

特集：第2回放射線事故医療研究会・被ばく医療フォーラム

本号は、昨年8月8日に東京大学山上会館で開催された第2回放射線事故医療研究会と第2回被ばく医療フォーラムの特集を組みました。シンポジウム「被ばく医療におけるヨウ素剤投与の医学的問題点」から長瀧先生、横山先生、石樽先生の基調講演および総合討論を、パネルディスカッション「被ばく医療におけるヨウ素剤投与の社会的問題点」から衣笠先生と吉田先生の基調講演を、パネルディスカッション「被ばく医療における放射線防護」から中尾先生による総括を、最後に症例検討ワークショップ「局所被ばく症例治療とその問題点」から明石先生と小塚先生の報告を収録しました。

第2回放射線事故医療研究会

シンポジウム「被ばく医療におけるヨウ素剤投与の医学的問題点」

座長：鈴木 元(放医研)

演者：長瀧 重信(放影研)

横山 直方(長崎大・1内)

石樽 信人(放医研)

基調講演

被ばく医療におけるヨウ素剤投与の医学的問題点

●——— 長瀧 重信 (長崎大学名誉教授 (財)放射線影響研究所 理事長)

はじめに

放射線事故医療研究会の目的にしたがって、本講演では我が国における原発事故などを想定し、防護する代表的な器官として甲状腺を選び、防護する手段の一つとしてヨウ素剤投与を選んだ。

我が国における緊急被ばく医療の問題点

原爆被爆者援護、反核運動、平和運動、さらに原子力の平和利用に関する賛否の運動などは、日本の社会において正当な討論の場所があるのに対し、原発事故に対する緊急被ばく医療は、原発事故は絶対に起こらないとする主張のため討論することすらタブーとされ、責任体制も不十分、医師の知識や医療体制も不備のままである。この度、本研究会のように放射線事故医療を正面から取り上げて

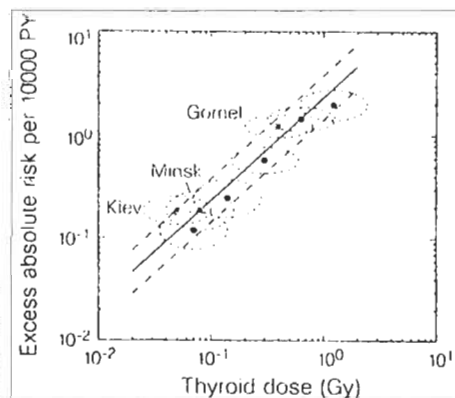


Figure 1: Excess thyroid cancer risk in the period 1991-1995 among people born between 1971 and 1986. The dots indicate average values of settlements in the categories of dose 0.05-0.1, 0.1-0.2, 0.2-0.5, 0.5-1.0, and 1-2 Gy; the stars show results for cities with large collective doses; PY=person-year. The solid line is the best estimate of the excess absolute risk per unit dose. Broken and dotted lines indicate 95% confidence ranges.

討論出来る場を持つことは素晴らしいことである。

放射線の健康影響と甲状腺

甲状腺は放射線の健康影響を研究するには以下の理由により理想的な器官であり、調査、研究、対策などの具体例として取り上げる。

1) 原子爆弾の爆発、原子力発電所の事故などは、大量の放射性ヨウ素を放出し、放射性ヨウ素は甲状腺に摂取される(内部被ばく)。また甲状腺は直接の被ばく(外部被ばく)にも敏感である。2) 放射線による甲状腺疾患の患者は、治療により長期間生存出来る。従って被ばく後長期間を経ても正確な調査が可能である。3) 対象となる正常人で放射線による甲状腺疾患の頻度は他の放射線による疾患よりも

頻度が高い。従って疫学調査が容易である。

さらに(A)原爆被爆、医療としての放射線照射などの外部被ばく、(B)マーシャル群島の原爆実験、チェルノブイリの原発事故などの内部被ばくにより、甲状腺における被ばくの影響が科学的に詳細に調べられている。

甲状腺の防護

以上の科学的知識から放射線災害時の甲状腺の防護の方法として、

- 1) Evacuation 避難：安全な時期に安全な所に移動
- 2) Sheltering 外出せずに室内に留まる：短半減期の放射性ヨウ素などが放射性降下物として降下している時期には室内に留まる
- 3) Food Control 経口摂取の監視：放射性ヨウ素等を摂取した動植物の経口摂取の禁止
- 4) Iodine Prophylaxis ヨウ素剤投与：予防的に年齢を考慮してヨウ素剤を投与

などの有用性は確認されている。以下、甲状腺防護の例としてヨウ素剤投与を取り上げる。

甲状腺防護とヨウ素剤投与

1) 科学的知識の防護への応用—その1：

- (1) 科学的知識の進歩：チェルノブイリ事故に際して放射性降下物に汚染された地域で小児甲状腺癌が多発したこと、ホーランドでは膨大な人数の子供に甲状腺の防護としてヨウ素剤が投与されたが副作用は非常に少ないことが明らかとなり、投与方法を見直すことが必要となった。
- (2) 科学的知識の防護への応用におけるScientific EvidenceとPolicy：科学的知識の進歩としてチェルノブイリ事故により50~100mGyの放射性ヨウ素が降下した地域でも甲状腺癌が増加したことが確認された。放射線による発癌のdose-responseはlinearでnon-thresholdである(確率的影響)として直線的に相関の線を延長すると10mGyでも炊米の頻度より高いと考えられる。従って10mGyをPolicyとして介入線量とするのは正しいが、

10mGy(1rad)のI-131で甲状腺癌が発生するというのは科学的に正しくない(図1)。「注」：確率的影響(Stochastic Effects)にはしきい線量(threshold)が存在しないと仮定されている。疫学的調査で低い線量で癌が有意に増加していなくても、単一の体細胞、生殖細胞に発生した異常がもたせる影響はしきい線量がないと仮定するのである。放射線防護の視点からは介入、回避、予測線量などがしきい線量がないとして決定されている。

