

<原著>

住民中心の安定ヨウ素剤予防服用体制の構築のための 有害事象を考慮した放射線リスク低減分析

渡邊直行¹⁻³⁾

¹⁾ 神奈川県小田原保健福祉事務所足柄上センター

²⁾ 前群馬県健康福祉部健康福祉課（前橋市保健所）

³⁾ 国立保健医療科学院研究課程

Radiation risk reduction analysis considering related adverse events for establishment of people-centred stable iodine prophylaxis

WATANABE Naoyuki¹⁻³⁾

¹⁾ Kanagawa Prefectural Ashigara-Kami Centre for Public Health and Welfare

²⁾ Previous Gunma Prefectural Office Health and Welfare Department Health and Welfare Section
(Maebashi City Health Centre)

³⁾ National Institute of Public Health Advanced Research Course

抄録

目的：原子力発電所等に事故が生じた場合、放射性ヨウ素が環境中へ放出することがある。それが呼吸や飲食物を通じて人体に取り込まれると甲状腺に集積し、放射線被ばくにより数年～数十年後に甲状腺がんを発生させる可能性がある。だが安定ヨウ素剤を服用すれば甲状腺内部被ばくを低減させることができる。本研究では、性別および年齢階層別の甲状腺がん発症リスクを考慮したリスク・ベネフィット分析と介入シミュレーションから、地域における住民中心の安定ヨウ素剤予防服用体制の構築等について考察する。

方法：利用できるデータより低LET電離放射線の急性甲状腺被ばくによる甲状腺がん過剰発症数、そして甲状腺がん発症の生涯リスクを性別および年齢階層別に推測する。安定ヨウ素剤服用に係る正味のベネフィットが得られると考えられる、介入レベルとなる甲状腺予測等価線量をリスク・ベネフィット分析から算出する。さらに、仮想地域における安定ヨウ素剤服用の介入シミュレーションから、甲状腺がん発症数、安定ヨウ素剤予防服用に関連する有害事象の発生数を予測する。

結果：被ばく時5歳未満の女兒や男児において、単位甲状腺等価線量（1 Sv）あたりの生涯甲状腺がん発症リスクが、1,000人あたりでそれぞれ10.5と3.3と最大となる。介入レベルとなる甲状腺予測等価線量は、有害事象の程度が重篤になるほど、そして服用による被ばく低減に係る効果が高いほど小さくなった。地域介入シミュレーションでは、生涯リスクが小さい高齢者グループで有害事象の予測発生数が増えることが示された。

結論：安定ヨウ素剤服用は、地域の住民を一括して対象とするよりも性別や年齢を考慮して住民のなかでも生涯リスクが大きいグループを服用対象とすることもできる。しかし、それには緊急時の医療体制や期待される効果等、地域で考慮しなければならない事情があり、地域行政機関と地域住民の間でリスクコミュニケーションを介して協働的にそれらを明確化する必要がある。そして、地域住民が納得できる、地域特性に合致した安定ヨウ素剤予防服用の体制、すなわち住民中心の安定ヨウ素剤予

連絡先：渡邊直行

〒258-0021 神奈川県足柄上郡開成町吉田島2489-2

2489-2 Yoshidajima Kaisei-Machi, Ashigarakami-Gun, Kanagawa-Ken 258-0021, Japan.

Tel: 0465-83-5111

Fax: 0465-82-8408

E-mail: watanabe.368j@pref.kanagawa.jp

[令和2年1月16日受理]

防服用の体制を構築すべきである。

キーワード：安定ヨウ素剤予防服用，生涯甲状腺がん発症リスク，予防服用関連有害事象，リスク・ベネフィット分析，リスクコミュニケーション

Abstract

Objectives: In case that an accident occurs at a nuclear power plant etc., radioactive iodine may be released into the environment. When it is taken into the human body through breathing or food and drink, it accumulates in the thyroid gland and may cause thyroid cancer after several years to several decades due to radiation exposure. However, taking stable iodine can reduce internal thyroid exposure. In this study, it is discussed the establishment of people-centred stable iodine prophylaxis from the view point of risk-benefit analysis and interventional simulation in local areas, based on gender and age-specific thyroid cancer risk.

Methods: The number of excess thyroid cancer incidence from acute thyroid exposure to low LET ionizing radiation and the lifetime thyroid cancer risk per equivalent dose for gender and age at the time of exposure were estimated. The predicted equivalent dose of thyroid, providing at all times the net benefit of taking stable iodine, as an interventional level was calculated from a risk-benefit analysis. Furthermore, the number of thyroid cancer occurrences and the incidence of adverse events related to taking stable iodine were predicted from the interventional simulation of stable iodine prophylaxis in two virtual areas.

Results: The lifetime thyroid cancer risk per thyroid equivalent dose unit (1 Sv) was highest at 10.5 and 3.3, respectively, per 1,000 people, in female children and male children under 5 years of age at the time of exposure. The predicted equivalent dose of thyroid as an intervention level decreased with increasing severity of adverse events, and increased with decreasing the effect of risk reduction. The interventional simulations showed that the predicted number of adverse events could be higher in elderly groups albeit the low lifetime risk.

Conclusions: The stable iodine prophylaxis may be applied for the groups with a greater lifetime risk among the residents, based on the gender and age-factors, but not for all of the residents. However, there are circumstances that must be taken into consideration in local areas, such as available emergency medical system at nuclear accidents and the expectable interventional effects, and it is necessary to address them cooperatively through risk communications between local government agencies and residents. A stable iodine prophylaxis system that matches the characteristics of local areas and may be understood by the residents, namely a people-centred stable iodine prophylaxis system should be established.

keywords: stable iodine prophylaxis, life time thyroid cancer risk, prophylaxis-related adverse events, risk-benefit analysis, risk communication

(accepted for publication, January 16, 2020)

I. 緒言

国際原子力機関 (International Atomic Energy Agency, IAEA) は、原子力災害時の緊急時対応体系について、放射線防護の原則を順守し組織反応と確率的影響を予防や低減するために包括的な考え方を示し、一般的基準 (Generic Criteria, GC) を設定している[1]。運転中もしくは停止直後の原子力発電所等では、事故が生じた場合、放射性ヨウ素を含む核分裂生成物等が環境中へ放出されることがある。放射性ヨウ素が呼吸や飲食物を通じて人体に取り込まれると、甲状腺に集積し、放射線被ばくにより数年～数十年後に甲状腺がんを発生させる可能性がある[2]。しかし、放射性ヨウ素を体内摂取する恐れがあるヒトが安定ヨウ素剤を服用することで甲状腺内部被ばくを低減させ、甲状腺がん発症リスクを小さくで

きることを期待される[3,4]。このため、安定ヨウ素剤服用により甲状腺のヨウ素取り込みを阻止する方法が、原子力事故等における一つの緊急放射線防護措置とされている[1,4]。IAEAのガイドラインは安定ヨウ素剤服用のGCとして、放射性ヨウ素による小児甲状腺等価線量が発災から最初の7日間で50 mSvになる予測線量を他の緊急防護措置とともに包括的判断基準として示している[1]。

我が国では、平成11年9月30日に(株)JCOウラン加工工場において発生した臨界事故を契機に原子力施設等の防災対策の見直しが行われ、当時の内閣府原子力安全委員会から緊急被ばく医療とともに安定ヨウ素剤予防服用のあり方が示された[5]。平成23年3月11日の東北地方太平洋沖地震に伴う東京電力福島第一原子力発電所事故後、原子力規制庁により安定ヨウ素剤の配布や服用に

