福島小児甲状腺がんと FHMS 外部被ばく線量・UNSCEAR 実効線量との相関
―福島第一原発事故後６年間で明らかになったこと―

加藤聡子論文[1]-[3]からの考察

大平氏ら福島県立医大グループは福島県民健康調査（FHMS）の一環として実施された超音波甲状腺スクリーニングの１巡目（2011-2013 年度）の結果から、事故後の 4 年間では甲状腺がんの発見率と外部被ばく線量の地域差とは相関がない事を報告した。[4]　加藤はこの論文への反論に於いて、２巡目（2014-2015 年度）、および１・２巡目（2011-2015 年度）の解析から、原発事故後 6 年間の小児甲状腺がん発見率（１巡目・２巡目のがん発見率の和）は外部被ばく線量増加と共に直線的に増えていくことを明らかにした。[1]　福島の甲状腺がん発生が事故による被ばくと関係していることを強く示唆する結果であった。
反論と同時に Epidemiology 誌に掲載されている大平氏らの回答[5]も参照しながら、原発事故後 6 年間の甲状腺がん発見率と被ばく線量の関係を、FHMS「基本調査」に基づく外部被ばく線量、原子放射線の影響に関する国連科学委員会（UNSCEAR）による１０歳児の実効線量との関係を解析する。さらに福島健康調査（FHMS）報告の４地域区分（F モデル）と福島健康調査 1 巡目実施時期による４地域区分（S モデル）に基づく解析も行って、甲状腺がん発見率と被ばく線量との関係を総合的に考察する。

１．大平氏ら提案の外部被ばく線量の比率による地域区分からの解析

ここでは２つのモデルでの解析結果を示す。

1.1　OM モデルによる解析

大平論文［4］の Figure 1 の地図区分、P’(A)> 66% > P’(B) > 55.4% > P’(C) > 5.7% >P’(D) > 0.67% > P’(E)（P’ は外部被ばく線量が 1 mSv を超える甲状腺検査被験者の比率）は、福島健康調査基本調査からの区分とは一致しない。［1］ OM モデルでは 1＝C 原発周辺を含む地域、大平論文による A, B 地域を中通り地域 2=A+B 地域、浜通り 3＝D、会津 4＝D の 4 地域とし、解析結果を図 1 に示す。

・1 巡目ではがん発見率と FHMS 外部線量、UNSCEAR 実効線量との相関が見えず、[4]の結果と一致する。
・1 巡目＋2 巡目では、がん発見率が実効線量に対して直線的に増える線形相関（p=0.008）があり、2 巡目では弱い(p=0.09)の線形相関がみられる。
・がん発見率が FHMS 外部被ばく線量に応じて増える傾向が 1 巡目+2 巡目で見られるが、2 巡目では近似直線からのずれが大きい。FHMS 外部線量－UNSCEAR 実効線量間の相関（B）で、避難地域 1 の外部線量評価が中通り 2 より相当低いため線型近似直線からずれる傾向と一致している。

