

白内障と放射線被ばくに関する医学的知見について

I. 白内障に関する文献レビュー結果

白内障については、ICRP Publication 118 (ICRP Statement on Tissue Reactions and Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs – Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context) の 2.6 節に評価結果が示されている。

1. 原爆被ばく者を対象とした疫学調査

以下の文献は、ゼロあるいは低いしきい値を支持している調査結果である。

文献 No.344

Minamoto, A., Taniguchi, H., Yoshitani, N., et al.

Cataract in atomic bomb survivors

Int. J. Radiat. Biol. 80, 339–345, 2004

被ばく時に 13 歳未満であった 913 名の白内障の検査結果について、DS86 線量評価を基にして、都市、年齢、性別及び喫煙による因子を補正した結果、線量増加に伴う皮質及び後囊下白内障の有意な増加が示された。

文献 No.364

Nakashima, E., Neriishi, K., Minamoto, A.

A reanalysis of atomic-bomb cataract data, 2000–2002: a threshold analysis

Health Phys. 90, 154–160, 2006

DS02 線量評価を基にして、水晶体デジタル画像の再分析、子宮内被ばくの被験者の分離により、しきい線量の最良の推定値が、皮質白内障が 0.6Gy (90%CI : 0.0~1.2) 及び後囊下白内障が 0.7Gy (90%CI : 0.0~2.8) であることが示された。

文献 No.368

Neriishi, K., Nakashima, E., Minamoto, A., et al.

Postoperative cataract cases among atomic bomb survivors: radiation dose response and threshold

Radiat. Res. 168, 404–408, 2007

白内障手術を受けた原爆被災者による線量反応の増加 (1Gy での OR=1.39, 95%CI : 1.24~1.55) が示された。線量しきい値については、年齢、性別、糖尿病及び他の潜在

的交絡因子で補正後、0.1Gy (95%CI : 0-0.8) が示された。

2. 放射線作業者を対象とした疫学調査

以下の文献は、ゼロあるいは低いしきい値を支持している調査結果である。

文献 No.809

Jacobson, B.S.

Cataracts in retired actinide-exposed radiation workers

Radiat. Prot. Dosim. 113, 123–125, 2005

3カ所の米国 DOE 施設の引退したウラン処理作業員（年齢中央値 76 歳）97 名を対象にした調査では、後嚢下白内障（大部分は両側性）の発症率が 20.6%で、発症していない被験者の被ばく線量の平均が 89mSv に対して、発症した被験者の被ばく線量の平均が 168mSv であった。被ばくの低かった被験者（15.1%）と比較して、200mSv 以上被ばくした被験者（37.5%）での症例数は有意な増加が認められることが示された。

文献 No.810

Worgul, B.V., Kundiyev, Y.I., Sergiyenko, N.M., et al.

Cataracts among Chernobyl clean-up workers: implications regarding permissible eye exposures

Radiat. Res. 167, 233–243, 2007

チェルノブイリ事故処理員 8,607 名を対象に、事故から 12 年後及び 14 年後に、受けた被ばくの詳細な記録が残っている者を選別し、水晶体について細隙灯生体顕微鏡検査を行った。事故から 12 年後の検査では、平均年齢 45 歳で、前白内障変化が 30%、病期 I の混濁化が 20%の有病率で認められた。病期 I の混濁は、後嚢下白内障（1Gy での OR=1.4、95%CI : 1.0~2.0）、皮質混濁（1Gy での OR=1.5、95%CI : 1.1~2.1）の線量反応として示された。より進行した混濁（病期 II~V）では、高いリスク（1Gy での OR=1.8、95%CI : 0.9~3.7）を示唆する結果が示されたが有意ではなかった。核性白内障については有意な線量反応は見られなかった（1Gy での OR=1.07）。病期 I の後嚢下白内障及び皮質白内障のしきい線量の最良推定値は 350mGy が得られ、700mGy 以上の値については信頼区間から除外された。これらの結果から、慢性被ばくによる検出可能な混濁に関する線量しきい値が 1Gy 未満であることが示唆される。

以下の文献は、ゼロあるいは低いしきい値について疑問視した調査結果である。

文献 No.811

Voelz, G.L.

