

金沢大学市民公開講座
- 市民のための放射能・放射線の話 -

要 旨 集

日 時 平成 12 年 6 月 11 日 (日)

場 所 石 川 県 文 教 会 館

主催 金沢大学放射性同位元素委員会
金沢大学アイソトープ総合センター

金沢大学市民公開講座

市民のための

参加費無料

放射能・放射線の話

放射能・放射線について一緒に考えてみませんか。

パネルディスカッション1 臨界事故から何を学ぶか

パネリスト 14時～15時30分

- 1 放射線科学の立場から 山本 政儀 (理学部助教授)
- 2 主婦の立場から 小池田洋子 (主婦・金沢星の会会員)
- 3 ジャーナリストの立場から 井上 正男 (北國新聞論説委員)

コーディネーター 森 厚文 (アイソトープ総合センター教授)

休憩 (15時35分～15時50分)

パネルディスカッション2 医療における放射能・放射線の役割

パネリスト 15時45分～17時15分

- 1 人体を放射線で診る 高山 輝彦 (医学部教授)
- 2 がんを切らずに治す 菊池 雄三 (医学部教授)
- 3 遺伝子治療 山口 和男 (遺伝子実験施設教授)

コーディネーター 利波 紀久 (医学部教授)

見学コーナー

13時～14時 17時25分～18時 中西 孝 (理学部教授)ほか

開催日

平成12年6月11日(日)
PM13:00～PM18:00

開催場所

石川県文教会館
(石川県教育・自治会館内)

主催/金沢大学放射性同位元素委員会・金沢アイソトープ総合センター

後援/石川県・石川県教育委員会・金沢市・金沢市教育委員会・北國新聞・テレビ金沢・(社)日本アイソトープ協会

お問い合わせ/金沢大学市民公開講座事務局 電話127-2511 金沢大学医学部放射線科 電話127-2511 FAX127-2511

金沢大学市民公開講座

「市民のための放射能・放射線の話」の開催にあたって

花岡 美代次（金沢大学副学長）

レントゲンによるX線の発見(1895年)、ベクレルによる放射能の発見(1896年)、キュリー夫妻によるラジウムの発見(1898年)から100有余年、その間、放射能・放射線に関する科学は飛躍的に発展しました。それに伴い、放射能・放射線は科学技術の進展、産業の振興、医療の高度化をもたらし、人類に多大の貢献をしてきました。

一方、放射能・放射線は核兵器に代表されるように、使い方を誤れば、人類に致命的な危害を及ぼす危険性をも併せ持っています。昨年、日本では、東海村で不幸な臨界事故が起こり大騒ぎになりました。

金沢大学では、早くから放射性同位元素委員会を設置し、十分な安全管理を図りつつ、放射能・放射線の研究・教育及び診療の円滑な推進に精力的に取り組んできました。また、教育・研究センターとしてアイソトープ総合センターを設立し、本年、設立20周年を迎えました。

今回は、この放射能・放射線について光と影の両面から考察し、市民の皆様と一緒に考えてみる機会を作りました。学外からもご参加いただいた「臨界事故から何を学ぶか」と「医療における放射能・放射線の役割」の二つのパネルディスカッション並びに「見学コーナー」を通して、放射能・放射線に対する理解と、より一層の興味を持っていただければ幸いです。

目 次

パネルディスカッション 1 臨界事故から何を学ぶか

司会の言葉	4
森 厚 文 (金沢大学アイソトープ総合センター教授)	
1 放射線科学の立場から	5
知らないことの怖さ	
山 本 政 儀 (金沢大学理学部助教授)	
2 主婦の立場から	16
臨界事故に対する主婦の意識調査	
小 池 田 洋 子 (主婦・金沢星の会会員)	
3 ジャーナリストの立場から	17
日本のモノづくりへの警告	
井 上 正 男 (北國新聞論説委員)	

パネルディスカッション 2 医療における放射能・放射線の役割

司会の言葉	18
利 波 紀 久 (金沢大学医学部教授)	
1 人体を放射線で診る	19
高 山 輝 彦 (金沢大学医学部教授)	
2 がんを切らずに治す	20
菊 池 雄 三 (金沢大学医学部教授)	
3 遺伝子治療	21
山 口 和 男 (金沢大学遺伝子実験施設教授)	
見学コーナー	22
中 西 孝 (金沢大学理学部教授) ほか	

パネルディスカッション 1

臨界事故から何を学ぶか

《司会の言葉》

森 厚 文（金沢大学アイソトープ総合センター教授）

昨年の9月30日、東海村ウラン加工工場（株式会社JCO）で信じられないような臨界事故が発生し、原子力安全神話が崩れ去りました。わずか1mgのウラン（ ^{235}U ）が核分裂しただけで大きな影響が出たこととなります。すなわち、大量被ばくした作業員3人のうち2人の方が亡くなり、JCO社員（冷却水抜き取り作業、ホウ酸水を注入した社員など）救助にあたった消防員、周辺住民が被ばくし、定期的健康管理が必要となっております。また多くの周辺住民が避難・退避を強いられるとともに、莫大な経済的損失などの大きな影響を受けました。このような深刻な事故にもかかわらず、時間の経過とともに一般の人（周辺住民を除く）の意識から薄れかけつつあります。また、昨年12月に「ウラン加工工場臨界事故調査委員会の最終報告書」が出されていますが、それで問題が解決したわけではありません。

この事故には、20世紀末の現代が抱える様々な社会問題を孕んでおり、起こるべくして起こったのかも知れません。絶対安全というものはこの世には存在しない、ということを経験し、「今後の放射能・放射線・原子力の利用と安全」について再検討する必要性にせまられております。その際、放射能・放射線・原子力に関連する専門家、企業や行政だけでなく、人文社会学者、ジャーナリストはもちろんのこと一般市民が参加することが重要と考えられます。

一方、放射能・放射線・原子力と聞くと、ただ怖いという印象を持っている人が多いようです。今回の事故は、放射能事故（一部の揮発性の放射性核種が建物から放出されましたが）ではなく、放射線事故（大部分は中性子による影響）であったにもかかわらず、多くの人は放射能事故と誤って認識し不必要な不安を抱きました。安全とは何かについて考えていただくとともに、正しく怖がっていただきたいものです。

このパネルディスカッションでは、「周辺環境の影響などについての科学的検証」、「事故の原因追求」、「事故の教訓」、「解決すべき課題と具体的解決策」、「安全についての考え方」などについて、パネラー（放射線科学者・主婦・ジャーナリスト）だけでなく一般参加者にも加わっていただいで議論を行う予定です。この市民講座が「放射能・放射線・原子力利用のあるべき姿」ひいては「21世紀における科学のあるべき姿」について、市民の方々と一緒に考えていく契機になることが期待されます。

1 放射線科学の立場から 知らないことの怖さ

山 本 政 儀 (金沢大学理学部助教授)

1999年9月30日10時35分頃茨城県東海村の株式会社ジェー・シー・オー(JCO)のウラン加工施設(図1,2,3)で発生した臨界事故は、前例の無い重大な事故になった。3人の作業員が重篤な放射線被曝を受け、懸命な医療活動にもかかわらず2人が亡くなられたほか、周辺住民への避難要請、屋内退避要請が行われ、また救助に当たった消防署員、施設周辺の作業員の被曝が明らかになった。国においては、原子力安全委員会に「ウラン加工工場臨界事故調査委員会」を設置し、事故原因の究明と再発防止策の検討を進め、12月24日に同調査委員会より最終報告書が提出・公開されたことで調査の一応の段階に達した。報告書は、技術・評価、企業・産業、社会・安全の面から、事故原因の正確な把握と共に事実の背後にある構造的・倫理的問題にまで及んでいる。ここでは、これらの報告書等を参考にしながら、事故原因の概要と今回の事故を理解するための物理的な側面、すなわち核分裂、臨界それに伴って放出される放射線と被曝について解説しながら筆者の感想を述べてみたい。

1. 事故の発生した施設(JCOは何をしている会社か?)

