

平成13年度委託研究報告書

電離放射線障害に関する最近の医学的知見の検討

平成14年3月

主任研究者	草間	朋子	(大分県立看護科学大学)
共同研究者	朝長	万左男	(長崎大学)
	明石	真言	(放射線医学総合研究所)
	甲斐	倫明	(大分県立看護科学大学)
	桜井	礼子	(大分県立看護科学大学)

1. はじめに

放射線被ばくにより健康障害が発生するか否かは、被ばく線量、線量率がとくに大きく関係する。

放射線業務従事者に発生した健康障害が業務の過程で受けた放射線が関係しているかどうか、すなわち、業務起因性があるか否かの判断は、基発810号に示されている各傷害ごとの認定要件にしたがって行われる。

基発810号では各放射線傷害ごとに

- ①被ばく線量
- ②潜伏期間（放射線被ばくの開始時点から診断されるまでの期間）
- ③症状

の3つの要件が示されており、相当因果関係があると判断するためにはこの3つの要件の全てが満たされている必要があるとされている。

基発810号は、昭和51年に提示されたものであり、基発810号が提示された以降に、放射線傷害に関する新たな情報が数多く集積されている。認定要件が客観的であるためには、それが医学、生物学的情報に基づいて妥当なものでなくてはならない。放射線の健康影響に関する新たな情報を定期的に収集する必要がある。

そこで、本研究では、最新の放射線影響、傷害に関する情報をまとめると同時に、基発810号の基準に対する著者等の意見を述べることとする。

基発810号（昭和51年）が示された後に報告されたヒトの放射線傷害に関する科学的な知見をまとめた報告書の主なものとしては、以下のものがある。

- ①RERF 報告書
- ②UNSCEAR 報告
- ③ICRP 勧告・報告
- ④NCRP 報告書
- ⑤NRPB 報告書
- ⑥BEIR 報告書

本研究では、上記の報告書を検討すると同時に、PubMedを用いて、関連する文献をサーベイし、検討した。

2. 放射線被ばくに伴う確定的影響

放射線の影響は被ばく線量に着目して、確定的影響と確率的影響に区分される。

日常の放射線作業では、確定的影響は発生しないように線量限度の設定をはじめとした種々の放射線防護方策がとられている。個々の放射線作業員に対しては、個人モニタリングが実施され、被ばく線量が線量限度を超えないように管理されている。放射線業務従事者の線量限度は、確定的影響の発生を防止し、確率的影響の発生をできるだけ制限するように設定されたものである。

したがって、確定的影響は、異常事象が発生し、作業員が線量限度を大幅に超える被ばくをした場合でないと発生する可能性はないはずである。

被ばく線量が、ある程度高くなれば、臓器、組織を構成するさまざまな細胞（実質細胞、血管細胞など）のかなりの数の細胞に障害すなわち細胞死等が生じ、その結果、臓器、組織の機能が失われ臨床的に明らかな傷害となって現れる。これが確定的影響である。

確定的影響の特徴は、

①しきい線量を超えて被ばくした場合には、被ばく線量の増加に伴い発生率が増加する。

②しきい線量を超えた場合、線量の増加とともに重症度が増す。

ことである。

放射線業務従事者に発生した確定的影響について業務上・外の判断をする際の重要な情報は、それぞれの確定的影響のしきい線量に関するものである。

そこで、基発 810 号に示されている以下の確定的影響としての放射線傷害についてしきい線量を中心に最新の情報をまとめることとする。

①急性放射線症

②急性放射線皮膚障害

③慢性放射線皮膚障害

④放射線造血器障害

⑤白内障

確定的影響に関するしきい線量の検討の際に参考となる情報原としては以下のものがある。

全身被ばく	局所被ばく
広島・長崎の原爆被爆者 骨髄移植患者 事故事例 など	放射線治療患者 透視患者（IVR など） 血管内照射患者 事故事例 など

2-1 急性放射線症

確定的影響の中でもっとも重篤な障害は短時間に全身が被ばくした時に起こる。体幹など身体の主要な部分が被ばくし、数時間から数週間以内にあらわれる臨床症状の総称を急性放射線症 (Acute radiation syndrome, ARS) という。その病態は多くの組織や臓器の複合障害と位置づけられている。一般に急性放射線症は、約 1 Gy 以上の被ばくで起きるとされている。被ばく線量に依存して現れてくる臨床症状から血液・骨髄障害、消化管障害、循環器障害、中枢神経障害に分けられる。表 1 に病態と線量に関する資料を示す。また、急性放射線症は時間的経過から前駆期、潜伏期、発症期、回復期もしくは死亡期の 4 つの病期に分ける (図 1)。前駆期は被ばく後数時間以内に現れ、食欲低下・悪心・嘔吐・下痢が主な症状で、およそ 1 Gy 以上で現れることが多い。これらの症状は線量が高いほど現れるまでの時間が短く症状が重い。これらの事から、被ばく線量を推定することができる。即ち、1 から 2 Gy では、嘔気は 10~50% の被ばく者に 2 時間から数時間後に現れるが、4 Gy を超えるとほぼ全員に現れ 6 Gy 以上では 30 分以内に現れる (表 2)。前駆症状ではこのほかにも、頭痛、意識障害、体温の上昇等が見られる。意識障害について 50 Gy を超える被ばくで現れるとされているが、これは血管運動神経の障害による逸脱症候群と考えられている。また高線量被ばくであっても、爆発、化学薬品の吸入などを伴わない純粹の被ばくでは即死の報告はない。またこの前駆期には、0.5 Gy を超えると放射線に感受性が高い末梢血中のリンパ球の減少が現れる。リンパ球数は被ばく後早期に減少するため、初期の線量評価には有効であるが、被ばく直後には変動も大きく正確な評価は被ばく数日間の継続的な結果が必要である。

