

第15回 甲状腺検査評価部会 開催報告

- 1 日時：令和2年6月15日（月） 13：30～15：30
- 2 場所：コラッセふくしま 4階 多目的ホール
- 3 出席者：部会員8名 ※鈴木部会長以外はウェブにより出席
- 4 内容等

(1) 甲状腺検査結果等について

福島医大より、検査3回目の結果概要<確定版>（資料1-1）、25歳時の節目の検査の実施状況（資料1-2）について報告を行った。

【主な部会員意見】

- ・（資料1-1表11について）震災時から移動していると思われるので、検査を受ける時点での住所での集計はできないか。
- ・（資料1-1表11について）中通りの悪性発見率が低いことについて、地域ごとの県外受診率が異なることや、細胞診を受けることの判定方法、細胞診の判定方法が異なることが、影響していないか確認してほしい。
- ・手術をしなかった症例とその手術をしなかった理由を系統的に報告してほしい
- ・アクティブサーベイランスを行っている症例はどれぐらいあるのか、また、それについて地域差はあるのか確認したい。

(2) 福島医大論文報告

福島医大より公表された論文について説明を行った（資料2-2）。

それに先立ち、当該論文が公表されたことから、これまで報告されていなかった第13回甲状腺検査評価部会資料1-2の受診者数について報告を行い（資料2-1）、併せて、数値の転記が誤っていた箇所について修正を行った旨の説明を行った。

(3) 本格検査（検査3回目）までの解析について

福島医大より、検査3回目までの結果について解析した資料（資料3-1～3-4）の説明を行った。今後は、先行検査を受診した人で検査2回目または検査3回目を受診した人をコホート解析の対象者として解析を行っていくこととした。

【主な部会員意見】

- ・おそらく罹患率自体が年齢で非常に大きく変化するので、その影響の方が大きく出て、検査2回目、3回目と受診時の年齢が上がることで発見率が高まっていると予想される。そのため、今後、年齢に関する調整というのをかなり慎重に行わないと、発見率に関する調整が行いにくいと考えられる。
- ・受診者の減りが非常に大きいので、がん登録を用いた未受診者を含めた解析が大事である。
- ・先行検査と本格検査を全て網羅的に包含した形での解析が必要である。

(4) 鈴木部会長論文御報告

今後解析を行っていくにあたり、被ばく線量のデータは何を用いていくのか検討していく材料として鈴木部会長より報告された。

UNSCEARが今年発表する見込みであるデータを利用していくことについて部会全体の共通の認識を持った。

第13回甲状腺検査評価部会資料 1-2「市町村別 UNSCEAR 推計甲状腺吸収線量と悪性ないし悪性疑い発見率との関連」における受診者数について

1. 震災時6-14歳の対象者における UNSCEAR 推計甲状腺吸収線量(最大値)と悪性ないし悪性疑い発見率との関連*

表1. 先行検査における各群調整因子(震災時6-14歳, 線量最大値**)

	20mGy 未満	20-25mGy	25-30mGy	30mGy 以上
受診者数(人)	52,875	39,434	34,169	36,775
女性(%)	48.8	49.3	48.8	49.4
一次検査受診時年齢(平均年齢)	12.3	11.7	11.4	11.9
検査年度受診者割合(%)				
2011年度	3.1	14.0	12.7	23.0
2012年度	21.3	82.4	85.6	2.8
2013年度以降	75.6	3.6	1.7	74.2

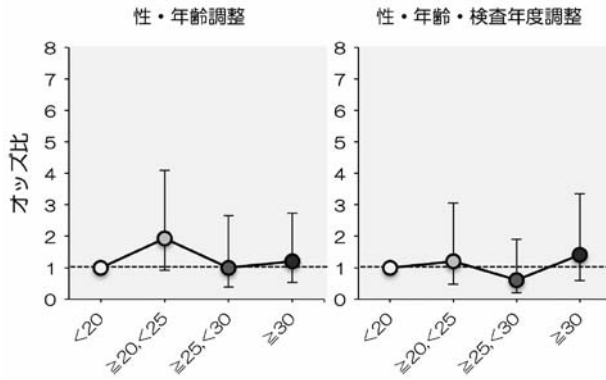
表2. 本格検査における各群調整因子(震災時6-14歳, 線量最大値**)

	20mGy 未満	20-25mGy	25-30mGy	30mGy 以上
受診者数(人)	49,296	37,393	32,932	34,160
女性(%)	48.9	49.5	49.0	49.5
一次検査受診時年齢(平均年齢)	14.1	13.7	13.5	14.1
検査年度受診者割合(%)				
2014年度	25.5	95.2	97.3	23.3
2015年度以降	74.5	4.8	2.7	76.7
検査間隔(%)				
先行未受診	5.4	2.1	2.4	4.2
2年未満	51.1	20.0	11.1	8.9
2~2.5年未満	41.1	72.7	81.8	61.0
2.5年以上	2.4	5.3	4.7	25.9

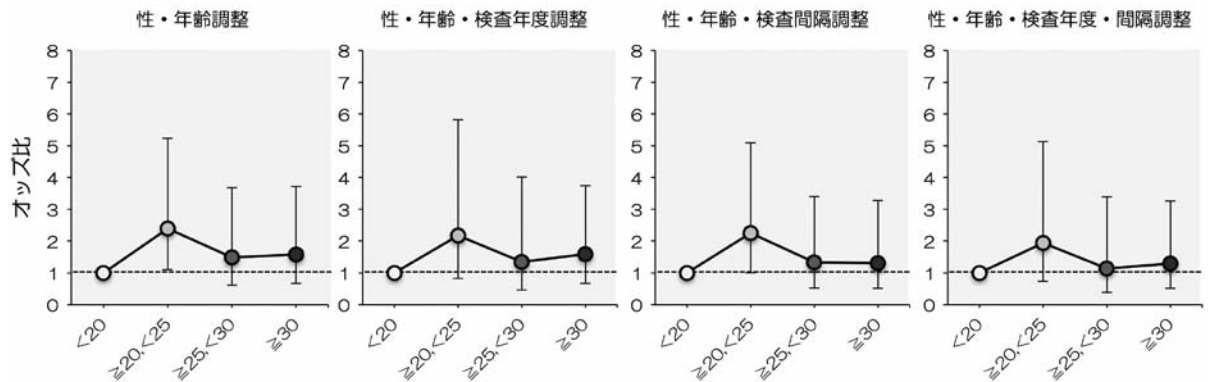
検査間隔: 先行検査一次検査受診日から本格検査(検査2回目)一次検査受診日との間隔

図1. 各市町村別推定甲状腺吸収線量最大値**により分類した震災時6-14歳の対象者における悪性ないし悪性疑い発見のオッズ比*** (垂直方向の直線は95%信頼区間を示す)

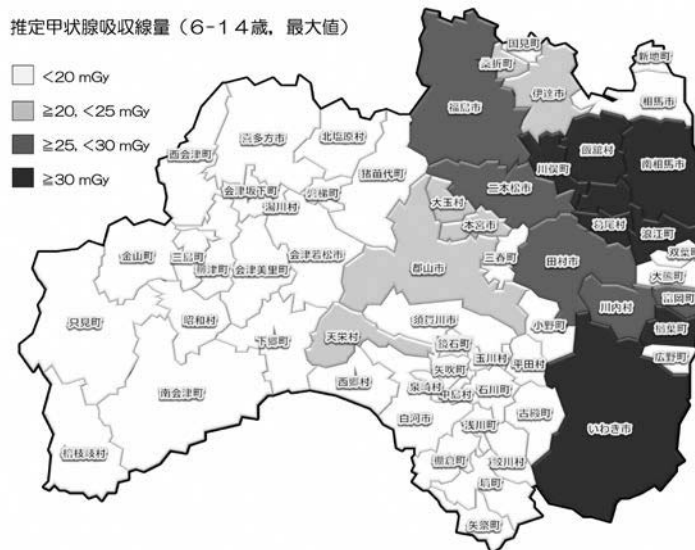
A. 先行検査



B. 本格検査



C. 市町村別線量



- * 2017年6月30日までのデータを用いた分析。
- ** UNSCEAR 2013 Report, Annex A, ATTACHMENT C-16, Table C-16.2 の推定甲状腺総吸収線量(Total) および ATTACHMENT C-18, Table C-18.5 の推定甲状腺総吸収線量(Total dose)を使用。同一の市町村で複数の推定線量が提示されている場合は最大値を使用。各市町村別の被ばく線量を個人に当てはめた上で、被ばく線量を4群に分類。
- *** オッズ比は<20mGy 群を対照としたロジスティック回帰分析により算出。

2. 震災時 6-14 歳の対象者における UNSCEAR 推計甲状腺吸収線量（最小値）と悪性ないし悪性疑い発見率との関連*

表 3. 先行検査における各群調整因子（震災時 6-14 歳，線量最小値**）

	20mGy 未満	20-25mGy	25-30mGy	30mGy 以上
受診者数（人）	56,247	44,868	32,058	30,080
女性（%）	48.9	49.2	48.6	49.5
一次検査受診時年齢（平均年齢）	12.2	11.6	11.4	12.2
検査年度毎の受診者数（%）				
2011 年度	8.8	23.1	7.0	7.9
2012 年度	20.2	73.3	91.3	1.9
2013 年度以降	71.1	3.6	1.8	90.1

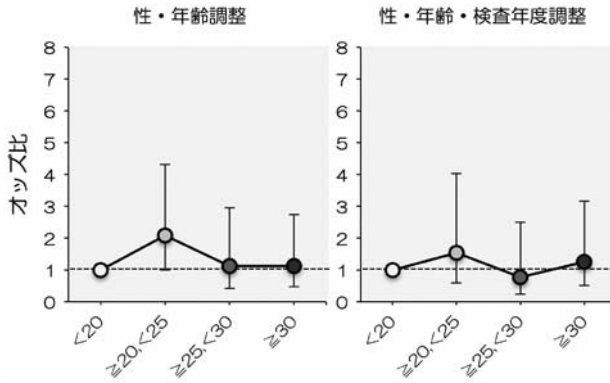
表 4. 本格検査における各群調整因子（震災時 6-14 歳，線量最小値**）

	20mGy 未満	20-25mGy	25-30mGy	30mGy 以上
受診者数（人）	52,432	42,409	30,979	27,961
女性（%）	49.0	49.5	48.8	49.6
一次検査受診時年齢（平均年齢）	14.1	13.6	13.5	14.3
検査年度毎の受診者数（%）				
2014 年度	29.8	94.8	97.4	8.0
2015 年度以降	70.2	5.2	2.6	92.1
検査間隔（%）				
先行未受診	5.1	2.5	2.5	4.1
2 年未満	48.1	18.6	11.8	9.4
2～2.5 年未満	43.2	69.8	81.4	63.3
2.5 年以上	3.6	9.1	4.3	23.2

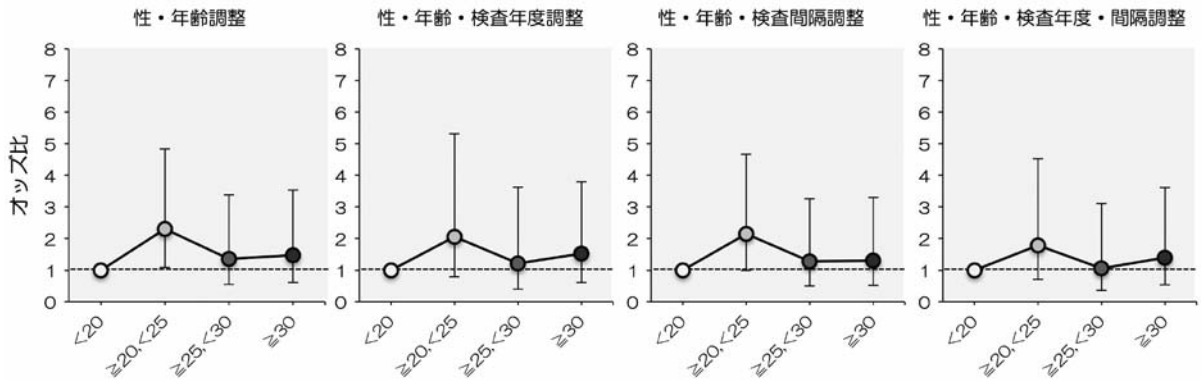
検査間隔：先行検査一次検査受診日から本格検査（検査 2 回目）一次検査受診日との間隔

図2. 各市町村別推定甲状腺吸収線量最小値**により分類した震災時6-14歳の対象者における悪性ないし悪性疑い発見のオッズ比*** (垂直方向の直線は95%信頼区間を示す)

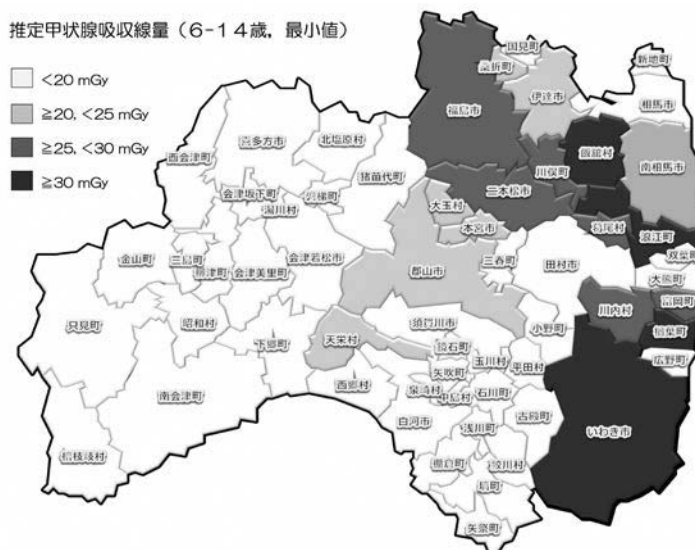
A. 先行検査



B. 本格検査



C. 市町村別線量



* 2017年6月30日までのデータを用いた分析。

** UNSCEAR 2013 Report, Annex A, ATTACHMENT C-16, Table C-16.2 の推定甲状腺総吸収線量(Total) および ATTACHMENT C-18, Table C-18.5 の推定甲状腺総吸収線量(Total dose)を使用。同一の市町村で複数の推定線量が提示されている場合は最小値を使用。各市町村別の被ばく線量を個人に当てはめた上で、被ばく線量を4群に分類。