原子力発電所のウラン燃料を作るには図9に示す長い複雑な一連の工程が必要である。日本で採用されている軽水炉発電の燃料は、燃えるウラン-235(^{235}U)が0.720%、燃えないウラン-238(^{238}U)が99.275%の天然ウランそのままでは燃料として使用できないので、気体の六弗化ウラン UF_6 に転換して ^{235}U を4-5%まで濃縮し、その後、不純物を取り除き粉末の二酸化ウラン(UO_2)を得る再転換工程を経て生成される。JCOは、この再転換専門の企業であり、濃縮度5%以下のウランを年間715ト処理できる。さらに、主として高速実験炉「常陽」用とし濃縮度が約20%と高い二酸化ウラン粉末又は硝酸ウラニル溶液を年間3ト製造する施設(今回事故を起こした転換試験棟)も所有していた。

2. 事故の発生

事故は、原発用の燃料を処理する再転換施設ではなくて、常陽用の18.8%に濃縮されたウランを扱う転換試験棟(図2,3)で起こった。常陽取替燃料製造用硝酸ウラニル溶液は、原料である粗八酸化ウラン(U_3O_8)を溶解・精製して純度を高める工程を経た後、精製 U_3O_8 に硝酸を加えて再溶解して製品の硝酸ウラニル溶液とするものであった。事故はこの再溶解工程で、臨界防止のため2.4kgU/約6.5ℓづつに分けて行い、最後に均一な1ロット40ℓの硝酸ウラニル溶液(4ℓ入りボトル10本)を作る作業の段階で起こった(図5,6)。本来ならば、この均一化作業の段階で絶対に起こってはならない核分裂反応の臨界事故が生じてしまったのである(図8)。

「作業内容：スペシャルクルーと呼ばれる3人の作業員が、精製 U_3O_8 粉末を溶解塔で硝酸を加えて溶解すべきところを、10ℓ入りのステンレス鋼製のバケツで溶解した。その後、硝酸ウラニル貯塔において濃度を均一するという社内での手順をも無視して、5ℓ入りのステンレス容器及び漏斗を用いて、1バッチ2.4kgU以下で制限して管理すべき沈殿槽に、6バッチ分を注入し、7バッチの注入作業の後半でウランは臨界量を越え即発臨界となった(約16.6kgのウランを含む硝酸ウラニル溶液が沈殿槽に注入された)。その時、沈殿槽をはさんで1人が漏斗を支え他の1人が溶液を注いでいて、もう1人は隣室にいた。」

3. 結果として何が起こったのか?

制御なしの[裸の原子炉]となった沈殿槽は、核分裂を継続し中性子とガンマ線(即発ガンマ線)を周辺環境

に放出し続けた(図4)。大量の放射性核種も生成されたが、揮発性の放射性核種が一部環境に漏れた。施設その物は、沈殿槽も含めてまったく破損しなかった。原研等の解析によれば、最初(9月30日午前10時35分頃)の0.2秒程度に瞬間的に激しい核分裂(4-10×10¹⁶個)のパルス状の暴走出力があり、その後半定常的な臨界状態(午後11時までの事故後25分間で2-4×10¹⁷個:バースト期)になり、続いて穏やかな核分裂状態(プラト-期)が約20時間継続した(図7)。

4. 臨界状態の停止作業

臨界状態を停止するために、10月1日午前2時30分頃から、臨界の継続を助長していた沈殿槽外周のジャケットを流れる冷却水(中性子の反射体と減速の役割を演じた)の抜き取り作業を開始し、午前6時15分頃、臨界状態は停止した。その後、臨界停止を確実にするためにホウ酸塩溶液(遅い中性子の吸収)を注入し午前8時50分に臨界の終息が最終的に確認された。この臨界による総核分裂数は、2.5×10¹⁸個と推定された。沈殿槽から軽量コンクリート壁をはさんだ1.8m地点に漏れ出た中性子の数(粒子束)は、10¹²個/cm²/sec程度と評価されている。

総核分裂数からの放出エネルギーは1キロワットの出力が22時間継続したのと同じであり、核分裂したウラン(²³⁵U)量は、ほんの1mg(1000分の1グラム)であった。これだけのわずかな²³⁵Uでも核分裂によって激しい災害を及ぼす、ということである。

5. 臨界事故現象による放射線被曝

核分裂反応に伴って発生した放射性の希ガスとヨウ素の一部が環境に漏れたが、放射線影響の観点からは、転換試験棟から直接外部に放出された中性子線とガンマ線が影響の大部分を占めた。周辺環境での被曝線量のうち、約9割が中性子によるもので、残り1割がガンマ線による。スペシャルクルーと呼ばれる3名の作業員(うち2人は死亡)を含む100名あまりのJCO従業員等、3名の消防隊員それに7名の隣接建設作業員以外に、350m圏内の周辺住民が一般公衆に対する年間の線量限度1ミリシーベルト(mSv)を越える被曝をした(表1)。

6. 事故の原因

事故の直接的原因は、そもそも使用目的が異なり、また臨界安全形状に設計されていない沈殿槽に、臨界量以上のウラン16.6kgを含む硝酸ウラニル溶液を注入したことにある(安全審査で想定された工程とは全く異なる違法な作業を実施)。作業工程上、運転管理上、技術管理上、経営管理上、許認可上、さらに安全規制上の問題点と対策が議論されている。

7. 事故とその対応の経過

表2に事故経過とともにJCO、消防・警察、東海村等の地元、国及び県の対応経過を示す。

8. 所感

今回の事故は、国民の大部分が「臨界」と言う言葉になじみが無いことも加わって社会的な大きな不安を巻き起こした。核燃料施設の安全上の最重要事項は、臨界安全と放射能閉じ込め安全である。特に、臨界安全は核燃料を安全に取り扱う技術上、絶対に確保しなければならない事項である。この事項が、今回技術的な面ではなくて、規則を無視した単なる人間の過ち(人間の不完全性あるいは人間のルーズさ)で起きてしまったことは非常に残念である。人間は過ちを犯すことを前提とした安全設計対策が今後益々要求される。更に、事故後の対策を難しく複雑にしている点は、放射線の低線量の人間への影響であり、現在学問的にもはっきりしていない。この低線量の影響(たとえば発ガン)について積極的な研究体制作りと一般国民への放射能・放射線の正しい理解に向けての教育が必要であると考えられる。

「解説」

核分裂 (図 10):

重い原子核がほぼ等しい質量をもつ 2 つの原子核に分裂する現象。分裂して生じた原子核は全て放射性核種でベータ線やガンマ線を放出する。天然ウラン(U)の同位体のうち、 ^{235}U 、 ^{238}U は速い中性子 (約 0.5MeV 以上のエネルギーをもつ中性子で高速中性子と呼ばれている) によって核分裂を起こし、遅い中性子 (速い中性子が軽い元素の媒体の中で衝突、散乱を繰り返して減速され媒体と熱平衡に達した中性子) に対しては ^{235}U のみが分裂する (遅い中性子は、速い中性子に比べて核分裂を起こす確率が約 400 倍大きい)。このとき通常のエレクトロンボルト (eV) 程度の化学反応と比べて 10^6 倍以上大きい約 200 ミリオンエレクトロンボルト (MeV: $M=10^6$) のエネルギーを出し、新たに平均 2.5 個の中性子を放出する。したがって、適当な条件の下では、この核分裂によって生まれる中性子によってつぎつぎと連鎖反応を引き起こし莫大なエネルギーを放出する。この連鎖反応を利用してエネルギーを連続的に取り出せば、原発などに利用でき、高速中性子によって瞬間的に放出されれば原子爆弾のような核爆発となる。

臨界 (図 10):

核分裂連鎖反応が時間的に増減なく一定の割合で継続している状態を臨界という。臨界を越えている状態 (超臨界) では中性子の数が増加し核分裂反応も増加する。逆に、減少し臨界に達していない状態 (未臨界) では、中性子数が減少し核分裂反応は次第に終息する。いずれの状態になるかは、発生する中性子数と消滅する中性子数とのバランスで定まる。1 回の核分裂で平均 2.5 個の中性子 (ガンマ線も同時に発生: 即発ガンマ線と呼ぶ) ができるので、このうち平均 1 個の中性子が核分裂を起こせばちょうど臨界が保たれる。残りの平均 1.5 個の中性子は、他の物質に吸収されたり外部に漏れたりして消滅する (今回の被曝には外部にもれた中性子が主役を演じた。核分裂で生じた放射性核種が大量に放出されれば、小さなチェルノブイリ原発事故の様な状態になる)。中性子は、単独では不安定で半減期 12.5 分でベータ壊変して陽子に変わる。臨界になるための最少量を臨界量というが、この量を定める条件は、ウランの濃縮度、容器の形状、反射体の有無、減速材の有無、個体が液体 (温度も関与) かなどの多くのファクターが関与して複雑である。

被曝線量 (表 3):

軽水炉原子力発電所では、敷地境界での被曝線量が年間 0.05 ミリシーベルト (mSv) を越えないように管理されている。それが守られなければ放射線物質の放出方法や設備に改善すべき余地があると考えられるので、行政機関からの改善要請により、事業者は速やかに改善する必要がある。一般公衆の線量限度は、医療を除いて年間 1mSv と決められているが、これ以上受けると障害がでるといふ意味の健康上の許容量ではない。

日本人は、自然から外部被曝 (大地、宇宙線) と内部被曝 (食品摂取) 併せて年間 1.5mSv 程度被曝を受けている。さらに治療・診断等の医療行為で年間平均して 2.3mSv 程度被曝している。

