

放射線教育フォーラム ニュースレター

No.16 2000.3

“JCO 臨界事故の教訓”

放射線教育フォーラム顧問 斎藤信房



最近数年間の原子力関連の事故としては、もんじゅのナトリウム漏れの事故、旧動燃の火災事故、JCO の臨界事故などが重要なものであるが、これらのうち、核反応を伴う重大なものは JCO 事故のみであった。この事故の詳細は既に報道されているが、その内容を知るにつれて、あきれてしまったのは小生だけでないであろう。この事故の根源は、科学技術以前の問題で、関係技術者のモラルの低下と言ってよいと思う。まことに国際的にも恥晒しの事故であり、痛恨の極みである。

ここではモラルのことについて論ずるつもりはなく、JCO 事故から何を学ぶかを科学技術の面から少し考えて見たい。

第一に、原子力関連の事故は、ウラン鉱の採掘から、核燃料の製造加工、原子炉の運転、再処理、廃棄物の処理処分に至るまでのあらゆる段階で起こる可能性があることは申すまでもない。しかし、現実には、原子炉の事故として TMI やチェルノブイルの重大事故があったために、日本の原子力安全体制は、原子炉の事故に重点が置かれすぎた感がある。JCO の事故は、正にこの盲点をついたものと言ってよい。また、もう一つの問題は、技術者が原子炉外の場における核分裂や中性子線の放出については、極めて不勉強であった点である。

今回の事故は、放射線教育の重要性を教えてくれたもので、この点、「放射線教育フォーラム」の一層の活動が待望される。原子力関連の事故を皆無にすることは至難の業であるが、最小限に止めることは努力により可能である。そのためには、原子力工学者のみでなく、物理学、化学、生物学、医学さらに地学を専門とする科学者、技術者の総力をあげた協力が不可欠である。

第二に、環境における放射線や放射性物質の挙動についての調査研究が重要であることは、長崎、広島原爆やビキニ事件、さらに多年にわたる大気中核爆発に関連する環境放射能調査で明らかである。放射能が一般の人々に密接に関わる点から見て、この問題は極めて大切である。環境における放射線について、人々はアルファ線、ベータ線、ガンマ線の挙動についてかなり知っているが、中性子線については無知である。JCO の事故では、中性子線が事故施設の周辺に放出され、ナトリウムや金などの放射化が起ったことが確かめられている。ビキニ事件などでは、放射化学の研究者の活躍が目立ったが、今回も放射化学者や核物理学者が東海村の環境放射能の調査に大きな貢献をした点は注目に値する。

第三に、一般の人々に、環境における放射線のバックグラウンドについての理解をもっと持ってほしいことである。日本の場合は、過去における長崎、広島、ビキニなどの痛ましい経験から、一般の人々の核アレルギーは重症と言ってよい。従ってバックグラウンドについての放射線教育を充実して、一般の人々が必要以上の放射能恐怖症に陥らぬよう努力することが肝要である。この点でも「放射線教育フォーラム」に対する期待は大きい。

「JCO 臨界事故を理解する為に」
を特集するにあたって

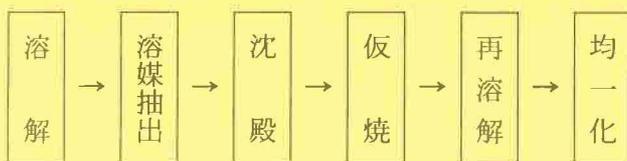
1999年9月30日午前10時30分ごろ、茨城県東海村にあるジェー・シー・オー（JCO）核燃料加工施設でわが国初めての臨界事故が起こり、多くの方が放射線被ばくを受けました。事故発生時に作業していた3名のうち1名は大量の放射線被ばくにより死亡するという惨事になりました。一方JCO従業員、防災関係者、周辺住民に対する健康影響は日常生活における健康状態に影響を及ぼす程度のものではないと考えられますが、放射線、放射性物質を施設外部

JCO 臨界事故の概要

1. 事故の発生

事故は、JCO ウラン加工施設において「常陽」燃料（濃縮度 18.8%）用の硝酸ウラニル溶液を製造する過程で起こった。この過程では粗八酸化ウラン（ U_3O_8 ）を溶解・精製して純度を高める工程を経た後、再溶して製品の硝酸ウラニル溶液とするものである。第1図に示すように6工程にしたがって行われるが、最後の均一化工程において臨界管理を無視して作業を行った為に、今回の臨界事故を起こしたのである。

すなわち本来の手順では再溶解工程において、溶解塔で U_3O_8 を溶解し、容量の小さい貯塔で均一化した後、製品であるウラン溶液とすることにしていた。しかし溶解塔の代わりにステンレス容器でウラン溶液を溶解したうえ、一度に均一しようとして、貯塔を使わないで容量の大きい沈殿槽に規定の2.4kgを超える16kgのウラン溶液をつぎ込んだ為に、臨界に至ったのである。



第1図「常陽」燃料用硝酸ウラニル溶液の製造工程

2. 事故の原因

核分裂性物質のウランでも、ある一定量以上のウランの量が集まらなると臨界とならない。ウラン加工施設では①質量制限による方法（濃縮度に応じて1バッチのウランの最高取扱量を制限する方法）または②形状制限による方法（容器の形状寸法を規制して容器に入るウラン量を制限する方法）のいずれかまたは両者の方法によって、臨界にならないよう

に放出した事故の為に、また放射線の健康影響に関する知識の不足から社会的な反響を起こしています。

事故による放射線被ばくの量とその健康影響については「事故の概要」および「放射線被ばくと健康影響」にまとめました。用語解説ならびにQ&Aについては理科の先生が学校場で話し合っていたときの参考になりそうな内容について編集委員会でもまとめてみました。

なお今回の記事についてのご意見、ご質問も歓迎します。これについても次回のニュースレターでお答えします。

ニュースレター編集委員会

に管理されていた。

JCOでは溶解塔、抽出塔、逆抽出塔、貯塔、仮焼炉には形状制限を採用しているが、沈殿槽は形状制限による方法ではなく質量制限による方法、すなわちウランの最高取扱量を制限することによって臨界管理をすることにしている。

それにもかかわらず均一化工程では、作業手順書に記述されていない沈殿槽を使用し、沈殿槽に規定された量以上のウラン溶液をつぎ込んだことによって事故が発生したのである。

その背景には、①作業員の臨界に関する認識不足、②企業における現場の日常管理、規律、統制のルーズさ、不適切な教育訓練等が考えられる。

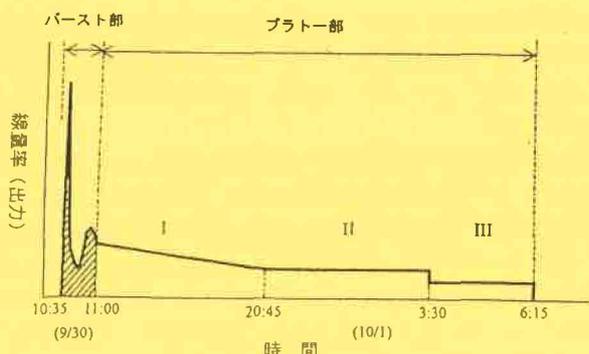
3. 事故の状況

9月30日午前10時35分頃、沈殿槽内の硝酸ウラニル溶液が臨界に達し、警報装置が吹鳴した。第2図に線量率の時間的変化をパターン化したものを示す。臨界は最初に瞬間的に大量の核分裂が起こり、その後、臨界停止の為に操作が功を奏するまで約20時間にわたって、緩やかな核分裂状態が続いたことを示している。