*** オッズ比は<20mGy 群を対照としたロジスティック回帰分析により算出。

3. 震災時 15 歳以上の対象者における UNSCEAR 推計甲状腺吸収線量（最大値）と悪性ないし悪性疑い
発見率との関連*

表 5. 先行検査における各群調整因子（震災時 15 歳以上，線量最大値**）

	10mGy 未満	10-15mGy	15-20mGy	20mGy 以上
受診者数（人）	6,958	19,528	18,981	3,919
女性（%）	55.8	51.5	52.9	51.1
一次検査受診時年齢（平均年齢）	18.9	18.1	18.2	17.2
検査年度毎の受診者数（%）				
2011 年度	8.4	18.3	2.4	92.6
2012 年度	11.2	68.0	56.0	5.0
2013 年度以降	80.4	13.7	41.6	2.4

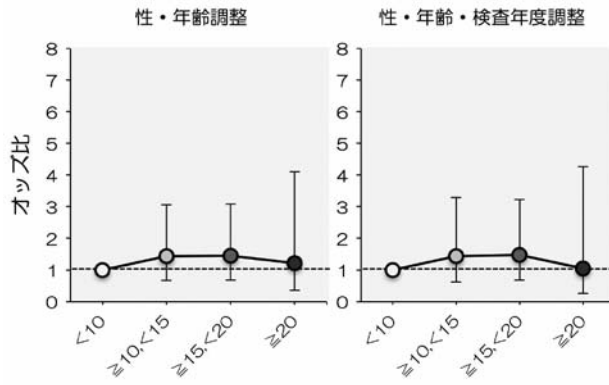
表 6. 本格検査における各群調整因子（震災時 15 歳以上，線量最大値**）

	10mGy 未満	10-15mGy	15-20mGy	20mGy 以上
受診者数（人）	3,167	7,665	9,238	1,417
女性（%）	58.6	55.4	56.2	55.6
一次検査受診時年齢（平均年齢）	21.0	20.5	20.4	20.0
検査年度毎の受診者数（%）				
2014 年度	8.2	64.7	46.7	76.2
2015 年度以降	91.8	35.3	53.3	23.8
検査間隔（%）				
先行未受診	24.0	9.6	10.1	4.8
2 年未満	24.8	23.2	28.2	7.3
2～2.5 年未満	41.3	44.0	47.6	17.9
2.5 年以上	9.9	23.3	14.1	69.9

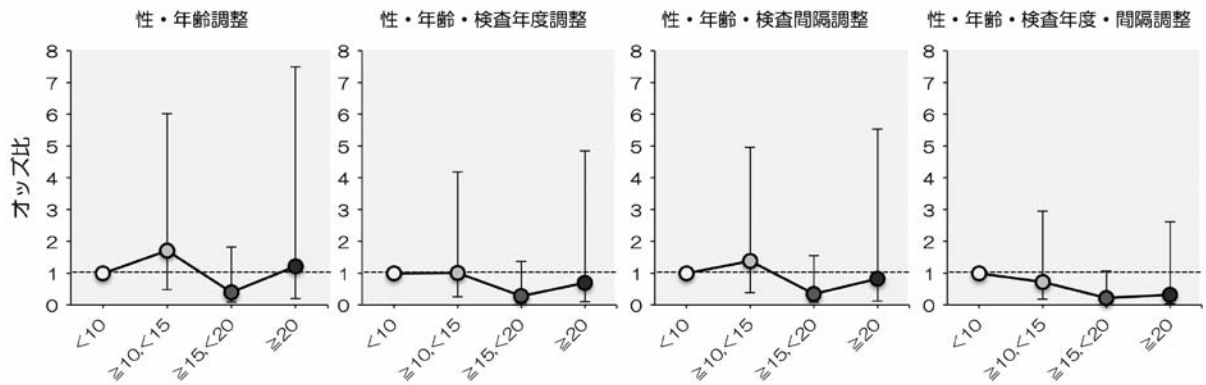
検査間隔：先行検査一次検査受診日から本格検査（検査 2 回目）一次検査受診日との間隔

図3. 各市町村別推定甲状腺吸収線量最大値**により分類した震災時15歳以上の対象者における悪性ないし悪性疑い発見のオッズ比*** (垂直方向の直線は95%信頼区間を示す)

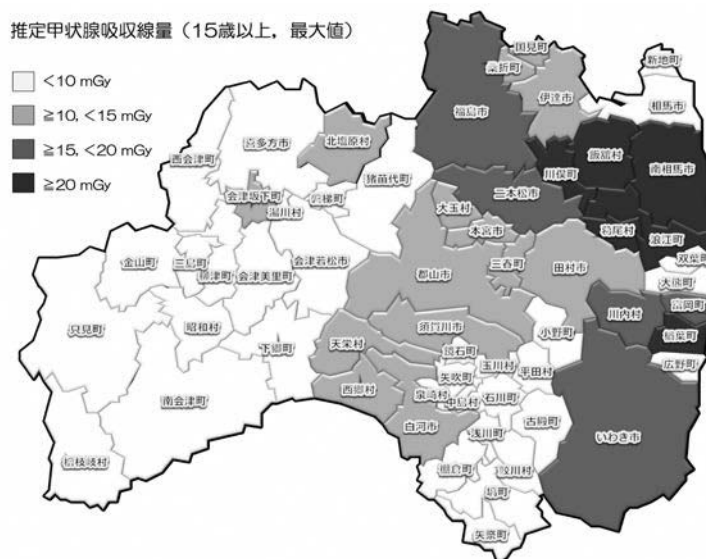
A. 先行検査



B. 本格検査



C. 市町村別線量



* 2017年6月30日までのデータを用いた分析。

** UNSCEAR 2013 Report, Annex A, ATTACHMENT C-16, Table C-16.2 の推定甲状腺総吸収線量(Total) および ATTACHMENT C-18, Table C-18.5 の推定甲状腺総吸収線量(Total dose)を使用。同一の市町村で複数の推定線量が提示されている場合は最大値を使用。各市町村別の被ばく線量を個人に当てはめた上で、被ばく線量を4群に分類。

*** オッズ比は<10mGy 群を対照としたロジスティック回帰分析により算出。

4. 震災時 15 歳以上の対象者における UNSCEAR 推計甲状腺吸収線量（最小値）と悪性ないし悪性疑い
発見率との関連*

表 7. 先行検査における各群調整因子（震災時 15 歳以上，線量最小値**）

	10mGy 未満	10-15mGy	15-20mGy	20mGy 以上
受診者数（人）	8,351	20,785	19,022	1,228
女性（%）	54.9	51.5	52.9	51.8
一次検査受診時年齢（平均年齢）	18.6	18.0	18.2	17.3
検査年度毎の受診者数（%）				
2011 年度	22.5	23.0	2.6	90.6
2012 年度	10.3	64.0	55.9	6.4
2013 年度以降	67.2	13.1	41.5	3.1

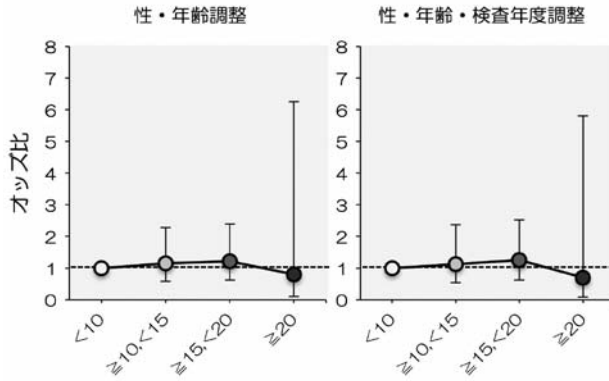
表 8. 本格検査における各群調整因子（震災時 15 歳以上，線量最小値**）

	10mGy 未満	10-15mGy	15-20mGy	20mGy 以上
受診者数（人）	3,492	8,273	9,247	475
女性（%）	58.9	55.3	56.2	53.5
一次検査受診時年齢（平均年齢）	21.0	20.4	20.4	20.1
検査年度毎の受診者数（%）				
2014 年度	13.8	66.2	46.7	70.1
2015 年度以降	86.3	33.8	53.3	29.9
検査間隔（%）				
先行未受診	22.5	9.1	10.1	4.8
2 年未満	23.0	21.9	28.2	10.7
2～2.5 年未満	42.2	40.0	47.7	30.1
2.5 年以上	12.4	29.0	14.1	54.3

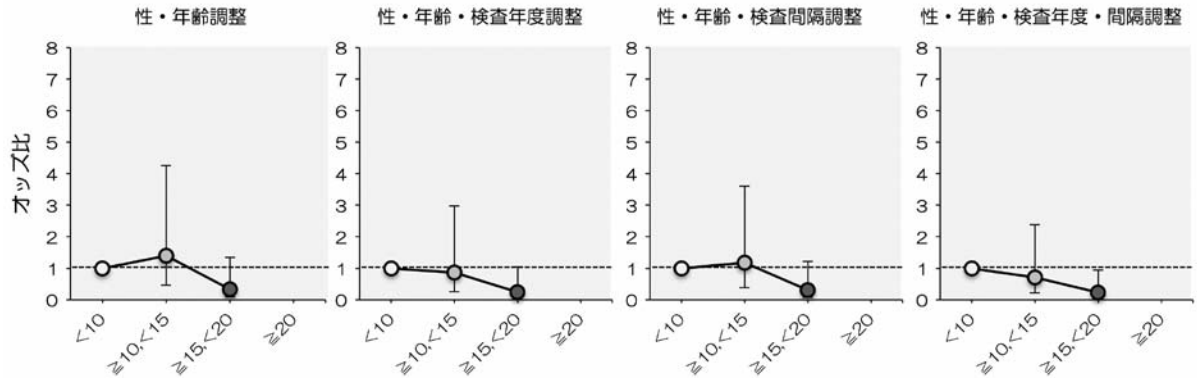
検査間隔：先行検査一次検査受診日から本格検査（検査 2 回目）一次検査受診日との間隔

図4. 各市町村別推定甲状腺吸収線量最小値**により分類した震災時15歳以上の対象者における悪性ないし悪性疑い発見のオッズ比*** (垂直方向の直線は95%信頼区間を示す)

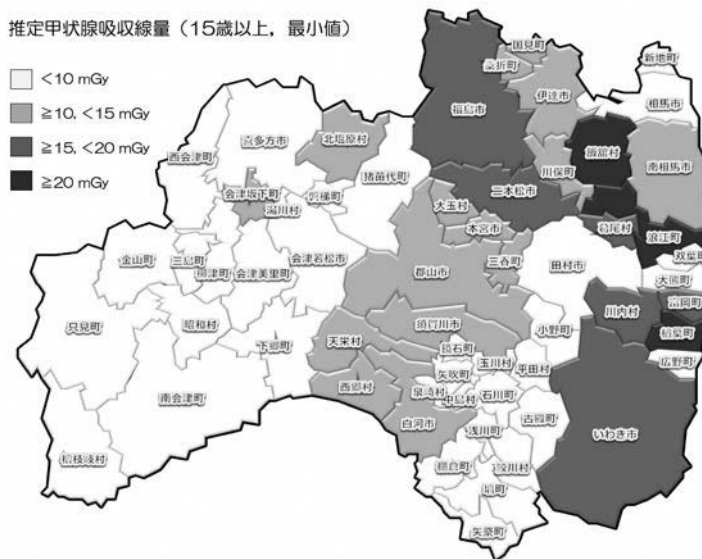
A. 先行検査



B. 本格検査****



C. 市町村別線量



- * 2017年6月30日までのデータを用いた分析。
- ** UNSCEAR 2013 Report, Annex A, ATTACHMENT C-16, Table C-16.2 の推定甲状腺総吸収線量(Total) および ATTACHMENT C-18, Table C-18.5 の推定甲状腺総吸収線量(Total dose)を使用。同一の市町村で複数の推定線量が提示されている場合は最小値を使用。各市町村別の被ばく線量を個人に当てはめた上で、被ばく線量を4群に分類。
- *** オッズ比は<10mGy 群を対照としたロジスティック回帰分析により算出。
- **** 本格検査では $\geq 20\text{mGy}$ の市町村において悪性ないし悪性疑いの発見がないため、 $\geq 20\text{mGy}$ は計算不能。

結果のまとめ

- UNSCEARによる推定甲状腺吸収線量は、理論的な計算による事故後1年間の推定値である。
- 先行検査におけるUNSCEARによる甲状腺吸収線量と甲状腺がん（疑いを含む）との関連について（6歳～14歳）は、最大値をあてはめた場合20mGy未満の群に比べて20～25mGyの群でややオッズ比が高い傾向がみられた。また最小値をあてはめた場合も傾向はほぼ同じであった。なお、いずれの解析においても線量が高くなるほど甲状腺がん（疑いを含む）発見率が高くなる関係（量反応関係）は認められなかった。
- 本格検査におけるUNSCEARによる甲状腺吸収線量と甲状腺がん（疑いを含む）との関連について（6歳～14歳）は、最大値をあてはめた場合に20mGy未満の群に比べて20～25mGyの群のみで性・年齢調整オッズ比が有意に高かったが、検査間隔、検査年度を調整した後は有意差がみられなかった。また最小値をあてはめた場合も傾向はほぼ同じであった。なお、いずれの解析においても量反応関係は認められなかった。
- 先行検査におけるUNSCEARによる甲状腺吸収線量と甲状腺がん（疑いを含む）との関連について（15歳以上）は、最大値あるいは最小値をあてはめた場合においてオッズ比に明らかな差は認められなかった。なお、いずれの解析においても量反応関係は認められなかった。
- 本格検査におけるUNSCEARによる甲状腺吸収線量と甲状腺がん（疑いを含む）との関連について（15歳以上）は、最大値をあてはめた場合においてオッズ比に明らかな差は認められなかった。また、最小値をあてはめた場合に10mGy未満の群に比べて15～20mGyの群のみで性・年齢・検査年度・検査間隔調整オッズ比が有意に低かったが、他の調整では有意差がみられなかった。なお、いずれの解析においても量反応関係は認められなかった。
- 線量による4群の人数のばらつきを考慮するために、甲状腺吸収線量を四分位にした解析も行ったが同様の結果であった。

Absorbed radiation doses in the thyroid as estimated by UNSCEAR and subsequent risk of childhood thyroid cancer following the Great East Japan Earthquake.