ここで問題としている中性子については、中性子は電荷を持たないので、それ自身には電離作用がない。中性子の被曝による人体への効果は、中性子と人体組織との相互作用によるもので、主として遅い中性子に対しては $^1\text{H}(n, \gamma)^2\text{H}$ 反応によるガンマ () 線、速い中性子に対しては反跳される水素原子核 (陽子) がその役割をする。中性子はそのエネルギーにより人体に与える影響が異なるのでその線量を知るのは極めて難しい。正確な被曝評価には中性子の数 (粒子フルエンス) とエネルギースペクトルを知る必要がある。

被曝線量を計算するための基本的な量、すなわち放射線から受けるエネルギー量は吸収線量と名づけられ、その単位としてグレイ (Gy) が用いられる。しかし、同じ吸収線量でも、ガンマ線と中性子による被曝効果 (被曝を受けた後の障害の程度) が異なり、中性子の方が障害が大きく出てくる。この違いを表すものが線質係数と呼ばれているもので、ガンマ線及びベータ線は 1、中性子は 2-11 でエネルギー不明の場合は 10、アルファ線は 20 になっている。上記してきた線量当量 (シーベルト: Sv) とは、吸収線量に線質係数を掛けて求めた障害の程度を知るための被曝線量である。

JCO近郊空撮写真

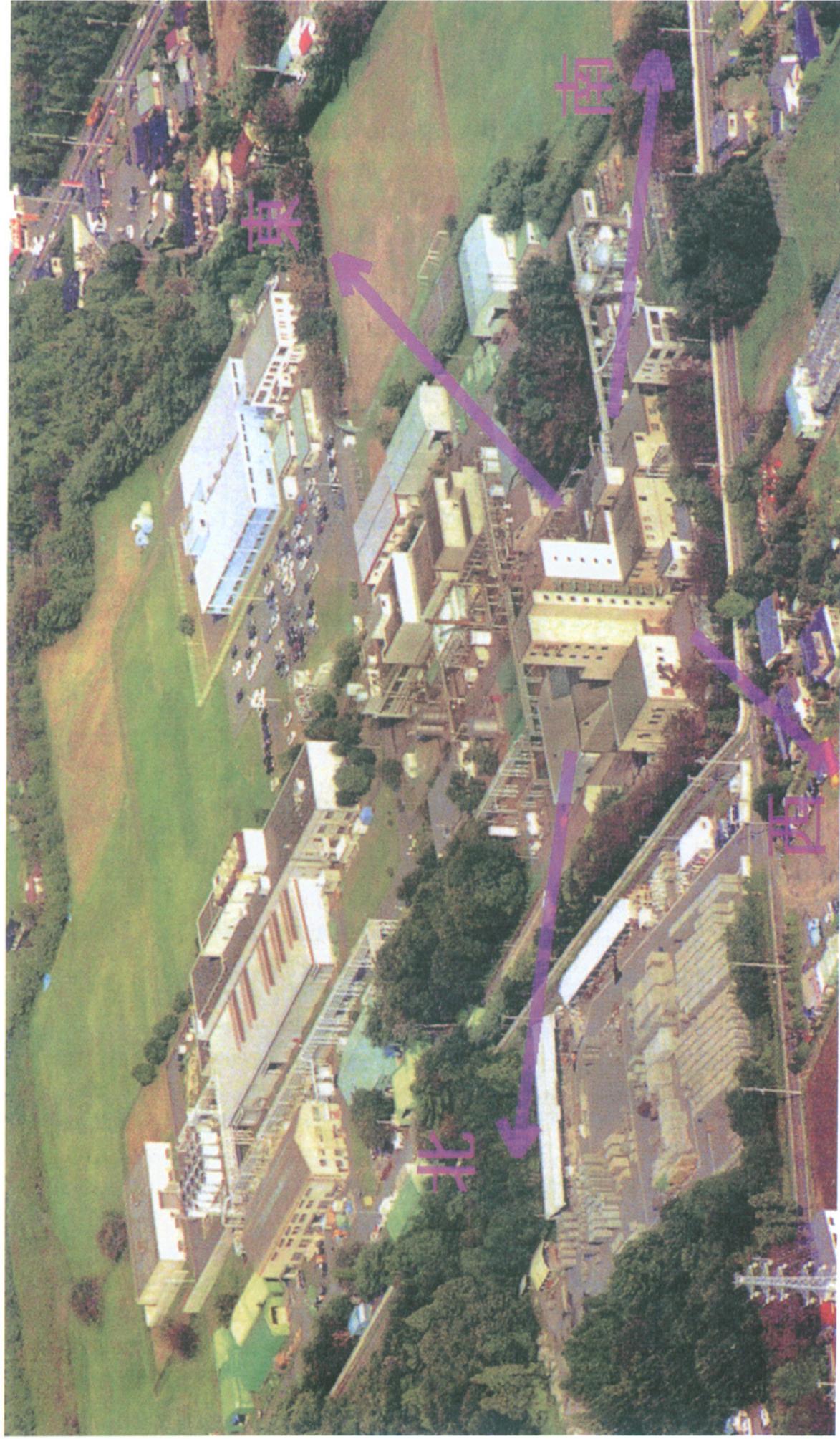


図1 放射線測定局の位置と屋内退避が要請された10km 範囲

半径10キロメートル範囲内の人口及び世帯数

	人口	世帯		人口	世帯
水戸市	2,069	570	那珂町	43,466	13,788
日立市	77,141	27,732	瓜連町	8,612	2,520
常陸太田市	37,252	11,709	大宮町	342	100
ひたちなか市	103,707	36,969	金砂郷町	6,384	1,794
東海村	33,914	11,753	合計	312,887	106,935

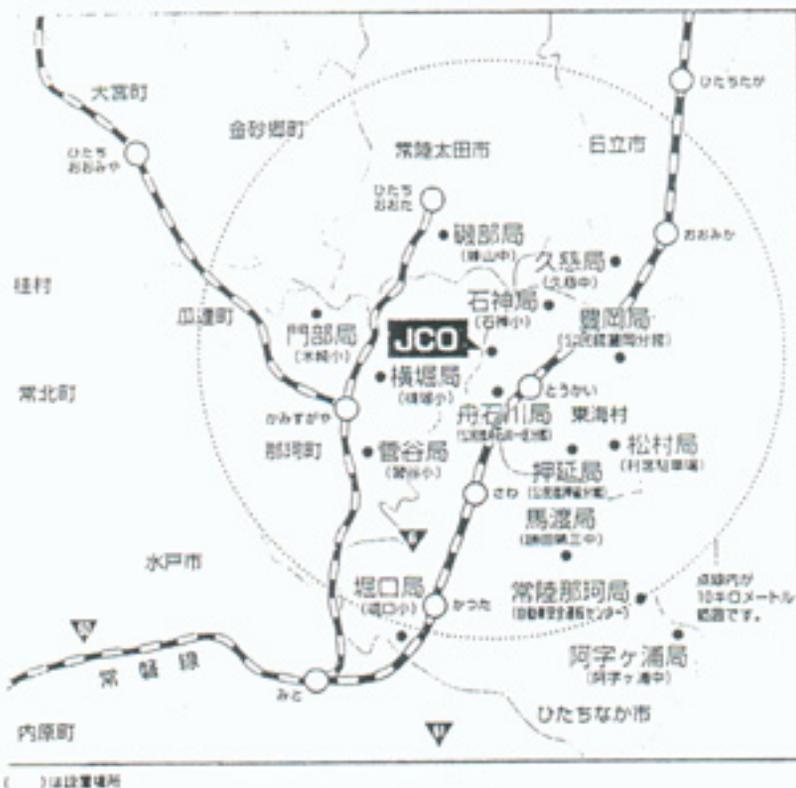
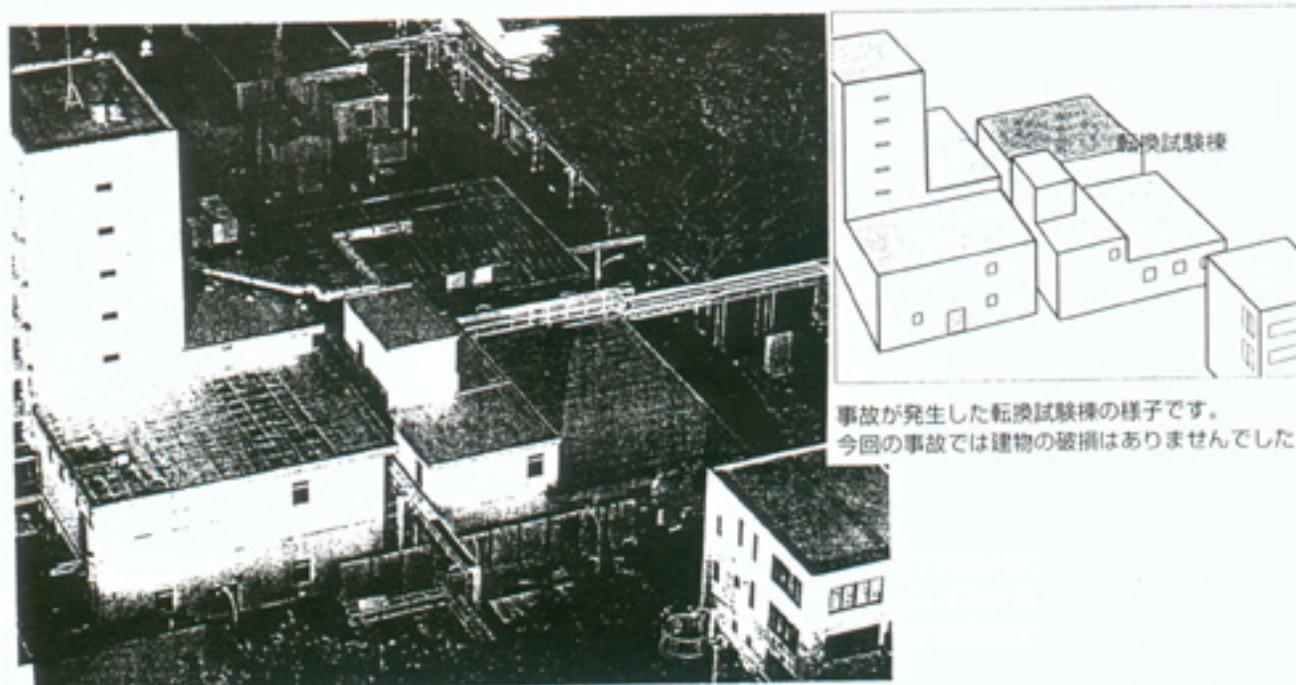