2) 科学的知識の防護への応用—その2：

- (1) 国際機関による勧告：このシンポジウム(8月)の1ヶ月後にIAEAとWHOの共同出版としてのGuidelineが討議されることになっており、その原稿がすでに手元にある。上記の科学的知識によりヨウ素剤の年齢別の服用量(表1)、年齢別の介入線量(表2)が提案されている。
- (2) 各国の現状：国際的な機関からGuidelineが提案されていても、世界各国の現状は大きく異なっている。例えば米国では原発事故の起こるProbabilityとヨウ素剤配布による精神的負担との比較、さらにヨウ素剤配布の経済的負担と事故被害者の医療負担や補償の比較からヨウ素剤配布を中止しているし、フランスでは10年間の地域住民を含んだ討論の結果、1997年から原発の5km以内の居住者にヨウ素剤を配布、5~10kmの人も入手可能とした。WHOの世界31カ国の調査でも現実にはヨウ素剤が自由に入手出来る国は約半数である。

日本の対策にたいする提言：

日本の特色として、1)日本は海藻類を摂るヨード過剰摂取国で少なくともヨード不足はない。2)日本人の核に対する認識。3)事故に対する配慮および反応の程度。4)情報の速度、対応の速度などを挙げる事が出来る。単に外国の真似をするのではなく、外国のモデルになる様な日本の特徴を踏まえた対応策を作るべきであると考える

〔表1〕 ヨウ素剤(ヨウ化カリウム)の1回投与量

年 齢	Indineとして mg	KIとして mg	KIO3として mg
12歳以上	100	130	170
3~12歳	50	65	85
1月~3歳	25	32	42
1月未満	12.5	16	21

〔表2〕 介入線量レベル(甲状腺線量)

年 齢	被ばく形態	線 量
新生児、幼児、小児 思春期、妊婦、授乳中	吸入(経口)	10mGy
成 人 (40歳以下)	吸入	10mGy
成 人 (40歳以上)	吸入	5Gy

ヨードと甲状腺機能

●——— 横山直方 (長崎大学医学部 第一内科)

1. はじめに

ヨードは食物として経口摂取された後、大部分が腸管から吸収され甲状腺に取り込まれホルモン合成に利用される。しかし、多くは再び血中へ放出され腎より体外に排泄される。

ヨードは甲状腺ホルモンの構成成分として人体に不可欠な元素であるとともに、それ自体が甲状腺に対して種々の薬理作用を持っており、ヨード過不足により甲状腺腫や甲状腺機能異常が引き起こされる。ヨードの1日必要量は100-150 μ gと言われるが、日本人はヨードを大量に含有する海藻類の摂取量が多いため、通常の食事をしている限りヨード欠乏症を起こすことはない。現在の日本人の1日摂取量は平均1-2mgであり、欧米の約10倍量のヨードを摂取している。

しかし、日本人の甲状腺ヨード代謝の特徴として、多量のヨードを甲状腺に取り込みながらも、ホルモンの分泌及び甲状腺ヨード含有量は変わらない。その理由として、余分に摂取したヨードはホルモン以外の形で甲状腺から放出する調節機構が存在するためと考えられている(ヨード再利用の抑制)。

2. 健常者における過剰ヨード摂取時の甲状腺機能に関する今迄の報告

健常成人ではヨードを過剰摂取しても、ラットに見られるようなヨード有機化阻害による急性のホルモン合成抑制効果(Wolff-Chaikoff効果)は認められず、ヒトの甲状腺内ではヨードの過不足に関わらず、甲状腺内のホルモンレベルを一定に保つ自己調節機能(auto regulation)が働くものと考えられている。しかし、文献的にみると、70年代には10-250mg/日を1~2週間服用してTRHに対するTSHの過剰反応が報告され、80年代後半には各種ホルモン測定の高感度化が進み、正常範囲内であっても有意な変化が捉えられるようになり、0.75mg/日(28日間)や1.5mg/日(14日間)投与にて、TSH上昇、遊離T4低下が報告されている。

3. ヨード製剤反復経口投与試験

甲状腺疾患の治療や甲状腺保護のため甲状腺ブロックを

する目的に使われるヨード量は約30mg程度であることから、最近行われた研究ではヨード製剤反復投与試験の投与量を27mg(ヨード3mg/錠を一日9錠服用)に設定し、健康成人男性10名に4週間経口投与して、その安全性、体内薬物動態、甲状腺機能への影響が詳細に検討された。

a)ヨードの血中動態

1日目から56日目(ヨード剤は28日目まで投与)までの血中動態は、2日目を以降は血中濃度はほぼプラトーに達し、28日以降の半減期は平均7.9日であり、本剤が長い持続性を有することが示された。

b)甲状腺機能に及ぼす影響

血中TSHは投与前0.95 \pm 0.14mU/l、28日目2.43 \pm 0.41mU/lと有意な増加がみられた。一方、血中遊離T4は投与後14、21日目に有意な低下を認めた。しかし、これらの変動はすべて正常範囲内におけるものであった。本剤投与期間中にみられた甲状腺機能の変化は、投与終了後14日目には速やかに元のレベルまで回復した。

c)甲状腺体積に及ぼす影響

甲状腺体積は投与前、28日目、56日目に高解像能の甲状腺超音波断層装置を用いて計測した。ヨード剤投与28日目には投与前に比して有意な増加(116%)を示し、56日目(ヨード中止後4週間)にはほぼ前値に復した。

4. まとめ

過剰ヨードに対する甲状腺ホルモンの合成、分泌調節機序として、autoregulation(自己調節)という独自の作用を有している。血中TSHの高感度測定が困難な時代にはautoregulationは下垂体の影響を受けず、甲状腺内だけで行われると考えられてきた。しかし、最近の結果からは過剰ヨードにより血中遊離T4とTSHが正常範囲ではあるが有意な逆相関の変動を示したことより、autoregulationにも下垂体の作用が関与することが示唆された。

今回使用した程度(約30mg/日)の過剰ヨード量では、健康成人において正常範囲内での甲状腺機能の変動が確認されたが、安全性を損うものではなかった。

基調講演 ICRPのモデルを用いたI-131の体内挙動のシミュレーション

●——— 石 樽 信 人 (放射線医学総合研究所 内部被ばく防護研究部)

図1に、ICRPによるヨウ素の体内動態モデル(ICRP Publ. 67, 1993)を示す。吸入により摂取された放射性ヨウ素は、その物理化学的特性に依存して呼吸気道へ沈着する。その一部は血液中へ吸収され、また一部は気道の粘液纖毛運動によってI10の方へ輸送され胃腸管へ飲み込まれる。飲み込まれたヨウ素は小腸において完全に吸収される。一方、血液に入ったヨウ素は30%が甲状腺へ取り込まれ、70%が直接尿中へ排泄される。血液中での半減期として0.25日がとられている。甲状腺ホルモンに取り込まれたヨウ素は、半減期80日で甲状腺から離れ体内の他の組織へ移行する。これらの組織における半減期は12日である。組織中のヨウ素の80%は無機ヨウ素として血液循環へもどり、20%が糞中に排泄される。