臨界状態を停止させる為に、10月1日午前3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を抜き取り始めた。それにともない出力が低下し始め、また午前6時15分頃冷却水を全部抜き取ることに成功し、臨界状態は停止した。

その後、臨界停止を確実にする為、中性子の吸収剤であるホウ酸水溶液を注入し、午前8時50分には臨界の終息が確認された。

さて、この臨界事故において生じた核分裂数の総数は約 2.5×10^{18} 個であったと推定される。また午前11時までの事故後25分間のバースト部で生じた核分裂数は、核分裂数の総数の約1/10の $2 \sim 4 \times 10^{17}$ 個であったと推定されている。



第2図 線量率のパターン

(注) 第1加工施設棟粉末貯蔵室ガンマ線エリアモニタの指示値を基に、線量率の時間変化をパターン化したもの、縦軸と横軸のスケールの表示は正確でない。

4. 事故による放射線被ばく

(a) 周辺住民等

臨界継続時の沈殿槽から周辺環境に達する中性子線およびガンマ線による線量評価の為に敷地内外の中性子線およびガンマ線のモニタリングの実測値から直接評価し、周辺環境における時間、場所ごとの線量を示した基礎資料がまとめられている(第1表)。

この値は、仮にある人が表に示された距離に事故発生時から示された時刻まで屋外に滞在していた場合の積算線量を示したものである。従って、建物などの遮蔽効果などを考慮すればこの値よりかなり低くなる。実際には、転換試験棟の近傍に事故発生後数時間にわたり滞在した人7名についての被ばく線量は6.4~15mSv(暫定値)と評価されている。

また、周辺環境に放出された放射性物質からの被ばく線量は、最も大きな線量となる地点の実効線量が0.1mSv程度と評価されている。

(実行線量当量 単位: ミリシーベルト)

時刻 距離(m)	9/30			10/1	
	11:00	16:00	21:00	2:00	6:15
80	11	44	66	83	92
100	6.1	25	38	48	53
150	2.1	8.6	13	16	18
200	0.91	3.7	5.6	7.1	7.9
300	0.24	1.0	1.5	1.9	2.1
350	0.14	0.58	0.86	1.1	1.2
500	0.033	0.14	0.20	0.26	0.29
1000	0.00075	0.0031	0.0046	0.0058	0.0065
1500	0.000030	0.00013	0.00019	0.00024	0.00026

第1表 周辺環境の線量評価の基礎資料

(注) 周辺住民等が受けた放射線量を評価する為の基礎とすべき線量を時間と距離の関数として求めたもので、実際の周辺住民等の受けた線量はそれぞれの地点とJCO施設との間の建造物や住民等がいた家屋による遮へいを考慮して評価される。

(b) JCO 従業員等

敷地内にいた者の被ばく線量は、線量計のデータや計算等から被ばく線量を求めた。

事故発生時に作業に従事していた3名はそれぞれ16~20Gy、6~10Gy、1~4.5Gy相当の線量を受けたと推定される。全身に7~10Gyの被ばくをすれば100%の人が死亡するといわれているが、最高の被ばくを受けた1人は万全の治療対策にもかかわらず12月21日に死亡している。

一方、56名のJCO従業員で被ばくが確認されたが、この人たちは作業現場より離れていたため、被ばく線量は0.1~64mSv(暫定値)と評価されている。

(c) 防災関係者

JCOの社員3名の救急活動にあたった東海村消防署員3名は6.2~13mSv(暫定値)の被ばくが確認されている。その他の防災関係者57名の被ばく線量は最大で9.2mSvであった。

(d) 住民等への健康対策

100mSv程度以下の被ばくでは急性の健康影響や将来にわたってガン発生の増加などの健康影響が現れることはないと考えられるが、住民の不安に対処する為に原子力安全委員会は「健康管理検討委員会」を設置して検討している。

6. 放射性物質の放出の影響

今回の臨界事故では、臨界継続時間が1日程度と短いので、生成される核分裂生成物に半減期の長いものはほとんど含まれていない。従って環境試料検査で検出されたものは半減期の短いもののみであった。

事故後核分裂生成物が環境に放出されたが、ガス状のもののみで粒子状のものは放出されていない。ガス状物質(希ガス、ヨウ素)は放射線モニタリングの固定観測局の複数の地点において空間線量率の上昇によって観察された。しかし最大でも数 μ Gy/hであり、且つ短時間であったことから住民の健康および環境に影響を及ぼすものではなかった。

また、環境試料(大気塵埃、土壌、野菜等)が分析されたが、一部試料から、臨界により生成されたI-131、I-133、I-135およびヨウ素および希ガスの崩壊生成物(Sr-91、Cs-138、Ba-140、La-140)ならびに中性子により放射化されたNa-24、Mn-56が検出された。しかしこの量は十分に少なく、かついずれも短半減期のものであってこれらの葉菜等を食べても健康に影響はなく、かつ環境に影響するものでもない。そして上記の核種はいずれも現在では検出されていない。

放射線被曝と健康影響

今回の JCO の事故を元に、人が放射線を浴びるとどのような影響がでるかを考えてみましょう。

今回の事故で放射線をあびた方々は次の3つの群にわけられます。

- ① 転換試験棟内での被曝者 (3名)
- ② JCO 敷地内、又は、外部での被曝した作業者
- ③ 350m 以内に居住していた一般住民

いずれの方々についても、臨床症状、末梢血中のリンパ球実測値、血液中の ^{24}Na 量、ホールボーディカウンターによる ^{24}Na の測定、また、リンパ球の染色体検査などから、①については 2.5~17Sv、②については 1~64mSv の被曝量であり、③については、量が少ない為に現在引き続いて調査中です。

①群の被曝：

①群の O 氏と S 氏の吐瀉物に β 線放射性物質と γ 線放射性物質とが含まれており、 α 線放射性物質は含まれていませんでした。体内に ^{24}Na を検出した事から、O 氏と S 氏は中性子線と γ 線との混合を被曝した事、作業時の姿勢から、必ずしも全身に均一に被曝した訳でない事が推定されました。そこで、O 氏も S 氏も体外被曝と体内被曝との双方を受けている事になります。

O 氏、S 氏、Y 氏はそれぞれ、17Sv、10Sv、2.5Sv 被曝していると推定されました。人は自然から一年間で約 2.4mSv の放射線をあびているとされています。この値からすると、この3人が浴びた放射線の量がいかに大きかったかがわかります。

3人とも急性影響がまず現れました。O 氏には、造血管障害、消化管障害、中枢神経障害、皮膚障害などが、S 氏、Y 氏にも造血管障害が現れました。

これらの急性影響は放射線の感受性の高い組織、生殖腺や骨髄やリンパ組織や脾臓や胸腺などに現れてきます。例えば、数 Gy の放射線を急に骨髄に照射すると、骨髄の分裂は 30 分以内に停止し、細胞は変性します。照射が終わってからも、完全に回復するまでに 3~4 週間かかります。これまでの急性影響に関しては、6Gy 以上浴びた場合は、10~20% 程度しか救命に成功していません。医学の進歩により、S 氏の場合は、厳重な無菌管理の元で、骨髄移植やサイトカインの投与が行われ、救命が成功しています。しかし、S 氏も Y 氏も、ともに、晩発影響が現れる事に充分注意しなければなりません。晩発影響では、癌の発生、寿命の短縮、白内障の発生などが考えられます。この内、白内障の発生は確定的影響で、被曝量が 250mSv を超えないと症状がでません。