図2 JCOウラン加工施設の建物 『科学技術庁：ニュースレター第2報より』



事故が発生した転換試験棟の様子です。
今回の事故では建物の破損はありませんでした。

図3 JCO 東海事業所の位置 (事故調報告書より)

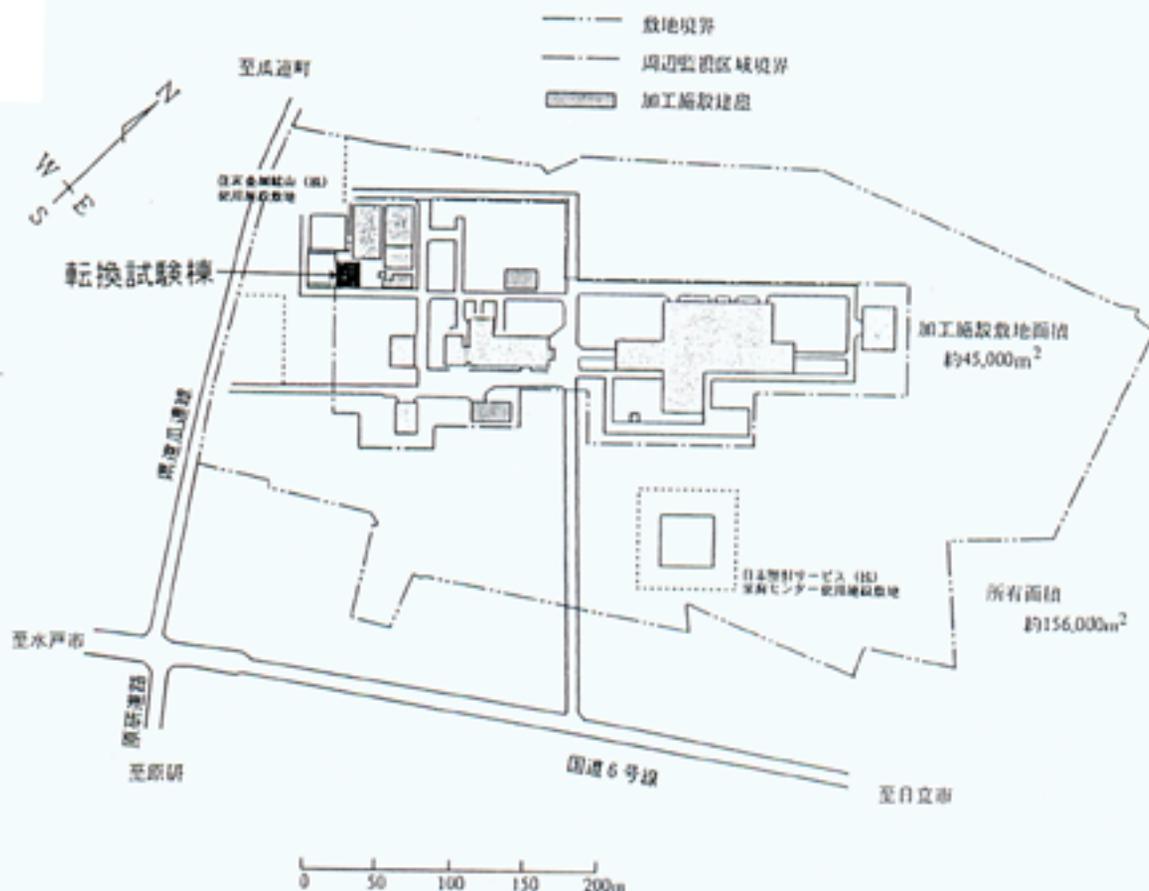
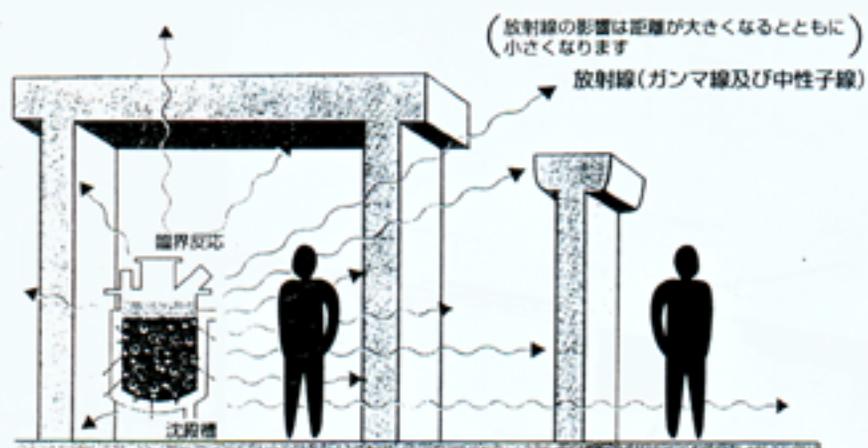


図4 JCOウラン加工施設の事故の概要

〔科学技術庁：ニュースレター第2報より〕



沈殿槽内で臨界反応が発生しました。
臨界反応によって発生した透過力の強いガンマ線と中性子線の一部が
建物の壁を透過し周辺環境に達しました。

図5 「常陽」用ウランの加工工程 (技術と人間, 1999,12, p. 35)

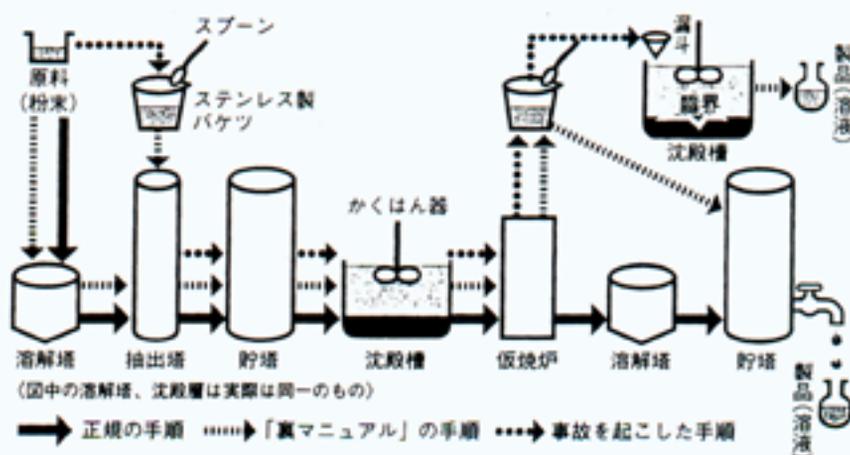


図6 転換試験棟の硝酸ウラニル溶液製造工程 (事故調報告書より)

