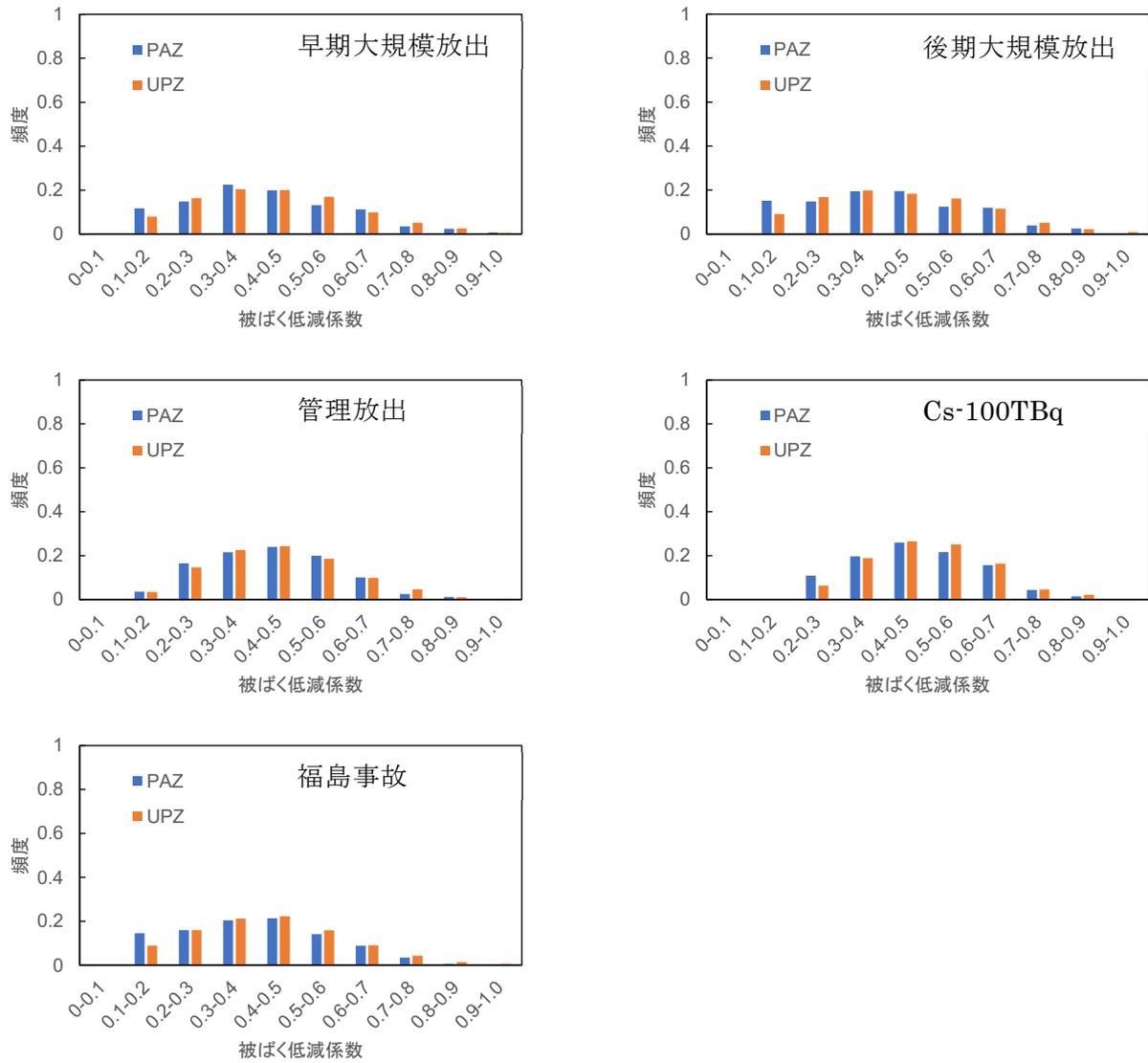


図 5.88 福島第一サイトにおける 7 日間累積甲状腺等価線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布

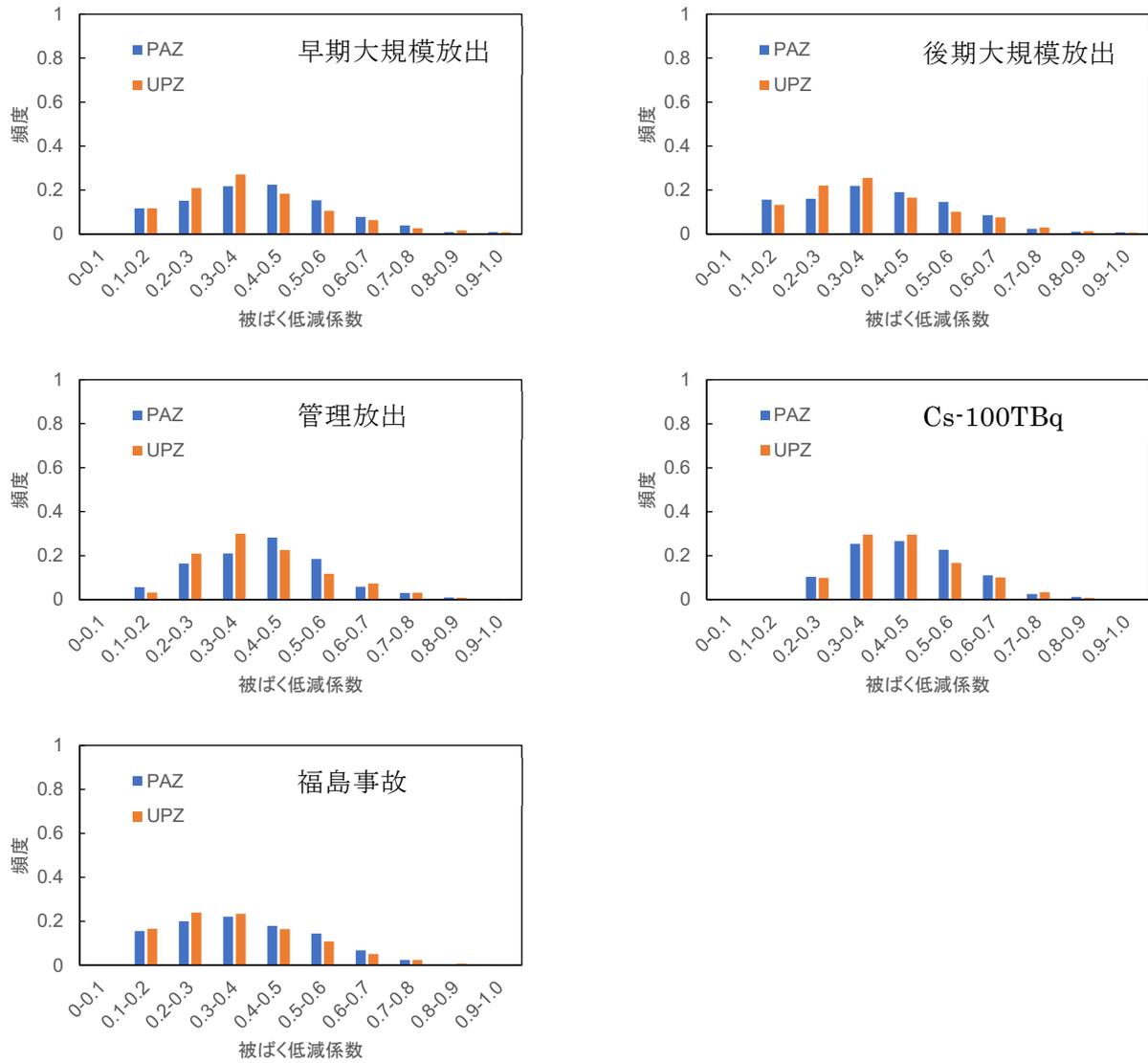


図 5.89 東海サイトにおける 7 日間累積甲状腺等価線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布