ついて見直しが行われた[6]. 国の中央防災会議による防災基本計画では、第12編「原子力災害対策編」第1章「災害予防」第5節「迅速かつ円滑な災害応急対策、災害復旧への備え」4「救助・救急、医療、安定ヨウ素剤の予防服用及び消化活動関係」(3)「安定ヨウ素剤の予防服用関係」において、①地方公共団体は、国[原子力規制委員会]の判断を踏まえ、速やかに安定ヨウ素剤を服用できるよう、事前配布の実施、避難経路近傍等における備蓄、緊急時の配布集団の準備などの必要な措置を講じるものとする、②地方公共団体は、UPZ (Urgent Protective Action Planning Zone, 緊急時防護措置を準備する区域、原子力施設から概ね30 kmを目安とする重点区域) においても、PAZ (Precautionary Action Zone, 予防的防護措置を準備する区域、原子力施設から概ね5kmを目安とする重点区域) と同様に予防的な避難を行う可能性のある地域など、緊急時に安定ヨウ素剤を配布することが困難と想定される地域に関しては、自らの判断で、平時に事前配布を行うことができるものとして定められている[7].

国の防災基本計画を受け、地方公共団体は地域防災計画を定める。原子力施設等が在る地方公共団体では、地域防災計画の原子力災害対策編の中にPAZおよびUPZに居住する地域住民に対する安定ヨウ素剤予防服用の体制を組み入れ、実際の服用に備えている。しかし、平時から「どのくらいの甲状腺がん発症のリスクが地域住民にあるのか」、「安定ヨウ素剤の服用のタイミングはいつなのか」、「安定ヨウ素剤を服用することでどのくらいの副作用があるのか」、「副作用にどのように対応すべきなのか」などについて安定ヨウ素剤服用体制の主体である地方公共団体が地域におけるシミュレーションを介して、地域住民が納得できる体制を住民とともに構築することも重要ではないかと考えられる。

本研究では、地域における安定ヨウ素剤予防服用(1回、規定用量)[6]に係るリスクの可視化を図り、安定ヨウ素剤予防服用のあり方について理解を深めるために、はじめに、利用可能な日本人のデータを活用する中で線エネルギー付与 (Linear-Energy Transfer, LET) の低い (Low LET) 放射線被ばくによる甲状腺がん過剰発症数 (Excess Thyroid Cancer Incidence) を、被ばく時間経過後 (Time-Since-Exposure, TSE) 関数について考慮した甲状腺がん過剰相対リスク (Excess Relative Risk, ERR) モデル[8]に基づき求める。そして、性別年齢階級別生涯甲状腺がん発症リスク (Lifetime Thyroid Cancer Risk) を計算する。次に、文献的調査により推測した安定ヨウ素剤予防服用に関連する有害事象 (Prophylaxis-Related Adverse Events, PRAE) の発生割合を用いて、安定ヨウ素剤予防服用という介入行為が正当化されるGCを介入レベルとするリスク・ベネフィット分析 (Risk-Benefit Analysis) [3]から計算する。さらに、安定ヨウ素剤予防服用の介入シミュレーションを男女別の年齢割合を仮想した地域において小児甲状腺予測等価

線量50 mSvを介入レベルとする条件で実施して対象住民の甲状腺がん発症リスクおよび服用に関連する有害事象の発生数を予測する。そして、住民中心の安定ヨウ素剤予防服用 (People-Centred Stable Iodine Prophylaxis) 体制の構築について考察する。

II. 方法

1) 利用可能な日本人データから以下のパラメータを用い年齢階級別性別生涯甲状腺がん発症リスク (Lifetime Thyroid Cancer Risk) (1,000人あたりの発症数) を算出する。

(1) 性別・年齢5歳階級別甲状腺がん発症数 (100,000人あたりの発症数)

1985~2012年における地域がん登録全国推計によるがん罹患データ[9]から性・年5歳階級別甲状腺がんの平均罹患数 (100,000人あたり) として求める。

(2) 性・年齢5歳階級平均粗死亡率 (100,000人あたり)

① 全国人口

1985~2012年における総務省推計人口 (性・年齢5歳階級別) [10]

② 全国全死因死亡数

1985~2012年における人口動態調査 (性・年齢5歳階級別全死亡数) [11]

下巻 死亡 第1表-1 死亡数, 性・年齢 (5歳階級)・死因 (三桁基本分類) 別

(3) 低LET放射線被ばくによる甲状腺がん過剰発症数 (1,000人あたりの発症数)

ここでは、NCRP (2008) 報告書の以下のモデル3: 被ばく後経過時間 (TSE) を考慮した過剰相対リスク (Excess Relative Risk) [8]を以下の条件で用いる。

$$R \times 11.7 \times D \times A_E \times T_C$$

R: 上記(1)の1985~2012年における地域がん登録全国推計によるがん罹患データから相加平均して求めた100,000人あたりの性別・年齢階級別甲状腺がん発症数であり、バックグラウンドとしての甲状腺がん罹患数となる。

11.7: 甲状腺の単位吸収線量 (Gy) あたりの甲状腺がん過剰相対リスク (ERR) であるが、 β 線や γ 線の放射線加重係数を1として、1 Gy = 1 Sv とすることで、内部被ばくによる単位甲状腺等価線量 (Sv) あたりの甲状腺がん過剰相対リスク (ERR) と仮定する。

D: 甲状腺の吸収線量 (Gy) であるが、 β 線や γ 線の放射線加重係数を1として、ここでは内部被ばくによる甲状腺の等価線量 (Sv) と仮定する。

A_E : 被ばく時年齢に係る係数 (表1)

T_C : 被ばく後経過時間に係る係数 (表2)

表1 被ばく時年齢の係数 (Coefficients for Age at Exposure)

被ばく時年齢	係数
5歳未満	1
5～9歳	0.7
10～14歳	0.2
15～19歳	0.2
20～29歳	0.09
30歳以上	0.03

表2 被ばく後経過時間の係数 (Coefficients for Time Since Exposure)

被ばく後経過時間	係数
5～14年	1
15～19年	1.6
20～24年	1
25～29年	1.4
30～49年	0.394
50～59年	0.394
60～69年	0.394
70～79年	0.394
80～89年	0.394
90～99年	0.394

(4)性別・年齢階級別生涯甲状腺がん発症リスク (Lifetime Thyroid Cancer Risk) (1,000人あたりの発症数)
 0歳の男性1,000人および女性1,000人からなる集団を想定する。それぞれの集団を5歳ずつ100歳まで加齢させ、性別・年齢5歳階級別平均粗死亡率を乗算して、各性別・年齢5歳階級別の人口数から減算する [12]。

性別に、被ばく時年齢5歳階級0～4歳より5歳ずつ100歳まで加齢させ、上記の死亡率を加味した年齢5歳階級5～9歳から95～99歳までの年齢5歳階級毎の人口数に、上記(3)の低LET放射線被ばくによる甲状腺がん過剰発症数 (1,000人あたりの発症数) を乗算する。それから、年齢5歳階級5～9歳から95～99歳までの年齢5歳階級毎の甲状腺がん過剰発症数を累計して、男性および女性における0～4歳での被ばくした者の生涯甲状腺がん発症リスク (1,000人あたりの発症数) とする。

