

のような方法によって甲状腺に残留していた¹³¹Iを直接測定することによって甲状腺の等価線量が評価された緊急作業従事者である。すなわち、事故が発生して間もなく、日本原子力研究開発機構は、東京電力からの要請を受け、平成23年3月後半から車載型全身カウンタ（Canberra社製FASTSCAN、NaI(Tl)シンチレーション検出器使用）を福島県小名浜市に派遣し、緊急作業に従事した作業者の内部被ばく検査を実施した。この測定結果に基づき、内部被ばくによる実効線量が20 mSvを超えた緊急作業従事者や事故発生直後原子力発電所構内に留まった女性の作業者は、茨城県東海村の日本原子力研究開発機構核燃料サイクル工学研究所の放射線保健室に設置されている鉄遮蔽体で覆われた室内（鉄室）においてGe半導体検出器を用いて全身及び甲状腺の放射能測定が実施された。また、250 mSvを超えるおそれのあった7人は放射線医学総合研究所のGe半導体検出器を用いて全身及び甲状腺の放射能測定が行われた。標準評価手法では、これらの測定結果と、B1に述べた考え方に基づき¹³¹Iによる預託実効線量が評価されている。

本研究班は、このカテゴリーの緊急作業者の甲状腺等価線量の評価に関しては、低バックグラウンドの環境下において甲状腺を直接Ge半導体検出器において実測されたデータに基づいていること及び線量評価の方法がすでに論文^{[10][11][12]}として公開されていることなどから、疫学的な調査の利用に適した現実的な評価方法によって甲状腺の等価線量が評価されていると判断し、追加での線量再評価は実施しないこととした。

B.2.2 NaIサーベイメータによる甲状腺の実測値のある緊急作業従事者

このカテゴリーの緊急作業者は、主として東京電力柏崎刈羽原子力発電所や協力企業における関連施設において、NaIシンチレーションサーベイメータを頸部（甲状腺）にあてて甲状腺からのγ線による線量率を計測し、甲状腺ファントムと甲状腺計測用に設計された校正用線源を用いた校正等で決定した換算係数あるいは、文献^[13]に記載された換算係数を適用して甲状腺の¹³¹Iの残留量が推定された緊急作業者の集団である。

本研究班の調査によれば、サーベイメータの種類は複数あり、適用された換算定数も機種や校正方法の違いによって表B1に示すように異なる値が適用されている。測定を行った施設におけるバックグラウンドの値は確認ができた範囲では、もっとも高い場所でJビレッジ協力企業詰所放管エリアにおける0.11～0.15 μSv/hであった。

本研究班の再評価の方針としては、甲状腺中の¹³¹Iの定量に用いられたサーベイメータの換算係数やバックグラウンドの取り方などについて確認し、必要があれば再評価を行うこととした。また、測定の信頼区分を、バックグラウンドの指示値により決定することを検討した。

表 B 1 緊急作業に従事した作業員の所属と甲状腺測定に用いられたサーベイメータの型式及び換算係数

所属	サーベイメータ型式	換算係数 (kBq/ μ Sv/h)	換算係数の出典
A 社	アロカ TCS-171	30	原子力安全研究協会のHPからNaIサーベイメータ(アロカ TCS-171 DBM型)の数値
B 社	アロカ TCS-171 DBM型, TCS-151 併用	30	原子力安全研究協会のHPからNaIサーベイメータ(アロカ TCS-171 DBM型)の数値
C 社	アロカ TCS-171	41.1	ファントムによる校正結果
D 社	アロカ TCS-171	40	東京電力柏崎刈羽発電所の指定値
E 社	アロカ TCS-171	39	東京電力柏崎刈羽発電所の指定値

B2.3 NaI(Tl)シンチレーション検出器を用いたWBCによる全身¹³¹Iの実測値がある緊急作業従事者

東京電力は、平成23年3月後半から、日本原子力研究開発機構の人的及び技術的な支援を受けて、車載型のWBCにより発電所から約50 km離れた小名浜コールセンターにおいて緊急作業者の内部被ばく測定を開始した。その後、日本原子力研究開発機構から車載型WBCを借り受け、東京等において内部被ばく測定を実施した。このカテゴリーの緊急作業者は、このようにして内部被ばくによる実効線量の評価が行われ、その結果として実効線量が20 mSv以下と評価され、なおかつ、WBCによって¹³¹Iが実際に検出された緊急作業者の集団である。NaI(Tl)シンチレーション検出器を用いた全身カウンタは、甲状腺や全身に残留した

¹³¹Iに対する検出感度を有するため、適切な校正定数を適用すれば、甲状腺や全身の¹³¹I残留量を正確に定量することができる。一方、身体表面や着衣などに付着した¹³¹Iにも感度を有することから、事故直後など環境中に¹³¹Iが残存している状況では、身体表面等に付着した¹³¹Iの影響を受け、測定結果が過大評価になる可能性もある。

本研究班の再評価の方針としては、通常は全身に分布する放射性核種を測定・定量するWBCから得られた甲状腺中の¹³¹I量の妥当性を確認するとともに、必要な補正係数の検討に注力することとした。

B2.4 NaI(Tl)シンチレーション検出器を用いたWBCで¹³¹Iが検出されなかった緊急作業従事者

NaI(Tl)シンチレーション検出器を用いたWBC(NaI-WBC)による測定の多くは、事故後2ヶ月以上経過した平成23年6月以降に実施されたため、半減期が短い¹³¹Iが検出されなかった事例が続出した。この場合、標準評価手法では、次の2つの方法で推定した¹³¹Iの内部被ばく線量のうち、低い方の値を採用した。

- a) 検出下限値(MDA)から推定：
NaI-WBCの¹³¹Iに対するMDAが検出されたと仮定し、¹³¹Iの摂取量を推定した。
- b) 環境中の空気中放射能濃度から推定：
NaI-WBCの測定から評価された¹³⁷Csの摂取量に、福島第一原子力発電所サイト内で測定された環境中の空気中放射能濃度における¹³¹I/¹³⁷Cs比を乗じて¹³¹Iの摂取量を推定した。¹³¹I/¹³⁷Cs比は5日間の移動平均を使用した。