東日本大震災後の UNSCEAR により評価された甲状腺吸収線量と小児甲状腺がんとの関連

大平哲也

放射線医学県民健康管理センター

著者

大平哲也^{1,2}, 志村浩己^{1,3}, 林史和^{1,2}, 長尾匡則^{1,2}, 安村誠司^{1,4}, 高橋秀人^{1,5}, 鈴木悟¹, 松塚崇^{1,6}, 鈴木真一^{1,7}, 岩舘学^{1,7}, 石川徹夫^{1,8}, 坂井晃^{1,9}, 鈴木聡^{1,7}, ノレット・ケネス^{1,10}, 横谷進^{1,11}, 大戸齊¹, 神谷研二^{1,12}; 福島県県民健康調査グループ

1 福島県立医科大学放射線医学県民健康管理センター、2 福島県立医科大学医学部疫学講座、3 福島県立医科大学医学部臨床検査医学講座、4 福島県立医科大学医学部公衆衛生学講座、5 国立保健医療科学院、6 福島県立医科大学医学部耳鼻咽喉科学講座、7 福島県立医科大学医学部甲状腺内分泌学講座、8 福島県立医科大学医学部放射線物理化学講座、9 福島県立医科大学医学部放射線生命科学講座、10 福島県立医科大学医学部輸血・移植免疫学講座、11 福島県立医科大学甲状腺・内分泌センター、12 広島大学原爆放射線医科学研究所

要約

チェルノブイリ原発事故後に明らかになった放射線による健康被害として、放射性ヨウ素の内部被ばくによる小児の甲状腺がんが報告されています。福島県においては、チェルノブイリに比べて放射性ヨウ素の被ばく線量が低く、放射線の影響は考えにくいとされていますが、子どもたちの甲状腺の状態を把握し、健康を長期的に見守ることを目的に平成23年10月から甲状腺検査を実施しています。先行検査（検査1回目）の結果では、放射線被ばく線量と甲状腺がん（疑い含む）との明らかな関連はみられませんでした。また、平成26年度以降は、本格検査として、2回目以降の検査を行っていますが、本格検査1回目（検査2回目）の結果と外部被ばく線量との統計学的に意味のある関連はみられませんでした。しかしながら、内部被ばく線量との関連は未だ明らかではありません。そこで今回、本格検査1回目（検査2回目）までの結果をまとめ、内部被ばく線量を含めた放射線被ばく線量と甲状腺がんとの関連を検討しました。

震災当時18歳以下であり福島県「県民健康調査」甲状腺検査の先行検査（検査1回目）を受けられた300,473人の内、本格検査1回目（検査2回目）を受けられた245,530人を対象としました。内部被ばくを含めた被ばく線量と甲状腺がんとの関連を検討するために、原子放射線の影響に関する国連科学委員会(The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: UNSCEAR)2013年報告書によって評価された甲状腺吸収線量のデータを用いて解析を行いました。UNSCEARでは、甲状腺吸収線量を1歳、10歳、成人に分けて評価を行っています。今回の解析では、震災時5歳以下の人からみつけた甲状腺がんは1人のみであったため、6歳以上の人のみを6歳以上15歳未満および15歳以上に分けて、甲状腺吸収線量と甲状腺がんとの関連を検討しました。164,299人の解析対象者を甲状腺吸収線量別、年齢別に59市町村を4つの地域に分けて解析した結果、甲状腺吸収線量が低い地域から高い地域に行くにしたがって、甲状腺がんの発見率が高くなるというような関連はいずれの年齢でもみられず、甲状腺吸収線量と甲状腺がんとの関連は明らかではありませんでした。

以上のように、これまで放射線被ばく線量を複数の評価方法を用いて甲状腺がんとの関連を検討した結果、本格検査1回目（検査2回目）までに発見された甲状腺がん（疑い含む）と放射線被ばくとの明らかな関連はみられませんでした。しかしながら、UNSCEARによる被ばく線量評価に不確定要素が多いこと、放射線事故よりそれほど年数が経っていない

いこと（最大で6年間）及び甲状腺がんの発見数が統計学的評価を行うにあたり十分でないことなどが影響している可能性もあり、より精度の高い被ばく線量を用いて関連を検討する必要があることや本格検査2回目（検査3回目）以降のデータを用いて引き続き評価していく必要があると考えられます。

掲載情報

「Journal of Radiation Research」(2020)

Ohira T, Shimura H, Hayashi F, Nagao M, Yasumura S, Takahashi H, Suzuki S, Matsuzuka T, Suzuki S, Iwadate M, Ishikawa T, Sakai A, Suzuki S, Nollet KE, Yokoya S, Ohto H, Kamiya K; Fukushima Health Management Survey Group.

Journal of Radiation Research, 2020, 61(2): pp.243-248

Absorbed radiation doses in the thyroid as estimated by UNSCEAR and subsequent risk of childhood thyroid cancer following the Great East Japan Earthquake

Tetsuya Ohira^{1,2,*}, Hiroki Shimura^{1,3}, Fumikazu Hayashi^{1,2}, Masanori Nagao^{1,2}, Seiji Yasumura^{1,4}, Hideto Takahashi^{1,5}, Satoru Suzuki¹, Takashi Matsuzuka^{1,6}, Satoshi Suzuki^{1,7}, Manabu Iwadate^{1,7}, Tetsuo Ishikawa^{1,8}, Akira Sakai^{1,9}, Shinichi Suzuki^{1,7}, Kenneth E. Nollet^{1,10}, Susumu Yokoya^{1,11}, Hitoshi Ohto¹ and Kenji Kamiya^{1,12}, for the Fukushima Health Management Survey Group

¹Radiation Medical Science Center for the Fukushima Health Management Survey, Fukushima Medical University, Fukushima, Japan

²Department of Epidemiology, Fukushima Medical University School of Medicine, Fukushima, Japan

³Department of Laboratory Medicine, Fukushima Medical University School of Medicine, Fukushima, Japan

⁴Department of Public Health, Fukushima Medical University School of Medicine, Fukushima, Japan

⁵National Institute of Public Health, Saitama, Japan

⁶Department of Otorhinolaryngology, Fukushima Medical University School of Medicine, Fukushima, Japan

⁷Department of Thyroid and Endocrinology, Fukushima Medical University School of Medicine, Fukushima, Japan

⁸Department of Radiation Physics and Chemistry, Fukushima Medical University School of Medicine, Fukushima, Japan

⁹Department of Radiation Life Sciences, Fukushima Medical University School of Medicine, Fukushima, Japan

¹⁰Department of Blood Transfusion and Transplantation Immunology, Fukushima Medical University School of Medicine, Fukushima, Japan

¹¹Thyroid and Endocrine Center, Fukushima Medical University, Fukushima, Japan

¹²Research Institute for Radiation Biology and Medicine, Hiroshima University, Hiroshima, Japan

*Corresponding author. Department of Epidemiology, Fukushima Medical University School of Medicine, Hikarigaoka 1, Fukushima, Fukushima 960-1295, Japan. Tel: +81-24-547-1344; Fax: +81-24-547-1336; Email: teohira@fmu.ac.jp

(Received 20 November 2020; revised 14 December 2019; editorial decision 26 December 2019)

ABSTRACT

The identification of thyroid cancers among children after the Chernobyl nuclear power plant accident propelled concerns regarding long-term radiation effects on thyroid cancer in children affected by the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident in Fukushima, Japan. Herein we consider the potential association between absorbed dose in the thyroid and the risk of developing thyroid cancer as detected by ultrasonography on 300 473 children and adolescents aged 0–18 years in Fukushima. The absorbed dose mentioned in the present study indicates the sum of that from external exposure and that from internally deposited radionuclides. We grouped participants according to estimated absorbed doses in each of 59 municipalities in Fukushima Prefecture, based on The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) 2013 report. The 59 municipalities were assigned to quartiles by dose. We limited our analyses to participants aged ≥ 6 years because only one case of thyroid cancer was observed in participants aged ≤ 5 years; 164 299 participants were included in the final analysis. Compared with the lowest dose quartile, the age- and sex-adjusted rate ratios (95% confidence intervals) for the low-middle, high-middle and highest quartiles were 2.00 (0.84–4.80), 1.34 (0.50–3.59) and 1.42 (0.55–3.67) for the 6–14-year-old groups and 1.99 (0.70–5.70), 0.54 (0.13–2.31) and 0.51 (0.12–2.15) for the > 15 -year-old group, respectively. No dose-dependent pattern emerged from the geographical distribution of absorbed doses by municipality, as estimated by UNSCEAR, and the detection of thyroid cancer among participants within 4–6 years after the accident. Ongoing surveillance might further clarify the effects of low-dose radiation exposure on thyroid cancer in Fukushima.

INTRODUCTION

The Fukushima Daiichi nuclear power plant (NPP) accident, a consequence of the 2011 Great East Japan Earthquake and subsequent tsunami, triggered an environmental release of radioisotopes. Significantly more radioisotopes were released by the Chernobyl NPP in 1986, after which many childhood thyroid cancer cases were reported [1]. Although internal exposures to ^{131}I among children in Fukushima were much smaller than those in Chernobyl, the long-term effects of low-dose radiation exposure on thyroid cancer incidence among residents in Fukushima is of concern. Therefore, in Fukushima Prefecture, investigations began 6 months after the NPP accident to assess potential abnormalities in the thyroid glands of children aged ≤ 18 years, starting with ultrasound examinations. The aim was to identify long-term effects of total absorbed dose to thyroid on thyroid cancer incidence and to address concerns and anxiety among Fukushima residents in a constructive way.

Recently, we reported the absence of any association between regional and individual external radiation doses and thyroid cancer detection rates among children in Fukushima within 4–6 years of the NPP accident [2]. However, it is necessary to investigate possible associations with internal radiation doses, because internal radiation exposure was reported to be significantly related to the incidence of thyroid cancer in children following the Chernobyl accident [1]. This prospective study uses ultrasonography and follow-up investigations to consider any association between absorbed doses in the thyroid glands of Fukushima children and adolescents, including that from internally deposited radionuclides as well as that from external exposure, and the risk of subsequently developing thyroid cancer.

MATERIALS AND METHODS

Under the Fukushima Health Management Survey, thyroid gland examinations were offered to 367 685 people who were 0–18 years of age at the time of the NPP accident, as previously described [3]. Initial/baseline thyroid examinations proceeded from October 2011 to April 2015, with 300 473 subjects (82%) participating, including evacuees living in other prefectures [2, 4]. Japan's civil registration system and the Fukushima Health Management Survey database allowed us to link thyroid cancer diagnoses to original municipalities of residence. Follow-up examinations were conducted in those who had no thyroid cancer detected at baseline and who subsequently consented to participate in a follow-up survey that finished in June 2017. Thereafter, 245 530 participants underwent follow-up investigations, of whom 2049 were recommended for secondary confirmatory examinations. Of these, 1,670 (81.5%) completed follow-up, including 214 (10.4%) who underwent fine-needle aspiration cytology (FNAC). Among these, 70 presented with nodules that were classified either as malignant or suspicious for malignancy, and 52 received surgical treatment. Study approvals (#1318 and #1294) came from the Ethics Committee of Fukushima Medical University, which is guided by local policy, national law and the World Medical Association Declaration of Helsinki. Informed consent was obtained from legal guardians of all children participating in the survey.

The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) estimated absorbed doses in the thyroid gland for individuals throughout Japan by age group (i.e., adults,

10-year-old children and 1-year-old infants) during the first year following the Fukushima Daiichi NPP accident [5]. Here, the absorbed dose estimated by UNSCEAR was the sum of that from external exposure and that from internally deposited radionuclides. Many residents living in areas surrounding the Fukushima Daiichi NPP were forced to evacuate because of elevated radiation levels from the nuclear accident. Absorbed doses for these evacuees were estimated according to their evacuation scenarios. Owing to the fact that there were several evacuation scenarios in each municipal area, we considered the highest and lowest values as the maximum and minimum representative values, respectively, for each municipality [5], and we applied the values by age group to render individual absorbed doses. We enumerated participants by estimated absorbed doses in their thyroid glands in each of Fukushima's 59 municipalities. Subsequently, we classified these 59 municipalities into quartiles by dose (Figs 1 and 2).

To calculate person-years, observation times from baseline primary examination to follow-up primary examination were summed. Because all cases of thyroid cancer were found by ultrasonography and were asymptomatic, we used detection rate rather than incident rate. We calculated the rate ratios (RRs) and 95% confidence intervals (CIs) for thyroid cancer development in all areas. The quartile with the lowest radiation dose was used as a control reference; using Poisson regression models, we then adjusted for age, sex and examination year. Furthermore, we limited our analyses to participants aged ≥ 6 years because (unlike Chernobyl) only one case of thyroid cancer was observed in participants aged ≤ 5 years. As a result, 164 299 participants were included in the final analysis. In addition, we analysed the data stratified by dose estimation: adults, children and infants (>15 , 6–15 and 0–5 years, respectively). Different doses were assigned to each age group in accordance with age-dependent dose factors [5]. SAS version 9.4 (SAS Institute, Cary, NC, USA) was used for all statistical analyses.

RESULTS AND DISCUSSION

Table 1 presents the adjusted RRs (95% CIs) for thyroid cancer according to maximum estimated absorbed doses by quartile. In comparison to the lowest quartile, age- and sex-adjusted RRs for the 6- to 14-year-old group (95% CIs) with respect to the low-middle, high-middle and highest quartiles were 2.00 (0.84–4.80), 1.34 (0.50–3.59) and 1.42 (0.55–3.67), respectively (P for trend = 0.76). Corresponding values for the ≥ 15 -year-old group were 1.99 (0.70–5.70), 0.54 (0.13–2.31) and 0.51 (0.12–2.15), respectively (P for trend = 0.89). After further adjusting for examination year, the RR for the low-middle and high-middle quartiles decreased to 1.42 (0.52–3.86) and 0.90 (0.29–2.77) for the 6–14-year-old group and 1.37 (0.43–4.34) and 0.38 (0.08–1.72) for the ≥ 15 -year-old group, respectively.

The adjusted RRs (95% CIs) for thyroid cancer according to the minimum estimated absorbed doses exhibited the same trends as those for the maximum absorbed doses (Table 2). The age- and sex-adjusted RRs (95% CIs) for the low-middle, high-middle and highest quartiles compared with the lowest ones were 1.62 (0.61–4.32), 1.68 (0.74–3.83) and 1.35 (0.52–3.50) for the 6–14-year-old group (P for trend = 0.54) and 2.03 (0.72–5.74), 0.66 (0.17–2.51) and 0.23 (0.03–1.97) for the ≥ 15 -year-old group (P for trend = 0.09), respectively.