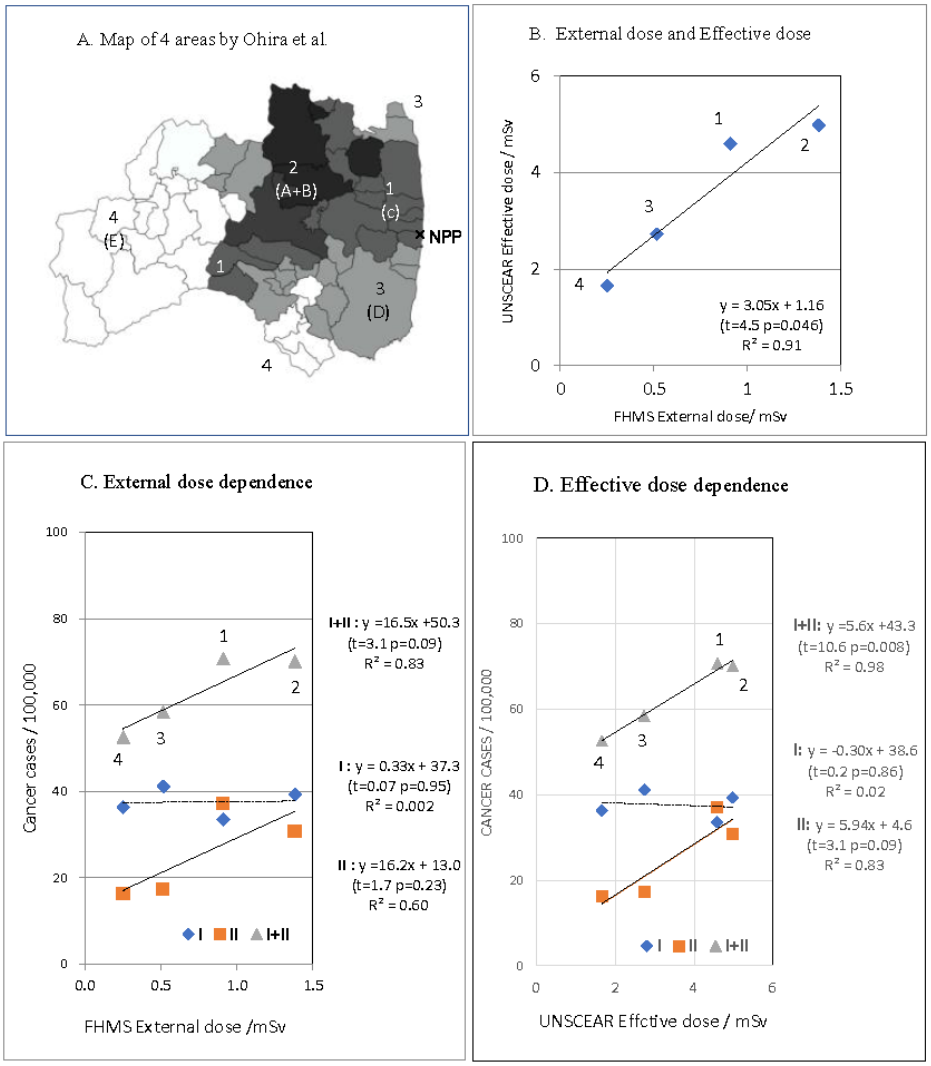

図１．大平論文４地域区分 OM モデルによる解析結果

A. 4 地域区分地図　B. FHMS 外部線量と UNSCEAR 実効線量の相関 C. がん発見率と FHMS 外部線量の相関　D. がん発見率と UNSCEAR 実効線量の相関　各検査に対する線型近似の回帰式、傾き係数に対する t-及び p-値（有意 F-値）、寄与率 R2 値を右枠内に記した。

1.2　O モデルによる解析

「基本調査」の外部被ばく線量が 1mSv を超える住民比率 P に対する条件 P(O2) ≥ 55.4% > P(O1) ≥ 5.7% > P(O3) ≥ 0.90%> P(O4)で分割された 4 地域区分による解析[2]を図２に示す。OM モデルと O モデルの地域区分には大きい差はない。

O モデルによるがん発見率と FHMS 外部線量および UNSCEAR 実効線量との相関では

・1 巡目　相関なし（[4]と一致）

・2 巡目、1 巡目＋2 巡目：がん発見率は地域の FHMS 外部被ばく線量、UNSCEAR 実効線量の双方に顕著な線型相関（直線的に増える）が見られる。

・O モデルでは FHMS 外部線量と UNSCEAR 実効線量の相関はよい。(p=0.048)