②群の人々の被曝：

これまでの調査では、線量は下記の程度と考えられています；

敷地内 JCO 職員：2.0~64mSv

臨界終息作業に従事した職員：9.1~44mSv

敷地境界附近にいた非 JCO 職員：6.4~15mSv

東海村消防署員：6.2~13mSv

敷地外 JCO 職員：0.6~7.8mSv

よって、②群の方々には上記の白内障の発生は考えずとも良いと言えます。

癌の発生は確率的影響です。これには閾値がありませんが、リスク係数でその危険率を表す事ができます。例えば、白血病のリスク係数は $2 \times 10^{-3}/\text{Sv}$ です。骨髄全てに 10mSv 被曝した人が今、10 万人いたとすると、その内の 5 人が白血病にかかるかもしれないと計算できます。リスク係数は癌の種類によって異なります。また、癌に

なる時期も異なってきます。①群に所属する S 氏や Y 氏の場合は②群の方々よりも被曝量が高いので、これらの晩発障害を当然予測しなければならず、4~7 年後の白血病、10~20 年後の肺癌、胃癌の心配が必要です。

以上の影響は放射線を浴びた人に現れる身体的影響ですが、これに対して、放射線を浴びた人自身でなく、放射線を浴びた人の子孫に現れる影響を遺伝的影響と言います。生殖腺は放射線の感受性が高い組織の一つですが、生殖腺が放射線を浴びると、遺伝的影響と受胎能力が低下します。例えば、精巣に 2.5Gy 照射すると一時的不妊をおこし、10Gy 以上浴びると永久に不妊します。又、卵巣に 6Gy 以上浴びると永久に不妊を起こします。妊娠中の女性がお腹に 100mSv 以上の放射線を浴びて、胎児に影響（流産や奇形）が出る事がありますが、これは子孫への遺伝的影響でなく、胎児への放射線の影響と考えます。

放射線は自然からも常に浴びているように、少量であれば特に問題はありません。放射線を浴びても、細胞は修復機構が働いて、正常な状態に戻そうとするからです。こうした、細胞や組織のレベルで放射線の影響を調べる学問を放射線生物学と言いますが、それを勉強するには；

- * 新・放射線の人体への影響、日本保健物理学会、日本アイソトープ協会編、日本アイソトープ協会
- * バイオシメトリ：人体の放射線被曝線量推定法、日本アイソトープ協会編集、日本アイソトープ協会
- * 放射線科医の為の放射線生物学 Eric J. Hall 著；浦野宗保訳、篠原出版
- * 放射線生物学、増田康治、佐々木弘著、南山堂
- * 放射線生物学：物理的基礎理論から医療・防護まで J・キーファー著；大山ハルミ [ほか] 訳、シュプリンガー・フェアラーク東京

今回の事故のように、放射線被曝を国際的に取り締まる機関があります。ここからの勧告を ICRP 勧告と呼び、一般の人だけでなく、放射線業務に携わる人、放射線を用いて診断、治療を受ける患者などそれぞれについて、勧告がなされています。いずれも日本アイソトープ協会が翻訳し、日本アイソトープ協会又は、丸善から手に入れることができます。

- * 外部放射線に対する放射線防護に用いる為の換算係数
- * 潜在被ばくの防護：選ばれた放射線源への適用
- * 医学における放射線の防護と安全
- * 作業者による放射性核種の摂取についての線量係数
- * 放射線緊急時における公衆の防護の為の介入に関する諸原則：国際放射線防護委員会専門委員会 4 の課題グループの報告書
- * 潜在被ばくの防護：概念的枠組み：国際放射線防護委員会専門委員会 4 の課題グループの報告書

放射線についてのやさしい解説は日本アイソトープ協会でも出版されている

* 放射線の ABC

* やさしい放射線とアイソトープ

などから、学ぶことができます。また、

「改定版、アイソトープ」として、アイソトープとは；人体への影響；安全取り扱いの基礎；安全取り扱いの実際；医療施設における安全取り扱い、の 5 巻の教育訓練用ビデオテープも手に入れることができます。

用語解説

① 体外被曝と体内被曝

体外に線源があってそれからの放射線で照射される場合を体外被曝、体内に取り込まれた核種による被曝を体内被曝といます。体外被曝では、その線源から離れる、または、遮蔽するかで、被曝を防ぐ事ができますが、体内被曝はその核種が体内に存在する限り被曝は続くことになります。体内被曝は放射能で汚染されたような物質を飲んだり食べたり（経口）、吸ったり（吸引）、触ったり（経皮）すると起こります。今回の JCO の事故で汚染された環境物質を摂取するとこの体内被曝を受けることになります。体内被曝では障害を起こす可能性のある核種と集まりやすい臓器があります。

甲状腺に分布：I

骨に分布：Sr, Ra, Pu

肝臓、脾臓に分布：Th, Po

全身に分布：H, Cs

等です。

② 急性影響と晩発影響

多量の放射線を一時に浴びたときに数十日以内に現れる影響を急性影響といます。症状は個人によって異なりますが、全身浴びた放射線の量によって；

250mSv 以下：医学的検査で症状が認められない。

250mSv：白血球が一時的に減少

500mSv：白血球が一時的に減少してやがて回復

1Sv：吐き気、嘔吐、全身倦怠、リンパ球の減少

1.5Sv：50%以上が宿酔

2Sv：5%の人が死亡

3Sv：30日以内に50%の人が死亡

6Sv：2週間以内に90%の人が死亡

7Sv：100%の人が死亡

と、考えられています

これに対して、晩発影響とは放射線を浴びた直後はなんとなく、長い年月が経ってから現れる影響の事を言います。一定の潜伏期を経てから症状がでますが、放射線を浴びた全ての人に現れるわけではありません。

③ 確率的影響

放射線を浴びた場合の身体的影響は閾値のある非確率的影響（確定的影響）と閾値のない確率的影響とにわけられます。確定的影響は閾値を超えると影響がでます。例えば、皮膚について；

3Gy：3週後に脱毛、軽度の紅斑

5～12Gy：2週後に充血、腫張、紅斑、脱毛、一部乾性皮膚炎

12～18Gy：1週後に水泡から湿性皮膚炎、潰瘍

20Gy以上：3～5日後に、進行性びらん、潰瘍の症状を起こします。

水晶体については；

5Gy以上浴びると、臨床的に明白な白内障を起こします。

生殖腺に対する障害、不妊も確定的影響です。

確率的影響は、低い量の放射線でも生じる事があり、全ての人に起こるわけではありません。但し、浴びる放射線の量が多くなれば確率は高くなります。

生殖腺に放射線を浴びて遺伝的欠陥を生じるリスク係数は

1Svあたり、 4×10^{-3} ；

乳腺に放射線を浴びて乳癌になるリスク係数は 2.5×10^{-3} ；

甲状腺に放射線を浴びて甲状腺癌になるリスク係数は 5×10^{-4} です。

中性子を浴びると血液の中に豊富にある ^{23}Na （安定同位元素）の原子核に中性子が取り込まれ、 ^{24}Na （半減期が15時間）になり、これはβ線とγ線とを出して ^{24}Mg （安定同位元素）に変わります。