Eye-survey study of nuclear-reactor workers

J. Occup. Med. 9, 286–292, 1967

低線量の γ 線及び β または中性子線により職業的に被ばくした40歳未満の米国の原子炉作業員約850名を対象にした調査結果からは、視覚障害の放射線被ばくとの関連は少なく、放射線被ばくによる白内障は検出されなかったと結論付けた。

文献 No.812

Guskova, A.K.

Fifty years of the nuclear industry in Russia – through the eyes of a physician

Atom. Energy 87, 903–908, 1999

マヤーク及び他の地域からの被験者の調査結果から、2～10Gyの急性被ばくにより、視力損失を伴う後嚢下白内障が発症するが、同一の線量での慢性被ばくでは、白内障をはじめとする視覚障害または眼症状は発症しないと結論付けた。

文献 No.813

Mikryukova, L.D., Ostroumova, E.V., Ekgardt, V.F., et al.

Incidence of visual disturbances among residents of the Tеча riverside villages

11th International Congress of the International Radiation Protection Association

Abstract 1e14. Madrid, Spain, 23–28, 2004

1950年～1952年にTeca川流域沿いに居住していた住民約3万人に対して1951年～1999年にかけて眼球検査を行ったところ、白内障の診断率が26%と眼疾患の中で最も多かったが、放射線被ばくとの関連が弱いと示唆される結果であった。

文献 No.814

Okladnikova, N.D., Sumina, M.V., Pesternikova, V.S., et al.

Long-term consequences of external gamma-radiation according to the results of the observation of the personnel of the first atomic power plant in the country

Klin. Med. (Mosk.) 85, 21–26, 2007

APS-1 Obninsk原子力発電所の作業員について健康調査した結果、4Gy以上の急性被ばくした作業員のみ放射線被ばくに伴う白内障が認められた。

3. 放射線診療を受けた患者を対象とした疫学調査

以下の文献は、ゼロあるいは低いしきい値を支持している調査結果である。

文献 No.816

Albert, R.E., Omran, A.R., Brauer, E.W., et al.

Follow-up study of patients treated by X-ray epilation for Tinea capitis. II. Results of clinical and laboratory examinations

Arch. Environ. Health 17, 919–934, 1968

頭部白癬治療患者に対して、治療から 15 年後の調査で、初期の後方水晶体変化の発生率の増加が認められた。

文献 No.817

Wilde, G., Sjostrand, J.

A clinical study of radiation cataract formation in adult life following gamma irradiation of the lens in early childhood

Br. J. Ophthalmol. 81, 261–266, 1997

乳児期の皮膚血管腫治療から 30 年～45 年経過した 20 名の被験者について、顔面の未治療側の眼において後囊下水晶体変化が認められ、このときの水晶体線量は平均で 0.1Gy と推定された。

文献 No.818

Hall, P., Granath, F., Lundell, M., et al.

Lenticular opacities in individuals exposed to ionizing radiation in infancy

Radiat. Res. 152, 190–195, 1999

頭部、顔面及び頸部の血管腫を治療するために乳児期（18 月齢未満）に X 線照射またはラジウム療法を受けた被験者 484 名における水晶体混濁の有病率と、乳児期に皮膚布の血管腫を発症したが、放射線による治療を受けなかった未被ばくで同一年齢の被験者 89 名の有病率とを比較した。水晶体の吸収線量は、LOCS-II の水晶体混濁化分類基準を用いて、患者の治療記録、写真、放射線治療の種類、並びにファントムを用いて実験的に得られた値から推定した。いずれかの種類の水晶体混濁が 37%の被験者で認められたが、被ばく時の年齢に関連した線量反応関係は認められなかった。検査時の年齢、線量率及びステロイドの使用の有無について補正すると、皮質混濁は 1Gy での OR=1.50 (95%CI : 1.15~1.95)、及び後囊下白内障は 1Gy での OR=1.49 (95%CI : 1.07~2.08)であることを示した。核水晶体変化に対する線量反応は認められなかった。

以下の文献は、ゼロあるいは低いしきい値について疑問視した調査結果である。

文献 No.819

Hourihan, F., Mitchell, P., Cumming, R.G.