本研究班の再評価では、上記2つの評価

方法をそれぞれ若干変更し、その結果のうち低い線量を採用することとした。これは、a)のMDAからの推定では、非検出の場合の最大値が考慮されるため過大評価になるおそれがあり、また、b)の環境中の空気中放射能濃度からの推定には一般的に大きな不確かさを伴うため、これらを同時に行うことで、それぞれ単独の方法で評価を行うより妥当性を向上させることを意図したためである。

a)、b)について以下の変更を加えた。

a) MDAはバックグラウンド放射線の線量率によって変動するが、今回行った測定では、 ^{131}I について概ね200 Bqから1800 Bqの範囲であった。このMDAは、 ^{131}I の γ 線に対応する関心領域のバックグラウンド計数からCurrieの方法^[14]により、NaI-WBCの測定ソフトウェアによって自動で計算された。NaI-WBCの測定では、線源が全身均一分布を仮定して行われていたため、甲状腺へ局所分布した ^{131}I を定量する場合には、線源分布の違いを補正する必要がある。今回の再評価では、Ge-WBCによる ^{131}I の測定値との比較から、補正係数(1/2.935)を求め、NaI-WBCのMDAに乗じて甲状腺中 ^{131}I の残留量とした。このように求めた残留量からB1の考えに従い甲状腺等価線量を評価した。

b) 環境中の空気中放射能濃度からの推定では過大評価の懸念があったため、実際の緊急時作業従事者に対する測定値等を用いた推定法の検討を行ったが、データのばらつきが大きく十分な信頼性を持った推定方法を確立するまでに至らなかったため、引き続き標準評価手法による空気中放射能濃度比($^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$)の5日間の移動平均を使

用した。NaI-WBCの測定で ^{137}Cs が測定された対象者については、 ^{137}Cs の摂取量に空気中放射能濃度比を乗じて ^{131}I の摂取量を推定したが、 ^{137}Cs が非検出であった場合は、 ^{137}Cs のNaI-WBCの検出下限放射能もしくは ^{134}Cs の測定値を ^{137}Cs の測定値として用いた。求めた ^{131}I の摂取量からB1の考えに従って甲状腺等価線量を評価した。

B2.5 プラスチックシンチレーション検出器を用いたWBCによる実測値がある緊急作業従事者

この評価では、東京電力柏崎刈羽原子力発電所に設置されているプラスチックシンチレーション検出器を用いたWBC(PI-WBC)による体内放射能の検査のみを受検した緊急作業従事者を対象とした。プラスチックシンチレーション検出器は、核種別の定量ができないため、東京電力は ^{137}Cs を線源としてPI-WBCの校正を実施し、PI-WBCによる測定値の全量を ^{137}Cs として体内放射能を評価した。このようにして求めた ^{137}Cs から ^{131}I による被ばくを推定するため、PI-WBCとNaI(Tl)サーベイメータの両方を受検した集団から、B2.2項に示したNaI(Tl)サーベイメータによる甲状腺中 ^{131}I の評価結果を用いて、 ^{131}I と ^{137}Cs の実効線量の比(以下、I/Cs比という。)を導出した。標準評価手法では ^{131}I の線量を保守的に評価するため、I/Cs比の特に大きい集団を摂取日の時系列毎に選定し、I/Cs比の期待値を摂取日の一次式として求めた。

本研究班の再評価では、過度な保守的評価を避け、より信頼性の高いI/Cs比を得るため以下の条件を採用した。

- I/Cs 比を求める際の NaI(Tl)サーベイメータによる ^{131}I の摂取量の誤差を抑えるため、1F 滞在期間が短く（概ね 1 週間以内）、さらに作業終了後比較的すぐに測定された者のデータを用いた。
- NaI(Tl)サーベイメータの測定における不確かさを考慮し、正味値 $0.1 \mu\text{Sv/h}$ 以上のデータのみを使用した。
- 以上の対象群における I/Cs 比の時系列データから最小二乗近似直線により摂取日と I/Cs 比の関係式を求めた。

以上のように求めた I/Cs 比と摂取日との関係式を用いて、PI-WBC のみ受検している緊急作業従事者の ^{137}Cs の実効線量から ^{131}I の実効線量を求めた。さらに、 ^{131}I の実効線量を 20 倍することにより（甲状腺の組織荷重係数が 0.05 のため）、甲状腺等価線量とした。

B2.6 ^{131}I が不検出で、同種同一作業者の線量から推定したもの

標準評価法においては、同一作業を同一時期に実施した同僚作業者の $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$ 比がわかっている場合は、B1.4、B1.5の方法によらず、測定された ^{137}Cs の測定値にその比を乗じて ^{131}I の預託線量を推定したとしている。また、他の原子力施設で測定した内部被ばく評価結果がある場合は、それを採用したとしている。

本研究班においては、追加できる新たな情報やデータを入手していないため、追加の線量再評価は実施しない方針とした。

B3 信頼度の区分

これまでに述べた通り、今回の甲状腺線量評価には作業者により異なる測定方法に

基づいて行われている。このためそれぞれの測定・評価における確度を考慮し、評価結果の信頼度の高いものから順に、A から D として区分した。

表 B2 に信頼度区分の考え方及びそれに該当する評価方法を示す。

表 B2 信頼度区分の考え方及び該当する評価方法

信頼度	測定実施		スペクトル分析		評価方法
	甲状腺	全身	実施有無	^{131}I 定量可否	
A	○	-	○	○	甲状腺モニタによる甲状腺 ^{131}I の実測(B2.1)
B	○	-	×	△	NaIサーベイメータによる甲状腺の実測(B2.2)
B	×	○	○	○	NaI-WBCによる全身 ^{131}I の実測(B2.3)
C	×	○	○	×	NaI-WBCでの ^{131}I のMDA又は ^{137}Cs の結果と $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$ 比からの推定(B2.4)
D	×	○	×	△	PI-WBC での結果と I/Cs 比からの推定(B2.5)
D	×	×	△	△	同種同一作業者からの推定(B2.6)

凡例 ○：有又は可 -：不問 △：有だが信頼性に明確な疑義 ×：無又は否

(倫理面への配慮)

本研究は、大阪大学の倫理審査委員会における審査を受けて実施した。個人線量データの利用にあたっては、連結可能匿名化により個人情報の適切な管理を徹底した。

C. 研究結果

C1 甲状腺モニタによる甲状腺¹³¹Iの実測値のある緊急作業従事者

B2.1で述べたとおり、測定及び評価の信頼性が十分であると判断されたことから、線量再評価は行わないこととした。

C2 NaIサーベイメータによる甲状腺の実測値のある緊急作業従事者

NaIサーベイメータの換算係数については、東京電力及び協力業者で異なる数値を使用していたことが確認された。換算係数の範囲としては、サーベイメータの正味値1 μSv/hあたりの甲状腺中¹³¹I放射能量として、30 kBqから41.1 kBqであった。これは、機器の型式の違いやサーベイメータの校正条件の違い等による理由であったが、機器の検出感度の個体差もあることから、各機関が定めた換算係数は全て妥当であると判断した。したがって、甲状腺中の¹³¹Iの測定値ならびに線量評価値については、各事業者で評価された数値をそのまま本研究に用いた。

線量評価値の信頼区分については、測定時におけるバックグラウンドのレベルに応じてBまたはCとすることを検討したものの、最終的には以下の条件を満たす評価値を抽出し信頼区分をBとした。