今回、上記ICRPの体内動態モデル、およびICRPの新呼吸気道モデル(ICRP Publ. 66, 1994)を用い、吸入摂取されたI-131の体内挙動をシミュレーションした。

図2に1BqのI-131の急性吸入摂取に対する甲状腺残留率の計算結果を示す。この図より、(i)甲状腺放射能は摂取30時間後に最大に達し、その後、半減期約7.5日で減少する、(ii)残留曲線の形は、摂取したヨウ素の性状によらずおおよ

似通っている、(iii)しかし、残留率の絶対値はその性状に依存し、残留率の最も高い元素状ヨウ素と最も低い $1\mu\text{m}$ 粒子とでは2.6倍以上の開きがある、などが示されている。また、従来から言われているように、甲状腺放射能が比較的早期に最大値に達することから、安定ヨウ素は摂取後早

に投与する必要のあることが示されている。以上はICRPのモデルをそのまま用いたシミュレーションである。しかし、モデルパラメータ等は、ヨウ素の摂取量の違いにより個人や民族間で異なることが報告されており、日本人の場合は、概して甲状腺の取り込み率が低く、生物学的半減期も短いと考えられている。筆者らは、日本人のデータを基にICRPモデルを一部変更し、吸入摂取されたI-131の体内挙動を、安定ヨウ素の投与の影響も含めシミュレーションすることを試みている。その結果は別の機会にご報告したい。

モデルによる予測は緊急時の被ばく医療計画を立てる上で重要である。今後、日本人の特性に適合したモデルを作り、日本人の平均的なパラメータ値として確からしい値について専門家の間での合意を得、また、食習慣、年齢差等に起因する変動の幅についても検討を進める必要がある。

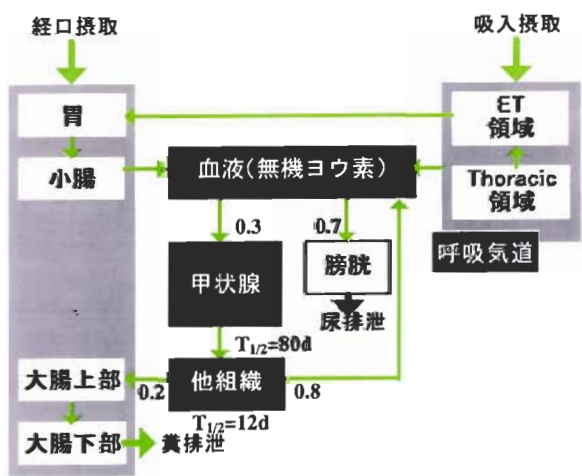


図1 ヨウ素の体内動態モデル(ICRP Publ. 67, 1993)

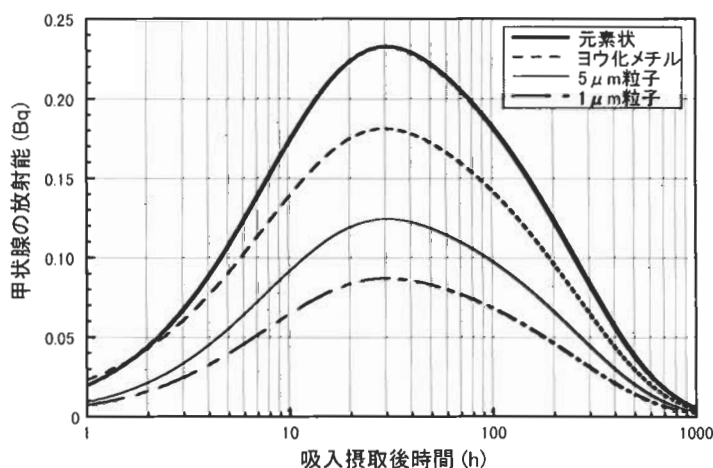


図2 1BqのI-131吸入摂取後の甲状腺残留率

「被ばく医療における ヨウ素剤投与の医学的問題点」質疑応答の要旨

鈴木 時間が押しておりますが、以上三演題に関しまして質疑応答を行いたいと思います。

宮城県・原子力安全対策室・佐藤 長瀧先生のお話の中にありました、原発事故で30h前に発表できるという時間的余裕の根拠についてお聞きしたい。

長瀧 「例えば一番可能性は？」と、東海村で数人の先生にお聞きした際に聞いた話です。圧力隔壁があるため、日本の原子炉では、事故が起こってから相当な時間がたち心が圧力が高まると圧力弁が開き、空気中に放射性物質が放出される。それがだいたい30h位ではないかということです。

辻 ヨウ素剤配布のコストと配布しない場合の補償コストの問題について、また一時やめていたヨウ素剤の配布が復活した事についてお聞きしたい。

長瀧 その国の国民感情が大きいと思う。最近ドイツで講演したが、ドイツでは最近輸送中に事故があったそうで講演後にマスコミが輸送中の事故のことから原発はどうだという問いかけが相次いだ。その国のその時の行政によっても反応が違うのではないか。科学的データはない。事故後に、発がん被曝者に補償金を払う、という考えがあり、一方事故の準備を行った場合では、「いつおこるだろう」という心理的デメリットが生じる。この両者を考慮し、経済的負担を考えて、一時、ヨウ素剤を配布しない方がいいとなった。

けれども、また、配布が復活した。

鈴木 ヨウ素剤投与に関しては、科学的データを蓄積して日本人にあったプロトコルを作ることが重要だ。現在、ヨウ化ナトリウムとして1歳以上は100mg、1歳未満は50mg投与となっているが、年齢によってヨウ素剤の甲状腺影響が違ふし、また年齢によって放射線発がんのリスクも違ふ。もうすこし年齢を考慮した投与法を検討しなければならない。

長瀧 ヨウ素を投与した後にホールアウトした所を歩き回ることや、ヨウ素剤を求めてホールアウト内を歩き回ることとはもってのほかで、いろいろ細かい指ボを与えなければならないことを考えると、むしろ、子供・妊婦・新生児などは、事故の予測によって一刻も早く安全な所まで、逃げることの方が肝要である。