以下同様に、性別に、被ばく時年齢5歳階級5～9歳から被ばく時年齢5歳階級90～95歳までの生涯甲状腺がん発症リスク (1,000人あたり) を計算する。

2)生涯甲状腺がん発症リスクの低減を期待する安定ヨウ素剤予防服用による介入行為により正味のベネフィット (Benefit, B) が得られると考えられる性別・年齢5歳階級別の甲状腺予測等価線量をIAEA Safety Series No. 109のリスク・ベネフィット (Risk-Benefit)

分析手法 [3]を参考にして計算する。それは、介入しない場合の放射線リスクと介入行為による負の効果のバランスを考慮する概念式であり、後者が前者より大きくならないことが介入によるベネフィットがあると考える。なお、式を構成する因子は、影響を受けるヒトの数の関数であると仮定する。本研究では、甲状腺がん発症リスクを介入しない場合の放射線リスクとして、そして介入行為による負の効果を残存する甲状腺発症リスクおよびPRAEの発症として、両者のバランスを考慮する以下の式から甲状腺予測等価線量を性別・年齢5歳階級別に計算する：

$$B = (Y_0 \times D) - \{(Y \times D) + R\} > 0$$

Y_0 : 安定ヨウ素剤を服用しない場合の単位等価線量あたりの生涯甲状腺がん発症リスク (1,000人あたりの発症数)

D : 甲状腺予測等価線量 (Sv)

Y : 安定ヨウ素剤を服用 (1回, 規定用量) する場合の単位等価線量あたりの残存する生涯甲状腺がん発症リスク (1,000人あたりの発症数)

これは以下の式で表現できる。

$$Y = Y_0 \times (100 - E) / 100$$

E : 安定ヨウ素剤予防服用による介入効率

ここでは、90%、40%、7%と想定する。

R : 安定ヨウ素剤予防服用 (1回, 規定用量) の介入行為に関連する有害事象 (PRAE) の発生割合

それは、軽度、重度、そして死亡に分類してそれぞれの発生割合を文献調査により整理する。

3) 仮想地域における安定ヨウ素剤服用 (1回, 規定用量) の甲状腺等価線量の予測線量50 mSvを介入レベルとするシミュレーションにより、性別の、被ばく時年齢5歳階級毎の生涯における甲状腺がん発症数とPRAEを予測する。

使用する仮想地域データ：

A 地域：総人口65,317人 (年少人口割合5%, 老年人口割合51.8%)

B 地域：総人口64,684人 (年少人口割合12.1%, 老年人口割合20.8%)

被ばく時年齢を年齢5歳階級別として、年齢5歳階級毎の性別人口数に、性別・年齢5歳階級別生涯甲状腺がん発症リスクを乗算して、性別の、被ばく時年齢5歳階級毎の生涯における甲状腺がん発症数を予測する。

軽度のPRAEで20歳未満の場合、それぞれの年齢5歳階級毎の性別人口数に、未成年の場合のPRAEの発生割合を乗算し、また、20歳以上の場合、それぞれの年齢5歳階級毎の性別人口数に、成年の場合のPRAEの発生割合を乗算して、性別・年齢5歳階級毎

の軽度のPRAEの発生数を予測する。重度または死亡のPRAEについては、年齢5歳階級毎の性別人口数に、重度または死亡のPRAEの発生割合を乗算し、性別・年齢5歳階級毎の重度または死亡のPRAEの発生数を予測する。

本研究は動物や人体を対象としない。したがって、人権保護などへの倫理面への配慮は該当しない。

III. 結果

利用できる日本人のデータから得られた性別・年齢5歳階級別甲状腺がん発症数(100,000人あたり)が図1に示される。概して、女性の発症数は男性のそれに比べて多く、最大5倍程度大きい。男女とも、年齢とともに発症数は増加する。女性において、70~74歳階級においてそのピークが認められる。

図2に、本論文で用いたNCRP(2008)のモデル3:被ばく後経過時間(TSE)を考慮した過剰相対リスク(Excess Relative Risk) [8]を0歳児に適用し、0歳児の被ばく後経過時間(年)における甲状腺がん発症過剰相対リスク(ERR)が示されている。このモデルにおいて、

被ばく後経過15~19年および25~29年でERRはそれぞれ18.7 Sv⁻¹と16.4 Sv⁻¹と2つのピークとなり、30年以降からはそれは4.6 Sv⁻¹と一定となる特徴がある。

0歳児の低LET放射線被ばく後経過時間における性別の甲状腺がん過剰発症数(1,000人あたりの発症数)が図3に示される。被ばく後経過30年以降、ERRは一定となるが、罹患率である図1の甲状腺がん発症数に比例して男女とも甲状腺がん過剰発症数が増加する。被ばく後経過20~24年で男女ともに甲状腺がん過剰発症数の第一のピーク(男性:0.21/1,000人、女性:0.86/1,000人)がみられ、さらに、男性において被ばく後経過65~69年に、女性で60~64年と65~69年に第二のピーク(男性:0.45/1,000人、女性:0.98/1,000人)が認められる。

死亡率を考慮した、性別・被ばく時年齢5歳階級別の生涯甲状腺がん発症リスク(1,000人あたりの発症数)は図4に示される。80歳以上ではそのリスクが非常に小さいので、80~99歳についてはひとつの階級にまとめられている。生涯甲状腺がん発症リスクは男女とも被ばく時年齢の高齢化とともに小さくなる。そのため、低年齢での被ばくに係る生涯リスクは、高年齢のそれに比べて大きくなる。例えば、女性の0~4歳階級におけるリス

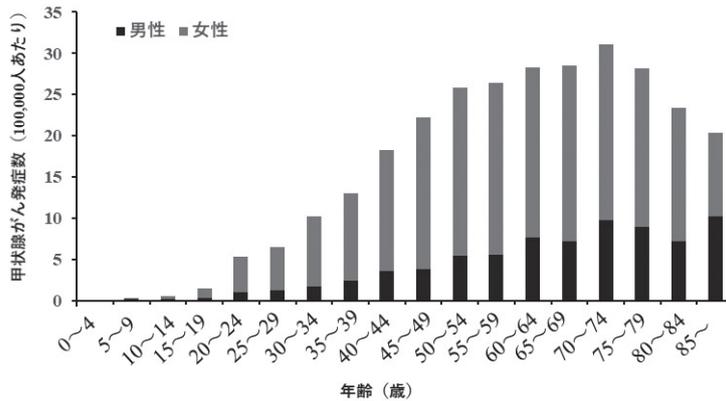


図1 性別・年齢5歳階級別甲状腺がん発症数 (100,000人あたり)

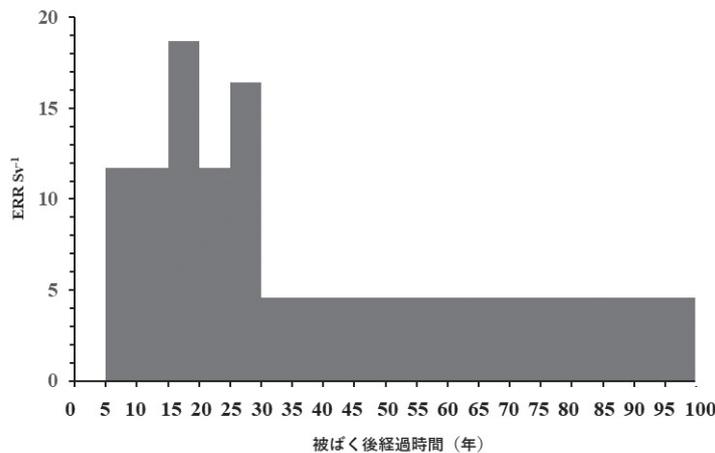


図2 0歳児の被ばく後経過時間における甲状腺がん過剰相対リスク (ERR Sv⁻¹)