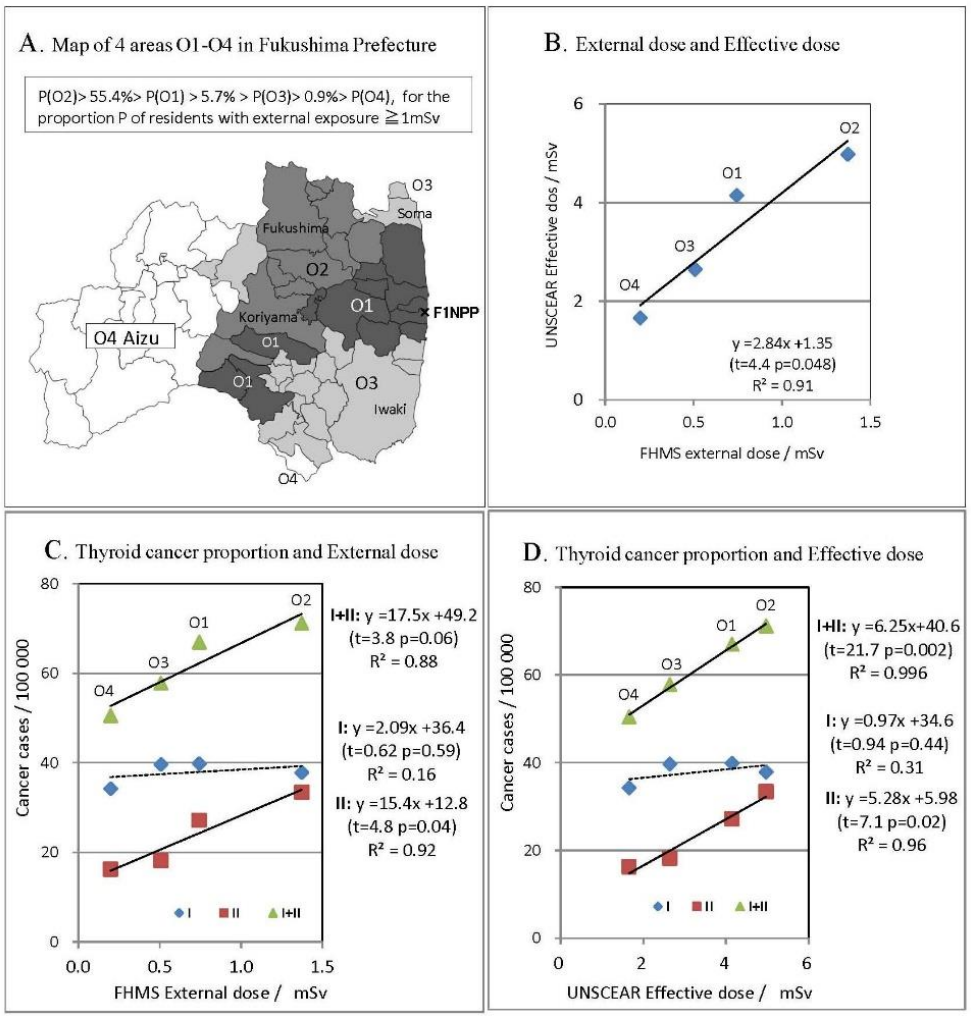

図２．外部被ばく線量≧1 mSv の住民比率で分けられた O モデルによる解析結果
A. 4 地域区分地図　B. FHMS 外部線量と UNSCEAR 実効線量の相関 C. がん発見率と FHMS 外部線量の相関　D. がん発見率と UNSCEAR 実効線量の相関

２．福島健康調査（FHMS）報告の４地域区分（F モデル）による解析[3, 6]

F モデル（1 避難区域等 13 市町村 2 中通り 3 浜通り(いわき・相馬)　4 会津の 4 地域区分）による解析結果を図３に示す。

・本来一致すべき FHMS 外部線量と UNSCEAR 実効線量の相関はよくない。(p=0.16)
（避難地域 1 の外部線量評価が中通り 2 より相当低い）

・がん発見率と UNSCEAR 実効線量の相関
1 巡目　相関なし（[6]と一致）
2 巡目と 1 巡目＋2 巡目では　がん発見率が実効線量に比例して増える線型相関

(p=0.075, p=0.044)　があった。

・がん発見率と FHMS 外部線量の相関は低い。2 巡目 (p=0.41)、1 巡目＋2 巡目 (p=0.34)
避難地域の外部線量評価が低いため線型近似直線から大幅にずれる傾向）