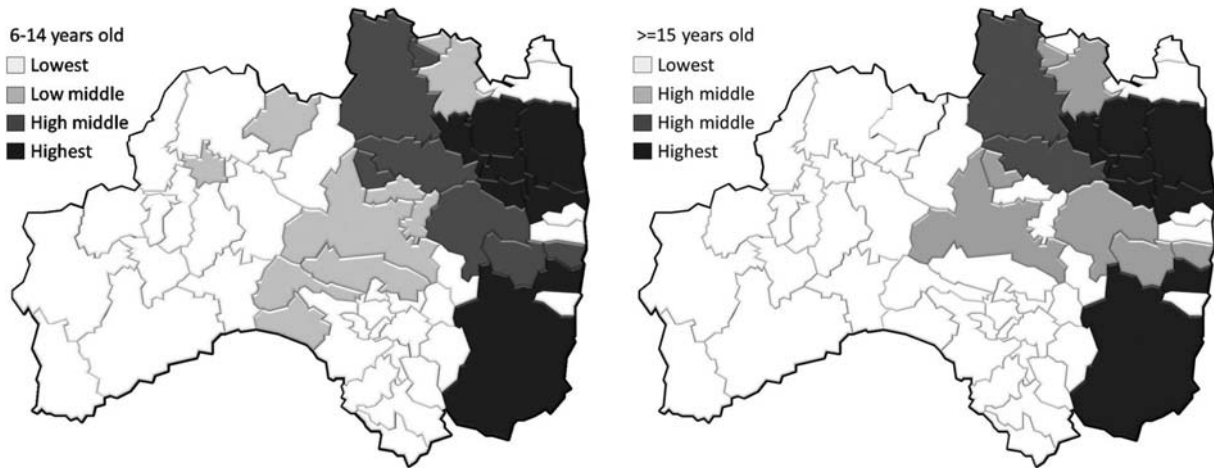


Fig. 1. Geographical distribution of the highest, high-middle, low-middle and lowest dose areas based on maximum estimates by UNSCEAR, stratified by age groups.

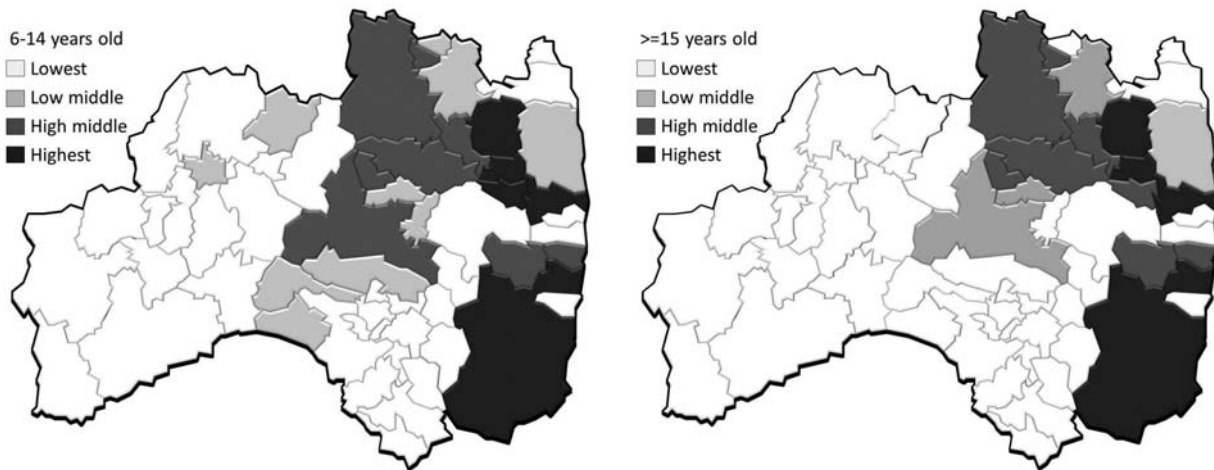


Fig. 2. Geographical distribution of the highest, high-middle, low-middle and lowest dose areas based on minimum estimates by UNSCEAR, stratified by age groups.

No dose-dependent pattern emerged according to geographical distribution of absorbed doses (by municipality, as estimated by UNSCEAR) for the detection rate of thyroid cancer among participants within 4–6 years after the Fukushima Daiichi NPP accident. We previously reported that regional and individual external radiation doses were not associated with the prevalence and/or detection rate of thyroid cancer after the accident [2, 4, 6, 7]. Therefore, our current results underscore that both external radiation exposure and the absorbed dose in the thyroid, including that from internally deposited radionuclides, shows no association with an increased risk of thyroid cancer among children in Fukushima.

In contrast, a recent ecological study suggested a positive correlation between the average June 2011 radiation dose-rates in Fukushima Prefecture's 59 municipalities and the corresponding thyroid cancer detection rates from October 2011 to March 2016 [8]. However, this

discrepancy can be explained by how radiation doses were estimated and by variations in the fraction of cases that proceeded to FNAC examination in confirmatory testing among Fukushima's 59 municipalities. More specifically, the previous ecological study [8] based associations on average dose rates in the municipalities according to ground deposition densities of cesium measured in June 2011. On the other hand, our absorbed dose estimates take account of evacuation scenarios for those residents near the Fukushima Daiichi NPP who were evacuated shortly after the NPP accident. Therefore, we were able to analyse the associations between radiation doses and detection of thyroid cancer more accurately.

In addition, the FNAC rates among those receiving confirmatory testing varied by municipality [9]. Municipalities that had lower exposure rates also tended to have lower rates of FNAC. Therefore, rates of thyroid cancer detection in these lower-exposed municipalities were

Table 1. Median (interquartile range), characteristics of participants and adjusted RRs (95% CIs) for thyroid cancer according to maximum absorbed doses in thyroid glands, as estimated by UNSCEAR

	Lowest quartile	Low middle	High middle	Highest quartile	Total
Age 6–14 years					
Absorbed dose (mGy), range	14.00–18.81	18.82–22.82	23.96–28.73	31.16–58.0	
No. at risk	35 175	44 555	33 387	32 390	145 507
Sex (female), %	49.2	49.5	49.1	49.7	49.4
Age at NPP accident (years), median (25–75%)	10 (8–12)	10 (8–12)	10 (8–12)	10 (8–12)	10 (8–12)
Age at baseline thyroid examination (years), median (25–75%)	14 (12–16)	14 (12–16)	13 (11–16)	14 (12–16)	14 (12–16)
Participants needing confirmatory testing, <i>n</i> (%)	341 (0.97)	448 (1.01)	328 (0.98)	320 (0.99)	1437 (0.99)
Participants completing confirmatory testing, <i>n</i> (%)	271 (0.77)	357 (0.80)	273 (0.82)	269 (0.83)	1170 (0.80)
Participants getting FNAC, <i>n</i> (%) ^a	20 (7.4)	45 (12.6)	44 (16.1)	31 (11.5)	140 (12.0)
Examination year					
2014 (%)	7645 (21.7)	38 370 (86.1)	33 366 (99.9)	8083 (25.0)	87 464 (60.1)
2015–17 (%)	27 530 (78.3)	6185 (13.9)	21 (0.1)	24 307 (75.0)	58 043 (39.9)
Interval from baseline to follow-up examination (years), median (25–75%)	2.0 (1.9–2.1)	2.1 (2.0–2.2)	2.1 (2.1–2.2)	2.3 (2.1–2.6)	2.1 (2.0–2.3)
No. of cases	7	18	9	11	45
Detection rate per 100 000 person-years	10.1	19.2	12.5	14.7	14.5
Age- and sex-adjusted RR (95% CI)	Ref.	2.00 (0.84–4.80)	1.34 (0.50–3.59)	1.42 (0.55–3.67)	(Trend <i>P</i> = 0.76)
Age-, sex- and examination year-adjusted RR (95% CI)	Ref.	1.42 (0.52–3.86)	0.90 (0.29–2.77)	1.41 (0.55–3.64)	(Trend <i>P</i> = 0.89)
Age ≥15 years					
Absorbed dose (mGy), range	7.88–11.45	12.48–15.00	15.42–16.30	17.35–35.00	
No. at risk	4599	4827	4430	4936	18 792
Sex (female), %	57.9	55.5	56.7	56.2	56.6
Age at NPP accident (years), median (25–75%)	16 (15–17)	16 (15–17)	16 (15–17)	16 (15–17)	16 (15–17)
Age at baseline thyroid examination (years), median (25–75%)	21 (20–22)	20 (19–21)	20 (19–21)	21 (20–22)	20 (19–21)
Participants needing confirmatory testing, <i>n</i> (%)	125 (2.72)	134 (2.78)	109 (2.46)	146 (2.96)	514 (2.74)
Participants completing confirmatory testing, <i>n</i> (%)	105 (2.28)	113 (2.34)	88 (1.99)	114 (2.31)	420 (2.23)
Participants getting FNAC, <i>n</i> (%) ^a	7 (6.7)	18 (15.9)	14 (15.9)	7 (6.1)	46 (11.0)
Examination year					
2014 (%)	1778 (38.7)	4825 (99.96)	4426 (99.9)	1349 (27.3)	12 378 (65.9)
2015–17 (%)	2821 (61.3)	2 (0.04)	4 (0.1)	3587 (72.7)	6414 (34.1)
Interval from baseline to follow-up examination (years), median (25–75%)	2.1 (2.0–2.3)	2.1 (2.0–2.6)	2.1 (2.0–2.2)	2.2 (2.0–2.6)	2.1 (2.0–2.5)
No. of cases	5	12	3	3	23
Detection rate per 100 000 person-years	51.0	108.2	30.9	26.6	54.9
Age- and sex-adjusted RR (95% CI)	Ref.	1.99 (0.70–5.70)	0.54 (0.13–2.31)	0.51 (0.12–2.15)	(Trend <i>P</i> = 0.10)
Age-, sex- and examination year-adjusted RR (95% CI)	Ref.	1.37 (0.43–4.34)	0.38 (0.08–1.72)	0.55 (0.13–2.33)	(Trend <i>P</i> = 0.08)

^aParticipants who underwent FNAC/participants who completed confirmatory testing.

likely lower because the fraction of those receiving FNAC is strongly associated with the detection rate of thyroid cancer. In other words, such underestimation may have contributed to an erroneous conclusion. Despite the fact that age- and sex-adjusted RRs in the low-middle and high-middle quartiles, compared with the lowest quartile, were 2.00 and 1.34, respectively, for the 6–14-year-old group (Table 1), the

adjusted RRs decreased to 1.42 and 0.90 after further adjustment for the examination year. In fact, this adjustment is strongly associated with the respective FNAC rates. Furthermore, the rates of FNAC for 6–14-year-old participants in the low-middle, high-middle and highest quartiles were higher (low-middle, 12.6%; high-middle, 16.1%; and highest, 11.5%) than those in the lowest quartile (7.4%; Table 1). On

Table 2. Median (interquartile range), characteristics of participants and adjusted RRs (95% CIs) for thyroid cancer according to minimum absorbed doses in thyroid glands, as estimated by UNSCEAR

	Lowest quartile	Low middle	High middle	Highest quartile	Total
Age 6–14 years					
Absorbed dose (mGy), range	12.00–18.81	18.82–22.61	22.82–28.73	29.00–58.00	
No. at risk	38 262	23 037	57 547	26 661	145 507
Sex (female), %	49.3	49.7	49.1	49.7	49.4
Age at NPP accident (years), median (25–75%)	10 (8–12)	10 (8–12)	10 (8–12)	10 (8–12)	10 (8–12)
Age at baseline thyroid examination (years), median (25–75%)	14 (12–16)	13 (11–16)	14 (11–16)	14 (12–16)	14 (12–16)
Participants needing confirmatory testing, <i>n</i> (%)	380 (0.99)	251 (1.09)	551 (0.96)	255 (0.96)	1,437 (0.99)
Participants completing confirmatory testing, <i>n</i> (%)	302 (0.79)	213 (0.92)	444 (0.77)	211 (0.79)	1,170 (0.80)
Participants getting FNAC, <i>n</i> (%) ^a	25 (8.3)	23 (10.8)	69 (15.5)	23 (10.9)	140 (12.0)
Examination year					
2014 (%)	10 728 (28.0)	16 876 (73.3)	57 501 (99.9)	2359 (8.8)	87 464 (60.1)
2015–17 (%)	27 534 (72.0)	6161 (26.7)	46 (0.1)	24 302 (91.2)	58 043 (39.9)
Interval from baseline to follow-up examination (years), median (25–75%)	2.0 (1.9–2.1)	2.1 (2.0–2.4)	2.1 (2.0–2.2)	2.2 (2.1–2.5)	2.1 (2.0–2.3)
No. of cases	8	8	20	9	45
Detection rate per 100 000 person-years	10.4	15.9	16.4	14.8	14.5
Age- and sex-adjusted RR (95% CI)	Ref.	1.62 (0.61–4.32)	1.68 (0.74–3.83)	1.35 (0.52–3.50)	(Trend <i>P</i> = 0.54)
Age-, sex- and examination year-adjusted RR (95% CI)		1.22 (0.43–3.49)	1.12 (0.43–2.95)	1.60 (0.59–4.33)	(Trend <i>P</i> = 0.43)
Age ≥15 years					
Absorbed dose (mGy), range	7.20–11.12	11.28–12.62	13.31–16.30	17.35–34.00	
No. at risk	4604	5160	4989	4039	18 792
Sex (female), %	58.1	54.8	57.2	56.3	56.6
Age at NPP accident (years), median (25–75%)	16 (15–17)	16 (15–17)	16 (15–17)	16 (15–17)	16 (15–17)
Age at baseline thyroid examination (years), median (25–75%)	21 (20–22)	20 (19–21)	20 (19–21)	21 (20–22)	20 (19–21)
Participants needing confirmatory testing, <i>n</i> (%)	124 (2.69)	144 (2.79)	128 (2.57)	118 (2.92)	514 (2.74)
Participants completing confirmatory testing, <i>n</i> (%)	103 (2.24)	120 (2.33)	104 (2.08)	93 (2.30)	420 (2.23)
Participants getting FNAC, <i>n</i> (%) ^a	7 (6.8)	23 (19.2)	15 (14.4)	1 (1.1)	46 (11.0)
Examination year					
2014 (%)	1784 (38.7)	5156 (99.9)	4985 (99.9)	453 (11.2)	12 378 (65.9)
2015–17 (%)	2820 (61.3)	4 (0.1)	4 (0.1)	3586 (88.8)	6414 (34.1)
Interval from baseline to follow-up examination (years), median (25–75%)	2.1 (2.0–2.4)	2.1 (2.0–2.6)	2.1 (2.0–2.3)	2.1 (2.0–2.5)	2.1 (2.0–2.5)
No. of cases	5	13	4	1	23
Detection rate per 100 000 person-years	50.1	107.6	36.0	11.5	54.9
Age- and sex-adjusted RR (95% CI)	Ref.	2.03 (0.72–5.74)	0.66 (0.17–2.51)	0.23 (0.03–1.97)	(Trend <i>P</i> = 0.09)
Age-, sex- and examination year-adjusted RR (95% CI)		1.66 (0.47–5.86)	0.54 (0.12–2.45)	0.26 (0.03–2.42)	(Trend <i>P</i> = 0.08)

^aParticipants who underwent FNAC/participants who completed confirmatory testing.

the other hand, our findings did not reveal any significant difference in the proportions of participants needing additional confirmatory testing among the groups: 0.97, 1.01, 0.98 and 0.99 for the lowest, low-middle, high-middle and the highest quartile, respectively (Table 1). These findings may support our hypothesis, although the underlying

causes for the distinct differences in the FNAC rates among the quartile groups are not completely elucidated.