- 柏崎刈羽での測定値については、正味値がバックグラウンドの中央値である

0.1 μSv/h以上のもの

- J ビレッジ、福島第二での測定値については、0.3 μSv/h以上のもの
- 以上に加えて、測定日が5/1より前のもの

この条件に合致しない緊急作業従事者の線量は、B2.5の方法によって線量の再評価を行った。

なお、バックグラウンドとしては、測定室内と被検者の体幹部（または大腿）の測定値を用いることが考えられる。各機関への聞き取りを行ったところ、バックグラウンドの測定方法としては概ね前者である様であった。被検者の体幹部でバックグラウンドを測定する意味は、被検者の身体による空間線量の減衰効果を考慮するためであり、こちらの方がより正確な測定値が得られたものと推察される。

NaIサーベイメータによる測定値の信頼性については、今年度の研究では検証することが困難であった。ただし、NaIサーベイメータの換算係数に影響する検出器のジオメトリに関しては、各事業者のマニュアル等から、測定時に検出器が頸部に密着した状態であったことが確認された。換算係数は、検出器と線源となる甲状腺の距離によって大きく変化するが、この要因による換算係数の不確かさは小さいものと推察される。しかしながら、測定値の精度は、計測対象とする放射線の統計変動やバックグラウンドにも依存する。日本原子力研究開発機構の評価^[15]によれば、小名浜で実施されたNaIサーベイメータによる測定の精度は、検出下限相当レベル(2.3 kBq)ではファクター5~6以内、10 kBq程度ではファクター3以内としている。ただし、同測定

では、NaI サーベイメータには厚さ 2 cm の鉛コリメータが装着されている点で他の測定と異なる。

C3 NaI(Tl)シンチレーション検出器を用いた WBC による全身 ^{131}I の実測値がある緊急作業従事者

WBC によって検出された体内の ^{131}I は、当初は全身量として評価されていた。しかしながら、日本原子力研究開発機構核燃料サイクル工学研究所での精密検査により、WBC から定量された ^{131}I の全身量と Ge 半導体検出器により定量された ^{131}I の甲状腺量には約 3 倍の違い（前者が後者に比べて高い）があること、両者には良い相関関係があることが確認された。この差異は、放射性核種が全身均一分布する場合及び甲状腺に局在する場合の同 WBC の計数効率の差であることが解った。ヨウ素は体内に取り込まれたから数日中にはその大半が甲状腺に移行するため、これに準じた計数効率を用いて、 ^{131}I の甲状腺量を評価することが妥当であるとの結論に至った。この評価は、既に WBC によって得られている ^{131}I の全身量を、同一被検者から得られた ^{131}I の全身量の甲状腺量に対する比 (2.935) で除すことによって行った。また、摂取量の導出に必要な残留率関数は、甲状腺に対応するものを用いた。

本法の対象者は比較的事故の初期に WBC を受検した者が含まれるため、測定時における体表面汚染の可能性が疑われた。この影響により、内部被ばく線量の過大評価が考えられるが、その判定には測定素データ（波高スペクトル）に立ち返る必要があり、今後の課題に持ち越された。素デ

ータには、 ^{131}I 以外の短寿命核種を検出している事例があり、体表面汚染の影響はあるものの、事故初期の核種存在比に関する情報が得られる可能性がある。

なお、本法による線量評価値の信頼度は、NaI サーベイメータによる甲状腺の実測値からのものと同様、B 区分とした。

C4 NaI(Tl)シンチレーション検出器を用いた WBC で ^{131}I が検出されなかった緊急作業従事者

B2.4 に示す 2 つの評価方法のうち、a の MDA からの推定では、測定における線源分布を考慮したことにより、再評価の結果は、東京電力による評価と比べ約 1/3 となった。

b の推定で用いた空气中放射能濃度比を図 C1 に示す。図から判るとおり、空气中放射能濃度比 ($^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$) は事故初期の値が非常に大きく、時間とともに減衰している。しかし、値の変化が大きく線量評価上重要と考えられる 3 月 12 日～18 日のデータが欠損しており、この間のデータを 3 月 19 日以降の移動平均値で代用した。また、今回の評価では防護マスク等の効果や緊急作業従事者の行動範囲と空气中放射能をサンプリングした場所との濃度の違いを考慮していない。これらのことから、本評価方法の線量の推定値には極めて大きな不確かさが伴う。このため、B2.1～2.3 の方法と比べ、信頼度の劣る C とした。

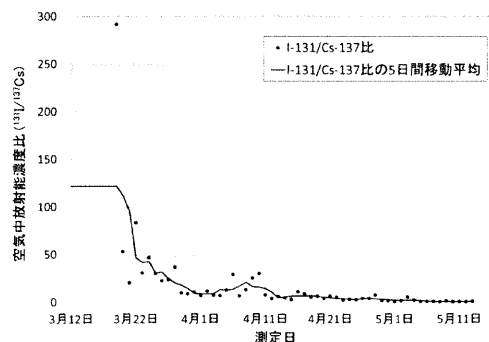


図 C1 空気サンプリング測定による福島第一原子力発電所敷地内の ^{131}I と ^{137}Cs 空气中放射能濃度の比

C5 プラスチックシンチレーション検出器を用いた WBC による実測値がある緊急作業従事者

図 C2 に、B2.5 の方法で求めた I/Cs 比と最小二乗近似直線を示す。近似直線から I/Cs 比の期待値を求めると、摂取日 2011 年 3 月 12 日では 10.6、3 月 31 日では 5.4、4 月 19 日ではほぼ 0 となる。これに対して、東京電力による保守的な評価では、3 月 12 日では 26.5、3 月 31 日では 17.7、5 月 8 日ではほぼ 0 となる。この違いが甲状腺等価線量に反映されるため、再評価による甲状腺等価線量は東京電力による評価値の 0 ~ 0.4 倍となった。

図 C2 から判るとおり、I/Cs 比は同じ摂取日であっても値のばらつきが大きく、摂取日との相関も強くないため、本評価による甲状腺等価線量の推定値には大きな不確かさが伴う。例えば、摂取日 3 月 13 日の I/Cs 比の測定値は 3.4~21.7 であり、近似直線から求めた I/Cs 比の期待値とはファクター 2~3 程度の幅を持つ。また、前述のとおり PI-WBC による測定値を全て ^{137}Cs としていることも不確かさを大きくするおそ

れがある。このため、甲状腺中 ^{131}I を直接測定している B2.1~2.3 の方法、あるいはエネルギー弁別の可能な WBC による ^{137}Cs の実測値に基づく B2.4 の方法と比べ、信頼度の劣る D とした。