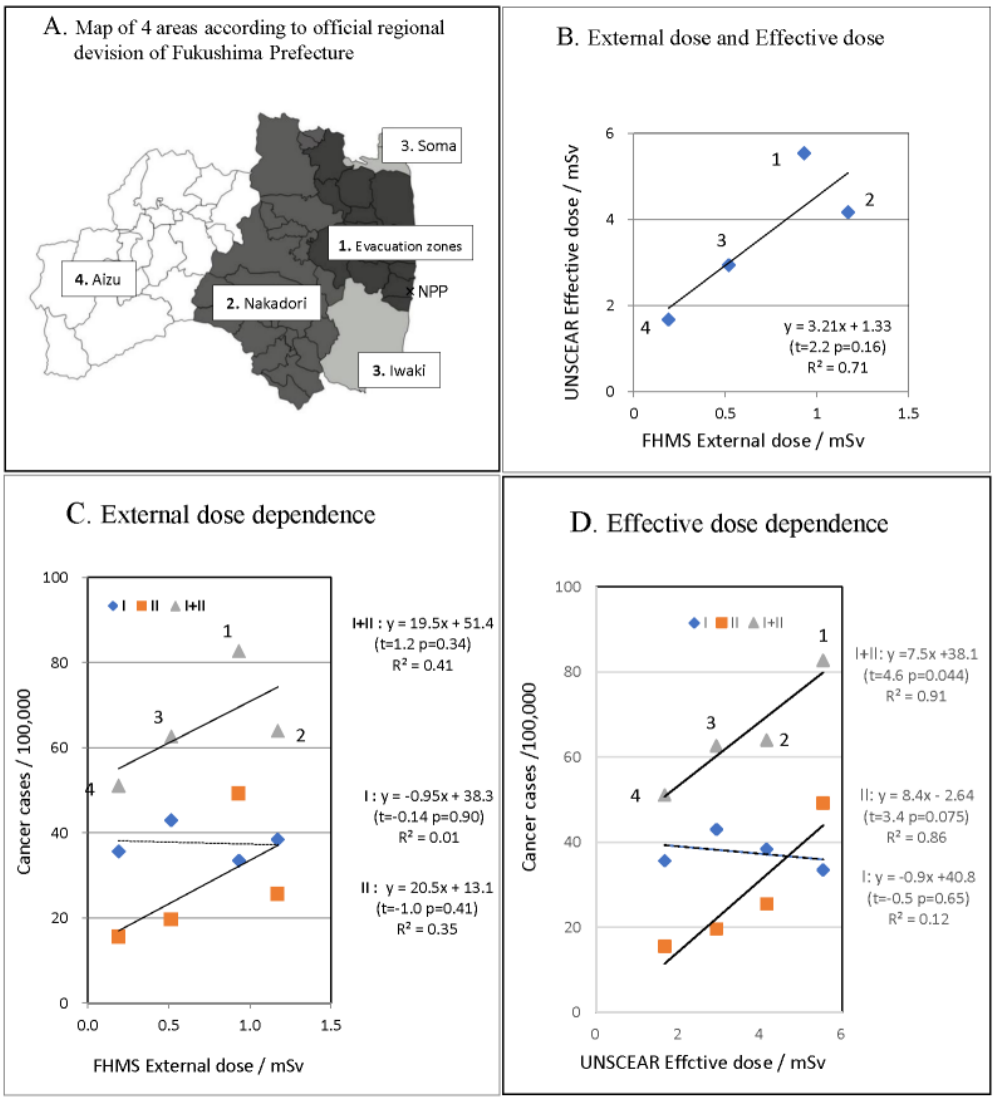

図３．福島健康調査における 4 地域区分、F モデルによる解析結果

A. 4 地域区分地図　B. FHMS 外部線量と UNSCEAR 実効線量の相関

C. がん発見率と FHMS 外部線量の相関　D. がん発見率と UNSCEAR 実効線量の相関

３．福島健康調査 1 巡目検査実施時期による 4 地域区分（S モデル）による解析[2, 7]

鈴木論文[7]が採用している検査年度による 4 地域区分の事故後 6 年間の甲状腺がん発見率と被ばく線量との関係を図 4 に示した。

・4 地域区分は　S1: 避難地域等 13 市町村(2011 年度実施)　S2 中通り(2012 年度)　S3 浜通りいわき・相馬(2013 年度前半)　S4 会津(2013 年度後半)

・FHMS 外部線量と UNSCEAR 実効線量の相関は低い (p=0.14)
外部線量は 2>1>3>4 の順に、実効線量とがん発見率は 1>2>3>4 の順に減少
避難地域の外部線量評価が中通りより相当低い
・がん発見率と FHMS 外部線量の相関は低い。2 巡目 (p=0.41)、1 巡目＋2 巡目 (p=0.28)
避難地域の外部線量評価が低いため線型近似直線から大きくはずれる傾向
・がん発見率と UNSCEAR 実効線量の相関
1 巡目　相関なし（[7]と一致）
1 巡目＋2 巡目　がん発見率と実効線量の間に線型相関 (p=0.02) が顕著
2 巡目でも実効線量に伴って直線的に増える傾向がみられる。(p=0.08)