The strengths of this study are the inclusion of a relatively large number of residents in a prospective manner, including both evacuees and non-evacuees following the Fukushima accident. Ultrasonography

was used to investigate the thyroid glands of participants in a baseline survey and subsequent follow-ups. Furthermore, to avoid an ecology-based fallacy, we analysed associations between absorbed radiation doses and detection rate of thyroid cancer after adjusting for confounding factors, such as age, sex and examination year, whereas previous ecological research could not adjust for such factors [8, 10]. Nevertheless, there are potential limitations of the study that need to be considered. First, although absorbed doses were estimated by UNSCEAR according to evacuation scenarios, individual absorbed doses could not be uniquely established. In fact, UNSCEAR has stated that dose estimates in their 2013 report may be higher than actual exposures as a result of the limited information available before UNSCEAR had completed its 2013 report [5]. Therefore, associations between the absorbed doses and the detection rate of thyroid cancer may be underestimated/overestimated. Second, although all participants who underwent secondary confirmatory examinations at any location and were diagnosed with thyroid cancer were counted, some who did not undergo primary examination or secondary confirmatory examination at follow-up could have undocumented thyroid cancer in the present study. This could modify the results. However, if the proportion of such participants did not differ among the absorbed-dose quartile groups, associations between doses to the thyroid and detection rate of thyroid cancer would not be affected by this issue. Furthermore, because of the short timeframe used to assess all thyroid cancers, further long-term follow-up surveys need to be conducted to clarify the effects of low-dose radiation exposure on thyroid cancer in Fukushima.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare that they have no competing interests.

FUNDING

This work was supported by the National Health Fund for Children and Adults Affected by the Nuclear Incident that facilitated the efficient design and conduction of our study.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank the staff of the Fukushima Health Management Survey for their significant contributions. The authors also thank Professor Gen Suzuki (International University of Health and Welfare), Professor Tomotaka Sobue (Osaka University) and Dr. Kota Katanoda (National Cancer Center Japan) for their valuable advice on the manuscript. The findings and conclusions of this article are solely the responsibility of

the authors and do not represent the official views of the Fukushima Prefecture Government.

REFERENCES

1. Iglesias ML, Schmidt A, Ghuzlan AA et al. Radiation exposure and thyroid cancer: A review. *Arch Endocrinol Metab* 2017;61:180–7.
2. Ohira T, Ohtsuru A, Midorikawa S et al. External radiation dose, obesity, and risk of childhood thyroid cancer after the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident: A prospective study of the Fukushima health management survey. *Epidemiology* 2019;30:853–60.
3. Yasumura S, Hosoya M, Yamashita S et al. Study protocol for the Fukushima health management survey. *J Epidemiol* 2012; 22:375–83.
4. Ohira T, Takahashi H, Yasumura S et al. Associations between childhood thyroid cancer and external radiation dose after the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident. *Epidemiology* 2018;29:e32–4.
5. UNSCEAR 2013 REPORT Vol. I. *Sources, effects and risks of ionizing radiation*. https://www.unscear.org/unscear/en/publications/b2013_1.html (15 November 2019, date last accessed)
6. Ohira T, Takahashi H, Yasumura S et al. Comparison of childhood thyroid cancer prevalence among 3 areas based on external radiation dose after the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident: The Fukushima health management survey. *Medicine (Baltimore)* 2016;95:e4472.
7. Suzuki S, Suzuki S, Fukushima T et al. Comprehensive survey results of childhood thyroid ultrasound examinations in Fukushima in the first four years after the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident. *Thyroid* 2016;26:843–51.
8. Yamamoto H, Hayashi K, Scherb H. Association between the detection rate of thyroid cancer and the external radiation dose-rate after the nuclear power plant accidents in Fukushima, Japan. *Medicine (Baltimore)* 2019;98:e17165.
9. The 28th prefectural oversight committee meeting for Fukushima health management survey. A report of thyroid ultrasound examinations (the first full-scale thyroid screening program). <http://fmu-global.jp/download/thyroid-ultrasound-examinations-first-full-scale-thyroid-screening-program/?wpdmdl=3608> (15 November 2019, date last accessed).
10. Tsuda T, Tokinobu A, Yamamoto E et al. Thyroid cancer detection by ultrasound among residents ages 18 years and younger in Fukushima, Japan: 2011 to 2014. *Epidemiology* 2016;27:316–22.

UNSCEAR推定甲状腺吸収線量と本格検査(検査3回目)における悪性ないし悪性疑い発見率との関連(横断調査)

表1 震災時6~14歳の対象者におけるUNSCEAR推定甲状腺吸収線量(最大値)^{*1}と本格検査(検査3回目)における悪性ないし悪性疑い発見率との関連(横断調査)

震災時6~14歳, 線量最大値	20mGy未満	20-25mGy	25-30mGy	30mGy以上
女性(%)	49.4	50.3	49.7	49.9
一次検査受診時年齢(平均年齢)	15.3	14.9	14.9	15.5
検査年度受診者割合(%)				
2016年度	27.7	95.0	96.5	23.1
2017年度以降	72.3	5.0	3.5	76.9
検査間隔 ^{*2} (%)				
先行検査・本格検査(検査2回目)未受診	0.5	0.2	0.3	0.6
2年未満	62.4	61.7	31.9	23.9
2年以上2.5年未満	28.6	32.8	62.4	59.7
2.5年以上	8.4	5.2	5.4	15.8
悪性・悪性疑い発見数	8	5	2	12
発見率(10万人あたり)	22.3	18.0	7.9	47.2

*1:UNSCEAR 2013 Report, Annex A, ATTACHMENT C-16, Table C-16.2の推定甲状腺総吸収線量(Total)およびATTACHMENT C-18, Table C-18.5の推定甲状腺総吸収線量(Total dose)を使用。同一の市町村で複数の推定線量が提示されている場合は最大値を使用。各市町村別の被ばく線量を個人に当てはめた上で、被ばく線量を4群に分類。

*2:本格検査(検査3回目)一次検査日と、その前に受診した検査(先行検査または本格検査(検査2回目))の一次検査受診日との間隔。

※震災時県内居住者に限る。

※令和元年9月30日時点のデータによる。

表2 震災時15歳以上の対象者におけるUNSCEAR推定甲状腺吸収線量(最大値)^{*1}と本格検査(検査3回目)^{*2}における悪性ないし悪性疑い発見率との関連(横断調査)

震災時15歳以上, 線量最大値	10mGy未満	10-15mGy	15-20mGy	20mGy以上
女性(%)	63.3	60.2	58.5	58.0
一次検査受診時年齢(平均年齢)	22.8	22.3	22.4	22.2
検査年度受診者割合(%)				
2016年度	7.3	54.0	34.5	55.6
2017年度以降	92.7	46.0	65.5	44.4
検査間隔 ^{*3} (%)				
先行検査・本格検査(検査2回目)未受診	14.3	6.1	5.5	2.9
2年未満	46.6	45.5	36.0	27.8
2年以上2.5年未満	11.8	11.6	24.9	22.2
2.5年以上	27.3	36.8	33.5	47.1
悪性・悪性疑い発見数	0	1	2	0
発見率(10万人あたり)	0.0	36.1	60.2	0.0

*1:表1の脚注*1を参照。

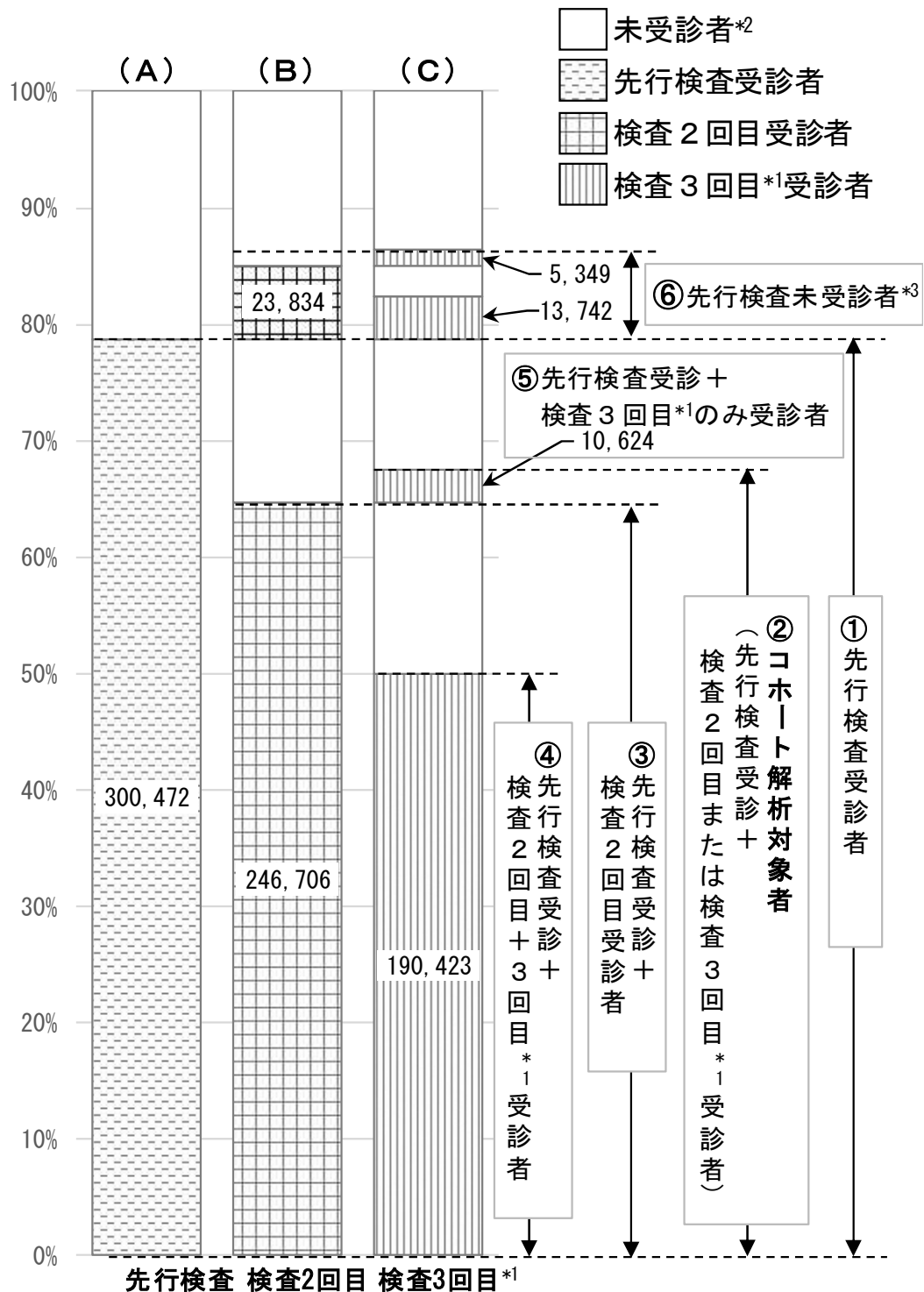
*2:節目検査(平成4年度生まれ)を含む。

*3:本格検査(検査3回目)^{*2}一次検査日と、その前に受診した検査(先行検査または本格検査(検査2回目))の一次検査受診日との間隔。

※震災時県内居住者に限る。

※令和元年9月30日時点のデータによる。

各検査の実施結果について



- *1:検査3回目には節目検査(平成4年度生まれ)を含む。
- *2:未受診者には検査対象外の方を含む。
- *3:先行検査未受診かつその後の検査いずれかを受診した方。

図1 先行検査、本格検査(検査2回目)、本格検査(検査3回目)・節目検査(平成4年度生まれ)における受診者数および未受診者数

各表の集計対象者

<資料 3-1>

表 1 「震災時 6～14 歳の対象者における UNSCEAR 推定甲状腺吸収線量(最大値)と本格検査(検査 3 回目)における悪性ないし悪性疑い発見率との関連(横断調査)」

表 2 「震災時 15 歳以上の対象者における UNSCEAR 推定甲状腺吸収線量(最大値)と本格検査(検査 3 回目)における悪性ないし悪性疑い発見率との関連(横断調査)」

- 集計対象:(C)の網掛け部分のうち、震災時に当該年齢かつ県内居住の方

<資料 3-2>

表 1 「検査対象時年齢別にみた先行検査、本格検査(検査 2 回目)、本格検査(検査 3 回目)・節目検査(平成 4 年度生まれ)の受診率」

- 集計対象:(A)・(B)・(C)(※各検査の対象者のみ)

表 2 「受診年齢別にみた先行検査、本格検査(検査 2 回目)、本格検査(検査 3 回目)・節目検査(平成 4 年度生まれ)の検査結果」

- 集計対象:(A)・(B)・(C)の網掛け部分

表 3 「震災時年齢別にみた先行検査、本格検査(検査 2 回目)、本格検査(検査 3 回目)・節目検査(平成 4 年度生まれ)の受診率、および震災日から各検査一次検査受診日までの年数」

- 集計対象:①・③・④+⑤

表 4 「震災時年齢別にみた先行検査、本格検査(検査 2 回目)、本格検査(検査 3 回目)・節目検査(平成 4 年度生まれ)における受診者数、一次検査 B 判定率、細胞診実施率、悪性・悪性疑い発見率」