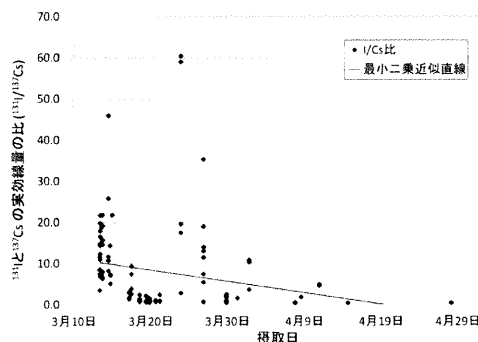


図 C2 NaI(Tl)サーベイメータによる ^{131}I と PI-WBC による ^{137}Cs の実効線量の比

C6 ^{131}I が不検出で、同種同一作業者の線量から推定したもの

B2.6 で述べたとおり、本研究班においては、追加できる新たな情報やデータを入手していないため、線量再評価は行わないこととした。信頼度は、本人の実測データがない理由から D とした。

C7 再評価の結果

B1~B6 の方法によって求めた甲状腺等価線量の再評価結果を反映した甲状腺等価線量推計値別受診者数を表 C1 (内部被ばく寄与分のみ)、C2 (内部被ばくと外部被ばくの合計) に示す。甲状腺モニタリングその他の方法によって内部被ばく線量評価が行われ、本研究の線量再評価の対象となった人数の合計は、982 人であり、このうち、内部被ばくと外部被ばくの合計が 100 mSv を超えた人数は 594 人となった。推計値の

信頼度別では、それぞれA:65人、B:238人、C:445人、D:234人となった。これに加えて緊急作業に従事していない等により内部被ばくの恐れがなく、内部被ばくによる線量の記録がない1082人の外部被ばくによる寄与分を加えて合計2064名の甲状腺等価線量の分布が明らかとなった。

D. 考察

D1 線量推計結果の妥当性と信頼度区分に基づく疫学調査研究への適用上の留意点

厚生労働省の指導の下に東京電力が定めた標準評価手法に基づく線量評価の方法は、作業の初日に急性吸入摂取があるなどの線量評価上のシナリオや¹³¹Iの甲状腺の残留量などの実測データが得られなかった場合には、摂取量における¹³¹I/¹³⁷Cs比を環境モニタリングデータの最大値を仮定するなど、保守的な仮定に基づくことを基本としており、緊急作業者の個人被ばく管理や健康管理の目的に適していると考えられる。本研究班において採用した線量評価の方法では、入手できる測定データの範囲で、例えば図C2に示すように¹³¹I/¹³⁷Cs比を最小二乗法による近似によって決定するなど現実的な方法を採用している。しかしながら、C5章でも論じたように、このようにして決定した近似曲線に対して個々のデータのばらつきは顕著に大きく、近似曲線を当てはめて実施した甲状腺の等価線量の評価結果には相当の不確実性を伴っていることを認識しておく必要がある。

線量推計結果の妥当性に関しては、今回測定方法に基づく信頼度の形で定性的に表すことを試みたが、今後はより詳細な定量的アプローチが必要であり、検討の余地が

残されている。現段階においては、推計結果の疫学調査研究への適用にあたって以下のような点に留意すべきと考えられる。

信頼度 A：線量評価上必要な個人毎の実測データに基づく現実的な評価結果であり、疫学調査研究への適用に適している

信頼度 B：限られた実測値に基づき現実的な評価を行った結果であり、疫学調査研究への適用は適当であるが、次のような点に留意する必要がある。

①NaI シンチレーションサーベイメータによる甲状腺計測は、甲状腺に残留した¹³¹Iの検出感度が十分ではないため、バックグラウンドの影響を受けやすく、検出下限相当レベル(2.3 kBq)ではファクター5~6以内、10 kBq程度ではファクター3以内と考えられる。

②NaI(Tl)シンチレーション検出器を用いたWBCにより¹³¹Iが検出された例では、甲状腺ジオメトリによる換算係数を適用することにより精度良く¹³¹Iの甲状腺残留量を評価することができるが、体表面に付着した¹³¹Iの影響を受けて過大評価している可能性も完全には否定できない。しかしながら、それによる影響はNaIシンチレーションサーベイメータの測定に伴う不確かさに比べて小さいと考えられる。

信頼度 C：核種判別が可能なNaI(Tl)シンチレーション検出器を用いたWBCによる実測に基づく推定値ではあるが、¹³¹Iを検出しておらず、限られた環境モニタリングデータに基づいて推計した結果であり、大きな不確実性を伴う可能性があることから、

疫学調査研究への適用にあたっては、次のような点に留意する必要がある

①WBCの検出下限値からの推定では、非検出の場合の最大値が考慮されるため過大評価になるおそれがある。

②作業環境における $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$ 比は同じ摂取日であってもばらつきが大きく、摂取日との相関も強くないため、 $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$ 比に基づく摂取量評価による甲状腺等価線量の推定値には大きな不確かさが伴う。但し ^{137}Cs の定量結果の信頼度が高いため、B5の方法に比べて信頼度は高いと考えられる。

信頼度D：B5の方法に関しては、C5で述べたとおり近似曲線から推定されるI/Cs比の期待値とはファクター2～3程度の幅を持つことに加えて核種の判別機能を持たないWBCによる ^{137}Cs の定量性の問題があることなどを考慮すると、相当の不確かさを伴うと考えられる。

B6の方法に関しては、本人の実測値が得られない中で同一作業員と同じ線量であるとの仮定に基づく推計結果であり、極めて大きな不確かさを伴う。以上から、この区分のデータについては、現段階における疫学調査研究への適用は慎重に行うべきである。

D2 緊急作業員の実測値に基づく摂取量における $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$ 比の調査

最も信頼度の高いデータが得られているB2.1に記載した甲状腺モニタによる甲状腺 ^{131}I の実測値のある緊急作業員のうちで、当直者として事故初期に中央制御室内にいた者を除外し、かつヨウ素剤を服用しなかったことが確認された38名のデータについて摂取日と $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$ 比の関係を調

査した。その結果、 $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$ 比の最小は約2倍、最大は約1000倍であり、個人毎の差が顕著であり、一定の相関を見出すことはできなかった。その理由として、 ^{131}I の半減期が約8日と短いため、摂取日の特定が正確な ^{131}I 摂取量の推定に重要であるのに対して、個人毎の具体的な摂取時期が明確に特定できないことが一因であると考えられる。摂取量における $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$ 比の関係を明らかにするためには、作業環境中の ^{131}I の位置的、時間的な変化に関するより詳細な情報の入手と、一人ひとりの詳細な行動調査に基づく正確な摂取時期の推定などを行う必要がある。