(フロアから)

ヨード131は医療用でいくら使用してもガンはおこっていない。ヨード131で本当に甲状腺ガンになるのか、他にも何かあるのではないか。

ヨード131のことだけを考慮してヨードの補給をするのではなく、他に大切なことがあるという事ですね。

長瀧 特に子供の事、チェルノブイリでも3歳以下に甲状腺ガンがおこっているのが外部被ばくも含めて、一刻も早く事故の場所より遠ざけることが大切だ。

鈴木 今のヨード剤投与の社会的観点に関して、午後のフォーラムで再度ディスカッションしたい。

長瀧 石樽先生のお話の中で、1.5mgのヨード摂取量でアップテイクが12%とあったが臨床では考えられない。1mg以上摂取しているとアップテイクは5~6%位まで下がり、日本では2週間ヨード摂取を止めていただくと、ようやくアップテイクが正常値の下限である10%になる。

石樽 私の場合は、血液から甲状腺に行く量と、1.5mgという摂取量を固定した場合のアップテイクの数字で、何を固定するかで変わらぬと思う。あくまで作業するための仮定の固定である。日本人の代謝パラメータについては、専門家の間で合意がある値で再度モデル計算してみたい。

衣笠 石樽先生に質問。ヨードの摂取量1.5mgについて、日本人が通常摂取している量として考えたのか、それとも負荷量なのか。

石樽 日常の摂取量として考えた。

衣笠 食べた分と、吸った分では実際の事故の時の取り込みの状況が違ふと思う。食べ物の方は後の方で、吸う方は初期にでてくると思うが、吸う方の場合の甲状腺に沈着する寄与率をどの程度と見ているか。

石樽 (すべてで)数%ではないかと思う。

●————— 衣笠達也 (三菱重工(株)神戸病院・外科)

1. 問題の概略

原子力発電所等での事故で、放射性ヨウ素(主なものは¹³¹I)が環境中へ流出した場合、住民への対策は国の防災指針に基づき実施されることになっている。1979年のスリーマイル島事故(USA)以後、わが国では「原子力発電所等周辺の防災対策」が策定され、安定ヨウ素剤の配備、備蓄が行われるようになった。しかし近年(平成7年)になって、福井県敦賀近辺で安定ヨウ素剤の住民による個人購入や、市町村単位での独自のヨウ素備蓄の動きが一部でみられるような現象がおきている。防災対策としてのヨウ素剤投与に関する認識で住民と行政の間で大きな隔たりがあっては、混乱が予想され不幸なことといわねばならない。ここではできる限り共通の認識として確認されるような安定ヨウ素剤の投与に関する基本事項を提示する。さらにわが国での安定ヨウ素剤の投与について方向性を確認し、今後解決すべき課題を明確にする一助となるよう提案を行いたい。

2. 安定ヨウ素剤投与に関する基本的事項

過去に放射性ヨウ素が環境中に流出した放射線事故を表1に示した。安定ヨウ素剤の投与はチェルノブイリ事故で行われた。放射性ヨウ素は核分裂の際の核分裂生成物の一つで、大気中に流出すればガス状あるいは微粒子状に存在する。呼吸により吸入されたり、食物等と共に経口的に

摂取され、特異的に甲状腺に集る。甲状腺に集った放射性ヨウ素は、甲状腺を照射しつづけて甲状腺癌が誘発されるリスクを、線量に応じて増大させると考えられている。このとき安定ヨウ素剤を内服すれば安定ヨウ素が甲状腺に集り、放射性ヨウ素の集積を排除する効果があるとされている。したがって安定ヨウ素剤の投与は、放射性ヨウ素の体内被ばく(甲状腺被ばく)に有効である。そして放射性ヨウ素を吸入等により体内摂取したとき、摂取後6時間以内なら安定ヨウ素剤の投与効果は大きい。12時間を過ぎた後ならその効果は殆ど期待できないとされている。安定ヨウ素剤の投与が急がれるのは、このような側面があるからである。しかし安定ヨウ素剤の投与は放射性ヨウ素の流出が少しでもあれば行うというものではない。国際的には、投与によって50mGy~500mGyの被ばく線量(摂取吸収線量)を回避できるときに投与を行うべきだとされており、国際原子力機関(IAEA)のBasic Safety Standardsでは、回避線量が100mGy以上で安定ヨウ素剤の投与を開始すべきであるとしている。投与の効果と投与のリスク(副作用や誤用等)のバランスに基づいて投与という方策を決定すべきであるというのが基本的な考え方である。安定ヨウ素剤の投与は、単独でとられる対策ではなく、通常屋内退避や、避難といった防護手段と併用される。また、わが国の人々の食生活の特徴として“こんぶ”というヨウ素の極めて豊富な食品を摂取

表1 放射性ヨウ素が環境中に流出した例

事故名	年	事故内容	備考
マーシャル群島事故(USA)	1954	大気中核実験の降下物により被ばく	甲状腺癌、甲状腺腫の有意の上昇
ウインズケール事故(UK)	1957	軍用炉の火災で核分裂物質の大気中流出	ミルクの摂取制限
スリーマイル島事故(USA)	1979	商業用原子炉の過熱融解事故で希ガスが大気中に流出	住民の混乱、情報が入り乱れる
チェルノブイリ事故(ソ連)	1986	発電用原子炉の暴走爆発により大量の核燃料物質、核分裂生成物が大気中に流出	ソ連、ポーランドで安定ヨウ素剤の配給投与 小児甲状腺癌の発生増加

●——— 吉田 菊喜 (宮城県石巻保健所)

東北電力(株)女川原子力発電所は、女川町と牡鹿町の境界、牡鹿半島のほぼ中央の太平洋側に位置し、現在出力52.4万kWの1号機、82.5kWの2号機が稼働している。また、平成14年の営業運転を目指して82.5kWの3号機の工事が進められている。

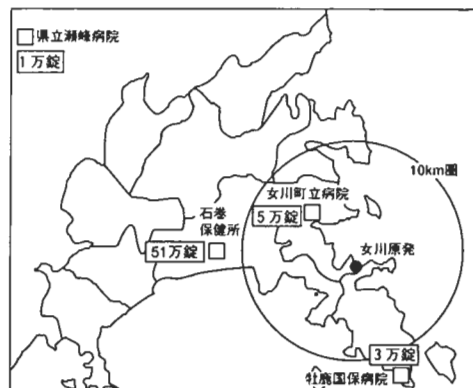
宮城県地域防災計画(原子力防災編)では、原子力にかかる重点地域として、女川原子力発電所を中心とした10km内の地域と定めている。当該地域は、女川町をはじめ牡鹿町、石巻市、雄勝町の1市3町に亘り、地域内の人口はそれぞれ、約12,500、3,500、1,500、100人(合計約17,600人)の漁業を中心とした高齢化の進展した地域である。