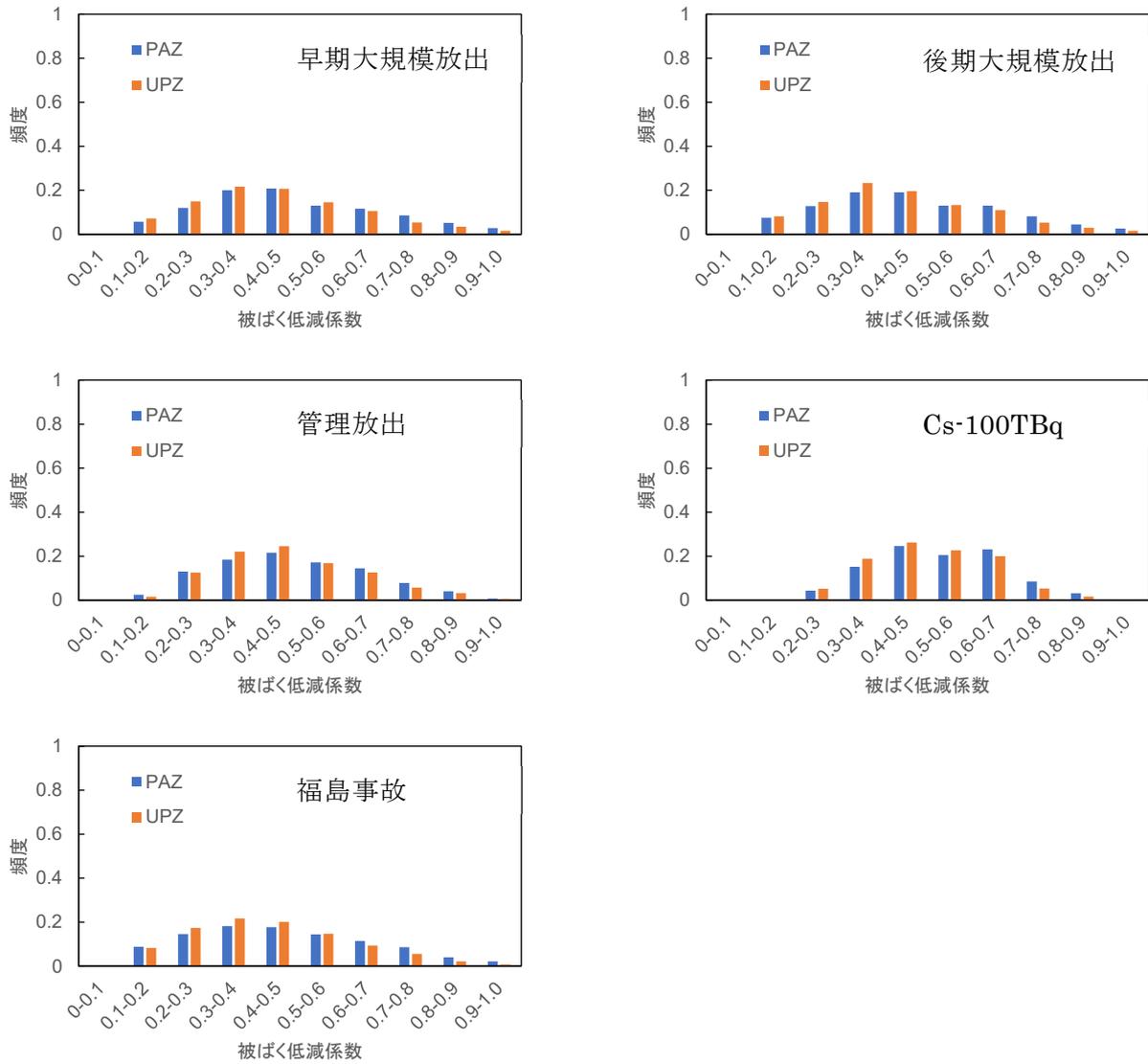


図 5.90 志賀サイトにおける 7 日間累積甲状腺等価線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布

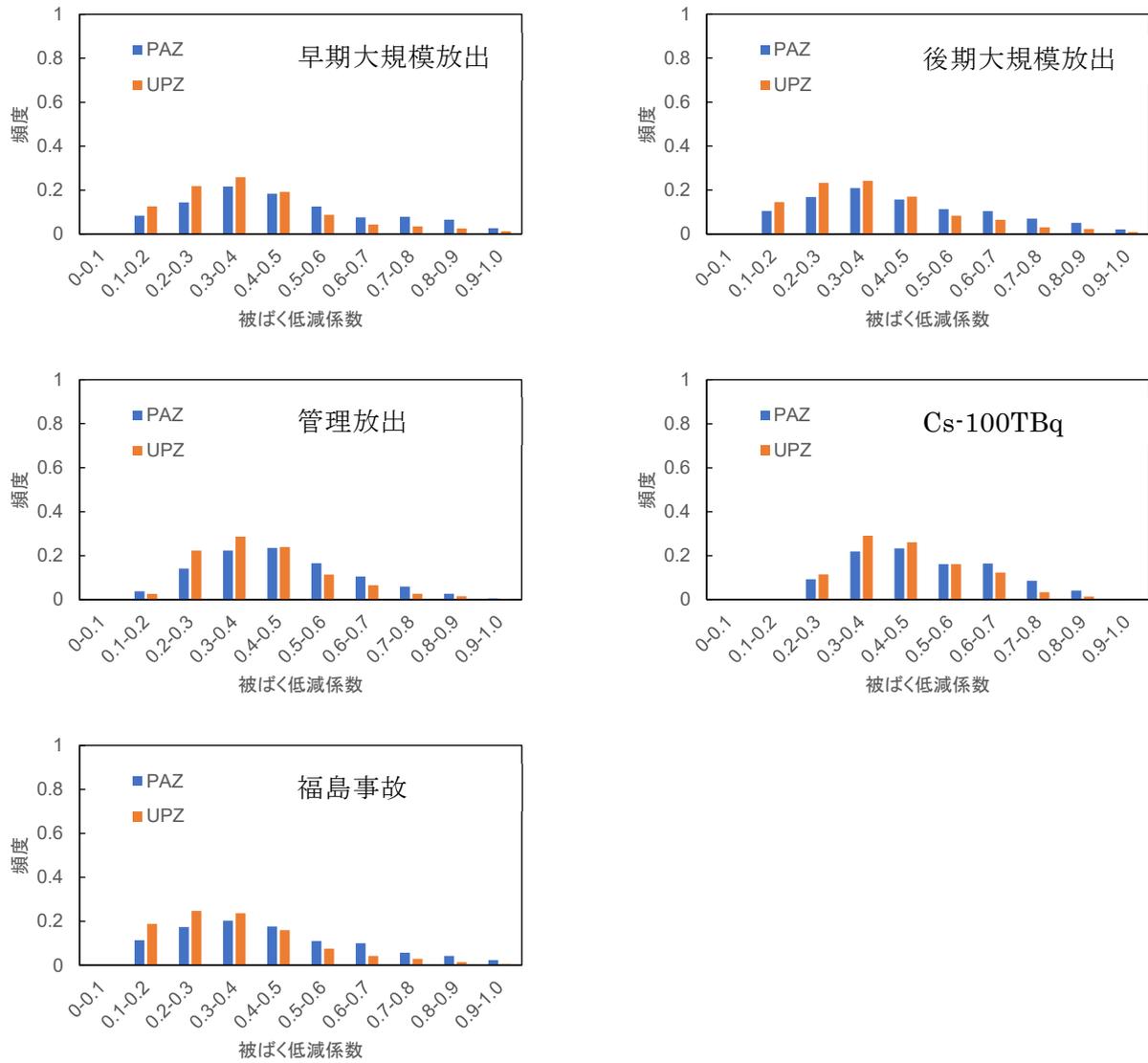


図 5.91 柏崎刈羽サイトにおける 7 日間累積甲状腺等価線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布

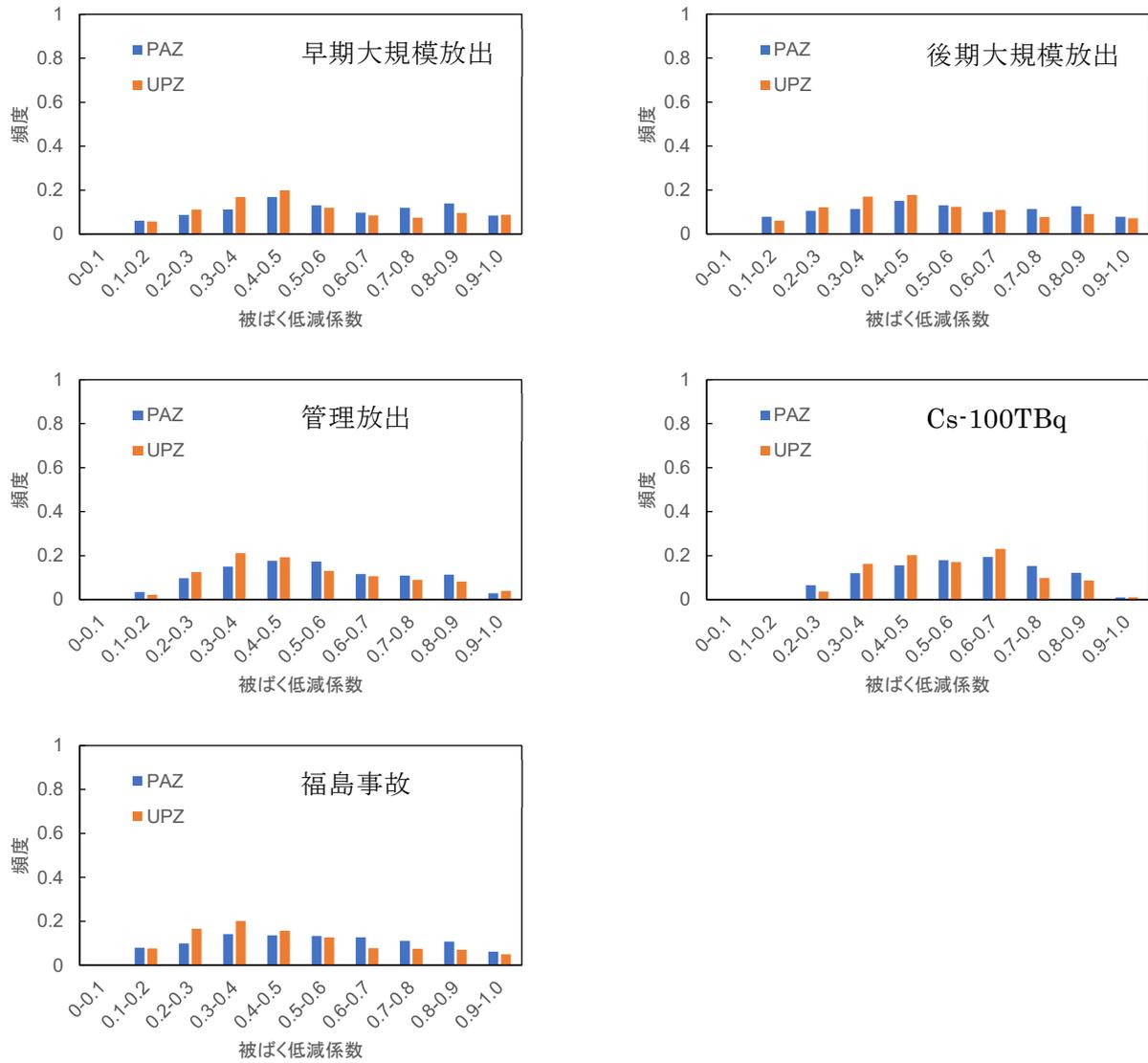


図 5.92 浜岡サイトにおける 7 日間累積甲状腺等価線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布