放射線に浴びなくても白血病になる確率は10万人に3人の割合です。

④ ウラン

原子番号92、元素記号U、原子量238.0289。1789年クラップロート（M. H. Klaproth）によってピッチブレンドの中から発見され、それより8年前の1781年に発見された新惑星、天王星（Uranus）の名にちなんでウラン（Uranium）と命名された。

1896年ベクレル（H. Becquerel）は、硫酸ウラニル塩から黒紙を透過する放射線が放出され写真乾板を黒化させることから、放射能が存在することを発見した。1938年ハーン（O. Hahn）とシュトラスマン（F. Strassmann）は、ウランに中性子を照射するとクリプトンやバリウムのようなウランより軽い元素の放射性同位体に分裂することを発見した。1939年フェルミはウランが分裂するとき中性子が放出され、この中性子の量が十分あればウランの分裂は連鎖反応で起こるに違いないと提唱した。

天然ウランは3つの同位体、ウラン234（ ^{234}U ）、ウラン235（ ^{235}U ）、ウラン238（ ^{238}U ）からなり、いずれもα崩壊する。またその存在率と半減期はそれぞれ、0.0055%、 2.44×10^5 年；0.7200%、 7.038×10^8 年（約7億年）；99.2745%、 4.468×10^9 年（約45億年）である。

ウラン235は熱中性子、高速中性子、陽子、α粒子、重陽子、γ線の照射によって、核分裂をおこす。熱中性子による核分裂の際には平均2.5個の中性子を放出するので、条件次第ではこの核分裂は連鎖反動的に急激に進み多量のエネルギーが放出される。核分裂に比べると起こる確率はずっと低いですが、ウラン235は中性子を捕獲してウラン236に変わる。半減期 7.038×10^8 年でα崩壊してトリウム231に変わる。

ウラン238は低速中性子を捕獲してウラン239になり、さらにβ崩壊によってネプツニウム239を経てプルトニウム239に変わる。高速中性子を照射すると核分裂を起こす。半減期 4.468×10^9 年でα崩壊してトリウム234に変わる。

ウランは地球上に広く分布し地殻1g中に2.4μg、海水1ℓあたり3.3μg存在している。ウランを含むおもな鉱物には、ピッチブレンド、カルノー石、リン灰ウラン石、リン銅ウラン石などがある。

ウランは密度が高い（鉄の2.4倍、鉛の1.7倍）銀白色の硬い金属元素である。

ウランを空気中で加熱すると U_3O_8 となる。水素と250℃で反応して UH_3 となる。400℃以上で窒素と反応する。ハロゲンとは容易に反応し、硫黄や炭素とも直接反応する。ほとんどの酸に溶ける。アルカリ水溶液には溶けない。

ウランは2, 3, 4, 5, 6価としてそれぞれ化合物をつくるが、6価のものが最も安定で、4価のものがそれに次ぐ。

6価のウランの化合物は、 UF_6 、 UCl_6 などいろいろと知られているが、とくに $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ のようなウラニル塩が多数知ら

れている。ウラニル塩の多くは水に溶けて、黄色に着色し黄緑色の蛍光をしめす。6価のウランは水溶液中でウラニルイオン (UO_2^{2+}) として安定に存在する。

4価のウランは化合物およびその水溶液は濃緑色を呈する。

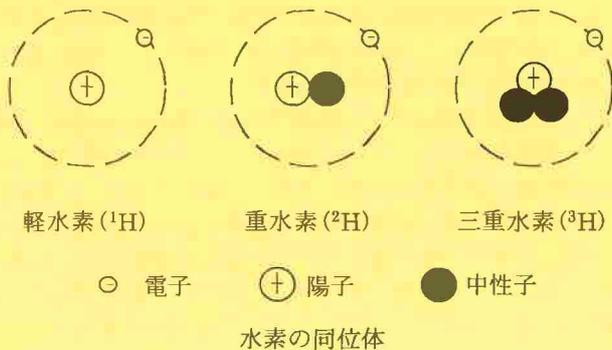
⑤同位体

原子の種類(元素)は原子核の中に存在する陽子の数によって決まる。

しかし科学が進むにつれて、原子核の中の陽子の数は等しいが、中性子の数が異なるため、質量数が異なったものが発見された。すなわち、化学的性質は、同じ元素としてふるまうのに、質量数が違っているものが発見された。この同じ元素で、質量数の異なる原子を互いに同位体(isotope)という。同位元素、アイソトープともいう。アイソトープという言葉はギリシャ語の“同じ場所”という意味の言葉に由来している。

同位体のうち、原子核が安定なものを安定同位体(stable isotope)、原子核が不安定なものを放射性同位体(ラジオアイソトープ、RI, radioisotope)という。放射性同位体は、外部からなんの働きかけもないのに、原子核から放射線が自然に飛び出して、別の同位体や元素に変わってしまう。

同位体の例を表-1に示す。例えば水素には原子核の中に、1個の陽子のみがある軽水素(^1H)、陽子と中性子が1個ずつある重水素(^2H またはD)、1個の陽子と2個の中性子がある三重水素(トリチウム、 ^3H またはT)の3種類の同位体が存在する。軽水素と重水素は安定同位体で、三重水素は放射性同位体である。三重水素は原子核からベータ線という放射線をだして、 ^3He (ヘリウム3)に変わる。



元素	同位体	存在量(%)	放出する放射線	半減期
水素	^1H 軽水素	99.985	ベータ線	12.3年
	^2H 重水素	0.015		
	^3H 三重水素			
炭素	^{12}C 炭素12	98.90	ベータ線	5730年
	^{13}C 炭素13	1.10		
	^{14}C 炭素14			
酸素	^{16}O 酸素16	99.762		
	^{17}O 酸素17	0.038		
	^{18}O 酸素18	0.200		
カリウム	^{39}K カリウム39	93.2581	ベータ線	1.25×10^9 年
	^{40}K カリウム40	0.0117		
	^{41}K カリウム41	6.7302		
ウラン	^{234}U ウラン234	0.0055	アルファ線	2.44×10^5 年
	^{235}U ウラン235	0.7200	アルファ線	7.038×10^8 年
	^{238}U ウラン238	99.2745	アルファ線	4.468×10^9 年

表-1 同位体の例

上で述べたように同位体が発見されたとき、同位体は化学的性質が同じと考えられていた。ところがその後の研究で、分子内のある原子をその同位体で置き換えると、分子の性質が変わることが分かった。これを同位体効果という。

つぎに同位体効果の例をあげよう。ある元素を含む2種類以上の化合物が平衡状態で共存しているとき、その元素の同位体はどの化合物にも同じ割合で存在しないで、各化合物でその割合がわずかに違ってくる。