E. 結論

東京電力福島第一原子力発電所事故において、緊急作業に従事した作業員のうち、甲状腺の等価線量が外部被ばくと内部被ばくの合計として100 mSvを超えた可能性がある者（ばく露群）について、それぞれの作業員に適用された内部被ばく線量評価のアプローチの違いに応じて現時点で現実的と考えられる仮定に基づき、個人別の甲状腺等価線量を再評価した。その結果、信頼度の高い順に、それぞれA:65人、B:238人、C:445人、D:234人、合計982人について、甲状腺等価線量を得た。甲状腺モニタ、NaI(Tl)シンチレーションサーベイメータ、NaI(Tl)シンチレーション検出器を用いたWBCのいずれかの方法によって甲状腺の ^{131}I を実際に検出できた信頼度区分がB以上のケースでは、疫学的な調査研究への適用が可能であると考えられる。一方、摂取量における $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$ 比に基づく推計値など信頼度の区分がCとなったケースについ

ては、推計値に大きな不確かさを伴う可能性がある。

信頼度の区分が D のケースのうち、B5 の方法に関しては、I/Cs 比の不確かさが大きいことに加えて核種の判別機能を持たない WBC による ^{137}Cs の定量性の問題があること、および、B6 の方法については現段階では信頼度の見積もりを行うためのデータを入手していないため、両者とも現段階における疫学的な調査研究への適用に関しては慎重に行う必要がある。また、線量推計精度の向上と信頼度の定量的な評価が課題である。

参考文献

- [1] 平成25年7月22日東京電力報道配布資料, 世界保健機構(WHO)へ提供した福島第一原子力発電所事故の復旧作業に携わった作業員の被ばく線量に関するデータについて,
http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/images/handouts_121206_01-j.pdf
- [2] 平成 25 年 7 月 5 日東京電力発表資料, 福島第一原子力発電所 内部被ばく線量再確認作業にともなう「被ばく線量の分布等」の修正について,
http://www.tepco.co.jp/cc/press/2013/1228741_5117.html
- [3] N. Ishigure, M. Matsumoto, T. Nakano and H. Enomoto; Development of software for internal dose calculation from bioassay measurements. Radiat. Prot. Dosim. 109, 235-242 (2004).
<http://www.nirs.go.jp/db/anzendb/RPD/mondal3.php>
- [4] 河合勝雄、遠藤章、桑原潤、山口武憲、

水戸誠一 ; ICRP の内部被ばく線量評価法に基づく空气中濃度等の試算:

JAERI-Data/cade 2000-001 (2000).

<http://jolissrch-inter.tokai-sc.jaea.go.jp/pdfdata/JAERI-Data-Code-2000-001.pdf>

[5] ICRP Publication 71, Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 4 Inhalation Dose Coefficients, Volume 25 No. 3-4(1995)

[6] 平成 25 年 7 月 5 日厚生労働省労働基準局発表資料, 東京電力福島第一原子力発電所緊急作業従事者の内部被ばく線量の再評価,

<http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r985200000361at.html>

[7] 平成 26 年 3 月 25 日厚生労働省労働基準局発表資料, 東京電力福島第一原子力発電所緊急作業従事者の内部被ばく線量の追加再評価結果,

<http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/0000041525.html>

[8] 平成 26 年 3 月 25 日東京電力発表資料, 福島第一原子力発電所 緊急作業に従事した当社社員の内部被ばく線量の再評価について,

http://www.tepco.co.jp/cc/press/2014/1235007_5851.html

[9] 平成 26 年 1 月 7 日東京電力発表資料, 福島第一原子力発電所の作業員の内部被ばく線量評価方法,

http://www.tepco.co.jp/cc/press/betu13_j/images/130705j0104.pdf

[10] O. Kurihara, K. Kanai, T. Nakagawa, C. Takada, T. Momose, S. Furuta; Direct measurements of employees involved in

the Fukushima Daiichi nuclear power station accident for internal dose estimates: JAEA's experiences.

NIRS-M-252, 13-25, 2012.

[11] O. Kurihara, K. Kanai, T. Nakagawa, C. Takada, N. Tsujimura, T. Momose, S. Furuta; Measurements of ¹³¹I in the Thyroids of Employees Involved in the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident. J. Nucl. Sci. Technol.50, 122-129, 2013.

[12] T. Nakano, E. Kim, K. Akahane, T. Tominaga, H. Tatsuzaki, O. Kurihara, N. Sugiura; Direct measurements for highly-exposed TEPCO workers and NIRS first responders involved in the Fukushima NPS accident. NIRS-M-252, 27-34, 2012.

[13] 原子力安全研究協会；緊急被ばく医療の知識－避難所等における初期被ばく医療活動－（2003），

http://www.remnet.jp/lecture/b03_01/index.html

[14] L. A. Currie: Limits for Qualitative Detection and Quantitative Determination; Application to Radiochemistry, Anal. Chem. 40, 586-593 (1968).

[15] 高橋聖；東京電力福島第一原子力発電所事故の緊急時作業者に対する甲状腺モニ

タリング，原子力科学研究所等の放射線管理（2012年度），JAEA-Review 2013-048 110-112 (2014)

F. 健康危険情報

G. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表（発表誌名巻号・頁・発行年等も記入）

- 1) Sobue T, Yoshinaga S, Taniguchi N, Miyakawa M, Momose T. Thyroid Survey Plans for TEPCO Workers. The International Workshop on Radiation and Thyroid Cancer, Tokyo, Feb 21-23, 2014

H. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む。）

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

表 C1 本研究において線量推計を行った甲状腺等価線量推計値別受診者数（内部被ばくのみ）

		甲状腺等価線量の推計方法と推計値の信頼度					総計(人)
		B.2.1	B.2.2 及び B.2.3	B.2.4	B.2.5 及び B.2.6	#N/A	
		A	B	C	D		
甲状腺等価線量 (内部被ばくのみ) (mSv)	1000+	18	5	4	3	-	30
	500-	18	10	25	-	-	53
	200-	23	25	97	6	-	151
	100-	5	64	143	2	-	214
	50-	1	56	84	25	-	166
	50 未満	-	78	92	198	1082	1450
総計		65	238	445	234	1082	2064

注 #N/A は内部被ばくの恐れがなく、内部被ばくの測定を実施していない人を指す。

表 C2 本研究において線量推計を行った甲状腺等価線量推計値別受診者数（内部被ばく＋外部被ばく）

		甲状腺等価線量の推計方法と推計値の信頼度					#N/A	総計(人)
		B.2.1	B.2.2 及び B.2.3	B.2.4	B.2.5 及び B.2.6			
		A	B	C	D			
甲状腺等価線量 (内部被ばく＋外部被 ばく) (mSv)	1000+	21	5	5	3	-	34	
	500-	21	15	30	2	-	68	
	200-	19	65	153	5	-	242	
	100-	4	79	151	16	1	251	
	50-	-	45	60	41	28	174	
	50 未満	-	29	46	167	1053	1295	
総計		65	238	445	234	1082	2064	