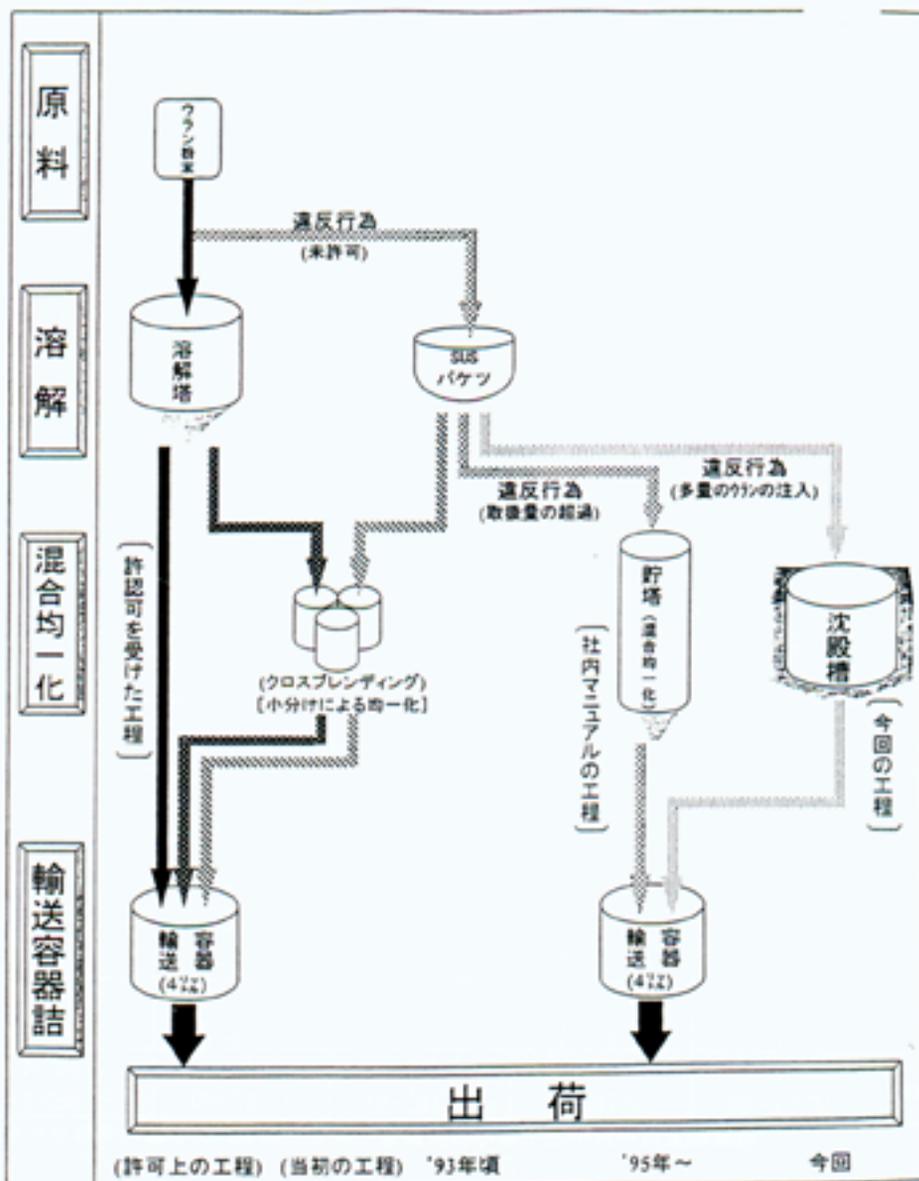
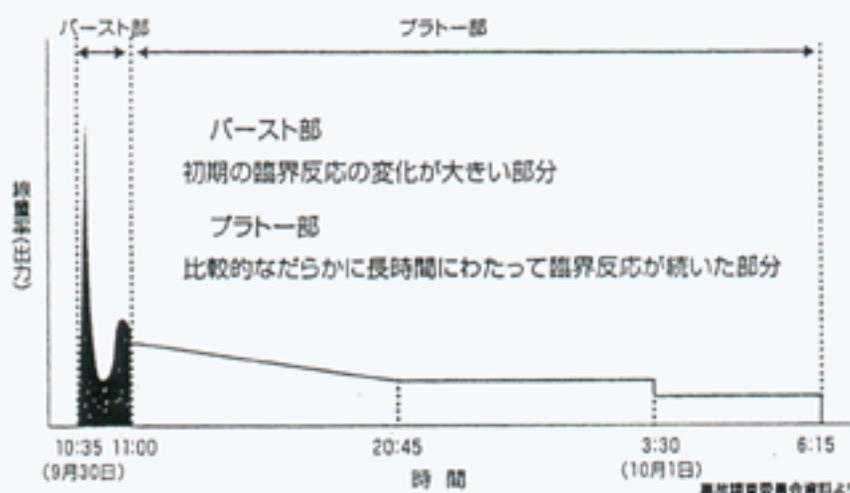


図7 沈殿槽内での線量率(出力)の時間変化

(事故調報告書より)



今回の臨界事故では、事故発生時(9月30日午前10時35分頃)から午前11時頃までの約25分間に、沈殿槽内で臨界反応の変化が大きい核分裂がおこったと推定され、高いエネルギーの中性子線やガンマ線が瞬時に放出されたものと考えられます。

また、その後臨界状態がほぼ収束した翌日の午前6時15分までの間に、なだらかに核分裂がおこったと推定され、臨界状態が長時間にわたって続いたとされています。

表1 評価された実効線量当量

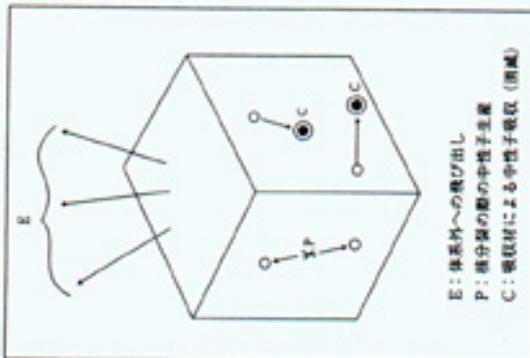
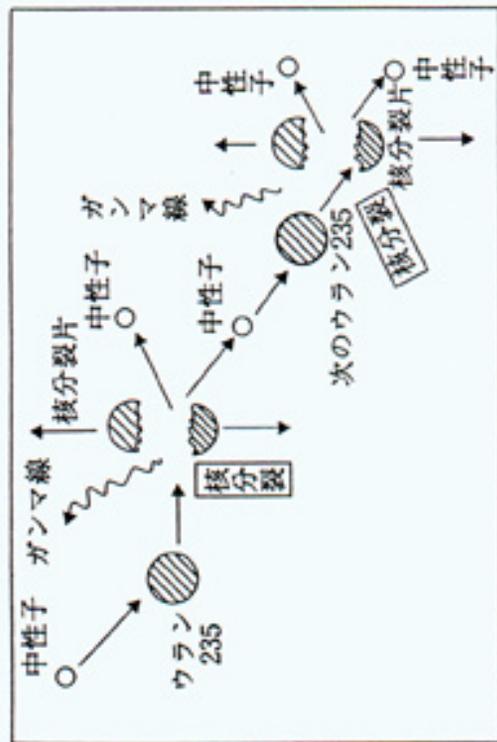
(事故調報告書より)

時刻 距離	積算線量 (mSv)				
	11:00	16:00	21:00	(10/1) 2:00	(10/1) 6:15
80m	11 (1.7)	44 (7.1)	66 (11)	83 (14)	92 (15)
100m	6.1 (1.0)	25 (4.2)	38 (6.2)	48 (7.9)	53 (8.8)
150m	2.1 (0.35)	8.6 (1.5)	13 (2.2)	16 (2.8)	18 (3.1)
200m	0.91 (0.16)	3.7 (0.65)	5.6 (0.97)	7.1 (1.2)	7.9 (1.4)
300m	0.24 (0.044)	1.0 (0.18)	1.5 (0.27)	1.9 (0.34)	2.1 (0.38)
350m	0.14 (0.026)	0.58 (0.11)	0.86 (0.16)	1.1 (0.20)	1.2 (0.22)
500m	0.033 (6.2E-3)	0.14 (2.6E-2)	0.20 (3.8E-2)	0.26 (4.9E-2)	0.29 (5.4E-2)
1000m	7.5E-4 (1.5E-4)	3.1E-3 (6.2E-4)	4.6E-3 (9.3E-4)	5.8E-3 (1.2E-3)	6.5E-3 (1.3E-3)
1500m	3.0E-5 (6.5E-6)	1.3E-4 (2.7E-5)	1.9E-4 (4.0E-5)	2.4E-4 (5.1E-5)	2.6E-4 (5.6E-5)

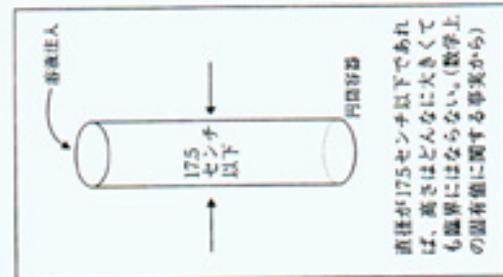
積算線量は中性子とγ線の合計線量であり、括弧内にγ線の寄与を示す。

図10 核分裂連鎖反応の概念

(じつきょう, 理科教育No.47, 仁科先生より)