Possible associations between computed tomography scan and cataract: the Blue Mountains Eye Study

Am. J. Public Health 89, 1864–1866, 1999

Blue Mountains Eye 調査の結果から、水晶体への被ばく線量が 0.1Gy 以下で、0.1～0.5Gy のしきい値を排除することはできないとしたが、CT スキャンを受けた個人の被ばく線量と白内障有病率との関連を見いだすことはできなかった。

文献 No.820

Chmelevsky, D., Mays, C.W., Spiess, H., et al.

An epidemiological assessment of lens opacifications that impaired vision in patients injected with radium-224

Radiat. Res. 115, 238–257, 1988

約 20 年前に結核及び強直性脊椎炎を Ra-224 で治療した集団についての放射線誘発による白内障について報告した。水晶体囊での Ra からの放射線の透過性、水晶体上皮での吸収線量などの眼球組織への Ra の取り込み、代謝に関する不確定性により、水晶体への被ばく線量を正確に評価することは難しいが、視覚障害を報告する被験者数が増加し続けることが報告された。大多数の水晶体混濁は両側性であり、報告された 58 例中 25 例が 54 歳未満で発生し、42 例が白内障手術が記録された。後囊下白内障は大部分の被験者で記録されたが、独立した細隙灯検査が実施されたのは 11 例のみであった。若い年齢で診断された白内障は主に高線量率で発生した。データを前期と後期に分けると、最初のしきい値を超える被ばくをした場合のみ、データが線量に対して依存性に適合することを示唆した。60 歳以上では線量と診断時の年齢との関連は見られなかった。放射線誘発の白内障は、約 0.5Bq/kg 体重のしきい値と当該研究のデータが最も適合するとした。

4. 高自然放射線地域や核実験場周辺の住民等を対象とした疫学調査

以下の文献は、ゼロあるいは低いしきい値を支持している調査結果である。

文献 No.821

Day, R., Gorin, M.B., Eller, A.W.

Prevalence of lens changes in Ukrainian children residing around Chernobyl

Health Phys. 68, 632–642, 1995

チェルノブイリ事故により被ばくした小児集団（約 1000 名）について、約 800 名の

未被ばく被験者の対応集団と比較した場合、累積線量の推定値が 29～86mSv の範囲（個々の線量推定値は測定あるいは評価されておらず、記録されている環境線量からの推定値であり、大きな不確かさを含むことに留意する必要がある）で、無症状の後囊下水晶体変化が統計的に有意な増加（3.6%、検査時に 12～17 歳の男児で最大）として観測された。

文献 No.822

Chen, W.L., Hwang, J.S., Hu, T.H., et al.

Lenticular opacities in populations exposed to chronic low-dose-rate gamma radiation from radiocontaminated buildings in Taiwan

Radiat. Res. 156, 71–77, 2001

Co-60 に汚染されたアパートに居住していた小児集団について、非臨床的水晶体変化が 1Gy での OR=1.18 として示された。この集団では、平均被ばく線量は 170mGy であるが、線量範囲が 1～1,200mGy であり、一部の症例では、10 年以上にわたり、>5mGy/年の被ばく線量が報告された。

文献 No.823

Hsieh, W.A., Lin, I.F., Chang, W.P., et al.

Lens opacities in young individuals long after exposure to protracted low-dose-rate gamma radiation in 60Co-contaminated buildings in Taiwan

Radiat. Res. 173, 197–204, 2010

Co-60 に汚染されたアパートに居住していた小児集団についての追跡調査で、一部の小児（全例が 23 歳未満）に対して、無症状限局性水晶体欠陥として検知される放射線被ばく誘発による水晶体変化は、汚染場所から移動した数年後に大きさ及び数が継続して増加することが示された。前方皮質水晶体の無症状限局性水晶体欠陥のスコアの増加は、後部皮質水晶体の無症状限局性水晶体欠陥のスコアの増加より大きかったことが示された。約 200mSv の推定平均累積被ばく線量及び約 54mSv の中央値が、他で報告されている放射線被ばく誘発による白内障のしきい線量の範囲内にあることを示した。

5. その他

以下の文献は、ゼロあるいは低いしきい値を支持している調査結果である。

文献 No.824

Cucinotta, F.A., Manuel, F.K., Jones, J., et al.