注 #N/A は内部被ばくの恐れがなく、内部被ばくの測定を実施していない人を指す。

厚生労働科学研究費補助金（厚生労働科学特別研究事業）
分担研究報告書

東京電力福島第一原発作業員の甲状腺の調査等に関する研究

研究分担者 谷口 信行 自治医科大学 臨床検査医学

研究分担者 宮川 めぐみ 虎の門病院 健康管理室（内分泌代謝科）

研究要旨

福島第一原発の緊急作業員において、甲状腺等価線量が 100mSv を超えている者と被ばくが少ない者について、甲状腺超音波検査を行い、その所見について比較した。対象は、調査開始前に東京電力が有していた線量データにより区分を行った。ばく露群 627 人および対照群 1462 人が研究に参加し、全員に頸部超音波検査を行った。その結果、両群において二次精密検査を勧奨する B 判定率は約 10% と差を認めなかったが、嚢胞または結節を有し A2 となった者が、ばく露群で有意に多くみられた。ただし、ばく露群において頸部超音波検査歴のあるものの割合が対照群に比べて極めて高く、結果の解釈には注意を要する。

A. 研究目的

甲状腺は放射線による発癌の影響を最も受けやすい臓器の一つであり、多くの研究により放射線被ばく量と甲状腺発癌頻度との間には有意な直線関係があることが報告されている。東京電力福島第一原発事故における緊急作業従事者の長期健康管理については、「東京電力福島第一原子力発電所における緊急作業従事者等の健康の保持増進のための指針」および東京電力の方針により、甲状腺等価線量 100mSv（実効線量で 5mSv 相当）を超える被ばくをした緊急作業従事者について、頸部超音波検査を実施し、それらの結果を健康管理に活用することになっている。一方、甲状腺癌は一般の方でも一定の割合で見つかることが知られており、甲状腺等価線量が 100mSv を超える被ばくをした緊急作業従事者を対象とし

て実施する超音波検査の結果のみでは、有所見が全て放射線の影響によるものであるという誤解を生じさせるおそれがある。そこで本研究では、甲状腺等価線量が 100mSv を超えた被ばくをした緊急作業従事者（ばく露群）と比較可能な対照群（甲状腺等価線量 100mSv 以下）を設定の上、同様の検査を実施し、それらの検査結果を比較することによって放射線被ばくによる甲状腺の影響を疫学的に解析し、その結果を放射線影響や甲状腺臨床医学などの観点から評価する。ただし、ここで用いたばく露群と対照群の区別は、本研究開始前より東京電力が有する情報により区分されたものである。

B. 研究方法

1. 対象者：平成 24 年度より、東京電力の

長期健康管理の制度により、甲状腺等価線量 100mSv (実効線量で 5mSv 相当) を超える被ばくをした緊急作業従事者については、甲状腺超音波検査が受けられるようになっている。その該当者数は 1,972 人であり、この中で研究に参加したものをばく露群とした。また、対照群は、甲状腺等価線量 100mSv 以下とし、ばく露群の該当者数に近い約 2,000 人の参加を募ることとした。対象者は対照群、ばく露群とも、全員 20 歳以上の男性であり、参加を募るにあたっては、年齢に特に制限は設けなかった。

2. 対照群の募集方法

対照群は、東京電力またはその協力企業の方を対象に、研究についての説明会等により、参加を募った (資料 1)。

説明会は、東京電力本店、柏崎刈羽原子力発電所、福島第二原子力発電所で、計 4 回行った (表 1)。

説明会における質疑応答対応の他、研究説明書や説明用スライドの印刷物などを配布して、研究内容の理解に努めた (資料 2)。また、研究に関する質問や問い合わせについても対応できるようにし、問い合わせ用のメールアドレスも設定した。

3. ばく露群の募集方法

ばく露群は、東京電力またはその協力企業の方を対象に、研究についての説明会等により、参加を募った。

説明会は、東京電力福島第二原子力発電所で、計 2 回行った (表 2)。

協力企業の方及び東京電力退職者については、東京電力の長期健康管理の制度の利用の支障にならないように配慮しつつ、研

究としてデータを活用できる可能性がある対象者に絞って、研究の概要を送付の上、研究参加に関心がある者を把握して、募集を行った。

なお、募集に当たっては、研究説明書 (資料 3) や説明用スライド (対照群と共通: 資料 2) の印刷物などを配布して、研究内容の理解に努めた。また、研究に関する質問や問い合わせについても対応できるようにし、問い合わせ用のメールアドレスも設定した。

4. 検査施行者とその精度管理

検査は、対象地域が地理的に離れているためそれぞれの県で健康診断業務を行っている 3 検査機関に委託して行った。また、本調査研究では、精度管理は、装置、検査者、判定基準について以下のごとく行った。

a. 使用装置は、甲状腺超音波検査に広く使用され、良好な画像がえられる下記の超音波装置と体表用のリニア型探触子を用いた。

東京都予防医学協会 (東京都): 超音波装置名: GE ヘルスケアジャパン社製 LOGIQe、探触子は 12L-RS

新潟県労働衛生医学協会 (新潟県): 超音波装置名: 日立アロカメディカル社製 EUB7500、探触子は EUP-L65

福島県労働保健センター (福島県): 東芝メディカルシステムズ社製 ViamoSSA-640A、探触子は PLT-1204BT

b. 検査者は、各施設で検査に従事する臨床検査技師であり、原則として日本超音波医学会が認定する超音波検査士 (体表) を取得した者とした。さらに甲状腺の検診事

業は全国的に行われているものではないため、その判読能力を把握する目的で、検査に従事する者については、研究班の下の精度管理委員会で作成した甲状腺疾患の超音波画像を出題し、一定以上の成績であったものとした（資料 4-1、資料 4-2）。

また、検査の対象である対照群、ばく露群の両群間の検査者による判定のバイアスを避けるため、可能な限り、両群とも上記の3機関で検査を行うこととした。検査は、一定の期間の中で対象者が希望日を選定することとした。

なお、一部のばく露群の者については、集団で検査を行う体制の確保が困難であったため、研究参加者の住所に近い医療機関（神奈川県立がんセンター、日立総合病院、小山イーストクリニック、八戸市立市民病院）に依頼し検査を行った。これらの医療機関では、甲状腺超音波検査の経験豊富な医師、技師が検査を行い、さらにその画像は本研究班で設置した精度管理委員会の行う判定委員会で再度見直したのち、最終的な判定を行った。（一部のばく露群の者については、本研究補助期間においてデータ収集が間に合わなかったが、福島労災病院においても、検査ができる体制を確保することができ、平成25年度末から順次実施している。）