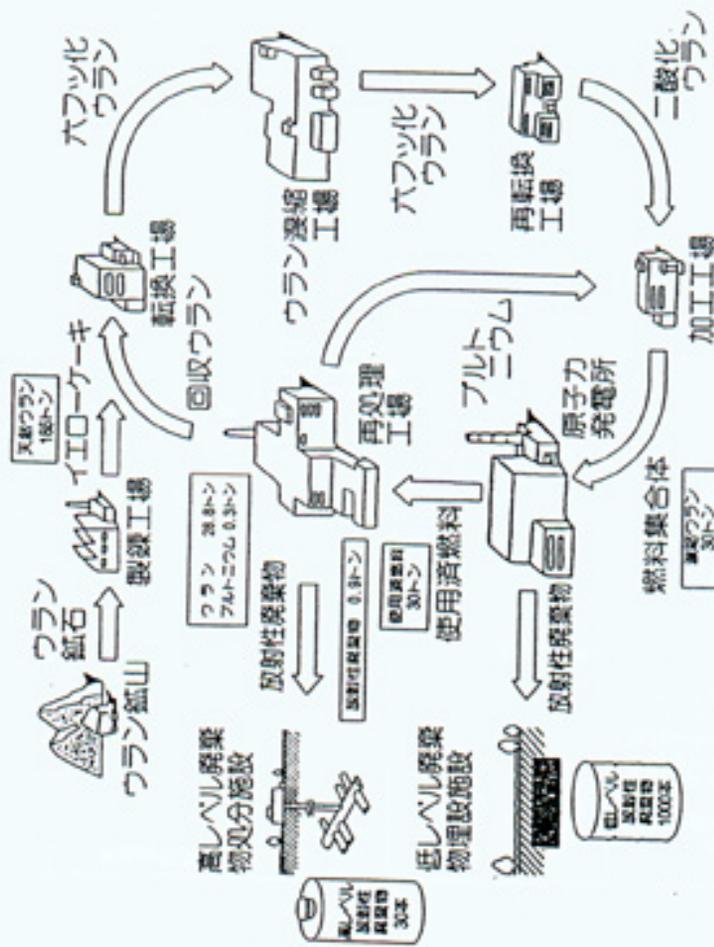


ウラン体系 (例: 溶液) 中の
中性子吸収概念



円筒容器の寸法制限で
未臨界を確保する例

図9 核燃料サイクルの流れ



(100万kWの原子力発電所を1年間運転した場合)

核燃料サイクル

表3 日本国民1人当たりの実効線量当量

(生活環境放射線, 原子力安全研究協会)

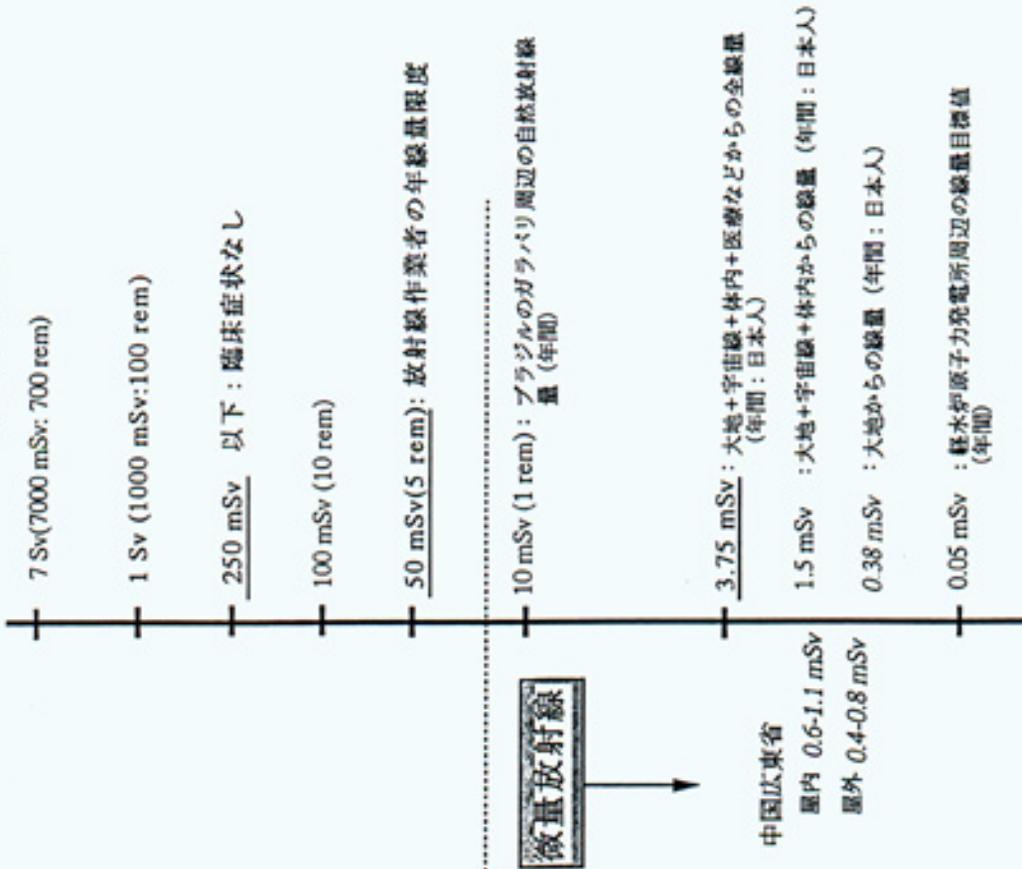
自然放射線源からの日本人1人当たり年間実効線量当量 (mSv/y)

線源	実効線量当量 (mSv/y)	内訳
宇宙線	0.29	電離成分 { 中性子成分
大地ガンマ線	0.38	
体内	0.81	C-14
		H-3
		K-40
		Rb-87
		U-238 → U-234
		Th-230
		U-238 系列 { Ra-226
		Rn-222 → Po-214
		Pb-210 → Po-210
		Th-232
		Th-232 系列 { Ra-223 → Ra-224
		Rn-220 → Tl-208
合計	1.48	

* 国連科学委員会1988年報告の値

** Rn-222からの推定値

レム(rem)≠ラド(rad)



2 主婦の立場から 臨界事故に対する主婦の意識調査

小池田 洋子 (主婦・金沢星の会会員)

この講座を開設するにあたって、主婦の立場からの意見を「放射線・放射能・原子力に対する意識（イメージ）調査」として電子メールでアンケートをお願いしました。

46名中26名の回答を得ましたので、その意見の主なものを集約しました。

「放射線」に対するイメージは東海村臨界事故前と比べてどうですか？ に対して「どちらかという悪くなった」、「悪くなった」が70パーセントを占めています。

東海村臨界事故についてどう思われますか？

- | | |
|--------------------------------------|--------|
| (1) 臨界事故が報道された当初から、非常に深刻な事故であると思っている | 69.2 % |
| (2) 当初は深刻な事故と思ったが、今は記憶からほとんど薄れかけている | 19.2 % |
| (3) 重大な事故と漠然と思うが、何が問題なのかよく理解できない | 11.6 % |

臨界事故について関心があるのは、次のどれでしょうか（3つ以内の複数回答等）に対して、

- | | |
|-----------------------------|----|
| (1) 住民環境への影響（被ばく線量の程度など） | 20 |
| (2) 事故原因 | 13 |
| (3) 原子力エネルギーの今後 | 12 |
| (4) 低線量を被ばくした周辺住民の健康影響 | 10 |
| (5) 大量被ばくした作業員の病状経過と治療 | 9 |
| (6) 事故による社会的影響（風評被害など経済的損失） | 3 |

臨界事故について疑問・質問がありましたら書いてください。この問いに対しての意見を集約すると、

- ・ 管理と事故原因に対する疑問
- ・ 作業員の仕事に対する認識と社員教育のあり方
- ・ JCOおよび原子力委員安全委員会への責任問題
- ・ 近隣住民への避難誘導が正しくされたか
- ・ 施設を建築する時、住民への説明があったか
- ・ 事故後、正確迅速に報道されたか
- ・ 事故後の国の対策（他の原子力施設の安全指導）について