また化合物が反応する速さ(反応速度)は、化合物に含まれている元素をその同位体で置き換えるとわずかに違ってくる。これらは化学反応における同位体効果の例である。

半減期

放射性同位体は自然に壊れて無くなっていきます。ある放射性同位体が自然に壊れて量が半分になるまでに要する時間を半減期という。

例えばトリチウムの半減期は12.3年なので、いまトリチウムが1g有るとすると、12.3年後にはその量は0.5gになる。

“ウラン”と“同位体”に関する参考文献

- (1) 桜井弘, “ブルーボックス B-1192 元素111の新知識、引いて重宝、読んでおもしろい”, 講談社(1997)。
- (2) F. A. コットン, G. ウイルキンソン共書, 中原勝儼訳, “コットン・ウイルキンソン 無機化学(下)”, 培風館
- (3) F. A. コットン, G. ウイルキンソン, P. L. ガウス共書, 中原勝儼訳, “コットン・ウイルキンソン・ガウス 基礎無機化学”, 培風館
- (4) 垣花秀武, 大滝仁志, “アイソトープの知識”, コロナ社(1962)。
- (5) J. F. ダンカン, G. B. クック共著, 池田長生, 吉原賢二共訳, “アイソトープ化学の基礎と応用”, 共立出版(1975)。
- (6) 斎藤信房監修, 佐野博敏, 富永 健編集, “同位体と化学”, 廣川書店(1978)。
- (7) 日本化学会編, 化学総説 No. 23 “同位体の化学”, 学会出版センター(1979)。
- (8) Ivan G. Draganic, Zorica D. Draganic, and Jean-Pierre Adloff 共著, 松浦辰男, 今村 昌, 長谷川罔彦, 橋本哲夫, 朝野武美, 小高正敬共訳, “放射線と放射能, 宇宙・地球環境におけるその存在と働き”, 学会出版センター(1996)。
- (9) 小高正敬, “同位体効果の常識が変わりはじめた”, 放射線科学, 42, 53(1999)。
- (10) 小出昭一郎監修, 吉田義久訳, “物理学のコンセプト6, 物質の変化”, 共立出版(1999)。

Q & A

Q：原子核が分裂するのはどういうときでしょうか？

A：原子核は、中性子と陽子が数個から数百個集まってできています。たがいに隣接する核子（原子核をつくる中性子や陽子のこと）同士の間には核力とよばれる強い引力が働いていて、ちょうど液体の場合に表面張力で小さい水滴や水銀の粒ができるのと同じように、原子核が形成されます。さらに原子核の内部では、陽子同士の間で働くクーロン反発力が存在します。核力によるたがいに引き合うエネルギーは核子の総数に比例して増大しますが、クーロン反発力の方は陽子数の2乗に比例して増大します。そのため原子核をどんどん大きくしていくと、いつかはクーロン反発力が勝ってきます。おおざっぱに言って、原子番号92（ウラン）以上の原子核は、原子番号が大きくなるにつれて、 α 粒子を放出したり、2つに分裂したりする傾向が強くなるといえます。

ところで天然のウランは、同位体としてウラン235を0.7%、ウラン238を99.3%含んでいます。このうちウラン238の原子核はエネルギーをもった中性子(高速中性子)を吸収すると2つに分裂します。ウラン235の原子核は、運動エネルギーをもたない中性子を吸収してウラン236となります。中性子は電荷がゼロなのでエネルギーがなくても色々な原子核のなかに容易に入っていくことができます。新しく中性子が加わった原子核は不安定になり、原子核は長く伸びた楕円状になったり、表面張力でもとに戻されたりで振動します。変形の途中で、表面張力よりもクーロン反発の方が勝ると2つに分裂します。結局、約85%は2つの原子核に分裂し、残りの15%は分裂しないで別の原子核に変わります。また核分裂の場合に生成した核分裂片は、陽子数に比べて中性子数が過剰（大きい原子核ほどクーロン反発力にうち勝つために中性子を多く含んで安定性を保ちます）なので、なお励起された状態にあって、そのために中性子を放出したり、また核内で中性子が陽子に変わる β 崩壊（電子とニュートリノを放出）を起こします。放出される中性子は1回の核分裂あたり2ないし3個、平均して2.4個、しかも高速の中性子です。核分裂を起こして2つの原子核が飛び出すときには、2つの原子核は核同士の間で働く強いクーロン反発力により、大きい運動エネルギーをもって互いに反対方向に走ります。2つの原子核の運動エネルギーの和は約160MeVです。そのほかに中性子、 γ 線、 β 線、ニュートリノなどの粒子も飛び出すので、1個のウラン235の核分裂が起こると約200MeVのエネルギーが放出されることが知られています。

Q：連鎖反応とはどういうことですか？また臨界とは？

A：連鎖反応とは、ある反応によってできた生成物がつぎの反応を引き起こし、外部から何も（エネルギーや中性子を）加えないでも、つぎつぎと同じ反応が続いて起こる現象をいいます。熱エネルギーの中性子の吸収から始まるウラン235の核分裂反応では、反応の結果2.4個の中性子が発生します。この中性子は、系内の他の物質の原子核に吸収されたり、また系外に飛び出してしまうものもありますが、系内の別のウラン235に吸収されてつぎの核分裂反応を起こすと、連鎖反応が起こります。連鎖反応の課程で、1回の核分裂で生じた中性子のうち、吸収されずに、また外に漏れ出さないで、つぎの核分裂に寄与する割合が1より多いときには、核分裂は急激に増加します（臨界超過）。逆に、次の核分裂に寄与する中性子が1より小さいときには連鎖反応は終息します（臨界未満）。また核分裂に寄与する中性子がちょうど1のときには、一定の割合で連鎖反応が持続します（臨界）。このとき中性子の速度も重要な因子です。1MeVの中性子と0.01eVの中性子の速度は1万倍も違います。一般にゆっくりと走る中性子の方が原子核に吸収されるチャンスが大きいのです。高速中性子は、たとえば水素の原子核（プロトン）などにぶつかって跳ね返されるときにもっとも効率よく減速します。そこで水素などの軽い原子核が系内（あるいは周辺に）どれほどの濃度で存在するかは、臨界に対して重要な影響をもちます。

Q：連鎖反応を起こすための最初の中性子はどこから来るのですか？

A：ウランなどの重い原子は自然にアルファ線を放出する核壊変を起こすことが知られていますが、そのほかにも自発核分裂することもあり、このときに中性子が放出されます。また中性子は、宇宙線のなかに多く含まれている高エネルギー陽子が大気中や地上の原子核に衝突して核反応を起こすさいにも生じることが多いのです。たとえば炭素13の原子核と陽子の反応から窒素13核と中性子が生じる反応などです。

Q：どのようにして生物体は放射線の影響をうけるのでしょうか？

A：水素(H)、炭素(C)、窒素(N)、酸素(O)などの原子が互いに結合して水(H₂O)、メタン(CH₄)、アンモニア(NH₃)をはじめ、遺伝情報をもつDNA分子や生体機能をつかさどるタンパク質分子ができています。原子と原子の結合は、1ないし2個の負電荷をもつ電子が両方の原子核（正電荷）にまたがって運動することによります。この結合状態はきわめて安定したもので、これによって物質の安定性が保証されています。

ここで放射線が分子の中を走り抜けることを考えます。分子の大きさを仮に後樂園の東京ドームの大きさに拡大すると(10¹⁰ mから100 m、すなわち1兆倍)電子は米粒の大きさです。やはり米粒の大きさの高速電子(=β線)や豆粒ほどの高速の原子核が突き抜けても、ほとんどの場合で何事もなくすり抜けますが、まれに化学結合に関係する米粒ほどの電子のすぐ近く(1 mとか50cmの距離)を通るとき、瞬間的に強いクーロン力が働き、化学結合に関係していた電子が遠くに飛ばされることがあります。すると化学結合が切れてしまう。これが高速の荷電粒子による化学反応の始まりです。

また高速中性子の場合、原子や分子内の原子核と衝突するとき、とくに水素の原子核に衝突するときと同じ質量同士なので効率よく、原子核を弾き飛ばします。これによっても化学結合が切れ、さらに高速で走る荷電粒子、たとえばプロトンという放射線を発生させることとなります。いずれにしても放射線は生物体の中をかなり浸透して生物体の内部で化学結合を切ったり、電子を弾き飛ばします。

この化学結合の切断がもしDNA分子のなかで起こるとDNAにキズができます。DNA分子の近くの水分子が壊れた場合でも、たとえばOHという化学的に活性なものが近づいてきてDNAと反応してキズをつくることも知られています。DNAにできたキズは、酵素(タンパク質)の働きで元通りに修復されることが多いのですが、キズが密集して生じたような場合には、修復されずに残ります。多数のキズのために細胞の増殖機能が損なわれると細胞死へ、またキズの修復が不完全のまま(化学結合の組み替えが生じたまま)遺伝情報が伝わる時は突然変異やガン化が発生します。

Q: JCO事故のさいの核分裂によって発生した中性子がまわりの原子を放射性原子に変えるというのはどういうことですか?

