

文部科学省委託調査報告書

原子力発電施設等
放射線業務従事者等に係る疫学的調査
(第Ⅳ期調査 平成17年度～平成21年度)

平成22年3月

財団法人 放射線影響協会

本報告書は、文部科学省のエネルギー対策特別会計委託事業による委託業務として、(財)放射線影響協会が実施した平成 21 年度「原子力発電施設等放射線業務従事者等に係る疫学的調査(契約書第 1 条で定めた委託業務題目)」の成果を取りまとめたものです。

本委託業務実施のため、当協会は統計法に基づいて厚生労働大臣から人口動態調査に係る調査票情報の提供を受けました。本報告書には、提供を受けた調査票情報をもとに、当協会が放射線業務従事者に係る死亡統計を、独自に分析した成果が含まれています。

はじめに

わが国における原子力・放射線利用は、安全の確保を前提に、原子力発電、医療および学術研究での放射線利用等、国民生活を支える様々な分野において定着してきた。

しかし、放射線防護の観点から、放射線が生物に及ぼす影響、特に低線量域放射線が人体に及ぼす健康影響については国民の関心が高く、かねてより国民への正しい情報の発信と正しい理解の促進が求められているところである。近年、生物には低線量域放射線に特有の細胞応答機能が備わっていることが知られるようになる等、低線量域放射線の作用機序をはじめとして、基礎研究が急速な進展を見せているが、低線量域放射線の被ばくを受ける人体への健康影響については未解明の点も多く、これを直接的に観察する疫学的調査の役割は決して小さくない。

わが国には、全国的な規模での一元的な被ばく線量登録管理制度があり、原子力発電施設等の放射線業務従事者の正確な被ばく線量の記録等が、(財)放射線影響協会放射線従事者中央登録センターに遺漏なく登録・保管等されている。そこで(財)放射線影響協会は、放射線業務従事者の個人被ばく線量を利用して、低線量域放射線が人体に与える健康影響について科学的知見を得ることを目的に、文部科学省(当時科学技術庁)の委託を受け、1990年度(平成2年度)から、原子力発電施設等放射線業務従事者等に係る疫学的調査を開始し、2004年度(平成16年度)(5年を1期とした場合の第Ⅲ期)までの調査結果を2005年度(平成17年度)に報告した。

本報告書は、調査期間をさらに5年間延長して2009年度(平成21年度)までの調査結果をとりまとめたものである。この第Ⅳ期調査までの結果は総合的に、「低線量域の放射線が悪性新生物の死亡率に影響を及ぼしている明確な証拠は認められなかったと言える。」と評価された。

近年公表された15カ国合同解析、英国放射線業務従事者の調査結果では、白血病を除く全がんについて統計学的に有意のリスクの存在することが報告されているが、喫煙を含め交絡因子の関与の程度が不明確である。しかし、わが国のこの放射線疫学調査では直接的に喫煙等の生活習慣情報にもとづく調整が可能なサブグループを有することが特徴であり、さらに観察を継続することにより貴重な科学的知見を提供するものと期待されている。

したがって、低線量域の放射線が人体に及ぼす健康影響について、より信頼性の高い科学的知見を得るためには、長期にわたる調査継続による統計力の増強と、交絡因子の影響を排除した条件での新たな評価が是非とも必要である。そのためには、今後ともこの放射線疫学調査を継続していくことが強く望まれ、諸賢兄弟のご支援を切にお願いする次第である。

最後に、本調査の実施にあたり、専門的立場からご指導、ご助言を賜った各界の方々、原子力事業関係者の皆様に深く感謝の意を表する。

平成22年3月

財団法人 放射線影響協会
理事長 青木芳朗

目 次

I. 第Ⅳ期調査の概要	1
II. 第Ⅳ期調査	
1. 調査目的、体制等	7
2. 調査方法	
2. 1 追跡方法等	11
2. 2 解析方法	21
3. 調査結果	
3. 1 解析対象者の特性	25
3. 2 死因別死亡数	35
3. 3 外部比較	35
3. 4 内部比較	36
3. 5 喫煙関連疾患および非喫煙関連疾患に係る検討	37
3. 6 慢性リンパ性白血病を除く白血病のリスク推定	38
4. 考察	
4. 1 主要な解析結果について	53
4. 2 考察のまとめ	60
5. 総合評価	72
6. 今後の課題	73
・引用文献	74
補遺－1 全観察期間(後向き観察を含む)の解析結果	77
補遺－2 最短潜伏期の変化による感度解析結果	93
補遺－3 喫煙関連疾患および非喫煙関連疾患に係る解析結果	98
補遺－4 女性の放射線業務従事者の解析結果	107
資料編－1 本報告書で用いた用語の解説	109
資料編－2 放射線疫学調査 委員会名簿	116
資料編－3 放射線疫学調査 委員会開催経過	120

I. 第Ⅳ期調査の概要

1. 調査目的

(財)放射線影響協会では、1990年度(平成2年度)から文部科学省(旧科学技術庁)の委託を受けて、原子力発電施設、原子力研究開発施設等の放射線業務従事者等を対象とした疫学的調査(以下、放射線疫学調査と略記。)を実施している。

この放射線疫学調査は、未解明の点が多い低線量域放射線の健康影響について、科学的知見を得ることを目的としており、(財)放射線影響協会放射線疫学調査センターがその実務を担当した。

この報告書は、前回の第Ⅲ期調査(2000年度(平成12年度)～2004年度(平成16年度)から、さらに調査期間を5年間延長し、2009年度(平成21年度)までの第Ⅳ期調査結果をとりまとめたものである。

2. 調査方法

2.1 追跡方法等

この放射線疫学調査の対象者数は、原子力発電施設等において放射線業務に従事するため、1999年(平成11年)3月31日までに原子力事業者等から(財)放射線影響協会放射線従事者中央登録センターへ登録され、実際に放射線業務に従事した日本人の男女合計約27万7千人である。

放射線従事者中央登録センターから提供された調査対象者の個人識別情報をもとに調査した住所情報にもとづいて、市区町村長から調査対象者の住民票の写し等の交付を受けて生死を確認した。また厚生労働省から人口動態調査死亡票(CD-R転写分)の提供を受け、住民票の写し等により確認した死亡者を照合することにより死因を調査した。

放射線業務上の被ばく線量は、2007年度(平成19年度)までの年度別個人線量を放射線従事者中央登録センターから提供を受けた。

調査対象者のうち、2009年(平成21年)3月31日までに、男女合計約21万2千人の生死を確認できた。残る約6万5千人は住所情報を収集できなかった等の理由により生死を確認できていない。

2.2 解析方法

この放射線疫学調査の解析対象者は、前向きに生死を確認できた男性、すなわち一旦住民票の写しの交付を受け、その後の生死を確認できた男性約20万4千人である。

解析の対象となった放射線業務従事者について、前向き観察期間(1991年(平成3年)～2007年(平成19年))における、主として悪性新生物の死亡率と放射線業務上の被ばく線量との関連を検討するため、「外部比較」および「内部比較」

を行った。

「外部比較」では、解析対象者の死亡率が、全日本人男性死亡率（20歳以上85歳未満）に比べて高いか否かを検討するため、年齢、暦年で調整した標準化死亡比（SMR）を求めた。SMRは、観察死亡数と、全日本人男性死亡率から算出した期待死亡数との比である。またSMRが1に等しいかどうかについて両側検定を行い、p値が0.05未満の場合に有意であると判断した。

なお、外部比較では、放射線被ばくによる発がんの最短潜伏期を考慮しなかった。

「内部比較」では、解析対象者を年度別被ばく線量の累積値（以下、「累積線量」と略記。）により10、20、50および100mSvを区切りとする5群に分類した。年齢、暦年および最新の住民票の写し等の市区町村にもとづく地域で調整し、累積線量の増加にともなって死亡率に増加する傾向があるかどうかについて片側検定を行い、p値が0.05未満の場合に有意であると判断した。この場合の期待死亡数は、累積線量群別の死亡率が、線量群を無視した解析対象者全体の地域別・暦年別・年齢5歳階級別死因別死亡率と同率であるとして求めた。

なお、解析にあたり、非新生物疾患については最短潜伏期を考慮せず、新生物については放射線被ばくによる発がんの最短潜伏期を、白血病では2年、その他の新生物では10年を仮定した。

部位別悪性新生物については、多数の検定を繰り返して行うと偶然有意となることが考えられるので、解析対象の16部位を検定回数とした多重比較（Bonferroniの方法）を行った。

悪性新生物（固形がん）および非新生物疾患については、喫煙による交絡の可能性を検討するため、15ヵ国国際共同研究方法等を参考にそれぞれ喫煙関連疾患、非喫煙関連疾患に分けて解析した。

3. 調査結果

3.1 解析対象者の特性

前向きに観察した解析対象者（男性：203,904人）の観察人年は222.7万人年で、一人当たりの平均観察期間は10.9年であった。この観察期間内の死亡数は14,224人、このうち悪性新生物の死亡は5,711人であった。

また2007年（平成19年）12月31日現在、解析対象者の平均年齢は54歳で、出生年の最頻値は1950年代であった。

被ばく線量に関しては、一人当たりの平均累積線量は13.3mSvであった。

3.2 外部比較

全死因のSMR（95%信頼区間）は1.01（0.99-1.03）で有意差は認められなかった。

非新生物疾患の SMR は 0.95 (0.92- 0.97) で有意に 1 より低く、疾患別 (10 疾患) の SMR にも有意に 1 より高いものは認められなかった。

慢性リンパ性白血病を除く白血病の SMR は 1.00 (0.84- 1.18) で有意差は認められなかったが、白血病を除く全悪性新生物の SMR は 1.04 (1.01- 1.07) で有意に 1 より高かった。

部位別悪性新生物 (16 部位) の SMR は、肝臓、肺の悪性新生物が有意に 1 より高かったが、他に高いものはなかった。

なお、外因死の SMR は有意に 1 より高かった。

3. 3 内部比較

累積線量の増加にともなう慢性リンパ性白血病を除く白血病の死亡率には有意の増加傾向は認められなかった ($p=0.841$)。一方、白血病を除く全悪性新生物の死亡率には有意の増加傾向が認められたが ($p=0.024$)、肺の悪性新生物を除くと有意の増加傾向は認められなかった ($p=0.171$)。

全死因、非新生物疾患および外因死の死亡率には、累積線量にともなう有意の増加傾向は認められなかった (全死因; $p=0.136$ 、非新生物疾患; $p=0.609$ 、外因死; $p=0.087$)。また非新生物疾患の疾患別 (10 疾患) の死亡率にも、有意の増加傾向は認められなかった (いずれの疾患も $p \geq 0.05$)。

部位別 (16 部位) の悪性新生物では、食道、肝臓および肺の悪性新生物の死亡率に、累積線量にともなう有意の増加傾向が認められた (食道; $p=0.039$ 、肝臓; $p=0.025$ 、肺; $p=0.007$)。また非ホジキンリンパ腫、多発性骨髄腫に有意の増加傾向が認められた (非ホジキンリンパ腫; $p=0.028$ 、多発性骨髄腫; $p=0.032$)。

多重比較法では、これらすべての悪性新生物は有意ではなかった (食道; 調整後 $p=0.471$ 、肝臓; 調整後 $p=0.333$ 、肺; 調整後 $p=0.106$ 、非ホジキンリンパ腫; 調整後 $p=0.365$ 、多発性骨髄腫; 調整後 $p=0.406$)。

喫煙関連の悪性新生物の死亡率には、累積線量の増加にともなう有意の増加傾向が認められた ($p=0.009$)。しかし、喫煙関連の悪性新生物から、肺の悪性新生物を除くと有意の増加傾向は認められなかった ($p=0.108$)。

また非喫煙関連の悪性新生物の死亡率には、累積線量の増加にともなう有意の増加傾向は認められなかった ($p=0.830$)。

一方、喫煙関連および非喫煙関連の非新生物疾患の死亡率には累積線量にともなう有意の増加傾向は認められなかった (各々 $p=0.369$ 、 $p=0.808$)。

4. 考察

4.1 外部比較の結果について

慢性リンパ性白血病を除く白血病の死亡率は、全日本人男性死亡率（20歳以上85歳未満）との有意差は認められなかった。白血病を除く全悪性新生物の死亡率は、全日本人男性死亡率に比べ有意に高かったが、これは肝臓、肺の悪性新生物の死亡率が有意に高いことが寄与しているものと考えられ、喫煙、飲酒等の生活習慣等による影響の可能性を否定できない。

非新生物疾患の死亡率は、全日本人男性死亡率に比べ有意に低く、疾患別（10疾患）の死亡率においても有意に高い疾患は認められなかった。

非新生物疾患の死亡率を観察期間別にみると、近年では全日本人男性死亡率との有意差は認められなくなりつつあるが、観察期間を通じた死亡率が有意に低いのは、健康労働者効果の影響が考えられる。また白血病を除く全悪性新生物は、相対的に健康労働者効果の影響を受けにくいことを示唆する結果が示されている。

4.2 内部比較の結果について

慢性リンパ性白血病を除く白血病の死亡率に、累積線量の増加にともなう有意の増加傾向は認められなかった。

白血病を除く全悪性新生物の死亡率には有意の増加傾向が認められた。しかし、白血病を除く全悪性新生物から、肺の悪性新生物を除外した場合には、累積線量にともなう有意の増加傾向は認められなかった。

また悪性新生物（固形がん）を喫煙関連および非喫煙関連の悪性新生物に分類した調査では、累積線量の増加にともなって、喫煙関連の悪性新生物の死亡率に有意の増加傾向が認められた。しかし、喫煙関連の悪性新生物から肺の悪性新生物を除外した場合および非喫煙関連の悪性新生物の死亡率には有意の増加傾向は認められなかった。

このようなことから、累積線量にともなって白血病を除く全悪性新生物の死亡率に有意の増加傾向が認められたのは、喫煙等による生活習慣等の交絡による影響の可能性を否定できない。

一方、非新生物疾患についても悪性新生物（固形がん）と同様に、喫煙関連疾患、非喫煙関連疾患に分類して調査したが、双方の死亡率には累積線量にともなう有意の増加傾向は認められなかった。

喫煙関連の悪性新生物と喫煙関連の非新生物疾患で、死亡率と累積線量との関連が異なるのは、喫煙による影響（リスク）は、悪性新生物が非新生物疾患より大きいことに起因していることが考えられる。

食道、肝臓および肺の悪性新生物の死亡率、また非ホジキンリンパ腫、多発性骨髄腫の死亡率に、累積線量にともなう有意の増加傾向が認められた。

なお、多重比較法では、これらすべての悪性新生物は有意ではなかった。

この放射線疫学調査では、一人当たりの平均観察期間が 10.9 年と短いため、これらの悪性新生物の死亡率は、累積線量との有意の関連を偶然示した可能性についても否定できない。特に、非ホジキンリンパ腫、多発性骨髄腫は、死亡数が少なく不確実性が高いと考えられ、また欧米の放射線疫学調査においても累積線量との有意の関連を示す事例は多くない。

5. 総合評価

第IV期調査までの結果を総合して評価すると、以下のことから、低線量域の放射線が悪性新生物の死亡率に影響を及ぼしている明確な証拠は認められなかったと言える。

外部比較では、慢性リンパ性白血病を除く白血病の死亡率は全日本人男性死亡率（20 歳以上 85 歳未満）に比べ差は認められなかった。また白血病を除く全悪性新生物の死亡率は、全日本人男性死亡率に比べ有意に高かったが、生活習慣等の影響の可能性を否定できない。

内部比較では、累積線量の増加にともなう慢性リンパ性白血病を除く白血病の死亡率に有意の増加傾向は認められなかった。また白血病を除く全悪性新生物および喫煙関連の悪性新生物の死亡率に、累積線量の増加にともなう有意の増加傾向が認められた。しかし、これらの悪性新生物から肺の悪性新生物を除いた場合には、有意の増加傾向は認められなかった。

非喫煙関連の悪性新生物の死亡率に、累積線量にともなう有意の増加傾向は認められなかった。

これらの事実を勘案すると、今回認められた白血病を除く全悪性新生物の死亡率と累積線量との有意な関連は、生活習慣等の交絡による影響の可能性を否定できない。

6. 今後の課題

今回の調査では、平均観察期間は約 11 年であり、解析対象者約 20 万 4 千人のうち死亡者数は約 7%と少ないため、この対象者について観察期間を更に延長する必要がある。また生活習慣等の交絡による影響の可能性を否定できないことが示唆されているため、交絡因子の関与についての調査も必要である。

したがって、低線量域放射線と健康影響について、より信頼性の高い科学的知見を得るためには、今後ともこの放射線疫学調査を継続する必要がある。

Ⅱ. 第Ⅳ期調査

1. 調査目的、体制等

1.1 調査目的

放射線による健康への影響については、原爆被爆者、放射線治療を受けた患者等の研究データから多くの科学的知見が得られている。とりわけ、広島・長崎の原爆被爆者についての疫学研究成果は、原子放射線の影響に関する国連科学委員会（UNSCEAR）、国際放射線防護委員会（ICRP）等に、放射線の健康影響に関する重要な基礎的知見を提供している。しかし原爆被爆者のデータは高線量率放射線を瞬時に受けたものであり、低線量・低線量率（以下、「低線量域」と略記。）の放射線による健康影響については、科学的に未だ解明されたとはいえない状況にある。

このため、欧米では原子力産業施設従事者を対象とした疫学調査を行い、低線量域放射線の健康影響についての知見を得る努力が払われてきている。

一方、わが国では、原子力・放射線の利用が普及し、原子力発電、医療分野等の社会の様々な分野において定着している。そこで、放射線の健康影響に関しての社会的関心も高いことから、科学的知見を蓄積し、客観的な情報を国民に提供することが重要である。

このような状況に鑑み、文部科学省（当時、科学技術庁）は、低線量域の放射線が健康に与える影響に関する科学的知見を得るため、1990年（平成2年）11月から、（財）放射線影響協会（以下、「当協会」と略記。）に委託して、原子力発電施設、原子力研究開発施設等に従事した放射線業務従事者および従事している放射線業務従事者を対象に疫学的調査を実施することとした（以下、「放射線疫学調査」と略記。）。

1.2 調査経過

文部科学省から委託を受けた当協会では、調査開始以降5年間を区切りとして放射線疫学調査の進捗成果をまとめた。

1990年度（平成2年度）～1994年度（平成6年度）に第Ⅰ期調査¹⁾を、1995年度（平成7年度）～1999年度（平成11年度）に第Ⅱ期調査²⁾および発がんに影響を与える可能性のある喫煙、飲酒等の生活習慣等を調査する第1次交絡因子調査³⁾を実施し、文部科学省へ調査結果を報告するとともに、学術専門誌に公表した⁴⁾⁵⁾⁶⁾。

引き続き、2000年度（平成12年度）～2004年度（平成16年度）に第Ⅲ期調査⁷⁾および生活習慣等の経年的変化等を考慮して第2次交絡因子調査⁸⁾を実施し、文部科学省へ調査結果を報告した。

放射線疫学調査では、生死の観察を長期にわたって継続し、また生活習慣等による交絡の影響の可能性についても検討する必要があるため、2005年度（平成17年度）～2009年度（平成21年度）に第Ⅳ期調査を実施した。

この報告書は、放射線業務従事者の悪性新生物、非新生物疾患等による死亡率が、全日本人男性（20歳以上 85歳未満）の死亡率と異なるか否かを検討するとともに、放射線業務上の被ばく線量との関連について調査検討した結果をまとめたものである。

1.3 調査体制

当協会では放射線疫学調査の実施にあたっては、適正かつ効率的な調査を進める観点から、外部の専門家等により構成する放射線疫学調査倫理委員会、放射線疫学調査評価委員会、放射線疫学調査調査運営委員会および放射線疫学調査解析検討委員会を設置し検討・審議を行った（図 1.3-1, p.10）。

なお、各委員会での審議事項は下記の通りである。

放射線疫学調査倫理委員会では、弁護士、法律等の専門家の参加を得て、調査に係る倫理的課題について審議を受けた。

放射線疫学調査評価委員会では、疫学に関する専門家等の参加を得て、調査手法および調査結果等についての審議を受けた。

放射線疫学調査調査運営委員会では、疫学に関する専門家および原子力事業者の参加を得て、調査計画等の策定および調査の実施方法等について審議を受けた。

放射線疫学調査解析検討委員会では、疫学・統計解析に関する専門家の参加を得て、疫学調査データの解析手法および解析結果等について審議を受けた。

また必要に応じて、これらの委員会の下部機関として専門委員会を設置し、被ばく線量記録の取扱い等、専門的な課題について検討・審議を行った。

1.4 個人情報保護に係る措置

(1) 個人情報ファイルの保有に係る措置

この放射線疫学調査では、調査対象者の氏名、生年月日、住所、被ばく線量等の個人情報を収集、利用する必要がある。このため、文部科学省は、放射線疫学調査の開始にあたり、「行政機関の保有する電子計算機処理に係る個人情報の保護に関する法律」（昭和 63 年法律第 95 号）にもとづき、総務省（当時、総務庁）に対して個人情報ファイルを保有することを通知した。これを受けて、総務省は、文部科学省が放射線疫学調査ファイルを保有すること等を官報で告示⁹⁾した。

その後、文部科学省は、2005 年（平成 17 年）4 月 1 日から施行された「行政機関の保有する個人情報の保護に関する法律」（平成 15 年法律第 58 号）にもとづき、放射線疫学調査ファイルに係る個人情報ファイル簿を作成し公表¹⁰⁾した。

(2) 個人情報の取扱いに係る措置

文部科学省から委託を受けた当協会は、個人情報保護関係法令および「疫学研究に関する倫理指針」を遵守するため、放射線疫学調査倫理委員会で審議したうえで、個人情報の取扱いに係る措置等を講じている。具体的には、当協会の規程

および実務用の要領において、個人情報取扱者、取扱場所、保管、廃棄、取扱者の教育および守秘義務等に係ることについて定めている。

これらの規程および要領にもとづき、この放射線疫学調査に利用する個人情報を施錠可能な計算機室内でのみ取扱うこととし、入退室時におけるセキュリティ対策を実施している。

また計算機室内の電子計算機は、計算機室外のネットワークとは独立した環境にあり、この電子計算機に放射線疫学調査用のデータベースを構築するとともに、ID・パスワードによる認証を行い、アンチウィルスソフトおよび暗号化ソフトの導入を図っている。