この前駆期を過ぎると、一時的に前駆期の症状が消え無症状な時期に入る。前駆期に見られることが多い皮膚の発赤や紅斑も消失する。この潜伏期も線量に依存し 8 Gy を超えるとほとんどないとされているが、東海村臨界事故ではこれ以上の被ばくであったが潜伏期が観察されている。この潜伏期後には、多彩な症状が現れる発症期にはいる。この時期に、典型的な 4 つの障害が発症する。その後、治療が成功すれば回復期に入るが、線量が高いと死亡に至る。

(1) 血液・骨髄障害

約 0.5 Gy を超える全身被ばくではリンパ球数が減少するが、1 から 2 Gy を超える被ばくではリンパ球以外の白血球 (顆粒球)、血小板、赤血球数も減少する。事故では全身均一な被ばくはほとんどないため、たとえ高線量の被ばくでも被ばくした人の骨髄機能が残存していることが多い。このことが

骨髄移植にも困難な点を生じる。8 から 10 Gy を超える被ばくに対しては他の臓器の障害も大きく、骨髄の治療が功を奏しても多臓器の障害で死亡することが多い。

(2) 消化管障害

約 8 から 10 Gy 以上の被ばくで現れるとされる。腸管上皮がその幹細胞の死滅で再生できなくなり、重篤および血性の下痢を起こし、水分・電解質の喪失、出血、吸収不良、感染等が生じる。

(3) 循環器障害

15 Gy 以上の被ばくで生じる。心筋は放射線に感受性は低いが、消化管障害・皮膚障害や血管の透過性亢進による水分・電解質の喪失により2次的にも循環不全が生じる。この場合はより低い線量で起きる。また筋肉の挫滅によるミオグロビン血症などにより腎不全を起こすこともある。

(4) 中枢神経障害

50 Gy 以上の高線量の被ばくでは、不穏・見当識障害・運動失調・錯乱などが起きる。対症療法以外に有効な治療はない。

表 1 低 LET 放射線に急性全身均等被ばくをした際の放射線死亡に関する線量の範囲と生存期間¹⁾

全身吸収線量 (Gy)	死亡をもたらす主な影響	生存期間 (日)
3-5	骨髄の損傷 (LD _{50/60})	30-60
5-15	胃腸管および肺の損傷	10-20
>15	神経系の損傷	1-5

(ICRP Publ.60 より)

¹⁾再生医学など先端医療の進歩等により急性放射線症患者に対する治療は日進月歩で変化しており、致死線量と生存期間は従来値と変わる。

表 2 急性放射線症の症状及び検査としきい線量との関係

症状・検査所見	しきい線量 (Gy)	症状が現れるまでの時間
悪心・嘔吐	1	48 時間以内
末梢血リンパ球数の減少	0.5	24-72 時間以内
染色体異常 ^{1) 2)}	0.2	24 時間以内

(Diagnosis and Treatment of Radiation Injuries, Safety Reports Series No.2 IAEA, Vienna による)

¹⁾染色体分析には 48-72 時間を要する。²⁾二同原体染色体、環状染色体、染色体断片

表3 急性放射線症における前駆症状と線量・発症までの時間

線量 (Gy)	1-2	2-4	4-6	6-8	>8
嘔吐					
(時期)	2時間以降	1-2時間	1時間以内	30分以内	10分以内
(%)	10-50	70-90	100	100	100
下痢			中等度	重度	重度
(時期)	—	—	3-8時間	1-3時間	1時間以内
(%)	—	—	<10	>10	100
頭痛	非常に軽い	軽い	中等度	重度	重度
(時期)	—	—	4-24時間	3-4時間	1-2時間
(%)	—	—	50	80	80-90
意識	影響なし	影響なし	影響なし	影響あり	意識喪失のことあり
(%)	—	—	—	—	100 (50 Gy 以上)
体温	正常	微熱	発熱	高熱	高熱
(時期)	—	1-3時間	1-2時間	<1時間	<1時間
(%)	—	10-80	80-100	100	100

IAEA Safety Reports Series No.2:Diagnosis and Treatment of Radiation Injuries 1998より引用・改変

