

補論 1 福島原発事故によるヨウ素 131 大気中放出量の推計について——チェルノブイリの 1.5 倍に上る可能性

2018 年 7 月 10 日改訂 (2015 年 2 月 25 日)

渡辺悦司 山田耕作

本文ではセシウム 137 を中心に福島原発事故による放出量を論じてきたが、ここでは放射性ヨウ素とくにその代表的な核種であるヨウ素 131 を中心に放出量の推計を検討しよう。いうまでもなく放射性ヨウ素は、人体に侵入すると甲状腺に沈着し、がんを引き起こすことがよく知られている。この点から見ても、福島原発事故によるヨウ素の放出量の推計は、事故による健康被害を考えていく上で重要な意味を持っている。われわれは、東京電力が発表している放出量推計におけるヨウ素 131 とセシウム 137 の比率に注目し、その検証を行った。それを基に補正して計算すると、福島原発事故によるヨウ素 131 の放出量は、チェルノブイリ事故の約 1.5 倍に達する可能性が出てきた。

この補論を書くに当たり、矢ヶ崎克馬氏、大沼淳一氏、藤岡毅氏、富田重行氏をはじめ多くの方々にご協力いただきました。ここに改めて謝意を表します。

1. 東京電力による放出量の推計とその注目点

ヨウ素 131 についても、日本政府の発表に従って、チェルノブイリの「1 割以下」(当初「14 分の 1」、その後「11 分の 1」)という評価が広く宣伝され行き渡ってきた。このような状況のなかで、2012 年 5 月 24 日、東京電力は、福島原発事故によるヨウ素 131 の大気中放出量を 500PBq (ペタベクレルは 1 秒間に 10 の 15 乗回の原子壊変が生じる放射エネルギー)とする独自の推計を公表した(「福島第一原子力発電所の事故における放射性物質の放出量の大気中への推定について」2012 年 5 月 24 日、表 1 参照)^{注1}。政府によるヨウ素 131 の大気中放出量の推計値は 160PBq なので、東電推計はその 3 倍であり、チェルノブイリ(国連科学委員会の推計 1760PBq)の約 3 割という数字である。しかし、事故後の福島県における小児甲状腺がんの多発にかんする議論の中でも、この事実はあまり注目されて来なかったように思われる^{注2}。

表1 東京電力による大気中放出量の推計 (単位 PBq)

希ガス (0.5MeV 換算値)	I-131	Cs-134	Cs-137	INES 評価 ^{注1}
約 500	約 500	約 10	約 10	約 900

(注1) INES (国際原子力指標尺度) 評価は、放射エネルギーをよう素換算した値。ここでは限られた核種でしか評価できていないため、I-131 と Cs-137 を使用して、事故の規模を評価した。Cs-137 のみ評価に加えている。

(例：約 500PBq + 約 10PBq × 40 (換算係数) = 約 900PBq)

出典：東京電力「福島第一原子力発電所の事故における放射性物質の放出量の大気中への推定について」2012年5月24日発表 6ページ

http://www.tepco.co.jp/cc/press/betu12_j/images/120524j0105.pdf

この場合、重要なポイントは、ヨウ素 131 放出量とセシウム 137 放出量との比率である。政府の推計値ではこの比は約 11 (ヨウ素 131 が 160PBq、セシウム 137 が 15PBq) である。東電の推計ではこの比率は約 50 である (表 1)。ちなみにチェルノブイリ事故では、この比は約 21 である (ヨウ素 131 が 1760PBq、セシウム 137 が 85PBq)。