放射線・放射能は科学の進展、医療を初めとする様々な産業に役立っています。主婦の立場として科学者に期待することがあれば書いてください。の問いに対して、

- ・ 科学の力を過信せず慎重にして欲しい
- ・ 特に医療面で期待している
- ・ 人間の地球環境を壊さないように、最善の注意を払って研究を進めて欲しい
- ・ 人類の平和を常に考慮できるモラルを忘れないで携わって欲しい
- ・ 医療面での研究開発とエネルギーをためる蓄電池の開発
- ・ がんの治療などにとても重要視され、医療面でさらに研究を進めて欲しい
- ・ 診療への利用も必要最小限で、メリットの部分を生かし、極力デメリットの部分を改善するような研究を期待します

アンケート回答年齢	30代	11.5 %	50代	38.5 %
	40代	15.4 %	60代	34.6 %

3 ジャーナリストの立場から 日本のモノづくりへの警告

井上正男（北國新聞社論説委員）

東海村で起きた臨界事故からは、次の点を学ぶべきであると思います。

第一。この事故は「まさか」ではなく「やはり起きた」事件であるという点です。

さまざまな組織でつくられた技術が複雑に組み合わさって一定の働きをする巨大システムの開発が日本でも独自に進められています。そこで起きた事故には、最初は人材も集まり組織内部の士気も高く順調に進行しますが、実用化直前になって事故を起こし致命的な欠陥が突然、露呈...破綻に至るといった共通のパターンがあります。原子力船「むつ」しかり、最近では高速増殖炉・原型炉「もんじゅ」しかり、宇宙開発事業団の純国産大型ロケットH2しかり、文部省のM5ロケットしかりです。巨大システムではありませんが、新幹線コンクリート崩落事故しかりです。

初期段階では、比較的単純な想定条件下の技術の組み合わせで開発ができ、事故は起きにくい。が、実用化段階になると、個々の技術の前提条件以外のことが起きます。これに対応するためには技術者はより専門化した高度の技術が求められます。それに伴ってシステム全体を見渡す仕組みが必要なのにそれがなく、破綻するというわけです。これを改めるにはどうすべきなのか、ここにメスを入れるべきです。臨界事故は日本のモノづくり全体に重大な警告を發した象徴的な事件であったと思います。

この警告にこたえるには、士気を高める明確な目標の設定、設定された目標を実現するための責任分担の明確な組織づくり、想定外を想定するなど前提そのものを疑い問題点を出し切る手法、大事には至らなかった「ささいな事故」の原因の徹底した追求とそのフィードバック、効率主義の是正、公共の安全確保に対して妥協を許さないという工学倫理の確立などの課題に取り組むことが必要です。これらは、欧米から輸入した後追い技術では、必ずしも必要がなかったものばかりです。一言で言えば、責任を明確にした士気の高い組織づくり、人づくりです。技術者は技術にうとい人からの助言を聞くことは役に立たず、時間の無駄であると思いがちです。しかし、直接には技術にタッチしない視野の広い人の助言や疑問は技術者の盲点を突き、役に立つことも多いと思います。

これらの課題の重要性は、コンクリート崩落事故でも鮮明になっています。技術の前提を超えた作業工程の効率化、外注による技術の組織内蓄積の欠如、工学倫理の欠如などが原因でした。情報公開さえすれば、事故があたかも起きないかのような言い方をする人がいますが、それは錯覚であり、誤りです。これらの課題があることを覆い隠し、かえって危険ですらあります。

第二。一般の人と技術者の間をつなぐジャーナリストは明確な分析視点を設定して、事後あるいは事前に巨大システムのどこに問題があるのか、検証することを怠ってはならないという点です。

そのたたき台として、昨年十二月に原子力安全委員会がまとめた事故調査報告書の中の提案は貴重であると思っています。行政組織間やそれらと事業所間の責任の明確化を提案しています。提案を適宜点検することを通じて予見性のあるジャーナリズムを確立することが大事です。事故が起きた時にだけセンセーショナルに報道するだけでは事故の未然防止にはつながらないと思います。

パネルディスカッション 2

医療における放射能・放射線の役割

《司会の言葉》

利 波 紀 久（金沢大学医学部教授）

X線や放射性物質が発見されてから100年が経ちました。20世紀は放射線、放射性物質によって科学と医学が大きく進展しました。放射線は目に見えず、体で感じるできないことから怖いと感じるようですが、我々の日常生活を支える大切な手段であることを認識することによって身近な存在として感じられるようになります。診療に用いる注射針と注射筒、手術に用いる手袋、メス、縫合糸などの医療用具などは放射線照射によって滅菌、消毒が行われており、輸血のための血液は放射線照射され副作用がないように処理されて用いられております。体にX線をあて、体を透過したX線をフィルムに撮影して体の中の状態を調べる方法としては健康診断の胸部写真はほとんどの人が受けています。X線CTやアイソトープ検査（核医学検査）を受けた経験の人もあるでしょう。人体を放射線で診る方法を最新の進歩を含めて解説していただく予定です。がんを放射線で治療することは良く知られておりますが、手術の補助的治療と考えている人が多いようです。しかし、放射線治療の進展によりこの考えは完全に崩れつつあり、放射線治療の方が適切である患者さんが増加しております。最新の放射線治療の紹介と現在どのようながんが切らずに治せるかを明らかにしていただく予定です。また、今回は触れませんが放射性医薬品（放射線を放出するくすり）を投与してがん病巣に集め治療する核医学治療も行われております。医学研究に放射性物質や放射線はなくてはならないものです。金沢大学ではこれらの研究はアイソトープ総合センターと遺伝子実験施設で行われており、病気の解明や新しい治療、新薬の開発研究に重要な役割を果たしております。今回は21世紀の夢の治療と期待されている遺伝子治療についての最新の研究と放射線とのかかわりについて解説していただきます。このパネルディスカッションを通して、放射能、放射線が医療のために役立っていることを理解していただき、親しみを感じていただければ幸いです。

1 人体を放射線で診る

高山輝彦（金沢大学医学部教授）

放射線医学は、レントゲン博士が1895年にX線を発見してから始まりました。3年後にはキュリー夫妻が放射能物質のラジウムを発見しています。

わが国における死因別の死亡率は、昭和55年以後、癌が脳血管疾患を抜いて第1位にあります。第2位は脳血管疾患と心疾患がほぼ同数でなっています（平成8年度）。癌による部位別の死亡率は、胃癌、食道癌（男女共）、および子宮癌が減少し、白血病（男女共）は横ばい状態ですが、肺、大腸、乳房、膵、胆道などの癌はいずれも増加を続けています。このような癌死の増加のため、早期発見や治療後の経過観察の必要性から画像診断の重要性が益々増加しています。放射線科で扱う画像には超音波や磁気共鳴画像(MRI)なども含まれますが、これらの検査は放射線を使用していません。

診断にはX線とガンマ線が主に用いられます。X線検査では発生装置に電流を流し、その間（1秒以下）だけX線を発生させます。ガンマ線の場合には、放射性医薬品（ラジオアイソトープ）を購入して使用します。ガンマ線を扱う分野は「核医学」と呼ばれ、得られた画像は「シンチグラフィ」と呼ばれます。

X線検査は部位に応じて方法や条件を変えて撮影します。簡単なものは胸部や腹部などの単純撮影で、特に骨の撮影に適しています。特定の部位を撮影するには造影剤の使用が必要です。胃や腸の撮影（消化管造影）時にはバリウムを併用しますし、その他にも気管支造影、胆道膵管造影、腎盂造影、血管造影などが造影剤を用いて撮影されます。

近年コンピュータが発達し、撮影から写真にするまでの間にこれを利用する方法が行われるようになりました。代表的なものにX線CT検査（コンピュータ断層撮影法）があります。他にもDSA、CRなどがあります。X線CTは1972年にハンスフィールド（英）によって発表された画期的な撮影法で、この装置の出現により画像診断法が飛躍的に進歩しました。主に人体を輪切りにした横断像が得られます。CT誕生時の撮影時間は1枚約5分でしたが、最近は1秒以下に短縮されました。しかもごく小さな病変まで鮮明に描出することができるようになりました。コンピュータ能力の進歩のみならず、「スリッピング」という特許の技術が開発されたことによるもので、らせん軌道をとることから「ヘリカルCT」と呼ばれています。心臓は動いているため、これまではその血管（冠動脈）を鮮明に撮影することはできませんでしたが、それも夢ではなくなりました。現在の肺癌検診はフィルムの小さな間接X線写真を用いて行われていますが、ヘリカルCTを用いる試みが千葉県などでなされています。また三次元の画像が短時間に造れるようになり、人体を立体視することができるようになりました。人体の各部をあるがままの形で立体的に把握できることから、外科系医師の術前学習に利用されています。