また、柏崎刈羽原子力発電所の東京電力職員でばく露群に該当する者については、研究に先行して東京電力の委託で検査が終了していたため、当該検査を実施した柏崎総合医療センターから研究参加に同意している者の検査画像を研究班に提供していたが、これらの検査画像から判定を行って（使用検査機器：東芝メディカルシス

テムズ社製 Aplio50 SSA-700A）

c. 本調査の判定は、福島県民健康管理調査の判定結果分類に準じて、A1、A2、B、Cのいずれかに分類した。

A1：結節やのう胞を認めなかったもの

A2：5.0 mm以下の結節や充実部分を伴わない20.0 mm以下ののう胞を認めたもの

B：5.1 mm以上の結節や20.1 mm以上ののう胞を認めたもの

C：甲状腺の状態等から判断して、直ちに医療機関におけるさらなる検査を必要とするもの

判定精度を向上させるため精度管理委員会を設置した。また精度管理委員会の下に判定委員会を設置し、画像の判定を行った。判定委員会の開催は、精度管理委員会委員の出席により、事務局のある自治医科大学または虎の門病院（東京）において、計4度開催しすべての画像を判読し、一部については判定の見直しを行った（資料5）。開催日は、自治医科大学にて2月8日、2月28日、3月4日の3回、虎の門病院にて2月22日に1回行った。

精度管理委員会委員：

委員長 谷口 信行（自治医科大学）

委員 宮川めぐみ（虎の門病院）

委員 尾本きよか（自治医科大学さいたま医療センター）

委員 林田なおみ（長崎大学）

判定委員会委員：

委員長 谷口 信行（自治医科大学）

委員 宮川めぐみ（虎の門病院）

委員 尾本きよか（自治医科大学さいたま医療センター）

ま医療センター)

委員 林田なおみ (長崎大学)

5. 方法

ばく露群については、既に東京電力の長期健康管理の制度として運用されている甲状腺超音波検査を活用して、検査データの収集を行った。

対照群については、東電社員(東電本店、柏崎刈羽原子力発電所、福島第一・第二原子力発電所に勤務する者)を中心に参加を募った。この際、柏崎刈羽原子力発電所に入構している協力企業にも対照群の研究協力を依頼した。

なお、東京電力原子力安全・統括部及び協力企業に対して研究班から協力要請を行っており、事業者からの個人情報の提供についても本研究に同意の得られた者については事業者の協力が得られるように配慮した。

6. 個人情報の管理

検査データには、個人名、所属などの個人情報が付与されているが、これらのデータについては自治医科大学にある調査事務局に集約したのち、連結可能匿名化した後、大阪大学に設置するデータセンターに移送した。

7. 倫理

研究に当たり、大阪大学および自治医科大学にて、本調査に関する倫理委員会の審査承認を受け、遂行した。なお、検査を施行するにあたり、インフォームド・コンセントを得て研究を行うため、参加者には研究に関して説明し、文書で同意を得た。

対象者には、超音波検査実施前の説明会等により、その目的と意義、方法、利益と不利益などに関する説明を行い、文書で同意が得られた方のみを対象とした。説明会は、東京電力本店、柏崎刈羽原子力発電所、福島第二原子力発電所で行った。

実施機関共通項目として説明した内容は以下の通りである。(資料 6-1)

- 1 研究目的について
- 2 研究方法の概要について
- 3 研究への協力の任意性と撤回の自由について
- 4 協力して頂きたい内容
- 5 個人情報の保護について
- 6 研究計画書等の開示について
- 7 検査結果について
- 8 研究成果の公表
- 9 研究終了後のデータの取扱いについて
- 10 費用負担について
- 11 健康被害と対応について
- 12 研究により生じる知的財産権の所属について

なお、生涯累積実効線量による検討が必要となるため、公益財団法人放射線影響協会が運用している『原子力放射線業務従事者被ばく線量登録管理制度』により管理されているデータの提供についても文書により説明をし、研究参加者の同意を得た(資料 6-2)。

また、東京電力社員で対照群の者については、産業保健担当職員に相談等を行うことが想定されたため、研究班が実施した検査結果の提供の可否についても確認を行った。(資料 6-3)

なお、研究同意撤回についても、説明を行い、研究同意撤回書を準備した(資料6-4)。

8. アンケート調査

アンケートは、甲状腺疾患に関連する以下の項目を設定し、参加者に依頼した(資料7)。

- (1) 甲状腺疾患を含めた既往歴
- (2) 甲状腺疾患に関する家族歴
- (3) 喫煙状況
- (4) 飲酒状況
- (5) 頭頸部または胸部のCT(コンピューター断層撮影)検査歴
- (6) 頸部(甲状腺)の超音波検査歴

9. 所見用紙

本調査における所見用紙には以下の事項が記載されることとし、検査者に記入を依頼した(資料8)。

記載項目のリスト

- (1) 甲状腺の大きさ
- (2) 結節など：嚢胞、結節の有無とその最大径の計測、嚢胞内結節の有無など
- (3) その他の所見の有無(甲状腺欠損、びまん性疾患、リンパ節腫大)

なお、結節については必要に応じて血流の有無を観察した。

10. 結果通知書

本調査における結果通知書は、判定結果別に作成した。例として結果通知書を添付資料(資料9)に示す。また、検査結果の理解を深めるために、資料として甲状腺超音波検査の判定基準を作成し、添付した(資料10)。

11. 結果報告書

B判定、C判定者は、二次精密検査を勧めることになっている。そこで、研究では、両判定となったものに、添付の用紙を使用して精密検査の勧奨を行うとともに、医療機関に精密検査の検査についても依頼を行った(資料11-1、資料11-2)。なお、東京電力職員で対照群として参加された方については、その結果を東京電力の健康管理システムへの登録を希望するかを確認し、希望する場合は東京電力の産業医等産業保健関係職員に提供した。

12. 統計学的検討

ばく露群と対照群の比較はt検定または χ^2 二乗検定で、超音波検査の判定結果の比較は分散分析(ANOVA)により行った。5%未満を有意差ありとした。

13. 倫理面への配慮

倫理、個人情報については、一部既に述べたが、具体的には次のように行った。ばく露群については、対象者に対して研究班から研究概要について書面にて説明し、研究参加の同意を得た。また、画像データの他、線量管理のデータも活用する旨を書面にて説明した。対照群については、東京電力を通じて協力者を募り、研究班から研究概要について書面にて説明し、研究参加の同意を得た。また、要精査等の所見があった場合は、自主的に保険診療にて対応が可能である旨説明し、理解が得られた者について協力を得ることとした。