宮城県のヨウ素剤配備体制は、第一次緊急医療用としては、対象である女川原発から18km離れた石巻保健所に約10日分59万錠を保管し、緊急時には現地避難所に搬入して配布することになっているが、本年から現場により近い女川町立病院、牡鹿国保病院にも分散配備する予定である(平成10年11月配備済、分散配備の体制については図参照)。

緊急時、対象住民へのヨウ素剤投与の要否判断は、事故の状況、環境モニタリングやSPEEDI等による予測被ばく線量等の情報に基づいて行われ、予測の段階で可及的速やかに対策を講じてゆく態勢をとっている。しかし、投与の判断基準については、まだコンセンサスが十分とはいえない。チェルノブイル事故におけるポーランドでのヨウ素剤配布等の事例を徹底的に検証し、日常のヨウ素摂取が十分な海岸地域に適合した基準の作成を本研究会にお願いしたい

ヨウ素剤の「放射性ヨウ素の甲状腺への取り込みの抑制」という薬効は日本薬局方には記載されていない。法的なバックアップのない薬剤を緊急時に不特定多数の住民に投与する場合の安全性の確認、医療行為としてのインフォームドコンセントの問題については、医学の分野のみでなく、行政、法律等も踏まえた総合的な検討を要望したい

ヨウ素剤配備体制について、最近いくつかある選択肢の中で個人・各戸配布を選択する自治体もあるが、副作用等を考慮すると一考を要すると思われる。しかし、それ以前に、食生活(ヨウ素摂取量)や年齢等、緊急時以前に把握できる事項についてのデータを積み上げ、さらに緊急時の際のヨウ素剤服用のメリット、デメリットについての住民への情報提供を前もって行っておくことが肝要である。



する習慣があり、事故時の“こんぶ”の摂取も大いに効果があり、活用すべきであるとする専門家の意見も尊重されるべきであろう。

3. 問題の解決へ向けて

以上述べたような基本的な事項について住民への説明、理解を求める作業が平時より頻回に行われることが混乱を防ぐために重要である。そして迅速な安定ヨウ素剤の投与は、放射性ヨウ素が一度に大量にしかも低い高度で放出されたときという極めて限定された特異的なケースで必要と

なる。しかもその流出源のサイト等に近しい地域(例えば10km圏内)の住民、特に小児が主たる対象となる。迅速な投与のためには回避線量の可及的早期算出のシステムが確立されるべきであろう。

安定ヨウ素剤投与による回避線量(50mGy~500mGy)が測定、算出されれば2~3時間以内に投与するための具体的な計画が、詳細に立てられるべきである。その説明も平時より十分に住民になされることが望ましい。また遠距離地域では、吸入よりも汚染による食物等の経口摂取が主となるが、それらの地域の住民への安定ヨウ素剤の投与の条件についても十分な検討と説明が必要と思われる。

被ばく医療における放射線防護

座長 中尾 憲 (放医研・元障害臨床研究部長)
 講演 安本 正 (元東電原子力保健安全センター副所長)
 百瀬 琢磨 (核燃料サイクル開発機構安全対策課)

座長・中尾 このタイトルは、一次二次を含む被ばく医療の広汎な場面を想定しなければならないが、今回は被ばく者に対応する保物と医療関係者及び消防員等の二次被ばくと安全に絞ってお話を願うこととした。

安本 被ばく障害者が発生した場合、放射線管理者や、医療担当者が、如何に自分達を防護しつつ障害者に対応するか、について東電で作ったビデオをお見せしたい。事故の態様として災害の場所により、放射線の種類が異なる。第一次救急は施設内救急所で行う。第二次救急は、外部施設に移送し、場合によっては第三次救急に移す。第一次救急施設は、設備はあるが、十分に稼働するかが問題である。医師も必ずしも常駐していない。さて、安全から見て汚染を如何に少なくするかであるが、医療担当者は、被ばく障害者が中性子を出さない外部線源であれば、担当者の二次被ばくは考えなくてよい。被災者が放射能を体内に取り込んでいた場合、体表面の汚染、皮膚損傷に伴う汚染の場合などは被災者が線源となる訳で、これに対しての原則は、汚染から受ける線量を少なくすること、汚染不拡散対策の2つである。汚染物に十分に気を配り、汚染量と汚染の身体位置を正しく計測して早く知ることであり、微量の汚染は担当者にさほど問題ではない。

百瀬 放射線障害防止法関係から事故発生状況を見ると、紛失が半数、被ばくが2割以上、汚染が1割程度となっている。受入側は、表面汚染があれば

内部被ばくのあるなしで対応が異なってくる。あれば排泄物の採取管理を要する。管理区域内で初期の汚染を取り除くことが望ましい。患者との接触では自己のサーベイを確認して行う。線源となるものの遮へい、内部被ばくの防止をする。米国REAC/TCの救急隊要員は、要員自己の汚染防止のため、自給式呼吸保護具、全面マスク、ビニールスーツ、手袋、長靴、サーベイメータ、個人線量計を装備し、輸送にあたっている。現場での除染が大切である。核燃料処理施設では、 α 線サーベイメータ、 β 線サーベイメータを用い、汚染部位はガーゼ等で覆い養生して医療機関に移送する。濾紙を巻いた綿棒での自己の鼻スミアは、内部被ばくの判断に有効である。内部被ばくの評価には、肺モニター、全身カウンター、傷モニター、核種のバイオアッセイがある。体表面線量計測での有意値が出れば、早く、眼、傷口、頭髪、鼻腔を洗滌して除去、カバオールが汚れ、内部汚染のおそれがあれば、汚染部をテーピングして衣服を切断して取り除く。原子力施設にはゲートモニターがあって、汚染したまま作業が出るのを監視している。ところが作業員でゲートモニターにひっかかる人が年に4~5人いる。調べてみると病院で ^{67}Ga のシンチグラフィ検査を受けた人なわけです。私達が現場で放射線管理をしているレベルから比較するとびっくりするような放射能レベルなんです。 ^{67}Ga は短半減期とはいってしまっても、ゲートモニターでは検査後1ヶ月