- 集計対象:①・③・④+⑤

<資料 3-3>

表 1 「震災時年齢別にみた累積 B 判定率、細胞診実施率、悪性・悪性疑い率(先行検査受診者)」

- 集計対象:①

表 2 「震災時年齢別にみた累積 B 判定数、細胞診実施数、悪性・悪性疑い数(先行検査未受診者)」

- 集計対象:⑥

<資料 3-4>

表 1 「震災時 6～14 歳の対象者における UNSCEAR 推定甲状腺吸収線量(最大値)と本格検査における悪性ないし悪性疑い発見率との関連(追跡調査)」

表 2 「震災時 15 歳以上の対象者における UNSCEAR 推定甲状腺吸収線量(最大値)と本格検査における悪性ないし悪性疑い発見率との関連(追跡調査)」

- 集計対象:②のうち、震災時に当該年齢かつ県内居住の方

表1 検査対象時年齢別にみた先行検査、本格検査(検査2回目)、本格検査(検査3回目)・節目検査(平成4年度生まれ)の受診率

対象時 年齢 ^{*1}	先行検査			本格検査(検査2回目)			本格検査(検査3回目 ^{*2})		
	対象者 人数	受診者 人数	割合(%)	対象者 人数	受診者 人数	割合(%)	対象者 人数	受診者 人数	割合(%)
0	1,908	1,627	85.3	0	-	-	0	-	-
1	9,590	8,151	85.0	0	-	-	0	-	-
2	16,360	13,132	80.3	7,933	5,483	69.1	0	-	-
3	16,528	13,447	81.4	14,944	10,324	69.1	0	-	-
4	17,025	14,187	83.3	16,439	11,732	71.4	7,959	4,026	50.6
5	17,407	14,681	84.3	16,535	11,864	71.8	14,980	7,976	53.2
6	17,557	16,675	95.0	16,970	15,608	92.0	16,457	14,581	88.6
7	17,814	17,050	95.7	17,415	16,155	92.8	16,540	14,799	89.5
8	18,707	17,902	95.7	17,411	16,201	93.1	16,969	15,310	90.2
9	18,972	18,191	95.9	17,709	16,574	93.6	17,417	15,736	90.3
10	19,545	18,741	95.9	18,666	17,503	93.8	17,408	15,775	90.6
11	19,959	19,179	96.1	18,830	17,656	93.8	17,707	16,043	90.6
12	20,003	19,196	96.0	19,510	18,036	92.4	18,667	16,636	89.1
13	20,556	19,570	95.2	20,005	18,340	91.7	18,829	16,600	88.2
14	20,779	19,601	94.3	19,984	18,233	91.2	19,507	17,094	87.6
15	20,664	15,563	75.3	20,522	17,700	86.2	20,004	15,999	80.0
16	21,328	15,791	74.0	20,588	17,791	86.4	19,981	16,086	80.5
17	21,641	14,619	67.6	20,692	16,380	79.2	20,514	15,454	75.3
18	21,933	11,581	52.8	21,121	7,072	33.5	20,575	4,639	22.5
19	19,474	8,574	44.0	21,659	6,148	28.4	20,681	3,760	18.2
20	9,887	3,014	30.5	21,922	5,357	24.4	21,114	3,153	14.9
21	0	-	-	22,502	4,795	21.3	21,647	3,090	14.3
22	0	-	-	9,887	1,588	16.1	9,713	1,147	11.8
23	0	-	-	0	-	-	0	-	-
24	0	-	-	0	-	-	22,653	2,234	9.9
全体	367,637	300,472	81.7	381,244	270,540	71.0	359,322	220,138	61.3

*1:検査の対象となる年度の4/1時年齢別 ※実際に受診した際の年齢とは異なる可能性がある。

*2:本格検査(検査3回目)の集計には節目検査(平成4年度生まれ)を含む。

※各検査を受診した全員を集計対象とした。

※先行検査・本格検査(検査2回目)は平成30年3月31日時点、本格検査(検査3回目)・節目検査(平成4年度生まれ)は令和元年9月30日時点のデータによる。

表2 受診年齢別にみた先行検査、本格検査(検査2回目)、本格検査(検査3回目)・節目検査(平成4年度生まれ)の検査結果

表2-1 各検査における一次検査B判定者率

受診時年齢	先行検査			本格検査(検査2回目)			本格検査(検査3回目*1)		
	受診者 人数	B判定 人数	割合*2	受診者 人数	B判定 人数	割合*3	受診者 人数	B判定 人数	割合*4
0-4歳	40,667	27	0.07	19,437	3	0.02	1,326	0	0.00
5-9歳	84,159	141	0.17	75,123	86	0.11	61,375	29	0.05
10-14歳	95,999	593	0.62	89,196	567	0.64	81,666	352	0.43
15-19歳	70,510	1,215	1.72	70,561	1,098	1.56	63,581	827	1.30
20-24歳	9,137	318	3.48	16,223	473	2.92	10,851	336	3.10
25歳以上	0	-	-	0	-	-	1,339	55	4.11
全体	300,472	2,294	0.76	270,540	2,227	0.82	220,138	1,599	0.73

表2-2 各検査における細胞診実施率

受診時年齢	先行検査			本格検査(検査2回目)			本格検査(検査3回目*1)		
	受診者 人数	細胞診実施 人数	割合*2	受診者 人数	細胞診実施 人数	割合*3	受診者 人数	細胞診実施 人数	割合*4
0-4歳	40,667	0	0.00	19,437	0	0.00	1,326	0	0.00
5-9歳	84,159	8	0.01	75,123	2	0.00	61,375	0	0.00
10-14歳	95,999	123	0.13	89,196	54	0.06	81,666	21	0.03
15-19歳	70,510	341	0.48	70,561	107	0.15	63,581	50	0.08
20-24歳	9,137	75	0.82	16,223	44	0.27	10,851	12	0.11
25歳以上	0	-	-	0	-	-	1,339	4	0.30
全体	300,472	547	0.18	270,540	207	0.08	220,138	87	0.04

表2-3 各検査における悪性・悪性疑い発見率

受診時年齢	先行検査			本格検査(検査2回目)			本格検査(検査3回目*1)		
	受診者 人数	悪性・悪性疑い 人数	割合*2	受診者 人数	悪性・悪性疑い 人数	割合*3	受診者 人数	悪性・悪性疑い 人数	割合*4
0-4歳	40,667	0	0.000	19,437	0	0.000	1,326	0	0.000
5-9歳	84,159	1	0.001	75,123	2	0.003	61,375	0	0.000
10-14歳	95,999	21	0.022	89,196	17	0.019	81,666	9	0.011
15-19歳	70,510	77	0.109	70,561	36	0.051	63,581	18	0.028
20-24歳	9,137	17	0.186	16,223	16	0.099	10,851	4	0.037
25歳以上	0	-	-	0	-	-	1,339	1	0.075
全体	300,472	116	0.039	270,540	71	0.026	220,138	32	0.015

*1:本格検査(検査3回目)の集計には節目検査(平成4年度生まれ)を含む。

*2:先行検査受診者に対する割合。

*3:本格検査(検査2回目)受診者に対する割合。

*4:本格検査(検査3回目)・節目検査(平成4年度生まれ)受診者に対する割合。

※各検査を受診した全員を集計対象とした。

※先行検査・本格検査(検査2回目)は平成30年3月31日時点、本格検査(検査3回目)・節目検査(平成4年度生まれ)は令和元年9月30日時点のデータによる。

表3 震災時年齢別にみた先行検査、本格検査(検査2回目)、本格検査(検査3回目)・節目検査(平成4年度生まれ)の受診率、および震災日から各検査一次検査受診日までの年数

震災時 年齢	先行検査 受診者		本格検査(検査2 回目)受診者 (先行検査受診者に 限る)		本格検査(検査3 回目)*1受診者 (先行検査受診者に 限る)		本格検査(検査3 回目)*1受診者 (先行・検査2回目受 診者に限る)		震災日からの年数 (中央値)			
	人数	受診率*2 (%)	人数*3	受診率*2 (%)	人数*4	受診率*2 (%)	人数*4	受診率*2 (%)	先行	検査 2	検査 3	節目 H4生
4歳以下	71,184	100	63,572	89.3	64,385	90.4	59,398	83.4	2.0	4.0	6.0	.
5-9歳	89,362	100	85,467	95.6	80,558	90.1	78,655	88.0	1.9	4.0	5.9	.
10-14歳	90,522	100	78,648	86.9	48,860	54.0	46,720	51.6	1.7	3.8	5.7	.
15歳以上	49,404	100	18,998	38.5	7,228	14.6	5,635	11.4	1.9	4.0	5.8	6.6
全体	300,472	100	246,685	82.1	201,031	66.9	190,408	63.4	1.9	4.0	5.9	6.6

*1:本格検査(検査3回目)の集計には節目検査(平成4年度生まれ)を含む。

*2:受診率は先行検査受診者数に対する割合。

*3:先行検査で悪性・悪性疑いと判定された方は除く。

*4:先行検査または本格検査(検査2回目)で悪性・悪性疑いと判定された方は除く。

※先行検査・本格検査(検査2回目)は平成30年3月31日時点、本格検査(検査3回目)・節目検査(平成4年度生まれ)は令和元年9月30日時点のデータによる。

表4 震災時年齢別にみた先行検査、本格検査(検査2回目)、本格検査(検査3回目)・節目検査(平成4年度生まれ)における一次検査B判定率、細胞診実施率、悪性・悪性疑い発見率

表4-1 各検査における一次検査B判定率

震災時 年齢	一次検査B判定							
	先行検査		検査2回目 (先行受診者に限る)		検査3回目 (先行受診者に限る)*1		検査3回目 (先行・検査2回目受診者に限る)*1	
	人数	割合*2(%)	人数*3	割合*2(%)	人数*4	割合*2(%)	人数*4	割合*2(%)
4歳以下	72	0.10	48	0.08	45	0.07	43	0.07
5-9歳	270	0.30	395	0.46	496	0.62	487	0.62
10-14歳	855	0.94	1,103	1.40	747	1.53	713	1.53
15歳以上	1,097	2.22	512	2.70	233	3.22	170	3.02
全体	2,294	0.76	2,058	0.83	1,521	0.76	1,413	0.74

表4-2 各検査における細胞診実施率

震災時 年齢	細胞診実施							
	先行検査		検査2回目 (先行受診者に限る)		検査3回目 (先行受診者に限る)*1		検査3回目 (先行・検査2回目受診者に限る)*1	
	人数	割合*2(%)	人数*3	割合*2(%)	人数*4	割合*2(%)	人数*4	割合*2(%)
4歳以下	0	0.00	0	0.00	2	0.00	2	0.00
5-9歳	36	0.04	35	0.04	29	0.04	27	0.03
10-14歳	209	0.23	109	0.14	39	0.08	37	0.08
15歳以上	302	0.61	47	0.25	9	0.13	4	0.07
全体	547	0.18	191	0.08	79	0.04	70	0.04

表4-3 各検査における悪性・悪性疑い発見率

震災時 年齢	悪性・悪性疑い							
	先行検査		検査2回目 (先行受診者に限る)		検査3回目 (先行受診者に限る)*1		検査3回目 (先行・検査2回目受診者に限る)*1	
	人数	割合*2(%)	人数*3	割合*2(%)	人数*4	割合*2(%)	人数*4	割合*2(%)
4歳以下	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000
5-9歳	5	0.006	11	0.013	11	0.014	11	0.014
10-14歳	39	0.043	36	0.046	16	0.033	16	0.034
15歳以上	72	0.146	23	0.121	2	0.028	0	0.000
全体	116	0.039	70	0.028	29	0.014	27	0.014

*1:本格検査(検査3回目)の集計には節目検査(平成4年度生まれ)を含む。

*2:各検査の一次検査受診者数に対する割合。

*3:先行検査で悪性・悪性疑いと判定された方は除く。

*4:先行検査または本格検査(検査2回目)で悪性・悪性疑いと判定された方は除く。

※先行検査・本格検査(検査2回目)は平成30年3月31日時点、本格検査(検査3回目)・節目検査(平成4年度生まれ)は令和元年9月30日時点のデータによる。

先行検査受診の有無別にみた累積B判定率、細胞診実施率、悪性ないし悪性疑い率

表1 震災時年齢別にみた累積B判定率、細胞診実施率、悪性・悪性疑い発見率(先行検査受診者)

震災時年齢	受診者 ^{*1}		B判定		細胞診実施		悪性・悪性疑い	
	人数	割合 ^{*2}	累積人数	割合 ^{*2}	累積人数	割合 ^{*2}	累積人数	割合 ^{*2}
4歳以下	71,184	23.7	135	0.19	2	0.00	0	0.000
5-9歳	89,362	29.7	860	0.96	99	0.11	27	0.030
10-14歳	90,522	30.1	1,919	2.12	351	0.39	91	0.101
15歳以上	49,404	16.4	1,459	2.95	352	0.71	97	0.196
全体	300,472	100	4,373	1.46	804	0.27	215	0.072

*1:先行検査を受診した方に限る(本格検査(検査2回目)、本格検査(検査3回目)、節目検査(平成4年度生まれ)の受診有無は問わない)。

*2:受診者数^{*1}に対する割合。

※先行検査・本格検査(検査2回目)は平成30年3月31日時点、本格検査(検査3回目)・節目検査(平成4年度生まれ)は令和元年9月30日時点のデータによる。

表2 震災時年齢別にみた累積B判定率、細胞診実施率、悪性・悪性疑い発見率(先行検査未受診者)

震災時年齢	受診者 ^{*1}		B判定		細胞診実施		悪性・悪性疑い	
	人数	割合 ^{*2}	累積人数	割合 ^{*2}	累積人数	割合 ^{*2}	累積人数	割合 ^{*2}
4歳以下 ^{*3}	19,533	66.9	11	0.06	0	0.00	0	0.000
5-9歳	1,801	6.2	19	1.05	2	0.11	1	0.056
10-14歳	4,754	16.3	86	1.81	5	0.11	1	0.021
15歳以上	3,095	10.6	95	3.07	16	0.52	2	0.065
全体	29,183	100	211	0.72	23	0.08	4	0.014

*1:先行検査を受診せず、かつ本格検査(検査2回目)、本格検査(検査3回目)、節目検査(平成4年度生まれ)のいずれかを受診した方に限る。

*2:受診者数^{*1}に対する割合。

*3:平成24年4月1日までに生まれた方を含む。

※先行検査・本格検査(検査2回目)は平成30年3月31日時点、本格検査(検査3回目)・節目検査(平成4年度生まれ)は令和元年9月30日時点のデータによる。

UNSCEAR推定甲状腺吸収線量と本格検査における悪性ないし悪性疑い発見率との
関連(縦断調査)

表1 震災時6～14歳の対象者におけるUNSCEAR推定甲状腺吸収線量(最大値)^{*1}と本格検査^{*2}における悪性ないし悪性疑い発見率との関連(追跡調査^{*3})