A: ある原子核に外から別の中性子や陽子が飛び込んでくることを考えてみましょう。陽子はある程度以上の運動エネルギーをもっていないと原子核の正電荷と陽子の正電荷の反発のために入りこむことができません。陽子でなくもっと大きい原子核が飛び込んでくる時も同じです。もっと大きい運動エネルギーが必要です。ところが中性子は電荷がないので運動エネルギーは必要でなく、また原子核の電荷の大小も関係なく、容易にいろいろな原子核に侵入できます。侵入後の原子核は、原子核としては別のものです。多くの場合で不安定で、別の核子を放出したりして安定化します。とくに中性子が過剰になった原子核のなかで、弱い相互作用によって中性子が陽子に変換される反応が起こると、電子が放出され、つづいて原子核内の陽子の運動状態が変わるときには電磁波(γ線)が放出されることが多いのです。

逆に陽子が過剰になった原子核からは、陽子が中性子に変換される反応が起こり、陽電子とγ線が放出されます。原子核に侵入者が飛び込んできて新しい原子核が生まれてから何かを放出して安定になる過程は確率で支配されます。ちょうど隕石が浮かぶ宇宙空間を飛行する宇宙船が隕石と衝突する確率が隕石の濃度から求められるように、放射線をだすであろう原子核の安定化の確率は崩壊定数または壊変定数と呼ばれている値から求められます。

Q: 放射線の中でもアルファ線などは紙1枚で止るといわれるのに、γ線や中性子線は2kmも離れたところまで飛ぶのはなぜですか?

A: 放射線は、大きく分けて3種類に分類できます。周波数の大きい電磁波(γ線やX線)、高速の荷電粒子(毎秒1000km以上の速度で走る電子や原子核)、それに中性子です。これらの放射線の物質に対する透過性を理解するためには、3種類の場合のそれぞれについて、物質を構成する原子に対する振る舞いを理解する必要があります。原子の大きさは1オングストローム(10⁻¹⁰m)ですが、これをいま100mの大きさ(いうならば東京ドーム)に拡大して考えます。すると原子核(10⁻¹⁴m)は豆粒の大きさ、電子や中性子(10⁻¹⁵m)は米粒(1mm)です。この米粒の大きさの電子が原子核の周りを1秒間に10¹⁶回も回転(往復運動)しているのです。外から猛スピードで電子やプロトンが突き抜けてもほとんどの場合で何事もなくすり抜けますが、米粒の近く、たとえば1mぐらいのところをニアミスをする確率の存在を無視できません。そのとき瞬間的に強いクーロン力が作用してエネルギーが移るのです。多価荷電の原子核の場合では1mでなく、たとえばヘリウム原子核では+2の電荷、ヨウ素の原子核では+53の電荷ですから、それぞれ2m、および53mの近くを通過するだけで電子やプロトンのときと同じ効率でエネルギーが移ります。

ところがγ線やX線は電荷がありませんから米粒の近くを通り過ぎても何事も起こりません。米粒に直接に衝突(コンプトン散乱)してはじめてエネルギーが移ります。また中性子は豆粒の大きさの原子核の中に突入してはじめて核子との間で強い力が作用してエネルギーを移します。

今度のJCOの事故で発生した放射線の透過性について考えましょう。まず核分裂片は+30~+60の原子核ですからエネルギーを移す効率が極めて高く、水中を1mmも走らないうちにエネルギーを使い果たすので容器から飛び出すことはありません。γ線と中性子はエネルギーを失う効率が低いので、容器から建物の壁、林を通りぬけ、空気中を2kmも走ってその放射線モニターで測定されていました。

ただし核分裂片のなかには、放射線としてはなく、反応容器から沸騰したり、蒸発したりで室内に

もれでて、さらに工場のなかから屋外に空気の流れに混じってでて、風につられてどこかに舞い落ち、そこでまだ不安定な原子核のままであれば（半減期に応じて）原子核が安定化することもあります。そのときにβ線やγ線をだすわけですが、放射線として飛び出す核分裂片とは違うものです。

Q：放射線エネルギーの吸収単位として使われるGy（グレイ）は1J（ジュール）/kgということですが、たとえば1kgの水に1Jのエネルギーを与えても水の温度が0.00025℃だけ上昇する程度のもので、それなのにどのようにして放射線障害が起こるのですか？またSv（シーベルト）についても、説明してください。

A：放射線はすき間だらけの原子や分子のなかをすり抜けて、何千何万という原子や分子を透過します。高速の荷電粒子が原子や分子内の軌道電子の近くをたまたま通ってその軌道電子を軌道からはじきだし、さらに運動エネルギーを与えて遠くへ飛ばすことがあると、これによって高速の荷電粒子は運動エネルギーをその分だけ失います。飛ばされた電子はエネルギーを獲得します。もちろんその電子が所属していた物質がエネルギーを得たということもできます。γ線やX線の場合は、光速の点粒子が電子に直接体当たりする（コンプトン散乱）ことでエネルギーを物質に与えます。

そこで1kgの水（ 10^{25} 個の水分子を含む）に1J（ $=0.6 \times 10^{19} \text{eV}$ ）のエネルギーが与えられることを考えます。1個の電子が飛ばされるにはおよそ30eVのエネルギーが必要なことが知られていますので、1Jのエネルギーで約 10^{17} 個の電子が飛ばされると言えます。これは水分子が全体で 10^{25} 個も存在しているのに、そのうちわずか 10^8 （1億）分の1だけの水分子が放射線からエネルギーを得ることを意味します。普通の熱エネルギーで同じ1Jのエネルギーを与えるときには、それぞれの分子自体はそのまま（壊れない）で、しかもすべての分子が平等に運動エネルギーを得るので、放射線の場合とは対照的です。熱エネルギーの1J/kgは1個の分子あたりでは平均 $0.6 \times 10^{19} \text{eV} / 10^{25} = 0.000006 \text{eV}$ と小さく、取るに足りないものです。放射線の場合の1J/kg（ $=1 \text{Gy}$ ）では、 10^{17} 個の分子のイオン化が起こり、これだけの分子が壊れます。卑近な例を挙げれば、1億人いる日本に10億円を配布するとき平等に与えると1人10円で何事も起きませんが（熱エネルギー）、10人だけに1億円ずつ与える方法（放射線）があるわけです。その10人の分布状態が変わることで影響が違ってきます（放射線の種類）。