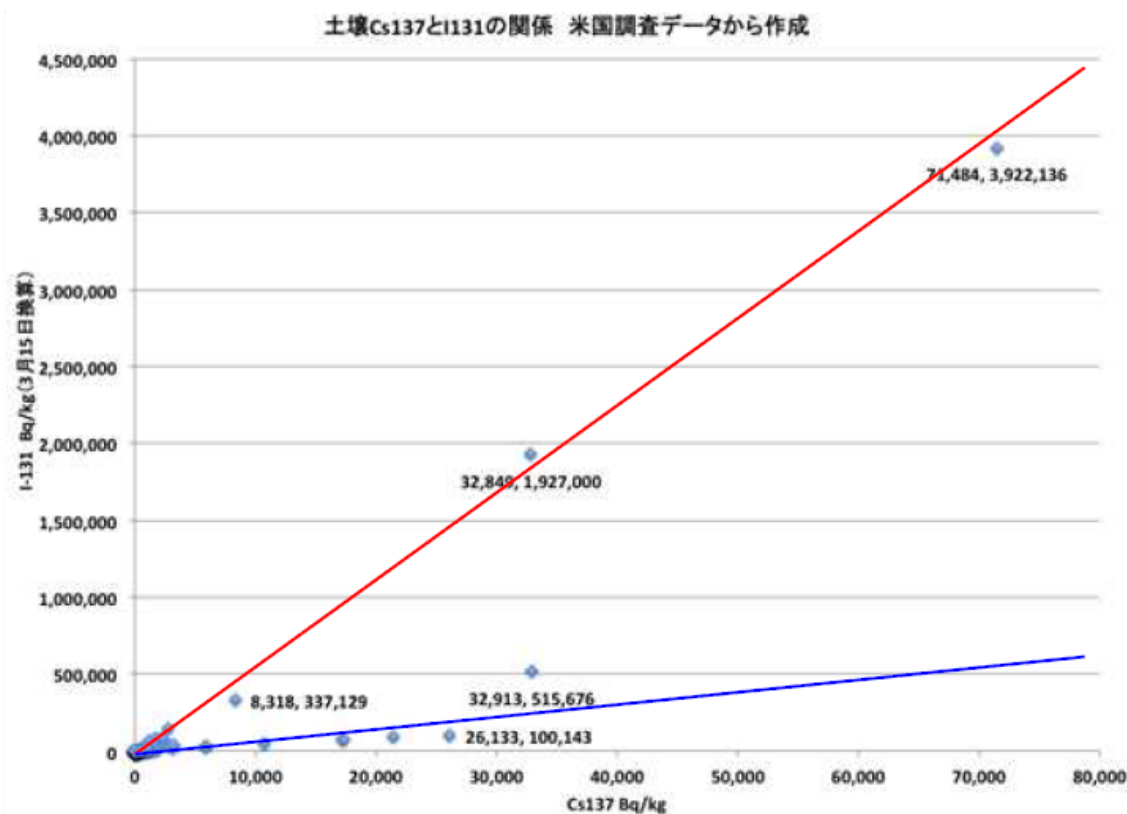
もちろん、東電の発表はとかく人々から不信の眼で見られており、同社が、原発事故において基本的な指標と考えられているセシウムの放出量を少なく見せるために、ヨウ素の放出量を意図的に水増しした可能性があるという疑いもあるかもしれない。しかし、以下に検討する事情を考慮すると、この東電推計のヨウ素 131/セシウム 137 比率 (50) は、日本政府推計 (11) に比較して、むしろ信頼度が高いと考えるべきであろう。

2. 東電推計のヨウ素 131/セシウム 137 放出比率 (50) の検証

第 1 に、東電の報告書によると、この比率は、2011 年 3 月 21 日に事故原発の事務本館北側で測定されたエアースンプルの実測値 (39.9) に基づくとされている (同 18 ページ)。ヨウ素 131 は、半減期が 8 日と極めて短く、正確な測定が困難であり、たいていの場合、その放出量は過小に推計される傾向にあるので、大きい方の実測値に基づく推計は重要である。

第 2 に、同じく実測に基づくヨウ素 131/セシウム 137 比率の測定として重要なデータは、米軍・米エネルギー省が発表している土壌調査の結果である。富田重行氏は、そのデータをヨウ素 131 の半減期 (約 8 日) を考慮して事故発生時 (3 月 15 日時点) の数値に換算した結果を、ネット上で公表している (下図)。ヨウ素 131 沈着量が最大の地点での比率は 54.9 で、東電が採用した比率

50 に近く、またヨウ素 131 沈着量が 10 万 Bq/kg を超える福島事故原発近傍の上位 6 地点での比率は 39.8 で、東電の事故原発での実測値 39.9 に極めて近い。全ての地点での測定値の合計で比率を計算しても 26.5 であり、政府の推計（約 11）よりも明らかに大きい。



注記：富田重行氏提供。図では 2 種類の放出・沈着形態が存在したように推測される（2本の直線は渡辺が付け加えたもの）。ヨウ素 131 放出量が最大の地点での比率は 54.9 で東電が採用した比率（50）に近く、10 万 Bq/kg を超える福島事故原発近傍の 6 地点での比率は 39.8 で東電の事故原発での実測値（39.9）に極めて近い。全ての地点での測定値の合計で比率を計算しても 26.5 であり、政府の推計（約 11）よりも明らかに大きい。