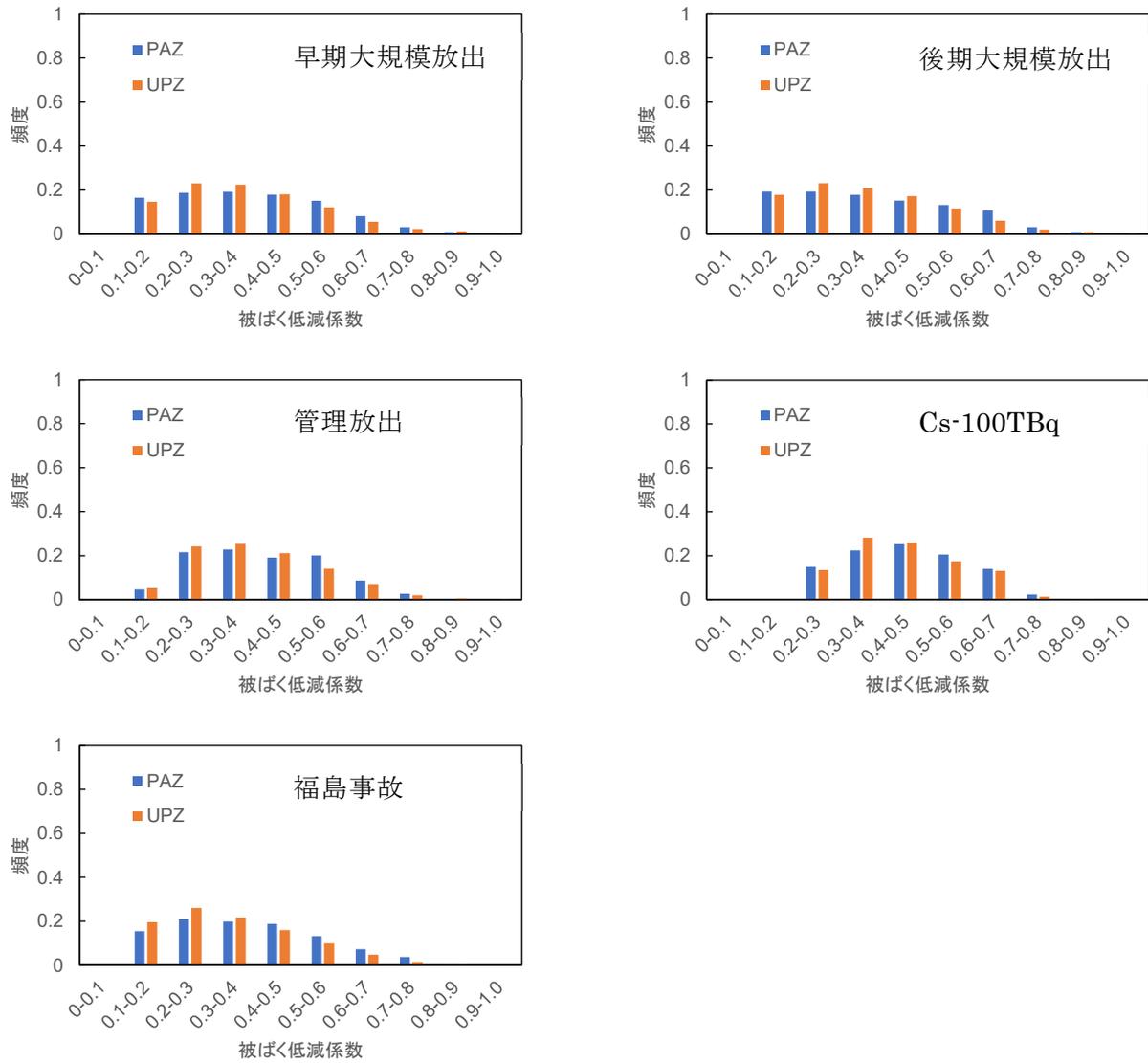


図 5.93 高浜サイトにおける 7 日間累積甲状腺等価線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布

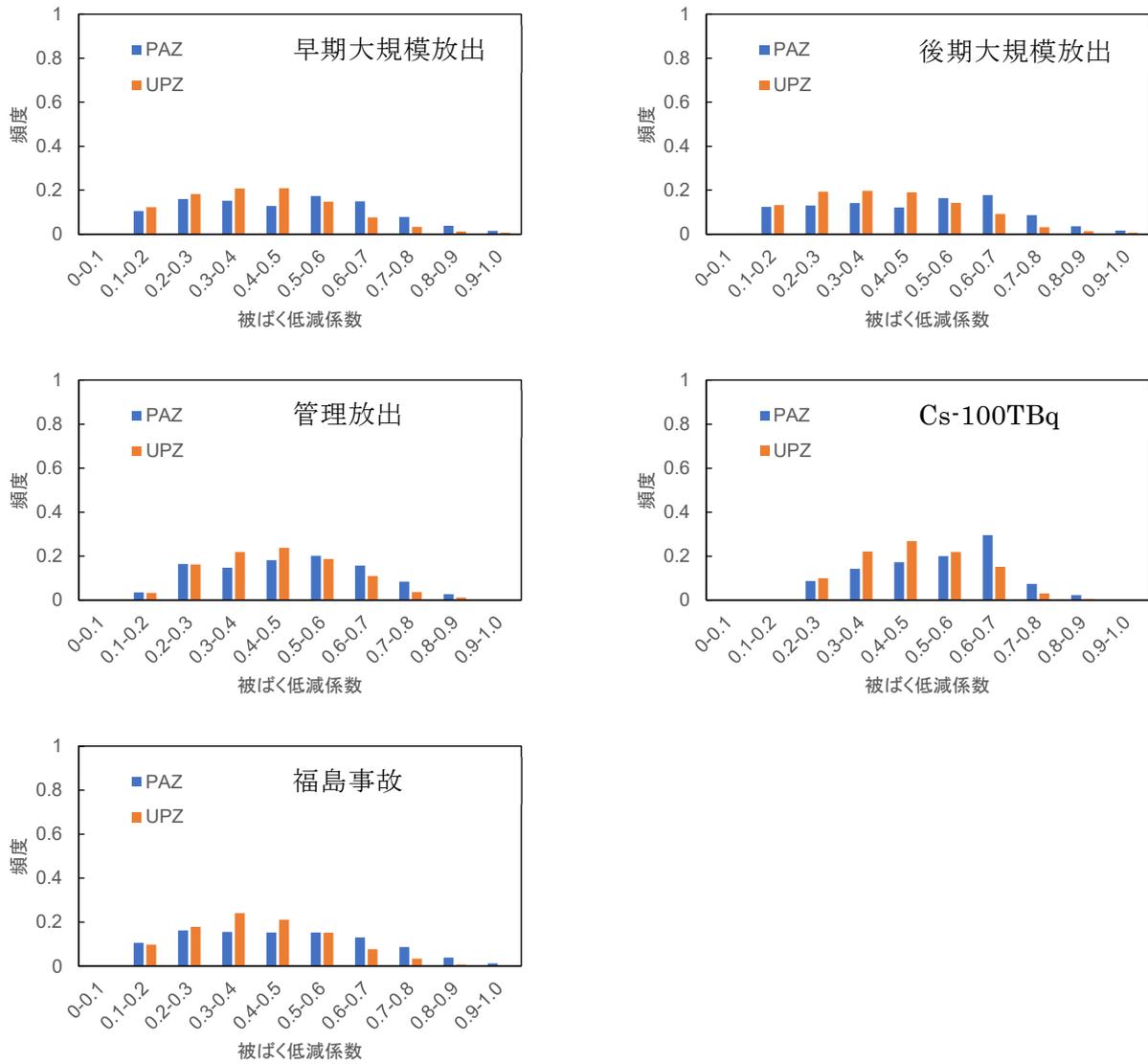


図 5.94 教賀サイトにおける 7 日間累積甲状腺等価線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布