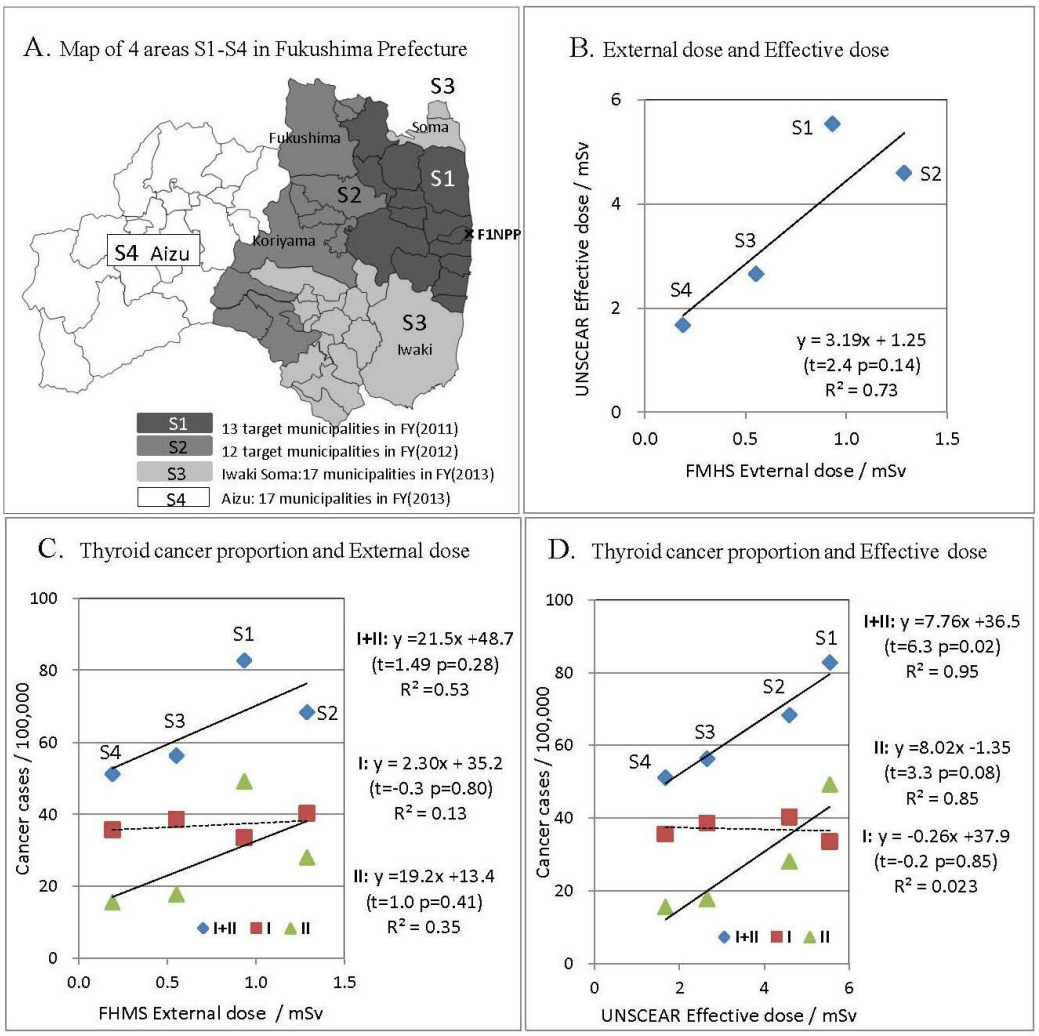

図３．１巡目検査実施時期による４地域区分、S モデルによる解析結果
A. 4 地域区分地図　B. FHMS 外部線量と UNSCEAR 実効線量の相関
C. がん発見率と FHMS 外部線量の相関　D. がん発見率と UNSCEAR 実効線量の相関

結論

1）本研究では、原発事故から６年間の小児甲状腺がん発見の地域依存性について、福島県「県民健康調査」検討委員会で検討された避難区域、中通り、浜通り、会津の4地域区分（F モデル）、1巡目検査実施時期による区分（S モデル）、大平氏らFHMS グループによる区分に基づいた OM モデル、0 モデルの４つのモデルで地域被ばく線量との相関を解析した。原発事故から４-６年の小児甲状腺がん発病率（２巡目）と事故６年後の有病率（1巡目発見率＋2巡目発見率）が２つの独立な被ばく線量推計、FHMS 外部被曝線量および UNSCEAR 実効線量増加と共に直線的に増えていく傾向を示すことが多くの例で判明した。