出典：<http://aoitombo.s100.xrea.com/dojouusacs-i.html>

第 3 に、この意味では、原発に近接する地点での観測結果がより重要である。東電推計の同比率のベースは敷地内での観測値であるが、それが少なくとも不自然ではないことを示しているデータの 1 つは、地震の影響で止まっていた福島市での「定時降下物」の観測が再開された日（2011 年 3 月 27 日午前 9 時から 24 時間）におけるヨウ素 131/セシウム 137 比率である^{注4}。政府の「定時降下物」の数値からこの比を計算してみると 29.1 になる。これは、ヨウ素 131 の半減期（約 8 日）を考慮すると、ほぼ東電の数字 50 に近いと考えられる。

第 4 に、いずれにしても、可能な限り多くのデータを集計しなければ、信頼度の高い数値は得られないであろう。この意味で重要な文献は、2013 年 9 月 Nature に掲載された、Kittisak Chaisan らによる Worldwide isotope ratios of the Fukushima release and early-phase external dose reconstruction という論文である。そこでは、日本と世界の 214 地点で観測されたヨウ素 131/セシウム 137 比率が総括されている。それによれば、同比率は、土壌沈着（事故原発周辺 80km 以内 145 地点）で 22.5（中央値）、エアースンプルで（日本の 80km 以内 22 地点、日本の 80km 以上 5 地点、世界各地の 42 観測点に関して）それぞれ 31.8、70.9、70~80 と推定されている。土壌沈着値よりはエアースンプルの方が比率が高い。このような場合に平均値はあまり意味がないが、平均してみるとおよそ 35 である。これによっても、東電の数字 50 がそれほど不自然なものとは言えないと考えるべきであろう。むしろ最小の場合でも 20 以上はあるはずなので、政府推計の 11 の方が明らかにヨウ素 131 の過小評価となっている可能性が高い。同論文から、詳しい結果を示している「table 1」を引用しよう（表 2）。

表 2 日本と世界において観測された I131/Cs137 比率の総括表

Table 1 Average corrected mean ratios to ¹³⁷ Cs from release of Fukushima (± 2 S.E., based on variation of means between sites)					
Radioisotope	Soil samples in near-zone (<80 km)	Air samples in near-zone (<80 km) Particulate	Air samples in Japan (80–2,000 km) Particulate	Air samples in Pacific Ocean and US (2,000–12,000 km) Particulate	Air samples in EU (>12,000 km) Particulate
¹³¹ I	22.5 \pm 3.7 Sites = 145 Samples = 1,844	31.8 \pm 12.9 * Sites = 22 Samples = 90	70.9 \pm 63.5 Sites = 5 Samples = 234	69.5 \pm 26.9 Sites = 20 Samples = 457	77.1 \pm 16.6 Sites = 22 Samples = 196
¹³² Te	18.3 \pm 1.7 Sites = 20 Samples = 20	No data	17.5 \pm 2.1 Sites = 5 Samples = 226	17.1 \pm 4.2 Sites = 21 Samples = 455	22.0 \pm 6.0 Sites = 22 Samples = 196
¹³⁴ Cs	0.90 \pm 0.01 Sites = 146 Samples = 1,866	1.03 \pm 0.10 Sites = 17 Samples = 68	0.99 \pm 0.21 Sites = 5 Samples = 217	0.87 \pm 0.06 Sites = 20 Samples = 420	0.91 \pm 0.07 Sites = 22 Samples = 193
¹³⁶ Cs	0.22 \pm 0.01 Sites = 88 Samples = 297	No data	0.19 \pm 0.03 Sites = 4 Samples = 105	0.22 \pm 0.04 Sites = 11 Samples = 184	0.20 \pm 0.03 Sites = 9 Samples = 27

*Note that these measurements began 4–5 days after the passage of the initial plumes so, because the ¹³¹I/¹³⁷Cs ratio varied with release time, cannot be directly compared with other data and are not included in Figure 1.