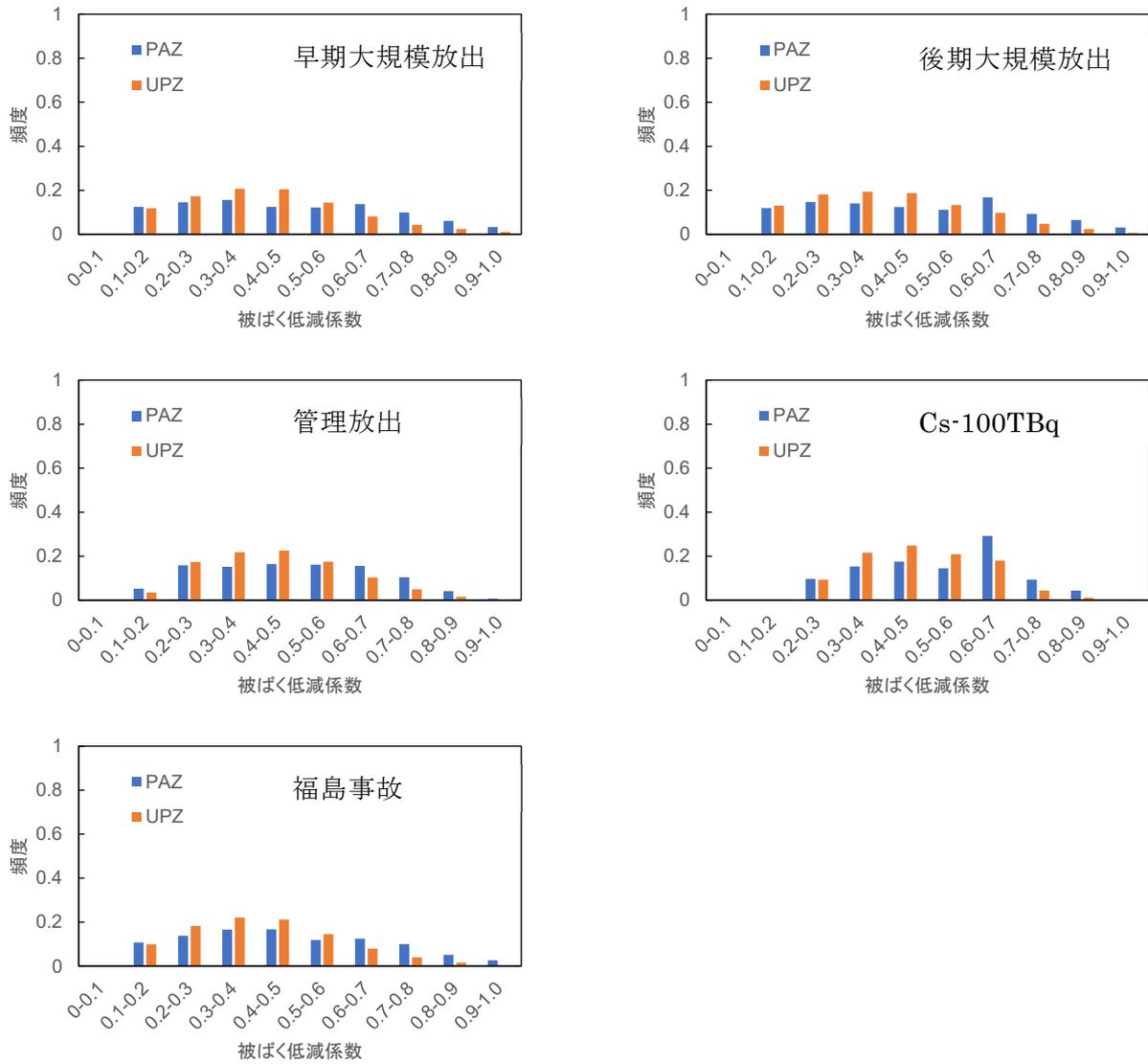


図 5.95 美浜サイトにおける 7 日間累積甲状腺等価線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布

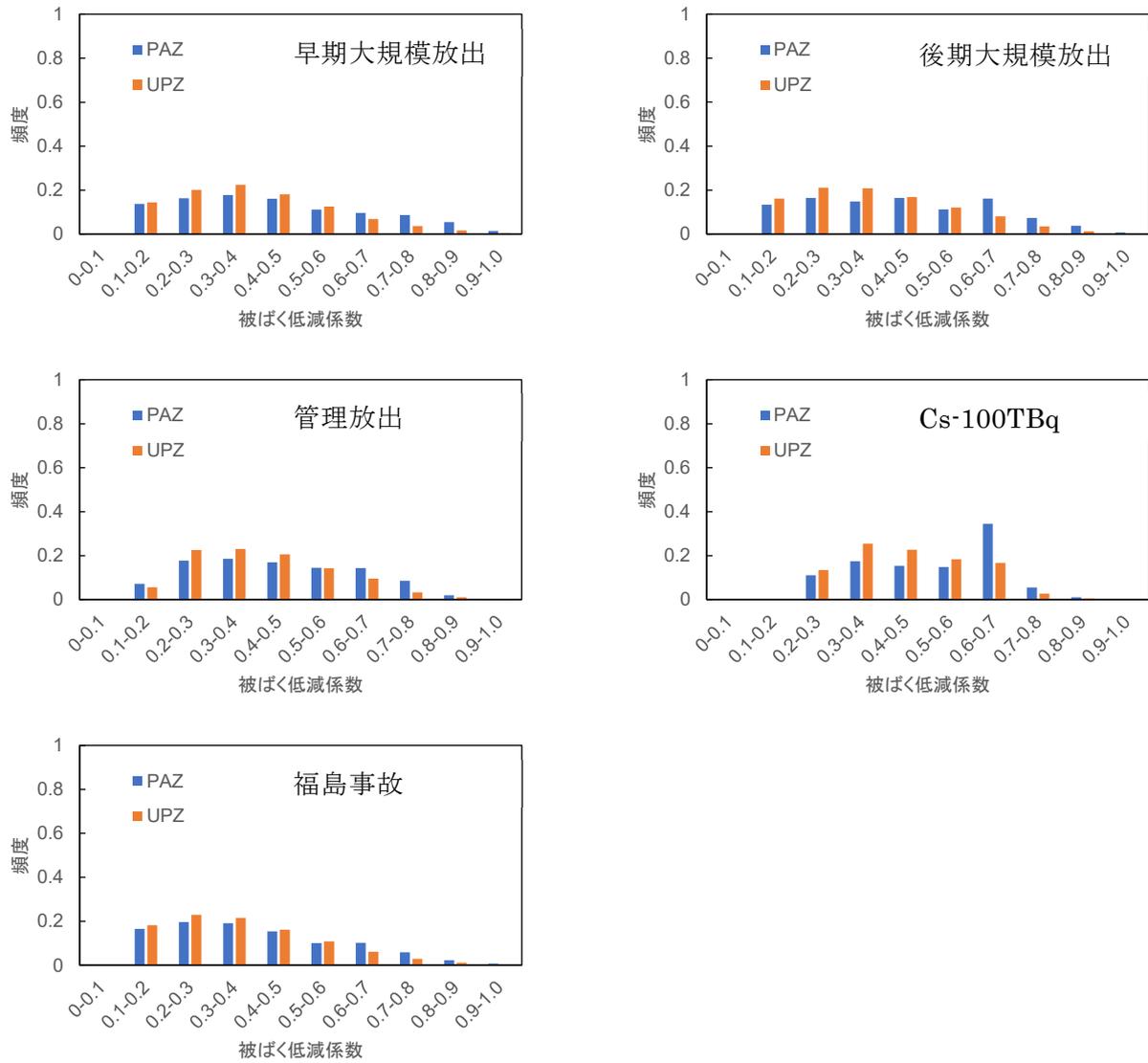


図 5.96 大飯サイトにおける 7 日間累積甲状腺等価線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布

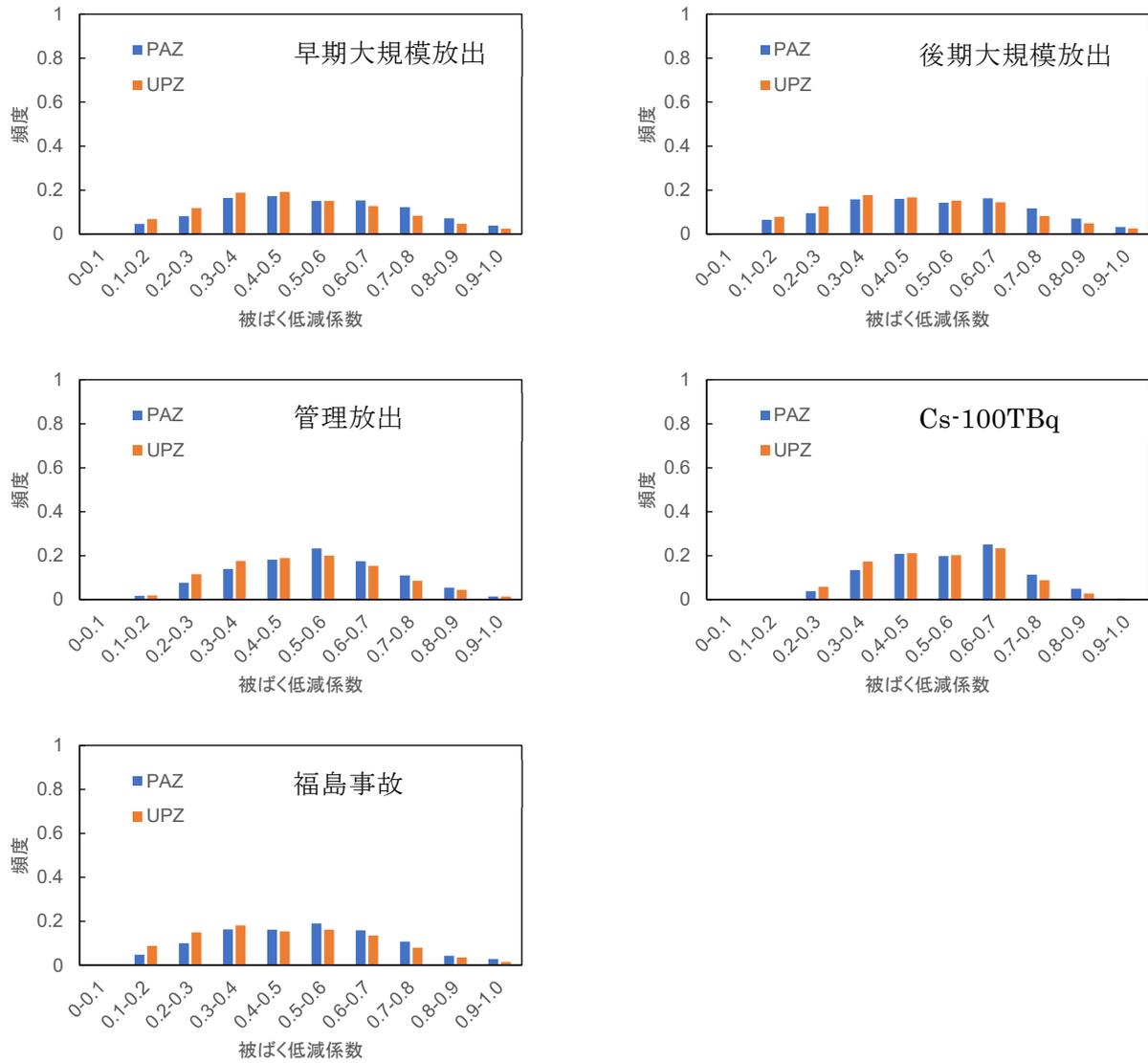


図 5.97 島根サイトにおける 7 日間累積甲状腺等価線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布