Space radiation and cataracts in astronauts

Radiat. Res. 156, 460–466, 2001

米国 NASA 宇宙飛行士の縦断的研究 (LSAH) と個々の職業被ばくデータに参加する 295 人の宇宙飛行士のデータを解析したところ、1 回以上の宇宙飛行に従事した宇宙飛行士の白内障発症リスクは 2.37 (95%CI,1.05-5.36)、宇宙飛行に従事していない場合 2.35 (95%CI,1.01-5.51) となった。低線量放射線被ばく (<8mSv) と白内障の初期の発症及び有病率の増加との関連が示唆された。

文献 No.825

Rastegar, N., Eckart, P., Mertz, M.

Radiation-induced cataract in astronauts and cosmonauts

Graefes Arch. Clin. Exp. Ophthalmol. 240, 543-547, 2002

21 人の宇宙飛行士の眼の混濁度を 395 人の一般者と比較したところ、不透明度の値がわずかに強く、後部皮質 (posterior cortex) や水晶体後囊 (posterior capsule) で増加することが認められた。

文献 No.406

Chylack Jr., L.T., Peterson, L.E., Feiveson, A.H., et al.

NASA study of cataract in astronauts (NASCA). Report 1. Cross-sectional study of the relationship of exposure to space radiation and risk of lens opacity

Radiat. Res. 172, 10-20, 2009

NASA の宇宙飛行士を対象とした白内障についての調査 (NASCA) の予備結果の報告である。この調査は、宇宙飛行による放射線被ばく、放射線誘発白内障の有病率と進行、リスクと放射線防護の様々な決定因子との潜在的関係を調査することを目的としたもので、継続中である。宇宙飛行した 171 名の米国宇宙飛行士のコホートと、宇宙飛行しなかったが適合度が高い 247 名の宇宙飛行士または軍飛行士の対照群との水晶体所見が比較された。大部分の宇宙飛行士は低地球周回軌道でのシャトルミッションに関わり、白内障発症するほどの線量は受けた、あるいは、潜在的に損傷が顕著な重イオンに被ばくする可能性は低かった。皮質部白内障の変動性及び中央値が、対照群と比較して有意に高い ($p=0.015$) とした。また、ベースラインの所見で、宇宙放射線と、後囊下領域 ($p=0.015$) 及び病巣中心 ($p=0.056$) の増加とに正の相関が見られるとして、後囊下白内障の大きさと被ばく線量の相関が宇宙飛行士の集団で認められるとした。一方で、核性白内障は被ばくと関連していないとし、皮質及び後囊下混濁に対する白内障のリスクは低線量で増加しえるとした。

文献 No.796

Chodick, G., Bekiroglu, N., Hauptmann, M., et al.

Risk of cataract after exposure to low doses of ionizing radiation: a 20-year

prospective cohort study among US radiologic technologists

Am. J. Epidemiol. 168, 620–631, 2008

放射線技師 35,700 名（調査開始時に 22～44 歳）を対象に、20 年間追跡し、質問票（白内障の診断または手術の有無は回答者の自己申告）によって水晶体混濁化と白内障手術のリスクを評価した。日光による暴露、肥満、糖尿病、高血圧、関節炎などの潜在的な交絡因子についても分析された。顔面又は頸部に 10 回以上の診断 X 線を受けると、白内障のリスクの増加と有意に関連し、長期の職業的被ばくによる低線量被ばくは白内障診断のリスクの増加とわずかに関連していると結論付けられた。水晶体への被ばく線量が最も高い対象者（平均 60mGy）の補正ハザード比は、水晶体への被ばく線量が最も低いカテゴリーの対象者（平均 5mGy）と比較して、1.18（95%CI : 0.99～1.40）であったが、線量反応傾向は統計的に有意ではなかった。水晶体への被ばく線量の中央値は全コホートで 28.1mGy と推定された。

文献 No.827

Kleiman, N.J., Cabrera, M., Duran, G., Ramirez, R., Duran, A., Van^o, E.