個人情報の扱いについては、分担研究者の研究施設において個人データは、研究用IDを用いて管理し、個人情報は外部からアクセスできない環境において適切に保管し、

作業を行った。個人情報を含む個人票・質問票については、研究期間終了後はすみやかに処分することとした。入手したデータを公表する際には、個人が特定できないように配慮し、必要な統計処理を経て公表するものとする事とした。厚生労働省の緊急作業従事者の長期健康管理データベースの情報を活用する場合は、安全衛生部の指示に従って、対応することとした。

健康被害に対する補償に関しては、本研究では基本的に頸部超音波検査を行うだけであり、健康被害が発生することは考えにくい。検査により何らかの健康被害が生じた場合は、適切に対応することとした。万一、重篤な有害事象が発生した場合も、その治療は保険診療により行われ、金銭による補償は行わないことを説明した。

検査費用負担及び謝礼については、対象者が本研究のために費用を負担すること、謝礼を受け取ることはないことを説明した。

以上、本研究の実施に際しては、臨床研究・疫学研究倫理指針を遵守し、大阪大学および自治医科大学における倫理審査委員会の承認を得た上で行った。

C. 研究結果

平成 26 年 3 月 27 日時点による参加者の結果を示す。

対象となる、東京電力および関連企業のばく露群は、甲状腺等価線量 100mSv (実効線量で 5mSv 相当) を超える被ばくをした緊急作業従事者であり、その数は 1,972 人であった。その比較となる対照群の人数は、その数と同様の数の検査を行うことを想定し、募集した。なお、対照群としては、主に東京電力職員に依頼し、説明会を開き、広く参加を募った。

検査は希望したが、研究への参加について不同意であった対照群 1 人、ばく露群 3 人を除き、研究に同意した対照群 1462 人、ばく露群 627 人を検討対象とした。

その平均年齢は、対照群 41.7 歳、ばく露群は 43.0 歳であり、両群の年齢に有意差はなかった。なお、性別は全員男性であった。

1. アンケート調査

既往歴 (複数回答あり) については、特になしとする者は対照群 1383 人、ばく露群 598 人であった。甲状腺疾患を有するのは対照群 14 人、ばく露群 7 人であった。癌は対照群 16 人、ばく露群 10 人であった。心臓疾患は対照群 25 人、ばく露群 7 人であった。脳疾患は対照群 9 人、ばく露群 4 人であった。血液の疾患は対照群 12 人、ばく露群 2 人であった。免疫系の疾患は対照群 5 人、ばく露群 2 人であった。

甲状腺の疾患 (複数回答あり) の家族歴では、特になし者は対照群 1423 人、ばく露群 613 人であった。ある者の具体的内訳についてみると、甲状腺機能亢進症は、対照群 8 人、ばく露群 3 人であった。甲状腺機能低下症は、対照群 4 人、ばく露群 2 人であった。甲状腺の腫瘍 (含む癌) は、対照群 10 人、ばく露群 4 人であった。慢性甲状腺炎は、対照群 0 人、ばく露群 0 人であった。その他の甲状腺疾患は、対照群 18 人、ばく露群 3 人であった。

喫煙状況は、喫煙したことがないは、対照群 548 人、ばく露群 210 人であった。喫煙をやめた者は、対照群 446 人、ばく露群 179 人であった。喫煙しているは、対照群 468 人、ばく露群 237 人であり、ばく露群で有意に喫煙者の割合が多かった ($p=0.03$)。

喫煙の平均本数（一日当り、本）は、対照群 14.9 本、ばく露群 15.7 本であった。

飲酒状況は、お酒を飲まないは、対照群 170 人、ばく露群 54 人であった。やめたは、対照群 47 人、ばく露群 26 人であった。お酒を飲むは、対照群 1245 人、ばく露群 547 人であった。平均量（一週間当り、アルコール量換算 ml）は、対照群 7.1ml、ばく露群 7.6ml であった。

CT 検査は、なしは、対照群 951 人、ばく露群 380 人であった。ありは、対照群 511 人、ばく露群 244 人であった。両群での平均検査回数は対照群 0.8 回、ばく露群 1.0 回であった。

超音波検査は、なしは、対照群 1380 人、ばく露群 270 人であった。ありは、対照群 82 人、ばく露群 357 人であり、ばく露群で有意に多く見られた ($p < 0.001$)。両群での平均検査回数は対照群 0.1 回、ばく露群 1.0 回であった。

2. 超音波検査結果

甲状腺超音波検査結果は、以下のごとくであった。

甲状腺の大きさについては、対照群 1429 人、ばく露群 611 人で正常の大きさであった。萎縮は、対照群 3 人、ばく露群 0 人であった。腫大は対照群 27 人、ばく露群 14 人であった。

嚢胞の有無については、対照群 426 人、ばく露群 253 人で嚢胞が認められ、ばく露群で有意に多く見られた ($p < 0.001$)。その数については、1 個のみ指摘されたのは、対照群 198 人、ばく露群 94 人であった。2 個指摘されたのは、対照群 70 人、ばく露群 46 人であった。3 個指摘されたのは、対照

群 25 人、ばく露群 29 人であった。4 個以上指摘されたものは、対照群 132 人、ばく露群 83 人であった。その最大径（平均:mm）は、対照群 4.8 mm、ばく露群 4.2 mm であった。嚢胞内の結節の有無については、対照群 45 人、ばく露群 24 人で認められた。最大径（平均:mm）は、対照群 6.6 mm、ばく露群 3.3 mm であった。

結節の有無は、対照群 173 人、ばく露群 92 人で結節が認められ、ばく露群で多い傾向であった ($p=0.07$)。数は、1 個は、対照群 142 人、ばく露群 72 人であった。2 個は、対照群 26 人、ばく露群 15 人であった。3 個は、対照群 1 人、ばく露群 2 人であった。4 個以上は、対照群 4 人、ばく露群 3 人であった。その最大径（平均:mm）は、対照群 9.3 mm、ばく露群 9.7 mm であった。その他の腫瘍性所見として認められたのは、対照群 3 人、ばく露群 2 人であり、これらは、副甲状腺腫大、石灰化などの所見であった。

他の甲状腺所見は、甲状腺の片葉欠損については、右葉欠損は対照群 0 人、ばく露群 0 人であった。左葉欠損は対照群 2 人、ばく露群 0 人であった。びまん性疾患は、対照群 16 人、ばく露群 9 人であった。

甲状腺の超音波検査による総合判定は、対照群 1462 人、ばく露群 627 人中、A1（正常所見）は、対照群 925 人（63.3%）、ばく露群 320 人（51.0%）であった。A2（二次検査不要）は、対照群 394 人（26.9%）、ばく露群 239 人（38.1%）であった。B（二次検査勧奨）は、対照群 141 人（9.6%）、ばく露群 67 人（10.7%）であった。C（二次検査必要）は、対照群 2 人（0.1%）、ばく露群 1 人（0.2%）であった。判定不可は、対