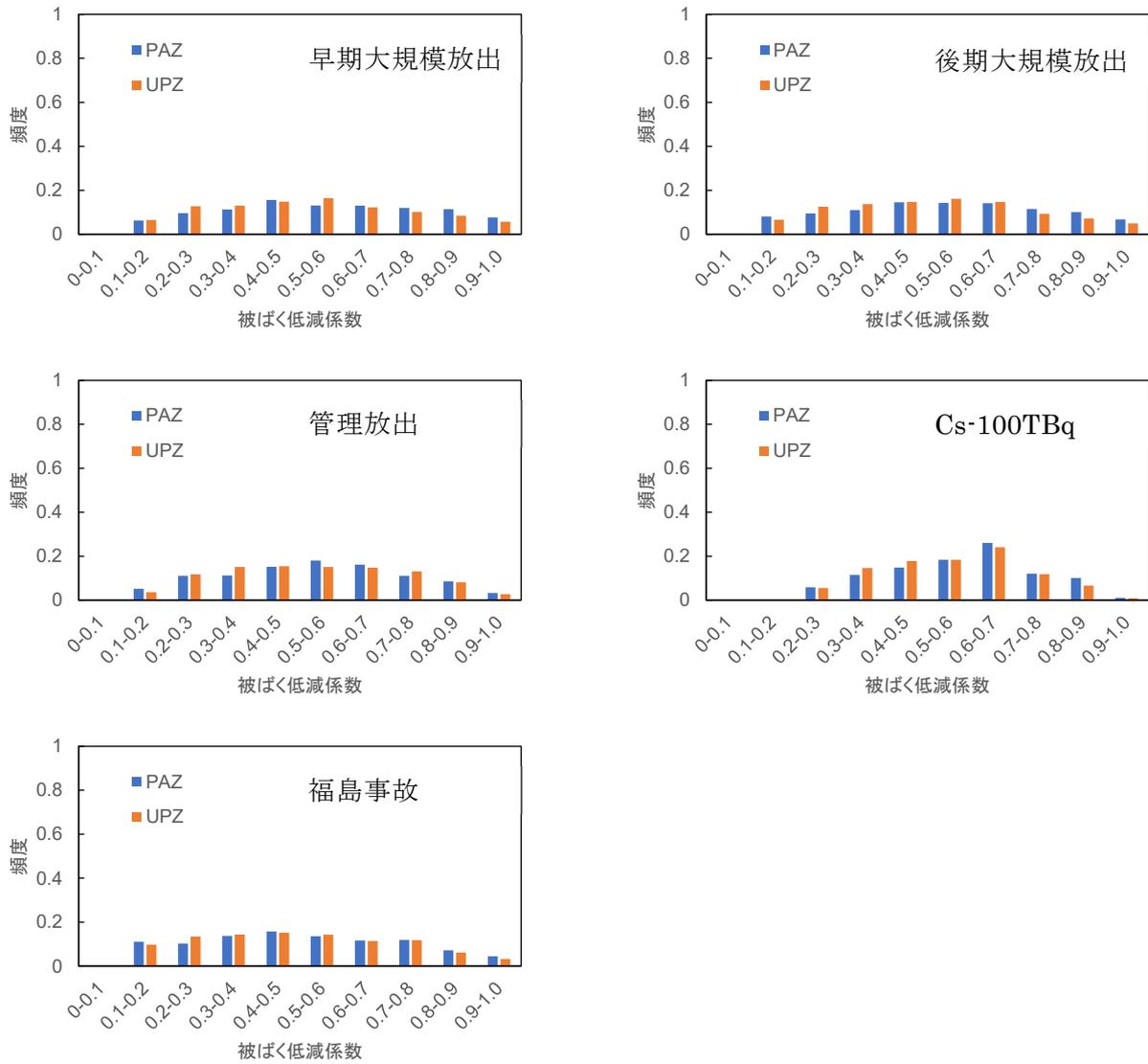


図 5.98 伊方サイトにおける 7 日間累積甲状腺等価線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布

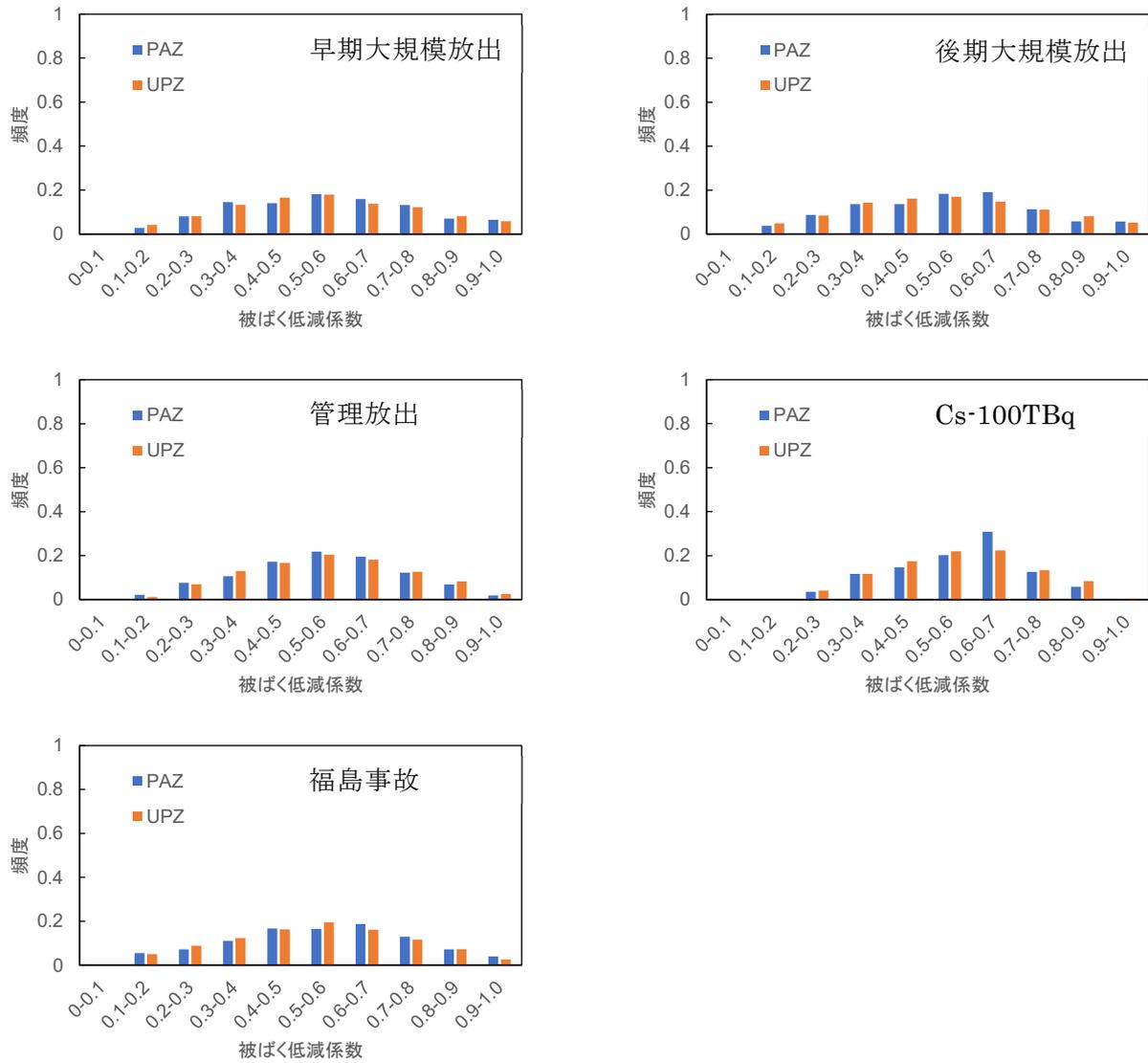


図 5.99 玄海サイトにおける 7 日間累積甲状腺等価線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布