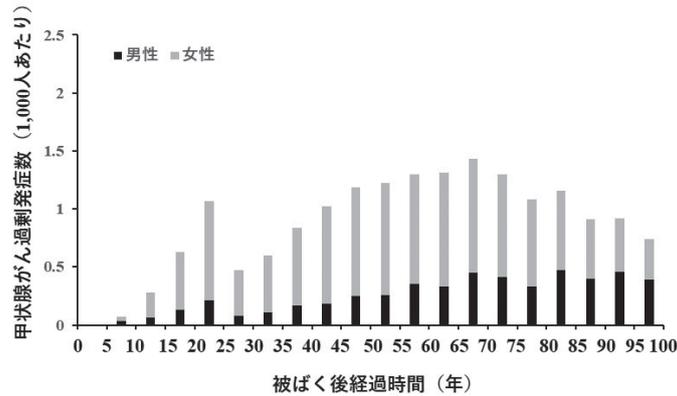


図3 0歳児の被ばく後経過時間における性別甲状腺がん過剰発症数(1,000人あたり)

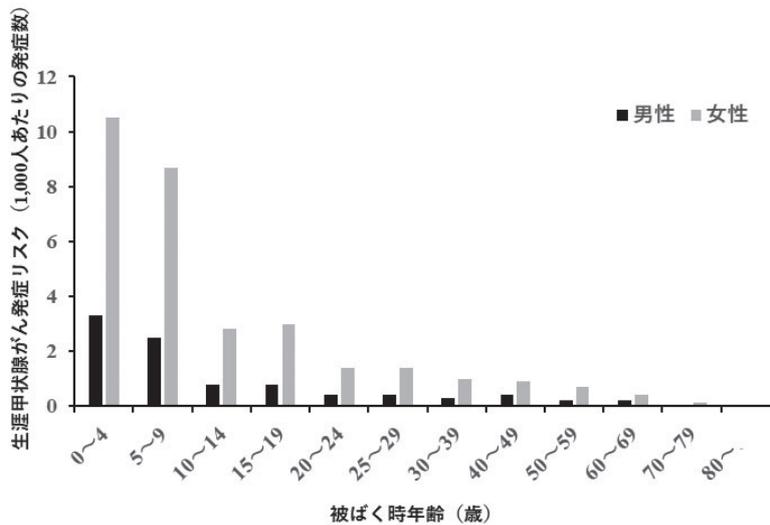


図4 被ばく時年齢における性別生涯甲状腺がん発症リスク(1,000人あたりの発症数)

クは、30~34歳階級のそれに比べて7.5倍大きく、男性の0~4歳階級では、30~34歳階級のそれに比べて8.3倍大きい。また、女性の生涯リスクは男性に比べて最大3.8倍大きい。

1986年4月のチェルノブイリ原子力発電所事故に関連した安定ヨウ素剤服用リスクについて、様々な報告があるが、ここではWHOの安定ヨウ素剤予防服用のリスク報告[13]やポーランドにおける安定ヨウ素剤服用の実際例報告など[14,15,16]を中心に服用リスクを整理した。WHOの報告書は、適切な服用量に従っていれば小児や若年成人において安定ヨウ素剤による副作用は稀であるという。ポーランドでは、内服した安定ヨウ素剤の副作用として、嘔気、嘔吐、皮疹や胃腸障害などの軽症例または一過性例の頻度は未成年(19歳以下)で3.5(1,000人あたり)、成人(20歳以上)で2(1,000人あたり)であった。死亡例は、これまで報告されていない。また、ヨウ素という視点から、非イオン性ヨード造影剤の重症副作用および死亡例の頻度調査[17]がある。そこでは、障害

につながるおそれのある症例、治療のために入院が必要となる、または入院期間が延長となる症例などと定義される重度副作用の頻度は0.04(1,000例あたり)、そして死亡症例のそれは0.0025(1,000例あたり)であった。副作用の定義が必ずしも一致していないが、本研究では、医療措置(積極的な治療など)を講じる必要がない事象を軽度のPRAE(0~19歳と20歳以上に分類)、医療措置(入院を含む)を必要とする事象を重度のPRAE(全年齢)、死亡の事象を死亡のPRAE(全年齢)として、また、非イオン性ヨード造影剤の重症副作用および死亡例では、「例」を「人」と置き換え、安定ヨウ素剤予防服用の介入行為(単回服用)に関連する有害事象(PRAE)の頻度(発生割合)として、表3に整理した。

生涯甲状腺がん発症リスクの低減を期待する安定ヨウ素剤予防服用の介入行為による正味のベネフィットが得られる甲状腺予測等価線量が、リスク・ベネフィット分析から、表4~6にまとめられている。分析の中で、介入効率を90%、40%、7%と想定した。これらの値は、実

住民中心の安定ヨウ素剤予防服用体制の構築のための有害事象を考慮した放射線リスク低減分析

表3 安定ヨウ素剤予防服用に関連する有害事象 (PRAE) の発生割合

程度	未成年	成人
軽度	3.5 (1,000人あたり)	2.0 (1,000人あたり)
重度	0.04 (1,000人あたり)	0.04 (1,000人あたり)
死亡	0.0025 (1,000人あたり)	0.0025 (1,000人あたり)

表4 安定ヨウ素剤予防服用のための介入レベル (甲状腺予測等価線量)

介入効率：90% 被ばく時 年齢 (歳)	PRAE：軽度		PRAE：重度		PRAE：死亡	
	女性	男性	女性	男性	女性	男性
0～4	370.4 mSv	1,178.5 mSv	4.2 mSv	13.5 mSv	0.3 mSv	0.8 mSv
5～9	447.0	1,555.6	5.1	17.8	0.3	1.1
10～14	1,388.9	4,861.1	15.9	55.6	1.0	3.5
15～19	1,296.3	4,861.1	14.8	55.6	0.9	3.5
20～24	1,587.3	5,555.6	31.7	111.1	2.0	6.9
25～29	1,587.3	5,555.6	31.7	111.1	2.0	6.9
30～39	2,222.2	7,407.4	44.4	148.1	2.8	9.3
40～49	2,469.1	5,555.6	49.4	111.1	3.1	6.9
50～59	3,174.6	11,111.1	63.5	222.2	4.0	13.9
60～69	5,555.6	11,111.1	111.1	222.2	6.9	13.9
70～79	15,873.0	37,037.0	317.5	740.7	19.8	46.3
80～	55,555.6	55,555.6	1,111.1	1,111.1	69.4	69.4

表5 安定ヨウ素剤予防服用のための介入レベル (甲状腺予測等価線量)

介入効率：40% 被ばく時 年齢 (歳)	PRAE：軽度		PRAE：重度		PRAE：死亡	
	女性	男性	女性	男性	女性	男性
0～4	833.3 mSv	2,651.5 mSv	9.5 mSv	30.3 mSv	0.6 mSv	1.9 mSv
5～9	1,005.7	3,500.0	11.5	40.0	0.7	2.5
10～14	3,125.0	1,0937.5	35.7	125.0	2.2	7.8
15～19	2,916.7	1,0937.5	33.3	125.0	2.1	7.8
20～24	3,571.4	12,500.0	71.4	250.0	4.5	15.6
25～29	3,571.4	12,500.0	71.4	250.0	4.5	15.6
30～39	5,000.0	16,666.7	100.0	333.3	6.3	20.8
40～49	5,555.6	12,500.0	111.1	250.0	6.9	15.6
50～59	7,142.9	25,000.0	142.9	500.0	8.9	31.3
60～69	12,500.0	25,000.0	250.0	500.0	15.6	31.3
70～79	35,714.3	83,333.3	714.3	1,666.7	44.6	104.2
80～	125,000.0	125,000.0	2,500.0	2,500.0	156.3	156.3