(3) 調査対象者への説明と同意に係る措置

放射線疫学調査を開始した当時、当協会は調査対象者本人に直接接触することはしなかった。これは、「この放射線疫学調査は国が実施する公益性の高い調査であること、調査対象者が極めて多数であり本人の住所が把握できていなかった等の事情を総合的に勘案し、調査対象者本人に接触せずに放射線疫学調査を実施したとしても、その当時の社会通念に照らして許容される。」と考えられたことによるものである。

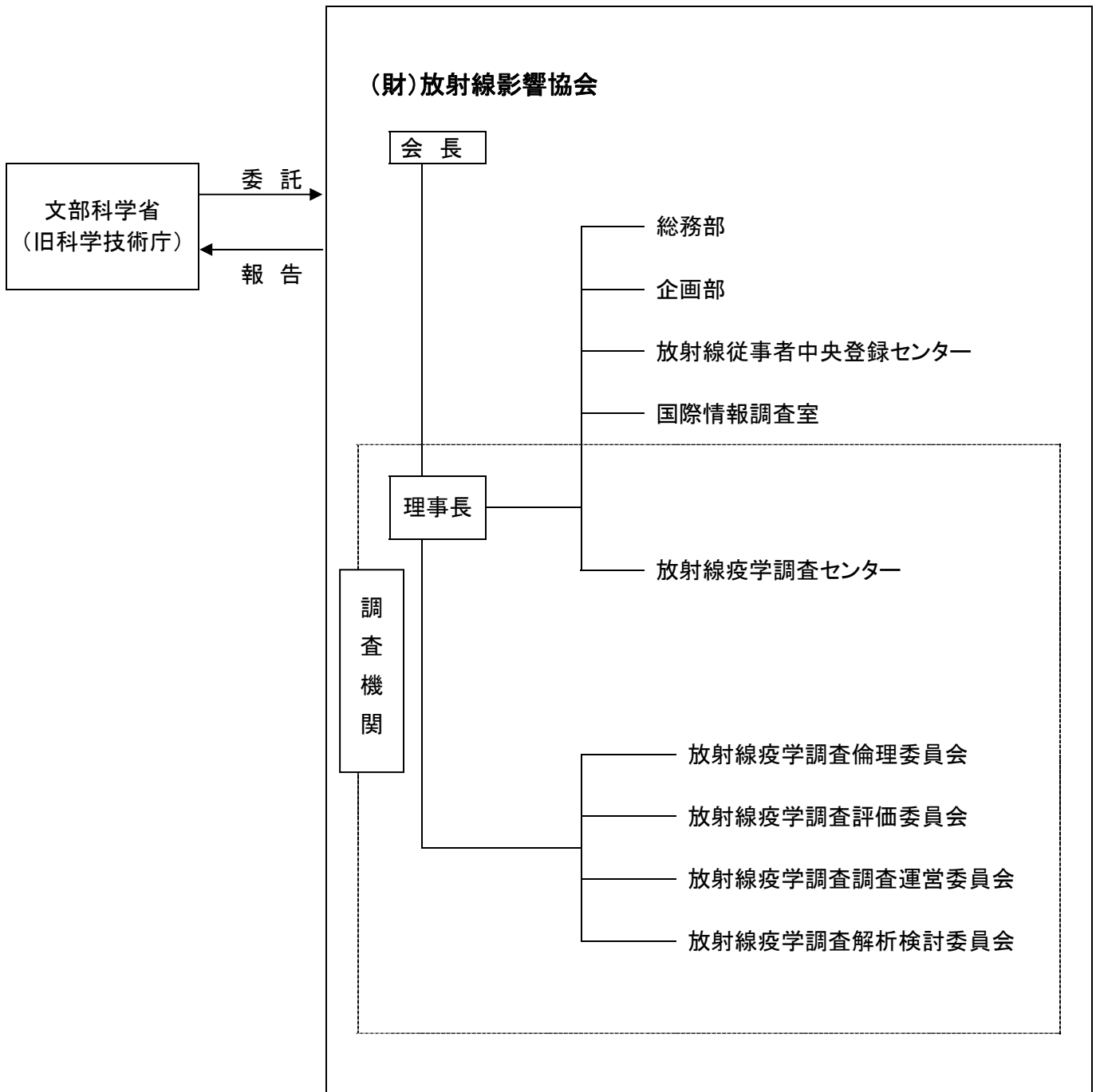
一方、当協会は、この放射線疫学調査の実施について調査対象者および調査関係機関の理解を求めることは重要であるとの認識から、原子力事業者等への放射線疫学調査に係るパンフレットの送付、原子力業界紙への放射線疫学調査に係る広告掲載および調査結果のホームページへの掲載等を通じて、広報活動を積極的に実施してきている。

近年、個人情報保護の重要性について社会的機運が高まり、国は個人情報保護に関連する法令を整備した。また国は、疫学研究が社会の理解と信頼を得て一層社会に貢献するため、「疫学研究に関する倫理指針」を制定し、研究の実施に当たっての個人情報保護に関する基本的な原則を示した。

この倫理指針によれば、観察研究に対しては、「インフォームド・コンセントを受けることを必ずしも要しない。研究の実施についての情報を公開し、研究対象者となることを拒否できるようにしなければならない。」とされていることから、当協会はホームページに放射線疫学調査の実施に関する情報を公開してきた。

これまで当協会では放射線疫学調査に関する情報を積極的に公開してきたが、2003年度（平成15年度）に実施した第2次交絡因子調査では、調査対象者本人に直接調査票を送付したことから、本人から当協会に放射線疫学調査に関して多くの問合せがあった。これら本人からの問い合わせ状況を踏まえ、当協会は、放射線疫学調査に係る情報の公開を徹底することが必要と判断し、2003年（平成15年）12月から調査対象者本人に対し、放射線疫学調査についての説明および調査対象者になることへの同意の意思の確認調査を実施した。

図1.3-1 放射線疫学調査の調査体制



2. 調査方法

この放射線疫学調査では、当協会の放射線従事者中央登録センター（以下、「中央登録センター」と略記。）に登録された放射線業務従事者を対象に、住民票の写し等を用いて生死を追跡し、死亡者の死因を厚生労働省から提供された人口動態調査死亡票（CD-R 転写分）を用いて調査した。また中央登録センターから提供された被ばく線量を調査した。

これらの収集資料をもとに、放射線業務従事者の業務上の被ばく線量と、死亡率との関連を調査した。

2.1 追跡方法等

(1) 調査対象者

この放射線疫学調査では、中央登録センターおよび原子力事業者等が維持運営している「被ばく線量登録管理制度」にもとづいて、原子力事業者等から中央登録センターに登録された放射線業務従事者を調査対象としている。

中央登録センターは、放射線業務従事者の被ばく線量等を全国規模で一元的に登録管理および記録の保管等を行うため 1977 年（昭和 52 年）11 月に設立され、「被ばく線量登録管理制度」の中心的推進機関の役割を果たしている。原子力事業者等から中央登録センターに登録された放射線業務従事者は、原子力事業者が保有する試験研究開発の施設、商業用原子力発電の施設あるいは燃料加工施設等のうち、いずれか 1 箇所以上の事業所において放射線業務従事者の指定を受けた者である（表 2.1-1, p.14）。

調査対象者数は、中央登録センターへ 1999 年（平成 11 年）3 月末までに登録された放射線業務従事者（累計約 34 万 3 千人）のうち、下記に該当する者を除外した 277,128 人（男性：274,558 人、女性：2,570 人）である。

- ① 中央登録センターに登録されたが、放射線業務に従事しなかった者
理由：放射線業務に従事した者を調査対象としているため。
- ② 日本国籍を有しない者
理由：外国籍の者は住民票による生死確認調査ができないため。

(2) 生死確認調査

1) 住所情報調査

この放射線疫学調査では、調査対象者の生死を住民票の写し等を用いて確認することとしており、このため調査対象者の住所の情報を原子力事業者等の協力を得て調査した。

住所情報に関する調査の手順としては、まず始めに中央登録センターから、調査対象者本人の登録氏名、生年月日、性別、中央登録番号および従事した原子力事業所等の情報の提供を受けた。次にこれら中央登録センターから提供を

受けた情報にもとづき、原子力事業者等の協力を得て、原子力事業所に保管管理されている書類をもとに調査対象者本人の住所情報を調査し収集した。

この住所情報に関する調査では、調査対象者 277,128 人（男性：274,558 人、女性：2,570 人）のうち、240,817 人（男性：239,099 人、女性：1,718 人）の住所情報を収集した。残る 36,311 人（男性：35,459 人、女性：852 人）の住所情報は収集できなかった。なお、この住所情報調査は 1999 年度（平成 11 年度）で終了した。

2) 住民票の写し等による追跡調査

住所情報を収集できた調査対象者について、住民基本台帳法（昭和 42 年法律第 81 号）にもとづいて、その住所地の市区町村長に対し住民票の写し等の交付を請求し、これにより生死の確認を行った。生死の確認にあたっては、住民票または転出除票の写しの交付を受けた者を生存と判断し、死亡除票の交付を受けた者を死亡と判断した。

2009 年（平成 21 年）3 月 31 日までに住民票の写し等の交付を受けて、生死を確認できた者は 211,592 人（男性：210,167 人、女性：1,425 人）であった（表 2.1-2, p.15）。住民票の写し等の交付申請をしたものの、交付を受けることが出来なかった者は 29,225 人（男性：28,932 人、女性：293 人）であった。

市区町村における除票の保存期間は、住民基本台帳法施行令第 34 条により、消除された日から 5 年間と定められていることから、原則的には保存期間を経過した死亡除票または転出除票の交付を受けられない。

住民票の写し等の交付を受けられなかった理由としては、住所情報に関する調査で得た住所情報が交付請求時点の住民登録先住所と異なっていた、または市区町村における除票の保存期間（5 年）をすでに経過していた等が考えられる。なお、女性について生死が確認された者は 55.4% と低い割合にとどまったが、これは結婚等により姓を変更した等の理由が加わったことによるものと推測される。

この放射線疫学調査では、この生死の確認についての追跡調査を継続するため、一旦住民票の写し等の交付を受けた調査対象者については、その交付時期以降、市区町村における除票の保存期間（5 年）を超えない範囲で、住民票の写し等を交付請求することとしている。

住民票の交付を受けた者のうち、前向きに追跡調査^注を行った 205,903 人（男性：204,506 人、女性：1,397 人）については、2009 年（平成 21 年）3 月 31 日までに 205,340 人（男性：203,943 人、女性：1,397 人）の生死を確認した。

注：一般的に疫学調査では、調査集団を設定し追跡を開始した時点からみて、時間の進行方

向に沿って情報を収集することを前向き追跡、一方過去に遡及して情報を収集することを後向き追跡という。

3) 生死確認者の線量分布

一般に、生死を追跡するコホート調査では調査対象者が生死不明となる人数は少ないことが望ましい。この放射線疫学調査では調査対象者 274,558 人（男性）を追跡し、2009 年（平成 21 年）3 月 31 日までに 210,167 人（男性）の生死を確認した。

前向きに追跡した者では、累積線量群別の生死を確認できた割合はいずれの線量群においても 99.5%以上であり、累積線量群間で殆ど差異がなかった（表 2.1-3, p.16）。

一方、後向き追跡を含めた者では、累積線量が多い群ほど生死を確認できた者の割合が高く、累積線量が少ない群ほどその割合は低い傾向にあった（表 2.1-4, p.17）。

4) 同意の意思確認の状況

当協会は、2003 年（平成 15 年）12 月から、前記「1.4 個人情報保護に係る措置」のとおり、調査対象者に対し放射線疫学調査の説明と同意の意思の確認を実施した。

具体的には、調査対象者に対し“放射線疫学調査についての説明資料”および“放射線疫学調査の対象者となることに同意しない旨の申出書”等を郵送し、本人が調査の対象者になることについて同意しない場合には、その旨の申出を受け付けた。

2009 年（平成 21 年）3 月 31 日までに調査対象者の 12,410 人（男性：12,223 人、女性：187 人）から申出があり、その後は申出た者の住民票の写し等の交付申請をしていない。

なお、申し出者に関する個人情報の扱いに関して、倫理委員会において審議検討し、すでに申出以前に収集した情報は、匿名化した上で、今後とも放射線疫学調査ファイルに保有することについて承認を得た。

表2. 1-1 わが国の原子力事業者
(被ばく線量登録管理制度への参加事業者)

(1999年(平成11年)3月末時点)

事業の種類	事業者名	原子力事業所所在地(事業所数)
原子力 研究開発	日本原子力研究所 ^{注1}	青森県(1)、茨城県(5)、京都府(1)
	核燃料サイクル開発機構 ^{注1}	茨城県(2)、岐阜県(1)、福井県(2)、 岡山県(1)
商業用 原子力発電	北海道電力株式会社	北海道(1)
	東北電力株式会社	宮城県(1)
	東京電力株式会社	福島県(2)、新潟県(1)
	中部電力株式会社	静岡県(1)
	北陸電力株式会社	石川県(1)
	関西電力株式会社	福井県(3)
	中国電力株式会社	島根県(1)
	四国電力株式会社	愛媛県(1)
	九州電力株式会社	佐賀県(1)、鹿児島県(1)
	日本原子力発電株式会社	茨城県(2)、福井県(1)
燃料加工 ・その他	原子燃料工業株式会社	茨城県(1)、大阪府(1)
	住友金属鉱山株式会社	茨城県(1)
	日本ニュークリア・フュエル株式会社 ^{注2}	神奈川県(1)
	三菱原子燃料株式会社	茨城県(1)
	株式会社ジェー・シー・オー	茨城県(1)
	日本原燃株式会社	青森県(2)

注1:日本原子力研究所および核燃料サイクル開発機構は2005年(平成17年)10月1日に
統合し、独立行政法人日本原子力研究開発機構となった。

注2:日本ニュークリア・フュエル株式会社は、2001年(平成13年)9月、株式会社グローバル・
ニュークリアフュエル・ジャパンに社名変更した。

表2. 1-2 調査対象者の生死確認結果

	男性	女性	合計
(1) 調査対象者	274,558	2,570	277,128
①住所情報が入手できなかった者	35,459	852	36,311
②2009年（平成21年）3月末までに住民票の写し等の交付を受けることができなかった者	28,932	293	29,225
(2) 生死を確認できた者（=(1)-①-②）	210,167	1,425	211,592
調査対象者に対する割合	76.6%	55.4%	76.4%

注:2009年（平成21年）3月31日までの生死確認調査による。

表2. 1-3 累積線量群別 前向き追跡調査(男性)の生死確認割合

累積線量群 (mSv)	前向き追跡者	生死確認者	
	人数 (A)	人数 (B)	追跡率 (%) (B) / (A)
<10	152, 188	151, 817	99. 8
10-	18, 255	18, 172	99. 5
20-	18, 758	18, 697	99. 7
50-	9, 207	9, 174	99. 7
100+	6, 098	6, 083	99. 8
合計／平均	204, 506	203, 943	99. 7

注:2009年(平成21年)3月31日までの生死確認調査による。

注:累積線量は、2007年度(平成19年度)までの年度線量の累積値である。

表2.1-4 累積線量群別 調査対象者(男性)の生死確認割合
(後向き追跡を含む)

累積線量群 (mSv)	調査対象者	生死確認者	
	人数 (A)	人数 (B)	追跡率 (%) (B) / (A)
<10	214,978	156,676	72.9
10-	22,195	18,773	84.6
20-	21,271	19,202	90.3
50-	9,815	9,350	95.3
100+	6,299	6,166	97.9
合計／平均	274,558	210,167	76.5

注:2009年(平成21年)3月31日までの生死確認調査による。

注:累積線量は、2007年度(平成19年度)までの年度線量の累積値である。

(3) 死因調査

この放射線疫学調査では、統計法（平成 19 年法律第 53 号）にもとづき厚生労働大臣の承認を得て、人口動態調査死亡票（転写 CD-R 分）（以下、「死亡テープ」と略記。）の提供を受けて、住民票の写し等により死亡を確認した者の原死因を調査した。

なお、前回第Ⅲ期調査までは、統計法（昭和 22 年法律第 18 号）にもとづき総務大臣の承認を得て、厚生労働省から人口動態調査死亡票（磁気テープ転写分）の提供を受けてきたが、全面改正された統計法が 2009 年（平成 21 年）4 月 1 日から施行された。

厚生労働省からは、性別、生年月日、死亡年月日、住所および原死因を入力した死亡テープの提供を受けた。なお、提供を受けた住所は都道府県別符号および市区町村別符号であり、原死因の死因コードは、第 9 回、第 10 回修正国際疾病傷害死因分類（以下、「ICD-9」、「ICD-10」と略記。）を基本とした死因基本分類表¹¹⁾¹²⁾による死因コード、または死因基本分類表をもとに作成された死因簡単分類表¹¹⁾¹²⁾による死因コードである。

この死因調査の対象者は、死亡除票の交付を受けて、解析条件に適合する死亡者とした。これらの死亡者の性別、生年月日、死亡年月日および住所の 4 項目を、死亡テープに記載されているこれら 4 項目と照合し、照合項目が一致する者を死亡テープから抽出し、その者の原死因を放射線疫学調査で判明した死亡者の死因とした。一致する者を抽出することができなかった場合には、その死亡者の死因は不明とした。

今回、第Ⅳ期調査における死因調査の対象者は、2007 年（平成 19 年）12 月 31 日までに死亡した 6,576 人（男性 6,557 人、女性 19 人）であり、死亡テープと照合した結果、6,536 人（男性 6,517 人（判明率 99.4%）、女性 19 人（判明率 100%））の死因が判明した。残る 40 人（男性）の死因は不明であった。

今回の死因調査の結果を、前回第Ⅲ期調査までの結果と合算すると、前向きの追跡調査により確認できた死亡者は 14,257 人（男性 14,224 人（死因不明 80 人を含む）、女性 33 人）であった。また後向き追跡を含めた場合には、死亡者 17,082 人（男性 17,043 人（死因不明 96 人を含む）、女性 39 人）であった。

(4) 被ばく線量の調査

この放射線疫学調査では、調査対象者の年度別個人線量の記録を、中央登録センターから提供を受けた。この年度別個人線量の記録は、中央登録センターおよび原子力事業者が維持運営している「被ばく線量登録管理制度」にもとづいて、各原子力事業者が放射線業務従事者の個人線量（実効線量）の記録を、年度毎に中央登録センターに登録したものである。

放射線業務従事者が複数の原子力事業所で放射線業務に従事した場合でも、1977年度（昭和52年度）に発足した「被ばく線量登録管理制度」により、その線量記録が重複、脱落することなく、全国的な規模で放射線業務従事者の線量記録を一元的に登録管理および記録の保管ができることとなった。

なお、発足以前の個人線量の記録についても、各原子力事業者から中央登録センターに登録されている。

今回の第Ⅳ期調査では、中央登録センターから、前回第Ⅲ期調査から5年間延長して、1957年度（昭和32年度）～2007年度（平成19年度）における調査対象者の年度別個人線量の記録について提供を受けた。

また調査対象者個人が、同一年度に複数の原子力事業所において放射線業務に従事した場合、その線量記録は合算され、個人の年度内の合計被ばく線量（単位はmSv）として中央登録センターから提供を受けた。

原子力発電施設等における放射線業務従事者の個人線量管理は、国際放射線防護委員会（ICRP）の勧告を取り入れた放射線防護関連法令にもとづき行われている。

放射線防護関係法令は、ICRP勧告の被ばく線量の概念、被ばく線量限度および被ばく線量の測定量（単位）等の改定にあわせ、新しいICRP勧告の内容を取り入れた改正が重ねられている。

一方、代表的な個人線量計の一つであったフィルムバッジは、原子力開発当初から多くの原子力施設で使用されていたが、近年、放射線計測技術およびデジタル技術の進展により、ガラス線量計、電子式個人線量計等が開発され実用化されている。

このように時代とともに、原子力発電施設等における個人線量管理は変遷し、被ばく線量の測定量（単位）あるいは個人線量計に変化が認められている。

放射線疫学調査では、個人の従事期間全体に亘る線量記録を、従事した原子力施設を区別せずに用いる。中央登録センターに登録された個人線量の記録は、ICRP勧告等の定義の変更に伴い被ばく線量の測定量（単位）が異なり、また種類の異なる個人線量計によって測定されたものである。このため、放射線疫学調査開始初期に、放射線疫学調査に用いる個人線量の記録を一律に取り扱うことに整合性があるかどうかについて評価、検討¹³⁾¹⁴⁾した。

個人線量管理に係る状況の変化としては、2001年度（平成13年度）から、ICRP

Publ.60（1990年勧告）を取り入れた放射線防護関係法令が施行され、また原子力発電施設等では、フィルムバッジに代えてガラス線量計、電子式個人線量計等が使用されるようになった。

このため第IV期調査において、協会内に線量記録評価専門委員会を設け、原子力事業者等における個人線量管理の運用方法、個人線量の測定評価等の観点から、長期間にわたる個人線量記録の整合性および加算することの妥当性について検討した。

その結果、被ばく線量の概念や放射線の量の定義に変更あるものの、原子力発電施設等においては、経年的に、かつ原子力事業所間を横断的に見ても、放射線防護関係法令等にもとづき適切に個人線量管理が行われており、また公的なマニュアル等に定める方法に従い個人線量計の性能維持管理が行われていることを確認した。

このため、中央登録センターに登録されている個人線量の記録は、整合性が十分確保されており、年度別個人線量の記録を加算して、放射線疫学調査に用いることは適切と判断した。

2.2 解析方法

この放射線疫学調査では、放射線業務従事者への放射線による健康影響、主として悪性新生物の死亡率への影響を主眼において解析を行った。

一般的な疫学調査でコホート研究の場合には、調査集団を設定し追跡を開始した時点からみて、時間の進行方向に沿って追跡し情報を収集することを前向き追跡（または前向き観察）と言ひ、一方、追跡を開始した時点からみて、過去に遡及して情報を収集することを後向き追跡（または後向き観察）と言ふ¹⁵⁾。

前向き追跡は、後向き追跡と比べ生死確認におけるバイアスが少ないと見込まれている。実際、この放射線疫学調査では、調査対象者の生死を確認できた割合は、後向き追跡を含む場合と比べて、前向き追跡には累積線量群間に差異が殆ど認められなかった（表 2.1-3～表 2.1-4, pp.16-17）。

このため、ここでは前向きに追跡した期間（前向き観察期間）における解析方法について記述する。

放射線業務上の被ばく線量と死亡率との関連を検討するために、全日本人男性（20歳以上 85歳未満）の死因別死亡率と比較する外部比較と、累積線量群ごとの死因別死亡率を比較する内部比較を行った。これらの解析方法および観察期間等の取扱いについて以下に示す。解析プログラムにはEPICURE等を用いた¹⁶⁾。