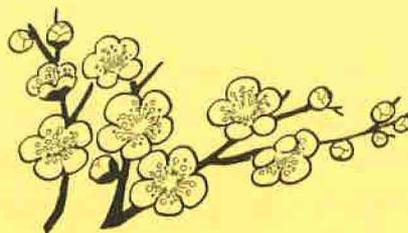
Sv（シーベルト）は、放射線が人体に及ぼす効果・影響を定量的に扱うために放射線防護の分野で用いられる被ばく線量の単位です。吸収線量（単位：Gyグレイ）が同じ値であっても放射線の種類や性質

（荷電粒子の電荷と速度）によって、たとえばDNAに対するキズの総数は同じでも密集具合で修復されたりされなかったりするのので、障害の程度が大きく異なることがあります。このため放射線防護の分野では、吸収線量にある係数を乗じて、放射線の種類や性質が異なっても同じ障害の程度を示すことができるようにしています。係数を乗じて得られる線量概念を「線量等量」といい、
線量等量＝吸収線量×線質係数
であたえられます。X線、γ線および電子線の場合の線質係数は1ですが、多価荷電粒子や中性子線の線質係数はエネルギーに応じて5から20の値をとります。

Q：放射性物質によって環境が汚染されることが心配です。今回の事故ではどのようにして汚染されたのでしょうか？

A：放射性物質により環境が汚染されるとそれらは飲食物や呼吸を通じて生物の体内、そしてヒトの体内に取り込まれます（食物連鎖）。大気圏核実験が盛んに行われた1960年代には地球規模で環境が汚染されました。チェルノブイリ原発の爆発事故の場合、核分裂生成物である放射性セシウムやストロンチウムなどが環境汚染を引き起こし、とくに旧ソ連では、放射性ヨウ素による甲状腺がんなどの発生が認められました。

JCO事故の場合、実際に核分裂したU235はおよそ1mg（ $=2.5 \times 10^{18}$ 個U原子）と推定されています。するとこの2倍の個数の核分裂生成核が生まれたこととなりますが、大部分の核分裂生成物はウラン溶液に溶けたままです。水に溶けにくいもの（たとえばクリプトンとかキセノンなどの希ガス）の一部が施設外にもれ出たことが認められます。また核分裂のさいに飛び出した中性子が、飛行中たまたま何かの原子核に入り込んで、原子核を放射性に変えたものも測定されています。今回は、事故発生直後からJCO周辺で大気、農作物、土壌、環境水などの放射能汚染の調査が行われました。検出された放射性物質の量はきわめて低く、住民や環境に影響を与えるものではありませんでした。



三木良太先生を偲んで

近畿大学原子力研究所
鶴田隆雄



常任顧問の三木良太先生が2月9日逝去された。享年75歳であった。

先生は、昭和21年9月北海道帝国大学理学部化学科をご卒業になり、東京帝国大学理工学研究所、日米通信社を経て、昭和34年2月アメリカン・コマーシャル社に入社された。そのいきさつは、同年5月に東京晴海埠頭で開催された第3回東京国際見本市のアメリカ原子力特設館に教育・研究用原子炉：UTR（University Training Reactor）の出品が予定されていたが、当時、同社がその原子炉メーカーの日本代理店で、原子炉の日本国内での設置にあたり日本人の専門家を求めていたことによる。先生は、原子炉設置許可申請書の起草に始まり、多くの法制上および技術上の困難を克服して、JPR-1に続いて我が国で2番目の原子炉の臨界を東京の真ん中で実現するという快挙を成し遂げられたのである。

見本市でその運転を多くの人々がまの当たりにした原子炉を近畿大学が購入することになり、先生はふたたびその設置のためのご苦勞を引き受けられることになる。様々な問題を乗り越え、次に大阪の地でUTRが臨界を迎えたのは昭和36年11月のことであった。

昭和37年7月先生は請われて近畿大学に移られ、以来平成7年3月の定年ご退職まで、UTRと共に過ごされ、この原子炉の安全運転と有効利用に心血を注がれた。原子力研究所にあっては、講師、助教授、教授として多くの学生を育て、炉物理、放射線計測等幅広い研究を展開された。学内では、原子炉主任技術者、放射線取扱主任者、管理室長、原子力研究

所副所長、理工学総合研究所長等の要職を歴任された。また、学会でも、日本原子力学会理事、日本アイソトープ協会関西常任委員長等として活躍された。

先生は近畿大学ご退職の際に次のように述懐されている。「管理関係の業務はうまく進めて当たり前、何か起これば対策やら後始末に追われ、誠に割合わないことばかりのようであるが、考え方によっては一番大切な仕事で、誰かが引き受けなければならぬ。裏方に徹する者が一人ぐらいいなければと思っていつの間にか30年も過ごしてしまった…」

JPR-1、JPR-2が運転を停止し、UTRは日本で一番歴史のある原子炉となった。三木先生の多年にわたる行き届いた保守・管理のお陰で、現在も極めて順調に運転が継続されていて、学内の教育・研究、他大学学生の教育、全国大学共同研究、教員のための原子炉実験研修会と多面的に活用されている。今後とも、安定した運転を継続して、末永く学校教育、社会教育そして基礎研究の発展のために役立てること、それが先生のご恩に報いる途であろうと考えている。

先生は、学生や一般の方々に平易な言葉で語りかけることの必要性をよく説かれていた。放射線教育フォーラムニュースレターNo. 10（1998.7）の巻頭言にも同様の趣旨のことを書いておられる。先生のご遺志を継ぎ、放射線教育の発展のために共に手を携えて前進して行きたいと思う。



会員の声

原子力時代に期待される教育・PA

(財)環境科学技術研究所
笹川澄子

著者は1999年日本原子力学会秋の大会(9月10~12日、柏崎市)の原子力教育研究専門部会で「原子力教育・PAにおける一考察」と題して話す機会を得た(予稿集第1分冊、総2、1999年)。その約3週間後の9月30日、茨城県東海村の核燃料加工会社JCOでウランの臨界事故というわが国では例のない事故が発生した。さらに純国産大型ロケットH2の打ち上げが失敗した。これら一連の出来事を巡って、日本の科学技術が根底から大きく揺らぎ、国民には強い不信感と怒りが生じている。戦後半世紀、効率、合理性、そして物質的豊かさをひたすら求めてきたがほころびが出始め、そのことへの批判が目につく。しかし、今後どう改革すべきかという反省を含めた具体的な提案も動きも見えない。これを機に、国民とともに歩むべき原子力の将来に向けて原子力教育・PAは何をなすべきか、ささやかな提言をすべく、先の講演を振り返りその原稿から抜粋して寄稿したい。

原子力時代へ向けた教育・PAへの提言

学校教育であれ社会教育であれ、教育には「される人」と「する人」が存在する。教育が知識の授受に終始する場合には「される側」が知識を会得さえすれば当初の目的は達せられることになり、いかに効率よく知識を伝授するか、「する側」の論理で教育を考えればよいかも知れない。しかし、それは教育の一つの面でしかなく、むしろ知識を得ることの喜びを体得させること、そして自発的に知識を求める態度を「される側」に醸成することが、教育のもっと大きな目的であることは学校教育で証明されてきている。そのためには「する人」と「される人」との間で全人格的な交流と、双方向の情報伝達が行われなくてはならないことも証明されている。教育における最大の効果の一つ、それは教育「される人」が自ら「アイデンティティ」を認識し確立することである。原子力教育においても、自らの立場で原子力について考える姿勢を培うことが目標であり成果であることは相違ない。