出典：Kittisak Chaisan et al; Worldwide isotope ratios of the Fukushima release and early-phase external dose reconstruction; Nature 2013 年 9 月 10 日付

<http://www.nature.com/srep/2013/130910/srep02520/full/srep02520.html>

以上の 4 点を総合してみると、放出量の推計に決定的に重要な、ヨウ素 131 の放出が最も多かったピーク時のプルーム（放射能雲）は、事故原発周辺を覆ったのち太平洋方向に流れたのではないかと推測ができる。これにより、チェイサン論文における太平洋・アメリカおよび EU での高い比率が説明できるであろう。

もちろん、政府推計だけでなく全国各地の降下量統計でも、この比率が東電推計ほど大きくない地点が多いのは事実である。ただ、降下量統計については、われわれが微粒子の論文^{注3}で引用した大野利眞氏が指摘しているように、乾性沈着の割合が大きいヨウ素と、湿性沈着が多いセシウムとでは、沈着の条件が大きく違う。米軍データ（上図）でも 2 種類の放出・沈着形態が示唆されている。ガスの比率が大きいヨウ素と微粒子が圧倒的と思われるセシウムとでは飛散の条件もかなり大きく異なる。観測地点の気候条件とくに降雨降雪の状況や風向もまた大きく影響する。これらから、政府推計のように原発周辺から離れた特定の諸地点（つくば市など）の降下物での同比率から、実際の放出比率を推測することは困難なように思われる。

以上から、放出量の推計に、東電が算定したヨウ素 131/セシウム 137 比率 50 を採用することは、極めて自然であろうと結論できる。

3. 東電推計のヨウ素 131/セシウム 137 比率に基づく放出量の補正

ヨウ素 131/セシウム 137 比率と対照的に、東電推計のセシウム 137 の放出量の数値（10PBq）は、明らかに過小評価と思われる。ここで、福島原発事故によるセシウム 137 の大気中放出量について、最も国際的に権威があるものの 1 つと考えられているストールらの推計^{注5}を採用して、東電推計を補正してみよう。ストールらの推計では、福島事故によるセシウム 137 の放出量は 36.6（20.1～53.1）PBq である。上限値（最大値）は 53.1PBq である（上限値を採るのは国連科学委員会のチェルノブイリの数字が上限値であるためである、詳細は本文を参照のこと）。この数値から出発して、東電の推計したヨウ素 131/セシウム 137 比率によって計算すると、ヨウ素 131 の放出量は 53.1PBq の 50 倍であり、2655PBq（上限値）であったと推定される（ストールはヨウ素放出量は推計していない）。これは、日本政府推計 160PBq の 16.6 倍である。あわせて、事故の規模を示す指標としてよく用いられるヨウ素換算の INES 評価もこれによって計算してみると 4779PBq となる（表 3）。

表 3 東電推計のストールによる補正

I131 東電推計	I131/Cs137 東電	Cs137 ストール	I131 の補正值	補正した INES
500PBq	50	～53.1PBq	～2655PBq	～4779PBq

次に、この数字を、チェルノブイリ事故でのヨウ素 131 の放出量と比較してみよう（表 4）。国連科学委員会の推計を見ると、ヨウ素 131 放出量は 1760PBq（上限値）である。従って、ヨウ素 131 の大気中への放出量で見ても、福島原

発事故はチェルノブイリを上回り、その約1.5倍となる。またヨウ素換算のINES評価で計算しても、福島事故は大気中への放出規模の点でチェルノブイリ事故とほとんど変わらない。

表4 ヨウ素放出量と INES 評価のチェルノブイリ（国連科学委員会推計）との比較

	I131/Cs137	Cs137 大気中	I131 放出量	INES 値
福島（東電・ストール）	50	～53.1PBq	～2655PBq	4779PBq
チェルノブイリ	21	～85PBq	～1760PBq	5160PBq
福島／チェルノブイリ比		62.5%	151%	92.6%

元 WHO 放射線・公衆衛生顧問、キース・ベーヴァーストック氏は、文部科学省が事故直後（2011年3月25日）にヨウ素131の飯館村地区の地表沈着量を発表した、その数値が「チェルノブイリ後のベラルーシでの最大沈着量の3～5倍に達しており、セシウム137の数値がチェルノブイリの0.5～1倍になって」といたと報告している（『科学』岩波書店 2014年11月号）。この事実もまた、福島原発事故におけるヨウ素131放出量が、実際にはチェルノブイリよりも、さらに大きかったのではないかというわれわれの推測を裏付けるものである。