（外部被ばく線量　0.2~1.4mSv 領域　実効線量　2~5mSv 領域）

福島の甲状腺がん発生が事故による被ばくと関係していることを強く示唆している。

2）1巡目ではがん発見率の地域差はすべてのモデルで見られず、FHMS グループからの１巡目についての結論「甲腺がんの発見率と外部被ばく線量の間には相関がない」と一致した。[4, 6, 7]　これは汚染度の高い地域から検査を開始したため、原発事故から検査までの経過期間が短い高汚染地域（経過期間 1.4 年）の発症数が低線量地域（会津の経過期間 2.8 年）と比較して抑えられ、高線量被ばくによる患者数の増加と相殺して地域差が見えなくなったと考えられる。第 8 回福島県「甲状腺検査評価部会」において 2 巡目結果の 1 巡目からの検査間隔による発見率の調整がなされた。1 巡目結果についても、原発事故から 1 巡目検査までの期間について調整すれば、被ばく線量との相関が現れるであろう。

3）高精度超音波スクリーニングによる甲状腺がんの発見率は被ばく線量に依存することはないので、福島県の甲状腺がんをスクリーニング効果のみで説明することは不可能である。

4）ここでは 4 モデルにおける甲状腺がん発見率、FHMS 外部線量、UNSCEAR 実効線量の３者の間の相関を調べた。本来一致すべき FHMS 外部線量と UNSCEAR 実効線量の間の相関は地域区分によっては相当低く、O モデル、F モデル、S モデルの３モデルで、がん発見率と UNSCEAR 実効線量の相関より低かった。線量評価の不確実さが線量－反応関係に影響して相関が現れなくなることが判明した。

がん発見率－UNSCEAR 実効線量相関　＞　FHMS 外部線量－UNSCEAR 実効線量相関

5）UNSCEAR による１０歳児の甲状腺線量についても甲状腺がん発見率との相関を調べたが、ほとんど相関は見られなかった。甲状腺被ばくの直接測定がほとんど実施されず、8 日の半減期のために後からの再現が不確実さを多く含むことから、現時点ではがん発生率の甲状腺線量との定量解析は困難であろう。

References

[1] Kato T. 2019. Re: Associations between Childhood Thyroid Cancer and External Radiation Dose After the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident. Epidemiology 30: e9–e11 https://journals.lww.com/epidem/Fulltext/2019/03000/Re__Associations_Between_Childhood_Thyroid_Cancer.26.aspx

[2] Kato T. Dose dependence of pediatric thyroid cancer prevalence in the 6 years after the Fukushima nuclear power plant accident Adv Pediatr Res 6:28. doi:10.35248/2385-4529.19.6.28 https://www.longdom.org/articles/dose-dependence-of-pediatric-thyroid-cancer-prevalence-in-the-6-years-after-the-fukushima-nuclear-power-plant-accident.pdf

[3] Kato T. Area Dose Response of Prevalent Childhood Thyroid Cancers after the Fukushima Nuclear Power Plant Accident Clinical Oncology and Research| ISSN 2613-4942 DOI: 10.31487/j.COR.2019.06.16 https://www.sciencerepository.org/articles/area-dose-response-of-prevalent-childhood-thyroid-cancers-after-the-fukushima-nuclear-power-plant-accident_COR-2019-6-116.pdf

[4] Ohira T, Takahashi H, Yasumura S, et al. for the Fukushima Health Management Survey Group. Associations between Childhood Thyroid Cancer and External Radiation Dose after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident. Epidemiology, 2018; 29: e32–e34 https://journals.lww.com/epidem/Fulltext/2018/07000/Associations_Between_Childhood_Thyroid_Cancer_and.28.aspx

[5] Ohira T, Takahashi H, Yasumura S, The Authors Respond. Epidemiology: March 2019; 30 (2): p e11 https://journals.lww.com/epidem/Fulltext/2019/03000/The_Authors_Respond.27.aspx

[6] Suzuki S, Suzuki S, Fukushima T, Midorikawa S, et al. for the Fukushima Health Management 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: 843-851. https://www.liebertpub.com/doi/10.1089/thy.2015.0564

[7] Suzuki S. Childhood and adolescent thyroid cancer in Fukushima after the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident: 5 years on. Clin Oncol. 2016; 28: 263–271 http://www.clinicaloncologyonline.net/article/S0936-6555(16)00002-9/pdf