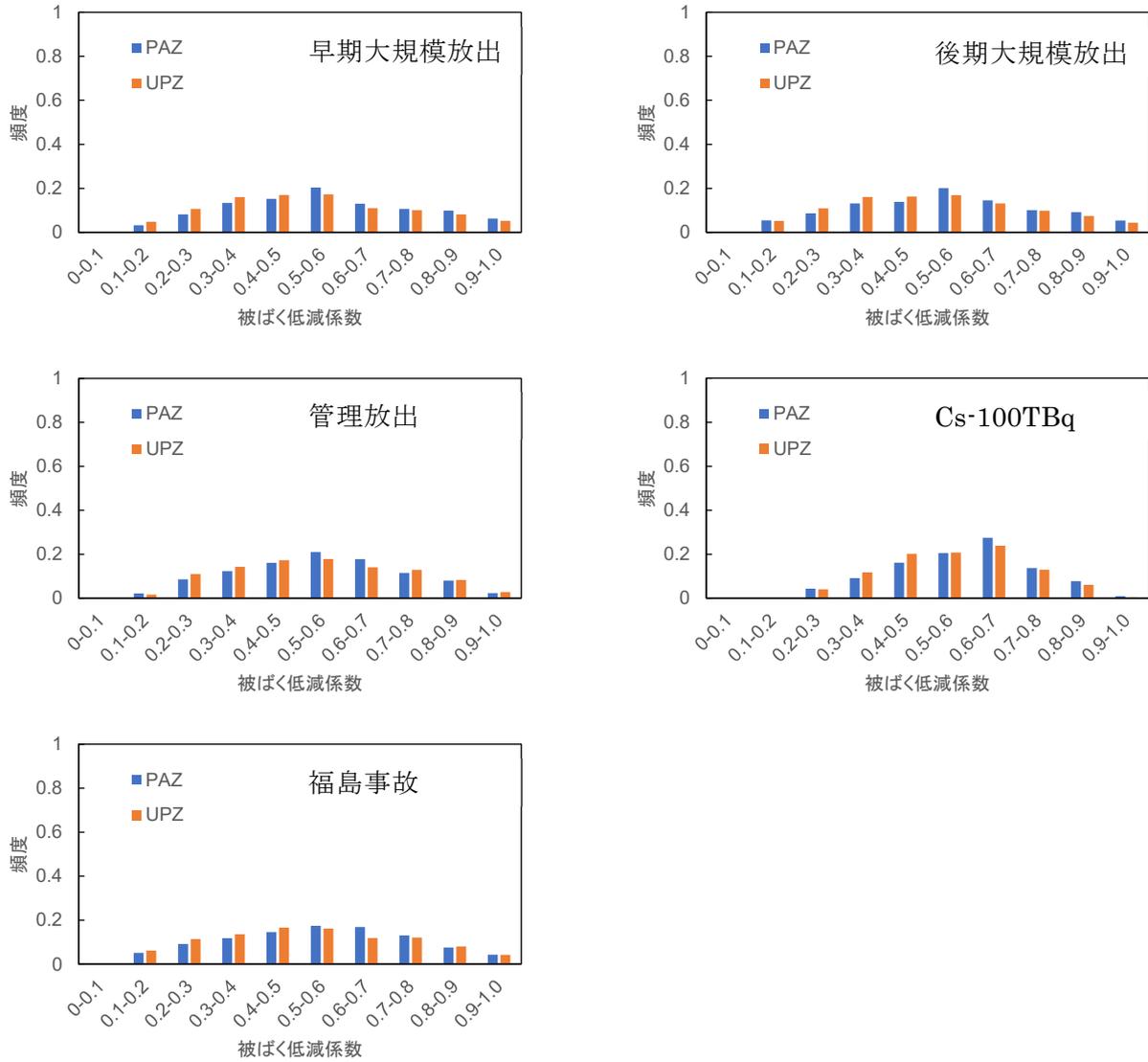


図 5.100 川内サイトにおける7日間累積甲状腺等価線量での全経路に対する被ばく低減係数の頻度分布

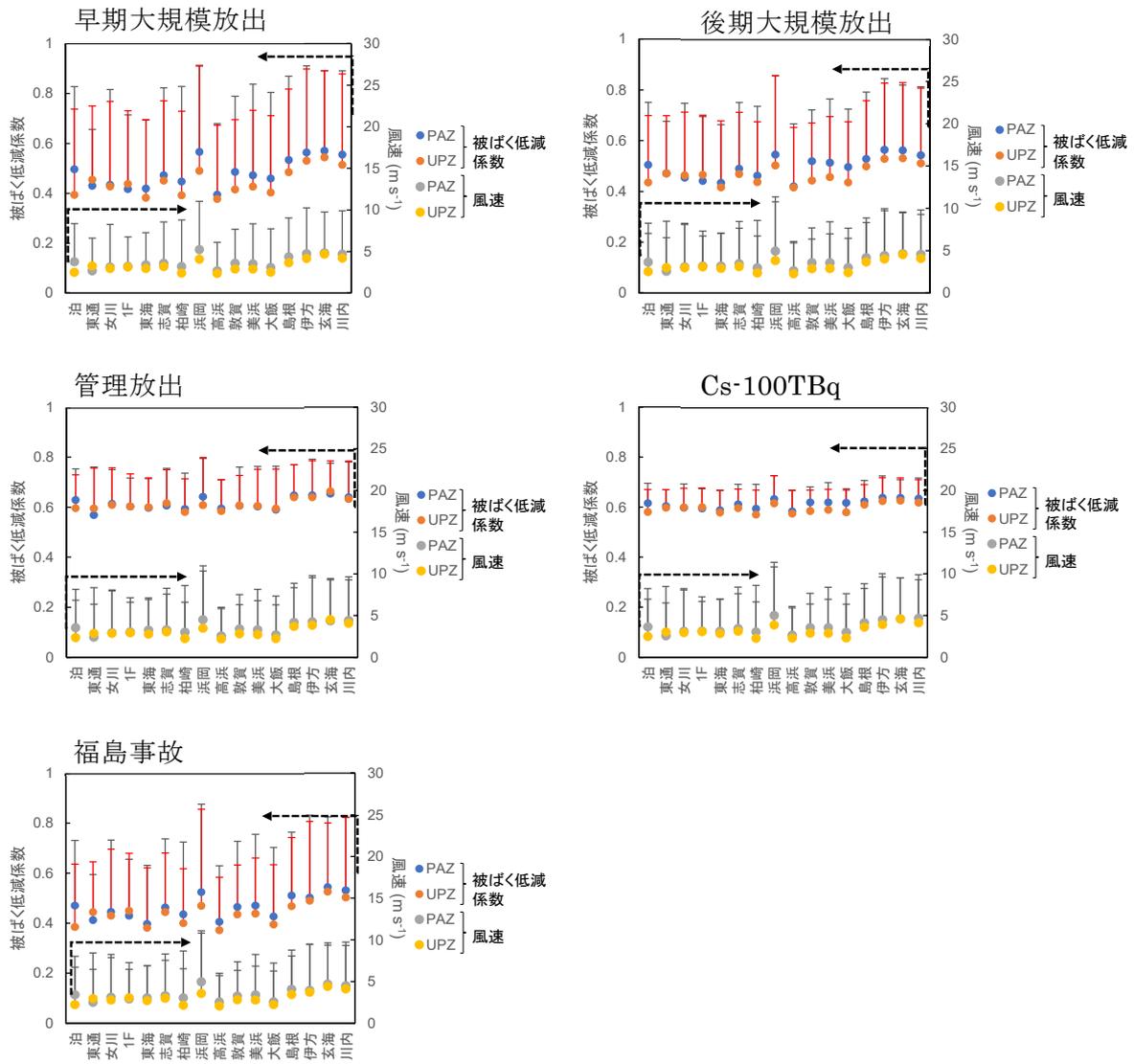


図 5.101 7日間累積実効線量での全経路に対する被ばく低減係数と風速のサイト間比較プロットが50%値、エラーバーの上端が95%値である。

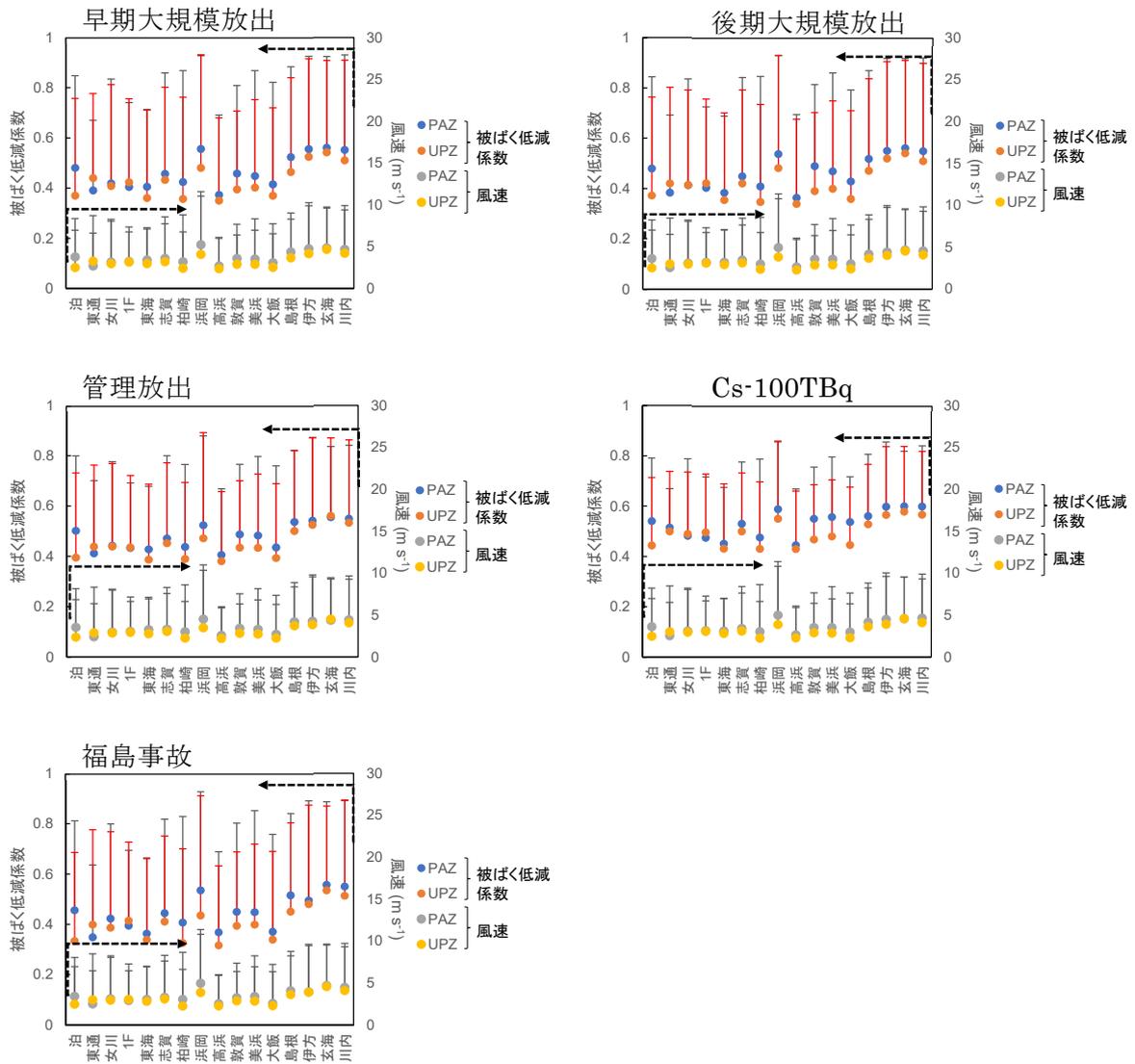


図 5.102 7日間累積甲状腺等価線量での全経路に対する被ばく低減係数と風速のサイト間比較

プロットが 50%値、エラーバーの上端が 95%値である。

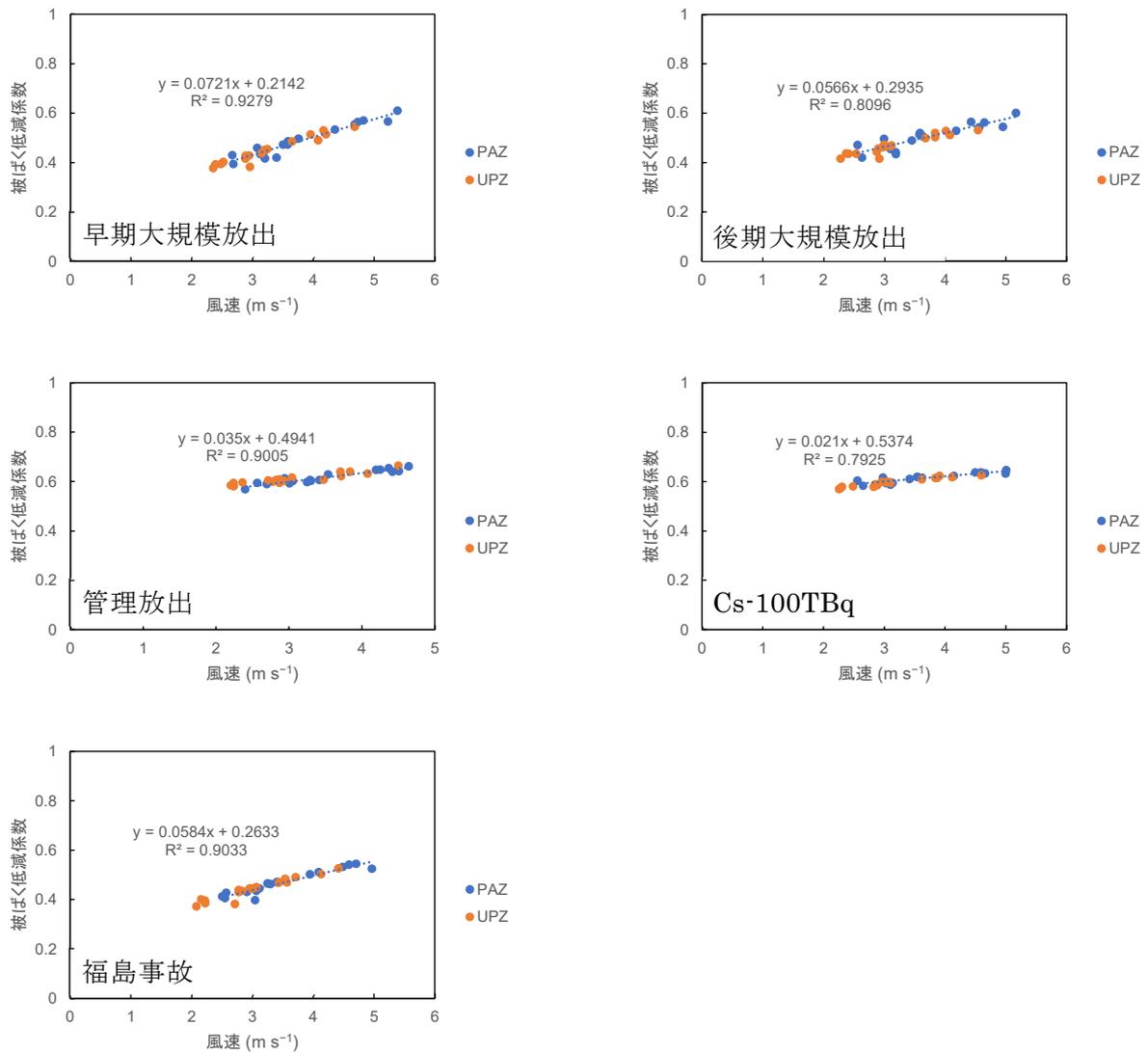


図 5.103 7日間累積実効線量での全経路に対する被ばく低減係数と風速の関係

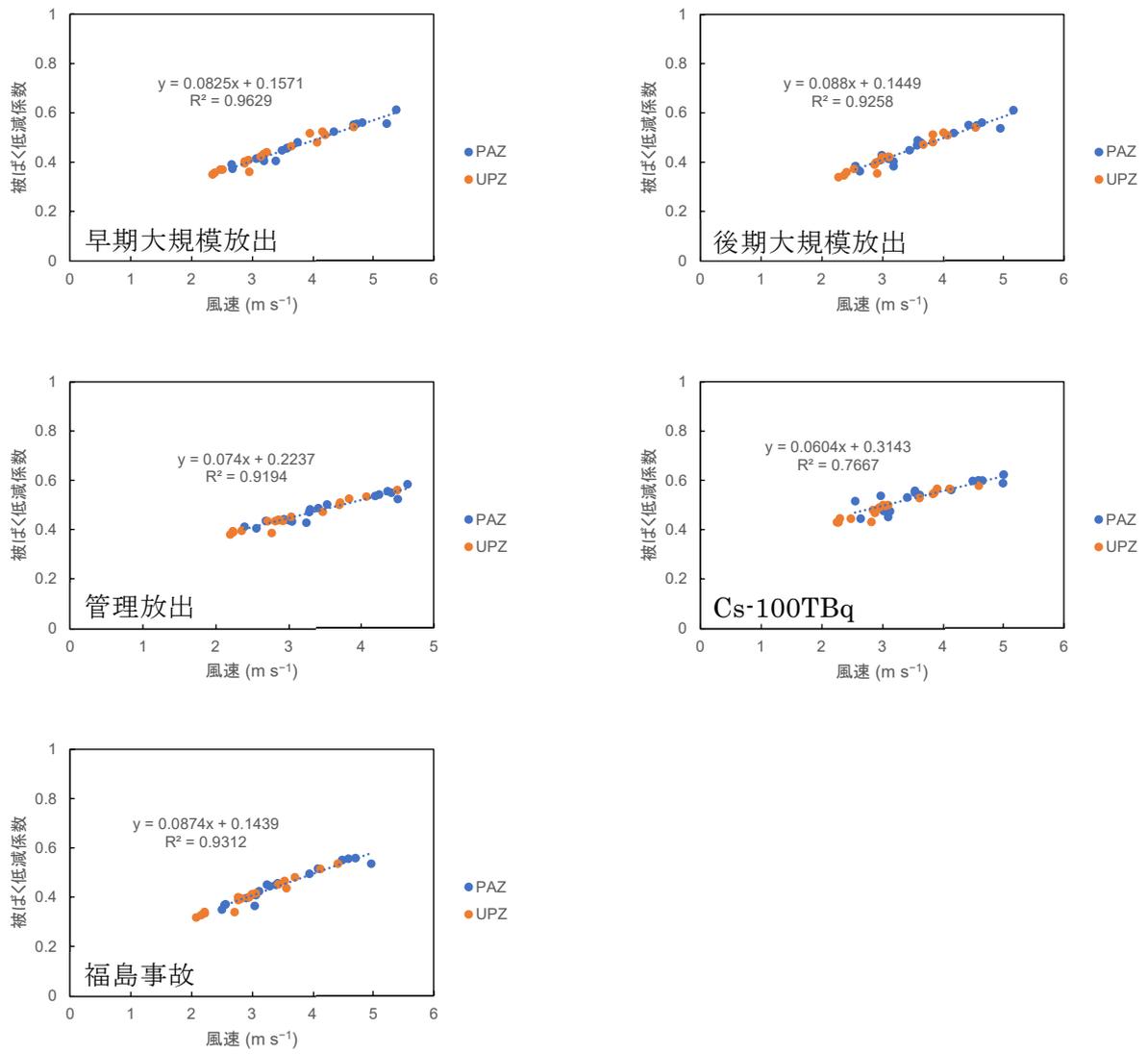


図 5.104 7日間累積甲状腺等価線量での全経路に対する被ばく低減係数と風速の関係

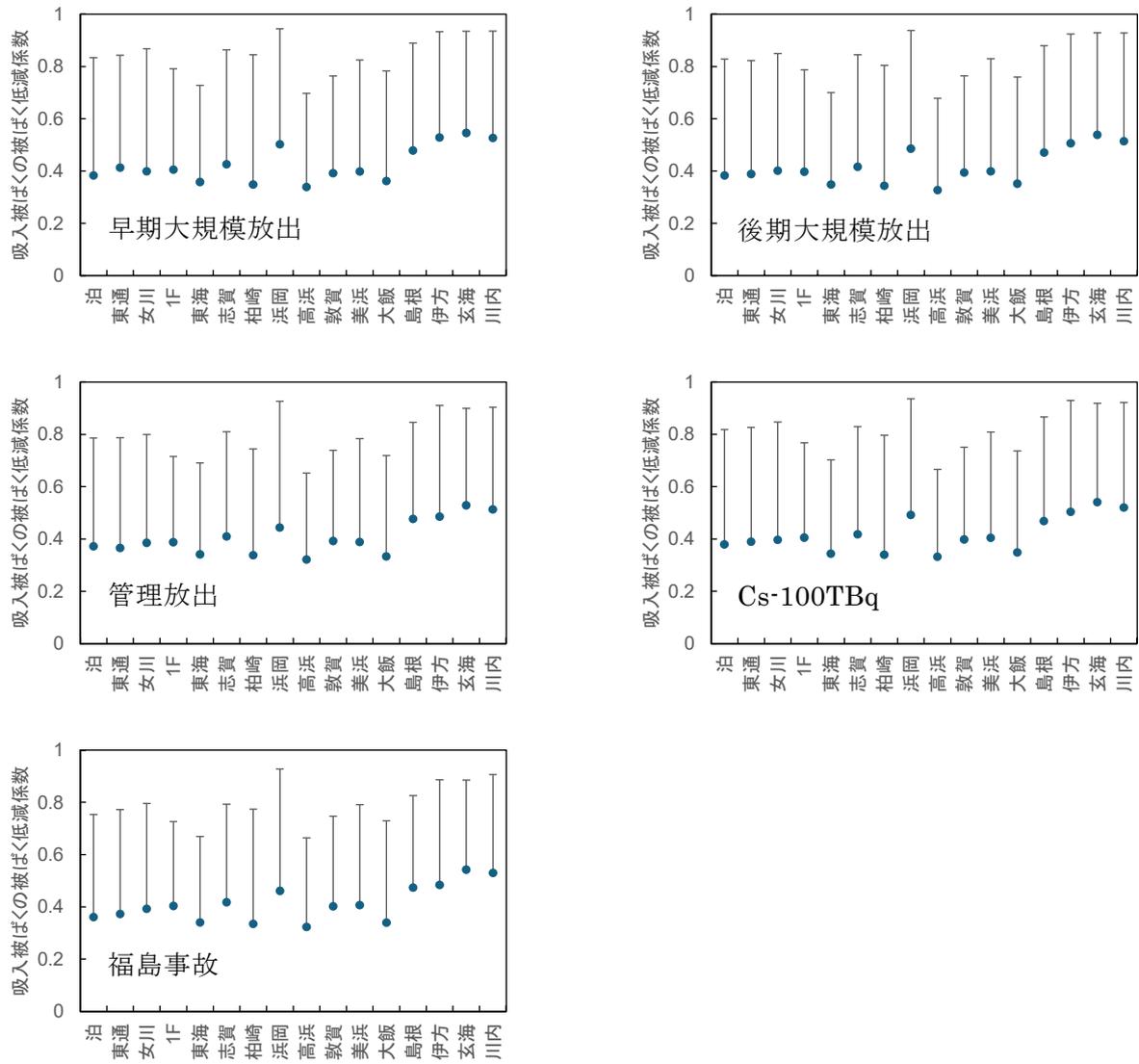


図 5.105 吸入被ばくの被ばく低減係数のサイト間比較
 プロットが 50%値、エラーバーの上端が 95%値である。

6. 結論

本報告書では、日本における原子力発電所等を有するサイトで、過去のシビアアクシデント研究、原子力規制委員会で定められている放出シナリオ、1F 事故を想定したシナリオの 5 つの事故シナリオに対して、被ばく線量及び全経路に対する被ばく低減係数を評価した。評価においては、レベル 3PRA コードの一つである OSCAAR を用いた。

線量はどのサイトでも放出点からの距離が離れるほど小さくなる傾向は一致していた。ただし、人口がまばらなサイトでは、プルームが人のいる方位に直接向かう確率が小さくなるため、放出点近傍での 50% 値が他のサイトよりも 1 桁以上小さく推定された。

被ばく経路ごとの線量への割合は、環境中への放出割合の違いによって事故シナリオごとに異なった。特に、希ガスが相対的に多く放出される管理放出と Cs-100TBq では、クラウドシャインの寄与が大きく、他のシナリオでは吸入被ばくとグラウンドシャインの寄与が大きかった。また、甲状腺等価線量の場合には、ヨウ素の吸入摂取による寄与が大きくなるため、実効線量に比べてクラウドシャインからの寄与が小さくなった。

全経路に対する被ばく低減係数はサイト間によって約 20% の違いが見られた。また、同じサイトであっても気象シーケンスの違いによって全経路に対する被ばく低減係数の値は大きく異なった。この主な要因は風速であり、風速が大きいほど全経路に対する被ばく低減係数は大きくなった。

謝 辞

本研究調査は環境省「令和4年度放射線健康管理・健康不安対策事業（放射線の健康影響に係る研究調査事業）」、「令和5年度放射線健康管理・健康不安対策事業（放射線の健康影響に係る研究調査事業）」の中で実施した成果を取りまとめたものである。

参考文献

- 1) 本間俊充, 石川淳, 富田賢一, 村松健, 軽水炉モデルプラントの広範な事故シナリオに対する環境影響評価, JAERI-Research 2000-060, 2000, 80p.
- 2) Hirouchi, J., Takahara, S., and Komagamine, H., Uncertainty and sensitivity analyses for the reduction factor of sheltering for radiation exposure, J. Radiol. Prot., 42, 041503, 2022.
- 3) IAEA, The Chernobyl I-131 Release: Model Validation and Assessment of the Countermeasure Effectiveness Report of the Chernobyl ¹³¹I Release Working Group of EMRAS Theme 1, 2012, <http://www-ns.iaea.org/downloads/rw/projects/emras/final-reports/iodine-131-report.pdf> (最終閲覧日: 2024年8月5日) .