4. 炉内残存量および放出率による検証

事故直前の炉内にどれだけの量のヨウ素131が残存していたかは、桁違いには間違えることがない水準で推計できると考えられる。炉内残存量（インベントリ）の推計を見てみよう（表5）。福島事故原発では、政府推計でヨウ素131残存量は6010PBqである。沸点が184℃と低いヨウ素131は、メルトダウンによりかなりの部分が気化しており、気体として放出されたと考えられる。政府の大気中放出量推計160PBqでは放出率では2.6%にしかならず、同じく気体として放出された希ガスの放出率100%と比較して、まったく不自然に小さい数字である。

ここで得られた放出量推計2655PBqは、放出率で44.2%になり、気体の放出率としてはむしろ自然な数字に思われる。またこの数字は、1970年代のアメリカ原子力委員会（USAEC）の最大仮想事故想定において、ヨウ素131の大気中への予想放出率が、熱出力300万kW（電力で約100万kW）の発電炉について炉内残存量の50%とされていたことから説得的といえる^{注6}。ちなみにチェルノブイリでは、ヨウ素131の炉内残存量は3200PBqで、放出量が1760PBqなので、放出率は約55%である。これらの点から考えて、福島の放出率約44%は十分あり得るレベルであろう。

本論文で検討した青山道夫氏らによるヨウ素 131 の汚染水への放出率 (32%) を加えると (海洋への直接流出はなかったとされる)、炉中にあったヨウ素 131 の 76% が放出された計算になる。

表 5 ヨウ素 131 の炉内残存量と放出率

	炉内残存量	大気中放出量・率	汚染水放出量・率	放出率合計
政府・青山推計	6010PBq	160PBq(2.6%)	1923PBq(32%)	34.6%
東電推計	同上とする	500PBq(8.3%)	同上とする	40.3%
東電推計補正值	同上とする	2655PBq(44.2%)	同上とする	76.2%
チェルノブイリ	3200PBq	1760PBq(55.0%)	ないとされる	55.0%

また、福島事故でのヨウ素 131 の大気中 (2655PBq) および汚染水中 (1923PBq) への放出を合計した総放出量は 4578PBq となり、チェルノブイリの大気中放出量 (1760PBq) の約 2.6 倍となる。また、このヨウ素 131 総放出量と福島事故によるセシウム 137 の大気中・汚染水中・海水中への総放出量とに基づいて INES 値を計算すると 13,942PBq となり^{注7}、チェルノブイリ (5160PBq) の約 2.7 倍となる。これらは、われわれが本文中でセシウム 137 に基づいて導いた「福島事故による放射性物質の放出量は大気中・汚染水中・海水中を合計するとチェルノブイリの 2 倍以上である」という結論と一致する。

5. 福島事故における大きなヨウ素放出量のもつ重大な意味

以上検討してきたように、東電の放出量推計から推論すると、福島におけるヨウ素 131 大気中放出量はチェルノブイリの 1.5 倍であった可能性があるといえる。よく指摘されるように、福島周辺の人口密度はチェルノブイリのおよそ 3 倍なので、1.5 倍のヨウ素 131 放出量は、健康被害の深刻度では 3 倍して、チェルノブイリの 4.5 倍程度になる可能性があると考えらるべきであろう。

また、チェルノブイリでは爆発と火災によって放出された放射性プルームは極めて高い高度にまで (6000m といわれる) 噴き上げられたが、福島事故では放射性プルームの雲頂はそれほど高くなかったと考えられ、富士山での観測では最高でも 2500m 程度とされている^{注8}。つまり福島の方がその分、周辺に沈着した濃度が高かった可能性があると考えらるべきであろう。

事実、UNSCEAR2017 年報告書は、今までおよそ 20% とされていた日本本土に沈着したセシウム 137 の沈着率 (総放出量に対する割合) を、日本学術会議報告に従って、27±10% に引き上げた。つまり、日本の陸地に沈着した放射能の割合は、中央値で 27%、最大だと 37%、およそ 4 割近くに達する可能性が

あるわけである^{注9}。

福島で起こっている事態については、あらゆる先入観を排して、事実を直裁に見ていくところからはじめる必要がある。「チェルノブイリに比較して桁違いに小さい」という政府の放出量評価を鵜呑みにし前提にして議論することは決してあってはならない。