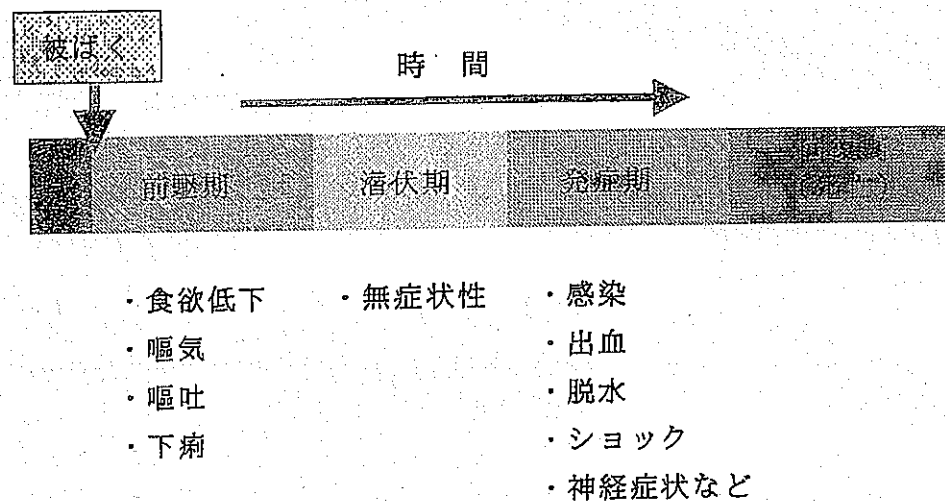
表4 急性放射線症の主な兆候

線量 (Gy)	1-2	2-4	4-6	6-8	>8
潜伏期 (日)	21-35	18-28	8-18	7以下	なし
主な症状	疲労感 脱力感	発熱、感染 出血、脱毛 疲労感	高熱、感染 出血、脱毛	高熱、下痢 めまい	高熱、下痢 脱毛、 意識障害 (50 Gy 以上)
死亡率 (%) *	0	0-50	20-70	50-100	100

IAEA Safety Reports Series No.2:Diagnosis and Treatment of Radiation Injuries 1998より引用・改変

* 数字は、治療を行わない場合のおおよそのものであり、被ばくの状態、治療等であり異なる。

図1.



参考文献

- 1) Diagnosis and Treatment of Radiation Injuries, Safety Reports Series No.2 IAEA, Vienna (1998)
- 2) Berger, ME., Ricks, RC. Management of emergency case for radiation accident victims. : IN CRC handbook of Management of Radiation Protection Programs. 2nd Edition Editor Miller KL CRC Press 1992
- 3) 健康管理検討委員会報告 平成12年3月 総理府原子力安全委員会 健康管理検討委員会
- 4) ICRP PUBLICATION 60 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection 1990
- 5) ICRP PUBLICATION 59 The Biological Basis for Dose Limitation in the Skin 1991
- 6) Guskova, AK., Barabanova, AV., Baranov, AY., Gruszdev, GP., Pyatkin, YK., Nadezhina, NM., Metlyaeva, NA., Selidovkin, GD., Moiseev, AA., Gusev, IA., Dorofeeva, EM and Zykova, IE. Acute radiation effects in victims of the Chernobyl nuclear power plant accident. In: Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation, UNSCEAR 1988 Report to the Assembly, with annexes, pp. 613-646, United Nations, New York.

2-2 急性放射線皮膚障害

放射線による皮膚障害は、細胞分裂の盛んな基底細胞層が障害を受けることにより生じる。数週間以内に生じる皮膚障害を急性放射線皮膚障害と呼び、短時間に約3 Gy以上の被ばくで起こるとされている。被ばくした身体部位（皮膚の厚さの相違等）、被ばくした皮膚面積などにより皮膚症状のしきい線量が異なり、特に全身被ばくの場合、予後を大きく左右する因子にもなる。

熱によるいわゆる熱傷と放射線熱傷では多くの点で異なる。熱による障害は、すぐに痛み・激しい炎症反応・患部の細胞死・組織の破壊が起きる。これに対して、放射線による皮膚障害では、はじめは痛みがなく、細胞死や組織死により表皮が脱落し再生が起きなくなってから現れる。熱傷では、一般に患部の細胞・組織すべてが障害を受けるが、放射線の場合は皮膚を構成する細胞により感受性が異なるため一律ではない。障害の程度は両者とも組織に付与されたエネルギーの総量、付与率、患部面積等による。放射線による影響は急性ならびに慢性放射線皮膚性障害とも皮下、真皮組織への障害であるとともに血管の障害でもある。

初発症状は発赤（紅斑）であり、通常は一過性である。およそ3 Gyの被ばくから現れる。それに引き続き、組織の腫脹が生じるが程度は線量によって異なる、時間の経過とともに脱毛、色素沈着、落屑、水泡、細胞死や表皮の細胞増殖障害によって生じる疼痛性の潰瘍が現れる。

被ばくした部分の血管内皮細胞が障害を受けると、炎症反応は長期化し血栓形成が起きる。最終的には小動脈・毛細血管の内皮細胞が増殖する。これらの循環不全は組織の萎縮、治癒不全、組織欠損につながる。

被ばくした皮膚の被ばく線量は症状から推定可能であるが、症状がすぐに現れないため患者は被ばくしたことに気づかない事もあり、またいつ被ばくしたか、どういう放射線によるものか、症状の程度、被ばくの時間等が不明なことがあることも多い。