なお、後向き観察を含む全観察期間についての解析方法は後述した（補遺-1, p.77）。

(1) 外部比較

外部比較では、放射線業務従事者と全日本人男性（20歳以上 85歳未満）との死因別死亡率を比較し、放射線業務従事者の悪性新生物（主に白血病、その他の悪性新生物）および非新生物疾患の死亡率が全日本人男性と異なるか否かを検討した。また悪性新生物を部位別に、非新生物疾患を疾患別に死亡率を検討した。

解析対象集団の死亡率を全日本人男性の死亡率と比較・検討するために、次式によって標準化死亡比（Standardized Mortality Ratio; SMR）を計算した¹⁷⁾¹⁸⁾。

$$\text{SMR} = \text{観察死亡数} / \text{期待死亡数}$$

ここで外部比較における期待死亡数は、解析対象集団の年齢 5 歳階級別死因別死亡率が全日本人男性のそれと同率であると仮定したときに期待される死亡数である。具体的には、この放射線疫学調査において前向き観察期間の 1991 年（平成 3 年）～2007 年（平成 19 年）を以下の 4 期間に分けて、期間毎に全日本人男性の年齢 5 歳階級別死因別死亡率を求め、それを各々の期間における基準死亡率とした。期待死亡数は、この基準死亡率に解析対象集団の観察人年（後述）を乗じて期間毎の期待死亡数を求め、それらの総和を求めることにより得られる。

なお、外部比較では、放射線被ばくによる発がんの最短潜伏期を考慮しなかつ

た。

- ・ 1991 年（平成 3 年）～1994 年（平成 6 年）
- ・ 1995 年（平成 7 年）～1999 年（平成 11 年）
- ・ 2000 年（平成 12 年）～2004 年（平成 16 年）
- ・ 2005 年（平成 17 年）～2007 年（平成 19 年）

またSMRの95%信頼区間を求めるとともに、両側検定により検定した¹⁷⁾¹⁸⁾。算出した両側検定のp値が0.05未満の場合、「SMR<1の時には有意水準5%で解析対象集団の死亡率は全日本人男性の死亡率に比べて有意に低い、あるいはSMR>1の時には有意水準5%で全日本人男性の死亡率に比べて有意に高い」と判断した。

(2) 内部比較

放射線業務従事者の累積線量と悪性新生物（主に白血病、その他の悪性新生物）および非新生物疾患の死亡率との関連の有無を検討するために、解析対象者を累積線量により5群（10mSv未満、10mSv以上20mSv未満、20mSv以上50mSv未満、50mSv以上100mSv未満および100mSv以上）に分け、観察死亡数（O）と期待死亡数（E）の比（O/E比）および95%信頼区間を求めた。

また悪性新生物を部位別に、非新生物疾患を疾患別に累積線量と死亡率との関連について検討した。

各累積線量群の期待死亡数は、到達年齢（20歳以上85歳未満の5歳階級別）、暦年（1991年（平成3年）～2007年（平成19年）を4期間に分類）および最新の住所地による地域（8地域に分類）で層別し、線量群を無視した解析対象者全体の地域別・暦年別・年齢5歳階級別死亡率で死亡したと仮定して求めた。したがって、期待死亡数の総和は観察死亡数の総和と一致する^注。

注：表3.4-1～表3.4-2（pp.46-49）および表3.5-1～表3.5-2（pp.50-52）に示す期待死亡数は、小数第2位を四捨五入し小数第1位まで示しているため、期待死亡数の総和は観察死亡数の総和に一致しない場合がある。

なお、住所地による地域は、最新の住民票の写し等が交付された市区町村をもとに、全国を8地域（北海道・東北、関東、北陸、中部、近畿、中国、四国、九州・沖縄）に分類した（表3.1-7, p.34）。

累積線量と死亡率との関連の有無を検討するため、死亡率は累積線量とともに増加しないとの仮説を設定し、スコア検定統計量を用いて傾向性の片側検定を行った¹⁸⁾。算出した片側検定のp値が0.05未満の場合には、「有意水準5%で、累積線量の増加にともなって、解析対象集団の死亡率は増加する」という有意の増加

傾向を示す結果が得られたと判断した。

なお、スコア検定統計量を算出する際の累積線量群ごとの代表値としては、その群における個人の線量の平均値を使用した。

一つの集団で多数の異なった部位を解析した場合、5%の有意水準を用いた検定では統計学的に有意な結果が、20回に1回は偶然によっても起こり得る。部位別悪性新生物については、16部位を検定回数として多重比較（Bonferroniの方法）¹⁷⁾により調整したp値を求めた。

(3) 被ばく線量の取扱い

この放射線疫学調査では、放射線業務に従事開始以降、中央登録センターに登録された年度線量を時間依存変数として扱い解析に供した。ある放射線業務従事者が同一年度に複数の原子力事業所において放射線業務に従事した場合、その年度の線量記録は合算して中央登録センターから提供された。

線量積算の際には、年度線量は当該年度において月単位で一様に放射線を受けたものとして取扱った。また死亡年度の線量は当該年度の4月1日から死亡日までに月単位で一様に放射線を受けたものとし、検出限界未満は0mSvとした。

(4) 観察人年の計算

死亡率は死亡数を観察人年の総和で除して得られるが、その計算には観察人年を求める必要がある。この放射線疫学調査では、解析対象者個人の観察人年は、個人毎の観察開始日から観察終了日までの観察期間として算出した。

観察開始日は、最初に取得した住民票の写しの交付日、年齢が20歳に到達した当日、放射線業務に従事した初年度の4月1日のうち、いずれか新しい日付とした。

また潜伏期を仮定する場合には、各個人の観察開始日は、最初に取得した住民票の写しの交付日、年齢が20歳に到達した当日、または放射線業務に従事した初年度に最短潜伏期相当年数を加えた年度の4月1日のうち、いずれか新しい日付とした。

観察終了日は最終生存確認日^注、または年齢が85歳に到達する前日のうち、いずれか古い日付とした。なお、厚生労働省から提供された死亡テープは、2007年（平成19年）12月31日までのものであるため、その翌日以降の人年は計算していない。

注：最終情報が住民票の場合には住民票の写し交付日、転出除票の場合には転出年月日、死亡除票の場合には死亡年月日である。

各個人の生死確認の追跡履歴は異なっているため、観察期間は個人ごとに異なるが、各個人の前向き観察期間は、住民票の写し等による追跡調査が開始された

1991年（平成3年）11月28日（最初の住民票の交付日）から2007年（平成19年）12月31日（死亡テープの最終日付）の間に存在する。

なお、この観察期間内の1999年（平成11年）9月30日に、（株）ジェー・シー・オー東海事業所において臨界事故が発生した。この事故による被ばく線量が1GyEq程度以上と評価された者が、この放射線疫学調査の対象者である場合には、この事故の前日（9月29日）までを観察期間とし、事故当日以降の観察を打ち切った。

解析対象者個人の観察開始日から観察終了日までの観察人年を、年齢5歳階級ごとに算出し、解析対象者全体の観察人年の総和を求めて、前向き観察期間の総観察人年とした。

（5）潜伏期の取扱い

被ばくからがん発生までに数年以上のずれ（潜伏期）があると考えられているので、内部比較を行う場合には、白血病については最短潜伏期を2年、白血病以外の新生物では最短潜伏期を10年と仮定した¹⁹⁾²⁰⁾。しかし、低線量域の放射線被ばくによる潜伏期は、必ずしも明確に確認されているわけではないので、慢性リンパ性白血病を除く白血病および白血病を除く全悪性新生物については最短潜伏期を0、5、10、15、20年と仮定した感度解析を行い検討した（補遺-2, p.93）。

なお、非新生物疾患については最短潜伏期を考慮しなかった。

この放射線疫学調査において、潜伏期を仮定する場合には、観察終了日から最短潜伏期に相当する年数を遡った期間の被ばく線量は除外した。

また英国健康保護庁（旧英国放射線防護庁）が英国の放射線業務従事者を対象に実施した解析方法²⁰⁾に準じて、従事開始初期から最短潜伏期に相当する期間を観察期間に含めないこととしたため、潜伏期を仮定した観察死亡数は、潜伏期を仮定しない観察死亡数よりも減少することがある（補遺-2, p.93）。すなわち、個人の観察開始日は、放射線業務に従事した初年度に最短潜伏期に相当する年数を加えた年度の4月1日になることがあるため、観察死亡数や観察人年は、潜伏期を仮定しない場合に比べ減少する。

3. 調査結果

3.1 解析対象者の特性

前向き追跡調査では、累積線量群間での生死確認の割合に殆ど差異がなく生死確認のバイアスが少ないと考えられるので、解析対象に後向き追跡調査での生死確認者を含める場合より、信頼性の高い結果が期待される。

このため、この放射線疫学調査においては、2009年（平成21年）3月31日までに前向きに生死を確認できた205,340人（男性：203,943人、女性：1,397人）のうち、性別、年齢等の解析条件を考慮して、203,904人（男性）を解析対象者とした（表3.1-1, p.26）。

1999年（平成11年）3月までに中央登録センターに登録されている者（中央登録集団：約34.3万人）から、解析対象者を得るまでの流れ、相互関係等を示す（図3.1-1, p.27）。

なお、後向き追跡調査で生死を確認した者も含めた208,418人（男性）についての調査結果は後述した（補遺-1, p.77）。

前向きに生死を確認できた解析対象者（男性：203,904人）の観察人年は222.7万人年で、一人当たりの平均観察期間は10.9年であった。

累積線量群別の人数は、10mSv未満の者は74.4%、100mSv以上の者は3.0%で、相対的に累積線量の低い側に偏った分布を示していた（表3.1-2, p.28）。また一人当たりの平均累積線量は13.3mSvであった。

出生年別の人数は、1950年代の者が25.1%と最も多く、次に1940年代、1960年代の者が各々22.6%、21.2%を占めている（表3.1-3, p.29）。平均年齢は54歳（2007年（平成19年）12月末）である。

また累積線量群別の出生年分布は、相対的に累積線量の高い群ほど、1940年代、1950年代の者の割合が多いことを示していた（図3.1-2, p.30）。

放射線業務の従事状況については、1989年度（平成元年度）以前に放射線業務に従事した者が64.7%（表3.1-4, p.31）を占め、また従事年数については5年未満の者が55.3%と半数以上を占め、20年以上の者は10.2%であった（表3.1-5, p.32）。

また最新の住民票の写し等から調べた住民登録先の地域別の人数分布は、関東が34.7%を占め、次いで北海道・東北が18.1%、近畿が12.9%であった（表3.1-6～表3.1-7, pp.33-34）。

表3. 1-1 解析対象者の設定
(前向き観察)

	対象者数	備 考
(1) 生死確認者	205,340 男性：203,943 女性：1,397	前向き追跡調査により、2009年（平成21年）3月31日までに生死を確認できた者。
除外対象者 (2) 女性	1,397	除外理由 死亡者が少数であるため信頼性のある統計学的解析結果が得られないと判断したため。なお、参考として外部比較の結果を示す（補遺-4, p.107）。
(3) 観察開始日が、観察終了日以降である男性。	21	除票に記載されている異動日が、最初の住民票の写しの交付日より古かったため。
(4) 個人の観察期間にわたって、年齢が20歳未満の者および85歳以上の男性。	18	人口動態統計からは18歳～19歳の死亡数が得られないため、外部標準死亡率が求められない。また85歳以上の死亡では死亡診断書の正確性に問題のあることが少なくないことを考慮したため。
解析対象者 =(1)-(2)-(3)-(4)	203,904	

図3. 1-1 解析対象者の設定までの相互関係について

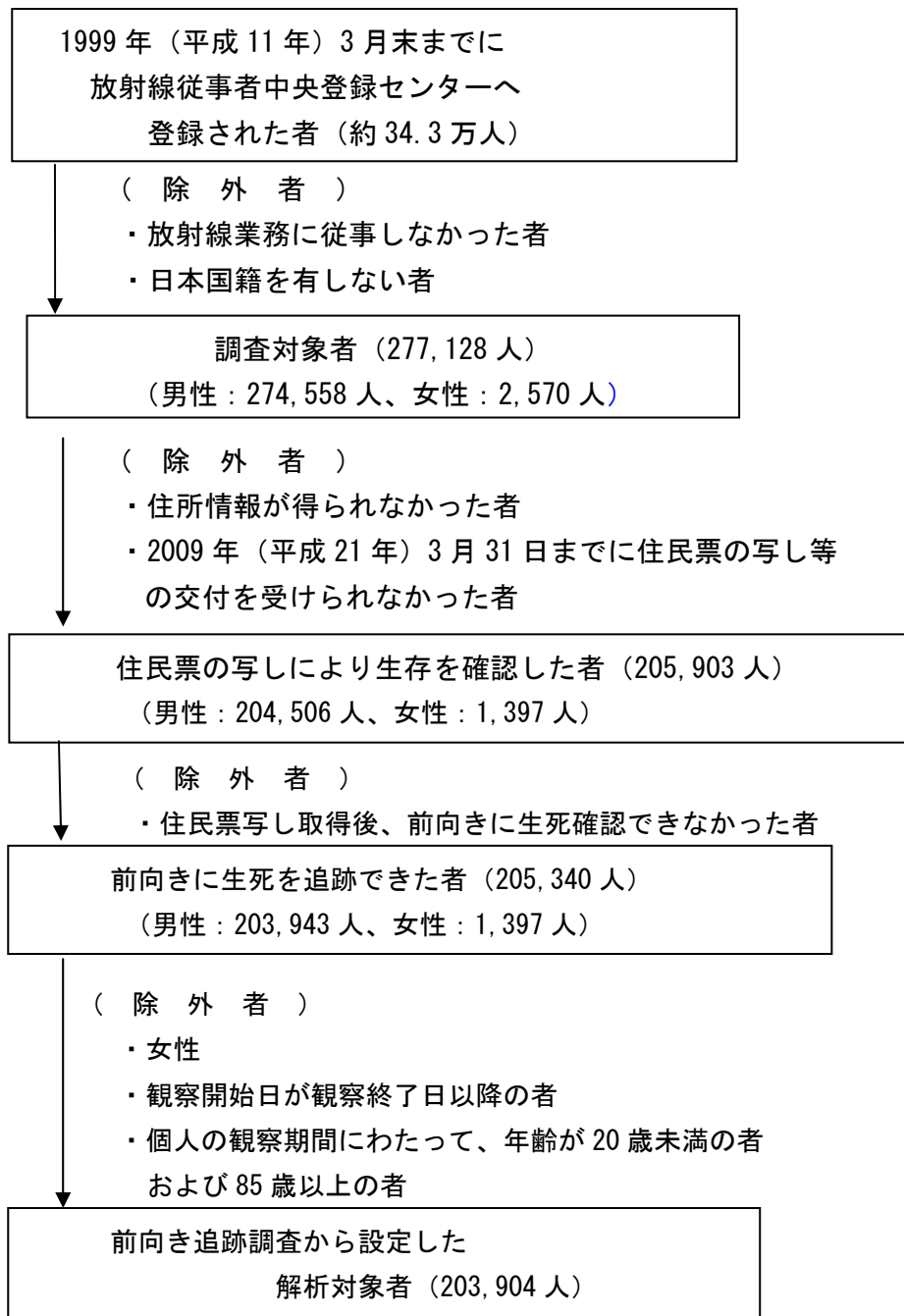


表3. 1-2 累積線量分布
(前向き観察)

累積線量群 (mSv)	解析対象者			(参考) 後向き観察を含めた場合		
	人数	割合(%)	平均累積線量 (mSv)	人数	割合(%)	平均累積線量 (mSv)
<10	151,782	74.4	1.5	155,305	74.5	1.5
10-	18,171	8.9	14.4	18,610	8.9	14.4
20-	18,696	9.2	31.8	19,035	9.1	31.8
50-	9,172	4.5	70.1	9,317	4.5	70.1
100+	6,083	3.0	163.8	6,151	3.0	163.6
合計 ／平均	203,904	100.0	13.3	208,418	100.0	13.3

注:2009年(平成21年)3月31日までの生死確認調査による。

注:累積線量は、2007年度(平成19年度)までの年度線量の累積値である。

表3. 1-3 出生年分布
(前向き観察)

出生年 (暦年)	解析対象者		(参考) 後向き観察を含めた場合	
	人数	割合 (%)	人数	割合 (%)
-1929	9,605	4.7	10,436	5.0
1930-1939	26,319	12.9	27,283	13.1
1940-1949	46,103	22.6	47,024	22.6
1950-1959	51,234	25.1	52,005	25.0
1960-1969	43,285	21.2	43,916	21.1
1970-1979	27,358	13.4	27,754	13.3
合計	203,904	100.0	208,418	100.0

注:2009年(平成21年)3月31日までの生死確認調査による。

図3. 1-2 累積線量群別出生年分布
(前向き観察)

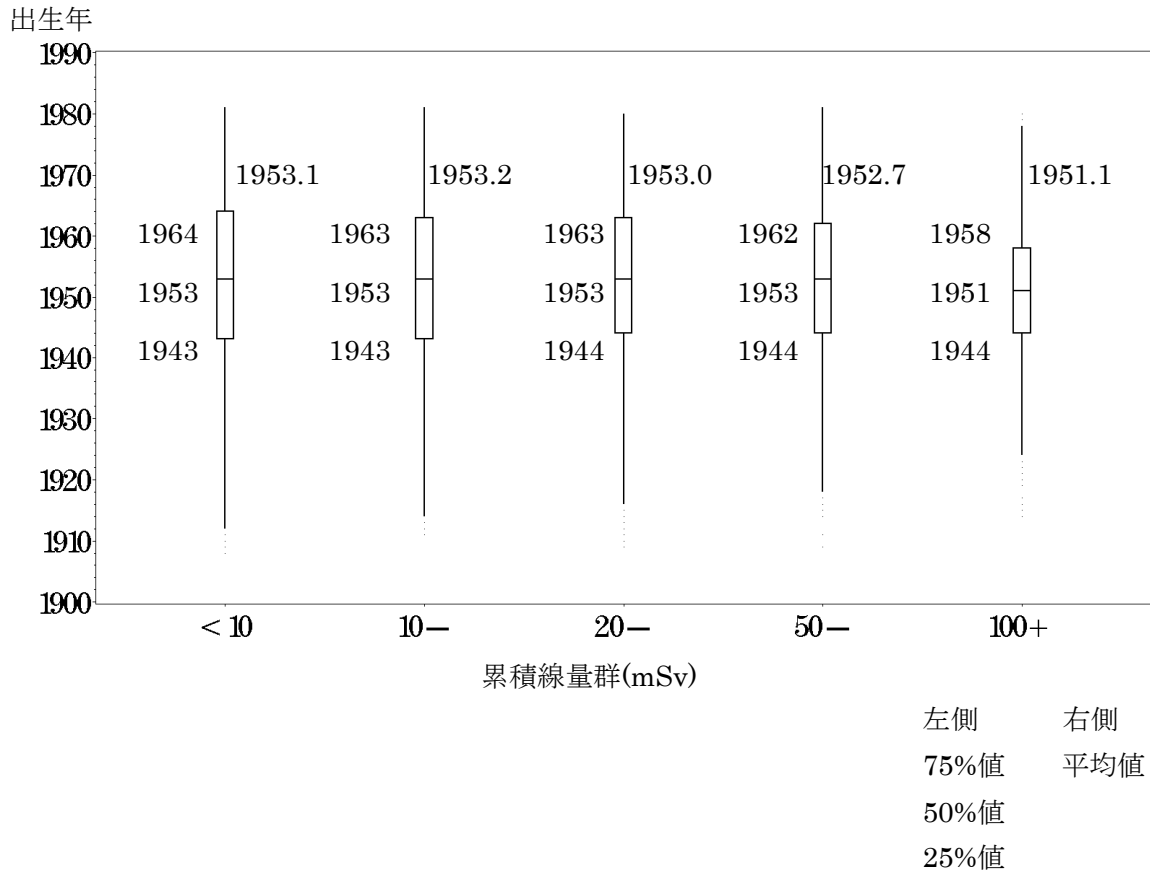


表3.1-4 累積線量群別 従事開始年度分布
(前向き観察)

従事開始 年度	累 積 線 量 群 (mSv)					
	<10	10-	20-	50-	100+	合計
	人数 割合%	人数 割合%	人数 割合%	人数 割合%	人数 割合%	人数 割合%
-1974	10,502 6.9	1,812 10.0	2,225 11.9	1,382 15.1	1,178 19.4	17,099 8.4
1975-	21,276 14.0	3,898 21.5	4,403 23.6	2,351 25.6	1,876 30.8	33,804 16.6
1980-	30,143 19.9	4,727 26.0	5,009 26.8	2,358 25.7	1,670 27.5	43,907 21.5
1985-	29,269 19.3	2,949 16.2	2,847 15.2	1,252 13.7	722 11.9	37,039 18.2
1990-	35,212 23.2	3,092 17.0	2,770 14.8	1,216 13.3	501 8.2	42,791 21.0
1995-1998	25,380 16.7	1,693 9.3	1,442 7.7	613 6.7	136 2.2	29,264 14.4
合計	151,782 100.0	18,171 100.0	18,696 100.0	9,172 100.0	6,083 100.0	203,904 100.0

注:累積線量は、2007年度(平成19年度)までの年度線量の累積値である。

表3. 1-5 累積線量群別 従事年数別分布
(前向き観察)

従事年数	累 積 線 量 群 (mSv)					
	<10	10-	20-	50-	100+	合計
	人数 割合%	人数 割合%	人数 割合%	人数 割合%	人数 割合%	人数 割合%
1	51,409 33.9	2,147 11.8	318 1.7	0 0.0	0 0.0	53,874 26.4
2 - 4	49,661 32.7	5,309 29.2	3,594 19.2	257 2.8	1 0.0	58,822 28.8
5 - 9	23,450 15.4	3,732 20.5	4,599 24.6	1,742 19.0	210 3.5	33,733 16.5
10 -19	19,964 13.2	4,341 23.9	6,051 32.4	4,143 45.2	2,137 35.1	36,636 18.0
20+	7,298 4.8	2,642 14.5	4,134 22.1	3,030 33.0	3,735 61.4	20,839 10.2
合計	151,782 100.0	18,171 100.0	18,696 100.0	9,172 100.0	6,083 100.0	203,904 100.0