震災時6～14歳, 線量最大値	20mGy未満	20-25mGy	25-30mGy	30mGy以上
女性(%)	49.1	49.5	49.0	49.7
震災時年齢(平均年齢)	9.6	9.9	10.0	9.7
検査間隔 ^{*4} (%)				
3年未満	27.2	25.6	21.9	25.1
3年以上3.5年未満	7.8	1.6	1.1	1.6
3.5年以上4年未満	39.1	20.8	11.2	3.4
4年以上4.5年未満	22.6	46.1	60.2	28.0
4.5年以上	3.4	5.9	5.7	41.8
悪性・悪性疑い発見数	15	22	11	23
発見率(10万人年あたり)	9.4	16.5	9.0	17.5

*1:UNSCEAR 2013 Report, Annex A, ATTACHMENT C-16, Table C-16.2の推定甲状腺総吸収線量(Total)およびATTACHMENT C-18, Table C-18.5の推定甲状腺総吸収線量(Total dose)を使用。同一の市町村で複数の推定線量が提示されている場合は最大値を使用。各市町村別の被ばく線量を個人に当てはめた上で、被ばく線量を4群に分類。

*2:本格検査(検査2回目)、本格検査(検査3回目)、節目検査(平成4年度生まれ)のいずれか。

*3:震災時県内居住者のうち、先行検査を受診し、先行検査で悪性・悪性疑いとは判定されなかった方を追跡調査した。このうち、検査2回目・3回目、節目検査(平成4年度生まれ)のいずれかを受診した方を解析対象とした。

*4:先行検査一次検査日から、直近に受診した検査(本格検査(検査3回目)または本格検査(検査2回目)または節目検査(平成4年度生まれ))の一次検査受診日までの間隔。

※先行検査・本格検査(検査2回目)は平成30年3月31日時点、本格検査(検査3回目)・節目検査(平成4年度生まれ)は令和元年9月30日時点のデータによる。

表2 震災時15歳以上の対象者におけるUNSCEAR推定甲状腺吸収線量(最大値)^{*1}と本格検査^{*2}における悪性ないし悪性疑い発見率との関連(追跡調査^{*3})

震災時15歳以上, 線量最大値	10mGy未満	10-15mGy	15-20mGy	20mGy以上
女性(%)	60.5	55.9	57.0	54.7
震災時年齢(平均年齢)	16.3	16.3	16.3	16.3
検査間隔 ^{*4} (%)				
3年未満	58.9	56.9	62.2	42.3
3年以上3.5年未満	8.8	8.7	4.5	10.8
3.5年以上4年未満	16.9	14.7	10.8	9.3
4年以上4.5年未満	7.2	8.5	13.4	8.2
4.5年以上	8.2	11.2	9.1	29.4
悪性・悪性疑い発見数	3	15	5	2
発見率(10万人年あたり)	39.4	68.6	19.6	36.9

*1:表1の脚注*1を参照。

*2:本格検査(検査2回目)、本格検査(検査3回目)、節目検査(平成4年度生まれ)のいずれか。

*3:震災時県内居住者のうち、先行検査を受診し、先行検査で悪性・悪性疑いとは判定されなかった方を追跡調査した。このうち、検査2回目・3回目、節目検査(平成4年度生まれ)のいずれかを受診した方を解析対象とした。

*4:先行検査一次検査日から、直近に受診した検査(本格検査(検査3回目)または本格検査(検査2回目)または節目検査(平成4年度生まれ))の一次検査受診日までの間隔。

※先行検査・本格検査(検査2回目)は平成30年3月31日時点、本格検査(検査3回目)・節目検査(平成4年度生まれ)は令和元年9月30日時点のデータによる。

論文題名： 福島第一原子力発電所事故後に住民が受けた内部汚染放射性核種からの甲状腺等価線量の再構築

発表誌： Scientific Reports 誌 (2020) 10 : 3639 | <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60453-0>[1] を鈴木が抄訳した。

著者： 大葉隆 (福島県立医大)、石川徹夫 (福島県立医大)、永井晴康 (JAEA)、床次眞司 (弘前大)、長谷川有史 (福島県立医大)、鈴木元 (国福大クリニック)

要旨： 福島第一原子力発電所 (FDNPS) 事故のあと、住民のあいだに近い将来子供達が甲状腺がんを患うのではないかとの懸念が生じた。しかし、甲状腺等価線量 (TED) の人口動態および地理的な分布は十分に評価されておらず、また摂取された放射性ヨウ素の動態を考慮して個人の線量を評価するための直接的な甲状腺測定は 1,200 名程度の子供にしかなかった。私たちは、避難地区 7 市町村の子供達の行動調査票の中から 100 ないし 300 名の行動調査票を無作為抽出し、それらの階層的クラスター解析を行い、プルーム曝露の高くなる、あるいは低くなる避難シナリオを再構築した。吸入による TED を推計するために、大気拡散沈着シミュレーションによる時間空間的放射性種濃度分布データベース (WSPEEDI_2019DB) を使って、福島県「県民健康調査」から合計 896 の行動調査票を解析した。屋内退避の吸入被ばく防護係数、および日本人のヨウ素 (甲状腺) 取り込み率の低さを反映するための線量換算係数の補正項を適用すると、推計された TED は甲状腺実測値に基づくそれと近似した。1 歳児の TED の中央値と 95% 値は、それぞれ 0.6~16 mSv と 7.5~30 mSv に分布した。これらの結果は、福島の甲状腺がんの疫学研究に有用である。

方法：

行動調査票の解析： 国際医療福祉大学倫理委員会 (2016 年 8 月 13-B-185, 2019 年 3 月 13-B-339)、福島県立医大倫理委員会 (2018 年 8 月 No. 29100, 2019 年 7 月 No. 29100-003) から承認を受け、県民健康調査データベースから南相馬市 300 名、大熊町、楡葉町、富岡町、双葉町、浪江町、飯舘村からそれぞれ 100 名の 19 歳以下の対象者について匿名化された行動調査票を入手し、解析した。記録の完全でない個票を除き合計 896 名を解析対象とした。詳細版の行動調査票を使い 2011 年 3 月 11 日 0 時から 3 月 26 日 0 時まで 6 時間ステップの主な滞在场所に従い、吸入線量を評価した。

吸入による TED の推計： WSPEEDI_2019DB データベース[2]から地上 1 m 高の 3 種類の化学型の ^{131}I 濃度 (メチル化ヨウ素、元素蒸気、粒子) を参照し、152 ランドマークの 6 時間ステップの平均濃度 (C_i) を計算した。避難途上の経路で隣接する 1 km グリッドで ^{131}I 濃

度の変化が大きい南相馬市、いわき市、浪江町から多くのランドマークを選んだ。年齢別 1 日換気量(m³)、および ¹³¹I 甲状腺等価線量換算係数 e_{inhal} (mSv/Bq)は、ICRP Publication 71 の値を使った。日本人のヨウ素甲状腺取り込み率は、Kudo ら[3]の報告値(18.6+/-6.0%)を採用し、¹³¹I 甲状腺等価線量換算係数の補正項 (FC) を (18.6+/-6.0) /30%として推計した。屋内退避の吸入被ばく防護係数 (DF_{shelter}) は、JAEA の Hirouchi 等の報告[4]から建造物年代別の防護係数と福島県の 2010 年の住宅統計を使い、風速 2.5 m/s 時の防護係数を最小 0.1, 最大 0.95、ピーク 0.5 の三角分布として評価した。FC と DF_{shelter} の合成された 95%不確実性幅はモンテカルロシミュレーション法によって評価した。

$$E_{\text{Thyroid (inhal)}} = \sum_i^{56} \frac{V}{4} \times (C_{i-p} \times e_{\text{inhal-Thy-p}} + C_{i-el} \times e_{\text{inhal-Thy-el}} + C_{i-met} \times e_{\text{inhal-Thy-met}}) \times FC \times DF_{\text{shelter}}, \quad (1)$$

短半減期核種 (¹³¹I, ¹³²I/¹³²Te, ¹³³I) からの TED の推計： 2011 年 3 月 12 日のプルームに曝露し、福島県立医大における体表面汚染の核種組成から得られた係数 (SF) [5]および 3 月 15 日東海村でのプルームの核種組成から得られた係数 (SF) を使い、数式 (2) で計算した。3 月 12 日のプルームおよび 3 月 15~16 日のプルームに関して、1 歳児の SF は、おのおの 1.59 および 1.08 である。

$$E_{\text{Thyroid (inhalation) with short}} = E_{\text{Thyroid (inhal)}} \times SF, \quad (2)$$

飯舘村の水道水の経口被ばくと吸入被ばくによる ¹³¹I-TED の推計： 先行論文で飯舘村の水道水からの TED が他の地域に比べて高いため[6]、吸入被ばくの TED と甲状腺実測値に基づく TED を比較するのは問題がある。そこで、飯舘村に関しては 100 名の行動調査票に基づき吸入被ばくと経口摂取による TED を式 (3) により評価した。飯舘村の 3 カ所の浄水場からの水道供給地域と井戸の使用状況を考慮している。ここで、水道水からの経口摂取量は、ボトル水や清涼飲料水の使用量を全て水道水から摂取した場合の摂取量 (V_{tap}) で、1 歳児、5 歳児、10 歳児の平均摂取量はそれぞれ 0.76L/日、1.03L/日、1.65L/日である。年齢別 ¹³¹I 経口摂取の等価線量換算係数($e_{\text{ing/thy}}$)は、ICRP Publication 67 のデータを使った。 X_j は j 日に飯舘村で摂った食事の回数 (1, 2, ないし 3) である。

$$E_{\text{Thyroid (ingestion)}} = \sum_j^{14} V_{\text{tap}} \times C_{\text{tap}} \times e_{\text{ing/thy}} \times FC \times Sf \times \frac{X_j}{3}, \quad (3)$$

結果

表 1, 表 2 にそれぞれ ^{131}I 吸入被ばくによる 1 歳児の TED と短半減期核種 (^{131}I , $^{132}\text{I}/^{132}\text{Te}$, ^{133}I) 吸入被ばくによる 1 歳児の TED を示す。ここで、95%UI は、屋内退避の防護係数と日本人の甲状腺ヨウ素取り込み率の低さを反映するための等価線量換算係数の補正項の合成不確実性幅である。3 月 12 日のプルームに曝露した双葉町、浪江町、南相馬市からの避難住民は、短半減期核種の TED が増加している。それでも避難地区 7 市町村の 1 歳児の TED の平均値は 1.2 mSv~15 mSv であり、95%不確実性の幅を考慮しても 31 mSv 以下であった。また、避難地区 7 市町村の 1 歳児の TED の 95 パーセンタイルは 7.5 mSv ~30 mSv の範囲であり、95%不確実性の幅を考慮しても 63 mSv 以下であった。

図 1、図 2 に、クラスター解析を例示する。(詳細は省略)

表 1. ^{131}I 吸入被ばくによる 1 歳児の甲状腺等価線量(mSv)

市町村	双葉町	富岡町	楡葉町	大熊町	浪江町	南相馬市 小高区	南相馬市 原町区・ 鹿島区	飯館村
平均値 (95% UI)	3.6 (0.9, 7.5)	1.1 (0.3, 2.3)	2.1 (0.5, 4.4)	2.1 (0.5, 4.3)	4.0 (1.0, 8.4)	9.8 (2.4, 21)	4.7 (1.2, 9.9)	4.0 (1.0, 8.5)
中央値 (95% UI)	1.3 (0.3, 2.8)	0.5 (0.1, 1.1)	0.9 (0.2, 1.9)	1.7 (0.4, 3.5)	0.8 (0.2, 1.7)	10 (2.5, 21)	3.2 (0.8, 6.6)	5.1 (1.3, 11)
95 パーセ ンタイル (95% UI)	19 (4.7, 39)	7.4 (1.9, 16)	8.9 (2.2, 19)	7.8 (1.9, 16)	20 (5.0, 42)	19 (4.8, 41)	18 (4.5, 38)	8.0 (2.0, 17)

表 2. 短半減期核種 (^{131}I , $^{132}\text{I}/^{132}\text{Te}$, ^{133}I) 吸入被ばくによる 1 歳児の甲状腺等価線量(mSv)

市町村	双葉町	富岡町	楡葉町	大熊町	浪江町	南相馬市 小高区	南相馬市 原町区・ 鹿島区	飯館村
平均値 (95%UI)	5.3 (1.3, 11)	1.2 (0.3, 2.5)	2.3 (0.6, 4.7)	2.9 (0.7, 6.0)	5.7 (1.4, 12)	15 (3.7, 31)	6.3 (1.6, 13)	4.5 (1.1, 9.3)
中央値 (95%UI)	1.5 (0.4, 3.1)	0.6 (0.1, 1.2)	1.0 (0.3, 2.1)	2.4 (0.6, 5.1)	0.9 (0.2, 2.0)	16 (4.0, 33)	4.8 (1.2, 10)	5.6 (1.4, 12)
95 パーセ ンタイル (95%UI)	30 (7.5, 63)	7.5 (1.9, 16)	9.7 (2.4, 20)	9.1 (2.3, 19)	30 (7.4, 62)	25 (6.3, 53)	19 (4.9, 41)	9.1 (2.3, 19)

表 3. 甲状腺実測値に基づく TED とシミュレーションによる TED の比較

方法論	シミュレーション			甲状腺直接測定							
	¹³¹ I-TEDs (mSv) 本研究			¹³¹ I-TEDs (mSv)* Kim 等				¹³¹ I-TEDs (mSv)# Tokonami 等			
	25 パーセント ンタイル (95%UI)	中央値 (95%UI)	75 パーセント ンタイル (95%UI)	(N)	25 パー セン タイル	中央値	75 パ ーセン タイル	(N)	25 パ ーセン タイル	中 央 値	75 パ ーセン タイル
南相馬市, 1 歳児, (吸入)	2.7 (0.7, 5.7)	3.5 (0.9, 7.4)	7.4 (1.7, 15)	(31)	0	3.9*	11*	N.E.#			
小高区 1 歳児、(吸 入)	6.6 (1.6, 14)	10 (2.5, 21)	12 (3.0, 25)								
小高区、成 人 (吸入)	3.3 (0.8, 7)	5 (1.3, 11)	6 (1.5, 13)	N.E.				(32)	1.6	4	6
飯館村 5 歳児 (吸 入+水道)	1.5 (0.4, 2.9)	7 (1.9, 15)	14 (4.7, 26)	(99)	0	7.3	14.7	N.E.			
飯館村 10 歳児 (吸入 +水道)	1.2 (0.4, 2.5)	6.1 (1.6, 12)	12 (3.7, 22)	(114)	0	3.7	7.5				