以上の諸点を考慮すると、福島における生じつつある甲状腺異常について、チェルノブイリにおいて生じた過程をそのままたどることになると、前もって機械的に想定してかかることは危険であろう。小児甲状腺がんの明らかに早期の多発傾向に現れているように、福島ではチェルノブイリよりも深刻化のテンポが速く発症率も高い傾向がある。政府は原発事故によるあらゆる健康被害を頭から何としても全否定するつもりであり、福島の深刻な事態を、事故による放射線被曝との関係を否定し補償義務を逃れる「口実」として使おうとしている。しかしこの背景には、福島原発事故によってチェルノブイリを5割も越える放射性ヨウ素が放出された可能性があるという、法外に深刻な事故の真実が横たわっているのではないかと疑うべきである。

(注1) 東京電力プレスリリース「東北地方太平洋沖地震の影響による福島第一原子力発電所の事故に伴う大気および海洋への放射性物質の放出量の推定について(平成24年5月現在における評価)」

http://www.tepco.co.jp/cc/press/2012/1204619_1834.html

さらに詳しい解説は、東京電力「福島第一原子力発電所の事故における放射性物質の放出量の大气中への推定について」にある。

http://www.tepco.co.jp/cc/press/betu12_j/images/120524j0105.pdf

(注2) この東電による推計値に早くに注目した一人は、落合栄一郎氏である(『放射能と人体細胞・分子レベルからみた放射線被曝』講談社(2014年)270ページ参照)。

(注3) 渡辺悦司、遠藤順子、山田耕作「福島原発事故により放出された放射性微粒子の危険性その体内侵入経路と内部被曝にとっての重要性」13ページ。同論文は市民と科学者の内部被曝問題研究会のホームページにある。

<http://blog.acsir.org/?eid=31> はじめに、一章

<http://blog.acsir.org/?eid=32> 二章

<http://blog.acsir.org/?eid=33> 三章

<http://blog.acsir.org/?eid=34> おわりに、注記

(注 4) 文部科学省「環境放射能水準調査結果 (定時降下物) 2011 年 3 月 27 日午前 9 時から 3 月 28 日 9 時採取」の中の福島県福島市の数字。

http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/3000/2287/24/1060_0328.pdf

(注 5) ストールらの論文は 2011 年 10 月に発表されたが、2012 年 3 月に改訂版が発表され、セシウム 137 放出量の推計数字は、初版の 35.8 (23.3~50.1) PBq から 36.6 (20.1~53.1) PBq へと、中央値と上限値が若干上方修正されている。ここでの数字は改訂版から引用した。A. Stohl, P. Seibert, G. Wotawa, D. Arnold, J. F. Burkhart, S. Eckhardt, C. Tapia, A. Vargas, and T. J. Yasunari; Xenon-133 and caesium-137 releases into the atmosphere from the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant: determination of the source term, atmospheric dispersion, and deposition

http://www.fukushimaishere.info/AtmosphereRprt_mar12.pdf

(注 6) 藤本陽一、依田洋「発電炉事故の災害評価」原子力安全問題研究会編『原子力発電の安全性』岩波書店 (1975 年) 53~54 ページ。

(注 7) セシウム 137 の放出量、大気中 53.1PBq (ストール)、海水中 41PBq (ベイリーデュボア)、汚染水中 140PBq (青山) を合計して 234.1PBq、これを 40 倍して 9364PBq となる。これにヨウ素 131 の大気中および汚染水中への放出量合計 4578PBq を加えて、13,942PBq となる。

(注 8) 土器屋由紀子『水と大気の科学 富士山頂の観測から』NHK 出版 (2014 年) によれば、福島由来の放射能は、山頂では検出限界以下であり、放射性プルームの「上限は 2500m 付近と推定」されている (111~112 ページ)。

(注 9) UNSCEAR, *Fukushima 2017 White Paper—Developments since the 2013 UNSCEAR Report on the levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident following the great east-Japan earthquake and tsunami*, p.5

日本語版、国連科学委員会『東日本大震災後の原子力事故による放射線被ばくのレベルと影響に関する UNSCEAR 2013 年報告書刊行後の進展』2017 年、5 ページ、

http://www.unscear.org/unscear/en/publications/Fukushima_WP2017.html?print

ただし日本語訳にある mainland の「本州」という訳語はおそらく「本土」の間違いであろう。