注:累積線量は、2007年度(平成19年度)までの年度線量の累積値である。

表3.1-6 累積線量群別 地域別分布
(前向き観察)

地域区分	累 積 線 量 群 (mSv)					
	<10	10-	20-	50-	100+	合計
	人数 割合%	人数 割合%	人数 割合%	人数 割合%	人数 割合%	人数 割合%
北海道 ・東北	23,741 15.6	3,518 19.4	4,629 24.8	2,767 30.2	2,322 38.2	36,977 18.1
関東	58,076 38.3	5,218 28.7	4,652 24.9	1,908 20.8	894 14.7	70,748 34.7
北陸	13,289 8.8	2,137 11.8	2,485 13.3	1,304 14.2	883 14.5	20,098 9.9
中部	10,456 6.9	1,052 5.8	1,188 6.4	585 6.4	372 6.1	13,653 6.7
近畿	19,022 12.5	2,541 14.0	2,580 13.8	1,328 14.5	878 14.4	26,349 12.9
中国	9,595 6.3	1,298 7.1	1,005 5.4	383 4.2	186 3.1	12,467 6.1
四国	4,427 2.9	458 2.5	457 2.4	154 1.7	89 1.5	5,585 2.7
九州・沖縄	13,176 8.7	1,949 10.7	1,700 9.1	743 8.1	459 7.5	18,027 8.8
合計	151,782 100.0	18,171 100.0	18,696 100.0	9,172 100.0	6,083 100.0	203,904 100.0

注:2009年(平成21年)3月31日までの生死確認調査による。

注:地域区分は、最新住所地にもとづいて表3.1-7に示す区分とした。

表3. 1-7 最新の住所地による地域区分について

地域	都道府県	地域	都道府県	地域	都道府県
北海道・東北	北海道 青森県 岩手県 宮城県 秋田県 山形県 福島県	中部	山梨県 長野県 岐阜県 静岡県 愛知県 三重県	四国	徳島県 香川県 愛媛県 高知県
関東	茨城県 栃木県 群馬県 埼玉県 千葉県 東京都 神奈川県	近畿	滋賀県 京都府 大阪府 兵庫県 奈良県 和歌山県	九州	福岡県 佐賀県 長崎県 熊本県 大分県 宮崎県 鹿児島県 沖縄県
北陸	新潟県 富山県 石川県 福井県	中国	鳥取県 島根県 岡山県 広島県 山口県		

3.2 死因別死亡数

調査対象者の生死を、前向きに2009年（平成21年）3月31日まで追跡した結果、解析条件に適合する2007年（平成19年）12月31日までの死亡数（男性）は14,224人であった。死因別では、非新生物疾患、全悪性新生物の死亡数は各々6,310人、5,711人であった（表3.2-1～表3.2-2, pp.39-40）。なお、女性死亡数は33人であった（表3.2-3, p.41）。

3.3 外部比較

解析対象者（男性、203,904人）の死亡率を全日本人男性死亡率（20歳以上85歳未満）と比較した死因別の標準化死亡比（SMR）および95%信頼区間を求めた（表3.3-1～表3.3-2, pp.42-43、図3.3-1～図3.3-2, pp.44-45）。

なお、外部比較では、放射線被ばくによる発がんの最短潜伏期を考慮しなかった。

全死因

全死因のSMR（95%信頼区間）は1.01（0.99-1.03）で、全日本人男性の死亡率に比べて有意差は認められなかった。

非新生物疾患

非新生物疾患のSMRは0.95（0.92-0.97）で、全日本人男性の死亡率に比べて有意に低く、疾患別にみても有意に高い疾患はなかった。

全新生物

良性および性質不詳の新生物を含めた全新生物のSMRは1.04（1.01-1.07）で、全日本人男性の死亡率に比べて有意に高かった。

白血病を除く全悪性新生物

白血病を除く全悪性新生物のSMRは1.04（1.01-1.07）で、全日本人男性の死亡率に比べて有意に高かった。

部位別の悪性新生物

慢性リンパ性白血病を除く白血病のSMRは1.00（0.84-1.18）で、全日本人男性の死亡率に比べて有意差は認められなかった。

肝臓、肺の悪性新生物のSMRは、各々1.13（1.06-1.21）、1.08（1.02-1.14）で、全日本人男性の死亡率に比べ有意に高かった。

非ホジキンリンパ腫および多発性骨髄腫のSMRは有意に低かった。

外因死

外因死のSMRは1.10（1.06-1.15）で、全日本人男性の死亡率に比べ有意に高

かった。

3.4 内部比較

解析対象者（男性、203,904人）について、累積線量の増加にともなって死亡率に増加する傾向があるかどうかについて検定した（表 3.4-1～表 3.4-2, pp.46-49）。

なお、新生物を解析する場合には、放射線被ばくによる発がんの最短潜伏期を、白血病では2年、その他の新生物では10年を仮定した。

全死因

全死因の死亡率は、累積線量とともに増加する有意の傾向は認められなかった（ $p=0.136$ ）。

非新生物疾患

非新生物疾患の死亡率は、累積線量とともに増加する有意の傾向は認められなかった（ $p=0.609$ ）。

また疾患別の死亡率にも、累積線量とともに増加する有意の傾向は認められなかった（いずれの疾患も $p \geq 0.05$ ）。

全新生物

良性および性質不詳の新生物を含めた全新生物の死亡率は、累積線量とともに増加する有意の傾向を示した（最短潜伏期 10年; $p=0.031$ ）。

白血病を除く全悪性新生物

白血病を除く全悪性新生物の死亡率は、累積線量とともに増加する有意の傾向を示した（最短潜伏期 10年; $p=0.024$ ）。

部位別の悪性新生物

慢性リンパ性白血病を除く白血病の死亡率は、累積線量とともに増加する有意の傾向は認められなかった（最短潜伏期 2年; $p=0.841$ ）。

食道、肝臓および肺の悪性新生物の死亡率は、累積線量とともに増加する有意の傾向を示した（いずれも最短潜伏期 10年、食道がん; $p=0.039$ 、肝臓がん; $p=0.025$ 、肺がん; $p=0.007$ ）。また非ホジキンリンパ腫、多発性骨髄腫の死亡率も、累積線量とともに増加する有意の傾向を示した（いずれも最短潜伏期 10年、非ホジキンリンパ腫; $p=0.028$ 、多発性骨髄腫; $p=0.032$ ）。

これらの部位別悪性新生物について検定回数を 16 部位とした多重比較の結果では、これらすべての悪性新生物は有意ではなかった（食道; 調整後 $p=0.471$ 、肝臓; 調整後 $p=0.333$ 、肺; 調整後 $p=0.106$ 、非ホジキンリンパ腫; 調整後 $p=0.365$ 、多

発性骨髄腫；調整後 $p=0.406$)。

外因死

外因死の死亡率には、累積線量とともに増加する有意の傾向は認められなかった ($p=0.087$)。

3.5 喫煙関連疾患および非喫煙関連疾患に係る検討

喫煙は、悪性新生物、心臓病および脳卒中等、多くの疾病の原因と関連することが知られている。低線量域放射線が悪性新生物の死亡率に及ぼす影響は極めて小さいと考えられているので、発がんに関連する喫煙、飲酒等の生活習慣等は潜在的に交絡因子となり得る可能性がある。

今回の調査結果では、累積線量の増加にともなって、白血病を除く全悪性新生物の死亡率に有意の増加傾向が認められ ($p=0.024$)、また肝臓の悪性新生物および喫煙と強い関連のある肺の悪性新生物の死亡率に、有意の増加傾向が認められた (各々 $p=0.025$, $p=0.007$) (表 3.4-1, pp.46~48)。

しかし、白血病を除く全悪性新生物から、さらに肝臓または肺の悪性新生物を除外した場合には、有意の増加傾向は認められなかった (表 3.5-1, p.50)。

欧米の放射線業務従事者を対象とした疫学調査には、悪性新生物 (固形がん)、および非新生物疾患を、各々喫煙関連疾患、非喫煙関連疾患に分類し、喫煙による交絡の影響の可能性について検討している事例がみられるので、この放射線疫学調査においても 15 カ国国際共同研究等の方法²¹⁾²²⁾²³⁾を参考に同様な検討を行った (補遺-3, p.98)。

ここでは、悪性新生物 (固形がん) および非新生物疾患を、各々喫煙関連疾患、非喫煙関連疾患に分類して解析した結果の要点を記す (表 3.5-2~表 3.5-3, pp.51-52)。

喫煙関連の悪性新生物の死亡率は、累積線量の増加にともなって有意の増加傾向を示した ($p=0.009$) が、非喫煙関連の悪性新生物の死亡率には有意の増加傾向は認められなかった ($p=0.830$)。

また喫煙関連の悪性新生物から、肺の悪性新生物を除くと有意の増加傾向は認められなかった ($p=0.108$)。

一方、喫煙関連および非喫煙関連の非新生物疾患の死亡率には、累積線量の増加にともなう有意の増加傾向は認められなかった (各々 $p=0.369$, $p=0.808$)。

3.6 慢性リンパ性白血病を除く白血病のリスク推定

今回の調査では、慢性リンパ性白血病を除く白血病の SMR (95%信頼区間) は 1.00 (0.84- 1.18) で、全日本人男性死亡率 (20 歳以上 85 歳未満) との有意差は認められなかった。また慢性リンパ性白血病を除く白血病の死亡率には、累積線量の増加にともなう有意の増加傾向は認められなかった。

欧米等の放射線疫学調査では、死亡率と被ばく線量との関連を調査するうえで過剰相対リスクを求めることが広く行われているので、この放射線疫学調査においても、慢性リンパ性白血病を除く白血病の単位線量当たりの過剰相対リスク推定値と 90%信頼区間を求めた。

白血病の死亡率と被ばく線量との関連において、喫煙等の生活習慣が交絡因子になる可能性は少ないと言われている。しかし、白血病を除く全悪性新生物の死亡率と被ばく線量との関連においては、喫煙等の生活習慣等が交絡因子となる可能性が否定できないため、リスク推定を実施しなかった。

(1) 解析対象者

前向き追跡調査で生死を確認できた 203,904 人 (慢性リンパ性白血病を除く白血病の死亡者数は 133 人) を対象に解析した。

(2) 解析方法

死亡率は累積被ばく線量に対して直線的に増加するとの仮定の下に、過剰相対リスク推定値を、次の式で表されるしきい値なしの一次線形モデルを適用して求めた。解析にあたっては、最短潜伏期を 2 年と仮定し、年齢 (20 歳以上 85 歳未満、5 歳階級)、暦年 (1991 年 (平成 3 年) -2007 年 (平成 19 年)、4 区分) および最新住所地による地域を層別した。

なお、解析プログラムは AMFIT を使用した。

$$\lambda = \lambda_{0(a,y,d)} (1 + \beta D_k)$$

λ ; 解析対象集団死亡率

$\lambda_{0(a,y,d)}$; バックグラウンド死亡率

a; 年齢 (到達年齢)、y; 暦年、d; 地域

β ; 過剰相対リスク推定値 (/Sv)

D_k ; 累積線量 (mSv) を <10, 10-, 20-, 50-, 100+ の 5 群に分類した場合の、各々のカテゴリーの平均累積線量。

(3) 解析結果

解析対象死因	過剰相対リスク (90%信頼区間)
白血病 (慢性リンパ性白血病を除く)	-3.01/Sv (-6.52 ; 0.49)

注:最短潜伏期を 2 年と仮定し、年齢、暦年および最新住所地による地域を調整。

表 3. 2-1 死因別 男性死亡数

死 因	ICD-9準拠 基本分類番号	ICD-10準拠 基本分類番号	前向き観察 ^{注1}	全観察
全死因			14,224 ^{注2}	17,043 ^{注3}
非新生物疾患	1-26,39-89 ^{注4}	1100-18300 ^{注4} 但し2100-2200を除く	6,310	7,435
全新生物	140-239	C00-D48	5,839	6,862
全悪性新生物	140-208	C00-C97	5,711	6,710
[主な部位別]				
口腔、咽頭	140-149	C00-C14	139	155
食道	150	C15	326	365
胃	151	C16	1,002	1,214
結腸	153	C18	350	435
直腸	154	C19-C21	282	330
肝臓	155	C22	938	1,117
胆嚢	156	C23-C24	183	209
膵臓	157	C25	350	412
肺	162	C33-C34	1,208	1,373
前立腺	185	C61	125	136
膀胱	188	C67	69	82
腎並びにその他及び 部位不明の泌尿器	189	C64-C66,C68	101	114
非ホジキンリンパ腫	200, 202 但し202.4を除く	C82 - C85, C96	113	140
多発性骨髄腫	203	C88, C90	34	46
白血病 ^{注5}	204-208	C91-C95	135	170
白血病 (慢性リンパ性白血病を除く)	204-208 但し204.1を除く	C91-C95 但しC911を除く	133	168
全悪性新生物 (白血病を除く)	140-203	C00-C97 但しC91-C95を除く	5,576	6,540
脳、神経系の新生物 ^{注6}	191,192, 225, 237.5 ,237.6, 239.6	C70, C71,C72 D32,D33, D420,D421,D429, D430-D434,D437, D439	74	89
外因死	91-101 ^{注4}	20100-20400 ^{注4}	1,995	2,650

注1: 前向き観察期間の死亡数は、全観察期間の死亡数の内数である。

注2: 死因を同定できなかった80名を含む。

注3: 死因を同定できなかった96名を含む。

注4: 死因簡単分類番号を表す。

注5: 慢性リンパ性白血病の2名を含む。

注6: 悪性、良性および性状不詳の新生物。

表 3. 2-2 非新生物疾患別 男性死亡数

死 因	简单分類番号		前向き観察 ^{注1} 全観察	
	1994年(平成6年)まで	1995年(平成7年)から		
心・血管疾患	45-56, 61	09101-09208 09400-09500	2,005	2,430
脳血管疾患	58-60	09301-09304	1,373	1,622
呼吸器系疾患	62-68	10100-10600	1,062	1,146
肺炎及びインフルエンザ	63-64	10100-10200	603	655
消化器系疾患	69-74	11100-11400	738	898
慢性肝疾患及び肝硬変	73-74	11301-11302	506	649
感染症及び寄生虫症	1-26	01100-01600	306	341
結核	5-6	01201-01202	31	38
その他の疾患	39-44, 76-89	03000-08000, 12000-13000,14100-14300 15000-18300	826	998
泌尿生殖系疾患	76-78	14100-14300	175	201

注1: 前向き観察期間の死亡数は、全観察期間の死亡数の内数である。

表 3. 2-3 死因別 女性死亡数

死 因	ICD-9準拠 基本分類番号	ICD-10準拠 基本分類番号	前向き観察 ^{注1}	全観察
全死因			33	39
非新生物疾患	1-26,39-89 ^{注2}	1100-18300 ^{注2} 但し2100-2200を除く	19	20
全新生物	140-239	C00-D48	9	13
全悪性新生物	140-208	C00-C97	9	13
[部 位 別]				
胃	151	C16	0	2
結腸	—	C18	1	1
肝 臓	—	C22	1	1
胆嚢	—	C23-C24	2	2
膵臓	—	C25	1	1
肺	—	C33-C34	1	1
乳房	—	C50	1	1
子 宮	—	C54	1	1
卵 巢	—	C56	0	1
その他の部位の 続発性悪性新生物	—	C79	0	1
脳、神経系の新生物	—	C70, C71, C72 D32, D33, D420, D421, D429, D430-D434, D437, D439	1	1
外因死	91-101 ^{注2}	20100-20400 ^{注2}	5	6

注1: 前向き観察期間の死亡数は、全観察期間の死亡数の内数である。

注2: 死因簡単分類番号を表す。

表 3. 3-1 死因別標準化死亡比(SMR)
(前向き観察、最短潜伏期; 0年、年齢、暦年を調整)

死 因	観察 死亡数	期待 死亡数	SMR	95%信頼区間	両側検定結果 p値 ^{注1}
全死因 ^{注2}	14,224	14,086.9	1.01	(0.99 – 1.03)	0.250
非新生物疾患	6,310	6,662.9	0.95	(0.92 – 0.97)	<0.001
全新生物	5,839	5,617.5	1.04	(1.01 – 1.07)	0.003
全悪性新生物 [主な部位別]	5,711	5,489.4	1.04	(1.01 – 1.07)	0.003
口腔、咽頭	139	135.5	1.03	(0.86 – 1.21)	0.800
食道	326	312.1	1.04	(0.93 – 1.16)	0.449
胃	1,002	989.4	1.01	(0.95 – 1.08)	0.700
結腸	350	360.7	0.97	(0.87 – 1.08)	0.592
直腸	282	273.8	1.03	(0.91 – 1.16)	0.643
肝臓	938	829.2	1.13	(1.06 – 1.21)	<0.001
胆嚢	183	183.3	1.00	(0.86 – 1.15)	0.989
膵臓	350	345.4	1.01	(0.91 – 1.13)	0.826
肺	1,208	1,117.8	1.08	(1.02 – 1.14)	0.007
前立腺	125	133.9	0.93	(0.78 – 1.11)	0.466
膀胱	69	73.1	0.94	(0.73 – 1.20)	0.677
腎並びにその他及び 部位不明の泌尿器	101	103.8	0.97	(0.79 – 1.18)	0.825
非ホジキンリンパ腫	113	137.6	0.82	(0.68 – 0.99)	0.040
多発性骨髄腫	34	49.3	0.69	(0.48 – 0.96)	0.036
白血病 ^{注3}	135	136.3	0.99	(0.83 – 1.17)	0.943
白血病 (慢性リンパ性白血病を除く)	133	133.1	1.00	(0.84 – 1.18)	0.974
全悪性新生物(白血病を除く)	5,576	5,353.1	1.04	(1.01 – 1.07)	0.002
脳、神経系の新生物 ^{注4}	74	76.1	0.97	(0.76 – 1.22)	0.851
外因死	1,995	1,806.5	1.10	(1.06 – 1.15)	<0.001

注1: 検定結果の判断は、「2. 2 解析方法(1)外部比較」(p.21)を参照のこと。

注2: 死因を同定できなかった80名を含む。

注3: 慢性リンパ性白血病の2名を含む。

注4: 悪性、良性および性状不詳の新生物。

表 3. 3-2 非新生物疾患別 標準化死亡比(SMR)
 (前向き観察、最短潜伏期; 0年、年齢、暦年を調整)

死 因	観察 死亡数	期待 死亡数	SMR	95%信頼区間	両側検定結果 p値 ^{注1}
心・血管疾患	2,005	2,114.2	0.95	(0.91 - 0.99)	0.018
脳血管疾患	1,373	1,430.3	0.96	(0.91 - 1.01)	0.133
呼吸器系の疾患	1,062	1,158.6	0.92	(0.86 - 0.97)	0.005
肺炎及びインフルエンザ	603	664.6	0.91	(0.84 - 0.98)	0.018
消化器系の疾患	738	745.3	0.99	(0.92 - 1.06)	0.804
慢性肝疾患及び肝硬変	506	494.7	1.02	(0.94 - 1.12)	0.627
感染症及び寄生虫症	306	304.5	1.00	(0.90 - 1.12)	0.953
結核	31	47.5	0.65	(0.44 - 0.93)	0.020
その他の疾患	826	910.2	0.91	(0.85 - 0.97)	0.006
泌尿生殖系の疾患	175	190.3	0.92	(0.79 - 1.07)	0.283

注1: 検定結果の判断は、「2. 2 解析方法(1)外部比較」(p.21)を参照のこと。

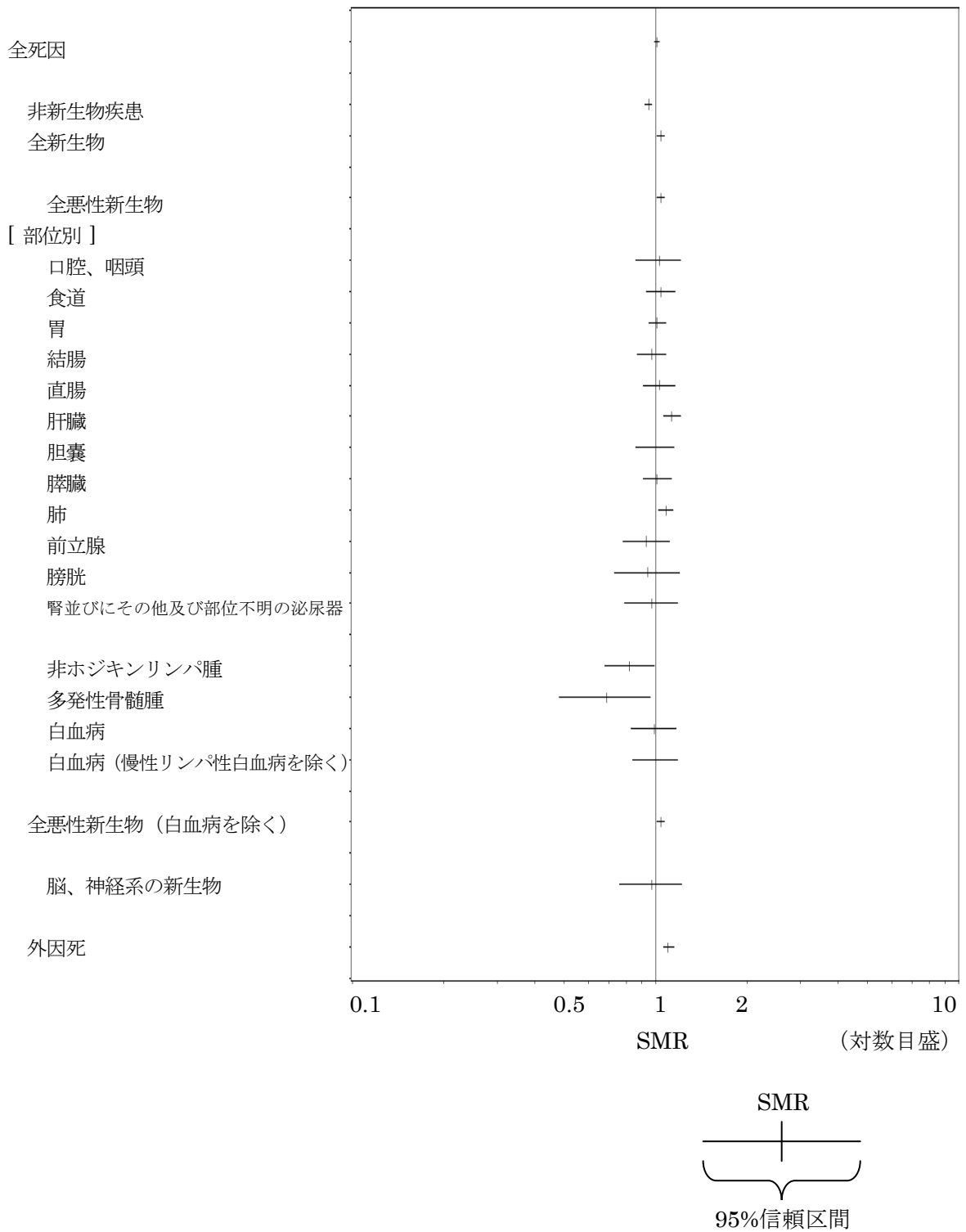


図3. 3-1 死因別標準化死亡比(SMR)
 (前向き観察、最短潜伏期; 0年、年齢、暦年を調整)