*Kim 等[7]の南相馬市 1 歳児の評価値を 1.4 倍することにより、3 月 15 日曝露から 3 月 12 日曝露の場合の TED として再計算した。

#Tokonami 等[8]オリジナルデータを使い、3 月 12 日曝露として再計算した。

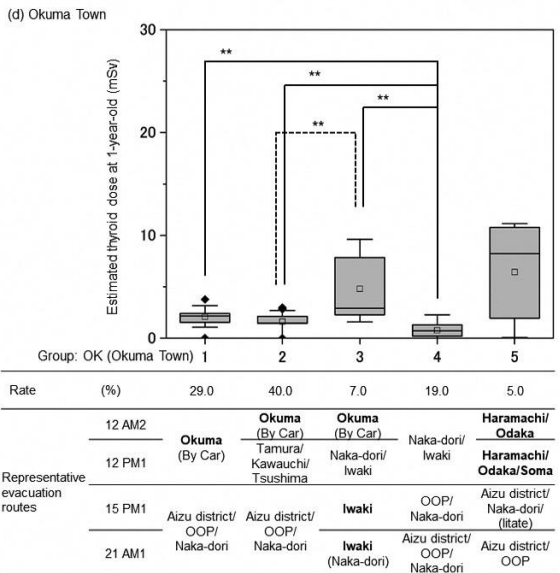
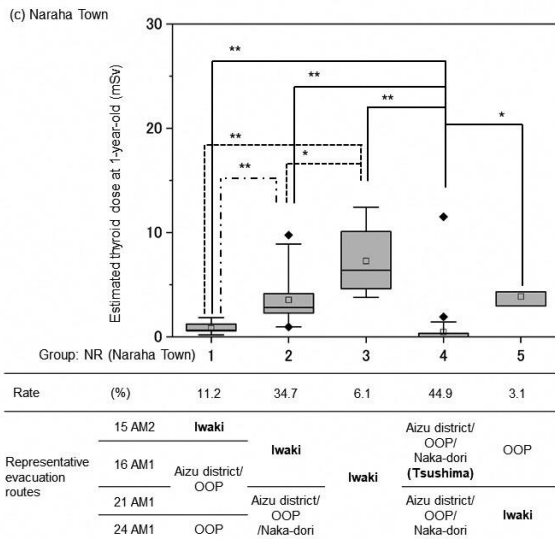
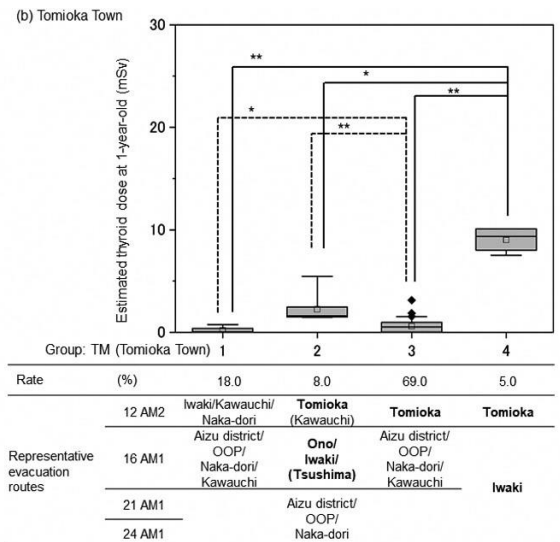
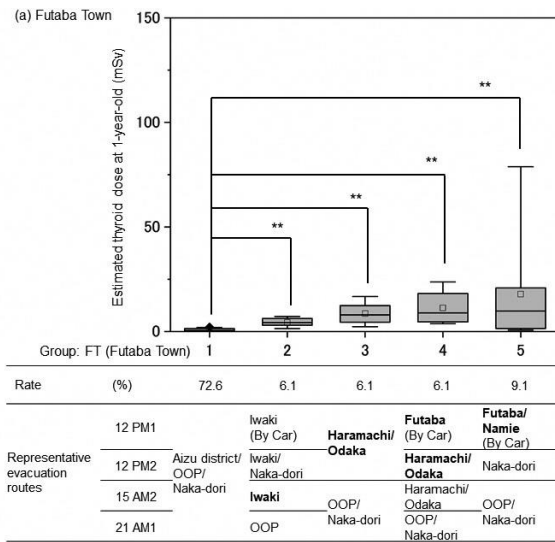


図 1. 双葉町、富岡町、楡葉町、大熊町の代表的な避難シナリオ

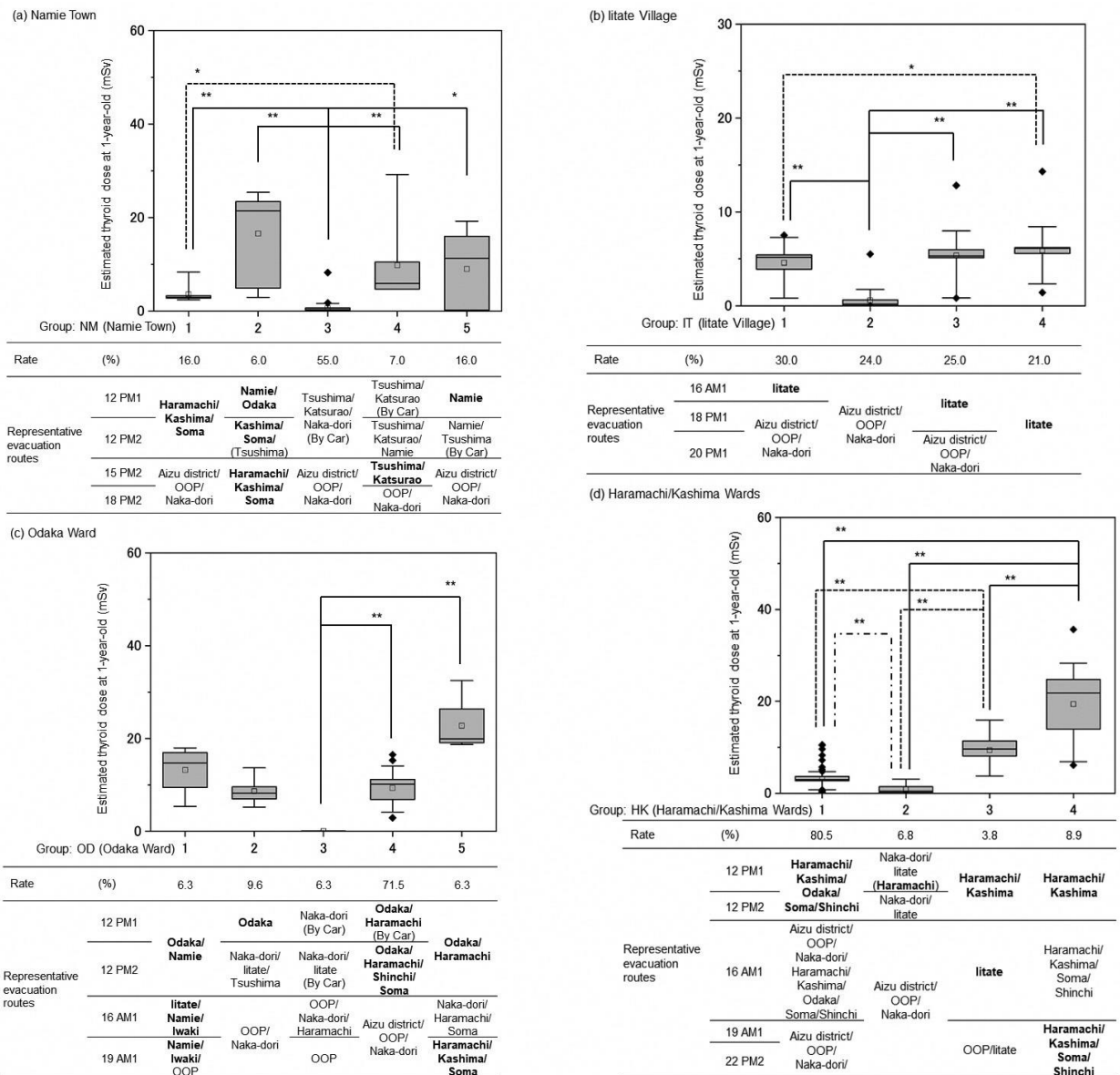


図 2. 浪江町、飯舘村、南相馬市の代表的避難シナリオ

考察

本研究では、無作為抽出した行動調査票と改訂された放射性核種の時間空間的分布データベースを用いて TED を推定した。WSPEEDI_2019DB は、複数地点の一時間毎の大気中 ^{137}Cs 濃度測定値を参照して改良されている。更に、屋内退避による吸入被ばく低減係数と日本人の甲状腺ヨウ素取り込み率の低さを反映するための線量換算係数の補正係数を取り入れて線量推計がなされている。これらの手法により私たちは ^{131}I による TED をできる限り現実的に推計した。私たちの推計値の妥当性を検討するためには、甲状腺の直接計測に基づく TED と比較することが必須である。表 3 は、WSPEEDI_2019DB と行動調査票の組み合わせで評価した TED と、甲状腺実測値に基づく TED の分布を比較したものである。

Kim 等[7]の簡易甲状腺測定データのデータで 25 パーセントイルが全て 0 mSv となっているが、解釈する場合注意が必要である。これは甲状腺に ^{131}I 活性が無かったことを意味しているのではなく、むしろ環境中のガンマ線量率が $0.12 \mu\text{Sv/h}$ と高いバックグラウンドでは甲状腺内の小さな ^{131}I 活性を検出できなかった事を意味していると考えられる。25 パーセントイルを除くと、私たちのシミュレーション・ベースの TED と甲状腺の ^{131}I 実測値ベースの TED 評価は、非常に良く整合している。この結果、WSPEEDI_2019DB と個人の行動調査票を組み合わせた線量評価が、一定の妥当性を持つことが証明された。また、Morita ら[9]が広野町からいわき市に避難し、長崎でホールボディカウンター検査を受けた 16 名の TED と、類似の避難行動をとっていた檜葉の子供 (NR2) の TED もまた、よく整合していた。

国連科学委員会 2013 年報告書[10]では、避難市町村の代表的避難シナリオとしてそれぞれ 1 ないし 2 のシナリオを使って線量評価していた。このため同じ市町村の住民の線量の分布は不明であった。行動調査票を使った個人線量の評価は、症例対照研究を実施する上で有用である。本研究は、個人線量进行评估する手法を開発し、市町村毎に異なる線量レベルの数個の避難シナリオを抽出した。これらの方法論は、将来の福島甲状腺研究に役立つであろう。

本研究は、幾つかの限界をかかえている。第 1 に大気拡散沈着シミュレーションの持つ限界である。例えば、気象場の再現性に問題が残っている。第 2 に、詳細版の行動調査票は 3 月 25 日までの行動しか記録されていないので、それ以降のプルーム曝露は評価されていない。第 3 に、事故後時間が経ってからアンケートに答えているため、行動調査票は精度に問題がある可能性がある。また、線量評価に必要な (プルームが飛んでいた時間帯の) 詳細な避難ルートは判っていない。第 4 に、個々人が屋内退避した家屋の状況は判っていない。そこで、今回は代わりに日本家屋の多様性を考慮した不確実性の分布として評価した。第 5 に、個々人の食生活や安定ヨウ素剤服用は判っていない。そこで、今回は代わりに日本人の甲状腺ヨウ素取り込み率の分布を使って不確実性の分布として評価した。第 6 に、短半減期核種の寄与割合をプルームの飛んだ日で一律に評価したが、3 月 12 日のプルームは 2 種類の混合物であり、それぞれ ^{132}Te の寄与割合は違う可能性がある。最後に、100 ないし 300 の 19 歳以下の行動調査票は各年齢階層全体を代表するとして線量評価したが、年齢階層により違う可能性がある。

結論

大気拡散沈着シミュレーションの改良、避難シナリオの見直し、日本家屋の屋内退避防護係数の導入、日本人の甲状腺ヨウ素取り込み率の低さを反映するための甲状腺等価線量換算係数の補正項の導入などにより、線量評価の不確実性を減じた結果、福島第一原子力発電所事故吸入被ばくによる甲状腺等価線量の推計値は、甲状腺直接測定に基づく甲状腺等価線量評価値とともに良く整合した。1 歳児の甲状腺等価線量の中央値と 95 パーセントイルは、それぞれ $0.6 \sim 16 \text{ mSv}$ 、 $7.5 \sim 30 \text{ mSv}$ の範囲であり、国連科学委員会 2013 年報告書

[10]の評価値より大分小さくなった。

1. Ohba, T., et al., *Reconstruction of residents' thyroid equivalent doses from internal radionuclides after the Fukushima Daiichi nuclear power station accident*. Sci Rep, 2020. **10**(1): p. 3639.
2. Terada, H., et al., *Refinement of source term and atmospheric dispersion simulations of radionuclides during the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station accident*. J Environ Radioact, 2020. **213**: p. 106104.
3. Kudo, T., et al., *Determination of the Kinetic Parameters for ¹²³I Uptake by the Thyroid, Thyroid Weights, and Thyroid Volumes in Present-day Healthy Japanese Volunteers*. Health Phys, 2020. **118**(4): p. 417-426.
4. Hirouchi, J., Takahara, S., Komagamine, H., Munakata, M. *Investigation of reduction factor of internal exposure for sheltering in Japan*. 2018.
5. Ohba, T., et al., *Body Surface Contamination Levels of Residents under Different Evacuation Scenarios after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident*. Health Phys, 2017. **113**(3): p. 175-182.
6. Miyatake, H., et al., *Estimation of internal dose from tap water after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station accident using newly obtained data*. J Radiat Res, 2020. **61**(2): p. 231-236.
7. Kim, E., et al., *Reassessment of Internal Thyroid Doses to 1,080 Children Examined in a Screening Survey after the 2011 Fukushima Nuclear Disaster*. Health Phys, 2020. **118**(1): p. 36-52.
8. Tokonami, S., et al., *Thyroid doses for evacuees from the Fukushima nuclear accident*. Sci Rep, 2012. **2**: p. 507.
9. Morita, N., et al., *Spatiotemporal characteristics of internal radiation exposure in evacuees and first responders after the radiological accident in fukushima*. Radiat Res, 2013. **180**(3): p. 299-306.
10. UNSCEAR 2013 Report, V., *Levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident after the 2011 great east-Japan earthquake and tsunami*. 2014.