位は有意のレベルとしてひっかかります。

原子力施設内ではこのように厳密な汚染管理をしています。不幸にして汚染事故が起きた場合についてお話しします。被災者の健康状態が良ければ、施設内で完全に除染します。しかし、傷等があって十分に除染できない、あるいは救急医療が必要で除染する余裕もなく病院へ運ぶ事態が起きる可能性があります。病院の先生方はびっくりされるでしょうが、被ばくという意味では問題にならない事が多いのです。例として退出規制のレベルである40 Bq/cm²の25倍のレベルの ^{60}Co の汚染、すなわち1 KBq/cm²の汚染を想定してみます。皮膚最直下被ばく線量相当は、0.22mSv/h位であり、30cm離れてしまえばnSvのオーダーである。

例え、 ^{60}Co を1 KBqを全部吸入しても預託線量は0.04mSv位である。そういうことで、医療関係者が有意な被ばくを受けることはない。

原子力施設では、汚染事故が起きても施設内で対処することを原則としています。しかし、事故によっては外部の医療施設の協力をお願いすることもあります。その様な際には、是非、私達放射線安全管理の人間から必要な情報を入手し、医療行為を行って下さい。

中尾 それでは質問、討議を願いたい
 <質疑応答>

松江赤十字・石田Dr 体表汚染はどこまで除染すれば施設から出せますか？

安本 医療施設までもって行くまでには、40Bq/cm²が基準で、それ以下は

微量と考えてよい。

百瀬 α線ならば4 Bq/cm²である。緊急を要する場合は退出レベルにこだわらない。

松江赤十字・石田Dr 病院内では、RI検査を受けた患者さんからのまわりの人間の被ばくを問題にしていない。それなのに、原子力施設から出てくる汚染患者は40 Bq、100 Bqといった低いレベルなのに問題にされる。救命救急では、低いレベルの汚染は無視できるというシステムは構築できないのだろうか。

安本 RI投与患者は、外部に放射線を出すが放射性物質をまき散らかすほどではない。体表面汚染のある患者の場合は、汚染の拡大防止という観点が重要である。

松江赤十字・石田Dr 安本先生のおっしゃる事はその通りなのですが、私が問題にしたいのはRI検査患者と原発の汚染患者で放射能レベルが全く違っているのに、低いレベルの汚染患者が医療を受けられない現実がある。これは差別ではないか。

安本 私は微量の放射能は人体に害は無いと思っています。しかしどのレベルから害があるのかという点では、学問的に決着がついていない。そこでホリシーとして、自然放射能レベルに近い水準まで汚染を落とそうとするわけです。医師が低いレベルの汚染よりも救命処置の方が重要だと判断する場合には、汚染など無視して医療をやりなさいと言いたい。

最近、原発周辺のお医者さんと話す機会が多くなりました。その時感じた事なのですが、一般のお医者さんは原発から出てくるRIは医療用のRIと異なっているものだと勘違いなさっている。

松江赤十字・石田Dr そう思いま

す。放射能レベルという比較をするなら、一般の自然放射能レベルを1とするなら、原発の汚染患者は100、RI診断は一千万から一億位の差があるのではないか。緊急医療では1とか100は切っても良いのではないだろうか。

安本 私もそう思っています。

松江赤十字・石田Dr 10人が同時に被災した時の医療の順番はどうか。

中尾 トリアージの問題として意見はないか。

衣笠 受傷などの救急の問題と、被ばく汚染の問題と両方から考える。被ばく汚染は、長期的な健康問題を起こすことがあっても、近々の健康問題とはならない。従ってバイタルサインの安定を優先する。次に処置が簡単で効果の高い事を優先してやる。例えばプルトリウム汚染であればまずDTPAの点滴を指示し、次に時間のかかる傷処置をする。処置時間と効果を考えながら優先順位を決める。

松江赤十字・石田Dr 原子力施設の手術室器具のメンテはどの様にやるか。

安本 無菌戸棚に空気を流しておく。1ヶ月は大丈夫と云われ、1~2ヶ月毎に交換する。

関西電力・室 先程の話題に戻ります。原子力施設とRI施設の医療施設での汚染に対する基本理解が多少異なる。原子力施設の汚染レベルと医療のRI検査のレベルをもっと比較したデータを整理していただきたい。さらに、汚染レベルに応じた除染介護者の装備レベルもご検討願いたい。

鈴木 元 先程の石田先生の低い汚染レベルは無視できるのではないかとのご意見について述べます。私は一般病院内に汚染患者が来院する場合は、病院内にやはり臨時の管理区域を設けて診療すべきと考えています。汚染患者の診療が終わったら管理区域を解除して

日常営業に戻る。研究会で臨時の管理区域を設定する基準、その設営方法、その解除の基準といったものを自主ルールとして定める必要がある。このようなルールは、医療スタッフの放射線防護という側面よりは、第三者やマスコミの間に「汚染を巻き散らかせないで、医療ができています」という安心感を醸成するために重要である。管理区域設定の患者の汚染レベルを10⁴Bq/cm²程度が良いのかどうかといった事は、今後検討していきたい。

中尾 事故では放射線の種類を早く知らねばならないが、その対応を百瀬氏に。

百瀬 α核種の方が毒性が高いので必ずα線サーベイメータとγ、β線サーベイメータを対にして計る。また、着目している核種だけでなく、付随して出てくる核種の情報、さらには粒子径などの情報を後追いで発信していく事が、放射線管理の専門家の責任である。

山口 核種によりβ、α線測定でGMサーベイメータの機器効率が違ってくるので、核種が判らねば3倍位の測定誤差が出る。

中尾 医療被ばくと事故被ばくの障害認識にギャップがあるような発言があったが、篠原先生に。

国立水戸病院・篠原 医療被ばくとしては、使用する核種も、その患者への影響も判っており、線量を可及的少なくメリットを大きくする訳であるが、事故被ばくは、受けてはいけなもので、メリットはなく、0に近づけようとしなければならない。従って両者の比較は、次元の異なる問題となろう。その差を理解した上で議論をすすめる必要がある。

中尾 両者の被ばく認識は異なって止むを得ないということです。

イリジウム192線源による被ばくと血管障害

●——— 明石真言 (放射線医学総合研究所 放射線障害医療部)