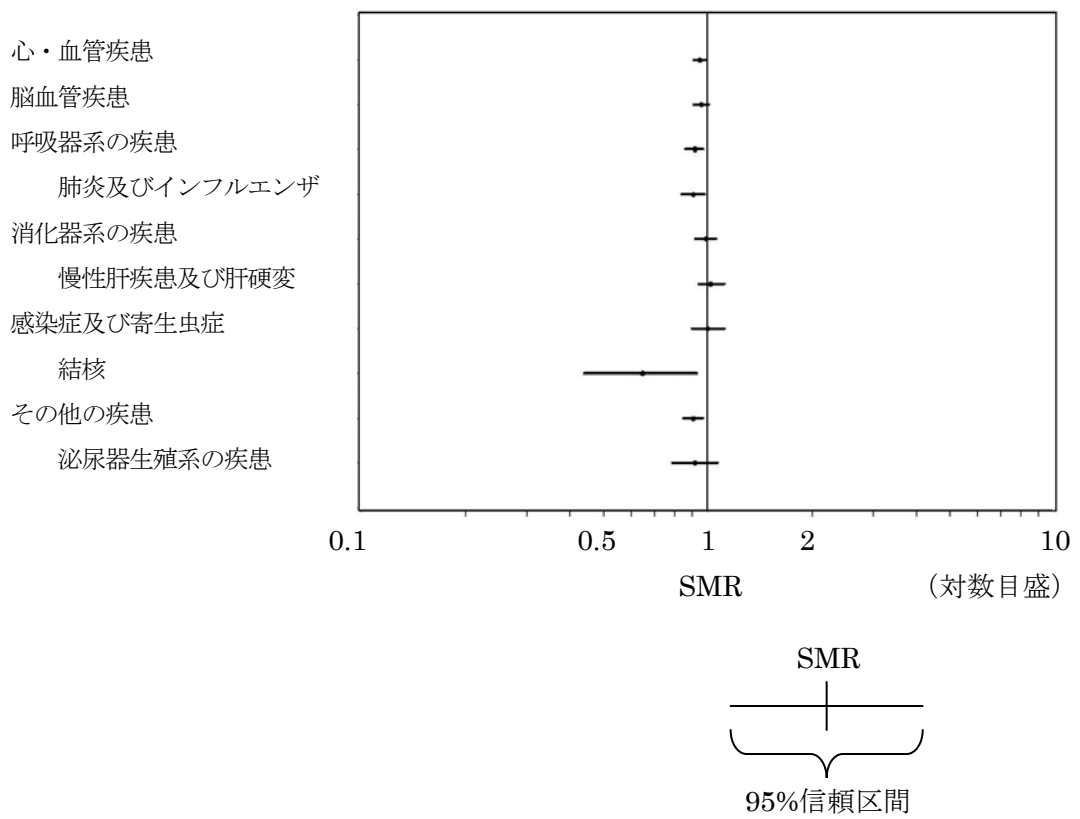


図3. 3-2 非新生物疾患別 標準化死亡比(SMR)
 (前向き観察、最短潜伏期; 0年、年齢、暦年を調整)

表3.4-1 死因別累積線量群別O/E比および傾向性の検定結果(1)
 (前向き観察、最短潜伏期;白血病2年 その他の新生物10年、年齢、暦年、地域を調整)

死 因	累積線量群(mSv)					傾向性の 片側検定結果 p値 ^{注1}
	<10	10-	20-	50-	100+	
	観察死亡数 期待死亡数 O/E比	観察死亡数 期待死亡数 O/E比	観察死亡数 期待死亡数 O/E比	観察死亡数 期待死亡数 O/E比	観察死亡数 期待死亡数 O/E比	
	95%信頼区間	95%信頼区間	95%信頼区間	95%信頼区間	95%信頼区間	
全死因 ^{注2}	10,315 10,515.5 0.98 (0.96 - 1.00)	1,408 1,287.5 1.09 (1.04 - 1.15)	1,434 1,343.6 1.07 (1.01 - 1.12)	639 652.7 0.98 (0.90 - 1.06)	428 424.8 1.01 (0.91 - 1.11)	0.136
非新生物疾患	4,586 4,675.5 0.98 (0.95 - 1.01)	646 568.0 1.14 (1.05 - 1.23)	643 593.4 1.08 (1.00 - 1.17)	255 286.7 0.89 (0.78 - 1.01)	180 186.1 0.97 (0.83 - 1.12)	0.609
全新生物 ^{注3}	3,915 3,987.8 0.98 (0.95 - 1.01)	501 486.0 1.03 (0.94 - 1.13)	532 500.0 1.06 (0.98 - 1.16)	249 230.4 1.08 (0.95 - 1.22)	129 121.8 1.06 (0.88 - 1.26)	0.031
全悪性新生物 ^{注3}	3,822 3,902.6 0.98 (0.95 - 1.01)	494 475.0 1.04 (0.95 - 1.14)	526 488.9 1.08 (0.99 - 1.17)	245 225.3 1.09 (0.96 - 1.23)	124 119.1 1.04 (0.87 - 1.24)	0.032
[主な部位別] 口腔、咽頭	100 98.8 1.01 (0.82 - 1.23)	11 12.2 0.91 (0.45 - 1.62)	14 12.3 1.14 (0.62 - 1.91)	4 5.7 0.70 (0.19 - 1.79)	3 3.1 0.98 (0.20 - 2.87)	0.617
食道	200 215.3 0.93 (0.80 - 1.07)	29 26.4 1.10 (0.73 - 1.58)	32 27.3 1.17 (0.80 - 1.66)	20 12.9 1.55 (0.95 - 2.40)	8 7.1 1.12 (0.48 - 2.21)	0.039
胃	669 674.4 0.99 (0.92 - 1.07)	85 81.3 1.05 (0.84 - 1.29)	85 83.8 1.01 (0.81 - 1.25)	41 38.2 1.07 (0.77 - 1.45)	18 20.3 0.89 (0.53 - 1.40)	0.532
結腸	251 241.5 1.04 (0.91 - 1.18)	24 28.7 0.84 (0.54 - 1.25)	29 29.6 0.98 (0.66 - 1.41)	13 13.9 0.94 (0.50 - 1.60)	4 7.4 0.54 (0.15 - 1.39)	0.915
直腸	199 192.8 1.03 (0.89 - 1.19)	19 23.6 0.80 (0.48 - 1.26)	20 23.9 0.84 (0.51 - 1.29)	14 11.1 1.27 (0.69 - 2.12)	5 5.6 0.89 (0.29 - 2.08)	0.565

表3. 4-1 死因別累積線量群別O/E比および傾向性の検定結果(2)
 (前向き観察、最短潜伏期; 白血病2年 その他の新生物10年、年齢、暦年、地域を調整)

死 因	累積線量群(mSv)					傾向性の 片側検定結果 p値 ^{注1}
	<10	10-	20-	50-	100+	
	観察死亡数 期待死亡数 O/E比	観察死亡数 期待死亡数 O/E比	観察死亡数 期待死亡数 O/E比	観察死亡数 期待死亡数 O/E比	観察死亡数 期待死亡数 O/E比	
	95%信頼区間	95%信頼区間	95%信頼区間	95%信頼区間	95%信頼区間	
肝臓	620 645.1 0.96 (0.89 - 1.04)	90 79.5 1.13 (0.91 - 1.39)	86 80.7 1.07 (0.85 - 1.32)	39 36.2 1.08 (0.77 - 1.47)	25 18.5 1.35 (0.88 - 2.00)	0.025
胆嚢	139 130.4 1.07 (0.90 - 1.26)	16 15.9 1.01 (0.58 - 1.64)	14 16.8 0.84 (0.46 - 1.40)	5 7.8 0.64 (0.21 - 1.49)	1 4.2 0.24 (0.01 - 1.32)	0.985
膵臓	239 233.6 1.02 (0.90 - 1.16)	27 28.6 0.94 (0.62 - 1.37)	31 29.6 1.05 (0.71 - 1.49)	11 13.7 0.80 (0.40 - 1.43)	5 7.5 0.67 (0.22 - 1.56)	0.873
肺	801 832.4 0.96 (0.90 - 1.03)	102 100.3 1.02 (0.83 - 1.24)	118 103.9 1.14 (0.94 - 1.36)	56 47.9 1.17 (0.88 - 1.52)	33 25.6 1.29 (0.89 - 1.81)	0.007
前立腺	86 91.8 0.94 (0.75 - 1.16)	14 10.6 1.33 (0.72 - 2.22)	11 10.9 1.01 (0.50 - 1.80)	6 4.9 1.22 (0.45 - 2.64)	4 2.8 1.42 (0.39 - 3.64)	0.148
膀胱	49 47.0 1.04 (0.77 - 1.38)	3 5.8 0.51 (0.11 - 1.50)	5 6.1 0.82 (0.27 - 1.91)	3 2.7 1.11 (0.23 - 3.24)	3 1.4 2.17 (0.45 - 6.35)	0.175
腎並びにその他及び 部位不明の泌尿器	62 70.8 0.88 (0.67 - 1.12)	11 8.8 1.25 (0.62 - 2.23)	18 8.9 2.01 (1.19 - 3.18)	4 4.2 0.94 (0.26 - 2.42)	0 2.2 0.00 (0.00 - 1.67)	0.558
非ホジキンリンパ腫	69 76.8 0.90 (0.70 - 1.14)	9 9.4 0.95 (0.44 - 1.81)	14 9.7 1.45 (0.79 - 2.43)	7 4.6 1.54 (0.62 - 3.17)	4 2.5 1.58 (0.43 - 4.05)	0.028
多発性骨髄腫	22 22.8 0.96 (0.60 - 1.46)	3 2.9 1.03 (0.21 - 3.02)	2 3.1 0.65 (0.08 - 2.37)	1 1.5 0.68 (0.02 - 3.81)	3 0.7 4.06 (0.84 - 11.87)	0.032

表3. 4-1 死因別累積線量群別O/E比および傾向性の検定結果(3)
 (前向き観察、最短潜伏期; 白血病2年 その他の新生物10年、年齢、暦年、地域を調整)

死 因	累積線量群(mSv)					傾向性の 片側検定結果 p値 ^{注1}
	<10	10-	20-	50-	100+	
	観察死亡数 期待死亡数 O/E比	観察死亡数 期待死亡数 O/E比	観察死亡数 期待死亡数 O/E比	観察死亡数 期待死亡数 O/E比	観察死亡数 期待死亡数 O/E比	
	95%信頼区間	95%信頼区間	95%信頼区間	95%信頼区間	95%信頼区間	
白血病 ^{注4}	100 99.7 1.00 (0.82 - 1.22)	12 12.3 0.98 (0.50 - 1.71)	17 12.8 1.33 (0.78 - 2.13)	4 6.3 0.63 (0.17 - 1.61)	2 3.9 0.51 (0.06 - 1.85)	0.838
白血病 (慢性リンパ性 白血病を除く)	99 98.2 1.01 (0.82 - 1.23)	12 12.1 0.99 (0.51 - 1.73)	16 12.6 1.27 (0.73 - 2.06)	4 6.2 0.64 (0.17 - 1.64)	2 3.8 0.52 (0.06 - 1.89)	0.841
全悪性新生物 (白血病を除く)	3,730 3,811.7 0.98 (0.95 - 1.01)	484 463.8 1.04 (0.95 - 1.14)	511 477.3 1.07 (0.98 - 1.17)	242 219.8 1.10 (0.97 - 1.25)	122 116.4 1.05 (0.87 - 1.25)	0.024
脳、神経系 ^{注5}	46 41.7 1.10 (0.81 - 1.47)	3 5.6 0.54 (0.11 - 1.58)	4 5.6 0.71 (0.19 - 1.81)	2 2.6 0.76 (0.09 - 2.74)	2 1.4 1.40 (0.17 - 5.04)	0.584
外因死	1,382 1,444.6 0.96 (0.91 - 1.01)	223 188.1 1.19 (1.04 - 1.35)	211 198.4 1.06 (0.92 - 1.22)	114 98.7 1.15 (0.95 - 1.39)	65 65.2 1.00 (0.77 - 1.27)	0.087

注1: 検定結果の判断は、「2. 2 解析方法(2)内部比較」(p.22)を参照のこと。

注2: 死因を同定できなかった80名を含む。

注3: 白血病を含め最短潜伏期 10年とした。

注4: 慢性リンパ性白血病 の2名を含む。

注5: 悪性、良性及び性状不詳の新生物。

表3. 4-2 非新生物疾患別 累積線量群別O/E比および傾向性の検定結果
 (前向き観察、最短潜伏期; 0年、年齢、暦年、地域を調整)

死 因	累積線量群 (mSv)					傾向性の 片側検定結果 p値 ^{注1}
	<10	10-	20-	50-	100+	
	観察死亡数 期待死亡数 O/E比	観察死亡数 期待死亡数 O/E比	観察死亡数 期待死亡数 O/E比	観察死亡数 期待死亡数 O/E比	観察死亡数 期待死亡数 O/E比	
	95%信頼区間	95%信頼区間	95%信頼区間	95%信頼区間	95%信頼区間	
心・血管疾患	1,467 1,485.4 0.99 (0.94 - 1.04)	191 179.8 1.06 (0.92 - 1.22)	208 187.2 1.11 (0.97 - 1.27)	79 91.5 0.86 (0.68 - 1.08)	60 60.8 0.99 (0.75 - 1.27)	0.568
脳血管疾患	986 1,019.5 0.97 (0.91 - 1.03)	141 122.8 1.15 (0.97 - 1.35)	158 128.5 1.23 (1.05 - 1.44)	50 62.0 0.81 (0.60 - 1.06)	38 40.2 0.94 (0.67 - 1.30)	0.517
呼吸器系の疾患	775 797.7 0.97 (0.90 - 1.04)	120 93.2 1.29 (1.07 - 1.54)	103 97.6 1.06 (0.86 - 1.28)	39 45.4 0.86 (0.61 - 1.17)	25 28.1 0.89 (0.58 - 1.31)	0.675
肺炎及びインフルエンザ	439 455.6 0.96 (0.88 - 1.06)	67 52.9 1.27 (0.98 - 1.61)	59 54.4 1.08 (0.83 - 1.40)	21 24.9 0.84 (0.52 - 1.29)	17 15.2 1.12 (0.65 - 1.79)	0.310
消化器系の疾患	530 543.2 0.98 (0.89 - 1.06)	87 67.6 1.29 (1.03 - 1.59)	63 70.4 0.90 (0.69 - 1.15)	36 34.6 1.04 (0.73 - 1.44)	22 22.3 0.99 (0.62 - 1.49)	0.462
慢性肝疾患及び肝硬変	358 371.6 0.96 (0.87 - 1.07)	63 47.1 1.34 (1.03 - 1.71)	44 48.4 0.91 (0.66 - 1.22)	26 23.8 1.09 (0.71 - 1.60)	15 15.2 0.99 (0.55 - 1.63)	0.383
感染症及び寄生虫症	220 226.6 0.97 (0.85 - 1.11)	26 27.8 0.93 (0.61 - 1.37)	32 28.7 1.11 (0.76 - 1.57)	22 14.0 1.58 (0.99 - 2.39)	6 8.9 0.67 (0.25 - 1.47)	0.368
結核	19 23.3 0.82 (0.49 - 1.28)	3 2.8 1.05 (0.22 - 3.08)	4 2.8 1.43 (0.39 - 3.67)	5 1.3 3.80 (1.23 - 8.88)	0 0.8 0.00 (0.00 - 4.73)	0.138
その他の疾患	608 603.2 1.01 (0.93 - 1.09)	81 76.8 1.06 (0.84 - 1.31)	79 80.9 0.98 (0.77 - 1.22)	29 39.3 0.74 (0.49 - 1.06)	29 25.7 1.13 (0.75 - 1.62)	0.593
泌尿生殖系の疾患	141 130.6 1.08 (0.91 - 1.27)	12 15.8 0.76 (0.39 - 1.33)	12 16.2 0.74 (0.38 - 1.29)	7 7.6 0.92 (0.37 - 1.89)	3 4.8 0.63 (0.13 - 1.84)	0.906

注1: 検定結果の判断は、「2. 2 解析方法(2)内部比較」(p.22)を参照のこと。

表3.5-1 全悪性新生物(白血病を除く)から、肺、肝臓の悪性新生物を除いた傾向性検定結果
(前向き観察、最短潜伏期; 10年、年齢、暦年、地域を調整)

	累積線量群(mSv)					傾向性の 片側検定結果 p値 ^{注1}
	<10	10-	20-	50-	100+	
	観察死亡数	観察死亡数	観察死亡数	観察死亡数	観察死亡数	
	期待死亡数	期待死亡数	期待死亡数	期待死亡数	期待死亡数	
	O/E比	O/E比	O/E比	O/E比	O/E比	
95%信頼区間	95%信頼区間	95%信頼区間	95%信頼区間	95%信頼区間		
全悪性新生物 (白血病を除く)	3,730 3,811.7 0.98 (0.95 - 1.01)	484 463.8 1.04 (0.95 - 1.14)	511 477.3 1.07 (0.98 - 1.17)	242 219.8 1.10 (0.97 - 1.25)	122 116.4 1.05 (0.87 - 1.25)	0.024
全悪性新生物 (白血病、肺がんを 除く)	2,929 2,979.3 0.98 (0.95 - 1.02)	382 363.5 1.05 (0.95 - 1.16)	393 373.4 1.05 (0.95 - 1.16)	186 172.0 1.08 (0.93 - 1.25)	89 90.8 0.98 (0.79 - 1.21)	0.171
全悪性新生物 (白血病、肝がんを 除く)	3,110 3,166.6 0.98 (0.95 - 1.02)	394 384.3 1.03 (0.93 - 1.13)	425 396.6 1.07 (0.97 - 1.18)	203 183.7 1.11 (0.96 - 1.27)	97 97.9 0.99 (0.8 - 1.21)	0.097

注1: 検定結果の判断は、「2.2 解析方法(2)内部比較」(p.22)を参照のこと。

表3.5-2 喫煙関連の悪性新生物等の傾向性検定結果
 (前向き観察、最短潜伏期; 10年、年齢、暦年、地域を調整)

	累積線量群(mSv)					傾向性の 片側検定結果 p値 ^{注1}
	<10	10-	20-	50-	100+	
	観察死亡数	観察死亡数	観察死亡数	観察死亡数	観察死亡数	
	期待死亡数	期待死亡数	期待死亡数	期待死亡数	期待死亡数	
	O/E比	O/E比	O/E比	O/E比	O/E比	
95%信頼区間	95%信頼区間	95%信頼区間	95%信頼区間	95%信頼区間		
喫煙関連がん	2,765 2,839.8 0.97 (0.94 - 1.01)	363 345.5 1.05 (0.95 - 1.16)	386 355.5 1.09 (0.98 - 1.20)	180 162.9 1.11 (0.95 - 1.28)	96 86.4 1.11 (0.90 - 1.36)	0.009
喫煙関連がん (肺がんを除く)	1,964 2,007.4 0.98 (0.94 - 1.02)	261 245.2 1.06 (0.94 - 1.20)	268 251.6 1.07 (0.94 - 1.20)	124 115.0 1.08 (0.90 - 1.29)	63 60.8 1.04 (0.80 - 1.33)	0.108
肺がん	801 832.4 0.96 (0.90 - 1.03)	102 100.3 1.02 (0.83 - 1.24)	118 103.9 1.14 (0.94 - 1.36)	56 47.9 1.17 (0.88 - 1.52)	33 25.6 1.29 (0.89 - 1.81)	0.007
喫煙関連がん (肝がんを除く)	2,145 2,194.6 0.98 (0.94 - 1.02)	273 266.0 1.03 (0.91 - 1.16)	300 274.8 1.09 (0.97 - 1.22)	141 126.7 1.11 (0.94 - 1.31)	71 67.9 1.05 (0.82 - 1.32)	0.051
肝がん	620 645.1 0.96 (0.89 - 1.04)	90 79.5 1.13 (0.91 - 1.39)	86 80.7 1.07 (0.85 - 1.32)	39 36.2 1.08 (0.77 - 1.47)	25 18.5 1.35 (0.88 - 2.00)	0.025
非喫煙関連がん	865 864.2 1.00 (0.94 - 1.07)	109 104.8 1.04 (0.85 - 1.25)	107 108.0 0.99 (0.81 - 1.20)	54 50.5 1.07 (0.80 - 1.40)	19 26.5 0.72 (0.43 - 1.12)	0.830

注1: 検定結果の判断は、「2.2 解析方法(2)内部比較」(p.22)を参照のこと。

表3.5-3 喫煙関連の非新生物疾患等の傾向性検定結果
 (前向き観察、最短潜伏期; 0年、年齢、暦年、地域を調整)

死 因	累積線量群(mSv)					傾向性の 片側検定結果 p値 ^{注1}
	<10	10-	20-	50-	100+	
	観察死亡数 期待死亡数 O/E比	観察死亡数 期待死亡数 O/E比	観察死亡数 期待死亡数 O/E比	観察死亡数 期待死亡数 O/E比	観察死亡数 期待死亡数 O/E比	
	95%信頼区間	95%信頼区間	95%信頼区間	95%信頼区間	95%信頼区間	
喫煙関連の 非新生物疾患	2,258 2,336.2 0.97 (0.93 - 1.01)	318 277.9 1.14 (1.02 - 1.28)	350 291.0 1.20 (1.08 - 1.34)	123 140.1 0.88 (0.73 - 1.05)	87 90.7 0.96 (0.77 - 1.18)	0.369
非喫煙関連の 非新生物疾患	1,500 1,509.5 0.99 (0.94 - 1.05)	221 185.5 1.19 (1.04 - 1.36)	182 192.8 0.94 (0.81 - 1.09)	81 93.4 0.87 (0.69 - 1.08)	58 60.8 0.95 (0.72 - 1.23)	0.808