- 4) Lebel, L. S., Dickson, R. S. and Glowa, G. A. Radioiodine in the atmosphere after the Fukushima Dai-ichi nuclear accident. J. Environ. Radioact. 151 82–93, 2016.
- 5) 放射線安全・防災研究グループ, OSCAARコードパッケージの使用マニュアル, JAEA-Testing 2020-001, 2020, 65p.
- 6) OECD, Probabilistic Accident Consequence Assessment Codes, Second International Comparison, Overview Report, A joint report by the OECD Nuclear Energy Agency and the Commission of the European Communities. Nuclear Energy Agency OECD, Paris, France, 1994.
- 7) CEC, Probabilistic accident consequence assessment codes, Second international comparison, Technical report, A joint report by the European Commission and the OECD Nuclear Energy Agency, 1994.
- 8) Homma, T., Inoue, Y., and Tomita, K., OSCAAR Calculations for the Hanford Dose Reconstruction Scenario of BIOMASS Theme 2, JAERI-Research 2000-049, 2000, 101p.
- 9) Homma, T. and Matsunaga, T., OSCAAR Calculations for the Iput Dose Reconstruction Scenario of BIOMASS Theme 2, JAERI-Research 2000-059, 2001, 63p.
- 10) Homma, T., Accident Consequence Assessments and their uncertainty, Comparative Evaluation of Environmental Toxicants -Health Effects of Environmental Toxicants Derived from Advanced Technologies-, Edited by J. Inaba and Y. Nakamura, Kodansha Scientific LTD., Tokyo, 1998.

- 11) 赤林伸一, 村上周三, 水谷国男, 高倉秀一, 周辺に建物群のある独立住宅の風圧分布に関する風洞実験及び換気量予測その1, 日本建築学会計画系論文集, 456, pp.17-27, 1994.
- 12) 吉野博, 長谷川房雄, 松本博, 内海康雄, 赤林伸一, 牧田一志, 仙台市の枠組み壁工法による戸建住宅における温度・空気環境およびエネルギー消費量の実態調査, 日本建築学会計画論文報告集, 375, pp.17-27, 1987.
- 13) Hirouchi, J., Takahara, S., Komagamine, H., Kato, N., Matsui, Y., and Yoneda, M., Penetration factor and indoor deposition rate of elementary and particulate iodine in a Japanese house for assessing the effectiveness of sheltering for radiation exposures J. Radiol. Prot. 41 S139-149, 2021.