表6 安定ヨウ素剤予防服用のための介入レベル (甲状腺予測等価線量)

介入効率：7% 被ばく時 年齢 (歳)	PRAE：軽度		PRAE：重度		PRAE：死亡	
	女性	男性	女性	男性	女性	男性
0～4	4,761.9 mSv	15,151.5 mSv	54.4 mSv	173.2 mSv	3.4 mSv	10.8 mSv
5～9	5,747.1	20,000.0	65.7	228.6	4.1	14.3
10～14	17,857.1	62,500.0	204.1	714.3	12.8	44.6
15～19	16,666.7	62,500.0	190.5	714.3	11.9	44.6
20～24	20,408.2	71,428.6	408.2	1,428.6	25.5	89.3
25～29	20,408.2	71,428.6	408.2	1,428.6	25.5	89.3
30～39	28,571.4	95,238.1	571.4	1,904.8	35.7	119.0
40～49	31,746.0	71,428.6	634.9	1,428.6	39.7	89.3
50～59	40,816.3	142,857.1	816.3	2,857.1	51.0	178.6
60～69	71,428.6	142,857.1	1,428.6	2,857.1	89.3	178.6
70～79	204,081.6	476,190.5	4,081.6	9,523.8	255.1	595.2
80～	714,285.7	714,285.7	14,285.7	14,285.7	892.9	892.9

際には、安定ヨウ素剤の異なる内服時期によるヒトにおける放射性ヨウ素の甲状腺集積の抑制の割合を示すものである[18]。放射性ヨウ素摂取の1～2時間以内の服用であれば、最大効果が期待され、その甲状腺集積の90%以上が抑制できる[18]。逆に、10%、60%、93%がそれぞれにおける生涯甲状腺がん発症リスクの残存する割合となる。介入効率は、安定ヨウ素剤服用時期に依存するものであり、その服用時期の適切さは、服用体制における事前配布および備蓄配布のあり方に関係してくる。介入レベルとなる甲状腺予測等価線量は、一般的に、女性では男性と比べ低くなる。また、男女とも年齢0～4歳階級で介入レベルは最も小さくなる。また軽度のPRAEにおいて、その介入レベルは、重度や死亡のPRAEの場合のそれと比較して、著しく高くなる。さらに、介入効率が低下する場合、介入レベルは大きくなる。

安定ヨウ素剤予防服用のシミュレーションを実施した仮想地域Aの総人口は65,317人で、性別、年齢階級別人口は図5の(a)に、また、仮想地域Bの総人口は64,684人で、性別、年齢階級別人口は図5の(b)に示される。A地域は少子高齢化がみられる地域で、一方、B地域はそうではない地域である。介入レベルとなる甲状腺等価線量の予測線量を50 mSvとすると、安定ヨウ素剤予防服用の放射線防護措置を採らない場合、予測される生涯における甲状腺がん発症数はA地域とB地域では、それぞれ

図6の(a)と(b)ようになる。いずれの地域において男女とも0～4歳階級において発症数が他の年齢階級に比べて多くなる。A地域において、それは男性で0.08人、女性において0.28人である。B地域において、それは男性で0.24人、女性において0.73人である。A地域において甲状腺がん発症数は男性に置いて0.45人、女性において1.41人となり、B地域では、男性0.9人、女性2.64人と推測できる。一方、予測される軽度のPRAEの発症数はA地域とB地域において、それぞれ図7の(a)と(b)ようになる。軽度のPRAEの発症数は、A地域において総計138人(男性62.8人、女性75.2人)、B地域において総計146人(男性75.2人、女性70.8人)となる。また、A地域で軽度のPRAEを発症する頻度は19歳以下で19人(男性9.5人、女性9.5人)、65歳以上で73人(男性30.6人、女性42.4人)である。B地域では、19歳以下で39人(男性19.9人、女性19.1人)、65歳以上で29人(男性13.6人、女性15.4人)である。PRAEの予測発症数は年齢階級別人口の大きさに比例するので、少子高齢型の地域とそうでない地域においてPRAEを発症する年齢層が大きく異なることになる。また、生涯甲状腺がん発症リスクが小さい高齢者のグループでPRAEの予測発症数が多くなることが理解できる。重度のPRAEの予測発症数は、A地域においてその総計は男性1.2人、女性1.4人、そしてB地域において男性1.3人、女性1.3人であった。死亡の