Occupational risk of radiation cataract in interventional cardiology

Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 49, Presentation abstract 511/D656, 2009

文献 No.828

Van^o, E., Kleiman, N.J., Duran, A., et al.

Radiation cataract risk in interventional cardiology personnel

Radiat. Res. 174, 490–495, 2010

（文献 No.827 及び No.828）

IVR に関わる医師および診療放射線技師、看護師のコホートと、非医療従事者を対照群として被ばく履歴等に関する詳細な質問票及び包括的な拡張細隙灯検査による調査が行われた。当該調査は、国際原子力機関（IAEA）で行われた。被ばく者 116 名中、12% の対照群と比較して、38% の IVR 医師、21% 診療放射線技師で後囊下混濁が認められた。水晶体に対する累積被ばく線量の平均値は、IVR 医師が 6.0Sv、補助員で 1.5Sv と推定された。未被ばくの対照群と比較して IVR 医師の後囊下混濁の相対リスクは 3.2（95%CI : 1.7～6.1、 $p < 0.005$ ）であった。

II. 文献レビュー結果のまとめ

1. 被ばく線量（ばく露評価）に関するまとめ

ICRP Publication 118 では、急性、長期及び慢性の被ばく集団に関する最近の疫学研究の結果は、ICRP の 1990 年勧告及び 2007 年勧告で示している混濁及び視覚障害が検知するしきい線量がそれぞれ 5Gy および 8Gy はリスクを過小評価している可能性があることを示唆した。初期の疫学研究では白内障手術を必要とする放射線誘発の水晶体変化あるいは視覚障害を検知するための十分な追跡調査が行われていなかった恐れがあることを言及した。さらに、初期の研究での放射線誘発の水晶体変化を検出、定量化、記録するための技術が十分でなく、最近のこれらの技術の向上は、線量の測定・評価精度の向上とともに、低被ばく線量での放射線誘発白内障の所見の見直しに寄与する因子であり得ること、原爆被ばく者、チェルノブイリ事故被災者及び様々な職業的被ばく者の継続的な追跡調査はしきい線量のより正確な推定に繋がる可能性があることが言及された。

2. 最小被ばく線量に関するまとめ

ICRP Publication 118 では、眼の水晶体は、放射線感受性が最も高い組織の一つで、検出可能な水晶体変化は、0.2～0.5Gy で認められるが、他の眼症状は 5～20Gy の急性被ばくまたは分割被ばく後に生じると評価した。なお、ICRP では最終的な結論として、しきい線量の推定値を次のようにまとめた。

調査対象	白内障のタイプ	しきい線量	信頼区間	文献番号
原爆被ばく者 (急性被ばく)	皮質白内障	0.6Sv	90% : 0～1.2Sv	文献 No.364
	後囊下白内障	0.7Sv	90% : 0～2.8Sv	
原爆被ばく者 (急性被ばく)	術後白内障	0.1Gy	95% : 0～0.8Sv	文献 No.368
チェルノブイリ事故処理作業員(分割照射／長期被ばく)	病期 I～V の白内障	0.50Gy	95% : 0.17～0.65Gy	文献 No.810
	病期 I の白内障	0.34Gy	95% : 0.19～0.68Gy	
	放射線誘発以外の病期 I の白内障	0.50Gy	95% : 0.17～0.69Gy	
	病期 I の表面皮質白内障	0.34Gy	95% : 0.18～0.51Gy	
	病期 I の後囊下白内障	0.35Gy	95% : 0.19～0.66Gy	

3. 潜伏期間に関するまとめ

潜伏期間に関して検討している文献は無かった。