注1: 検定結果の判断は、「2.2 解析方法(2)内部比較」(p.22)を参照のこと。

4. 考察

この報告書は、1999年（平成11年）3月末までに中央登録センターへ登録された放射線業務従事者について、2009年（平成21年）3月末まで生死を追跡し、1991年（平成3年）11月から2007年（平成19年）12月末までの死亡を観察した結果についてとりまとめたものである。

今回得られた解析結果に関する考察を以下に記す。

4.1 主要な解析結果について

(1) 全日本人男性死亡率との比較について

全死因のSMR（95%信頼区間）は1.01（0.99- 1.03）で、全日本人男性死亡率（20歳以上85歳未満）との有意差は認められなかった。

また非新生物疾患のSMRは0.95（0.92- 0.97）で、全日本人男性死亡率に比べ有意に低く、疾患別の死亡率においても有意に高い疾患は認められなかった。

白血病を除く全悪性新生物のSMRは1.04（1.01- 1.07）で、全日本人男性死亡率に比べ有意に高いが、肝臓、肺の悪性新生物のSMRが有意に高いことが寄与しているものと考えられる。また慢性リンパ性白血病を除く白血病のSMRは1.00（0.84- 1.18）で、全日本人男性死亡率との有意差は認められなかった（表3.3-1～表3.3-2, pp.42- 43）。

これら外部比較の結果の解釈にあたっては、死亡把握漏れと健康労働者効果²⁰⁾²⁴⁾という二つの要因がSMRを低める方向に働いている可能性と、比較する両集団の放射線被ばく以外の発がんに係る生活習慣等の諸要因が同じとは言えない可能性があり、その影響がSMRを高低、どちらの方向に働くかを予想することが難しい点に留意する必要がある。

この放射線疫学調査では、主たる解析は前向き観察期間を対象としたので、死亡の把握漏れの問題については殆ど考慮する必要がないと考えられる。

しかし、たとえ前向き観察期間であっても、次の点に留意する必要がある。「2.1 (2) 4) 同意の意思確認の状況」（p.13）で記したように、この放射線疫学調査に同意しない旨の申出者が12,223人（男性）であった。加えて、住民票の写しの交付を受けたが、その後の前向き追跡調査の過程で、追跡調査から脱落した者は2,478人（男性）であった。これらの者は、観察人年に寄与するものの、死亡の確認ができないため、SMRを低める方向に働いている。

健康労働者効果は、海外の放射線業務従事者を対象とした疫学研究においても観察されている現象である。健康な人が雇用され、また事業所における健康管理体制が整備されている等の理由により、一般国民の死亡率に比較して職業集団の死亡率が低く健康な者が多い状況を指すと言われている。また追跡が長期になるとその効果は薄れ一般国民と同様な状況に至ることが普通とされている。この放射線疫学調査において

も観察期間（1991年（平成3年）－2007年（平成19年））を4区分した非新生物疾患等のSMRは、近年ではSMR=1との有意差は認められなくなりつつあるが、観察期間を通じたSMRが有意に低いのは、健康労働者効果の影響が考えられる。（表4.1-1, p.62）。

また白血病を除く全悪性新生物は、近年では、ほぼ同様なSMRで推移していることから、相対的に健康労働者効果の影響を受けにくいことを示唆している（表4.1-1, p.62）。

生活習慣の問題については、放射線業務従事者と、全日本人男性では、喫煙、飲酒等の生活習慣が同じとは言えない可能性も考慮する必要がある。事実、この死亡調査とは調査の対象集団が異なるものの、過去に実施した交絡因子調査^注の結果を、厚生労働省の国民健康・栄養調査の結果と比較すると、年齢によっては喫煙習慣、飲酒習慣は同じであるとは言えない可能性がある（表4.1-2～表4.1-3, pp.63-64）。

注：第1次交絡因子調査は、1997年（平成9年）10月から1999年（平成11年）3月にかけて、喫煙、飲酒等の生活習慣等に関するアンケート調査を行い、約4.8万人（男性）から回答を得た。また第2次交絡因子調査は、2003年（平成15年）9月から2004年（平成16年）3月にかけて、喫煙、飲酒等の生活習慣等に関するアンケート調査を行い、40歳以上の男性約4.5万人から回答を得た。

(2) 白血病の死亡率と累積線量との関連について

今回の調査では、慢性リンパ性白血病を除く白血病の死亡率には、累積線量とともに増加する有意の傾向は認められなかった。また過剰相対リスク推定値（90%信頼区間）は $-3.01/Sv$ （ $-6.52-0.49$ ）で0との有意差は認められなかった。

なお、主たる解析では慢性リンパ性白血病を除く白血病の最短潜伏期を2年と仮定したが、0, 5, 10, 15, 20年と仮定した感度解析の結果では、いずれの場合にも有意の増加傾向は認められなかった（表4.1-4, p.65、補遺-2, p.93）。

慢性リンパ性白血病を除く白血病は、放射線疫学研究者のみならず放射線防護に携わる者にとっても関心の高い死因であることから、これまでの原子力産業従事者を対象とした疫学研究において注目している死因の一つである（表4.1-5, p.66）。

最近の公表された研究成果としては、国際がん研究機関（IARC）が主導的役割を果たした15ヵ国国際共同研究²¹⁾、英国放射線業務従事者研究²⁵⁾等があり、また原子力発電所従事者に特化した研究成果としてカナダ、米国の原子力発電所における放射線業務従事者研究²⁶⁾²⁷⁾がある。

これら諸外国での研究にみられる慢性リンパ性白血病を除く白血病の過剰相対リスク推定値には、わが国の放射線疫学調査を含め大きなばらつきがある。

今回の調査での慢性リンパ性白血病を除く白血病の死亡症例数（最短潜伏期2年を

仮定)は、前回調査に比べ、10mSv未満で40人増加したのに対し、100mSv以上では1人の増加に止まっている。過剰相対リスク推定値の信頼性を高めるためには、累積線量の高い群での症例数を蓄積することが有効であるので、今後とも放射線疫学調査を長期に亘って継続し観察することが必要である。

(3) 白血病を除く全悪性新生物の死亡率と累積線量との関連について

今回の調査では、白血病を除く全悪性新生物の死亡率は、累積線量とともに増加する有意の傾向を示した ($p=0.024$)。主たる解析では白血病を除く全悪性新生物の最短潜伏期を10年と仮定したが、このほか0, 5, 15, 20年と仮定した感度解析を行った。

この結果によると、最短潜伏期5年, 15年を仮定した場合には、白血病を除く全悪性新生物の死亡率は累積線量とともに増加する有意の傾向を示したが、最短潜伏期0年, 20年を仮定した場合には、有意の増加傾向は認められなかった(表4.1-6, p.67、補遺-2, p.93)。

白血病を除く全悪性新生物のO/E比は、いずれの累積線量群においても有意に1より高いとは言えない。また100mSv以上の線量群ではO/E比の低下が認められ、累積線量の増加とともに単調増加の傾向を示しているとは言えない。10mSv未満の群のO/E比は、10mSv以上の群のO/E比に比べ小さく、これらのO/E比の差が大きいことが、白血病を除く全悪性新生物の死亡率に累積線量との有意の関連をもたらした可能性も考えられる。

今回の白血病を除く全悪性新生物の死亡率と累積線量との関連を解釈するにあたっては、放射線以外の発がん要因、例えば喫煙、飲酒等の生活習慣等の影響が排除されていないことに留意する必要がある。

累積線量との関連が有意であった白血病を除く全悪性新生物から、さらに肺の悪性新生物を除外すると、死亡率と累積線量との有意の関連は認められなかった(表3.5-1, p.50、補遺-3, p.98)。

また15ヵ国国際共同研究²¹⁾での研究方法に準じて検討した喫煙関連の悪性新生物には死亡率と累積線量との有意の関連が認められた ($p=0.009$) が、非喫煙関連の悪性新生物では死亡率と累積線量との関連は有意ではなかった ($p=0.830$) (表3.5-2, p.51、補遺-3)。さらに、喫煙関連の悪性新生物から肺がんを除外した場合にも、死亡率と累積線量との関連は有意ではなかった ($p=0.108$)。このような結果から判断すると、白血病を除く全悪性新生物の死亡率に累積線量との関連が認められたことは、喫煙による肺がんの影響の可能性を否定できない。

なお、非新生物疾患についても喫煙関連疾患、非喫煙関連疾患に分類²²⁾²³⁾して検討したところ、いずれの疾患にも死亡率と累積線量との関連は認められなかった(表3.5-3, p.52、補遺-3)。このように喫煙関連の悪性新生物と、喫煙関連の非新生物疾患で、死亡率と累積線量との関連が異なるのは、喫煙による影響(リスク)は、悪性新

生物の方が非新生物疾患より大きいことに起因している可能性がある。

白血病を除く全悪性新生物についても、前述した白血病と同様に、これまでの原子力産業従事者を対象とした疫学研究において注目している死因の一つである。

最近の公表された研究成果としては、15 カ国国際共同研究²¹⁾、英国放射線業務従事者研究²⁵⁾等があり、また原子力発電所従事者に特化した研究成果としてカナダ、米国の原子力発電所における放射線業務従事者研究²⁶⁾²⁷⁾がある（表 4.1-7, p.68）。

原子力産業従事者を対象とした 15 カ国国際共同研究結果、英国放射線業務従事者研究結果では、白血病を除く全悪性新生物の死亡率には累積線量と有意な増加傾向が認められたとしている。

15 カ国国際共同研究論文の著者等は、「白血病を除く全悪性新生物の死亡率と累積線量との有意な増加傾向は、喫煙あるいは他の職業ばく露による交絡の影響の可能性が部分的にはあるかも知れないが、それだけではリスクの増加を説明しきれない」、としている。これに対し、内部被ばく・中性子被ばくの可能性があることを理由に研究対象集団の一部を除外したこと、カナダの従事者データを除外した場合には白血病を除く全悪性新生物の死亡率と累積線量との有意な増加傾向が認められなかったこと等から、このような放射線業務従事者研究の実施および結果の解釈には、慎重に注意を払うことが必要であるとの意見²⁸⁾がある。

英国放射線業務従事者研究では、個人の喫煙習慣情報が不明のため交絡による影響の可能性を直接検討してはいないが、肺の悪性新生物の死亡率に累積線量と有意な増加傾向は認められなかった。しかし、喫煙と関連のある冠動脈心疾患死亡率が累積線量との関連を示唆したことに起因して、非新生物疾患の循環器疾患死亡率に有意な増加傾向が認められている。また循環器疾患全体および冠動脈心疾患、脳血管疾患等に認められた O/E 比の累積線量群毎の傾向、すなわち O/E 比が 1 以下であった最高線量群を除き、累積線量に伴って O/E 比が増加している傾向は、肺の悪性新生物でも類似のパターンを示している、としている。

著者等は、循環器疾患および肺の悪性新生物のリスクが累積線量に伴って類似のパターンを示したことは、喫煙による交絡を示唆していると述べている²⁵⁾。

(4) 部位別の悪性新生物の死亡率と累積線量との関連について

部位別悪性新生物では、前回第Ⅲ期調査と同様に食道、肝臓の悪性新生物および多発性骨髄腫の死亡率が累積線量とともに増加する有意の傾向を示したほか、今回第Ⅳ期調査で新たに肺の悪性新生物、非ホジキンリンパ腫の死亡率が有意の増加傾向を示した（表 3.4-1, pp.46-48）。

一つの集団で多数の異なった部位を解析した場合、5%の有意水準を用いた検定では統計学的に有意な結果が、20 回に 1 回は偶然によっても起こりうる。今回の調査のように多数の検定を繰り返して行う場合には、解析結果を慎重に解釈することが必

要である。このため、部位別悪性新生物の 16 部位を検定回数として多重比較 (Bonferroni の方法) により調整した p 値を求めたところ、食道、肝臓、肺の悪性新生物、非ホジキンリンパ腫および多発性骨髄腫のいずれの部位においても調整後 p 値は 0.05 を超え有意ではなかった (食道がん; 調整後 p 値=0.471、肝臓がん; 調整後 p 値=0.333、肺がん; 調整後 p 値=0.106、非ホジキンリンパ腫; 調整後 p 値=0.365、多発性骨髄腫; 調整後 p 値=0.406)。

したがって、累積線量との有意の関連を示した部位別悪性新生物については、多数の異なった部位の検定を行ったため偶然小さな p 値が得られた可能性も考えられる。

累積線量との有意の関連を示した部位別悪性新生物について、死亡率と累積線量との関連をみると、いずれの線量群においても O/E 比は、有意に 1 より高いとはいえない。また累積線量群別の O/E 比の点推定値は、肺の悪性新生物および非ホジキンリンパ腫を除き、累積線量の増加とともに単調増加の傾向を示してはいない (表 3.4-1, pp.46-48)。

今回の調査で、累積線量との関連が認められた部位別悪性新生物、なかでも食道、肝臓、肺の死亡率と累積線量との有意の関連を解釈するにあたっては、放射線以外の発がん要因、例えば喫煙、飲酒等の生活習慣等の影響が排除されていないことに留意する必要がある。

今回の部位別悪性新生物の結果と、過去に実施した交絡因子調査の結果では喫煙者の割合は累積線量とともに有意の増加傾向が認められていたことを考え併せると、喫煙に関連する虚血性心疾患、脳卒中および慢性閉塞性肺疾患等の死亡率でも累積線量との関連を示す可能性があると思定されるが、今回の結果では、虚血性心疾患、脳卒中等には累積線量との有意の関連は認められなかった (補遺-3, p.98)。

諸外国の原子力産業従事者を対象にした最近の研究報告における、部位別悪性新生物の死亡率と累積線量と関連についての結果を示す (表 4.1-8, p.69)。

食道、肝臓の悪性新生物および非ホジキンリンパ腫については、死亡率と累積線量との有意の関連は認められていない。肺の悪性新生物については、15 カ国共同研究を除いて、有意の関連は認められていない。

3 カ国合同解析では有意の関連 ($p=0.037$) を示した多発性骨髄腫は、15 カ国共同研究では有意の関連を示していない ($p=0.058$)。内部被ばく・中性子被ばくの可能性があることを理由に、外部被ばく線量の高い者が除外されており、著者らは、「多発性骨髄腫は晩年に発病する疾病であるため、この共同研究対象者は若年齢が多く多発性骨髄腫に関する情報を提供していない。」としている。

英国放射線業務従事者研究においても多発性骨髄腫の死亡率と累積線量との関連については、1999 年の報告では有意水準 (5%) に近い増加傾向 ($p=0.059$) を示していたが、2009 年の報告では有意の関連は認められていない ($p=0.221$)。しかし、

罹患率は累積線量と有意の関連を示し ($p=0.008$)、著者らは、「比較的高線量の少数例に依存しており、多発性骨髄腫についてはっきりしたことはいえない」としている。

食道、肝臓の悪性新生物について、原子放射線の影響に関する国連科学委員会（以下、「国連科学委員会」と略記。）2000年報告書²⁹⁾では、「食道がんの病因における放射線の役割を評価した疫学研究は殆どない。」（付属書I、77項）、「原爆被爆者の寿命調査データは食道がんとの関連を示す有力な証拠を提供していない。また寿命調査のがん罹患率データは、食道がんリスクの有意な過剰を示していない。」（付属書I、78項）、「肝臓がんとの放射線被ばくとの関連は、低LET放射線による外部或いは内部被ばくを含む医療および作業員の研究では示されていない。」（付属書I、116項）としている。このように現在までの知見では、職業被ばくによる放射線が、食道、肝臓の悪性新生物の死亡率に影響を与えたとの証拠は認められていない。

なお、肺の悪性新生物に関しては、「日本の原爆被爆者およびいくつかの急性高線量被ばく患者群による結果は低 LET 放射線の外部被ばくに関連する肺がんリスク上昇を示している。」（付属書 I、143 項）としているが、職業被ばくによる肺の悪性新生物に関する知見は、ラドン被ばく鉱夫、ロシアのマヤク施設作業員等の研究成果に限定されている。

また非ホジキンリンパ腫に関しては、国連科学委員会 2000 年報告書では、「非ホジキンリンパ腫と低 LET 放射線の外部被ばくとの関連を示す証拠は殆どない。」（付属書 I、257 項）としている。

さらに、多発性骨髄腫については、「幾つかの死亡率の研究で低 LET 放射線外部被ばくの線量の増加に伴う多発性骨髄腫のリスクの増加の傾向が示唆されている。しかしながら、このような関連は、その罹患率の研究では一般的に明らかでない。」（付属書 I、270 項）としている。また原爆被爆生存者の多発性骨髄腫に関しても、「原爆被爆生存者の死亡率調査では、リスクと線量の間統計学的に有意な関連を示した。しかし、罹患率データでは、線量の影響がないことと一致している。罹患率の解析では骨髄腫の診断のレビューが配慮されており、これらの知見をより重視することは妥当であろう」（付属書 I、265 項）としている。このように国連科学委員会 2000 年報告書では、多発性骨髄腫と放射線との関連については、死亡率データよりも、罹患率データの信頼性を重視し、リスクの存在を疑問視している。

最新の国連科学委員会 2006 年報告書³⁰⁾でも、低線量域の職業被ばくの研究では検出力が十分ではなく、多くの研究で食道、肝臓および肺の悪性新生物の線量反応関係は認められていないとしている。また非ホジキンリンパ腫については、国連科学委員会 2000 年報告書での評価を変更しなければならないような研究結果は得られていないとしている。多発性骨髄腫についても、国連科学委員会 2000 年報告書での評価が変更されることはなく、罹患データの質の高い診断情報によれば、低LET放射線被ばくによるリスクを示す証拠は殆どないことを示唆する可能性があるとしている。

(5) 生活習慣等の影響について

この死亡調査とは別に実施した交絡因子調査の結果、喫煙者の割合は累積線量とともに増加していること、1日の喫煙本数あるいは総喫煙量の多い者の割合にも累積線量との関連が認められていること、飲酒率については累積線量群間で差が認められていないが、多量飲酒者の割合には累積線量との関連が認められていることが判明している（図 4.1- 1(1)～図 4.1- 1 (6), 図 4.1- 2(1)～図 4.1- 2 (6), pp.70-71）。

交絡因子調査の対象とした集団は、この疫学調査の解析対象集団の一部ではあるものの全体とは異なることから、交絡因子調査結果をこの解析対象集団に直ちに適用することはできない。しかし、この疫学調査の結果を解釈する上で、累積線量群によって生活習慣が異なるという知見は、極めて示唆的であることから十分に考慮に入れる必要がある。仮に解析対象集団と交絡因子調査の集団とが同一の傾向をもっているとすれば、死亡率と累積線量との関連が認められた食道、肝臓および肺の悪性新生物に、喫煙等の生活習慣が交絡している可能性も否定できない。

この放射線疫学調査では、交絡因子調査に回答した者についても、住民票の写し等を用いて生死を追跡している。しかし、2007年(平成19年)12月31日までの観察死亡数は全死因で1,900人（内数、非新生物疾患; 704人、全悪性新生物（白血病を除く）; 832人）と少ない。このため、今後ともデータの蓄積に努め、生活習慣等による交絡の可能性について検討することが必要である。

4.2 考察のまとめ

(1) 外部比較の結果について

慢性リンパ性白血病を除く白血病の死亡率は、全日本人男性死亡率（20歳以上85歳未満）との有意差は認められなかった。白血病を除く全悪性新生物の死亡率は、全日本人男性死亡率に比べ有意に高かったが、これは肝臓、肺の悪性新生物の死亡率が有意に高いことが寄与しているものと考えられ、喫煙、飲酒等の生活習慣等による影響の可能性を否定できない。

非新生物疾患の死亡率は、全日本人男性死亡率に比べ有意に低く、疾患別（10疾患）の死亡率においても有意に高い疾患は認められなかった。

非新生物疾患の死亡率を観察期間別にみると、近年では全日本人男性死亡率との有意差は認められなくなりつつあるが、観察期間を通じた死亡率が有意に低いのは、健康労働者効果の影響が考えられる。また白血病を除く全悪性新生物は、相対的に健康労働者効果の影響を受けにくいことを示唆する結果が示されている。

(2) 内部比較の結果について

慢性リンパ性白血病を除く白血病の死亡率に、累積線量の増加にともなう有意の増加傾向は認められなかった。

白血病を除く全悪性新生物の死亡率には有意の増加傾向が認められた。しかし、白血病を除く全悪性新生物から、肺の悪性新生物を除外した場合には、累積線量にともなう有意の増加傾向は認められなかった。

また悪性新生物（固形がん）を喫煙関連および非喫煙関連の悪性新生物に分類した調査では、累積線量の増加にともなって、喫煙関連の悪性新生物の死亡率に有意の増加傾向が認められた。しかし、喫煙関連の悪性新生物から肺の悪性新生物を除外した場合および非喫煙関連の悪性新生物の死亡率には有意の増加傾向は認められなかった。

このようなことから、累積線量にともなって白血病を除く全悪性新生物の死亡率に有意の増加傾向が認められたのは、喫煙等による生活習慣等の交絡による影響の可能性を否定できない。

一方、非新生物疾患についても悪性新生物（固形がん）と同様に、喫煙関連疾患、非喫煙関連疾患に分類して調査したが、双方の死亡率には累積線量にともなう有意の増加傾向は認められなかった。

喫煙関連の悪性新生物と喫煙関連の非新生物疾患で、死亡率と累積線量との関連が異なるのは、喫煙による影響（リスク）は、悪性新生物が非新生物疾患より大きいことに起因していることが考えられる。

食道、肝臓および肺の悪性新生物の死亡率、また非ホジキンリンパ腫、多発性骨髄腫の死亡率に、累積線量にともなう有意の増加傾向が認められた。

なお、多重比較法では、これらすべての悪性新生物は有意ではなかった。

この放射線疫学調査では、一人当たりの平均観察期間が 10.9 年と短いため、これらの悪性新生物の死亡率は、累積線量との有意の関連を偶然示した可能性についても否定できない。特に、非ホジキンリンパ腫、多発性骨髄腫は、死亡数が少なく不確実性が高いと考えられ、また欧米の放射線疫学調査においても累積線量との有意の関連を示す事例は多くない。

(3) 統計学的関連の解釈

疫学調査においては、ある要因と疾病との関係が統計学的に有意な関連を示したとしても、バイアスや偶然によるデータの偏りや交絡因子の影響の有無を十分検討する必要がある。さらに因果関係を判断するためには、データの関連性が強いことのみならず、用量-反応関係が認められること、複数の研究結果で一致した傾向を示していることおよび医学的・生物学的に合理的な説明が付くこと等が求められる。