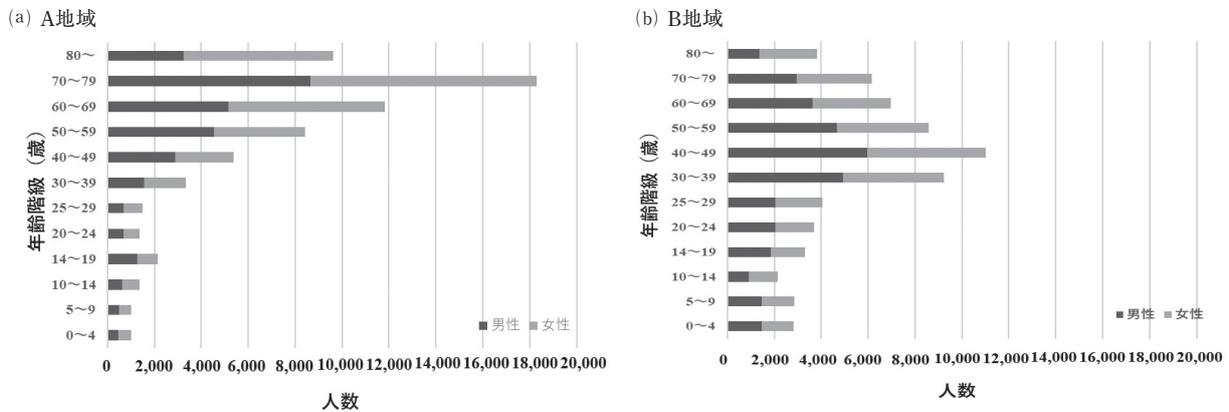


図5 仮想地域の人口構成

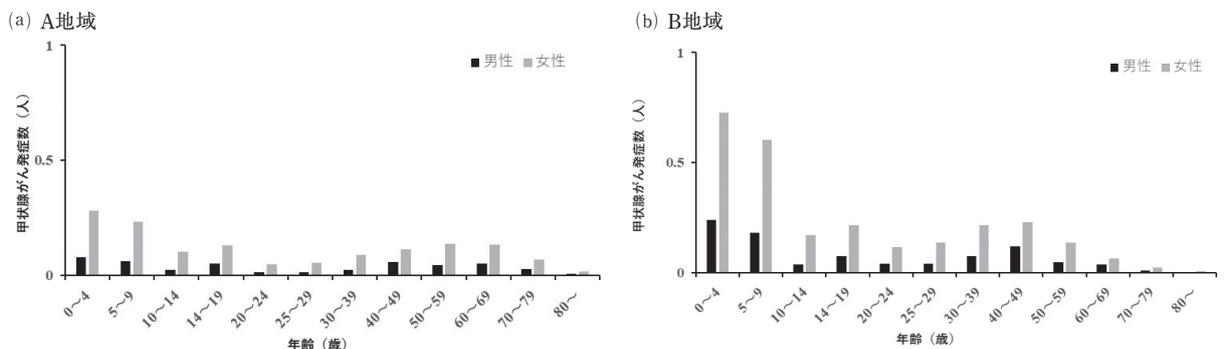


図6 甲状腺等価線量の予測線量50mSvを介入レベルとして予測される甲状腺がん発症数

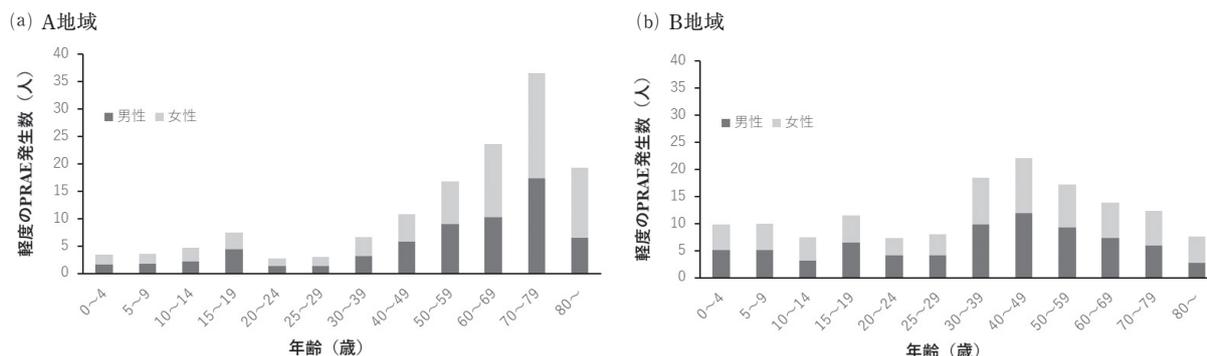


図7 安定ヨウ素剤予防服用実施で予測される軽度のPRAEの発症数

PRAEの予測発症数は、A地域においてその総計は男性0.08人、女性0.09人、そしてB地域において男性0.08人、女性0.08人であった。

IV. 考察

放射線の健康影響のひとつである被ばくによる甲状腺がん発症については、被ばく者の性別および年齢別要因が大きく関わっている[8]。それゆえ、原発事故等防災時の安定ヨウ素剤予防服用において、その対象を住民全体として一括とした、介入レベルを設定する場合、それが適切でない恐れがある。このため、リスクとベネフィットを見える化し、そのリスク・ベネフィット分析を本研究で実施した。

リスクの可視化として、相乗リスク予測モデルを日本のデータに適用し、甲状腺内部被ばくによる甲状腺がん過剰発症数から生涯甲状腺がん発症リスクを計算した。その計算過程では、照射されるエネルギー範囲を考えるとここでのβ線とγ線は同様のLETだと考えられるものの外部被ばくと内部被ばくのリスクを同じと考えるなどの仮定に基づいている。また、採用したERRモデルには性別因子がない。さらに深刻な事故で放射性ヨウ素の環境放出が続く場合は複数回の安定ヨウ素剤の投与が求められるかもしれない。このため、本研究で得られた生涯リスクは1つの参考値として考えたい。一方、NCRP (2008) 報告書では、もう一つのTSEを考慮するERRモデル(モデル4)がある[8]。それは、被ばく後経過時間の係数において、50年以降に10年間隔で係数値が半値になる。つまり、50年以降にリスクがモデル3に比べて小さくなる。モデル4による生涯甲状腺がん発症リスクは被ばく時年齢0~19歳においてモデル3より小さくなるが、20歳以降ではその差にほとんど違いがない(data not shown)。

安定ヨウ素剤予防服用に関連する有害事象、いわゆるPRAEも可視化されたリスクの一つである。このPRAEの機序は明確ではない。特異な状況で内服することになるので薬剤以外の要因(例えば、心因など)による有害事象がこれまでの報告に含まれていると推測される。

その中で、文献調査を基に、本研究において、軽度のPRAEを0~19歳と20歳以上に分類したが、重度や死亡のPRAEは全年齢に対するものとした。なお、PRAEには性別の要因は認められない。

このように可視化されたリスクやベネフィットを利用するリスク・ベネフィット分析から、安定ヨウ素剤服用の介入行為が正当化される介入レベルが対象となる住民の性や年齢により異なることが理解できる。このため、性や年齢について均一化された介入レベルでは、低年齢のグループに対して介入時期は非保守的な、高年齢のグループには保守的な結果となる。安定ヨウ素剤予防服用の対象者について、性別・年齢別に実施するのも一案であろう。その場合、20歳未満の未成年で、女性が優先されるべきであると考えられる。

本研究で用いたリスク・ベネフィット分析の式： $B = (Y_0 \times D) - \{(Y \times D) + R\}$ において、生涯甲状腺がん発症リスクの低減を期待する安定ヨウ素剤服用による介入行為が正当化されるベネフィット(B)は、介入しない場合の放射線リスクと介入による負の効果のバランスを考慮する中で、後者が前者より大きくならないことである。この式に、 $Y = Y_0 \times (100 - E)/100$ を代入して、整理すると、 $B = (Y_0 \times D \times E/100) - R$ となる。これは、ベネフィット(B)は、介入により回避できる生涯甲状腺がん発症リスクと介入により発生するPRAEのバランスを考慮することになり、後者が前者より大きくならないことにより得られることと理解できる。

それでは、リスク・ベネフィット分析にてPRAEをどのように考えるべきなのか、甲状腺がんは現在の医療をもってすれば原則的には非致死性の疾患である。このためPRAEとして、重度以上のPRAE、つまり入院加療が必要となるような場合または死亡する場合を考えると適切かもしれない。その場合、死亡のPRAEをリスクと考えると、0~4歳の女兒グループに適用される介入レベルは0.3 mSvとなる。しかし、まったく逆に考えることもできる。非致死性の疾患であるので、重度以上のPRAEではなく、軽度のPRAEをリスクとして考える方が適切であるということである。この考え方では、介入レベルは大きくなってしまふ。それは、前述の0~4歳

の女兒グループに対して370.4 mSvを適用することになる。

このように、リスク・ベネフィット分析から、対象住民の中で生涯甲状腺がん発症リスクが大きいグループを介入の対象とし、しかもそのグループに適用する甲状腺等価線量の予測線量を介入レベルとして設定することが適切であろう。

本研究では、放射線被ばくによる甲状腺の影響（放射線リスク）として、甲状腺がん発症に着目した。原子力緊急事態時に吸入や摂取された¹³¹Iによるヒトの健康影響として、甲状腺がんに加えて、甲状腺機能低下症や良性甲状腺結節が考えられる[8,19]。それらに対して、安定ヨウ素剤の予防効果等がどのくらいあるのかを検討した文献的なレビュー [19]では、安定ヨウ素剤服用が小児の甲状腺がんリスクを低減させる可能性が示唆されるが、その科学的根拠の質は高くないと報告されている。また、甲状腺機能低下症および良性結節の予防については、安定ヨウ素剤服用による有効性について対象研究がなく結論を現時点でも引き出すことができないとしている[19]。強い科学的根拠が示されているのは、服用された安定ヨウ素剤が放射性ヨウ素の甲状腺への集積を抑制すること[18,19]であると理解しておくことも重要である。