- 14) 原子力規制委員会, 緊急時の被ばく線量及び防護措置の効果の試算について(案), 平成26年5月28日, 2016.
- 15) 原子力災害対策本部, 原子力安全に関するIAEA閣僚会議に対する日本国政府の報告書—東京電力福島原子力発電所の事故について—; 添付IV-2 東京電力株式会社福島第一原子力発電所の事故に係る1号機、2号機及び3号機の炉心の状態に関する評価のクロスチェック解析, 平成23年6月, <https://www.kantei.go.jp/jp/topics/2011/pdf/app-chap04-2.pdf> (最終閲覧日: 2024年8月5日) .
- 16) UNSCEAR, Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation, UNSCEAR 2013 Report, Volume I, Report to the General Assembly, Scientific Annex A: Levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident after the 2011 great east-Japan earthquake and tsunami, 2013, http://www.unscear.org/unscear/en/publications/2013_1.html (最終閲覧日: 2024年8月5日) .
- 17) 木村仁宣, 佐藤宗平, 石川淳, 本間俊充, 原子力緊急事態に対する準備と対応に関する国際動向調査及び防災指針における課題の検討, JAEA-Review 2010-011, 2010, 147p.
- 18) Soffer, L., Burson, S.B., Ferrell, C.M., Lee, R.Y., and Ridgely, J.N., Accident source terms for light-water nuclear power plants, NUREG-1465, 1995.
- 19) Sato, T., Iwamoto, Y., Hashimoto, S., Ogawa, T., Furuta, T., Abe, S., Kai, T., Matsuya, Y., Matsuda, N., Hirata, Y., Sekikawa, T., Yao, L., Tsai, P.E., Hunter, H.N., Iwase, H., Sakaki, Y., Sugihara, K., Shigyo, N., Sihyer, L., and Niita, K., Recent improvements of the Particle and Heavy Ion Transport code System- PHITS version 3.33, J. Nucl. Sci. Technol., 61, pp.127-135, 2023.
- 20) Furuta, T., and Takahashi, F. Study of radiation dose reduction of buildings of different sizes and materials. J. Nucl. Sci. Technol., 52, pp.897-904, 2015.
- 21) 総務省統計局, 平成22年国勢調査 人口等基本集計, 2010, <https://www.stat.go.jp/data/kokusei/2010/> (最終閲覧日 2024年8月5日) .
- 22) 総務省統計局, 市区町村メッシュ・コード一覧, 2023, https://www.stat.go.jp/data/mesh/m_itiran.html (最終閲覧日 2024年8月5日) .

- 23) 国土交通省国土地理院，ベクトルタイルとその提供実験について，2023，
<https://maps.gsi.go.jp/development/vt.html>（最終閲覧日 2024年8月5日） ．