この放射線疫学調査では、着目すべき死因の一つである白血病を除く全悪性新生物および一部の悪性新生物（食道、肝臓、肺）に、累積線量との有意の関連が認められたが、これは喫煙等の発がんに関連する生活習慣等が交絡している可能性を否定できない。また非ホジキンリンパ腫、多発性骨髄腫については死亡数が少なく不確実性が高い。

さらに、累積線量との有意の関連を認めた一部の悪性新生物（食道、肝臓、肺）、非ホジキンリンパ腫および多発性骨髄腫の結果は、欧米の放射線疫学調査の結果と一致しているとは認められず、またこれらの結果に対して医学的・生物学的な観点から合理的な説明を加えることもできない。

表4. 1-1 観察期間別の SMR(95%信頼区間)

	今回調査 (第Ⅳ期調査)				
	観 察 期 間 別				
	1991 -2007 年	1991 -1994 年	1995 -1999 年	2000 -2004 年	2005 -2007 年
全死因	1.01 (0.99-1.03)	0.89 (0.83-0.95)	0.99 (0.96-1.02)	1.03 (1.01-1.06)	1.04 (1.00-1.08)
非新生物疾患	0.95 (0.92-0.97)	0.79 (0.72-0.87)	0.91 (0.87-0.95)	0.97 (0.94-1.01)	1.01 (0.96-1.06)
全悪性新生物 (白血病を除く)	1.04 (1.01-1.07)	0.94 (0.85-1.04)	1.05 (1.00-1.10)	1.05 (1.01-1.10)	1.05 (0.99-1.11)

表4. 1-2 第1次、第2次交絡因子調査と国民健康・栄養調査^{注1}との比較
(男性、喫煙習慣のある者の割合)

(単位：%)

年 齢	20 歳代	30 歳代	40 歳代	50 歳代	60 歳代	70 歳以上	全数平均
第2次調査 ^{注2}	—	—	54.3	51.2	36.7	27.0	46.5
平成15年 国民健康 ・栄養調査 ^{注3}	55.8	56.8	55.4	54.4	35.7	26.6	46.8
第1次調査 ^{注4}	66.0	64.5	60.4	53.1	45.0	33.3	61.4
平成10年 国民栄養調査 ^{注5}	60.3	61.9	60.5	52.5	41.8	32.4	50.8

注1：厚生労働省が実施している調査で、国民の身体の状態、栄養摂取量および生活習慣の状態を明らかにし、国民の健康の増進の総合的な推進を図るための基礎資料を得る調査。

なお、2002年（平成14年）までは国民栄養調査として実施された。

注2：第2次交絡因子調査は、平成15年9月から平成16年3月に実施し、この放射線疫学調査対象者の40歳以上の男性約7.4万人に、喫煙、飲酒、原子力施設での業務歴、健康への意識等の質問票を郵送により送付し、約4.5万人から回答を得た。

ここに示す数値は、「現在、毎日たばこを吸っている」と回答した者の割合である。なお、「—」は調査の対象外であったことを示す。

注3：喫煙習慣については、国民9,110人（男性：4,204人、女性：4,906人）を回答実数としているが、ここには男性の集計結果を記した。この調査では、現在習慣的に喫煙している者とは、これまで合計100本以上または6ヶ月以上たばこを吸っている者のうち、この1ヶ月間に毎日または時々たばこを吸っている者としている。

注4：第1次交絡因子調査は、平成9年10月から平成11年3月に実施し、この放射線疫学調査の対象者約5.8万人に喫煙、飲酒、過去の有害業務歴等の質問票を原子力事業所において配布し、約4.8万人（男性）から回答を得た。

ここに示す数値は、「現在、毎日たばこを吸っている」と回答した者の割合である。

注5：喫煙習慣については、国民7,911人（男性：3,311人、女性：4,600人）を回答実数としているが、ここには男性の集計結果を記した。この調査では、喫煙習慣のある者とは、現在、継続的に（毎日または時々）吸っている者としている。

表4. 1-3 第1次、第2次交絡因子調査と国民健康・栄養調査^{注1}との比較
(男性、飲酒習慣のある者の割合)

(単位：%)

年 齢	20 歳代	30 歳代	40 歳代	50 歳代	60 歳代	70 歳 以上	全数 平均
第2次 交絡因子調査 ^{注2}	—	—	79.6	78.2	71.8	54.9	75.0
平成15年 国民健康 ・栄養調査 ^{注3}	35.0	44.8	53.5	53.0	43.9	25.5	42.9
第1次 交絡因子調査 ^{注4}	73.4	79.7	78.2	75.2	66.7	46.7	76.3
平成10年 国民栄養調査 ^{注5}	30.1	53.1	61.6	62.6	53.7	42.6	52.5

注1：厚生労働省が実施している調査で、国民の身体の状態、栄養摂取量および生活習慣の状態を明らかにし、国民の健康の増進の総合的な推進を図るための基礎資料を得る調査。

なお、2002年（平成14年）までは国民栄養調査として実施された。

注2：第2次交絡因子調査は、平成15年9月から平成16年3月に実施し、この放射線疫学調査対象者の40歳以上の男性約7.4万人に、喫煙、飲酒、原子力施設での業務歴、健康への意識等の質問票を郵送により送付し、約4.5万人から回答を得た。

ここに示す数値は、「お酒を飲んでいる」と回答した者の割合である。なお、「—」は調査の対象外であったことを示す

注3：飲酒習慣については、国民9,199人（男性：4,275人、女性：4,924人）を回答実数としているが、ここには男性の集計結果を記した。この調査では、飲酒習慣のある者とは、週3日以上、かつ1日に1合（日本酒換算）以上飲酒する者としている。

注4：第1次交絡因子調査は、平成9年10月から平成11年3月に実施し、この放射線疫学調査の対象者約5.8万人に喫煙、飲酒、過去の有害業務歴等の質問票を原子力事業所において配布し、約4.8万人（男性）から回答を得た。

ここに示す数値は、「お酒を飲んでいる」と回答した者の割合である。

注5：飲酒習慣については、国民7,901人（男性：3,305人、女性：4,596人）を回答実数としているが、ここには男性の集計結果を記した。この調査では、飲酒習慣のある者とは、頻度が週3日以上、かつ、1日に日本酒1合以上またはビール大1本以上飲んでいる者としている。

表4. 1-4 最短潜伏期の感度解析の結果(白血病(慢性リンパ性白血病を除く))
(前向き観察 年齢、暦年、地域を調整)

	累積線量群 (mSv)					傾向性の 片側検定 p値
	<10	10-	20-	50-	100+	
	観察数	観察数	観察数	観察数	観察数	
	期待数	期待数	期待数	期待数	期待数	
	O/E 比	O/E 比	O/E 比	O/E 比	O/E 比	
	95%CI	95%CI	95%CI	95%CI	95%CI	
潜伏期; 0年	99 97.6 1.01 (0.82 - 1.23)	11 12.2 0.90 (0.45 - 1.61)	17 12.7 1.33 (0.78 - 2.14)	4 6.4 0.63 (0.17 - 1.60)	2 4.1 0.49 (0.06 - 1.78)	0.860
潜伏期; 2年	99 98.2 1.01 (0.82 - 1.23)	12 12.1 0.99 (0.51 - 1.73)	16 12.6 1.27 (0.73 - 2.06)	4 6.2 0.64 (0.17 - 1.64)	2 3.8 0.52 (0.06 - 1.89)	0.841
潜伏期; 5年	98 96.8 1.01 (0.82 - 1.23)	13 11.7 1.11 (0.59 - 1.90)	14 12.1 1.16 (0.63 - 1.94)	3 6.0 0.50 (0.10 - 1.47)	2 3.4 0.59 (0.07 - 2.12)	0.861
潜伏期; 10年	91 89.5 1.02 (0.82 - 1.25)	10 11.1 0.90 (0.43 - 1.65)	14 11.4 1.23 (0.67 - 2.06)	3 5.4 0.56 (0.12 - 1.63)	2 2.7 0.75 (0.09 - 2.70)	0.759
潜伏期; 15年	78 73.6 1.06 (0.84 - 1.32)	8 9.4 0.85 (0.37 - 1.67)	8 9.3 0.86 (0.37 - 1.70)	3 4.0 0.74 (0.15 - 2.17)	1 1.6 0.61 (0.02 - 3.40)	0.833
潜伏期; 20年	58 52.2 1.11 (0.84 - 1.44)	3 6.6 0.45 (0.09 - 1.32)	5 6.1 0.83 (0.27 - 1.93)	1 2.4 0.42 (0.01 - 2.35)	1 0.8 1.33 (0.03 - 7.43)	0.803

注: 観察数は観察死亡数を、期待数は期待死亡数を、および 95%CI は 95%信頼区間を表す。
また潜伏期の年数は最短潜伏期を表す。

表4. 1-5 白血病(慢性リンパ性白血病を除く)の過剰相対リスク推定値

	白血病 (CLLを除く) 観察死亡数	過剰相対リスクの推定値(／Sv)、 括弧内は信頼区間(CI)
わが国の第Ⅰ期放射線疫学調査 ^{注1}	23	解析していない。
わが国の第Ⅱ期放射線疫学調査 ^{注2}	28	0.01(90%CI -10.0, 10.0)
わが国の第Ⅲ期放射線疫学調査 ^{注3}	79	-2.27(90%CI -7.53, 2.98)
わが国の第Ⅳ期放射線疫学調査 ^{注4}	133	-3.01(90%CI -6.52, 0.49)
3カ国合同解析 ^{注5} (Cardis et al., 1995) ¹⁹⁾	119	2.18(90%CI 0.13, 5.7)
15カ国共同研究 ^{注6} (Cardis et al., 2007) ²¹⁾	196	1.93(95%CI <0, 8.47)
英国NRRWコホート研究 ^{注7} (Muirhead et al., 1999) ²⁰⁾	91	2.55(90%CI -0.03, 7.16)
英国NRRWコホート研究 ^{注8} (Muirhead et al., 2009) ²⁵⁾	198	1.71(90%CI 0.06, 4.29)
カナダ原子力発電所従事者研究 ^{注9} (Zablotska et al., 2004) ²⁶⁾	18	52.5(95%CI 0.205, 291)
米国原子力発電所従事者研究 ^{注10} (Howe et al., 2004) ²⁷⁾	26	5.67(95%CI -2.56, 30.4)
原爆被爆生存者追跡研究 (Pierce et al., 1996) ³¹⁾	132	4.55(95%CI 2.83, 7.07)

注1:後向き観察(1986-1992年)の調査結果。

注2:前向き観察(1991-1997年)の調査結果(最短潜伏期:2年)。

注3:前向き観察(1991-2002年)の解析結果(最短潜伏期:2年)。

注4:前向き観察(1991-2007年)の解析結果(最短潜伏期:2年)。

注5:英国、米国およびカナダの3カ国の合同解析結果(最短潜伏期:2年)。

注6:英国、米国、カナダ、フランスおよび日本等15カ国国際共同研究結果(最短潜伏期:2年)。

注7:英国の放射線従事者国家登録(NRRW: National Registry for Radiation Workers)によるコホート研究で、1955-1992年の観察結果(最短潜伏期:2年)。

注8:英国の放射線従事者国家登録(NRRW: National Registry for Radiation Workers)によるコホート研究で、1955-2001年の観察結果。(最短潜伏期:2年)

注9:カナダの国家線量登録(Canadian National Dose Registry)によるコホート研究結果(最短潜伏期:2年)。

注10:米国15事業者の原子力発電施設での放射線従事者コホート研究結果(最短潜伏期:2年)。

表4. 1-6 最短潜伏期の感度解析の結果(全悪性新生物(白血病を除く))
(前向き観察 年齢、暦年、地域を調整)

	累積線量群(mSv)					傾向性の 片側検定 p値
	<10	10-	20-	50-	100+	
	観察数	観察数	観察数	観察数	観察数	
	期待数	期待数	期待数	期待数	期待数	
	O/E 比	O/E 比	O/E 比	O/E 比	O/E 比	
95%CI	95%CI	95%CI	95%CI	95%CI		
潜伏期: 0年	4,083 4,144.4 0.99 (0.96 - 1.02)	513 499.6 1.03 (0.94 - 1.12)	547 518.5 1.05 (0.97 - 1.15)	259 250.7 1.03 (0.91 - 1.17)	174 162.7 1.07 (0.92 - 1.24)	0.061
潜伏期: 5年	4,071 4,145.3 0.98 (0.95 - 1.01)	507 492.9 1.03 (0.94 - 1.12)	543 509.0 1.07 (0.98 - 1.16)	252 240.9 1.05 (0.92 - 1.18)	160 144.8 1.10 (0.94 - 1.29)	0.018
潜伏期: 10年	3,730 3,811.7 0.98 (0.95 - 1.01)	484 463.8 1.04 (0.95 - 1.14)	511 477.3 1.07 (0.98 - 1.17)	242 219.8 1.10 (0.97 - 1.25)	122 116.4 1.05 (0.87 - 1.25)	0.024
潜伏期: 15年	3,099 3,179.4 0.97 (0.94 - 1.01)	418 394.1 1.06 (0.96 - 1.17)	434 395.2 1.10 (1.00 - 1.21)	189 170.4 1.11 (0.96 - 1.28)	75 76.0 0.99 (0.78 - 1.24)	0.042
潜伏期: 20年	2,213 2,248.8 0.98 (0.94 - 1.03)	259 266.5 0.97 (0.86 - 1.10)	287 254.5 1.13 (1.00 - 1.27)	112 98.0 1.14 (0.94 - 1.38)	31 34.3 0.90 (0.61 - 1.28)	0.098

注: 観察数は観察死亡数を、期待数は期待死亡数を、および 95%CI は 95%信頼区間を表す。
また潜伏期の年数は最短潜伏期を表す。

表4. 1-7 全悪性新生物(白血病を除く)の過剰相対リスク推定値

	全悪性新生物(白血病を除く) 観察死亡数	過剰相対リスクの推定値(／Sv)、 括弧内は信頼区間(CI)
3カ国合同解析 ^{注1} (Cardis et al., 1995) ¹⁹⁾	3,830	-0.07 (90%CI -0.39, 0.30)
15カ国共同研究 ^{注2} (Cardis et al., 2007) ²¹⁾	5,024	0.97 (95%CI 0.14, 1.97)
英国NRRWコホート研究 ^{注3} (Muirhead et al., 1999) ²⁰⁾	3,020	0.086 (90%CI -0.28, 0.52)
英国NRRWコホート研究 ^{注4} (Muirhead et al., 2009) ²⁵⁾	7,455	0.275 (90%CI 0.02, 0.56)
カナダ原子力発電所従事者研究 ^{注5} (Zablotska et al., 2004) ²⁶⁾	474	2.80 (95%CI -0.038, 7.13)
米国原子力発電所従事者研究 ^{注6} (Howe et al., 2004) ²⁷⁾	368	0.51 (95%CI -2.01, 4.64)
原爆被爆生存者追跡研究 (Preston et al., 2004) ³²⁾	10,127	男性 0.29 (90%CI 0.21, 0.39) 女性 0.55 (90%CI 0.42, 0.68)

注1:英国、米国およびカナダの3カ国の合同解析結果(最短潜伏期;10年)。

注2:英国、米国、カナダ、フランスおよび日本等15カ国の国際共同研究結果。ただし、わが国のデータは、白血病を除く全悪性新生物のリスク解析から除外された(最短潜伏期;10年)。

注3:英国の放射線従事者国家登録(NRRW: National Registry for Radiation Workers)によるコホート研究で、1955-1992年の観察結果(最短潜伏期;10年)。

注4:英国の放射線従事者国家登録(NRRW: National Registry for Radiation Workers)によるコホート研究で、1955-2001年の観察結果(最短潜伏期;10年)。

注5:カナダの国家線量登録(Canadian National Dose Registry)によるコホート研究結果(最短潜伏期;10年)。

注6:米国15事業者の原子力発電施設での放射線従事者コホート研究結果(最短潜伏期;10年)。

表4. 1-8 部位別悪性新生物^{注1}の死亡率と累積線量との関連

	部位別悪性新生物の死亡率と累積線量との関連 (死亡数、p-value)
わが国の第Ⅳ期放射線疫学調査 ^{注1}	食道 (n=289, p=0.039)、肝臓 (n=860, p=0.025)、 肺 (n=1110, p=0.007)、非ホジキンリンパ腫 (n=103, p=0.028)、多発性骨髄腫 (n=31, p=0.032)
3カ国合同解析 ^{注2} (Cardis et al., 1995) ¹⁹⁾	食道 (n=104, p=0.375)、肝臓 (n=33, p=0.495)、 肺 (n=1238, p=0.610)、非ホジキンリンパ腫 (n=135, p=0.600)、多発性骨髄腫 (n=44, p=0.037)
15カ国共同研究 ^{注3} (Cardis et al., 2007) ²¹⁾	食道 (n=144, p=0.782)、肝臓 (n=62, p=0.099)、 肺 (n=1457, p=0.009)、非ホジキンリンパ腫 (n=248, p=0.397)、多発性骨髄腫 (n=83, p=0.058)
英国NRRWコホート研究 ^{注4} (Muirhead et al., 1999) ²⁰⁾	食道 (n=120, p=0.55)、肝臓&胆嚢 (n=43, p=0.38)、 肺 (n=959, p=0.60)、非ホジキンリンパ腫 (n=90, p=0.47)、多発性骨髄腫 (n=40, p=0.059)
英国NRRWコホート研究 ^{注5} (Muirhead et al., 2009) ²⁵⁾	食道 (n=341, p=0.407)、肝臓 (n=89, p=0.208)、 肺 (n=2230, p=0.363)、非ホジキンリンパ腫 (n=237, p=0.186)、多発性骨髄腫 (n=113, p=0.221)
カナダ原子力発電所従事者研究 ^{注6} (Zablotska et al., 2004) ²⁶⁾	食道 (n=14, p=0.82)、肝臓(―) ^{注8} 、肺 (n=183, p=0.66)、 非ホジキンリンパ腫 (n=19, p=0.49)、 多発性骨髄腫 (n=10, p=0.81)
米国原子力発電所従事者研究 ^{注7} (Howe et al., 2004) ²⁷⁾	食道(―)、肝臓(―)、肺 (n=125, p=0.76)、非ホジキ ンリンパ腫 (n=14, p=0.22)、多発性骨髄腫(―)

注1: 第Ⅳ期放射線疫学調査において、死亡率と累積線量との関連が有意となった悪性新生物を示す。
また最短潜伏期は10年を仮定した。

注2: 英国、米国およびカナダの3カ国の合同解析結果(最短潜伏期; 10年)。

注3: 英国、米国、カナダ、フランスおよび日本等15カ国の国際共同研究結果(最短潜伏期; 10年)。
ただし、わが国のデータは、部位別悪性新生物の解析から除外された。

注4: 英国の放射線従事者国家登録(NRRW: National Registry for Radiation Workers)によるコホー
ト研究で、1955-1992年の観察結果(最短潜伏期; 10年)。

注5: 英国の放射線従事者国家登録(NRRW: National Registry for Radiation Workers)によるコホー
ト研究で、1955-2001年の観察結果。(最短潜伏期; 10年)。