放射線被ばくによる甲状腺がん発症リスクの他に、甲状腺がんは比較的生命予後が良いので、甲状腺がん罹患したことによる障害調整生存年（Disability-adjusted Life Years, DALY）もまた、放射線リスク評価として有用であると考えられる[20]。それは、死亡以外の健康影響を考慮した指標であり、疾病等による早世によって失われた生存年数（Years of Life Lost, YLL）と、疾病等による障害によって健康でない生活を強いられた年数（Years lived with Disability, YLD）を統合した指標である。

本研究では服用直後の短期間に認められるPRAEに焦点を当ててきたが、中長期的なPRAEを考慮する必要があるかもしれない。安定ヨウ素剤はその服用により、急性のWolff-Chaikoff効果により甲状腺機能異常を引き起こす可能性がある[21]。それは、安定ヨウ素剤服用による体内での過剰量のヨウ素曝露により一時的に甲状腺ホルモン産生の減少が生じることによる[21]。その場合、甲状腺ホルモンの不足や欠乏は身体の成長に重篤な影響を与える可能性があり、服用後、中長期的な経過観察が胎児（妊婦）や小児等に対して必要になると考えられる。

得られた結果に基づき、甲状腺等価線量の予測線量50 mSvを介入レベルとする安定ヨウ素剤服用に係る地域シミュレーションを行うことができる。一般的に、地域シミュレーションは地域防災計画の策定に関して災害規模の把握や体制整備や見直しに欠かせない。総人口は同程度であるが人口構成が異なる仮想地域において、総人口6.5万人前後の地域では、B地域のように小児の人口が大きい場合、介入レベル50 mSvの介入では、生涯甲状腺がん発症リスクは0~9歳女兒2.64人と予測される。地域で生涯リスクを0人とする場合、50 mSvでの介入は遅い

と判断され、そのため小児の甲状腺等価線量の予測線量34.5 mSvでの介入が適切であると考えられる。総人口6.5万人前後の地域では、各年齢5歳階級において、重度以上のPRAEの発生数は1人未満である。服用対象を住民全体とする場合、軽度のPRAEの発生数はA地域とB地域においてほぼ同等である。しかし、A地域では、65歳以上で73人となり、B地域での65歳以上29人と比べ、高齢者の対応の強化を図らなければならない。また、PRAEの対応の基本的な考え方について、例えば、医療的措置が必要ではないPRAEが生じる可能性について平時から住民に丁寧に説明する、また、緊急時にPRAEの対応が適切にできないと考えられる場合、服用対象者の絞り込みをするなど、地方公共団体は、地域医師会等の協力を得て、整理する必要があるだろう。

このように、地域シミュレーションは、リスク・ベネフィット分析から得られた知見について定量的な視点からの検討の機会を与えることになる。

近年、活動に関わる利害関係者であるステークホルダに国民や住民を交え、国や地方公共団体において施策の策定が行われることが少なくない。早い段階から国民や住民と意見を交わしながらステークホルダにおいて協働で策定することで、円滑に合意を図る狙いがある。

防災計画の策定にも、ステークホルダにおけるリスクコミュニケーションを適切に図ることが重要である[22,23]。個人、機関、集団間でのリスクについて情報や意見のやりとりの相互作用的過程であるリスクコミュニケーションには、リスク評価、リスク対策、リスク認知の3要素があり、平時には、一般的に理解されているリスクやその対処に関する科学的情報を提供するケア・リスクコミュニケーション、ステークホルダで情報を共有、リスクの検討、リスクを管理するコンセンサス・リスクコミュニケーションがある[22]。計画の策定や見直しをする場合、はじめに、原子力緊急事態に係る科学的情報の提供を目的とするケア・リスクコミュニケーションを図る。そして、放射線量を把握し、健康リスクを見積もるリスク評価がある。次に、コンセンサス・リスクコミュニケーションとして、この見積もられたリスクを対象者が受け入れることができるかどうか、リスクを受け入れることが出来ない場合どのように対応するかについて、対象者をはじめとするステークホルダが行動を起こすリスク対策がある。これらリスク評価やリスク対策に係る情報は、ステークホルダのリスクに係る不安、関心、価値観、理解度など、つまりリスク認知を考慮しながら、ステークホルダに提供される。

地域における安定ヨウ素剤予防服用について地域の特性や地域で利用できる資源などを把握しながら地方公共団体と地域住民がともに、可能であれば地域住民が中心となり、行政と共にリスク・ベネフィット分析や地域シミュレーションを含めたリスクコミュニケーションを介して地域の安定ヨウ素剤予防服用のあり方について議論を重ねることが重要である。それにより、地域において

安定ヨウ素剤服用に係る理解と協力がステークホルダーで促進され、より適切な服用体制の構築が可能になると考えられる。さらに、発災後の放射線被ばくによる健康影響についてステークホルダーで協働しながら適切に考えることができる機会が地域に与えられることにもなると期待される。

最後に、安定ヨウ素剤予防服用体制の構築に資する、国外での安定ヨウ素剤服用のあり方の一例を以下で紹介する。米国甲状腺学会 (American Thyroid Association, ATA) では、原子力緊急事態に安定ヨウ素剤服用を以下のように推奨している[21]。それは、原子力施設から半径約16kmの円領域内の住民に対する安定ヨウ素剤を事前配布して、さらに緊急受付センター (Emergency Reception Centre) に余分な安定ヨウ素剤を備蓄する。事前配布の理由は、時期を逸することなく、安定ヨウ素剤の最大効果を期待するためである。また、半径約16~80kmの円領域内の住民を対象として、学校、医療機関、郵便局などの公共施設に安定ヨウ素剤を備蓄する。対象者として、乳児、18歳未満の者や妊婦を最優先とする。その介入レベルは内部被ばくによる甲状腺被ばく (吸収) 線量50 mGyであり、18歳以上の者の介入レベルに比べて小さい。さらに、安定ヨウ素剤服用は、避難、退避、汚染された食物、牛乳や水の摂取回避を含む緊急時対応計画の一部であり、それは、規制ガイダンス下でのみ服用されるべきとしている。

V. 結論

放射性ヨウ素の甲状腺被ばくによる放射線リスクである甲状腺がん発症生涯リスクは、被ばく者の性別および年齢別要因が大きく関わる。このため、原子力災害時の安定ヨウ素剤予防服用において、住民全体を一括対象とする地域シミュレーションから、人口構成により、高齢者において安定ヨウ素剤服用による放射線リスクの低減が期待できないばかりか、軽度のPRAEの割合が大きくなる場合があることが予測された。一般的に、PRAEについては、医療関係者などによる経過観察が必要な軽度な程度から、医療措置が必要な重篤な程度、そして死に至る程度まであり、避難所などで医療資源の投入の必要性と可能性を検討すべきである。また、リスク・ベネフィット分析より、地域住民の性別・年齢階級別に安定ヨウ素剤予防服用が正当化される甲状腺予測等価線量が可視化できるが、放射線リスクが大きなグループを対象とし、それらのグループに適用される甲状腺予測等価線量を安定ヨウ素剤予防服用の介入レベルとすることにより、生涯甲状腺がん発症リスクの大きいグループに早い対応が可能となり、さらに予測されるPRAEに対処する医療資源の配分を最適化できる可能性が考えられる。そして、リスクコミュニケーションを介して、地域特性などを踏まえ、地域における安定ヨウ素剤予防服用のあり方について、住民を中心として協働的かつ包括的に考え

る必要があると考えられた。

利益相反

本研究について利益相反はありません。

謝辞

本研究の遂行にあたり櫻田尚樹氏 (産業医科大学教授、前国立保健医療科学院生活環境研究部長)、山口一郎氏 (国立保健医療科学院生活環境研究部) に丁寧なご指導をいただき深く感謝いたします。