みなさんご存じのように、放射線は色、におい、味など私たちに五感に訴える要素を持たず、被ばくをしても特に痛くもかゆくも無いのが特徴です。そして、症状が出るまでには時間を要します。1997年に、ロシアでまれにみる被ばく事故がおきました。これは加速器によるもので、全身で50Gy以上の被ばくを受けるというものでしたが、症状が出現するまでに数時間、無くなるまでに17~20時間でした。放射線障害で起こり得ないものとして他の外傷などが無い場合、直後死、直後の熱傷が挙げられます。また正しく汚染や現場の状況を把握すれば被ばく自体は救急医療の対象ではなく、処置に当たる者や施設にとって危険ではない事も明らかにされています。

ではいったい被ばく事故はどこで起きるのでしょうか。表1に起こりうる所を示しました。原子力や放射線を扱う施設はもちろんのことですが、輸送事故では道路や公共の場が、また放射線を出す物であることに気付かずに所定の場所から持ち出すような事があれば、これも公共の場で被ばくが起きることもなります。ブラジルのゴイアニアで起きた事故がその例です。

それでは、実際に起きた被ばく事故に関して報告させていただきます。この症例は、いったんよくなったにも関わらず、被ばく後時間が経ってから徐々に進行した血管障害についてです。

X線やγ線は物質を透過し、フィルムを感光する性質を持ち、この性質を利用し、製品を壊すことなく検査を行うのが非破壊検査です。1971年9月18日、千葉県市原市の造船所の構内にステンレス製の自動車アンテナのようなものが落ちていました。YS氏はそれが放射線の線源であることを知らずに持ち帰ってしまいました。夕方、彼の下宿に5人の友人が訪ね、その線源を次々とさわわり、うち2名はその部屋に宿泊。その後4日間に、数人の友人が何回か出入りしました。2日後に造船所では、非破壊検査に用いる強力な放射線源であるイリジウム-192(5.26Ci)を紛失したことに気づきましたが、この線源をさわったり、線源の近く

〔表1〕 放射線事故はどこで起こる？

1. 原子力施設(原子炉)
2. 放射性核種の合成施設
3. 製品の検査(非破壊検査など)
4. 工場での照射(殺菌など)
5. X-ray撮影、核医学検査
及び放射線治療施設(医療、研究)
6. 輸送事故及び公共の場

にいた人に放射線障害が起きてしまいました。9月26日以降、この6名は科学技術庁・放射線医学総合研究所(千葉市)に入院しました。

被ばく線量推定

この線源は5.26Ciの放射能を持ち、表面の線量率は250R/min、吸収線量は13Gy/min、2~7分触れたとすると26~91Gyの被ばくとなります。被ばくしたことが推定された6名のうちの3名が腕時計をつけており、当時の腕時計にはルビーが使用されていました。ルビーはγ線を受けると熱発光現象を示すため、ルビーの熱発光量を測定することによって被ばく線量が推定できました。また当時の行動を思い出してもらい、聞き取り調査をから全員の下宿での在室時間表を作り、各人の被ばく線量を推定しました。その結果、最も多い人で全身被ばく線量は約1.3Gyで、各人から採血して、血液のリンパ球を培養し、染色体の異常の頻度による推定と一致しています。

全身臨床症状

最も全身被ばく線量の大きいSH氏に、被ばく第1日目に急性放射線症の症状である食欲不振と吐き気が出現しましたが、他の5人には認められませんでした。ほとんどの人に白血球の減少等の造血障害が認められました。最も強い症状が見られた人で、2週から7週にかけて、白血球数は800/mm³、血小板数も15,000/mm³と、白血球及び血小板の減少が見られ、軽い出血傾向が認められました。1名は、睪丸に1.75Gy程度の放射線を被ばく、一時的な無精子症になりましたが、その後回復しました。他の全ての人にも最初の被ばくから3ヶ月以上経過後、精子数の減少が認められました。また、後被ばく線量の多い2人にfollicle stimulating hormone (FSH)の増加がありました。

局所症状と後発性障害

線源を持ったYS氏と比較的長い時間線源に触れたSH氏は、局所的に26~91Gy程度の被ばくを受けたと推定され、数日後から痛みの強い紅斑や水泡が出現しました。臀部に線源があたったYS氏は、左側に30Gy、右側に90Gyの被ばく



●———小塚拓洋、中川恵———（東京大学放射線医学教室）

電離放射線によって生体が受ける障害は、急性放射線障害と慢性放射線障害に大別される。急性放射線障害は被ばく後数週以内に症状が発生し、症状が重篤でもほとんどの場合軽快する。一方、慢性放射線障害は長い潜伏期(数ヶ月～数十年)の後に生じ、一度発症すると徐々に症状は進行し、生命を脅かすこともまれではない。慢性放射線障害の原因は、進行性の血管内皮の増殖と血栓形成による組織の血流障害が根底にあると考えられているが、現時点では慢性放射線障害の予防法、治療法は確立していない。東大病院放射線科では、4年前に事故により右手を被ばくした患者を治療する機会を得たので、事故発生から現在までの経過を以下にまとめる。

<被ばく事故発生から初診まで>

患者は、X線解析装置(Cu 50kV、200mA、水に対する半価層3.05mm)を作成中、X線が射出していることに気づかずシャッターを分解し、右手掌中央部(推定被ばく線量は100～200Gy)と右手指を被ばくした。被ばく時特に症状もなかったため放置していた。

被ばく後14日目に、右手掌中央に点状の水疱がみられた。数日の経過で水疱は急速に増大したため東大病院放射線科を受診し、被ばく20日目に入院となった。入院時、右手掌には周囲に紅斑を伴う水疱(約6×3cm)が見られた(写真参照)。水疱部には掻痒感があり、右手全体に重感を自覚していたが、特に痛みはなかった。また、右手指は全てPIP関節より遠位が暗赤色に変色し、第1、2指の爪下は5～10mm程度の範囲で黄白色に変色し硬化していた。この部位は感覚がほとんどなかった。

入院後、被ばく部の放射線皮膚炎に対して、抗生剤軟膏とステロイド軟膏を塗布し上皮化を待った。また、慢性放



射線障害の予防の試みとして、血栓形成を予防するため抗トロンピン剤、プロスタグランジンI2誘導体、ステロイド剤の点滴静注を行った。

<入院後の経過>

被ばく1月後までに手掌の紅斑部分は全て水疱化した。その後、徐々に水疱の表面の皮膚が黒化したため除去すると、赤い真皮が見られた。一方、第4、5指もDIP関節より遠位は黒化してきた。その後、右手掌と手指は急速に上皮化が進み、被ばく後2ヶ月までに軽度菲薄化しているがほぼ正常な表皮に覆われたため退院となった。