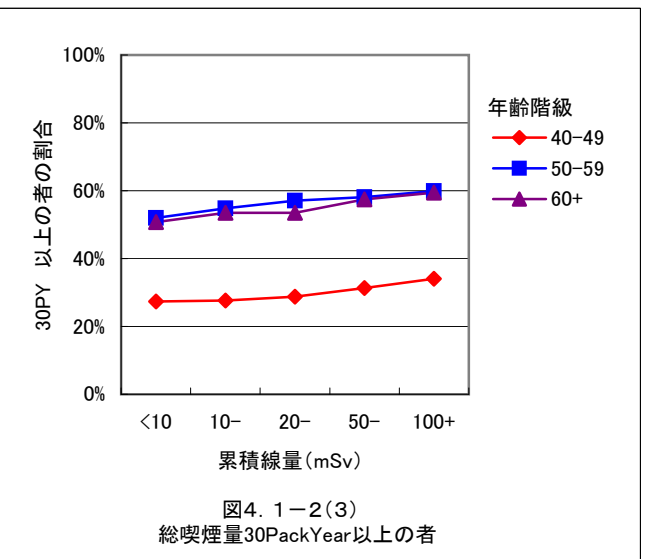
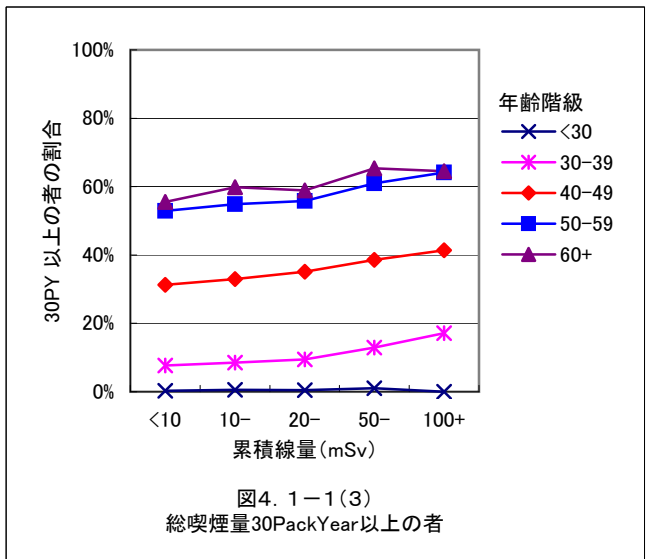
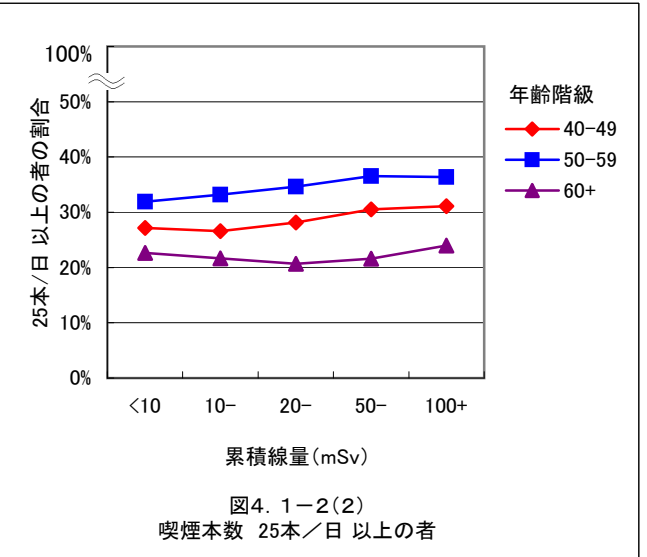
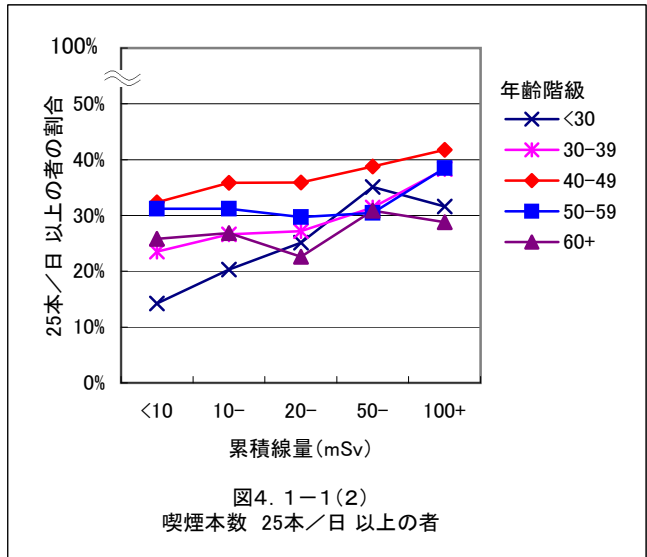
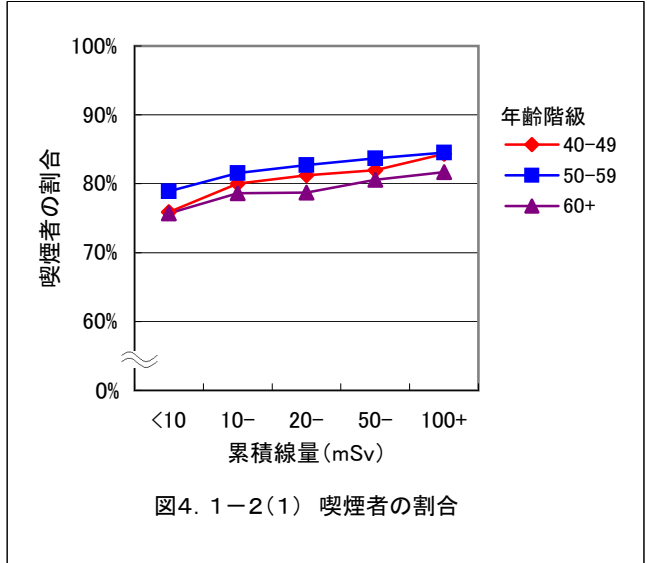
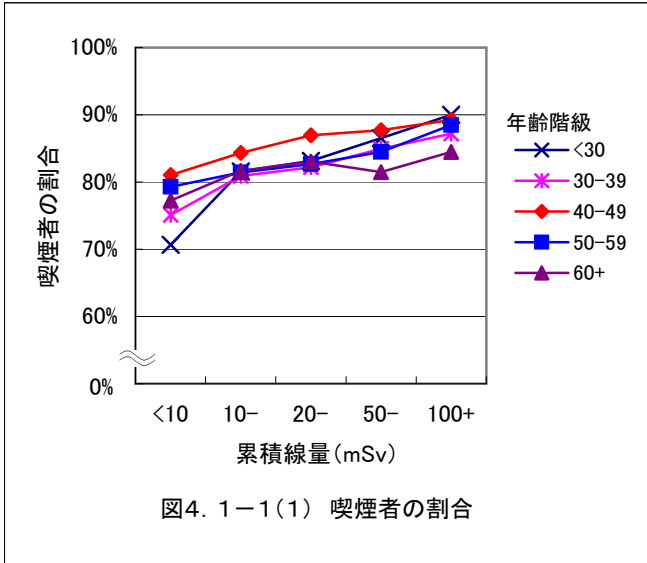
注6: カナダの国家線量登録(Canadian National Dose Registry)によるコホート研究結果(最短潜
伏期; 10年)。

注7: 米国15事業者の原子力発電施設での放射線従事者コホート研究結果(最短潜伏期; 10年)。

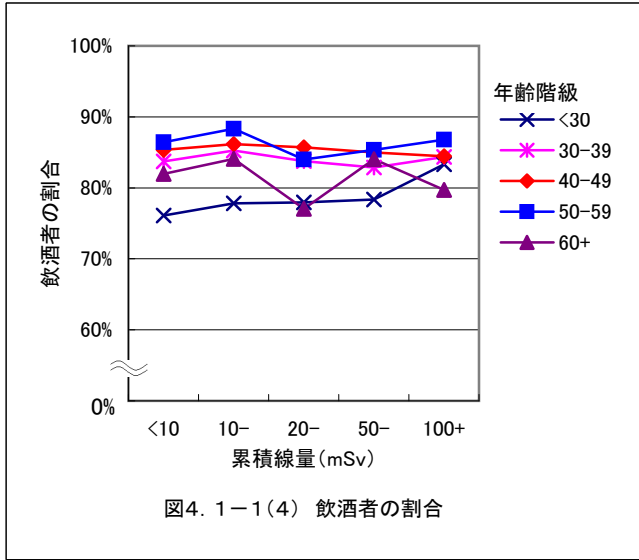
注8: 括弧内の横線は、解析の対象死因ではないことを示す。

第1次交絡因子調査

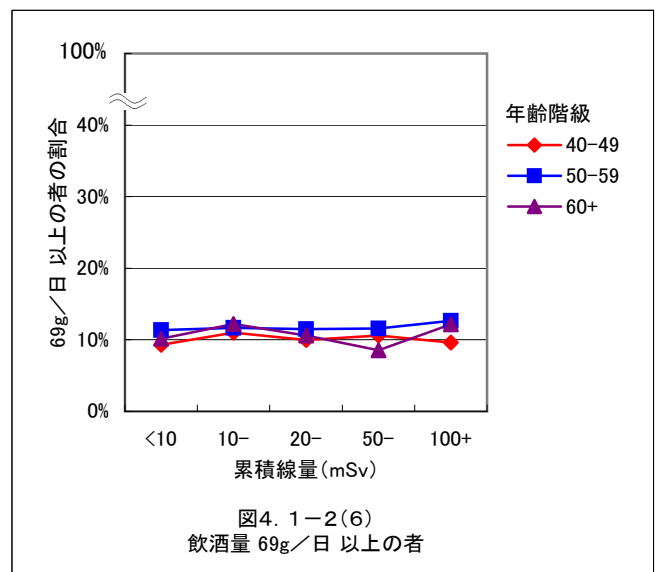
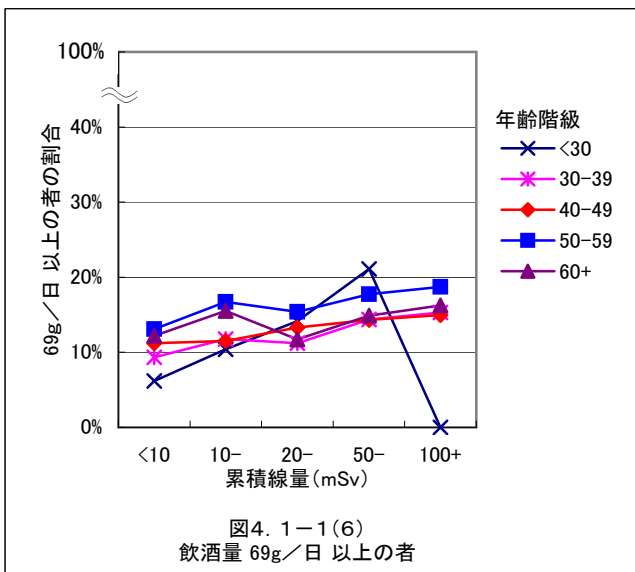
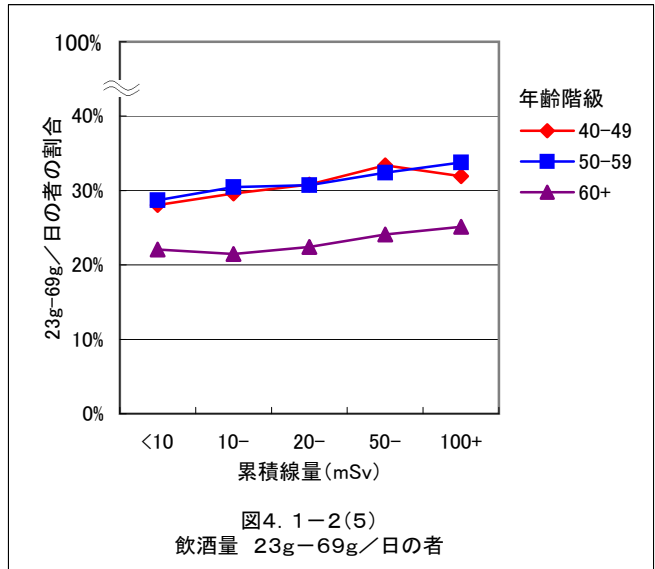
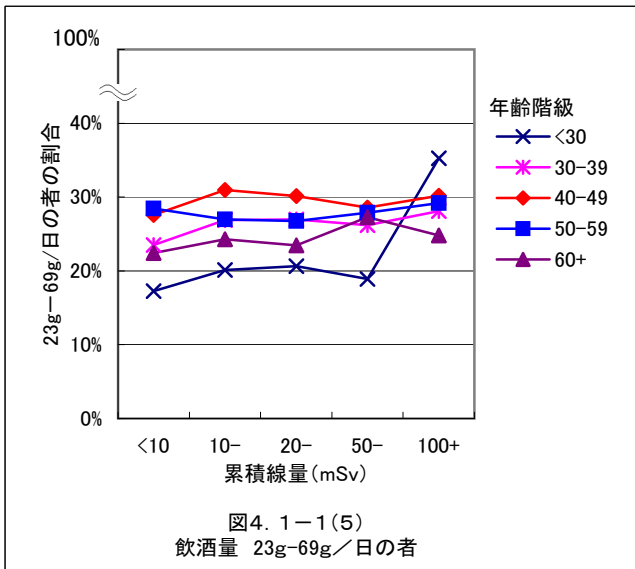
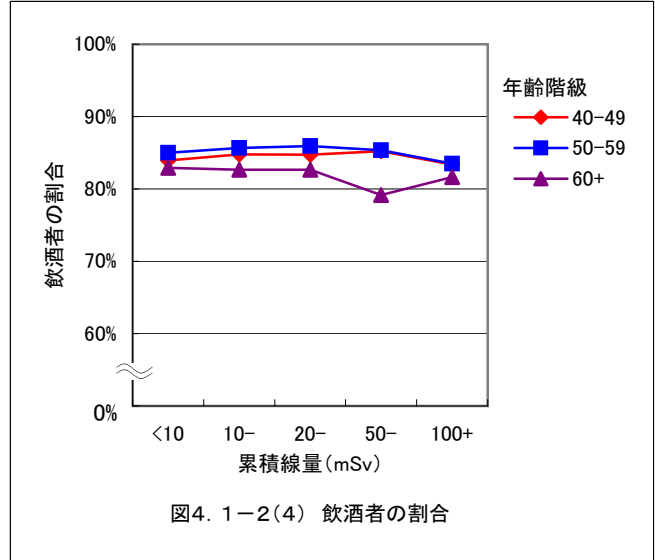
第2次交絡因子調査



第1次交絡因子調査



第2次交絡因子調査



5. 総合評価

第IV期調査までの結果を総合して評価すると、以下のことから、低線量域の放射線が悪性新生物の死亡率に影響を及ぼしている明確な証拠は認められなかったと言える。

外部比較では、慢性リンパ性白血病を除く白血病の死亡率は全日本人男性死亡率（20歳以上85歳未満）に比べ差は認められなかった。また白血病を除く全悪性新生物の死亡率は、全日本人男性死亡率に比べ有意に高かったが、生活習慣等の影響の可能性を否定できない。

内部比較では、累積線量の増加にともなう慢性リンパ性白血病を除く白血病の死亡率に有意の増加傾向は認められなかった。また白血病を除く全悪性新生物および喫煙関連の悪性新生物の死亡率に、累積線量の増加にともなう有意の増加傾向が認められた。しかし、これらの悪性新生物から肺の悪性新生物を除いた場合には、有意の増加傾向は認められなかった。

非喫煙関連の悪性新生物の死亡率に、累積線量にともなう有意の増加傾向は認められなかった。

これらの事実を勘案すると、今回認められた白血病を除く全悪性新生物の死亡率と累積線量との有意な関連は、生活習慣等の交絡による影響の可能性を否定できない。

6. 今後の課題

この放射線疫学調査では、解析対象者の平均観察期間は約 11 年であり、平均累積線量は 13.3mSv と低く、死亡者は解析対象者約 20 万 4 千人の約 7%（悪性新生物では 2.8%）に過ぎない。統計学的検出力は十分とは言えないので、この対象者について観察期間を更に延長する必要がある。

今回、放射線被ばく以外の発がんに係る生活習慣等が交絡している可能性を否定できないことが示唆された。解析対象者の一部については、既に交絡因子調査を実施しており、潜在的交絡因子の関与の解明を一層深めるためにも、今後は直接的に交絡因子の影響を除外した調査分析を行う必要がある。

このことにより、世界的にも注目される貴重な科学的知見が得られるものと期待されることから、低線量域放射線と健康影響について、より信頼性の高い科学的知見を得るためには、今後ともこの放射線疫学調査を継続する必要がある。

またこの放射線疫学調査では対象者の個人情報を取扱うことから、個人情報保護関係法令および疫学研究倫理指針にもとづき適正な取扱いに努めることが重要である。今後とも放射線疫学調査の円滑な遂行を確保するために、個人情報の取扱いに遺漏のないよう万全の措置を講じる必要がある。

・引用文献

- 1) 科学技術庁委託調査報告書,「原子力発電施設等放射線業務従事者に係る疫学的調査」(第Ⅰ期 平成2年度～平成6年度),財団法人放射線影響協会,平成7年3月。
- 2) 科学技術庁委託調査報告書,「原子力発電施設等放射線業務従事者に係る疫学的調査」(第Ⅱ期 平成7年度～平成11年度),財団法人放射線影響協会,平成12年12月。
- 3) 科学技術庁委託調査報告書,「原子力発電施設等放射線業務従事者に係る疫学的調査」(第Ⅱ期 平成7年度～平成11年度 交絡因子調査編),財団法人放射線影響協会,平成12年12月。
- 4) Epidemiological Study Group of Nuclear Workers. First analysis of mortality of nuclear industry workers in Japan,1986-1992. J Health Phys 1997 ; 32 : 173-184.
- 5) Iwasaki T, Murata M, Ohshima S, Miyake T, Kudo S, Inoue Y, Narita M, Yoshimura T, Akiba S, Tango T, Yoshimoto Y, Shimizu Y, Sobue T, Kusumi S, Yamagishi C and Matsudaira H. Second analysis of mortality of nuclear industry workers in Japan, 1986-1997. Radiat Res 2003 ; 159 : 228-238.
- 6) Murata M, Miyake T, Inoue Y, Ohshima S, Kudo S, Yoshimura T, Akiba S, Tango T, Yoshimoto Y, Shimizu Y, Sobue T, Kusumi S, Iwasaki T, Yamagishi C and Matsudaira H. Life-style and other characteristics of radiation workers at nuclear facilities in Japan: base-line data of a questionnaire survey. J Epidemiol 2002 ; 12 : 310-319.
- 7) 文部科学省委託調査報告書,「原子力発電施設等放射線業務従事者に係る疫学的調査」(第Ⅲ期 平成12年度～平成16年度),財団法人放射線影響協会,平成18年1月。
- 8) 文部科学省委託調査報告書,「原子力発電施設等放射線業務従事者に係る疫学的調査」(第Ⅲ期 平成12年度～平成16年度 第2次交絡因子調査編),財団法人放射線影響協会,平成18年1月。
- 9) 平成3年5月1日総務庁告示第30号,平成5年11月1日総務庁告示第67号
平成8年2月1日総務庁告示第12号,平成11年12月20日総務庁告示第172号。
- 10) 電子政府の総合窓口 <http://www.e-gov.go.jp/> から、文部科学省の放射線疫学調査ファイルを検索。
- 11) 厚生省大臣官房統計情報部編「疾病、傷害および死因統計分類提要」,昭和54年版,財団法人厚生統計協会。
- 12) 厚生省大臣官房統計情報部編「疾病、傷害および死因統計分類提要」,ICD-10 準拠,財団法人厚生統計協会。
- 13) 沼宮内弼雄,石黒秀治,河田 燕,南 賢太郎,吉本泰彦. 放射線疫学調査(第Ⅰ期)に係る個人線量の信頼性(1). RADIOISOTOPES 1997 ; 46 : 833-843.
- 14) 沼宮内弼雄,石黒秀治,河田 燕,南 賢太郎,吉本泰彦. 放射線疫学調査(第Ⅰ期)に係る個人線量の信頼性(2). RADIOISOTOPES 1997 ; 46 : 917-932.

- 1 5) 日本疫学会編集.「疫学－基礎から学ぶために」, 株式会社南江堂 ; 1996年10月
- 1 6) EPICURE : [computer program]. Version 2.12. Seattle (WA) : HiroSoft International Corporation ; 1993.
- 1 7) 古川俊之, 丹後俊郎.「新版医学への統計学」, 株式会社朝倉書店 ; 1998年2月.
- 1 8) Breslow NE, Day NE. Statistical Methods in Cancer Research : Volume II - The Design and Analysis of Cohort Studies. Lyon, International Agency for Research on Cancer, IARC Scientific Publications No82 ; 1987.
- 1 9) Cardis E, Gilbert E, Carpenter L, Howe G, Kato I, Armstrong BK, Beral V, Cowper G, Douglas A, Fix J, Fry SA, Kaldor J, Lavé C, Salmon L, Smith PG, Voelz GL and Wiggs LD. Effects of low doses and low dose rates of external ionizing radiation: cancer mortality among nuclear industry workers in three countries. Radiat Res 1995 ; 142 : 117-132.
- 2 0) Muirhead CR, Goodill AA, Haylock RGE, Vokes J, Little MP, Jackson DA, O'Hagan JA, Thomas JM, Kendall GM, Silk TJ, Bingham D and Brridge GLC. Occupational radiation exposure and mortality: second analysis of the National Registry for Radiation Workers. J Radiol Prot 1999 ; 19 : 3-26.
- 2 1) Cardis E, Vrijheid M, Blettner M, Gilbert E, Hakama M, Hill C, Howe G, Kaldor J, Muirhead CR, Schubauer-Berigan M, Yoshimura T, Bermann F, Cowper G, Fix J, Hacker C, Heimiller B, Marshall M, Thierry-Chef I, Utterback D, Ahn YO, Amoros E, Ashmore P, Auvinen A, Bae JM, Bernar J, Biau A, Combalot E, Deboodt P, Diez Sacristan A, Eklöf M, Engels H, Engholm G, Gulis G, Habib RR, Holan K, Hyvonen H, Kerekes A, Kurtinaitis J, Malker H, Martuzzi M, Mastauskas A, Monnet A, Moser M, Pearce MS, Richardson DB, Rodriguez-Artalejo F, Rogel A, Tardy H, Telle-Lamberton M, Turai I, Usel M and Veress K. The 15-country collaborative study of cancer risk among radiation workers in the nuclear industry: estimates of radiation-related cancer risks. Radiat Res 2007 ; 167 : 396-416.
- 2 2) 厚生労働科学研究費補助金 循環器疾患等生活習慣病対策総合研究事業
たばこに関する科学的知見の収集に係る研究(主任研究者 祖父江友孝)
平成17～19年度 総合研究報告書 ; 2008年4月。
- 2 3) The Health Consequences of Smoking: A Report of the Surgeon General. Department of Health and Human Services ; 2004.
- 2 4) Vrijheid M, Cardis E, Blettner M, Gilbert E, Hakama M, Hill C, Howe G, Kaldor J, Muirhead CR, Schubauer-Berigan M, Yoshimura T, Ahn YO, Ashmore P, Auvinen A, Bae JM, Engels H, Gulis G, Habib RR, Hosoda Y, Kurtinaitis J, Malker H, Moser M, Rodriguez-Artalejo F, Rogel A, Tardy H, Telle-Lamberton M, Turai I, Usel M and Veress K. The 15-country collaborative study of cancer risk among radiation Workers in the nuclear industry: design, epidemiological methods and descriptive results. Radiat Res 2007 ; 167 : 361-379.
- 2 5) Muirhead CR, O'Hagan JA, Haylock RGE, Phillipson MA, Willcock T, Berridge GLC and Zhang W. Third Analysis of the National Registry for Radiation Workers: Occupational Exposure to Ionising Radiation in Relation to Mortality and Cancer

Incidence . Health Protect Agency. 2009 ; HPA-RPD-062.

- 2 6) Zablotska LB, Ashmore JP and Howe GR. Analysis of mortality among Canadian nuclear power industry workers after chronic low-dose exposure to ionizing radiation. Radiat Res 2004 ; 161 : 633-641.
- 2 7) Howe GR, Zablotska LB, Fix JJ, Egel J and Buchanan J. Analysis of mortality experience amongst U.S. nuclear power industry workers after chronic low-dose exposure to ionizing radiation. Radiat Res 2004 ; 162 : 517-526.
- 2 8) Wakeford R. Cancer risk among nuclear workers. J Rad Prot 2005 ; 25 : 225- 228.
- 2 9) 放射線医学総合研究所 監訳「放射線の線源と影響 原子放射線の影響に関する国連科学委員会の総会に対する 2000 年報告書 付属書付」, 株式会社実業公報社 2002 年 3 月。
- 3 0) United Nations. Effects of Ionizing Radiation. Volume I . United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 2006 Report to the General Assembly, with scientific annexes. United Nations sales publication E.08.IX.6. United Nations, New York, 2008.
- 3 1) Pierce DA, Shimizu Y, Preston DL, Vaeth M and Mabuchi K. Studies of the mortality of atomic bomb survivors. Report12, Part I . Cancer: 1950-1990. Radiat Res 1996 ; 146 : 1-27.
- 3 2) Preston DL, Pierce DA, Shimizu Y, Cullings HM, Fujita S, Funamoto S and Kodama K. Effect of recent changes in atomic bomb survivor dosimetry on cancer mortality risk estimate. Radiat Res 2004 ; 162 : 377-389.