引用文献

- [1] IAEA. Criteria for use in preparedness and response for a nuclear or radiological emergency. IAEA safety standards series No. GSG-2. 2011. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1467_web.pdf (accessed 2020-01-10)
- [2] Sources and effects of ionizing radiation United Nations Committee on the Effects of Atomic Radiation UNSCEAR 2008. Report to the general assembly with scientific annexes 2011.
- [3] IAEA. Intervention criteria in a nuclear or radiation emergency. Safety series No. 109. 1994. https://gnssn.iaea.org/Superseded%20Safety%20Standards/Safety_Series_109_1994.pdf (accessed 2020-01-10)
- [4] WHO. Iodine thyroid blocking: Guidelines for use in planning for and responding to radiological and nuclear emergencies. 2017. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/259510> (accessed 2020-01-10)
- [5] 原子力安全委員会原子力施設等防災専門部会. 原子力災害時における安定ヨウ素剤予防服用の考え方について. 平成14年4月. <http://www.u-tokyo-rad.jp/data/ninpuyouso.pdf> (accessed 2020-01-10)
Nuclear Safety Commission. Genshiryoku saigaiji ni okeru antei yousozai yobo fukuyo no kangaekata ni tsuite. Heisei 14 nen 4 gatsu. <http://www.u-tokyo-rad.jp/data/ninpuyouso.pdf> (in Japanese) (accessed 2020-01-10)
- [6] 原子力規制庁放射線防護企画課. 安定ヨウ素剤の配布・服用に当たって. 平成25年7月19日 (平成28年9月30日修正). <https://www.nsr.go.jp/data/000024657.pdf> (accessed 2020-01-10)
Nuclear Regulation Authority. Antei yousozai no haifu / fukuyo ni atatte. Heisei 25 nen 7 gatsu 19 nichi (Heisei 28 nen 9 gatu 30 nichi shusei). <https://www.nsr.go.jp/data/000024657.pdf> (in Japanese) (accessed 2020-01-10)
- [7] 内閣府. 中央防災会議. 防災基本計画. 令和元年5月. <http://www.bousai.go.jp/taisaku/keikaku/kihon.html#syusei> (accessed 2020-01-10)

- Cabinet Office, Government of Japan. Chuo bosai kaigi. Bosai kihon keikaku. Reiwa 1 nen 5 gatsu. <http://www.bousai.go.jp/taisaku/keikaku/kihon.html#syusei> (in Japanese) (accessed 2020-01-10)
- [8] NCRP. Risk to the thyroid from ionizing radiation. NCRP Report No.159. 2008.
- [9] 国立がん研究センター. がん情報サービス「がん登録・統計」. https://ganjoho.jp/reg_stat/statistics/stat/summary.html (accessed 2020-01-10)
- National Cancer Center Japan. [Gan joho service “Gan toroku/ tokei.”] https://ganjoho.jp/reg_stat/statistics/stat/summary.html (in Japanese) (accessed 2020-01-10)
- [10] 総務省統計局. 人口推計. <https://www.stat.go.jp/data/jinsui/index.html> (accessed 2020-01-10)
- Statistics Bureau, Ministry of Internal Affairs and Communications. [Jinko suikei.] <https://www.stat.go.jp/data/jinsui/index.html> (in Japanese) (accessed 2020-01-10)
- [11] 厚生労働省大臣官房統計情報部, 編. 人口動態調査. <https://www.mhlw.go.jp/toukei/list/81-1.html> (accessed 2020-01-10)
- Statistics and Information Department, Ministry of Health, Labour and Welfare. [Jinko dotai chosa.] <https://www.mhlw.go.jp/toukei/list/81-1.html> (in Japanese) (accessed 2020-01-10)
- [12] 加茂憲一, 金子聡, 吉村公雄, 祖父江友孝. 日本におけるがん生涯リスク評価. 厚生 の 指標. 2005;52:21-26.
- Kamo K, Kaneko S, Yoshimura K, Sobue T. [Nihon ni okeru gan shogai risk hyoka.] *Journal of health and welfare statistics*. 2005;52:21-26. (in Japanese)
- [13] WHO. Use of potassium iodide for thyroid protection during nuclear or radiological emergencies. Technical brief revised 31 March 2011. WHO 2011. http://www9.who.int/ionizing_radiation/pub_meet/tech_briefings/potassium_iodide/en/ (accessed 2020-01-10)
- [14] Jourdain JR, Herviou K, Bertrand R, Clemente M, Petry A. Medical effectiveness of iodine prophylaxis in a nuclear reactor emergency situation and overview of European practices RISKAUDIT Report No.1337. 2010. <http://www.thyroidclub.be/documents/2010euemergencyiodinereport.pdf> (accessed 2020-01-10)
- [15] Papadopoulou F, Efthimiou E. Thyroid cancer after external or internal ionizing irradiation. *Hell J Nucl Med*. 2009;12:266-270.
- [16] Spallek L, Krille L, Reiners C, Schneider R, Yamashita S, Zeeb H. Adverse effects of iodine thyroid blocking: a systematic review. *Radiat Prot Dosimetry*. 2012;150:267-277.
- [17] 鳴海善文, 中村仁信. 非イオン性ヨード造影剤およびガドリニウム造影剤の重症副作用および死亡例の頻度調査. *日本医学放射線会雑誌*. 2005;65:300-301.
- Narumi Y, Nakamura H. [Hi ionsei yodo zoeizai oyobi gadolinium zoeizai no jusho fukusayo oyobi shiborei no hindo chosa.] *Nippon Acta Radiologica*. 2005;65:300-301. (in Japanese)
- [18] Zanzonico PB, Becker DV. Effects of time of administration and dietary iodine levels on potassium iodide (KI) blockade of thyroid irradiation by I-131 from radioactive fallout. *Health Phys*. 2000;78:660-667.
- [19] Pfinder M, Dreger S, Christianson L, Lhachimi SK, Zeeb H. The effects of iodine blocking on thyroid cancer, hypothyroidism and benign thyroid nodules following nuclear accidents: a systematic review. *J Radiol Prot*. 2016;36:R112-130.
- [20] Shimada K, Kai M. Calculating disability-adjusted life years (DALY) as a measure of excess cancer risk following radiation exposure. *J Radiol Prot*. 2015;35:763-775.
- [21] Leung AM, Bauer AJ, Benvenista S, Brenner AV, Hennessey JV, Hurley JR, Milan SA, Schneider AB, Sundaram K, Toft DJ. American Thyroid Association Scientific Statement on the Use of Potassium Iodide Ingestion in a Nuclear Emergency. *Thyroid*. 2017;27:865-877.
- [22] Lundgren RE, McMakin AH. Risk communication: A handbook for communicating environmental, safety, and health risks 5th ed. Somerset: Wiley-IEEE Press; 2013.
- [23] 渡邊直行. 平成27・28年度日本核医学会ワーキンググループ「原子力緊急事態における一般公衆の健康不安の対応に係る核医学専門医の人材育成のあり方について」. *核医学*. 2019;56:41-43.
- Watanabe N. [Heisei 27/28 nendo Nihon kakuigakkai working group: Genshiryoko kinkyu jitai ni okeru ippan koshu no kenko fuan no taio ni kakawaru kakuigaku senmoni no jinzai ikusei no arikata ni tsuite.] *kakuigaku*. 2019;56:41-43.