社会教育の場面では、とくに原子力教育における「される人」は、居住地は都会か田舎か、成人か児童生徒か、成人の場合職業人か家庭人か高齢者か若年者か、男性か女性か、など様でない。様々な考え、様々な生活背景があるのが当然である。そして、「される人」が主体である。この「される側」の多様性を認識し、尊重することが何よりも重要である。「される側」に考えることを激励し、その考えを自発的に発表すること

を鼓舞あるいは支援すること、それらが原子力教育・PAのあるべき態度だと思う。たとえ少数であろうと異論を排除することは正しい態度とは言えない。むしろ、多様性が存在することによって人々の間に緊張感が生まれ、切磋琢磨が生まれ、より健全な社会が形成できるのである。異論異質を嫌うあまり一つの方向に走りすぎる危険性は歴史が示している。

科学は、一般的な実験室があればどこでも誰でもできる共通性や再現性、論理の一貫性が優先される場合がある一方で、多様性やファジーの中に答えが見つけれられる場合が多々ある。教育科学としての原子力教育・PAでは、「される人」と「される人」が住む土地独特の気候風土や生活文化などを十分に認識し、その状況に応じて最適な方法や方向性を見いだすべきだろう。画一的な方法を適用することは、無意味とは言えないまでも、効果的と言うことはできない。

原子力教育・PAでは「される人」の多様性を理解し、日常生活を通じて科学や芸術をはじめ様々な面で意見の交流を図り、考えを共有し、その中で自らの考えにもとづく原子力に対する理解を少しずつ得ていくことが大切だと思われる。そこでは自身「なぜPA活動か？」を厳しく問うことも必要である。「する側」の原子力の解説や経済効果あるいは安全性の説明で終始してしまうならその教育は誤りかもしれない。異論異質を認め、社会に内在する多様性を認め、共生を目指す意識が重要であり、原子力教育・PAの専門家にとっては努力と忍耐を必要とする作業であることはまちがいない。

教育に必要な要件、それは、「する人」と「される人」双方の双方に対する「愛」である。ここで、原子力教育・PAに必要な要件を4つ挙げ、四つ葉のクローバーに擬して修辭学的に表現したい。

最初のI。「Incentive of PA campaign

—なぜPA活動か？

第2のI。「Immanent diversity—内在する多様性」

第3のI。「Identity of an individual

—アイデンティティ=自己の存在の証明」

最後のI。「Interdisciplinary knowledge

and experience—学際的知識と経験」

環境問題とも関連して、21世紀は残されたエネルギーを効率よく活用することが求められるだろう。それをできるだけ円滑に行う鍵は情報公開に裏付けられた「広報活動Public information」と「原子力教育・PA」にあると考えられる。そのためには、四つ葉のクローバーに擬した要件を含めて、研究しなければならない課題が山積している。そしてそれこそは今取り組まなければならない緊急の課題である。ともすると軽く見られがちだが、「原子力教育・PA」は高度な教育科学・学問なのである。

会員の声

JCO 臨界事故に思う

日本原子力研究所東海研修センター
杉 暉夫

第一報：9月30日の昼、「U加工施設で事故あり、周辺の放射線レベルが平常値の約10倍に上昇した」との村内放送が入った。10倍とは大変な事だ。30分程して、「放射線は平常値に戻ったが、原因は調査中であり、念のため屋内退避を勧告する」と続報があった。誤信号だったのかと思った。一方では「ただ事ではない」とも思い、何か情報を得ようと原研へ出かけた。

GM管で計数：「臨界事故だそうです」と聞く。机上にある小型GM管で室内のバックグラウンドを確かめた。平常値のままである。原研の構内放送も「構内のモニターでは事故によるレベルの上昇を検知していない」と報じた。事故は「単一パルス」で終了し、影響は付近に止まったと思った。

TVの報道：「もんじゅ」も「東海再処理工場の爆発」も、核反応に起因する事故ではない。これらをも、核爆発と誤解されかねない程大げさに報道をしたマスコミが、今度はどんな報道をするのだろうか。意外にも、臨界は長時間継続しており、大げさな報道ができない程、深刻な事態になった。

住民の退避：「大げさだという謗りは甘んじて受け」との政府方針に従って、東海村の350m以内住民の立ち退きに続き、半径10km圏内の屋内退避も勧告された。臨界が継続している以上、止む終えない措置である。

臨界の収束：一定量以上のUが投入される筈のない沈殿槽が、今回始めてU溶液の均一化の工程に使用され、臨界量を越えるUが入り、連鎖反応を起こしていた。沈殿槽の周囲を取巻く冷却水は中性子を反射し反応を促進しているのだから、この水を抜くことによって臨界の収束が試みられた。10月1日早朝、試みは成功し、深刻な事態は回避された。

汚染の確認：汚染が無いことが確認され、住民の退避は解除された。汚染は小さくて済んだ。週刊誌の中吊り広告に「死の灰が降った」とあるのを「死の灰に勝った」と読み間違えた。死の灰は降らずに済んだと思っていたからである。

風評被害：東海村の野菜を電事連が大量に購入したと報じられた。無料配布された野菜は全て持ち帰られ、我々も積極的に東海村の野菜を食べよう務めた。反対派の人達の協力もあった。しかし、この被害を防ぐことはできなかった。

被爆評価：一旦、約170mSvと発表された敷地境界の被爆線量の評価値が、年末に92mSvに修正された。核分裂総数は 2.5×10^{18} のままである。納得がいかなかった。科技庁に問い合わせ、原研内及び東海村での説明会に出席し、やっと納得した。170mSvの方は核分裂総数から遮蔽計算によって求めた線量を基本とするのに対し、92mSvの方は那珂町の核融合研究施設のモニターが捉えた中性子計数を基本とするものであり、後者の方がより実際に近いと判断されたためである。

転倒事故：この原稿に取り掛かろうとした矢先、早朝のジョギングで転倒した。そのまま、家まで帰りシャワーを浴び、朝食を取ろうとしたとき前歯がぐらぐらになっているのに気付いた。しばらくして、右膝を曲げると痛み歩行が困難になった。歯科、外科、整形外科と診察を受けた。膝の皿にひびが入っており、現在、入院してこの原稿を書いている。各科共、要を得た先生方の説明があり、自分の状態を知ることができ安心して治療を受けている。臨界事故による様々な不安も、一人一人の方々への相手の立場に立った説明によって解消されるのだと身にしみて感じた。

《編集後記》

JCO ウラン核燃料加工施設で起きた事故は大変残念な出来事でしたが、これを機会に、高速中性子や γ 線による外部被ばくと放射性物質の体内取り込みによる内部被ばくの違い、放射線の透過性の問題、放射線による科学的・生物的作用の理解を深めるようにしたいと思います。もっと違う魅力的な説明の仕方もあると思います。皆様からのコメントを楽しみに待っております。
(編集委員一同)

編集者 放射線教育フォーラム編集委員会
委員長 渡利一夫 (放医研特別研究員)
大野新一 (東海大総合科学技術研)
菊池文誠 (東海大理学部)
小高正敬 (東工大原子炉工研)
村主 進 (原子カシステム研究懇話会)
中村佳代子 (慶応大医学部)
村石幸正 (東大教育学部附属高)
顧問 今村 昌 (理研名誉研究員)
発行者 放射線教育フォーラム(会長 伏見康治)
〒105-0003 東京都港区西新橋 1-17-2
三和第一ビル 5F
TEL/FAX : 03-3591-5366
E-mail : mt01-ref@kt.rim.or.jp