<退院後の経過>

被ばく8ヶ月後、右手掌の一部に角化傾向がみられるようになり、約1年の経過で手掌の毛細血管拡張、手指の発赤と色素脱失及び、第1、2指の爪の肥厚などの症状がみられるようになった。その後、症状の進行は遅延し、現在に至っている。

X線による人体深部への影響はそのエネルギーに依存する。今回の被ばく事故の場合50kV、200mA、水に対する半価層が3.05mmであったため、障害は皮膚が主体となる。事故当時の状況の再現により皮膚線量は100～200Gyと推定され、慢性放射線障害として潰瘍、易感染性などの発生が予想される。今回、被ばく後比較的早期に治療を開始することができたので、局所の感染防御と慢性放射線障害の原因である血流障害の予防を目的とした治療を試みた。今回の試みは過去の症例と比較して効果は明らかではないが、X線被ばく事故が散発している現状を考えると、慢性放射線障害の予防法の確立のため、理論的根拠に基づいた治療の試みと治療施設間の情報交換が重要と思われる。



をうけ、臀部に大きな潰瘍と壊死を生じたため、被ばく後124日目に形成外科的な処置を行いました。SH氏は約10日後に両手掌と指にひどい発赤と腫瘍が見られましたが、2ヶ月後にはほぼ治癒し退院しました。その後SH氏は、右手に潰瘍と壊死を繰り返し、右第1指(親指)、第2指(人差指)の拘縮と骨の萎縮が始まり、1993年には、病原菌により感染し疼痛が現れました。特に右親指では骨の萎縮がひど

く末節骨は認めることができなくなりました。血管造影の結果、右第1及び2指を養う血管の閉塞と橈骨動脈の萎縮が観測されました。この2本の指を切断し、第Ⅱ趾を親指の部位に移植しました(10ページ写真参照)。病理学的検査の結果も、血管造影の結果と一致しており、指の異常は、血管の萎縮によることが判明しました。

3症例の報告の後、パネルディスカッションが行われた。今回の症例からは、被ばく後は長期的なfollow-upが必要であること、また被ばく直後は症状が出ないが、この間に放置するのではなく何らかの治療が必要ではないかという意見が出された。しかし最も問題になったのが初期の治療、特にいかに血管障害を抑えるかという事であった。外国では、血管障害・末梢循環障害のためにトレンタール、ラディカルの消去という観点からsuperoxide dismutase (SOD)、線維化予防のためにTGFB注射が行われているが、日本ではあまり行われていないのが現状である。以下出された意見をまとめてみた。

1) 初期の治療に関して

東大での症例では、退院時血管造影もThermogramの結果も特に異常がなく、放医研の症例でも、いったん症状は消失している。これは微少血管障害によると思われるが、とらえることが難しい。現在では予後を予測するいいfactorが無い。また切斷の時期等についても、医学的コンセンサスも無い。血管障害予防について、PGI2誘導体や抗トロンピン薬を使用してみたが、これで充分かどうかは不明である。初期の治療は、現在のところ感染防止以外に決め手は無いが、いい指標を見出し積極的な血管障害予防策が望まれる。

2) Follow-upについて

長期にわたる観察はあまりなく、経験があまりないのが現状である。また、血管障害は内皮の問題であり、繰り返す手術はかえってよくないのでは、また高圧酸素はNOやラディカルと言う観点から問題ではという意見も出された。これに対し、皮膚移植の生着には酸素も必要であり、両者のバランスが必要と言う考えも示された。

3) 今後の展望

チェルノブイルの患者の中には、まだβ線熱傷で潰瘍を繰り返しているひともある。放射線障害では急性症状が治癒後も再び症状がでてくる。細胞レベルの研究がもっと必要である。

5号目次

特集：第2回放射線事故医療研究会・被ばく医療フォーラム

シンポジウム

被ばく医療におけるヨウ素剤投与の医学的問題点
長 説 重 信(長崎大学名誉教授・(財)放射線影響研究所理事長)
-1-2-

基調講演

ヨードと甲状腺機能

横 山 直 方(長崎大学医学部第一内科)

ICRPのモデルを用いたI-131の体内挙動のシミュレーション
石 樽 信 人(放医研内部被ばく防護研究部)
質疑応答要旨
-3-5-

被ばく医療におけるヨウ素剤投与の社会的問題点
衣 笠 達 也(三菱重工株神戸病院・外科)

宮城県の緊急被ばく医療におけるヨウ素剤配備体制について
吉 田 菊 壽(宮城県石巻保健所)
-6-7-

パネルディスカッション

被ばく医療における放射線防護
-8-9-

症例検討

イリジウム192線源による被ばくと血管障害
明 石 真 言(放医研放射線防護医療部)
放射線被ばく事故と放射線障害書
小塚拓洋・中川恵一(東京大学放射線医学教室)

総合討論

-10-12-

編集後記・お知らせ

-12-

◆開催のお知らせ◆

第3回放射線事故医療研究会

第3回被ばく医療フォーラム

(会長 長説重信 放射線影響研究所)

日時：平成11年8月20日(金)AM9:30より

場所：広島国際会議場 広島市中区中島1-5

編集後記

やっとの思いでJAMMRA 5号を送り出します。大会特集ということで、編集部は原稿の集まり具合に何ら不安を抱いてきませんでした。しかし、結果としてはその「慢心」が落とし穴でした。

JAMMRA 4号の編集後記で島根原発で被ばく患者救護訓練が行われたことを報告しました。その後、12月には福井県医師会の主催で「放射線被ばく医療に関する研修会」が美浜原発において開かれました。その中では教育講演とともに実戦さながらの被ばく患者救護訓練が行われました。その模様は、閃電の手によりビデオに収録されております。また、次号のJAMMRAでその報告をしてもらう予定です。

被ばく医療が当たり前医療として定着するよう、地方の諸先生との協力で研究会活動の輪をさらに広げていく必要があります。JAMMRA 4号で天野先生がご提案になっているように、地域の関係者の連絡会やミニ講演会などを組織していきたいと思っています。是非、ご協力下さい。