ここでは症例を提示しながら、X線検査を中心に述べます。

2 がんを切らずに治す

菊池雄三（金沢大学医学部教授）

放射線治療は局所療法の一つであり、“がん治療”の中で手術に次いで古い歴史を持っている。この治療法は大きく外から放射線をあてる“外部照射”と放射性同位元素をがんに埋め込んだり、挿入して内部からあてる“密封小線源治療”からなる。これらは各々単独で、また両者を組み合わせて用いられる。1960年代“より透過力の高い放射線”への追求がなされコバルト-60遠隔治療装置やベータートロン、リニアックのような高エネルギー治療機器の開発に伴って手術の適応とはならないような深部に存在するがんの治療も可能としてきた。一方密封小線源治療もラジウムやセシウムの低線量率線源から大線量のコバルトを用いた高線量率密封小線源治療へと移行し、医療被曝もなく短時間での治療が可能となった。その結果、根治的治療の適応として、1) 頭頸部腫瘍（舌、喉頭などの早期がん、上咽頭癌の全臨床病期など）、2) 子宮頸癌、3) 悪性リンパ腫（ホジキン病、非ホジキンリンパ腫：多くは化学療法と併用として）、4) 脳腫瘍（松果体腫瘍）、5) 皮膚癌、6) 前立腺癌などで、切らずに治すことができるようになった。

これらは、比較的小さい、比較的感受性が良い（悪性リンパ腫、胚細胞腫瘍、多くは扁平上皮癌）、がんの周囲に重要臓器が存在しない、密封小線源治療が行えることなどの条件を伴っている。一方切らずには治り難いがんが現実にはまだまだ多く存在し、その特徴として比較的大きい、比較的感受性に乏しい（腺癌など）、がんの周囲に重要臓器のある、密封小線源治療が行えないことなどの条件を有している。このような難治癌に立ち向かう戦略として、これまでも手術、化学療法（増感物質）、温熱療法の併用ほか、放射能・放射線の新しい治療機器の開発、治療技術の改善が試みられてきた。具体的には正常組織に障害を与えずに高い治療線量を与えることであり、もう一つの戦略として高LET放射線など生物学的効果の大きい放射線を用いることである。正常組織を避けてがんのみに高線量を照射する技術は、コンピュータ支援技術の発展とCT、MRなど画像診断技術の開発と相まって、がんの形に沿って可能な限り正常組織を避けて照射する三次元照射法（原体照射法）へと発展してきた。また同時に、これまで手術や全脳照射に依存していた転移性脳腫瘍、動静脈奇形、聴神経腫瘍などの脳小病変を色々な方向から集中して照射する定位的放射線治療の普及も目覚ましいものがある。

このように放射線治療はこれまでの放射線を用いて“より強い治療法から、より精度の高い治療法”へと名実ともにメスの役割を果たしている。密封小線源治療は細く、柔らかいイリジウムが導入されたことにより、食道、気管支、胆管、前立腺など、これまで対象とはならなかった領域での適応拡大が図られ、密封小線源治療のネオ・ルネッサンスと称される時代を迎えている。一方生物学的効果の高い放射線の利用として放医研の重粒子線治療が第Ⅰ相試験を継続中で、これまで難治と考えられていた腫瘍での有用性が示されるなど放射線治療は確実にrevolution（変革）とevolution（発展）の途を辿っており、近い将来“がんは切らずに治る”時代を迎えることもあながち夢ではない。

3 遺伝子治療

山口 和 男（金沢大学遺伝子実験施設教授）

このところ“ヒトの全遺伝子解読”といったニュースがマスコミで取り上げられていたことに気がついた人も多いのではないかと思います。少なくとも遺伝子の物質としての本体であるDNAという言葉はすっかり一般社会の中で定着したと考えられます。ヒトを含めて全ての生物が生存していくために必要な様々な働き(機能)のほとんどを決定づけているものが遺伝子です。これまで有効な治療法が見いだせなかった病気に対して、この遺伝子そのものに変更を加えたり、新たな遺伝子を付け加えたりすることにより、治療を行おうというのが遺伝子治療です。

遺伝子治療は1990年に米国で最初に行われ、以後、多くの国で様々な病気に対して試みられてきました。遺伝子治療の対象となる病気で、まず挙げられるのが遺伝病(先天性、家族性疾患)です。これは文字通り親から受け継いだ遺伝子に障害(突然変異)があるために起きる病気で、正常な遺伝子を送り込むことにより治療しようというものです。ここで強調しておきたいことは、10万とも言われるヒトの遺伝子が全て正常な人はまずいない、ということです。私達は皆んないくつもの変異遺伝子を持っています。ただ、その遺伝子の変異が生活をしていく上で重大な障害を与えれば遺伝病と呼ばれ、そうでなければ見過ごされているか、体質などと呼ばれることが多いのです。遺伝子の変異というのは決して他人事ではないのです。

次に遺伝子治療の対象となる病気は、子孫に伝わることはないが、私達の体の一部で遺伝子に変異が蓄積した結果起こる病気で、がんなどが挙げられます。これには、元の正常な遺伝子や、がん細胞の増殖を抑えるような新たな遺伝子を送り込むことが行なわれています。

以上の例は遺伝子に変異が起きたことが病気の原因になっているものですが、それ以外の原因による病気に対しても遺伝子治療が拡がりつつあります。最近の例では、肝硬変の患者さんに肝細胞増殖因子の遺伝子を送り込み、肝臓の細胞を活発に増殖させよう、といったものがあげられます。

このような遺伝子治療についての現状を、放射線との関わりも交えながら分かりやすく解説したいと思います。

見学コーナー（13:00 - 18:00）

今回の公開講座では、「臨界事故」と「放射能・放射線の医学利用」の2つのテーマで行なわれるパネルディスカッションを通して、一般の方々（小学生から大人まで）と専門家が放射能・放射線について一緒に考えてみることにしています。パネルディスカッションの中で話されることを少しでも深く理解していただくために、パネル展示のコーナーやいくつかの測定器を利用した実演・体験のコーナーを設けます。説明を聞きながらゆっくりご覧いただき、体験や質問もしていただきたいと思います。

（中西 孝）

パネル展示のコーナー

パネルディスカッションの場では十分に説明する時間がないので、図表などを展示してパネラーおよび共同研究者が詳しく補足説明し、皆様のご質問にもお答えします。

臨界事故学術調査の結果

臨界事故の学術調査（昨年10月に始まり、現在も続いています）では、金沢大学の研究者が中心的な役割を果たしました。その調査の様子の写真や測定結果、何が分かったかを整理して示します。一般の報道等（新聞、雑誌、テレビ）からは得ることのできない貴重な資料や情報があります。また、調査の生々しい話も聞くことができます。

解説者

小村 和久（金沢大・理）
山本 政儀（金沢大・理）
井上 睦夫（金沢大・理）
室山 俊浩（金沢大・理）
小藤 久毅（金沢大・理）
村田 祥全（金沢大・理）
中西 孝（金沢大・理）
細谷 梨沙（金沢大・理）

医療における放射能・放射線の役割

パネルディスカッションに出てくる図表などをゆっくり見ながら詳しい解説を聞いてください。

解説者

高山 輝彦（金沢大・医）

菊池 雄三（金沢大・医）

山口 和男（金沢大・遺伝子施設）

実演と体験のコーナー

いろいろな測定器を使って、人間の五感では感知できない放射線を検出するとともに身の回りの放射線量を測定してみましょう。放射線検出器の原理も簡単に説明します。また、我々が日常受けている環境放射線の線量を尺度の目盛にして、臨界事故で放射線障害を受けて亡くなられた方が浴びた放射線の量、飛行機で飛ぶときに浴びる放射線（宇宙線）の量、X線診断で浴びる放射線の量などについて考えてみましょう。

霧箱（きりばこ）で放射線を観る

放電箱（ほうでんばこ）で放射線を観る

いろいろな携帯型放射線測定器で放射線（アルファ線、ベータ線、ガンマ線、中性子）の検出と測定をする

放射線源からの距離や放射線遮蔽材によって放射線の量はどれくらい減るだろうか

（ここで用いる放射線源はウラン鉱物ですが、キュリー夫妻がラジウムを発見したものと産地が同じで、旧制第四高等学校から金沢大学に引き継がれてきた貴重な標本です。）

解説者

中西 孝（金沢大・理）

森 厚文（金沢大・アイ総セ）

柴 和弘（金沢大・アイ総セ）

天野 良平（金沢大・医）

長村雄一郎（金沢大・アイ理工）

小村 和久（金沢大・理）

山本 政儀（金沢大・理）

M E M O



金沢大学放射性同位元素委員会
放射能・放射線に関する広報小委員会

利波	紀久	(金沢大学医学部教授)	(委員長)
天野	良平	(金沢大学医学部教授)	
稲部	勝幸	(金沢大学工学部教授)	
小泉	晶一	(金沢大学医学部教授)	
小村	和久	(金沢大学理学部教授)	
中西	孝	(金沢大学理学部教授)	
中西	義信	(金沢大学薬学部教授)	
森	厚文	(金沢大学アイソトープ総合センター教授)	
